第 59 回土木計画学研究発表会・講演集

定量的空間経済学に基づく道路整備効果の分析

杉山 雅也[1]・高山 雄貴[2]

[1]学生会員　金沢大学　大学院自然科学研究科（〒 920-1192 石川県金沢市角間町）
E-mail: sugi70@stu.kanazawa-u..ac.jp
[2]正会員　金沢大学　理工研究域（〒 920-1192 石川県金沢市角間町）
E-mail: ytakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

定量的空間経済学（Quantitative Spatial Economics; QSE）の展開によって，集積経済理論の知見が計量分析に応用されつつある．一方で，QSE はそのモデル構造上，輸送費用の低下が集積の崩壊を引き起こすという特性を持つことが，Akamatsu et al.[1] による理論解析により明らかにされている．これは，QSE に基づく計量分析では，"輸送アクセス改善は人口分布を分散化させる" という結果しか出力されない可能性があることを意味している．そこで，本研究では，QSE モデルを用いた道路整備効果分析を実施することで，その特性・課題を具体的に検証することを目的とする．そのために，QSE の代表的な研究例である Allen and Arkolakis モデル[2] を用いて，我が国における 1960 年から 2005 年の高速道路整備の影響を分析し，実空間における QSE の特徴を確認する．

Key Words : *quantitative spatial economics, agglomeration economies, population distribution*

1.　はじめに

高速道路等の新たな交通基盤整備は，人口・経済活動の複雑かつ多様な空間的集積および分散を引き起こす．このような集積・分散のメカニズムを理解・表現し，合理的な政策評価を可能とする理論的枠組み・モデルを整備することは, 土木計画学分野における重要な課題の一つである．人口・経済活動の集積および分散が内生的に生じるメカニズムを理解するには，集積の経済を考慮した立地均衡の分析が重要となる．

詳細な空間経済データが利用可能になったことを背景に，集積の経済を導入した理論研究の知見が実空間のような多地点が存在する空間を対象とした計量分析へと応用されつつある．定量化の流れは，Redding and Sturm[3] や Allen and Arkolakis[2] の研究をその代表例とする**定量的空間経済学（Quantitative Spatial Economics; QSE）**と呼ばれる潮流が見られる．そして，過去には到底実行不可能であった多種多様な反実仮想分析が実現されるようになっている．

一方で，大澤・赤松[4], 大澤[5] によると QSE には次に示すような問題点があることが指摘されている：

1. 多極的な集積パターンの捨象：モデル構造上，パラメータの設定によらず一極集中的な集積しか表現し得ない．
2. 複数均衡の捨象：均衡解が常に一意であるようにパラメータを先見的に仮定している．

さらに，輸送技術の向上 (輸送費用の低下) が集積の崩壊，すなわち分散を必ず引き起こすことも確認されている．これは QSE を分析に用いる時点で，"輸送アクセス改善は人口分布を分散化させる" という結果しか出力されない可能性があることを意味している．

そこで，本研究では，実空間において QSE の特性および問題点を具体的に検証・把握することを目的とする．そのために，日本を都市雇用圏を基準とした地域で分割し，1960 年から 2005 年における高速道路整備が人口分布に与える影響に関する反実仮想実験を行う．より具体的には，地域間の所要時間を 2005 年から 1960 年まで変化させ，道路整備によって引き起こされた人口分布変化を調べる．

本論文の構成は，以下の通りである．第 2 章では，本研究で用いた Allen and Arkolakis[2] モデルについて説明する．第 3 章では均衡状態を示した上で，その導出方法を示す．なお，第 2 章，第 3 章の内容は基本的に大澤・赤松[4] と同様であるものの，読者の理解を容易にするために，その内容を紹介する．次に，実データを用いたパラメータの設定方法とその結果を第 4 章で提示する．第 5 章では，仮想実験を行うことで，我が国の 1960 年から 2005 年における道路整備を模擬した数値解析を実施する．最後に，第 6 章で本研究の成果をまとめた後，今後の課題を述べる．

2.　Allen and Arkolakis モデル

本章では，本研究で分析に用いた Allen and Arkolakis モデル[2]（以下,"AA 論文","AA モデル"）について説明する．

(1) モデルの設定

離散的な K 箇所の立地点を考える．モデルの空間的スケールとしては地域間スケールを想定し，立地点はその各地点を集約して表現するものとして解釈する．全ての立地点の集合を $\mathcal{K} \equiv \{0, 1, 2, \cdots, K-1\}$ で表現する．この経済には，立地点選択主体として H 人の連続的な消費者が存在する．各立地点 $i \in \mathcal{K}$ に立地する消費者の数を $h_i \geq 0$ で表現する．これらの消費者は，労働を非弾力的に 1 単位供給する．消費者の空間的立地パターンを $\boldsymbol{h} \equiv [\cdots, h_i, \cdots]^{\mathrm{T}} \in \mathbb{R}_+^K$ によって表現し，すべての可能な $\boldsymbol{h}$ の集合を $\mathcal{H} \equiv \{\boldsymbol{h} \in \mathbb{R}_+ \mid \sum_{i \in \mathcal{K}} h_i = H\}$ で定義する．なお，$\mathbb{R}_+$ は非負実数の集合，$\mathbb{R}_{++}$ は正実数の集合である．

この経済では，各地点 $i \in \mathcal{K}$ 毎にバラエティが差別化された単一種類の財が生産されているとする．財の生産は完全競争的であるとし，各地点において財バラエティを生産する企業は，消費者から非弾力的に供給される労働のみを生産要素として投入する．消費者の立地点間の通勤は考慮せず，すべての消費者は個々人の立地点において労働を供給する．

AA モデルでは各立地点 i において，その立地点に存在する消費者数 h_i の大きさに依存して外部性が生ずると仮定する．各立地点 i の生産性を m_i，アメニティを a_i とするとき，これらが各地点の立地者数 h_i に依存して逓増または提言することを仮定する．前者はある立地点に労働者が集積するほどその立地点の消費者の労働生産性が向上することを表現する．後者は混雑外部性であり，消費者の集積による交通渋滞の悪化・地代の上昇などを通じた居住環境の悪化を表現する．AA モデルではこれらの外部性は直接仮定される．

(2) 消費者行動

地点 $i \in \mathcal{K}$ に居住する消費者の効用関数を, 以下のように特定する：

$$u_i(q_{ji} \mid h_i) = a_i(h_i) \cdot \left(\sum_{j \in \mathcal{K}} q_{ji}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}. \tag{1}$$

ここで q_{ji} は地点 $j \in \mathcal{K}$ で生産される財バラエティの消費量である．また $\sigma > 1$ はこれらの財バラエティ間の代替の弾力性である. この直接効用関数のうち，$a_i(h_i)$ は地点 i のアメニティを表現する．$a_i(h_i)$ は地点 i の労働者数 h_i と以下の関係で結ばれると仮定する：

$$a_i(h_i) = \bar{a}_i h_i^{-\beta}. \tag{2}$$

ここで $\bar{a}_i > 0$，$\beta \geq 0$ は所与の定数である．$\beta = 0$ であればアメニティは定数 $\bar{a}_i$ である．$\beta > 0$ ならば収穫逓減であり，混雑効果による集積の不経済を表現する．

地点 j で生産され地点 i で消費される財の価格を p_{ji} とする．地点 i における消費者の賃金を $w_i \geq 0$ とする．このとき地点 i の消費者の予算制約は次の通りである：

$$w_i = \sum_{j \in \mathcal{K}} p_{ji} q_{ji}. \tag{3}$$

なお，消費者の賃金を以下のように基準化する：

$$\sum_{j \in \mathcal{K}} w_i h_i = W. \tag{4}$$

これは経済全体の金銭の量が一定であるという制約である．立地パターン h に対して賃金ベクトルがとりうる集合を，$\mathcal{W} \equiv \{\boldsymbol{w} \in \mathbb{R}_+^K \mid \sum_{i \in \mathcal{K}} w_i h_i = W\}$ で定義する．

予算制約の下での消費者の効用最大化によって，消費者の財各バラエティに対する需要 $\{q_{ji}\}$ および地点 i における財の価格指数 P_i は次のように定められる：

$$q_{ji} \equiv \frac{p_{ji}^{-\sigma}}{P_i^{1-\sigma}} w_i. \tag{5}$$

なお，P_i は地点 i における財の価格指数であり，以下のように定義される：

$$P_i \equiv \left(\sum_{k \in \mathcal{K}} p_{ki}^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}}. \tag{6}$$

ただし $\boldsymbol{p} \neq 0$. 従って, 価格ベクトル $\boldsymbol{p}$ および賃金率 $\boldsymbol{w}$ が与えられれば，地点 i に居住する消費者の間接効用 v_i は以下のように与えられる：

$$v_i = a_i w_i P_i^{-1}. \tag{7}$$

(3) 企業行動

各地点 $i \in \mathcal{K}$ の企業は，労働のみを生産要素として，完全競争的に財を供給する．完全競争の仮定から，地点 i における財の工場卸し価格を p_i とすると，これは限界費用に一致する：

$$p_i = \frac{w_i}{m_i}. \tag{8}$$

なおここで m_i は地点 i における労働の集計的な限界生産性である．m_i は立地点 i の労働者数 h_i と以下の関係で結ばれると仮定する：

$$m_i(h_i) = \bar{m}_i h_i^{\alpha}. \tag{9}$$

ここで $\bar{m}_i > 0$，$\alpha \geq 0$ は所与の定数である．$\alpha = 0$ であれば労働の生産性は定数 $\bar{m}_i$ であり，一方 $\alpha > 0$ であれば集積の経済を表現する．

財の地点間における輸送は氷塊型の輸送技術に従うとする．地点 i から地点 j へ 1 単位の財を届けるためには，地点 i において $\tau_{ij} > 1$ 単位の財を輸出する必要があるとする．また $\tau_{ii} = 1 \forall i$ とする．このとき，地点 i で生産され，地点 j で消費される財の地点 j における価格 p_{ij} は，τ_{ij} と p_i を用いて次のように与えられる：

$$p_{ij} = p_i \tau_{ij}. \tag{10}$$

3. 均衡条件

財・労働市場は，消費者が居住地や生産要素（労働）の供給先を変更できないほど短期で均衡し，長期的には消費者は自ら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ことができると仮定する．すなわち h_i を与件とした状況下で財・労働市場が均衡する“短期均衡状態”と，消費者の居住地・生産要素（労働）供給先の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．

(1) 短期均衡条件

短期的には消費者は地点間を移動できないと仮定し，その条件下での一般均衡状態を考える（“短期均衡”）．短期均衡条件は財市場の清算条件，消費者の効用最大化，企業の利潤最大化条件からなる．この短期均衡条件は賃金が満足するべき方程式，いわゆる“賃金方程式”に帰着される．

以下ではこの賃金方程式を導出する．まず価格指数の定義式（6）に利潤最大化価格（式（8），式（9），式（10））を代入する．その結果，地点 i における価格指数 P_i を賃金 $\boldsymbol{w}$ および消費者の空間的立地パターン $\boldsymbol{h}$ の関数として表現できる：

$$P_i = \left(\sum_{k \in \mathcal{K}} w_k^{1-\sigma} m_k^{\sigma-1} d_{ki} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}}. \tag{11}$$

ただし $d_{ki} \equiv \tau_{ki}^{1-\sigma}$ とする．この関係を用いれば，地点 i から地点 j への取引額 X_{ij} は $X_{ij} = p_{ij} q_{ij} h_j$ よ

$$X_{ij} = \frac{w_i^{1-\sigma} m_i^{\sigma-1} d_{ij}}{\sum_{k \in \mathcal{K}} w_k^{1-\sigma} m_k^{\sigma-1} d_{kj}} w_j h_j \tag{12}$$

と表現できる．企業のゼロ利潤条件より，地点 i における総収益は，地点 i における総賃金と一致する：

$$w_i h_i = \sum_{j \in \mathcal{K}} X_{ji}. \tag{13}$$

これを解けば，短期均衡状態における賃金ベクトル $\boldsymbol{w}$ が定まる．即ち式（13）が賃金方程式である．ベクトル表記すれば次のようになる：

$$[\boldsymbol{w}] \cdot [\boldsymbol{h}] = \tilde{\boldsymbol{M}}([\boldsymbol{w}] \cdot [\boldsymbol{h}]), \tag{14a}$$

$$\tilde{\boldsymbol{M}} \equiv (\mathrm{diag}[\tilde{\boldsymbol{w}}]) \boldsymbol{D} (\mathrm{diag}[\boldsymbol{D}^{\mathrm{T}} \tilde{\boldsymbol{w}}])^{-1}, \tag{14b}$$

$$\tilde{\boldsymbol{w}} \equiv [\boldsymbol{w}]^{1-\sigma} \cdot [\boldsymbol{h}]^{\alpha(\sigma-1)}. \tag{14c}$$

ここで行列

$$\boldsymbol{D} = [d_{ij}] \equiv [\tau_{ij}^{1-\sigma}] \tag{15}$$

は，空間構造を表現する行列であり，$\boldsymbol{D}$ を空間割引行列と呼ぶ. ベクトル $\boldsymbol{a}$，$\boldsymbol{b}$ に対して $[\boldsymbol{a}] \cdot [\boldsymbol{b}]$ は $[\boldsymbol{a}] \cdot [\boldsymbol{b}] \equiv [a_i b_i]$ なる要素ごとの演算として定義し，同様にベクトルの要素ごとのべき乗を $[\boldsymbol{a}]^k \equiv [a_i^k]$ と定義する．

賃金方程式から得られる $\boldsymbol{w}(\boldsymbol{h})$ を用いれば，消費者の間接効用関数は以下の $\boldsymbol{h}$ の関数で与えられる:

$$\boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}) = [\boldsymbol{a}(\boldsymbol{h})] \cdot [\boldsymbol{w}(\boldsymbol{h})] \cdot [\boldsymbol{P}(\boldsymbol{h})]^{-1}. \tag{16}$$

(2) 長期均衡条件

長期的には消費者は立地点間を移動できる．従って，消費者の立地パターンは $\boldsymbol{h}$ は長期的には内生変数である．消費者数を変数とする間接効用関数を用いれば，長期的な消費者の立地均衡条件は以下の非線形相補性条件によって表現される：

$$\begin{cases} V = v_i(\boldsymbol{h}) & \text{if} \quad h_i > \quad 0 \\ V \geq v_i(\boldsymbol{h}) & \text{if} \quad h_i = \quad 0 \end{cases}, \boldsymbol{h} \in \mathcal{H}. \tag{17}$$

(3) 長期均衡条件の安定性

長期均衡状態は安定・不安定なものが複数存在する．そこで長期均衡の安定性を次に示す replicator dynamic によって判定する：

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{h}} = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{h}) \equiv \mathrm{diag}[\boldsymbol{h}](\boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}) - \tilde{v}(\boldsymbol{h})\boldsymbol{1}), \\ \tilde{v} \equiv H^{-1} \boldsymbol{h}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}). \end{cases} \tag{18}$$

replicator dynamic について，$\nabla \boldsymbol{F}(\boldsymbol{h})$ は具体的には以下のように表現できる:

$$\nabla \boldsymbol{F}(\boldsymbol{h}^*) \equiv \boldsymbol{\psi}(\boldsymbol{h}^*) \nabla \boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}^*) + \boldsymbol{J}(\boldsymbol{h}^*), \tag{19a}$$

$$\boldsymbol{\psi}(\boldsymbol{h}) \equiv \mathrm{diag}[\boldsymbol{h}](\boldsymbol{I} - H^{-1} \boldsymbol{E} \mathrm{diag}[\boldsymbol{h}]), \tag{19b}$$

$$\boldsymbol{J}(\boldsymbol{h}) \equiv \mathrm{diag}[\boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}) - \tilde{v}(\boldsymbol{h})\boldsymbol{1}] - H^{-1} \boldsymbol{h} \boldsymbol{v}(\boldsymbol{h})^{\mathrm{T}}. \tag{19c}$$

ただし，$\boldsymbol{E} \equiv \boldsymbol{1}\boldsymbol{1}^{\mathrm{T}}$ はすべての要素が 1 で与えられる K 次元正方行列である．ここで $\nabla \boldsymbol{v}(\boldsymbol{h})$ は間接効用関数の Jacobi 行列であり，以下で与えられる：

$$\nabla \boldsymbol{v}(\boldsymbol{h}) = \mathrm{diag}[\boldsymbol{v}(\boldsymbol{h})](\boldsymbol{V}_1(\boldsymbol{h}) + \boldsymbol{V}_2(\boldsymbol{h})), \tag{20a}$$

$$\boldsymbol{V}_1(\boldsymbol{h}) \equiv (-\beta \boldsymbol{I} + \alpha \tilde{\boldsymbol{M}}^{\mathrm{T}}) \mathrm{diag}[\boldsymbol{h}]^{-1}, \tag{20b}$$

$$\boldsymbol{V}_2(\boldsymbol{h}) \equiv (\boldsymbol{I} - \tilde{\boldsymbol{M}}^{\mathrm{T}}) \mathrm{diag}[\boldsymbol{w}]^{-1} \nabla \boldsymbol{w}(\boldsymbol{h}). \tag{20c}$$

なお，$\nabla \boldsymbol{w}(\boldsymbol{h})$ は $\boldsymbol{w}(\boldsymbol{h})$ の $\boldsymbol{h}$ に関する Jacobi 行列である．

4. パラメータの設定

基準均衡状態（i.e.，政策を実施していない状況下での均衡状態）を実データと整合させるためには，パラメータを適切に推定・キャリブレートする必要がある．そこで本節では，データからその数値が得られる h_i, w_i が基準均衡状態となるような，短期・長期均衡条件に関係するパラメータの設定方法を説明し，パラメータの推定・キャリブレーション結果を示す．

(1) 短期均衡条件に関係するパラメータ

本節では，短期均衡条件に関するパラメータである $\alpha, \beta, \tau_{ij}, \sigma, \bar{m}_i$ の推定・キャリブレーション方法を示す．

α, β は AA 論文の計量分析部分で用いられている値を使用する．AA 論文では，均衡の一意性を採用するために，$\alpha - \beta \leq 0$ なるパラメータ設定が分析にあたって先見的に仮定されている．具体的には，α については過去の研究で推定された値を参照し，β については他のデータに基づいて，$(\alpha, \beta) = (0.1, 0.3)$ と設定している．これは，実質的に集積力が存在しない状況設定となっていることを表している．

輸送費用に関する項 τ_{ij} を考える．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 Venables[6] と同様の方法で推定する．地域 i，j 間の財の輸送額 X_{ij} が次のように与えられることを利用する：

$$\ln[X_{ij}] = \mathrm{FX}_i + \ln[\{\tau_{ij}\}^{1-\sigma}] + \mathrm{FM}_j. \qquad (21)$$

ここで，$\mathrm{FX_i}$ は生産地 i に関する項，$\mathrm{FM_j}$ は需要地 j に関する項を表す．

本研究では，輸送費用 $\{\tau_{ij}\}^{1-\sigma}$ は, 地域内 $(i.e., i = j)$，地域間 $(i.e., i \neq j)$ 別に以下で与えられると考える：

$$\{\tau_{ij}\}^{1-\sigma} = \begin{cases} \{\mathrm{IC}_i\}^{\tau_{\mathrm{IC}}} \cdot \{\mathrm{dist}_{ij}\}^{\tau} & \text{if} \quad i = j, \\ \{\mathrm{dist}_{ij}\}^{\tau} & \text{if} \quad i \neq j. \end{cases} \qquad (22)$$

ここで，dist_{ij} は地域 i, j 間の所要時間である．この所要時間は高速道路・国道・フェリーを利用した場合の最短所要時間で与える．なお，この最短所要時間は，高速道路・国道・フェリーの速度を，各々，80km/h,35km/h,35km/h として，ArcGIS により計算した．また地域内の所要時間 dist_{ii} は，地域 i の総面積 area_i に応じて地域内輸送距離 $2/3\sqrt{(\mathrm{area}_i/\pi)}$ を，国道と同じ速度で移動する場合の所要時間で与える．また，IC_i は地域 i 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 $\mathrm{IC}_i = 1$ とした．そして次の推定式により τ, τ_{IC} を得る：

$$\ln[X_{ij}] = \begin{cases} \mathrm{FX}_i + \tau_{\mathrm{IC}} \ln[\mathrm{IC}_a1] + \tau \ln[\mathrm{dist}_{ij}] + \mathrm{FM}_j + \zeta_{ij} \\ \qquad \text{if} \quad i = j, \\ \mathrm{FX}_i + \tau \ln[\mathrm{dist}_{ij}] + \mathrm{FM}_j + \zeta_{ij} \qquad \text{if} \quad i \neq j. \end{cases} \qquad (23)$$

なお，ζ_{ij} は誤差項である．

輸送費用パラメータ τ, τ_{IC} を（23）から推定するには，財の地域間交易額に関するデータが必要となる．しかし，その詳細なデータを得るのは困難であるため，本稿では，経済産業省で公開している 2005 年（最新）の地域間産業連関表を用いて推定する．ただし，沖縄は経済規模が小さく，かつ他地域と極端に離れた位置にあることから，ここでは省略した．なお，ここで注意が必要なのは，ここで示したパラメータ推定方法では，代替弾力性パラメータ σ 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 $\{\tau_{ij}\}^{1-\sigma}$ 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．

財の代替弾力性 σ は，短期均衡条件で用いられていることから理解できるように，$\{\tau_{ij}\}^{1-\sigma}$ 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 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 τ の値を利用することとする．

$\bar{m}_i$ は，短期均衡条件により設定する．短期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 h_i, w_i は，基準均衡状態のデータから得られる．それゆえ，これまでに得られたパラメータ $\alpha, \beta, \tau_{ij}, \sigma$ を用いれば，$\bar{m}_i$ が定まる．

(2) 長期均衡条件に関係するパラメータ

アメニティ$\bar{a}_i$ は長期均衡条件を満たすように設定する．ただし，$\bar{a}_i$ の値は一意に決まらないことから，$\bar{a}_1 = 0$ に基準化して残りのパラメータを決定する．

(3) パラメータの推定・キャリブレーション結果

本分析では，1960 年, 1985 年,2005 年時点の高速道路整備状況は再現できたが，国道・フェリーの整備状況を再現することが困難であったため，各年代の地域間距離は高速道路網のみを変更して算出した．ただし，国道・フェリーの整備水準の変化を反映するために，その速度を (道路統計年報から得られる) 日本全国の国道実延長距離に応じて調整した．具体的には，X 年における国道・フェリー速度は以下で与えて，所要時間を計算した：

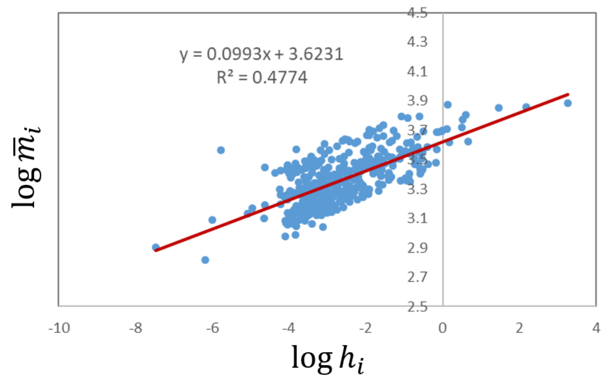
$$\frac{[X \text{年の国道の実延長距離}]}{[2005 \text{年の国道の実延長距離}]} \times 35\mathrm{km/h}. \qquad (24)$$

なお，高速道路の速度は全ての年代で 80km/h から変化させていない．

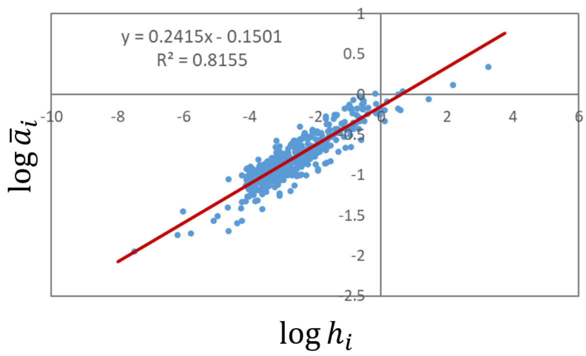
輸送費用パラメータ τ, τ_{IC} の推定は，(1) で示した手順で実施した．その結果，τ, τ_{IC} が以下の通り得られた：

$$(\tau, \tau_{\mathrm{IC}}) = (-0.77261, 0.49974) \qquad (25)$$

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



図–1 AA モデルにおける人口シェアと生産性の定数の関係



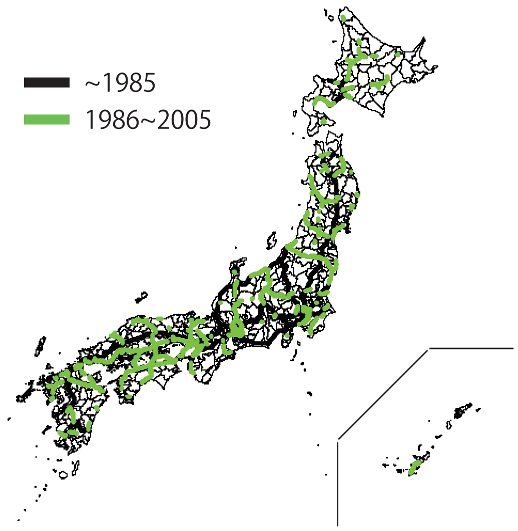
図–2 AA モデルにおける人口シェアとアメニティの関係

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

生産性の定数 $\bar{m}_i$，アメニティ$\bar{a}_i$ は，それぞれ短期均衡条件，長期均衡条件を満足するように推定した．ここで，推定された立地点固有効果と AA モデルにおける人口分布の関係を見てみよう．立地点 i の人口シェアを生産性の定数 $\bar{m}_i$，アメニティ$\bar{a}_i$ に対してプロットしたものをそれぞれ図-1，図-2 に示す．生産性の定数は人口分布の約 48%を，アメニティは約 82%を説明している結果となった．QSE モデルでは，多極集積が内生的に表現し得ないことから，外生的な立地点固有効果であるアメニティ，生産性の定数が人口分布に与える影響が大きく，一般均衡効果が人口分布に与える影響が小さいと考えられる．

5. 道路整備効果分析

本章では，AA モデルを用いて 1960 年から 2005 年の期間に整備された道路を対象に，その効果分析を行う．数値解析を行うことで，我が国における高速道路整備がもたらした輸送技術の向上により，どのように人口が集積・分散するのかを検証する．なお，本分析



図–3 地域分割結果と 1985 年，2005 年時点の高速道路整備状況

は，高山ら [7] と同様の手順で日本国内を都市雇用圏を基準に分割した，432 地域を対象に実施する．具体的な地域分割結果と高速道路整備状況は図-3 に示す．

(1) 道路整備の効果分析の内容

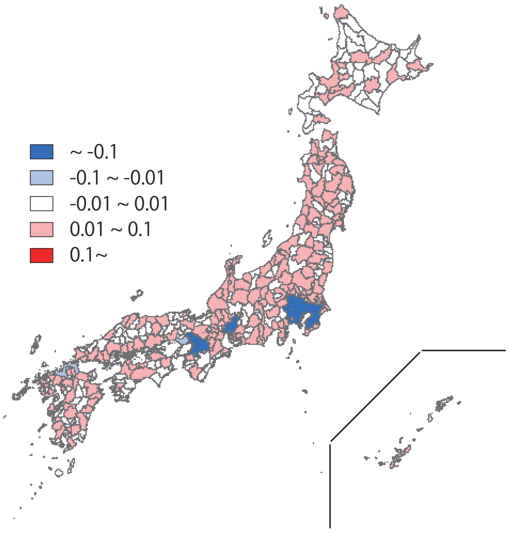
本稿では，1960 年から 2005 年に整備された道路を対象とし，高速道路整備が人口分布に与える効果の分析を実施した．分析は（a）1961 年から 2005 年,（b）1986 年から 2005 年の 2 通りの期間を対象とした．いずれの期間においても，2005 年を基準均衡状態として，各年代の地域間所要時間における人口シェアをそれぞれ求め，各地域の人口シェアの変化を調べた：

$$\frac{h_i^A - h_i^B}{H} \times 100. \tag{26}$$

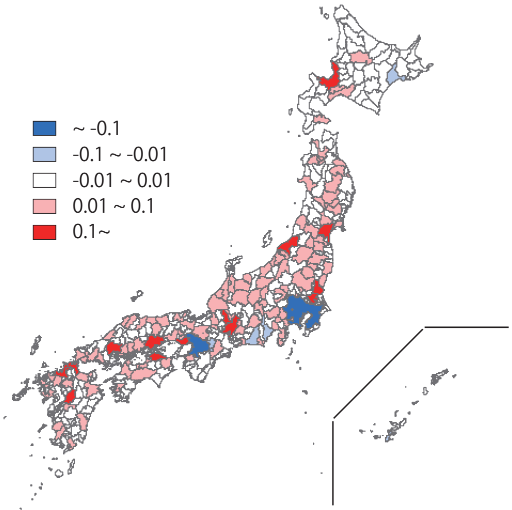
ここで，上付き添え字 A は輸送費用変化前の均衡状態，B は輸送費用増加後の均衡状態（過去を想定した状態）を表す．

(2) AA モデルの特性

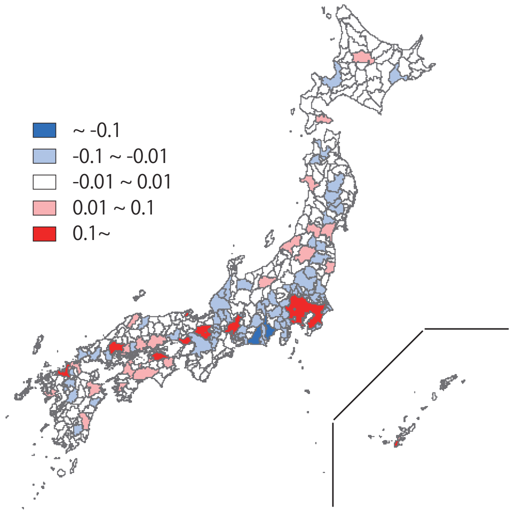
Akamatsu et al.[1)]，大澤・赤松 [4)]，大澤 [5)] によれば，QSE はそのモデル構造上，道路整備などによる輸送技術の向上が分散を必ず引き起こすことが明らかにされている．したがって，解析から得られる人口シェア変化は，高速道路の配置する区間など道路整備による影響に加えて，QSE の特性による影響によってもたらされると考えられる．そのため，AA モデルを用いた道路整備効果分析において，QSE の特性が人口シェアにどのような影響を与えているかを明らかにするためには，道路整備による影響と QSE の特性による影響を区別して考える必要がある．



図–4　AA モデルの分岐特性



図–5　（a）1961 年から 2005 年の道路整備効果



図–6　（b）1986 年から 2005 年の道路整備効果

そこで，QSE の特性によってどのような人口シェア変化がもたらされるかを知るために，本節では，基準均衡状態から輸送技術を一律で 10%向上させ，AA モデルの特性を明らかにする．解析の結果は図-4 であり，人口シェア変化は，人口規模が大きい東京，大阪，名古屋の 3 大都市圏で大幅な減少が見られたほか，福岡，北九州，神戸でも減少した．一方で，その他の多数の地域では概ね増加が見られ，輸送技術の向上による AA モデルの特性を確認できた．

(3)　高速道路整備の影響評価

（a）1961 年から 2005 年,（b）1986 年から 2005 年の道路整備が人口分布に与える影響を示し，それぞれの人口シェア変化について説明する．なお，1985 年，2005 年時点での高速道路整備状況は図-3 に示す通りである．

a)　1961 年から 2005 年の道路整備効果

東京を中心として政令指定都市，さらには中核市へと，複数地域が結ばれ，全国各地で高速道路整備が行われた．図-5 から，人口シェアの変化は，人口規模の大きな東京，大阪で減少しており，他の地域では増加している．(2) の人口シェア変化と概ね同様の結果が見られたが，人口シェアが増加した地域に注目すると，人口シェアがより多く増加した地域がいくつかあり，高速道路の配置や整備した区間による影響を確認できた．

(2) で人口シェアの大幅な減少が見られた名古屋では，人口シェアが大幅に増加した．これは，東京，大阪からの分散が非常に大きく，相対的に名古屋の人口シェアが増加したためであると考える．東京，大阪は人口規模が非常に大きいことに加えて，東京は東名高速道路や関越自動車道など，大阪は名神高速道路や中国自動車道などの複数地域を繋ぐ主要な高速道路の中継点および起点となっていることから，東京，大阪において道路整備による輸送技術の向上の影響が大きくなり，大幅な人口シェアの減少が引き起こされたと考えられる．

b)　1986 年から 2005 年の道路整備効果

主に 1985 年以前に整備された高速道路から枝分かれするように高速道路整備が行われた．図-6 から，人口シェアの変化は，東京で大幅に増加しており，東京周辺の地域では減少している．1986 年以降の高速道路整備は東北地方や中国地方など東京から離れた地域の整備が主であり，東京周辺の高速道路網はほとんど変化していない．したがって，東京では道路整備による輸送技術の向上の影響が小さく，東京周辺地域からの流入により人口シェアが増加したと考えられる．

また，中国地方，四国地方で人口シェアの増加が見られ，(2) と概ね同様の結果が見られた．これは，四国では高松自動車道が，中国地方では山陽自動車道がそれぞれ整備されたことで，近畿地方，中国地方，四国

地方が高速道路で接続され，道路整備による輸送技術の向上の影響が大きくなったためであると考えられる．

(4) まとめと考察

(2) では，AA モデルの特性を示し，(3) では AA モデルの特性に加えて，整備する区間などの道路整備による人口シェア変化を調べた．解析の結果から，高速道路が地域全体で整備されるなど輸送技術の向上の影響が広域的である場合は AA モデルの分岐特性が，高速道路が部分的に整備されるなど輸送技術の向上の影響が狭域である場合は道路整備が人口シェア変化に大きな影響を与えることが分かる．これは，大澤[5] で指摘されているように，QSE モデルが "内生的な集積メカニズムが弱い形で考慮された枠組み" であることが要因であろう．それゆえ，QSE に基づく社会基盤整備等の "長期的な影響評価" を実施する際には，その結果の解釈には注意が必要となることがわかる．

6. おわりに

本研究では，QSE の特徴を具体的に検証するために，AA モデルを用いて (a)1961 年から 2005 年，(b)1986 年から 2005 年に我が国で行われた道路整備を対象に分析を行った：

1. 多極的な集積パターンの捨象：モデル構造上，パラメータの設定によらず一極集中的な集積しか表現し得ない．
2. 複数均衡の捨象：均衡解が常に一意であるようにパラメータを先見的に仮定している．

1 について，推定したアメニティ，生産性の定数が，AA モデルで再現される人口分布に強い影響を与えていることを確認した．2 について，AA モデルの特性を調べたうえで，解析結果に AA モデルの特性が人口シェア変化に影響を与えていることが分かった．現実に見られるような複雑で多様な集積現象を適切に表現するために，モデルの特性が人口分布に影響を与えない，輸送技術の向上後の挙動が自明でないようなモデルの構築が必要であると言える．

謝辞: 本研究は日本学術振興会 科学研究費補助金 (課題番号 18H01556, 18K18874, 18K04380) 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．

参考文献

1) Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y.: Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications, *MPRA Paper No. 84145,* 2018.
2) Allen, T. and Arkolakis, C. : Trade and topography of the spatial economy. *The Quarterly Journal of Economics*, pp. 1085-1139, 2014.
3) Redding, S. J. and Sturm, D. M. : The cost of remoteness:Evidence from German division and reunification, *American Economic Reviw*, Vol. 98, No. 5, pp. 1766-97, 2008
4) 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.
5) 大澤実：集積経済モデルの数理解析とその周辺，土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No.5, pp.19-36.
6) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol. 62, No. 1, pp.53–82, 2004.
7) 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.

(2019. 3. 10 受付)