

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*

Effects of Disaster Risk and Mitigation Investment on Economic Growth *

五十部渉**, 多々納裕一***, 岡田憲夫****

By Wataru ISOBE **, Hirokazu TATANO *** and Norio OKADA ****

1. はじめに

地震災害は発生頻度は非常に低いものの、発生するとその被害は甚大なものとなる可能性がある。それは、一国のマクロ経済や地域経済のレベルでも無視できない大きさとなりうる事が指摘されている。例えば、RMS¹⁾の調査によれば、南関東地方に大規模な震災が発生した場合には、その被害は330兆円に及ぶと予測されている。これは1997年の我が国のGDPの15.3%に相当する。このような被害は、それまでに蓄積されてきたストックの少なからぬ量が同時に損傷することによってもたらされる。災害は、再現期間が数十年から百年以上と非常に低頻度であるが、そのストックに与える影響は甚大であり、長期的に資本ストックの形成を考えていく上では無視することのできない要素である。すなわち、そのような大規模な災害リスクに直面する我が国においては、災害リスクを事前に考慮した経済成長についての議論をする必要があると考える。

このような大規模な災害に備えて、我が国でもかなりの防災投資が行われている。防災投資は、上で説明したような災害時に発生するストック損傷の大きさを低下させる。このことは、災害発生以前の資本ストック形成、すなわち経済成長にも影響を与えるであろう。すなわち、災害発生時に想定される被害規模の低下は、事前の経済成長にもフィードバック的に影響を与えるものと考えられる。

ク的に影響を与えるものと考えられる。

以上で説明したように、災害リスクの存在や防災投資の実施が事前の経済成長に与える影響を分析できる枠組みが必要である。そこで本研究では、このようなフィードバック的な影響を分析するために、災害リスクが存在する下での経済成長経路を分析できる枠組みを提案する。その際に、ファーストベストな経済成長経路を仮定し、災害リスク下での最適成長モデルを定式化する。まず、このモデルのもつ特徴を、災害リスクの存在しない場合²⁾と比較した形で説明する。続いて、このモデルを用いて、災害リスクが存在する場合の経済成長経路の特徴付けを行う。また、防災投資を行った場合に経済成長経路にどのような影響が生じるかについても分析する。分析の結果、家計のリスク選好によって異なった影響が生じることが明らかになる。

2. 対象とする問題の特徴

今、災害によって資本ストックに被害が生じた状況を考える。このことは、各財やサービスの生産水準の低下をもたらし、GDPを低下させる。例えば図1では、時刻 t_1 に災害が生じ、GDPが減少している状況が描かれている。破線は災害が生じなかったときのGDPの予測経路を表している。従って、 D は災害が発生しなかった場合を基準とした、長期的なGDPの減少幅の推移を表している。このような被害は失われた生産資本を復旧することによって回復する。この復旧には通常長い年月を要するため、被害は長期にわたって持続することになる。ところで、復旧のためには多額の費用が必要となり、これはGDPの一部から拠出される。この復旧のために必要な追加的

*キーワード：災害リスク、最適成長モデル、防災投資
**学生員 工修 京都大学大学院工学研究科 博士課程
(〒606-8501 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)
****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)

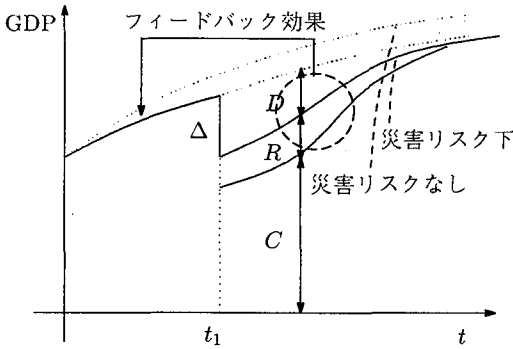


図-1: 災害リスク下での経済成長経路

投資量を R で表す。このとき、災害が生じなかった場合に比べて、この追加投資分 R がさらに当期の消費水準を減少させる。すなわち、災害が発生しなかった場合に比べて、消費水準の減少は $R+D$ の距離によって表され、家計が消費できる水準は C で表される。従って、社会厚生を高めるためには、GDP の変化ではなく消費の変化に着目する必要がある。すなわち、経済成長による C の増加と災害による C の不確実な減少の双方を考慮した上で、各期の投資と消費の配分を決定する必要がある。従って、この将来の C の不確実な減少が災害発生前にも考慮されることから、資本蓄積にフィードバック的に影響を及ぼす。図 1 では、点線が災害リスクの存在しない場合における経済成長経路を表している。災害発生以前においても、災害リスクの存在する場合の経済成長率の方が低いため GDP はより低くなっている。

今、防災投資が行われ、災害時における生産資本の被害の大きさが減少したとする。このとき、災害後における GDP の低下の幅 Δ が小さくなり、復旧に要する追加的投資額も小さくなる。図 1 では、前者が D の減少をもたらし、後者は R の減少で表される。この $R+D$ の減少に伴う C の増加が、防災投資の事後的経済における効果である。この将来の予測被害の大ききの減少は、同様のフィードバック的な効果から当該国の経済成長率を押し上げることになるであろう。

3. モデル化

今、資本を自ら所有する代表的家計を考え、この代表的家計は経済成長と災害による(不確実な)消費

の変化を完全に予見した上で、自らの生涯期待効用を最大とするように、各期に経済で生産された財を配分するものと仮定する。災害リスクが存在する下での最適成長モデルは、以下のような最適制御問題として定式化される。代表的家計の解くべき問題は、式 (2) の制約の下で、式 (1) で表される生涯期待効用を最大化するような消費の系列 x_t を求めることである。

$$W(K_0) = \max_{\{x_t\}} E \left[\int_0^{\infty} u(x_t) \exp(-\alpha t) dt \right] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_t \in \begin{cases} \dot{K}_t = f(K_t^+) - x_t - aK_t^+ \\ K_t^+ = \omega_t K_t, K_{t=0} = K_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_t u'(x_t) \exp(-\alpha t) = 0$$

, where $\omega_t = \begin{cases} \delta & (\text{if } t = T_1, T_2, \dots) \\ 1 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$

ここに、 E は期待値操作を表す。 $u(x_t)$ は家計の瞬間的効用関数であり、新古典派の仮定を満たすものとする。 α は計画割引率である。従って、 $W(K_0)$ は、時刻 0 において生産資本 K_0 をもつときに達成可能な家計の生涯期待効用の最大値を表し、最適値関数と呼ばれる。生産関数 $f(K_t)$ は準凹な増加関数であり、稲田条件を満たすものとする。 x_t, I_t を一家計当たりの消費量、生産資本投資量とすれば、資源制約式 $f(K_t) = x_t + I_t$ が成り立つ。災害が発生しない場合、生産資本は粗投資額 $I_t = f(K_t) - x_t$ によって増加し、 a の割合で減耗すると仮定する。

今、 T_1, T_2, \dots は各災害の到着時刻を表すものとする。災害は平均到着率 λ のポアソン過程に従って生起するものと仮定する。各被災時刻においては生産資本は被害を受け、不連続に減少する。本研究では、この被害の大きさは確定的であるとする。すなわち、被災時刻の直前における生産資本の水準が K であったとき、各被災時刻においては、生産資本が δK に減少するものとする。ただし、 $0 \leq \delta \leq 1$ である。隣り合う被災時間の間隔 $l_n = T_{n+1} - T_n$ は独立かつ同一の指数分布に従う確率変数となる。このことから、問題の定式化にあたっては初期時点を任意にとることができる。そこで、この問題をある時点から災害が一度発生するまでの区間に分けて考える。全ての問題は、初期時点での生産資本の賦存量を除いて全く同等である。被災時点における問題は、 δK_t を初期値とする同様の問題となる。すなわち、被災時点以後に得られる(当該価値)生涯期待効

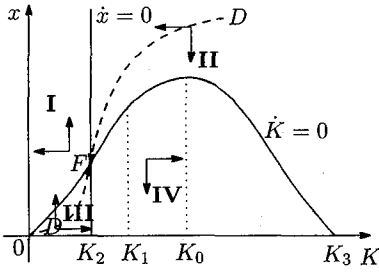


図-2: 災害リスク下での位相図

用は $W(\delta K_t)$ により表される。また、災害が時刻 t において初めて生起する確率は λ である。これらから、先の問題は以下のように書き直すことができる。

$$W(K) = \max_{\{x_t\}} E_t \left[\int_0^{\infty} \{u(x_t) + \lambda W(\delta K_t)\} e^{-\alpha t} dt \right] \quad (4)$$

s.t. $\dot{K}_t = f(K_t) - x_t - aK_t$

時刻 t において災害が発生していない確率は $\exp(-\lambda t)$ で表される。このことから、災害リスク下における最適成長問題はさらに以下のように書き直すことができる。

$$W(K) = \max_{\{x_t\}} \left[\int_0^{\infty} \{u(x_t) + \lambda W(\delta K_t)\} e^{-(\alpha+\lambda)t} dt \right] \quad (6)$$

s.t. $\dot{K}_t = f(K_t) - x_t - aK_t$

このように、災害リスクという不確実性が存在する下での成長モデルを、不確実性のない無限期間の問題として書き直すことができる。災害リスクの存在しない場合と比較することにより、このモデルの特徴として以下の二つを指摘することができる。第一点は、計画割引率が α であるにも関わらず、最適値は災害の発生率 λ を加えた $\alpha + \lambda$ が割引率であるかのように定義されていることである。第二点は、最適値関数 W が式 (6) の右辺にも入っているように、再帰的に定義されていることである。これは、災害が将来複数回にわたって起こりうるために、問題が再帰的な構造となっているためである。

4. 災害リスク下の最適成長経路

今、当期の生産資本水準 K と最適な消費水準 x を対応づける最適政策関数を $x(K)$ とする。ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を求めると、

$$(\alpha + \lambda)W = W_K \{f(K) - x(K) - aK\} + u[x(K)] + \lambda W_K(\delta K) \quad (7)$$

のようになる。 x についての一階条件は、

$$W_K = u'[x(K)] \quad (8)$$

となる。これらを K について微分することにより、

$$(\alpha + \lambda)W_K = W_{KK} \{f(K) - x(K) - aK\} + W_K \{f'(K) - a\} + \lambda \delta W_K(\delta K) \quad (9)$$

$$W_{KK} = u''[x(K)]x_K \quad (10)$$

を得る。これらを解くと、以下のような消費の変化を表す常微分方程式を得る。

$$\dot{x} = -\frac{u'(x)}{u''(x)} \left\{ f'(K) + \frac{\lambda \delta W_K(\delta K)}{W_K(K)} - \lambda - \alpha - a \right\} \quad (11)$$

これは、通常の新古典派の成長モデルに $\frac{\lambda \delta W_K(\delta K)}{W_K(K)} - \lambda$ の項が加わった形となっている。従って、この項の大きさを計算することにより、災害リスクの存在が経済成長経路に与える影響を分析することができる。式 (5)、(11) からこの問題の位相図を描くと、図2のようになる。この図において、最適成長経路は点線 DFD により示されている。初期生産資本水準が K_2 よりも小さいと仮定すれば、時間とともに経済は成長して点 F に近づいていく。ただし、災害が発生した場合には不連続に左下方に移動し、そこから再び点 F に近づいていくことになる。これは事後的経済における復旧過程を表す。一旦、点 F に達すれば、災害が発生するまでそこに留まることになる。この点 F を定常点と呼ぶ。

今、この点 F に対応する生産資本 K_2 、消費水準 x_2 に着目する。災害リスクが存在しない場合における定常での生産資本水準を K_1 とおけば、簡単な計算から $K_2 \leq K_1$ となることが示せる。すなわち、災害リスクが存在する場合には、しない場合と比較して、定常での生産資本水準はより小さくなる。消費水準についても災害リスク下の方が小さくなる。さらに同じ生産資本をもつ場合を比較すれば、災害リスクが存在する場合の方が常に消費水準が高いことが分かる。このことは、災害リスクが存在する場合における生産資本への投資がより低くなることを意味する。すなわち、最適成長経路においては、災害リスクの存在により投資が抑止される。そのため、災害リスクの存在する場合の経済成長率はより小さくなる。

5. 防災投資が及ぼす影響

次に、防災投資を行った場合に、経済成長経路にどのような影響が生じるかについて分析する。防災投資は初期時点においてのみ行われるものとする。防災投資を行えば、災害時に損傷する生産資本が減少

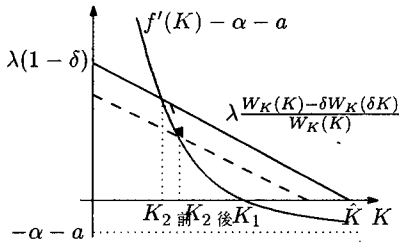


図-3: 防災投資による K_2 の変化 (危険愛好的のとき)

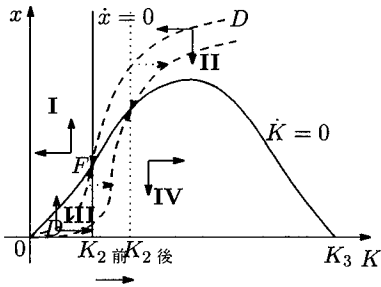


図-4: 防災投資による位相図の変化 (危険愛好的のとき)

する。このことを、災害時に残存する生産資本の割合を表すパラメータ δ の増加として表現する。 δ の増加は、図3のように曲線 $\lambda \frac{W_K(K) - \delta W_K(\delta K)}{W_K(K)}$ をシフトさせ、その結果 K_2 が変化することになる。ただし、その方向は以下で説明するように家計の異時点間代替弾力性に依存する。異時点間代替弾力性は、相対的危険回避度の逆数となることが知られている³⁾。

異時点間代替弾力性が大きく、家計は消費の時間的なタイミングに関して無差別の場合を考える。すなわち、災害後の消費水準が小さくても、通常時の消費水準が高ければ厚生水準は高くなる。防災投資を行えば、災害後の消費水準の減少が小さくなるため、図3のように K_2 はより大きくなる。

異時点間代替弾力性が小さい場合には、家計は極端な消費の減少を嫌う。そのため、災害後の消費水準を高めるために、通常時の消費を減らそうとする(投資を増やそうとする)傾向がある。そのために、経済にはより多くの資本 K_i が存在することになる。防災投資を行えば災害後の消費の減少を小さくすることができる。このとき、平常時の生産資本水準を小さくすれば通時的により平均的な消費を行うことが

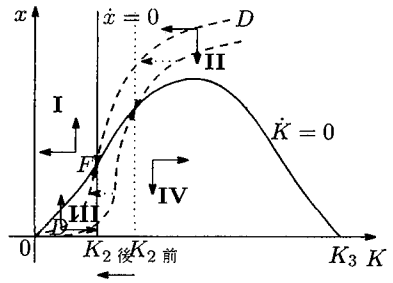


図-5: 防災投資による位相図の変化 (危険回避的のとき)

可能となるため、より小さい K_2 が定常における生産資本水準となる可能性がある。この場合、位相図は図5のように変化する。また、この図から分かるように、同じ生産資本をもつときの消費水準が高くなるため、経済成長の速度は低下する。

6. おわりに

本論文で得られた結論は、以下の通りである。まず、災害リスクが存在する場合には、災害リスクの存在しない場合と比較して経済成長率が低くなることを示した。また、防災投資の効果は、代表的家計の異時点間代替弾力性に依存して異なる。多くの場合には防災投資は経済成長率を高める効果をもつ。しかしながら、異時点間代替弾力性が非常に小さい場合には、防災投資を行うことにより、予備的な動機によって多くの資本をもつ必要がなくなるため、 K_2 はより小さくなる可能性があることを指摘した。

経済成長率に影響を与える要因には、災害リスク以外にも多くのものがあることが指摘されている。そこで、実際にどの程度災害リスクが経済成長に影響を与えているかを明らかにするために、経済成長に与える要因に関する実証的な分析を現在行っているところである。

[参考文献]

- 1) Risk Management Solutions, Inc.: What if the 1923 Earthquake Strikes Again? A Five-Prefecture Tokyo Region Scenario, Topical Issue Series, 1995.
- 2) Cass, D.: Optimum Growth in an Aggregate Model of Capital Accumulation, *Review of Economic Studies*, Vol. 32, 1965.
- 3) Barro, R. J., Sala-i-Martin, X.: *Economic Growth*, McGraw-Hill, 1995.
- 4) 五十部渉, 多々納裕一, 岡田憲夫: 防災投資が経済成長に与える影響に関するモデル分析, 土木学会年次学術講演会関西支部概要集, IV-93, 2000.