

高規格幹線道路の ミッシングリンク解消による影響分析： 定量的空間経済モデルの適用

杉本 達哉¹・高山 雄貴²

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 技術開発研究所
(〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8CS タワー)
E-mail: tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 東京科学大学 環境・社会理工学院 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 W6-9)
E-mail: takayama.y.cc65@m.isct.ac.jp

日本では幹線輸送の効率化が喫緊の課題となっている。地域経済の衰退が深刻化する昨今、幹線道路整備が基礎自治体の経済活動に与える影響を的確に把握することが求められる。しかし、現行の道路事業評価では経済集積への波及効果は十分に評価されていない。そこで本研究では、高規格道路のミッシングリンク解消が市区町村の経済集積変化に与える影響を把握可能な空間経済分析枠組を提案する。そのために、デジタル道路地図 (DRM) に基づく詳細な道路ネットワークを定量的空間経済モデルに反映し、市区町村単位で整備の影響を把握できる分析枠組を構築する。そして、反実仮想実験によりミッシングリンク解消による市区町村レベルの人口変化を調べる。

Key Words: missing links, population distribution, quantitative spatial economics

1. はじめに

日本では、電子商取引の需要拡大とトラックドライバー不足の深刻化により、高規格幹線道路などの幹線輸送の効率化が喫緊の課題となっている。実際、国土交通省は高規格幹線道路網のミッシングリンクを解消し、全国的な物流ネットワークの強化を推進している^{注1)}。一方、地域経済の衰退が懸念される中、地域生活圏の形成を目的とした取組みも進められており^{注2)}、幹線道路整備が基礎自治体レベルの経済活動に与える影響を的確に把握することが求められている。これは道路整備が単なる走行時間短縮にとどまらず、地域間の結節性の変化を通じて経済集積を再編させる可能性があるためである。よって、その影響を定量的に把握することが重要となる。

道路整備の効果を適切に捉えるうえで、経済集積の変化や地域間相互作用を考慮した広域的な波及効果を評価することが重要である。日本の道路事業の費用便益分析マニュアルにおいても、走行時間短縮便益などの3便益が中心であるものの、新規立地に伴う生産増加や雇用・所得の増大などの広範な効果の存在にも触れている^{注3)}。

この課題は英国の交通プロジェクト評価でも共有されており^{注4)}、交通ネットワーク改善の地域的波及効果を的確に把握することが政策上の重要な論点となっている。

近年、輸送費用の変化に伴う経済集積変化を説明する手法として定量的空間経済モデル (Quantitative Spatial Economics: QSE) が進展している¹⁾。QSEは地域間の市場アクセスや労働移動を通じた財の需給関係を一般均衡体系で表現することで交通基盤整備が経済集積に与える影響を一貫して分析できる。例えば、Allen and Arkolakis²⁾は連続空間での地理・輸送費用を用いて、反実仮想実験により地理的条件の変化が経済集積に与える影響を定量化している。さらに、近年の研究^{3,4)}では交通混雑やネットワーク構造を理論的に扱うことにより政策評価への接続を一層進めている。

しかしながら、既往研究の多くは実在の道路ネットワーク構造をフルスケールで反映した反実仮想実験を実施しているわけではない。このため、実在の道路ネットワークの接続向上が、地域間の結節性を通じて経済集積をどのように再編させるかを市区町村といった基礎自治体スケールで捉える分析枠組は必ずしも整っていない。

そこで本研究は、高規格幹線道路のミッシングリンク解消が市区町村の経済集積変化に与える影響を定量的に把握できる分析枠組を提案することを目的とする。そのために、QSE モデルを用いて市区町村単位の空間を DRM に基づく道路ネットワークで結合した分析枠組を構築する。さらに、反実仮想実験によって高規格幹線道路の接続性向上が地域の経済集積に及ぼす影響を分析する。本研究は、QSE の枠組みで、実在の詳細な道路網を所与とすることで地域間の結節性を的確に捉えた効果分析を可能としている点に特長がある。

本論文の構成は次のとおりである。第 2 章では本研究で用いるモデルを説明し、モデルの均衡状態を第 3 章で示す。第 4 章でパラメータ設定とそれに用いるデータについて説明する。第 4 章では反実仮想実験を実施し、第 5 章で結論を述べる。

2. モデル

本章では、本稿で用いる Sugimoto et al.⁵⁾ のモデルを説明する。このモデルは、従来の QSE モデル^{例えば 6)} が地域間輸送費用の低下によって地方都市の人口増加しか出力できなかったという問題を解消し、パラメータ次第で大都市への人口増加も説明しうるものである。

(1) 地域・経済環境の設定

地域は離散的に N 箇所存在し、地域の集合は $\mathcal{N} \equiv \{1, 2, \dots, N\}$ と表現する。地域 $i \in \mathcal{N}$ の面積は固定的に H_i である。地域間は交通ネットワークによって接続されており、地域 i, j 間の距離は最短経路距離と仮定する。

次に、この経済には消費者と企業が存在する。消費者は、地域全体に固定的に \bar{L} 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 $L_i \geq 0$ 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、独占的競争下で収穫逓増の技術により、土地と労働と中間財（差別化財）を生産要素として、差別化された財を生産する。

(2) 消費者行動

地域 i に居住する消費者の効用が Cobb-Douglas 型の効用関数で表されると仮定する：

$$U_i(C_i, h_i) = z_i \left(\frac{C_i}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{h_i}{\alpha} \right)^\alpha. \quad (1)$$

ここで、 α は土地への支出割合を表すパラメータ、 z_i は地域 i のアメニティ水準、 C_i は差別化財の消費により得られる部分効用、 h_i は土地の消費量を表す。

そして、部分効用 C_i は次のように表される：

$$C_i = \left\{ \sum_{j \in \mathcal{N}} \int_0^{M_j} c_{ji}(\ell)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\ell \right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}. \quad (2)$$

ここで、 M_j は地域 j で生産される差別化財のパラエティ数、 $c_{ji}(\ell)$ は地域 j で生産されて地域 i で消費される財パラエティ $\ell \in [0, M_j]$ の消費量である。 $\sigma > 1$ はこれらの財パラ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：

$$y_i = \sum_{j \in \mathcal{N}} \int_0^{M_j} p_{ji}(\ell) c_{ji}(\ell) d\ell + r_i h_i. \quad (3)$$

ここで、 $p_{ji}(\ell)$ は地域 j で生産されて地域 i で消費される財パラエティ ℓ の価格、 r_i は地代を表す。

土地は、Helpman⁶⁾と同様に、全ての消費者によって均等に所有されていると仮定する。そのため、消費者の所得 y_i は賃金 w_i と地代収入 \bar{w} からなる：

$$y_i = w_i + \bar{w}, \quad (4a)$$

$$\bar{w} = \frac{\sum_{j \in \mathcal{N}} r_j H_j}{\bar{L}}. \quad (4b)$$

効用最大化問題から、需要関数が得られる：

$$C_i = (1-\alpha) \frac{y_i}{P_i}, \quad (5a)$$

$$h_i = \alpha \frac{y_i}{r_i}, \quad (5b)$$

$$c_{ji}(\ell) = \left(\frac{p_{ji}(\ell)}{P_i} \right)^{-\sigma} C_i, \quad (5c)$$

$$P_i = \left\{ \sum_{j \in \mathcal{N}} \int_0^{M_j} p_{ji}(\ell)^{1-\sigma} d\ell \right\}^{\frac{1}{1-\sigma}}. \quad (5d)$$

ここで、 P_i は財の価格指数である。

以上の結果を利用すると、地域 i に居住する消費者の間接効用 v_i が次のように表される：

$$v_i = z_i y_i P_i^{-(1-\alpha)} r_i^{-\alpha}. \quad (6)$$

(3) 企業行動

企業は独占的競争市場の下で土地・労働・差別化財を投入して財を生産する。規模の経済、消費者の多様性嗜好、ならびに供給できる財のパ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パ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、供給する財のパラエティ数 M_i と等しくなる。以降では、地域 i でパラエティ ℓ を生産する企業を地域 i の企業 ℓ と呼ぶ。

地域 i の企業 ℓ が財パラエティ ℓ の生産を開始するには、1 単位の固定的な投入 F と生産量 $x_i(\ell)$ に応じた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・差別化財の投入量と生産量 $x_i(\ell)$ の関係は以下となる：

$$x_i(\ell) = \left(\frac{h_i^y(\ell)}{1-\beta-\gamma} \right)^{1-\beta-\gamma} \left(\frac{l_i^y(\ell)}{\beta} \right)^\beta \left(\frac{C_i^y(\ell)}{\gamma} \right)^\gamma. \quad (7)$$

ここで、 $\beta \in [0,1]$, $\gamma \in [0,1]$ は、それぞれ、可変費用に関する労働・中間財の投入割合を表すパラメータである。そして、 $h_i^V(\ell)$, $l_i^V(\ell)$, $C_i^V(\ell)$ は、それぞれ、可変費用に関する土地・労働・差別化財の投入量であり、 $C_i^V(\ell)$ は次のとおりである：

$$C_i^V(\ell) = \left\{ \sum_{j \in \mathcal{N}} \int_0^{M_j} c_{ji}^V(l, \ell) \frac{\sigma-1}{\sigma} dl \right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}. \quad (8)$$

ここで、 $c_{ji}^V(l, \ell)$ は地域 j で生産されるバラエティ財 $l \in [0, M_j]$ の投入量である。また、固定的な投入は次のとおり表される：

$$F = \left(\frac{h_i^F(\ell)}{1-\kappa} \right)^{1-\kappa} \left(\frac{l_i^F(\ell)}{\kappa} \right)^\kappa. \quad (9)$$

ここで、 $\kappa \in [0,1]$ は固定費用に関する労働の投入割合を表すパラメータ、 $l_i^F(\ell)$ は固定費用に関する地域 i の企業が投入する労働の投入量、 $h_i^F(\ell)$ は固定費用に関する地域 i の企業が投入する土地の投入量である。

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 $j \neq i$ の財を輸送すると、最初の1単位のうち $1/d_{ij} < 1$ 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 ℓ の地域 j における需要量 $s_{ij}(\ell)$ と供給量 $x_i(\ell)$ との間に、次の関係が成立する：

$$x_i(\ell) = \sum_{j \in \mathcal{N}} d_{ij} s_{ij}(\ell), \quad (10a)$$

$$s_{ij}(\ell) = L_j c_{ij}(\ell) + \int_0^{M_j} c_{ij}^V(l, \ell) dl. \quad (10b)$$

地域 i の企業 ℓ 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 $c_{ij}(\ell)$ を所与として、地域 i で生産されて地域 j で消費される財バラエティ ℓ の価格 $p_i(\ell) = (p_{ij}(\ell))_{j \in \mathcal{X}}$ と地域 i の土地・労働・差別化財の投入量 $l_i^V(\ell)$, $l_i^F(\ell)$, $c_{ji}^V(l, \ell)$, $h_i^V(\ell)$, $h_i^F(\ell)$ を設定する。ここで、利潤 $\Pi_i(\ell)$ は収入から労働・中間財・土地の費用を引いた、以下の形で与えられる：

$$\begin{aligned} \Pi_i(\ell) = & \sum_{j \in \mathcal{N}} p_{ij}(\ell) s_{ij}(\ell) - w_i \{l_i^V(\ell) + l_i^F(\ell)\} \\ & - \sum_{j \in \mathcal{N}} \int_0^{M_j} p_{ji}(l) c_{ji}^V(l, \ell) dl - r_i \{h_i^V(\ell) + h_i^F(\ell)\}. \end{aligned} \quad (11)$$

各企業は必ず他企業と異なるバラエティの財を生産することから、その行動は市場に影響を与えない (ie., 価格指数に影響を与えない)。その条件の下で利潤最大化問題を解くと、財バラエティの価格 $p_{ij}(\ell)$ 、土地・労働の投入量 $l_i^V(\ell)$, $l_i^F(\ell)$, $h_i^V(\ell)$, $h_i^F(\ell)$ が得られる：

$$p_{ij}(\ell) = \frac{\sigma}{\sigma-1} m_i d_{ij}, \quad (12a)$$

$$l_i^V(\ell) = \frac{\beta}{w_i} m_i x_i(\ell), \quad (12b)$$

$$l_i^F(\ell) = \frac{\kappa}{w_i} F n_i, \quad (12c)$$

$$C_i^V(\ell) = \frac{\gamma}{P_i} m_i x_i(\ell), \quad (12d)$$

$$c_{ji}^V(l, \ell) = \left(\frac{p_{ji}(l)}{P_i} \right)^{-\sigma} C_i^V(\ell), \quad (12e)$$

$$h_i^V(\ell) = \frac{1-\beta-\gamma}{r_i} m_i x_i(\ell), \quad (12f)$$

$$h_i^F(\ell) = \frac{1-\kappa}{r_i} F n_i, \quad (12g)$$

$$m_i = w_i^\beta P_i^\gamma r_i^{1-\beta-\gamma}, \quad (12h)$$

$$n_i = w_i^\kappa r_i^{1-\kappa}. \quad (12i)$$

ここで、 m_i , n_i は、それぞれ、可変費用および固定費用に関する生産要素の価格を表す。式(12a)で示されているとおり、財バラエティ ℓ の価格 $p_{ij}(\ell)$ は財の種類 ℓ に依存しない。以降では各変数の ℓ を省略し、 p_{ij} , x_i , l_i^V , l_i^F , C_i^V , c_{ji}^V , h_i^V , h_i^F と表記する。

3. 均衡条件

本章では本モデルが扱う短期均衡状態と長期均衡状態の条件を説明する。そして、これらの条件を満足する均衡状態を得るための解析手順を示す。

(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：

$$\begin{cases} h_i L_i + (h_i^V + h_i^F) M_i = H_i & \text{if } r_i > 0 \\ h_i L_i + (h_i^V + h_i^F) M_i \leq H_i & \text{if } r_i = 0 \end{cases} \quad \forall i \in \mathcal{N}. \quad (13)$$

ここで、式(5b)、式(12f)、式(12g)から $\lim_{r_i \rightarrow 0} \{h_i L_i + (h_i^V + h_i^F) M_i\} = \infty$ となる。したがって、清算条件を満たす地代 r_i は以下となる：

$$r_i = [\alpha y_i L_i + \{(1-\beta-\gamma) m_i x_i + (1-\kappa) F n_i\} M_i] \frac{1}{H_i}. \quad (14)$$

財市場の清算条件は、式(10)に示すとおりである。企業の自由な参入・撤退の利潤ゼロ条件は、企業の利潤がゼロであることから導かれる：

$$m_i x_i + F n_i = \sum_{j \in \mathcal{N}} p_{ij} s_{ij}. \quad (15)$$

労働市場の清算条件は、地域 i における労働供給量は消費者数 L_i で与えられ、労働需要量は $(l_i^V + l_i^F) M_i$ となる。したがって、この条件は以下で表される：

$$(\beta m_i x_i + \kappa F n_i) M_i = w_i L_i. \quad (16)$$

式(10)、式(12)、式(14)、式(15)から次のようになる：

$$x_i = (\sigma-1) F \frac{n_i}{m_i}, \quad (17a)$$

$$r_i = \frac{\alpha y_i L_i + \{(1-\beta-\gamma)(\sigma-1) + (1-\kappa)\} F n_i M_i}{H_i}, \quad (17b)$$

$$w_i L_i = \{\beta(\sigma-1) + \kappa\} F n_i M_i. \quad (17c)$$

式(5d)に式(12a)を代入することで価格指数は次のとおりに表せる:

$$P_i = \frac{\sigma}{\sigma-1} \left\{ \sum_{j \in \mathcal{N}} (d_{ij} m_j)^{1-\sigma} M_j \right\}^{\frac{1}{1-\sigma}}. \quad (18)$$

さらに、式(10)、式(12a)、式(15)、式(17a)より、以下の条件式が得られる:

$$\sigma F n_i M_i = \sum_{j \in \mathcal{N}} \frac{M_i (d_{ij} m_i)^{1-\sigma}}{\sum_{k \in \mathcal{N}} M_k (d_{kj} m_k)^{1-\sigma}} \cdot \{(1-\alpha)y_j L_j + \gamma(\sigma-1)F n_j M_j\}. \quad (19)$$

式(17b)、式(17c)、式(18)の条件を用いることで、均衡状態の賃金 \mathbf{w} 、地代 \mathbf{r} 、価格指数 \mathbf{P} および企業数 \mathbf{M} が得られる。

ここで、価格を一意に定めるために、総賃金 $W = \sum_{i \in \mathcal{N}} w_i L_i > 0$ を外生的に与えて基準化する。このとき、地代収入 \bar{w} は次のとおり表せる:

$$\bar{w} = \frac{1 + \{(1-\beta-\gamma) + \alpha\beta\}(\sigma-1) - (1-\alpha)\kappa W}{(1-\alpha)\{\beta(\sigma-1) + \kappa\}} \frac{W}{\bar{L}}. \quad (20)$$

以上の条件から定まる \mathbf{w} 、 \mathbf{P} 、 \mathbf{r} と式(4a)を式(6)に代入することで得られる次の式により地域 i に居住する消費者の間接効用が得られる:

$$v_i = z_i (w_i + \bar{w}) P_i^{-(1-\alpha)} (r_i)^{-\alpha}. \quad (21)$$

(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るとし、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。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{L}^* である:

$$\begin{cases} v^* = v_i(\mathbf{L}) & \text{if } L_i > 0, \\ v^* \geq v_i(\mathbf{L}) & \text{if } L_i = 0, \end{cases} \quad (23a)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} L_i = \bar{L}, \quad (23b)$$

ここで、 v^* は均衡効用水準を示す。式(23a)は $\lim_{L_i \rightarrow 0} v_i(\mathbf{L}) = \infty$ であることから次の式で表される。

$$v_i(\mathbf{L}) = v_j(\mathbf{L}) \text{ for any } i, j \in \mathcal{N}. \quad (24)$$

(3) 均衡状態の解析手順

上述した短期均衡状態と長期均衡状態の両方を満たす均衡状態を得るために、まず、短期均衡条件を用いることで、短期均衡状態の賃金 \mathbf{w} 、地代 \mathbf{r} 、価格指数 \mathbf{P} および企業数 \mathbf{M} を得る。次に、得られた \mathbf{w} 、 \mathbf{r} 、 \mathbf{P} 、 \mathbf{M} を利用して長期均衡条件(24)を解く。ここで、長期均衡状態を得るために次の replicator dynamic^{注5)}を用いる:

$$\dot{L}_i = F_i(\mathbf{L}) \equiv L_i \{v_i(\mathbf{L}) - \bar{v}(\mathbf{L})\}, \quad (25a)$$

$$\bar{v}(\mathbf{L}) = \sum_{i \in \mathcal{N}} v_i(\mathbf{L}) \frac{L_i}{\bar{L}}. \quad (25b)$$

ただし、式(25)を直接解くことは不可能であるため、ダイナミクス方向に徐々に人口分布 \mathbf{L} を更新することで均

衡状態を解く。具体的には、 n 回目の更新で得られた人口分布を $\mathbf{L}^{(n)} = (L_i^{(n)})_{i \in \mathcal{N}}$ と表記すると、人口分布の更新は以下の形で表される:

$$L_i^{(n+1)} = L_i^{(n)} + \varepsilon F_i(\mathbf{L}^{(n)}). \quad (26)$$

ここで、 ε 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。この方法では、均衡解として得られた \mathbf{L} から微小に人口分布を変動させても式(26)の人口分布の更新によって元の均衡解に戻るといった、安定的な均衡状態が得られる。

4. パラメータ設定方法とデータ

(1) パラメータ設定方法

本節では計量分析に必要となるパラメータ設定方法を提示する。

$\alpha, \beta, \gamma, \kappa, \sigma$ は既往研究に基づき設定する。具体的には、消費者の土地支出割合 α は Davis and Ortalo-Magné⁷⁾と同様に0.3とする。代替弾力性 σ は Eaton and Kortum⁸⁾と同じく9.0を用いる。さらに可変費用に関する労働・中間財の投入割合 β, γ および固定費用に関する労働投入割合 κ は Valentyni and Herendorf⁹⁾と同様にそれぞれ、 $\beta = 0.2$ 、 $\gamma = 0.45$ 、 $\kappa = 0.2$ とする。

a) 輸送費用の推定

輸送費用 τ_{ij} は実データから推定することができないことから、Redding and Venables¹⁰⁾と同様の方法で推定する。具体的には、まず、 $\tau_{ij}^{1-\sigma}$ を以下で定義する:

$$\tau_{ij}^{1-\sigma} = \kappa \{\text{time}_{ij}\}^\theta \leq 1. \quad (27)$$

ここで、 θ, κ はパラメータ、 time_{ij} は地域 ij 間の所要時間である。

さらに、パラメータ推定のため第2章で示したモデルの交易量 X_{ij} が次のように表されることを利用する:

$$\ln X_{ij} = \text{FX}_i + \ln \tau_{ij}^{1-\sigma} + \text{FM}_j + \text{const}. \quad (28)$$

ここで、 FX_i は生産地に関する項、 FM_j は需要地に関する項、 const は定数項を表す。

以上の式(28)は式(27)より次となる:

$$\ln X_{ij} = \text{FX}_i + \theta \ln[\text{time}] + \text{FM}_j + \text{const}. \quad (29)$$

ただし、ここでの const は $\ln[\kappa]$ を含む。

式(29)を利用して重回帰分析により θ を推定する。ここで κ は定まらないが、 κ の水準は短期・長期均衡状態に何ら影響を与えないため κ は推定しない。

b) z_i の設定

アメニティ水準 z_i は、QSE研究が採用する標準的な方法に基づいて、実データ \mathbf{L}^{data} が基準均衡状態となるように設定する。具体的には、前述で設定したパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \kappa, \sigma$ と人口分布 \mathbf{L} に基づいて、 $\mathbf{w}, \mathbf{P}, \mathbf{r}$ を市場均衡条件を満たすように設定する。次に、設定された $\mathbf{w}, \mathbf{P}, \mathbf{r}$

を用いて、式(23)の長期均衡条件を満たすようにアメニティ水準 z_i を設定する。ただし、この条件のみでは $(z_i)_{i \in N}$ が一意に定まらないため、 $z_1 = 1$ と基準化する。最終的に設定した z_i を用いてキャリブレーションを行う。この方法で設定したパラメータを用いることでモデルの基準均衡状態 L^* は実データ L^{data} と完全に一致する。

(2) データ

パラメータ設定に用いるデータは、2020年を基準として収集・加工して作成する。具体的には、表-1に示すデータを本稿で対象とする1,741市区町村別に設定する。

消費者数 L_i ： 国勢調査の就業者数を使用する。

面積 H_i ： 国土数値情報の土地利用3次メッシュのうち、経済活動に利用可能な土地利用用途（i.e., 田, その他の農用地, 建物用途）の面積を集計する。

所要時間 $time_{ij}$ ： デジタル道路地図（DRM）の全道路（幅員 3.0m 以上の道路）を対象とした道路ネットワーク（約 730 万リンク）を作成し（図-1）、ダイクストラ法で探索した市区町村の代表地点間の最短経路の所要時間を用いる。このとき、代表地点は市区町村役所とする。また、地域内の所要時間はRedding and Venables¹⁰と同じく $(2/3)\sqrt{H_i/\pi}$ で設定する地域内距離を道路交通センサスに基づく速度で除して設定する。なお、道路網により輸送が不可能な地域間のみ航路によって経路を補間する。

交易额 X_{ij} ： 市区町村間の交易额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）を代用する。

表-1 使用データ

項目	出典
消費者数 L_i	国勢調査（2020年）
面積 H_i	国土数値情報 土地利用 3次メッシュ（2021年）
所要時間 $time_{ij}$	デジタル道路地図（DRM）（2024年） 国土地理院 地球地図（航路）（2016年）
交易额 X_{ij}	全国貨物純流動調査（2015年）

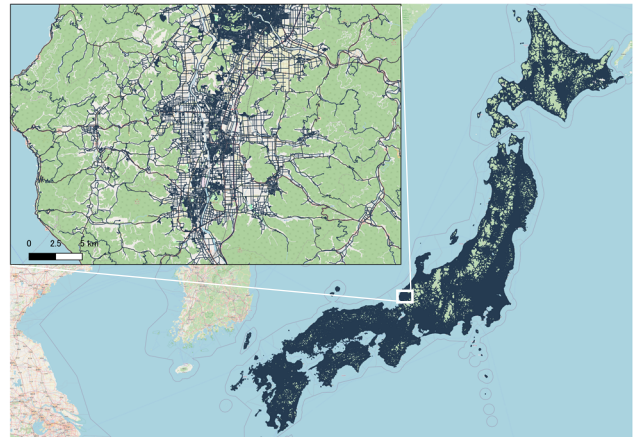


図-1 対象とする道路ネットワーク

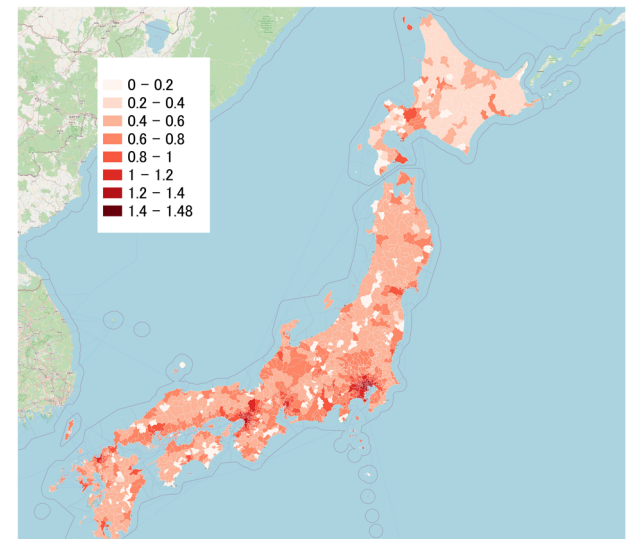


図-2 アメニティ水準

5. 反実仮想実験

本章では前述の方法に基づいて設定したパラメータおよびミッシングリンク解消の条件設定を示す。そして、日本を対象とした高規格幹線道路のミッシングリンクを解消する反実仮想実験を実施する。

(1) パラメータ推定結果

推定されたパラメータ θ は-1.225 (t 値: -1.716 $\times 10^2$) となった。これは地域間の所要時間が長いほど輸送費用が高くなることを示しており、妥当な推定値を得ることができた。

設定されたアメニティ水準 z_i は図-2のとおりである。図より、東京・大阪・名古屋といった大都市ほど水準が高くなることを確認した。

(2) 条件設定

ミッシングリンク解消は、市区町村間の所要時間を変更することで表現した。具体的には、国土交通省の高規格道路ネットワーク図^{注6)}から事業中および調査中の道

路区間の起終点を判断し、起終点間を直線距離で接続したリンクを前述の道路ネットワークに追加した。そして、最短経路探索を実施して得られる市区町村間の所要時間をミッシングリンク解消後の地域間の所要時間とした。

図-3にミッシングリンク解消前後の所要時間の設定値から求めた市区町村間の平均所要時間の変化を示す。図では解消前の所要時間を用いた重みつき平均変化率を示している。図より、北海道・福島県・長野県・岐阜県・和歌山県・鳥取県・島根県・山口県・高知県の市区町村での時間短縮が大きいことを確認した。

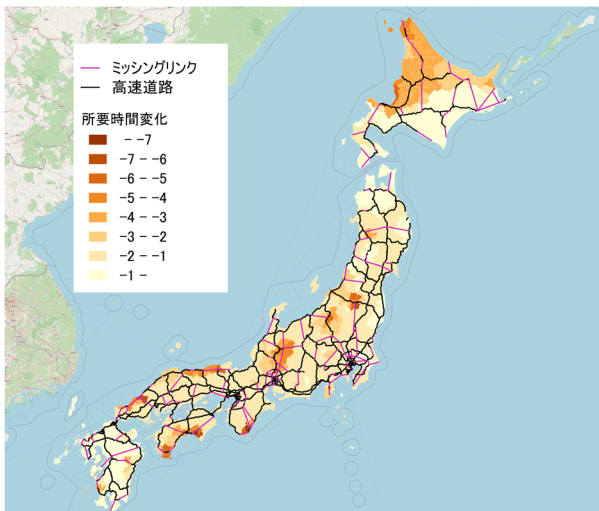


図3 ミッシングリンク解消による所要時間変化 (%)

(3) ミッシングリンク解消による影響

前述の条件に基づいたミッシングリンク解消による影響は学会発表時に報告する。

6. おわりに

本研究では、高規格幹線道路のミッシングリンク解消が市区町村の経済集積変化に与える影響を定量的に把握可能な分析枠組を提案した。具体的には、Sugimoto et al.⁹⁾を基盤にして、DRMに基づく全道路ネットワークを用いることで、高規格幹線道路整備の影響を市区町村単位で分析可能な枠組に拡張した。

本稿では、市区町村間の輸送費用を推定する際に、重量ベースのデータを使用した。より適切な地域間交易を捉えるためには金額ベースのデータが必要となる。近年では市区町村単位の産業連関表が整備されている¹¹⁾。その進展により、市区町村間の地域間交易を捉えるために、市区町村間産業連関表の整備が期待される。

謝辞：本研究は、国土交通省新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：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（代表者：高山雄貴東京科学大学教授）」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) 国土交通省 国土幹線道路部会：高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ, 2023.
- 注2) 国土交通省 地域生活圏専門委員会：とりまとめ報告書, 2025.
- 注3) 国土交通省：費用便益マニュアル, 2025.
- 注4) Department for Transport: TAG UNIT 2.1 Wider Economic Impacts Appraisal, 2019.
- 注5) 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6) 国土交通省：高規格道路ネットワーク図, <https://www.mlit.go.jp/road/content/001856544.pdf> (閲覧日：2025年10月10日)

REFERENCES

- 1) Redding, S. J. and Rossi-Hansberg, E.: Quantitative spatial economics, *Annual Review of Economics*, Vol.9, pp.21–58, 2017.
- 2) 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.
- 3) Allen, T. and Arkolakis, C.: The welfare effects of transportation infrastructure improvements, *The Review of Economic Studies*, Vol.89, No.6, pp.2911–2957, 2022.
- 4) Fajgelbaum, P. D. and Schaal, E.: Optimal transport networks in spatial equilibrium, *Econometrica*, Vol.88, No.4, pp.1411–1452, 2020.
- 5) Sugimoto, T., Takayama, Y., and Takagi, A.: A quantitative spatial model for evaluating transport-induced spatial reorganization, *Transport Policy*, Vol.172, 103738, 2025.
- 6) 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.
- 7) Davis, M. A. and Ortalo-Magné, F.: Household expenditures, wages, rents, *Review of Economic Dynamics*, Vol.14, No.2, pp.248–261, 2011.
- 8) Eaton, J. and Kortum, S.: Technology, geography, and trade, *Econometrica*, Vol.70, No.5, pp.1741-1779, 2002.
- 9) Valentinyi, Á. and Herrendorf, B.: Measuring factor income shares at the sectoral level, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 1, No. , pp. 820–835, 2008.
- 10) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol.62, No.1, pp.53–82, 2004.
- 11) 杉本達哉, 菊池悠斗, 高山雄貴, 村上大輔：アンサンブル学習に基づく小地域産業連関表の作成手法の提案, Jxiv, 2025.

IMPACT ANALYSIS OF THE ELIMINATION OF MISSING LINKS ON HIGH - STANDARD TRUNK ROADS: APPLICATION OF A QUANTITATIVE SPATIAL ECONOMIC MODEL

Tatsuya SUGIMOTO and Yuki TAKAYAMA