

集積の経済を考慮した空間応用一般均衡分析： 道路整備の推移の影響について

関野 景介¹・高山 雄貴²・山口 裕通³

¹学生会員 金沢大学 大学院自然科学研究科 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: nishikun@stu.kanazawa-u.ac.jp

²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

³正会員 金沢大学特任助教 理工研究域 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)

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

本研究では、我が国で実施されてきた道路整備が経済活動の空間的集積現象に与えた影響を評価する。そのために、高山ら¹⁾が開発した、集積の経済と人口移動を考慮した空間応用一般均衡モデルを、道路整備効果を分析できる枠組みに改良する。そして、1985年から2005年の期間を対象として、2種類の仮想実験を実施し、都市/地方部に与える影響を分析した：1) 地域間の所要時間を2005年から1985年に変化させた場合、2) 地域間の所要時間を2005年から5年間隔で変化させ、それぞれの均衡状態を經由して1985年の地域間の所要時間まで変化させた場合。そして、上記に示す両シナリオ間での結果の傾向が大幅に異なることを確認することで、本モデルにおいてヒステリシス現象が見られることを示す。

Key Words : 空間応用一般均衡分析, 集積の経済, 人口分布, 道路整備, ヒステリシス現象

1. はじめに

我が国の高速道路は1963年に初めて開通して以来、東京・名古屋・大阪を中心に整備が進み、1985年時点では、政令指定都市など多くの都市で高速道路が整備され、その後も広範囲にわたり整備されるようになった。このような高速道路網の整備は、大幅な輸送費用低下をもたらした。そして、短期的には都市間の人流や物流の効率が大幅に改善され、長期的には人の居住する地域や企業が立地する地域が変わるなど、都市に多大な経済的影響をもたらしている。そのため、高速道路網整備を行う際には、短期的/長期的な影響を正確に把握することが必要になる。このような長期的な影響は、「企業集積が人口集積を呼び込み、この人口集積がさらなる企業集積を誘発する」という“集積の経済”が主要因であることを示す理論・実証研究が蓄積されている。

また、高速道路整備などの政策効果における空間分布を評価するための代表的手法として空間応用一般均衡(SCGE)分析がある。しかし、既存のSCGE分析では、“集積の経済”と“人口移動”のいずれか、または両方を無視しており、“交通基盤整備による人流・物流効率改善”などの短期的効果は捉えられても、“それに伴う経済集積の長期的変化(e.g., スロー現象)”は説明できない。よって、既存のSCGE分析の枠組では、“

経済集積の変化”や“それに伴う多大な経済的影響”などの、政策の長期的効果を適切に評価することが困難となっている。

既存の政策評価手法の問題を解決するには、集積の経済と人口移動を考慮したSCGE分析枠組の開発が不可欠である。そこで、高山ら^{1), 2)}は、新経済地理学(NEG)³⁾の理論的知見に基づいたモデルを開発している。しかし、これらの研究では、モデルの基本特性を明らかにすることを重視しており、交通網整備の影響評価に直接応用可能な枠組みとはなっていない。

そこで、本研究では、我が国における道路整備の推移による影響を分析するために、高山ら^{1), 2)}により開発された、“集積の経済”と“人口移動”を考慮したSCGEモデルを改良する。具体的には、都市雇用圏を基準とした詳細な地域分割を実施するとともに、現実の高速道路・国道網を反映した空間構造を考慮した枠組を構築し、我が国の道路整備がもたらした影響を分析する。

なお、地域分割を47都道府県で行った高山ら^{1), 2)}のモデルでは、“多極型の集積パターンを表現できるモデル”の特徴を持つことが高山ら²⁾により示されている。本研究では、都市雇用圏を基準とした地域分割を実施したため、まず、この地域を詳細化したモデルにおいても、“多極型の集積パターンを表現できるモデル”の特徴を持つことを確認する。ここでは、高山ら²⁾と同様に、詳細化した地域間の輸送費用を同時に一定割合

変化させる条件で数値解析を実施することで確認する。

さらに、本研究は、我が国高速道路整備において 2 種類の仮想実験を行うことで、高速道路整備がもたらした影響を明らかにするとともに、開発したモデルにおいて、“ヒステリシス現象”が見られることを示す。より具体的には、次の 2 種類の道路整備のシナリオ分析を行い、その道路整備の影響による人口分布の変化を調べる¹：1) 地域間の所要時間を 2005 年から 1985 年に変化させた場合、2) 地域間の所要時間を 2005 年から 5 年間隔で変化させ、それぞれの均衡状態を経由して 1985 年の地域間の所要時間まで変化させた場合。そして、道路整備順序の影響が、この 2 種類のシナリオ間で大きく異なることを明らかにする。なお、両シナリオの結果に相違が見られるのは、“集積の経済”と“人口移動”の両方を考慮した SCGE モデルならではの特徴である。実際、そのどちらか/両方を無視した（均衡が唯一に決まる）従来の SCGE モデルでは、両シナリオの結果は一致する。

本論文の構成は、以下の通りである。第 2 章では、高山ら¹⁾により開発された、集積の経済と人口移動を考慮した SCGE モデルを説明する。第 3 章では均衡状態を定義した上で、その導出方法を示す。なお、第 2, 3 章の内容は基本的に高山ら¹⁾と同様ではあるものの、読者の理解を容易にするために、その内容を詳しく紹介する。次に、実データを用いたパラメータの設定方法を第 4 章で提示する。第 5 章では、都市雇用圏を基準として地域を詳細化したモデルにおいて、高山ら²⁾と同様の方法²⁾で行ったパラメータ推定・キャリブレーション結果を示したうえで、輸送費用を同時に一定変化させる条件で数値解析を実施する。その後、第 6 章では、2 種類の 1986 年から 2005 年における道路整備を模擬した数値解析を実施する。最後に、第 7 章で本研究の成果をまとめた後、今後の課題を述べる。

2. 空間応用一般均衡モデル

本章では、高山ら¹⁾が開発した“集積の経済”と“人口移動”を考慮した SCGE モデルを紹介する。

(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。この経済には、 I 種類の産業と消費者が存在する。各産業の企業は、収穫逓増の技術により、独占的競争市場下で、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バラエティ(種類)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 で生産を行う企業の数は、供給される財 i のバラエティ数 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、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供給できない一方、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かと仮定する。

(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 $\chi \in \mathcal{X} \equiv \{\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\} \mid \tilde{a} \in \mathcal{A}, i, \tilde{i} \in \mathcal{I}\}$ の効用は、次の Cobb-Douglas 型効用関数 $u(\{c_{a,\chi}^j\})$ で与えられる：

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

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、 $\sigma^j > 1$ 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 χ 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 χ の所得は賃金所得と資本所得の和で与えられるため、 $y_{a,\chi}$

¹ 1986 年から 2005 年における高速道路整備を対象にした。2005 年を基準均衡状態として、過去にさかのぼる形で輸送費用を変化させることで、1985 年から 2005 年における人口分布の変化を確認する。

² 第 5 章で詳しく述べる

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 $r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}$ により表すことができる:

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

効用最大化問題を解くことにより、財 j の消費量が次のように導出される:

$$c_{a,\chi}^j = \mu^j \frac{y_{a,\chi}}{\rho_a^j}, \quad q_{ba,\chi}^j(\nu) = \left[\frac{p_{ba}^j(\nu)}{\rho_a^j} \right]^{-\sigma^j} c_{a,\chi}^j. \quad (5)$$

ここで、 ρ_a^j は地域 a での財 j の価格指数である:

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

(3) 企業行動

各産業の企業は、収穫逓増の技術により、独占的競争市場下で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。本研究では、Cobb-Douglas 型の生産技術を仮定するため、各中間要素の投入量は以下の関係から与えられる:

$$\{l_a^i(\nu)\}^{\eta_a^i} \{k_a^i(\nu)\}^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \{z_a^{ji}(\nu)\}^{\alpha_a^{ji}} = 1 + \beta_a^i s_a^i(\nu). \quad (7)$$

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:

$$z_a^{ji}(\nu) = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} \left\{ z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) \right\}^{\frac{\sigma^j-1}{\sigma^j}} d\tilde{\nu} \right]^{\frac{\sigma^j}{\sigma^j-1}}. \quad (8)$$

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 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:

$$s_a^i(\nu) = \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i(\nu), \quad (9a)$$

$$x_{ab}^i(\nu) = \sum_{\chi \in \mathcal{X}} q_{ab,\chi}^i(\nu) N_{b,\chi} + \sum_{j \in \mathcal{I}} \int_0^{n_b^j} z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu}) d\tilde{\nu}. \quad (9b)$$

ここで、 $N_{b,\chi}$ は地域 b の消費者 χ 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。その利潤最大化行動は、次のように定式化できる:

$$\max_{p_{ab}^i(\nu), l_a^i(\nu), k_a^i(\nu), z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)} \pi_a^i(\nu) \text{ s.t. (5), (7), (8), (9)}. \quad (10)$$

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:

$$\begin{aligned} \pi_a^i(\nu) = & \sum_{b \in \mathcal{A}} p_{ab}^i(\nu) x_{ab}^i(\nu) - w_a^i l_a^i(\nu) - r_a^i k_a^i(\nu) \\ & - \sum_{j \in \mathcal{I}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \int_0^{n_b^j} p_{ba}^j(\tilde{\nu}) z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) d\tilde{\nu}. \end{aligned} \quad (11)$$

利潤最適化問題を解くことにより、地域 b で生産される中間財の需要 $z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu)$ 、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:

$$z_{ba}^{ji}(\tilde{\nu}, \nu) = \left[p_{ba}^j(\tilde{\nu}) / \rho_a^j \right]^{-\sigma^j} z_a^{ji}(\nu), \quad (12a)$$

$$p_{ab}^i(\nu) = \frac{\beta_a^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \tau_{ab}^i \phi_a^i, \quad (12b)$$

$$\phi_a^i = [w_a^i / \eta_a^i]^{\eta_a^i} [r_a^i / \gamma_a^i]^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} [\rho_a^j / \alpha_a^{ji}]^{\alpha_a^{ji}}, \quad (12c)$$

$$l_a^i(\nu) = (\eta_a^i / w_a^i) [1 + \beta_a^i \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i] \phi_a^i, \quad (12d)$$

$$k_a^i(\nu) = (\gamma_a^i / r_a^i) [1 + \beta_a^i \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i] \phi_a^i, \quad (12e)$$

$$z_a^{ji}(\nu) = (\alpha_a^{ji} / \rho_a^j) [1 + \beta_a^i \sum_{b \in \mathcal{A}} \tau_{ab}^i x_{ab}^i] \phi_a^i. \quad (12f)$$

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 のバラエティ ν に依存しない。したがって、 $q_{b\chi}^j(\nu)$ 、 $z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu})$ 、 $z_a^{ij}(\nu)$ 、 $s_a^i(\nu)$ 、 $l_a^i(\nu)$ 、 $k_a^i(\nu)$ も、同様に、バラエティ $\nu, \tilde{\nu}$ に依存しない。そこで、以降では、 $\nu, \tilde{\nu}$ を省略し、 $p_{ab}^i, q_{b\chi}^j, z_{ab}^{ij}, z_a^{ij}, s_a^i, l_a^i, k_a^i$ と表記する。

3. 均衡条件

本稿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量”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、開発した 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、本章では、前章で示した“個人・一企業の取引量”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た均衡条件と、その解析手順を示す。

(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。具体的には、地域 a の消費者 χ の財 i の消費量を表す $c_{a,\chi}^i, q_{ba,\chi}^j$ 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、式 (5) が次のように表現できることに注目しよう：

$$\rho_a^j c_{a,\chi}^j = \mu^j y_\chi = \mu^j (w_a^i + \kappa_a r_a^i), \quad (13a)$$

$$n_b^j p_{ba}^j q_{ba,\chi}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j \rho_a^j c_{a,\chi}^j. \quad (13b)$$

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が得られる：

$$D_{a,\chi}^j = \mu^j y_\chi N_{a,\chi}, \quad (14a)$$

$$d_{ba,\chi}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j D_{a,\chi}^j. \quad (14b)$$

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 $l_a^i, k_a^i, z_a^j, z_{ba}^j$ を総生産額 S_a^i 、労働・資本・財 j への総投入額 $W_a^i, K_a^i, M_a^j, m_{ba}^j$ により表現する。一企業当たりの生産額 (12) は、

$$\sum_{b \in \mathcal{A}} p_{ab}^i x_{ab}^i = \frac{\beta_a^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \phi_a^i s_a^i, \quad (15a)$$

$$(1 + \beta_a^i s_a^i) \phi_a^i = \sigma^i \phi_a^i, \quad w_a^i l_a^i = \eta_a^i \sigma^i \phi_a^i, \quad (15b)$$

$$r_a^i k_a^i = \gamma_a^i \sigma^i \phi_a^i, \quad \rho_a^j z_a^j = \alpha_a^{jj} \sigma^j \phi_a^i, \quad (15c)$$

$$n_b^j p_{ba}^j z_{ba}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j \rho_a^j z_a^j, \quad (15d)$$

と表される。したがって、両辺を n_a^i 倍することで、地域全体の取引額を表すことができる：

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i, \quad W_a^i = \eta_a^i S_a^i, \quad K_a^i = \gamma_a^i S_a^i, \quad (16a)$$

$$M_a^j = \alpha_a^{jj} S_a^i, \quad m_{ba}^j = \left[p_{ba}^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j M_a^j. \quad (16b)$$

(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。すなわち、均衡状態を、 $N_{a,\chi}$ 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。

a) 短期均衡条件

まず、短期均衡条件を示す。消費者・企業の行動に基づいて定まる変数間の関係式は、前節で得られた条件 (4), (6), (12c), (14), (16) と利潤ゼロ条件から与えられる：

$$\phi_a^i = \left[w_a^i / \eta_a^i \right]^{\eta_a^i} \left[r_a^i / \gamma_a^i \right]^{\gamma_a^i} \prod_{j \in \mathcal{I}} \left[\rho_a^j / \alpha_a^{jj} \right]^{\alpha_a^{jj}}, \quad (17a)$$

$$\rho_a^i = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} n_b^i \left\{ \psi_b^i \tau_{ba}^i \phi_b^i \right\}^{1-\sigma^i} \right]^{1/(1-\sigma^i)}, \quad (17b)$$

$$D_{a,\chi}^j = \mu^j y_{a,\chi} N_{a,\chi}, \quad (17c)$$

$$d_{ba,\chi}^j = \left[\psi_b^j \tau_{ba}^j \phi_b^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j D_{a,\chi}^j, \quad (17d)$$

$$S_a^i = \sigma^i n_a^i \phi_a^i, \quad W_a^i = \eta_a^i S_a^i, \quad (17e)$$

$$K_a^i = \gamma_a^i S_a^i, \quad M_a^j = \alpha_a^{jj} S_a^i, \quad (17f)$$

$$m_{ba}^j = \left[\psi_b^j \tau_{ba}^j \phi_b^j / \rho_a^j \right]^{1-\sigma^j} n_b^j M_a^j, \quad (17g)$$

$$y_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}} = w_a^i + \kappa_a r_a^i, \quad (17h)$$

ここで、 $\psi_b^j = \beta_b^j \sigma^j / (\sigma^j - 1)$ である。

短期均衡状態では、条件 (17) に加えて、各市場の需給均衡条件も満たされる。そこで、その条件も整理しておこう。最初に、各地域の労働の需給均衡条件を示す。地域 a ・ 産業 i の労働需要額は W_a^i 、供給額は $w_a^i \sum_{\bar{a}} \sum_{\bar{i}} N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}$ となる。したがって、この条件は以下で表される：

$$W_a^i = w_a^i \sum_{\bar{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\bar{i} \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}. \quad (18)$$

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

$$K_{\bar{a}}^{\bar{i}} = r_{\bar{a}}^{\bar{i}} \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{i \in \mathcal{I}} \kappa_a N_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}}. \quad (19)$$

最後に、各地域の財 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：

$$S_a^i = \sum_{b \in \mathcal{A}} \left[\sum_{\chi \in \mathcal{X}} d_{ab,\chi}^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} m_{ab}^{ij} \right]. \quad (20)$$

以上で示した主体間の労働・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 χ 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 χ を選択する。ただし、本研究では一定割合 λ の消費者しか地域間移動ができないと仮定する。さらに、消費者の

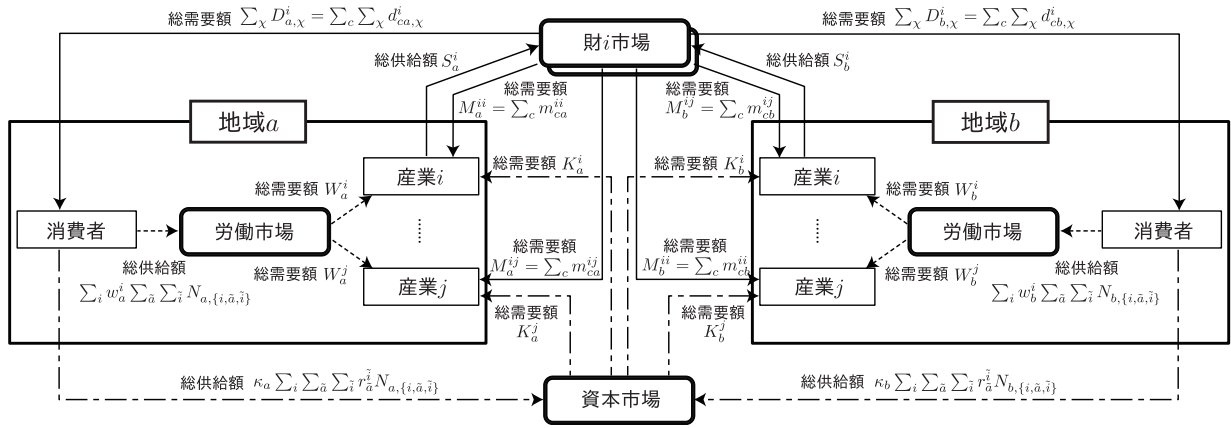


図-1 主体間の労働・資本・財 $i \in \mathcal{I}$ の取引関係の模式図 (矢印は財・サービスの流れる方向を表す)

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 と経済理論を整合させるために，消費者選択に関する階層構造を，事前に定義するのではなく，(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：

$$N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \hat{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} + \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (21a)$$

$$\begin{cases} \hat{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = P_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \lambda N, \\ P_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \end{cases} \quad (21b)$$

$$\begin{cases} \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \tilde{P}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \tilde{N}_a, \\ \tilde{P}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \tilde{P}_1 \cdot \tilde{P}_2. \end{cases} \quad (21c)$$

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，

$$\tilde{N}_a = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} \tilde{N}_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (1 - \lambda)N = \sum_{a \in \mathcal{A}} \tilde{N}_a \quad (21d)$$

を満足する．また， $P_1, P_2, P_3, \tilde{P}_1, \tilde{P}_2$ 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．例えば， $\theta^L > \theta^C > \theta^A$ 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高山ら²⁾ 参照)：

$$P_1 = P_A(V(a) + \zeta_a), \quad (22a)$$

$$P_2 = P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a) + \zeta_{\tilde{a}}^i), \quad (22b)$$

$$P_3 = P_L(v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta^i), \quad (22c)$$

$$\tilde{P}_1 = P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a) + \tilde{\zeta}_{\tilde{a}}^i), \quad (22d)$$

$$\tilde{P}_2 = P_L(v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i}) + \tilde{\zeta}^i). \quad (22e)$$

$P_A(\cdot), P_C(\cdot), P_L(\cdot)$ は，各々，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：

$$P_A(v(a)) = \frac{\exp[\theta^A v(a)]}{\sum_{b \in \mathcal{A}} \exp[\theta^A v(b)]}, \quad (23a)$$

$$P_C(v(a, i)) = \frac{\exp[\theta^C v(a, i)]}{\sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} \exp[\theta^C v(b, j)]}, \quad (23b)$$

$$P_L(v(i)) = \frac{\exp[\theta^L v(i)]}{\sum_{j \in \mathcal{I}} \exp[\theta^L v(j)]}. \quad (23c)$$

また， $V(a), \hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a), v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i})$ 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：

$$V(a) = \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_{\tilde{a}} \sum_{\tilde{i}} \exp[\theta^C \hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a)] \right], \quad (24a)$$

$$\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i}|a) = \frac{1}{\theta^L} \ln \left[\sum_i \exp[\theta^L v(\tilde{a}, \tilde{i}|a, i)] \right], \quad (24b)$$

$$v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i}) = v_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}, \quad (24c)$$

$$v_{a,\chi} = \sum_j \mu^j \{ \ln [\mu^j] - \ln [\rho_a^j] + \ln [y_{a,\chi}] \}. \quad (24d)$$

なお， $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_{\tilde{a}}^i, \tilde{\zeta}^i, \tilde{\zeta}_{\tilde{a}}^i$ は，地域・産業固有の効用項であり，第 4 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．

(3) 均衡状態の解析手順

本研究で解析する SCGE モデルには，安定・不安定な複数の長期均衡状態が存在し得る．そこで，本節では，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．

短期均衡状態は非線形連立方程式 (17) の解として得られる．ただし，ワルラス法則の存在により，この条件式には独立な方程式が 1 つ足りない．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．

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 (21) を解くことで得られる．ただし，この長期均衡状態 $N_{a,\chi}$ には安定・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：

$$\frac{dN_{a,\chi}}{dt} = \frac{d\hat{N}_{a,\chi}}{dt} + \frac{d\tilde{N}_{a,\chi}}{dt}, \quad (25a)$$

$$\frac{d\hat{N}_{a,\chi}}{dt} = P_{a,\chi}\lambda N - \hat{N}_{a,\chi}, \quad (25b)$$

$$\frac{d\tilde{N}_{a,\chi}}{dt} = \tilde{P}_{a,\chi}\tilde{N}_a - \tilde{N}_{a,\chi}. \quad (25c)$$

ただし、この微分方程式を直接解くことは困難であるため、以下に示すように、調整ダイナミクス方向に居住地・生産要素供給先を繰り返し改訂することで、安定均衡状態を数値的に得る：

$$\hat{N}_{a,\chi}^{(n)} = \hat{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (26a)$$

$$\tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} = \tilde{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (26b)$$

$$\hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ P_{a,\chi}(N^{(n)})\lambda N - N_{a,\chi}^{(n)} \right\}, \quad (26c)$$

$$\tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ \tilde{P}_{a,\chi}(N^{(n)})\tilde{N}_a - \tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} \right\}. \quad (26d)$$

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、 $N_{a,\chi}^{(n)}$ は n 回目の繰り返し計算時の地域 a の消費者 χ 人数、 $N^{(n)} = [N_{a,\chi}^{(n)}]$ 、 $P_{a,\chi}(N^{(n)})$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}(N^{(n)})$ は $N^{(n)}$ の下で得られる $P_{a,\chi}$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}$ である。

4. パラメータ設定方法

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) を実データと整合させるためには、パラメータを適切に推定・キャリブレーションする必要がある。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 、 $N_{a,\chi}$ が基準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設定方法を説明する。

(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 α_a^{ij} 、 η_a^i 、 γ_a^i 、 τ_{ab}^i 、 σ^i 、 μ^i 、 κ_a 、 ψ_a^i の推定・キャリブレーション方法を示す。以降で用いる基準均衡データは、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。ただし、本研究では日本国内を分析対象とするため、輸出入は無視する。それゆえ、総最終消費額 $\sum_a Y_a$ は、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： $Y_a = \hat{Y}_a \{ (\sum_a \sum_i W_a^i + K_a^i) / (\sum_a \hat{Y}_a) \}$ 。

地域 a の消費者 $\{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ 数 $N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}}$ は、地域・産業別労働者数 $N_{a,i}^L$ と資本供給人数 $N_{a,i}^C$ に分けて設定

する：

$$N_{a,i}^L = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,b,j\}}, \quad (27a)$$

$$N_{a,i}^C = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{b,\{j,a,i\}}. \quad (27b)$$

$N_{a,i}^L$ は、地域・産業別の就業者数 (総務省統計局のデータ) で与える。 $N_{a,i}^C$ は、資本の供給人数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供給人数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。さらに、 $\hat{N}_{a,\chi}$ 、 $\tilde{N}_{a,\chi}$ 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：

$$\hat{N}_{a,\chi} = \lambda N_{a,\chi}, \quad \tilde{N}_{a,\chi} = (1 - \lambda) N_{a,\chi}. \quad (28)$$

パラメータ α_a^{ij} 、 η_a^i 、 γ_a^i は、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、 α_a^{ij} 、 η_a^i 、 γ_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、輸送費用に関する項 τ_{ab}^i を考えよう。輸送費用に関する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 Venables⁴⁾ と同様の方法で推定する。具体的には、式 (17) 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：

$$\ln[X_{ab}^i] = FX_a^i + \ln[\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}] + FM_b^i. \quad (29)$$

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。

本研究では、輸送費用に関する項 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ に関して、次の 2 種類のモデルを考える：

- 地域間距離を直線距離で定義
- 地域間距離を道路による移動時間で定義

そして、その両モデルの特徴・道路整備効果の予測結果を比較することで、本研究において開発される SCGE モデルの特徴を明らかにする。

$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ は、地域内 (i.e., $a = b$)、地域間 (i.e., $a \neq b$) 別に、以下で与えられると考える：

直線距離の場合：

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \{\text{dist}_{ab}\}^{\tau^i} \quad (30)$$

ここで、 dist_{ab} は地域 a, b 間の直線距離を表す³⁾。ただし、地域内輸送距離 dist_{aa} は、Redding and Venables⁴⁾ と

³⁾ 本研究では、ArcGIS 上で計測された各地域の重心をセントロイドとした。

同様、地域 a の総面積 area_a を用いて、以下で与える:

$$\text{dist}_{aa} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\text{area}_a}{\pi}}. \quad (31)$$

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。

道路距離の場合:

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \begin{cases} \{\text{IC}_a\}^{\tau_{IC}^i} \cdot \{\text{dist}_{aa}\}^{\tau^i} & \text{if } a = b, \\ \{\text{dist}_{ab}\}^{\tau^i} & \text{if } a \neq b. \end{cases} \quad (32)$$

ここで、 dist_{ab} は地域 a, b 間の所要時間である。この所要時間は高速道路・国道・フェリーを利用した場合の最短所要時間で与える。なお、この最短所要時間は、高速道路、国道、フェリーの速度を、各々、80km/h, 35km/h, 35km/h として、ArcGIS により計算した。また、地域内の所要時間 dist_{aa} は、直線距離の場合と同じ距離 (31) を、国道と同じ速度 (i.e., 35km/h) で移動すると想定して与えた。また、 IC_a は地域 a に存在するインターチェンジ数を表す。ただし、インターチェンジが存在しない地域については $\text{IC}_a = 1$ とした⁴。

そして、次の推定式により τ^i, τ_{IC}^i を得る:

直線距離の場合:

$$\ln[X_{ab}^i] = \text{FX}_a^i + \tau^i \ln[\text{dist}_{ab}] + \text{FM}_b^i + \xi_{ab}^i. \quad (33a)$$

道路距離の場合:

$$\ln[X_{ab}^i] = \begin{cases} \text{FX}_a^i + \tau_{IC}^i \ln[\text{IC}_a] + \tau^i \ln[\text{dist}_{aa}] + \text{FM}_a^i + \xi_{aa}^i & \text{if } a = b, \\ \text{FX}_a^i + \tau^i \ln[\text{dist}_{ab}] + \text{FM}_b^i + \xi_{ab}^i & \text{if } a \neq b. \end{cases} \quad (33b)$$

ここで、 ξ_{ab}^i は誤差項である。

輸送費用パラメータ τ^i, τ_{IC}^i を (33) から推定するには、財 i の地域間交易额に関するデータが必要となる。しかし、その詳細な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 2005 年 (最新) の地域間産業連関表を用いて推定する。ただし、沖縄は経済規模が小さく、かつ極端に他地域と離れた位置にあることから、ここでは省略した。なお、ここで注意が必要なのは、ここで示したパラメータ推定方法では、代替弾力性パラメータ σ^i の影響を分離できない点である。すなわち、上記の手法により得られる結果は、あくまで $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ の推定結果であり、代替弾力性の効果を除いた輸送技術・道路網の影響を推定できるわけではない。

⁴ インターチェンジが 0 または 1 箇所の場合、高速道路は地域内輸送に貢献しないと考えることができるため。

産業 i の財の代替弾力性 σ^i は、短期均衡条件 (17) で用いられていることから理解できるように、 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ 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 (7) 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:

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} S_a^i = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \left[\sum_{x \in \mathcal{X}} d_{ab,x}^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} m_{ab}^{ij} \right]. \quad (34)$$

具体的には、 μ^i は以下で与える:

$$\mu^i = \frac{\sum_a S_a^i - \sum_a \sum_j M_a^{ij}}{\sum_a Y_a}. \quad (35)$$

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:

$$Y_a = \sum_{i \in \mathcal{I}} \left[W_a^i + \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{I}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} \kappa_a N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \right]. \quad (36)$$

ψ_a^i は、短期均衡条件 (17) により設定する。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 W_a^i, K_a^i, S_a^i, Y_a は、基準均衡状態のデータから得られる。それゆえ、これまでに得られたパラメータ $\sigma^i, \tau_{ab}^i, \alpha_a^{ij}, \mu^i, \kappa_a$ を用いれば、 ψ_a^i が定まる。

(2) 長期均衡状態に関するパラメータ

次に、長期均衡条件 (21) を満たすためのパラメータ $\theta^A, \theta^L, \theta^C, \zeta_a, \zeta^i, \zeta_a^i, \zeta^i, \zeta_a^i$ のキャリブレーション方法を示す。まず $\theta^A, \theta^L, \theta^C$ は、 $\zeta_a = \zeta^i = \zeta_a^i = \zeta^i = \zeta_a^i = 0 \forall a, \tilde{a} \in \mathcal{A}, \forall i, \tilde{i} \in \mathcal{I}$ 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:

$$\mathcal{L} = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{x \in \mathcal{X}} \left[\frac{\hat{N}_{a,x}}{\lambda N} \ln [P_{a,x}] + \frac{\tilde{N}_{a,x}}{\tilde{N}_a} \ln [\tilde{P}_{a,x}] \right]. \quad (37)$$

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

$$\hat{N}_{a,x} - P_{a,x} \lambda N = 0, \quad \tilde{N}_{a,x} - \tilde{P}_{a,x} \tilde{N}_a = 0. \quad (38)$$

ただし、この方法では $\zeta_a, \zeta^i, \zeta_a^i, \zeta^i, \zeta_a^i$ の値は一意に決まらない。そこで、 $\zeta_1 = \zeta^1 = \zeta_1^1 = \zeta^1 = \zeta_1^1 = 0$ に基準化して残りのパラメータ値を決定する。

5. 輸送費用変化による効果：モデルの特徴の確認

本章では、都市雇用圏を基準として詳細化した SCGE モデルにおいて、“多極型の集積パターンを表現できる

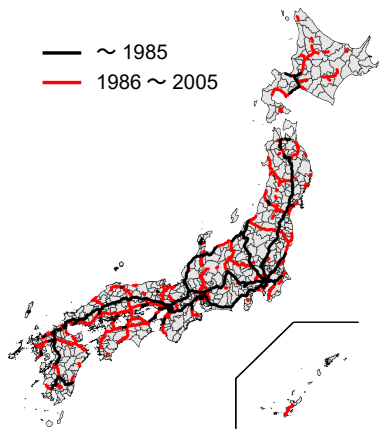


図-2 地域分割結果と 1985, 2005 年時点の高速道路網

モデル”であるかどうか確認を行う。

また、パラメータ推定・キャリブレーションの手順は前章で示した方法とは異なり、2005 年の国勢調査、各都道府県の産業連関表、地域間産業連関表のデータを用いて、高山ら²⁾に示した手順で実施した。具体的な計算手順については、本章で簡単に説明を行う。

さらに、輸送費用増加⁵⁾が各地域の人口に与える影響を調べることで、本モデルの特徴を詳しく見ていく。

なお、本分析は、高山ら²⁾と同様の手順で日本国内を都市雇用圏を基準に分割した、全 432 地域を対象に実施する。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。

(1) パラメータの推定・キャリブレーション結果

輸送費用パラメータ τ^i の推定には、地域間産業連関表に記載されている 8 地域⁶⁾間の距離、各地域の面積を得る必要がある。本研究では、この 8 地域のセントロイドを図 2 で分割した地域のうち人口最大地域の重心と設定する。そして、 dist_{ab} として、セントロイド間の直線距離を用いる。また、地域内輸送距離 dist_{aa} で用いる各地域の総面積 area_a は、ArcGIS から得られる面積を用いる。このとき、(33) の推定式より、 τ^i が以下の通り得られる：

$$(\tau^1, \tau^2, \tau^3) = (-1.372, -1.274, -1.603). \quad (39)$$

また、 $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \hat{Y}_a, W_a^i$ は、2005 年の産業連関表を用いて設定した。なお、各地域の産業連関表を作成するために、本研究では、都道府県毎のデータを各自自治体の就業者数に応じて分割し、市町村別の産業連関表を作成した。ただし、札幌市・神戸市・広島市・福岡市・

⁵⁾ ここでの輸送費用の増加は、2005 年から過去にさかのぼることを想定している。なお、輸送費用以外にも人口分布/産業集積の変化に大きな影響を与える要因 (e.g., 産業構造の変化) は数多く存在する。これらの影響を調べることは非常に重要であることから、今後必要なデータを整備し、その分析を実施する必要があると考えられる。

⁶⁾ 北海道地方、東北地方、関東地方、中部地方、関西地方、中国地方、四国地方、九州地方 (沖縄県を除く) の 8 地域

北九州市については 2005 年の産業連関表が存在したことから、そのデータを利用した。それと同時に、北海道・兵庫県・広島県・福岡県の他市町村については、各道県の産業連関表から上記都市分を差し引いたうえで、就業者数に応じて比例配分した。その後、各地域に属する市町村のデータを合算することで、地域別の産業連関表を作成した。

代替弾力性 σ^i は、Knaap and Oosterhaven⁵⁾ 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。より具体的には、Knaap and Oosterhaven⁵⁾ 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

$$(\sigma^1, \sigma^2, \sigma^3) = (11.1, 14.9, 16.4) \quad (40)$$

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、0.8 に設定した。また、 μ^i は、

$$(\mu^1, \mu^2, \mu^3) = (0.005, 0.301, 0.695) \quad (41)$$

となり、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が確認できた。

分散パラメータ $(\theta^A, \theta^L, \theta^C)$ の推定結果は、以下に示すとおりである：

$$(\theta^A, \theta^L, \theta^C) = (0.438, 2.721, 0.465). \quad (42)$$

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・資本の供給先・労働の供給先となることが確認できる。

(2) 輸送費用増加によるモデルの結果

本章では、地域間直線距離 dist_{ab} 一定割合で増加させ、安定均衡状態における各地域の人口シェアの変化を調べる：

$$\frac{\sum_{i \in \mathcal{I}} N_{a,i}^{L*} - \sum_{i \in \mathcal{I}} N_{a,i}^{LP}}{N} \times 100. \quad (43)$$

ここで、上付き添え字 * は基準均衡状態、P は輸送費用増加後の均衡状態 (過去を想定した状態) を表す。

本稿では、輸送費用の増加を、全地域内・地域間の輸送距離を同時に 20% 増加させることにより表現する。また、輸送距離の増加割合は、最初から大きな値に設定するのではなく、0% から 10% まで、0.1% 刻みで徐々に増加させた。

モデル解析により得られた各地域の労働人口の変化は、図-3 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、東京都市圏・名古屋都市圏に集中し、大阪都市圏では減少する傾向を示すことが分かる⁷⁾。

⁷⁾ 現実との比較として、1985 年から 2005 年における人口シェア変化においても、東京・名古屋都市圏は人口シェア増加、大阪都市圏は人口シェア減少の傾向を示しており、これらの結果は現実で見られる傾向と似ていることが分かる。

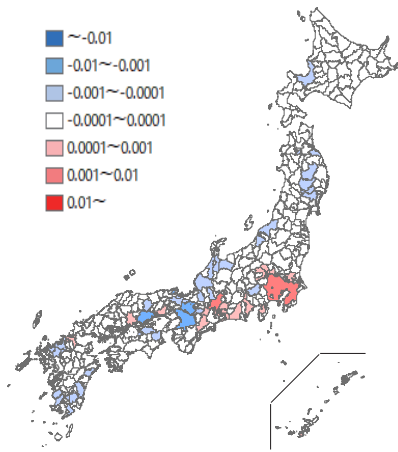


図-3 輸送費用変化による人口分布

次に、モデル解析で得られた労働人口変化に関する特徴を示しておこう。Akamatsu et al.⁶⁾において明らかにされているように、“多極型の集積パターンを表現できるモデル”には次の特徴がある⁸：

1. 輸送費用の減少は、大規模な地域の労働人口を増加させる。
2. 労働人口集積に空間的な周期性が現れる⁹。

高山ら¹⁾²⁾で用いた SCGE モデル¹⁰⁾は、高山ら²⁾で示されているように、“多極型の集積パターンを表現できるモデル”である。したがって、本分析で用いた SCGE モデルでも上記と同じ特徴を有していると考えられる。

そこで、このモデル特性が本解析にて実際に発現していることを確認しよう。そのために、以下の 2 種類の説明変数を用いた回帰モデルを構築し、各説明変数と人口変化率 ΔN_a^L との関係調べる：

$$\Delta N_a^L = \xi_0 + \xi_1 X_{1,a} + \xi_2 X_{2,a} + \varepsilon. \quad (44)$$

ここで、 $X_{1,a}$ は基準均衡状態における各地域の人口集積の程度を表す変数であり、各地域の労働人口シェアの対数で定義する：

$$X_{1,a} = \ln \left[\frac{\sum_{i \in \mathcal{I}} N_{a,i}^{L*}}{N} \right]. \quad (45a)$$

$X_{2,a}$ は人口集積の周期性を表す変数である。ここでは、この変数に愛知を中心に計測した、(東京・名古屋間の

⁸ ここで示した特徴は集積の経済を考慮したモデルに共通して見られるものではなく、多極型の集積パターンを説明できるモデル特有のものである。実際、多極型の集積パターンを説明できない (i.e., 集積に空間的な周期が現れない) モデル (Helpman⁷⁾, Allen and Arkolakis⁸⁾) では、輸送費用の減少は規模の大きい地域の人口を減少させる。これらの厳密な証明は、Akamatsu et al.⁶⁾ 参照。

⁹ 人口集積の空間的周期性の発現とは、空間的に一定の距離で隔てられた地域において人口集積が生じていることを指す。

¹⁰ 都市雇用圏を基準とした地域詳細化を行う前の 47 都道府県を対象としたモデル

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t 値
ξ_0	3.844×10^{-2}	2.366*
ξ_1	6.026×10^{-3}	2.828**
ξ_2	-2.077×10^{-4}	-2.866**

5%有意:* , 1%有意:**

距離とほぼ同じ) 260km 周期からの“ずれ”を用いた：

$$X_{2,a} = \min\{\delta_a, 260 - \delta_a\}, \quad (45b)$$

$$\delta_a = \text{dist}_{a, \text{愛知}} \bmod 260. \quad (45c)$$

なお、 $a \bmod b$ は a の b による剰余を表す。周期的な人口集積が発現する場合、 $X_{2,a}$ の値が小さい (大きい) 地域で人口が増加 (減少) する傾向が見られる。

このとき、重回帰モデルのパラメータ ξ_0, ξ_1, ξ_2 を推定した結果は、表-1 に示す通りである¹¹⁾。この結果から、パラメータの符号は前述したモデル特性と整合しており、有意に推定されていることが確認できる。この事実から、モデル解析における労働人口集中は、基準均衡状態において集積規模が大きい地域と、愛知を中心とした 260km 周期の場所に位置する地域で見られる傾向があることが分かる。

以上で示したモデルの特徴は、本解析において確認された「東京・名古屋都市圏に人口が集中する一方で、大阪都市圏で大幅な人口減少が生じる」(図-3) 主要な要因である。実際、名古屋と大阪の距離は約 140km となっており、名古屋都市圏を中心に 260km 周期で産業集積が進む場合、大阪都市圏は人口減少が発生する場所に位置する。

6. 道路整備の影響分析

本章では、開発した SCGE モデルを用いて、1986 年から 2005 年間に整備された高速道路を対象に、その効果分析を行う。まず、第 4 章に示した手順で実施したパラメータ推定・キャリブレーションの結果を示す。その後、我が国における高速道路整備の順序の違いによる数値解析を行うことにより、開発したモデルにおいて、“ヒステリシス現象”が見られることを示す。なお、1985 年までに整備された高速道路状況及び、1986 年から 2005 年に整備された高速道路状況を図-2 に示す。さらに、図-5~8 に 1985 年から 5 年ごとの高速道路状況

¹¹ 本推定結果が 3 大都市のみで成立しているかどうかを確認するために、東京都市圏・名古屋都市圏・大阪都市圏を除いたデータを用いた推定も実施した。その結果、 (ξ_0, ξ_1, ξ_2) の推定結果・t 値は、各々、 $(3.533 \times 10^{-2}, 5.726 \times 10^{-4}, -1.963 \times 10^{-4})$, $(2.031^*, 2.523^*, -2.679^{**})$ であった。この結果から、空間的な周期性は 3 大都市のみではなく全地域においても成立していることが分かる。なお、この空間的な周期性は、実際の都市の空間分布においても確認され始めている。その詳細は、Ikeda et al.⁹⁾, 大澤ら¹⁰⁾ 参照。

を示す。

(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, τ_{IC}^i の推定は、第 5 章と同様の手順で実施した。その結果、 τ^i, τ_{IC}^i が以下の通り得られた：

$$(\tau^1, \tau^2, \tau^3) = (-0.827, -0.735, -0.850), \quad (46a)$$

$$(\tau_{IC}^1, \tau_{IC}^2, \tau_{IC}^3) = (0.443, 0.426, 0.577). \quad (46b)$$

また、 $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \hat{Y}_a, W_a^i, \mu^i, \sigma^i$ も、第 5 章と同様の方法で設定した。

分散パラメータ $(\theta^A, \theta^L, \theta^C)$ の推定結果は、以下に示すとおりである：

$$(\theta^A, \theta^L, \theta^C) = (0.596, 2.694, 0.691). \quad (47)$$

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・資本の供給先・労働の供給先となることが確認できる。

(2) 道路整備の影響分析

本章では、1986 から 2005 年に整備された道路を対象とし、この期間における道路整備が与える影響を人口シェアの変化により調べる。その際、高速道路整備順の違い¹²が各地域に与える影響を明確にするために、まず、第 4 章に示した手順で 1985 年から 5 年ごとに、地域 a, b 間の所要時間 dist_{ab} を求めた。その後、次の 2 つの種類の仮想的な高速道路整備を実施し、式 (43) を用いて、安定均衡状態における各地域の人口シェアの変化を調べる：

1. 地域間の所要時間を 2005 年から 1985 年の水準に一度で変化させた場合¹³。
2. 地域間の所要時間を 2005 年から 5 年間隔で変化させ、それぞれの均衡状態を経由して 1985 年の地域間の所要時間まで変化させた場合¹⁴。

本分析では、1985 年から 2005 年の 5 年ごと時点の高速道路整備状況は再現できたが、国道・フェリーの整備状況を再現することが困難であったため、各年代の地域間距離は高速道路網のみを変更して算出した。ただし、国道・フェリーの整備水準の変化を反映するために、その速度を（道路統計年報から得られる）日本全国の国道実延長距離に応じて調整した。具体的には、1985 年における国道・フェリー速度は以下で与えて、所要時間を計算した：

$$\frac{[\text{1985 年の国道の実延長距離}]}{[\text{2005 年の国道の実延長距離}]} \times 35\text{km/h}. \quad (48)$$

¹² 全線同時整備の場合と 5 年ごとに整備状況を反映させた場合を考える。

¹³ これは、1985 年から 2005 年までの高速道路整備を全線同時に整備した状況を模擬している。

¹⁴ これは、5 年ごとに高速道路整備の推移を反映させた。

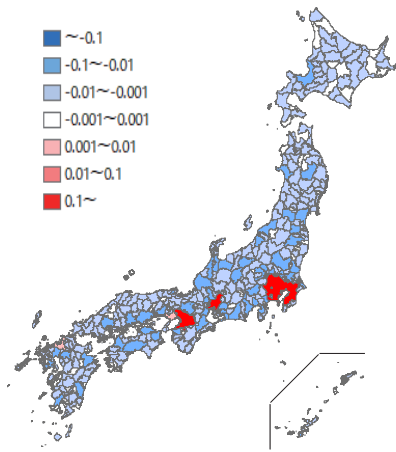
なお、高速道路の速度は 1985 年から 2005 年まで全ての年代で 80km/h から変化させていない。

均衡状態が一意に定まる（従来型の）SCGE モデルでは、1, 2 の結果が一致する一方、複数の均衡状態が存在しうる本研究の SCGE モデルでは両ケースの結果が大きく異なる。したがって、本章で示す結果は、集積の経済と労働者の地域間移動を考慮した SCGE モデルの特徴を反映したものである点に注意が必要である。

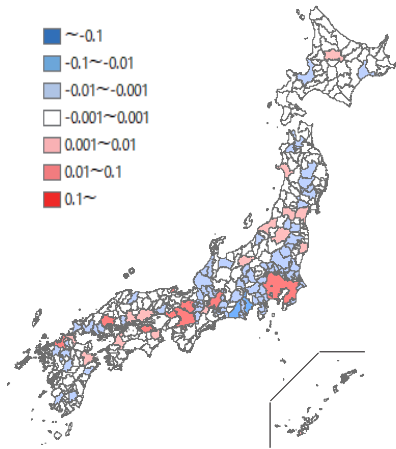
上記の条件のもとで得られた安定均衡状態における各地域の人口シェア変化は、図-4 のとおりである。この結果から、ケース 1 では、三大都市圏に加え、神戸市都市圏、福岡市都市圏といった特に大都市と言われている地域に人口が集積し、その他の地方都市ではストロー現象が見られた。図-2 から 1985 年時点では、政令指定都市の地域を中心に高速道路が整備されていたが、2005 年時には、広域的に高速道路の整備が進んだことが分かる。そこで、この期間に全線開通したことで、多くの地方都市は、大都市間との所要時間が大幅に減少したことから、大都市に人口が集積し、このように地方衰退が顕著に表れたと考えられる。

一方、ケース 2 では、均衡状態における人口シェア変化が三大都市圏などの大都市に加え、地方中心都市を含む多くの中核市でも人口の集積が見られた。これは、1985 年から 5 年ごとに整備状況を反映したことが大きく関わっていると考えられる。そこで、図-5~8 に 1985 年から 5 年ごとの高速道路整備の推移とその期間における人口シェア変化を示し、それぞれの期間における変化を順に説明していく。図-5 から、1985 年から 1990 年の 5 年間は、3 大都市圏に加え、いくつかの政令指定都市や地方中心都市（ケース 2 で増加傾向を示した地域の一部）で人口集積が見られた。この期間において、高速道路が政令指定都市から延びる形、もしくは、既存の高速道路と地方中心都市がつながる形で整備されたことが要因と考えられる。図-6 から、1990 年から 1995 年の 5 年間においても、三大都市圏といくつかの政令指定都市や地方の中心都市に人口集積が見られた。この期間の高速道路整備は、既存の高速道路と地方中心都市をつなぐ整備が中心であり、整備区間付近の地域で他地域間との所要時間の低下が見られたことから、人口集積が見られたと考えられる。図-7 から、この期間では、東京・大阪都市圏において人口シェアが減少し、名古屋都市圏で増加傾向が見られた。その他の地方で増加傾向を示した地域は、秋田市、山形市、長野市など地方の中心都市で確認できた。図-8 から、この期間では、三大都市圏やその周辺の人口規模が大きい地域（神戸市・京都市など）で人口集積が見られた。

以上をまとめると、1985 年から 2005 年の高速道路



a) 全線同時に整備



b) 5年ごとの高速道路整備を反映

図-4 1986年～2005年の道路整備による人口シェア変化

整備の順序は、地方中心都市¹⁵と既存の高速道路¹⁶が先につながり、地方中心都市において、他地域との所要時間が大幅に低下した。さらに、これらの地域は、人口規模が周辺の地方都市に比べ大きいことから、人口の増加が見られたと考えられる。その後、地方中心都市とその周辺の地方都市に高速道路網が整備され、その他の地方都市（人口規模が小さい地域）においても他地域との所要時間が大幅に減少し、これらの地方都市においては、大都市に対する魅力は高くなるものの、より近い距離にやや魅力の高い都市が存在したため、大都市だけでなく、地方中心都市にもさらに人口が集積したと考えられる。ケース2では、高速道路を順に整備したことでケース1に比べ地方中心都市における人口集積がより大きくなり、地方中心都市が衰退することなく、大都市と同様に人口集積が見られたと考えられる。

このように、本研究で開発した SCGE モデルにおい

¹⁵ このケース2で人口増加が確認できた地域も含む。

¹⁶ 1985年までに整備されていた高速道路

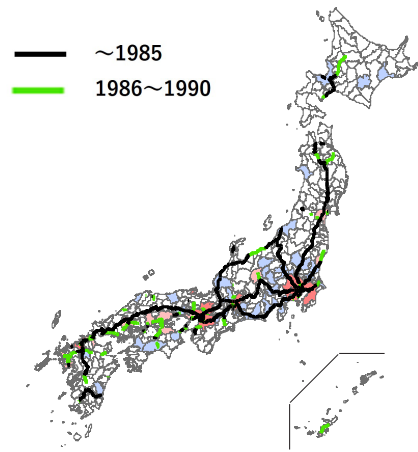


図-5 1985年～1990年の人口シェア変化と1985年1990年時点の高速道路

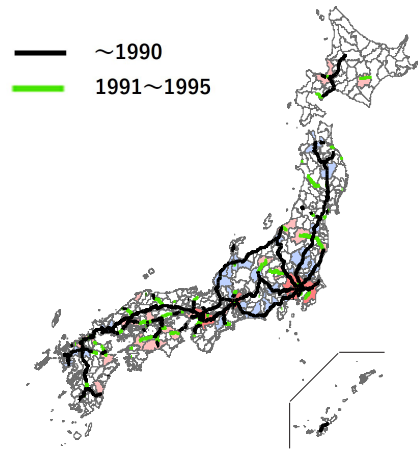


図-6 1990年～1995年の人口シェア変化と1990年1995年時点の高速道路

て、高速道路整備順の違いにより、人口分布の違いが見られ、“ヒステリシス現象”を示していることが確認できた。なお、本研究では、道路網の整備効果を分析できる枠組みに開発したモデルにおいて“ヒステリシス現象”が見られることに注目するため、産業構造・生産技術を表すパラメータ値を変化させていない。それゆえ、本研究は「“モデル挙動”を“実現象”と（定量的に）一致させる」ことを目指すものではない点に注意が必要である。

7. おわりに

本研究では、高山ら¹⁾が開発した集積の経済と人口移動を考慮した SCGE モデルを、道路整備の影響分析に適用可能な分析枠組に改良した。そして、集積の経済と人口移動を考慮した SCGE モデルにおいて、“ヒステリシス現象”が見られることを示した。より具体的には、1985年から2005年の期間を対象として、2種

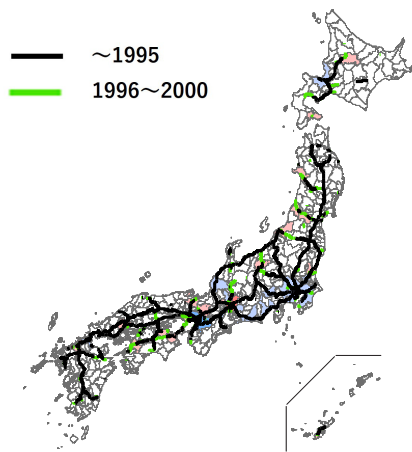


図-7 1995年～2000年の人口シェア変化と1995年2000年時点の高速道路

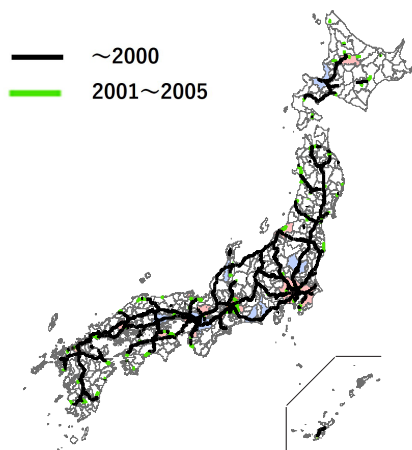


図-8 2000年～2005年の人口シェア変化と2000年2005年時点の高速道路

類の仮想実験を実施し、都市/地方部に与える影響を分析した：1) 地域間の所要時間を2005年から1985年に変化させた場合 2) 地域間の所要時間を2005年から5年間隔で変化させ、それぞれの均衡状態を経由して1985年の地域間の所要時間まで変化させた場合。そして、以下に示すように両シナリオ間での結果の傾向が大幅に異なることを明らかにした：1) では大都市のみ人口集積が確認でき、地方部ではストロー現象が確認できた一方で、2) では大都市だけでなく地方中心都市でも人口集積が確認できた。

このように、本研究で開発したモデルで実施した解析において“ヒステリシス現象”が確認でき、“集積の経済”と“人口移動”の両方を考慮したSCGEモデルならではの結果を得ることができた。そのため、本研究で開発したモデルでは、高速道路整備における様々な仮想実験も行うことができることが今後も期待できる。しかし、本稿に用いたモデルでは、道路整備による変化のみによる分析であり、生産技術・産業構造の変化等

の影響は考慮できていない。また、輸送費用の設定方法も荒い部分がある。それゆえ、本研究成果の妥当性・信頼性を検証するために、さらなる研究発展が不可欠である。

謝辞： 本論文は、高速道路調査会 研究助成（経済・経営研究部会）の助成金、日本学術振興会 科学研究費補助金（課題番号 18H01556, 18K18874）を受けた研究の一部である。ここに記し、感謝の意を表す。

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) 高山雄貴, 梶大介, 服部佑哉, 今川奈保, 石倉智樹: 集積の経済と労働者の地域間移動を考慮した空間応用一般均衡分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No. 1, pp. 82-100, 2018.
- 3) Fujita, M., Krugman, P. R., and Venables, A. J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*, MIT Press, 1999.
- 4) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol. 62, No. 1, pp. 53-82, 2004.
- 5) 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.
- 6) Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y.: Spatial scale of agglomerations: Theoretical foundations and empirical implications, *MPRA Paper, University Library of Munich, Germany*, 2017.
- 7) 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.
- 8) Allen, T. and Arkolakis, C.: Trade and the topography of the spatial economy, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 129, No. 3, pp.1085-1140, 2014.
- 9) Ikeda, K., Murota, K., Takayama, Y. and Kamei, M.: Hexagonal distributions of cities in Southern Germany and Eastern USA: Group-theoretic spectrum analysis, *MPRA Paper, University Library of Munich, Germany*, No. 79085, 2017.
- 10) 大澤実, 高山雄貴, 恩田幹久, 浅川遼, 池田清宏: 線分上の実人口分布の空間周波数解析, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 74, No. 1, pp. 50-63, 2018.

(2018. 7. 31 受付)