

博士論文（要約）

不確実性下におけるエネルギー・環境政策
意思決定の方法に関する研究

桐山 恵理子

本研究の背景は、2011年3月11日東日本大震災により福島第一原子力発電所の事故が発生したことである。これを機に、日本および国際社会において、エネルギー技術が含有するさまざまな不確実性に関する情報と、それらを基にした今後のエネルギー・環境政策についてオープンかつ慎重な検討が求められてきた。

2010年6月に閣議決定したエネルギー基本計画における2030年の電力供給シナリオは電力供給の53%を原子力に依存するものであったが、この計画はすべて白紙に戻された。

日本政府は中長期のエネルギー・環境戦略の抜本的な見直しを行うため、内閣官房国家戦略室に「エネルギー・環境会議」を設置した。構造的には「エネルギー・環境会議」の下に、コスト等小委員会、総合エネルギー資源調査会、原子力委員会、中央環境審議会における専門家による助言を取り纏め、国家戦略室に提出される仕組みであった。コスト等検証委員会を中心に想定外のエネルギー技術による災害の可能性と、グローバルな環境影響も含めて、発生する社会的費用の不確実性等を検討が行われた。1年に及ぶ検討成果を集約して、「エネルギー・環境会議」は4つの観点として、安全性、エネルギー・セキュリティ、地球温暖化問題、経済性を提示した。

4つの観点に関する既往の研究は、外部環境の不確実性（電気事業の規制緩和や環境対策費用等）や社会的費用、研究開発の進展によるコスト低下等のイノベーションを考慮した分析について途上段階にある。また、エネルギー・環境政策の意思決定における不確実性は、コスト最小化もしくは効用の最大化のうち、どちらのアプローチをどの程度の時間スパンで適用するか依存する。したがって、エネルギー・環境政策の不確実性と多義性について、それぞれを考慮した意思決定支援のための情報提供の方法に関する研究に取り組むことは重要である。

以上の研究の範囲を踏まえて、本論文の目的は序論で取り纏めたエネルギー・環境政策の意思決定プロセスに貢献する情報提供の方法を新たに提案するために、不確実性と多義性そ

れぞれを考慮した事例研究を行うことである。

第一に、不確実性を考慮した気候変動についてリアルオプションモデルを開発し、シナリオ分析を行う。また、気候変動と多義性に関する先行研究についてのレビューを行う。

第二に、エネルギー・セキュリティについてエネルギー供給システムにおける不確実性を分析する。また、エネルギー・セキュリティに関する既存の研究論文の書誌情報を用いて引用ネットワーク分析を行うことにより、多義性を可視化する新たなフレームワークを開発する。

本論文の意義は、エネルギー・環境政策のための科学的知見の情報提供として一義的な情報ではなく不確実性の幅と多義性をそれぞれ可視化することによって意思決定支援を行うための新たなモデルとフレームワークを提案することである。

第2章では、気候変動に関する意思決定支援のための方法について論じた。気候変動に代表される環境という一義的な観点に基づいて、排出量取引等のような経済的な手法が導入されることを想定し、CO₂排出を抑制する技術の外部性を内部化したCO₂ストック気候変動考慮モデルを開発した。これにより、将来の排出権価格を考慮したCO₂排出抑制技術への投資問題を解析することが可能となった。さらに、今後、電力自由化による市場原理の導入の影響により、電気事業者は発電設備の新規建設に関わる技術選択の意思決定が困難になることが予測される。そこで、電力価格とCO₂排出権価格の変動による発電設備の収益性の不確実性を考慮したCO₂フロー排出権取引モデルを開発した。得られた結果より、科学的知見そのものに少なからず不確実性が内在し、同じモデルによるシミュレーション結果でも、前提条件やシナリオの設定によって多様な解釈と多義性、つまりは多次元の解空間が存在することを、可視化することによって明示的に確認することができた。さらに、気候変動の多義性についての既往の研究をレビューすることにより、IPCCのような権威ある報告書内においても、科学的知見の多義性とその信頼性に限界が存在することを確認することができた。

以上のことから、さらに一步踏み込んで、気候変動の不確実性を考慮した意思決定においては、基本的な社会観として、各主体（地球全体・国際機関・国家・企業・家庭・個人）が

社会において、どのように目標を共有し、どのような義務を負っているのかということに、選択の意思決定が依存していることを定量的に明らかにすることができたと考えられる。

総括すると、第2章では科学的知見に基づいた意思決定においても不確実性が内在し、同じモデルによるシミュレーション結果でも、前提条件やシナリオの設定におけるパラメータについて、意思決定者の選択の積み重ねが存在し、そこには不確実性と多義性が存在することをそれぞれに可視化することができたことが大きな研究成果であると考えられる。

第3章では、エネルギー・セキュリティの脅威と不確実性について論じた。

はじめに、多属性効用分析法によるエネルギー・セキュリティに関する不確実性分析を行った。経済産業省の「エネルギー基本計画」策定にかかる既往の資料より、エネルギー・環境政策に関する指標は少なくとも209以上あることを確認した。本分析では、前提条件として13の指標をエネルギー・セキュリティの評価指標として採用し、各指標の重要度を全て等しいものと仮定した。しかしながら、現実のエネルギー・環境政策においては、想定される政策空間と時間によって選択される指標と重みづけされる重要度は異なり、そこには2章で確認したような多次元の不確実性が存在する。第3章の分析結果を得るために利用したデータも時々刻々と変動する指標が存在し、そこには不確実性が存在する。以上のことから、確率論的な分析法を適用し、第2章のように可視化することによって、不確実性を考慮した意思決定を支援することが有用である可能性があると考えられる。オイルショックのような外部からのストレスやショックで供給途絶があった場合、エネルギー供給システムがロバストであれば安定した供給が保たれ、見かけ上の供給量は時間の流れとともに一定となる。

エネルギーシステムが脆弱である場合、ショックによってエネルギー供給量が途絶もしくは低下する。その状態からどの程度の時間と規模でエネルギー供給力を回復することができるのかという回復力がレジリエンスである。短期間で回復するために、エネルギー供給機能の重複を許す供給柔軟性を有していることがレジリエントなエネルギーシステムであると考えられる。不確実な脅威によるショックが現実のものとなったとき、エネルギー供給が損なわれてしまった状態に対処するために、エネルギー供給を回復するためのレジリエントな機

能をエネルギーシステムが有していることが、エネルギー・セキュリティ確保のために求められていると考えられる。

次に、エネルギー・セキュリティに関する既存の研究論文の書誌情報を用いて引用ネットワーク分析を行った。分析結果のデータから、さらに多義性を可視化する新たなフレームワークを開発した。本分析のフレームワークは、科学的知見が多義性を有していても、現状の科学的知識を俯瞰したうえで全体像を構造化し、参加主体によってどのような多義性が存在するかを可視化することができるため、意思決定に関わる主体の参加の在り方を設計するために有効なものである。したがって、第3章で開発したフレームワークは、あらゆる課題（持続可能性や気候変動問題等）の意思決定支援に応用することができるため有用である。

第4章では、第2章と第3章を総括し、気候変動およびエネルギー・セキュリティという、それぞれの一義的な観点から分析した場合においても、現実の政策空間における意思決定のための解空間は多元的な不確実性によって複雑になっていること、そして解を出すためには、何が問題なのかを問う人間のフレーミングによるバイアスがかかるため、解は多義的になることを可視化する新たな方法を提案することができた。

今後の課題として、本研究で提案した不確実性と多義性を可視化する方法によって得られる科学的知見を、熟議のような場における情報提供として、どのように活用できるか検証することが重要である。加えて、国民的議論のための熟議について、2012年の一度で終わることなく、毎年継続して情報共有とコミュニケーションを行うスパイラルを繰り返すことが必要であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 古田一雄教授、坂田一郎教授には、論文博士取得のための貴重なアドバイスを賜り、心より感謝いたします。

何よりも、学生時代より温かく見守ってくださった岩田修一東京大学名誉教授の忍耐が無ければ、私の研究は存在しえません。東京大学 政策ビジョン研究センター 谷口武俊教授にも、学生時代より長きにわたって私の研究について貴重な時間を割いてご指導いただきましたこと、心より感謝いたします。東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 茂木源人教授には、工学系の論文の書き方と心得、および日本語の構文について、副査の立場から貴重な時間を割いて丁寧にご指導いただきましたこと心より感謝いたします。

同所属、杉山昌広講師の冷静かつ客観的なアドバイスのおかげで、本論文の構成をより論理的なものにすることができました。さらに、東京大学 総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座 菊池康紀特任講師と森純一郎特任講師にも大変お世話になりました。

東京工業大学 藤村修三教授と梶川裕矢准教授と尾崎麻美子技術補佐員には叱咤激励いただきましたこと感謝いたします。さらに、東京工業大学 柏木孝夫特命教授がセンター長を務める先進エネルギー国際研究センター（AES センター）小田 拓也准教授と Muhammad AZIZ 助教、同 原子炉工学研究所 加藤之貴准教授と澤田哲生助教、東京理科大学 高嶋隆太講師、電力中央研究所 長野浩司副研究参事と若林雅代主任研究員、三菱総合研究所 村上清明研究理事と神津明常勤監査役と亀井信一本部長、信州大学 高塚透教授、九州大学 岡本剛准教授と諸岡健一准教授、長崎大学 鈴木達治郎教授、東京大学 浅野浩志客員教授、筑波大学 徳永保教授、東京大学 松本洋一郎教授にも応援いただいておりますこと心より感謝いたします。

平成 13 年博士課程 1 年次在学中、両親の経営する画廊が破綻したために自宅が差し押さえられ債権者に追われた両親が行方不明になり路頭に迷い、とても大変でした。同年、日本学

術振興会が私の研究等を評価し特別研究員として面接免除採用していただきましたこと感謝いたします。東京大学授業料免除制度のおかげで、平成16年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程満期単位取得した後、同4月三菱総合研究所に就職することができましたこと感謝いたします。

平成23年6月に東京大学政策ビジョン研究センター特任研究員として採用していただきましたこと、平成25年1月に胆石の手術・退院後、客員研究員としていただきましたこと、東京大学大学院法学政治学研究科事務および政策ビジョン研究センタースタッフの皆様にサポートいただいておりますこと心より感謝いたします。

論文博士予備審査期間中のために最期を看取することもできず、平成25年11月21日に亡くなった祖母 桐山みちえには、過去10年間にわたって学位を取るために長く心配をかけました。過去から現在に至るまで家庭を失ったときでも、私がなんとか生きていけるよう祖母みちえの無償の愛に支えてもらっていること、本当に心から感謝しています。

最後に、母 桐山登茂子と再会できましたこと、学位を諦めることのないよう再び研究者の道へと導いていただきました周囲のすべての皆様に心より感謝の気持ちを表したいと思えます。

東京大学 客員研究員 桐山恵理子