

交通技術進展の空間経済分析

杉本達哉^{*1} 高山雄貴^{*2} 高木朗義^{*3}

八千代エンジニアリング株式会社^{*1}

金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系^{*2}

岐阜大学 社会システム経営学環^{*3}

本研究では、ITS を取り巻く交通技術進展による物流・人流の利便性向上が、人口・経済活動の空間的集積に与える影響を評価できる空間経済分析手法を開発する。そのために、空間経済学に基づく空間応用一般均衡モデルを拡張し、自動車・鉄道・航空・高速バスといった複数の交通機関の利便性を反映した交通網を表現できる分析枠組みを構築する。さらに、日本全国を対象とした反実仮想実験により、交通技術進展が人口分布に与える影響を分析し、東京一極集中を是正する交通技術進展の条件について調べる。

Spatial economic analysis of transport technological progress

Tatsuya Sugimoto^{*1} Yuki Takayama^{*2} Akiyoshi Takagi^{*3}

Yachiyo Engineering Co., Ltd.^{*1}

Institute of Science and Engineering, Kanazawa University^{*2}

School of Social System Management, Gifu University^{*3}

This study develops a spatial economic analysis method that can evaluate the impact of accessibility improvements due to ITS-related technological progress on the spatial concentration of population and economic activities. To this end, we extend a spatial computable general equilibrium model based on spatial economics and construct an analytical framework that can represent a transportation network that considers the accessibility of multiple modes of transportation. Furthermore, through a counterfactual experiment in Japan, we analyze the effect of transportation technology development on population distribution and find the conditions for transportation technology development to correct the concentration of Tokyo.

Keyword: *spatial economic analysis, population distribution, technological progress*

1. はじめに

我が国では東京一極集中が進行するなか、暮らし方に関する多様な価値観への対応や首都直下地震への対応などを理由に、東京一極集中の是正が望まれている¹⁾。一方で、自動運転技術などといった、ITS を取り巻く交通技術が進展している。交通技術進展は、輸送費用の低下をもたらす、短期的には物流・人流の効率を改善させる。他方、長期的には地方の人口や経済活動

が大都市 (e.g., 東京圏) に流出することが懸念される。すなわち、交通技術進展によって東京一極集中が加速することが危惧される。これに対応するため、交通技術進展による人口・経済活動への影響をモデル分析により予見しておくことは有用である。この際、前述の短期・長期の両方の効果を把握できる分析枠組みが必要である。加えて、妥当性の観点から、分析モデルは、進行する地方都市から大都市への人口流出 (i.e., スト

ロー現象)といった国土構造変化を表現できる必要がある。しかし、これまで多くの関連研究が存在するものの、これらを満たす分析枠組みは整っていない。

本研究では、交通技術進展による物流・人流の利便性向上が人口・経済活動の空間的集積に与える影響を評価できる空間経済分析手法を開発する。そのために、空間経済学に基づく空間応用一般均衡モデルである高山・杉山²⁾を拡張する。高山・杉山²⁾はストロー現象を表現可能な一方で、都市間輸送網の表現に問題を抱えている (i.e., 交通技術進展を表現するには限界がある)。このため、高山・杉山²⁾を拡張し、自動車・鉄道・航空・高速バスといった複数の交通機関の利便性を反映した交通網を表現できる分析枠組みを構築する。併せて、実空間を対象とした分析を可能とするパラメータ設定手法を提示する。開発手法により、日本全国を対象とした交通技術進展の影響評価を実施し、東京一極集中を是正する交通技術進展の条件について調べる。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2章では、Pflüger and Tabuchi³⁾に基づくモデルを説明する。第3章では均衡状態を示した上で、その導出方法を示す。第4章では、複数の輸送モードに対応するパラメータの設定方法を示す。第5章・6章で、交通技術進展による反実仮想実験のための計算条件および分析結果を示す。最後に、第7章で本論文の成果と今後の課題を述べる。

2. モデル

2.1 モデルの設定

地域は離散的に K 箇所存在すると仮定し、全ての地域の集合を $\mathcal{K} \equiv \{1, 2, \dots, K\}$ 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、地域全体として H 存在し、居住する地域 i を選択することができる。各地域 $i \in \mathcal{K}$ に立地する消費者の数を $h_i \geq 0$ と表現する。これらの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、収穫逓増の技術により、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。

2.2 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ラエティ (種類) 数、 $q_{ji}(k)$ は地域 j で生産され地域 i で消費される財バラエティ k の消費量である。 $\sigma > 1$ は財バラエティ間の代替弾力性である。

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 で消費される財バラエティ 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する (i.e., public ownership)。よって、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:

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

2.3 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。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。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ラ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、供給する財のバラエティ数 n_i と等しくなる。以降では、地域 i でバラエティ 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*が財バラエティ*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、労働量である。

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。すなわち、地域*i*から地域*j*へ1単位の財を輸送すると最初の1単位のうち $1/\tau_{ij} < 1$ 単位だけが実際に到着し、残りは解けてしまうと考える。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：

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

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 $p_i(k) = (p_{ij}(k))_{j \in \mathcal{X}}$ 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：

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

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：

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

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

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

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

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. 均衡状態

本モデルでは、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。すなわち、均衡状態を、消費者の空間分布 (i.e., 人口分布) $\mathbf{h} = (h_i)_{i \in \mathcal{X}}$ を与件とした状況下で土地・財・労働市場が均衡する短期均衡状態と、消費者の居住地選択均衡条件を満たす長期均衡状態の2段階に分ける。各々の条件について順に示す。

3.1 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：

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

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ことが分かる：

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

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：

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

3.2 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

衡状とする。具体的には、長期均衡状態は、どの消費者も自らの居住地を変更するだけでは効用を改善できない状態と定義する。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：

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

ここで、 v^* は均衡効用水準を表す。

Pflüger and Tabuchi³⁾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 によって判定する：

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

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

このダイナミクスの下での均衡状態 \mathbf{h}^* の安定性は、 $F(\mathbf{h}^*) = (F_i(\mathbf{h}^*))_{i \in \mathcal{X}}$ の Jacobi 行列 $\nabla F(\mathbf{h}^*)$ の固有値により判定できる。より具体的には、均衡状態 \mathbf{h}^* は $\nabla F(\mathbf{h}^*)$ の固有値の実部が全て負であれば安定であり、実部が正の固有値が存在すれば不安定である。

3.3 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：

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

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(20)の微分方程式により得られる。しかし、式(20)を直接解くことは不可能であるため、高山・杉山²⁾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、 ζ 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。

4. パラメータの設定方法

本章では計量分析の実施に必要となるパラメータ $\alpha, \beta, \sigma, \tau_{ij}^{1-\sigma}, \bar{u}_i$ のうち、輸送費用に関するパラメータ $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ を説明する。

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 Venables⁴⁾の方法を参考に、パラメータ設定を行う。具体的には第一段階で輸送モードの選択に関する推定を行い、第二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。

第一段階として、各輸送モード (i.e., 自動車, バス, 鉄道, 航空) 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。

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：

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

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。 μ, ν, ξ, ϕ はパラメータ、 dist_{ij} は地域 i, j 間の距離、 time_{ij} は地域 i, j 間の所要時間、 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。 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：

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

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

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

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

ここで、 θ は選択確率、 T は選択モードの集合、 λ は尤度関数、 N_l はサンプル M の地域 i, j 間の交易シェアである。

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。

第二段階として、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。

第2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:

$$\ln[X_{ij}] = FX_i + (1 - \sigma)\ln[\tau_{ij}] + FM_j + \text{const.} \quad (26)$$

ここで、 FX_i は生産地*i*に関する項、 FM_j は需要地*j*に関する項、 const は定数項を表す。次に、 $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は地域*i, j*間の物流および人流の選択効用から決定されると仮定する。これは、選択効用を用いて輸送費用を推計する、Allen and Arkolakis²⁾と同様の考えである。この仮定より、 $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は第一段階で推定した選択効用を用いて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、 κ に無関係に均衡状態は定まるため、 κ の推定の必要はない。式(27)により、式(26)は次のように表される:

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

ただし、ここでの const は $\ln(\kappa)$ を含む。式(28)の重回帰分析から θ^L, θ^P を推定する。

以上、第一段階、第二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。

5. 計算条件

5.1 地域区分およびネットワーク

対象とする地域区分は、高山・杉山²⁾と同様に、日本国内を対象に都市雇用圏を基準として分割した432地域区分を用いた。輸送ネットワークは、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。

5.2 パラメータの設定

設定が必要なパラメータのうち、輸送費用に関するパラメータ $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ は、前章の方法により推定を行った。推定に必要なデータは、公的データ・民間データを収

Table1 第一段階の推定結果 (物流)

変数	輸送モード		推定値	t 値
距離	貨物車+船舶	μ_1^L	-3.79.E-03	-8.76
	鉄道	μ_3^L	-1.95.E-03	-5.17
	航空	μ_4^L	-2.91.E-03	-5.69
同一 県間	道路	ϕ	3.17	3.89
定数 項	鉄道	ξ_3^L	-4.53	-79.87
	航空	ξ_4^L	-4.19	-35.42

Table2 第一段階の推定結果 (人流)

変数	輸送モード		推定値	t 値
所要 時間	乗用車+船舶	μ_1^P	-2.61.E-02	-51.29
	バス	μ_2^P	-9.41.E-03	-17.35
	鉄道	μ_3^P	-2.65.E-02	-32.42
	航空	μ_4^P	-2.09.E-02	-13.84
運行 頻度	バス	v_2^P	1.30.E-02	2.740
	鉄道	v_3^P	6.30.E-03	12.82
	航空	v_4^P	1.18.E-02	4.010
定数 項	バス	ξ_2^P	-4.09	-31.90
	鉄道	ξ_3^P	-1.84	-32.32
	航空	ξ_4^P	-1.51	-9.433

Table3 第二段階の推定結果

変数		推定値	t 値
物流の選択効用	θ^L	0.651	47.35
人流の選択効用	θ^P	0.723	38.94

集・加工することで整備した。このうち、主なデータである所要時間は、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。推定結果を Table1,2,3 に示す。表より、直観と合った違和感の無い推定結果を得た。

α, σ は、Allen and Arkolakis²⁾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 α は家計の住宅への支出割合を基礎に $\alpha = 0.3$ とした。代替弾力性 σ は $\sigma = 9.0$ と設定した。土地の供給割合である β は、先行研究²⁾で明らかにされた、ストロー現象を表現できる $\beta = 0.6$ とした。アメニティ水準 \bar{u}_i の設定は、高山・杉山²⁾と同様、データにより与えられる h が基準均衡状態となるように設定した。

5.3 交通技術進展の設定

交通技術進展により、高速道路・一般国道区間の自動車の物流・人流の利便性が向上した場合を考える。具体的には、次のように対象区間の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:

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

$$V_{1,ij}^P = \mu_1^P(\text{time}_{1,ij}^P - \text{timeT}_{1,ij}^P) + \mu_1^P(1 - \delta_1^P)\text{timeT}_{1,ij}^P + \xi_1^P \text{ if } i \neq j. \quad (29b)$$

ここで、 $\text{distT}_{1,ij}^L$ および $\text{timeT}_{1,ij}^P$ は、地域 i, j 間の対象区間における距離および所要時間、 δ_1^L, δ_1^P は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 $(h_i^\omega - h_i^*)/H \times 100$ で表す。ただし、上付き添字*は基準均衡状態、 ω は輸送費用変化後の均衡状態を表す。

本設定において、自動車の物流 (i.e., 貨物車) の利便性向上では、トラックの隊列走行の実現による燃費向上などを想定している。また、自動車の人流 (i.e., 乗用車) の利便性向上では、自動運転車の普及による業務トリップの活動自由度の向上 (e.g., 移動中の業務活動の実施) などを想定している。

6. 分析結果

$\delta_1^L, \delta_1^P = 0.5$ の結果を Fig.1 に示す。Fig.1(a),(b)より、物流に関わる交通技術進展は、高速道路・一般国道ともに東京が人口増加する (i.e., ストロー現象) 結果となった。また、東京の人口増加は物流の方がより顕著となった。Fig.1(c),(d)より、人流に関わる交通技術進展は、高速道路の場合は東京が人口増加する一方で、一般国道の場合、東京が人口減少する結果となった。

以上より、一般国道の自動車の人流に関わる交通技術進展によって、東京一極集中が是正されることが示唆された。また、高速道路のみを対象とした場合、東京一極集中は進行してしまうことが示唆された。これにより、現在、国では高速道路を対象とした自動運転技術の適用を先行して進めているが、東京一極集中の是正のためには、今回扱った一般国道などといった、よりローカルなネットワークに対する自動運転サービスの早期実現が望まれる。

7. おわりに

本研究では、空間経済学に基づく空間応用一般均衡モデルである高山・杉山²⁾を拡張し、自動車・鉄道・航空・高速バスといった複数の交通機関の利便性を反映した交通網を表現できる分析枠組みを構築した。さらに、開発した手法により、日本全国を対象に、高速道路・一般国道別に自動車の物流・人流の利便性が向上した場合の影響を分析した。その結果から、一般国道の自動車の人流に関わる交通技術進展が東京一極集中の是正に寄与することを示した。

本分析では、高速道路・一般国道区間に区分して利便性が一律に向上することを想定した。本研究の成果

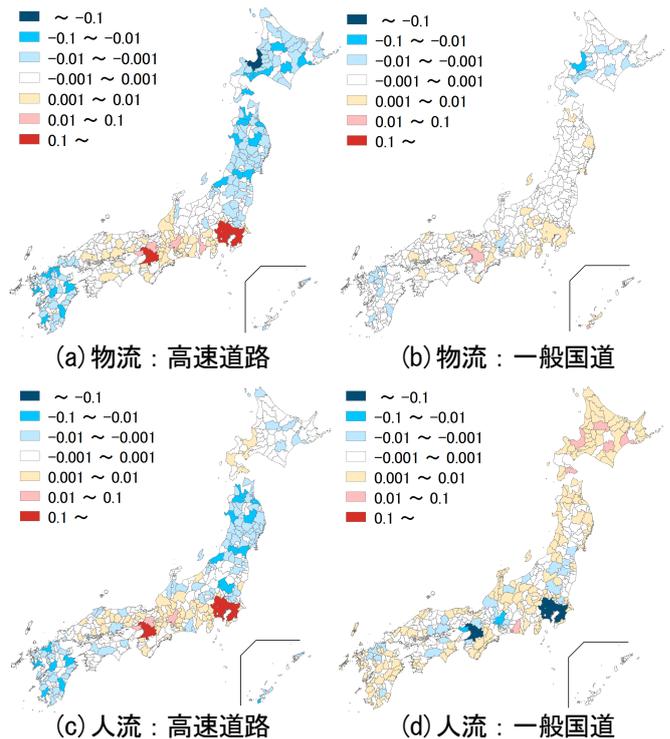


Fig.1 交通技術進展による人口シェア変化

の妥当性を検証するためには、より多くの分析が必要であり、今後の課題である。

謝辞：本研究は国土交通省「道路政策の質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）の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国土審議会計画推進部会 国土の長期展望専門委員会：「国土の長期展望」最終とりまとめ, 2021.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 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) 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.