

環境部門を含んだSNA型産業連関表 による環境保全政策の評価

Evaluation of Environment Preservation Policies Using
A Rectangular Input-Output Systems with Environment Sectors

稲村 肇*

石丸 久**

Hajime Inamura Hisashi Ishimaru

1. 本研究の背景と目的

世界的規模での環境への意識が高まる中で、全地球規模ないしは国家や地域単位における環境問題の解決に向けて多くの研究が進められている。これらの研究の中心の一つに産業連関表を利用したものがある。これは国民経済の相互依存関係を明らかにする産業連関分析の枠組みの中に、環境汚染という副産物の発生メカニズムを導入しようとするものである。こうしたものが環境対策産業連関表と呼ばれている。

環境対策産業連関表開発は、1970年にLeontief¹⁾によってはじめられた。レオンチェフモデルは構造的には金銭単位と物量単位を同時に扱える形式となっているが、汚染処理セクターを加えたケーススタディーにおいては金銭単位で処理されている。環境対策産業連関モデルはその後も数多く発表され、Adam Rose²⁾は米国内で1970年代に発表された産業連関環境対策モデルを、他の経済学的環境政策手法とともに様々な視点から評価した。Leontief³⁾は1972年、当時の米国経済における環境シミュレーションを行っている。

我が国では吉岡等⁴⁾が29部門の産業連関表とリンクした物量表、燃料表、排出係数表、排出表の4付帯表からなる環境対策産業連関表を開発した。ここで、物量表は一般の産業連関表を物量ベースで示している。燃料表は石炭や原油などのエネルギー資源を各産業と家計が消費する量を物量ベースで示すものである。排出係数表はエネルギー資源1単位当

りの大気汚染物質の排出原単位である。ここでは大気汚染物質はCO₂, SO_x, NO_xに限定されている。これら燃料表と排出係数表を掛け合わせたものが排出表となっている。なお、このモデルは昭和60年の総務庁の産業連関表⁵⁾をもとに作成されている。この環境対策産業連関表をもとにした研究(シミュレーション)としては「炭素税導入によるCO₂排出量削減効果分析」¹²⁾と「省エネ住宅の環境効果」¹³⁾がある。

従来の研究の問題点は以下のようにまとめられる。

- 1) 最大の問題は家計部門の扱いである。すなわち、家計部門(政府消費、民間消費を含む)は汚染物質を排出するのみならず、産業への中間投入としてのリサイクル物資を(副産物として)生産する。従って環境問題を考える場合、従来最終需要部門として扱われていた家計部門を内生部門化する必要がある。
- 2) 従来の産業連関表では"1産業1商品の(プロダクトミックス)仮定があるため汚染物質やリサイクル物資等副産物は内生的に扱えない。
- 3) 大きな問題ではないが、吉岡の環境対策産業連関表は(産業×産業)表となっているが、これを通常の(商品×商品)表と対応づけることも重要である。

以上の問題点を考慮に入れて、本研究では以下のことを目的とした。

- 1) 家計部門(政府・民間部門の消費を含む)を内生化したモデルを提案する。
- 2) プロダクトミックスの問題を解決するためSNA型産業連関モデルを適用する。
- 3) 上記により第3の問題点は自ずから解決する。
- 4) これらのモデルを使って、2、3の環境政策の評価を行い、モデルの実用性を検討する。

Key Words 環境対策、産業連関分析、SNA

* 正会員 工博 東北大学教授 情報科学研究科
(〒980 仙台市青葉区青葉)

** 学生員 東北大学大学院情報科学研究科

2 本研究の考え方

通常の産業連関表は産業間、最終需要部門間の商品の流れを示したものであり、図1のように示される。一方、汚染物資の流れはこれに並行し図2に示されるような流れとなっている。ここで自然浄化され消え去る汚染物資は環境への投入としてモデル化できる。

さらにリサイクル汚染物資と同様に産業部門と家計部門の両者から発生するが産業部門への再投入として図3に示すような流れとして理解される。この図における最終需要部門は通常の最終消費からリサイクルに関係する最終需要部門を控除した部門である。

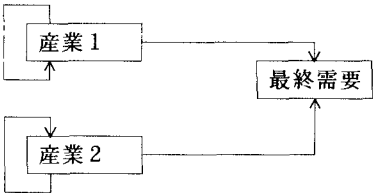


図1 商品の流れ（通常産業連関表）

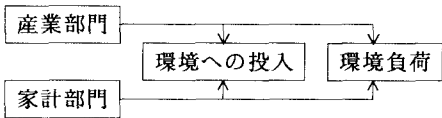


図2 汚染物資の流れ

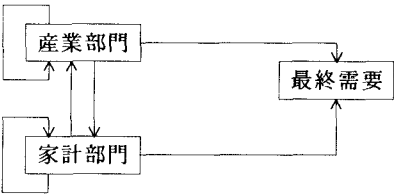


図3 リサイクル物資の流れ

レオンチェフや吉岡の環境対策産業連関表ではこうした物資の流れを一体化したマトリックスで表示できないがSNAのシステムを導入することによりこれらの商品、汚染物資、リサイクル物資の流れを一体的表示することができる。これが表1に示す、本研究で提案する環境対策SNA型産業連関モデルである。

ここでV1,U1,f1,q1,g1,y1は通常のSNA産業連関表のV, U, f, q, g, yに対応している。すな

わち図1の流れをSNAで表したものである。

表1 環境対策SNA型産業連関モデル

	商 品	汚 染 物	リ サ イ ク ル	産 業	家 計	環 境	F ・ D	T ・ D
商品				U1	U2		f1	q1
汚染物						U3	f2	q2
リサイクル				U4				q3
産業	V1	V2	V3					g1
家計		V4	V5					g2
環境								g3
V.A.				y1	y2	y3		
T.S.	q1	q2	q3	g1	g2	g3		

図2の汚染物資の流れは産業からの汚染がV2、家計からの汚染がV4で示され、U3が自然浄化分、f2が環境負荷を示している。すなわち、q2が全排出量でf2が環境での残存量となる。g3は当然ゼロであり、物量ベースでは $(U3)^T i = -y3$ となっている。ここで、汚染物資は貨幣価値を持たないため金銭ベースではq2はゼロである。

図3に示したリサイクル物資の流れは以下の通り。産業と家計からのリサイクル物資の発生はそれぞれV3,V5で示されている。その総価値額はq3である。リサイクル物資は通常全て産業の中間投入となるためそれがU4で示されている。ここでリサイクル物資の価値は販売ベースの価格ではなく投入ベースの価格で表示されているため産業及び家計の生産額g1,g2は回収業者のマージンの分だけ過大に評価されている。すなわちy2はリサイクル物資の投入企業での価額となっておりそれを家計の付加的収入としている。y1も同様に増加している。

3. 環境対策SNA型産業連関表の作成

環境対策SNA型産業連関表の作成に使用した基本データは以下の3点である。

- 1) 環境対策産業連関表（29産業部門、慶應義塾大学・計量計画研究所編）
- 2) 昭和60年産業連関表V表（104部門）⁶⁾
- 3) 昭和60年産業連関表、屑・副産物発生表⁷⁾

3. 1 基本産出表（V1）、投入表（U1）の作成
昭和60年の産業連関表のX表とV表からSNA型産業連関表は以下のようにして求められる。

まず、X表から技術係数行列Aを求める。

$$a_{ij} = x_{ij} / q_j \quad (1)$$

q_j : 商品別生産額ベクトル

次にV表から産出係数行列Cを求める。

$$c_{ij} = v_{ij} / g_i \quad (2)$$

g_i : 産業別生産額ベクトル

式(1)と(2)から投入係数行列Bは計算される。

$$B = AC \quad (3)$$

投入係数行列Bから投入行列Uが求められる。

$$U = Bg \quad (4)$$

こうして求められたU表およびV表（もとのま）が表1のV1、U1になっている。もちろんV表より、 q_1 、 g_1 は所与となっている。また y_1 に関しても産業連関表の商品別付加価値ベクトルから容易に産出することができる。U2と f_1 は産業連関表の最終需要部門を家計部門とその他部門に分割したものである。

3. 2 リサイクルと汚染物資による拡張

産業連関表V表においては104部門の商品別総産出量を国内生産額と屑・副産物産出額に分割して表示している。この屑・副産物は金額で示されていることから産業からの生産者価格ベースのリサイクル物資を表示していることとなる。すなわち表1のV3そのものといえる。これに商業マージンと輸送費を加えたものがU4（家計からの投入分を除く）となるがここではをマージン等を見捨ててU4としておく。（図4参照）

図5に示すように吉岡の環境対策産業連関表は通常の産業連関表に産業別の汚染の排出量を付属させたものになっている。したがって、ここに示されている行列はV2表そのものと言うことができる。

3. 3 自然浄化の考慮

大気汚染の自然浄化に関しては多くの先行研究がなされている。しかし、上記の3物質のうちCO₂を除いては浄化のメカニズムや吸収、吸着に関して定説がないのが現状である。そこで、ここではCO₂に関してのみ考察する。炭素の循環に関しては北野、

田中⁸⁾に詳しい。北野等によれば人間の活動によるCO₂の42%が海洋に吸収され、植物や土壌による吸収はその後の分解・溶出によるものと考えれば十分に小さいとされている。したがってここでは残りの58%を環境への負荷として考える。こうしてU3および f_2 が計算される。

V表 (104部門)	産業総 別生 産額
国内生産額	
屑・副産物生産額	
商品別総生産額	

図4 産業連関表V表のデータ様式

通常産業連関表				CO ₂	NO _x	SO _x
産業部門	内生部門 29部門	最終需要	総産出			
	付加価値					
	総投入			総排出量		

図5 吉岡の環境対策産業連関表

3. 4 家計からの産出と排出

こうしたときにマトリックスの要素としてデータが欠落しているのが家計からの汚染物資の排出、リサイクル物資の生産にかかるV4、V5および y_2 のみとなる。本研究においては環境政策による汚染物資の増減を対象としているため家計からのバックグラウンドとしての汚染物資は考慮していない。また家計からの汚染物資としては乗用車による汚染物資のみを対象とする。リサイクル物資に関しては物資の性格により家計分と産業分の振り分けを行う。

3. 5 拡張SNAのモデル化

初期値としてのU1表の作成においては一般に使用されている“商品技術仮定”に基づきCマトリックスを使っているが、拡大されたSNA体系は家計と環境を含む産業部門の数と汚染物、リサイクル物

資を含む商品部門の数が一致しないため、”産業技術仮定”に基づきDマトリックスを使用して計算している。これにより計測単位の異なる汚染物資を扱うことができる。

$$B=Ug^{-1} \tag{5}$$

$$D=Vq^{-1} \tag{6}$$

ここにおいてUはU1からU4まで全てを含む大きなマトリックスであり、VもV1からV5および環境の空欄のまでを含むマトリックスである。またV2、V3、q2、U3、f2は全て汚染物資であり、単位系は金額表示ではない。

こうした産業技術仮定に基づく定式化により、最終需要の変化と波及による産業部門別生産額がよく知られた(7)、(8)式の関係性を導出することができる。

$$f=(I-BD)q \tag{7}$$

$$g=(I-DB)^{-1}Df \tag{8}$$

4. 環境対策の環境効果シミュレーション

4.1 リサイクルの構造

リサイクルによって自然資源の大量使用による環境への負担を低下させることが期待されている。⁹⁾ 環境庁においては再生利用率の目標を2000年までに、古紙60%（1985年は48.7%）、スチール缶70%（同43.5%）、アルミ缶70%（同42.5%）としている。本研究においては、この目標が達成された場合における汚染物資削減効果を評価する。

a) 家計から産出されるリサイクル物資sがp円増加するとしたとき、表1のV5表のv_{sh}の要素がp円増加する。ただしhは家計消費支出項を示す。このリサイクル物資の投入はリサイクル物資投入構造表を使用して産業別に分割されU4の行列要素となる。

b) リサイクル物資sに対応する商品i（sを含む集計された商品番号）の最終需要を固定と仮定すれば、商品iを投入する産業jの投入額はそれだけ減少することになる。これはU1の変化となって現れる。したがって、リサイクルを考慮しない場合のq1は考慮した場合のq1+q3と等しい。

c) これに伴いV1も減少し、V1+V3+V5が従来のV1と一致する。V2、V4は貨幣価値を持たないことからg1+g2もリサイクルを考慮しない場合のg1と一致する。この場合リサイクル物資の価額

が全て生産者価格ベースであり、通常の商品と変わらないという大きな仮定があることに注意が必要である。

表2はこれらの関係性を示している。

表2 リサイクルの波及構造

	商 品	汚 染 物 質	リ サ イ ク ル	産 業	家 計	環 境	F ・ D	T ・ D
商品				2	C		C	2
汚染物						3	3	3
リサイクル				1				1
産業	2	3	1					2
家計		C	1					1
環境								0
V.A.				2	1	3		
T.S.	2	3	1	2	2	0		

- ここで 1：初期値として与える
2：初期値による調整によって決定
3：波及計算により推定
C：一定とする
0：構造上ゼロとなる

式(5)、(6)、(7)、(8)に初期値と調整計算による数値を与え、行列B、Dを一定とすることで、収束計算により環境効果は計測される。

4.2 リサイクルによる環境効果

環境庁の再生利用率の目標値が達成された場合の計算を行う。表3は古紙、スチール缶、アルミ缶のリサイクルによる大気汚染物資の削減量と削減率を示している。この表から明らかなように家庭からのリサイクルはゴミ処理の負担軽減、資源の節約等には効果があるとされているが、大気汚染に関して言えばわずか0.01%から0.02%程度の削減にしか寄与しないことが分かる。「産業と公害」¹⁰⁾によれば産業分野からの廃棄物において、鉄鋼部門が8317万トンと全体の37.7%を占めている。もちろん鉄鋼部門の再資源化率は76%と比較的良いが全体量が多いため、更なる努力により80%と4%向上させた場合について同様の算定を行ってみた。結果が表4に示されている。

表3 大気汚染物質の削減量と削減率

(単位: トン/年)

	CO ₂	NO _x	SO _x
古紙	38677	69	189
(%)	0.0042	0.0024	0.0123
スチール缶	62355	103	105
(%)	0.0068	0.0036	0.0069
アルミ缶	1064	5	5
(%)	0.0001	0.0002	0.0003

表4 鉄鋼廃棄物の再資源の影響

	CO ₂	NO _x	SO _x
削減量(t)	151404	240	273
削減率(%)	0.0165	0.0091	0.0170

汚染物質によって若干の上下はあるが、この結果は3種の家庭廃棄物の削減総和と等しいかやや大きい結果が得られた。このことから、大気汚染の緩和のためには家庭におけるリサイクルの50%の増加は、鉄鋼廃棄物の5%の再資源化に及ばないことが分かる。

4. 3 自動車利用自粛の環境効果

「家庭生活におけるエネルギーの有効利用」(科学技術庁資源調査会編¹¹⁾)によれば通勤に関して全国平均においては世帯主が1800ccの乗用車を1台保有し、1日16km離れたところに年間250日通勤しているとしている。このことから本研究もその想定条件を踏襲して乗用車利用自粛の効果を算定する。同報告によれば上記の通勤は、全自動車が消費するエネルギー 7.268×10^6 kcalのうち16.7%を占めている。本研究では自粛の形態を次の2ケースに分けて分析を行った。

a) 自家用車は保有するが、通勤にはバスを利用する。b) 自家用車を保有しない。通勤にはバスを利用する。シミュレーションにあたっての前提条件、仮定条件は以下のように整理される。

- ・乗用車の平均燃費 12km/l
- ・燃料単価 125円/ l
- ・年間通勤距離 8,000km
- ・自粛世帯割合 5%

この結果自家用車による節約は

- ・一人当たり年間燃料費 83,300円
- ・総節約燃料費 47,325百万円

バスに対する消費

- ・年間バス運賃(運輸部門) 56,400百万円
- ・バスの単価 650万円
- ・バス耐用年数 10年
- ・乗車密度(通勤時) 50人/台

その結果バスの増加による民間固定資本形成は
7,332百万円

こうした、総節約燃料費、年間バス運賃、民間固定資本形成が産業連関分析における最終需要部門の投入量変化としてモデルにインプットされる。この結果求められた大気汚染物質の変化が表5に示されている。

表5 通勤のバス代替による環境影響 a

	CO ₂	NO _x	SO _x
増加量(t)	108508	3228	273

これによれば自家用車を持ったまま通勤手段を変化させてもバスの排出ガスに加えて、追加車両の製造により全ての汚染項目が増加しており、環境改善には役立たないことが分かる。ただし、バス運賃による波及効果と民間固定資本形成増による効果は2重計算になっているため、それに注意する必要がある。

b) では更に自家用車の保有をあきらめた場合の効果を計測する。この場合の前提条件は以下の通り。

- ・乗用車の価格 180万円
- ・耐用年数 10年
- ・家計部門の消費額の減少 101,520百万円

これらの前提のもとの算定結果が表6に示されている。

表6 通勤のバス代替による環境影響 b

	CO ₂	NO _x	SO _x
削減量(t)	-69450	+2489	+497

この表から分かることはCO₂に関しては一定の効果はあるもののNO_x、SO_xに関してはほとんど環境改善の効果は見られないことである。しかし、この影響に関しては2重計算の問題、前提・仮定の妥当性の問題、計算精度の問題など多くの問題が残されていることを指摘しなければならない。

5. 結論

本研究で得られた結論は以下のようにまとめられる。

1) 本研で家計部門、環境部門、リサイクル部門を内生化したモデルが提案された。本モデルは同時に副産物といったプロダクトミックスの問題を顕在的に解決できるものである。

2) 上記モデルを廃棄物のリサイクルの推進、乗用車の利用自粛といった環境政策に応用した結果、モデルの適用性が確認された。

3) 問題の性質上、結果の妥当性を客観的に検証することはできなかったが、今後何らかの形の検証が必要である。

4) 推計結果からは家庭廃棄物のリサイクルによる大気汚染の改善効果は僅かなものであり、むしろ産業における廃棄物、副産物の再生利用の方が有効であることが分かった。さらに、乗用車の利用自粛は保有をあきらめない限り効果はないことが明らかとなった。

本研究は一部収束計算に頼っており、まだ定式化に問題点を有している。また、使用したデータの信頼性、取り上げた環境要素の少なさ等、数々の問題点を有している。それにも拘わらずこうした拡張した産業連関分析の枠組みによる環境評価は今後の環境政策の評価に有用と考える。読者各位のご批判を受けて更に研究を発展させて行きたいと考えている。

-
- 1) W.Leontief (1970) : Environmental repercussion and the economic structure, No.11, Input- Output Economics, pp.241-260
 - 2) Adams Rose (1983) : Modeling The Microeconomic Impact of Air Pollution Abatement, Vol.23, No.4, Journal of Regional Science, pp45-65
 - 3) 吉岡完治、外岡豊、早見均、池田明由、管幹雄 (1992) : 環境分析のための産業連関表の作成, KEO Occasional Paper, J, No. 26
 - 4) W.Leontief (1972) : Air pollution and the economic structure: Empirical results of input-output computations: No.13, Input-Output Economics, pp273-293
 - 5) 総務庁 (1989) : 取引基本表 (基本分類529×408部門) : 昭和60年産業連関表、全国統計協会連合会
 - 6) 北野康、田中正之(1990):『地球温暖化がわかる本』
 - 7) 総務庁 (1989) : 産業別商品産出構成表 (V表)、昭和60年産業連関表、全国統計協会連合会
 - 8) 総務庁 (1989) : 屑、副産物発生表・昭和60年産業連関表、全国統計協会連合会
 - 9) (株) 富士総合研究所、(財) 地球・人間環境フォーラム(1994) :『環境要覧' 93/' 94』、(株) 古今書院
 - 10) 通商産業省立地公害局 (1989) :『産業と公害』、通算資料調査会
 - 11) 科学技術庁資源調査委員会 (1994) : 家庭生活におけるエネルギー有効利用、大蔵省印刷局
 - 12) 新保一成(1993) : 炭素税による二酸化炭素排出量削減の経済効果、イノベーション& I-Oテクニク、第4巻2号、pp40-58
 - 13) 吉岡完治、早見均、池田明由、管幹雄(1993) : 環境分析用産業連関表の応用(3)一省エネ住宅のすすめ、イノベーション& I-Oテクニク、第4巻2号、pp26-39

稲村 肇、石丸 久

従来の産業連関分析を用いた環境政策評価モデルでは、家計部門が外生部門として扱われているため家計が放出する大気汚染物質やをリサイクル物資の波及影響を分析することができない。本稿ではSNA型産業連関モデルを用い、プロダクトミックスの問題を解決するとともに、リサイクル物資を内生部門として産出表、投入表の産業部門と商品部門にそれぞれ導入した。本モデルにより、空き缶や古紙のリサイクルおよび、乗用車利用の自粛による、CO₂、NO_x、SO_x の3種の大気汚染物質削減効果を推定した。

Evaluation of Environment Preservation Policies Using A Rectangular Input-Output Systems with Environment Sectors

Hajime Inamura, Hisashi Ishimaru

Previous environmental assessment models based on the Input-Output System cannot deal the indirect effects of pollution emission from household explicitly, since the household sector is dealt in the final demand sector. This paper proposes a rectangular Input-Output System and introduces the recycle goods and pollutants into the endogenous sector. This system can deal the air pollution explicitly and solve the product mix problem of conventional I-O system as well. The effects on environment of the recycle of steel/aluminium cans and used paper from household have estimated in terms of air pollution.(CO₂、NO_x、SO_x) The effects of less utilization of private car for commuting have also examined.