【土木計画学研究・講演集 No.23(2) 2000年11月】

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*

A multi-regional general equilibrium model taking account of capital damages caused by natural disaster *

庄司 靖章**, 多々納 裕一***, 岡田 憲夫 ***
By Yasuaki SHOJI **, Hirokazu TATANO *** and Norio OKADA ***

1. はじめに

今日の社会では，複数の地域が交易や交流を通じて深く経済的に結びついている．阪神・淡路大震災が如実に示したように，大災害が特定の地域を襲った場合には，このような経済面における地域の連関性が，被害の発生や波及に影響を及ぼす．防災施設整備が行われ，ある地域における災害による被害の発生確率が軽減されると，長期的には人口や企業が移動し，その集積状況を変化させることもありうる．本研究では，災害の市場を介した被害の波及機構を内生化し，かつ事前になされた防災施設整備による災害リスクの変化が (1) 短期的に被害の発生や波及構造に与える影響，(2) 長期的に人口や産業の集積に与える影響を分析しうる２地域一般均衡モデルを構築することを目的とする．これにより，防災施設整備に際しての地域間の協調の可能性を分析する．

2. 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)からなる地域を想定する．それぞれの都市は，災害に対する脆弱性を除いて全く同質であるとあるとする．ただし，都市Aは災害に対して極めて強く全く被害を被らないが，都市Bは災害に対して脆弱であり，確率Pで生じる災害時には同都市に立地している企業の資本がεの割合になる被害を受けるものとする．

被害の発生から波及までの機構を分析し，防災施設整備等の被害軽減策を適切に実施するためには，これらの地域間の交易を通じた連関関係をモデル化することが必要であろう．複数地域を含む経済のモデルとして，多地域一般均衡モデルが用いられてきている．上田ら [1]は災害リスクの不確実性を取り込んだモデルを提案した．しかし，このモデルでは単一の産業のみが扱われており，産業の特化等，産業構造の違いを内生的に説明できない．そこでこれをさらに拡張し，以下のようなモデルを考える．

想定する地域には，等しい選好を持つN人の家計と集積の経済性の異なる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$i(=A,B)$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_{is}^mや労働L_i^mに関して資源の所有者である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．$m(=1,2)$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．

このため，事後的に企業にとって利用可能な投入要素の量は固定的である．このとき，事前の契約により生産費用C_0^mは定まっているので，平常時・災害時，各状況ごとに各都市における財の供給y_{is}^mは固定的となる．一方，家計は事後的に各状況に依存して定まる財の価格 (出荷地q_{is}^m，消費地p_{is}^m) を考慮して，財の需要x_{is}^mを決定する．これらの財は，都市間で移動可能であり，輸送費用$(1+t^m d)$を考慮した空間的価格均衡によって，その価格が定まるものとする．t^mは輸送コスト率，dは都市間距離である．

*キーワーズ：防災計画，都市計画，土地利用，計画情報
**学生員 京都大学大学院工学研究科 修士課程
(〒606-8317 京都市左京区吉田本町，Tel 075-753-5070)
***正員 工博 京都大学防災研究所
(〒611-0011 宇治市五ケ庄，Tel 0774-38-4035, Fax 0774-38-4044)

都市Bにおいて，防災投資をすることで，資本損傷の割合を下げることができるとする．その上で，都市Bの資本損傷の割合の変化が，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．もし都市Bの資本損傷の割合の減少が，都市Aの家計の厚生の増加をもたらすのであれば，都市Aは都市Bに防災投資をするインセンティブがあるといえる．これをモデル分析を通じて明らかにする．

3. 災害リスク下の2都市2財一般均衡モデル

(1) 事後的均衡

(a) 企業の行動

企業は事前の決定によって生産要素の雇用量が定まっているために，事後的には生産量は固定的となる．ただし，都市Bに立地し財 m を生産している企業は，災害時には資本に損傷を被り，一定の使用可能な割合 ε になるため，災害時の財の生産能力は都市Bにおいて減少することとなる．

いま，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．

$$\begin{aligned} y_{is}^m &= f^m(n_i, L_i^m, K_{is}^m) \quad (s=0,1) \\ &= G^m(n_i)(L_i^m)^{a^m}(K_{is}^m)^{1-a^m} \end{aligned}$$

ここで，$G^m(n_i)$ は集積の経済を表す関数であり，以下のように定義する．

$$G^m(n_i) = n_i^{\sigma^m}$$

σ^m は定数であり，$0 \leq \sigma^m \leq 1$ の値をとる．したがって，σ^m が大きいほど集積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，事前の選択によって定まる平常時に可能な最大の都市 i での財 m 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．

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

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．

$$\begin{aligned} C_0^m(n_i, w_i, r) &= \frac{1}{G^m(n_i)} a^{m^{-a^m}} (1-a^m)^{a^m-1} w_i^{a^m} r^{1-a^m} \\ C_1^m(n_i, w_i, r) &= \varepsilon_i^{a^m-1} \frac{1}{G^m(n_i)} a^{m^{-a^m}} (1-a^m)^{a^m-1} w_i^{a^m} r^{a^m-1} \\ &= \varepsilon_i^{a^m-1} C_0^m(n_i, w_i, r) \end{aligned}$$

ただし，

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

である．

(b) 家計の行動

財の消費行動

仮定より，経済内の家計は同一の選好をもつから，各々の都市における各々の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．

$$\begin{aligned} V_{is}(h_i) &= \max_{x_{is}^1, x_{is}^2} U(h_i, x_{is}^1, x_{is}^2) \quad (s=0,1) \\ & \quad s.t. \ \ w_i + \frac{p_i^h T_i}{N_i} + \frac{rK_0}{N} = \sum_m p_{is}^m x_{is}^m + p_i^h h_i \end{aligned}$$

$V_{is}(h_i)$ 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．

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

ここで，α, β^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．

$$\tilde{x}_{is}^m(h_i) = \frac{\beta^m}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{p_{is}^m} \left(w_i + \frac{rK_0}{N} \right) \qquad (1)$$

(c) 経済市場の均衡

事後には，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，平常時と災害時で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；

$$y_{is}^m = \sum_j z_{ijs}^m (1 + t^m d) \tag{2}$$

消費地における市場；

$$n_j x_{js}^m = \sum_i z_{ijs}^m \tag{3}$$

z_{ijs}^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，都市 i の企業が輸送に使われる分をカバーするため，財 m1単位あたり $t^m d$ 分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

$$p_{js}^m = q_{is}^m (1 + t^m d), \quad \text{if} \quad z_{ijs}^m > 0 \tag{4}$$
$$p_{js}^m \le q_{is}^m (1 + t^m d), \quad \text{if} \quad z_{ijs}^m = 0$$

以上の事後的な均衡により，各財の価格(出荷地 q_{is}^m，消費地 p_{is}^m)が定まり，交易量 z_{ijs}^m が定まる．また，財の価格が定まれば，式(1)により需要 x_{js}^m も定まる．

(2) 事前的均衡

企業や家計は事後的な状況を完全に予見した上で事前の選択を行う．具体的には，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や生産計画(生産能力や要素需要)を定める．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．その結果，労働供給量が定まる．事前の状況では，生産要素市場，および，土地市場によって，要素価格や地代が均衡として定まる．

(a) 企業の行動

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．

$$E[\pi_i^m] = \{(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m - C_0^m(n_i, w_i, r)\} y_{i0}^m$$

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．

$$(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m = C_0^m(n_i, w_i, r), \text{ if } y_{i0}^m > 0 \tag{5}$$
$$(1-P)q_{i0}^m + P\varepsilon_i^{1-a^m} q_{i1}^m \le C_0^m(n_i, w_i, r), \text{ if } y_{i0}^m = 0$$

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．

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

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

(b) 家計の行動

家計の住宅サービスの消費行動

家計は，得られた $\tilde{x}_{is}^m$ を用いて，住居サイズについて，以下のように期待効用を最大化する．

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

一階条件から，住居サイズは以下のように求まる．

$$h_i = \frac{\alpha}{\sum_m \beta^m} \frac{1}{p_i^h}\left(w_i + \frac{rK_0}{N}\right) \tag{8}$$

家計の立地均衡

均衡においては，家計の期待効用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．

$$EV_i\ (h_i, x_{is}^1, x_{is}^2) = u^* \tag{9}$$

ここで，u^* は均衡期待効用水準である．

(c) 経済市場の均衡

人口の均衡

総人口は一定であるから，

$$\sum_i n_i = N \tag{10}$$

土地市場の均衡

都市内の土地面積の総量は T_i で与えられる．都市内においては，住居サイズが等しいとすれば，以下の条件式が成り立つ．

$$n_i h_i = T_i \ (i = A, B) \tag{11}$$

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．

$$\sum_m L_i^m = n_i \ (i = A, B) \tag{12}$$

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．

$$\sum_i \sum_m K_{i0}^m = K_0 \tag{13}$$

4. モデル分析

(1) 空間的価格均衡と交易パターン

空間的価格均衡は，交易パターンよって決定される．平常時と災害時の各変数は ε を用いて表せるので，以降では各変数から状況のサフィックス s を省略する．今，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 $Q_i^m(y_i^m)$ を以下の逆需要関数を用いて表現する．

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

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図 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，実現する均衡需要 (⑥) が図示されている．$Q_B^m(y_B^m)\xi^m < Q_A^m(y_A^m)$ かつ $Q_B^m(y_B^m) < Q_A^m(y_A^m)\xi^m$ が成り立っているので，この場合には財 m は都市 B から都市 A へと移出される．ただし $\xi^m = 1 + t^m d$ である．

(2) 防災施設整備の短期的効果

都市 B の企業が平常時に生産活動を行っていれば，災害時においてその生産量が減少して，$\varepsilon^{1-a^m} y_B^m$ になる．これが価格の上昇を招き，家計の需要も変化するので新たな均衡が生じる．短期的には (家計や企業が固定的である局面では)，防災施設整備により ε が上昇すれば，総供給量の増加をもたらすため，家計の期待効用を上昇させる効果がある．

(3) 防災施設整備の長期的効果

防災施設整備による長期的効果を議論するためにはモデルを解くことが必要となる．しかし，式 (1) から式 (13) で表されるモデルは非線形方程式の系であるので，コンピュータプログラムを組んで数値シミュレーションを実施した．その結果の一例，都市 B に人口が集中し，片方の財の生産が都市 B に特化した例を表 1 に示す．防災施設整備の長期的効果は，期待効用の変化として表れる．このケースでは ε の上昇によって，期待効用の上昇が見られた．このことは，都市 B の防災施設を整備することにより，両都市に正の便益をもたらすことを意味しており，都市 A は都市 B に防災投資をするインセンティブがあると言える．しかしながら，他のケースでは必ずしも期待効用は上昇しなかった．

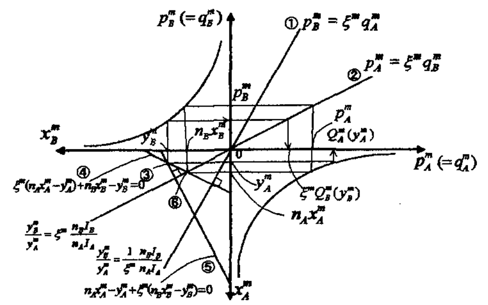

図1；都市Bから都市Aへ財mが移出されるケース

表1；防災施設整備と長期的効果（期待効用が上昇した例）

			ε = 0.85		ε = 0.9		ε = 0.95	
			都市A	都市B	都市A	都市B	都市A	都市B
人口			31.08	68.92	31.10	68.90	31.12	68.88
賃金			0.2074	0.6424	0.2069	0.6424	0.2069	0.6423
財1	平常時	生産量	0.000	10.54	0.000	10.54	0.000	10.54
		需要量	2.623	8.230	2.624	8.230	2.627	8.227
		消費地価格	8.173	7.859	8.172	7.858	8.171	7.857
	災害時	生産量	0.000	9.404	0.000	9.788	0.000	10.17
		需要量	2.341	7.345	2.488	7.645	2.534	7.937
		消費地価格	9.158	8.806	8.798	8.459	8.470	8.144
財2	平常時	生産量	121.3	378.0	121.2	376.8	121.3	375.3
		需要量	121.3	378.0	121.2	376.8	121.3	375.3
		消費地価格	0.1326	0.1283	0.1327	0.1287	0.1326	0.1292
	災害時	生産量	121.3	342.9	121.2	353.7	121.3	363.9
		需要量	119.0	345.1	121.2	353.7	121.3	363.9
		消費地価格	0.1352	0.1406	0.1327	0.1371	0.1326	0.1332
期待効用				0.1986		0.1989		0.1992
効用(平常時)			0.1996	0.2002	0.1995	0.1999	0.1995	0.1997
効用(災害時)			0.1898	0.1860	0.1937	0.1904	0.1966	0.1950

5. おわりに

分析の結果，以下のような知見を得た．1) 災害時の被害が他地域に波及しない場合は，被災地域で生産活動が行われていない場合か，行われている場合には資本の損傷程度が少なく交易を変化させない場合に限られる．2) 防災施設整備は短期的には，全ての地域に便益をもたらす．3) 防災施設整備は長期的には，人口や産業の集積を変化させるため，必ずしも正の便益をもたらすとは限らない．正の便益を受けるには，受ける側の地域が産業面で大きく被災地域に依存していることが必要である．

参考文献

1) 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年頭において－，土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 17-34 , 1997.

2) 高橋顕博・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.

3) Mun, Se-il: Transport Network and System of Cities, Journal of Urban Economics, Vol. 42, pp. 205-221, 1997.