

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**
 by Shigemi KAGAWA, Hajime INAMURA

1. 従来研究と本研究の目的

現在、日本を含め世界各国で環境汚染が進む中で、我々は何らかの具体的な手段を取りこれに歯止めをかけなければいけない。この手段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がLeontief(1972)の米国経済における環境シュミレーションとAdam Roseの経済学的環境評価である。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进行研究している。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質量を将来予測している。一方、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。産業連関表研究によって動的な商品、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説明できるならば、その商品の一部である副産物（汚染物質）の動向も説明できるはずである。なぜなら、そのような副産物は直接的に我々の一日一日の経済システムを支配している物理的ネットワークに直接的に結び付いてくるからである。そのような副産物のようなものを本研究ではSNA型産業連関表を用いることによって評価する。Leontief等は通常産業連関表を用いて評価しているため、家計からの汚染物質産出過程や環境による汚染物質浄化作用、リサイクル作用に関しては全く考慮していない。本研究の目的はこれらの動向をSNA型産業連関表を用いて評価することである。

さらにリサイクルの流れとしては通常産業連関表に沿った商品の流れと同様のものとして図1と同じものとした。ここでの最終需要部門とは本来の最終消費からリサイクルに関係する最終需要を引いたものである。この3つの商品の流れを一体化することにより経済全体の環境影響を定量的に把握する。

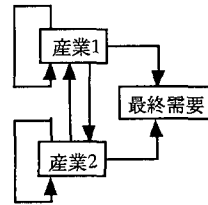


図1 商品、リサイクル物資の流れ

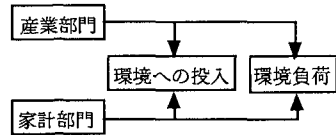


図2 汚染物質の流れ

レオンチェフの環境対策産業連関表ではこのような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。下の表1がその環境対策SNA型産業連関表である。

表1 環境対策SNA型産業連関表

2. 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図1のように通常産業連関表として簡単に示される。また、汚染物質の流れは図2に示されるような流れとなっている。ここで環境への投入とは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質残存量を表わしている。

key words: 環境対策産業連関表、SNA型

*学生員 東北大学大学院情報科学研究科

**正会員 工博 東北大学教授 情報科学研究

(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

	商 品	汚 染 物 質	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		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。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は産業への中間投入を表わしている。

3.解析手法

環境対策SNA型産業連関表に用いた基本データは以下の6つである。

- 1) 環境対策産業連関表 (28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)
- 3) 昭和60年産業連関表X表 (32部門)
- 4) 昭和60年産業連関表、屑・副産物発生表
- 5) 平成2年産業連関表V表 (104部門)
- 6) 平成2年産業連関表X表 (32部門)

上述の基本データを用いて環境対策SNA型産業連関表を求める。

まず、X表から技術係数行列Aを求める。

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

g: 産業別生産額ベクトル

次にV表から産出係数行列Cを求める。

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

q: 商品別生産額ベクトル

上式の (1)、(2) より

$$B = AC \quad \text{----- (3)}$$

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、

$$U = Bg \quad \text{----- (4)}$$

として投入行列Uが求められる。ここで、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Vは表1のU1、V1となっている。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。拡張されたSNA体系において、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についても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。このマトリックスに産業技術仮定を適用すると (3)、(4) 式よりB、Dが計算される。

$$B = Ug^{-1} \quad \text{----- (5)}$$

$$D = Vq^{-1} \quad \text{----- (6)}$$

これらより、産業技術仮定に基づき定式化によりよく知られた (7)、(8) の関係を導出することができる。

$$q = (I - BD)^{-1} f \quad \text{----- (7)}$$

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

所与のデータ (1985年) より拡張されたマトリックスB、Dを求めた。ここで、リサイクル物資に関しては屑鉄、空き缶等多種にわたるため、解析の都合上ひとつのベクトルとして組み込んだ。

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、呼吸などによる排出に関しては全く考慮されていなかった。本研究ではこれらの大気循環をV6、U3としてSNA型産業連関表に組み込んだ。この際、V6とU3に以下の関係があるとした。ここで、βとは排出比率を表わしている。

$$V6 = \beta U3 \quad \text{----- (9)}$$

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に乘じるにより求めた。

$$U3 = \lambda q2 \quad \text{----- (10)}$$

式 (9)、(10) より排出比率、自然浄化率の変動に伴ってU3、V6、f2、q2の各成分も影響を受けることが容易に分かる。以下がその影響式である。

$$U3 = \frac{\lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \text{----- (11)}$$

$$V6 = \frac{\beta\lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \text{----- (12)}$$

$$f2 = \frac{1 - \lambda}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \text{----- (13)}$$

$$q2 = \frac{1}{1 - \beta\lambda} (V2 + V4) \quad \text{----- (14)}$$

V2、V4に関しては環境対策用産業連関表から容易に手に入れることができることから排出比率βと自然浄化率λをある値に設定すれば拡張されたマトリックスB、Dを求めることができる。今回は自然浄化率λを0.5に固定し排出比率βのみを10%から50%に動かし式 (5)、(6) を用いて拡張されたマトリックスB、Dをそれぞれ求めた。こうして求められたB_n、D_n (n=10、20、30、40、50) を用いて各産業の最終需要が10%から50%に一樣に成長した時の汚染物総量を求めた。今、式 (7) から最終需要変動に伴う産業別総生産額は以下の (15) 式で計算することができる。ここでεは最終需要の伸び率を表わしている。

$$q' = (I - B_n D_n)^{-1} f(1 + \epsilon) \quad \text{----- (15)}$$

この商品別総生産額を対角成分に持つ行列をq' とすると式 (6) より最終需要変動に伴うV表を求めることができる。式 (16) がその計算式である。

$$V' = Dq' \quad \text{----- (16)}$$

このV表より汚染物排出総量Qは以下の式 (17) で計算することができる。

$$Q = \sum_j V_j^{\alpha_j} \quad \text{----- (17)}$$

式(15)、(16)、(17)と所与のデータから汚染防止活動が全く行われないうちの排出総量を求めた。その解析結果が表2である。次に、汚染防止活動が環境に及ぼす影響を求めた。排出比率 β を求めることは非常に難しく現在も様々な分野で研究が進められているが、今回はこの排出比率を40%と仮定した。

また、各産業が汚染防止活動を行うか否かは次のケースによって決定されるものとした。

- Case1: 汚染防止活動により生産効率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効率が低下し結果的に利潤低下をもたらす。

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る。規制ができない汚染物に関しては各産業の意思決定がそのまま規制に結び付く。この意思決定とは明らかにCase1、Case2に大きく依存している。今回は各産業が汚染防止活動をする際Case1を選択するものとして排出総量を求めた。実際、Case1の場合は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二つの比率を各産業の排出量に乗じることによって汚染防止活動の影響を調べた。公害インパクトに関しては以下の式(18)を用いて推計した。

$$Y_i = \frac{g_i + \Delta}{g_i} \quad \text{----- (18)}$$

ここで、 Δ とは汚染防止活動に伴う産業別総生産額ベクトルの増加分を表わしており、今回は各産業とも汚染防止活動に投資した分を Δ として解析に用いた。この公害インパクト Y_i を用いると汚染物総量は以下の式(19)で求めることができる。

$$Q = \sum_j \alpha_j Y_j V_j^{\alpha_j} \quad \text{----- (19)}$$

ここで α_j とは汚染物除去係数であり、これに関しては各産業とも同様とし α_0 とした。また、投資していない産業については α_j は0として解析した。図4がその解析結果である。ここで、排出基準とは1985年の排出レベルを表わしており国が定めたものとは関係がない。また、1990年の最終需要は1985年と比較して約41%成長していることから上述の推定式に $\varepsilon=0.41$ を代入すれば簡単に1990年の排出総量を将来予測することができる。この将来予測値と排出基準の差を求めたものが表3である。また、表4は産業別排出量を示している。

4. 解析結果

表2を見ると排出比率が大きくなればなるほど最終需要が成長すればするほど排出量が大きくなるのが分かる。また、排出比率、最終需要変動に伴い排出総

量に最大で約2倍もの差が出ることが分かった。図3は各産業が汚染防止活動を行ったときの最終需要伸び率とCO₂排出総量との関係を示したものであるが、これを見ると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 $\alpha_i > 0.4$ を維持しなければならないことが分かる。表3を見ると $\alpha_0 = 0.5$ の時始めて約7千万トン削減できることが分かる。また、汚染物除去係数が0.1大きくなるとそれに伴い約9千万トンずつ排出総量が減少して行くことも分かった。表3の排出速度を見ても汚染防止対策をしない場合とする場合とでは約1.5倍から2倍も大きくなっていることが分かる。表4で産業別排出量を見ると汚染物除去係数を0.3に設定すると設備投資を行っている全ての部門で1985年の排出レベルをクリアしていることが分かった。

表2 最終需要、排出比率変動に伴うCO₂排出量

		(単位: 百万t)					
最終需要	排出比率	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) 最終需要の数字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。

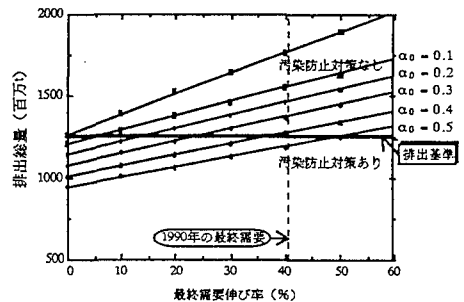


図3 最終需要変動に伴うCO₂排出量

表3 汚染防止活動による影響度

汚染物除去係数	総排出量 ¹ -排出基準 ² (百万t)	排出速度 (百万t/%)
<u>防止対策なし</u>		
0	500	12.63
<u>防止対策あり</u>		
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年の総排出量を表わしており最終需要の伸びが41%の時のものである。

(注2) 排出基準は1985年の総排出量を用いている。

表4 産業別CO₂排出量

部門名	1985年排出量	(単位: 百万(%))			
		汚染物除去係数			
設備投資なし					
農林水産業	17	+6	+6	+6	+6
食料品	12	+5	+5	+5	+5
電気機械	4	+1	+1	+1	+1
輸送機械	6	+2	+2	+2	+2
その他の製造工業	4	+1	+1	+1	+1
水道・廃棄物処理	31	+13	+13	+13	+13
商業	14	+5	+5	+5	+5
運輸	141	+56	+56	+56	+56
公務	6	+2	+2	+2	+2
教育・医療・保健	20	+9	+9	+9	+9
サービス業	23	+10	+10	+10	+10
設備投資あり					
繊維製品	8	+4	+2	0	-2
パルプ・木材・紙	29	+12	+8	0	-9
化学製品	38	+16	+10	0	-11
石油・石炭製品	34	+13	+8	-1	-10
窯業・土石製品	98	+39	+25	-2	-30
鉄鋼	115	+45	+29	-3	-35
非鉄金属	7	+3	+2	0	-2
一般機械	3	+1	+1	0	-1
建設	8	+4	+3	0	-2
電力・ガス・熱	279	+112	+76	-3	-82
分類不明	15	+6	+4	0	-5

5. 結論

本研究での結論は以下のようにまとめられる。

(1) 本研究では産業部門に新たに家計部門、環境部門をSNA型産業連関表に組み込むことによって環境と経済の動的な関係を把握することができた。

(2) 上記モデルに新たに商品部門にリサイクル部門、汚染物部門を取り入れることによって産業構造の変動に伴うリサイクル物資、汚染物への波及効果を計算することができた。

(3) また、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つの係数を取り入れることによって動的に評価することができた。

(4) 今回の解析は、実際に1985年、1990年の産業連関表V表とX表のデータベースを適用することによって本モデルの有用性を定量的に評価することができた。

6. 今後の課題

(1) 今回は汚染物の対象としてCO₂のみを扱ったがNO_x、SO_x等についても考えていかなければいけない。排出規制が容易なNO_x、SO_x等の汚染物は汚染防止活動が投入構造、産出構造に直接的に影響を及ぼす。NO_x、SO_xについてはまずこれらの影響分析が重要になってくると思われる。

(2) 公害インパクトに関しては最終需要の変動に関わらず一定としたが実際は汚染防止投資額の増減によって変化してくる。これが排出量に及ぼす影響についても分析する必要があるであろう。下図は投資額の増減による公害インパクトの動きを示したものである。

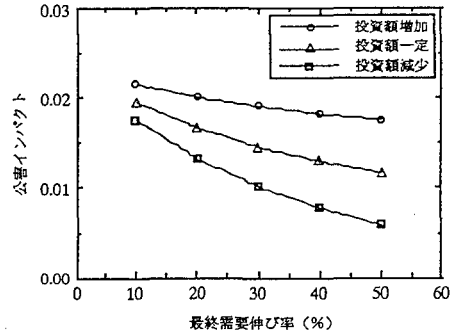


図4 最終需要変動に伴う公害インパクト

(注) 公害インパクトは $\sum(t-r)$ を用いて計算した。

(3) 今回は、リサイクル物資をひとまとめにしてベクトル成分として取り入れたためリサイクルの影響効果というものはマクロ的にしか確認することができなかった。今後はリサイクル投入表、リサイクル産出表を拡張されたマトリックスU、Vに取り入れリサイクルと環境との相互依存について分析する必要がある。

また、図5のような還元産業を新たに産業部門に取り入れることによってリサイクル物資の需給バランスとそれが環境に及ぼす影響を定量的に説明することが可能になるであろう。

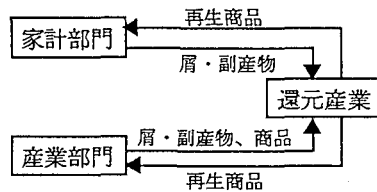


図5 静脈物流の流れ

【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、菅幹雄(1992):環境分析のための産業連関表の作成
- 4) 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
- 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):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
- 7) 通産省(1994):環境総覧、通産資料調査会
- 8) 通産省(1994):今後の我が国の廃棄物処理・リサイクルシステムの在り方、環境立地局