

環境対策 SNA 型産業連関表による 環境保全政策の評価

Evaluation of Environmental Policy by Using SNA I-O Table
Including Environmental Sectors

加河 茂美* 稲村 肇**
Shigemi Kagawa Hajime Inamura

1. 序論

(1) 本研究の背景

1995 年 12 月に出された IPCC 第二次報告書によれば、大気中の CO_2 の濃度は産業革命以前の 280ppm から 360ppm に、メタンは 700ppb から 1720ppb に増加している。また、この百年間に地球の平均気温は 0.3~0.6 度、海面は 10~25 センチ上昇し、過去 140 年間では最近数年間が最も暖かい。多くの生態系が適応できる温度上昇率の上限は 10 年に 0.1 度 (2010 年までに 1 度) であり、この基準をクリアするためには 2010 年までに 1990 年 CO_2 排出量の 36% の削減が必要であると報告されている。特段の措置がとられずにこのままの状態が続けば、21 世紀末までに海面が約 65 cm も上昇すると予測されている。実際、呼吸などによって容易に排出される CO_2 を規制することは非常に難しいことであり、このような技術的にも削減の難しい汚染物に関して強引に政府が規制を行うならば、産業全体にマイナスの影響を与えることはまちがいない。汚染防止活動により直接的に削減することが技術的にも経済的にも困難であるならば、産業全体の排出構造そのものを見直す必要がある。そのためには、再生資源の利用促進が必要不可欠である。我が国では包装材、古雑誌等の再利用で一定の成果を上げているが再処理施設の少なさ、不安定な需給バランス、リサイクルコストが経済的に見合わないなど等の数多くの問題も残している。そこで、これら産業構造、汚染物排出構造、リサイクル構造と

いう 3 つの構造問題を従属的に評価する方法の 1 つとして環境対策用 SNA 型産業連関表による分析が期待されている。

(2) 本研究の目的

従来から産業連関分析によって動態的な商品、サービスの生産と消費そして産業の成長と衰退といったものが数量的に評価されてきた。本研究では、商品の一部である汚染物、リサイクル物資を SNA 型産業連関表に取り入れ、実際に 1985 年、1990 年の産業連関表 X 表、Y 表等の基本データを適用することによって実証的に本モデルの有用性を評価する。以下に従来研究の問題点と本研究の具体的な目的を示す。

以下に従来研究の問題点を述べる。

- ①最大の問題は家計部門の扱いである。従来研究では家計部門が外生化されているため、家計部門からの汚染物産出や産業への中間投入物 (リサイクル物資) に関して考慮されていなかった。したがって、家計部門を内生化する必要がある。
- ②従来の産業連関表では 1 産業 1 商品産出というプロダクトミックスの仮定があるため、汚染物やリサイクル物資が内生的に扱えない。
- ③また、環境からの汚染物排出や環境による汚染物浄化作用といったものは全く無視されてきたがこうした影響も考慮する必要がある。

Key Words: SNA 型産業連関表、環境影響分析

*正会員 (株) オリエンタルコンサルタンツ
(〒984 仙台市若林区土樋 104-0C 仙台ビル)

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

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する。

- ①家計部門、環境部門を内生化したモデルを提案し、

産業技術構造の変化が環境に及ぼす影響を検証する。

②従来型の産業連関表では1産業1商品という大きな仮定があるため、汚染物やリサイクル物資の取り扱いが難しかったが、本研究ではSNA型産業連関表の商品部門に汚染物とリサイクル物資を取り入れることによってこれらの動向を検証する。

③また、汚染防止活動、リサイクルといった排出削減政策が環境にどのような影響を与えるのかを実証的に検証する。そして、1985年の排出レベルを維持するためには日本全体として具体的にどのような排出削減努力をすれば良いのかを検証する。

2. 従来研究

この影響分析手法の一つとして、国民経済の相互依存関係を明らかにする産業連関表の利用がある。これに関する研究は、既往に数多くされておりその中でも有名なものにLeontief(1972)¹⁾の米国経済における環境シミュレーションとAdam Rose²⁾の経済学的環境評価がある。両者とも汚染防止活動が経済にどのような影響を及ぼすのかということを研究している。Leontiefは産業連関表の中の技術係数、産出係数、労働投入係数(付加価値係数)等の相互依存に関しては全く考慮せず、簡単な仮定の下で数量数学的に汚染物質量を将来予測している。それに対し、Adam Roseはそれら係数等の相互依存を考慮して、経済学的に環境汚染防止活動によるマクロ経済効果を研究している。我が国では吉岡等³⁾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表わしたものである。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表わしたものである。排出係数表はエネルギー資源1単位あたりの大気汚染物質の排出原単位を表わしたものである。ここでは、CO₂、NO_x、SO_xに限定されている。また、石丸⁴⁾は環境対策SNA型産業連関表を用いて環境庁が目標設定している古紙、スチール缶、アルミ缶の再生利用率が達成された場合、自動車利用自粛がなされた場合この2つのケースについて大気汚染物の動向を定量的に分析している。この解析結果によると、古紙、スチール缶、アルミ缶の家計リサイクルによるCO₂削減率はそれぞれ

0.0042%、0.0068%、0.0001%ときわめて小さな値になっている。家計リサイクルはゴミ処理の負担軽減、資源の節約等の役には立つが大気汚染物、特にCO₂に関してはあまり寄与しない結果となっている。また、自動車利用自粛に関しては通勤のバス代替による環境影響について定量的に分析している。これによるとバス代替により逆にCO₂が約10万トンも増加する結果となっている。これは、バスの排ガス増加に加えて追加車両の生産増加により環境改善には役に立たないことを示している。

3. 環境対策SNA型産業連関表の作成

(1) 本モデルの基本概念

産業間、最終需要部門間の商品の流れは、以下の図3.1のように通常産業連関表に沿った流れとして示される。また、汚染物質の流れは、以下の図3.2に示されるような流れになっている。ここで、環境への投入とは環境による汚染物質の自然浄化分を表わしており、環境負荷とは汚染物残存量を表わしている。さらに、リサイクル物資の流れは図3.1と同じものとした。

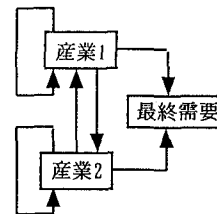


図 3.1 商品、リサイクル物資の流れ

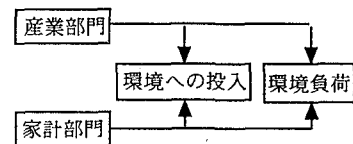


図 3.2 汚染物の流れ

レオンチェフや吉岡等の環境対策産業連関表では、プロダクトミックスの問題のため、これらの商品の流れを同時に把握することはできなかったがSNA型産業連関表を導入することによって、これら3つの流れを一体化することができた。表3.1に環境対策SNA型産業連関表を示す。

表 3.1 環境対策 SNA 型産業連関表

	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	U5		f3	q3
産業	V1	V2	V3					g1
家計		V4	V5					g2
環境		V6						g3
V・A				y1	y2	y3		
T・S	q1	q2	q3	g1	g2	g3		

ここで、V1、U1、q1、f1、g1、y1 は通常産業連関表の V、U、f、q、g、y に対応している。また、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、q2 が総排出量を表わしている。V6 に関しては従来取り扱っていなかったが、本研究ではこれに関しても考慮する。リサイクル物資の流れは V3、V5、U4 で示される。V3、V5 は発生額、U4、U5 は産業への中間投入を表わしている。また、商品別総生産額ベクトル (q1、q2、q3)、産業別総生産額ベクトル (g1、g2、g3) をそれぞれ T・S (総供給量)、T・D (総需要量) としてまとめる。最終需要については、通常商品の最終需要 f1、汚染物残存量 f2 を含めて F・D とする。付加価値 V・A については、通常産業連関表から得られる産業別付加価値 y1 に加えて新たに内生化された家計部門の付加価値 y2、環境部門の付加価値 y3 を含んだものとする。なお、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。

(2) 基本データの適用

環境対策 SNA 型産業連関表に用いた基本データは以下の 7 つである。

- (1) 環境対策産業連関表 (28 部門、慶応義塾大学・計量計画研究所編)
- (2) 昭和 60 年産業連関表 V 表 (104 部門)⁵⁾
- (3) 昭和 60 年産業連関表 X 表 (32 部門)⁶⁾
- (4) 昭和 60 年産業連関表、屑・副産物発生表⁷⁾
- (5) 平成 2 年産業連関表 V 表 (104 部門)⁸⁾
- (6) 平成 2 年産業連関表 X 表 (32 部門)⁹⁾
- (7) 平成 2 年産業連関表、屑・副産物発生表¹⁰⁾

これら 7 つの基本データを適用することにより環境対策 SNA 型産業連関表を作成する。

(a) 産業連関表 U 表の作成

産業連関表 V 表については、総務庁が 5 年に一度作成している産業連関表の中から手に入れることができるが、産業連関表 U 表については手に入れることができない。そこで、我々は V 表とは別に産業連関分析によって、U 表を作成しなければいけない。まず、この作成方法について説明する。

まず、産業連関表 X 表から技術係数行列 A を求める。

$$a_{ij} = x_{ij} / q_j \quad \cdots \text{式 (3.1)}$$

ここで、q は商品別総生産額ベクトルを表わしている。次に V 表から産出係数行列 C を求める。

$$c_{ij} = v_{ij} / g_i \quad \cdots \text{式 (3.2)}$$

ここで、g は産業別総生産額ベクトルを表わしている。上式の (3.1)、(3.2) より、

$$B = AC \quad \cdots \text{式 (3.3)}$$

と投入係数行列 B は計算される。また、この求められた B より、

$$U = B\hat{g} \quad \cdots \text{式 (3.4)}$$

として投入行列 U が求められる。ここで、 $\hat{g}$ とは産業別総生産額を対角成分に持つ対角行列を表わしている。こうして求められた U と所与の V は表 3.1 の U1、V1 に対応している。また、q1 と g1 に関してはもちろん V 表から所与となっている。

(b) 屑・副産物産出表、投入表の作成

「屑」、「副産物」の取引基本表を作成する場合、これらに関してはいくつかの方式がある。我が国では、原則として「マイナス投入方式」(ストーン方式)で作成している。屑・副産物発生表は「屑」、「副産物」の発生及び投入状況を明らかにしたものである。表 3.2 が「マイナス投入方式」で作成した取引基本表である。

表 3.2 屑・副産物発生及び投入表 (ひな型)

競争部門	発生部門	発生額	投入部門	投入額
A	⋮	⋮	B ⋮	5 ⋮
B	C 最終需要計	△30 △15 △35	A D 計	15 20 35
C	—	—	—	—
D	⋮	⋮	B ⋮	5 ⋮

マイナス投入方式では、屑及び副産物の発生額が発生部門（列）と競合品部門との交点にマイナスで、投入額が競合品部門（行）と需要部門（列）との交点にプラスで計上され生産額は相殺されてゼロになる。このように、「屑」、「副産物」の取引基本表は屑・副産物の発生状況及び投入状況を明らかにしたものである。本研究では、このマイナス投入方式で表わされた発生、投入表を産業連関V表、U表に対応させそれをリサイクルV表、リサイクルU表と呼ぶこととする。

リサイクルV表は、表3.2の発生部門を行に競合品部門を列に示しその交点に発生額を示したものである。リサイクルU表は、競合品部門を行に投入部門を列に示し、その交点に投入額を示したものである。なお、V表、U表を作成するにあたり産業部門、商品部門とも28部門に統合した。これら作成されたリサイクルV表、リサイクルU表は、表3.1のV3、V5、U4、U5に対応している。

(3) 環境部門の内生化

吉岡等は、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ているが、本研究ではこの環境対策産業連関表を適用し、表3.1のV2、V4と対応させる。

また、従来の環境対策産業連関表では、環境からの生物化学的分解、呼吸などによる汚染物排出に関しては全く考慮されていなかったが、本研究ではこれらの環境からの汚染物排出、環境による自然浄化作用をV6、U3として本モデルに適用することにより、環境からの排出についても考慮する。適用の際、V6とU3に以下の関係があるとした。

$$V6 = \beta U3 \quad \cdots \text{式 (3.5)}$$

ここで、 β とは排出比率を表わしている。また、環境による自然浄化分に関しては自然浄化率 λ を $q2$ に乗じることにより求めた。

$$U3 = \lambda q2 \quad \cdots \text{式 (3.6)}$$

さらに、表3.1の等価関係より以下の式(3.7)、式(3.8)が得られる。

$$V2 + V4 + V6 = q2 \quad \cdots \text{式 (3.7)}$$

$$U3 + f2 = q2 \quad \cdots \text{式 (3.8)}$$

式(3.5)～式(3.8)の連立方程式を $U3$ 、 $V6$ 、 $f2$ 、 $q2$

について解くと

$$U3 = \frac{\lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \cdots \text{式 (3.9)}$$

$$V6 = \frac{\beta\lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \cdots \text{式 (3.10)}$$

$$f2 = \frac{1 - \lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \cdots \text{式 (3.11)}$$

$$q2 = \frac{1}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \cdots \text{式 (3.12)}$$

が得られる。

自然浄化率 λ と排出比率 β の決定に関しては多くの先行研究がなされており、特に CO_2 に関しては北野、田中¹¹⁾に詳しい。現段階でこの排出比率と自然浄化率を推定することは非常に困難であり、本研究では仮想的な値を設定して用いた。

4. 解析手法

(1) 通常産業連関分析

我々は、基本データとして産業連関表V表、産業連関表X表、リサイクル投入表、リサイクル産出表を手に入れることができる。また、産業連関表U表についても産業連関分析手法により簡単に手に入れることができる。これら各マトリックスを含む拡張されたマトリックスに産業技術仮定を適用し、それに基づく定式化を行う。産業技術仮定式を含めてその定式化について以下に示す。以下の表4.1はSNA型産業連関モデルを示したものである。

表4.1 SNA型産業連関モデル

	U	f	q
V			g
	y		η
q	g	η	

表4.1の中のV、Uはマトリックス成分であり、f、y、q、gはそれぞれ列ベクトル、行ベクトルを表わしている。また、第1列、第1行は商品を表わし、第2列、第2行は産業を表わしている。つまり、U表の各成分は各産業からの中間投入としての商品の流れを表わしており、V表の各成分は各産業からの産出としての商品の

流れを表わしたものである。V 表の列和 q は各商品別総生産額を表わしており、V 表の行和 g は各産業別総生産額を表わしている。f、y は、それぞれ一般的に最終需要、付加価値と呼ばれている。η は商品別総生産ベクトル (q1、q2、q3) と産業別生産ベクトル (g1、g2、g3) の合計を表している。この SNA 型産業連関モデルを用いて定式化を行う。

表 4.1 の需給バランス式が以下の (4.1) である。

$$q = U_i + f \quad \cdots \text{式 (4.1)}$$

また、産出の二面性から以下の (4.2)、(4.3) が得られる。

$$q = V^t_i \quad \cdots \text{式 (4.2)}$$

$$g = V_i \quad \cdots \text{式 (4.3)}$$

また、表 4.1 に産業技術仮定を適用すると以下のように U 表、V 表に関する 2 つの関係式 (4.4)、(4.5) が得られる。

$$U = B\hat{g} \quad \cdots \text{式 (4.4)}$$

$$V = D\hat{q} \quad \cdots \text{式 (4.5)}$$

ここで、 $\hat{g}$ 、 $\hat{q}$ はそれぞれ産業別総生産額ベクトル、商品別総生産額ベクトルを対角成分に持つ対角行列を表わしている。これら各式から以下のように最終需要 f と産業別、商品別総生産額ベクトル g、q についての関係式 (4.6)、(4.7) を導出することができる。

$$q = (I - BD)^{-1} f \quad \cdots \text{式 (4.6)}$$

$$g = (I - DB)^{-1} Df \quad \cdots \text{式 (4.7)}$$

(2) 最終需要変動に伴う CO₂ 排出量の推定

この関係式を用いることによって、最終需要 f の変動に伴う経済、環境への波及効果を定量的に検証することができる。まず、産業連関表 V 表、産業連関表 X 表等の基本データから得られる拡張された V 表 (V1 ~ V6) に以下の式を適用することによって拡張された産出係数行列 D を求める。

$$D = V\hat{q}^{-1} \quad \cdots \text{式 (4.8)}$$

同様に、本モデルの U1 から U5 までを含む拡張された U 表に以下の式を適用することによって拡張された投入係数行列 B を求める。

$$B = U\hat{g}^{-1} \quad \cdots \text{式 (4.9)}$$

また、U3 と V6 の値は自然浄化率 λ、排出比率 β の変動に伴って変化することから上式 (4.8)、(4.9) の係数行列 B、D は $B|_{\beta, \lambda}$ 、 $D|_{\beta, \lambda}$ と書くことができる。北野

等¹⁾が推計している炭素循環全地球モデルによると土壌、泥炭からの排出は呼吸、分解によるものであり、そのほぼ 100% が光合成によって自然浄化されキャンセルされている。また、海洋からの排出は生物化学作用によるものでありその 96% が海洋に再び浄化吸収されている。これらから、人間の経済活動以外の汚染はほぼ浄化によりキャンセルされることになる。また、同モデルにより経済活動による汚染の約 42% が海洋によって吸収されるとしている。そこで本研究では、環境全体の自然浄化率を仮想的に 50% と設定し、排出比率のみを動かして実際に CO₂ 排出総量の動向を検証する。以下にその推定式を示す。今、式 (4.6) から最終需要の変動に伴う商品別総生産は式 (4.10) で計算することができる。

$$q' = (I - B|_{\beta} D|_{\beta})^{-1} f(1 + \varepsilon/100) \quad \cdots \text{式 (4.10)}$$

ここで、ε は最終需要伸び率を表わしている。この商品別総生産を対角成分に持つ行列を $\hat{q}'$ とすると式

(4.8) より最終需要の変動に伴う V 表を求めることができる。次の (4.11) がその計算式である。

$$V' = D\hat{q}' \quad \cdots \text{式 (4.11)}$$

この V 表より CO₂ 排出総量 Q は以下の (4.12) で計算することができる。

$$Q = \sum_i V'_{in} \quad \cdots \text{式 (4.12)}$$

式 (4.10)、(4.11)、(4.12) に基本データを適用し実際に CO₂ 排出総量 Q を求めた。その解析結果が表 4.2 である。

表 4.2 最終需要、排出比率の変動に伴う排出総量

(単位: 百万t)						
最終需要 排出比率 ²⁾	0	10	20	30	40	50
10	1064	1170	1276	1383	1489	1595
20	1123	1235	1347	1460	1572	1684
30	1189	1308	1427	1545	1664	1783
40	1263	1390	1516	1642	1768	1895
50	1347	1482	1617	1751	1886	2021

(注 1) 最終需要の値は伸び率を表わしており、単位は%である。

(注 2) 排出比率の単位は%である。

(3) 汚染防止活動による環境への影響

(a) 公害インパクト、汚染物除去係数の定義

各産業は排出規制がなされている汚染物に関して何らかの汚染防止活動をする訳だが、その活動が生産に及ぼす影響としては次の2つが考えられる。

Case1: 汚染防止活動により生産が向上し結果的に利潤上昇をもたらす。

Case2: 汚染防止活動により生産が低下し結果的に利潤低下をもたらす。

実際、呼吸などによって容易に排出される二酸化炭素を規制することは非常に難しいことであり、このような汚染物に関しては各産業の意思決定 (Case1、Case2) がそのまま排出規制に結び付く。現在、我が国では二酸化炭素に関する明確な規制はなく、排出量は各産業の自主的な防止活動に大きく依存している。また、自主的な防止活動は生産にも大きく関与している。各産業とも明確な排出規制がない中で、生産を低下させてまで防止活動をするとは到底考えられない。実際、深刻な地球温暖化問題に対処するため我が国でも炭素税の導入が検討されているが、生産低下を懸念する一部の産業部門から強い反発が出ているためなかなか進展しない。こうした事実から本研究では Case1 を選択した。Case1 の場合、汚染防止活動により直接的に汚染物を減少させることができる。しかし、一方で利潤上昇が間接的に汚染物の増加を促進させている。この減少率を汚染物除去係数とし、上昇率を公害インパクトとしてこの2つの比率を各産業の排出量に乘じることによって排出総量を求めた。公害インパクトに関しては以下の (4.13) を用いて推計した。

$$\gamma_i = (g_i + \Delta) / g_i \quad \cdots \text{式 (4.13)}$$

ここで、 Δ とは汚染防止活動に伴う産業別総生産ベクトルの増加分を表わしており、本来ならば汚染防止活動による生産へのインパクトとして別に推計する必要がある。しかし、本研究では各産業の大気汚染防止設備投資額をそのまま Δ として公害インパクトを求めた。

(b) 汚染防止活動に伴う CO₂ 排出量の推定

汚染防止活動に伴う CO₂ 排出量を (a) で定義した汚染物除去係数 α_i と公害インパクト γ_i を各産業の排出量に乘じることによって求めた。以下の (4.14) がその推定式である。

$$Q = \sum_i \alpha_i \gamma_i V_{in} \quad \cdots \text{式 (4.14)}$$

図 4.1 が (4.14) から求めた解析結果である。

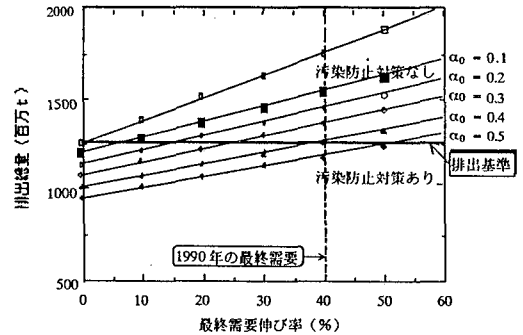


図 4.1 最終需要の変動に伴う CO₂ 排出総量

また、1990 年の最終需要分布は 1985 年を基準として全産業で約 41% 成長していることから式 (4.10) に $\varepsilon = 41$ を代入して、1990 年の商品別総生産ベクトル q^{1990} を求める。さらに、式 (4.11) から 1990 年の産業連関表 V 表 V^{1990} を求める。この V^{1990} を式 (4.14) に適用することによって、1990 年の排出総量を求めることができる。この 1990 年の将来予測値と排出基準の差を求めたものが以下の表 4.3 である。また、排出速度は産業部門全体で最終需要が 1% 成長した時、どれくらい CO₂ 排出総量が増加するか示している。

表 4.3 汚染防止活動による環境への影響度

汚染物除去係数	総排出量 ¹ (百万t)	排出速度 ² (百万t/%)
防止対策なし		
0	500	12.63
防止対策あり		
0.1	291	8.54
0.2	201	7.90
0.3	110	7.25
0.4	20	6.63
0.5	-70	6.01

(注 1) ここでの総排出量は 1990 年における総排出量を表わしている。

(注 2) 排出基準とは 1985 年における総排出量を表わしている。

(4) リサイクルによる環境への影響

(a) リサイクルの現状

我が国の廃棄物処理問題は現在、とても困難な状況にあると言ってよい。リサイクル実践講座¹²⁾によると、

全国の年間ゴミ収集量は1980年には4400万トンと見られていたが、1995年には6000万トンを突破すると言われている。また、その一方でゴミ最終処分場の残余年数は全国平均で約7.8年とも言われている。地方ブロック別に見ると東京首都圏が最も短く4.8年、次いで上越・北越が6.8年、近畿が7.0年、中国が7.6年である。以上が下位4ブロックである。上位4ブロックは中部の8.2年、北海道・東北の9.4年、四国の9.7年、九州・沖縄の12.2年である。このまま何ら有効な政策が提案されないとしたら10年後には我が国は確実にゴミに埋もれているだろう。単純にゴミ処分場を必要に応じて建設すれば問題は解決すると思いがちだが、その背後にはもっと大きな地球環境問題が潜んでいるのである。

ここで、容器包装リサイクル法のポイント¹³⁾で平成3年のゴミ処理状況を見ると、最終処分場での直接埋め立てが17.0%、選別破碎・高速堆肥等が8.7%、直接焼却が72.8%、その他が1.5%という結果が出ている。つまり、最終処分場に来るゴミの約7割が焼却処分されCO₂、NO_x、SO_x等の汚染物を誘発しているのである。では、ゴミ処分場を増やさずかつ廃棄物問題を解決する方法は何なのか。答えは簡単である。最終処分場に来るゴミの量を減少させればよいのである。そのためにはリサイクルの促進が必要不可欠なのである。リサイクルの促進が廃棄物問題、地球環境問題に有用であることは周知のことである。しかし、なかなかリサイクルが進まないのも現実である。その主な理由としては次の3つが上げられる。

- ①適正な再生処理が困難な廃棄物が数多く存在する。
- ②リサイクル物資の需給バランスが取れていない。
- ③リサイクルにかかるコストが経済的に見合わない。

これらの問題があるため、各産業とも経済的に見合わないリサイクル物資を無理に使うとせずバージン資源を積極的に使うとする。結果的にリサイクルは一向に進まないのである。

以下の表4.4、表4.5は1985年、1990年の屑・副産物発生表から求めたリサイクル物資別投入額を示したものである。これを見るとリサイクルの現状を知ることができる。

表 4.4 リサイクル物資別投入額（1985 年）

部門分類（商品）	投入金額（百万円）	投入比率（%）
農林水産業	9607	0.53
鉱業	36472	2.01
食料品	20804	1.15
パルプ・木材・紙	199677	11.02
化学製品	57730	3.19
石油・石炭製品	779064	43.01
窯業・土石製品	104304	5.76
鉄鋼	501034	27.66
非鉄金属	102529	5.66
合計	1811221	100

表 4.5 リサイクル物資別投入額（1990 年）

部門分類（商品）	投入金額（百万円）	投入比率（%）
農林水産業	7607	0.73
鉱業	28056	2.69
食料品	13091	1.26
パルプ・木材・紙	6298	0.60
化学製品	35194	3.38
石油・石炭製品	458685	44.03
窯業・土石製品	63010	6.05
鉄鋼	352084	33.80
非鉄金属	77670	7.46
合計	1041695	100

表4.4、表4.5を見ても同じことが言える。1985年と1990年のリサイクル物資投入額の合計を見ると約1兆8000億円から約1兆円に8000億円も減少していることが分かる。特にパルプ・木材・紙部門は大きく減少していることが分かる。全体の比率で見ると1985年には約11%もあったにも関わらず、1990年には0.6%にまで減少している。1985年にはパルプ・木材・紙部門（産業）から約274億円、その他の製造業（産業）から約213億円の産出があったにも関わらず、1990年にはパルプ・木材・紙部門（産業）から約57億円、その他の製造業（産業）から約6億円と急激に取り引き額が減少している。こうした事実からもリサイクル物流の循環が低下していることが分かる。地球環境問題、廃棄物処理問題ともこのリサイクル物流の活性化なしでは解決することはできないのである。次に、このリサイクル物流の活性度に注目してリサイクルが環境に与える影響について考える。

(b) リサイクル投入率に伴うCO₂排出量

ここでは、実際にリサイクル投入率 δ というパラメーターを用いることによってリサイクル物流の活性度を示し、そのパラメータマトリックスによる環境、

経済への波及効果について定量的に評価する。まず、このリサイクル投入率を対角成分に持つパラメーターマトリックスの定義について説明する。

4- (1)、(2) では投入係数行列 B 、産出係数行列 D も定常状態であると仮定しているため、静脈物流が動脈物流に与えるインパクトというものは全く無視されてきた。ここで言う静脈物流とは、通常の生産から小売、消費に至るまでの通常の物流を人間の血液の流れに対応させ動脈物流というのに対し、消費から回収、再生といった廃棄物またはリサイクル物資の逆方向への流れを指している。しかし、実際はこれらのインパクトが環境、経済に与える影響は非常に大きいものであり無視することはできない。以下の図 4.2 は動脈物流が活性化している時の商品の流れを表わしたものである。図 4.3 は静脈物流が活性化している時の商品の流れである。

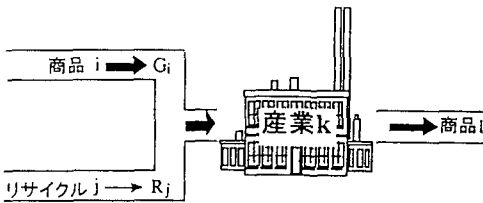


図 4.2 商品の流れ（動脈物流が活性化）

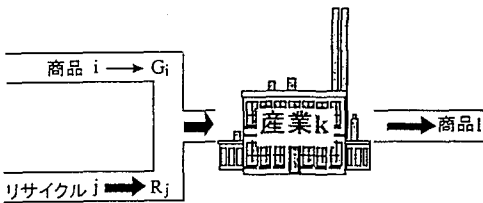


図 4.3 商品の流れ（静脈物流が活性化）

図 4.2、図 4.3 から前述したリサイクル投入率 δ を以下の式 (4.15)、(4.16) のように定義する。

$$G'_{ik} = G_{ik} - R_{jk} \times \delta_i \quad \cdots \text{式 (4.15)}$$

$$R'_{jk} = R_{jk} + R_{jk} \times \delta_i \quad \cdots \text{式 (4.16)}$$

ここで、 G_{ik} 、 R_{jk} は表 3.1 の U1、U4 にそのまま対応しており投入係数行列 $B1$ 、 $B4$ に影響を与える。(4.17)、(4.18) がその影響を受けた投入係数行列である。

$$(B1')^t = (B1)^t - (B4)^t \times E \quad \cdots \text{式 (4.17)}$$

$$(B4')^t = (B4)^t + (B4)^t \times E \quad \cdots \text{式 (4.18)}$$

ここで、 E とはリサイクル投入率 δ_i を対角成分に持つ対角行列を表わしている。 E の値に伴って $B1$ 、 $B4$ は変化し、拡張されたマトリックス B にも影響を与える。この影響を受けた投入係数行列を B^* とする。この B^* に産業技術仮定式を適用し、1990 年の最終需要分布 f^{1990} を代入することによって 1990 年の産業別総生産ベクトルを推計することができる。以下の式 (4.19) がその推定式である。

$$g^{1990} = (I - DB^*)^{-1} f^{1990} \quad \cdots \text{式 (4.19)}$$

CO_2 排出量は、この産業別総生産ベクトルに線形的に増加するものとして 1990 年における CO_2 排出量は以下の式 (4.20) で求めることができる。

$$Q_i^{1990} = (g_i^{1990} / g_i^{1985}) \times Q_i^{1985} \quad \cdots \text{式 (4.20)}$$

ここで、 g_i^{1985} 、 Q_i^{1990} は産業連関表 V 表、環境対策用産業連関表から所与となっており、これらの基本データを式 (4.19)、(4.20) に適用することにより産業別排出量を計算することができる。そこで、実際にリサイクル投入率 δ_i の変動に伴って変化する投入構造 B^* を 1990 年のものとして 1990 年の排出量を推定する。特にリサイクル物資の投入額の大きい石油・石炭製品、鉄鋼、パルプ・木材・紙、非鉄金属、窯業・土石製品の主要 5 部門について各々独立にリサイクル投入率を 0% から 100% にまで動かしそれに伴う排出総量を計算した。以下の図 4.4 がその解析結果である。

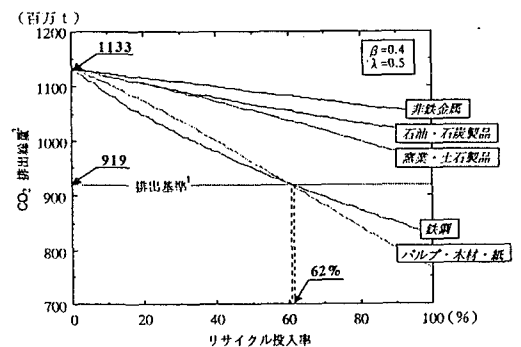


図 4.4 リサイクル投入率に伴う CO_2 排出総量

(注 1) 排出基準は 1985 年における産業 28 部門の総排出量を表わしている。

(注 2) ここでの排出総量は 1990 年における産業 28 部門の排出総量を表わしている。

5. 解析結果

(1) 汚染防止活動による排出削減効果

表 4.2 を見ると排出比率が大きくなればなるほど最終需要分布が大きくなればなるほど、排出総量が増加していくのが分かる。排出比率（10～50％）、最終需要伸び率（0～50％）の変化に伴い、最大で約 2 倍もの差が出ることが分かった。しかし、表 4.2 では汚染防止活動やリサイクル促進などの各産業による排出削減政策が全く無視された結果になっており、実際はこの結果よりも小さな値になるであろう。電力中央研究所によると、1985 年から 1990 年の 5 年間で CO_2 が約 8000 万トンも増加すると推定されている。1985 年の NO_x 、 SO_x の排出総量がそれぞれ約 300 万トン、150 万トンであるからその増加量の大きさが認識できる。こうした報告からも各産業は排出構造そのものを見直す必要がある。排出構造を根底から大きく変革させるためには汚染防止技術の向上、リサイクルの促進といった削減政策が必要不可欠である。そこで、実際に汚染防止活動による直接削減効果を汚染物除去係数 α というパラメーターで表わし、その値に伴って変化する CO_2 排出総量の動向を検証した。図 4.1 がその解析結果であるが、これによると 1990 年時に 1985 年の排出レベルを維持するためには各産業とも一様に $\alpha_0 > 0.4$ を維持しなければいけないことが分かる。表 4.3 を見ると $\alpha_0 = 0.5$ の時、約 7000 万トン削減できることが分かる。排出速度を見ても、汚染防止活動をする場合としない場合とでは約 1.5 倍から 2.0 倍も大きくなっていること分かる。しかし、現実問題として呼吸や燃焼等によって容易に排出される CO_2 に関して汚染物除去係数を 0.5 に設定するということはまず不可能であり、仮に設定したとしても経済全体に大きなマイナスの影響を与えることになるであろう。経済全体にリスクを負わせないためにも、我々はこの排ガス規制とリンクした別の排出削減政策を提案しなければいけない。

(2) リサイクルによる排出削減効果

図 4.4 はリサイクル投入率を主要 5 部門について独立に動かし排出総量の動向を示したものであるが、これを見るとパルプ・木材・紙部門、鉄鋼部門がリサイクルによる影響が大きく、双方とも約 62％の投入率で

1985 年の排出レベルを維持できることが分かった。残りの 3 部門は投入率を 100％にしても 1985 年の排出レベルには到底届かないことが分かった。以上からマテリアルリサイクルの観点からは鉄鋼、パルプ・木材・紙製品のリサイクルが最も効果的であることが分かる。この解析結果からも、リサイクルの方がより現実味を持った排出削減政策であることが分かる。

6. 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) 家計部門、環境部門、リサイクル部門が内生化されている上記モデルに産業技術仮定を適用することによって、産業構造と大気循環の相互関係を明らかにし CO_2 の排出量を将来予測することができた。 NO_x 、 SO_x 、大気浮遊物についてはその挙動の難解さから検証することができなかった。これらについては今後研究する必要がある。

(2) 本研究では汚染防止活動による直接的な排出削減と産出上昇に伴う間接的な排出増加をそれぞれ汚染物除去係数、公害インパクトという 2 つのパラメーターで表わすことによって、 CO_2 の排出動向を検証することができた。

(3) また、リサイクルの推進による投入構造への影響をリサイクル投入率 δ というパラメーターを用いることによって説明し、その投入構造変化が環境に及ぼす影響を実証的に分析することができた。従来からリサイクル率という曖昧な言葉がリサイクルを語る上で欠かせないものになっているが、新たにリサイクル投入率という更に意味合いをもったパラメーターを提案することによって、動脈物流と静脈物流の相互関係を説明することができた。

公害インパクト、リサイクル投入率の推定については、まだ多くの問題点を有しており今後更に研究を進展させる必要がある。これらパラメーターの精度を高めるためには産業連関分析の枠組みにだけに固執せず、LCA 分析等のミクロ的な分析との連携が必要と思われる。また、定式化についても問題点を有している。それにも拘わらず、本モデルに基本データを適用することにより一定の結果が得られたことは環境評価をする上で有用であると考ええる。

【参考文献】

- 1) W. Leontief(1970): Environmental Repercussion and The Economic Structure, No. 11, 13, Input-Output Economics
- 2) Adam Rose(1983): Modeling The Microeconomic Impact of Air Pollution Abatement, Vol. 23, No. 4, Journal of Regional Science
- 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
- 4) 石丸久、稲村肇(1995): 環境対策 SNA 型産業連関表によるリサイクルの環境効果に関する研究、土木計画学研究・講演集、No17, pp. 491~494
- 5) 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
- 6) 総務庁(1989): 取引基本表(基本分類529×408)、昭和60年産業連関表、全国統計協会連合会
- 7) 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
- 8) 総務庁(1994): 産業別商品産出構成表(V表)、平成2年産業連関表、全国統計協会連合会
- 9) 総務庁(1994): 取引基本表(基本分類529×408)、平成2年産業連関表、全国統計協会連合会
- 10) 総務庁(1994): 屑・副産物発生表、平成2年産業連関表、全国統計協会連合会
- 11) 北野康、田中正之(1990): 『地球温暖化が分かる本』
- 12) 通商産業省産業政策局編(1993): 『リサイクル実践講座』、大蔵省印刷局
- 13) 厚生省生活衛生局水道環境部監修(1995): 『容器包装リサイクル法のポイント』、(株)第一法規出版

環境対策 SNA 型産業連関表による環境保全政策の評価

加河 茂美 稲村 肇

本研究ではそれら環境政策の中でも最も有効であると思われる二つの排ガス規制とマテリアルリサイクルを取り上げその影響効果を定量的に評価する。この論文は SNA 型産業連関表を用いて二酸化炭素排出量を推計評価するための分析手法を提案するものであり実際に基本データを用いて上述の2つのケースについて定量的に評価している。主な解析結果は以下の通りである。最終需要の成長や排ガス技術の変化により排出量が約2倍になる。1990年時に1985年の排出レベルを維持するためには40%以上の削減が必要である。マテリアルリサイクルの観点から見るとパルプ・木材・紙製品、鉄鋼製品の静脈活性化が二酸化炭素の排出削減に最も効果的である。

Evaluation of Environmental Policy by Using SNA I-O Table Including Environmental Sectors

Shigemi Kagawa Hajime Inamura

Since resources of air pollution are mutually related among many activity sectors, it is very difficult to estimate the effects of those environmental measures. This paper proposes an analytical tool to evaluate the measures and demonstratively analyzes in terms of amount of carbon dioxide. Major findings are as follows: According as increasing final demand and the changes of exhaust gas technology, amount of pollutant varies double. Forty percent or more of gas reduction is required in 1990 to keep the level of exhaustion in 1985. Reduction of air pollutants from the sectors of pulp, paper and wood products and steel products is most effective.
