

交通基盤整備の長期的影響評価のための都市経済分析:
浸水リスク増大による経済活動の空間分布変化

An urban economic analysis for assessing the long-term impact of transportation development:
Changes in the spatial distribution of economic activity due to increased flood risk

杉本 達哉¹, 高山 雄貴², 高木 朗義³

Tatsuya SUGIMOTO¹, Yuki TAKAYAMA² and Akiyoshi TAKAGI³

本研究では, 交通基盤整備の長期的影響評価に資する, 浸水リスク増大による経済活動の空間分布 (i.e., 人口分布, 企業分布) 変化を計測可能な都市経済分析手法の開発を目的とする. そのために, 集積の経済を考慮した先行研究¹⁾のモデルを基盤に, 浸水リスクを考慮できるモデルを構築した. そして, 実空間を対象とした分析で生じる, 大規模な数値計算を可能とするためのポテンシャル関数がモデルに存在することを示した. 加えて, 実空間での分析を可能とする系統的なパラメータ設定方法を提示した. さらに, 金沢都市雇用圏を対象に, 浸水リスク増大に関する反実仮想実験を実施した. そして, モデルの特徴を反映した結果であること, 交通基盤整備の長期的影響を計測できることを確認した. そして, 整理した浸水区域人口変化から, 浸水被害軽減策を考察した.

This study develops an urban economic analysis method that can measure changes in the spatial distribution of economic activity due to increased risk of flooding, which contributes to the assessment of the long-term impact of transportation infrastructure development. For this purpose, we construct a model that can take into account the risk of flooding, based on the models of previous studies that consider agglomeration economies. It is shown that the model has a potential function that enables large-scale numerical calculations. In addition, we present a systematic parameter setting method that enables analysis in real space. Furthermore, we conduct a counterfactual experiment on the increased risk of flooding in the Kanazawa urban employment zone. We confirm that the results reflect the characteristics of the model and that it is possible to measure the long-term impact of transportation infrastructure development. We also discuss measures to reduce flood damage based on the changes in the flooded area population.

Keywords: 集積の経済, 浸水リスク, 都市経済分析, ポテンシャル関数

Agglomeration Economies, Flood Risk, Urban Economic Analysis, Potential Function

1. はじめに

1.1 背景・目的

気候変動に伴って, 長期的な趨勢として浸水リスク(浸水区域, 浸水深)の増大が懸念される. 気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)では, 1901年以降の降水量の増加や, 近年の極端現象の増加(i.e., 極端な降水と流量の増加傾向)を示しており²⁾, 今後のさらなる浸水リスク増大が懸念される. 浸水リスクの増大は, 経済活動に大きな影響を与える. 実際, 平成30年7月豪雨では, 記録的な大雨を要

因として, 西日本を中心に大きな被害を受けた³⁾.

浸水リスク増大による経済活動への影響(i.e., 浸水被害)は, 浸水リスクと経済活動の空間分布(i.e., 人口分布, 企業分布)との地理的な重なり次第で, 大きく変化する. これは, 浸水リスクと経済活動の双方の空間分布が空間的に不均一であるためである. 今後拡大が懸念される浸水被害を軽減するには事前の予見が重要であり, そのためには, 浸水リスクと経済活動の双方の空間分布の長期的な変化を同時に捉える必要がある.

このうち, 経済活動の空間分布の長期的な変化の主要因が集積の経済であることが, 空間経済学分野で蓄積さ

1 正会員, 修士(工学), 八千代エンジニアリング株式会社 技術開発研究所

Member, ME, Research Institute for Infrastructure Paradigm Shift, Yachiyo Engineering Co., Ltd.

〒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 Phone: 03-5822-6216

2 正会員, 博士(情報科学), 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系

Member, Dr. of Information Sciences, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

3 正会員, 博士(工学), 岐阜大学 社会システム経営学環

Member, Doctor of Engineering, School of Social System Management, Gifu University

れた実証研究により示されている⁴⁾。そして、その実証結果を説明する理論モデルが検討されてきた⁵⁾。このことから、経済活動の空間分布の長期的な変化を把握するには、集積の経済を考慮することが重要と言える。

交通基盤整備は、長期的な浸水被害軽減策を考えるうえで、重要と言える。これは、交通基盤が経済活動の空間分布に重要な影響を与えうるためである。実際、都市交通システムの発達、土地利用変化の誘因となり、浸水被害を増大させる(e.g., 都市のコンパクト化に伴って、高リスク地区での経済活動が増加する)可能性も、低下させる(e.g., 低リスク地区へ経済活動を誘導する)可能性も存在する。このような土地利用誘導は、交通基盤の長期的影響であり、浸水被害軽減を検討するうえで評価すべき影響である。しかし、このような交通基盤整備の長期的影響を調べることのできる(集積の経済を考慮した)経済分析手法はいまだ存在しない。

そこで本研究では、交通基盤整備の長期的影響評価に資する、浸水リスク増大による経済活動の空間分布(i.e., 人口分布, 企業分布)変化を計測可能な都市経済分析手法の開発を目的とする。具体的には、モデル特性が明らかとなっている、集積の経済を考慮した先行研究⁶⁾のモデルを基盤に、浸水リスクを考慮したモデルを構築する。そして、大規模な数値計算を可能とするための、ポテンシャル関数がモデルに存在することを示す。さらに、構築したモデルによる計量分析を可能とするためのパラメータ設定方法を提示する。そのうえで、金沢都市雇用圏を対象に、浸水リスク増大に関する反実仮想実験を実施し、その結果がモデルの特徴を反映したものであること、交通基盤整備の長期的影響を計測できることを確認する。加えて、浸水区域内の人口分布変化を把握し、浸水被害の軽減策について考察する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2章では、先行研究⁶⁾に基づくモデルを構築し、ポテンシャル関数の存在を示す。第3章では、モデルによる計量分析を可能とするためのパラメータ設定方法を提示し、金沢都市雇用圏を対象にパラメータ設定を行う。第4章では、浸水リスク増大に関する反実仮想実験を行う。最後に、第5章で本論文の成果と今後の課題を述べる。

1.2 関連研究と本研究の位置づけ

これまで、交通基盤整備を評価可能とする都市経済分析手法として、応用都市経済(CUE)モデルに関する研究が蓄積されてきた⁶⁾。CUEモデルは、多くの開発・実用事例があり、政策実務にも適用可能な分析ツールとして精緻化が進んでいる。また、CUE研究においても、地球温暖化を背景に、災害リスクを考慮したモデルの重要性が指摘されており⁶⁾、モデル開発が行われている^(例えば7)。しかし、これらのCUEモデルは、集積の経済を考慮して

おらず、長期的な影響を計測する分析手法ではない。

近年、都市経済学分野において、集積の経済を考慮した定量分析が盛んになりつつある^(例えば8)。しかしながら、これらの研究では、モデル特性(i.e., モデルがどのような経済活動の空間分布を表現可能か)を示していない。本研究を含む、これらの研究が採用する構造推定アプローチでは、実空間を対象とした分析結果は、モデル特性を反映した結果しか示さない。したがって、モデル特性を見極めることが極めて重要⁹⁾であり、これを行わないままに定量分析を実施することは重要な問題である。

一方で、近年の都市経済学分野の理論研究では、観測される特徴的な空間分布変化(i.e., 中心市街地の空洞化, 都心の郊外化)を表現できる、モデルの数理構造が明らかにされるまでになっている¹⁰⁾。しかしながら、そのような理論的知見を応用する研究は、大規模な数値解析が困難であること、モデルのパラメータ設定方法が未確立であることを根本の原因として、ほとんど進んでいない。

本研究は、日本で観測される特徴的な空間分布変化を表現できるうえに、浸水リスク増大を表現できるモデルを構築している点に特徴がある。本分析手法は、交通基盤整備に限らず、都市政策(e.g., 居住誘導, 都市機能誘導)による長期的な浸水被害軽減策を評価可能とする基盤になりうるものであると考えられる。

2. モデル

本章では、中村・高山¹¹⁾に基づいた、集積の経済および浸水リスクを考慮したモデルを構築する。そして、均衡条件を定式化したうえで、本モデルにポテンシャル関数が存在することを示す。

2.1 都市内の状況設定

本モデルでは、離散的な I 箇所の立地点が存在する都市を考える。この立地点の集合を $\mathcal{L} \equiv \{1, 2, \dots, I\}$ と表す。立地点間は、道路ネットワークにより接続されており、立地点 a, i 間の距離は τ_{ai} であると仮定する。

この都市には、立地主体である家計と企業に加えて、それらに床面積を供給するデベロッパーが存在する。

2.2 家計の行動

家計の総数は固定的に N である。立地点 $a \in \mathcal{L}$ に居住し、立地点 $i \in \mathcal{L}$ に通勤する家計数を $h_{ai} \geq 0$ と表す。このとき、居住地が立地点 a の家計数 n_a 、就業地が立地点 i の家計数 m_i は以下で与えられる:

$$n_a = \sum_{i \in \mathcal{L}} h_{ai}, \quad m_i = \sum_{a \in \mathcal{L}} h_{ai}. \quad (1)$$

家計は、合成財・床面積の消費量と各立地点のアメニティ水準に応じた効用を得る。ただし、中村・高山¹¹⁾と同様、家計が消費する床面積は固定的に s^H である。したが

って, 居住地 $a \in \mathcal{L}$, 就業地 $i \in \mathcal{L}$ の家計の効用水準 u_{ai} は, 合成財消費量 z_{ai} と立地点 a のアメニティ水準 A_a に応じて定まる. 具体的には, 本研究では, 家計の効用は以下で与えられると仮定する:

$$u_{ai} = z_{ai} + A_a. \quad (2)$$

ここで, 家計の効用にアメニティ水準 A_a を考慮することで, 家計行動に浸水リスクを考慮できる枠組としている.

また, 合成財の価格を1に基準化するため, 予算制約は以下で与えられる:

$$w_i = z_{ai} + r_a s^H + t\tau_{ai}. \quad (3)$$

ここで, w_i は就業地 i の賃金率, r_a は居住地 a の単位床面積の価格, t は単位距離あたりの通勤費用である. 以上より, u_{ai} は次のように表される:

$$u_{ai} = w_i - r_a s^H - t\tau_{ai} + A_a. \quad (4)$$

2.3 企業の行動

企業^{*1}は, 参入や撤退が自由であり, 完全競争下で財を生産する. 財の生産には, s^F 単位の床面積と1単位の労働を投入する必要がある. また, 立地点 i の生産額 Prod_i は, 以下に示すように, 他企業とのコミュニケーション外部性の水準 $F_i(\mathbf{m})$ と, 立地点 i 固有の効果 B_i に応じて定まると仮定する:

$$\text{Prod}_i = \alpha F_i(\mathbf{m}) + B_i, \quad (5)$$

$$F_i(\mathbf{m}) = \sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[-\rho \tau_{ij}] m_j. \quad (6)$$

ここで, コミュニケーション外部性 $F_i(\mathbf{m})$ は企業間における集積の経済を考慮しており, 多くの企業がより近くにより高密度で立地するほど, 生産額が高まると仮定している. また, $\mathbf{m} = [m_1, m_2, \dots, m_l]^T$ であり, α はコミュニケーション外部性の大きさを表すパラメータ, ρ は距離減衰パラメータである. 上記のように, 生産額に立地点 i 固有の効果 B_i を考慮することで, 企業行動に浸水リスクを考慮できる枠組としている. このとき, 立地点 i の利潤 π_i は次のように与えられる:

$$\pi_i = \alpha F_i(\mathbf{m}) + B_i - r_i s^F - w_i. \quad (7)$$

このとき, 企業の利潤ゼロ条件より, 立地点 i の企業の賃金 w_i は次のように表される:

$$w_i = \alpha F_i(\mathbf{m}) + B_i - r_i s^F. \quad (8)$$

2.4 デベロッパの行動

デベロッパーは, 各立地点で不在地主から借りた単位面積の土地と資本を開発し, 完全競争の下で床面積を家計と企業に供給する. Ahlfeldt et al.⁸⁾と同様, 生産関数はCobb-Douglas型であると仮定することから, 立地点 a の土地を開発するデベロッパの利潤最大化行動は次のように表される:

$$\max_{M_a, K_a} \Pi_a = r_a S_a - P M_a - (R_a + C) K_a, \quad (9a)$$

$$\text{s.t. } S_a = M_a^\mu K_a^{1-\mu}. \quad (9b)$$

ここで, $\mu \in (0, 1)$ は資本の投入割合, S_a は床面積の供給量, M_a は資本量, R_a はデベロッパが不在地主に支払う単位面積あたりの土地に対する地代, C は土地開発に伴う単位面積あたりの機会費用(もしくは機会収入), K_a は利用可能な土地面積である. また, P は資本の価格であり, 立地点によらず同一の水準となる. ここで, P は M_a の単位を基準化するために, これ以降, $P = 1$ とする.

利潤最大化問題の一階条件および利潤ゼロ条件から, M_a, S_a, r_a は, 各々, 以下で与えられる:

$$M_a = \frac{\mu}{1-\mu} (R_a + C) K_a, \quad (10a)$$

$$S_a = (\mu r_a)^{\frac{\mu}{1-\mu}} K_a, \quad (10b)$$

$$r_a = \frac{(R_a + C)^{1-\mu}}{\mu^\mu (1-\mu)^{1-\mu}}. \quad (10c)$$

立地点 a の床面積需要量は $s^H n_a + s^F m_a$ であることから, 需給均衡条件 (i.e., $S_a = s^H n_a + s^F m_a$) より, r_a, R_a が次のように表される:

$$r_a = \frac{1}{\mu} \left(\frac{s^H n_a + s^F m_a}{K_a} \right)^{\frac{1-\mu}{\mu}}, \quad (11a)$$

$$R_a = \frac{1-\mu}{\mu} \left(\frac{s^H n_a + s^F m_a}{K_a} \right)^{\frac{1}{\mu}} - C. \quad (11b)$$

2.5 立地均衡状態

家計は効用 u_{ai} が最大となる居住地 a , 就業地 i を選択する. この効用 u_{ai} は, 式(8), 式(11a)を式(4)に代入することにより, 家計の居住地・就業地分布 $\mathbf{h} = (h_{ai})_{a,i \in \mathcal{L}}$ (i.e., 家計と企業の立地パターン) の関数で表せる:

$$u_{ai} = \alpha F_i(\mathbf{m}) + B_i - s^F \frac{1}{\mu} \left(\frac{s^H n_i + s^F m_i}{K_i} \right)^{\frac{1-\mu}{\mu}} - s^H \frac{1}{\mu} \left(\frac{s^H n_a + s^F m_a}{K_a} \right)^{\frac{1-\mu}{\mu}} - t\tau_{ai} + A_a. \quad (12)$$

本研究では, 財消費に関して同一の効用関数を仮定する一方で, 家計の居住地・就業地選択には異質性があると仮定する. 具体的には, 家計 ℓ の効用 $v_{ai}(\ell)$ は以下で与えられる:

$$v_{ai}(\ell) = u_{ai}(\mathbf{h}) + \epsilon_{ai}(\ell). \quad (13)$$

ここで, $\epsilon_{ai}(\ell)$ は, 家計 ℓ に固有の確定効用であり, 家計の集団全体に渡る $\{\epsilon_{ai}(\ell)\}$ の分布が, 家計が十分多く存在することで連続分布に近似でき, 互いに独立・同一なWeibull分布に従うと仮定する.

以上の条件のもとで, 立地均衡状態における居住地 a , 就業地 i を選択する家計数 h_{ai} は, 次のLogit型の関数で与えられる¹⁾:

$$h_{ai} = \frac{\exp[\theta u_{ai}(\mathbf{h})]}{\sum_{b \in \mathcal{L}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[\theta u_{bj}(\mathbf{h})]} N \quad \forall a, i \in \mathcal{L}. \quad (14)$$

ここで, θ はスケールパラメータである.

2.6 ポテンシャル関数

本モデルは、集積の経済を考慮しているため、式(14)を満たす均衡状態が複数存在し、そこには不安定均衡も含まれる¹⁾。ここで、安定均衡状態の解析が必要となる。それは、微分方程式を解くことに対応するため¹²⁾、詳細・広域な実空間を対象とした場合に生じる、大規模な計算は一般的には困難となる。そこで、効率的に安定均衡状態を得るために、ポテンシャル関数を利用する。以降、ポテンシャル関数が本モデルに存在することと、それにより大規模な計算が可能となることを示す。

ポテンシャル関数とは、Sandholm¹³⁾で示されているように、非負条件および人口保存則を満たす (i.e., $h_{ai} \geq 0 \forall a, i \in \mathcal{L}$, $\sum_{a \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{L}} h_{ai} = N$) 任意の \mathbf{h} に対して、利得関数 $\hat{u}_{ai}(\mathbf{h})$ との間に次の条件を満たす関数である:

$$\frac{\partial f(\mathbf{h})}{\partial h_{ai}} = \hat{u}_{ai}(\mathbf{h}) - \frac{1}{\theta} \ln h_{ai} + \zeta \quad \forall a, i \in \mathcal{L}. \quad (15)$$

ここで、 ζ は任意の定数である。

このうち $\hat{u}_{ai}(\mathbf{h})$ は、本モデルでは式(12)で与えられる。このため、式(15)の右辺より、 $u_{ai}(\mathbf{h}) - \ln h_{ai} / \theta + \zeta$ を h_{ai} で積分してポテンシャル関数を求める。本モデルでは式(15)の条件を満たす、次のポテンシャル関数が得られる:

$$\begin{aligned} f(\mathbf{h}) = & \sum_{i \in \mathcal{L}} \left\{ \frac{\alpha}{2} F_i(\mathbf{m}) + B_i \right\} m_i \\ & - \sum_{a \in \mathcal{L}} (s^H n_a + s^F m_a)^{\frac{1}{\mu}} K_a^{-\frac{1-\mu}{\mu}} \\ & - t \sum_{a \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{L}} \tau_{ai} h_{ai} + \sum_{a \in \mathcal{L}} A_a n_a \\ & - \frac{1}{\theta} \sum_{a \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{L}} h_{ai} \ln h_{ai}. \end{aligned} \quad (16)$$

ポテンシャル関数が存在する場合、立地均衡状態は、次の最適化問題の Karush-Kuhn-Tucker 条件を満たす \mathbf{h} と一致する¹³⁾:

$$\max_{\mathbf{h}} f(\mathbf{h}), \quad (17a)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{a \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{L}} h_{ai} = N, \quad h_{ai} \geq 0, \quad \forall a, i \in \mathcal{L}. \quad (17b)$$

立地均衡状態のうち安定均衡状態は、ポテンシャル関数が有する性質を利用することで、容易に得ることができる¹⁴⁾。具体的には、状態 \mathbf{h}^0 を初期状態とした際に実現する安定均衡状態は、ポテンシャル関数を局所的に最大化する \mathbf{h}^* を \mathbf{h}^0 から探索することにより得られる。すなわち、式(17)の簡単な最適化問題を局所的に解くだけで、容易に安定均衡状態を得ることができる。

3. パラメータ設定

本章では、本モデルの基準均衡状態における n_a, m_i が、それぞれ、実データの居住地分布、就業地分布と一致するような、系統的なパラメータ設定方法を提示する。そして、次章の反実仮想実験を可能とするために、提示し

た方法によりパラメータを設定する。

3.1 設定方法

本研究では、Ahlfeldt et al.⁸⁾ と基本的に同様の方法を用いてパラメータの設定を行う。これにより、複数均衡状態が存在するモデルのパラメータを定めることができる。このパラメータ設定方法の具体的な手順を以降に示す。

(1)STEP1: 床面積に関するパラメータの設定

床面積の建設費用のうち土地に必要な費用の割合 $1 - \mu$ は、Ahlfeldt et al.⁸⁾ と同様に、既往研究で推定された値と等しくなるように設定する:

$$1 - \mu = 0.25. \quad (18)$$

(2)STEP2: 地代パラメータおよび単位当たり床面積・単位当たり床面積価格の設定

家計の単位あたり床面積 s^H および企業の単位あたり床面積 s^F の設定を行う。まず、 $(s^H)^{1/\mu}, C$ を推定する。具体的には、式(11b)を用いて、データより得られる $R_a, s^F/s^H, n_a, m_a, K_a$ を外生値として、回帰分析を行う:

$$R_a = \frac{1 - \mu}{\mu} (s^H)^{\frac{1}{\mu}} \left\{ \left(n_a + \frac{s^F}{s^H} m_a \right) / K_a \right\}^{\frac{1}{\mu}} - C. \quad (19)$$

推定された $(s^H)^{1/\mu}$ と STEP1 で得られる μ を用いて s^H を設定する。そして、外生値である s^F/s^H を用いて、 s^F を設定する。次に、これまで得られた s^H, s^F, μ 、および、実データから得られる n_a, m_a, K_a を外生値として式(11a)に代入し、 r_a を設定する。

(3)STEP3: 通勤費用項の設定

通勤費用項 θt を推定するために、立地均衡条件に重力方程式の固定効果法を利用する。具体的には、立地均衡条件式(14)において、両辺で自然対数をとる。さらに、居住地に関する変数と就業地に関する変数をそれぞれダミー変数に置き換える:

$$\ln[h_{ai}] = -\theta t \tau_{ai} + D_a + D_i + \text{const}. \quad (20)$$

ここで、 D_a は居住地 a に関するダミー変数、 D_i は就業地 i に関するダミー変数、 const は定数項を表す。ここで、 h_{ai} のデータは、本稿で対象とする金沢都市雇用圏では得られないため、町丁目間の OD 交通量 trip_{ai} のデータを用いて推定する。上記の式より、データより得られる h_{ai} ($= \text{trip}_{ai}$)、 τ_{ai} を外生値として、重回帰分析を行う。ただし、推定式(20)の都合上、 $h_{ai} \geq 1$ のデータを用いて推定する。

(4)STEP4: アメニティ水準に関する項、賃金項の設定

アメニティ水準に関する項 $\theta(A_a - r_a s^H)$ および賃金項 θw_i を算出するために、式(1)および立地均衡条件式(14)を利用して得られる以下の式を用いる:

$$n_a = \sum_{i \in \mathcal{L}} \frac{\exp[\theta(A_a - r_a s^H) - \theta t \tau_{ai}]}{\sum_{b \in \mathcal{L}} \exp[\theta(A_b - r_b s^H) - \theta t \tau_{bi}]} m_i, \quad (21a)$$

$$m_i = \sum_{a \in \mathcal{L}} \frac{\exp[\theta w_i - \theta t \tau_{ai}]}{\sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[\theta w_j - \theta t \tau_{aj}]} n_a. \quad (21b)$$

これより、実データから得られる n_a, m_i, τ_{ai} および θt を

外生値として, 非線形方程式(21)を解くことで, $\theta(A_a - r_a s^H)$, θw_i を得ることができる. ただし, 解を一意に求めるには自由度が1足りないため, 基準化を行う.

(5)STEP5: 家計の居住地・就業地分布の設定

立地均衡条件式(14)を満たす h_{ai} を推定する. 具体的には, データより得られる τ_{ai} およびSTEP3,4で求まる θt , $\theta(A_a - r_a s^H)$, θw_i を外生値として, 立地均衡条件式を変形した次の式を計算することで設定する:

$$h_{ai} = \frac{\exp[\theta(A_a - r_a s^H) + \theta w_i - \theta t \tau_{ai}]}{\sum_{b \in \mathcal{L}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[\theta(A_b - r_b s^H) + \theta w_j - \theta t \tau_{bj}]} N. \quad (22)$$

(6)STEP6: スケールパラメータ・通勤費用の設定

スケールパラメータ θ は, モデルの w_i の分散がデータと一致するように設定する. 具体的には, STEP4で得られる θw_i の分散 s_{model}^2 とデータから得られる w_i の分散 s_{data}^2 を用いて, θ を以下で与える:

$$\theta = \sqrt{\frac{s_{\text{model}}^2}{s_{\text{data}}^2}}. \quad (23)$$

これより得られる θ と, STEP3で得られる θt から, $(\theta t)/\theta$ によって通勤費用 t を設定する.

(7)STEP7: アメニティ水準, 生産性に関する変数選択およびパラメータ推定

居住地のアメニティ水準 A_a と生産性 Prod_i は, これまでのSTEPで得られた $s^H, s^F, r_a, \theta(A_a - r_a s^H), \theta w_i, \theta$ より求まる. つまり, アメニティは $\{\theta(A_a - r_a s^H)\}/\theta + r_a s^H$, 生産性は $(\theta w_i)/\theta + r_i s^F$ により設定される.

次に, A_a, Prod_i を被説明変数とした以下の式(24)を用いて, パラメータ α の推定とともに, アメニティ水準 A_a および立地点固有の効果 B_i に関する変数選択とパラメータ推定を行う. ここで, 空間的自己相関に対処するため, 固有ベクトル空間フィルタリングアプローチ¹⁵⁾を採用する. この手法は, 地点間距離の逆数 $1/\tau_{ai}$ を要素に持つ空間重み行列の固有ベクトル \mathbf{Z} を説明変数に導入するだけで空間的自己相関に対処できる. それゆえ, 詳細・広域な都市内空間を対象とした分析であっても, 容易にパラメータ推定を実施できるという利点を持つ.

推定式は次のとおりである:

$$A_a = \kappa^{\text{AME}} \mathbf{X}_a^{\text{AME}} + \mathbf{v}^{\text{AME}} \mathbf{Z}_a + \text{const}_A, \quad (24a)$$

$$\text{Prod}_i = \alpha \sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[-\rho \tau_{ij}] m_j + \kappa^{\text{UNI}} \mathbf{X}_i^{\text{UNI}} + \mathbf{v}^{\text{UNI}} \mathbf{Z}_i + \text{const}_P. \quad (24b)$$

ここで, $\mathbf{X}_a^{\text{AME}}$ は立地点のアメニティ水準に関する変数, κ^{AME} はそのパラメータ, $\mathbf{X}_i^{\text{UNI}}$ は立地点 i の固有の効果に関する変数, κ^{UNI} はそのパラメータ, $\text{const}_A, \text{const}_P$ は定数項を表す. また, 説明変数に加える空間重み行列の固有ベクトル \mathbf{Z} は, 正の固有値に対応した固有ベクトルのみを用いる¹⁶⁾. これは, これらの固有ベクトルが正の空間相関を捉えること知られているためである.

推定式(24)を利用するにあたり問題点がある. 具体的

には, 式(24b)の右辺第1項は2つのパラメータ α, ρ を有しているため, 1項につき1つのパラメータを推定するような一般化線形モデルをそのまま利用することができない. これに対して, Ahlfeldt et al.⁸⁾のように一般化モーメント法(GMM)を利用することで, 1項に含まれる2つのパラメータを同時に推定することは可能である. しかし, 本稿では簡単な方法として, 距離減衰パラメータ ρ を特定化する. そのうえで, 式(24)を利用した重回帰分析によって, 変数選択およびパラメータ推定を行う.

(8)STEP8: 観測されないアメニティ水準, 生産性

アメニティ水準, 生産性のうち, モデルや準備したデータからは観測されないものは, 次に示す残差 δ_a^{AME} , δ_i^{UNI} に含まれる:

$$\delta_a^{\text{AME}} = A_a - \kappa^{\text{AME}} \mathbf{X}_a^{\text{AME}}, \quad (25a)$$

$$\delta_i^{\text{UNI}} = \text{Prod}_i - \left\{ \alpha \sum_{j \in \mathcal{L}} \exp[-\rho \tau_{ij}] m_j + \kappa^{\text{UNI}} \cdot \mathbf{X}_i^{\text{UNI}} \right\}. \quad (25b)$$

$\delta_a^{\text{AME}}, \delta_i^{\text{UNI}}$ を用いて, A_a, Prod_i のキャリブレーションを行うため, 以上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における n_a, m_i は実データの居住地分布, 就業地分布と一致する.

3.2 分析対象圏域および使用データ

本研究では, 金沢都市雇用圏を分析対象とする. 具体的には, 図1に示す金沢都市雇用圏を国勢調査の調査区である小地域に分割した空間を扱う. つまり, 地区数が1,656地区の詳細・広域な実空間を分析対象とする.

前節で説明したパラメータ設定方法に使用するデータの出典を表1に示す. 分析対象圏域におけるこれらのデータを整備し, パラメータ設定に用いる. なお, データは, 2015年を基準として, 収集できるデータのうち最も近い時点のものを使用した.

地点 a から地点 i へのOD交通量 trip_{ai} は, 道路交通センサスのBゾーン単位のOD交通量²⁾を, 国勢調査の就業者数および経済センサスの従業者数により設定した按分値³⁾を用いて按分することで設定した.

居住地別家計数 n_a は, 国勢調査の就業者数とした.

就業地別家計数 m_i (企業数)は, 経済センサスから設定した対象圏域内の全従業者数に対する当該地区の従業者数の比率に総家計数 $\sum_a n_a$ を乗じた値とした.

地代は公示地価に10年国債利回りを乗じた値とした.

家計に対する企業の土地使用比率 s^F/s^H は, 単位あたりの就業者に対する延床面積と, 単位あたりの従業者に対する延床面積の比で算出した. データは, 建築物ストック統計から得られる住宅用・法人用の延床面積と, 国勢調査・経済センサスで得られる就業者数・従業者数を用いた. 石川県のデータから $s^F/s^H = 0.429$ が得られた.

土地面積 K_a は, 国勢調査の地区の土地面積を用いた.

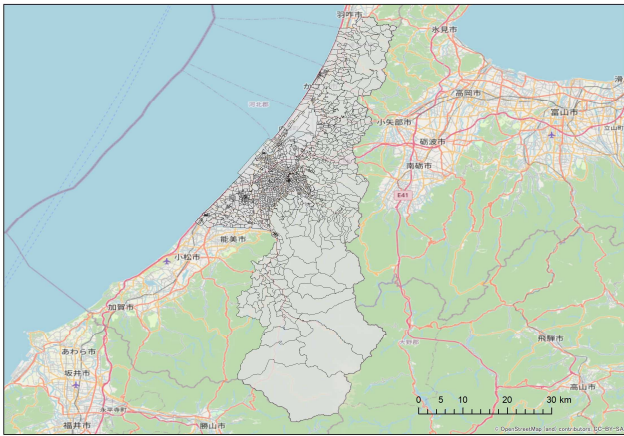


図1 対象圏域と地区分割

表1 使用データ

項目	出典
OD 交通量 $trip_{ai}$ [人]	道路交通センサス OD 交通量 (2015 年), 国勢調査 就業者数 (2015 年), 経済センサス 従業者数 (2014 年)
居住地別家計数 n_a [人]	国勢調査 就業者数 (2015 年)
就業地別家計数 m_i [人]	国勢調査 就業者数 (2015 年), 経済センサス 従業者数 (2014 年)
地代 R_i [万円/m ² ・年]	公示地価 (2015 年), 10 年国債利回り (2015 年)
家計に対する企業の土地 使用比率 s^F/s^H	建築物ストック統計 延床面積(2013 年), 国勢調査 就業者数 (2015 年), 経済センサス 従業者数 (2014 年)
土地面積 K_a [m ²]	国勢調査 土地面積 (2015 年)
地域間の距離 τ_{ai} [km]	DRM (2019 年), 国勢調査 境界データ (2015 年)
賃金 w [万円/年]	賃金構造基本統計調査 一般労働者所得等 (2015 年)
アメニティ水準・立地点固有の 効果に関する変数[m ²], [km]	国土数値情報 道路密度メッシュデータ (2010 年), 同 鉄道時系列 (2015 年), 同 高速道路時系列 (2015 年), 同 用途地域 (2019 年), 同 上水道関連施設 (2010 年), 石川県 洪水浸水想定区域図 (2018 年他)

地区間の移動距離 τ_{ai} は, DRM の基本道路による地区間の最短経路の道路延長を用いた。ただし, 地区内の移動距離 τ_{aa} は既往研究¹⁷⁾と同様, $2/3 \sqrt{K_a/\pi}$ とした*4。また, コミュニケーション外部性における移動距離は, 自身が取引先へ移動するコストと取引相手が自社まで移動するコストを考えるため, 次のように設定した。

$$\tau_{ai} = (\tau_{ai} + \tau_{ia})/2. \quad (26)$$

賃金 w は, 賃金構造基本統計調査のデータを用いた。

アメニティ水準・立地点固有の効果に関する変数のデータは, 国土数値情報のデータを用いた。変数候補としてデータ整備した変数を以下に列挙する。

- 道路密度
- 最寄り駅までの距離
- 最寄り IC までの距離

- 用途地域面積：住居系／商業系／工業系
- 土地面積に対する用途地域面積の割合：住居系／商業系／工業系
- 給水区域ダミー
- 計画規模の想定浸水深
- 計画規模の想定浸水深の 2 乗

ここで, 浸水リスクの変数候補には, 想定浸水深とその 2 乗を採用した。想定浸水深に着目したのは, 洪水ハザードマップ等により容易に入手可能で, 一般に広く知られる浸水リスク情報であるためである。具体的な設定値は, 計画規模時の 5m メッシュの想定浸水深の地区内平均値を用いた。また, 想定浸水深の 2 乗を採用したのは, 浸水リスクが立地に非線形に影響する (i.e., 浸水深が深いほどより影響が強まる) ことを想定したためである*5。

3.3 パラメータ設定の結果

(1)パラメータ設定の与条件

距離減衰パラメータ ρ は, 既存研究⁸⁾で推定された値と整合するように $\rho = 1.0851$ とした*6。

アメニティ水準, 生産性に関する変数 X_a^{AME}, X_i^{UNI} は, 有意確率 5%として, ステップワイズ法により決定した。

(2)パラメータ設定の結果

パラメータの設定値および決定係数は表-2 に示すとおりである。なお, $v^{AME}, const_A, v^{UNI}, const_p$ *7 および, $\delta_a^{AME}, \delta_i^{UNI}$ の設定値は紙面の制約上省略する。表のうち, アメニティの推定式(24a)の決定係数が他と比べて低い値となった。アメニティをより説明する変数候補のデータ整備は今後の課題としたい。

地代パラメータ $(s^H)^{1/\mu}$, C は, ともに有意に推定された。このうち, C は負の符号で推定された。よって, C は土地開発に伴う単位面積当たりの機会収入と解釈できる。

通勤費用項 θt は, 有意に推定され, 符号条件に合った結果を得た。

アメニティ水準に関する変数のパラメータ κ^{AME} は, おおむね直観と合った結果を得られた。しかし, 用途地域面積と用途地域面積割合について解釈に注意が必要である。用途地域面積は, 地区面積の大きい地区のアメニティ水準の高さを説明する変数として採用されたと考えられる。一方, 用途地域面積割合は, 地区面積に関わらないアメニティ水準の高さを説明する変数として採用されたと考えられる。これは, 本分析の地区設定が町丁目単位であり, 地区毎の面積が異なるためである。採用された変数をみると, 用途地域面積は, 住居系・商業系が正の推定値で採用された。これは当該用途が大きいほどアメニティ水準が高いことを示し, 妥当な結果と言える。用途地域面積割合は, 商業系・工業系が負の推定値で採用された。これは商業系・工業系の割合が大きいほどアメニティ水準が低いことを示し, 妥当な結果と言える。

表2 パラメータ設定値

項目	設定値	t 値
$-C$	6.188.E-03	2.504
$(s^H)^{1/\mu}$	1.064.E+02	14.95
式(19)の決定係数	0.634	
s^F	1.422.E+01	—
s^H	3.312.E+01	—
const	1.589.E+00	48.78
$-\theta t$	-1.509.E-01	-447.7
式(20)の決定係数	0.528	
θ	8.061.E-03	—
t	1.872.E+01	—
κ^{AME} (道路密度)	1.472.E+07	5.33
κ^{AME} (住居系面積)	4.417.E-04	3.07
κ^{AME} (商業系面積)	3.945.E-03	4.79
κ^{AME} (商業系面積割合)	-3.794.E+02	-4.65
κ^{AME} (工業系面積割合)	-2.836.E+02	-5.89
κ^{AME} (給水区域ダミー)	7.753.E+02	14.81
κ^{AME} (想定浸水深の2乗)	-6.257.E+01	-2.19
式(24a)の決定係数	0.365	
α	1.449.E-02	5.08
κ^{UNI} (道路密度)	7.326.E+06	5.61
κ^{UNI} (住居系面積)	6.853.E-04	10.98
κ^{UNI} (商業系面積)	1.572.E-03	5.30
κ^{UNI} (工業系面積)	7.199.E-04	11.13
κ^{UNI} (住居系面積割合)	-1.129.E+02	-6.53
κ^{UNI} (給水区域ダミー)	2.635.E+02	12.07
式(24b)の決定係数	0.568	

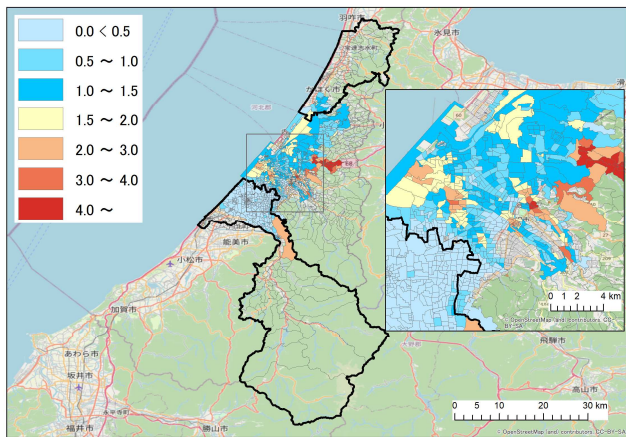


図2 想定最大規模の想定浸水深

生産性に関する変数のパラメータ κ^{UNI} に関しても、おおむね直観と合った結果を得られたが、アメニティ水準と同様の注意が必要である。まず、用途地域面積では、全ての用途地域が正の推定値で採用された。これは、用途地域か否かが生産性に影響していることを示しており、直観に合った妥当な結果と言える。次に、用途地域面積割合では、住居系が負の推定値で採用された。これは、住居系の用途地域の割合が大きいほど生産性が低いことを示しており、こちらも妥当な結果と言える。前者は地

区面積が大きい地区の生産性、後者は地区面積に関わらない生産性を説明する変数として採用されたと考える。

なお、浸水深に関する変数は、アメニティ水準の変数にのみ採用され、生産性の変数には採用されなかった。これは、生産活動の立地に浸水リスクが与える影響が小さく、一方で、居住地選択への影響は無視できないことを示す結果と言える。浸水リスクが企業立地に与える影響が限定的であることは既往研究¹⁸⁾でも示されており⁸⁾、本研究の結果も、類似の結果であると解釈できる。また、アメニティ水準の変数に、浸水リスクとして想定浸水深の2乗が採用されたのは、想定したように、浸水リスクが居住立地に非線形な影響を与えているためと考える。

以上より、提示した設定方法と整備したデータを用いて、次章の反実仮想実験に必要なパラメータを系統的に設定することができた。

4. 反実仮想実験

本章では、構築した手法とパラメータ設定を用いて反実仮想実験を行う。そこから、モデルの特徴を反映した結果であることを確認するとともに、交通基盤整備による長期的影響 (i.e., 家計・企業の変化) を計測できることを示す。さらに、浸水被害の変化を浸水区域人口の整理から示し、その結果を踏まえて浸水被害軽減策について考察する。

4.1 条件設定

反実仮想実験では、以下の3ケースについて扱う。

- ケースA：浸水リスク増大
- ケースB：浸水リスク増大+交通基盤整備
- ケースC：浸水リスク増大+通勤費用一律低下

各ケースの条件のうち、浸水リスク増大は、計画規模の洪水から、仮に想定最大規模の洪水となった場合を考える。これは、東日本大震災を契機に、計画・整備等の基準が計画規模対応から想定最大規模対応に移行している近年の状況を踏まえたものである。具体的には、「対応すべき浸水リスクが計画規模から想定最大規模へ変わる」と仮定し、基準均衡状態で計画規模であった想定浸水深を、想定最大の想定浸水深とする。想定最大の想定浸水深は、石川県 洪水浸水想定区域図で公表される、想定最大時の5mメッシュの想定浸水深の地区内平均値を使用した(図2)。

交通基盤整備は、環状道路のような、広域道路強化を想定している。具体的には、「宝達志水・かほくエリア」～「白山・野々市エリア」間の通勤費用が30%低下させた場合を調べる。ただし、単純な設定とするため、対象は各エリアに含まれる地区を起終点とする(ただし、同一エリア内は含まない)地区間の通勤費用のみとする⁹⁾。

通勤費用一律低下は、全地区間の通勤費用を低下させ

るものであり, 交通分野の技術革新の進展 (e.g., 自動運転の普及)などを想定している. 具体的には, 通勤費用を一律 30%低下させた場合を調べる.

4.2 浸水リスク増大に伴う立地分布変化

モデルによる出力が, モデルの特徴を反映したものであることを確認するため, ケース A の家計数・企業数のシェア変化を調べる. 家計数・企業数のシェア変化は各々, $(n_a^\omega - n_a^*)/N \times 100$, $(m_i^\omega - m_i^*)/N \times 100$ で表す. ここで, 上付き添字*は基準均衡状態, ω は浸水リスク変化後の均衡状態であることを示す.

ケース A のシェア変化を図 3,4 に示す. 図 3 より, 家計は, かほく・宝達志水といった, 浸水リスクの無い地区に多く立地する結果となった. 一方で, 浸水リスクが存在する地区においても立地が増加した地区が一部 (e.g., 白山, 野々市) 見られた. また, 図 4 より, 企業は, 浸水リスクの変化による直接的な立地変更の動機は無いものの, その立地が変化した. 具体的には, 白山や野々市, かほくの市街地周辺に集積する結果となった.

家計について, かほく・宝達志水といった地区での立地の増加は, 前章のパラメータ推定結果で分かるとおおり, 浸水リスクの増大がアメニティ水準に負の影響を与えるため, その傾向を反映し, 浸水リスクが増大する地区から転出した結果であると言える. 白山や野々市での立地増加は, 当該地区への企業の立地集積が進んだためと言える. 具体的には, 企業の周辺に立地することにより, 家計は通勤費用低下といった正の影響を得られる. 上記の結果は, それが浸水リスク増大による負の影響を上回ったためであり, 通勤費用と浸水リスクの両方を考慮したモデルの特徴を反映した結果であると言える.

企業について, 立地変化が生じたのは, 家計の立地変化に伴い, 床面積の需給均衡が変化したためである. また, 白山や野々市, かほくの地区への集積は, 基準均衡状態である程度の企業が集積していた地区への集積立地であるため, 集積の経済による企業間のコミュニケーションのインセンティブを反映した結果であると言える.

以上より, モデルの特徴 (ie., アメニティ水準への浸水リスクの負の影響, 家計が企業の周辺に立地することによる正の影響, 家計と企業の立地競合, 集積の経済)を反映した結果であることを確認できた.

4.3 交通基盤整備に伴う立地分布変化

交通基盤整備の長期的影響を計測できることを示すために, ケース A からケース B にかけての家計数・企業数の変化を図 5,6 に示す. 図 5 より, 家計数 (人口) が宝達志水・かほくエリアで増加した. 当該エリアはほとんどが浸水区域外のため, 交通基盤整備により浸水区域外の人口が増加する結果となった. 一方, 図 6 より企業数

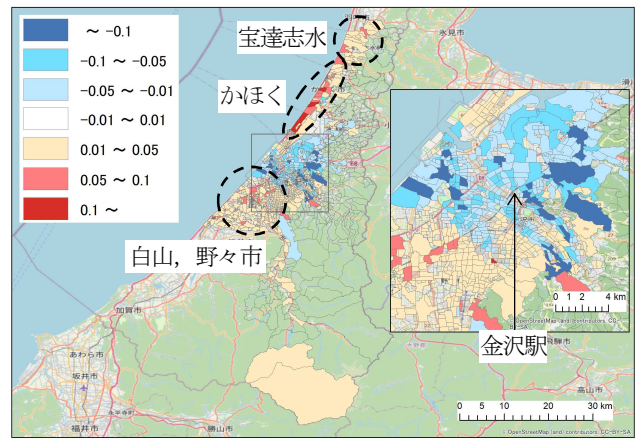


図 3 ケース A : 家計のシェア変化

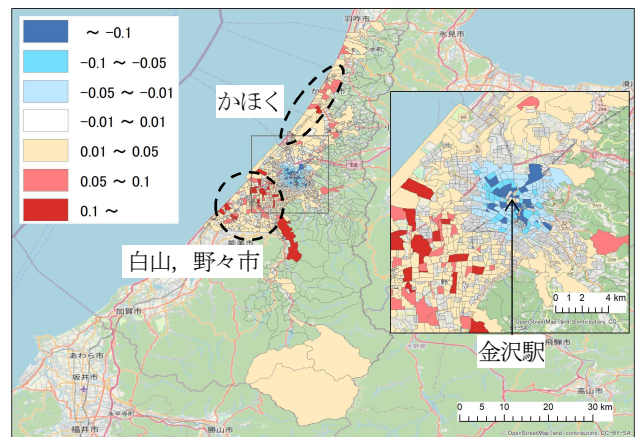


図 4 ケース A : 企業のシェア変化

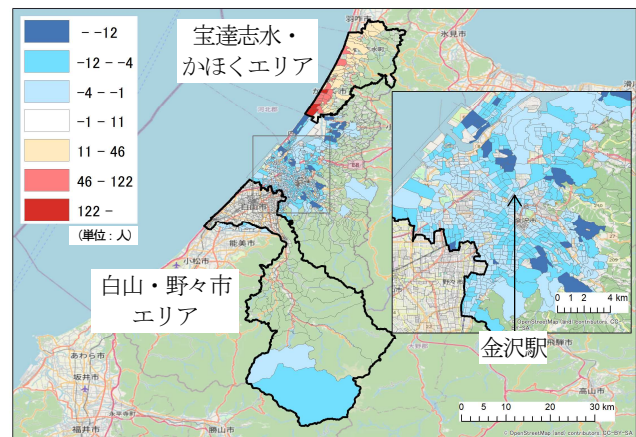


図 5 ケース A⇒ケース B : 家計数の変化

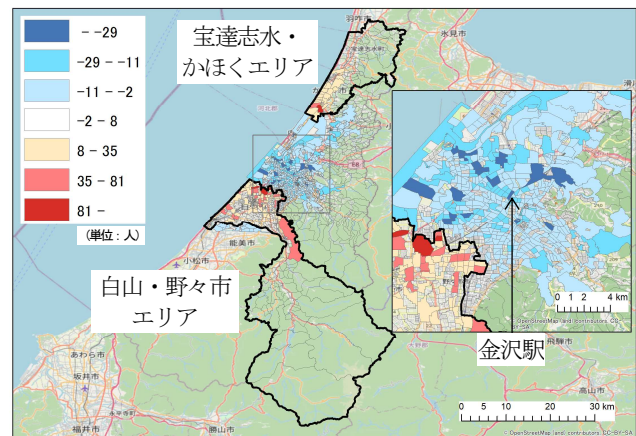


図 6 ケース A⇒ケース B : 企業数の変化

表3 各ケースの浸水区域人口

項目		参考	比較ケース	ケース A	ケース B	ケース C
洪水規模	計画規模	○				
	想定最大		○	○	○	○
通勤費用 30%低下					地区限定	地区一律
立地分布	変化前 (現在)	○	○			
	変化後			○	○	○
浸水区域人口	全域	126,432	275,755	250,619 比較ケースよりも約9%減	249,344 ケース A よりも約0.5%減	240,454 ケース A よりも約4%減
	浸水深 平均 0.5m 以上	40,985	172,575	120,830 比較ケースよりも約30%減	119,713	118,460
	浸水深 最大 3.0m 以上	21,028	91,958	56,270 比較ケースよりも約39%減	55,717	54,362

は白山・野々市と宝達志水・かほくの両方で増加した。

以上、交通基盤整備による家計分布・企業分布の変化から、交通基盤整備の長期的影響を計測できることを確認した。

4.4 浸水区域人口の変化

本手法が浸水被害軽減を捉えられることを浸水区域人口から確認する。

各ケースの浸水区域人口を表3に示す^{*10}。このうち、比較ケースは、現在の立地分布による浸水区域人口を示しており、つまり、本手法を用いない場合の浸水区域人口である。したがって、比較ケースと他ケースとの差が、本手法を開発して知り得た新たな知見である。具体的には、比較ケースとケース A でみると、浸水区域人口が全域で約 9%減少する結果を得られた。その傾向は、高リスク区域ほど強まった (0.5m : 約 30%減, 3.0m : 約 39%減)。これは、浸水リスクが増大することで、それを回避するために、家計が浸水区域外へ転出したためである。

次に、ケース B では、ケース A と比べて、浸水区域人口がさらに減少する結果となった。しかし、その減少は 1%未満であり、本条件においては限定的であることが分かった。これは、通勤費用低下の対象を全域に広げたケース C でも同様 (減少程度は約 4%) であることが分かった。対象とした金沢都市雇用圏では、浸水リスクの高い地区が中心市街地付近に存在するため、通勤費用が改善された場合も、依然として、全体 (371,405 人) の 6 割強が浸水区域に立地することとなった。このような都市雇用圏においては、浸水被害を抜本的に解消するために、通勤費用改善に加えて何らかの施策が必要となることを確認できた。

浸水被害軽減のための通勤費用改善以外の施策について、反実仮想実験の結果から、企業立地の誘導が考えられる。これは、図 3.4 で示された企業立地が家計立地に

与える影響を踏まえると、企業の立地を浸水区域外へ誘導することで、家計の浸水リスク低減が期待できるためである。具体的な施策としては、浸水区域外でのオフィス機能誘導区域の設定が考えられる。加えて、上記の交通基盤整備と併せた施策として、オフィス機能誘導区域と低リスクの居住区域を接続する交通基盤の強化などが有効と考える。

以上より、浸水区域人口の変化を確認し、本手法が浸水被害軽減を捉えられることを示した。加えて、反実仮想実験の結果から、浸水被害軽減策を考察した。

5. おわりに

本研究では、交通基盤整備の長期的影響評価に資する、浸水リスク増大による経済活動の空間分布 (i.e., 人口分布, 企業分布) 変化を計測可能な都市経済分析を構築した。具体的には、集積の経済と浸水リスクを考慮したモデルを構築した。そして、それによる大規模計算を可能とするポテンシャル関数の存在を示し、かつ、計量分析を可能とするパラメータ設定方法を提示した。さらに、金沢都市雇用圏を対象とした反実仮想実験から、その結果がモデルの特徴を反映したものであること、交通基盤整備の長期的影響を計測できることを確認できた。加えて、その結果から、浸水被害軽減策について考察した。

本稿では、仮想的な浸水リスク変化の分析に留まった。現実的な気候変動シナリオ下での浸水リスク変化の影響分析は今後の課題である。また、本手法を用いることで、もしくは簡単な拡張を行うことで、多くの施策を分析可能であり、例えば容易に扱える施策だけでも表 4 のようなものが挙げられる (その他、解釈を含めれば、より多様な都市施策の分析も可能である)。このような多様な施策による浸水被害軽減効果を調べることは今後の課題である。

表4 施策メニュー

施策内容	拡張	施策変数
交通基盤整備		通勤費用 t_{ai}
用途地域の追加・変更		X_a^{AME}, X_i^{UNI} (用途地域面積および用途地域面積割合)
土地利用規制		土地面積 K_a
居住誘導: 家賃助成	必要	予算制約式(3)に助成金の項を追加
オフィス誘導: 立地補助	必要	利潤式(7)に補助金の項を追加
容積率の変更	必要	X_a^{AME}, X_i^{UNI} に追加

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: 高山雄貴金沢大学准教授)」と、JST 創発的研究支援事業 JPMJFR215M の支援を受けた。ここに記して謝意を表したい。

補注

- *1 企業数は地区*i*の家計数 m_i で表される。これは、既存の多くの研究と同様、就業者1人あたりで基準化したものである。このため、現実の企業数と定義が異なる。このようにモデル上、 m_i は企業数であるが、モデルによる出力値 m_i を解釈するうえでは、地区*i*全体の企業規模と捉えることもできる。
- *2 h_{ai} のデータとしては、本来、交通目的別・交通モード別のデータが得られるPT調査のデータの利用が望ましい。しかしながら、PT調査は調査頻度が少なく地域が限定的であるといった限界がある。実際、金沢都市圏PT調査は最新が2007年調査で、対象が金沢市を含む2市3町であり今回の対象圏域を網羅していない。本研究では「対象の都市雇用圏を網羅するデータであること」、「基準年の2015年に近いデータを用いること」を重視し、道路交通センサスのOD交通量を活用した。しかしながら、道路交通センサスは全交通目的・自動車交通のみのデータであり、今回着目する「通勤トリップ・全交通モード」のみを扱っておらず、それによる影響(e.g., 他の目的トリップが含まれる、自動車以外の通勤トリップを含んでいない)を除外できていない。この点は課題である。
- *3 按分値は、以下のとおり設定した。ここで、就業者数は国勢調査のため居住地ベースの集計であり、従業者数は経済センサスのため従業地ベースの集計であるため、どちらか一方のみで按分値を設定すると偏りが生じる。このため、両方を用いて按分値を設定した:

$$\text{Weight} = (\text{Weight}_1 + \text{Weight}_2)/2. \quad (27)$$
 ここで、 Weight_1 は対象圏域内の全就業者数に対する当該小地域の就業者数の比率、 Weight_2 は対象圏域内の全従業者数に対する当該小地域の従業者数の比率

を表す。

- *4 ここでは、円状の地区内の2地点間の平均距離として、このような地区内距離を設定している。
- *5 実際、浸水リスクを変数としてヘドニックアプローチを実施した研究¹⁹⁾では、賃料に対して想定浸水深が非線形に影響していることを示しており、賃料の変動に伴って決定される立地に想定浸水深が非線形に影響していることが示唆される。具体的には、久保田・廣井¹⁹⁾は、想定浸水深を5段階に区分してダミー変数として扱った賃料関数を複数ケース推定している。その結果、浸水深によって推定される係数が異なり、ケースによっては浸水深が深いほど係数がより大きくなることを明らかにしている。本稿では、非線形の関数形として2乗の形を採用したが、どのような関数形が妥当かの議論は必要である。この点は今後の課題としたい。
- *6 Ahlfeldt et al.⁸⁾では、徒歩による距離減衰パラメータを1分あたり0.3617と推定している。これを用いて、対象地域の空間的特徴を考慮し、企業間の移動モードが主に自動車となると仮定して上記の値を設定した。具体的には、自動車の走行速度20km/h(≒0.333km/min)として、距離あたりの距離減衰パラメータ1.0851(=0.3617÷0.333)を設定した。
- *7 これらのパラメータは、 $\alpha, \kappa^{AME}, \kappa^{UNI}$ を適切に推定するためには不可欠な一方で、以降の分析において、推定値は使用しない。
- *8 河野ら¹⁸⁾は、津波浸水深と企業立地の関係を固定効果モデルで分析している。都道府県別産業別の結果から、立地変化の説明変数として、浸水深が有意に採用される数が多くなく、浸水深の影響が限定的であることを示している。
- *9 本手法では地区間毎の通勤費用改善といった、より詳細な設定が可能だが単純化のためここでは行わない。
- *10被害が増大する浸水深(1階床高相当:0.5m, 2階床高相当:3.0m)を閾値とし、当該地区に含まれる5mメッシュの浸水深の平均値・最大値を扱った。

参考文献

- 1) 中村孝一, 高山雄貴: 企業と家計の相互作用を考慮した都心形成モデルの開発, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.74, No.5, pp.I_555-I_569, 2018.
- 2) IPCC: AR5 WG1 SPM, 2014.
- 3) 国土交通省 気象庁: 平成30年7月豪雨, 2018.
- 4) Rosenthal, S.S. and Strange, W.C.: Evidence on the Nature and Sources of Agglomeration Economies, In: *Handbook of Regional and Urban Economics* (Henderson, J.V., Thisse, J.-F. (eds.)), Vol.4, pp.2119-2171, 2004.
- 5) Fujita, M. and Thisse, J.-F.: *Economics of Agglomeration*:

- Cities, Industrial Location, and Globalization*, Cambridge University Press, 2013.
- 6) 堤盛人, 山崎清, 小池淳司, 瀬谷創: 応用都市経済モデルの課題と展望, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.4, pp.344-357, 2012.
- 7) 高木朗義, 武藤慎一, 太田奈智代: 応用都市経済モデルを用いた治水対策の経済評価, 河川技術論文集, Vol.7, pp. 423-428, 2006.
- 8) Ahlfeldt, G. M., Redding, S. J., Sturm, D. M. and Wolf, N.: The Economics of density: Evidence from the Berlin wall, *Econometrica*, Vol.83, No.6, pp.2127-2189, 2015.
- 9) Dingel, J.I. and F. Tintelnot: Spatial economics for granular settings, NBER Working Paper, No.27287, 2020.
- 10) 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.
- 11) Anderson, S.P., de Palma, A. and Thisse, J.F.: *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*, MIT Press, 1992.
- 12) Sandholm, W. H. : *Population Games and Evolutionary Dynamics*, MIT Press, 2010.
- 13) Sandholm, W. H.: Potential games with continuous player sets, *Journal of Economic Theory*, Vol. 97, No. 1, pp.81-108, 2001.
- 14) 高山雄貴: 始業時刻分布を内生化した住宅立地均衡モデル, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.2, pp.59-69, 2019.
- 15) Griffith, D. A.: Spatial autocorrelation and spatial filtering: Gaining understanding through theory and scientific visualization, *Springer*, pp.247, 2003.
- 16) Tiefelsdorf, M. and Griffith, D. A.: Semiparametric filtering of spatial autocorrelation: The eigenvector approach, *Environment and Planning A*, Vol.39, No.5, pp.1193-1221, 2007.
- 17) Redding, S. J. and Venables, A. J.: Economic geography and international inequality, *Journal of International Economics*, Vol.62, No.1, pp.53-82, 2004.
- 18) 河野達仁, 多々納裕一, 牛木賢司, 中園大介, 杉澤文仁: 津波浸水想定の公表による産業別企業立地変化の把握, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.77, No.4, pp.301-315, 2021.
- 19) 久保田映希, 廣井悠: 災害リスクが関東大都市圏の賃貸住宅市場に与える影響-賃料・専有面積による市場区分と地域間の差異に注目して-, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp.1153-1160, 2019.