産業廃棄物税とリサイクルの応用一般均衡分析*

Draft ver.1.1

鷲田豊明[†]

2004 年 6 月 7 日

概 要

産業廃棄物税は、日本で実施される初めての本格的な環境税という性格を持っている。地方自治体単位で実施されているという特殊性はありながらも、深刻化する産業廃棄物による環境負荷の抑制効果を期待できるものである。現状では確かに、廃棄物処理コストに対する収入確保というねらいが重視されている。しかし、今後最終処分場の逼迫が長期的にコストアップを引き起こし、不法投棄に対する動機付けをもたらし続ける可能性を考えると、環境負荷の抑制効果、さらにはリサイクル促進効果を正しく評価することは極めて重要になっている。自治体単位で実施されていること、さらには未だ実施されて年月を経ていないために、現行の 1 トンあたり 1000 円という税率が、どれほど抑制効果を生み出すのかは、表れているデータだけでは評価が困難である。

本稿では、リサイクル部門を重視した 40 部門の応用一般均衡モデルを構成し、2000 年の産業連関表をベースにしたデータセットを用い、産業廃棄物税が全国的に実施された場合の、最終処分抑制効果、リサイクル促進効果を推計した。結果として、1000 円の課税では、70 万トンの最終処分の抑制効果をもたらすことがわかった。これ自体では、必ずしも大きな効果とは言えないが、同時に 67 万トンのリサイクル促進効果と、またもう一つの組み込まれている環境負荷である二酸化炭素排出についても、42 万トンの削減効果をもたらす。税収中立のシミュレーションも行ったが、産業廃棄物税に対応する所得税の減税、資本税の減税という税制改革を随伴させることによって同じ規模の効果を社会的な厚生水準の大幅な低下を回避しながら実現することがわかった。

1 はじめに

法定外目的税である産業廃棄物税を実施する地方自治体が増えている。平成 16 年 5 月段階で、三重県岡山県など 11 県 1 市で実施され、実施に向けて総務省と協議中の県が 2 県ある[1]。

課税されるのはそのすべてが最終処分場へ搬入される廃棄物重量に対してであり、ほとんどは排出業者及び中間処理業者が納税の義務を負うようになっている。また、ピグー税のような被害額を意識した税ではないので、抑制量あるいは納税見込み金額が、課税額の根拠になっている。課税額は本来各自治体で異なってよさそうなものだが、一部運用上の例外はあるもののすべての自治体の税率が 1 トンあたり 1000 円である。この点は、産業廃棄物税をあえて導入する目的とも関連がある。

*本論文は、2004 年 6 月 5 日神戸大学環境経済学研究会 (COE セミナー共催) で発表された。お世話いただいた竹内憲司氏（神戸大学経済学研究科）、また朴勝俊氏（京都産業大学経済学部）をはじめ、有益なコメントをいただいたすべての方々にお礼申し上げます。なお、本稿の分析に使用したシミュレーションの実行プログラムは、http://washida.net に置いてあります。

†豊橋創造大学経営情報学部教授　toyoaki@washida.net　http://washida.net

[1] 施行日は、三重県（平成 14 年 4 月）、岡山、広島、鳥取県（平成 15 年 4 月）、北九州市（平成 15 年 10 月）青森、岩手、山形、滋賀県（平成 16 年 1 月 1 日））、奈良、山口、新潟県（平成 16 年 4 月）。税の名前には若干のバリエーションがあるが、本稿では一括して産業廃棄物税と呼ぶ。

各導入自治体が掲げている産業廃棄物導入の目的は、およそ（1）発生抑制、（2）最終処分抑制、（3）リサイクル促進、（4）廃棄物対策財源確保である。これらの目的のなかで、（4）の税収目的は、多くの自治体ではっきりと位置づけられている。ただし、税そのものが排出業者、処理業者を経済的に動機づけて排出抑制、リサイクル促進をもたらすのか、税収を利用した結果としてそれを目指すのかは必ずしも一致しているわけではない。まだ、導入後十分な年月を経ていないために、これらの効果が実際にどのように生じているかは検証されているとは言い難い。しかし、三重県の例では、産業廃棄物税を導入するという予告的なアナウンス効果によって、最終処理の抑制が生じているという報告もあることから、直接的抑制効果が生まれる可能性も十分ある。

こうした産業廃棄物税の導入の背景には、第一に、地方財政に余裕がない状況で、自治体が抱え込む廃棄物処理支出の負担削減が切実な課題になっている現実がある。また、第二には、廃棄物処分場の逼迫とそれによる処分価格の上昇、それを逃れるための不法投棄と、住民の産業廃棄物行政に対する不信、処分場建設の困難という、一連の問題の中で、産業廃棄物の最終処分抑制とリサイクルの促進が切実な課題となっている現実がある[2]。

しかし、この後者の背景は、およそ一地方自治体の範囲にとどまる問題ではない。一般廃棄物とは異なり、産業廃棄物は広域移動が可能な廃棄物であり、列島を縦横に移動する。自由な移動が前提にされれば、産業廃棄物は処理コストが低いところに移動するだけである。いったん住民が産業廃棄物処分場建設を受け入れたために、集中的に建設業者が群がるという、「産廃銀座」が発生するほどに、処理業者は状況に敏感に反応する。こうした中で、全国的に切実な抑制と、一地方自治体の判断で決定される産業廃棄物税が、真に効果を上げるかどうかは、はなはだ危ういと言わざるを得ないのである。

現状のように、地方自治体単位で産業廃棄物税が導入されて、それが全国化すれば、課税・非課税の格差の問題は発生しないかもしれない。しかし、自治体ごとに課税手法が異なるという問題は不可避となる。新たな混乱の原因となる可能性も存在しているのである。

産業廃棄物税の将来をどのように展望するかは、さらに議論を深めなければならないが、さしあたって切実に求められるのは、（1）産業廃棄物税がどれほどの最終処理抑制とリサイクル促進効果を持つかを評価することである。単に一地方自治体に導入した結果としての産業廃棄物抑制とリサイクル促進効果をとらえるだけでは不十分である。なぜなら、減少した廃棄物は他の非課税の県に移動しているかもしれないからである。必要なのは、全国的に実施された場合の効果である。また、（2）抑制効果とは無関係に設定されているトンあたり 1000 円という税額の妥当性も検証されなければならない。

日本の環境政策のあり方から見ても、この産業廃棄物税は極めて興味深いテーマである。確かに、現在、温暖化対策税（炭素税）としての環境税の導入が検討されているが、それに先だって実施されているこの産業廃棄物税は、日本で導入された最初の本格的な環境税である。確かに、1973 年に制定された公害健康被害補償法の例はあるが、これはあくまで被害に対する汚染者負担の原則に基づく被害者救済費用確保のための制度だった。環境負荷を与えている主体に対して、課税というコストを意識させることによって、環境負荷抑制を図るという意味での環境税は、この産業廃棄物が初めてであると言ってもよい。その意味で、この産業廃棄物の効果、影響を分析することは環境経済学にとって焦眉のテーマの一つであると考えられる。

本稿では、環境政策評価の静学的応用一般均衡モデル EPAM（Environmental Policy Apprisal Model）を用いて、産業廃棄物税が全国的に実施された場合の、最終処理抑制効果、およびリサイクル促進効果、また、二酸化炭素排出抑制効果を推計する。廃棄物・リサイクル問題に応用一般均衡モデルを用いた先行研究としては、増井・松岡・森田 [9]、および奥島 [11] がある。前者は動学

[2]環境省「産業廃棄物行政と政策手段としての税のあり方に関する検討会、中間的な論点整理」（平成 15 年 9 月）参照。

的モデルで、廃棄物に対する外生的な抑制政策が GDP に与える影響を分析したものである。政府部門の財政的な収支構造が組み込まれていないので、税制的な分析を行うことはできないモデルとなっている。後者は静学的モデルで、通常の一次財とともにリサイクル財を一次財と代替可能な二次財として扱っているところが特に興味深い。EPAM では、リサイクル財は通常財と完全代替可能な財で、実質価値だけが異なっているとして扱っている。ただし、奥島 [11] の廃棄物税は、最終処分に対する課税ではなく、再生利用も含めたすべての産業廃棄物について課税されている。

国民経済モデルに廃棄物とリサイクルを組み込むことは、いくつかの固有の困難を伴う。単に廃棄物だけを扱うのであれば、二酸化炭素などと同じ処理が可能になる。しかし、第一に、最終処理の対象になる廃棄物とリサイクルの対象になる廃棄物をどのように区別されるのかが問題である。二つの別な財を生産すると扱うほどには、この二種類の廃棄物は明確に分かれない。一方、二つの財が代替関係を持ちながら生産力効果を持つと考え、生産関数などを用いると、物質量は保存されるという法則と矛盾しがちである。第二に、生産された廃棄物がどのように再生財になるのか、技術的に存在する多様な関係をどのようにモデルに組み込むのかという問題もある。第三に、企業は最終処理費と共にリサイクル費用も負担することになる、一方、再生財は投入に向かう。そのときは有用になっているために正の価値を持つ。この推移の定式化が容易ではない。さらに、第四に、リサイクル財が正の財を生み出すとするならば、それは、結合生産を扱わざるを得なくなる。こうした結合生産は様々な障害をモデルの構造化にもたらすことになる。これらの問題を考慮しながら、モデルを組まざるを得ないのである。

EPAM は、元々、炭素税とエネルギー効率に関するリバウンド効果についての分析にために開発されたが、本稿の分析のためにさらに、上記の問題を考慮しながら産業廃棄物とリサイクルの分析用に拡張された[3]。データセットの基礎になるデータを、1995 年の産業連関表から 2000 年の産業連関表に改訂し、分析手法でも、税制中立のシミュレーションが可能になるように改訂した。

本稿の結論を要約すると、次のようになる。（1）トンあたり 1000 円の課税が全国的に実施されることによって最終処分量は約 70 万トン削減させることができる。2000 年の最終処分量の約 1.6%にあたる。（2）同じ課税によって再生利用量は 67 万トン、0.36%増加する。（3）同じく二酸化炭素排出量は、42 万トン減少する。（4）同じ税率で、所得税あるいは資本税率を調整し税収中立性を確保した場合、ほとんど廃棄物排出、再生利用、二酸化炭素の排出では変化が表れないが、消費から来る厚生水準に関する等価変分は、中立ではない場合の 370 億円の減少が、半分以下になり 170 億円の減少にとどまる。税率の変化はわずかなものにとどまる。

2　環境政策モデル EPAM

EPAM は環境政策評価モデルであり、経済予測モデルというよりも、与えられた経済状況の中で政策を実現する条件が潜在的に備わっているかどうかを検証するためのモデルである。経済予測モデルとは異なり、予測した内容が結果としてはずれないことを意識しているわけではない。政策評価モデルは、予測が当たるように関係式を組み込むことよりも、経済構造をとらえた理論的な枠組みをできる限り正確にモデルの中に組み込むことを重視する。環境政策評価モデルが応用一般均衡分析と結びつく必然性はこの点に表れている。

この節では EPAM の概要を示す。具体的には、（1）モデルが依存するデータセットの構成方法、（2）モデルの理論的な枠組み、（3）パラメータの設定を主な内容とする。

[3]改訂された EPAM では旧 EPAM で行えたすべてのシミュレーションを実行できる。

2.1　データセットと基本構造

2.1.1　40 部門産業連関表

EPAM は 2000 年の産業連関表をデータセットの基礎におく。同表の基本表から、エネルギー関係部門、廃棄物・リサイクル関係部門を可能な限り独立させながら 40 部門の統合表を作成する。ただし、2000 年の産業連関表から「再生資源回収・加工処理」部門が独立させられたが、ここでは以下で述べるように、廃棄物処理部門については独自の組み替えを行うために、基本表から構成する際にはさしあたって廃棄物処理部門に統合しておく。部門構成は表 1 のようになる。

1	農林水産業	21	建設
2	鉱業	22	熱供給業
3	食料品	23	水道
4	繊維工業製品	24	商業
5	衣服	25	金融・保険
6	木製品	26	不動産
7	パルプ・紙	27	運輸
8	化学製品	28	通信・放送
9	プラスチック製品	29	公務
10	ガラス製品	30	教育・研究
11	窯業・土石製品	31	医療・保健・社会保障
12	銑鉄・粗鋼	32	その他の公共サービス
13	その他鉄鋼	33	対事業所サービス
14	非鉄金属	34	対個人サービス
15	金属製品	35	分類不明
16	一般機械	36	廃棄物処理
17	電気機械	37	石油製品
18	輸送機械	38	石炭製品
19	精密機械	39	電力
20	その他の製造工業製品	40	ガス

表 1: 部門構成

2.1.2　廃棄物処理額の再計算と RAS 法による中間投入再構成

ここで、廃棄物部門に手を加える。まず、簡単化のために、廃棄物処理サービスは、産業廃棄物の処理サービスだけに限定する。一般に、産業廃棄物は直接最終処理（埋め立て）に向かうルート、直接再生利用（リサイクル）に向かうルート、そして、いったん中間処理が行われた後に最終処理あるいは再生利用に向かうルートがある。中間処理では、かなり大きな減量化も行われるが、モデルでは中間処理サービスを捨象して、各産業は廃棄物を排出するが、それは廃棄段階で最終処理に向かうか再生利用に向かうかが決定できるとし、最終処理サービスも、再生利用するための処理サービスも廃棄物処理部門が担うことにする。

環境省の「平成 14 年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成 12 年度実績」には、2000

年度の各産業部門における産業廃棄物の発生、処理状況が行列の形で詳細に報告されている[4]。この報告書データの部門構成と EPAM の部門構成は一致していない。モデルの方がより分割された部門をいくつか持っているのである。そのような部門については、原産業連関表の廃棄物処理サービス投入量の比によって各廃棄物排出をモデルの部門構成に合うように配分した。

また、環境省データには、各産業廃棄物について、発生量が最終処分量と再生利用量になる割合が含まれている（表 2)。各産業のデータにこのデータを適用することによって、各産業の最終処分量と再生利用量が求められる。それらの廃棄物ごとの合計を同じ表に示した。

	廃棄物発生量 t	再生利用割合 %	最終処分割合 %	再生処理価格百万円／トン	再生利用量 t	最終処分量 t
燃え殻	1892110	33	45	0.0160	624396.3	851449.5
汚泥	189180723	8	9	0.0080	15134457.84	17026265.07
廃油	3247826	26	5	0.0200	844434.76	162391.3
廃酸	2938489	24	5	0.0200	705237.36	146924.45
焼アルカリ	1562561	28	6	0.0200	437517.08	93753.66
廃プラスチック類	5790135	25	45	0.0200	1447533.75	2605560.75
紙くず	2156426	50	9	0.0150	1078213	194078.34
木くず	5511359	37	10	0.0100	2039202.83	551135.9
繊維くず	75847	12	25	0.0250	9101.64	18961.75
動植物性残渣	4052303	31	7	0.0300	1256213.93	283661.21
ゴムくず	43942	16	64	0.0300	7030.72	28122.88
金属くず	8095886	83	16	0.0050	6719585.38	1295341.76
ガラスくず及び陶磁器くず	4796499	41	56	0.0030	1966564.59	2686039.44
鉱滓	16447710	77	21	0.0020	12664736.7	3454019.1
がれき類	58828781	82	17	0.0015	48239600.42	10000892.77
動物の糞尿	90489007	95	1	0.0040	85964556.65	904890.07
動物の死体	162612	80	13	0.0040	130089.6	21139.56
ばいじん	10765016	57	35	0.0020	6136059.12	3767755.6
合計	406037232				185404531.7	44092383.11

表 2: 産業廃棄物データ（2000 年）の処理

各産業の最終処理コストについては、廃棄物の種別ごとの差異はないと仮定して、すべてトンあたり 3 万円の価格であると想定した[5]。これによって、各産業の最終処理サービス費用が計算される。一方、再生処理サービスの利用価格については、各再生処理対象廃棄物の差異を考慮する必要がある。これについても、公的なデータ把握が行われていないが、再生処理業者の公開している価格などを参考に、表 2 のように想定した。これらを各産業のそれぞれの再生処理廃棄物量にかけることによって、各産業の全体としての再生処理サービス利用支出額が推計できる。

この最終処理費用と再生利用費用の合計を各部門の廃棄物処理コストとして置き換える。これによって各部門の生産額が変動し、また、廃棄物処理に関する中間需要と最終需要の合計も変わる。産業連関表として、生産と支出のバランスが崩壊してしまうのである。

今、産業連関表において、各部門の中間投入額と付加価値額の合計としての国内生産額を「費用

[4]中村慎一郎氏らが開発した詳細な廃棄物産業連関表があるが、ここでは用いなかった。廃棄物産業連関表が 1995 年基準であることと、環境省データで使わざるを得ない部分があり、データの整合性を確保するためである。近藤 [8] 参照。

[5]最終処理コストについては、調査自体が公正取引委員会によって問題視されるとなっていて、全国、地方の業界団体すら統計的な把握をしていない実態で、根拠ある価格の想定は困難だった。そのために、石渡 [4], p.35、やインターネットで公開されているデータなどを参考にした。

構成からの国内生産額」として、各財の中間需要と最終需要の総額としての国内生産額を「需要構成から見た国内生産額」と呼ぼう。

問題は、各部門の廃棄物処理サービスの投入額が異なるために、費用構成から見た国内生産額が変化することによって需要構成から見た国内生産額と異なってしまうことである。そこで、RAS法を適用して、最終需要構成、付加価値構成は維持したまま、中間投入量を調整してデータのバランスを回復する。すなわち、基本的に、廃棄物処理費用を置き換えた後の費用構成から見た国内生産額、すなわち各部門の中間投入費用と付加価値の合計を生産額とし、さらに、それが需要構成から見た国内生産額となるように RAS 法を用いるのである。ただし、その際、（1）廃棄物処理の費用構成から見た国内生産額は逆に、今計算した廃棄物処理サービスの需要総額と元々の最終需要総額、すなわち需要構成から見た国内生産額と等しくさせる。（2）各産業の中間需要としての廃棄物処理サービス投入額が変わると、物量的な各部門の最終処理量と再生処理量との整合性が失われてしまうので、RAS 法としては変則的だが、廃棄物処理投入額は固定して適用する。（3）鉄くずによるマイナス投入と商業の石炭投入に関するマイナス投入をゼロとおいた。

この場合、需要構成から見た国内生産額を生産額として RAS 法を用いることも考えられるが、ここでは廃棄物処理によって変化した国内生産額が、現実の国内生産額に近いと見なした。すなわち、ここでの扱いが、廃棄物処理投入額を適切に評価していると見なした。

2.1.3 再生処理された財の代替投入価値と部門

さらに、再生処理された財は、需要可能な財に転換される。それをとらえるためには、分類された産業廃棄物がどのような再利用用途に向けられるのか、それらがどのような価格で再利用に向かうのかを示さなければならない。それぞれの産業廃棄物は、多様な再利用用途があり得る。それらを精密にとらえることは困難である。実際それらを精査したデータも公開されている状況ではない。基本的に、業者への聞き取り調査に基づいて、表 3 のような再生利用用途を設定する。

	廃棄物	用途	再生財価格 百万円/トン	代替財部門
1	燃え殻	セメント原料・ブロック	0.00025	鉱業
2	汚泥	セメント原料・肥料・建設材料	0.00025	鉱業
3	廃油	燃料	0.02	石油製品
4	廃酸	燃料・Ph 調整用	0	
5	廃アルカリ	燃料・Ph 調整用	0	
6	廃プラスチック類	プラスチック原料	0.05	化学製品
7	紙くず	製紙原料	0.005	パルプ・紙製品
8	木くず	ボード用材・燃料	0.005	石油製品
9	繊維くず	繊維原料	0.2	繊維製品
10	動植物性残渣	飼料・堆肥	0.03	食料品
11	ゴムくず	燃料・セメント原料	0.017	石油製品
12	金属くず	鉄原料	0.004	銑鉄・粗鋼
	（内）非鉄金属くず	アルミ原料	0.1685	非鉄金属
13	ガラス・陶磁器くず	ガラス製品原料	0.0085	窯業土石
14	鉱滓	再生鋳物砂・セメント原料	0.00025	鉱業
15	がれき類	建設材料	0.0018	窯業土石
16	動物の糞尿	肥料	0.03	食料品
17	動物の死体	飼料	0.03	食料品
18	ばいじん	セメント原料	0.00025	鉱業

表 3: 再生利用財の用途、価値、対応部門

廃酸と廃アルカリについては、再利用用途はあるのだが、その場合にどのような価格が設定されているのか、どのような財の代替物となるのかを知ることができなかったために、今回は想定から除外している。燃え殻、汚泥、鉱滓、ばいじんについては、他の用途もあるが、ここではセメント原料となることを想定した。通常、1 トンのセメントを作るのに、0.8 トンの石灰石と 0.2 トンの粘土が必要である。しかし、たとえば、焼却灰を再利用した場合は 0.5 トンの石灰石と 0.5 トンの焼却灰ですむ。産業連関表物量表から、石灰石を 0.52 円/Kg とし、また、1 トンの焼却灰で 0.48 トンの石灰石を節約できると想定し、トンあたりの再生財価格を 250 円とした。廃油は、BC 重油の代替物となるとした。木くずは、燃料として再利用されると考え、燃焼カロリー数で割り引いて、重油の代替物となるとしている。繊維くずは、95 から 100%が通常繊維の代替品として使える。昔は手袋やカーテンを作っていたが、今は、自動車の内装繊維などにリサイクル率向上で使われている。ここでは、軍手製造などの原料として用いられることを想定して、再生財の価格設定をした。動植物性残渣、動物の糞尿、動物の死体は肥料・飼料として用いられるとして価格設定をした。産業連関表上は、代替財部門は食料品となっている。産業廃棄物の金属くずには、鉄くずとアルミくずが含まれている。再生利用量は前者の比重が圧倒的に大きいが、リサイクルの現実をふまえ両者を区別することにした。

この表 3 を前提にして、モデルでは表 4 のような変換行列を用いる。

この変換行列を用いることによって、2000 年価格での再生財の供給量を表 5 求めることができる。

このように得られた再生財は、生産要素として投入に向かう。これをどのように経済のバランスに入れるのかは、リサイクルを国民経済モデルに組み込む上での、一つの重要なテーマである。まず、このモデルにおいては、通常財の完全代替材として組み込む。具体的には最終需要項目に負の需要として与える。基準均衡を表すデータセットにおいては、在庫需要を表 5 の額だけ増額して、独立して再生処理済み財の項目をもうけて、そこに負の値としておくことによって初期バランスを維持する。

2.1.4　付加価値および最終需要項目の処理

付加価値項目については次のような処理を行う。（1）資本減耗引当を費用化するために、中間投入に含める。そのために、産業連関表の固定資本行列から計算される各部門資本投入の構成比で、資本減耗引き当てを各中間投入に割り振って加える。（2）家計外消費を営業余剰に含ませる。（3）「その他の給与及び手当」を「賃金・俸給」に加え、その総額を実質労働供給量とする。そして、社会保険料分を労働税とする。各産業で労働税は異なっていると考えることになる。（4）営業余剰には後に税率が与えられる資本税分が含まれていると想定する。（5）間接税から補助金を差し引いたものを物品税とする。

最終需要項目の内、公的・民間固定資本投資と政府支出を統合する。静学的な環境政策評価モデルにおいて両者は積極的な役割を果たさないと考えるからである。そのために、需要量を固定するか、各財の総需要に対して固定比率とすることもありえたが、価格に全く反応しないのも妥当性を欠くので、消費関数と同様に定式化をして、低い弾力性で価格に反応するように設定した。以後、この固定資本投資と政府支出の合計を外生需要と呼ぶことにする。また、この 2000 年は、在庫投資からの取り崩しが目立つが、この在庫投資については量としてシミュレーションの過程で一定と見なす。

最終需要項目の家計外消費支出は外生需要に加える。また、この 2000 年時点で貿易収支は均衡していたと想定するために、輸出超過比率を求め、その分の各財輸出量を外生需要に加える。

また、最終需要項目の中の、民間最終消費および外生需要に含まれている負の値（6 項目）を、

	鉱業	食料品	繊維工業製品	パルプ・紙	化学製品	窯業・土石製品	銑鉄・粗鋼	非鉄金属	石油製品
燃え殻	0.00025	0	0	0	0	0	0	0	0
汚泥	0.00025	0	0	0	0	0	0	0	0
廃油	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
廃酸	0	0	0	0	0	0	0	0	0
焼アルカリ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
廃プラスチック類	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0
紙くず	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0
木くず	0	0	0	0	0	0	0	0	0.005
繊維くず	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0
動植物性残渣	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0
ゴムくず	0	0	0	0	0	0	0	0	0.017
金属くず	0	0	0	0	0	0	0.00398	0.0008425	0
ガラス・陶磁器くず	0	0	0	0	0	0.0085	0	0	0
鉱滓	0.00025	0	0	0	0	0	0	0	0
がれき類	0	0	0	0	0	0.0018	0	0	0
動物の糞尿	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0
動物の死体	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0
ばいじん	0.00025	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4: 廃棄物・代替部門変換行列

消費関数上で問題を起こさないために、すべて在庫投資に含めて値を 0 にする。

2.1.5 税率・移転率の計算

税率・移転率の計算は表 6 にまとめている。最も右側の列は、データの出所を表している。40 部門表は、上記で作成したデータセットである。「計算」という記述は、表中のデータを用いて計算した結果を意味している。政府から家計への移転 bG は可処分所得 $I(1-\tau^y-\tau^t)$ と総消費額 C との差とすることによって、全体をバランスさせる。

2.1.6 二酸化炭素排出係数

このモデルでは、二酸化炭素排出はエネルギー利用から来るものだけを把握する。その最も重要な特徴は、原油、石炭、天然ガスの 1 次エネルギー源投入段階、およびエネルギー製品輸入段階で潜在的な二酸化炭素排出量を把握し、その後に、素材原料として利用される化学製品部門が投入す

代替部門財	供給量
鉱業	8639.91249
食料品	2620525.805
繊維製品	1820.328
パルプ・紙製品	5391.065
化学製品	72376.6875
石油製品	27204.23159
窯業・土石	103547.0798
銑鉄・粗鋼	26743.94981
非鉄金属	5661.250683

表 5: 再生財の代替部門財としての供給量（百万円）

粗資本収入	$(1+r)\bar{K}$	115694919	40 部門表
資本税総額	$r\bar{K}$	16598100	国民経済計算年報
資本収入	$\bar{K}$	99096819	計算
資本税率	r	0.1674937719	計算
総労働投入	$\bar{L}$	250990316	40 部門表
総所得	I	350087135	計算
所得税額	$\tau^y I$	27609100	国民経済計算年報
所得税率	τ^y	0.0788635092	計算
社会保障費負担額	$\tau^t I$	27444700	国民経済計算年報
社会保障費負担率	τ^t	0.0783939118	計算
貯蓄総額	S	30557200	国民経済計算年報
貯蓄率	s	0.1035720252	計算
総民間消費支出額	C	281008931	40 部門表
政府から家計への移転	bG	16532796	計算
外生支出総額		145370816	40 部門表
在庫投資総額		2624009	40 部門表
再生財供給額		-2871910	40 部門表
粗外生支出総額	$(1-b)G$	145122914	40 部門表
外生支出総額	G	161655710	計算
移転率	b	0.1022716488	計算

表 6: 税率・移転率の計算表（百万円）

るナフサとしての利用分を控除する方法をとっていることである。

資源投入からの排出量は産業連関表物量表からとって、それらの資源投入による総二酸化炭素排出を生産量で割ることによって係数化し、その係数をシミュレーションの中で固定して用いる。輸入からの投入分については、石油製品、石炭製品、ガスについて把握している。各部門の輸入エネルギーの製品投入について、輸入分の比率を基本表データから求めて、それを物量表データに乗じることによって、輸入品の物量投入、そしてそこからの二酸化炭素排出量を求めている。そして、上記の 3 製品の投入額によってその排出量を割ることによって係数化し、シミュレーションの中でその係数が固定していると想定する。

二酸化炭素の排出源単位は、環境省の「平成 14 年　温室効果ガス排出量算定方法検討会」の報告書に依っている。

総排出量をまとめると表 7 のようになる。総排出では 12.42 億トンとなった。単純な比較はできないが、参考のために示すと、環境省の 2000 年の二酸化炭素排出総量の推計値は 12.37 億トンである。

排出源	排出量
資源	1172310162.8
産業の輸入	153691057.6
消費の輸入	22652642.2
ナフサ控除	-106378024.5
合計	1242287263.9

表 7: 二酸化炭素総排出量（トン）

2.2 モデル構造の数学的表現

モデルの概略を図で表すと、図 1 のようになる。価格所得回路を除いて、矢印はすべて物質の動きを表している。また、廃棄物処理、リサイクル回路から二酸化炭素排出につながる矢印がないように見えるが、実際は、生産において廃棄物処理サービス産業がエネルギー製品を利用することをとおして排出している。

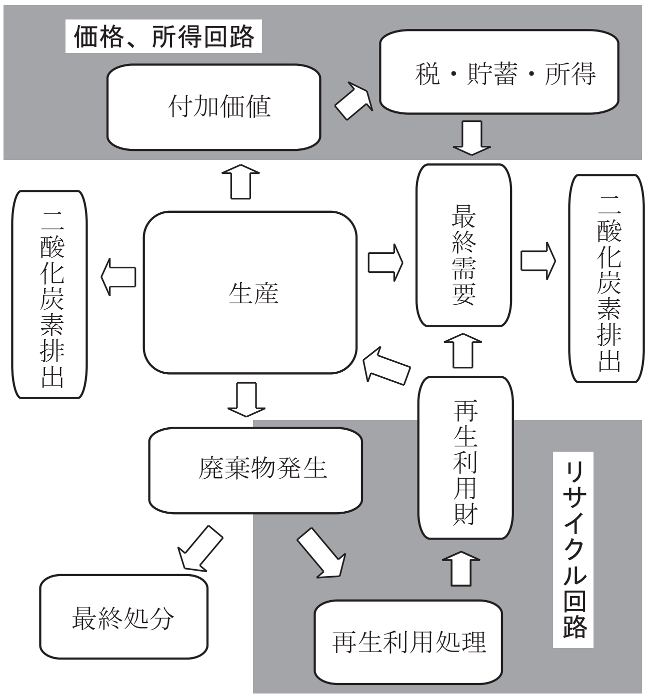

図 1: EPAM の概要図

次に、モデルに含まれる生産関数の相互関係をとらえておこう。図 2 に主要な点を示している。この図で、j は、産業を区別しているサフィックスを表している。

まず、低い階層のところから見ていこう。基本的な生産要素である資本と労働については、CES 型の生産関数によって、V^f（f は要素 (factor) の意）という付加価値部分に対応する生産能力を生み出す。代替の弾力性は γ である。エネルギーについては、石油、石炭、電力、ガスを要素とした CES 生産関数によって生産能力 E を生み出す。代替の弾力性は β である。W は最終処理サービス投入量で、この三つの要素に関する弱分離可能性を仮定して、それらが二次的な CES 型生産関数によって V^e（e は拡張 (extended) された付加価値の意）で表される生産能力を生み出す。代

替の弾力性は α である。V^e とそのほかの生産要素のすべては固定係数で関係づけられている。中間投入の中にある $\bar{W}_j$ は物量単位で測った第 j 部門の廃棄物の総排出であり、最終処分量と再生利用量の合計である。一見、最終処理サービスが、中間投入と V^e の要素と、二重にカウントされているようだが、自由度は事実上二つの変数となって、モデルの整合性を保っている。すなわち、最終処理サービスは、V^e の要素として決定され、中間投入では廃棄物処理サービス投入の全体が与えられるか、再生処理サービス投入が与えられるかの、いずれかである。

廃棄物処理サービスについてこのような扱いをした理由を述べておくべきだろう。それは、まず第一に、廃棄物処理サービス量と最終処理サービス量が不完全な代替関係にある構造を避けるという課題がある。たとえば、その両者をコブダグラス型や CES 型の生産関数の中に配置すると、物質量が保存されるという原則を単純に乗り越えてしまう。たとえば、100Kg の最終処分量を減らすことによって、60Kg の再生利用量を増大させるという代替関係を考えると、残りの 40Kg の物質はどこに行ったかが問われなければならなくなる。再生利用でもなければ、最終処分量でもないとするならば、どこかに忽然と物質が消えてしまったか、不法な処分をなされたのかなどという問題になる。中間処理をして減量したのだということもできるかもしれないが、その場合は、はっきりと中間処理を取り入れたモデルにすべきであり、このモデルの想定には含まれていない。したがって、再生利用量と最終処分量は完全代替関係になければならないのである[6]。

第二には、最終処分量を減少させることは、再生利用量を基本的に同じだけ増加させるのだが、このような代替のためには、追加的な資本や労働、あるいはエネルギーや原材料の投入が必要になるということである。したがって、総廃棄物を中間投入においただけでは、このような代替構造を表現することができない。そのために、最終処理サービス投入量を V^e の生産要素として位置づけているのである。

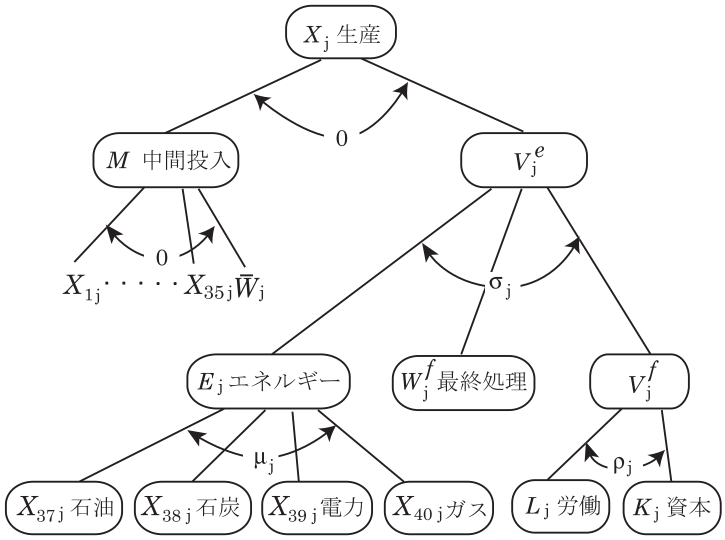

図 2: 生産関数の関係と代替の弾力性

[6]生産関数と物質保存即についての議論は、中村愼一郎氏によってなされている。次のサイトをごらんいただきたい。http://www.f.waseda.jp/nakashin/comments/CES_pitfall.htm

2.2.1 生産関数と生産係数

トップレベルの生産関数は、固定係数である生産係数と共に次のように与えられる。

$$X_j = \min\left(\frac{V^e}{a_{0j}}, \frac{X_{1j}}{a_{1j}}, \cdots, \frac{X_{35j}}{a_{35j}}, \frac{\bar{W}_j}{\bar{\omega}_j}\right) \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{1}$$

ここで、X_j は 2000 年価格で表された第 j 部門の実質国内産出、a_{0j} は拡張された付加価値部分に対する係数、$\bar{\omega}_j$ は物量表示総廃棄物 $\bar{W}_j$ に関する生産係数、$a_{ij},\ j = 1, 2, \cdots, 35$ は中間投入に関する係数である。上記の生産関数は、固定係数であるために、最小投入要素によって j 財・サービスの国内生産額 X_j の水準が規定されることを示している。

エネルギー総投入 E_j^H に関する生産関数は、次のように与えられる。

$$E_j^H = \pi_j \left(\sum_{i=1}^{4} \gamma_{ij} E_{ij}^{\frac{\mu_j - 1}{\mu_j}}\right)^{\frac{\mu_j}{\mu_j - 1}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{2}$$

ここで、π_j はスケールパラメータ、γ_{ij} は $\sum_i \gamma_{ij} = 1$ である分配率、μ_j はエネルギー製品間の代替の弾力性である。また、$E_{ij},\ i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \cdots, 40$ は、第 j 産業の石油製品、石炭製品、電力、ガスの実質投入で、$X_{ij},\ i = 37, 38, 39, 40; j = 1, 2, \cdots, 40$ とも表現される。

これらエネルギー投入に関わる生産係数は次のように与えられる。エネルギー財の価格を $P_i^e,\ i = 1, 2, 3, 4$ とする。（ただし、これらは、一般に $P_i,\ i = 37, 38, 39, 40$ と表現する場合もある。）さらに、炭素税分を加えた価格を次のように定式化する。

$$P_{ij}^{e+} = P_i^e + \tau^e h_{ij}^m \quad i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \cdots, 40$$

ただし、τ^e は、二酸化炭素排出 1 トンあたりの税額、h_{ij}^m は、それぞれのエネルギー製品投入量あたりの二酸化炭素排出量である。先に述べた二酸化炭素の排出係数の作り方から、電力の輸入はないので $h_{3j}^m = 0$ である。また、化学製品部門（j=8）の石油製品投入価格については、ここからさらにナフサ投入分を差し引かなければならないので、次のようになる。

$$P_{1,8}^{e+} = P_1^e + \tau^e (h_{1,8}^m - h^{naf})$$

エネルギー財に関わる投入係数 e_{ij} は、式 (2) の制約の下で、エネルギー関係費用 $\sum P_{ij}^{e+} E_{ij}$ を最小化するものとして与えられ、次のようになる。

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}}{E_j^H} = \frac{1}{\pi_j} \left\{\sum_{k=1}^{4} \gamma_{kj} \left(\frac{\gamma_{ij} P_{kj}^{e+}}{\gamma_{kj} P_{ij}^{e+}}\right)^{1-\mu_j}\right\}^{\frac{\mu_j}{1-\mu_j}} \quad i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{3}$$

これらのエネルギー投入係数は、通常の産業連関分析では中間投入財の固定係数として扱われるものであるが、このモデルでは、エネルギーの相対価格、あるいは税率などによって変化するものとして与えられる。

生産要素（資本、労働）に関する生産関数は次のような形状をしている。

$$V_j^f = \theta_j \left\{\beta_j K_j^{\frac{\rho_j - 1}{\rho_j}} + (1 - \beta_j) L_j^{\frac{\rho_j - 1}{\rho_j}}\right\}^{\frac{\rho_j}{\rho_j - 1}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{4}$$

ここで、θ_j はスケールパラメータ、β_j は資本分配率、ρ_j は資本と労働の間の代替の弾力性である。

資本係数 v_{fj}^k および労働係数 v_{fj}^l は、生産コストを上記生産関数 (4) 式の下で最小化することによって得られる。生産コストは次のようになる。

$$(1 + \tau_j^o)\left\{(1 + \tau_j^l) w K_j + (1 + \tau^k) r K_j\right\}$$

ここで、τ_j^o は第 j 産業の生産物税率、τ_j^l は同じく労働税率、そして、τ^k は各産業共通の資本税率である。また、r は資本用役価格、w は賃金率をあらわす。そして、それぞれの係数は次のようになる。

$$v_{fj}^l = \frac{K_j}{V_j^f} = \frac{1}{\theta_j}\left\{(1-\beta_j)\left(\frac{\beta_j(1+\tau_j^l)w}{(1-\beta_j)(1+\tau^k)r}\right)^{1-\rho_j} + \beta_j\right\}^{\frac{\rho_j}{1-\rho_j}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{5}$$

$$v_{fj}^l = \frac{L_j}{V_j^f} = \frac{1}{\theta_j}\left\{(1-\beta_j) + \beta_j\left(\frac{(1-\beta_j)(1+\tau^k)r}{\beta_j(1+\tau_j^l)w}\right)^{1-\rho_j}\right\}^{\frac{\rho_j}{1-\rho_j}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{6}$$

さらに、いずれも一次同次の生産関数であるので、完全競争によって各産業で利潤がゼロとなると仮定しよう。それによって、実質総付加価値と、実質エネルギー総投入について次のようなバランスが成立する。

$$\begin{aligned} P_{vj}^f V_j^f &= (1+\tau_j^o)\left\{(1+\tau_j^l)wK_j + (1+\tau^k)rK_j\right\} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \\ P_j^{eH} E_j^H &= \sum_{i=1}^{4} P_{ij}^{e+} E_{ij} \end{aligned} \tag{7}$$

ここで、P_{vj}^f は実質総付加価値の価格（デフレーター）であり、P_j^{eH} は実質総エネルギー投入に関する価格（デフレーター）である。これらの式はさらに次のように変形される。

$$\begin{aligned} P_{vj}^f &= (1+\tau_j^o)\left\{(1+\tau_j^l)wv_{fj}^l + (1+\tau^k)rv_{fj}^k\right\} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \\ P_j^{eH} &= \sum_{i=1}^{4} P_{ij}^{e+} e_{ij} \end{aligned} \tag{8}$$

これらの式は、賃金、資本用役価格、各エネルギー財の価格および税率が与えられると、右辺の生産係数が決まり、右辺の値の全体が決まるので、左辺の P_{vj}^f および P_j^{eH} が決まることを意味している。その二つの価格が与えられると、拡張された付加価値を与える生産関数のもとで係数を決めることができる。それを以下で示そう。

まず、拡張された付加価値 V_j^e 生産関数は次のように与えられる。

$$V_j^e = \Phi_j\left\{\alpha_j^v (V_j^f)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \alpha_j^e (\epsilon_j E_j^H)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \alpha_j^w (W_j^f)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}}\right\} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{9}$$

ここで、Φ_j はスケールパラメータ、$\alpha_j^v, \alpha_j^e, \alpha_j^w$ は、分配パラメータで $\alpha_j^v + \alpha_j^e + \alpha_j^w = 1$ を満たす。σ_j は代替の弾力性である。ϵ_j は、エネルギー効率に関するパラメータであり、値が 1 の場合、効率の改善がなく、1 よりも大きくなれば、その割合に応じて効率の改善があることを表す。この生産関数のもとで、次の費用関数を最小化するような生産係数を求める。

$$P_{vj}^f V_j^f + P_j^{eH} E_j^H + P^w W_j^f$$

P^w は、廃棄物処理サービス価格を P_{36} として次のように与えられる。

$$P^w = P_{36} + \frac{\tau^w}{P^F}$$

ここで、τ^w は産業廃棄物税である。この税は、二酸化炭素税と同様に、物質単位の排出量に対してかけられる。一方、W_j^f は 2000 年の実質価格で与えられている。したがって、この W_j^f を 2000

年の最終処理価格 P^F（=0.03 百万円）で割っておく必要がある。そのために、上記のような定式化となっているのである。

生産係数は次のように与えられる。いずれも、$j = 1, 2, \cdots, 40$ である。

$$v_{ej}^{f} = \frac{V_j^f}{V_j^e} = \frac{1}{\Phi_j}\left\{\alpha_j^v + \alpha_j^e\left(\frac{\alpha_j^v P_j^{eH}}{\alpha_j^e P_{vj}^f \epsilon_j}\right)^{1-\sigma_j} + \alpha_j^w\left(\frac{\alpha_j^v P^w}{\alpha_j^w P_{vj}^f}\right)^{1-\sigma_j}\right\}^{\frac{\sigma_j}{1-\sigma_j}} \tag{10}$$

$$v_{ej}^{e} = \frac{E_j^H}{V_j^e} = \frac{1}{\Phi_j}\left\{\alpha_j^v\left(\frac{\alpha_j^e P_{vj}^f \epsilon_j}{\alpha_j^v P_j^{eH}}\right)^{1-\sigma_j} + \alpha_j^e + \alpha_j^w\left(\frac{\alpha_j^e P^w \epsilon_j}{\alpha_j^w P_j^{eH}}\right)^{1-\sigma_j}\right\}^{\frac{\sigma_j}{1-\sigma_j}} \frac{1}{\epsilon_j} \tag{11}$$

$$v_{ej}^{w} = \frac{W_j^f}{V_j^e} = \frac{1}{\Phi_j}\left\{\alpha_j^v\left(\frac{\alpha_j^w P_{vj}^f}{\alpha_j^v P^w}\right)^{1-\sigma_j} + \alpha_j^e\left(\frac{\alpha_j^w P_j^{eH}}{\alpha_j^e P^w \epsilon_j}\right)^{1-\sigma_j} + \alpha_j^w\right\}^{\frac{\sigma_j}{1-\sigma_j}} \tag{12}$$

2.2.2 廃棄物処理の生産係数

廃棄物処理の生産係数 $a_{36,j}$ がどのように決定されるかを示そう。生産関数で、与えられているのは物量表示の廃棄物排出に対する係数 $\bar{\omega}_j$ のみである。

第 j 部門の 2000 年価格（百万円）での実質排出は、再生利用量 W_j^r と最終処分量 W_j^f の合計であり、次のようになる。

$$W_j(= X_{36,j}) = W_j^r + W_j^f \tag{13}$$

また、物量表示（トン）の再生利用量 $\bar{W}_j^r$ と最終処分量 $\bar{W}_j^f$ の合計は、物量表示の総排出 $\bar{W}_j$ である。

$$\bar{W}_j = \bar{W}_j^r + \bar{W}_j^f \tag{14}$$

ただし、各部門の物量表示の再生利用量は、各再生利用産業廃棄物の合計である。また、再生処理価格 P^R と最終処理価格 P^F によって、実質価値表示と物量表示は次のように関係している。

$$W_j^f = P^F \bar{W}_j^f \tag{15}$$

$$W_j^r = P^R \bar{W}_j^r \tag{16}$$

P^F は全産業共通であり、最終処分量は単一物質として扱われるので、このモデルでは 3 万円として設定され、固定されている。一方、リサイクル価格は、産業廃棄物の種類ごとに処理価格が異なって与えられていることをふまえなければならない。いま、各産業の再生利用用途のそれぞれの排出物の構成比を ω_{ij} で表そう。j は産業を区別するサフィックスであり、i は再生利用用途の廃棄物を区別するサフィックスである。さらに、各産業廃棄物の再生利用価格を p_i^r として、固定しているとすると、各産業の再生利用価格は次のように与えられる。

$$P_j^R = \sum_{i=1}^{18} p_i^r \omega_{ij}$$

生産関数で述べたように、1 単位あたりの物量単位の総排出は固定していて、係数は $\bar{\omega}_j$ は一定であり、次のような関係がある。

$$\bar{W}_j = \bar{\omega}_j X_j \tag{17}$$

これらを前提に、廃棄物処理の生産係数を求めよう。

式 (14)〜(17) によって次の式が成立する。

$$W_j^r = P_j^R \bar{W}_j^R = P_j^R \left(\bar{\omega}_j X_j - \frac{W_j^f}{P^F} \right)$$

ところで、式 (12) より、

$$\frac{W_j^f}{X_j} = \frac{W_j^f}{V_j^e} \frac{V_j^e}{X_j} = v_{ej}^w a_{0j}$$

であるから、結局、

$$W_j^r = \left(P_j^R \bar{\omega}_j - \frac{P_j^R}{P^F} v_{ej}^w a_{0j} \right) X_j$$

となる。したがって、式 (13) を考慮すると、

$$W_j^r = \left(P_j^R \bar{\omega}_j + \left(1 - \frac{P_j^R}{P^F} \right) v_{ej}^w a_{0j} \right) X_j$$

となり、生産係数が次のように求まる。

$$a_{36,j} = P_j^R \bar{\omega}_j + \left(1 - \frac{P_j^R}{P^F} \right) v_{ej}^w a_{0j} \tag{18}$$

なお、廃棄物処理コストとしては、これに産業廃棄物税が加わる。その名目的な（シミュレーション後の価格で測った)、総税額は次のようになる。

$$T_j^w X_j = \frac{\tau^w}{P^F} v_{ej}^w a_{0j} X_j \tag{19}$$

ただし、T_j^w は生産に対する係数化した値であり、右辺の X_j にかかる係数をそのまま表したものにすぎない。

2.2.3 リサイクル財の供給

ここでは、各部門で発生した再生利用の対象となる産業廃棄物がリサイクル財として供給される量を定式化しよう。

まず、物量単位で測られた第 j 産業の再生利用対象である第 i 廃棄物の量 $\bar{W}_{ij}^r$ は次のように与えられる。

$$\bar{W}_{ij}^r = \omega_{ij} \left(\bar{\omega}_j X_j - \frac{W_j^f}{P^F} \right) \quad i = 1, 2, \cdots, 18; j = 1, 2, \cdots, 40$$

したがって、全産業で発生する第 i 再生処理廃棄物の総量 W_i^S は次のように与えられる。

$$W_i^S = \sum_{j=1}^{40} \omega_{ij} \left(\bar{\omega}_j X_j - \frac{W_j^f}{P^F} \right) \quad i = 1, 2, \cdots, 18 \tag{20}$$

一方、先に表 4 で一部だけ示した「廃棄物・代替部門変換行列」の第 i 行、第 k 列を、m_{ik} で表すと、第 k 再生財の供給量 R_k は次のようになる。

$$R_k = \sum_{i=1}^{18} W_i^S m_{ik} \quad k = 1, 2, \cdots, 40$$

この式に、式 (20) を代入すると次のように変形できる。

$$
\begin{aligned}
R_k &= \sum_{i=1}^{18}\sum_{j=1}^{40}\omega_{ij}\left(\bar{\omega}_j X_j - \frac{W_j^f}{P^F}\right)m_{ik} \\
&= \sum_i\sum_j\omega_{ij}\left(\bar{\omega}_j - \frac{1}{P^F}\frac{W_j^f}{X_j}\right)X_j m_{ik} \\
&= \sum_i\sum_j\omega_{ij}\left(\bar{\omega}_j - \frac{1}{P^F}a_{0j}v_{ej}^w\right)X_j m_{ik} \\
&= \sum_j\left\{\sum_i\omega_{ij}\left(\bar{\omega}_j - \frac{1}{P^F}a_{0j}v_{ej}^w\right)m_{ik}\right\}X_j
\end{aligned}
$$

上の最後の式の中括弧の中を z_{kj} とおく。すなわち、

$$
z_{kj} = \sum_i\omega_{ij}\left(\bar{\omega}_j - \frac{1}{P^F}a_{0j}v_{ej}^w\right)m_{ik} \quad k=1,2,\cdots,40; j=1,2,\cdots,40 \tag{21}
$$

である。そして、次のような行列 Z を構成する。

$$
Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1,40} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2,40} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{40,1} & z_{40,2} & \cdots & z_{40,40} \end{pmatrix} \tag{22}
$$

また、列ベクトル $R=(R_1,R_2,\cdots,R_{40})'$ および同じく列ベクトル $X=(X_1,X_2,\cdots,X_{40})'$ を定義すると、最終的に式 (21) は次のように行列表示できる。

$$
R = ZX \tag{23}
$$

そして、この ZX を需給バランスの式に、供給の増加分として、あるいは、負の最終需要として加えれば、リサイクル財の供給がモデルに組み込まれることになる。

2.2.4 消費関数と消費者需要

消費者の所得 I は次のように表される。

$$
I = (w\bar{L} + r\bar{K})(1-\tau^y-\tau^t)(1-s) + B - \tau^e H_C^R
$$

ここで、$\bar{L}$、$\bar{K}$ はそれぞれ、商社が提供する労働と資本用役の総量である。これは、すでにデータセットで述べたように、2000 年の総賃金・俸給支払総額と資本税を除いた営業余剰総額として定義されている。τ^y と τ^t はそれぞれ所得税率と家計から政府に対して支払われる社会保障費などの移転費用率である。s は家計の貯蓄率である。B は、政府からの社会保障費などの給付で、消費者の選択に依らず、税収と貯蓄の合計の一定の割合となるように想定されている。

消費関数については、エネルギーと他の財との間に弱分離可能性の仮定をおく。エネルギーの合成財を E_c、その他の財の合成財をサフィックスなしの C とおくと、CES 型の主効用関数は次のように与えられる。

$$
U = \left\{\phi_m C^{\frac{\zeta_m-1}{\zeta_m}} + (1-\phi_m)(\epsilon_c E_c)^{\frac{\zeta_m-1}{\zeta_m}}\right\}^{\frac{\zeta_m}{\zeta_m-1}} \tag{24}
$$

ここで、ϕ_m はシェアパラメータ、ζ_m は代替の弾力性、ϵ_c は消費に関わるエネルギー効率パラメータである。

合成消費財の効用関数は次のようになる。

$$C = \left(\sum_{i=1}^{36} \phi_{ci} C_i^{\frac{\zeta_c}{\zeta_c - 1}} \right)^{\frac{\zeta_c}{\zeta_c - 1}} \tag{25}$$

パラメータの意味は、主効用関数に準じる。ただし、$\sum \phi_{ci} = 1$ である。C_i は、第 i 財に対する消費水準である。

さらに、合成エネルギー財に関する効用関数は次のようになる。

$$E_c = \left(\sum_{i=1}^{4} \phi_{ei} E_{ic}^{\frac{\zeta_e}{\zeta_e - 1}} \right)^{\frac{\zeta_e}{\zeta_e - 1}} \tag{26}$$

パラメータの意味は、主効用関数に準じる。ただし、$\sum \phi_{ei} = 1$ である。エネルギー材の消費水準は、ここでは E_{ic} $(i = 1, 2, 3, 4)$ で表ししているが、必要に応じてそれぞれ C_i $(i = 37, 38, 39, 40)$ で表す場合もある。

これらを前提にして、それぞれの財の需要量を与える式を求めよう。まず、エネルギー合成財と他の財の合成財の消費水準である。予算制約式は、それぞれの合成財の価格を P_c^e および P_c として次のように与えられる。合成財の価格そのものは、後に、各財価格、エネルギー財価格の関数として与えられる。

$$I = P_c^e E_c + P_c C \tag{27}$$

この予算制約の下で効用関数 (24) を最大にするという条件で、次のようなそれぞれの合成財の需要量を決定できる。

$$C = \frac{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{-\zeta_m} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1 - \phi_m)(P_c^e)^{1-\zeta_m} \epsilon_c^{\zeta_m - 1}} \tag{28}$$

$$E_c = \frac{(1 - \phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{-\zeta_m} \epsilon_c^{\zeta_m - 1} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1 - \phi_m)(P_c^e)^{1-\zeta_m} \epsilon_c^{\zeta_m - 1}} \tag{29}$$

エネルギー財以外の財に対する需要 C_i は、それぞれの価格を P_i とし、予算制約式を、

$$P_c C = \sum_{i=1}^{36} P_i C_i \tag{30}$$

として、効用関数 (25) を最大にするものとして求められ、次のようになる。

$$C_j = \frac{\phi_{cj}^{\zeta_c} P_c C}{P_j^{\zeta_c} \sum_{i=1}^{36} \phi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c}} \quad j = 1, 2, \cdots, 36 \tag{31}$$

これをもとの効用関数 (25) に代入すると、合成財の価格が次の式のように求められる。

$$P_c = \left(\sum_{i=1}^{36} \phi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_c}} \tag{32}$$

エネルギー財の場合、予算制約式は次のようになる。

$$P_c^e E_c = (P_1^e + \tau^e h_c^m) E_{1c} + \sum_{i=2}^{4} P_i^e E_{ic} \tag{33}$$

ここで、h_c^m は最終消費需要において直接輸入したエネルギー財の消費係数であり、産業連関表情は石油製品に関してだけ行われているので、上記のような定式化をしている。この制約の下で、合成エネルギー財に関する効用関数 (26) を最大にする需要関数を次のように求めることができる。

$$E_{1c} = \frac{\phi_{e1}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_1^e + \tau^e h_c^m)^{\zeta_e} \left\{ \phi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^4 \phi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right\}} \tag{34}$$

$$E_{jc} = \frac{\phi_{ej}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_j^e)^{\zeta_e} \left\{ \phi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^4 \phi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right\}} \quad j = 2,3,4 \tag{35}$$

これをもとの効用関数 (26) に代入することによって次のようなエネルギー合成財の価格を求めることができる。

$$P_c^e = \left\{ \phi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^{4} \phi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right\}^{\frac{1}{1-\zeta_e}} \tag{36}$$

消費の場合、上記のような合成財の価格が入っているために、実際にどのようなな手順で各財に対する需要が決まるのかがわかりにくい。あらためて確認すると次のようになる。

まず、一般財、エネルギー財の価格が与えられたとしよう。このとき、式 (32) および式 (36) によって合成財の価格が与えられる。さらに所得が与えられると、式 (28) および (29) によって合成財需要が決定できる。合成財の価格と需要量が与えられると、式 (31)、(34) および (35) から一般財とエネルギー財の需要量が決定できるのである。

2.2.5 外生需要の決定

外生需要は、価格にある程度反応させるために CES 型の効用関数を想定するので、需要水準の決定手続きは消費に準じる。

まず、税収や貯蓄から消費需要に向かう収入を I_g は次のように定義される。

$$I_g = (1-b)G + \sum_{k=1}^{40} P_k (R_k - I_k^v) \tag{37}$$

ここで、b は家計への移転率、G は税収・貯蓄の総額である。再生財の供給は負の需要増加として扱われ、その分外性需要に対する支出は増加する。I_k^v は第 k 財に関する在庫投資需要総額である。この在庫については、積み増しが行われると、その分だけ外生需要への支出は圧縮されるので控除になる。いずれも名目値にするために、それぞれの財価格がかけられている。

主効用関数、合成エネルギー財の効用関数、一般財の合成財に関する効用関数はそれぞれ次のようになる。

$$U_g = \left\{ \delta_m C_g^{\frac{\lambda_m - 1}{\lambda_m}} + (1-\delta_m)(\epsilon_g E_g)^{\frac{\lambda_m - 1}{\lambda_m}} \right\}^{\frac{\lambda_m}{\lambda_m - 1}}$$

$$E_g = \left(\sum_{i=1}^{4} \delta_{ei} E_{ig}^{\frac{\lambda_e}{\lambda_e - 1}} \right)^{\frac{\lambda_e}{\lambda_e - 1}}$$

$$C_g = \left(\sum_{i=1}^{36} \delta_{ci} C_{ig}^{\frac{\lambda_c}{\lambda_c - 1}} \right)^{\frac{\lambda_c}{\lambda_c - 1}}$$

合成財に対する需要は、予算制約式 $P_g^e E_g + P_g C_g = I_g$ のもとで主効用関数を最大にするものとして次のように与えられる。

$$C_g = \frac{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{-\lambda_m} I_g}{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{1-\lambda_m} + (1-\delta_m)(P_g^e)^{1-\lambda_m} \epsilon_g^{\lambda_m - 1}} \tag{38}$$

$$E_g = \frac{(1-\delta_m)^{\lambda_m} (P_g^e)^{-\lambda_m} \epsilon_g^{\lambda_m - 1} I_g}{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{1-\lambda_m} + (1-\delta_m)(P_g^e)^{1-\lambda_m} \epsilon_g^{\lambda_m - 1}} \tag{39}$$

エネルギー財以外の財に対する需要 C_{ig} は、予算制約式を、

$$P_g C_g = \sum_{i=1}^{36} P_i C_{ig}$$

として、次のようになる。

$$C_{jg} = \frac{\delta_{cj}^{\lambda_c} P_g C_g}{P_j^{\lambda_c} \sum_{i=1}^{36} \delta_{ci}^{\lambda_c} P_i^{1-\lambda_c}} \quad j = 1, 2, \cdots, 36 \tag{40}$$

これをもとの効用関数に代入すると、合成財の価格が次の式のように求められる。

$$P_g = \left(\sum_{i=1}^{36} \delta_{ci}^{\lambda_c} P_i^{1-\lambda_c} \right)^{\frac{1}{1-\lambda_c}}$$

エネルギー財の場合、予算制約式は次のようになる。

$$P_g^e E_g = \sum_{i=1}^{4} P_i^e E_{ig}$$

この制約の下で、合成エネルギー財に関する効用関数を最大にする需要関数を次のように求めることができる。

$$E_{jg} = \frac{\delta_{ej}^{\lambda_e} P_g^e E_g}{(P_j^e)^{\lambda_e} \sum_{i=1}^{4} \delta_{ei}^{\lambda_e} (P_i^e)^{1-\lambda_e}} \quad j = 2, 3, 4 \tag{41}$$

これをもとの効用関数に代入することによって次のようなエネルギー合成財の価格を求めることができる。

$$P_g^e = \left(\sum_{i=1}^{4} \delta_{ei}^{\lambda_e} (P_i^e)^{1-\lambda_e} \right)^{\frac{1}{1-\lambda_e}}$$

決定構造は、消費の場合に準じている。

2.2.6 廃棄物再生利用分の調整について

外生需要は上述のように決定されるが、そこには一つ問題がある。EPAM の均衡解を求める手続きは後に述べるが、基本的には次のようなものである。まず、要素価格、税収・貯蓄合計、為替レートが与えられ、そこから一般財・エネルギー財の価格が決定される。その価格のもとで最終需要が決定され、そのもとで均衡生産が決まり、最終的超過需要が決まるのである。探索はこの超過需要を、設定している誤差以下にする要素価格、税収・貯蓄合計、為替レートを求めることになる。

このことから、需要を決定する段階に先立って生産水準が決定されているわけではないことがわかるだろう。しかし、外生需要の予算制約式 (37) には、廃棄物の再生利用水準が入っていて、こ

の水準は、式 (23) を見てもわかるように生産水準に依存してしまっているのである。したがって、このままでは、モデルの決定手続きを正常にクリアすることができなくなってしまう。そこで、この再生利用分から与えられる外生需要水準を生産水準の決定時まで繰り延べすることによってこの問題を解決する。

具体的には、外生需要決定時には式 (37) の再生利用分を含まない予算制約条件を前提にする。実際、需要を与える式においてこのようなことが可能であることは直ちにわかるだろう。

その上で、まず、式 (23) の両辺の左から価格ベクトル $(P_1, P_2, \cdots, P_{40})$ をかけた式を次のように表現する。

$$\sum_{k=1}^{40} P_k R_k = \sum_{j=1}^{40} \left(\sum_{k=1}^{40} P_k z_{kj} \right) X_j \tag{42}$$

ここで、この式の右辺の丸括弧の中を z_j^S とおこう。

さらに、g_i を次のようなものとして定義する。すなわち、g_i $i = 1, 2, \cdots, 36$ を式 (40) の右辺の式 (38) を代入したものから I_g を除いた部分とする。言い換えれば、それらの財について I_g にかかった係数の部分だけとするということである。さらに、g_i $(i = 37, 38, 39, 40)$ を、式 (41) に式 (39) を代入し、同じく I_g の係数部分だけを、同じ順序で対応させて与えるのである。

このような準備のもとで、次のような行列 G^R を定義できる。

$$G^R = \begin{pmatrix} g_1 z_1^s & g_1 z_2^s & \cdots & g_1 z_{40}^s \\ g_2 z_1^s & g_2 z_2^s & \cdots & g_2 z_{40}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{40} z_1^s & g_{40} z_2^s & \cdots & g_{40} z_{40}^s \end{pmatrix} \tag{43}$$

このとき、再生利用から生じる外生需要の増加列ベクトルを $\bar{R}^g = (R_1^g, R_2^g, \cdots, R_{40}^g)'$ とすると、次のように行列表示が可能になる。

$$\bar{R}^g = G^R X \tag{44}$$

この関係を、生産量決定の需給バランス式に加えることで、問題を解決することができるのである。

2.2.7 輸出入と為替レート

輸出入財は国内財と同質であると仮定する。輸出入関数の、価格と為替レートに反応する部分についてはBoadway and Treddenick [1] の定式化を用いる。さらに、輸入に関しては所得効果をとらえる項目を加え、該当財の国内生産額に比例すると考える。この所得効果分をおかないと、鉱業など輸入依存度の高い産業の財の需要が大きく変化すると、輸入ではなく国内財でそれに対応してしまうために、非現実的な反応を引き起こしてしまう。輸入税を考慮しないことを前提に、次のように定式化する。

$$F_j = \Psi_j^f \left(\frac{P_j}{\chi} \right)^{\xi^f} \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{45}$$

$$M_j = \Psi_j^m \left(\frac{P_j}{\chi} \right)^{\xi^m} + \nu_j X_j \quad j = 1, 2, \cdots, 40 \tag{46}$$

F_j および M_j は実質輸出と実質輸入である。Ψ は相対価格に対する反応のスケールパラメータであり、ξ はその弾力性である。輸出に関する弾力性は負、輸入については正を想定している。ξ は為替レートである。

この輸入関数の設定で一つ問題となる点は、すでに述べているように最終需要の決定関数であるにもかかわらず、生産水準 X_j が含まれてしまっていることである。すなわち、モデルでは、最終需要があらかじめ決定されているとき、それを実現する供給が決まる構造になっているのである。そこで、最終需要の決定段階では、式 (46) の $\nu_j X_j$ 分を除く、他の分だけを決定し、生産水準を決定する需給バランス式に、その除かれた部分を加えるという操作を行う。すなわち、次のような対角行列 M^X を考える。

$$M^X = \begin{pmatrix} \nu_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \nu_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \nu_{40} \end{pmatrix} \tag{47}$$

そして $M^X X$ を供給側に加え、需給バランスを満たす国内生産ベクトル X を決定するのである。

2.3 ワルラス法則と需給・価格バランス

2.3.1 ワルラス法則の成立

このモデルでは、ワルラス法則が成立している。

まず、各経済主体の予算制約式を確認しておく。

企業の予算制約式は次のように表される。

$$\begin{aligned} P_j X_j &= (1+\tau^o)\left\{(1+\tau_j^l) w L_j + (1+\tau^k) r K_j\right\} + \tau^e (\sum_{i=1}^{4} h_{ij}^m a_{36+i,j} + h_j^r) X_j \\ &\quad + T_j^w X_j + \sum_{i=1}^{40} P_i a_{ij} X_j \qquad j = 1, 2, \cdots, 40 \end{aligned} \tag{48}$$

ただし、廃棄物投入に関する係数 $a_{36+i,j}$ は式 (18) であらられ、エネルギー投入に関する係数は次のように与えられる。

$$a_{36+i,j} = \frac{E_{ij}}{X_j} = \frac{V_j^e}{X_j} \frac{E_j^H}{V_j^e} \frac{E_{ij}}{E_j^H} = a_{0j} v_{ej}^e e_{ij} \quad i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \cdots, 40$$

また、h_j^r は石炭、原油、天然ガスというエネルギー資源投入に関わる二酸化炭素排出係数で、生産量に比例するとして与えられている。T_j^w は式 (19) で与えられている最終処理に関わる税額係数である。

家計の予算制約式は次のように与えられる。

$$\sum_{i=1}^{40} P_i C_i + \tau^e (h_c^m C_{37} + H_C^R) = (w\bar{L} + r\bar{K})(1 - \tau^y - \tau t)(1 - s) + bG \tag{49}$$

ここで、b は税収・貯蓄の総額 G のうち、家計に社会保障費などで移転する割合を表している。また、$C_{36+i} = E_{ic} \ \ i = 1, 2, 3, 4$ で、価格もそれに対応している。外生需要に関わる予算制約式は、式 (37) から、次のようになる。

$$\sum_{i=1}^{40} P_i C_{ig} = (1-b)G + \sum_{k=1}^{40} P_k (R_k - I_k^v) \tag{50}$$

消費と同様に、$C_{i+36,g} = E_{ig} \ \ i = 1, 2, 3, 4$ で、価格もそれに対応している。

海外に関する収支（貿易収支）は次のように表される。

$$\sum_{i=1}^{40} P_i F_i = \sum_{i=1}^{40} P_i M_i \tag{51}$$

次に、財の超過需要関数 $d_j \quad J = 1, 2, \cdots, 40$、要素の超過需要関数 d_l および d_k、税収・貯蓄に関する超過収入関数 D_g を定義しよう。これらの超過需要関数をそれぞれ以下に列記する。

$$d_i = \sum_{j=1}^{40} a_{ij} X_j + C_i + C_{ig} + I_i^v + F_i - (X_i + R_i + M_i) \quad i = 1, 2, \cdots, 40 \tag{52}$$

$$d_l = \sum_{i=1}^{40} L_i - \bar{L} \tag{53}$$

$$d_k = \sum_{i=1}^{40} K_i - \bar{K} \tag{54}$$

$$\begin{aligned} D_g \;\; = \;\; & s(w\bar{L} + r\bar{K})(1 - \tau^y - \tau t) + (w\bar{L} + r\bar{K})(\tau^y + \tau^t) + \tau^e(h_c^m C_{37} + H_C^R) \\ & + \sum_{j=1}^{40} \left[\tau_j^l w L_j + \tau^k r K_j + \tau^o \left\{ (1 + \tau_j^l) w L_j + (1 + \tau^k) r K_j \right\} \right] \\ & + \tau^e \sum_{j=1}^{40} (\sum_{i=1}^{4} h_{ij}^m a_{36+i,j} + h_j^r) X_j + \sum_{j=1}^{40} T_j^w X_j - G \end{aligned} \tag{55}$$

以上を前提にすると、ワルラス法則は次のような形で成立する。すなわち、いま、為替レートが与えられているという前提のもとで、予算制約式 (48)〜式 (51) が成立していると、次式で表されるように、超過需要価値の合計はゼロである。

$$\sum_{j=1}^{40} P_j d_j + w d_l + r d_k + D_g = 0$$

均衡の未知数としては財の価格 P_i が 40 個、そして賃金 w と資本用役価格 r、さらに税収・貯蓄総額 G で、その合計 44 は超過需要関数の数と一致している。さらに、貿易収支の均衡式 (51) を均衡条件式とすることによって為替レート χ を決定することができる。

2.3.2 需給バランスの行列表現

このモデルにおいては、均衡価格の予定価格が与えられると生産係数がすべて決定され、最終需要も与えられるので、通常の線型モデルを解くのと同じ形で各産業の生産水準が決定される。このプロセスを記述しておこう。まず、投入係数行列 A が与えられる。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,40} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,40} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{40,1} & a_{40,2} & \cdots & a_{40,40} \end{pmatrix}$$

この投入係数行列において、各部門の廃棄物サービスの投入係数、およびエネルギー関係投入の係数は、価格によって変化する係数である。また、廃棄物の再生利用分を除いた外生需要列ベクトル

を $C_g^- = (C_{1g}^-, C_{2g}^-, \cdots, C_{40,g}^-)'$ とし、また、輸入分の内、相対価格によって決定される分を表す列ベクトルを $M^- = (M_1^-, M_2^-, \cdots, M_{40}^-)'$ としよう。さらに、消費需要列ベクトル C、固定されている実質在庫投資ベクトルを I^v、輸出列ベクトルを F とすると、生産列ベクトル X とすると、

$$X + M^X X = AX + C + C_g^- + G^R X + I^v + F - M^-$$

となる。ここで、M^X は式 (47) で与えられて、G^R は式 (43) で与えられている。

したがって、生産水準は次のように決定できる。

$$X = (I + M^X - A - G^R)^{-1}(C + C_g^- + I^v + F - M^-)$$

2.3.3 産業廃棄物税・炭素と均衡価格のゼロ次同次性

一般均衡価格は、ゼロ次同次性を持っていると考えられるが、このモデルにおいてはそれは成立しない。なぜなら、炭素税も産業廃棄物税も物量としての二酸化炭素排出量、廃棄物最終処分量に直接かけられている。したがって、ある価格が均衡価格だったとして、その価格を比例的に増加させても同じ割合で税率が増加しない限り均衡は変わってしまうのである。その他の労働、資本、所得税などはすべて名目的な金額に対してかけられているので、この問題は発生しない。したがって、こうしたゼロ次性崩壊問題は、このモデルの特色というよりも、一般に物量に税をかけているモデルにおいては生じるものである。

これは、均衡価格が求められないという意味ではない。EPAM は不動点アルゴリズムで均衡解を求めているが、このような状況でも特別な対策を取らなくても、解を求めることはできる。

最も問題は、2000 年の経済状態を再現する「基準均衡」と、何らかの政策的な変化を加えた後のシミュレーション結果の状態で、もし、炭素税・産業廃棄物税率が変わらないとすると、価格が変わっているために実質税率が変わってしまっているということである。この点を理解していることが決定的に重要である。

EPAM は実質税率をシミュレーションの前後で固定させることができる。その際、実質税率はラスパイレス指数を用いて行っている。すなわち、今、基準均衡における第 j 財に対する消費と外生需要の合計を Y_j とする。また、基準均衡における価格を P_j^0、シミュレーション後の価格を P_j^1 とすると、ラスパイレス価格指数 Q は次のように与えられる。

$$Q = \frac{P_1^1 Y_1 + P_2^1 Y_2 +, \cdots, + P_{40}^1 Y_{40}}{P_1^0 Y_1 + P_2^0 Y_2 +, \cdots, + P_{40}^0 Y_{40}} \tag{56}$$

ただし、実際のシミュレーションは、基準年の価格はすべて 1 で与えられている。

今、たとえば、2000 年価格における産業廃棄物税を $\bar{\tau}^w$ としよう。これが産業廃棄物税の実質税率である。そして、シミュレーションにおいては名目的産業廃棄物税を τ^w とすると、次のような関係である。

$$\tau^w = Q\bar{\tau}^w$$

シミュレーションごとに、与えられた実質産業廃棄物税率を名目税率に変換して均衡を与えるのである。

2.3.4 次元の縮小と価格体系の問題

44 の未知数は、大きな計算負荷を生み出す。EPAM の生産関数はいずれも一次同次であるために、ショウヴン [17] あるいは市岡 [3] で議論されている、次元の縮小が可能になりそうである。

上記の著者らによって行われている次元の縮小は次のような手続きである。まず、要素価格を与えると、利潤が発生しないことを前提にした価格システムによって一般財の価格が与えられる。その価格と与えられる税収（このモデルにおける G）によって最終需要が決まり、その需要によって生産量が決定され、さらには生産量が決まるというものである。すなわち、模索すべき均衡価格はこの場合、要素価格だけになる（EPAM の場合は為替レートも加わる)。

一見このモデルでも、この考え方が適用できそうなのである。しかし、一つ大きな困難がある。たとえば、市岡 [3] の場合、中間投入に関わる係数がすべて一定である（固定係数の生産関数）ために、要素価格によって付加価値率が与えられると価格体系全体が決まるという特徴を持っている。しかし、EPAM の場合、エネルギー投入、廃棄物処理サービス投入に関わる係数はそれらの価格が与えられなければ決定できない。さらに、資本係数や労働係数もまたエネルギー価格、廃棄物処理価格に依存している。したがって、要素価格だけ与えても、連立線形方程式を解く手法では一般財の価格を得られないのである。

言い換えれば次のようになる。今、税金や二酸化炭素排出などをすべて無視しよう。そして、投入係数行列を A、労働投入係数、資本投入係数と要素価格で与えられる付加価値率の行ベクトルを V とする。このときもし、投入係数が価格に依存しない固定係数である場合は、均衡価格ベクトル P は $P = V + PA$ を満たすものとして与えられる。すなわち、$P = V(I - A)^{-1}$ で均衡価格を決定できる。しかし、このモデルの場合は、投入係数行列が、完全に固定係数にならない。また、V もエネルギー価格、廃棄物処理価格に依存してしまうのである。

したがって EPAM の場合、価格体系を決定する連立方程式体系そのものが非線形になってしまうのである。もともと、全体が非線形連立方程式であるので、その中にこうした非線形性が存在しても特段の問題ではないようにも考えられる。しかし、EPAM が採用している不動点アルゴリズムの場合、こうしたプロセスを直接組み込むことが困難である。

これを解決する道筋を示す前に、このモデルの価格方程式を示すと次のようになる。

$$\begin{aligned} P_j &= (1+\tau^o)\left\{(1+\tau_j^l)wv_{fj}^l + (1+\tau^k)rv_{fj}^k\right\} \\ &\quad +\tau^e(\sum_{i=1}^{4} h_{ij}^m a_{36+i,j} + h_j^r) + T_j^w + \sum_{i=1}^{40} P_i a_{ij} \qquad j = 1, 2, \cdots, 40 \end{aligned} \tag{57}$$

問題は、要素価格 w と r が与えられたときに、この式を満たす価格 $P_j \;\; j = 1, 2, \cdots, 40$ を求めることである。直接ニュートン法などによって求めることも考えられる。しかし、左辺の生産費用によって右辺の財価格が与えられると見なすと、これは一種の不動点を求める問題となっていることに気づく。すなわち、右辺全体を価格に関する関数 f_j として次のような不動点を求める反復アルゴリズムを考える。

$$P_j^{t+1} = f_j(P_1^t, P_2^t, \cdots, P_{40}^t) \quad t = 0, 1, 2, \cdots; j = 1, 2, \cdots, 40$$

もし反復法が収束すれば、ヤコビアンを求めなければならないニュートン法などに依存しなくてもいいことになる。収束するためには、f_j が縮小写像でなければならないが、現状ではこれを証明し得ない[7]。ただ、収束傾向を持っていることは、次のように推論可能である。

固定されていない生産係数は、基本的に相対価格に依存する。そこで、たとえば相対価格 P_j/P_i が上昇したとしよう。このとき、j 財あるいは要素の投入係数は低下する。すなわち、それは、相対価格の増加を抑える方向に生産係数が変化することを意味している。このことから、上記の反復法が収束傾向を持っていることが予測されるのである。

実際、EPAM において、この反復法を組み込んだが、すべての場合に強い収束傾向を示した。

[7] 森 [10] における反復法と縮小写像についての理論を参照。

したがって、この反復法を用いることによって要素価格を与えるだけで価格体系が決まり、次元の縮小が可能になる。すなわち、w および r の要素価格、税収・貯蓄総収入 G および為替レート χ の 4 次元の均衡に縮約されるのである。

2.4 基準均衡への適合：キャラブレーション

基準均衡、すなわちモデルの初期状態である 2000 年の経済状態にモデルをフィットさせるために、モデルに含まれているパラメータを調整することをキャラブレーション（Calibration）という。生産関数、消費関数、輸出入関数のパラメータの決定は、基準均衡の価格 (すべてが 1) において、与えられたデータセットを正確に再現させるものでなければならない。このようなキャラブレーションが行われていることがモデルの正当性の根拠になり、モデルの整合性をチェックすることになる。その意味で、重要でデリケートな作業が要求される。以下で、モデルの主要なパラメータの決定手続きを示す。

2.4.1 生産関数のパラメータ決定

消費関数にも同じように当てはまるが、生産関数のパラメータはすべてがデータセットから計算することはできない。このモデルでは、代替の弾力性を外生的に与えることによって、生産関数の場合はシェアパラメータとスケールパラメータ、消費関数の場合はシェアパラメータを求める。したがって、代替の弾力性をどのように与えるのかは、モデルのパフォーマンスに影響を与えるが、これについては後に詳細に検討する。

まず、エネルギーに関わる生産関数 (2) に含まれているパラメータを決定する。式 (3) を導出するための一階の条件として次の式を得る。

$$\frac{E_{kj}}{E_{ij}} = \left(\frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{kj}}\frac{P_{kj}^{e+}}{P_{ij}^{e+}}\right)^{-\mu_j}$$

基準均衡においては、すべての価格が 1 で炭素税率もゼロであるので、この式は次のように変形できる。

$$\frac{\gamma_{kj}}{\gamma_{ij}} = \left(\frac{E_{kj}}{E_{ij}}\right)^{\frac{1}{\mu_j}}$$

この関係と $\sum_{i=1}^{4}\gamma_{ij} = 1$ であることを考慮すると、

$$\gamma_{ij} = \frac{E_{ij}^{\frac{1}{\mu_j}}}{\sum_{k=1}^{4} E_{kj}^{\frac{1}{\mu_j}}} \quad i = 1,2,3,4; j = 1,2,\cdots,40$$

によってすべての γ_{ij} を決定することができる。

次にスケールパラメータの π_j を求めよう。基準となる均衡においては、

$$E_j^H = E_{1j} + E_{2j} + E_{3j} + E_{4j} \tag{58}$$

が成立していると想定する。想定するというのは奇妙に聞こえるかもしれないが、逆にこう考えてもよい。今、任意の正の値で π_j を与えたとする。すると、γ_{ij} はすでに与えられているので式 (3) より e_{ij} が決まり、式 (8) より P_j^{eH} が与えられ、式 (7) の右辺をその値で割ることによって、E_j^H を求めることができる。この場合、P_j^{eH} が 1 になることは明らかである。以下のパラメータの決

定において必要となる E_j^H を用いればよい。実際のシミュレーションにおいては、この E_j^H は π_j と同様に、インプリシットに計算されるだけで、この値が実際の意味を持つことはないのである。

今、E_j^H を式 (58) を満たすものとして設定すると、その値はデータセットから得られる。そこで、式 (2) を変形しただけの次の式によって π_j を求めることができる。

$$\pi_j = \frac{E_j^H}{\left(\sum_{i=1}^4 \gamma_{ij} E_{ij}^{\frac{\mu_j - 1}{\mu_j}}\right)^{\frac{\mu_j}{\mu_j - 1}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

ただし、代替の弾力性 μ_j が与えられていなければならないが、先にも述べたように、これはシミュレーションの際に外生パラメータとして与えられている。

次に要素と付加価値に関わる生産関数 (4) のパラメータを決定しよう。基本的にはエネルギー生産関数の場合と同じである。一階の条件を変形し、基準均衡の要素価格を適用することによって次の式を得る。

$$\beta_j = \frac{(1+\tau^k) K_j^{\frac{1}{\rho_j}}}{(1+\tau^k) K_j^{\frac{1}{\rho_j}} + (1+\tau_j^l) L_j^{\frac{1}{\rho_j}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

この式から β_j が決定でき、さらに θ_j については、

$$V_j^f = (1+\tau_j^0)\left\{(1+\tau^k) K_j + (1+\tau_j^l) L_j\right\}$$

と設定して、生産関数 (4) より次の式で決定できる。

$$\theta_j = \frac{V_j^f}{\left\{\beta_j K_j^{\frac{\rho_j - 1}{\rho_j}} + (1-\beta_j) L_j^{\frac{\rho_j - 1}{\rho_j}}\right\}^{\frac{\rho_j}{\rho_j - 1}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

ここでも弾力性は外生パラメータである。

生産関数式 (9) のシェアパラメータは、次の三つの式で決定できる。

$$\alpha_j^v = \frac{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}}{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (E_j^H)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (W_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

$$\alpha_j^e = \frac{(E_j^H)^{\frac{1}{\sigma_j}}}{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (E_j^H)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (W_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

$$\alpha_j^w = \frac{(W_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}}{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (E_j^H)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (W_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

さらに Phi_j については、生産関数 (4) を変更した次の式で決定できる。

$$\Phi_j = \frac{V_j^e}{\left\{\alpha_j^v (V_j^f)^{\frac{\sigma_j - 1}{\sigma_j}} + \alpha_j^e (\epsilon_j E_j^H)^{\frac{\sigma_j - 1}{\sigma_j}} + \alpha_j^w (W_j^f)^{\frac{\sigma_j - 1}{\sigma_j}}\right\}} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

ただし、

$$V_j^e = V_j^f + E_j^H + W_j^f$$

である。

2.4.2 消費関数のパラメータ決定

消費関数の場合、スケールパラメータがなく、弾力性は外生的に与えられるのでシェアパラメータを決定する作業があるだけである。

まず、効用関数式 (25) のパラメータを決定しよう。効用最大化に関する一階の条件により次の式を得る。

$$\frac{C_i}{C_j} = \left(\frac{\phi_{cj}}{\phi_{ci}} \frac{P_i}{P_j} \right)^{-\zeta_c}$$

生産関数と同様に、基準均衡で価格が 1 になっていること、および $\sum_{i=1}^{36} \phi_{ci} = 1$ であることを考慮すると、次の式で一般財に関わるシェアパラメータが決定できることがわかる。

$$\phi_{ci} = \frac{C_i^{\frac{1}{\zeta_c}}}{\sum_{k=1}^{36} C_k^{\frac{1}{\zeta_c}}} \quad i = 1, 2, \cdots, 40$$

基準均衡では、炭素税の影響も受けないので、エネルギー財に関わるパラメータも全く同じように決定できて、次のようになる。

$$\phi_{ei} = \frac{E_{ic}^{\frac{1}{\zeta_e}}}{\sum_{k=1}^{4} E_{kc}^{\frac{1}{\zeta_e}}} \quad i = 1, 2, 3, 4$$

主効用関数式 (24) のパラメータの決定はやや複雑である。まず、基準均衡であるので $\epsilon_c = 1$ とおいた上で、最大化の一階の条件から、次の関係を得る。

$$\frac{E_c}{C} = \left(\frac{\phi_m}{(1-\phi_m)} \frac{P_c^e}{P_c} \right)^{-\zeta_m}$$

これを ϕ_m について解くと次の式を得る。

$$\phi_m = \frac{P_c C^{\frac{1}{\zeta_m}}}{P_c C^{\frac{1}{\zeta_m}} + P_c^e E_c^{\frac{1}{\zeta_m}}}$$

上記の式の中にある二つの合成財価格は、すでに決定したパラメータと基準均衡の価格がすべて 1 であることから、、それぞれ式 (32) 式 (36) で求めることができる。問題は合成財の需要量である。これは、生産関数の場合のように、単純にそれぞれの実質値とすることはできない。しかし、式 (30) 式 (33) は確実に成立している。基準均衡の条件を代入したそれぞれの式をあらためて書くと次のようになる。

$$P_c C = \sum_{i=1}^{36} C_i$$

$$P_c^e E_c = \sum_{i=1}^{4} E_{ic}$$

したがって、上記の式の右辺はわかっているので、それを求められた合成財の価格で割れば、合成財の需要水準が求められるのである。したがって、主効用関数のシェアパラメータを求めることができる。一般に、このように求まった合成財の需要量は必ずしも各個別財の実質需要量の合計に一致しないことを付け加えておこう。

外生需要の効用関数のパラメータも上述した消費の場合と同じように求めることができる。詳細は省略する。

2.4.3 輸出入関数のパラメータ決定

式 (45) および式 (46) で表される、輸出入関数のパラメータを決定しよう。まず、弾力性パラメータ以外のパラメータを決定する。

輸出のパラメータ Ψ_j^f は、すべての財価格と為替レートが基準均衡で 1 であることを考えると、基準均衡の実質輸出をそのままパラメータとすればよいことがわかるだろう。

輸入の場合は、国内生産に比例する部分 $\nu_j X_j$ が加えられているので、少し複雑になる。この ν_j の係数の与え方が問題になる。単純に、国内生産に対する輸入割合に一定のウエイトをかけたものを ν_j することも考えられるが、その場合、鉱業などの輸入が国内生産を大きく上回る産業においては、輸入が過剰に生産に反応することを意味する。そこで、輸入比率の大きなところではこの割合が抑えられるような手続きを考える。今、$\kappa(1 > \kappa > 0)$ というパラメータをシミュレーションに先立って与えることにする。κ は国内総供給（生産＋輸入に限定）に対する輸入の割合にかけられる係数であり、このパラメータを使って y_j という変数を次のように確定する。

$$y_j = \frac{\kappa M_j}{X_j + M_j}$$

そして、ν_j を次のように与える。

$$\nu_j = \frac{y_j}{1 - y_j} \quad j = 1, 2, \cdots, 40$$

このように定式化すると、$\kappa = 1$ のとき、輸入は完全に国内生産水準によって規定されることになり、$\kappa = 0$ のときは、輸入は為替レートに対する価格比からだけ決定されることになる。その中間の場合は、先に指摘したように国内生産に対する輸入の割合の大きなところでは、ν_j が課題になることを抑制しながらパラメータ値が与えられることになる。この ν_j が決まると、基準均衡の輸入額と国内生産額から必然的に Ψ_j^m が与えられることになる。したがって、κ の値は、輸入のうち、どれほどのウエイトで国内生産に規定させるかを示すパラメータと考えてよいのである。この点については、もっと多様な試みがされるべきである。

輸出入の価格弾力性については、1970 年代以降、傾向的に低下していることが指摘されている。1994 年の通商白書によれば 1993 年に入って輸出弾力性が 0.2 前後にまで落ち込んでいることが示され、1997 年の経済白書では、輸出入弾力性とも 0.4 台になっている。この点をふまえて、シミュレーションでは弾力性を絶対値で 0.25 として設定する。

2.4.4 代替の弾力性の設定

EPAM には、生産関数、消費関数に代替の弾力性にパラメータがあり、他の多くのパラメータがその値に依存している。したがって、この弾力性パラメータの設定はモデル全体のパフォーマンスに重要な影響を与える。一方、ショウヴン [17] で指摘されているように、これまで推計された弾力性の値についても、推計方法やデータの違いによって大きく変動することがわかっている。生産関数に関わる代替の弾力性について、文献に表れているものを表 8 に示しておく。弾力性が 1 となっているのは、コブ・ダグラス型の生産関数を採用しているものである。また、(平均) はいくつかの産業に異なった値が適用されているもので、筆者が単純平均した値である。表に掲げたもの全体としての傾向をつかむことは困難である。本稿の分析では、弾力性に対するモデルの反応に留意しながらも、基本的に表 10 に設定する。また、すべての産業で、各レベルの代替の弾力性はそれぞれ同じであると仮定しよう。

次に消費の弾力性について検討しよう。いくつかの利用例をまとめると表 9 のようになる。

文献	弾力性	内容
Piggott [13]	(平均)0.821	イギリス 18 産業
Kainuma [5]	0.2-0.5	エネルギー、要素、中間投入
	0.3	電力、化石資源
	1.0	資本、労働
	0	石油、石炭
得津 [18]	(平均)0.358	エネルギー E、資本 K、計量モデル推計
	(平均) 0.434	中間投入、$8EK$)、労働、計量モデル推計
市岡 [3]	1.0	資本、労働
	0.0	要素、中間投入
橋本 [2]	1.0	資本、労働
朴 [12]	(平均) 0.77	資本、労働、エネルギー、中間投入
川瀬 [6, 7]	1.0	資本、労働
	0.0	要素、中間投入

表 8: 生産関数の代替の弾力性

文献	弾力性	内容
ショウヴン [17]	0.773	22 消費財平均
市岡 [3]	(平均)0.716	レジャー L と合成財 X
	(平均)1.114	(LX) と将来財
橋本 [2]	0.4	合成財と余暇
	0.2	合成財と将来財
斎藤 [14]	(平均)0.705	22 消費財についての計量モデル推計

表 9: 消費関数の代替の弾力性

橋本 [2] を除けば、いずれも財別の弾力性となっていて、それらはいずれも生産関数の場合と比べて高い値となっている。これをふまえて、この論文における分析では、表 10 の用に設定する。先にも述べたように、外生需要についてはより固定係数型に近づけるために、弾力性の値は低く抑えた。

変数記号	代替弾力性	内容
σ	0.5	主生産関数の弾力性
ρ	0.6	生産要素（労働、資本）の弾力性
μ	0.4	エネルギー生産関数の弾力性
ζ_m	0.6	消費主効用関数
ζ_e	0.4	消費エネルギー合成財効用関数
ζ_c	0.7	消費一般合成財効用関数
λ_m	0.3	外生需要主効用関数
λ_e	0.3	外生需要エネルギー合成財効用関数
λ_c	0.3	外生需要一般財合成効用関数

表 10: 代替の弾力性の設定

2.5 パフォーマンスチェック

モデルの基本的な信頼性は、データセットに表されている 2000 年の経済状態をすべての一般財価格、要素価格、為替レートのすべてが 1 で、再現することである。

EPAM は、解を求める方法として不動点アルゴリズムを採用している[8]。モデルは、不動点アルゴリズムに基づいて均衡解価格の候補を探索するユニットと、そこからアクセスされる超過需要を計算するユニットから構成されている。そして、すでに次元の縮小のところで述べたように、均衡価格の候補は、二つの要素価格、為替レート、そして税収・貯蓄の総計である。二つの要素価格と為替レートを 1 とし、税収・貯蓄の総額を 2000 年の実質額としてモデルに与えたとき、超過需要関数の誤差の絶対値の最大値は税収・貯蓄総額の項目で、0.000137 となる。すなわち、137 円である。すなわち、税収・貯蓄総額約 161 兆円に関する誤差がここまで抑えられるのである。十分小さな誤差であることは認めざるを得ないだろう。

また、超過需要関数が持っている大切な性質である、ゼロ次同次性は、炭素税、産業廃棄物税をゼロであるとしていうもとで、保持していることを確認している。

また、上記の均衡価格のもとで、すべてのデータセットの値も、十分小さな誤差で再現している。

ただし、不動点アルゴリズムで任意の初期価格から基準均衡を求める場合には、実用上は問題ないが、抑えられる誤差の最小値は若干増大する。不動点アルゴリズムは、均衡価格を与える単体上を刻んで、刻み方を小さくして均衡解を絞っていく。基準均衡解を不動点アルゴリズムで求めるときは、このモデルの場合、誤差の絶対値の最大値を 0.0452 以下に抑えることはできなかった。この場合も、単体の一辺を 1937102446 個に刻んでいる。約 20 億である。使用しているコンピュータの有効桁数は 13 桁で、計算上の丸め誤差も含めるとこれ以上の刻みが困難になってしまい、すべて 1 という完全な均衡に近づくことができないのである。しかし、すでに述べたようにすべてのデータセットの値を約 10 桁の近似している。EPAM の金額単位は 100 万円であり、この精度で実用上は全く問題がない。

3 産業廃棄物税シミュレーション

3.1 産業廃棄物税の効果

産業廃棄物税を賦課した場合の最終処分の削減効果およびリサイクル促進効果を分析しよう。

さしあたって、他の条件を変えずに、産業廃棄物税を 1 トンあたり 1000 円、5000 円、10000 円（実質税率：2000 年価格）にした場合の、効果の総量を確認しよう。結果は、表 11 および図 3 に示している。

産業廃棄物税率	最終処分量	削減量	減少率%	再生利用量	増加量	増加率%
0	44092383.1			185404531.7		
1000 円/トン	43391240.7	701142.4	1.590	186075901.2	671369.5	0.362
5000 円/トン	40894154.6	3198228.5	7.253	188459086.5	3054554.8	1.648
10000 円/トン	38316502.2	5775881.0	13.099	190904311.4	5499779.7	2.966

表 11: 産業廃棄物税の最終処分・リサイクルに与える効果（トン）

トンあたり 1000 円の課税が全国的に実施された場合、総量で約 70 万トンの最終処分量の削減効果をもたらす。これでは効果が大きいとは必ずしも言えない。年々の最終処分量の変動が数百万トンであり、最終処分場の残余年数を延ばす効果があるとも言えないだろう。しかし、同時に 67 万トンのリサイクルの促進効果を生み出すことも考慮しなければならない。処分量の減少にほど匹敵する量のリサイクル利用を生み出しているのである[9]。

[8]不動点アルゴリズムについては、ショウヴン [17]、市岡 [3]、Scarf [15, 16] などを参照。

[9]奥島 [11] との比較は、モデル構造の違いから簡単にはできない。一般財と再生財との代替の弾力性が、EPAM の場

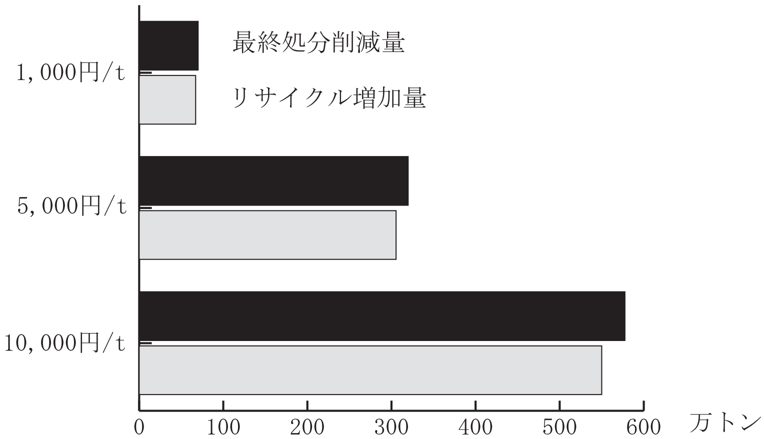

図 3: 最終処分削減量と再生利用増加量

このモデルにおいては、廃棄物は最終処分になってもリサイクルになっても、総物質量は保存されることを前提にしているので、最終処分量の原料は同じだけのリサイクル量の増加を生み出すと思われるかもしれないが、物量単位の総廃棄物量もまた変化するので、最終処分量の減少と再利用量の増加は必ずしも一致しないのである。

さらに、二酸化炭素排出削減効果も考慮しなければならない。表 12 に、二酸化炭素排出に関わる結果をまとめている。

産業廃棄物税率	二酸化炭素排出量	総削減量	リサイクルに起因する削減	削減増加量
0	1242287263		-8956800.87	
1000 円/t	1241869736	417526.97	-8980797.21	23996.34
5000 円/t	1240305313	1981949.86	-9065909.53	109108.66
10000 円/t	1238543571	3743691.88	-9153117.07	196316.2
二酸化炭素税 5000 円/Cton	1189200033	53087229.60		

表 12: 産業廃棄物税の二酸化炭素排出削減効果（CO2 トン）

最終行にあるような炭素税（2000 年の実質税率）に比べると、効果は小さいが、それでも産業廃棄物税 1000 円でも約 42 万トンの削減が実現できている。これは、産業廃棄物税の二重の配当といえるものだろう。また、リサイクル財それぞれに、二酸化炭素排出原単位をかけることによって、リサイクルに直接起因する二酸化炭素排出削減量もとらえることができる。最終列にその量を表示させている。

また、最終処分量や再生利用量が各産業で異なっている様子を見ておこう。付表にある表 15 は 1000 円/トンの課税による、各産業の最終処分量の変化を表している。産業の並びは、減少率の大きなもの順に変えられている。特徴としては、エネルギー産業とサービス産業が減少効果が大きくなっている。その一方で、相対的に産業廃棄物排出量の大きな産業においては減少率そのものは比較的小さい。また産業廃棄物の再生利用量については、付表にある表 16 に示している。リサイクル財に関わる産業の増加率が目立つが、銑鉄・粗鋼などが増加率が低くなっている。

合は完全代替で、奥島 [11] は可変的だからである。奥島 [11] の図 5.4（p.113）によれば、代替の弾力性が大きくなると最終処分量の削減効果が極めて大きくなることがうかがわれる。たとえば、代替の弾力性が 0.5 強の場合、1 トンあたり 1000 円の課税で 8%の削減効果を生み出す。

さらに、再生財が再利用可能量が、産業廃棄物税によってどのように変化するのかを表 13 および図 4 で示している。

	2000 年現況	1000 円課税	増加量	増加率 (%)
鉱業	8639.91	8722.54	82.63	0.956375703
食料品	2620525.81	2621106.89	581.08	0.022174176
繊維工業製品	1820.33	1841.7	21.37	1.173962963
パルプ・紙	5391.07	5448.94	57.87	1.073441821
化学製品	72376.69	73119.88	743.19	1.026836126
窯業・土石製品	103547.08	104077.1	530.02	0.511863782
銑鉄・粗鋼	26743.95	26912.07	168.12	0.628628157
非鉄金属	5661.25	5696.84	35.59	0.628659748
石油製品	27204.23	27431.1	226.87	0.833951191

表 13: 産業廃棄物税のリサイクル財の増加（百万円）

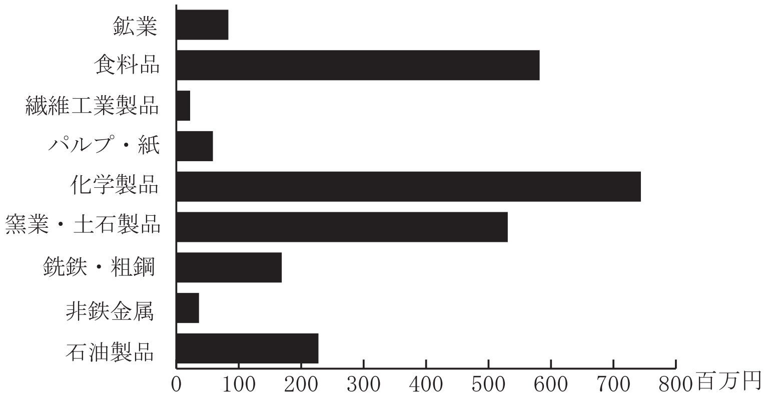

図 4: 課税によるリサイクル財の増加

化学製品のリサイクル財増加の大きさは、廃プラスチックの再利用の増加、窯業・土石の増加は建設廃材やガラスくずの再利用の増加、そして、食料品は有機性産業廃棄物の肥料などへの再利用が促進されることを意味している。

3.2 厚生評価と税収中立シミュレーション

1000 円/トンの課税をすることは、経済全体のパフォーマンスにも影響を与える。このモデルの場合、資本と労働は完全雇用されるので、名目的な国内純生産は賃金率 w と資本用役価格 r によって規定される。この名目国内純生産は 0.021%低下するが、ラスパイレス指数が 0.9999303 となるために実質国内純生産の低下は 0.014%にとどまる。この低下を金額で表すと 482.2 億円となる。この金額でも、ある程度、厚生水準の低下を予測することができるが、相対価格の変化も考慮した評価は、等価変分によってとらえることができる。

表 14 の各税率に対応した等価変分が与えられている。国内純生産額の低下よりも一定程度小さい、等価変分で測った厚生評価の低下が与えられている。ただし、この金額は炭素税の場合よりもかなりの程度小さいことがわかる。

さらにここでは、税収中立のシミュレーションも行った。すなわち、2000 年価格での税収・貯

産業廃棄物税率	厚生評価	ラスパイレス物価指数	名目税率	所得税率	資本税率
0	0	1	0	0.07886351	0.16749377
1000 円/t	-32704.5	0.9999303	999.93	0.07886351	0.16749377
5000 円/t	-158147.5	0.9996680	4998.34	0.07886351	0.16749377
10000 円/t	-304612.3	0.9993701	9993.70	0.07886351	0.16749377
所得税中立	-16846.5	1.0001211	1000.12	0.07880254	0.16749377
資本税中立	-16849.3	1.0002880	1000.29	0.07886351	0.16719545
二酸化炭素税 5000 円/Cton	-1089748.1	1.0040422	5020.26	0.07886351	0.16749377

表 14: 等価変分と税収中立税率

蓄総額 G を一定にして、産業廃棄物税の税収を所得税の減税あるいは資本税の減税を実施した場合の効果をとらえるのである。産業廃棄物税の税率が 1000 円の場合について行った。結果は表 14 に記載している。厚生損失が半減している一方で、税率の変化は極めて小さいことがわかる。

4 まとめ

環境負荷として二酸化炭素排出と産業廃棄物排出をはめこみ、リサイクル回路を持っている環境政策評価モデル EPAM を構成した。また、2000 年の産業連関表をベースにしたデータセットを組み上げ、それをもとにモデルのパラメータを設定した。

結果として、現在広がっている 1 トンあたり 1000 円の産業廃棄物税ではそれほど大きな最終処分抑制効果はなかったが、リサイクル促進効果、二酸化炭排出削減効果など総合的な環境負荷抑制効果のあらわれをとらえることができた。税制改革を伴う、税収中立のシミュレーションでは厚生損失のかなり大きな抑制をもたらすこともわかった。

モデルにはいくつか改良すべき点が残っている。それは総廃棄物（最終処分+再生処理）が生産量に固定係数で結びつけられていることである。これは、生産における物量的関係を、代替可能生産関数で曖昧化させることを回避するねらいがあり、意味あるものではある。しかし、今後は、総廃棄物が他の中間投入や生産要素、エネルギーなどに代替する構造を組み込む必要があるだろう。

付表

	現状	1000 円課税	減少量	減少率 (%)
石油製品	15321.46	15065.92	255.54	1.668
石炭製品	192499.02	189310.36	3188.66	1.656
ガス	8806.85	8661.46	145.39	1.651
不動産	506.89	498.56	8.33	1.643
食料品	1404115.48	1381087.74	23027.74	1.640
衣服	29206.06	28727.09	478.97	1.640
金融・保険	13348.83	13130.11	218.72	1.638
通信・放送	44594.51	43864.22	730.29	1.638
その他の公共サービス	25.04	24.63	0.41	1.637
対事業所サービス	4369.68	4298.17	71.51	1.637
農林水産業	1004038.23	987611.42	16426.81	1.636
対個人サービス	171968.58	169155.31	2813.27	1.636
商業	462895.91	455325.12	7570.79	1.636
その他の製造工業製品	346754.62	341088.8	5665.82	1.634
運輸	98532.73	96923.22	1609.51	1.633
金属製品	464246.57	456676	7570.57	1.631
木製品	258077.87	253870.72	4207.15	1.630
プラスチック製品	322210.87	316960.04	5250.83	1.630
一般機械	303933.93	298982.98	4950.95	1.629
電力	2295120.09	2257763.18	37356.91	1.628
精密機械	34887.65	34319.93	567.72	1.627
電気機械	563401.42	554235.69	9165.73	1.627
繊維工業製品	157810.76	155243.55	2567.21	1.627
教育・研究	31803.07	31285.71	517.36	1.627
輸送機械	616428.66	606403.56	10025.1	1.626
医療・保健・社会保障	87973.01	86544.4	1428.61	1.624
熱供給業	10574.77	10403.21	171.56	1.622
化学製品	1853263.12	1823220.4	30042.72	1.621
鉱業	1642018.57	1615407.04	26611.53	1.621
非鉄金属	502725.33	494582.7	8142.63	1.620
公務	3185.18	3133.62	51.56	1.619
建設	13111264.25	12899503.49	211760.76	1.615
窯業・土石製品	1693746.44	1666431.21	27315.23	1.613
その他鉄鋼	1289686.91	1268897.25	20789.66	1.612
ガラス製品	574518.31	565348.25	9170.06	1.596
パルプ・紙	2826524.05	2781502.85	45021.2	1.593
水道	7568286.54	7452898.72	115387.82	1.525
銑鉄・粗鋼	4083711.86	4022854.04	60857.82	1.490

表 15: 産業廃棄物最終処分量の変化（トン）

	現状	1000 円課税	増加量	増加率 (%)
衣服	19217.16	19692.05	474.89	2.471
プラスチック製品	239130.03	244361.51	5231.48	2.188
熱供給業	9040.11	9210.48	170.37	1.885
繊維工業製品	137504.95	140060.5	2555.55	1.859
医療・保健・社会保障	87606.22	89048.94	1442.72	1.647
ガラス製品	565398.63	574533.9	9135.27	1.616
窯業・土石製品	1666860.59	1693756.41	26895.82	1.614
水道	6739562.08	6845158.85	105596.77	1.567
パルプ・紙	3199766.65	3244302.52	44535.87	1.392
教育・研究	40668.21	41189.12	520.91	1.281
化学製品	2388852.97	2418686.77	29833.8	1.249
商業	667099.45	674633.2	7533.75	1.129
鉱業	2074100.47	2096338.08	22237.61	1.072
電力	3484806.51	3521335.09	36528.58	1.048
精密機械	55658.94	56230.15	571.21	1.026
電気機械	909161.8	918378.86	9217.06	1.014
非鉄金属	831616.79	839728.42	8111.63	0.975
通信・放送	74955.32	75679.57	724.25	0.966
運輸	165615.75	167205.89	1590.14	0.960
その他の公共サービス	43.22	43.63	0.41	0.949
対事業所サービス	7543.06	7614.13	71.07	0.942
対個人サービス	296857.16	299652.02	2794.86	0.941
金融・保険	23043.14	23260.01	216.87	0.941
不動産	875	883.21	8.21	0.938
食料品	2456500.47	2479071.18	22570.71	0.919
その他の製造工業製品	663045.87	668676.87	5631	0.849
石油製品	29494.41	29732.76	238.35	0.808
公務	6689.38	6742.25	52.87	0.790
石炭製品	370568.26	373418.48	2850.22	0.769
金属製品	1183909.98	1191437.08	7527.1	0.636
木製品	737859.52	742031.79	4172.27	0.565
その他鉄鋼	3712735.1	3733472.37	20737.27	0.559
輸送機械	1858454.77	1868528.05	10073.28	0.542
一般機械	958351.54	963327.42	4975.88	0.519
銑鉄・粗鋼	11756140.42	11814574.18	58433.76	0.497
ガス	32788.71	32924.84	136.13	0.415
建設	51813165.18	52023351.27	210186.09	0.406
農林水産業	86139843.87	86147629.38	7785.51	0.009

表 16: 産業廃棄物再生利用量の変化（トン）

参考文献

[1] Boadway, Robin and J.Treddenick, 1978, "A General Equilibrium Computation of the Effect of the Canadian Tariff Structure," *Canadian Journal of Economics*, Vol.21, No.3, pp.424-466.

[2] 橋本恭之、1998、『税制改革の応用一般均衡分析』、関西大学出版部.

[3] 市岡修, 1991, 『応用一般均衡分析』, 有斐閣.

[4] 石渡正佳, 2003, 『産廃コネクション』, WAVE 出版.

[5] Kainuma, K., Y Matsuoka and T Morita (1999) Analysis of Post Kyoto Scenarios: AIM model. The Energy Journal, Special Issue of the Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, pp.207-220.

[6] 川瀬晃弘、北浦義朗、橋本恭之、2003、「エネルギー税の CO2 排出抑制効果とグリーン税制改革」、日本経済学会、2003 年大会報告論文。

[7] 川瀬晃弘、北浦義朗、橋本恭之、2003、「環境税と二重の配当—-応用一般均衡モデルによるシミュレーション分析」、公共選択学会第 7 回全国大会報告論文。

[8] 近藤康之・高瀬浩二・中村慎一郎, 「廃棄物産業連関表（1995 年全国表）の推計」, 『廃棄物経済学をめざして』, 早稲田大学現代政治経済研究所研究叢書 16, 中村慎一郎編, 早稲田大学出版部, pp.97-150.

[9] 増井利彦・松岡譲・森田恒幸 ,2000, 「環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析」, 土木学会環境システム研究論文集, Vol.28, pp.467-475.

[10] 森正武、2002、『数値解析 第 2 版』、共立出版株式会社.

[11] 奥島真一郎, 2004, 「環境政策の一般均衡分析　—　地球温暖化政策、廃棄物・リサイクル政策が日本経済に与える影響」, 東京大学大学院総合文化研究科, 博士論文.

[12] 朴勝俊、2002、「環境税制改革の応用一般均衡分析」、『国民経済雑誌』、Vol.186、No,2、pp.1-16.

[13] Piggott,J.R., and J. Whalley, 1985, UK Tax Policy and Applied General Equilibrium Analysis. Cambridge: Cambridge University Press.

[14] 斎藤光雄、1991、『国民経済計算』、創文社。

[15] Scarf,H.E., 1982, "The computation of equilibrium prices: An exposition," *Handbook of Mathematical Economics: Vol.II*, edited by K.J.Arrow and M.D.Intriligator, *North-Holland Publishing Company*, Chapter 21.

[16] Scarf,H.E., 1973, *The Computation of Economic Equilibria*, Yale University Press.

[17] ショウヴン,J.B and J. ウォーリ, 1993, 『応用一般均衡分析』, 小平裕訳,　東洋経済新報社.

[18] 得津一郎、1992、「多部門生産関数の推計—日本経済のエネルギー投入構造」、『多部門経済モデルの実証分析』第 2 章、小川一夫、斎藤光雄、二宮正司編、創文社、pp.25-48.