

災害リスクマネジメントと災害会計*

DISASTER RISK MANAGEMENT AND DISASTER ACCOUNTING*

横松宗太**・小林潔司***

by Muneta YOKOMATSU**, Kiyoshi KOBAYASHI***

1. はじめに

従来、自然災害が発生するたびに場当たりの被害状況が記述され、異なった方法で被害規模が推定されてきた。また、災害復興が終了した状態の定義に関しても様々な議論がなされてきた。さらに、災害の事前事後を問わず、現存する防災施設がどれだけの経済価値を備えているかに関する情報も体系的に整理されてこなかった。

経済、政治等の社会情勢の変動に伴って、災害時の潜在的損失も時々刻々と変化する。そのような状況変化に対応した災害リスク管理を実行するためには、各時点で、各レベルの災害に対応した潜在的被害規模や復旧期間、また各種・各地の防災施設が防御し得る資産の額等の情報が整備されていなければならない。災害会計の目的はそれらの情報を効率的に整理して、様々なレベルで災害リスクを管理する主体の意思決定に寄与し、また防災投資費用を負担する国民への accountability を達成することにある。会計システムを構築する際には、それらの目的にとって必要十分な会計指標を特定する作業が重要となる。今後、経済学モデルを定式化することを通じて、市場メカニズムによって価格に反映される情報等を整理していくことが必要である。

従って、今後、本研究では「災害会計の構築」をテーマに掲げ、災害のインフラ資産ストックに対する影響と、政府の災害リスク管理政策を体系的に記述しえるような災害会計の枠組みを定式化していく予定である。災害の事後の会計では、災害ショックは広義の資産の（負の）蓄積活動の一部として捉えら

れる。インフラ資産は将来に亘って便益を発生させるため、当該活動（災害ショック）による費用（被害）は償却によって便益フローに対応させて計上される。一方、事前の会計は災害基金の積み立てを記録する。災害が生起するとインフラ資産が生み出す便益のフローに変化が生じるため、インフラ資産はリスクのヘッジ対象である。事前の会計にはヘッジ会計の手法が取り入れられる。

一般的に会計システムは、国民に対する accountability を達成することを目的とした財務会計と、意思決定に役立つ情報として体系化することを目的とした管理会計に大別される。その分類に従うと、管理会計が整備されることによって、時間軸上で効率的に防災施設を蓄積していくことが可能となる。本研究では経済が成長する過程において、効率的に防災施設を拡充させていく戦略について検討する。このような時間軸上の社会的最適な防災投資行動は、管理会計としての成長会計や災害会計が整備された状況においてのみ可能となる。換言すると、本稿では管理会計が存在する下での最適防災投資戦略について分析する。本研究が定式化するところの、時々刻々と展開される防災投資により達成される社会厚生と、離散的でかつ非効率的な防災投資により達成される社会厚生との差を、災害会計システムの価値と捉えることができる。

2. 経済成長と災害被害、動学的防災投資効果

大規模災害は多くの物的資産や資本を同時に破壊する。経済が成長した社会ほど災害による被害も増大し、復旧には長い期間を要することになる。その後、物的・人的資本ストック、産出水準、居住環境、心理的被害等が災害前の状態にまで回復したとき、通常、社会は災害から完全に復旧したと言われる。しかし、マクロ経済が成長しているとき、経済の損失

*キーワード：財源・制度論，リスク管理

**正員 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 TEL 0857-31-5311
FAX 0857-31-0882)

***フェロー員 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)

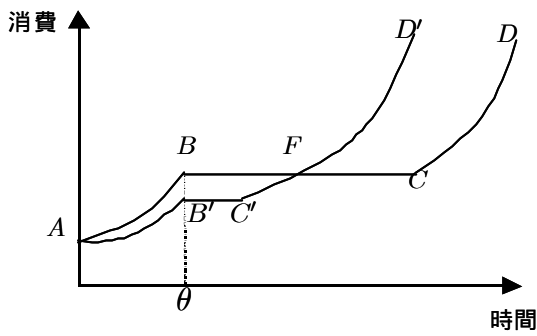


図 - 1 災害復旧期間と防災投資効果

は災害復旧期間における一時的な消費の低迷に止まらない。経済の損失を災害が生起しなかった場合に辿る経路 (without-case) との乖離によって評価しよう。このとき、被災した経済にとって復旧期間の長さに対応した経済成長の遅延がレベル効果として永続することになる。経済の成長率が without-case の成長率に収束したとしても、without-case が正の成長率を保持する限りは産出・消費のレベルが without-case に追いつくことはない。

それに対して事前に防災投資を行うことによって災害時の被害を軽減することができる。被害レベルを軽減すれば、経済はより早期に成長過程に復帰することが可能となる。本研究では災害後に永続するレベル効果を制御するための防災投資戦略について分析する。経済成長モデルを定式化し、災害の事前における生産基盤と防災施設の間の最適投資配分について検討する。

経済の成長過程において継続的に防災投資が行われた場合と、過小な防災投資しか行われなかった場合とを比較しよう。図 - 1 は時間軸上の 2 通りの消費の成長経路を示す。経路 $ABCD$ は低いレベルで防災投資が行われるケース、経路 $AB'C'D'$ は比較的高いレベルの防災投資が行われるケースを示す。災害が生起する事前においては、より多く防災投資へ資源を配分した場合のほうが消費水準は低くなる。災害が時刻 θ に生起したとしよう。高度な防災投資を行ったケースでは復旧期間は $B'C'$ で終了する。それに対して、事前に低い防災投資しか行われなかったケースでは復旧期間は BC の期間継続することになる。2 つのケースを比較すると、点 F までの時間帯においては経路 $ABCD$ は経路 $AB'C'D'$ に比べて消費水準が大きくなる。その差は面積 $ABFC'B'$ に対

応した大きさに集計される。しかし点 F 以降は経路 $AB'C'D'$ よりも低い水準を辿り、その乖離は永続する。損失は面積 $FD'DC$ により表される。

3. モデル

任意の時刻 t を起点とする時間軸 $[t, \infty)$ を考える。災害事象は到着率 μ のポワソン確率過程に従って到着すると仮定する。本研究では閉鎖経済を対象とする。家計数を 1 に基準化し、労働力は非弾力的であるとする。また AK 技術を仮定し、生産水準を $f(k) = Ak(t)$ により表す。ただし $k(t)$ は時刻 t における生産資本ストックの水準、 A は生産資本の限界生産性を表す正の定数である。また社会の防災施設のストック水準を $\delta(t) (\geq 0)$ により表し、防災資本と呼ぶ。両資本ストックとも減耗しない。また総資本ストックを $z(t) = k(t) + \delta(t)$ により表す。

災害が生起するとある期間、経済成長が停止する。本研究では災害生起後、再び経済成長が始まるまでの期間を復旧期間と呼ぶ。復旧期間の長さ R は $z(t)$ の増加関数、 $\delta(t)$ の減少関数とする。かつ R は $z(t)$ と $\delta(t)$ に関して 0 次同次であるとする。すなわち復旧期間関数は $\tilde{\delta}(t) = \delta(t)/z(t)$ により $R = R(\tilde{\delta}(t))$ と表され、以下の性質を満足すると仮定する。

$$\frac{dR(\tilde{\delta}(t))}{d\tilde{\delta}(t)} \leq 0, \quad \frac{d^2 R(\tilde{\delta}(t))}{d\tilde{\delta}(t)^2} \geq 0 \quad (1a)$$

$$\lim_{\tilde{\delta} \rightarrow 0} R(\tilde{\delta}) = \infty, \quad \lim_{\tilde{\delta} \rightarrow 1} R(\tilde{\delta}) = 0 \quad (1b)$$

家計は時間軸上で無限の視野をもつと仮定する。本研究はファーストベストの問題を扱い、社会厚生関数として代表的家計の生涯期待効用関数を採用する。家計の瞬間効用関数を $u(c(t))$ と表す。 $c(t)$ は時刻 t の消費水準を表す。 $u(c(t))$ は $u'(c(t)) > 0$, $u''(c(t)) \leq 0$ を満たす。以後、 $'$, $''$ はそれぞれ 1 回、2 回微分を表す。

4. 最適化問題の定式化

最適化問題を 2 つの期間「成長期間」と「復旧期間」に分けて定式化する。成長期間には経済は最適資本蓄積経路上で成長しており、生産資本と防災資本の双方へ正の投資が行われる。一方、災害が生起すると経済成長が停滞する。復旧期間には消費水準と両資本の水準が、災害が生起する直前の時点の水

準のまま一定であると仮定する．本研究では災害リスクを，防災資本と総資本の水準に依存した復旧期間の長さだけ，経済成長の時間が失われるリスクとして捉える．なお2つの期間は循環関係にある．成長期間は災害が発生することによって復旧期間に移行する．一方，復旧期間には2通りの終了の仕方がある．1) 復旧期間中に災害が生起し，復旧期間が再開する．2) 復旧期間が終了し，成長期間に復帰する．

成長期間の最適化問題を考えよう．時刻 t 現在の成長期間の社会厚生水準は，災害の到着時刻を終端時刻として次式のように表される．

$$EW^G(t) = E_\theta \left[\int_t^\theta u(c(\tau)) \exp\{-\rho(\tau - t)\} d\tau + v^R(k(\theta), \delta(\theta)) \exp\{-\rho(\theta - t)\} \right] \quad (2)$$

ただし ρ は主観的割引率であり， $\rho < \mu$ と仮定する． $v^R(k(\theta), \delta(\theta))$ は成長期間から復旧期間に移行するときの終端効用関数である．また $E_\theta[\cdot]$ は，確率変数である災害到着時刻 θ に関する期待値操作を表す． $E_\theta[\cdot]$ を計算することにより，成長期間の最適化問題は以下のように表される．

$$\max_{\gamma(t)} \left[\int_t^\infty \{u(c(\tau)) + \mu v^R(k(\tau), \delta(\tau))\} \cdot \exp\{-(\rho + \mu)(\tau - t)\} d\tau \right] \quad (3a)$$

$$\text{s.t. } \dot{z}(t) = Az(t) - A\delta(t) - c(t) \quad (3b)$$

$$k(\tau) = z(\tau) - \delta(\tau) \quad (3c)$$

$\gamma(t) = \{c(\tau), \delta(\tau) (\tau \in [t, \theta])\}$ は制御変数ベクトルである．次に復旧期間の社会厚生水準を求める．過去の時刻 $\hat{\theta}$ ($< t$)に災害が発生し，現時点 t において復旧期間にいるとしよう．上述のように復旧期間には2通りの終了の仕方がある．上記の1)の場合の終端効用関数を $v^R(k(\hat{\theta}), \delta(\hat{\theta}))$ とし，2)の場合のそれを $v^G(z(\hat{\theta}))$ と表す．復旧期間では消費・両資本の水準が一定であることに留意して1) 2)のケースの期待値を計算することにより，復旧期間の社会厚生水準が求められる．

$$EW^R(t) = \frac{u(c(\hat{\theta})) + \mu v^R(k(\hat{\theta}), \delta(\hat{\theta}))}{\rho + \mu} \cdot [1 - \exp\{-(\rho + \mu)(\hat{\theta} + R(\tilde{\delta}(\hat{\theta})) - t)\}] + v^G(z(\hat{\theta})) \exp\{-(\rho + \mu)(\hat{\theta} + R(\tilde{\delta}(\hat{\theta})) - t)\} \quad (4)$$

再び成長期間の問題を考える．最適値関数 $V(z(t))$ を導入しよう．2期間の循環関係に着目す

ると，最適経路上で $V(z(t)) = EW^G(t) = v^G(z(t))$ ， $EW^R(\hat{\theta}) = v^R(k(\hat{\theta}), \delta(\hat{\theta}))$ が成立する．式(4)を式(2)に代入して整理すると，以下のBellmanの再帰方程式を得る．

$$V(z(t)) = \max_{\gamma(t)} \left[\{U(c(t), \tilde{\delta}(t)) + \mu \Lambda(\tilde{\delta}(t)) V(z(t))\} d\tau + V(z(t + d\tau)) \exp\{-(\rho + \mu)d\tau\} \right] \quad (5)$$

ここで $U(c(t), \tilde{\delta}(t)) = \{1 + \mu \Gamma(\tilde{\delta}(t))\} u(c(t))$ は瞬間的・期待効用関数である．ただし，

$$\Gamma(\tilde{\delta}(t)) = \frac{1 - \exp\{-(\rho + \mu)R(\tilde{\delta}(t))\}}{\rho + \mu \exp\{-(\rho + \mu)R(\tilde{\delta}(t))\}} \quad (6a)$$

$$\Lambda(\tilde{\delta}(t)) = \frac{(\rho + \mu) \exp\{-(\rho + \mu)R(\tilde{\delta}(t))\}}{\rho + \mu \exp\{-(\rho + \mu)R(\tilde{\delta}(t))\}} \quad (6b)$$

$$\frac{d\Gamma(\tilde{\delta})}{d\tilde{\delta}} < 0, \quad \frac{d\Lambda(\tilde{\delta})}{d\tilde{\delta}} > 0 \quad (6c)$$

高度な防災投資を行うほど復旧期間が短くなることから， $\Gamma(\tilde{\delta})$ は $\tilde{\delta}$ の減少関数となる．一方， $\Lambda(\tilde{\delta})$ は防災投資による成長経路への復帰効果を反映している．Hamilton-Jacobi方程式は次式で与えられる．

$$V(z(t)) = \max_{\gamma(t)} \left[\rho^{-1} u(c(t)) + \Omega(\tilde{\delta}(t))^{-1} \frac{dV(z(t))}{dz(t)} \{Az(t) - A\delta(t) - c(t)\} \right] \quad (7)$$

$\Omega(\tilde{\delta}(t))$ は復旧期間を考慮した一般化割引率である．

$$\Omega(\tilde{\delta}(t)) = \rho + \mu \{1 - \Lambda(\tilde{\delta}(t))\} \quad (8a)$$

$$\Omega'(\tilde{\delta}) \leq 0 \text{ for } \forall \tilde{\delta} \geq 0 \quad (8b)$$

$$\Omega''(\tilde{\delta}) > 0 \text{ for } \forall \tilde{\delta} > \tilde{\delta}_1 > 0$$

$$\text{ただし } \rho - \mu \exp\{-(\rho + \mu)R(\tilde{\delta}_1)\} = 0 \quad (8c)$$

$$\lim_{\tilde{\delta} \rightarrow 0} \Omega(\tilde{\delta}) = \rho + \mu, \quad \lim_{\tilde{\delta} \rightarrow 1} \Omega(\tilde{\delta}) = \rho \quad (8d)$$

式(8d)はそれぞれ社会が不可逆的な被害を受ける場合，災害被害が皆無である場合の社会的割引率を表す．本モデルにおいては割引率は内生的に決まる．

5. 最適投資行動

最適値関数形がわかっているものと仮定する．1階の最適化条件は以下のように与えられる．

$$\rho^{-1} u'(c(t)) = \Omega(\tilde{\delta}(t))^{-1} \frac{dV(z(t))}{dz(t)} \quad (9a)$$

$$-\Omega(\tilde{\delta}(t))^{-2} \Omega'(\tilde{\delta}(t)) \frac{\partial \tilde{\delta}(t)}{\partial \delta(t)} \dot{z}(t) = A \Omega(\tilde{\delta}(t))^{-1} \quad (9b)$$

最適消費条件式 (9a) では，消費の限界効用と投資財の潜在価格の間のウェイトが異なる．消費は復旧期間においても継続するのに対して，資本の蓄積は災害により停止するリスクに直面するためである．最適防災投資条件式 (9b) は，防災投資による一般化割引率の減少を通じた投資財の当該期価値の増加（左辺）が，防災投資の限界費用（右辺）に等しくなるように防災投資水準が選択されなければならないことを示す．また，消費と資本の動学過程に関して以下の2式を得る．なお $\tilde{c}(t) = c(t)/z(t)$ ， $\sigma(c) = -u'(c)/\{cu''(c)\}$ ，着目する変数に関する成長率を $\gamma_x = \dot{x}(t)/x(t)$ により表す．

$$\gamma_c = \sigma(c)\{A - \Omega + \frac{\Omega'}{\Omega}\gamma_\delta\tilde{c}\} \quad (10a)$$

$$(\gamma_\delta - \gamma_z)\gamma_z\tilde{\delta} = \frac{\Omega'}{\Omega''}(\gamma_c - \gamma_z)\tilde{c} \quad (10b)$$

式 (10a) より，防災投資の成長率の上昇は消費の成長率の低下をもたらす，逆もまた成立する．また定常状態における成長率 γ^s と $(\tilde{c}^s, \tilde{\delta}^s)$ は次式を満足する．

$$\begin{aligned} \gamma^s &\equiv \gamma_z = \gamma_c = \gamma_\delta \\ &= \sigma^s(A - \Omega^s)(1 - \sigma^s\tilde{\delta}^s\frac{\Omega^{s'}}{\Omega^s})^{-1} \end{aligned} \quad (11a)$$

$$\sigma^s(A - \Omega^s) + (\sigma^s\frac{\Omega^{s'}}{\Omega^s}\tilde{\delta}^s - 1)(A - A\tilde{\delta}^s - \tilde{c}^s) = 0 \quad (11b)$$

$A > \rho + \mu$ であれば $\gamma^s > 0$ が保証される．

6. 数値計算事例

以下のように関数を特定化しよう．

$$u(c(t)) = \log c(t), \quad R(\tilde{\delta}(t)) = -\frac{\log \tilde{\delta}(t)}{\rho + \mu} \quad (12)$$

$\mu > 3\rho$ を仮定する．一般化割引率は次式に決まる．

$$\Omega(\tilde{\delta}) = \frac{\rho(\rho + \mu)}{\rho + \mu\tilde{\delta}} \quad (13)$$

$\Omega'(\tilde{\delta}) < 0$ ， $\Omega''(\tilde{\delta}) > 0$ が成立する．定常状態における成長率 γ^s は次式で与えられる．

$$\gamma^s = \frac{\rho(A - \rho - \mu) + A\mu\tilde{\delta}^s}{\rho + 2\mu\tilde{\delta}^s} \quad (14)$$

災害の生起確率 $\mu = 0.07$ ，主観的割引率 $\rho = 0.02$ を与えて，資本の限界生産性 A と μ ， ρ との間の相対的な大小関係が定常状態における消費・投資行動に与える影響について調べよう．表 - 1 に数値計算結

表 - 1 生産技術と定常状態

A	$\tilde{c}^s$	$\tilde{k}^s$	$\tilde{\delta}^s$	Ω^s	γ^s
0.15	0.0566	0.832	0.168	0.0566	0.068
0.20	0.0495	0.767	0.233	0.0495	0.104
0.25	0.0468	0.736	0.264	0.0468	0.137
0.30	0.0453	0.718	0.282	0.0453	0.170
0.35	0.0444	0.706	0.294	0.0444	0.203
0.40	0.0437	0.698	0.302	0.0437	0.235
0.45	0.0432	0.691	0.309	0.0432	0.268
0.50	0.0429	0.686	0.314	0.0429	0.300

果を示す．生産技術 A が上昇すると定常成長率 γ^s は上昇する．このとき総資本水準 $z(t)$ に対する消費率 $\tilde{c}^s(t)$ は減少する．また総資本に対する生産資本の割合 $\tilde{k}^s(t)$ は減少し，防災資本の割合 $\tilde{\delta}^s(t)$ は増加する．すなわち，より高い生産技術を有し，高い経済成長を実現する社会ほど，資本のより大きな割合を防災投資に配分しなければならない．より大きな資本が蓄積され expose した社会ほど，ひとたび被災すると多くの資本が壊滅し，経済成長は長い期間停滞する．そのため事前のリスク管理としての防災投資がより大きな価値をもつようになるのである．そして防災資本の比率が上昇すると一般化割引率 Ω^s は減少する．モデルの構造より，一般化割引率 Ω^s を減少させるために防災資本を拡充すると解釈することもできる．

7. おわりに

災害復旧期間における経済成長の停滞は，災害が生じない成長経路と比較したとき，レベル効果として永続的な機会損失をもたらす．従って災害の事前には，すなわち経済成長が継続している過程において，生産資本への投資に加えて防災施設ストックを拡充していく必要がある．本研究では社会が外部から借入を行えない閉鎖経済を対象として，社会が通時的に生産資本と防災資本の間でどのように投資を配分すべきかを分析した．今後は災害会計の構築を目標とする．本稿は経済成長下におけるファースト・ベストの防災投資行動の記述に止まったが，それは完全な災害会計システムの存在下の防災投資行動に対応する点で，今後，災害会計導入の効果を考慮する上での参照点を与えるものである．

参考文献

- 1) Barro R.J., X.Sala-i-Martin: 内生的経済成長論 I, II, 大住圭介訳, 九州大学出版会, 1997.