



産業の過剰集積がもたらす災害脆弱性と交通インフラの減災施策

織田澤, 利守

中村, 優太

鳥尾, 健太

小池, 淳司

(Citation)

土木学会論文集D3 (土木計画学) , 72(1):99-112

(Issue Date)

2016

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2016 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003401>



産業の過剰集積がもたらす災害脆弱性と 交通インフラの減災施策

織田澤 利守¹・中村 優太²・鳥尾 健太³・小池 淳司⁴

¹正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒 658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail:ota@opal.kobe-u.ac.jp

²学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (同上)

³非会員 神戸大学工学部市民工学科 (同上)

⁴正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (同上)

本研究では、被災による企業の撤退を明示的に考慮した産業集積モデルを構築し、均衡における産業立地構造の性質ならびに交通インフラの減災施策が及ぼす影響について分析を行う。数値分析を通じて、均衡における産業立地構造が過剰集積となり、災害に対して脆弱であることを明らかにする。また、交通インフラの減災施策が（功利主義的な）社会的厚生を改善するものの、必ずしも災害脆弱性の低減に寄与するとは限らないことを示す。さらに、分析より得られた知見として、交通インフラ減災施策の便益評価に際して留意すべき点について述べる。

Key Words : industrial agglomeration, national hazard, vulnerability, disaster mitigation policy

1. はじめに

我が国では、戦後、特に高度成長期にかけて、多くの人々が地方から都市部へと移り住み、都市化が著しく進展した。例えば、全国に占める首都圏¹の人口割合は、1950 年に 15.5 % であったが、70 年には 23.0 % にまで跳ね上がり、その後、人口の流入は徐々に鈍化するものの、1980 年には 24.8 %、2010 年には 27.8 % にまで達している¹⁾。また、経済活動に目を向ければ、2011 年時点において首都圏の GDP は日本全体の 32.6 % を占めている。こうした人口や経済活動の都市部への集中をもたらす要因は集積の経済であり、人やモノの移動・輸送効率を高め、都市部における生産性の向上をもたらしてきた。

一方、我が国は、世界的にみても極めて高い自然災害リスクに晒されている。過去 20 年の間（2015 年 5 月時点）に日本で発生したマグニチュード (M)7 以上の地震は 13 件に及び、単純平均すれば約 1 年半に 1 度のペースでどこかで大規模な地震が発生していることになる²⁾。また、ひとたび巨大災害が生起すれば、その地域に甚大な人的・物的被害をもたらすだけに留まらず、生産設備の損壊やサプライチェーン寸断による生産活

動の停滞・縮小といった間接的な被害が日本経済全体へと波及する恐れがある。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、交通インフラの損壊と原子力発電施設の事故に伴う電力不足などによって、全国的に生産機能が停滞する状態に陥り、我が国の社会経済システムが巨大災害に対して脆弱であることが露呈された。さらに、近い将来には、首都直下地震や南海トラフ地震など、日本経済を牽引する大都市や産業集積地域を襲う大規模な自然災害の発生が予想されている。中央防災会議の想定によれば、今後 30 年間に約 70 % の確率で発生が予想される都心南部直下地震 (M7.3) が生起した場合、全国的な経済被害は直接的被害と間接的被害を合わせて約 95 兆円にも及ぶとされる²⁾。

東日本大震災から得られた教訓を踏まえ、防災・減災施策を総合的かつ計画的に実施することを目的として、2013 年末に国土強靭化基本法が施行され、その翌年には国土強靭化基本計画が閣議決定された。そこでは、脆弱性評価で設定された 45 の「起きてはならない最悪の事態」について、施策分野ごとに国土強靭化の推進方針が示されている。また、具体的な推進計画については、国土強靭化アクションプラン 2014³⁾の中でプログラム毎に明確な数値目標とともに明記されている。なお、交通・物流分野における基幹的陸上・海上交通ネットワークの耐震化や代替性確保といった交通施設の災害対応力を強化する対策は 15 の重点プログラムの 1 つに位置づけられ、目標の早期達成や高度化など

¹ ここでは、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県の 1 都 3 県を指す。なお、首都圏整備法及び施行令では、1 都 7 県（埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県、栃木県、群馬県、山梨県）を首都圏と設定している。

² 気象庁 HP(<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) 参照（閲覧日：2015 年 4 月 30 日）

を含めて特に推進が図られることとなっている。

交通インフラの減災対策は、災害生起時の被害軽減や早期復旧に資する一方で、企業の立地変更を促し、長期的には産業立地構造へ変化を及ぼす。基本計画においても、その取組姿勢として、「(前略) 災害に強い国土づくりを進めることにより、地域の活力を高め、依然として進展する東京一極集中からの脱却を図り、『自律・分散・協調』型国土の形成につなげていく視点を持つこと」が掲げられ、単なる災害対策に留まらず、国土形成政策としての役割を担うことにも期待を寄せている。しかし、国土強靭化施策がその目論見どおりに国土構造の分散化をもたらすか、あるいはさらなる集積を促すかについては必ずしも自明ではない。産業立地構造に及ぼす長期的な影響を正しく把握するためには、災害リスクと集積の経済が同時に存在する下での産業集積メカニズムについて理論的に解明する必要がある。

以上の問題意識の下、本研究では、産業集積現象を扱う新経済地理学 (New Economic Geography; NEG) モデルに災害リスクを明示的に組み込んだ新たなモデルを提案する。その上で、均衡として導出される産業立地構造について、社会的厚生および災害脆弱性の観点から考察を行う。また、交通インフラの減災施策が産業立地構造に及ぼす影響について分析を行う。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 既存研究

新経済地理学は経済活動の空間的な集積現象を扱う研究分野であり、その嚆矢とされるのがKrugmanの提唱した核-周辺モデル⁴⁾である。Krugmanは、財の多様性、規模の経済及び輸送費用の存在によって産業の集積力が生み出されるメカニズムを一般均衡理論的な枠組みの中で説明した。その上で、地域間の輸送費用が産業集積が起こるか否かにおいて重要な役割を果たすことを示した。Martin and Rogers⁵⁾やMartin⁶⁾は、輸送費用がインフラの整備水準³に依存して決まるとして、インフラ整備政策が産業集積や地域間格差、成長率に及ぼす影響について分析を行っている。その中で、地域間のみならず地域内インフラの整備水準を考慮に入れ、インフラ整備水準の低い地域が自地域内のインフラ整備を行う政策は当該地域への企業の移入を促す一方、地域間インフラ整備を行う政策は整備水準の低い地域から高い地域への企業移転を促し、産業集積をより促進することを明らかにしている。

大規模災害がもたらす経済的影響の分析や防災投資の便益評価に関しては、防災計画分野において多くの研究

蓄積がある⁷⁾。土屋ら⁸⁾は、空間的応用一般均衡 (SCGE) モデルを用いて災害による間接的な経済被害を計測する枠組みを提示し、新潟県中越地震を事例として地域間の基幹交通ネットワークの損傷、被災地企業の生産資本の損傷が地域経済に及ぼす影響について分析した。小池ら⁹⁾は、社会資本ストックの間接スピルオーバー効果（他地域の社会資本ストックが地域間交易を通じて自地域の世帯の効用水準に及ぼす間接的な影響）に着目し、社会資本ストックの損壊による経済的被害の空間的な波及について分析を行っている。ただし、これらの研究では、完全競争市場を想定しており、災害時における企業の操業停止や廃業といった経済的な被害状況を十分に捉えることができない。この問題に対して、小池ら¹⁰⁾は、独占的競争の枠組みを取り入れて各地域の立地企業数を内生的に扱う SCGE モデルを構築し、被災によって地域間道路ネットワークが寸断した場合に各都道府県が被る被害総額と企業数の変化について試算を行った。一方、Cole *et al.*¹¹⁾は、阪神淡路大震災の被災企業データを用い、産業集積が災害時における企業の生存率やその後の業績に及ぼす影響に関する実証分析を行っている。分析の結果、被災した産業クラスター内の企業は互いに助け合い共存したのではなく、労働市場の逼迫を通じた一種の共食い状況下で一部の企業を撤退や縮小に追い込むことによって存続していたことが明らかとなった。さらに、都市部でのインフラ被害の影響についても分析を行い、道路の深刻な損壊は企業の物資輸送に深刻な影響をもたらし、生産性や雇用の低下に拍車をかけていることを示した。

防災投資の経済評価においても、その影響の時間的・空間的な波及を考慮する必要がある。防災投資によって災害リスクを抱える地域における被災時の被害が軽減されると、その影響は短期的には市場を介して、長期的には人口の移動や企業の立地変更を通じて地域経済へと波及する。この点を踏まえ、高木ら¹²⁾は治水投資事業を対象に立地均衡モデルを用いた便益評価手法を提案している。また、庄司ら¹³⁾は、災害リスク下における2地域一般均衡モデルを構築し、災害による被害の短期的な波及構造、生産資本や道路への防災投資がもたらす長期的効果を両地域の産業構造の違いに着目して分析している。その結果、両地域の産業構造や交易パターンによっては、防災投資が混雑悪化など集積の不経済をもたらし、長期的には必ずしも均衡効用水準を改善しないことを明らかにした。

東日本大震災以降、災害脆弱性は防災政策を考える上で重要な概念として位置づけられている。石井・福田¹⁴⁾は、災害の影響が時間的・空間的に広がっていく様子を表現する多地域動学マクロ経済モデルを構築し、災害脆弱性の観点から国土構造のあり方について検討

³ ここでは、交通や通信のみならず、制度や法律を含む広義のインフラを意味する。

を行っている。そこでは、災害脆弱性を一時的な生産の減少幅の拡大及び復元までにかかる時間の増大と定義した上で、国土の分散化による災害脆弱性の低減効果について分析し、集中型の国土構造は分散型の国土構造と比較して高い脆弱性を有すること、地域間の災害リスクが異なる場合、社会的厚生最大化の観点と災害脆弱性の低下の観点では、望ましい国土構造が異なる可能性があることを示した。ただし、国土構造の違いを外生的に与えており、人口や資本の移動を通じて産業立地構造が内生的に形成されるメカニズムについては考慮していない。

(2) 産業集積と災害脆弱性

一極集中型といわれる我が国の国土構造に対しては、様々な問題点が指摘されている。そのひとつが災害に対する脆弱性⁴であり、社会経済活動の中核である大都市圏が壊滅的な被害を受けた場合、その影響は広く他の地域へと波及し莫大な経済的損失が生じる。このように災害によって生じる被害とその波及は、災害発生前の産業立地構造と独立ではあり得ない。であるとすれば、産業集積の進展は空間経済システムの災害脆弱性にどのような影響を及ぼすであろうか。なお、本分析では災害の経済的側面に焦点を絞り、災害脆弱性を「災害が発生した場合に経済活動の水準が低下し損失が生じやすい状態にあること」と定義する。

災害ハザードに直面する地域へ産業の集積が進めば、一度に多くの企業が被災することによって直接的被害が増加する。加えて、交通インフラの損壊や企業の操業停止の影響により、サプライチェーンを含む産業の生産機能が大幅に低下し、間接的被害が拡大する可能性がある。本研究は、後者の影響に着目し、被災時に企業の操業停止（あるいは、撤退）を通じた経済活動の停滞を明示的に組み入れた、新たな分析枠組みを構築する。その上で、災害リスクを抱える地域への産業集積が進むほど、被災時の1)生存企業数が減少し、2)経済的被害が大きくなること、すなわち災害脆弱性が高まることを明らかにする。

本分析から導かれる企業の生存に関する理論的予測は、Cole *et al.*による実証研究の結果と整合的である。被災企業の撤退は、被災時に市場へ供給される財の種類が減少することを意味し、財の多様性を嗜好する消費者や中間財需要企業に対して負の外部効果として作用する。したがって、災害リスクを抱える地域への企業集積は、平常時には集積の経済として正の外部性をもたらす一方で、災害時には集積の不経済として負の外部性をもたらす。均衡における産業立地構造は、企業が享受する集積の経済と不経済の大小関係によって

決まる。後者が卓越した場合、均衡立地構造は過集積となり、災害に対してより脆弱となる。

交通インフラの減災対策は、災害生起時の被害軽減や早期復旧に資するだけではなく、企業の立地変更を促し、長期的には産業集積構造へ変化を及ぼす。本研究では、交通インフラの減災施策が産業集積構造ならびに社会的厚生に及ぼす影響についても分析を行う。この点において、本研究は庄司らと同様の問題意識に基づいている。ただし、1) 不完全競争の枠組みにおいて災害時の企業撤退を明示的に扱い、2) 均衡における産業立地構造の災害脆弱性について分析を行う点が本研究の新規性である。

(3) 分析の焦点と対象とする空間経済の枠組み

集積の経済下における国土構造の在り方について議論するためには、本来、多地域経済システムにおいて複数の（潜在的な）産業集積地を考慮した上で、均衡状態として実現する人口や資本の空間的集積パターンについて明らかにすることが望ましい。しかし、こうした枠組みを精緻に扱うには、均衡集積パターンの安定性¹⁶⁾や複数均衡^{17), 18)}の問題に対処するための複雑な分析手続きを踏む必要がある。一方で、本研究の焦点は、災害リスク下における産業集積構造の特性と防災・減災施策が及ぼす影響の分析にあり、ただ闇雲に多地域モデルを採用し分析を複雑化することは必ずしも得策ではない。むしろ1つの産業集積地とその他の地域（後背地）によって構成される空間経済システムであれば、本研究の目的を達するには十分であると著者らは考える。本論文においては、極力分析の簡単化を図るために2地域まで空間を縮約し、一方を災害の生起により被災する恐れのある危険地域、もう一方を被災の恐れがない安全地域とおく。その上で、我が国の国土構造を踏まえ、危険地域に産業が集積する状況に焦点を当てて分析を進める。

3. 災害リスクを考慮した産業集積モデル

(1) モデルの設定

いま、交通リンクによって結ばれる2つの地域が存在する。そのうち、一方は災害リスクに晒される危険地域 r であり、もう一方は安全地域 s であるとする。地域 r において災害が生起する確率を θ で表す。これより、経済は、災害が生起していない平常状態 ($\xi = u$) と災害の生起によって地域 r が被災した状態 ($\xi = d$) の2つの状態をとりえる。また、2つの状態のうち、どちらか一方が確定的に生起した状況を「事後」、どちらかが生起するか確率的にしかわからない状況を「事前」と呼んで区別する。なお、分析の複雑化を避けるため、本

⁴ 災害脆弱性の諸概念については、Birkmann¹⁵⁾に詳しい。

分析では災害からの復旧過程を明示的には考慮しない。

経済主体として、企業家と労働者の2つのタイプが存在する。企業家は自らの保有する1単位の人的資本を用いて企業を経営することができる。また、労働者は1単位の労働を非弾力的に供給するものとする。ここで、状態 $\xi (= u, d)$ における地域 $i (= r, s)$ の企業家数及び労働者数をそれぞれ H_i^ξ , L_i^ξ で表す。平常状態における企業家の総数を $H = H_r^u + H_s^u$ とおく。企業家は、事前において自らの居住地域を自由に選択可能であるが、事後的には地域間を移動することは不可能であると仮定する。一方、労働者は、事前・事後ともに地域間を移動不可能であるが、産業間を自由に移動できるとする（労働者の地域間移動に関する仮定の妥当性については付録で検討する）。

経済には、農業部門と工業部門の2部門が存在する。農業部門は、収穫不変の技術により、労働を生産要素として1種類の同質な財を生産する完全競争的な部門である。一方、工業部門は、収穫遞増の技術により、労働、人的資本及び固定的生産要素を用いて、広範囲の差別化された財を生産する独占競争的な部門である。工業部門で生産される差別化財の輸送費用は、標準的なNEGモデルと同様に、水塊費用の形をとると仮定する。1単位の財が地域 i から地域 j へ輸送されると、当初の1単位のうち一部は途中で融けてしまい $1/\tau_{ij}^\xi$ だけが実際に到達する。すなわち、地域 j に1単位の財が届けるためには、地域 i において τ_{ij}^ξ 単位の財を生産し、発送する必要がある。なお、地域間の輸送費用は対称であるとし、 $\tau_{rs}^\xi = \tau_{sr}^\xi = \tau^\xi$ と表す。また、地域内の交通施設が被災する状況を想定するため、同地域内の輸送にも費用がかかると仮定する($\tau_{ii}^\xi \geq 1$)。一方、農業財の輸送には費用がかからないものと仮定する。いま、一般性を失うことなく、1単位の労働により1単位の農業財が生産されると基準化できることから、農業財の価格 $p_i^{A,\xi}$ ($i = r, s$)は労働者の賃金 $w_i^{L,\xi}$ に等しくなる。また、農業財の地域間輸送には費用がかからず、その価格はどちらの地域でも等しいため、 $w_r^{L,\xi} = w_s^{L,\xi}$ という関係も明らかである。ここで、災害リスクが産業立地に及ぼす影響に分析の主眼を置くため、農業部門の生産技術及び輸送技術は災害による影響を一切受けないものと仮定する⁵。このとき、平常時($\xi = u$)と被災時($\xi = d$)における農

業財の価格は等しくなる。以下、単純化のため、農業財を基準財とし、 $p_i^{A,\xi} = w_i^{L,\xi} = 1$ ($i = r, s$, $\xi = u, d$)とおく。

本モデルは、事後の均衡と事前の均衡によって構成される。事後の均衡とは、事後的に確定する状態に応じて実現する価格均衡であり、状態毎に各地域の企業家数 H_i^ξ を固定とした上で導出される。事前の均衡とは、企業家が事後的（価格）均衡状態を予見した上で事前に立地選択を行った結果として実現する立地均衡である。

(2) 事後の均衡

a) 消費者の行動

準線形型効用関数を採用するPfluger²¹⁾に従って定式化を行う。状態 $\xi (= u, d)$ において地域 $j (= r, s)$ に存在する代表的消費者の効用最大化行動は、以下のように表される。

$$\max U_j^\xi = \mu \ln M_j^\xi + A_j^\xi \quad (1)$$

μ は正の定数、 A_j^ξ は農業財の消費量である。 M_j^ξ は差別化財の消費数量指標であり、以下のように表される。

$$M_j^\xi = \left[\sum_{i=r,s} \int_0^{n_i^\xi} m_{ij}^\xi(k)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dk \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (2)$$

ここで、差別化に対応するインデックスを連続変数 k 、 $m_{ij}^\xi(k)$ は状態 ξ において地域 i で生産され地域 j で消費されるバラエティ k の需要量である。また、 n_i^ξ は地域 i で生産されるバラエティの数を表す。なお、 $\sigma(>1)$ は差別化財間の代替弾力性である。地域 i における代表的消費者の所得制約は、

$$y_j^\xi + \bar{A}^\xi = \sum_{i=r,s} \int_0^{n_i^\xi} p_{ij}^\xi(k) m_{ij}^\xi(k) dk + A_j^\xi \quad (3)$$

と表される。 y_j^ξ は状態 ξ 、地域 j における所得、 \bar{A}^ξ は農業財で計った初期賦存量、 $p_{ij}^\xi(k)$ は地域 i で生産され地域 j で消費されるバラエティ k の価格を表す。ここで、ラグランジュ関数を

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \mu \ln M_j^\xi + A_j^\xi + \lambda \left(y_j^\xi + \bar{A}^\xi \right. \\ & \left. - \sum_{i=r,s} \int_0^{n_i^\xi} p_{ij}^\xi(k) m_{ij}^\xi(k) dk - A_j^\xi \right) \end{aligned} \quad (4)$$

と定義すれば、差別化財の消費に関する1階条件は以下のようになる。

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial m_{ij}^\xi(k)} = \mu \frac{1}{M_j^\xi} \frac{\partial M_j^\xi}{\partial m_{ij}^\xi(k)} - \lambda \cdot p_{ij}^\xi(k) = 0 \quad (\forall k) \quad (5)$$

ただし、

$$\frac{\partial M_j^\xi}{\partial m_{ij}^\xi(k)} = \left\{ \frac{M_j^\xi}{m_{ij}^\xi(k)} \right\}^{1/\sigma} \quad (6)$$

⁵ 農業部門の被災による影響を明示的に扱うには、Picard and Zeng¹⁹⁾などの枠組みへの拡張が必要となる。農業部門（本モデルでは収穫一定の完全競争的な部門を指し、必ずしも文字通りの農業部門とは限らない）の被災による生産効率性の低下は労働者の賃金低下をもたらす。労働賃金の下落による可変費用の低下は、工業部門企業の利潤を改善し、被災時の生存率を上昇させる。その結果、危険地域への集積が進む。しかし、東日本大震災においては、復興需要の影響により被災地の労働需給が引き締まる傾向が見られ、雇用者所得（被災3県計）が高い伸びを示したこと²⁰⁾からも、収穫一定部門の被災が本研究の焦点である産業立地構造に及ぼす影響は限定的であると考えられる。

である。式(5)を $k, k'(\neq k)$ について整理すれば、

$$m_{ij}^\xi(k) = \left\{ \frac{p_{ij}^\xi(k')}{p_{ij}^\xi(k)} \right\}^\sigma m_{ij}^\xi(k') \quad (7)$$

となり、式(7)を式(2)に代入すれば、以下を得る。

$$m_{ij}^\xi(k') = \frac{p_{ij}^\xi(k')^{-\sigma}}{P_j^\xi} M_j^\xi \quad (8)$$

ここで、 P_j^ξ は状態 ξ 、地域 j における工業部門全体の価格水準を表す価格指数である。

$$P_j^\xi = \left[\sum_{i=r,s} \int_0^{n_i^\xi} p_{ij}^\xi(k)^{1-\sigma} dk \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (9)$$

価格指数 P_j^ξ は、状態 ξ において地域 j の消費者が差別化財の消費数量指標を1単位消費するために必要な費用を表している。式(8)を式(5)に代入し、式(6)を用いて整理すれば、

$$M_j^\xi = \frac{\mu}{P_j^\xi} \quad (10)$$

となり、これより、任意のバラエティ k に対する需要量

$$m_{ij}^\xi(k) = \frac{p_{ij}^\xi(k)^{-\sigma}}{P_j^{\xi(1-\sigma)}} \mu \quad (11)$$

を得る。このとき、農業財の消費量は、以下のように表現される。

$$A_j^\xi = y_j^\xi - \mu + \bar{A}^\xi \quad (12)$$

また、代表的消費者の間接効用関数は以下のように表される。

$$V_j^\xi = y_j^\xi - \mu \ln P_j^\xi + \mu(\ln \mu - 1) + \bar{A}^\xi \quad (13)$$

b) 差別化財企業の行動

工業部門では、独占競争的企业が収穫遞増の技術により差別化された工業財を生産する。状態 ξ において地域 i の企業が差別化財を生産するには、1単位の人的資本および F_i^ξ 単位の基準財を固定要素として、 a 単位の労働を可変要素として投入する必要がある。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種類に制限がないことから、各種類の財が唯一の地域において唯一の特化した企業によって生産される。したがって、各状態、各地域における企業家数、企業数、供給されるバラエティの数はすべて一致する($H_i^\xi = n_i^\xi$)。状態 ξ 、地域 i においてバラエティ k を生産する企業 k の利潤最大化行動は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \max_{p_{ii}^\xi, p_{ij}^\xi} \pi_i^\xi(k) &= (p_{ii}^\xi(k) - \tau_{ii}^\xi a)(H_i^\xi + L_i^\xi)m_{ii}^\xi(k) \\ &\quad + (p_{ij}^\xi(k) - \tau^\xi a)(H_j^\xi + L_j^\xi)m_{ij}^\xi(k) \\ &\quad - F_i^\xi - w_i^\xi \end{aligned} \quad (14)$$

$p_{ii}^\xi(k)$ は地域 i で生産され、地域 i で消費される差別化財 k の価格、 $p_{ij}^\xi(k)$ は地域 i で生産され、地域 j で消

費される差別化財 k のc.i.f.価格を表す。 w_i^ξ は企業家の供給する人的資本へのレントである。また、 $H_i^\xi + L_i^\xi$ は、状態 ξ における地域 i の消費者数を表す。利潤最大化の1階条件より、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_i^\xi(k)}{\partial p_{ii}(k)} &= (H_i^\xi + L_i^\xi) \frac{p_{ii}^\xi(k)^{-\sigma}}{P_i^{\xi(1-\sigma)}} \mu \\ &\quad \times \{(1-\sigma) + \sigma \cdot \tau_{ii}^\xi a \cdot p_{ii}^\xi(k)^{-1}\} = 0 \\ \frac{\partial \pi_i^\xi(k)}{\partial p_{ij}(k)} &= (H_j^\xi + L_j^\xi) \frac{p_{ij}^\xi(k)^{-\sigma}}{P_j^{\xi(1-\sigma)}} \mu \\ &\quad \times \{(1-\sigma) + \sigma \cdot \tau^\xi a \cdot p_{ij}^\xi(k)^{-1}\} = 0 \end{aligned}$$

である。従って、状態 ξ において地域 i の企業 k が生産する差別化財の価格は、

$$p_{ii}^\xi(k) = \tau_{ii}^\xi p, \quad p_{ij}^\xi(k) = \tau^\xi p \quad (15)$$

となる。ただし、 $p \equiv a\sigma/(\sigma-1)$ である。このとき、価格指数 P_i^ξ は次式のように表される。

$$\begin{aligned} P_i^\xi &= \left[\int_0^{n_i^\xi} p_{ii}(k)^{1-\sigma} dk + \int_0^{n_j^\xi} p_{ji}(k)^{1-\sigma} dk \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \\ &= p(\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi)^{\frac{1}{1-\sigma}} \end{aligned} \quad (16)$$

ここで、 $\phi_i^\xi \equiv (\tau_{ii}^\xi)^{1-\sigma}$ 、 $\psi^\xi \equiv (\tau^\xi)^{1-\sigma}$ であり、状態 ξ における地域 i 内及び地域間の交易自由度を表す。上式より、消費可能な差別化財のバラエティが増えるほど、また交易自由度が大きい(輸送費用が小さい)ほど、価格指数が低下することがわかる。また、自地域で生産される差別化財のバラエティ増加は、輸送費用の節約効果を通じて価格指数は低下させる。以上を整理すると、状態 ξ における地域 i の企業の利潤 π_i は、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \pi_i^\xi &= \frac{\mu}{\sigma} \left(\phi_i^\xi \frac{H_i^\xi + L_i^\xi}{\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi} + \psi^\xi \frac{H_j^\xi + L_j^\xi}{\psi^\xi n_i^\xi + \phi_j^\xi n_j^\xi} \right) \\ &\quad - w_i^\xi - F_i^\xi \end{aligned} \quad (17)$$

c) 均衡賃金

ゼロ利潤条件($\pi_i^\xi = 0$)より、各地域の企業家に支払われる人的資本レントの均衡水準が状態毎に決定される。

$$w_i^\xi = \frac{\mu}{\sigma} \left(\phi_i^\xi \frac{H_i^\xi + L_i^\xi}{\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi} + \psi^\xi \frac{H_j^\xi + L_j^\xi}{\psi^\xi n_i^\xi + \phi_j^\xi n_j^\xi} \right) - F_i^\xi \quad (18)$$

(3) 被災に伴う企業の撤退

a) 被災状態の設定

本モデルでは、災害発生が企業へ与える影響として、1)被災地域 r における企業の生産施設の損壊に伴う固定投入要素の増加と2)交通施設の損壊に伴う輸送費用

の上昇の2つを明示的に考慮する⁶。具体的には、固定費用 F_i^ξ の大小関係として、 $F_r^d > F_s > F_r^u$ を仮定する。本研究では、産業集積地で発生する災害を想定するため、平常状態 ($\xi = u$)においては、危険地域 r の固定費用が安全地域 s の固定費用を下回るものとし、企業が危険地域に集積して立地する状況を導いている。

被災状態における地域間輸送費用を上昇率パラメータ $\zeta (> 1)$ を用いて $\tau^d = \zeta \cdot \tau^u$ と表し、 $\psi^d < \psi^u$ の関係が成立するものとする。一方、地域内輸送は、簡単化のため、平常状態では両地域とも、被災状態では安全地域 s において費用はかからず ($\tau_{rr}^u = \tau_{ss}^u = \tau_{ss}^d = 1$, すなわち $\phi_r^u = \phi_s^u = \phi_s^d = 1$)、被災状態における危険地域 r 内においてのみ費用がかかると仮定する。先ほどと同様に、上昇率パラメータ $\eta (> 1)$ を用いて、 $\tau_{rr}^d = \eta \cdot \tau_{rr}^u > 1$ (すなわち、 $\phi_r^d < 1$) と表す。

b) 被災状態における均衡生存率

被災状態において、生産を継続できなくなった企業は市場からの撤退を余儀なくされる。被災発生後（事後）に企業家は地域間を移動することはできず、被災に伴う固定費用の増加によって企業家の賃金水準 w_i^d が労働者の賃金 1 を下回った場合、企業家は企業への人的資本の供給を止め、労働者として働く選択を行うものと想定する⁷。いま、平常時の企業数に対する被災時の企業の割合（生存率）を δ_i で表せば、 $n_i^d = \delta_i n_i^u$ が成立する。これを用いれば、企業の生存率に関する均衡条件を以下の相補性条件として表現できる。

$$\begin{cases} (1 - \delta_i)(w_i^d - 1) = 0 \\ w_i^d \geq 1, (1 - \delta_i) \geq 0, \forall i \in \{r, s\} \end{cases} \quad (19)$$

相補性条件 (19) は、i) 被災地域 r においてのみ企業の撤退が起こるケース ($\delta_r < 1, \delta_s = 1$)、ii) 両地域において撤退が起こるケース ($\delta_r < 1, \delta_s < 1$)、iii) 安全地域 s においてのみ撤退が起こるケース ($\delta_r = 1, \delta_s < 1$)、iv) 両地域とも撤退が起こらないケース ($\delta_r = 1, \delta_s = 1$) の4ケースに場合分けすることができる。本研究で主に対象とするケースは、i) である⁸。ここで、被災状態における生存企業数を $n^d = n_r^d + n_s^d$ と表す。また、撤退が起こる地域の企業家の均衡所得水準 w_i^{d*} は、労働者の

⁶ 災害による直接的被害としては、この他にも家屋・建物、ライフライン、人命などが挙げられるが、分析の焦点を絞るために、本研究ではこれらを捨象する。なお、本モデルにおいて住宅サービスの生産及び消費を明示的に考慮すれば、家屋や建物の被害を扱う枠組みへと拡張することも可能である。

⁷ 災害時における企業の地域間移動及び撤退に関して、土屋ら⁸、庄司ら¹³はどちらも不可能な短期の状況を、一方、小池ら¹⁰はどちらも可能な比較的に長期の状況を想定している。これに対して、本分析は、撤退は可能であるが、地域間移動は不可能であるという意味でそれらの中間を想定しているといえる。

⁸ ケース ii) は、災害の間接被害により安全地域においても企業の撤退が起こる状況に対応している。設定によってはケース ii) が起こる可能性もあるが、今回の分析においては確認されなかつた。

賃金 1 と等しくなる。

$$w_i^{d*} = \begin{cases} w_i^d & \text{if } \delta_i = 1 \\ 1 & \text{if } \delta_i < 1 \end{cases} \quad (20)$$

(4) 事前の均衡

事前において、企業家は事後の起こりえる2つの状態を完全に予見した上で、より高い期待効用をもたらす地域に居住地域として選択する。なお、企業家1人の供給する人的資本を用いて1つの企業が生産を行うという仮定より、企業家の立地選択は企業の立地選択と同義である。地域 r に居住する企業家のシェア（以下、集積率と呼ぶ）を λ と表せば、 $H_r^u = n_r^u = \lambda H$ が成立する。このとき、企業家にとって地域 $i (= r, s)$ に居住することから得られる期待効用 $E[V_i]$ は、 λ の関数として次のように表される⁹。

$$E[V_i(\lambda)] = (1 - \theta)V_i^u(\lambda) + \theta V_i^d(\lambda) \quad (21)$$

ただし、

$$V_i^\xi(\lambda) = w_i^{d*}(\lambda) - \mu \ln P_i^\xi(\lambda) + \mu(\ln \mu - 1) + \bar{A}^\xi \quad (22)$$

$$w_i^{d*}(\lambda) = \begin{cases} w_i^d(\lambda) & \text{if } \delta_i = 1 \\ 1 & \text{if } \delta_i < 1 \end{cases} \quad (23)$$

[危険地域、平常状態]

$$w_r^u(\lambda) = \frac{\mu}{\sigma} \left\{ \frac{\lambda + l_r}{\lambda + \psi^u(1 - \lambda)} + \psi^u \frac{(1 - \lambda) + l_s}{\psi^u \lambda + (1 - \lambda)} \right\} - F_r^u \quad (24)$$

$$P_r^u(\lambda) = p \{ \lambda + \psi^u(1 - \lambda) \}^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot H^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (25)$$

[危険地域、被災状態]

$$w_r^d(\lambda) = \frac{\mu}{\sigma} \left\{ \phi_r^d \frac{\lambda + l_r}{\phi_r^d \delta_r \lambda + \psi^d \delta_s (1 - \lambda)} + \psi^d \frac{(1 - \lambda) + l_s}{\psi^d \delta_r \lambda + \delta_s (1 - \lambda)} \right\} - F_r^d \quad (26)$$

$$P_r^d(\lambda) = p \{ \phi_r^d \delta_r \lambda + \psi^d \delta_s (1 - \lambda) \}^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot H^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (27)$$

[安全地域、平常状態]

$$w_s^u(\lambda) = \frac{\mu}{\sigma} \left\{ \psi^u \frac{\lambda + l_r}{\lambda + \psi^u(1 - \lambda)} + \psi^u \frac{(1 - \lambda) + l_s}{\psi^u \lambda + (1 - \lambda)} \right\} - F_s^u \quad (28)$$

$$P_s^u(\lambda) = p \{ \psi^u \lambda + (1 - \lambda) \}^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot H^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (29)$$

⁹ θ は一定の計画期間に対して経済が被災状態にある期間の割合と解釈することもできる。例えば、計画期間を 100 年、 $\theta = 0.04$ とすれば、被災状態の期間は 4 年間となる。このとき、 $E[V_i]$ は計画期間中の平均効用を表す。

[安全地域, 被災状態]

$$w_s^d(\lambda) = \frac{\mu}{\sigma} \left\{ \psi^d \frac{\lambda + l_r}{\phi_r^d \delta_r \lambda + \psi^d \delta_s (1 - \lambda)} + \frac{(1 - \lambda) + l_s}{\psi^d \delta_r \lambda + \delta_s (1 - \lambda)} \right\} - F_s^d \quad (30)$$

$$P_s^d(\lambda) = p \{ \psi^d \delta_r \lambda + \delta_s (1 - \lambda) \}^{\frac{1}{1-\sigma}} \cdot H^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (31)$$

である。なお, $l_i = L_i^u / H$ とする。

事前における立地均衡状態をいずれの企業家も他者の立地選択を与件として選択した地域を変更する誘因を持たない (Nash 均衡) 状態と定義すれば、安定的な立地均衡条件は次のように表される。

$$\Delta E[V(\lambda)] = E[V_r(\lambda)] - E[V_s(\lambda)] = 0 \quad (32)$$

$$\frac{\partial \Delta E[V(\lambda)]}{\partial \lambda} < 0 \quad (33)$$

均衡における集積率を λ^* と表す。

(5) 社会的厚生

NEG モデルでは、常に主体間での利害対立が存在するため、パレート効率性基準を用いて異なる空間構造について厚生比較を行うことはできない。そこで、本研究では、功利主義的な規範に基づいて厚生分析を行うこととする（本設定の妥当性については、6. で改めて議論する）。ベンサム型の期待社会的厚生関数 $E[SW(\lambda)]$ は、災害生起確率 θ を用いて以下のように表される。

$$E[SW(\lambda)] = (1 - \theta) SW^u(\lambda) + \theta SW^d(\lambda) \quad (34)$$

ただし、

$$SW^\xi(\lambda) = \sum_{i=r,s} \{ H_i^\xi \cdot V_i^\xi(\lambda) + L_i^\xi \cdot \tilde{V}_i^\xi(\lambda) \} \quad (35)$$

である。ここで、 \tilde{V}_i^ξ は、状態 ξ における地域 i の労働者の効用水準を表す。

$$\tilde{V}_i^\xi(\lambda) = 1 - \mu \ln P_i^\xi(\lambda) + \mu(\ln \mu - 1) + \bar{A}^\xi \quad (36)$$

式 (34) の期待社会的厚生が最大となる状態を社会的最適状態として、その際の集積率を λ^o と表す。

4. 均衡立地構造の災害脆弱性 (数値分析 I)

(1) 基本ケース

本章では、3. で示したモデルの均衡解を導出し、その性質を明らかにする。その上で、企業の生存率及び社会的厚生の観点から均衡状態と最適状態を比較し、均衡における産業立地構造の災害脆弱性について考察する。また、感度分析を通じて、各パラメータが均衡解及び最適解に及ぼす影響を示す。なお、本モデルを解析的に解くことは困難であるため、以降では数値計算による分析を行う。基本ケースの設定を以下に示す。

- 基礎的パラメータ：効用パラメータ $\mu = 3.0$, 差別化財の代替弾力性 $\sigma = 3.0$, 基準財の初期賦存量 $\bar{A} = 5.0$, 企業家数 (平常状態) $H = 1.0$, 労

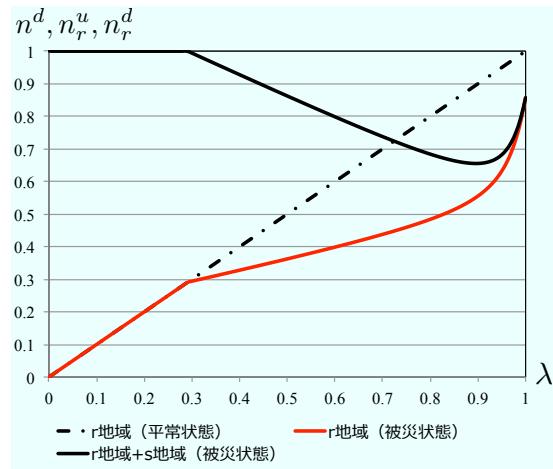


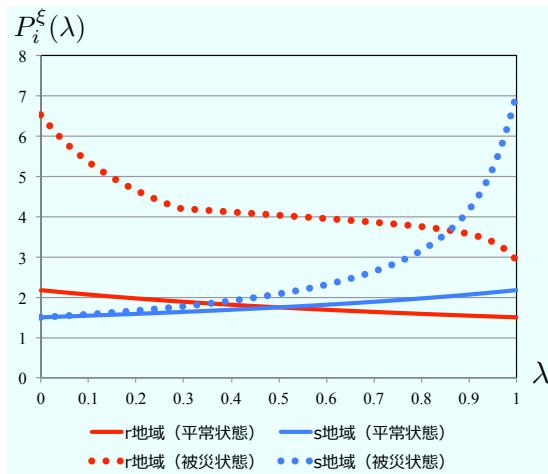
図-1 集積率 λ と生存企業数 n^d

働者数 (平常状態) $L_i^u = 2.5$ ($i = r, s$), 可変費用 $a = 1$, 固定費用 $F_r^u = 0$, $F_s^u = 0.35$ ($\xi = u, d$), 地域間輸送費用 (平常状態) $\tau^u = 1.45$

- 災害に関するパラメータ：災害生起確率 $\theta = 0.04$, 地域 r の固定費用 (被災状態) $F_r^D = 6.0$, 地域間輸送費用の上昇率 $\zeta = 3.0$, 地域 r 内輸送費用の上昇率 $\eta = 1.8$

まずは、企業の集積率 λ を外生的に与えた下での事後均衡の分析結果について述べる。図-1 は、危険地域 r への企業家の集積率 λ と被災状態における生存企業数の関係を表す。図中の鎖線及び赤実線はそれぞれ平常状態、被災状態における地域 r の企業数 $n_r^u = \delta_r \lambda$, $n_r^d = \lambda$ を表し、両者の差は災害生起により撤退する企業数を表している。また、黒実線は被災状態における両地域の総生存企業数 $n^d = n_r^d + n_s^d = \delta_r \lambda + (1 - \lambda)$ を表す。同図より、集積率が $0.3 \leq \lambda \leq 1.0$ の範囲において企業の撤退が起こること、また、 $0.3 \leq \lambda \leq 0.9$ において λ の増加に伴い地域 r 企業の生存率 δ_r が減少し、生存企業数 n^d も減少することがわかる。理由は、以下に述べる通りである。地域 r への企業集積が進むにつれて同地域内における企業間の競争が激しくなり、企業利潤 (正確には、企業家の人的資本へのレント支払い) は減少する。また、被災による生産施設や交通インフラの損壊は、地域 r 企業の地域 s 企業に対する競争力を弱め、地域 r 企業の利潤を大幅に押し下げる。そのため、集積率 λ の増加に伴い、事業継続に要する追加的費用を捻出できずに市場からの撤退を余儀なくされる企業 (家) が増える。なお、地域 r に多くの企業が集積している状況 ($0.9 < \lambda \leq 1$) においては、地域間における

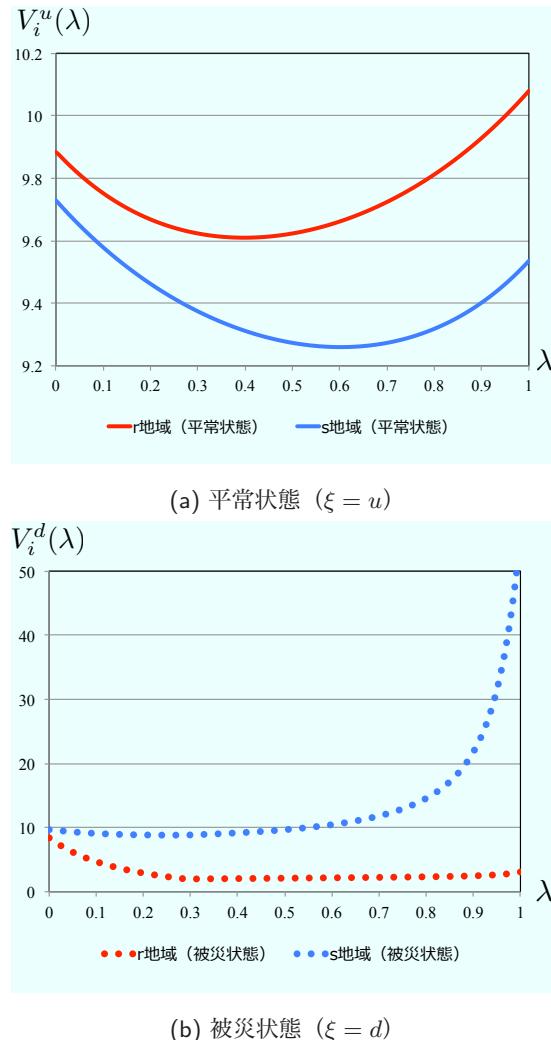
¹⁰ 年間の災害発生回数が平均 θ のポアソン分布に従うとすれば、 $\theta = 0.04(0.08)$ は今後 30 年間に約 70% (90%) の確率で発生する災害リスクに相当する。

図-2 集積率 λ と価格指標 P_i^ξ

企業間競争の影響が小さくなるため、被災時に撤退する企業は減少する。

図-2は、集積率 λ と両地域の平常状態及び被災状態における価格指標 $P_i^\xi(\lambda)$ の関係を示している。状態を問わず、両地域とも自地域の企業数の増加（減少）に伴い、価格指標が単調に低下（上昇）していることがわかる。平常状態において、両地域の価格指標曲線は $\lambda = 0.5$ を境にちょうど対称的な形状となっている。一方、被災状態においては、地域 s の価格指標 P_s^d が λ の減少に伴って平常状態の水準に近づくのに対し、地域 r の価格指標 P_r^d は曲線がほぼ横ばいとなり、 λ の増加にも関わらず高止まりしている。これは、被災状態において地域 r 内輸送費用が増加することに加え、企業の撤退により市場に供給される差別化財のバラエティが減少するためである¹¹。このことから、危険地域 r への企業集積は、平常状態において同地域の価格指標低下による正の外部効果（cost-of-living 効果）をもたらす一方で、被災状態においては企業の撤退を誘発し、価格指標を高止まりさせることによって負の外部効果をもたらすことがわかる。

図-3は、集積率 λ と企業家の間接効用水準 V_i^ξ の関係を示している。企業家の間接効用水準は、立地地域の価格指標と人的資本へのレントによって決まる。仮定より、平常状態において危険地域 r は安全地域 s よりも生産効率的であり、少ない固定費用で生産を行うことができる。そのため、企業家へ支払われる人的資本レントも多くなり、同図(a)の通り V_r^u は V_s^u の上方に位置している。また、一方の地域に企業が集積した場合、当該地域の企業家の効用が増加することから平

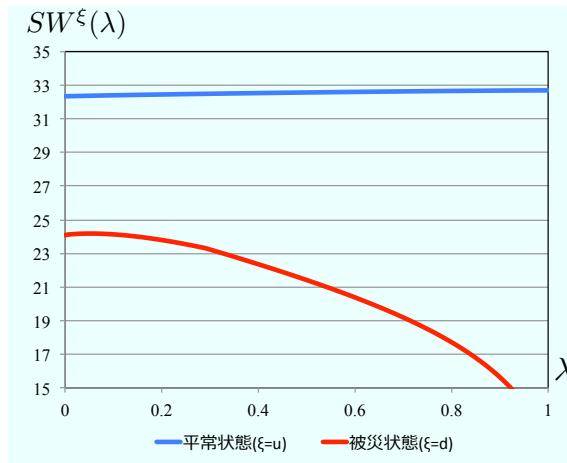
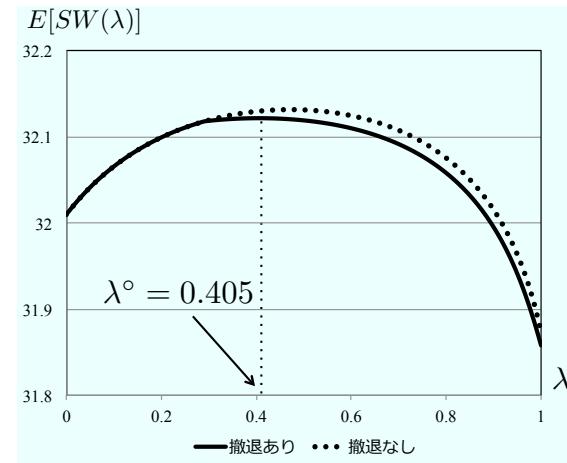
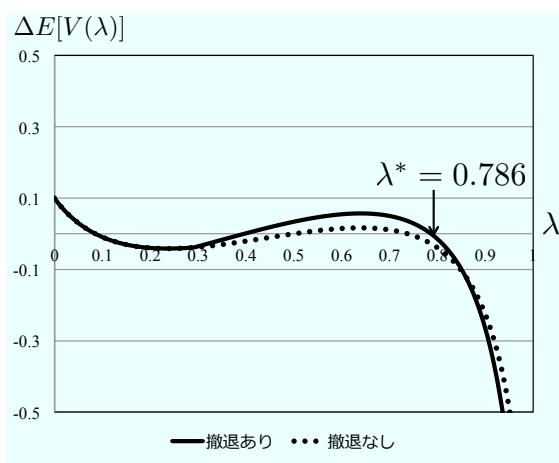
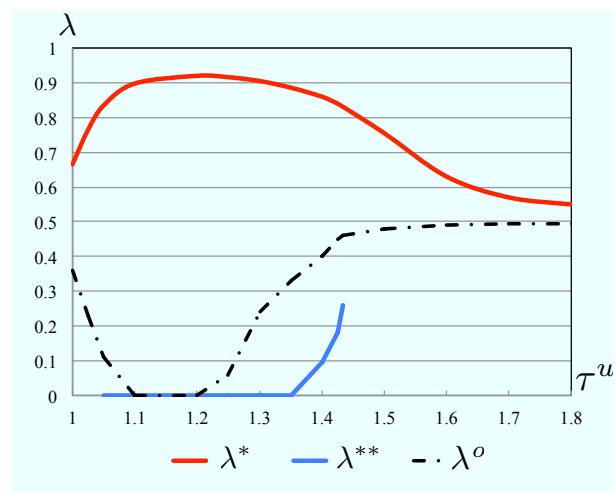
図-3 集積率 λ と企業家の間接効用水準 V_i^ξ

常状態において集積の経済が働いていることが見てとれる。一方、被災状態において、生産施設の損壊の影響により地域 r 企業の利潤は減少し、それに伴って企業家の受け取る人的資本レントも減少する。特に、企業の撤退が起こる場合は、均衡における人的資本レント水準は労働者の賃金と同水準まで押し下げられる。なお、交通インフラの損壊によって地域間の交易自由度は著しく低下するため、企業にとって自地域市場における他地域企業との競争は緩やかになる。そのため、同一地域に立地する企業数が少ない場合、企業家はより多くの人的資本レントを受け取ることができる。以上の効果が合わさって、図-3(b)に示すような関係が描かれる。

図-4は、集積率 λ と状態毎の社会的厚生水準 $SW_i^\xi(\lambda)$ の関係を示している。青線は平常状態における社会的厚生 SW^u を、赤線は被災状態における社会的厚生 SW^d を表す。 $0.05 \leq \lambda \leq 1$ の領域においては、 λ の上昇に伴って SW^d が大きく減少することがわかる。図-1 及

¹¹ 被災による地域 r 内の輸送費用増加を考慮しないケース ($\tau_{rr}^d = 1$)においても、同様の性質を確認している。

¹² $\partial V_r^u / \partial \lambda > 0$ ($0.4 \leq \lambda \leq 1$), $\partial V_s^u / \partial \lambda < 0$ ($0 \leq \lambda \leq 0.6$)

図-4 集積率 λ と状態毎の社会厚生 $SW^\xi(\lambda)$ 図-6 期待社会厚生 $E[SW(\lambda)]$ 図-5 均衡集積率 λ^* 図-7 平常時の地域間輸送費用 τ^u と事前の均衡集積率 λ^*

び図-4より、災害リスク地域への産業集積が進むほど、1)被災時の生存企業数が減少し、2)災害による経済的被害が増大すること、すなわち災害に対する脆弱性が高まることが明らかとなった。

企業家にとっての地域間の期待効用差 $\Delta E[V(\lambda)]$ を描いたグラフ（実線）を図-5に示す。先述の通り、 r 地域に企業が集積した状況 ($\lambda > 0.5$) に着目すれば、 $\Delta E[V(\lambda)] = 0$ を満たす均衡集積率は $\lambda^* = 0.786$ であり、 $\partial \Delta E[V]/\partial \lambda < 0$ より安定的な均衡解であることが確認できる。また、同図には、企業の撤退を考慮しない場合の期待効用差を点線で描いた。両者を比較することにより、撤退を考慮した場合の方が危険地域への集積がより進むことがわかる。図-6は、期待社会厚生 $E[SW(\lambda)]$ を描いたグラフ（実線）を表す。 $E[SW(\lambda)]$ は上に凸であり、社会厚生を最大とする集積率は $\lambda^o = 0.405$ である。また、点線で描かれている企業の撤退を考慮しない場合の期待社会厚生と比較すれば、企業の撤退によ

る財の多様性の減少が期待社会厚生の水準を押し下げていることが見てとれる。最後に、均衡解及び社会的最適解における生存企業数は、それぞれ $n^{d*} = 0.690$, $n^{d^o} = 0.925$ となっている。以上より、基本ケースにおいて均衡解は社会的最適解に比べ過剰集積であり、災害に対してより脆弱であるといえる。

(2) 感度分析

本節では、主要なパラメータが均衡解及び社会的最適解に及ぼす影響を明らかにするために感度分析を行う。まず、平常時の地域間輸送費用 τ^u と均衡における集積率 λ^* の関係を図-7に示す。実線は均衡における集積率 λ^* （赤線）及び λ^{**} （青線）を、鎖線は社会的最適における集積率 λ^o を表す。同図より、本モデルにおいても通常のNEGモデルと同様に、地域間輸送費用が低い範囲 ($1.05 \leq \tau^d \leq 1.43$)において、複数の均衡が存在することが確認できる。ただし、1)我が国の産業

表-1 感度分析の結果

		集積率 λ		生存企業数 n^d		期待社会厚生 $E[SW]$	
		均衡解 λ^*	最適解 λ^o	均衡解 n^{d*}	最適解 n^{d^o}	均衡解 $E[SW^*]$	最適解 $E[SW^o]$
地域間輸送費用 (平常状態)	$\tau^u = 1.2$	0.920	0.0	0.695	1.0	33.385	33.430
	$\tau^u = 1.45$	0.786	0.405	0.690	0.925	32.064	32.121
	$\tau^u = 1.7$	0.570	0.495	0.848	0.904	31.368	31.376
代替弾力性	$\sigma = 2.0$	1.0	0.0	1.0	1.0	29.695	29.832
	$\sigma = 3.0$	0.786	0.405	0.690	0.925	32.064	32.121
	$\sigma = 4.0$	0.580	0.525	0.723	0.768	33.070	33.074
労働者人口比率 (平常状態)	$\frac{L_r}{L} = 0.4$	0.0	0.0	1.0	1.0	32.634	32.634
	$\frac{L_r}{L} = 0.5$	0.786	0.405	0.690	0.925	32.064	32.121
	$\frac{L_r}{L} = 0.6$	0.983	0.965	0.788	0.748	32.450	32.452
災害生起確率	$\theta = 0.00$	1.0	1.0	1.0	1.0	32.690	32.690
	$\theta = 0.04$	0.786	0.405	0.690	0.925	32.064	32.121
	$\theta = 0.08$	0.012	0.225	1.0	1.0	31.690	31.754
災害規模	$F_r^d = 5.0$	0.810	0.440	0.775	0.978	32.087	32.146
	$F_r^d = 6.0$	0.786	0.405	0.690	0.925	32.064	32.121
	$F_r^d = 7.0$	0.763	0.370	0.634	0.892	32.045	32.101

立地構造を踏まえれば、危険地域 r により多くの企業が立地する均衡 λ^* を status quo と捉えられること、2) 交通インフラの減災投資を契機として均衡間のジャンプが生じ、 λ^* から λ^{**} へと推移することは現実的には考えにくい¹³という理由から、以降では、均衡としては λ^* (赤線) のみに焦点を絞り議論を続ける。

感度分析の結果を表-1に整理する。なお、各パラメータにつきそれぞれ3つの値を示しているが、中段の値はいずれも基準ケースと一致している。まず、地域間輸送費用 τ^u の低下は、危険地域 r への企業集積をもたらし、 $E[SW^*]$ を増加させる。これは、災害リスクを考慮しない通常のNEGモデルと同様の結果と言える。一方、 τ^u の低下によって災害時における地域 s 企業の地域間競争力が向上し、地域 r 企業の生存率 δ_r の低下を通じて、両地域の総生存企業数 n^{d*} が減少する。これより、地域間輸送費用 τ^u の低下は、災害発生が経済活動に及ぼすインパクトを増大させることが示された。次に、差別財間の代替弾力性 σ の影響について述べる。 σ が小さい場合、財はより互いに差別化されるため、企業間の競争は緩和される。これにより、被災状態にお

ける地域 r 企業の生存率 δ_r は上昇し、平常状態においてより生産効率的な地域 r への企業集積が進む。続いて、労働者の人口比率 L_r/L の減少は市場としての地域 r の魅力を低減させ、企業立地を分散させる。それに伴い、地域内における企業間競争は緩和され、生存企業数 n^d は増加する(ただし、地域 r に多くの企業が集積する $L_r/L = 0.6$ のケースでは、地域間における企業間競争の影響が小さくなるため生存企業数は増加する)。

最後に、災害リスクの影響について述べる。災害生起確率 θ が大きい場合、災害リスクを避けて地域 s を選択する企業が増えて立地が分散する。その結果、地域 r 内での競争が緩和され、企業の生存率 δ_r が増加する。一方、災害規模 F_r^d が大きい場合、直接的被害の増加によって被災企業の生存率 δ_r は低下する。地域 r で得られる企業家の期待効用が低下するため、立地は分散する。なお、均衡解と社会的最適解の関係は、ほぼ全ての場合においても基本ケースと同様に、均衡解は社会的最適解に比べ過剰集積であり、災害時の社会厚生及び生存企業数の観点から災害に対してより脆弱であることが明らかとなった。

5. 交通インフラの減災施策 (数値分析 II)

(1) 設定

交通インフラの減災施策効果について分析を行う。提案モデルでは、地域間を結ぶ交通インフラと地域内の交通インフラという2種類が存在するものとし、災害の発

¹³ Davis and Weinstein²²は、複数均衡間の推移には、“large, exogenous, highly variable, and temporary shocks”が必要であるとし、第2次世界大戦時の連合軍による日本への爆撃の前後で産業立地構造の均衡間推移が生じたか否かについて実証を試みた。その上で、複数均衡の存在を確認できなかったという分析の結果を受け、“the results are also a caution against any tendency to view small policy interventions as likely to have large effects in the selection of equilibria.”と指摘している。

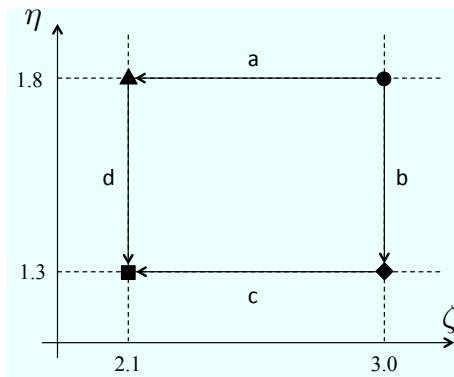


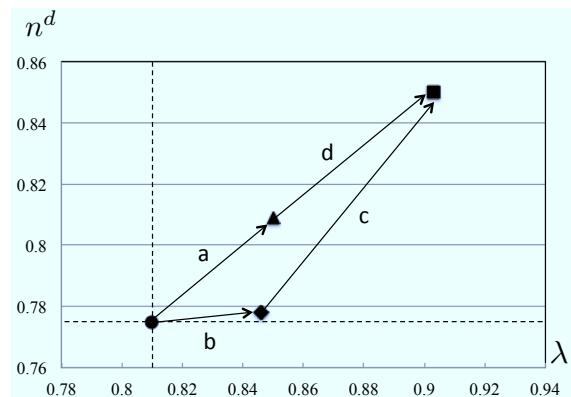
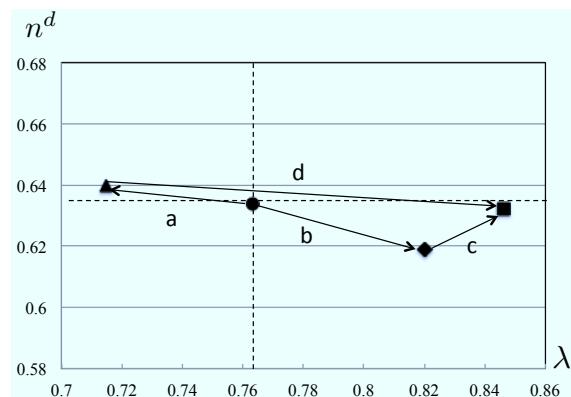
図-8 交通インフラの減災施策

生により地域間交通インフラ及び地域 r 内交通インフラが損壊する状況を想定している。交通インフラの被災による直接的な影響を輸送費用の上昇として表現し、それぞれの上昇率をパラメータ ζ 及び η を用いて表す。耐震化や代替路の確保などの交通インフラ減災施策は、 ζ 及び η の値を減少させる。具体的には、図-8に示す減災施策a, b, c, dについて分析を行う。施策a(点●→点▲)は、施策実施前の状態から地域間交通インフラの減災施策を実施するケース、施策b(点●→点◆)は、施策実施前の状態から地域 r 内交通インフラの減災施策を実施するケースである。また、施策c(点◆→点■)は、bの実施後に地域間交通インフラの減災施策を実施するケース、施策d(点▲→点■)は施策aの実施後に地域 r 内交通インフラの減災施策を実施するケースである。施策実施前の状態を $(\zeta, \eta) = (3.0, 1.8)$ と設定し、地域間交通インフラの減災施策($\zeta = 3.0 \rightarrow \zeta = 2.1$)及び地域 r 内交通インフラの減災施策($\eta = 1.8 \rightarrow \eta = 1.3$)について、災害規模が小さい場合($F_r^d = 5.0$)と大きい場合($F_r^d = 7.0$)に分けて分析する。なお、他のパラメータは基本ケースの値と等しく設定する。

(2) 産業集積構造及び災害脆弱性への影響

図-9及び図-10は、それぞれ災害規模が小さい($F_r^d = 5.0$)場合と大きい($F_r^d = 7.0$)場合において、交通インフラの減災施策が集積率 λ^* 及び生存企業数 n^{d*} に及ぼす影響を示している。両図を比較すれば、 $F_r^d = 5.0$ の場合、いずれの施策を実施しても λ^* 及び n^{d*} がともに上昇するのに対し、 $F_r^d = 7.0$ の場合は施策によってその影響の方向が異なることが見てとれる。

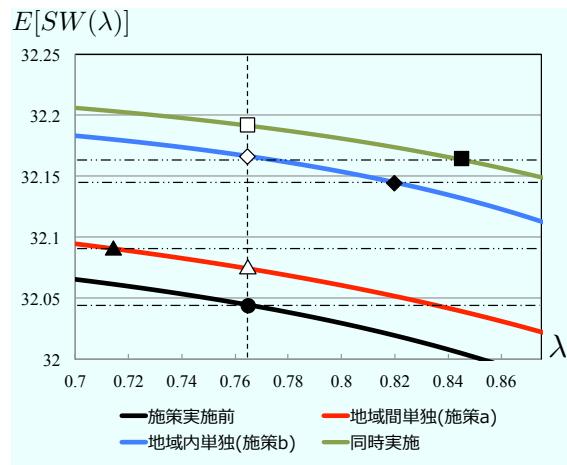
地域 r 内交通インフラの減災施策b, dは、被災状態における地域 r 企業の競争力を向上させ、集積率 λ^* を増加させる。しかし、ひとたび災害が起これば、地域 r 企業のうち $(1 - \delta_r^*)$ の割合が倒産する。被災状態における総生存企業数 $n^{d*} = \delta_r^* \lambda^* + (1 - \lambda^*)$ の増減は、両者の兼

図-9 集積率 λ^* と生存企業数 n^{d*} ($F_r^d = 5.0$)図-10 集積率 λ^* と生存企業数 n^{d*} ($F_r^d = 7.0$)

ね合いによって決まる。災害規模が小さい($F_r^d = 5.0$)場合は被災時の生存率が比較的高く、前者の効果が後者を上回るため両地域の総生存企業数 n^{d*} は増加する。一方で、災害規模が大きい($F_r^d = 7.0$)場合は被災時の生存率が低く、後者の効果が前者を上回るため n^{d*} は減少する。

地域間交通インフラの減災施策a, cによる被災時の地域間輸送費用の低下は、被災時の差別化財需要を誘発し企業収益を改善する。その結果、新たな均衡における総生存企業数 n^{d*} は増加する。同時に、災害時における地域 r の価格指数 P_r^d は低下し、企業家にとって災害時に地域 r に立地することの不効用が減少する。そのため、施策実施前の λ が十分に大きい場合($F_r^d = 5.0$ における施策a, c及び $F_r^d = 7.0$ における施策c)，集積の経済的作用により地域 r への企業の移動が進展する。逆に、 λ が大きくなれない場合($F_r^d = 7.0$ における施策a)，集積の経済的作用は限定的であるため企業家にとって地域 s での効用が地域 r での効用を上回り、企業立地は分散化する。

以上の分析より、1) 交通インフラの減災投資が必ずしも生存企業数を増加させることは限らないこと、2) 災

図-11 期待社会厚生 $E[SW(\lambda^*)]$ と施策評価 ($F_r^d = 7.0$)

害規模 (F_r^d) に応じて施策による影響の方向が異なる可能性があることが示唆された。最後に、地域間及び地域 r 内交通インフラの減災施策を同時に実施するケース (施策 a+d, または施策 b+c) について考えよう。減災施策の同時実施による効果は、施策 a と d, あるいは b と c の合成によって得られ、均衡解は点●から点■へと推移する。なお、図-9 では点■が点●の右上に位置しているのに対して、図-10 では右下に位置している。なお、パラメータの設定によっては点■が点●の左上もしくは左下に位置する可能性も否定できない。

(3) 交通インフラの減災施策便益とその評価

図-11 は、災害規模が大きい ($F_r^d = 7.0$) 場合の施策実施前後における社会的厚生の水準を表しており、いずれの施策 a (●→▲), b (●→◆), c (◆→■), d (▲→■) も正の便益をもたらすことが確認できる。また、施策 a,b 及び a+d (b+c) の実施による便益の帰着構造について整理した結果を表-2 に示す (ここで、施策実施に要する費用は一切考慮しない)。表中の符号 (+,-) は、各状態、各地域における各主体一人当たりの効用水準の変化を表す。なお、E,L はそれぞれ企業家、労働者を表し、*,** は施策前に比べそれぞれ 10% 以上、30% 以上の増減がある場合に付している。交通インフラの減災施策による効果には、被災時の輸送費用の低下による直接的効果と産業立地構造の変化に伴つて生じる間接的効果がある。直接的効果は、被災状態においてのみ発現し、いずれの主体に対しても正の便益をもたらす。間接的効果は、被災状態のみならず、平常状態における各主体の厚生にも影響を及ぼす。施策の実施により立地企業数が増加 (減少) する地域では、差別化財のバラエティ增加によって家計の効用は増加 (減少) する。また、地域 s における企業数の増加 (減

表-2 減災施策の便益帰着構造 (状態・地域・主体別)

施策	被災状態				平常状態			
	地域 r		地域 s		地域 r		地域 s	
	E	L	E	L	E	L	E	L
a	+	+	-	+*	-	-	-	+
b	+**	+**	+*	-*	+	+	+	-
a+d	+**	+**	+*	-*	+	+	+	-

(E:企業家, L:労働者。*,** は施策前に比べそれぞれ 10% 以上、30% 以上の増減を意味する。)

少) は企業間競争の激化 (緩和) をもたらし、同地域の企業利潤を減少 (増加) させる。一方で、地域 r における企業数の増加 (減少) は、集積の経済的作用により平常状態における地域 r 企業の利潤を増加 (減少) させる。なお、同時実施施策 a+d (または、b+c) に関しては、上述の個別施策の影響の足し合わせにより便益の帰着が決まる。

最後に、以上の分析から得られた知見として、交通インフラ減災施策の便益評価において留意すべき 2 つの点について述べる。1 つは、産業立地構造の変化を考慮しなければ、便益評価にバイアスが生じる可能性がある点である。ここでは、図-11 のように均衡における産業立地構造が過剰集積である場合に限定し、施策 a 及び b を例に説明する。産業立地構造の変化を考慮した場合、施策 a 及び b の実施による社会的厚生水準の変化はそれぞれ ● → ▲, ● → ◆ で表される。これに対して、産業立地構造の変化を考慮しない場合は、それぞれ ● → △, ● → ◇ と見なされる。その結果、産業立地構造を分散化する施策 a の便益については過小に評価され、集積させる施策 b の便益については過大に評価されるというバイアスが生じることとなる。そのため、施策の長期的影響として産業立地構造の変化を正しく予測し、便益評価に反映する必要がある。

いま 1 つは、地域間及び地域内交通インフラの減災施策を同時に実施した際の便益として、それぞれ個別で実施した場合の便益の合計値を用いた場合、便益の二重計算となる点である。これまで述べてきたように、均衡における産業立地構造は双方の空間スケールにおける交通インフラ整備水準に依存して決まる。そのため、それぞれ個別に減災施策を実施した場合と両者を同時に実施した場合では、施策効果は当然異なる。実務においては、それぞれの交通インフラを所掌する機関が異なることが多い。こうした場合には、互いの施策内容を把握した上で、with-without の設定を含め適切に評価を行う必要がある。

6. おわりに

本研究では、被災による企業の撤退を明示的に考慮した産業集積モデルを構築し、均衡における産業立地構造の性質ならびに交通インフラの減災施策が及ぼす影響について分析を行った。数値分析を通じて、均衡における産業立地構造が過剰集積であること、被災状態における生存企業数が過小になるという意味で災害に対して脆弱であることを明らかにした。また、交通インフラの減災施策が社会的厚生を改善するものの、必ずしも災害脆弱性の低減に寄与するとは限らないことを示した。さらに、分析より得られた知見として、交通インフラ減災施策の便益評価に際し留意すべき点について言及した。

本研究では、準線形型の効用関数とベンサム型の社会的厚生関数という設定の下で分析を行ったが、この設定の妥当性については議論の余地がある。Pfluger and Südekum²³⁾が述べる通り、両者の組み合わせは理論的な整合性が高いという利点がある。具体的には、準線形型の選好を持つ個人の所得の限界効用は1に等しく、そのため、全ての個人の効用を加算して得られる社会的厚生の水準は所得分配の影響を受けない。また、政策前後の社会的厚生関数の差をそのまま便益として扱える点も望ましい性質である。一方で、準線形型効用関数には所得効果が存在しないという欠点があり、災害時における所得減少の影響を捉えることができない。さらには、災害が社会の厚生に及ぼす影響を功利主義的な規範に基づいて評価することは必ずしも適切でないという意見には、著者らも同意する。しかし、仮に、より公平性を重視した規範的基準の下で同様の分析を行ったとしても、定性的には本研究と同じ結論（「均衡における産業立地構造は過剰集積で災害に対して脆弱である」）が導かれるることは容易に予想できる。言い換えれば、本分析から導かれた定性的な結論は規範的基準の選択に依らず頑健であるといえる。

以下では、今後に残された課題について述べる。被災によるサプライチェーンの機能不全や連鎖倒産を表現するためには、中間財生産を取り入れた垂直連関モデル (e.g. Venables²⁴⁾) を価格均衡モデルとして用いて分析を行う必要がある。災害時の企業の撤退機構として、本研究では生産物市場における被災企業の競争力低下によって撤退が生じるとしている。一方で、Cole et al.¹¹⁾の実証分析は、災害時における労働市場の逼迫を通じた一種の共食い効果によって撤退が起こることを明らかにしている。この点については、実証分析の結果に沿うようにモデルを改善する余地がある。また、本研究の分析は、静学的枠組みに留まっている。集積の経済下における資産ストックの蓄積、被災による損

壊、及び復旧・復興の過程を考慮できる動学的な枠組みへの拡張も今後の課題である。

付録 労働者の地域間移動に関する仮定の妥当性

標準的なNEGモデルでは、労働者は地域間を移動できないという設定が採用され、immobileな労働者の存在は“分散力”として作用する。本分析の枠組みにおいて、労働者の地域間移動の可否は、(事前、事後)の組合せとして(不可、不可)、(可、不可)、(不可、可)、(可、可)の4通りがあり、本モデルでは(不可、不可)を採用している。ここでは、労働者の地域間移動の可否が分析結果に及ぼす影響についての考察を通じて、本モデルが採用する仮定の妥当性を検証する。

まず、(可、不可)の場合、分散力が消失することによって集積力が卓越し、より集積した状態が均衡として実現する。次に、(不可、可)の場合、災害時において安全地域への移住が進むため差別化財の需要が増加し、安全地域企業の利潤は増加する。そのため、2地域モデルの分析結果としては、事前の均衡産業立地は分散化（安全地域の企業数が増加）することが予想される。しかし、現実には受け入れ先のキャパシティなどの問題により、被災者の移住は複数の地域へ向けて分散して起こるため、上記の効果は安全地域の間で拡散され、大きな分散力は作用しない。従って、均衡産業立地は(不可、不可)と同様の傾向を持つと考えられる。最後に、(可、可)の場合、災害時には、上述の通り事後的に作用する分散力は限定的であるため(可、不可)の状況に近いが、事後的な移動可能性が確保されているため事前においては危険地域への集積がさらに進む。以上より、「労働者が事前・事後ともに地域間を移動不可能である」という仮定が、「均衡における産業立地構造が過剰集積となる」という本分析から導かれた定性的な結論に及ぼす影響は小さいと考えられる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金・基盤研究B(課題番号：15H04059)の助成を受けて行った。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 内閣府政策統括官室：地域の経済 2011－震災からの復興、地域の再生－、2011。
- 2) 中央防災会議 首都直下型地震対策検討ワーキンググループ：首都直下型地震の被害想定と対策について（最終報告）、2013。
- 3) 国土強靭化推進本部：国土強靭化アクションプラン 2014、2014。
- 4) Krugman, P.: Increasing returns and economic geography, *Journal of Political Economy*, Vol.99, pp.483-499, 1991.
- 5) Martin, P. and Rogers, C. A.: Industrial location and

- public infrastructure, *Journal of International Economics*, Vol.39, pp.335-351, 1995.
- 6) Martin, P.: Public policies, regional inequalities and growth, *Journal of Public Economics*, Vol.73, pp.85-105, 1999.
 - 7) 例えば、多々納 裕一, 高木 朗義編著: 防災の経済分析－リスクマネジメントの施策と評価－, 勉草書房, 2005.
 - 8) 土屋 哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 新潟県中越地震による経済被害の計量化の枠組み, 土木計画学研究・論文集, Vol.23(2), pp.365-372, 2006.
 - 9) 小池淳司, 上田孝行, 秋山盛司: 社会資本ストック崩壊による経済的被害の空間的把握－空間的応用一般均衡モデルによる計量厚生分析－, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, pp.367-374, 2004.
 - 10) 小池淳司, 細江宜裕, 下村研一, 片山慎太朗: 独占的競争モデルによる災害の空間的応用一般均衡分析, 国民経済雑誌, 第 196 卷第 4 号, pp.1-18, 2007.
 - 11) Cole, M. A., Elliott, R. J. R., Okubo, T. and Strobl, E.: Natural disasters, industrial clusters and manufacturing plant survival, *RIETI Discussion Paper Series* 15-E-008, 2015.
 - 12) 高木朗義, 森杉壽芳, 上田孝行, 西川幸雄, 佐藤尚: 立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.13, pp.339-348, 1996.
 - 13) 庄司靖章, 多々納裕一, 岡田憲夫: 2 地域一般均衡モデルを用いた防災投資の地域的波及構造に関する分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.18(2), pp.287-296, 2001.
 - 14) 石井良治, 福田大輔: 多地域動学マクロ経済モデルを用いた国土構造と災害脆弱性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 2013.
 - 15) Birkmann, J.: *Measuring Vulnerability to Natural Hazards towards Disaster Resilient Societies*, United Nations University Press, 2006.
 - 16) Akamatsu, T., Takayama, Y. and Ikeda, K.: Spatial discounting, Fourier, and racetrack economy: A recipe for the analysis of spatial agglomeration models, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 36, Issue 11, pp.1729-1759, 2012.
 - 17) Oyama, D.: Agglomeration under forward-looking expectations: Potentials and global stability, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.39, Issue 6, pp.696-713, 2009.
 - 18) 織田澤利守, 赤松隆: 集積経済下における地域間移住タイミング選択の均衡ダイナミクス, 土木学会論文集 D, Vol.63, No.4, pp.567-578, 2007.
 - 19) Picard, P. M. and Zeng, D. Z.: Agricultural sector and industrial agglomeration, *Journal of Development Economics*, Vol.77, pp.75-106, 2005.
 - 20) 内閣府 政策統括官: 地域の経済 2014 –経済の好循環の波及に向けて-, 日経印刷, 2015.
 - 21) Pfluger, M. P.: A simple, analytically solvable, Chamberlinian, agglomeration model, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.34, pp.565-573, 2004.
 - 22) Davis, D. R. and Weinstein, D. E.: A search for multiple equilibria in urban industrial structure, *Journal of Regional Science*, Vol.48, No.1, pp.29-65, 2008.
 - 23) Pfluger, M. P. and Südekum, J: Integration, agglomeration and welfare, *Journal of Urban Economics*, Vol.63, pp.544-566, 2008.
 - 24) Venables, A. J.: Equilibrium locations of vertically linked industries, *International Economic Review*, Vol.37, No.2, pp.341-359, 1996.

(2015. 5. 8 受付)

INDUSTRIAL LOCATION AND VULNERABILITY TO NATURAL HAZARDS

Toshimori OTAZAWA, Yuta NAKAMURA, Kenta TORIO and Atsushi KOIKE

This paper constructs a new economic geography (NEG) model incorporating a natural disaster risk and examines the interrelationship between industrial agglomeration and vulnerability of a spatial economy. We shows that the location pattern emerging as the market equilibrium is characterized by over-agglomeration and is more vulnerable than that of social optimum. By analyzing the regional spillover effects of disaster mitigation investment for inter-regional and intra-regional transportation, this paper declares that disaster mitigation investment improves the utilitarian social welfare, but it does not always increase the survival rate of firms at the time of disaster.