

新経済地理学に基づく 空間応用一般均衡モデルによる便益評価

高山 雄貴¹・赤松 隆²・石倉 智樹³

¹正会員 愛媛大学 助教 大学院理工学研究科 (〒 790-8577 愛媛県松山市文京町 3 番)

E-mail: takayama@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 東北大学 教授 大学院情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: akamatsu@plan.civil.tohoku.ac.jp

³正会員 首都大学東京 准教授 都市環境学部 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: iskr@tmu.ac.jp

近年、新経済地理学 (NEG) 理論を応用した空間応用一般均衡 (SCGE) モデルが開発されている。この枠組みは集積の経済を考慮しているという興味深い特徴を持つ一方で、均衡状態の安定性を確認していないなど、いくつかの過度な単純化がなされてきた。そこで、本研究では、NEG 理論に基づく SCGE モデルを利用した便益評価手法を提案する。この手法は、従来研究の課題を解決する、以下の2つの特徴をもつ: 1) Venables¹⁾ の枠組みに基づいた、産業連関構造を含む SCGE モデルを構築している、2) 政策実施により創発する安定均衡状態を得るための手法を提示している。さらに、日本を対象とした適用計算を実施することで、提案した手法が実経済を対象とした場合でも計算可能であることを示す。

Key Words : *spatial computable general equilibrium model, new economic geography, vertical linkage, stability*

1. はじめに

現在、公共事業の効率的・効果的な実施のために、事前に社会的な便益・費用を予測・評価することが求められている。そこで、これまでに政策評価を適切に実施するための手法が数多く提案されてきた。それらの中でも代表的な手法の一つが、一般均衡理論に基づくアプローチである。このアプローチは、森杉ら²⁾、金本ら³⁾などの教科書でも言及されているように、政策評価の信頼性確保のために最も重要なミクロ経済学との理論的整合性を確保しつつ、プロジェクト実施による効果が経済主体間で波及していくプロセスを表現できるという特徴をもつ。さらに、現在では、空間応用一般均衡 (Spatial Computable General Equilibrium: SCGE) モデルの開発により、政策の効果を国・地域・都市毎に把握できるまでになっている。

SCGE モデルに関する研究は、これまで都市経済学・土木計画学分野を中心に膨大に蓄積されている^{4),5)}。その結果、我が国では、多様な政策評価に SCGE モデルが実用されるようになってきている。しかし、その一方で SCGE モデルには、未だ幾つかの重要な課題が残されている。その一つが、産業や人口の都市集積の主要因として知られている“集積の経済”が全く考慮されていない点である。この集積の経済の存在は、既に様々な

実証研究で確認されており¹⁾、さらに、この集積の経済が働く場合と働かない場合で、社会基盤整備の間接的な効果 (e.g., 産業集積による雇用創出・所得の増加) の評価結果が大きく変化し得る⁹⁾。したがって、この課題の解決は、便益評価手法の発展に必要不可欠であるといえよう。

そこで、近年、新経済地理学 (New Economic Geography: NEG) 理論を応用することで、集積の経済を考慮した SCGE モデルを構築する試みがなされている (e.g., Bröcker¹⁰⁾, Venables and Gasiorek¹¹⁾, Knaap and Oosterhaven¹²⁾, Thissen et al.¹³⁾, 石倉¹⁴⁾)。しかし、これらの研究では、実データを用いた政策評価の計算可能性を確保するために、NEG 分野で蓄積されてきた理論研究²⁾を過度に単純化した枠組み・分析手法が採用されている。具体的には、Bröcker¹⁰⁾、石倉¹⁴⁾では、地域間輸送が可能な“交易財”と不可能な“ローカル財”の2種類の財しか存在しない枠組みが用いられている。さらに、交易財の生産要素がローカル財のみであるなど、現実データとの対応が取れない、非常に限定的なモデル構造となっている。一方、Venables and Gasiorek¹¹⁾、Knaap and Oosterhaven¹²⁾、Thissen

¹ 実証研究の成果は、例えば、Rosenthal and Strange⁶⁾、Combes et al.⁷⁾、Glaeser⁸⁾ 参照

² NEG 分野の理論研究については、例えば、Fujita et al.¹⁵⁾、Baldwin et al.¹⁶⁾、Combes et al.⁷⁾、Brakman et al.¹⁷⁾、佐藤ら¹⁸⁾ による教科書参照。

et al.¹³⁾ は、Venables¹⁾ の新経済地理学モデルを多産業の枠組みに拡張することで、産業連関構造を考慮した SCGE モデルを構築している。しかし、NEG モデルには、一般に複数の安定・不安定な均衡状態が存在することが既に知られているにもかかわらず、既存研究では、その一意性・安定性が全く確認されていない。したがって、これまでに既存研究で得られた知見・結果は、(実際には創発し得ない) 不安定均衡状態を評価したものである可能性があり、その信頼性・妥当性に疑問が残る。

本研究は、これらの既存研究の課題を解決した、NEG 理論に基づく SCGE モデルを用いた便益評価手法を提案する。そのために、まず、産業連関構造を含む Venables¹⁾ の Vertical Linkage モデルを拡張した SCGE モデル (以降、VL-SCGE モデル) を構築する。そして、進化ゲーム理論¹⁹⁾ でその特性が良く知られている調整ダイナミクス³ を利用し、政策実施により創発する安定均衡状態を得るための手法を提示する。その後、提案した手法が実経済を対象とした場合でも十分計算可能であることを示すために、日本を対象とした適用計算を実施する。

本稿で構築する VL-SCGE モデルは、集積の経済・産業連関構造を表現しつつ、可能な限りシンプルな構造となるようにした。それゆえ、以降で提案する便益評価手法は、そのままでは様々な政策評価に適用できるとは言い難い。しかし、モデルの拡張性が非常に高いため、既存の (集積の経済を含まない) SCGE モデルの基本構造を VL-SCGE モデルに置き換えるだけで、非常に簡単に、多様な政策に対して集積の経済を考慮した評価を実施することが可能となる。したがって、本研究の成果は、集積の経済を考慮した政策評価を実用化するための道を大きく開くものであると言える。

本稿の構成は、以下の通りである。まず、第 2 章では、NEG 理論に基づいた VL-SCGE モデルの枠組みを示す。次に、第 3 章で、実データを適用することができる形で、VL-SCGE モデルの均衡条件を定式化する。そして、第 4 章において、安定均衡状態を得るための計算手順と、パラメータの推定・キャリブレーション方法を示す。第 5 章では、NEG 分野の理論研究との整合性を確認するために単純な例での安定均衡状態の特性を示した後、日本を対象とした適用計算を実施する。最後に、第 6 章で、本研究の結論を述べる。

³ 本研究では、労働者の産業選択割合が logit 型の選択確率で与えられる枠組みを用いているため、調整ダイナミクスとして、perturbed best response dynamic を採用している。

2. 新経済地理学に基づく空間応用一般均衡モデル: VL-SCGE モデル

(1) 地域・経済環境の設定

離散的な A の地域が存在する経済システムを考える。この経済には、財を生産する I 種類の産業が存在する。各々の産業は独占競争的であり、この産業の企業は、収穫逓増の技術により、労働・自産業や他産業で生産された財を生産要素として差別化された財を生産する。以降では、産業 $i \in \mathbb{I} \equiv \{1, 2, \dots, I\}$ で生産された財を「財 i 」と表す。この財 i は、地域間輸送ネットワークにより任意の地域に供給でき、その際の輸送費用は水塊費用の形をとると仮定する。

労働者は、1 単位の労働を保有し、自らの効用を最大化するよう、労働を供給する (i.e., 就労する) 産業 $i \in \mathbb{I}$ と財 $j \in \mathbb{I}$ の消費量を決定する。各地域 $a \in \mathbb{A} \equiv \{1, 2, \dots, A\}$ で産業 i に従事する労働者数を N_a^i と表し、その総数である地域 a の総労働者数 $N_a = \sum_{i \in \mathbb{I}} N_a^i$ は一定値であると仮定する。

(2) 労働者の消費行動

地域 $a \in \mathbb{A}$ で産業 $i \in \mathbb{I}$ の企業に従事する労働者は、効用関数 u_a^i を域内での可処分所得の制約 \hat{w}_a^i の下で最大化するように、財 $j \in \mathbb{I}$ の消費量 c_a^{ji} を決定する:

$$\max_{\{c_a^{ji}\}} u_a^i (\{c_a^{ji}\}) = \sum_{j \in \mathbb{I}} \mu^j \ln [c_a^{ji}], \quad (1a)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in \mathbb{I}} \sum_{b \in \mathbb{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(k) q_{ba}^{ji}(k) dk = \hat{w}_a^i. \quad (1b)$$

ここで、 $\mu^j > 0$ は労働者の財 j への支出割合を表し、 $\sum_{j \in \mathbb{I}} \mu^j = 1$ を満たすパラメータである。 k は財の種類 (バラエティ) を表すインデックスであり、常にその種類が連続的かつ無限に存在すると仮定するため、連続変数とする。 $p_{ba}^j(k), q_{ba}^{ji}(k)$ は、各々、地域 b で生産され、地域 a で消費される財 j のバラエティ k の価格、消費量である。 n_a^j は地域 a で生産された財 j のバラエティ数である。また、財 j の消費量 c_a^{ji} は、地域 b で生産された財 j のバラエティ k の消費量 $q_{ba}^{ji}(k)$ を代替の弾力性 $\sigma^j > 1$ を用いて集計した

$$c_a^{ji} = \left\{ \sum_{b \in \mathbb{A}} \int_0^{n_b^j} \left\{ q_{ba}^{ji}(k) \right\}^{\frac{\sigma^j-1}{\sigma^j}} dk \right\}^{\frac{\sigma^j}{\sigma^j-1}} \quad (2)$$

によって定義される。

この効用最大化問題 (1) は、効用関数が財 $i \in \mathbb{I}$ 毎に分割可能であり、かつ財 i の効用関数がホモセティックであるため、次の 2 段階の問題へと変換できる⁴:

⁴ 最適化問題を 2 段階に分割するための条件の詳細は、Deaton and Muellbauer²⁰⁾ 参照。

[下位問題]

$$\min_{\{c_a^{ji}(k)\}} \sum_b \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(k) q_{ba}^{ji}(k) dk, \quad \text{s.t.} \quad (2), \quad (3a)$$

[上位問題]

$$\max_{\{c_a^{ji}\}} \sum_j \mu^j \ln [c_a^{ji}], \quad \text{s.t.} \quad \sum_j \rho_a^j c_a^{ji} = \hat{w}_a^i. \quad (3b)$$

効用最大化問題 (3) を解くことにより、財 j の消費量が価格 $p_{ba}^j(k)$ 、域内可処分所得 \hat{w}_a^i の関数として、次のように導出される:

$$c_a^{ji} = \mu^j \frac{\hat{w}_a^i}{\rho_a^j}, \quad q_{ba}^{ji}(k) = \left\{ \frac{p_{ba}^j(k)}{\rho_a^j} \right\}^{-\sigma^j} c_a^{ji}. \quad (4)$$

ここで、 ρ_a^j は地域 a での財 j の価格指数である:

$$\rho_a^j = \left\{ \sum_b \int_0^{n_b^j} \left\{ p_{ba}^j(k) \right\}^{1-\sigma^j} dk \right\}^{\frac{1}{1-\sigma^j}}. \quad (5)$$

(3) 企業行動

各産業の企業は、前述のとおり、Dixit and Stiglitz²¹⁾ 型の独占的競争を行う。すなわち、各産業 i において、自由に参入・撤退できると仮定した企業が収穫逓増の技術により差別化された財 i を生産する。規模の経済、消費者の多様性選好、ならびに供給できる財 i のバラエティ数に制限がないことから、どの企業も必ず他企業とは異なるバラエティの財を生産する。そのため、地域 a で生産を行う産業 i の企業数は、供給される財のバラエティ数 n_a^i に等しい。そこで、以降では、地域 a において財 i のバラエティ $k \in [0, n_a^i]$ を生産する企業を地域 a ・産業 i の‘企業 k ’と表す。

産業 $i \in \mathbb{I}$ の企業 k が財 i のバラエティ k を生産するには、中間投入要素 (i.e., 労働・中間財の合成財) を固定的に 1 単位と、生産量 $s_a^i(k)$ に応じて $\beta^i s_a^i(k)$ 単位投入する必要がある。より具体的には、各企業の生産関数を次のように与える:

$$\{l_a^i(k)\}^{1-\sum_{j \in \mathbb{I}} \alpha_a^{ji}} \prod_{j \in \mathbb{I}} \{z_a^{ji}(k)\}^{\alpha_a^{ji}} = 1 + \beta^i s_a^i(k). \quad (6)$$

ここで、 $l_a^i(k)$ は地域 a の産業 i の企業 k が投入する労働量、 $z_a^{ji}(k)$ は財 j の中間投入量、 α_a^{ji} は中間財 j の投入係数である。また、財 j の投入量 $z_a^{ji}(k)$ は、地域 b の企業 l が生産する財 j の投入量 $z_{ba}^{ji}(l, k)$ を代替の弾力性 σ^j を用いて集計した次の関数で定義する:

$$z_a^{ji}(k) = \left[\sum_b \int_0^{n_b^j} \left\{ z_{ba}^{ji}(l, k) \right\}^{\frac{\sigma^j-1}{\sigma^j}} dl \right]^{\frac{\sigma^j}{\sigma^j-1}}. \quad (7)$$

財 i の輸送には、氷塊費用の形をとる費用がかかる。すなわち、地域 a, b 間で 1 単位の財 i を輸送すると、最初の 1 単位のうち $1/\tau_{ab}^i$ 単位だけが実際に到着し、残りは溶けてしまうと考える。そのため、地域 a の企業

k が生産した財 i の (労働者・企業の) 需要量 $x_{ab}^i(k)$ と供給量 $s_a^i(k)$ との間に、次の関係が成立する:

$$s_a^i(k) = \sum_b \tau_{ab}^i x_{ab}^i(k), \quad (8a)$$

$$x_{ab}^i(k) = \sum_j q_{ab}^{ij}(k) N_b^j + \sum_j \int_0^{n_b^j} z_{ab}^{ij}(k, l) dl. \quad (8b)$$

ここで、 $z_{ab}^{ij}(k, l)$ は地域 a で生産された財 i のバラエティ k に対する、地域 b ・産業 j の企業 l の中間需要である。

地域 a ・産業 i の企業 k は、独占的競争を仮定しているため、消費者の需要関数 $q_{ab}^{ij}(k)$ 、他企業 l からの需要関数 $z_{ab}^{ij}(k, l)$ を所与として、自ら生産する財 i の価格 $p_{ab}^i(k)$ と労働・中間財の投入量 $l_a^i(k)$ 、 $\{z_{ba}^{ji}(l, k)\}$ を設定する⁵。その利潤最大化行動は、次のように定式化できる:

$$\begin{aligned} \max_{p_{ab}^i(k), l_a^i(k), \{z_{ba}^{ji}(l, k)\}} \pi_a^i(k) &= \sum_b p_{ab}^i(k) x_{ab}^i(k) \\ &- w_a^i l_a^i(k) - \sum_j \sum_b \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(l) z_{ba}^{ji}(l, k) dl, \quad (9) \\ \text{s.t.} \quad &(6), (7), (8). \end{aligned}$$

ここで、 w_a^i は産業 i の企業が地域 a の労働者に支払う賃金である⁶。

この利潤最大化問題 (9) も、効用最大化問題 (1) と同様の理由で次の 2 段階の問題へと変換できる:

[下位問題]

$$\min_{z_{ba}^{ji}(l, k)} \sum_b \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(l) z_{ba}^{ji}(l, k) dl, \quad \text{s.t.} \quad (7), \quad (10a)$$

[上位問題]

$$\begin{aligned} \max_{p_{ab}^i(k), l_a^i(k), \{z_a^{ji}(k)\}} \pi_a^i(k) &= \sum_b p_{ab}^i(k) x_{ab}^i(k) \\ &- w_a^i l_a^i(k) - \sum_j \rho_a^j z_a^{ji}(k), \quad (10b) \\ \text{s.t.} \quad &(6), (8), (11). \end{aligned}$$

下位問題により、地域 b で生産される財 j の中間需要 $z_{ba}^{ji}(l, k)$ が与えられる:

$$z_{ba}^{ji}(l, k) = \left\{ \frac{p_{ba}^j(l)}{\rho_a^j} \right\}^{-\sigma^j} z_a^{ji}(k). \quad (11)$$

この需要関数を与件として上位問題を解くと、財 i の価

⁵ Dixit and Stiglitz²¹⁾ 型の独占的競争であるため、1 企業の価格設定 $p_{ba}^j(k)$ が価格指数 ρ_a^j に与える影響は無視できる。

⁶ この賃金 w_a^i は、労働者行動で定義した域内可処分所得 \hat{w}_a^i とは異なり、後で設定する域外移転額も含んでいることに注意が必要である。

格 $p_{ab}^i(k)$, 中間要素の投入量 $l_a^i(k)$, $z_a^{ji}(k)$ が得られる:

$$p_{ab}^i(k) = \frac{\sigma^i \beta^i}{\sigma^i - 1} \tau_{ab}^i \phi_a^i, \quad (12a)$$

$$\phi_a^i = \left(\frac{w_a^i}{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}} \right)^{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}} \prod_j \left(\frac{\rho_a^j}{\alpha_a^{ji}} \right)^{\alpha_a^{ji}}, \quad (12b)$$

$$l_a^i(k) = \frac{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}}{w_a^i} \left(1 + \beta^i \sum_b \tau_{ab}^i x_{ab}^i(k) \right) \phi_a^i, \quad (12c)$$

$$z_a^{ji}(k) = \frac{\alpha_a^{ji}}{\rho_a^j} \left(1 + \beta^i \sum_b \tau_{ab}^i x_{ab}^i(k) \right) \phi_a^i. \quad (12d)$$

この結果から明らかなように、財 i の価格 $p_{ab}^i(k)$ はそのバラエティ k に依存しない。そのため、 $q_{ab}^i(k)$, $z_{ab}^{ij}(k, l)$, $z_a^{ij}(k)$, $s_a^i(k)$, $x_{ab}^i(k)$ も、同様に、バラエティ k, l には依存しない。そこで、以降では、 k, l を省略し、 $p_{ab}^i, q_{ab}^i, z_{ab}^{ij}, z_a^{ij}, s_a^i, x_{ab}^i$ と表記する。このとき、価格指数 ρ_a^i は次のように与えられる:

$$\begin{aligned} \rho_a^i &= \left\{ \sum_b \int_0^{n_b^i} \{p_{ba}^j\}^{1 - \sigma^j} dk \right\}^{\frac{1}{1 - \sigma^i}} \\ &= \frac{\sigma^i \beta^i}{\sigma^i - 1} \left[\sum_b n_b^i \{ \tau_{ba}^j \phi_b^j \}^{1 - \sigma^j} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma^i}}. \end{aligned} \quad (13)$$

以上の結果から、産業 i のある企業の利潤 π_a^i は、次のように表される:

$$\pi_a^i = \frac{\beta^i}{\sigma^i - 1} \phi_a^i s_a^i - \phi_a^i. \quad (14)$$

さらに、各産業の企業の参入・撤退が自由であることから $\pi_a^i = 0$ が成立するため、供給量 s_a^i は、

$$s_a^i = \sum_b \tau_{ab}^i x_{ab}^i = \frac{\sigma^i - 1}{\beta^i} \quad (15)$$

となる。したがって、財 i を生産する企業による中間要素投入量 $1 + \beta^i s_a^i$ は、以下で与えられる:

$$1 + \beta^i s_a^i = \sigma^i. \quad (16)$$

3. 均衡条件

SCGE モデルで用いる産業連関表等のデータは“個人や一企業の財の取引額”ではなく、常に“地域間/産業間の総取引額”で与えられる。したがって、SCGE モデルにより決定される多くの変数も、全て地域間/産業間の総取引額とする必要がある⁷。具体的には、地域 a での財 i の生産・需要量、地域 a, b 間の財の輸送量は、全て“量”ではなく“金額”により表す必要がある。そこで、本節では、まず最初に、前章で示した SCGE モデルから得られた“個人・一企業の取引額”を表す数量変数を、“地域間/産業間の総取引額”を表す価格変数に

変換する。その後、それらの変数を用いて、VL-SCGE モデルの均衡条件を示す。

(1) 数量変数から価格変数への変換

a) 労働者の消費行動により得られる変数の変換

最初に、労働者の消費行動により得られる個人の消費量を表す数量変数を、地域全体の消費額を表す価格変数へと変換する。より具体的には、個人の財 i の消費量を表す c_a^{ji} , q_{ba}^{ji} を、地域 a の総消費額 $D_a^{ji}(= N_a^i \rho_a^j c_a^{ji})$, $d_{ba}^{ji}(= N_a^i n_b^j p_{ba}^j q_{ba}^{ji})$ に変換する。そのために、式 (4) が、次のように表現できることに注目しよう:

$$\rho_a^j c_a^{ji} = \mu^j \hat{w}_a^i, \quad n_b^j p_{ba}^j q_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{p_{ba}^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j \rho_a^j c_a^{ji}. \quad (17)$$

この関係の両辺を N_a^i 倍することで地域全体の取引額が与えられる:

$$D_a^{ji} = \mu^j \hat{W}_a^i, \quad d_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{p_{ba}^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j D_a^{ji}. \quad (18)$$

ここで、 \hat{W}_a^i は産業 i で従事する労働者の地域 a 全体の(域内での)可処分所得 ($\hat{W}_a^i \equiv \hat{w}_a^i N_a^i$) である。

b) 企業行動により得られる変数の変換

次に、産業 i の企業行動により得られる変数を考えよう。ここでは、ある企業の供給量 s_a^i と労働・財 j の投入量 $l_a^i, z_a^{ji}, z_{ba}^{ji}$ の関係を、各々、地域 a に立地する企業の総生産額 $S_a^i(= \frac{\beta^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} n_a^i \phi_a^i s_a^i)$ 、労働・財 j の総投入額 $W_a^i(= n_a^i w_a^i l_a^i)$, $M_a^{ji}(= n_a^i \rho_a^j z_a^{ji})$, $m_{ba}^{ji}(= n_a^i n_b^j p_{ba}^j z_{ba}^{ji})$ を用いて表現する。式 (12), (15) より、

$$(1 + \beta^i s_a^i) \phi_a^i = \sigma^i \phi_a^i, \quad (19a)$$

$$w_a^i l_a^i = \left(1 - \sum_j \alpha_a^{ji} \right) (1 + \beta^i s_a^i) \phi_a^i, \quad (19b)$$

$$\rho_a^j z_a^{ji} = \alpha_a^{ji} (1 + \beta^i s_a^i) \phi_a^i, \quad (19c)$$

$$m_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{p_{ba}^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j \rho_a^j z_a^{ji}, \quad (19d)$$

が得られる。したがって、両辺を地域 a の産業 i の企業数 n_a^i 倍することで、次のように価格変数による関係式が与えられる:

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i, \quad W_a^i = \left(1 - \sum_j \alpha_a^{ji} \right) S_a^i, \quad (20a)$$

$$M_a^{ji} = \alpha_a^{ji} S_a^i, \quad m_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{p_{ba}^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j M_a^{ji}. \quad (20b)$$

(2) 均衡条件

前節でモデルの数量変数を価格変数に変換することができた。そこで、本節では、モデルの(未知)変数を導出するための均衡条件を定式化する。

⁷ 各地域の労働供給“量” N_i は、労働人口により得られるため、金額換算する必要はない。

本稿では、NEG 理論と同様、財・労働市場は、各労働者が従事する産業を変更できないほど短期間で均衡し、長期的には、労働者は自らの得る効用を最大化するように、従事する産業を選択すると仮定する。すなわち、均衡状態を、財・労働市場が均衡した“短期均衡状態”と、労働者の産業選択が落ち着く“長期均衡状態”の2段階に分ける。そこで、本節では短期均衡条件・長期均衡条件を順に示す。

なお、本モデルの変数は、前節で挙げたように、全体で $8AI + 2AI^2 + 2A^2I^2$ 存在する：産業 i に従事する労働者の財 j の最終需要額 D_a^{ji} (AI^2 個)、地域 b から a に輸送される財 j の最終需要額 d_{ba}^{ji} (A^2I^2 個)、可処分所得 \hat{W}_a^i (AI 個)、財 i の総供給額 S_a^i (AI 個)、産業 i の総賃金 W_a^i (AI 個)、産業 i の財 j への中間需要額 M_a^{ji} (AI^2 個)、地域 b から a に輸送される財 j の中間需要額 m_{ba}^{ji} (A^2I^2 個)、地域 a の産業 i の賃金 w_a^i (AI 個)、財 i の価格指数 ρ_a^i (AI 個)、財 i の合成中間財価格 ϕ_a^i (AI 個)、地域 a の産業 i の企業数 n_a^i (AI 個)、地域 a の産業 i に従事する労働者数 N_a^i (AI 個)。そこで、以降では、未知変数分の短期・長期均衡条件を示す。

a) 短期均衡条件

まず、各財・労働市場の均衡条件を示す。財・労働市場に関する変数間の関係式は、前節で得られた条件 (12b), (13), (18), (20) から、 $4AI + 2AI^2 + 2A^2I^2$ だけ与えられる：

$$\phi_a^i = \left(\frac{w_a^i}{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}} \right)^{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}} \prod_j \left(\frac{\rho_a^j}{\alpha_a^{ji}} \right)^{\alpha_a^{ji}}, \quad (21a)$$

$$\{\rho_a^i\}^{1 - \sigma^i} = \sum_b n_b^i \{\psi^i \tau_{ba}^i \phi_b^i\}^{1 - \sigma^i}, \quad (21b)$$

$$D_a^{ji} = \mu^j \hat{W}_a^i, \quad (21c)$$

$$d_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{\psi^j \tau_{ba}^j \phi_b^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j D_a^{ji}, \quad (21d)$$

$$M_a^{ji} = \alpha_a^{ji} S_a^i, \quad (21e)$$

$$m_{ba}^{ji} = \left\{ \frac{\psi^j \tau_{ba}^j \phi_b^j}{\rho_a^j} \right\}^{1 - \sigma^j} n_b^j M_a^{ji}, \quad (21f)$$

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i, \quad (21g)$$

$$W_a^i = \left(1 - \sum_j \alpha_a^{ji} \right) S_a^i. \quad (21h)$$

ここで、 $\psi^j \equiv \beta^j \sigma^j / (\sigma^j - 1)$ である。さらに、以降では、条件 (21) に加えて短期均衡状態が満たす、3つの均衡条件を示す。

総賃金と可処分所得に関する仮定

最初に、総賃金 W_a^i と可処分所得 \hat{W}_a^i の関係について、対象地域全体の収支均衡を保証するために、Bröcker¹⁰⁾ と同様の、簡単な仮定を設ける。地域 a の総所得 (GDP)

に対する域外移転額の割合を (固定的に) λ_a とすると、

$$\hat{W}_a^i = (1 - b_a(\mathbf{W})\lambda_a)W_a^i, \quad (22a)$$

$$b_a(\mathbf{W}) \equiv \begin{cases} 1 & \text{if } a \in \mathcal{S}, \\ -\frac{\sum_{b \in \mathcal{S}} \lambda_b W_b}{\sum_{b \in \mathcal{D}} \lambda_b W_b} & \text{if } a \in \mathcal{D}, \end{cases} \quad (22b)$$

が成立すると考える。ここで、 $W_b \equiv \sum_j W_b^j$ は地域 b の労働者の総賃金、 \mathcal{S}, \mathcal{D} は、各々、経常黒字 (surplus regions) ・赤字 (deficit regions) の地域の集合である。

各地域での財 i の需給均衡条件

次に、各地域での財 i の需給均衡条件を示す。均衡状態では、地域 a で生産する財 i の総生産額は、財 i の最終需要額・中間需要額の合計と一致する：

$$S_a^i = \sum_b \sum_j \{d_{ab}^{ij} + m_{ab}^{ij}\}. \quad (23)$$

各地域での労働の需給均衡条件

最後の条件は、各地域の労働の需給均衡条件である。各地域・各産業の労働需要量が l_a^i 、供給量が N_a^i であるため、式 (12c) より、この条件は以下の通り与えられる：

$$w_a^i N_a^i = \left(1 - \sum_j \alpha_a^{ji} \right) S_a^i. \quad (24)$$

b) 長期均衡条件

次に、労働者の産業選択に関する長期均衡条件を示す。地域 a の労働者は、より高い賃金 \hat{w}_a^i (効用 u_a^i) が得られる産業 i に労働を供給する。本稿で構築するモデルは、労働者の産業選択には異質性があると仮定する。具体的には、地域 a における個人 κ が産業 i で従事するときの効用は、次のように与えられると仮定する：

$$u_a^i(\kappa) = u_a^i + \zeta_a^i + \varepsilon_a^i(\kappa). \quad (25)$$

ここで、 ζ_a^i は地域 a ・産業 i 固有の確定的効用項、 $\varepsilon_a^i(\kappa)$ は個人 κ 固有の確定的効用項であり、地域 a の各産業の労働者集団全体にわたる $\{\varepsilon_a^i(\kappa), \forall \kappa\}$ の分布が互いに独立で同一の Weibull 分布に従うと仮定する。この時、地域 a で産業 i を選択する労働者の割合 P_a^i は、次の logit 型の選択確率で与えられる：

$$P_a^i = \frac{\exp[\theta_a(u_a^i + \zeta_a^i)]}{\sum_j \exp[\theta_a(u_a^j + \zeta_a^j)]}. \quad (26)$$

ここで、 $\theta_a \in (0, \infty)$ は、労働者の異質性 ($\varepsilon_a^i(\kappa)$ の分散) を反映したパラメータである。また、 u_a^i は次のように表される：

$$u_a^i = \sum_{j \in \mathbb{I}} \mu^j \{ \ln[\mu^j] - \ln[\rho_a^j] \} + \ln[\hat{w}_a^i]. \quad (27)$$

以上より、地域 a の産業 i に従事する労働者数 N_a^i を決める長期均衡条件は、次のように表される：

$$N_a^i = P_a^i N_a. \quad (28)$$

ここで示した労働者の産業均衡条件 (28) は、労働者が均質である場合を含んだ、一般的な均衡条件である

ことに注意が必要である。実際、 $\theta_a \rightarrow \infty$ とした場合、条件 (28) は企業が均質な場合の均衡条件に帰着する：

$$\begin{cases} u_a^* - u_a^i = 0 & \text{if } N_a^i \geq 0, \\ u_a^* - u_a^i > 0 & \text{if } N_a^i = 0. \end{cases} \quad (29)$$

ここで、 u_a^* は地域 a の労働者の均衡効用水準である。

以上より、短期均衡条件 (21), (22), (23), (24) と、長期均衡条件 (28) により、 $8AI + 2AI^2 + 2A^2I^2$ の条件が得られた。なお、本モデルは一般均衡モデルであるため、短期均衡状態において、空間経済システム全体での収支が必ず一致する。この事実を具体的に確認した結果は、付録 I 参照。

4. 均衡状態の解法手順

本章では、前節で得られた均衡条件を満たす、安定的な均衡状態を求める方法を示す。その上で、実データをモデルに適用するために実施する、パラメータの推定・キャリブレーション方法を提示する。

(1) 安定均衡状態の解法手順

NEG モデルには、安定・不安定な複数の長期均衡状態が存在することが知られている。そこで、本節では、安定的な長期均衡状態を得るための方法を示す。

まず、短期均衡状態は、次の非線形連立方程式から導出する：

$$\phi_a^i - \gamma_a^i \left\{ \frac{W_a^i}{N_a^i (1 - \sum_j \alpha_a^{ji})} \right\}^{1 - \sum_j \alpha_a^{ji}} \prod_j \left(\frac{\hat{\rho}_a^j}{\alpha_a^{ji}} \right)^{\alpha_a^{ji}} = 0, \quad (30a)$$

$$\{\hat{\rho}_a^i\}^{1 - \sigma^i} - \sum_b n_b^i \{\tau_{ba}^i \phi_b^i\}^{1 - \sigma^i} = 0, \quad (30b)$$

$$W_a^i - \left(1 - \sum_j \alpha_a^{ji} \right) \sigma^i n_a^i \phi_a^i = 0, \quad (30c)$$

$$\hat{W}_a^i - (1 - b_a(\mathbf{W})\lambda_a)W_a^i = 0, \quad (30d)$$

$$\sigma^i \phi_a^i - \sum_b \left\{ \frac{\tau_{ab}^i \phi_b^i}{\hat{\rho}_b^i} \right\}^{1 - \sigma^i} \sum_j \left[\mu^i \hat{W}_b^j + \alpha_b^{ij} \sigma^j n_b^j \phi_b^j \right] = 0, \quad (30e)$$

ここで、 $\hat{\rho}_a^i \equiv \rho_a^i / \psi^i$ 、 $\gamma_a^i \equiv \prod_j \{\psi^j\}^{\alpha_a^{ji}}$ である。

この非線形連立方程式の未知変数は $\hat{\rho}_a^i$ 、 ϕ_a^i 、 W_a^i 、 \hat{W}_a^i 、 n_a^i (5AI 個) のみである。前節で示した残りの変数は、均衡条件 (21), (24) に連立方程式の解を代入することで容易に得られる。ただし、これらの条件式は、正確には、ワルラス法則の存在により、 $5AI - 1$ の独立な方程式にしかならない。したがって、ある価格変数を基準化し (ニューメールとし)、連立方程式を解かなければならないことに注意が必要である。

長期均衡状態 N_a^i は、短期均衡状態として得られる \hat{W}_a^i 、 $\hat{\rho}_a^i$ を用いた、次の条件を解くことで導出する⁸：

$$N_a^i = \frac{\exp[\theta_a(u_a^i + \zeta_a^i)]}{\sum_j \exp[\theta_a(u_a^j + \zeta_a^j)]} N_a, \quad (31a)$$

$$u_a^i = - \sum_j \mu^j \ln[\hat{\rho}_a^j] + \ln[\hat{W}_a^i] - \ln[N_a^i]. \quad (31b)$$

ただし、前述したように、この長期均衡状態 N_a^i は安定・不安定なものが複数存在する。そこで、本稿では、長期均衡状態が定常状態となる logit dynamics⁹ を利用して、安定的な均衡状態を導出する：

$$\dot{N}_a^i = \frac{\exp[\theta_a(u_a^i + \zeta_a^i)]}{\sum_j \exp[\theta_a(u_a^j + \zeta_a^j)]} N_a - N_a^i. \quad (32)$$

より具体的には、次の手順で安定的な均衡状態を導出する：

step 0: 各都市における産業毎の労働者数の初期状態 $N_{a(0)}$ を設定する。

step 1: $n - 1$ 回目の計算で得られた $N_{a(n-1)}$ を利用して短期均衡条件 (30) を解き、式 (31b) より $u_{a(n-1)}^i$ を求める。

step 2: 以下で示すように、調整ダイナミクス方向に各地域の産業ごとの労働者数 $N_{a(n)}$ を改訂する：

$$N_{a(n)}^i = N_{a(n-1)}^i + \delta \left[\frac{\exp[\theta_a\{u_{a(n-1)}^i + \zeta_a^i\}]}{\sum_j \exp[\theta_a\{u_{a(n-1)}^j + \zeta_a^j\}]} N_a - N_{a(n-1)}^i \right]$$

ここで、 δ は調整ダイナミクス方向への均衡解の変化の割合を表すパラメータである。

step 3: $\|N_{a(n)} - N_{a(n-1)}\|$ が十分小さくなれば計算終了。そうでなければ、 $n := n - 1$ として step 1 に戻る。

(2) パラメータのキャリブレーション方法

VL-SCGE モデルの基準均衡状態を実データと整合的にするためには、モデル・パラメータを推定・キャリブレートする必要がある。そこで本節では、データからその数値が得られる N_a^i 、 W_a^i 、 \hat{W}_a^i 、 S_a^i 、 M_a^{ij} が基準均衡状態 (i.e., 政策を実施していない状況下での均衡状態) となるような、短期・長期均衡条件に関するパラメータの推定・キャリブレート方法を順に説明する。

a) 短期均衡条件に関するパラメータ

まず、短期均衡条件に関するパラメータ α_a^{ij} 、 λ_a 、 τ_{ab}^i 、 σ^i 、 μ^i 、 γ_a^i のキャリブレーション方法を示そう。

⁸ ここで示した効用関数 (31b) では、結果に影響を与えない定数項 $\sum_j \mu_j \{\ln[\mu_j] + \ln[\psi^j]\}$ を省略した。

⁹ logit dynamics は代表的な調整ダイナミクスの一つであり、任意の状態から安定均衡状態へと収束する解軌跡が唯一であるなど、進化ゲーム理論分野で、その性質が既によく知られている。その詳細は、例えば、Sandholm¹⁹⁾ 参照。

パラメータ α_a^{ij}, λ_a は、各地域の産業連関表データから、その値を設定する。 α_a^{ij} は、その定義より、各々、労働・財による地域 a ・産業 j の中間投入総額に占める財 i の中間投入額の割合を用いる。 λ_a も、その定義通り、総所得に対する域外移転額（移輸出入額）の割合とする。このとき、基準均衡状態の総賃金 W_a^i が実データと一致していれば、短期均衡条件 (30) より、 $S_a^i, M_a^{ij}, \hat{W}_a^i$ の実データと基準均衡状態は自動的に一致する。

次に、輸送費用に関するパラメータ τ_{ab}^i を考えよう。このパラメータは、容易にデータを得ることができないことから、Head and Ries²²⁾ と同様の方法で推定する。より具体的には、まず、通常の NEG モデルと同様、同一地域への財の輸送には費用がかからず (i.e., $\tau_{aa}^i = 1 \forall a \in \mathbb{A}, i \in \mathbb{I}$)、2 地域間の輸送費用は対称であると仮定する (i.e., $\tau_{ab}^i = \tau_{ba}^i$)。このとき、式 (21) を用いると、 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ が次のように与えられることを利用する：

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \sqrt{\frac{(d_{ab}^i + \sum_j m_{ab}^{ij})(d_{ba}^i + \sum_j m_{ba}^{ij})}{(d_{aa}^i + \sum_j m_{aa}^{ij})(d_{bb}^i + \sum_j m_{bb}^{ij})}}. \quad (33)$$

この関係を利用すれば、(通常の方法では得られない) 輸送費用 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ に関するデータが、地域間輸送額 (d_{ab}^i, m_{ab}^{ij}) に関するデータから得られる。そこで、 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ が、地域間の移動時間 $t(a, b)$ (単位は 100 時間)、パラメータ τ^i, ϵ^i の関数

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \exp[\tau^i t(a, b) + \epsilon^i] \quad (34)$$

で表されると仮定し、次の推定式により τ^i, ϵ^i を得る：

$$\ln[\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}] = \tau^i t(a, b) + \epsilon^i + u_{ab}^i. \quad (35)$$

ここで、 u_{ab}^i は誤差項である。

産業 i の財の代替弾力性 σ^i は、多くの研究で指摘されているように、その適切な推定が困難である。そこで、本研究では、 σ^i を一般的に妥当な値だと考えられている範囲 (5 から 10) に含まれる値に設定する。そして、 σ^i の値を変化させた場合の感度分析も合わせて実施し、結果の頑健性も検証する。

μ^i は、システム全体の財 $i \in \mathbb{I}$ の最終需要・中間需要額が総供給量と等しくなるように設定する。より具体的には、式 (23) を地域 a について足し合わせた、次の関係式を満たす値に設定する：

$$\sum_a S_a^i = \sum_a \sum_b \sum_j \{d_{ab}^{ij} + m_{ab}^{ij}\}. \quad (36)$$

したがって、 μ^i は以下の形で与えられる：

$$\mu^i = \frac{\sum_a S_a^i - \sum_a \sum_j M_a^{ij}}{\sum_a \sum_j \hat{W}_a^j}. \quad (37)$$

最後の γ_a^i は、均衡条件式 (30) を用いて設定する。均衡条件を求める際に解くべき非線形連立方程式の

変数のうち、実データから、基準均衡状態として W_a^i が得られる。そこで、上述した方法で得られたパラメータ $\sigma^i, \tau_{ab}^i, \alpha_a^{ij}, \lambda_a, \mu^i$ と W_a^i を用いて、式 (30) より、 $\hat{\rho}_a^i, \phi_a^i, \hat{W}_a^i, n_a^i, \psi_a^i$ を決定する。その具体的な手順は次の通り：

step 1 条件 (30d) より、 \hat{W}_a^i を得る。

step 2 条件 (30e) より得られる次の非線形連立方程式から $\Phi_a^i \equiv n_a^i (\phi_a^i)^{1-\sigma^i}$ を計算する：

$$S_a^i = \sum_b \frac{\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_a^i}{\sum_k \{\tau_{kb}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_k^i} \sum_j [\mu^i \hat{W}_b^j + \alpha_b^{ij} S_b^j]$$

ここで、 $S_a^i = W_a^i / (1 - \sum_j \alpha_a^{ij})$ である。

step 3 条件 (30b) に Φ_a^i を代入し、 $\hat{\rho}_a^i$ を得る。

step 4 条件 (30c) に W_a^i, Φ_a^i を代入し、 ϕ_a^i を得る。

step 5 条件 $\Phi_a^i = n_a^i (\phi_a^i)^{1-\sigma^i}$ に ϕ_a^i を代入し、 n_a^i を得る。

step 6 条件 (30a) に $\hat{\rho}_a^i, \phi_a^i$ を代入し、 γ_a^i を得る。

b) 長期均衡状態に関するパラメータ

次に、実データの N_a^i が長期均衡条件 (31) を満たすためのパラメータ θ_a, ζ_a^i のキャリブレーション方法を示す。

θ_a は、以降の結果に大きな影響を与えるパラメータであるため、 $\zeta_a^i = 0 \forall a \in \mathbb{A}, \forall i \in \mathbb{I}$ とした時の集計ロジットモデルの対数尤度関数 \mathcal{L}_a を最大化する値とする：

$$\mathcal{L}_a = \sum_j \frac{N_a^j}{\sum_k N_a^k} \ln[P_a^j]. \quad (38)$$

より具体的には、次の非線形方程式の解が θ_a の推定値である：

$$\frac{\partial \mathcal{L}_a}{\partial \theta_a} = \sum_j \frac{N_a^j}{\sum_k N_a^k} \left\{ u_a^j - \sum_l u_a^l P_a^l \right\} = 0. \quad (39)$$

そして、長期均衡条件を満たすように、各地域・産業の ζ_a^i を設定する：

$$N_a^i - P_a^i N_a = 0. \quad (40)$$

ただし、この方法では ζ_a^i の値が一意に決まらない。そこで、本稿では、 $\zeta_a^1 = 0 \forall a \in \mathbb{A}$ と基準化して、 ζ_a^i の値を決定する¹⁰。

5. 数値計算例

本章では、構築した VL-SCGE モデルが NEG 理論と整合的であり、かつ、実データを利用した政策評価に利用可能であることを示すために、2 種類の数値計算例を示す。具体的には、まず、既存の NEG 理論との整

¹⁰ ここで示したパラメータの設定方法は、必ずしも基準均衡状態の安定性を保証するものではない。したがって、得られたパラメータの下で、均衡状態の安定性を別途調べる必要があることに注意が必要である。なお、次章で示される数値計算例では、基準均衡状態が安定的であることを確認している。

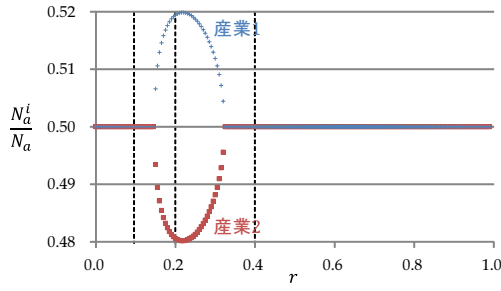


図-1-a 2都市2産業

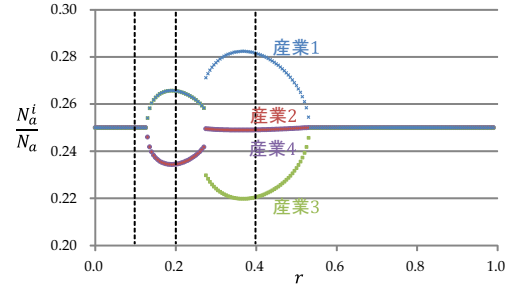


図-1-b 4都市4産業

図-1 各都市の産業 i の企業数シェア N_a^i/N_a

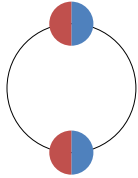


図-2-a $r = 0.1, 0.4$

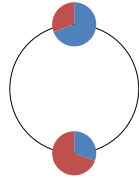


図-2-b $r = 0.2$

図-2 2都市2産業の産業立地パターン

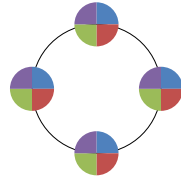


図-3-a $r = 0.1$

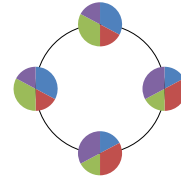


図-3-b $r = 0.2$

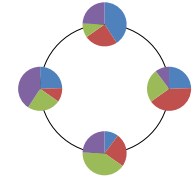


図-3-c $r = 0.4$

図-3 4都市4産業の産業立地パターン

合性を確認するために、各地域・各産業の条件を対称とした場合の数値計算を実施する。その後、日本を対象とした適用計算を行い、地域間輸送費用の削減効果の評価例を示す。

(1) 競技場経済システムへの適用計算

まず最初に、2都市2産業・4都市4産業の競技場経済システム (i.e., 円周上に均等に地域を配置した空間経済システム) での VL-SCGE モデルの安定均衡状態の特性を調べ、NEG 理論との対応を確認する。この計算で前提条件として与える値は以下の通り:

$$\alpha_a^{ij} = \begin{cases} \text{circ}[0.6, 0.2] & \text{if } I = 2 \\ \text{circ}[0.4, 0.2, 0.1, 0.2] & \text{if } I = 4 \end{cases} \quad \forall a \in \mathbb{A},$$

$$D^i = \begin{cases} \text{circ}[1, r] & \text{if } A = 2 \\ \text{circ}[1, r, r^2, r] & \text{if } A = 4 \end{cases} \quad \forall i \in \mathbb{I},$$

$$\sigma^i = 2.0 \quad \forall i \in \mathbb{I},$$

$$N_a = 1 \quad \forall a \in \mathbb{A},$$

$$W_a^i = 1 \quad \forall a \in \mathbb{A}, \forall i \in \mathbb{I},$$

$$\lambda_a = 0 \quad \forall a \in \mathbb{A},$$

$$\zeta_a^i = 0 \quad \forall a \in \mathbb{A}, \forall i \in \mathbb{I},$$

$$\theta_a = 0.1 \quad \forall a \in \mathbb{A},$$

$$\delta = 0.01.$$

ここで、 $\text{circ}[\mathbf{x}]$ は第一行ベクトルが \mathbf{x} で与えられる巡回行列、 $r \equiv \{\tau_{a(a\pm 1)}^i\}^{1-\sigma^i} \in [0, 1]$ は隣接する地域間の輸送の自由度を表すパラメータである。

この条件の下で、輸送費用の削減 (r の増加) が安定

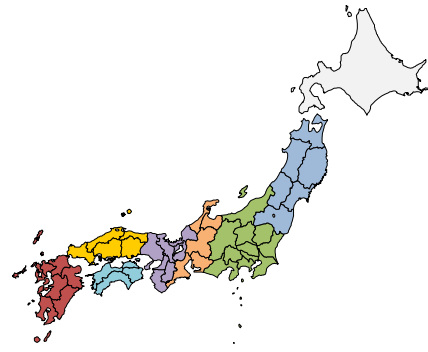


図-4 適用計算での地域分割

均衡状態での産業別の労働者比率 N_a^i/N_a に与える影響を調べた結果は、図-1 に示す通りである。この結果は、多段階の分岐により、図-2、図-3 で示す産業立地パターンが順に創発することを表している。より具体的には、輸送費用の減少は、最初に、特定の地域に特定の産業が集中する“産業特化現象”をもたらす。そして、さらなる輸送費用の減少により、再度、産業が各地域に分散する“再分散現象”が発生する。このことは、本稿で提示した枠組みが、既存の理論研究と整合的であることを意味している。

(2) 日本国内 8 地域への適用計算

次に、日本国内を図-4 に示すように 8 地域に分割して¹¹、本稿で説明した VL-SCGE モデルの適用計算を実施する。なお、地域番号は、北海道・東北・関東・中部・近畿・中国・四国・九州の順に、1~8 までの値に

¹¹ この分割は、地域間産業連関表と整合的になるようにした。

表-1 輸送費用パラメータの推定結果

パラメータ	推定値 (t 値)	パラメータ	推定値 (t 値)
τ^1	-4.36 (-4.70)	ϵ^1	-2.88 (-21.87)
τ^2	-7.20 (-10.50)	ϵ^2	-2.38 (-24.53)
τ^3	-7.86 (-9.12)	ϵ^3	-3.23 (-26.44)

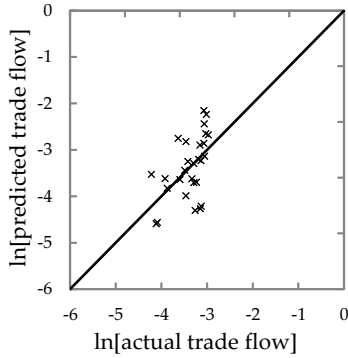


図-5-a 第一次産業

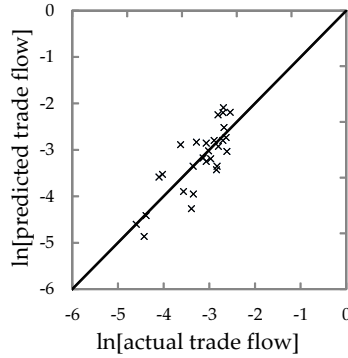


図-5-b 第二次産業

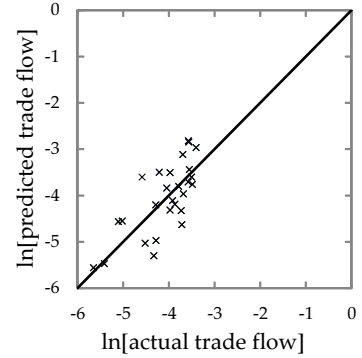


図-5-c 第三次産業

図-5 地域間輸送額に関する標本値と推定値

表-2 パラメータのキャリブレーション結果

μ^1	0.005	θ_1	7.17	θ_4	1.99	θ_7	1.26
μ^2	0.300	θ_2	1.41	θ_5	2.57	θ_8	1.88
μ^3	0.695	θ_3	2.24	θ_6	1.15		

設定した。さらに、産業は、第一次産業・第二次産業・第三次産業の3種類とした。

a) パラメータの推定・キャリブレーション結果

最初に、適用計算で必要となるパラメータの推定・キャリブレーションを実施した結果を示しておこう。まず、輸送費用に関するパラメータ τ^i, ϵ^i の推定には、経済産業省で公開している9地域間産業連関表から得た各財の地域間取引額を用いた。なお、パラメータ推定の際に必要な、地域間移動時間 $t(a, b)$ は、各地域のセントロイドを域内の人口最大都市の市役所としたときの自動車(高速道路)での移動時間を用いた。このとき、推定式(35)により得られたパラメータは表-1、推定式と実際の地域間輸送額は図-5の通りである。 τ^i の推定結果から、第一次産業の輸送費用は、その他の産業に比べて地域間の移動時間の影響が小さいことがわかる。また、 ϵ^i の推定結果から、第三次産業は地域間の移動時間に依らず、輸送費用が非常に高いことが確認できる。これは、第三次産業の財は、そもそも輸送することが困難であることを反映している。

また、各地域の $\alpha_a^{ij}, \lambda_a, W_a^i$ は、2005年の各地域の産業連関表、 N_a^i は国勢調査より得た。また、代替弾力性

σ^i は、全ての産業において、 $\sigma^i = 5.0$ と設定した。ただし、付録IIで示されるように、 σ^i の値を一般に妥当と考えられている範囲(5から10)で変化させても、以降の結果は、定性的には変化しない。その他の主なパラメータのキャリブレーション結果は、表-2に示すとおりである。なお、このキャリブレーションで得られた μ^i は、各地域の産業連関表から確認できる、産業 i への最終消費シェアと大きな差がないことも確認している¹²。

b) 適用計算結果

以上で得られたパラメータ設定の下で、(34)で定義した輸送費用のパラメータ $\tau^i \forall i \in \mathbb{I}$ を一定割合低下させた場合(i.e., 地域間の移動時間が一定割合短くなる場合)について適用計算を実施した。その結果の内、各地域の産業毎の労働者の増減割合 $(N_a^{iA} - N_a^{iB})/N_a^{iB}$ である図-6を見てみよう。ここで、 N_a^{iB}, N_a^{iA} は、各々、輸送費用低下前・後の地域 a 、産業 i の労働者数である。この結果から、輸送費用の低下に伴い、各地域において、産業の特化が進むことがわかる。また、この特化する産業は、基準均衡状態において他地域と比較して生産額シェア(図-7)が高い産業となる傾向があることも確認できる。特に、北海道での第一次産業、中部・中国・四国での第二次産業への特化は顕著であり、その一方で、第三次産業はいずれの地域へも大幅な集積が

¹² 第一次産業への支出シェアは、地域1から順に0.023, 0.010, 0.008, 0.008, 0.008, 0.011, 0.009, 0.010, 第二次産業は0.297, 0.313, 0.311, 0.335, 0.292, 0.301, 0.305, 0.286, 第三次産業は0.681, 0.677, 0.681, 0.657, 0.700, 0.684, 0.686, 0.703である。

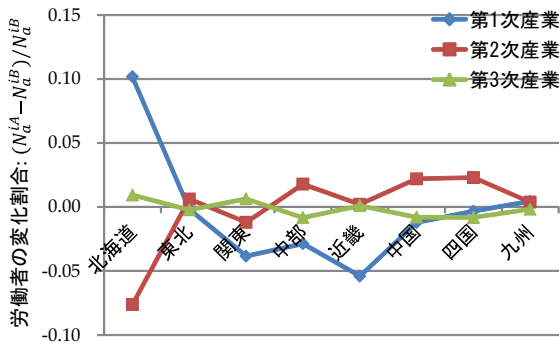


図-6-a 輸送費用の削減割合: 0.25

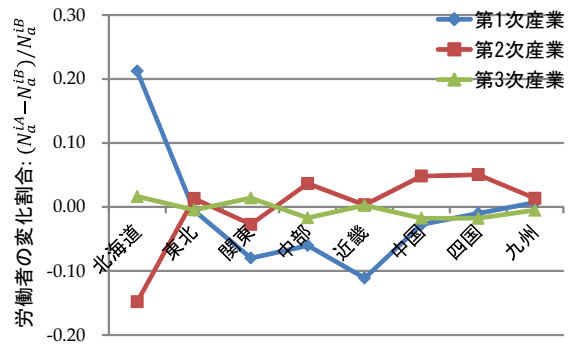


図-6-b 輸送費用の削減割合: 0.50

図-6 地域・産業別の労働者数

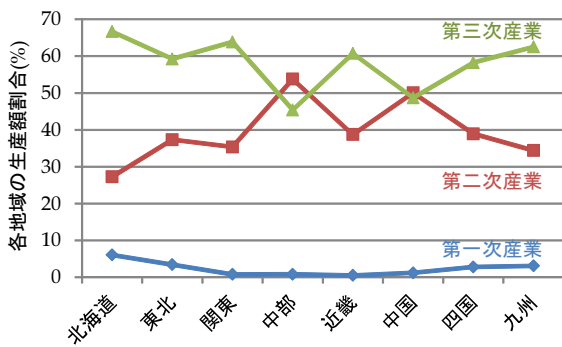


図-7 各地域の産業別生産額シェア

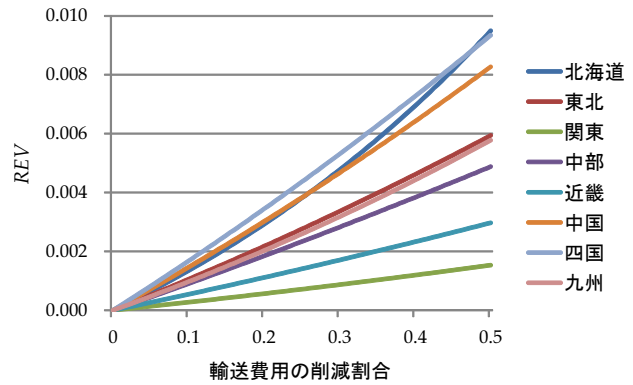


図-8 輸送費用削減に伴う REV の変化

見られない。これは、表-1で確認できるように、第三次産業では固定的な輸送費用を表す e^i が小さいことから、財を輸送しにくく、集積の経済が働きにくいためであると考えられる。なお、この労働者の増減割合は、各産業の総生産額とほぼ一致した挙動を示すことから、企業の生産活動についても、以上と全く同様の性質が見られる。

次に、各地域の便益の変化を調べる。各地域の便益の指標として、ここでは、Bröcker¹⁰⁾でも用いられている Relative EV (REV) を用いる。そのため、最初に、次の式で与えられる期待社会総余剰を計算する：

$$ESW = \sum_i \sum_a N_a^i u_a^i - \sum_i \sum_a \frac{1}{\theta_a} N_a^i \ln \left[\frac{N_a^i}{\sum_j N_a^j} \right]. \quad (41)$$

そして、その結果を用いて、REV を求める：

$$REV = \frac{ESW^A - ESW^B}{ESW^B}. \quad (42)$$

ここで、上付き添え字 B, A は、各々、輸送費用削減の前後を表す。

輸送費用の低下に伴う各地域の REV の変化は、図-8 に示すとおりである。この結果から、まず最初に、北海道・中国・四国地方で、大きく便益が増加しているこ

とが確認できる。特に、北海道では、他地域と比べて、より輸送費用低下の効果が大きい。これは、北海道のみが第一次産業に特化しており、他地域と比較して地域間競争が緩いためであると考えられる。その一方で、地理的には輸送費用低下の恩恵を最も大きく受けそうな九州地方では、REV の顕著な増加は見られない。これは、九州地方が第三次産業に特化するため、産業集積による恩恵を受けにくいことが原因であると思われる。また、既に多くの産業が集中していることから、集積の経済が強く働くと思われた関東・関西地方では、他地域と比べて、明らかに REV の増加が鈍い。これも、九州地方と同様、大都市圏では第三次産業の集積が特に進んでいることが要因と考えられる。

以上の結果から、本稿で構築した VL-SCGE モデルが持つ集積の経済は、輸送しづらい第三次産業には不利に働くという特徴があることがわかる。これは、大規模な地域への産業集積を妨げる要因にもなっている。しかし、この性質は、生産要素の地域間移動 (e.g., 資本の移動、労働者の移住) を制限している本モデルの特徴に強く依存している可能性が高い。したがって、資本・労働者などの生産要素の地域間移動を含む SCGE モデルを開発し、本稿で得られた結論の頑健性を確認

することは、今後の重要な研究課題である。

6. おわりに

本研究では、新経済地理学に基づく SCGE モデルを利用した便益評価手法を提案した。この手法は、既存研究の課題を解決する、以下の 2 つの特徴をもつ: 1) Venables¹⁾ の枠組みに基づいた、新経済地理学理論と整合的な VL-SCGE モデルを構築している、2) 進化ゲーム理論を活用することで、政策実施により創発する安定均衡状態を得るための手法を提示している。さらに、日本全国を対象とした適用計算を実施することで、提案した手法が実経済を対象とした場合でも十分計算可能であることを示した。

本稿で示した VL-SCGE モデルは、Venables¹⁾ モデルの単純な拡張であることから、モデルの枠組みは、既存の様々な SCGE モデルと比較しても、比較的単純なものとなっている。したがって、実際に評価したい政策に適した枠組みへの拡張も容易であり、今後の幅広い政策評価への応用が期待される。ただし、VL-SCGE モデルでは資本・労働者などの生産要素の地域間移動を考慮していないことから、大都市に過度に不利な結果を誘発する可能性が、日本を対象とした適用計算の結果から示唆されている。そこで、今後、生産要素の地域間移動を考慮した SCGE モデルを開発し、本稿で得られた結果が頑健であるか否かを検証することが重要であろう。この方向の研究は、新経済地理学分野で構築されている生産要素の移動を考慮した一般均衡モデル (e.g., Martin and Rogers²³⁾, Forslid and Ottaviano²⁴⁾) を本稿と同様の手順で応用すれば、容易に実施することができる。その結果の詳細については、追って別の機会に報告したい。

謝辞: 本論文は、日本学術振興会・科学研究費補助金 (課題番号 24360202, 24760415, 25630212, 25820245) の助成金を受けた研究の一部である。ここに記し、感謝の意を表す。

付録 I 空間経済システム全体の収支均衡

本稿で提示したモデルは一般均衡モデルであるため、全地域・産業の総収入額は総支出額と一致する。ここでは、それを具体的に確認するために、地域 a, b 間・産業 i, j 間の収支を確認しておこう。

地域 a ・産業 i の労働者・企業の需要額は、 $\sum_b \sum_j (d_{ab}^{ij} + m_{ab}^{ij})$ で与えられる。したがって、(23) より、全地域・全産業の総支出額は、

$$\sum_a \sum_i \sum_b \sum_j (d_{ab}^{ij} + m_{ab}^{ij}) = \sum_a \sum_i S_a^i. \quad (I.1)$$

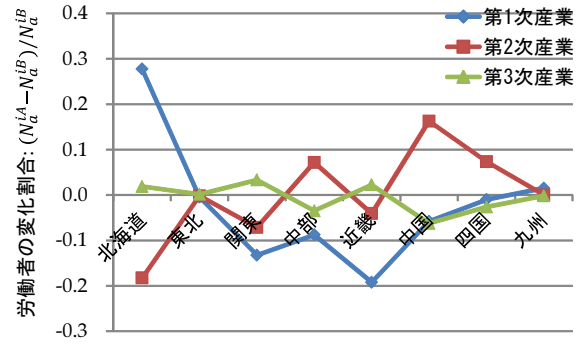


図-9-a 輸送費用 50% 削減に伴う労働人口割合の変化

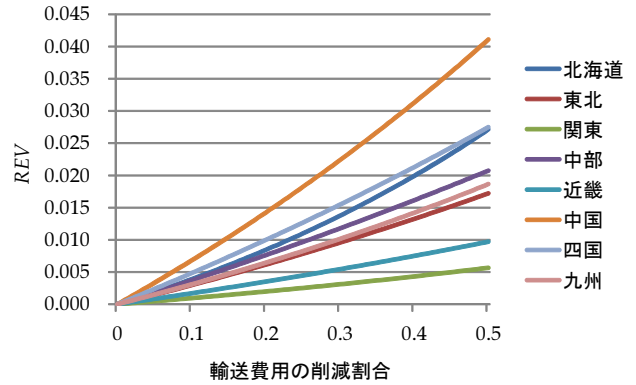


図-9-b 輸送費用削減に伴う REV の変化

図-9 $\sigma^i = 3 \quad \forall i$ のケース

一方、地域 b ・産業 j の企業の総収入は、次の形で与えられる:

$$\sum_a \sum_i (d_{ab}^{ij} + m_{ab}^{ij}) = \hat{W}_b^j + S_b^j \sum_i \alpha_b^{ij}. \quad (I.2)$$

この結果から、全地域・全産業の総収入は、式 (30d) を利用すると、

$$\begin{aligned} & \sum_b \sum_j \hat{W}_b^j + \sum_b \sum_j \left(S_b^j \sum_i \alpha_b^{ij} \right) \\ &= \sum_b \sum_j W_b^j + \sum_b \sum_j \left(S_b^j \sum_i \alpha_b^{ij} \right) \\ &= \sum_b \sum_j \left(W_b^j + S_b^j \sum_i \alpha_b^{ij} \right) \\ &= \sum_b \sum_j S_b^j. \end{aligned} \quad (I.3)$$

以上より、地域/産業の収支が一致していることがわかる。

付録 II 代替弾力性を変化させた場合の適用計算結果

本文中の適用計算で用いた、代替弾力性の値 $\sigma^i = 5.0 \quad \forall i$ を変化させた場合の、安定均衡状態の特性の変

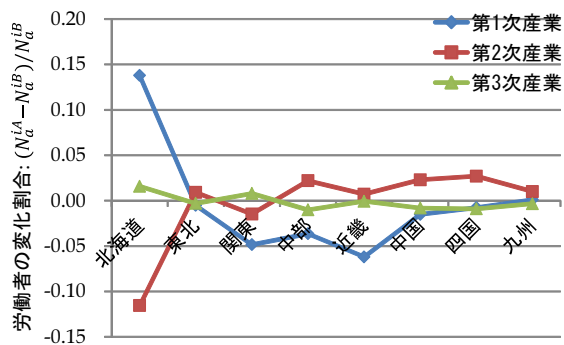


図-10-a 輸送費用 50% 削減に伴う労働人口割合の変化

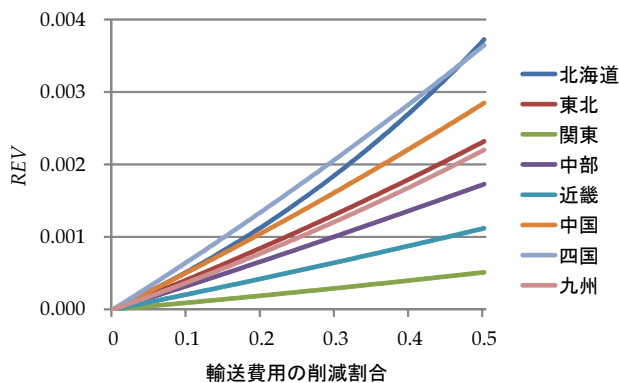


図-10-b 輸送費用削減に伴う REV の変化

図-10 $\sigma^i = 10 \quad \forall i$ のケース

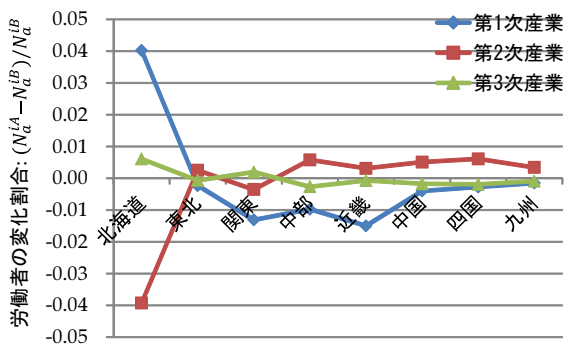


図-11-a 輸送費用 50% 削減に伴う労働人口割合の変化

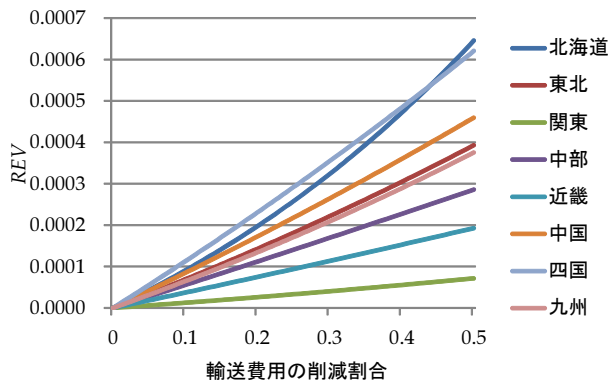


図-11-b 輸送費用削減に伴う REV の変化

図-11 $\sigma^i = 50 \quad \forall i$ のケース

化を調べる。ここでは、一般に代替弾力性の値として妥当だと考えられている範囲 5.0 ~ 10.0 が存在することを前提に、 $\sigma^i = 3.0, 10.0, 50.0 \quad \forall i$ とした場合の数値計算を実施した。

数値計算の結果は、図-9、図-10、図-11 に示すとおりである。なお、労働人口割合の変化は、輸送費用パラメータ τ^i が半減したときの結果である。まず、図-10 より、 $\sigma^i = 10.0$ と $\sigma^i = 5.0$ の結果はほぼ同一であることが確認できる。この結果は、一般に妥当と考えられている代替弾力性の範囲 (5 から 10) 内であれば、政策評価の定性的な結果は変化しないことを示唆している。一方、 $\sigma^i = 3.0, \sigma^i = 50.0$ とした結果を比較すると、特に中国・中部地方の結果に大きな違いが見られる。これは、代替弾力性 σ^i が大きい (小さい) 場合、各産業の地域間競争が厳しくなる (弱まる) ことが要因である。その結果、もともと北海道のみに生産が集中している第一次産業や、財を輸送しにくい第三次産業に特化する地域では、代替弾力性の値を変化させた場合の影響が小さく、その一方で、いくつかの地域に生産活動が分散している二次産業に特化する傾向のある中国・中部地方において、結果に定性的な変化が見られる。

参考文献

- 1) Venables, A. J.: Equilibrium locations of vertically linked industries, *International Economic Review*, Vol. 37, No. 2, pp. 341-359, 1996.
- 2) 森杉壽芳, 大野栄治, 林山泰久, 上田孝行, 高木朗義, 堤盛人: 社会資本整備の便益評価, 勁草書房, 1997.
- 3) 金本良嗣, 蓮池勝人, 藤原徹: 政策評価ミクロモデル, 東洋経済新報社, 2006.
- 4) 上田孝行, 石川良文, 小池淳司, 石倉智樹, 小林優輔, 山崎清, 武藤慎一: Excel で学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.
- 5) Donaghy, K. P.: CGE modeling in space: a survey, in Capello, R. and Nijkamp, P. eds. *Handbook of Regional Growth and Development Theories*, Edward Elgar, pp. 389-422, 2009.
- 6) Rosenthal, S. S. and Strange, W. C.: Evidence on the nature and sources of agglomeration economies, in Henderson, J. V. and Thisse, J.-F. eds. *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, pp. 2119-2171, 2004.
- 7) Combes, P.-P., Mayer, T., and Thisse, J.-F.: *Economic Geography: The Integration of Regions and Nations*, Princeton University Press, 2008.
- 8) Glaeser, E. L.: *Agglomeration Economics*, University of Chicago Press, pp. 364, 2010.
- 9) Venables, A. J.: Evaluating urban transport improvements: cost-benefit analysis in the presence of agglomeration and income taxation, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 41, No. 2, pp. 173-188, 2007.
- 10) Bröcker, J.: How would an EU-membership of the Visegrad-countries affect Europe's economic geography?, *Annals of Regional Science*, Vol. 32, No. 1, pp. 91-114, 1998.

- 11) Venables, A. J. and Gasiorek, M.: Computable general equilibrium models, in *The Socio-economic Impact of Projects Financed by the Cohesion Fund: A Modelling Approach, Volume 2*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, pp. 5–78, 1999.
- 12) Knaap, T. and Oosterhaven, J.: Measuring the welfare effects of infrastructure: A simple spatial equilibrium evaluation of Dutch railway proposals, *Research in Transportation Economics*, Vol. 31, No. 1, pp. 19–28, 2011.
- 13) Thissen, M., Limtanakool, N., and Hilbers, H.: Road pricing and agglomeration economies: A new methodology to estimate indirect effects with an application to the Netherlands, *Annals of Regional Science*, Vol. 47, No. 3, pp. 543–567, 2011.
- 14) 石倉智樹: 人口減少に伴う都市の縮退と集積に関する基礎的定量分析, 都市計画論文集, Vol. 47, No. 1, pp. 68–73, 2012.
- 15) Fujita, M., Krugman, P. R., and Venables, A. J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*, MIT Press, pp. 367, 1999.
- 16) Baldwin, R. E., Forslid, R., Martin, P., Ottaviano, G. I. P., and Robert-Nicoud, F.: *Economic Geography and Public Policy*, Princeton University Press, pp. 504, 2003.
- 17) Brakman, S., Garretsen, H., and van Marrewijk, C.: *The New Introduction to Geographical Economics*, Cambridge University Press, pp. 568, 2009.
- 18) 佐藤泰裕, 田淵隆俊, 山本和博: 空間経済学, 有斐閣, 2011.
- 19) Sandholm, W. H.: *Population Games and Evolutionary Dynamics*, MIT Press, 2010.
- 20) Deaton, A. and Muellbauer, J.: *Economics and Consumer Behaviour*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- 21) Dixit, A. K. and Stiglitz, J. E.: Monopolistic competition and optimum product diversity, *The American Economic Review*, Vol. 67, No. 3, pp. 297–308, 1977.
- 22) Head, K. and Ries, J.: Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of US-Canada trade, *The American Economic Review*, Vol. 91, No. 4, pp. 858–876, 2001.
- 23) Martin, P. and Rogers, C. A.: Industrial location and public infrastructure, *Journal of International Economics*, Vol. 39, No. 3-4, pp. 335–351, 1995.
- 24) Forslid, R. and Ottaviano, G. I. P.: An analytically solvable core periphery model, *Journal of Economic Geography*, Vol. 3, No. 3, pp. 229–240, 2003.

(2014.4.1 受付)

DEVELOPMENT OF A SPATIAL CGE MODEL BASED ON NEW ECONOMIC GEOGRAPHY

Yuki TAKAYAMA, Takashi AKAMATSU and Tomoki ISHIKURA