

# 交通分野の技術革新が 経済活動の空間分布に与える影響： 空間経済モデルを活用したシナリオ分析

杉本 達哉<sup>1</sup>・高山 雄貴<sup>2</sup>・高木 朗義<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)

E-mail: tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 金沢大学准教授 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

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

<sup>3</sup>正会員 岐阜大学教授 社会システム経営学環 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)

E-mail: a\_takagi@gifu-u.ac.jp

本研究は、交通分野の技術革新による東京一極集中是正の可能性を探るため、劇的な輸送効率の改善が経済活動の空間分布に与える影響の特徴を明らかにすることを目的とする。そのために、地域間交通網の輸送効率改善に着目したシナリオを設定する。そして、先行研究で開発された定量的空間経済学に基づく空間経済モデルを用いて反実仮想実験を実施する。そこから、劇的な輸送効率改善による空間分布変化の特徴を明らかにする。

**Key Words:** *quantitative spatial economics, population distribution, impact assessment, innovation, scenario analysis*

## 1. はじめに

日本では、東京圏への人口集積 (ie., 東京一極集中) が進行している。これを一つの要因として、地域衰退が深刻な社会問題となりつつある。このような経済活動の空間分布の偏在を解消するために、1962年以来、国土計画が進められてきた。現在は第二次国土形成計画<sup>1)</sup>に基づき、「コンパクト+ネットワーク」による東京一極集中の是正を図っている。しかし、依然としてその政策目標を達成できていない。

交通分野の技術革新による輸送効率の劇的な改善は、東京一極集中の是正に貢献できる可能性を持つ。実際、過去に劇的な輸送効率改善をもたらした、高速道路整備は人口分布を変化させている<sup>2)</sup>。近年盛んに社会実験が行われている、トラックの隊列走行や自動運転などは、輸送効率を大きく向上させることが期待され、東京一極集中を是正させる可能性を持つ。

しかし、官公庁が公表する交通分野の技術革新に関する計画<sup>(例えば 3)</sup>では、東京一極集中の是正に関連する記述は見られない。つまり、交通分野の技術革新による輸送

効率の劇的な改善が経済活動の空間分布 (ie., 人口分布) に与える影響は把握されていない。よって、官公庁の想定するシナリオが東京一極集中の是正に貢献できる保証はない。

東京一極集中是正といった、国土構造変化に関わる政策の方向性を検討するには、政策の長期的な影響を把握できる地域政策評価手法が必要となる。これまで、地域政策評価として、土木計画学分野を中心に空間的応用一般均衡 (SCGE) モデルの研究・開発が蓄積されてきた<sup>4)</sup>。SCGEモデルはミクロ経済理論と整合的であり、合理的な政策評価が可能である。しかし、地域間の人口移動が生じないことを仮定しており、比較的短期の影響を評価する手法と言える。つまり、SCGEモデルは人口・経済活動の長期的な影響を把握する分析枠組ではない。

一方で、人口や経済の集積現象に関する理論的な研究が新経済地理学 (New Economic Geography : NEG) 分野で蓄積されてきた<sup>5)</sup>。近年、この理論を応用する研究が盛んになっており、定量的空間経済学 (Quantitative Spatial Economics : QSE) と呼ばれている<sup>6)</sup>。これらの QSE 分析は、日本の特徴的な空間分布変化 (ie., ストロー現象)

を表現できないといった、重大な問題があった<sup>7)</sup>。しかし、直近の研究によりその問題を解決した地域経済分析枠組が開発されたところである<sup>8)</sup>。ただし、先行研究<sup>9)</sup>では、劇的な輸送効率改善に着目した分析は実施されておらず、東京一極集中是正に貢献できる劇的な輸送効率改善の条件に関する知見を得られていない。

本研究では、交通分野の技術革新による東京一極集中是正の可能性を探るため、劇的な輸送効率の改善が経済活動の空間分布に与える影響の特徴を明らかにすることを目的とする。そのために、地域間交通網の輸送効率改善に着目した特徴的なシナリオを設定する。そして、先行研究で開発された空間経済モデルを用いて、シナリオに基づく反実仮想実験を実施する。その結果から、劇的な輸送効率改善による経済活動の空間分布変化 (ie., 人口分布変化) の特徴を明らかにする。

本稿の構成は以下のとおりである。第 2 章では、本研究で用いる杉本ら<sup>8)</sup>のモデルを説明する。第 3 章では、反実仮想実験に必要となるパラメータ設定について説明する。第 4 章では、劇的な輸送効率改善に着目したシナリオの設定を行う。第 5 章では、シナリオに基づく反実仮想実験を実施し、その結果から、劇的な輸送効率改善による人口分布変化の特徴を調べる。最後に、第 6 章で本論文の成果と今後の課題を述べる。

## 2. モデル

### (1) 地域・経済環境の設定

地域は離散的に  $K$  箇所存在し、地域の集合を  $\mathcal{K} \equiv \{1, 2, \dots, K\}$  と表現する。地域  $i \in \mathcal{K}$  の面積は  $A_i$  とする。次に、この経済には消費者と企業が存在する。消費者は、地域全体に  $H$  存在し、居住する地域  $i$  を選択できる。各地域  $i$  に立地する消費者の数を  $h_i \geq 0$  と表現する。消費者は自地域の企業に労働を非弾力的に 1 単位供給する。企業は、収穫増の技術により、労働と土地を生産要素として、差別化された財を生産する。

### (2) 主体の行動

#### a) 消費者行動

消費者が居住することによる効用を Cobb-Douglas 型の効用関数により表現する：

$$U_i = \bar{u}_i \left( \frac{a_i}{\alpha} \right)^\alpha \left( \frac{Q_i}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha}, \quad (1a)$$

$$Q_i = \left[ \sum_{j \in \mathcal{K}} \int_0^{n_j} q_{ji}(k) \frac{\sigma-1}{\sigma} dk \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}. \quad (1b)$$

ここで、 $\alpha \in (0, 1)$  は土地への支出割合を表すパラメータ、 $\bar{u}_i$  は地域  $i$  のアメニティ水準 (e.g., 気候, 地形条件)

を表す所与の定数、 $a_i$  は土地の消費量、 $Q_i$  は差別化財の消費により得られる部分効用を表す。 $n_j$  は地域  $j$  で生産される差別化財のバリエティ (種類) 数、 $q_{ji}(k)$  は地域  $j$  で生産され地域  $i$  で消費される財バリエティ  $k$  の消費量である。 $\sigma > 1$  はこれらの財バリエティ間の代替の弾力性である。

消費者の予算制約は次のとおりである：

$$y_i = r_i a_i + \sum_{j \in \mathcal{K}} \int_0^{n_j} p_{ji}(k) q_{ji}(k) dk. \quad (2)$$

ここで、 $r_i$  は地代、 $p_{ji}(k)$  は地域  $j$  で生産されて地域  $i$  で消費される財バリエティ  $k$  の価格を表す。

消費者の所得  $y_i$  は賃金  $w_i$  と地代収入  $\bar{w}^R$  からなる：

$$y_i = w_i + \bar{w}^R. \quad (3)$$

ここで、全ての土地が全消費者により均等に所有されていると仮定し、消費者の地代収入は以下で与えられる：

$$\bar{w}^R = \frac{\sum_{i \in \mathcal{K}} r_i (a_i h_i + a_i^F n_i)}{H}. \quad (4)$$

効用最大化問題から、土地、財の消費量  $a_i$ 、 $q_{ji}(k)$  と財消費の部分効用  $Q_i$  が得られる：

$$a_i = \alpha \frac{y_i}{r_i}, \quad (5a)$$

$$q_{ji}(k) = \left( \frac{p_{ji}(k)}{P_i} \right)^{-\sigma} Q_i, \quad (5b)$$

$$Q_i = (1 - \alpha) \frac{y_i}{P_i}. \quad (5c)$$

ここで、 $P_i$  は財の価格指数であり、以下で定義される：

$$P_i = \left[ \sum_{j \in \mathcal{K}} \int_0^{n_j} p_{ji}(k)^{1-\sigma} dk \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}. \quad (6)$$

式(1a)に式(5a)、式(5c)を代入すると、地域  $i$  に居住する消費者の間接効用  $v_i$  は次のように表される：

$$v_i = \bar{u}_i r_i^{-\alpha} P_i^{-(1-\alpha)} y_i. \quad (7)$$

#### b) 企業行動

企業は、独占的競争市場下で土地・労働を投入して財を生産する。規模の経済、消費者の多様性選好、ならびに供給できる財のバリエティ数に制限が無いことから、どの企業も必ず他企業とは異なるバリエティの財を生産する。このため、地域  $i$  で生産を行う企業数は、供給する財のバリエティ数  $n_i$  と等しくなる。以降では、地域  $i$  でバリエティ  $k$  を生産する企業を地域  $i$  の企業  $k$  と呼ぶ。

地域  $i$  の企業  $k$  が財バリエティ  $k$  を生産するには、1 単位の固定的な投入と生産量  $s_i(k)$  に応じた  $\psi s_i(k)$  の限界的な投入が必要となる。Cobb-Douglas 型の生産技術を仮定するため、土地・労働の投入量との関係は以下となる：

$$1 + \psi s_i(k) = \left( \frac{a_i^F(k)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{l_i(k)}{1-\beta} \right)^{1-\beta}. \quad (8)$$

ここで、 $\beta \in (0, 1)$  は土地の投入割合を表すパラメータ、 $a_i^F(k)$ 、 $l_i(k)$  は、各々、地域の企業が投入する土地、労

働である。

財の地域間輸送には氷塊型の輸送費用がかかると仮定する。このため、地域*i*で生産された財バラエティ*k*の地域*j*における需要量 $q_{ij}(k)$ と供給量 $s_i(k)$ との間に、次の関係が成立する:

$$s_i(k) = \sum_{j \in \mathcal{K}} \tau_{ij} q_{ij}(k) h_j. \quad (9)$$

地域*i*の企業*k*は、独占的競争を仮定していることから、地域*j*の消費者の需要関数 $q_{ij}(k)$ を所与として、生産する財バラエティ*k*の価格 $p_i(k) = (p_{ij}(k))_{j \in \mathcal{K}}$ と土地・労働の投入量 $a_i^F(k)$ ,  $l_i(k)$ 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:

$$\max_{p_i(k), a_i^F(k), l_i(k)} \pi_i(k), \quad (10a)$$

$$\text{s.t. (5b), (8), (9).} \quad (10b)$$

ここで、 $\pi_i(k)$ は利潤であり、収入から土地・労働の費用を引いた、以下の形で与えられる:

$$\pi_i(k) = \sum_{j \in \mathcal{K}} p_{ij}(k) q_{ij}(k) h_j - r_i a_i^F(k) - w_i l_i(k). \quad (11)$$

この利潤最大化問題を解くと、財バラエティの価格 $p_{ij}(k)$ , 土地・労働の投入量 $a_i^F(k)$ ,  $l_i(k)$ が得られる:

$$p_{ij}(k) = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \psi \tau_{ij} m_i, \quad (12a)$$

$$a_i^F(k) = \frac{\beta}{r_i} \left\{ 1 + \psi \sum_{j \in \mathcal{K}} \tau_{ij} q_{ij}(k) h_j \right\} m_i, \quad (12b)$$

$$l_i(k) = \frac{1 - \beta}{w_i} \left\{ 1 + \psi \sum_{j \in \mathcal{K}} \tau_{ij} q_{ij}(k) h_j \right\} m_i, \quad (12c)$$

$$m_i = r_i^\beta w_i^{1 - \beta}. \quad (12d)$$

ここで、 $m_i$ は生産要素の価格を表す。利潤ゼロ条件より、財バラエティの供給量は次のとおり得られる:

$$s_i = \frac{\sigma - 1}{\psi}. \quad (13)$$

### (3) 均衡条件

均衡条件として短期均衡と長期均衡を扱う。短期均衡では、消費者が居住地を変更できないほどの短期に、土地・財・労働市場が均衡すると仮定する。長期均衡では、消費者が効用を最大化する居住地を選択することができると仮定する。各々の条件について順に示す。

#### a) 短期均衡条件

短期的には、消費者が地域間を移動できないという条件下で、土地・財・労働市場が均衡する。この短期均衡状態を満たす条件は、各市場の清算条件から与えられる。土地市場の清算条件は以下で与えられる:

$$\begin{cases} a_i h_i + a_i^F n_i = A_i & \text{if } r_i > 0, \\ a_i h_i + a_i^F n_i \leq A_i & \text{if } r_i = 0. \end{cases} \quad (14)$$

財市場の清算条件は、式(9)に式(5b), 式(13)を代入することで、以下で表される:

$$n_i m_i = \frac{1 - \alpha}{\sigma} \sum_{j \in \mathcal{K}} \frac{n_i m_i^{1 - \sigma} \tau_{ij}^{1 - \sigma}}{\sum_{k \in \mathcal{K}} n_k m_k^{1 - \sigma} \tau_{kj}^{1 - \sigma}} y_j h_j. \quad (15)$$

労働市場の清算条件を示す。地域*i*における労働供給量は消費者数 $h_i$ で与えられ、労働需要量は $l_i n_i$ となる。したがって、この条件は以下で表される:

$$w_i h_i = (1 - \beta) \sigma m_i n_i. \quad (16)$$

式(15), 式(16)より、 $w_i$ は以下の賃金方程式を満たす:

$$w_i h_i = (1 - \beta)(1 - \alpha) \sum_{j \in \mathcal{K}} \frac{w_i h_i m_i^{-\sigma} \tau_{ij}^{1 - \sigma}}{\sum_{k \in \mathcal{K}} w_k h_k m_k^{-\sigma} \tau_{kj}^{1 - \sigma}} y_j h_j. \quad (17)$$

以上の条件を用いることで、間接効用 $v_i$ が人口分布 $\mathbf{h}$ の関数で与えられる:

$$v_i(\mathbf{h}) = \bar{u}_i A_i^\alpha P_i^{-(1 - \alpha)} \left( \alpha y_i h_i + \frac{\beta}{1 - \beta} w_i h_i \right)^{-\alpha} y_i. \quad (18)$$

#### b) 長期均衡条件

長期的には、消費者は効用の高い地域に移動することができ、その居住地選択行動が定まる状態を長期均衡状態とする。この長期均衡状態は、以下の非線形相補性条件を満たす状態 $\mathbf{h}^*$ である:

$$\begin{cases} v^* = v_i(\mathbf{h}) & \text{if } h_i > 0, \\ v^* \geq v_i(\mathbf{h}) & \text{if } h_i = 0, \end{cases} \quad \sum_{i \in \mathcal{K}} h_i = H. \quad (19)$$

ここで、 $v^*$ は均衡効用水準を表す。

Pflüger and Tabuchi<sup>9)</sup>でも示されているとおり、長期均衡状態には安定・不安定な状態が複数存在する。安定的な均衡状態を得るために、長期均衡の安定性を次の replicator dynamic<sup>注1)</sup>によって判定する:

$$\dot{h}_i = F_i(\mathbf{h}) \equiv h_i \{v_i(\mathbf{h}) - \bar{v}(\mathbf{h})\}, \quad (20a)$$

$$\bar{v}(\mathbf{h}) = \sum_{i \in \mathcal{K}} v_i(\mathbf{h}) \frac{h_i}{H}. \quad (20b)$$

このダイナミクスの下での均衡状態 $\mathbf{h}^*$ の安定性は、 $F(\mathbf{h}^*) = (F_i(\mathbf{h}^*))_{i \in \mathcal{K}}$ の Jacobi 行列 $\nabla F(\mathbf{h}^*)$ の固有値により判定できる (i.e., 固有値の実部が全て負の場合に安定)。

#### c) 均衡状態の解析手順

本研究で用いるモデルには、安定・不安定な複数種類の均衡状態が存在し得る。このため、本節ではパラメータを変化させた場合に創発する安定的な均衡状態を導出する手順を示す。

短期均衡状態の地代 $r_i$ , 賃金 $w_i$ , 価格指数 $P_i$ , 生産要素の価格 $m_i$ は、短期均衡条件による非線形連立方程式を解くことで得られる。ただし、ワルラス法則の存在により、これらの条件式は $4K - 1$ の独立な方程式にしかならず、 $r_i, w_i, P_i, m_i$ は一意に定まらない。これらが定まるように、総賃金を $W$ として外生的に与えて基準化する条件を式(21)のとおり与える:

$$\sum_{i \in \mathcal{K}} w_i h_i = W. \quad (21)$$

パラメータの変化に伴い創発する安定的な均衡状態は、前述の式(21)の微分方程式により得られる。しかし、式(21)を直接解くことは不可能であるため、高山・杉山<sup>10)</sup>と同様に、ダイナミクス方向に徐々に人口分布 $\mathbf{h}$ を更新することで、安定均衡状態を調べる。具体的には、 $n$ 回目の更新で得られた人口分布を $\mathbf{h}^{(n)} = (h_i^{(n)})_{i \in \mathcal{X}}$ と表記すると、人口分布の更新は以下の形で表される：

$$h_i^{(n+1)} = h_i^{(n)} + \zeta F_i(\mathbf{h}^{(n)}). \quad (22)$$

ここで、 $\zeta$ はダイナミクス方向への人口分布の変化の度合いを表す正のパラメータである。

### 3. パラメータ設定

本章は、反実仮想実験に必要なパラメータの設定方法、使用するデータ、パラメータ設定結果を説明する。この内容は参考文献<sup>8)</sup>にとりまとめられているが、読者の便宜を図るために、本稿もその内容を説明する。

#### (1) パラメータ設定方法

本章では計量分析の実施に必要なパラメータ $\alpha, \beta, \sigma, \tau_{ij}^{1-\sigma}, \bar{u}_i$ のうち、輸送費用に関するパラメータ $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ およびアメニティ水準 $\bar{u}_i$ の設定方法を説明する。

##### a) 輸送費用の推定

輸送費用に関するパラメータ $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は、実データから直接設定することができないため、Redding and Venables<sup>11)</sup>の方法を参考に、パラメータ設定を行う。具体的には第1段階で輸送モードの選択に関する推定を行い、第2段階で輸送費用の推定を行う。 $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は、これらから得られる推定値を用いて設定する。

##### 第1段階

第1段階として、各輸送モードでの選択確率から、各々の選択効用に関するパラメータを推定する。ここで輸送モードは代表交通機関を扱う。

選択効用は地域内 (i.e.,  $i = j$ )、地域間 (i.e.,  $i \neq j$ ) 別に以下のように定義する：

$$V_{t,ij}^L = \begin{cases} \mu_t^L \text{dist}_{ij}^L + \phi \text{dum}_{ij} & \text{if } i = j, \\ \mu_t^L \text{dist}_{t,ij}^L + \phi \text{dum}_{ij} + \xi_t^L & \text{if } i \neq j, \end{cases} \quad (23a)$$

$$V_{t,ij}^P = \begin{cases} \mu_t^P \text{time}_{ij}^P & \text{if } i = j, \\ \mu_t^P \text{time}_{t,ij}^P + \nu_t^P \text{freq}_{t,ij}^P + \xi_t^P & \text{if } i \neq j. \end{cases} \quad (23b)$$

ここで、 $t$ は輸送モードの種類であり、 $L, P$ は各々、物流・人流を表す。 $\mu, \phi, \nu, \xi$ はパラメータ、 $\text{dist}_{ij}$ は地域 $i, j$ 間の距離、 $\text{time}_{ij}$ は地域 $i, j$ 間の所要時間、 $\text{freq}_{ij}$ は地域 $i, j$ 間の運行頻度である（ただし、運行本数が存在しない輸送モードは除く）。なお、地域内では主要な輸送モード1種類のみを想定し (i.e., 乗用車, 貨物車), 輸

送モードの選択は無いものとする。 $\text{dum}_{ij}$ は主要な輸送モード (i.e., 乗用車, 貨物車) の地域 $i, j$ に対する同一県間ダミーである。

この選択効用を用いて、地域間における輸送モードの選択確率および尤度関数は以下で表せる：

$$\theta_{t,ij}^L = \frac{\exp(V_{t,ij}^L)}{\sum_{k \in T} \exp(V_{k,ij}^L)}, \quad (24a)$$

$$\theta_{t,ij}^P = \frac{\exp(V_{t,ij}^P)}{\sum_{k \in T} \exp(V_{k,ij}^P)}, \quad (24b)$$

$$\lambda^L = \prod_{M \in ij} \prod_{k \in T} \{\theta_{k,M}^L\}^{N_{k,M}^L}, \quad (25a)$$

$$\lambda^P = \prod_{M \in ij} \prod_{k \in T} \{\theta_{k,M}^P\}^{N_{k,M}^P}. \quad (25b)$$

ここで、 $\theta$ は選択確率、 $T$ は選択モードの集合、 $\lambda$ は尤度関数、 $N_M$ は経路および交易が存在するサンプル $M$ の地域 $i, j$ 間の交易シェアである。

輸送モードの選択効用パラメータ $\mu_t^L, \mu_t^P, \phi, \nu_t^P, \xi_t^L, \xi_t^P$ は、式(25)を用いて最尤推定法により推定する。

##### 第2段階

第2段階として、地域 $i, j$ 間の交易额 $X_{ij}$ と地理的な輸送費用の関係から輸送費用の推計式を構築する。

前章で示したモデルでは、地域 $i, j$ 間の交易额 $X_{ij}$ と $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ の関係が次のように表されることを利用する：

$$\ln[X_{ij}] = \text{FX}_i + (1 - \sigma) \ln[\tau_{ij}] + \text{FM}_j + \text{const}. \quad (26)$$

ここで、 $\text{FX}_i$ は生産地 $i$ に関する項、 $\text{FM}_j$ は需要地 $j$ に関する項、 $\text{const}$ は定数項を表す。次に、交易额 $X_{ij}$ を第1段階で推定した選択効用のログサム変数で表現するために、 $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は以下で与えられると考える：

$$\tau_{ij}^{1-\sigma} = \begin{cases} \kappa [\exp(V_{1,ij}^L)]^{\theta^L} [\exp(V_{1,ij}^P)]^{\theta^P} & \text{if } i = j, \\ \kappa \left[ \sum_k \exp(V_{k,ij}^L) \right]^{\theta^L} \left[ \sum_k \exp(V_{k,ij}^P) \right]^{\theta^P} & \text{if } i \neq j. \end{cases} \quad (27)$$

ここで、 $V_1^L, V_1^P$ は乗用車および貨物車の選択効用、 $\theta^L, \theta^P, \kappa$ はパラメータである。ただし、 $\kappa$ に無関係に均衡状態は定まるため、 $\kappa$ の推定の必要はない。この定式化は、輸送費用最小化行動から得られる選択効用を用いて輸送費用を推計する、Allen and Arkolakis<sup>12)</sup>と同様の考えである。式(27)により、式(26)は次のように表される：

$$\ln[X_{ij}] = \begin{cases} \text{FX}_i + \theta^L V_{1,ij}^L + \theta^P V_{1,ij}^P + \text{FM}_j + \text{const} & \text{if } i = j, \\ \text{FX}_i + \theta^L \ln \left[ \sum_k \exp(V_{k,ij}^L) \right] + \theta^P \ln \left[ \sum_k \exp(V_{k,ij}^P) \right] + \text{FM}_j + \text{const} & \text{if } i \neq j. \end{cases} \quad (28)$$

ただし、ここでの $\text{const}$ は $\ln(\kappa)$ を含む。

式(28)の重回帰分析から $\theta^L, \theta^P$ を推定する。

以上，第 1 段階，第 2 段階のパラメータ推定結果および式(27)より， $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ を設定する。

**b) アメニティ水準の設定**

アメニティ水準 $\bar{u}_i$ の設定は，データにより与えられる $h_i$ が基準均衡状態 (ie., 政策を実施していない状況下での均衡状態) となるように設定する。この方法は，QSE 研究が採用しているものと同様のアプローチである。具体的には， $\alpha, \beta, A_i, h_i, W$ が与えられた下で式(17)，式(21)を満たすように賃金 $w_i$ を設定する。アメニティ水準 $\bar{u}_i$ は，これまでに得られた $w_i$ と $h_i$ から，式(19)の長期均衡条件を満たすように設定する。ただし，この条件のみでは $(\bar{u}_i)_{i \in \mathcal{K}}$ が一意に定まらないため， $\bar{u}_1 = 1$ と基準化する。

**(2) 使用データ**

反実仮想実験で対象とする地域区分は，高山・杉山<sup>10)</sup>と同様，日本国内を対象に都市雇用圏を基準として分割した 432 地域区分 (図-1) を用いる。ネットワークは，道路網，鉄道網，航空網，航路網を対象とした。ただし，航路網は道路網と一体と捉えて，道路網による輸送が不可能な地域間のみを航路網利用の対象とした。

モデルによる実空間を対象とした分析を可能とするために，2005 年を基準年として公的データ・民間データを収集・加工することでデータを整備した。使用したデータは表-1 に示すとおりである：

**消費者数 $h_i$ ：** 国勢調査の就業者数を使用して，都市雇用圏で集計した値とした。

**面積 $A_i$ ：** 国土数値情報の土地利用 3 次メッシュを使用して，このうち，経済活動に利用可能な土地利用用途 (ie., 田，その他の農用地，建物用途) の面積を都市雇用圏で集計した値とした。

**距離・所要時間：** デジタル道路地図 (DRM) および国土数値情報の海上経路・定期旅客経路，総合ナビゲーションアプリ『NAVITIME』を運営するナビタイムジャパン提供の代表地点間経路データを用いて設定した<sup>注2)</sup>。具体的には，輸送モードのうち，貨物車・乗用車 (船舶含む) については，DRM の高速道路・一般国道および海上経路・定期旅客航路を対象に，都市雇用圏の代表地点間で所要時間が最短となる経路をダイクストラ法で探索し，当該経路の距離・所要時間を用いた。このとき，各都市雇用圏の代表地点は，都市雇用圏内の最も人口が多い市区町村の役所とした。ただし，地域内の距離は，Redding and Venables<sup>11)</sup>と同様，地域 $i$ の総面積 $A_i$ に応じた， $(2/3)\sqrt{A_i/\pi}$ と設定した。地域内の所要時間は，地域内距離を道路交通センサスにより設定する速度<sup>注3)</sup>で除して設定した。輸送モードのうち，高速バス・鉄道・航空の距離・所要時間は，ナビタイムジャパン提供の経路データに基づき設定した<sup>注4)</sup>。データ上，地域間の経路が



図-1 地域区分

表-1 使用データ

| 項目                  | 出典                                   |
|---------------------|--------------------------------------|
| 消費者数 $h_i$          | 国勢調査 (2005 年)                        |
| 面積 $A_i$            | 国土数値情報 土地利用 3 次メッシュ (2005 年)         |
| 距離<br>$dist_{ij}$   | デジタル道路地図 (DRM) (2005 年)              |
| 所要時間<br>$time_{ij}$ | ナビタイムジャパン提供の経路データ (2019 年)           |
| 運行頻度<br>$freq_{ij}$ | 国土数値情報 海上経路 (2011 年)，定期旅客航路 (2012 年) |
| 交易シェア<br>$N_{ij}$   | ナビタイムジャパン提供の経路データ (同上)               |
| 交易額 $X_{ij}$        | 国土数値情報 港湾間流通量・海上経路 (同上)，定期旅客航路 (同上)  |
|                     | 全国貨物純流動調査 (2005 年)                   |
|                     | 全国幹線旅客純流動調査 (2005 年)                 |
|                     | 全国貨物純流動調査 (同上)                       |

無く，上記方法により距離・所要時間が設定できない場合は，地域間の経路無しと判断した。

**運行頻度：** 高速バス・鉄道・航空を対象に，ナビタイムジャパン提供の経路データの平日の一日当たりの運行本数を用いた。

**交易シェア $N_{ij}$ ：** 全国貨物純流動調査 (物流センサス)，全国幹線旅客純流動調査<sup>注5)</sup>を用いて設定した。具体的には，物流の交易シェアは物流センサスの輸送機関別の輸送量のシェア，人流の交易シェアは全国幹線旅客純流動調査 (元データ<sup>注6)</sup>) の移動人数の輸送機関別のシェアとした<sup>注7)</sup>。ただし，輸送モード選択に関するパラメータが主な交易の傾向を捉えた推定値となるよう，輸送量や移動人数が微小な場合はゼロと見なしてシェアを算定した<sup>注8)</sup>。

**交易額 $X_{ij}$ ：** 432 都市雇用圏間の取引額のデータが存在しないことから，物流センサスの輸送量 (重量) を代用した。なお，地域間産業連関表の金額シェアと物流センサスの重量シェアは相関係数 0.94 と高い相関が存在することが知られている<sup>13)</sup>。したがって，取引額を輸送量で

代用する妥当性は一定程度あると判断し使用した。

(3) パラメータ設定の結果

本節ではパラメータの設定結果を順に示す。まず、 $\alpha, \sigma$ は、Allen and Arkolakis<sup>12)</sup>でも使用される、実証研究の知見と整合する値に設定した。具体的には、土地の支出割合 $\alpha$ は家計の住宅への支出割合を基礎に0.3とした。代替弾力性 $\sigma$ はEaton and Kortum<sup>14)</sup>と整合するように9.0と設定した。土地の供給割合である $\beta$ は、先行研究<sup>10)</sup>で明らかにされた、ストロー現象を表現できる0.6とした。

つぎに、輸送費用推定の第1段階では、地域間交易シェア $\theta_{m,ij}^X$ のデータ(ただし、 $i \neq j$ のみ)を使用した集計ロジット<sup>注9)</sup>のパラメータを、R言語のoptim関数を用いて、最適手法の一つであるBFGSにより推定した。第2段階では、説明変数に関するデータは最小値で正規化したものを使用した。なお、推定にはR言語のlm関数を用いた。

第1段階の推定結果である選択効用パラメータを表-2,3に示す。表より、距離・所要時間に関するパラメータは負の値、運行頻度に関するパラメータは正の値であることが確認できる。これは、交通機関選択効用が、距離・所要時間の増加により効用が低下すること、運行頻度の増加により効用が増加することを意味しており、妥当な結果と言える。

表-2の物流に関する結果より、距離の推定値は $|\alpha_1^L| > |\alpha_4^L| > |\alpha_3^L|$ であり、かつ、鉄道と航空の定数項が負であることが確認できる。これは、距離が短いODでは貨物車・乗用車が利用されて、距離が長くなるにつれて航空や鉄道を利用する傾向にあることを表しており、直観と合った違和感の無い推定結果を得た。表-3の人流に関する結果では、所要時間の推定値は、 $|\alpha_3^P| \approx |\alpha_1^P| > |\alpha_4^P| \gg |\alpha_2^P|$ であり、定数項の推定値も踏まえると、所要時間の短いODは、物流と同様に、貨物車・乗用車が利用され、所要時間が長くなるにつれて、高速バス、航空、鉄道の利用が増加する傾向にあることを表している。次いで、運行頻度の推定値は、鉄道に比べて高速バス・航空が大きい。これは運行本数の増加に対する効用の増加分が大きいことを表しており、鉄道と比べて高速バスと航空は運行頻度が相対的に少なく運行頻度の重要度が高いことを踏まえると、直観に合った結果と言える。

第2段階の推定結果である物流・人流の選択効用に関するパラメータを表-4に示す<sup>注10)</sup>。表より、物流・人流ともに推定値は正の値となった。これは選択効用が増加するにつれて交易が増加することを示しており、妥当な結果であると言える。

アメニティ水準 $u_i$ も同様に、前述のパラメータ設定方法によりキャリブレーションを行った。紙面の都合上、結果を示すことは割愛する。

表-2 第1段階の推定結果(物流)

| 変数                   | パラメータ        | 推定値[t値]           |
|----------------------|--------------|-------------------|
| 距離:貨物車               | $\alpha_1^L$ | -3.79.E-03[-8.76] |
| 距離:鉄道                | $\alpha_3^L$ | -1.95.E-03[-5.17] |
| 距離:航空                | $\alpha_4^L$ | -2.91.E-03[-5.69] |
| 同一県間                 | $\zeta$      | 3.17[3.89]        |
| 定数項:鉄道               | $\xi_3^L$    | -4.53[-79.87]     |
| 定数項:航空               | $\xi_4^L$    | -4.19[-35.42]     |
| Sample size          |              | 52,587            |
| Null log likelihood  |              | -4.31.E+04        |
| Final log likelihood |              | -7.98.E+03        |
| $\rho^2$             |              | 0.8148            |

表-3 第1段階の推定結果(人流)

| 変数                   | パラメータ        | 推定値[t値]            |
|----------------------|--------------|--------------------|
| 所要時間:乗用車             | $\alpha_1^P$ | -2.61.E-02[-51.29] |
| 所要時間:高速バス            | $\alpha_2^P$ | -9.41.E-03[-17.35] |
| 所要時間:鉄道              | $\alpha_3^P$ | -2.65.E-02[-32.42] |
| 所要時間:航空              | $\alpha_4^P$ | -2.09.E-02[-13.84] |
| 運行頻度:高速バス            | $\phi_2^P$   | 1.30.E-02[2.740]   |
| 運行頻度:鉄道              | $\phi_3^P$   | 6.30.E-03[12.82]   |
| 運行頻度:航空              | $\phi_4^P$   | 1.18.E-02[4.010]   |
| 定数項:高速バス             | $\xi_2^P$    | -4.09[-31.90]      |
| 定数項:鉄道               | $\xi_3^P$    | -1.84[-32.32]      |
| 定数項:航空               | $\xi_4^P$    | -1.51[-9.433]      |
| Sample size          |              | 23,117             |
| Null log likelihood  |              | -2.52.E+04         |
| Final log likelihood |              | -1.20.E+04         |
| $\rho^2$             |              | 0.5233             |

表-4 第2段階の推定結果

| 変数      | パラメータ      | 推定値    | t値    |
|---------|------------|--------|-------|
| 物流の選択効用 | $\theta^L$ | 0.651  | 47.35 |
| 人流の選択効用 | $\theta^P$ | 0.723  | 38.94 |
| $R^2$   |            | 0.5632 |       |

4. シナリオの設定

本章では、劇的な輸送効率の改善による経済活動の空間分布の特徴的な変化を明らかにするために、輸送効率改善の適用地域の順序と改善程度に着目して、表-5のとおりシナリオを設定する。

本稿では、複数種類の輸送モードの物流・人流のうち、貨物車の劇的な輸送効率改善に着目する。これは、トラックの隊列走行の社会実験が近年盛んに実施されており、他の輸送モードに先んじて、劇的な輸送効率改善の進展が期待できるためである。

輸送効率改善の設定は、地域間OD単位で行う。まず、図-1に示した432地域を北海道・本州・四国・九州・沖縄のエリアに区分したうえで、エリア内・内のODを対象候補とする。そして、エリアを本州と4島(北海道、四国、九州、沖縄)にグルーピングを行って、次の2パターンの順序で輸送効率改善がなされた場合を調べる。

- 本州⇒4島：本州から先に輸送効率を改善
- 4島⇒本州：4島から先に輸送効率を改善

この際、輸送効率改善の程度は、50%と100%（輸送費用ゼロ）の2パターンを調べる。具体的には、以下の式(29)に示すように、式(23)における選択効用のうち貨物車について、距離・所要時間に関わる輸送費用を減衰させて、各地域の人口シェア変化を調べる：

$$V_{1,ij}^L = \begin{cases} \mu_1^L(1 - \delta_1^L)\text{dist}_{ij}^L + \phi\text{dum}_{ij} & \text{if } i = j, \\ \mu_1^L(1 - \delta_1^L)\text{dist}_{1,ij}^L + \phi\text{dum}_{ij} + \xi_1^L & \text{if } i \neq j, \end{cases} \quad (29)$$

ここで、 $\delta_1^L$ は貨物車における輸送費用の減衰程度を示す。また、各地域の人口シェア変化は $(h_i^o - h_i^*)/H \times 100$ で表す。ただし、上付き添字\*は基準均衡状態、 $\omega$ は輸送費用変化後の均衡状態を表す。

本シナリオ設定は、輸送効率改善の適用地域の順序や改善程度によって、経済活動の空間分布変化の違いが生じるかを調べるものである。変化に違いが生じた場合、その特徴は、交通分野の技術革新の技術政策の方向性を検討するうえで、有用な知見となると考える。

### 5. 反実仮想実験

前章のシナリオを用いて、劇的な輸送効率改善が経済活動の空間分布（ie., 人口分布）へ与える影響を調べる。

まず、各シナリオにおける、東京圏の人口シェアの推移を図-2に示す。図より、人口シェアの変化の幅は、輸送効率改善の程度が大きいほど、大きくなる結果となった。また、人口シェアの推移についてみると、同じ改善程度でも順序が異なると、経路が異なった。なお、シナリオ1と2、シナリオ3と4で最終的な人口シェアが一致<sup>注11)</sup>しているのは、内生的な集積が発生しないパラメータ設定を行っているためである。

次に、全ての地域の人口シェア変化を図-3、4に示す。図より、輸送効率改善の程度が50%の場合では東京圏の人口シェア変化はプラスとなった。そして、100%の場合はマイナスとなった。一方、同じ大都市圏である大阪圏や名古屋圏は、50%・100%ともに同程度の人口シェア増加となった。つまり、輸送効率が劇的に改善されると、東京圏と比べて、大阪圏・名古屋圏の人口シェアの優位性が高まった。

これより、劇的な輸送効率改善によって、東京一極集中是正の可能性があることが示唆された。さらに、改善程度によって、大都市圏（ie., 東京圏、大阪圏、名古屋圏）に与える影響が異なることが示唆された。

以上より、前章のシナリオ設定に基づく反実仮想実験から、劇的な輸送効率改善による経済活動の空間分布の特徴的な変化を確認することができた。

表-5 貨物車の輸送効率改善に関するシナリオ設定

| No. | 適用地域の順序 | 改善程度 |
|-----|---------|------|
| 1   | 本州 ⇒ 4島 | 50%  |
| 2   | 4島 ⇒ 本州 | 50%  |
| 3   | 本州 ⇒ 4島 | 100% |
| 4   | 4島 ⇒ 本州 | 100% |

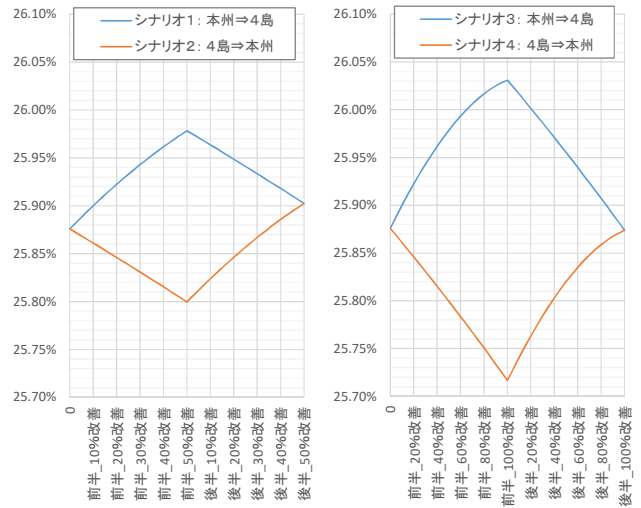


図-2 東京圏の人口シェア推移

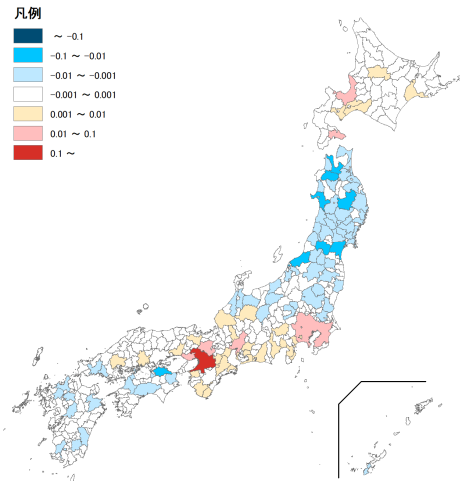


図-3 人口シェア変化：輸送費用50%改善（シナリオ1・2）

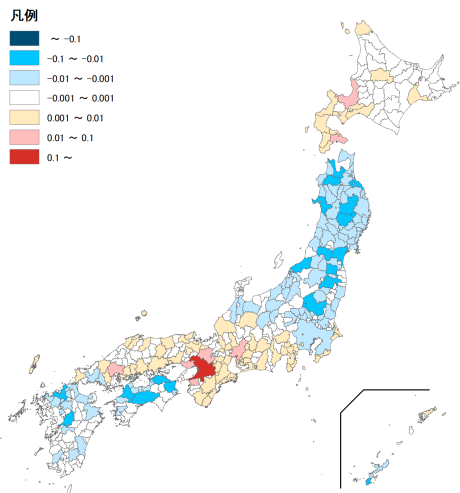


図-4 人口シェア変化：輸送費用100%改善（シナリオ3・4）

## 6. おわりに

本研究では、交通分野の技術革新による劇的な輸送効率の改善が経済活動の空間分布に与える影響を調べた。具体的には、輸送効率改善の適用地域の順序や改善程度に着目したシナリオ設定を行い、反実仮想実験を実施した。その結果、次のような空間分布変化の特徴を明らかにした。

- 輸送費用 50%低下といった、輸送効率の劇的な改善によって東京圏の人口シェアは増加する。
- 輸送効率改善の適用地域の順序が異なることで (i.e., 4 島⇒本州, 本州⇒4 島), 東京圏の人口シェア変化の経路が異なる。
- 輸送効率がさらに改善 (i.e., 輸送費用 100%低下) された場合、東京圏の人口シェアは減少する。
- その一方、大阪圏・名古屋圏の人口シェアは増加し、輸送効率のさらなる改善により、大阪圏・名古屋圏の人口シェアの優位性が増す。

このうち3点目は、劇的な輸送効率改善によって、東京一極集中の是正に貢献できる可能性があることを示唆したものである。

以上の結果は、地域間 OD 単位での輸送効率改善などといった、特定の条件下での分析により得られたものである。実際の交通ネットワークを踏まえたリンク単位での輸送効率改善の設定などといった、より詳細なシナリオ設定のもとでの分析は今後の課題である。

本分析の結果では、劇的な輸送効率改善による東京圏の人口シェア変化は 1%未満に留まり、東京圏一極集中の是正に大きく貢献できるほどの変化とならなかった。これは、既存研究<sup>10)</sup>で指摘されているように、本分析に使用した QSE モデルの出力結果 (i.e., 人口分布) が、外生的に与えられる地域固定効果  $\bar{u}_i, A_i$  によりほとんど説明されてしまうことが原因と考える。つまり、QSE モデルによる出力結果は、地域固定効果が大きく影響し、モデルで説明できる人口分布変化が小さい。このことは QSE に基づくアプローチに共通した問題であり、解決すべき重要な課題である。

加えて、本分析の結果では、適用地域の順序が異なることで人口シェアの経路の違いは示したものの、最終的な人口分布は一致した。しかし、既往研究<sup>15)</sup>で、交通基盤整備に関してヒステリシス現象 (i.e., 交通基盤整備の時期によって人口分布が大きく変化する) の存在が明らかとなっているように、交通分野の技術革新による劇的な輸送効率改善に関してもヒステリシス現象が見られる可能性がある。ただし、本パラメータ設定では、内生的な集積が発生しないような設定方法を採用していることから、ヒステリシス現象を扱うことができず、その有無を確かめることができない。このことは、本研究に限ら

ず、QSE アプローチに共通した問題である。これを解決するための、複数均衡状態が存在するモデルの構造パラメータ設定方法の確立や、大規模モデルの効率的な数値解析法の開発は重要な課題である。

**謝辞:** 本研究は、国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の令和 2 年度研究助成 (テーマ名: 公共交通ターミナル整備の空間経済分析に関する研究開発) と、JST 創発的研究支援事業 JPMJFR215M の支援を受けたものである。ここに記して謝意を表したい。

## NOTES

- 注1) この方法は、微分可能、消費者の人口増加率が効用と正の相関を持つ、という望ましい性質を持つため、新経済地理学分野で標準的に利用されている。
- 注2) 各輸送モードのデータは、当該輸送モードを代表交通機関とする地域間移動データを利用した (よって、バスは主に高速バスであるが一部高速バス以外を含む)。また、アクセス・イグレス交通で利用する輸送機関は、旅客純流動調査の定義に準じた利用とした。つまり、乗用車・貨物車は乗用車・貨物車のみ、高速バスはバス (路線バス含む、以降同様) ・徒歩、鉄道は鉄道・船舶・バス・徒歩、航空は航空・鉄道・船舶・バス・徒歩を利用する。
- 注3) 道路交通センサスの都道府県別旅行速度を用いて、属する都道府県の値を各地域の値として設定した。
- 注4) 当データは人流を対象としたものであるが、距離は人流に限らず適用できると判断して使用した。
- 注5) 本モデルでは全産業を対象としているため、観光などを区別せず全目的のデータを使用している。経済の基幹データである産業連関表では、観光業の人流は、交易にあたり財・サービスが移動するという意味において、通常の産業の物流と同様に扱っているため (i.e., 観光業は財・サービスの需要のために消費者が消費地・生産地間を往来し、通常の産業では財・サービスが生産地から消費地へ移動する)、本対応で問題は無い。なお、SCGE モデルで観光業を扱った小池・佐藤<sup>16)</sup>においても観光業を区別せずに扱っている。
- 注6) 元データは市町村単位のデータであるものの、全国旅客純流動調査では都道府県内で完結する移動は対象としておらず、元データにも存在しないことから、第 1 段階の人流に関するパラメータ推定では、同一都道府県内の地域間は除外して推定した。
- 注7) 日本全国の全般的な分担率を再現するために、輸送量ではなく輸送シェアを使用した。輸送量の場合、大都市を起終点とする OD の影響を大きく受けるため、それを回避するために輸送シェアを採用した。
- 注8) 輸送量は 1 トン未満、移動人数は 0.01 人未満を微小な値とした。なお、微小な値をゼロとせずパラメータ推定を実施した場合は、本結果と同様の符号条件および統計的有意性を持つ推定結果が得られた。
- 注9) 非集計ロジットによるモデル化も考えられるが、単純化のために集計ロジットモデルを採用した。
- 注10) 物流項と人流項には一定程度の相関がある。しかし、多重共線性を示す VIF は 2.7 程度であり、基準とな



る 10 には満たないため、問題は無いと判断した。  
注11)人口シェアは、東京圏以外の地域も一致する。

## REFERENCES

- 1) 国土交通省：国土形成計画，2016。[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *National Spatial Planning*, 2016.]
- 2) 小池淳司，平井健二，佐藤啓輔：高速道路整備による地域の人口及び経済変化に関する事後分析 -固定効果モデルによるパネルデータ分析-，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.68, No.4, pp.388-399, 2012。[Koike, A., Hirai, K. and Sato, K.: Regional Infrastructure's Contribution to Productivity and Population - Ex - Post Analysis Using by Fixed Effect Model - , *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol.68, No.4, pp.388-399, 2012.]
- 3) 内閣官房，官民 ITS 構想・ロードマップ 2021, 2021。[Cabinet Secretariat of Japan: , *Public-Private ITS Concept and Roadmap*, 2021.]
- 4) 石倉智樹，小池淳司：特集『土木計画学における空間的応用一般均衡分析—現在の到達点—』，土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vol. 76, No.2, pp.63-71, 2020。[Ishikura, T. and Koike, A.: Editorial: Frontier of Spatial Computable General Equilibrium Analysis in the Infrastructure Planning and Management, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol.76, No.2, pp.63-71, 2020.]
- 5) Fujita, M., Krugman, P. R. and Venables, A. J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*, MIT Press, 1999.
- 6) Redding, S. J. and Rossi-Hansberg, E.: Quantitative spatial economics, *Annual Review of Economics*, Vol.9, pp.21-58, 2017.
- 7) Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y.: Multimodal agglomeration in economic geography, *arXiv*, No.1912.05113, 2021.
- 8) 杉本達哉，杉山雅也，高山雄貴，高木朗義：地域間公共交通機関の利便性向上の長期的影響評価：定量的空間経済学に基づく空間経済分析，交通工学論文集(特集号)，Vol.8, No.2, pp.222-231, 2022。[Sugimoto, T., Sugiyama, M., Takayama, Y. and Takagi, A.: The Long-run Impacts of Transportation Improvements : Spatial Economic Approach Based on Quantitative Spatial Economics, *JSTE Journal of Traffic Engineering*, Vol.8, No.2, pp.222-231, 2022.]
- 9) Pflüger, M. and Tabuchi, T.: The size of regions with land use for production, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 40, No. 6, pp. 481-489, 2010.
- 10) 高山雄貴，杉山雅也：新経済地理学に基づく交通基盤整備の影響評価：モデル構造と人口分布変化の関係，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.76, No.2, pp.100-113, 2020。[Takayama, Y. and Sugiyama, M.: Agglomeration Patterns in New Economic Geography Models to Evaluate the Impact of Transport Infrastructure Improvements, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol.76, No.2, pp.100-113, 2020.]
- 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) 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.
- 13) 佐藤啓輔，菊川康彬，小池淳司：交易・物資流動に関する既往統計と企業間取引データの特性比較，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.72, No.5, pp.201-211, 2016。[Sato, K., Kikukawa, Y. and Koike, A.: Characteristic Comparison Between Statistical Data on Inter-Regional Trade/Freight Data and Inter-Enterprise Data, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol.72, No.5, pp.201-211, 2016.]
- 14) Eaton, J. and Kortum, S.: Technology, geography, and trade, *Econometrica*, Vol.70, No.5, pp. 1741-1779, 2002.
- 15) 関野景介，高山雄貴，山口裕通：集積の経済を考慮した空間応用一般均衡分析：道路整備時期が人口分布に与える影響，交通工学論文集(特集号)，Vol.5, No.2, pp.223-232, 2019。[Sekino, K., Takayama, Y. and Yamaguchi, H.: Spatial computable general equilibrium analysis considering agglomeration economies: The timing of road development and the population distribution, *JSTE Journal of Traffic Engineering*, Vol.5, No.2, pp.223-232, 2019.]
- 16) 小池淳司，佐藤啓輔：交通ネットワーク整備が観光産業の生産活動へ与える空間的影響の把握～鳥取・兵庫県の日本海地域における基礎自治体レベルの観光産業の付加価値推計を踏まえた検討～，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.68, No.5, pp.349-361, 2012。[Koike, A. and Sato, K.: Spatial Economic Analysis on the Tourism Industry by Development of Transport Network-an Approach Based on the Estimation of Value Added on Tourism Industry by Municipalities at Tottori and Hyougo Region-, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol.68, No.5, pp.349-361, 2012.]

## IMPACT OF TECHNOLOGICAL INNOVATION IN THE TRANSPORTATION SECTOR ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF ECONOMIC ACTIVITY : SCENARIO ANALYSIS USING A SPATIAL ECONOMIC MODEL

Tatsuya SUGIMOTO, Yuki TAKAYAMA and Akiyoshi TAKAGI