

博士論文（要約）

環境経済システムと原発事故
ーエントロピー経済学の視点からー

藤堂 史明

目次

第1章 序論

1.1 研究背景	1
I. 熱力学第一法則：質量・エネルギー保存法則	4
II. 熱力学第二法則：エントロピー増大法則	4
1.2 研究目的	5
1.2.1 エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価	6
1.2.2 環境経済システムと市場経済の関係性	8
1.2.3 環境経済システムにおける経済社会的構造	10
1.3 先行研究	13
1.4 論文の構成	18

第2章 利用可能エネルギー、エネルギー資源と生態系、そして人類の経済

課題	21
2.1 F. ソディのエネルギー資源論の意義と原子エネルギーの扱い	21
2.2 史実の核兵器開発のための原子炉と原子エネルギー利用の開始	27
2.3 エコロジー経済学の系譜におけるエネルギー利用と生態系、経済社会の位置づけ	30
2.3.1 エコロジーとエコロジー経済学、エントロピー経済学	30
2.3.2 F. ソディのエネルギー資源論と「エコロジー経済学」	33
2.3.3 生態学的アプローチにおけるエネルギー資源論	34
2.4 エコロジー経済学とエントロピー経済学、人類社会への考え方	37
2.4.1 J. マルチネス・アリエの課題設定	37
2.4.2 N. ジョージ・エスクーレーゲンの過程の分析的表現へのアプローチ	40
2.4.2.1 時間の不可逆性とエントロピー増大法則	40
2.4.2.2 ストック・フロー概念とファンド・サービス概念	42
2.4.3 N. ジョージ・エスクーレーゲンとH. T. オダムの問題意識	49
2.4.3.1 N. ジョージ・エスクーレーゲンの純エネルギー論批判と熱力学第4法則	49
2.4.3.2 希少性、経済価値とエントロピー法則	52
2.4.4 H. E. デイリーのエコロジー経済学	54
2.4.4.1 最適規模の環境マクロ経済学	54
2.4.4.2 カウボーイ経済学から低エントロピー物質とエネルギーの管理へ	56
2.4.4.3 H. E. デイリーのストック・フロー、ファンド・サービスについての考察	57
2.4.4.4 H. E. デイリーの環境マクロ経済学、エコロジー経済学の要点	61
2.5 不可逆的過程へのK. W. カップの「社会的費用」アプローチ	64

小括	69
----------	----

第3章 エントロピー経済学の視点

課題	72
3.1 室田武のエネルギーとエントロピーの経済学.....	73
3.1.1 エネルギーとエントロピーの経済学.....	73
3.1.2 室田武と「エントロピー経済学」の先駆者たち.....	76
3.1.3 室田武とH. E. デイリーの定常経済論	79
3.1.4 室田武の原子力発電と温暖化問題への視点.....	81
3.1.5 室田武の「人為起源地球温暖化問題」への疑問と 東電福島第一原発事故の追及.....	82
3.1.6 室田武のエントロピー経済学	84
3.2 榎田敦の開放系の熱力学と弱者のためのエントロピー経済学.....	85
3.2.1 榎田敦の開放系エントロピー論.....	85
3.2.2 榎田敦のエントロピー経済学の提案.....	89
3.2.3 榎田敦の「社会エンジン」論と市場経済システムの有効性論.....	96
3.2.4 榎田敦とF. ソディの物理的な富の理論	100
3.2.5 榎田エントロピー理論と東電福島第一原発事故.....	101
3.3 C. メンガーの「経済の二つの方向性」から玉野井芳郎の「広義の経済学」へ	102
3.3.1 玉野井芳郎と経済の二つの方向性.....	102
3.3.2 玉野井芳郎とエントロピー.....	108
3.3.3 玉野井芳郎の「広義の経済学」	110
3.4 エントロピー経済学は価値の生産と生命及び環境の関係をどう考えるべきか	112
3.4.1 F. ソディの価値論を再考する	113
3.4.2 F. Soddy (1926)第6章での富と仮想的富、負債に関する理論	113
3.4.3 エントロピー増大を含む生産過程の関数的表現と差異による価値生産	118
3.4.3.1 「生産」行為における物質及びエネルギー収支と エントロピー増大則.....	120
3.4.3.2 光合成においてもエントロピーは増大する.....	120
3.4.3.3 生産過程における貨幣的価値の「創出」	121
3.4.3.4 物理的価値と経済（貨幣的）価値	123
3.4.3.5 交換過程と「価格」による貨幣的価値の創出.....	126
3.4.3.6 物理的価値と生命の価値.....	128
3.4.4 価値の生産の観点から見た原子エネルギー利用.....	130
小括	131

第4章 原子エネルギー利用と環境汚染及び被ばくの「望ましさ」の論理	
課題	133
4.1 山田延男、若き核化学者と放射線障害	137
4.2 原子エネルギー利用と放射性物質の発生、そのリスクの特徴	140
4.2.1 原子エネルギー利用と放射性物質の発生	141
4.2.2 「ファンド」・「サービス」としての放射性物質と放射線	144
4.2.3 原子エネルギー利用と永久機関	149
4.2.4 放射線の危険性とは何か	150
4.2.5 放射線の危険性についての説明はなぜ食い違うか	151
4.3 被ばく線量と健康影響の間の線形の関係	154
4.4 放射線被ばくリスクの受忍におけるリスクとベネフィット	159
4.4.1 ICRPの放射線防護基準	161
4.4.2 最適化問題としての被ばく水準	164
4.4.3 二重の基準の持つ意味	167
4.4.4 リスクと便益の分離と負担	170
4.4.5 受益圏、受苦圏の理論と 原子エネルギー利用による放射線被ばくリスクの受忍論	172
4.4.5.1 「テクノクラートの視角」と「生活者の視角」の分裂	172
4.4.5.2 複数の欲望ないしは機能条件の、複数の主体による分有、 つまり「受益圏」と「受苦圏」の分離	173
4.4.5.3 地域的拮がりの中での「受益圏」と「受苦圏」の分離	174
4.4.5.4 一般化した放射線被ばくを伴う事業による受益圏と受苦圏の考察	177
小括	179
第5章 東電福島第一原発事故時の原子力災害対策と「人災」の構造	
課題	183
5.1 「人災」として引き起こされた原子力災害	184
5.1.1 原子力発電所事故の「非常事態」	184
5.1.2 本論文における対策評価の基本的性質	186
5.2 東電福島第一原発事故時の原子力災害対策及び原子力防災体制	187

5.2.1	原子力災害対策の歴史的経緯	187
5.2.2	放射線被ばくリスクと原子力災害対策	189
5.2.3	原子力災害対策の実施体制	191
5.2.4	原子力災害発生時の対策実施手順	194
5.2.4.1	放射線の測定	196
5.2.4.2	退避及び避難	196
5.2.4.3	緊急被ばく医療	199
5.2.5	地域防災計画の事例（新潟県）	199
5.2.5.1	原発立地自治体としての新潟県の特質	199
5.2.5.2	新潟県における自治体レベルの原子力災害対策、原子力防災体制	201
5.2.5.3	EPZ内自治体の原子力災害対策	203
5.2.5.4	避難体制の実際	203
5.2.5.5	緊急時放射線モニタリング	205
5.2.6	原子力災害対策の体制整備に見られる特徴	208
5.2.6.1	原子炉立地審査基準の規定における立地地域の考え方	208
5.2.6.2	度重なる改訂、想定拡大	209
5.3	原子力災害対策の実際上の問題点	210
5.3.1	避難想定と現実の乖離	210
5.3.2	防災施設と SPEEDI の活用、退避及び避難指示体制の整備と実際	211
5.3.3	広域避難の必要性和行政対応の限界	213
5.3.4	放射線被ばくリスクと防護基準をめぐる混乱	214
5.4	原子力災害対策の本質と問題点	215
5.4.1	東電福島第一原発事故への対応を踏まえた原子力災害対策の再編	216
5.4.2	原子力災害時の防災対策の問題点と改変	217
5.4.3	原子力災害への対策の考え方	222
5.4.4	原子力災害対策の運用上の問題点	228
5.4.5	原子力災害対策における防護の考えかた：最適化の論理	230
5.4.6	原子力災害対策における最適化：安全と採算性の二律背反	232
5.5	原発再稼働論争の経済的論理を読み解く	238
5.5.1	既存原発の再稼働推進の論理	239
5.5.2	費用をめぐる議論	240
5.5.3	再稼働についての経済学的論理	242
5.5.3.1	原発の埋没費用（サンクコスト）	242
5.5.3.2	費用以外の要因をどう評価するか	243
小括		244

第6章 結論：原子エネルギー利用と環境経済システム

課題	246
6.1 エントロピー経済学と原子エネルギー利用	246
6.1.1 エコロジー・エントロピー経済学と原子エネルギー利用の評価	246
6.1.2 大崎正治の「熱力学派経済学」の評価と批判	250
6.1.3 H. E. デイリーの理論と日本のエントロピー学派の着眼点の違い	256
6.1.4 エントロピー学派の経済社会的問題へのアプローチ	260
6.1.4.1 差異及び格差からの価値の創出	260
6.1.4.2 榎田敦の批判した媒介者による「弱者」の搾取の意味	261
6.1.4.3 経済価値の創出と市場経済システム内の差異の構造	263
6.2 持続可能な民主主義と原子エネルギー、放射線被ばくのリスク	266
6.2.1 持続可能性への配慮の限界	266
6.2.2 エントロピーの入出力と熱機関の持続可能性	267
6.2.2.1 エントロピー法則は変化と不可逆性の法則である	267
6.2.2.2 エントロピー法則と熱機関	269
6.2.3 汚染ファンドとしての放射性廃棄物の性質	270
6.2.4 持続可能性にとっての多数決決定の限界	273
6.2.5 原子エネルギー利用における科学的進歩と予知の限界	278
6.3 差異の構造と地域、持続可能な社会	279
6.3.1 原子力発電所の経済効果はあったのか	279
6.3.2 原発の経済効果とは	280
6.3.3 原発と自治体財政	281
6.3.4 地域への経済効果	282
6.3.5 原発立地自治体への「経済効果」の矛盾	284
6.3.6 原発立地自治体への「経済効果」は薄く、リスクへのバランスを欠く	285
6.4 総括：原子エネルギー利用の環境経済システムにおける位置づけ	286
6.5 今後の課題	288
謝辞	290
凡例 文献情報記載について	291
文献リスト	292

図表目次

図 2. 5-1	原発事故の影響と被害の損失と出費（負担）	68
図 3. 2. 1-1	地球熱機関の図式化	86
図 3. 2. 1-2	生産のポジとネガ	88
図 3. 2. 3-1	交換と貿易の利益と媒介者	99
図 3. 4. 3-1	ポジとネガの生産工程の持つ意味	119
図 4. 2. 1-1	ウラン 235 の核分裂連鎖反応の原理	142
表 4. 2. 2-1	ガラス固化体中の放射性核種とその半減期	147
図 4. 2. 2-1	使用済み核燃料における放射能の経時変化	148
図 4. 2. 2-2	ガラス固化体の放射能の経時変化	149
図 4. 2. 5-1	被ばく線量と確率的影響の関係	154
図 4. 4. 3-1	被ばく状況による最適化された防護基準	168
図 4. 4. 5-1	「原子力発電所建設問題」における受益圏と受苦圏	175
図 4. 4. 5-2	放射線被ばくリスクの受忍における、受益圏と受苦圏	177
図 5. 2. 2-1	EPZ 区域概念図	190
図 5. 2. 5-1	新潟県内臨時放射線モニタリングポスト環境放射線の推移	200
図 5. 3. 3-1	2011 年 3 月 23 日に公表された SPEEDI の被ばく試算図	214
図 5. 4. 2-1	拡張された区域設定	221
表 5. 4. 3-1	運用上の介入レベル(0IL)の原子力災害対策指針への反映	225
表 5. 5. 1-1	「再稼働」をめぐる主要な論理	239
表 5. 5. 3-1	「再稼働」をめぐる費用に関する論理	242
図 6. 1. 3-1	エコロジー・エントロピー経済学の環境経済システム	258
図 6. 2. 3-1	処理型式による各ガラス固化体の放射能の経時変化	271
図 6. 3. 3-1	柏崎市の一人当たり市民所得	282

第1章 序論

本章では本論文の執筆の動機となった研究背景、本論文を通じて明らかにしたい論点である研究目的、そして関連する分野の先行研究及び論文の構成について概説する。

1.1 研究背景

この論文は、その具体的な問題意識を2011年から2018年の間に著者が執筆した東京電力福島第一原子力発電所事故（東電福島第一原発事故）と環境経済学に関する論文、ブックレット（藤堂史明 (2016b)¹）、資料に基づき、また、理論的には、2011年1月までに執筆した「エントロピー経済学」に関するいくつかの論文を基本的な構想として書かれた。

著者にとって、2011年を境に論文の対象テーマが大きく絞り込まれた形になる。それほどまでに、この年の3月に起こった東電福島第一原発事故の影響は大きかった。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、その地震及び津波による多数の犠牲者と損害だけではなく、地震と津波を契機とした東京電力の福島第一原発の1から3号機の炉心熔融と4号機を含めた一連の爆発と火災という前代未聞の規模の事故を引き起こした。そしてこの事故による放射性物質の拡散は、東日本を中心に日本全域と海外におけるこの事故由来の放射性物質の検出に至るまで、世界規模にわたり大きな環境汚染を引き起こした。それは、汚染された地域の人々の暮らしに避難や災害関連死など甚大な影響を与えただけではない。

長らく危険性が指摘されてきた原発を、経済的な利益が大きいとして肯定し、放射線被ばくのリスクを受け入れることを合理的としてきた日本社会の問題認識、そして甚大な環境汚染を引き起こす原子エネルギー利用の問題を、環境問題の主な対象として扱ってこなかった学術研究自体にも大きな疑問符を投げかけるきっかけとなったのである。

この問題意識は拙著、藤堂史明 (2012b)²「新潟県における原子力災害対応体制と社会経済的影響」報告書の「はじめに：本研究について」に、以下の通り記した。

研究を行った筆者、藤堂は従来、環境経済学、とりわけエコロジー経済学分野の一つである「エントロピー経済学」の分野の理論的研究と、交通と環境、及び環境税等の分野の実証的研究を行ってきており、原子力防災分野についての研究

¹ 藤堂史明 (2016b)、『「原子力防災」の経済学―「望ましい」被ばく量はあるのだろうか―』、ブックレット新潟大学 68、新潟日報事業社。

² 藤堂史明 (2012b)「新潟県における原子力災害対応体制と社会経済的影響 研究報告書」平成 23 年度新潟大学プロジェクト推進経費（災害特別）事業、平成 24 年 3 月 14 日。

については、研究の端緒についたばかりである。

しかしながら、平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、震災及び津波により直接的に1万5千人を超える尊い人命を奪っただけでなく、その後も、東電福島第一原子力発電所の事故を受け、近郊に居住していた10万人以上の人々が、重度の放射能汚染により避難を余儀なくされ、また、それ以上の範囲においても、一時は日本全域に原子力発電所の爆発により生じた放射性プルーム（放射能雲）の飛散が懸念され、実際にも東北および関東・信越の広範囲に相当の放射能汚染が広がる事態となり、この分野の研究の必要性を強く認識させる事となった。

大震災の影響自体も、そこからの復興には長期間を要するが、原子力発電所の大規模事故に至っては、そこから飛散した放射性物質の半減期が主要なもので2年から30年、より長期のもので数万年に渡ることから、事故そのものが収束するかに関わらず、現世代が生きる期間全て、そして子世代、孫世代以降に至るまで、日本国民の暮らしを支える国土・自然環境のみならず、周辺の諸国民の暮らす国土や自然環境にすら、長期にわたり、甚大な影響を与えることが必至となった。

このことは、地球環境や生態系とそこに暮らす人々に対して、重大な生態系及び健康に与えるリスクとなり、またこれにどのように対処するかという問題として、社会・経済的にも多大な影響を与えることになる。

とりわけ、著者を含む環境分野の研究者は、これまで環境科学と原子エネルギー利用・原子力発電³による環境汚染問題を隔てていた、制度的・学問領域上の壁を理由として、環境に多大な影響を与える原子力利用、そこから発生する人工放射性物質のリスクとその管理の問題について、あまりにも過小な関心と評価しか与えていなかったと考える。著者自身は環境リスク物質の一部として放射性物質を位置づけ、このリスクについての安全性の考え方、評価と管理についての考察は行っていたが、それにしても、災害・事故時の具体的な影響及び対策を含む十分な研究を行っていたとは言えなかった。

本研究は、そのため、著者によるこれまでの環境分野の研究の不足点の反省、及び将来に向けての、具体的な脅威としての原子力災害の問題の研究の開始・端

³ (本文注)原子エネルギー、原子エネルギー利用である原子力発電の違いと用語法については 1.2.1 節で述べる。

緒としてのものである⁴。

その後、前述したブックレットは『「原子力防災」の経済学―「望ましい」被ばく量はあるのだろうか―』と題して刊行した。このブックレットを執筆する際の着想は、もともと2012年ごろから高校に招かれて大学の模擬講義を行う際に、経済学と環境問題、環境経済学の歴史から原発事故の問題について、高校（ないし中等教育学校の高等部）生徒のみなさんに既存の理論を押し付けず、自分なりに考えてもらうために、講義していた際の説明資料が基礎になっている。

エコロジー経済学、とりわけエントロピーをその中心的な説明原理に用いるエントロピー経済学の考え方を、大学で経済学の専門教育を受けたことがない、また、熱力学の考え方についても詳しく学習したことはない生徒のみなさんに伝えるのは難しいことだった。新古典派経済学の環境問題への適用の問題点を指摘するにしても、そもそも経済学について学んだことがなければ、なにが問題なのか分からない。しかし、新古典派経済学の考え方は、「規制緩和」「市場原理」などの形で社会科の教科書以外の世の中でもよく聞かれる言葉であり、また環境問題については、いわゆる「地球環境問題」だけでなく、原発事故により否応なく身近な問題として、放射線の危険性や放射能汚染について考えることが多かったと推測される。そんな生徒の皆さんに、どうして地球環境にとって放射性物質が処理できない汚染として問題になるのか、放射線被ばくの安全とはどのような基準で言われているのか、経済学はどのように関係しているのか、順を追って説明してゆく中で、経済学を中心とする学問の在り方について、ある程度主体的に考えてもらうことができたと思う。

2011年以降の多くの日本人が体験した放射線被ばくと原発事故の問題は、一見すると東電福島第一原発事故という「天災」によって引き起こされた「人災」による特殊な問題のように見える。だが、地球環境が一つの大きな熱機関、つまり地球環境システムであると考えるエントロピー経済学の考え方からすれば、地球の生態系によっては循環利用できない核物質を、分裂させて、そこから利用可能エネルギーを得る原子力発電の本質から必然的に生じる事態である。それは欠陥や事故というより本質と呼ぶべきなのである。

原子力発電を行うことは、核分裂反応から利用可能エネルギーを引き出すという行為であるから、核分裂反応により発生する核分裂生成物、つまり使用済み核燃料という高レベ

⁴ 引用部は藤堂史明 (2012b)、2 頁より。正確には半減期は数億年を超えるものもある。

ル放射性廃棄物は本質的な副産物である。原子力発電を行うからには、この高レベル放射性廃棄物の蓄積を、10万年から100年以上の長さにわたり環境から隔離し続けなければ、放射能汚染とそれによる被害が生じることが、本質的に避けられない。

これは、核物質の性質と、システムの外部から利用可能エネルギーを取り込み、生じた状態変化をいずれかの形で外部に排出することで、同じ状態を維持する「熱機関」という利用可能エネルギーを取り出すシステムそのものの原理に関わることであるため、熱力学の第一、第二法則、とくに第二法則と呼ばれるエントロピー増大法則の理論に基づいて分析すべき問題なのである。

熱力学の第一法則（質量・エネルギー保存法則）と熱力学第二法則（エントロピー増大法則）は簡単に述べれば以下の法則である⁵。

I. 熱力学第一法則：質量・エネルギー保存法則

あらゆる変化の前後で、物質の質量及びエネルギー量は一定で、保存される。

その典型的な事例は、物理学の初等的教科書に登場するように、摩擦抵抗を考慮しなければ、振り子の位置エネルギーが振り下がった位置における運動エネルギーとなり、その運動エネルギーが再度、振り子を持ち上げ、最大に持ち上がった位置での位置エネルギーに完全に変換されるまで変化すること、ただし、このようなエネルギーの変換に関わらず、エネルギーの合計は一定であること、に見ることができる。

また、同じことを物質について当てはめても、原子核反応（核分裂や核融合）でない限り、宇宙に存在する物質の質量は一定に保たれ、その存在は消えないことである。これら二つを一つの法則体系とするのが、アインシュタインの特殊相対性理論から導出される式⁶、 $E = mc^2$ の形式でエネルギー E と質量 m が光速 c を用いて等式で結ばれる。

II. 熱力学第二法則：エントロピー増大法則

一方で、熱力学の第二法則は、物質およびエネルギーの拡散の程度の指標、あるいはそ

⁵ 各項目は拙著、藤堂史明 (2008b)、「エントロピー経済学入門—第1回：価値の本質とは何か—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第64号、38-47頁を修正して引用。

⁶ A. Einstein (1905), "Ist die Tragheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?," *Annalen der Physik*. Ser. 4, Weinheim: Wiley-VCH Verlag, Vol. 323, Issue 13, pp. 639-641.

これらの利用可能性に関する指標であるエントロピーが、系⁷の内外におけるあらゆる変化の前後を比較すると増大することを示す法則である。これを定式化⁸すると、以下の二つの場合におけるエントロピーの増大量、および状態量に関する定義となる。

[エネルギーの場合]: $\Delta S = \Delta Q / T$

エントロピー S の発生量は、系に流入した熱量 ΔQ を系の絶対温度 T で割ったもの。また、

[物質の場合]: $S \propto \log V$

物質のエントロピー量 S は広がり V の対数 $\log V$ に比例する。

あらゆる自然界の現象、物理的、化学的現象において、熱および物質に関するエントロピー量を適切に計量すれば、それらの量の総和は、系の内外を考慮すると、必ず増大する。これを「エントロピー増大法則」とも呼ぶ。先の第一法則の振子の例で言えば、空気抵抗や支点の摩擦で生じる熱により運動エネルギーが減衰し、やがて低温熱の形でエネルギーが拡散することにより、運動が止まる現象にそれは現れている。

本論文においては、以上で述べた熱力学の第一、第二法則に基づいて作用する、環境及び経済システムの相互関係性を自然科学的な大前提とする。その上で、環境経済学、エコロジー経済学、とりわけエントロピー経済学においてエネルギー利用、特に原子エネルギーの利用がどのように扱われてきたのか、先行研究と学説について論じていくことから分析を開始する。その上で、環境破壊と汚染問題の一つである放射線被ばくリスク、原発事故の問題に、新古典派経済学の方法論を適用することの問題点、経済社会の構造問題をエントロピー経済学の視点から論じていく。

1.2 研究目的

研究背景の末尾で述べた通り、著者はこの論文で、放射線被ばくと原子エネルギー利用の問題を、「地球環境システムという熱機関に内包された市場経済システム」の問題、すなわち「環境経済システム」の問題と捉えるエントロピー経済学の視点から捉え直すことを試みる。

序章である本章では、これらの概念がどのように関連しているかを概観し、続く各章にわたって個別の論点がこの論文全体のテーマの一部として、エコロジー経済学とりわけエ

⁷ 「系」は、一定の境界線の内側の諸要素及びその相互関係で規定される。

⁸ 勝木渥 (1999)、『物理学に基づく－環境の基礎理論－冷却・循環・エントロピー』、海鳴社。

ントロピー経済学の視点で原子エネルギーの利用問題をどのように把握、分析できるのか、そして環境経済システムとして一体的に認識されていないために多くの問題を引き起こしている市場経済システムをどのように補正することができるのかという点に関してどう関係するか、論理の見通しを示したいと思う。

本論文で環境経済システムと原子エネルギー利用、それに伴う放射能汚染等の問題の分析を具体的に進めるにあたり、理論的な着眼点となる論点は主に以下のものである。

1.2.1 エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価

節見出しにある「エコロジー・エントロピー経済学」は、エコロジー経済学がエントロピー経済学をゆるやかに包含することを前提として併記する著者なりの表現である。

具体的には、生態学（エコロジー）による地球環境システムの分析を前提として経済社会のメカニズムを考察するエコロジー経済学であるが、生態学（エコロジー）においては、環境及び人類社会の秩序形成メカニズムにおいて何を主要な法則性の根源と考えるかによって複数のアプローチがあり得る。詳しくは第2章に整理した。

著者としては、F. ソディやH. E. デイリーのように、エントロピー増大法則を前提としつつも、利用可能エネルギーと資源のスループット量に、持続可能性のための主要な説明原理の起源を見る場合を「エコロジー経済学」と呼びたい。そして、利用可能エネルギーの流れに加えてエントロピー排出メカニズムを重視し、物質的資源の供給を作動物質の循環として位置づけることで、むしろこちらに主要な説明原理の起源を見る槌田敦、室田武、玉野井芳郎らに代表されるアプローチを「エントロピー経済学」と呼びたい⁹。

N. ジョージェスクーレーゲンは、エントロピー増大法則の重要性を提唱しながら、物質的資源の循環メカニズムについては論じていない。このため、両者の中間的存在である。著者は、N. ジョージェスクーレーゲンのフロー・ファンドモデルにおける不可逆的時間の重視は、エントロピー廃棄プロセスを、持続可能な活動をする系の不可欠な条件と考える「エントロピー経済学」が正統に継承していると考えている。なお、彼の経済学のみで「エントロピー経済学」を論じる論者もいる¹⁰。

⁹ 海外においても、F. ソディ、N. ジョージェスクーレーゲン、K. E. ボールディング、H. E. デイリー等によるエントロピー法則の経済学への適用や、環境と持続可能な経済についての議論が行われてきたが、「エントロピー経済学」という呼称は通用してきていない。

¹⁰ 岡敏弘 (2014)、「エントロピー経済学の成果と限界」、『経済学論叢』、第65巻第3号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、123-146頁。

このように、ここに述べる「エコロジー経済学」と「エントロピー経済学」の差異は著者としての理解であり、「Ecological Economics」ないしエコロジー経済学と称していても、エントロピー増大法則は前提とされている。

そこで、両者が多くの点で共通していることもあり、エコロジー経済学のうち、特にエントロピーの排出メカニズムと作動物質の循環を重視する学派を「エントロピー経済学」と呼ぶのである。またこのような理解に従って、前者が後者をゆるやかに包含する関係を示すものとして「エコロジー・エントロピー経済学」という呼称を用いる。

エネルギー及びエントロピーと経済過程の関係について最初に考察した研究者ではないものの、その地球環境システムと市場経済の関係性について総合的な考察を行ったことで、エコロジー・エントロピー経済学の始祖とも評価できる F. ソディは、利用可能エネルギーの源泉と市場経済システムによる経済運営の限界について明確に意識していた。一方で、放射性同位体の発見者でもある F. ソディは、原子エネルギーの制御と利用の将来の可能性には肯定的であった。一方、「エントロピー経済学」の概念の提唱者でもある槌田敦は、「資源物理学」を提唱して環境問題を分析対象とした当初より、原子エネルギーの利用について否定的であった。従って、本論文における論点の一つ目である、エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価の違いはどのようにして生じたのか、という問題の考察が必要である（下線部は著者による強調、以下同様）。

なお、本論文では、その利用可能性の是非を含めて論じる場合、{atomic energy}を「原子力エネルギー」ではなく直訳の「原子エネルギー」とした。それは「原子」に「力」をつけることが、人類にとって利用可能なという意味を付加してしまい、原子エネルギー利用の有効性を読み手に先入観として与える可能性が高いからである。ただし、{nuclear power station}は直訳では「原子発電所」ないし「核発電所」であるが、通称がなじんでいいため「原子力発電所」ないし、どちらの略称ともとれる「原発」と称した。同様に、原発事故に関連して「原子力災害」、「原子力防災」という用語を用いた。

このようにして、慣用的用語法を基本として採用しながらも、必要な個所について原子エネルギーそのもの（原子エネルギー）と、それを利用しようとする行為（原子エネルギー利用）を区別した。

F. ソディは前述の通り、エコロジー・エントロピー経済学の始祖と呼べる存在である。F. ソディは太陽光エネルギーが、利用可能エネルギーのエントロピーが増大していく地球環境にとって、必須の利用可能エネルギーの供給源であることを認識していたが、太陽光

のエネルギーが核融合から生み出されていること、人類のエネルギー源への制御が拡大しつつあることを理由として、将来的には人類は原子エネルギーの制御と利用を可能とするだろう、という肯定論に立っていた。

一方で、核融合研究批判をきっかけにして、原理としての利用可能エネルギーの生産と、その実際の利用可能性について、「資源物理学」を提唱し、エントロピー論と呼ばれる一連の議論の中で、システムダイナミクスの影響を受けた公文俊平、人間社会の多面的なあり方も含めて対象とする「広義の経済学」を掲げた玉野井芳郎、そしてエネルギーとエントロピー、経済の関係について早くから F. ソディも含めたエコロジー・エントロピー経済学の可能性に着目していた室田武などと「エントロピー学会」¹¹での議論を通じて触発され続けたであろう榎田敦は、一貫して原子エネルギーの利用について、それが環境システムの中で役に立たず、費用と損害が累積する技術にしかないとの警告を発し続けてきた。

榎田敦が主張するのは、エネルギー利用技術はそれだけでは人類に資源を供給することはできず、環境システムの定常性を保つ仕組みと整合的であってはじめて、持続可能なエネルギー利用技術、資源供給が可能となるという考え方である。これは、市場経済システムが単独で資源を確保できるのではなく、環境システムに内包された形でしか存続できないという、「環境経済システム」の持続可能性の条件として総括することができるだろう。その論理を他のエコロジー・エントロピー経済学の系譜に属する研究と関連づけて考察する。

次に、本論文で検証する論点は、環境経済システムの一部である市場経済システムが、その内側における論理を適用することで環境を評価、分析し、制御できるのか、という問題である。二つ目に挙げる鍵となる論点は、以下の通りである。

1.2.2 環境経済システムと市場経済の関係性

第二の論点は、新古典派経済学の論理構造そのものの特徴である、環境、生命といった交換不可能な対象を、交換可能な財の量である交換価値、つまり貨幣価値に置き換えて初めて、価格を指標とする市場経済システムの要素として認識することの問題に関わる。リスクの評価に顕著に現れる、エントロピー増大法則に従う物理的な事象に対する、交換価

¹¹ 1983年に「自然科学および社会科学におけるエントロピー概念をめぐって、分野を越えた議論を重ね、理解を深める必要が生じてきたと思われ、そのための討論の場として」(設立趣意書)創設された。エントロピー学会(1983)、「設立趣意書」。
<https://entropy.ac/about/prospectus/> 2018年12月17日参照。

値としての経済価値（貨幣的価値）評価の問題点は、古典派及びそれ以前の各種学説による分析を引き継ぎ、市場における価格を指標とした経済活動のメカニズムの解明という形で、新古典派経済学が分析対象を絞り込んでいったことの必然的結果である。

新古典派経済学は市場経済メカニズムの解明のため、分析対象を財及びその価格と経済主体の行動に絞り込み、分析対象を純化した。K. ポランニー¹²によれば、新古典派経済学の成立に貢献した C. メンガーが、経済の「基本的方向」として挙げたのは、手段の稀少や不足に関係なしに、生産の必要性からくる方向、テクノ・エコノミック{techno-economic}な方向と、手段の不足からくる経済化への方向{economizing}、の二つである。新古典派経済学に継承されたのは、そのうち後者の稀少性から生じる経済化の方向だけであり、前者のテクノ・エコノミックな方向に関する、技術的かつ実体的な内容は、学問上の地位を失って結局忘れ去られてしまった、としている。

上述の K. ポランニーによる指摘は、低開発地域における非市場経済の研究の発達や古代文明の経済活動の研究について着目した文脈ではあるが、この指摘は、環境経済システムとしての環境と市場の関係についても当てはまるのではないだろうか。新古典派経済学の中で、環境汚染をはじめ、技術的な要因により生じる、不可逆で相対的な稀少性に類しないため交換対象にならない事象の経済過程への関係性が、貨幣価値評価という相対的な稀少性の観点に限定した評価しか受けないのは、このような純化の方向のためだと思われる。

この顕著な例が現れるのが、放射線被ばくのリスク評価とその社会的受忍の文脈である。放射線被ばくによって失われる命が交換対象物ではない、との認識は、個人レベルでは理解されている。しかし、政策レベルでは、集団的、社会的な意思決定を念頭に、ICRP の費用便益分析が採用され、個人の死亡を含めて許容されている。その根拠は、社会的に得られる利益を交換に、あるいは金銭的評価された純利益が最大化されるように、集団内における死亡リスクによる損害と死亡リスク低減のための費用の総和を最小化するという考え方である。

このような考え方に基づいて放射線被ばくりスクの受忍が受け入れられているといっても、一般の人は、それが「安全」であるという言い方でしか情報を入手できていない。一

¹² K. Polanyi(1958, 60), "Carl Menger's Two Meanings of Economic," in G. Dalton (1971), *Studies in Economic Anthropology*, Washington: American Anthropological Association. 邦訳 カール・ポランニー、「メンガーにおける「経済的（エコノミック）」の二つの意味」、玉野井芳郎(1978)、『エコノミーとエコロジー』、みすず書房、316-337頁。

方で、原子エネルギーの利用を促進することによって利益が大きい個人や法人は積極的に一般の人が受忍するように働きかけを行いつづけている。そこでは、客観的な問題構造についての知識の普及ではなく、放射線被ばくリスクの受忍という社会的純利益の最大化のための結論が普及されているだけであり、そもそも前提となる放射線被ばくリスク受忍の論理に本質的な見落としがあることが触れられていない。また、相対的なリスクについて客観的に論じる主張においても、リスクに伴う受益者と受苦者の分離¹³については無頓着であるケースがある。

なぜなら、受忍する本人にも利益があるリスクの場合と異なり、原発事故で発生したのは、東電をはじめとする事業者の利益（株主、社債による資金運用者の利益）と引き換えに、原発から他の発電方法と変わらない一般的な電力の供給以外のなんら利益を得ていない人々に放射線被ばくによる死亡リスクを負担させる行為である。そこにはリスクによる受益と受苦の偏在の構造、すなわち個人や地域、社会集団としての利害得失の不均等がある。しかし、あたかも社会全体の利害が均一であり、リスク受忍と受益を合理的に判断可能なものであるとして、原発事故による被ばくリスクの受忍と、その論理体系を前提とした原子力災害対策、退避及び避難等の対策、制度設計が構成されているのである。

新古典派経済学の市場経済システムの分析は、その本質として市場における限界効用ないし限界生産性に基づく財の等価交換という、自然の技術的条件や社会的境遇による強制力を捨象した前提によって成り立っている。そして現実の市場の振る舞いは、完全競争の条件が達成されないことにより生じる事故「市場の失敗」とされているのである。

それゆえに、論理的な体系においては、自然から資源を採取できなくなる問題、自然の循環に廃棄物を還せなくなる問題、そしてこれらの問題の結末ないしリスク負担における人間の社会的境遇による差異を捉えることが困難なのである。具体的には、原発への資源投入と廃棄物処理の技術的な困難さと、同時に原発運営からの利益と費用の負担における受益者、受苦者の偏在の構造が、認識の基本構造から捨象されてしまう。

1.2.3 環境経済システムにおける経済社会的構造

以上、二つの論点の検証を受けて、それらを統合した形で一つの可能性として本論文で検討したい論点は、この構造、分かりやすく言えば「自然及び人間からのシステムの価値創出」、すなわち差異を利用した自然及び人間からの価値創出：“exploitation”が、単なる

¹³ このような「受益圏」と「受苦圏」の構造は後に改めて論じる。

偶然や強欲によって引き起こされているのではなく、エントロピー増大法則の支配下にある環境経済システムの一部としての生物集団である人類の、一つの経済的な運用原理と化している、ということを実験から導出することである。

新古典派経済学が顕著に示しているアダム・スミス以来の「交換」に着目する市場観によれば、市場は対等な経済主体の間で、初期保有と効用関数、生産関数の形状差（選好及び技術の差異）による交換利益という形で、社会的利益の実現を行う場と見られている。

しかし、あらゆる物理現象が利用可能性の高い資源や生産物を投入して、利用可能性の低い廃棄物を捨てるという非対称性によって成り立っている。このエントロピー増大法則が規定する非対称性を前提に、場合によっては利用可能性の高い資源を一方的に採取する（天然の資源採掘や食糧採取など）ことによって利益を生むことも可能なのである。さらには、生産によって生じる廃棄物によって環境全体としては損害が発生する場合でも、場所や時間を限定して、自然そのものや他の経済主体に廃棄物とそれにより生じる損害を転嫁することで、短期的、局所的な利益を生じさせることが可能となる。その古典的な例が公害であり、本論文で論じる、現在の大きな問題となっている、被ばくリスクの受忍と放射性廃棄物の処理問題なのではないだろうか。

以上の第三の論点は、J. マルチネス＝アリエが『エコロジー経済学—もうひとつの経済学の歴史—』、増補版の論文¹⁴で、新古典派経済学の限界に対するエコロジー経済学の役目、その課題は政治的問題となると指摘した事柄と類似している、と著者は考える。

著者の解釈としては、J. マルチネス＝アリエが提起した政治的問題とは、簡略化すれば所得分配や社会制度の在り方を含む政治的社会的構造のことであり、対照的には新古典派が分析枠組みから、「規範的」として除外した価値判断を含むテーマである。

もちろん価値判断は個人により異なる基準に基づき、自由に行われることが近代市民社会の大前提である。だが、現代の環境経済システムの一部としての生物集団である人類の本質が、富の生産と分配における差異を要するのであれば、その構造の問題を市場経済の分析から除外することはできないだろう。

環境科学に類する多くの科学分野において環境保全を論じる際に用いられる「持続可能性」という基準は、それ自体が一つの規範的基準であり、価値判断と考えられる。著者は

¹⁴ J. J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1991), *Ecological Economics*, Oxford: Basil Blackwell. (初版 1987 年、増補改訂版 1991 年)、J. マルチネス＝アリエ (訳書名での表記、ホワン・マルチネス＝アリエ) (1999)、工藤秀明訳、『[増補改訂新版]エコロジー経済学—もうひとつの経済学の歴史—』新評論、原著 1991 年。

この持続可能性の追求を価値判断として肯定するならば、富の生産と分配における差異の構造を理解し、その知識を共有することで民主主義的な社会的意思決定に反映してゆくべきだと考えている。これは R. B. ノーガードが述べた¹⁵、将来世代への資源の賦与の意思決定が利子率を逆に規定するという論題と同じく、民主主義的かつ持続可能性への配慮から経済活動の基準を決めるべきだという考え方である。

植田敦は『弱者のための「エントロピー経済学」入門』¹⁶を著して、「弱者のため」という規範的判断を打ち出している。これは直観的であるにせよ、利用可能エネルギーと資源をめぐる市場経済システムの構造が、自ずと差異を生み出すことに着目しているためである。エントロピーの排出なしには構造が維持できない開放定常系としての経済で、物理的な富の創出によって裏付けられていない、つまり「社会的費用」を考慮するならば、純利益をもたらさないような、自然の循環構造に合致しない経済活動が「利益を生む」ことができるのは、廃棄物や廃熱の形で生じるリスクや負荷を、市場経済あるいは自らの所有物の外側に移転しているためなのではないだろうか。

また、既存の公害問題や放射能汚染問題における問題の認識方法、フレーミングにもこの問題は関係する。入口紀男 (2008)¹⁷は、「水俣病」という呼称に対して、有機水銀中毒がすでに 19 世紀末にヨーロッパで解明されていたことを指摘した。1865 年にロンドンでメチル水銀中毒症の世界初の死者が出ていたのである。したがって、この中毒症は事前に予見でき、かつ一般的な名称を付けられる汚染と被害問題にもかかわらず、「水俣」という地域名を付けて、問題の予防義務を含め、矮小化したとして批判している。

公害も放射能汚染も一部の地域、人々の問題と矮小化し、負担とリスクを押し付ける、それは市場経済の仕組み自体が持っている構造がもたらしているのではないだろうか。東電福島第一原発事故を経験した現在、F. ソディの言う貨殖学{*chrematistics*}的な意味での所得ではなく、環境経済システムにおける真の豊かさ、物理的な富の流れがどうなっているか理解し、その知識を共有することで、より公正な持続可能な社会の実現を図っていく必要があると考える。それにより、環境経済システムにおける経済社会的構造を浮かびあがらせ、持続可能性のための方向性の展望を試みたい。

本論文では、本章の 1.2 節の各細別の項目で提示した、「エコロジー・エントロピー経済

¹⁵ R. B. Norgaard (1994), *Development Betrayed*, London and New York: Routledge.

¹⁶ 植田敦 (2007), 『弱者のための「エントロピー経済学」入門』、ほたる出版。

¹⁷ 入口紀男 (2008), 『メチル水銀を水俣湾に流す』、日本評論社。

学における原子エネルギー利用の評価」、「環境経済システムと市場経済の関係性」、「環境経済システムにおける経済社会的構造」という 3 つの着眼点から、エコロジー経済学におけるエネルギー、エントロピーの扱いと、放射線被ばく、原子エネルギー利用の問題を関連づけたいと考えている。

1.3 先行研究

前節で述べた研究目的に関連して、先行する研究は続く各章で検討するように多数に上る。その中から本論文での研究目的に直接的に関連する先行研究について挙げておく。

経済学と環境問題、そして原子力発電の問題について、日本における理論上の取り扱いに端緒をつけたのは、室田武(1979b)『エネルギーとエントロピーの経済学』¹⁸である。内容は多岐にわたるが、本論文で検討するエコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の扱いについては、原子力発電は利用可能エネルギーを取り出すために大きな資源投入と環境汚染を伴い、エネルギー資源問題の解決には決してならない、というものである。

その後、1986年のチェルノブイリ原発事故を経て、一旦高まった原発の放射能汚染問題への意識にもかかわらず、地球環境問題に注目が集まった1990年代においては、原子力発電については肯定的な論調も多く見られるようになった。例えば毎日新聞社の『エコノミスト』では、1992年の5月から「トリレンマ(エネルギー 環境 経済)克服への挑戦」¹⁹特集の連載を行った。そこでは、地球環境の危機に対応するためにプルトニウム技術を含む原子力発電の活用が必要、という主張まで行われていた。対して、室田武の主張は、エネルギーの投入産出比やエントロピー論の見解を踏まえて、原子力発電をはじめとする原子エネルギーの「利用」の問題点を厳しく指摘するものであった。著者は環境経済学における放射線被ばくりスク、及び原発問題の先駆的問題提起として、室田武の理論を大いに参考とした。

室田武は、エネルギー及び環境経済学の研究者の中で原子力発電の発電原価に関する有価証券報告書を用いた分析を初めて行った業績で著名であるが、それだけでなく、室田武(1979b)において、原子力発電のエネルギー投入産出を踏まえたエネルギー利用としての有

¹⁸ 室田武(1979b)、『エネルギーとエントロピーの経済学』、東経選書、東洋経済新報社。

¹⁹ 地球問題研究会(1992)、「トリレンマ(エネルギー 環境 経済)克服への挑戦」、毎日新聞社『エコノミスト』、1992.05.19号、86-89頁、他。

効性の検討や、エネルギー及びエントロピーの関わる環境と経済の研究における F. ソディの先駆的業績の評価、持続可能な文明の在り方を含めた地域経済の構造を含め、本論文で著者が検討する三つの論点のうち、エコロジー・エントロピー経済学における利用可能エネルギー及び原子エネルギーの捉え方、また持続可能な社会の在り方について先んじて論じていると言える。

本論文で扱う論点に関して、他の主要な先駆的なエントロピー経済学、環境経済学の分野での論者は槌田敦と玉野井芳郎である。

槌田敦が、はじめて物理学の立場からの原子エネルギー開発批判と、新しい環境システムの理解を示した著作は、槌田敦(1976a)、「核融合発電の限界」、そして槌田敦 (1976b)、「核融合発電と資源物理学」²⁰という、日本物理学会誌への談話室の投稿であった。その後槌田敦の著作で最も代表的なものは槌田敦 (1982)、『資源物理学入門』²¹であり、槌田敦の持論である開放定常系という熱機関の構造で地球環境を捉え、エントロピー法則の成立を前提として原子エネルギー利用を含む資源利用の可能性について論じる「資源物理学」という立場は本書によって確立されたといえるだろう。その後、槌田敦 (1992)『熱学外論』²²では経済社会におけるエントロピー法則の適用について考察を拡大し、槌田敦 (2007)、『弱者のための「エントロピー経済学」入門』により、槌田敦の経済社会及び経済学についての考え方が概ね出そろった。槌田敦の著作も多く、リサイクル問題や地球温暖化二酸化炭素説について、また東電福島第一原発事故以降は、関連の著作もあるが、ここに挙げた開放系エントロピー論及び原子力発電の原理的な位置づけが、本論文の論点に強い関係性を持っている。

槌田敦の「開放系エントロピー論」の考え方と「エントロピー経済学」の呼称の提唱については、第3章で詳しく検討する。

槌田敦の主張した「弱者のため」という規範的な立場は、導出過程が明らかにされていないため、直観的な結論が先にある印象を与える。エントロピー増大法則及び市場経済システムの関係性からなる環境経済システムに内在する論理と、「持続可能性」と「民主主義」

²⁰ 槌田敦 (1976a)、「核融合発電の限界」、日本物理学会誌、第31巻11号、598-602頁。
槌田敦(1976b)、「核融合発電の限界と資源物理学」、日本物理学会誌、第31巻12号、938-941頁。

²¹ 槌田敦 (1982)、『資源物理学入門』、NHK ブックス。

²² 槌田敦 (1992)、『熱学外論』、朝倉書店。なお、槌田敦は「外論」を「概論」の代わりに意図的に用いている。それは槌田竜太郎 (1947)、『化学外論』、共立出版、に倣ったものである。

の追及という最小限の規範的基準を前提にすれば、「弱者のため」という槌田敦の立場と同様の、規範的な見解の必要性を本論文で示すことができると著者は考えている。

玉野井芳郎はこれまでに挙げた室田武、槌田敦と並び、日本におけるエントロピー経済学（論）の主要な論者の一人であり、チェルノブイリ原発事故が発生する前年に逝去された。玉野井の研究全体についての評価は、その専門内容が K. ポランニーの経済人類学を含む非常に幅広い範囲であるため困難であるが、エントロピー法則と環境、いわゆるエントロピー論に関する範囲に限って言えば、玉野井芳郎（1978）、『エコノミーとエコロジー』²³を代表的著作とすべきだろう。玉野井芳郎（1978）では、エントロピー論を前提に、生産のポジとネガという表現で、既存の経済学（新古典派及びマルクス経済学）における経済過程の分析対象がポジの部分に限られていたこと、ネガの部分にエントロピー増大法則を反映した廃物、廃熱の排出と必要な資源投入が隠されていたことが指摘された。また、狭い意味での市場的関係に限定された分析を行う「狭義の経済学」に比して、上述のネガのプロセスを含み、より広い経済過程の分析を含む「広義の経済学」が提唱されている。なお、この言葉は原義の F. エンゲルスの「広義の経済学」とはまた別の玉野井芳郎独自の視座を提起している。

玉野井芳郎はその「広義の経済学」「地域主義」、といった観点から、単なる環境に関わる物理法則であるエントロピー増大法則に着目しただけでなく、より広い人間的な関係性を経済関係の中に見て、経済学における失われた分析視座を回復しようとした論者と言えるだろう。なお、このような玉野井芳郎の考察は、先立つ著作である玉野井芳郎（1975）、『転換する経済学』²⁴にすでに主張が見られる。

著者は、玉野井芳郎の「広義の経済学」を「エントロピー経済学」とほぼ同義に捉えている。もちろん、玉野井芳郎の広義の経済学をエントロピー経済学の一つの構成要素と捉えたとき、そこには他の論者に見られない独自性がある。例えば、地域主義やコモンズの管理を強調する前提になっている、経済学説史的な深い洞察である。「エントロピー経済学」の自然と人類社会との関係性の分析に関して、大きな参考になるのは、玉野井芳郎が日本に紹介した「K. ポランニーによる C. メンガー論」である。先に述べたように、この議論は C. メンガーの「経済の二つの方向性」の主張に関するものである。K. ポランニーは

²³ 玉野井芳郎（1978）、『エコノミーとエコロジー—広義の経済学への道—』、みすず書房。同書が玉野井芳郎の「広義の経済学」を明確に示したと言えるが、後述の通り、玉野井芳郎（1975）にその立場の端緒は示されている。

²⁴ 玉野井芳郎（1975）、『転換する経済学』、東京大学出版会。

メンガーが一つ目の方向性として挙げた「テクノ・エコノミック」な方向性が、新古典派以降の経済学に忘れられてしまい、二つ目の方向性である「節約化」の方向性のみが残ったとしている。

「エントロピー経済学」は、エントロピー増大法則に基づく環境経済システムと、その一部を構成する市場経済システムという世界像を持ち、経済的な意味での稀少な財でなくとも、持続可能性という将来の財の入手可能性に関する技術的な関係性を分析対象とするものであるから、まさにテクノ・エコノミックな方向性に基づくものであると考えられる²⁵。

先行研究として挙げる順番が後になるが、欧米の研究者は 19 世紀末より、エコロジー・エントロピー経済学の先駆者として活躍し、また 20 世紀初には原子エネルギーを含むエネルギー利用と環境経済システムの関係性を論じていた。

本論文の第 2 章冒頭で論じる F. ソディとその自然環境、経済システムと人類によるエネルギー利用についての考察 (F. Soddy(1926)²⁶) は、1926 年という、原子エネルギー利用の実用化にも至らない原子物理学及びその応用科学の黎明期にありながら、非常に正確な将来展望を行っている。F. ソディは熱力学の第一法則及び第二法則 (質量・エネルギーの保存法則及びエントロピー増大法則) を正確に把握し、経済社会を含む自然界の駆動メカニズムのほとんどが、太陽光の利用可能エネルギーを元にしてしていることを指摘した。

その上で、光合成、植物、動物を経由して得られている人間の経済活動における利用可能エネルギーは、より直接的に太陽光のエネルギーに近づいていることから、将来的には直接的に原子エネルギーを制御、利用することになるのではないかと予想したのである。このことと前述の槌田敦らの原子エネルギーに対する批判的立場との相違点はどこにあるのだろうか。著者は、両者の見解の相違は、利用可能エネルギーを継続的に利用していくためのメカニズムである開放定常系、熱機関のメカニズムを地球に当てはめ、地球を熱機関として考えるか否かから生じており、F. ソディはその時代的な制約から、とりわけエントロピーの排出システムを含む全体像の理解に至っていなかったのではないかと考えている。

1980 年代に至るまで、経済過程にエントロピー増大法則を当てはめた代表的な論者とし

²⁵ 藤堂史明 (2009d)、「エントロピー経済学入門—第 3 回: 物理的な富と非物理的な富—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 67 号、42 - 52 頁、でこのような二つの方向性についての指摘と、この場合の「経済的」という用語の意味が生命としての人間の必要物の産出に近いことを考察した。

²⁶ F. Soddy (1926), *Wealth Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*, London: Allen and Unwin Ltd.

で認識されていたのは、F. ソディではなく、N. ジョージェスクーレーゲンである。N. ジョージェスクーレーゲンは、大著、N. Georgescu-Roegen (1971)²⁷で、単に物理法則であるエントロピー増大法則を経済過程に適用することを論じただけでなく、科学における擬数主義の批判、時間概念における力学的時間と弁証法的時間の区分、さらにエントロピー増大法則のなかでも物質の拡散をエネルギーの投入によって補い、元の状態を維持することが困難であることを示す「熱力学第四法則」の提唱など、多岐にわたる指摘を行った。また、原子力発電については理論的には取り扱っていないが、エネルギーの大量投入により、物質的な資源の枯渇を回避するという、原子力発電開発の初期に考えられていた発想が、N. ジョージェスクーレーゲンの考えに反することは明らかである。このように碩学、N. ジョージェスクーレーゲンの指摘は多様であるが、エントロピー増大法則と経済システムの関係性について論じた先駆者である F. ソディについての言及は欠けていた。

N. ジョージェスクーレーゲンに代わり、エントロピー増大法則を踏まえたエコロジー経済学の立場を鮮明にしたのは H. E. デイリー (H. E. Daly (1973)²⁸) であるが、H. E. Daly (1980)²⁹で、F. ソディの業績について論じることで、欧米のエコロジー経済学にとってのその業績を「再発見」したと言える。H. E. デイリーの主張は、その初期段階から、J. S. Mill (1848)³⁰に見られる J. S. ミルの「定常」{stationary state}の経済という主張に倣ったものであり、物量的な成長を抑制しながらでも、質的な成長によって人類の福祉水準を向上させながら環境を保全するというものである。デイリーの主張は環境制約による物量的な限界を重視し、一定の規模の範囲内では、市場経済システムは有効に働き、また、既存のミクロ及びマクロ経済学は有効な分析手段となるというものである。

だが、著者の H. E. デイリーの主張に対する立場は、ミクロのレベルで生産過程を検討しても、そこでもエントロピー増大法則が作用しており、H. E. デイリーの主張は同義反復的に正しいものの、マクロでみた環境問題の発生を説明する原理を持たないというもので

²⁷ N. Georgescu-Roegen (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press. 邦訳 N. ジョージェスクーレーゲン (1981)、高橋正立・神里公他訳、『エントロピー法則と経済過程』、みすず書房、原著 1971 年。

²⁸ H. E. Daly (1973), *Toward A Steady State Economy*, San Francisco: W. H. Freeman & Co. Ltd.

²⁹ H. E. Daly (1980), "The economic thought of Frederick Soddy," *History of Political Economy*, Vol. 12, No. 4, pp. 469-488. この著作は、H. E. Daly (1996)、邦訳、ハーマン・E・デイリー (2005) にリプリントされた。

³⁰ J. S. Mill (1848), *Principles of Political Economy with some of their Applications to Social Philosophy*, London: John W. Parker, West Strand.

ある。デイリーは、太陽光発電等の再生可能エネルギーを推奨し、放射性物質を生成する原子エネルギー利用には批判的である。ただし、核兵器及び原子力発電のエントロピー増大法則から演繹できる本質的な問題点については、他の汚染と同列にしか論じていない。

J. マルチネスーアリエは、J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1991)において、エコロジー経済学が19世紀から非主流派の経済学者たちにより発展してきた歴史を明らかにした。本論文の主要な論点に関しては、J. マルチネスーアリエは新古典派経済学的な立場からの環境の経済価値評価にせよ、生態学的な環境の物理的な評価にせよ、単一の評価方法では政策の十分な根拠にならないことを踏まえ、政治経済学的な判断が必要となると述べている。本論文の第三の論点はJ. マルチネスーアリエの考察に触発されてまとめた。

なお、通常はエコロジー・エントロピー経済学の系譜に位置づけられないが、K. W. カップもまたエコロジー・エントロピー経済学に関する先駆的な指摘を行っていると考えられることができる。K. W. カップは「社会的費用」の概念を不可逆的な過程を含む回復不能な損害を含む概念として構想した。これは、市場価値評価できる損害に限定して費用を考える新古典派経済学的アプローチに対置ないし、補完するものであるが、不可逆的過程はエントロピー増大法則によってのみ根拠づけられるため、エントロピー増大法則への言及を行わずとも、エコロジー・エントロピー経済学の系譜の先駆的業績と位置付けることができる。この指摘は今日の環境問題の実証的な研究に受け継がれている。

1.4 論文の構成

本論文の第2章ではエコロジー・エントロピー経済学の欧米における主要な先行業績を取り上げ、主な論者と関連する重要論点に関する分析を人物及び学説史の形で展開しながら、本論文の論点の一つであるエコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価について検討してゆく。

エコロジー経済学におけるエネルギーの取り扱い、室田武やJ. マルチネスーアリエが指摘するように、その歴史は1840年代にエネルギーの計測が行われるようになって以降、盛んになったが、エントロピー増大法則が発見、確立されて以降は、F. ソディがその最も早い環境及び経済社会システムの分析への適用を行った。F. ソディの利用可能エネルギーと人類社会の関わり、そして原子エネルギーとの関係性についての展望から、このテーマについて検討を深めてゆく。

第3章では、「エントロピー経済学」の日本における研究史を振り返り、室田武、槌田敦、

玉野井芳郎らの主要な論者が、環境経済システムにおけるエネルギー利用、原子エネルギーについてどのように扱ってきたかを再検討する。室田武のエコロジー・エントロピー経済学における先駆的業績については第3章で詳述する。

また、とりわけ槌田敦の業績を中心に、その開放系エントロピー論が、単なる時事的問題としての原発事故を契機に原子エネルギー利用批判を行ってきたのではなく、熱機関における利用可能エネルギー取り出しの原理から、原子エネルギーの取り出しの対価として生じる放射性廃棄物の発生を、定常的な環境システムに包含できない、原理的な問題としてきたことを取り上げる。

これらの先行研究に関する検証を踏まえ、本論文では、新古典派経済学の論理の典型的な適用例である放射線被ばくのリスク評価と受忍の問題、その延長上で安全と危険を区分する原子力災害対策の問題点と、利益と負担、受益と受苦の差異の構造についてエントロピー増大法則を説明原理の中心におくエントロピー経済学の視点からの分析を第4章～終章で論じる。

第4章では、環境汚染と被ばくの「望ましき」とは何か、という観点から、新古典派経済学的な、経済主体の満足度の向上を目的とし、環境経済システムの実体的な関係性を捨象する方法論が、放射能汚染をどのように扱うのか、また ICRP の放射線防護基準について、その問題点を明らかにする。

第5章では、東電福島第一原発事故を踏まえ、原子力災害対策における経済合理性がどのような論理と方法論によって成立しているか詳細に検討し、個別の放射線被ばくリスク受忍の論理と同じく、可逆的交換を前提とする経済価値での不可逆的損失の評価と、受益圏と受苦圏の分離を無視し、受益側の利益により被害の受苦を正当化する視点が、原子力災害体制における政策設計の論理の根幹にあることを批判的に明らかにする。

続いて、原子エネルギー利用の必然的に引き起こす問題である放射性廃棄物の問題を取り上げ、この問題の放置が、民主主義的な持続可能性の実現に対する大きな障害であることを論じる。また、実際の原子力発電所立地地域の経済発展が矛盾に満ちていることを、事例を踏まえて指摘する。さらに、環境システムとそれに内包された経済システムを環境経済システムと捉えると、どのようなエネルギー利用、地域経済の在り方が持続可能となり得るか、検討する。

結論となる第6章では以上の各章における検討を踏まえ、エコロジー・エントロピー経済学の系譜における利用可能エネルギーとエントロピー排出の環境経済システム内におけ

る位置づけ、続いてとりわけ原子エネルギー利用の評価について総括する。

総括すれば、F. ソディの肯定的な予測とは異なり、その後のエコロジー・エントロピー経済学の系譜の中で生じた原子エネルギー利用の開発に対する否定的な見解は、その根拠にエントロピー増大法則に規定された環境経済システムの開放定常系としての認識がある。原子エネルギー利用の技術的な安全性、危険性の検討は、その枠内で行われるべきであり、これを誤れば経済社会の持続可能性を損なう可能性が高いことが本論文の論点を検証した結論の一つである。

また、第二の結論として、放射線被ばくの線量基準における合理的根拠とされているものは、単に被ばくりスクの費用便益計算上、集団的な利益の最大化を意味するものでしかなく、個別の安全性は意味しないこと、その上で、経済社会の中での受益と受苦の偏在化が起きていること、これはエントロピー増大法則の適用下にある環境経済システムの下での市場経済システムの働きの一つであると指摘できる。つまり、生命及び生態系における不可逆な変化を可逆的な交換価値に置き換えることで、N. ジョージ・スクレーゲンの指摘したように分析の手の指のあいだから時間的要素が滑り落ち、それは生産過程と経済的富の蓄積とは別の、環境経済システムにおける自然と生命の物質代謝の過程を不可視化しているのである。

第三の論点として環境経済システムにおけるエントロピー及びその代謝に着目すると、その受益と受苦の偏在化という構造は、エントロピー増大則を前提として利用可能性の高い資源を外部から投入し、利用可能性の下がった廃物と熱を外部に排出する、生産過程をより効率的に追及することにより生じる結果である、ということである。従って、生物集団としての人類は、自然環境や社会的弱者（交換価値の生産性あるいは時間軸上の）に、本来ならば環境経済システム上の純利益を生まない事業の汚染やリスクを帰属させる構造によって、（交換価値で評価された）経済的な持続可能性を高めつつ、同時に自らの生存環境を地球規模で悪化させ続ける文明のありかたを続けるかどうかという問題に直面している。このような差異から経済的利益を得る構造に対し批判的な観点から、持続可能性の追求と民主主義という規範的な制約条件に従った、望ましい地域経済の在り方が展望できる。これが第三の総括した論点に関しての結論である。

第2章 利用可能エネルギー、エネルギー資源と生態系、そして人類の経済

課題

本章では、エコロジー・エントロピー経済学の主に欧米における系譜における利用可能エネルギー、エネルギー資源と生態系、そして人類の経済の関係性の取り扱いについて取り上げ、とりわけ原子エネルギーの環境経済システムにおける位置づけについて、代表的研究における考え方を検証する。著者のエネルギーと人類の経済に関する考え方の出発点となるのは、熱力学第二法則であるエントロピー増大法則を基本に、自然と人類社会の在り方を考察したF. ソディの考え方である。

2.1 F. ソディのエネルギー資源論の意義と原子エネルギーの扱い³¹

本節では、放射性元素の崩壊と同位体の発見でノーベル賞を受賞した化学者でもある、F. ソディ³²が、自然科学的視点から経済学及び経済政策について大胆な批判的議論を展開した著作である F. Soddy(1926), *WEALTH, VIRTUAL WEALTH AND DEBT – THE SOLUTION OF THE ECONOMIC PARADOX*, London: Allen and Unwin Ltd. (F. ソディ、『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』)³³の第2章におけるエネルギー及びその源泉、エネルギー資源の人類による利用、経済社会との関係性についての理論を考察する³⁴。この原著には節番号がないため、著者による既存の翻訳、論文を含め、正確さのために小見出しにより章番号の次に節番号をつけている。

³¹ 序章で述べた通り、本論文では、その利用可能性そのものを論じる場合に{atomic energy}を「原子力エネルギー」ではなく直訳の「原子エネルギー」とした。それは「原子」に「力」をつけることが、人類にとって利用可能なという意味を付加してしまうからである。また、{nuclear power station}は直訳では「核発電所」であるが、日本語での通称の「原子力発電所」ないし、略称「原発」と称した。このようにして、原子エネルギーそのものと、それを利用しようとする行為を区別した。

³² Frederick Soddy, 1877~1956.

³³ F. Soddy (1926), *Wealth Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*, London: Allen and Unwin Ltd.

³⁴ 本節の内容は以下の論文に基づいている(一部改変)。藤堂史明(2018)、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』第2章におけるエネルギーとその利用に関する理論について」、『新潟大学経済論集』、第104号、2017-II、117-142頁。著者による先行する研究から実に9年の間隔が空いてしまったが、この間、2011年3月に東日本大震災、東電福島第一原発事故が発生し、この問題に関わる経済学的理論と原子力災害対策、放射線防護の問題について集中して多くを論じてきたこともその一因である。

また本節では、F. ソディの予測した原子エネルギー開発の、実際の歴史上の経緯、太陽光のエネルギーの葉緑素を介した取り込みとエネルギーの流れについての、生態学及びエコロジー経済学における関連した理論に関しても論じる。F. ソディの構想した、自然のエネルギー資源を制御し、発展してゆく人類社会の在り方は、未来の生態系及び経済について考察する際の、私たちの社会についての一つの希望が持てる見通しと言えるのではないだろうか。

これまで著者³⁵はF. ソディの同書について研究を行ってきた。同書におけるF. ソディの富と仮想的富についての定義については、既に拙著（2006b）³⁶において論じたが、そこでは自然の利用可能エネルギーを起源とするエネルギー資源と、素材を人類が加工して得られる財とが本質的な富として定義された。

また同書において、経済学における貨幣的富の概念に対する批判の基礎となる序盤部分については、拙著、藤堂史明（2008a）³⁷で訳出、また、第4、5章における経済理論批判については拙著、藤堂史明（2009a）³⁸で、そして7章における貨幣論については拙著、藤堂史明（2009b）³⁹において考察した。本節で取り上げる第2章は、同書の序盤部のうちエネルギー資源の起源と人間とエネルギー資源との関わりを論じた部分である。F. ソディはエネルギー及びエントロピーと人類の経済の関係性について論じた最初の論者ではないが、自然界の質量・エネルギー保存法則及びエントロピー増大法則に基づく生態系の働き、その中に人類の経済社会を位置づけ、富の本質と金銭的価値にのみ着目する貨殖学としての経済学批判を包括的に展開した初めての論者である。

F. ソディの行った利用可能なエネルギーの流れと富の本質についての研究は、根源的に

³⁵ 本論文で単に著者とするときには、一人称の私を指す。

³⁶ 藤堂史明（2006b）、「フレデリック・ソディの富の概念、価値及び資本の位置づけと、環境及び経済システムのエントロピー論的理解におけるその現在の意義」、『新潟大学経済論集』、第81号、2006-I、75-105頁。

³⁷ 藤堂史明（2008a）、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』1章、3章における基礎的分析概念について〔翻訳〕」、『新潟大学経済論集』第84号、2007-II、105-139頁。

³⁸ 藤堂史明（2009a）、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』第4-5章における富・信用・価値についての標準的経済学批判の考察』『新潟大学経済論集』、第85号、2008-II、83-125頁。

³⁹ 藤堂史明（2009b）、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』第7章における貨幣・仮想的富の理論についての考察』、『新潟大学経済論集』、第87号、2009-I、101-144頁。

は自然を操る人間による人為の行いと、現代の経済社会の在り方が、本質的な豊かさをもたらすのか、という問いへとつながるものである。原子エネルギーと人間社会との関わりについても、F. ソディは考察していた。ただしF. ソディは、その利用について批判的に捉えるのではなく、本質的な方向性として、支配と制御を及ぼす対象として原子エネルギーを捉えつつ、原子炉を用いた実際の利用も条件付きながら肯定していたと著者は考える。

まず、F. ソディ『富、仮想的富そして負債：経済学の逆説への解決策』第2章「生命の発見」“LIFE'S DISCOVERIES”で取り上げられた内容について検討しよう⁴⁰。

当該書全体では、F. ソディは、利用可能エネルギーの流れに支えられた人類社会と、そこにおける物理法則の支配を大前提として、市場経済という社会制度を論じている。銀行金融のほとんどが、部分準備制度を前提とした信用創造された負債として形成されることの結果、実体的で物理的な存在である本質的な富と対をなすものとして形成されるはずの負債が、本質的な富に加えて仮想的富として累積され、本質的な富の従う物理法則（熱力学第一、第二法則）に関係なく増殖してゆくことを批判的視点から指摘している。

このようなF. ソディの論理の最も基礎となるのは、自然界の利用可能エネルギーの流れと物理法則という大前提である。そこから自然的な制約と人類社会とをつなぐ、植物界及び動物界などの生態系、利用可能エネルギーを含むエネルギー資源との関係性について、そして人類社会の創り出した「市場経済システム」という実体と仮想が入り混じった存在を考察しようとするのである。第2章「生命の発見」“LIFE'S DISCOVERIES”で取り上げられるのは、太陽からの利用可能エネルギーの、植物及び動物界、そして人類社会への受け入れ口としての生命活動の「発見」である。

冒頭、(2-1) 「発見、無意識と意識」“DISCOVERY, SUB-CONSCIOUS AND CONSCIOUS.”(2-1-1)節でF. ソディは「生命それ自身も発見である」と述べた上で(2-1-6)節で「進歩が発見の果実なのである。そして発見は通常ではなく、例外的な出来事

⁴⁰ なお、これまでF. Soddy (1926)の考察においては、著者は、原文の訳文部分については、著者（藤堂）による訳注（稿全体での通し番号）を加え、原文の注は訳注の注内に原注として表記する方法をとった。また、文中における[]内で意味上の訳文を補った。また、固有の言い回し、表現を伝えるため原文中の単語を明記する必要がある場合は{ }内に示し、原文中の斜体は参照書名を除き斜体の太字で表記してきた。原著には節番号がないが、著者は原文との対応関係を明白にするため、各章の番号(X)、節番号(Y)、段落番号(Z)を(X-Y-Z)の形式で付している。詳細は拙著(2006b)、(2008a)、(2009a)、(2009b)、(2018)を参照のこと。

なのである。」と述べているように、F. ソディは生命の存在及びその進化を、進歩による連続的な出来事ではなく、不連続な飛躍としての「発見」として捉えている。

そして、生命が存在できるようになった物理的な要因の最重要のものとして、太陽光エネルギーと生物によるその利用を挙げている。この生命によるエネルギーの変換と貯蔵にとって最も大きな「発見」であったのが、「葉緑素」である。

(2-2) 「非生物の世界から生物へのエネルギーの途切れのない流れ」 “THE UNBROKEN FLOW OF ENERGY FROM THE INANIMATE WORLD INTO LIFE.” では、葉緑素を介した自然界のエネルギーの流れについて述べる。(2-2-2)節で「生きている有機体の内的なエネルギーは有機体によって創り出されるのでもなければ(中略)、それは太陽から放射の形で放出され、植物の体を通し、次に植物を食べる動物という順で[生物に]もたらされるのである。」と述べている通りである。太陽エネルギーが生態系および人間社会における基底となる駆動エネルギーであり、そこからシステム全体の構造を記述することは、F. ソディの理論に一貫した原理である。

F. ソディが挙げるこの原理は深海の熱水鉱床で硫化水素を用いた代謝を行う生物などごくわずかの例外を除けば⁴¹、地球上のほとんどの生物に適用されることは明らかである。

引き続き、(2-3) 「内的そして外的な生物によるエネルギー使用」 “THE INTERNAL AND EXTERNAL LIFE-USE OF ENERGY.” においては、(2-3-1)節で、「物質代謝を維持する生物の内的なエネルギーと、動物や植物がその環境に働きかけるのに用いる、すなわち植物が根の成長や枝の伸展への抵抗に打ち克つのに用い、動物が移動やそのほかの動作のために用いる生物の内的なエネルギーとを区別するのは便利であり実際的である。」と述べて、生命維持の内的仕事に使われるエネルギーと外的な仕事(例えば人間の労働)に使われるエネルギーを区別した。

その上で、いずれの場合においても「自然の傾向としてのエネルギーが一つの段階を経れば劣化し、価値のない熱に変化するということは、迂回されなければならない、それにより随意に仕事に再度変化させることができ、生命によって使われるなにか、[物質の]状態ないし[そのような物質]それ自体に、最終的にはなると示されなければならない。」と述べた。

⁴¹ J. B. Corliss, J. Dymond, L. I. Gordon, J. M. Edmond, R. P. von Herzen, R. D. Ballard, K. Green, D. Williams, A. Bainbridge, K. Crane and T. H. van Andel (1979), “Submarine thermal springs on the Galapagos Rift,” *Science*, Vol. 203, pp. 1073-1083. 1977年の深海の光合成から独立した生物群集の発見についての論文。

つまり、生命に降り注ぐ利用可能なエネルギーが環境温度と同じ利用不可能な熱に劣化してゆくこと、すなわちエントロピー増大則による回復不能な質的变化を起こすことを一部であっても防ぎ、生命に利用可能な形の物質あるいは物質の状態として貯蔵することが、生命の存在にとって必須の過程であると述べたのである。

そして、(2-4) 「利用可能エネルギーの起源」“THE ORIGIN OF AVAILABLE ENERGY.”では、水力、風力、潮汐力、地熱（火山と温泉のエネルギー）といったそのほかの自然のエネルギーとその利用形態について述べているが、全ての力学的なエネルギーが周囲の環境と同じ温度の熱という、利用可能でない形態に変化させる傾向を回避する過程として、もっとも重要な過程は、やはり生命によるそれ（光合成による利用可能エネルギーの貯蔵）であると論じている。(2-5) 「代謝の物理化学」“THE PHYSICAL CHEMISTRY OF METABOLISM.”で述べられるように、葉緑素はいわば触媒として働き、光エネルギーの介在の下で、本来であれば進行しない二酸化炭素と水から酸素と炭水化物の合成という光合成反応を引き起こす。今日においても葉緑素による光合成を完全に模倣する人工的な光合成は実現しておらず、部分的な再現を元に研究開発が行われている⁴²。

化石燃料の起源について述べた(2-6) 「石炭と石油」“COAL AND OIL.”の(2-6-1)節では、気候及び生態系の条件が優れていた石炭紀に、葉緑素による太陽エネルギーの固定化による利用可能エネルギーの膨大な貯蔵が行われ、今日の石炭資源となったことを指摘している。また、石油の起源についても石炭の「ベルギウス法」による油化技術も含めていくつかの源泉となり得る現象の説明を行っている。

(2-7) 「太陽と原子エネルギー」“SOLAR AND ATOMIC ENERGY.”では、太陽エネルギーの源泉が水素の核融合エネルギーであることを指摘する。それに先立ち、地球の地熱エネルギーが放射性物質起源であるとの説を紹介するが、これについては今日ではその比率がおよそ半分であることまで含めて観測されている⁴³。続いて太陽エネルギーもまた原子エネルギーから供給されていること、このエネルギーはアインシュタインの相対性理

⁴² 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2015)、NEDO ニュースリリース「人工光合成の水素製造で世界最高レベルのエネルギー変換効率2%を達成」、2015年3月31日。

http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100372.html 2018年1月20日参照。

⁴³ The KamLAND collaboration (2011), “Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements,” *NATURE GEOSCIENCE*, Vol. 4, September, pp. 647-651.

論が導入したエネルギーと物質の関係性についての概念から説明できることを述べている。すなわち(2-7-2)節で述べるように、「この理論は、物質が保存されるのはそのエネルギーが変化しない場合だけであり、エネルギーが保存されるのは質量{mass}が変化しない場合のみであるという意味で、エネルギーと物質に関する保存則を統合するものである。」ということである。これは、熱力学の第一法則、質量・エネルギーの保存法則を指す。

また、同じく(2-7-2)節で述べるように「物質の崩壊は、もしそれが起こるのであれば、失われた質量が光速で動くときの 2 倍のエネルギーが発生するという結果をもたらすであろう。」は、相対性理論で導出される物質とエネルギーの関係式を表している。つまり、ニュートン力学的な運動エネルギーの定義で、速度 v で運動する質量 m の物体の運動エネルギー K が $K = \frac{1}{2}mv^2$ と表されるのに対し、この速度 v を光速 c で置き換えて 2 倍したものが、すなわち、 $E = mc^2$ となることに言及している。このように原子エネルギーが太陽をはじめ、恒星が天文学的時間の長さにならって放出し続ける膨大なエネルギーの源泉であることを強調したうえで、(2-8)に示す、人類とエネルギーの源泉との関係性について提示するわけである。

(2-8) 「文明はより近い源泉からエネルギーの流れを制御することを求める」
“CIVILISATION SEEKS TO CONTROL THE FLOW OF ENERGY FROM NEARER ITS SOURCE.” では、著者が藤堂史明 (2018)で、[図 1: 自然界のエネルギーの流れと人類による利用]と付記した図に示される自然界のエネルギーの流れと植物、動物、人類へと続く利用可能エネルギーの流れを説明し、人類が動物、植物を省略してより直接的に、多角的に自然界における利用可能エネルギーの源泉である原子エネルギーの利用に向けて、進んでいることを示している。すなわち、自然の植物や動物を狩猟採取することから、農耕、牧畜へとそれらを制御する進化を遂げ、やがて、石油、石炭やそれ以外の自然エネルギーの変化形態をより直接的に利用するようになり、そして、将来的には原子エネルギーを直接、支配、制御するようになるということである。

著者もこれまでも取り上げてきたように⁴⁴、F. ソディは放射性同位元素についてラザフォードとともに基礎理論を構築した化学者である。

原子は安定した状態と不安定な状態で存在し得る。不安定な状態であるが物質的な特徴

⁴⁴ 藤堂史明 (2013a)、「原発事故による放射線リスクの経済分析」、『新潟大学経済論集』、第 94 号、2012-II、69-97 頁。

は安定な原子の属性と同一の原子を、放射性同位体と呼び、この放射性同位体は、一定のエネルギーあるいは物質を放出して遷移し、安定な状態となるまで変化する。このような放射性同位体の性質については、ラザフォードと F. ソディの共同研究を初め、前世紀の初頭にかけて種々の研究に基づく基礎理論が確立された⁴⁵。

エコロジー経済学の形成への貢献者である F. ソディは、その原子エネルギーの戦争利用への危惧や危険性への警告者としても知られるが、この時点においては人類による原子エネルギーの利用を、進化の過程の必然として、肯定的に捉えていたと思われる。

それでは 1920 年代に F. ソディが展望した原子エネルギーの利用に関して、その後の核開発の歴史はどのように進行したのだろうか。

2.2 史実の核兵器開発のための原子炉と原子エネルギー利用の開始

史実の人類による原子エネルギーの利用の歴史は、事実上、核兵器開発の歴史であった。20 世紀初頭にはすでに原子エネルギーの利用について理論的構想があったわけだが、それが実際の原子炉、爆弾、発電などの装置、技術として発達したのは第二次世界大戦中、米国による核兵器開発計画、当時計画を管轄した米軍の「マンハッタン管区」の名称から「マンハッタン計画」と呼ばれる計画によるものであった⁴⁶。

なお、核兵器開発に関しては、ドイツ、日本など枢軸国においても研究が進められていたが、いずれも両国の敗戦までに成功しなかった⁴⁷。

1945 年に人類史上初めて原子核分裂の連鎖反応を爆弾として利用した「核兵器」が使用

⁴⁵ 前掲論文で参照したように、ソディによるラジウムの放射性崩壊の性質についての研究は次の著書にまとめられている。F. Soddy (1909), *The Interpretation of Radium: Being the Substance of Six Free Popular Experimental Lectures Delivered at the University of Glasgow, 1908*, London: J. Murray. (『ラジウムの解釈』1909年。) また、N. Bohr (1913), “I. On the constitution of atoms and molecules,” *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Sixth Series, Vol. 26, No. 151, July 1913, pp. 1-25. による原子核の理論の成立以前の原子の変化に伴う放射線の発生についての研究は、代表例として次を挙げられる。E. Rutherford and F. Soddy (1902) “The Case and Nature of Radioactivity II,” *Philosophical Magazine*, (6), 4, pp. 569-585. そして原子の遷移の周期律についての研究として、次を挙げられる。F. Soddy (1913), “The Radio-Elements and the Periodic Law,” *Chemical News*, Vol. 107, pp. 97-99. 及び同雑誌同名の論文 pp.168-169, 1913. なお、後半の 3 論文の邦訳は次に所収されている。物理学史研究刊行会編 (1970)、『放射能』、東海大学出版会。

⁴⁶ 山崎正勝・日野川静枝編著 (1997)、『原爆はこうして開発された』、青木書店。本節は主に同書第 4 章「原爆の開発と生産へ」を参照した。

⁴⁷ 山崎正勝 (2011)、『日本の核開発：1939～1955』、績文堂。

されたが、広島に投下されたウラン型原子爆弾は砲撃型のウラン 235 の連鎖反応を、そして、史上初の原爆実験及び長崎へ投下されたプルトニウム爆縮型の原子爆弾は、プルトニウム 239 による連鎖反応を用いている。

これらの核物質は自然界にはごく微量にしか存在しないか、あるいは原子炉を用いて人工的に生成されるほかなく、この目的のために複数の方法が並行して開発された。ウランの核分裂性の同位体であるウラン 235 は天然ウラン中にわずか0.72%しか存在しないため、ウランを連鎖反応させる爆弾を製造するためにはこれを高濃度に圧縮する技術の開発が必要であった。

このために気体拡散法、熱拡散法、そして電磁分離法の開発が進められた。どれもウラン 235 の濃度を高めるための方法であったが、このうち最も開発が進行し、最初に核分裂性ウランの一定量の濃縮に成功したのが電磁分離法であった。1944年3月に電磁分離法 α プラントから初めての研究用の10%低濃縮ウランが出荷された。続き、同じく1944年6月に β プラントから高濃縮ウランが出荷された。

一方、プルトニウム型爆弾のためには天然ウランの組成のほとんどを占めるウラン 238 に中性子を吸収させ、プルトニウム 239 に変化させる。このプルトニウム生産のための初めての原子炉は1942年にシカゴ大学冶金研究所が建設したシカゴパイル1号機(CP1)である。

シカゴパイル1号機は、パイル(pile: 積み重ね)の名称の通り、黒鉛の薄板とウランの塊が楕円球の形になるように積み重ねられたもので、黒鉛、ウラン金属、酸化ウランによって構成された黒鉛減速空気冷却炉であった。そして1942年12月2日午後3時20分に木片にカドミウムの薄膜を巻いた「制御棒」の引き抜きにより連鎖反応が起こっていることが確認された。その設計の目的はウラン 235 の核分裂「連鎖反応」によるプルトニウム 239 の生産である。このプルトニウム生産炉としての原子炉が、その後の原子エネルギー開発において中心的な位置づけとなる原子炉の登場と言える。

なお、CP1 で始まったプルトニウム生産炉は、その後、CP1 を移転した CP2、クリントン・パイル、そして量産レベルのプルトニウム生産炉としてのハンフォード工場へとより大規模化していった。当初ハンフォードのプルトニウム生産炉は熱出力 250 メガワットのものであり、その発生する放射線の強さから、運転地域からの距離 3.2 キロメートル、

パイル間の距離は 10 キロメートルであった⁴⁸。ハンフォード工場の立地したコロンビア川の流域では今日でも放射能汚染が問題となっている⁴⁹。

拙著、藤堂史明 (2008a)で紹介したように F. ソディは F. Soddy (1926)の第 1 章 ((1-7-2)節)において「大戦の 1914 年における勃発の以前に『解放された世界』において H.G.Wells は、いつもの彼の知的明晰さと洞察をこの問題に捧げた。」と、核兵器を用いた戦争を描写した H. G. ウェルズ⁵⁰を評価している。Science Fiction(SF)作家である H. G. ウェルズは、F. ソディが 1909 年に著した『ラジウムの解釈』に強く影響され、当該書の冒頭謝辞に「フレデリック・ソディの『ラジウムの解釈』に、この物語を献呈して感謝のしるしとする。これは長い何節かについて、あの本の第 11 章に恩恵をこうむっている。」と述べている (訳文 : H. G. ウェルズ (1997) 浜野輝訳、(原著 1914 年))。

F. ソディが指摘した通常物質であっても内部に巨大なエネルギーを秘めているという事実と、それが利用されれば人類の生存に大きな影響を与えるとの考えは、現実に第二次大戦中の二発の原子爆弾の都市への使用という大惨事と、引き続く冷戦における核兵器開発競争、原水爆実験へと続く歴史の先触れであった。そして、1953 年の「平和のための核」⁵¹政策から原子炉技術を低濃縮ウランによる発電用原子炉へと応用した原子力発電所が、日本をはじめとする世界に拡散していくこととなった。この場合も、プルトニウム生産炉と同じく、核燃料中のウラン 238 がプルトニウム 239 へと変化することになり、平和目的の発電用原子炉といっても、プルトニウム生産炉としての性格を持っている。核物質の蓄積を意味するこの性質はプルトニウムを増殖させる高速増殖炉を含む核燃料サイクル構想として、むしろ積極的に推進されてきた。

このような核兵器開発とその使用という動きに関して F. ソディはどのような考えを持

⁴⁸ 山崎正勝・日野川静枝編著 (1997)、第 4 章を参照。

⁴⁹ 2017 年にもワシントン州はハンフォード地域の放射性物質の保管体制を改善するよう連邦政府に要請している。State of Washington Department of Ecology (2017), “Re: Administrative Order.” <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2017/05/HanfordEnforcement-05102017.pdf> 2018 年 1 月 20 日参照。

⁵⁰ H. G. Wells (1914), *The World Set Free*, London: Macmillan & Co. 邦訳 H. G. ウェルズ (1997)、浜野輝訳『解放された世界』、岩波文庫 (原著 1914 年)。

⁵¹ 1953 年 12 月 8 日、米国 D. D. アイゼンハワー大統領が国際連合で行った演説が示す、原子力発電用の核物質及び技術を提供するとともに核兵器開発を制限し、核兵器の不拡散を目指す政策。平和利用の促進を謳うが、自国の核戦力の堅持も同時に掲げ、既存の核兵器保有国による核兵器の独占のための政策とも解釈できる。

ったのだろうか。F. ソディは第二次大戦中の核兵器開発の動きには全く関係せず、1936年に妻を亡くして以来、戦後に至るまで経済学などの分野も含め研究発表はごく少数しかなかった⁵²。戦後に著された著作⁵³では、戦争を廃止すべきと主張しつつ、原子炉の開発と原子エネルギーの利用については肯定的な立場を維持した。基本的には、H. G. ウェルズの『解放された世界』に登場する、核戦争によって荒廃した世界において、「世界連邦」による核兵器廃絶が実施され、平和へと人類が新たな一步を歩みだす様子が描写されたように、F. ソディが人類の文化的向上と世界平和を訴求していたことは疑いが無いが、経済社会的な事情について、貨幣制度に主要な問題点を見出し、その改革を通じて人類の科学的な発見と文明の発達の享受を展望していた彼は、原子エネルギー利用は人類の解放に役立つ発見と考えていたようである。

2.3 エコロジー経済学の系譜におけるエネルギー利用と生態系、経済社会の位置づけ

続いて、「エコロジー経済学」の系譜におけるエネルギー利用と生態系、経済社会の位置づけについて、主要な論者の主張を検討していく。それらは必ずしも原子エネルギー利用を評価しているわけではないが、利用可能エネルギーの源泉と生態系内の秩序形成及び人類の経済社会におけるその利用に関して考察している。本論文ではこの点に着目したい。

まず、エコロジー及びエコロジー・エントロピー経済学に関連する諸概念について、整理することからはじめる。

2.3.1 エコロジーとエコロジー経済学、エントロピー経済学⁵⁴

エコロジーという用語は、生物同士及び生物と外界の様々な関係についての科学として、1866年にE. ヘッケルにより命名された⁵⁵。ギリシア語で家を意味する{*oikos*}と学問を表す{*logos*}の結合という形式である。ヘッケル自身は海洋生物学を専攻し、C. ダーウィンの進

⁵² L. Merricks (1996), *The World Made New – Frederick Soddy, Science, Politics, and Environment*, New York: Oxford University Press.

⁵³ F. Soddy (1949), *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis.

⁵⁴ 本節は、藤堂史明 (2014a)、 「エントロピー経済学の創成と環境学の今日的課題」、 『経済学論叢』、第 65 巻第 3 号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、147-163 頁、の一部であるエコロジーとエコロジー経済学についての考察に基づいている。

⁵⁵ E. Haeckel (1866), *Generelle morphologie der organismen. Allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte descendenztheorie*, Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer.

化論の影響を受けて生態システムに着目したのであるが、このような命名を受けた「エコロジー」は、環境と一体化した生物群落の動態を研究するいわゆる生態学へと発展した。つまり、原則的に個別の生態系の観察と理論化による動態の理解を目的とする学問である。

一方で、このような誕生当初のエコロジーの概念は、自然生態系の成り立ちや動きを研究対象としているため、人間社会と自然との関係について、今日の「エコロジー」や環境科学が対象としているような問題領域を含まないか、含んだとしても人類の経済社会に関係した固有の問題についての関心は希薄である。

このような間隙を埋める形で、人間社会と自然との関わりを考える枠組みとして、エコロジー思想もまた発達した。大まかに分ければ社会思想としてのエコロジーは、より原生自然を重視し人間にとっての使用価値から離れて自然のあるがままの姿を保全しようとするエコロジー思想と、人間社会との共存においてその概念を実現しようとする環境保護思想とに分かれる⁵⁶。これをA. Næss (1973)⁵⁷は前者の立場からそれぞれ{Deep Ecology}、{Shallow Ecology}とした。このような区分についてはそれ自体も一種の主観的評価であり、また人間社会の構造との関係について軽視しているという問題がある。

これに関して、社会構造の変革によって環境との共存を図っていくという主張が{Radical Ecology}の分野であり、C. Merchant (1992)⁵⁸らによる主張や、{Social Ecology}を標榜するM. Bookchin (1989)⁵⁹による主張がある。いずれにせよ「エコロジー」という概念から経済プロセスそのものについての内在的な批判から発達した概念ではなかったことは確かである。

他方、エコロジーと同様に、{oikos}をその語源の一部に持つ経済（{oikos}+{nomos}）（法）で{oikonomos}から{oeconomy}（経済）への分野では、20世紀に入り工業生産による環境汚染と資源枯渇が大規模に生じるようになり、環境問題が経済活動に制約を課すものとして、学問上の問題として浮上することとなった。そして、経済学の対応は応用経済学としてその問題を市場の効率性の分析に取り込むことだった。今日、経済学において主流をな

⁵⁶ P. マターニュ (2006)、門脇仁訳、『エコロジーの歴史』、緑風出版。

⁵⁷ A. Næss (1973), "The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movement," *Inquiry*, 16, pp.95-100.

⁵⁸ C. Merchant (1992), *Radical Ecology: The Search for a Livable World*, New York: Routledge.

⁵⁹ M. Bookchin (1989), *Remaking Society*, Boston: South End Press. 邦訳書：M. ブクチン (1996)、藤堂麻理子・戸田清・荻原なつ子訳、『エコロジーと社会』、白水社。

す「新古典派経済学」において環境汚染及び資源枯渇の問題は「外部性」や人工資本との代替とその効率性についての課題として分析されており、人間の経済が自然の循環に埋め込まれていることから生じるその分析の適用限界は意識されていない。

この間の社会環境についてみると、戦後の工業化と経済規模の高度成長期を経験した日本をはじめとする諸国においては、特定の公害による被害、対策という問題意識から、経済成長をつづける経済そのものが環境汚染の原因として認識されるようになっていった。例えば柴田徳衛・松田雄孝（1976）⁶⁰は、自然環境の再生可能資源の生産能力と汚染物質の吸収能力とを「環境容量」と捉え、これを損なう人間の活動が、公害問題として表れていること、この克服には個別の公害問題への対策に追われるだけでなく、人間活動による自然とその資源や能力への過剰な介入を改め、抑制していく必要から、「公害から環境問題へ」という認識の転換を説いた。ただし、ここでの環境容量の概念は、槌田敦の開放系エントロピー論に見られるような、熱機関としての自然環境システムの構造的分析を伴うものではない。

なお、このような公害問題と環境汚染の一般化以前の早期から、主に資源の食いつぶしの問題として経済学を思考していた経済学者はおり、室田武（2001）⁶¹は、1865年に出版されたイギリスのW. S. ジェヴォンズによる『石炭問題』⁶²の指摘と比較しつつ、柴田敬（1970）⁶³の「壊禍法則」の例を挙げて紹介している。

上述のようにいくつかの先駆的な研究を除けば、このような人間社会の自然の環境容量への過剰な干渉、利用による汚染と資源枯渇という問題が一般化して「環境問題」と捉えられるようになる社会的な意識変化を経てはじめて、エコロジーの理論と思想を踏まえ、環境問題に対応するための学問として「エコロジー経済学」が志向されたのである。

エコロジー経済学はJ. マルチネス・アリエが主張するように（J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann（1987）⁶⁴）、その学術的な起源は1970年代ではなく1800年代前半（19世紀前半）まで遡る。とはいえ、J. マルチネス・アリエ自身が記述するように、これはいわばエ

⁶⁰ 柴田徳衛・松田雄孝（1976）、『公害から環境問題へー自然と人間の回復ー』、東海大学出版会。

⁶¹ 室田武（2001）、『物質循環のエコロジー』、晃洋書房。

⁶² W. S. Jevons（1865）、*The Coal Question*, London: Macmillan and Co..

⁶³ 柴田敬（1970）、「エネルギーと経済：公害と壊禍法則」、『青山経済論集』、第22巻2号、23-58頁。

⁶⁴ J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann（1987）、*Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Oxford: Basil Blackwell.

エコロジー経済学者が後付け的に学説を年代史にし、自らの出自を明らかにしたものであって、環境汚染の拡大と人間社会の自然への過干渉の危機感が広まった1970年代の社会意識が明示的な「エコロジー経済学」誕生の契機であったことは間違いない。

環境理解のための理論科学としてのエコロジー経済学は、鷺田豊明 (1994)⁶⁵が示しているように、生態系の挙動とその余剰生産物の形成から出発して人間社会にとっての条件について論じることを共通の基盤とする。前掲の室田武 (1979b)が指摘するように、この一部には1955年に発表されたF. Cottrellの剰余エネルギー論がある(F. Cottrell (1955)⁶⁶)。

なお、その内容については第3章で詳述するが、本論文では、個別の研究者、例えばN. ジョージエスクーレーゲンの業績をもってエントロピー経済学と呼称することも見られる⁶⁷ ことに対し、「エントロピー経済学」をエコロジー経済学の一部であり、エントロピー増大法則及び主に日本において室田武、槌田敦、玉野井芳郎らによって議論されてきた開放系エントロピー論を軸として、環境及び人類の経済社会の間の相互作用を中心に研究する分野と捉えている。

2.3.2 F. ソディのエネルギー資源論と「エコロジー経済学」

本節では、前節で述べた流れで形成されてきたエコロジー経済学にとって、F. ソディのエネルギー資源の考え方がどのように関連づけられるか考える。

J. マルチネス＝アリエ (1999、原著1987)⁶⁸は、「エコロジー経済学」の課題を「人間エコロジー的エネルギー論と経済学との間の相互作用」⁶⁹について考察するものと定義する。その上で次のように述べる。「著名な化学者であるフレデリック・ソディは、著作家目録

⁶⁵ 鷺田豊明 (1994)、『エコロジーの経済理論』、日本評論社。

⁶⁶ F. Cottrell (1955), *Energy and Society*, New York: McGraw-Hill.

⁶⁷ 前出の岡敏弘 (2014)、「エントロピー経済学の成果と限界」、『経済学論叢』、第 65 巻第 3 号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、123-145 頁、は「熱力学のエントロピーの概念を経済学に導入し、それによって経済過程を解釈し直そうとしたジョージエスクーレーゲンの試み」に内在する特徴によって、「従来の経済学はほとんど無傷で存続した(123 頁)とする。

⁶⁸ 邦訳は 1987 年初版に関して J. マルチネス＝アリエ (ホワン・マルチネス＝アリエ) (1991)、工藤秀明訳『エコロジー経済学—もうひとつの経済学の歴史』HBJ 出版局。そして、1990 年の増補改訂版 (について、J. マルチネス＝アリエ (ホワン・マルチネス＝アリエ) (1999)、工藤秀明訳『エコロジー経済学—もうひとつの経済学の歴史』増補改訂版、新評論が該当する。なお、本論文では J. マルチネス＝アリエと表示した。

⁶⁹ J. マルチネス＝アリエ (1999)、17-18 頁。

の中でも特別の位置を与えられるに値する。彼は、経済における農業の役割を（まさに「緑的な」仕方で）強調するために、エネルギーの『生命維持的利用』と『労働的利用』とを区別したが、それはロトカがエネルギーの体内的利用と体外的利用とを区別したのと似ている。」⁷⁰F. ソディの考え方は既に2.1節で取り上げた「(2-3)内的そして外的な生物によるエネルギー使用」に現れている。F. ソディは、人類によるエネルギー資源の利用は、生存維持と共にその経済的生活の維持、質の向上のために用いられる、という考え方をしており、富と豊かさの創出という概念を念頭におくという意味で、A. J. ロトカよりも経済学的な関心に沿った考え方に見える。

2.3.3 生態学的アプローチにおけるエネルギー資源論

J. マルチネスーアリエが F. ソディの生物におけるエネルギー利用論との類似性を挙げた A. J. ロトカは、生態系内における生物種の個体数（被捕食者、捕食者）の変動に関する「ロトカ＝ヴォルテラ方程式」⁷¹で著名な生態学者である。彼は、物理学的な仕事量と経済価値に関する W. オストワルドの議論⁷²に影響を受けながら、エネルギーと生物との関係性についての議論⁷³のごく早期において、生物の進化におけるエネルギー利用の重要性について「物質系における物質の分布のあらゆる変化には、一定のエネルギー変換が伴う。したがって、エネルギーの変換を支配する法則は進化の法則である。」と指摘している⁷⁴。

生態学の理論をより直接的に経済過程の分析に関連づけようとした日本におけるアプローチとして、鷲田豊明 (1994)、『エコロジーの経済理論』がある。

鷲田豊明は生態系の構成原理、すなわち「自然の豊かさの指標とは何か」⁷⁵、という問い

⁷⁰ J. マルチネスーアリエ (1999)、35 頁「エコロジー経済学と金銭経済学」の節を参照。

⁷¹ 生態系内において被捕食者 x と捕食者 y がそれぞれ $dx/dt = Ax - Bxy$, $dy/dt = -Cy + Dxy$ と時間変動するときに、両者の個体数が周期変動することを示した方程式。変動なしの静止点は $(x, y) = (C/D, A/B)$ で得られる。

⁷² W. Ostwald (1909), *Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft*, Leipzig: Verlag von Dr. Werner Klinkhardt.

⁷³ J. マルチネスーアリエによれば、エネルギーと農業、経済の関係についての創成期の議論は、1880 年代に複数の論文を発表していた S. Podolinsky によるものである。彼はエンゲルス及びマルクスに農業における人間労働がエネルギー蓄積に貢献し、この意味で労働価値説に科学的基礎を与えると伝えたが、理解されなかったとされている。(J. マルチネスーアリエ前掲書、91 頁)

⁷⁴ A. J. Lotka (1911), "Die Evolution vom Standpunkte der Physik," *Annalen der Naturphilosophie*, Zehnter Band, pp. 59-74. 引用箇所は p.62 参照。

⁷⁵ 同書、第 2 章「生態系の構造と自己組織化」35 頁。

に対し、生態系全体の呼吸排熱最大化を意味する「最大呼吸仮説」を提示して、生態系の挙動について分析した。また、近世の石高制に見られる食糧生産と経済価値との関係づけを詳細に分析した。さらに、現代の経済社会における経済価値の生態学的な基礎について展望した。

鷲田豊明による生態系におけるエネルギー流の扱いについての学説分類⁷⁶に従えば、A. J. ロトカは1922年に「進化のエネルギー論への貢献」⁷⁷を著し、生態系内の全エネルギー通過量を増大させるように活動する生物が自然選択の恩恵を受けることになる」と述べている、とし、これを「エネルギー流最大化法則(Law of Maximum Energy Flux)」としている。これは、1925年の著書『物理生物学の基礎』⁷⁸で“The Law of Evolution Adumbrated as a Law of Maximum Energy Flux”としてまとめられている。

また、A. J. ロトカは「この結果はシステムの全体の質量を増やすことにつながり、そして、この全体質量と共にまたシステムを通過する全体のエネルギー流もそうなる。なぜなら、他の条件が同一ならば、このエネルギー流はシステムの質量に比例的であるからである。」“The result will be to increase the total mass of the system, and, with this total mass, also the total energy flux through the system, since, other things equal, this energy flux is proportional to the mass of the system.”⁷⁹とも述べている。これはF. ソディと同じく植物を起点としたエネルギーの固定化量について着目しているようでもある。

鷲田豊明によると、このようなエネルギー流に着目したA. J. ロトカの構想は、H. T. オダムとR. C. ピンカートンにより、システムはエネルギー流から最大能力を引き出すように組織されるという「最大能力原理」(Maximum Power Principle)に一般的原理として示された⁸⁰。さらに、生態系の自己組織化に関してはS. E. ジョルゲンソンの「最大エクセル

⁷⁶ 同書、第2章第4節「エネルギー流と自己組織化」54頁。

⁷⁷ A. J. Lotka (1922), “Contribution to the Energetics of Evolution,” Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (Proc. N. A. S.), Vol. 8, pp. 147-151.

⁷⁸ A. J. Lotka (1925), *Elements of Physical Biology*, Baltimore: Williams and Wilkins Company.

⁷⁹ 1922年のProc. N. A. S. 論文 (p.147)で続けて。

⁸⁰ H. T. Odum and R. C. Pinkerton (1955), “Time’s Speed Regulator: The Optimum Efficiency for Maximum Power Output in Physical and Biological Systems,” *American Scientist*, Vol. 43, No. 2, pp. 331-343. H. T. オダムの利用可能エネルギー、純エネルギーの考え方については後述する。

ギー原理」⁸¹や J. J. カイと E. D. シュナイダーによる「再定式化された第二法則」（最大エネルギー散逸原理）⁸²が挙げられている。鷺田豊明自身は、独自の生態系の組織原理として「最大呼吸仮説」を提唱しており、それは、「生態系は、群集総呼吸を最大にするように生物種間の相互依存関係及び非生物的環境との関係を自己組織化する」⁸³というものである。それは一見、最大エネルギー散逸原理に似ているが、鷺田豊明によれば「（前略）最大呼吸仮説が問題するエネルギー流は植物によって固定化された部分である。蒸発散という形でのエネルギーの散逸は、植物が固定化できなかったエネルギーによる植物体の体温の上昇をおさえるための防衛的費用の支出でしかないのである。生態系にとって真の所得は、固定化されたエネルギーである。生態系自身の能力の増大は、この所得の利用にかかっているととらえるのが明らかに合理性がある⁸⁴。」と述べた。すなわち、J. J. カイ及び E. D. シュナイダーによる生態系全体に対する熱量傾斜（加えられた熱量と元々のその環境システムの熱量との差異）の劣化の手段としての生態系の組織化という、生態系の組織形成の原理ではなく、鷺田豊明の考える「最大呼吸仮説」が、それ自体が目的としての群集総呼吸の増大の原理であることから、生態系のマクロ的及びミクロ的⁸⁵という問いに答えることができる組織化の原理としてふさわしいとしている。

本節で取り上げた F. ソディによるエネルギーの流れと生物、人類との関係性について言えば、F. ソディは、エントロピー増大法則によるエネルギーの利用可能性の劣化に対して、「経済的な重要性」を持つ過程として生命を捉えている。彼は、（2-4-1）節で以下のように述べている。「（前略）全ての力学的エネルギーの究極的な到達点である、役に立た

⁸¹ S. E. Jørgensen and H. Mejer (1977), "Ecological Buffer Capacity," *Ecological Modelling*, Vol. 3, pp. 39-61. 及び、
S. E. Jørgensen and H. Mejer (1979), "A holistic approach to ecological modelling," *Ecological Modelling*, Vol. 7, pp. 169-189. 並びに S. E. ジョルゲンソン単著による以下が挙げられている。

S. E. Jørgensen (1992), *Integration of Ecosystem Theories: A Pattern*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

⁸² E. D. Schneider and J. J. Kay (1994), "Life as a Manifestation of the Second Law of Thermodynamics," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 19, Issues 6-8, pp. 25-48.

⁸³ 鷺田豊明、前掲書、65頁。

⁸⁴ 鷺田豊明、前掲書、68頁。

⁸⁵ 鷺田豊明は次のように定義している。「個体の目的をミクロ目的と呼び、それに対応するものとして個体群全体の目的をマクロ目的と呼ぶことにしよう。」鷺田豊明、前掲書、21頁。

ず利用可能ではない形態、すなわち周囲の環境と同じ温度の熱に、直ちに变化する自然の傾向を持っている。生命はこの傾向が回避される経済的な重要性を持った唯一の過程では全くないが、他と比較できないほど、最も重要なものである。」

このような位置づけは、生物がエントロピー増大の過程において経済的な意味を持つ利用可能エネルギーの蓄積を行うという意味に解釈すれば、先に挙げた S. E. ジョルゲンソンの最大エクセルギー原理と似た点がある。また動物を含む生物の群集そのものが増殖し繁殖していく過程を考えれば、間接的に、鷺田豊明が「最大エネルギー散逸原理」と呼んで言及している⁸⁶、J. J. カイと E. D. シュナイダーの議論や鷺田豊明自身の「最大呼吸原理」とも矛盾しないと考えられる。ただし、F. ソディは、鷺田豊明の言う生態系のマクロ的、及びミクロ的目的については意識しておらず、人類による利用という最終目的をマクロ目的とし、その利用対象としての生態系と、その構成原理という捉え方に関心が集中しているようである。

いずれにせよ、植物がエネルギーの散逸、すなわちエントロピーを最大化すべく光合成をおこなうのか、そうでないのかは、現在でも議論がある一方で⁸⁷、光合成を契機とする利用可能エネルギーの取り込みが、太陽エネルギーの入射からはじまり、植物及び動物界を経て人類へとつながる際の最も重要な経路であるとの指摘には、間違いがないと思われる。

2.4 エコロジー経済学とエントロピー経済学、人類社会への考え方

前節では生物科学的なエコロジー（生態学）の文脈での利用可能エネルギーと生態系秩序の考え方を考察した。本節では、より人類社会との関わりを重視し、経済的な意味も含めて理論化しようとする論者として、欧米での代表的研究者である J. マルチネスーアリエ、N. ジョージェスクーレーゲン、H. E. デイリーのエコロジー経済学研究の文脈での評価、とりわけ、利用可能エネルギーと経済社会との関係性についての考え方について考察する。

2.4.1 J. マルチネスーアリエの課題設定

F. ソディによるエネルギー資源の起源とその利用経路についての考察は、今日の環境問題及びその学術的な理解を目指すエコロジー経済学の系譜に連なる研究者たちの考察にと

⁸⁶ 鷺田豊明、前掲書、60頁。

⁸⁷ T. M. Addiscott (2010), “Entropy, non-linearity and hierarchy in ecosystems,” *Geoderma*, Vol. 160, pp.57-63.

って、どのように位置づけられるだろうか。J. マルチネス＝アリエは、19世紀のS. ポドリンスキー⁸⁸らのエネルギー（及びエントロピー）と経済の関係性に関する先駆的業績など、経済と自然界のエネルギーの流れとの関係性に着目する経済学研究の系譜を追うことを彼のエコロジー経済学の研究課題としている。S. ポドリンスキーやE. ザッヒャー⁸⁹に始まるエネルギー（及びエントロピー）と経済の関係性の分析は、彼自身が心情的には社会主義を支持しながら、実質的に労働価値説の否定につながる（少なくともF. エンゲルス⁹⁰にはそう解釈された）自然の持つ生産力とその価値に注目した。その研究の系譜は以下で述べるN. ジョージェスク＝レーゲンなど、現代にいたるエントロピー増大法則に着目した経済研究の流れ、その前史であるエネルギーと経済の関係の分析を創始したと言って良いだろう。

一方で自然界のエネルギーの流れ、生態系と人間の経済の関係性を考察することだけでは、エコロジー経済学が十分な役割を果たせないことも意識し、彼の『エコロジー経済学』増補版⁹¹の増補論文（改訂新版への序文にかえて）で、以下のように述べている⁹²。

ジョージェスク＝レーゲンやウィリアム・カップのようなエコロジー経済学者たちは、彼らの先行者たちと同様、エコロジーの観点から見た場合、経済には共通の測定基準がないと説明してきた。経済学者たちは、依然として価値論をもちえていないのである。これが本書の主要な論点である。経済的な通約可能性の欠如は、市場経済のみならず中央計画経済にも見られる（これについては、オットー・ノイラートが1920年代に指摘していた）。非更新性資源の枯渇や地球の温暖化や放射能汚染といったような通時的な外部性の評価は、あまりに恣意的である

⁸⁸ S. Podolinsky (1880), "Le socialisme et l'unité des forces physiques," *La Revue Socialiste*, No 8, pp. 353-365.

S. Podolinsky (1883), "Menschliche Arbeit und Einheit der Kraft," *Die Neue Zeit*, Band 1, Heft 9, S. 413-424. Band 1, Heft 10, S. 449-457.

⁸⁹ E. Sacher (1881), *Grundzüge einer Mechanik der Gesellschaft*, Jena: Gustav Fisher.

⁹⁰ エネルギー投入で価値の生産を根拠づけることは「狩猟や漁労のような極めて素朴な生産部門においてのみ可能なこと」（J. マルチネス＝アリエ（1999）、88頁）であるとF. エンゲルス(F. Engels (1882) "Letters to Marx, 19and 22 December 1882," *MEW* edn., Vol. 35, Berlin: Dietz Verlag.)は述べており、S. ポドリンスキーの労働価値説を自然の物理的エネルギーで基礎づけるという試みはあまり評価されなかった。

⁹¹ J. マルチネス＝アリエ（1999）、工藤秀明訳『[増補改訂新版]エコロジー経済学—もうひとつの経済学の歴史』新評論（原著増補改訂新版1991年）。

⁹² 翻訳文における補足は省略。

ため、合理的な環境政策の基礎としては役立ちえない。他方、政策は、たとえば収容能力基準や「持続可能性」に関するエコロジ的合理性のみに基礎を置くわけにもいかない。そうした通訳不可能性があるゆえに、経済は政治と不可分なのである。

出典： J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1991)、邦訳書、増補 i 頁。

これはエコロジ経済学、ないしその広義の意味での発展形であるエントロピー経済学にとっても、基底にある問題意識であると言える。とりわけ、環境問題を外部性として捉え、新古典派経済学の論理と体系をそのまま適用する形での環境経済学、すなわち外部性の理論、環境価値評価の理論が盛んとなっている状況は、環境科学に対する関心の高まりとして評価できる一面がある。しかし、一方で市場における価値評価に、自然生態系と人間社会の仕組みそのものを支配する物理法則が従属することの矛盾、そして社会的規範としての環境上の公正という政治問題に対し、功利主義的な合理化、つまり「社会的純利益の最大化」が行われる事が引き起こす、自然環境的な、そして人間の経済社会の持続可能性の破壊が懸念されるのである。

本節並びにこれまでの拙稿で取り上げてきた F. ソディの『富・仮想的富そして負債』の執筆時期における、その主な関心領域は自然科学の法則体系、とりわけ熱力学の第一、第二法則という物理法則の経済過程への適用と、既存の経済学分析、そして経済政策の批判にあった。この意味で F. ソディは今日の環境問題に着目した経済学批判の先駆者でもあったわけである。

だが、F. ソディの行った貨殖学{chrematistics}としての経済学の透徹した批判は、一方で、物理学的な価値を基礎とする評価体系だけでは現実の市場経済を分析しきれないという問題点も持っている。利用可能エネルギーないしエントロピー等の物理的尺度のみを用いた分析では、経済主体の主観的な価値評価によって形成される価格が、市場均衡を通じて資源と生産物を市場経済システム内で配分する仕組みを描写しきれないのである。

ただし、3.2 節で検討するように、著者は H. E. デイリーや槌田敦にも見られるエコロジ・エントロピー経済学的な分析が適用される経済過程と、新古典派的な貨幣単位の経済価値に写像された現象として扱って良い経済過程が何等かの境界で区切られるという議論には懐疑的である。この疑問は経済過程と呼ばれるものが、規模や境界に縛られずどの現象であっても、宇宙におけるエントロピー増大法則が適用される一般的な不可逆現象の一

つでしかないことと、貨幣的価値が可逆的な交換プロセスを模していることの食い違い、という単純な事実に基づいている。次節で不可逆的事象としての経済過程を一般的に分析しようとした N. ジョージェスクーレーゲンの主張を検討しよう。

2.4.2 N. ジョージェスクーレーゲンの過程の分析的表現へのアプローチ

序章で述べたように、1980年代に至るまでに知られていた範囲で最も先駆的な環境経済学者は、F. ソディ、あるいは S. ポドリンスキーらのエネルギー、エントロピーに着目した理論家ではなく、エントロピー増大法則を経済過程に適用することの含意を、その方法論への影響、実証的な環境上の資源管理へ与える影響を含めて総合的に分析を展開した、N. ジョージェスクーレーゲンである。N. Georgescu-Roegen (1971)⁹³で展開された内容は、単に物理法則であるエントロピー増大法則を経済過程に適用することを論じただけでなく、科学における擬数主義の批判、時間概念における力学的時間と弁証法的時間の区分を提示した。擬数主義は数学的な抽象化とその分析を行う分析手法そのものの批判となり、またさらには経済の非エルゴード性⁹⁴に関する新古典派経済学の無関心さへの批判へとつながる。

時間概念についての議論は「力学的時間」と「弁証法的時間」の区分という、N. ジョージェスクーレーゲン独自の主張である。

時間の不可逆性とエントロピーの関係についての彼の議論の持つ意味は、広く一般に理解されるべきである。

2.4.2.1 時間の不可逆性とエントロピー増大法則

N. ジョージェスクーレーゲンは、同書第5章「新奇性、進化、エントロピー」でエントロピー増大法則と時間の不可逆性、前後関係に関する哲学的な洞察を行っている。

R. クラウジウスが熱力学の最初の二つの法則に古典的定式化を与えたのは 1865 年であるが、それは以下のように表現された。

⁹³ 序章で参照した N. Georgescu-Roegen (1971)は、数学的概念から時間、決定論に至るまで、物質科学と経済学の方法論に関わる基礎理論から、実証的な資源の持続可能な利用問題まで幅広く論じている。

⁹⁴ 力学系の時間平均と空間平均の同一性を主張するエルゴード仮説が成り立たないとの意味。

- 1) 宇宙のエネルギーは不変である。Die Energie der Welt ist constant.
- 2) 宇宙のエントロピーはつねに最大値に向ってすすむ⁹⁵。Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu⁹⁶.

この際のエントロピーの増加分 ΔS は、移動した熱 ΔQ 、移動が行われた際の絶対温度を T として、以下で表される。

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

このときのエントロピーの増加分について、N. ジョージェスクーレーゲンは、「増加分が<時間>の方向で、言いかえれば、<時間>における前の時点から後の時点へという方向で、決定されていることである。このことをつけ加えれば、<エントロピー法則>については、これ以上の説明は不要である。しかし留意すべきであるのは、それが明確に定義された時間の矢-エントロピーをともなった、厳密な意味での進化の法則であるということである。」⁹⁷と述べている。

N. ジョージェスクーレーゲンは、エントロピー増大法則が「時間の矢」として働き、不可逆な変化、つまり本質的な意味で「質的」な変化を引き起こす時間の流れを「弁証法的時間」とした。また、力学的運動に見られるように、「場所の移動」を本質として質的变化を伴わない時間の流れを「力学的時間」としている。彼によれば、同様の区別はシュンペーターの「歴史的時間」と「動力学的時間」の違いの強調にも見られる⁹⁸。

このようにして区別された時間は、その一般的性質としては常に現在であり、一方向的に流れる性質を持つ。N. ジョージェスクーレーゲンの表現では「<時間>の特異な、類のない特徴は、常に現在であるということと結びついた、過ぎ去っていく性質である⁹⁹。」つまり、実際の時間はすべて弁証法的時間であり、それと表裏一体の形ですべての現象に当

⁹⁵ 同書、邦訳、169 頁。

⁹⁶ R. Clausius (1865), "Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie," *Annalen der Physik und Chemie*, Vol. 125, No. 7, pp. 353-400.

⁹⁷ N. Georgescu-Roegen (1971), Ch. 5. 邦訳 (1993)、170 頁。

⁹⁸ J. A. Schumpeter (1951), *Essays*, Ed. R. V. Clemence, Cambridge, Mass. : Addison-Wesley, p. 308.

J. A. Schumpeter (1954), *History of Economic Analysis*, New York: Oxford University Press, p. 965, n.5. 邦訳: J. A. シュンペーター(1960)、東畑精一訳、『経済分析の歴史』、第6巻、2038 頁、注5。

⁹⁹ N. Georgescu-Roegen (1971) 邦訳書、170 頁。

てはまる「エントロピー増大法則」が成立しているのである。

時間が逆行すればエントロピー増大法則は成立しない、また熱力学第一法則が示すようにエネルギーと質量はいかなる現象においても保存されるのであるから、熱力学第二法則の示すエントロピー増大がなければ、時間が不可逆的に流れていることを確認する方法もない。その意味でエントロピー増大法則と時間の不可逆性は表裏一体なのである。

2.4.2.2 ストック・フロー概念とファンド・サービス概念

このように、時間の不可逆な流れ及びそこにおける物質やエネルギーの質的な変化に注意を払った N. ジョージェスクーレーゲンは、新古典派経済学における「ストック」・「フロー」概念による生産過程の単純化された理解に対して異論を唱えた。

N. ジョージェスクーレーゲンによる「過程の分析的表現と生産の経済学」¹⁰⁰によれば、一般的な過程表現の中に含まれるべき質的变化の問題は、例えば過程の前後で「元気な労働者」から「疲労している労働者」に変化する、などの質的な変化による数量的表現を二つの実体に切り分けることの困難である。そして、「科学や社会科学で今使われているほかの様々な分析モデルがこの困難によって破綻しなかったのは、様々な巧妙なごまかしによって初めから考慮の外におかれていたからである¹⁰¹。」とした。さらにそのような質的变化をモデルの中に入れない（例外は簿記のルールでの減価償却による貨幣タームの表現）¹⁰²理由として経済学者が「商品」にその関心を絞っているという、「商品フェティシズム」¹⁰³によるものであるとした。

このような時間の不可逆的経過による質的变化を考慮した過程の分析的表現としては、以下の数式によって端的に表現される「ストック・フロー」概念は不十分である。

$$\Delta S = S(t_1) - S(t_0)^{104}$$

ここで、 $S(t_0)$ と $S(t_1)$ は、 $t_0 < t_1$ なる 2つの時点 t_0 , t_1 に対応するストックの数量である¹⁰⁵。

¹⁰⁰ N. Georgescu-Roegen (1971) Ch. 9. 邦訳 (1993)、「過程の分析的表現と生産の経済学」(岡敏弘訳)を参照。

¹⁰¹ 同書邦訳(1993)、287頁。原注(9)「1つの注目すべき例外は、労働者の生産過程への参加に関するマルクスの分析であって、これには以後も一度ならず言及するであろう。この分析は『資本論』第1部の主要な位置を占めており、欠点はあるが、私が出会うことのできた文献の中では傑出したものである。」

¹⁰² 同書邦訳、288頁。

¹⁰³ 同書邦訳、289頁。

¹⁰⁴ 同書邦訳、291頁、数式(7)。

このように表現した場合、時間経過による異質性が場所的な差異と混同される可能性がある」と N. ジョージェスクーレーゲンは指摘する。すなわち、「ストックは引き続き、いわば質を欠いた実体、つまり、一定の「場所」に 1 つの量として存在し、かつ注目されている時間間隔の間の任意の時点で基数的な測度をもつような実体として把握された。ところがフローは、ストックの 2 つの異なった時点での値の差であると単純に定義されるようになった¹⁰⁶。」ためであるのだ。「この方法が二律背反を押し隠してしまうことは疑いない。例えば小麦の 2 つの数量の間の差もまた小麦の数量にほかならないのであって、その 2 つの数量が同じ倉庫の相異なる時点に関するものか、それとも同じ時点の 2 つの異なる倉庫に関するものかにはかかわりなくそうなのである¹⁰⁷。」

さらに一般的な認識論的な誤謬に帰着させれば、この上式に見られるようなフロー観念は、「つまり、〈変化〉とは移動にほかならないとする誤謬である。その結果として、質的变化と密接に結び付いた複雑なフローの観念が、現実の 1 断片から別の断片への移動に還元されてしまうのである¹⁰⁸。」という問題を持っているとした。その上で、実際の「フローとはある時間間隔にわたって展開されたストックである¹⁰⁹」ということを前提にして、時間的経過と場所的相違を混同しがちな「ストック」及び「フロー」概念に対して、新しい概念を提起した。N. ジョージェスクーレーゲンは、時間的経過をその変数としての意味に内包する用語として、「ファンド」と「サービス」という概念を定義したのである。

N. ジョージェスクーレーゲンは穀物を育てるのに必要な太陽エネルギーの量、降雨の量、またはペンキ職人の使うペンキといったものを例にとり、それらが「一度に必要とされるわけではなく、ある特定の仕方で時間的に展開されたフローとしてのみ必要とされるにすぎない¹¹⁰。」として「サービス」を定義している。また、もう一つのインプット要素として「過程の中で消費されず、いくらかの傷がつくとはいえ、過程からまた出てくる¹¹¹。」ものとして「ファンド」を定義している。例えばペンキ職人のほしごである。

その上で N. ジョージェスクーレーゲンは、石炭のストックの機械のファンドとしての性

¹⁰⁵ エントロピー量を表わすのではなく、一般的なストック量を表わしている。

¹⁰⁶ 同書邦訳、291 頁。

¹⁰⁷ 同書邦訳、291 頁。

¹⁰⁸ 同書邦訳、294 頁。

¹⁰⁹ 同書邦訳、294 頁。

¹¹⁰ 同書邦訳、295 頁。

¹¹¹ 同書邦訳、295 頁。

質の違いとして、「機械は日々くり返される仕事の中で何度も使われ、やがて役に立たなくなってお払い箱になるのである。機械は確かに物的なストックではあるが、「石炭のストック」という場合にその語がもつのは違った意味でそうなのである。もしどうしても「ストック」という語を用いたければ、機械はサービスの（役立ちの）ストックだと言えるだろう。しかしそれよりもっと明確に（それゆえもっと確実に）機械を記述するには、機械はサービスのファンダメントだと言えよ¹¹²。」と述べている。その上で、ストックの例として 20 個の飴玉が 20 人の子供をどのような時間的順序でも喜ばせることができるが、1000 日もつホテルの 1 室は、1 人ずつの旅行者に耐久度が許す限りサービスを提供するほかない、と例を挙げている。

ストック・フローとファンダメント・サービスについての概念を総括して N. ジョージェスケーレーゲンは「フローの量は、その物質（広い意味における）に固有の単位で表される。（中略）ところが、サービスの場合には事態は全く逆である。ここでは、時間を含んだ複合的な次元をもつのはサービスの量であって、それは（物質）×（時間）である¹¹³。」と一般的に定義した。

さらに、N. ジョージェスケーレーゲンは定常状態を元にして「成長」を分析すべきことを「成長の研究というものは、いやしくもそれが体系的な科学的営為だろうとするならば、まず定常状態の研究から始めて、その後この基礎から発展するの でなければならぬ¹¹⁴。」と述べている。このような姿勢は後に述べる H. E. デイリーの定常経済論のアプローチに色濃く受け継がれている。また、N. ジョージェスケーレーゲンはマルクスの「単純再生産」の仮定は、「資本設備はそれが参加している過程そのものによって不変のファンダメントとして維持されるという考え方¹¹⁵」として虚構だとしても、理論化の利点があると評価している。

さらに、N. ジョージェスケーレーゲンは、フロー・ファンダメントモデルの一般型を論じる。

生産過程を時間的に横切るフロー要素のうち、
天然資源のインプットを R、

¹¹² 同書邦訳、297-298 頁。傍点原著より。

¹¹³ 同書邦訳、299 頁。

¹¹⁴ 同書邦訳、300 頁。

¹¹⁵ 同書邦訳、301 頁。原注(28)による参照は、{K. Marx (1932-33), *Capital*, I, 221f.}となっている。

他の生産過程からやってきて通常は生産物に変換される経常的なインプットを I 、
 資本設備を元のままに維持するのに必要なインプット・フローを M 、
 生産物のアウトプット・フローを Q 、
 廃棄物のアウトプット・フローを W とする。

そして、ファンズとしては、
 リカード的土地を L 、
 本来の資本を K 、
 労働者を H 、
 とする。こうして得られる一般的なフロー・ファンズモデルは以下のように表現されたとした。

$$[R_0^T(t), I_0^T(t), M_0^T(t), Q_0^T(t), W_0^T(t); L_0^T(t), K_0^T(t), H_0^T(t)] \quad (\text{原著での数式(9)})$$

この表現の中には生産過程の作用主体としてのファンズ（リカード的土地がとりわけ真の意味での作用主体であり、マルクスは労働者をこの表現中におけるファンズとして見ているとしている¹¹⁶）と、フロー要因の双方が含まれている。

また、「生産関数とは、所与の生産要素から所与の生産物を得る技術の現状に関する全料理法の一覧表である¹¹⁷。」が、一般的な点関数としての新古典派経済学における生産関数を以下の式とする。

$$z=f(x, y, \dots) \quad (\text{原著での数式(10)})$$

これに代わるものとして、フロー・ファンズモデルを前提とした生産関数として以下の汎関数として表現した。

$$Q_0^T(t) = \mathcal{F}[R_0^T(t), I_0^T(t), M_0^T(t), W_0^T(t), W_0^T(t); L_0^T(t), K_0^T(t), H_0^T(t)] \quad (\text{原著での数式(11)})$$

¹¹⁶ 同書邦訳、304-305 頁。

¹¹⁷ 同書邦訳、307 頁。

さらに、どのファンド要素も絶えず雇用されているようにラインに配置しうる要素過程の最小数が存在する、ということに工場システムの基本的性質を見た N. ジョージエスケーレーゲンは、汎関数を点関数に退化させる特殊ケースが、新古典派経済学における一般的な生産関数の前提であることを指摘した。

すなわち、フロー変数が時間経過 t の同次線形関数であるとして、以下の式が成り立つ。

$$R(t) = rt, I(t) = it, M(t) = mt, Q(t) = qt, W(t) = wt \quad (\text{原著での数式(13)})$$

ファンド変数についても同様として、資本ファンドのうち諸商品の蓄え、在庫を S 、さらに最終生産物への変形の時間的経過を、原材料インプットの最終生産物への変形の途中の各段階にあるという意味で、仕掛品{goods in process}より適切な呼称として仕掛ファンド{Process-fund} e によって表現すると、ファンド変数についても、以下のように経過時間 t の同次線形関数として表現できるとする。

$$L(t) = Lt, K(t) = Kt, S(t) = St, e(t) = et, H(t) = Ht \quad (\text{原著での数式(14)})$$

したがって、汎関数形式での生産関数は次式。

$$(qt)_0^T = G[(rt)_0^T, \dots, (wt)_0^T; (Lt)_0^T(t), \dots, (Ht)_0^T] \quad (\text{原著での数式(15)})$$

ゆえに、通常の新古典派的な点関数としての生産関数

$$q = F(r, i, m, w; L, K, S, e, H) \quad (\text{原著での数式(16)})$$

としたとき、原著での数式(15)は「任意の時間間隔にわたるフローの量とサービスの量との間の点関数に置き換えることもできる。しかしこの関数では t が明示的な変数として現れなければならない¹¹⁸、」

$$qt = \phi(rt, it, mt, qt, wt; Lt, Kt, St, et, Ht; t) \quad (\text{原著での数式(16)を略記せず表記})$$

¹¹⁸ 同書邦訳、313 頁。

となる。この場合に、新古典派的な点関数としての生産関数 F の同次線形関数として汎関数を定義することができる。

$$\phi \equiv tF$$

N. ジョージェスクーレーゲンによればこのような時間に関する同次線形性を前提とする新古典派的生産関数、すなわち原著での数式(16)は、「汎関数という羊の群れの中のただ1匹の黒羊のようなものである。他の仲間とは対照的にそれは時間要素を含んでいない¹¹⁹。」ものであり、「退化した汎関数から点関数(16)へ移る過程でわれわれは分析の指の隙間から時間要素をすべり落としたのである¹²⁰。」と述べている。このことは、時間要素の本質を不可逆的な過程との表裏一体性と解釈する立場からすれば、新古典派経済学を生産過程とあらゆる過程にとって共通する、不可逆的過程の見落としにつながっているのである。

このようなN. ジョージェスクーレーゲンの「ファンド・サービス」概念は、自然資本のサービス概念を表わすために、H. E. デイリーに用いられる。H. E. デイリーは地球環境システムの環境容量がサービスとして時間あたりに対して規定される事から、これを定常経済のために必要なスループットの制限を主張するのに用いている。しかし、そのファンド・サービス概念には、作動物質の循環を熱機関の働きで説明する槌田敦の理論のような、能動的に再生産能力に介入でき得るシステムの性質による説明がない、一般的な分析上の概念である。対して、N. ジョージェスクーレーゲンでは3.2節で述べるように、槌田理論との相補性が指摘されており、エントロピー廃棄のメカニズムが能動的に生態系によって担われているとの認識がある。これは、シュレディンガーの動物におけるエントロピー廃棄の認識と並び、エントロピー廃棄のメカニズムについて考えを及ぼしたと言える。

本質的には、N. ジョージェスクーレーゲンの過程の分析的表現、ストック・フロー及びファンド・サービス概念の区分は、新古典派経済学を生産関数、とりもなおさず生産過程の分析において、本質的な時間要素が除外されていることに関する批判である。

端的には新古典派経済学のミクロ的に分割された生産過程の任意の単位について、点関数としての性質を仮定するにはサービスが時間 t に関して同次線形関数の形にならなければならない点が指摘されていることがとりわけ重要である。

N. ジョージェスクーレーゲンは、ミクロ的な分割を行って生産過程における不可逆的現

¹¹⁹ 同書邦訳、314頁

¹²⁰ 同書邦訳、314頁。

象を点関数に還元したとしても、それはあくまで、質的变化を伴う不可逆現象を疑似的に点関数に置き換えたにすぎない事、そのような「退化¹²¹⁾」を行うことによって、新古典派生産関数モデルが環境システムとの物質代謝の間に生じるエントロピー増大法則にしたがった質的变化を見落としていることを指摘しているのである。これは、第 4 章で述べるように、放射線被ばくリスク等の評価において、不可逆的な変化である死亡や障害も、金銭的な価値に置き換えて経済価値評価するロジックが何を欠いているか考えるポイントでもある。

ところで、エントロピー増大法則を踏まえた富の生産過程として、F. ソディもまた富の形成に関する物理的価値に基づく類型を考察している。不変を基本としながらも摩耗していく「ファンド」の性質は、F. ソディの考えた、富の生産のために用いられ、それ自体は利用による摩耗を除き質的变化を受けない、第 II 種の富の性質と共通する¹²²⁾。しかし、ファンド{Fund}という用語がその一部に物質あるいは非物質的な資源の蓄積という意味を含みながらも、一般的には第一義的に金融上の資産を表わすこと¹²³⁾、定義からサービスのフローと関連づけられていることを考えると、F. ソディの考える利用可能エネルギーという物理的な価値に基づく、富の概念に用いるのは両者の差異を考えると不相当であると考えられる。

N. ジョージェスクーレーゲンの考案したファンド・サービスの考え方は、後述する榎田敦の作動物質の循環を実現する、熱機関としての環境システムと生物という概念、H. E. デイリーの「ファンド - サービス資源」、または倉坂秀史による「サービスの缶詰論」¹²⁴⁾、

¹²¹⁾ 同書邦訳、313 頁。

¹²²⁾ F. ソディの富の二類型については 3.4.2 及び 3.4.3 節で再論する。

¹²³⁾ リーダーズ英和辞典 (第 3 版)、及びジーニアス英和辞典には資金的な意味しか載っていない。オックスフォード現代英英辞典 (第 8 版) には派生的な意味として何かの量あるいは供給という意味が載っている。むしろ、N. ジョージェスクーレーゲンは、自己増殖する金融的な資本概念を念頭に、意図的にこの用語を用いたと著者は考える。

¹²⁴⁾ 倉坂秀史 (2002)、『環境を守るほど経済は発展する』、朝日新聞出版、170-172 頁。及び、倉坂秀史 (2006)、『環境と経済を再考する』、ナカニシヤ出版、第 4 章、95-128 頁。倉坂は、ここでサービスの位置づけ、生産物の二つの属性についての詳細な議論を展開した。もともとは、これらの論考は倉坂秀史 (1999a)、「経済学における物質的アプローチの試み (上)」、『千葉大学経済研究』、第 14 号第 2 巻、87-112 頁、及び、倉坂秀史 (1999b)、「経済学における物質的アプローチの試み (下)」、『千葉大学経済研究』、第 14 号第 2 巻、375-412 頁、によるものであり、N. ジョージェスクーレーゲンの理論もその考察の一部としつつ、経済学における廃棄物及びサービスに関する議論を総括し、独自の「サービスの缶詰」理論を展開している。著者には H. E. デイリーのファンド・

「資本基盤」概念の方が近いのではないかと考えられる。倉坂秀史 (2018)¹²⁵では、この「資本基盤」概念は「有用性を与えるメカニズムを備えた存在であり、有用性を与えることによってそのメカニズムはなくならないものと定義される。」、「この概念は、エコロジカル経済学の『ファンド・サービス資源』に相当する。」(同資料、3頁)としている。ここで倉坂秀史は、「エコロジカル経済学」として、後述する H. E. デイリーと J. ファーレイの『エコロジー経済学』¹²⁶を指しているため、H. E. デイリーのファンド・サービス資源の考え方ともその主張は共通することになる。ただし、著者は、N. ジョージェスクーレーゲンのフロー・ファンドモデルで考察された概念は、時間の経過に関連づけられたサービスを提供する主体としてのファンドという一般的な理論モデルであり、その適用を H. E. デイリー流の環境資源の一つとしての位置づけに限定する必要はなく、後述する汚染ファンドという考え方とその位置づけにも適用できると考えている。

2.4.3 N. ジョージェスクーレーゲンと H. T. オダムの問題意識

2.4.3.1 N. ジョージェスクーレーゲンの純エネルギー論批判と熱力学第4法則

さらに実証的な資源利用の持続可能性に関して、N. ジョージェスクーレーゲン独自の考え方として、エントロピー増大法則のなかでも物質（エネルギー資源や鉱物資源を指す）の拡散を利用可能エネルギーの投入によって補い、元の状態を維持することが困難であることを示す「熱力学第四法則」を提唱した¹²⁷。この法則は論文タイトル{*Matter Matters, Too*}にある通り、利用可能エネルギーだけでなく、持続可能な経済活動の条件にとって「物質もまた重要である」という意味である¹²⁸。

サービス論との共通点が多く感じられる。

¹²⁵ 倉坂秀史 (2018)、「人口減少社会で気づく持続可能性の経済学—フロー管理からストック管理へ」、エントロピー学会 2018 年春の研究集会、2018 年 6 月 2 日、講演資料。

¹²⁶ H. E. Daly and J. Farley (2003), *Ecological Economics*, Washington, D. C. : Island Press.

H. E. Daly and J. Farley (2010), *Ecological Economics Second Edition*, Washington, D. C. : Island Press.

及びその邦訳書、H. E. デイリー、J. ファーレイ (2014)、佐藤正弘訳、『エコロジー経済学：その原理と応用』、NTT 出版。

¹²⁷ 第 3 章で参照する室田武による N. ジョージェスクーレーゲンの「エントロピー経済学」の要点のその(4)に相当する。

¹²⁸ N. Georgescu-Roegen (1977), "Matter Matters, Too," in K. D. Wilson, ed., *Prospects for Growth*, New York: Praeger Press, pp. 293-313. 邦訳 N. ジョージェスクーレーゲン (1985a)、小出厚之助訳、「物質も重要である」、小野周ほか編、『エントロピー』、

N. ジョージェスクーレーゲンは、生態学におけるエネルギーの流れについて、A. J. ロトカの考え方を分析した H. T. オダム¹²⁹が、純エネルギーの考え方について述べている論考¹³⁰を酷評した。それは、H. T. オダムによる純エネルギーの考え方が、「生産の迂回過程を一步一步短縮することによって、これを環境からの 1 種類の主要投入物に節約できると主張する人があるかもしれない。」という懸念である。N. ジョージェスクーレーゲンは続いて、一般的な物質とエネルギーの変換公式が資源利用の実際には成立しないと述べている。

「エネルギーと質量の等価を示すアインシュタインの有名な $E=mc^2$ の公式にもかかわらず、われわれの経済活動にとって（または生物活動一般にとって）有意味な物質とエネルギーとの間の公分母は得ることができないのである。エネルギーだけをいじくって物質を生産する方法は全然ない¹³¹。」

すなわち「アインシュタインの等価性は主として物質からエネルギーの方向へ働くという重要な事実を見落としてはならない」とのことなのである。

N. ジョージェスクーレーゲンの指摘は、エネルギーの投入によって物質のリサイクルが無限に可能であるとする幻想を否定するものであり、リサイクル技術に依存して、経済の持続可能性を維持しようとする主張への反論となっている¹³²。しかし、取り上げられた H. T. オダムの指摘は全体として、極めてエコロジー経済学的であり、この指摘によってその価値全体が否定されるべきものではないであろう。H. T. Odum (1973)の主な主張は、現在の人類の文明の生産的設備は化石燃料の大量投入によって支えられた一時的な成長の結果と言えるものであり、その活動の主要なエネルギー源は長期的には太陽光を基本とした循環的なエネルギー利用にあるというものである。その一環として、“1. The true value of energy to society is the net energy, which is what’s left after the energy costs of getting and concentrating that energy are subtracted”¹³³と述べている。つまり、エネルギーの社

朝倉書店、119-140 頁。

¹²⁹ 2.3.2 節で H. T. オダム、R. C. ピンカートンによる A. J. ロトカの原理の評価を述べた。

¹³⁰ H. T. Odum (1973), “Energy, Ecology and Economics,” *Ambio*, Vol. 2, No. 6, pp. 220-227.

¹³¹ 前掲論文、N. Georgescu-Roegen (1977) 邦訳 (1985) 132 頁 7.4 節、「物質とエネルギーの一般的フロー・マトリックス」における記述参照。前後二つの出典箇所も同じ。

¹³² 第 3 章で参照する室田武による N. ジョージェスクーレーゲンの「エントロピー経済学」の要点のその(2)、(3)に相当する。

¹³³ H. T. Odum (1973)、Section 1 の見出しにおける定義。

会についての真の価値は、その採取の際に必要な獲得及び濃縮のエネルギーコストを差し引いた後に残る純エネルギーである、としたのである。

さらに、H. T. オダムは原子力発電のネットエネルギーについて懐疑的だった。”15. Nuclear energy is now mainly subsidized with fossil fuels and barely yields net energy”¹³⁴すなわち、原子エネルギー利用はその化石燃料からの補助なしにはほとんど純エネルギーは産出していないとしたのである。この点に関して、将来的にはオダムは核融合及び高速増殖炉が純エネルギーを産出するかもしれないという可能性を示している¹³⁵。これは、これらの技術が生み出す膨大なエネルギーに着目したものと考えられるが、一方で純エネルギーを定義する際に、オイルシェールを例にとり、その採掘、加工、濃縮、輸送、環境配慮のエネルギーコストを挙げている¹³⁶。後述するように、室田武や槌田敦がこれらの技術による膨大な環境汚染とその対策、封じ込めの労力を懸念して、その将来性を否定したことと、本質的には矛盾する主張ではないだろう。

このように N. ジョージェスクーレーゲンの分析対象は、主に彼自身のもともとの専門である統計学及び産業連関に関する数量分析手法の応用として経済過程を分析的に表現し、エントロピー増大法則の適用を図ったこととも言えるとしても、多岐に渡っており、かつエネルギー投入をつづけた場合すら物質的持続可能性について悲観的見通しを示したことから、経済成長に沸く当時の経済学者の評価は思わしくなく、「刊行当時、「ニューヨークの摩天楼が砂に沈む頃、一世を風靡するであろう（サムエルソン）」と評された¹³⁷。」とされている。

また、原子力発電については分析的には取り扱っていないが、経済過程のエントロピー的性質に対して、何等かの技術的な進歩によって「エントロピーを密造」できるとするのは間違いであるとする。とりわけ、(プルトニウムの)高速増殖炉を「消費する以上の燃料を作り出せる」炉として賞揚した、何人かの原子力専門家たちの誤れる売り込みに端

¹³⁴ 同論文、Section 15 の見出しにおける主張。

¹³⁵ 同論文、Section 6 内における核融合及び高速増殖炉に関する記述。

¹³⁶ 同論文、Section 3 における指摘。

¹³⁷ N. ジョージェスクーレーゲン (1993)、高橋正立・神里公他訳、『エントロピー法則と経済過程』、みすず書房、カバーより (N. Georgescu-Roegen (1971)の邦訳書)。また、N. ジョージェスクーレーゲン (1981)、小出厚之助・室田武・鹿島信吾編訳、『経済学の神話』、東洋経済新報社、編訳者あとがき、280 頁より。

を発している」¹³⁸としてこの考えを「エントロピーの密造の誤謬」¹³⁹として批判している。すなわち、原子エネルギーを取り出すための燃料、装置ですら、エントロピー増大法則と中でも物質的な資源の消費が避けられないとしているのである。

このように碩学、N. ジョージェスクーレーゲンの洞察は広く、その提起は多岐に渡って人類の持続可能性への見通しを述べているが、エントロピー増大法則と経済システムの関係性について論じた先駆者である F. ソディについての言及は欠けていた。このため、その評価についても検討することはできないが、おそらく、F. ソディを評して、利用可能エネルギーの流れに着目して生態系と環境システムを理解するだけでは、エントロピー増大法則を踏まえた環境システムの理解としては不十分であるという評価になるのではないだろうか。

2.4.3.2 希少性、経済価値とエントロピー法則

その上で、利用可能エネルギーの獲得に向けての人類の技術的発展を予想した F. ソディとの大きな違いとして、N. ジョージェスクーレーゲンは人類の発展、経済発展について以下のように低エントロピーに向けての発展（あるいは闘争）との見解を述べている。

（前略）経済発展はただ2つの要素に煮詰められる。本来の発展、すなわち低エントロピーのうちどうしても廃棄物となってこぼれ落ちてしまう割合を減少させるよう、それをふるいわけするより目の細かいふるいを開発すること、それから純粹の成長、すなわち、既存のふるいを利用してふるいわけの過程を拡大すること、である。人類の経済史をふりかえれば、人間のこのエントロピーのための闘争については疑う余地がない。

出典：N. Georgescu-Roegen (1971)、邦訳書 378 頁。

¹³⁸ N. ジョージェスクーレーゲン (1981) 第 2 章「エネルギーと経済学の神話」 「エントロピーの密造」 92 頁。

¹³⁹ 前掲書、N. ジョージェスクーレーゲン (1981)、第 2 章「エネルギーと経済学の神話」 「エントロピーの密造」 91 頁。なお、エントロピーの密造という言葉で、N. ジョージェスクーレーゲンは、エントロピー増大法則に反する形でのエントロピーの増加を意味しているのではなく、低エントロピーあるいはエントロピー量の差異を、この法則に反して作りだすこと（そして、それを利用可能エネルギーに変換すること）を密造と呼び、存在の可能性を排除しているのである。

このように、彼の分類は、低エントロピー資源の獲得の効率性の向上と、低エントロピー資源の獲得量全体の過程の拡大の二側面からなる。そして、このような「エントロピーのための闘争」という人類史の捉え方は、エネルギー資源獲得の競争と見なされがちな人類史の捉え方、それは一方で現在の資源獲得競争と言われる世界経済の状況にも通底する捉え方であり、人類にとって真に希少な資源とはなんであるかという問いを投げかけたものである。

この点に関して、N. ジョージェスクーレーゲンは、「私の立場はこれまで（そして今でも）、エントロピーの法則が経済的希少性の主原因であるとするものである。この法則が作用しない世界がもしあれば、同一のエネルギーを人が望む回転速度で繰り返し利用することが出来、物質的対象は決して摩損しないであろう¹⁴⁰。」と述べている。

このような希少性の根源をエントロピーないし、その表裏一体の存在である利用可能エネルギーに求めることは、第3章で述べる F. ソディの物理的な富についての考え方と共通する。物理的な価値を経済過程における財に当てはめることには、批判もされてきたが、経済的な価値と物理的な価値が異なることと、その存在のどちらが人類社会にとって本質的に必須のものであるかについての議論は、持続可能な経済社会の在り方を考える際に避けて通れない問題である。なお、結論に関連して、第6章ではこの問題についての大崎正治による総括についても述べる。

エネルギー資源を用いればエントロピーの増大法則に伴う物質の拡散と利用可能エネルギーの散逸に抗して、生産と消費の規模を拡大させることができる。この点に関しては、N. ジョージェスクーレーゲンは「熱力学第4法則」の考え方を提示し、また「物質も重要である」点を明確にして、その永続性について否定した。そこから得られる推論として、仮に、原子エネルギーの制御及び利用に人類が成功したとしても、それによるエネルギー資源の無制限の供給による持続的な経済成長という概念もまた、無理があることを示している¹⁴¹。これらのことから、N. ジョージェスクーレーゲンの経済学においては、原子エネルギーの制御と利用に関する肯定的見通しは、完全に消滅しているとみることができる。

¹⁴⁰ 前掲書、N. ジョージェスクーレーゲン (1981)、小出厚之助訳、『経済学の神話-エネルギー、資源、環境に関する真実』、東洋経済新報社。

¹⁴¹ N. ジョージェスクーレーゲン (1985b)、小出厚之助訳「自立的技術体系のプロメテウスの条件」、小野周ほか編、『エントロピー』、朝倉書店、141-158頁。

2.4.4 H. E. デイリーのエコロジー経済学

2.4.4.1 最適規模の環境マクロ経済学

N. ジョージェスクーレーゲンの教えを受け、そのエコロジー経済学についての貢献を評価しているのは、H. E. デイリーである。しかし、彼の主張する「最適規模の環境マクロ経済学」{The Environmental Macroeconomics of Optimal Scale¹⁴²}の様相はかなり異なっている。H. E. デイリーは、「生態学的なシステムという全体と、経済という下位システムの境界をまたいでおこなわれる物理的な交換が、環境マクロ経済学の主題を構成する¹⁴³。」とした。その上で、N. ジョージェスクーレーゲンの経済の物質的な持続可能性に関する悲観的な見通しの前提条件を踏襲しながらも、規模の限界を踏まえた質的向上のある定常経済に向けて、経済政策の運営を一定の優先順位で行っていくべきとしているのである。

H. E. デイリーが3つの経済問題として挙げているのは、例えば H. E. Daly (1996)¹⁴⁴、ならびに H. E. Daly and J. Farley (2003), (2010)¹⁴⁵ の著書、*Ecological Economics* においては、以下の項目である¹⁴⁶。

- (1) 経済規模の（最適な）最大値を想定すること
- (2) 富の公正な分配を図ること
- (3) 資源の効率的配分を行うこと

H. E. デイリーはこれらの順番が通常の経済学では逆になっており、とりわけ、経済規模の最適な値はどこなのか、という点について明確に問わず、際限ないスループットの拡大を、良いものとするあり方を{Growth Mania}「成長狂」の経済学とした。

上述した環境マクロ経済学は、単に「エコロジカル経済学」{Ecological Economics}は、とも称されているが、その基本的な考え方は、エントロピー増大法則及び質量・エネルギー保存法則に従う自然環境システムの中に内包された経済システムという考え方である。

¹⁴² H. E. Daly (1996), *Beyond Growth, The Economics of Sustainable Development*, Boston: Beacon Press, p.48. 邦訳 H. E. デイリー (2005)、新田功・蔵本忍・大森正之訳、『持続可能な発展の経済学』、みすず書房。邦訳 70 頁参照。

¹⁴³ H. E. Daly (1996)、邦訳、70 頁。

¹⁴⁴ 同書邦訳、224-225 頁。

¹⁴⁵ 前掲の H. E. Daly and J. Farley (2003)、及びその第二版、H. E. Daly and J. Farley (2010)と、その邦訳版 H. E. デイリー、J. ファーレイ (2014) を参照。

¹⁴⁶ これらの項目については、丸山真人 (2014)、「エコロジー経済学と生命系の経済学」、『経済学論叢』、第 65 巻第 3 号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、93-121 頁によるまとめを参照した。

スループットの重要性をはじめとするその経済学の特性は H. E. Daly (1996)によれば、以下の通りである。

標準的な成長経済学が有限性とエントロピーと生態学的な相互依存性を無視しているのは、その分析以前のビジョンの中にスループット概念がないからだ。

(中略) 経済学者のビジョンの中にスループット概念がないことは、経済が環境と全く交換を行わないことを意味する。その含意は[経済が]自給自足の孤立したシステム、つまり巨大な永久運動機械ということだ。(中略) しかし、経済学者も含め、あらゆる人が、経済が環境から原料を取り出し、環境に廃棄物を返すということをきわめてよく知っている。それではなぜ、この議論の余地のない事実が、循環フローのパラダイムにおいて無視されているのだろうか。経済学者は希少性に関心をもっている。稀少でないものは捨象される。環境という供給源かつ廃棄場は経済の需要に比べると無限であるとみなされ、経済理論の形成期においては事実このとおりだった。したがって、それは非現実的な捨象ではなかった。しかし、スループットの供給源と廃棄場が明らかに希少になるまでに経済規模が拡大してしまった後では、スループット概念を捨象したままであることはおおいに非現実的だ(たとえこの新しい絶対的な希少性が相対価格に反映されないとしても)。循環フローのモデルにあてはまらないスループットの規模の拡大の影響を考慮するために、「外部性」を場当たりに導入するという現在の慣行は、天体観測の結果が天体の理論的な循環運動から乖離していることを説明するために、周転円[一つの円周上を動く点を中心とする小さい円]を利用するようなものだ¹⁴⁷。

H. E. デイリーがここで低エントロピーの原料から高エントロピーの廃棄物への流れを想定し、そのスループットの供給源と廃棄場として環境システムを捉えている点は興味深い。その対照物は、新古典派経済学における環境システムとのやり取りのない「永久運動機械」としての市場経済モデルである。

また、あえて「経済学者は希少性に関心を持っている。稀少でないものは捨象される」

¹⁴⁷ H. E. Daly (1996)、邦訳 46-47 頁。

との文言を用いているが、これは本論文の序章及び3章で論じているC. メンガーの経済学の「二つの方向性」から「節約化の方向性」のみへと、経済学の扱う問題領域が狭くなっていった事情と対応している。ある意味、H. E. デイリーも、このような経済学の問題領域の縮小に対し、反論を試みているのである。その理由として挙げているのはやはり、規模の限界を超えた市場経済の拡大という問題である。

2.4.4.2 カウボーイ経済学から低エントロピー物質とエネルギーの管理へ

H. E. デイリーは、その最適規模や規模の限界という概念の導入に際し、K. E. ボールディングによる「宇宙船地球号の経済学」¹⁴⁸を参照している。つまり、資源の有限性を意識する必要のない、常に未開拓のフロンティアが存在するという意味での西部開拓時代のアメリカ的な「カウボーイ経済」と、厳しい物質的制約の中で、全ての物質を循環的に使用せざるを得ない「宇宙飛行士の経済」である¹⁴⁹。前者においては配分の問題だけがあり、規模の問題は生じない。後者においては規模の制約は絶対的で、配分はその制約の中で一体として行われる。

この問題をどう扱うかについて、H. E. デイリーは、「規模の問題と配分の問題が融合しないのは、カウボーイと宇宙飛行士の間領域においてだけだ。しかし、ボールディングが認識していたように、いまわれわれが期せずして居合わせているのが中間領域だ¹⁵⁰。」として、それは「既存の経済規模は環境に比べてけっして無視しうるものではない」かつ「生態系の物質・エネルギー変換の大部分が価格ないし中央集権的計画のいずれによっても人間の管理に服さない¹⁵¹」ことを理由に挙げた。

以上の考えから、適切に生態系からの物質、エネルギー及び廃棄物の流れを適正規模に制御する必要がある。

H. E. デイリーは、N. ジョージエスクレーゲンの考えを手短に紹介する際に、砂時計の模式図を用いてこの概念を説明した。砂時計を用いる理由は、それが閉鎖系で、かつひ

¹⁴⁸ K. E. Boulding (1966), "The Economics of the Coming Spaceship Earth," *Environmental Quality in a Growing Economy - Essays from the Sixth RFF Forum*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

¹⁴⁹ H. E. Daly (1996)、邦訳「カウボーイか宇宙飛行士か、それとも無神経な無骨者か」、82-83頁。

¹⁵⁰ 同書邦訳、83頁。

¹⁵¹ 同書邦訳、83頁。

つくり返さない限り、不可逆な変化を引き起こすエントロピー増大法則と時間の不可逆性
とに規定されているからである。H. E. デイリーは以下のように低エントロピー資源のフロ
ーとストックについて述べる。

砂時計の上の部屋の砂を低エントロピーの太陽エネルギーのストックとみなす
ことによって、適用範囲を拡張できる。太陽エネルギーはフローとして地球に到
着し、フローの量は砂時計の中央のくびれによって決定される。このくびれが砂
の流率、つまり太陽エネルギーの地球へのフローの割合を制限する。遠い昔の地
質時代に、落下中の砂の一部が下の部屋のガラス面に張り付き、それが全部落ち
きってしまうまでは下の部屋のいちばん上部にあると仮定しよう。これが地球上
では低エントロピーの物質・エネルギーという天賦の財産、つまりわれわれ自身
が選択した割合で使い切ることができるストックになる¹⁵²。

したがって、限られた利用可能資源のストックから、使ってゆくスループットのフロー
の資源の量を制限しなければ、持続可能な経済は実現しない。これが H. E. デイリーの提
唱する定常経済という考え方の根拠である。

2.4.4.3 H. E. デイリーのストック・フロー、ファンド・サービスについての考察

H. E. デイリーは経済的富の算定方法について、I. フィッシャーと A. C. ピグーのアプ
ローチ¹⁵³を比較した¹⁵⁴うえで、質の異なるものは同じに計算するべきではないし、豊かさ
について「われわれはつねにサービスだけを所得とみなし、またサービスを生み出すもの
を資本とみなすべきだ。¹⁵⁵」と述べた。そして、計量手段として言及するのが、N. ジョー
ジェスクーレーゲンが述べた、ストック・フロー及びファンド・サービス資源の考え方で
ある。H. E. デイリーによれば、これらの用語と意味は次のように定義される。

1. **蓄積**（あるいはフィッシャーの意味での「資本」）とは、消費財、生産財およ

¹⁵² 同書邦訳、40 頁。

¹⁵³ A. C. Pigou (1920), *The Economics of Welfare*, London: Macmillan.

¹⁵⁴ H. E. Daly (1996)、邦訳、155 頁。

¹⁵⁵ 同書邦訳、156 頁。

び人体からなる在庫の合計のことだ。蓄積は、ファンドかストックのいずれかの形をとる。ストックとは同じものからなる、あるいは同質的な物質からなる、定まった形のない在庫のことだ。それは一度に少ししか使われない。すなわち、残りのものが何らかの影響を受ける前に、ある部分がすべて使われてしまうようなものことだ（たとえばガソリン）。ファンドとは、定まった形をもつ有機的全体のことであり、そのすべての部分が同時に関与しなければならず、それは全体として減価する（たとえば自動車）。ストックは消耗し、ファンドは陳腐化する。両者はともに取り替えが必要だ。

2. **サービス**とは、欲求が充足されたときに経験する満足のことだ（アーヴィング・フィッシャーの意味での心理的所得）。サービスは蓄積（ストックとファンド）によって生み出される。ストックとファンドの量と質とが、サービスの集約度を決定する。サービスは長期間にわたって生み出され、したがってフローの大きさであるかのように思われるが、本物のフローとは異なってそれは蓄積されない。
3. **スループット**とは、物質とエントロピー的な物理的フロー（自然を供給源とし、人間の経済を通過して自然の廃棄場に戻るフロー）のことだ。それはストックとファンドの中に蓄積され、それによってストックとファンドが取り替えられ、維持される¹⁵⁶。

これらの考え方で興味深いのは、一見、前述した N. ジョージエスクーレーゲンのファンド・サービス概念と同じ概念でありながら、H. E. デイリーのそれは、適用を環境システムと市場経済の物質的、エネルギー的なやり取りに限定して定義されており、また、時間に関わる包括的な性質についてではなく、物質やサービスとしての可算性、分割可能性、物質性及び非物質性に関して分類されていることである。また、K. E. ボールディングによる影響で、スループットを定義し、これが市場経済システムと環境システム（自然資源の供給源として、廃棄場として）をつなぐ、適正規模の経済を決定する際の判断指標となる物理的フローとして位置づけられていることである。このスループットたる物質的資源の重要性を端的に表現すれば、「[製品]Y は[自然資源のインプット量である]R が体現する物質

¹⁵⁶ 同書邦訳、158 頁。

量及びエネルギー以上のものを体現することはできない」¹⁵⁷のである。

これらの概念及びその計量方法を前提として、H. E. デイリーは、経済的な豊かさを表わすと考えられている GNP に代わる概念として以下の変換式を用いた分析を提案した。

すなわち、A が蓄積（ストックとファンドの両方）、S がサービス、T がスループットとしたときの次式である。

$$S/T=S/A\times A/T$$

これは左辺を同値になるよう右辺で変形しただけである。しかし、これによりスループットあたりのサービスを増やすには、蓄積あたりのサービスを増やすことと、スループットあたりの蓄積を増やすことが望ましいことが分かる。スループットは低エントロピーの環境資源の減少と、高エントロピーの廃棄物による環境汚染を生み出すため、最大のサービスと最小のスループットが望ましいが、それを支える蓄積に関しては、「生態学的に持続可能な一定のスループット」に対して「最大量のストック」と、「ストック単位あたり最大のサービス」が望ましいというわけである¹⁵⁸。なお、生産過程全体については「変換過程に必要とされるエントロピー的な劣化があり、製品のアウトプット・フローのエントロピー及び廃棄物のアウトプット・フローのエントロピーの和は、資源のインプット・フローのエントロピーよりも高くなる」¹⁵⁹としている。この点についての著者の考えは第3章の「エントロピー増大を含む生産過程の関数的表現と差異を利用した価値生産」の節で考察する。

H. E. デイリーが提起した、スループットあたりのサービスを最大化するという方向性は、経済の非物質化を進めるという主張につながりやすい。しかし、H. E. デイリーは、この点に関しては N. ジョージェスケーレーゲンによる経済過程へのエントロピー法則の適用と、その物質的な限界という基本的立場を踏襲している。しかし、原子エネルギー利用技術に関する考え方は、N. ジョージェスケーレーゲンよりも肯定的であり、ある意味、原子エネルギー利用の黎明期における環境汚染の過少評価に先祖返りしているように見える。

H. E. デイリーは市場経済は自然によって付加された価値を人間が物質に付加した価値

¹⁵⁷ H. E. Daly (1999), “Neoclassical production theory and alchemy,” *Ecological Economics and the ecology of economics: essays in criticism*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 89-94, p.91.

¹⁵⁸ H. E. Daly (1996)、邦訳、158-159 頁。

¹⁵⁹ H. E. Daly (1998)、前掲論文、p.91 を参照。

に加えて消費する¹⁶⁰、としており、この自然により付加された価値はいわば補助金として経済を支えてきた¹⁶¹、としている。その上で、この補助されてきた資源の入手可能性を拡大する要因としての知識に原子力を挙げている。

もちろん、新知識には、新たな低エントロピー資源の発見や、人間のニーズによりよく奉仕するようにそうした資源を変換する新たな方法（たとえば、原子力）の発見も含まれる。しかし、新知識はまた、新たな限界と新たな費用も発見する（原子力に付随する放射能はガンの原因となる）。新知識は常に驚きを伴う。そうした驚きがいつでも心地よい驚きであると仮定できる保証はない¹⁶²。

以上のように、留保条件つきながら資源の入手可能性を拡大する新知識として「原子力」を挙げているのである。ただし、後に、H. E. デイリーは、環境による汚染吸収能力がない物質の例に、水銀などの重金属と並んで放射性廃棄物を挙げた¹⁶³。これは室田武、槌田敦らの日本のエントロピー経済学が、原子力のネットエネルギー産出の困難さや、放射性廃棄物が環境システム中での作動物質の循環に取り込まれ得ない性質を、資源枯渇よりも捨て場の枯渇として批判してきた方向性と同じである。

ただし、重金属と異なり、拡散、希釈された場合でも確率的な影響が広範囲に及ぶ放射性廃棄物を、環境による吸収能力との相対関係で二酸化炭素、フロン、重金属と並列するのでは、不十分ではないかと著者は考える。近年の著作、H. E. Daly (2014)では、CO₂に

¹⁶⁰ H. E. Daly (1996)、邦訳、95 頁。

¹⁶¹ 同書邦訳、96 頁。

¹⁶² 同書邦訳、97 頁。

¹⁶³ この留保条件についてその後 H. E. デイリーがいかに重視したかを述べると、以下の通りである。H. E. Daly and J. Farley (2010), *Ecological Economics Second Edition*, Ch.7 From Empty World to the Full World p.120 では、{Heavy metals are highly toxic to humans. As these metals are elements, there is no waste absorption capacity per se; (中略) Nuclear wastes are also elements and far more toxic than other heavy metals (中略) At minimum, we must sequester such waste for ten times that long-nearly fifty times as long as civilization has existed.}と述べている。これは、重金属は元素であるため、その人間への有害な影響には環境による汚染吸収能力がない、と述べた後であるため、放射性廃棄物もまた元素であるため、汚染吸収能力がない、ということになる。この箇所では環境による汚染吸収能力がない例にフロンガスも挙げており、「そうした驚きがいつでも心地よい驚きであると仮定できる保証はない」、という流れの中で原子エネルギーの利用を評価しているように解釈できる。

よる温室効果と温暖化の防止について「気候政策：ノウハウ{know how}から今やる{do now}へ」と題して論じ¹⁶⁴、炭素課税を推進する一方、原子力発電についての言及は、別の箇所
で1970年代の原子力発電所建設反対への参画について述べる¹⁶⁵に留まる。炭素課税は、相
対的に原子力発電を利するため、扱いについては注意が必要と考える。

このようなエコロジー経済学における原子エネルギー利用及びその汚染への評価の違い
は、本論文の主要な論題でもあり、第3章とあわせて総合的に論じてゆく。

2.4.4.4 H. E. デイリーの環境マクロ経済学、エコロジー経済学の要点

以上に述べた H. E. デイリーの「エコロジカル・マクロ経済学」の項目の要点と具体的
な資源の持続可能な利用に関する見解は、著者の理解によって総括すれば、以下の通りで
ある。

1. 市場経済システムは外部のより大きな環境システムに包含されており、その物質的な収
容能力の限界に規定されている。
2. 環境の物質的な収容能力の限界に近づくと、経済成長{economic growth}は、その環境
汚染や資源枯渇といった悪影響が表面化し、不経済成長{uneconomic growth}へと変化し
ていく。この段階で名目的な経済成長を追い求めることは、人々の生活水準の実質的な
低下をもたらす。したがって、物質及びエネルギー的なスループット{throughput}を一定
に保ちながら、生活の質（文化、教養そのほか）を向上させていく、定常経済{steady state
economy}が望ましい。
3. 環境システムの物質的な収容能力の限界内に収まる範囲では、経済システムの分析に対
し、既存のミクロ経済学、マクロ経済学（新古典派経済学およびケインズ経済学）は有
効である。限界に近づくと、あるいは超えて、環境上の問題が生じている場合は有効では
ない。
4. 資源利用の持続可能性については以下の3条件を提案した。
 - 4.a 汚染排出量は、環境の吸収能力を上回ってはならない。
 - 4.b 再生可能資源の消費ペースは、その再生ペースを上回ってはならない。

¹⁶⁴ H. E. Daly (2014a), "Climate policy: from 'know how' to 'do now'," *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 87-92.

¹⁶⁵ H. E. Daly (2014b), "Renewable Ignorance," *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 166-168.

4.c 再生不可能な資源の消費ペースは、代替的な再生可能資源が開発されるペースを上回ってはならない。

さらに、自然資源に関連して持続可能性についての二つの類型を提示した。

“keeping natural capital constant is often referred to as “strong sustainability” in distinction to “weak sustainability” in which the sum of natural and manmade capital is kept constant.”¹⁶⁶

このように、自然資本の量を一定に保つのが「強い」持続可能性、自然資本と人工資本との合計量を一定に保つのが「弱い」持続可能性である。

以上のような要点は、H. E. デイリーの近年の著作である H. E. Daly (2003)、H. E. Daly (2010)や、現在に至る著作をまとめた H. E. Daly (2014)においても、共通して主張されている。

H. E. デイリーの市場経済の制御に関する考え方は、根本的には市場経済の膨張限界に達するまではマイクロ及びマクロ経済政策による制御が有効であり、限界に到達することを防ぐ定常経済{steady state economy}のために、スループットを制限し、質的な成長はあっても資源及びエネルギーの消費を抑えていくことの提案である。最適規模を考慮して市場を用いた経済政策を段階的に組み合わせよとの主張は、H. E. デイリーの環境マクロ経済学の主張の初期段階から見られるが、H. E. Daly (2003), (2010)では、著作の構造が、ほぼそのままのマイクロ経済学、マクロ経済学をエコロジー経済学の構想の一部として位置づけている。マイクロ及びマクロ経済学による市場システムの分析にエコロジー経済学的な限界について論じた理論を加えるという形式、すなわち、適用の量的限界を示した上での新古典派経済学（+ケインズ経済学）とエコロジー経済学の併記というスタイルである。

丸山真人 (2014)は、H. E. デイリーについて「市場に環境を従属させる経済モデルから、環境に市場を従属させる経済モデルへと、パラダイムをシフトさせた点に最大の功績がある。また、元世銀エコノミストとしての経験を活かして、金融政策、財政政策、通貨政策の各分野において、経済規模の上限設定がどのような制度的変革をもたらすことになるの

¹⁶⁶ H. E. Daly (2007), *Ecological Economics and Sustainable Development*, Selected Essays of Herman Daly, Cheltenham: Edward Elgar. Chapter 5. Previously published as “The Illth of Nations: When Growth Becomes Uneconomic”, in *Managing Sustainability World Bank-Style* (An Evaluation of the World Development Report 2003), Washington, D. C. : Heinrich Boell Foundation, August 2002.

かを具体的に示した点は画期的と言えよう。」¹⁶⁷と評価している。

H. E. デイリーの業績に関してさらに付け加えれば、F. ソディのエントロピー経済学の先駆的業績は、第3章で述べる室田武 (1979b)による指摘のほかに H. E. Daly (1980)¹⁶⁸が指摘したことを挙げることができる。

また、前述したとおり、エコロジー経済学、エントロピー経済学における自然界のエネルギーの流れ、人類による利用、そして原子エネルギーの位置づけという観点で見ていく場合、H. E. デイリーは F. ソディの制御可能性に関する楽観が、N. ジョージェスケーレーゲンによる悲観に変わった後、また改めて楽観主義に先祖返りしているように見える。この要因は、H. E. デイリーもまた、利用可能エネルギー及び資源のフローを低エントロピーのフローとして捉えており、これが N. ジョージェスケーレーゲンの言う「低エントロピーの密造」たる原子エネルギー利用への評価につながっているのではないかと考えられる。

また、新古典派経済学の適用限界について、量的限界を提起しているが、その絶対量や移行についての考察が薄い。ある意味、問題が生じない範囲は適用し、問題が生じたら適用限界、という同義反復的、または自己循環的な定義により境界を定義しているようにも見える。この点、ミクロの生産プロセスを含め、普遍的な不可逆性を見落としを強調した N. ジョージェスケーレーゲンの新古典派経済学批判からの後退とも評価されるであろう。

反対に、第3章で取り上げる日本のエントロピー経済学の代表的論者である室田武、槌田敦、玉野井芳郎はいずれも原子エネルギー利用による、人類の資源獲得の可能性の革新に否定的であり、汚染と破壊をもたらす可能性を重視している。この違いは、作動物質の循環、循環資源の更新を担う地球環境の熱機関としてのシステムの性質を重視するかどうかの違いだと考える。

次節では原発事故を契機に再度注目が集まった、不可逆過程を重視した K. W. カップの議論を再評価する。

¹⁶⁷ 丸山真人 (2014)、98 頁、1.2 節。

¹⁶⁸ H. E. Daly (1980), "The Economic Thought of Frederick Soddy," *History of Political Economy*, Vol.12, Issue 4, pp. 469-488. この論文は以下の書籍に再録された。H. E. Daly (1996), *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Boston: Beacon Press. 邦訳は以下が最初である。H. E. デイリー (1984)、桂木健二訳、「フレドリック ソディの経済思想」、『社会環境論ワーキングペーパー』、第11号、富山大学教養部環境科学研究室。

2.5 不可逆的過程へのK. W. カップの「社会的費用」アプローチ

K. W. カップは、制度学派に位置づけられることが多い、批判的経済学者である。公害及び環境問題に関する先駆的な業績で知られており、K. W. Kapp(1950), *The Social Costs of Private Enterprise* (私的企業の社会的費用) と、より一層明確に社会的費用の性質を論じた K. W. Kapp (1970), “Environmental Disruption and Social Costs” が環境汚染と経済学の関係性について論じたものの代表的著作である。H.E. デイリー(2005)の翻訳者、大森正之は、訳者あとがきで K. W. カップ及び制度学派の影響を受けて形成された学派を日本の環境経済学の第一世代としている。

わが国の環境経済学は、多数の悲惨な犠牲者を出した戦後復興期以来の産業公害と、理論的かつ実践的に格闘する中で形成されてきました。著者が僭越ながら、その第一世代の達成とみなしているのは、まず政治経済学（マルクス経済学を含む）の伝統と文脈にそくしつつ、戦後のアメリカを舞台として環境問題に取り組んだ制度主義の経済学者カップ（K. W. Kapp）の提唱する「社会的費用論」を批判的に発展させた、都留重人先生や宮本憲一先生らに代表される一連の研究者の業績です¹⁶⁹。また宇沢弘文先生に代表される、制度主義経済学者ヴェブレン（Thorstein Veblen）の知的伝統を踏まえた業績も重要です。

以上のように述べているのである。

ここに示された研究者に関しては都留重人、宮本憲一らの系譜は寺西俊一から大島堅一、除本理史¹⁷⁰らに受け継がれている。また、T. ヴェブレンと宇沢弘文の業績の系譜は、明確にどの論者に受け継がれているか見出すのが困難であるが¹⁷¹、宇沢弘文の社会的共通資本

¹⁶⁹ H. E. デイリー (2005)内の大森正之「わが国におけるデイリー研究」、325-326 頁。

¹⁷⁰ 大島堅一・除本理史 (2012)、『原発事故の被害と補償—フクシマと「人間の復興」』、大月書店。

¹⁷¹ 例えば、日本政策投資銀行の研究所が宇沢先生の指導のもとで社会的共通資本をめぐる研究会を主宰して、その成果は東大出版会からシリーズで発表されている。おそらくこの研究会に集った人々および宇沢ゼミの出身者らが緩やかに結びついてヴェブレンや宇沢の考え方を継承しているのではないだろうか。宇沢弘文 (1991)、『日本企業のダイナミズム』、ECONOMIC AFFAIRS - 1、日本政策投資銀行設備投資研究所、東京大学出版会、他。また、宇沢弘文 (2016)、『宇沢弘文傑作論文全ファイル』、東洋経済新報社、では、J. E. ステイグリッツが学生時代に大きな影響を受けたことを記している。

の概念¹⁷²は、制度的、文化的な概念を含む近年の制度的資本の考え方に受け継がれているのではないかと考えられる。直接的には宇沢弘文の晩年の活動が社会的弱者への配慮を中心としたものだったことを考えると、規範的な考察を重視する日本のエコロジー経済学研究者には大きく影響を与えたと言えるのではないかと。

これに対し、K. W. カップの考え方は、新古典派経済学による環境問題の「外部性」としての認識を補完する形での「社会的費用」の概念と捉えられることも多い。これは、A. C. ピグーによる私的費用と社会的費用との乖離として捉えられた外部性、という認識構造における「社会的費用」である。

しかし、新古典派経済学による外部性の内部化に伴う社会的費用は、当該の市場を経由しないで直接ないし、他の市場を通じて作用する効用及び生産に対する影響の金銭価値と、企業等の生産要素に対する支払い等の私的費用との合計値という意味しかなく、K. W. カップの考えた以下の要素は、独自の構想である。K. W. カップはまず、大前提として私的企業の引き起こす社会的損失の価値を決定することは、経済学者が分析に主観的な価値判断を持ち込むことになるかと批判する。

個々の経済学者は私的生産が惹き起した損害や損失の「社会的価値」を「科学的に」決定する方法を持たないのである。彼自身の標準や好みでこれらの社会的損失を評価することは、非常に主観的な価値判断を経済分析の中に持込むことを意味し、それらから導きだされた結論を同様に主観的・恣意的・非科学的ならしめるであろう（原注 4）¹⁷³。経済学と個々の経済学者とは、一方では各種の生産過程や事業慣行、他方では社会的損失や損害の両者の間の因果関係を明らかにする以上のことはなしえないのである。同様に社会的損失や損害の事実に関する証拠を提示し、比較的有形的な損失のおおよその大きさについての貨幣尺度による各種の推定値を提供することも科学的研究の領域内にある。しかしいずれにしても、社会的費用の大きさの最終評価については仮定が許されるのみであり、そのあと

¹⁷² 宇沢弘文（2000）、『社会的共通資本』、岩波新書。

¹⁷³ 原注 4 では、社会的費用を無視することによっては主観的な判断を経済分析に持込むことを避けられるわけではない事を述べている。それは全ての社会的損害にゼロの価値を賦与することになるから、とのことである。

の理論的および実地的な結論はこのような仮定のいかんによるのである¹⁷⁴。

このように、環境汚染による損失が、交換可能な経済価値によってあらわされるものだけでない場合、とりわけ、経済価値によってその評価を行うことの弊害について述べているのである。

カップの社会的費用は、通常的环境汚染等の外部費用の他に、死亡、環境破壊等の不可逆的な損失、あるいは絶対的な損失を含んでおり、交換可能性を前提とする経済価値単位で測定された、通常のコスト概念とは異なる。

この考え方は、新古典派経済学になく、K. W. カップにある「不純物」のようにみえがちだが、環境汚染や生物の死といった、不可逆的過程の背景にある、エントロピー増大法則と時間の不可逆性という現象を余さず概念化することの必然なのである。

K. W. カップによる社会的費用の考え方、それが経済価値やそれへの市場外的な干渉を表わす外部性では表しえないものを含むとの指摘は、K. W. Kapp (1970)ではより明白である。交換可能性を前提にして、価値尺度財に対するその相対的な交換比率とその量を示すものとしての経済価値以外の要因を対象としている。

廃棄物を環境に投棄することによって生ずるこのような「自然資産の減耗」ならびにその結果として引き起こされる環境破壊は人間や社会にたいする負のサービスおよび損害の「フロー」をともなっており、伝統的な市場の流れとは異なっている。このような負のサービスや損害は、どのような意味においても交換されない。それらは市場価格をもたない。つまり、それらはむりに環境に押しつけられるのであり、環境の悪化を媒介として人間に強制的に加えられるものである¹⁷⁵。

K. W. カップのこのような考え方の延長上にあり、放射線被ばくリスク、原発事故による汚染の問題と環境経済学の接点について論じた研究は、以降で述べる寺西、大島、除本

¹⁷⁴ K. W. Kapp (1950), *The Social Costs of Private Enterprise*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press. 邦訳書 K. W. カップ (1959)、篠原泰三訳、『私的企業と社会的費用—現代資本主義における公害の問題』、農林水産業生産性向上会議。

¹⁷⁵ K. W. Kapp (1970), "Environmental Disruption and Social Costs: A Challenge to Economics," *Kyklos*, Vol. 23, Issue 4, pp. 833-848. 邦訳: K. W. カップ (1975)、柴田徳衛・鈴木正俊訳、『環境破壊と社会的費用』、岩波書店、に所収。

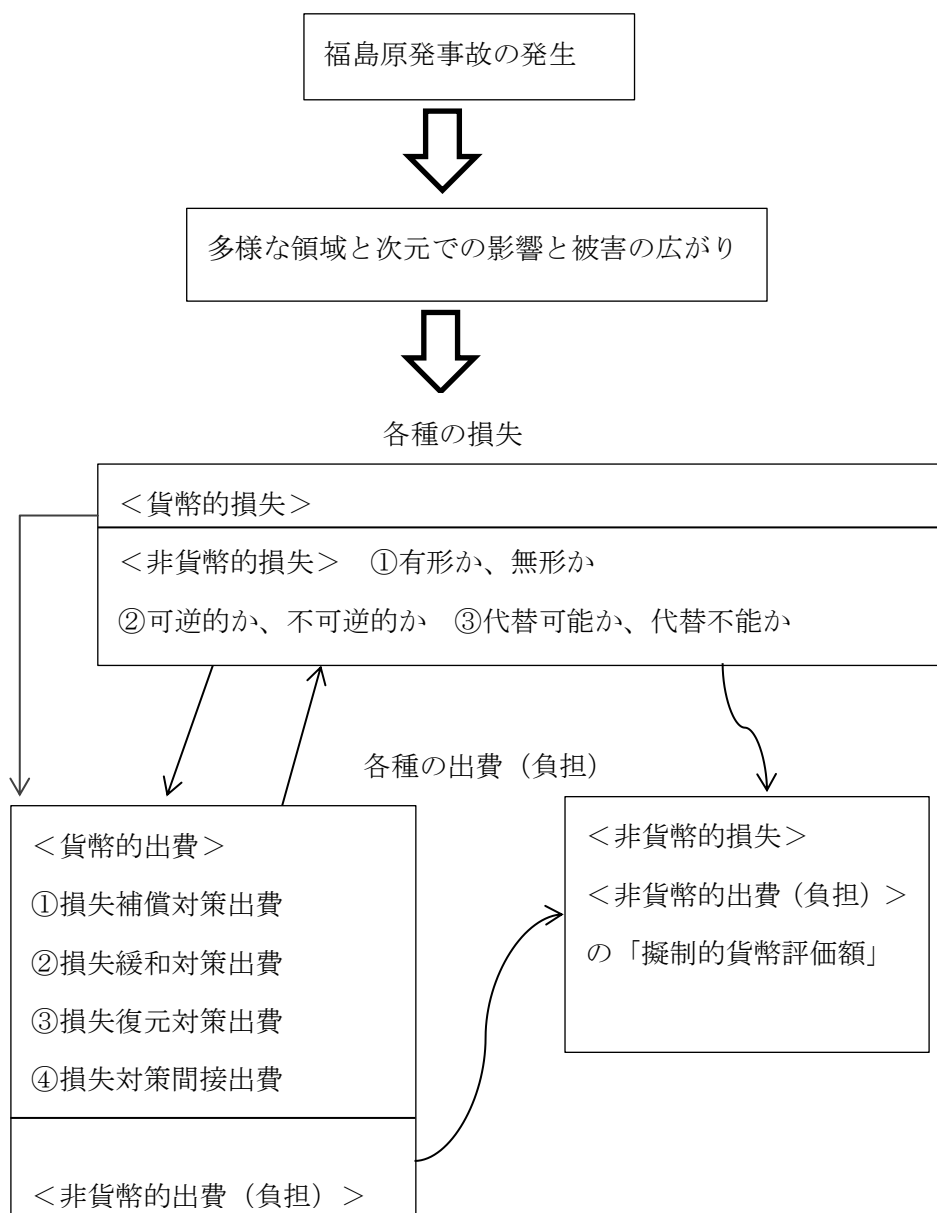
ほか、実質的には多く存在する。

例えば、寺西俊一（2016）¹⁷⁶は、「改めて福島原発事故の影響と被害を考える－「経済的評価」の意義と限界－」と題し、原発事故による様々な被害について、それを金銭的価値に置き換えること、すなわち経済的評価の問題点を論じている。これは、各種の損失を＜貨幣的損失＞と＜非貨幣的損失＞に区分したうえで、非貨幣的損失が①有形か無形か、②可逆的か非可逆的か、③代替可能か代替不可能かについて分類している。

その上で、「とくに「金銭賠償」ともかかわって何らかの方法で「貨幣的評価」を行う場合、その適切なあり方についての理論的な吟味が不可欠となる。なぜならば、そこでは「非貨幣的な事象」に対して何らかの評価手法や基準を人為的に設定したうえで「貨幣ターム」（「金銭ターム」）による一定の貨幣換算（金銭換算）を敢えて行うことにならざるをえないからである。それが、次に示す図1の右下に示した「擬制的貨幣評価額」というものになる。」と述べている。

¹⁷⁶ 寺西俊一（2016）、「改めて福島原発事故の影響と被害を考える－「経済的評価」の意義と限界－」、『農村計画学会誌』、第34巻第4号、436-439頁。

図 2.5-1 原発事故の影響と被害の損失と出費（負担）



出典：寺西俊一（2016）の図1：「福島原発事故に伴う影響と被害、そこから発生してくる各種の「損失」と「出費（負担）」、それらの「経済的評価」の枠組み」を著者が再作図。
 ※原図では横方向に影響が示された図を縦に組み直した。

この時、非貨幣的損失の一部は、貨幣的出費によってその損失を回復すべく対策が行われるが、それでも回復されない損失が非貨幣的出費（負担）となる。そして、非貨幣的な損失と、出費（負担）は金銭価値評価されたとしても擬制的でしかない評価額として、過

小評価されるか、そもそも金銭的な損害賠償の対象から外されていることを指摘している。

この論点は、大島堅一・除本理史 (2012)において、東電福島第一原発事故による損害の分類に関して同じく論じられており、損害として算出されるのが、貨幣的出費に帰着できるものに限られ、非貨幣的損失の多くが看過されている事態を指摘した上で、貨幣的損失について論じている。

大島堅一・除本理史 (2012)の議論は、決して非貨幣的損失を除外した分析を原発事故の引き起こした損失に対して行うものではなく、あくまで非貨幣的損失が計算できないことと、共同体の機能も含め多くの社会的利益が失われたことに留意しつつ、原発事故による貨幣的損失にアプローチしようとするものである。放射線被ばくリスクと原発事故の損害、防災対策については第4章、第5章で詳しく論じるが、非貨幣的損失として分類される環境、生命及び人間の生活の質 (QOL) に関する被害が、どのように受け止められるかは、人類社会の持続的な発展を見通す上で、重要な要因になると考えられる。

小括

以上のように、本章ではまず、F. ソディの自然環境と市場経済の関係性についての考え方、とりわけ、エネルギー資源の獲得とその利用についての基本的構想及びその後の原子エネルギー利用の展開を示した。さらに、エコロジー、エコロジー経済学の成立とその中の主要論者による自然界および経済社会におけるエネルギーの流れ及びエネルギー資源についての考え方、秩序形成についての考え方を考察した。原子エネルギーについての考え方は、原子力発電、また核融合開発などの時代的趨勢の影響を受けて、批判的な見解がいくらかみられるとしても、エコロジー、及びエコロジー経済学の根本原理に関連して論じた著者は少ない。H. T. オダムと N. ジョージエスクレーゲンは少ない例外であるが、「純エネルギー分析」及び「物質文明の持続可能性の否定」というそれぞれの論者の中心の見解に付属する形で示されているに過ぎない。

エコロジー経済学の歴史について総括した J. マルチネスーアリエは、新古典派経済学による環境問題の経済価値評価、価格システムへの包摂という方法論に対する完全な代替物ではなく、政策決定についてはそれらのアプローチも有効という理解の上にエコロジー経済学の課題を設定している。原子エネルギー利用の廃棄物である放射性廃棄物は、通時的な外部性である放射能汚染を引き起こすため、新古典派経済学による評価が恣意的であるという範囲にあたる。しかし、著者は、このように範囲を区切って、新古典派経済学とエ

エコロジー経済学の有効性について論じる総括の仕方は、誤解を招くと考えている。

曖昧さ、誤解を避けるために言えば、H. E. デイリーや続く第3章で述べる槌田敦の市場経済システムの評価にも共通する観点であるが、範囲を限定して新古典派経済学の分析で環境に関わる質的な変化を含めて分析して問題ないとするのは、新古典派経済学のロジックそのものが、環境への影響、すなわちエントロピー増大法則にしたがった不可逆的過程を貨幣的価値という交換を前提とした可逆的過程に写像して、その不可逆的過程としての性質を消去してしまうことの問題点を看過してしまう可能性を生じさせる。

不可逆的現象であるエントロピーの増大は、全てのマイクロな経済取引においても発生していることであり、可逆的な交換プロセスに見えているものは、全てのプロセスにおけるエントロピー増大とその廃棄という不可逆のプロセスが社会的制度により不可視化されているために他ならない。著者は、不可逆プロセスの重視という意味では、K. W. カップの主張がむしろエントロピー経済学の基本的主張に近いと考える。東電福島第一原発事故の損害を巡っては、この不可逆的なプロセス、取返しのつかない被害を改めて不可欠な要素に位置づける動きが見られる。著者が、原子エネルギーの利用に伴う不可逆的な原子の状態変化、劣化によって引き起こされる環境汚染に対し改めてエコロジー・エントロピー経済学による評価が必要だと考える所以である。

原子エネルギーの利用に関しては、楽観的な(F. Soddy (1926)執筆時の)F. ソディに対し、槌田敦の初期の問題提起(槌田敦(1976a), (1976b))に見られるように対立が見られる。それは環境による制約と循環による環境の維持という条件の重要性、すなわち大きなエネルギー資源を得ることよりも、その利用の結果によって環境を改変する内容が重要であること、すなわち宇宙に最終的に廃棄できるエントロピーの形で変化を取り出すことができなければ、環境が変化し、熱機関としての地球環境の安定性、そこに住まう生物と人類社会が危険にさらされるという点についての着目度が、F. ソディにおいてはまだまだ未知であった、という歴史的必然と言わざるを得ない。また、第4章で述べるように、原子核物理及び核化学の創成期においては、放射線被ばくによる障害について、経験も知識も不足しており、当時の核化学者の間には、重篤な健康被害と死亡例が見られる。この点について、F. ソディが認識していなかった可能性も高い。

F. ソディは原子構造およびその崩壊あるいは融合による放射線、エネルギー放出についての研究の創成期、成熟期に活動し、それでも原子エネルギーの軍事的利用とそれによる人類の危機に関しては非常に先見の明があったが、自らの努力と人類の叡智を信頼し、科

学と人類社会の改良によるその危機の克服に対して肯定的な将来展望を持っていたと考えられる¹⁷⁷。

原子エネルギーの軍事的利用である原子爆弾が二度にわたり使用され、また史上初の 3 基の原子炉のメルトダウンと 4 基もの爆発あるいは炎上という過酷事故の地となった日本に住まうものとして、やはり、それは楽観に過ぎたと言わざるを得ない。

続いて次章で日本を代表するエントロピー経済学¹⁷⁸の論者である、室田武、槌田敦、玉野井芳郎の業績について考察し、とりわけ、原子エネルギー利用についての考え方、そしてエントロピー経済学と既存の経済学との位置関係についての考え方について検討する。

また、第 4 章以降で放射線による健康被害、リスクについての考え方、原子力災害対策における合理性等について具体的に扱ってゆくが、原子核物理及び放射化学の分野において、初期の科学者の多くが放射線障害による病気を患い、命を落とした者も多いことに留意すれば、原子核崩壊についての知識よりも、健康被害についての知識が遅れたことが、F. ソディ (1926)の原子エネルギー利用への肯定的姿勢の一因とも考えられる。これについても、後に検討する。

¹⁷⁷ ただし、第 6 章で述べるように第二次大戦後も F. ソディの原子エネルギー利用への肯定的立場は変わらなかった。

¹⁷⁸ 呼称については、資源物理学や広義の経済学、生命系の経済学といった種々の名称を論者たちが用いているが、ここではこの論文における「エントロピー経済学」の定義に従う。

第3章 エントロピー経済学の視点

課題

第3章では、「エントロピー経済学」の日本における研究史を振り返り、室田武、槌田敦、玉野井芳郎らの主要な論者が、環境経済システムにおけるエネルギー利用、原子エネルギーについてどのように扱ってきたかを再検討する。

まず、室田武のエコロジー・エントロピー経済学における学説史研究、原子エネルギー利用への批判的論点の提供（エネルギー投入産出分析、費用分析）、地球環境論や共同体論を含む先駆的業績について詳述する。

また、槌田敦の業績を中心に、その開放系エントロピー論が、単なる時事的問題としての原発事故を契機に原子エネルギー利用批判を行ってきたのではなく、熱機関における利用可能エネルギー取り出しの原理から、核エネルギーの取り出しの対価として生じる放射性物質、放射線の発生を、定常的な環境システムに包含できない、原理的な問題としてきたことを取り上げる¹⁷⁹。

さらに、玉野井芳郎は、これらエントロピー経済学の指摘を踏まえ、C. メンガー、K. ポランニーの経済学の方法論的な転換を促すため、「広義の経済学」の概念でその方向性を示した。玉野井芳郎の議論は、他二者の代表的論者に比べると原子エネルギー利用との関係性についての考察が少ない。そのため本論文での考察では、地域主義をキーワードに、技術志向の開発から価値創出のプロセスを住民自身の手に取り戻そうという方向性が、自然環境システムによって得られる利用可能エネルギーのフローの中で、物質循環プロセスとしての経済を質的に進化させていこうとするエントロピー経済学の在り方にとって持つ意味を検討する。

¹⁷⁹ この問題は、N. ジョージ・スケーレーゲンがエントロピーの密造として批判した、原子エネルギー利用による利用可能エネルギーと物質的資源の永久的利用のドグマに対する批判を継承するとともに、F. ソディの原子エネルギーの制御と利用に関する楽観論から、熱機関としての地球環境理解である、槌田エントロピー論が発展する経緯でもある。

3.1 室田武のエネルギーとエントロピーの経済学¹⁸⁰

3.1.1 エネルギーとエントロピーの経済学

本節においては、多様かつ膨大な室田武の業績のうちから、とりわけエネルギーと環境、原子エネルギー利用とエントロピー経済学の創成に関わる研究といくつかの論点にしぼり、エコロジー・エントロピー経済学にとっての諸課題について概観したい。

1979年に一冊の記念すべき著作が世に出された。室田武による『エネルギーとエントロピーの経済学—石油文明からの飛躍』である。室田武がそもそもエネルギーとエントロピーについての経済学的考察を行った背景は何であっただろうか。また、エントロピー経済学と原子エネルギーとの関係性についての考察は、今日どんな意義を持っているだろうか¹⁸¹。

1970年代後半に理化学研究所の槌田敦 (1976a)、(1976b)¹⁸²は、核融合による環境汚染と本質的な限界についての問題提起を行った。次節に述べるように、その問題提起は、エントロピー増大法則を前提に、地球環境システムが太陽光エネルギーの入力と廃熱の放出によって作動するエネルギーに関する開放定常系としての熱機関であること、原子力開発は、それが核融合のように膨大なエネルギーを発生させると称される場合でも、発生する熱と汚染により、有効なエネルギー源とはならない事を明確に論じていた。

当時、室田武は「原子力のエネルギーコスト」(室田武 (1976)¹⁸³) 他の論考を発表し、原発のネットエネルギー産出の低さとエネルギー生産量と安全性のトレードオフとについて指摘していた。また、室田武 (1981)¹⁸⁴は槌田敦の研究とは別に高木仁三郎の紹介で、P. F.

¹⁸⁰ 本節は前掲の、藤堂史明 (2014a)、「エントロピー経済学の創成と環境学の今日的課題」を元に、エコロジー・エントロピー経済学における利用可能エネルギーと原子力の位置づけという本論文の課題設定に沿って改めて書き下ろしたものである。エコロジーとエコロジー経済学についての同論考の一部は第2章に用いた。

¹⁸¹ この槌田による開放系エントロピー理論とエントロピー経済学への発展経緯とその特徴については「開放系エントロピー論 35年」を記念したシンポジウムでの発表(槌田敦 (2012)、室田武 (2012) 及び藤堂史明 (2012c)) において総括された。

¹⁸² 槌田敦 (1976a)、「核融合発電の限界」、『日本物理学会誌』、第31巻第8号、598-602頁。

槌田敦 (1976b)、「核融合発電と資源物理学」、『日本物理学会誌』、第31巻第12号、938-941頁。

¹⁸³ 室田武 (1976)、「原子力のエネルギーコスト」、『技術と人間』11月臨時増刊号、40-53頁。

¹⁸⁴ 室田武 (1981)、『原子力の経済学』、日本評論社。及びチェルノブイリ原発事故を受けて改訂された、室田武 (1986)、『新版 原子力の経済学』、日本評論社を参照。

チャップマンらの研究である、原子力発電によって産出される電力とそのために投入される石油の量との比較検討についての論文(P. F. Chapman (1974)¹⁸⁵)に着目し、エネルギー分析の視点から原子力発電についての批判的検討を開始していた¹⁸⁶。

樋田敦による核融合批判と室田武による原子力発電のエネルギーコストの問題提起は、核エネルギー開発を礼賛していた当時の日本社会において、技術と経済のあり方についての根底からの社会的論争を引き起こすものであった。学術的そして社会的論争の影響を受け形成されてきた日本におけるエントロピー、エコロジー、環境問題についての関心層にとって、前述の室田武(1979b) は経済学の伝統におけるエネルギーやエコロジーにかかわる諸学説の歴史を整理し、エネルギーとエントロピーの経済学として最初に総括した著作であった。

環境科学の根本に関わり、とりわけ「環境経済学」としてのエントロピー経済学が扱うべき領域を総合的に示していると言える。

『エネルギーとエントロピーの経済学』は全8章からなり、序章では「本書の動機と目的ースリーマイルアイランド原発事故によせて」と題して刊行年の三月に米国スリーマイルアイランド原発で起こったメルトダウン事故について、大型原子炉の最大事故が明日にでも起こりうるという危機感について述べている。

スリーマイルアイランドで起こったこと、あるいはそれをはるかに上回る終末世界は、明日にでも、福島県で、あるいは茨城県で、また静岡県、福井県、島根県、愛媛県で発生しうることである。「ほとんど起こりえない」と専門家が保証していたこと以上のことが、すでに現実起きてしまったのだから、私たちは、「いつでも起こりうる」という前提に立って、あらためて私たちの生活を考え直す方がよさそうである。

出典：同書、序章3「本書の目的」より。

¹⁸⁵ P. F. Chapman (1974), "Energy Costs: A Review of Methods," *Energy Policy*, June 1974, pp.91-103.

¹⁸⁶ 第6章で再論するように、室田武は TMI 事故に関して米国の技術者と連絡をとり、その収束について情報を収集するとともに、原子エネルギー利用としての原発及び、付随した石油利用を含めて批判的に考察するとともに、新しい科学と文化の在り方について提言している。室田武 (1979a)、「破局に瀕する石油・原子力文明と将来 - リチャード・ウェッブ博士の警告によせて」、『朝日ジャーナル』、1979年6月22日号、61-63頁。

言うまでもないが、1986年のチェルノブイリ原発事故と2011年の東電福島第一原発事故という二つの破局的原発事故を経験した現在において、このような危機感を契機として室田武が執筆にあたったことは先見の明というほかはない。続いて第一章の「ジェヴォンズからソディへ」以降においてはエネルギー及びエントロピー概念の経済学への適用と、既存の経済学における価値及び市場の分析との相違点について検討している。また、第三章の「原子力発電のエネルギー・コスト」では前述した原発の隠されたエネルギーコストと総括原価方式や、公的補助と責任免除に等しい原子力保険制度について取り上げている。

このような分析は1981年の『原子力の経済学』に引き継がれるが、東電福島第一原発事故を受け、注目が集まったエネルギー投入及びコスト面からの原子力発電の不経済性の検証にとって基礎となる理論を展開している。また、第七章の「入会・催合・結の過去と将来」においては、日本の伝統的な自然資源管理、農業における協働作業の在り方について述べ、コモンズ論や、市場原理によらない協働組合、協働社会の在り方の中に、持続可能な社会の展望を見出そうとしている。

このように室田武 (1979b)は、その後のエントロピー経済学のコアとなる理論とその射程にある問題領域について俯瞰したものとなっている。

環境経済システムにおけるエネルギー利用、原子エネルギーの位置付けについては、H. T. Odum (1973)が指摘した、エネルギーシステムから産出する純エネルギーの点からの批判、N. Georgescu-Roegen (1975)¹⁸⁷による「エントロピー密造」批判の双方を引継ぎ、槌田敦の開放系エントロピー論による、原子エネルギー利用の構造的な問題点の指摘（次節で詳述）に同意しつつ、エネルギー投入産出比、有価証券報告書データを含む、費用面からの原子エネルギー利用（原子力発電）の経済性の検証を行うなど、理論と実証の双方からのアプローチで原子エネルギー利用の問題点を明らかにしてきた¹⁸⁸。

さらに、エコロジー・エントロピー経済学の環境経済システムの捉え方に関して言えば、室田武は環境と共存する文明の在り方の鍵となる要素として、利用可能エネルギーそのも

¹⁸⁷ N. Georgescu-Roegen (1975), "Energy and Economic Myths," *Southern Economic Journal*, Vol. 41, No. 3, pp. 347-381.

¹⁸⁸ 室田武 (1992)、「「原子力=石油代替」論の陥穽 - 歴史にみる原子力開発の問題点」、『週刊エコノミスト』1992年11月17日号、毎日新聞出版、62-65頁。これに加えて、室田武 (1993)、『電力自由化の経済学』、宝島社、を参照。

のよりも、むしろ発生するエントロピーを洗い流す水の重要性を認識した。室田武 (1979b) の副題にある「石油文明からの飛躍」という表現に見られるように、日本には豊富な低エントロピー資源である降水があることを指摘し、「日本は資源のない島国」と言われるが、そうではないことを指摘した。エントロピー経済学で重視されるのは、利用可能エネルギーそのものというよりも、それを継続して利用可能とさせる低エントロピー資源、かつ発生するエントロピーの捨て場となる水の流れ（一部には大気の流れ）であり、この流れが循環しているからこそ、持続可能な生態系とそこでの人間の生活が可能となるのである。エネルギーのみに注目することは、エコロジー的視点からの世界観においても、生産を可能とする資源という見方においても、いずれにせよ誤った着眼点なのである。

エントロピーを外部に捨てる循環には開放系の概念が必要であり、それは生態系、人間社会の物質循環の構造についての関心へと向かう。次節では、室田武と日本における「エントロピー経済学」の主張の流れを追い、開放系エントロピー論を軸とする持続可能な経済社会へのアプローチを検討する。

3.1.2 室田武と「エントロピー経済学」の先駆者たち

前節に述べたように室田武は、環境と人間社会の関わり、とりわけエネルギー利用と経済成長との関係において、エネルギー分析についての知見を元にしてきわめて早期に、すなわち冒頭で述べた室田武 (1979b) の著作の段階で、エコロジー経済学とりわけ実質的にエントロピー経済学としての主要な問題領域を包含する分析を展開した。このエントロピーという用語には単に物理学の用語というだけでなく、他の概念とは異なる特異な意味が備わっていた。

もともとエントロピーという用語はエコロジーやエコノミーと同じく造語で、「中に」という意味の接頭語{en}に「変化」を表す{tropie}を結合させた形式で、前述のとおり1865年にR. クラウジウスにより命名された。この言葉は形式的にエネルギーという用語に似ているだけでない。いわば、兄弟としての意味を持っている。エネルギーはアリストテレスによる用語に由来し、働いている状態、仕事や働きを示し、原則的に不変の一定量を保つ（エネルギー保存法則）。一方でエントロピーは物質やエネルギーの拡散の程度を示し、あらゆる現象を通じて常に増大していく。われわれが通常使っている、利用可能などという意味を含むエネルギーの「利用可能性」そのものはむしろエントロピーによって決定づけられていると言ってよい。

エントロピーという概念の特異な性質とは、それが質や有用性といった人間にとっての自然の価値を測るという目的からそもそも着眼された概念であるという事である。エントロピーはもともと、熱機関の熱効率の上限をめぐるS. カルノー¹⁸⁹の研究ノートからR. クラウジウス¹⁹⁰が着想を得て考案したものであり、資源からどれだけ仕事を引き出せるかという、きわめて実利的な価値の創造に関わる自然法則であった。

それだけに、経済学においてなぜ、エントロピー法則という自然現象における変化と質にかかわる唯一の法則ではなく、力学の基本原則である質量・エネルギーの保存法則に基づいた体系の方が模倣されてきたかということ、新古典派経済学の原型の成立時期において、ニュートン力学に基づく物理的事象の法則体系の解明、そして技術による自然の屈服と工業的な発展とが期待を集めていたからに他ならない。この新古典派経済学の成立期において、W. S. Jevons (1871), *Theory of Political Economy*¹⁹¹における、{mechanics of utility and self-interest}「効用と利己心の力学」という(I. 26)節の表現が、代表的な力学的モデルを模倣対象とすることの現れとされている。

熱機関の効率性の追求から発生したエントロピーの概念を、利用可能エネルギーと人類社会の関係という独自の環境経済システム観と経済学批判に適用したのはF. ソディである¹⁹²。F. ソディはエントロピーの増大と引き換えの利用可能なエネルギーのフローが、太陽光からのその供給を駆動力として植物の光合成、そして動物や人間の活動を支えている事を主張した (F. Soddy (1926)、第2章)。

一方で、前述した通り、1971年に著されたN. ジョージェスクーレーゲン自身の大著『エントロピー法則と経済過程』においては、歴史上の自然科学及び人文社会科学の広範囲にわたる膨大な研究史が総括されているのにもかかわらず、S. ポドリンスキーやF. ソディ等

¹⁸⁹ S. Carnot (1824), "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance," Paris: Chez Bachelier, Libraire. S. カルノー (1973)、広重徹訳、『カルノー・熱機関の研究』、みすず書房、参照。

¹⁹⁰ R. Clausius (1865), "Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie," *Annalen der Physik und Chemie*, Vol. 125 No. 7, pp.353-400.

R. Clausius (1867), *The Mechanical Theory of Heat – with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies*, London: John van Voorst.

¹⁹¹ W. S. Jevons (1871), *Theory of Political Economy*, London: Macmillan and Co., Introduction(I. 26)を参照。

¹⁹² 室田武、J. マルチネスーアリエが指摘するように2章で述べたS. ポドリンスキー (S. Podolinsky (1880)) がエントロピー概念による経済法則の理解を試みた先駆者である。

の先行する業績についての言及がなかった。

第2章で詳述したように、N. ジョージ・スケーレーゲンは、K. E. ボールディング(K. E. Boulding (1966)¹⁹³)の「宇宙船地球号」の概念を引用しつつも、エントロピー法則の作用の結果、彼が「熱力学の第四法則」と称したように物質の拡散は止まらず、エネルギーの投入によって閉じた循環を維持するという持続可能性について悲観的な見通しを示したが、室田武(1979b)は、冒頭で述べたように一章「ジェヴォンズからソディへ」で経済過程のプロセス分析の理論としてエントロピー法則を適用したGeorgescu-Roegen(1971)を引用しつつ、同書が指摘しているW. S. ジェヴォンズの『石炭問題』における資源の希少性による経済成長の制約の論点に加えて、F. ソディが利用可能なエネルギーのフローを経済価値の物理的な根源として主張した事を指摘している。すなわちF. ソディは「この『有用なエネルギー』の流れが生み出す事物は、それが人間社会における交換対象であるかどうかという問題設定以前に存在する富であり、『絶対的富』というにふさわしい富である」（同書第1章「ソディの問題提起」）と指摘したのである。

同じく、F. ソディがエントロピー法則の経済過程への適用において先駆者であるという指摘をH. E. デイリー (H. E. Daly (1980)) や、J. マルチネス・アリエ (J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1987)) も行っているが、室田武はこれらに先んじて指摘していたと言える。

なお、W. S. ジェヴォンズに関しては『石炭問題』の問題意識がR. クラウジウスによるエントロピー法則の定式化と同時、という先見性と同書の執筆後に彼が限界効用利用の端緒となる研究の一つを成し遂げ、新古典派経済学の理論基礎として、市場経済システムの研究に没入していくことの対照性、そして資源の枯渇に関する彼の先見の明が後にJ. M. ケインズにより揶揄される対象であった事が描かれている。なお、室田武 (2006)¹⁹⁴においては、W. S. ジェヴォンズの洞察から派生して資源消費の効率性が徐々に落ちていく法則性としてこれを「ジェヴォンズの法則」として提唱している。

¹⁹³ K. E. Boulding (1966), "The Economics of the Coming Spaceship Earth," *Environmental Quality in a Growing Economy - Essays from the Sixth RFF Forum*, The Johns Hopkins University Press. また、以下にも出版された。K. E. Boulding (1968a) "The Economics of the Coming Spaceship Earth," *Beyond Economics*, Ann Arbor: University of Michigan Press.

¹⁹⁴ 室田武 (2006)、 「ジェヴォンズの法則」、 『環境経済・政策学の基礎知識』、有斐閣ブックス。

3.1.3 室田武と H. E. デイリーの定常経済論

さらに室田武のエントロピー経済学と第2章で述べたH. E. デイリーの理論との相違点について述べよう。H. E. デイリーはエントロピー法則の重要性を大前提に、利用可能エネルギーの流れを作り出す自然環境の環境容量を問題とし、狭い意味での環境経済学が「量」の問題を解決できないとする。そのため地球の環境容量に合わせて資源使用や汚染に関する量的な判断をする必要があり、これを持続可能性の条件として提示している。

H. E. デイリーは、{Environmental Macroeconomics}すなわち「環境マクロ経済学」を提唱するが、その内容は新古典派経済学の分析が適合する市場経済が、利用可能な物質とエネルギーのスループットを提供する環境の中にすっぽりと包含された体系として経済全体を構想するものである。その上で、H. E. デイリーは規模の限界の範囲内ではマイクロ及びマクロ経済学の分析および市場メカニズムが有効であるとの考えをとる。これは、槌田敦(2007)¹⁹⁵が市場経済システムの範囲内に物質循環が収まる限りは、市場すなわち商業の働きにより経済活動を運営すればよい、と見ていることと似通っている。

室田武も玉野井芳郎(1978)¹⁹⁶や玉野井芳郎(1979)¹⁹⁷等の著作に触発され、経済が環境に埋め込まれたものであることを前提としつつ、そのための量的な条件や分析だけでなく、環境に対する意識の在り方や、管理のための社会的な連帯、協働の在り方の重要性を強く意識し、具体的な事例研究から学ぼうとする方向性を明確に持ってきたと考えられる。つまり、「競争的市場」に包含されない相互依存関係の一般的な重要性をより強く認識していると言えるのではないだろうか。

室田武(1979b)は、冒頭で述べたように例えば第七章の「入会・催合・結の過去と将来」においては村落や共同体といった制度的な構造が持続可能性に強い関係性を持つことに着目していた。そしてその後の研究¹⁹⁸においてこれを「コモンズ論」と統合して、多くの実

¹⁹⁵ 槌田敦(2007)、『弱者のための「エントロピー経済学」入門』、ほたる出版。

¹⁹⁶ 玉野井芳郎(1978)、『エコノミーとエコロジー』、みすず書房。

¹⁹⁷ 玉野井芳郎(1979)、「生産とは何か」、早坂忠・伊東光晴・竹内啓編、『経済学の知性史的考察』、東洋経済新報社、1-12頁。

¹⁹⁸ 著者が最初に手に取った室田武の著作は、室田武(1982)『水土の経済学 - エコロジカル・ライフの思想』、紀伊國屋書店、であり、エントロピーを用いた環境システムの考え方から、環境に調和した暮らしの考え方に至るまで、幅広い識見に触れることができた。

証研究に裏付けられた自然資源管理のための知見として完成させていった。室田武・三俣学 (2004)¹⁹⁹、三俣学・森元早苗・室田武編 (2008)²⁰⁰、室田武 (2009)²⁰¹等である。

このようなコモンズ論の研究を通じて室田は、次節で検討する槌田敦の論考に含まれる江戸文明論や玉野井芳郎の「広義の経済学」あるいは「生命系の経済学」、そして地域主義とも呼応する形でエントロピー経済学によって持続可能性の条件を考察していたわけである。なお、室田武が『エネルギーとエントロピーの経済学』の執筆にあたって意見交換を行っていた大崎正治 (1981)²⁰²によるエントロピー経済学派(大崎の用語で「熱力学派」)の批判がある。

大崎正治の批判のうち、エネルギー分析とエネルギー価値説についての批判は日本のエントロピーを巡る議論に反映され、エネルギーとエントロピーが経済価値と直接の関係で結びつけられないことは周知となっていた。それに比して解答が難しいのが「経済価値の体制的性格について無自覚である」との指摘に代表される、経済システムの持続のための物理的条件と、現実の市場経済システムにおける種々の経済的な格差や構造化にエントロピー学派の理論は説明力を持つのか?という問いである。

室田武によるコモンズ論の研究は、このような経済的な構造の考察に関する一つの方向性を示したものとも言えるだろう。室田武が、後述する槌田敦と共に考察した持続可能な生態系の特徴である開放定常系とは、外部と内部、すなわちソトとウチの構造化によって発生したエントロピーの排出と低エントロピー資源の導入による物質循環の存在する定常状態を可能にするものである。また、地球そのものに関してはエネルギーに関してのみの開放系である。この時に、村落や地域共同体をウチ、外部の集団をソトとみなせば、この構造はウチで協力しあいルール違反には厳しく対処する協力ゲームによって分析される集団的資源管理とみなすことが出来る。そのような適用事例は先に示した文献の他、E.

Ostrom (1990)²⁰³による研究が示すように、日本や世界の各国において無数に観察されてきたのである。

¹⁹⁹ 室田武・三俣学 (2004)、『入会林野とコモンズ』、日本評論社。

²⁰⁰ 三俣学・森元早苗・室田武編 (2008)、『コモンズ研究のフロンティアー山野海川の共
的世界ー』、東京大学出版会。

²⁰¹ 室田武 (2009)、『グローバル時代のローカル・コモンズ』、ミネルヴァ書房。

²⁰² 大崎正治 (1981)、『鎖国の経済学』、宝島社。

²⁰³ E. Ostrom (1990), *Governing the Commons*, Cambridge: Cambridge University Press.

このような構造の一般化に関して、本論文では3.4節以降において、エントロピーを排出する仕組みとその内部と外部を分ける構造が、経済価値の創出に深く関わっていること、そして、最適化の考えを不可逆な現象に当てはめた際の、差異のある構造から生じる問題点について考察してゆく。

3.1.4 室田武の原子力発電と温暖化問題への視点

室田武は、環境に対する原子エネルギー利用の本質的な脅威の問題についても経済学者として極めて早期から取り組んできた。本章で取り上げてきた室田武 (1979b)においては、この問題は第三章「原子力発電のエネルギーコスト」で分析された。室田武の主張の要点はすでに1976年の論文において示されており、それは原発のネットエネルギー産出の低さとエネルギー生産量と安全性のトレードオフ、すなわち「(前略) 原発をめぐる問題の本質は、ネットエネルギーの損失を少なくしようとするれば外界に放出される放射エネルギーを多くせざるを得ず、後者を少なく抑えようとするればネットエネルギーの損失は莫大な量に上る、ということなのである」との指摘である (室田武 (1976))。

また、室田武は1981年には『原子力の経済学』、1986年にはチェルノブイリ原発事故を受けて『新版 原子力の経済学』を上梓し、上述のトレードオフ関係に加えて、地域独占の電力事業者による電気料金の決定方式である、総括原価方式に支えられて核燃料の買い付けと使用済み核燃料を資産に計上することで電気料金から多大な利潤を得る仕組み、そしてさらに大幅な国費が開発、誘致、事業にあたり支出されている実態を指摘した。

これらの具体的なデータにより、室田武は原子力が優れたエネルギー源などではなく、エネルギーコスト、そして通常のコストも非常に高いこと、電源三法などによる原子力発電の立地促進のための財政的、制度的枠組みによって原子力発電の立地と稼働が推進されていることの問題点を明らかにした。

このような室田武の指摘によって既に明らかになっていた原子力発電の問題点は、2011年3月11日の東電福島第一原発事故以降、国策民営の経営体制と、それに連動した産業、行政、政治、金融、マスコミ、研究者のもたれあい (相互依存と癒着) 構造に注目が集まり、表面化した。本論文後半で詳細に検討するが、天災を起因とする事故が生じた際には民間の損害保険 (「原子力損害賠償責任保険契約」) は支払を免責されることから、予想損害を遥かに下回る1サイトにつき1,200億円の政府の「原子力損害賠償補償契約」による補償は支払われたが、残る10兆~数十兆円以上とも言われる損害が、事実上の地域独占構造と

送電ネットワークの寡占による料金負担が続く電気料金や税金、そして直接的な被曝の形で痛みを被る当事者である国民に、当然のごとく負担させる構造が、一般国民の目に明らかになったのである。

30年前の室田武の指摘が行政や事業者、メディアや科学者、一般市民に真摯に受け止められ、エネルギー政策の転換と防災対策の見直しが行われていれば、今日われわれが直面している収束程遠い原発事故と、身の回りから世界規模にわたる放射能汚染の事態は避けられたのではないだろうか。

なお、東電福島第一原発事故の後では、このような各業界が連携してのもたれあい構造を指して「原子カムラ」と呼称することが一般的となった。原子力発電に関わる隠されたコストの隠蔽と利権の実態を30年前に明らかにしながら、むしろ「ムラ」社会の持つ助けあい、共的世界と呼びうる姿に持続可能な社会のモデルを捉えようとしてきた室田武にとっては、ムラの呼称が前時代的な癒着構造として批判されることは嘆かわしい事態であったに違いない。だが、このように共同体で管理する経営資源（電気利用者すなわち一般国民）から利益を吸い上げ、料金負担や被曝を正当化することで管理しようとする利害関係者の組織もまた、人間の組織体としては互酬の原理による共的な構造を持っていることは確かである。

また、「原子カムラ」は、第4章で述べる原子エネルギー利用事業の関係者による「受益圏」の一つの形であり、また、差異によって経済価値を生み出す構造の一つの現れでもあるのではないだろうか。

3.1.5 室田武の「人為起源地球温暖化問題」への疑問と東電福島第一原発事故の追及

ところで、室田武には原子力と地球温暖化問題の関連についても特筆すべき着眼点がある。それは、地球温暖化問題への環境問題のアジェンダの集約と一本化が、原子力発電の組織的推進に関連して行われた事情を具体的に明らかにしていることである（室田武(2010)）。それは米国エネルギー開発庁(ERDA²⁰⁴)において原子力開発を推進していたA. M. ワインバーグ (A. M. Weinberg) が、二酸化炭素濃度増加の研究の初期段階より、原子力開発の危険よりも二酸化炭素濃度の上昇の方が大きいとの論理を展開する目的を隠さずに

²⁰⁴ Energy Research and Development Administration

研究グループを組織したことが、C. D. キーリングの自伝(C. D. Keeling (1998)²⁰⁵, p. 56)に記述してある、という指摘である。

地球温暖化への環境問題の一元化、二酸化炭素濃度問題への単純化については、とりわけ東電福島第一原発事故以降に問題が意識されてきている。環境負荷をフットプリント(代償としての踏みつけ面積)で表すとすれば二酸化炭素の排出量で環境負荷を評価しようとすることはいわば「カーボン・フットプリント」であり、本来の総合的な環境負荷である「エコロジカル・フットプリント」(M. Wackernagel and W. Rees (1996)²⁰⁶)のごく一部を切り取ったに過ぎないのである²⁰⁷。

室田武はさらにこれらの点に加えて地球温暖化のメカニズムそのものに疑問がある可能性をも指摘し、気候変動メカニズムにおける1976年のJ. A. エディ論文(J. A. Eddy (1976)²⁰⁸)について言及している。室田武(2012)の示すように、Maunder Minimum(「マウンダー極小期」)についてのJ. A. エディの論文の示した方向性がもし正しいとすれば、太陽活動による宇宙線の変動が、大気圏下層にできる雲の多寡を引き起こす事(スベンスマルク効果)が²⁰⁹、地球の気候変動に深くかかわっており、それがむしろ主因となって気温の変動により大気中二酸化炭素濃度が変動する、という温暖化に関する代替的な仮説が支持されることになる。

仮にもし温暖化のメカニズムがこれまでの学説通りであったとしても、環境科学に属する諸科学者や行政官等、いわば社会の思考を担う人々が、放射能汚染をはじめとする種々

²⁰⁵ C. D. Keeling (1998), "Rewards and Penalties of Monitoring the earth," *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 23, pp. 25-82.

²⁰⁶ M. Wackernagel and W. Rees (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Gabriola Island: New Society Publishers. (邦訳は、M. ワケナゲル、W. リース (2004)、和田喜彦監訳、『エコロジカル・フットプリントー地球環境持続のための実践プランニング・ツール』、合同出版。)

²⁰⁷ エコロジカル・フットプリントの環境問題認識にとっての重要性は和田喜彦(2001)、「問題認識・解決ツールとしての「エコロジカル・フットプリント」指標ー「オーバーシュート」を感知する新パースペクティブー」、『水資源・環境研究』、Vol. 14、36-44頁、が指摘している。また、以下の論文もカーボン・フットプリントを批判している。和田喜彦(2010)、「低炭素社会づくりの文脈におけるエコロジカル・フットプリント、カーボンフットプリント、放射能フットプリント」、『日本LCA学会誌』、第6巻、第3号、201-208頁。

²⁰⁸ J. A. Eddy (1976), "The Maunder Minimum," *Science*, New Series, Vol. 192, No.4245, pp. 1189-1202.

²⁰⁹ H. Svensmark and E. Friis-Christensen (1997), "Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar - climate relationships," *Journal of Atmospheric and Solar - Terrestrial Physics*, Vol. 59, No. 11, pp. 1225-1232.

の環境問題に対する一般国民の関心を薄れさせ、温暖化の危険性ばかりに関心を集中させてきたことは、破局的な事故を生じさせた原子力発電所についても「地球温暖化防止のため」がその推進理由に挙げられてきたことと考え合わせると、責任が重い。

室田武は東電福島第一原発事故そのものの発生事情の中身についても、疑問点について継続的に取り組み、問題点を指摘してきている。

3.1.6 室田武のエントロピー経済学

3.1節では室田武の『エネルギーとエントロピーの経済学』を端緒とする一連のエネルギー、エコロジー、エントロピー、そして経済と経済学に関する研究を簡単に振り返り、氏がその優れた先見の明により持続可能な経済社会の条件と、原子力や温暖化問題についての卓越した洞察力によって理論を展開してきた経緯について、とりわけエントロピー経済学の関連領域について概観してきた。

室田武は環境の危機に対する明確な問題意識に基づき、とりわけ研究データの未整備な早期において、原子力、コモンズ等の研究の重要性に気づき、実証的に裏付けられ、かつ理論的にも卓越した研究を行ってきた。その一つがエネルギーコストの分析から原子力発電の不経済性、電力料金の決定にあたっての設備投資費を発電原価に含める「総括原価方式」の行政による許可や種々の補助政策等を備えた原子力発電推進政策のもたらす、環境と安全への脅威という問題提起である。

このように、統合的な環境理論の発展型として、熱力学の理論を開放系のエントロピー論へと進化させ、槌田理論に呼応する形で形成されたのが、室田武のエントロピー経済学である。とりわけコモンズ論の分野における種々の実証的研究もそれを補完するものであった²¹⁰。

²¹⁰ エントロピー及びエコロジーの領域における氏の業績と、科学的な精緻さに加えて、公害被害者など社会的弱者への暖かな視線について、著者は大いに学ぶことがあった。

著者が環境問題と経済学の研究の道を歩むことになったきっかけは氏の著作であり、中学生時代に図書館で氏の著作に触れて環境問題とエントロピー理論を適用した新しい経済学への関心を呼び覚まされてきた。著者の雑誌への初投稿は、高速増殖炉技術などの促進を主張していた雑誌『週刊エコノミスト』の連載「トリレンマ克服への挑戦」に反論して読者欄へ投稿した、藤堂史明（1992）「原子力利用の危険性」であり、その内容は室田武の指摘するエネルギー生産技術としての原子力発電の問題、放射性廃棄物の問題、被害を受ける人々の問題に言及するものであった。著者の投稿の2か月後に、室田武自身によるこの点の指摘、室田武（1992）「「原子力＝石油代替」論の陥穽 - 歴史にみ

3.2 槌田敦の開放系の熱力学と弱者のためのエントロピー経済学

次に、槌田敦の核融合批判から始まる開放系の熱力学の理論と、「弱者のための」、「エントロピー経済学」の考え方について考察しよう。これらの槌田敦の理論は、本論文の課題である、エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギーの位置づけ、そして、環境経済システムにおける富の創出メカニズムにとって重要な、経済社会的な構造にとって重要な意味を持つ。

槌田敦による開放系エントロピー理論とエントロピー経済学への発展経緯とその特徴については槌田理論 35 周年を記念したシンポジウムで槌田敦 (2012)、室田武 (2012)及び拙著、藤堂史明 (2012c)の各論文として総括された²¹¹。

3.2.1 槌田敦の開放系エントロピー論²¹²

槌田敦のエントロピー理論は、槌田敦 (1976a)、槌田敦 (1976b)における核融合炉開発の批判と地球の熱収支とエントロピー排出に着目したエントロピー論として始まった。それは、「無公害で無尽蔵」のエネルギー源という、当時の日本物理学会誌の特集に象徴された核融合開発礼賛への批判であった。

槌田敦は当時より開発研究が行われていた核融合発電が、リチウムをはじめとする膨大な資源を消費し、また、トリチウム等の放射性物質による汚染を生じさせ、結果として人類の遠い子孫にまで至る負担の押し付けを生むとして、物理学者の社会的な責任を問うた。このような、利用可能エネルギー、物質の供給とそこから発生する汚染と廃棄物に関する物理学法則に基づいた批判と、科学技術の人類社会における責任を問う姿勢は、今日まで

る原子力開発の問題点」が掲載された。なお、タイトル内の「」は原文のままである。

²¹¹ エントロピー学会 2011 秋の研究集会 記念講演パネルディスカッション発表論文 (2011 年 10 月 30 日開催) が、特集としてエントロピー学会誌『えんとろびい』、第 72 号、2012 年 3 月 25 日発行に掲載された。以下の通りである。

槌田敦 (2012)、「開放系エントロピー論・35 年—資源物理学からエントロピー経済学へ」、エントロピー学会誌『えんとろびい』第 72 号、37-40 頁。

室田武 (2012)、「槌田敦「開放系エントロピー論・35 年—資源物理学からエントロピー経済学へ」へのコメント」、エントロピー学会誌『えんとろびい』、第 72 号、42-46 頁。

藤堂史明 (2012c)、「槌田敦のエントロピー理論、その貢献と未来への展開」エントロピー学会誌『えんとろびい』、第 72 号、47-52 頁。

²¹² 本節における槌田敦のエントロピー経済学についての記述は、拙著、藤堂史明 (2012c) を元に、本論文の課題設定と、室田武 (2012)による N. ジョージェスケーレーゲンと槌田敦の相違点比較、そして槌田敦の他の論文の論点を反映して改稿した。

の槌田敦のエントロピー理論に一貫した立場である。

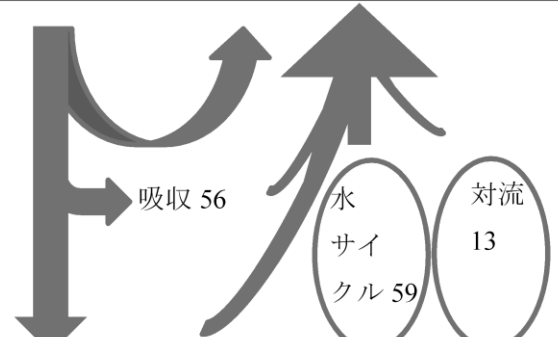
次いで槌田敦(1976b)では、以降の論考において踏襲される、開放系の熱学に向けた「資源物理学」の構想が展開された。槌田敦の資源物理学は、熱力学の第一法則（質量・エネルギーの保存法則）、熱力学の第二法則（エントロピーの増大法則）を前提とし、持続的な活動をする開放系システムとして、熱機関としての生物、そして工業的な生産や流通を含む、人間社会を包含した大きなシステムとして、地球環境を捉えるものである。

次図 3.2.1-1 は槌田敦 (1976b)、939 頁による地球熱機関の図式化であり、大きな熱機関としての地球が、システムの外部へ以下の量で表されるだけエントロピーを減少させること、

$$\Delta S = \frac{Q}{T_1} + \frac{-Q}{T_2} = -40 \text{ cal / cm}^2 \text{ deg}$$

このエントロピー放出が、地球環境システム内で、生物や人間社会が、エントロピーを発生しつつも持続的な活動が可能となる、必要条件であることを示した。

図 3.2.1-1 地球熱機関の図式化

大気上空	熱バランス(kcal/cm ² y) 太陽入射光 256 = 反射 88 + 熱放射 168	エントロピー減少 (cal / K cm ² y) S ₂ = - Q/T ₂ = -288
大気		T ₂ = 250 K $\Delta S = S_1 + S_2 = -40$ T ₁ = 290 K
地表	吸収熱 112 = 熱放射 40 + 残留熱 Q72	S ₁ = Q/T ₁ = 248

出典：槌田敦 (1976b)、939 頁の第 1 図 「地球の熱バランスとエントロピーの減少」より
著者作成（表記一部改変）。

槌田敦の「資源物理学」は、物理的なプロセスの理解として、システムとその入出力するエネルギーや物質を多系統で考えるという方法論をとっており、システムダイナミクス²¹³と似て、境界と相互連関関係からなる構造を持った対象をより正確に捉えるものとなっている。これにより、一見、エントロピー増大法則に矛盾するかのような生物の営みや、種々の活動を許容しつつ、これによるエントロピー増大をシステム内で抑え、安定的に維持される環境の働きについて考察するものである。これは同時に、空気や水といった生命活動に必要な自然資源が、循環的に再生され、とりわけ空気や水に関しては利用可能エネルギーが高い状態で再供給されるメカニズムを明らかにした。「(前略)地球という系における更新性資源の存在理由を明らかにする研究で、地球の開放定常性の定式化に至る。これは、世界の科学史にない、新しい業績」(室田武(2012)、44頁)と言える。

言い換えれば、クラウジウスが表現したように、宇宙のエントロピーが一方向的に増大に向かうとして、そこから直ちに類推されることとして、全ての変化は不可逆的にエントロピー最大に向かうのであるから、人間の営為を含め、その傾向に介入することはできないという、持続可能な社会を考える際の悲観的見通しが生じる。このような見通しに対し、熱あるいは物質の系外とのやりとりによって作動物質の低エントロピー性を復活させ、その循環により定常系(開放定常系)とすること、そしてその開放定常系を發展させることで、生命および地球生態系の働きと共存する社会が可能であるとの展望を示したのは、槌田敦の独自の貢献である、と著者も考えている。

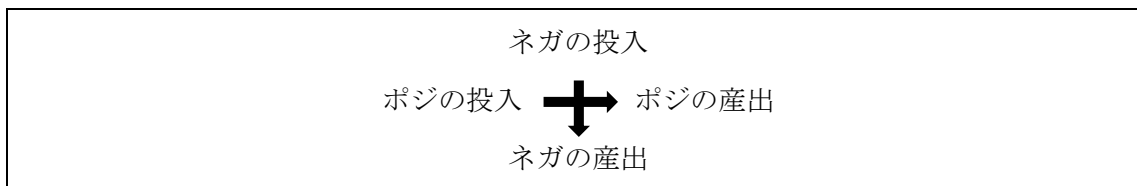
槌田敦は、物理的なプロセスの化学式的表現として、状態量としてのエントロピーを、流入と発生に分けて表現した(槌田敦(1992))。つまり、 ΔS をエントロピーの増加量、 f_s を流入量、 g_s を発生量とすると、 $\Delta S = f_s + g_s$ である²¹⁴。

また、物理的プロセスにおいて、玉野井芳郎(1979)におけるポジの生産とネガの生産という概念を取り入れ、これを一般的には化学式的表現で次図のように表現するようにした。

²¹³ J. W. Forrester (1961), *Industrial Dynamics*, Cambridge, Mass.: MIT Press.

²¹⁴ 槌田敦(1992)、『熱学外論－生命・環境を含む開放系の熱理論－』、朝倉書店、55頁。

図 3.2.1-2 生産のポジとネガ



出典：玉野井芳郎 (1979)他より著者作成。

上記のような概念で生産や、生物の物質とエネルギーの入出力を捉えることで、生物の本質が負のエントロピーを取り入れることである、と捉えた E. シュレディンガー(E. Schrödinger (1944))²¹⁵、(ただし、増補版で注をつけ、エントロピーを捨てるという表現を導入した²¹⁶。)や、上述の玉野井芳郎のような経済過程の捉え方について一貫して表現が可能となった。また、利用可能エネルギーの投入ばかりでなく、むしろ、廃棄される熱や物質の形でエントロピーの排出が、持続可能な活動にとって必須の要件であることがより明確にされた。

このような槌田敦の理論について、欧米のエコロジー経済学に紹介する役割を果たした K. マユミ (K. Mayumi (2001)) は、前述の N. ジョージェスクーレーゲンによる熱力学第二法則による物質的な資源の有限性、その再利用に関する悲観的見通しに対し、熱エントロピーを通じた高エントロピーの排出メカニズムを提案することにより、循環の可能性を示した槌田理論を相互に補完的{complementary}なものとしている²¹⁷。その上で、N. ジョージェスクーレーゲンには空気や水などの特別な物質（作動物質）と、準定常状態を維持

²¹⁵ E. Schrödinger (1944), *What is life? the physical aspect of the living cell & Mind and matter*, New York: Cambridge Univ. Press, based on a course of public lectures in 1943, Dublin Institute for Advanced Studies at Trinity College, Dublin.

²¹⁶ E. シュレディンガーは『生命とは何か』（原著 1944 年）において、生命がその状態を一定に保つにあたり、発生したエントロピーについて「負エントロピーで相殺」と表現した。翌年の増補版では、「第 6 章への註」において、「石炭が燃焼すると、多量の熱を生ずる。系はこの熱を周囲に放つことで処分し、事実上、反応前とおおよそ同量のエントロピーをもつ状態になる。」同様に、「我々（動物）が、熱を放出することは偶然的なものではなく、こうすることによって、生命の営みを行う限りつくり出す余分のエントロピーを処分できる。」とした。槌田敦 (1982)は、これをシュレディンガーが負のエントロピー説を明確に否定しなかったとして、その理由の一つを植物における光合成のプロセスにおいてエントロピーの処分が説明できていなかったため、としている。

²¹⁷ K. Mayumi (2001), *The Origins of Ecological Economics - The bioeconomics of Georgescu-Roegen*, London and New York: Routledge, p.64.

している重力場についての理解が十分ではなかったとしつつも²¹⁸、N. ジョージエスケーレーゲンが述べている²¹⁹、「生物が外界とのやりとりにおいて継続的に[物質を]分類する {sorts}」、という内容が、ちょうど槌田敦の理論における高エントロピーの排出メカニズムに相当する、としている。

3.2.2 槌田敦のエントロピー経済学の提案

資源物理学の提案当初より、ボールディング(K. E. Boulding (1966), (1968a),²²⁰ (1968b)²²¹)による、経済過程へのエントロピー概念の導入に着目していた槌田敦であり、その生産過程の分析的表現におけるエントロピー法則の適用に関しては、N. ジョージエスケーレーゲン(N. Georgescu-roegen (1971))の功績を評価している。第2章で論じた N. ジョージエスケーレーゲンと、槌田敦のエントロピー論の比較については、上述の K. Mayumi (2001) によるものの他に、室田武 (2012)による見解がある。

室田武は槌田敦の理論の評価の前提として、以下のように N. ジョージエスケーレーゲンの主張を整理する。

- (1) 生産関数を用いての経済分析を批判し、プロセス分析を重視²²²。
- (2) エントロピー法則に鑑み、地下資源耽溺型の経済の無限の成長はありえないと指摘。
- (3) プロメテウス論を展開し、プロメテウス III 世は登場しないと論じる。

²¹⁸ 同書、p.64 で以下のように述べている。”... the significance of special substances, air and water, and the role of the gravitational field for maintaining quasi-steady state may not have been fully appreciated.”

²¹⁹ N. Georgescu-Roegen (1971), p.192.

²²⁰ 前掲の K. E. Boulding (1966), (1968a), "The Economics of the Coming Spaceship Earth."

²²¹ K. E. Boulding (1968b), "Some Questions on the Measurement and Evaluation of Organization," *Beyond Economics*, Ann Arbor: Univ. of Michigan Press, pp.131-140.

²²² 原注(5)「NGRの生産関数アプローチ批判は次の論文(1969年12月にニューヨーク市で開催されたアメリカ経済学会年次大会におけるリチャード・アライ記念講演の原稿)に顕著である: Georgescu-Roegen, Nicholas (1970), "The Economics of Production," *American Economic Review*, Vol. 60, No. 2, pp. 1-9. (The 1969 Richard Ely Lecture)。コメンテーターは、ミネソタ大学大学院に留学していた時期、その初年度の1969年、クリスマス休暇を利用して上記の学会大会に出席した際、この講演を直接聞く機会に恵まれたが、当時の英語力では内容がほとんど理解できず、だいぶ後になって意味がわかってきた。」

(4) エネルギーだけでなく、物質にもエントロピー法則は該当するため、物質についても拡散あるのみで循環はない、と主張²²³。

出典：室田武（2012）、42 頁。

続いて、室田武（2012）における榎田敦と N. ジョージェスクーレーゲンのエントロピー経済学の比較について引用する。なお、原論文での表記は N. ジョージェスクーレーゲンの略称として、「NGR」を用いている。以下、引用する。

NGR の(2)、(3)については、榎田の主張も基本的に同じである。(3)のプロメテウス III 世の候補を NGR は高速増殖炉とする。そして、それによる核燃料の増殖などないとする²²⁴。榎田は、プロメテウスを論じはしないが、日本の増殖炉を徹底批判している点で、NGR と共通性がある。（榎田はさらに進んで、増殖炉の運転で、ブランケットに核兵器級の超高純度プルトニウムが生成されることをデータで論証した。）

NGR が (1) でいっているのは、生産活動はもともと結合生産であって、 $Y = f(K, L)$ のような道具立て ($Y =$ 生産物、 $K =$ 資本、 $L =$ 労働) では、経済活動を的確に議論することはできないということである。有用物も不要物も、さらには不要であるだけでなくどこかに捨ててしまいたい汚染物質や毒物も同時に生み出すのが生産活動であるから、投入ベクトルと産出ベクトルを並列するプロセス分析のほうに現実的であるとした（ように、コメンテーターには思える²²⁵）。そのうえで、産出物の各々の市場での価値付け（プラスいくら、ゼロ、マイナスいくらなど）を考えればよいとした。ワシーリ・レオンチェフは、自らの初期の投入産出分析（産業連関分析）を、後に汚染物質の産出を含む形に拡張したが²²⁶、これは、NGR

²²³ 原注(6)「Georgescu-Roegen, Nicholas (1977), “Matter Matters, Too,” *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Wilson, K. D., ed., New York: Praeger.]

²²⁴ 原注(7)「上掲のジョージェスクーレーゲン（1981）、91-92 頁、などで増殖炉批判が展開されている。」

²²⁵ ここでは、コメント論考であるため、コメンテーターは室田武を指す。

²²⁶ W. Leontief (1970), “Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, Issue 3, pp. 262-271.

のプロセス分析の理論を、実際の経済データを用いて操作可能な道具にしたものと解釈できる。

槌田のエントロピー経済学では、この点（公害、環境汚染などの問題）については、外部不経済の内部化といった表現でとらえており、新古典派の分析手法を継承しているように思える。

NGR の(4)についていえば、NGR と槌田とでは根本的な違いがある。槌田は、熱エントロピーの系外への廃棄が可能な系（システム）では、物質が持続的に循環しうることを論証（後述）。NGR は、物質循環そのものを否定した。NGR の主張に従って、ごみの完全なリサイクルなどありえないということはできるが、彼の理論は開放系の概念を欠くため、物質循環は説明できない。

出典：室田武（2012）、42 - 43 頁。

ここに挙げた室田武による N. ジョージェスケーレーゲンと槌田敦の理論の相違点について、著者はほとんど同じ評価である。補足として、室田武（2012）が挙げた、（4）の論点に関する N. ジョージェスケーレーゲンとの違いについては、K. Mayumi（2001）が槌田との相補性を強調したのに対し、室田武は相違点を強調する形になる。しかし、生物によるエントロピーに関わる行為について述べながら、高エントロピー排出に関わる特定のメカニズムに関して述べていない事を踏まえている点では、両者の評価は共通である。

また、(1)の相違点の新古典派経済学の分析の適用については、拙著、藤堂史明（2010b）²²⁷で論じたように、確かに新古典派経済学的な市場の機能についてかなり楽観的に肯定しており、いくつかの点で批判せざるを得ない。これは大崎正治が「熱力学派」に対して批判してきたこととも重なる。この点については第 6 章で再論する。

槌田敦の理論、すなわち「資源物理学」、あるいは「開放系エントロピー論」、この論文の文脈では「エントロピー経済学」の独自の展開として、以下の通り、その論点を整理しておこう。

²²⁷ 藤堂史明（2010b）、「市場メカニズムと「社会エンジン」の制御」、エントロピー学会誌『えんとりびい』、第 69 号、48-59 頁における「「熱力学派経済学」に対する大崎正治の評価」において、H. E. デイリーとの共通点を含めて、槌田の市場メカニズムの肯定論について批判した。

樋田敦(A. Tsuchida (1999)²²⁸)は、生きたシステムは孤立したシステムでも平衡状態のシステムでもない{Living systems are neither isolated systems nor equilibrium systems²²⁹}、として生きたシステムの持続に関する 5 つの条件、として以下の条件を挙げた。なお、エントロピーの均衡式{ balance equation for entropy }は A. Tsuchida (1999)、362 頁の式 (16.3) $f_1+g=f_2$ のことである。以下では原文 (英文) に続いて日本語訳を示した。

持続可能な活動の条件 1 : 低エントロピー資源の入手

- ① From this discussion we can see that the first condition for the continuous operation of engines, including living systems, is that the system can obtain from its surroundings material and energy (that is, high-temperature heat) as low-entropy resources, which appear on the left side of the balance equation for entropy²³⁰.

生きたシステムを含むエンジンの持続的稼働のための第 1 の条件は、そのシステムがその環境から物質とエネルギー (すなわち高温熱) を低エントロピー資源として入手できることであり、それはエントロピーの均衡式の左辺に現れている。

(下線部は著者による引用時のもの、以下同様。)

持続可能な活動の条件 2 : エントロピーの廃棄

- ② The second condition of continuous activity is discarding, outside the system, the entropy on the right side of the balance equation for entropy, which is the total of entropy entering the system and the entropy generated internally. As shown in note 2, entropy is attached to material or energy and discarded into the environment because it cannot be discarded by itself. To continue activity it is therefore vital to dispose of wastes and waste heat, which makes a

²²⁸ A. Tsuchida (1999), "Five conditions for sustainable living systems," *Bioeconomics and sustainability*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 352-379.

²²⁹ A. Tsuchida (1999), p. 353.

²³⁰ A. Tsuchida (1999), "An Engine's Maximum Work," p. 364.

‘zero-waste society’ impossible²³¹.

持続可能な活動の第 2 の条件は、エントロピー均衡式の右辺のエントロピー、すなわちシステムに入力されるエントロピーと内部的に生成されたエントロピーの合計を捨てることである。注 2²³²に示すように、エントロピーは物質あるいはエネルギーに付属するものであり、それ自体は捨てることができない。それゆえ、活動を継続するには廃物と廃熱を捨てることが必須であり、このことが「ゼロ廃棄物社会」を不可能にしている。

持続可能な活動の条件 3： 循環運転

- ③ The third condition for the steady operation of steam engines and internal combustion engines is cycle operation, in which the circulation of an internal working substance restores the engine’s material state and then repeats the same operation. It was Carnot who first proposed this in 1824. Many physics textbooks to date, however, often regard Carnot’s cycle as simply a handy calculation method, or they offer explanations that reduce it to a combination of the isothermal change and adiabatic change of an ideal gas. This can only mean that they do not understand the significance of the cycle

²³¹ A. Tsuchida (1999), “An Engine’s Maximum Work,” p. 364.

²³² 原注(2) : Regarding the interpretation of entropy in open systems (Tsuchida, 1992, Ch. 3), in the thermophysics of open systems, entropy is an attribute of material and heat. Entropy in isolated and equilibrium systems as understood heretofore is one component of open-system entropy, so open-system theory takes in all existing theory on isolated and equilibrium systems.

Open system entropy can be interpreted as an indicator showing the degree of diffusion of matter and heat. This makes possible the expressions ‘material entropy’ and ‘thermal entropy’. Another important characteristic is that entropy does not exist separately from everything else. Further, the entropy of mechanical energy is zero.

When considering life or the global environment, we may think of entropy as “pollution”, which yields the ‘quantity of material pollution’ and ‘quantity of thermal pollution’. Note that this is not the quality of pollution.

Open-system thermophysics has no need at all of interpretations by statistical mechanics. In fact, this would in many cases give learners harmful preconceptions. In particular, just as Georgescu-Roegen explained using the example of putting a bookshelf in order, this has no relation whatever to the indicator of randomness in information theory and other fields (Georgescu-Roegen, 1979).

operation that Carnot pointed out.

Cycle operation is a condition for the sustained activity of not only internal combustion engines and steam engines, but also living systems²³³.

蒸気機関および内燃機関の定常運転のための第 3 の条件は、内部作動物質の循環がエンジンの物質的状态を回復し、同一の運転を繰り返せることである。この条件を最初に 1824 年に示したのはカルノーであった。しかし、今日に至るまで多くの物理学教科書では「カルノーサイクル」を単に手軽な計算法として扱うか、それを理想気体の等温変化と断熱変化の結合に帰してしまっている。このことから彼らがカルノーの指摘した循環的活動の重要性を理解しなかったことは間違いない。

循環的活動は内燃機関と蒸気機関の持続的な活動の条件であるだけでなく、生命システムにとってもそうであるのだ。

持続可能な活動の条件 4： 複合物質循環

- ④ If there was only one kind of life in the environment, it would either consume all the resources in the environment or fill the environment with wastes, and that life would expire in a short time. The reason that the environment does not become filled with wastes is that there are other forms of life that use those wastes as resources, making the chain from wastes to resources into a compound material cycle.

When this compound cycle completes one revolution, material entropy returns to its original value, which appears to violate the law of increasing entropy. This problem's solution lies in the fact that the forms of life composing the system all give off heat. What happens is that, when this compound cycle makes one revolution, the surplus material entropy that was generated is all transformed into thermal entropy and discarded outside the system. This compound cycle is the fourth condition for the sustainability of living systems (Tsuchida (1992), ch.8). The thermal entropy generated by

²³³ A. Tsuchida (1999), "The Cycle Operation of Engines," p. 366.

ecosystem cycling is likewise ejected into space by the atmosphere and water cycles²³⁴.

もし、環境中に一つの生命しかなければ、その生命は環境中のすべての資源を消費するか、あるいは環境を廃棄物で埋めてしまうだろう、そして、そのような生命は短期間に絶滅してしまう。環境が廃棄物でいっぱいにならないのは、他の形態の生命がそれらの廃棄物を資源として用いることにより廃棄物から資源への連鎖を、複合物質循環としているからである。

この複合循環が1循環を完了すると、物質的エントロピーは元の値に戻るため、これはエントロピー増大法則に反しているかのように見える。この問題の答えはこのシステムを構成している生命の形態がすべて廃熱していることである。起こっているのはこの複合循環が1循環する間に、発生した余分な物質エントロピーはすべて熱エントロピーの形に転換され、システムの外に捨てられるのである。この複合循環が生きたシステムの持続可能性のための第4の条件である（槌田敦(1992)、第8章）。生態系の循環によって生じた熱エントロピーは同様にして大気及び水の循環により宇宙に捨てられる。

持続可能な活動の条件5： 遷移

- ⑤ Even if all four of the above conditions for the sustainability of living systems are met, that still does not mean all problems have been solved, because sometimes environments change, or the compound engine for the circulation of matter deteriorates and no longer works well even if repaired. In such situations, an ecosystem will overcome these difficulties and continue its activity by creating descendants, replacing some constituent elements with other life forms, or otherwise securing a new way of cycling material. This is ‘succession’, the fifth condition for the sustainability of living systems, and the reason for historical change in living systems including organisms, ecosystems and the global environment (Tsuchida, 1996).

²³⁴ A. Tsuchida (1999), “Regional Ecosystems as Compound Engines,” pp. 368-369 .

以上の 4 つの生きたシステムの持続可能性のための条件がすべて満たされたとしても、全ての問題が解かれたわけではない。なぜならばしばしば環境は変化し、あるいは物質循環のための複合エンジンは劣化し、修復されたとしても機能を果たさなくなるからである。そのような状況においては、生態系は、子孫を残し、一定の構成要因を他の生命形態で置き換え、または物質を循環させる新しい方法を確保することによってこれらの困難を乗り越えるのである。これが「遷移」であり、生きたシステムの持続可能性のための第 5 の条件であり、有機的組織体、生態系と地球環境を含む生きたシステムの歴史的な変化の理由なのである（槌田敦（1996））。

以上のように、槌田敦は生きたシステムの持続可能性の条件を述べたが、これはエントロピー経済学の視点からの環境経済システムの持続可能性の条件と考えてよいだろう。このような持続可能性の条件を市場経済システムの延長ないし修正によって可能とすることは、難しく、著者は市場経済における最適化、合理化の過程における経済的な持続可能性の条件（採算性、収益性）とは別に、必要条件としての環境経済システムの持続可能性の条件を捉えるべきと考える。

3.2.3 槌田敦の「社会エンジン」論と市場経済システムの有効性論

以上のような生きたシステムの持続可能性の条件を踏まえて、槌田敦は、市場経済を含む経済社会を駆動する原理を「社会エンジン」という言葉で捉えた。槌田敦による「社会エンジン」²³⁵という言葉は、言葉の上の比喩ということだけでなく、エンジンの本質を以下のように定義し、人類の経済社会がその性質を備えていることを示すものである。

- A: 利用可能エネルギーをその媒体である物質（資源）として取り入れること。（エンジンでは燃料を注入すること。）
- B: 活動を取り出すこと。（エンジンでは爆発収縮のサイクルにより動力、仕事を取り出すこと。）
- C: 増大したエントロピーを、廃物や廃熱の形で自らのシステムの外に放出して、元の状

²³⁵ 「社会エンジン」は、槌田敦（2007）で用いられた表現であるが、槌田敦（1992）においても、すでに実質的には同じ事項を指す「社会を熱化学機関として設計する」という表現（同書 181 頁、9.3 節見出し）がある。

態に戻ること。（エンジンでは排気ガスや廃熱の放出により、物質とエネルギーに関して燃料注入前の状態に復帰すること。）

以上の性質を備える経済社会全体を「社会エンジン」と捉える。経済社会はちょうどエンジンのように自然環境から利用可能エネルギー及びその媒介としての資源（燃料、食料、原料資源等）を取り入れ、生命としての人間と、その集合体としての社会（そこでの農業、工業、商業活動等）を営み、発生したエントロピーを廃物（固体廃棄物、排ガス、廃液等）や排熱で放出しているという点で、まさに力学的エンジンと同様の循環的な活動を維持する仕組みとして捉える。

これらの条件を踏まえ、槌田敦はさらに、社会の物質循環は需要と供給によって駆動されている、との認識を示した。これは、需要と供給の関係を無視したりサイクル運動への批判として提示されているが、江戸期の商業経済により、物質循環が豊かになり、自然環境と人間社会の関わりによって植物や魚類の生育が盛んになった例を挙げ、需要と供給の関係によって運営される市場経済システムが、必ずしも生態系を破壊する訳ではなく、自然の物質循環に乗せることが出来る資源利用と廃物と廃熱の出し方が、持続可能な経済活動のための条件であることを提示した。

このような、市場経済システムの肯定的評価は、槌田敦（2007）における「エントロピー経済学」の呼称の開始と、その展開にも見られるが、槌田敦（2012）において、これが「古典経済学の復権」と呼称されているように、原理的な「市場経済システム」に対する評価であり、各経済学説の正確な評価に基づいているとは言えない。また、現実の市場経済システムを包含する経済社会総体の評価と捉えることは、できないことに注意が必要である。

これは、以下の問題による。槌田敦（2007）は、「紙幣を含め等価交換が保証されているとき、物の要求（需要）側と金銭の要求（供給）側のふたつの欲望が結合して商取引が成立する。この商取引により、商品が移動（物流）し、これが繋がって社会の物質循環となり、また金銭は逆向きに流れて金銭循環となり、社会の物質状態と金銭状態は再生され、維持されることになる」と金銭循環と商取引を物質循環の実現手段として評価し、金銭経済がそれだけでは健全な経済を実現しない要因として「外部不経済」という社会の機能の劣化」もある場合に、とりわけ、「エントロピー経済学とは、劣化した社会を健全な社会に修復、再生し、人間社会の持続可能性を得る経済学のことであり、社会の病理学と考

えてもよい。」とした。

しかし、拙著、藤堂史明 (2010b)²³⁶で述べたように、市場メカニズムと「社会エンジン」の制御の間には、理念上、そして実際上のいくつもの課題が存在する。理念的には、古典派ではなく「新古典派経済学」が想定するように、市場経済システムを市場メカニズム（価格を媒介とした財の配分の最適化）に還元して理解することは、

1. 環境上に定義された財の経済価値（貨幣的価値）を、あたかも実際の環境システムの機能評価であるかのように捉えることにつながる。
2. 現実の市場経済システムは資本主義経済であり、資本の蓄積と社会的な階層分化が生じる。この点も、市場経済システムを市場メカニズムに還元する理解では欠落する。という問題を発生させる。

資本の蓄積や社会的な階層分化が、つまり、社会的な公正の観点からして正当化されず、社会の不安定化と闘争を生み出すことは、K. マルクス(K. Marx (1867)²³⁷)の、古典的な指摘を待つまでもなく、明らかである。

槌田敦による外部不経済性の内部化の議論は、A. C. Pigou (1920)²³⁸ や W. J. Baumol and W. E. Oates (1988)²³⁹等による「外部性の内部化」の議論と同様に、極めて新古典派経済学的でありながら、一方、自由貿易批判として、「貿易商人による搾取」の問題を提起しているため、一見矛盾している。なぜなら、理念的には、市場経済の交換モデルは、自由貿易の最も単純なモデルと同じ構造であるからである。

図 3.2.3-1 は、二つの座標軸が 180 度の角度で交差し、二つの経済主体にとっての財のない状態（原点ゼロ）が対極に位置する箱状のグラフ（エッジワースボックス）を示している。それぞれの原点を経済主体とおけば、二種類の財に対する需要と供給が一致する、最適な状態が市場均衡となり、それぞれの主体にとって効用の上昇になることが、また、それぞれの原点を二国の財の原点に置けば、自由貿易により、二国の厚生水準が上昇することを示すモデルとなる。

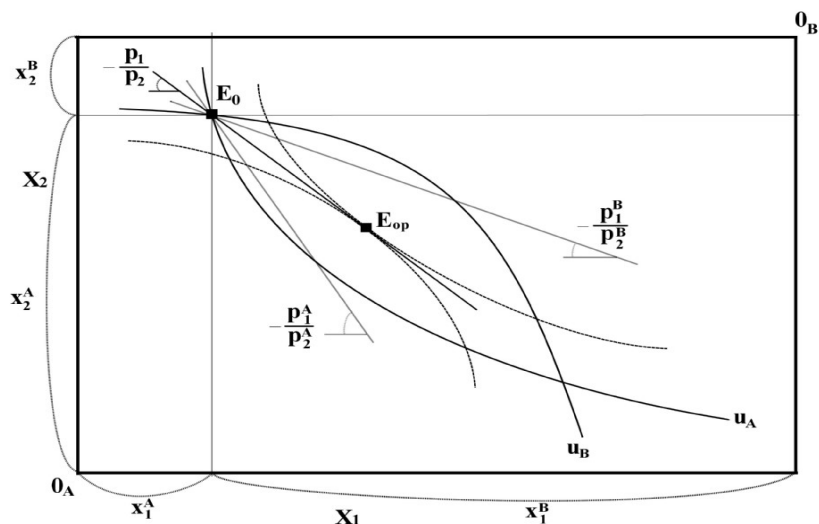
²³⁶ 前掲、藤堂史明 (2010b)を参照。

²³⁷ K. Marx (1867), *Das Kapital*, Hamburg: Verlag von Otto Meissner.

²³⁸ A. C. Pigou (1920), *The Economics of Welfare*, London: Macmillan. (Reprinted in, Cosimo Classics, 2006.)

²³⁹ W. J. Baumol and W. E. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy, Second Edition*, Cambridge: Cambridge University Press.

図 3.2.3-1 交換と貿易の利益と媒介者



出典：拙著、藤堂史明 (2010b)より図 4-2. 「交換・貿易の利益と媒介者」

図中で X_1 、 X_2 はそれぞれ第一財、第二財を、A、B は二経済主体を表わす。初期配分 E_0 としたときのパレート効率的な交換の可能性は初期配分で交差する二者の無差別曲線により囲まれた領域になる。二財のどちらかを価値尺度財とすれば、 E_0 点から斜めに伸びる直線の傾きで示す相対価格が交換比率を決定する。

しかし、図中の相対価格を示す直線が複数引けることが示すように、交換の当事者にとっては交換により得られる便益は、交換比率により大きく左右される。これが相対の物々交換ではなく、商人を挟む場合はそのマージンも各経済主体にとっての交換比率（相対価格）に影響を与える。

これは、槌田敦が需要と供給による市場経済による物質循環の駆動が正しいと言うとき、貨幣的価値評価の欠陥と、資本主義経済の実態を捨象した、理念的、古典派的な市場経済を前提としているため、と著者は考える。これに関して、槌田敦は単に新古典派経済学の手法を採用するのではなく、「これに修復・再生を重視するエントロピー論の立場から補正することにしよう。」と述べて、公害企業による住民被害の場合、交渉が門前払いされるケースと、過剰供給が当事者の企業にとっては利益を生み、また経済学の観点そのものが、環境破壊を伴う外部不経済とその膨張を経済成長に帰してしまうという点を挙げてい

る。また、槌田敦自身が、その問題意識について、格差社会では、供給者からの排除である失業と、需要者からの排除である貧困が生じる、と取り上げている。

つまり、事実認識としては、著者が前述した二つの問題点は、槌田敦の議論には既に織り込み済みのようである。それにも拘らず、外部性の内部化により「社会エンジン」の修正が可能であると、語弊のある表現がされているのは、惜しい事である。

第2章の小括に述べたように、H. E. デイリーの市場経済システムの評価にも共通するが、このように範囲を区切って、新古典派経済学とエコロジー経済学の有効性について論じる総括の仕方は、曖昧さと誤解を招く。また、市場メカニズムによる配分メカニズムが資源、環境問題に対しても有効である範囲ないし境界の定義を「問題の起こらない領域」²⁴⁰とすること自体が同義反復で、説明になっていない。

エントロピー増大法則にしたがった不可逆的過程は、経済過程を含むすべての現象に貫徹しているからである。これを貨幣的価値という交換を前提とした可逆的過程に写像して、その不可逆的過程としての性質を消去してしまうことの問題点は看過できない。そして、この不可逆性というエントロピー増大法則の最も重要な性質が顕著に現れているのが、原発事故と放射能汚染の問題なのである。

3.2.4 槌田敦とF. ソディの物理的な富の理論

一方で、ここまでの議論において槌田敦は熱力学の法則を前提としてエントロピー経済学を構想しているにもかかわらず、貨幣的価値を基準として市場メカニズムが作動することに対し、あまり批判的に述べていない。この要因としては、F. ソディ (F. Soddy (1926)) の経済学に対する、先行研究である H. E. Daly (1980) や、室田武 (1979b) での評価と異なり、N. Georgescu-Roegen (1971) にも見られる、欠落ないし評価不足があると思われる。

F. ソディの価値及び富に関する議論は一貫しており、F. Soddy (1926) の第6章において、価値の根源を利用可能エネルギーとして、利用可能性を体化した第I種の富と、富の生産のための手段である第II種の富について、次のように定義している²⁴¹。

〔富Iの生産〕： 原材料+利用可能エネルギー = 富I

²⁴⁰ この表現自体は、著者による両者の理解によるものである。

²⁴¹ 室田武 (1979b) による最初の日本語訳では「有用なエネルギー」である。本論文では著者の用語の使い方である「利用可能エネルギー」とした。なお、当該箇所については藤堂史明 (2006b) で全訳の上、考察した。

〔富Ⅰの消費〕： 富Ⅰ = 生命エネルギー+廃エネルギーと廃物

〔富Ⅱの生産〕： 原材料+利用可能エネルギー = 富Ⅱ+廃エネルギー

これは、形を変えたシステムへの利用可能な物質とエネルギーの投入と、ポジの産出、ネガの産出を表しているものであり、利用可能エネルギーと廃エネルギー、原材料と廃物という概念により、エントロピーの発生と廃棄という構造も捉えている。この意味で、F. ソディこそ、エントロピー法則の経済過程の分析への適用を最初に示した研究であり、また、仮想的富としての負債と、貨幣的富に基づく市場経済批判としての展開は、物理科学の観点からの社会科学の統合と言う意味で、重要な貢献である。

なお、この物理的富の概念は、原子エネルギー利用を含む、市場経済における価値の創出メカニズムについて考察する際のポイントであるため、第3.4節で再論する。

榎田敦はエネルギー利用の捉え方の提起、社会的な問題提起という意味ではF. ソディに似ており、物理科学と社会科学の統合的視点からの理論展開をした点においても、両者の固有の学術的意義は時代を超えて評価されるだろう。

3.2.5 榎田エントロピー理論と東電福島第一原発事故

2011年3月の東電福島第一原発事故は、利用可能エネルギー生産技術としての原子力発電が、放射性廃棄物を生み、エネルギー生産技術として未完のものであるとの、日本における榎田敦をはじめエントロピー学派の一連の指摘の正しさを世に示すことになった。日本国民は、国土の相当部分に深刻な放射能汚染を受けたことを念頭に置き、今後、少なくとも数十年に渡り、環境汚染、食物汚染として放射性物質に対処していかななくてはならなくなった。そして、事故が生じる前より、根本的な問題としての使用済み核燃料等の高レベル放射性廃棄物の発生と、その10万年から100年以上にもわたる未来の子孫、生態系への負担の転嫁についても、改めて認識を深めることになった。

榎田敦の「開放系エントロピー論」は、核融合発電批判から資源と廃棄物の質の根源、利用可能エネルギーとエントロピーの廃棄というシステムの活動要因の構造を解き明かし、熱学から地球環境のシステム的理解にいたる大きな構想を展開してきた。また、当初より、科学者の社会的責任や、作られた社会問題、社会にとっての真の問題について警鐘を鳴らしてきた。総合的な社会観としては、榎田敦(2009)²⁴²が述べるように、熱機関と

²⁴² 榎田敦 (2009)、『「地球生態学」で暮らそう』、ほたる出版。

しての人間社会が、科学技術による過剰生産と、自由貿易、そして金融経済を制御し、定常的な物質循環の範囲で需給を満足させることが出来るようになることが、市場経済を内包する持続可能な環境経済システムの条件と言っても、間違いではないだろう。

これらの点について著者に異存はないが、F. ソディと異なり、槌田敦にはより多くの議論と知見の蓄積があった。市場経済と生態系の制約との関係性についても、単に原理論的な市場経済評価として、古典派経済学を再評価するのではなく、現実の経済の構造を解析し、経済価値の創出が、技術的な投入産出関係から離れた、仮想的な貨幣的価値の創出メカニズムと連動していることが考察できるのではないだろうか。著者は、原子エネルギー利用の見込みの収益性と同様に、エントロピー排出という差異を必要とする構造と、それに基づく価値の創造プロセスが、環境経済システムの分析のポイントであると考えている。

3.3 C. メンガーの「経済の二つの方向性」から玉野井芳郎の「広義の経済学」へ

3.3.1 玉野井芳郎と経済の二つの方向性

玉野井芳郎は日本におけるエコロジー・エントロピー経済学の取り組みに重要な貢献をした先駆者の一人であり、その方向性は、室田武や槌田敦と異なり、物理科学的な経済過程の分析を出発点とはせず、近代経済学、とりわけ新古典派経済学の方法論の限界をシュンペーターの議論から読み取るところから始まり²⁴³、K. ポランニーやK. E. ボールディングなどの研究から、従来の経済学の転換を説く独自の視点から「広義の経済学」という拡張された経済学概念へと理論的に統合することを試みたことにある。

その中で、エントロピー増大法則への着目や、「エントロピー学会」を通じた室田武、槌田敦らの研究集団との交流は、玉野井芳郎の研究の方向性に大きな影響を与えたことは間違いないが、それは玉野井芳郎が以前から構想していた「広義の経済学」の一つの理論

²⁴³ 玉野井芳郎 (1971)、「新古典派 100 年の今日的意味—期待される「パラダイム」論争—」、『経済セミナー』、1971 年 6 月号、13・23 頁。同論考 15 頁でシュンペーターの均衡理論の意義と限界を問題にした発言として以下を引用している（その一部を引用）。

「…ワルラスは経済生活というものはとうぜん本質的に受動的なものであり、ただそれにはたらきかける自然的・社会的影響にみずから適応するにすぎないものであるから、定常過程の理論は理論経済学の全部を事実上構成する、といったであろう。（事実また、私が彼と話すことのできた唯一の機会にも、そのことを私に語った。）…私は、このような考え方は誤っており、経済システムの内部に、達成されうる均衡をみずから破壊するようなエネルギー源が存在している、ということ強く感じる。」（『経済発展の理論』日本語版への英文序文(1937 年)）

的支柱として、システム理論やエントロピー経済学の考え方を取り入れたということに近いのではないだろうか。

序章で述べた通り、新古典派経済学は市場経済メカニズムの解明のため、分析対象を財及びその価格と経済主体の行動に絞り込むことにより、純粋な経済学モデルを構築した。

玉野井芳郎が邦訳して紹介した K. ポランニー((K. Polanyi (1958))によれば、新古典派経済学の成立に貢献した C. メンガーは、経済の「基本的方向」として次の二方向を挙げた。

手段の稀少や不足に関係なしに、生産の必要性からくる方向、テクノ・エコノミック {techno-economic} な方向性と、手段の不足からくる経済化への方向性 {economizing}、の二つである。C. メンガーは以下のように述べる。

a 技術的—経済的な配分

もしもわれわれが、自分たちの究極的な欲望を満たすのに直接に役立つ（そのまま享受できる）財を、その欲望があらわれしだい、その種類と程度、さらに時間と場所についてもまったく思いのままに支配できるものとすれば—それはいわば楽園的な状態だが—、あらゆる経済（ヴィルトシャフト）の必要性は失われてしまうであろう。みずから働きかけることが基本的になくとも、まわりの自然的な状況のおかげでわれわれの欲望満足が保証されていることも、現実の諸関係の下で少なからずあるものである。水源や森林に富む地域では、（中略）人間の欲望を満たすのに重要な財が住民にたいして十分に豊富に、しかも持続的にかつすぐ享受できる状態で、自然自体によってすでに提供されていることも多い。これらの財を占守し調達するのに必要な労働給付が、實際上まったくとるにたらないかあるいは些少なものでしかない場合には、事情がこのまま続くことが確実である限り、これらの財に関しては、経済（ヴィルトシャフト）という現象は現れない。

（中略）

つまりわれわれの直接的な財需求を満たすのに必要なすぐ享受できる財が提供されるのではなく、一部はそれに対応する生産手段としてわれわれに提供されるにとどまるという状況だとするならば、究極的な財需求を満たすべく生産手段に目標と方向を与える、配分的な活動 dispositive Tätigkeitの必要性が、われわれの前にあらわれる。人間の営為のこの方向（こうした配分的な活動、およびその活

動に条件づけられる認識活動)を、私はこれから技術的 - 経済的な technisch-ökonomisch 方向と名づけることにしよう。

出典：C. Menger (1923)²⁴⁴、邦訳 C. メンガー (1982)、『一般理論経済学—遺稿による「経済学原理」第 2 版』第 4 章 経済と経済的財の理論、第 3 節 人間の経済の基本的な二方向、120 頁、下線部は著者による強調。

また、この技術的—経済的な配分は、「生産要素のたんなる技術的配分」である技術的な生産と混同してはならないとも述べる。そして、その方向の要約としては

1. 享受財にたいするわれわれの将来の欲望の種類と度量、場所と時間の認識
2. そのため直接に支配しうる享受財の種類と規模、場所と時間の認識
3. 未充足需求のための享受財を作り出すのに適した生産手段の認識
4. 支配しうる生産手段に目標と方向を与える配分的な行為

の 4 要素とした。エントロピー経済学との関わりでこの要素を再検討すれば、これらは、将来的な財の欲求に応えるためのあらゆる生産要素及びその配分行為を含むと考えられるため、自然環境やその生産要素、すなわち利用可能エネルギーや物質的資源の循環的供給メカニズムである地球熱機関も含めて考えて良いと思われる。

一方、C. メンガーは経済の対象となる主要な方向性として「節約化の方向」を挙げる。

b われわれの支配しうる財の不足からおこる人間経済の（節約化）の方向

すべての生産手段が技術的な視点からみた労働 *technische Arbeit* も含めて、質量ともに十分にわれわれに支配可能になっている場合でも（それはとりわけ、経済活動を行う主体にとって技術的な労働が何らの福祉上の犠牲をも意味しないということ、前提にするであろうが）、人間経済の技術的な方向はやはり現われるであろう。この場合にも、われわれの究極的な財需求を充足するという目的のためには、しなくてはならないことがある。

²⁴⁴ C. Menger (1923), *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre, 2. Aufl., mit einem Geleitwort von Richard Schüller, aus dem Nachlaß herausgegeben von Karl Menger*, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky. 邦訳 C. メンガー (1982)、八木紀一郎・中村友太郎・中島芳郎訳、『一般理論経済学—遺稿による「経済学原理」第 2 版』、みすず書房。

(中略) 需求があらわれる場所と時間(とりわけその種類と度量)、さらには、われわれがその時に支配しうる生産手段の性質とそれが生産物にたいしてもつ技術的な関連、といった諸点について将来の期間にわたって判断を下し、(中略) 生産手段を配分する活動を展開しなければならない。

さらに、経済的な(ヴィルトシャフトリッヒ)活動の第二の方向の原因となる、人間の経済にとってきわめて意味深い事情がつけ加わる。それは、享受手段のほとんど大部分のみならず、享受手段を作り出すのに必要な生産手段自体、その大多数は、われわれが先行的配慮をおこなう期間についてみると十分には支配できないという事情である。(中略)

この基本的な原因からでてくる、配分的な、つまりわれわれの究極的な財需求の充足に方向づけられた活動、およびそれによって条件づけられている認識行為には、残念ながら、この概念を十分に包括した独自の表現が欠けている。私はこれを(人間の営為のたんに技術的-経済的な方向と区別して) その節約化(経済化)の方向 sparende (ökonomisierende) Richtung と名付けることにする。

出典：C. Menger (1923)、邦訳 C. メンガー (1982)、『一般理論経済学-遺稿による「経済学原理」第2版』第4章 経済と経済的財の理論、第3節 人間の経済の基本的な二方向、邦訳 122-124 頁、下線部は著者による強調。

以上のように経済の第二の方向性について論じた C. メンガーはその内容について以下の5点を挙げている(著者による要約表示)²⁴⁵。

1. 将来の一定期間の享受財への欲望とその場所と時間、相対的な意義の認識努力
2. 将来の一定期間の支配可能か支配可能になると予想される享受財の度量の認識努力
3. 将来の一定期間、不十分にしか支配できない享受財の有意な部分を喪失や損傷から護り、予防しようとする努力
4. 十分な支配できない享受財について、できるだけ少量で欲望を達成しようとする努力

²⁴⁵ C. Menger (1923)、邦訳書、125 頁。

5. 不十分にしか支配できない財について、重要な満足行為から完全に達成するような充用法を選ぶ努力（時間的な配分を含む）

C. メンガーは、このように要約した人間経済の二つの基本方向は互いに互いの条件となることはないが、ほとんど例外なしに同時に生じており、つまり、二つの基本方向またはそれらの結合として経済的（ヴィルトシャフトリッヒ）な努力及びその特殊な諸方向が生じるとしている²⁴⁶。

以上の二方向について、希少な財の市場における配分メカニズムを分析する新古典派経済学の方向性が、項目 b の節約化（経済化）の方向 sparende (ökonomisierende) Richtungであることは明らかである²⁴⁷。

玉野井芳郎は、ここに引用した C. Menger (1923) の 1982 年の邦訳書において「メンガー遺著の初訳本刊行にあたって」と題する論考を寄稿しており、それは C. メンガーの『経済学原理』初版 (C. Menger (1871)) への、限界効用理論を導入した新古典派経済学の創設者の一人としての評価とは別に、C. メンガー自身は、その理論的フレームワークを大きく書き換える作業を開始したと述べている。人間経済の二つの基本的方向に関する節は第二版で新たに書き加えられた部分であるが、この意義と C. メンガーの本来の意図が正しく蘇りうる背景として、前述した K. ポランニーによる評価を挙げたのである。

K. ポランニーは、新古典派経済学に継承されたのは、そのうち後者の希少性から生じる経済化の方向 (C. メンガー邦訳書：節約化（経済的）方向 sparende (ökonomisierende) Richtung) だけであり、前者のテクノ・エコノミックな方向（同邦訳書：技術的 - 経済的な technisch-ökonomisch） 方向に関する、技術的かつ実体的な内容は、学問上の地位を失って結局忘れ去られてしまった、としている。

上述の K. ポランニーによる指摘は、低開発地域における非市場経済の研究の発達や古代

²⁴⁶ 同書、127 頁。

²⁴⁷ 倉坂秀史 (1999b)、 「経済学における物質的アプローチの試み（下）」、 『千葉大学経済研究』、第 14 号第 2 巻、375-412 頁、は逆に、これらの二つの方向性のうち従来の経済学に欠けていたのは「節約化」の方向性であるとしている。これは同論文における「サービスの缶詰」理論の「省資源労働」の意義を強調してのことであるが、ここで問題とする環境上の関係性を考慮するという方向性が、従来の経済学に欠けていたという立場であることには違いがない。

文明の経済活動の研究について着目した文脈²⁴⁸ではあるが、この指摘は、環境経済システムとしての市場と環境の関係についても当てはまると考えることができる。

エコロジー・エントロピー経済学と対比される新古典派経済学の中で、環境汚染をはじめ、技術的な要因により生じる、不可逆で相対的な稀少性に類しないため交換対象にならない事象の経済過程への関係性が、金銭価値評価という稀少性の観点に限定した評価しか受けないのは、このような経済の本質的な二方向性のうち片方しか引き継がなかった新古典派経済学による純化ないし省略化のためだと思われる。この顕著な例が現れるのが、放射線被ばくのリスク評価とその社会的受忍の文脈であると考えて、本論文では第4章でその問題点を明らかにする。

なお、このような環境上の不可逆な現象を金銭的価値という本質的に可逆的な、すなわち「交換」を前提とした価値体系に当てはめてしまう考え方が、古典派経済学よりさらに古い時期に分岐したと捉える考え方もある。H. Immler (1985)²⁴⁹の記述は以下の通り。

アウグスティヌス以降、自然価値と使用価値の間にはもはやいかなる境界線も引かれないという意味での強調点の変移が生じただけではない。アウグスティヌスによって定義されたような自然価値とアリストテレスによって定義されたような使用価値は、アルベルトゥス・マグヌス²⁵⁰以降、価値理論においてもはやいかなる場ももたなかった。それ以降、次の三つの理論的な革新が経済価値学説のあり方を規定することになるのである。

1. 交換価値が関心の前面に押し出される。価値の物象的源泉がいかなるものであり、この源泉が交換価値に対していかに影響を及ぼすか、ということは問われることはなく、価値分析は商品の交換価値を現象として解明することを試みる

²⁴⁸ K. ポランニーは以下のように述べている。K. Polanyi (1958), p.16. “THE ECONOMICS of underdevelopment is giving rise to problems at varying levels of abstraction”. … “Yet alongside today’s developing peoples of Asia, Africa, and the Americas, non-market societies comprise most of the highly civilized empires of antiquity, which also had neither secondary industries nor market systems. And indeed there is the same lack of understanding of the manner in which the economy operated in all pre-industrial non-market areas,…”

²⁴⁹ H. Immler (1985), *Natur in der ökonomischen Theorie*, Opladen: Westdeutscher Verlag. H. イムラー (1993)、栗山純訳、『経済学は自然をどうとらえてきたか』、農産漁村文化協会。

²⁵⁰ A. Magnus は13世紀のキリスト教神学者、1280年没。

ことになる。

2. 使用価値はもはや自然に対する関係の中で考察されることはなく、交換に対する関係の中で考察されることになる。それとともに、使用価値はますます個人主義的な効用に関する概念となり、これに対して自然との物象的関連は失われていく。
3. 労働が価値理論の本質的な構成要素となる。労働の意義が増大することは経済的価値の源泉としての自然の正当な評価が低下していくことに対応している。

H. イムラー (1993)、邦訳書、43-44 頁。

H. イムラーは、フィジオクラシー（重農主義学派）のみが、経済学の潮流の中で自然の価値形成能力に重きを置いてきたとして、古典派、マルクス、新古典派（イムラーの用語でブルジョワ）経済学の価値理論と対置している。そして、労働と労働価値にはフィジオクラシーではほとんど注意が払われていない（前掲 邦訳書、427 頁）としている。

フィジオクラシーには、自然の利用可能なエネルギーの流れに価値形成の源泉を求め、人間労働をその効率を高める媒介物として位置付ける、F. ソディの考えと共通点が認められると著者は考える。また、K. ポランニーによる指摘に関連づければ、「テクノ・エコノミック」な関係性が、ここでの「自然に対する関係」に含まれるのではないかと考える。

3.3.2 玉野井芳郎とエントロピー

玉野井芳郎のエントロピー論に関する構想は、玉野井芳郎(1978)『エコノミーとエコロジー』²⁵¹に所収された「物質代謝の広義の経済学をめざして」によって開始された。玉野井芳郎は、新古典派経済学において、またマルクス経済学においても生産は生産的消費として捉えられているが、これは厳密に考えれば、製品を産出する「ポジ」の工程と、資源を消費し、廃物や廃熱を産出する「ネガ」の工程に分かれ、このネガの工程はエントロピー論で捉えられるとした²⁵²。

²⁵¹ 玉野井芳郎 (1978)、『エコノミーとエコロジー—広義の経済学への道—』、みすず書房。同書が玉野井芳郎の「広義の経済学」の集大成であるが、序論にも述べた通り、玉野井芳郎 (1975)に C. メンガー及び K. ポランニーの研究の流れを受けた立場の端緒が示されている。

²⁵² ポジとネガの生産工程の概念図は、3.2 節に示した。

そして、玉野井芳郎は、「この「ネガ」ということばが示すように、この副々製品である廃棄物の産出のほうが、「ポジ」の製品よりも社会的影響に重大な意味を持ちはじめているということを経済学にどのように取り入れたらよいのかということから、エントロピーへの関心が生じた²⁵³」とのことである。

玉野井芳郎は、こうして「狭義の」経済学においては、市場経済あるいは商品経済において、生産と消費が循環し続けるモデル、あるいは、物質の連続的な再生産が可能となるような自然環境が、暗黙に前提とされてきたが、これが、公害及び環境汚染に現れている工業化社会の環境影響が表面化するにつれて、問題となると考えたのである。

玉野井芳郎に影響を与えた経済学者の一人が、前掲の K. E. ボールディングである。ボールディングは、スループットの少ない社会により、エントロピー増大を抑制することを提案した。玉野井芳郎は K. E. ボールディングを評価しつつも、リサイクルについては批判し、「ここで、厄介な問題は、この廃棄物を再利用して、資源のリサイクルをはかろうとすると、他の低エントロピー資源がまたどうしても必要となってくることです²⁵⁴。」と述べ、エントロピー増大法則に規定され、物質的な資源の循環の限界を考慮しつつも、持続可能な系としての開放定常系を経済の物理的な条件とする、次節で述べる「広義の経済学」を構築しようとしたと考えられる。

玉野井芳郎のこのような着想のきっかけについて、教え子でもあり同僚でもあった公文俊平は、「のちに『エコノダイナミクス』と呼ばれるようになったケネス・ボールディングの思想体系の意義や、エントロピー概念の社会科学への応用の可能性に注目したのは、私も玉野井先生とほぼ同じころではなかったかと思う²⁵⁵。」と述べている。公文俊平はまた、米国留学中に、K. ポランニーの『大転換』について玉野井芳郎に最初に手紙で伝えたとのことである²⁵⁶。

槌田敦によれば²⁵⁷、1983年9月24日設立の「エントロピー学会」の設立趣意書の次の言葉に、同学会の設立者の一人である玉野井芳郎の思想が現れているとのことである。

²⁵³ 槌田敦 (1986)、「玉野井先生とエントロピー」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、268-273 頁。

²⁵⁴ 槌田敦 (1986)、前掲論文、270 頁。

²⁵⁵ 公文俊平 (1986)、「玉野井先生の思い出」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、232 頁。

²⁵⁶ 公文俊平 (1986)、前掲論文、232 頁。

²⁵⁷ 槌田敦 (1986)、前掲論文、271-272 頁。

この学会における自由な議論を通じて、力学的または機械論的思考のみに片寄りがちな既成の学問に対し、生命系を重視する熱学的思考の新風を吹き込むことに貢献できれば幸いである²⁵⁸。

3.3.3 玉野井芳郎の「広義の経済学」

玉野井芳郎は、種々の新しい経済学の概念を提起しているが、「生命系の経済学」あるいは「広義の経済学」がその代表的な新概念²⁵⁹と言えるだろう。関根友彦 (1986)²⁶⁰は、玉野井芳郎の「広義の経済学」について、以下のようにまとめている。

長い経済学遍歴の最後の一〇年間に、玉野井芳郎先生が求めつづけてこられた「広義の経済学」とは、いったいどういう内容のものであろうか。まず、先生のこの時期の業績を概観すると、だいたい次の三つの柱が浮かび上がる。第一は「生命系」という概念の確立であり、これによって従来の経済学における一面的な生産論を批判・超克しようとしておられる。

第二には、これと裏腹の関係で、「現代文明の批判」がなされている。すなわち、狭義の生産性概念に立脚する現代の科学技術が、一見、人間生活を豊かにするかのようでありながら、実は地球上の生命を組織的に破壊する傾向をもつことを鋭く批判しておられる。

そして第三には、かかる死のテクノロジーに振りまわされる不健全な現代社会に対立するものとして、ローカルな生態系に埋め込まれた『地域社会』の提唱がある²⁶¹。

すなわち、エントロピー増大法則と、生態系のシステムについて着目し、高エントロピーを捨てながら、資源を循環させてゆく生命の能動的な働きに着目した「生命系」の考え

²⁵⁸ 前掲のエントロピー学会「設立趣意書」を参照。 <http://entropy.ac/about/prospectus/> 2018年12月17日参照。

²⁵⁹ 既に述べたように、「広義の経済学」の言葉自体は、すでにマルクス経済学分野で用いられていた。

²⁶⁰ 関根友彦 (1986)、「玉野井理論の構造」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、246-252頁。

²⁶¹ 関根友彦 (1986)、前掲論文、246頁。

方、そして、工業的な生産と消費による環境破壊、汚染に着目した「現代文明の批判」、代替的な社会の方向性としての「地域社会」である。

「現代文明の批判」としての原子エネルギー利用の批判²⁶²は、槌田敦が言及するように例えば次の文に見られる。「原子力発電は、構造材料に放射線という極端な物性的制約が加えられる。そのため不可逆的劣化は、原子炉を死の塔とする。この10年間、日本では毎年二基の割りで原発を建設してきたから、いずれ毎年二基ずつ「廃炉」になる。いよいよ「灰色」の時代が迫っている²⁶³。」

関根友彦の言及する玉野井芳郎の「地域社会」の提言は、つまり「地域主義」になるが、この主義は以下のように定義されている。

現存の社会・経済システムに自然・生態系を導入することは、社会システムに“地域主義”(regionalism)を導入することにひとしいのである。ここに地域主義とは、一定地域の住民が風土的個性を背景に、その地域の共同体にたいして一体感をもち、みずからの政治的・行政的自律性と文化的独自性を追求することをいう²⁶⁴。

玉野井芳郎の提唱した「広義の経済学」は、既に述べたように原義のエンゲルスの「広義の経済学」²⁶⁵とはまた別の玉野井芳郎独自の視座を提起しており、生態系の働きを重視するエコロジー経済学の流れの中で、エントロピー増大法則を説明原理とするエントロピー経済学の一部と考えて良いだろう。地域主義の部分については、玉野井芳郎独自の論点が多数あることから、玉野井芳郎のエントロピー経済学を、独信用語である「広義の経済学」と呼ぶことも考えられる。「生命系」や「地域主義」の概念に見られる主体的に行動する人間による経済過程という考え方は、シュンペーターからの影響もみられる。

このように、玉野井芳郎はその「広義の経済学」「地域主義」、といった観点から、単なる環境に関わる物理法則であるエントロピー増大法則に着目しただけでなく、より広い

²⁶² 玉野井芳郎(1984)、「生命系の世界を開くために」、『いのちと農の論理』、学陽書房、15頁。

²⁶³ 槌田敦(1986)、前掲論文、272頁。

²⁶⁴ 前掲書、玉野井芳郎(1978)、「エコロジーを求めて」、60-61頁。

²⁶⁵ F. Engels (1878), *Anti-Dühring: Herr Eugen Dühring's Revolution in Science*, Leipzig. F. エンゲルス(2001)、秋間実訳、『反デューリング論』、新日本出版社。

人間的な関係性を経済関係の中に見て、経済学における失われた分析視座を回復しようとした論者と言えるだろう。このような玉野井芳郎の思考の端緒は、先立つ著作である玉野井芳郎 (1975)²⁶⁶『転換する経済学』にすでに見られる。公文俊平 (1986)²⁶⁷は、異なる学派の主張を客観的に総合的に捉え、新しい学問を創造していこうとする玉野井芳郎の思考は、既に玉野井芳郎 (1962)²⁶⁸に見られたという。公文によれば、玉野井芳郎はマルクス経済学や新古典派、ケインズ派といった学派が封鎖的領域で研究を行い、学派が細分化していることを批判し「そのうえ、この城壁の内部に、もしもおたがいに風通しの悪い群小の城が築かれているとすると、それは学問の発展にとってけっして正常な姿とはいえない。」と述べている。

著者は、地域主義やジェンダー論などの独自の視点が多数あるものの、玉野井芳郎の「広義の経済学」は、その中心となるエントロピー増大法則という説明原理と、生命による能動的な資源循環、廃物と廃熱の処理などの環境と経済システムの関係についての共通理解から、これを「エントロピー経済学」とほぼ同義に捉えている。そして、玉野井芳郎が日本に紹介した、冒頭で述べた K. ポランニーによる C. メンガーの経済の二つの方向性に関する論考に関連して、「エントロピー経済学」の分析対象は、その C. メンガーの言う、テクノ・エコノミックな方向性であるのではないかと考える。

玉野井芳郎は原子エネルギー利用技術としての「原子力発電」について、それが不可逆的劣化を受け、また放射性物質による汚染を生み出すことから強く批判していたが、その論理は、「生命系」としての人類及び環境経済システムの性質から、槌田敦の作動物質の循環再生の原理から外れるものとして根拠づけられる。その意味でも、玉野井芳郎の理論は、槌田敦や室田武らのエントロピー増大法則に基づく、技術的な経済社会分析と合わせ、原子エネルギー利用に批判的なエコロジー経済学の学派としての「エントロピー経済学」を形成しているのではないだろうか。

3.4 エントロピー経済学は価値の生産と生命及び環境の関係をどう考えるべきか

本節では、一般化したエントロピー増大を含む生産過程と差異を利用した価値生産、それを踏まえた共同体にとっての真の富という F. ソディの考え方の再検討を行う。

²⁶⁶ 玉野井芳郎 (1975)、『転換する経済学』、東京大学出版会。

²⁶⁷ 公文俊平 (1986)、前掲論文、231 頁。

²⁶⁸ 玉野井芳郎編 (1962)、『マルクス価格理論の再検討』、青木書店。

3.4.1 F. ソディの価値論を再考する

前節において価値の創出過程のエントロピー的な性質について検討した。F. ソディは利用可能エネルギーの自然から人間社会への流れを研究して、経済的な価値の創出は、貨幣を媒介として自然的価値である真の富から乖離していくことを主張した。本節では、とりわけ F. ソディが考えた人類の経済社会の「共同体」{community}に対して発生させられる、負債{Debt}としての貨幣的な富、とりわけ信用通貨の累積が、本質的な富の生産と配分を担う共同体社会からの富の搾取につながっているのではないかと、という指摘と、経済過程のエントロピー的過程としての性質との関係性について再検討する²⁶⁹。

以下では、F. Soddy (1926), *WEALTH, VIRTUAL WEALTH AND DEBT*, Allen and Unwin (『富、仮想的な富、そして負債』)のうち、とりわけ、彼の富に関する定義、経済学における資本との関連付けなどについて主要な主張を展開している第 6 章：“THE TWO CATEGORIES OF WEALTH”（「富の二つの類型」）の内容について、彼の独特な経済観に基づく主要な論理展開についてまとめる。

3.4.2 F. Soddy (1926) 第 6 章での富と仮想的富、負債に関する理論²⁷⁰

以下では、上述したように F. Soddy (1926)について、第 6 章の 1 節であれば、(6-1)と番号を付けて主要な主張を概観してゆく。

冒頭、(6-1) 「絶対的な富の性質と定義」 “THE NATURE AND DEFINITION OF ABSOLUTE WEALTH.” では、生きることを可能とする物理的必要物が富である、と簡略に定義した後、この富の源泉が、自然の中の利用可能エネルギーの流れからもたらされていることを述べる。そして、この利用可能エネルギーは、エントロピー（増大）法則に従

²⁶⁹ 著者とは別に、これをエコロジー経済学的基礎に基づく貨幣論・通貨改革論と位置付ける文脈で評価、議論しようという論者が多くある。例えば、桂木健次 (1985)、(2006)、K. Katsuragi et al. (2006)、泉留維 (2004)、畠瀬和志・桂木健次 (2008)である。現実の貨幣経済の膨張とその様々な悪弊を考慮すると、これらの研究が大変重要であることは確かであり、エントロピー論的な価値の源泉に関する議論と貨幣論や信用経済論の関係は例えば、青木秀和(2008)など、また信用膨張による金融危機との関連についても河宮信郎・青木秀和 (2008)で論じられているが、本論文における著者の関心は、経済価値の形成とその測定や評価に関わるエントロピー経済学的基礎にある。

²⁷⁰ 本節は、藤堂史明 (2006b)、「フレデリック・ソディの富の概念、価値及び資本の位置づけと、環境及び経済システムのエントロピー論的理解におけるその現在の意義」、『新潟大学経済論集』、第 81 号、2006-I、75-105 頁の要約部分に基づき、その後の著者の論考や論文の体裁に合わせて改稿した。

って、減少する傾向にあることを明確に述べる。このエントロピー増大法則のもとで、供給される利用可能エネルギーの存在こそが、F. ソディの考える富の形成原理の根幹を成している。

続く(6-2) 「生命の負債は生命により支払われる」 “A DEBT OF LIFE REPAID IN LIFE.” という、やや特殊な見出しの節で触れられている生命の負債とは、富の生産に投じられた人間の労働時間を指している。

ここでは、富の本質を人間が生きるために必要な物理的要件として解説し、これが絶対的富の基準であることを主張する。さらに、この必要条件を満たしたとしても、使用されないものは富ではないことを補足している。これは、どれだけ、原材料を費消して作られたとしても、生活の役に立たないもの（資本設備など）は無価値であることを強調する、この論点は後半部分でさらに詳細に展開される。

続く(6-3) 「価値か価格か」 “VALUE OR PRICE.” では、貨幣による金銭的価格表示が、通常の経済現象において重要であることを認めつつも、それが富の本質には全く無関係な交換価値として確定されるものに過ぎないことを指摘する²⁷¹。

さらに、(6-4) 「労働と富」 “LABOUR AND WEALTH.” では、労働価値説及び労働価値に関して、それが富の形成には寄与しないことを、例示を用いて示す。もっとも、労働が富の形成に全く寄与しないという主張ではなく、その限定された役割を、以下で詳細に検討することになる。なお、労働価値説の否定と見られる部分については、次のように述べている。

とりわけ熱帯においては、太陽の光が豊富であり人間生活のためにすでに十分な自然の利用可能エネルギーが存在し、非常に限られた人口であればそれらの生産になんら人間的要素の貢献を必要としない自然状態もある。燃料と衣服はほとんど必要なく、食糧は熱帯性果物の形で手に取るだけで存在し、疎らで野心的でない人々にとっては完全な「愉しき無為 *{dolce far niente}*」の条件においても永久的に自分たちを養うことができる。

²⁷¹ 富の本質が金銭的価値＝価格と無関係であることは、貨幣システムにおける欠陥の認識へとつながり、彼の考えた金融制度改革の論点へとつながってゆき、その評価も H. E. Daly (1980)や K. Katsuragi et al. (2006) などが行っているが、本論文ではこの論点については詳細な考察は行っていない。

この事実はそれだけで、マルクス主義の教義、既に述べたように、これはマルクス[自身]が述べたわけではないのだが、すなわち、すべての富が人間労働にその源泉を持つ、という論に対する反論である。

以上の言明は、物理的な富の源泉はすなわち太陽光の利用可能エネルギーによるものであるとする F. ソディの立場に基づく労働価値説の批判とともとることができる。この点に関する反論として、神里公 (1986)により、経済価値と物理的価値の同一視という批判がある²⁷²。ただ、F. ソディは素朴な「エネルギー価値説」とは異なり、経済価値と物理的価値を区別して論じており、経済価値と物理的価値の同一視はしていない。

神里公による批判は、そもそも経済価値を批判する根拠として物理的価値を用いることへの批判とともとることができる。この論点については 2.4.1 で J. マルチネス・アリエの言葉として述べたように、環境上のメカニズムの分析だけでは経済的な分析へとつなげることができないという指摘に重なる。

著者としては、F. ソディの物理的価値に基づく経済価値批判は、人間が生物であり、生態系の一部として存続に必要な物質と利用可能エネルギーに基づき生存しているという事実即ち経済社会分析が必要だという主張であり、労働価値説批判は、そのための経済価値という概念の批判の一部でしかない。このような F. ソディの経済価値批判の分析上の役割を明確化するのがエコロジー・エントロピー経済学の役割と考えている。

次に、(6-5) 「生産システムの電氣的なモデル」 “AN ELECTRICAL MODEL OF THE PRODUCTIVE SYSTEM.”では、発電機の例示を用いて、仕事の生産における価値の源泉と、その媒介物の限定された貢献について詳細に論じている。発電機の例示はそれ自体が物理的仕事における利用可能エネルギーの貢献のメカニズムの解説であるとともに、富の生産における資本や労働の役割について後に検討する際の類似例ともなっている。

この章及び書籍全体での鍵となる、(6-6) 「富の二種の熱力学的類型について」 “THE TWO THERMODYNAMIC CATEGORIES OF WEALTH.”では、F. ソディの考える富の概念について、熱力学的な利用可能エネルギーの生産及び消費における関与の仕方に基づく類型化を行う。

²⁷² 神里公 (1986)、「経済価値とエントロピー」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、208-214 頁、では、H. T. オダムらの「エネルギー価値説」を批判した後に、F. ソディの労働価値説批判を「エネルギー価値説と同類の誤り」としている。

さらに、(6-7) 「腐りやすい[富]、そして永久的な富」 “PERICHABLE AND PERMANTNT WEALTH.”では、前節を受け、二種の類型の富に関して、その変性のしやすさ（腐りやすさ: perishability）に着目して定義づける。

すなわち、変性しやすさが第I種の富の本質であることを示すのである。

これに対して、(6-8) 「生産の資本的媒介物」 “CAPITAL AGENTS OF PRODUCTION.”では、第II種の富が、経済学での資本に相当することを指摘する。また、第I種の富との明確な対比として、利用可能なエネルギーが残留しないことが、耐久性の点からこの種の富にとって必要であることを示す。また、二種類の富を、利用可能エネルギーの関与の仕方に着目し、生産及び消費の方程式によって表現する。

次に、(6-9) 「化学からの実例」 “AN ILLUSTRATION FROM CHEMISTRY.”では、第I種の富と第II種の富の生産および利用における、利用可能エネルギーの支出について、化学反応の例示を用いながら解説する。

続く(6-10) 「富から与えられる払い戻し」 “REPAYMENTS GIVEN BY WEALTH.”は、もし、生産物に使用価値があり、実際に使われるものならば、投入された人間の時間（という負債）は、人間の時間で返済され、生命を維持拡張する物理的可能性はこの返済に依存し、平均的には支出に対し多大な超過返済となることを主張する。

これが富から与えられる払い戻し、という節見出しの意味である。

経済的にはこれは増加{increment}だが、物理学的には異なり、エントロピー増大法則の下では、富の生産に支出された利用可能エネルギーは必ず失われる。にもかかわらず、経済学においては、第II種の富の生産により、その生産過程に支出された人間労働の時間に換算して、富の増大が可能となっているかのように捉えられていることが批判される。

また、実体としての物質的富の生産基盤が存在するにもかかわらず、経済的な負債の存在のために生活の窮乏が起こることを、ドイツの戦後賠償の例を用いて示し、仮想的富である負債による経済的搾取について批判する。

そして、(6-11) 「永久的富としての資本」 “CAPITAL AS A FORM OF PERMANENT WEALTH.”では、第II種の富である資本が価値を持ち、富であるためには、実際にそれが使用されることが必要であることを示し、例として工場や農地を挙げる。

また、これらの資本が生む永久的な産物が資本の利子の源泉であることを示す。さらに、領主が土地所有権により他人の生産物を奪い続けることが可能であったことと、同様だがより近代的な手法として、資本の所有と利子の払い戻しを描く。ただし、物質的な資本に

関しては、その資本が永久的富として評価できるかに関しては、物質的な散逸についての観点からの限界も存在するだろう。

さらに、(6-12) 「資本は人間的効率性を増大させる」 “CAPITAL MULTIPLIES HUMAN EFFICIENCY.”では、第II種の富としての資本の貢献が、生産における人間的効率性（投入時間と産出物の比）を上昇させることである点を指摘し、これが資本に対する利子の物理的基礎であることを強調する。そして、領主制による土地支配の場合と異なり、資本としての実体を伴わない負債に対してもこの利子支払いを認めたことが、資本主義時代の失敗であると看破する。これは、富の実体と負債という仮想的富の乖離が、根本的矛盾であるという指摘である。

これを受けて、(6-13) 「資本は人間の時間を増加させることはできない」 “CAPITAL CANNOT MULTIPLY HUMAN TIME.”では、K. マルクスの業績の評価とあわせ、資本による生産の増加は人間労働の限界に向けての酷使を伴ってきたことを指摘している。

続く、(6-14) 「資本は余暇あるいは富を増大させる」 “CAPITAL INCREASES EITHER LEISURE OR WEALTH”では、資本は労働時間の効率性を上昇させるが、余暇を増やすか、あるいは富の生産を増やすかは背反すること、また、資本が永続的な富の形態であるのは、それが消費される富を生産する媒介手段であるからであり、資本そのものの増殖が自己目的化しても、富の増大にはならないことを指摘する。

また、消費される富の産出が実際の消費を超えて増大しても意味がないこと、消費される富と資本の蓄積とのバランスの必要を主張する。この論点が、J. M. ケインズの主張に先行することは注目に値する²⁷³。

次に、(6-15) 「資本の蓄積がその目的を覆す限界について」 “THE LLIMIT AT WHICH THE ACCUMULATION OF CAPITAL DEFEATS ITS OBJECT”では、労働時間の増加が余暇の減少をもたらすこと、そのことと資本の蓄積による生産性の上昇との関連について論じ、物質的な富の欲求の増大が、資本の蓄積によっても生活が豊かにならないことの要因であることを指摘する。また、資本の蓄積がその産物の増大に伴って、種々の倫理的な分配上の問題を生んでいると述べる。

以上のように、F. ソディは、物理的 necessary 物としての富が、利用可能エネルギーの支出と

²⁷³ K. Katsuragi et al. (2006)も F. ソディの主張とケインズ理論との関連を指摘している。

いう仕事の産物であるという認識を基礎に、これを二つに類型化し、また、経済学で扱われる価値、資本、労働などを順次、位置づけてゆく。F. ソディは、人間の経済活動を、物理学の視点から客観的に評価することにより、それが自然の利用可能エネルギーの流れに依存したものに過ぎないことを強調する。同時にそのような富の源泉を持ちながらも、人間が、人為的に仮想的な富を含む資本を創出したことに伴い、分配における種々の不公正、問題が派生していることを、表現は穏やかながらも徹底して指摘するものである。

本節で述べたように、F. ソディが物理的な利用可能エネルギーに関連づけて物理的な富を定義したのは、経済価値の概念が自然界の法則性に反し、また実際の人類の福祉とは乖離した部分で増殖していることを批判してのことであり、経済価値と物理的価値を混同したのではない。

F. ソディは、貨幣的富が「仮想の富」として、物理的価値に基づく、現実に人類の生活と福祉の向上に役立つ富の増大と乖離して、複利計算的な増殖をしていくことを強く懸念し、批判した。負債の形で発行され、とりわけ信用創造によって元本という根拠すらなく増殖した貨幣的富が、人類社会という共同体に対して、裏付けとなる物理的富を伴わない請求権を行使することで、物理的富が収奪され、経済運営が不安定化すること、失業や戦争などの人類の災厄が引き起こされることを予測した。そして、物質的基盤に基づく本位通貨を政府が直接発行し、この搾取構造を終わらせることを提案したのである。

3.4.3 エントロピー増大を含む生産過程の関数的表現と差異による価値生産

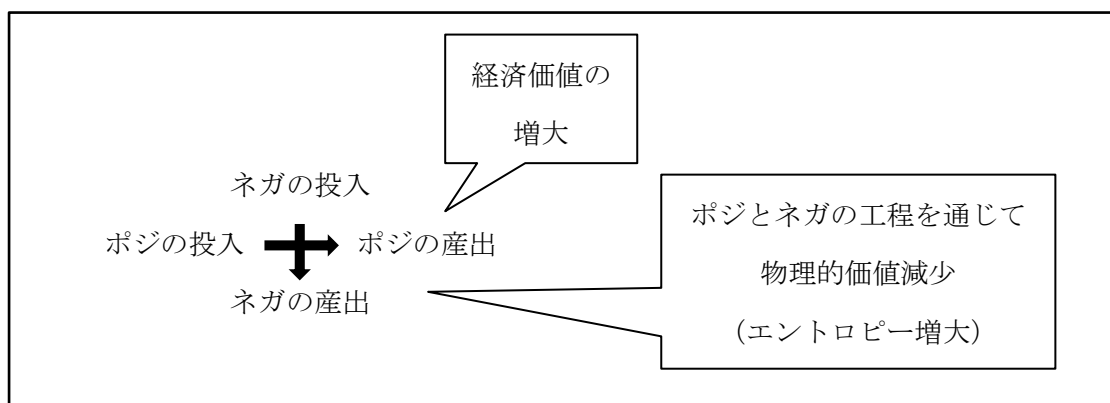
エントロピー経済学においては、説明原理としてエントロピー増大法則を用いて、生命と生態系が熱機関の役割を果たしていること、その過程で発生したエントロピーを外部に捨て、開放定常系を形成していることを環境経済システムの物理的な安定条件とする。対して、新古典派経済学やケインズ経済学と合わせた意味での「近代経済学」が考察する市場経済においては、生産や消費によって付加価値が形成され、最終的に個人の効用が増大して過程が終了する。

ところが、エントロピー増大法則を前提とすると、生産にせよ消費にせよ、経済過程は利用可能な資源、エネルギーを消費し、エントロピーを増大させる過程であり、利用可能エネルギーを物理的価値の根源と考える F. ソディの考え方、及びエントロピー増大の過程をポジの生産に対するネガの工程と捉える玉野井芳郎の考察に従うと、生産工程の「ポジとネガ」の双方の合計での物理的価値の総量は減少する。

ネガの工程を合わせた全体の工程で物理的価値が減少する場合でも、生産物を生産して販売するポジの工程では経済価値が増大したことにされ、それは生産工程に投入された資金（仮想的富）を増加させて返済するためにも必要な事である。従って、物理的価値が人類の福祉の正しい指標だとすれば、エントロピーの増大や、利用可能エネルギーや物質的資源の減少とは矛盾し、いわば経済価値と物理的価値の乖離が発生する。

この乖離そのものが、共同体からの富の収奪と経済運営の不安定性の原因であると F. ソディは述べているのではなく、負債として発行される貨幣が仮想的富として増殖し、それと比して自然から採取するか、一旦形成された後、価値が減耗してゆくなどの制約を受ける物理的富との、量的な乖離から、必然的にそれらの問題が生じるとしている。

図 3.4.3-1 ポジとネガの生産工程の持つ意味



出典：著者作成。

次節では、上記の論理の前半部分である、貨幣的な収支とエントロピー的な収支が食い違う部分に焦点をあて、簡単な関数であり時間的要素は単純化されてはいるが関数的な表現で述べる。

以下に述べるのは、拙稿、藤堂史明 (2009c)で一般化したエントロピー増大を含む生産過程の関数的表現²⁷⁴である。

²⁷⁴ 本節では、藤堂史明 (2009c) 「エントロピー経済学入門—第 2 回: 市場と生命における価値の生産—」、エントロピー学会誌『えんとりびい』、第 66 号、2009 年 7 月、83-96 頁、で示したエントロピー増大を含む生産過程の関数的表現と、差異を利用した価値の生産と環境の関係について考察する。上記論考を表記及び内容に関して改稿した。元論

3.4.3.1 「生産」行為における物質及びエネルギー収支とエントロピー増大則

「生産」行為が行われる事前の時間を時点 1 : $t = 1$ 、行われた後、つまり事後の時間を時点 2 : $t = 2$ とする。

ある系において、生産に投入される物質(元素以上の化合物)を f 種類、生産の結果産出される物質を g 種類とすると、それらの物質 m の質量の総量は保存される。

$$\sum_{i=1}^f m_i = \sum_{j=1}^g m_j \cdots (3.4.3-1)$$

また、同様にそれぞれの物質に関連付けたエネルギー e の、保存法則が成り立つ。なお、外部との相対関係によって変化し得るエネルギーについては、不変と仮定する。

$$\sum_{i=1}^f e_i m_i = \sum_{j=1}^g e_j m_j \cdots (3.4.3-2)$$

そして、同様にそれぞれの物質の質量に関連付けられるエントロピー s について、左辺を事前 : $t = 1$ 、また右辺を事後 : $t = 2$ とするとき、

$$\sum_{i=1}^f s_i m_i < \sum_{j=1}^g s_j m_j \cdots (3.4.3-3)$$

$$\text{ただし、} t_1 < t_2 \cdots (3.4.3-4)$$

が成り立つ。(3.4.3-4)式は、時間が不可逆的に経過していることを保障するための条件であり、変化の前後の時間差をゼロに近づけると(3.4.3-3)式の両辺の差分もゼロに近づく。また、(3.4.3-3)式のエントロピー値は各物質の拡散の程度も反映するとする。

3.4.3.2 光合成においてもエントロピーは増大する

以下に、新古典派経済学における、生産による貨幣的価値の創出の論理とエントロピー増大法則との関係性を論じるため、順を追って生産過程を考察する。このとき、生産物を y 、廃物を w とする。

上述(3.4.3-1)式の右辺は生産後の製品と廃物を指すから、そのように書くと、

$$\sum_{j=1}^g m_j = \sum_{k=1}^{g_k} y_k + \sum_{l=1}^{g_w} w_l \cdots (3.4.3-5)$$

文での「近代経済学」が「新古典派経済学」の意味で用いられていた箇所は置き換えた。また、その一部である「エントロピー増大と時間」については2.4節に論じた。

のように、物質の質量の保存法則は記述できる。このとき、生産物の製品の種類を g_k 種類、廃物の種類を g_w とし、全体の物質の種類 g は両者の合計である。

$$g_k + g_w = g \cdots (3.4.3-6)$$

このとき、場当たりに製品と廃物が生じるのではなく、(3.4.3-3)式を満たすようにエントロピーの増大した廃物が必然的に発生する。

利用可能なエネルギーを取り出せる有用な化合物の生産を行っている光合成においてすら、原材料と生成物で比較したときの、表面上の（玉野井芳郎の用語でポジに相当する）、エントロピー減少と相反して、背景で（玉野井芳郎の用語でネガに相当する）、熱を吸収するための大量の水の蒸発が必要である。その総量は勝木渥（1999）²⁷⁵によれば、ブドウ糖 $C_6H_{12}O_6$ を 1 モル生成するために、水の蒸発量 533～680 モルに達する。これにより、光合成においてもエントロピー増大の法則（(3.4.3-3)の条件）が満たされることが明らかである。

この点の指摘は、製品と廃物の必然的な生産についての重要な議論と言え、とりわけ光合成に関わるエネルギーとエントロピーに関しての詳細の把握は三輪浩（1984）「太陽光のエントロピーについて」²⁷⁶の貢献である。

3.4.3.3 生産過程における貨幣的価値の「創出」

さて、新古典派経済学においては、「経済的に持続可能な過程」としての製品の生産は貨幣的価値の増大、つまり利潤をもたらす行為である必要がある²⁷⁷。

一般に廃物を考慮しない利潤は以下の式で表される²⁷⁸。

$$\pi = \sum_{k=1}^{g_k} p_k y_k - \sum_{i=1}^f \omega_i m_i \cdots (3.4.3-7)$$

²⁷⁵ 勝木渥（1999）、『物理学に基づく—環境の基礎理論—冷却・循環・エントロピー』、海鳴社。

²⁷⁶ 三輪浩（1984）、「太陽光のエントロピーについて」、『核憂合通信』特集号、1984年10月。

²⁷⁷ 利潤概念には2段階あり、正常利潤と超過利潤である。競争的な市場においては参入退出が行われる「長期」（弁証法的な時間概念で固定的生産要素である資本の調整が行われる期間）においては超過利潤はゼロになる。この場合でも賃金、配当、リース料といった正常利潤は発生している。超過利潤が発生するかどうかは、超過利潤あるいは赤字が発生している場合の市場への参入と退出による競争の状態によって決まる。

²⁷⁸ なお、 w_i はダブリューの小文字、 ω_i は、オメガの小文字である。

ただし、 $p_k > 0, k = 1, \dots, g_k$ を生産物の価格、 $\omega_i > 0, i = 1, \dots, f$ を生産要素の価格とする。

このとき、廃物 w_l を取引する、つまり市場に「外部不経済性」を「内部化」するならば²⁷⁹、利潤は補正されて次のものになる。

$$\pi = \sum_{k=1}^{g_k} p_k y_k - \sum_{i=1}^f \omega_i m_i + \sum_{l=1}^{g_w} \omega_l w_l \cdots (3.4.3-8)$$

そして、長期均衡も考慮した利潤確保の条件は、 $\pi \geq 0$ であるから、その条件は以下の通り。

$$\sum_{k=1}^{g_k} p_k y_k + \sum_{l=1}^{g_w} \omega_l w_l \geq \sum_{i=1}^f \omega_i m_i \cdots (3.4.3-9)$$

なお、このことは、利潤 π が生産物の価格 p_k 、原材料の価格 ω_i 、廃物の価格 ω_l の関数として表現されることを意味する。

$$\pi = \pi(p_k, \omega_i, \omega_l) \cdots (3.4.3-10)$$

このとき、(3.4.3-1), (3.4.3-2), (3.4.3-3)式に表されるように、生産物の物質量は原材料と廃物の物質量の和に等しく、エネルギーも保存されるが、エントロピーは増大する。

したがって、(3.4.3-3), (3.4.3-5)式より製品と廃物のエントロピー量の和は、原材料のエントロピーの和よりも大きくなる。

$$\sum_{k=1}^{g_k} s_k y_k + \sum_{l=1}^{g_w} s_l w_l > \sum_{i=1}^f s_i m_i \cdots (3.4.3-3)'$$

この式を先ほどの利潤がゼロ以上になることを表す((3.4.3-9)式と並べる。

$$\sum_{k=1}^{g_k} p_k y_k + \sum_{l=1}^{g_w} \omega_l w_l \geq \sum_{i=1}^f \omega_i m_i \cdots (3.4.3-9)[再掲]$$

すると、二つの式は表面的には似ているが、左辺の第二項が、それぞれ(3.4.3-3)'式では廃物のエントロピー合計であるから、プラス、(3.4.3-9)式では廃物の物量に価格を掛けた値の合計であるから、原則としてマイナスになっている点が逆となっている。

(3.4.3-3)'式では生産物+廃物のエントロピー量の合計が原材料のエントロピー量の合計よりも大きくなることを述べており、熱力学第二法則、すなわちエントロピー増大法則により、この例外はない。

²⁷⁹ 市場を介さない、他の経済主体の生産や効用への直接的影響のことを(技術的)外部性、それを市場の取引関係に取り込んで(あるいは市場を創造して)、理想的な市場が実現するとされている「効率的配分」を回復するという発想を「外部性の内部化」と言う。

一方で(3.4.3-9)式では右辺が正の要素価格： ω_i に正の原材料の質量がかかっており必ずプラス、一方で左辺が生産物価格(プラス) \times 生産量の合計に、廃物価格(マイナス) \times 発生量を足したものだが、左辺の値がプラスで、右辺より大きいことは必ずしも保障されていない。なぜなら、利潤を出さずに赤字となる生産過程は多く、その理由は生産物価格、生産要素価格、廃物価格は、それぞれの市場における需給関係により決まるためである。

したがって、生産が行われる事前： t_1 から事後： t_2 の間にエントロピーは必ず増大するが、その結果生産される生産物の売却が利潤を生むとは限らないということが、確認される。

また、貨幣的価値、ないし利潤の発生は、それが生じる場合でも、エントロピーの増大法則とは逆の向きの増大反応であり、物理的な利用価値の喪失と同時に起こるこの貨幣的富の発生を、新古典派的な生産工程においては価値の創出と考えているのである。

物理的価値の喪失が同時に経済価値の創出に当たる、という現象は、これを継続的に行うためには、どこからか物理的な利用価値にそぐわない対価で資源を購入してくるか、同様にネガティブな利用価値にそぐわない対価で廃棄物を廃棄する仕組みが必要であることを意味する²⁸⁰。

逆に、そのような獲得と廃棄が可能であれば、物理的過程の現実に不釣り合いな経済価値の創出は、変換あるいは交換を表す関数、すなわち「技術」に基づいて、いくらでも抽象的に定義できるのである²⁸¹。

ここで言う「どこからか」、熱力学で考える生産過程についての「物質及びエネルギーについてのシステム」の外であり、経済学で考える「市場経済システム」の外である。

3.4.3.4 物理的価値と経済（貨幣的）価値

物理的価値と経済価値が関連づけて論じられるか、それともそれらが互いに「そぐわな

²⁸⁰ 近年、廃棄物をバズとして定義すれば、貨幣的価値評価の枠組みで環境問題も分析できるという考え方が広められている。代表例は、細田衛士 (1999)、『グッズとバズの経済学—循環型社会の基本原則』、東洋経済新報社、からの一連の著作である。著者は、財としてのバズの定義は向きを逆にしたグッズの定義に他ならず、形而上学的な意味しかないと感じている。このようなバズ定義の問題点については倉坂秀史 (2006)が、101-103頁で、「過剰供給によって発生するバズという考え方」と題して、なぜ財が余るのかについての説明が十分ではない、と批判している。

²⁸¹ 新古典派経済学における生産関数は、投入から産出への対応関係、写像関係を表しており、それを「技術」{technology}と呼ぶ。この「関数」{function}は、環境システムの存在とエントロピーの投入産出を前提とした生産技術とは異なる。C. Menger (1923)の言葉によれば、「生産要素のたんなる技術的な配分」の部分である。

い」か、どうかについては、3.3節でその基本理念を紹介した「エントロピー学会」においても早期から問題とされてきた。ただし、物理的な利用価値が経済価値と一対一対応にならないことが指摘されてきたため²⁸²、この部分の原理については不明快さが残っていた。

これについては、エントロピーの大小それ自体ではなく、エネルギー及び物質的資源の利用可能性に着目する、玉野井芳郎の「使用価値ポテンシャル」、またこれまでに拙著、藤堂史明 (2006b)、(2006c)、及び藤堂史明 (2008b)で紹介した、F. ソディによる富の二類型が関係する。これは、利用可能エネルギーを体化しており、利用によってその利用可能性を失う食料、燃料等に代表される第Ⅰ種の富と、富の生産のために用いられ、それ自体は利用による摩耗を除き質的变化を受けない、機材等に代表される第Ⅱ種の富という、利用可能エネルギーに着目した物理的な定義による富の二類型である。F. ソディの富の二類型は、物理的価値を明快に価値の源泉として位置づける考え方と言える。また、前述したN. ジョージェスクーレーゲンの考察においても、次のように経済的希少性の源泉としてのエントロピーが考えられている。

私の立場はこれまで（そして今でも）、エントロピーの法則が経済的希少性の主原因であるとするものである。この法則が作用しない世界がもしあれば、同一のエネルギーを人が望む回転速度で繰り返し利用することが出来、物質的対象は決して摩損しないであろう。

出典：N. ジョージェスクーレーゲン (1981)、『経済学の神話－エネルギー、資源、環境に関する真実』

また、物理学方面からのこの問題へのアプローチとしては、発電における採算性とエネルギー回収の差に着目した井野博満 (2007)²⁸³の研究、そして産業連関の中で物質的フローと貨幣的価値あるいは、環境的負荷との間の実際に関係を計算する取り組みとして、飛田

²⁸² 室田武 (1979)、第2章「水と土と生命のエントロピー論」(39-63頁)、50頁「物理的価値と経済的有用性の間には厳密な一対一の対応関係はない。」

²⁸³ 井野博満 (2007)、「自然エネルギーは環境にいいはずなのになぜコストは高いのか—energy payback time と cost payback time のギャップ—」エントロピー学会 第24回シンポジウム2006年11月26日発表 及び エントロピー学会誌『えんとろぴい』、第59号、2007年3月、35-37頁。

守孝 (2008a)による「環境負荷ザックリ評価法」関連の研究²⁸⁴が行われている。著者は、これらの研究の発展により、物理的価値と経済（貨幣的）価値との間の関係性の真実が解明されることには期待しており、制御すべき対象の工程を正確に捉えた上での政策的適用の一つとして、環境税をはじめとする、手段としての「市場」を活用した環境政策の基礎の構築があると考えている²⁸⁵。

この問題の難しさの根本には、人間の主観的価値評価を否定しきれない、生の享受という目標物のとらえどころのなさがある。すなわち人間の精神的文化的活動は、物理的価値の消費という過程でありながら、本来の生命の目的そのものとも言えるからである。

著者にとってのこの問題の要点は以下の通りである。

経済価値にとって、その存在の必要条件是物理的価値が確保されていることであり、より高次元の欲求に対する満足の提供であっても、物理的価値の大小あるいはそれによって具現化されている「使用価値ポテンシャル」によって基礎付けられる。

すなわち、抽象的な主観価値、満足の発生源である人間は物質的に、またエネルギー的に持続可能な状態に置かれなければ、そのような価値を享受することができないのである。

この大前提の下ではあるが、物理的価値、あるいは使用価値ポテンシャルとは乖離した形でより高次元の欲求（例えば、芸術、文化、情操）の充足により、経済価値評価が行われることには一定の正当性がある。ただし、この場合でも主観的な経済価値が発生するのは、生命としての人間の活動によってであり、供給側の生産者（実際は利用可能性の消費者）のおかげではない点に注意が必要である。

ところで、このような高次的な欲求の充足とそれによって発生する「価値」は規模の拡大により、社会的な生活によって享受される生活、生命の質を弱める傾向を強めてゆくのではないだろうか。とりわけ、経済成長を志向する産業的な利益のために、個人が満足す

²⁸⁴ 飛田守孝 (2008a)、「お金の持つ資源散財能ザックリ法」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第63号、2008年7月、13-18頁。 及び 飛田守孝 (2008b)、「環境負荷ザックリ評価法」におけるエントロピー論的アプローチ」エントロピー学会誌『えんころびい』、第64号、2008年11月、24-29頁。

²⁸⁵ 日本における環境税の導入やその有効性に関しては、拙著、F. Toudou (2008), "The Limits to Self-Restraint and Eco-Efficiency: Proposed Application of Environmental Taxation in Japanese Environmental Policy," in N. J. Chalifour, J. E. Milne, H. Ashiabor, K. Deketelaere, L. Kreiser eds. *CRITICAL ISSUES IN ENVIRONMENTAL TAXATION - International and Comparative Perspectives*, Vol. V, Oxford: Oxford University Press. を参照。

る際に発生する「経済価値」の増加が制度的に推奨される場合はそうである²⁸⁶。

エントロピー増大則を前提とすると、持続可能な活動のためにはシステム外から利用可能な物質とエネルギーを取り入れ、活動を行った後、熱あるいは物質に増大したエントロピーを「付着させて」²⁸⁷、システム外に廃棄することが必要であるが、人間の経済生活において、それを利潤、経済価値の創出として、正当化し、文化や慣習として位置付けるためには、資源の採取と高エントロピーの廃棄を、システム外を対象に、その物理的価値の増減とは逆の大小関係で対価を設定して行うことが必須である。これはあらゆる産業で同様である。

一旦、人間の経済生活が行われる市場の内部に入った物質、活動内容に対してこれを行うことは相応の制度的な工夫を必要とするが、もっと簡単にこれを行えるのは、市場社会、あるいは「市民社会」の外部を無権利、無価値状態として規定し、自然および「市民社会外の人間」²⁸⁸、その生産要素、生産物についての知識、能力、意識の差異を利用して価値創出（受け手からすると搾取）を行うことである²⁸⁹。

このことは資本主義の発生および発展の経過を考える際に大変重要である。

3.4.3.5 交換過程と「価格」による貨幣的価値の創出

このように考えると、価格（上記の説明での生産物価格 p_k 、生産要素（原材料）価格 ω_i 、廃物価格 ω_l ）が、交換の際の「等価物」²⁹⁰の量として考えられてきたことに違和感が生じ

²⁸⁶ 経済的及び貨幣的富の社会的生産が、実際には物理的富の消費に過ぎない、という点からは、産業的な生産および流通と、個人による最終消費財の消費を区別することは困難である。目的となるのが芸術文化、情操のような純主観的な満足、効用である場合はとりわけそうである。よって、著作物や芸術作品のような財の流通にあたり、産業的な利益の保護が優先される事態は、主観効用の最大化という観点からも支持されない。平たく言えば、音楽、映像、出版著作権の保護により産業規模が増大することと、それを安価に享受できる個人が増大することの間のトレードオフでは、主観的価値の生産という観点で後者に軍配が上がる可能性が高いのである。この点に関する議論は、小倉秀夫、「BENLI」<http://benli.cocolog-nifty.com/> 2009年6月10日参照、を参考にした。

²⁸⁷ 槌田敦（1982）、『資源物理学入門』、NHK ブックス、146頁。

²⁸⁸ 例えば植民地帝国主義時代の被植民地住民、今日における非正規、非熟練ないし移民労働者、途上国国民に対して。

²⁸⁹ これは、第6章で述べるように、A. G. フランクの従属論を翻訳した後、大崎正治が熱力学派経済学の批判と評価の前提に考えていたことに近いと考えられる。

²⁹⁰ マルクス経済学における貨幣の成立形態が、「一般的等価形態」であるように、新古典派経済学においても価格は交換という水平的平等な関係の下での当事者間で等価と考えられる価値尺度財{numeraire}の量である。

る。

ある人が生産物を生産し、それを市場で貨幣と交換に別の人に渡す際、移動する貨幣の量が生産物価格である、同じく市場で生産要素を貨幣と交換に手に入れる場合の必要金額が生産要素価格、最後に、市場で廃物と交換する際に手放す貨幣の量が廃物価格（処分料金）である。

交換過程への貨幣の導入はそれ自体が通貨発行益{seignorage}を伴い、支配者ないし金融政策による疑似的な制度支配者（中央銀行や信用創造機能を持つ銀行等の金融業）によって享受されてきた。F. ソディは金融機関による信用膨張が、物理的な富と貨幣的な富（仮想的な富）との乖離を拡大させているとして、信用通貨制度を批判した上で、実物的な価値に基づく 100%準備制度を推奨している。しかし、共同体的な富の搾取の原因を、通貨制度にのみ求めるのは、やや狭小な見方と著者は考える。貨幣的な富の創出とその共同体的な富からの乖離は、問題を拡大させる要因であって、経済価値創出の構造はそれとは別に分析する必要がある。

「自然」及び市民社会外の無権利者に対しては、資源やサービスの有用性に対する対価が支払われないのが、そもそも「市場価格」の実態である。それは、物質的ないし熱的なエントロピーの排出という「ネガ」の工程によって「ポジ」の工程を維持すること、そしてその存在を市場外部ないし、何等かの「受苦圏」に相当する外部環境に位置付けることによって、価値の生産を維持するという、差異の構造による経済価値の生産過程であると、より一般的には言えるのではないだろうか。

また、このような過程は、環境経済システムの中での自然の利用可能エネルギーのフローの享受に関しても劣るような過程であっても経済価値を創出できるという意味で、拙著、藤堂史明 (2009d)²⁹¹で、「このような手法のもっとも簡単な実践法は、「市民社会」の財産システムの外部を無権利、無価値状態として規定し、自然および「市民社会以外の人間」に対する収奪、すなわち無償での資源の採取を行うことである。」と述べたものと同じである。

²⁹¹ 藤堂史明 (2009d)、「エントロピー経済学入門—第3回：物理的な富と非物理的な富—」、エントロピー学会誌『えんとろぴい』、第67号、2009年11月、42-52頁。

3.4.3.6 物理的価値と生命の価値

ところで、エントロピー経済学においては、利用可能な物質資源およびエネルギーに基づく物理的価値の最大化（あるいは一定の期間内におけるフローあるいはストック量の最大化）を人間社会の目的とすべきであろうか？

ストックとしての物質とエネルギーの利用可能性は、太陽系全体で考えると、時間の経過と共に必ず低下する。地球に範囲を絞ったとしても、光合成による利用可能エネルギーのストック（化石燃料）を全く使わない事が、ストックとしての物理的利用価値の最大化に相当してしまう。

この議論は皮肉なことに、生命の存在そのものが利用可能エネルギーと資源の消費行為そのものである事から、逆に捉えれば生命の存在を否定することが、物理的価値の消費を抑え、ストックとしての量を最大化できるという事につながる。例えば植物以外の無生命、無菌状態では有機物をはじめとする利用可能エネルギーのストックは劣化しにくい（酸化、散逸はするが）が、人間を含めた動物、菌類の生命活動のない地球環境システムが物理的富を最大化しているかどうかを考えることに、我々、植物による利用可能エネルギーの蓄積に依存する存在である人間は、意味を見出すことができない。

一方で、フローの供給と言う観点からは、地球環境の利用可能エネルギーおよび物質の代謝にとって、生態系が有意義な役割を果たしていると見ることもできる。この場合、個々の生命体は利用可能エネルギーと物質の消費を行っているが、主に植物の光合成活動によって大気の組成が変わり、また利用可能エネルギーの化合物のエネルギーとしての固定が行われることによって、生命の多様性が高まるとともに、同時に行われる大量の水蒸気の発生による水循環の拡大によってエントロピー排出機構そのものが強化されている。

この点は槌田敦^{292,293}によって、その基本的メカニズム、文明論への展開がなされてきた。

いかなる生き物であれ、生命が活動を続けるためには、生命活動を含む物理現象の必然的結果であるエントロピーの増大問題を、システム外からの利用可能エネルギーおよび物質の投入とシステム外への廃棄エネルギーおよび廃物の排出によって維持しなければならないこと、そして、このフローを循環によって維持し続けること、また同一のフローであっても、それにより維持できる生命活動の量を技術的工夫により拡大させることができた

²⁹² 前掲、槌田敦（1992）を参照。

²⁹³ 槌田敦（1981）、『石油文明の次は何か』、農山漁村文化協会、から槌田敦（2002）、『新石油文明論』、農山漁村文化協会、に至る文明論を冠した著作においても一貫している。

ば、生命の維持できる総量が拡大することである。

この事を人間の文化的、知的活動も含めて考えれば、地球規模での「使用価値ポテンシャル」の最大化について議論することもできるだろう。

既に見たように、利用可能エネルギーの太陽光の入射としての供給は地球に対して一定であり、これを増加させることはできない。しかし、利用可能エネルギーのストックを拡大しつつ、エントロピー発生状況での生命の活動の維持を改善させるエントロピー排出機構の改善、技術的工夫には、一定のフロー（利用可能エネルギーおよび資源の劣化）の下での生命活動の総量を拡大させる意味がある。

このように考えると、我々が将来にわたる生命活動の総量を少なくとも減少させずに、かつ人間の持つ文化的あるいは倫理的価値観と整合的な形で、経済社会活動を持続的に営んでいくことが出来れば、それが「生の享受」、（N. Georgescu-Roegen (1971)²⁹⁴の表現で{Life Enjoyment}）の実現であり、人間による最終的な価値の生産、生命の営み手にとっての価値、あらゆる経済活動の目標の指標である経済価値の生産という目的を達したと言えるのではないだろうか。

また、ストックとしての物理的価値の総量によるのではなく、作動物質の循環を通じて生命の生存を助け、豊かさをもたらす生態系サービスの供給源である「自然資本」というファンドをはじめ、種々の社会的、文化的なファンドを蓄積していくことは、スループットを制限しつつ質的な向上を図っていくという、K. E. ボールディング、H. E. デイリーの考えた定常経済の構想にも近いと考えられる。

²⁹⁴ N. Georgescu-Roegen(1971)（前掲邦訳書(1993)、22頁）で N. ジョージェスクーレーゲンは、「経済過程を物質的に見れば、それは低エントロピーの高エントロピーへの、つまり廃物への変換であるから、その上この変換は再帰不可能なものであるから、天然資源は必然的に経済価値の観念の一部を表すものでなければならない。また、経済過程は自動的なものではなく、意志によるものであるから、すべての主体—人的であると物的であるとを問わず—の提供する用役も、この観念の上記と同じ側面に属しているしかし別の側面もあるのであって、経済過程が廃物を生産するためだけに存在すると考えるのは荒唐無稽であることにも注意しておきたい。その過程の真の産物が生の享受という非物質的なものの流れであると言うことは、誰しも異論のない結論である。この流れが経済価値の第2の側面を構成するのである。労働はその労苦によってこの流れの強さを減じる傾向を持つに過ぎない。ちょうど高い消費率がそれを増大させる傾向を持つと同じである。」と述べている。

3.4.4 価値の生産の観点から見た原子エネルギー利用

ここまで述べてきたように、エントロピー経済学の観点から見た経済的な生産活動は、利用可能性の高い低エントロピーのエネルギー及び物質的資源を投入し、経済価値の高い生産物を生成する「ポジ」の工程と、利用可能性の高い低エントロピーの自然資源を投入し、それを物質的に汚染、あるいは廃熱の排出先とする「ネガ」の工程の複合的な組み合わせによっている。

原子エネルギー利用は、核分裂反応または核融合反応による高温の熱源を利用し、外部環境との温度差から、蒸気タービン等の何等かの方法により、低エントロピーのエネルギー、「動力」を取り出し、それを利用するという考え方である²⁹⁵。

核分裂の場合、原子エネルギーを取り出すため崩壊させられた核物質が核分裂生成物という放射性物質に変化し、ここから熱と各種の放射線が、半減期に従って放出され続ける関係性は、時間的経過と生産過程における要素の関係性に着目した N. ジョージェスクレーゲンの考察した「ファンド・サービス」の関係性である。ただし、生じるサービスは利用可能エネルギーに変化させることもできる熱と、ほとんどの場合、生物にとって有害な放射線である。これは、「汚染ファンド」とみなすことができるであろう。

この汚染ファンドにより生じるネガティブなサービスは、市場経済の外部の自然、回避行動を取り難い所得水準の低い経済主体、現時点での価値評価や投票に参加できない将来世代などに集中的に転嫁され、負担される。

なお、このような汚染ファンドは、F. ソディが考察した、利用可能性を体化した第 I 種の富と、富の生産のための手段である第 II 種の富という、利用可能エネルギーに着目した富の類型とは異なり、時間に関係したファンド概念という N. ジョージェスクレーゲンの類型を、H. E. デイリーらの生態系にプラス方向のフローに着目した自然資本等のファンド概念とは逆に、生態系に有害、すなわちマイナス方向に拡張したものと、著者は考えている。このようなマイナスの方向性を持った放射性物質、典型的なものとしては高レベル放射性廃棄物が、環境経済システムの中でどのような位置づけをされているかについて、この論理構造と問題点については、次章以降でも論じてゆく。

²⁹⁵ 厳密には、核反応による生成物そのものから推進力を得る航空機用原子炉などの構想もあったが、実現していない。

小括

本章では、日本におけるエントロピー学派の研究史から「エントロピー経済学」の構成について考察するとともに、各論者における自然環境と経済社会との関係の捉え方、とりわけエネルギー利用、エントロピーと市場経済システムの関係性についての構想を追ってきた。その中で、エントロピー経済学の創始者の一人として挙げた F. ソディは、ここで検討したように、物理的な富を共有する共同体としての社会から、金融資産の信用創造が行われる事で仮想的富が乖離したうえ増殖し、その対価を求められる人類社会の共同体が搾取、損害を被ることを非難し、物質的基盤に 100% 基づく本位通貨を国家が直接発行することによりこの搾取構造を終わらせることを提案した。

しかし、原子エネルギー利用に関しては、2 章で述べたように、太陽光を環境経済システムの駆動エネルギーとし、それが核融合エネルギーであることを挙げつつ、原子エネルギーを制御、利用する方向性が人類の進化の方向性だとした。

他方、H. T. オダム、そして槌田敦及び室田武らの日本のエントロピー経済学派は、槌田敦の当初の主な主張が核融合発電開発批判であったことに見られるように、原子エネルギー利用が、エントロピー排出のための自然の物質循環に載せられない放射性物質を発生させることを根拠に、原子エネルギー利用に関して否定的または悲観的であった。

環境経済学、エコロジー・エントロピー経済学の分野における原子エネルギー利用の位置づけについて、肯定的論者と否定的論者の両者の違いとその理由を明らかにすることが本論文の第一の主要な着眼点であり、論点であった。

第 2 章、第 3 章を通じた検討により、それらの論者の主張を検討した結果、両者の違いは、第一に自然環境システムにおけるエントロピー廃棄（槌田敦による概念化された廃棄は、廃熱または物質の属性としての作動物質の循環及び、最終的な地球外への廃熱の廃棄）における、分解困難な化学物質や放射性物質による影響を重視するかどうかであった。F. ソディのみならず、H. E. デイリーら、エコロジー経済学の流れに属する論者においても、地球環境におけるファンド資源としての自然環境のメカニズムに重点をおき、原子エネルギー利用の評価については、積極的に論じない傾向がある。

一方で、不可逆な過程としての原子エネルギー利用に伴う影響を重視する論調は、日本のエントロピー経済学派を中心に見られる。とりわけ、槌田敦の「生きている系」の持続可能性の条件では、持続可能な活動の第 2 の条件は、エントロピー均衡式の右辺のエントロピー、すなわちシステムに入力されるエントロピーと内部的に生成されたエントロピー

の合計を捨てること、と明確に述べている。原理的にこれができない原子エネルギー利用は持続可能性を満たさないのである。

このようなエントロピー経済学の視点から、原子エネルギー利用に関して、その位置づけを考察すると、崩壊させられた核物質が核分裂生成物という放射性物質に変化し、ここから熱と各種の放射線が、半減期に従って放出され続ける関係性は、時間的経過と生産過程における要素の関係性に着目した N. ジョージエスクーレーゲンの考察した「ファンド・サービス」との関係で「汚染ファンド」とみなすことができる。これは、市場におけるポジの生産工程が、高エントロピーの物質と熱をネガの生産工程で生み出し、これを市場の外ないし、市場における取引対象である経済主体から除外することによって、実質的な「受苦圏」にそのしわ寄せをしていく構造を説明するものでもある。このような「汚染ファンド」を生み出す構造的要因として原子エネルギー利用を位置づけるかどうか、エコロジー経済学一般にはない日本のエントロピー経済学の独自性と言えるのではないか。

次章以降は、このような原子エネルギー利用について、そのリスク評価、原子力災害対策に見られる合理性の論理の問題点についてさらに検討していく。

第4章 原子エネルギー利用と環境汚染及び被ばくの「望ましさ」の論理

課題

第2、3章における主要な論点

ここまで本論文では、エコロジー・エントロピー経済学の視点から、環境経済学における原子エネルギー利用の評価に関する、その可能性と有効性について対照的な二つの見方を提起し、学説史的方法で、二つの見方の相違が生じる原因について考察してきた。これは、本論文の課題の一つである、エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価の違いはどのようにして生じたのか、という論点の考察、すなわちエコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用に対する楽観的・積極的な見方と悲観的・否定的な見方という評価の差異についての考察を深めるためである。

第2、3章で論じたように、F. ソディによる、その戦争への利用を危惧しながらも、人類による原子エネルギー利用の将来的な発見と制御に関する肯定的、楽観的な見方と、室田武、槌田敦、玉野井芳郎における否定的、悲観的な見方は対照的である。その第一の理由として、生命及び生態系における、生の享受及び生態系のもたらすサービスの供給メカニズムとして、エントロピーを排出する作動物質の循環システムを重要視するかどうかという相違点を指摘することができた。

そして、学説史的考察によっては明らかではない、推測される第二の理由は、各論者の論理構成そのものというよりも、核化学および原子物理学の創成期における放射線の生物への影響に対する知識の有無という相違点ではないか、と考えられる。すなわち、当時のF. ソディは、努力によるものであるか、偶然によるものであるかは不明であるが、自身及び周囲に重度の放射線被ばくによる障害と早死にの被害を生じさせなかったか、少なくとも認識していなかったのではないか、ということである。

放射線被ばくによる急性及び晩発性の健康被害は、多くの核化学者の被ばくを伴う実験を通じて、また戦時下で核燃料製造工場や原子炉の建設、そして核実験に動員された作業員・兵員・住民により、そして原子爆弾の投下による広島・長崎の兵員・捕虜を含む一般市民の健康及び生命を犠牲にして、徐々に明らかにされてきた。したがって、核化学及び原子エネルギー開発の初期段階においては、放射線被ばくのリスクについて非常に楽観的な見方も存在した一方、悲惨な被ばくによる健康被害により、早死にする研究者もいたのである。これらの原子エネルギー利用と結びついた放射線被ばくによる損失とその評価に

ついでの特徴と問題点は、第4章で考察する。

第4章以降（第4、5、6章）においては、エコロジー経済学においても明確に論じられてこなかった、原子エネルギー利用が持続可能性、社会的な福祉向上に貢献するかどうかという評価の分かれる論点を取り上げる。著者の捉え方としては「自然及び人間からのシステムの価値創出」という類型の典型例として、放射線被ばく、原子力災害対策、原子エネルギー利用と地域社会という具体的な問題領域が存在すると考える。本論文後半ではこれらに着目して、エントロピー経済学の観点から考察する。

このテーマの結論は、放射線被ばくによる健康及び生命の喪失の内容とその経済的評価により強い影響を受ける。

東電福島第一原発事故の衝撃と疑問

2011年3月11日に発生した東日本大震災により引き起こされた東電福島第一原発事故は、メルトダウンと爆発及び火災を伴うものであり、著者の身の回りにも大量の核分裂生成物が放射性プルームの形で降下した。否応なく原子エネルギー利用に伴う人為起源放射線により被ばくさせられるという状況に立たされた著者がまず抱いた疑問は、被ばくに本当に安全基準があるのか？というものである。そして、放射線被ばくの被ばく - 影響関係がゼロから直線的に被ばく - 影響関係が回帰される線型であること（後述するLNT説）が、この分野の基本的認識であることを再確認した後、生じた疑問は、被ばくにはこれ以下なら安全という閾値がないのに、どうやって、政府の放射線被ばくの「安全基準」は決定されているのか？というものである。調査すると、これは意外にも新古典派経済学の「最適化」の論理によって合理的とされた基準であることが分かった。

それから著者は、原発事故の現象や政策の問題点について、この論理による被ばくの合理化というプロセスを中心に調査分析し、問題点を明らかにすることにした。

これが、本論文の主要な論点の二つ目（研究課題のII）にあたる、放射線被ばくリスクの評価に顕著に現れる、エントロピー増大法則に従う物理的な事象に対する、交換価値としての経済価値（貨幣的価値）評価の問題点という論点である。この論点は概ね、放射線被ばく、原子エネルギー利用の本質と、人間にとっての評価という基本的過程と、それらが経済社会の中で政策的に推進され、社会的評価がされる過程について論じることができる。

項目として整理すると、II-1: 原子エネルギー利用、放射線被ばくと人間、そしてその損

害の受忍の合理化という領域、そして、II-2: 原子エネルギー利用、放射線被ばくと経済社会におけるシステムとその評価という領域である。

それぞれの領域の相互に関係づけられた複数の論点は、以下の通りである。まず、II-1: 原子エネルギー利用、放射線被ばくと人間、そしてそのリスク、損害の受忍の合理化の領域の論題の構成は以下の通りである。

II-1-1: 被ばくによる健康被害と不可分であった初期の放射線、原子エネルギー研究における不幸な事例、を考察する。19世紀末から20世紀初頭の核化学および原子物理学の成立期において、放射線による健康被害についての知識、経験がないままに実験等により大量の被ばくをし、命を落としていった研究者たちがいた。中でも山田延男は、顕著な研究業績と、引き換えに受けた強い放射線被ばくによる短い人生により、代表的な事例と言える。

II-1-2: 続いて、エントロピー経済学の視点からのこの問題領域の基本的捉え方として、「ファンド・サービス」における「汚染ファンド」としての人工放射性核種と、放射線被ばくの位置づけについての考察を行う。人為的な原子核崩壊によって生じる人工放射性核種、放射性廃棄物²⁹⁶とそこから生じる放射線は、N. ジョージェスケーレーゲンが考察した、時間の流れに関係づけられた「ファンド・サービス」の一種である。人工放射性核種からの放射線は、ほとんどの場合、生命に対してネガティブな影響を与えるサービスではあるが、これは「ファンド」としての放射性廃棄物により、とりわけ高レベル放射性廃棄物の場合に顕著に、極めて長期にわたって、「半減期」を媒介変数として時間の経過と必然的に関連づけられた形で供給される。

さらに、II-1-3: 放射線による生命と人体への影響を取り上げ、放射線被ばくを基本的な対価とする原子エネルギー利用の生命と人体、そして環境システムへの加害性の基本（急性及び晩発性放射線障害）について考察する。

II-1-4: 最後に、上述したように本論文の主要な論点の二つ目である、放射線被ばくリスクの評価における経済価値評価の問題として、放射線被ばくの線量基準における、交換可能性を前提とした、対象の経済価値の最大化を目的とする新古典派経済学の論理の適用の問題点を考察する。

「安全」な限度ではなく、被ばくを伴う原子エネルギー利用行為からの社会的利益の最

²⁹⁶ 原子エネルギー利用においては、後述するようにウラン 238 から生じるプルトニウム 239 は核燃料資源として、それ以外の人工放射性核種を廃棄物とすることと区別して取り扱っている。

大化を図るため、最適化された放射線による汚染、健康被害を前提とした受忍限度としての線量基準を提案したICRPの考え方を取り上げる。その論理は、新古典派経済学における経済価値最大化そのものである。すなわち、新古典派経済学的な、環境経済システムの実体的な関係性を捨象し抽象化する方法論が、放射能汚染をどのように扱うか、環境汚染及び被ばくの「望ましき」とは何かという観点から明らかにし、対象の交換可能性を前提とした経済価値の最大化を目的とする論理の適用の問題点を抽出する。

新古典派経済学は、その応用分野であるエネルギー及び環境分野の事象に対しても、通常の市場経済における事象の分析と同じく、経済主体と経済的変量との関係性を分析し、環境経済システムの実体的な関係性を捨象して、社会的厚生の変化によって対象行為の是非を「価値中立的」に判断する。原子エネルギー利用もその一つの適用例であり、環境汚染及び被ばくにおける損害をどのように評価し、最適化を行うかという問題がある。

新古典派経済学の論理の具体的な適用例である、費用便益分析による放射線被ばくリスク評価は、ICRPの放射線線量基準に見られる「合理性」の根拠となっている。その構成内容と放射線被ばくの最適性、そして経済社会的要因を踏まえた「合理性」とは何か、その特徴を明らかにする。

この論点の分析により明らかにするのは、費用便益分析の適用による放射線被ばくリスクの「最適水準」に当たる線量基準が、社会的厚生の最大化という集団的合理性に基づく、最適化の論理によって導出されたものであり、個々の人間の生命体としての安全性は意味しないこと、むしろ放射線被ばくによる健康及び生命の喪失の評価は、後述するLSS他、客観的なデータ解析の特性を考慮しても、得られる推論に照らして過小評価である可能性が高いことである。そして、ここに挙げた種々の問題点にもかかわらず、あたかも一般公衆の理解するところの「安全」を保障する「安全基準」であるかのように国民に周知され、これを前提として原子エネルギー利用の社会的便益の判断や、個別具体的な放射線防護、原子力災害対策の内容が決定されていることの問題点である。

すなわち、原子エネルギー利用、放射線被ばくへの新古典派経済学の方法論の適用に際しては、純便益が正であるか、あるいは、不可抗力として非正であるかを十分条件として、防護行為の最適化を必要条件とした社会的便益の最大化問題が解かれている。これが、安全な水準がない放射線被ばくリスクとそれによる損害を、被害者が受忍すべきとする主張の根拠である。しかし、人の生命と健康を含む不可逆な現象と、犠牲となる人々の生命を代替することができない交換価値の尺度である社会的便益では、置かれた次元が異なると

いう問題があるのである。したがって、社会的な便益は失われた生命と健康を代替することはできず、原子エネルギー利用及び放射線被ばくの受忍が、「価値中立的」に正当化されるという論理は、妥当性を欠いている。

これらの論点の考察を踏まえ、本論文の3つ目の主要な論点である、「自然及び人間からのシステム的な価値創出」の構造につながる問題領域において、放射線被ばくリスクの受苦、受益の構造が浮かび上がる。それは、II-2: 原子エネルギー利用、放射線被ばくと経済社会、という問題領域における、以下の論点である。

II-2-1: まず、放射線被ばくリスクの受苦、受益の構造について。経済社会的なリスク管理という観点からは、放射線に対する線量基準は、他のリスク物質の影響評価に比べると危険愛好側に偏向しており、そもそも個別の人間の死を引き換えに得べき社会的利益があるかどうかも疑わしい。それにもかかわらず原子エネルギーの利用が社会的厚生の上につながるとの主張がされる理由としては、そもそも人間の個別の合理性ないし価値観と集団的な合理性ないし価値観との乖離が不明確であること、個別の被ばくリスクの受忍が合理化される政策判断の理由としてはリスクの受け手と便益の受け手の分断、すなわち環境社会学の用語における「受苦圏」と「受益圏」の分断があり、かつ、そのような分断を前提とした政策判断が問題視されていないことが考えられる。

II-2-2: 次に、原子力災害への対応体制に見る、受忍限度論と原子エネルギー利用事業の立地自治体にとっての問題について。放射線被ばくリスクの性質とその評価を踏まえて、原子力発電所等の事故の際に線量基準がどのように適用されるか、そして原子力災害への対応体制に見る、受忍限度論と原子エネルギー利用事業の立地自治体にとっての問題を第5章において取り上げる。

II-2-3: 東電福島第一原発事故前後の原子力災害対策や、既設原子炉の再稼働など、原子エネルギー利用推進政策の具体的な論点についても第5章において分析する。

本論文の第3の主要な論点である「自然及び人間からのシステム的な価値創出」に関するまとめとしての考察は、以上の論点の考察を踏まえて、第6章で行う。

4.1 山田延男、若き核化学者と放射線障害

山田延男は、ラジウムの分離抽出の業績で著名なキュリー夫人が率いるフランスのラジウム研究所（現、キュリー研究所）に留学した日本の核化学者である。強い毒性を持つポロニウムの研究を行い、帰国直後に急逝した。

山田光男²⁹⁷は、「放射能研究に殉じた山田延男の生涯」について解説している²⁹⁸。それによれば、1921年に東京帝国大学航空研究所助教授となった山田延男は、1923年11月にフランスのラジウム（現キュリー）研究所へ派遣され、マリー・キュリー所長の下で、その娘、イレーネ・キュリーと共同で主にポロニウムの研究を行った²⁹⁹。以下で言及があるように、とりわけ山田延男は霧箱という放射性核種から放出される放射線の可視化装置を用いた写真撮影の技術が高評価であった。このフランス留学中の後半には体の不調を訴えていた山田延男は、アメリカでのヘリウム調査を終えて、1926年はじめに日本に帰国した。なお、東京帝国大学時代の山田延男の研究は、飛行船への使用が検討されていたヘリウムについてのものだった。

帰国後、山田延男はただちに東京帝国大学病院に入院し、数カ月の治療を受け、この間に東京帝国大学から理学博士の学位を授与され、一旦退院した。しかし、翌1927年7月に再入院し、10月31日に東京帝国大学教授に任命されたものの翌11月1日に31歳の若さで死去した。

その死因については、入院先の東大病院で診断名が付けられず、死後、中野の自宅に東大から山田の主治医の川島震一医師が見えて、頭部を切開して、脳腫瘍を確認した由であるが、山田がフランスから帰国当時の病状、あるいは退院後の視力・聴力減退、手足の運動機能低下などから、現在の判断ではポロニウム、ラジウムなどの放射線障害ではないかと考えられる。

出典：山田光男（1998）、137頁。

²⁹⁷ 山田延男の子息である。

²⁹⁸ 山田光男（1998）、「放射能研究に殉じた山田延男の生涯（第1報）ーラジウム発見100年に因んでー」、『薬史学雑誌』、第33巻第2号、136-140頁。

²⁹⁹ 山田延男の共著を含むフランス滞在中の主要な論文として以下が挙げられる。

I. Curie et N. Yamada (1924), "Sur la distribution de longueur des rayons α du polonium dans l'oxygène et dans l'azote," *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (CRAS)*, T. 179, pp. 761-763.

N. Yamada (1925a), "Sur les particules de long parcours du polonium," *CRAS*, T. 180, pp. 436-438.

I. Curie et N. Yamada (1925), "Sur les particules de long parcours émises par le polonium," *CRAS*, T. 180, pp. 1487-1489.

N. Yamada (1925b), "Sur les particules de long parcours émises par le dépôt actif du thorium," *CRAS*, T. 180, pp. 1591-1593.

当時の研究環境に関して山田光男は、次のように述べる。

山田がラジウム研究所でのウィルソン霜箱を使用して実験中の写真を本稿に掲載したが、放射線医学総合研究所に勤務された玉置文一、館野之男両博士は、この写真および帰国後の病状から考えて、典型的な放射線障害と思われるとのことだった。

Marie Curie、あるいは、Irene, Frederik, Joliot-Curie (娘、婿) 夫妻がいずれも放射線障害（白血病）で死去している事実からみて、山田は放射線被ばく防御の知識などが十分ない時代に、留学の責任感に燃えてラジウム研究所で、Irene と共にポロニウム、ラジウム、トリウムなどの放射能研究に従事した、いわば、放射線殉職とも言えよう。

出典：山田光男（1998）、137 頁。

山田延男の放射線障害と本人の対応については、川島慶子（2012）³⁰⁰がキュリー研究所の所蔵する資料から興味深い一節を紹介している。以下、山田延男の 1926 年 11 月の書簡³⁰¹を川島慶子の翻訳より引用する。

病気の原因はいまだ明らかではありません。外国に長期滞在していたことで、私がとても疲れていたのは事実です。しかし、それだけではなく、放射能のエマナシオンによる中毒もあったのです。日本には十分な量の放射性物質がありません。したがって、こうした物質による中毒について記載されたいかなる文献も存在しません。思いますに、私の病気の経過と、私以前に同様の病気にかかった人のそれを比較するのは興味深いことです。もし貴女が、こうした中毒症状について書いてある雑誌の名前と巻号を教えてください、とてもありがたいです。

出典：川島慶子（2012）、181 頁。

³⁰⁰ 川島慶子（2012）、「山田延男と湯浅年子ーキュリー一家の人々に師事したふたりの日本人科学者ー」、『化学史研究』、第 39 号、179-190 頁。

³⁰¹ Musée Curie, archives de l'Institut du Radium: Dossier Yamada, *letter de Yamada a Irene Joliot-Curie du 30 novembre 1926*, manuscript n. 001183-1, 2, 3.

川島慶子は、山田延男と同様に、マリー・キュリーの指導を受け、ポロニウムによる放射性障害で亡くなった研究者として S. Cotelle を挙げている³⁰²。また、キュリー夫人自身や、娘夫妻など、核化学及び原子物理学の研究者で、放射線被ばくへの知識と対策が不十分であったためとされる放射線障害により亡くなった方は多い。一方で、放射化学の研究者がすべて短命だったわけではなく、とりわけ山田延男にやや先立つ 1920 年から 1921 年に F. ソディの研究室に留学し、多くの研究成果とラドン計測機などの機材と知識を持ち帰り、日本の放射化学分野の発展に貢献したとされる飯盛里安(1885 年生まれ、1982 年没)との対照から、山田の放射線障害と短命についての種々の理由が推測されるが、F. ソディの研究室で放射性核種の取り扱いが厳密であった、あるいは防護が充実していたのか、事情については詳しく分かっていない³⁰³。

山田延男の放射性物質の研究及びその健康被害の事例を通じてわかることは、20 世紀初頭の核化学、放射性物質の研究とその後の原子エネルギー、放射線利用へと科学的発展が進行する過程で、放射線被ばくの生命と健康への影響は、多くの犠牲を払いながら経験的知識と化していったことである。その後の放射線による人体及び環境への影響について、最大の知見を与えることとなったのが、第二次世界大戦における原子爆弾の使用であった。これは、放射性物質の研究が、原子エネルギー利用の研究へと大きく変化していったことの結果である。第 2 章、第 3 章で検討したエコロジー経済学における原子エネルギー利用についての肯定的または楽観的な見方も、この間に変化していくことになる。

4.2 原子エネルギー利用と放射性物質の発生、そのリスクの特徴

続いて、この問題領域における基礎である原子エネルギー利用と放射性物質の発生、そのリスクの特徴について、基本事項を簡単に確認しておこう。

放射性物質による汚染のリスクは、摂取、接触や近接により放射線を浴びることのリスクと、放射性物質そのものの物質としての性質によるリスクに分けられるが、多くの場合は物質としての性質のリスクが問われるよりも前に、放射線源としてのリスクが問題とされる。それは、人間の体を含む生命体は、その遺伝情報を含む染色体や細胞自体が放射線に曝されると損傷を受け、体組織の破壊、生殖機能への障害、ガン化といった被害を受け

³⁰² ポーランド人放射化学者の S. Cotelle (1896-1945)の死去時の年齢は 48 歳で、ポロニウムなどによる放射線障害とされている。

³⁰³ F. ソディその人も 79 歳で死去しており、特に早死にということはない。

るという基本的特性によるものである。

4.2.1 原子エネルギー利用と放射性物質の発生

本節では、原子エネルギー利用に際してその過程から必然的に発生する放射性廃棄物とそのリスクについて、その基本的関係性から考察する。放射性物質が環境上のリスク物質であるのは、その化学的性質に差はあれ、放射線を放出し、原子核崩壊をしてゆく共通の性質から来ている。その基本的な成り立ちから確認していく。

元素において陽子の数は同一であるが中性子の数が異なるものを同位体{isotope}と呼び、これは、F. ソディが命名した名称である。元素である原子は、複数の同位体が存在し得るが、それは安定した状態と不安定な状態で存在し得る。不安定な状態であるが物質的な特徴は安定な原子の属性と同一の原子を、放射性同位体と呼ぶ。放射性同位体は、一定のエネルギーあるいは物質を放出して遷移し、安定な状態となるまで変化する。このような原子の性質については、E. ラザフォードと F. ソディの共同研究を初め、前世紀の初頭にかけて種々の研究が行われた³⁰⁴。

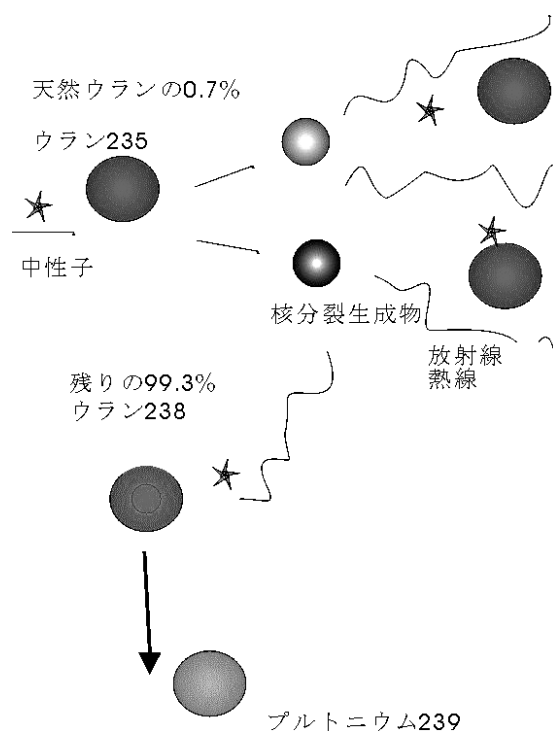
原子エネルギー利用の場合、軽水炉の核分裂の要因はウラン 235 に中性子が衝突することであり、分裂した先の核分裂生成物も多くは放射性物質となる。放射性物質が放出する放射線には上述の中性子の他に、ヘリウム原子核である α 線、電子線である β 線、電磁波に分類される γ 線がある³⁰⁵。

そして、質量の大きな原子が複数の放射性物質に分裂するとき、生じる熱により水を加熱して、気体への相変化に伴う体積膨張により蒸気タービンを回転させ、発電するのが原子力発電である。このことを熱力学の第一法則と第二法則に関連づけて述べると、熱力学の第一法則であり「質量・エネルギー保存法則」が成立した上で、物質の質量をエネルギーに変える反応をしているのが核分裂の本質である。しかし、その際に熱力学の第二法則である「エントロピー増大法則」により、発生した熱は高温から低温へ移動し、また物質としては拡散の程度が増大する。

³⁰⁴ F. ソディによるラジウムの放射性崩壊の性質の代表的研究は第2章で紹介したように、多くは前掲、物理学史研究刊行会編（1970）、『放射能』、東海大学出版会、に所収されている。

³⁰⁵ それぞれ α 線が空気中で45mm、身体中で40マイクロメートル、また β 線すなわち電子は空気中で1m、身体中で2.5mmほどしか飛程がないため、個人用放射線測定器や緊急時放射線モニタリング体制の主な機材である γ 線の計測装置での計測はできない。

図 4.2.1-1 ウラン 235 の核分裂連鎖反応の原理



出典：著者作成、拙著、藤堂史明（2013a）73 頁の模式図。

従って、原子エネルギー利用の一形態である「核分裂爆弾」や「原子力発電」において核分裂生成物(Fission Products: FP)、つまり人為起源の放射性物質が生じるのは、物質からエネルギーを取り出した対価であり、この意味で核分裂エネルギーを利用する原子エネルギーの利用は、その結果としての廃物として、CO₂ではなく放射性物質を放出することが本質である。なお、核分裂ではなく核融合反応であれば放射性物質を発生させないというのは誤解であり、この点については既に述べた槌田敦（1976a）によりトリチウムの放射線、炉壁や支持構造の放射化が指摘されている通りである³⁰⁶。

上図に表記したように、天然のウランの 0.7%に過ぎないウラン 235 を、3%程度に濃縮した核燃料として用いる軽水炉の発電方式は、残りの 99.3%を占めるウラン 238 を利用で

³⁰⁶ 核融合反応と放射線、放射性物質に関する指摘として、槌田敦(1976a)、600-602 頁によれば、核融合反応により生成されるのはヘリウムであるとしても、反応に使用されるトリチウムが、水素と置換されて生体に取り込まれ、その崩壊により DNA 鎖が切断され、突然変異を引き起こすこと、そして中性子線による炉壁や支持構造の放射化、 γ 線等の影響が指摘されている。

きないという特徴を持つ。これを利用するために考えられたのが、ウラン 238 が中性子を吸収して核種変化したプルトニウム 239 を核分裂させることであり、これを使用済み核燃料から取り出すことを再処理、また、より効率よくプルトニウム 239 を生産するための原子炉を、分裂反応に伴う中性子を高速に保つ必要があることから命名して高速増殖炉と呼んでいる。

高速増殖炉は、かつて数千年単位でエネルギーを供給できると主張されていたこともあるが³⁰⁷、再処理技術の未完成とあわせ、その実験炉である「もんじゅ」の開発が頓挫しており、実現の可能性は低い。2016年12月には、「もんじゅ」の廃止措置への移行が決定された³⁰⁸。高速増殖炉の開発政策は依然として維持されているが、これらの核燃料サイクルのプロセスは、もし実現したとしても、プルトニウム及び使用済み核燃料を再処理した高レベル放射性廃棄物が蓄積していくことにより、「核不拡散」政策との矛盾、テロや事故の危険性、高レベル放射性廃棄物の最終処分の問題が、今後の重大なリスク要因となっていくと考えられる。

さて、原子力発電は炉型や方式に関わりなく、物質の質量減少からのエネルギー発生を変換して利用しようとする過程で、変質した物質すなわち放射性物質を生成する。原子エネルギーの利用は種々の類型を持ちながらも、この放射性物質を封じ込め、管理することに必然的に利用可能エネルギーと資源の投入を必要とし、それができなければ放射性物質による汚染を発生させる点では共通している。汚染源となる放射性物質の生成は必然であり、エネルギー利用と比例的關係にあるため、これが漏出、放射されること、それによる被ばくや環境汚染をどの程度、許容するかという放射線被ばくの線量基準の考え方によって、必要なエネルギーと資源の投入量が変わる。この点は、第3章で述べたように、安全性とエネルギー産出比のトレードオフの指摘という形で、室田武(1976)³⁰⁹が指摘したよう

³⁰⁷ 地球問題研究会(1992)、「プルトニウム利用技術のブレークスルー」、『週刊エコノミスト』、1992年9月1日号、毎日新聞社、88-91頁、の88頁では、「プルトニウムを利用するFBRは、現在主流の軽水炉に比べるとウラン燃料を約100倍も有効に使えるので、石油に比べて決して豊富とはいえないウラン(可採年数68年)を有効利用できる可能性をもつ。」としている。

³⁰⁸ 内閣官房(2016)、「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針(案)」、平成28年(2016年)12月21日原子力関係閣僚会議(第6回)。

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/dai6/siryoku2.pdf 2018年7月9日参照。

³⁰⁹ 室田武(1976)、「原子力のエネルギーコスト」、『技術と人間』1976年11月臨時増刊号、

に、原子力発電のエネルギー産出と安全性とはトレードオフ関係にあるのである。

したがって、原子エネルギー利用としての「原子力発電」には、線量基準の程度に対応して、それが過程全体で正味の利用可能エネルギーを生じさせるかどうかという疑問が生じる。後述するように、ICRPの放射線防護、つまり安全基準の考え方には、既存の原子エネルギー開発が正の利益を生み出すことを前提としつつも、その困難さに応じて変化する線量基準の考え方により、緩い基準により事業による正の利益を担保するという、自己循環的な論理が見られる。

4.2.2 「ファンド」・「サービス」としての放射性物質と放射線

次に、N. ジョージェスクーレーゲンの考え方を端緒として、エコロジー・エントロピー経済学にとっての原子エネルギー利用、放射線被ばくの問題の根本的な捉え方について、改めて考察しよう。

ウラン、プルトニウムなどの原子核崩壊を引き起こす「核燃料」とそれによって生じる核分裂生成物は、N. ジョージェスクーレーゲンが考察した、時間の流れに関係づけられた熱と放射線という「サービス」を生じさせる「ファンド」の一種である放射性物質である。

「核燃料サイクル」という概念は、不安定な元素を燃料に例え、かつ核分裂から利用可能エネルギーを取り出しつつ、元素の一定の循環利用が可能であるという暗黙の前提を含む用語であり、注意が必要であるが、その用語法における「使用済み核燃料」ないし、その処理後の「高レベル放射性廃棄物」に注目すると、この性質はより顕著に観察される。

核分裂反応からの熱と核分裂生成物の崩壊熱は、「原子力発電」においては、利用可能なエネルギー、サービスとして取り出される、一方、前述した通り放射線は、ほとんどの場合、生命に対してネガティブな影響を与えるサービスである。そしてそれは「汚染ファンド」としての放射性廃棄物により、とりわけ高レベル放射性廃棄物の場合に顕著に、極めて長期にわたって、「半減期」を媒介変数として時間の経過と必然的に関連づけられた形で供給される³¹⁰。

40-53 頁、(『技術と人間』論文選)、大月書店、所収)。

³¹⁰ F. ソディの第二種の富は、ファンドと類似した耐久性という側面を持つが、その性質がエネルギー的な変化をできる限り受けず、生産の媒介物として機能することであるため、時間に関係づけられた変化をもたらす「ファンド」という、N. ジョージェスクーレーゲンの考察とは、本来、別種の議論であると考えられる。

2.4 節で述べたように、N. ジョージェスクーレーゲンは、「過程の中で消費されず、いくらかの傷がつくとはいえ、過程からまた出てくる³¹¹。」ものとしてファン드를定義し、「一度に必要とされるわけではなく、ある特定の仕方でも時間的に展開されたフローとしてのみに必要とされるにすぎない³¹²。」ものとしてサービスを定義しており、「必要とされる」という表現からして、人類にとって利益をもたらすものとしてファンド・サービスを考察していることは明らかである。しかし、その定義自体は、以上に述べたように、利用可能なエネルギーとしての熱というポジティブなサービス以外に、ネガティブなサービスとしての放射線の被ばくとそれがもたらす DNA、細胞の破壊と結果としての症状、疾病も含みうるものである。

原発をはじめとする原子エネルギー利用の構想においては、これらのネガティブなサービスは封じ込め可能で、アウトプットは無視することができるとするか、あるいは制御可能なストックとして一定期間の後は無償処分できると仮定している。高レベル放射性廃棄物について、その短寿命化と短期での無害化、あるいは数十年から百年程度の短期間の保管の後にメンテナンスフリーを想定する地層処分などが、その発想の代表例である。

そして、ポジティブなサービスである利用可能エネルギー、すなわちほとんどの場合、熱エネルギーから変換した電力エネルギーを取り出すことができると想定している。

加えて言えば、このプロセスを一定程度反復するよう、元素を循環利用することを意味する高速増殖炉、資源の賦存量と発生エネルギーが膨大であると主張されてきた核融合炉と発展させれば、その期間は半永久的に延長可能であると主張されてきた。

ここで、フローは、自然資源のインプットフローの R 、経常的インプットフローの I 、資本ストックの維持のためのインプットフローの M 、廃棄物のアウトプットフローの W 、ファンドである核燃料 N とリカード的土地 L 、資本 K 、労働 H 、としてそれらを用いて電力量 E を生み出すというポジ（ポジティブ）な経済過程と、その核燃料 N と資本 K 、労働者 H が変化するフロー・ファンドモデルを考える³¹³。

このとき、汎関数表示したモデル体系は、以下の通りである。

$$E_0^T(t) = \mathcal{F}[R_0^T(t), I_0^T(t), M_0^T(t), W_0^T(t); N_0^T(t), L_0^T(t), K_0^T(t), H_0^T(t)] \quad \dots (4.2.2-1)$$

³¹¹ N. Georgescu-Roegen (1971) 邦訳、295 頁。

³¹² 同書邦訳、295 頁。

³¹³ 区別する必要がある場合、ダッシュをつけて、使用済み核燃料 N' と汚染された資本 K' 、労働者 H' と表記する。

これは、基本的に、N. Georgescu-Roegen (1971)邦訳書 308 頁での数式(11)に N を付加したものである。ウランは自然に存在する資源の一つではあるが、核燃料はそれを分離抽出したうえ、核分裂性ウランを濃縮しており、また、生産過程によって製品へと変化して消滅するのではなく、核分裂と崩壊系列に従った質的变化という時間的な変化を受けるファンドであるため、別の記号をあてる。

なお、「使用済み核燃料」は、物質量を表わす場合、未使用核燃料 N ではなく、反応後のものである意味で N' と表記する。この N' の内訳である元素は、種別 i ごとに与えられる半減期 ϕ_i の関数として崩壊熱 $Q(t)$ 、放射線 $\eta(t)$ を放出するという過程を生じる。N' を構成する元素が核燃料の反応度により異なることを捨象して、これらの要素のみに単純化すると、次の式となる。

$$\eta_0^T(t) = G[\psi_i; N_0^T(t)] \quad \dots (4.2.2-2)$$

$$Q_0^T(t) = J[\psi_i; N_0^T(t)] \quad \dots (4.2.2-3)$$

このとき、最終的に電気エネルギーに変換可能な装荷時の熱エネルギーはポジティブな過程に含み得るが、使用済み核燃料の冷却時には崩壊熱は冷却のための利用可能エネルギーの投入を必要とするネガティブなサービスである。両者の性質の境界線は反応度による「核燃料」の使用期限の判断と、装荷された「核燃料」の取り出しに依存する。また、放射線量は汚染ファンドである（使用済み）核燃料から発生するサービスであるが、最終的には物質に吸収され熱に変化する。

ここで重要な事は、放射線という多くの場合に生命と健康、自然環境にネガティブな影響を与えるサービスは、「使用済み核燃料」すなわち核反応後の核物質という、汚染ファンドから生じる、時間に関連づけられた「サービス」であるという点である。このため、ファンド及びそのサービスに関するエコロジー経済学の観点からの考察が本来、必要である。

なお、全体としての電力生産のモデルを振り返ると、現実の核反応により核分裂生成物質の漏れ、放射線による変質が生じるため L、K、H についても質の変化が生じる。これらは、放射性物質による汚染、放射線による放射化を受けた土地、被ばく線量が累積した労働者、放射性物質による汚染、放射線による変質を受けた機械、工具、防護服などの機材を含む。これらは、「低レベル放射性廃棄物」を構成する。ただし、本章で扱う質的な変化による長期的なネガティブなサービスをもたらす主体は使用済みとなった「核燃料」N、すなわち実質的にはウラン、プルトニウムの抽出処理を受けた後、ガラス固化された「高レベル放射性廃棄物」である。

次の表 4.2.2-1 に示したガラス固化体中の放射性核種とその半減期を見れば、これらの物質が、その元素の性質としての毒性（放射線の生命体への破壊作用）を失うのに、長いもので 100 万年以上の長さの半減期の繰り返しが必要であるのみならず、短い半減期のものでも核種の遷移を繰り返して減衰していくことが確認できる。

表 4.2.2-1 ガラス固化体中の放射性核種とその半減期

図表の著作権者よりインターネット公表の許諾
が得られていないため、空白とする。

出典：核燃料サイクル開発機構（1999） 分冊 3 V-31 頁³¹⁴。

³¹⁴ 核燃料サイクル開発機構（1999）、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技

また、図 4.2.2-1 及び図 4.2.2-2 に見るように、遷移を繰り返しながら変化してゆく核燃料及び使用済み核燃料、ガラス固化体の放射線を発する能力（放射能）は、元の資源の品質レベルまで低下するのに約 10 万年、個別の元素の化学的な毒性まで考慮すると、100 年以上の時間がおおよそその無害化に必要である事が分かる。100 万年先の未来の世代に至るまで延々と引き継がれる、原子単位での環境汚染物質を生じさせる事は、果たして現在の民主主義の考え方からその是非を決定することができるだろうか？私たちの考える正義は、果たしてこのような現象を包括しているのだろうか。この論点については第 6 章で論じる。

図 4.2.2-1 使用済み核燃料における放射能の経時変化

図表の著作権者よりインターネット公表の許諾が得られていないため、空白とする。

出典：核燃料サイクル開発機構（1999） 総論レポート I-4 頁³¹⁵。

術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—、JNC TN1400 99-020～023（総論レポート及び 3 分冊、別冊）。

<https://www.jaea.go.jp/04/tisou/houkokusyo/dai2jitoimatome.html> 2019 年 1 月 9 日参照。

³¹⁵ 同資料。1MTU は 1 メトリック・トンのウランを指す。

図 4. 2. 2-2 ガラス固化体の放射能の経時変化

図表の著作権者よりインターネット公表の許諾
が得られていないため、空白とする。

出典：核燃料サイクル開発機構（1999） 分冊 2 III-9 頁。

4. 2. 3 原子エネルギー利用と永久機関

もし、このような核反応に伴う核燃料および土地、資本、労働の時間に関連付けられた質的变化をなかったことにでき、核物質の質量減少から利用可能エネルギーのみを取り出すことができれば、それは、ある種の疑似的な永久機関を実現できたことになる。すなわち、核物質の質量減少に比して利用可能エネルギーの取り出し量が膨大であり、かつ、環境に影響を与えないよう放射性物質を封じ込めることができるという主張は、著者の考えでは、「システムの内部から利用可能エネルギーを取り出し、そのシステムを不変に永久的に維持する」という「第 1 種の永久機関」と酷似している。

なお、「永久機関」とは、次に示すように定義される。

〔第 1 種永久機関〕 エネルギーの供給を受けないで仕事をし続ける機械。

〔第 2 種永久機関〕 ただ一つの熱源から熱（量）を吸収して、これをそのまま外部への仕事に変え続ける機械³¹⁶。

これらの永久機関は、第一種永久機関に関しては熱力学第一法則、質量・エネルギー保存法則により実現不可能であり、第二種永久機関に関しては熱力学第二法則、エントロピー増大法則により、熱をそのまま全部仕事に変える効率 100%の熱機関は不可能であるから実現できない。

明らかかなことが一つある。それは、原子力発電は永久機関ではなく、廃熱と放射性物質の生成という対価を払って、利用可能エネルギーを生産する技術であるということだ。また、物理的な変化が熱と放射線という形で、環境という、より上位のシステムに対し影響を与えることがエントロピー増大法則により保証されているため、放射性物質の環境影響は原子力発電と切っても切れない関係にある。封じ込めや無害化という発想は、この根本的な関係を回避しようとするものに過ぎない。地球の物質循環により、宇宙に排出される低温熱に変化可能な熱や、光合成により再循環可能な炭素を中心とする通常の燃料の燃焼反応とは異なるのである。

もちろん、一定程度の放射性物質や発生する熱と放射線の封じ込めは短期的には技術的に可能である。これを放射線防護と呼んでおり、核燃料の集合体から原子炉そのもの、原発の運営に関わる運転員や技術者の個人放射線防護に至るまで、熱や放射線によるシステムへの影響を緩和、あるいは変質させて吸収するのが基本的性質である。

著者が、エントロピー増大法則により、廃熱及び放射線が核分裂による利用可能エネルギーの生産の対価であると強調してきたのは、この対価である廃熱や放射線を対価なしに緩和、吸収することもまた不可能であることを明確にしておく必要があるからである。

4.2.4 放射線の危険性とは何か

放射能とは放射性物質が放射線を放出する能力のことである。そして放射性物質は自然界の様々な原子や人工的に生成された原子のうち、不安定な原子からなり、放射線を放出するものを指す。放射線は不安定な原子がより安定した原子へと遷移していく過程で放出

³¹⁶ 出典：沢田正三（1994）、「永久機関」、『日本大百科事典』、小学館。

する、ヘリウム原子核（ α 線）、電子線（ β 線）、電磁波（ γ 線）、中性子線などで、いずれも通常の生物の体を作っている分子同士の結合力に比べて大きな破壊力を持っている。

放射線被ばくによるリスクがどのような過程から生じているのか、それは放射線の種類によって物質を貫通する能力とそのエネルギーには大きな違いがあるが、原子や分子の構造そのものにも干渉し、また分子の結合構造を切り離す力を持っているため、照射された原子を放射性物質化したり、生物の細胞とそのDNA構造を破壊したりすることができる。

このような破壊力をもったエネルギーの流れは、自然界にも存在し、例えば宇宙から降り注ぐ宇宙放射線や自然環境中に存在するカリウムの放射性同位体による生物への影響は、地球の歴史の中で常に存在し、DNAへの影響を含む生物への影響も自然環境中に存在してきた。

放射線の危険性のうち、とりわけ人工的な放射線の原因となるのが、原子爆弾などの核兵器や原子力発電のような原子エネルギー利用である。放射線による生物などへの影響自体は、自然界のものであっても、人工的な放射線であっても違いはないが、人工的に生成された放射性物質は、進化の歴史の中で生物が適応してきた自然環境中の放射性物質とは異なり、体内から排出されにくく、場合によっては骨などに固定して一生涯、放射線を浴びせ続けるもの（ストロンチウムなど）もある。したがって、人工的な放射性物質と自然環境中の放射性物質からのリスクには実際上の違いがある。

さて、DNAを破壊するなどして、遺伝子異常やがんなどの形で生物に直接的な被害を与える放射線での測定単位として、今日、標準的に使われている被ばく線量は国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)のモデルによるもので、物理的な放射線の量、Gy（グレイ）を外部線源からの人間への被ばく影響に換算してその影響を総合評価した換算量である。その単位がSv（シーベルト）であるが、このような外部被ばく線量に放射線被ばくの影響を換算する評価の仕方には根本的欠陥がある。このことを断った上で、一旦、この考え方に沿った被ばくと生物への放射線障害の影響について考察する。

4.2.5 放射線の危険性についての説明はなぜ食い違うか

一方で、放射線は少ない量浴びれば無害であるとか、かえって体に良いという説は広く

流布している。表現としては、例えば「およそ 100 mSv 以下の、いわゆる低線量における影響の有無については、現在の科学的知見からは明確になっていない。」³¹⁷などである。このような表現はほかの放射性物質や原子エネルギー利用を扱う行政の文書に見られる。だが、上記の引用文献のように理由を明記してあれば別であるが、単純に用いられるため、この「明確になっていない」の部分が、「影響はない」と誤解されることが多い。

今日の放射線防護の分野では、放射線の危険性は低線量も含めて浴びた放射線の量に比例して増えていくと考えられている。まず、放射線の影響は非常に沢山の被ばくをした時の急性影響と、比較的少ない被ばくをした時の確率的影響（晩発的影響）の二つに分けて考えられる³¹⁸。非常に沢山の被ばくとは、例えば原子爆弾を投下され、数秒間に大量の被ばくをした場合である。

まず、放射線による障害や病気の特徴として、他の病気との区別がつかない事が挙げられる。

大量の放射線被ばくによる火傷や再生不能については、状況から判断して明らかな違いがある。1999年に起きた核燃料加工工場での臨界事故で、中性子線を浴びた作業員の全身の細胞が再生不能となり、治療の甲斐なく亡くなられた事例がそうである³¹⁹。ところが、がん、白血病（造血細胞のがん）などについては、放射線による症状とそれ以外の原因による症状に違いがない場合がほとんどであり、疑わしくても特定できない³²⁰。この場合、臨床の場での診断を集計し、特定の病気の発症が、被ばく線量が大きい集団とそうでない集団の間で、疫学的に違いがあるかどうかを調べる。この時、間違っただけで関係性があると判断する可能性は低く抑えるため、十分なデータ量がないとそもそもこの方法による推定ができない。実際には生物には個体差があるため、統計的に影響が確認できなくとも、個別の個体（被ばくした人）が病気になっている可能性はある。この点が放射線の健康影響を

³¹⁷ 放射線審議会（2018）、「放射線防護の基本的考え方の整理－放射線審議会における対応－」、<http://www.nsr.go.jp/data/000226075.pdf> 2018年8月20日参照。

³¹⁸ ここで気を付けるべき点だが、本節では放射線の影響を急性の影響と晩発性の確率的影響に分けて説明しており、多くの国際機関や政府文書でもそのように説明しているが、これには異論もあることである。

³¹⁹ 1999年9月に起こった住友金属鉱山の子会社の核燃料加工施設 JCO で起こった臨界事故は、作業員の目の前での核燃料の連鎖反応による大量被ばくを引き起こし、二人が重度の再生不能な細胞レベルの損傷により亡くなった。

³²⁰ 遺伝子レベルでの検査により、放射線被ばくによる甲状腺がんなどを特定できるとする児玉龍彦による説もある。

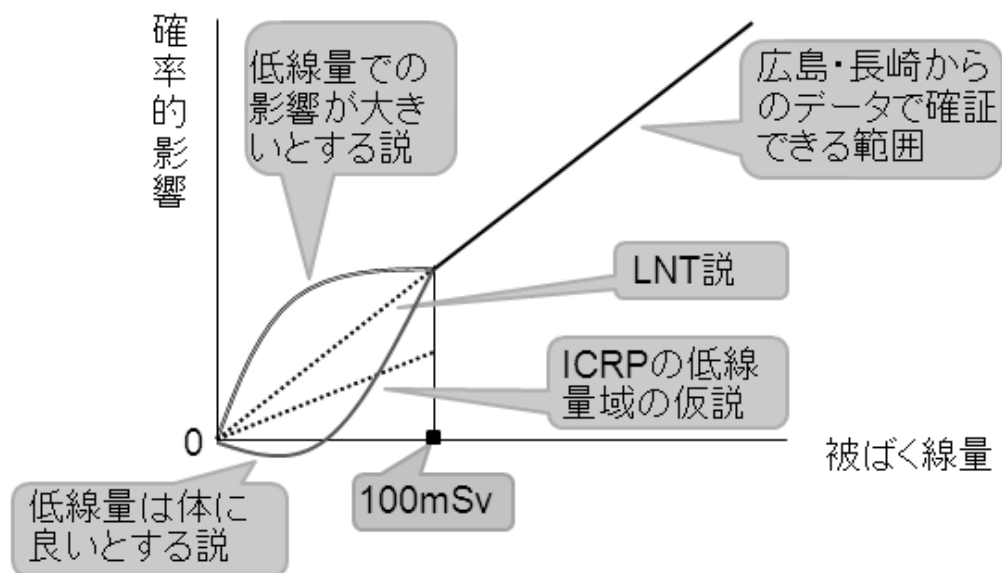
考える際に、その危険性について慎重に安全側で考えるべき理由である。

なお、実験室レベルの研究では非常に低い放射線量でも、DNAに影響があることが知られている。例として後述するムラサキツユクサを使った雄蕊の色変化の研究である。これにより、原理的に放射線がDNAに影響を与えることは明らかであるが、それは遺伝に影響して障害児が生まれるかどうか、がんや白血病になるかという影響の発現とは異なる。ある程度の放射線の影響は、生物が自然の放射線に耐えられるように進化してきたシステムにより、緩和され、悪影響が出ない事もあるためである。

従って、比較的少ない被ばく量の放射線の影響を考える際には、個人差などを平均化して影響を表すために、確率的影響の概念を用いる。つまり、放射線被ばくの確率的影響を調査分析するためには、まず多数のデータをとらなくてはならない。多数の人が被ばくをし、そのデータがとられた事例は多くはなく、とりわけ、広島と長崎に対する原子爆弾の投下とその被害調査は、その数少ない例のうち重要なものである。

次に示す図 4.2.5-1 は、被ばく線量と確率的影響（発癌、遺伝子変異など）の関係性を取り出してグラフ化したものである。グラフに表示したように、一定以上の被ばく線量、つまり 100mSv（Sv シーベルトは体が浴びる放射線量による健康への影響の度合いを示す数量）を超えた所では、データによる検証が確定しており、100mSv 以下のところでは、さまざまな説が存在することになっている。その理由は、確率的な被ばくと健康影響の関係を調べるには因果関係を示すデータが必要で、低い線量であればあるほど、多数のデータがないと統計的に確かな判断をする事が出来なくなるためである。データが正確でかつ大量に存在しないと、低い確率で生じる影響について確かなことがいえないため、複数の見解が同時に存在する。次節で述べるようにこの被ばく - 確率的影響関係については、比例関係とする「LNT 説」が標準的であるが、低線量域において放射線により電離した電子がより有害な影響を与える効果を指摘する説等もあり、標準の説であってもリスクを過少に見積もっている可能性がある。また低線量の放射線がかえって体に良いとする説もあるが、間違っていた場合の悪影響が大きく、また正しい場合でも当事者の意思に依存する部分が大きく、放射線の医療利用や原発事故のような、出来れば避けたい非自発的な被ばくにおいては本来関係のない説と言える。

図 4.2.5-1 被ばく線量と確率的影響の関係



出典：福島大学放射線副読本研究会（2013）³²¹等を参照し著者作成。

4.3 被ばく線量と健康影響の間の線形の関係³²²

次に被ばく線量と健康影響の間に線形の影響関係があると見る LNT (linear-no-threshold) 説を巡る論争について概観する。この LNT 説が成立すれば線量域に関わりなく放射線被ばくによるリスクを健康影響による被害として評価し、便益と比較することが可能となる。

放射線被ばくのリスク評価の内容そのものは、非常に詳細な議論になるので、概観を述べている資料を引用する。まず、放射線被ばくによる健康被害については、第二次世界大戦中に日本の広島と長崎に投下された大量破壊兵器である原子爆弾により被ばくした人々の寿命調査 (Life Span Study: LSS) が基本的なデータ源である。

³²¹ 福島大学放射線副読本研究会（監修）後藤忍（編著）（2013）、『みんなで学ぶ—放射線副読本：科学的・倫理的態度と論理を理解する』、合同出版。

³²² 本節以降は拙著、藤堂史明（2013a）、「原発事故による放射線リスクの経済分析」を基本として、必要な部分を改訂、加筆した。用語及び事項の解説、LNT 説を前提とした放射線被ばくリスクのグラフ化などに変更や追記を加え、本論文全体の論点との整合性を保つように修正しているが、基本的な前提事実と推論は変わらず、詳細に論じたものである。

100mSv 以上の被ばくという「高線量域」で被ばくと誘発がんとの関係は 1 シーベルト当たり 0.1 とされている。一方、100mSv 以下の「低線量域」については、これまで実験による被ばく影響の可能性については詳しく調べられている一方で、統計的に有意な関係性については証明が難しいとされてきた。ICRP では低線量域では高線量域の 2 分の 1 のリスクとして線量・線量率有効係数 DDREF=2 を採用してきた。これは比率として 0.05 を採ることになるが、以下でみるように統計的推測値としても過小評価となっている。

放射線による極小の被ばくによっても遺伝子の変異が生じ得ることは、例えば LSS を実施している放射線影響研究所³²³非常勤理事 W. K. Sinclair による過去の講演録にこうある。

(低線量被ばくによる細胞の自己修復メカニズムについても述べた上で) 低線量域における線量反応に関する優れた実験調査の幾つかは注目すべきである。Lloyd らによる調査 (International Journal of Radiation Biology 61:335-43、1992) では、リンパ球の染色体異常に関する 6 つの研究室による調査が行われており、20 mGy までの線量と効果の関係に線形性が認められた。過去の調査には、更に低い線量まで調べた例があり、特に Tradescantia における pink 突然変異について調査した Sparrow ら (Science 176:916-18、1972) は、X 線については 2.5 mGy、中性子については 0.1 mGy まで調べた。線形尺度を用いると、X 線のデータは依然として線形性を示す。また、Bateman ら (Radiation Research 51:381-90、1972) は 0.22 mGy という低い線量の中性子に被ばくした後発生した水晶体混濁について調べ、対照者が極めて異なる所見を示すことを認めた。

出典：「原爆被爆者の調査に基づくがんリスク推定値とその不確実性について」米国放射線防護・測定審議会名誉会長、放影研非常勤理事 W. K. Sinclair より³²⁴。

³²³ 「1975 年に原爆傷害調査委員会 (ABCC) の活動を継承し、放射線の人に及ぼす医学的影響及びこれによる疾病を調査研究し、原子爆弾の被爆者の健康保持及び福祉に貢献するとともに、人類の保健の向上に寄与する目的で日米共同で設立された。」高度情報科学技術研究機構「原子力百科事典 ATOMICA」、「放射線影響研究所」
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=13-02-01-27 2018 年 8 月 14 日参照、より。

³²⁴ W. K. シンクレア (1994)、「科学、放射線防護および NCRP」、
<http://www.rerf.or.jp/library/update/rerfupda/comment/ncrp.html> 2013 年 2 月 10 日参照。米国放射線防護・測定審議会 (NCRP) の年次総会で行われた第 17 回 Lauriston S.

Tradescantia はムラサキツユクサ、mGy はミリ・グレイ。概算で 1 Gy = 1 Sv である。

しかしながら、続けて、W. Sinclair は、個人レベルのリスク評価を目的とする防護体系の構築にあたって、個人レベルの被ばくリスクが小さいことから、線型の影響関係を受け入れた上で（閾値なしとした上で）、そのリスクは小さいとしている。すなわち、この問題についての深入りを避けている。

閾値はどのような線量レベルで始まるのであろうか。X線では約 2 mGy、中性子では 1 mGy の 10 分の 1 まで線形を認めた例が幾つかある。線形性が更に低い線量まで続くことはないと思定する理由はあるだろうか。極めて低い線量、従って極めて低いリスクにおいては、名目上の閾値が存在したとして問題があるだろうか。そのような線量およびリスクは無視できると考える者が多いだろう。私見では、このメカニズムの確率的性質から、閾値について論ずるよりも、閾値は存在しないとする仮説を受入れ、極めて低い線量においてはリスクはわずかとする方が健全であると思われる。

出典：同講演録より。

一方で、上記文中でも引用されているムラサキツユクサによる放射線の突然変異誘発のメカニズムを研究してきた市川定夫は、このような突然変異レベルの影響が非常に低線量でも誘発される実験結果を引用しつつ³²⁵、閾値のない放射線のリスクが本質的に生態系に対する脅威である、とする結論に至った。

このような見解の違いが、政府機関において東電福島第一原発事故後に見られた誤解である、100mSv 以下の放射線被ばくであれば「安全」、という理解を生んだと考えられる。ではなぜ、低線量被ばくの健康影響リスクに関して、専門家は断言できないのであろうか。

それは確率的リスクの性質と調査対象の被ばく者の人数という、統計的推測のサンプル

Taylor 記念講演（1993 年 4 月 7 日）の要約で、*RERF Update* Vol. 6, Issue 2, pp. 3-5. に掲載されたものの日本語翻訳版。

³²⁵ 市川定夫（2011）、「微量放射線の生物学的・医学的危険性」『技術と人間』論文選、大月書店、220-231 頁。（原著 1976 年）。

のサイズの問題に帰着する。

2012年のLSS論文³²⁶においては、

The lowest dose range with a significant ERR for all solid cancer was 0 to 0.20 Gy with an estimated ERR/Gy of 0.56 (95% CI: 0.15, 1.04, P=0.01) and included 74,444 persons with 9,063 solid cancer deaths. For the range of 0 to 0.18, the ERR/Gy was 0.43 (95% CI: -0.0047, 0.91, P=0.052) and included 8,920 deaths (Fig.5). The maximum likelihood estimate of a dose threshold was 0.0 Gy (i.e., no threshold) with an estimated upper bound of 0.15 Gy for 95% CI as determined by minimizing the deviance.(p.235)

としており、0.18Gy 以下の場合は有意水準がやや小さくなるもの 0.20Gy の場合は有意に ERR すなわち Excess Relative Risk が推定できることを示した。なお、この場合の被ばく線量と ERR の関係性の閾値の最尤推定値はゼロ、すなわち閾値のない線型関係が示されることも指摘している。統計的推定には信頼区間が生じるが、サンプル数の限界により、ここに示された推定の精度がほぼ限界に近づいていると考えられる。

このように、よく聞かれる 100mSv 以下の放射線被ばくリスクは証明されていない、との言説の実態は、線型の影響関係が推定されていても、これを確証するためにはサンプル数、つまり被ばくした人数が足りないことに帰着するだけなのである。

これに関連して、米国科学アカデミー - 研究審議会専門委員会名「電離放射線の生物影響に関する委員会 (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation : BEIR)」、通称 BEIR 委員会の勧告³²⁷でも閾値ゼロ、つまり LNT 説の妥当性を支持している。一方で、ICRP は DDREF として、影響が 1/2 になることを意味する 2 を採用するとともに、高線量

³²⁶ K. Ozasa, Y. Shimizu, A. Suyama, F. Kasagi, M. Soda, E. J. Grant, R. Sakata, H. Sugiyama and K. Kodama (2012), "Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases," *RADIATION RESEARCH*, Vol. 177, pp. 229-243. http://www.rerf.or.jp/library/rr_e/rr1104.pdf
2013年2月10日参照。

³²⁷ 英文要約 : Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (2006), National Research Council, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII – Phase 2*, 2006.
http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir_vii_final.pdf 2013年2月10日参照。

域での線量影響関係を低線量域へ外挿することに慎重になるように留意しており、「原子放射線の影響に関する国連科学委員会、United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR」も、チェルノブイリ事故による低線量被ばくの被害者について、個人の放射線防護に用いている LNT 説を用いないことを主張している³²⁸。日本の原子力安全委員会もこれを採用しているが³²⁹、これについては、放射線防護の基本体系となっている ICRP の実効線量体系、すなわち物理的なエネルギー量としての放射線から被ばく線量としての影響の度合いを推計する体系そのものが集団線量と影響の関係から計算されていることと矛盾もしており、奇妙としか言いようがない。

しかし、集団被ばく線量からの被害影響予測は疫学の分野で一般化している。ICRP 並びに UNSCEAR の見解は、原子エネルギーの平和利用として原子力発電を推進してきた国際機関としての責任逃れとみることも出来、その曖昧な表現には問題がある。

さらに、被ばく線量と健康影響の間関係については、低線量域であれば被ばくが健康を増進するとする説や、非線形の影響関係があるとするもの、とりわけ低線量域では健康被害を引き起こす比率がかえって高くなるとの説まで、諸説がある。しかしながら、いずれの場合も検証には大量の被ばく者のサンプルを正確に比較する必要が生じ、理論上の論争が決着するには、大量の被ばくを引き起こす原発事故等の核災害を何度も経験する必要があるので、検証不可能である。

以上のように検討した結果、放射線そのものの生物の DNA に対する影響は否定しがたく、また、実験データも被爆者の生存調査においても示唆されるのは、ゼロから線型に被ばく線量と健康影響の間に比例関係があるとする考え方、すなわち LNT 説である。

さらに、ECRR は外部被ばくに置き換えてすべての影響を評価する ICRP の放射線防護の基準は、局所的な内部被ばくの危険性について過小評価であると述べている。ICRP が採用してきた実効線量当量のような、外的な被ばく影響の測定及び評価手法自体の限界の指

³²⁸ United Nations (2011), *UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume II, Scientific Annexes C, D and E*.
http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_C.pdf 2013年2月10日参照。

³²⁹ 原子力安全委員会事務局 (2011)、「低線量被ばくのリスクからがん死の増加人数を計算することについて」、2011年9月8日、
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/info/bassi_0908.pdf 2013年2月10日参照。

摘である³³⁰。そのため、東電福島第一原発事故を契機にチェルノブイリ原発事故時の健康被害報告³³¹が再度、注目を集めている。

次に、国際放射線防護委員会：ICRPの放射線防護の考え方を取り上げ、被ばくを前提として原子エネルギー利用の便益を得ようとする考え方について検討してゆく。そのことにより、LNT説を前提とする考え方、つまり絶対安全はないことを認めつつも便益とのバランスによって原子エネルギー利用を推進すべきであるとする考え方の特徴と問題点を検討したい。

4.4 放射線被ばくリスクの受忍におけるリスクとベネフィット

4.3節で述べたように、LNT説を採るならば、被ばくによる生命と人体への影響に、これ以下なら影響がないという値：閾値がない。では、被ばく影響にこれ以下なら影響がないという値がないのに、いったいどのように放射線被ばくの安全基準は作られているのだろうか。

各国政府に放射線被ばくの安全基準として受け止められている防護のための基準値を勧告している国際放射線防護委員会：ICRPでは、放射線被ばくのリスクと被ばくを伴う行為による利益の差分が正となる、つまり社会的利益を生み、かつ防護の最適化、線量限度の考え方と合わせて、被ばくを受忍する基準として放射線防護基準を考えている。このように考えられた放射線に対する防護基準は、被ばくをゼロにすることではなく、被ばくの望ましい水準を求めているのである。

一般社会の理解では「安全」は全く危険がないことを指すが、放射線に対する防護基準の考え方では、「安全」は、これぐらいの被害は受け入れよという受忍限度という意味で使われている。

放射線防護基準について、当初、ICRPは個人の放射線被ばく量を可能な最低レベルまで減らすよう、あらゆる努力を払うことを二つの要素で勧告した。一つは「限度の法則」、最大の被ばく線量に制限を設けるものであり、もう一つは「最小化」、可能な最小限度にとい

³³⁰ 中川保雄(1991)、『放射線被ばくの歴史』、技術と人間。

欧州放射線リスク委員会(ECRR)編(2011)、山内知也監訳『放射線被ばくによる健康影響とリスク評価 - 欧州放射線リスク委員会(ECRR)2010年勧告』、明石書店。

³³¹ ユーリ・I・パンダジェフスキー(2011)、久保田護訳『放射性セシウムが人体に与える医学的・生物学的影響 - チェルノブイリ原発事故被ばくの病理データ』、合同出版。

う原則である。この二つの要素は、1959年に、“As Low As Practicable”（実行可能な限り低く）（ICRP Publication 1(ICRP, 1959)）と表現された³³²。この考え方のうち「実行可能な限り」の部分は、日本語ではあらゆる手段をつくしてという風にもとれる表現だが、その真意は「経済的及び社会的という2種類の特別な考慮」(ICRP Publication 9 (ICRP, 1965))を行うように、つまりほどほどの防護にしておけ、という意味だと考えられる。

このような、従来の放射線被ばくリスクに対する防護、言い換えればどれだけを受忍限度とするかについての考え方であるが、近年の基本方針としては、2001年3月に国内法令へ取り入れられた「国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection: ICRP）1990年勧告」³³³が基礎となってきた。

さらに、ICRPの発した新しい勧告「国際放射線防護委員会2007年勧告」³³⁴の国内制度への取り入れが検討されてきた経緯がある。同勧告における「線量拘束値(dose constraint)」の適用拡大と、「最大拘束値(maximum constraints)」の導入により、複数の評価対象線源からの被ばく管理基準が強化される可能性については、放射線審議会の第二次中間報告(2011)³³⁵に見られるように議論の対象とされてきた。放射線審議会による同文書での見解は、公衆における線量拘束値の導入に反対しており、その根拠として次のように記述している。

「(前略) 評価対象となる線源以外からの放射線の寄与により現実的に線量限度を超える可能性はきわめて低い(後略)」(同報告書6頁)。しかし、このような複数の線源を想定しない、という想定は、日本においても福島県を中心とする広範囲において、東電福島第一原発事故による多量の放射性物質放出による、職業被ばく、環境放射線被ばく、内部被ばく等の、異なる経路による複合的な被ばく状況が現出するに至り、実情と異なる主張となった。いずれにせよ、ICRPの2007年勧告については国内法制に反映されていない段階で

³³² ICRP (1959), *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 1, Pergamon Press.

<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%201> 2018年8月14日参照。

³³³ ICRP (1991), “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP*, Vol. 21, Nos. 1-3.

³³⁴ ICRP (2007), “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 103, *Annals of the ICRP*, Vol. 37, Nos. 2-4.

³³⁵ 放射線審議会基本部会(2011)、「国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告(Pub.103)の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告—」、2011年1月。

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/housha/toushin/_icsFiles/afieldfile/2011/03/07/1302851_1.pdf、2011年12月20日参照。

あったため、現行での原子力防災体制においては、公衆の放射線防護については、1mSv/y（年間1ミリシーベルト）を基準としている。

これらの勧告や基準はLNT説を前提としたものであり、集団的な影響関係については留保する見解もあるものの、個人レベルの防護基準としては完全にリスクを前提とした便益の享受という考え方を採用している。

4.4.1 ICRPの放射線防護基準³³⁶

以下に述べる著者の考察においては、ICRPの放射線防護体系における「線量限度」ないし「線量拘束値」、そして「参考レベル」がどこまで放射線を浴びてよいのかという、「安全基準」として解釈されている実態を踏まえ、最適化に基づく「線量基準」、「防護基準」としてこれらを論じる。ここで定義上は計画被ばく状況以外の状況における線量基準は「参考レベル」であることに注意が必要である。

なお、この体系の基本的枠組みとしては、1977年にICRP Publication 26³³⁷に提示されたものであるが、分析の前提とした放射線防護の諸原則は、「国際放射線防護委員会 2007年勧告」³³⁸によるものである。

基本的諸原則：

正当化の原則：「放射線被ばく³³⁹の状況を変化させるいかなる決定も、害より便益を大きくすべきである。」

防護の最適化の原則：「被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り

³³⁶ 拙著、藤堂史明（2012d）、「＜研究ノート＞東電福島第一原発事故後の放射線リスクと防護基準の考え方」、『経済発展と環境保全の新視点』、第3号、新潟大学大学院現代社会文化研究科、に初出。

³³⁷ ICRP (1977), “Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 26, *Annals of the ICRP*, Vol. 1, No. 3.

³³⁸ 日本語の引用は次の文献による。邦訳版：日本アイソトープ協会（2009）、『国際放射線防護委員会の2007年勧告：ICRP Publication 103』、丸善。

³³⁹ 放射線に曝される事について、日本語表現において「被ばく」が用いられている部分は、著者はこれまで「被曝」と表記する場合もあったが、本論文では原子爆弾、水素爆弾等の核兵器の爆発によるものを「被爆」と表記する以外は、「被ばく」によって表記する。

低く保たれるべきである。」

以上、二つの原則については、放射線線源関連で、すべての被ばく状況に適用される、とされている。

線量限度の適用の原則：「患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況においては、規制された線源からのいかなる個人への総線量も、委員会が勧告する適切な限度を超えるべきでない。」(5.7 節)

この原則は、個人関連で、計画被ばく状況に適用される、とされている。

「**正当化の原則**」については、ICRP(2007)は、放射線被ばくのレベルあるいは潜在被ばくのリスクの増加又は減少を伴う活動が考えられている場合、意思決定の際に放射線に関連する、あるいはその他のリスクや活動費用も含めて、正味便益がプラスであることを求めている。その上で、「利用できる代替案全ての中から最良のものを探し出すことは、放射線防護当局の責任の範囲を超えた課題である。」と、明確に述べている。この原則の適用範囲については、線源が直接制御できるかどうかによって依存する2つのアプローチがあるとしている。それらは 1：「放射線防護が前もって計画されて、線源に対して必要な対策をとることが可能な、新たな活動を取り入れる際に用いられる。」(5.7.1.節) すなわち、「計画被ばく状況」の場合である。

そして 2：「線源について直接決めることによるのではなく、主に被ばく経路を変更する対策により被ばくが制御できる場合に用いられる」(5.7.1.節) この場合の適用例としては、「緊急時被ばく状況」と「現存被ばく状況」が挙げられている。どちらも、行為による正味の社会的便益の発生を要請していることは同じではあるが、その持つところの意味合いは変わってくると思われる。

なぜなら、「計画被ばく状況」では行為の不存在によって生じる被ばくはないため、被ばくを伴う行為の是非について、存在の根本から判断が可能であり、不作為によって逸失利益があっても、被ばくは避けることができるが、「緊急時被ばく状況」及び「現存被ばく状況」においては、既に何らかの理由によって放射線源からの被ばくが存在する（事故による放射線源となる放射性核種の飛散が典型例）ため、不作為によっても被ばく状況は解消

しないのである。

次に、「**防護の最適化**」についてである。この原則は全ての被ばく状況に適用され、前提として上述の「**正当化の原則**」に照らして「**正当**」とみなされてきた状況への適用が意図されている。それは「**最適化の原則は、経済的及び社会的要因を考慮して、（被ばくすることが確実でない場所での）被ばくの発生確率、被ばくする人の数、及び個人線量の大きさのいずれをも合理的に達成できる限り低く抑えるための線源関連のプロセスである、と委員会は定義している。**」（5.8 節）

続いてこの原則の下、実施されるべきプロセスとして以下が挙げられている。

- ・あらゆる潜在被ばくを含む、被ばく状況の評価（プロセスの枠組み作り）
- ・拘束値又は参考レベルの適切な値の選定
- ・考えられる防護選択肢の確認
- ・一般的な事情における最善の選択肢の選定
- ・選定された選択肢の履行

とりわけ、注意すべきなのは、「**防護の最適化は線量の最小化ではない**」と明記されていることである。これは、防護の費用と被ばくによる費用の合計という概念が前提であり、「**最適化された防護は、被ばくによる損害と個人の防護のために利用できる諸資材とで注意深くバランスをとった評価の結果である。**」（5.8 節）とされている。

基本原則の最後は、「**線量限度の適用の原則**」であるが、計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくのそれぞれの状況において、職業被ばく、公衆被ばく、医療被ばくに関する線量拘束値及び参考レベルについて定義している。

ここで参考レベル{reference level}は、“The reference level represents the level of residual dose or risk above which it is generally judged to be inappropriate to plan to allow exposures to occur.” 「それを超える被ばくが生じると計画することが、一般的に不適切と判断されるレベルの照射量ないしリスクを表わす。」(ICRP (2009), Abstract)、とされている。

これは、線量レベルを制限する基準値ととれるものであるが、とりわけ緊急時被ばくと

現存被ばくについて、線量拘束値に相当する線量レベルを表現するのに「参考レベル (Reference Levels)」という用語が用いられる³⁴⁰。これらの「線量レベル」は放射線被ばくの最適化における被ばく線量の上限についての制約条件と呼ぶべきものであるが、緊急時被ばくおよび現存被ばく状況については、線源のコントロールができないという前提であることから、いわば最適化された線量レベルを、幅を持って勧告するという性格にある。

具体的には、公衆の防護にあたって、これらの最適化された数値の幅は、

緊急時被ばく状況（月単位）： 20 - 100 mSv

現存被ばく状況（数年）： 1-20 mSv の下限

長期（10年またはそれ以上）： 年間 1 mSv

但し、この時間枠と値については個々の状況に依存する。

となっている³⁴¹。

4.4.2 最適化問題としての被ばく水準

以上の放射線防護の諸基準は、被ばく線量を制御変数とし、複数の制約条件のついた、放射線利用及びそれへの対策から生じる純便益の最大化という最適化問題と考えることができる。ICRP では 1983 年に「放射線防護の最適化における費用 - 便益分析」(ICRP Publication 37)³⁴²を発刊しており、そこでは上記のような費用 - 便益分析及び、それを防護レベルによる得失に単純化した費用 - 効果分析の二つが紹介されている。

なお、前述したが、これらの定式化は、外部性の内部化モデルにおける環境汚染の最適

³⁴⁰ ただし、医療被ばくについては緊急時被ばくと現存被ばくについての該当なし、職業被ばくについては現存被ばく状況に相当するケース（長期的な改善作業や影響を受けた場所での長期の雇用）であっても、計画職業被ばくとみなす。

³⁴¹ ICRP (2009), "Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People in Emergency Exposure Situations," ICRP Publication 109, *Annals of the ICRP*, Vol. 39, No.1. 日本アイソトープ協会 (2011), 「ICRP Publication 109 緊急時被ばく状況における人々に対する防護のための委員会勧告の適用（日本語ドラフト）」、<http://www.jrias.or.jp/books/pdf/20110428-174501.pdf> 2013年2月10日参照。
ICRP (2011), "Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency," ICRP Publication 111, *Annals of the ICRP*, Vol. 39, No.3. <http://www.icrp.org/docs/P111%28Special%20Free%20Release%29.pdf> 2013年2月10日参照。

³⁴² ICRP (1983), "Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection," *Annals of the ICRP*, Vol. 10, No. 2/3. 邦訳：日本アイソトープ協会 (1985), 『放射線防護の最適化における費用 - 便益分析』、丸善。

化問題と同一の構造をしている。以下に、費用 - 便益分析モデルを適用した場合について引用する³⁴³。

まず、前提としての被ばくによる損害を定義する。

損害の概念は、基本的には有害な影響 ι の期待数（その線源によって引き起こされる影響 ι の期待頻度）、その重篤度を係数 g_i で計り、損害 G を定義する。

$$G = \sum_{\tau} F_{\tau} g_{\tau} \cdots (4.4.2-1)$$

続いて、被ばくした個人の総数 N により、発生確率 p_i の時の影響の期待頻度が N に比例するとして、総影響を

$$G = N \sum_{\tau} p_{\tau} g_{\tau} \cdots (4.4.2-2)$$

とする。この時、放射線被ばくによるリスクは、被ばくの結果、ある個人に起こるのである。有害な影響の確率³⁴⁴である。総リスク R は、放射線によるそれぞれの有害な影響 ι の発生確率を p_i とし、次のように定義される。

$$R = \sum_{\tau} p_{\tau} \cdots (4.4.2-3)$$

また、全身が均等に放射線照射された場合にある生体組織 T が受けるリスクの、総リスク R ³⁴⁵ に対する割合を w_T で表すと、その組織が受ける平均線量当量を H_T として、

実効線量当量は次のように定義される。

$$H_E = \sum_T w_T H_T \cdots (4.4.2-4)$$

また、客観的（平均余命減少をもたらす遺伝的影響と悪性腫瘍に限定し、重篤度を 1 に固定）健康損害は、

³⁴³ なお、該当する被ばく状況の類型化については、当該文献には見られないが、医療被ばく、原子力発電所などの計画被ばく状況についての事例を参照している。

³⁴⁴ ここでは放射線による確定的影響ではなく、確率的影響を論じている。しかし、低線量被ばくにおいても放射線の影響は、発がんなどの確率的影響に留まらないとの指摘もあり、一種の仮説であることに留意されたい。ただし、本論ではそれらの影響の因果関係についての詳述は省いた。

³⁴⁵ ICRP(1983)では、致死ガンと遺伝影響で、Sv あたり 1.65×10^{-2} とされている。

$$G_{H,1} = RH_E \cdot \cdot \cdot (4.4.2-5)$$

とされた。すなわち、総リスクに荷重平均全身被ばくである実効線量当量 (H_E) を乗じたものである。さらに、このような概念から、集団的な人口スペクトル $N(H_E)$ を考慮し、集団実効線量当量 S_E を定義する。総括すると、それによる健康損害は次の式となる。

$$G_H = \int_0^{\infty} RH_E N(H_E) dH_E = RS_E \cdot \cdot \cdot (4.4.2-6)$$

さらなる委細の定式化は省略する。このような放射線被ばくによる健康損害の定式化により、次のように費用・便益の関係を定式化する。

すなわち、

B : ある行為を導入することの正味の便益

V : そのような行為の導入の粗便益

P : 放射線防護の費用を除いたその行為の基礎生産費用

X : ある選ばれた放射線防護レベルを達成するための費用

Y : その選ばれた放射線防護レベルでのその行為による損害の費用

として、

$$B = V - (P + X + Y) \cdot \cdot \cdot (4.4.2-7)$$

である。

正味便益である B の最大化の必要条件は、集団線量 S が独立変数であるとする、

$$\frac{dB}{dS} - \left(\frac{dP}{dS} + \frac{dX}{dS} + \frac{dY}{dS} \right) = 0 \cdot \cdot \cdot (4.4.2-8)$$

となる。 S の値に関係なく V 、 P は一定とするならば、ある一定の放射線防護レベル S_0 でこの条件が達成されるとすると、そこでは、次の式が成り立つ。

$$\frac{dX}{dS} = -\frac{dY}{dS}, S = S_0 \cdot \cdot \cdot (4.4.2-9)$$

このような考え方により、損失余命等の数量で表された損害を、放射線防護レベルを達成するための費用 X とつり合わせるために、その費用に変換さえできれば、最適化のための必要条件を得ることになる。

繰り返しになるが、この様な計算が成り立つためには、選択される放射線防護レベル³⁴⁶によって決まる集団被ばく線量の結果としての、損失余命やその他の起こり得る健康上の損害³⁴⁷を市場価格に換算し、放射線防護レベルの選択結果としての集団線量を選択することの費用（防護費用）と微分的に釣り合わせる事が可能でなければならない。

つまり、このことは、損失余命（致死性ガン・遺伝子異常）という、修復不能な損害を「交換」という可逆的プロセスで表現される貨幣価値に置き換えることを意味しているため、本質的な定義矛盾を含んでいる。放射線による健康被害に限らず、回復不能な健康被害、生態系の損失を市場価値に置き換える際には同一の問題がついて回るため、このような分析には注意が必要である。これは新古典派経済学の最適化の論理を不可逆的過程から成る環境・生命現象に適用することにより生じる根本的問題の一つの典型例である。

4.4.3 二重の基準の持つ意味

このような問題構造は、放射線被ばくについての被害と要因の因果関係の推定に関する問題を一旦、捨象すれば³⁴⁸、環境汚染の最適化問題における、制度的前提に基づく最適化の原点の選択問題と類似の構造をしている。

次に示す図 4.4.3-1 において³⁴⁹、均衡点 E_1 は汚染がない状態を原状として被ばくを伴う行為の最適化を行った場合の均衡である。より低い汚染削減コスト（防護コスト）を前提に被ばくリスクと便益の関係をバランスさせることになる。一方、もう一つの均衡点 E_2 は、放射性物質が飛散した状態において最適な防護水準を考える場合である。放射性物質の飛散により、被ばく水準を引き下げるための限界費用が相当に高くなっている。なお、実際には緊急時と現存被ばく状況では緊急時の方が参考レベルの値は大きい、簡略化のためここでは二区分としている。

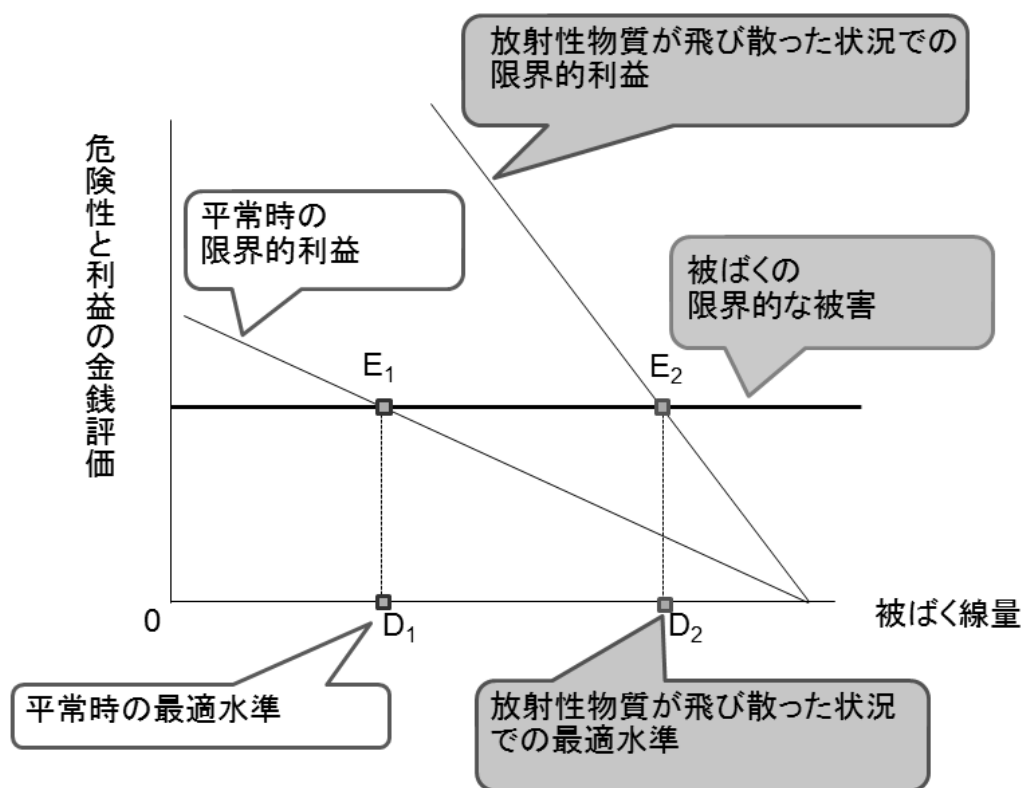
³⁴⁶ より直接的には、防護レベルを示すパラメータ、 ω を操作変数と考える。

³⁴⁷ 上述の計算では捨象したが、ICRP の文書ではその可能性は認められている。

³⁴⁸ 被ばく線量と健康被害の間の、閾値なし線形影響説（LNT 説）は、それを可能とする。

³⁴⁹ 以下の説明においては、藤堂史明（2013a）の図 3 を差し替え、LNT を前提とした放射線被ばくによる限界損害が一定の図で説明し、関係する文章を修正した。

図 4.4.3-1 被ばく状況による最適化された防護基準



出典：著者作成。

緊急時被ばく状況と現存被ばく状況において、実際の参考レベル（最適化の対象範囲として許容されると ICRP がしている水準）の値は異なるが³⁵⁰、二類型に分ければ、計画被ばく状況の際の最適水準よりも緊急時及び現存被ばく状況の際の最適水準の方が大きいということが言えるのである。

以上のことは、基本的な前提である行為による正味の利益（正当化の原則）、並びに個人被ばく線量の最大許容されるリスク（被ばく上限）の考え方と合わせて用いれば、ICRP 並びに原子エネルギー利用推進機関の代表的な考え方を模式化するものと言えよう。

このような分析は一般的な環境汚染水準に関する最適汚染水準と、制度的な前提条件の

³⁵⁰ 緊急時被ばく状況：20～100mSv/y、現存被ばく状況：1～20mSv/y が ICRP (2007)における参考レベルである。

違いによる最適汚染水準の違いの問題と類似の問題状況である³⁵¹。とりわけ、原理的にはエントロピー法則の作用として取引と調整の費用や被ばくの削減費用そのものが大きくなるため、現存被ばく状況や緊急時被ばく状況においては、最適化の際の被ばく低減のための機会費用が、取引費用を含めて計画被ばく状況より大きくなる傾向にあり、結果として、計画被ばく状況よりも大きな被ばく水準が最適であると計算される。

日本政府が東電福島第一原発事故以降に表明してきた、暫定的な放射線防護基準が、従来の基準よりも相当高いことは³⁵²、このことと整合的である。この基準値については、原子力災害対策本部「福島県内の学校等の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方について」（2011年4月19日）に、以下の記載がある³⁵³。

児童生徒等が学校等に通える地域においては、非常事態収束後の参考レベルの1—20mSv/年を学校等の校舎・校庭等の利用判断における暫定的な目安とし、今後できる限り、児童生徒等の受ける線量を減らしていくことが適切であると考えられる。

事故により人の体³⁵⁴が20倍丈夫になるわけでもないのに、政府の指示する水準、つまり受け取り手にとっては「安全基準」³⁵⁵が20倍（20mSv）とはどういうことか。それは、もともと、安全の基準ではなく、防護の費用と便益を比較したうえで「最適化」する水準であったからである。これが原子エネルギー利用に伴う被ばく問題を分析する際に見落とさ

³⁵¹ 藤堂史明（2005）、「循環型社会の実効性に向けて—日本の環境政策と環境資源管理制度」、松原望、丸山真人編、『アジア太平洋環境の新視点』、彩流社、第7章所収、201頁。

³⁵² 例えば、食品経由の被ばく線量の場合、項目単独で、従来の公衆一般の被ばく線量基準の5倍である5mSv/yが採用された。

³⁵³ ICRPの緊急時及び現存被ばく状況における一般公衆への参考レベル提示に基づいて決定された。特定避難勧奨地点の選定基準20mSv/yと同じ。

原子力災害対策本部（2011a）、「福島県内の学校等の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方」、2011年4月19日、

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305174.htm 2013年2月10日参照。

（国立国会図書館インターネット資料収集保存事業：

http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8200951/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305174.htm 2018年9月22日参照。）

³⁵⁴ そのDNAや細胞を構成する分子の分子結合力により保たれる構造。

³⁵⁵ ただし、文書に安全という言葉はなく、参考レベルについて、「これを上回る線量を受けることは不適切と判断されるが、合理的に達成できる範囲で、線量の低減を図ることとされているレベル。」と記載があるのみである。

れがちな、放射線防護の合理化の論理である。

著者は最適水準としての放射線防護の基準が通常「安全基準」と呼ばれているものであり、一般的な安全の理解、すなわち危険がない状態としての安全とは程遠い、「最適化」による効率性の達成という考え方によるものであることを改めて明らかにしておきたい。

次に、放射線防護の政策が抱えるより根本的な矛盾である公益性に関する最適化の論理に関する構造の問題を検討する。

4.4.4 リスクと便益の分離と負担

前節で述べた放射線防護の最適化における必要条件は、同じ記号法を用いれば V : ある行為の導入の粗便益、が、 P : 放射線防護の費用を除いたその行為の基礎生産費用、を上回っていることを仮定し、微小変化量において最適化された放射線防護レベルを論じていた。

そもそも被ばくを引き起こす行為の「正当化」のためには、一定の放射線防護レベルを達成するための費用を加えた総費用を、行為の粗便益から引いて正味の便益が残らなければならない。

医療被ばくなどの計画被ばく状況については、このような正味の便益についての議論が必要であり、岡田正彦 (2011)³⁵⁶の指摘する X 線検査の問題のように、これまでの医療における放射線利用については、この点の吟味がないまま、過度の被ばくが誤って正当化されていた事例があると思われる。

医療被ばくの場合でも、治療と引換えにリスクを受ける患者と、限定的には被ばくしながらも、主に経済的利益（売上）を得る医師とでは、リスクと便益の発生の程度が異なっている。このように、被ばく状況におけるリスクと便益の発生者の乖離、すなわちリスクと便益が実質的に分離される状況は一般的に問題と言えるが、東電福島第一原発事故を受けた日本及び周辺地域の放射性物質による大規模な汚染においては、原子エネルギーによって電力を供給する事業者が、電力の必需品の性質もあり、事業上のリスクの一般公衆へ転嫁、その対策コストの経済的負担及び健康上の損害を一般公衆に帰着させる、という問題が生じている。

前掲の(4.4.2-9)式は、放射線防護の最適化における微分的な放射線防護の費用と便益の均等、すなわち限界放射線防護費用と限界放射線防護便益の均等式である。原発事故による

³⁵⁶ 岡田正彦 (2011)、『放射能と健康被害 - 20 のエビデンス』、日本評論社。

放射性物質拡散の状況下では、計画被ばく状況と異なり、放射線源のコントロールが直接的にはできない。これを非常事態である緊急時被ばく状況と呼ぶか、非常事態からの復旧が行われているという意味で、現存被ばく状況と呼ぶかは³⁵⁷、最適化を行う主体から見た分類である。

所与の放射性物質汚染があると考え、この状況での放射線防護の最適化は、防護の基本原則の「正当化の原則」の縛りを受けない、すなわち純損害が多大であっても、そもそもそのコントロールができないゆえの事故なのである。

しかしながら、防護の最適化の原則は適用される。詳しくは第5章で検討するが、この時、放射線防護の水準は、例えば食品の生産と出荷の規制や安全基準、除染の手段と範囲の選択、避難の範囲、避難人数、瓦礫等を含む物流と交通の規制の水準である。これらの防護手段の費用は、実施の機会費用（逸失利益等）であるが、損害の費用については、問題となる低線量での放射線の健康影響の多くが晩発性であること、被害があっても放射性物質との因果関係が立証困難であることなどにより、過小評価となり得る。

とりわけ、原発事故時の原子炉周辺における収束作業や、関連設備の補修と維持などにおける被ばく労働においては、このようなリスクの分離と負担の構造が大きな問題である。

また、国民全般の環境放射線量や食品経由の集団被ばく線量に伴うリスクについて考えると、これが広く薄く負担されることから、特定の業種（農林漁業、食品産業、建設土木、廃棄物処理業など）の利益に比して、過小評価につながる恐れがある。また、原子力災害対策の策定に当たる識者においては、原子力発電及び放射線科学、医学、工学などの分野における特定業界の寄付や競争的資金の提供による影響から中立である必要がある。

さらに、広く薄く負担されるリスク、あるいは大きな便益、あるいは急性被ばく障害の防止の担保すらなく動員される被ばく労働におけるリスクの問題は、放射線防護の制度設計における、現実的な労働条件、資産運用条件の格差等の軽視によって放置され、拡大している。被ばく労働者と、原子エネルギー関連事業から収益を得る資本所有者層とは、事実上分離された社会階層を形成していると見てよいだろう。経済社会的な問題点の分析と、原子エネルギー利用の産業（原子力産業）への金融資産の投資等により、被ばくリスクから分離された便益だけを享受してきた経済主体の責任を明らかにすることも必要である。

³⁵⁷ ICRP (2007)で現存被ばく状況は”existing exposure situation”である。なお計画被ばく状況は”planned exposure situation”、緊急時被ばく状況は、”emergency exposure situation”である。

この点については次節と第5章で再論する。

東京電力株式会社の利益を生む資産であった核燃料及び使用済み核燃料が、福島第一原発の事故により、一転して損害賠償の為の負債も生むこととなった³⁵⁸。原発事故による損失の金銭評価額は、発電による電力販売益という利益を生じさせることの対価として生じた放射性物質の拡散による損害であるから、第一に、原子力発電推進に関連して事業決定を行ってきた株主が本源的な責任を負うべきである。この意味で、損賠賠償額が資本金を上回った時点で、株式会社としての法的整理が必要であった。このように、事故発生の経営責任が問われなかったことも、東電福島第一原発事故が無責任によって生じたことを示唆している。

4.4.5 受益圏、受苦圏の理論と原子エネルギー利用による放射線被ばくリスクの受忍論

環境社会学の分野では、受益圏と受苦圏の概念により、公害問題などにおける受益と受苦の分離と社会的に公正な負担との関係性が論じられてきた。社会問題の分析に「受益圏」、「受苦圏」の用語を導入した梶田孝道(1979)³⁵⁹は、空港、発電所やコンビナートといった大規模開発問題における、社会経済構造をこれらの概念を用いて分析することを提案した。

梶田孝道の分析は、公害反対や開発反対において以下のような三点により構成される構図が存在するとする。

4.4.5.1 「テクノクラートの視角」と「生活者の視角」の分裂

ここで、「テクノクラート」とは、大規模開発問題において「諸々の利害の全体の考量と調整を自己の課題とし、それゆえ政策の「体系的整合性」の必要性を強調し、全ての利害・要求を「部分的な」ものとみなし、これらを「全体的」文脈の中で相対化する」(梶田孝道(1979)、102頁)存在である³⁶⁰。一方で、「生活者」とは、「自己自身が直接的・具体的に感受する切実な利害・要求を行動の原点におき、それゆえ自己のかけがえのない要求の正当性を主張し、その実現に向かって努力する。」(同論文、103頁)存在である。

³⁵⁸ 東電の資産における核燃料等の計上表は藤堂史明(2013a)参照。

³⁵⁹ 梶田孝道(1979)、「紛争の社会学—「受益圏」と「受苦圏」—「大規模開発問題」におけるテクノクラートと生活者」、『経済評論』、1979年5月号、日本評論社、101-120頁。

³⁶⁰ 一般的には、テクノクラート{technocrat}は、専門技術者、技術官僚、政治・経済などの専門家を指す。また、{technocracy}技術者支配、すなわち専門技術者に一国の産業資源の支配と統制をゆだねようとする、の信奉者という語義もある。

このような主体の在り方により、大規模開発問題に対する視角が分裂していることを第一の状況分析とした上で、梶田孝道は第二の構図として、次の要因を挙げた。

4.4.5.2 複数の欲望ないしは機能条件の、複数の主体による分有、つまり「受益圏」と「受苦圏」の分離

これは、梶田孝道が中岡哲郎（1974）³⁶¹においてコンビナートの建設運営が、経済活動を地元にはもたらさない、それは町の賑わいをもたらさないし必要としない、と述べている分析を受け継ぎ考察した概念である。梶田孝道は「受益圏」及び「受苦圏」を次の二点によって定義する。

- ①「欲望」の充足・不充足として、あるいは当該システムにとっての「機能要件」(functional requisites)の充足・不充足として。

出典：梶田孝道（1979）、105 頁。

例えばこれは、新幹線の「速さ」「快適さ」を享受しようという欲望ないしは機能要件を充足し得る人々の集合体と、新幹線建設に伴って平安な生活環境の保持という欲望ないしは機能要件を充足し得なくなる人々の集合体となる。

また、「受益圏」、「受苦圏」の定義の第二のポイントとして次の項目を挙げた。

- ②一定の空間的拡がりをもった「地域的な集合体」として。

出典：梶田孝道（1979）、106 頁。

例えば、「受益圏」は新幹線を利用する全国に分散する国民のほぼ全体であり、「受苦圏」は新幹線建設に伴って生活環境を破壊される沿線地域の住民となる。

さらに、これらの「受益圏」及び「受苦圏」が重なり、あるいは分離するとは、次の二点によって定義される。

- ①ある欲望（機能要件）の充足と、それとは別のもう一つの欲望（機能要件）の

³⁶¹ 中岡哲郎（1974）、『コンビナートの労働と社会』、平凡社選書。

不充足とが、同一主体によって共有されるか、それとも別個の複数主体によって共有されるか、それとも別個の複数主体によって分有されるかによって。

出典：梶田孝道（1979）、106 頁。

これらの共有あるいは分有によって、重なりと分離が定義された。梶田孝道は次にこの二つの圏域の地域的な関係性について定義した。

②「受益圏」と「受苦圏」とが、地域的に「重なり」合うか、「分離」し合うかによって。

出典：梶田孝道（1979）、106 頁。

梶田孝道は、例えばこの定義によって「重なり」と定義されるのは、狭い自治体の内部で受益と受苦がともに享受されるごみ処理工場の場合であり、分離するのは、何らかの地域的拡がりによってそれらの受益・受苦層が分離する場合である。社会問題における二つの圏域の分離は、地域的な条件だけでなく、年齢や民族・人種、社会階層が分離の要因となる場合も想定された。大規模開発問題は特にそれらの分離要因のうち、地域的な条件が重要となる特殊例というわけである。

梶田が、大規模開発問題の構造として最後に挙げたのは次の特徴である。

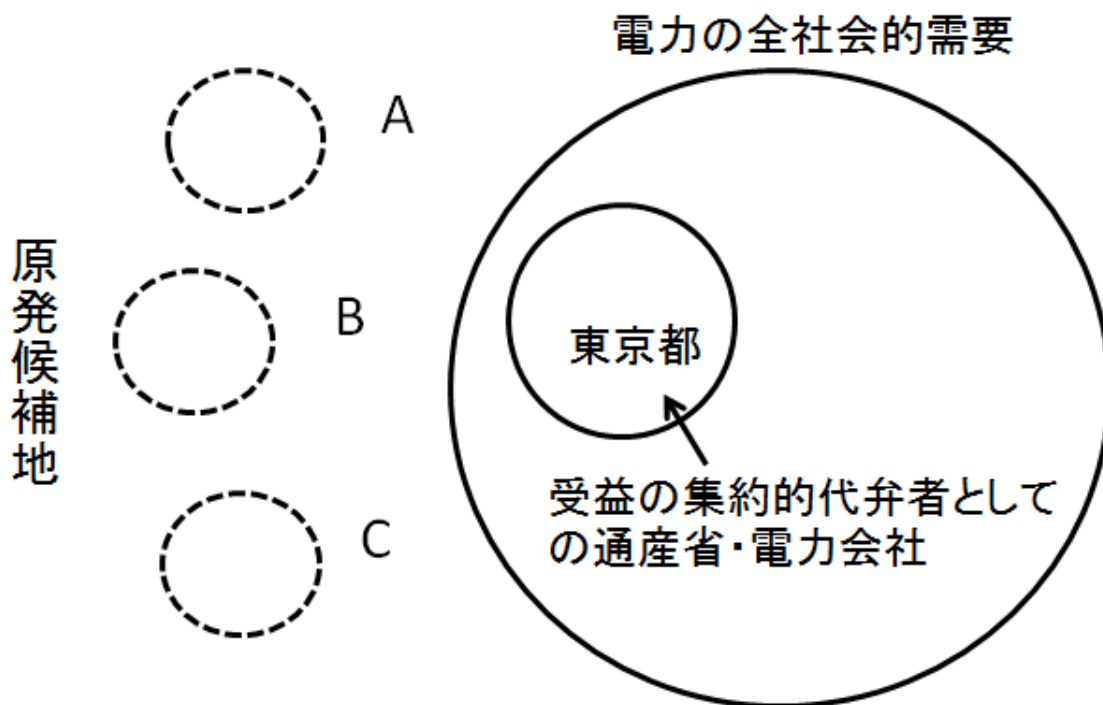
4.4.5.3 地域的拡がりの中での「受益圏」と「受苦圏」の分離

ここにおける分離は、2 番目の構造要因のうち、「受益圏」と「受苦圏」が特に地域的拡がりによって分離され、前者の「受益圏」が広範囲な地域へと拡大するのに対して、後者の「受苦圏」は、一部の地域に局地化され、両者が地域的、空間的にも分離する、「つまり、欲望の分離が地域的分離と重なり合っている」（梶田孝道（1979）、115 頁）状況を指している。

梶田孝道はこのような地域的拡がりの中での両圏域の分離にとって、「社会的格差」が大きな要因になっていると分析し、例えば「新しいコンビナートの立地が住民の抵抗の弱い地域、水・資源・土地・港湾・労働力等が廉価で大量に取得しうる地域を求めてなされてきた点」（梶田孝道（1979）、111 頁）という特徴づけを、前述した中岡哲郎（1974）により主張している。

さらに、梶田孝道が原子力発電所を例にとってこの構造を分析しようとしたことは本論文の著者にとって興味深い。次の図は梶田による原子力発電所建設問題における受益圏と受苦圏の構造である。

図 4. 4. 5-1 「原子力発電所建設問題」における受益圏と受苦圏



出典：梶田孝道（1979、）第4図、113頁を元に著者作成。

図中の破線部分は受苦圏を、実線部分は受益圏を指す。

この図では、受益圏の地域的、空間的な代表を東京都、それ以外の地域を含む全社会的な需要を代表するのが、官庁及び事業者とし、逆に、原発候補地の地域がそれによる損害を引き受ける形となっている。梶田孝道は、以下のようにも述べている。

原発の場合、過疎県における建設が当然視され、東京都では一向に建設されないのはなぜか。その理由として第一に考えられるのは、もし事故が発生した場合に周囲に与える影響の大きさの問題である（とすると、当局は彼らの言明に反して事故の可能性を認めていることになる）。

出典：梶田孝道（1979）、113頁。

東電福島第一原発事故の惨禍を踏まえると、原子エネルギー利用を推進しつつ、生じる放射線被ばくリスクによる被害は、「最適化することで受忍可能」とするテクノクラートが、地域的に限定され、社会的階層も（所得、社会的地位的に）低い電源立地地域には「低いコスト」で被ばくリスクを受忍させられると考えることを予測したかのような記述である。

本論文の第4章で検討し、続く第5章でも検討するように、そもそも原子エネルギー利用事業の立地地域については、低人口地帯が望ましいことが指針とされ、また、事故が発生した際の災害対策においても、一定程度の被ばくを周辺住民に受忍させることを前提とした政策が実施されてきた。一方で、原子エネルギー利用事業によって、低人口地帯とされた立地地域に経済的便益がもたらされ、地域が発展するとされてきたことも事実である。

梶田孝道は、これらの立地の論理において、用地取得や住民の反対などのコストを含め、「テクノクラートによる原発の「最適配置」という認知的・技術的判断のレベルにおいてすでに「社会的格差」の前提視およびその利用が存在している」（梶田孝道（1979）、113-114頁）と述べている。これは、本論文で問題としている、原子エネルギー利用の問題性の軽視、新古典派経済学の自然環境要因の交換価値で評価された社会的便益への単純化と、差異の構造による価値の創造、そして、それがもたらす経済的な持続可能性と、生きた系としての環境経済システムの持続可能性の不一致³⁶²という論点にとって重要な先駆的指摘と言える。

本節で取り上げた梶田孝道（1979）による分析は、社会問題の構造分析にとって重要な貢献であり、その後、とりわけ水俣病における被害者と加害企業及びコミュニティの関係性について、受益圏と受苦圏の構想に参与した³⁶³船橋晴俊の分析に代表される受益圏と受苦圏の概念を用いた研究が輩出し、環境社会学の分野では、一つの重要なツールとして公害問題、開発に伴う環境破壊問題のメカニズムを分析することが一般化した³⁶⁴。

梶田孝道の分析の適用範囲は、受益と受苦の両圏域が異なる放射線被ばくリスクからの

³⁶² 経済的に利益が生じているように見えても、ネガの部分で環境に吸収能力のない汚染物質が発生し、潜在的に放出されるリスクが継続することを持続可能性の条件の阻害と考えるため。

³⁶³ 梶田孝道（1979）、注7「こうした「受益圏」「受苦圏」「受益の集約的代弁者」の図の表示方法は、船橋晴俊氏の発案による。」と述べている。

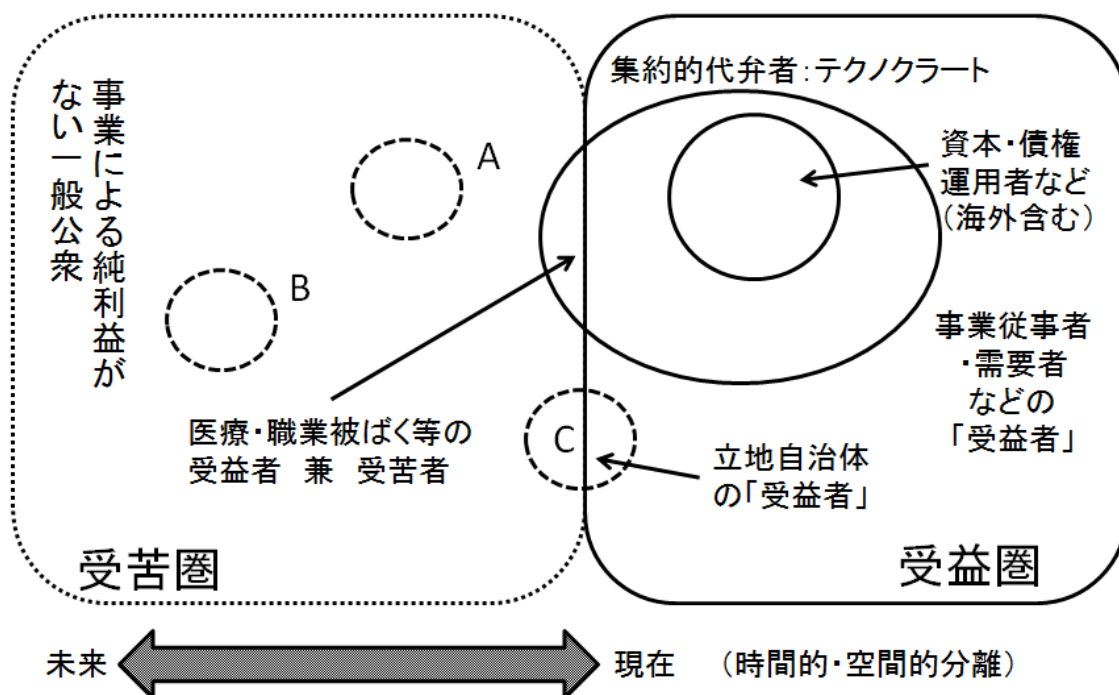
³⁶⁴ 船橋晴俊（1980）、「協働連関の両義性 - 経営システムと支配システム」、現代社会問題研究会編、『現代社会の社会学』、川島書店。
船橋晴俊（2001）、「環境問題の社会学的研究」、飯島伸子他編、『講座環境社会学 第1巻 環境社会学の視点』、有斐閣。

受益、受苦にも有効であると考えられる。そして、放射線被ばくリスクの受忍論における暗黙の前提を明示化する効果を持っていると考える。

4.4.5.4 一般化した放射線被ばくを伴う事業による受益圏と受苦圏の考察

著者は梶田孝道の図に倣って次のように放射線被ばくリスクの受忍に関する受益圏と受苦圏を模式図化した。

図 4.4.5-2 放射線被ばくリスクの受忍における、受益圏と受苦圏



出典：梶田孝道 (1979)の図を参考に、著者作成。ただし、簡略化した模式図であるため時間的・空間的分離を表わす際に表現しきれない不正確な点がある。

図 4.4.5-2 「放射線被ばくリスクの受忍における、受益圏と受苦圏」において示したのは、放射線被ばくを伴う事業の実施（供給及び需要）に伴う、受益圏、受苦圏の概念の適用である。

まず、放射線被ばくを伴う事業（原子エネルギー利用、医療放射線利用など）においては、その事業に公益性があることを集約的代弁者：テクノクラートである関係省庁、事業

者の経営主体、関連研究者などが主張する。それは、それらの事業によって安価で安定した電力、健康な生活などの利益が一般公衆にもたらされるとするからである。ところが、これらの利益に伴って、放射線被ばくによるリスク、損害も生じる。これを主に引き受けるのは、医療行為であれば事業の需要者そのものである患者及び供給者である従事者において、受益と受苦の空間的分離はされていない。原子エネルギー利用の事業施設の立地地域においては、電源三法と呼ばれる立地地域への利益供与を目的とした法体系により、事業の補助、関連した就業、発注などの利益が得られる。それにより、放射線被ばくのリスクを差し引いても純利益を得られる立地自治体の受益者も存在する。ところが、当初予定されていたような利益が得られなければ、放射線被ばくのリスクによる受苦が残り、それは受苦者ということになる。これを破線枠 C で表した。破線枠の A や B は程度の違いがあっても放射線被ばくを伴う事業による受苦者、ないしその地域集団を表わす。

例えば、日本における「原子力発電」は、一般公衆に利益をもたらすとされてきたが、東電福島第一原発事故を受け、それらの発電が全て停止していた期間においても、日本では一般公衆に対する固有の損害の発生は見受けられなかった³⁶⁵。従って、稼働中の純利益がほぼ存在しない一般大衆が大多数であるとも考えられる。それに対し、地域的に遠隔地におり、資本ないし債権の運用によってのみ、原子エネルギー利用の事業運用から他の事業を上回る利益を受ける経済主体は、被ばくリスクを引き受けず、純利益のみを受け取っていると考えられる。

また、職業的な被ばくにさらされる原子エネルギー利用事業の従事者や医療目的の放射線被ばくに関連した従事者は、職業的に特殊な利益を得ているため、受益者に分類されるが、得ている所得や労働環境によっては、両者の境界線を越えて受苦者になり得ることを示した。

さらに、最下部の矢印で、時間的な方向性を表わした。放射線被ばくを伴う事業による利益のほとんどは、現在世代に属し、また代表的な事業である原子炉の稼働期間は40年から60年程度とされるが、損害の多くは長期間にわたって被ばくによる遺伝子的障害（発がん、突然変異）などにより自然環境中に継続して存在し、その可能性は、高レベル放射性廃棄物の環境からの必要隔離期間が、10万年から100年以上であることを考えると、概念

³⁶⁵ 火力発電燃料費の増大やバックアップ用電源の不足などは生じたが、これは原子力発電に依存することの sunk cost とも考えられる。詳しくは、藤堂史明 (2014b)、「原発再稼働をめぐる経済的論理」、第2節、51-60頁を参照。

図としては未来方向のベクトルの受苦圏が大きく伸びることになる。

高レベル放射性廃棄物の処分事業においては、この時間的な長さが及ぶ範囲は、適正な処理により必要管理期間である処分場の操業及び閉鎖までの期間は調査から「100年以上」³⁶⁶程度とされているが、将来環境の変動が予測、想定範囲内であった場合に限り、基本的には潜在的なリスク物質を未来の世代の判断、選択の余地なく譲渡する行為³⁶⁷である。

過去60年にわたる原子エネルギー事業の運営実態は、受益圏が限定される一方、受苦圏が、地域的にも時間的にも想定より大きくなる可能性を示唆している。なお、このような将来世代との間の関係性については、第6章において再論する。

小括

本章では、原子エネルギー利用及び放射線被ばくリスクを取り上げ、本論文の主要な課題の二つ目である、環境及びエコロジー問題における不可逆的事象への、新古典派経済学的な認識及び分析手法の適用の問題点について明らかにしてきた。

まず、エコロジー経済学における原子エネルギー利用への肯定的または楽観的評価の一因として、20世紀初頭における放射化学の創成期における、放射線被ばくによる健康被害の悲劇と、それらに対する認識の遅れについて述べた。

続いて、原子エネルギーの利用のための核反応過程と、それによって生じる放射性物質と放射線という関係性が、N. ジョージエスケーレーゲンの考察した「ファンド及びサービス」の類型に属すること、分析の対象が時間経過と結びついた現象であること、使用済み核燃料ないし高レベル放射性廃棄物が、ファンドとして10万年から100年以上の期間にわたり、放射性物質であり続け、放射線を放出し続けることが、利用可能な原子エネルギーを供給することの対価であることを確認した。また、このような物理的特性について除外し、対価なきエネルギー供給源として原子エネルギー利用を論じることは、質量エネルギー保存則及びエントロピー増大法則という物理法則上成立しえない「永久機関」の論理と類似することを示した。

続いて、被ばくにはこれ以下なら安全という閾値がないのに、どうやって、政府の放射

³⁶⁶ 原子力発電環境整備機構 (2017)、「知ってほしい、地層処分」、原子力発電環境整備機構、https://www.numo.or.jp/topics/shittehoshii_a4.pdf 2018年9月23日参照。

³⁶⁷ 潜在的な危険物を相手方の判断、選択の余地なく譲渡する行為は、通常、強制ないし押しつけに類する。

線被ばくの「安全基準」は決定されているのか？という疑問とその解答を取り上げた。すなわち、原子エネルギー利用、放射線利用において、その社会的な受容にとって重要な「安全性」の概念が二つの重要な論理によって成立していることを示した。一つは、急性被ばくを引き起こさない範囲で、LNT 説による放射線被ばく量（外部γ線被ばく換算）に比例的に発生する確率的損失であり、もう一つはそのように閾値のないリスクがある場合でも、得られる便益の方が大きい、そして個別の防護水準が最適化されることによって合理的とされる放射線防護の水準（線量基準及び参考レベル）である。この ICRP による論理によれば、一定の条件の留保下ではあるが、原子エネルギー利用の合理性は、利用による便益と放射線防護の費用の最適化によって導出される。また、事故によって放射性物質が飛び散れば、その回収と除染の費用の高さが、逆説的に高い水準の被ばくを合理化するという二重、ないし三重の最適化の水準の問題点を指摘した。

これは新古典派経済学における、経済価値（貨幣的価値、交換価値）を対象とした社会的純利益の最適化問題を、原子エネルギー利用及び放射線被ばくがもたらす、不可逆的かつ構造的に偏った損失に対して適用することによって生じる問題である。それにもかかわらず、原子エネルギー利用技術及び事業が、核の平和利用の名目で、無条件に社会的に受容されることが合理的とされていること、この根本的な矛盾が認知されていないことが、開かれた学問的議論にとって未解決の課題である。

多くの場合、最適化の論理による受忍という意味しか持たない「線量基準」、「参考レベル」における「安全性」は、閾値のある安全性と同様に受け止められ、また、そのような誤解を招く表現も観察される。また、受益圏と受苦圏の分離が原子エネルギー及び放射線利用の領域においてはとりわけ広範に観察され、原子エネルギー利用事業者及びそれらの利用推進政策の当事者の立場からの合理化、正当化が被ばく当事者となる一般の理解抜きに普遍化しているのではないだろうか。これは梶田孝道（1979）の指摘したテクノクラートによる受益と受苦の各圏域の分離構造の軽視の一つの現れだろう。

後の第 6 章で総括するが、このことに関する環境経済学者、エコロジー・エントロピー経済学者の対応は二つに分かれ、原子エネルギー及び放射線利用にともなる社会的な構造問題を、数多あるリスク問題の一つとして、他の（たとえば地球温暖化問題）問題の解決のために、これらの状況の受忍をやむを得ないものとするもの、より本質的な地球環境システムの持続可能性にとって最重要な問題と捉え、これを批判するものに分けられる。

H. E. デイリーは地球温暖化問題に対する早急な対応を強く求める一方、原子エネルギー

利用が N. ジョージ・スクレーゲンのファンド・サービスモデルのネガティブな適用例となることについては論じず、これを生態系のファンドによるポジティブなサービスの生産に焦点をあてて論じた。これはエコロジー経済学の理論としては精緻化であるが、ファンド・サービスの概念を適用することで、その重要性が認識されるはずの、原子エネルギーの利用における不可逆的影響を主要ではない問題と認識することにつながった。

また、利用可能エネルギー及びエントロピー増大法則の重要性と経済システムと物理的な地球環境システムとの相互作用に着目したという点で、まさにエコロジー・エントロピー経済学の始祖と言うべき F. ソディも、残念ながら原子エネルギー及び放射線利用については、「戦争を廃止しなければならない」という強い留保条件をつけつつも、第二次大戦後に至ってもその発展を賛美している³⁶⁸。

本章冒頭に述べたように、20 世紀初頭の F. ソディの原子エネルギー利用に対する肯定的または楽観的意見は、当時の放射線被ばくに対する認識不足にも帰すことができるが、広島と長崎に対する原子爆弾投下と、多くが隠蔽されていたとはいえ、両大戦期前後の放射性物質利用及び原子炉と原子爆弾開発を通じた労働者及び兵員の放射線被ばくと、健康及び生命の損失³⁶⁹を踏まえると、過度の楽観であったことは否めないのではないだろうか。

F. ソディは原子エネルギー利用、とりわけ当時の核分裂炉及び増殖炉についてその開発を称賛した 1954 年から、2 年で亡くなったが、1954 年はまさに日本に戦後初の原子炉開発予算が計上され、その後の原子エネルギー利用の開発が推進されることとなった契機の年でもある。

次章では、本章における放射線被ばくリスクの受忍における合理化の論理の検討を踏まえて、日本における原子力災害対策及び原子力防災体制の変遷について扱い、とりわけ、東電福島第一原発事故発生時の問題点の把握及び改訂を踏まえ、人災とされた原発事故がなぜ生じたのか、制度及び事象の関係性に着目して考察する。原子エネルギー利用におけるリスクと損害の受苦、そして事業に伴う便益の受益の分離のメカニズムは、本章の第三

³⁶⁸ F. Soddy (1954), "Foreword 1954," *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis, p. iii.

³⁶⁹ 例えば、原子爆弾、原子炉開発とは無関係の領域であっても、米国におけるラジウム夜光塗料を用いた文字盤製作における女子労働者の大量被ばくと悲惨な放射線障害の事例は、戦間期にも表面化し、法廷闘争を含む社会的問題となっている。K. Moore (2017), *The Radium Girls: The Dark Story of America's Shining Women*, Naperville: Source books Inc.

番目の論点である、環境経済システムを通じた「自然及び人間からのシステム的な価値創出」メカニズムそのものでもある。それは、原子力災害対策及び原子力防災体制の具体的内容と、関連する経済社会的な構造の分析によっても示すことができる。

そこでは、原発事故を契機として社会的に指摘されている原子エネルギー利用における正義や倫理の欠如は、本質的に利用可能エネルギーの供給のためにネガティブなサービスとして放射線被ばくを生み出す原子エネルギー利用の本質によって、そしてそれに伴うリスクの受忍と被害防止及び対策における権利と義務の担い手の非対称性、すなわち受益圏と受苦圏の分離によって成立していることを確認できるのである。

第5章 東電福島第一原発事故時の原子力災害対策と「人災」の構造³⁷⁰

課題

第4章で、原子エネルギーと放射線利用における被ばく問題に注目し、被ばくにはこれ以下なら安全という閾値がないのに、どうやって、政府の放射線被ばくの「安全基準」は決定されているのか？という疑問に対する答えとしての放射線防護体系と、放射線被ばくリスクの線量基準における被ばく受忍の合理化の問題点を中心に、研究課題を整理し、基本的要素及び、システム的な観点からの論点を論じてきた。

第4章に続く本章でも、分析対象に対する論点を端的に述べれば、原発事故を契機に指摘されている「人災」、「無責任体制」の原子エネルギー利用の経済社会的システムの欠陥が、原子エネルギー利用の本質³⁷¹と、それに伴うリスクの受忍、すなわち受益と受苦の分離を伴う合理化の論理と関係しているということである。本章ではこのため、原子力災害対策及び原子力防災体制と、そこに見られる技術的条件、受益圏と受苦圏を含む社会的関係性において成立している合理化の論理に着目して詳細に検討する³⁷²。

これは、前述した本論文の主要な論点の二つ目（研究課題のII）、放射線被ばくリスクの評価に顕著に現れる、エントロピー増大法則に従う物理的な事象に対する、交換価値としての経済価値（貨幣的価値）評価の問題点という論点のうち、II-2: 原子エネルギー利用、放射線被ばくと経済社会の領域におけるシステムとその評価の一部である(II-2-2)。

³⁷⁰ 本章の扱う対象は、基本的に2011年3月の東電福島第一原発事故の時点での原子力災害対策及び原子力防災体制である。しかし、同事故以降に原子力災害対策が大幅に改変されたため、それらの事項も追加補足して論じている。

³⁷¹ 第4章で述べたように利用可能エネルギーの供給のためにネガティブなサービスとして放射線被ばくを生み出す本質。

³⁷² 本章の理論的内容は、藤堂史明(2012a)、「東電福島第一原発事故後の原子力防災対策」、『新潟大学経済論集』、第92号、2011-II、131-159頁、及び、藤堂史明(2013a)、「原発事故による放射線リスクの経済分析」『新潟大学経済論集』第94号、2012-II、69-97頁、を元に執筆した。また、事故後を含む原子力災害対策の変遷は藤堂史明(2015)、「原子力災害対策の見直しについての経済学的考察」、『新潟大学経済論集』第98号、2014-II、69-97頁を元に記述した。「原子力防災」としていた用語は「原子力災害対策」と併せて記述し、本論文全体の論点に従って書き直している。

基礎となる論文の記述の一部は省略するが、基本的に東電福島第一原発事故発生時における原子力災害対策について述べていることに留意されたい。なお、藤堂史明(2012b)、新潟大学「平成23年度新潟大学プロジェクト推進経費（災害特別）事業」、「新潟県における原子力災害対応体制と社会経済的影響」プロジェクト報告書は、これらの考察の基本に加えて、写真や資料なども所収している。

すなわち第 5 章では、これらの検討を踏まえて、東電福島第一原発事故時の原子力災害対策及び原子力防災体制の特質と問題点の把握を行い、「人災」とされた原発事故がなぜ生じたのか、制度及び事象の関係性に着目して考察する。

また、原子エネルギー利用におけるリスクと損害の受害、そして事業に伴う便益の受益の分離のメカニズムは、本章の第三番目の論点である、エントロピーの排出に関して構造化された環境経済システムを通じた「自然及び人間からのシステム的な価値創出」メカニズムそのものである。本章では第 6 章における取扱いに先駆けて、原子力災害対策及び原子力防災体制の具体的内容と、関連する経済社会的な構造の分析によってこの論点に接近する。

5.1 「人災」として引き起こされた原子力災害

5.1.1 原子力発電所事故の「非常事態」

東京電力福島第一原子力発電所（以下、略称「東電福島第一原発」）の同時多発事故は、平成 23 年 12 月 16 日に、政府による事故の収束宣言（事故の収束に関する工程表のステップ 2 完了宣言）が行われた³⁷³。しかし、その実態については不明な点が多く、事故炉の収束については、「冷温停止」の形式要件を満たしていないという指摘がなされている³⁷⁴。事故を起こした東電福島第一原発は破損状態にあるだけでなく、破損は核燃料部分に及び、高濃度の放射性物質が漏出し続けている。炉心が溶融し、冷却系統が破損した状態での原子炉が、通常安定状態に戻っているという事は論理的に成立し得ないため、このような観点から見れば、東電福島第一原発事故は収束には程遠い状態にあると考えられる。事実その構成条件が成立したままである「原子力緊急事態」は発令されたままとなっている。

また、「非常事態」であるのは事故炉の状態だけではない。この事故は国会をはじめとする複数の事故調査委員会で、震災及び津波への対策が不十分だったことによる「人災」と判断されたにもかかわらず、いまだに事業者や監督行政の関係者が責任を問われて処罰されていないという意味でも「非常」事態の継続している事故である。

³⁷³ 原子力災害対策本部（2011b）、「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋（ステップ 2 完了）のポイント」、2011 年 12 月 16 日、

<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111216b.pdf> 2011 年 12 月 20 日参照。

³⁷⁴ 中国新聞（2011）、「前のめりの政治判断 「緊急事態」続く」、2011 年 12 月 17 日、

<http://www.chugoku-np.co.jp/News/Sp201112170072.html> 2011 年 12 月 17 日参照。

この事故が「人災」であることは明らかで、歴代及び当時の政府、規制当局、そして事業者である東京電力による、人々の命と社会を守るという責任感の欠如があった。

出典：国会（2012b）³⁷⁵。

このような責任感の欠如はどうして生じたのだろうか。人間の倫理的、主観的な行動規範が利益と損失の分配構造によって左右されるという点に着目すると、経済社会的な利害関係の構造が「無責任」な行動を引き起こすのではないか、という仮説が考えられる。

第3章で「エントロピー経済学」の創始者の一人として紹介した室田武は、「原発」に伴う危険性が、コスト削減のために不十分な対策しかされないこと、エネルギー生産量と安全性のトレードオフを予見していた。これはコストをかけずにエネルギー生産を増やすため安全性を犠牲にすることに相当する。原子力災害が生じた際にも、原子炉の設置者、事業者が災害対策、防災上の体制整備と責任が求められるのは、事業所の敷地内のみであり、外部の一般公衆に対する災害対策、防災体制の整備は自治体が責任を負う。そして、その体制についても平常時の事業拠点としての利益供与と引き換えに、被ばくと損害を受けることを前提とした体制と言える。原子エネルギー利用のために受益と受苦の構造を設定し、これと最適化を併せて、政策の合理化をする特徴は、事故後の原子力災害対策の改訂を経ても変わらない本質である。

また、事故翌年ごろまでは多くの余震等による、暫定的な冷却系の異常が報告されるなど、基本的には事故後の状態が継続し、原子炉の冷却系、電源系等の本来の操業状態への復帰は廃炉にいたるまで不可能な状況が継続した。正確な事故影響の調査と特定は、適切な調査機関、手法についての議論もあり、未だに途上である。また、事故が単に津波に対する想定のみだけでなく、地震動に対する関連設備の耐震脆弱性に起因する破損にも波及していることが指摘されているが、こちらが主要因である可能性もある。また、事故対応において事故時運転操作手順書に従わなかったことが問題を拡大した可能性については別途検討した³⁷⁶。

³⁷⁵ 国会（2012b）、『国会事故調査報告書[本編]』、平成24年6月28日、6頁。

³⁷⁶ 弦巻英市、藤堂史明（2017）、「東京電力福島第一原発事故の事故過程の検証：直流電源残存の3号機は、事故時運転操作手順書に従えば炉心熔融を防げたのではないか」、『経済開発と環境保全の新視点』、新潟大学大学院現代社会文化研究科、第8号、45 - 60頁。

「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」³⁷⁷によれば、炉心が冷却され、核燃料の取り出しが完了するのは、30～40 年後となる。従って、事故原因の正確な検証はこの時期まで待たなければ確定できない。

なお、以上のような状況の中、東電のもう一つの原発立地地域である新潟県においては、柏崎刈羽原発の一部の号機が、東電福島第一原発事故後もしばらく営業運転を続けたが、その地震に対する想定の高さや複合災害に対しての問題点については、指摘が相次いだ³⁷⁸。

5.1.2 本論文における対策評価の基本的性質

東電福島第一原発事故については、政府や事業者の見解や事態の収拾体制に多くの疑問が投げかけられてきた。例えば、事故発生当初、炉心熔融は起こっていない、チェルノブイリのような重大事故にはならない、等の言説が公表されたが、結果として 1 号機から 3 号機までが熔融を超えて原子炉圧力容器外に熔融燃料がメルトスルーしていることが発覚した。新潟県の「技術委員会」³⁷⁹と東電の合同検証委員会により後日明らかになった事であるが³⁸⁰、事故発生当事者の東京電力は、炉心熔融という言葉を使わないように幹部が指示し、それに合わせて政府見解も形成されていたのである。

なお、東電福島第一原発事故の事象面の検証や、その分析に関する本論文における著者の立場は、事業者及び政府の事態把握及び収拾体制に違法性や手続き違反があったかどうかという点を明らかにする必要性は認めつつも、それらの諸事実の確認は種々の検証機関や廃炉作業を通じた証拠確認などに依存することに留意しつつ、事故の状況と対策、対策

³⁷⁷ 原子力災害対策本部、政府・東京電力中長期対策会議（2011）、「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」、2011 年 12 月 21 日、

http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111221_01b.pdf 2012 年 1 月 5 日参照。

³⁷⁸ 例えば、新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会（2011）、「第 26 回地震、地質・地盤に関する小委員会 議事録」（平成 23 年 8 月 11 日開催）における議論。

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/222/238/110811_26giji.0.pdf 2011 年 12 月 20 日参照。

³⁷⁹ 新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会、略称：「技術委員会」である。

³⁸⁰ 東京電力 HD・新潟県合同検証委員会（2017）、「東京電力 HD・新潟県合同検証委員会の調査結果（概要）」、2017 年 12 月 26 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/951/761/02shiryou2.pdf 2018 年 8 月 30 日参照。

東京電力 HD・新潟県合同検証委員会（2018）、「検証結果報告書」、2018 年 5 月 8 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/224/564/180518_houkoku_281844.pdf 2018 年 8 月 30 日参照。

の改訂について把握し、原子エネルギーが本質的に持っているリスクが、天災を発端とする人災としての事故により表面化し、それが原子力災害対策を含めた誤った論理により問題を拡大され、一般の人々と自然環境に重大な影響を与えている現状の本質を明らかにすることである。それが、人災と評される原子力災害を本論文で取り上げる理由である。このことにより、本論文の研究課題である原子エネルギー利用に関わる経済社会システムを通じた価値の創出に関わる制度的な問題について考察したい。

5.2 東電福島第一原発事故時の原子力災害対策及び原子力防災体制

5.2.1 原子力災害対策の歴史的経緯

ここでは、現状の原子力災害対策及び原子力防災体制の成立過程について、制度の成立及び改変を通時的に概観する³⁸¹。これらの変遷の特徴は、原子エネルギー利用に関する肯定的または楽観的な見方から開発を推進し、事故などで問題点が発覚した後、その都度、対処療法的に問題点に対する対策と制度整備を行ってきたことである。

1953年、核兵器の独占が崩れ、核軍拡競争が始まったことを危惧したアイゼンハワー米大統領は、「平和のための核」{Atoms for Peace}政策を提案した。これを受け、日本は米国より原子炉及び核燃料の提供を受け、原子エネルギー利用の開発を開始した。1955年12月には、日本の原子力開発政策の基本となる「原子力基本法」が制定された。続いて、1956年1月に原子力委員会が設置、同年6月には特殊法人の日本原子力研究所が設立、翌1957年8月に日本初の原子炉 JRR - 1 が初臨界した。これらの工学的な研究開発の素早い動きとは対照的に、原子力災害対策についての立法措置は遅れた。以降、大規模な災害のたびに法制度の不備が修正されるという繰り返しが始まる。

1959年9月に発生した伊勢湾台風の災害を契機として1961年11月に「災害対策基本法」が制定された。そこにおいては、「中央防災会議」の設置と、これが作成する「防災基本計画」(1963年より策定)が規定された。引き続き、1962年7月に「放射性物質の大量の放出」を「災害対策基本法施行令」において災害として定義した。

一方、1979年3月には米国、スリーマイルアイランド原子力発電所事故が発生し、同年4月に原子力防災体制の見直しが政府により指示された。これにより設置されたのが、「原

³⁸¹ 本章において、国における原子力災害対策、防災体制の基礎資料として、次の資料を参照した。原子力安全技術センター (2010a)、『原子力防災ハンドブック』、財団法人原子力安全技術センター。

子力発電所等周辺防災対策専門部会」、引き続き 6 月には、事故の際に国に対し技術的助言を行うための緊急技術助言組織が設置された。同年 7 月には、1961 年「災害対策基本法」により設置された「中央防災会議」³⁸²により「原子力発電所等に係る防災対策上当面とるべき措置について」³⁸³を決定し、事故対策本部、原子力安全委員会の緊急技術助言組織の助言、専門家派遣などを定めた。

さらに、1974 年 9 月に発生した原子力船「むつ」の事故を機に 1978 年に設置された「原子力安全委員会」は 1980 年 6 月に、「原子力発電所等周辺の防災対策について」を決定した。これが、原子力災害対策及び原子力防災体制に関する文献で「防災指針」として参照される方針である。

事後的に考察すれば、原子力防災体制の整備はこの段階でもまだ不十分であったが、関係者の間での見解は変更の必要なし、というものであった。1986 年 4 月に発生した旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故に際しては、原子力安全委員会は 1987 年 5 月に「ソ連原子力発電所事故調査特別委員会報告書について」と題し、「1. 当委員会は、今回の事故に関連して、現行の安全規制やその慣行を早急に改める必要は見出されず、また、防災対策についても、現在の原子力防災体制及び諸対策を変更すべき必要性は見出されないとの同報告書の結論は妥当なものであると考える。(以下略)」等の決定を行った³⁸⁴。

その後、1995 年 1 月に発生した「阪神・淡路大震災」を受け、1963 年 6 月に定められていた「防災基本計画」は 1995 年 7 月に改訂、さらに 1997 年 6 月に 8 つの事故災害対策編の一つとして「原子力災害対策編」が追加されて改訂された。さらに、同年 3 月に、旧動

³⁸² 災害対策基本法第二章第一節第 11 条の 4 により、内閣総理大臣は次に掲げる事項について中央防災会議に諮問する。一 防災の基本方針、二 防災に関する施策の総合調整で重要なもの、三 非常災害に際し一時的に必要とする緊急措置の大綱、四 災害緊急事態の布告、五 その他内閣総理大臣が必要と認める防災に関する重要事項、である。出典：災害対策基本法「(昭和三十六年十一月十五日法律第二百二十三号)」<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/index/bousai/konkyo.html> 2011 年 12 月 20 日参照。

³⁸³ 中央防災会議 (1979)、「原子力発電所等に係る防災対策上当面とるべき措置について」、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1979/ss10107.htm> 2018 年 8 月 31 日参照。
原子力委員会 (1979)、『原子力白書』(昭和 54 年 12 月)、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1979/ss10107.htm> 2018 年 8 月 31 日参照。

³⁸⁴ 原子力安全委員会決定 (1987)、「ソ連原子力発電所事故調査特別委員会報告書について」、1987 年 10 月 14 日、<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/genroanki/genroanki023/siry023-6-1.pdf> 2011 年 12 月 20 日参照。

力炉・核燃料開発事業団東海事業所において発生した火災・爆発事故における放射性物質の放出を受け、政府は翌 1998 年 3 月に「原子力災害対策の充実強化について」を、原子力安全委員会は 1999 年 4 月に「原子力防災の実効性向上を目指して」を取りまとめた。

しかし、同年 9 月には、茨城県東海村の（株）JCO ウラン加工工場において、加工中の核燃料物質による臨界事故が発生した。これは、核分裂反応により生じる中性子線に直接被ばく³⁸⁵した作業中の職員の死亡へとつながり、また周辺住民の避難も必要となった、極めて重篤な事故である。これを受け、1999 年 12 月には「原子力災害対策特別措置法」が制定され、翌 2000 年 4 月に「施行令」及び「施行規則」が制定された³⁸⁶。

他方、中央防災会議においては、2000 年 5 月に「防災基本計画・原子力災害対策編」の大幅な修正を行い、関係行政機関の「防災業務計画」及び関連する地方自治体における「地域防災計画」に付いても見直しが進められた。

また、原子力安全委員会においては、防災の対象施設が原子力施設一般に拡大されたこと等を踏まえて、2000 年 5 月に旧「防災指針」を「原子力施設等の防災対策について」に変更した。

5.2.2 放射線被ばくりスクと原子力災害対策

その後、種々の指針内容の改訂が行われてきたが、東電福島第一原発事故時の原子力防災制度における基本方針としては、NRC/FEMA (1980)³⁸⁷に見られる EPZ(Emergency Planning Zone)の考え方、また安全規則としての IAEA(1996a)³⁸⁸の介入基準を採用し、原子力災害時の防護方針が策定されていた。これは形式的には鍵穴状の避難指示地域を含む、全体として同心円状の対策地域という考え方である。図 5.2.2-1 を参照されたい。

³⁸⁵ 著者の既刊論文においては、原子爆弾によるものを「被爆」、それ以外の放射線源によるものを「被曝」と表記したことがある。原子爆弾による場合を特殊例として扱わない場合、これらを総称した「被ばく」という表記と意味上の違いはない。なお、被爆者という言葉に対し、核物質採掘や核実験などで広島と長崎での被爆者以外にも被ばく者があり、これらの人々を含めて被ばく者と呼ぶべきという考えから「ヒバクシャ」の表現がされることがある。中国新聞ヒバクシャ取材班 (1991)、『世界のヒバクシャ』、講談社。

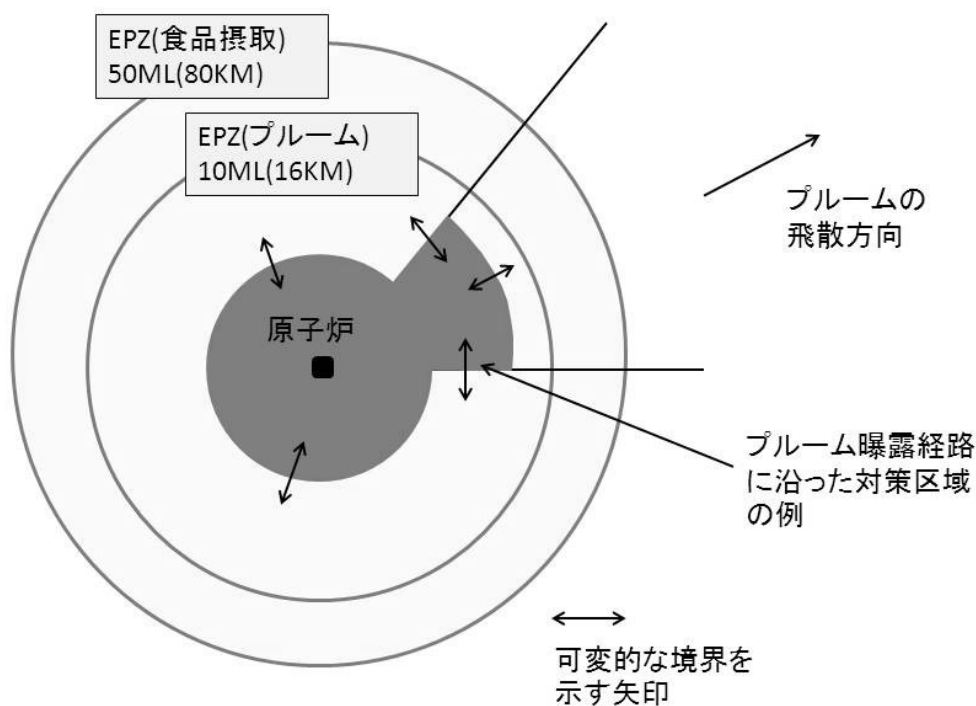
³⁸⁶ 原子力災害対策特別措置法施行令

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12SE195.html> 2011 年 12 月 20 日参照。

³⁸⁷ NRC/FEMA (1980), NUREG-0654 FEMA-REP-1 rev.1, “Criteria for Preparedness and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants,” NRC/FEMA.

³⁸⁸ IAEA (1996a), “International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources,” *IAEA Safety Series*, No.115.

図 5.2.2-1 EPZ 区域概念図



出典：NRC/FEMA(1980)より翻訳、著者作成。

図5.2.2-1に示したのはEPZの考え方の基本となるNRC/FEMAの1980年の資料である。基本的には、原子力施設（原子炉）から大規模な放射性物質の放出があった場合、その放射性物質を運ぶ放射性プルーム（雲）の移動経路を予測し、原子炉からの至近距離である10マイル（16km）半径のEPZ（プルーム）内において、同心円及び放射線状の可変的な領域において、退避及び避難等を行うこと、そして50マイル（約80km）半径のEPZ（食品摂取）の領域において、食品からの放射性物質摂取について制限することとなっている。東電福島第一原発事故前の日本の原子力災害対策も、基本的にEPZ内で退避および避難の対策を立て、それ以遠の距離では避難の受け入れおよび食品からの放射性物質摂取に関して対策を行う前提であった。これが、原発立地自治体等の原子力立地地域としての種々の地元対策費などの受益と、いざという時に危険にさらされる事の潜在的な費用の負担との

関係にも対応していた。

また、放射線防護の基準となるリスク評価については、第4章で解説したように、2001年3月に国内法令へ取り入れられた「国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) 1990年勧告」³⁸⁹を基礎とし、また既述の通り、ICRPの発した新しい勧告「国際放射線防護委員会 2007年勧告」³⁹⁰における「線量拘束値 (dose constraint)」の適用拡大と、「最大拘束値 (maximum constraints)」の導入が議論の対象とされてきた。東電福島第一原発事故時には、ICRPの2007年勧告については国内法制に反映されていない段階であり、公衆の放射線防護については、対象事業について単に1mSv/y (年間1ミリシーベルト) を基準としていた。

また、原子力防災の基礎概念や具体的体制についても、上述のNRC/FEMA(1980)やIAEA(1996a)における考え方が、制度の基礎となってきた一方で、IAEA(2002)³⁹¹に基づく、新しい防災の判断基準であるEAL(Emergency Action Level)、OILs(Operational Intervention Levels)、そしてPAZ(Precautionary Action Zone)、UPZ(Urgent Protective action Zone)といった区割りの導入、そして安定ヨウ素剤の投与基準の引き下げについては検討が行われていたに過ぎなかった。

5.2.3 原子力災害対策の実施体制

東電福島第一原発事故時、すなわち2011年3月時点の原子力防災に関する法制度、関連法規及び文書類は次のような構成であった。

i. 基本

- ・ 災害対策基本法 (1961年制定)
- ・ 原子力災害対策特別措置法 (1999年制定)
- ・ 防災基本計画「原子力災害対策編」(1997年修正)
- ・ 原子力施設等の防災対策について (防災指針) (2008年改訂)

ii. 各種防災計画

³⁸⁹ ICRP (1991), “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP*, Vol. 21, Nos. 1-3.

³⁹⁰ ICRP (2007), “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, Vol. 37, Nos. 2-4.

³⁹¹ IAEA (2002), “Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency – Safety Requirements,” *IAEA Safety Series*, No. GS-R-2.

- ・ 指定行政機関（文部科学省・経済産業省・国土交通省・消防庁・警察庁・防衛省等）の防災業務計画
- ・ 地域防災計画（関係都道府県、市町村）
- ・ 原子力事業者防災業務計画（原子力事業所ごとに事業者が作成）
- ・ 指定公共機関（日本赤十字社、日本原子力研究開発機構、各電気事業者等）の防災業務計画

iii. 関係機関による各種マニュアル類

と、なっていた。

各根拠法令等に基づく原子力防災体制の関連機関の、指揮命令系統に基づく相互関係を概観すると次のようになる。災害対応としてやむを得ない部分もあるが、制度的な特徴として、ごく一部を除き、指揮命令系統下部からのフィードバックを排した、極めて上意下達型の系統図となっていた。

i. 原子力災害対策本部（本部長：内閣総理大臣、規制担当省庁、関係省庁からなる。また、原子力安全委員会緊急技術助言組織の助言を受ける³⁹²。）

ii. (i.の指示・指導を受けるものとして)

- ・ 「緊急事態応急対策拠点施設（オフサイトセンター(Off-site Center: OFC)）」以下に次の組織・役職がおかれる。
- ・ 原子力災害現地対策本部（本部長：安全規制担当省庁副大臣）
- ・ 原子力防災専門官
- ・ 派遣専門家（原子力安全委員会）

そして、OFC 内に上記機関の指示、指導、助言を受ける「都道府県災害対策本部」及び

³⁹² 原子力安全委員会の緊急技術助言組織が東電福島第一原発事故の際にどのように機能したか、あるいはしなかったか、等の点については、原子力災害対策本部の記録等によって検証されるべきだが、この点に限らず、正確な原子力防災体制の検証が困難な事態が発生している。2012年1月23日に明らかになった事項として、当該本部ほか10の会議において、議事録が作成されていなかったことが公表された。

朝日新聞（2012）、「原発事故対応、議事録なし 政府対策本部、認識後も放置」、2012年1月25日、

<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201201240551.html> 2018年12月29日参照。

「市町村災害対策本部」、事業所事故対策本部、災害応急対策支援機関（放射線医学総合研究所、日本原子力研究開発機構、電力会社等）から派遣された人員をもって、原子力災害合同対策協議会が設置される。また、原子力災害現地対策本部には、警察、消防、自衛隊、海上保安部の連絡要員も配置される。

また、事故を発生させた事業所において「事業所事故対策本部」が設置され、原子力事業者の防災組織と派遣専門家が活動することとなっていた。

上述の「都道府県災害対策本部」においては、「モニタリングチーム」「緊急被ばく医療チーム」が組織され、市町村災害対策本部への指示、指導、助言とともに、合同で住民に対し、放射線防護対策の実施、（情報提供と避難指示等）の広報を行う事となっていた。

この OFC は、そもそも前述の 1999 年の JCO 臨界事故の際、国の原子力災害現地対策本部、地方自治体の災害対策本部などが連携する必要があると認識されて原子力災害対策基本法により設置が法制化されたものである。なお、OFC が備えるべき主な要件は以下³⁹³であった。

- i. 原子力事業所との距離が、20km 未満にあること。
- ii. 原子力災害合同協議会の構成員、関係者が参集できる道路、ヘリポート、その他の交通手段が確保できること。
- iii. テレビ会議システム、電話、ファクシミリ装置、中央防災無線、行政無線等を備えること。
- iv. 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information: SPEEDI）、緊急時対策支援システム（Emergency Response Support System: ERSS）を備えること。
- v. 床面積が 800 平方メートル以上あること。
- vi. 原子力防災専門官の事務室を設けること。
- vii. 人体、作業衣、履き物等が放射性物質により汚染された場合の汚染除去するための排水槽付のシャワールーム等の所設備を備えること。
- viii. 報道関係者のための部屋や建物等を有すること
- ix. 原子力事業者から提出された事業所の施設の構造に関する資料等の保管のための設

³⁹³ 原子力安全技術センター（2010a）、『原子力防災ハンドブック』、財団法人原子力安全技術センター。

備を備えること。

等、となっていた。

このように OFC は原子力防災体制にとって、事故現地における指揮の要となる施設であり、重要組織が集約されていた。また、平常時に原子力防災専門官、原子力保安検査官が常駐し、訓練にも使用された。しかし、このような重要拠点である OFC は、現地対策本部の拠点として原子力事業所から近距離（20km 未満）に設置を義務付けられた事、独自の放射性物質に対する防護設備を持たなかった事等が災いして、東電福島第一原発事故の際の事業所の OFC は、避難対象となり機能を果たさなかった。なお、経済産業省は事故後の補正予算で、OFC の放射線防護体制の強化に着手した。

以上のような法制度、規則等に基づき、原子力災害発生時には次のような流れで、事故対応が行われる事になっていた。

5.2.4 原子力災害発生時の対策実施手順

まず、「原子力災害」は原子力災害対策基本法により、「原子力緊急事態により国民の生命、身体又は財産に生ずる被害をいう。」（同法第二条の一）とされ、また、「原子力緊急事態」とは、「原子力事業者の原子炉の運転等（原子力損害の賠償に関する法律（昭和三十六年法律第百四十七号）第二条第一項に規定する原子炉の運転等をいう。以下同じ。）により放射性物質又は放射線が異常な水準で当該原子力事業者の原子力事業所外（原子力事業所の外における放射性物質の運搬（以下『事業所外運搬』という。）の場合にあっては、当該運搬に使用する容器外）へ放出された事態をいう。」（同法第二条の二）等として規定されていた。

これらの状態に関連して、同法の第十条及び第十五条により、関連する基準が定められていた。まず同法の第十条「原子力防災管理者の通報義務等」³⁹⁴は、通報すべき事象として、

³⁹⁴ 原子力災害対策特別措置法第十条により「原子力防災管理者は、原子力事業所の区域の境界付近において政令で定める基準以上の放射線量が政令で定めるところにより検出されたことその他の政令で定める事象の発生について通報を受け、又は自ら発見したときは、直ちに、主務省令及び原子力事業者防災業務計画の定めるところにより、その旨を主務大臣、所在都道府県知事、所在市町村長及び関係隣接都道府県知事（事業所外運搬に係る事象の発生の場合にあっては、主務大臣並びに当該事象が発生した場所を管轄する都道府県知事及び市町村長）に通報しなければならない。この場合において、所在都道府県知事及び関係隣接都道府県知事は、関係周辺市町村長にその旨を通報するものとする。2 前項前段の規定により通報を受けた都道府県知事又は市町村長は、政令で定

「原子力災害対策基本法施行令」第四条「法第十条第一項の政令で定める基準は、一時間当たり五マイクロシーベルトの放射線量とする。」等の詳細規定を定めていた。それらを省略表現で引用すると、

1. 原子力事業所の境界付近の放射線測定設備により $5\mu\text{Sv/h}$ 以上の場合
2. 排気筒など通常放出場所で、拡散などを考慮した $5\mu\text{Sv/h}$ 相当の放射性物質を検出した場合
3. 管理区域以外の場所で、 $50\mu\text{Sv/h}$ の放射線量か $5\mu\text{Sv/h}$ 相当の放射性物質を検出した場合
4. 輸送容器から 1m 離れた地点で $100\mu\text{Sv/h}$ を検出した場合
5. 臨界事故の発生またはそのおそれがある状態
6. 原子炉の運転中に非常用炉心冷却装置の作動を必要とする原子炉冷却材の喪失が発生すること、等

となる³⁹⁵。

次に、同法は国としての原子力災害対策本部の設置をはじめとする、原子力災害体制の本格始動を行う際の手続きとして、「原子力緊急事態」について第十五条で定めていた。

第十五条

主務大臣は、次のいずれかに該当する場合において、原子力緊急事態が発生したと認めるときは、直ちに、内閣総理大臣に対し、その状況に関する必要な情報の報告を行うとともに、次項の規定による公示及び第三項の規定による指示の案を提出しなければならない。

- 一 第十条第一項前段の規定により主務大臣が受けた通報に係る検出された放射線量又は政令で定める放射線測定設備及び測定方法により検出された放射線量が、異常な水準の放射線量の基準として政令で定めるもの以上である場合
- 二 前号に掲げるもののほか、原子力緊急事態の発生を示す事象として政令で定めるものが生じた場合

(2項以下略)

めるところにより、主務大臣に対し、その事態の把握のため専門的知識を有する職員の派遣を要請することができる。この場合において、主務大臣は、適任と認める職員を派遣しなければならない。」と規定されている。

³⁹⁵ 原子力災害対策法第十条及び第十五条に関する事態の定義の省略表現については、同法施行令及び、次の文書に基づいて記述した。原子力安全技術センター (2010b)、『原子力防災基礎用語集』、財団法人原子力安全技術センター。

これらの事態については、より詳しくは同法施行令によって定められていた。

省略表現で引用すると、

1. 原子力事業所または関係都道府県の放射線測定設備により、事業所境界付近で 500 μ Sv/h を検出した場合
 2. 排気筒など通常放出場所、管理区域以外の場所、輸送容器から 1m 離れた地点で、それぞれ通報事象の 100 倍の数値を検出した場合
 3. 臨界（原子核分裂の連鎖反応が継続している状態）事故の発生
 4. 原子炉の運転中に非常用炉心冷却装置の作動を必要とする原子炉冷却材の喪失が発生した場合において、すべての非常用炉心冷却装置の作動に失敗すること、等
- となる。

これらの原子力災害の発生に関する制度を受け、以下に挙げる、複数の重要な原子力災害対策の手段が規定されていた。

5.2.4.1 放射線の測定

原子力災害対策特別措置法施行令において、「法第十五条第一項第一号の政令で定める放射線測定設備は、所在都道府県知事又は関係隣接都道府県知事はその都道府県の区域内に設置した放射線測定設備であって法第十一条第一項の放射線測定設備の性能に相当する性能を有するものとする。」と規定されているように、都道府県単位の放射線測定体制が、原子力防災における放射線測定の要所となっている。常設のモニタリングポストについては、これらを網羅して情報を提供するシステムとして、文部科学省原子力安全課による原子力防災ネットワーク「環境防災Nネット」³⁹⁶があった。また、災害発生時の臨時モニタリングポストの展開等の測定体制については、具体的には、各自治体による原子力防災計画の中で規定され、実施されることとなっていた。

5.2.4.2 退避及び避難

放射性物質の放出による被ばくを防止する為の措置として、次の区分により防護対策が規定されていた。これらの対策の実施について、次に見るようにそれぞれの項目の実施基

³⁹⁶ 文部科学省原子力安全課原子力防災ネットワーク「環境防災Nネット」、
<http://www.bousai.ne.jp/vis/> 2011年12月20日参照。

準については「防災指針」³⁹⁷により国が定めるが、具体的な実施案は地域防災計画の中で規定された。

i. 屋内退避

建家の有する遮へい効果及び気密性を利用する被ばく防止策。

ii. コンクリート屋内退避

上記の屋内退避による効果に加え、コンクリート建家の遮へい効果を期待したもの。

iii. 避難

放射性物質の大量の放出前に実施することで効果が大きい防護対策。ただし、心理的動揺や混乱についても配慮が必要とされている。

以上の防護対策についての実施の判断基準は、「防災指針」により次のように規定されていた。

予測線量 (mSv)が次の分類で該当したとき

A : 外部被ばくによる実効線量 : 10～50、あるいは、内部被ばくによる等価線量 (放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量、ウランによる骨表面又は肺の等価線量、プルトニウムによる骨表面又は肺の等価線量) : 100～500

これらの場合 (いずれか高いレベルに応じて)、屋内退避、あるいは指示があればコンクリート屋内退避

B : 同じく、外部被ばくによる実効線量 : 50 以上、あるいは、内部被ばくによる等価線量 (同じく) : 500 以上

これらの場合 (いずれか高いレベルに応じて)、コンクリート屋内退避あるいは避難。

iv. 安定ヨウ素剤予防服用

原則として 40 歳未満に対し、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量の予測線量 100 mSv が想定される場合に、服用を指示することとされていた。

³⁹⁷ 「防災指針」により次を参照する。原子力安全委員会 (2010)、「原子力施設等の防災対策について」(2010年8月改訂)、

<http://www.nsc.go.jp/anzen/sonota/houkoku/bousai220823.pdf>、2011年12月20日参照。

v. 飲食物摂取制限

次に挙げる核種について、測定値による摂取制限が規定されていた。

放射性ヨウ素：

飲料水・牛乳・乳製品について 300Bq/kg 以上

野菜類 200Bq/kg 以上

放射性セシウム：

飲料水・牛乳・乳製品について 200Bq/kg 以上

野菜類・穀類・肉・卵・魚・その他 500Bq/kg 以上

ウラン：

飲料水・牛乳・乳製品について 20Bq/kg 以上

野菜類・穀類・肉・卵・魚・その他 100Bq/kg 以上

プルトニウム及び超ウラン元素のアルファ核種：

飲料水・牛乳・乳製品について 1Bq/kg 以上

野菜類・穀類・肉・卵・魚・その他 10Bq/kg 以上

以上の場合に、それぞれ摂取制限の検討を行うこととなっていた。

なお、防護対策として、残余の vi.立入制限措置、vii.防災業務関係者の防護措置についても、東電福島第一原発事故の事後対策の点で非常に重要であるが、詳しい分析は本論では省略する。

上記の防災指針における安定ヨウ素剤の投与基準であるが、IAEA(2002)³⁹⁸における新基準の採用によっては半分の 50mSv に、WHO の考え方³⁹⁹によれば 10mSv とするとの方向性も検討されていた。

³⁹⁸ 前掲、IAEA(2002), *IAEA Safety Series*, No. GS-R-2.に基づく投与基準。

³⁹⁹ WHO (1999), "Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents Update 1999," *WHO/SDE/PHE/99.6*.による主張は"Intervention levels for emergency response are for national authorities to decide, but the latest information suggests that stable iodine prophylaxis for children up to the age of 18 years be considered at 10 mGy, that is 1/10th of the generic intervention level expressed in the International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources."となっている。

5.2.4.3 緊急被ばく医療

原子エネルギー利用関連施設から放出された放射性物質及び直接的な放射線の影響により、医療が必要な場合、「防災指針」に規定された「原子力災害合同対策協議会の医療班」「地方公共団体の災害対策本部の医療グループ」「緊急被ばく医療派遣チーム」「緊急被ばく医療機関等」が医療行為を行うこととなっていた。

より具体的には地域防災計画の手順にある、避難所における被ばく者の表面放射線量の測定等のスクリーニングにより1. 初期被ばく、2. 二次被ばく、3. 三次被ばくに分類した上で、それぞれの必要度に応じた医療を行う。「防災指針」の「原子力緊急事態の発生時における緊急被ばく医療体制」によれば、重度の被ばくである三次被ばくについては、東日本地域においては、千葉県の放射線医学総合研究所、西日本地域においては広島県の国立大学法人広島大学緊急被ばく医療推進センターへのヘリコプター等による送致と治療体制が規定されていた。

5.2.5 地域防災計画の事例（新潟県）

本節では、東電福島第一原発事故当時の新潟県における原子力防災計画に相当する地域防災計画（原子力災害編）について概観する。

5.2.5.1 原発立地自治体としての新潟県の特徴

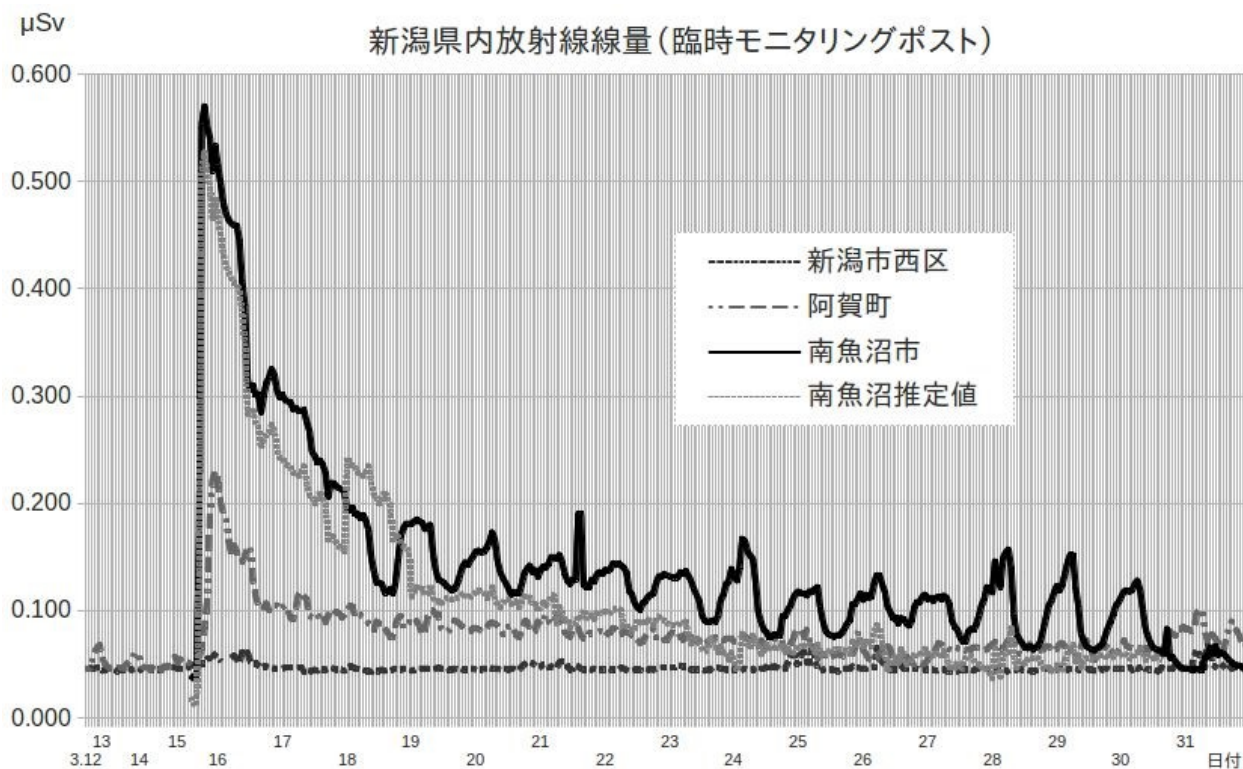
新潟県は東京電力が事業展開するもう一つの原子力発電所である柏崎刈羽原子力発電所の立地地域自治体である。新潟県においては、中越沖地震による柏崎刈羽原発の被災を受けた原子力災害対策体制の再検討が行われ、当時の知事による免震重要棟建設の要請や、技術委員会の設置による原発の安全性についての先進的な検討を行うなど、原子力災害対策の点で先進的取り組みを行ってきた。

また、東電福島第一原発事故発生時の放射性プルーム測定体制についても、原子力災害対策として備蓄された移動型モニタリングポストを全県に展開した緻密な測定体制など、地域における原子力災害対策の事例として特筆すべき点がある。

新潟県は事故発生以降、常設の放射線監視センター、放射線監視センター新潟分室とモニタリングポストを結ぶ環境放射線監視テレメータシステムに加え、臨時の可搬型モニタリングポストを新潟市西区、長岡市、阿賀町、南魚沼市、新発田市、上越市に展開してこれを含めた、放射線の測定体制を構築した。このモニタリング体制により、東電福島第一

原発事故に由来する放射性降下物が新潟県内においても検出された。

図 5.2.5-1 新潟県内臨時放射線モニタリングポスト環境放射線の推移



出典：新潟県臨時モニタリングポストデータ、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Top2/786/800/housyasen3,0.xls
2011年3月12日～3月31日のデータから作成。

このデータ測定の実例に見られるように、新潟県は既存の機材を活用して有効な防災体制の構築に成功している面がある。より詳細な地域への放射性降下物、河川、食品を通じた影響については、「福島第一原子力発電所事故に伴う新潟県内の放射線等の監視結果 (Ver. 2)」⁴⁰⁰に報告されている。ただし、他方、上記データのピーク時に補集されたエアダストサンプルについて、ヨウ素、セシウムをはじめとするγ線核種の測定は行われたもの

⁴⁰⁰ 新潟県 (2011)、「福島第一原子力発電所事故に伴う新潟県内の放射線等の監視結果 (Ver. 2)」新潟県、2011年9月27日、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/676/594/ver2_all.pdf 2011年10月1日参照。

の、プルトニウム、ストロンチウム等の α 線、 β 線核種については測定が行われないままとなっている。

第4章でも触れたように、放射性核種であってもこれらの核種は γ 線を放出する核種に比べ、その影響力も大きい。それぞれ α 線が空気中で45mm、身体中で40マイクロメートル、また β 線すなわち電子は空気中で1m、身体中で2.5mmほどしか飛程がないため⁴⁰¹、緊急時放射線モニタリング体制の中心である γ 線の計測装置での計測はできない。しかしながら、呼吸による飛沫の吸い込み、または食品を経由した内部被ばくによる影響を考慮すると、これらの核種による被ばくは無視できないリスクと言える。

従って、これらの核種の測定は、東電福島第一原発事故の放射性プルームの拡散状況と、地域における放射性物質汚染の推定の重要なデータとなることが想定される。環境試料、食品も含め、 α 、 β 線核種の測定は、今後の汚染実態の調査及び防護措置にとって重要な役割を果たすと考えられるため、測定体制の強化が必要だろう。

5.2.5.2 新潟県における自治体レベルの原子力災害対策、原子力防災体制

東京電力柏崎刈羽原子力発電所（以下、略称：東電柏崎刈羽原発）に関連した原子力防災計画には、国、具体的には規制担当省庁である経済産業省、原子力安全・保安院の管理下にあるが、原子力防災の地域防災計画の統括、原子力災害時の放射線測定や、緊急被ばく医療などにあたり、市町村と連携しての通常時からの環境放射線の測定、原子力災害に備えた資機材等の維持と運用にあたっているのは新潟県である。新潟県の担当課は防災局原子力安全対策課⁴⁰²である。当該課は、その担当を防災計画、放射線測定など複数の管轄に分けた上で運用している。

新潟県、防災局原子力安全対策課においては、新潟県防災会議による「新潟県地域防災計画（原子力災害対策編）平成21年9月修正」⁴⁰³及び、同じく新潟県防災会議による「新

⁴⁰¹ 矢ヶ崎克馬（2010）、『隠された被ばく』、新日本出版社。

⁴⁰² 新潟県防災局原子力安全対策課のウェブサイトは、以下の通りである。

<http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/> 2011年12月20日参照。

⁴⁰³ 新潟県防災会議（2009）、「新潟県地域防災計画（原子力災害対策編）平成21年9月修正」、新潟県、平成21年9月、

<http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/1203354069921.html>、2011年12月20日参照。

新潟県地域防災計画（原子力災害対策編：資料編）平成 22 年度版」⁴⁰⁴を作成していた。

これらの計画は、東電柏崎刈羽原発に関して新潟県が、昭和 58 年に東京電力株式会社と安全協定（「柏崎刈羽原子力発電所周辺地域の安全確保に関する協定書」）を締結したことに基づき、発電所の安全確保対策、発電所周辺の環境放射線監視、及び新潟県地域防災計画原子力災害対策編に基づく防災対策を実施していたものである。

新潟県地域防災計画の原子力災害対策編の対象（略する際は原子力防災計画と参照）となってきたのは、旧来の防災指針において「防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲：Emergency planning Zone: EPZ」⁴⁰⁵に相当する、旧柏崎市地域、旧西山町地域⁴⁰⁶、刈羽村地域の東電柏崎刈羽原発から半径 10km 以内の範囲であった。これらの地域を対象としては、年間風向及び気象条件のデータ、及び放射性物質を含む、爆発によるプルーム⁴⁰⁷の挙動予測について記載している。

また、県警の体制を含む、放射線防護資材、測定機器等の配備状況についても記載されている。県が行う重要な防災活動としては、放射線の測定と、緊急被ばく医療チームの編成、運用が挙げられる。

なお、放射性プルームに対する安定ヨウ素剤の予防投与のための備蓄としては、新潟県は柏崎市などの立地自治体への配置等、合計約 16 万 8000 錠、上越市の独自備蓄として約 14 万 1000 錠（双方ともシロップ剤など別途）、という配備状況であった。

また放射線の測定体制としては、常設のものと、緊急時に展開するものとに区分される。通常の測定体制として、常設の「新潟県放射線監視センター」及び、分所、ネットワーク化されたモニタリングステーションがあった。

404 新潟県防災会議（2010）、「新潟県地域防災計画（原子力災害対策編：資料編）平成 22 年度版」、

<http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/1203354070390.html> 2011 年 12 月 20 日参照。

405 「防災指針」により、原子力発電所、研究開発段階にある原子炉施設及び 50MW より大きい試験研究の用に供する原子炉施設について、EPZ のめやすの距離は約 8～10km と提案されている。

406 両市域については合併による変更がある。

407 原発事故における爆発などで気体状（ガス状あるいは粒子状）となった放射性物質を含んだ気流が雲として立ち上ることを特に「放射性プルーム（放射性雲）」と呼んでいる。

5.2.5.3 EPZ 内自治体の原子力災害対策

また、「防災指針」における EPZ の範囲に存在する自治体では、それぞれ原子力災害に関する地域防災計画を策定してきた。まず、柏崎市は、「柏崎市地域防災計画（原子力災害対策編）」⁴⁰⁸において、原子力災害対策法における「通報すべき事象」が発生する以前の、空間線量が 1 μ Sv/h を超える等の基準に基づき、「第一次配備」による「警戒本部」設置、また、同法の十条による通報すべき事象以上の問題があった際の「第二次配備」及び「災害対策本部」の設置と、防災体制を定めている。その後の放射線量の測定や医療体制については、上述の県の活動に依存しており、独自に測定及び医療活動を行う体制にはないが、避難誘導及び避難所の運営に関しては、県と合同してこれを行うこととなっていた。

なお、東電柏崎刈羽原発から 5km 以内に飛び地を除くほぼ全域が入る刈羽村であるが、原子力防災計画（刈羽村地域防災計画、原子力災害対策編(平成 22 年 10 月修正)⁴⁰⁹）については、柏崎市のものと同運用主体が変わる点以外は、ほぼ同一のものとなっていた。

5.2.5.4 避難体制の実際

ここでは、平成 22 年 11 月 5 日に実施された訓練についての、「平成 22 年度新潟県原子力防災訓練実施要領」⁴¹⁰における原子力防災体制を検討しよう。

実施例：

- ・日時：平成 22 年 11 月 5 日（金） 8 時 30 分から 15 時 30 分まで
- ・場所：新潟県庁、柏崎市役所、刈羽村役場、柏崎刈羽原子力防災センター、柏崎市総合体育館、長岡市みしま体育館、厚生連刈羽郡総合病院ほか
- ・参加人数：35 機関（約 500 名）、住民避難訓練（約 250 名）
- ・訓練想定：「上中越地域を中心に広範囲で大雪となり、県、柏崎市、刈羽村では

⁴⁰⁸ 柏崎市（2009）、柏崎市地域防災計画（原子力災害対策編）平成 21 年度修正版、
<http://www.city.kashiwazaki.niigata.jp/iexcms/files/article/10727/20100303161429.pdf>
2011 年 11 月 29 日参照。

⁴⁰⁹ 刈羽村（2010）、「地域防災計画 原子力災害編（平成 22 年 10 月修正）」、刈羽村、2010 年 10 月、

<http://www.vill.kariwa.niigata.jp/www/info/detail.jsp?id=899> 2011 年 12 月 20 日参照。

⁴¹⁰ 新潟県防災局原子力安全対策課（2010）、「平成 22 年度新潟県原子力防災訓練実施要領」、2010 年 10 月 29 日、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/787/797/bessiyouryou.pdf 2011 年 12 月 20 日参照。

豪雪災害対策本部を設置し対応にあたっている。このような状況の中、東京電力柏崎刈羽原子力発電所7号機で、非常用炉心冷却機能の喪失により炉心が損傷し、放射性物質放出の影響が周辺地域に及ぶおそれが生じた。」

・主な訓練項目：

- (1) 災害対策本部の設置運営訓練
- (2) オフサイトセンター運営訓練
- (3) 緊急時環境放射線モニタリング訓練
- (4) 広報活動訓練
- (5) 住民避難誘導訓練
- (6) 緊急被ばく医療訓練

となっている。訓練の詳細は省くが、これまでの原子力防災体制の実実施計画においては、屋内・コンクリート屋内退避、避難の指示に当たり

・SPEEDI 情報による放射性物質の拡散予測

・EPZ 区域内を対象に、上記予測に基づく風下を対象とした避難

を想定していた。このような避難計画を端的に表現すると「キーホール型」の避難計画と言える。対象となる地域から放射性物質の影響を受けにくいと判断された避難所に、バスを用いたピストン輸送により避難誘導を行う、というのが具体的な避難の実施方法である。上記平成22年度新潟県原子力防災訓練の実施要領⁴¹¹によれば、次のような手順であった。

・避難訓練例：

- (1) 防護対策区域案がまとまった段階で準備開始、要員及びバス等輸送手段の確保、避難所の手配、自主防災会、消防本部への連絡。
- (2) 自主防災会長、消防本部、消防団、市・村連絡員が参集し、状況確認。
- (3) 住民に対する広報を防災行政無線、FM ピッカラ（柏崎市）、CATV（刈羽村）、消防本部（柏崎市）、消防団車両により行う。
- (4) 住民避難広報にあわせ住民避難を開始。各町内の集合場所に参集次第、避難用バスに乗車し、各集合場所を回りながら避難所に向かう。この際、自主防災会は避難誘導及び避難住民の確認を、消防団は避難誘導及び避難済みの確

⁴¹¹ 新潟県（2010a）、平成22年度新潟県原子力総合防災訓練「住民避難誘導訓練実施要領」、平成22年11月。

認を行う。

- (5) 災害時用援護者に付いては、名簿に基づき自主防災会、(市、消防署(柏崎市)、消防団が避難の支援に当たる。

となっている。

避難の手段については、防災訓練の際、

- ・ 柏崎市の避難対象者 150 名に対しバス 4 台、自衛隊車両 1 台を用いて国道 252 号線を経由して柏崎市総合体育館へ(国道 8 号線が大雪により通行不能を想定)、
- ・ 刈羽村の避難対象者 120 名に対しバス 4 台を用いて、国道 352 号線を経由して、長岡市みしま体育館へ、(同じく、大雪による通行不能を想定)、

となっている。

なお、「防護対策区域案」の策定後の避難誘導となっているが、この案と区域の決定をもって、避難開始となるため、重要な事項である。この「防護対策区域案」は、緊急時放射線モニタリングによるデータをもって策定される事になっている。具体的には、同様に平成 22 年度新潟県原子力総合防災訓練における、この「緊急時放射線モニタリング」⁴¹²について見てみよう。

5.2.5.5 緊急時放射線モニタリング

災害対策本部設置直後から迅速に実施する第一段階のモニタリング、広い地域について放射線及び放射性物質の周辺環境に対する全般的影響を評価する第二段階のモニタリング(訓練では省略)に区分される。

第一段階について、具体的には以下の内容となっている。

- i. 環境放射線監視テレメータシステム等による空間放射線両立、大気中放射性物質の放射能濃度及び気象の情報収集
- ii. TLD⁴¹³の臨時配布、巡回監視車によるモニタリングの実施、可搬型モニタリングポストによる放射線監視、サーベイメータ等による線量率の測定、可搬型ダストヨウ素サンプラによる捕集及び簡易測定、環境資料の採取及び測定
- iii. Ge 半導体検出器による環境資料中の放射能精密測定

⁴¹² 新潟県(2010b)、平成 22 年度新潟県原子力総合防災訓練「緊急時環境放射線モニタリング訓練実施要領」、平成 22 年 11 月。

⁴¹³ Thermoluminescence dosimeter: TLD、熱ルミネッセンス線量計。

- iv. モニタリング要員の被ばく・汚染管理
- v. ラミセス端末等によるモニタリング結果等の情報収集及び情報共有
- vi. SPEEDI ネットワークシステムによる情報収集
- vii. 気象台からの気象情報の収集

以上の作業を踏まえ、モニタリング結果及び線量の評価（空間放射線線量率、大気中放射性物質の放射能濃度及び線量の分布予測・評価）と、防護対策区域の検討案を行う。

なかでも、臨時モニタリングポストの展開などを行うエリアは、気象条件及び SPEEDI ネットワークシステムによる予測結果から想定される主風向から策定する「重点モニタリングエリア」と呼ばれる。これは、主風向、及び無風の場合により 5 つの区域に分かれている。（ただし、記号は方角の 16 方位を示す。）

- | | |
|-------------|-------------------|
| 1. ES～SE | 半径 2km 以内 |
| 2. S～W | 半径 2km 以内、NNE～ESE |
| 3. WNW～NW | 半径 2km 以内、E～SSE |
| 4. WNNW～ENE | 半径 2km 以内、SE～SW |
| 5. 無風 | 半径 5km 以内 |

上記から選定された重点モニタリングエリアの中で、さらに以下の基準、

- i. 最大空間放射線量率出現予測地点とその近傍
- ii. 大気中の放射性物質の最大濃度の出現予測地点とその近傍
- iii. 風下軸約 60 度セクター内における大気中の放射性物質の最大濃度の予測出現地点を中心とした風下軸の地表面直行線上
- iv. 風下方向の人口密集地帯、集落、避難施設等
- v. 発電所近傍
- vi. モニタリングポスト及び上記地域内の RPLD⁴¹⁴ポスト局、RPLD 臨時配備地点等

の項目によって考案される優先順位で、積算線量計の臨時配置、空間放射線量率の測定、大気中の放射性物質及び環境資料の採取が行われる。

⁴¹⁴ Radiophotoluminescent dosimeter: RPLD 蛍光ガラス線量計。

なお、その内容については、原子力安全委員会「環境放射線モニタリング指針」⁴¹⁵18 頁に、大気中の放射性物質と環境試料について、

- 1) 空間放射線量率
- 2) 大気中の放射性物質の濃度
 - ・大気中の放射性ヨウ素等濃度の測定
 - ・大気中のウラン又はプルトニウムの濃度の測定
- 3) 環境試料（飲料水、葉菜、原乳及び雨水）中の放射性物質の濃度
 - ・環境試料中の放射性ヨウ素等の濃度の測定
 - ・環境試料中のウラン又はプルトニウムの濃度の測定
- 4) 積算線量

等の測定項目が定められている。

以上の項目から、具体的には臨時放射線モニタリング体制と SPEEDI、気象情報に基づき、短距離の円周内（訓練では半径 2km の円周内）と主風向の風下の 10 km 圏内を対象とする「キーホール」の形状の「防護対策区域」において、前述の防護対策、とりわけ避難措置が取られる事になるのである。正確なデータと予測モデルに基づく放射性プルームの拡散予測があつて初めて成立する災害対策であることが見て取れる。

なお、上述の訓練事例に見られるように、「防災指針」における EPZ は、10 キロ圏であったため、柏崎市内の住民を対象とした避難先は柏崎市内の避難所が、刈羽村の住民を対象とした避難先は長岡市内が予定されており、新潟県の原子力防災計画にリスト化されていた。

ところで、原子力災害時の避難措置の妥当性の検討においても、例え、3km 以内程度の避難を想定したとしても、バスによる避難の際、周辺住民の自家用車による避難による渋滞発生等の問題が指摘されている⁴¹⁶。加えて、後述するように、東電福島第一原発事故の際の防災体制の実際の機能を検証すれば、より広範な問題点が指摘できるであろう。東電福

⁴¹⁵ 原子力安全委員会（2008）、「環境放射線モニタリング指針」、原子力安全委員会、平成 20 年 3 月、
<http://www.nsc.go.jp/anzen/sonota/houkoku/houkoku20080327.pdf> 2011 年 12 月 20 日参照。

⁴¹⁶ 新潟県防災局原子力安全対策課（2011a）、「第 3 回原子力防災に関する勉強会」資料：独立行政法人 原子力安全基盤機構防災対策部 「柏崎刈羽原子力発電所に係る避難シミュレーション」、2011 年 8 月 24 日。

島第一原発事故当時の原子力災害対策、防災体制の問題点については、次節でまとめる。

5.2.6 原子力災害対策の体制整備に見られる特徴

以上、東電福島第一原発事故時までの、日本における国の原子力防災体制の歴史的経緯、システム構想、地方自治体の原子力災害対策、原子力防災体制について考察した。原子力黎明期においては技術的に起こり得ないとされてきた重大事故であったが、比較的早期の段階より、考え方としては重大事故を想定した規定が行われていたことが指摘されている。

5.2.6.1 原子炉立地審査基準の規定における立地地域の考え方

例えば、1964年（昭和39年）に原子力委員会が決定した「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」⁴¹⁷においては、以下の通り規定していた。

1. 基本的考え方

1.1 原子炉は、どこに設置されるにしても、事故を起こさないように設計、建設、運転及び保守を行わなければならないことは当然の事であるが、なお万一の事故に備え、公衆の安全を確保するためには、原則的に次のような立地条件が必要である。

- (1) 大きな事故の誘因となるような事象が過去においてなかったことはもちろんであるが、将来においてもあるとは考えられないこと。また、災害を拡大するような事象も少ないこと。
- (2) 原子炉は、その安全防護施設との関連において十分に公衆から離れていること。
- (3) 原子炉の敷地は、その周辺も含め、必要に応じ公衆に対して適切な措置を講じうる環境にあること。

さらに基本的目標として、以下の通り規定していた。

- a 敷地周辺の事象、原子炉の特性、安全防護施設等を考慮し、技術的見地からみて、最悪の場合には起るかもしれないと考えられる重大な事故(以下「重大事故」という。)の発生を仮定しても、周辺の公衆に放射線障害を与えないこと。

⁴¹⁷ 原子力委員会（1989）、「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」原子力委員会、昭和39年5月27日、平成元年3月27日一部改訂、www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/1/si001.pdf、2011年12月20日参照。

- b 重大事故を超えるような技術的見地からは起こるとは考えられない事故（以下「仮想事故」という。）（例えば、重大事故を想定する際には効果を期待した安全防護施設のうちのいくつかが動作しないと仮想し、それに相当する放射性物質の放散を仮想するもの）の発生を仮想しても、周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないこと。

さらに、具体的には立地条件として以下の通りの三条件を定めていた。

- 2.1 原子炉の周囲は、原子炉からある距離の範囲内は非居住区域であること。ここにいう「ある距離の範囲」としては、重大事故の場合、もし、その距離だけ離れた地点に人がいつづけるならば、その人に放射線障害を与えるかもしれないと判断される距離までの範囲をとるものとし、「非居住区域」とは、公衆が原則として居住しない区域をいうものとする。
- 2.2 原子炉からある距離の範囲内であって、非居住区域の外側の地帯は、低人口地帯であること。ここにいう「ある距離の範囲」としては、仮想事故の場合、何らの措置を講じなければ、範囲内にいる公衆に著しい放射線災害を与えるかもしれないと判断される範囲をとるものとし、「低人口地帯」とは、著しい放射線災害を与えないために、適切な措置を講じうる環境にある地帯(例えば、人口密度の低い地帯)をいうものとする。
- 2.3 原子炉敷地は、人口密集地帯からある距離だけ離れていること。ここにいう「ある距離」としては、仮想事故の場合、全身線量の積算値が、集団線量の見地から十分受け入れられる程度に小さい値になるような距離をとるものとする。

これらの規定は、可能性が極めて低いとしながらも、重大な事故、すなわち放射性物質の大量放出を伴う過酷事故（上記文書内では仮想事故）が起こった際にも、国民の集団被ばく線量を抑制するために、少数の周辺住民に被ばくを受忍させることが前提であった。原子炉立地地域の周囲は、事故が起こった際の受苦圏と想定されているのである。

5.2.6.2 度重なる改訂、想定 of 拡大

また、一見して分かることとして、万一に備え万全であるはずの原子力災害対策及び原子力防災体制に関わる法律及び制度が、重大事故の発生により度々改訂され、今日に至っていることである。つまり、常に「想定」が不十分であったということになる。とりわけ、

JCO 事故によって初めて、周辺の住民も避難を要する具体的な原子力災害対策法上の規定が行われた事は注意を要する。

このような改訂、想定拡大により、経時的に制度による安全性が高まっているようにも解釈できるが、見方を変えれば、本質的に反省や批判的視点を欠いた改訂しか行ってこなかった結果と考えることができる。むしろ、東電福島第一原発事故の対応を鑑みると、原子力行政の制度内に、問題の矮小化と不十分な対策をもたらす、一定の要因が有ることが、強く示唆される。それは、生産が電力に限られる「原子力発電」が環境と生命に不可逆な変化、損失を与えることを、小さく評価しようという、表面的な費用便益上の効率を追求する考え方であったのではないだろうか。

いずれにせよ、原子エネルギー利用における試行錯誤的な防災対策は、本来、原子力防災の特質から不適切である。従って、少なくとも防災対策の策定プロセスそのものは、再検討を要する。後述するように、これらの点は、原子力防災体制の具体的な欠陥の改訂と同時に、より大きな重要性を持っていると言えよう。

次に、東電福島第一原発事故で明らかになった防災体制の不備について取り上げる。

5.3 原子力災害対策の実際上の問題点

5.3.1 避難想定と現実の乖離

最初に、想定規模が小さすぎた事が指摘できる。原子力災害対策基本法に規定された EPZ は 10km 以内。オフサイトセンターは 20km 以内に設置。これに対し、東電福島第一原発事故の避難指示は、次のように記述されている。

3月11日の東京電力福島第一原子力発電所事故の発生以降、国は、原子力災害の拡大防止のため、警戒区域及び避難指示区域を設定してきた。

1. 同原子力発電所の事故直後から住民の生命・身体の危険を回避するために避難指示を発出した後、事故の深刻化に伴い徐々に避難指示区域を拡大し、3月12日には原子力発電所の半径 20km の地域を避難指示区域に設定した。更に、4月22日には、引き続き同原子力発電所の状況が不安定な中であって、再び事態が深刻化し住民が一度に大量の放射線を被ばくするリスクを回避することを目的に、同じ地域を、原則立入禁止とする、より厳しい規制措置として警戒区域に設定した。
2. 同じく 4月22日、半径 20km 以遠の地域であって、既に環境中に放出され

た放射性物質からの住民の被ばくを低減するため、事故発生から 1 年の期間内に累積線量が 20 ミリシーベルトに達するおそれのある地域を計画的避難区域に設定した。(原子力災害対策本部、2011 年 12 月 26 日)⁴¹⁸

なお、事故発生日の 3 月 11 日に避難指示が出たのは、原発 3km 圏内であり、それが上記のように拡大するまで、暫定的な指示が繰り返される結果となった。

5.3.2 防災施設と SPEEDI の活用、退避及び避難指示体制の整備と実際

前述のように、オフサイトセンター (OFC) は原子力災害対策基本法により、原子力事業所から 20km 以内に設置するよう規定されていたため、避難指示の拡大により避難区域に含まれ、そのものが避難することになった。ここで疑問が生じる。それは原子力事業所内の防災拠点、免震重要棟を拠点にしての東電、消防、自衛隊等の作業が続行する中、なぜオフサイトセンターは避難したのか? という点である。

この疑問の解答は単純で、オフサイトセンターには、気密と遮蔽のための設備等の放射線の防護設備がないため、放射性物質で汚染された地域に残り、指揮命令を発する体制になかったという事である⁴¹⁹。

また、オフサイトセンターで機能するはずの主要な情報端末として、放射性物質の拡散及び被ばく線量についての予測システムである、「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI)」、原子炉の圧力、水位等のパラメータを伝送し、緊急時の工学的な対策の考案に使われる「緊急時対策支援システム (ERSS)」があったが、SPEEDI については、その公表が事故後 12 日経過した 3 月 23 日まで公表されず、その情報に基づく避難指示が行われなかった。この点については、当初発表の原子力安全委員会による文書「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI) の試算について」⁴²⁰においては、

⁴¹⁸ 原子力災害対策本部 (2011c)、「ステップ 2 の完了を受けた警戒区域及び避難指示区域の見直しに関する基本的考え方及び今後の検討課題について」、2011 年 12 月 26 日、www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111226_01a.pdf 2011 年 12 月 28 日参照。

⁴¹⁹ 新潟県柏崎刈羽原子力防災センターの原子力安全・保安院柏崎刈羽原子力保安検査官事務所に調査した。

⁴²⁰ 原子力安全委員会 (2011a)、「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI) の試算について」プレス発表、2011 年 3 月 23 日、www.nsc.go.jp/info/110323_top_siryo.pdf 2011 年 3 月 23 日参照。

「試算を行うことが可能となりました」という表現を用いて、それまでの経緯について曖昧な見解を示した。これについては、ERSS システムによる放出源情報が入手できなかった等の理由が付けられていたが、実際には事故当初より放出源情報を仮想した試算が行われて、関係機関に提供されていた。なお、文部科学省は国会の「東京電力福島原子力発電所事故調査委員会」による 2012 年 1 月 16 日の委員会開催時⁴²¹において、2011 年 3 月 14 日には外務省を通じ、米国政府に対して試算結果を伝達していたことを明らかにした。

なお、「防災指針」において、緊急時予測支援システム (SPEEDI ネットワークシステム、ERSS) の整備が義務付けられており、それらによる気象データ及び原子炉状態のデータをあわせた放射性プルームの拡散予測により、両システムの端末を備えた原子力災害対策本部ないし現地原子力災害対策本部において、避難させる住民の選定、避難指示及びスクリーニング、安定ヨウ素剤の配布、避難先への受け入れ等の指示が行われることになっていた。東電福島第一原発事故当時は、OFC が避難したため、現地原子力災害対策本部の移転先である福島県庁において、担当職員のメール容量の問題で、SPEEDI の計算結果が認識されず、避難指示の問題につながったとも指摘された⁴²²。

ERSS の動作については、原子炉の計器情報をシステムに伝送するというその性質上、原子炉の計器が故障ないし破損した場合には動作せず、また電源喪失や通信回線の故障ないし破損によっても動作しないことが判明した。原子炉そのものの安全対策の不十分さと合わせて、この例においては、事故対策システムも不十分な想定条件で運用がなされていたことが明らかになった。

このように、東電福島第一原発事故においては、結果として、SPEEDI と ERSS という二つのシステムは、人為的、物理的な複数の要因が重なり、原子力防災体制、とりわけ退避、避難等の防護措置を有効に働かせる事ができなかったと言えるだろう。これは、原子力災害対策を正確な情報に基づき、低費用で有効に機能させるという、原子力災害対策の設計理念にも関わらず、それが実際には機能しなかったということも意味する。

⁴²¹ 国会 (2012a)、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 (国会事故調)、「第 2 回委員会会議録」、平成 24 年 1 月 16 日、
http://www.naiic.jp/wp/wp-content/uploads/2012/01/ik02_kaigiroku.pdf 2012 年 2 月 1 日参照。

⁴²² 佐藤康雄 (2013)、『放射能拡散予測システム SPEEDI なぜ活かされなかったか』、東洋書店。

5.3.3 広域避難の必要性和行政対応の限界

もう一点、重要な欠陥を挙げると、5.3.1 で指摘した避難想定と現実の乖離から派生する問題として、避難準備体制や避難訓練で採用されていた 10km 圏を想定した「キーホール型」の避難指示と 30km 圏内への避難の実施体制が、動員可能な車両（公共交通輸送を利用しての避難で、原則としてバス）、避難所の位置、規模共に、実際に生じた 20km 圏の全周避難と、それ以遠までの広域の避難には耐えないものであったことである。既存の防災計画において半径 3km 程度の即時避難を前提とした避難の交通シミュレーションを行った場合でも、周辺住民の自家用車避難による交通渋滞と避難の遅れが指摘されている。3km 圏の避難指示の後、20km 圏及び、それ以遠の特定地域に拡大した今回の避難指示においては、交通の混乱だけでなく、避難先の確保や指示にも問題が多発した。すなわち、旧来の EPZ はもとより、前述の IAEA (2002) の基準による防護区域案を採用したとしても、そのスケールについては相当の拡大が必要であったということである。

図 5.3.3-1 2011 年 3 月 23 日に公表された SPEEDI の被ばく試算図



出典：原子力安全委員会（2011a）、「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）の試算について」プレス発表、
www.nsc.go.jp/info/110323_top_siryo.pdf、2011 年 3 月 23 日参照。

今回の事故対応は、いわば従来の EPZ のキーホールの円周部分に 20km を採用したが、それ以遠のプルームの到達範囲予測に基づく避難区域の拡大については、放射能汚染についての情報拡散の副次的効果を怖れるあまり、SPEEDI をはじめとする避難行動に必要な情報を、必要な時に提供しない事となり、結果的に誤誘導による不要な被ばくを周辺住民に強いることになった。

5.3.4 放射線被ばくリスクと防護基準をめぐる混乱

さらに、避難指示やヨウ素剤投与等の防護措置は、放射線及び放射性物質のリスクの低減を図るものであるが、この基準の表現をめぐる、災害対策上の運用とはいえ、放射性物質のリスクに対応するための緊急処置としての制度上の前提に反し、ヨウ素剤の毒性を強

調し、環境中に放出された放射性物質のリスクを低く表現する言説が流布された⁴²³。また、ヨウ素剤の予防服用指示に関しては、原子力防災体制の指示系統に従った予防的投与を指示できる体制になかった。このため、結果として制度⁴²⁴に従った投与事例は皆無であったと言われる。これらの点からして、ヨウ素剤の予防的投与については、全く機能しなかったと言える。

また、全般に次のような現象が見られた。

・人工放射性核種を起因とする放射線被ばくリスクが他のリスクに加算される事を伏せて、あたかも選択可能なリスクであるかのように既存の他のリスクと比較する。

・ICRP、IAEA 他、原子エネルギー利用を促進する国際機関においてさえ、安全とする閾値が存在せず、0 水準から連続的に上昇する相対的な危険性としてコンセンサスを得ている放射線のリスクそのものを、「安全」、「健康に影響はない」等の不正確な表現で参照する。

といった現象である。このようなリスク概念の誤用や混乱に起因する行動により、長期的な集団被ばく線量への悪影響があることが懸念される。

以上のように、現行の原子力防災計画においては、当該地域の領域指定の狭さ、被害想定の小ささ、ヨウ素剤の服用手順に見られる非現実性などにより、防災計画の再検討が必要である。これらは、従来の原子力防災体制の見直しと改訂は、原子力のエネルギー利用を推進する、停止ないし廃止する等の政策的選択肢の考察以前に、必須のプロセスである。

なお、放射線被ばくリスクについての認識を含め、既存の放射線防護の基本思想そのものを再検討し、原子力利用そのものについて包括的な見直しをしなければ、今後の類似の事象発生により、大きな混乱と過大な放射線被ばくリスクへの公衆の曝露が想定される。

5.4 原子力災害対策の本質と問題点

本節では、ここまでに見てきた東電福島第一原発事故当時の原子力災害対策と原子力防

⁴²³ 2011年12月7日に、安定ヨウ素剤投与のリスクは極めて低い事が、原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会被ばく医療分科会第28回会合において報告されている。原子力安全委員会(2011b)、「原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会被ばく医療分科会第28回会合速記録」、www.nsc.go.jp/senmon/soki/hibakubun/hibakubun_so28.pdf 2012年2月1日参照。

⁴²⁴ 新潟県防災局原子力安全対策課(2011b)、「第4回原子力防災に関する勉強会」における資料：独立行政法人日本原子力研究開発機構原子力緊急時支援・研修センター(2011)、「原子力災害対策における安定ヨウ素剤の扱い及び避難者のスクリーニング」、2011年9月5日。

災体制の課題と、その後の改訂の方向性、問題点について総括するとともに、原子力災害対策が、本質的に放射線防護の最適化の適用であるという立場から、その本質と限界について論じる⁴²⁵。

まず、東電福島第一原発事故後の原子力災害対策と原子力防災体制の改訂の方向性、問題点について検討する。

5.4.1 東電福島第一原発事故への対応を踏まえた原子力災害対策の再編⁴²⁶

本節では、原子力発電所の事故、核兵器の爆発、放射性物質漏れ事故などの原子力災害における、防災のしくみについて、東電福島第一原発事故後の改変を踏まえ、順を追ってその論理と問題点を確認してゆく。災害対策に被害の完全な抑制は不可能であるが、原子力災害はその構成要因の一つが人間の原子力利用という行為である。

現状の原子力災害の防災対策は、一般的な公衆の理解とは異なり、一定程度の被害を前提とし、また災害時には汚染の拡散そのものを不可避の前提条件とした、後付けの理屈で「安全」を宣言する枠組みの一部と化している状態であるというのが、著者の考えである。

まず、防災には1. (事前の) 予防、2. (事後の) 被害の拡大防止、3. (事後の) 回復という三つの側面があると考えられる。東電福島第一原発事故前の原子力災害に対する制度は、原子力施設が事故を起こすことはない、という考え方の下で予防は事業者任せにきた。逆に見ると、原子力事業者は施設外における事故の影響（放射性物質の拡散）による被害の拡大に対する対策は行わないという考え方である。

事故後の組織及び制度の改変により、現在は過酷事故が起こり得るという前提の上で、原子力規制委員会による審査が行われているが、政治的に原発の再稼働を掲げる政権により政府が主導されている以上、これも予防的に厳しく運用するというのではなく、原発稼働の安全性は確保されているという結論が最初にありきで規格審査をしている状況と推測される。ともあれ、現在は原子炉の損傷や核燃料物質の放出などの過酷事故が起こった上での防災対策が議論されており、本節での主な対象として、事後の被害の拡大防止について考察する。

⁴²⁵ 前掲拙著論文の、藤堂史明 (2013a) の 4 - 2 節「安全と原発の採算性の二律背反」、及び藤堂史明 (2015) に基づいて執筆した。

⁴²⁶ 東電福島第一原発事故への対応を踏まえた原子力災害対策の再編については、前掲拙著論文の、藤堂史明 (2015) に基づいて執筆した。

5.4.2 原子力災害時の防災対策の問題点と改変

原子力災害に対する防災の仕組みとしては、国の災害対策基本法、原子力災害対策基本法、(事故前の)旧防災指針に代わる「原子力災害対策指針」(原子力規制委員会、平成24年10月(25年9月改正))⁴²⁷、原子力立地自治体の県等による防災計画(原子力災害対策編)の策定と実施体制の整備がある。まず、対象となるのは原子力事業者の施設だが、ここで通報に相当する事象(事故)が起こった場合(原子力災害対策基本法第十条による規定)及び、重大な事象(事故)が起こった際の「原子力緊急事態」(同法第十五条による規定)の宣言と対策本部の設置、住民の避難などの対策からなっている。これらの対策の内容に関しては、東京電力福島第一原発事故の後大幅な改変が行われている。もちろん改変はより拡大した原子力災害対策を行うことを意味しているが、果たして十分な改変なのかは疑問が残る。

東電福島第一原発事故前の日本における原子力防災の基本的な枠組みとしては、5.2節に述べたように、国際基準の取り入れとして、NRC/FEMA(1980)に見られるEPZ(Emergency Planning Zone)、(※日本語では直訳の「緊急事態計画地域」とは全く異なる「防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲」と呼称されている)区域策定の考え方、そして安全規則としてのIAEA(1996a)⁴²⁸の介入基準を採用し、原子力災害時の防護方針が策定されてきた。

また、原子力災害への対策とは放射線被ばく対策に他ならないが、放射線防護の基準となるリスク評価については、2001年3月に国内法令へ取り入れられた「国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)1990年勧告」⁴²⁹等が基礎となって対策に反映されてきた。さらに、避難などの具体的な活動を判断する際の基準である、介入基準の見直しにつながる線量拘束値などの考え方を含むICRPの発した勧告「国際放射線防護委員会2007年勧告」⁴³⁰の国内制度への取り入れが検討されてきた経

⁴²⁷ 原子力規制委員会(2013)、「原子力災害対策指針」、原子力規制委員会、平成24年10月31日(平成25年9月5日全部改正)。

⁴²⁸ 前掲IAEA(1996a), “International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources”, *IAEA Safety Series* No.115.

⁴²⁹ 前掲ICRP(1991), “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP*, Vol. 21, Nos 1-3.

⁴³⁰ 前掲ICRP(2007), “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, Vol. 37, Nos. 2-4.

緯がある。

東電福島第一原発事故では、複数の号機の爆発、核燃料のメルトスルーという事故の状態の深刻度に加えて、原子力災害対策に関わる具体的な問題として、放射性プルームの拡散状況が事前の日本における EPZ の設定範囲 8～10km を大きく上回る 50km 以遠においても「特定避難勧奨地点」に指定され避難対象となる地域があるなど、事故の状態及び規模に関して想定があまりに過小であったことが明らかになった。

また、プルームの拡散方向に応じて退避及び避難地域を特定することが必須であった対策案にとって、放射性プルームの拡散による被ばく線量を予測計算するはずであった SPEEDI の情報が生かされず避難指示がされない、要介護者を避難のため移動したため亡くなる方が続出する⁴³¹、また、ヨウ素剤の予防服用手続きが、一部自主的に行った自治体を除き災害対策で予定されていた緊急時被ばく医療体制としては機能しなかった事等、原子力災害に対しての制度上の仕組みの欠陥が明らかになった。

これを受け、原子力安全委員会が 2012 年 9 月の廃止前、2011 年 10 月に避難対象地域などの区割りの改訂案を提案し⁴³²、これに準じる形で各原子力立地自治体における防災計画の改訂案が作成されてきた。例えば新潟県による「柏崎刈羽原子力発電所の過酷事故時における対策の考え方」⁴³³や、その後の行動指針⁴³⁴、地域防災計画（原子力災害対策編）⁴³⁵である。

邦訳：『ICRP2007年勧告』

⁴³¹ 復興庁（2012）、「東日本大震災における震災関連死に関する報告」、2012年8月、
http://www.reconstruction.go.jp/topics/20120821_shinsaikanrenshihoukoku.pdf
2018年9月7日参照。

⁴³² 原子力安全委員会防災指針検討ワーキンググループ（2011）、「原子力発電所に係わる防災対策を重点的に充実すべき地域に関する考え方」、2011年10月20日、
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/bousin/bousin2011_06/siryos3.pdf
2015年2月1日参照。

⁴³³ 新潟県（2012）、「柏崎刈羽原子力発電所の過酷事故時における対策の考え方」2012年4月、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/693/561/jimukyoku%20zanteian,0.pdf
2015年2月1日参照。

⁴³⁴ 新潟県（2014a）、「原子力災害に備えた新潟県広域避難の行動指針（Ver.1 H26.3月）」2014年3月、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/421/126/20140325%20koudoushishinn.pdf
2015年2月1日参照。

⁴³⁵ 新潟県（2014b）、「新潟県地域防災計画（原子力災害対策編）平成26年3月修正」、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/203/67/06_gensiryokutaisakuhen.pdf
2015年2月1日参照。

制度上の大きな変更点としては原子力災害時の対策を事前に準備しておく重点対策地域の区域が改変され、拡大されたことである。具体的には事前の EPZ のみの区割りを以下に改めた。以下はその後、改正を重ねた原子力災害対策指針（平成 25 年 9 月 5 日全部改正時の同指針 37 頁）に記載された各区域の呼称と概要である。ただし、新潟県の例のように（ ）内のより直接的な呼称が用いられる場合もある。

1. 予防的防護措置を準備する区域（PAZ: Precautionary Action Zone）（即時避難区域）

PAZ とは、急速に進展する事故においても放射線被ばくによる確定的影響等を回避するため、先述の EAL に応じて、即時避難を実施する等、放射性物質の環境への放出前の段階から予防的に防護措置を準備する区域のことを指す。PAZ の具体的な範囲については、IAEA の国際基準において、PAZ の最大半径を原子力施設から 3 ～ 5 km の間で設定すること（5 km を推奨）とされていること等を踏まえ、「原子力施設から概ね半径 5 km」を目安とする。

なお、この目安については、主として参照する事故の規模等を踏まえ、迅速で実効的な防護措置を講ずることができるよう検討した上で、継続的に改善していく必要がある。

※具体的には「直ちに PAZ 外への避難を実施し、引き続きおおむね半径 30km 圏外への避難を実施する文字通りの即時避難区域に相当している。

2. 緊急時防護措置を準備する区域（UPZ: Urgent Protective action Zone）（避難準備区域）

UPZ とは、確率的影響のリスクを最小限に抑えるため、先述の EAL、OIL に基づき、緊急時防護措置を準備する区域である。UPZ の具体的な範囲については、IAEA の国際基準において、UPZ の最大半径は原子力施設から 5 ～ 30 km の間で設定されていること等を踏まえ、「原子力施設から概ね 30 km」を目安とする。

※これについても具体的には避難等の準備区域として、緊急時モニタリング結果等に基づき必要な場合は、おおむね半径 30km 圏外への避難等をできる限り速やかに実施する、避

難準備が必要な区域に相当している。

3. プルーム通過時の被ばくを避けるための防護措置を実施する地域 (PPA: Plume Protection Planning Area) (屋内退避計画地域)

UPZ外においても、プルーム通過時には放射性ヨウ素の吸入による甲状腺被ばく等の影響もあることが想定される。つまり、UPZの目安である30kmの範囲外であっても、その周辺を中心に防護措置が必要となる場合がある。

プルーム通過時の防護措置としては、放射性物質の吸引等を避けるための屋内退避や安定ヨウ素剤の服用など、状況に応じた追加の防護措置を講じる必要が生じる場合もある。また、プルームについては、空間放射線量率の測定だけでは通過時しか把握できず、その到達以前に防護措置を講じることは困難である。このため、放射性物質が放出される前に原子力施設の状況に応じて、UPZ外においても防護措置の実施の準備が必要となる場合がある。

以上を踏まえて、PPAの具体的な範囲及び必要とされる防護措置の実施の判断の考え方については、今後、原子力規制委員会において、国際的議論の経過を踏まえつつ検討し、本指針に記載する。

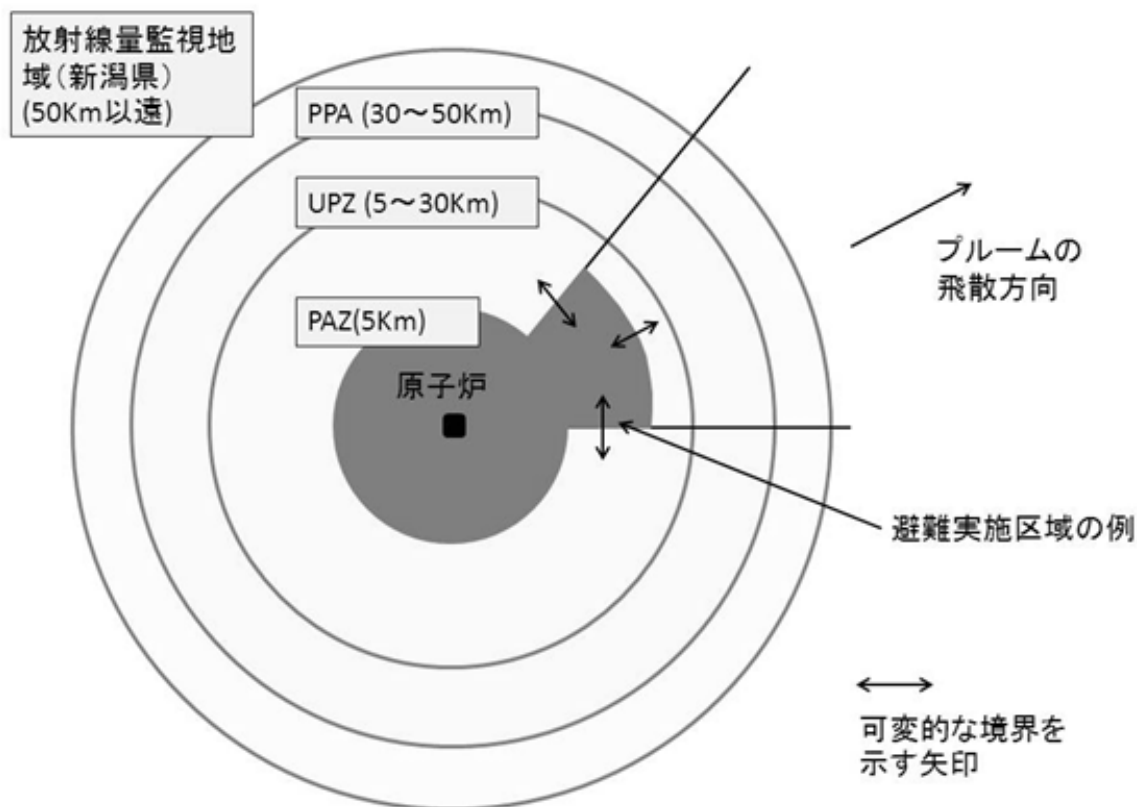
とされている。

※PPAについては、新潟県の計画案⁴³⁶においては具体的には、以下の通り規定されていた。

おおむね半径30～50km圏については、プルーム通過時の被ばくを避けるための防護措置として、屋内退避や、安定ヨウ素剤の備蓄などの計画をあらかじめ策定する地域として、計測可能な判断基準のほか、事故の状況、気象条件、大気中の放射性物質の濃度等や線量率の予測結果により、必要に応じて、屋内退避、安定ヨウ素剤の服用等を実施する。

⁴³⁶ 前掲、新潟県(2012)、「柏崎刈羽原子力発電所の過酷事故時における対策の考え方」、2012年4月。
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/693/561/jimukyoku%20zanteian,0.pdf
2015年2月1日参照。

図 5.4.2-1 拡張された区域設定



出典：原子力規制委員会（2013）、新潟県（2012）（2014b）等により作成。

このような区割りとそれに対して設定されている対策の組み合わせは、一部改変されながら導入された国際原子力機関 IAEA による概念の OIL: Operational Intervention Level、「運用上の介入レベル」（すなわち、外部、吸入、摂取などの複数の被ばくの経路について測定器による測定値により求めたレベル）の考え方を反映させた物である。

ところが、このように、東電福島第一原発事故の実際の被害に比べれば範囲が狭いものの、拡張の方向で導入された PPA であるが、2015 年 4 月の原子力災害対策指針の改訂⁴³⁷時に区域案が大幅に後退し、1.の PPA 及び 2.の UPZ のみを指定し、それ以遠については UPZ 外として、対策は防護措置や協力などが必要と判断された範囲に限るとした。これは

⁴³⁷ 原子力規制委員会（2015）、「原子力災害対策指針」平成 24 年 10 月 31 日、平成 27 年 4 月 22 日全部改正、<http://www.nsr.go.jp/data/000104632.pdf> 2018 年 9 月 7 日参照。

原子力災害対策として事前に想定、準備される退避及び避難計画の事実上の縮小と見られ、実施の困難さが指摘されてきた PPA の原子力災害対策を切り捨てたものである。

5.4.3 原子力災害への対策の考え方

新しい原子力災害対策指針では OIL そして EAL(Emergency Action Level)「緊急時活動レベル」(多重の防護(深層防護)を構成する各層設備の状態や放射性物質の閉じ込め機能の状態、外的事象の発生等の原子力施設の状態等に基づく評価尺度で、緊急事態の程度を示す)に応じて、モニタリングや退避及び避難など各区域における対応措置を規定している。これらの基準はともにこれまでに IAEA が提示してきたもので、代表的な文書として 2002 年⁴³⁸、2011 年⁴³⁹にその概念が整理されている。

それぞれの概念は、原子力災害の被害の拡大防止という局面では、客観的指標として役立つことを目標としている。EAL に関しては、緊急事態の区分とそれによって行う措置として以下を設けている。

1. 警戒事態：体制構築や情報収集を行い、住民防護のための準備を開始する。
2. 施設内緊急事態：PAZ 内の住民等の避難準備、及び早期に実施が必要な住民避難等の防護措置を行う。
3. 全面緊急事態：PAZ 内の住民避難等の防護措置を行うとともに、UPZ 及び必要に応じてそれ以遠の周辺地域において、放射性物質放出後の防護措置実施に備えた準備を開始する。放射性物質放出後は、計測される空間放射線量率などに基づく防護措置を実施する。

⁴³⁸ 前掲 IAEA (2002), “Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency,” *IAEA Safety Series*, No. GS-R-2.

http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1133_scr.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

邦訳は以下にあった。

原子力安全基盤機構 (2009)、(原子力規制委員会の旧組織の一つ)、邦訳「原子力又は放射線の緊急事態に対する準備と対応」、

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013196.pdf> 2015 年 2 月 1 日参照。

⁴³⁹ IAEA (2011), “Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency,” *General Safety Guide*, No. GSG-2.

邦訳は以下にあった。

原子力安全基盤機構 (2012)、(原子力規制委員会の旧組織の一つ)、邦訳「原子力又は放射線の緊急事態への準備と対応に用いる判断基準」

<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000120491.pdf> 2015 年 2 月 1 日参照。

これらの EAL の区分は原子炉の形式により以下の 5 つに区分された詳細な項目によって判断される。

1. 沸騰水型軽水炉
2. 加圧水型軽水炉
3. ナトリウム冷却型高速炉
4. 使用済燃料貯蔵槽内にのみ照射済核燃料集合体が存在する原子炉施設
5. 原子炉（1. ～ 4. に掲げる原子炉を除く。）…原子炉容器内に核燃料物質が存在しない場合であって、使用済燃料プールに新燃料のみが保管されている原子炉及び使用済燃料プール内の照射済核燃料集合体が十分な期間冷却されているものとして原子力規制委員会が定めた原子炉等。

これらのうち、5. の原子炉に当たっては EAL の「警戒事態」について「原子炉施設以外に起因する事象が原子力施設に影響を及ぼすおそれがあることを認知した場合など、委員長又は委員長代行が警戒本部の設置が必要と判断した場合。」、また「施設緊急事態」について「原災法第 10 条に基づく通報の判断基準として政令等で定める基準以上の放射線量又は放射性物質が検出された場合」等、「全面緊急事態」について「原災法第 15 条に基づく緊急事態宣言の判断基準として政令等で定める基準以上の放射線量又は放射性物質が検出された場合」等に基づくとしている。

すなわち、従来の区分に警戒事態の区分を追加し、また、各状態の判断条件を幅広く「おそれがあることを認知した場合」等の表現で追加していることが分かる。

また、1. ～ 4. の炉型等による区分については、5. の類型における一般的な原災法 10 条、15 条の区分に加えて、それぞれの形式の特徴である主復水器への注水、蒸気発生器への注水などの異なる機材に応じた緊急事態区分の判断条件を定めている。

これらについての検討は委細に渡るが、全面緊急事態において原子炉の非常停止のための制御棒の挿入についての項目がはじめて登場する事が示すように、原子炉の運転継続を前提として、段階的に緊急事態を認知、原子炉の操作を行いつつ、緊急事態区分を発表するという手順となっている。当然ながら、全面緊急事態においてはじめて操作される機器が、前段階においては作動チェック不能であるため、万が一の操作ミスや機器の動作不良があれば事態は一気に悪化する。この事は東電福島第一原発事故の事故原因調査においてもその可能性が指摘されている点である。

正常に稼働しているかに見える原子炉であっても、実際にはトラブルや事故の発生が多い。これは 2002 年に発覚した「東京電力原発トラブル隠し事件」の際に明らかになっていた事である。軽微なトラブルや事故で原子炉を停止させることを厭うあまり、大きな事故への可能性を事前に除去できないことは、営利を目的とした商業発電として原子炉を稼働させている事が必然的に引き起こす危険性である。

地震等の外部要因の可能性が高い場合や機器の点検と作動状況に不安があれば、万一に備え予防的に原子炉を停止する等の判断とその基準もあるべきではないだろうか。原子力災害対策指針そのものにも「事態の進展によっては全面緊急事態に至るまでの時間的間隔がない場合等があり得る」(同指針 6 頁) と記載されている。

次に、とりわけ被害の受け手側にとっての状況の安全あるいは危険を意味すると捉えられがちな OIL について、原子力災害対策指針では、各区域における災害対策の措置のトリガーとしての数値基準としている。例えば PAZ では EAL の全面緊急事態によって放射性物質放出前に避難を開始するが、UPZ では一部を除き OIL1(500 μ Sv/h)を超える放射線量を観測した場合に避難を行う。つまり、OIL は UPZ での各種防護措置実施の基準となる。

このような考え方の基本は被害防止のための対策とその費用、それによって防止または軽減される放射線被ばくによる被害とのバランスの考慮である。すなわち原子力利用から得られる利益があると前提した上で、急性の被害は防止するとの制約条件をつけるものの、被害を未然に全て防ぐのではなく、(存在するはずの) 利益を最大化する範囲で行おうとしている点に注意が必要である。ただし、原子力災害には原子力発電等の利用に伴うものではなく、核兵器の使用など外部的な要因もあり得るだろう。

表 5.4.3-1 運用上の介入レベル(OIL)の原子力災害対策指針への反映

	基準の種類	基準の概要	初期設定値 ※1	防護措置の概要
緊急防護措置	OIL1	地表面からの放射線、再浮遊した放射性物質の吸入、不注意な経口摂取による被ばく影響を防止するため、住民等を数時間以内に避難や屋内退避させるための基準	500 μ Sv/h (地上 1mで計測した場合の空間放射線量率 ※2)	数時間以内を目途に区域を特定し、避難等を実施。(移動が困難な者の一時屋内退避を含む)
	OIL4	不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを防止するため、除染を講じるための基準	β 線:40,000cpm ※3 (皮膚から数 cm での検出器の計数率) β 線:13,000cpm ※4【1ヶ月後の値】 (皮膚から数 cm での検出器の計数率)	避難基準に基づいて避難した避難者等をスクリーニングして、基準を超える際は迅速に除染。
早期防護措置	OIL2	地表面からの放射線、再浮遊した放射性物質の吸入、不注意な経口摂取による被ばく影響を防止	20 μ Sv/h (地上 1m で計測した場合の空間放射線量率※2)	1日以内を目途に区域を特定し、地域生産物の摂取を制限するとともに1週間程度内に一時移転を実施。

		<p>するため、地域生産物 ※5 の摂取を制限するとともに、住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準</p>				
<p>飲食物摂取制限※6</p>	<p>飲食物に係るスクリーニング基準</p>	<p>OIL6 による飲食物の摂取制限を判断する準備として、飲食物中の放射性核種濃度測定を実施すべき地域を特定する際の基準</p>	<p>0.5μSv/h (地上 1m で計測した場合の空間放射線量率※6)</p>			<p>数日内を目途に飲食物中の放射性核種濃度を測定すべき地域を特定。</p>
	<p>OIL6</p>	<p>経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準</p>	<p>核種 ※7</p>	<p>飲料水 牛乳・乳製品</p>	<p>野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他</p>	<p>1 週間内を目途に飲食物中の放射性核種濃度の測定と分析を行い、基準を超えるものにつき摂取制限を迅速に実施。</p>
			<p>放射性ヨウ素</p>	<p>300Bq/kg</p>	<p>2,000Bq/kg ※8</p>	
			<p>放射性セシウム</p>	<p>200Bq/kg</p>	<p>500Bq/kg</p>	
			<p>プルトニウム及び超ウラン元素のアルファ核種</p>	<p>1Bq/kg</p>	<p>10Bq/kg</p>	
		<p>ウラン</p>	<p>20Bq/kg</p>	<p>100Bq/kg</p>		

注釈：

※1 「初期設定値」とは緊急事態当初に用いる OIL の値であり、地上沈着した放射性核種組成が明確になった時点で必要な場合には OIL の初期設定値は改訂される。

※2 本値は地上 1m で計測した場合の空間放射線量率である。実際の適用に当たっては、空間放射線量率計測機器の設置場所における線量率と地上 1m での線量率との差異を考慮して、判断基準の値を修正する必要がある。

※3 我が国において広く用いられている β 線の入射窓面積が 20 cm^2 の検出器を利用した場合の計数率であり、表面汚染密度は約 120Bq/ cm^2 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面汚染密度より入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。

※4 ※3 と同様、表面汚染密度は約 40Bq/ cm^2 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。

※5 「地域生産物」とは、放出された放射性物質により直接汚染される野外で生産された食品であって、数週間以内に消費されるもの（例えば野菜、該地域の牧草を食べた牛の乳）をいう。

※6 実効性を考慮して、計測場所の自然放射線によるバックグラウンドによる寄与も含めた値とする。

※7 その他の核種の設定の必要性も含めて今後検討する。その際、IAEA の GSG-2 における OIL6 値を参考として数値を設定する。

※8 根菜、芋類を除く野菜類が対象。

※9 IAEA では、OIL6 に係る飲食物摂取制限が効果的かつ効率的に行われるよう、飲食物中の放射性核種濃度の測定が開始されるまでの間に暫定的に飲食物摂取制限を行うとともに、広い範囲における飲食物のスクリーニング作業を実施する地域を設定するための基準である OIL3、その測定のためのスクリーニング基準である OIL5 が設定されている。ただし、OIL3 については、IAEA の現在の出版物において空間放射線量率の測定結果と暫定的な飲食物摂取制限との関係が必ずしも明確でないこと、また、OIL5 については我が国において核種ごとの濃度測定が比較的容易に行えることから、放射性核種濃度を測定すべき区域を特定するための基準である「飲食物に係るスクリーニング基準」を定める。

出典：原子力規制委員会（2013）34 頁 表 3 「OIL と防護措置について」より作成。

5.4.4 原子力災害対策の運用上の問題点

このように、東電福島第一原発事故とその災害を踏まえた改訂が順調に進んだように見えるが、2014年は自治体の原子力防災の体制にとって衝撃的な事件が発覚した。4月23日に報道されたように、原子力防災の体制においてヨウ素を含むプルーム通過対策のために自治体に配備される安定ヨウ素剤が新潟県において更新のための購入がされておらず、1,326,000錠が架空配備となっていた問題である。

この問題は「安定ヨウ素剤未調達事案等に関する調査報告1」⁴⁴⁰等の調査が行われ、県議会による審議や対策案が策定されているが、そもそも原子力防災対策の要になる区域策定の改変とヨウ素剤防備地域の拡大にとって必須である、具体的な薬剤の配備そのものが、担当係長一人に委ねられ、チェックもされていなかった。発見自体、備蓄場所の柏崎市役所の指摘によるものを待った、という点が原子力災害対策の改変における確認の形骸化の実情を示している。

新潟県の事例をとってヨウ素剤の対応についてさらに言えば、ヨウ素剤を配備していたとしても、新しい区割りでは事前にヨウ素剤を配布されている原子力事業所の至近距離の5km圏PAZは即時避難であり、プルームの通過は想定されていないこと、一方で、より広域となるUPZ⁴⁴¹、PPA⁴⁴²については事前配布ではなく、子供へのシロップ剤の配布も含め、避難経路上の配布場所で職員の臨時対応と20チーム程度と言われている緊急被ばく医療派遣チームによって対策するという点についても実現性があるのか大いに疑問である。

現状では医薬品としてのヨウ素剤を個別の問診と服用指示を前提とした緊急時被ばく医療体制で、UPZ区域およびPPA区域の40万人～数100万人（新潟県の場合で、長岡市などUPZ地域及びPPAにかかる新潟市などを想定）規模となるヨウ素による被ばくが想定される地域住民に十分な対応ができるとは思えない。近郊に大都市圏を抱える原子力立地

⁴⁴⁰ 新潟県出納局・総務監理部（2014）、「安定ヨウ素剤未調達事案等に関する調査報告1」2014年6月13日、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/538/959/20140613hokoku2.pdf 2015年2月1日参照。

⁴⁴¹ 前述、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ: Urgent Protective action Zone）（避難準備区域）。

⁴⁴² 前述、プルーム通過時の被ばくを避けるための防護措置を実施する地域（PPA: Plume Protection Planning Area）（屋内退避計画地域）。PPAについては、前述したとおり2015年4月の国の原子力災害対策指針より削除された。新潟県においても2018年3月の改訂で削除された。

地域であればなおさらである。もちろん、ヨウ素剤では希ガスやセシウム、ストロンチウム他の放射性核種による被ばくは予防できないため、これは問題の一部にすぎない。

また、東京電力が示したデータにおいても原子炉冷却機能の喪失から予想されるもっとも早い炉心のメルトダウン、放射性物質の大量放出までの時間はシナリオレスと称する想定で6時間、シナリオ想定ありで18時間とされている⁴⁴³。

一方で、新潟県は避難時間のシミュレーションでUPZ圏からの90%避難で8時間～21時間50分、100%避難で最長31時間30分という推定を発表した⁴⁴⁴。これらに関しても自家用車利用者などが段階的に避難するなどの実現困難な想定がされているケースもあり、楽観的と言える。

全国の原子力発電所の事故を想定した避難推定時間の独立した研究としては、上岡(2014)⁴⁴⁵があり、これによれば、UPZ対象地域の総人口を、交通手段を想定して範囲外に脱出させることを考えると、国道のみの利用では最短で15時間(泊原発)、最長では132時間(東海第二原発)ないし142.5時間(浜岡原発)かかるということが分かっている。なお柏崎刈羽原発の場合66.5時間である。

この問題は、そもそもUPZである30km圏の想定人口数十万人～数百万人の避難を可能とする交通手段などもともと存在しない、という点を避けて通ることが出来ない。原発事故を受けた対策により区域を追加し、範囲も大幅に拡大させたものの、もともとある道路インフラと発電所施設外の輸送手段や避難所等の資源はほとんど変化がない。つまり、今までと同様に原発事故による被ばくから一時的にせよ逃れる方法はなく、大量の被ばく者を発生させることは不可避な状況で、日本の原発は運転されようとしているということである。

これまで見てきたように、原発は事故を起こさないという想定、つまり「安全神話」か

⁴⁴³ 東京電力(2014)、「フィルタベント設備の検討のための事故想定」における各ケースの放出量評価方法について、新潟県技術委員会資料、2014年8月27日、www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/935/11/140827%20No.2-2.pdf 2015年2月1日参照。

⁴⁴⁴ 新潟県防災局原子力安全対策課(2014)、「原子力災害時の避難に関する課題について～避難時間推計シミュレーション結果から～」、2014年8月26日、http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/20/75/ete-setumeisiryou,0.pdf 2015年2月1日参照。

⁴⁴⁵ 上岡直見(2014)、『原発 避難計画の検証: このままでは、住民の安全は保障できない』、合同出版。

ら、過酷事故を想定した対策へと大きく変化した原子力防災の体制だが、対策地域の拡大は東電福島第一原発事故の放射能汚染の実態からしても不十分、また事故原因のきちんとした特定がされておらず津波対策に偏重した施設内の安全対策が十分かどうか不明であること、また核燃料自体の危険性に関心が向かず、再稼働させなければ安全という誤解もあること等、多くの基本的問題点が残っている。

その中で、IAEAの基準の取り入れと範囲の拡大をはじめとする表面的な対策の改訂が行われている訳だが、以上でみてきたように、現場のチェックや実施体制に根本的な限界があり、有効性に疑問が残る。また一定程度の被ばくを前提として防護対策が立てられていることについて説明に基づく、理解のプロセスを欠いている等、実施面と理論面での基本的問題点が多々ある。

このような現状において、原子力防災体制における国および自治体の原子力災害対策指針および個別計画が改訂されたから、原発の再稼働や核燃料棒の貯蔵についての安全性が確保されたと結論するのは大きな間違いだろう。また、原子エネルギー利用の事業再開を議論する際は、長期的には放射性廃棄物の捨て場、最終処分の問題が未解決というボトルネックが手つかずであることを忘れることはできない。

前述のとおり、費用と便益のバランスを考慮して、原子エネルギー、放射線利用による社会的利益を最大化するという観点で構築されている国際放射線防護委員会(ICRP: International Commission on Radiological Protection)の防護基準の最適化の考え方が災害の深刻度(事業所及び被害地域における)に対応する措置内容の基礎にある。この点について確認しておこう。

5.4.5 原子力災害対策における防護の考えかた：最適化の論理

放射線に対する安全性の確保の考え方の基礎が、費用と便益のバランスすなわち費用便益分析の応用であるということは、貨幣の価値にしたときの損得の差額、「純便益」を最大にする「最適化」の条件を考えているということ、つまり数学的には必要条件を求めていることにあたる。ただし、大前提は急性の被ばくによって死亡するようリスクは除外していることである。第4章で確認したように、全体の利益が増加するかについては、これとは別に「正当化」の原則もあり、全体がプラスとなるように計画的な被ばくとそれに伴う利益の享受を謳っている。

しかし同時に、緊急時及び現存被ばく状況と呼ばれる、放射性物質が拡散、散逸してし

まった状態においては、全体がプラスでなくなるのは前提条件とされて、その時点ではもはや原子力利用のあるいは原子炉の稼働についての是非に遡って判断することはできない。正当化の原則は新たな行為についてのみ判断され、事故を引き起こすような原子力利用のありかたについては不問に付されるのである。前章で述べた、受益圏と受苦圏の分離が生じていると考えられる。

その上で対策そのもののリスク削減の利益とその費用を限界的にバランスさせる手法により、そもそも放射線を発生させる側と被ばくする側を同一の主体として、全体の利益の最大化を図ろうとしている点に現実との乖離がある。事故が生じた際の被害と加害の関係の明確化や情報においても決定権においても独占的な立場にある事業者及び政府の責任を曖昧にさせる全体主義的な論理で望ましい対策を決めていくアプローチでもある。

なお、形式上、原子力災害対策における安全性の考え方は、深層防護と呼ばれる、多重的な災害対策、安全確保の考え方に基づいて形成されているが、以下に述べるようにその取り組みが十分であったか、そして現在十分と言えるかについては議論がある。

「深層防護」は、IAEA (1996b)⁴⁴⁶等に見られる安全対策を多重に行うことで、原子力発電所等（考え方自体は原発に限らない）の安全を確保する考え方である。日本では、東電福島第一原発事故以前は三層の深層防護を定めており、それは以下の通りであった。

第一段階は、安全確保のための設計で、異常の発生を防止するため、安全上余裕のある設計、誤操作や誤動作を防止する設計、自然災害に対処できる設計が採用されている。

第二段階は、事故拡大防止の方策であって、万一異常が発生しても事故への拡大を防止するため、異常を早く発見できる設計、原子炉を緊急に停止できる設計が採用されている。

第三段階は、放射性物質の放出防止の方策で、万一事故が発生しても放射性物質の異常な放出を防止するための原子炉格納容器や ECCS（緊急炉心冷却装置）が備えられている。多重防護ともいう。

⁴⁴⁶ IAEA (1996b), “The Approach to Defence in Depth,” *DEFENCE IN DEPTH IN NUCLEAR SAFETY*, INSAG-10, IAEA.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf 2018年10月5日参照。

出典：原子力百科事典 ATOMICA 「深層防護」より⁴⁴⁷。

東電福島第一原発事故以降は、IAEA の 5 層の防護について表記されるようになったが、これについて牧田 (2018)⁴⁴⁸に見られるように、第 4 層の過酷事故対策についてはハードウェア的にも措置されるようになったが、深層防護の第 5 層に相当する対応組織が見当たらず、実態として取り組まれていないとの批判がある。なお、IAEA の深層防護は、以下の 5 層からなる⁴⁴⁹。

1. 異常発生の防止（設計、点検、品質保証、運転）{Prevention of abnormal operation and failures}
2. 異常の拡大の防止（止める、固有安全性）{Control of abnormal operation and detection of failures}
3. 事故時の影響の緩和（冷やす、閉じこめる）{Control of accidents within the design basis}
4. シビアアクシデント対応（ベントなど、緊急時対応）{Control of severe conditions including prevention of accident progression and mitigation of the consequences of a severe accident}
5. サイト外の緊急時対応（原子力防災）{Mitigation of the radiological consequences of significant external releases of radioactive materials}

5.4.6 原子力災害対策における最適化：安全と採算性の二律背反⁴⁵⁰

ここまでの放射線防護体制についての分析を総合すると、原子力事故の予防と非常時対応における安全確保の根本にある考え方は、通常の安全の考え方とは異なる、被ばくに関する便益とリスクの関係の最適化である。

そして、この関係性は事故の前である計画被ばく状況と、事故の後である緊急時及び現

⁴⁴⁷ 原子力百科事典 ATOMICA 「深層防護」

http://www.rist.or.jp/atomica/dic/dic_detail.php?Dic_Key=402 2018年10月5日参照。

⁴⁴⁸ 牧田寛 (2018)、「北海道胆振東部地震「泊原発が動いていれば停電はなかった」論はなぜ「完全に間違い」なのか」、ハーバービジネスオンライン、2018年9月10日。

<https://hbol.jp/174509/4> 2018年10月5日参照。

⁴⁴⁹ 牧田寛 (2018)より。原文は IAEA (1996b), “2.4 LEVELS OF DEFENCE,” p.8.

⁴⁵⁰ 本節は藤堂史明 (2013a)によるものである。

存被ばく状況の大きく二つに分かれる想定をし、二重に最適化の原点を考案することで、二重の防護基準を生み出してきた。正確には緊急時被ばく状況と現存被ばく状況の際の数値の違いを考慮すれば、三重と言えるが、計画被ばく状況時、つまり平常時と異なる点を設けるという意味では本質的には平常時と異常時の二つに分けたということである。

このことは、言い換えれば、通常時の原子力施設の操業においては、「正当化の原則」により正味の便益の発生が前提とされた事業を前提としつつ、その範囲で、被ばく労働等のリスクの側面を管理すると言う、狭い範囲の最適化問題が問われることに準じて、あくまで営利を含む正の純便益を生む範囲での原子力防災体制の維持、管理が求められることに対し、原子力災害発生時には、事後的に環境並びに人体への放射線の悪影響を、経済社会の通常状態での維持が失われることから生じる機会費用との合計について最小化するという最適化問題が問われるということの意味している。

問題は、最適化問題の制御変数である放射線防護水準： ω から、被ばく線量への関係性が、事前的な「計画被ばく状況」としての原子力産業の操業時と、事故が起こった際の、事後的な「緊急時被ばく状況」あるいは「現存被ばく状況」における関係性で、大きく異なり、最適化計算が営利事業として正当化可能な解を持たない可能性が高いことである。

このことを前掲のICRP (1983)のモデルを単純化し、場合分けしてアレンジしたモデルを用いて説明する。今、原子力産業とその他の産業が存在する地域を考えよう。

- Y : 原子力産業による粗利益（放射線防護の費用以外の費用を差し引いた利益）
- F_i : 他産業からの純利益（ただし、通常時 $i=1$ 、事故発生時 $i=2$ ）
- ω : 放射線防護の水準
- C : 放射線防護の費用（ ω ）の関数(4.4節での X)
- D : 放射線被ばく（ S ）によって生じる損害（4.4節での Y ）
- S_i : 放射線防護の水準（ ω ）による集団被ばく線量（通常時 $i=1$ 、事故発生時 $i=2$ ）

とすれば、この原子力産業のある地域に生じる社会的な純利益 B は次のように示すことができる。この源泉は、商業用原発の採算性である。

$$B = Y + F_i - C - D \cdots (5.4.6-1)$$

また、

$$D = \psi(S_i) \cdot \dots (5.4.6-2)$$

を、ある所与の被ばく線量から生じる損害（貨幣価値）を表すと仮定する。このような仮定の問題点はあるが、放射線防護の最適化の発想を迫るために、あえて採用する。

なお、同一の放射線防護レベル（遮蔽材、労働時間等）を採用していても、事故時には集団被ばく線量は高くなる。これは放射線線源の制御ができない（爆発等による飛散が所与）であるのが、事故発生時の特徴であるからである。したがって、同一放射線防護レベル ω_0 に対し、

$$S_1(\omega_0) < S_2(\omega_0) \cdot \dots (5.4.6-3)$$

であるが、飛散が広範囲に渡り、放射線防護の効果が出にくいことが想定される。すなわち、

$$S'_1(\omega) < S'_2(\omega) < 0 \cdot \dots (5.4.6-4)$$

である可能性が高い。

通常時、すなわち $i=1$ の時、 Y 並びに F_i は、他の産業に通常時は放射線防護の措置が必要ないとすると $Y = Y_0$, $F_i = F_{i0}$ と置き、放射線防護の水準： ω の影響を受けない。

したがって、制御変数： ω によって最適化（最小化）すべきなのは、 $-(C + D)$ であり、すなわち $C + D$ を最小化することが、最大の社会的な純利益を生む。

関数 C と D はそれぞれ、放射線防護水準 ω の増加関数、減少関数である⁴⁵¹と仮定できるから、(4.4.2-9)式と同じく、放射線防護の費用最小化という必要条件は、

$$\frac{d\phi}{d\omega} = -\frac{d\psi}{d\omega} \cdot \dots (5.4.6-5)$$

⁴⁵¹ $C = \phi_i(\omega)$, $\phi'_i > 0$, $\phi''_i > 0$ $D = \psi_i(\omega)$, $\psi'_i < 0$, $\psi''_i < 0$, $i = 1, 2$

を要求する。これは通常時の放射線防護の限界費用と、放射線被ばくの限界損害の均衡式である。

これに対し、原子力発電所事故が一旦、生じると、その他の産業が放射線防護水準 ω にかかる費用である、 $\xi(\omega)$ そしてその時の健康被害である $\nu(\omega)$ ⁴⁵²によって変化する。

$$F_2 = F_0 - \xi(\omega) - \nu(\omega) \cdot \cdot \cdot (5.4.6-6)$$

したがって、(5.4.6-1)式の社会的な純利益の最大化問題は、操作変数 ω によって最適化するには、

$$\frac{d\phi}{d\omega} + \frac{d\xi}{d\omega} = - \left(\frac{d\nu}{d\omega} + \frac{d\nu}{d\omega} \right) \cdot \cdot \cdot (5.4.6-7)$$

を必要条件とする。このことは、原子力産業に加えて一般のその他の産業を経由しても、放射線防護レベルに応じた費用と、その水準における放射線被ばくによる損害が発生することを示している。さらに、事故時には、式(5.4.6-3)、(5.4.6-4)で示したように、防護レベル ω に対する、集団被ばく線量 S の反応が小さい、すなわち防護の効果が小さくなる。したがって、被ばくによる損害である ϕ の関数の値の絶対値は増大する。また、制御変数 ω による ϕ の導関数の絶対値はより小さくなる。

全体として、(5.4.6-7)式によって放射線防護レベル ω の最適値がどう変化するかは、 $\xi(\omega)$ と $\nu(\omega)$ の挙動によっても影響を受けるため、一概には言えないが、原子力産業に関わる部分の防護レベルに関して言うと、防護レベルのパラメータ ω の直接的な費用関数が、もし作業量増大の影響を受けないとすれば、放射線被ばくによる損害が、同一の ω に関して上昇することから、最適な ω の水準は上昇することがあり得る。

このことは、現実の事故時の放射線防護水準が緩和、つまり ω の低下が見られることと矛盾する。作業量の増大が大きく、同一の ω に対する Φ が大きく増大することがその主な要因であろう。

⁴⁵² それぞれの関数形は、それぞれ、上記の C と D の場合と同様である。

以上は、あくまで放射線防護レベル ω による費用最小化という、社会的便益最大化の必要条件、という観点からの分析であった。

(5.4.6-1)式で表される社会全体の純利益に関して、通常時と事故時を比較すれば、通常時に比べてマイナスの項として、 $\xi(\omega)$ と $v(\omega)$ が追加され、さらに、通常時より存在する原子力産業における放射線防護の費用(C)、損害(D)ともに増大する。すなわち、 B は必ずマイナス方向に変化する。

現行の原子力災害対策及び原子力防災体制の最大の矛盾は、このような状況で、最早、放射線防護レベルの最適化と言う問題ではなく、原子力産業の存在することによる社会の純利益への影響が、総体としてマイナスになる可能性がある、すなわち、事故によるその他の産業の純利益への影響+放射線防護の費用+放射線被ばくによる損害を、当該の原子力産業による粗純利益が下回るという、事実として生じている事態を、その議論の前提上、受け入れられないということである⁴⁵³。

原子力災害対策及び原子力防災体制は、事故に備えるものであるが、十分にその被害を想定し、対策を行うと、費用と損害が粗利益を上回る場合がある。したがって、想定を小さくし、対策をしない、という本末転倒が生じる可能性がある。

$$Y < (F_1 - F_2) + C + D \cdots (5.4.6-8)$$

このことは、放射線被ばくが原子力産業のもたらす被ばく環境、とりわけ人工放射性核種によってもたらされる場合、それらが生態系の循環によって無害化ないし再資源化されることがないため、本質的にはその費用（市場における交換できる価値で示される）で表現できないこと、この影響を封じ込めるためには、遮蔽、隔離、保管といった、極めて物理的に利用可能エネルギーのロスが大きい過程を必要とすることから生じている。

原子力産業が社会的な純便益を増大させているとするならば、それは、万一の事態も含

⁴⁵³ 日本からの ICRP の委員の旅費は、原子力発電を実施する電気事業者の連合体に近い電気事業連合会によって負担されているとする指摘がある。崎山比早子 (2012)、「低線量放射線リスク過小評価の背景 - 国会事故調査で見えた事 -」原子力資料情報室、2012年12月19日、http://www.cnrc.jp/files/20121219_sakiyama_Ust.pdf 2013年2月1日参照。国会 (2012b)、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、「ICRP 勧告の規制取り込みに対する抵抗」、『国会事故調査 報告書[本編]』、480頁。

めた原子力防災の体制も万全に整備した上で（原子力災害対策特別措置法で言うところの「原子力災害予防対策」に加え、「原子力災害事後対策」及び賠償も考慮した上で、それらの手段を準備し、費用を通常時からプールすること）、すなわち通常の代替的な産業の生じさせる健康損害のレベル以下に緊急時も維持できる保障、民間の商業活動として行うのであれば民間の損害保険のカバーできる範囲でなければならない。

原子力防災の体制整備における「緊急時被ばく」の基準を用いての最適な防護水準の決定と、それに基づく体制整備は、原子力災害時に放射線防護の水準を最適化するものである。この論文で検討してきたように放射性物質の拡散が起こった事後的状況を別の原点として、二重あるいは三重に選択可能なモデルの中から常に正当化に適したものを選んで最適化を行うため、合理的に見えても、営利事業としてエネルギーの供給を行う原子力産業が採用する思考モデルとしては、事前にその与える損害の大きさ、対策費用を勘案しない点で、甚だ不適當である。

今後の原子力防災の体制改変においては、計画時と緊急時及び現存被ばく状況等の状況を便宜的に切り分けることで、事業の不採算性を隠蔽することなく、原子力事業者の収益と、事故時の原状回復と被害拡大防止策の費用を含め（すべてを回復、防止することは原理的に不可能であるが）、放射線防護のレベルに止まらず、今後の事業継続そのものの是非の判断に影響を与える覚悟をした上で進めるべきである。

そうでなければ、上記(5.4.6-8)式の不等号を変更し、

$$Y \geq (F_1 - F_2) + C + D \cdots (5.4.6-9)$$

となる範囲でしか、対策しないということになる。これが、放射線被ばくリスクの矮小化と絶対的な安全基準という誤解の流布、原子力発電の存続が前提となった安全審査や安全対策基準の策定へとつながっているのではないだろうか。

本来、上式の右辺の値は放射線防護レベル ω の関数であって、それ以外の変数の影響を受けないが、放射線被ばくの損害を小さく見積もることによって、形式論上は(5.4.6-9)式の維持が可能となる。とはいえ、これが形式論理の上でしかなく、本質的には我が国の自然環境と国民の健康と生活に対する甚大な影響を免れるものではないことは自明である。

また、原子力事業の引き起こした環境汚染や産業への被害を緩和し、被害を補償するために国費の投入を行うことは、現状では致し方ないが、当該事業者の投資及び経営責任を

不問化することと、事故を起こした事業者以外においても、原子力災害時の国による補償を前提とした操業を認め続けることには、そもそも原子力事業のもたらす社会的な影響を考慮した経営を不可能とし、倫理的にも大変問題である。

本論文では、エントロピー経済学の視点から原子エネルギー利用の評価を行ってきた。放射線被ばくリスクの評価並びに原子力防災の防備の考え方のいずれにおいても、最適化の考え方による被害の一定程度の受忍が含まれているが、これは汚染ファンドとしての放射性廃棄物をもたらす被ばくというネガティブなサービスに関わるものである。東電福島第一原発事故は、半永久的な環境の汚染と実質的な国土の喪失、健康被害をもたらしたが、それはこれらの汚染が長期にわたるファンドとしてもたらされたことの結果である。

また、原子エネルギーの利用を今後どうするかによらず、原子炉の廃炉、使用済核燃料等の放射性物質管理など、既に生じた放射能汚染の管理と対策、そして、地震やこれまで想定外の自然災害や人為的な事故を考慮した、原子力防災の体制整備は必要となる。

5.5 原発再稼働論争の経済的論理を読み解く

本節では、拙著、藤堂史明 (2014b)で分析した、東電福島第一原発事故後に一斉に点検及び新規規制基準対応のために停止した原子力発電所を早期に稼働させるべきとの意見と、それに対する反論に見られる論理構造について、概略を述べる⁴⁵⁴。なお、原子力規制委員会の新規規制基準の下で、既存原発は東電福島第一原発事故を受けた事故対策、耐震性補強などの基準に応じた審査を受けており、ここに述べる再稼働推進論とは、あくまでそれらの規制基準を満たした上での既存原発の再稼働推進論であることに留意されたい。

しかしながら、原子力規制委員会の下で規制基準への適合審査が行われるといっても、それらの基準はあくまで原発そのものの規制基準審査であり、避難計画や過酷事故時の原子力災害対策の内容、そしてその評価は、立地自治体を含めた幅広い議論の対象であり、この点にまつわる論争もまた、原子エネルギー利用を巡る経済社会的な争点に大きく影響されている。

⁴⁵⁴ 再稼働についての推進論と批判論の背景については、藤堂史明 (2014b)、「原発再稼働をめぐる経済的論理」、『新潟大学経済論集』、第96号、2013-II、49-65頁、を参照。

5.5.1 既存原発の再稼働推進の論理

既存原発の早期再稼働を肯定する主張は、事故やリスクそのものを許容し、原因究明や事故対策が不十分であっても経済的利益があること、言い換えると稼働を停止することの経済的損失を強調する論理である。

一方で再稼働に反対する主張は、事故やリスクを許容せず、原因究明と事故対策の徹底、突き詰めると原発の再稼働だけでなく、原発という事業そのものからの撤退を主張する。リスクが高いということは、実際の事故の損害においても、将来の事故防止対策においても、また将来の事故そのものについても経済的損失を大きく見積もっているということでもある。ただし、より直接的に人権や健康の保護、環境汚染の問題として原子力発電の問題を取り上げる傾向にあると考える。

この事は、原子力利用によって生じる放射性廃棄物が、自然環境においては隔離し、時間の経過を待つ以外に浄化の方法が存在しない究極の環境汚染物質である事を重視し、生命の取り返しのつかない損失を経済的価値に評価して表現することになじまないと考えることに起因しているとも言える。以下の表に整理した。

表 5.5.1-1 「再稼働」をめぐる主要な論理

	原発再稼働を批判	原発再稼働を肯定
事故と原発の評価	事故原因不明。 耐震化、水密化は解決にならない。 環境や生命に脅威。	事故原因はおそらく津波。 対策で（未完成でも）安全。 停止は損失。原発は利益大きい。

出典：藤堂史明（2014b）、著者作成。

一方で、原発再稼働を批判する側と肯定する側の双方で重要と捉える論点がある。それは、原発の費用である。

5.5.2 費用をめぐる議論

原発の費用については、1976年に室田武は「原子力のエネルギーコスト」⁴⁵⁵他の論考を発表し、原発のネットエネルギー産出の低さとエネルギー生産量と安全性のトレードオフについて指摘した。さらに室田武は1979年に『エネルギーとエントロピーの経済学—石油文明からの飛躍』⁴⁵⁶において「原子力発電のエネルギー・コスト」について原発の隠されたエネルギーコストと総括原価方式や、公的補助と責任免除に等しい原子力保険制度について取り上げている。このような分析は1981年の『原子力の経済学』及び1986年のチェルノブイリ原発事故を受けた『新版 原子力の経済学』に引き継がれ、エネルギー投入及び費用面からの原子力発電の不経済性の検証にとって基礎となる理論である。

大島堅一は以上のような室田武の手法を引き継ぎ、2010年に『再生可能エネルギーの政治経済学』⁴⁵⁷において、原子力発電の発電原価に含まれていない政府からの資金投入を明示し、放射性廃棄物の最終処分を含むバックエンドコストの推定についても過小になっている点を指摘した。大島堅一が政府による税金投入を含め、実際の原発の発電単価として産出したのは12円/kWhであり、火力や水力を上回り、もっとも高い費用がかかっている事が示された。しかも、この試算は東電福島第一原発事故による損失を含まない計算である。

また金子勝は『原発は不良債権である』(2013)⁴⁵⁸において、原発が危険で稼働できない上に維持費のかかる不良債権である事、とりわけ東京電力の法的整理の回避と税金投入により、不良債権の救済に見られた悪弊の再来が生じていることを主張した。

さらに『原発は火力より高い』(2013)⁴⁵⁹において、安全投資を行った場合の原発の発電単価、及び再稼働時期が遅れた場合を含む実績値としての発電単価を計算した。

また、原子力発電の費用の一部である事故の費用はどのように負担されるのだろうか。福島第一原発事故が生じた際には民間の損害保険（「原子力損害賠償責任保険契約」）は支払を免責され、予想損害を遥かに下回る1サイトにつき1,200億円の政府の「原子力損害

⁴⁵⁵ 室田武 (1976)、「原子力のエネルギーコスト」、『技術と人間』11月臨時増刊号、1976年、40-53頁。

⁴⁵⁶ 室田武 (1979b)、『エネルギーとエントロピーの経済学—石油文明からの飛躍』、東経選書、東洋経済新報社。

⁴⁵⁷ 大島堅一 (2010)、『再生可能エネルギーの政治経済学』、東洋経済新報社。

⁴⁵⁸ 金子勝 (2012)、『原発は不良債権である』、岩波ブックレット。

⁴⁵⁹ 金子勝 (2013)、『原発は火力より高い』、岩波ブックレット。

賠償補償契約」による補償が支払われたのみである。これは、米国のプライス・アンダーソン法の下での損害賠償可能金額凡そ 1 兆円 (120 億ドル) に比較しても小さな値である⁴⁶⁰。もっとも、米国での賠償金額についても生じ得る過酷事故の損害を全てカバーするものではなく、政府による補助政策の一環として成立している。

また、原子力損害賠償保険については、日本が 2015 年に「原子力損害の補完的補償に関する条約」CSC 条約⁴⁶¹へ加盟したことによって締約国で生じる原子力事故への有限責任の同条約の規定と、国内法制における無限責任の規定との抵触、改訂への懸念が表明されている⁴⁶²。

東電福島第一原発事故の経済的損失の総額は、前掲の大島堅一・除本理史 (2012) の推定を単純合計すると凡そ 115 兆円であり、一般に原子力損害賠償機構への政府出資の上限金額が積み増されたことから推定される下限金額 10 兆円から 50 兆円以上と見積もられる。もちろん、これは汚染源となっている原発事故そのものが 2011 年 3 月をもって収束した場合の金額であり、継続的に放射性物質で周辺環境を汚染し続けている⁴⁶³同原発からの汚染による損害は累積し続けている。原発事故による損害が電気料金や税金、そして直接的な被ばくの形で痛みを被る当事者である国民の負担とされる構造が一般国民の目に明らかになった。そして、このような経済的損失に換算できる損害は、被害全体のごく一部、市場において代替可能な経済価値を表しているに過ぎない。

生態系及び生命に対して原子エネルギー利用が持っている危険性については、原子核を

⁴⁶⁰ United States Nuclear Regulatory Commission (2011), “Fact Sheet on Nuclear Insurance and Disaster Relief Funds.”

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/funds-fs.html> 2014年1月30日参照。

⁴⁶¹ Convention on supplementary compensation for nuclear damage: CSC 条約。「原子力損害の補完的な補償に関する条約」

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000057318.pdf> 2018年10月5日参照。

日本は関連する法規である「原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律」を制定し、国内法制との整合性をとった。

http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?openerCode=1&lawId=426AC0000000133_20150801_0000000000000000 2015年2月1日参照。

⁴⁶² 張博 (2016)、「原子力発電のコスト及び損害賠償制度に関する研究—日本の原子力発電を中心に—」、新潟大学大学院現代社会文化研究科、博士論文。

⁴⁶³ 例えば東京新聞 (2014)、「海側井戸で 500 万ベクレル ストロンチウム、最高値」、2014年2月6日、で「ストロンチウム 90 を、1 リットル当たり 500 万ベクレル検出」と報じられた。

<http://www.tokyo-np.co.jp/s/article/2014020601002120.html> 2015年2月10日参照。

崩壊させたときの高エネルギーの放出によるものであり、そこから利用可能エネルギーを取り出すのみで、残りの影響を完全に封じ込めることは、熱機関における第 1 種の永久機関の試みと同様、不可能な事である⁴⁶⁴。

5.5.3 再稼働についての経済学的論理

5.5.3.1 原発の埋没費用（サンクコスト）

以上で見てきたように、原発の稼働費用を発電原価に直すと、電気事業者や政府が行ってきた試算は漏れや想定のがんが目立ち、そのような試算から原発の稼働費用が安いとするのは無理がある。前節で挙げたここまで主に論じられてきた発電原価としての稼働費用だけでなく、放射線のリスクから生じる損害を経済的損失に直せば、この稼働費用はさらに高くなる。費用を安く評価したい意図からしばしば表明される、放射線の線量基準以下であればリスクがない、とする言説が誤りであり、既存の疫学的研究の結果や放射線防護の最適化の考え方からも逸脱していることは、ここまでに述べた通りである。

表 5.5.3-1 「再稼働」をめぐる費用に関する論理

	原発再稼働を批判	原発再稼働を肯定
費用評価	埋没費用は高いが、 稼働費用はさらに高い。	埋没費用は高いが、 稼働費用は安い。

出典：藤堂史明（2014b）、著者作成。

一方で、原発への設備投資や関連産業、技術開発などの累積投資金額、さらに安全対策のため一斉に原発が稼働停止することがあり得るのに、その際の火力発電の燃料調達を手配していなかった事によって生じる費用等は、原子力発電を選択したことの埋没費用と考

⁴⁶⁴ 前掲、藤堂史明（2013a）、75 頁における熱機関と永久機関の不可能性についての概念図を参照。

えられる。埋没費用は対象となる行為を中止した場合でも回収できない費用を指すため、これを言い換えると原発を稼働させないと生じる経済的損失、ということになる。

また、原発再稼働を批判する主張においてはこれらの埋没費用の高さを認めつつも、原発の安全性がもはや保証されていない事が明らかになった以上、これ以上の原発の稼働は、処理困難な放射性廃棄物を増加させ、環境中に拡散した放射性物質も含めて放射線のリスクを考慮すると稼働費用はさらに高いとして、原発からの撤退を主張することになる。金子勝の指摘する「原発は不良債権」という表現も同じ事を指している。これをコスト・ベネフィット分析の適用で言えば、代替的な電力の供給手段が存在するのに稼働費用が高く、原理的に安全性が確保されていないことから将来の安定的供給の見込みもない原子力発電を継続することは合理的でない、ということになる。

つまり、再稼働への肯定と批判は、どちらも原発の埋没費用の大きさを認めつつ、実績及び将来的な稼働費用の大小の評価において真逆の異なる評価をしている事から生じていると言える。筆者は原発の稼働費用は他の発電方式よりもはるかに大きいと考えている。これは、エコロジー・エントロピー経済学の枠組みで考えた際、生態系の物質循環の中で循環させられない廃棄物を生じさせる点で、これを費用に直そうとすれば高騰するのが当然である。

5.5.3.2 費用以外の要因をどう評価するか

上記のように、再稼働への肯定論、批判論の両者に共通する埋没費用の高さの認識と、真逆の評価となっている原発の稼働費用の高さは確かに重要な論点であるが、筆者としては、原子力発電の本質的な欠陥は、その利用可能エネルギーの取り出しの対価が、自然の物質循環に乗せることで生命及び生態系に不可逆な損害を与える放射性物質の生産であることだと考えている。

どのようなエネルギー利用によっても、利用可能エネルギーは減少し、廃物及び廃熱に変わったエネルギーの拡散という形でエントロピー増大を引き起こす。費用として私たちが観測しているものは、市場経済における代替物であり、物質循環により持続可能な経済システムが実現している時にはじめて、正当な対価と呼べるものである。

原発の費用に関する論争は、原子エネルギー利用を推進する側が費用を安く見積もり、批判する側が高く見積もるという論争になっている。しかし、放射性物質という原子エネルギー利用によって新たに生じる環境負荷には、正確には隔離と時間経過という方法以外

に代価を支払いようがない、時間経過による隔離の費用の増大については未だに推測の域を出ず、累積した金額がいくらになるか、その推測の上限には際限がない。そして、その多くが自然生態系や回避手段を持たない所得の低い層、未来の世代に転嫁されることになるだろう。

このことは、現在、原子エネルギー利用により被ばくしている一般公衆、被ばく労働に従事する労働者、さらに将来の世代に対する倫理的な問題を生じさせる。前述のとおりコスト・ベネフィット分析上で正味の利益を生じさせるという意味での原子エネルギー利用の「正当性」が、その稼働費用の増大によって否定されるだけでなく、倫理的な意味での「正当性」も失っているのである。

狭い意味での経済的論理だけでなく、広い意味においてはこのような社会的な正当性の喪失も原子力発電を再稼働すべきでない理由になると思われる。単なる行政判断としては、実施可能な状態にある再稼働であるが、以上の理由から慎重な考慮が必要である。

小括

以上で見てきたように、原子力災害対策及び原子力防災体制において、過酷事故を含む原子力災害時の対応も、個別の被ばくリスクの受忍の論理と同じく、基本的に放射線被ばくのリスクをどのように受忍し、制限するのかという、放射線被ばくの受忍と最適化の概念に準拠している。その上で、原子力災害発生時には、退避、避難そして緊急被ばく医療といった、影響範囲における市民に対する放射線防護のための措置を実施する。このため、最適化された放射線防護により、死亡リスクを含む放射線被ばくのリスクを回避することはできず、また、そのような放射線被ばくのリスクを引き起こす原子エネルギー利用事業の正当性、すなわち正味の社会的な純便益をもたらすかどうかについては、事故時には考慮されない。また、社会的な純便益をもたらす原子エネルギー利用事業であっても、事故時に無関係の市民をリスクにさらすことが認められるかどうかは疑問がある。社会的な純便益が発生したとしても、その便益が公益として広く社会に還元されているか、また、民主的な情報公開や意思決定により支持されるかどうかによって考え方は異なってくるだろう。

また、既存の原子力発電所を今後、どのように扱うかを含め、これまで膨大なリスクを内包するとされながら、決して過酷事故を起こさないという「神話」によって議論が避け

られてきた原子エネルギー利用について、過酷事故が起こり得るという想定で議論するならば、それは単に原子力災害対策に過酷事故対策を盛り込むということだけでは済まない。被ばくの合理化の論理を含む経済社会との関わり、そして、高レベル放射性廃棄物を必然として生み出す原子エネルギー利用事業の是非を問わなければならない。すなわち、汚染ファンド及びサービスとしての放射性廃棄物と放射線が、ポジとしての電力生産とその享受という過程にともなうネガとして生じ、自然環境、回避手段を持たない所得の低い層、将来世代を中心に、その汚染による負担を転嫁し続けていく行為の正当性を、厳しく問い直していく必要性が確認できたのではないだろうか。

次章では以上に扱ってきた原子エネルギー利用と放射線被ばくリスクの社会的な受忍をめぐる、最適化と合理化の論理の位置づけと、エコロジー・エントロピー経済学による環境経済システムの理解における原子エネルギー利用の位置づけを総括し、その根本的な問題点について結論する。

第6章 結論：原子エネルギー利用と環境経済システム

課題

本章では、エコロジー・エントロピー経済学について、原子エネルギー利用に関する論点を再検討し、これまでの論点を振り返って結論づける。続いて著者の分析と類似の視点が見られる大崎正治の研究内容を振り返りつつ、エコロジー・エントロピー経済学の学説史的な評価を再確認する。また、エコロジー経済学とエントロピー経済学の重要な差となっている不可逆的な過程とエントロピーの排出メカニズムの重要性に対する評価を中心に、H. E. デイリーの理論と日本のエントロピー学派の着眼点の違いについて確認する。さらに、日本のエントロピー学派、とりわけ槌田敦が展開した弱者への配慮という論点を再検討し、大崎正治の批判と併せて再検討する。そこから、本論文で第一及び第二の論点を解明する構造的な要因として挙げた差異の構造についてさらに示唆が得られると考える。

続いて、高レベル放射性廃棄物を念頭に、世代間に発生する汚染ファンドによる汚染問題を多数決の民主主義で解決できるのかについて検討した。残念ながら結果は悲観的である。以上の議論を踏まえ、原子エネルギー利用を巡る事業立地地域への経済効果の議論についても触れつつ、持続可能な環境経済システムを可能とする社会の在り方についての試論を述べる。

6.1 エントロピー経済学と原子エネルギー利用

6.1.1 エコロジー・エントロピー経済学と原子エネルギー利用の評価

エコロジー・エントロピー経済学の系譜に属する環境経済学者の間でも、環境システム及び人間社会にとっての原子エネルギーの位置づけについては大きな相違があることは、第2章、第3章における学説史、そして第4章での放射線被ばくによる初期の人的被害の歴史として検討してきた。

学説史としては、第一に、F. ソディに見られるように、質量・エネルギー保存法則及びエントロピー増大法則を物理現象の根本的な法則として挙げ、利用可能エネルギーの流れを生態系及び人間社会の駆動力の源泉として認めながら、地球生態系に入射する利用可能エネルギーの源泉が太陽光、すなわち太陽での核融合という原子エネルギーであることから、原子エネルギーの開発及び制御が人類の発展にとって役立つとする、肯定的または楽観的な議論がある。この一つの理由に、放射性化学の初期における放射線被ばくによる被

害に関する知見のなさがあるのではないか、という点については第4章冒頭で検討した。

しかし、F. ソディは、亡くなる2年前の1954年に復刊されたF. Soddy (1949)⁴⁶⁵の前書きに、原子エネルギー開発、増殖炉開発が人類にとって持つ意味について次のように書いている。

物質を変異できる種[である人間]は、砂漠の大陸や凍りついた極地ですら変換し、全世界をエデンの園に変えることができるだろう。

この文章自体は、自らの1908年の『ラジウムの解釈』からの引用であるが⁴⁶⁶、このように変わらぬ原子エネルギー利用への肯定論または楽観論を提示したのである。

F. ソディはまた、1949年版の序文に、ウラニウムパイル（つまり原子炉）はもともと神の産物と呼べるものであり、そして原子爆弾は最も悪魔的な産物と、そして原子エネルギーの発見が第二次大戦を終わらせたと述べている。

ただし、F. ソディは1954年の前書きで、1952年のノーベル賞受賞者会議での自らの発言として、「手遅れにならないうちに、地球上から戦争が廃止されなければならない」との言明を引用もしており、彼の楽観論には大きな前提条件があることには留意すべきである。

F. ソディは戦争に使われた原子エネルギー利用の惨禍と、第二次大戦後の核軍拡競争、大気圏内核実験も目にしており、それらの原子エネルギー利用の方向性ではなく、平和利用に期待した。

しかし、本論文の第4章、第5章で検討してきたように、実際の原子エネルギー利用開発は、原子爆弾の開発、核軍拡競争から始まり、むしろ戦争のためにこそ開発され、その後、発電などの民生利用が開発された経緯を持つ。本論文で確認してきたように、この過程では、原子エネルギー利用に伴って発生する放射線被ばくリスクの受忍について、社会的格差と一定程度の犠牲を前提とした費用便益分析や最適化による被害の合理化が行われてきたのである。

エコロジー・エントロピー経済学の始祖としてのF. ソディは、第3章で検討したように、物理的な富を共有する共同体としての社会から、金融資産の信用創造が行われる事で仮想

⁴⁶⁵ F. Soddy (1949), *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis.

F. Soddy (1954), "Foreword 1954," *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis.

⁴⁶⁶ F. Soddy (1909), *The Interpretation of Radium: Being the Substance of Six Free Popular Experimental Lectures Delivered at the University of Glasgow, 1908*, London: J. Murray. を指す。

の富が乖離したうえ増殖し、その対価を求められる人類社会の、生産的な⁴⁶⁷共同体が搾取、損害を被ることを非難し、金などの物質的基盤に100%基づく本位通貨を国家が直接発行することによりこの搾取構造を終わらせることを提案した。しかし、原子エネルギー利用に関しては、それにより発生する膨大なエネルギーに注目するあまり、戦争を廃止するという留保条件をつけつつも、いわゆる「平和利用」においても、放射線被ばくリスクによる損害を被る一般大衆および職業人について、そこに、政策決定主体ないし事業主体との間の分断、被害の構造的な外生化が生じていることには無頓着だったようである。

他方、H. T. オダム、そして槌田敦及び室田武らの日本のエントロピー学派は、槌田敦の当初の主な主張が核融合発電開発批判であった⁴⁶⁸ことに見られるように、原子エネルギー利用が、エントロピー排出のための自然の物質循環に載せられない放射性物質を発生させることを根拠に、原子エネルギー利用に関して否定的または悲観的であった。この相違点が発生する理由とその構造について考察することが、本論文の第一の論点であった。

また、第二の論点である地球環境システムと市場経済の関係性については次のような検討を行った。まず、第2、3章での検討を通じて、地球環境システムの働きを、貨幣価値で計測された経済価値の次元に投影する新古典派経済学の応用としての環境経済学では、最適化理論の応用がその主な内容となるが、自然界の不可逆な事象に不可欠なエントロピー増大法則と、不可逆性による現象が考察できないことが、その限界点であることを確認した。次に、原子エネルギー利用に伴う放射線被ばくリスクの受忍と新古典派経済学の論理の関係性について検討した。

第4章で検討したように、放射線被ばくによって失われる命が交換対象物ではない、との認識は、政策レベルでは、集団的、社会的な意思決定を念頭に、ICRPの費用便益分析が採用され、個人の死亡を含めて最適化、合理化の対象である。それは社会的に得られる利益を交換に、あるいは金銭的評価された総利益が最大化されるよう、集団内における死亡リスクとリスク低減費用の総和を最小化するという最適化の考え方である。

このような最適化の考え方は、新古典派経済学における交換価値としての社会的厚生を最大化及びその必要条件という論理によって合理的とされたが、規制対象ないし被ばく対

⁴⁶⁷ 本質的な生産は太陽からのエネルギーを固定する植物ではあるが、人類の労働もまたこの物質変換による利用可能エネルギーの固定化の能率に貢献するという意味で。

⁴⁶⁸ 日本のエントロピー学派形成の端緒となった槌田敦(1976a)、(1976b)のほかにも、槌田敦(1978)、『石油と原子力に未来はあるか—資源物理の考え方』、亜紀書房、に見られる。

象となる一般大衆には、それが「安全」である情報しか入手できない。一方で、原子エネルギー利用の事業の主な受益者は、それが一般大衆にも大きな利益をもたらすという情報を積極的に発信しつつ、客観的な放射線被ばく構造についての知識の普及ではなく、それが合理的であるという結論のみを主張する。そこでは、原子エネルギー利用の事業主体及びその資本運用から特殊な（事業に固有な）利益を得る受益者と、原子エネルギー利用事業に固有な放射線被ばくを被る、被害者であるところの被ばく労働者及び一般公衆の間にある格差構造については言及がされない⁴⁶⁹。

原子力発電を例に挙げれば、医療など⁴⁷⁰被ばくリスクを受忍する本人にも利益があるリスクと異なり、事業者の利益（株主、社債による資本運用者の利益）と引き換えに、原発から他の発電方法と変わらない一般的な電力供給以外の利益を得ていない人々が、通常時である「計画被ばく状況」ならびに大幅に増大した「緊急時被ばく状況」及び「現存被ばく状況」時の、放射線被ばくによる死亡リスク（及び健康被害）を負担している。

原子エネルギー利用事業である原発などの事故時には、原子力災害対策及び原子力防災体制として、それらの死亡リスクの負担を前提にして、食物経路摂取、退避、避難等の対策と制度設計が構成されているのである。原子力災害対策の改訂を経ても、計画区域の実質的縮小や、福島第一原発事故による避難指示地域の、現存被ばく状況基準での被ばくの合理化を前提に、その縮小が行われていることに見ることができる。

また第三の論点として、経済社会システムと地球環境システムの関わり、及び、経済社会システム内に見られる構造的な差異という論点があった。これは、経済社会システムの中での環境汚染や健康被害をもたらす事業の受益者と被害者の分断、社会学用語での受益圏と受苦圏に相当する、分断された経済社会的な構造が存在していることを、エコロジー・エントロピー経済学にとっての必須の分析対象の一つと捉えるというものである。

本論文で取り上げてきた原子エネルギー利用とエコロジー・エントロピー経済学の関係性は、放射線被ばくリスクと原子エネルギー利用事業の災害対策は、これらの問題点を明

⁴⁶⁹ このような格差構造、差異のある負担構造は、ある意味で放射線被ばくリスクの受忍の合理性を支えている。リスク負担の合理性を説く人も近親者の犠牲によって考え方が変わることが、ディストピア小説の一つの古典となった F. ポール(1985)、矢野徹訳、「籤引き博覧会」、『S-F マガジン』、1985年2月号、68-80頁において描写された。著者は小学生のころ、博覧会の料金代わりが死亡リスクのある注射という、この小説に衝撃を受けた。

⁴⁷⁰ 既に述べたように医療行為における放射線被ばくにも、被ばくによる超過リスクの発生が伴い、受益者たる患者にその十分な説明や理解がないままに平均以上の被ばく医療行為が行われているとの指摘もある。

確にする特徴を持っている。それは、現象面で、健康被害と自然環境汚染の特徴があるだけでなく、それらの原因となる物質と現象が、放射性物質という汚染ファンドの不可逆的な物質変化によって生じる、放射線被ばくというサービスの性質を持っていることである。

次節では、これらのエネルギー、環境に関するエコロジー・エントロピー経済学の諸学説について、独自の分類と分析を行っている大崎正治の議論を参照しつつ、エコロジー・エントロピー経済学における、原子エネルギー利用を含めたエネルギー、エントロピーの扱いについて再考する。

6.1.2 大崎正治の「熱力学派経済学」の評価と批判⁴⁷¹

大崎正治 (1981)⁴⁷²は、本論文で「エコロジー・エントロピー経済学」として扱ってきた、地球環境システムと市場経済との関係性について、独自の分析を展開し、エネルギー及びエントロピーを中心に議論を展開してきた諸学派を「熱力学派経済学」と呼び、代表的な主張について整理するとともに、批判的に考察した。このような観点からの総合的な検討は、著者のアプローチの先行研究と呼べる部分がある。その分析の視点に沿って、改めてエコロジー・エントロピー経済学の論点を整理したい。

1981年刊の大崎正治『「鎖国」の経済学-オルタナティブ・エコノミクスを求めて』における第Ⅲ部「エネルギーとエントロピーの経済学的考察」が、「熱力学派」の研究にあたる。

まず、大崎正治は「熱力学派経済学の研究」において、『成長の限界』⁴⁷³及び「石油ショック」によって生じた価値観の変化により、既存の経済学にないエコロジー、エネルギーを重視した学説の流れの一つが「石油価値説」であり、その代表的な二つの事例が「エネルギー学説」及び「エントロピー学説」であるとした⁴⁷⁴。

⁴⁷¹ 本節は、藤堂史明 (2010b)、「エントロピー経済学入門—第4回：市場メカニズムと「社会エンジン」の制御—」、エントロピー学会誌『えんとろぴい』、第69号、48-59頁に論じた論点を再整理した。

⁴⁷² 大崎正治 (1981a)、「熱力学派経済学の研究」、『鎖国の経済学』、JICC 出版局。(初出：『国学院経済学』、第27巻1980年9月。)

大崎正治 (1981b)、「熱力学派経済学の意義と限界」、『鎖国の経済学』、JICC 出版局。(初出：『国学院経済学』、第27巻1980年9月。)

⁴⁷³ D. H. メドウズ (1972)、『成長の限界—ローマ・クラブ「人類の危機」レポート』、ダイヤモンド社。原著 D. H. Meadows et. al. (1972), *The Limits to Growth - A Report for THE CLUB OF ROME's Project on the Predicament of Mankind*, A Potomac Associates Book, New York: Universe Books.

⁴⁷⁴ なお、これらの学説については本論文においても第2章及び第3章でエコロジー・エントロピー経済学として解説したものが多く含まれる。大崎正治は H. デイリーらのエコロ

大崎正治が挙げた両説のうち、前者の「エネルギー学説」⁴⁷⁵の主張の特徴は種々のプロセスのエネルギー収支を分析し、現代技術はますます多くの化石燃料エネルギーを投下してサービスを提供してきており、産業全体としてエネルギー的不効率が高まってきていることを指摘、さらに「エネルギー投入量をもって財・サービスの価値や価格の決定基準とすることが提案されるに至った」⁴⁷⁶、としている。

大崎正治は、エネルギー学説の分析概念である種々の効率性、第一法則効率、純エネルギー、エネルギー収益率について紹介しつつ、とりわけその効率性概念の一つであるエネルギー収益率については、農業及び漁業における機械化と迂回生産によるその効率性低下を取り上げている。すなわち、農業や漁業において投入資源及びエネルギーが増加し、投入産出比率が低下することである。

大崎正治は一方で、後者のエントロピー学説については、エネルギー学派とほぼ同じ主張に加え、熱力学第二法則に関連してエネルギーの変質について重要視するものとしている。大崎正治が槌田敦ら日本の「エントロピー学派」の特徴の一つとして説明しているのは、「縦軸を「消費軸」とよび、横軸を従来の意味の生産（加工）のプロセスを示すものと肯定して「生産軸」と呼んでいる。」⁴⁷⁷、としたネガとポジの模式図である⁴⁷⁸。大崎正治はこの表現が H. T. オダムの熱力学第二法則を考慮した第二法則効率と類似しており、その内容を表現可能であると指摘している。この指摘はもっともであると考えられるが、槌田敦らのエントロピー学派が物質循環を重視し、H. E. デイリーらと同じく、自然の物質循環リサイクルプロセスの拡充による生態系サービスの質の向上（江戸文明の人為的な物質循環強化の評価⁴⁷⁹が代表的）を考えているのに対しては部分的な評価であるように考えられる。

ジー経済学もエントロピー学派に分類している。これは分類としては正しいが、第 3 章で述べたように、著者としては、H. デイリーらと日本のエントロピー学派では、主な主張が異なると考えている。

⁴⁷⁵ 大崎正治は P. F. チャップマン、M. スレッサー、H. T. オダムらとしている。P. F. チャップマン及び M. スレッサーの *Energy Policy* 誌の関連論文は、以下である。

P. F. Chapman (1974), "Energy costs: a review of methods," *Energy Policy*, June 1974, pp. 91-103.

P. F. Chapman, G. Leach and M. Slesser (1974), "The energy cost of fuels," *Energy Policy*, September 1974, pp. 231-243.

⁴⁷⁶ 大崎正治 (1981a)、前掲論文、203-204 頁。

⁴⁷⁷ 大崎正治 (1981a)、前掲論文、223-224 頁。

⁴⁷⁸ 本論文の第 3 章 3.2.1 節の図を参照。

⁴⁷⁹ 槌田敦 (1992)、『熱学外論－生命・環境を含む開放系の熱理論－』、朝倉書店。

なお、大崎正治は熱力学派の経済学の前提となる既存の経済学⁴⁸⁰の問題点として、

- (1) 自然生態系のメカニズムについて無頓着であること、
- (2) とくに、環境汚染、環境破壊についての認識が欠如していること、
- (3) 既存経済学は例外なく労働生産性向上を無批判に追及する点において、意外にもマルクス経済学と近代経済学に共通して、労働価値説を暗黙のうちに実質的に前提としているが、労働価値説はとくに(1)(2)の欠点を内包すること、
- (4) 機械の採用を至上目的としているが、経済像（モデル）自体も極めて機械主義的で、自足的自動的な拡張や資本蓄積を描くのを好むこと、
- (5) この機械主義的経済像には自然の限界は認識されていないことなど。（大崎正治（1981a）、231頁。）

を挙げている。(3)の労働価値説の採用が新古典派経済学の前提であるというのは、著者としては賛同できず、新古典派は交換価値をそれ自体として直接に前提としていると考えるが、これらのうち(1)、(2)、(4)、(5)の特徴についてはその通りである。そして、大崎正治は、これらを踏まえてオダムの考えを⁴⁸¹、「経済学者はエネルギーの原理こそ本質的なものであることを学ばねばならない」、「貨幣は価値の尺度として適切でない。これは生物圏が依存する重要な仕事の多くが通貨とは関係のない生態学、気象系、地学系によって形成されるからである。」⁴⁸²等の主張として、また、槌田敦の主張を、経済学の論理が、その適用限界を超えて自然環境にも適用されるという既存の経済学批判として参照している。

さらに、熱力学派のもっとも首尾一貫した既存経済学批判として、N. ジョージエスケーレーゲンの主張を上記(1)、(2)、(3)の問題点に関する批判的見解として、それぞれ、「エントロピー法則の無視」、(4)に対し、「機械主義」、「数学的操作主義」⁴⁸³、「永久循環の信仰」、および(5)に対し、「クローズドシステムの仮定」、として紹介している。

このように、H. T. オダム、N. ジョージエスケーレーゲン、槌田敦らを「熱力学派」の大枠の中に位置づけた大崎正治は、続いてそれらの学説の詳細な比較と問題点の検討を行

⁴⁸⁰ 新古典派経済学並びにマルクス経済学が主な対象

⁴⁸¹ H.T.Odum (1971), *Environment, Power and Society*, New York: John Wiley.
H.T.Odum and E.C.Odum (1976), *Energy Basis for Man and Nature*, New York: McGraw Hill.

邦訳、H. T. オダム、E. C. オダム (1978)、市村俊英 監訳、『人間、自然、エネルギー』、共立出版、1978年。

⁴⁸² H. T. Odum (1971).

⁴⁸³ おそらく、擬数主義批判の部分を指すと思われる。

っている。大崎正治 (1981)、11 章「熱力学派経済学の意義と限界」において、大崎正治は「熱力学派経済学」の経済認識の五つの問題点として、次のものを挙げている。

- (1) 物質とエネルギー（エントロピー）とを混同したり、前者を後者に還元している。
 - (イ)（それに照応した問題点として）ストックをフローに還元して評価している。
 - (ロ) 無限の循環が可能だと信ずる。
- (2)（エネルギーと物質の）迂回構造を無差別に肯定している。
- (3) 生物、農業、工業のあいだの生態学的原理の相違について自覚がない。
- (4) エントロピー法則は、経済過程に対する自由度には一定の限界があること、その限界内ではじめて妥当することを無視している。
- (5) 経済価値の体制的性格について無自覚である。

これらの問題点のうち、(1)～(3)については、熱力学派の一部として事例に挙げられているオダムのエネルギー・フロー・チャートの例など、指摘の通り概念の混同や還元が見られる。しかし、N. ジョージェスケーレーゲンや H. E. デイリーのファンド・サービスモデルを取り上げれば、(1)の(イ)の「ストックをフローに還元して評価している」という指摘は当たらないことが分かる⁴⁸⁴。また、物質循環が完全には実現できない事を指摘した N. ジョージェスケーレーゲンの指摘に対しても、(1)の(ロ)の指摘は当たらない。

大崎正治は、問題点の(2)に関係して、槌田敦がエントロピー増大法則に関して、エントロピー概念を「汚れ」概念として捉えたことが、種々の汚染物質や放射性物質の危険性を原理的に追及できるようになったと評価する一方で、物質とエネルギーにおけるエントロピーの同一視を問題としている⁴⁸⁵。これを大崎正治は、「物質をエネルギーに還元したり混同したりする傾向」⁴⁸⁶としてその根源は「物質は唯一の実体であるところのエネルギーに転化するという認識—最も厳密な意味でのエネルギー一元論—を持っていた古典的『エネルギー学派』」であるとして⁴⁸⁷、その基盤は、A. アインシュタインの質量及びエネルギーの転換の公式にあるとしている。

⁴⁸⁴ 大崎正治も事例を挙げて欠点を批判していても、熱力学派すべてに適用される欠点であるとは述べていない。

⁴⁸⁵ 大崎正治 (1981b)、246 頁。

⁴⁸⁶ 大崎正治 (1981b)、248 頁。

⁴⁸⁷ 大崎正治 (1981b)、同頁。

もっともエネルギーと物質を混同してはならないことは、上述した N. ジョージエスクーレーゲンが、利用可能エネルギーの投入による物質の利用可能性の無限の供給を批判していることからしても、少なくとも N. ジョージエスクーレーゲンの主張を受け継ぐエントロピー学派には、妥当していないのではないかと思われる。

他に、問題点の(3)として大崎正治が「エントロピー学説」のフィードバック機構への無批判な態度として指摘している特質も、H. T. オダムのフィードバック機構論を前提としている。既に第 2 章、第 3 章で考察してきたように、H. E. デイリーのファンダ論が、自然界の物質循環システムと金融システムにおけるファンダ要素の違いについての明確な言及を欠くとはいえ、(大崎正治は農業についての扱いを批判しているが、) N. ジョージエスクーレーゲン、H. E. デイリー以降のエコロジー経済学、そしてエントロピー学派によるエントロピー経済学においては、少なくとも生態系における物質循環システム、フィードバック機構と、工業的なそれを混同するような議論は見られない。

次に、問題点の(4)「エントロピー法則は、経済過程に対する自由度には一定の限界があること、その限界内ではじめて妥当することを無視している」と、(5)「経済価値の体制的性格について無自覚である」という二つの問題点についてみてみよう。

問題点(4)に関して大崎正治は、以下のように述べている。

信用経済はそういう意味で巨大な慣性を持ったフィードバック（迂回）機構である。人間社会が持つこの経済システムを分析し、かつ変える人間社会独自の論理を人間自身の努力によって発見しないかぎり、物理法則を外から強制しても、人類の生存を保障するゼロ成長は実現しないのである。

出典：大崎正治（1981）、11 章、4 節「物理的法則と人間社会の論理」、277 頁。

信用経済の膨張については、第 3 章で論じたように F. ソディが信用創造による負債の膨張が、それ自体として実物的な富の生産を超える膨張力を持っていることを、批判のポイントとしている。F. ソディの構想した 100%準備による実物価値へのリンクの維持は、ゼロ成長を主張してはいないものの、その不安定性を減じようとしたものだと考えることができる。

また、問題点(5)に関して、大崎正治は次のように述べている。

論点を整理して言うなら、自然のメカニズムとその価値を正面から把える必要があると認める点では、筆者の問題意識と熱力学派のそれとは共通しているが、それを把えるにはさらに新しい理論と新しい体制が必要であると、筆者は考えている。ところが熱力学派の理論家たちは、市場経済に偏した既存の経済「価値」に自然の評価を導入しようとするわけである⁴⁸⁸。

出典：大崎正治（1981）、11章、5節「特殊体制的概念としての「価値」、281頁。

つまり、問題点(5)について言えば、経済価値が資源の投入と廃棄物の排出というエントロピーの発生と廃棄に関する隠された条件を満たすように市場経済を修正すれば、それで持続可能な経済が実現するののかという疑問である。大崎正治はこれについて、水や空気や太陽エネルギーのような自然の「自由財」の市場価格は、それが形成される場合、既にもはやとりかえしのつかない循環する生態の営みが破壊されている、として、それに先立つ「価格によらない非市場的管理が要請される」⁴⁸⁹、としている。このような考え方は、槌田敦や H. E. デイリーに見られる数量的、質的限界を用いて、その範囲内では既存の経済学、主に新古典派経済学の交換価値に基づく市場分析がそのまま有効とみなす考え方の批判として、一考の余地があると考えられる。ただし、大崎正治はここでの分析の結論について⁴⁹⁰「人類と各個人の目的意識を考慮に入れたオルターナティブな経済価値論」という示唆にとどまっている。

この点に関連して、大崎正治が翻訳した A. G. フランク『世界資本主義と低開発』⁴⁹¹の「訳者解説」で大崎正治は資本主義における搾取が労働の搾取に限らないとしたうえで、次のように述べている。

流通利潤や交易条件の変動はもちろんのこと、インフレ利益、為替差益、租税負担の不平等、そして外部経済や開発利益（差額地代の現象形態）もこんにちの搾取の重要な源泉である。さらには外部不経済を第三者にあたえることさえ現代

⁴⁸⁸ 「把える」は原文のまま。節見出しの「」も原文のままである。

⁴⁸⁹ 大崎正治（1981b）、283頁。

⁴⁹⁰ 大崎正治（1981b）、284頁。

⁴⁹¹ A. G. フランク（1976）、大崎正治訳、『世界資本主義と低開発－収奪の《中枢－衛星》構造』、柘植書房。（邦訳書は、『ラテンアメリカにおける資本主義と低開発－チリ・ブラジルの史的的研究』他からの日本語版独自の編集。）

資本主義における高度な搾取形態を成している。世間でいう公害はいうまでもないが、ふつう公害と感じられないところの、巨大都市への人口集中に伴って生じた地方農村の過疎化やそれによるローカル鉄道赤字化も外部不経済の一現象なのである。この外部不経済は、そのツケを巨大都市側が支払わないかぎり、巨大都市を牛耳る産業界ないし巨大自治体にとって立派な余剰源を構成している（よって、巨大都市事業所税を地方に還元しないで、巨大都市で消費しては所得の地域間の不公平と人口集中を加速するだけである）。

出典：大崎正治、A. G. フランク(1976)、訳者解説、312 - 313 頁。

このような、「中枢 - 衛星」構造も含めた経済的富の不均一な形成、そこにおける事実上の搾取の存在を指摘した点を、大崎正治は A. G. フランクの理論が社会科学方法論に対して貢献した要素の一つとしている。経済価値の体制的性格への無批判性という、大崎正治の熱力学派への批判の背後にはこのような思考がうかがえる。

公害と外部不経済性について触れているように、そのような中枢への集約の構造に対して、自然環境の「自由財」の管理や、持続可能な地域経済の在り方を自律して模索することが、大崎正治の目指した方向にあるのではないだろうか。

6.1.3 H. E. デイリーの理論と日本のエントロピー学派の着眼点の違い

これらの論点に関連して、新古典派経済学における市場の調整メカニズムの評価について言及した H. E. デイリーは、「われわれは政治的・社会的に重要な資源に対する資源スループットの全体的な規模を持続可能な水準に制限しなければならない。これが持続可能な規模を提供する。第二に、規模の限界まで枯渇させるあるいは汚染する権利は、もはや自由財ではなく、価値を有する資産だ。誰がその権利を保有するのだろうか。所有権の公正な初期分配が社会的に決められるべきだ。持続可能な規模ならびに公正な分配に関するこうした文脈の問題を解決した後でのみ、個人主義的な市場は効率的配分の問題を解決することができる。われわれはこの配分の問題を解決するために市場を利用しなければならないが、市場が規模と分配の問題を解決することは期待できない。」(H. E. Daly (1996)⁴⁹²)

⁴⁹² 原著 H. E. Daly (1996), *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Boston: Beacon Press. 邦訳 ハーマン・E・デイリー(2005)、新田功・蔵本忍・大森正之訳 『持続可能な発展の経済学』、みすず書房、より引用。

と述べている。この、市場が「分配」と「規模」の問題を解決できないという指摘は、槌田敦における外部性の内部化理論の評価と限界に関する著者の認識とも重複する。

もっとも、分配を市場が解決できないことは、パレート効率的な配分が多数あり、どれが望ましいかの判断は「規範的判断」として社会的な厚生に関わる判断に任される、という厚生経済学的な「実証」と「規範」の分離、という論理に含まれているものである。H. E. デイリーはそれ自体を否定はしていない。効率性、そして分配の問題は、経済という、「生態系の開かれた下位システム」⁴⁹³に課せられた「規模」の問題を解いてからでないとは解けない、ということが H. E. デイリーの立場であり、環境、エントロピー論、生態学的な制約をこの「規模」の問題で表しているのである。

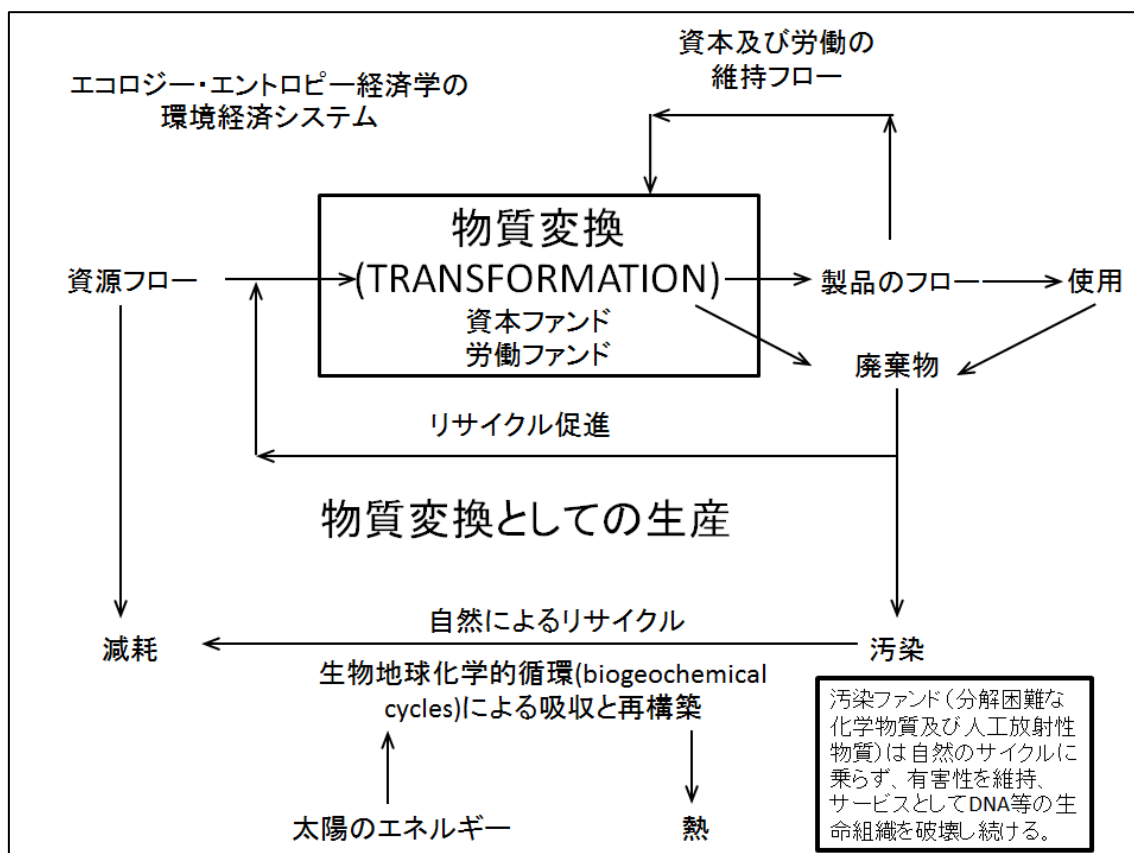
本論文で H. E. デイリーの「持続可能な発展の経済学」⁴⁹⁴に含まれる応用経済学的、政策的議論のすべてを扱うことはできないが、規模の問題の制御についてのその理解は、著者には抵抗がある。経済の上位システムとしての環境という概念は、人間社会の物質循環に対し、より上位の開放定常系としての環境という外枠を与えるものであるから、そのような枠組みはエントロピー経済学上の大きな前進である。しかし、量の制御だけではすまない、本質的に環境中の物質循環になじまない質的に異なる物質とその排出、生態系のシステムの破壊行為について捉える枠組みと、分配および規模の問題を解決するための制度的枠組みについては、H. E. デイリーの考察よりも、槌田敦、室田武ら日本のエントロピー学派が強調した、自然の物質循環に乗せられない化学汚染物質や放射性物質の問題点を踏まえた、ミクロの経済過程から内在している矛盾の考察が必要であると考えられるからである。

これはある意味、「経済価値の体制的性格」について強調した大崎正治の論点に通じるが、著者の検討によれば、エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー、放射線被ばくリスクの扱いにこそ、この理論の枠組みにおける非常に重要な相違点、発展方向の違いが浮き彫りになるのではないかと考えられる。

⁴⁹³ 前掲、邦訳書 69 頁、図 3 で「生態系の開かれた下位システムとしての経済」として表現している。

⁴⁹⁴ 前掲、邦訳書タイトル。

図 6.1.3-1 エコロジー・エントロピー経済学の環境経済システム



出典：H. E. Daly (1999)の図を翻訳、右下の日本のエントロピー学派の強調点を汚染ファンド、の欄として加え著者作成。

図 6.1.3-1 に、H. E. デイリーの論文より、環境経済システムの位置づけと重要な概念の図を翻訳した。さらに、右下の四角囲み部分は、樋田敦、室田武らの日本のエントロピー学派が重視する、自然の物質循環に載せられない、本質的な汚染と自然環境破壊、資源枯渇を引き起こす化学物質及び放射性物質についての考察を加えてある。H. E. デイリーの理論は、ファンドとしての労働及び資本の役割、そして自然の物質循環によるリサイクルの働きを明確に扱った意味で、N. ジョージエスクーレーゲンの理論の正当な後継者と言えるが、一方で、N. ジョージエスクーレーゲンの扱った、広範な不可逆かつ時間経過に依存した過程の分析の一部を、環境システムの働きとして固定概念化したとも言える。このため、その理論の中で、特に特別な位置付けを与えられなかった不可逆的な汚染、すなわちファンド及びサービスとしての性質を持ち、持続的に環境及び経済社会システムを汚染、破壊し続ける化学物質や放射性物質という要因は、その理論構造にとって強い意味を持たなか

った。

一方で、槌田敦、室田武らの日本のエントロピー学派では、これらの物質の自然の物質循環に載らず、資源枯渇及び環境汚染の源泉となる性質に着眼したのである。

このことは、原子エネルギー利用とそれ以外の環境問題との区分について考察する際に関係してくる。H. E. デイリーは2014年の著作⁴⁹⁵で、地球温暖化問題への対応について、直ちに対応が必要、すなわち{Climate policy: from 'know how' to 'do now'}、と論じている。しかし、そこに原子エネルギー利用への言及はなく、提示されている環境関連税制改革も炭素賦課の炭素税である。

彼はまず、炭素排出が恒常的に増加する中で、資源消費の効率性が向上したとしても「ジェヴォンズ効果」によって限界があると述べる。その上で、儉約の原則に従ったとして導き出される政策として、同書90 - 91頁で、以下のように述べている。

Yes - one such policy is called ecological tax reform - a stiff severance tax on carbon, levied at the well head and mine mouth, accompanied by equalizing tariffs on carbon-intensive imports, and rebating the revenues by abolishing regressive taxes on low incomes.

これは環境関連税制改革について述べたものであるが、炭素賦課、つまり炭素税に単純化した言明である。

実際の環境関連税制改革はやや複雑な構造を持ち、また、関連分野である化石燃料系の既存の税が、かつての目的税としての運用時に、道路など社会インフラの形成を通じて、資源消費の拡大効果を持ったことを含め、慎重に評価する必要があるが⁴⁹⁶、日本の導入事例でも現在の代表的な環境税である地球温暖化対策税は、地球温暖化対策とその賦課対象としての化石燃料という「炭素税」概念に単純化されている⁴⁹⁷。エコロジー経済学の分野

⁴⁹⁵ H. E. Daly (2014a), "Climate policy: from 'know how' to 'do now'," *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 87-92.

⁴⁹⁶ F. Toudou (2009), "Rebuilding Existing Environmentally Related Taxes and Transport Budget Structure in Japan," L. Lye, J. E. Milne, H. Ashiabor, L. Kreiser, K. Deketelaere eds. *Critical Issues in Environmental Taxation*, Vol. VII, Oxford: Oxford University Press, pp. 187-204.

⁴⁹⁷ 日本における2012年の地球温暖化対策税の導入。資源エネルギー庁(2012)、「地球温暖化対策のための税の導入について」、平成24年10月1日、http://www.enecho.meti.go.jp/notice/topics/026/pdf/topics_026_001.pdf 2018年9月17

で原子エネルギー利用への明確な言及を避ける傾向の典型例であり、その利用に関わる差異の構造及び価値創造のメカニズムを黙認しているのではないかという疑念が生じる。

前掲の図 6.1.3-1 に見られるように、自然によるリサイクルによって物質循環が成立しているならば、槌田敦の指摘するように、汚染問題、資源枯渇問題は生じないことになり、エコロジ的な問題の多くは解決するが、多くの場合、そうはいかない。

特に、自然の循環によって無害化、再資源化されない汚染物質は、通時的に損害というマイナスのサービスを生み出すファンドとして捉えられた、難分解性の化学毒性物質（有機塩素化合物など）や、放射性物質が当てはまる。この点は、量的なコントロールではなく、質的なコントロールの対象とすべき物質、行為があることを意味しており、価格システムに対して正しい経済価値を与える、という方法論ではなく、経済システムにおける持続可能性である採算性を十分条件とすれば、必要条件として物質循環の側面に制約をかけるなければ、環境経済システムとしての持続可能性が満たされないことを示している。

6.1.4 エントロピー学派の経済社会的問題へのアプローチ

6.1.4.1 差異及び格差からの価値の創出

ここで、熱力学派の限界として大崎正治の提起した論点に対する議論のうち、経済社会的な論点について再度検討してみよう。

槌田敦自身の主張の展開を見ると、これらの問題に対する指摘を事実として見落としているわけではない。問題点(5)に関しては、槌田敦は現実に市場システムの下で行われている活動すべてを肯定した上で市場システムによる調節に支持を表明してきたのではなく、槌田敦(1992)⁴⁹⁸においては、「禁止則としてのエントロピー」を挙げ、開放系の熱学の法則に反する見せ掛けの経済活動は、隠された支援なしには停止すると述べている。

これは、著者が考える「量の調節」と「質の差異」の区別、とりわけ外部性の内部化は「量の調節」が問題となる環境負荷についてのみ適用できるという理解の基本となっている示唆である。一方で、槌田敦は商業の活用と、外部性の内部化による市場経済内部のメカニズムによる汚染、資源問題の解決も主張しており、この点では規模の限界を超えない範囲での市場経済システム及びその理論的分析を行うマイクロ及びマクロ経済学の手法の有

日参照。

⁴⁹⁸ 前掲の槌田敦(1992)、『熱学外論』、朝倉書店。第9章「熱化学機関としての人間社会」178頁を参照。原子力発電や資源浪費のリサイクルなどを指して述べていると思われる。

効性を主張する、H. E. デイリーと同様の主張である。

ただし、問題点(4)に関しては、槌田敦 (2007)では、信用通貨の増大と米国債、日本国債による運用による国家財政への寄生、価格システムによる収奪といった問題は、近代経済学の理論批判として、自由貿易批判 (第 5 章 5 節～12 節)、国債批判 (第 6 章 7 節～11 節)、富の集中批判 (第 6 章 10 節、第 7 章 1 節～12 節) の形で論じられている。すなわち、槌田敦は、いったん外部性の内部化で「社会エンジン」の修復、回復ができるとした上でも、交換に伴う分配、世代間分配、富の蓄積の害悪を認識しその是正がエントロピー経済学の使命の一つ、「弱者のための」という立場性に即して必要であると述べている。ただし、この場合の「弱者」とは理論的にどう位置づけられるのかそれほど明確ではない。このため、交換モデルを例にとり、槌田敦の批判した弱者からの搾取の意味について考える。

6.1.4.2 槌田敦の批判した媒介者による「弱者」の搾取の意味

槌田敦の考える「弱者」及びその権利の擁護は何のためだろうか。まず、中間マージンを奪うとする貿易商人 (交換の媒介者) への批判 (槌田敦 (2007)第 5 章 8 節～12 節) に見られる槌田敦の問題意識を明確に扱うため、第 3 章の 3.2.3 節で扱った、単純な二者二財の物々交換モデル⁴⁹⁹で考えることにする。

二人の人の物々交換と二国間貿易は、貿易収支や外国為替、生産過程などの要因を除けば、説明モデルの原理として相似形である。従って二者間の単純な物々交換における問題は、貿易における問題を基礎的な形で示唆するものでもある。

初期状態において経済主体 A、B の効用に関する無差別曲線 (あるいは等効用曲線) を考える。このとき、A、B が効用の最大化を目指すとする、無差別曲線上の接線の傾き、あるいは等効用曲線上にとどまる二財の保有量の変化の比率を **Marginal Rate of Substitution: MRS** で表すと、

$$MRS^i = -\frac{dx_2^i}{dx_1^i} = \frac{\partial u_i / \partial x_1^i}{\partial u_i / \partial x_2^i}, \quad i = A, B \quad \dots(6.1.4.2-1)$$

とされる。このとき、

$$MRS^i = \frac{p_1}{p_2}, \quad i = A, B \quad \dots(6.1.4.2-2)$$

⁴⁹⁹ 本節は藤堂史明 (2010b)の 5 節、「交換・貿易モデルと媒介者による「搾取」」に基づき、書き直した。この場合でも、片方の財を価値尺度財に置いた場合は、貨幣を媒介した交換モデルに近似される。

が成立する場合にのみ、交換による潜在的利益は存在しない。それ以外のケースではすべて、上記式が成立するまで市場における相対価格 $\frac{p_1}{p_2}$ に従って「交換」あるいは「貿易」が行われ、経済は新しい「均衡点」 E_{op} に達する。このとき、A、B の効用水準は最大化されているためこれが、最適点{optimum}である。このような変化をパレート改善とも呼ぶが、これは、パレート効率、すなわち、「A の効用を低下させることなく B の効用を向上させることが最早できない状態」の達成に向けて、そうではない状態（パレート非効率な状態）から改善することである。

ここで $i = 1, \dots, n$, n を不特定の多数とし、財の種類を m 種類に拡張すれば、これはそのまま市場システムによる交換と貿易の利益、社会的分業の説明原理となる。

ところで、「貿易商人」はどこに登場させられるだろうか？「交換」及び「貿易」の基本モデルではそれらの媒介者の役割は捨象されているが、樋田敦の指摘した貿易商による媒介利益の搾取は、取引価格の差により利益を得る対象として導入可能である。

今、経済主体 C が存在し、貿易商として経済主体 A、B に対し、それぞれ異なる相対価格を提示するとする。

$$\frac{p_1^B}{p_2^B} < \frac{p_1}{p_2} < \frac{p_1^A}{p_2^A} \quad \dots(6.1.4.2-3)$$

これは交換を開始していない初期状態 E_0 において A における第 1 財への選好が B におけるそれよりも大きな場合、すなわち A は 1 について欠乏を感じ、B は逆に 2 について欠乏を感じている初期状態のケースを想定している。上付き添え字が経済主体 A、B にそれぞれ提示される価格であることを示している。

このような異なる相対価格を提示したまま貿易商が取引を媒介することが可能であれば、潜在的なパレート改善による交換と貿易の利益を貿易商人が取得することが可能である。それは、A、B の無差別曲線上の変化であれば、ごくわずかのパレート改善の利益を A、B に分け与えれば、(A、B がそのことを知らない、あるいは交渉力に乏しい主体であれば) 財 1、2 の貿易が可能であるからである。

すなわち、初期状態 E_0 に対し、次の二つの式が成立する場合、

$$\frac{\partial u_A / \partial x_1^A}{\partial u_A / \partial x_2^A} > \frac{p_1^A}{p_2^A}, \quad \frac{\partial u_B / \partial x_1^B}{\partial u_B / \partial x_2^B} > \frac{p_1^B}{p_2^B} \quad \dots(6.1.4.2-4)$$

すなわち(6.1.4.2-3)と(6.1.4.2-4)が同時に成立すれば、その範囲で経済主体 C による交換の利益の中間的な収益獲得が可能である。

C の立場が A、B いずれかの属する社会集団に属するか、あるいは第三の集団に属するどの場合でも、交換の利益は当事者間で偏して蓄積される。そのようなことが生じないためには C もまた、交換に要する費用（ここでは捨象している）に即した完全競争を行っており、交渉力に乏しい存在である必要がある。現実には C が大規模な貿易商人、商社であれば、槌田敦が「搾取」と呼んだように超過利潤が生じることもあるかもしれない。

以上が槌田敦の指摘した貿易商の存在による富の蓄積の不平等化を交換と貿易のモデルに取り入れた結果である。簡単なモデルであるが、本来、自発的な取引による社会成員全員の効用向上を謳っていた市場システムが、どうして資産と資本の蓄積、貧富の格差の拡大に至るのか、あるいは自由貿易を標榜しつつ他国の競争条件を悪化させ、結果として経済的富の収奪に至ることができるのか、多くのヒントが含まれている。例えば貿易商人が存在しなくても通時的に相対価格が変化するなかで、産業構造が固定化することを想定すると一次産品産出国などが窮乏化することは起こり得る⁵⁰⁰。

ここで、自然環境から得られる資源について、稀少性があれば通常の財の取引と性質は変わらず、稀少性が認識されていない生態系サービスに関しては、対価を伴わないやりとりがなされる可能性がある。すなわち、共有財としての環境資源は、その所有者に対する対価の支払いがなされず、また共有資源としての管理制度が機能していない場合は、単なる無所有財⁵⁰¹の略奪となる可能性もある⁵⁰²。

6.1.4.3 経済価値の創出と市場経済システム内の差異の構造

槌田敦の考察した市場経済の活用及びそこにおける貿易商人の批判について確認したが、大崎正治の言う、熱力学派が「(5) 経済価値の体制的性格について無自覚である。」という批判に関しては、概ね当たっていたのではないだろうか。H. E. デイリーも、槌田敦も市場経済に一定の制限（H. E. デイリーの場合は最適規模の制限、槌田敦の場合は自然の物質循

⁵⁰⁰ 委細については省略。

⁵⁰¹ 環境上の資源に対する所有権制度の類型と、環境権・汚染権との関わり、社会問題としての側面については藤堂史明（2006a）、「環境効率と環境資源管理制度」、『新潟大学経済論集』、第 80 号、2005-II、33-46 頁を参照。

⁵⁰² なお、交換モデルを貿易モデルと捉えた場合の補足的な論点などは本論文では省略したため、藤堂史明（2010b）を参照。

環に載らない物質利用の制限（禁止則）と、商業倫理にもとる中間搾取の制限）をかければ、市場経済システムは環境保全に対しても有効であるという立場であり、槌田敦が想定した「弱者」の存在にしても、それと対になる超過利潤を得る貿易商人や交換の媒介者等の存在自体が、槌田敦の議論の前提となる市場競争が機能する市場においては存在が難しい⁵⁰³。

本論文で著者の考察してきた原子エネルギー利用とそれに伴う放射線被ばくの受忍の論理は、経済価値の生産そのものが、受益圏と受苦圏の分離という経済社会の構造によって創出されるものであり、その構造がなければ、自然の物質循環によって無害化ないし再資源化されない汚染物質を生み出す事業であり、関係する経済主体に包括的な賠償を行った場合、そもそも純利益を生み出しているか疑わしい事業であっても、政策判断を行う経営主体にとっては合理的となってしまう可能性を強く示唆している。原子力発電所の過酷事故が、地域に破局的な被害をもたらすとしても、その責任と費用が事業主体に負担されず、事業継続の意思決定へと動いている昨今の原子エネルギー利用を巡る事情がそうである。

原子エネルギー利用の事業では、理論的な課題の部分で検討したように、計画被ばく状況、事故後の緊急時及び現存被ばく状況の、いずれにも共通する安全性の功利主義的な定義を基礎として、一般社会における安全の捉え方を知りながら、費用便益分析によるリスク受忍の合理化と事業そのものの正当化、という論理が採用されている。

この問題点の矛盾をより大きくしているのが、事故の前と後では、事故の後のほうが最適化の論理上は放射線を浴びる利益が大きくなる点にあるだろう。すなわち、事後的に回収のコストが上がると、「回収しない利益」が大きくなるのだ。これは回収する事の経済学的な機会費用としての逸失利益が増大するためである。

放射性物質の拡散により回収の費用が増大するのは物質の拡散によるエントロピー増大が物理的な基礎としてあると考えられる。すなわち、エントロピー増大と回収コストの間には正の相関関係がある。それは、単なる物質分布の確率変動の問題ではなく、N. Georgescu-Roegen (1971)が指摘した、不可逆な時間の前後関係による、つまり時間の矢が働くことによる回収コストの増大である。これは汚染ファンドの性質である不可逆的な散逸傾向の意味していることである。

⁵⁰³ 周知のとおり、参入、退出が自由な完全競争市場では、価格は平均費用の最低点に収束し、企業が超過利潤を得ることはできない。固定的生産要素を排した長期均衡では、利潤ゼロとなる。

外的要因が働かない場合の物質のエントロピー増大、すなわち拡散に基づく費用の増大は、現象そのものの計数的な予測や特定は難しいものの、爆発や漏出によって飛び散った放射性物質の、物質としての拡散度合いは大きくなり、回収には利用可能エネルギーの投入などで莫大なコストがかかる。長期間にわたり、潜在的なリスクがネガティブなサービスとして供給されるのである。

結果として、回収が事実上不可能であることから、一定程度の被害の受忍を求める論理へとつながるか、それを倫理的に回避すべき判断として事前に、環境中に出た場合に回収及び無害化が困難な物質の発生を伴う行為自体を制限すべきか、という問題となる。著者は、環境経済システムの持続可能性のためには後者の立場が相応しいと考える。

これらの分析課題については、同様の構造をもつ公害問題に対する外部不経済性理論の適用にも当てはまる。すなわち、広く指摘されてきたように物質的拡散、生物的な損失（病気や死亡）の不可逆な現象は時間的に中立な費用（コスト）ではなく、取り返しがつかないという意味で、費用（コスト）化に問題がある。この事に加え、費用概念は本質的に対価を支払うことにより原状が回復可能であるという概念であるから、費用に置き換えることで、不可逆な変化をあたかも可逆的な交換可能であるとみなす事になる。このため、結果的には物質循環における持続可能性の条件に対応する各経済システム間の構造と、とりわけこれらの環境問題発生時における被害加害関係の軽視につながるのである。

なお、第2章に述べた K. W. カップ並びに影響を受けた諸研究における議論は、このような不可逆性をもつ過程を対象に、交換価値である費用の概念に含めることに対する反論の一つの方向性と著者は考える。

仮に費用化を前提にその量に着目した場合でもそのリスク対応には限界があり、かつて室田武 (1976)が指摘したコストとリスク低減のトレードオフ関係が基本にある。あくまでも原子エネルギー利用等の事業による社会的純利益の最大化が目的である場合、受苦圏に属する地域及び将来世代の利益、そして失われる生命及び生態系の犠牲に対する、公正の観点からの考察がない限り、それらは合理的な損失とみなされるだろう。将来世代との間の関係性については、次節でより詳しく論じる。

拙著、藤堂史明 (2014b)⁵⁰⁴でも検討したように、原子エネルギー利用である原子力発電の社会的純利益には疑問が多く、日米原子力協定をはじめとする軍事的、政治的要因によ

⁵⁰⁴ 藤堂史明 (2014b)、「原発再稼働をめぐる経済的論理」、『新潟大学経済論集』、第 96 号、2013-II、49-65 頁。

り日本が原子力利用を続けているという指摘⁵⁰⁵もある。エコロジー・エントロピー経済学としての分析に加えて、持続可能な経済社会の実現のためにも、これらの指摘について真摯な検討が必要だろう。

6.2 持続可能な民主主義と原子エネルギー、放射線被ばくのリスク⁵⁰⁶

時間の不可逆性は通時的な効用最大化や現在世代による民主主義的決定にとっての根本的な制約である。時間の不可逆性はエントロピー法則を規定し、また規定される。理念としては持続可能な経済社会を望む国民が大多数だったとしても、現世代内における多数決を決定原理とする民主主義により、市民的な権利を基盤とした持続可能な社会を構築することはできるのだろうか。あるいは市場経済における多数決的な意思決定プロセスはどう変える必要があるだろうか。

6.2.1 持続可能性への配慮の限界

時間の不可逆性を鍵として、民主主義と持続可能性の両立は可能であるのか考える。時間の逆行不可能性の問題はエントロピー法則と表裏一体である。この法則はエネルギーと質量の不変な保存関係を表す熱力学第一法則とは異なり、質的な変化は取り返しのつかない変化である事を示している。

一方で、古典力学に倣った新古典派経済学においては、合理的な個人が将来まで予測した上で、時間を通じた最適化を行うという考えもよく登場する。この問題を部分的な効用関数への反映や、確率的不確実性を採用した最適化モデルの選択として処理する方法もあるが、問題はより本質的である。

それは、私たち経済社会の構成員は、実際には時間の流れを見通して将来を見ることはできないし、どのような最適化への不確実性の反映方法を考案したとしても、将来の効用（満足度）そのものが、いかなる内容により成立するのかを事前に定義できない以上、未来の世代の効用を組み込んで、通時的にこれを最大化するような計画は立てられないという事である。

⁵⁰⁵ 矢部宏治 (2014)、『日本はなぜ、「基地」と「原発」を止められないのか』、集英社インターナショナル。

⁵⁰⁶ 本節は(藤堂史明 (2013b)、「<研究ノート>持続可能な民主主義は可能か—時間の不可逆性とエントロピー法則—」、『経済開発と環境保全の新視点』、第4号、新潟大学大学院現代社会文化研究科、45-57頁、を元に本論文の論旨に従って改稿した。

ただし、通時的な最大化の対象として一般的な効用を用いることはできずとも、生命体としての経済主体の存在条件を満たすように、生態系の存続という効用発生の必要条件を満たす必要だけは、現在の私たちにとっても明確な必要条件である。

このような通時的な最適化、生態系の持続可能性についての議論を振り返って検討することとする。

6.2.2 エントロピーの入出力と熱機関の持続可能性

6.2.2.1 エントロピー法則は変化と不可逆性の法則である

熱力学の第一法則は、既に述べたように質量とエネルギーの保存法則である。そして、同じく第二法則はエントロピー法則である。エントロピーは全ての物理的現象の前後を比べると後の方がその総量が増大している。以下では、序論で示した二つの法則について、さらに考察する。

温度(T)における熱の移動(ΔQ)によるエントロピーの増大(ΔS) :

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \cdots(6.2.2-1)$$

並びに物質の体積(V)に比例したエントロピーの定義 :

$$S \propto \log V \quad \cdots(6.2.2-2)$$

これらのどちらの場合においても⁵⁰⁷、熱の移動を計測し、また体積の変化(増大)を計測する観測者にとって、時間は不可逆的に流れている。

すなわち、エントロピー法則の観測者にとって、時間は不可逆的に流れ、その中でのみ、またエントロピーも増大が保証されているのである。では(6.2.2-1)、(6.2.2-2)式はいかに計測されるのだろうか。

時間計測単位 : t と置き、

$$t_1 < t_2 \quad \cdots (6.2.2-3)$$

であるならば、 t_1 より t_2 の方が「後」であるとする。

このとき、あるシステムにおける熱及び物質に関するエントロピーの総計 : S_t について、

$$S_{t_1} < S_{t_2} \quad \cdots (6.2.2-4)$$

が成り立つ。これらの式の相互関係は、「(6.2.2-3)式が成り立つことで、はじめて(6.2.2-4)式を認識できる」また、「(6.2.2-4)式が成り立つことで、はじめて(6.2.2-3)式を認識できる」、

⁵⁰⁷ 勝木渥 (1999)、『物理学に基づく—環境の基礎理論—冷却・循環・エントロピー』海鳴社。

という事であり、どちらも他方を前提とする事によって成り立っている循環的な定義である。

つまり、時間の流れとは、結局、時間が流れることを観測できるかという問題に還元されるが、時間そのものは計量可能なものではないため、観測者が代わりの事象を特定して、その事象における変化の記録によって計測する事になる。そして、時間が流れる事自体は、観測者の意識の中で時間が経過し、それに伴う物理的事象を記録するという前述のプロセスを実施する事で確認しているに過ぎないのである。この関係により、エントロピー法則と時間の不可逆性は互いに互いを規定する関係にあるのである。

すなわち、次の関係性が常に成り立つのである。

時間的順序の熱力学的分析

出来事Aが出来事Bより以前であるのは、出来事Bが生じたときの宇宙は出来事Aが生じたときの宇宙よりも、エントロピーが高い状態にある場合、その場合に限る。

出典：ロビン・ペドウィン(2012)⁵⁰⁸、265頁。

万一、計測を担当する観測者の主観的な時間を含むシステムの時間が逆行し、観察事象の前まで遡れたとすると、奇妙な現象が起こる。すなわち、熱及び物質に関する上記の二現象のどちらも、エントロピーの減少を起こすことになるが、観測者の主観的な時間も逆行すれば、このような現象は決して時間の逆向きの経過に伴う現象としては観測できないのである⁵⁰⁹。

従って、エントロピーの増大法則に意味を与えている事実は、時間は逆行できない、あるいは時間を逆行した観測者はその事実を観測する事ができない、という事である。これが、私たちがエントロピー法則を「変化と不可逆性を支配する法則」として認識する理由であり、物理的現象における不可逆性は、統計力学的な確率によって保証されるのではなく、根本的にはこの「観測者の主観的時間の逆行不可能性」によって保証されているので

⁵⁰⁸ ロビン・ペドウィン (2012)、植村恒一郎、島田協子訳『時間と空間をめぐる12の謎』岩波書店。

⁵⁰⁹ SF 作品に登場する、いわゆる「タイムトラベル」においても、観測者自身の時間は逆行していない。逆行した観測者はその事実を観測できないからである。観測意識のみの逆行を指す「タイムリープ」の概念においても同様の事が言える。

ある。

6.2.2.2 エントロピー法則と熱機関

第3章で確認したように、閉じたシステム内における活動は、そのシステムにおけるエントロピーを、物質とエネルギーの合計において、必ず増大させる。熱と物質、いずれかのエントロピー増大を引き換えに他方の減少を引き起こす例もあるが（例：光合成）、例外となる現象は存在しない。同じく第3章で槌田敦(1976b) ⁵¹⁰、939 頁、第1図で説明したように、従って、仕事を取り出すシステムには、付随して低エントロピーの入力と高エントロピーの出力が必要である。これを繰り返し可能にするシステムを「熱機関」と呼び、細胞単位の生命から動力機関、そして地球の生態系システムまで共通の性質を持っている。それらが入れ子構造になり、全体として太陽から得られる利用可能エネルギーと熱収支を均衡させながら、エントロピーを排出するシステムが地球である。

この地球のエントロピー代謝（低エントロピーの太陽光の取り入れと、高エントロピーの赤外線放射の放出、及びそれらのプロセスの間に存在する水と空気及び生態系を介した熱循環）こそ、地球が生命の星である基盤であり、とりわけ、液体の水を作動物質とする温度と圧力が保たれている事が、他の太陽系内惑星と異なる重要な点である。

地球の環境システムの範囲内に市場経済システムは存在し、その中に個々の人間が存在するが、市場経済システムにおける経済的価値の生産は、環境システムの持続可能性と必ずしも一致しない⁵¹¹。

⁵¹⁰ 前掲、槌田敦 (1976b)、「核融合発電と資源物理学」、『日本物理学会誌』、第 31 巻第 12 号、938-941 頁。

⁵¹¹ これらの点に関しては、その要点を第 3 章において示したが、より詳しくは以下の論考において検討した。

藤堂史明 (2008b)、「エントロピー経済学入門—第 1 回： 価値の本質とは何か—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 64 号、2008 年 11 月、38-47 頁。

藤堂史明 (2009c)、「エントロピー経済学入門—第 2 回： 市場と生命における価値の生産—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 66 号、2009 年 7 月、89-102 頁。

藤堂史明 (2009d)、「エントロピー経済学入門—第 3 回： 物理的な富と非物理的な富—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 67 号、2009 年 11 月、42-52 頁。

藤堂史明 (2010b)、「エントロピー経済学入門—第 4 回： 市場メカニズムと「社会エンジン」の制御—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 69 号、2010 年 7 月、48-59 頁。

藤堂史明 (2011)、「エントロピー経済学入門—第 5 回： 膨張する経済社会の終焉—」、エントロピー学会誌『えんころびい』、第 70 号、2011 年 3 月、59-73 頁。

これらはいずれも、エントロピー経済学の視点からの持続可能性と市場経済システムに

個々の生命体としての存続の為には、身近な自然環境を根本的に破壊する事はできない。しかし、経済主体として組織された個人の集合としての現代社会においては、経済主体の経済価値の追求が時として環境汚染と資源枯渇を取り返しのつかないレベルまで押し進め、地球環境システムに内在した市場経済という、環境経済システムの持続可能性を損なうことがあり得る。これは、持続可能性の必要条件(藤堂(2008b)に既出)を、個別主体が観測できないと同時に、他の主体にしわ寄せをする事による自己利益の最大化が可能になっている構造(藤堂(2009a, 2010b))に原因がある。

次に、本論文で、原子エネルギー利用に不可分に結び付いた副産物と位置付けられ、時間の流れと結びついた固有のサービスを提供する客体として定義された「汚染ファンド」の一つである放射性廃棄物による汚染と持続可能性について、総括して考察する。

6.2.3 汚染ファンドとしての放射性廃棄物の性質

第3章で述べた槌田敦の資源物理学⁵¹²は、地球環境の物質循環から資源を採取し、廃物と廃熱を物質循環に戻すことによって成立するプロセス以外の工業的活動は、汚染と資源枯渇を引き起こすとした。第4章で論じたように、放射性物質を生産する事によって原子レベルのエネルギーを解放する、それが原子力利用の本質である。そして、その組成、遷移による寿命もまた既定である。第4章のものに加え、次図に高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の再処理工場による型式差を含めた、各ガラス固化体の放射能の経時変化を示すグラフを引用する。どの型式であっても、原子炉の実用期間をはるかに上回る、人類史上、類を見ない長期間の汚染源として残存が予想されている。

おける経済的な持続可能性との不一致と、それらの相互関係について検討したものである。

⁵¹² 槌田敦 (1980)、『エネルギー—未来への透視図』、日本書籍。

図 6. 2. 3-1 処理型式による各ガラス固化体の放射能の経時変化



出典：核燃料サイクル開発機構(1999) 分冊3 V-30頁⁵¹³、

「図5.3.1-3 各ガラス固化体の放射能の比較」

※略号はBNFL: 英国原子燃料会社、JNFL: 日本原燃株式会社、COGEMA: 仏核燃料公社、TVF: 東海ガラス固化技術開発施設を指している。

放射性物質による汚染は、それが化学的反応や熱処理そのほかによって原理的に無害化されることが決してない、それはエントロピー経済学で地球環境システムの持続可能性の条件として考える、自然の物質循環（高エントロピーの廃熱の廃棄、低エントロピー資源の供給を可能とする空気と水、そして生命の働きなど）の中で、分子結合を壊し、原子核の安定性を崩し続けるのである。

人間を含む生態系、環境のシステムは重層的に入れ子構造を形成し、それぞれ外部の環境システムから低エントロピーの資源（利用可能エネルギー及び物質）を取り入れ、活動の結果生じる高エントロピーの廃物と廃熱を排出する事によって成り立っている。つまり、

⁵¹³ 核燃料サイクル開発機構 (1999)、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 —地層処分研究開発第2次取りまとめ—」。当該図は、分冊3 地層処分の安全評価 JNC TN1400 99-023、V-30 頁より。

自己という境界線内部での活動の持続こそが生命および経済活動の本質である。これを利用して短期的に生産性の高いシステムに見えているものが原子エネルギー利用であり、自らの外部環境に放射性物質の放出があっては維持できないシステムであるにもかかわらず、これを遮蔽する事によって、環境システムへの影響なしに利用可能エネルギーを取り出すことができるシステムであるかのように扱われてきたのである。これが本質的には永久機関と同じく、対価を払わず利用可能エネルギーを得続けることが目的化したシステムであることは、第4章で確認した。そして、利用可能エネルギー取り出しの対価として、核反応後の核燃料、すなわち高レベル放射性廃棄物の放出が起こればどうなるかは、2011年3月11日から続く東電福島第一原発事故により、良く知られるところとなったのである。

その意味で室田武 (1979a)⁵¹⁴が原子炉の危険性についてあまり知らないうちに考えていたと述べた、次の表現はまさに適切であり、これ以上簡明にエントロピー経済学の原子エネルギー利用及び付随する放射性廃棄物、放射線被ばく問題についての基本的立場を示すものはないとも言える。

原発は、石油の大量投入によりウラン鉱石その他の鉱石から核燃料と発電設備をつくり、ウラン235の核分裂により死の灰を生産し、その副産物として発生する高熱を火力発電と同一の原理で水に伝えて水蒸気にし、その圧力でタービンを回して発電する技術である。したがって、死の灰が外界から完全にそして永久に隔離されない限り、それが原爆と決定的にちがうとはいえないだろう、という程度に、それまでごく抽象的に考えていたのである。

出典：室田武 (1979a)、61頁。

第4章で示した使用済み核燃料の（再処理後の）ガラス固化体に含まれる放射性核種及びその半減期の一覧表によれば、これらの物質が、その元素の性質としての毒性（放射線 of 生命体への破壊作用）を失うのに、長いもので100万年単位の半減期の繰り返しが必要であるのみならず、短い半減期のものであっても核種の遷移を繰り返して減衰していく。

⁵¹⁴ 室田武 (1979a)、「破局に瀕する石油・原子力文明と将来 - リチャード・ウェッブ博士の警告によせて」、『朝日ジャーナル』、1979年6月22日号、61-63頁、において室田は、同年のTMI原発事故を受けて米国原子核工学技術者による著作内容及びその著者のリチャード・ウェッブ博士に原子力発電所事故の危険性を問い合わせた結果を述べつつ、考察を行っている。

また、図6.2.3-1に見るように、遷移を繰り返しながら変化してゆく核燃料及び使用済み核燃料、ガラス固化体の放射線レベルは、処理型式の差があったとしても、ほぼ同様に、元の資源の品質レベルまで低下するのに10万年、個別の元素の化学的な毒性まで考慮すると、100万年以上の時間がおおよそその無害化に必要である事が分かる⁵¹⁵。100万年先の未来の世代に至るまで延々と引き継がれる、原子単位での環境汚染物質を生じさせる事は、果たして現在の民主主義によって阻止できるだろうか？私たちの考える正義は、果たしてこのような現象を包括しているのだろうか。

6.2.4 持続可能性にとっての多数決決定の限界

前節に示したように、10万年から100年以上の未来まで毒性が継続する放射性物質を生成する事と引き換えに、現在の世代が電気を利用するというのが原子エネルギー利用である原子力発電の実態である。このような通時的な汚染問題に、多数決原理は有効だろうか。第4章で確認したように、原子エネルギー利用によって生じる高レベル放射性廃棄物による環境汚染のように、便益を得られるのが現在の世代であり、リスクないし環境汚染を対価なしに押し付けられるのが将来の世代であるとする、そのような状況では受益圏と受苦圏が時間軸にそって分離していると考えられる。このような分離は、その時点における世代の多数決による民主主義で解決できるかどうか考えたい。

時間を通じた個人及び家計の効用最大化は、一般的に次のような形式で考察される。ある時点における代表的個人を*i*、各個人の時間の流れを t_i 、ある時点での効用を u_{it} 、時間に関する割引率を r 、*i*にとっての人生の開始時間を 0_i 、終了時間を T_i と置いて、離散時間的に時点 t_i における通時的な効用の総量 U_{it} を定義すると、次式である。

$$U_{it} = \sum_{t_i=t_i}^{T_i} u_{it} (1+r)^{-t_i} \quad \dots \quad (6.2.4-1)$$

このとき、割引率が大きくなればなるほど、また、代表的個人*i*にとっての未来の時間が経過すればするほど、全体の効用に対する個別時点の効用の貢献は少なくなってゆく。これは、割引率の根源にある、現世代にとっての利子率が高くなり、資源の枯渇や環境汚染を伴う行為であっても、それが未来に生じる損害であれば、あまり顧みないという行動につながる⁵¹⁶。なお、生命の価値を満足度、すなわち効用に置き換え、またリスクの発生を

⁵¹⁵ 前述の通り、1MTUは1メトリック・トンのウランを指す。

⁵¹⁶ F. Toudou (1997), "The Rights of Future Generations," *MA Thesis*, Graduate School of Economics, University of Tokyo. 著者の修士論文では、このような利子率、割引率が資源消費及び汚染の蓄積に与える影響について、OLGモデルを用いて分析した。大変、

費用に置き換えることは、複数の次元を持つ要素を1次元に投影するという根本的問題（拙著、藤堂史明（2010a）⁵¹⁷）や、循環的再生産を前提とした交換プロセスによって不可逆的な現象を表現するという二つの問題があるが、ここでは民主主義的プロセスの分析のため、これらの論点は棚上げしている。

また、一方で同様にリスクの発生を費用 c_{it} と置き換え、 i にとっての通時的な総費用 C_{it} を同様に表現すると、

$$C_{it} = \sum_{t_i=t_i}^{T_i} c_{it_i} (1+r)^{-t_i} \quad \dots \quad (6.2.4-2)$$

となる。代表的個人は(6.2.4-1)式と(6.2.4-2)式のどちらも金銭的に評価された便益（及びマイナスの便益）であると考えから、これらの差分である純便益 $NW_i = U_i - C_i$ を最大化するように行動する。すなわち、

$$\max NW_{it} = \sum_{t_i=t_i}^{T_i} u_{it_i} (1+r)^{-t_i} - \sum_{t_i=t_i}^{T_i} c_{it_i} (1+r)^{-t_i} \quad \dots \quad (6.2.4-3)$$

となるように行動するのである。これは i が、一生を過ごす時間の範囲 $([0, T_i])$ の中で、時点 t_i から将来 T_i にわたる全期間を見通し、その行為の実施による純便益を最大化するという事である。従って、現在に利益（効用）をもたらし、将来にリスク（費用）をもたらす行動はプラスに評価される。これが、将来的に損害をもたらす環境汚染に配慮がされない基本的な論理である。

一方、民主主義は少数者も含めた基本的人権を尊重しつつも、社会を構成する多数の個人の多数決によって、利害関係を含む社会的決定を行う仕組みである。ある時点の主体を代表的個人で代表させるのではなく、その内訳を考える。社会全体の純便益を SNW_t (t 時点のSocial Net Welfare) と定義すると、個別の個人にとって利害が分かれる決定であっても、社会総体として利益があれば採択される⁵¹⁸。

すなわち、時点毎に N 人からなる世代が存在すると仮定すると⁵¹⁹、時点 t における現世代

素朴な知見であるが、利子率が高くなり、将来の重みづけである割引ファクターが軽くなれば、資源枯渇と汚染の累積に対する、通時的な厚生を最大化という目的による抑制は効かなくなることが観察された。

⁵¹⁷ 藤堂史明（2010a）、「<研究ノート>環境・資源管理問題におけるいくつかの基本的命題の考察」、『経済開発と環境保全の新視点』、第1号、42-53頁。

⁵¹⁸ ただし、単純な多数決ではなく、少数による決定が可能となる仕組み（例：小選挙区制と多数意見の分断の組み合わせ）があれば、必ずしも全体の利益を増大させる決定が行われる保証はない。

⁵¹⁹ 世代間で若年期と老年期があり、それらが不完全ながら重複する事で子の世代の効用の投影が行われるとするのが、Overlapping Generations model (OLG model)の特徴であるが、時間の不可逆性を部分的に導入する試みと筆者は捉えている。ここでは単純化して

における0番目からN番目の個人までの社会的純便益は、次式で定義される。

$$SNW_t = \sum_{i=0}^N NW_{it} \quad \cdots \quad (6.2.4-4)$$

この時、(6.2.4-4)式の右辺は次のように展開して考えることができる。

$$\sum_{i=0}^N NW_{it} = NW_{0t} + NW_{1t} + \cdots + NW_{Nt} \quad \cdots \quad (6.2.4-5)$$

この時、(6.2.4-5)式の右辺各項が必ずしも全て正である必要はなく、多数決原理を採用した民主主義による決定であるならば、ある個人jの純便益 NW_j が正である場合に $nm_j = 1$ 、負である場合に $nm_j = 0$ である変数 nm_j を定義すれば、

$$\sum_{j=0}^N nm_j > \frac{N}{2} \quad \cdots \quad (6.2.4-6)$$

の条件を満たせば、(より大きな値を与える別の行為が存在しない限り)多数決の決定が可能である。またもし、社会的決定が仮に社会的計画者⁵²⁰によって行われるのであれば、(6.2.4-4)式ができる限り大きい値をとるように決定される。どちらの場合も社会的に倫理的に許容可能な分配である必要がある。極端に小さい値の NW_j が存在する事は、社会不安の元凶になるからである。

なお、もっとも簡単な多数決のケースを(6.2.4-6)式で示したが、公共選択理論が示すように、投票行動や政治的行動には多数のバリエーションがあり、前述した小選挙区制+多数意見の分断のケースのように、必ずしも「多くのものの利益が社会の利益」という功利主義的な基準が社会的判断となるとは限らない。

持続可能性は、それが維持されれば将来の世代の効用が向上し、失われれば減少(あるいは消滅)するものであるが、(6.2.4-6)式の個人jには将来の世代はカウントされない。従って、何らかの通時的な配慮を世代iが行うという「経済人」⁵²¹に反する仮定、場合によっては、それは遺伝子の自己愛や親子の愛情を導入しなければ、将来の世代(世代fと置こう)の効用 u_f は最低限にすら守られず、市民的権利が失われる。はっきり述べれば、未来の社会が破局的な結末を迎える選択であっても採択される可能性が高い。ここに挙げた追加条件

時点毎に各世代が対応しているとする。

⁵²⁰ あるいはテクノクラートの類。

⁵²¹ 自らの得る満足度、すなわち効用の最大化のみを追い求めるという合理的な個人。ただし、広義には他人の効用を自らの満足に感じる個人という定義により、ここで論じるような利他的な配慮を合理的行動に含めて定義する事ができる。しかし、そのように定義する事には、内在的な論理的根拠がない。H. E. デイリーとJ. B. コップは、下記の書籍で、「経済人」すなわち{Homo Economicus}を、誤った具体的性質として論じている。H. E. Daly and J. B. Cobb (1989), *For the common good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*, Boston: Beacon Press, (H. E. Daly and J. B. Cobb (1994), updated and expanded.)

にせよ、子供を残さず利己的に振る舞う個人⁵²²にとっては意味がなく、利己心のバリエーションによる解決は難しい。

例えば、時点 t から $t+m$ までの世代には正の $NW=a$ を与え、それ以降の世代には負の $NW=c$ を与え続けるプロジェクト A と、 a よりも小さいが常に正の $NW=b$ を与え続けるプロジェクト B を考えよう。

プロジェクト A の i 世代にとっての純便益の現在割引価値は次の通り。

$$NW_{it_i}^A = \begin{cases} a & (t_i \leq i \leq t_i + m) \\ c & (t_i + m < i \leq T_i) \end{cases} \quad \dots \quad (6.2.4-7)$$

また、プロジェクト B については同じく、

$$NW_{it_i}^B = b \quad (t_i \leq i \leq T_i) \quad \dots \quad (6.2.4-8)$$

となる。この時プロジェクト A と B のいずれかを決するタイミングは、 $t=t_i$ であるから、第 t_i 世代からカウントして第 m 世代までの、どの世代 i にとっても A が魅力的であり、社会的に選択される。

実態はしかし、プロジェクトの影響の範囲が将来にわたって長期化すればするほど、A の人類史を通じた平均便益は小さくなり、やがて c の値に収束する。そして、 $c < 0 < b$ であるから、その累積的な損害は絶大である。

$$\lim_{T_i \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t_i=t_i}^{T_i} NW_{it_i}^A}{T_i - t_i + 1} = c \quad \dots \quad (6.2.4-9)$$

発電用原子炉の耐用年数がせいぜい数十年であり、核燃料単位では数年である。その利用の対価として、10 万年から 100 年以上の単位のリスクの発生は、人類に長期的な損害をもたらすだろう。しかし、世代単位の合理性の重大な欠陥として、判断を行う世代 i にとって、世代の時間的視野の限界である T_i が、 $T_i < m$ であれば、このような認識は生じようもない。つまり、自ら生きている間に損害が表面化しなければ、長期的に損害が生じることが分かっているにもかかわらず、そのような人類史的なプロジェクト評価は、時間的な開始点をどこにとったとしても、各世代 i とも行いようがないのである。そのうち技術が解決する、等の夢想的な言辞で問題を先送りしようとするだけであろう。実際には、技術は科学の法則を書

⁵²² 実際には子供の有無と利己的行動とは無関係であり、子供がいなくとも将来の世代を慮る人もいれば、子供を殺害するほど直接的にも無関心な親も存在する。従って、あくまで個人的な道徳心ないし、親心を仮定することによっては解決が難しいとだけ言える。

き換えるものではない。

実際のプロジェクト A の決定にあたっては世代毎の純便益ですら確保する必要がない。(6.2.4-6)式の多数決原理で過半数を押さえるか、小選挙区制と反対意見の分断を組み合わせた相対多数かつ絶対少数にしか純便益を与えない場合でも、採択が可能である。

このように、利己的な個人を合理性の基準とする市場社会と、多数決制の民主主義が法律制度、社会的決定は、持続可能性を考慮する原理を内包しておらず、未来の世代の権利を保証する仕組みを、倫理あるいは慣習によって導入する事なくして存続していくことはできないだろう。これは、多数決制の民主主義や、その相似系である貨幣的価値の投票による市場原理主義（市場で経済価値を獲得した主体に権利や決定権が与えられる）の根本的矛盾である。

他方、短期的な効用最大化を行動原理とするのではなく、繰り返しゲームによる協調戦略の採用や、生物進化における進化的に安定な戦略(Evolutionarily Stable Strategy: ESS)⁵²³の進化についての理論も存在する。これらの理論は、単純な効用最大化のモデルと異なり、一定の集団的規範や個別の利益に基づかない生物行動の遺伝的進化の経路を説明できる。しかし、いずれも一定の行動とその報酬が繰り返される状況を前提としており、一度限りの歴史において、生息環境を根底から破壊しかねない人類の行動進化を保証するプロセスとしては、いかにも不十分な原理である。

合理的な経済人の仮定そのものに問題があるとすれば、この市場原理主義を支える世界観は、市場社会の分析ツールであると同時に、市場社会の成り立ちを正当化する合理化のツールでもあり、その研究と普及啓発が同時に社会を変容させていく一面も持っているからである⁵²⁴。

効用最大化する個人と多数決制民主主義が持続可能性を保証しない問題は、生物としての人間とその生存環境である環境システムの存続のための条件を必要条件とせずに、合理的な個人による効用の最大化を人間の行動原理として採用したためである。物質的世界から完全に独立して効用を最大化する個人は存在しない。効用の根源は個人の内にはなく、

⁵²³ J. M. Smith (1982), *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press. 邦訳 J. メイナード・スミス (1985)、寺本英、梯正之訳、『進化とゲーム理論—闘争の論理—』産業図書。

⁵²⁴ 佐野誠 (2013)、『99%のための経済学—理論編—』、新評論、は、新自由主義的な経済観が、社会の持続可能性と生態系な持続可能性の双方を侵食するものである事を、分析している。

生物として存続する人間と、それを包含する地球環境システム、市場を包含する一体としての環境経済システムとの関係性から発しているからである。そして、なにが個人の効用につながるか分からない一方、生存の客観的な必要条件は効用とは別に求めざるを得ない。

著者は生存の為の必要条件と、主観的な価値の創出の間には境界線があると考えている。従って、将来の世代の生存を脅かす科学技術の開発と実用は、その安全性を原理的に証明する義務を課されるべきである。このような現代の単純な多数決制の民主主義の改善は、公開の客観的、論理的な議論と、職務上の利益相反を排した中立な判断を通じてされる必要がある。例えば、楠美順理 (2017)⁵²⁵は、原発を巡る賛成及び反対論について論点を整理し、それぞれを客観的な資料と論理によって構成したうえで判断力を養う、というアプローチでこの問題に取り組んでいる。福島大学放射線副読本研究会 (監修) 後藤忍 (編著) (2013) と併せて、客観的、中立的な立場から原子エネルギー利用に関わる問題点を提示することは、大変重要と考える。

6.2.5 原子エネルギー利用における科学的進歩と予知の限界

第 6.2.4 節で検討したように、純粋に効用最大化を追い求める個人を前提とすれば、多数決制の民主主義、あるいは何らかのバリエーションによって、現在の世代の社会的決定が社会的な持続可能性を満たす可能性は低い。先に第 6.2.3 節で検討した、非常に長期にわたる半減期を持ち、総体として 10 万年から 100 万年以上の単位での遮蔽が必要となる毒物である放射性廃棄物を発生させる原子力利用は、このような民主主義社会の課題を浮かび上がらせる事象である。

この問題について、もう一つ根本的な問題を提起する。それは、社会的な持続可能性を求める心が個別の個人に存在したとして、将来的な問題解決を楽観的に期待するような科学技術に私たちは頼って良いのかという事である。どのような最適化への不確実性の反映方法を考案したとしても、将来の効用 (満足度) そのものが、いかなる内容により成立するのかを事前に定義できない以上、取り返しのつかない生態系の改変は行ってはならない事なのではないか。

原子エネルギーの利用は、時間の経過によってでしか無害化できない人工放射性物質を、10 万年から 100 年以上先まで残す形で利用可能エネルギーを取り出す技術である。対し

⁵²⁵ 楠見順理 (2017)、『はじめての原発ガイドブックー賛成・反対を考えるための 9 つの論点ー』、創成社。

て、核種変換等の無害化の技術開発が計画されているが、システムから利用可能エネルギーを取り出し、かつ、元の状態に戻すことは、事実上の第一種永久機関を実現しているに等しく、夢想的である。

現代の科学技術開発と、環境保全の政策体系は、基本的にそのような夢想的な技術開発を掲げつつ、時系列的に将来に発生する環境汚染問題を先送りにする傾向にあり、著者が取り上げてきたように、地球温暖化問題のように原子力開発の促進要因に使える将来の汚染問題を、恣意的に取り上げて政治問題化するなど非論理的に特定の問題意識が形成される問題が生じている。

本節では、不可逆性を司るエントロピー法則の性質と、未来に起こるリスクを伴う事象を現在よりも優先度を下げて考慮する市民社会の決定原理、多数決制の民主主義について、その根本的矛盾を考察した。原子力開発のような将来の世代にもつばらリスクを生じさせる技術が、一定の倫理感覚を備えた現在の世代の多数派にすら受け入れられてきた要因の一つに、地域経済開発や一極集中といった経済的問題、すなわち現在世代内の利益分配の問題があると考えられる。

6.3 差異の構造と地域、持続可能な社会

6.3.1 原子力発電所の経済効果はあったのか

本論文では、エントロピーの排出という観点から、本来は環境経済システムの持続可能性を損なうことなしには価値を生み出さない過程をも、経済価値を創出できるようにする差異の構造の存在を第三の論点としてきたが、それが地方と都市という文脈で、実際に存在してきたのが原子エネルギー利用事業の立地政策の歴史であると考えている。

本節では、とりわけ、原子エネルギー利用の際に原子力施設立地自治体に経済的恩恵があるという主張についての疑問を検証するため、2015年から2016年に新潟県柏崎刈羽原子力発電所の立地する柏崎市を対象に、地元の新聞社である新潟日報と共同で行った調査分析を踏まえて、既存研究との関係と著者の考えを述べる⁵²⁶。

⁵²⁶ 本節は藤堂史明 (2016a)、「<研究ノート>原子力発電所の経済効果はあったのか—柏崎市の事例—」、『経済開発と環境保全の新視点』、第7号、2016年3月、55-65頁、の一部に基づいて記述した。

6.3.2 原発の経済効果とは

日本に原発が導入されて以降、エネルギー供給やコスト上の論点に加えて強調されてきたのは、立地自治体への経済効果である。「経済効果」とは、狭義には特定の経済活動による付加価値生産額の増大を指す。広義には、特定の経済活動によって引き起こされる付加価値生産の増大、雇用増による人口増大（社会増、自然増）、財政構造の改善、地域のイメージアップなど、プラスの経済的価値に関連づけられる様々な波及効果を含むと考えられる。

例えば 1980 年代の理論的研究である五味大典（1983）⁵²⁷においては、発電所や関連会社という新たな雇用の場の創出や、地元経済の活性化による雇用機会の拡大と人口の増加、生産性の向上、とりわけ建設業の地元建設業者の純生産の増加を予想している。さらに、固定資産税と電源三法交付金の収入、法人及び個人住民税の増加によって一般財源は膨らみ、財政の自主化が促進されるとしている。

近年の経済効果に関する研究例では、例えば宇都宮仁（2015）⁵²⁸、「柏崎刈羽原子力発電所停止による柏崎経済への経済波及効果」、柏崎・刈羽原子力発電所の事業所としての粗付加価値生産額の大きさ（約 2,600 億円）から、その波及効果が大きい（2005 年市内総生産約 4,800 億円の約 40%）としている。

一般的に生産誘発額の大きさを地域への経済効果の大きさの要因として挙げることは、生産誘発額が、そもそも最終消費に近い産業ほど大きくなる数字である点に留意が必要である。また県別の産業関連構造を、初期投資に大きく依存し、維持費の少ない特殊な構造を持つ原子力発電所に比例的に適用することに疑問が残る。そもそも、粗付加価値額の大きさにしても、それが地域経済への効果と呼べるかについて疑問があり、なぜなら、電力会社の発電部門の売り上げは地域外の株主と債権者への配当、利回りに充てられるだけでなく、地域における電力社員の所得や下請け原発労働者の所得は、単にその地域に外部から移入された経済活動が集計された結果でしかない、という問題があるからである。所得が地元経済に還流されない事情は岡田知弘・川瀬光義（2013）⁵²⁹、『原発に依存しない地域づくりへの展望』も指摘している。これに関して新潟県も平成 24 年度の柏崎市の電気・ガ

⁵²⁷ 五味大典（1983）、「システムダイナミックスモデルによる原子力発電所立地の経済効果分析」、日本立地センター研究年報、191-237 頁。

⁵²⁸ 宇都宮仁（2015）、「柏崎刈羽原子力発電所停止による柏崎経済への経済効果」、『新潟産業大学経済学部紀要』、第 45 号、2015 年 6 月、1-12 頁。

⁵²⁹ 岡田知弘・川瀬光義（2013）、『原発に依存しない地域づくりへの展望』、自治体研究社。

ス・水道業の売り上げの減少約 1,500 億円は、主として東京電力の売上高の減少としている⁵³⁰。

6.3.3 原発と自治体財政

原発立地による経済効果のうち、立地自治体の財政状況についてはこれまでも多数の研究がなされている。たとえば、芝田英昭 (1986)⁵³¹「原発立地の経済効果-福井美浜町から-」は、原発建設期の電源三法交付金により、一時的に自主財源が増加し財政が一見、健全化するものの、交付金の対象事業である教育文化施設等の建設ラッシュにより、後年度の維持修繕費などの義務的支出が増加し、原発の増設を頼んだ財政再建に誘導される自治体の状況を報告している。同様の分析は、池田千賀子 (2010)⁵³²も柏崎市の財政構造について述べている。立地交付金は、近年は運営的経費にも交付金を使用できるよう、用途の拡大が行われたが、そのことによって自治体の基幹的な行政サービスまでも原発の立地交付金に依存するようになるという負の側面もある。

このような財政状況を柏崎市のデータで考察する。人口 9 万人規模 (87,222 人) の柏崎市の平成 25 年度決算における財政状況資料集⁵³³によると、合併や原発の固定資産価値の低下などにより支出あたりの財源が逡減していることにより低下傾向にあり、市の財政指数は県平均の 0.51 を上回るものの、県内類似団体中 8 位で、その平均 0.71 を下回る。また、施設の維持費等による経常的経費が大きく、経常的支出比率は県内類似団体平均の 89.3% を上回る 93.8% である。さらに、東京電力柏崎刈羽原子力発電所の立地により経済効果の恩恵を受けているはずの、東電福島第一原発事故前の平成 22 年度において、柏崎市の一人当たり市民所得は、必ずしも県内主要自治体に比較して高いとは言えない。もっとも次の

⁵³⁰ 新潟県産業労働観光部 (2015)、「柏崎刈羽原子力発電所全号機停止の影響について (市町村民経済計算等から見た柏崎市の経済状況)」、平成 27 年 4 月 14 日、www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/1016/627/sankou,0.pdf 2016 年 3 月 1 日参照。
なお、同資料は柏崎刈羽原発における作業員数にも大きな変動がないことを、維持、対策工事によるものとして位置付けている。

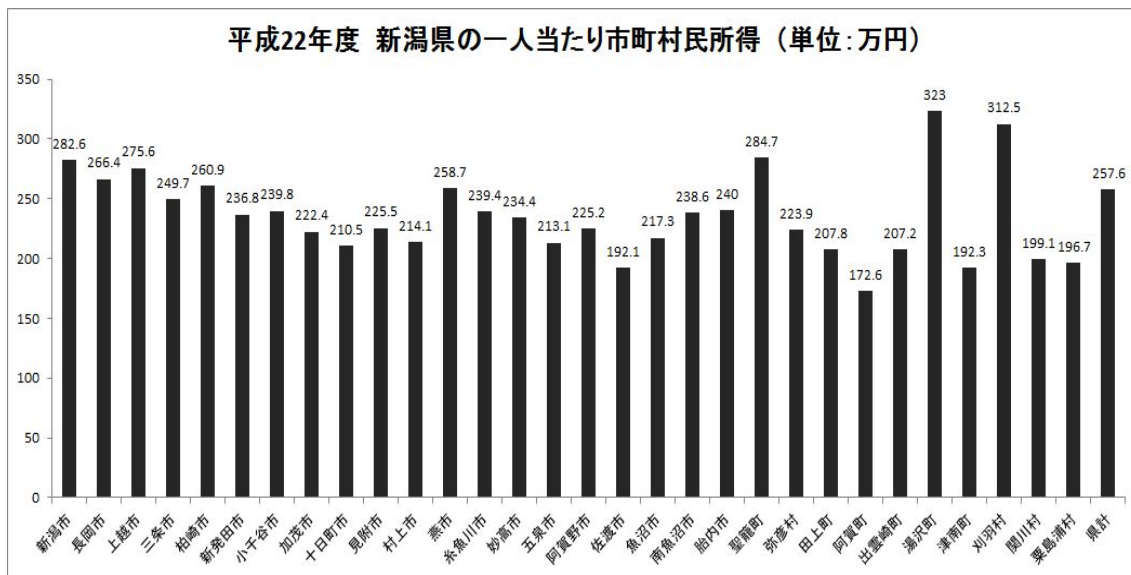
⁵³¹ 芝田英昭 (1986)、「原発立地の経済効果①-福井県美浜町から-」、『経済評論』、第 41 巻 9 号、日本評論社、1986 年 9 月、77-88 頁。

⁵³² 池田千賀子 (2010)、「原子力発電所が柏崎市財政に与えた影響」第 33 回愛知自治研集会、http://www.jichiro.gr.jp/jichiken_kako/report/rep_aichi33/03/0324_ron/index.htm 2016 年 3 月 1 日参照。

⁵³³ 柏崎市 (2014)、「財政状況資料集」(平成 25 年度決算)、https://www.city.kashiwazaki.lg.jp/z_zaise/shise/yosan/zaise/bunseki/h25/documents/04zaisei.pdf 2016 年 3 月 1 日参照。

グラフからも分かるように、もう一つの同原子力発電所の立地自治体である刈羽村については、5千人以下という人口の少なさもあり、特異な高さを示している。

図 6.3.3-1 柏崎市の一人当たり市民所得



出典：新潟県（2018）、「平成 27 年度 新潟県 市町村民経済計算（平成 18 年度～平成 27 年度）」より著者作成⁵³⁴。

既存研究においては、赤字財政構造についての指摘が多くあるものの、総体としての自治体住民の人口や所得水準の低迷、原発立地による生産誘発効果と、地域産業の活性化などの仮説の検証は研究途上であったと思われる。ただし近年では、前掲の岡田知弘・川瀬光義（2013）で、岡田は柏崎市の建設業や、サービス業のうち卸売・小売・飲食業の従業員数も建設時期の雇用増の影響があることを踏まえつつ、原発による経済効果が非常に限定的であることを指摘している。

6.3.4 地域への経済効果

著者と新潟日報との共同研究は、2015年12月及び2月の『新潟日報』紙面の特集記事

⁵³⁴ 新潟県（2018）、「平成 27 年度 新潟県 市町村民経済計算（平成 18 年度～平成 27 年度）」より、再計算された平成 22 年度の市町村民経済計算データを用いた。
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/971/920/10dai6hyo_473819.xls 2019年1月13日参照。

として掲載されたが、その主な内容は以下の通りであった⁵³⁵。

「100社調査」では、地元商工会議所加盟企業から地元企業100社を、産業別就労人口を考慮して業種ごとに無作為抽出して聞き取り調査を行った。3分の2の企業が、原発全基停止による売り上げの減少について「ない」と回答し、経営面への影響を否定した。1号機が運転を始めてから30年となるが、原発関連の仕事を定期的に受注したことがあると答えた地元企業は1割余りだった。また、30年間で会社の業績や規模が「縮小」したとの回答が4割を超え、原発の存在が地元企業の成長にはつながっていない事も示唆された。

また産業部門別調査では、まず、対象を柏崎刈羽原発のある新潟県柏崎市とし、その製造、建設、卸売り小売り、サービス業の、1970年代（1978年1号機建設開始）から1990年代（1997年7号機建設完了）中心とした時系列変化を、同一規模都市（同県三条市、新発田市）または全国の推移と比較した。

その結果、原子力発電所の建設によって大きなプラスの影響が観測されたのは、建設業のみであり、その他の製造業、卸売・小売業、サービス業については、比較対象の新潟県内同規模都市である三条市、新発田市に劣る規模にとどまり、原子力発電所の建設及び運転に伴うプラスの影響は全く見られなかった。

すなわち、経験的データから柏崎市における原発による生産額増大効果は建設業に原発建設期に顕著にみられる以外は、観察されない。このことが先行する「100社調査」でも考察された、予想外に原発との関係性の薄い地元産業（一部、直接的に関係する業者を除く）の特徴とも合致する。原発の地元への「経済効果」は「経済神話」であったのである⁵³⁶。

なお、上岡直見(2015)⁵³⁷は全国の市町村を対象に原子力施設立地による所得及び雇用効果の統計的な検証を行い、福島県及び福井県内では課税対象所得、他市区町村への通勤者の比率、財政力指数に有意差があることを示した。しかし、人口あたりの民生費に有意差がないことなどから生活水準の違いにまでにはなっていないと推論している。また、原発

⁵³⁵ 東京電力柏崎・刈羽原発1～7号機の存する立地自治体のうち、柏崎市の経験的事実について検証した新潟日報社との共同研究（2016年2月紙面掲載の産業部門別調査）は、新潟日報社が2015年12月にまとめた「100社調査」の結果も加味して行った。なお、「100社調査」の結果は2015年12月13日付の「新潟日報」紙面で、産業別調査の結果は2016年2月14日付の同紙紙面で報道された。

⁵³⁶ 分析の詳細については、前掲論文の藤堂史明（2016a）及び、新潟日報の特集記事を元に編纂された、新潟日報社原発問題特別取材班（2017）、『崩れた原発「経済神話」－柏崎刈羽原発から再稼働を問う－』、明石書店、を参照。

⁵³⁷ 上岡直見（2015）、「原発は地域に貢献していない」、『「走る原発」エコカー－危ない水素社会－』、第4章、コモンズ、118-130頁

の立地計画の受け入れ自治体と、撤回自治体における課税対象所得、完全失業者の比率、他市区町村への通勤者比率、財政力指数について比較した結果、いずれの項目でも有意差があり、としている。これについても財政力指数を別とすれば大きな差ではないことを挙げ、メリットとしては疑問視している。また、福井県立大学地域経済研究所（2010, 2011）⁵³⁸による研究報告書「原子力発電と地域経済の将来展望に関する研究」（その1及びその2）に関して、原発立地市町の商業販売額への経済効果が原発の新規建設期間に限られることと、産業連関分析上の粗付加価値誘発額（2005年度、3,078億円）が県内での各産業の自給率を向上させることで代替可能であると指摘している。

なお、同報告書（第2版）は、一定期間の商業拡大効果について述べるとともに、最大の経済効果は地元自治体への財政効果であり、合わせて建設業の建設的経費と就業者比率が大きいと指摘している。同時に製造業の地域における育成効果はそれほど大きくないと結論していることから、経済効果が建設業を中心にした限定的なものである点については一定程度、共通の理解であると考えられる。

なお、上岡直見による経済効果の限定性と地域経済発展のための自給率の重要性の指摘は地域経済の持続可能性の追及にとって興味深い指摘である。

6.3.5 原発立地自治体への「経済効果」の矛盾

原発の立地政策を考える際、「経済効果」は、日常の放射線被曝、事故時の重篤なリスクに対する「迷惑料」あるいはリスクに対応した「ベネフィット（便益）」の供与である。原発立地のリスクについては、第5章で述べたように、原子炉立地指針(1964年)⁵³⁹の「めや

⁵³⁸ 福井県立大学地域経済研究所（2010）、『原子力発電と地域経済の将来展望に関する研究』、その1「原子力発電所立地の経緯と地域経済の推移」、2010年3月、福井県立大学地域経済研究所、（なお、本論文で参照したのは第2版2012年3月、である）。
福井県立大学地域経済研究所（2011）、『原子力発電と地域経済の将来展望に関する研究』その2「原子力発電所による経済活動の特性と規模」、福井県立大学地域経済研究所、2011年3月。

⁵³⁹ 原子力委員会（1964a）、「原子炉立地審査指針」、1964年5月27日原子力委員会決定、『原子力委員会月報』第9巻第6号、1964年6月、
http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V09/N06/196400V09N06.HTML#menu_top 2016年3月1日参照。
原子力委員会（1964b）、「原子炉立地審査指針およびその適用に関する判断のめやす」、「原子炉立地審査指針およびその適用に関する判断のめやすについて」
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1964/ss1010203.htm> 2018年8月27日参照。

す」では、2.立地審査の指針で「原子炉の周囲は、原子炉からある距離の範囲内は非居住区域であること。」また、「ここにいう「ある距離の範囲」としては、重大事故の場合、もし、その距離だけ離れた地点に人がいつづけるならば、その人に放射線障害を与えるかもしれないと判断される距離までの範囲をとるもの」とし、低人口地帯に関して 300 レム (3Sv)、全身 25 レム(0.25Sv=250mSv)、また、人口密集地帯として 200 万人レム (10 万人の都市に対し 20 レム(200mSv)／人相当)としており、相当高い被ばく線量を想定している。しかし、東電福島原発事故の予測被曝線量はこれを大きく上回る可能性がある 1 年で 100～500mSv となる地域が半径 30km を超えて広がっている。

この事から、本来、原発の半径 30～50km 以内に都市があること自体が原子力災害対策上望ましくない、ということになり、リスクに対応した「ベネフィット」を享受して生産活動の増大、人口の増大などを含めて都市が発展することと矛盾している。東京電力福島第一原発事故は、絶対安全な原発という主張が「安全神話」であることを示した。その結果、原子力災害対策は、従来の過酷事故を想定外の事象として扱うことから、核燃料の溶融は建屋の爆発を含めた重大事故を想定した災害対策へと大きく変化した。皮肉なことに地元への経済効果、という「経済神話」はそれが本来なら対として必要としていた「安全神話」が成立しなくなった後も残存し、原子力災害対策の方針とは矛盾した地元への経済効果を謳っているということになる。

6.3.6 原発立地自治体への「経済効果」は薄く、リスクへのバランスを欠く

もちろん、このような矛盾は、それが実際には経済効果が薄い「経済神話」であることを考慮すると、リスクに対する便益の提供が不均衡である、という問題とも捉えることができる。これは、本論文で繰り返し検討してきたエントロピーの排出構造に伴う、受益圏と受苦圏の分離と、不十分な補償という問題の一部である。

本節(6.3 節)では、原子力発電所立地のもつ原子力災害のリスクと経済効果(便益、ベネフィット)との不均衡を、柏崎市と三条市、新発田市のデータを比較した新潟日報との共同研究の成果を引用して検討してきた。以上で見てきたように、原子力発電所の立地による経済効果の実例としての柏崎市については、建設業に関する一時的な生産額増加効果以外には、実測されたプラスの効果はない。したがって、原子力災害による立地地域へのリスクに見合った便益の供与はない。

なお、建設業の生産額増加効果が、なぜ他部門に波及しないのか。言い換えれば、明ら

かな生産量増大、所得増大の現象が観察されるにもかかわらず、他部門及び地域全体への経済効果が雲散霧消している理由はなにか。これには公的補助政策による地域振興が失敗する現象と似たメカニズムが存在すると推測される。すなわち、継続的に生産と消費活動を維持し、拡大する産業連関上の関係性が存在しないところに資金を投入し、一時的な所得は、他地域に流出しているのではないか。このような疑問について、量的関係を含む考察は、今後の研究課題である。

6.4 総括：原子エネルギー利用の環境経済システムにおける位置づけ

本論文では、東電福島第一原発事故を契機として明確化した問題意識から、一貫して原子エネルギー利用の環境経済システムにおける位置づけという視点から、エコロジー・エントロピー経済学の学説史的な検討、そして原子エネルギー利用に伴う放射線被ばくと原子力災害対策の制度的、理論的な検討から、そこにおける3つの主要な論点について検討してきた。

第6章では、結論として、各章で展開した個別の検討を総括するとともに、本論文における主要な論点についての結論を述べた。

まず、第2、3章で述べたエコロジー・エントロピー経済学の展開における、利用可能エネルギー及びエントロピーに着目した環境と経済システムについての議論を総括した。本論文における第一の論点である、エコロジー・エントロピー経済学における原子エネルギー利用の評価の違いはどのようにして生じたのか、という論点である。

次に、第4章、5章を通じて検討した原子エネルギー、放射線の利用と放射線被ばく、原子力災害対策の問題点の検討により、本論文の第二の論点である、環境、生命といった交換不可能な対象を、交換可能な財に置き換え、経済価値を評価尺度とする市場経済システムの要素として認識することの固有の問題が明らかにされた。つまり、放射線被ばくリスクの評価に顕著に現れる、エントロピー増大法則に従う物理的な事象に対する、交換価値としての経済価値（貨幣的価値）評価の問題点である。

著者はこれを、古典派から新古典派経済学に継承された、「稀少性から生じる経済化の方向」だけを追求する傾向の一部であると考えた。そして、失われたテクノ・エコノミックな方向に関する、技術的かつ実体的な内容、についての研究として、本論文では物質代謝を通じたエントロピーの廃棄メカニズムが、生物の生存と経済価値の創出の双方に重要な意味を持つという、エントロピー経済学の視点を確認した。それと同時にこのエントロピ

一の廃棄メカニズムは、自然環境及び他者に対する負担の押しつけによる価値創出を可能とするメカニズムであった。これは、本論文の第三の論点へとつながる論点でもある。

本論文の第三の論点は、「自然及び人間からのシステムの価値創出」の存在である。

F. ソディは共同体の富の収奪のメカニズムを貨幣的な富が実物と無関係に拡大創出される信用創造のメカニズムに見出したが、彼の論理の根本は、物理的な価値と経済的な価値との乖離にある。その意味で、経済価値の創出と引き換えにネガの部分に対して発生したエントロピーを廃物と廃熱の形で引き受けさせる（人間の場合、受忍させる）過程は、類似した構造を持っている。

本論文で見てきたようにエコロジー・エントロピー経済学のうち、エントロピー学派は、エネルギーのスループットではなく、エントロピー増大法則とそれによって含意される高エントロピーの物質や熱の物質循環による代謝（資源の投入、廃物と廃熱の廃棄、元の状態への復帰）を重視する。この観点からの原子エネルギー利用への批判は、放射性廃棄物とそれに伴う放射線被ばくによる損害は、原子エネルギー利用の対価がそれらの廃棄物と汚染であり、自然環境の物質循環によっては無害化、リサイクルできないことそのものであり、環境からの完全な隔離ができない限り、生態系及び人類に被害を与え続けることを指摘している。

結論を述べれば、以上のような問題の捉え方の違いが、F. ソディ自身も含めた原子エネルギー利用に関する肯定的または楽観的見解と N. ジョージエスケーレーゲン、H. T. オダムや、槌田敦、室田武をはじめとする原子エネルギー利用への否定的または悲観的見解との違いを生じさせているのだろう。これが第一の論点についての結論である。

またこれは、第二の論点である、生態系及び人類の不可逆的な被害や影響関係を、経済価値とその最大化という視点から評価する、手法の問題点をも説明する原理である。

放射性廃棄物、環境リスク物質や重金属といった「汚染ファンド」によって生じた汚染というネガティブなサービスが、自然環境システムの一部としての生態系及び、人類をも細胞、遺伝子レベルでの損害から、不可逆的な生命の喪失という形の損害まで、被害を与え続けること、そのことにより環境経済システムとしての持続可能性を損なっていることは、交換価値という回復可能な貨幣価値で評価し、制御しようとする、新古典派経済学に見られる最適化を用いた合理化の論理による分析にはなじまないというのが第二の論点についての結論である。

さらに本論文では、そのような環境経済システムにおける持続可能性を脅かす経済過程

が、経済的な持続可能性（採算性）を満たしてしまう、複合的な構造を考察した。

第一の構造的要因として、生態系ファンドにより無害化、リサイクルされない汚染が汚染ファンドにより発生していること、そして第二の構造的要因として、汚染者と被害者の分断、構造化がその発生を経済システムの中で許容している、という認識である。第 4、5 章で検討したように、このような分断は、放射線被ばくリスク及び原子エネルギー利用事業からのリスクの被害者及び受益者の分断、いわゆる受益圏と受苦圏の分離として存在し、公益的、「社会的な厚生」の最大化という論理では正当化されえない状況を呈している。

さらに、第一の構造的要因を追えば、自然の物質循環に載せられない化学物質、放射性物質等の汚染は、長期にわたって自然の物質循環内の生命、人間及び生態系システムに対する汚染源、破壊源として機能しつづける特徴がある。したがって、その利用の受益者となり得る現在世代であっても世代内の分断と、不可逆的な被害が生じ得る。これは N. ジョージスクレーゲンが指摘した、経済過程における時間と特定の仕方に関係したファンドの一つの形態としての「汚染ファンド」の性質と言える。

それだけでなく、現在世代と将来世代との関係性において、今日の経済社会においては、多数決による民主主義が機能している場合においてですら、持続可能性を損なう意思決定をもたらす多数決を防ぐことができない。これは第二の構造的要因である受益圏と受苦圏の分離構造の一つである。これらを総合すると、第三の論点とその結論に再帰する。

すなわち、持続可能な環境経済システムの在り方を阻害する「差異を利用した自然及び人間からの価値創出、"exploitation"」が環境経済システムの中で存在しているのではないかと、という問題提起が本論文の第三の論点についての結論である。

6.5 今後の課題

本論文では、第一、第二の論点の構造を明らかにし、その共通の構造的要因を説明する、第三の論点を示して議論してきた。今後の研究上の課題については多く、列挙しきれないが、大まかにまとめれば以下の二点となると考えられる。

一つは、学説史的検討の拡大、深化である。本論文で検討してきたエコロジー・エントロピー経済学の系譜に属する研究は、個別の検討によってさらに深い検討点が生まれる可能性を含んでいる。例えば、H. T. オダムのエネルギーと社会についての議論は、非常に多くの実験的な議論を含んでおり、本論文ではそれらを十分に検討できなかった。また、大崎正治の議論についても、その背後にある従属理論やその新しい展開については、十分な

考察を行うことができなかった。現代の経済社会を環境経済システムとして位置づけ、そこにおける経済価値の生産と物質代謝、差異の構造との関係性を追求していく上で、これらの議論の再検討は大きな研究上の課題と考えている。その際、K. ポランニーや玉野井芳郎といった、経済文明史についての視点の再検討も必要となってくるであろう。

また、実際上の論点として、原子エネルギー利用事業における原子力災害対策の位置づけ、今後の動向についてと、関連して立地地域に対する立地促進政策としての経済効果の検証、結論としての持続可能な社会の実現のための実証的な課題の抽出もまた、大きな研究上の課題である。本論文で紹介した柏崎市の事例は、マクロデータの時系列的な検証に過ぎず、そこから抽出された理論的な命題、例えば産業連関分析上の効果があるはずなのに、実際には観測されていない問題は、地域経済の集計、計量に関する既存の分析枠組みに対する研究課題となるだろう。ことに、その研究内容によっては、今後の持続可能な地域経済社会へのヒントが得られるとなればなおの事である。

謝辞

本論文は溯ると、関連文献で最も古いものは著者が小学生時代に見聞きした文献にまで至り、研究史としても世代間の資源配分と不可逆な汚染の蓄積を論じた1997年の修士論文の提出から22年もの歳月を経ている。その間、費やした時間に応じた研究成果が出せればよかったが、諸般の事情で研究の進捗が遅れ、また、東電福島第一原発事故という人類史上に残るであろう大きな惨禍を受け、著者としての主張も大きな影響を受けたため、基本からの書き直しにより、2010年の初期の論文草稿から数えても10年の年数を要してしまった。

この間、指導教員の丸山真人先生には、遅遅とした、また論理的に錯綜しがちな著者の論文執筆をご指導いただき、多くの励ましをいただいたことに感謝してもしきれない。また、審査委員会として任を受けていただいた岸野洋久先生、矢坂雅充先生、中西徹先生、和田喜彦先生にも多くのご指導をいただき、深く感謝する。

また、室田武先生には、私の学問への志の初期の段階からご著書などを通じて影響を受けただけでなく、初回の論文提出時から多くの学問的示唆と資料をご教示いただき、大変お世話になり、格別な感謝をしている。エントロピー学会誌に解説執筆の構想をいただいた井野博満先生や、新潟出身で柏崎刈羽原子力発電所の立地事情について詳しい菅井益郎先生をはじめとするエントロピー学会の先生方にもまた、多くの研究上の示唆、叱咤激励をいただいた。そして途中まで審査委員会の委員を引き受けていただいた先生方、同僚や関係する分野の先生方など、記せば数え切れないほどの恩義を受けている。ともかく著者の遅筆と怠惰についてお詫びするばかりである。

さらに、ご著書の草稿段階から原発を巡る経済的問題について様々な考え方について話していただき、多くの示唆をいただいた楠美順理先生、本論文で紹介した原子力発電所立地の地域経済に与える影響について、産業別データ分析を中心に共同研究を行っていた新潟日報社の原発問題特別取材班の皆様、とりわけ前田有樹記者、また、原子力防災研究会でお世話になっている弦巻英市氏と高木茂・泉ご夫妻に、記して感謝したい。

2019年1月 藤堂史明

凡例 文献情報記載について

一般に論文における文献情報記載方法は概ね「脚注・章末注方式」、「文献リスト方式」、「文献番号方式」に区分されるが、著者の近年の論文では概ね脚注方式を採用していた。本論文では文献情報記載の方式として、「脚注方式」と「文献リスト方式」を併用した。このため、出版年表記は()カッコに入れて著者名の後ろに記載し、文献リスト作成時のインデックスとした。また、文献の初出時及び参照時に脚注に文献情報を記載したが、脚注そのものの中の文献参照と二回目以降の参照においては略記した。

また、初出時の脚注と重複させる形で巻末の文献リストに文献情報を記載した。これは、読者が巻末文献リストをその都度参照しながら論文を読むことの不便性を勘案したためである。また参照した文献の論文が、著書に含まれる場合も重複して記載した。脚注で連続しないし複数回参照する文献は、同書、同論文ないし前掲書、前掲論文として参照した。

文献情報の記載ルールは、文献リスト方式に対応して、著者名(西暦刊行年)、「タイトル」、『掲載誌名ないし単行本名』、巻号、頁、出版社名。である。英文は、Author (year of publish), "Title," *Journal or Book Title*, Vol. , No. , pages, Place: Publisher.の順に記載した。同年出版物間の区別及び、書籍全体と所収論文との区別はアルファベットで行った。

著者の自著については、本文中では拙著と呼称し、文献情報は「藤堂史明(出版年)」の表記とした。機関所蔵の資料は、機関名で分類した。

さらにインターネット資料の場合、日本語、欧文ともに Uniform Resource Locator 及び参照年月日の順である。本文と同じく、日本語には句読点を、欧文にはカンマ、ピリオドを用いた。インデント位置から一行に収まらない場合は2行に分けて表示した。

なお、日本語のページ表記は頁、欧文は p. ないし pp. (複数ページの場合)を用いた。文献リストでは参照頁ではなく文献そのものの掲載頁を記載している。なお、翻訳で著者名表記パターンが複数存在するときは、本論文での記法は、ファーストネームのアルファベット+ピリオドによる略記、(あればセカンド以降のネームの略記)、ファミリーネームの表記とした。複数単語からなる外国名の表記は - を用いて接続したが、日本語の著作物名で=を用いている場合は、その出典を表記する場合のみ = を用いた。

欧文論文、書籍の著者名が日本語でカタカナ表記された媒体(翻訳等)がある場合は、そちらを本文中で原則として用いたので、著作物を参照する場合のみ欧文の場合がある。

注または別行で表記する出典にも句読点を用いた。引用段落は両側2字インデントし、長文は上下を空けた。文中に「」内の文として引用する際、元の文中の「」は、『』に置き換えた。本文中の欧文単語及び熟語は原則として {} で括った。明確な誤記は訂正した。

なお、英文の翻訳等に用いた辞書は主に以下である。

高橋作太郎、笠原守(2012)、『リーダーズ英和辞典(第3版)』、研究社。

小西友七、南出康世(2002)、『ジーニアス英和大辞典』、大修館書店。

A. S. Hornby, J. Turnbull, D. Lea, D. Parkinson and P. Phillips (2010), *Oxford Advanced Learner's Dictionary*, 8th Edition, Oxford: Oxford University Press.

文献リスト

※日本語は著者名の五十音順、欧文は著者名 (Family Name) のアルファベット順。同一著者は出版発表年順。

和文文献

あ

青木秀和 (2008)、『お金崩壊』、集英社新書。

朝日新聞 (2012)、「原発事故対応、議事録なし 政府対策本部、認識後も放置」、2012年1月25日、

<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201201240551.html> 2018年12月29日参照。

池田千賀子 (2010)、「原子力発電所が柏崎市財政に与えた影響」、第33回愛知自治研集会、
http://www.jichiro.gr.jp/jichiken_kako/report/rep_aichi33/03/0324_ron/index.htm
2016年3月1日参照。

泉留維 (2004)、「フレデリック・ソディの貨幣論に関する考察」、『自由経済研究』、第29号、1-38頁。

市川定夫 (2011)、「微量放射線の生物学的・医学的危険性」、『技術と人間』論文選、大月書店、220-231頁。(原著1976年)。

井野博満 (2007)、「自然エネルギーは環境にいいはずなのになぜコストは高いのかー energy payback time と cost payback time のギャップー」、(エントロピー学会 第24回シンポジウム 2006年11月26日発表)、エントロピー学会誌『えんとりぴい』、第59号、35-37頁。

H. イムラー (1993)、栗山純訳、『経済学は自然をどうとらえてきたか』、農産漁村文化協会。

入口紀男 (2008)、『メチル水銀を水俣湾に流す』、日本評論社。

H. G. ウェルズ (1997)、浜野輝訳『解放された世界』、岩波文庫 (原著1914年)。

宇沢弘文 (1991)、『日本企業のダイナミズム』、ECONOMIC AFFAIRS - 1、日本政策投資銀行設備投資研究所、東京大学出版会、他。

宇沢弘文 (2000)、『社会的共通資本』、岩波新書。

宇沢弘文 (2016)、『宇沢弘文傑作論文全ファイル』、東洋経済新報社。

宇都宮仁 (2015)、「柏崎刈羽原子力発電所停止による柏崎経済への経済効果」、『新潟産業大学経済学部紀要』、第45号、2015年6月、1-12頁。

F. エンゲルス (2001)、秋間実訳、『反デューリング論』、新日本出版社。

エントロピー学会 (1983)、「設立趣意書」。

<https://entropy.ac/about/prospectus/> 2018年12月17日参照。

欧州放射線リスク委員会(ECRR)編 (2011)、山内知也監訳、『放射線被ばくによる健康影響とリスク評価ー欧州放射線リスク委員会(ECRR)2010年勧告』、明石書店。

大崎正治 (1981)、『鎖国の経済学』、宝島社。

- 大崎正治 (1981a)、「熱力学派経済学の研究」、『鎖国の経済学』、JICC 出版局、202-241 頁。
 (初出：『国学院経済学』、第 27 卷 1980 年 9 月。)
- 大崎正治 (1981b)、「熱力学派経済学の意義と限界」、『鎖国の経済学』、JICC 出版局、242-286 頁。
 (初出：『国学院経済学』、第 27 卷 1980 年 9 月。)
- 大島堅一 (2010)、『再生可能エネルギーの政治経済学』、東洋経済新報社。
- 大島堅一・除本理史(2012) 『原発事故の被害と補償—フクシマと「人間の復興」』、大月書店。
- 岡敏弘 (2014)、「エントロピー経済学の成果と限界」、『経済学論叢』、第 65 巻第 3 号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、123-145 頁。
- 岡田知弘・川瀬光義 (2013)、『原発に依存しない地域づくりへの展望』、自治体研究社。
- 岡田正彦 (2011)、『放射能と健康被害—20 のエビデンス』、日本評論社。
- 小倉秀夫、「BENLI」 <http://benli.cocolog-nifty.com/benli/> 2009 年 6 月 10 日参照。
- H. T. オダム、E. C. オダム (1978)、市村俊英 監訳、『人間、自然、エネルギー』、共立出版、1978 年。

か

- K. W. カップ (1959)、篠原泰三訳、『私的企業と社会的費用—現代資本主義における公害の問題—』、農林水産業生産性向上会議。
- K. W. カップ (1975)、柴田徳衛・鈴木正俊訳、『環境破壊と社会的費用』、岩波書店。
- 核燃料サイクル開発機構 (1999)、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 —地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—、総論レポート」JNC TN1400 99-020。
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-020.pdf> 2019 年 1 月 9 日参照。
- 分冊 1 地層処分の安全評価」JNC TN1400 99-021。
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-021.pdf> 2019 年 1 月 9 日参照。
- 分冊 2 地層処分の安全評価」JNC TN1400 99-022。
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-022.pdf> 2019 年 1 月 9 日参照。
- 分冊 3 地層処分の安全評価」JNC TN1400 99-023。
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-023.pdf> 2019 年 1 月 9 日参照。
- 別冊 「地層処分の背景」JNC TN1400 99-024。
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1400-99-024.pdf> 2019 年 1 月 9 日参照。
- 梶田孝道 (1979)、「紛争の社会学—「受益圏」と「受苦圏」—「大規模開発問題」におけるテクノクラートと生活者」、『経済評論』、1979 年 5 月号、日本評論社、101 - 120 頁。
- 柏崎市 (2009)、柏崎市地域防災計画 (原子力災害対策編) 平成 21 年度修正版、
<http://www.city.kashiwazaki.niigata.jp/iexcms/files/article/10727/20100303161429.pdf>、

- 2011年11月29日参照。
- 柏崎市(2014)、「財政状況資料集」(平成25年度決算)、
https://www.city.kashiwazaki.lg.jp/z_zaise/shise/yosan/zaise/bunseki/h25/documents/04zaisei.pdf 2016年3月1日参照。
- 勝木渥(1999)、『物理学に基づくー環境の基礎理論ー冷却・循環・エントロピー』、海鳴社。
- 公文俊平(1986)、「玉野井先生の思い出」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、230-233頁。
- 桂木健次(1985)、「ハーマン・E・デイリー著「フレドリック・ソディの経済思想」」、エントロピー学会富山懇話会、『環境とエントロピー議事録』1985年2月。
- 桂木健次(2006)、「経済学は環境研究とどう向き合ってきたかーフレドリック・ソディの金融改革提唱の現代的意義」、高多理吉ほか編著『社会環境学への招待』、ミネルヴァ書房。
- 金子勝(2012)、『原発は不良債権である』、岩波ブックレット。
- 金子勝(2013)、『原発は火力より高い』、岩波ブックレット。
- 上岡直見(2014)、『原発 避難計画の検証: このままでは、住民の安全は保障できない』、合同出版。
- 上岡直見(2015)、「原発は地域に貢献していない」、『「走る原発」エコカーー危ない水素社会ー』、第4章、 commons、118-130頁
- 神里公(1986)、「経済価値とエントロピー」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、208-214頁。
- 刈羽村(2010)、「地域防災計画 原子力災害編(平成22年10月修正)」、刈羽村、2010年10月、
<http://www.vill.kariwa.niigata.jp/www/info/detail.jsp?id=899>、2011年12月20日参照。
- S. カルノー(1973)、広重徹訳、『カルノー・熱機関の研究』、みすず書房。
- 川島慶子(2012)、「山田延男と湯浅年子ーキュリー家の人々に師事したふたりの日本人科学者ー」、『化学史研究』、第39号、179-190頁。
- 河宮信郎・青木秀和(2008)、「明日なき世界経済」、エントロピー学会第26回シンポジウム講演、2008年10月12日
- 楠見順理(2017)、『はじめての原発ガイドブック - 賛成・反対を考えるための9つの論点 - 』、創成社。
- 公文俊平(1986)、「玉野井先生の思い出」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、230-239頁。
- 倉坂秀史(1999a)、「経済学における物質的アプローチの試み(上)」、『千葉大学経済研究』、第14号第2巻、87-112頁。
- 倉坂秀史(1999b)、「経済学における物質的アプローチの試み(下)」、『千葉大学経済研究』、第14号第2巻、375-412頁。
- 倉坂秀史(2002)、『環境を守るほど経済は発展する』、朝日新聞出版。
- 倉坂秀史(2006)、『環境と経済を再考する』、ナカニシヤ出版。
- 倉坂秀史(2018)、「人口減少社会で気づく持続可能性の経済学ーフロー管理からストック管

理へ」、エントロピー学会 2018 年春の研究集会、2018 年 6 月 2 日、講演資料。

原子力安全委員会 (2008)、「環境放射線モニタリング指針」、原子力安全委員会、平成 20 年 3 月、
<http://www.nsc.go.jp/anzen/sonota/houkoku/houkoku20080327.pdf> 2011 年 12 月 20 日参照。

原子力安全委員会 (2010)、「原子力施設等の防災対策について」(2010 年 8 月改訂)、
<http://www.nsc.go.jp/anzen/sonota/houkoku/bousai220823.pdf>、2011 年 12 月 20 日参照。

原子力安全委員会 (2011a)、「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の試算について」プレス発表、2011 年 3 月 23 日、
http://www.nsc.go.jp/info/110323_top_siryu.pdf 2011 年 3 月 23 日参照。
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3533051/www.nsc.go.jp/info/110323_top_siryu.pdf 2018 年 9 月 7 日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)

原子力安全委員会 (2011b)、「原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会被ばく医療分科会第 28 回会合速記録」、www.nsc.go.jp/senmon/soki/hibakubun/hibakubun_so28.pdf 2012 年 2 月 1 日参照。
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3533051/www.nsc.go.jp/senmon/soki/hibakubun/hibakubun_so28.pdf 2018 年 9 月 7 日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)

原子力安全委員会決定 (1987)、「ソ連原子力発電所事故調査特別委員会報告書について」、1987 年 10 月 14 日、
<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/genroanki/genroanki023/siryu23-6-1.pdf> 2011 年 12 月 20 日参照。

原子力安全委員会事務局 (2011)、「低線量被ばくのリスクからがん死の増加人数を計算することについて」、2011 年 9 月 8 日、
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/info/bassi_0908.pdf 2013 年 2 月 10 日参照。

原子力安全委員会防災指針検討ワーキンググループ (2011)、「原子力発電所に係る防災対策を重点的に充実すべき地域に関する考え方」、2011 年 10 月 20 日、
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/bousin/bousin2011_06/siryu3.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

原子力安全技術センター (2010a)、『原子力防災ハンドブック』、財団法人原子力安全技術センター。

原子力安全技術センター (2010b)、『原子力防災基礎用語集』、財団法人原子力安全技術センター。

原子力安全基盤機構 (2009)、「(原子力規制委員会の旧組織の一つ)、IAEA (2002)邦訳「原子力又は放射線の緊急事態に対する準備と対応」、
<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013196.pdf> 2015 年 2 月 1 日参照。
<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10249547/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000013196.pdf> 2018 年 9 月 7 日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)

原子力安全基盤機構 (2012)、「(原子力規制委員会の旧組織の一つ)、IAEA (2011)邦訳「原子力又は放射線の緊急事態への準備と対応に用いる判断基準」
<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000120491.pdf> 2015 年 2 月 1 日参照。
<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10249547/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000120491.pdf> 2018 年 9 月 7 日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)

原子力委員会 (1964a)、「原子炉立地審査指針」、1964 年 5 月 27 日原子力委員会決定、『原子力委員会月報』第 9 巻第 6 号、1964 年 6 月、
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V09/N06/196400V09N06.HTML>

#menu_top 2016年3月1日参照。
原子力委員会(1964b)、「原子炉立地審査指針およびその適用に関する判断のめやす」、「原子炉立地審査指針およびその適用に関する判断のめやすについて」
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1964/ss1010203.htm> 2018年8月27日参照。
原子力委員会(1979)、『原子力白書』(昭和54年12月)、
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1979/index.htm> 2018年8月31日参照。
原子力委員会(1989)、「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」原子力委員会、昭和39年5月27日、平成元年3月27日一部改訂、
www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/1/si001.pdf、2011年12月20日参照。
原子力規制委員会(2013)、「原子力災害対策指針」、原子力規制委員会、平成24年10月31日(平成25年9月5日全部改正)。
原子力規制委員会(2015)、「原子力災害対策指針」平成24年10月31日、平成27年4月22日全部改正、<http://www.nsr.go.jp/data/000104632.pdf> 2018年9月7日参照。
原子力規制委員会(2018)、「原子力災害対策指針」平成30年7月25日、
<http://www.nsr.go.jp/data/000024441.pdf> 2018年8月27日参照。
原子力災害対策本部(2011a)、「福島県内の学校等の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方」、2011年4月19日、
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305174.htm 2013年2月10日参照。
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8200951/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/1305174.htm 2018年9月22日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)
原子力災害対策本部(2011b)、「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋(ステップ2完了)のポイント」、2011年12月16日、
<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111216b.pdf> 2011年12月20日参照。
原子力災害対策本部(2011c)、「ステップ2の完了を受けた警戒区域及び避難指示区域の見直しに関する基本的考え方及び今後の検討課題について」、2011年12月26日、
www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111226_01a.pdf 2011年12月28日参照。
原子力災害対策本部、政府・東京電力中長期対策会議(2011)、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」、2011年12月21日、
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111221_01b.pdf 2012年1月5日参照。
原子力発電環境整備機構(2017)、「知ってほしい、地層処分」、原子力発電環境整備機構、
https://www.numo.or.jp/topics/shittehoshii_a4.pdf 2018年9月23日参照。
国際放射線防護委員会(1985)、日本アイソトープ協会訳、『放射線防護の最適化における費用－便益分析』、丸善。(原著 ICRP(1983))
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2015)、NEDO ニュースリリース「人工光合成の水素製造で世界最高レベルのエネルギー変換効率2%を達成」、2015年3月31日。
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100372.html 2018年1月20日参照。
国会(2012a)、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調)、「第2回委員会会議録」、平成24年1月16日、
http://www.naiic.jp/wp/wp-content/uploads/2012/01/ik02_kaigiroku.pdf 2012年2月1

日参照。

国会 (2012b)、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 (国会事故調)、『国会事故調 調査報告書[本編]』、平成 24 年 6 月 28 日。

五味大典 (1983)、「システムダイナミックモデルによる原子力発電所立地の経済効果分析」、日本立地センター研究年報、191-237 頁。

さ

崎山比早子 (2012)、「低線量放射線リスク過小評価の背景—国会事故調査で見た事—」、原子力資料情報室、2012 年 12 月 19 日、

http://www.cnrc.jp/files/20121219_sakiyama_Ust.pdf 2013 年 2 月 1 日参照。

佐藤康雄 (2013)、『放射能拡散予測システム SPEEDI なぜ活かされなかったか』、東洋書店。

佐野誠 (2013)、『99%のための経済学—理論編—』、新評論。

沢田正三 (1994)、「永久機関」、『日本大百科事典』、小学館。

資源エネルギー庁 (2012)、「地球温暖化対策のための税の導入について」平成 24 年 10 月 1 日、http://www.enecho.meti.go.jp/notice/topics/026/pdf/topics_026_001.pdf 2018 年 9 月 17 日参照。

柴田敬 (1970)、「エネルギーと経済：公害と壊壊法則」、『青山経済論集』、第 22 巻 2 号、23-58 頁。

柴田徳衛・松田雄孝 (1976)、『公害から環境問題へ—自然と人間の回復—』、東海大学出版会。

芝田英昭 (1986)、「原発立地の経済効果①—福井県美浜町から—」、『経済評論』、第 41 巻 9 号、日本評論社、1986 年 9 月、77-88 頁。

N. ジョージエスクーレーゲン (1981)、小出厚之助・室田武・鹿島信吾編訳、『経済学の神話—エネルギー、資源、環境に関する真実』、東洋経済新報社。

N. ジョージエスクーレーゲン (1985a)、小出厚之助訳、「物質も重要である」、小野周ほか編、『エントロピー』、朝倉書店、119-140 頁。

N. ジョージエスクーレーゲン(1985b)、小出厚之助訳、「自立的技術体系のプロメテウスの条件」、小野周ほか編、『エントロピー』、朝倉書店、141-158 頁。

N. ジョージエスクーレーゲン (1993)、高橋正立・神里公他訳、『エントロピー法則と経済過程』、みすず書房、原著 1971 年。

W. K. シンクレア (1994)、「科学、放射線防護および NCRP」、

<http://www.rerf.or.jp/library/update/rerfupda/comment/ncrp.html> 2013 年 2 月 10 日参照。(原文：RERF Update, Vol. 6, Issue 2, pp. 3-5.)

J. メイナード・スミス (1985)、寺本英、梯正之訳『進化とゲーム理論—闘争の論理—』産業図書。

関根友彦 (1986)、「玉野井理論の構造」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、246 - 252 頁。

た

- 玉野井芳郎編 (1962)、『マルクス価格理論の再検討』、青木書店。
- 玉野井芳郎 (1971)、「新古典派 100 年の今日的意味—期待される「パラダイム」論争—」、『経済セミナー』、1971 年 6 月号、13-23 頁。
- 玉野井芳郎 (1975)、『転換する経済学』、東京大学出版会。
- 玉野井芳郎 (1978)、『エコノミーとエコロジー—広義の経済学への道—』、みすず書房。
- 玉野井芳郎 (1979)、「生産とは何か」、早坂忠・伊東光晴・竹内啓編、『経済学の知性史的考察』、東洋経済新報社、1-12 頁。
- 玉野井芳郎 (1984)、「生命系の世界を開くために」、『いのちと農の論理』、学陽書房。
- 地球問題研究会 (1992)、「プルトニウム利用技術のブレークスルー」、『週刊エコノミスト』、1992 年 9 月 1 日号、毎日新聞社、88-91 頁。
- 中央防災会議 (1979)、「原子力発電所等に係る防災対策上当面とすべき措置について」、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1979/ss10107.htm> 2018 年 8 月 31 日参照。
- 中国新聞 (2011)、「前のめりの政治判断 「緊急事態」続く」、2011 年 12 月 17 日、<http://www.chugoku-np.co.jp/News/Sp201112170072.html> 2011 年 12 月 17 日参照。
- 張博 (2016)、「原子力発電のコスト及び損害賠償制度に関する研究—日本の原子力発電を中心に—」、新潟大学大学院現代社会文化研究科、博士論文。
- 槌田敦 (1976a)、「核融合発電の限界」、『日本物理学会誌』、第 31 巻第 8 号、598-602 頁。
- 槌田敦 (1976b)、「核融合発電と資源物理学」、『日本物理学会誌』、第 31 巻第 12 号、938-941 頁。
- 槌田敦 (1978)、『石油と原子力に未来はあるか—資源物理の考え方』、亜紀書房。
- 槌田敦 (1980)、『エネルギー—未来への透視図』、日本書籍。
- 槌田敦 (1981)、『石油文明の次は何か』、農山漁村文化協会。
- 槌田敦 (1982)、『資源物理学入門』、NHK ブックス。
- 槌田敦 (1986)、「玉野井先生とエントロピー」、『エントロピー読本 III』、日本評論社、268-273 頁。
- 槌田敦 (1992)、『熱学外論—生命・環境を含む開放系の熱理論—』、朝倉書店。
- 槌田敦 (2002)、『新石油文明論』、農山漁村文化協会。
- 槌田敦 (2007)、『弱者のための「エントロピー経済学」入門』、ほたる出版。
- 槌田敦 (2009)、『「地球生態学」で暮らそう』、ほたる出版。
- 槌田敦 (2012)、「開放系エントロピー論・35 年—資源物理学からエントロピー経済学へ—」、エントロピー学会誌『えんとろびい』第 72 号、37-40 頁。
- 槌田竜太郎 (1947)、『化学外論』、共立出版。
- 弦巻英市、藤堂史明 (2017)、「東京電力福島第一原発事故の事故過程の検証：直流電源残存の 3 号機は、事故時運転操作手順書に従えば炉心熔融を防げたのではないか」、『経済開発と環境保全の新視点』、新潟大学大学院現代社会文化研究科、第 8 号、45-60 頁。
- H. E. デイリー (1984)、桂木健二訳、「フレドリック ソディの経済思想」、『社会環境論ワーキングペーパー』、第 11 号、富山大学教養部環境科学研究室。
- H. E. デイリー (2005)、新田功・蔵本忍・大森正之訳、『持続可能な発展の経済学』、みす

ず書房。

寺西俊一 (2016)、「改めて福島原発事故の影響と被害を考える－「経済的評価」の意義と限界－」、『農村計画学会誌』、第 34 巻第 4 号、436-439 頁。

東京新聞 (2014)、「海側井戸で 500 万ベクレル ストロンチウム、最高値」、2014 年 2 月 6 日、

<http://www.tokyo-np.co.jp/s/article/2014020601002120.html> 2015 年 2 月 10 日参照。

東京電力 (2014)、「フィルタベント設備の検討のための事故想定」における各ケースの放出量評価方法について、新潟県技術委員会資料、2014 年 8 月 27 日、

www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/935/11/140827%20No.2-2.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

東京電力 HD・新潟県合同検証委員会(2017)、「東京電力 HD・新潟県合同検証委員会の調査結果 (概要)」、2017 年 12 月 26 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/951/761/02shiryu2.pdf 2018 年 8 月 30 日参照。

東京電力 HD・新潟県合同検証委員会(2018)、「検証結果報告書」、2018 年 5 月 8 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/224/564/180518_houkoku_281844.pdf
2018 年 8 月 30 日参照。

藤堂史明 (1992)、「原子力利用の危険性」、『週刊エコノミスト』、1992 年 9 月 15 日号、毎日新聞出版、108 頁。

藤堂史明 (2005)、「循環型社会の実効性に向けて－日本の環境政策と環境資源管理制度」、松原望、丸山真人編、『アジア太平洋環境の新視点』、第 7 章所収、彩流社。

藤堂史明 (2006a)、「環境効率と環境資源管理制度」、『新潟大学経済論集』、第 80 号、2005-II、33-46 頁

藤堂史明 (2006b)、「フレデリック・ソディの富の概念、価値及び資本の位置づけと、環境及び経済システムのエントロピー論的理解におけるその現在の意義」、『新潟大学経済論集』、第 81 号、2006-I、75-105 頁。

藤堂史明 (2006c)、「フレデリック・ソディの富の概念と経済学についての第一考察」エントロピー学会誌『えんとろぴい』、第 58 号、1-6 頁。

藤堂史明(2008a)、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』1 章、3 章における基礎的分析概念について〔翻訳〕」、『新潟大学経済論集』第 84 号、2007-II、105-139 頁。

藤堂史明(2008b)、「エントロピー経済学入門－第 1 回： 価値の本質とは何か－」、エントロピー学会誌『えんとろぴい』、第 64 号、2008 年 11 月、38-47 頁。

藤堂史明(2009a)、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』第 4 - 5 章における富・信用・価値についての標準的経済学批判の考察』『新潟大学経済論集』、第 85 号、2008-II、83-125 頁。

藤堂史明(2009b)、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への解決策』第 7 章における貨幣・仮想的富の理論についての考察』、『新潟大学経済論集』、第 87 号、2009-I、101-144 頁。

- 藤堂史明 (2009c)、「エントロピー経済学入門—第2回：市場と生命における価値の生産—」
エントロピー学会誌『えんとろびい』、第66号、2009年7月、83-96頁。
- 藤堂史明 (2009d)、「エントロピー経済学入門—第3回：物理的な富と非物理的な富—」、
エントロピー学会誌『えんとろびい』、第67号、2009年11月、42-52頁。
- 藤堂史明 (2010a)、「<研究ノート>環境・資源管理問題におけるいくつかの基本的命題の
考察」、『経済開発と環境保全の新視点』、第1号、42-53頁。
- 藤堂史明 (2010b)「エントロピー経済学入門—第4回：市場メカニズムと「社会エンジン」
の制御—」エントロピー学会誌『えんとろびい』、第69号、48-59頁。
- 藤堂史明 (2011)、「エントロピー経済学入門—第5回：膨張する経済社会の終焉—」、エン
トロピー学会誌『えんとろびい』、第70号、2011年3月、59-73頁。
- 藤堂史明 (2012a)、「東電福島第一原発事故後の原子力防災対策」、『新潟大学経済論集』、第
92号、2011-II、131-159頁。
- 藤堂史明 (2012b)、「新潟県における原子力災害対応体制と社会経済的影響 研究報告書」、
平成23年度新潟大学プロジェクト推進経費（災害特別）事業、平成24年3月14日。
- 藤堂史明 (2012c)「植田敦のエントロピー理論、その貢献と未来への展開」エントロピー学
会誌『えんとろびい』、第72号、47-52頁。
- 藤堂史明 (2012d)、「<研究ノート>東電福島第一原発事故後の放射線リスクと防護基準の
考え方」、『経済開発と環境保全の新視点』、第3号、21-28頁。
- 藤堂史明 (2012e)、「原子力防災体制とリスク評価の社会経済的側面」、エントロピー学会誌
『えんとろびい』、第73号、2012年春の研究集会特集、65-72頁。
- 藤堂史明 (2013a)、「原発事故による放射線リスクの経済分析」、『新潟大学経済論集』、第
94号、2012-II、69-97頁。
- 藤堂史明 (2013b)、「<研究ノート>持続可能な民主主義は可能か - 時間の不可逆性とエン
トロピー法則」、『経済開発と環境保全の新視点』、第4号、新潟大学大学院現代社会文化
研究科、45-57頁。
- 藤堂史明 (2014a)、「エントロピー経済学の創成と環境学の今日的課題」、『経済学論叢』、第
65巻第3号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、147-163頁。
- 藤堂史明 (2014b)、「原発再稼働をめぐる経済的論理」、『新潟大学経済論集』、第96号、
2013-II、49-65頁。
- 藤堂史明 (2015)、「原子力災害対策の見直しについての経済学的考察」、『新潟大学経済論集』
第98号、2014-II、69-97頁。
- 藤堂史明 (2016a)、「<研究ノート>原子力発電所の経済効果はあったのか—柏崎市の事例
—」、『経済開発と環境保全の新視点』、第7号、2016年3月、55-65頁。
- 藤堂史明 (2016b)、『「原子力防災」の経済学—「望ましい」被ばく量はあるのだろうか—』、
ブックレット新潟大学68、新潟日報事業社。
- 藤堂史明 (2018)、「フレデリック・ソディ『富、仮想的な富そして負債：経済学の逆説への
解決策』第2章におけるエネルギーとその利用に関する理論について」、『新潟大学経済

論集』、第 104 号、2017-II、117-142 頁。

な

内閣官房 (2016)、「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針 (案)、平成 28 年 (2016 年) 12 月 21 日原子力関係閣僚会議 (第 6 回)。

https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/dai6/siryoku2.pdf 2018 年 7 月 9 日参照。

中岡哲郎 (1974)、『コンビナートの労働と社会』、平凡社選書。

中川保雄 (1991)、『放射線被曝の歴史』、技術と人間。

中村修 (1995)、『なぜ経済学は自然を無限ととらえたか』、日本経済評論社。

新潟県 (2010a)、平成 22 年度新潟県原子力総合防災訓練「住民避難誘導訓練実施要領」、平成 22 年 11 月。

新潟県 (2010b)、平成 22 年度新潟県原子力総合防災訓練「緊急時環境放射線モニタリング訓練実施要領」、平成 22 年 11 月。

新潟県 (2011)、「福島第一原子力発電所事故に伴う新潟県内の放射線等の監視結果(Ver. 2)」新潟県、2011 年 9 月 27 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/676/594/ver2_all.pdf 2011 年 10 月 1 日参照。

新潟県 (2012)、「柏崎刈羽原子力発電所の過酷事故時における対策の考え方」、2012 年 4 月、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Simple/693/561/jimukyoku%20zanteian,0.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

新潟県 (2014a)、「原子力災害に備えた新潟県広域避難の行動指針 (Ver. 1 H26.3 月)」、2014 年 3 月、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/421/126/20140325%20koudoushishinn.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

新潟県 (2014b)、「新潟県地域防災計画 (原子力災害対策編) 平成 26 年 3 月修正」、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/203/67/06_gensiryokutaisakuhenn.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

新潟県 (2018)、「平成 27 年度 新潟県 市町村民経済計算(平成 18 年度～平成 27 年度)」。

(全文) <http://npdas.pref.niigata.lg.jp/tokei/5ac1e15e1bdce.pdf>

(データ) http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/971/920/10dai6hyo_473819.xls 2019 年 1 月 13 日参照。

新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会 (2011)、「第 26 回地震、地質・地盤に関する小委員会 議事録」(平成 23 年 8 月 11 日開催)、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/222/238/110811_26giji,0.pdf 2011 年 12 月 20 日参照。

新潟県産業労働観光部 (2015)、「柏崎刈羽原子力発電所全号機停止の影響について (市町村民経済計算等から見た柏崎市の経済状況)」、平成 27 年 4 月 14 日、

www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/1016/627/sankou,0.pdf 2016 年 3 月 1 日参照。

新潟県出納局・総務監理部 (2014)、「安定ヨウ素剤未調達事案等に関する調査報告 1」2014 年 6 月 13 日、

http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/538/959/20140613hokoku2.pdf 2015 年 2

月 1 日参照。

新潟県防災会議 (2009)、「新潟県地域防災計画 (原子力災害対策編) 平成 21 年 9 月修正」、新潟県、平成 21 年 9 月、
<http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/1203354069921.html>、2011 年 12 月 20 日参照。

新潟県防災会議 (2010)、「新潟県地域防災計画 (原子力災害対策編：資料編) 平成 22 年度版」、
<http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/1203354070390.html> 2011 年 12 月 20 日参照。

新潟県防災局原子力安全対策課 (2010)、「平成 22 年度新潟県原子力防災訓練実施要領」、2010 年 10 月 29 日、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/787/797/bessiyouryou.pdf 2011 年 12 月 20 日参照。

新潟県防災局原子力安全対策課 (2011a)、「第 3 回原子力防災に関する勉強会」資料：独立行政法人 原子力安全基盤機構防災対策部 「柏崎刈羽原子力発電所に係る避難シミュレーション」、2011 年 8 月 24 日。

新潟県防災局原子力安全対策課 (2011b)、「第 4 回原子力防災に関する勉強会」における資料：独立行政法人日本原子力研究開発機構原子力緊急時支援・研修センター 「原子力災害対策における安定ヨウ素剤の扱い及び避難者のスクリーニング」、2011 年 9 月 5 日。

新潟県防災局原子力安全対策課 (2014)、「原子力災害時の避難に関する課題について～避難時間推計シミュレーション結果から～」、2014 年 8 月 26 日、
http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/20/75/ete-setumeisiryou,0.pdf 2015 年 2 月 1 日参照。

新潟日報社原発問題特別取材班 (2017)、『崩れた原発「経済神話」－柏崎刈羽原発から再稼働を問う－』、明石書店。

日本アイソトープ協会 (1985)、『放射線防護の最適化における費用 - 便益分析』、丸善。

日本アイソトープ協会 (2009)、『国際放射線防護委員会の 2007 年勧告: ICRP Publication 103』、丸善。

日本アイソトープ協会 (2011)、「ICRP Publication 109 緊急時被ばく状況における人々に対する防護のための委員会勧告の適用 (日本語ドラフト)」、
<http://www.jrias.or.jp/books/pdf/20110428-174501.pdf> 2013 年 2 月 10 日参照。

独立行政法人日本原子力研究開発機構原子力緊急時支援・研修センター (2011)、「原子力災害対策における安定ヨウ素剤の扱い及び避難者のスクリーニング」、2011 年 9 月 5 日。

は

畠瀬和志・桂木健次 (2008)、「エコロジー経済学における貨幣論」、エントロピー学会誌『えんとろびい』、第 62 号、75-77 頁。

ユーリ・I・バンダジェフスキー (2011)、久保田護訳『放射性セシウムが人体に与える医学的・生物学的影響－チェルノブイリ原発事故被曝の病理データ』、合同出版。

飛田守孝 (2008a)、「お金の持つ資源散財能ザックリ法」、エントロピー学会誌『えんとろびい』、第 63 号、2008 年 7 月、13-18 頁。

- 飛田守孝 (2008b)、「環境負荷ザックリ評価法」におけるエントロピー論的アプローチ」エントロピー学会誌『えんとろぴい』第 64 号、2008 年 11 月、24-29 頁。
- 被ばく労働を考えるネットワーク編 (2018)、『原発被ばく労災－拡がる健康被害と労災補償－』、三一書房。
- 福井県立大学地域経済研究所 (2010)、『原子力発電と地域経済の将来展望に関する研究』、その 1 「原子力発電所立地の経緯と地域経済の推移」、2010 年 3 月、福井県立大学地域経済研究所。(本稿で参照したのは第 2 版 2012 年 3 月。)
- 福井県立大学地域経済研究所 (2011)、『原子力発電と地域経済の将来展望に関する研究』その 2 「原子力発電所による経済活動の特性と規模」、2011 年 3 月、福井県立大学地域経済研究所。
- 福島大学放射線副読本研究会 (監修) 後藤忍 (編著) (2013)、『みんなで学ぶ－放射線副読本：科学的・倫理的態度と論理を理解する』、合同出版。
https://www.ad.ipc.fukushima-u.ac.jp/~a067/FGF/FukushimaUniv_RadiationText_PDF.pdf 2018 年 10 月 5 日 参照。
- M. ブクチン (1996)、『エコロジーと社会』、白水社。
- 復興庁 (2012)、「東日本大震災における震災関連死に関する報告」、2012 年 8 月、
http://www.reconstruction.go.jp/topics/20120821_shinsaikanrenshihoukoku.pdf
 2018 年 9 月 7 日参照。
- 復興庁 (2018)、「「飯館村特定復興再生拠点区域復興再生計画」の認定について」、
http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-4/saiseikyoten/material/20180420_kouhyo_iitate_tokuteifukkosaiseikyotenkuikifukkosaiseikeikaku.pdf 2018 年 8 月 31 日参照。
- 物理学史研究刊行会編 (1970)、『放射能』、東海大学出版会。
- 船橋晴俊 (1980)、「協働連関の両義性－経営システムと支配システム」、現代社会問題研究会編、『現代社会の社会学』、川島書店。
- 船橋晴俊 (2001)、「環境問題の社会学的研究」、飯島伸子他編、『講座環境社会学 第 1 巻 環境社会学の視点』、有斐閣。
- A. G. フランク (1976)、『世界資本主義と低開発－収奪の《中枢 - 衛星》構造』、柘植書房。
- ロビン・ペドウィン (2012)、『時間と空間をめぐる 12 の謎』、岩波書店。
- 放射線審議会 (2018)、「放射線防護の基本的考え方の整理－放射線審議会における対応－」、
<http://www.nsr.go.jp/data/000226075.pdf> 2018 年 8 月 20 日参照。
- 放射線審議会基本部会 (2011)、「国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告(Pub.103)の国内制度等への取入れについて－ 第二次中間報告 －」、2011 年 1 月。
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/housha/toushin/_icsFiles/afieldfile/2011/03/07/1302851_1.pdf 2011 年 12 月 20 日参照。
- 細田衛士 (1999)、『グッズとバズズの経済学－循環型社会の基本原則』、東洋経済新報社。
- F. ポール (1985)、『S-F マガジン』、1985 年 2 月号、68-80 頁。

カール・ポランニー、「メンガーにおける「経済的（エコノミック）」の二つの意味」玉野井芳郎（1978）、316-337 頁、所収。

ま

牧田寛（2018）、「北海道胆振東部地震「泊原発が動いていれば停電はなかった」論はなぜ「完全に間違い」なのか」、ハーバービジネスオンライン、2018年9月10日。

<https://hbol.jp/174509/4> 2018年10月5日 参照。

P. マターニュ（2006）、門脇仁訳、『エコロジーの歴史』、緑風出版。

松本有一（2006）、「エントロピー経済学の限界と可能性－岡敏弘の所説によせて－」、関西学院大学経済学部研究会、『経済学論究』第60 巻1 号。

K. マルクス、『資本論』、マルクス＝エンゲルス全集23－25、大月書店（原著1867年）。

J. マルチネス＝アリエ（ホワン・マルチネス＝アリエ）（1991）、工藤秀明訳『エコロジー経済学－もうひとつの経済学の歴史』HBJ 出版局、原著 1987 年。

J. マルチネス＝アリエ（ホワン・マルチネス＝アリエ）（1999）、工藤秀明訳、『[増補改訂新版]エコロジー経済学－もうひとつの経済学の歴史－』新評論、増補改訂版原著 1990 年。

丸山真人（2014）、「エコロジー経済学と生命系の経済学」、『経済学論叢』、第 65 巻第 3 号、室田武教授古稀記念論文集、同志社大学経済学会、93-121 頁

三俣学・森元早苗・室田武編（2008）、『コモンズ研究のフロンティア－山野海川の共的世界－』、東京大学出版会。

三輪浩（1984）、「太陽光のエントロピーについて」、『核憂合通信』特集号 1984 年 10 月。

室田武（1976）、「原子力のエネルギーコスト」、『技術と人間』11 月臨時増刊号、40-53 頁。

室田武（1979a）、「破局に瀕する石油・原子力文明と将来－リチャード・ウェブ博士の警告によせて」、『朝日ジャーナル』、1979 年 6 月 22 日号、61-63 頁。

室田武（1979b）、『エネルギーとエントロピーの経済学－石油文明からの飛躍』、東経選書、東洋経済新報社。

室田武（1981）、『原子力の経済学』、日本評論社。

室田武（1982）、『水土の経済学－エコロジカル・ライフの思想』、紀伊國屋書店。

室田武（1986）、『新版 原子力の経済学』、日本評論社。

室田武（1992）、「「原子力＝石油代替」論の陥穽－歴史にみる原子力開発の問題点」、『週刊エコノミスト』1992 年 11 月 17 日号、毎日新聞出版、62-65 頁。

室田武（1993）、『電力自由化の経済学』、宝島社。

室田武（2001）、『物質循環のエコロジー』、晃洋書房。

室田武（2006）、「ジェヴォンズの法則」、『環境経済・政策学の基礎知識』、有斐閣ブックス。

室田武（2009）、『グローバル時代のローカル・コモンズ』、ミネルヴァ書房。

室田武（2012）、「榎田敦「開放系エントロピー論・35 年－資源物理学からエントロピー経済学へ」へのコメント」、エントロピー学会誌『えんとろびい』、第 72 号、42-46 頁。

- 室田武・三俣学 (2004)、『入会林野とコモンズ』、日本評論社。
- J. メイナード・スミス (1985)、寺本英、梯正之訳、『進化とゲーム理論—闘争の論理—』産業図書。
- D. H. メドウズ他 (1972)、『成長の限界—ローマ・クラブ「人類の危機」レポート』、ダイヤモンド社。
- C. メンガー (1982)、八木紀一郎・中村友太郎・中島芳郎訳、『一般理論経済学—遺稿による「経済学原理」第2版』、みすず書房。

や

- 矢ヶ崎克馬 (2010)、『隠された被ばく』、新日本出版社。
- 山崎正勝・日野川静枝編著 (1997)、『原爆はこうして開発された』、青木書店。
- 山崎正勝 (2011)、『日本の核開発：1939～1955』、績文堂。
- 山田光男 (1998)、「放射能研究に殉じた山田延男の生涯 (第1報) —ラジウム発見 100 年に因んで—」、『薬史学雑誌』第 33 巻第 2 号、136-140 頁。
- 矢部宏治 (2014)、『日本はなぜ、「基地」と「原発」を止められないのか』、集英社インターナショナル。

わ

- M. ワケナゲル、W. リース (2004)、和田喜彦監訳、『エコロジカル・フットプリント—地球環境持続のための実践プランニング・ツール』、合同出版。
- 鷺田豊明 (1994)、『エコロジーの経済理論』、日本評論社。
- 和田喜彦 (2001)、「問題認識・解決ツールとしての「エコロジカル・フットプリント」指標—「オーバーシュート」を感知する新パースペクティブ—」、『水資源・環境研究』、Vol. 14、36-44 頁。
- 和田喜彦 (2010)、「低炭素社会づくりの文脈におけるエコロジカル・フットプリント、カーボンフットプリント、放射能フットプリント」、『日本 LCA 学会誌』、第 6 巻、第 3 号、201-208 頁。

欧文文献

A

- T. M. Addiscott (2010), "Entropy, non-linearity and hierarchy in ecosystems," *Geoderma*, Vol. 160, pp.57-63.

B

- W. J. Baumol and W. E. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy, Second Edition*, Cambridge: Cambridge University Press.

- N. Bohr (1913), "I. On the constitution of atoms and molecules," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Sixth Series, Vol. 26, No. 151, July 1913, pp. 1-25.
- M. Bookchin (1989), *Remaking Society*, Boston: South End Press.
- K. E. Boulding (1966), "The Economics of the Coming Spaceship Earth," *Environmental Quality in a Growing Economy - Essays from the Sixth RFF Forum*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- K. E. Boulding (1968a) "The Economics of the Coming Spaceship Earth," *Beyond Economics*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- K. E. Boulding (1968b), "Some Questions on the Measurement and Evaluation of Organization," *Beyond Economics*, Ann Arbor: Univ. of Michigan Press.

C

- S. Carnot (1824), "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance," Paris: Chez Bachelier, Libraire.
- P. F. Chapman (1974), "Energy costs: a review of methods," *Energy Policy*, June 1974, pp. 91-103.
- P. F. Chapman, G. Leach and M. Slesser (1974), "The energy cost of fuels," *Energy Policy*, September 1974, pp. 231-243.
- R. Clausius (1865), "Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie," *Annalen der Physik und Chemie*, Vol. 125 No. 7, pp. 353-400.
- R. Clausius (1867), *The Mechanical Theory of Heat – with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies*, London: John van Voorst.
- Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (2006), National Research Council, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII – Phase 2*, 2006.
http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir_vii_final.pdf 2013年2月10日参照。
- J. B. Corliss, J. Dymond, L. I. Gordon, J. M. Edmond, R. P. von Herzen, R. D. Ballard, K. Green, D. Williams, A. Bainbridge, K. Crane and T. H. van Andel (1979), "Submarine thermal springs on the Galapagos Rift," *Science*, Vol. 203, pp. 1073-1083.
- F. Cottrell (1955), *Energy and Society*, New York: McGraw-Hill.
- I. Curie et N. Yamada (1924), "Sur la distribution de longueur des rayons α du polonium dans l'oxygène et dans l'azote," *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (CRAS)*, T. 179, pp. 761-763.
- I. Curie et N. Yamada (1925), "Sur les particules de long parcours émises par le polonium," *CRAS*, T. 180, pp. 1487-1489.

D

- H. E. Daly (1973), *Toward A Steady State Economy*, San Francisco: W. H. Freeman & Co. Ltd.
- H. E. Daly (1980), "The economic thought of Frederick Soddy," *History of Political Economy*, Vol. 12, No. 4, pp. 469-488. (reprinted in H. E. Daly (1996).)
- H. E. Daly (1996), *Beyond Growth: The Economic of Sustainable Development*, Boston:

Beacon Press.

- H. E. Daly (1999), "Neoclassical production theory and alchemy," *Ecological Economics and the ecology of economics: essays in criticism*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 89-94.
- H. E. Daly and J. Farley (2003), *Ecological Economics*, Washington, D. C. : Island Press.
- H. E. Daly (2007), *Ecological Economics and Sustainable Development*, Selected Essays of Herman Daly, Cheltenham: Edward Elgar.
- H. E. Daly and J. Farley (2010), *Ecological Economics Second Edition*, Washington, D. C. : Island Press.
- H. E. Daly (2014), *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar.
- H. E. Daly (2014a), "Climate policy: from 'know how' to 'do now'," *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 87-92.
- H. E. Daly (2014b), "Renewable Ignorance," *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 166-168.
- H. E. Daly and J. B. Cobb (1989), *For the common good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*, Boston: Beacon Press, (H. E. Daly and J. B. Cobb (1994), updated and expanded.)

E

- J. A. Eddy (1976), "The Maunder Minimum," *Science*, New Series, Vol. 192, No.4245, pp. 1189-1202.
- A. Einstein (1905), "Ist die Tragheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?," *Annalen der Physik*. Ser. 4, Weinheim: Wiley-VCH Verlag, Vol. 323, Issue 13, pp. 639-641.
- F. Engels (1878), *Anti-Dühring: Herr Eugen Dühring's Revolution in Science*, Leipzig.
- F. Engels(1882) "Letters to Marx, 19and 22 December 1882," *MEW* edn., Vol. 35, Berlin: Dietz Verlag.

F

- J. W. Forrester (1961), *Industrial Dynamics*, Cambridge, Mass. : MIT Press.

G

- N. Georgescu-Roegen (1970), "The Economics of Production," *American Economic Review*, Vol. 60, No. 2, pp. 1-9. (The 1969 Richard Ely Lecture)
- N. Georgescu-Roegen (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge,

Mass. : Harvard University Press.

N. Georgescu-Roegen (1975), "Energy and Economic Myths," *Southern Economic Journal*, Vol. 41, No. 3, pp. 347-381.

N. Georgescu-Roegen (1977), "Matter Matters, Too," in K. D. Wilson, ed., *Prospects for Growth*, New York: Praeger Press, pp. 293 - 313.

H

E. Haeckel (1866), *Generelle morphologie der organismen. Allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte descendenztheorie*, Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer.

I

IAEA (1996a), "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources," *IAEA Safety Series*, No.115.

IAEA (1996b), "The Approach to Defence in Depth," *DEFENCE IN DEPTH IN NUCLEAR SAFETY*, INSAG-10, IAEA.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf 2018年10月5日参照。

IAEA (2002), "Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency – Safety Requirements," *IAEA Safety Series*, No. GS-R-2.

http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1133_scr.pdf 2015年2月1日参照。

IAEA (2011), "Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency," *General Safety Guide*, No. GSG-2.

ICRP (1959), *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 1, Oxford: Pergamon Press.

<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%201> 2018年8月14日参照。

ICRP (1977), "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP Publication 26, *Annals of the ICRP*, Vol. 1, No. 3.

ICRP (1983), "Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection," *Annals of the ICRP*, Vol. 10, No. 2/3.

ICRP (1991), "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP*, Vol. 21, Nos. 1-3.

ICRP (2007), "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, Vol. 37, Nos. 2-4.

ICRP (2009), "Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People in Emergency Exposure Situations," ICRP Publication 109, *Annals of the ICRP*,

Vol. 39, No.1.

ICRP (2011), "Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency," ICRP Publication 111, *Annals of the ICRP*, Vol. 39, No. 3. <http://www.icrp.org/docs/P111%28Special%20Free%20Release%29.pdf> 2013年2月10日参照。

H. Immler (1985), *Natur in der ökonomischen Theorie*, Wiesbaden, Opladen Westdeutscher Verlag.

J

W. S. Jevons (1865), *The Coal Question*, London: London: Macmillan and Co..

W. S. Jevons (1871), *Theory of Political Economy*, London: Macmillan and Co..

S. E. Jørgensen and H. Mejer (1977), "Ecological Buffer Capacity," *Ecological Modelling*, Vol. 3, pp. 39-61.

S. E. Jørgensen and H. Mejer (1979), "A holistic approach to ecological modelling," *Ecological Modelling*, Vol. 7, pp. 169-189.

S. E. Jørgensen (1992), *Integration of Ecosystem Theories: A Pattern*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

K

The KamLAND collaboration (2011), "Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements," *NATURE GEOSCIENCE*, Vol. 4, September, pp. 647-651.

K. W. Kapp (1950), *The Social Costs of Private Enterprise*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press.

K. W. Kapp (1970), "Environmental Disruption and Social Costs: A Challenge to Economics," *Kyklos*, Vol. 23, Issue 4, pp. 833-848.

K. Katsuragi, R. Nakamura and H. Kumagai (2006), "Frederick Soddy, Chemist, Economist, and Ecologist: His Concern about the Sustainable Development and Monetary Reform," 富山大学経済学部『富大経済論集』、第51巻3号。

C. D. Keeling (1998), "Rewards and Penalties of Monitoring the earth," *Annual Review of Energy and Environment*, Vol. 23, pp. 25-82.

L

W. Leontief (1970), "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, Issue 3, pp. 262-271.

A. J. Lotka (1911), "Die Evolution vom Standpunkte der Physik," *Annalen der*

Naturphilosophie, Zehnter Band, pp. 59-74.

A. J. Lotka (1922), "Contribution to the Energetics of Evolution," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Proc. N. A. S.), Vol. 8, pp. 147-151.

A. J. Lotka (1925), *Elements of Physical Biology*, Baltimore: Williams and Wilkins Company.

M

J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1987), *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Oxford: Basil Blackwell.

J. Martinez-Alier with K. Schlüpmann (1991), *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Oxford: Basil Blackwell.

K. Marx (1867), *Das Kapital*, Hamburg: Verlag von Otto Meissner.

K. Marx (1887), translated by S. Moore and E. Aveling, edited by F. Engels, *Capital*, Moscow: Progress Publishers.

K. Mayumi and J. M. Gowdy (1999), *Bioeconomics and Sustainability – Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Cheltenham: Edward Elgar.

K. Mayumi (2001), "Entropy theoretical approaches of Georgescu-Roegen and Tsuchida," *The Origins of Ecological Economics - The bioeconomics of Georgescu-Roegen*, London and New York: Routledge.

D. H. Meadows et. al. (1972), *The Limits to Growth - A Report for THE CLUB OF ROME's Project on the Predicament of Mankind*, A Potomac Associates Book, New York: Universe Books.

<http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf> 2018年9月16日参照。

C. Menger (1923), *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre, 2. Aufl., mit einem Geleitwort von Richard Schüller, aus dem Nachlaß herausgegeben von Karl Menger*, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.

C. Merchant (1992), *Radical Ecology: The Search for a Livable World*, New York: Routledge.

L. Merricks (1996), *The World Made New – Frederick Soddy, Science, Politics, and Environment*, New York: Oxford University Press.

J. S. Mill (1848), *Principles of Political Economy with some of their Applications to Social Philosophy*, London: John W. Parker, West Strand.

K. Moore (2017), *The Radium Girls: The Dark Story of America's Shining Women*, Naperville: Source books Inc.

Musée Curie, archives de l'Institut du Radium: Dossier Yamada, *letter de Yamada a Irene Joliot-Curie du 30 novembre 1926*, manuscript n. 001183-1, 2, 3.

N

A. Næss (1973), "The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movement," *Inquiry*, 16, pp.95-100.

R. B. Norgaard (1994), *Development Betrayed*, London and New York: Routledge.

NRC/FEMA (1980), NUREG-0654 FEMA-REP-1 rev.1, "Criteria for Preparedness and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants," NRC/FEMA.

O

H. T. Odum (1971), *Environment, Power and Society*, New York: John Wiley.

H. T. Odum (1973), "Energy, Ecology and Economics," *Ambio*, Vol. 2, No. 6, pp. 220-227.

H. T. Odum and E. C. Odum (1976), *Energy Basis for Man and Nature*, New York: McGraw Hill.

H. T. Odum and R. C. Pinkerton (1955), "Time's Speed Regulator: The Optimum Efficiency for Maximum Power Output in Physical and Biological Systems," *American Scientist*, Vol. 43, No. 2, pp. 331-343.

E. Ostrom (1990), *Governing the Commons*, Cambridge: Cambridge University Press.

W. Ostwald (1909), *Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft*, Leipzig: Verlag von Dr. Werner Klinkhardt.

K. Ozasa, Y. Shimizu, A. Suyama, F. Kasagi, M. Soda, E. J. Grant, R. Sakata, H. Sugiyama and K. Kodama (2012), "Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases," *RADIATION RESEARCH*, Vol. 177, pp. 229-243. http://www.rerf.or.jp/library/rr_e/rr1104.pdf
2013年2月10日参照。

P

A. C. Pigou (1920), *The Economics of Welfare*, London: Macmillan. (Reprinted in, Cosimo Classics, 2006.)

S. Podolinsky (1880), "Le socialisme et l'unité des forces physiques," *La Revue Socialiste*, No 8, pp. 353-365.

S. Podolinsky (1883), "Menschliche Arbeit und Einheit der Kraft," *Die Neue Zeit*, Band 1, Heft 9, S. 413-424. Band 1, Heft 10, S. 449-457.

K. Polanyi (1958, 60), "Carl Menger's Two Meanings of Economic," in G. Dalton (1971), *Studies in Economic Anthropology*, Washington: American Anthropological

Association.

R

E. Rutherford and F. Soddy (1902), "The Case and Nature of Radioactivity II," *Philosophical Magazine*, (6), 4, pp.569-585.

S

E. Sacher (1881), *Grundzüge einer Mechanik der Gesellschaft*, Jena: Gustav Fisher.

E. D. Schneider and J. J. Kay (1994), "Life as a Manifestation of the Second Law of Thermodynamics," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 19, Issues 6-8, pp. 25-48.

E. Schrödinger (1944), *What is life? the physical aspect of the living cell & Mind and matter*, New York: Cambridge Univ. Press, based on a course of public lectures in 1943, Dublin Institute for Advanced Studies at Trinity College, Dublin.

J. A. Schumpeter (1951), *Essays*, Ed. R. V. Clemence, Cambridge, Mass. : Addison-Wesley.

J. A. Schumpeter (1954), *History of Economic Analysis*, New York: Oxford University Press.

J. M. Smith (1982), *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press.

F. Soddy (1909), *The Interpretation of Radium: Being the Substance of Six Free Popular Experimental Lectures Delivered at the University of Glasgow, 1908*, London: J. Murray.

F. Soddy (1913), "The Radio-Elements and the Periodic Law," *Chemical News*, Vol. 107, pp.97-99, pp.168-169.

F. Soddy (1920), *The interpretation of radium and the structure of atom*, Fourth Edition, London: J. Murray.

F. Soddy (1922), *The interpretation of radium and the structure of atom*, Fourth Edition, New York: Putnam.

F. Soddy (1926), *Wealth Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*, London: Allen and Unwin Ltd.

F. Soddy (1949), *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis.

F. Soddy (1954), "Foreword 1954," *The Story of Atomic Energy*, London: Nova Atlantis, p. iii.

State of Washington Department of Ecology (2017), "Re: Administrative Order."

<https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2017/05/HanfordEnforcement-0>

5102017.pdf 2018年1月20日参照。

H. Svensmark and E. Friis-Christensen (1997), "Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar - climate relationships," *Journal of Atmospheric and Solar - Terrestrial Physics*, Vol. 59, No. 11, pp. 1225-1232.

T

F. Toudou (1997), "The Rights of Future Generations," *MA Thesis*, Graduate School of Economics, University of Tokyo.

F. Toudou (2008), "The Limits to Self-Restraint and Eco-Efficiency: Proposed Application of Environmental Taxation in Japanese Environmental Policy," in N. J. Chalifour, J. E. Milne, H. Ashiabor, K. Deketelaere, L. Kreiser eds. *CRITICAL ISSUES IN ENVIRONMENTAL TAXATION - International and Comparative Perspectives*, Vol. V, Oxford: Oxford University Press.

F. Toudou (2009), "Rebuilding Existing Environmentally Related Taxes and Transport Budget Structure in Japan," L. Lye, J. E. Milne, H. Ashiabor, L. Kreiser, K. Deketelaere eds. *Critical Issues in Environmental Taxation*, Vol. VII, Oxford: Oxford University Press, pp. 187-204.

A. Tsuchida (1999), "Five conditions for sustainable living systems," *Bioeconomics and sustainability*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 352-379.

U

United Nations (2011), *UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume II, Scientific Annexes C, D and E*.

http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_C.pdf 2013年2月10日参照。

United States Nuclear Regulatory Commission (2011), "Fact Sheet on Nuclear Insurance and Disaster Relief Funds."

<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/funds-fs.html> 2014年1月30日参照。

W

M. Wackernagel and W. Rees (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Gabriola Island: New Society Publishers.

H. G. Wells (1914), *The World Set Free*, London: Macmillan & Co.

WHO (1999), "Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents Update 1999," *WHO/SDE/PHE/99.6*.

Y

N. Yamada (1925a), "Sur les particules de long parcours du polonium," *CRAS*, T. 180, pp. 436-438.

N. Yamada (1925b), "Sur les particules de long parcours émises par le dépôt actif du thorium," *CRAS*, T. 180, pp. 1591-1593.

参考としたウェブサイト

原子力災害対策特別措置法施行令

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12SE195.html>、2011年12月20日参照。

原子力損害の補完的な補償に関する条約

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000057318.pdf> 2018年10月5日参照。

原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律

http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?openerCode=1&lawId=426AC0000000133_20150801_0000000000000000 2015年2月1日参照。

原子力百科事典 ATOMICA 「深層防護」、

http://www.rist.or.jp/atomica/dic/dic_detail.php?Dic_Key=402 2018年10月5日参照。

「原子力百科事典 ATOMICA」、 「放射線影響研究所」、

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=13-02-01-27 2018年8月14日参照。

災害対策基本法「(昭和三十六年十一月十五日法律第二百二十三号)」

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/index/bousai/konkyo.html> 2011年12月20日参照。

新潟県防災局原子力安全対策課 <http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/> 2011年12月20日参照。

文部科学省原子力安全課原子力防災ネットワーク「環境防災Nネット」、

<http://www.bousai.ne.jp/vis/> 2011年12月20日参照。

<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8841740/www.bousai.ne.jp/vis/index.php>
2018年9月22日参照。(国立国会図書館インターネット資料収集保存事業)

藤堂史明

環境経済システムと原発事故－エントロピー経済学の視点から－
博士論文 2019年1月16日提出 東京大学大学院経済学研究科

TOUDOU, Fumiaki

Environmental Economic System and Nuclear Accident

－From the viewpoint of Entropy Economics－

Doctoral dissertation, submitted on January 16, 2019, to
Graduate School of Economics, The University of Tokyo.