

分権的防災投資と地域間災害リスク配分*

DECENTRALIZED DISASTER MITIGATION AND REGIONAL ALLOCATION OF DISASTER RISKS *

横松宗太***・小林潔司*** 田中一央****

by Muneta YOKOMATSU**, Kiyoshi KOBAYASHI***, and Kazuo TANAKA ****

1. はじめに

災害リスクはlocation specificに生起する現象であり、地方公共財と捉えることができる。また災害リスクを軽減する防災施設も、地域家計に非競合的な便益をもたらす地方公共財である。地方公共財は地域政府によって供給されることが望ましい。しかし、例えば地方公共財の便益が他地域にスピルオーバーするときには、地域政府による分権的な供給は過小供給になることが指摘されている。また家計の地域間移動は、外部性を極端なかたちで有する地方公共財の供給にとって本質的な問題となる。災害リスクと防災投資の問題は不確実性下における地方公共財の地域間配分の問題に他ならない。加えて防災投資の問題は、不確実性下の問題であり、また不確実性そのものが政策の対象である点に特徴をもつ。本研究は地域政府による分権的な防災政策によって、社会的に効率的な地域間リスク配分が達成される可能性について検討する。

2. 基本モデル

(1) モデルの前提

災害が生起する可能性がある危険地域 h (hazardous)と、確実に災害が起こらないその他の安全地域 s (safe)の2地域を考える。危険地域 h は労働 n に関して収穫逓減な生産技術 $f(n; \bar{K})$ を有する。ここに、 \bar{K} は歴史的に与えられた社会基

盤であり与件としよう。なお、表記の簡単化のため \bar{K} を省略し、危険地域の生産関数を $f(n)$ と表現する。いま、ある期間に2種類の状態が生起し得る。すなわち、地域 h に災害が到着しなかった状態「平常時 ($j = 0$)」と到着した状態「災害時 ($j = 1$)」が、それぞれ確率 $1 - \pi, \pi$ で生起すると仮定する。そして災害時には地域 h の社会基盤の一部が損なわれる。しかし、社会基盤の損壊は完全に修復され、災害時の生産機能(労働の限界生産性)には影響が及ばないと仮定する。また、被災後における人口移動は考えない。危険地域で生じる被害額を $L(n)$ で表す。被害額関数は $\partial L / \partial n \geq 0, \partial^2 L / \partial n^2 \geq 0$ を満足すると仮定する。地域政府 h は事前に防災施設を整備することによって、災害の生起確率を減少させることができる。災害の生起確率は以下の条件を満足するような、防災投資費用 g の減少関数 $\pi(g)$ と仮定する。

$$\frac{d\pi(g)}{dg} < 0, \quad \frac{d^2\pi(g)}{dg^2} \geq 0, \quad \lim_{g \rightarrow \infty} \pi(g) = 0 \quad (1)$$

2地域 h, s により構成される社会には N 人の家計が存在する。すべての家計は同質であり、合成財の消費によって効用を獲得する。家計は自由に居住地を選択することができる。各家計は選択した地域の生産に1単位の労働を提供して賃金を得る。さらに、社会基盤に帰着するレントは地域に居住する家計の間で分配される。また、基本モデルでは、事前の防災投資 g や事後の社会基盤の損壊に伴う負債 L の返済は、すべて地域 h における生産により賄われると考える。いま、地域 $i(i = h, s)$ の家計数を n_i 、地域 i の状態 $j(j = 0, 1)$ にもとでの1家計当たりの合成財の消費水準を c_i^j と表そう。ただし $n_h + n_s = N$ が成立する。地域 h の状況依存的な資源制約は以下のように表される。

$$f(n_h) = n_h c_h^0 + g \quad (j = 0) \quad (2)$$

$$f(n_h) = n_h c_h^1 + g + L(n_h) \quad (j = 1) \quad (3)$$

ここでは、防災投資は純粋な地方公共財であり、防災

*キーワード：防災計画、財源・制度論、リスク管理
 **学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5073)
 ***正員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5071)
 ****学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5073)

投資の効果は人口水準に依存しないと仮定している。一方、防災施設が私的財の場合、式(2)、(3)の右辺の第2項 g が gn_h で表されることになる。一方、安全地域 s は多くの地方自治体の集合であり、安全地域の生産技術が規模に関して収穫一定の生産関数で表されると仮定する。いま、安全地域の生産関数が $f(n_s) = n_s$ と表されると仮定しよう。ここでは、生産量が労働力単位で計測されている。基本モデルでは地域間における所得移転を考慮していないため、安全地域における各状態下の資源制約は次式で表される。

$$n_s = n_s c_s^0 \quad (j=0), \quad n_s = n_s c_s^1 \quad (j=1) \quad (4)$$

すなわち平常時、災害時を通じて安全地域における1家計当たりの所得水準は $c_s^0 = c_s^1 = 1$ である。

(2) 危険地域の政府の行動

危険地域 h の政府は慈悲的政府(benevolent government)であり、代表的家計の期待効用の最大化を図ると仮定しよう。また、地域政府 h は自らの政策が人口移動に及ぼす影響を考えない。すなわち n_h を与件として行動すると仮定する。地域政府 h の行動は以下のように表される。

$$\max_{g, c_h^0, c_h^1} \{ \{1 - \pi(g)\}U(c_h^0) + \pi(g)U(c_h^1) \} \quad (5)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h c_h^0 + g \quad (j=0) \quad (6)$$

$$f(n_h) = n_h c_h^1 + g + L(n_h) \quad (j=1) \quad (7)$$

最適化条件は式(6),(7)及び

$$\{1 - \pi(g)\}U'(c_h^0) = \lambda_1 n_h \quad (8)$$

$$\pi(g)U'(c_h^1) = \lambda_2 n_h \quad (9)$$

$$-\pi'(g)U(c_h^0) + \pi'(g)U(c_h^1) = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (10)$$

「 λ 」は括弧の中の変数に関して偏微分し、さらに導関数を括弧の中の最適水準で評価した大きさを表す。式(8),(9)を式(10)に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} & -n_h \pi'(g) [U(c_h^0) - U(c_h^1)] \\ & = \{1 - \pi(g)\}U'(c_h^0) + \pi(g)U'(c_h^1) \end{aligned} \quad (11)$$

上式の左辺は1単位の財を防災施設整備に投入したときの地域 h の全家計の限界期待効用の和を表している。一方、右辺は1単位の財を、一人の家計が合成財として消費したときの期待限界効用を表している。左辺に n が乗じられているのは、1単位の防災投資の限界便益が地方公共財として全ての地域住民に及ぶことを示している。一方、右辺に表される合成

財の消費便益は競合的である。右辺を左辺の分母に移項すると、地域家計全体の防災施設の合成財に対する限界代替率の和が防災投資の限界費用である1に等しくなる。すなわち式(11)は公共財の最適供給に関するSamuelson条件に他ならない。いま、両地域の家計が自由に地域間を移動すると考えよう。危険地域の人口 n_h は地域間の期待効用を等しくする水準に決められる。すなわち、

$$\{1 - \pi(g^*)\}U(c_h^{0*}(n_h)) + \pi(g^*)U(c_h^{1*}(n_h)) = U(1) \quad (12)$$

3. 社会的最適解

基本モデルでは、危険地域の地域政府が独自に防災投資を実施するケースを検討した。そこでは家計は自由に居住地を選択する際、危険地域の政府の財政に及ぼす影響を考慮しない。よって人口移動に伴う財政的外部経済性が生じる。一方、ある地域にリスクが存在する場合、地域間で状況依存的に所得移転を行うことにより、両地域の厚生が増加する可能性がある。本章では中央政府が地域間の所得移転を行いながら、危険地域における最適な防災投資水準と最適な人口配分を決定する問題を考えよう。地域間で事後的に所得移転が実施されるため、安全地域に居住する家計の消費水準も状況依存的に変化することになる。社会的最適化問題SOは以下のように表される。本問題では家計の事前の自由な地域間移動と整合的な解を得るために、等期待効用制約を設ける。

$$\max_{c_i^0, n_i, g, \bar{U}} \{ \bar{U} \} \quad (13)$$

subject to

$$n_s + f(n_h) = n_h c_h^0 + n_s c_s^0 + g \quad (14)$$

$$n_s + f(n_h) = n_h c_h^1 + n_s c_s^1 + g + L(n_h) \quad (15)$$

$$\{1 - \pi(g)\}U(c_h^0) + \pi(g)U(c_h^1) = \bar{U} \quad (16)$$

$$\{1 - \pi(g)\}U(c_s^0) + \pi(g)U(c_s^1) = \bar{U} \quad (17)$$

$$n_h + n_s = N \quad (18)$$

制約条件式(14),(15),(16),(17),(18)に対応するラグランジュ乗数をそれぞれ $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$ とおく。1階の最適化条件を整理すると、まず各地域の状態間の消費水準に関して以下の関係を得る。

$$\frac{\{1 - \pi(g)\}U'(c_h^0)}{\pi(g)U'(c_h^1)} \equiv MRS_{h01} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (19)$$

ただし MRS_{i01} は地域 i の家計の期待効用 $EU_i(c_i^0, c_i^1)$ における条件付き財 c_i^0 と c_i^1 の間の限界代替率を表す。

同様に地域 s の消費に関して次式が得られる。

$$\text{MRS}_{s01} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (20)$$

すなわち、

$$\text{MRS}_{h01} = \text{MRS}_{s01} \equiv \text{MRS}_{01}^* \quad (21)$$

上式は地域 h と地域 s の家計の間の、条件付き財の事前的意味でのパレート最適配分条件にあたる。さらに、条件 (21) に加えて、本最適化問題で等期待効用条件 (16)(17) を設定していることから、

$$c_h^0 = c_s^0 \equiv c^0, \quad c_h^1 = c_s^1 \equiv c^1 \quad (22)$$

紙面の制約上、証明は省略する。上式 (22) より、地域間で状況依存な消費水準、効用水準も一致することがわかる。また、以下のように人口の最適配分条件が得られる。

$$\begin{aligned} & \{1 - \pi(g)\}U'(c^0)\{f'(n_h) - c^0\} \\ & + \pi(g)U'(c^1)\{f'(n_h) - c^1 - L'(n_h)\} \\ & = \{1 - \pi(g)\}U'(c^0)\{1 - c^0\} \\ & + \pi(g)U'(c^1)\{1 - c^1\} \end{aligned} \quad (23)$$

それぞれの中括弧は各状態における地域の労働の純社会的限界生産物を表す。換言すると、各地域・状態下において、追加的に1家計が転入してきたときに、当該家計が地域にもたらす生産の増分から自身が消費するための合成財や災害時の損失の増分を差し引いた水準、すなわち限界的家計の地域に対するネットの貢献を意味する。社会的最適人口配分は、状況依存の限界効用で重み付けをした、期待・純社会的限界生産物が地域間で等しくなるように決められる。最後に社会的な最適防災投資水準は次式を満足する。

$$\begin{aligned} & -N\pi'(g)[U(c^0) - U(c^1)] \\ & = \{1 - \pi(g)\}U'(c^0) + \pi(g)U'(c^1) \end{aligned} \quad (24)$$

これは先の基本モデルにおける Samuelson 条件 (11) に対応する。社会的最適解においては、限界の投資に対する、社会全体の家計の支払い意思額の和が限界費用 1 に等しくなるという水準に g が決定する。

4. 地域間保険システム

いま、中央政府が保険システムを導入する。危険地域の政府 h は安全地域の政府 s に期待保険金支払額に等しい保険料 πm を事前に支払うことによって、地域政府 s より災害時に保険金 m の給付を受けることができる。この保険システムは、地域政府 h が、自地域が被る可能性のある損失 $L(n_h)$ のうち、自由に水準 m を選択してリスクのない地域 s に移転するこ

とができるという制度である。さらに地域 s にリスクを引き受けてもらうための対価であるリスクプレミアムは一切支払わなくてよい。よってこのような保険契約は、地域政府の間の分権的市場では地域政府 s によって拒否されて成立しないだろう。ここでは中央政府により、このような保険システムが強行的に導入されたとしよう。その部分的な根拠は、地域 s が地域 h に比べて圧倒的に大きいため、個々の家計の消費の変動のレベルにおいては、地域 s においてよりリスクが拡散されることにある。

地域政府 h の問題は以下のように表される。ここでも政府 h は地域の人口 n_h を所与として行動する。

$$\max_{g, c_h^0, m} \left\{ \{1 - \pi(g)\}U(c_h^0) + \pi(g)U(c_h^1) \right\} \quad (25)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h c_h^0 + g + \pi(g)m \quad (26)$$

$$f(n_h) = n_h c_h^1 + g + L(n_h) + \pi(g)m - m \quad (27)$$

一方、地域 s は以下のような資源制約に直面する。

$$n_s = n_s c_s^0 - \pi(g)m \quad (28)$$

$$n_s = n_s c_s^1 - \pi(g)m + m \quad (29)$$

基本モデルと同様に、地域 s における消費水準は地域政府 h の政策と人口移動に依存して決定する。

地域政府 h の最適行動は以下のように記述される。まず政府 h はフルカバーの保険契約を選択する。すなわち $m = L(n_h)$ 。政府 h は期待被害額に等しい保険料を支払うことによって状態 $j = 0, 1$ に関わらず等しい資源を確保することができる。

$$f(n_h) = n_h c_h + g + \pi(g)L \quad (30)$$

地域 h の家計の期待効用はリスクプレミアムを回避することにより高められる。また、地域 h の最適防災投資条件は以下の式により表される。

$$\begin{aligned} & -n_h \pi'(g)[U(c_h^0) - U(c_h^1)] = \\ & \{1 + \pi'(g)m\} \left[\{1 - \pi(g)\}U'(c_h^0) + \pi(g)U'(c_h^1) \right] \end{aligned} \quad (31)$$

右辺の大括弧を左辺の分母に移項することにより Samuelson 条件を得る。この Samuelson 条件の左辺は地域 h の家計全体の限界の投資に対する支払い意思額の和を表し、右辺に残る $\{1 + \pi'(g)m\}$ は防災投資の実効限界費用を意味する。すなわち投資に要する限界費用 1 から、その投資によって保険料が軽減される便益 $-\pi'(g)m$ を差し引いた、ネットの費用に相当する。式 (31) に最適解を代入しよう。 $c_h^0 = c_h^1 \equiv c_h$ 、 $m = L(n_h)$ より、最適な防災投資水準の条件式

は次式に帰着する。

$$1 + \pi'(g)L(n_h) = 0 \quad (32)$$

上式は限界的な防災投資費用1が、それによってもたらされるフルカバー保険料の軽減額 $-\pi'(g)L(n_h)$ に等しいことを意味している。また $-\pi'(g)L(n_h)$ は期待被害軽減額に相当する。式(32)は防災投資の費用が期待被害軽減額により定義される便益に等しくなるように防災投資水準を決定する、という伝統的な防災投資の決定方法と等価である。換言すると伝統的方法は、他の地域ないし機関が当該地域の全てのリスクをリスクプレミアムを要求せずに引き受けてくれる状況における、防災投資の決定原理であることが示されている。

地域 h 、地域 s に居住する家計の期待効用は、

$$EU_h = U \left(\frac{f(n_h) - g - \pi(g)L(n_h)}{n_h} \right) \quad (33)$$

$$EU_s = \{1 - \pi(g)\} \cdot U \left(1 + \frac{\pi(g)L(n_h)}{n_s} \right) + \pi(g) \cdot U \left(1 - \frac{(1 - \pi(g))L(n_h)}{n_s} \right) \quad (34)$$

家計の地域間移動は以下の状態において均衡する。

$$EU_h(n_h, n_s) = EU_s(n_h, n_s) \quad (35)$$

いまや地域 s の家計にリスクが移転している。ただし地域 s は地域 h に比べて大きい。式(34)において、 n_s がフルカバー保険料や保険金に比べて十分に大きければ、地域 s の家計の消費水準の1からの変動は大きくないであろう。ここで、地域間の相対的な大きさは生産関数 $f(n_h)$ の n_h に関する凹度によって表される。すなわち $f(n_h)$ の労働に関する収穫逓減の程度が大きいとき、均衡人口配分に大きな差が生じる。

5. 分権的な防災投資の可能性

以上3ケースにおける最適防災投資水準を比較しよう。ただし紙面の都合上、厳密な条件の導出等は省略する。基本モデル、社会的最適モデル、保険モデルにおける最適な防災投資条件式はそれぞれSamuelson条件式(11),(24),(31)によって与えられている。基本モデルと社会的最適モデルを比較すると、前者は地域 h の家計 n_h 人の支払い意思額を計上しているのに対して、後者は社会全体の家計 N 人について総和をとっている。限界費用が両ケースとも1であることを考慮すると、限界投資に対する1家計の支払い意思額は社会的最適モデルの方が小さい可能性が大きい。期待効用関数の防災投資 g に関する限界

効用が逓減すると仮定すると、社会的最適モデルにおいて、より大きな水準の防災投資が実行される。基本モデルにおいては防災投資が社会的に最適な水準よりも過小になる可能性が大きい。

次に地域間保険システムを導入することにより、地域政府 h によって実行される防災投資水準がどのように変化するかを検討しよう。式(11)と式(31)を比較すると、式(31)において防災投資に伴う実効限界費用が小さいことがわかる。防災投資に保険料を減少させる便益が伴うからである。従ってSamuelson条件式の左辺に表される n_h 人の家計の支払い意思額が、保険モデルにおいてより小さくなる。これは最適防災投資水準における限界便益がより小さく、すなわち防災投資水準がより大きい可能性を示している。従って、保険システムは地域政府 h に対して、より高度の防災投資を行わせるインセンティブとして機能していることがわかる。

保険システムによる防災投資の誘導効果の存在は、保険料が、災害の生起確率すなわち防災投資水準を反映するように決定されるメカニズムに依存している。それに対して、被災時に無条件に中央政府より復旧のための補助金が与えられるような制度の下では、おそらく地域政府は事前に稀少資源を防災投資に回して、自ら補助金を支給される機会を小さくするような行動をとらないだろう。モラルハザードを制御するには、リスクファイナンスとしての所得移転システムが、防災投資等の自助努力を反映するようなメカニズムを内包する必要がある。

6. おわりに

本研究では、災害により公共財を損失するリスクに直面した地域政府による分権的な防災投資行動について分析した。そして中央政府が地域間の保険システムを導入することにより、地域の防災投資水準が増加する可能性があることを指摘した。災害地域が相対的に小さいような社会においては、本研究の保険システムを用いて災害地域をリスクフリーにすると同時に、安全な地域の家計のリスクも小さく抑えることができる。しかし保険システムによって、家計の自由な地域間移動に伴う財政的外部経済性を内部化することはできない。地域間移動を内部化するような複合的な制度設計が必要であろう。