

開発途上国における防災投資の長期的効果の マクロ経済分析

石渡 裕明¹・横松 宗太²

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 大阪本社 (〒 530-0004 大阪市北区堂島浜一丁目 2 番 1 号)
京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: ishiwata@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学防災研究所 巨大災害研究センター (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: yoko@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

本研究では、防災資本とその投資費用を動学的確率的マクロ経済モデルに導入し、人的資本、物的資産、生産資本、そして土地に対する災害リスクの考慮の下、防災投資が開発途上国の経済成長や社会厚生に与える長期的な影響を評価する。また、防災投資効果とその費用との関係を分析し、適切な防災投資水準について考察する。本分析により、防災投資水準が高いほど災害時の各変数の落ち込みが小さくなる一方、防災投資は過剰であっても経済成長や社会厚生を高めることはないことを確認できた。そして、防災投資効果は、防災投資水準に関して単峰型になるという示唆が得られた。

Key Words : *disaster risk reduction, investment cost, economic growth, poverty, developing country, dynamic stochastic macroeconomic model*

1. はじめに

多発する巨大な自然災害が、開発途上国の社会経済や貧困層の人々の生活に深刻な影響を与えている。近年、自然災害の発生件数は増加傾向にあり、全世界の自然災害の年間平均被害額は約 3,140 億ドル¹⁾、過去 30 年間の総被害額は約 3.5 兆ドル²⁾に達すると推定されている。特に、災害に対する事前の防災投資や復旧・復興に必要な財源を有していない低所得国では被害が大きくなる傾向にある。貧困層の人々は、自然災害により資産が失われると、本来教育を受けるべき期間に際しても生存のために長時間の労働を強いられ、人的資本蓄積の機会を損失する。これは、将来的な所得向上の機会を狭め、「貧困の罠」からの脱却を困難にし、延いては国家の経済成長の停滞や社会的格差の拡大へと繋がっていく。

このような状況下において、国際機関による国際的な防災戦略の策定が進められている。2015 年に開催された第 3 回国連世界防災会議では、仙台防災枠組が採択され、「強靱化のための防災投資³⁾」を優先行動とすることが明記された。また、目標指標として「2030 年までに災害による直接経済損失を国内総生産 (GDP) との比較で削減する³⁾」と明記された。また、同年に国連総会で採択された SDGs においても、「貧困層や脆弱な状況にある人々の強靱性を構築し、災害による暴露や脆弱性を軽減する⁴⁾」と明記された。一方で、過去 20

年間の国際援助 3 兆ドルの内、事前の防災投資に使われた金額は約 135 億ドル、すなわち総援助額の 0.4%程度⁵⁾に過ぎない現状がある。また、比較的、事前の防災投資に重点を置いている開発途上国の政府、例えばインドやインドネシアにおいても、防災投資に充てられる予算は国内総生産 (GDP) の 0.1%程度⁶⁾である。

防災投資が十分に進まない理由の一つとして、開発途上国は自然災害以外に、貧困や教育、食料保障、安全保障など多くの問題に取り組まなければならない点が挙げられる。自然災害から資産を守るために長期的な防災投資の重要性は認識されている一方、防災投資は自然災害が発生するまで効果が見え難いため、短期的に投資効果が発現する事案や緊急を要する事案へと投資が流れてしまうのが現状である。防災投資が進まない別の理由としては、防災の投資効果と費用との関係が不明瞭である点が挙げられる。その関係が不明瞭であると、防災投資の必要規模や投資時期などに対する正しい意思決定が困難となる。そのため、防災投資効果を定量的に示して政策判断に活用可能な評価手法を確立させることが重要となる。

防災投資の経済的影響の評価に関する既往研究はいくつか存在する。Mechler et al.⁷⁾は、IIASA CATSIM モデルを用いて、自然災害に対する国家財政の脆弱性を財務戦略の視点から分析した。瀬木ら⁸⁾は、動学的確率的マクロ経済モデルを用いて、生産資本と防災資本の最適成長経路を示すとともに、長期的な防災投資政

策について分析した。Yokomatsu et al.⁹⁾は動学的確率的マクロ経済モデルに労働生産性を表す人的資本および家屋や家財を現す物的資産を導入した。そして、防災投資が人的資本、物的資産、そして生産資本の形成を促進し、それが長期的な国家の経済成長へ繋がることを定量的に示した。ただし、防災資本の蓄積とその投資費用は考慮されていないため、適切な防災投資水準については明らかでない。

僅かな防災投資でも自然災害の被害軽減に繋がり、防災投資が開発途上国の経済成長、貧困や教育などの社会問題に寄与することを示すためには、防災資本の蓄積と投資費用を考慮し、その防災投資効果を定量的に示すことが不可欠である。本研究では、防災資本とその投資費用を動学的確率的マクロ経済モデルに導入し、人的資本、物的資産、生産資本、そして土地に対する災害リスクの考慮の下、防災投資が開発途上国の経済成長や社会厚生に与える長期的影響を評価する。また、防災の投資効果とその費用との関係进行分析し、適切な防災投資水準について考察する。以下、第 2 章ではモデルの定式化を行う。第 3 章では、Pakistan を例とするケーススタディを実施する。そして、第 4 章で本研究の結論を述べる。

2. モデル

本研究では、離散的時間軸を持つ Ramsey 型最適成長モデルに不確実性、防災資本、人的資本、および物的資本を取り入れたモデルを用いる。

経済空間は、一部門一國閉鎖経済を仮定する。したがって、他国との貿易や国際援助は想定しない。市場は完全競争的であると仮定する。財市場では消費財と物的資産、生産要素市場では人的資本、金融資産、そして土地が取引される。金融資産は企業において、生産施設（以下、「生産資本」）となる。

生産技術は規模に関する収穫一定を仮定し、社会経済構造の変革による急激な技術成長は起こらないものとする。災害により生産要素が失われた場合は、残存する生産要素を用いて生産活動が行なわれる。

家計は同質な選好を持つものと仮定する。また、家計は無視視野を持ち、災害のリスク認識を含めて完全合理的に経済活動を行う。家計所得は生産額と等価であり、每期、その一定割合が防災投資に充てられる。簡便化のため、人口成長は無いものと仮定する。

これらの仮定の下では、分権型経済から導き出される市場均衡解が中央計画経済から導き出される社会最適解と一致する。一般に市場均衡問題よりも社会最適化問題の方が計算が容易なため、本研究は社会最適化にて分析する。

(1) イベントフロー

t 期におけるイベントフローは以下を仮定する。

- i) 代表的家計は、 t 期の期初における自らの生産資本 k 、物的資産 z 、人的資本 h 、そして国家全体の防災資本 G の蓄積水準を確認する。
- ii) 起こりうる災害被害と生涯期待効用を考慮し、 t 期における物的資産形成 ξ を決定する。
- iii) 災害規模 l の災害が発生し、資産に損害が生じる。生産資本、物的資産、および防災資本は永続的な乗法ショック、人的資本と土地は一時的な乗法ショックを受ける。
- iv) 残存する生産要素を用いて生産活動を行い所得を得る。所得の一定割合 g は防災投資に充てられる。同時に、 t 期における消費 c^t と教育時間 m^t を決定し、効用水準が定まる。
- v) $t + 1$ 期における生産資本 k^{t+1} 、物的資産 z^{t+1} 、人的資本 h^{t+1} 、そして防災資本 G^{t+1} が決まる。その後、i) から同じサイクルを繰り返す。

(2) 防災資本と自然災害

a) 防災資本の蓄積

防災資本 G は、災害被害率を減少させる働きを持つ資産とする。その蓄積過程は以下のとおりである。

$$G^{t+1} = (1 - \delta_G)(1 - \sigma^l)G + NgF(B, (1 - \omega^l(G))h, (1 - \psi^l(G))k, (1 - \tau^l(G))T) \quad (1)$$

ここで、 N は総人口を表す。代表的家計は、每期、所得 $F(\cdot)$ の一定割合 g を防災資本への投資に充てるものとする。一方で防災資本は、災害によって防災資本被害率 σ^l だけ失われる。また、防災資本は每期、一定比率 δ_G で減耗するものと仮定する。

b) 自然災害の発生と被害率

自然災害は、各期に一度だけ発生する。災害規模 $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ の災害が起きる確率は μ^l であり、以下を満たす。

$$\sum_l \mu^l = 1 \quad (2)$$

各資産に対して、災害規模 l に対応する災害被害率が与えられる。生産資本 k 、物的資産 z 、人的資本 h 、そして土地 T の災害被害率は、防災資本 G の蓄積とともに減少するものと仮定する。

$$\text{生産資本被害率: } \psi^l(G) = \psi_0^l \cdot \zeta(G) \quad (3a)$$

$$\text{物的被害率: } \phi^l(G) = \phi_0^l \cdot \zeta(G) \quad (3b)$$

$$\text{人的被害率: } \omega^l(G) = \omega_0^l \cdot \zeta(G) \quad (3c)$$

$$\text{土地被害率: } \tau^l(G) = \tau_0^l \cdot \zeta(G) \quad (3d)$$

$$\text{防災資本被害率: } \sigma^l = \sigma_0^l \quad (3e)$$

where

$$\zeta(G) = \frac{G_0}{G} \quad (4)$$

ここで、 G_0 は基準年における防災資本の蓄積量を示す。また、 ψ_0^l , ϕ_0^l , ω_0^l , τ_0^l , σ_0^l は、基準年と同規模の防災資本を維持した場合の各要素の災害被害率を示す。

(3) 生産技術と国内総生産

a) 生産技術と生産関数

生産関数は、Cobb-Douglas 型の関数を仮定する。財は災害後に残存する 3 種類の生産要素、つまり人的資本 $(1 - \omega^l(\cdot))h$ 、生産資本 $(1 - \psi^l(\cdot))k$ 、土地 $(1 - \tau^l(\cdot))T$ を用いて生産される。

$$\begin{aligned} & F(B, (1 - \omega^l(G))h, (1 - \psi^l(G))k, (1 - \tau^l(G))T) \\ & = B[(1 - \omega^l(G))h]^{\alpha_1} [(1 - \psi^l(G))k]^{\alpha_2} [(1 - \tau^l(G))T]^{\alpha_3} \end{aligned} \quad (5)$$

where

$$B = B_0(1 + \beta)^{t-t'} \quad (6)$$

$$\sum_{\bar{x} \in \{1,2,3\}} \alpha_{\bar{x}} = 1, \quad \alpha_{\bar{x}} \in (0, 1) \quad (7)$$

ここで、 B は全要素生産性、 B_0 は基準年における全要素生産性、 β は外生的技術進歩率を示す。 $\alpha_{\bar{x}}$ は生産要素のシェアパラメータである。

b) 国内総生産

国内総生産 GDP^l は、生産額の集計量であるから、式 (5) を用いて次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} & GDP^l = \\ & N \cdot F(B, (1 - \omega^l(G))h, (1 - \psi^l(G))k, (1 - \tau^l(G))T) \end{aligned} \quad (8)$$

国内総生産 GDP^l は、総所得と等価である。

(4) 家計の経済活動

a) 生涯期待効用の最大化

代表的家計は、災害リスクに対して完全合理的な意思決定を行う。消費 c^l および物的資産 z で定義される生涯期待効用が最大となるように資源配分を行う。

$$\max E \left[\sum_{t=t'}^{\infty} u(c^l(t), (1 - \phi^l(G))z(t)) \cdot \Lambda^{t-t'} \right] \quad (9)$$

where

$$\Lambda = \frac{1}{1 + \rho} \quad (10)$$

ここで、 $E[\cdot]$ は期待操作を表す記号である。 ρ は時間選好率を意味し、 Λ は現在割引率を示す。

瞬時の効用関数 $u(\cdot)$ は、「貧困の罠」に陥る状況を表

現可能な Stone-Geary 型を用いて表現する。

$$\begin{aligned} & u(c^l, (1 - \phi^l(G))z) \\ & = \frac{[(c^l - \bar{c})^{\gamma_1} \{(1 - \phi^l(G))z\}^{\gamma_2}]^{1-\theta} - 1}{1 - \theta} \end{aligned} \quad (11)$$

where

$$\sum_{x \in \{1,2\}} \gamma_x = 1, \quad \gamma_x \in (0, 1) \quad (12)$$

ここで、 γ_x は消費のシェアパラメータ、 θ は相対的危険回避度を示す。消費 c^l が生存最低消費水準 \bar{c} に接近すると消費の限界効用が高まるため、消費に対する資源配分の優先度が高まることになる。その結果、資産形成が遅れて経済成長を鈍化させ、「貧困の罠」からの脱却を困難にする。

b) 生産資本の蓄積

生産資本 k は、生産活動に必要な生産施設やインフラを表す資産とする。その蓄積過程は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} & k^{l+} = \\ & (1 - g)F(B, (1 - \omega^l(G))h, (1 - \psi^l(G))k, (1 - \tau^l(G))T) \\ & + (1 - \delta_k)(1 - \psi^l(G))k - c^l - \eta(m^l) - \xi \end{aligned} \quad (13)$$

生産資本 k は、災害によって生産資本被害率 $\psi^l(\cdot)$ だけ失われる。また、生産資本 k は毎期、一定比率 δ_k で減耗するものと仮定する。

c) 物的資産の蓄積

消費 c^l は非耐久財への支出であるのに対し、物的資産 z は家屋や家財といった耐久財を表す資産とする。その蓄積過程は以下のとおりである。

$$z^{l+} = (1 - \delta_z)(1 - \phi^l(G))z + \xi \quad (14)$$

物的資産 z は、災害によって物的被害率 $\phi^l(\cdot)$ だけ失われる。また、物的資産 z は毎期、一定比率 δ_z で減耗するものと仮定する。

d) 総資産の定義

代表的家計が保有する生産資本 k と物的資産 z の合計を総資産 a と定義する。

$$\begin{aligned} & a^{l+} := k^{l+} + z^{l+} \\ & = (1 - g)F(\cdot) + (1 - \delta_k)(1 - \psi^l(G))(a - z) \\ & + (1 - \delta_z)(1 - \phi^l(G))z - c^l - \eta^l(m^l) \end{aligned} \quad (15)$$

制御変数の一つである物的資本形成 ξ がキャンセルアウトされる。そのため、総資産 a に対して物的資産 z を状態変数ではなく、制御変数のように扱うことが可能となる。

e) 人的資本の蓄積

人的資本 h は、生産性を考慮した労働とする。人的資本 h が大きいほど多くの生産が可能となり、その結

果, 多くの労働所得を得られる. その蓄積過程は以下のとおりである.

$$h^{l+} = (1 - \delta_h)h + \iota \cdot m^l \quad (16)$$

ここで, ι は人的資本形成の補正係数を示す. 調整が不要な場合は, $\iota = 1$ とする. 人的資本 h は災害により失われることは無いが, 災害により一時的に減少するものと仮定する. また, 人的資本 h は毎期, 一定比率 δ_h で減耗するものと仮定する. これは, 知識は放っておくと一様に劣化・陳腐化するという状況を表現するとともに, 世代の入れ替わり (人的資本の高い世代が死亡し, 低い世代が誕生する) を反映している.

年間に利用できる時間は有限であるため, 年間で人的資本 h をより多く蓄積するためには, 効率的かつ質の高い教育を受ける必要がある. この理由から, 教育時間 m^l の増加に伴い, 人的投資費用 $\eta(\cdot)$ は逡増するものと仮定する.

$$\eta(m^l) = \eta_0 \cdot (m^l)^2 \quad (17)$$

ここで, η_0 は二次の項の係数である. 簡便化のため, 本モデルでは二次関数型の人的投資費用関数 $\eta(\cdot)$ を仮定する.

(5) 動学的最適化

代表的家計の動学的最適化問題は, 制約条件式 (1), (15), (16) の下で, 以下のように記述される.

$$\begin{aligned} & V(a(t), h(t), G(t), B(t)) \\ &= \max E \left[\sum_{t=t'}^{\infty} u(c^l(t), (1 - \phi^l(G))z(t)) \cdot \Lambda^{t-t'} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

s.t.

$$\begin{aligned} a^{l+} &= (1 - g) \cdot F^l(\cdot) + (1 - \delta_k)(1 - \psi^l(G))(a - z) \\ &\quad + (1 - \delta_z)(1 - \phi^l(G))z - c^l - \eta^l(m^l) \\ h^{l+} &= (1 - \delta_h)h + \iota \cdot m^l \\ G^{l+} &= (1 - \delta_G)(1 - \sigma^l)G + gF^l(\cdot)N \\ a^{l+}, h^{l+}, G^{l+} &> 0 \end{aligned}$$

価値関数 $V(\cdot)$ は, 最適な資源配分により達成可能な生涯期待効用の最大値を示す. 式 (18) は, 次の Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式と等価になる.

$$\begin{aligned} & V(a, h, G, B) \\ &= \max E \left[u(c^l, (1 - \phi^l(G))z) \right. \\ &\quad \left. + \Lambda \cdot V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+) \right] \\ &= \max \sum \mu^l \left[u(c^l, (1 - \phi^l(G))z) \right. \\ &\quad \left. + \Lambda \cdot V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+) \right] \end{aligned} \quad (19)$$

式 (19) の消費 c^l , 物的資産 z , 教育時間 m^l に関する一階条件式は以下のとおりである.

$$c^l : \frac{\partial u(c^l, (1 - \phi^l(G))z)}{\partial c^l} = \Lambda \cdot \frac{\partial V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+)}{\partial a^{l+}} \quad (20a)$$

$$\begin{aligned} z : \sum \mu^l \left[\frac{\partial u(c^l, (1 - \phi^l(G))z)}{\partial z^l} \right. \\ \left. + \Lambda \cdot \frac{\partial V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+)}{\partial a^{l+}} \cdot \frac{\partial a^{l+}}{\partial z} \right] = 0 \end{aligned} \quad (20b)$$

$$\begin{aligned} m^l : \frac{\partial V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+)}{\partial h^{l+}} \cdot \iota \\ = \frac{\partial V(a^{l+}, h^{l+}, G^{l+}, B^+)}{\partial a^{l+}} \cdot \frac{\partial \eta(m^l)}{\partial m^l} \end{aligned} \quad (20c)$$

式 (20a) は消費 c^l の限界効用と総資産 a の現在割引限界価値が等しくなることを意味する. 式 (20c) は人的資本 h の限界価値と教育時間 m^l の限界費用が等しくなることを意味する.

横断性条件は, 以下のとおりである.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a \cdot V_a \cdot \Lambda^t = 0 \quad (21a)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} h \cdot V_h \cdot \Lambda^t = 0 \quad (21b)$$

これは, 計画期間終期における相補条件を示す.

本研究では, 制約条件式 (1), (15), (16) の下, Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式 (19) およびその一階条件式 (20a)-(20c) を Value Function Iteration により解くことによって社会最適解を得る.

3. ケーススタディ

Pakistan を対象にケーススタディを実施する. 対象とする自然災害は洪水とする. 使用する社会経済データは, Debowicz et al.¹⁰⁾ によって作成された Pakistan の 2007 年社会会計表 (Social Accounting Matrix, SAM), および World Bank の統計データベース World Development Indicators¹¹⁾ の 2007 年値を基に作成する. 人的資本は UNDP の Human Development Reports¹²⁾ に整理されている平均就学年数を代理変数として利用する. 災害データについては, Ota¹³⁾ が洪水モデル CaMaflood を Pakistan に適用して得た災害被害率とその発生確率を利用する. データ制約のため, 防災資本被害率については $\sigma^l = 0$ を仮定する. また, 生存最低消費水準は $\bar{c} = 200$, 全要素生産性の成長率は Khan¹⁴⁾ を参考に $\beta = 0.02$ と仮定する.

図-1 に示す災害規模の洪水が発生する例を考える. この例では, 第 3 期に最大規模の洪水が発生している. なお, これ以降の図中の赤塗潰部 (第 3 期) は最大規模の洪水の発生年を差すものとする.

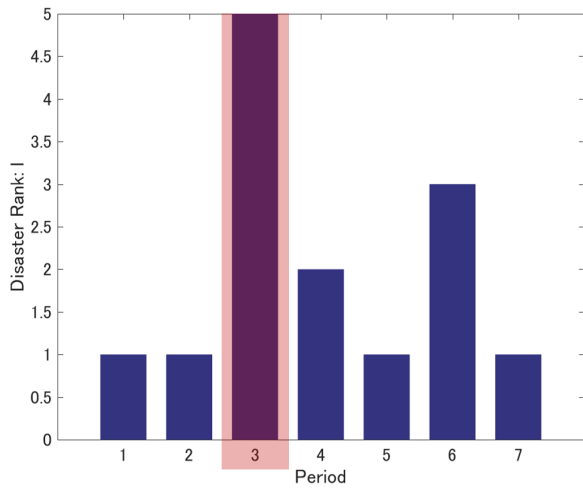


図-1 災害規模の Sample Path

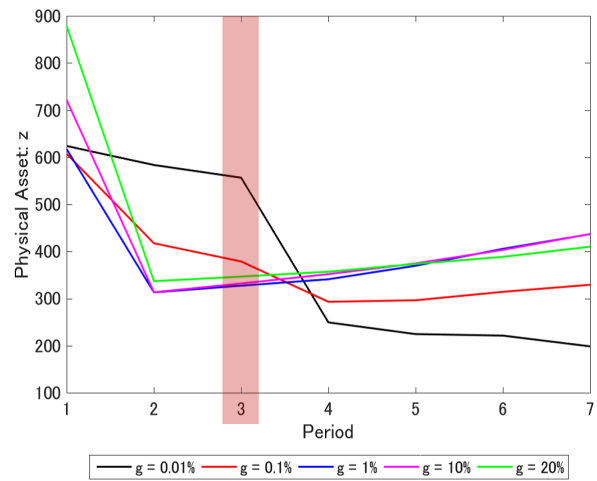


図-3 物的資産の経年変化 (単位: USD)

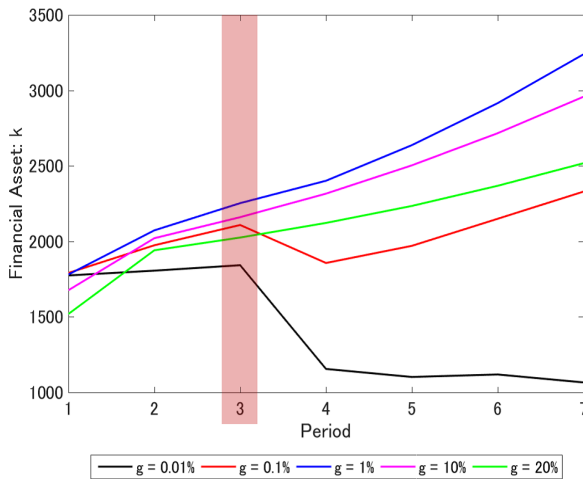


図-2 生産資本の経年変化 (単位: USD)

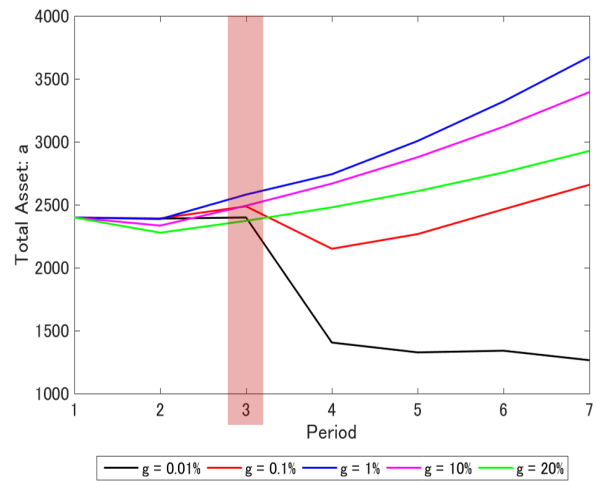


図-4 総資産の経年変化 (単位: USD)

本ケーススタディでは、国内総生産 (GDP) に占める防災投資支出の割合 g が 0.01%, 0.1%, 1%, 10%, 20% の 5 ケースにて分析を進める。

(1) 資産への影響 (生産資本と物的資産)

図-2 と図-3 は、それぞれ生産資本と物的資産の経年変化、図-4 は総資産 (生産資本と物的資産の合計) の経年変化を示す。生産資本と物的資産ともに、防災投資水準が高ければ、災害時の損失が少なくなることを確認できる。また、今回設定した災害被害率は、生産資本被害率の方が物的被害率よりも大きな値となっているため、防災投資の被害軽減効果は生産資本により大きく働く。そのため、防災投資水準が高いケースでは、第 2 期までに物的資産から生産資本への資産の大きな移動が見られる。その際、総資産に大きな変動はない。

(2) 教育への影響 (教育時間と人的資本)

図-5 と図-6 は、それぞれ教育時間と人的資本の経年変化を示す。図-5 から、十分な防災投資を行った場合は災害時の影響が小さく、第 3 期の最大規模の洪水の発生前後も教育時間に大きな変動はないことがわかる。一方、防災投資を行わなかった場合、災害により多くの生産資本や物的資産が失われ、教育投資をすることが困難となる。その結果、図-6 に示されるように、人的資本の蓄積が遅れ、将来の労働所得の向上の機会を逸することに繋がる。

(3) 厚生への影響 (消費と社会厚生)

図-7 と図-8 は、それぞれ消費と社会厚生の経年変化を示す。防災投資水準が高い場合は、災害時に消費や社会厚生の落ち込みが小さくなる。一方、十分な防災投資を行わなかった場合は、災害により生産資本や物的

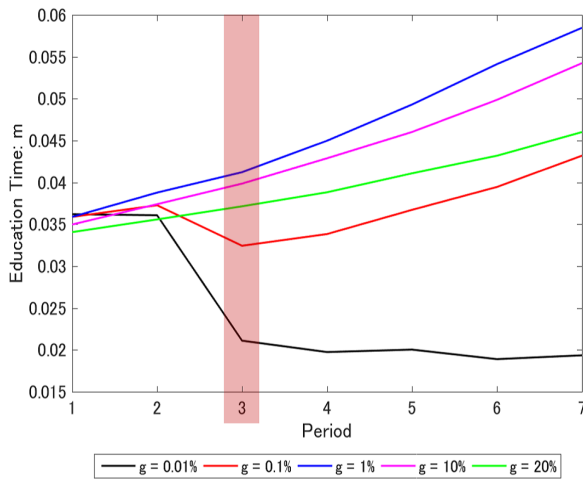


図-5 教育時間の経年変化 (単位: 年)

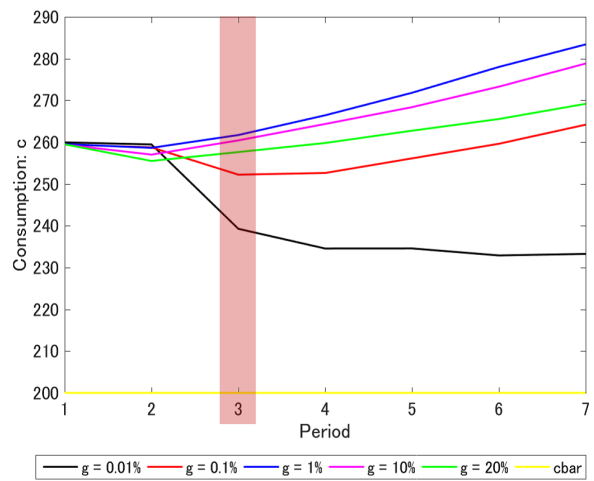


図-7 消費の経年変化 (単位: USD)

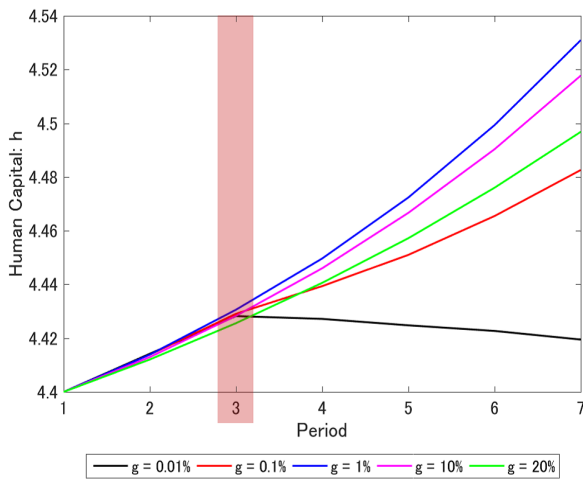


図-6 人的資本の経年変化 (単位: 年)

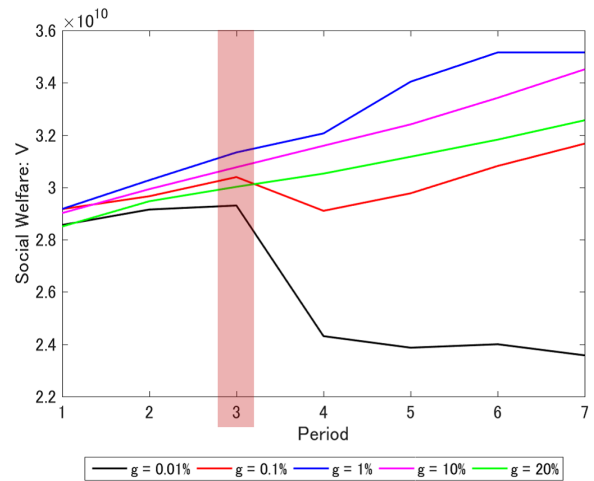


図-8 社会厚生 of 経年変化

資産を損失するだけでなく、人的資本の蓄積が進まないために十分な労働所得を得ることが困難となる。その結果、消費は減少し、社会厚生も低下する。また、生存最低消費水準付近での生活を強いられるため、消費の限界効用が上昇して資産蓄積が進まず、それが「貧困の罠」を誘引することになる。

(4) 経済成長への影響

図-9 は国内総生産 (GDP) の経年変化を示す。防災投資水準が高い場合、災害時の経済成長の落ち込みが小さくなり、長期的な経済成長に繋がることになる。一方、十分な防災投資を行わなかった場合、人的資本や生産資本の蓄積が進まないため、長期的な経済停滞を招くことを確認できる。

(5) 最適な防災投資水準

本ケーススタディでは、GDP 比で $g = 1\%$ 程度の防災投資が最適であるという結果が得られた。防災投資水準が高ければ、災害時の各変数の落ち込みは小さくなるが、本結果は、防災投資は過剰に投資しても経済成長や社会厚生を高めることはないと指摘する。防災に過剰投資する分の予算を人的資本や生産資本の投資に充てることで経済成長を促し、社会厚生を高めることが可能だからである。そして、防災投資効果は、防災投資 / GDP 比 (g) に対して単峰型になるという示唆が得られた。

4. おわりに

本研究では、防災資本とその投資費用を考慮した動学的確率的マクロ経済モデルを構築した。災害リスク

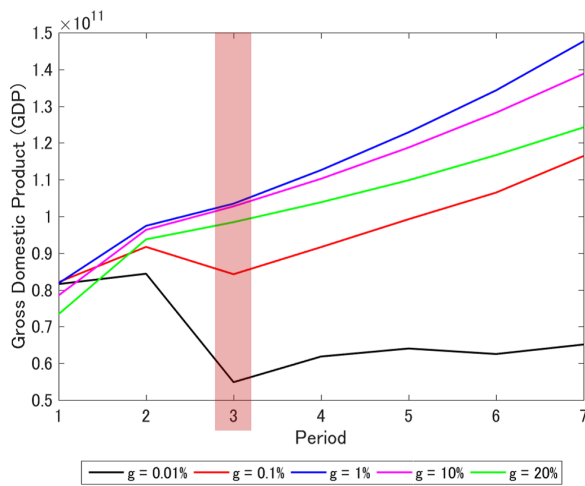


図-9 国内総生産 (GDP) の経年変化 (単位 : USD)

は、人的資本、物的資産、生産資本、防災資本、そして土地に導入した。その結果、防災投資水準が高いほど災害時の各変数の落ち込みが小さくなる一方、防災投資は過剰であっても経済成長や社会厚生を高めることはないことを確認できた。そして、防災投資効果は、防災投資の GDP に対する支出率に対して単峰型になるという示唆が得られた。

今後の課題は、防災投資の評価ツールとして、政策分析への適用範囲を広げていくことが挙げられる。例えば、防災投資の最適投資時期に関する動的な政策分析を実施可能にすることが考えられる。多所得階層モデルへ拡張し、防災投資が国家全体の社会的格差に与える影響の分析や最貧困層の人々に焦点をあてた分析をすることも必要である。多地域多産業モデルに拡張し、防災投資が地域間や産業間の格差に与える影響を分析することも重要であると考えられる。また、災害被害率と防災投資との関係式を統計データに基づき正確に推計することが求められる。

参考文献

- 1) UNISDR: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015, pp. 54, 2015.
- 2) GFDRR: The Sendai Report: Managing Disaster Risk for a Resilient Future, pp. 8, 2012.
- 3) UN: Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, pp. 12-18, 2015.
- 4) UN: Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, pp. 17, 2015.
- 5) Kellett, J. and Caravani, A.: Financing Disaster Risk Reduction: a 20 Year Story of International Aid, ODI Annual Reports, pp. 5, 2013.
- 6) ESCAP: Financing Disaster Risk Reduction for Sustainable Development in Asia and the Pacific, Macroeconomic Policy and Development Division, Working Paper Series, pp. 5-7, 2015.
- 7) Mechler, R., Hochrainer, S., Linnerooth-Bayer, J., and Pflug, G.: Public Sector Financial Vulnerability to Disasters: The IIASA CATSIM Model, Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, J. Birkmann, Ed. Tokyo, UNU Press, pp. 380-398, 2006.
- 8) 瀬木俊輔, 石倉智樹, 横松宗太: 動学的確率的マクロ経済モデルの長期的な防災投資計画への応用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 68, No. 3, pp. 129-143, 2012.
- 9) Yokomatsu, M., Wada, H., Ishiwata, H., Kono, T., and Wakigawa, K.: An economic growth model for disaster risk reduction in developing countries, *the Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 5-8, 2014, San Diego, CA, USA, pp. 1584-1591, 2014.
- 10) Debowicz, D., Dorosh, P., Robinson, S., and Haider, S. H.: A 2007-08 Social Accounting Matrix for Pakistan, *PSSP Working Paper*, No. 1, 2012.
- 11) World Bank: World Development Indicators. Available at <http://data.worldbank.org/country/pakistan>
- 12) UNDP: Human Development Reports. Available at <http://hdr.undp.org/en/content/mean-years-schooling-adults-years>
- 13) Ota, A.: Assessment of Disaster Prevention Investment for Decreasing Economic Damage by Integrating Dynamic Equilibrium Model and Flood Model: towards Contributing to Policy Making for Disaster Prevention, Master Thesis, University of Tokyo, 2014.
- 14) Khan, S. U.: Macro determinants of total factor productivity in Pakistan, *SBP Research Bulletin*, Vol. 2, No. 2, 2006.