

資本間の被害の不均質性を考慮した災害後の復旧過程に関する分析*

Effects of heterogeneous damages in capital caused by a disaster upon economic recovery
processes *

本間 稔常 **† , 多々納 裕一 *** ‡ , 岡田 憲夫 ***

By Toshitsura HOMMA **, Hirokazu TATANO *** and Norio OKADA ***

1. はじめに

阪神大震災のような大規模な災害が起こった場合には、事前にどのような対策を講じても被害を完全に防げるわけではないことを我々は学んだ。そして、被害が生じることを前提とした対策の重要性を痛感するに至った。

大規模な災害が地域を襲った場合、それまで蓄積されてきた物的・非物的ストックに離散的な変化(ショック)が生じる。その変化は長期的に残留したり、場合によっては永続的な変化として残ることも少なくない。したがって、災害リスクのマネジメント施策を考える場合には、耐震・耐火構造の事前の採用や防災施設の整備等、このような災害によるショックの大きさそのものを制御する方策に加えて、災害のショックからの効率的回復を促す復旧・復興施策を有機的に組み合わせることが重要である。

災害によって不連続に減少した物的資本の回復は経済復興にとって必要不可欠な要素である。そこで、本研究では特に経済活動の復旧過程に着目し、物的資本の復旧政策に関して議論を進める。

災害後の物的資本の復旧過程を経済成長の枠組みで研究した事例は少なからず存在する。これらの研究の多くは、単一の資本の回復を通じた経済の復旧

過程を議論している。¹⁾²⁾³⁾ 単一の資本のみを考慮に入れた分析では、災害によるショックの結果として定まった物的資本の水準を所与とすると、それ以降の復旧経路は災害発生以前の経済成長経路と全く同一のものとなっている。このため、被災後の経済成長経路は下方にシフトする。その結果、長期的には被災しなかった場合に比べて一定値の産出水準の減少が生じる(「レベル効果」)。したがって、災害によるショックはレベル効果として永続することとなるのである。しかしながら、現実には必ずしもこの種のレベル効果が顕著に見られるわけではないし、また、災害後の復旧過程が災害前の成長過程と同一の経路となるというのは現実的ではないと考えられる。このような非現実性がこの種のモデルの結論として現れる理由として、(1) 単一の資本として経済内のストックを取り扱ったために、ストックの損傷の不均質性が考慮されていないこと、(2) 閉鎖経済を扱ったモデルでは国外からの復旧・復興のための資金の借入れが考慮されないために早期の資本の回復が困難となることが考えられる。

本研究では、このうち、単一の資本のみを考慮することの問題点に着目する。すなわち、生産資本と社会資本という2つの資本を考慮した内生的経済成長モデルを用いて、災害前の経済成長過程と災害後の経済復興過程について考察する。この際、生産資本と社会資本との間の不均質な損傷に着目して、災害後の資本の最適復旧政策とその下での経済の復興

* キーワーズ：災害、経済成長、復旧過程、社会資本

† 学生員 京都大学大学院工学研究科 修士課程

(〒 606-8317 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5070)

‡ 正員 工博 京都大学防災研究所

(〒 611-0011 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4035,

Fax 0774-38-4044)

経路について分析する。また、資本形成と経済成長の関係进行分析した研究として Barro⁴⁾の研究があるが、災害による資本の離散的变化と復旧過程を動的に分析したものではない。

2. 経済成長モデルの定式化

本研究では、社会資本 $S(t)$ と生産資本 $K(t)$ の蓄積過程、復旧過程を経済成長モデルで表現する。そして、家計の生涯効用を最大化するように、各期の消費と生産資本への投資、社会資本への投資の割り振りを決定する社会的計画者を想定する。社会的計画者は無限期間の計画視野を持つものと仮定する。また、時間的に後で享受する効用ほど低く評価するとし、その割引率を時間選好率 $\rho > 0$ で表す。この最適化問題は以下のように定式化される。

$$\max U = \int_0^{\infty} u(C)e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

subject to

$$\dot{K} = I_K - \delta_K K \quad (2)$$

$$\dot{S} = I_S - \delta_S S \quad (3)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \left[K \exp \left[- \int_0^{\tau} \left(\frac{\partial F}{\partial K} - \delta_K \right) dt \right] \right] \geq 0 \quad (4)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \left[S \exp \left[- \int_0^{\tau} \left(\frac{\partial F}{\partial S} - \delta_S \right) dt \right] \right] \geq 0 \quad (5)$$

$$I_K, I_S, C \geq 0 \quad (6)$$

ここに、 C は消費を表し、 I_K 、 I_S はそれぞれ生産資本、社会資本への投資を表す。ここで、家計の瞬時的効用関数を $u(C) = (C^{1-\sigma} - 1)/(1-\sigma)$ とおき、新古典派の仮定を満たすものとする。生産活動に用いる労働者数を L で表し、時間を通じて一定であるものと仮定する。さらに、社会資本 S を整備することで労働者の知識へのアクセシビリティが向上し、労働生産性が増大するような状況を想定し、生産関数を $F(K, S) = aK^{\alpha}(LS)^{1-\alpha}$ ($0 < \alpha < 1$) とし与える。この定式化は、収穫逓減性が生じないことを意味し、これによって内生的な成長が可能となる。 δ_S 、 δ_K はそれぞれ、社会資本と生産資本の資本減耗率を表す。本モデルでは、社会資本は生産資本に比べて資本減耗率が低い資本であると仮定する。

3. 成長経路の分析

災害発生前の経済成長経路と災害発生後の経済復旧過程を分析する。この際、初期時点 t_0 で、後に述べるような最適な資本比率 ω^* が達成された後に、

経済が一定の成長率で成長を続けているある時点 t_1^- で、予期せざる災害が発生し、その直後 t_1^+ に各資本が、 $S(t_1^+)$ 、 $K(t_1^+)$ に離散的に減少するものとする。

(1) 災害発生前の最適経済成長経路

前章で定式化された社会的計画者の最適化問題の最適解が内点解として求まることを仮定し、災害が発生する前の成長経路を導く。

1 階条件を求めることにより、以下のような消費の成長率に関する式と、両資本の収益率が等しくなるという条件が得られる。

$$\gamma^* = \dot{C}/C = (1/\sigma)[A(1-\alpha)(K/S)^{\alpha} - \rho - \delta_S] \quad (8)$$

$$\alpha A(K/S)^{\alpha-1} - \delta_K = A(1-\alpha)(K/S)^{\alpha} - \delta_S \quad (9)$$

これらの式により、社会資本 S と生産資本 K の間に最適な資本比率 $K/S = \omega^*$ が存在することが分かる。 S と K が最適な比率 ω^* を保っている場合、成長率は一定になり(持続状態)、産出量は $Y = AK(\omega^*)^{\alpha-1}$ のように表される。

(2) 災害後の最適復旧政策

3.2 では、3.1 で求めた成長経路に沿って経済が成長を続けているある時点 t_1^- で災害が発生し、その直後 t_1^+ に各資本が、 $S(t_1^+)$ 、 $K(t_1^+)$ に離散的に減少した状態から議論を進め、最適な資本比率 ω^* に到達するまでの経済の復旧経路を求める。

災害の発生による資本の不連続な減少は資本比率の変化をもたらす。仮に、災害発生後も依然として両資本の比率 $K(t_1^+)/S(t_1^+)$ が ω^* を保っているような特殊な場合には、3.1 と同様に K/S が一定に保たれるように投資が行われ、災害発生前と同じ成長率で復旧していくことになる。

$K(t_1^+)/S(t_1^+)$ が ω^* から乖離している場合には、一方のストックに対して(無限の率での)マイナスの粗投資が可能ならば、瞬時的に ω^* が達成できるが、粗投資に関する非負条件 $I_K \geq 0$ 、 $I_S \geq 0$ のために瞬時的な回復は不可能になる。また、 $K(t_1^+)/S(t_1^+)$ が ω^* から乖離している場合には、各資本の収益率に差が生じ、生産性の高い資本にのみ投資が行われることになる。そこで以下では、 $K(t_1^+)/S(t_1^+) < \omega^*$ と $K(t_1^+)/S(t_1^+) > \omega^*$ の場合に分けて、災害後の復旧過程の分析を行う。

a) $K(t_1^+)/S(t_1^+) > \omega^*$ の場合

$K(t_1^+)/S(t_1^+) > \omega^*$ の場合、すなわち社会資本 S の損傷が相対的に激しい場合、 S の生産性が生産資本 K の生産性よりも大きくなるので、社会的計画者は、 S にのみ投資を行い、 K は外生的に所与の資本減耗率 δ_K で減少することになる。最適化問題の 1 階条件、予算制約条件、およびに K に関する条件から、

$$\dot{C}/C = (1/\sigma)[A\alpha(K/S)^\alpha - \rho - \delta_S] \quad (10)$$

$$\dot{S}/S = A(K/S)^\alpha - \delta_S - (K/S)(C/K) \quad (11)$$

$$\dot{K}/K = -\delta_K \quad (12)$$

が得られ、これらの式によって C, S, K の経路が決定されるが、 C, S, K の位相図を描くことは困難なので、持続状態において一定となる変数 $\omega = K/S, \chi = C/K$ を用いて復旧過程を分析すると図 1 のようになる。 ω はサドルポイントに向かってサドル経路を進んでいくが、 $\tilde{\omega}$ に到達する前に有限時間で ω^* に到達する。この時点で、各資本の生産性が等しくなるので一方の資本にのみ投資が行われることが終了する。つまり、災害発生により 2 資本間の比率が最適な資本比率 ω^* から乖離しても、復旧活動によって再び ω^* に戻ることができることになる。また、この復旧過程での産出量 Y の成長率は、災害発生前の成長率の値 γ^* まで通減していき、かつ、資本間の損傷の不均質性が大きいほど、成長率は大きくなる。

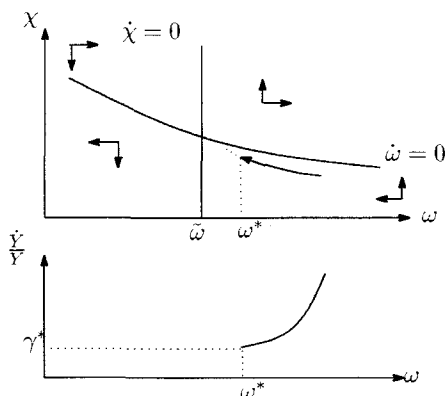


図 1: $K(t_1^+)/S(t_1^+) > \omega^*$ の場合の位相図

b) $K(t_1^+)/S(t_1^+) < \omega^*$ の場合

$K(t_1^+)/S(t_1^+) < \omega^*$ の場合、すなわち生産資本 K の損傷が相対的に激しい場合、 K の生産性が社会資本 S の生産性よりも大きくなるので、社会的計画者は、 K にのみ投資を行い、 S は外生的に所与の率 δ_S で減少することになる。最適化問題の 1 階条件、予

算制約条件、およびに S に関する条件から、

$$\dot{C}/C = (1/\sigma)[A\alpha(K/S)^{\alpha-1} - \rho - \delta_K] \quad (13)$$

$$\dot{K}/K = A(K/S)^{\alpha-1} - \delta_K - C/K \quad (14)$$

$$\dot{S}/S = -\delta_S \quad (15)$$

が得られ、これらの式によって C, S, K の経路が決定されるが、 C, S, K の位相図を描くことは困難なので、持続状態において一定となる変数 ω, χ を用いて復旧過程を分析すると図 2 のようになる。

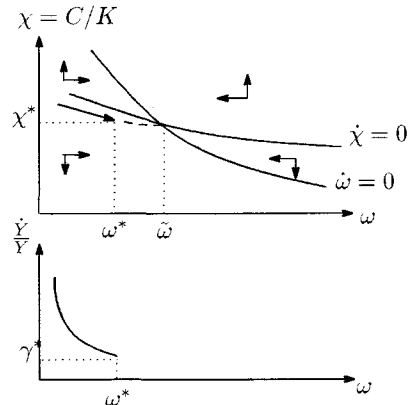


図 2: $K(t_1^+)/S(t_1^+) < \omega^*$ の場合の位相図

$K(t_1^+)/S(t_1^+) > \omega^*$ の場合と同様に、 ω はサドルポイントに向かってサドル経路を進んでいくが、 $\tilde{\omega}$ に到達する前に有限時間で ω^* に到達する。この時点で、各資本の生産性が等しくなるので生産資本 K にのみ投資が行われることが終了する。また、この復旧過程での産出量 Y の成長率は、災害発生前の成長率の値 γ^* まで通減していき、かつ、資本間の損傷の不均質性が大きいほど、成長率は大きくなる。

4. 災害後の復旧経路

両資本が均等に損傷した場合の復旧経路と不均質な損傷が存在する場合の復旧経路を図示すると図 2、図 3 のようになる。

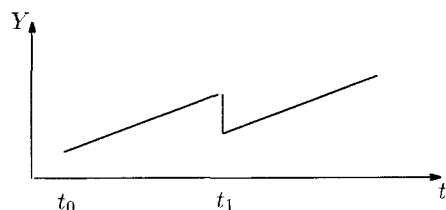


図 3: 両資本が均等に損傷した場合の復旧経路

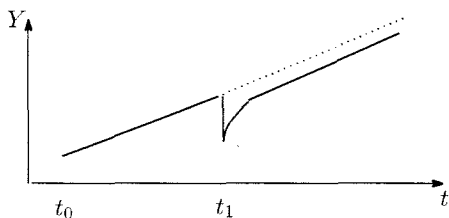


図 4: 不均質な損傷が存在する場合の復旧経路

両資本が均等に損傷した場合の復旧経路は、災害発生前の経済成長経路と同じ傾きの経路をたどる。不均質な損傷が存在する場合は、災害発生前の成長率を上回る経路をたどる。また、多くの災害では、生産資本と社会資本の両方に被害が生じ、一方の資本にはまったく被害が生じないということはまれである。そのため、復旧過程で、被災度の大きい資本に対して優先的に投資がなされることが終了した時点での資本量は、両資本とも災害前の水準以下であるので、復旧活動を行っても、災害が発生していなかったらどっていったと考えられる経済成長経路に再び戻ることはできないことになる。

以上の結果から、被害の不均質性と経済復興経路と関係が導ける。災害によって、資本間に均質な被害が生じる場合と、一方の資本が激しく被害を被り、不均質な損傷が生じる場合とでは、後者の場合の方が、災害による被害のショックは大きくなる。しかし、3(b)により、被災度の高かった資本に対して優先的に投資を行うことにより、復旧過程における産出量の成長率は持続状態での成長率よりも大きくなるので、災害によるフローの被害を減少させることが可能になる。つまり、被災度の高かった資本に対し優先的に投資を行うことにより、被災を免れてより多くの部分が残っているほうの資本を効率的に利用することができ、その結果、社会的に効率的な復旧が達成できるという結論を得ることができる。ただし、資本間に不均質な被害が生じる場合と、不均質な被害が生じる場合の、どちらの場合に、復旧後により高い産出量の水準が達成されるのかは、全体としての資本損傷の程度と不均質性の程度に依存し、一般的に議論することは困難である。

ただし、特殊な場合として、同じ量の産出量の低下をもたらすような、資本間の被害の非均質性の程度の異なる被害を想定し最適な復旧経路を比較すると、図 6 のように不均質性が高いほど、最終的に達

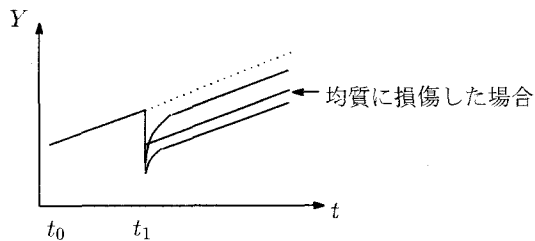


図 5: 災害後の復興経路

成される産出量が大きくなる。

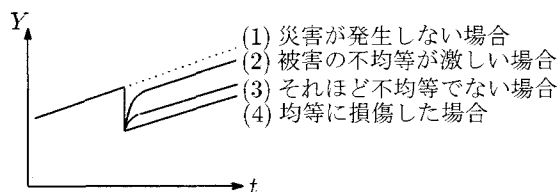


図 6: 同量の産出量の低下をもたらす被害の比較

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論結論は以下の通りである。被災度の大きかった資本を優先的に復旧させるという政策を採用することで、被災を免れた資本のより効率的な利用が可能となり、その結果、効率的な復旧が達成される。復旧活動が行われて、成長率が一定値になった後の産出量の水準は、災害が発生しなかったとしたら達成できた産出量の水準を下回る。今後の課題は、災害による被害の局所性を反映させるために複数地域からなる経済を分析すること、防災投資の便益評価の枠組みに入れることである。

[参考文献]

- 1) 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.
- 2) 横松宗太，小林潔司：防災投資による物的被害リスクの軽減便益，土木学会論文集，No. 660/IV-49，pp. 111-123, 2000.
- 3) Freeman, P. K., Martin, L., Mechler, R., and Warner, K.: Integrating Natural Catastrophe Exposure into Development Planning: Case study of catastrophic risk in Nicaragua, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2000a.
- 4) R.J.Barro,X.Sala-I-Martin: 内生的経済成長理論 I, II, 大住圭介訳，九州大学出版会，1997.