

# 分権的防災投資と地域間災害リスク配分\*

DECENTRALIZED MITIGATION AND REGIONAL ALLOCATION OF DISASTER RISK<sup>\*</sup>

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

自然災害が発生すれば、家計や企業の家屋・施設だけではなく、社会基盤施設も被害を受ける可能性がある。自然災害の生起確率は低いものの、一度災害が生じれば大規模な被害が生じる可能性がある。地方政府が供給している社会基盤（地方公共財）に大規模なダメージが発生した場合、その復旧のために地方政府は多額の支出を余儀なくされる。それにより、地方政府の財政収支が極めて悪化するという事態も生じうる。

自然災害後の円滑な復旧・復興活動を確保するために、被災地域の地方政府に財政的な支援を行う制度の必要性が議論されている。被災地域の地方政府が財政的支援を受けられるような災害基金制度も提案されている。しかし、危険地域の地方政府が常に中央政府による被災時の救済処置を期待することになれば、社会基盤施設に対する事前の防災投資が過小になる危険性も存在する。

家計が地域間を自由に移動する場合、自己の選択行動が移動前後に居住する地域における災害リスクの大きさや地方政府の財政構造に及ぼす影響を考慮しない。このような家計の地域間移動に伴う財政的外部経済性が存在するため、地方自治体の分権的防災投資により災害リスクのパレート最適な地域間配分を達成する保証はない。この場合、中央政府が地域間の財政移転を通じて積極的に地方自治体の災害保険会計に介入することにより、社会的に最適な災害リスク配分を達成することが必要となる。

地方自治体による防災投資（リスクコントロール施策）と中央政府（あるいは市場メカニズム）による地域間財政移転（リスクファイナンス施策）は互いに密接に関連している<sup>1)</sup>。災害リスクに効率的に対処するためには、リスクコントロール手法とリスクファイナンス手法を駆使することにより望ましい地域間災害リスク配分を達成することが必要である。本研究は地方政府による分権的な防災政策と代替的な地域間財政移転政策によって、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。以下、2. では、本研究の基本的な考え方を示す。

3. では、地方政府による分権的防災投資による地域間災害リスク配分の効率性について分析する。4. では、地方政府による分権的防災投資と代替的なリスクファイナンス施策を組み合わせ、望ましい地域間災害リスク配分を達成する方法に関して考察する。5. では、数値計算事例により地域間災害リスク配分結果を分析する。

## 2. 本研究の基本的な考え方

### (1) 従来の研究概要

自然災害等のリスクは地域に固有な現象であり、負の効果を持つ不確実な地方公共財と考えることができる。地域間で人口移動が存在する場合、地方自治体による分権的な努力だけでは地方公共財の効率的な供給ができない。家計の人口移動によって生じる財政的外部経済の内部化をめざした地域間の望ましい財政移転に関しては膨大な研究の蓄積がある<sup>2)-7)</sup>。最近では、地域間におけるリスク分担関係に関する研究も発展している<sup>8)-11)</sup>。これらの研究は、伝統的な地方公共財の供給に関わる財政的連邦主義に関する議論にリスクの概念を導入し、地域間での望ましいリスク配分を達成するための状況依存的な財政移転方策について議論している。本研究でとりあげる自然災害現象も負の利得のみを与える純粹リスクという特殊性があるものの、自然災害をリスクのある地方公共財と位置づければ、最近の地域間リスク配分に関する分析モデル<sup>9)-11)</sup>と同様のアプローチが可能である。すでに、横松等<sup>12)</sup>はリスクファイナンス手法を用いた地域間災害リスク配分の問題を一般均衡モデルの枠組みで分析している。しかし、防災投資の問題は扱っていない。また、庄司等<sup>13)</sup>は地域間の防災投資を扱った一般均衡モデルを提案しているが、そこでは災害保険等によるリスクファイナンシングの問題は考慮されていない。また、高木等<sup>14)</sup>、上田<sup>15)</sup>は災害を局地的な現象と捉えて、家計や企業の立地行動を扱った一般均衡モデルを開発しているが、そこでは防災投資による資産価値の増大効果の計測に主眼がおかれており、本研究ではリスクコントロールとリスクファイナンスを同時に用いた望ましい災害リスクマネジメント戦略を一般均衡モデルの枠組みの中で検討することを目的とする。筆者らの知る限り、災害リスクマネジメントにおけるこれら2つのマネジメント手法のあり方を1つの一般均衡モデルの枠組みの中で分析した事例は他には

\*キーワード：防災計画、都市・地域計画

\*\*学生員 工修 京都市大学大学院博士後期課程 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 京都市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 京都市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)

見当たらない。

## (2) リスクマネジメント手法

災害リスクを制御する方法として、1) 災害リスク事象の生起確率そのものを減少させる技術（リスクコントロール）、2) 災害により生じた被害を社会全体に分散させる技術（リスクファイナンス）がある<sup>1)</sup>。防災投資は災害の生起確率や被害額を減少させるリスクコントロール技術である。緊急時における避難・誘導システムや交通・情報・通信システムの管理・運営技術、復旧マネジメント手法も重要なリスクコントロール技術である。一方、災害保険等によるリスクファイナンスはリスクを分散する手段である。リスクファイナンスにより、災害が生じた事後において、保険金の支払いにより被災者とそうでない家計の間で富の再配分を行うことができる。図-1はリスクコントロール技術とリスクファイナンス技術の相違点を表している。図において円の大きさは社会全体での富の損失を表す。リスクコントロール技術は社会全体で生起する富の損失の減少をもたらす。一方、リスクファイナンス技術は災害により生じる被害を家計間で分散する。ある特定の被害者に被害が集中した場合、被害者が被る心理的被害は膨大なものになるだろう。しかし、被害を多くの家計の間で分散すれば、個々の人間が被る心理的被害はわずかなものですね。しかし、被災者に保険金の支払いが行われたとしても、被害額が他人に移転しただけであり、社会全体で生じた富の総損失額が変化するわけではない。リスクコントロール技術とリスクファイナンス技術は互いに密接に関連している。リスクファイナンス技術を導入することにより、リスクコントロールが負担すべき領域を削減することができる。一方、リスクコントロール技術により被害額を減少することができれば、リスクファイナンスにより分散すべき災害リスクそのものを縮小することができる。災害リスクマネジメントを行う場合、リスクコントロール技術とリスクファイナンス技術の望ましい組み合わせを設計していくことが必要となる。

## (3) 分権的防災投資とリスクファイナンス

災害リスクのコントロールは、それをもっとも効率的に遂行することができる主体が行なうことが望ましい。地方政府は多くの社会基盤施設（地方公共財）を供給している。それらの社会基盤に対する防災投資は、それを管理する地方自治体が地方分権的に実施することが望ましい。一方、リスクファイナンスにより、個々の地域の災害リスクを他地域に分散することが可能となる。災害リスクはできるだけ多くの地域や個人・組織の間で分散することが望ましい。ある地域における防災投資の効果はリスクファイナンス技術を通じて他地域にも及ぶことになる。個々の地方政府が分権的に防災投資を実施する場合、以下の問題が生じることになる。すなわち、1) 地方政府は自地域における防災投資が他の地域に及ぼす影響を考

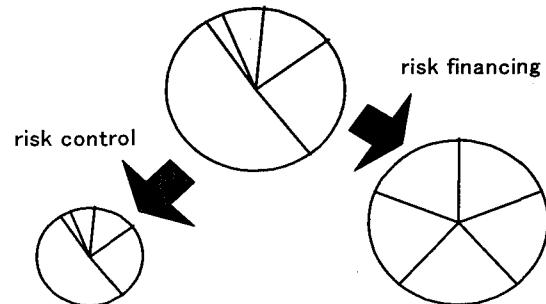


図-1 リスクマネジメント手法

慮に入れずに防災投資水準を決定する、2) 家計は自己の居住地選択行動が当該の地域の災害リスクに及ぼす影響を考慮に入れずに居住地を選択する。その結果、地方政府の分権的な防災投資行動や家計の自由な地域間移動により、社会的に最適な災害リスクや資源の配分が達成される保証はない。この場合、中央政府が防災投資に対する補助金を支給したり地域政府間の財政移転を通じて望ましい災害リスク配分を達成していく必要が生じる。本研究では代替的なリスクファイナンス制度や中央政府による地域間財政移転システムの下で、地方政府による分権的なリスクマネジメント政策が地域間における災害リスク配分に及ぼす影響を分析する。

## 3. 分権的防災投資と地域間災害リスク配分

### (1) 分権的防災投資モデル

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  $n$  に関して収穫遞減な生産技術  $f(n : \bar{K})$  を有する。 $\bar{K}$  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。災害後、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。現実には、災害により家計や企業の資本も損壊する。本研究では地方政府による社会基盤に対する防災投資と災害後の復旧費用負担に焦点をあてるため、私的部門における資産喪失の問題はとりあげない。危険地域で生じる被害額は社会基盤の復旧費用で表される。家計数に応じて社会基盤のストック量が異なり、被害額は家計数の関数として  $L(n_h)$  と表される。被害額関数は

$$\frac{\partial L(n_h)}{\partial n_h} \geq 0, \quad \frac{\partial^2 L(n_h)}{\partial n_h^2} \geq 0 \quad (1)$$

を満足すると仮定する。すべての家計は同質であり、合成功財の消費によって効用を獲得する。家計の効用関数を  $U(x_i^j)$  で表す。ここに、 $x_i^j$  は地域  $i$  ( $i = h, s$ ) の状態  $j$  ( $j =$

0,1)における1家計当たりの合成財の消費量である。家計は危険回避的であり、

$$\frac{\partial U(x_i^j)}{\partial x_i^j} > 0 \quad \frac{\partial^2 U(x_i^j)}{\partial x_i^{j2}} < 0 \quad (2)$$

を満足する<sup>16)</sup>。家計は自由に居住地を選択することができる。被災後における人口移動は生じないと考える。

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。分権的防災投資モデルでは、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 $h$ に居住する家計が負担すると考える。この時、各地域で生産された財は当該地域の家計消費、防災投資及び災害復旧のために利用され、地域間交易は生じない。いま、地域 $i$  ( $i = h, s$ ) の家計数を $n_i$ とし $n_h + n_s = N$ が成立すると考える。地域 $h$ の状況依存的な資源制約は

$$f(n_h) = n_h x_h^0 + C(g, n_h) \quad (j = 0 \text{ の時}) \quad (3a)$$

$$f(n_h) = n_h x_h^1 + C(g, n_h) + L(n_h) \quad (j = 1 \text{ の時}) \quad (3b)$$

と表される。ただし、 $C(g, n_h)$ は危険地域 $h$ の人口が $n_h$ のときに危険地域で水準 $g$ の防災投資を供給するときの費用を表す。費用関数 $C(g, n_h)$ は以下の条件を満足する。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} &\geq 0, \quad \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial n_h} \geq 0 \\ \frac{\partial^2 C(g, n_h)}{\partial g^2} &\geq 0, \quad \frac{\partial^2 C(g, n_h)}{\partial n_h^2} \geq 0 \\ \frac{\partial^2 C(g, n_h)}{\partial g \partial n_h} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $\partial C(g, n_h)/\partial n_h = 0$ の時、防災投資は純粋な地方公共財であり、家計はレベル $g$ の防災投資効果を非競合的に享受することができる。また、 $C(g, n_h) = \tilde{c}(g)n_h$ で表される時、防災投資は準私的財であり家計は人口水準に関わらず一定の費用を負担する<sup>10)</sup>。前者の例として、治水事業があげられよう。治水事業の規模が一定であれば、流域人口が変化しても投資費用は影響を受けない。後者の例としては公共施設の耐震投資等があげられよう。人口が大きくなれば必要となる公共施設の整備量が多くなり、それと比例して耐震投資の必要量も増加すると考えよう。もちろん、現実の防災投資の費用は複雑であり、このような簡単な想定が該当する事例は稀である。しかし、このような仮定を設けることにより、防災投資の効果の本質的な性質を理解することが可能となる。

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労働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

$$f_s(n_s) = n_s \quad (5)$$

と表されると仮定しよう。分権的防災投資モデルでは地域間における財政移転を考慮していないため、安全地域における各状態下的資源制約は次式で表せる。

$$n_s = n_s x_s^0 \quad (j = 0 \text{ の時}) \quad (6a)$$

$$n_s = n_s x_s^1 \quad (j = 1 \text{ の時}) \quad (6b)$$

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 $x_s^0 = x_s^1 = 1$ である。安全地域に居住する家計の消費は危険地域の地方政府の行動の影響を受けない。安全地域において労働力に関して収穫一定の生産関数を仮定することにより、危険地域をopenとして取り扱うことができる。それと同時に社会の総人口 $N$ を一定として、都市システム全体としてはcloseとして取り扱うことが可能となる。これにより、危険地域の地方政府の行動が均衡効用水準に及ぼす影響を容易に評価することが可能となる。

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する。地方政府 $h$ は自らの政策が地域間人口移動に及ぼす影響を考えずmyopicに行動すると仮定しよう。安全地域では防災投資が必要ではないため、ここでは安全地域の地方政府は本質的な役割を果たさない。言い換えれば、安全地域は危険地域の地方政府の行動の影響のみを受ける受動的な役割を果たすことになる。危険地域の地方政府 $h$ 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。災害の生起確率は防災投資費用 $g$ の減少関数 $\pi(g)$ で表現され、条件

$$\frac{d\pi(g)}{dg} < 0, \quad \frac{d^2\pi(g)}{dg^2} \geq 0, \quad \lim_{g \rightarrow \infty} \pi(g) = 0 \quad (7)$$

を満足すると仮定する。この時、危険地域の地方政府 $h$ の行動は以下のように定式化される。

$$\max_{x_h^j, g} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_h^0) + \pi(g) U(x_h^1) \} \quad (8a)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h x_h^0 + C(g, n_h) \quad (j = 0) \quad (8b)$$

$$f(n_h) = n_h x_h^1 + C(g, n_h) + L(n_h) \quad (j = 1) \quad (8c)$$

$$g \geq 0 \quad (8d)$$

と表せる。内点解 $g > 0$ を仮定しよう。最適化条件は式(8b),(8c)及び次式で表せる。

$$\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) = \lambda_1 n_h \quad (9a)$$

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

$$-\pi'(g) U(x_h^0) + \pi'(g) U(x_h^1) = (\lambda_1 + \lambda_2) \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} \quad (9c)$$

ただし、 $\lambda_1, \lambda_2$ はそれぞれ式(8b),(8c)のラグランジュ乗数、記号「」は括弧の中の変数に関する微分を表す。式(9a),(9b)を式(9c)に代入すれば次式を得る。

$$\frac{-n_h \pi'(g) [U(x_h^0) - U(x_h^1)]}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1)} = \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} \quad (10)$$

上式の左辺の分子は1単位の財を防災施設整備に投入した時に地域 $h$ の全家計が獲得する限界期待効用の総和を表している。分母は1単位の財を1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。したがって、左辺は防災投資の合成財に対する限界代替率を危険地域の家計 $n_h$ に対して集計した値である。一方、右辺は防災投資水準 $g$ に関する限界費用である。式(10)は公共財(防災投資)の最適供給に関するSamuelson条件に他なら

ない。家計は地域間を自由に移動する。分権的防災投資モデルでは地域間交易が存在せず、安全地域の生産物はすべて安全地域の家計により消費される。安全地域の消費量は状況の如何に関わらず  $x_s^0 = 1, x_s^1 = 1$  となり効用水準  $U(x_s^j) = U(1)$  を獲得する。危険地域の家計数  $n_h$  は 2 つの地域の期待効用が等しくなる水準に決定される。市場均衡は式(8b),(8c),(10)及び

$$\{1 - \pi(g)\}U(x_h^0) + \pi(g)U(x_h^1) = U(1) \quad (11)$$

を同時に満足するような  $g, x_h^j, n_i (i = h, s; j = 0, 1)$  として求まる。

## (2) 社会的最適化モデル

分権的防災投資モデルでは、危険地域の地方政府が独自に防災投資を実施するケースを検討した。家計は自由に居住地を選択する際、自分自身の居住地選択行動が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。本節では、中央政府が両地域の社会的厚生を最大にするように、危険地域における最適な人口規模、防災投資水準及び地域間の財政移転を決定する問題をとりあげる。本モデルにおいても分権的防災投資モデルと同様の前提条件を設けることとする。ただし、分権的防災投資モデルと異なり、中央政府が両地域で生産された生産物を両地域間で配分すると考える。その際、平常時には生産物を両地域における消費及び危険地域における防災投資に、災害時には両地域の消費、危険地域における防災投資及び災害復旧のために配分する。人口移動は自由であり、結果的に両地域における均衡（期待）効用水準は一致する。地域間で事後的に財政移転が実施されるため、安全地域に居住する家計の消費量も状況依存的に変化することになる。

本問題では家計の自由な地域間移動を許容するために等期待効用制約を設ける。社会的最適化モデルは

$$\max_{x_s^j, g, n_i, \bar{U}} \{\bar{U}\} \quad (12a)$$

subject to

$$n_s + f(n_h) = n_h x_h^0 + n_s x_s^0 + C(g, n_h) \quad (12b)$$

$$n_s + f(n_h) = n_h x_h^1 + n_s x_s^1 + C(g, n_h) + L(n_h) \quad (12c)$$

$$\{1 - \pi(g)\}U(x_h^0) + \pi(g)U(x_h^1) = \bar{U} \quad (12d)$$

$$\{1 - \pi(g)\}U(x_s^0) + \pi(g)U(x_s^1) = \bar{U} \quad (12e)$$

$$n_h + n_s = N \quad (12f)$$

$$g \geq 0 \quad (12g)$$

と定式化できる。ただし、 $\bar{U}$ は両地域の期待効用水準であり、本問題の目的関数である。制約条件(12b),(12c)は、それぞれ平常時、災害時における両地域の生産物の配分条件を表している。また、式(12d),(12e)はそれぞれ危険地域  $h$ 、安全地域  $s$  に居住することにより得られる期待均衡効用が一致することを表している。平常時、災害時において中央政府が地域間で所得再配分を行うため、両地域における消費量は平常時、災害時で異なることになる。ここで内点解  $g > 0$  を仮定する。制約条件式(12b)-(12f)

に対応するラグランジュ乗数をそれぞれ  $\mu_i (i = 1, \dots, 5)$  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量に関して

$$\frac{\{1 - \pi(g)\}U'(x_h^0)}{\pi(g)U'(x_h^1)} \equiv MRS_{h01} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (13)$$

が成立する。ただし、 $MRS_{h01}$  は地域  $h$  の家計の期待効用  $EU_h(x_h^0, x_h^1)$  における条件付き財  $x_h^0$  と  $x_h^1$  の間の限界代替率を表す。同様に地域  $s$  の消費に関して

$$MRS_{s01} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad (14)$$

が成立する。すなわち、

$$MRS_{h01} = MRS_{s01} \equiv MRS_{01} \quad (15)$$

を得る。上式は地域  $h$  と地域  $s$  の家計の間の、条件付き財の事前の意味でのパレート最適配分条件にあたる。さらに、条件(15)に加えて、本最適化問題で等期待効用条件(12d),(12e)を設定していることから、

$$x_h^0 = x_s^0 \equiv x^0, \quad x_h^1 = x_s^1 \equiv x^1 \quad (16)$$

が成立する（付録I参照）。上式(16)より、地域間で状況依存的な消費量、効用水準も一致することがわかる。また、以下のように家計数の最適配分条件が得られる。

$$\begin{aligned} & \{1 - \pi(g)\}U'(x^0)\{f'(n_h) - x^0 - \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial n_h}\} \\ & + \pi(g)U'(x^1)\{f'(n_h) - x^1 - \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial n_h} - L'(n_h)\} \\ & = \{1 - \pi(g)\}U'(x^0)\{1 - x^0\} \\ & + \pi(g)U'(x^1)\{1 - x^1\} \end{aligned} \quad (17)$$

そ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算財や防災投資の供給費用の増分、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、状況依存的限界効用で重み付けをした期待社会的純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

$$\frac{-N\pi'(g)[U(x^0) - U(x^1)]}{\{1 - \pi(g)\}U'(x^0) + \pi(g)U'(x^1)} = \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} \quad (18)$$

で定義される。上式は地方公共財供給のSamuelson条件であり、最適防災水準は限界的投資に対する社会全体の家計  $N$  の支払い意思額の和が限界費用に等しくなる水準  $g$  に決定される。

## (3) 地域間リスク配分の比較

社会的最適化モデルでは、中央政府が地域の生産水準、防災投資水準、地域間財政移転を決定できる。このモデルにおいて中央政府は1)事前の時点における地域間資源配分（リスクコントロール）、2)事後の時点における地域間所得配分（リスクファイナンシング）を決定する。中央政府のリスクコントロールの役割は、事前の時点における社会全体における効用タームで表現した期待社会的純生産物の最大化を達成する点にある。状況  $j (j = 0, 1)$  に

における社会全体の純生産物（＝消費量） $X^j$ は

$$\begin{aligned} X^0 &\equiv n_h x_h^0 + n_s x_s^0 \\ &= n_s + f(n_h) - C(g, n_h) \end{aligned} \quad (19a)$$

$$\begin{aligned} X^1 &\equiv n_h x_h^1 + n_s x_s^1 \\ &= n_s + f(n_h) - C(g, n_h) - L(n_h) \end{aligned} \quad (19b)$$

と表せる。最適人口配分条件(17)の左辺は地域 $h$ の状況依存的限界効用で重み付けされた期待社会的純限界生産物を、右辺は安全地域における期待社会的純限界生産物を表している。式(17)は効用タームで評価された社会的純生産物の最大化条件に他ならない。図-1に示したように、リスクコントロール手段は円の大きさで与えられる被害総額を減少させる手段である。Samuelson条件(18)はリスクコントロールへ充てるために諦めるべき最適な消費財の水準を決定している。式(17),(18)により、社会全体における（効用タームでの）期待純社会的生産物の最大化が達成されることになる。中央政府のいま1つの役割はリスクファイナンスにある。図-1に示したように、リスクファイナンス手法は社会で生じた被害額を異なる個人の間で分散させる手段である。リスクファイナンス手法を適用しても社会全体での総被害額は変化しない。社会的最適化モデルは、式(16)に示すように、社会全体において利用可能な状況依存的な総消費量 $X_0, X_1$ を総効用を最大にするように家計間に配分する。一方、分権的防災投資モデルでは政府 $h$ は自地域の災害リスクのみを考慮して防災投資水準を決定する。このように決定される防災投資が社会全体にとって望ましい水準となる保証はない。しかも、地域間において状況依存的に財政移転を行う手段が存在せずリスクファイナンスを行うことができない。地方政府による分権的防災投資により社会的最適な地域間災害リスク配分を達成するためにはリスクファイナンス手法の導入が不可欠となる。

#### 4. リスクファイナンスと災害リスク配分

##### (1) リスクファイナンスの方法

中央政府が介入しない分権的経済では社会的最適な資源・人口配分が達成されない。その理由は1) 災害リスクの地域間分散が達成できること、2) 地域間人口移動による財政的外部経済性が発生することにある。前者に対してはリスクファイナンス手法の適用を、後者に対しては中央政府による地域間財政移転を通じて、地域間資源配分の歪みを是正する必要がある。本節では、リスクファイナンスの方法として、1) 中央政府により危険地域に対してフルカバー型の保険システムが提供される場合（フルカバー型災害補償）、2) 危険地域の地方政府が市場を通じて災害保険を購入する場合（市場災害保険）をとりあげる。1) は中央政府が危険地域に対して給付・反給付の原則を満足する保険システムを提供するものであり、危険地域の政府は期待被害額に相当する保険料を事

前に安全地域に支払っておけば、災害が発生した時には災害保険システムより社会基盤の復旧費用が全額支給される。2) は中央政府が直接保険システムを運営するのではなく、災害保険市場を通じて災害リスクを分散する場合を想定している。多額の被害が同時に発生するカタストロフリスクに対しては、給付・反給付の原則が成立するようなフルカバーの災害保険を市場が提供することは不可能である<sup>17)</sup>。市場で売買される災害保険は、保険料にカタストロフリスクに対するリスクプレミアムが付加されたような内容となる<sup>18)</sup>。この場合、地方政府はフルカバーの保険を購入することではなく、部分カバーの災害保険を購入するにとどまる。以上のリスクファイナンス手法の導入により災害リスクの地域間配分を達成できる。しかし、リスクファイナンス手法だけでは人口移動による財政的外部経済性を完全には内部化できない。そこで最後に、市場保険によるリスクファイナンスと中央政府による地域間財政移転を通じて、社会的最適な資源配分を分権的に達成する方法について考察する。

##### (2) フルカバー型災害補償モデル

中央政府が危険地域の地方政府に対して給付・反給付の原則を満たす災害保険を提供する場合を考える。危険地域の政府 $h$ は期待保険金支払額に等しい保険料 $\pi(g)m$ を事前に支払うことによって、災害時に保険金 $m$ の給付を受けることができる。中央政府は危険地域の保険料 $\pi(g)m$ を事前に安全地域に給付し、災害時には安全地域から保険金 $m$ を徴収する。すなわち、地方政府 $h$ は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。このとき、政府 $h$ は政府 $s$ にリスクを引き受け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。

分権的防災投資モデルの場合と同様に、危険地域の地方政府 $h$ は危険地域の家計数 $n_h$ を所与として行動する。危険地域の地方政府 $h$ の問題は以下のように表される。

$$\max_{x_h^0, g, m} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_h^0) + \pi(g) U(x_h^1) \} \quad (20a)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h x_h^0 + C(g, n_h) + \pi(g)m \quad (20b)$$

$$f(n_h) = n_h x_h^1 + C(g, n_h) + L(n_h) + \pi(g)m - m \quad (20c)$$

$$g \geq 0 \quad (20d)$$

制約条件(20b),(20c)はそれぞれ平常時、災害時における生産物の配分条件を表す。 $m$ は災害時における安全地域から中央政府を通じて支給される補償額（保険金）、 $\pi(g)m$ は平常時における財政移転（保険料）である。ここでは保険金の水準 $m$ は危険地域の選択変数である。中央政府が地域間補償システムを運営しており、安全地域の政府は危険地域の政府が決定した保険料 $\pi(g)m$ を受け入れ、災害時に補償額支払い $m$ を行うことが義務づけられている。

政府 $h$ の最適行動を導出しよう。政府 $h$ は危険回避的な代表的家計の効用最大化を試みるため、政府 $h$ はフルカ

バーの保険契約を選択し次式が成立する。

$$m = L(n_h) \quad (21)$$

政府  $h$  は期待被害額に等しい保険料を支払い、

$$x_h^0 = x_h^1 \equiv x_h \quad (22)$$

が成立する。フルカバー型災害補償を通じて地域  $h$  の消費量は状況を通じて一定にとどまる。さらに、内点解  $g > 0$  を仮定すれば、政府  $h$  の防災投資行動は Samuelson 条件

$$\begin{aligned} & -n_h \pi'(g) [U(x_h^0) - U(x_h^1)] \\ & \{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1) \\ & = \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} + \frac{d\tilde{\pi}(g)}{dg} m \end{aligned} \quad (23)$$

を満足する。ただし、 $d\tilde{\pi}(g)/dg$  は、防災投資が保険料に及ぼす影響に関する政府  $h$  の推測的変動である。

いま、政府  $h$  が自己の防災投資が保険料に及ぼす影響を完全に考慮して戦略的に行動すると考えよう。すなわち、 $d\tilde{\pi}(g)/dg = d\pi(g)/dg$  が成立すると考えよう。この時、式(23)の左辺は地域  $h$  の家計全体の限界的投資に対する支払い意思額の和を意味し、右辺の  $(\partial C(g, n_h)/\partial g) + (d\pi(g)/dg)m$  は防災投資の実効限界費用を意味する。防災投資の実効限界費用は、投資に要する限界費用から、その投資によって保険料が軽減される便益  $-(d\pi(g)/dg)m$  を差し引いたネットの費用として構成されている。式(23)に最適解(21),(22)を代入しよう。 $x_h^0 = x_h^1 \equiv x_h$ ,  $m = L(n_h)$  より、最適な防災投資水準の条件式は

$$\frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} = -\frac{d\pi(g)}{dg} L(n_h) \quad (24)$$

に帰着する。上式は防災投資水準の限界的 1 単位の費用が、それによってもたらされるフルカバー保険料の軽減額  $-(d\pi(g)/dg)L(n_h)$  に等しいことを意味している。また  $-(d\pi(g)/dg)L(n_h)$  は期待被害軽減額に相当する。式(24)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ことを意味する。言い換えれば、期待被害軽減額を用いた費用便益分析は、他の地域ないし中央政府が当該地域のフルカバーの保険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原理である。一方、政府  $h$  が防災投資が保険料に及ぼす影響を考慮しない myopic な行動主体である場合を考えよう。すなわち、 $d\tilde{\pi}(g)/dg = 0$  が成立すると仮定する。この場合は、問題(20a)-(20d)の最適解は端点解となり  $g = 0$  が成立する。政府  $h$  にとって災害が生じた際の被害額がフルカバーされており、防災投資のために追加的に支出するというインセンティブは働くか？

一方、安全地域  $s$  の政府は受動的に行動する。安全地域の状況依存的消費量は、政府  $h$  が選択する保険金水準  $m = L(n_h)$ 、防災投資水準  $g$  を与件とした資源制約

$$n_s = n_s x_s^0 - \pi(g) L(n_h) \quad (25a)$$

$$n_s = n_s x_s^1 + (1 - \pi(g)) L(n_h) \quad (25b)$$

で決定される。地域  $s$  の状況依存的消費量は

$$x_s^0 = 1 + \frac{\pi(g) L(n_h)}{n_s} \quad (26a)$$

$$x_s^1 = 1 - \frac{(1 - \pi(g)) L(n_h)}{n_s} \quad (26b)$$

と表せる。地域  $h, s$  の家計の期待効用水準は

$$EU_h(n_h) = U \left( \frac{f(n_h) - C(g, n_h) - \pi(g) L(n_h)}{n_h} \right) \quad (27a)$$

$$\begin{aligned} EU_s(n_s) &= \{1 - \pi(g)\} \cdot U \left( 1 + \frac{\pi(g) L(n_h)}{n_s} \right) \\ &+ \pi(g) \cdot U \left( 1 - \frac{(1 - \pi(g)) L(n_h)}{n_s} \right) \end{aligned} \quad (27b)$$

と表される。家計の地域間人口移動の均衡式は

$$EU_h(n_h) = EU_s(n_s) \quad (28a)$$

$$n_s + n_h = N \quad (28b)$$

と表せる。式(27a)より地域  $h$  は災害による被害をフルカバーされる。しかし、地域  $s$  の家計は災害時に復旧費を負担せざるを得ず、災害リスクは地域  $h$  の家計から地域  $s$  の家計に移転する。式(26a),(26b)より、地域  $s$  の期待消費量は  $\{1 - \pi(g)\} x_s^0 + \pi(g) x_s^1 = 1$  となる。政府  $h$  が有する推測的変動  $d\tilde{\pi}(g)/dg$  の内容の如何に関わらず、効用関数  $U(x_i^j)$  が条件(2)を満足することより、

$$EU_h(n_h) = EU_s(n_s) < U(1) \quad (29)$$

が成立する。すなわち、中央政府がフルカバー型災害補償システムを導入することにより、社会全体の均衡効用水準が分権的防災投資モデルによる均衡水準より減少する。フルカバー保険を通じて災害リスクを回避できる地域  $h$  でさえ、人口が過剰に流入して限界生産性が小さくなることにより、保険が利用不可能な状況よりも期待効用が減少するという逆説的な結果となっている。フルカバー型災害補償システムに対する期待を裏切る結果となっているが、このことは災害リスクの集合性に起因して生じている。災害補償システムは災害時に地域間財政移転を実現する手段であり、災害補償システムにより社会全体の被害額そのものを軽減できるわけではない。社会全体として集合リスクに備えるために、そのためのリスクプレミアムを政府  $h$  は負担する必要がある。危険地域の家計がリスクプレミアムを負担しないようなフルカバー型災害補償システムの導入は、結果として社会全体の社会的厚生を低下させる危険性がある。

### (3) 市場保険型災害補償モデル

中央政府がフルカバー型災害補償システムを導入した場合、分権的防災投資モデルより均衡効用水準が低下することが判明した。フルカバー保険は中央政府により強制的に導入されたものである。この場合、安全地域の家計が危険地域のリスクプレミアムを負担することとなり、安全地域の家計効用が分権的防災投資モデルの場合よりも低下することに原因がある。安全地域の家計が危険回避的であれば、誰もこのような保険システムに加入しないだろう。さらに、危険地域の政府が保険料に関して myopic に行動する場合、防災投資に対する誘因がなくなるという

問題も生じる。本節では中央政府が強制的にフルカバーの保険を整備するのではなく、地方政府が災害保険を市場で購入できるような場合をとりあげよう。

いま、危険地域の災害リスクをヘッジするために状況依存的な証券を導入しよう。ここでいう状況依存的証券とは、災害が生起した時に1単位の富を支払ってくれるが、それ以外の場合には支払いがないようなArrow証券<sup>19),20)</sup>を意味する。以下、状況依存的証券をArrow証券と呼ぶ。Arrow証券1単位当たりの事前の価格を $p^j$  ( $j = 0, 1$ ) としよう。証券の価格は市場において内的に決定される。地方政府*i*が保有するArrow証券ベクトルを $a_i = \{a_i^0, a_i^1\}$ と表そう。Arrow証券の束 $a_i$ の価格は次式で表される。

$$q_i = p^0 a_i^0 + p^1 a_i^1 \quad (i = h, s) \quad (30)$$

危険地域の政府がArrow証券 $a_h$ を保有している場合、危険地域の状況依存的な資源制約は状況 $j$  ( $j = 0, 1$ ) のそれぞれに対して次式で定義される。

$$f(n_h) = n_h x_h^0 + C(g, n_h) + q_h - a_h^0 \quad (31a)$$

$$f(n_h) = n_h x_h^1 + C(g, n_h) + L(n_h) + q_h - a_h^1 \quad (31b)$$

ここで、 $a_h^j - q_h$  ( $j = 0, 1$ ) は状況 $j$ が生起した際のArrow証券保有の割り戻し利益（正值の時）あるいは割り戻し損失（負値の時）を表す。危険地域の政府 $h$ の行動は、地域人口、Arrow証券の価格を与件と考えた最適化問題

$$\max_{x_h^j, g, a_h^j} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_h^0) + \pi(g) U(x_h^1) \} \quad (32a)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h x_h^0 + C(g, n_h) + q_h - a_h^0 \quad (32b)$$

$$f(n_h) = n_h x_h^1 + C(g, n_h) + L(n_h) + q_h - a_h^1 \quad (32c)$$

$$g \geq 0 \quad (32d)$$

として表現できる。ただし、 $q_h = p^0 a_h^0 + p^1 a_h^1$ である。ここで、内点解 $g > 0$ を仮定する。式(32b),(32c)のラグランジュ乗数を $\nu_1, \nu_2$ と表そう。この問題の最適化条件は

$$-\pi'(g)[U(x_h^0) - U(x_h^1)] = (\nu_1 + \nu_2) \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} + (\nu_1 + \nu_2) \left\{ \frac{d\tilde{p}^0}{dg} a_h^0 + \frac{d\tilde{p}^1}{dg} a_h^1 \right\} \quad (33a)$$

$$\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) = n_h \nu_1 \quad (33b)$$

$$\pi(g) U'(x_h^1) = n_h \nu_2 \quad (33c)$$

$$p_0(\nu_1 + \nu_2) = \nu_1 \quad (33d)$$

$$p_1(\nu_1 + \nu_2) = \nu_2 \quad (33e)$$

となる。ここに、 $d\tilde{p}^0/dg, d\tilde{p}^1/dg$ は防災投資がArrow証券の価格に及ぼす影響に関する政府 $h$ の推測的変動である。いま、政府 $h$ がこの効果を無視してmyopicに防災投資を行う場合、 $d\tilde{p}^0/dg = 0, d\tilde{p}^1/dg = 0$  が成立する。式(33a)-(33e)より、Samuelson条件

$$\frac{-n_h \pi'(g)[U(x_h^0) - U(x_h^1)]}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1)} = \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} + \frac{d\tilde{p}^0}{dg} a_h^0 + \frac{d\tilde{p}^1}{dg} a_h^1 \quad (34)$$

を得る。式(34)で政府 $h$ がmyopicにArrow証券の価格を与件として行動する場合、政府 $h$ は防災投資の限界費用 $\partial C(g, n_h)/\partial g$ のみを考慮し防災投資水準を決定する。この時、Samuelson条件は分権的防災投資条件(10)に一致する。式(33b)-(33e)より、Arrow証券に対する需要は

$$p^0 = \frac{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0)}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1)} \quad (35a)$$

$$p^1 = \frac{\pi(g) U'(x_h^1)}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1)} \quad (35b)$$

$$p^0 + p^1 = 1 \quad (35c)$$

で表される。すなわち、規格化された $a_h^0, a_h^1$ の期待限界効用がそれぞれの市場価格 $p^0, p^1$ に一致するように、各状態のArrow証券の水準 $a_h^0, a_h^1$ が決められる。

安全地域の政府 $s$ はArrow証券を購入することにより、危険地域の災害リスクを引き受ける。安全地域の政府が投機性のあるArrow証券を購入するという仮定は現実的ではない。しかし、小林・横松<sup>18)</sup>が示したように、Arrow証券を組み合わせることにより災害保険を設計できる。Arrow証券を取引される市場を、それと同値な災害保険市場として表現することができる。中央政府が安全地域から租税を徴収し、災害保険の原資とするような公的災害保険制度を考えれば、以下で分析するような災害リスクの分散を達成することが可能である。いま、政府 $s$ の問題を

$$\max_{x_s^j, a_s^j} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_s^0) + \pi(g) U(x_s^1) \} \quad (36a)$$

subject to

$$n_s x_s^0 + q_s - a_s^0 \quad (36b)$$

$$n_s x_s^1 + q_s - a_s^1 \quad (36c)$$

と表そう。ただし、 $q_s = p^0 a_s^0 + p^1 a_s^1$ である。政府 $s$ にとって政府 $h$ が決定する $g$ は与件である。この問題の最適化条件より、政府 $s$ の最適なArrow証券購入量は

$$p^0 = \frac{\{1 - \pi(g)\} U'(x_s^0)}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_s^0) + \pi(g) U'(x_s^1)} \quad (37a)$$

$$p^1 = \frac{\pi(g) U'(x_s^1)}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_s^0) + \pi(g) U'(x_s^1)} \quad (37b)$$

を満足する。Arrow証券の価格 $p^0, p^1$ は状態毎に証券市場が清算される水準に決定される。事前に各地域が拠出する保険料( $q_h + q_s$ )は、いずれの状態( $j = 0, 1$ )が生起しても全て保険金として2政府の間で分配される。式(30)を考慮すると、価格 $p^0, p^1$ は裁定条件

$$(p^0 a_h^0 + p^1 a_h^1) + (p^0 a_s^0 + p^1 a_s^1) = a_h^j + a_s^j \quad (j = 0, 1) \quad (38)$$

を満足するように決定される。地域間人口均衡条件は

$$\begin{aligned} & \{1 - \pi(g)\} U(x_h^0) + \pi(g) U(x_h^1) \\ &= \{1 - \pi(g)\} U(x_s^0) + \pi(g) U(x_s^1) \end{aligned} \quad (39a)$$

$$n_s + n_h = N \quad (39b)$$

で表される。以上より、市場保険型災害補償モデルにおける地域間均衡は、政府 $h$ の最適化条件(32b),(32c), (34), (35a),(35b)、政府 $s$ の最適化条件(36b),(36c), (37a),

(37b), 市場均衡条件(38)及び(39a), (39b)を同時に満足するような  $g$ ,  $x_h^j$ ,  $n_i$ ,  $a_h^j$ ,  $p^j$  ( $i = h, s$ ;  $j = 0, 1$ )として求められる。Arrow 証券に対する政府  $h$  の需要条件(35a), (35b), 政府  $s$  の需要条件(37a), (37b)と地域間均衡条件(39a)より次式が成立する(付録I参照)。

$$x_h^0 = x_s^0 \equiv x^0, \quad x_h^1 = x_s^1 \equiv x^1 \quad (40)$$

すなわち、危険地域の家計と安全地域の家計は期待効用水準において等しいのみではなく、各状態において同じ水準の消費を行い等しい効用を得る。

ここで、フルカバー型災害補償システムと市場保険がもたらす地域間のリスク配分効果について比較しよう。フルカバー型災害補償モデルでは危険地域のリスクは全て安全地域に移転されることになる。しかし、4.(2)で述べたように均衡期待効用水準が低下する。危険地域はリスクプレミアムを支払うことを免除されるにも関わらず、家計の期待効用水準が低下する。家計の自由な地域間移動が可能な場合、危険地域に対して一方的に優遇的な施策を提供しても社会全体の厚生水準を改善できない。それに対して、市場保険型災害補償モデルでは市場均衡において状態毎に地域間の消費が等しくなる。この均衡条件式(40)は、社会的最適な分配条件式(16)と等価である。すなわち市場保険を導入することにより最適なリスクファイナンスを実現することができる。しかし、社会的最適化モデルの Samuelson 条件(18)と市場保険型災害補償モデルの条件(34)は一致しない。社会的最適化モデルの Samuelson 条件(18)は社会全体の  $N$  家計の支払い意思額を計上したものである。それに対して分権的経済においては条件(10), (23), (34)に示すように、政府  $h$  は自地域の家計の支払い意思額しか考慮しない。さらに、地方政府  $h$  は防災投資が地域間人口移動に及ぼす影響も考慮しない。この場合、中央政府が地域間財政移転を行うことにより、外部経済性を内部化する必要がある。

#### (4) 中央政府による市場介入

地方政府が災害保険によりリスクファイナンスを実施すると同時に、中央政府が地域間財政移転を行い地方政府の行動を誘導するような介入型災害補償モデルを定式化しよう。中央政府は政府  $h$  の行う防災投資に対して定率の補助金  $\tau g$  を給付すると同時に状況依存的な地域間財政移転  $\eta_h^j$  を実施する。ただし、 $\tau$  は補助金率である。このような財政制度の下における危険地域の政府  $h$  の行動は以下のように表される。

$$\max_{x_h^j, g, a_h^j} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_h^0) + \pi(g) U(x_h^1) \} \quad (41a)$$

subject to

$$f(n_h) = n_h(x_h^0 + \eta_h^0 - \eta^0) + C(g, n_h) + q_h - a_h^0 - \tau g \quad (41b)$$

$$f(n_h) = n_h(x_h^1 + \eta_h^1 - \eta^1) + C(g, n_h) + L(n_h) + q_h - a_h^1 - \tau g \quad (41c)$$

$$g \geq 0 \quad (41d)$$

ただし  $\eta^j$  は一律の還付金である。また  $q_h = p^0 a_h^0 + p^1 a_h^1$  である。本モデルの最適化条件より、Arrow 証券の購入に関する最適化条件(35a), (35b)を導くことができる。政府  $h$  が Arrow 証券価格に対して myopic に行動する場合、防災投資に関する Samuelson 条件は

$$\frac{-n_h \pi'(g)[U(x_h^0) - U(x_h^1)]}{\{1 - \pi(g)\} U'(x_h^0) + \pi(g) U'(x_h^1)} = \frac{\partial C(g, n_h)}{\partial g} - \tau \quad (42)$$

と表される。同様に安全地域は居住家計当たり  $\eta_s^j$  の地域間財政移転と危険地域の防災投資への補助金  $T$  を負担しなければならない。政府  $s$  の行動は以下のように表される。

$$\max_{x_s^j, a_s^j} \{ \{1 - \pi(g)\} U(x_s^0) + \pi(g) U(x_s^1) \} \quad (43a)$$

subject to

$$n_s = n_s(x_s^0 + \eta_s^0 - \eta^0) + q_s - a_s^0 + T \quad (43b)$$

$$n_s = n_s(x_s^1 + \eta_s^1 - \eta^1) + q_s - a_s^1 + T \quad (43c)$$

ただし、 $q_s = p^0 a_s^0 + p^1 a_s^1$  である。この時、政府  $s$  の Arrow 証券の最適購入条件(37a), (37b)が成立する。また、中央政府は状態毎に以下の財政バランスを満足する。

$$\tau g = T \quad (44a)$$

$$n_h \eta_h^0 + n_s \eta_s^0 = N \eta^0 \quad (44b)$$

$$n_h \eta_h^1 + n_s \eta_s^1 = N \eta^1 \quad (44c)$$

両地域政府が Arrow 証券の最適購入条件を満たすことにより、本モデルでも式(40)が成立している。両地域の家計の状況依存的消費量は以下のように表せる。

$$x^0 = \frac{1}{n_h} \{ f(n_h) - C(g, n_h) - q_h + a_h^0 + \tau g \} - \eta_h^0 + \eta^0 \\ = \frac{1}{n_s} \{ n_s - q_s + a_s^0 - \tau g \} - \eta_s^0 + \eta^0 \quad (45a)$$

$$x^1 = \frac{1}{n_h} \{ f(n_h) - C(g, n_h) - q_h + a_h^1 + \tau g - L(n_h) \} - \eta_h^1 + \eta^1 \\ = \frac{1}{n_s} \{ n_s - q_s + a_s^1 - \tau g \} - \eta_s^1 + \eta^1 \quad (45b)$$

となる。上式を式(17)に代入することにより次式を得る。

$$\{1 - \pi\} U'(x^0) \left[ \left\{ f' - \frac{f}{n_h} \right\} - \left\{ \frac{\partial C}{\partial n_h} - \frac{C}{n_h} \right\} - \frac{a_h^0 - q_h + \tau g}{n_h} + \eta_h^0 \right] \\ + \pi U'(x^1) \left[ \left\{ f' - \frac{f}{n_h} \right\} - \left\{ \frac{\partial C}{\partial n_h} - \frac{C}{n_h} \right\} - \left\{ L' - \frac{L}{n_h} \right\} - \frac{a_h^1 - q_h + \tau g}{n_h} + \eta_h^1 \right] \\ = \{1 - \pi\} U'(x^0) \left[ -\frac{a_s^0 - q_s - \tau g}{n_s} + \eta_s^0 \right] \\ + \pi U'(x^1) \left[ -\frac{a_s^1 - q_s - \tau g}{n_s} + \eta_s^1 \right] \quad (46)$$

$f = f(n_h)$ ,  $f' = f'(n_h)$ ,  $C = C(g, n_h)$ ,  $L = L(n_h)$ ,  $L' = L'(n_h)$  である。上式では  $T = \tau g$  が代入されており、また両辺で  $\eta^0, \eta^1$  が相殺されている。以下、記号\*は当該変数が社会的最適解の水準において定義されていることを示す。また、 $a_i^{j*}, q_i^*$  は本モデルの均衡水準を示す。政府  $h$  の

Samuelson 条件(42)が社会的最適化条件(18)が一致するためには、定率補助金率は

$$\tau = \frac{-n_s^* \pi'(g^*) [U(x^{0*}) - U(x^{1*})]}{\{1 - \pi(g^*)\} U'(x^{0*}) + \pi(g^*) U'(x^{1*})} \quad (47)$$

を満足しなければならない。また、地域間の最適人口配分条件式(46)を満足するためには、地域間財政移転

$$\eta_h^0 = \left\{ \frac{f^*}{n_h^*} - f'^* \right\} - \left\{ \frac{C^*}{n_h^*} - \frac{\partial C^*}{\partial n_h^*} \right\} + \frac{a_h^{0*} - q_h^* + \tau g^*}{n_h^*} \quad (48a)$$

$$\begin{aligned} \eta_h^1 &= \left\{ \frac{f^*}{n_h^*} - f'^* \right\} - \left\{ \frac{C^*}{n_h^*} - \frac{\partial C^*}{\partial n_h^*} \right\} \\ &\quad - \left\{ \frac{L^*}{n_h^*} - L'^* \right\} + \frac{a_h^{0*} - q_h^* + \tau g^*}{n_h^*} \end{aligned} \quad (48b)$$

$$\eta_s^0 = \frac{a_s^{0*} - q_s^* - \tau g^*}{n_s^*} \quad (48c)$$

$$\eta_s^1 = \frac{a_s^{1*} - q_s^* - \tau g^*}{n_s^*} \quad (48d)$$

が必要となる。リスクファイナンス市場が完備されていても、一定の人口の下では危険地域の政府による分権的な防災投資は過小となる。定率補助金を用いて防災投資を最適な水準に誘導する必要がある。それと同時に、地域間財政移転を通じて危険地域への人口移動を抑制する必要がある。中央政府が以上の条件を満足する地方財政政策( $\tau, \eta_h^0, \eta_h^1, \eta_s^0, \eta_s^1$ )を採用すれば分権的に社会的最適な地域間資源・リスク配分を達成することが可能となる。

## 5. 数値計算事例

### (1) 関数の特定化

簡単な数値計算事例を通じてそれぞれの特性について考察することとする。効用関数と生産関数を

$$U(x_i^j) = \ln x_i^j \quad (i = h, s; j = 0, 1) \quad (49a)$$

$$f(n_h) = \alpha n_h^\beta \quad (\alpha > 0, 0 < \beta < 1) \quad (49b)$$

$$f(n_s) = n_s \quad (49c)$$

と特定化する。災害の生起確率、防災投資の費用関数を

$$\pi(g) = pe^{-kg} \quad (0 < p < 1, k > 0) \quad (50a)$$

$$C(g, n_h) = gn_h^\gamma \quad (\gamma \geq 0) \quad (50b)$$

と表す。災害時の被害関数を以下のように特定化する。

$$L(n_h) = \delta n_h \quad (\delta > 0) \quad (51)$$

すなわち、災害被害額が家計数と比例的に増加すると考える。換言すれば、1家計当たりの被害額が一定値 $\delta$ となる。以下では、表記の簡単化のため、分権的防災投資モデルを *DI*(Decentralized Investment) と社会的最適化モデルを *SO*(Social Optimum), フルカバー型災害補償モデルを *FI*(Full-cover Insurance), 市場保険型災害保険モデルを *MO*(Market Optimum) と略記する。なお、これまでの分析により、4つのモデルの均衡効用水準の間に関係

$$FI \leq DI \leq MO \leq SO \quad (52)$$

が成立することが理論的に保証される。しかし、各モデルにおける人口配分、防災投資水準、リスクファイナン

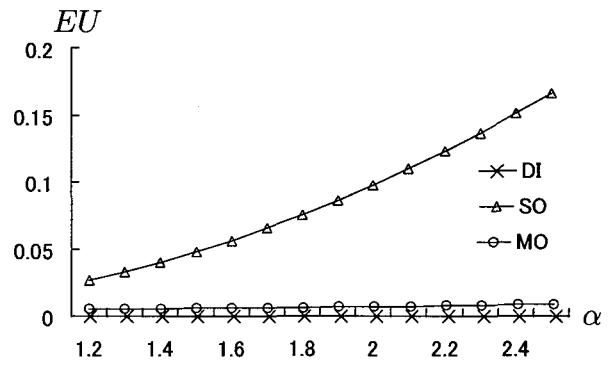


図-2  $\alpha$ と  $EU$  の関係 ( $\gamma = 0$ )

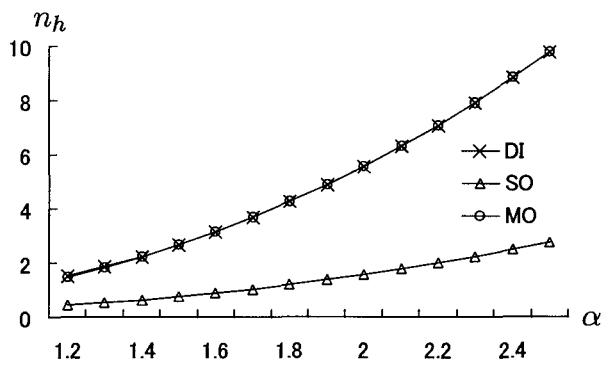


図-3  $\alpha$ と  $n_h$  の関係 ( $\gamma = 0$ )

スの内容に関する詳細な情報に関しては数値計算に頼らざるを得ない。以下では、モデル *DI*における地域間災害リスク配分の状況をリスクファイナンス手法、地域間財政移転によりどのように改善できるかという視点から数値計算を行う。このため、モデル *FI*を考察の対象から除外する。また、モデル *MO*では地方政府  $h$  が Arrow 証券の価格  $p^j$  に対して myopic に行動する場合を対象とする。

### (2) 計算結果の考察

危険地域の人口規模と地域間災害リスク配分の関係を数値計算事例を通じて検討してみよう。いま、危険地域  $h$  の生産技術を表すパラメータ  $\alpha$  に着目しよう。 $\alpha$  が大きいほど当該地域の生産力が高く、結果的に危険地域の人口規模は大きくなる。 $\alpha$  以外のパラメータは  $\beta = 0.6$ ,  $p = 0.5$ ,  $k = 200$ ,  $\delta = 0.5$  に固定する。数値計算により  $\alpha$  と均衡期待効用水準  $EU$ , 地域  $h$  の居住家計数  $n_h$ , 地域  $h$  の防災投資水準  $g$  と 1 家計あたりの Arrow 証券の割り戻し利益（純保険金受け取り額） $(a_i^j - q_i)/n_i$  の関係を分析した。図-2 は  $\alpha$  と均衡期待効用水準  $EU$  との関係を示している。 $\alpha$  が大きくなれば社会全体で生産可能な財の総量が増加する。モデル *SO* では中央政府が地域間所得配分を実施するため  $\alpha$  が大きくなるほど財の総生産量が増加し  $EU$  も増加する。しかし、図-3 に示すように、モデル *DI*, *MO* では地域  $h$  の生産力が向上すると均衡効用水準が一定値にとどまるように地域  $h$  の人口が増加する。また、図-3 に示すように市場災害保険を導入しても、地

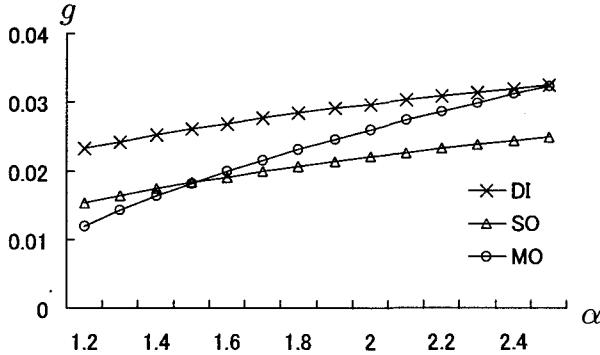


図-4  $\alpha$ と $g$ の関係 ( $\gamma = 0$ )

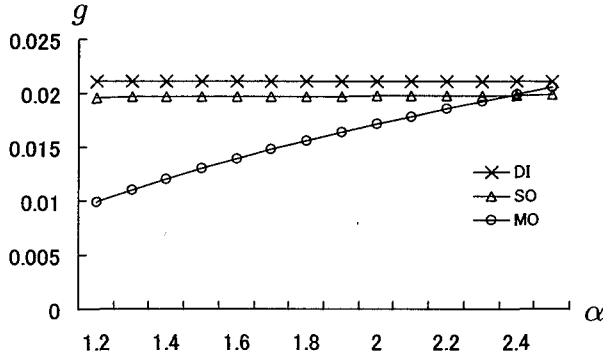


図-6  $\alpha$ と $g$ の関係 ( $\gamma = 1$ )

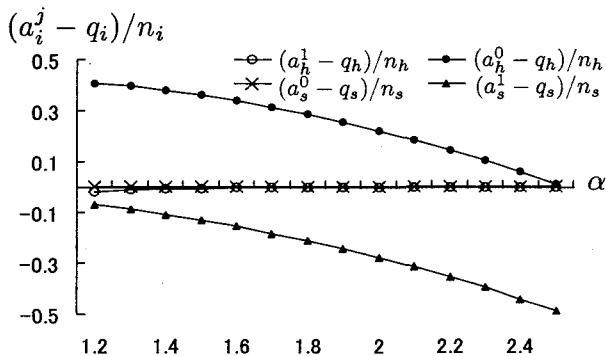


図-5  $\alpha$ と $(a_i^j - q_i)/n_i$ の関係 ( $\gamma = 0$ )

域間の均衡人口配分は大きな影響を受けない。以上の結果は、地域 $h$ の経済がopenであり地域 $s$ の生産技術が収穫一定であるという仮定より得られた論理的な帰結である。図-4は $\alpha$ と防災投資水準 $g$ の関係を示す。リスクファイナンスの手段がない場合、分権的な防災投資は過大になる。 $\alpha$ の増加に伴って、モデルDIとSOの防災投資水準は一様に増加する。それに対して、モデルMOの防災投資は危険地域の生産力が小さいときには過小な水準に止まるが、 $\alpha = 1.5$ を越えると過剰な水準となる。よってモデルDIでは、 $\alpha$ の上昇に伴ってモデルDI, SOとは異なった外部経済性が働いていることが考えられる。

図-2に示したように、モデルDIとMOにおける地域間人口配分(すなわち災害時の被害総額)の結果はほとんど変わらない。しかし、両ケースにおける防災投資水準は大きく異なる。モデルDIではリスクファイナンス手法が適用不可能である。モデルMOでは、政府 $h$ はリスクコントロール手法としての防災投資とリスクファイナンス手法を代替的なリスク管理の手段として利用している。リスクファイナンスを利用することにより防災投資支出を節約することが可能となる。図-5は $\alpha$ と1人当たりのArrow証券の割り戻し利益の関係を表している。地域 $h$ における1家計あたりの状況依存的な消費量が

$$x^0 = \frac{\alpha}{n_h^{1-\beta}} - g + \frac{a_h^0 - q_h}{n_h} \quad (53a)$$

$$x^1 = \frac{\alpha}{n_h^{1-\beta}} - g + \frac{a_h^1 - q_h}{n_h} - \delta \quad (53b)$$

と表されることに着目しよう。右辺第3項が1家計当たりのArrow証券の割り戻し利益を表している。 $\alpha$ が大きくなると地域 $h$ の人口 $n_h$ が増加し、地域 $s$ の人口 $n_s$ が減少する。地域 $h$ の災害リスクを引き受ける家計数 $n_s$ が小さくなる。このため、図-5に示すように $\alpha$ が大きくなると地域 $h$ の1家計あたりの取引量 $(a_h^j - q_h)/n_h$ が小さくなる。地域 $s$ では被害額の増加に対応して1家計あたりの取引量は大きくなるが1家計が引き受けられるリスクの大きさには限界がある。危険地域の人口規模が大きくなれば災害リスクの分散が困難になってくる。そのためより高度な防災投資を行い災害リスクを軽減することが必要となる。その結果、図-4に示したように、 $\alpha$ が大きくなれば最適防災投資水準 $g$ は増加することになる。 $\alpha$ が約2.5のとき、分権的経済では全ての人口が地域 $h$ に居住し(図-3)、その結果モデルMOでは地域間のリスクの移転が0となり(図-5)、防災投資水準がモデルDIと一致する(図-4)という状況が生じる。

以上は防災投資が純粋な地方公共財の場合を想定した議論である。防災投資が準私的財( $\gamma = 1$ )の場合をとりあげ、最適防災投資水準にどのような差異が現れるかを分析してみよう。防災投資が純粋地方公共財の場合、人口の増加は他の条件を一定にして1人当たりの負担額の減少をもたらす。その結果、 $\alpha$ の増加は地域間均衡における危険地域における人口と防災投資水準の増加をもたらす。しかし、防災投資が準私的財の場合は、このような直接的な防災投資費用の軽減効果が現れない。したがって、図-6に示すように、モデルDIとSOの場合、 $\alpha$ を変化させても防災投資水準はほぼ一定にとどまる(付録II参照)。

いま、 $\alpha$ が大きい場合を大都市、小さい場合を小地域と考えてみよう。防災投資が純粋公共財の場合、市場に災害保険が導入されれば、大都市と小地域における防災投資水準の格差が拡大する。小地域の政府は災害保険によって他の地域にリスクを分散させようという誘因を持つ。しかし、大都市になるほどリスクファイナンスへの依存度が低下し、リスクコントロールの重要性が増加する。しかし、社会的最適解における最適な防災投資水準の大都市と小地域の間の格差は、モデルMOの場合よりは小さい。防災投資が準私的財の場合には、社会的に最適な防災投

資水準は地域の規模に関わらずほぼ一定である。モデル  $MO$  の場合、小地域では防災投資水準が過少になる危険性がある。4.(4) に述べたように、中央政府による補助金を通じて危険地域の防災投資を向上させると同時に、地域間財政移転を通じて危険地域への人口移動を抑制することが必要となる。

## 6. おわりに

本研究では災害リスクが局地的現象であることに着目して、災害リスクに直面した地域政府の分権的な防災投資行動が社会全体にとって効率的なリスク配分を達成する可能性について分析した。家計が居住地域を選択するとき、家計は当該地域で得られる期待効用水準のみを考慮に入れ、自身の当該地域への転入が既に居住している家計に与える影響を考慮しない。一方、地域政府は防災投資水準を決定する際に、家計数を与件とした自地域の支払い意思額のみを考慮して、防災投資行動が家計の人口移動に及ぼす影響を考慮しない。さらに災害リスクはカタストロフリスクであり、災害が生起すると地域全体の富の総和が大きく減少するため、地域内の相互保険のみを用いてはリスクを効率的に分散することができない。分権的経済の災害リスク配分問題はこれらの要因の相互依存関係によって定式化される。本研究では、Arrow 証券の構造をもつ災害保険を地域政府が市場で取り引きすることによって、社会的に最適なリスクファイナンスが実現することを示した。一方、社会的最適な防災投資を分権的に達成するためには、中央政府は危険地域の政府に対して、ある水準の定率補助金を提供する必要がある。それと同時に危険地域への人口移動を抑制するための地域間財政移転を行う必要がある。それらの複合的な条件を満足する地方財政政策が採用されるとき、分権的に社会的最適な地域間資源・リスク配分を達成することが可能となることが示された。本研究は今後に多くの課題を残している。本モデルに直接関係した課題として次のような課題があげられる。第 1 に、本研究では地域政府は自らの防災政策が人口移動に及ぼす影響を考慮しないと仮定している。それに対して、地域政府が家計の人口移動に対して戦略的に行動することも考えられる。たとえば、戦略的政策を考慮した地域間一般均衡モデルを拡張することにより<sup>21)</sup>、他地域の防災投資に対する地方政府の free ride 行動等を分析する必要がある。第 2 に、本研究では地域政府の防災投資行動に焦点を絞るため、家計の行動を居住地域の選択のみに限定した。本来リスクマネジメントには、地域政府が提供するレベルと各家計が自己責任に基づいて管理するレベルとが存在する。今後は効率的なリスク管理主体の配分問題についても検討する予定である。第 3 に、本研究では静学的枠組の中で災害リスクの配分を取り扱ったにすぎない。今後、中央政府による災害基金制度の設立等、動学的な災害リスクの

配分問題を研究する必要がある。

### 付録 I : $x_h^0 = x_s^0, x_h^1 = x_s^1$ の証明

式(15)より  $U'(x_h^0)/U'(x_h^1) = U'(x_s^0)/U'(x_s^1)$ 。制約

$$\{1 - \pi\}U(x_h^0) + \pi U(x_h^1) = \bar{U} \quad (54a)$$

$$\{1 - \pi\}U(x_s^0) + \pi U(x_s^1) = \bar{U} \quad (54b)$$

より次式を得る。

$$\{1 - \pi\}\{U(x_h^0) - U(x_s^0)\} + \pi\{U(x_h^1) - U(x_s^1)\} = 0 \quad (55)$$

ここで、 $x_h^0 > x_s^0$  と仮定すれば  $U'(x_h^0) < U'(x_s^0)$ 。式(55)が成立するためには  $U(x_h^1) < U(x_s^1)$ ,  $U'(x_h^1) > U'(x_s^1)$  が成立。したがって、

$$\frac{U'(x_h^0)}{U'(x_s^0)} < 1 < \frac{U'(x_h^1)}{U'(x_s^1)} \quad (56)$$

が成立。これより、

$$\frac{U'(x_h^0)}{U'(x_h^1)} < \frac{U'(x_s^0)}{U'(x_s^1)} \quad (57)$$

これは式(15)に矛盾。 $x_h^0 < x_s^0$  と仮定しても同様に矛盾が生じる。よって、 $x_h^0 = x_s^0$ 、また  $x_h^1 = x_s^1$ 。

また、市場保険型災害補償モデルにおいて、式(35a)(35b)(37a)(37b)より、

$$\frac{p^0}{p^1} = \frac{(1 - \pi)U'(x_h^0)}{\pi U'(x_h^1)} = \frac{(1 - \pi)U'(x_s^0)}{\pi U'(x_s^1)} \quad (58)$$

これより、

$$\frac{U'(x_h^0)}{U'(x_h^1)} = \frac{U'(x_s^0)}{U'(x_s^1)} \quad (59)$$

よって上記の式(15)と同じ式を得る。また、家計の地域間移動による均衡条件(39a)より、

$$\{1 - \pi\}\{U(x_h^0) - U(x_s^0)\} + \pi\{U(x_h^1) - U(x_s^1)\} = 0 \quad (60)$$

式(55)を得る。以降、上と同じ証明を辿ることにより  $x_h^0 = x_s^0$ ,  $x_h^1 = x_s^1$  が導かれる。

### 付録 II : $\alpha$ と $g$ の関係 (数値計算事例)

$C(g, n_h) = gn_h$  と仮定する。 $\partial C / \partial g = n_h$  であることに注意すると、モデル DI の Samuelson 条件(10)は

$$\frac{-\pi'(g)[U(x_h^0) - U(x_h^1)]}{\{1 - \pi(g)\}U'(x_h^0) + \pi(g)U'(x_h^1)} = 1 \quad (61a)$$

$$x_h^0 = \frac{\alpha}{n_h^{1-\beta}} - g \quad (61b)$$

$$x_h^1 = \frac{\alpha}{n_h^{1-\beta}} - g - \delta \quad (61c)$$

と表される。ここで、防災投資の支払い意思額を集計するための家計数  $n_h$  と限界費用  $n_h$  が相殺されている点に留意されたい。いま、図-2 より  $\alpha$  が増加すると  $n_h$  が増加する。しかし、上式より  $(\alpha, n_h)$  の増加は  $(x_h^0, x_h^1, g)$  に大きな影響を与えない。それによって、図-2 において  $\alpha$  を増加させてもモデル DI の  $g$  がほぼ一定にとどまる。同様にモデル SO について Samuelson 条件を整理する。

$$\frac{-N\pi'(g)[U(x^0) - U(x^1)]}{\{1 - \pi(g)\}U'(x^0) + \pi(g)U'(x^1)} = n_h \quad (62a)$$

$$x^0 = \frac{N - n_h + \alpha n_h^\beta}{N} - \frac{n_h}{N}g \quad (62b)$$

$$x^1 = \frac{N - n_h + \alpha n_h^\beta}{N} - \frac{n_h}{N}g - \frac{n_h}{N}\delta \quad (62c)$$

モデル  $SO$  では一家計あたりの防災投資費用や損失水準が  $n_h$  に依存する。条件 (62a) を以下のように変形しよう。

$$-\pi'(g) = \frac{n_h}{N} \cdot \frac{\{1 - \pi(g)\}U'(x^0) + \pi(g)U'(x^1)}{U(x^0) - U(x^1)} \quad (63)$$

図-2 より、モデル  $SO$  では  $DI, MO$  に比べて  $\alpha$  が増加したときの  $n_h$  の増加が少ない。 $\alpha$  の増加による上式の右辺分母  $\{U(x^0) - U(x^1)\}$  の増加は無視し得る。定量的な観点から右辺の値に大きな影響をもつのは、分子の  $n_h$  と  $U'(x^0), U'(x^1)$  である。右辺の  $g$  が及ぼす影響は無視し得る。モデル  $SO$  では人口配分が制御されていることにより、 $\alpha$  が増加すると家計の消費量が増加する。よって  $U'(x^0), U'(x^1)$  は減少する。それと分子の  $n_h$  の増加がバランスするため右辺の値が大きく変化しない。それによって左辺の  $g$  も大きく変化しないことになる。

### 参考文献

- 1) 小林潔司, 横松宗太: 治水経済評価のフロンティア: 期待被害額パラダイムを越えて, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp. 237-242, 2000.
- 2) Oates, W.: *Fiscal Federalism*, Harcourt Brace Jovanovich, 1972.
- 3) Wildasin, D.: *Urban Public Finance*, Harwood, Academic Publishing, 1986.
- 4) Myers, G.: Optimality, free mobility, and the regional authority in a federation, *Journal of Public Economics*, Vol. 43, pp. 107-121, 1990.
- 5) Hercowitz, Z. and Pines, D.: Migration with fiscal externalities, *Journal of Public Economics*, Vol. 46, pp. 163-180, 1991.
- 6) Mansoorian, A. and Myers, G.: Attachment to home and efficient purchases of population in a fiscal externality economy, *Journal of Public Economics*, Vol. 52, pp. 117-132, 1993.
- 7) Flatters, F., Henderson, J.V., and Mieszkowski, P.: Public goods, efficiency and regional fiscal equalization, *Journal of Public Economics*, Vol. 3, pp. 99-112, 1994.
- 8) Asdrubali, P., Sorensen, B., and Yosha, O.: Channels of interstate risksharing: US 1963-1990, *Quarterly Journal of Economics*, III, pp. 1081-1110, 1996.
- 9) Persson, T. and Tabellini, G.: Federal fiscal constitutions: Risk sharing and redistribution, *Journal of Political Economy*, Vol. 43, pp. 979-1009, 1996.
- 10) Wildasin, D.: Factor mobility, risk and redistribution in the welfare state, *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 97, pp. 527-546, 1997.
- 11) Bucovetsky, S.: Federalism, equalization and risk aversion, *Journal of Public Economics*, Vol. 67, pp. 301-328, 1998.
- 12) 横松宗太, 小林潔司: 自治体保険による地域間最適災害リスク配分, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 369-380, 2000.
- 13) 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.149-152, 2000.
- 14) 高木朗義, 上田孝行, 森杉壽芳, 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, No. 13, 1996.
- 15) 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.
- 16) 酒井泰弘: 不確実性の経済学, 有斐閣, 1982.
- 17) Froot, K. A.: Introduction, in: Froot, K. A. (ed.): *The Financing of the Catastrophe Risk*, The University of Chicago Press, 1999.
- 18) 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効果, 土木学会論文集, No. 639/IV-46, pp. 39-52, 2000.
- 19) Arrow, K. J.: The role of securities in the optimal allocation of risk-bearing, *Review of Economic Studies*, Vol. 31, pp.91-96, 1964.
- 20) Malinvaud, E.: The allocation of individual risks in large markets, *Journal of Economic Theory*, Vol. 4, pp. 312-328, 1972.
- 21) Wellisch, D.: *Theory of Public Finance in a Federal State*, Cambridge University Press, pp. 191-199, 2000.

---

### 分権的防災投資と地域間災害リスク配分\*

本研究では地方政府による分権的防災投資により達成される地域間リスク配分の効率性に関して分析する。その際、地域間人口移動による財政的外部性が存在する場合、分権的防災投資では社会的最適なリスク配分が達成できないことを示す。さらに、効率的な地域間リスク配分を達成するためには、分権的な防災投資だけではなく、中央政府による地域間財政移転制度を併用することが必要であることを示す。

---

### DECENTRALIZED MITIGATION AND REGIONAL ALLOCATION OF DISASTER RISK\*

By Muneta YOKOMATSU\*\*, Kiyoshi KOBAYASHI\*\*\*, and Kazuo TANAKA\*\*\*\*

In this paper, the efficiency of interregional risk allocation induced by decentralized disaster mitigation investment is investigated. Due to the fiscal externality which arises when people can freely migrate among regions, the efficient interregional allocation of disaster risk cannot be attained. The paper shows that the interregional income transfer system should be introduced together with decentralized mitigation in order to improve the efficiency of risk allocation.

横松宗太\*\*, 小林潔司\*\*\*, 田中一央\*\*\*