

災害リスクと集積の経済性を考慮した交通基盤整備の影響分析及び便益計測に向けた検討

足立 鷹祐¹・織田澤 利守²

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail:174t101t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (同上) E-mail:ota@opal.kobe-u.ac.jp

本研究では、災害による間接的被害の波及過程における産業集積の負の効果を明示的に考慮した分析枠組みを構築し、交通インフラの防災・減災投資が産業立地構造や社会厚生に及ぼす影響について分析する。また、災害リスクと集積の経済性を同時に考慮した、交通基盤整備による「幅広い」便益の計測について検討を行う。

Key Words : agglomeration economies, natural disaster, cost-benefit analysis, wider economic impacts

1. はじめに

我が国土は高い自然災害リスクに晒されており、首都直下地震や南海トラフ地震など、大都市や産業集積地を襲う大規模な自然災害が近い将来に高い確率で発生することが予想されている。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ず、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であろう。政府はこうした事態に備えるべく、東日本大震災の経験を踏まえて 2014 年に策定した国土強靱化基本計画¹⁾において、施策分野ごと及び最悪の事態を回避するプログラムごとに推進方針を示すとともに、毎年策定するアクションプランに従って施策・プログラムの着実な推進を図っている。交通・物流分野では、基幹的陸上海上交通ネットワークの機能停止を回避するための交通施設の災害対応力を強化する対策群が全体で 15 ある重点プログラムの 1 つに位置付けられている。具体的な施策として、交通施設の耐震化や BCP の策定促進に加えて、災害時における輸送モード相互の連携・代替性の確保による複軸の交通ネットワークの構築に向けた高速道路ネットワーク及び新幹線ネットワークの着実な整備等の推進が挙げられている。

災害による経済的被害や防災投資効果の波及構造については、防災計画分野において研究蓄積があるものの、集積の経済の存在を明示的に考慮した分析は限られる。著者らは、先行する研究²⁾において、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提案し、数値計算を通じて、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、交通インフラの減災施策が期待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明らかにした。本研究では、この分析枠組みを基本的に踏襲した上で、モデルの解析を進めるとともに、交通インフラの減災投資による「幅広い」便益の計測について検討する。

2. 基本的な考え方

(1) 産業集積と災害リスク

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。阪神淡路大震災の被災企業データを用いた実証分析³⁾によれば、産業集積地域の企業は災害に弱く、1つの企業の崩壊が地域全体・産業集積全体の崩壊へとつながる恐れが指摘されている。すなわち、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効果をもたらす一方で、災害時には負の外部効果として作用する。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り、後者が卓越した場合、均衡立地構造は過剰集積となる。

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。施策によって産業立地が分散化するか、あるいは、さらに

集積するかは定かではなく、災害リスクと集積の経済性との関係に依存する。施策による効果を正しく把握・評価するためには、両者を明示的に考慮できる理論的枠組みが必要となる。

(2) 交通インフラ投資の「幅広い」便益

交通インフラ投資の効果計測には、費用便益分析が広く用いられる。伝統的な費用便益分析では、直接効果として走行時間短縮便益、走行経費減少便益、交通事故減少便益のいわゆる 3 便益のみを計測する。価格体系に歪みのない最善 (first best) 経済においては、間接効果は相殺されるため、便益の二重計算を防ぐためにも直接効果のみを計測することが理論的に正当化される。一方、価格体系に歪みの存在する次善経済においては、各市場で生じる死荷重損失の変化を便益（ないしは、不便益）として足し引きする必要がある。Venables(2004)⁴⁾ は、交通インフラ投資が集積の外部性を高め、効果的な都市密度の上昇が生産性の向上につながることを示した。さらに、交通インフラ投資がもたらす集積の経済効果は「幅広い」便益とみなすことができ、一般的な費用便益分析ではとらえることのできない便益であると主張している。Kanemoto(2013)⁵⁾ は、差別化財は地域間の取引が不可能であるという仮定の下で、中間財生産を集積の経済の要因とする多地域次善経済モデルを構築し、交通インフラ投資による社会的余剰の変化を Harberger(1964)⁶⁾ の式を用いて整理した。また、Kidokoro(2015)⁷⁾ は、地域間取引不可能な差別化財の需要が交通需要を生むという仮定の下で、差別化財消費とそれに伴う交通サービス消費を集積の経済の要因とする 2 地域次善経済モデルを構築した。その上で、交通インフラ投資による社会的余剰の変化を、交通サービスによる消費者余剰、差別化財による消費者余剰、差別化財のパラエティによる消費者余剰、労働者余剰、生産者余剰、交通サービス企業の利潤と交通インフラ整備費用に分けて整理している。

近年になって、交通インフラ投資がもたらす集積の経済効果などを「幅広い」便益として計測する試みが英国で始まっている。Department for Transport は、従来の事業評価では反映されなかった広義の経済便益として、(i) 集積の経済、(ii) 競争促進効果、(iii) 不完全競争市場における生産拡大効果、(iv) 雇用改善に伴う経済便益の 4 つを挙げ⁸⁾、ロンドンのクロスレール (Crossrail) プロジェクトによる広義の経済便益としてこれらを実際に計測している。このように、交通インフラ投資の「幅広い」便益の計測は、研究、実務の両面において重要な課題と位置付けられている。

本研究では、災害リスクと集積の経済が同時に存在する状況下における防災・減災施策の便益評価に向け

て、これまでに得られている知見の体系化および再構築を行う。

3. モデル

(1) モデルの枠組み

本研究では、Martin and Rogers (1995)⁹⁾ により考案された、生産要素として地域間を移動可能な資本 (foot-loose capital) を含む NEG モデルに災害リスクを組み込んだ分析枠組みを構築する。いま、交通リンクによって結ばれる 2 地域が存在する。そのうち、一方は災害リスクに晒されている危険地域 r (risky area) であり、もう一方は安全地域 s (safety area) 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 $\xi = u$ (usuality) と地域 r において災害が生起した被災状態 $\xi = d$ (disaster) の 2 つの状態をとり得る。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。資本家は、「事後」の状況を完全に予見した上で「事前」に投資、すなわち企業の立地選択を行う。なお、分析の複雑化を避けるため、本分析においては災害からの復旧過程を明示的には考慮せず、静学的枠組みにおいて分析を行う。

経済主体として家計が存在し、労働者かつ消費者としてふるまう。それぞれの家計は労働力と資本を 1 単位ずつ保有し、それら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 $i (= r, s)$ の家計の数を L_i で表し、2 地域の総人口を L と表す。すると、この経済には固定的に与えられた量 $K = L_r + L_s$ の資本が供給されることになる。つまり、家計はまた、資本家でもあると考えることができる。資本家は 1 単位の資本を期待資本レントが最大となるように地域 r または地域 s の企業へ投資し、企業から資本レントとして配当を受ける。これは、例えて言うならば株主配当のようなものであり、本モデルでは企業の内部留保は考えないため、企業の利潤から固定費用を引いたすべてが資本レントとして資本家に支払われる。資本は工業部門において、固定的投入要素としてのみ使用される。また、資本は「事前」において地域間を自由に移動できるが、「事後」には地域間を移動することは不可能であると仮定する。したがって、資本市場は 2 地域をまたいで成立している。一方、労働者は農業と工業の部門間を自由に移動できるが、地域間を移動できないので、労働市場は地域ごとに分断されている。

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、収穫一定の技術により、1 単位の労働投入で 1 単位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、収穫逓増の技術により、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。状態 ξ において地域 i の企業が差別化財を生産するためには、生産量とは無関係に 1 単位の資本が固定的に必要なと仮定する。

工業部門で生産される差別化財の輸送費用は、氷塊型 (iceberg) 輸送費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溶けて (= 輸送費として消費されて)、 $1/\tau_{ij}^\xi$ だけが実際に到達する。すなわち、地域 j に 1 単位の財を届けるためには、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。これは、 τ_{ij}^ξ の値が大きいくほど、輸送費が高いことを意味する。特に τ_{ij}^ξ が無限大のとき、各地域は閉鎖経済であり、 τ_{ij}^ξ が 1 のときは完全な自由交易で、しかも物理的な輸送費も全くかからない状態となる。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。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。加えて、両地域で農業部門が操業されていなくてはならないため、 $(1 - \mu)(L_r + L_s) > L_r$ を仮定する。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おくため、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。このとき、平常状態 $\xi = u$ と被災状態 $\xi = d$ における農業財の価格は等しくなる。以下、単純化のため、農業財を価値基準財とし、農業財の価格も農業部門の賃金も 1、すなわち、 $p_i^{A,\xi} = w_i^{L,\xi} = 1$ ($i = r, s, \xi = u, d$) とおく。また、農業と工業の部門間で労働移動は自由なので、均衡では両部門の賃金が常に等しくなる。したがって、工業部門の賃金を w_k^ξ ($k = 1, 2$) とおくと、 $w_1^\xi = w_2^\xi = 1$ が成立する。

(2) 事後的均衡

a) 家計の行動

家計は、工業部門で生産される異質財と、農業部門で生産される同質財の消費から効用を得る。状態 ξ ($= u, d$) において地域 j ($= r, s$) に存在する代表的家計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 は家計の工業の財に対する選好の強さを表す正の定数、 A_j^ξ は農業部門で生産される農業財の消費量であ

る。 M_j^ξ は差別化された工業部門の財の集合に対する消費から得られる部分効用であり、CES 型を仮定する。

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

ここで、差別化財に対応するインデックスを連続変数 l 、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 l の需要量を $m_{ij}^\xi(l)$ と表す。また、 n_i^ξ は地域 i で生産されるバラエティの数 (地域 i の企業数) を表す。なお、 $\sigma (> 1)$ は差別化財間の代替弾力性である。工業部門の企業は、1 企業につき 1 種類の異質財を生産するため、経済には 2 地域合わせて $n (= n_r^u + n_s^u)$ 個の異質財が存在する。それぞれの家計は各種類の財を少量ずつ消費する。なぜなら、(1) 式のような効用関数のもとでは、消費量の合計が同じであるならば、様々な種類の財を少しずつ消費した方が効用が高くなるからである。つまり、家計は財の多様性を好むのである。

地域 i における代表的家計の予算制約は、農業財を価値基準財として、

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

と表される。 y_j^ξ は状態 ξ 、地域 j における所得であり、状態 ξ 、地域 j における労働者の賃金 w_j^ξ と、状態 ξ のときに地域 j の資本家 (家計) が受け取る資本レント \bar{R}_j^ξ を用いて、 $y_j^\xi = w_j^\xi + \bar{R}_j^\xi$ と表される。 \bar{A}^ξ は農業財で計った初期賦存量、 $p_{ij}^\xi(l)$ は地域 i で生産され地域 j で消費されるバラエティ l の価格を表す。ここで、ラグランジュ関数を

$$\mathcal{L} = \mu \ln M_j^\xi + A_j^\xi + \lambda \left(y_j^\xi + \bar{A}^\xi - \sum_{i=r,s} \int_0^{n_i^\xi} p_{ij}^\xi(l) m_{ij}^\xi(l) dl - A_j^\xi \right) \quad (4)$$

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。

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

ただし、

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

(5) 式を $l, l' (\neq l)$ について整理すれば、

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

となり、(7) 式を (2) 式に代入すれば、異質財 j に対する需要量を異質財の消費から得られる部分効用 M_j^ξ を用いて表すことができる。

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

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示す価格指数である。

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

価格指数 P_j^ξ は，状態 ξ において地域 j の家計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。(8) 式を (5) 式に代入し，(6) 式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 l に対する需用量

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

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。

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

状態 ξ における地域 i の資本家（家計）の間接効用関数は，

$$V_i^\xi(\lambda) = y_i^\xi - \mu \ln P_i^\xi(\lambda) + \mu(\ln \mu - 1) \quad (13)$$

$$= w_i^\xi + \tilde{R}_i^\xi - \mu \ln P_i^\xi(\lambda) + \mu(\ln \mu - 1) \quad (14)$$

である。ここで，

$$V_i^\xi(\lambda) = \tilde{V}_i^\xi(\lambda) + \tilde{R}_i^\xi \quad (15)$$

と表すと，資本レントを除いた間接効用関数は，

$$\begin{aligned} \tilde{V}_i^\xi(\lambda) &= w_i^\xi - \mu \ln P_i^\xi(\lambda) + \mu(\ln \mu - 1) \\ &= 1 - \mu \cdot \frac{1}{1-\sigma} \cdot \ln \left[\sum_{j=s,r} \int_0^{n_j^\xi} p_{ji}^\xi(l)^{1-\sigma} dl \right] \\ &\quad + \mu(\ln \mu - 1), (\because w_i^\xi = 1) \end{aligned} \quad (16)$$

となる。なお，家計は保有する 1 単位の資本を期待資本レントが最大となるように地域 r または地域 s の企業へ投資する。地域 r 企業へ投資する資本割合を η で表せば，

$$\tilde{R}_i^\xi = \eta R_r^\xi + (1-\eta) R_s^\xi \quad (17)$$

となる。ただし， R_i^ξ は状態 ξ において地域 i 企業の資本レント支払額を表す。

b) 差別化財企業の行動

工業部門は，収穫通増の技術により，広範囲の差別化された工業財を生産する独占競争的な部門である。状態 ξ において地域 i の企業が差別化財を生産するためには，生産量とは無関係に 1 単位の資本が固定的に必要なであると仮定し，地域 i での資本レントを R_i^ξ であるとす。さらに，工業部門の異質財 1 単位の生産には， c 単位の労働が必要であるとすると，限界費用は cw^ξ になる。先述のように，両地域で賃金は等しく 1 なので，

限界費用は c になる。このような収穫通増技術のもとでは，規模の経済，家計の多様性選好，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数と供給されるバラエティの数は一致する。状態 ξ ，地域 i においてバラエティ l を生産する企業 l の利潤最大化行動は，以下のように表される。

$$\begin{aligned} \max_{p_{ii}^\xi, p_{ij}^\xi} \pi_i^\xi(l) &= (p_{ii}^\xi(l) - \tau_{ii}^\xi c) L_i m_{ii}^\xi(l) \\ &\quad + (p_{ij}^\xi(l) - \tau^\xi c) L_j m_{ij}^\xi(l) - F_i^\xi - R_i^\xi \end{aligned} \quad (18)$$

$p_{ii}^\xi(l)$ は地域 i で生産され，地域 i で消費される差別化財 l の価格， $p_{ij}^\xi(l)$ は地域 i で生産され，地域 j で消費される差別化財 l の c.i.f. 価格を表す。 F_i^ξ は状態 ξ ，地域 i における固定費用である。また， L_i は，状態 ξ における地域 i の家計数を表す。利潤最大化の 1 階条件より，

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_i^\xi(l)}{\partial p_{ii}^\xi(l)} &= L_i \cdot \frac{p_{ii}^\xi(l)^{-\sigma}}{P_i^{\xi 1-\sigma}} \\ &\quad \times \mu \{ (1-\sigma) + \sigma \cdot \tau_{ii}^\xi a \cdot p_{ii}^\xi(l)^{-1} \} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_i^\xi(l)}{\partial p_{ij}^\xi(l)} &= L_j \cdot \frac{p_{ij}^\xi(l)^{-\sigma}}{P_j^{\xi 1-\sigma}} \\ &\quad \times \mu \{ (1-\sigma) + \sigma \cdot \tau^\xi a \cdot p_{ij}^\xi(l)^{-1} \} = 0 \end{aligned}$$

である。したがって，状態 ξ において地域 i の企業 l が生産する差別化財の価格は，

$$p_{ii}^\xi(l) = \tau_{ii}^\xi p, \quad p_{ij}^\xi(l) = \tau^\xi p \quad (19)$$

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。

$$\begin{aligned} P_i^\xi &= \left[\int_0^{n_i^\xi} p_{ii}^\xi(l)^{1-\sigma} dl + \int_0^{n_j^\xi} p_{ji}^\xi(l)^{1-\sigma} dl \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \\ &= p(\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi)^{\frac{1}{1-\sigma}} \end{aligned} \quad (20)$$

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 内および地域間の交易自由度を表す。すなわち交通インフラ投資をした場合，輸送費用は下がり，交易自由度が上がる。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を低下させる。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^ξ は，以下のように表すことができる。

$$\pi_i^\xi = \frac{\mu}{\sigma} \left(\frac{\phi_i^\xi L_i}{\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi} + \frac{\psi^\xi L_j}{\psi^\xi n_i^\xi + \phi_j^\xi n_j^\xi} \right) - F_i^\xi - R_i^\xi \quad (21)$$

c) 均衡資本レント

企業の自由参入，退出を仮定し，そのため，地域 i における資本レント R_i^ξ はゼロ利潤条件 ($\pi_i^\xi = 0$) より，各地域の資本レントの均衡水準が状態毎に決定される．

$$R_i^\xi = \frac{\mu}{\sigma} \left(\frac{\phi_i^\xi L_i}{\phi_i^\xi n_i^\xi + \psi^\xi n_j^\xi} + \frac{\psi^\xi L_j}{\psi^\xi n_i^\xi + \phi_j^\xi n_j^\xi} \right) - F_i^\xi \quad (22)$$

(3) 被災に伴う資本の撤退

a) 被災状態の設定

本研究で扱うモデルでは，災害発生が企業へ与える影響として，(i) 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発生と (ii) 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．具体的には，生産施設の損壊に伴う固定費用，すなわち修繕費用 $F_r^d (> 0)$ が発生すると仮定する．なお，本研究では単純化のため，平常状態では両地域とも，被災状態では安全地域 s において固定費用はかからないものとし，被災状態 d に危険地域 r の企業がおかれる状況に主眼をおく．

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，地域内輸送費用は簡単化のため，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．こちらとも同様に， $\tau_{rr}^d > 1$ (すなわち， $\phi_r^d < 1$) と表す．

b) 資本の撤退条件

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．災害生起後（事後）に企業は立地を変更することはできず，被災に伴う修繕費用の発生によって企業の利潤が修繕費用を下回った場合，企業は操業を停止し市場から撤退すると想定する．資本家にとってみても，被災のため投下した資金が回収できない状態に陥った，と解釈することができる．これを埋没費用 (sunk cost) という．したがって，被災状態 d ，地域 r における資本レント R_r^d は， $R_r^d = 0$ となる．いま，地域 r に立地する企業数のシェア（以下，集積率）を λ ，平常時の企業数に対する被災時の企業の割合（以下，生存率）を δ_i と表すと， $n_r^u = \lambda n$ ， $n_s^u = (1 - \lambda)n$ ， $n_i^d = \delta_i n_i^u$ が成立する．以上より，資本の撤退条件は，

$$\begin{aligned} R_r^d &= \frac{\mu}{\sigma} \left(\frac{\phi_r^d L_r}{\phi_r^d n_r^d + \psi^d n_s^d} + \frac{\psi^d L_s}{\psi^d n_r^d + \phi_s^d n_s^d} \right) - F_r^d \\ &= \frac{\mu}{\sigma} \left(\frac{\phi_r^d L_r}{\phi_r^d \delta_r \lambda n + \psi^d \delta_s (1 - \lambda) n} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\psi^d L_s}{\psi^d \delta_r \lambda n + \phi_s^d \delta_s (1 - \lambda) n} \right) - F_r^d = 0 \quad (23) \end{aligned}$$

また，(23) 式を，被災状態 d における交易自由度 ψ^d で全微分すると，

$$\frac{dR_r^d}{d\psi^d} = \frac{\partial R_r^d}{\partial \psi^d} + \frac{\partial R_r^d}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d} + \frac{\partial R_r^d}{\partial \delta_r} \cdot \frac{\partial \delta_r}{\partial \psi^d} = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\partial \delta_r}{\partial \psi^d} = - \frac{\frac{\partial R_r^d}{\partial \psi^d} + \frac{\partial R_r^d}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d}}{\frac{\partial R_r^d}{\partial \delta_r}} \quad (25)$$

(4) 事前的均衡

a) 均衡条件

事前において，資本家は事後的に起こり得る 2 つの状態を完全に予見した上で，より高い収益をもたらす地域に資本を投下する，すなわち，企業を立地させる．このとき，資本家にとって地域 $i (= r, s)$ に立地したときの期待資本レント $E[R_i(\lambda)]$ は， λ の関数として，次のように表される．

$$E[R_i(\lambda)] = (1 - \theta) R_i^u(\lambda) + \theta R_i^d(\lambda) \quad (26)$$

[危険地域，平常状態]

$$R_r^u = \frac{\mu}{\sigma n} \left(\frac{\phi_r^u L_r}{\phi_r^u \lambda + \psi^u (1 - \lambda)} + \frac{\psi^u L_s}{\psi^u \lambda + \phi_s^u (1 - \lambda)} \right) \quad (27)$$

[危険地域，被災状態]

$$\begin{aligned} R_r^d &= \frac{\mu}{\sigma n} \left(\frac{\phi_r^d L_r}{\phi_r^d \delta_r \lambda + \psi^d \delta_s (1 - \lambda)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\psi^d L_s}{\psi^d \delta_r \lambda + \phi_s^d \delta_s (1 - \lambda)} \right) - F_r^d = 0 \quad (28) \end{aligned}$$

[安全地域，平常状態]

$$R_s^u = \frac{\mu}{\sigma n} \left(\frac{\psi^u L_r}{\phi_r^u \lambda + \psi^u (1 - \lambda)} + \frac{\phi_s^u L_s}{\psi^u \lambda + \phi_s^u (1 - \lambda)} \right) \quad (29)$$

[安全地域，被災状態]

$$\begin{aligned} R_s^d &= \frac{\mu}{\sigma n} \left(\frac{\psi^d L_r}{\phi_r^d \delta_r \lambda + \psi^d \delta_s (1 - \lambda)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\phi_s^d L_s}{\psi^d \delta_r \lambda + \phi_s^d \delta_s (1 - \lambda)} \right) \quad (30) \end{aligned}$$

事前における立地均衡状態を，いずれの企業も他企業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もたない状態，すなわち Nash 均衡であると定義すれば，安定的な立地均衡条件は次のように表される．

$$\Delta E[R(\lambda)] = E[R_r(\lambda)] - E[R_s(\lambda)] = 0$$

$$E[R_r(\lambda)] = E[R_s(\lambda)] = E[R(\lambda)] = E[\tilde{R}_j^\xi(\lambda)] \quad (31)$$

$$\frac{\partial \Delta E[R(\lambda)]}{\partial \lambda} < 0 \quad (32)$$

b) 交通インフラ減災投資の影響

交通インフラの減災投資をし，被災状態における地域間輸送費用が変化した場合に，企業の集積率がどのように変化するかをみる．(31) 式より，安定的な立地

均衡条件は、

$$\Delta E[R(\lambda)] = (1 - \theta) \cdot R_r^u + \theta \cdot R_r^d - (1 - \theta) \cdot R_s^u - \theta \cdot R_s^d = 0 \quad (33)$$

(33) 式を、被災状態 d における地域間交易自由度 ψ^d に関して全微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta E[R(\lambda)]}{d\psi^d} &= (1 - \theta) \cdot \left(\frac{\partial R_r^u}{\partial \lambda} - \frac{\partial R_s^u}{\partial \lambda} \right) \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d} \\ &\quad - \theta \cdot \left(\frac{\partial R_r^d}{\partial \psi^d} + \frac{\partial R_s^d}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\partial R_s^d}{\partial \delta_r} \cdot \frac{\partial \delta_r}{\partial \psi^d} \right) = 0 \quad (34) \end{aligned}$$

(34) 式に (25) 式を代入し、地域 r の企業の生存率 δ_r を用いずに表したのち、 $\frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d}$ について整理すると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d} &= \left\{ -\theta \cdot \left[\left(\frac{\partial R_s^d}{\partial \delta_r} / \frac{\partial R_r^d}{\partial \delta_r} \right) \cdot \frac{\partial R_r^d}{\partial \psi^d} - \frac{\partial R_s^d}{\partial \psi^d} \right] \right\} \\ &\quad / \left\{ (1 - \theta) \cdot \left(\frac{\partial R_r^u}{\partial \lambda} - \frac{\partial R_s^u}{\partial \lambda} \right) \right. \\ &\quad \left. + \theta \cdot \left[\left(\frac{\partial R_s^d}{\partial \delta_r} / \frac{\partial R_r^d}{\partial \delta_r} \right) \cdot \frac{\partial R_r^d}{\partial \lambda} - \frac{\partial R_s^d}{\partial \lambda} \right] \right\} \quad (35) \end{aligned}$$

均衡条件より、(35) 式を計算すると、(35) 式の分母は必ず負になり、

$$\delta_r > \frac{\phi_s^d \sqrt{\phi_r^d L_r} - \psi^d \sqrt{\phi_s^d L_s}}{\phi_r^d \sqrt{\phi_s^d L_s} - \psi^d \sqrt{\phi_r^d L_r}} \cdot \frac{1 - \lambda}{\lambda} \cdot \delta_s \quad (36)$$

のとき、

$$\left(\frac{\partial R_s^d}{\partial \delta_r} / \frac{\partial R_r^d}{\partial \delta_r} \right) \cdot \frac{\partial R_r^d}{\partial \psi^d} - \frac{\partial R_s^d}{\partial \psi^d} > 0 \quad (37)$$

を満たす。すなわち、(35) 式の分子が負になる。

以上より、

$$\delta_r > \bar{\delta}_r = \frac{\phi_s^d \sqrt{\phi_r^d L_r} - \psi^d \sqrt{\phi_s^d L_s}}{\phi_r^d \sqrt{\phi_s^d L_s} - \psi^d \sqrt{\phi_r^d L_r}} \cdot \frac{1 - \lambda}{\lambda} \cdot \delta_s \quad (38)$$

のとき、 $\frac{\partial \lambda}{\partial \psi^d}$ は正になる。被災時に安全地域 s の企業は倒産しない ($\delta_s = 1$) とすると、(38) 式は、

$$\delta_r > \bar{\delta}_r = \frac{\phi_s^d \sqrt{\phi_r^d L_r} - \psi^d \sqrt{\phi_s^d L_s}}{\phi_r^d \sqrt{\phi_s^d L_s} - \psi^d \sqrt{\phi_r^d L_r}} \cdot \frac{1 - \lambda}{\lambda} \quad (39)$$

となる。すなわち、(i) ある集積率 $\bar{\lambda}$ のもとで、被災時の生存率がある閾値 $\bar{\delta}_r$ を上回る場合、都市間の交通インフラ投資 (リダンダンシー投資) をしたにもかかわらず、産業立地構造の集積を促す。一方、(ii) 産業集積が加速して集積率 λ が上がるにつれて、生存率の閾値 $\bar{\delta}_r$ が低下する。すなわち、すでに危険地域への集積が進んだ状況下において、都市間交通インフラの減災投資によって、企業は倒産リスクが高まるにもかかわらず危険地域に引き寄せられ、その結果、集積が進展する可能性が示された。

(5) 数値計算による減災投資の影響分析

a) 数値計算の概要

本章では、3章で構築した2地域一般均衡モデルを用いて数値計算を行うことにより、被災による倒産企業数や期待社会厚生の変化について分析を行う。数値計算を行う条件の設定、数値計算を行う際のパラメータの設定について、以下に示す。特に断りがない限り、パラメータの値はすべて同様の値をとるものとする。

この数値計算においては、ある一定の確率 θ で危険地域 r を襲う災害を想定する。これにより、被災した危険地域 r の企業は、生産施設の修繕などに要する追加的な費用 F_r^d を支払わなければならない。また、交通インフラの損壊に伴い、地域 r 内の輸送費用として τ_{rr}^d が発生し、地域 r, s 間の輸送費用は τ^u から τ^d に上昇する。基本ケースの設定は以下の通りである。

表-1 基礎的パラメータ

効用パラメータ	μ	3.0
差別化財の代替弾力性	σ	4.0
基準財の初期賦存量	\bar{A}	5.0
地域 r の家計の数	L_r	1.5
地域 s の家計の数	L_s	1.0
可変費用	a	1
限界費用	c	1
地域 r の固定費用 (平常状態)	F_r^u	0
地域 s の固定費用	$F_s^\xi (\xi = u, d)$	0
地域間輸送費用 (平常状態)	τ^u	1.6

この数値計算においては、集積現象が見られる地域へ投資するケースを扱うため、あらかじめ危険地域 r への集積の度合いが高い状態を仮定する。

表-2 災害に関するパラメータ

災害生起確率	θ	0.04
地域 r の固定費用 (被災状態)	F_r^d	4.0
地域 r の地域内輸送費用	τ_{rr}^d	1.0
地域間輸送費用の上昇率	ζ	3.0

なお、災害生起確率について、年間の災害発生回数平均 θ のポアソン分布に従うと仮定すれば、 $\theta = 0.04$ は今後 30 年間に約 70 % の確率で発生する災害リスクに相当する。

b) 均衡立地構造の災害脆弱性

企業の集積率 λ を外生的に与えたもとの事後の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。図中の鎖線およ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 $n_r^u = \lambda, n_r^d = \delta_r \lambda$ を表し、両者の差は災害生起による倒産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。この図から、集積率が $0.05 \leq \lambda \leq 1.0$ の範囲において企業の倒産が起こること、また、 $0.05 \leq \lambda \leq 0.9$ の範囲において λ の増加に伴い地域 r の企業の生存率 δ_r が減少し、生存企業数 n^d も減少することがわかる。これは次のように説明される。地域 r への企業の集積が進むにつれて同地域内における競争が激しくなり、企業利潤、すなわち資本家にとっての資本レントが減少する。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 の企業の地域 s の企業に対する競争力を弱め、地域 r の企業の利潤を押し下げる。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倒産を余儀なくされる企業が増える。なお、地域 r に多くの企業が集積している状況 ($0.9 < \lambda \leq 1.0$) においては、地域間における企業間競争の影響が小さくなるため、被災時に倒産する企業は減少する。

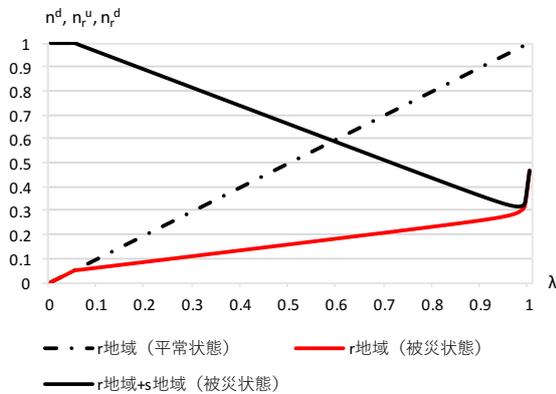


図-1 集積率 λ と生存企業数 n^d

図 2 は、資本家にとっての両地域の期待資本レント $E[R_i(\lambda)]$ と、地域間の期待資本レント差 $\Delta E[R(\lambda)]$ を描いたグラフである。 r 地域に企業が集積した状況 ($\lambda > 0.5$) に着目すれば、 $\Delta E[R(\lambda)] = 0$ を満たす均衡集積率は $\lambda^* = 0.65$ であり、 $\partial \Delta E[R(\lambda)] / \partial \lambda < 0$ より、安定的な均衡解であることがわかる。

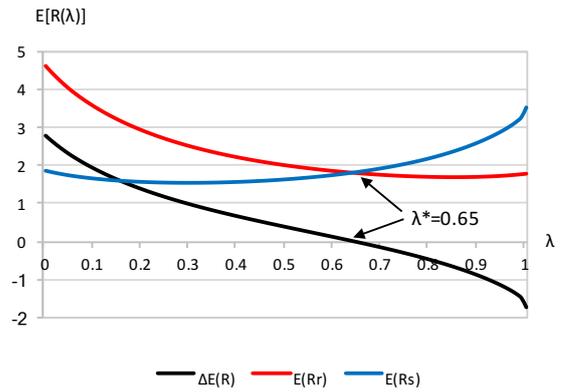


図-2 均衡集積率 λ^*

図 3 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。 $0.05 \leq \lambda \leq 1$ の範囲においては、 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 および図 3 より、災害リスク地域への産業集積が進むほど、(i) 被災時の生存企業数が減少し、(ii) 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。

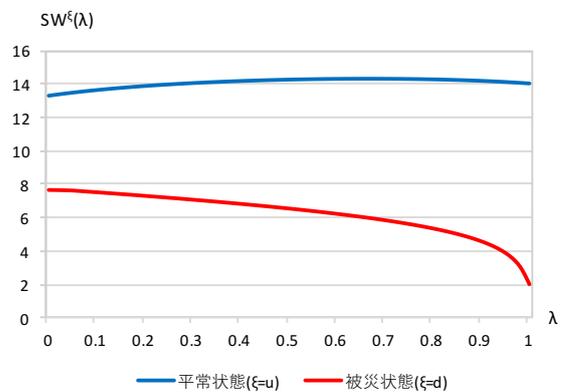


図-3 集積率 λ と状態毎の社会厚生 $SW^\xi(\lambda)$

図 4 は、期待社会厚生 $E[SW(\lambda)]$ を描いたグラフを表す。 $E[SW(\lambda)]$ は上に凸であり、社会厚生を最大とする集積率は $\lambda^{**} = 0.62$ である。均衡解および社会的最適解における生存企業数は、それぞれ $n^{d*} = 0.570$ 、 $n^{d^{**}} = 0.547$ となっている。以上より、均衡解は社会的最適解に比べて過剰集積であり、災害に対してより脆弱であるといえる。

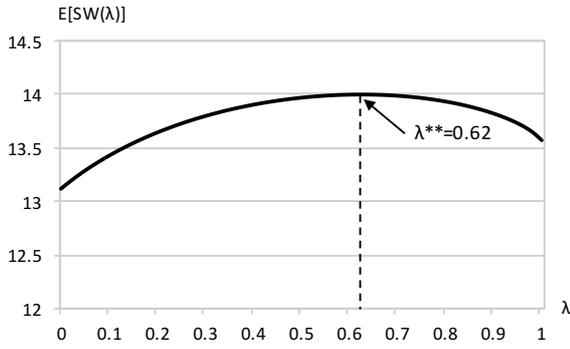


図-4 期待社会厚生 $E[SW(\lambda)]$

c) 交通インフラ減災投資の影響

図 5 は、集積率 λ と、被災時の企業の生存率およびその閾値 $\delta_r, \bar{\delta}_r$ の関係を示している。赤線は被災時の企業の生存率 δ_r を、青線は被災時の企業の生存率の閾値 $\bar{\delta}_r$ を表す。均衡集積率 $\lambda^* = 0.65$ において、被災時の企業の生存率が、その閾値を上回っている ($\delta_r > \bar{\delta}_r$) ため、都市間の交通インフラ投資（リダンダンシー投資）をしたにもかかわらず、産業立地構造の集積を促す。また、産業集積が加速して集積率 λ が上がるにつれて、生存率の閾値 $\bar{\delta}_r$ が低下していることから、すでに危険地域への集積が進んだ状況下において、都市間交通インフラの減災投資によって、企業は倒産リスクが高まるにもかかわらず危険地域に引き寄せられ、その結果、集積が進展する。

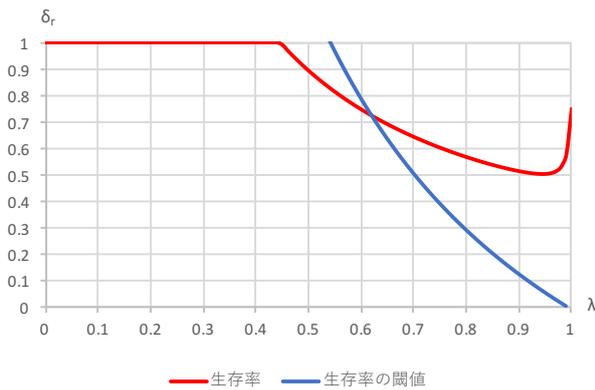


図-5 集積率 λ と被災時の企業の生存率およびその閾値 $\delta_r, \bar{\delta}_r$

(6) 交通インフラ減災投資の便益評価

新貿易理論モデルでは、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。

状態 ξ における、ベンサム型の社会的厚生 (Social Welfare) 関数 $SW(\lambda)$ は、以下のように表される。

$$SW^\xi(\lambda) = \sum_{i=r,s} \{L_i \cdot V_i^\xi(\lambda)\} \quad (40)$$

$$= \sum_{i=r,s} \{L_i (\tilde{V}_i^\xi(\lambda) + \tilde{R}_i^\xi(\lambda))\} \quad (41)$$

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。

$$E[SW(\lambda)] = (1 - \theta)SW^u(\lambda) + \theta SW^d(\lambda) \quad (42)$$

$$\begin{aligned} &= (1 - \theta)(L_r \cdot \tilde{V}_r^u + L_r \cdot \tilde{R}_r^u \\ &\quad + L_s \cdot \tilde{V}_s^u + L_s \cdot \tilde{R}_s^u) \\ &\quad + \theta(L_r \cdot \tilde{V}_r^d + L_r \cdot \tilde{R}_r^d \\ &\quad + L_s \cdot \tilde{V}_s^d + L_s \cdot \tilde{R}_s^d) \\ &= (1 - \theta)(L_r \cdot \tilde{V}_r^u + L_s \cdot \tilde{V}_s^u) \\ &\quad + \theta(L_r \cdot \tilde{V}_r^d + L_s \cdot \tilde{V}_s^d) + \tilde{T}R \quad (43) \end{aligned}$$

全家計の期待資本レント受取額 $\tilde{T}R$ は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \tilde{T}R &= \theta(L_r \tilde{R}_r^d + L_s \tilde{R}_s^d) \\ &\quad + (1 - \theta)(L_r \tilde{R}_r^u + L_s \tilde{R}_s^u) \quad (44) \\ &= \theta\{L_r(\eta R_r^d + (1 - \eta)R_s^d) \\ &\quad + L_s(\eta R_r^d + (1 - \eta)R_s^d)\} \\ &\quad + (1 - \theta)\{L_r(\eta R_r^u + (1 - \eta)R_s^u) \\ &\quad + L_s(\eta R_r^u + (1 - \eta)R_s^u)\} \\ &= L\eta\{\theta R_r^d + (1 - \theta)R_r^u\} \\ &\quad + L(1 - \eta)\{\theta R_s^d + (1 - \theta)R_s^u\} \quad (45) \end{aligned}$$

家計は同質であるから、均衡において $\eta = \lambda$ が成立し、全家計の期待資本レント受取額 $\tilde{T}R$ は、全企業の期待資本レント支払額 TR と一致する。

$$\begin{aligned} TR &= L\lambda\{\theta R_r^d + (1 - \theta)R_r^u\} \\ &\quad + L(1 - \lambda)\{\theta R_s^d + (1 - \theta)R_s^u\} \quad (46) \end{aligned}$$

いま、地域間の交通インフラに減災投資（リダンダンシー投資）をし、被災状態 d における地域間の交通容量 k^d が、 k^{W0} 、すなわち、交通インフラ投資をしていない状態 (without) から、 k^W 、すなわち、交通インフラ投資をした状態 (with) に変化した状況を考える。被災状態 d における地域間交通容量 k^d の増加による社会的厚生の変化は以下のように表される。

$$\Delta SW = \Delta CS_T + \Delta CS_{\Delta m} + \Delta BV + \Delta TR \quad (47)$$

右辺の各項はそれぞれ、地域間輸送費用の減少による消費者余剰 (Consumer's Surplus ; CS) の変化、競争促進効果によるマークアップの低下による消費者余剰の変化、差別化財のバラエティの増加による消費者余剰

(Benefit of Variety) の変化, 総資本レント (Total Rent) の変化を表している。

地域 i で生産され地域 j で消費されるバラエティ l の輸送費込みの価格 $p_{ij}^\xi(l)$ を以下のように分類し直す。

$$p_{ij}^\xi(l) = \Delta m_{ij}^\xi + c + t^\xi \quad (48)$$

ただし,

$$\Delta m_{ij}^\xi = \frac{\tau^\xi}{\sigma - 1} c, \quad t^\xi = (\tau^\xi - 1)c \quad (49)$$

である。 c は限界費用 (Marginal Cost ; MC) である。 Δm_{ij}^ξ は, 状態 ξ において地域 i で生産され地域 j で消費される差別化財のマークアップ, t^ξ は, 状態 ξ における差別化財 1 単位あたりの地域間輸送費用 (Transportation Cost ; TC) であり, これらは, 状態 ξ における差別化財の地域間の氷塊輸送費用 τ^ξ の関数として表される。状態 ξ において地域 i で生産され地域 j で消費される差別化財の氷塊費用 τ^ξ が下がると, マークアップ Δm_{ij}^ξ も下がることから, 競争促進効果の存在が確認できる。

地域間輸送費用の減少による消費者余剰の変化は, 以下のように表される。

$$\Delta CS_T = \theta \int_{k^w}^{k^{wo}} \left(\int_0^{n_s^d} L_r m_{sr}^d(l) \frac{dt^d}{dk^d} dl + \int_0^{n_r^d} L_s m_{rs}^d(l) \frac{dt^d}{dk^d} dl \right) dk^d \quad (50)$$

競争促進効果によるマークアップの低下による消費者余剰の変化は, 以下のように表される。

$$\Delta CS_{\Delta m} = \theta \int_{k^w}^{k^{wo}} \left(\int_0^{n_s^d} L_r m_{sr}^d(l) \frac{d\Delta m_{sr}^d}{dk^d} dl + \int_0^{n_r^d} L_s m_{rs}^d(l) \frac{d\Delta m_{rs}^d}{dk^d} dl \right) dk^d \quad (51)$$

差別化財のバラエティの増加による消費者余剰の変化は, 以下のように表される。

$$\Delta BV = \int_{k^w}^{k^{wo}} \left[\theta \left\{ L_r \frac{\partial \tilde{V}_r^d}{\partial P_r^d} \left(\frac{\partial P_r^d}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dk^d} + \frac{\partial P_r^d}{\partial \delta_r} \cdot \frac{d\delta_r}{dk^d} \right) + L_s \frac{\partial \tilde{V}_s^d}{\partial P_s^d} \left(\frac{\partial P_s^d}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dk^d} + \frac{\partial P_s^d}{\partial \delta_r} \cdot \frac{d\delta_r}{dk^d} \right) \right\} + (1 - \theta) \left\{ L_r \frac{\partial \tilde{V}_r^u}{\partial P_r^u} \cdot \frac{\partial P_r^u}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dk^d} + L_s \frac{\partial \tilde{V}_s^u}{\partial P_s^u} \cdot \frac{\partial P_s^u}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dk^d} \right\} \right] dk^d \quad (52)$$

上式では, 被災時の企業の倒産率や平常時の企業の立地選択変化の影響も「幅広い」便益として計上される。

総資本レントの変化は, 以下のように表される。

$$\Delta TR = \int_{k^w}^{k^{wo}} \left(\frac{\partial TR}{\partial \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dk^d} + \frac{\partial TR}{\partial t^d} \cdot \frac{dt^d}{dk^d} + \sum_{i=r,s} \sum_{j=s,r} \frac{\partial TR}{\partial \Delta m_{ij}} \cdot \frac{d\Delta m_{ij}}{dk^d} \right) dk^d \quad (53)$$

以上, 次善経済における便益計測式である Harberger(1964) の公式を適用し, 集積の経済化における防災, 減災施策の便益を整理した。ここで, 伝統的な費用便益分析において直接効果として計上するのは, (50) 式の地域間輸送費用の減少による消費者余剰の変化と, (53) 式の第 2 項目の地域間輸送費用を介した総資本レントの変化のみであることに注目されたい。価格体系に歪みが存在する次善経済においては, 直接効果以外の, 競争促進効果による消費者余剰の変化 (51) や, 差別化財のバラエティの増加による消費者余剰の変化 (52), および, 集積率やマークアップを介した総資本レントの変化 (53) についても, 「幅広い」便益として計上する必要がある。

4. 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並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。分析により, (I) すでに危険地域への集積が進んだ状況下において, 都市間交通インフラの減災投資によって, 企業は倒産リスクが高まるにもかかわらず危険地域に引き寄せられ, その結果, 集積が進展する可能性が示された。また, (II) 次善経済における便益計測式である Harberger(1964) の公式を適用し, 集積の経済下における防災・減災施策の便益を整理した。伝統的な費用便益分析において直接効果として計上していた, いわゆる 3 便益のみならず, 競争促進効果によるマークアップの低下による消費者余剰の変化や, 差別化財のバラエティの増加による消費者余剰の変化, および, 集積率やマークアップを介した総資本レントの変化を, 「幅広い」便益として計上できることを示した。

以下では, 今後に残された課題について述べる。本分析では, 氷塊型輸送費用を仮定することにより輸送部門を単純化して扱った。しかし, CES 型効用関数と氷塊型輸送費用の仮定の下では, 差別化財のマークアップが企業の立地分布に依存せず一定となるという問題が指摘されている¹。立地分布の変化がもたらす競争促進効果について詳しく把握するためには, Ottaviano

¹ 他にも, 財の輸送費用が重量でなく価値に比例するという問題が存在する

et al. (2002)¹⁰⁾ などの氷塊型費用を仮定しないモデルを用いた分析も試みたい。被災によるサプライチェーンの寸断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を価格均衡モデルとして用いて分析を行う必要がある。通常は、最終財が生産されるまでに、さまざまな中間財の生産過程を経る。消費者が財の多様性を好むのと同時に、企業も中間財の多様性を好む。垂直連関モデルでは、資本ではなく、企業が地域間を移動するため、中間財を需要する企業の移動が前方連関効果をもたらす。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.*³⁾ の実証分析では、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生じ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必要がある。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、および復旧、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。

参考文献

- 1) 国土強靱化基本計画 -強くて、しなやかなニッポンへ-, http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h240603.pdf (2017 年 7 月末時点), 2014.
- 2) 織田澤利守, 中村優太, 鳥尾健太, 小池淳司: 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol. 72(1), pp. 99-112, 2015.
- 3) 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.
- 4) A. J. Venables, Evaluating Urban Transport Improvements Cost-Benefit Analysis in the Presence of Agglomeration and Income Taxation, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 41-2, pp.173-188, 2007.
- 5) Y. Kanemoto, Second-best cost-benefit analysis in monopolistic competition models of urban agglomeration, *Journal of Urban Economics*, vol.76, pp. 83-92, 2013.
- 6) Harberger, A.C., The measurement of waste, *American Economic Review*, vol. 54, pp.58-76, 1964.
- 7) Y. Kidokoro, Cost-Benefit Analysis for Transport Projects in an Agglomeration Economy, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.49-3, pp. 454-474, 2015.
- 8) Department for Transport (UK): Understanding and valuing impacts of transport investment: updating wider economic impacts guidance, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/554783/transport-appraisal-guidance-webtag-consultation-document.pdf (2017 年 7 月末時点), 2016.
- 9) Martin, P. and C.A. Rogers, Industrial Location and Public Infrastructure, *Journal of International Economics*, vol.39, pp.335-351, 1995.
- 10) Ottaviano, G.i.p., and T. Tabuchi and J.-F. Thisse, Agglomeration and Trade Revisited, *International Economic Review*, vol.43, pp.409-436, 2002.

(2017. 7. 31 受付)

Cost-Benefit Analysis of Transportation Investment for Disaster Risk Reduction in an Agglomeration Economies

Yosuke ADACHI and Toshimori OTAZAWA

Once a massive disaster hits a regional industrial cluster, firms in the area suffer from physical damages and the influence of the catastrophe may spread over the whole economy. Recent experiences in Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, the Great East Japan Earthquake in 2011 and Kumamoto Earthquake in 2016 have impressed us with the importance of disaster prevention and mitigation again. Since 2014, the government of Japan aims to improve national resilience and plans to strengthen infrastructures such as main roads and railways. Investment for improving earthquake-resistance of transportation facilities and/or redundancy of transportation networks is effective in mitigating physical and economic damages at the time of disaster, while it also affect industrial agglomeration patterns in the long-run. In order to evaluate the effect of public investment for disaster management appropriately, it is necessary to take agglomeration economies into account. In this paper, we construct a Footloose Capital Model incorporating a disaster risk and examine long-run effects of transportation investment for disaster risk reduction. Furthermore, we identify the wider economic impacts, which are not treated in the conventional cost-benefit analysis, by decomposing the overall effects of transportation investments for disaster.