

## 災害リスク下の多地域一般均衡分析

多々納裕一・庄司靖章\*・岡田憲夫

\* 京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

本研究では、災害による被害として社会資本の損傷を取り上げ、災害リスク下の2地域一般均衡モデルを構築し、市場を介した被害の波及構造を内生化した。さらに、事前になされた防災投資による災害リスクの変化が(1)短期的に被害の波及に与える影響、(2)長期的に人口や産業の集積に与える影響を産業構造や均衡パターンの違いに着目して分析した。その結果、両都市の産業構造や交易パターンによっては、防災投資は長期的には必ずしも家計の厚生水準を改善しないことが示された。両都市の家計の厚生水準を改善するためには、防災上安全な都市が産業面で災害に対して脆弱な都市に大きく依存していることが必要であることが示された。

キーワード：災害リスク、多地域一般均衡モデル、防災投資、長期効果

### 1. はじめに

今日の社会では、各々の地域が交流や交易を通じて深く経済的に結びついている。1995年1月の阪神・淡路大震災が如実に示したように、大災害が都市地域を襲った場合には、物的・非物的資産ストックの損傷という直接的被害は、地域間の経済面における連関性のために、市場を介した間接的被害となって被災地域外へ波及する。

一方で、防災投資が行われ、災害のリスクを抱える地域における災害時の被害が軽減されると、短期的にはこの効果が市場を介して他の地域に波及し、便益が発生する。しかし、長期的には人口や企業の移動が生じ、その集積状況も変化するため、災害リスクを抱える地域への防災投資が当該地域および他の地域に及ぼす影響は必ずしも望ましいものとなるとは限らない。災害時に被害が市場を介して地域間を波及する構造を解析し、さらに災害リスクにさらされている地域に対する防災投資が地域全体にもたらす経済効果を評価するためには、地域間の交易を

通じた経済的な連関関係をモデル化することが必要である。

このような問題意識を背景として、本研究では、災害リスク下の2地域一般均衡モデルを構築し、地域間の産業構造に着目して災害による被害の波及構造について分析する。さらに、産業構造や人口・産業の集積の程度が防災投資の長期的な効果に与える影響について分析する。

### 2. 分析の枠組み

#### 2.1 防災投資事業の特色

防災施設は、非競争性<sup>1)</sup>、非排他性<sup>1)</sup>を有するという意味において、地方公共財<sup>2)</sup>である。防災施設が地方公共財であるのなら、「最適な都市規模の下では、地代に関する課税を財源とした整備によって最適な地方公共財の整備が分権的に達成される」というヘンリー＝ジョージ定理(たとえば、Wildasin<sup>3)</sup>、佐々木<sup>4)</sup>)が述べてるところに従い、分権的な整備手法を採用し、各都市毎に整備を実施すれば良いこと

になる。ここで、議論されている地方公共財はこのような財の存在が当該都市内の個人の厚生に直接影響を及ぼすものである。この意味では、一種の技術的外部性を生じる財として扱われていることになる。

しかし、都市が相互に経済的な連関性を有する場合（現実には、ほとんどの場合がこの場合に該当するであろう）には、ある都市における防災能力の向上が市場機構を介して他の都市の家計の災害時の厚生水準を改善する場合が生じるであろう。すなわち、防災施設の整備は金銭的外部性を生じさせるのである。金銭的外部性は市場の全ての経済主体の厚生に影響を及ぼす。したがって、この場合には、もはや自らの都市のみの利益を考慮して防災投資を行うことは最適とはならず、都市間の協調が不可欠となるであろう。

## 2.2 産業の特化と災害リスクの空間的相関性

災害リスクの特色として、その被害の「集合性」と「被害規模の巨大性」が言われている<sup>5)6)</sup>。これらの特色は「空間的相関性」の高さという概念で統一的に解釈できる。空間的相関性の高さゆえに、直接的に被害の及ぶ空間的な範囲は限定されるが、地域間の経済面における連関性のために、被災地域における経済の停滞は他の地域の経済にも影響を及ぼす。このために、災害の発生による影響は被災地域外へも波及することとなる。

地域間で交易が生じる条件に関しては、地域経済学の分野で多くの研究が蓄積されてきている。地域間では、少なくとも長期的には人口や資本といった生産要素の移動が可能であるから、国際貿易の場合とは異なり財の生産に関する「絶対優位性」が必要である。絶対優位性は、地域固有の資源や技術の存在、生産における規模の経済や集積の経済を主たる理由として取り上げることができる<sup>7)8)</sup>。これらの要因に加えて、輸送費用の存在が地域の不均等な発展をもたらす、人口や産業の集中を招くことも知られている。

ある地域がある財の生産において絶対優位性を持つ場合には、その財の生産が当該地域に特化する。特化が生じることは、交易が不可能で全ての地域で生産が行われる場合に比べて、これらの地域の住民の厚生水準を改善することが多く、災害等の空間的相関性の高いリスクにさらされていない場合には歓迎すべきことである。しかしながら、ある財の生産が特定の地域に特化しており、かつ、その地域を大規模な災害が襲った場合には、被災地域はもとより被災地域外でも大きな被害を被ることになることは

想像に難くない。この意味で産業の特化は、災害等による空間的相関性の高いリスクにさらされる都市地域等では、必ずしも歓迎すべきことではない。防災投資の効果を分析する際には、特化等の産業の集積状況を十分考慮することが必要となる。

## 2.3 防災投資の評価に関する既往の研究

近年、防災投資の経済評価に関する研究が盛んに行われている。多々納<sup>9)</sup>や上田ら<sup>10)11)</sup>は不確実性下におけるプロジェクトの便益評価に関して研究を行っており、これらを用いて防災投資の便益評価を行うことが可能であると指摘している。しかし、これらの評価指標は、災害による被害がもつ様々な特性について考慮したものではなく、防災投資の評価指標として用いるには限界がある。

一方で、災害リスクがもつ特徴に着目した研究も多くなされている。横松ら<sup>12)</sup>は、防災投資による人命損失の軽減の便益評価を行っている。また、小林<sup>6)</sup>は、災害リスクの持つ集合性と被害規模の巨大性に着目し、防災投資についての便益評価モデルを提案した。Burbyら<sup>13)</sup>は、自然災害による公的資産の被害状況を整理し、それらに対し被害軽減策の有効性を分析している。

このように、防災投資の経済評価に関する研究は徐々に蓄積されつつある。しかし、これらの中で、複数の市場財の交易と特化を含む産業構造を内生的に説明し、かつ災害によって生産活動への様々な被害をもたらす影響を分析し、防災投資についての経済評価を行ったものは著者らの知る限り存在しない。上田ら<sup>10)11)</sup>は、災害リスク下の一般均衡モデルを構築したが、このモデルでは単一財の交易しか考慮されておらず、特化を含む産業構造の違いは説明できない。安藤<sup>14)</sup>は多地域一般均衡モデルを用いて、産業別に被害指標の変化に関する感度分析を行っているが、これは災害時のみに着目しており、災害リスクの違いによる企業や家計の立地行動を説明できない。災害リスクのような空間的相関性の高いリスクに関して上述の目的を達成しうるような多地域一般均衡モデルは見当たらない。

## 2.4 本研究の特色

本研究におけるアプローチの特徴として、産業の特化が生じ得るような状況を想定し、災害時の被害が地域をまたいで波及するメカニズムや防災投資の地域間の波及構造、さらには防災投資がいかなる人口や産業の集積をもたらすのかを分析しうる不確実性下の一般均衡モデルを構築する。文<sup>15)</sup>は地域間

の交通施設整備が複数の都市からなる都市システム内の人口や産業の集積状況に及ぼす影響を分析するために、産業の特化を内生的に説明するモデルを開発している。本研究では、文のモデルを上述の目的を達成しうるようにさらに拡張し、不確実性下の2地域一般均衡モデルを開発することとする。この際、事前の市場と事後の市場を明確に区別する。これについては、モデル化の前提条件で詳しく述べることとする。

一般には、災害による直接的被害として交通施設、ライフライン、家屋・建物、資本、人命などを挙げることができよう。しかしながら、本研究では生産資本と道路の損傷のみを考慮し、他の直接的被害の項目は捨象する。これは、産業の集積状況による都市境界を超えた被害や防災投資の波及を説明することに主眼をおいたためである。ただし、若干のモデルの拡張を施せば、家屋や人命などの被害は容易に取り込むことは可能である。

本モデルは、災害による資本および道路の損傷が経済主体である企業や家計に与える経済被害、これらの経済主体が災害リスクを既知のときに立地選択をする行動、資本や道路への防災投資が企業の利潤や家計の厚生水準に与える影響を分析できるモデルである。本研究が、被害の波及や防災投資の長期的効果に関する既往の研究(例えば10)11)と大きく異なる点は、産業の特化を内生的に説明する災害リスク下の2地域一般均衡モデルを用いることで、1)被害の波及構造に関して解析的な分析を行うことで、産業構造と被害の波及構造との関係を明らかにした点、2)人口・産業の集積や地域間の交易パターンと防災投資の長期的効果との関係をモデル分析を通じて明らかにした点にある。

### 3. 災害リスク下の2都市2財一般均衡モデル

#### 3.1 モデル化の前提条件

モデル化にあたって、災害の特性の異なる2つの都市(都市Aおよび都市B)とそれらの都市をつなぐ道路がある地域を想定する。この地域には確率 $P$ で災害が生じるが、都市Aは防災上安全な都市であり、災害に対して極めて強く、災害時には全く被害を被らない。都市Bは災害に対して脆弱な都市であり、災害時には同都市に立地している企業の生産資本が損傷し $\varepsilon$ の利用可能な割合になるものとする。都市間の道路も災害時には損傷し、財の輸送費用が $\delta$ 倍になる被害を受けるものとする。

地域内には、等しい選好を持つ $N$ 人の家計と、集

積の経済の異なる2種類の産業に属する競争的企業が存在するものとする。これらの家計と企業は事後的に生じるであろう状況を完全に予見した上で事前に立地を選択するものとする。具体的には、家計は自らの期待効用 $EV_i$ を最大化するように立地を選択するものとする。その結果、各都市 $i$ の人口 $n_i$ 、住居サイズ $h_i$ およびその価格 $p_i^h$ が定まる。また、企業は期待利潤を最大化するように立地を選択すると共に、選択した都市において資本 $K_i^m$ や労働 $L_i^m$ に関して家計と資本の賃貸契約ならびに労働契約を結ぶものとする。 $m$ は財の種類、 $s$ は状況(平常時 $s=0$ 、災害時 $s=1$ )である。これらの契約では、平常時・災害時を問わず、一定の賃貸料 $r$ ならびに賃金 $w_i$ が支払われることが取り決められているものとする。この仮定は、事後的に災害が生じた局面で、労働者の解雇や資本に対する賃料の減額は不可能であるということの意味している。もちろん、代替的な仮定も可能であるが、災害時の労働者の解雇や資本に対する賃料の不払いが生じにくいと考えることは現実的にも概ね妥当であるといえよう。

このため、事後的に企業にとって生産能力(利用可能な投入要素の量)は固定的である。事前の契約により生産費用 $C_i^m$ は定まっているので、生産活動を行う企業は常に利用可能な投入要素を最大に利用して財を供給する。よって、平常時・災害時、各状況ごとに各都市における財の供給 $y_{i,s}^m$ は固定的となる。ここで、都市Bに立地している企業では災害時に資本の損傷を被り、生産能力の減退が生じることとなる。一方、家計は地代レントを差し引いた可処分所得をもとに、事後的に各状況に依存して定まる財の価格(生産者価格 $q_{i,s}^m$ 、消費者価格 $p_{i,s}^m$ )を考慮して、市場財をそれぞれの都市内の市場で購入する。これにより、財の需要 $x_{i,s}^m$ が決定する。これらの財の需要は家計が事後的に効用最大化行動を行った結果定まるものとする。

これらの財は都市間で移動可能であり、その輸送費用は輸送段階でその一部を失うことによって支払われるものとする。財の総量は、輸送費用率 $t^m$ および都市間距離 $d$ を用いて表される輸送費用 $t^m d$ をカバーする量が必要である。災害時には、この輸送費用が $\delta$ 倍になる。なお、都市内の輸送費用は0とする。

防災投資をすることで、都市Bにおける災害時の資本の損傷の割合、および都市間の道路の損傷の割合を下げるができるものとする。その上で、防災投資による災害リスクの変化が、家計の厚生にどのような影響を及ぼすかを解析的に調べる。以下

では、事前と事後を区別し、それぞれの状況に応じた各主体の行動を記述することとする。

### 3.2 事後的均衡

#### (a) 企業の行動

企業の生産要素の投入量は事前に決定されているので、事後的には企業は利用可能な生産要素を最大限に用いて生産活動を行うことが合理的である。都市 A の企業は平常時・災害時を通じて同一量の生産を行うが、都市 B の企業は災害時には資本に損傷を被り、一定の使用可能な割合  $\varepsilon$  になるため、災害時の財の生産能力は減少する。

産業内には同一の技術を有する企業が多数存在し、完全競争下におかれているから、都市  $i$  における財  $m$  の生産量は、都市  $i$  に立地した財  $m$  を生産する企業全体での労働および資本の投入量の集計値、 $L_i^m$  および  $K_{is}^m$  を用いて表すことができる。財  $m$  の生産技術を以下のような規模に関して収穫一定のコブ＝ダグラス型生産関数を用いて表現する。このとき、都市  $i$  における財  $m$  の生産量は、状況  $s$  に依存して、次式の  $y_{is}^m$  で与えられる。

$$y_{is}^m = f^m(n_i, L_i^m, K_{is}^m) \quad (s = 0, 1)$$

$$= n_i^{\sigma^m} (L_i^m)^{\alpha^m} (K_{is}^m)^{1-\alpha^m}$$

$\sigma^m$  は定数であり、 $0 \leq \sigma^m \leq 1$  の値をとる。 $\sigma^m$  が大きいほど集積の経済の効果は大きくなる。

また、 $K_{is}^m$  は次式のように与えられる。

$$K_{is}^m = \begin{cases} K_{A0}^m & (i = A) \\ K_{B0}^m & (i = B, s = 0) \\ \varepsilon K_{B0}^m & (i = B, s = 1) \end{cases}$$

いま、都市  $i$  における財  $m$  の平常時に可能な最大の生産量を  $y_{i0}^m$  とおくと、状況  $s$  の下における生産量  $y_{is}^m$  は以下のように書き直すことができる。

$$y_{As}^m = y_{A0}^m \quad (s = 0, 1), \quad y_{Bs}^m = \begin{cases} y_{B0}^m & (s = 0) \\ \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m & (s = 1) \end{cases}$$

生産関数に対応する単位費用は状況  $s$  ごとに以下の  $C_s^m(n_i, w_i, r)$  によって与えられる。

$$C_{i0}^m(n_i, w_i, r) = \frac{1}{G^m(n_i)} a^{m-\alpha^m} (1-\alpha^m)^{\alpha^m-1} w_i^{\alpha^m} r^{1-\alpha^m}$$

$$C_{i1}^m(n_i, w_i, r) = \varepsilon_i^{\alpha^m-1} \frac{1}{G^m(n_i)} a^{m-\alpha^m} (1-\alpha^m)^{\alpha^m-1} w_i^{\alpha^m} r^{1-\alpha^m}$$

$$= \varepsilon_i^{\alpha^m-1} C_{i0}^m(n_i, w_i, r)$$

ただし、

$$\varepsilon_i = \begin{cases} 1 & (i = A) \\ \varepsilon & (i = B) \end{cases}$$

である。

各状況下における企業の利潤  $\pi_{is}^m$  は以下のように与えられる。

$$\pi_{is}^m = q_{is}^m y_{is}^m - C_{is}^m(n_i, w_i, r)$$

#### (b) 家計の行動

##### 財の消費行動

地域内の家計は同一の選好をもつので、家計の行動は代表的な家計を用いて表現することができる。家計の収入は労働賃金、地代レントの再配分、資本レントの配分から成り立つが、事前にこれらは定まっている。また、住居サイズ  $h_i$  も事前の選択によって定まっているから、事後的に家計が選択可能な変数は財の消費量のみである。家計の財の消費行動を以下の効用最大化行動として表現する。

$$V_{is}(h_i) = \max_{x_{is}^1, x_{is}^2} U(h_i, x_{is}^1, x_{is}^2) \quad (s = 0, 1)$$

$$\text{s.t. } w_i + \frac{n_i p_i^h h_i}{n_i} + \frac{r K_0}{N} = \sum_m p_{is}^m x_{is}^m + p_i^h h_i$$

$V_{is}(h_i)$  は住居サイズ  $h_i$  を所与とした場合の条件つき間接効用関数である。

家計の効用関数を次のコブ＝ダグラス型効用関数に特定化する。

$$U_{is}(h_i, x_{is}^1, x_{is}^2) = h_i^\alpha \prod_m (x_{is}^m)^{\beta^m}$$

$\alpha, \beta^m$  は正の定数である。一階条件から、状況  $s$  の下において都市  $i$  における財  $m$  の条件つき需要量は以下のように与えられる。

$$\bar{x}_{is}^m(h_i) = \frac{\beta^m}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{p_{is}^m} \left( w_i + \frac{r K_0}{N} \right) \quad (1)$$

#### (c) 経済市場の均衡

事後的には、2種類の市場財に関する需要のみが可変である。これらの財の生産量は都市 B において平常時と災害時で異なる。したがって、平常時と災害時にはこれらの財の市場価格は異なったものとなる。

##### 財の市場の均衡

出荷地における市場；

$$y_{is}^m = z_{iis}^m + \xi_s^m z_{ijs}^m \quad (i \neq j) \quad (2)$$

$$\xi_s^m = \begin{cases} 1 + t^m d & (s = 0) \\ 1 + \delta t^m d & (s = 1) \end{cases}$$

消費地における市場；

$$n_j x_{js}^m = z_{ijs}^m + z_{jjs}^m \quad (i \neq j) \quad (3)$$

$z_{ij_s}^m$  は状況  $s$  下において、都市  $i$  で生産され都市  $j$  で消費される財  $m$  の量を表す。式 (2) は、財を移出する際には輸送に使われる分をカバーするため、 $\xi_s^m$  倍だけ余分に生産することが必要であることを意味する。

### 空間的価格均衡

$$p_{j_s}^m \begin{cases} = q_{i_s}^m & (i = j \text{ のとき}) \\ = \xi_s^m q_{i_s}^m & (i \neq j \text{ かつ } z_{ij_s}^m > 0 \text{ のとき}) \\ \leq \xi_s^m q_{i_s}^m & (i \neq j \text{ かつ } z_{ij_s}^m = 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (4)$$

以上より、各財の価格 (出荷地  $q_{i_s}^m$ 、消費地  $p_{i_s}^m$ ) が定まり、交易量  $z_{ij_s}^m$  が定まる。また、財の価格が定まれば、式 (1) により需要  $x_{j_s}^m$  も定まる。

### 3.3 事前的均衡

#### (a) 企業の行動

企業は完全競争下で自らの期待利潤を最大化するように立地および生産要素の投入量を定める。

#### 企業の立地均衡

都市  $i$  における財  $m$  を生産する企業の期待利潤  $E[\pi_i^m]$  は、以下のように定式化される。

$$E[\pi_i^m] = \{(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m - C_{i0}^m(n_i, w_i, r)\} y_{i0}^m$$

競争的企業を想定しているから、期待利潤は 0 となる。したがって、企業の立地均衡は以下のように記述される。

$$(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m = C_{i0}^m(n_i, w_i, r), \text{ if } y_{i0}^m > 0 \quad (5)$$

$$(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m \leq C_{i0}^m(n_i, w_i, r), \text{ if } y_{i0}^m = 0$$

#### 要素需要

このとき、労働需要および資本需要は以下のように与えられる。

$$L_i^m = \frac{a^m}{w_i} \left\{ (1-P)q_{i0}^m + \varepsilon_i^{1-a^m} Pq_{i1}^m \right\} y_{i0}^m \quad (6)$$

$$K_{i0}^m = \frac{1-a^m}{r} \left\{ (1-P)q_{i0}^m + \varepsilon_i^{1-a^m} Pq_{i1}^m \right\} y_{i0}^m \quad (7)$$

#### (b) 家計の行動

家計は自らの期待効用を最大化するように立地選択し、住居サイズを決定する。

#### 家計の住宅サービスの消費行動

地代レント  $p_i^h$  を所与としたときに、家計は住居サイズ  $h_i$  に関して以下のように期待効用を最大化する。

$$EV_i = \max_{h_i} (1-P) V_{i0}(h_i) + P V_{i1}(h_i)$$

$$s.t. \quad w_i + \frac{p_i^h H_i}{n_i} + \frac{rK_0}{N} = \sum_m p_{i_s}^m x_{i_s}^m + p_i^h h_i$$

$$H_i = n_i h_i$$

なお、 $H_i$  は都市  $i$  における住居面積の総量である。一階条件は、

$$\bar{h}_i(p_i^h) = \frac{\alpha}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{p_i^h} \left( w_i + \frac{rK_0}{N} \right)$$

となる。これより、逆需要関数  $\bar{p}_i^h(h_i)$  が求まる。

$$\bar{p}_i^h(h_i) = \frac{\alpha}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{h_i} \left( w_i + \frac{rK_0}{N} \right)$$

この想定は文の想定<sup>15)</sup>をそのまま引き継いだものであるが、都市内の利用可能な土地の全てが住宅として利用されることを許しており、人口の増加が直ちに混雑を引き起こす構造となっている。このため、都市サイズが小さい場合に人口の増加に伴って家計の効用が減少するという現象が生じる。これは、都市経済学での通常の結果とは異なる。このような問題を解決するため、本研究では都市の政府によってロットサイズの規格化がなされており、住居サイズ  $h_i$  は混雑が発生するまではこの規格化されたロットサイズ  $h_{ai}$  となるものと仮定した。もちろん、規格化されたロット数を上回る住宅需要が生じれば、混雑が生じる。混雑が生じている状況下でのロットサイズは、都市  $i$  の人口  $n_i$  を所与として均衡条件から  $h_i = T_i/n_i$  を満たす。また、その場合の地代は、 $\bar{p}_i^h(h_i)$  で与えられる。これらの関係を整理して以下に示す。

$$\bar{h}_i = \begin{cases} h_{ai}, & \text{if } n_i h_{ai} < T_i \\ \frac{T_i}{n_i}, & \text{if } n_i h_{ai} \geq T_i \end{cases} \quad (8)$$

$$p_i^h = \begin{cases} \left[ 0, \frac{\alpha}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{h_{ai}} \left( w_i + \frac{rK_0}{N} \right) \right], & \text{if } n_i h_{ai} < T_i \\ \frac{\alpha}{\sum_m \beta^m} \frac{n_i}{T_i} \left( w_i + \frac{rK_0}{N} \right), & \text{if } n_i h_{ai} \geq T_i \end{cases} \quad (9)$$

#### 家計の立地均衡

均衡においては、家計の期待効用水準 (厚生水準) は立地に関わらず一定となる。したがって、以下の均衡条件式が成り立つ。

$$EV_i = u^* \quad (10)$$

ここで、 $u^*$  は均衡効用水準である。

#### (c) 経済市場の均衡

##### 人口の均衡

総人口は一定であるから、均衡において以下の条件が成り立つ。

$$\sum_i n_i = N \quad (11)$$

### 労働市場の均衡

都市  $i$  に居住する全ての家計は、1 単位の労働力として都市  $i$  に企業に雇われる。都市境界を超える通勤は不可能であり、労働市場は都市内で閉じている。

$$\sum_m L_i^m = n_i \quad (i = A, B) \quad (12)$$

### 資本市場の均衡

資本は流動的であり、すべての都市で資本レントは同一となる。

$$\sum_i \sum_m K_{i0}^m = K_0 \quad (13)$$

## 4. 被害の波及構造に関する分析

### 4.1 概説

定式化したモデルでは、資本や道路の損傷による被害は、災害時の空間的価格均衡を変化させ、財の生産量および消費量の減少および均衡価格の上昇という形で現れる。本章ではこのような被害の波及構造に関して分析する。

災害時では、事前の決定によって人口および要素需要の量は固定されており、各都市における財の生産能力は所与である。ただし、災害の発生によって生じる資本や道路の損傷の程度に応じて、財に関する事後的な空間的価格均衡が変化し、生産量、消費量、均衡価格（出荷地価格、消費地価格）、交易量等が変化する。平常時は、これらの損傷は生じないので、各都市の財の生産は生産能力いっぱいの状態となされる。このとき、一つの空間的価格均衡が実現している。災害時には、空間的価格均衡が資本や道路の損傷の程度に依存して変化しうる。この変化の構造を知ることが、被害の波及構造を分析する上で重要となる。

### 4.2 空間的価格均衡と交易パターン

まず始めに、財  $m$  の生産量を所与としたときに、どのような交易パターンが実現するかを分析する。各変数から状況サフィックス  $s$  を省略すると、都市  $i$  での財  $m$  を全て同都市に供給した場合に実現する価格  $Q_i^m(y_i^m)$  は以下の逆需要関数を用いて表される。

$$Q_i^m(y_i^m) = \frac{\beta^m n_i I_i}{1 - \alpha y_i^m} \quad (i = A, B)$$

ただし、 $I_i = w_i + \frac{rK}{N}$  である。交易パターンの決定の一例を Fig. 1 に示す。この図は、第 2 象限および第 4 象限に、都市 B および都市 A の市場財

の需要関数が描かれている。第 1 象限には、出荷地価格と消費地価格の関係 (①, ②) が描かれている。第 3 象限には、各都市の生産量 (③) を所与とした場合に、可能な各都市への供給量を与える 2 つの直線 (④, ⑤) と可能な各都市の需要量の組み合わせ (斜線部) および実現する均衡需要 (⑥) が描かれている。Fig. 1 では、 $Q_B^m(y_B^m)\xi^m < Q_A^m(y_A^m)$  かつ  $Q_B^m(y_B^m) < Q_A^m(y_A^m)\xi^m$  が成り立っているため、この場合には財  $m$  は都市 B から都市 A へと移出される。

このように、各財の生産量を所与とすれば、当該財の交易パターンは一意に定まることが分かる。この結果を Fig. 2 に整理する。この図は、都市 A の生産量  $y_A^m$ 、都市 B の生産量  $y_B^m$  によって、交易パターンがどのように決定されるかを示している。その結果、交易パターンは以下に示す 3 通りに分類できる。

$$(a) \quad Q_B^m(y_B^m) \geq Q_A^m(y_A^m)\xi^m \text{ のとき,} \\ \text{すなわち } y_B^m \leq \frac{n_B I_B}{n_A I_A} y_A^m \frac{1}{\xi^m} \text{ のとき.}$$

このとき財  $m$  は、都市 B が自都市で生産する価格より、都市 A から移入する価格の方が小さいため、都市 A から都市 B へ移出される。Fig. 2 の領域 (1) である。

$$(b) \quad Q_B^m(y_B^m) \leq Q_A^m(y_A^m)\frac{1}{\xi^m} \text{ のとき,} \\ \text{すなわち } y_B^m \geq \frac{n_B I_B}{n_A I_A} y_A^m \xi^m \text{ のとき.}$$

このとき財  $m$  は、都市 A が自都市で生産する価格より、都市 B から移入する価格の方が小さいため、都市 B から都市 A へ移出される。Fig. 2 の領域 (2) である。

$$(c) \quad Q_A^m(y_A^m)\frac{1}{\xi^m} < Q_B^m(y_B^m) < Q_A^m(y_A^m)\xi^m \text{ のとき,} \\ \text{すなわち } \frac{n_B I_B}{n_A I_A} y_A^m \frac{1}{\xi^m} < y_B^m < \frac{n_B I_B}{n_A I_A} y_A^m \xi^m \text{ のとき.}$$

このとき財  $m$  は、各都市で生産する価格の方が、他都市から移入する価格より小さいため、この財は交易されない。Fig. 2 の領域 (3) である。

### 4.3 平常時と災害時の均衡価格

各交易パターンについて空間的価格均衡を解くと、平常時・災害時の各状況における均衡価格が得られる。なお、 $B^m = \sum_m \frac{\beta^m}{\beta^m}$  である。また、都市  $i$  で財  $m$  を生産している限り、 $p_{i0}^m = q_{i0}^m$  になる。

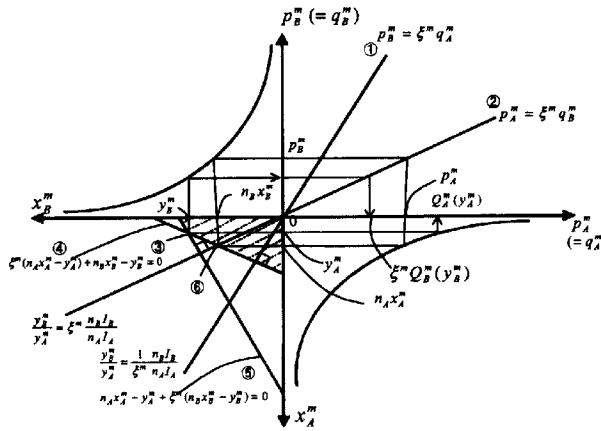


Fig. 1 都市 B から都市 A へと財 m の移出が生じるケース

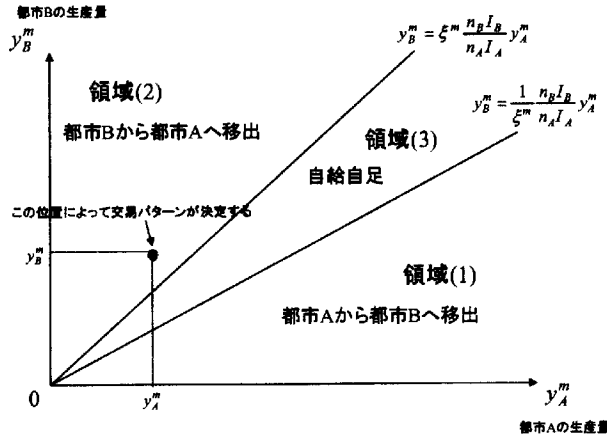


Fig. 2 交易パターンの決定

交易	平常時	災害時
A → B 領域(1)	$p_{A0}^m = B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}$ $p_{B0}^m = \xi_0^m B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}$	$p_{A1}^m = B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m}$ $p_{B1}^m = \xi_1^m B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m}$
B → A 領域(2)	$p_{A0}^m = \xi_0^m B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}$ $p_{B0}^m = B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}$	$p_{A1}^m = \xi_1^m B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{\xi_1^m y_{A0}^m + \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m}$ $p_{B1}^m = B^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{\xi_1^m y_{A0}^m + \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m}$
自給自足 領域(3)	$p_{A0}^m = B^m \frac{n_A I_A}{y_{A0}^m}$ $p_{B0}^m = B^m \frac{n_B I_B}{y_{B0}^m}$	$p_{A1}^m = B^m \frac{n_A I_A}{y_{A0}^m}$ $p_{B1}^m = B^m \frac{n_B I_B}{\varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m}$

Table 1 平常時と災害時の均衡価格 (消費地価格)

#### 4.4 被害の波及構造

災害時の資本損傷は都市 B の生産量を減少させ、道路損傷は都市間の輸送費用の増加をもたらす。これらの損傷割合によって、平常時と災害時の交易パターンの組み合わせは、Fig. 3 のように 7 通りに分かれる。それぞれについて、両都市における災害時の財 m の均衡価格を記述すると、以下のようである。

(a) 平常時 (A→B), 災害時 (A→B) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \frac{\xi_1^m}{\xi_0^m} \frac{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m \geq p_{B0}^m$$

(b) 平常時 (A→B), 災害時 (自給自足) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{n_A I_A}{n_A I_A + n_B I_B} \frac{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}{y_{A0}^m} p_{A0}^m < p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \frac{1}{\xi_0^m} \frac{n_B I_B}{n_A I_A + n_B I_B} \frac{y_{A0}^m + \xi_0^m y_{B0}^m}{\varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m > p_{B0}^m$$

(c) 平常時 (自給自足), 災害時 (A→B) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{n_A I_A + n_B I_B}{n_A I_A} \frac{y_{A0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{A0}^m > p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \xi_1^m \frac{n_A I_A + n_B I_B}{n_B I_B} \frac{y_{B0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m > p_{B0}^m$$

(d) 平常時 (自給自足), 災害時 (自給自足) のとき。

$$p_{A1}^m = p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \frac{1}{\varepsilon^{1-\alpha^m}} p_{B0}^m \geq p_{B0}^m$$

(e) 平常時 (B→A), 災害時 (A→B) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{1}{\xi_0^m} \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{A0}^m > p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \xi_1^m \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{y_{A0}^m + \xi_1^m \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m \geq p_{B0}^m$$

(f) 平常時 (B→A), 災害時 (自給自足) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{1}{\xi_0^m} \frac{n_A I_A}{n_A I_A + n_B I_B} \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{y_{A0}^m} p_{A0}^m > p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \frac{n_B I_B}{n_A I_A + n_B I_B} \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{\varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m$$

(g) 平常時 (B→A), 災害時 (B→A) のとき。

$$p_{A1}^m = \frac{\xi_1^m}{\xi_0^m} \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{\xi_1^m y_{A0}^m + \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{A0}^m$$

$$p_{B1}^m = \frac{\xi_0^m y_{A0}^m + y_{B0}^m}{\xi_1^m y_{A0}^m + \varepsilon^{1-\alpha^m} y_{B0}^m} p_{B0}^m$$

災害時の均衡価格は両都市で上昇するケースが多いが、(a),(f),(g)のケースでは、 $\varepsilon$ ,  $\xi_0^m$ ,  $\xi_1^m$ の大きさに依存して、災害時の均衡価格が上昇するか下降するかが決定する。なお、資本損傷の割合が大きく、道路損傷の割合が小さいときは、両都市の均衡価格が上昇しやすくなる((c),(e))。逆に、資本損傷の割合が小さく、道路損傷の割合が大きいときは、交易を変化させない可能性が大きく、都市Aでの均衡価格が変化しないもしくは減少することがある((b),(d))。

災害時の資本損傷は、両都市が交易を行っている限り、両都市への供給量の減少を招くので、両都市の家計の効用を低下させる。災害時の道路損傷は、輸送費用を上昇させるために、相対的に多く財を移出している都市では、企業は移出量を減少させ、自都市への供給量を増加させるため、家計の効用が増加する。しかし、相対的に多く財を移入している都市では、移入量の減少によって、家計の効用が減少する。

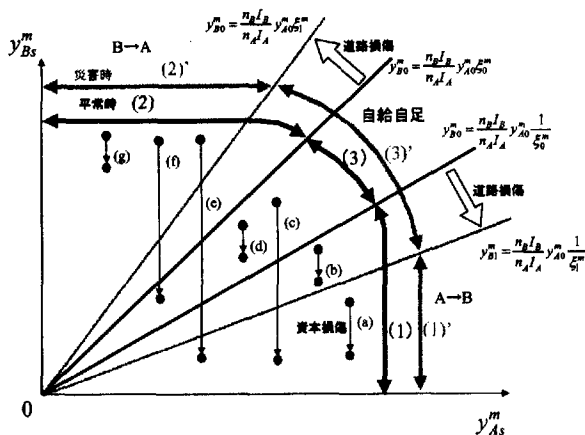


Fig. 3 平常時と災害時の交易パターンの変化

## 5. 防災投資の長期的効果に関する分析

### 5.1 概説

本章では、3.で定式化したモデルを用いて防災投資の長期的な効果を分析する。本研究においては、防災投資によって生産資本や道路の災害に対する脆弱性が変化するものとする。このことは、直ちに、防災投資がなされる前の状態に比べて防災投資がなされた後には、災害時の資本損傷の程度や輸送費用の減少が生じることを意味する。

防災投資の実施前に経済が均衡状態に達していれば、防災投資によって生じる生産資本や道路の災害に対する脆弱性の変化は、長期的には家計や企業の

立地選択行動を通じて新たな均衡へと経済を推移させる。

防災投資の実施前の企業の立地を所与とすれば、防災投資によって各々の企業が得る災害時の利潤は変化する。このため、立地している都市や生産している財の種類によって、期待利潤は短期的には必ずしもゼロとはならない。長期的には、経済内の企業は、期待利潤が最大になるように都市間を移動したり、要素需要の投入量を調整する。その結果、競争的企業の期待利潤は0になる。

同様に、家計においても、立地が防災投資の実施前の状態であれば、防災投資によって災害時の効用水準には差が生じる。このため、家計は厚生水準(=期待効用水準)の高い方の都市へと移住し、長期的には都市間で厚生水準が等しくなるはずである。

したがって、防災投資の長期的効果を議論するためには、家計や企業の立地選択の変更を含む長期的な均衡の推移を考慮に入れる必要がある。均衡においては、企業の期待利潤は上述のように0になるので、防災投資の長期的効果は、家計の均衡効用水準の変化として現れる。家計の厚生水準は、住居サイズと財の消費量に依存するが、住居サイズは都市面積と、両財の消費量は空間的価格均衡を通して両都市の生産量(産業構造)と深く関係している。このため、まず、これらと家計の厚生水準との関係を分析し、その上で資本および道路への防災投資の長期的効果について議論する。

### 5.2 数値シミュレーション計算の概要

構築したモデルは非線形相補性問題(NCP)であり、理論的に解くことは難しいので、計算プログラムを組んで数値シミュレーションを実施する。数値シミュレーションにあたっては、 $r$ をニューメーラ(価値尺度財)として、この価格を1とする。これに伴い、式(13)を均衡条件から省く。また、パラメータは以下のように固定する。

$$P = 0.1, d = 10, N = 100, K_0 = 100, (h_{aA}, h_{aB}) = (0.017, 0.017), (a^1, a^2) = (0.4, 0.6), (t^1, t^2) = (0.04, 0.04), (\alpha, \beta^1, \beta^2) = (0.5, 0.4, 0.1)$$

数値シミュレーションの結果、都市の人口と家計の厚生水準の関係が得られるが、これを家計の厚生曲線と呼ぶ。一般には、都市の人口が比較的小さいときは、人口の増加に伴って集積の経済が働き厚生水準は増加していくが、逆に人口があまりにも多くなると混雑が発生して厚生水準は低下すると言われる<sup>16)</sup>。集積の経済と混雑の2つの効果によ



て、厚生曲線の形状は変化する。このモデルでは、混雑は都市面積  $T_i$  で、集積の経済は  $\sigma^m$  で表現されている。

### 5.3 安定均衡と産業構造

$T_i$  および  $\sigma^m$  を変化させると、様々な厚生曲線のパターンが得られるが、安定均衡が存在するケースは、(a) 両都市の人口がほぼ等しい均衡が得られるケース (単一均衡) と、(b) いずれかの都市が他の都市より人口が多い均衡が複数現われるケース (複数均衡) とが生じる。以下に、それぞれのケースについて安定均衡における平常時の産業構造および交易パターンを示す。○ は生産が行われることを表し、→ は左側の都市から右側の都市へ移出されることを表す。

#### (a) 単一均衡のとき

安定均衡では両都市の規模がほぼ等しくなり、両都市で両財を生産する。この場合には、財の交易パターンは双方向の交易が生じている場合や自給自足の場合を含み多様なパターンが生じる。以下に、平常時に両都市が自給自足をとする例を取り上げる。

(例 1) 単一均衡 ( $T_i = 0.7, (\sigma^1, \sigma^2) = (0.3, 0.2)$  のとき)

	都市 A	都市 B
財 1	○	○
財 2	○	○

#### (b) 複数均衡のとき

安定均衡の位置によって産業構造は変化する。以下に、3つの場合を取り上げる。それぞれの場合において、①は都市 A の方が集積程度が高い均衡であり、②は都市 B の方が集積程度が高い均衡である。

(例 2) 両財特化 ( $T_i = 1.0, (\sigma^1, \sigma^2) = (0.3, 0.0)$  のとき)

1つの都市が1つの財しか生産しない、つまり各財の生産が片方の都市に特化する場合である。

	都市 A	都市 B
① 財 1	○	→
財 2	←	○
② 財 1	←	○
財 2	○	→

(例 3) 片財特化 ( $T_i = 1.0, (\sigma^1, \sigma^2) = (0.3, 0.3)$  のとき)

片財の生産のみが一方の都市でなされる場合である。

	都市 A	都市 B
① 財 1	←	○
財 2	○	→

	都市 A	都市 B
② 財 1	○	→
財 2	○	←

(例 4) 両都市生産 ( $T_i = 0.95, (\sigma^1, \sigma^2) = (0.3, 0.3)$  のとき)

両都市で両財を生産する場合である。なお、②の均衡のみが両都市生産である。

	都市 A	都市 B
① 財 1	○	→
財 2	○	←

	都市 A	都市 B
② 財 1	○	←
財 2	○	○

安定均衡および平常時の両都市の産業構造のパターンは、以上の4つのケースに包括することができる。以下では、これら4つのケースについて、資本および道路への防災投資の長期的効果を議論する。

### 5.4 防災投資の長期的効果

#### (a) 資本への防災投資

ここでは、災害時の道路損傷はないものとする ( $\delta = 1.0$ )。資本への防災投資前を  $\varepsilon = 0.5$ 、防災投資後を  $\varepsilon = 0.9$  とし、それぞれケースに対応する厚生曲線を描き、均衡効用水準の変化を比較することで防災投資の長期的効果を検討する。Fig. 4~Fig. 7 に、計算結果を示す。

#### 単一均衡のとき ((例 1), Fig. 4 参照)

資本への防災投資は、都市 B における災害時の供給量を増加させる。このことによって、都市 B の厚生曲線は上方へシフトし、それに伴って人口は都市 A から都市 B へ移動する。単一均衡では、均衡人口は混雑効果が卓越する状況で発生しているので、このような人口の移動は都市 A の厚生水準をも改善する。したがって、両都市の厚生水準は必ず増加する。

#### 両財特化のとき ((例 2), Fig. 5 参照)

いずれの均衡においても、両都市は都市 B に片財の供給を頼っているため、資本への防災投資は、災害時のその財の生産量を増加させ、両都市の家計の厚生水準を増加させる。つまり、両財特化の場合には、都市 B の資本へ防災投資の効果が都市 A に波及する度合いが大きい。このために、両都市の厚生曲線の上方へのシフトが生じる。このために、いずれもの均衡で均衡効用水準の上昇が生じる。

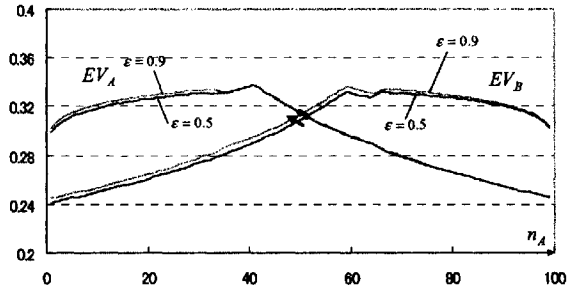


Fig. 4 資本への防災投資-(例1)の場合

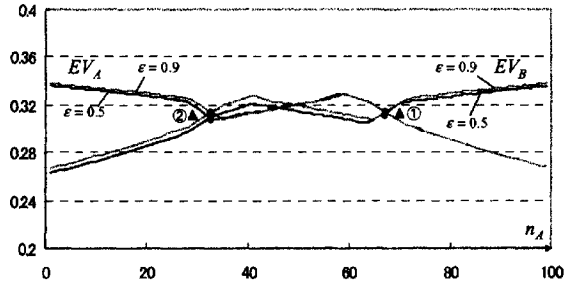


Fig. 5 資本への防災投資-(例2)の場合

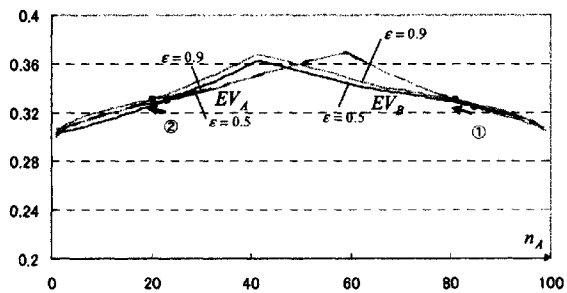


Fig. 6 資本への防災投資-(例3)の場合

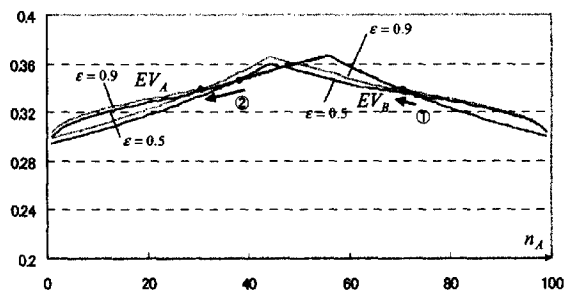


Fig. 7 資本への防災投資-(例4)の場合

片財特化のとき ((例3), Fig. 6 参照)

いずれの均衡においても、片財の生産を都市Bに頼っているため、資本への防災投資は災害時のその財の生産量を増加させ、両都市の家計の厚生水準を

増加させる。したがって、この場合も都市Bの資本へ防災投資の効果が都市Aに波及するが、その程度は例2の場合に比べて小さい。したがって、都市Bへの防災投資によって生じる厚生曲線のシフトの大きさは、都市Aのそれは都市Bのそれよりも比較的小さく、都市Aから都市Bへの人口移動が生じる。このため、都市Bの人口が相対的に大きい均衡では、防災投資によって生じた厚生増加が人口の流入によって減少している。

両都市生産のとき ((例4), Fig. 7 参照)

資本への防災投資によって、相対的に都市Bでの集積が高い均衡②では厚生水準が減少する。②では、平常時に両都市は両財を生産しており、両地域の連関性はそれほど高くない。このために、都市Bでの防災投資が都市Aの家計の厚生水準の向上にそれほど寄与しない。この場合でも、都市Bでの防災投資は両都市の厚生曲線の上方へのシフトに寄与するが、その度合いは両都市で大きく異なり、都市Bでのシフトに比べて都市Aでのシフトは小さくなる。このため、都市Aから都市Bへの人口移動が生じ、都市Bでの集積が高い均衡②では、都市Bでの混雑効果によって均衡効用水準の減少がもたらされる結果となっている。逆に、相対的に都市Aでの集積が高い均衡では、都市Aでの人口が減少するために混雑効果が軽減され、均衡効用水準は上昇する。

資本への防災投資は、両都市が財の交易を通じて産業面での依存関係が強いほど、波及の程度が高まり、均衡効用水準が向上する可能性が強いことが示唆される。しかし、両都市の産業面での依存関係が低い場合には、資本への防災投資は都市Bの厚生水準のみの向上をもたらす、結果的に都市Bへの人口の流入を促して、均衡効用水準の低下を招く可能性もあることが確認された。

(b) 道路への防災投資

ここでは、災害時の資本損傷の割合を固定する ( $\epsilon = 0.5$ )。道路への防災投資前を  $\delta = 5.0$ 、つまり  $(\xi_1^1, \xi_1^2) = (1.2, 1.2)$ 、防災投資後を  $\delta = 1.0$ 、つまり  $(\xi_1^1, \xi_1^2) = (1.04, 1.04)$  とし、それぞれケースに対応する厚生曲線を描き、均衡効用水準の変化を比較することで防災投資の長期的効果を検討する。Fig. 8 ~ Fig. 11 に、計算結果を示す。

単一均衡のとき ((例1), Fig. 8 参照)

災害時に都市Aから都市Bへ移出が続く限りは、道路への防災投資は僅かながらの経済効果を生む。しかし、両都市ともほぼ人口や産業の集積が同じこ

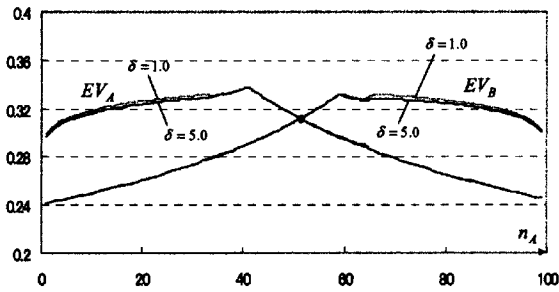


Fig. 8 道路への防災投資-(例 1) の場合

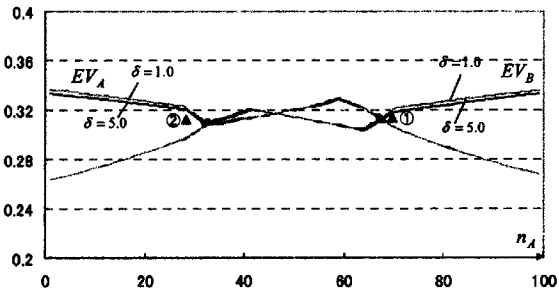


Fig. 9 道路への防災投資-(例 2) の場合

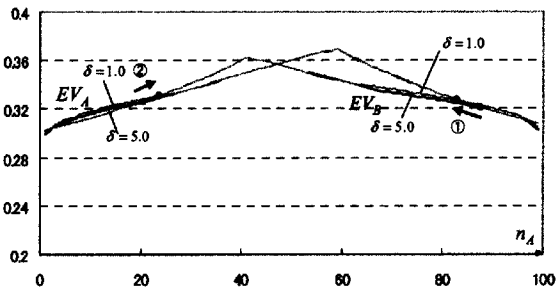


Fig. 10 道路への防災投資-(例 3) の場合

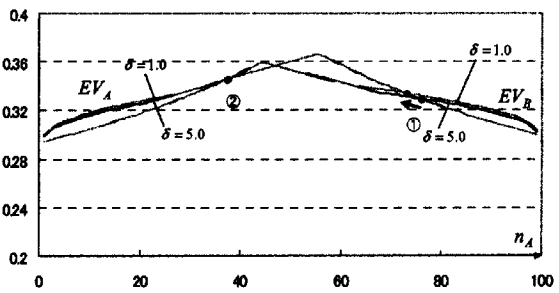


Fig. 11 道路への防災投資-(例 4) の場合

のような状況では、道路への防災投資によって生じる経済効果はほとんどない両財特化のとき ((例 2), Fig. 9 参照) いずれの均衡においても、両都市は片方の財を移入

に頼っているため、道路への防災投資によって、災害時のその財の移入量が増加するが、自都市からの移出量も増加する。よって、両都市で家計の厚生水準が増加するが、集積程度の低い都市の方がその程度は大きい。人口は両都市間の格差を縮小する方向へ移動する片財特化のとき ((例 3), Fig. 10 参照) いずれの均衡の場合も、道路への防災投資によって、家計の厚生水準は増加する。集積程度の低い都市の方が厚生水準は増加する。両都市の人口格差を小さくする方向へ家計の移転が生じる両都市生産のとき ((例 4), Fig. 11 参照)

両都市で平常時に交易していない②の均衡では、道路への防災投資の効果は、ほとんどない。②の均衡では、上の場合と同じく、家計の厚生水準は増加し、両都市の人口格差を小さくするよう、都市 A から都市 B へ人口が移動する。道路への防災投資は、都市間に人口や産業の格差が比較的少ない場合を除いて、集積程度の相対的に少ない都市の厚生水準を大きく改善する。このため、長期的には家計の厚生水準を上昇させる。しかし、両都市の交易を通じた産業連関が少ない場合には、家計の厚生水準の変化はほとんど見られない。また、道路への防災投資は交易量を増加させるため、都市間の人口格差を小さくする働きがある。

### 5.5 分析結果のとりまとめ

防災投資は必ずしも両都市の家計の厚生水準を上昇させるとは限らない。資本への防災投資は、両都市間に交易を通じた経済的な相互依存関係が強ければ、均衡効用水準の改善をもたらす。両都市における家計の厚生水準の改善に寄与する。しかしながら、このような依存関係が低い場合に、災害に対して脆弱な都市への防災投資を行うと、当該都市への人口の流入を招く。このため、混雑効果が卓越している局面では、防災投資によってかえって、両都市での厚生が損なわれる結果となる。一方、道路への防災投資は、都市間に交易関係が存在する限り、両都市の家計の厚生水準を上昇させる働きがあり、また長期的には両都市の人口格差を小さくするように人口を移転させる働きがある。

### 6. おわりに

本研究では、防災上安全な都市と災害に対して脆弱な都市が経済的な連関性を有する場合に、災害による間接的被害が市場を介して波及する構造および防災投資がもたらす長期的効果に関して、両都市の

産業構造に着目して分析した。

本研究で得られた主要な結論をまとめると、以下の通りである。まず、災害時の生産資本や道路の損傷によってもたらされる経済被害が、被災都市外へも波及する現象は極めて一般的に見られ、被害の波及が生じない場合は、災害時に被災都市がその需要を被災都市内での供給によって賄える場合に限定されることが示された。また、被害の波及の程度は被災都市への依存度が高いほど大きくなることが示された。

次に、資本や道路への防災投資の長期的効果に関して以下のような結論を得た。災害に対して脆弱な都市の生産資本への防災投資は、両都市間に交易を通じた経済的な相互依存関係が強ければ、均衡効用水準の改善をもたらすし、両都市における家計の厚生水準の改善に寄与する。しかしながら、このような依存関係が低い場合に、災害に対して脆弱な都市への防災投資を行うと、当該都市への人口の流入を招く。このため、混雑効果が卓越している局面では、防災投資によってかえって両都市での厚生が損なわれる結果となる。一方、都市間の道路への防災投資は、両都市間に交易関係が存在する限り、両都市の家計の厚生水準を上昇させる働きがあり、また長期的には両都市の人口格差を小さくするように人口を移転させる働きがある。

これらの結果から、防災上安全な都市が災害に対して脆弱な都市に産業面で大きく依存していればいほど、防災投資は正の経済効果を波及させる。防災投資が防災上安全な都市へも正の経済効果をもたらすのであれば、防災上安全な都市は防災投資に対して協力するインセンティブを持つ。しかしながら、災害に対して脆弱な都市に人口や産業が集積し、しかも両都市間の経済的な相互依存関係が低い場合には、災害に対して脆弱な都市への人口の移動が生じる。その結果として、防災投資が家計の厚生水準を低下させる恐れがある。このような場合には協調的な防災投資は望めないであろう。

しかしながら本研究では、あくまで防災上安全な都市が防災投資をするインセンティブがあるか否かという議論にとどまっている。防災投資に関する都市間の協調の可能性を検討するためには、防災投資の財源の調達方法についても明示的に取り込む必要がある。

また、本研究での分析は静学的なものであり、復興・復旧過程は動学的な要素は考慮されていない。実際には、災害によって資産ストックが損壊すると、その復旧には多大な時間を要し、復旧過程を捨象し

ているこの種のモデルでは防災投資の便益評価手法としてはまだ不十分であると言わざるを得ない。これら復旧過程が及ぼす影響について考慮した時系列的・動学的なモデルと本研究で提案したような災害リスク下の一般均衡モデルの融合が、今後求められることになる。

#### 参考文献

- 1) 奥野正寛, 鈴木興太郎: ミクロ経済学 2, 岩波書店, 1988.
- 2) J. E. スティグリッツ, 藪下史郎訳: 公共経済学 [上下], マグロウヒル出版, 1989.-1989.
- 3) Wildasin, D. E.: Urban Public Finance, New York, Harwood Academic Publishers, 1986.
- 4) 佐々木公明: 地方公共財をめぐる諸問題, 土木学会論文集 No. 524/IV-29, 1995.
- 5) Zeckhauser, R.: The Economics of Catastrophes, Journal of Risk and Uncertainty, Vol. 12, No. 2/3, 1996.
- 6) 小林潔司, 横松宗太: カタストロフ・リスクと防災投資の経済評価, 土木計画学研究・講演集, No. 21(2), 1998.
- 7) 佐々木公明・文世一: 都市経済学の基礎, 有斐閣アルマ, 2000.
- 8) Krugman, P. R. and M. Obstfeld: International Economics: Theory and Policy, 3rd. edition, 1994. [石井菜穂子, 浦田秀次郎, 竹中平蔵, 千田亮吉, 松井均 共訳: 国際経済理論と政策 第3版 I 国際貿易, 新世社, 1996.]
- 9) 多々納裕一: 不確実性下のプロジェクト評価—課題と展望, 土木計画学研究・論文集, No. 15, 1997.
- 10) 上田孝行, 高木朗義, 長谷川俊英, 森杉壽芳: 防災投資評価のための不均衡経済モデル, 土木計画学研究委員会, 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp. 31-38, 1997.
- 11) 上田孝行: 防災投資の便益評価—不確実性と不均衡の概念を念頭において—, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 17-34, 1997.
- 12) 横松宗太, 小林潔司: 防災投資による非可逆的リスクの軽減効果の経済便益評価, 土木計画学研究・論文集, No. 16, 1999.
- 13) Burby, R. eds.: Sharing Environmental Risk - How to Control Governments' Losses in Natural Disasters, Westview Press, 1991.
- 14) 高橋頼博・安藤朝夫・文世一: 阪神・淡路大震災による経済被害推計, 土木計画学研究・講演集, No. 19(2), pp. 315-318, 1996.
- 15) Se-il, Mun: Transport Network and System of Cities, Journal of Urban Economics, Vol. 42, pp. 205-221, 1997.
- 16) 金本良嗣: 都市経済学, 東洋経済新報社, 1997.
- 17) 庄司靖章, 多々納裕一, 岡田憲夫: 災害による資本の損傷を考慮した2地域一般均衡モデル, 土木計画学研究・講演集, No. 23(2), pp. 153-156, 2000.

## **A Multi-Regional General Equilibrium Analysis Taking account of Natural Disaster Risk**

Hirokazu Tatano, Yasuaki Sgoji, Norio Okada

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

### **Synopsis**

The paper aims at examining short-term and long-term effects of natural disaster upon urban economy taking account of capital and road damage and analyzes regional spillover effects of disaster mitigation investment for capital or road. As results of the analysis, disaster mitigation investment for the city under the disaster risk does not always improve social welfare in the long-term. Disaster mitigation investment brings about positive spillover all over the economy, when the economy largely depends the supply of goods on the city under the disaster risk.

**Keywords :** disaster risk, multi-regional general equilibrium model, disaster mitigation investment, long-term effect