

第5章 循環型社会はどこまで広がっているか

先に1章において見たとおり、世界的には国際的なリサイクルのネットワークが構築され、世界規模での物質循環が形成されている。本章では、2.4節において紹介した手法を用いて循環度を拡張し、国際的なリサイクルの現状を分析する²⁰。

5.1 データの入手と加工

表5.1は、世界の紙資源の生産（回収）と貿易の現状を地域別にまとめたものである。紙資源のMPCの中で最終製品にあたる紙製品、一次資源にあたるパルプ、二次資源にあたる古紙のそれぞれについて、各地域の生産（回収）量と純輸入量（輸入量と輸出量との差）、これらから得られる見かけの消費量を示している。紙製品と古紙については、北アメリカ、ヨーロッパ、アジアの3地域で、全世界の生産（回収）量のうちそれぞれ3割あまりが生産（回収）されている。一方、パルプについては、北米が全世界の生産量の45%を占めている。貿易については、北米がMPCの3要素すべてについて他地域への供給源となっている。反対に、アジア地域が3要素すべてについて他地域からの供給を受けている。特に、パルプと古紙については、アジア地域の純輸入量は生産（回収）量のそれぞれ23%に達している。

このように、アジア地域を全体として捉えると、紙製品や原料となる資源の生産（回収）能力が地域内の需要を満たすには不十分であり、不足分を域外からの供給に依存していることがわかる。こうした背景の中で、冒頭に示したように、これまで相対的に国内で閉じていた日本の紙資源循環が開放され、アジア地域に向けた新たな資源のフローが加えられようとしているのが、昨今のアジアの紙資源循環の状況である。

そこで、本章ではアジア地域の中でも日本を含めた10の国と地域（中国、香港、インドネ

表 5.1 地域別に見た世界の紙資源の生産と貿易の現状（2000年）

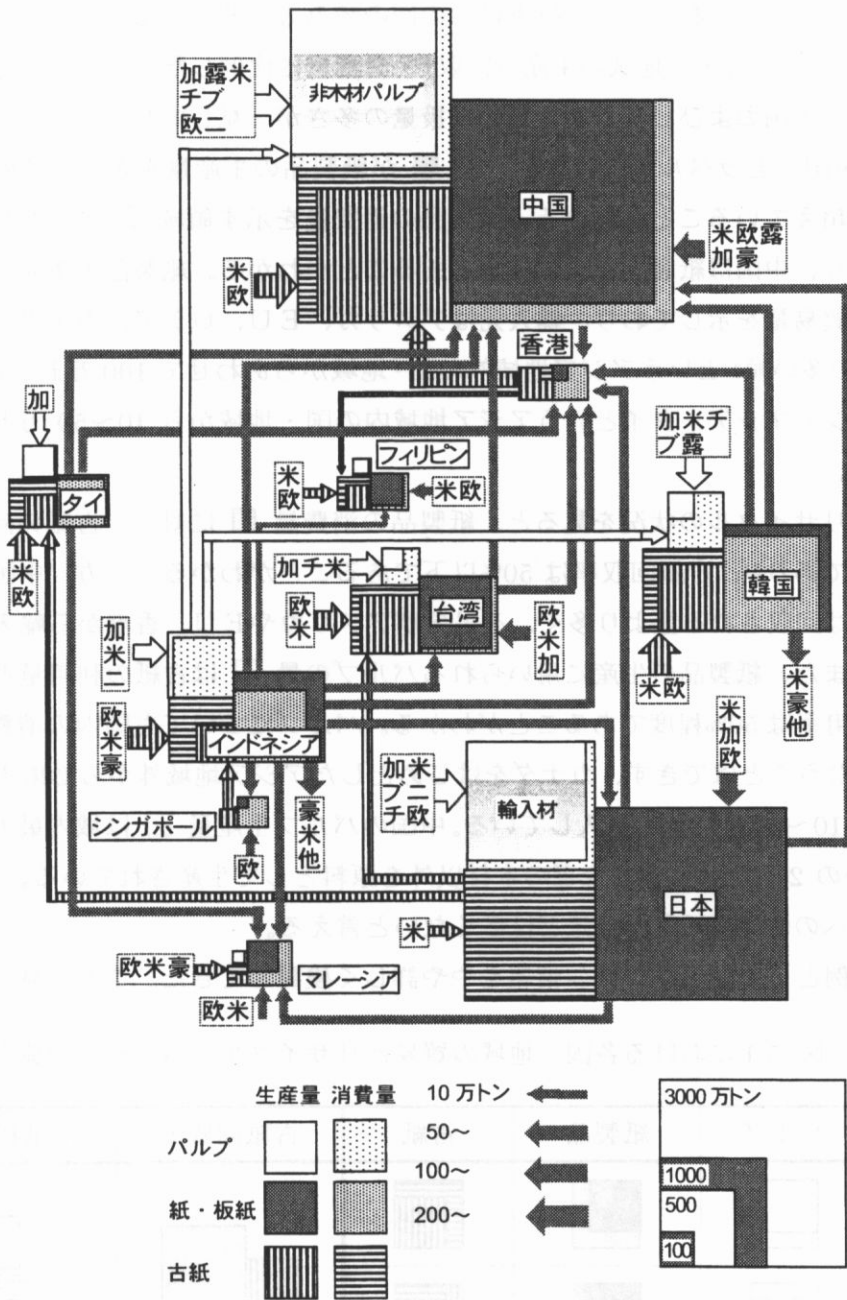
〔百万トン〕	紙製品			パルプ			古紙		
	生産	純輸入	消費	生産	純輸入	消費	回収	純輸入	消費
北アメリカ	107	-6	101	84	-9	74	47	-7	39
ヨーロッパ	100	-8	92	47	5	51	45	-3	42
アジア	96	9	104	39	9	48	46	10	56
その他	22	6	28	18	-5	13	10	1	11
全世界	324	1	325	187	-1	186	147	2	149

出典：PPI annual review

²⁰ 本章は、山下（2002）をもとに加筆修正したものである。

シア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、シンガポール、台湾、タイ) に着目し、この10国・地域の紙資源のマテリアル・フローの分析を試みる。なお、この10国・地域でアジア地域全体の紙製品、パルプ、古紙の消費量のそれぞれ9割程度を占めている。

図 5.1 アジア地域の紙資源のマテリアル・フロー (2000年)



米：アメリカ、加：カナダ、欧：EU、豪：オーストラリア、露：ロシア、
 ニ：ニュージーランド、チ：チリ、ブ：ブラジル
 インドネシアの「他」はイラン、サウジアラビアなど中東諸国が主
 韓国の「他」はバングラデシュ、ベトナムなど

アジアの紙資源のマテリアル・フロー

図 5.1 は、アジアの 10 の国と地域の紙資源のリサイクルと貿易の現状を表したものである。各国・地域の紙製品、パルプ、古紙の生産（回収）量と消費量、貿易量と相手国の情報を 1 つの図にまとめている。各国・地域の配置は、現実の地理的な配置を考慮しつつ、同じ要素の貿易矢印の交差をできるだけ少なくするように、試行錯誤によって決められている。一見すると複雑で解釈が難しいと思われるので、以下にこの図の読み方を解説する。

図 5.1 においては、各国・地域の生産（回収）・消費量に比例したサイズの正方形で各要素が描かれており、中国および日本の紙資源の取扱量の多さが一見してわかる。このうち中国に注目すると、「中国」とラベルの付いた正方形 ■ が紙製品の生産量を表し、凡例と比較して 3,000 万トンを超えていることがわかる。紙製品の消費量を示す領域 ■ は生産量の正方形からはみ出しており、中国は紙製品の純輸入国であることがわかる。紙製品の生産量と同じ色の矢印が紙製品の貿易量を示しており、輸入元はアメリカ、EU、ロシア、カナダ、オーストラリア（純輸入量の多い順）というアジア地域外の国・地域からあわせて 100 万トン台と、日本、韓国、台湾、インドネシア、タイというアジア地域内の国・地域から 10～50 万トンずつであることがわかる。

次に、古紙のリサイクルの状況を見ると、紙製品の消費量 ■ に対し、古紙の回収量 ■ の面積は半分以下であり²¹、古紙回収率は 50%以下であることがわかる。一方、中国国内で利用される古紙 ■ は回収される量より多く、不足分がアメリカやEU、香港から輸入されていることがわかる。また、紙製品の生産に用いられるパルプの量 ■ は古紙の利用量とほぼ同等であり、古紙の利用率は 50%程度であることがわかる。パルプについても国内の消費量を国内の生産 □ でまかなうことはできず、カナダをはじめとしたアジア地域外から 200 万トン超、インドネシアから 10～50 万トンを入力している。中国のパルプ生産量 □ は域内最大であるが、そのうちの 3 分の 2 以上が、わらなどの木材以外を原料として生産されている。したがって、国内の森林資源への依存量は見かけほどは多くないと言える。

以上、中国を例として図 5.1 の持つ情報をやや詳しく検討してきた。ここで見られた貿易と

表 5.2 図 5.1 における各国・地域の貿易とリサイクルのパターンの典型例

	パルプ	紙製品	古紙	古紙回収率	古紙利用率
純輸入					
純輸出					

²¹ これは古紙回収量の正方形の対角線と紙製品消費量の正方形の一辺を比較するとわかる。

リサイクルのパターンを一覧にしたのが表 5.2 である。これと図 5.1 をあわせて見ると、紙製品の供給元となっている国・地域としてはインドネシア、韓国、タイがあり、中でもインドネシアはパルプについても他国に供給していることがわかる。日本と台湾は、欧米やインドネシアからは紙製品を輸入する一方で、中国や香港には紙製品を輸出している。これらの国・地域はいずれも、原材料であるパルプや古紙をアジア地域の外から輸入している。また、一見すると日本については紙の消費量と古紙の回収量のデータが記載されていないように思える。しかし、これは日本の紙製品と古紙の輸出入の割合が極端に低いため、紙製品については生産量の正方形に消費量の正方形が（古紙は利用量に回収量が）隠されてしまっているのである。

アジア地域内のマテリアル・フローを大まかに捉えると、紙製品やパルプの供給国であるインドネシアやタイから、パルプの供給を受ける韓国、製品の供給を受ける台湾や日本を経て、中国やマレーシア、シンガポール、香港へと至る流れを見て取ることができる。加えて、インドネシアとシンガポール、中国と香港は、それぞれ前者が後者に紙製品を供給し、反対に後者が前者に古紙を供給しており、両国の間で閉じたループが形成されていることがわかる。van Beukering (2001) においては先進国と途上国との間の分業のみが指摘されていたが、実際にはより複雑な分業が形成されているといえる。

データの入手方法

図 5.1 のような分析を行うためには、対象とする資源の MPC の各要素について、対象とする国・地域における生産（回収）量と輸出入量の統計を把握する必要がある。特に、貿易統計については取引相手ごとの取引量をも特定しなければならない。また、図 5.1 のように試行錯誤によって作図するのではなく、後に示すように何らかの統計処理を施してデータから情報を抽出しようとする場合には、入手したデータを加工して全体として整合性を持った行列にまとめる必要がある。以下では、この作業を順を追って説明する。

紙資源の場合には、原料となるパルプからはほとんど紙製品だけが生産される²²。また、消費された紙製品は他の素材とは分離された形で古紙として回収される。さらに、古紙のほとんどは紙製品として再生される。このように、紙資源の物質循環は素材としては紙として閉じているため、関係する主体も限定される。結果として、必要な統計も限られた情報源から入手することができる。

具体的には、紙資源はすべて、国連食糧農業機関（United Nations Food and Agriculture Organization: FAO）において森林製品（Forest Products）というカテゴリーの中で一括して扱われている。したがって、FAO の森林製品に関する統計年報にあたることで、国別品目別の生産量や輸出入総量の時系列が得られる。しかも、これらのデータは FAO のホームページか

²² 例外として溶解パルプ(Dissolving pulp)からは合成繊維やプラスチックなどが作られるが、生産量に占める割合はわずかである。

ら基本的に無料でダウンロードができる。今回の分析には、パルプのデータとして Pulp for Paper（製紙用パルプ）²³を、紙製品のデータとして Paper and Paperboard（紙と板紙）を、古紙のデータとして Recovered paper（古紙）を用いた。ただし、特にアジア地域の分析を行う場合、FAOの統計には難点がある。それは、台湾と香港の統計が中国の統計の中に含まれたかたちで掲出されていることである。後述の貿易統計では両地域は中国本土とは別掲となっており、図 5.1 で見たとおり両地域のマテリアル・フローにおける位置づけが中国本土とは大きく異なっていることを考えても、両地域の統計が分離された状態で入手できることが望ましい。

この要求を満たす統計が、世界の紙パルプ産業の業界紙である Pulp and paper international (PPI) 誌から入手できる。毎年7月号に、Annual review として世界各国・地域の紙とパルプの生産量や古紙の回収量、それぞれの輸出入総量の統計が掲載されている。PPI 誌のデータも、同誌のホームページ (<http://www.paperloop.com/>) から一部をダウンロードすることができる。そこで、今回は FAO の統計をベースとして不足分を PPI の統計で補う形で分析を行うこととした。

一方、貿易統計については、基本的には各国の通関統計を個別に収集する必要がある²⁴。その際、各国が Harmonized Commodity Description & Coding System (HS) という共通の品目番号を用いて統計を記録している²⁵ので、この番号を調べれば必要な品目のデータがわかる。例えば、47 から始まる品目は製紙原料であり、4701～4706 がパルプ、4707 が古紙となっている。このうち 4702 は溶解パルプであり、今回の分析からは除いた。また、古紙の中では 470710 が主として段ボール古紙を指し、470720 がいわゆる上質古紙、470730 が新聞古紙や雑誌古紙、470790 がその他の古紙と細分化されている。一方、紙製品については 4801～4813 の合計値を分析に用いた。なお、FAO の統計や日本の官庁統計においても、品目ごとに HS コードとの対応が明記されており、生産・回収の統計と貿易統計の品目を整合的に接続することができる。

データの加工

こうして集められた貿易統計には、各国・地域ごとに輸入と輸出の二組のデータが存在している。これは、A 国から B 国への資源の移動について、A 国から B 国への輸出統計と B 国の A

²³ Wood Pulp（木材パルプ）から Dissolving Pulp（溶解パルプ）を除き、Other Fiber Pulp（非木材パルプ）を加えたもの。

²⁴ 実際に各国の通関統計の冊子から該当する品目の部分だけを抜き出して電子データとして入力するには相応の手間がかかる。World Trade Atlas (<http://www.gtis.com/>) などの有料サービスを用いると、国と品目、年次を指定して必要なデータをダウンロードすることができ、作業効率は飛躍的に向上する。

²⁵ HS は、「商品の名称及び分類についての統一システムに関する国際条約(International Convention on the Harmonized Commodity Description and Coding System)」に基づく品目分類である。現在では、世界のほとんどの国が、6桁の共通コードに3桁の各国コードを加えた品目表を採用している。

表 5.3 紙製品の輸入統計と輸出統計との差異(2000年：千トン)

輸入国 \ 輸出国	中国	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ
中国	-	1	-2	-3	2	-3	0	13	1
インドネシア	313	-	42	33	68	-4	-171	-52	50
日本	266	11	-	28	181	2	42	34	10
韓国	641	-1	2	-	10	-3	-8	2	-1
マレーシア	27	2	-1	-1	-	1	10	0	-1
フィリピン	8	-0	0	0	-1	-	-2	-1	0
シンガポール	14	4	1	1	-21	3	-	0	-8
台湾	632	1	-3	-0	-0	5	-9	-	-4
タイ	137	0	-7	-0	33	-2	-5	-1	-

出典：各国・地域の貿易統計

国からの輸入統計という二つのデータが存在することを意味する。しかも、多くの場合両者は一致しない。例えば、表 5.3 は紙製品について、各国・地域が報告している相手国・地域からの輸入量と、相手国・地域が報告している当該国への輸出量との差を示している。中国の列がすべて正の値となっているのは、中国が報告した輸入量が相手国・地域が報告した中国への輸出量をいずれも上回っていることを表している。また、日本の行がすべて正の値となっているのは、日本が報告した輸出量が相手国・地域が報告した日本からの輸入量をいずれも下回っていることを表している。他の国・地域についてはこうした一貫した傾向は見られなかった。また、中国、日本ともパルプと古紙にはこうした傾向はなかった。

こうした貿易統計の食い違いは、貿易に関する実証研究を行う際に直面する課題の一つであり、van Beukering (2001) や Feenstra et al. (1999) などにおいて、対処方法が論じられている。一般的には、輸入国は関税を徴収していることが多く、輸入量を正確に記録するインセンティブを持っているため、輸出国側の情報よりは輸入国側の情報の方がより正確であるとされる。また、途上国の情報よりは先進国の情報の方が一般的にはより正確とされる。本研究においても、このルールに従ってデータを扱うことも検討したが、次のような理由から、原則として輸入と輸出の平均値を代表値として用いることとした。すなわち、生産・回収統計とともに得られる各国・地域の輸出入の統計は、原則的に当該国・地域の報告に基づいている。したがって、例えば輸入値を代表値として採用すると、輸出の側に極端に大きな誤差が生じることになる。そのため、生産・回収統計との整合性を重視する立場から、平均値を採用した。また、各国・地域の輸出入総量の値については、FAO や PPI のデータではなく貿易統計の合計値を用いることとした。

以上により生産・回収量と輸出入量が確定すると、「生産量－輸出量＋輸入量」により見かけ上の消費量が計算できる。こうして物質循環の分析に必要なデータが揃う。ただし、このままのデータでは一部の国・地域において自給量²⁶が負値を取ることがある。例えば、今回のデー

²⁶ 自給量とは、国内で生産されたもののうちそのまま国内で消費される量（＝生産量－輸出量

第5章 循環型社会はどこまで広がっているか

タでは、香港では約20万トンの紙製品が生産され、220万トン弱が輸出され、300万トン余りが輸入され、100万トン余りが消費されている。この場合、香港の自給量は-200万トンという計算になる。

この原因は、香港が中継貿易を行っているためである。本章の目的であるアジア地域の紙資源のマテリアル・フローの分析のためには、こうした中継貿易の効果をできるだけ取り払い、元々の輸出国から最終的な輸入国へのフローを把握することが重要である。また、データの中に負値が含まれると以降の分析に不都合が生じる。そこでここでは、香港は正味80万トンを入力し、輸出はしておらず、20万トンを自給していると考え、つまり、問題となる国・地域の消費量が生産量を上回っていれば不足分を入力していると考え、逆であれば超過分を輸出していると想定することとする²⁷。この場合、残りの220万トンの輸出量は、元々香港が輸入した国・地域から直接当該国・地域へ輸出されたものと考え、具体的には、香港の輸入シェアに応じて220万トンを輸出元の各国・地域に輸出量として追加配分し、次に、この各国・地域への追加配分量を香港からの輸出シェアに応じて輸入先の国・地域に配分した。

分析用の完成データ

以上のような補正を経て完成したデータを表5.4、表5.5、表5.6に示す。それぞれの表において、行（横方向）の和が各国・地域の生産（回収）量を表し、行の内訳がその製品がどの国・地域でどれだけ消費されているかを示している。同様に、列（縦方向）の和が各国・地域の消費量を表し、列の内訳がその製品がどの国・地域からどれだけ供給されているかを示している。

対象としたアジアの10カ国・地域の他、この地域に紙資源を供給している主要な国・地域とのフローも把握できるよう、主要な国・地域については明示的に行列に含めている。この他、上記以外の地域のデータを示す行と列を加えることで、全世界のデータを網羅した形となっている。ただし、このデータは上記のような多段階の補正を経たものであり、各国・地域の生産量や貿易量は必ずしも実際の統計と一致するものとはなっていない。

＝消費量－輸入量）である。

²⁷ この仮定は状況を単純化しすぎている面があることは否定できない。例えば、国際的な分業が発達し、紙製品の中でも香港は新聞紙の生産に特化して製品の一部を輸出し、段ボールなど他の紙製品を輸入しているといった状況の場合、自給量は今回の想定値より少なくなる。しかし、今回は入手できるデータの制約からこうした詳細な検討は行わなかった。

表 5.4 アジア地域のパルプの MATERIAL・フロー(2000年：万トン)

生産国	消費国	中国	香港	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ	Aus	Can	EU	US	他	生産
中国		1,713	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,715
香港		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア		72	0	224	10	27	0	0	0	5	1	4	0	22	0	8	373
日本		0	0	2	1,120	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,132
韓国		0	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
マレーシア		0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
フィリピン		0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	1	0	0	20
シンガポール		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台湾		0	0	0	0	1	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	39
タイ		8	0	2	0	4	0	0	0	1	58	3	0	7	0	1	84
オーストラリア		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	259	0	0	0	0	259
カナダ		81	0	36	135	73	1	1	0	22	10	7	1,495	459	203	127	2,650
EU		10	0	5	10	2	0	0	0	3	7	7	11	3,164	200	125	3,544
アメリカ		27	0	11	67	51	3	4	0	15	6	3	5	213	5,254	59	5,718
ロシア		58	0	0	0	11	0	0	0	1	0	1	1	52	23	428	575
チリ		25	0	7	12	12	0	0	0	19	7	1	1	58	26	92	259
ブラジル		15	0	3	35	11	0	0	0	4	0	2	3	127	56	478	734
ニュージーランド		9	0	9	24	8	1	0	0	6	2	0	0	4	2	94	161
その他の地域		0	0	2	2	3	0	1	0	5	3	2	3	114	51	1,229	1,414
消費量		2,018	0	301	1,416	272	18	25	0	117	94	289	1,520	4,221	5,814	2,640	

表 5.5 アジア地域の紙製品の MATERIAL・フロー(2000年：万トン)

生産国	消費国	中国	香港	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ	Aus	Can	EU	US	他	生産
中国		3,005	12	1	7	4	2	1	1	6	1	2	0	1	1	46	3,090
香港		0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
インドネシア		63	10	404	14	8	29	5	7	18	7	12	1	15	14	90	698
日本		36	8	2	3,038	5	16	2	6	11	7	5	0	2	15	26	3,179
韓国		90	18	1	6	696	9	3	6	4	2	12	0	2	40	87	976
マレーシア		2	1	1	0	0	52	0	6	0	1	0	0	0	0	16	79
フィリピン		4	0	0	0	0	1	74	2	3	1	0	0	0	0	2	87
シンガポール		0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9
台湾		42	16	1	4	0	6	1	0	330	2	0	0	0	1	46	449
タイ		24	4	1	1	0	12	3	5	2	150	3	0	4	4	18	232
オーストラリア		11	0	1	0	0	2	1	2	3	1	239	1	14	5	4	284
カナダ		13	0	2	26	5	6	2	2	10	1	12	580	874	304	254	2,092
EU		65	10	8	27	12	20	10	15	22	10	75	146	5,766	920	1,358	8,463
アメリカ		92	5	4	76	15	14	15	6	18	5	9	145	249	7,822	181	8,655
その他の地域		42	0	1	0	2	11	3	4	11	6	10	39	695	242	2,979	4,045
消費量		3,488	104	427	3,201	747	180	121	70	438	192	379	912	7,623	9,369	5,107	

第5章 循環型社会はどこまで広がっているか

表 5.6 アジア地域の古紙のマテリアル・フロー(2000年：万トン)

消費国	中国	香港	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ	Aus	Can	EU	US	他	回収
中国	1,223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,224
香港	57	7	1	0	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	19	92
インドネシア	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116
日本	5	0	1	1,448	5	0	2	0	11	11	0	0	0	0	0	1,484
韓国	0	0	0	0	386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	387
マレーシア	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
フィリピン	0	0	0	0	0	0	49	0	0	2	0	0	0	0	0	52
シンガポール	0	0	10	0	0	8	2	0	0	7	0	0	0	0	6	34
台湾	0	0	0	0	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	294
タイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0	0	91
オーストラリア	3	0	15	0	4	6	2	0	0	1	122	0	0	0	0	154
カナダ	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	86	42	1	11	148
EU	41	0	120	0	35	6	10	0	48	19	2	17	3,341	19	157	3,815
アメリカ	260	5	74	26	142	4	15	0	45	52	2	254	34	3,211	213	4,337
その他	2	0	10	0	6	5	3	0	0	0	1	5	183	6	1,071	1,291
消費量	1,595	12	346	1,475	582	40	90	0	399	185	127	362	3,601	3,236	1,478	

以上の3つの表のデータから副次的に得られるのが、次の表 5.7 と表 5.8 の情報である。表 5.4 から一次資源（パルプ）、表 5.6 から二次資源（古紙）の消費量が得られる。これと表 5.5 から得られる最終製品（紙製品）の生産量を対比したのが表 5.7 であり、各地の原料の投入構造や古紙の利用率がわかる。同様に、表 5.5 から得られる紙製品の消費量と表 5.6 から得られる古紙の回収量を対比したのが表 5.8 であり、各地の古紙の回収率がわかる。

表 5.7 アジア地域の紙製品の原料投入状況(2000年：万トン)

		中国	香港	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ
A	パルプ消費量	2,018	0	301	1,416	272	18	25	0.1	117	94
B	古紙消費量	1,595	12	346	1,475	582	40	90	0.1	399	185
C	総繊維供給量 A+B	3,613	12	647	2,891	855	58	116	0.2	516	279
D	紙製品生産量	3,090	19	698	3,179	976	79	87	9	449	232
E	繊維損失量 C-D	523	-7	-50	-289	-121	-21	29	-9	67	48
F	古紙利用率 B/C	44%	100%	53%	51%	68%	69%	78%	40%	77%	66%
G	繊維損失率 E/C	14%	-52%	-8%	-10%	-14%	-37%	25%	-	13%	17%

表 5.8 アジア地域の古紙の回収状況(2000年：万トン)

		中国	香港	Nes	日本	韓国	Mal	Phil	Sing	台湾	タイ
H	紙製品消費量	3,488	104	427	3,201	747	180	121	70	438	192
I	古紙回収量	1,224	92	116	1,484	387	10	52	34	294	91
J	紙廃棄量 H-I	2,264	12	311	1,717	361	170	70	35	143	102
K	古紙回収率 I/H	35%	88%	27%	46%	52%	6%	42%	49%	67%	47%

ここで問題となるのが、表 5.7 の E 行、G 行によって示された「繊維損失」に関する情報である。通常、パルプおよび古紙の形で投入される紙繊維の量と、紙製品として産出される紙繊維の量を比較した場合、ある程度より短い繊維は生産工程の中で失われるため、製品に含まれる紙繊維の方が数%少なくなる。したがって、原料の投入量よりも製品の生産量の方が若干少なくなると考えられる。段ボールなどに用いる板紙の場合にはこれが当てはまり、最近の日本の例では 6%程度の差がある。反対に、グラビアに用いられる印刷用紙のように表面を塗工した紙の場合、繊維以外の成分が加わるため製品の方が若干重くなる。その結果、日本の紙の生産量は 5%程度原料より多くなっている。しかし、表 5.7 に示される繊維損失率は、各国・地域ともこの幅を遙かに超えて変化している。したがって、これらの値は各地の技術を反映しているわけではなく、元々の統計誤差とこれまでのデータ補正の結果生じた誤差とが集約されていると考えるべきであろう。同様に、表 5.8 の J 行、K 行によって示される紙の廃棄に関する情報についても、誤差が集約されていると考えられる。

5.2 マテリアル・フローの分析

これまでの作業により、分析に必要なデータを一通りそろえることができた。ここからの分析は、表 5.4～表 5.6 の行列によって与えられた多次元の情報を少数の次元に集約し、情報の核心部分を簡潔に提示する作業といえる。その意味では、先に見た図 5.1 も 10 の国・地域を 3 要素 \times $(10 + \alpha)$ 国・地域 (=次元) の情報を元に 2 次元の平面に位置づける作業といえる。図 5.1 の場合にはこれを試行錯誤によって行ったが、以下ではより系統的な方法を用いる。

要素別のマテリアル・フロー

まず、紙、パルプ、古紙の 3 要素それぞれについて、マテリアル・フローが各国・地域ごとにどの程度閉じているかを明らかにする。すなわち、資源の供給面に着目した場合には、自給率とそれ以外のアジア地域への依存割合（域内依存率）、そしてアジア地域外への依存割合（域外依存率）を計算すればよい。また、資源の消費面に着目した場合には、自家消費の割合（自消費率）とそれ以外のアジア地域への供給割合（域内供給率）、そしてアジア地域外への供給割合（域外供給率）を計算する。供給面の分析においては、行列の各要素を列和（総消費量）で割ることで、各国・地域からの供給割合が得られるので、これを自分、域内、域外に分類すればよい。同様に、消費面の分析においては、行列の各要素を行和（総生産量）で割ることになる。

この操作を数式を用いて表現する。ここで、表 5.4 から生産量の列と消費量の行を取り除いた行列を S^p とおく。また、生産量を対角成分とした対角行列を Y^p とおき、消費量を対角成分とした対角行列を Y^{p*} とおく。同様に、表 5.5 から T 、 X 、 X^* を、表 5.6 から S^s 、 Y^s 、 Y^{s*} を得る。これらを用いて列 S_b^p 、 S_a^p 、 T_b 、 T_a 、 S_b^s 、 S_a^s を以下のように求める。

$$\begin{aligned}
 S_b^p &= S^p (Y^{p*})^{-1} & S_a^p &= (Y^p)^{-1} S^p \\
 T_b &= T (X^*)^{-1} & T_a &= X^{-1} T \\
 S_b^s &= S^s (Y^{s*})^{-1} & S_a^s &= (Y^s)^{-1} S^s
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

ここで、添字 b を持つ行列は、各地で消費される資源や製品がどの国・地域からどの程度の割合で供給されているかという供給割合を示している。同様に、添字 a を持つ行列は、各地で生産された資源や製品をどの国・地域がどの程度の割合で消費しているかという消費割合を示している。よって、添字 b の行列の各列を自分、域内、域外に分類すれば、供給面について目的の値が得られる。同様に、添字 a の行列の各行を分類すれば、消費面についての値が得られる。

結果を表 5.9～表 5.11 に示す。自給率、自消率が高いほど、その要素のマテリアル・フローがその国・地域内で閉じていると言える。それぞれ、自給率、自消率が高い順にソートされている。ただし、先に説明した中継貿易の補正の結果、輸出もしくは輸入がゼロとおかれた国・地域については、この補正のために自給率もしくは自消率が 100%となる。該当するデータには網掛けをして区別してある。

表 5.9 アジア地域のパルプの供給・消費状況(2000年)

供給面	自給	域内	域外	消費面	自消	域内	域外
中国	85%	4%	11%	香港	-	-	-
日本	79%	1%	20%	シンガポール	-	-	-
インドネシア	74%	1%	24%	韓国	100%	0%	0%
フィリピン	74%	3%	24%	中国	100%	0%	0%
マレーシア	68%	2%	30%	マレーシア	100%	0%	0%
タイ	61%	2%	37%	日本	99%	1%	0%
台湾	31%	6%	63%	台湾	94%	6%	0%
韓国	22%	16%	63%	フィリピン	92%	3%	6%
香港	0%	100%	0%	タイ	69%	18%	13%
シンガポール	0%	64%	36%	インドネシア	60%	31%	9%

表 5.10 アジア地域の紙資源の供給・消費状況(2000年)

供給面	自給	域内	域外	消費面	自消	域内	域外
日本	95%	1%	4%	シンガポール	100%	0%	0%
インドネシア	95%	1%	4%	香港	100%	0%	0%
韓国	93%	2%	5%	中国	97%	1%	2%
中国	86%	7%	6%	日本	96%	3%	2%
タイ	78%	10%	11%	フィリピン	86%	12%	2%
台湾	75%	10%	14%	台湾	73%	16%	10%
フィリピン	61%	14%	25%	韓国	71%	14%	14%
マレーシア	29%	42%	29%	マレーシア	65%	13%	21%
香港	18%	67%	15%	タイ	65%	22%	13%
シンガポール	12%	46%	42%	インドネシア	58%	23%	19%

表 5.11 アジア地域の古紙の供給・消費状況(2000年)

供給面	自給	域内	域外	消費面	自消	域内	域外
シンガポール	100%	0%	0%	中国	100%	0%	0%
日本	98%	0%	2%	タイ	100%	0%	0%
中国	77%	4%	19%	台湾	100%	0%	0%
台湾	74%	3%	23%	韓国	100%	0%	0%
韓国	66%	1%	33%	インドネシア	99%	1%	0%
香港	55%	6%	39%	日本	98%	2%	0%
フィリピン	54%	13%	33%	フィリピン	95%	5%	0%
タイ	49%	12%	39%	マレーシア	92%	7%	1%
インドネシア	33%	4%	63%	香港	7%	72%	21%
マレーシア	24%	22%	54%	シンガポール	0%	82%	18%

傾向が比較的明確なパルプと古紙については、次のような特徴が見て取れる。供給面についてみると、日本の古紙の自給率の高さを除けば、パルプ、古紙ともにアジア地域の自給率は軒並み低く、域外への依存が高いことがわかる。消費面について見ると、パルプについてはタイとインドネシアだけが自消率が低く、自国外にもパルプを供給していることがわかる。古紙については香港とシンガポールだけが自消率が低く、外部に古紙を供給している。この他の国・地域はいずれも自消率が高く、内部で閉じていると言える。このように、原料のフローという面から見ると、アジア地域は域外からの供給への依存が高いことが確認できる。一方で、パルプにおけるタイとインドネシアや古紙における香港とシンガポールのように、アジア地域内を中心に原料を供給している国・地域もある。

紙については次のような特徴がある。中国と日本は、紙製品の流入と流出ともに相対的に閉じている。反対に、マレーシアは相対的に開いている。インドネシアや韓国は、紙製品の流入については閉じているが、流出については開いており、他の国・地域に製品を供給している。そして、これらの中に台湾が位置している。

MPC 全体のマテリアル・フロー

ここまでは、MPCの3要素それぞれについて、個別にマテリアル・フローを検討してきた。しかし、MPCそのものの姿を捉えるためには、原料の生産から製品の消費に至る流れを把握する必要がある。例えば、インドネシアから輸入したパルプを用いて中国で紙が生産、消費されるとすれば、資源の観点から見た中国の自給率は製品の観点から見た自給率よりも低くなるはずである。あるいは、シンガポールで回収された古紙がインドネシアに輸出され、それを元に生産された紙が再びシンガポールに輸出されて消費されているとすれば、シンガポールの自給率は見かけより高いことになる。

つまり、ある国・地域の正味の自消率を評価するためには、原料の生産地から消費地へのフローに関する情報の後に製品の生産地から消費地へのフローに関する情報を接続し、原料の生産地から製品の消費地へのフローに関する情報を導く必要がある。同様に、真の自給率を求め

第5章 循環型社会はどこまで広がっているか

るには、製品の消費地から生産地にさかのぼるフローに原料の消費地から生産地にさかのぼるフローを接続する必要がある。この操作は、数学的にはそれぞれのフローの情報を持つ行列の積を取ることに相当する。

ただし厳密には、それぞれの接続において、原料の消費（生産への投入）と製品の産出に関する情報を、原料のフローと製品のフローの間に挟む必要がある。すなわち、表 5.7 に示される原料の投入構造に関する情報である。しかし、すでに見たように、今回のデータ・セットにおいては、この表 5.7 の情報は現実の繊維損失量よりもデータの誤差の方を代表していると考えられる。そこで今回は、生産段階の繊維損失を無視して分析を行う。つまり、投入された原料はすべて製品となると仮定する。したがって、資源の投入から製品の産出に向かうフローを表す行列 P_a^p および P_a^s に、単位行列を用いることになる。一方で、製品から資源投入へとさかのぼるフローについては、製品に含まれる繊維をパルプに由来するものと古紙に由来するものとに区別する必要があるため、パルプに由来するフローを表す行列 P_b^p と古紙に由来するフローを表す行列 P_b^s がそれぞれ必要となる。ここで、 $P_b^p = Y^p \cdot X^{-1}$ であり、 $P_b^s = Y^s \cdot X^{-1}$ である。

資源および製品それぞれのフローは (5.1) 式の行列によって与えられている。これを用いると、パルプの生産地から紙製品の消費地へのフローは $S_a^p \cdot P_a^p \cdot T_a$ によって、古紙の回収地から紙製品の消費地へのフローは $S_a^s \cdot P_a^s \cdot T_a$ によってそれぞれ表される。一方、紙製品の消費地から原料の生産地にさかのぼるフローは、 $S_b^p \cdot P_b^p \cdot T_b$ (パルプへ) と $S_b^s \cdot P_b^s \cdot T_b$ (古紙へ) によって表される²⁸。また、以下では一次資源と二次資源を一括して扱った方が分析上都合がよい場合もある。そこで、 S_a^p と S_a^s を対角成分とし残りの成分を 0 とする行列を S_a とおき、 P_a^p と P_a^s を上下に並べた行列を P_a として、これらを用いることもある。同様に S_b 、 P_b が得られる。これらの式を用いて実際に計算した結果を以下に示す。

図 5.2 は、アジア地域の各国・地域で消費されている紙製品について、その原料の供給元を自給、アジア域内、域外に分類して構成割合を示したものである。上述の添字 b の行列を用いてマテリアル・フローをさかのぼった結果である。合計が必ずしも 100% となっていないのは、先述の原材料消費量と生産量との統計上の不一致による。表 5.10 の紙資源の供給状況とこの図のパルプと古紙をあわせた原材料の自給率とを比較すると、一般的に後者の値が前者を下回っている。中でも韓国とインドネシアは 45 ポイント、タイは 36 ポイントと、大幅な差がある。製品としては自給していても、その原料となるパルプや古紙を外部に依存しているためである。アジア域外からの原材料供給割合も、日本と中国以外は軒並み 50% 前後の値を示している。このように、原材料から製品への流れを接続して MPC を垂直方向に分析することで、水平方向の分析では捉えられなかったアジア地域の域外への依存の実態を明らかにすることができる。

²⁸ ちなみに、第 3 章における循環行列の計算の際には、添字 b については行列の積が逆順にとられている。これは、第 3 章で利用している行列が転置されているためである。

図 5.2 アジア地域の紙製品の原料供給元の構成 (2000年)

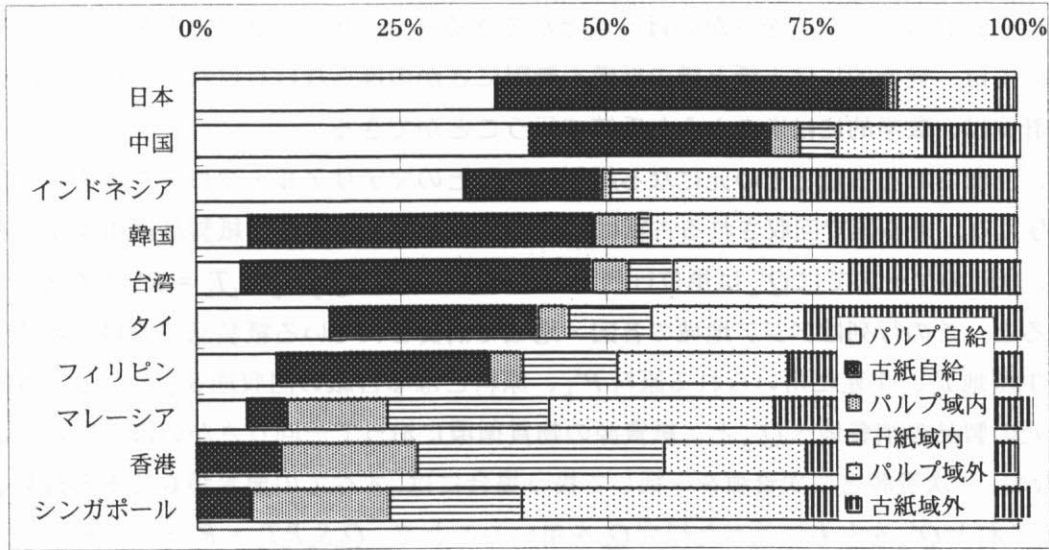


表 5.12 アジア地域の製紙原料の消費状況(2000年)

パルプ	自消	域内	域外	古紙	自消	域内	域外
中国	97%	1%	2%	中国	97%	1%	2%
日本	95%	4%	2%	日本	93%	5%	2%
フィリピン	79%	14%	7%	フィリピン	81%	16%	3%
韓国	71%	14%	14%	台湾	73%	16%	10%
台湾	69%	20%	10%	韓国	71%	14%	14%
マレーシア	65%	13%	21%	タイ	65%	22%	13%
タイ	45%	32%	23%	マレーシア	60%	18%	22%
インドネシア	35%	44%	22%	インドネシア	57%	24%	19%
香港	-	-	-	香港	8%	70%	22%
シンガポール	-	-	-	シンガポール	3%	66%	31%

同様に、添字 a の行列を用いることによって、原料の生産地から製品の消費地に向けた流れを追うことができる。その結果を表 5.12 に示す。この表を表 5.9 および表 5.11 の消費状況部分と比較すると、原料自体としては自消率が高かった場所でも、製品の貿易の影響で最終製品の消費地が海外となる割合が増えることがわかる。

ここで再び図 5.2 に戻り、日本の原材料自給率に着目してみる。すでに見たように、このグラフは日本で消費されている紙製品は 37%が国産のパルプから、48%が国産の古紙から作られていることを示している。しかし、37%の国産パルプの半分以上が輸入されたパルプ材から作られている。また、国産古紙は国内で消費された紙製品に由来している。したがって、48%の国産古紙のうち 37%は国産パルプから作られた紙に由来し、48%は国産古紙から、残りは国外の原料から作られた紙に由来するといえる。つまり、図 5.2 の段階では厳密な自給率は把握できていないのである。

フローをさかのぼる 2つのルートのうち、パルプからパルプ材のフローへとさかのぼるルー

トについては、数学的にはパルプのフローの行列の前にパルプ材からパルプへの変換の行列とパルプ材のフローの行列をかけることを意味する。したがって、この2つの行列に相当するデータが得られれば、フローをさかのぼることができる²⁹。一方、古紙の由来をさかのぼるルートについては、究極的には古紙と紙の循環を無限にさかのぼらなければならない。この究極自給率の計算は、数学的には次のような手続で行うことができる。

まず、回収される古紙とその元になる紙製品消費とのマテリアル・フローを表す行列として Q_b^s を与える。ある国で回収される古紙はすべてその国で消費された紙製品に由来するといえるので、今回のケースでは Q_b^s は単位行列となる³⁰。ここで、 $Q_b^s S_b^s P_b^s T_b = R_b^s$ となる行列 R_b^s を考えると、この行列はアジア地域の各国・地域で消費されている紙製品の原料の供給元を、製品の生産地 T_b 、生産に用いられる原料 P_b^s 、原料となる古紙の回収地 S_b^s 、そして古紙が由来する元の製品の消費地へ Q_b^s と、紙資源の物質循環に沿って一回りさかのぼっていることになる。なお、一次資源と二次資源を一括して扱う場合には、すべての要素が0である行列 Q_b^p を考え³¹、これと Q_b^s を左右に並べた行列 Q_b を用いることで、 $Q_b S_b P_b T_b = R_b$ という形で定式化できる。

ここで、究極自給率を、ある国・地域の紙製品消費量のうち、その国・地域で生産されたパルプに究極的に由来する割合と定義する。すでに明らかにしたとおり、紙製品消費量のうちパルプに直接的に由来する割合は $S_b^p P_b^p T_b$ によって与えられるので、そのうちの自給割合を求めれば直接自給率が得られる。次に、紙製品消費量のうち1回前の紙製品消費に直接的に由来する割合が R_b によって与えられるので、 $S_b^p P_b^p T_b R_b$ を計算することで1回前の紙消費量のうちパルプに直接的に由来する割合が得られる。そのうちの自給割合を求めれば、間接一次自給率が得られる。同様に、紙製品消費量のうち2回前の紙製品消費に直接的に由来する割合が R_b^2 によって与えられるので、 $S_b^p P_b^p T_b R_b^2$ から間接二次自給率が得られる。こうして紙の循環を無限にさかのぼることによって、

$$S_b^p P_b^p T_b \sum_{n=0}^{\infty} R_b^n \quad (5.2)$$

から究極自給率を求めることができる。ここで、 R_b の無限級数和の部分を展開すると

$$S_b^p P_b^p T_b (1 - R_b)^{-1} \quad (5.3)$$

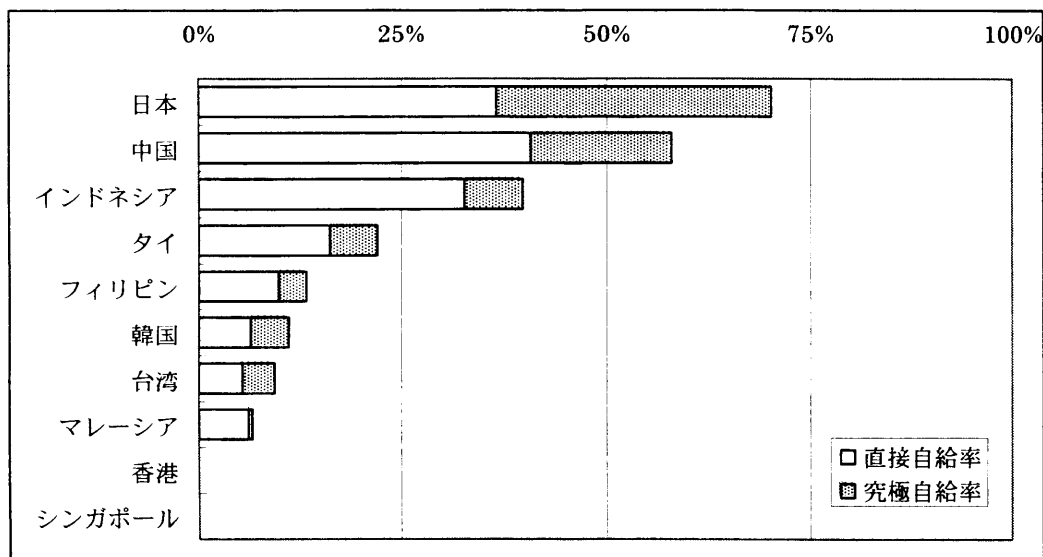
が得られる。 R_b については、定義からソローの列和条件が成り立つ(宮沢 (2002)) ので、(5.3) 式の逆行列は常に存在する。

²⁹ ただし、本論文においてはデータの制約からこの分析は行わない。

³⁰ 回収の際に異物が混入する場合や、製品や古紙が品目ごとに細分化されている場合は、 Q_b^s についてもデータから行列を求める必要がある。

³¹ これは、パルプから製品にはさかのぼることはできないということの意味する。

図 5.3 アジア地域の紙資源の自給率の比較 (2000年)



(5.3)式を用いてアジア地域の紙資源の究極自給率を求めた結果を図 5.3 に示す。比較のため直接自給率³²もあわせて掲出している。日本は、直接自給率では中国に劣るが、究極自給率は中国の 58% に対し 70% に達している。同様な順位の逆転は、台湾とマレーシアの間でも起きている。究極自給率と直接自給率との差が国・地域によって大きく変動している理由は、図 5.2 と比較することで明らかとなる。すなわち、究極自給率の伸びが大きい国・地域は、図 5.2 における古紙の自給率が高いという傾向がある。全体的な傾向としては、自給率が 50% を上回っているのは日本と中国だけであり、アジア地域の紙資源の域外依存の強さをあらためて確認することができる。

循環度を用いた MPC の分析

ここまでは、アジア地域の紙資源のマテリアル・フローを、各国・地域の自給率と外部への依存という観点から分析してきた。これにより、対象とする国・地域の紙資源の物質循環がどの程度内部で閉じているかが明らかとなった。一方で、物質循環の分析においては、対象とする資源がどの程度有効に利用されているかという、資源生産性の観点も重要となる。そこで以下では、資源生産性の指標の一つとして筆者らが開発した「循環度」という指標 (Yamashita et al. (2000) および第 3 章を参照) を用いて、あらためてアジア地域の紙資源のマテリアル・フローの分析を行う。

循環度とは、対象とする製品を構成する素材 (紙製品であれば紙の繊維) に着目し、その素

³² この直接自給率は、図 5.2 におけるパルプの自給率に等しい。

第5章 循環型社会はどこまで広がっているか

材が採取されてから廃棄されるまでに何回利用されるか、期待値を統計的に計算したものである。現時点を基準として、その素材がこれまでに何回利用されてきたかを示す事前循環度と、これから何回利用されるかを示す事後循環度、そしてこれらを足しあわせた総循環度という3つの指標からなる。Yamashita et al. (2000) および第3章においては、対象とする国内における利用回数のみを計測するモデルとして定式化されていたが、数学的な構造に変更を加えることなくそのまま多国間の貿易を含んだモデルに適用することができる。

先に究極自給率を求める際に用いた行列 R_b は、見方を変えると現在消費されている紙製品に含まれる繊維のうち、これまでに少なくとも1回は利用されたことがある繊維の割合を示しているといえる。つまり、 R_b^2 は少なくとも2回は利用されたことがある繊維の割合を示し、 R_b^n は少なくとも n 回は利用されたことがある繊維の割合を示すことになる。したがって、 $R_b^{n-1} - R_b^n$ により、ちょうど $n-1$ 回利用された繊維の割合がわかる。言い換えれば、対象としている繊維がこれまでに $n-1$ 回利用されたことがあるものである確率が $R_b^{n-1} - R_b^n$ の列和によって与えられることになる。利用回数とその確率がわかれば、 i 国(地域)の事前循環度 c_{bi} を以下のようにその期待値として求めることができる。

$$\begin{aligned} C_b &= \sum_{n=1}^{\infty} (n-1)(R_b^{n-1} - R_b^n) \\ &= (I - R_b)^{-1} R_b \\ c_{bi} &= \sum_j C_{bji} \end{aligned} \tag{5.4}$$

同様に、行列 R_a から事後循環度 c_{ai} を求めることができる。さらに、行列 R_b と R_a を求める際に、行列 S_b 、 T_b 、 S_a 、 T_a の対角成分以外をゼロとおけば国内だけの循環度が得られ、アジア地域以外の成分をゼロとおけばアジア地域における循環度が得られる。以上の説明においては、循環の起点を製品の消費時点においたが、原料の生産時点や製品の生産時点など、分析の目的に応じて物質循環の任意の位置から循環度を計算することができる。

図 5.4 および図 5.5 は、原料の生産(回収)時点を起点として循環度を計算した結果である。図 5.4 は各国・地域で生産されたパルプが、平均的に何回紙として利用されているかを示している。パルプの場合、事前循環度は定義上 0 となるので、事後循環度がそのまま総循環度を表す。各国・地域について、三種類の事後循環度が示されている。このうち国内の循環度とは、生産されたパルプが廃棄されるまで一度も国外に出ることなく国内のみで利用される場合の循環度である。すなわち、日本製パルプが日本で紙生産に投入され、製品の紙が日本国内で消費され、古紙として回収されて1回転、という計算になる。日本産パルプが一度中国に輸出され、中国で生産された紙が日本に輸入されて日本で古紙として回収されるといった場合には、国内循環度にはカウントされない。こうしたフローはアジア地域内の循環度の方でカウントされる。また、輸出国がアジア地域外であった場合には、世界の循環度のカウントされる。輸出された国で古紙として再利用される場合も、その分だけ世界循環度に加算される。

図 5.4 アジア地域のパルプの事後循環度の比較 (2000年)

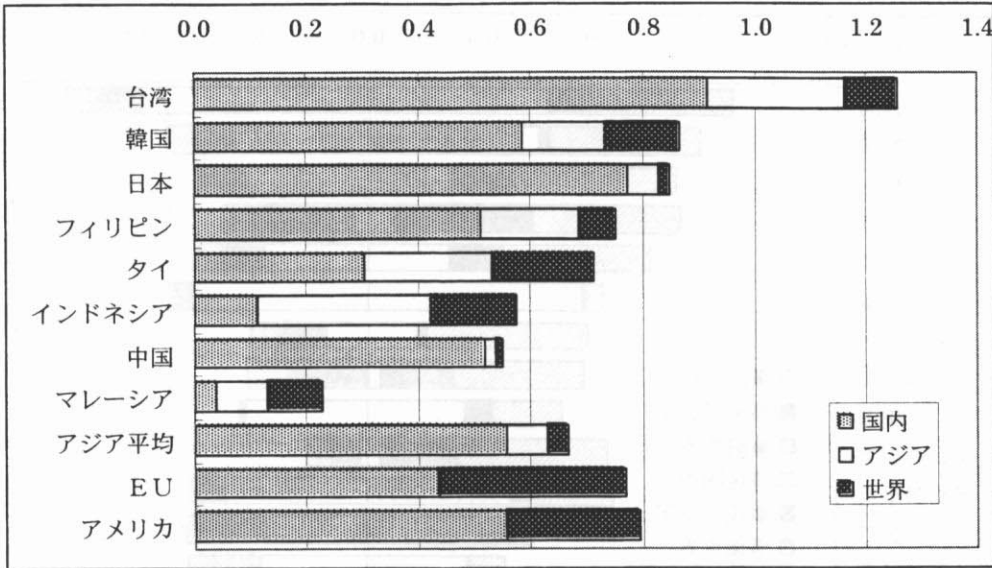
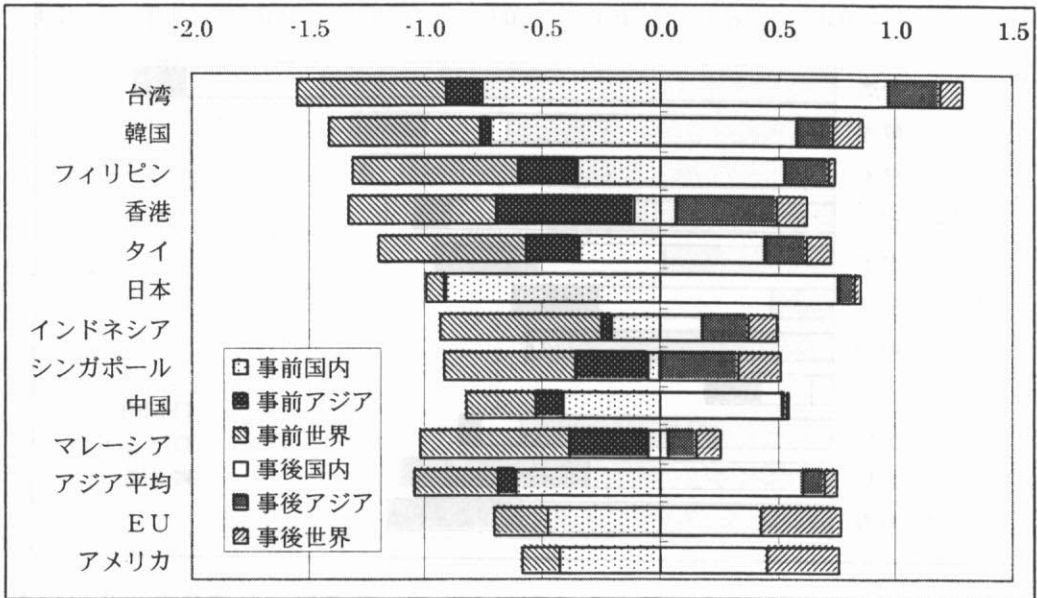


図 5.4 によると、アジア地域内で最もよく利用されているのは、台湾産のパルプであることがわかる。国内循環度が高いだけでなく、アジア地域の域内循環度も高い。一方、日本は国内循環度では台湾に次ぐ位置にあるが、国外における利用状況で韓国に劣るため、世界循環度では韓国が日本を上回っている。同様の逆転は、中国とフィリピン、タイ、インドネシアとの間でも起きている。どちらのケースも、日本や中国のように循環が相対的に国内で閉じている国と海外に開かれている国との傾向の違いの現れといえる。また、各国・地域の循環度をパルプの生産量で重みづけした平均値を、アジア平均として掲出している。0.67 という値は欧米と比較してやや小さい。一方で、上位3ヶ国は欧米の値を上回っている。中国やインドネシアなど、生産量の多い国のパルプについて、一層の有効利用が図られるべきである。

図 5.5 は各国・地域の古紙の事前循環度（左側）と事後循環度（右側）の比較である。両者の合計である総循環度の大きい順に並んでいる。事後循環度の傾向は、パルプの場合とほぼ同様である。一方、事前循環度についてはどの国・地域も欧米を上回り、アジア平均も1を超えている。特に、日本以外のアジア諸国・地域についてはいずれも世界循環度の大きさが際だっている。世界事前循環度においては、域外からのパルプ輸入は1回としてカウントされない。したがって、世界事前循環度が値を持つためには、域外からの古紙や古紙製の紙製品の輸入が必要である。したがって、域外で利用された紙資源（欧米の古紙）への依存の強さが世界事前循環度の大きさに現れているといえる。事前循環度が大きいということは、それだけよく利用された繊維が用いられていること、すなわちアジア地域で利用される紙の質が相対的に悪いことを意味している。また、日本は事前循環度についても国内で閉じているが、中国は事前循環度すなわち紙繊維の供給元については海外への依存が見られる。

図 5.5 アジア地域の古紙の循環度の比較 (2000年)



5.3 まとめ

手法の研究という側面から考えると、以下のような課題が今後に残されている。一つは、このモデルを時系列に拡張し、これまでの世界の MPC の発展過程の検証や、日本の循環が開いていく姿の追跡に活用することである。もう一つは、現状では紙や古紙など各要素を一括して扱っていたが、これを品目別に区分することで域内の分業の実態を明らかにすることである。

以上により、多国間のマテリアル・フローの実態を捉えるモデルを構築し、それをを用いてアジア地域のマテリアル・フローの実態を定量的に把握することが可能となった。特に、MPC の垂直方向と水平方向とを行列により統合して定量評価する手法は、既存研究には見られないものである。アジア地域が全体としては紙資源を域外に依存していること。その一方で、域内の国・地域には個別の状況に応じた多様性が存在すること。こうした統計データから得られる事実を自給率や循環度という簡潔な指標によって表現することができた。加えて、2000年の段階では日本の紙資源循環が閉じていたことも確認された。

第2部

廃棄物税とその影響

第2部においては、廃棄物税を題材として、所定の目標を達成するための政策が社会に与える影響を、特に物質循環の構造との関わりに着目し、経済モデルにより定量的に分析する^{33,34}。

第6章 廃棄物削減にはどの程度の課税が必要か

6.1 廃棄物税の経済分析

廃棄物税と廃棄物削減メカニズム

廃棄物税による廃棄物削減効果の経済的メカニズムには、次の4つの効果が想定できる。第1の効果は、課税による経済規模の縮小の効果である。これにより、当該財の消費および生産段階において発生する廃棄物の絶対量が削減される。第2の効果は財の代替の効果である。廃棄物への課税により、生産額あたりの廃棄物排出量（排出係数）に応じて財・サービスの相対価格が上昇する。課税による相対価格の変化は各財の廃棄物排出係数に応じて差がある。したがって、相対価格の上昇がより大きい財からより小さい財への代替が、最終需要および中間投入の双方で進むことになる。これにより、単位生産額あたりの廃棄物排出量が減少する。こうした経済構造の変化による廃棄物削減効果の見積もりには、価格の変化とそれに対する各経済主体の反応の評価が重要になる。

こうした経済構造の変化に加え、廃棄物税の特徴として、リサイクルによる廃棄物排出削減効果が2つ考えられる。第3の効果は、発生した廃棄物の一部がリサイクルされることで廃棄物の処分量が減るといふ、直接の削減効果である。第4の効果は、一次資源（天然資源）から二次資源（再生資源）への代替による、生産段階の資源消費の減少にともなう廃棄物発生量の削減である。一次資源の生産に際しては、資本や労働に加え多くの資源やエネルギーが投入され、結果として多くの廃棄物が発生する。一方、理論モデルにおいては、二次資源の生産とは

³³ 第2部の内容は、東京大学大学院総合文化研究科の奥島真一郎氏との共同研究による成果である。

³⁴ 第2部は第1部とは異なるモデルを扱っており、数式に用いられる文字の表す変数の意味も、当然第1部とは異なる。

第6章 廃棄物削減にはどの程度の課税が必要か

廃棄物からの有価物の分別・回収を意味する。したがって、生産に要する投入の大半は、回収用の車両、分別や圧縮・梱包用の貯蔵施設などの資本と人件費によって占められる。つまり、一次資源から二次資源への代替とは、いわゆる動脈産業から静脈産業への代替であり、単位生産額あたりの資源消費のより多い財からより少ない財への代替を意味している。

上記の経済的メカニズムの中で、第1の効果は経済規模（GDP）の減少につながるため、環境を守るためには経済を犠牲にしなければならないというトレード・オフの関係が成立する。しかし、残りの3つの効果によれば、経済の水準を維持しつつ廃棄物の排出削減を達成することができる。この効果を最大限活用して持続可能な社会を目指すのが、シュミット＝ブレーク（1997）らが提唱するファクター10の政策である。

こうした経済的メカニズムに加え、廃棄物の最終処分量の削減には、いくつかの技術的メカニズムが影響すると考えられる。第5の効果は、技術的な廃棄物発生抑制の効果で、具体的には、財の生産量に対する廃棄物排出量の割合の削減を意味する。すなわち、理論モデル上は排出係数の変化に相当する。第6の効果は、廃棄物の排出後最終処分されるまでの間に行われる、焼却や減量化などの中間処理の効果である。中間処理の技術の向上は、廃棄物排出量に対する廃棄物最終処分量の割合を低下させ、最終処分量の削減につながる。

過去の廃棄物減少要因の計測

このように、廃棄物の削減には様々なメカニズムが影響すると考えられる。次式は、廃棄物の排出削減能力を3つの要因に分解して説明したものである。

$$\begin{aligned} D &= \frac{D}{W} \times \frac{W}{X} \times X \\ &= f_m f_r X \end{aligned}$$

ここで、 D ：最終処分量、 W ：廃棄物排出量、 X ：国内生産額である。第1の要因 f_m は、廃棄物排出に対する最終処分の割合であり、焼却や減量化など中間処理の要因を意味する。第2の要因 f_r は、国内生産額に対する廃棄物排出の割合であり、再使用や再生利用などの要因を意味する。第3の要因 X は、経済活動の水準（GDP）や産業構造の変化（ X/GDP ）の効果などの要因を意味する。これら3要因と、先の6つの効果の対応関係は、以下の通りである。第1の要因は、主として第6の効果と第3の効果の影響を表す。また、第2の要因は、第5の効果と第4の効果の影響を、そして第3の要因は、第1、第2の効果の影響を表している。

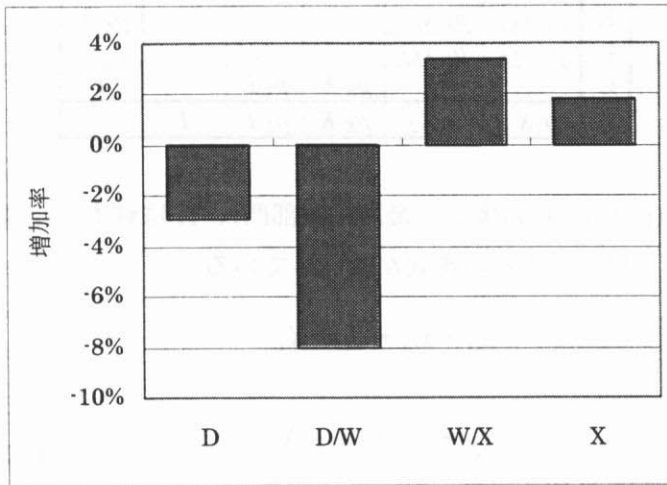
一例として、これら3要因のすべてが一定である場合を想定してみる。ここでは、最終処分量と経済活動の水準には比例関係が成立するため、最終処分量を削減するためには同じ割合だけ経済活動の水準も落とさなければならない。つまり、1%削減にはGDPも1%減らさなければならないため、1%削減に要する費用もトンあたり700万円程度という計算となる。

では、実際には各要因はどの程度排出削減に寄与しているのだろうか。以下では、マクロデータを用いて3要因の効果を簡易的に推計する。表6.1は、1995年から1997年までの間の

表 6.1 最終処分量の削減要因の変化

	最終処分量 D 〔百万トン〕	廃棄物排出量 W 〔百万トン〕	国内生産額 X 〔兆円〕
1995	69	394	937
1997	67	415	954
95-97	-2	21	17

図 6.1 最終処分量削減要因の分解結果



最終処分量削減に関わる要因の変化を示している。この間に最終処分量 (D) は 200 万トン (2.9%) 減少している。この減少を 3 つの要因に分解し、それぞれの寄与を求める。詳細な分析のためには、各変数について部門毎のデータを扱うべきであるが、ここでは簡単のため集計値を用いた。図 6.1 は、表 6.1 のデータを、次式を用いて 3 要因に分解した結果である。

$$dD = \frac{\partial D}{\partial f_m} df_m + \frac{\partial D}{\partial f_r} df_r + \frac{\partial D}{\partial X} dX$$

これによれば、要因 1 が 8% 分の削減効果があった一方で、要因 2 が 3.3%、要因 3 が 1.8% の増加効果があったことがわかる。本論文では、この値を以降のモデル分析の結果を評価する一つの参照点とする。

一般均衡モデルを用いた政策分析

廃棄物税の政策効果を正しく評価するためには、上記の効果をモデル化し、相対価格の変化やそれに対する各経済主体の行動を評価する必要がある。こうした目的に最適なのが、異なる嗜好をもつ各経済主体の行動を詳しく描写した一般均衡モデルである (Pearce (1999) など)。

ここでは、応用一般均衡モデル (Computable General Equilibrium Model) の枠組みと、それを用いた政策分析について、以下のような極めて簡単なミニモデルを用いて表現する。こ

第6章 廃棄物削減にはどの程度の課税が必要か

こうした説明を試みるのは、シンプルなモデルを使用することで、モデルの本質を明確にするためである。なお産業連関分析の基礎については、宮沢（2002）、中村（2000b）、藤川（1999）など、応用一般均衡モデルについては、Shoven and Whalley（1992）などを参照のこと。

まず以下のような社会会計表を考える。

表 6.2 ミニモデルの経済構造

	1	2	K	L	C	X
1	$p_1 x_{11}$	$p_1 x_{12}$			$p_1 C_1$	$p_1 X_1$
2	$p_2 x_{21}$	$p_2 x_{22}$			$p_2 C_2$	$p_2 X_2$
K	$p_K x_{K1}$	$p_K x_{K2}$				$p_K K$
L	$p_L x_{L1}$	$p_L x_{L2}$				$p_L L$
C			$p_K K$	$p_L L$		I
X	$p_1 X_1$	$p_2 X_2$	$p_K K$	$p_L L$	I	

ここで、1、2は産業（商品）、Cは家計（最終需要部門）、Kは資本、Lは労働である。それぞれの生産要素について、以下の需給均衡式が成立している。

$$x_{11} + x_{12} + C_1 = X_1 \tag{6.1}$$

$$x_{21} + x_{22} + C_2 = X_2 \tag{6.2}$$

$$x_{K1} + x_{K2} = K \tag{6.3}$$

$$x_{L1} + x_{L2} = L \tag{6.4}$$

家計の収入は、以下のように決定される。

$$p_K K + p_L L = I \tag{6.5}$$

また、本経済では、資本、労働が本源的生産要素である。つまり、

$$K = \bar{K}, \quad L = \bar{L} \tag{6.6}$$

で制約されている。

以上の定式化によって与えられる基準均衡に何らかの政策が施され、各財の価格が変化したときに、経済全体の構造がどう変化するかを予測するのが、応用一般均衡モデルを用いた政策分析の枠組みである。したがって、価格の変化に応じた各経済主体の行動の変化をモデル化する必要がある。一方、通常の産業連関分析では投入係数は固定である。つまり、価格体系が変化しても生産要素の投入比率（投入構造）は変化しない。そこで、応用一般均衡モデルにおいては、以下の方法で投入係数が価格に応じて変化するようにモデル化を行う。

大前提として、各経済主体の最適化行動を仮定する。完全競争市場において各財の価格が与

えられており、生産者の場合には自らの利潤を最大化するように、消費者の場合には効用を最大化するように、各財の生産量や消費量を各自が決定するという状況を想定する。つまり、生産者 j の利潤を π_j とすると、

$$\max \quad \pi_j = p_j X_j - p_1 x_{1j} - p_2 x_{2j} - p_L x_{Lj} - p_K x_{Kj}$$

の利潤最大化問題を解くことになる。このとき、各投入要素 x_{ij} と生産物 X_j との関係を表す生産関数の形状が重要な意味を持つ。応用一般均衡モデルにおいては、投入要素間の価格による代替関係を考慮した生産関数を用い、その関数形や投入要素間の入れ子構造を変化させることで、広範な価格代替構造を表現することができる。

ここでは、価格代替効果を考慮した生産関数の中でもっとも一般的である CES 型生産関数（消費者の場合は効用関数）を用いてモデルの記述を行う。なお、CES とは Constant Elasticity of Substitution の略であり、代替弾力性 σ が一定の生産関数を意味する。この生産関数を用いると、本ミニモデルの生産構造は以下のように表現される。

$$X_j = b_j \left(a_{1j} x_{1j}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + a_{2j} x_{2j}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + a_{Kj} x_{Kj}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + a_{Lj} x_{Lj}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

ここで、 a_{ij} は投入要素のシェアに関するパラメータであり $\sum_i a_{ij} = 1$ とする。これにより、生産技術の規模に関する収穫一定が仮定される。また、 b_j は投入要素と生産物に関するアウトプット・パラメータである。こうしたパラメータの決定方法については後述する。

この生産関数の下で上記の利潤最大化問題を解くと、各投入要素について以下の需要関数が導かれる（投入要素 4 種、産業 2 部門で合計 8 本）。

$$x_{ij} = b_j^{\sigma-1} a_{ij}^{\sigma} \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{\sigma} X_j, \quad i = 1, 2, K, L, j = 1, 2 \quad (6.7)$$

同時に、各部門の費用構造を決定する費用関数が、以下のように得られる。

$$p_j = \frac{1}{b_j} \left(a_{1j}^{\sigma} p_1^{1-\sigma} + a_{2j}^{\sigma} p_2^{1-\sigma} + a_{Kj}^{\sigma} p_K^{1-\sigma} + a_{Lj}^{\sigma} p_L^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}}, \quad j = 1, 2 \quad (6.8)$$

ここで、上記で得られた需要関数について若干の検討を行う。まず、簡単のため $\sigma = 1$ の場合を考える。すると、式は

$$x_{ij} = a_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i} \right) X_j$$

と書き換えられる。このとき、 p_j が一定で p_i だけが 2 倍に値上がりすれば、 j 産業の製品 i に対する需要は 2 分の 1 になることがわかる。これにより、相対価格の変化に応じて財の需要が変化するメカニズムが確認できる。さらに、 σ が 1 以外の場合を考えると代替弾力性の果たす役割についても確認できる。すなわち、相対価格の σ 乗に比例して需要が決まるという関係で

第6章 廃棄物削減にはどの程度の課税が必要か

ある。 σ が小さければ価格の変化に対する需要の変化の割合も小さく、 $\sigma=0$ の時には需要は価格の変化に依らない、すなわちレオンチェフ型生産関数となる。このように、CES型生産関数の場合、代替弾力性 σ の値をパラメータとして与えることで、経済主体の最適化行動を柔軟に表現できる^{35,36}。

消費者についても、以下のようにCES型効用関数を仮定した予算制約下の効用最大化問題を解くことになる。

$$\begin{aligned} \max \quad & U = \left(c_1 C_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + c_2 C_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \\ \text{subject to} \quad & I = p_1 C_1 + p_2 C_2 \end{aligned}$$

上記から、各財の需要が以下のように得られる。

$$C_i = \frac{c_i^\sigma p_i^{1-\sigma}}{c_1^\sigma p_1^{1-\sigma} + c_2^\sigma p_2^{1-\sigma}} \frac{I}{p_i}, \quad i=1,2 \quad (6.9)$$

ここで、 c_i は投入要素のシェアに関するパラメータであり $\sum_i c_i = 1$ とする。

以上でこのモデルに必要な構造式のすべてが得られる。モデルの変数は、

$$x_{ij} (i=1,2,K,L, j=1,2), \quad C_i (i=1,2), \quad X_i (i=1,2), \quad p_i (i=1,2,K,L), \quad I, K, L$$

の合計19個。制約式は(6.1)から(6.9)の合計19本。変数と制約式が同数となる。一般均衡モデルにおいてはワルラス法則から1本が冗長となるため、労働価格を1と固定する。

$$p_L = 1$$

あとは、パラメータを決定すれば、モデルの定式化が完了する。モデルのパラメータ a_{ij} 、 b_j 、 σ のうち、代替弾力性 σ についてはモデルの外から与えることになる。残りのパラメータについては、基準年の実データをもとにカリブレーションによって決定する。すなわち、(6.7)式において、基準年の価格データと物量データが与えられれば、パラメータを計算することができる。しかし、通常の産業連関表などから得られるデータは金額表示であり、各部門の物量データと価格データが分離されていない。そこで、基準年の価格をすべて1とおくことにより、金

³⁵ ここで扱っているのは、4つの投入要素間の代替弾力性がすべて等しいと仮定したモデルである。要素間の代替弾力性が異なる場合には、投入要素を代替弾力性によってグループ分けし、グループごとにCES関数によって要素を合成し、その合成財を投入要素として上位の生産関数を組むという、生産関数の入れ子構造が用いられることが多い。

³⁶ 関数形、代替弾力性パラメータ、入れ子構造の決定は、応用一般均衡モデルを構築する際、極めて重要な問題である。本研究においては、得津(1994)、奥島・後藤(2001)等の計量経済学的研究などを利用してこれらを決定しているが、通常、これらに関する研究は極めて少なく、多くのモデルではいわゆる“Guestimate”である(Shoven and Whalley(1992)等参照)。

額表示のデータを物量表示に読み替えて用いる (Harberger (1962))。一般均衡モデルにおいては相対価格の変化のみが重要であるため、こうした仮定をおいても分析に支障はない。こうして基準年の価格と物量のデータが得られるので、これを用いてパラメータを決定できる。

以上からわかるように、このような極めて簡単な経済をモデル化するにも、十数本の非線形連立方程式体系となる。最近の応用一般均衡モデルにおいては、1国モデルでは数千から数万、多国間モデルでは数十万本のモデルとなる。

応用一般均衡モデルにおける政策分析とは、政策により相対価格が変化したときに、経済構造が基準年の均衡からどのような均衡に変化するかを分析するものであるといえる。

(6.7)式において $\sigma=1$ とおいた場合の需要関数を、次のような2種類の形に変形してみる。

$$x_{ij} = a_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i} \right) X_j \quad (\text{需要関数型の展開})$$

$$\frac{x_{ij}}{X_j} = a_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i} \right) \quad (\text{投入係数型の展開})$$

前者は通常の需要関数である。この式は政策導入後(相対価格変化後)の新しい要素需要を導出するための式であると考えることができる。このような要素需要の合計が生産量と一致するように相対価格が調整されるわけである。また、後者をみればわかるように、この式は、政策導入後の新しい経済構造、産業連関表でいえば新しい投入係数を導出するための式でもある。仮に相対価格が決まれば、この式から新しい投入係数が決まる。投入係数と最終需要を用いれば生産額も決まるわけである。ただし、この場合も、需要と供給を一致させるための調整が必要である。実際、一般均衡モデルにおける相対価格の決定を解析的に解くのは非常に困難である。そのため、通常はこのような簡単なモデルにおいてもコンピュータが必要となる³⁷。

廃棄物税のモデル化 (リサイクルなし)

次に、本論文の目的である廃棄物税の分析を行うため、上記の基本形を以下のように拡張する。表 6.3 の通り、生産段階、消費段階から廃棄物が排出される。この場合、生産部門、最終需要部門ともに先の構造式をそのまま用いることが可能である。廃棄物の排出については、生産側のデータが物量によって与えられれば、投入量と産出量の間でマテリアル・バランスを考えることにより、廃棄物の発生量が得られる。しかし、ここで用いるのは金額データであり、廃棄物の発生量をこうした形で決定することはできない。したがって、連関表などから得られる生産量の金額データと廃棄物の発生量を結びつける何らかの排出係数が必要となる。

³⁷ 具体的には、この連立方程式体系のうち1本を擬似的に目的関数とみなし非線形の最適化問題を解くことで、結果として連立方程式の解を得ることになる。

表 6.3 廃棄物税のミニモデル

	1	2	K	L	C	X
1	$p_1 x_{11}$	$p_1 x_{12}$			$p_1 C_1$	$p_1 X_1$
2	$p_2 x_{21}$	$p_2 x_{22}$			$p_2 C_2$	$p_2 X_2$
K	$p_K x_{K1}$	$p_K x_{K2}$				$p_K K$
L	$p_L x_{L1}$	$p_L x_{L2}$				$p_L L$
C	$t_w W_1$	$t_w W_2$	$p_K K$	$p_L L$		I
X	$p_1 X_1$	$p_2 X_2$	$p_K K$	$p_L L$	I	
W	W_1	W_2			W_c	

方法としては、(1) 各部門の生産量（あるいは消費量）に廃棄物排出が比例すると仮定するケースと、(2) 各部門の財の中間投入量に廃棄物排出が比例すると仮定するケースが考えられる。前者の場合の排出係数は

$$w_j = \frac{W_j}{X_j}, \quad j = 1, 2$$

で与えられ、後者の場合には

$$w_j = \frac{W_j}{x_{1j} + x_{2j}}, \quad j = 1, 2$$

となる。以下では、簡単のため前者を用いる。

ここに廃棄物処分量への制約を設け、これを達成するように廃棄物税率 t_w を調整する。なお、簡単のため税収は全額が家計に還流されるものとする。

$$W = \sum_j W_j = \sum_j w_j X_j \leq \bar{W}$$

$$T_w = t_w W$$

$$p_K K + p_L L + T_w = I$$

$$p_j^d = p_j^s + t_w w_j$$

以上により、先に見た4つの廃棄物削減効果のうち、第1および第2の効果すなわち経済構造の変化による削減効果の大きさを評価することができる。なお、本ミニモデルにおいては、モデル構造を簡単にしたため財から資本や労働にも直接に価格代替が生じる。しかし通常のモデルでは、資本、労働の部門間移動は、主に投入財の代替を通じて行われ、このように直接に投入財と資本、労働が代替することはない。

6.2 廃棄物税の経済モデル OPERA-W

以上のような理念に基づき現実の廃棄物税の評価を行うため、OPERA モデル（Okushima (2000)）を廃棄物政策の分析用に改良した OPERA-W モデルを構築した。OPERA は、層化 CES 関数からなる応用一般均衡モデルの一種である。多くの層化 CES 型モデルが付加価値型の入れ子構造（例えば((K, L), E, M) 等）であるのに対して、OPERA では資本-エネルギー分離型の入れ子構造（((K, E), L), M）を採用している。これは、日本においては、資本-エネルギーの弱分離可能性が統計的に強く支持されるからである（得津（1994））。また、本モデルにおいては、独自に推計した代替弾力性を用いている（奥島・後藤（2001））。OPERA-W の生産構造、産業部門分類は、図 6.2 および表 6.4 を参照のこと³⁸。

OPERA-W のパラメータは、社会会計表(Social Account Matrix: SAM)に基づいてカリブレートされている。SAM とは、所得支出フローを詳細に分析できるように、産業連関表を拡張したものである（Pyatt and Round（1985））。SAM の基準年は 1995 年である。1995 年における日本の SAM 構築の際に用いた主な資料は、通産省『産業連関表』、経済企画庁『国民経済計算年報』、総務庁『家計調査年報』、『貯蓄動向調査報告』、『労働力調査年報』、国税庁『国税庁統計年報書』、労働省『賃金構造基本統計調査（賃金センサス）』等である。また SAM を構築する際の調整手段としては、RAS 法（Bacharach（1971））を用いた。

表 6.4 OPERA-W の産業部門分類

非エネルギー部門			エネルギー部門		
1	農林水産	AGR	15	石炭	COL
2	鉱業	MIN	16	石油	OIL
3	食料品	FOD	17	電力	ELC
4	繊維	TEX	18	ガス	GAS
5	紙パルプ	PAP			
6	化学	CHM			
7	窯業土石	CSC			
8	鉄鋼	IAS			
9	非鉄金属	NFM			
10	機械	MAC			
11	他製造	OMF			
12	建設	CON			
13	水道・熱	WAH			
14	サービス	SER			

³⁸ OPERA-W モデルの構造式については、末尾の付録を参照。

図 6.2 OPERA-W の生産構造

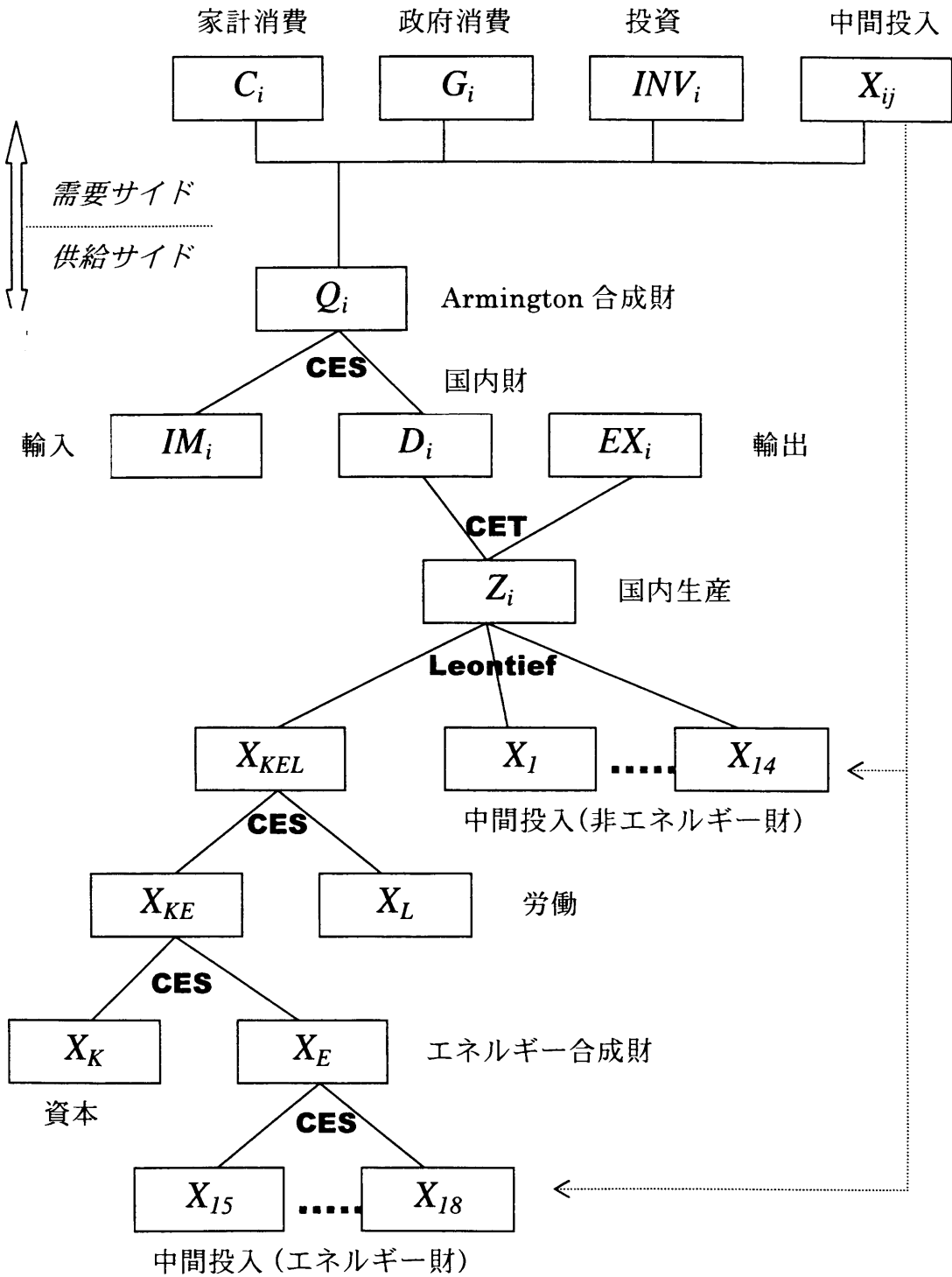


表 6.5 部門別排出係数関連データ

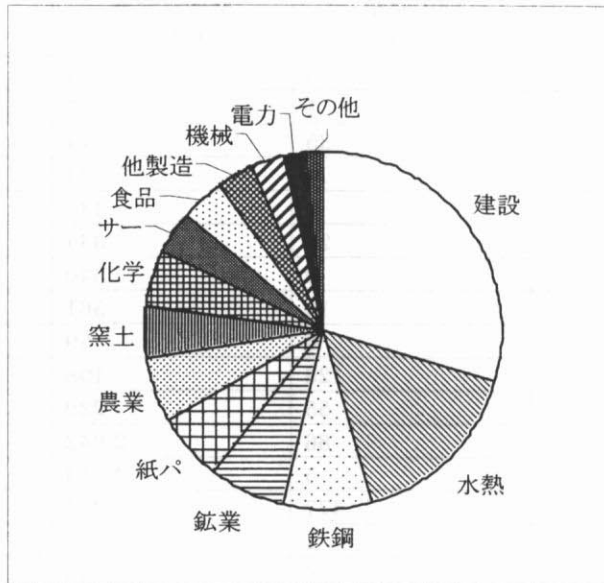
		国内生産 〔兆円〕	最終処分量 〔万トン〕	排出係数 〔トン／億円〕
1	農林水産	15	394	26
2	鉱業	1	471	331
3	食料品	35	271	8
4	繊維	11	33	3
5	紙パルプ	9	435	48
6	化学	25	334	13
7	窯業土石	9	340	36
8	鉄鋼	19	561	29
9	非鉄金属	6	59	10
10	機械	123	198	2
11	他製造	55	229	4
12	建設	86	2,042	24
13	水道・熱	5	1,114	236
14	サービス	477	281	1
15	石炭	1	3	2
16	石油	5	14	3
17	電力	16	146	9
18	ガス	2	1	1

廃棄物に対する課税方法には様々な選択肢が考えられるが、OPERA-W モデルにおいては、産業廃棄物の最終処分に対して全国一律の課税を行うことを想定している。すなわち、国内の最終処分総量に対して制約を課し、これを満たすようにモデル内部で税率の計算が行われるのである。また、排出係数については、基準年における部門別種別廃棄物排出量と廃棄物の種別最終処分量のデータをもとに、部門別の最終処分量を推計し生産量に対する係数として設定している。なお、ここでは、分析の対象を産業廃棄物に限定するため、最終需要部門は非課税としている。排出係数の設定の際に用いた主な資料は、厚生省『産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成7年度実績』である。部門別の排出係数関連データは、表 6.5 を参照のこと。

6.3 分析結果

モデルによる試算結果の検討を始める前に、基準ケースにおける最終処分量の状況を確認しておく。図 6.3 は、基準年における部門別の産業廃棄物最終処分量の内訳を示している。基準年における最終処分総量 6926 万トンのうち、29%が建設業、16%が水道・熱供給業に由来することがわかる。この上位2部門で全体の45%を占めている。参考に、排出量のデータと比較すると、基準年における総排出量 3億 9381 万トンのうち、19.1%が建設業、18.6%が農林水産業、18.1%が水道・熱供給業からの排出となっており、この3部門で全体の56%を占めている。農林水産業については、排出量の主要部分を占める畜産廃棄物（動物の糞尿）の再生利用率及び減量化率が高いため、最終処分量が相対的に少なくなる。

図 6.3 基準ケースにおける最終処分量の部門内訳



以下、OPERA-Wによる試算結果の検討を進める。図 6.4 は、上記基準ケースにおける最終処分総量を基準とし、排出制約を順次増加させて最終処分量削減率を変化させた場合の産廃埋立税の税率の変化を示している。OPERA-Wによる試算では、最終処分量の排出削減に要する税率（排出削減の限界費用に等しい）は、基準値に対して0.5%削減の場合でトンあたりおよそ6万円、1%削減には12万円あまりを要するという結果となった。なお、現状のモデルでは、削減率1%を超えるケースでは、制約条件が厳しくなりすぎ計算不能(infeasible)となってしまう。そのため、以下では削減率0.5%のケースを例として、排出制約が経済に与える影響を検討する。

図 6.4 削減率と税率との関係 (OPERA-W)

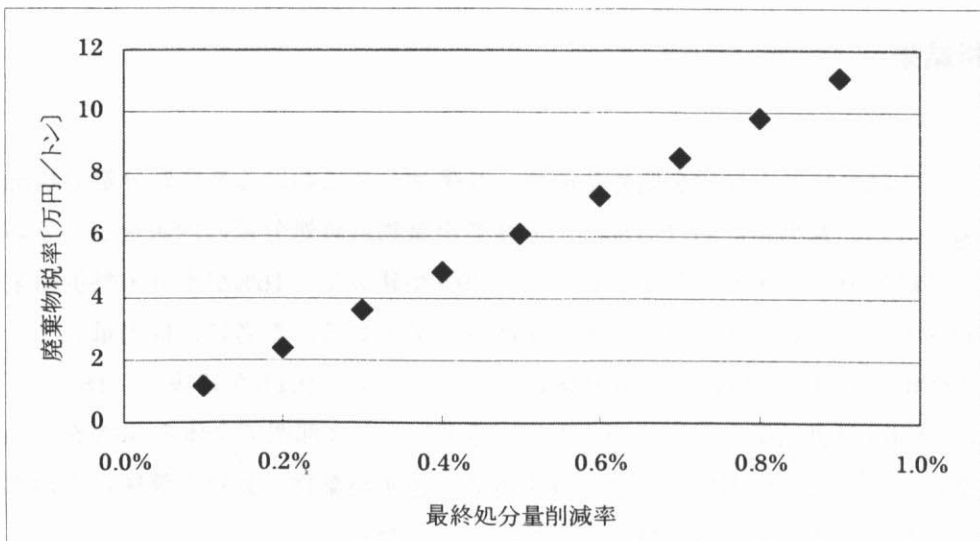


図 6.5 部門別の国内生産額の変化率 (OPERA-W)

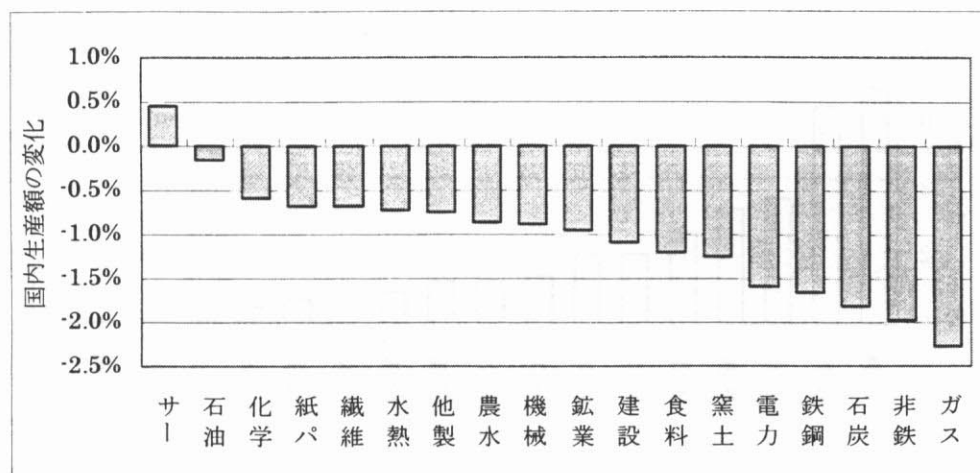


図 6.5 は、部門別の生産額の変化率を示している。これによると、生産が増加するのはサービス部門だけであることがわかる。これは、排出制約によって相対価格が有利になったサービス部門に対する需要が価格代替によって増加した結果である。こうした効果を評価できるのも、一般均衡モデルの特徴である。逆に、部分均衡モデルの場合、こうした効果を取り込めないため、ダメージを多く見積もってしまう傾向がある。また、課税による GDP の減少額は 1100 億円 (対基準比 0.022%) となった。

続いて、部門別の最終処分量の削減状況を確認する。図 6.6 は、最終処分量の削減率を部門別に比較したものである。平均 (0.5%) の 2~3 倍の削減率となる部門がある一方で、相対的に削減率が小さく済む部門もある。削減率が高いのは、石油を除くエネルギーと、鉄鋼や非鉄などの一次金属、鉱業、窯業土石、農林水産業などとなっている。

図 6.6 部門別最終処分量削減率 (OPERA-W)

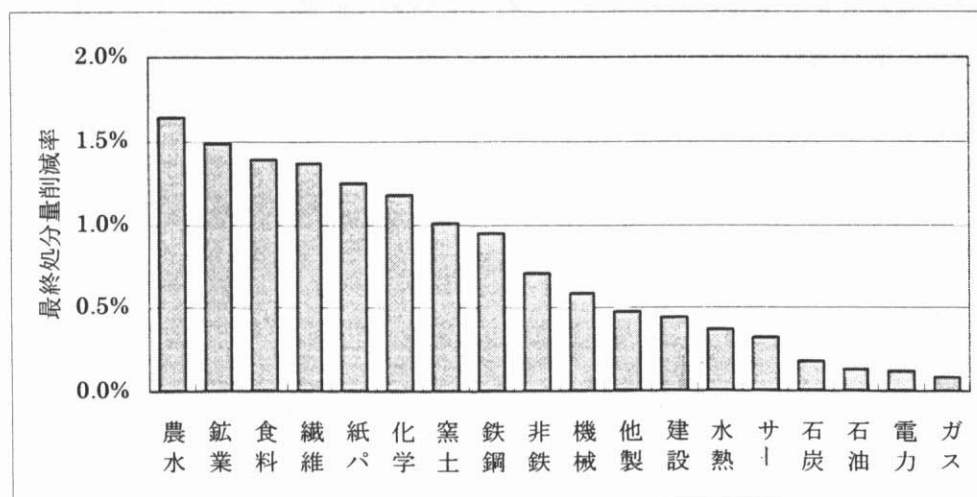
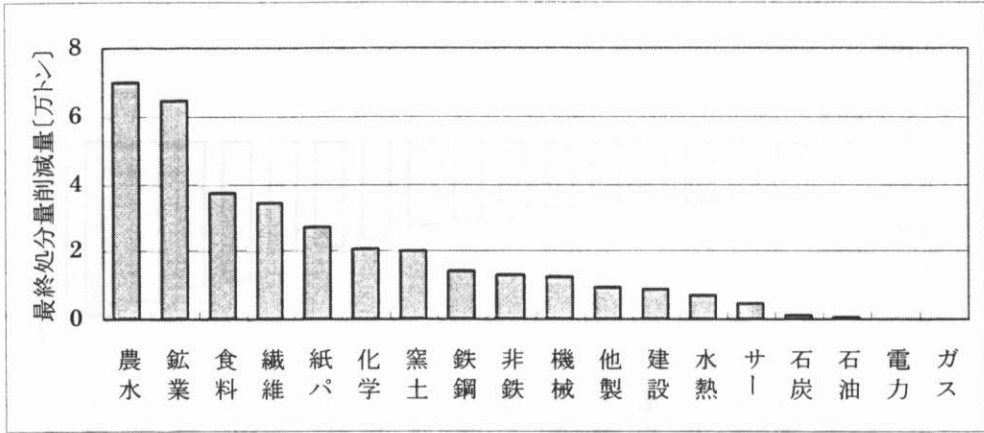


図 6.7 部門別最終処分量削減量



一方で、先に見たように部門ごとの最終処分量には大きな差があるため、最終処分の絶対量についても比較を行う必要がある。図 6.7 からは、エネルギー部門の絶対量の寄与は電力を除けば小さく、鉄鋼、鉱業などの寄与が大きいことがわかる。これらの結果から、最終処分量の半数近くを占める建設、水道・熱供給業については課税による削減効果が相対的に低いことがわかる。

6.4 まとめ

本章における試算によって、中間処理や再使用・再生利用など廃棄物処理・リサイクルに関わる技術的対策を用いずにマクロ経済的調整のみで産業廃棄物の最終処分量の削減をおこなう場合、排出削減に要する費用はきわめて高額になることが示された。一方で、要因分解の結果に基づく現実の観測からはより安価な排出削減費用が示唆される。したがって、リサイクルによる廃棄物削減効果をモデルに組み込み、これらを含めた評価を可能にする必要がある。次章ではこの課題に取り組む。