

中間投入構造を明示した 小規模多地域応用一般均衡モデルの構築

小池 淳司¹・佐藤 啓輔²・片山 慎太郎³

¹正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

²正会員 復建調査設計株式会社 (〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)
E-mail: keisuke.sato@fukken.co.jp

³正会員 (一社)システム科学研究所 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町428)
E-mail: katayama@issr-kyoto.or.jp

空間的応用一般均衡分析は、道路整備など空間構造を変化させる社会資本整備の特徴を表現できることに加え、算出された効果の空間的帰着状況を分析できることから、近年その開発が精力的に行われてきた。モデルにより実証分析を行う場合、分析対象の空間スケールは、モデル構造およびデータ入手可能性の制約から決められるが、著者らが開発したモデルでは、地域間取引に集計ロジットモデルを用いることで、付加価値データしかない小規模な空間スケールでも実証分析が可能となった。一方で、既存のモデルでは、中間投入構造を簡易な手法で表現しているため、域外からの企業間取引 (B2B) を厳密に想定できていなかった。本稿では、既存モデルでの課題を踏まえ、中間投入構造を明示した小規模多地域応用一般均衡モデルを構築し、モデルの精緻化を行った。

Key Words : *spatial computable general equilibrium, intermediate input structure*

1. はじめに

空間的応用一般均衡分析は、道路整備など空間構造を変化させる社会資本整備の特徴を表現できることに加え、算出された効果の空間的帰着状況を分析できるという理由から、近年その開発が精力的に行われてきた¹⁾。この空間的応用一般均衡モデルの実証分析を行う場合、分析対象の空間スケールは、モデル構造およびデータ入手可能性の制約から決められるが、従来は地域間産業連関表を基礎データとしているため、地域ブロックレベルもしくは、都道府県レベルで分析が行われてきた²⁾。この地域間産業連関表を基礎データとする場合、データ整備のために多大な労力と費用が必要となるため、我が国では5年単位での整備に留まっており、政策分析を行う上では、空間スケールの粗さ、年次の古さが課題となっていた。その中で、著者らが開発したモデルでは、地域間取引に集計ロジットモデルを用いることで、付加価値データしかない小規模な空間スケール (市町村単位) でも実証分析が可能となり、最新の経済状況が反映されたデータを活用できる等の理由から、実務でも数多くの適用事例が報告されている³⁾。

しかしながら、既存のモデルでは、中間投入構造を簡易な手法でモデル化しており、各地域での財・サービスの最終需要構造と中間投入構造の違いを表現できていないため、域外からの企業間取引 (B2B) を厳密に想定できていないといった課題を有していた。本稿では、既存モデルでの課題を踏まえ、中間投入構造を明示した小規模多地域応用一般均衡モデルを構築し、モデルの精緻化を行うとともに、仮想データを用いて、既存モデルとの算出結果の比較分析を行った。

2. 分析アプローチ

(1) 小規模多地域を扱った既存研究

小規模多地域応用一般均衡モデルによる分析事例は既に数多く報告されているが、例えば小池ら⁴⁾ (2006) は、先行研究である文⁵⁾ (1998) で構築されたフレームを援用し、より実用的なモデルへと拡張することで、オランダにおける交通渋滞による影響を長期的に分析している。ただし、中間投入構造を捨象したモデル構造であったため、小池ら⁶⁾ (2009) では、中間投入構造を簡易な手法で表現することで、より精緻化したモデルを構築している。

また、人口移動および集積の経済を除いた構造とすることで、より実務的なモデルとなっている。本稿では、小池ら⁶⁾(2009)で構築されたモデルをベースとし、中間投入構造を具体的に明示したモデルへと拡張する。

(2) 既存モデル⁶⁾の概説

既存モデルでは、社会経済に対して主に以下の仮定を設けており、本稿でのモデルでも同様とする。なお、モデル構造は、図-1に示す通りである。

- 仮定1：多地域多産業で構成された経済を想定する。
- 仮定2：企業は、家計から提供される生産要素（労働・資本）、他の企業が生産した生産物を投入して、新たな財を生産する。
- 仮定3：家計は企業に生産要素（労働・資本）を提供して所得を受けとる。そして、その所得をもとに財の消費を行う。
- 仮定4：財市場および生産要素市場のうち資本市場は全地域に開放されており、生産要素市場の労働市場は地域内で閉じているものとする。
- 仮定5：生産される財により輸送費用が支払われるとし、Ice-berg型の交通抵抗を用いる。

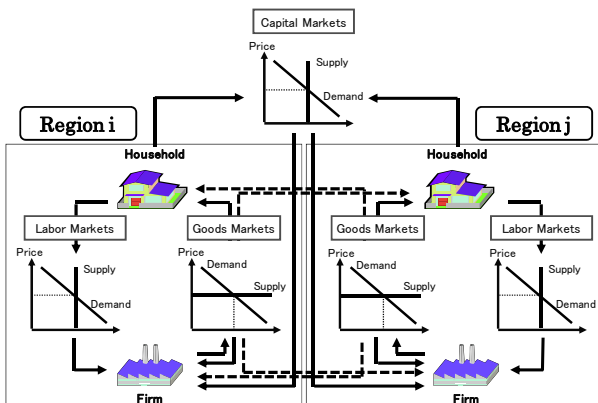


図-1 モデル構造

モデル式内のサフィックスは、以下の通りとする。

- 地域： $I \in \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, o, \dots, I\}$
- 財： $M \in \{1, 2, \dots, m, \dots, n, \dots, M\}$

a) 企業の行動モデル

各地域には生産財ごとに1つの企業が存在することを想定し、地域*i*において財*m*を生産する企業の生産関数をLeontief型で仮定すると以下ようになる。

$$Y_i^m = \min \left\{ \frac{v_i^m}{a_i^{0m}}, \frac{x_i^{1m}}{a_i^{1m}}, \dots, \frac{x_i^{nm}}{a_i^{nm}}, \dots, \frac{x_i^{Nm}}{a_i^{Nm}} \right\} \quad (1)$$

ただし、 Y_i^m ：生産量、 v_i^m ：付加価値、 x_i^{nm} ：中間投入、 a_i^{0m} ：付加価値比率、 a_i^{nm} ：投入係数

企業の付加価値に関する最適化問題は、付加価値1単位当たりの要素費用最小化行動として定式化する。

$$\begin{aligned} \min. & w_i L_i^m + r_i K_i^m \\ \text{s.t.} & v_i^m = A_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 w_i ：賃金率、 r ：資本レント、 L_i^m ：労働投入、 K_i^m ：資本投入、 α_i^m ：分配パラメータ、 A_i^m ：効率パラメータ（全要素生産性）

式(2)より、生産要素需要関数（労働・資本） L_i^m 、 K_i^m と、生産者価格 q_i^m が超過利潤ゼロの条件から平均費用として得られる。

$$L_i^m = \frac{\alpha_i^m}{w_i} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (3)$$

$$K_i^m = \frac{1-\alpha_i^m}{r} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (4)$$

$$cv_i^m = \frac{a_i^{0m} w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m (\alpha_i^m)^{\alpha_i^m} (1-\alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} \quad (5)$$

ただし、 q_i^m ：生産財価格、 cv_i^m ：1単位生産あたりの付加価値

b) 家計の行動モデル

各地域には代表的な家計が存在し、自己の効用が最大になるように自地域と他地域からの財を消費すると仮定する。このような家計行動は、以下のような所得制約条件下での効用最大化問題として定式化できる。

$$\begin{aligned} \max. & U_i(d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^M) = \sum_{m \in M} \beta^m \ln d_i^m \\ \text{s.t.} & \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} = \sum_{m \in M} p_i^m d_i^m \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 U_i ：効用関数、 d_i^m ：消費水準、 p_i^m ：消費者価格、 β^m ：消費の分配パラメータ、 \bar{K} ：資本保有量、 \bar{l}_i ：一人当たりの労働投入量、 T ：総人口、

式(6)より、最終需要関数を求めることができる。

$$d_i^m = \beta^m \frac{1}{p_i^m} \left(\bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (7)$$

c) 地域間交易モデル

Harker⁷⁾モデルに基づいて、各地域の需要者は消費者価格 (c.i.f.price) が最小となるような生産地の組み合わせを購入先として選ぶとする。地域 j に住む需要者が生産地 i を購入先として選択したとし、その誤差項がガンベル分布に従うと仮定すると、その選択確率は、次式のLogitモデルで表現できる。

$$s_{ij}^m = \frac{Y_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \varphi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} Y_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \varphi_o^m t_{kj})]} \quad (8)$$

ただし、 s_{ij}^m : 選択確率、 t_{ij} : 地域間所要時間、 λ_j^m : ロジットパラメータ、 φ_j^m : 価格に占める輸送比率
また、消費者価格は次式を満たしている。

$$p_j^m = \sum_{i \in I} s_{ij}^m q_i^m (1 + \varphi_o^m t_{ij}) \quad (9)$$

d) 市場均衡条件

以下の市場均衡条件が成立する。

<労働市場>

$$\sum_{m \in M} L_i^m = \bar{L}_i \quad (10)$$

<財市場 (需要) >

$$\begin{bmatrix} 1-a_i^{11} & \dots & 0-a_i^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0-a_i^{M1} & \dots & 1-a_i^{MN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} N_i d_i^1 \\ \vdots \\ N_i d_i^m \\ \vdots \\ N_i d_i^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^1 \\ \vdots \\ X_i^m \\ \vdots \\ X_i^M \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$z_{ij}^m = X_j^m s_{ij}^m \quad (12)$$

<財市場 (供給) >

$$Y_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \varphi_o^m t_{ij}) z_{ij}^m \quad (13)$$

<生産者価格体系>

$$q_j^n = a_j^{0n} c v_j^n + \sum_{m \in M} a_j^{mn} \sum_{i \in I} s_{ij}^m q_i^m (1 + \varphi_o^m t_{ij}) \quad (14)$$

ただし、 z_{ij}^m : 地域間交易量、 X_i^m : 財の消費量

e) 便益の定義

政策実施による効果を計測する指標として経済的效果を等価変分 (EV:Equivalent Variation) を用いて以下のように定義した。

$$EV_i = \left(w_i^0 \bar{l}_i^0 + r \frac{\bar{K}^0}{T} \right) \left(\frac{e^{U_i^1} - e^{U_i^0}}{e^{U_i^0}} \right) \quad (15)$$

ただし、 EV_i : 一人当たりの等価変分、0,1 : 政策実施の有無を表すサフィックス (0:without, 1:with)

(3) 既存モデルにおける中間投入構造の問題点

既存モデルでは、式(11)で示したように、最終需要に地域内産業連関表のレオンチェフ逆行列を乗じることで、各地域の生産量 (最終需要 + 中間投入需要) が算出される構造となっている。しかしこの場合、以下の問題点が挙げられる。

問題点 ; 最終需要地域 i における中間投入構造により生産量が算出されているため、実際は地域外から調達している中間投入財についても、地域内調達しているものとして生産量に計上されている。そのため、モデル内で表現している財・サービスの取引構造と、実際の各地域の経済活動において、乖離が生じている可能性がある。

現実的には地方部での中間投入需要は、都市部から提供される財・サービスが多く含まれており、より実態を捉えた分析を行うためには、中間投入構造を明示的にモデル内で考慮する必要がある。

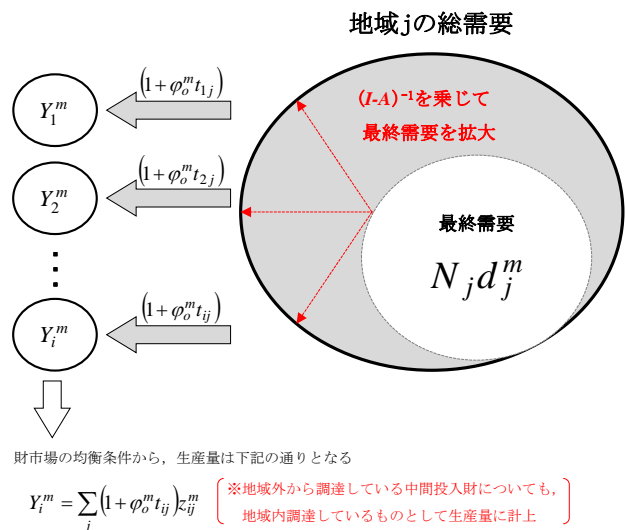


図-2 既存モデルの中間投入構造

(4) 本稿におけるモデル改良点

既存モデルでは、自地域の最終需要量に地域内産業連関表のレオンチェフ逆行列を乗じることで生産量を算出

していたが、本稿では最終需要量と中間投入需要量に分類し、各財（最終消費財・中間投入財）の消費先選択確率を考慮することで、地域別生産量を算出するモデルへと改良を行う。

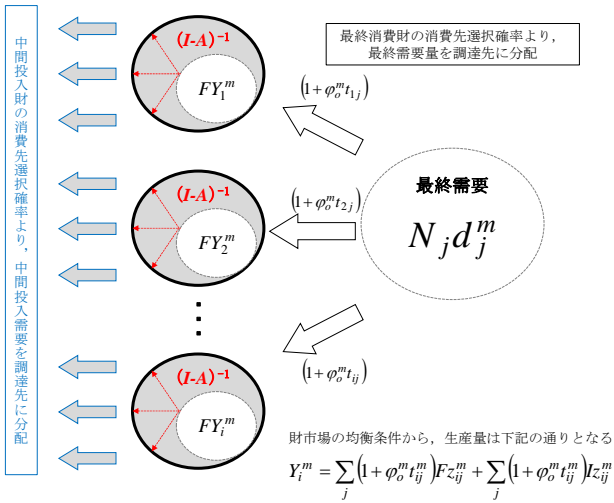


図-3 本稿のモデルによる中間投入構造

a) 地域間交易モデル

式(8)で定義したLogitモデルを基本とし、本稿では以下の2パターンで消費先選択確率を定義する。ただし、実証分析を行う場合、小規模地域に対応した中間投入財および最終消費財の流動データが整備されていないため、 $Fs_{ij}^m = Is_{ij}^m$ とする。

$$Fs_{ij}^m = \frac{FY_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \phi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} FY_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \phi_o^m t_{kj})]} \quad (16)$$

$$Is_{ij}^m = \frac{IY_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \phi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} IY_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \phi_o^m t_{kj})]} \quad (17)$$

ただし、 Fs_{ij}^m : 最終消費財に関する消費先選択確率、 Is_{ij}^m : 中間投入財に関する消費先選択確率

b) 最終需要構造

最終需要量に対して、定義した消費先選択確率 Fs_{ij}^m を乗じることで地域間の最終需要流動量を式(18)で算出し、最終需要量を満たす生産量は、式(19)で算出する。

$$Fz_{ij}^m = X_j^m Fs_{ij}^m \quad (18)$$

$$FY_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \phi_o^m t_{ij}) Fz_{ij}^m \quad (19)$$

ただし、 Fz_{ij}^m : 最終需要流動量、 FY_i^m : 最終需要量を満たす生産量

c) 中間投入構造

式(19)の生産量とレオンチェフ逆行列より、最終需要量を拡大させた生産量（産出計）から、中間投入係数を乗じることで中間投入需要量を算出し、さらに式(17)の消費先選択確率を乗じることで、地域間の中間投入需要流動量を式(22)で算出する。

$$\begin{bmatrix} Ou_Y_i^1 \\ \vdots \\ Ou_Y_i^m \\ \vdots \\ Ou_Y_i^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_i^{11} & \cdots & 0 - a_i^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 - a_i^{M1} & \cdots & 1 - a_i^{MN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} FY_i^1 \\ \vdots \\ FY_i^m \\ \vdots \\ FY_i^M \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$IX_j^{mm} = a_j^{mm} Ou_Y_j^m \quad (21)$$

$$Iz_{ij}^{mm} = IX_j^{mm} Is_{ij}^m \quad (22)$$

ただし、 $Ou_Y_i^m$: 生産量（産出計）、 IX_i^m : 中間投入需要量、 Iz_{ij}^m : 中間投入需要流動量

以上の算出結果から、最終需要流動量と中間投入需要流動量に対してIce-berg型の交通抵抗を考慮することで、各地域の生産量は式(23)で算出する。

$$Y_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \phi_o^m t_{ij}) Fz_{ij}^m + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} (1 + \phi_o^m t_{ij}) Iz_{ij}^{mn} \quad (23)$$

さらに、生産者価格と消費者価格についても、各財（最終消費財・中間投入財）の消費先選択確率を用いることで下式の通り定義されるが、実証分析においては、 $Fs_{ij}^m = Is_{ij}^m$ とする。

$$q_j^n = a_j^{0n} cv_j^n + \sum_{m \in M} a_j^{mn} \sum_{i \in I} Is_{ij}^m q_i^m (1 + \phi_o^m t_{ij}) \quad (24)$$

$$p_j^m = \sum_{i \in I} Fs_{ij}^m q_i^m (1 + \phi_o^m t_{ij}) \quad (25)$$

3. 仮想データによる分析結果

既存モデルと本稿で改良を行ったモデルでの計算結果を用いて比較検証を行い、どの程度アウトプットが異なるのか分析を行う。なお、ここでは仮想モデルを用いた検証とし、以下に示す前提条件により計算を行う。

表-1 前提条件

条件項目	条件内容
地域数・産業数	3地域・3産業
取引条件	Goods3は地域間交易なし
施策シナリオ	Region1～Region3の所要時間が20%短縮

(1) 便益の比較

図-4は、式(15)より算出される地域別の便益を既存モデルと比較したグラフである。まず、地域全体での便益を比較すると、既存モデルと本稿で構築したモデルでは、ほぼ同値となっており、仮想データによる検討結果からは、モデル改良による影響はさほど大きくないことが分かる。

次に、地域別での便益をみると、Region2では既存モデルとほぼ同値となっており、仮想的な時間短縮を想定するRegion1およびRegion3で約20%の変化となっていることが分かる。また、便益の帰着状況をみると、符号関係および帰着の傾向に変化はないものの、既存モデルに比べRegion3が相対的に便益が大きくなるといった帰着便益の大小に影響を与えることが確認できる。

(2) 付加価値の比較

図-5では、式(3)および式(4)より算出される地域別・産業別の付加価値を既存モデルと比較したグラフである。まず Goods1 と Goods2 に着目すると、符号関係および算出傾向に変化はなく、全地域と既存モデルで概ね同じ結果となっていることが分かる。一方で Goods3 に着目すると、符号関係および算出傾向が大きく異なっていることが分かる。これは、最終消費財の取引構造と中間投入財の取引構造をモデル内で明示したことで、各財の取引構造の違いが現れた結果であると考えられる。

4. まとめ

本稿では、既存モデルをベースとし、中間投入構造を具体的に明示したモデルへと拡張を行った。また仮想データを用いて、既存モデルとの算出結果の違いについて確認を行った。今後、実際に公表されているデータを用いた実証分析が必要と考えられるが、中間投入構造を明示することで、地域全体の便益への影響は少ないものの、帰着便益の大小に影響を与える可能性があること、および、産業別の付加価値に影響を与える可能性が本稿の検討結果から示唆された。

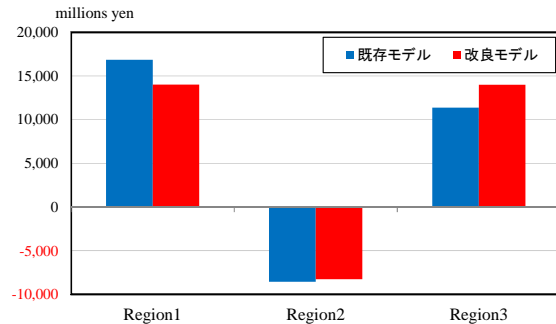


図-4 便益の比較

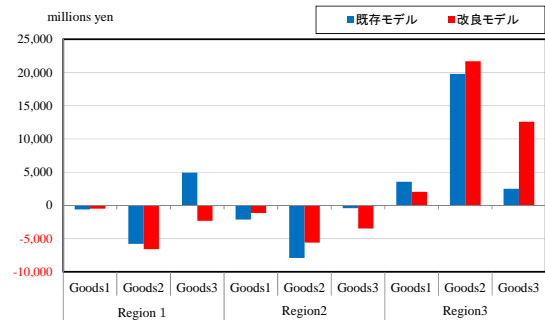
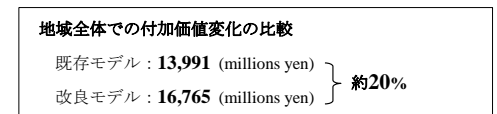


図-5 付加価値の比較

参考文献

- 1) 小池淳司：経済均衡モデルによる公共事業評価—地域の変化を測る—, 運輸政策研究, Vol.8 No.2, pp.72-73, 2005.
- 2) 久武昌人, 山崎清：独占的競争等を取り入れた多地域CGEモデルの構築, RIETI Discussion Paper Series 06-J-046, 2006.
- 3) 小池淳司, 佐藤啓輔, 川本信秀：帰着便益分析による道路ネットワーク整備の公平性評価—RAEM-Lightモデルを用いたアプローチ—, 高速道路と自動車, Vol.51, No.12, pp.27-33, 2008.
- 4) 小池淳司, 川本信秀：集積の経済性を考慮した準動学的SCGEモデルによる都市部交通渋滞の影響評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, 2006.
- 5) 文世一：地域幹線道路網整備の評価—集積の経済にもとづく多地域モデルの適用—, 土木計画学ワンダーセミナー・シリーズ 15, 応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用, 1998.
- 6) 小池淳司, 佐藤啓輔, 川本信秀：空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路ネットワーク評価—地域間公平性の視点からの実務的アプローチ—, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, No.1, pp.161-168, 2009.
- 7) Harker, P. T., : Predicting Intercity Freight Flows, VNU Science Press BV, 1987.

(2016. 4. 22 受付)

SCGE MODELING CONSIDERING INTERMEDIATE INPUT STRUCTURE

Atsushi KOIKE, Keisuke SATO and Shintaro KATAYAMA

The Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) models have an advantage which can describe the distribution of the effect by social infrastructure developments. We have proposed the empirical SCGE model applying aggregated logit model for subdivided area where only value added data is prepared without Input-Output table. This model, however, has some problem on the intermediate input system from the viewpoint of empirical study because it doesn't consider the intermediate input with inter-regional trade. This paper will propose the elaborated model considered intermediate input system for subdivided area.