

最適な防災投資の下での経済成長*

Economic Growth under the Optimal Investment for Disaster Prevention*

瀬木俊輔**・石倉智樹***・横松宗太****

By Shunsuke SEGI**・Tomoki ISHIKURA***・Muneta YOKOMATSU****

1. はじめに

我が国のような自然災害に見舞われやすい国においては、堤防やダムのような防災インフラ、あるいは鉄骨ブレースやダンパーといった耐震補強設備が果たす役割は大きい。このように、自然災害の被害を直接軽減することができる資本を防災資本と呼ぶことにしよう。防災資本は防災投資によって蓄積されるが、この防災投資をいかに行うべきかを考えるためには、災害の不確実性を考慮した分析が必要になることは明らかである。

不確実性を考慮した防災投資の経済便益評価については、上田¹⁾や多々納²⁾、小林・横松³⁾など、既に多くの研究が蓄積されている。これらの研究は、個別の防災投資の便益がその費用から見て妥当なものであるかどうかの分析に主眼がある。

一方、防災投資を行うためには、その費用の分だけ国民の消費や生産要素への投資を犠牲にしなければならないが、費用便益分析の枠組では、こうした問題を考慮することは難しい。よって、国民総生産から見て無視できない規模の防災投資を考えるうえでは、つまり、国全体でどれだけの防災投資を行うべきかを考えるうえでは、単純な費用便益分析では限界が生じる。

また、防災資本は、被災時の資本への損害を軽減することにより、長期的な資本の蓄積過程に、つまり経済の成長経路に影響を及ぼす。しかし、費用便益分析は静学的な分析であるから、防災投資のこのような効果も分析することができない。

生産要素と防災資本への投資と消費のバランスや、防災投資がもたらす経済成長への影響を分析するうえでは、マクロ経済学の最適成長モデルが有用だと考えられる。最適成長モデルを用いた防災投資に関わる既往研究には、本間・多々納・岡田⁴⁾、鈴木⁵⁾があり、災害や防災投資

と経済成長の関係について分析が行われている。しかし、これらの研究では、防災投資は操作変数として扱われておらず、最適な防災投資や防災インフラの整備水準についての分析は行われていない。そこで本研究では、防災資本と防災投資の役割を、生産要素と生産要素への投資から明示的に区別したマクロ経済学の最適成長モデルを考案し、動的な最適政策に関する分析を行う。

2. モデルとその解法

本章では、モデルの一般形と、その数値的な解法について述べる。

(1) モデルの前提および一般形

災害が毎期、一定の確率 λ で生じる閉鎖された地域を想定し、地域内の人口や技術水準は通時的に一定とする。また、災害は人的被害を及ぼさず、資本のみに損害を与えるものとする。

時期(時刻)は離散的に扱い、 $t=0, 1, 2, \dots$ と整数の値をとるものとする。

地域内の資本には生産要素と防災資本の2種類が存在し、それぞれの t 期の期首におけるストックを $K(t)$ 、 $G(t)$ で表す。

t 期の地域内総生産は、 $K(t)$ にのみ依存し、生産関数 $f(K(t))$ によって決定されるものとする。つまり、遊休設備は生じないとしている。また、 $f(\cdot)$ は、稲田条件

$$f(0) = 0, \lim_{K \rightarrow 0} f'(K) = \infty, \lim_{K \rightarrow \infty} f'(K) = 0 \quad (1)$$

を満足するものとする。

t 期の地域内総生産は、 t 期の消費 $c(t)$ 、生産要素への投資 $i(t)$ 、防災資本への投資(防災投資) $m(t)$ のいずれかに支出される。消費と投資には非負制約が存在する。

$$f(K(t)) = c(t) + i(t) + m(t) \quad (2)$$

$$c(t) \geq 0, i(t) \geq 0, m(t) \geq 0 \quad (3)$$

次に、生産要素と防災資本の遷移式を示す。

$$K(t+1) - K(t) = i(t) - \phi_K(t) - \psi_K(K(t), G(t))\Delta q(t) \quad (4)$$

*キーワード：防災投資、防災資本、最適成長理論

**学生員、工修、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻
(東京都文京区本郷7-3-1、

TEL03-5841-0566、FAX03-5841-0566)

***正員、博(情)、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻
(同上)

****正員、博(工)、京都大学防災研究所

$$G(t+1) - G(t) = m(t) - \phi_G(t) - \psi_G(K(t), G(t))\Delta q(t) \quad (5)$$

ただし、 ϕ_K ：生産要素の減耗、 ϕ_G ：防災資本の減耗、 ψ_K ：災害発生時の生産要素の損害、 ψ_G ：災害発生時の防災資本の損害である。

また、 $\Delta q(t)$ はポアソン過程 $q(t)$ から導出される確率変数、

$$\Delta q(t) = q(t+1) - q(t) \quad (6)$$

であり、確率 λ で1を、確率 $1-\lambda$ で0を取る。 $\Delta q(t)$ が1を取ったということは、 t 期において災害が生じたことを意味する。

防災資本は、災害が発生しない場合、生産要素の蓄積過程に何の影響も及ぼさない。しかし、災害発生時には、その整備水準によって、生産要素と防災資本自身の損害を抑えることができる。本研究では、このような防災資本の特徴を表す ψ_K と ψ_G の関数形として、以下のようなものを想定する。

$$\psi_K(K, G) = K\xi_K(G/K) \quad (7)$$

$$\psi_G(K, G) = G\xi_G(G/K) \quad (8)$$

ただし、 ξ_K, ξ_G は以下の条件を満たす関数であり、災害発生時に何割の生産要素と防災資本が失われるかを表している。

$$0 < \xi_K(\cdot) < 1, \xi'_K(\cdot) \leq 0, \xi''_K(\cdot) \geq 0 \quad (9)$$

$$0 < \xi_G(\cdot) < 1, \xi'_G(\cdot) \leq 0, \xi''_G(\cdot) \geq 0 \quad (10)$$

条件(9), (10)の2つ目の条件は、防災資本が整備されるほど資本の損害が少なくなることを表し、3つ目の条件は、防災資本の整備水準が増すにつれて、防災資本が損害を軽減する限界的な効果が少なくなることを表している。

ξ_K, ξ_G が G/K の関数となっているのは、生産要素の増加に応じて、整備水準を高めることが求められる防災資本を想定しているためである。例えば、堤防は整備された地区の周辺しか防御できないため、生産要素の増加に対して（つまり、生産活動が広域となるほど）、整備する地区を増やさなければならぬ。また、地域全体では堤防の整備に巨額の投資が行われたとしても、個々の地区で均して見ると工事費が低く、堤防の質が低い場合には、洪水時の破堤の危険性が増す。こうした特徴を表現するため、 ξ_K, ξ_G を G/K の関数としている。

一方、 ξ_K, ξ_G が G のみの関数の場合には、災害情報の伝達システムのように、整備の効果が地域の全域にわたるような防災資本を表すことができると考えられる。本

稿では前者のみを扱い、後者は対象としない。

以上の前提および制約条件の下で、代表的家計の無限期間効用最大化問題、

$$\max_{\{c(t), i(t), m(t)\}_{t=0}^{\infty}} E \left[\sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^t u(c(t)) \right]$$

$$K(0) = K_0 : \text{Given}, G(0) = G_0 : \text{Given} \quad (11)$$

を考える。ただし、 ρ ：割引率、 $u(\cdot)$ ：家計の1期間の効用関数、 K_0 ： K の0期の値、 G_0 ： G の0期の値である。また、 E は期待値を取る操作を表す。

(2) モデルの数値的な解法

問題(11)の解法としては、動的計画法を用いた。ベルマン方程式(12)を満たす関数 $V(K, G)$ を求めることにより、 t 期の資本ストックの組み合わせが $K(t), G(t)$ であるときの、最適な消費と投資の組み合わせ $c(t), i(t), m(t)$ は、式(12)の右辺の最適化問題の解として求められるようになる。

$$\begin{aligned} & V(K(t), G(t)) \\ &= \max_{\{c(t), i(t), m(t)\}} \\ & u(c(t)) + \frac{1}{1+\rho} E[V(K(t+1), G(t+1))] \end{aligned} \quad (12)$$

ベルマン方程式(12)を解く際には、Value Function Iterationを用いた⁶⁾。これは、 $V^0(K, G)$ を適当に定め、式(13)を用いて V^1, V^2, \dots を求めていくと、最終的に V^n が式(12)の解に収束することを利用した手法である。

$$\begin{aligned} & V^{n+1}(K(t), G(t)) \\ &= \max_{\{c(t), i(t), m(t)\}} \\ & u(c(t)) + \frac{1}{1+\rho} E[V^n(K(t+1), G(t+1))] \end{aligned} \quad (13)$$

計算機上では、関数 V は KG 平面上的に離散的ないくつかの点における値としてしか表現できない。本研究においては、 $0 \leq K \leq 100, 0 \leq G \leq 100$ を満たす整数の組 (K, G) で表される点における値として、 V を表現した。

計算過程においては、 $V(3.2, 6.7)$ のような、計算機上では表せていない点における V の値を、補間法により求める必要がある。本研究では、単純かつ計算の容易な補間法であるバイリニア補間を用い、式(14)により計算を行った。なお、式(14)中の記号 $\lfloor \cdot \rfloor$ は床関数を表し、

$\lfloor x \rfloor$ は x を超えない最大の整数を表す。

$$\begin{aligned}
& V(K, G) \\
& = \{1 - (K - \lfloor K \rfloor)\} \cdot \{1 - (G - \lfloor G \rfloor)\} \cdot V(\lfloor K \rfloor, \lfloor G \rfloor) \\
& \quad + \{1 - (K - \lfloor K \rfloor)\} \cdot (G - \lfloor G \rfloor) \cdot V(\lfloor K \rfloor, \lfloor G \rfloor + 1) \\
& \quad + (K - \lfloor K \rfloor) \cdot \{1 - (G - \lfloor G \rfloor)\} \cdot V(\lfloor K \rfloor + 1, \lfloor G \rfloor) \\
& \quad + (K - \lfloor K \rfloor) \cdot (G - \lfloor G \rfloor) \cdot V(\lfloor K \rfloor + 1, \lfloor G \rfloor + 1)
\end{aligned} \quad (14)$$

3. 数値解析

本章では、数値解析を行うために行ったモデルの特定化と、数値解析の実行結果および、そこを基にした考察を述べる。

(1) モデルの特定化

数値計算を行うにあたっては、具体的な関数形を設定し、モデルを特定化する必要がある。本研究では、以下のように設定を行った。

生産関数 $f(\cdot)$ には、稲田条件(1)を満たす適当な関数として、以下の関数を用いた。

$$f(K) = K^{0.5} \quad (15)$$

資本の減耗を表す関数には、生産要素・防災資本ともに、減耗率一定の関数を用いた。すなわち、生産要素の減耗率を δ_K 、防災資本の減耗を δ_G とすると、

$$\phi_K(K) = \delta_K K \quad (16)$$

$$\phi_G(G) = \delta_G G \quad (17)$$

となる。

災害発生時の損害を表す関数には、生産要素・防災資本ともに、同様の関数形を用い、以下のように設定した。

$$\psi_K(K, G) = K d_K \exp(-\alpha_K G/K) \quad (18)$$

$$\psi_G(K, G) = G d_G \exp(-\alpha_G G/K) \quad (19)$$

すなわち、災害発生時に何割の生産要素と防災資本が失われるかを表す関数 ξ_K 、 ξ_G をそれぞれ、以下のように設定した。

$$\xi_K(G/K) = d_K \exp(-\alpha_K G/K) \quad (20)$$

$$\xi_G(G/K) = d_G \exp(-\alpha_G G/K) \quad (21)$$

式中のパラメータ d_K 、 d_G は防災資本の整備水準が極めて低いとき、 K と G の何割が被災により失われるかを表す数値であり、災害の規模を表すものとして解釈できる。条件(9)、(10)より、 $0 < d_K < 1$ 、 $0 < d_G < 1$ である。

また、 α_K 、 α_G は、被災時の K と G の損害が、防災資本によってどれだけ軽減されるかを決定するパラメータであり、これらの値が大きいくほど、被災時の損害は小さく

なる。これらのパラメータは、防災資本に関する技術水準を表すものとして解釈できる。また、 d_G についても、この値が小さければ防災インフラの耐久力が高いことを意味するので、同様に防災資本の技術水準を表すものとして解釈できる。

例えば、少ない工事費で高い耐久力を持つ堤防を作ることができるようになるといったことは、 α_K や α_G を増やすことや、 d_G を減らすことによって表現できる。

効用関数には、相対的危険回避度一定の効用関数、

$$u(c) = \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \quad (22)$$

を用いた。 σ は家計の相対的危険回避度であり、 $\sigma=1.0$ のとき、 $u(c)$ は対数効用関数 $\ln(c)$ に収束する。

(2) 資本間のバランスと成長経路に関する考察

a) 基本ケースのパラメータ設定

パラメータを変えて数値計算を行った結果を比較する場合、基準となるケースを用意すると便利である。そこで、次のようにパラメータを設定した場合を「基本ケース」として設定する： $\delta_K=0.05$ 、 $\delta_G=0.025$ 、 $d_K=0.5$ 、 $d_G=0.5$ 、 $\alpha_K=10.0$ 、 $\alpha_G=10.0$ 、 $\sigma=1.0$ 、 $\rho=0.04$ 、 $\lambda=0.1$ 。

以下の3項では、この基本ケースの計算結果を基に、最適な投資と成長経路について考察する。

b) 投資とストックの期待変分

図-1に示す二つのグラフは、基本ケースの計算結果を基に描いたものである。これらを使うことによって、生産要素と防災投資のバランスや、経済の成長経路を視覚的に確認することができる。この章においては、これらの図を使って計算結果を考察する。

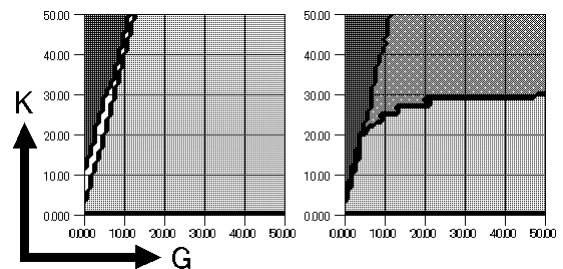


図-1 投資と期待変分の状態を表す図

図-1に示す二つのグラフは、双方とも $0 \leq G \leq 50$ 、 $0 \leq K \leq 50$ の GK 平面を3つの領域に区切ったものである。双方とも横軸が G 軸、縦軸が K 軸である。

図-1の左側のグラフは、最適な生産要素への投資 i^* と防災投資 m^* の値によって、 GK 平面を分類したものである。左上方向の三角形の濃いグレーの領域は、 m^*

$>0, i^* \leq 0$ となっている領域、右側に位置する台形状の淡いグレーの領域は、 $m^* \leq 0, i^* > 0$ となっている領域、濃いグレーの領域と淡いグレーの領域に挟まれた細く白い領域は、 $m^* > 0, i^* > 0$ となっている領域である。

言い換えると、濃いグレーの領域では防災資本のみに投資が行われ、淡いグレーの領域では生産要素のみに投資が行われ、白い領域では双方の資本に投資が行われる。

図-1の右側のグラフは、最適な消費と投資を行った場合の、生産要素の期待変分 ($E[K(t+1)-K(t)]$ により定義する) と防災投資の期待変分 ($E[G(t+1)-G(t)]$ により定義する) の値によって、GK平面を分類したものである。すなわち、最適な消費と投資を行った場合の次期の資本ストックの期待値が、今期の資本ストックと比較して大きくなるか、小さくなるかによって、GK平面が分類される。

濃いグレーの領域は、 $E[G(t+1)-G(t)]$ のみが正の値を取る領域であり、淡いグレーの領域は、 $E[K(t+1)-K(t)]$ のみが正の値を取る領域、中間のグレーの領域は双方が0以下の値を取る領域である。すなわち、図中において、次期の資本ストックの状態の期待値が、今期の資本ストックの状態からどのように変化するかを見るとき、濃いグレーの領域では右下に向かって、淡いグレーの領域では左上に向かって、中間のグレーの領域では左下に向かって変化することになる。

c) 資本間のバランスに関する分析

左側の図に着目する。双方の資本に投資が行われる白い領域を見ると、Kが増えるにつれてGも増える傾向があることがわかる。また、白い領域に比べて相対的に防災資本が少ない、濃いグレーの領域では防災資本のみに投資が行われ、白い領域に比べて相対的に生産要素が少ない、淡いグレーの領域では生産要素のみに投資が行われる。

すなわち、白い領域は生産要素と防災資本の整備水準のバランスが取れている領域であり、それ以外の領域は、どちらかの資本の整備水準が過大である領域であると解釈できる。過大な整備水準の資本については正の投資は行われない。

白い領域の面積は小さいことから、ここで設定したパラメータについては、バランスの取れた資本ストックの状態を保ちながら成長する経路は狭いと言える。

d) 成長経路に関する分析

右側の図に着目すると、この経済の資本ストックの状態は最終的に、中間のグレーの領域の左下の点（以降、期待定常点と呼ぶ）に行き着くことがわかる。ただし、資本の状態遷移式にポアソン過程を含むため、厳密には、期待定常点付近で資本ストックの状態が振動することに

なる。

原点の近傍が資本ストックの初期状態であった場合の成長経路は次のようになる：まずは、K軸に沿って、つまり、防災資本が無い状態で経済が成長する。次に、濃いグレーの領域と淡いグレーの領域の境界線に達すると、今度はこの境界線に沿って、資本ストックの状態が期待定常点に向かう。なお、この境界線は左側の図における白い領域（双方の資本に投資が行われる領域）に含まれており、原点近傍が資本ストックの初期状態である場合、バランスの取れた資本ストックの状態を保ちながら経済が成長していくことがわかる。

また、仮に資本ストックの状態がこの経路から外れ、濃いグレーの領域や淡いグレーの領域に移ったとしても、最適な消費や投資が行われる限り、またこの経路に復帰することがわかる。よって、この成長経路は安定したものであることがわかる。

d) 他のケースとの比較

他のケースの計算結果においても、一部の例外を除き、上述の領域の分類を行うと、細かい形状こそ異なるものの、図-1と同様の図が描かれた。例えば、図-2は、モデルケースから、 α_K の値のみを2.5に変えた場合の図であり、図-3は、同様に d_K の値のみを0.125に変えた場合の図である。

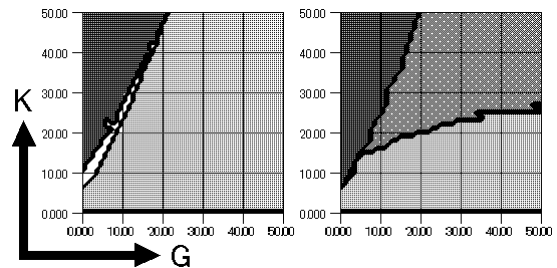


図-2 $\alpha_K=2.5$ のときの図

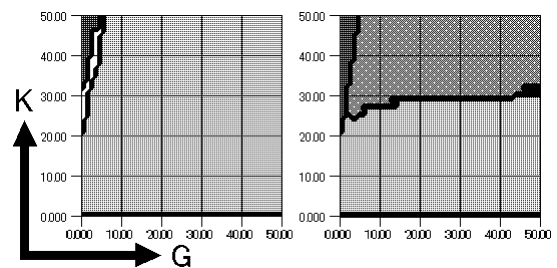


図-3 $d_K=0.125$ のときの図

図-1と見比べると、各領域の大きさや形状は異なっているが、その位置関係や、前2項で述べた考察については変化がない。これは後述の特別なケースを除く全てのケースについてあてはまった。

結果に変化が見られた特別なケースの一例は、基本ケ

ースから、 α_K の値のみを0.625に変えた場合がそれであり、この場合の計算結果は図-4のようになった。なお、左の図の右上に中間のグレーの領域が存在しているが、これは双方の資本に投資が行われない領域である。この領域はこのケースに特有のものではなく、全てのケースで存在しているが、他のケースでは $K > 50$ の領域に存在しているため、これまでの図には表れていない。

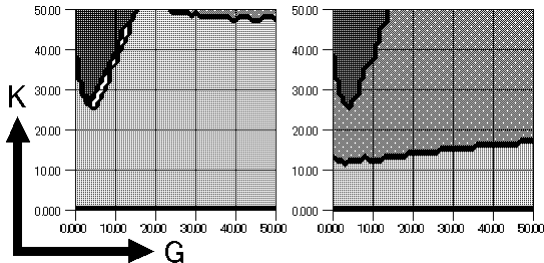


図-4 $\alpha_K=0.625$ のときの図

図-4を図-1から図-3と見比べたときの大きな違いは、右の図の濃いグレーの領域と薄いグレーの領域が接する部分がなくなることである。この場合、期待定常点は、右の図の薄いグレーの領域と中間のグレーの領域の境界線がK軸と交わる点になる。すなわち、原点近傍から期待定常点に至る成長経路は常にK軸上に存在し、防災投資は一切行われない。よって、先の節で述べた考察のうち、成長経路に関するものについては、このようなケースでは当てはまらないことになる。

このようなケースは、防災資本の重要性が極端に低い場合に発生すると考えられる。具体的には、防災資本によって生産要素を保護する技術の水準 α_K が著しく小さい場合、災害発生確率 λ が著しく小さい場合、災害の規模 d_K が著しく小さい場合などである。

(3) 期待定常点の感度分析

前章において使用した図を使う場合、防災資本の重要性が極端に低い場合とそうでない場合とで、異なる図が描かれることがわかった。ただし、期待定常点が1つしか存在しないということは、全てのケースで共通していた。そこで本章では、この期待定常点における経済の状態に対して、モデルケースからパラメータを変化させて感度分析を行った結果のうち、何らかの示唆を得られたものについて紹介する。

以降、表記の簡便化のため、期待定常点における生産要素の整備水準、防災資本の整備水準、消費、Value FunctionをそれぞれK, G, c, Vと表す。

a) α_K を変化させた場合

モデルケースから α_K のみを0.625~40.0の範囲で変化させたとき、V, Gがどのように変化するかを表した

のが図-5である。

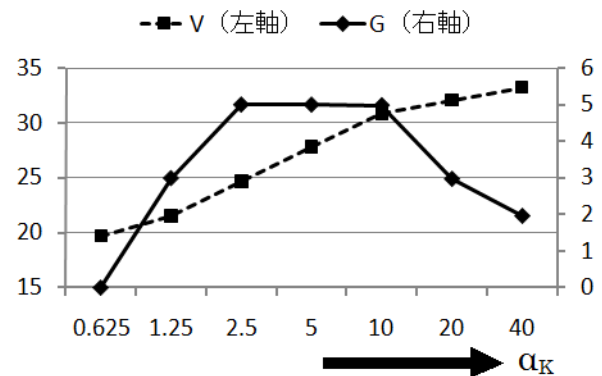


図-5 α_K の変化に伴うVとGの変化

α_K が大きいほどVは大きくなった。グラフ中には図示されていないが、Kやcについても同様の傾向があり、単調増加するグラフが描かれた。

これに対して、Gにはピークが存在することがわかる。これは、 α_K が小さい場合には、防災資本を整備するメリットが小さく、防災投資が行われにくいこと、そして、 α_K が大きい場合には、わずかな防災資本を整備するだけで高い防災効果が得られるため、防災投資が小額ですむ（言い換えると、防災資本の整備にかかる労力が少なく済む）ことが原因だと考えられる。

この結果から、防災技術が極めて低い水準から高い水準へと移行していく社会を考えると、この社会では初期のうちには、防災資本の整備にかかる労力を増やしていくが、防災技術がある一定の水準を超えると、防災資本の整備にかかる労力を減らしていくことになる。そして、防災技術の水準が高くなるにつれて、社会に存在する生産要素や、国民の消費水準は向上していくことになると言える。

b) α_G を変化させた場合

モデルケースから α_K と α_G をそれぞれ単独で、1.25~40.0の範囲で変化させたとき、Vがどのように変化するかを表したのが図-6である。

当然ながら、 α_G が大きいほどVは大きくなり、 α_G のみを増加させる場合は、K, cはもちろん、Gも単調に増加した。 $\alpha_G=20, 40$ のときのVの値が $\alpha_G=10$ のときよりもわずかながら小さくなっているが、これは数値計算の離散化の方法が粗いことによる異常値だと考えられる。

α_K のみを変化させた場合と α_G のみを変化させた場合を見比べると、 α_G の増加によるVの増加は、 α_K のそれに比べてかなり小さいことが分かる。特に、 $\alpha_G > \alpha_K$ になると、Vが全く増加しなくなることがわかる。

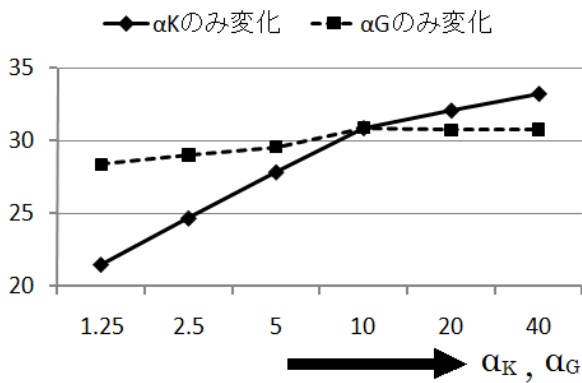


図-6 α_K, α_G の変化に伴う V の変化

これは、防災資本がどれだけ災害に対して強かろうと、生産要素を守る能力が低ければ、防災資本を整備することの効果を得られないためだと考えられる。すなわち、防災資本の技術の本質は、生産要素を災害から効果的に守るための技術であり、その技術進歩が防災投資のメリットの増加に最も寄与すると考えられる。

実際、モデルケースから、 $d_G=0.975$, $\alpha_G=0.0$ に変えた場合（すなわち、災害が生じると、防災資本が全壊してしまう極端なケース）の計算結果を見ると、 $G=1.82$ であり、 V は25.1となる。このことから、仮に災害が生じると大きく損壊してしまうような防災資本であっても、生産要素を守る能力が高ければ、それを整備する意味は十分あると言える。

c) λ を変化させた場合

モデルケースから λ のみを0.01~0.2の範囲で変化させたとき、 G , c , c_a がどのように変化するかを表したのが図-7である。 c_a とは、期待定常点にある経済が被災した場合の、次期における最適な消費を意味する。

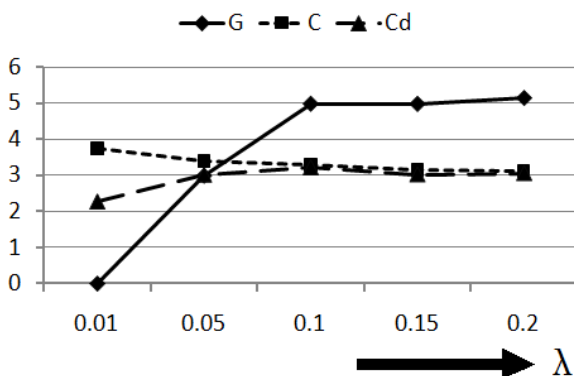


図-7 λ の変化に伴う G, c, c_a の変化

λ が小さくなるほど、 K , c , V は大きく、 G は小さくなるのがわかった。特に、 λ が極めて小さい場合（ $\lambda=0.01$ ）には、 G が0になるという極端な結果が得られた。その結果、 $\lambda=0.01$ のケースでは、 c_a が他のケース

よりもかなり少ない。これは、たとえ災害の規模が大きくとも（このケースでは、 $d_k=0.5$ なので、防災資本が無ければ、被災により生産要素の半分が失われる）、その発生確率が極めて小さい場合には、防災投資を行って災害に備えるよりも、高い消費水準を享受することの方が、長期的な効用を高めるのに有利になるためだと考えられる。

4. 終わりに

本研究の成果は、生産要素と防災資本への投資と消費のバランスをいかにコントロールするのが、長期的観点から最適になるのか、そして、最適なコントロールの結果、いかなる経済成長が実現されるのかを分析するモデルを考案し、実際に数値解析を行うことによって、モデルの特性や挙動を分析したことにある。

分析の結果、防災資本への最適な投資は、生産要素の整備水準にも依存していること、最適な投資・消費を行った場合に達成される経済の成長経路は安定なものであり、生産要素と防災資本の間にバランスの取れた状態を保ちながら成長することが示唆された。この他にも、防災資本に関わる技術、特に生産要素を災害から効果的に守る技術が、最適な防災資本の整備水準を決めるうえで大きな効果を持つことや、災害の規模が大きくとも、その発生確率が小さい場合には、防災投資を行うメリットが少ないといったことが示唆された。

今後の課題は、より現実に即したモデルとなるように関数形を設定し、より実用性の高い示唆を得ることである。

参考文献

- 1) 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置いて -、土木計画学研究・論文集, No.14, pp.17-33, 1997
- 2) 多々納裕一：不確実性下のプロジェクト評価：課題と展望、土木計画学研究・論文集, No.15, pp.19-30, 1998
- 3) 小林潔司・横松宗太：カストロフ・リスクと防災投資の経済評価、土木学会論文集, No.639/IV-46, pp.39-52, 2000
- 4) 五十部渉・多々納裕一・岡田憲夫：災害リスクが経済成長に与える影響と防災投資の効果に関する研究、土木計画学研究・講演集, No.23(2), pp.157-160, 2000
- 5) 鈴木康夫：最適地域経済成長と資本蓄積の対地震防災、彦根論叢, 第361号, pp.99-117, 2006
- 6) Burkhard Heer, Alfred Maußner: Value Function Iteration as a Solution Method for the Ramsey model, CESIFO WORKING PAPER No.2278, 2008