

集積の経済を考慮した空間応用一般均衡モデル による高速道路整備効果の分析

高山 雄貴¹・関野 景介²・山口 裕通³

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

³正会員 金沢大学特任助教 大学院自然科学研究科 (〒 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高速道路整備が経済活動の都市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を考慮した空間応用一般均衡モデルを、高速道路整備の効果を分析できる枠組みに改良する。そして、1985年～2005年の現実の人口分布の変化とモデルによる予測結果との整合性を確認したうえで、高速道路整備がもたらした大都市・地方都市の人口変化の特徴を調べる。

Key Words : *spatial computable general equilibrium model, agglomeration economies, population distribution, expressway*

1. はじめに

(1) 背景と目的

高速道路等の交通網整備は、短期的には都市間の人流・物流効率を大幅に改善する。その一方で、長期的には、地方都市に立地する支店の撤退等、小都市の経済活動が大都市に吸い取られるストロー現象(経済集積の進展)をもたらす原因にもなっている。経済学分野では、この経済集積の主要因が“集積の経済”と呼ばれる「多様な経済主体(企業, 労働者)の集中立地による生産効率の向上効果」であることを示す理論・実証研究が蓄積されてきた。

一方、政策効果の空間分布を評価するための代表的手法である SCGE 分析は、“集積の経済”と“人口移動”を無視している。したがって、既存の SCGE 分析では、“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., ストロー現象)”は記述できない。これは、既存の分析枠組では、“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であることを意味する¹⁾。

¹⁾ “集積の経済”と“人口移動(生産要素の地域間移動)”を考慮した枠組でも、政策の長期的効果の適切な評価には不十分となり得ることが、大澤・赤松²⁾, Akamatsu et al.³⁾により指摘されている。より具体的には、新経済地理学に基づいた枠組であっても、『大都市と地方都市を結ぶ交通基盤整備は地方都市経済を活性化させる』という非現実的な結果しか説明できないモデルが存在することが明らかにされている(e.g., Helpman⁴⁾に基づいた定量的空間経済モデル⁵⁾)。なお、本研究の分析で用いる SCGE モデルは、高山ら⁶⁾において説明されている通り、こ

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), 6)}は、新経済地理学(NEG)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いることから、“地域分割が都道府県単位”、“地域間距離を直線距離で定義しており、現実的な輸送網を表現できていない”といった限界がある。NEG 分野の知見により、特定の都市・地域に働く集積の経済効果は、都市・地域の人口・経済規模や輸送網の構造に強く依存することが知られていることから、これらの限界は SCGE 分析結果に大きな影響を与えている可能性が高い。それゆえ、既存研究の知見のみでは、開発されたモデルにより信頼性の高い政策効果分析が実施可能であるか否かを確認することが困難である。

そこで、本研究では、高山ら^{1), 6)}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する。そして、現実の交通網整備を模擬した数値解析を実施し、その結果と実現象を比較することで、SCGE モデルの特徴を確認する。さらに、得られた結果から、高速道路網の整備がもたらした大都市・地方都市の人口変化の特徴を整理する。

本論文の構成は、以下の通りである。本章(2)節で

これらの課題を解決した枠組である。

は、関連研究の成果と課題を整理したのち、本研究の位置づけを述べる。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、第 4 章でその導出方法を示す。なお、第 2-4 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 5 章で提示する。第 6 章では日本を都市雇用圏を基準とした地域に区分した上で、現実の交通網の変化を模擬した数値解析結果と実現象とを比較する。そして、その結果から、開発した SCGE モデルの特徴を明らかにする。その後、第 7 章にて、高速道路整備がもたらした大都市・地方都市の人口変化の特徴を、数値解析結果に基づき整理する。最後に、第 8 章で本研究の成果をまとめた後、今後の課題を述べる。

(2) 関連研究と本研究の位置づけ

SCGE モデルに関する研究は、これまでに膨大に蓄積されている。そして、それらの研究蓄積により、経済データを利用した分析手法の確立・汎用性の高い分析枠組みの構築といった成果があげられている。しかし、前述したように、これらの枠組みの殆どが“集積の経済”と“人口移動”を考慮していない。

NEG 分野では、“集積の経済”と“労働者の地域間移動”を考慮した一般均衡モデルに関する理論・実証研究が膨大に蓄積されてきた。そして、それらの研究蓄積により、経済活動が空間的に集積するメカニズムや現実の都市システムで観察される様々な特性の理解が深められてきた。それらの知見は、教科書としてまとめられるまでになっている (e.g., Fujita et al.⁷⁾, Baldwin et al.⁸⁾, Combes et al.⁹⁾, Fujita and Thisse¹⁰⁾, 佐藤ら¹¹⁾, 曾・高塚¹²⁾).

最近では、詳細な空間経済データが利用可能となったことから、これらの理論的知見に基づく計量分析が活発に行われるようになってきている (e.g., Redding and Sturm¹³⁾, Allen and Arkolakis⁵⁾, Redding¹⁴⁾, Behrens et al.¹⁵⁾). しかし、NEG に基づく最近の計量分析には、大澤・赤松²⁾, Akamatsu et al.³⁾ が指摘しているように、「現実の経済活動の空間的集積パターンが持つ多極性を内生的に表現しえない数理構造をもったモデルが選択されている」という重要な問題が存在する²⁾。これらと並行して、NEG 理論のエッセンスを導入した (i.e., 集積の経済を考慮した) SCGE モデルも数多

²⁾ “多極型の集積パターンを表現できる”というモデル特性が、現実の都市システムで観測される規則性 (都市階層原理, ランクサイゼルール) とモデルの整合化の鍵となることを示唆する研究成果も得られ始めている¹⁶⁾, ¹⁷⁾。これらの議論の詳細については、例えば高山¹⁸⁾ 参照。

く開発されている (e.g., Bröcker¹⁹⁾, Bröcker et al.²⁰⁾, Knaap and Oosterhaven²¹⁾, Thissen et al.²²⁾, Vold and Jean-Hansen²³⁾, 石倉・吉川²⁴⁾). しかし、そのいづれも、“労働者の地域間移動”を考慮していない。

これらの研究と比較して、本研究では、上述の課題を解決した高山ら¹⁾の SCGE モデルを発展させた枠組により分析を実施している点に特徴がある。さらに、現実的な政策効果分析への応用への重要なステップと考えられる、実現象とモデル挙動との整合性を具体的に検証している点も重要な特徴であろう。したがって、本研究を基礎としてさらなる研究が蓄積されれば、従来、不可能であった SCGE モデルによる長期的な政策分析を効果的に実施するための基盤が構築されると期待できる。

2. 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モデル

本章では、高山ら¹⁾が開発した、Core-Periphery モデル, Footloose Capital モデル, Vertical Linkage モデルを統合した、空間応用一般均衡モデルを紹介する。

(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³⁾。この経済には、 I 種類の産業と消費者が存在する。各々の産業は独占競争的であり、各産業の企業は、収穫逡増の技術により、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⁴⁾、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。労働は自地域のみしか供給できない⁵⁾ 一方、資本は自地域

³⁾ 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。

⁴⁾ 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。

⁵⁾ この仮定を導入することから、本モデルを用いた分析では都市・地域を単純に行政区で定義するのではなく、都市雇用圏²⁵⁾を用いるべきであると考えられる。

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⁶。

(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 Cobb-Douglas 型効用関数を用いる：

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

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 $r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}$ 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]

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

⁶ 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。

[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 $y_{a,\chi}$ 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 Stiglitz²⁶⁾ 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。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：

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

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⁷。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、

⁷ 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、Tavasszy et al.²⁷⁾ などにより、この設定にはいくつかの問題が指摘されている。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などの修正を加えることが重要であろう。

次の関係が成立する:

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

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

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 $q_{ab,\chi}^i(\nu)$, 他企業 $\tilde{\nu}$ からの需要関数 $z_{ba}^{ij}(\nu, \tilde{\nu})$ 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⁸。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]

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

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

⁸ Dixit and Stiglitz²⁶⁾ 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。

のように得られる:

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

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

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

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

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

ここで、 ϕ_a^i は生産要素の価格指数を表す。なお、(15a) より、標準的な NEG モデルと同様、財 i のマークアップ率は $\sigma^i / (\sigma^i - 1)$ で与えられることが確認できる。

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、 $q_{b\chi}^i(\nu), z_{ab}^{ij}(\nu, \tilde{\nu}), z_{ba}^{ij}(\nu), s_a^i(\nu), l_a^i(\nu), k_a^i(\nu)$ 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、 $p_{ab}^i, q_{b\chi}^i, z_{ab}^{ij}, z_{ba}^{ij}, s_a^i, l_a^i, k_a^i$ 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:

$$\rho_a^i = \left[\sum_{b \in \mathcal{A}} n_b^i \left\{ \frac{\beta_b^i \sigma^i}{\sigma^i - 1} \tau_{ba}^i \phi_b^i \right\}^{1-\sigma^i} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^i}}. \quad (16)$$

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、

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

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

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、本節では、まず最初に、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 IV の一覧表(表-6, 7)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：

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

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

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：

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

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

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⁹。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。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、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), (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：

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

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

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

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

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

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

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

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

⁹ 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。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。

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

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

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 の各市場の需給均衡条件を示す。

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 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：

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

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：

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

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：

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

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 $i \in I$ 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 $\chi = \{i, \tilde{a}, \tilde{i}\}$ 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、Akamatsu et al.³⁾ 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、Tabuchi and Thisse²⁸⁾、Murata²⁹⁾ 等と同様、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、一定割合入りの消費者しか地域・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：

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

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

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

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、

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

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

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)：

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

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

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

$P_L(V(i) + \zeta^i), P_C(\hat{V}(\tilde{a}, \tilde{i} | i) + \zeta_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}), P_A(v(a|i, \tilde{a}, \tilde{i}) + \zeta_a)$ 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：

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

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

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

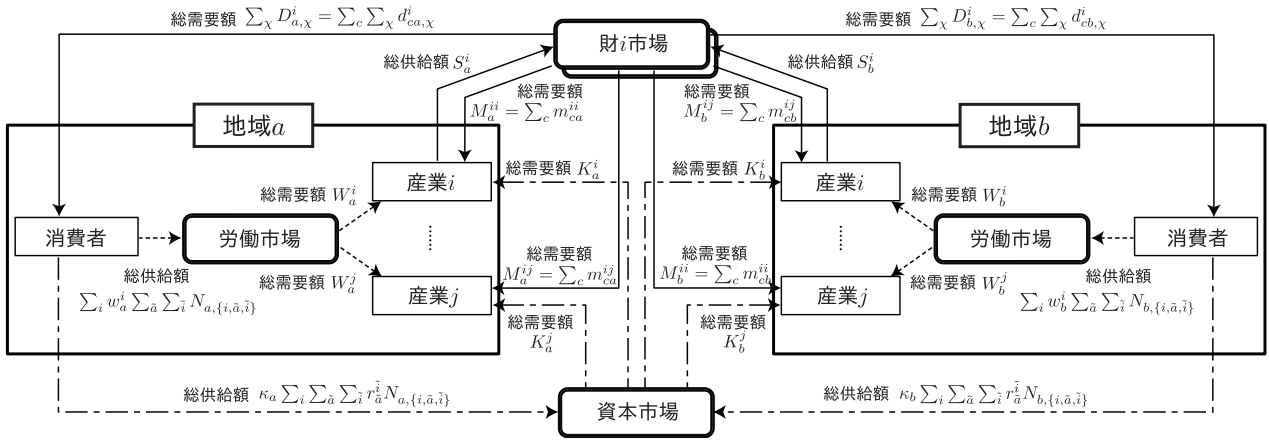


図-1 主体間の労働・資本・財 $i \in \mathcal{I}$ の取引関係の模式図 (矢印は財・サービスの流れる方向を表す)

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：

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

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

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

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

なお、 ζ_a , ζ^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¹⁰。

4. 均衡状態の解析手順

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。

(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：

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

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

¹⁰ これらの項 ζ_a , ζ^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。

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

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

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。

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

また、 Y_b は地域 b の消費者の総所得である：

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

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：

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

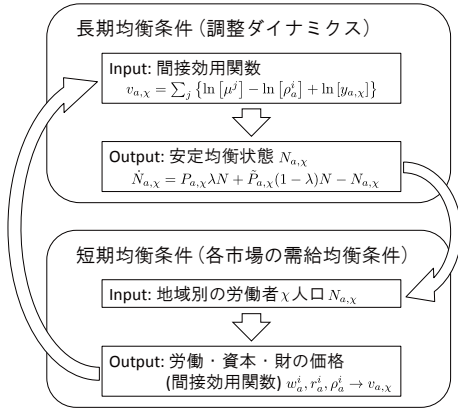


図-2 長期均衡状態の導出過程: 長期・短期均衡状態の関係

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

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

なお、この調整ダイナミクスは、進化ゲーム理論^{30), 31)}でその特性が良く知られている logit dynamic を nested 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¹¹⁾:

- 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 $\mathbf{N}^{(0)} = \{N_{a,\chi}^{(0)}\}$ を設定。
- step 1:** $n-1$ 回目の計算で得られた $\mathbf{N}^{(n-1)}$ 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 $\mathbf{N}^{(n)}$ を改訂する:
- $$\hat{N}_{a,\chi}^{(n)} = \hat{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (36a)$$
- $$\tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} = \tilde{N}_{a,\chi}^{(n-1)} + \tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n-1)}, \quad (36b)$$
- $$\hat{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ P_{a,\chi}(\mathbf{N}^{(n)})\lambda N - N_{a,\chi}^{(n)} \right\}, \quad (36c)$$
- $$\tilde{\Delta}_{a,\chi}^{(n)} = \delta \left\{ \tilde{P}_{a,\chi}(\mathbf{N}^{(n)})\tilde{N}_a - \tilde{N}_{a,\chi}^{(n)} \right\}. \quad (36d)$$
- ここで、 δ は調整ダイナミクス方向への均衡解の変化の割合を表すパラメータ、 $P_{a,\chi}(\mathbf{N}^{(n)})$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}(\mathbf{N}^{(n)})$ は $\mathbf{N}^{(n)}$ の下で得られる $P_{a,\chi}$ 、 $\tilde{P}_{a,\chi}$ である。
- step 3:** $\|\mathbf{N}^{(n)} - \mathbf{N}^{(n-1)}\| \leq \epsilon$ 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.,

¹¹⁾ 大規模な空間経済を考える場合は、Akamatsu et al.¹⁷⁾ により提案されている Fukushima³²⁾ 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。

Sandholm³¹⁾). 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考えられる。

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 α_a^{ij} 、 η_a^i 、 γ_a^i 、 τ_{ab}^i 、 σ^i 、 μ^i 、 $N_{a,\chi}$ 、 $\hat{N}_{a,\chi}$ 、 $\tilde{N}_{a,\chi}$ 、 κ_a 、 ψ_a^i の推定・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¹²⁾。

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 Venables³³⁾、Head and Mayer³⁴⁾ 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:

$$\ln[X_{ab}^i] = FX_a^i + FM_b^i + \ln[\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}]. \quad (37)$$

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。

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

¹²⁾ 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: $Y_a = \hat{Y}_a \{(\sum_a \sum_i W_a^i + K_a^i) / (\sum_a \hat{Y}_a)\}$ 。

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：

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

ここで、 dist_{ab} は地域 a, b 間の直線距離を表す¹³。ただし、地域内輸送距離 dist_{aa} は、Redding and Venables³³)と同様、地域 a の総面積 area_a を用いて、以下で与える：

$$\text{dist}_{aa} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\text{area}_a}{\pi}}. \quad (39)$$

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：

$$\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} = \begin{cases} \{\text{IC}_a\}^{\tau_{IC}^i} \cdot \{\text{dist}_{aa}\}^{\tau^i} & \text{if } a = b, \\ \{\text{dist}_{ab}\}^{\tau^i} & \text{if } a \neq b. \end{cases} \quad (40)$$

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、45km/h、45km/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 (39) を、国道と同じ速度 (i.e., 45km/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¹⁴。

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：

$$\ln[X_{ab}^i] = \text{FX}_a^i + \tau^i \ln[\text{dist}_{ab}] + \text{FM}_b^i + \xi_{ab}^i. \quad (41a)$$

道路距離の場合：

$$\ln[X_{ab}^i] = \begin{cases} \text{FX}_a^i + \tau_{IC}^i \ln[\text{IC}_a] + \tau^i \ln[\text{dist}_{aa}] + \text{FM}_a^i + \xi_{aa}^i & \text{if } a = b, \\ \text{FX}_a^i + \tau^i \ln[\text{dist}_{ab}] + \text{FM}_b^i + \xi_{ab}^i & \text{if } a \neq b. \end{cases} \quad (41b)$$

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 を推定式 (41) から推定する際には、財 i の地域間交易額に関するデータが必要と

なる。しかし、その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、輸送費用パラメータを推定する。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、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。

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、輸送費用に関する項 $\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i}$ 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 (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：

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} S_a^i = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{b \in \mathcal{A}} \left\{ \sum_{x \in \mathcal{X}} d_{ab,x}^i + \sum_{j \in \mathcal{I}} m_{ab}^{ij} \right\}. \quad (42)$$

したがって、 μ^i は以下の通り与えられる：

$$\mu^i = \frac{\sum_a S_a^i - \sum_a \sum_j M_a^{ij}}{\sum_a Y_a}. \quad (43)$$

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：

$$N_{a,i}^L = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{a,\{i,b,j\}}, \quad (44a)$$

$$N_{a,i}^C = \sum_{b \in \mathcal{A}} \sum_{j \in \mathcal{I}} N_{b,\{j,a,i\}}. \quad (44b)$$

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：

$$N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} = \frac{N_{\tilde{a},\tilde{i}}^C}{N} N_{a,i}^L. \quad (45)$$

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

¹³ 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。

¹⁴ 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。

下で与える:

$$\hat{N}_{a,\chi} = \lambda N_{a,\chi}, \quad (46a)$$

$$\tilde{N}_{a,\chi} = (1 - \lambda) N_{a,\chi}. \quad (46b)$$

このとき、 \tilde{N}_a は、次の形で表すことができる:

$$\tilde{N}_a = (1 - \lambda) \sum_{i \in \mathcal{I}} N_{a,i}^L. \quad (47)$$

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:

$$Y_a = \sum_{i \in \mathcal{I}} \left[W_a^i + \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} r_{\tilde{a}}^{\tilde{i}} \kappa_a N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \right]. \quad (48)$$

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:

$$Y_a - \sum_{i \in \mathcal{I}} W_a^i = \sum_{\tilde{a} \in \mathcal{A}} \sum_{\tilde{i} \in \mathcal{I}} \frac{\sum_i N_{a,\{i,\tilde{a},\tilde{i}\}} \kappa_a}{\sum_b \sum_j N_{b,\{j,\tilde{a},\tilde{i}\}} \kappa_b} K_{\tilde{a}}^{\tilde{i}}. \quad (49)$$

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 $\sigma^i, \tau_{ab}^i, \alpha^{ij}, \mu^i, C_{ad}^i$ 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:

$$S_a^i - \sum_{b \in \mathcal{I}} \frac{\{\tau_{ab}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_a^i}{\sum_k \{\tau_{kb}^i\}^{1-\sigma^i} \Phi_k^i} \left[\mu^i Y_b + \sum_{j \in \mathcal{I}} \alpha^{ij} S_b^j \right] = 0. \quad (50)$$

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 $\theta^A, \theta^L, \theta^C, \zeta_a, \zeta^i, \tilde{\zeta}_a^i, \tilde{\zeta}^i, \tilde{\zeta}_a^i$ 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、 $\zeta_a = \zeta^i = \tilde{\zeta}_a^i = \tilde{\zeta}^i = \tilde{\zeta}_a^i = 0 \forall a, \tilde{a} \in \mathcal{A}, \forall i, \tilde{i} \in \mathcal{I}$ 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:

$$\mathcal{L} = \sum_{a \in \mathcal{A}} \sum_{\chi \in \mathcal{X}} \left[\frac{\hat{N}_{a,\chi}}{\lambda N} \ln [P_{a,\chi}] + \frac{\tilde{N}_{a,\chi}}{N_a} \ln [\tilde{P}_{a,\chi}] \right]. \quad (51)$$

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

$$\hat{N}_{a,\chi} - P_{a,\chi} \lambda N = 0, \quad (52a)$$

$$\tilde{N}_{a,\chi} - \tilde{P}_{a,\chi} \tilde{N}_a = 0. \quad (52b)$$

ただし、この方法では $\zeta_a, \zeta^i, \tilde{\zeta}_a^i, \tilde{\zeta}^i, \tilde{\zeta}_a^i$ の値は一意に決まらない。そこで、ここでは、 $\zeta_1 = \zeta^1 = \tilde{\zeta}_1^1 = \tilde{\zeta}^1 = \tilde{\zeta}_1^1 = 0$ 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: 輸送費用変化による効果

本章では、2005 年の国勢調査、各都道府県・政令指定都市の産業連関表、地域間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。さらに、開発したモデルにより、高速道路網/輸送費用の変化¹⁵が各地域の人口に与える影響を調べ、実現象 (2005 年と 1985 年の間に観測された就業者数の変化の傾向) との対応を確認する¹⁶。

本分析は、日本国内を都市雇用圏を基準に分割した 432 地域を対象に実施する。具体的な地域分割手順は、付録 II 参照。なお、この地域分割結果は、図-3 に示すとおりである。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¹⁷。

(1) 輸送費用パラメータの推定

輸送費用パラメータ τ^i, τ_{1C}^i は、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-4 に示す 8 地域に分割する¹⁸。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 $d_{ab,\chi}^i, m_{ab}^{ij}$ 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。なお、8 地域のセントロイドは、図-3 で分割した地域のうち、人口最大地域の重心と設定し、 dist_{ab} をセントロイド間の距離 (直線距離または道路距離) で定義する。また、地域内輸送距離 dist_{aa} で用いる各地域の

¹⁵ 本分析で解析する高速道路網/輸送費用の変化は、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、今後は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。

¹⁶ 1985 年時点では全都道府県の産業連関表は整備されていないため、本稿では 2005 年時点のデータを利用した。

¹⁷ 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。

¹⁸ 沖縄は経済規模が小さいこと、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。



図-3 地域分割 (432 地域)

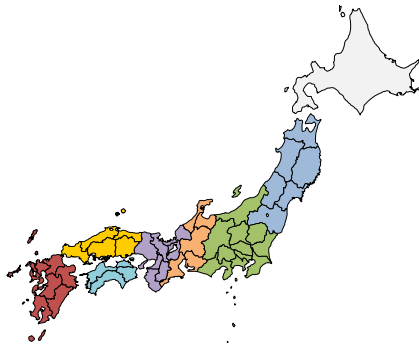


図-4 地域間産業連関表の地域分割

表-1 輸送費用パラメータの推定結果

パラメータ	推定値	
	直線距離	道路距離
τ^1	-1.372	-0.828
τ^2	-1.274	-0.741
τ^3	-1.603	-0.857
τ_{IC}^1	—	0.402
τ_{IC}^2	—	0.387
τ_{IC}^3	—	0.533

総面積 $area_a$ は、ArcGIS から得られる面積を用いる。すると、(41) の推定式より、 τ^i, τ_{IC}^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¹⁹。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 Oosterhaven²¹⁾ 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²⁰。

¹⁹ 谷川³⁵⁾ により示されているように、本稿で用いた産業連関表では、“地域外からの旅行者の旅行先での消費”をサービス部門の移出入として考えている。したがって、第三次産業の輸送費用パラメータの一部には人の移動費用が含まれていると捉えることができる。

²⁰ 第 5 章 (1) 節でも述べたとおり、本稿で用いた推定手法ではパ

表-2 $\theta^A, \theta^L, \theta^C$ の推定結果

パラメータ	推定値	
	直線距離	道路距離
θ^A	0.427	0.505
θ^L	2.710	2.703
θ^C	0.699	0.695

(2) その他のパラメータ推定・キャリブレーション

地域・産業別の労働人口 N_a^i には、総務省統計局で公表されている自治体・産業別の就業者数を与えた。また、 $\alpha_a^{ij}, \eta_a^i, \hat{Y}_a, W_a^i$ は、2005 年の産業連関表から得た。具体的には、各都道府県の産業連関表を各自治体の就業者数に応じて分割し、自治体毎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・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・福岡県の他自治体については、各道県の産業連関表から上記の都市のデータ分を差し引いたうえで、その就業者数に応じて比例配分した。その後、各地域 (i.e., 図-3 に示す 432 地域) に属する自治体のデータを合算することで、地域別のデータを作成した。

代替弾力性 σ^i は、Knaap and Oosterhaven²¹⁾ 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²¹。より具体的には、Knaap and Oosterhaven²¹⁾ 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

$$(\bar{\sigma}^1, \bar{\sigma}^2, \bar{\sigma}^3) = (11.1, 14.9, 16.4) \quad (53)$$

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、0.9 に設定した。また、 μ^i は、

$$(\mu^1, \mu^2, \mu^3) = (0.005, 0.301, 0.695) \quad (54)$$

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。

ロジットパラメータ ($\theta^A, \theta^L, \theta^C$) 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・資本の供給先・労働の供給先となることが確認できる。

(3) 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、輸送費用の増加が各地域・産業に与える影響を調べる。具体的には、次の式によって与えられる、総人口に占める各地域・産

ラメータ τ^i の推定の際、代替弾力性の影響を分離できない。
²¹ 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。

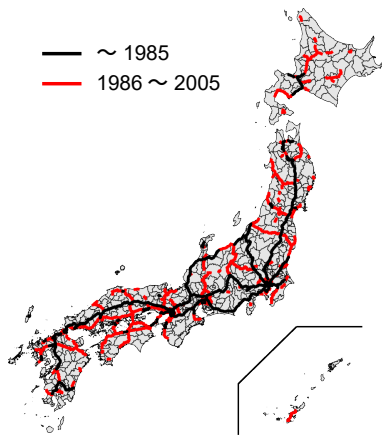


図-5 高速道路網

業の人口シェアの変化に着目する:

$$\frac{\sum_i N_{a,i}^{L*} - \sum_i N_{a,i}^{LP}}{N} \times 100 \quad (55)$$

ただし、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。

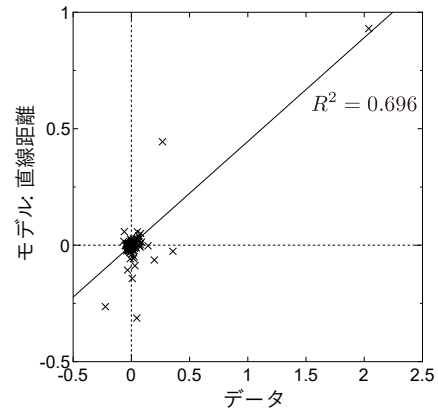
本研究では、地域間距離の定義に応じて、以下の輸送費用の変化を考える²²:

直線距離: 全地域内・地域間輸送距離を同時に 20%増加させる。

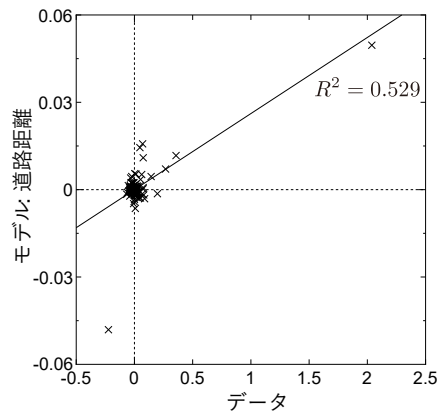
道路距離: 2005 年の高速道路網下の所要時間から、1985 年の高速道路網下の所要時間に変化させる(図-5)。ただし、高速道路網の整備効果に注目するために、本研究では高速道路以外の輸送網は変化させない。

さらに、数値解析により得られた各地域の人口シェアの変化と、1985 年から 2010 年までの現実の変化²³を比較する²⁴。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²⁵。

現実の就業者シェアの変化・モデル解析により得られた人口シェアの変化は、図-6, 7 に示す通りである。この結果から、地域間距離の定義によらず、東京・名古屋の人口シェア増加、大阪の人口シェア減少という傾向は、(その程度に違いはあるものの) 現実と一致している。一方、その他の地域の人口規模変化の傾向(i.e., 人口増/減)には違いも見られた。その特徴を地域規模別にまとめたのが、表-3 である(結果の詳細な内訳は、付録 III 参照)。この結果から、実データとモデルの人口



(a) 地域間距離に直線距離を用いた場合



(b) 地域間距離に道路距離を用いた場合

図-6 実データと数値解析結果の関係

表-3 実データとモデルの人口変化傾向の対応

地域間距離の設定	集計した地域 (表記都市を含む地域)	人口変化傾向が一致する割合
直線距離	全体	68.1% (294/432)
	政令指定都市	33.3% (5/15)
	中核市	66.7% (24/36)
道路距離	全体	66.4% (287/432)
	政令指定都市	86.7% (13/15)
	中核市	36.1% (13/36)

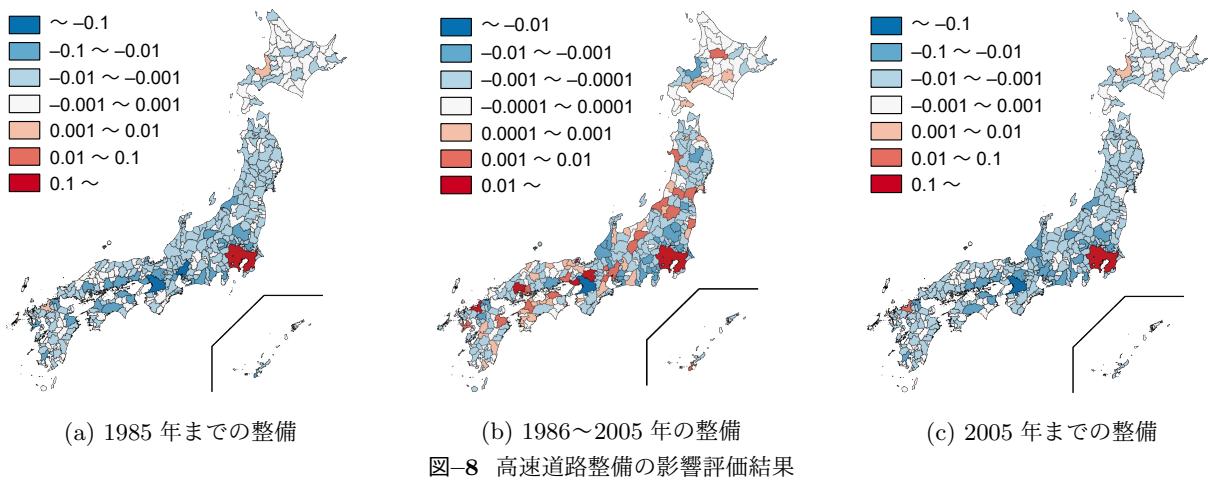
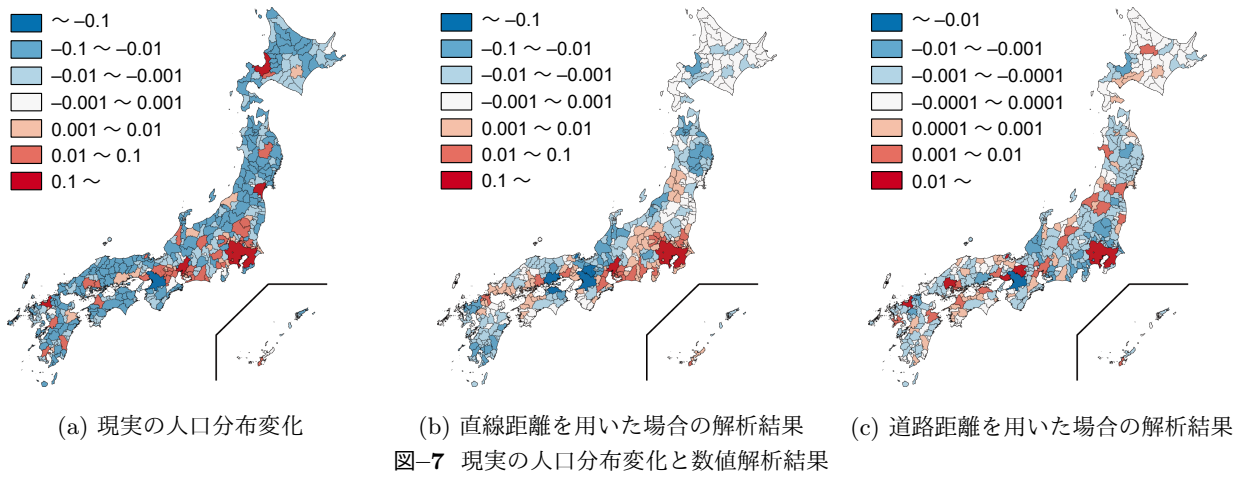
口変化傾向が一致する割合は、地域間距離の設定に依らず、ほぼ同じ値となっていることが確認できる(直線距離: 68.1%, 道路距離: 66.4%)。その一方で、政令指定都市を含む地域では道路距離、中核市を含む地域では直線距離に設定した方が、実現象と整合する傾向にある。これは、1985 年~2005 年の間の高速道路整備が政令指定都市の人口変化に大きな影響を与えた一方で、中核市の人口変化への影響は小さかったことを示唆している。なお、直線距離を用いた数値解析では、道路距離を用いた場合と異なり、全地域間距離を一定割合変化させている。それゆえ、中核市の人口変化は輸送技術の変化・より細かい交通網(e.g., 国道等の一般道)の整備

²² 数値解析では輸送費用の変化幅を 200 分割して、徐々に増加させた。

²³ 就業者数は各年の国勢調査データを用いた。

²⁴ なお、輸送費用を増加させるという操作は、開発したモデルにおいて輸送費用の変化が人口分布に与える影響を調べるために設定した仮想的なものであり、実現象(1985 年から 2005 年までの労働人口変化)とは無関係である。

²⁵ 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選好の変化・総人口等は変化しないと仮定しているため。



から大きな影響を受けたことを示していると捉えることもできる。以上の結果から、本稿で実施した SCGE 分析により実現現象を適切に表現するためには、高速道路整備だけでなく一般道路網や輸送技術の進展を考慮することが重要になると考えられる。

7. 高速道路整備の影響分析

本章では、地域間距離を道路距離で与えたモデルにより、高速道路整備が都市人口に与えた影響を分析する。特に、1985 年までに実施された東京を中心とした高速道路整備と、それ以降に実施された地方部へのネットワーク拡張が人口分布に与えた影響を調べる。

高速道路整備に関する数値解析結果は、図-8 に示すとおりである。ここで、(a) は 1985 年までの整備効果 (図-5 の黒線部分の整備効果)、(b) は 1986～2005 年の整備効果 (図-5 の赤線部分の整備効果)、(c) は 2005 年までの整備効果 (図-5 に記載の全路線の整備効果) の分析結果である。

(a) の結果から、1985 年までの東京を中心とした高速道路整備は、東京への人口集中を誘発していることが確認できる。ただし、それと同時に、札幌・福岡でも

人口増加が見られる。これは、両都市が東京から離れていることから、その影響 (e.g., 地方の企業と東京の企業間の競争) を受けにくい状況にあるためであると考えられる。また、(b) の結果より、1986～2005 年までの高速道路整備は、地方の政令指定都市の人口増加をもたらしていることもわかる。これは、この期間の整備が政令指定都市を中心とした整備となっていたためであると考えられる。ただし、(a) と (c) がほぼ同じ傾向を示していることから理解できるように、この時期の高速道路整備効果は限定的であり、高速道路整備全体の影響 (i.e., (c) に示した結果) の殆どは 1985 年までに建設された東京中心の高速道路網整備によるものであることが示唆される。

8. おわりに

本研究では、高山ら¹⁾が開発した集積の経済と人口移動を考慮した SCGE モデルを高速道路整備の効果分析に適用できる枠組みに改良した。そして、過去の高速道路整備が人口分布に与えた影響を調べた。その結果、1985 年から 2005 年の高速道路整備効果を模擬したモデル解析結果と現実の人口変化傾向が、人口規模の大

きい地域において一致していることが確認できた。さらに、1985 年までの高速道路整備は東京一極集中、それ以降の整備は政令指定都市の人口増加をもたらしたことを示唆する結果も得られた。

以上の結果は、特定の状況下での数値解析により得られたものである。現実的な政策効果分析への応用可能性の検証・適用計算の実施には、多様な状況におけるモデルの特性の理解、実現象との対応確認、モデルのさらなる改良が欠かせない。この方向の研究に必要な膨大な空間経済データは、近年、容易に取得できるようになっており、その基盤が整いつつあることから、今後の進展が期待される。

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)、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (B) (課題番号 18H01556)、若手研究 (B) (課題番号 15K18136) の助成金を受けた研究の一部である。ここに記し、感謝の意を表する。

付録 I. nested logit model の選択確率

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

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

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

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

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:

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

$$\hat{V}(i|a) = \frac{1}{\theta^C} \ln \left[\sum_{\tilde{a}} \sum_{\tilde{i}} \exp[\theta^C v(i|a, \tilde{a}, \tilde{i})] \right], \quad (\text{I.2b})$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

付録 II. 地域分割の手順

本研究では、日本国内を都市雇用圏²⁵⁾の区分に基づいて、次の手順で分割する。

表-4 政令指定都市を含む地域 (+: 人口増, -: 人口減)

都市雇用圏	実データ	モデル	
		直線距離	道路距離
札幌	+	-	-
仙台	+	-	+
東京	+	+	+
新潟	+	-	+
静岡	-	+	-
浜松	+	+	+
名古屋	+	+	+
京都	+	-	+
大阪	-	-	-
神戸	+	+	+
岡山	+	-	-
広島	+	-	+
福岡	+	-	+
北九州	-	+	-
熊本	+	-	+

- 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、都市雇用圏に含まれているものは、該当する地域に分類する。
- 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 (e.g., 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。

なお、都市雇用圏とは、(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。その具体的な定義は、金本・徳岡²⁵⁾ 参照。

付録 III. 数値解析結果と実現象の対応

政令指定都市を含む地域、中核市を含む地域における数値解析により得られた結果と実現象の対応は、各々、表-4,5 に示すとおりである。

付録 IV. 変数・パラメータ一覧表

本稿で用いた変数の定義を 表-6, パラメータの定義を 表-7 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) 大澤実, 赤松隆: 集積経済理論の実証におけるモデル構造選択の課題, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 1, pp. 1-15, 2017.
- 3) Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y.: Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications, *MPRA Paper, University Library of Munich, Germany*, 2018.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) Fujita, M., Krugman, P. R. and Venables, A. J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*, MIT Press, 1999.
- 8) Baldwin, R. E., Forslid, R., Martin, P., Ottaviano, G. I. P. and Robert-Nicoud, F.: *Economic Geography and Public Policy*, Princeton University Press, 2003.
- 9) Combes, P.-P., Mayer, T. and Thisse, J.-F.: *Economic Geography: The Integration of Regions and Nations*, Princeton University Press, 2008.
- 10) Fujita, M. and Thisse, J.-F.: *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location, and Globalization*, Cambridge University Press, 2013.
- 11) 佐藤泰裕, 田淵隆俊, 山本和博: 空間経済学, 有斐閣, 2011.
- 12) 曾道智, 高塚創: 空間経済学, 東洋経済新報社, 2016.
- 13) Redding, S. J. and Sturm, D. M.: The costs of remoteness: Evidence from German division and reunification, *American Economic Review*, Vol. 98, No. 5, pp. 1766-1797, 2008.
- 14) Redding, S. J.: Goods trade, factor mobility and welfare, *Journal of International Economics*, Vol. 101, pp. 148-167, 2016.
- 15) Behrens, K., Mion, G., Murata, Y. and Südekum, J.: Spatial frictions, *Journal of Urban Economics*, Vol. 97, pp. 40-70, 2017.

表-5 中核市を含む地域 (+: 人口増, -: 人口減)

都市雇用圏	実データ	モデル		都市雇用圏	実データ	モデル	
		直線距離	道路距離			直線距離	道路距離
旭川	-	-	+	豊田	+	+	-
函館	-	-	+	和歌山	-	+	+
青森	-	-	-	姫路	+	+	+
八戸	-	-	+	松江	-	-	+
盛岡	+	-	-	鳥取	-	-	-
秋田	-	-	+	福山	-	+	-
いわき	-	-	+	呉	-	+	+
郡山	-	-	-	下関	-	+	+
福島	-	-	-	高松	-	-	+
宇都宮	+	-	-	松山	+	+	+
前橋	+	+	-	高知	-	-	-
高崎	+	+	-	久留米	+	+	-
富山	+	-	-	長崎	-	-	+
金沢	+	-	-	佐世保	-	-	-
長野	-	+	+	大分	+	-	+
岐阜	-	-	-	宮崎	+	-	+
豊橋	+	+	-	鹿児島	+	-	-
岡崎	+	+	-	那覇	+	+	+

表-6 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 ($y_{a,\{i,\bar{a},\bar{i}\}} = w_a^i + \kappa_a r_a^i$)
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		

- 16) Tabuchi, T. and Thisse, J.-F.: A new economic geography model of central places, *Journal of Urban Economics*, Vol. 69, No. 2, pp. 240–252, 2011.
- 17) Akamatsu, T., Mori, T. and Takayama, Y.: Spatial coordinations among industries and the common power law for city size distributions, *mimeograph*, 2014.
- 18) 高山雄貴：空間経済分析と新経済地理学：経済活動の

- 都市集積メカニズムを考慮した経済モデル, 都市計画, Vol. 66, No. 2, pp. 18–21, 2017.
- 19) 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.
- 20) Bröcker, J., Korzhenevych, A. and Schürmann, C.:

表-7 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 の企業の間接財 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		
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

Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 44, No. 7, pp. 795–811, 2010.

- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) Vold, A. and Jean-Hansen, V.: *PINGO—A model for prediction of regional and interregional freight transport in Norway*, Oslo, TOI, 2007.
- 24) 石倉智樹, 吉川光志: 大都市圏における交通整備評価のための空間的応用一般均衡モデル, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 73, No. 4, pp. 228–243, 2017.
- 25) 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.
- 26) Dixit, A. K. and Stiglitz, J. E.: Monopolistic competition and optimum product diversity, *American Economic Review*, Vol. 67, No. 3, pp. 297–308, 1977.
- 27) Tavasszy, L. A., Thissen, M. J. P. M. and Oosterhaven, J.: Challenges in the application of spatial computable general equilibrium models for transport appraisal, *Research in Transportation Economics*, Vol. 31, No. 1, pp. 12–18, 2011.
- 28) Tabuchi, T. and Thisse, J.-F.: Taste heterogeneity, labor mobility and economic geography, *Journal of Development Economics*, Vol. 69, No. 1, pp. 155–177, 2002.
- 29) Murata, Y.: Product diversity, taste heterogeneity, and geographic distribution of economic activities: market vs. non-market interactions, *Journal of Urban Economics*, Vol. 53, No. 1, pp. 126–144, 2003.
- 30) Fudenberg, D. and Levine, D. K.: *The Theory of Learning in Games*, MIT Press, 1998.
- 31) Sandholm, W. H.: Local stability under evolutionary game dynamics, *Theoretical Economics*, Vol. 5, No. 1, pp. 27–50, 2010.
- 32) 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.
- 33) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol. 62, No. 1, pp. 53–82, 2004.
- 34) Head, K. and Mayer, T.: The empirics of agglomeration and trade, in Henderson, J. V. and Thisse, J.-F. eds. *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, pp. 2609–2669, 2004.
- 35) 谷川隆通: 経済産業省の地域表における 移出入の考え方: 産業連関表作成の現場から (1), *産業連関*, Vol. 20, No. 2, pp. 147–164, 2012.

(2017. 7. 25 受付)