

波及過程分析と逆行列への収束割合

市 橋 勝*
飯 国 芳 明†
池 田 啓 実‡

1 はじめに

産業構造の特性を把握する試みは、産業連関分析研究において比較的古くから存在しており、現在では連関構造分析、質的連関分析などとして知られている。この研究蓄積には大きく二つの傾向があると考えられる。

一つは、投入構造の特徴から来る産業の階層化及びパターン分析である。Leontief [14]やSimpson & Tsukui[18]などの分解可能行列の性質を用いた三角化行列による産業構造の階層化や、4カ国の産業構造の類似性を分類したChenery & Wanatabe[3]という古典的業績を始め、尾崎[17]のユニットストラクチャーなど著名なものが存在している。但し、これらの研究は投入構造そのものの配置替えや、投入比率の特徴などによる生産構造の類型化が主要課題になっていたため、波及過程そのものの分析が前面に出ることはなかった。産業構造の階層化分析は、その後Holub, Schnabl & Tappenier[5]、Slater[19]等のクラスター分析によるものが存在している。

構造分析研究のもう一つの傾向は、投入構造の波及過程やその収束度合いそのものを分析するものである。Yan & Ames[20]の順序行列 (order matrix) による研究は、投入構造から来る波及過程そのものの分析が目指され、Blin & Murphy[2]によってグラフ理論の援用などが主張された。その後順序行列の他に、依存行列 (dependency matrix) や結合行列

*広島大学総合科学部

†高知大学人文学部

‡高知大学人文学部

(connectedness matrix) など幾つかの質的構造行列を利用した分析や、またその特徴を表示する完備性 (completeness) や速度性 (velocity) などの指標の開発として、Holub & Schnabl[6]が知られている。また、Holub & Schnablの方法を日本及びドイツの連関表に適用した研究例としては朝倉 [1]がある。

波及過程の分析には、これとは異なるアプローチとして、Defourny & Thorbecke[4]の社会会計行列 (SAM) への構造経路分析 (structural path analysis) の応用、コスト最小化の輸送問題や電気回路における電流と電圧の決定などに代表されるネットワークフローモデルが産業連関モデルと同一構造を持っていることを理論的に示したOlsen[16]などがある。

さて我々は、Yan & Ames、Holub & Schnabl流の質的な波及過程分析の延長線上に、プロセスグラフ (process graph) の開発を行った (Ichihashi, Ikeda and Iiguni[7])。それまでの順序行列等の手法が、(1) 生産波及の現実の強度が明示されない、(2) 一度取り引きが発生した部門間でそれ以降の取引が無視される、(3) 波及プロセスの経路を示すことができない、などの問題点を有していたため、プロセスグラフはそれを一挙に解決する直感的・視覚的な方法であった。これはその後、取り引き量に応じた産業の配列替え、クラスター分析などの応用研究 (飯國・池田 [12] [11]) や、最終需要の効果分析や地域データへの適用などの方向に発展している (市橋 [9] [11])。

本稿は、以下の五段階で議論を進める。まず第一に、切断乗数として知られる波及途中の状況と逆行列の関係について、実際のデータによって考察する。これがプロセスグラフの方法的前提である。第二に、波及効果分析とプロセスグラフの幾つかのアレンジの関係を明らかにし、改良されたプロセスグラフを図示する¹。主要な改善点は、水準の違う波及同士が線の太さや色分けによって同一グラフで描けるようになったことである。第三に、その上で、プロセスグラフを明示する際の波及水準を逆行列集計値への収束値との関連で決定づけ、実際にその水準によるプロセスグラフと、

そこから特定部門だけを取り出す部門別プロセスグラフを示す。第四に、最終需要のインパクトを受けるとこのプロセスグラフがどのように変化するののかについて、シミュレーションを行う。最後に、プロセスグラフの基本モデルの考え方に簡単な考察を加え、まとめとする。

2 ステップ別波及水準の収束状況：切断乗数とプロセスグラフ

プロセスグラフは、与えられた投入構造が一定であることを前提として、その波及過程（ここではそれをステップと言う）を波及水準に応じて逐次的に図解する方法である。その際の基本的な問題は、(1)何ステップまで波及過程を描くことが実際的であるのか、(2)どのような種類のプロセスグラフが可能なのか、(3)波及水準をどの程度に設定すべきなのか、(4)プロセスグラフを描くことで何が可視的になるのか、ということである。順を追ってこれらの問題を考察してみたい。本節では、まず波及過程のステップ数について見てみよう。

周知のレオンチェフ均衡モデルは、

$$\mathbf{X} = \mathbf{B}[\mathbf{\Gamma}\mathbf{F}_d + \mathbf{E}]. \quad (1)$$

但し、 $\mathbf{B} = [\mathbf{I} - \mathbf{\Gamma}\mathbf{A}]^{-1}$ 。また、 $\mathbf{\Gamma} = (\mathbf{I} - \mathbf{m})$ で、 \mathbf{m} は輸入率（国内需要に占める輸入の割合）による対角行列である。よって、 $\mathbf{\Gamma}\mathbf{A}$ は輸入率を除去した投入係数行列。 \mathbf{X} は産出総額ベクトル、 \mathbf{I} は単位行列、 $\mathbf{\Gamma}\mathbf{F}_d$ は輸入率を除去した国内最終需要ベクトル、 \mathbf{E} は輸出ベクトルをしめす。

ここでの産出総額ベクトル \mathbf{X} は、独立需要によって与えられた直接・間接の波及効果の集計値ベクトルである。

言うまでもなく、この均衡モデルの最も大きな特徴は、瞬時に均衡産出

¹今回プロセスグラフは、計算上時間を要するものをC言語によるプログラムで補完的に計算させたほかは、基本的にS言語によりそのプログラムを書いた。そのため、これまでのC言語によるものよりも図解が簡易かつ明瞭になった。実際のコンピュータ上での図示は線の太さだけでなく、色による区別も行えるようにしてある。なお、使用データは総務庁の「平成2年産業連関表」32部門統合大分類である。

量 X がもたらされるという想定になっていることである。

そこで、(1)式を級数展開して、

$$X = [I + \bar{A} + \bar{A}^2 + \dots + \bar{A}^t + \dots] [\Gamma F_d + E] \quad (2)$$

但し、 $\bar{A} = \Gamma A$ である。

右辺第一項の級数展開の各項が、一定の投入係数を前提とした場合の波及ステップに相当することになる。理屈の上では、レオンチェフ逆行列は究極的な波及プロセスの集計結果として得られている。

問題は、このステップ数を大きく見ることが現実的かどうかである。ステップ数を大きくすることがそれほど有効でないとしたら、どの程度のステップ数によって逆行列に収束すると判断することが実際的であるかということである。このような観点の検討は、切断乗数の考え方として以前から知られており、そしてまた実際上のステップ数も低次であることが知られている²。

いま、各ステップごとに波及水準が逆行列にどのように収束していくのかを、集計値として次式で計算してみよう。

$$L_t := \frac{e' I e + \sum_{i=1}^t e' \bar{A}^i e}{e' B e} \quad (3)$$

但し、 e は、 n 個の1だけからなる列ベクトルである。 $'$ は転値を示す。

この式より、 $0 < L_t \leq 1$ であり、 $t \rightarrow \infty$ ならば、 $L_t = 1$ である。 L_t は、そのステップまでの波及水準で全波及効果の何%までが説明可能であるのかを示す指標である。

今、この収束状況を90年の全国連関表データで示したものが図1である。

この収束状況を第6次のステップまで数値で表せば、表1ようになる。

これらからはっきりする通り、ステップ数 t を上げれば逆行列集計値への収束指標 L_t の値は高まるが、無限に t を大きくすることは実際上の意味

²例えば、宮沢[15]第4章。

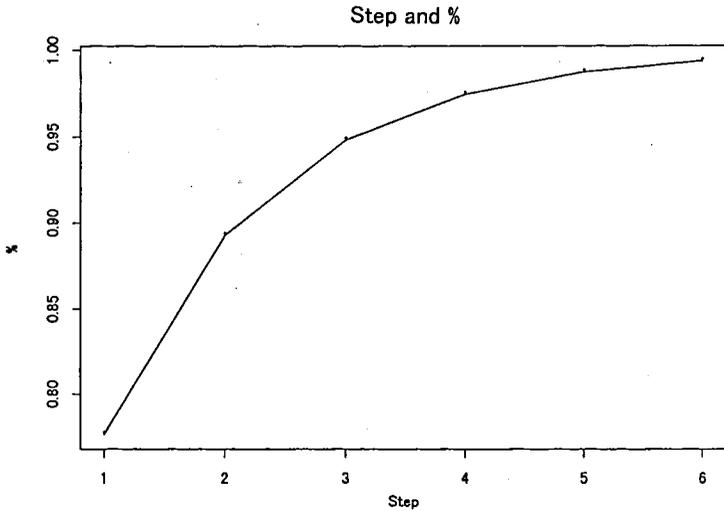


図1：波及プロセスと逆行列値への収束状況

がない。適度な i の大きさで L_i の水準を求めるならば、この t は実際上 3 ~ 5 程度で逆行列の 90% 水準以上を説明し得ることが分かっている³。

以上より、本稿では逆行列の 90% 以上の収束が達成されるステップ (今回の場合 3 ステップ) によってプロセスグラフを描くこととする。このステップの低次の有限性がプロセスグラフを描く上での必要条件である⁴。

3 プロセスグラフの基本モデル

政策的見地からすると、レオンチェフ逆行列による各部門での最終的波及結果もさることながら、それが如何なる部門間の取り引きを通じてもた

³日本及び国内の複数の連関表による実証的結果は、Ichihashi, Ikeda & Iiguni [7] や市橋 [8] に示されている。そこでは、逆行列集計値への全部門平均の収束値が示されているが、同様に 3 ~ 5 程度で逆行列の 90% 以上収束することが分かっている。

⁴実際のプロセスグラフのプログラムでは、逆行列への収束割合を任意に設定することが可能である。

表1 波及過程の収束状況

	逐次計算値／逆行列集計値
1 次	0.7765751
2 次	0.8929389
3 次	0.9482047
4 次	0.9747187
5 次	0.987567
6 次	0.9938467

らされた結果であるのかという情報が有用であるケースがある⁵。そのような質的な産業間の連関構造を把握するために、我々は前稿[7]において、プロセスグラフという波及効果の図解的分析プログラムを提示した。それは、部門及び産業を表す各ノードと、取り引きの有無及びその強度を表す直線、更に波及ステップ数によって表されるものである。

プロセスグラフの基本モデルは、先の(2)式とそのアレンジから得られる。それは大きく三つに分けられるので、今それらをモデル1、モデル2、モデル3と便宜的に名付けておくこととする。

3.1 モデル1：波及プロセス集計モデル

モデル1の計算式は次の通りである。

$$M_1 := [I + \tilde{A} + \tilde{A}^2 + \dots + \tilde{A}^t] \quad (4)$$

このモデル1は先の(2)式をそのままプロセスグラフにしたものである。

$t \rightarrow \infty$ ならば、先の(1)式から

$$B = M_1 \quad (5)$$

となる。

ここでは各ステップにおいて集計結果が反映されるので、プロセスグラフにおける取り引き経路はステップ毎に増えていくことになる。今、このモデル1によって0.1以上の波及水準のプロセスグラフを描くと、図2の

⁵具体的な産業育成策において、そのような情報は不可欠であろう。

ようになる⁶。

プロセスグラフの基本的な見方は、直線が上のノードから下のノードに引かれる場合に、上の部門が下の部門から投入を行ったことを示し、逆に下の部門が上の部門に産出を行ったことを示している。

さてこの図では、最初の段階（投入係数そのもの）で自部門以外には6部門から、合計9本の取り引き経路が引かれているのに対し、第3ステップでは多くの産業から投入・産出が発生していることが分かる。これは、ステップを増やす毎に行列の累乗計算の集計効果が出てくるためである。第3ステップで90%以上の波及が説明できることは上記で見たが、0.1という規模の波及よりも大きな波及はそれほど多くないことが分かる。更に、このプロセスグラフではステップ毎に発生する取り引きが如何なる波及の結果としてもたらされたものであるのかが必ずしも明瞭ではない。

この点を明瞭にするには、この波及水準をもう少し下げてもう試してみることである。実際、ここでは示さないが、この波及水準を任意に変化させることで様々なプロセスグラフを描くことは可能である。

3.2 モデル2：逐次波及モデル

先のモデル1は、レオンチェフモデルの級数展開式の集計結果をそのままプロセスグラフに描くものであった。

但し、このモデル1は集計結果（ここでは第3ステップまでの）を一括して与えているため、逆行列による瞬時均衡モデルの想定と基本的に変わらないことになる。

だが、第一に、現実経済においては瞬時に累計効果が次のステップ現れる保証はない。しかも、第二に、前節で触れたように、集計結果による効果によって、ステップ毎に発生する取り引きが如何なる部門間の波及の結果としてもたらされたのかが、プロセスグラフでありながら見えにくいという問題点がある。そこで、モデル1の累計効果を分解してプロセスグラ

⁶但し、図の簡潔性の観点から自部門同士の波及は除外してある。

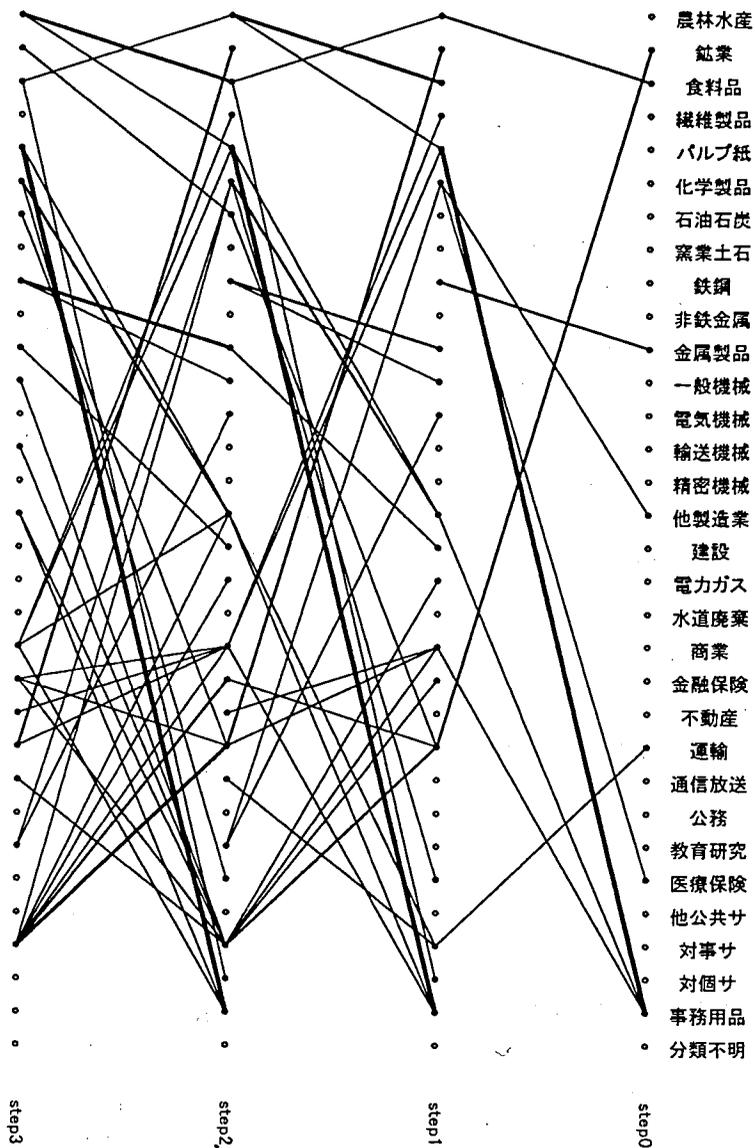


図2：プロセスグラフ モデル1：集計モデル

フを描くのが、ここでのモデル2と次のモデル3であり、我々が多用するグラフである。

モデル2は、逐次過程の投入係数行列累乗計算をプロセスグラフに描くもので、その計算式は以下の通りである。

$$\begin{aligned}
 \text{1st Step} \quad & \tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}] & i, j = 1, 2, \dots, n \\
 \text{2nd Step} \quad & \tilde{A} \cdot \text{diag}(\tilde{A}e) = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ik} \tilde{a}_{kj} \right] & i, k = 1, 2, \dots, n \quad (6) \\
 \text{3rd Step} \quad & \tilde{A} \cdot \text{diag}(\tilde{A}^2e) = \left[\sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ik} \tilde{a}_{ks} \tilde{a}_{sj} \right] & i, k = 1, 2, \dots, n \\
 & \dots
 \end{aligned}$$

ここで、 e は1だけの要素 n 個からなる列ベクトル、 $\text{diag}(\)$ は括弧内ベクトルによる対角行列を表す。

すなわち、このモデル2は展開式(2)の単位行列以外の各項を逐次波及過程と見て、プロセスグラフにするものである。これによって、集計されていた波及効果を項別に分離して表示しうることになる。ここでは、各ステップ毎に各々のノードに入ってくるフローを全て逐次集計しているのが特徴である。つまり、産出方向を逐次集計して各ステップ毎にプロセスグラフとしている。

但し、このモデルでは、波及ステップが進めば $\tilde{a} < 1.0$ である限り、波及水準はどんどん下がって行くから、ステップ毎にグラフ表示のための波及水準を適当に下げてやる工夫が必要となる。今、仮に第1ステップでは0.1より大、第2ステップでは0.03より大、第3ステップでは0.01より大という波及水準で、モデル2のプロセスグラフを描くと図3のようになる。

図からはステップを追うに連れ取り引きが多くなる部門がある程度特定化されることが分かる。パルプ・紙、化学製品、鉄鋼、輸送機械、対事業所サービスなどの投入や商業、金融・保険、対事業所サービスの産出などが第3ステップにおいて他の産業よりも規模が大きいと分かるのである。

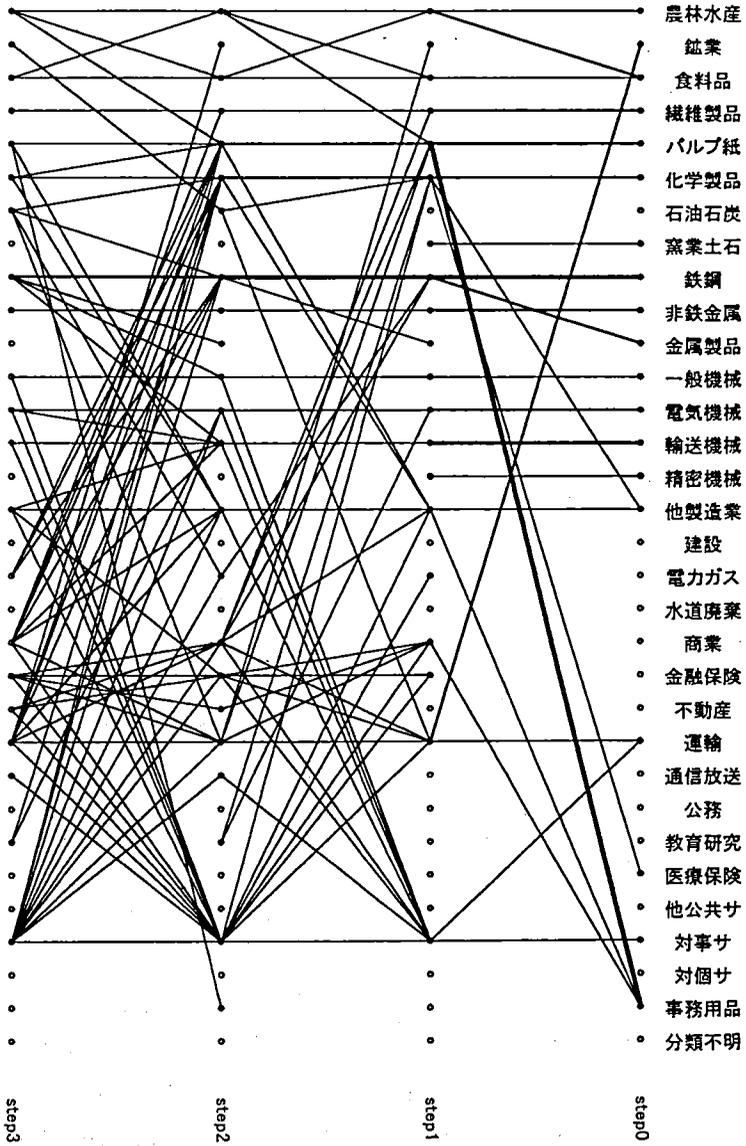


図3：プロセスグラフ モデル2：逐次波及モデル

ここではステップ毎に波及水準を変更して描いたが、この波及水準をどのように設定するのがより合理的であるのか、というのが始めに述べた二つ目の基本的問題である。この点は後述する。

3.3 モデル3：分離波及モデル

モデル2においては、投入係数行列の累乗過程をプロセスグラフにするものであった⁷。

このモデルの(6)式では、各ステップで各行列の要素（集計値）を使用している点が特徴である。数式上の演算では確かに行列の累乗要素はこのような集計値の形を取る。だが、投入係数行列Aの各要素を第*i*部門から第*j*部門への技術的投入割合とあくまで捉えるならば、各ステップの波及効果は各段階での行列の累乗を更に分解して、投入係数同士の積としてのみ捉えることも可能となる。そして、これが各ステップの集計効果を伴わない技術的波及プロセスと考えることができる。

これがモデル3であり、ここではそれを分離波及モデルとしておこう。従って、その計算式は次の通りとなる。

$$\begin{array}{ll}
 1st\ Step & \tilde{a}_{ij} > c \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad \implies \quad i, j \text{ 連結} \\
 2nd\ Step & \tilde{a}_{ik} \tilde{a}_{kj} > c \quad i, k, j=1, 2, \dots, n \quad \implies \quad i, k, j \text{ 連結} \quad (7) \\
 3rd\ Step & \tilde{a}_{ik} \tilde{a}_{ks} \tilde{a}_{sj} > c \quad i, k, s, j=1, 2, \dots, n \quad \implies \quad i, k, s, j \text{ 連結} \\
 \dots &
 \end{array}$$

但し、*c*は評価値=ある特定の波及水準（臨界水準）を示す。

任意の波及水準 *c* の値を与え、連結される部門ノードを各ステップ毎に実線で結んで表示すれば、モデル3のプロセスグラフが描かれるのである⁸。

但し、モデル3のプロセスグラフは集計値を一切用いないものなので、

⁷この方法を使用した産業配列の変更等は飯國・池田[12]によって試みられている。

⁸Ichihashi, Iiguni & Ikeda[7]や市橋[10][9]などで描かれたプロセスグラフは、全てこのモデル3の手法に依っている。なお、このグラフを考案するための、学説史的検討とプロセスグラフの基本的バリエーションの詳細はIchihashi, Iiguni & Ikeda[7]を参照のこと。また、その分析視角から従来の連関研究の特徴を述べたものに飯國・池田[11]がある。

各ステップでの波及水準は先のモデル2（逐次波及モデル）よりもさらに水準を落とさないと、ある程度のグラフが描けない。そこで、今、第1ステップでは0.1より大、第2ステップでは0.01より大、第3ステップでは0.005より大という波及水準で、モデル3のプロセスグラフを描くと図4のようになる。

プロセスグラフの大きな特徴は、始めの投入構造が大きい部門のうちから、数次のステップを経てもその波及の影響が生き残る部門が出てくる点にある。つまり、波及の「長い」産業と言うことができる。この図からは、パルプ・紙、鉄鋼、輸送機械などを含めた8産業ほどがそのような産業であると分かる。また、モデル2で示されていた産出型産業としての対事業所サービスは、モデル3のプロセスグラフでは消えていることから、この波及の規模はそれほど大きいものでないことが分かる。

以上、ここまででプロセスグラフの代表的な三つのモデルを見てきた。集計値を用いる場合とそうでない場合によって、描かれるグラフはかなり違ったものになり得ることが分かる。

このことは与えられた始めの投入係数Aが、それほど規模は大きくないものの数多くの産業との取り引きを有しているものであるのか、それとも個別の投入係数がかなり大きな水準であるのかという特徴に依存していると考えられる。プロセスグラフの各モデルは、投入係数のこの重なり合っている特徴を分離しながら描くものであるとすることができる。

さて、以下においては、投入係数の技術的波及過程に最も相応しいという観点から、モデル3の分離波及モデルを使用する⁹。

⁹容易に察しがつくように、このモデル3の計算量は指数的に多くなる。本稿で検討したものは32部門という小さなものだが、それでも第3ステップまでの波及過程を調べるには1,082,400個ほどのデータを検討せねばならないため、計算プログラムの実行はかなりの時間を有した。

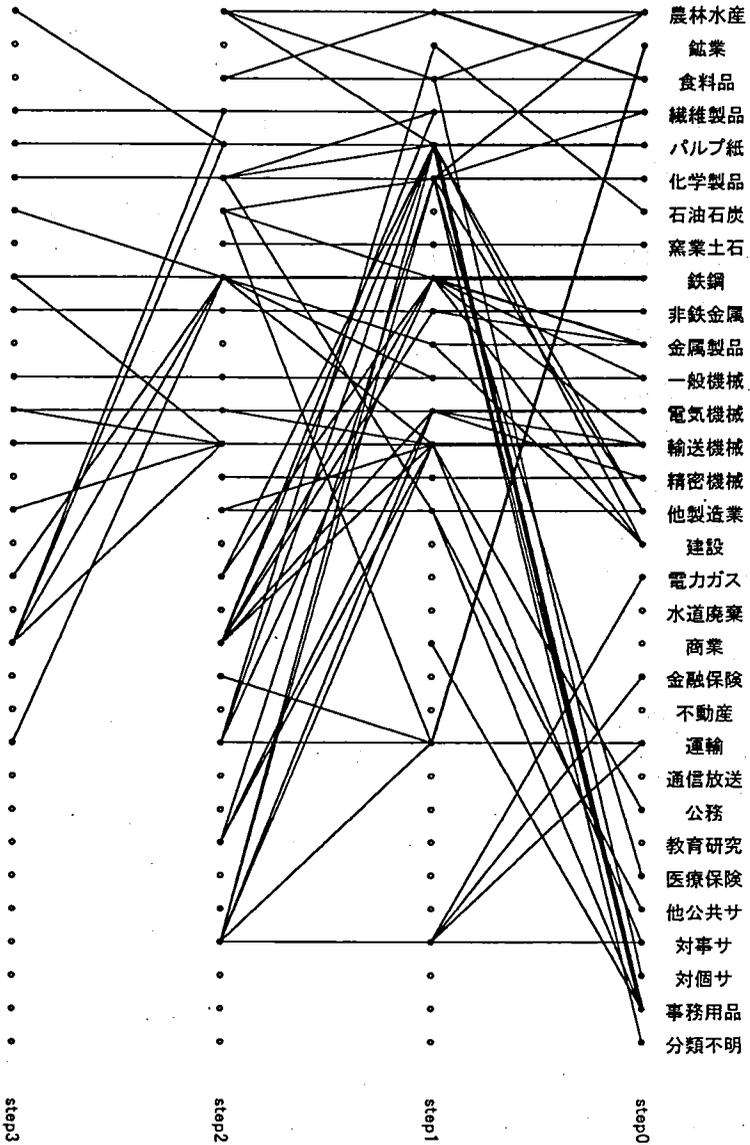


図4：プロセスグラフ モデル3：分離波及モデル

4 臨界水準の内生化

前節でのプロセスグラフの各モデルにおいて、描かせる波及水準＝臨界水準を我々は任意に与えていた。いわば外生的に与えてきたわけである。これはこれで目的に応じたグラフを描かせるという点で無意味ではない。だが、始めに述べたように、投入係数の性質から来る内在的に相応しい波及水準を設定できないだろうかというのが次の問題である。ここではそのための一つの考え方を提供する¹⁰。

上記で示された結果によって、例えば第3ステップで全波及水準の90%以上が説明できるとすれば、逆に、ちょうど90%水準を突破する第3ステップにおける波及水準があるはずである。それが如何なる値になるかを求めることは可能である。すなわち、どの水準の波及効果が90%水準をクリアするのかを求め、その値を先の(7)式の臨界水準 c の値とすれば、全波及水準の90%のプロセスグラフが描けることになる。

この波及水準と収束割合の関係を、90年の全国連関表から求めたものが図5である¹¹。

この図から明らかのように、波及水準の高さと収束割合はトレードオフの関係にあるので、これを利用すれば、ある特定の収束割合を求めたいときの波及水準は内生的に求められることになる。

これは、第3ステップまでを例に取れば以下の手続きによって求められる。

まず、(7)式によって求められた全ての要素を y という系列で示す。

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_h, \dots, y_l, \dots, y_m) \quad (8)$$

但し、

$$h = ij = n^2, \quad l = ikj = n^3, \quad m = iksj = n^4 \quad (9)$$

である。 i, j, k, s は(7)式で示されたsubscript、 n は産業部門数である。

¹⁰同様の考察に飯田・池田[12]がある。

¹¹ここではデータの量の関係から、波及水準は投入係数行列の逐次計算によって求めている。

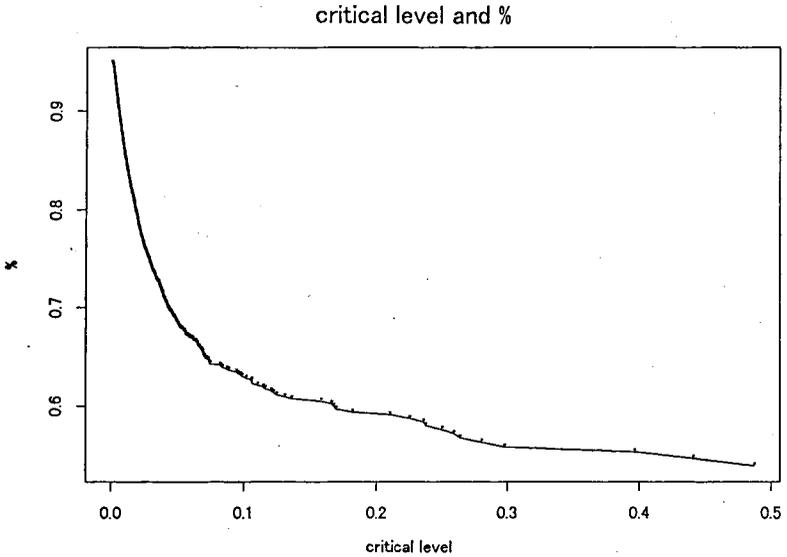


図5：波及水準と収束割合の関係

この要素を値の大きいものから順番に並べ変えた順序系列を

$$z = (z_1, z_2, \dots, z_m) \tag{10}$$

但し、 $z_1 \geq z_2 \geq \dots \geq z_m$

とする。

この順序系列の和と逆行列集計値との比は次式で与えられる。

$$v = \frac{\sum_{t=1}^m z_t}{e^B c} \tag{11}$$

これより、臨界水準cは次のように求められる。

$$c = \min_{z_t} \{v > u\} \tag{12}$$

但し、uは求めたい収束水準の値 ($u \leq L_i$) で、ここでの例ではu=0.9である。

表2 臨界水準と収束割合

対逆行列比率	臨界波及水準
0.70	0.040768
0.75	0.021377
0.80	0.009130
0.85	0.002621
0.90	0.000429

こうして、プロセスグラフで与えられる臨界水準は、求められる逆行列への収束割合をクリアする初めの値（クリアする系列群の中で最小の波及効果）として与えることが可能となる。

今、この評価関数によって90年のデータから求めると臨界水準は表2のように求められる。

こうして求められた臨界水準によってプロセスグラフを描くならば、描かれたプロセスグラフそのものが全波及の特定割合を表示していることになる¹²。

さて、表2からの数値をもとに、今逆行列集計値の85%水準を超える臨界水準によってモデル3のプロセスグラフを描かせてみよう。それが図6である。

当然のことながら、全波及の85%の取り引きを全て描かせている関係上、プロセスグラフは見難いものとなる。これを回避するには、収束割合を下げて臨界水準を上げるやり方がもちろんあるが、ここではある特定部門だけを抽出してグラフを見ることとしたい。それが部門別プロセスグラフである。これはある特定部門の投入と産出の取り引き経路だけを同じ波及水準の下で抽出してグラフ化したものである。図6から、例えば電気機械産

¹²この収束割合と臨界水準の計算方法は、実際には二通りの計算方法があり得る。一つは、逆行列集計値への収束割合と臨界水準を求めるやり方で、あと一つは、先に求めた逆行列の90%水準の波及合計値への収束割合とその臨界水準を求めるやり方である。ここでは前者の方法を用いて求めている。後者の場合、例えば90%水準をクリアする波及によって臨界水準を求めるならば、そこでの収束割合は全波及の観点からすれば更に0.9倍して考える必要がある。

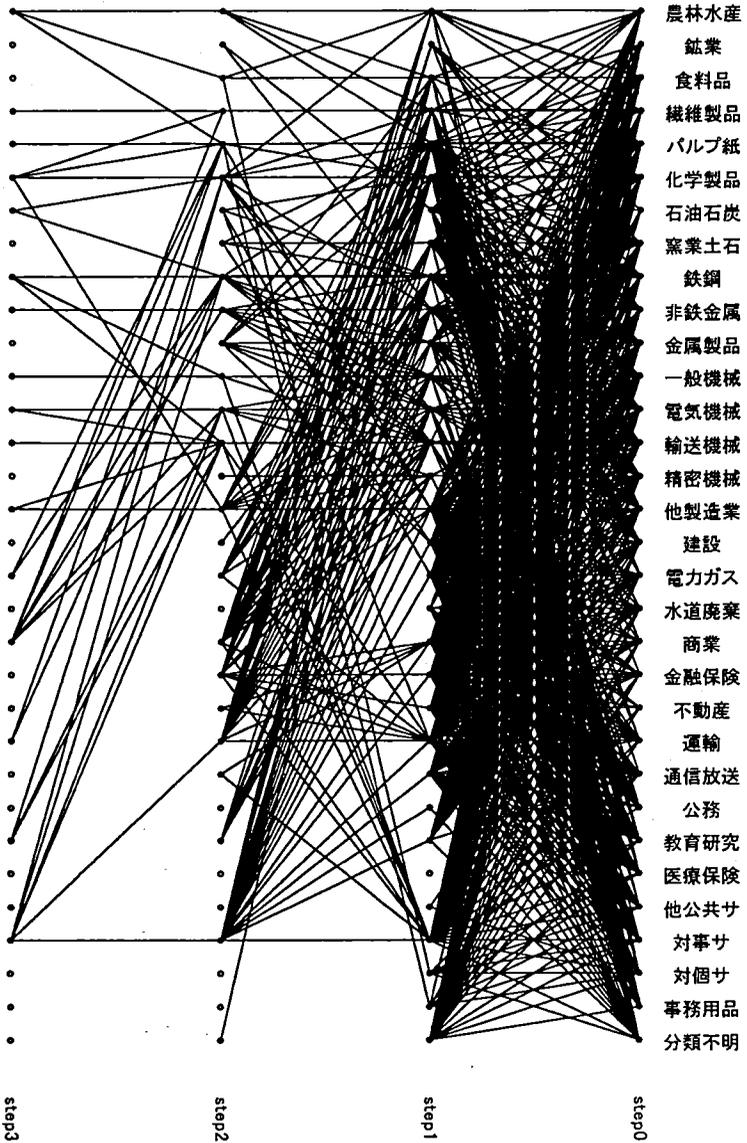


図6：プロセスグラフ 対逆行列85%水準

業だけを抽出して部門別プロセスグラフを描かせたものが、図7である¹³。

この図から一目瞭然であるが、電気機械産業は上から下への流れ、つまり投入経路が多くなっており、加工組立型産業の特徴がはっきりと現れている。第1ステップで20産業に投入経路が出ているが、特に、商業、教育・研究、対事業所サービスへの投入は第3ステップまで波及が伸びており、影響力が大きい。産出としては建設を含めた12産業への経路のうち、輸送機械への経路が「長い」波及となっている。

以上のように、我々は波及水準を逆行列への収束割合との関係内で内生的に求めることが可能であることを示した。いわば波及水準を投入係数のデータによって根拠づけることができたわけである。更に、そこに部門別プロセスグラフを併用することで、個別産業の波及を追跡できることが明らかとなった。

5 シミュレーション分析：最終需要インパクト

これまでで、与えられた投入係数を前提にしてその波及プロセスを描くことが明らかとなったが、最後に、このプロセスグラフのシミュレーション例を示すことで、応用可能性の一つを例示したい。

ここでは、上記の波及プロセスを有する投入構造に、最終需要が与えられるとどのような波及プロセスに変化するののかを見てみよう。

シミュレーションに用いる式は始めに述べたレオンチェフモデルの均衡式(2)から得られるもので次の通りである。

$$[I + \tilde{A} + \tilde{A}^2 + \dots + \tilde{A}^t + \dots] \Gamma F_d \quad (13)$$

$$[I + \tilde{A} + \tilde{A}^2 + \dots + \tilde{A}^t + \dots] E \quad (14)$$

¹³但し、言うまでもないが、この部門別プロセスグラフは、電気機械産業の全取引の85%に相当すると解釈するには無理がある。表2の各値は逆行列集計量に対する収束度合いであって、当該産業の収束度合いではないからである。これを検討するには当該産業における逆行列値への収束値を見る必要がある。

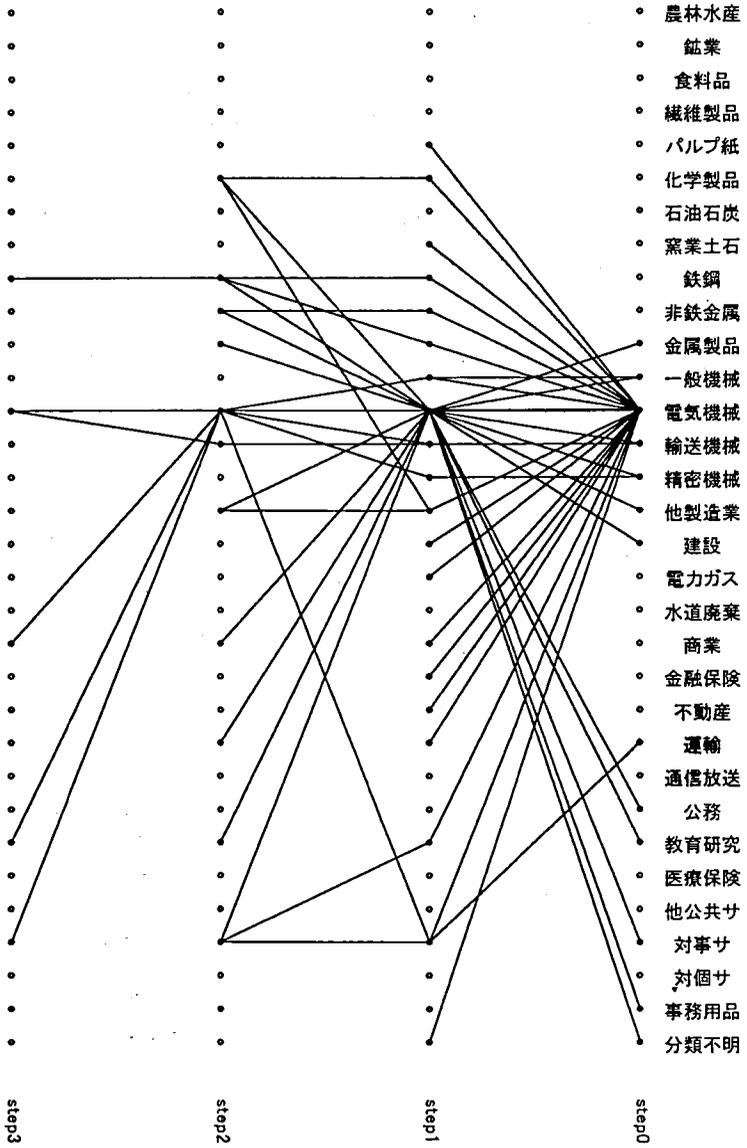


図7：部門別プロセスグラフ：電気機械

(13)式の方が、輸入率を除去した国内需要を示す最終需要ベクトルを与えたもので、(14)式が輸出（外国需要）を示す最終需要ベクトルである。

各々のベクトルは90年の全国連関表からその構成比を下に算出したものである¹⁴。

この両者をモデル3の分解波及モデル(7)式によって示したものが、図8と図9である。但し、波及水準は第1ステップで0.1、第2ステップで0.01、第3ステップで0.005として描いてある。

図8では、建設からの投入の強さが際だっている。このことは国内需要において建設への需要が際だって高いことを物語っている。特に、第2ステップにおいても電気・ガス、水道・廃棄物、不動産から派生した建設への需要が投入を継続させている。

だが、その波及の長さでは加工組立型の輸送機械、電気機械、一般機械が目立っている。これらの産業は通常影響力係数で見ても影響力の高い産業として位置付いているが、それらの事実とも符合する結果となっている。但し、同じ影響力係数が強い産業でも、例えば鉄鋼などは、先のプロセスグラフの図4では強い影響力を示していたが、国内需要の関係からこのシミュレーションでは間接効果による取引ししか生まないことが確認できる。

他方、対事業所サービスの産出や商業、運輸、対個人サービスなどの投入も国内需要のインパクトでは目立っている。対個人サービスの投入は、まず食料品への流れ、それが更に農林水産と商業に伸びているのが特徴である。対事業所サービスは第1、2ステップで5つほどの産業から需要されているが、自分自身からの大きな投入が発生していないことが分かる。

さて、次に図9のほうは、図8とはかなり様相が異なるプロセスグラフとなっている。ここでは、何と言っても輸送機械、電気機械、一般機械という加工組立型機械産業のインパクトが際だっている。しかも、これらのプロセスグラフはその相対的な強さを保持しながら波及を伸ばしているこ

¹⁴各々の最終需要における部門別構成比を平均1になるように基準化したものである。つまり、合計32単位を各々の部門構成比をウェイトにして計算したもので、構成比の違いがそのまま値に反映している。

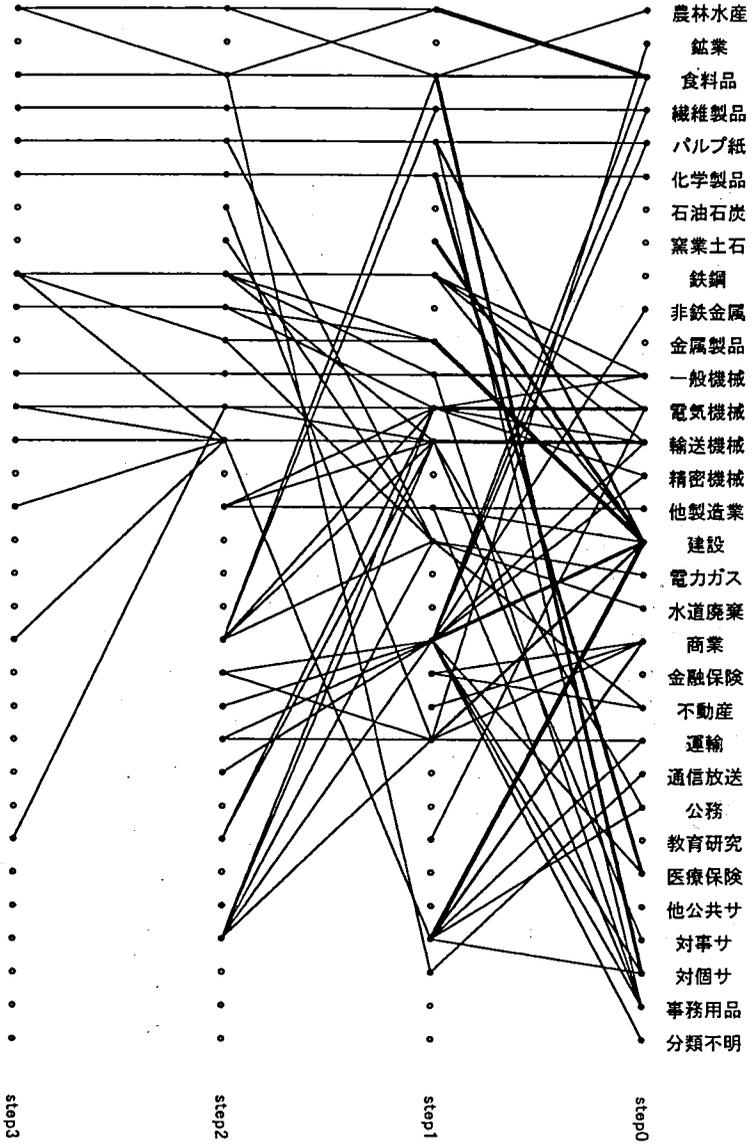


図8：最終需要インパクト：国内需要のケース

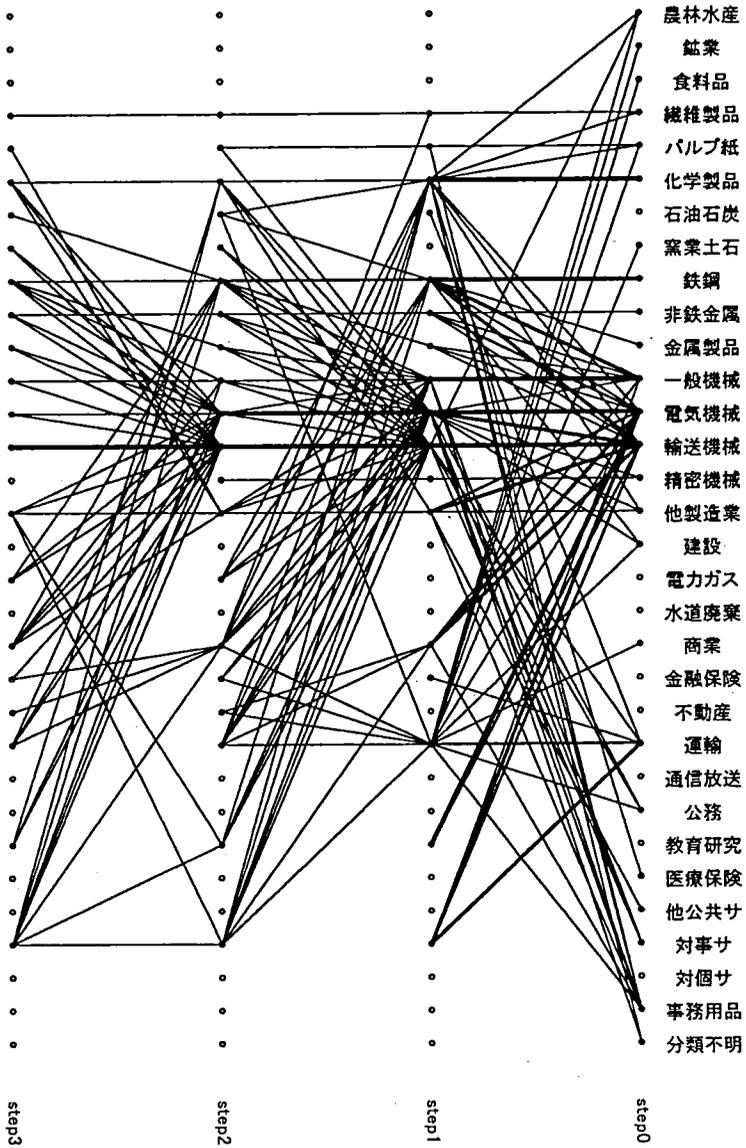


図9：最終需要インパクト：輸出のケース

とが、先の図8と比較して明らかである。すなわち、これらの産業はその影響力の範囲、規模から言って他産業を圧倒していると言える。日本経済が、結局のところ外需に依存せざるを得ない構造的特質を有していることは、このプロセスグラフの波及の特徴から明らかとなっている。

更に、これらの産業は商業、運輸、対事業所サービスなどの国内の重要なサービス関連産業へも大きな影響を及ぼしている¹⁵。もちろん、これらのサービス関連産業は、本来的に最終需要的な基礎型産業であるので、多くの産業から影響を受けることは当然のことではあるが、プロセスグラフに依れば、外国需要によってより大きな影響を受けている日本経済の特徴がはっきりと示される。

以上、二つのシミュレーション結果から、プロセスグラフは国内と外国からの最終需要のインパクトの違いを明瞭に示すのに有用であることが分かるのである。

6 要約と結論

本稿では、質的連関分析の問題意識から開発されたプロセスグラフの改良版とその幾つかの基本的モデル、更に波及水準の内生化、そして、シミュレーション分析を示した。

最後に、基本モデルについての若干の考察を行って要約としたい。

本稿では、レオンチェフモデルの級数展開の形をそのまま反映したモデル1と、そこから集計結果を分離させている手法としてのモデル2（逐次波及モデル）と3（分離波及モデル）を見た。モデル2と3の違いは、ステップ毎に他の経路からの波及を逐一集計して次の波及として考慮するか、ステップ毎の他の経路から入る波及を無視して最初の投入係数行列の

¹⁵国民経済計算データによれば、商業、運輸、対事業所民間サービス業などは、1970年代以降一貫して成長し続けている成長型サービス関連産業である。具体例を挙げると、商業ではコンビニエンスストアに代表される小売、運輸では宅配便などの陸運、対事業所サービスでは情報関連サービスなど、そのどれもが80年代以降堅実な成長を遂げている。

要素間の積として表すか、にある。すなわち、前者はステップ毎に他部門からの波及を全て考慮したステップ別連関の強さを示すモデルであり、後者ははじめの投入係数要素で与えられる当該部門同士の技術的連関（部門別波及効果）の強さを示すモデルとなっているのである。

前者はステップ毎の波及を逐一各部門で集計する作業を通じてプロセスグラフを描いているので、ステップ毎の各部門での波及の特徴を強調する点で優れている。その反面、各ステップでの集計の為にどの部門間の波及が次のステップで効いているのか捉え難いという弱点を有している¹⁶。また、波及の集計という形で次のステップに波及が継続されているかどうかは現実には分からないという意味で、波及結果が過大に評価されている可能性を含んでいる¹⁷。

一方後者は、文字どおり集計量を用いていないことから、純粋に当該部門間の技術的連関の強さを示す点で優れている。その反面、ステップ毎に流入してくるであろう他部門からの波及を無視しているので、実際の波及よりも過小に評価されている可能性が高いという弱点を有している¹⁸。

従って、両モデルは分析目的と課題の性質に応じて使い分けるべきものであるだろう¹⁹。そのことは、ステップ別波及に分析主眼を置く場合と、部門別連関に分析主眼を置く場合とで、同一連関表から引き出すべき情報が異なることを意味しており、逆に言えば、一つの連関表からは複数の波及特徴を析出できることを意味している²⁰。

¹⁶すなわち、前のステップで発生していなかった部門間の取り引きが、そのステップで発生することがあり得るが、それは個別部門のどの取り引きが新たに発生した取り引きを引き起こしたのかについては何も語らない。

¹⁷無論、投入係数の値や逆行列の値を超えて過大になる、ということではない。

¹⁸これも連関構造の実体を反映していないという意味ではない。

¹⁹但し、この方法的な相違のために、同じ連関表であっても描かれる結果が異なるものになることは言うまでもない。

²⁰なおモデル2に依る方法では、既に述べたように、モデル3では課題にしていなかった産業配列の変更の方法も提示している。飯國・池田[12]・取り引き量の大きさに応じて、対角要素とその近隣に配置するようにする数量化3類を援用したこの方法は、それだけで一つの独自性を有している。

今後、このプロセスグラフに必要なことは、何よりも豊富な実証分析結果である。これはいわばプロセスグラフのシミュレーション実験である。無論、これは筆者達の今後の課題である。

(平成9年9月24日脱稿)

参考文献

- [1] 朝倉啓一郎、「日独の産業連関システム」、川口雅正・浜砂敬郎編『現代経済システムの諸問題』、九州大学出版会、1997。
- [2] Blin, J. M. and Murphy, F., "Notes and Comments On Measuring Economic Interrelatedness," *Review of Economic Studies*, Vol. 61, 1974, pp. 437-440.
- [3] Chenery, H. B. and Watanabe, T., "International Comparisons of the Structure of Production," *Econometrica*, Vol. 26, No. 4, 1958, pp. 487-521.
- [4] Defourmy, J. and Thorbecke, E., "Structural Path Analysis and Multiplier Decomposition within a Social Accounting Matrix Framework," *Economic Journal*, 94, 1984, pp. 111-136.
- [5] Holub, H. W., Schnabl, H. and Tappenier, G., "Qualitative Input-Output Analysis with Variable Filter," *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, No. 141, 1985, pp. 282-300.
- [6] Holub, H. W. and Schnabl, H., "Qualitative input-output analysis and structural information," *Economic Modelling*, Jan., 1985, pp. 67-74.
- [7] Ichihashi, M., Ikeda, H., Iiguni, Y., "A Means of Graphical Analysis for Input-Output Table", *KOCHI UNIVERSITY REVIEW OF SOCIAL SCIENCE*, No. 54, 1995.
- [8] 市橋 勝、「波及経路行列による産業構造分析」、広島大学総合科学部紀要2『社会文化研究』、第21巻、1995。
- [9] 市橋 勝、「日本経済の質的構造と内需拡大問題」、行財政研究所『行財政研究』、第25号、1995。

- [10]市橋 勝、「プロセスグラフとグラフ理論」、泉・木下他編『経済統計学の現代化』、晃洋書房、1995、pp.109-126.
- [11]飯國芳明、池田啓実、「産業連関分析における取引連鎖構造分析視角の検討」、高知大学『高知論叢』、第58号、1997.
- [12]飯國芳明、池田啓実、「産業連関分析における質的分析手法の開発と適用：プロセス行列とプロセスグラフ」、地域農林経済学会報告、1997 3.
- [13]池田啓実、「地域産業のための構造分析」、高知大学『高知論叢』、第49号、1993
- [14]Leontief,W., "The Structure of Development," in his *Input-Output Economics*, Oxford Univ. Press, 1966.
- [15]宮沢健一『日本の経済循環 第四版』、春秋社、1980.
- [16]Olsen, K. A., "Input-output models, directed graphs and flows in networks," *Economic Modelling*, October, 1992, pp. 365-384.
- [17]尾崎 巖、「経済発展の構造分析（三）」、『三田学会雑誌』、73巻5号、1980、pp.66-94.
- [18]Simpson, D. and Tsukui, J., "The Fundamental Structure of Input-Output Tables ; An International Comparison," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 47, 1965, pp. 434-446.
- [19]Slater, P.B., "The Determination of Groups of Functionally Integrated Industries in the United States Using a 1967 Interindustry Flow Table," *Empirical Economics*, Vol. 2, 1977, pp. 1 - 9.
- [20]Yan, C. and Ames, E., "Economic Interrelatedness," *Review of Economic Studies*, Vol. 32, 1965, pp. 299-310.
- [21]横倉弘行、『産業連関分析入門』、窓社、1990.