

集積の経済を考慮した 空間応用一般均衡モデルの開発と応用

高山 雄貴¹・梶 大介²・服部 佑哉³・今川 奈保⁴・石倉 智樹⁵

¹正会員 金沢大学准教授 理工研究域 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: ytakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

²非会員 株式会社 デンソー

³非会員 株式会社 デンソー

⁴正会員 株式会社 オリエンタルコンサルタンツ

⁵正会員 首都大学東京准教授 都市環境学部

本研究では、“集積の経済”と“地域間の人口移動”を考慮した空間応用一般均衡分析に向けた基礎的な分析を実施する。具体的には、高山・赤松・石倉(2016)が開発した、集積の経済・地域間人口移動を考慮した空間応用一般均衡モデルを改良し、輸送費用の減少が我が国の人口分布に与える影響を調べる。そして、この結果と実際の人口変化を比較することで、モデル挙動と実現象の整合性を確認する。さらに、このモデルを用いて、総人口の減少が都市人口に与える影響を明らかにする。

Key Words : *spatial computable general equilibrium model, new economic geography, factor mobility, stability*

1. はじめに

社会資本整備、特に交通基盤整備は、その地域内だけでなく周辺の地域にも直接的・間接的に影響を与える。そのため、地域・都市ごとにその効果を定量的に評価することが重要となる。こうした空間的な効果の分析を可能にする代表的な枠組みが、空間応用一般均衡 (Spatial Computable General Equilibrium: SCGE) モデルである。

SCGE モデルに関する研究は、これまで膨大に蓄積されており、その結果として多様な政策評価に応用されるようになってきている。しかし、従来型の SCGE モデルでは、多様な企業が集中して立地することで得られる正の外部効果である“集積の経済”を考慮していなかった。そこで、近年、新経済地理学 (New Economic Geography: NEG) 理論の発展に伴い、集積の経済を導入した SCGE モデルが開発されるようになってきている。しかし、その SCGE モデルでは“人口移動がない”と仮定している点が重要な課題となっていた。空間経済学分野の研究で示されているように、集積の経済は、長期的には「人口集積が企業集積を呼び込み、これがさらなる人口集積を誘発する」という循環的な相互作用によって著しく増幅される。政策の長期的な効果は、この循環的相互作用に大きな影響を受けると考えられるものの、人口移動を無視した SCGE モデルではこれを表現することができない。

そこで、高山ら¹⁾は、“集積の経済”と“生産要素(資本・労働・中間財)の地域間移動”を考慮した SCGE モデルを開発した。さらに、進化ゲーム理論に基づく手法を提案することで、複数存在する均衡状態のうち安定均衡状態を得ることに成功している。この集積の経済と生産要素の地域間異動を考慮した SCGE モデルの開発・分析手法の提案により、従来取り扱うことが難しかった、長期的な政策の効果分析する基盤が整いつつあるといえる。しかし、この SCGE モデルに関しては、現実的な政策の効果分析に向けて不可欠であると考えられる、実データを利用した分析結果と実現象との整合性の検証が全く行われていない。

そこで、本研究では、(1)高山ら¹⁾が開発した、集積の経済と生産要素の地域間移動を考慮した SCGE モデルを改良するとともに、モデルの挙動と実現象との整合性を確認すること、(2)構築したモデルを用いて総人口減少の影響を明らかにすることを目的とする。そのために、まず、実データを用いたモデルの検証結果をもとに、高山ら¹⁾のモデルに地域内輸送費用を導入したモデルを構築する。そして、実データを用いた数値解析により改良したモデルの特性を把握するとともに、実現象との整合性を確認する。さらに、構築したモデルにおいて、総人口減少が都市・地域人口にどのような影響を与えるのかを明らかにする。

本論文の構成は、以下の通りである。第 2 章では、集積の経済と生産要素の地域間移動を考慮した SCGE モ

デルを説明する。第 3 章では均衡状態を定義し、第 4 章において、その導出方法を示す。次に、実データを用いたパラメータの設定方法を第 5 章で提示したうえで、第 6 章において、日本を都道府県区分に従って区分し、輸送費用を同時に一定割合減少させる条件で数値計算を実施する。そして、その結果と実現象を比較し、その整合性を確認する。その後、第 7 章にて総人口減少が人口分布に与える影響を分析する。最後に、第 8 章で本研究の成果のまとめを述べる。

2. 生産要素の地域間移動を考慮した空間応用一般均衡モデル

本章では、Core-Periphery モデル、Footloose Capital モデル、Vertical Linkage モデルに基づく、空間応用一般均衡モデルを構築する。

(1) 地域・経済環境の設定

離散的な A 箇所の地域が存在する経済システムを考える¹。この経済には、 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、各産業の企業は、収穫逓増の技術により、労働・資本・中間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 $i \in \mathcal{I} \equiv \{1, 2, \dots, I\}$ の企業が生産する財を“財 i ”と表す。本モデルでは、規模の経済、消費者の多様性選好、ならびに供給できる財の種類（バラエティ）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種類の財を生産する。そのため、地域 a で生産を行う企業数は、供給される財 i の種類数 n_a^i に等しい。また、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氷塊費用の形をとる。

消費者は、地域全体に固定的に N 存在し、居住する地域 $a \in \mathcal{A} \equiv \{1, 2, \dots, A\}$ を選択することができる。また、各消費者は、1 単位の労働に加え、 κ_a 単位の資本を所有しており²、それらを非弾力的に供給する。それゆえ、所得は賃金所得と資本所得からなる。労働は自地域のみにはしか供給できない³。一方、資本は自地域のみならず他地域へも（追加的な費用なしで）自由に投資することができる⁴と仮定する。

¹ 本稿で構築する SCGE モデルは、一国内に存在する複数の地域を対象としており、国外への輸出入は無視している。

² 消費者の資本の所有量が地域毎に異なるという仮定を導入したのは、地域全体の総資本量と人口が必ずしも比例しないためである。

³ この仮定を導入することから、実証分析では都市・地域を単純に行政圏で定義するのではなく、都市雇用圏²⁾を用いるべきであると考えられる。

⁴ この仮定は、本研究が資本として想定しているのが、工場設備等ではなく、金融資産などの地域間を自由に移動可能なものであることを意味している。

(2) 消費者行動

本稿では、産業 $i \in \mathcal{I}$ に従事し、資本を地域 \tilde{a} の産業 \tilde{i} に供給する消費者を“消費者 $\{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ ”と表す。ただし、以降では、 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ と定義し、表記の簡略化のため、誤解のない範囲で χ を用いた表現をする。

すべての消費者は、財 $j \in \mathcal{I}$ に対して同一の選好を有すると仮定する。また、地域 $a \in \mathcal{A}$ に居住する消費者 $\chi \in \mathcal{X} \equiv \{\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\} \mid \tilde{a} \in \mathcal{A}, i, \tilde{i} \in \mathcal{I}\}$ の効用関数 $u(\{c_{a,\chi}^j\})$ は、次の準線形効用関数を用いる：

$$u(\{c_{a,\chi}^j\}) = \sum_{j \in \mathcal{I}} \mu^j \ln [c_{a,\chi}^j], \quad (1)$$

ここで、 $\mu^i \in (0, 1]$ は消費者の財 i への支出割合を表す定数であり、 $\sum_i \mu^i = 1$ が成立する。また、 $c_{a,\chi}^j$ は差別化された財 j の消費により得られる部分効用を表しており、次の CES 関数により定義する：

$$c_{a,\chi}^j = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} \{q_{ba,\chi}^j(\nu)\}^{\frac{\sigma^j-1}{\sigma^j}} d\nu \right]^{\frac{\sigma^j}{\sigma^j-1}}. \quad (2)$$

ここで、 ν 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。また、 $q_{ba,\chi}^j(\nu)$ は、地域 b で生産され、地域 a の消費者 χ により消費される財 j のバラエティ ν の消費量、 n_b^j は地域 b で生産された財 j の種類（バラエティ）数、 $\sigma^j > 1$ は財 j の代替の弾力性である。

消費者の予算制約式は以下の通りとなる：

$$\sum_{j \in \mathcal{I}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(\nu) q_{ba,\chi}^j(\nu) d\nu = y_{a,\chi}. \quad (3)$$

ここで、 $y_{a,\chi}$ は消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の所得、 $p_{ba}^j(\nu)$ は地域 b で生産され、地域 a の消費者 χ により消費される財 j のバラエティ ν の価格である。なお、地域 a の消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の所得は賃金所得と資本所得の和で与えられるため、 $y_{a,\chi} (= y_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}})$ は地域 a の産業 i の企業が支払う賃金 w_a^i と、地域 \tilde{a} の産業 \tilde{i} の企業が支払う資本レント $r_a^{\tilde{i}}$ により表すことができる：

$$y_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = w_a^i + \kappa_a r_a^{\tilde{i}}. \quad (4)$$

効用最大化問題は、選好が財 $j \in \mathcal{I}$ 毎に分割可能であり、かつ財 j の部分効用関数 $c_{a,\chi}^j$ が $q_{ba,\chi}^j(\nu)$ に関して homothetic であるため、2 段階の問題へと変換できる：

[下位問題]

$$\min_{\{q_{ba,\chi}^j(\nu)\}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(\nu) q_{ba,\chi}^j(\nu) d\nu, \quad \text{s.t. (2), (5a)}$$

[上位問題]

$$\max_{\{c_{a,\chi}^j\}} \sum_{j \in \mathcal{I}} \mu^j \ln [c_{a,\chi}^j], \quad \text{s.t. } \sum_{j \in \mathcal{I}} \rho_a^j c_{a,\chi}^j = y_{a,\chi}. \quad (5b)$$

ここで、 ρ_a^j は地域 a での財 j の価格指数である：

$$\rho_a^j = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} \{p_{ba}^j(\nu)\}^{1-\sigma^j} d\nu \right]^{\frac{1}{1-\sigma^j}}. \quad (6)$$

この効用最大化問題 (5) を解くことにより、財 j の消費量が価格 $p_{ba}^j(\nu)$ 、所得 y_χ の関数として、次のように導出される：

$$c_{a,\chi}^j = \mu^j \frac{y_{a,\chi}}{\rho_a^j}, \quad q_{ba,\chi}^j(\nu) = \left[p_{ba}^j(\nu) / \rho_a^j \right]^{-\sigma^j} c_{a,\chi}^j. \quad (7)$$

(3) 企業行動

各地域・各産業の企業は、前述したように、Dixit and Stiglitz³⁾ 型の独占的競争を行う。すなわち、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を生産する。具体的には、産業 $i \in \mathcal{I}$ の企業 ν が財 i のバラエティ ν を生産するには、生産要素（労働・資本・中間財の合成財）を固定的に 1 単位と、生産量 $s_a^i(\nu)$ に応じて $\beta_a^i s_a^i(\nu)$ 単位投入する必要がある：

$$\{l_a^i(\nu)\}^{\eta_a^i} \{k_a^i(\nu)\}^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \{z_a^{ji}(\nu)\}^{\alpha_a^{ji}} = 1 + \beta_a^i s_a^i(\nu). \quad (8)$$

ここで、 $l_a^i(\nu), k_a^i(\nu)$ は地域 a の産業 i の企業 ν が投入する労働量と資本量、 $z_a^{ji}(\nu)$ は財 j の中間投入量、 $\eta_a^i, \gamma_a^i, \alpha_a^{ji} \in [0, 1]$ は、各々、労働・資本・中間財 j の投入割合を表すパラメータであり、 $\eta_a^i + \gamma_a^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} \alpha_a^{ji} = 1$ を満たす。この中間投入量 $z_a^{ji}(\nu)$ は、地域 b の企業 $\tilde{\nu}$ が生産する財 j の中間投入量 $z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)$ 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：

$$z_a^{ji}(\nu) = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} \{z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)\}^{\frac{\sigma^j-1}{\sigma^j}} d\tilde{\nu} \right]^{\frac{\sigma^j}{\sigma^j-1}}. \quad (9)$$

財 i の輸送には、氷塊費用の形をとる費用がかかる⁵⁾。すなわち、地域 a から b に 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（溶けた分が輸送費用）と考える。そのため、地域 a で生産された財 i の（労働者・企業の）地域 b における需要量 $x_{ab}^i(\nu)$ と供給量 $s_a^i(\nu)$ との間に、次の関係が成立する：

$$s_a^i(\nu) = \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i(\nu), \quad (10a)$$

$$x_{ab}^i(\nu) = \sum_{\chi \in \mathcal{X}} q_{ab,\chi}^i(\nu) N_{b,\chi} + \sum_{j \in \mathcal{I}} \int_0^{n_b^j} z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu}) d\tilde{\nu}. \quad (10b)$$

⁵⁾ 本稿では、単純なモデル構造・NEG との整合性を確保するために、輸送部門を導入せず氷塊費用を採用した。しかし、宮城⁴⁾などで指摘されているように、この設定は、交通インフラ整備等の効果が輸送部門の投入・産出構造に与える変化を完全に無視していることになる。それゆえ、評価対象となる政策に応じて、本モデルに輸送部門を導入することが重要であろう。

ここで、 $N_{b,\chi}$ は地域 b の消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ (i.e., 地域 b の産業 i の企業に労働、地域 \tilde{a} の産業 \tilde{i} の企業に資本を供給する消費者) の人数である。

地域 a の各産業の企業は、独占的競争を仮定しているため、地域 b の消費者 χ の需要関数 $q_{ab,\chi}^j(\nu)$ 、他企業 $\tilde{\nu}$ からの需要関数 $z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu})$ を所与として、自ら生産する財 i の価格 $p_{ab}^i(\nu)$ と労働・資本・中間財の投入量 $l_a^i(\nu), k_a^i(\nu), \{z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)\}$ を設定する⁶⁾。その利潤最大化行動は、次のように定式化できる：

$$\max_{p_{ab}^i(\nu), l_a^i(\nu), k_a^i(\nu), \{z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)\}} \pi_a^i(\nu) \quad \text{s.t. (7), (8), (9), (10).} \quad (11)$$

ここで、 $\pi_a^i(\nu)$ は利潤を表し、収入から労働・資本・中間財の費用を引いた、以下の形で与えられる：

$$\pi_a^i(\nu) = \sum_{b \in \mathcal{A}} p_{ab}^i(\nu) x_{ab}^i(\nu) - w_a^i l_a^i(\nu) - r_a^i k_a^i(\nu) - \sum_{j \in \mathcal{I}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(\tilde{\nu}) z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) d\tilde{\nu}. \quad (12)$$

この利潤最大化問題 (11) も、効用最大化問題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]

$$\min_{\{z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)\}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(\tilde{\nu}) z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) d\tilde{\nu} \quad \text{s.t. (9), (13a)}$$

[上位問題]

$$\max_{p_{ab}^i(\nu), l_a^i(\nu), \{z_a^{ji}(\nu)\}} \sum_{b \in \mathcal{A}} p_{ab}^i(\nu) x_{ab}^i(\nu) - w_a^i l_a^i(\nu) - r_a^i k_a^i(\nu) - \sum_{j \in \mathcal{I}} \rho_a^j z_a^{ji}(\nu) \quad \text{s.t. (7), (8), (10), (14).} \quad (13b)$$

下位問題により、地域 b で生産される中間財の需要 $z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)$ が与えられる：

$$z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) = \left[p_{ba}^j(\tilde{\nu}) / \rho_a^j \right]^{-\sigma^j} z_a^{ji}(\nu). \quad (14)$$

この需要関数を与件として上位問題を解くと、財 i の価格 $p_{ab}^i(\nu)$ 、中間要素の投入量 $l_a^i(\nu), k_a^i(\nu), z_a^{ji}(\nu)$ が次のように得られる：

$$p_{ab}^i(\nu) = \frac{\beta_a^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \tau_{ab}^i \phi_a^i, \quad (15a)$$

$$\phi_a^i = \left[\frac{w_a^i}{\eta_a^i} \right]^{\eta_a^i} \left[\frac{r_a^i}{\gamma_a^i} \right]^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \left[\frac{\rho_a^j}{\alpha_a^{ji}} \right]^{\alpha_a^{ji}}, \quad (15b)$$

$$l_a^i(\nu) = \frac{\eta_a^i}{w_a^i} \left[1 + \beta_a^i \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i(\nu) \right] \phi_a^i, \quad (15c)$$

$$k_a^i(\nu) = \frac{\gamma_a^i}{r_a^i} \left[1 + \beta_a^i \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i(\nu) \right] \phi_a^i, \quad (15d)$$

⁶⁾ Dixit and Stiglitz³⁾ 型の独占的競争であるため、1 企業の価格設定 $p_{ab}^i(\nu)$ が価格指数 ρ_a^i に与える影響は無視できる。

$$z_a^{ji}(\nu) = \frac{\alpha_a^{ji}}{\rho_a^j} \left[1 + \beta_a^i \sum_{b \in A} \tau_{ab}^i x_{ab}^i \right] \phi_a^i. \quad (15e)$$

ここで、 ϕ_a^i は生産要素の価格指数を表す。

この結果から明らかなように、財 i の価格 $p_{ab}^i(\nu)$ は財 i の種類 ν に依存しない。したがって、 $q_{bx}^j(\nu)$ 、 $z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu})$ 、 $z_a^{ij}(\nu)$ 、 $s_a^i(\nu)$ 、 $l_a^i(\nu)$ 、 $k_a^i(\nu)$ も、同様に、種類 $\nu, \tilde{\nu}$ に依存しない。そこで、以降では、 $\nu, \tilde{\nu}$ を省略し、 p_{ab}^i 、 q_{bx}^j 、 z_{ab}^{ij} 、 z_a^{ij} 、 s_a^i 、 l_a^i 、 k_a^i と表記する。この結果から、財 i の価格指数 ρ_a^i は次のように与えられる：

$$\begin{aligned} \rho_a^i &= \left[\sum_{b \in A} \int_0^{n_b^i} \{p_{ba}^i\}^{1-\sigma^i} df \right]^{\frac{1}{1-\sigma^i}} \\ &= \left[\sum_{b \in A} n_b^i \left\{ \frac{\beta_b^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \tau_{ba}^i \phi_b^i \right\}^{1-\sigma^i} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^i}}. \end{aligned} \quad (16)$$

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

$$\pi_a^i = \frac{\beta_a^i}{\sigma^i - 1} \phi_a^i s_a^i - \phi_a^i. \quad (17)$$

さらに、利潤ゼロ条件より、供給量 s_a^i は、

$$s_a^i = \sum_{b \in A} \tau_{ab}^i x_{ab}^i = \frac{\sigma^i - 1}{\beta_a^i} \quad (18)$$

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 $1 + \beta_a^i s_a^i$ は、次の通り得られる：

$$1 + \beta_a^i s_a^i = \sigma^i. \quad (19)$$

3. 均衡条件

SCGE モデルで用いる産業連関表等のデータは、“個人や企業の財の取引額”ではなく、常に“地域内・地域間の総取引額”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、地域内・地域間の総取引額として表現する必要がある。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”を表す変数を、“地域内・地域間の総取引額”を表す変数に変換する。その後、それらの変数を用いて、労働・資本・財 $i \in \mathcal{I}$ の需給均衡条件を示す。

なお、本章で定義する取引額に関する変数やパラメータは、その種類が多いことから、付録 III の一覧表(表-3, 4)において整理されている。

(1) 数量から取引額への変換

a) 消費者行動により得られる変数の変換

最初に、消費者行動により得られる変数を考える。ここでは、個人の消費量を表す変数を、地域全体の消費額を表す変数へと変換する。より具体的には、地域 a

の消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の財 i の消費量を表す $c_{a,\chi}^j$ 、 $q_{ba,\chi}^j$ を、地域 a の消費者 χ 全体の財 j の消費額 $D_{a,\chi}^j$ 、 $d_{ba,\chi}^j$ に変換する。そのために、式(7)が、次のように表現できることに注目しよう：

$$\rho_a^j c_{a,\chi}^j = \mu^j y_\chi = \mu^j \left(w_a^i + \kappa_a r_a^i \right), \quad (20a)$$

$$n_b^j p_{ba}^j q_{ba,\chi}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j \rho_a^j c_{a,\chi}^j. \quad (20b)$$

全ての関係式は単一の消費者に関するものであるため、両辺を $N_{a,\chi}$ 倍することで地域全体の取引額を表すことができる：

$$D_{a,\chi}^j = \mu^j y_\chi N_{a,\chi}, \quad (21a)$$

$$d_{ba,\chi}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j D_{a,\chi}^j. \quad (21b)$$

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、地域 a ・産業 i の各企業の供給量 s_a^i 、労働・資本・財 j への投入量 $l_a^i, k_a^i, z_a^{ji}, z_{ba}^{ji}$ を、総生産額 S_a^i 、労働・資本・財 j への総投入額 $W_a^i, K_a^i, M_a^{ji}, m_{ba}^{ji}$ により表現する。一企業当たりの生産額 (i.e., 収入額)、(14), (15), (19) は、

$$\sum_{b \in A} p_{ab}^i x_{ab}^i = \frac{\beta_a^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \phi_a^i s_a^i, \quad (22a)$$

$$(1 + \beta_a^i s_a^i) \phi_a^i = \sigma^i \phi_a^i, \quad (22b)$$

$$w_a^i l_a^i = \eta_a^i (1 + \beta_a^i s_a^i) \phi_a^i, \quad (22c)$$

$$r_a^i k_a^i = \gamma_a^i (1 + \beta_a^i s_a^i) \phi_a^i, \quad (22d)$$

$$\rho_a^j z_a^{ji} = \alpha_a^{ji} (1 + \beta_a^i s_a^i) \phi_a^i, \quad (22e)$$

$$n_b^j p_{ba}^j z_{ba}^{ji} = \left\{ p_{ba}^j / \rho_a^j \right\}^{1-\sigma^j} n_b^j \rho_a^j z_a^{ji}, \quad (22f)$$

と表される。したがって、両辺を n_a^i 倍することで、次の関係式が得られる：

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i, \quad W_a^i = \eta_a^i S_a^i, \quad (23a)$$

$$K_a^i = \gamma_a^i S_a^i, \quad M_a^{ji} = \alpha_a^{ji} S_a^i, \quad (23b)$$

$$m_{ba}^{ji} = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j M_a^{ji}. \quad (23c)$$

(2) 均衡条件

前節では、数量を表す変数を取引額に関する変数に変換した。そこで、本節では、取引額を表す変数を利用した形で、モデルの均衡条件を定式化する。

本稿では、NEG 理論と同様、財・労働・資本市場は、消費者が居住地や生産要素(労働と資本)の供給先を変更できないほど短期間で均衡し、長期的には消費者は自らの得る効用を最大化するように居住地・生産要素の供給先を選択すると仮定する⁷。すなわち、均衡状態

⁷ 資本の供給先選択は、居住地や労働の供給先選択と比較すると、より短期的な選択行動であると考えられる。ただし、本稿では、複数種類存在する均衡状態の中から効率的に安定的なものを得るために、資本の供給先選択を長期均衡条件として定式化した。

を、 $N_{a,\chi}$ を与件とした状況下で財・労働・資本市場が均衡する“短期均衡状態”と、消費者の居住地・生産要素供給先（地域・産業）選択均衡条件を満たす“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、全体で $8AI + AI^2 + 3A^2I^2 + A^2I^3 + A^3I^3$ 存在する：地域 a の産業 i に労働・地域 \tilde{a} の産業 \tilde{i} に資本を供給する消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の財 j の最終需要額 $D_{a,\chi}^j$ (A^2I^3 個)、地域 a の消費者 χ による地域 b から輸送される財 j の最終需要額 $d_{ba,\chi}^j$ (A^3I^3 個)、財 i の総供給額 S_a^i (AI 個)、産業 i の企業の労働への総需要額 W_a^i (AI 個)、資本への総需要額 K_a^i (AI 個)、産業 i の企業の財 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 への中間需要額 M_{ba}^{ji} (A^2I^2 個)、産業 i に従事する消費者の賃金 w_a^i (AI 個)、資本レント r_a^i (AI 個)、消費者 χ の所得 $y_{a,\chi}$ (A^2I^2 個) 財 i の価格指数 ρ_a^i (AI 個)、産業 i の企業が投入する生産要素の価格指数 ϕ_a^i (AI 個)、産業 i の企業数 n_a^i (AI 個)、地域 a の消費者 χ の人口 $N_{a,\chi}$ (A^2I^2 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 (4), (15b), (16), (21), (23) から、 $5AI + AI^2 + 2A^2I^2 + A^2I^3 + A^3I^3$ だけ与えられる：

$$\phi_a^i = \left[\frac{w_a^i}{n_a^i} \right]^{\eta_a^i} \left[\frac{r_a^i}{\gamma_a^i} \right]^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \left[\frac{\rho_a^j}{\alpha_a^{ji}} \right]^{\alpha_a^{ji}}, \quad (24a)$$

$$\rho_a^i = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} n_b^i \{ \psi_b^i \tau_{ba}^i \phi_b^i \}^{1-\sigma^i} \right]^{1/(1-\sigma^i)}, \quad (24b)$$

$$D_{a,\chi}^j = \mu^j y_{a,\chi} N_{a,\chi}, \quad (24c)$$

$$d_{ba,\chi}^j = \left[\psi_b^j \tau_{ba}^j \phi_b^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j D_{a,\chi}^j, \quad (24d)$$

$$W_a^i = \eta_a^i S_a^i, \quad (24e)$$

$$K_a^i = \gamma_a^i S_a^i \quad (24f)$$

$$y_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = w_a^i + \kappa_a r_a^{\tilde{i}}, \quad (24g)$$

$$M_a^{ji} = \alpha_a^{ji} S_a^i, \quad (24h)$$

$$m_{ba}^{ji} = \left[\psi_b^j \tau_{ba}^j \phi_b^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j M_a^{ji}, \quad (24i)$$

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i. \quad (24j)$$

ここで、 $\psi_b^j = \beta_b^j \sigma^j / (\sigma^j - 1)$ である。そこで、以降では、条件 (24) に加えて短期均衡状態が満たす、(i.e., $N_{a,\chi}$ に関する条件以外の) $3AI$ の条件を示す。

各地域での労働の需給均衡条件

最初に、各地域の労働の需給均衡条件を示す。地域

なお、本稿で提案した枠組みの他に、資本の供給先選択を短期・長期の間に位置する中期的な行動とすることも考えられる。

a ・産業 i の労働需要額は W_a^i 、供給額は、地域 a ・産業 i の労働供給量が $\sum_{\tilde{a}} \sum_{\tilde{i}} N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ で与えられるため、 $w_a^i \sum_{\tilde{a}} \sum_{\tilde{i}} N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ となる。したがって、この条件は以下で表される：

$$W_a^i = w_a^i \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}. \quad (25)$$

各地域での資本の需給均衡条件

次に、各地域の資本の需給均衡条件を示す。地域 \tilde{a} ・産業 \tilde{i} の資本需要額は $K_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}$ 、供給額は $r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} \sum_a \sum_i \kappa_a N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ で与えられるため、この条件は以下で表される：

$$K_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} = r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} \kappa_a N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}. \quad (26)$$

各地域での財 i の需給均衡条件

均衡状態では、地域 a で生産する財 i の総供給額は、財 i の最終需要額・中間需要額の合計と一致する：

$$S_a^i = \sum_{b \in \mathcal{A}} \left[\sum_{\chi \in \mathcal{X}} d_{b,\chi}^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} m_{ab}^{ij} \right]. \quad (27)$$

以上で示した短期均衡状態における主体間の労働・資本・財 $i \in \mathcal{I}$ の取引関係は、図-1 に示すとおりである。なお、図の実線の矢印は財、破線は労働、鎖線は資本に関する金銭の移動を表す。

b) 長期均衡条件

次に、消費者の居住地、労働・資本の供給先選択に関する長期均衡条件を示す。地域 a の消費者 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ は、より高い効用が得られる居住地 a と、労働・資本の供給先を選択する。ただし、NEG モデルでは、全消費者が均質、かつ地域間を自由に移動できる場合、(いわゆる no black-hole 条件を満足することができないため) 常に消費者・産業が一地域に集中する状態のみが安定均衡状態となる。さらに、Helpman⁵⁾ モデルの分析をした Akamatsu et al.⁶⁾ で示されているように、通勤コストや地代の導入のみでは、この問題は完全には解消できない。

そこで、本研究では、構築したモデルが (現実的な) 複数の人口・産業集積地の創発を表現できるよう、消費者の居住地選択と労働・資本の供給先選択行動に異質性を導入するとともに、消費者の移住 (労働の地域間移動) を一部制限する。具体的には、本稿では、全消費者が居住する地域・産業を自由に選択できるわけではなく、一定割合 λ の消費者しか地域・産業間移動ができないと仮定する。さらに、消費者の異質性を導入し、消費者の居住地、労働・資本の供給先に関する選択行動が nested logit model により表現される状況を考える。その際、nested logit model と経済理論とを整合化させるために、消費者選択に関する階層構造は、事前に定義するのではなく、(現実データを用いて推定された) 居住地・労働・資本の供給先選択に関する分散パラ

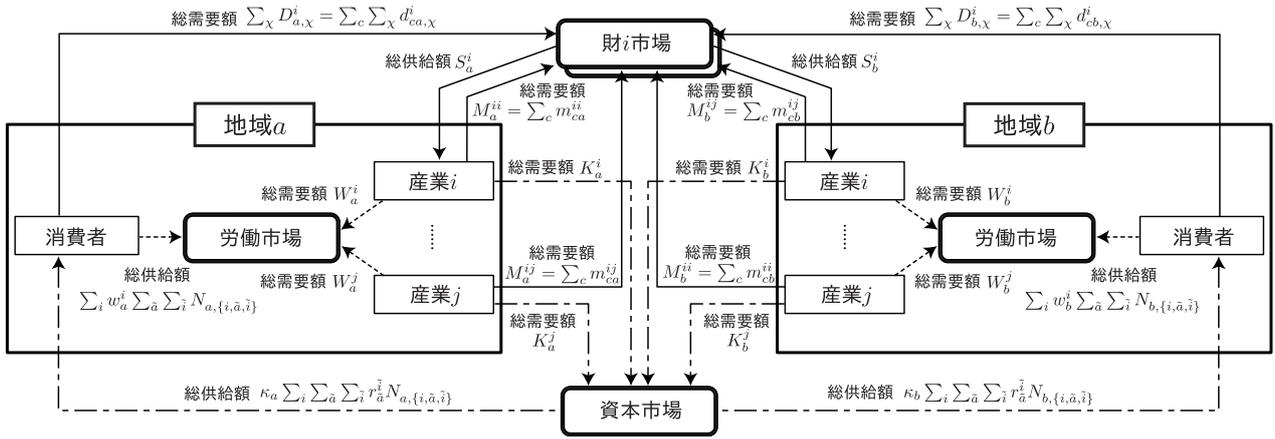


図-1 主体間の労働・資本・財 $i \in \mathcal{I}$ の取引関係の模式図 (矢印は金銭の流れる方向を表す)

メータ $\theta^A, \theta^L, \theta^C$ の大きさに応じて定義する. 具体的には, 分散パラメータが最小となる選択を最上位, 最大となる選択を最下位と設定する. このとき, 長期均衡状態 $N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ は, 次の条件により与えられる:

$$N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \hat{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} + \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (28a)$$

$$\begin{cases} \hat{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = P_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \lambda N, \\ P_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \end{cases} \quad (28b)$$

$$\begin{cases} \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \tilde{P}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \tilde{N}_a, \\ \tilde{P}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = P_C(v(\tilde{a}, \tilde{i} | a, i) + \zeta_a^{\tilde{i}}). \end{cases} \quad (28c)$$

ここで, $\hat{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ は, 地域間を移住可能・不可能な地域 a の消費者 $\{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の人数, \tilde{N}_a は移住不可能な消費者の地域 a 人口であり,

$$\tilde{N}_a = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (28d)$$

$$(1 - \lambda)N = \sum_{a \in \mathcal{A}} \tilde{N}_a \quad (28e)$$

を満足する. また, P_1, P_2, P_3 は各階層の選択確率を表しており, $\theta^A, \theta^L, \theta^C$ の大きさに応じた形で与えられる. 具体的には, $\theta^L < \theta^C < \theta^A$ となるケースでは, これらの確率は以下で表される (その他のケースについては付録 I 参照):

$$P_1 = P_L(V(i) + \zeta^i), \quad (29a)$$

$$P_2 = P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) + \zeta_a^{\tilde{i}}), \quad (29b)$$

$$P_3 = P_A(v(a | i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a). \quad (29c)$$

$P_L(V(i) + \zeta^i), P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) + \zeta_a^{\tilde{i}}), P_A(v(a | i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a)$ は, 各々, 地域間移動が可能な労働者の労働供給先・資本供給先・居住地の選択確率である:

$$P_L(V(i) + \zeta^i) = \frac{\exp[\theta^L(V(i) + \zeta^i)]}{\sum_j \exp[\theta^L(V(j) + \zeta^j)]}, \quad (30a)$$

$$P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) + \zeta_a^{\tilde{i}}) = \frac{\exp[\theta^C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) + \zeta_a^{\tilde{i}})]}{\sum_{\tilde{b}} \sum_{\tilde{j}} \exp[\theta^C(\hat{V}(\tilde{b}, \tilde{j} | i) + \zeta_{\tilde{b}}^{\tilde{i}})]}, \quad (30b)$$

$$P_A(v(a | i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a) = \frac{\exp[\theta^A(v(a | i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a)]}{\sum_b \exp[\theta^A(v(b | i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_b)]}. \quad (30c)$$

また, $V(i), \hat{V}(a | i), \hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i), v(b | i, \tilde{a}, \tilde{i})$ は, 各選択階層の期待最大効用であり, 以下で与えられる:

$$V(i) = \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} \exp \left[\theta^C \left\{ \hat{V}(b, j | i) + \zeta_b^j \right\} \right] \right], \quad (31a)$$

$$\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) = \frac{1}{\theta^A} \ln \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \exp \left[\theta^A \left\{ v_{b,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} + \zeta_b \right\} \right] \right], \quad (31b)$$

$$v(b | i, \tilde{a}, \tilde{i}) = v_{b,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (31c)$$

$$v_{a,\chi} = \sum_{j \in \mathcal{I}} \mu^j \{ \ln [\mu^j] - \ln [\rho_a^j] + \ln [y_{a,\chi}] \}. \quad (31d)$$

なお, $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_a^{\tilde{i}}, \zeta_a^{\tilde{i}}$ は, 地域・産業固有の効用項であり, 第 5 章で示される手順により, 実データが均衡条件を満たすような値に設定される⁸.

4. 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.

⁸ これらの項 $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_a^{\tilde{i}}$ を考えることは, 効用 $v_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ に確定的効用項 $\zeta_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \zeta_a + \zeta^i + \zeta_a^{\tilde{i}}$ を導入することと一致する.

(1) 短期均衡状態の導出

まず、短期均衡状態は、次の非線形連立方程式の解として得られる:

$$\frac{\hat{\phi}_a^i}{\psi_a^i} = \left[\frac{S_a^i}{N_{a,i}^L} \right]^{\eta_a^i} \left[\frac{S_a^i}{\sum_a \sum_i \kappa_a N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}} \right]^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \left[\frac{\rho_a^j}{\alpha_a^j} \right]^{\alpha_a^{ji}}, \quad (32a)$$

$$\{\rho_a^i\}^{1-\sigma^i} = \sum_{b \in \mathcal{A}} n_b^i \left\{ \tau_{ba}^i \hat{\phi}_b^i \right\}^{1-\sigma^i}, \quad (32b)$$

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \frac{\hat{\phi}_a^i}{\psi_a^i}, \quad (32c)$$

$$S_a^i = \sum_{b \in \mathcal{A}} \frac{n_a^i \left\{ \tau_{ab}^i \hat{\phi}_a^i \right\}^{1-\sigma^i}}{\left\{ \rho_b^i \right\}^{1-\sigma^i}} \left[\mu^i Y_b + \sum_{j \in \mathcal{I}} \alpha_b^{ij} S_b^j \right]. \quad (32d)$$

ここで、 $\hat{\phi}_a^i = \psi_a^i \phi_a^i$ 、 $N_{a,i}^L$ は、地域 a 、産業 i に供給される労働者数を表しており、以下で与えられる。

$$N_{a,i}^L = \sum_{\bar{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\bar{i} \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}, \quad (33)$$

また、 Y_b は地域 b の消費者の総所得である:

$$Y_b = \sum_{x \in \mathcal{X}} y_{b,x} N_{b,x} = \sum_{i \in \mathcal{I}} \left[\eta_b^i S_b^i + \sum_{\bar{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\bar{i} \in \mathcal{I}} \frac{\kappa_b \gamma_{\bar{a}}^{\bar{i}} S_{\bar{a}}^{\bar{i}} N_{b,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}}{\sum_a \sum_i \kappa_a N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}} \right]. \quad (34)$$

この非線形連立方程式の未知変数は $\hat{\phi}_a^i$ 、 ρ_a^i 、 n_a^i 、 S_a^i (4AI 個) のみである。前節で示した残りの未知変数は、均衡条件 (24), (25), (26) 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、4AI - 1 の独立な方程式にしかない。したがって、ある変数を基準化し (ニューメレルとし)、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。

(2) 長期均衡状態の導出

長期均衡状態 $N_{a,\chi}$ は、短期均衡状態として得られる ρ_a^i 、 w_a^i 、 r_a^i を利用し、条件 (28) を解くことで得られる。ただし、NEG 分野で良く知られているように、この長期均衡状態 $N_{a,\chi}$ は安定・不安定なものが複数存在する。そこで、本稿では、次の調整ダイナミクスを利用して、安定的な均衡状態 $N_{a,\chi}$ を導出する:

$$\frac{dN_{a,\chi}}{dt} = \frac{d\hat{N}_{a,\chi}}{dt} + \frac{d\tilde{N}_{a,\chi}}{dt}, \quad (35a)$$

$$\frac{d\hat{N}_{a,\chi}}{dt} = P_{a,\chi} \lambda N - \hat{N}_{a,\chi}, \quad (35b)$$

$$\frac{d\tilde{N}_{a,\chi}}{dt} = \tilde{P}_{a,\chi} \tilde{N}_a - \tilde{N}_{a,\chi}. \quad (35c)$$

なお、この調整ダイナミクスは、進化ゲーム理論^{7), 8)} でその特性が良く知られている logit dynamic を nested

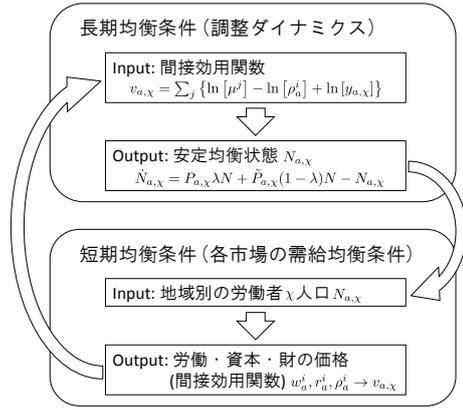


図-2 長期均衡状態の導出過程: 長期・短期均衡状態の関係

logit 型に拡張したものと対応している。この安定的な長期均衡状態の導出過程は、図-2 で模式的に示すとおりである。

この調整ダイナミクスを利用した安定的な均衡状態を導出する手順は、次の通りとなる⁹⁾:

step 0: 消費者による居住地・生産要素供給先に関する選択の初期状態 $N^{(0)} = \{N_{a,\chi}^{(0)}\}$ を設定。

step 1: $n-1$ 回目の計算で得られた $N^{(n-1)}$ を利用して短期均衡条件 (32) を解く。

step 2: 以下で示すように、調整ダイナミクス方向に居住地・生産要素供給先 $N^{(n)}$ を改訂する:

$$\hat{N}_{a,\chi}^{(n)} = \hat{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (36a)$$

$$\tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} = \tilde{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (36b)$$

$$\hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ P_{a,\chi}(N^{(n)}) \lambda N - N_{a,\chi}^{(n)} \right\}, \quad (36c)$$

$$\tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ \tilde{P}_{a,\chi}(N^{(n)}) \tilde{N}_a - \tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} \right\}. \quad (36d)$$

ここで、 δ は調整ダイナミクス方向への均衡解の変化の度合を表すパラメータ、 $P_{a,\chi}(N^{(n)})$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}(N^{(n)})$ は $N^{(n)}$ の下で得られる $P_{a,\chi}$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}$ である。

step 3: $\|N^{(n)} - N^{(n-1)}\| \leq \epsilon$ であれば計算終了。そうでなければ、 $n := n - 1$ として step 1 に戻る。

logit dynamic は、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ことが知られている (e.g., Sandholm⁸⁾)。したがって、構築した SCGE モデルには複数の安定均衡状態が存在し得るものの、本研究で提案する安定均衡状態の導出方法は、政策実施に伴い基準均衡状態から創発する状態を正しく捉えることができると思われる。

⁹⁾ 大規模な空間経済を考える場合は、Akamatsu et al.⁹⁾ により提案されている Fukushima¹⁰⁾ 型の merit 関数を用いたアプローチにより計算効率を向上させることができる。

5. パラメータ設定方法

本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 $W_a^i, K_a^i, S_a^i, M_a^{ij}, Y_a$ 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・長期均衡条件に関係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。

(1) 短期均衡条件に関するパラメータ

本節では、短期均衡条件に関するパラメータ $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \gamma_a^i, \tau_{ab}^i, \sigma^i, \mu^i, N_{a,\chi}, \hat{N}_{a,\chi}, \tilde{N}_{a,\chi}, \kappa_a, \psi_a^i$ のキャリブレーション方法を示しておこう。以降で用いる基準均衡データは、2005 年の各地域の産業連関表から得られる、地域・産業別生産額 S_a^i 、賃金 (家計外消費支出と雇用者所得の和で与える) W_a^i 、資本レント (営業余剰、資本減耗引当、間接税、経常補助金の和で与える) K_a^i 、中間投入額 M_a^{ij} 、最終消費額 Y_a である¹⁰。

パラメータ $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \gamma_a^i$ は、2005 年の各地域の産業連関表データから、その値を設定する。具体的には、 $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \gamma_a^i$ は、各々、地域 a ・産業 i の中間投入総額に占める財 j の中間投入額、労働、資本 (付加価値から家計外消費支出・雇用者所得を除いたもの) の割合を用いる。

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、Redding and Venables¹¹⁾、Head and Mayer¹²⁾ と同様の方法で推定する。より具体的には、式 (24) を用いると、地域 a, b 間の財 i の輸送額 $X_{ab}^i = \sum_{\chi} d_{ab,\chi}^i + \sum_j m_{ab}^{ij}$ が次のように与えられることを利用する：

$$\ln[X_{ab}^i] = \text{FX}_a^i + \ln\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} + \text{FM}_b^i. \quad (37)$$

ここで、 FX_a^i は生産地 a に関する項、 FM_b^i は需要地 b に関する項を表す。さらに、輸送費用 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ は、地域 a, b の距離¹¹⁾ dist_{ab} の関数で与えられると考える：

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \{\text{dist}_{ab}\}^{\tau^i}. \quad (38)$$

そして、次の推定式により τ^i を得る：

$$\ln[X_{ab}^i] = \text{FX}_a^i + \tau^i \ln[\text{dist}_{ab}] + \text{FM}_b^i + \xi_{ab}^i. \quad (39)$$

ここで、 ξ_{ab}^i は誤差項である。なお、財 i の都道府県/都市間取引額に関するデータを得るのは困難であるため、本稿では、経済産業省で公開している 9 地域間産業連関表を用いて、 τ^i を推定する。なお、注意が必要なのは、ここで示したパラメータ推定方法では、輸送費用

パラメータ τ^i と代替弾力性パラメータ σ^i を分離できない点である。すなわち、推定により得られる結果は、あくまで τ^i であり、代替弾力性の効果を除いた輸送費用パラメータを推定するわけではない。

本稿では、以降の分析で広範囲のエリアを 1 地域として扱い分析を進めることから、通常 NEG モデルや高山ら¹⁾とは異なり、地域内の財輸送にも費用がかかるかと考える。すなわち、 $\{\tau_{aa}^i\}^{1-\sigma^i} < 1$ となる状況を扱う。地域内輸送費用 $\{\tau_{aa}^i\}^{1-\sigma^i}$ を推定する際に必要となる、 X_{aa}^i のデータは地域間産業連関表から得られる。しかし、この状況を取り扱うためには、地域内輸送距離 dist_{aa} を定義する必要がある。そこで、本研究では、Redding and Venables¹¹⁾と同様、地域 a の総面積 area_a を用いて、

$$\text{dist}_{aa} = 2/3\sqrt{\text{area}_a/\pi} \quad (40)$$

を用いる。この地域内輸送距離を採用することは、1) 地域 a が円状であること、2) 全ての生産活動がその中心で行われ、消費者が円内に均等に分布すること、を仮定することと対応している。

産業 i の財の代替弾力性 σ^i は、短期均衡条件 (32) で用いられていることから理解できるように、 $(1-\sigma^i)\tau^i$ とは別に推定する必要がある。ただし、数多くの研究で指摘されているように、代替弾力性 σ^i の適切な推定には、現状では困難が伴う。そこで、本研究では、既存研究で推定された σ^i の値を利用することとする。

μ^i は、システム全体の財 $i \in \mathcal{I}$ 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 (8) 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：

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} S_a^i = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \left\{ \sum_{\chi \in \mathcal{X}} d_{ab,\chi}^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} m_{ab}^{ij} \right\}. \quad (41)$$

したがって、 μ^i は以下の通り与えられる：

$$\mu^i = \frac{\sum_a S_a^i - \sum_a \sum_j M_a^{ij}}{\sum_a Y_a}. \quad (42)$$

地域 a の消費者 $\{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ の人口 $N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ は、地域・産業別労働者数 $N_{a,i}^L$ と、資本供給数 $N_{a,i}^C$ に分けて設定する：

$$N_{a,i}^L = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,b,j\}}, \quad (43a)$$

$$N_{a,i}^C = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{b,\{j,a,i\}}. \quad (43b)$$

まず、 $N_{a,i}^L$ は、総務省統計局で公開されている、地域・産業別の就業者数で与える。 $N_{a,i}^C$ は、資本の供給量に関するデータを得ることが困難であることから、各地域・産業の労働者数と資本量が比例していると仮定する。すなわち、 $N_{a,i}^L = N_{a,i}^C$ となるように設定する。また、資本はいずれの地域・産業へも自由に投資できる

¹⁰ ただし、総最終消費額 $\sum_a Y_a$ は、輸出入を正確に反映しない限り、データ上は必ずしも総付加価値 $\sum_a \sum_i W_a^i + K_a^i$ と一致しない。そこで、本稿では、基準均衡データとして与える地域別最終消費額を、データ上得られる地域ごとの最終消費額 \hat{Y}_a を用いて、次のように定義した： $Y_a = \hat{Y}_a \{(\sum_a \sum_i W_a^i + K_a^i) / (\sum_a \hat{Y}_a)\}$ 。

¹¹ 各地域のセントロイドは域内の人口最大都市とし、地域間距離は google map で得られる直線距離を用いた。

ことから、本研究では、消費者の資本の投資先は、居住する地域・労働を供給する産業に依存しないと仮定する。この仮定の下では、 $N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ は次のように表すことができる：

$$N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \frac{N_{\tilde{a},\tilde{i}}^C}{N} N_{a,i}^L. \quad (44)$$

また、 $\hat{N}_{a,x}, \tilde{N}_{a,x}$ は、基準均衡状態では移住可能・不可能な消費者の割合が各地域で同一であると仮定し、以下で与える：

$$\hat{N}_{a,x} = \lambda N_{a,x}, \quad (45a)$$

$$\tilde{N}_{a,x} = (1 - \lambda) N_{a,x}. \quad (45b)$$

このとき、 \tilde{N}_a は、次の形で表すことができる：

$$\tilde{N}_a = (1 - \lambda) \sum_{i \in \mathcal{I}} N_{a,i}^L. \quad (46)$$

κ_a は、各地域の総可処分所得 Y_a と賃金所得、資本所得が整合するように設定する。すなわち、次の関係を満足する値とする：

$$Y_a = \sum_{i \in \mathcal{I}} \left[W_a^i + \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{I}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} \kappa_a N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \right]. \quad (47)$$

これを整理すると、 κ_a は次の関係を満たす値として設定される：

$$Y_a - \sum_{i \in \mathcal{I}} W_a^i = \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} \frac{\sum_i N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \kappa_a}{\sum_b \sum_j N_{b,\{j,\tilde{a},\tilde{i}\}} \kappa_b} K_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}. \quad (48)$$

残りの ψ_a^i は、均衡条件式 (32) 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、基準均衡状態のデータから W_a^i, K_a^i, S_a^i, Y_a が得られる。そこで、上述した方法で得られたパラメータ $\sigma^i, \tau_{ab}^i, \alpha_a^{ij}, \mu^i, C_{ad}^i$ と W_a^i, K_a^i, S_a^i, Y_a を用いて、式 (32) より、 $\hat{\phi}_a^i, \rho_a^i, \psi_a^i, n_a^i$ を決定する。この具体的な手順は次の通り：

step 1 条件 (32d) の非線形連立方程式から $\Phi_a^i = n_a^i (\phi_a^i)^{1-\sigma^i}$ を計算する：

$$S_a^i - \sum_b \frac{\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_a^i}{\sum_k \{\tau_{kb}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_k^i} \left[\mu^i Y_b + \sum_j \alpha_b^{ij} S_b^j \right] = 0. \quad (49)$$

step 2 条件 (32b) に Φ_a^i を代入して、 ρ_a^i を得る。

step 3 条件 (32a) に ρ_a^i を代入して、 ϕ_a^i / ψ_a^i を得る。

step 4 条件 (32c) に ϕ_a^i / ψ_a^i を代入して、 n_a^i を得る。

step 5 Φ_a^i と n_a^i より、 ϕ_a^i を計算する。

step 6 ϕ_a^i / ψ_a^i と ϕ_a^i から、 ψ_a^i を導出する。

(2) 長期均衡状態に関するパラメータ

次に、長期均衡条件 (28) を満たすためのパラメータ $\theta^A, \theta^L, \theta^C, \zeta_a, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i$ のキャリブレーション方法を示す。これらのパラメータは、長期均衡条件 (28) が成立する値に設定する。そのために、まず $\theta^A, \theta^L, \theta^C$ は、 $\zeta_a = \zeta^i = \zeta_{\tilde{a}}^i = \zeta^i = \zeta_{\tilde{a}}^i = 0 \forall a, \tilde{a} \in \mathcal{A}, \forall i, \tilde{i} \in \mathcal{I}$ とした時の nested logit model の対数尤度関数 \mathcal{L} を最大化する値とする：

$$\mathcal{L} = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{x \in \mathcal{X}} \left[\frac{\hat{N}_{a,x}}{\lambda N} \ln [P_{a,x}] + \frac{\tilde{N}_{a,x}}{\tilde{N}_a} \ln [\tilde{P}_{a,x}] \right]. \quad (50)$$

最後に、長期均衡条件を満たすように、各地域・産業の $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i$ を設定する：

$$\hat{N}_{a,x} - P_{a,x} \lambda N = 0, \quad (51a)$$

$$\tilde{N}_{a,x} - \tilde{P}_{a,x} \tilde{N}_a = 0. \quad (51b)$$

ただし、この方法では $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i$ の値は一意に決まらない。そこで、ここでは、 $\zeta_1 = \zeta^1 = \zeta_1^1 = \zeta^1 = \zeta_1^1 = 0$ に基準化して、残りのパラメータ値を決めることとする。

6. モデル挙動と実現象との比較：輸送費用の減少効果

本章では、2005 年の国勢調査と各都道府県の産業連関表のデータを用いて、パラメータのキャリブレーション・推定を行う。そして、輸送費用の減少が各地域の人口に与える影響を調べ、実現象との整合性を確認する。

なお、ここでは、日本国内を都道府県毎に分割する。ただし、東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県 の 4 都県は、“東京圏”として 1 地域としてまとめて考える¹²。また、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¹³。

(1) パラメータの推定・キャリブレーション結果

まず、輸送費用パラメータ τ^i を、地域間産業連関表のデータを用いて推定する。その際、地域間産業連関表の地域分割と同様に、日本国内を図-3 に示す 8 地域に分割する¹⁴。地域間産業連関表に記載されている地域・産業別の最終・中間需要額 $d_{ab,x}^i, m_{ab}^{ij}$ を利用すると、地域 a, b 間の財 i の輸送額 X_{ab}^i に関するデータが得られる。さらに、各地域のセントロイドを人口最大都市の市役所と設定し、 dist_{ab} をセントロイド間の直

¹² これは、様々な定義の都市圏の下で、これら 4 都県の殆どが 1 地域とみなされているためである。

¹³ 第一次産業は、日本標準産業分類における大分類 A 農業・林業、大分類 B 漁業とした。また、第二次産業は、大分類 C 鉱業・採石業・砂利採取業、大分類 D 建設業、大分類 E 製造業とし、第三次産業はそれ以外を用いた。

¹⁴ 沖縄県については、他都道府県と比較すると輸送費用が大幅に大きくなること、経済規模が小さいことから、本適用計算では考慮しないこととした。

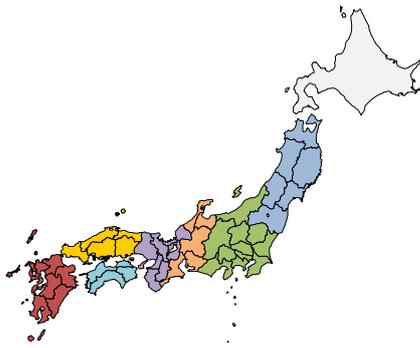


図-3 適用計算での地域分割

表-1 輸送費用パラメータの推定結果

パラメータ	推定値
τ^1	-1.372
τ^2	-1.274
τ^3	-1.603

線距離 (単位は km) で定義する¹⁵。なお、地域内輸送距離 $dist_{aa}$ は、国勢調査データから得られる各地域の総面積 $area_a$ を利用して (40) で与える。すると、(39) の推定式より、 τ^i が表-1 の通り得られる。

この推定結果から、第三次産業の τ^3 は、その他の産業より小さい (絶対値が大きい) ことがわかる。これには次の理由が考えられる: 第三次産業の財は輸送が困難であるとともに、Knaap and Oosterhaven¹³⁾ による σ^i の推定結果から示唆されるように、一般に第一・二次産業の財と比較して代替弾力性が大きく、遠方の地域では需要が見込めない¹⁶。

各地域の $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \hat{Y}_a, W_a^i$ は、2005 年の各地域の産業連関表、 N_a^i は総務省統計局で公表されている都道府県・産業別の就業者数より得た。また、代替弾力性 σ^i は、Knaap and Oosterhaven¹³⁾ で得られている産業分類別の代替弾力性を推定した結果を用いた¹⁷。より具体的には、Knaap and Oosterhaven¹³⁾ で用いている産業分類を 第一次・二次・三次産業に分類しなおした上で、推定された代替弾力性の平均値である $(\bar{\sigma}^1, \bar{\sigma}^2, \bar{\sigma}^3) = (11.1, 14.9, 16.4)$ を各産業の σ^i として用いた。居住する地域を選択できる消費者の割合 λ は、0.5 に設定した¹⁸。また、 μ^i は、 $(\mu^1, \mu^2, \mu^3) = (0.005, 0.296, 0.699)$ となり、各地域の産業連関表から確認できる、産業 i へ

表-2 $\theta^A, \theta^C, \theta^L$ のキャリブレーション結果

パラメータ	推定値
θ^A	7.394
θ^C	2.599
θ^L	2.850

の最終消費シェアと大きな差がないことが確認できた。

長期均衡条件から得られたロジットパラメータ ($\theta^A, \theta^C, \theta^L$) の推定結果は、表-2 に示すとおりである。この結果から、消費者選択の階層構造は、最上位から順に、居住地選択・労働の供給先・資本の供給先となることが確認できる。

(2) モデル挙動と実現象との比較

以上で得られたパラメータを用いて、地域間輸送費用の減少が各地域・産業に与える影響を調べる。各地域・産業の就業者数の変化は、全就業者数 N^L に対する各地域・産業の就業者数 $N_{a,i}^L$ の割合の変化に着目する。具体的には、次の式によって与えられる値を比較する。

$$\frac{N_{a,i}^{LA} - N_{a,i}^{LB}}{N^L} \times 100 \tag{52}$$

ただし、上付き添え字 B, A は、それぞれ、輸送費用削減前・後の状態を表す。

本解析では、輸送費用の減少を、全地域内・地域間の輸送距離を同時に一定割合減少させることにより表現する¹⁹。なお、輸送距離の削減割合は、最初から大きな値に設定するのではなく、0.0 から 0.1 まで、0.001 刻みで徐々に増加させた。ここで考える“日本全国で輸送費用が一律に低下する”という変化は、特定の交通基盤整備ではなく、輸送技術の発展・全国的な交通基盤網の整備に伴い、長期的に実現したと思われる。そこで、モデル挙動と比較する実現象として 1985 年から 2010 年までの労働人口 (就業者数) の変化²⁰ を採用する。なお、本研究ではモデルと実現象の比較の際、構築したモデルの定性的な挙動が長期的な人口変化の傾向をとらえることができているかという点に注目する²¹。

まず、各地域の労働人口の変化は、図-4 に示す通りである。この結果から、輸送費用の減少に伴って、人口は、東京圏・愛知県に集中し、大阪府を中心として関西圏では減少する傾向を示すことがわかる。さらに、これらの変化は 1985 年から 2010 年までの実際の労働人口の変化の傾向と概ね一致していることも確認でき

¹⁵ 直線距離の測定には、google map を用いた。

¹⁶ 第 4 章 (2) 節でも述べたとおり、本稿で用いた推定手法ではパラメータ τ^i の推定の際、輸送費用と代替弾力性の影響を分離できない。

¹⁷ 実際の政策評価をする場合、この設定は必ずしも妥当とは言えないと考えられる。したがって、何らかの方法で代替弾力性を推定することを検討する必要がある。

¹⁸ なお、高山ら¹⁾でも示されているように、 λ が十分大きい値をとる場合、モデルの挙動は定性的には変化しない。実際、全員が移住可能なケース ($\lambda = 1.0$) でも、以降で示す結果と定性的には同様の結果が得られた。

¹⁹ ここで示される結果は、例えば、全地域間の単位距離当たりの輸送コスト低下や、移動時間の短縮の影響を調べていると解釈することができる。

²⁰ 就業者数は各年の国勢調査より得た。

²¹ 本解析では、産業毎の生産技術の変化・消費者の各産業の財への嗜好の変化・総人口等は変化しないと仮定しているため。

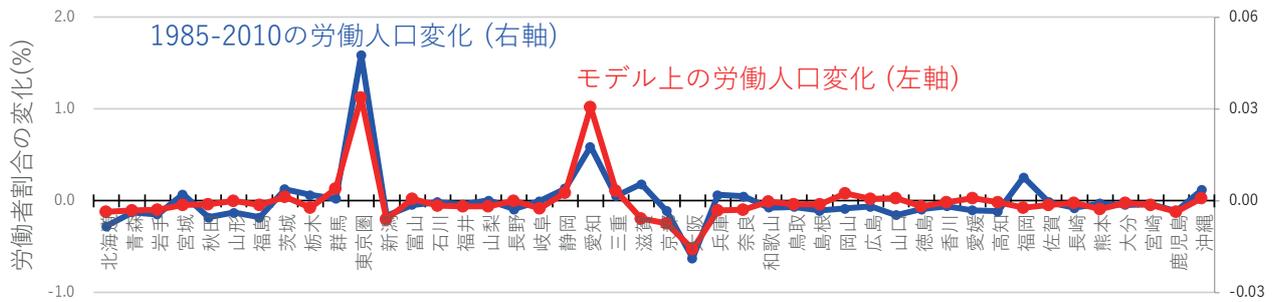


図-4 輸送費用削減による各地域就業数の変化: モデル挙動と実現象との比較

る。これらの事実から、本稿で開発したモデルが概ね実現象と整合した結果を示していると考えられる。

なお、図-4からは、福岡県・滋賀県などいくつかの地方部において、モデル挙動と実現象との間で傾向が異なることも確認できる。また、産業毎の労働人口にも、モデルと実現象に傾向の相違がみられた。この原因には、地域特有の経済環境の変化 (e.g., 滋賀県の一部地域のベットタウン化, 新幹線開業) や企業の生産技術の変化など様々なものが考えられる。それゆえ、モデルと実現象のさらなる整合化のためには、より詳細なデータ (地域分割の詳細化, 社会・経済環境の変化の考慮) を利用した分析が必要であると考えられる。ただし、この点は今後の課題としたい。



図-5 総人口減少の影響を調べる際の地域分割

7. 総人口減少の影響分析

前章までで、本稿で開発した SCGE モデルが実現象の傾向と概ね一致していることが確認できたことから、本章では総人口の減少が各地域人口に与える影響を調べる。なお、本稿では、総人口の減少による影響は都市の規模ごとに大きく異なると考えられることから、都市雇用圏を基準とした地域分割を実施する。より具体的には、図-5 に示す通り、関東地方と中部地方のみ都市雇用圏を基準に地域分割を実施し、その他の地域については、前章と同様、道府県単位で地域を分割した。地域分割の具体的な手順は付録 II 参照。

(1) パラメータ推定・キャリブレーション結果

輸送費用パラメータ τ^i は、第 6 章と同様の方法で推定した値 (表-1) を用いる。

各地域・産業の就業者数 N_a^i は、2005 年国勢調査、各地域の α_a^{ij} , η_a^i , \hat{Y}_a , W_a^i は、2005 年の都道府県産業連関表から得る。ただし、関東・中部地方で分割した地域の産業連関表を得ることは不可能である。そこで、各都県の産業連関表から、市町村別のデータを作成することを考える。より具体的には、都/県全体に占める各市町村の就業者割合を按分係数とし、市町村別の産業連関表を作成する。そして、それを図-5 の地域毎に合

算して、各地域のデータとして使用する。

代替弾力性 σ^i についても、前章と同様に、Knaap and Oosterhaven¹³⁾ の産業を分類しなおしたうえで推定された代替弾力性の平均値 $(\bar{\sigma}^1, \bar{\sigma}^2, \bar{\sigma}^3) = (11.1, 14.9, 16.4)$ を用いる。また、 μ^i は、 $(\mu^1, \mu^2, \mu^3) = (0.005, 0.298, 0.697)$ となった。最後に、ロジットパラメータ $(\theta^A, \theta^C, \theta^L)$ の推定結果は、 $(\theta^A, \theta^C, \theta^L) = (1.647, 2.341, 0.855)$ となった。

(2) 総人口減少の影響分析結果

本章では、総人口が 20% 減少した場合の影響を分析する²²⁾。その際、人口減少が各地域に与える影響を明確にするために、次の 2 つの極端な状況変化を与えて、その後の安定均衡状態の特性を調べる：

- a) 全地域とも同一割合の人口が減少する (大都市の方が人口減少が大きい);
- b) 全地域とも同一人数の人口が減少する (小都市の方が人口減少割合が大きい)。

なお、均衡状態が一意に定まる SCGE モデルでは、a), b) の結果が一致する一方、複数の均衡状態が存在する本研究の SCGE モデルでは両ケースの結果が大きく変化しうる。したがって、本章で示す結果は、本研究

²²⁾ ただし、数値解析で与える人口減少は段階的に (1%ずつ) 実施した。

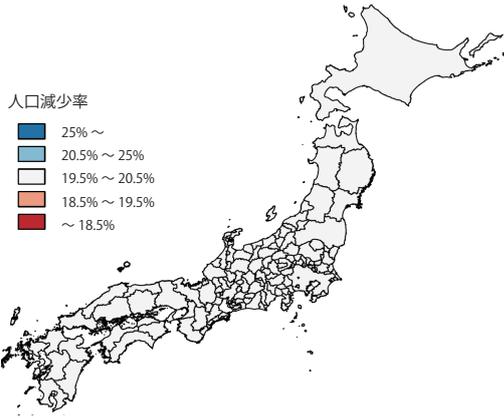


図-6 ケース a) における安定均衡状態の人口減少率

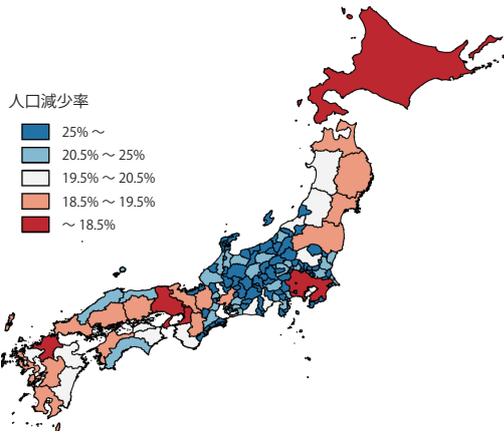


図-7 ケース b) における安定均衡状態の人口減少率

の特徴を反映したものである点に注意が必要である。

上記の条件のもとで得られた安定均衡状態における各地域の人口減少率は、図-6, 7 のとおりである。この結果から確認できるように、ケース a) では、均衡状態における人口減少割合がほぼ一致した。すなわち、各地域の人口減少割合が同一である場合、人口集中/分散化は生じないことが示された。一方、ケース b) では、小都市から大都市への人口移動が発生することが確認できた。関東・中部地方に注目すると、東京・名古屋では人口減少率が 20% より低く、新潟・静岡・浜松といった政令指定都市では 20% 程度、それ以外の小都市では 20% を上回る人口減少率となっており、人口が少ないほど人口減少幅が大きくなることが顕著に見取れる。現実の人口減少は、ケース a), b) の中間に位置する形で進むと考えられる。したがって、以上の結果から、人口減少は小都市の人口を大きく減少させ、大都市部へのさらなる人口集中 (人口比率の増加) を生じさせる可能性があることが示唆される。

8. おわりに

本研究では、高山ら¹⁾が開発した生産要素の地域間移動と集積の経済を考慮した SCGE モデルを改良した。そして、輸送費用を減少させた際のモデル挙動と実際に観察された人口分布の変化に、類似した傾向がみられることを確認した。さらに、そのモデルを用いて、総人口の減少が人口分布に与える影響を調べた。その結果、人口減少は、さらなる大都市への人口集中をもたらすことが示された。

謝辞: 本論文は、日本学術振興会 科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号 15K18136), 基盤研究 (C) (課題番号 16K06542) の助成金を受けた研究の一部である。ここに記し、感謝の意を表します。

付録 I. nested logit model の選択確率

$\{\theta^A = \min\{\theta^A, \theta^L, \theta^C\}$ の場合]

$$P_1 = P_L(V(a) + \zeta^a), \quad (I.1a)$$

$$P_2 = \begin{cases} P_A(\hat{V}(i|a) + \zeta_i) & \text{if } \theta^L \leq \theta^C \\ P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a) + \zeta_{\tilde{a}}^i) & \text{if } \theta^C \leq \theta^L \end{cases} \quad (I.1b)$$

$$P_3 = \begin{cases} P_C(v(\tilde{a}, \tilde{i}|a, i) + \zeta_{\tilde{a}}^i) & \text{if } \theta^L \leq \theta^C \\ P_A(v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a) & \text{if } \theta^C \leq \theta^L \end{cases} \quad (I.1c)$$

ここで、 $V(a)$, $\hat{V}(i|a)$, $\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a)$ は各階層で与えられる期待最大効用であり、以下で表される:

$$V(a) = \begin{cases} \frac{1}{\theta^L} \ln \left[\sum_j \exp[\theta^L \hat{V}(j|a)] \right] & \text{if } \theta^L < \theta^C, \\ \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_b \sum_j \exp[\theta^C \hat{V}(b, j|a)] \right] & \text{if } \theta^C < \theta^L, \end{cases} \quad (I.2a)$$

$$\hat{V}(i|a) = \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_b \sum_j \exp[\theta^C v_{a, \{i, b, j\}}] \right], \quad (I.2b)$$

$$\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a) = \frac{1}{\theta^L} \ln \left[\sum_j \exp[\theta^L v_{a, \{j, \tilde{a}, \tilde{i}\}}] \right]. \quad (I.2c)$$

$v(b, j|a, i)$, $v(j|a, \tilde{a}, \tilde{i})$ は以下で与える:

$$v(b, j|a, i) = v_{a, \{i, b, j\}}, \quad (I.2d)$$

$$v(j|a, \tilde{a}, \tilde{i}) = v_{a, \{j, \tilde{a}, \tilde{i}\}}, \quad (I.2e)$$

$$v_{a, x} = \sum_j \mu^j \{ \ln [\mu^j] - \ln [\rho_a^j] + \ln [y_{a, x}] \}. \quad (I.2f)$$

$\{\theta^L = \min\{\theta^A, \theta^L, \theta^C\}$ の場合]

$$P_1 = P_L(V(i) + \zeta^i), \quad (I.3a)$$

$$P_2 = \begin{cases} P_A(\hat{V}(a|i) + \zeta_a) & \text{if } \theta^A \leq \theta^C \\ P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|i) + \zeta_{\tilde{a}}^i) & \text{if } \theta^C \leq \theta^A \end{cases} \quad (I.3b)$$

$$P_3 = \begin{cases} P_C(v(\tilde{a}, \tilde{i}|a, i) + \zeta_a^i) & \text{if } \theta^C \leq \theta^L \\ P_A(v(a|i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a) & \text{if } \theta^C \leq \theta^C \end{cases} \quad (\text{I.3c})$$

ここで、 $V(i)$, $\hat{V}(a|i)$, $\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|i)$, $v(b|i, \tilde{a}, \tilde{i})$ は以下で与えられる:

$$V(i) = \begin{cases} \frac{1}{\theta^A} \ln \left[\sum_b \exp[\theta^A \hat{V}(b|i)] \right] & \text{if } \theta^A < \theta^C, \\ \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_b \sum_j \exp[\theta^C \hat{V}(b, j|i)] \right] & \text{if } \theta^C < \theta^A, \end{cases} \quad (\text{I.4a})$$

$$\hat{V}(a|i) = \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_b \sum_j \exp[\theta^C v_{a, \{i, b, j\}}] \right], \quad (\text{I.4b})$$

$$\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|i) = \frac{1}{\theta^A} \ln \left[\sum_b \exp[\theta^A v_{b, \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}}] \right]. \quad (\text{I.4c})$$

$$v(b|i, \tilde{a}, \tilde{i}) = v_{b, \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}}. \quad (\text{I.4d})$$

$\{\theta^C = \min\{\theta^A, \theta^L, \theta^C\}$ の場合]

$$P_1 = P_C(V(\tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a^i), \quad (\text{I.5a})$$

$$P_2 = \begin{cases} P_A(\hat{V}(a|\tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a) & \text{if } \theta^A \leq \theta^L \\ P_L(\hat{V}(i|\tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta^i) & \text{if } \theta^L \leq \theta^A \end{cases} \quad (\text{I.5b})$$

$$P_3 = \begin{cases} P_L(v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta^i) & \text{if } \theta^A \leq \theta^L \\ P_A(v(a|i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a) & \text{if } \theta^L \leq \theta^A \end{cases} \quad (\text{I.5c})$$

ここで、 $V(\tilde{a}, \tilde{i})$, $\hat{V}(a|\tilde{a}, \tilde{i})$, $\hat{V}(i|\tilde{a}, \tilde{i})$ は以下で与えられる:

$$V(\tilde{a}, \tilde{i}) = \begin{cases} \frac{1}{\theta^A} \ln \left[\sum_b \exp[\theta^A \hat{V}(b|\tilde{a}, \tilde{i})] \right] & \text{if } \theta^A < \theta^C, \\ \frac{1}{\theta^L} \ln \left[\sum_j \exp[\theta^L \hat{V}(j|\tilde{a}, \tilde{i})] \right] & \text{if } \theta^C < \theta^A, \end{cases} \quad (\text{I.6a})$$

$$\hat{V}(a|\tilde{a}, \tilde{i}) = \frac{1}{\theta^L} \ln \left[\sum_j \exp[\theta^L v_{a, \{j, \tilde{a}, \tilde{i}\}}] \right], \quad (\text{I.6b})$$

$$\hat{V}(i|\tilde{a}, \tilde{i}) = \frac{1}{\theta^A} \ln \left[\sum_b \exp[\theta^A v_{b, \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}}] \right]. \quad (\text{I.6c})$$

付録 II. 地域分割の手順

関東地方と中部地方は、都市雇用圏²³の区分に基づいて、次の手順で分割する。

1 国勢調査による『都道府県・市町村別統計表 (一覧表)』に記載されている市町村について、

²³ 都市雇用圏は、(1) 中心都市を DID 人口によって設定し、(2) 郊外都市を中心都市への通勤率が 10%以上の市町村とし、(3) 同一都市圏内に複数の中心都市が存在することを許容する都市圏設定である。中心都市の DID 人口が 5 万人以上の都市圏を大都市雇用圏、1 万人から 5 万人のものを小都市雇用圏と呼ぶ²⁾。

都市雇用圏に含まれているものは、該当する都市圏に分類する。

2 都市雇用圏に含まれない市町村は、以下の手順に従って分類する。

- (a) 人口が 1 万人以上である場合、単一市町村で一地域に区分する。
- (b) 人口が 1 万人未満である場合、都道府県内の地域区分 (ex: 加賀地方・能登地方 (石川県), 上越地方・中越地方・下越地方・佐渡地方 (新潟県)) に則って、都市雇用圏に含まれない他の市町村とまとめて一地域に区分する。
- (c) まとめた地域の総人口が 1 万人以上である場合、適当な地域名をつけて終了する。
- (d) まとめた地域の総人口が 1 万人未満である場合、隣接する他地域 (都市雇用圏でも手順 (2b) 以降で分類した地域でも可) と合わせて一地域とする。
- (e) 手順 (2c) に戻る。

付録 III. 変数・パラメーター一覧表

本稿で用いた変数の定義を表-3、パラメータの定義を表-4 により整理する。

参考文献

- 1) 高山雄貴, 赤松隆, 石倉智樹: 生産要素の地域間移動と集積の経済を考慮した空間応用一般均衡モデルの開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 2, pp. 211-230, 2016.
- 2) 金本良嗣, 徳岡一幸: 日本の都市圏設定基準, 応用地域学研究, Vol. 7, pp. 1-15, 2002.
- 3) Dixit, A. K. and Stiglitz, J. E.: Monopolistic competition and optimum product diversity, *American Economic Review*, Vol. 67, No. 3, pp. 297-308, 1977.
- 4) 宮城俊彦: 独立した輸送部門をもつ SCGE モデルによる高速道路の経済評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 68, No. 4, pp. 291-304, 2012.
- 5) Helpman, E.: The size of regions, in Pines, D., Sadka, E. and Zilcha, I. eds. *Topics in Public Economics: Theoretical and Applied Analysis*, Cambridge University Press, pp. 33-54, 1998.
- 6) Akamatsu, T., Mori, T. and Takayama, Y.: Krugman (1991) versus Helpman (1998): Polycentric versus monocentric agglomeration patterns in new economic geography models, *mimeograph*, 2015.
- 7) Fudenberg, D. and Levine, D. K.: *The Theory of Learning in Games*, MIT Press, 1998.
- 8) Sandholm, W. H.: Local stability under evolutionary game dynamics, *Theoretical Economics*, Vol. 5, No. 1, pp. 27-50, 2010.
- 9) Akamatsu, T., Fujishima, S. and Takayama, Y.: Sta-

表-3 変数一覧表 (取引額に関する変数)

記号	定義	記号	定義
$N_{a,\chi}$	地域 a の消費者 χ 人口	n_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業数
$\hat{N}_{a,\chi}$	地域 a の地域間移動が可能な消費者 χ 人口 ($\hat{N}_{a,\chi} = \lambda N_{a,\chi}$)	$\tilde{N}_{a,\chi}$	地域 a の地域間移動が不可能な消費者 χ 人口 ($\tilde{N}_{a,\chi} = (1 - \lambda)N_{a,\chi}$)
$N_{a,i}^L$	地域 a ・ 産業 i への労働供給量 ($N_{a,i}^L = \sum_b \sum_j N_{a,\{i,b,j\}}$)	$N_{a,i}^C$	地域 a ・ 産業 i に資本を供給する消費者数 ($N_{a,i}^C = \sum_b \sum_j N_{b,\{j,a,i\}}$)
ρ_a^i	地域 a における財 i の価格指数	ϕ_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業が投入する生産要素の価格指数
$D_{a,\chi}^i$	地域 a の消費者 χ の財 i への総最終需要額	$d_{ba,\chi}^i$	地域 a の消費者 χ の地域 b で生産された財 i への総最終需要額
Y_a	地域 a の消費者の総所得	$y_{a,\chi}$	地域 a の消費者 χ の所得 ($y_{a,\{i,\bar{a},i\}} = w_a^i + \kappa_a r_a^i$)
w_a^i	地域 a ・ 産業 i に勤める消費者の賃金	r_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の資本レント
W_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の労働への総需要額	K_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の資本への総需要額
M_a^{ji}	地域 a ・ 産業 i の企業の財 j への総中間需要額	m_{ba}^{ji}	地域 a ・ 産業 i の企業の地域 b で生産された財 i への総中間需要額
S_a^i	地域 a で生産される財 i の総供給額		

表-4 パラメーター一覧表

記号	定義	記号	定義
α_a^{ji}	地域 a ・ 産業 i の企業の間財 j 投入割合	η_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の労働投入割合
γ_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の資本投入割合	σ^i	財 i の代替弾力性
μ^i	消費者の財 i への支出割合	κ_a	地域 a の消費者一人当たりの資本保有量
ψ_a^i	$\beta_a^i \sigma^i / (\sigma^i - 1)$	β_a^i	地域 a ・ 産業 i の企業の生産量 1 単位あたりの (可変的) 生産要素投入量
τ^i	輸送費用パラメータ (地域間移動時間に依存)	ϵ^i	輸送費用パラメータ (移動時間に非依存)
θ^A	居住する地域選択に関する分散パラメータ	θ^L	労働の供給先 (産業) 選択に関する分散パラメータ
θ^C	資本の供給先 (地域・産業) 選択に関する分散パラメータ	ζ_a	居住地選択に関する固定的効用項
ζ^i	労働の供給先選択に関する固定的効用項	ζ_a^i	資本の供給先選択に関する固定的効用項

bilization of social optimum in economies with positive and negative externalities, *mimeograph*, 2014.

10) Fukushima, M.: Equivalent differentiable optimization problems and descent methods for asymmetric variational inequality problems, *Mathematical Programming*, Vol. 53, No. 1-3, pp. 99-110, 1992.

11) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol. 62, No. 1, pp. 53-82, 2004.

12) Head, K. and Mayer, T.: The empirics of agglomera-

tion and trade, in Henderson, J. V. and Thisse, J.-F. eds. *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, pp. 2609-2669, 2004.

13) 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.

(2015. 7. 21 受付)