

シミュレーションを用いた RAS モデルの推定精度の分析*

An Analysis on the Estimate Precision of RAS Model with a Simulation

関宏志** 飯田恭敬*** 倉内文孝**** 西井和夫*****

By Hongzhi GUAN, Yasunori IIDA, Fumitaka KURAUCHI and Kazuo NISHII

1. はじめに

近年、物流ニーズの高度化、多様化に伴い、トラックによる物資流動の分担率は増加する一方である。そのため、地域の交通計画を立てる際に、物流の影響を考慮しなければならない。地域交通計画を立てるために、最も重要となる物流需要量の推定手法については、多くの研究が行われている。そのうち、近年、産業連関の概念に基づいた物流需要量推定モデルの開発が盛んに行われている^{1),2),3)}。このいわゆる産業連関モデルは、物資流動のメカニズムに対する説明力の高いものとして注目されている。

産業連関モデルの基本的な考え方は、既存のデータを用いて投入係数を作成し、既存の産業構造フレームを構築する。そして、この既存の産業構造に基づき、将来の経済条件を与件として地域間産業間の物流需要量を推定する。産業連関モデルでは、推計年度における投入係数が調査時点とほぼ同じであると仮定するのが最も一般的である。しかし、各産業の生産に関する技術構造が常に変化することによって、投入係数も常に変化する。従って、投入係数の変化を、将来の需要推定の中にいかに織り込むかが問題となる。この問題に関して、Cambridge大学のRichard Stone教授はいわゆるRASモデル^{4),5)}を考案した。同氏は投入係数の変化の原因について経済学的説明を与え、求解アルゴリズムを提案している。以来、この手法は、日本を含む多数の

国々において適用され、産業連関分析の実用に大きな影響を与えている。物流需要量の推定を目的として開発された産業連関モデルにおいても、RASモデルを用いて投入係数を更新する試み^{2),6)}が見られる。しかしながら、RASモデルそのものの推定精度に関する検証が従来の適用例では報告されていない。つまり、得られたモデルの妥当性の評価に問題が残っているといえる。

上記の背景を踏まえ、本研究においては、RASモデルの推定精度の検証を目的とする。具体的には、シミュレーションの手法を用いて、産業構造の変化パターンおよび産業連関表の規模を変化させ、これらの要因の変化がRASモデルの推定精度に及ぼす影響について分析する。さらに、RASモデルの有用性を検証するために、同一条件のもとで、投入係数を一定とするモデル（以下、定数モデル）の推定誤差を求め、両モデルの推定誤差の比較を行う。本研究の成果は産業連関モデルの評価に参考になると考える。

2. RASモデルの概要

RASモデルでは、投入係数の変化は①労働と資本の組合せ変化、②投入される原材料の間の代替関係に基づく加工度変化、の2つの要因に規定されると仮定している。従って、変化後の投入係数は次の式で表現される。

$$\mathbf{A}^{(1)} = \hat{\mathbf{R}}\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{S}} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\mathbf{A}^{(1)}$ は変化後の投入係数行列、 $\mathbf{A}$ は既存の投入係数行列、 $\hat{\mathbf{R}}$ は労働と資本の組合せの変化を表す代替変化修正係数行列、 $\hat{\mathbf{S}}$ は投入される原材料間の代替を表す加工度変化修正係数行列である。

いま、将来のある年次における各産業の生産額等について、表-1に示すような産業連関表を考える。このうち、産業別総投入量(=総産出量) $\hat{X}_j^{(1)}$ (j :産

* キーワード：分布交通量、物資流動
** 正員 工博 山梨大学工学部土木環境工学科
(〒400 山梨県甲府市武田 4丁目 3-11, TEL:0552-20-8532, FAX:0552-20-8773, E-mail:guan@ccn.yamanashi.ac.jp)
*** 正員 工博 京都大学工学研究科土木工学専攻
(〒606 京都市左京区吉田本町, TEL:075-753-5124, FAX:075-753-5907)
**** 正員 工修 京都大学工学研究科土木工学専攻
(住所, FAX 同上, TEL:075-753-5126)
***** 正員 工博 山梨大学工学部土木環境工学科
(〒400 山梨県甲府市武田 4-3-11, TEL/FAX:0552-20-8533)

表-1 産業連関表

	産業 1	産業 2	中間需要 計	最終需要	総 産出量
産業 1	$W_{11}^{(1)}$	$W_{12}^{(1)}$	$\hat{w}_1^{(1)}$	$\hat{F}_1^{(1)}$	$\hat{X}_1^{(1)}$
産業 2	$W_{21}^{(1)}$	$W_{22}^{(1)}$	$\hat{w}_2^{(1)}$	$\hat{F}_2^{(1)}$	$\hat{X}_2^{(1)}$
中間投入計	$\hat{z}_1^{(1)}$	$\hat{z}_2^{(1)}$	-	-	-
付加価値	$\hat{V}_1^{(1)}$	$\hat{V}_2^{(1)}$	-	-	-
総投入量	$\hat{X}_1^{(1)}$	$\hat{X}_2^{(1)}$	-	-	-

ここで、 $\hat{w}_i^{(1)} = \sum_j W_{ij}^{(1)}$ 、 $\hat{z}_j^{(1)} = \sum_i W_{ij}^{(1)}$ である。

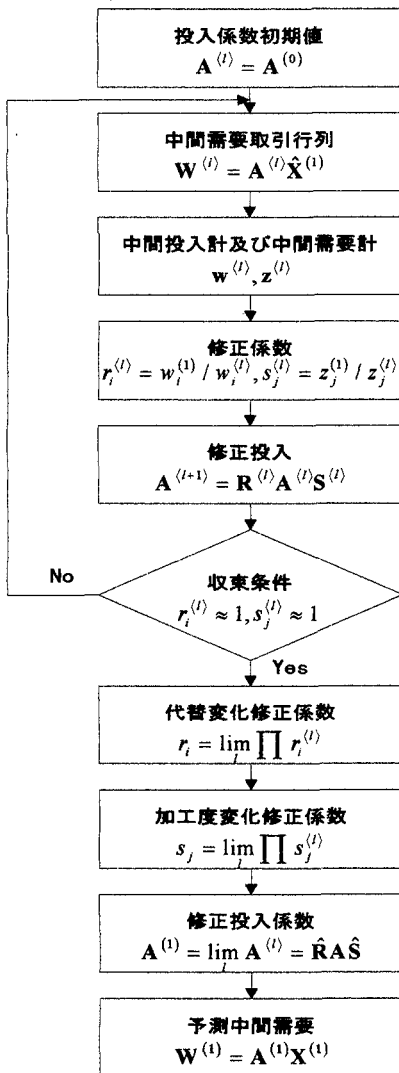


図-1 RASモデルのアルゴリズム

業)、産業別中間需要 $\hat{w}_j^{(1)}$ および産業別中間投入量 $\hat{z}_j^{(1)}$ が既知であり、そして、既存の投入係数は別途求められているとする。したがって、求めるべきものは中間需要 $W_y^{(1)}$ である。この問題に対して、図-1のようなアルゴリズムの反復計算によって、産業連関表の投入係数 $A^{(1)}$ および中間需要 $W_y^{(1)}$ の推定値を求める方法が提案されている。

ただし、 $\hat{X}^{(1)}$ は将来需要の推定値、 $w^{(1)}$ 、 $z^{(1)}$ はそれぞれ第 l 回計算時の $\hat{w}_j^{(1)}$ と $\hat{z}_j^{(1)}$ の値、 $r_i^{(l)}$ 、 $s_j^{(l)}$ はそれぞれ第 l 回計算時の R と S の対角要素、 $R^{(l)}$ 、 $S^{(l)}$ はそれぞれ第 l 回計算時の R と S の値である。

したがって、推定時点の総産出量 $\hat{X}^{(1)}$ 、中間需要合計量 $\hat{w}^{(1)}$ および中間投入合計量 $\hat{z}^{(1)}$ が与件として与えられれば、このアルゴリズムを用いて中間需要の推定値 $W^{(1)}$ を求めることができる。この収束計算方法は、バランス・ファクター方法の基本的考え方と類似している。

3. 本研究の考え方

産業連関表を推定する際の推定精度に最も影響の大きい要因としては、産業構造変化のパターンおよび産業連関表の規模（産業連関表に含まれた産業の数）が考えられる。そこで、RAS モデルの推定精度を検証するために、図-2 に示した方法を用いることにする。

まず、均一分布の乱数（範囲は 10～1000）を用

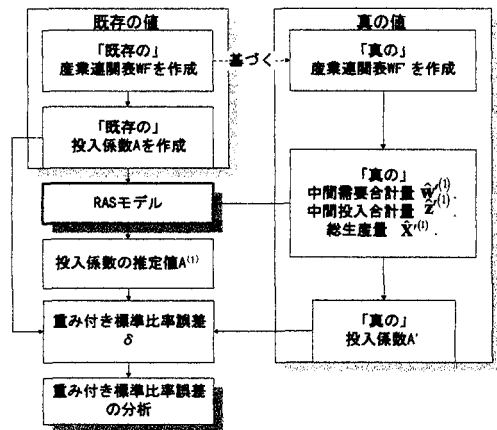


図-2 シミュレーションの方法

いて表-1 に示した産業連関表 **WF** を作成する。そして、投入係数 **A** を式(2)によって算出し、これを「既存の投入係数 **A**⁽⁰⁾」とする。

$$A_{ij} = \frac{W_{ij}}{\hat{X}_i} \dots\dots\dots (2)$$

次に、「既存の」産業連関表に基づいて、式(3)を用いて、推定時点、つまり「真の」産業連関表 **WF'** を作成する。

$$\mathbf{WF}' = \kappa \cdot \mathbf{WF} \cdot (1 - \mathbf{Z}) \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 κ はシフト率、 $\mathbf{Z} \sim N(0, \sigma^2)$ は平均ゼロ、分散 σ^2 の正規乱数のベクトルである。この正規分布の標準偏差 σ をランダム変動率と呼ぶことにする。

ここで、「真の」産業連関表を作成する際に、産業連関表の変動を以下の 2 つのパターンに分けて考えている。1 つは、産業構造が均衡的、かつ同一の変化率で変動している部分である。もう 1 つは、産業構造の不規則的変動部分を指す。産業構造の変化は、実際に、2 つのパターンが同時に存在している。そこで、本研究では、これら 2 つの変動項を示すパラメータ (κ と σ) の組合せによって、産業構造の変化を説明する。

このように作成された「真の」産業連関表 **WF'** を用いて、中間需要 **W**⁽¹⁾、中間需要合計量 **w**⁽¹⁾、中間投入合計量 **z**⁽¹⁾ および総産出量 **x**⁽¹⁾ が計算できる。これらのデータを図-1 に示した RAS モデルのインプットとして、新しい投入係数の推定値 **A**⁽¹⁾ を求める。ここでは、**W**⁽¹⁾、**w**⁽¹⁾ を未知量とする。

一方、**W**⁽¹⁾ と **x**⁽¹⁾ を式(2)に代入することによって、推定時点の「真の」投入係数 **A'** が得られる。

得られた **A**⁽¹⁾ と **A'** を式(4)に代入して、重み付き標準比率誤差 δ を計算し、 δ を用いて、RAS モデルの推定精度を検証する。

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{a} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A'_{ij} \left(\frac{A^{(1)}_{ij} - A'_{ij}}{A'_{ij}} \right)^2} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 N は産業ペア総数、 $a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A'_{ij}$ である。

また、RAS モデルの推定精度と定数モデルの推定精度を比較するために、「既存の」投入係数 **A** と「真の」投入係数 **A'** を式(4)に代入して、定数モデルの推定誤差 δ を計算する。

4. シミュレーションの結果の考察

本研究では、産業構造の変動パターンに対する RAS モデルの推定精度への影響を分析するために、シフト率 κ を 1.0, 1.2, 1.4 の 3 つの値、そしてランダム変動率 σ を 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 の 5 つの値に設定し、両パラメータの変化の組合せによって、「真の」産業連関表を生成する。また、産業連関表の規模によって、RAS モデルの推定精度が変化する可能性があるため、シミュレーションでは、最も単純な例と産業中分類の産業の数を考えて、産業の数を 4, 50, 99 の 3 つのケースを設定して、RAS モデルの推定精度の変化考察を行う。

上記の方法に基づいて、得られたシミュレーションの結果を図-3 に示す。ただし、図の中の $R\kappa$ は、それぞれ κ の変化に伴い、RAS モデルの推定誤差を、 C は、定数モデルの推定誤差の変化曲線を表す。

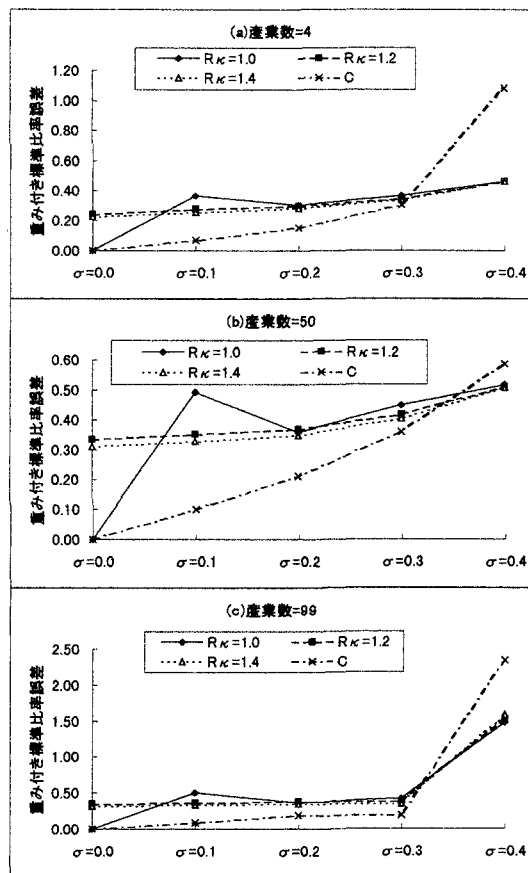


図-3 RAS モデルと定数モデルの比較

なお、式(2)より、 κ の変動に対して定数モデルはその推定誤差は変化しない。

まず、 κ の値の推定誤差への影響についての考察を行う。図を見ると、 $\kappa = 1.0$ の場合は、若干の変動が見られるが、それ以外の値においては、推定誤差に大きな開きは見られず、ほぼ同じ値となっている。これより、 κ で表されている、産業構造の系列的な変動には、RASモデルの推定誤差に大きな影響を及ぼさないことがわかる。

次に、ランダム変動率 σ の影響についてみると、前述のように $\kappa = 1.0$ の時は変動があるが、パラメータ σ の増加につれて、RASモデル、定数モデルともに推定誤差が増えることが確認できる。特に、産業数が99の場合において、 $\sigma = 0.4$ となるとその推定誤差が飛躍的に大きくなっていることがわかる。

産業数は推定精度に及ぼす影響要因であるが、 σ の値が比較的小さい場合においては、産業数が99であってもその推定誤差は0.4程度であり、その影響は小さい。しかし、前述のように $\sigma = 0.4$ の場合においては、産業数99のケースにおいて推定誤差が非常に大きくなっており、産業構造の変化が大きく、なおかつ、対象としている産業連関表の規模が大きければ大きいほど推定誤差の上昇率が大きくなることがわかる。

最後に、RASモデルと定数モデルの推定誤差についてみると、いずれのケースにおいても $\sigma \leq 0.3$ の場合、定数モデルの推定誤差は比較的小さいものであるが、 $\sigma > 0.3$ となれば、RASモデルの推定誤差は定数モデルより小さいことが確認できる。

以上より、産業連関表の不規則変動は、RASモデルと定数モデルに大きな影響を与える要因といえる。そして、産業連関表の規模の増加はこの不規則変動の影響を強める効果があるといえる。特に、ランダム変動率が0.3を超え、産業連関表が大規模である場合において、この影響が顕著に現われている。また、ランダム変動率が0.3以上となれば、RASモデルの推定結果は定数モデルより良好であることがわかった。したがって、産業構造の変動が、小さい場合には、定数モデルに比べて、RASモデルの精度が必ずしも高いとは言えないが、逆に産業連関表の変動が比較的大きい場合には、RASモデルを用いる方が有利であるといえる。

5. おわりに

本研究では、産業連関表の推定方法において重要な位置を占めているRASモデルの推定精度の検証を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

推定時点の産業構造と既存の産業構造とのランダムな変動がRASモデルの推定精度に影響を及ぼす最も重要な要因である。ランダム変動率が大きければ大きいほど、推定誤差が大きくなる。ランダム変動率が0.3以下の場合、定数モデルとの有意な差はないが、ランダム変動率が、0.3以上となると、RASモデルの推定精度が高い。従って、現段階では、短期間予測あるいは産業構造の変化が小さい地域の産業連関表を予測する場合には、定数モデルの適用性が高く、一方、産業構造の変化が激しい地域の産業連関表を予測する場合には、RASモデルの適用性が高いと考えられる。ただし、大規模な産業連関表に対して適用する場合、ランダム変動率の上昇につれて、推定結果が悪化する傾向にあることに注意しなければならない。

本研究で提示した $\sigma > 0.3$ は現実の産業連関表にとって、どの程度の産業構造変化量に相当するかについて議論を行っていない。これを今後の課題とし、研究を深める必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 鹿島茂等, 産業連関表をベースとした貨物輸送量の推計, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.465-472, 1989, 12.
- 2) 稲村肇等, 地域間SNA型物流推定モデルの開発, 土木学会論文集, No. 431/IV-15, pp. 41-46, 1991.7.
- 3) 溝上章志, 産業間の関連性と空間的な価格均衡を考慮した物資流動モデル構築の試み, 土木学会論文集, No. 494, /IV-24, pp. 53-61, 1994.7.
- 4) Bacharach, Michael, Biproportional Matrices and Input-Output Change, London: Cambridge University Press, 1970.
- 5) 金子敏生, 産業連関の理論と適用, 日本評論社, 昭和52年.
- 6) 関宏志, 地域間貨物流動量の推定法に関する研究, 京都大学学位論文, 1997年1月.