

⇒ 論 説 ⇐

公害の産業連関分析(その2)

—— 通商産業省昭和46年公害分析用産業連関表について ——

林 英 機

前回まで

1. モデルの一般的表示
2. 数値例によるモデルの確認
 - (1) 産出高決定モデル
 - (2) 価格決定モデル
 - (3) 公害分析用産業連関モデルによる若干の分析事例
 - ① ある汚染許容量の下での生産活動
 - ② 汚染除去係数の変更の影響

以下今回

2. 数値例によるモデルの確認

③ 環境汚染の構造分析

産業連関モデルは産業の予測や計画への適用とともに、産業構造の分析のための強力な手段をも提供するものであるが、この公害分析用産業連関モデルも産業の汚染発生構造等の分析のために使用することができる。以下においては、そのようないくつかの適用例の紹介を行なう。

(a) 最終需要項目別汚染誘発量

まず、各産業部門が排出している汚染物質の発生量は究極的にどの最終需要項目にどれだけ依存しているかを考えることにする。

各産業部門が発生している汚染物質量は次のように求められる。

$$\begin{aligned}
 G &= \hat{\mu} X \\
 &= \hat{\mu} \{ [I - \Gamma (A_1 + A_2 \hat{\lambda} \hat{\mu})]^{-1} [\Gamma F + E + T] \}
 \end{aligned}$$

ここで、地域内最終需要Fをさらに家計消費等C及び総固定資本形成等Iに分け(即ち、F=C

+ I), 表示の単純化のために逆行例 $[I - \Gamma(A_1 + A_2 \hat{\lambda} \hat{\mu})]^{-1}$ を B によって表わすと, 上記の式は次のようになる。

$$\begin{aligned} G &= \hat{\mu} \{B[\Gamma(C+I) + E + T]\} \\ &= \hat{\mu} B \Gamma C + \hat{\mu} B \Gamma I + \hat{\mu} B E + \hat{\mu} B T \end{aligned}$$

かくして, 発生汚染物質質量 G はそれが最終的に依存している各々の最終需要項目別に分割される。即ち,

$$\begin{aligned} \hat{\mu} B \Gamma C &: \text{家計消費等 } C \text{ による汚染物質発生量} \\ \hat{\mu} B \Gamma I &: \text{総固定資本形成等 } I \text{ による汚染物質発生量} \\ \hat{\mu} B E &: \text{輸出 } E \text{ による汚染物質発生量} \\ \hat{\mu} B T &: \text{移出 } T \text{ による汚染物質発生量} \end{aligned}$$

しかし, より問題となるのは, 総発生量ではなくて, 環境に排出される汚染物質質量である。各産業部門の汚染防止活動によって除去される汚染物質質量 D は

$$D = \hat{\lambda} G$$

であり, 従って, 環境に排出される汚染物質質量は

$$G - D = G - \hat{\lambda} G = [I - \hat{\lambda}] G$$

である。従って, 上記の G の最終需要項目別分解式をこれに代入すると, 環境への汚染物質排出量は

$$\begin{aligned} G - D &= [I - \hat{\lambda}] G \\ &= [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B \Gamma C + [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B \Gamma I + [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B E + [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B T \end{aligned}$$

のようにそれを誘発する最終需要項目別に分割して表示される。即ち,

$$\begin{aligned} [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B \Gamma C &: \text{家計消費等 } C \text{ による汚染物質排出誘発量} \\ [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B \Gamma I &: \text{総固定資本形成等 } I \text{ による汚染物質排出誘発量} \\ [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B E &: \text{輸出による汚染物質排出誘発量} \end{aligned}$$

$[I - \hat{\lambda}] \hat{\mu}_{BT}$: 移出による汚染物質排出誘発量

かくして、環境に排出された汚染物質量のうちのどれだけが各々の最終需要項目に依存しているかが明らかにされることになる。

上記における仮設数値例を用いて、この環境への汚染物質排出量の最終需要項目別の分割を行ってみる。先に示した各係数等によると、

$$\begin{aligned}
 [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu}_B &= \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.3333 & 0 \\ 0 & 0.4375 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 0.0900 & 0 \\ 0 & 0.1067 \end{bmatrix} \\
 &\times \begin{bmatrix} 1.1206 & 0.1241 \\ 0.2361 & 1.2720 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.06724 & 0.00745 \\ 0.01417 & 0.07635 \end{bmatrix} \\
 [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu}_{B\Gamma} &= \begin{bmatrix} 0.06724 & 0.00745 \\ 0.01417 & 0.07635 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.8889 & 0 \\ 0 & 0.8457 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0.05977 & 0.00630 \\ 0.01260 & 0.06457 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

また、各最終需要項目は、

$$C = \begin{bmatrix} 50 \\ 65 \end{bmatrix}, \quad I = \begin{bmatrix} 33 \\ 42 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 4 \\ 13 \end{bmatrix}$$

であるので、このような数字を上記の式に代入すると、次のような結果が得られる。

$$\begin{aligned}
 \text{家計消費等による汚染物質排出誘発量} &= [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu}_{B\Gamma} C \\
 &= \begin{bmatrix} 0.05977 & 0.00630 \\ 0.01260 & 0.06457 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 50 \\ 65 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4 \\ 4.8 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{総固定資本形成等による汚染物質排出誘発量} &= [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu}_{B\Gamma} I \\
 &= \begin{bmatrix} 0.05977 & 0.00630 \\ 0.01260 & 0.06457 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 33 \\ 42 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.2 \\ 3.2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{輸移出による汚染物質排出誘発量} &= [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B E \\ &= \begin{bmatrix} 0.06724 & 0.00745 \\ 0.01417 & 0.07635 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 13 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 1.0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

先の表2の仮設例における環境への汚染物質排出量は産業部門による排出15、及び、家計等が排出する外生的排出分の5を併せて20であるとされているが、上記の計算結果を整理すると、各最終需要項目が結果的に排出の原因となっている汚染物質排出量は次の表のように表わすことができる。

	家計消費等	総固定資本形成等	輸 移 出	計
第Ⅰ部門	3.4	2.2	0.4	6.0
第Ⅱ部門	4.8	3.2	1.0	9.0
外 生	5.0			5.0
計	13.2	5.4	1.4	20.0

かくして、この仮設経済においては20の汚染物質が環境に排出されているとされているが、このうち、家計消費等は第Ⅰ部門3.4及び第Ⅱ部門4.8の排出の原因となっており、この部門自身が5.0を排出して、合計13.2の汚染物質の排出をもたらしている。さらに、総固定資本形成等は第Ⅰ部門において2.2、第Ⅱ部門において3.2の合計5.4、輸移出はそれぞれ第Ⅰ部門0.4、第Ⅱ部門1.0の合計1.4の排出を誘発している、ということが明らかになる。或いは、この表は、第Ⅰ部門の汚染排出量6は家計消費等によって3.4、総固定資本形成等によって2.2、輸移入によって0.4が誘発され、第Ⅱ部門の汚染排出量9は家計消費等によって4.8、総固定資本形成等によって3.2、輸移出によって1.0、それぞれ、誘発されているとみることもできる。

(b) 汚染物質排出量の変動要因分析

例えば2つ以上の時間的に比較可能な産業連関表がある場合、それを利用して、産業別の産出、付加価値、雇用等の時間的な変動要因分析を行なうことができることはよく知られている。同様の分析方法は産業別汚染物質排出量の変動要因の分析にも適用することができる。この公害分析用産業連関表作成当時にはまだこの表のみしかなかったため、このような変動要因分析は行なわれていないが、その分析用モデルは次のように提示することができるであろう。

環境への各産業部門の汚染物質排出量を

$$G-D = [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} X = [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B F_A$$

とし、さらに記号を

- F_A : 産業別最終需要総額ベクトル
 z : $[I - \hat{\lambda}]$
 S : 最終需要総額（スカラー）
 e : 最終需要総額の各最終需要項目別配分ベクトル
 k : 各最終需要項目の産業品目別配分行列

と定義すると、最終需要総額ベクトルは

$$F_A = k \hat{e} S$$

と表わすことができるので、これを上記の式に代入すると、

$$G - D = [I - \hat{\lambda}] \hat{\mu} B F_A = z \hat{\mu} B k \hat{e} S$$

が得られる。ここで、 \hat{e} は e の対角行列である。

ここで、2つの年次の比較可能な公害分析用産業連関表が存在し、一方を基準年次表、他方を比較年次表とする。基準年次と比較年次との変化分を Δ によって表わすと、基準年次と比較年次との間の汚染物質排出量の変動分 $\Delta(G - D)$ は次のように表わすことができるであろう。

$$\begin{aligned}
 \Delta(G - D) &= \text{比較年次の汚染物質排出量} - \text{基準年次の汚染物質排出量} \\
 &= (z + \Delta z)(\hat{\mu} + \Delta \hat{\mu})(B + \Delta B)(k + \Delta k)(\hat{e} + \Delta \hat{e})(S + \Delta S) \\
 &\quad - z \hat{\mu} B k \hat{e} S
 \end{aligned}$$

Δz 、 $\Delta \hat{\mu}$ 、 ΔB 、 Δk 、 $\Delta \hat{e}$ 及び ΔS はそれぞれの項目の比較年次における基準年次からの変化分を表わしている。かくして、上記の式のかっこを解いて整理すると、次のような変動要因分解式が得られる。この式を構成している各項の意味はその下に記されている通りである。

$$\Delta(G - D) = (\Delta z) \hat{\mu} B k \hat{e} S + z (\Delta \hat{\mu}) B k \hat{e} S + z \hat{\mu} (\Delta B) k \hat{e} S$$

汚染除去係数変化 による変動分	汚染発生係数変化 による変動分	逆行列の変化による 変動分
--------------------	--------------------	------------------

$$+ z \hat{\mu} B (\Delta k) \hat{e} S + z \hat{\mu} B k (\Delta \hat{e}) S + z \hat{\mu} B k \hat{e} (\Delta S) + \text{各種の交絡項}$$

各最終需要項目の	各最終需要項目の	最終需要額の変化
品目構成変化によ	構成変化による変	による変動分
る変動分	動分	

かくして、2つの年次間の汚染物質排出量の変化は汚染除去係数、汚染発生係数、逆行列、最終需要の品目構成、最終需要項目の構成及び最終需要総額のそれぞれの変化の寄与分に要因分解されることになる。

先にも述べたように、例えば、比較可能な2つの年次の公害分析用産業連関表が利用可能であるならば、上記のような要因分解式を用いることによって、2つの年次の間における環境へ排出された汚染物質質量の変化の様々な要因別の変動要因分析を行なうことが可能である。しかし、当時の時点においては複数の年次のこのような表はまだ利用可能ではなかったため、それは単に公式の提示のみに留まっており、実際の分析への適用は可能ではなかった。

3. 昭和46年通産省公害分析用産業連関表による分析結果

上記の記述は、通産省が作成した昭和46年公害分析用産業連関表の仕組みとそれを用いてのいくつかの分析方法の例を基本的なモデルと簡単な仮設の数値例を用いて示したものである。そこに示された計算例は2産業×2産業の産業連関表によるものであるが、それはそのまま実際の地域或いは全国についてのより多部門な産業連関モデルに直接的に適用可能である。

先に記したように、通産省がこの時に実際に作成した表は昭和43年の関東臨海地域を対象とした地域産業連関表である。通産省はこの産業連関表を用いて実際にいくつかの公害の産業連関分析を行なっている。それが行なわれたのは今から30年前のことであり、分析結果の数字自体には現在ではそれほど大きな意味はないので、実際の数字の掲載は省略するが、実際にどのような分析が行なわれたかをみることは現在の時点においてもなお興味深いことであると思われるので、その内容についてのみ記すことにする。

(1) 昭和43年の最終需要項目別汚染誘発量と汚染誘発係数の計算

最終需要項目別汚染誘発量の計算方法は上記に記した通りである。汚染誘発係数とは、各最終需要汚染誘発量÷各最終需要額、として計算され、各最終需要項目単位当り汚染誘発量を示すものである。昭和43年のことであるが、地域内最終需要の誘発量は全排出量の47%であるのに対して、輸出及び移出の誘発量は53%と極めて高く、また、輸出及び移出の汚染誘発係数も極めて高い。このことは、関東臨海地域が海外や国内他地域のための工場となっており、そのことがこの地域の環境汚染を悪化させているという評価が行なわれている。

（2）昭和50年への予測

このようにして作成された昭和43年表をベースにして昭和50年への予測が行なわれている。このためには、まず、昭和50年の最終需要水準の予測が行なわれる。この作業が行なわれた昭和46年は、現在から回顧すれば、高度経済成長が終わろうとしていた時期であるとともに、2年後に石油ショックという予測されざる事態を控えていたが、その当時においてはまだ高度成長が続くものと考えられており、昭和50年の最終需要は高い水準に設定されていた。このような経済規模の拡大やエネルギー消費構造の変化の想定の下に、昭和50年の産業別の生産額、汚染物質の発生量、除去量及び排出量の予測が行なわれ、昭和50年想定産業連関表が作成される。このような想定産業連関表を用いて、昭和43年と50年についての産業別の汚染物質排出係数及び除去係数、最終需要項目別汚染物質及び汚染誘発係数の計算が行なわれ、その間の比較分析が行なわれている。

（3）環境対策のシミュレーション分析

昭和43年の実際表と上記のようにして作成された昭和50年想定表を使用して環境対策についてのいくつかのシミュレーション分析が行なわれている。

まず、昭和50年においてある汚染許容量を設定して、それを達成しようとする場合の影響の計算が行なわれている。2つの許容量が設定され、その1つは昭和50年の汚染許容量を昭和43年の排出量の水準に留めようとするもの、もう1つはそれをさらに2/3程度にまで削減しようとするものである。その各々のケースについて生産額の増加と公害防止投資の増加が予測され、かくして、公害という外部不経済を除去する活動は生産と投資の増加を伴うものであるという結果が得られるという結果が得られている。

もう1つの分析は汚染防止に必要なコストが各産業部門の生産物の生産コストにどのような波及効果をもたらすかを示した上記の価格モデルを用いて行なわれている。まず、昭和43年表及び50年表における汚染防止コストが各産業の生産コストを上昇させている割合が計算されている。昭和43年及び50年ともにその影響は大きなものではないが、昭和50年にはその影響はやや大きくなり、また、両年ともに最大の影響を受けている部門は電力であるという結果が得られている。次に、汚染除去係数をそれぞれの年次について各産業一律に10%引き上げた場合の生産コストへの影響が計算されているが、10%程度の引き上げの影響は両年ともにごくわずかなものであるという結果が得られている。さらに、汚染防止活動強化の必要が特に大きいと考えられた産業である、「電力」、「銑鉄・粗鋼」、「基礎化学薬品」、「石油製品」の各部門の汚染除去率を50%に引き上げ（即ち、汚染除去係数を0.5に引き上げ）、他の産業の除去係数は現状維持とした場合の産業別の生産コストへの影響が計算されている。当然のことながら、上記のような産業においてはかなりのコストアップが生ずるが、このような産業は他の産業への影響が大きい産業であるので、他の産業へのコストアップの波及効果もかなり大きなものになるという計算結果が得られている。

以上において説明してきた通商産業省の公害分析用産業連関表は昭和43年を対象として昭和46年に作成されたものである。それが作成されたのは今から30年前のことであるが、Leontiefの構想を最も早期に実現したものの1つであり、そこに展開されているモデルは環境分析用産業連関モデルへの手引きとしてなお有益であると考えられる。この産業連関表は地域産業連関表として作成されているが、そこに示されているモデルの考え方は全国を対象とした産業連関表に対しても適用し得るものであり、従って、やや詳しい数値例を示しながらそれを説明した。

産業連関分析を環境問題に適用することの可能性は1960年代においてすでにいくつかの構想が提示されていたが、Leontiefが1970年に提示したモデルはその明快さと実行可能性のために特に注目を受けた(産業連関分析の環境問題への適用についてのサーヴェイには Forsund [2], Miller and Blair [9]がある)。その後の発展については、理論面においては Flick [1]によって Leontief のモデルが負の解をもつことがあるとの反例が提示され、Leontief のいわゆる“拡大された投入一産出モデル”の非負解の存在条件等のこのモデルの理論的妥当性を巡る議論が展開された(例えば、Leontief [5], Steenge [13], Lowe [7], Moore [10], Lee [3], Rhee and Miranowski [11], Stone [12], Luptacik and Bohm [8]など)。実証面への適用については、このモデルの提示者である Leontief [6]自身がいち早くそれに着手したのを始めとして多くの研究が行なわれている。また、国連の Handbook of National Accounting の一環として発行された投入一産出表のハンドブック [14]においてもその1つの章において環境の産業連関分析が取り上げられるようになってきている。日本におけるこの分野の研究については、通産省におけるここで紹介したものを始めとする研究や1991年環境白書などがあるが、この研究の1つの輝かしい成果は慶応義塾大学産業研究所グループによる研究 [15], [16]であり、日本におけるこれまでの環境の産業連関分析の研究のリストについてもそれにみることができる。このような理論及び実証面における展開についてはさらに稿を改めて取り上げたい。

参 考 文 献

1. Flick, W.A., "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach: A Comment", *The Review of Economics and Statistics*, February 1974.
2. Forsund, F.R., "Input-Output Models, National Economic Models and the Environment", in A.V. Kneese and J.L.Sweeney, eds., *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
3. K.-S. Lee, "A Generalized Input-Output Model of an Economy with Environmental Protection", *The Review of Economics and Statistics*, August 1982.
4. Leontief W., "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach", *The Review of Economics and Statistics*, August 1970.
5. Leontief, W., "Reply", *The Review of Economics and Statistics*, February 1974.

6. Leontief, W. and D. Ford, "Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations", in A. Brody and A.P. Carter, eds., *Input-Output Techniques*, North-Holland, 1972.
7. Lowe, P.D., "Pricing Problems in an Input-Output Approach to Environmental Protection". *The Review of Economics and Statistics*, February 1979.
8. Luptacik, M. and B.Bohm, "Reconsideration of Non-Negative Solutions for the Augmental Leontief Model", *Economic Systems Rrsearch*, Vol.6, No.2, 1994.
9. Miller, R.E. and P.D.Blair, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Prentice Hall, 1985.
10. Moore, S.A., "Environmental Repercussions and the Economic Structure: Some Further Comments" . *The Review of Economics and Statistics*, February 1981.
11. Rhee, J.J. and Miranowski, "Determination of Income, Production and Employment under Pollution Control: An Input-Output Approach", *The Review of Economics and Statistics*, February 1984.
12. Stone, R., "The Evaluation of Pollution: Balancing Gains and Losses", *Minerva*, July 1972.
13. Steenge, A., "Environmental Repercussions and the Economic Structure: Further Comments", *The Review of Economics and Statistics*, August 1978.
14. United Nations, *Handbook of Input-Output Table: Compilation and Analysis, Studies in Methods, Series F, No.74*, United Nations 1999.
15. 朝倉・早見・溝下・中村・中野・篠崎・鷺津・吉岡, 環境分析用産業連関表, 慶応義塾大学出版会, 2001年。
16. 池田・篠崎・菅・早見・藤原・吉岡, 環境分析用産業連関表, 慶応義塾大学産業研究所, 1996年。
17. 林 英機, 「公害の産業連関分析」, 新潟大学経済学部「経済学年報」, 第20号, 1995年12月。
18. 林 英機, 「公害の産業連関分析—通商産業省昭和46年公害分析用産業連関表について—」, 新潟大学経済論集, 第69号, 2000年9月。
19. 中山英夫, 山口 務, 「公害」, 篠原三代平・馬場正雄編, 現代産業論3・産業政策, 日本経済新聞社, 昭和48年。
20. 通商産業省, 「公害分析用産業連関表について—関東臨海地域における硫黄酸化物公害の分析—」, 昭和46年7月。