土木学会第54回年次学術講演会（平成11年9月）

Ⅳ-287　自治体保険による災害リスクの分散に関する一考察

京都大学大学院　学生会員　横松 宗太
京都大学大学院　学生会員　田中 一央
京都大学大学院　正会員　小林 潔司

1. はじめに

地震等の大規模自然災害に対する災害保険は，その重要性が指摘されながらも家計への普及の程度が決して高いとはいえない．理由の一つとして，家計は災害リスクを完全には認知できない．また，行政による被災時の救済処置が期待されるとき，家計は自ら事前に災害保険を購入する誘因をもたない．すなわち不完全情報やモラルハザードの存在によって災害保険市場は失敗すると考えられる．

そこで本研究では，個々の家計に比べて上記の不完全性が少ないと考えられる地方自治体による分権的な行動を通じて，この問題の克服を試みる．本研究は，自治体による住民に対する強制保険のシステムを設計する．モデルにおいて各自治体は保険料としての税を用いて，自治体内で相互保険を運営して住民間のリスクを分散し，また自治体内の損害の総和を軽減するために他の自治体と状況依存的証券を取り引きする．そしてこのようなモデルの構造を利用して新しい災害保険を開発し，数値計算事例を通してその効果を確認する．

2. 災害リスクのモデル化

災害リスクを個人リスクと集合リスクの複合リスクとしてモデル化する．

地域$i(i=1,\cdots,M)$にはN_iの家計が，社会全体では$N=\sum_i N_i$の家計が存在する．個人リスクを各家計の状態により定義する．個人リスク事象sとして，1）平常$s=0$，2）被災$s=1$の2種類を考え，それぞれの事象が生起した時の地域iの家計の所得を

$$\omega_i(s)=\begin{cases} y_i & (s=0\text{のとき}) \\ y_i-d_i & (s=1\text{のとき}) \end{cases} \tag{1}$$

と表す．ただしy_iは地域iの平常時の所得であり，d_iは災害により生じる被害額である．次に集合リスクを社会の被害状況として定義する．集合リスク事象kを各地域の被災者の割合$q_i(k)(0\le q_i(k)\le 1)$の組み合わせとして$\boldsymbol{q}(k)=\{q_1(k),\cdots,q_M(k)\}(k=0,1,\cdots,K)$のように表現する．そして集合リスク事象$k$が生起する確率を$\pi(k)$と表す．また地域$i$の家計が個人リスク$s$と集合リスク$k$で表される状況$(s,k)$に直面する同時生起確率を$\pi_i(s,k)$，また集合リスク事象$k$が生じた時の個人リスク$s$の条件付き確率は$\pi_i(s|k)$と表される．よって$\pi_i(1|k)=q_i(k)$が成立し，地域$i$において被災する家計数は$q_i(k)N_i$となる．

これより事象(s,k)が生じたときの当該家計の所得移転後の富を$x_i(s,k)$で表そう．家計の期待効用関数を

$$u_h(\boldsymbol{x}_i)=\sum_{s,k}\pi_i(s,k)v(x_i(s,k)) \tag{2}$$

で表す．ただし$\boldsymbol{x}_i=\{x_i(0,0),\cdots,x_i(s,k),\cdots,x_i(1,K)\}$である．また，間接効用関数$v$は2回連続微分可能な危険回避型基数効用関数とする．

3. 自治体保険モデル

(1) 自治体内相互保険

地域iの自治体が運営する，自治体保険としての状況依存的な所得移転のシステムを$\boldsymbol{m}_i=\{m_i(0,0),\cdots,m_i(s,k),\cdots,m_i(1,K)\}$によって表そう．$\boldsymbol{m}_i$は地域の家計に対する強制保険であり，

$$x_i(s,k)=\omega_i(s)+m_i(s,k) \tag{3}$$

また，自治体の災害保険会計は各集合リスクの状態に対して収支バランスがとれる必要があると考える．

$$N_i\sum_s\pi_i(s|k)m_i(s,k)=0 \quad \text{for all } k \tag{4}$$

各自治体は保険システムの設計が地域の人口規模に及ぼす影響は考慮しない．各自治体は式(3)(4)を制約条件として，代表的個人の期待効用最大化問題を解く．

$$\max_{\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{m}_i}\left\{\sum_{s,k}\pi_i(s,k)v(x_i(s,k))\right\} \tag{5}$$

1階の最適化条件を整理すると，最適な家計の状況依存的富$x_i(s,k)$に関して以下の関係が導かれる．

$$x_i(s,k)=y_i-r_i(k)=\hat{x}_i(k) \tag{6}$$

$r_i(k)=q_i(k)d_i$は集合リスクkの下での期待被害額を表す．自治体保険$\boldsymbol{m}_i$により個人リスクsは全てカバーされることがわかる．

(2) 地域間均衡

各地域の所得y_iは各地域の人口規模に依存して決定されると考える．各地域の生産技術を労働に関して収穫逓減な生産関数$f(N_i)$で表す．家計の1人当たりの所得y_iを$y_i=y(N_i)=\frac{f(N_i)}{N_i}$とする．各地域では自治体保険が導入され，集合リスクkに対して式(6)で表される事後的な富が補償される．いま家計の自由な居住地選

災害リスク, リスク配分, 災害保険
〒606-8501　京都市左京区吉田本町　TEL,FAX　075-753-5073

択を認めると，地域間均衡は次式を満足する．

$$\sum_{k=0}^{K}\pi_i(k)v(\hat{x}_i(k)) = \bar{V}^J \text{ (for all } i), \quad \sum_{i=1}^{M}N_i^J = N \qquad (7)$$

ここに，$\bar{V}^J, N_i^J$はそれぞれ自治体保険モデルにおける均衡効用水準，均衡人口配分である．

4. 自治体間リスク分散モデルと災害保険

(1) 状況依存的証券

自治体保険は地域内で生じる被害の差異を解消するために有用な手段ではあるが，地域全体の損害の総和を軽減することはできない．そこで市場に状況依存的な証券を導入しよう．各自治体は集合リスクの状態$k(k = 0,1,\cdots,K)$のそれぞれに対応したArrow証券（状況依存的証券）の売買が可能であるとする．Arrow証券とは，集合リスク事象kが生起したときに1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証券を意味する．Arrow証券1単位当たりの事前の価格$p(k)$は市場において内生的に決定される．いま，自治体iのArrow証券保有ベクトルを$\boldsymbol{A}_i=\{A_i(0),\cdots,A_i(K)\}$と表そう．Arrow証券の束$\boldsymbol{A}_i$の価格を$C_i = \sum_{k=0}^{K}p(k)A_i(k)$と表そう．災害リスク事象$k$が生起したときの当該自治体の富は次式で表される．

$$X_i(k) = N_ix_i(k) = N_iy_i - N_ir_i(k) + A_i(k) - C_i \qquad (8)$$

(2) 自治体の証券購入行動

各自治体iはArrow証券の価格$p(k)$と人口配分N_iを所与と考え，以下の代表的家計の期待効用最大化問題を解く．ここで家計1人当たりのArrow証券の保有量，Arrow証券の束の価格をそれぞれ$a_i(k) = A_i(k)/N_i$, $c_i = \sum_k p(k)A_i(k)/N_i$と定義する．

$$\max_{\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{a}_i}\left\{\sum_k \pi_i(k)v(x_i(k))\right\} \qquad (9)$$

subject to

$$\sum_k p(k)a_i(k) = c_i \qquad (10)$$

$$x_i(k) = y_i - r_i(k) + a_i(k) - c_i \quad \text{for all } k \qquad (11)$$

1階の最適化条件を整理すると，

$$\pi(k)\frac{dv(x_i(k))}{dx_i(k)} = p(k)\sum_k \pi(k)\frac{dv(x_i(k))}{dx_i(k)} \quad \text{for all } k \quad (12)$$

$p(k)$は集合リスクごとに支払総額$\sum_i N_ia_i(k)$，購入総額$\sum_i\sum_{k'}N_ip(k')a_i(k')$が清算される水準に決定する．

$$\sum_i N_ia_i(k) = \sum_i\sum_{k'}N_ip(k')a_i(k') \quad \text{for all } k \qquad (13)$$

1階の条件より規格化条件$\sum_k p(k) = 1$が導かれる．

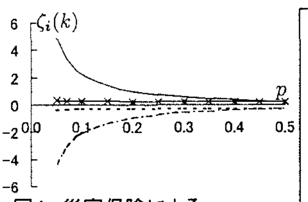
(3) 災害保険と地域間均衡

以上は自治体同士が直接Arrow証券を交換する市場のモデルである．しかし保険会社がArrow証券と同じ働きをする災害保険を販売すれば，同様の集合リスクの配分を達成できる．新しい災害保険は，各自治体iに対する保険料$F_i = \sum_k p^*(k)a_i^*(k)N_i$，保険金$R_i(k) = a_i^*(k)N_i$により構成される．

いま，各自治体は市場で災害保険を購入する．最終的に一家計に帰着するキャピタル・ゲインまたはロスを$\zeta_i(k) = -\sum_k p(k)a_i(k) + a_i(k)$と表そう．家計が自由に地域間を移動するとき，**3.(2)** と同様の地域間均衡条件が存在する．よって同様に災害保険導入後の均衡効用水準$\bar{V}^D$，均衡人口配分N_i^Dが存在する．

5. 数値計算事例

簡単な数値計算を行い，自治体保険と災害保険の効果をみよう．2地域を対象に，2種類の集合リスク事象$q(0) = \{0,0\}, q(1) = \{q,0\}$を考え，生起確率をそれぞれ$1-p, p$とする．被災した家計は$d$を損失する．また効用関数を$u_i = \log y_i$，社会の総人口$N = 100$，生産技術を$f(N_i) = 100N_i^{0.5}$と設定する．家計が完全にリスクを保有する場合(添え字H)，自治体保険のみ(J)，自治体保険と災害保険(D)の3つのケースを比較する．ここで地域1の家計にとっての期待被害額pqdを0.5に固定する（ただしケースHにおいては$q = 0.5, pd = 1$とする）．よって図.1〜図.3では横軸でpが小さくなるに従って災害が少頻度・大規模になる．このとき災害保険によって自治体間でより大きな富の移転が行われる(図.1)．また人口配分が$N_1 = N_2 = 50$のときに社会全体の生産は最大となるが，災害保険が導入されることにより大規模災害のリスクに直面する地域からの人口の流出を軽減することができる(図.2)．それによって2地域の均衡効用水準の減少も小さいことがわかる(図.3)．



凡例
図1. 上から
$\zeta_1(1), \zeta_2(0), \zeta_1(0), \zeta_2(1)$
図2. 上から
N_1^D, N_1^J, N_1^H
図3. 上から
$\bar{V}^D, \bar{V}^J, \bar{V}^H$

図1. 災害保険による一家計当たりの所得移転

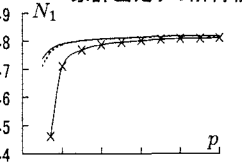


図2. 地域1の人口

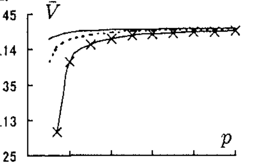


図3. 均衡効用水準

6. おわりに

災害保険は所得に関して最適な再分配を導くものであるが，人口に関して最適な配分を補償するものではない．すなわちパレート最適解とは一致しない．しかし数値計算事例において，災害保険が結果的に人口を均等配分に近づける効果をもつことも明らかとなった．