ノンサーベイ・アプローチによる投入係数の推計と検証*

丸山　佐和子

要約

本論では，産業連関表の投入係数を推計するノンサーベイ・アプローチのうち，RAS 法と RECRAS 法，変化率の適用による投入係数の推計と検証を行った．検証の結果，最も誤差率が小さいのは二時点間の変化率を適用した場合であった．ただし，今回の分析では RAS 法及び変化率では粗付加価値部門の投入構造の変化は考慮しておらず，誤差が粗付加価値部門に吸収されている点を留意しなければならない．

目次

１．はじめに

1.1 分析の背景

産業連関表を作成する際，アンケート調査などによる一次データの収集ができず，産業構造の把握が困難な場合がある．このような時，過去のデータや他地域のデータの二時点間の変化を計算し，その計算結果を適用して投入係数を推計する方法がとられる．ノンサーベイ・アプローチとは，このように予測時点の投入係数に関する直接的な情報が得られない場合に用いられる推計方法を指す．大阪府では，5 年ごとに作成される大阪府産業連関表（基本表）のほか，中間年に延長表を作成している．この延長表の作成はノンサーベイ・アプローチを用いたものである．

ノンサーベイ・アプローチにはいくつかの方法があるが，実際に推計を行う上では，どの推計方法を用いた投入係数が最も整合性があるかを検証することが必要となる．この時の検証は，投入係数行列の推計値と実績値の間の誤差がどの程度かを比較・検討するものが一般的である．

本分析では，ノンサーベイ・アプローチのうち，RAS 法と RECRAS 法，変化率の適用による投入係数の推計と検証を行う．具体的には，基準年，比較年の全国産業連関表を用いて求められた代替変化乗数 R，加工度変化乗数 S を用いて，大阪府の基準年の投入係数から比較年次の投入係数を求め，その実績値（大阪府産業連関表投入係数表）との誤差を検証する．

1.2 先行研究

ノンサーベイ・アプローチによる推計方法の検討と推計結果の検証を行った分析にはどのようなものがあるかを紹介する．

投入係数の推計方法に関する研究は，産業構造に関する情報の把握が容易ではない途上国産業連関表の作成に関して，ノンサーベイ・アプローチを用いた多くの分析が行われている．アジア経済研究所で開発が行われているアジア国際産業連関モデル（以下，AIO モデル）では，十分なデータの得られない途上国の投入構造をいかにして推計するか，といった点を問題とし，分析を行っている．例えば岡本（2004）では，延長表作成の対象年のデータを得られる国の投入構造を用いてデータを得られない国

の投入構造を推計する方法を検討し，実際に推計した値が妥当であるかの検証を行っている．

AIO 研究で推計方法として最も多く取り上げられているのは，次節で解説する RAS 法である．このため，推定値の検証も，多くの場合 RAS 法による推定結果の評価となっている．例えば Ishikawa（2005），石川（2006）は RAS 法を用いた場合の代替変化と加工度変化について分析し，さらに複数の検定指標を用いて投入係数の予測における RAS 法の有用性を議論している．

このほかに，投入係数行列の推定および推定結果の検証を行っている研究として，奥田・鈴木（2005），石川（2003），高川・岡田（2004）が挙げられる．

２．ノンサーベイ・アプローチ

2.1 主なノンサーベイ・アプローチ

主なノンサーベイ・アプローチとして挙げられているものには次のものがある．

- ・RAS 法
- ・RECRAS 法
- ・ラグランジュ未定係数法
- ・平均増加倍率法
- ・変化率の適用

RAS 法は投入係数の推計に多く用いられている方法であり，比較時点の中間需要計・中間投入計・生産額がわかっているときに，基準時点の投入構造から間接的に中間投入行列および投入係数行列を予測する方法である．このとき投入構造の変化は代替変化乗数行列（R）と加工度変化乗数行列（S）で表される．RECRAS 法は RAS 法とほとんど同じ手順の手法であるが，投入係数行列に付加価値部門が含まれる点が異なっている．

ラグランジュ未定係数法は基準時点の投入係数と予測時点の投入係数との差の２乗和を最小にするという方法であり，最小二乗法を用いて求められる．このとき，予測時点の暫定的生産額に予測時点の投入係数を乗じたとき，その行方向と列方向の計がそれぞれ暫定的な中間需要額と中間投入額とに一致するという条件が課される．

平均増加倍率法は RAS 法と同様に投入構造の周辺情報から投入係数行列を予測する方法であり，RAS 法では行方向と列方向とを交互に修正し予測するのに対し，平均増加倍率法は修正係数の単純平均値で同時に修正していくという違いがある．

このほか，日吉・河上他（2004）では地域供給比率法，LQ 法（Location Quotient Method）といった手法にも言及している．

以上の手法のうち RAS 法，RECRAS 法，変化率の適用について次節で解説する．

2.2 RAS 法

RAS 法は，中間需要計（表１の D），中間投入計（同 C），総生産（同 X）の値が分かっているときに，投入係数行列を予測する方法である．RAS 法を用いることで，基準年次から比較年次の投入係数の変化を代替変化乗数と加工度変化乗数という二つの乗数で表し，全体として整合性のある投入係数を求めることができる（宮沢編（2002），金子（1971））．

RAS 法では，比較年次の投入係数行列 A_{00} を，基準年次の投入係数行列 A_{95}，代替変化乗数行列 R，加工度変化乗数行列 S を用いて次のように表す．

$$A_{00} = RA_{95}S$$

表 1 取引基本表における各行列の位置

<table>
<tr><td>AX（内生部門）</td><td>D（中間需要計）</td></tr>
<tr><td>C（中間投入計）</td><td></td></tr>
<tr><td>V（粗付加価値部門）</td><td></td></tr>
<tr><td>X（生産額計）</td><td></td></tr>
</table>

代替変化乗数行列 R は基準年次と比較年次の中間需要計の変化を，加工度変化乗数行列 S は中間投入計の変化を表すベクトルである．RAS 法の具体的な手順は次のとおりである．

まず，それぞれの時点の投入係数が各部門からの投入の組み合わせ方，すなわち技術を表すことを利用し，比較年次の生産額計 X_{00} だけの生産を行う場合の中間需要を求める．このとき，比較年次における新しい技術の下では $A_{00}\hat{X}_{00}$ の中間需要が，基準年次における古い技術の下では $A_{95}\hat{X}_{00}$ の中間需要が生じる．ˆ（ハット）は行ベクトル，列ベクトルの対角化を表す．$A_{00}\hat{X}_{00}$ の中間需要計を D_{00}，$A_{95}\hat{X}_{00}$ の中間需要計を $D_{95}^{(1)}$ とし，D_{00} と $D_{95}^{(1)}$ の各要素の比率をとることで代替変化乗数 $R^{(1)}$ が得られる．

次に，代替変化乗数を対角化した $\hat{R}^{(1)}$ を A_{95} に乗じると，古い技術を新しい技術に少し近づけた投入係数行列 $\hat{R}^{(1)}A_{95} = A^{(1)}$ が得られる．この技術を用いると，X_{00} の生産に対して $A^{(1)}\hat{X}_{00}$ の中間需要が生じる．ここで $A_{00}\hat{X}_{00}$ の中間投入計を C_{00}，$A^{(1)}\hat{X}_{00}$ の中間投入計を $C_{95}^{(1)}$ とし，C_{00} と $C_{95}^{(1)}$ の各要素の比率をとることで加工度変化乗数 $S^{(1)}$ が得られる．

さらに，$A^{(1)}\hat{S}^{(1)}$ を用い中間需要計の比率を求めることで，$R^{(2)}$，$S^{(2)}$，$R^{(3)}$，$S^{(3)}$，$\cdots$，$R^{(n)}$，$S^{(n)}$ と逐次的に乗数が求められる．計算を繰り返すにつれ，$R^{(\cdot)}$，$S^{(\cdot)}$ の各要素は 1 に近づいていく．最終的には，比較年次の投入係数行列の推計値 A_{00}^{*} が，

$$A_{00}^{*} = \hat{R}^{(n)}A_{95}\hat{S}^{(n)}$$

という形で表される．

2.3 RECRAS 法

RAS 法が投入係数行列として内生部門のみを用いているのに対し，内生部門に加え粗付加価値部門を考慮したのが RECRAS 法である．

RAS 法では R，S を内生部門の投入係数のみで表しているが，投入係数と粗付加価値率の間には $\sum_{i=1}^{n} a_{ij} + v_j \equiv 1$ という列和制約がある．ここで a_{ij} は投入係数行列の各要素，v_j は第 j 部門の粗付加価値部門の要素を表す．また，投入係数計（内生部門計）よりも粗付加価値率が大きくなることも非製造業では珍しくない．金子（1990）は，このように大きな比率である粗付加価値率の情報を RAS 法においては分析に取り入れず，残差として扱うことを問題としている．RAS 法の問題点を解決するための手法が RECRAS 法で，粗付加価値率と投入係数に関して同時に RAS 法を用いたものである．

2.4 変化率の適用

平成 15 年（2003 年）大阪府産業連関表（延長表）では，全国の産業連関表における産業構造の変化をもとに投入係数を求めている．全国と大阪府の投入構造が同じ変化を経ると仮定し，大阪府の投入係数の変化は全国の投入係数の変化に一致すると考える方法である．具体的には，全国の投入

係数の変化率を大阪府の基準年の投入係数に乗じるものである.

まず，全国の平成 12 年（2000 年）産業連関表取引基本表と平成 15 年（2003 年）簡易延長産業連関表取引額表を用いて投入係数の各要素の変化率を算出し，これを平成 12 年（2000 年）大阪府産業連関表取引基本表の投入係数に乗じる．次に，列和が 1 となるよう，各列の値を列の合計値で再度割り戻すなどで調整し，投入係数を求めている.

３．方法論

3.1 推計の手順

基準年，比較年の全国表を用いて求められた R，S を用いて，大阪府の基準年の投入係数から比較年次の投入係数を求める方法を解説する.

全国と大阪府が全く同じ投入構造の変化を経ると仮定する．このとき，代替変化乗数 R，加工度変化乗数 S は全国と大阪府で同じ値をとる．基本年次を 1995 年，比較年次を 2000 年としたとき，2000 年の大阪府の投入係数行列は次のように表される.

$$A_o^{*00} = \hat{R} A_o^{95} \hat{S}$$

ここで A_o^{*00} は2000年の投入係数行列の予測値，A_o^{95} は 1995 年の実績値である.

こうして求めた $\hat{R} A_o^{95} \hat{S}$ の列和，すなわち中間投入比率は，全国表での $\hat{R}A\hat{S}$ の列和と必ずしも一致するとは限らない．このため，RAS 法を適用した推計値をそのまま用いた場合，投入係数行列において内生部門と粗付加価値部門の列和が 1 になるという制約が満たされない．また，列和調整を行わない RAS 法では誤差の部分が全て粗付加価値部門にしわ寄せされてしまう．そこで RAS 法においては列和調整を行わない推計のほか，次の 2 つのケースを仮定し，列和の調整を試みる.

[調整 1]　列和＝1 となるよう，粗付加価値部門を含めて調整

[調整 2]　二時点間の中間投入比率に変化はないと仮定し，基準年の中間投入比率と推計値の中間投入比率が一致するよう調整

RAS 法および変化率の適用では粗付加価値部門の推計を行っていないため，調整 1 では基準年の粗付加価値部門の投入係数を用いる．一方で，RECRAS 法では粗付加価値部門を含むことで列和＝1 という制約が生じるため，推計自体に列和制約に基づく調整が含まれている.

3.2 検証方法

3.2.1 STPE（標準誤差率）

STPE（Standardized Total Percentage Error，標準誤差率）とは，投入係数の推計誤差が全体の何％を占めるかを表す指標で，次式により求められる.

$$STPE = \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left|\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right|}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \times 100$$

ここで $\bar{a}_{ij}$ は投入係数の推計値，a_{ij} は比較の対象となる投入係数の実績値である．また，n は行列の行数，m は列数である.

3.2.2 MAD（平均絶対差）

MAD（Mean Absolute Difference，平均絶対差）は，全体の誤差を 1 個のセルあたりの誤差に換算し，どれくらいの誤差が存在するかを示す指標である．MAD は次式で求

められる．

$$MAD = \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left|\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right|}{n \times m} \times 100$$

3.2.3 Theil's U（タイルのU）

Theil's Uは2つの係数の不均一の程度を表す指標で，次のU_1，U_2の2つの指標が提示されている．

$$U_1 = \frac{\sqrt{\frac{1}{n \times m}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n \times m}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}a_{ij}^2} + \sqrt{\frac{1}{n \times m}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\bar{a}_{ij}^2}}$$

U_1は0から1の間の数値をとり，大きいほど不均一であることを表す．

もうひとつの指標U_2は，次式で求められる．

$$U_2 = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}a_{ij}^2}}$$

予測値と実績値が完全に一致するときは，U_2の分子が0となる．つまり，2つの係数が不均一であるほどU_2の値は大きくなる．本論の検証ではこのU_2を用いる．

3.2.4 RMSE（平均平方誤差）

MSE（Mean Squared Error，平均平方誤差）は誤差の2乗の合計の期待値をとったものである．

$$E(u^2) = E\left\{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right)^2\right\}$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{a}_{ij} - a_{ij}\right)^2}{n \times m}$$

この期待値の平方根をとったものがRMSE（Root Mean Squared Error）である．

4．分析結果と考察

4.1 検証結果の提示

本分析では，ノンサーベイ・アプローチのうち，RAS法とRECRAS法，変化率の適用による投入係数の推計と検証を行った．GAUSSによるプログラムの実行により，検証指標について表2の計算結果が得られた．指標はそれぞれ，投入係数行列全体に占める誤差の割合を表している．数値が大きいほど，推計値と実績値のあいだの誤差が大きいことを示している．この結果から，次のことがいえる．

・いずれの指標についても，「変化率」の適用が最も誤差率が小さいという結果を示している．

表2 各推計方法の検証指標の計算結果

		STPE	MAD	THU	RMSE
RAS法	調整なし	36.04998	0.19588	0.36878	0.00839
	調整1	36.15241	0.19644	0.37407	0.00851
	調整2	36.76545	0.19977	0.38029	0.00865
RECRAS法		36.29016	0.19719	0.37486	0.00853
変化率	調整なし	32.12186	0.17454	0.35623	0.00811
	調整1	32.48714	0.17653	0.35583	0.00810
	調整2	33.42529	0.18162	0.36274	0.00825

（注）網掛けは各指標の最小値を表す．RECRAS法は内生部門のみについて算出した指標．

表 3 RECRAS 法の検証指標の計算結果

STPE	MAD	THU	RMSE
28.22686	0.27286	0.27540	0.01110

（注）粗付加価値部門を含め算出した指標.

- 「RAS 法」,「変化率」の適用では，列和制約のための調整を行うほうが誤差が大きくなる傾向がある.
- 調整を行わない場合，誤差は粗付加価値部門にしわ寄せされると考えられる.

なお，RECRAS 法について，粗付加価値部門も含めた検証指標を計算したところ，表 3 の結果が得られた．これらの結果については，セル数が異なるため表 2 との比較はできない点に留意が必要である.

4.2 考察

検証により，いずれの指標についても誤差率が小さいのは「変化率」を適用した推計であるとの結果が得られた．そのなかでも最も誤差率が小さいのは，STPE，MAD でみた場合には列和調整をしていない推計，Theil's U（U_2）と RMSE でみた場合には基準年の粗付加価値部門を含めて調整した調整 1 である．この結果からは，全国の産業構造変化を大阪府に適用した推計に最も適するのは，投入係数の各要素の変化率を用いた方法であると考えられる.

それではなぜ，このような結果が得られたのであろうか．考えられる理由のひとつに，全国の産業構造の変化を求める際の情報量の違いが挙げられる．誤差率が小さい「変化率」による推計の場合，投入係数の各要素（n×n 個）から変化率を直接求める．これに対し, RAS 法では 1×n 個の要素をもつ中間投入計と n×1 個の要素をもつ中間需要計（RECRAS 法では m×1 個の要素）の変化から投入係数行列の変化率を求めている．すなわち，より少ない情報から間接的に変化率を求めているため，誤差率が大きくなると考えられる.

また，RAS 法と RECRAS 法は手法としてはほぼ同じであるが，列和制約条件を導入した RECRAS 法のほうが，制約のない RAS 法に比べ誤差率が大きい．RAS 法についても，制約を加えた調整 1，調整 2 のほうが調整なしのケースに比べ誤差率が大きい．これは調整のない RAS 法では粗付加価値部門の投入構造の変化を考慮しておらず，中間投入比率と粗付加価値比率のあいだの変化についても考慮していないことを意味する．この場合，内生部門のみを推計すると，そこで生じた誤差は粗付加価値部門に吸収される，すなわち粗付加価値部門に歪みが生じるのである．この点については，変化率を用いた場合も同様である．RAS 法及び変化率の適用で，中間投入比率に変化がないという制約をおいた調整 2 で誤差率が大きいのは，他の方法では粗付加価値部門に吸収されていた誤差が，この方法では吸収されないためであると考えられる.

さらに，推計だけでなく検証も内生部門のみを対象としていることに注意しなければならない．RAS 法及び変化率の適用は，内生部門の投入構造のみを推計するものである．列和制約を満たすよう調整を行っているものの，これらの調整はあくまでも，基準年の粗付加価値部門の構造を適用できるという仮定をおいたものである．どのような仮定をおくかでとるべき手法は異なるので，導入する制約についても検討を重ねることが必要である．このため，変化率を用いた推計で粗付加価値部門の変化も考慮した推計を行うことが今後の課題として挙げられよう．例えば，粗付加価値部門の各

要素の伸びを府民経済計算から算出する，といった手法が考えられる．加えて，大阪府の投入係数の推計に際しては，大阪府の投入係数の変化が全国と同じ変化を経るという大きな仮定をおいていることも留意しなければならない．

ノンサーベイ・アプローチによる投入係数の推計を行うにあたり，推計方法を選択すべきかを検討する上で，誤差率を用いた検証は有用であるといえよう．ただし，誤差率はあくまでも判断材料のひとつに過ぎない．もし推計手法として RAS 法よりも RECRAS 法の考え方が望ましいとするのであれば，誤差率が高くても RECRAS 法を採用すべきであろう．推計手法を選択するためには，産業連関表のどの部分に注目して制約条件を設定するかといった問題を併せて検討することが重要である．

* 本論の作成にあたり，大阪府統計課には産業連関表の部門統合データを提供していただいた．ここに記して謝意を表する．

〈参考文献〉

石川良文（2003）「アジア諸国における生産技術構造の比較分析」中村純・荒川晋也編『国際産業連関－アジア諸国の産業連関構造(II)』アジア国際産業連関シリーズ　No.62，アジア経済研究所．

石川良文（2006）「生産技術構造変化の長期分析と RAS 法の評価」岡本・猪俣編『国際産業連関　－アジア諸国の産業連関構造（V）』アジア国際産業連関シリーズ No.66，アジア経済研究所．

岡本信広（2004）「途上国の産業連関モデルの推計手法」中村・荒川編『国際産業連関　－アジア諸国の産業連関構造（III）』アジア国際産業連関シリーズ No.64，アジア経済研究所．

奥田隆明・鈴木一生（2005）「アジア国際産業連関表の速報推計について」岡本・猪俣編『国際産業連関　－アジア諸国の産業連関構造（IV）』アジア国際産業連関シリーズ　No.65，アジア経済研究所．

金子敬生（1971）『産業連関の理論と適用』日本評論社．

金子敬生（1990）『産業連関の経済分析』勁草書房．

高川泉・岡田敏裕（2004）「国際産業連関表からみたアジア太平洋経済の相互依存関係―投入係数の予測に基づく分析―」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No.04-J-6，日本銀行．

日吉拓也・河上哲・土井正幸（2004）「ノンサーベイ・アプローチによるつくば市産業連関表の作成と応用」『産業連関』Vol.12, No.1.

宮沢健一編（2002）『産業連関分析入門』（第 7 版）日本経済新聞社．

Ishikawa, Y. (2005) “An Evaluation of the RAS Method for compiling Asian International Input-Output Tables”，岡本・猪俣編『国際産業連関　－アジア諸国の産業連関構造（IV）』アジア国際産業連関シリーズ　No.65，アジア経済研究所．