

防災投資の経済評価：研究展望

小林潔司*・横松宗太**

* 京都大学大学院工学研究科

** 鳥取大学工学部

要 旨

防災投資の費用便益分析の実践において用いられてきた期待被害額指標は大規模被害をもたらす災害リスクの特性を反映できないという限界がある。災害リスクに対して防災投資に代表されるリスク・コントロール、災害保険等のリスク・ファイナンスという2種類の手法がある。本研究では防災投資の費用便益分析を実施する場合、リスク・ファイナンス手法の利用可能性を明示的に考慮することが必要であることを指摘する。その上で、防災投資の経済評価の枠組みを提示するとともに、今後に残された研究課題をとりまとめる。

キーワード：費用便益分析，カタストロフリスク，期待被害額，防災投資

1. はじめに

伝統的な費用便益分析では、期待被害軽減額の現在価値を用いて防災投資の経済便益を評価してきた。防災投資に関わる費用便益分析マニュアルにおいても期待被害軽減額の現在価値を用いることを推奨している。期待被害額を用いた評価法は、小規模な危険事象が独立に多数生起するようなリスクを前提として開発されたものである。自然災害の生起頻度は稀少であるが、一度災害が生じれば多くの家計や企業・組織が同時に被災し、被害規模が巨大になる危険性がある。期待被害額を用いた評価法を巨大性・同時性を有する災害リスクの軽減を目的とする防災投資の経済評価に用いることには限界があろう。災害リスクのカタストロフ性を考慮したような防災投資の経済評価の方法が必要となる（小林・横松2000a）。

のちに言及するように、期待被害額を用いた経済便益の評価法は、災害保険により自然災害による被害がフルカバーされており、被災時に災害保険により被災者が被った損害が瞬時に修復されることを前

提としている。さらに保険市場において給付・反給付の法則が成立し、防災投資の経済便益が家計が支払う保険料の節約額に等しくなるという理想的な状況を想定したものである。しかし、自然災害のようなカタストロフリスクに対して、このような災害保険を提供することは不可能であり、家計は災害保険による災害リスクをフルカバーすることはできない。

災害リスクを効果的に軽減するためには、耐震強化投資や治水事業に代表されるリスク・コントロールとソフトな施策や災害保険等によるリスク・ファイナンスの双方が必要である。防災投資は災害リスクを減少させるリスク・コントロール技術である。一方、リスクファイナンス技術の著しい発展により、保険金支払いの原資拡大と災害保険料率の低減が可能になった。災害保険市場の拡大は、地域住民の防災意識と自己防災の向上をもたらす可能性がある。リスク・コントロール技術とリスク・ファイナンス技術を同時に考慮した望ましいリスク・マネジメント体系を確立することが重要である。

期待被害額を用いた費用便益分析は、リスク・コントロール技術による災害リスク減少の経済便益を評価する方法である。費用便益分析の導入により、防災投資の合理化が期待できる。今後、さらに費用便益分析の枠組みを拡大し、地域住民の自己防災行動をも射程に含めた総合的な災害リスク・マネジメント体系の確立と地域住民とのリスク・コミュニケーションに資するような防災投資の経済便益の評価法を開発する必要がある。本稿では災害リスクのカタストロフ性を考慮したような費用便益分析の基本的な考え方を提示するとともに、今後の研究課題をとりまとめる。

2. カタストロフ・リスクの経済評価

2.1 従来の研究概要

不確実性下における経済便益評価に関しては膨大な理論的・実証的な研究蓄積がある。それらの研究系譜に関しては、すでに上田(1997)、多々納(1998)等が詳細に検討しており、改めて言及する必要はないだろう。これら既存の便益評価指標は、1) 危険事象の小規模性、2) 危険事象の独立な到着という前提のもとで導出されたものである。一方、自然災害が生起する確率は極めて稀少であるが、一度生起すれば多くの家計が同時に被災し巨大な被害が生じる危険性がある。同時性、巨大性という特徴を持つカタストロフ・リスクを対象とした経済便益指標に関しては、ほとんど研究が蓄積されていない。集合リスクに関しては、個人間におけるリスクの最適配分に関する研究がある(Starret, 1986)。社会全体でのリスク回避便益は個々人のリスク回避便益を相関構造を考慮しながら集計化することにより定義される。しかし、カタストロフ・リスクは、多くの個人が同時に被災するという特徴がある。社会全体がカタストロフ・リスクに直面する場合、社会のリスク回避便益を個々人のリスク回避便益の和として単純に表現することはできない。第2に、非可逆的なカタストロフ・リスクの回避便益をとりあげた研究がある(Johansson and Löfgren, 1995)。例えば、重大な原子力事故等のカタストロフが生じれば、すべての家計が同時に死亡するという危険性がある。カタストロフ回避の問題は代表的個人の死亡回避の問題に置換され、代表的個人の行動分析を通じてカタストロフ回避便益を計測している。事故が発生すれば社会全体が消滅することを想定しているため、カタストロフ・リスクの配分方法を議論する余地はない。

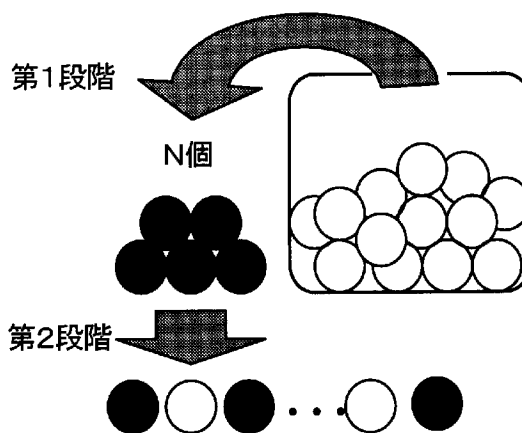


Fig. 1 Two-Staged Compound Risk

2.2 カタストロフ・リスク

小林・横松(2000b)は同時性・巨大性を持つカタストロフ・リスクをFig.1に示すような「2段階くじ」で表現できることを示した。「2段階くじ」の第1段階目の「くじ」では「被災する家計の総数(言い換えれば、富の総損失額)」が「くじ」により選ばれる。第2段階目の「くじ」では、第1段階で決まる被災者数の、実際に被災する家計が無作為に選ばれる。すなわち、自然災害リスクの特徴は、個々の家計が直面する個人リスク(第2段階目のリスク)と社会全体が直面する集合リスク(第1段階目のリスク)により構成される複合的な2段階のリスクとして表現される点にある(付録参照)。

自動車保険等の伝統的な損害保険は個人リスクを対象とするものである。個々の家計がそれぞれランダムに損害を被る場合、個人リスクを家計全体でプールすることができる。この場合、大数の法則により、社会全体の総期待被害額の時間を通じた分散は非常に小さくなり、集合リスクは著しく減少する。集合リスクが存在しない理想的な状況においては、個々の家計の被害リスクの軽減効果を期待被害額の変化により評価できる。しかし、同時性・巨大性を持つ災害リスクの場合、集合リスクを表す「第1段階目のくじ」が問題となる。多くの保険加入者が同時に被害を被った場合、保険加入者全体の富が減少するため、保険加入者による相互保険は有効に機能しない。カタストロフな被害が生じた場合、家計が互いに助け合うことには限界が生じ、社会全体として大きなロスが生じる。社会全体で生じる巨大な集合リスクをヘッジするためには、対象地域の家計や災害保険の加入者だけによる相互補助だけでなく、より広範囲の地域における家計や企業の間でリスクを分

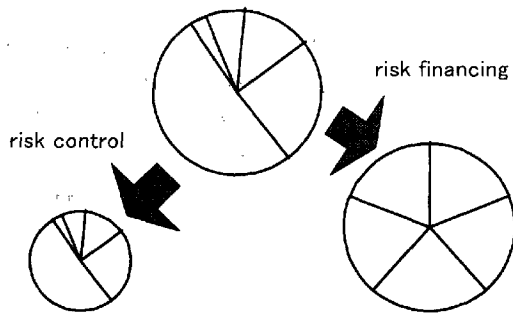


Fig. 2 Risk Control and Risk Financing

散するシステムが必要となる。後述するように、近年のファイナンス技術の発達により、国際資本市場を通じて災害リスクを分散することが可能となってきた。被害が巨大であるほど、災害リスクをヘッジするためにより多くの費用を要することになる。防災投資の経済便益は、防災投資が存在しなかった場合に存在するカタストロフ・リスクを国際資本市場でヘッジする際に要する費用を用いて評価できる。

2.3 リスク・コントロールとリスク・ファイナンス

災害リスクを制御する方法として、1) 災害リスク事象の生起確率そのものを減少させる技術(リスク・コントロール)、2) 災害により生じた被害を社会全体に分散させる技術(リスク・ファイナンス)がある。防災投資は災害の生起確率や被害額を減少させるリスク・コントロールである。緊急時における避難・誘導システムや交通・情報・通信システムの管理・運営技術、復旧マネジメント手法も重要なリスク・コントロールである。一方、災害保険等によるリスク・ファイナンスはリスクを分散する手段である。災害が生じた場合、保険金の支払いにより被災者とそうでない家計の間で富の再配分が行われる。しかし、被災者に保険金の支払いが行われたとしても、社会全体で生じた富の総損失額が変化するわけではない。被害額が他人に移転しただけである。Fig. 2において、円の大きさは社会全体での富の損失を表す。リスク・コントロール技術は社会全体で生じる富の損失の減少をもたらす。一方、リスク・ファイナンス技術は災害により生じる被害を家計間で分散する。ある特定の被害者に被害が集中した場合、被害者が被る心理的被害は膨大なものになるだろう。しかし、被害を多くの家計の間で分散すれば、個々の人間が被る心理的被害はわずかなものでもすむ。期待被害額を用いた便益評価は、Fig. 2における円の大きさのみに着目しており、個人が被る心理的被害には関心を払わない。期待被害額を用いる限り、リ

スク・ファイナンスによる心理的被害の減少効果は評価されない。

3. 防災投資の経済評価の諸問題

3.1 期待被害額評価の限界

伝統的な費用便益分析では、防災投資便益を期待被害額の減少効果で評価する。この方法が正当化されるためには、1) 家計が被った被害が災害保険によりフルカバーされ、2) 災害で生じた被害が保険金の支給により瞬時に元の状況に復元でき、3) 災害保険市場において給付・反給付の原則(植草, 1999)(保険料が期待保険金額に一致するという原則)が成立する、という3つの条件が成立していることが前提となる。リスク・ファイナンス技術の発展により、災害保険料をある程度低減できよう。しかし、災害リスクは保険会社にとってもやはり危険なリスクであり、保険料には期待保険金額の他に保険会社のリスク・プレミアム(保険会社がリスクを避けるために必要とする安全率)が加算される。すなわち、給付・反給付の原則が成立しない(小林・横松, 2000b)。保険料が期待保険金額にある一定の割合(1以上)マークアップされた水準に決定されるため、家計にとって災害保険は常に割高な商品となりフルカバーの災害保険を購入しようとするインセンティブは存在しない(横松・小林, 2000a)。災害による被害が災害保険によりフルカバーされていない以上、家計は期待被害額で評価される以上の心理的被害リスクに直面することとなる。防災投資便益を直接的な富の損失だけでなく、心理的被害の軽減効果をも含めて評価する場合、災害により生じた被害を「誰が負担するのか」という問題を避けて通ることができない。

3.2 心理的被害とリスク・プレミアム

期待被害額に基づいた防災投資の経済評価における問題点を明らかにするために、永久に同一の画地上に住み続ける家計の行動を考えよう(横松・小林, 2000a)。家計は家屋や家財等の物的資産と金融資産という2種類の資産を用いて富を蓄積する。家計は災害による被災リスクを災害保険によりヘッジする。災害が生じれば、家屋の損壊や家財の損失により物的資産に被害が生じる。災害により物的資産を喪失した場合、家計の物的資産と金融資産の蓄積過程は修正を余儀なくされる。家計はそれ以降の人生設計を見直し、失った資産の回復に努めるだろう。

Fig. 3に家計の総資産の形成過程を示している。経路Aは災害リスクが存在しない家計の総資産形成過程を示している。災害リスクを持つ家計の資産形成経路Bは、災害保険料を支払うため経路Aより下

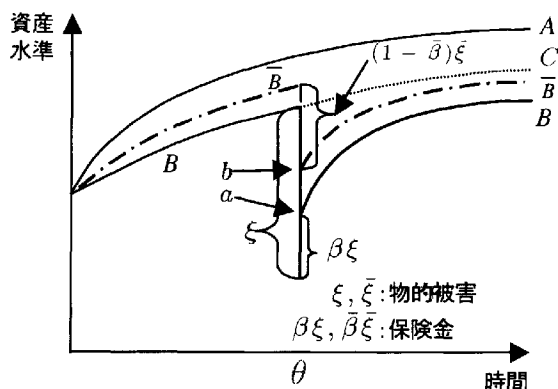


Fig. 3 Wealth Accumulation and Economic Benefits

方に位置する。時刻 θ に災害が発生し、家計の総資産が ξ 単位だけ下方にジャンプしたとしよう。ここで、
1) 災害保険により被害額が完全に補償される場合、
2) 被害額の一部のみが補償される場合という2種類のシナリオを考える。まず、保険金により被害額が完全に補償される場合を考える。その場合、家計の総資産の蓄積過程は、時刻 θ 以降も災害が生じなかった場合と同様の経路(点線で表される経路C)上を推移していく。つぎに、被害額が災害保険により完全には補償されない場合を考えよう。経路B(実線)では、 ξ の被害に対して $\beta\xi$ ($0 \leq \beta \leq 1$)だけの保険金が支給される場合の資産蓄積経路を示している。家計は保険金と金融資産の保有残高に基づいて、被災後の最適な物的資産と金融資産の組み合わせを決定する。資産の再配分の後、点aから被災後における資産形成過程が開始する。家計の資産形成経路は時刻 θ 以降、被災しない場合(経路C)よりも常に下方に位置し、資産喪失の心理的被害が長期間にわたって発生する。このような被災以降に生じる長期的な資産喪失の効果を「事後的被害」と呼ぼう。

防災投資により時刻 θ に生じた被害が ξ から $\bar{\xi}(<\xi)$ に減少したと考えよう。災害保険により被害額が完全に補償される場合、防災投資の直接的な経済効果は災害保険料の減少として現れる。災害保険に給付・反給付原則が成立している場合、災害保険料の節約額は期待被害額の減少量に一致する。したがって、防災投資便益を期待被害額の減少額の現在価値で評価できる。つぎに、災害保険で完全には補償されない場合を考えよう。いま、保険金が $\beta\bar{\xi}$ だけ支給されたとしよう。すなわち、災害時のネットの被害額は $(1-\beta)\bar{\xi}$ となる。この場合、被災後の資産はFig. 3における点 b より経路 $\bar{B}$ (1点鎖線)に従って変化する。この

変化を大きく2つの成分に分解しよう。第1に防災投資により災害時の被害額が減少すれば、再出発点が上方に移動して災害時点以降の資産の蓄積過程に変化が生じる。すなわち「事後的被害の減少効果」が生じる。再びFig. 3の経路Bと $\bar{B}$ を比較して欲しい。初期時点から時刻 θ までの資産形成の過程に関しても、防災投資がある場合とない場合では異なった経路を辿っている。防災投資により災害保険料が節約できれば、家計は節約額の一部を資産形成に充当することができる。このように、家計の物的資産形成が生涯にわたって増加する効果を「資産の高度化効果」と呼ぶ。当然のことながら、資産の高度化効果の中には災害保険料の節約効果が含まれている。

以上で述べたように、防災投資便益は災害保険の利用可能性に依存している。給付・反給付原則を満足する災害保険が完備されており、家計が災害リスクを十分に理解している場合、合理的な家計はフルカバーの災害保険を購入する。家計の災害リスクは災害保険により完全にヘッジされ、リスクのない資産形成が可能となる。防災投資による「事後的被害の減少効果」は存在しない。それに対して被害額を完全には担保できない場合、被災者は資産を元の状態に戻すことはできない。家計は災害リスクを除去することができず、防災投資便益として「事後的被害の減少効果」と「資産の高度化効果」が発生する。

家計がフルカバーの災害保険に加入する可否かは、災害保険のリスク・プレミアムに大きく依存する。リスク・プレミアムを、災害保険料を期待保険金額で除した値と定義しよう。災害保険に給付・反給付の原則が適用できる場合にはリスク・プレミアムは最小値1をとる。横松・小林は、家計がCobb=Douglas型効用関数を有する場合、「事後的被害の減少効果」と「資産の高度化効果」の総和として表される防災投資便益が、従来の費用便益分析で用いられてきた期待被害軽減額に災害保険のリスク・プレミアムを乗じた値に一致することを理論的に証明した(横松・小林, 2000a)。この方法は極めて簡便であり実用性も高い。しかし、わが国では災害保険市場が未整備であり、現在のところ各地域における現実の災害リスクを反映したリスク・プレミアムに関する情報は得られないのが実状である。近日中に保険業界のビッグバンが実施され、災害保険の市場開放が急速に進展することが予想される。災害保険のリスク・プレミアムに関する情報が蓄積されれば、市場評価に基づいた防災投資の経済評価が可能になるだろう。

3.3 将来リスクの割引率

防災投資便益を測定するためには、将来時点におけるリスクを現在価値で評価するための割引率が重要となる。防災投資に限らず公共事業における割引率に関して多くの論議がある (Stiglitz, 1986)。割引率に関わる詳細な議論は本稿の域を越える。ここでは割引率に災害の生起確率を含めるべきか否かに関して言及しておこう。この問題は、対象とするリスクが「非可逆的」か否かに関係する。非可逆的リスクとは、人命の損失や社会の喪失といった事象のように、一度その事象が生じた場合、2度とは元に戻らないようなリスクである。筆者らは非可逆的リスクの割引率としては、防災投資の経済便益を行うための主観的割引率として通常の主観的時間選好率に死亡率（災害の到着率）を加算した一般化割引率を用いることが適切であることを指摘した (横松・小林, 1999)。一方、災害が終了した後も人生設計を見直すことにより復興過程を開始できる場合には、主観的割引率として家計の主観的時間選好率を用いることが適切であることも導いている (横松・小林, 2000a)。死亡事象という非可逆的リスクの場合でも、個人が子供達に資産を残すことに対して純粋な利他的効用を持つ場合には、割引率として主観的時間選好率を用いることが正当化できる。一般の公共事業の場合と同様に、防災投資がもたらす将来便益を主観的時間選好率を用いて割り引くことが適切だろう。なお、災害により集落が壊滅する危険性があるような非可逆的リスクが認められれば、災害の生起確率を含めた割引率を用いることが正当化できる場合もある。この場合、防災投資便益は災害の生起確率の減少（割引率の減少）効果を通じて評価できる。

3.4 効率性と衡平性

費用便益分析の課題は個人間リスク配分における衡平性の問題である。小林・横松は、カタストロフ・リスクを対象とする災害保険市場均衡解は効率的なリスク配分を達成するが、富の期待限界効用の小さいタイプの家計（富の大きい家計）に、より大きな重みが割り当てられたような逆進的なリスク配分をもたらすことを示した (小林・横松, 2000b)。言い換えれば、災害保険の購入層は裕福な家計に限られ、貧しい家計は災害保険を購入する誘因を持たない。貧困者層は常に災害リスクに晒されることになる。家計が災害保険によりリスクヘッジできない場合、一度災害が生じれば多大な心理的被害が生じる可能性がある。特に、人命の損失の危険性がある場合、防災投資に対する支払い意思額は極めて大きな値をとるだろう。災害保険でリスクをヘッジできない家計

に関しては、被災後に生じる人生設計の変更という具体的な情報に基づいて被害状態をきめ細かに検討することが必要である。このような人生設計の変更がもたらす心理的被害額は、物的資産の損害による金銭的被害額よりかなり大きな値になるだろう。

4. 災害保険と防災投資便益の市場評価

4.1 ファイナンス技術と災害保険

1990年代に入り災害保険に対する国際再保険市場における再保険料が増加した。その主たる原因は、ハリケーン・アンドリュー、ノースリッジ地震等に代表されるように数兆円規模の保険金支払いを必要とする災害が生じたことによる。このことは、カルフォルニア州、フロリダ州に高額所得者が集中したことにより、保険金支払いのリスクが増加した結果である (Froot, 1999)。これに対して、国際的な損害保険市場（再保険市場を含める）だけでは市場規模が小さすぎ、災害リスクを十分に吸収できないという問題が顕在化してきた。このような状況を背景として、損害保険市場よりはるかに規模の大きい国際資本市場において、災害証券 (CAT Bond) の売買を通じて保険金支払いの原資を調達する手法が実用化された。災害リスクは経済リスクと無相関であり、投機家はCAT Bondの購入により投機リスクを分散化することが可能となる。この手法は、「2段階のくじ」として表されるカタストロフ・リスクの第1段階の集合リスクをCAT Bondの販売を通じて分散するとともに、被災者に対する保険金支払いの原資を調達しようとするものである。小林・横松等はパレート最適ナリリスク配分が可能となるような理想的なCAT Bondの設計とそれを原資とする災害保険を提案し、このような災害保険が完備した状況における防災投資の経済便益を計測する方法を提案している (小林・横松, 2000b)。さらに、最適ナリリスク分散方法が整備された場合でも、災害保険のリスク・プレミアムは1以上の値を持つことを示した。現実には、災害リスクの内容に正確に対応したようなCAT Bondを設計することは不可能である。現実の災害保険は個人リスク、集合リスクの組み合わせにより定義される状態と1対1には対応しない不完全な保険とならざるを得ない。したがって、保険会社も保険金支払いのリスクを負担することになり、災害保険のリスク・プレミアムは無視できない値をとることが予想される。災害リスクの特性を可能な限り反映しうるCAT Bondの設計と、災害保険のリスク・プレミアムの設定方法に関する研究が今後に残された大きな課題である。

4.2 災害保険と自己責任原理

災害保険の効用は、1)被災者の復興のための原資を給付するだけでなく、2)家計に自己責任による防災行動をとる誘因を与えることにある。例えば、建築物の耐水化の水準や居住地域により災害保険率が変化する場合、家計は災害保険料率を節約できるような防災行動をとる可能性がある。このように、理論的には災害保険の普及により、家計の防災意識の向上と自己防災行動の活性化が期待できる。しかし、残念ながら、わが国において災害保険の普及率はそれほど大きくないのが実状である。災害保険の先進国であるアメリカ合衆国においても、家計の災害リスクの認知水準が不十分であることが報告されている(Froot, 1999)。災害保険の普及度が十分でない理由は数多く存在する。まず、災害情報の開示の問題があげられる。現在、ハザードマップにより災害リスク情報が公開されているが、詳細な情報であるとは言い難く認知度も十分ではない。また、家計が行政による被災時の救済処置を期待すれば災害保険を購入する誘因を持たないだろう。このように家計のリスクの不完全認知(Kunreuther, 1978)や道徳的危険、保険市場における取引費用(酒井, 1982)が存在する場合、災害保険市場は失敗する可能性がある。一方、災害保険を強制保険として制度化するという考え方もあるが、被害者保護が目的の自賠償保険と異なり、自己の財産の回復が目的である災害保険の強制化は法的に無理があるという意見もある。地方自治体が住民から税という形で保険料を徴収し、その資金を原資として災害保険を運用するという方法も考えられる(横松・小林, 2000b)。あるいは、政府による強制保険と市場を通じた災害保険の取引という混合保険システム(Blomqvist and Johansson, 1997)が有用な場合もあろう。今後、家計の災害リスク認知の不完全性、家計のモラルハザードを克服しうる望ましい災害保険制度に関する研究を多方面から蓄積していく必要がある。

4.3 リスク・コミュニケーション

防災安全度が向上すればするほど、住民は災害の危険性を無視するようになる。防災安全性は無料で確保できるものではない。家計は災害保険への加入という具体的な問題に直面することにより、災害保険の料率を通じて自分が直面している災害リスクを真剣に認知することになろう。災害保険の強制化に関しては種々問題があり、必ずしも望ましいリスク・ファイナンス手法であるとは思えない。しかし、家計が防災意識を高めたり、災害リスクを的確に認知するためにも、積極的なPR活動を通じて災害保険

の普及を図る努力を行うべきだろう。防災投資の効果は、災害保険の料率の減少効果として、市場評価されることになる。家計は災害保険の料率という価格情報を通じて、自らが直面する災害リスクを知ることが可能となる。災害保険の普及は行政と地域住民が、市場メカニズムを通じてリスク・コミュニケーションを図るための1つの重要な手段である。このようリスク・コミュニケーションを確立するためには、災害リスク情報の開示を含め、各種の制度的な条件を整備する必要がある。災害リスクの市場評価を行うためには、個々の画地における災害リスクを評価(格付け)する必要がある。格付けを行うプロフェッショナルの養成やその国際的な資格認定の制度が必要となる。近い将来、保険市場のビッグバンが予定されており、この種の制度整備は焦眉の急となっている。現時点において実現可能な方法は、不動産売買あるいは新築・立て替えの時期に、災害リスクの判定結果の届け出を義務づけることであろう。災害保険の購入の有無は最終的に本人の自由意思に委ねるとしても、その意思を確認するという手続きを義務づけることも検討に値しよう。

5. 防災経済評価の高度化

5.1 防災経済評価の高度化の必要性

防災安全性が低い段階では災害により生じる物的な期待損失も大きく、期待被害額を用いた費用便益分析の意義は大きい。しかし、防災安全性の向上に伴って、小規模・多頻度の災害の生起頻度は減少し、家計の防災意識は低下していく。しかし、大規模・稀少頻度の災害というカストロフ・リスクが減少したわけではない。高度化した災害リスクを軽減するためには、防災投資によるリスク制御技術だけでなく、リスク・ファイナンス技術による家計の自己防災行動等、総合的な災害リスク・マネジメントが必要とされる。したがって、防災投資の費用便益分析の内容も、総合的なマネジメント体系と整合性がとれるように高度化される必要がある。行政と地域住民の間に健全なリスク・コミュニケーションを確立するためにも、心理的被害も考慮したきめ細かな被害予測と、災害リスクに関する詳細な情報公開が必要である。防災投資の経済評価は、地域住民がどのような自己防災行動を採用しているかと無関係ではない。

5.2 防災投資の不可逆性とリアルオプションアプローチ

ひとたび防災施設を整備すると多額の費用がサンクする。一方で防災施設は、その完成時の性能を維

持するには一定の費用が必要であるものの、半永久的な耐久性を有する。そのため防災施設整備の計画は、非常に長い時間（場合によっては無限の将来まで）を対象として費用と便益が比較されることになる。この点は掛け捨て型の災害保険等に代表されるリスク・ファイナンスの計画と対照的である。防災投資の費用にはライフサイクルコストという概念が必要となる。一方、防災施設がライフサイクルで発生させる便益を整備時点で正確に予測することは困難である。このような状況において、防災投資の意思決定にリアルオプションアプローチを用いることが有効となる（小林・横松・織田澤，2001）。

治水事業の例を考えよう。水害リスクに対する治水計画は、対象とする河川の全ての河岸に対して均一に、当該計画において決定された機能（計画規模）をもつ堤防を完備することを目指す。工事を進める際には、左右岸問題・上下流問題に留意して、左右岸の強度を等しく維持しながら下流より上流に向かって計画規模の堤防を延長していくことが原則となる。そして一連の堤防の整備が完了するには、他の公共施設の整備と比較して、非常に長い時間を要する。堤防は長い時間をかけて少しずつ延長されていくことになる。ここで3つの点を指摘しよう。第1に、堤防の整備が未だ道半ばの状態において、社会経済の状態が治水計画が決定した時点と大きく異なっていることがあり得る。あるいは治水計画の決定時点で期待した状態と大きく乖離していることがあり得る。例えば、流域に計画時点で予想したほどの物的資産が蓄積されなかった場合には、水害の際に失われる潜在的損失も予想したほど大きくなかったことになる。従って計画規模の堤防を整備しても、堤防整備に要する費用に対して小さな治水便益しか享受することができないことになる。それに加えて、ひとたび堤防整備を行うと、その整備を撤回し、投入した費用を完全に回収することはできない。よって、このような状態において堤防を整備することは効率的ではない。現時点では計画を進行させることを一時保留して、将来潜在的被害が大きくなったときに再び整備を再開することが効率的となる。第2に、下流域の堤防整備が上流域の堤防整備の前提条件になっていることである。下流域の堤防の経済評価において、将来上流域の堤防整備を行う可能性を確保できるという便益を考慮する必要がある。第3に、高い機能をもつ堤防を整備して水害リスクを軽減できれば、背後地域への資本蓄積が促される。治水投資が、河川流域の高度な土地利用を誘発する可能性がある。堤防整備の価値は、流域利用の高度化のための基盤を整備するという側面からも捉えられ

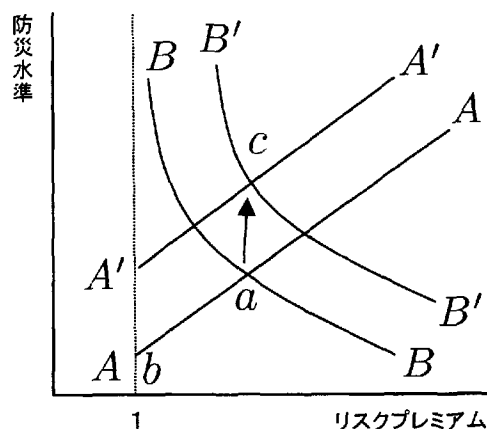


Fig. 4 Risk Premium and Risk Mitigation Level

なければならない。

以上の例題を通じて、下流域の堤防整備は期待被害額の減少という直接的な効果だけでなく、3つのオプションをもたらしめていることが理解できる。1つは経済動向を勘案しながら堤防の実施時期を最適に決定できるというオプション（最適実施時刻オプション）である。このオプションを考慮することにより、新しい情報を利用するために積極的に投資を留保する価値が評価される。それに対して、下流域の堤防を整備することにより、いつでも上流域の堤防を整備できる機会を獲得するというオプション（発展可能性オプション）、また土地利用の高度化の基盤を獲得するというオプション（成長オプション）が示されている。これらのオプションの存在は早期の堤防整備を推進する要因となる。伝統的な費用便益分析では、下流域の堤防の効果のみに着目し、それを現時点で整備するかどうかのみを検討するという非常に限定された意思決定問題を考えている。今後はリアルオプションアプローチを導入することによって、直接的便益だけでなく、プロジェクトがもたらす様々なオプションを考え、その経済価値を積極的に評価していくことが必要となる。

5.3 総合的リスク・マネジメントと経済評価

災害リスク・マネジメントにおいては、リスク・コントロールとリスク・ファイナンスの適切な組み合わせを見いだす必要がある。これら両手法の望ましい組み合わせは、その時点で利用可能な防災技術と災害保険技術の内容に規定される。リスク・コントロール手法とリスク・ファイナンス手法の効果は互いに密接に関連している。Fig. 4は横軸に災害保険のリスクプレミアム、縦軸は社会が備えるべき最適防災投資水準を表している。曲線A-Aは災害保険

のリスクプレミアムに対応する最適防災投資水準を表したものである。3.2で言及したように防災投資便益は期待被害額に災害保険のリスクプレミアムを乗じた水準になる。すなわち、災害保険のリスクプレミアムが大きくなるほど防災投資便益は増加し、費用便益分析を用いて決定される社会の防災投資水準は増加する。その結果、リスクプレミアムと最適防災水準の関係を表す曲線はA-Aに示すように右上がりとなる。言い換えれば、災害保険のリスクプレミアムが増加するほど社会はより高度な防災投資を必要とする。一方、曲線B-Bは防災水準とそれに対して市場均衡で求まる災害保険のリスクプレミアムの関係を示した曲線である。社会の防災水準が増加するほど災害ポテンシャルは減少し、その結果災害保険のリスクプレミアムは減少する。その結果、防災投資水準と市場均衡リスクプレミアムの関係は右下がりの曲線B-Bで表現される。社会にとって望ましいリスクプレミアムと防災水準の関係は曲線A-Aと曲線B-Bの交点aで与えられる。なお、期待被害額に基づいた費用便益分析を用いた場合、最適防災投資水準は点bで与えられる。すなわち、社会にとって最適な状況bと比較して、防災投資水準は過小水準となる。

いま、社会が高度化し、災害ポテンシャルが増加したとしよう。この時、社会にとって必要な最適防災投資水準が増加するため曲線A-Aは上方へシフトする（曲線A'-A'で表される）。さらに、災害ポテンシャルが増加するため曲線B-Bは右側にシフトする（曲線B'-B'で表される）。したがって、新しいリスク・マネジメント戦略は曲線A'-A'と曲線B'-B'の交点cへ移行する。最適防災投資水準は増加する。リスクプレミアムに関しては2つの曲線の大小関係に依存し、増加するか減少するかは一意的に決まらない。現在、リスク・ファイナンス技術が急速に発展し、災害保険の市場均衡プレミアムの値が減少しつつある。その結果、曲線B-Bは左側にシフトしつつある。しかし、2.3で議論したように、リスク・ファイナンス手法により集合リスクを完全に分散できるわけではなく、リスクプレミアム値は1より大きい値にとどまる。

なお、以上の議論は、家計が災害リスクを認知でき、自己責任に基づいて災害保険を購入することを前提としたものである。家計が災害リスクの認知に失敗し、自己責任に基づいた自己防災行動をとらない場合、防災投資便益はリスクプレミアムを考慮した経済便益よりもはるかに大きい値となるだろう。しかし、災害リスクをすべて防災投資により軽減することは効率的な方法ではない。家計も自己責任に

よる防災努力を行うべきである。本節で議論したようなリスクプレミアムとそれに基づく最適防災投資水準（点a）は、家計が防災努力を行うことによって達成可能な1つの努力目標として位置づけることができる。

6. おわりに

伝統的な費用便益分析では、防災投資の経済便益を期待被害額で評価する方法が採用されてきた。大規模な災害が生じれば、多くの家計や企業が同時に被災し、巨大な被害が生じる危険性がある。期待被害額に基づく方法は、災害リスクが有する同時性・巨大性というカストロフリスクの特性を十分に評価できないという限界がある。本研究では、災害リスクを軽減する方法として防災投資に代表されるリスク・コントロール手法と災害保険というリスク・ファイナンス手法の双方があることを指摘した。高度化した災害リスクに対処するためには、リスク・コントロール手法とリスク・ファイナンス手法を組み合わせた効果的なリスク管理体系を構築していく必要がある。それと併せて、費用便益分析の枠組みの高度化を図る必要がある。本稿では災害リスクのカストロフ性を考慮した費用便益分析の基本的な考え方について議論したものであるが、それを通じて今後に残された研究課題のいくつかを示しえたと考える。

付録 個人リスクと集合リスク

災害リスクを、各家計が被災するリスクを表す個人リスクと社会全体の被害を表す集合リスクの複合リスクとしてモデル化しよう。タイプ h ($h=1, \dots, H$)の家計数を N_h と表す。地域全体では $N = \sum_h N_h$ の家計が存在する。個人リスクは災害が生じた場合に各家計が被る被害の状態により定義される。個人リスクの事象として、1) 平常の場合 ($s=0$)、2) ランク s ($s=1, \dots, S$)の被害を受けた場合を考える。 L_s (> 0)を家計が被るランク s の被害額とする。次に集合リスクをモデル化する。いま、ある災害が発生した時のタイプ h の家計の集計的な被害状況を被害者数ベクトル $q_h = (q_h^0, \dots, q_h^S)$ で表す。ここに、 q_h^s はランク s の被害を受けたタイプ h の家計数であり、 $\sum_{s=0}^S q_h^s = N_h$ が成立する。この時、集合リスクの各事象を被災した家計数ベクトル $q_t = (q_1, \dots, q_H)$ で表せる。ここに、 t ($t=0, \dots, T$)は集合リスク事象を表す添字である。

集合リスク事象 t が生起する確率を $\pi(t)$ と表す。ただし $\sum_{t=0}^T \pi(t) = 1$ である。 $\pi(t)$ は第1段階目の「くじ」の確率に相当する。そして、集合リスク事象 t が生

じた時にタイプ h の家計がランク s ($s = 1 \cdots S$)の被害を被る確率を $\pi_h(s|t)$ で表す。ただし $\sum_{s=0}^S \pi_h(s|t) = 1$ である。また $q_h^s = \pi_h(s|t)N_h$ が成立する。 $\pi_h(s|t)$ は、第2段階目の「くじ」において各家計に個人リスクが配分される確率を表している。

参考文献

- 植草益編(1999):現代日本の損害保険産業, NTT出版。
 上田孝行(1997): 防災投資の便益評価-不確実性と不均衡の概念を念頭において, 土木計画学研究・論文集, 14, pp.17-34。
 小林潔司, 横松宗太(2000a): 治水経済評価のフロンティア:期待被害額パラダイムを越えて, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.237-242。
 小林潔司, 横松宗太(2000b): カタストロフ・リスクと防災投資の経済評価, 土木学会論文集, 639/IV-46, pp. 39-52。
 小林潔司, 横松宗太, 織田澤利守(2001): サンクコストと治水経済評価: リアルオプションアプローチ, 河川技術に関する論文集, 第7巻(搭載決定)。
 酒井泰弘(1982): 不確実性の経済学, 有斐閣。
 多々納裕一(1998): 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, 15, pp. 19-30。
 横松宗太, 小林潔司(1999): 防災投資による非可逆リスクの軽減効果に関する経済便益評価, 土木計画学研究・論文集, 16, pp.393-402。
 横松宗太, 小林潔司(2000a): 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, 660/IV-49, pp. 111-123。
 横松宗太, 小林潔司(2000b): 自治体保険による地域間最適リスク配分, 土木計画学研究・論文集, 16, pp. 369-380。
 Blomqvist, Å. and Johansson, P.-O.(1997): Economic efficiency and mixed public/private insurance, *Journal of Public economics*, 66, pp. 505-516。
 Froot, K. A. (ed.)(1999): *The Financing of Catastrophe Risk*, The University of Chicago Press。
 Johansson P.-O. and Löfgren, K.-G.(1995): Wealth from optimal health, *Journal of Health Economics*, 14, pp.65-79。
 Kunreuther, H. *et al.*(1978): *Disaster Insurance Protection: Public Policy Lessons*, John Wiley。
 Stiglitz, J. E.(1986): *Economics of the Public Sector*, W. W. Norton。
 Starrett, D. A(1986): On the social risk premium, in: Heller, W. P., Starr, R. M., and Starrett, D.A.(eds.) *Social Choice and Public Decision Making: Essays in Honor of Kenneth J. Arrow*, 1, pp.159-176, Cambridge University Press。

Economic Benefits of Disaster Mitigation Investment: An Analytical Perspective

Kiyoshi KOBAYASHI* and Muneta YOKOMATSU**

* Graduate School of Civil Engineering, Kyoto University

** Faculty of Engineering, Tottori University

Synopsis

The calculation of expected-losses-reduction, adopted in practices of cost-benefit analysis of disaster mitigation investment, fails to capture the catastrophic features of disaster, most typically characterized by large magnitudes of collective damage. The risk management methods to cope with catastrophe disaster can be classified into two categories: risk control through mitigation of flood disaster and risk financing to allocate catastrophe risks through market transactions. The paper claims that the cost-benefit evaluation of mitigation investment should reflect social applicability of risk financing technology to take into account the catastrophic aspects of disaster. The paper presents an extended framework of economic valuation of catastrophe risk mitigation and summarizes remaining issues to be concurred in future research.

Keywords : cost-benefit analysis, catastrophe risk, expected losses, disaster mitigation