

特集
記事

自然災害リスクの経済評価手法に関する近年の研究動向

企画・総括・編集担当 横松 宗太

目	次
1. 緒言 (横松宗太, 京都大学) … 203	6. 災害リスクの曖昧性と リバタリアン・バターナリズム (藤見俊夫, 熊本大学) … 222
2. 不確実性下の意思決定理論の規範性 (藤見俊夫, 熊本大学) … 205	7. 家計の借入制約と流動性プレミアム (横松宗太, 京都大学) … 224
3. 不確実性下の便益指標 (高木朗義, 岐阜大学) … 209	8. 精神的被害の経済評価 (松島格也, 京都大学) … 228
4. カタストロフリスクのリスクプレミアム (横松宗太, 京都大学) … 211	9. 結言 (横松宗太, 京都大学) … 232
5. 空間的応用一般均衡モデルによる 経済厚生空間的把握 (土屋 哲, 長岡技術科学大学) … 218	

1. 緒言

横松 宗太*

1.1 自然災害と経済被害

自然災害研究において、経済分析は後発分野といえる。経済学では、ほとんど全ての分析対象に関してリスクファクターを含む基礎的フレームが用いられてきたが、自然災害リスクの特殊性には大きな関心が向けられてこなかった。しかし1980年代後半より自然災害の発生件数及び保険金支払い額は増加の一途を辿った。そして90年以降の巨大自然災害は、学界においても多くの社会学者

を災害リスクマネジメントの研究に引き付けるようになった。とりわけ Hurricane Andrew (1992, アメリカ), Northridge 地震 (1994, アメリカ) や台風19号 (1991, 日本), 阪神淡路大震災 (1995, 日本) 等における民間保険金支払い額の急激な上昇と、アメリカで発生した保険危機を契機として、自然災害リスクファイナンスに関する経済学的な研究が急増した。特にリスク移転の方法については理論と実践の変革が同時進行した。最も本質的な変化は、旧来、保険・再保険市場が引き受けていた自然災害リスクを、それより格段に大きな金融市場において分散することが可能になったことである。大災害債券 (CAT Bond) をはじめとした金融デリバティブの流通に伴って、一地域

*京都大学防災研究所

の災害リスクは投機対象として世界市場で取引されるようになった。このような災害リスクマネジメントの世界的な技術革新と平行して、我が国でも90年前後より防災の経済分析が芽生え、徐々に成果が積み重ねられてきた。

21世紀に入っても自然災害を扱うファイナンス市場は拡大を続けている。例えば日本の地震保険金の支払い総額の上位10災害を見ると、2010年3月31日の時点で1位は1995年の阪神淡路大震災の783億円であるが、2位以降は全て2000年以降に起こった地震災害で占められている。このことは災害の経済被害の上昇と保険加入率の増加の両方の側面から説明される。そして、2011年の東日本大震災関連で支払った地震保険金の総額は、2011年6月22日時点で1兆5億9619万円に達している(日本経済新聞、2011年6月23日)。すなわち阪神淡路大震災での支払額の12倍を超えている。

東日本大震災がもたらした道路や設備などの直接的被害額については、2011年6月24日の時点で内閣府が16.9兆円との推計を発表している。ここでは原子力発電所事故の周辺被害は除かれているが、阪神淡路大震災の9.6兆円の約1.8倍に及び、被害額において戦後最大の自然災害となっている。

1.2 自然災害リスクの特殊性

自然災害リスクは、他のリスクとは異なる性質を多くもっている。それらの中で、経済分析では以下の特殊性がとりわけ重要である。1) 災害事象が生起する確率は稀少であり、また全く同じ被害状況が再現することはない。2) 一度生起すれば多くの個人や資産が同時に巨大な損失を被る。このように巨大性と集合性を備えたリスクはカストロフリスクと呼ばれることもある。3) 人命の損失等、不可逆的な被害をもたらす可能性がある。4) 事前の生活への復帰が困難であるような精神的被害をもたらす可能性がある。5) 災害事象の生起は外生的であるが、経済主体は防災投資を通じて、損失の大きさや損失の生起確率を部分的に制御できる。6) 災害は空間において一様でなく、局地的な現象である。経済主体は立地行動等を通じてリスクの生起状態を事前に選択でき

る。7) その一方、災害は生産のファンダメンタルを損壊するため、局所的な災害であっても、生産構造を通じて空間的に波及する。8) 防災投資の経済便益は、災害による損失を最終的に誰がどのように負担するかによって異なった値をとりえる。すなわち社会に備わる災害リスクの分散構造が、災害リスクと防災投資の経済評価に本質的な影響を与える。9) 災害が稀少かつ非日常的な規模の現象であるため、個々人の主観的な確率や被害規模の想定が異なったものになりえる。災害情報ないし認知の不完全性が存在し、家計が防災投資の便益を理解しにくくなることもある。本特集記事に掲載するいずれの章も、以上の特殊性のひとつないし複数に関連している。

1.3 本特集の主旨

一方、昨今、高速道路整備等をはじめとした公共プロジェクトの効果を計る手法として費用便益分析が定着している。便益が費用を上回ることは、公共プロジェクトが実施されるためのひとつの必要条件となっているといえる。費用便益分析では、費用の計算と比較して、便益すなわち経済効果の把握が圧倒的に難しい。そして、それに対してこれまでに様々な努力が重ねられてきた。例えば、あるプロジェクトが多くの市場に同時に影響を及ぼすときにどこかに全ての影響が集約された経済指標がないかが検討されたり、市場を通じた把握が不可能な効果を直接質問して抽出する際の科学的な方法が開発されたりしてきた。堤防やダム建設、公共施設の耐震化等の防災投資も公共プロジェクトであり、その経済便益は災害リスクを軽減する便益に他ならない。よって、自然災害リスクの経済評価は、防災投資の便益評価に直結している。

従来、実務では災害リスクは期待被害額によって評価されてきた。防災投資プロジェクトの便益は、それによる期待被害額の減少額、すなわち期待被害軽減額により推計されてきた。しかしながらその方法は自然災害リスクがもつ本質的特性を無視していると言わざるを得ない。例えば、ひとつの災害の発生により膨大な数の家計や企業が同

時に損失を被るといふ現象は、個々の家計や企業が独立に異なるタイミングで富を失う現象と根本的に異なった意味をもつ。それに対して、その要素は無視しえるという意見も学界には存在する。このように長年の議論を経ても合意に達していない問題もある。その一方、ようやく研究課題として明らかになった段階の問題も多い。しかし昨今の経済被害の世界的な増大傾向の下で、災害リスクの経済評価の枠組みの高度化や再検討の必要性については異論の余地はないであろう。本特集記事では、日本で自然災害リスクの経済評価手法について研究する(比較的)若い研究者達が、本分野の近年の議論の動向について紹介する。

2. 不確実性下の意思決定理論の規範性

藤見 俊夫*

2.1 はじめに

災害対策に関する意思決定は大きな不確実性のもとで行うしかない。特に、東日本大震災のような千年に1度のカタストロフィックな災害を対象にする場合は、極めて大きな不確実性に直面する。そのため、不確実性下における費用便益分析手法の確立は重要な課題である。この手法は期待効用理論の規範性にに基づいている。Knight¹⁾によれば、不確実性は客観確率が既知である「リスク(risk)」と未知である「真の不確実性(genuine uncertainty)」に分けられる。このうち、リスク下の費用便益分析に関する研究は進んでいる。他方、真の不確実性に関しては研究が進んでいない。Savage²⁾のような主観確率論者の立場に立つ限り、結局のところ、リスクが存在する場合の意思決定に着すると主張がある。この主張が正しければ、不確実性下でも、Savage²⁾の期待効用理論(以下SEU)における主観確率を客観確率と形式的に見なすことで、リスク下と全く同じ議論が成立する。そのため、真の不確実性下における費用便益分析の妥当性にとって重要なのは、SEU

の規範性が成立するかどうかになる。本稿ではこの点について検討していく。

2.2 SEUの公理の合理性

真の不確実性下では、問題の定式化が正当化されれば、期待効用理論の規範性はSEUの一連の公理に依存する。SEUでは、世界と結果の状態のみが所与とされ、位相や線形性などの数学上の技術的仮定を置かれることなく、選好に関する一連の公理から確率と効用が同時に導出される。

2.2.1 SEUの公理

SEUは7つの公理から導出される。公理を簡潔に表現するためGilboa³⁾の表記に従おう。ここでは、まず以下の3つの定義を導入される。行為 $f, g, f', g' \in F$ と事象 $A \subset S$ について考える。任意の $s \in A$ で $f(s) = f'(s)$, $g(s) = g'(s)$ となり、任意の $s \in A^c$ で $f(s) = g(s)$, $f'(s) = g'(s)$ となる、任意の $f, g, f', g' \in F$ について $f' \geq g'$ が成立するとき、 $f \geq_{Ag}$ と定義する。また、任意の $f, g \in F$ で $f \sim_{Ag}$ が成立するとき、その事象 A を空(null)と定義する。最後に、任意の $f, g \in F$ と $A \subset S$ について行為 f_A^g を下式で定義する。

$$f_A^g = \begin{cases} g(s) & s \in A \\ f(s) & s \in A^c \end{cases}$$

これらの定義を用いれば、Savageの7つの公理を以下のように簡潔に示すことができる。

P1 \geq は弱順序である(完備性と推移性を満たす)

P2 任意の $f, g, h, h' \in F$ と $A \subset S$ について、

$$f_{Ac}^h \geq g_{Ac}^h \Leftrightarrow f_{Ac}^{h'} \geq g_{Ac}^{h'}$$

P3 任意の $f \in F$ と空でない(nonnull)事象 $A \subset S$, 結果 $x, y \in X$ について、 $x \geq y \Leftrightarrow f_A^x \geq f_A^y$

P4 任意の $A, B \subset S$ と $x > y, z > w$ を満たす任意の $x, y, z, w \in X$ について、 $y_A^x \geq y_B^x \Leftrightarrow w_A^z \geq w_B^z$

P5 $f > g$ となる $f, g \in F$ が存在する

P6 $f > g$ を満たす任意の $f, g, h \in F$ について、全ての $i (= 1, \dots, n)$ で $f_{A_i}^h > g$ かつ $f > g_{A_i}^h$ を満たす S の分割 $\{A_1, \dots, A_n\}$ が存在する

*熊本大学

P7 任意の $f, g \in F$ と $A \subset S$ について、任意の $s \in A$ で $f \geq Ag(s)$ なら $f \geq Ag$ が成立し、 $g(s) \geq Af$ なら $g \geq Af$ が成立する

公理 P1 は vNMEU と同様の解釈が可能である。公理 P2 は sure-thing principle と呼ばれており、vNM 期待効用理論の独立性公理と類比されるものである。行為 f と g の間の選好は、それらが異なるときの値にのみ依存すべきであると主張している。公理 P3 と P4 は、行為の選択を観察することで結果の効用と事象の主観確率が導出可能となるための条件にそれぞれ関連している。公理 P3 は、 $x > y$ なら任意の事象 A のもとでも $x > y$ であるというように、結果の選好順序が事象から独立であることを要求している。公理 P4 では、 $x > y$ なら、 $y \tilde{x} \geq y \tilde{y}$ は意思決定者が事象 A の生起確率のほうが事象 B より高いと判断していることを意味しており、そのような判断は $z > w$ などの他の全ての結果の組み合わせにおける判断と整合していることを要求する。公理 P5 が成立しなければ、任意の $f, g \in F$ で $f \sim g$ となるので、期待効用理論を用いる意味が実質的になくなる。公理 P6 と P7 はそれぞれ状態空間と結果空間の連続性を課す技術的な仮定である。

これらの公理が課す内容を合理性の基準とみなすべきかについては様々な批判がある。しかし、なにより費用便益分析において問題となるのは、これらの公理が選好の整合性のみに関するものであり、それらから導出される主観確率が確率演算の規則に従うことは保証するものの、その現実世界との対応については何も述べていないことである。つまり、SEU の一連の公理では、選択の整合性がとれている限り、どのような主観確率も非合理であるとして排除することができない。例えば、「1年後、火星人が地球を侵略する確率は90%」といった明らかに馬鹿げた主観確率でも、地下シェルターの建設や火星人用兵器開発の要求など、それと整合的な行動が観察されれば、合理的であるとみなされうる。

2.2.2 確率の主観的解釈

SEU におけるこの特徴は、確率の哲学的解釈と密接に関連している。確率の解釈には、論理説、主観説、頻度説、傾向説、間主観説など種々に解釈され、広く受け入れられた唯一の解釈というものは存在しない。Gillies⁴⁾ は、これらの確率の解釈を①認識論的解釈と②客観的解釈の大きく二つに分けている。前者は、人が現実世界をどのように認識するかに関わるものであり、論理説や主観説、間主観説が含まれる。後者は、現実世界に潜む客観的規則であり、頻度説や傾向説が含まれる。

SEU は主観説に立つ。主観説は、Ramse と de Finetti によって提唱されたもので、確率を選択の観察から操作主義的に定義された個人的な信念と解釈する。この個人的な信念が確率算の規則に従うことはダッチ・ブック (Dutch book) の議論により根拠づけられている。信念が数学的確率として整合的でなければ、その信念を持つ意思決定者は必ず賭けに負けるような状況に追い込まれることになるため、合理的な個人はそのような信念をもたないという議論である。SEU では、その条件が先述の7つの公理として整理されている。これらの公理に従わない個人は、その非整合性を巧妙に利用した賭けによって、常に負ける状況に陥れることになる。しかし、費用便益分析において、信念が確率算に従うだけでは十分ではない。Ramsey が「我々は自分の信念が単に他の信念と整合的であるばかりでなく、事実とも整合的であることを望む。」と述べるように、信念と現実世界との対応が求められる。この要求について、主観説では、ベイズの定理を繰り返し使うことで「経験から学ぶことができる」と回答されることが一般的である。つまり、証拠が累積する過程で恣意的な事前確率は洗い流されてしまうため、信念は漸近的に客観的な妥当性をもつようになると主張される。その根拠は de Finetti⁵⁾ の定理にある。この定理は、可換性 (exchangeability) という条件が満たされれば、繰り返しの試行の観測により、主観説の信念は頻度説の客観確率に収束していくことを示した。ある確率変数の列 $\{Z_k\}_{k=1}^{\infty}$ が可換で

あるとは、 (Z_{l1}, \dots, Z_{ln}) の同時確率分布が任意の並べ替え $(Z_{kl1}, \dots, Z_{kln})$ の同時確率分布と等しいこととして定義される。可換性はコイン投げのような問題について成立するとみなせる。そのため、主観説は、頻度説で扱えるような事象については客観確率を与え、それ以外の事象については信念を与えるものとして、二つの側面を統一的に扱うことができることを主張している。

費用便益分析の文脈では、上記の議論をもって、SEUの主観確率が現実世界を反映しうると判断するわけにはいかない。まず、可換性について Gillies⁶⁾ の説得力のある批判がある。彼は、マルコフ連鎖的な問題を例として、可換性を誤った結果に導かないためには、状況が客観的に独立であることを背景知識として知っている必要があることを示し、客観的独立性を知っているなら可換性は不要であると主張している。また、可換性を認めたとしても、事前の主観確率が客観性を有するには、繰り返しの観察とベイズ更新が必要となる。しかし、費用便益分析において、そうしたメカニズムを自然な形で組み込める問題を対象とすることは非常に稀であると考えられる。大半の場合、費用便益分析は現時点で入手可能な情報にのみ基づいて選択することが求められるであろう。つまり、整合性だけを課す SEU の一連の公理では、主観確率と現実世界との対応を保証できないため、費用便益分析の規範性の条件として緩すぎる。

2.3 科学的曖昧性下の意思決定理論

前章の議論より、費用便益分析の規範性を担保するには、整合性だけではなく、現実世界を反映した確率を用いるという条件を加えなければならないことが明らかになった。では、そのような確率はどのように入手すればよいのであろうか。現実世界を客観的に把握するための完全ではないにしても最善のアプローチは「科学」であることは誰もが合意するであろう。この点を認めれば、現時点での最善の確率は科学によって得られるといえる。そのため本研究では、費用便益分析の規範性を成立させるためには、科学の予測する確率に基づいて意思決定しなければならないという条件

を課す。しかし、このことは、客観確率が既知であるリスク下の状況のみを考えればよいということの意味しない。なぜなら、科学が単一の予測確率をもたらす状況は限られているためである。ここで、科学的不確実性が重要な問題となる。

2.3.1 科学的不確実性

科学に基づく確実な予測を行えないような不確実な状況は科学的不確実性と呼ばれる。これは「リスク」、「科学的曖昧性」、「科学的無知」の大きく3つに分けられるであろう。リスクとは、広く認められている支配的な科学モデルが存在し、それが単一の予測確率を導出する状況である。例えば、天気予報や保険などが考えられる。リスク下では期待効用理論に従えばよい。それとは反対に、科学による予測が全く行えないほど無知な場合が考えられる。こうした科学的無知の状況では、費用便益分析を実施できないし、実施すべきではない。科学的不確実性下の費用便益分析が問題となるのは科学的曖昧性下においてである。科学的曖昧性とは、優劣つけがたい様々な科学モデル、様々なモデル特定化の可能性により、複数の確率に直面するような状況である。

科学的曖昧性は一見するより根深い問題である。多くの人が素朴に信じている見方と近いものとして科学的实在論がある。そこでは世界の真なる構造の存在が前提とされているので、現在の科学モデルの不一致は研究が進めば解消されることが期待される。しかし、科学的实在論の立場は決して頑健であるとは言えない。相対主義的傾向の強い立場からの批判としては、異なるパラダイムにおいては合理的な理論選択は不可能という Kuhn⁷⁾ の共約不可能性のテーゼ、どのような観察結果も補助仮説の修正によって説明できるという Duhem⁸⁾・Quine⁹⁾ の理論の決定不全性がある。合理主義的な傾向の強い立場からは、Laudan¹⁰⁾ が「かつて成功と見なされた科学理論も誤りであったので今成功と見なされている科学理論も誤りである」という悲観的帰納法の議論を使って科学的实在論を批判している。科学的实在論の立場をとらなければ、理想的状況においても複数の科学モ

デルが並立する可能性がある。

科学モデルが唯一に定まっても、定量的な評価を求められる費用便益分析においては、実践上で生ずる曖昧性が問題となる。まず、定性的ではなく定量的な評価を実施するには定式化されたモデルの関数形を特定する必要がある。さらに、特定化に含まれるパラメータの数値を設定しなければならない。これらを十分な精度で推定できるほど多くのデータを得られることは稀である。また、データの精度も問題となることが多い。

科学的曖昧性を主題的に扱った研究として以下のようなものがある。Dulvy et al.¹¹⁾は、生態系メカニズムは極めて巨大で複雑であり、実験によってモデルを検証することも困難であるため、魚の絶滅リスクの評価においても様々な手法があり、それらの結果は収束しないことを示している。Lempert and Collins¹²⁾は、湖沼富栄養化の原因であるリンの再循環が始まる濃度について確率分布が曖昧である状況下でリンの排出規制を検討した。また、Merz and Thieken¹³⁾は、標本の範囲や分布関数、パラメータ値を様々に設定によって多数の洪水リスクカーブを作成し、被害予測の曖昧性を示している。これらの研究は、科学的曖昧性が決して瑣末な問題ではないことを示している。

2.3.2 科学的曖昧性下での意思決定理論

科学的曖昧性を扱うにはどのような意思決定理論が求められるのであろうか。確率分布が唯一に定まらない状況は、真の不確実性の中でも特に曖昧性とよばれて区別されている。曖昧性を扱う公理系に基づく意思決定モデルとしては、Gilboa and Schmeidler¹⁴⁾のマキシミン期待効用モデルをはじめ、様々なものが提案されている。しかし、これらはSEUの整合性の条件を緩めることで、主観確率が単一に定まらない場合も許したモデルである。これらのモデルから導出される複数確率分布が現実世界を反映している根拠は存在しない。そのため、費用便益分析に用いることはできない。科学によって予測された複数の確率に直面した場合、どのように意思決定すべきかを示す意思決定理論が求められる。

科学的曖昧性下の意思決定を扱った研究は数少ない。Barrieu and Sinclair-Desgagne¹⁵⁾は科学的曖昧性を二次確率で表現したモデルを構築している。Gonzalez¹⁶⁾は、マキシミン期待効用と整合的なHansen and Sargent¹⁷⁾のロバスト効用モデルに基づき、構築されたモデルから一定の誤差の範囲に真のモデルが存在するという形で科学的曖昧性を捉えている。これらの意思決定モデルに共通する最大の欠点は、科学的曖昧性の状況に既存の理論を適用しただけであり、公理による形式的な体系化がされていないという点である。そのため、これらの意思決定理論に従うことが、どのような規範的意味を持つかが不明である。不確実性下の費用便益分析においては、公理による基礎づけられた科学的曖昧性下の意思決定理論の構築が重要な課題として残されている。

参考文献

- 1) Knight, F.H.: Risk, uncertainty, and profit, Houghton Mifflin & CO., 1921 (奥隅栄喜訳: 危険, 不確実性及び利潤, 文雅堂銀行研究社, 1959).
- 2) Savage, L.J.: The foundation of statistics, second revised edition, Dover Publication, 1972.
- 3) Gilboa, I.: Theory of decision under uncertainty, Cambridge university press, p.80, 2009.
- 4) Gillies, D.: Philosophical theories of probability, New York, Routledge, 2000. (中山智香子訳: 確率の哲学理論, 日本経済評論社, pp.9-12, 2004).
- 5) Ramsey, F.P.: Philosophical paper, ed. Mellor, D.H.,: Philosophical paper, Cambridge University Press, 1990. (伊藤邦武, 橋本康二訳: ラムジー哲学論文集, pp.75-133, 1996).
- 6) De Finetti, B.: Foresight: Its logical laws, its subjective sources, (English translation in Kyburg, H.K. and Smokier, H.E. (eds.), Studies in Subjective Probability, Wiley, pp.93-158, 1964).
- 7) Kuhn, T.S.: The structure of scientific revolutions, The University of Chicago Press, 1962. (中山茂訳: 科学革命の構造, みすず書房, 1971).
- 8) Duhem, P.: La théorie physique son objet et sa structure, 1906. (小林道夫, 熊谷陽一, 我孫子信訳: 物理学の目的と構造, 勁草書房, 1991).
- 10) Laudan, L.: Science and value: The aims of sciences and their role in scientific debate, The

- University of California Press, 1984. (小草 泰, 戸田山和久訳: 科学と価値 - 相対主義と実在論を論駁する, 勁草書房, 2009).
- 11) Dulvy, N.K., Ellis, J.R., Goodwin, N.B., Grant, A., Reynolds, J.D. and Jennings, S.: Methods of assessing extinction risk in marine fishes, *Fish and Fisheries*, Vol.5, pp.255-276, 2004.
 - 12) Lempert, R.J. and Collins, M.T.: Managing the risk of uncertain threshold responses: Comparison of robust, optimum, and precautionary approaches, "Risk Analysis, Vol.27, pp.1009-1026, 2007.
 - 13) Merz, B and Thieken, A.H.: Flood risk curves and uncertainty bounds, *Natural Hazards*, Vol.51, pp.437-458, 2009.
 - 14) Gilboa, I. and Schmeidler, D.: Maxmin expected utility with a non-unique prior, *Journal of Mathematical Economics*, Vol.18, pp.141-153, 1989.
 - 15) Barrieu, P. and B. Sinclair-Desgagné "On Precautionary Policies," *Management Science*, Vol.52, pp.1145-54, 2006.
 - 16) Gonzalez, F.: Precautionary principle and robustness for a stock pollutant with multiplicative risk, *Environmental and Resource Economics*, Vol.41, pp.25-46, 2008.
 - 17) Hansen, L.P., Sargent, T.J.: Robust control and model misspecification, *American Economic Review*, Vol.91, pp.60-66, 2001.

3. 不確実性下の便益指標

高木 朗義*

3.1 厚生経済学における不確実性下の便益指標

自然災害リスクの経済評価手法において、厚生経済学分野で蓄積されてきた不確実性下の便益指標に関する多くの研究成果や議論に注目することは有用であろう。例えば、Johansson (1993), Graham (1981, 1992) は、補償的偏差 (Compensating Variation, 略して CV) の枠組みで不確実性下の便益指標を提案し、その性質を明らかにしている。一方、Graham, T and Myers (1990) や多々

納 (1993) は、不確実性下の便益指標を等価的偏差 (Equivalent Variation, 略して EV) に基づいて展開している。CV と EV の違いは、プロジェクトの実施有無のどちらの状況に基準を置くかによるもので、実施有に基準を置く便益指標が CV、実施無に基準を置く便益指標が EV である。厚生経済学分野の既往研究により、EV は符号保存性、順序保存性を共に有するが、CV は符号保存性を有するが、順序保存性は有さないことが示されており、CV はプロジェクトの選択指標として妥当ではないとされている。なお、符号保存性とは、プロジェクトの実施に伴う効用変化の符号と便益指標の符号が一致する性質である。順序保存性とは、便益指標によってプロジェクトに付される順序が効用による順序と一致する性質である。

多々納 (1993, 2003) は、不確実性下の便益指標として、EV および CV のそれぞれに基づく期待被害軽減額と Option Price を取り上げ、このうち等価的 Option Price が符号保存性・順位保存性を有するため、良いという結論を示している。この点については、後述する。

3.2 期待被害軽減額と便益指標の定義

災害はその規模に応じて状態が異なることから、平常時の状態を $i=0$ 、災害時の状態を $i=1, 2, \dots, I$ とする。また、その状態が確率的に生起すると考え、それぞれの生起確率を ϕ_i とする。一方、それぞれの状態で個人が得る効用水準 V_i は、所得 Y_i 、それ以外の要因を表す Q_i の関数 $V_i = V(Y_i, Q_i)$ で表わされるとする。このとき、生起確率で重み付けた期待効用水準 EU は $EU = \sum_i \phi_i \cdot (Y_i, Q_i)$ と表わされる。

防災プロジェクトの実施有無の状況を添字 $j = a, b$ で表わす。すなわち、防災プロジェクトを実施しない場合を (ϕ_i^a, Y_i^a, Q_i^a) 、実施する場合を (ϕ_i^b, Y_i^b, Q_i^b) と表す。ただし、 $\phi_i^a = \phi_i^b = \phi_i$ とし、生起確率は変化しないと考える。このことは一見不確実性下におけるプロジェクト評価の一般性を非常に限定するように思える。しかし、自然現象の生起確率のように、防災プロジェクトの実施有無に係わらず不変と考えられる場合や状態 i が

*岐阜大学

微妙に区分される場合の生起確率は変化しないと考えられ、これらは容易に想定できる。したがって、この仮定をおいても一般性は失われない。

不確実性下の便益指標は、平常時と災害時と違った状態の違いに対する支払意思額の期待値を用いる方法とプロジェクトの実施に対する支払意思額を用いる方法に大別される。

前者では、プロジェクトの実施有無の各状況において、状態の違いによる効用水準の差に対して便益を評価し、プロジェクト実施有無の状況毎に期待値を求め、その差により評価する方法である。例えば、平常時の状態 Q_0^i と災害時の状態 $Q_{i \neq 0}^i$ の違いに対する EV、すなわち災害規模別の被害額と言われる指標は、 $V(Y_0^i + EV_{i0}^i, Q_0^i) = V(Y_{i \neq 0}^i, Q_{i \neq 0}^i)$ と表され、この期待値である期待 EV は、 $E[EV_{i0}^i] = \sum_i \phi_i \cdot EV_{i0}^i$ と定義できる。このとき、防災プロジェクト実施の効果は期待 EV の差 $\Delta E[EV_{i0}^i]$ により評価される。

後者は、防災プロジェクト実施有無の期待効用の違いを支払意思額によって金銭換算する方法であり、さらに“状態とは独立な確定的支払意思額を求める方法”と“状態に依存した支払意思額を求める方法”に分類できる。前者では、プロジェクト実施無の期待効用を実施有のそれと等しくする支払意思額は唯一に定まり、Option Price と呼ばれ、 $\sum_i \phi_i \cdot V(Y_0^i + OP, Q_0^i) = \sum_i \phi_i \cdot V(Y_{i \neq 0}^i, Q_{i \neq 0}^i)$ と表される。Option Price は状態とは独立な防災プロジェクトに対する確定的支払意思額であり、任意の状況に対して一定となる。一方、後者のような支払意思額の組み合わせは無数に存在する。このうちすべての状態における効用水準が等しいという条件を満たす支払意思額の組み合わせを Certainty Point といい、期待支払意思額を最小とする支払意思額の組み合わせを Fair Bet Point という。

3.3 不確実性下の便益指標の性質

これらの指標が符号保存性、順序保存性を有するかについては、多々納 (1998) により、次のことが明らかにされている。

- ・期待利得増加額指標は符号保存性、順序保存性を共に有さない。

- ・等価的 Option Price 指標は符号保存性、順序保存性を共に有する。

- ・Certainty Point の期待値および Fair Bet Point の期待値は順序保存性を有するが符号保存性は有さない。

- ・Certainty Point, Fair Bet Point の期待値を原点補正すれば順序保存性、符号保存性を共に有する。

したがって、符号保存性、順序保存性という観点から、Option Price の他、原点補正後の Certainty Point, Fair Bet Point の期待値が不確実性下の便益指標として適当である。

3.4 空間を考慮した不確実性下の便益指標

災害リスク回避行動の一つに災害危険度の高い地区への立地を避けるというものがある。災害リスクマネジメント施策がある地区に実施されると当該地区の災害リスクが変化し、それが住民や企業に認知されて立地選択行動に反映され、最終的に土地利用の変化として現れる。このように災害リスクマネジメント施策による災害リスクの空間的な変化状況がわかり、リスク回避としての立地選択行動を評価しなければならない場合には、空間を考慮する必要がある。ただし、空間を考慮する場合の評価方法は空間を考慮しない場合の応用である。言い換えれば、空間を考慮しない場合の評価方法は空間を考慮する場合の一部として位置付けられるため、評価方法の基本的な考え方は同じである。

空間を考慮した不確実性下の便益指標としては、状態に対して不変であるとする (Option Price を用いることを意味する) のと同様に、地域に対しても不変であることが必要となる (高木 (1996), 高木・森杉・上田ら (1996))。EV の概念を拡張すると、空間を考慮した不確実性下の便益指標が定義できる (上田 (1997), 上田・高木 (1997))。

立地選択が自由な社会において、ある地域に防災プロジェクトを実施する場合、防災プロジェクトを実施しない状況にとどまると、防災プロジェクトの実施する状況で獲得できる期待効用水準を諦めるために必要な最小受取補償額を便益指標と

する。この便益指標は地域、状態にかかわらず不変であるため、非限定EVまたは社会的EV(Non-Contingent EV)と呼んでいる。

非限定EV(社会的EV)と地域、状態毎の便益の期待値として定義される社会的期待EVとの差は、立地選択準オプション価値(Location Choice Quasi Option Value (Graham-T (1995)))と地域別オプション価値に立地選択確率を乗じた値の和となる。立地選択準オプション価値とは、防災プロジェクトの実施による地域の災害リスク軽減に伴う立地選択行動の変化がもたらすもので、立地変更の機会の存在を反映した便益指標である。これら2種類のオプション価値を合わせた指標を社会的オプション価値(Social Option Value)と呼んでいる。したがって、非限定EV(社会的EV)が2種類のオプション価値を捉えた唯一の指標であるため、空間を考慮した防災プロジェクトの経済評価としては、非限定EV(社会的EV)を最適な便益指標と考える。

参考文献

- 1) Graham, D.A.: Cost-benefit analysis under uncertainty, American Economic Review, Vol.71, pp.715-725, 1981.
- 2) Graham, D.A.: Public expenditure under uncertainty, American Economic Review, Vol.82, No.4, pp.822-846, 1992.
- 3) Graham-T. and Myers, R.J.: Supply-side option value: Further discussion, Land Economics, 66, pp.425-429, 1990.
- 4) Graham-T.: Quasi-option value, in Bromley, D.W. eds. The Handbook of Environmental Economics, Blackwell, pp.594-614, 1995.
- 5) Johansson, P.-O.: Cost-benefit analysis of environmental change, Cambridge University Press, pp.133-155, 1993.
- 6) 高木朗義: 防災投資の便益評価手法に関する研究, 岐阜大学博士論文, 1996.
- 7) 高木朗義, 森杉壽芳, 上田孝行, 西川幸雄, 佐藤尚: 立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No. 13, pp. 339-348, 1996.
- 8) 多々納裕一: 治水リスクの経済的評価法に関する研究-治水対策プロジェクトに着目して-,

土木学会論文集, No. 464/IV-19, pp. 73-82, 1993.

- 9) 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.
- 10) 多々納裕一: 不確実性下の便益評価問題, 新領域土木工学ハンドブック, 朝倉書店, 25.4, 2003.
- 11) 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おいて-, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 17-34, 1997.
- 12) 上田孝行・高木朗義: 防災事業の便益計測法-治水事業を例として-, 社会資本整備の便益評価-一般均衡理論によるアプローチ-, 森杉壽芳編著, 第6章, 勁草書房, pp. 91-126, 1997.

4. カタストロフリスクのリスクプレミアム

横松 宗太*

4.1 はじめに 一期待効用理論とリスクプレミアム

不確実性下の費用便益分析は, Arrow and Lind (1970) や Graham (1981) 等によって初期の発展を実現した。前章で説明されたように, リスクの存在下でのプロジェクト便益は, 少なくとも概念的には, プロジェクトの影響を被る個人の当該プロジェクトに対する「事前の」支払い意思額で評価されるべきであることに, ほとんどの専門家が同意している。すなわち「どの contingency が実際に生起するか判明する前に, そのプロジェクトを実行することに対して抱く支払い意思額の最大値」をプロジェクト便益と考えるべきであり, この値が「オプション価格 (Option Price)」と呼ばれるものである。そして全家計のオプション価格を集計することによって, プロジェクトの集計的便益を得て, それを機会費用と比較することによってプロジェクトの採否を決定する。特定の contingency に依存しない事前の評価であることにより, 他のプロジェクトとの比較における整合性等が保証される。従って, 不確実性下のプロジェクト評価において, 理論的に正確な便益評価

*京都大学防災研究所

はオプション価格によってなされる。しかしながら、1章でも述べたように、従来多くの場面で期待余剰 (Expected Surplus) が用いられてきた。期待余剰はプロジェクトによって発生する状況依存的な余剰の期待値であり、防災投資問題の文脈においては、期待被害軽減額 (Expected-Losses-Reduction) と呼ばれることが多い。すなわち期待被害軽減額により評価した防災投資便益は、各外力の発生下において対象とする防災施設がない場合とある場合の損失の差を状況依存的な余剰と捉えて、各外力の発生確率によってそれらの期待値を算出した額に相当する。

期待効用水準と確実性等価、リスクプレミアムの関係は以下のように表される。所得水準を w 、所得に依存した効用関数を $u(w)$ とする。効用関数は $u'(w) > 0$ 、 $u''(w) < 0$ を満たし、個人の危険回避選好を反映している。 w が確率変数であるときには、各 w の実現値に対する効用の期待値、すなわち期待効用水準 $E[u(w)]$ の最大化が個人の目的となる。期待効用水準 EU と確実性等価 w_c 、リスクプレミアム ρ の関係は以下のように表される。

$$EU = E[u(w)] = u(w_c) = u(\bar{w} - \rho) \quad (1)$$

ただし \bar{w} は所得水準 w の期待値である。確実性等価 w_c は所得の単位 (金銭単位) で表した厚生水準を意味する。またリスクプレミアム ρ は

$$\rho := \bar{w} - w_c \quad (2)$$

によって定義される。それは、与えられた変動 (分散の意味でのリスク) を回避して安定的な状態を得るための支払い意思額を意味する。期待値が同一であっても、変動が大きいほどリスクプレミアムは大きくなる。リスクプレミアムは、(変動の意味の) リスクを一元的に金銭評価した指標である。

4.2 リスクプレミアム不要論

防災投資の便益を期待被害軽減額で評価するということは、リスクプレミアムを考慮しないことと等価である。リスクプレミアムを考慮すべきではないという主張は、Samuelson (1964)、Vickery

(1964)、Arrow and Lind (1970) 等に始まる。彼らは防災に限定せずに一般的な公共プロジェクトを対象としているが、例えば Vickery (1964) は個人間やプロジェクト間のリスクプーリングを論拠としている。すなわち、政府が多数のプロジェクトを実施するとき、ひとつひとつのプロジェクトは各地域や個人にさまざまな正負の影響をもたらすが社会全体ではリスクが均等化される。さらに他のプロジェクトとの間でリスクがプールされる。さらにこのようなプーリングは追加的なコスト無しで実現できると考えている。また、Arrow and Lind (1970) は、large economy を対象とする場合、プロジェクトの費用の国民一人当たりの税負担はさほど大きくないように、一人当たりのリスクプレミアムも無視されうる水準まで減少する。よって一個人の確実性等価は期待値によって近似できると主張している。いわゆる「Arrow = Lind の定理」であり、現在でも期待値主義の大きな拠り所となっている。

4.3 リスクプレミアムを含む防災投資便益

それに対して、政府はプロジェクトのリスクを無視することはできないという主張も重ねられてきている。Hirshleifer (1964, 1966)、Sandmo (1972)、Bailey and Jensen (1972) 等は、政府と市場のリスクが相関しているという立場をとる。例えば Bailey and Jensen (1972) は、政府がプロジェクトのポートフォリオをつくってリスクをプールできるという考え方に対して、現実にはプロジェクトが提供するサービスは個々の家計や企業に帰着していることを主張する。よって個々の家計や企業は圧倒的に自地域のプロジェクトの影響を受け、全国的な影響をプールしているわけではない。費用も、生産過程でサービスを提供する主体が負担している。よって、あるプロジェクトのリスクは特定の集団に帰着していることになる。よって、便益と費用の分配を調べるのが重要であり、政府がリスクをプールするという解釈は極めて表面的、あるいは観念的で非現実的であると批判している。

また、小林・横松 (2000, 2002) や横松・小林

(2000)は、リスクプレミアムを考慮しない期待被害額評価は、小規模な危険事象が独立に多数生起するようリスクを想定した方法であると指摘している。そこで想定されている環境は、1) 個々の家計や企業の被災事象が独立である。2) それゆえ保険市場では給付・反給付均等の原則を満たしたリスクフェアな保険が供給されている。3) 家計はフルカバー保険を購入する。4) 災害時にはその保険金により被害がフルカバーされ、損害が瞬時に修復されるという理想的な状況である。この状況では家計が支払う保険料と期待被害額が一致する。そしてハードの防災投資の経済便益は保険料の節約額、すなわち期待被害軽減額に一致することになる。

しかしながら、家計や企業への被害事象の同時到着という「集合性」を有する自然災害リスクに対しては、1) 保険会社は家計や企業に対して給付・反給付均等の原則を満たした保険を提供することはできない。なぜなら保険会社は再保険契約や代替的リスク移転手法 (ART) を通じて集合的な保険金支払いに備える必要がある。そのための費用が、結局、元受保険料率の割増として帰着することになるからである。2) このような割高の保険料率の保険に対して、家計や企業はフルカバー契約を選択しない。3) それによって、災害時には保険によってカバーされない損失が残ることになる。換言すると、家計の資産形成過程にはリスク (変動) が残ることになる。4) このとき、防災投資には期待被害額を減少させる便益のみならず、変動を減少させる便益が含められることになる。以下的小林・横松 (2000)、横松・小林 (2000) がそれぞれ空間軸、時間軸において上記の構造を詳細に調べている。

小林・横松 (2000) は、巨大性・集合性 (カタストロフ性) を有する自然災害リスクに対しては、地域内の個人間で被害を均等化するための相互保険契約と、地域全体の被害の総和を地域外の主体とシェアするための状況依存的証券を組み合わせた災害保険システム (以下、「カタストロフ災害保険」) を導入することによって、パレート効率的な災害リスクの配分が市場で実現可能であることを

示している。また、そのような理想的な災害保険市場において、災害危険度が高い地域の個人は損害を保険でフルカバーしないことを示している。すなわち部分カバー契約が社会的に効率的なリスク配分契約となる。そして、防災投資便益を、カタストロフ災害保険市場で行動する家計のリスク軽減に対する支払い意思額によって計測する方法を提案している。さらに、このようにして測られる防災投資便益に以下の大小関係があることを示している。

保険システムがない場合

> 市場に相互保険のみがある場合

> 市場にカタストロフ災害保険がある場合

> 期待被害軽減額

提案する防災投資便益指標は3行目の値である。1-3行目までの不等式は、保険の技術が進化するほど、ハードの防災施設への依存度が低くなる関係を示している。実際に、当研究で提案されているカタストロフ災害保険市場は理想的な環境であり、現実の市場は未だそこからは遠いと言わざるを得ない。にもかかわらず、3-4行目が示すように、カタストロフ災害保険市場においてさえも、防災投資便益は期待被害軽減額よりも大きくなる。換言すると、実務で用いられている期待被害軽減額は防災投資の便益を過小評価している可能性がある。

一方、横松・小林 (2000) は、家計が災害により物的資産を喪失するリスクの下で資産を形成する動学的問題を定式化している。そこでも家計はフルカバーの災害保険を購入しないため、災害時には保険でカバーされない被害が残ることになる。そして防災投資便益は「資産の高度化効果」と「事後的被害の減少効果」の和で構成され、その和は期待被害軽減額を上回ることを示している。

4.4 社会的割引率とリスク

時間を通じたプロジェクト評価を行うとき、将来時点の便益や費用、ないし純便益 (= 便益 - 費用) は割り引かれて現時点の価値に変換された上で、全ての時点の純便益が集計されることにな

る。通常はプロジェクトの建設を行う初期時点で費用が大きくなり、便益はその後、長期間に亘って発生していく。すなわち純便益は負で始まり、将来、正に転じるパターンが多い。このようなパターンを念頭に、将来便益を割引く「社会的割引率」の設定については、金融市場との整合性や世代間衡平性等、多くの考え方が示されている。例えば、標準的な考え方として、建設資金を返済する際の市場利子率と等しいとするものがあるが、これに対しても、経済政策が市場の利子率を変えられるとしたら政策の意思決定はより複雑になってくる。また、倫理的な観点から将来世代の便益を割引くことは認められないという意見もある。リスクが存在しないプロジェクトであっても意見の一致は見られていない。

リスクが存在する場合、プロジェクトが価格等の市場の変数に影響を与えない小規模のもの (small) であれば、通常は、リスクプレミアムを含む割引率を用いて純便益フローの期待値を割引く方法が用いられる。「リスク」と「割引」という概念を一つのパラメータにまとめて処理する方法である。あるいは各時点の確実性等価を、リスクフリーの割引率で割引く方法もある。この場合はリスクを確実性等価の方に含めているだけであり、2つの方法は等価である。両者はリスクプレミアムを考慮している。

Arrow (1966) は、マクロ経済の視野に立ち、各状態 s における国民所得 y_s とプロジェクトのリターン h_s が独立であると仮定した上で、プロジェクトの評価にはリスクによる割引率の増加を考慮すべきでないと述べている。さらに、それらが負の相関をもつとすると、その場合には限界効用 $U'(y_s)$ とプロジェクトのリターン h_s は正に相関するため、期待限界効用評価 $E[U'(y_s)h_s]$ は、期待値評価よりもプロジェクトを受け入れやすくなることを指摘している。このときはリスクの存在は割引率を小さくすることと同方向の影響をもつことになる。災害時は国民所得が減少した状態の下で防災投資の被害軽減便益が発現するため、このケースに該当する。

Ahsan and Tsigaris (1998) は、政府が国債を通

じてリスクの世代間分配をできるときには、社会的リスクプレミアムは市場プレミアムよりも小さくなることを指摘している。

一方で、Ahsan and Tsigaris (2002) は、政府のインフラ投資による税収の増加をインフラ投資の収益率と捉えて、それによって社会的割引率を計測している。その結果、リスクを含む社会的割引率は、無リスク利子率 (risk-free rate) とほとんど変わらないという実証結果を得ている。定量的な意味で、インフラ投資の割引率にリスクを含める必要はほとんどないという含意を導いている。

4.5 動学的確率的一般均衡モデルとリスクプレミアム

近年、政策議論のために定量的分析結果を導くモデルとして、動学的確率的一般均衡モデル (Dynamic Stochastic General Equilibrium Model, DSGE Model) が標準的な手法となってきている。そして、DSGE モデルの大きな関心は確率的割引因子 (stochastic discount factor) の決定に向けられている。DSGE モデルは一般均衡の枠組みに依存しているため、確率的割引因子は消費サイドの一階の条件からのみ決まるものではなく、景気循環とも関わっているからである。さらに、マクロ経済学における DSGE モデルのメリットは、モデルが記述する資産価格の構造がマクロダイナミクスと整合的となる点である。すなわちモデルの均衡における資産価格の振る舞いを調べることによって、マクロ経済のリスクを調べることができる。DSGE モデルを用いることによって、外生的なリスクを内生的な資産価格の変化に関係付けて、そのリスクプレミアムを調べるアプローチをとることができることとなる。

Posch (2010) はポアソンショックとして訪れる稀少な災害の下でのリスクプレミアムの構造を分析している。はじめに、Fruit-tree model (endowment economy) を考え、Fruit-tree である生産技術 A_t が以下の確率過程に従うと仮定する。

$$dA_t = \mu_A A_t dt + \sigma_A A_t dB_t + (e^{VA} - 1) A_t - dN_t \quad (3)$$

B_t は標準ブラウン運動を表す。右辺第2項は災害

に依存しない diffusion risk である。一方、 N_t は到着率 λ のポアソン過程である。右辺第 3 項は災害である。 $v_A < 0$ であり、 $e^{v_A} - 1 < 0$ は災害時の A_t の下向きのジャンプである。Fruit-tree model では A_t が生産 Y_t に一致する。金融市場には危険資産と国債が存在し、国債も災害時には価格が下方にジャンプするものとする。均衡において時点 t のリスクプレミアム RP_t は以下の構造に決まる。

$$RP_t = -\frac{u''(C_t)}{u'(C_t)} C_W W_t \sigma_M^2 + \frac{u'(e^{v_A} C_t)}{u'(C_t)} \zeta_M \lambda \quad (4)$$

第 1 項は災害とは関係しない diffusion risk に関連し、第 2 項が災害リスクを反映している。ただし $u(\cdot)$ は消費 C_t に依存した効用関数である。 W_t は資産水準を表し、危険資産と国債のポートフォリオとして構成される。 σ_M は W_t の単位あたりの diffusion であり、 ζ_M は災害時のジャンプサイズである。上記のように diffusion risk に関連した第 1 項は効用関数の 2 階微分すなわち効用関数の凹性に依存するのに対して、災害リスクに関連した第 2 項は 1 階微分すなわち限界効用のみ依存する。さらに $u'(e^{v_A} C_t)/u'(C_t) > 1$ なので、ポートフォリオの期待被害率 $\zeta_M \lambda$ が増幅されることになる。また、消費関数が資産水準の同次関数となるケースでは、上記のリスクプレミアムはパラメータのみで構成され、時間を通じて一定となる。消費関数に関するこのようなケースは決してまれな状況ではない。

それに対して、家計の弾力的な労働供給と非線形の生産構造をもつ通常のリアルビジネスサイクル (RBC) モデルでは、一般的に消費関数は資産に関して非同次のとなり、それによって、最適値関数 $V(W_t, A_t)$ の上で定義される実効的リスク回避度 (Effective Risk Aversion) $V_{WW}(W_t) W_t / V_W(W_t)$ とリスクプレミアムは時間を通じて変化する。直接効用関数が相対的危険回避度一定型 (CRRA) である場合でさえ、最適値関数は資産に関して CRRA にならず、実効的リスク回避度は必ずしも一定にはならない。また、資産に対する限界消費性向が大きいほど、実効的リスク回避度が高くなる。なお、パラメータの間にある特別の関係が成

立しているナイフエッジの状況でのみ、経済成長の過程で労働供給が一定となり、また所得の一定の割合を毎期消費するという均衡が得られる。このときには実効的リスク回避度やリスクプレミアムは時間を通じて一定となるが、このような状況が一般的に成立する保証はない。

4.6 マクロ経済と “Rare Disaster”

東日本大震災では、政府によりストックの直接被害が 16.9 兆円に達することや、2011 年度の GDP 成長率が 0% 近くまで落ち込む見込み (共同通信社、2011 年 6 月 15 日) が発表されている。自然災害がマクロ経済スケールの問題であることは疑いがない事実となった。

近年、マクロ経済学の分野でも “Rare Disaster” に関心が払われている。ただしそれらは “Economic Disaster” であり、例えば Barro (2006) はそれを「一人当たり GDP が 15% 以上減少する現象」と定義し、一般的に大恐慌や金融危機、戦争、疫病、大規模自然災害を含むものと考えた。そして Barro (2006) は 20 世紀に OECD 加盟国と一部の中南米、アジアの国々で発生した “Disaster” のリストを示すとともに、“Disaster” は十分な頻度で存在することを実証している。ただし上記の対象国と期間には自然災害による “Economic Disaster” はなかったようである。以下、本節では「災害」を “Economic Disaster” の意味で用いる。

マクロ経済学で “Rare Disaster” が扱われ始めた動機は “Equity Premium Puzzle” と呼ばれる現象の解明にある。Equity Premium (Equity Risk Premium と呼ばれる。以下「株式リスクプレミアム」) とは株式の保有者が無リスク証券の利率 (risk-free rate) よりも超過して得るリターンのことを意味し、投資家がリスクを引き受ける対価にあたる。リスクが高い (ボラティリティが大きい) 株式ほど期待リターンは大きくなり、株式リスクプレミアムも大きくなる。しかしながら、Mehra and Prescott (1985) は、実際の市場で観察される株式リスクプレミアムが通常モデルで計算される値よりもはるかに大きいことに着目した。換言すると、実際の市場で観察される株式リスク

プレミアムを標準的モデルで説明するためには非現実的に大きなリスク回避選好を想定しなければならない。その問題は“Equity Premium Puzzle”と呼ばれ、それを説明するために多くの仮説が立てられてきた。その研究系譜のひとつとして、Rietz (1988) や Barro (2006) によって“Rare Disaster”の概念が導入された。

Barro (2006, 2009) のモデルでは、経済の産出の過程に平均ゼロのランダム項とともに、災害として生産が下方にジャンプするショックが導入されている。そして災害が発生すると公債を発行する政府さえも部分的なデフォルトを起こす。経済主体がそのような可能性を想定していると考えられると、高い株式リスクプレミアムを説明することができることを示した。ただしここでのデフォルトは現実にはハイパーインフレーション等で公債の価値が著しく減少する現象に対応する。

Barro (2006) が著された後、災害の影響に関する理論的、実証的関心は高まっている。例えば、Gourio (2008a) は災害後の recovery (以下「復興」)のプロセスを考慮した。20世紀の多くの災害において、GDP が急落して谷を打ったあとは、急上昇する期間があることが実証されている。Gourio (2008a) は経済主体が災害後には復興が長く可能性を考慮に入れると考えた。そして経済主体の異時点間代替弾力性が低い場合には復興の期待によって利子率が高くなり、その結果、株価や P-D 比率は下がり、株式リスクプレミアムが大きくなる。異時点間代替弾力性が高い場合には逆のことが起こり、株式リスクプレミアムはそれほど大きくならないことを指摘した。また災害時にそれほど収益が減少しない資産、すなわち災害に強い企業の株は、平均収益率が低く抑えられることも確認した。

Wachter (2008) は災害の確率が時間軸上で変化するモデルを定式化している。そこでは災害のポアソン到着率が伊藤過程に従っている。また、Jermann (2010) は生産者の 1 階の条件からリスクプレミアムの性質を導いており、そこでは調整費用の曲率がリスクプレミアムの決定要因となっている。Lettau and Ludvigson (2002) や Mehra

and Prescott (2008) は、リスクプレミアムが経済が悪い状態のときには増加し、良い状態のときには減少することを実証的に示している。

4.7 おわりに — 自然災害のリスクプレミアムの概念の精緻化に向けて

前節で紹介したように、近年、災害とリスクプレミアムの関係をマクロ経済の視野で分析する研究蓄積が増加している。しかしそれらはあくまで GDP の減少率によって定義された「災害」で、焦点は金融市場の振る舞いを説明することにある。今後は自然災害被害に着目して、金融資産の価格に反映されない被害や、自然災害の復興過程の特殊性を考慮した、マクロ経済スケールのリスクプレミアムについて研究していく必要がある。その際に、例えば前節の最後に紹介した時間軸上で変化する災害到着率や、生産の調整費用の観点は非常に良いヒントであると思われる。

また、本稿で触れられなかった話題のひとつに世代間の問題がある。例えば、何百年規模の津波に耐えうる防潮堤を築くとき、将来世代の便益にどのようなウェイトをつけて総便益を集計するかという問題がある。世代間の割引率の問題に対しては、経済学や倫理学、哲学の分野で膨大な議論が蓄積されてきたが、それぞれの分野の中でさえ未だ合意に至っていない。例えば、Davidson (2006) は気象変動の問題を対象に、現在の法律や正義の考え方や整合的な世代間割引率について論じている。Chichilnisky (1997) は、地球温暖化リスクのように、人為的につくられ、かつ不可逆的な状態を招くリスクに関わる政策決定の場面で、現在主流の割引の考え方を適用すると愚かな帰結が導かれることになると警鐘を鳴らしている。

動学経済分析の父といわれる Frank Ramsey は、1920年代に“Discounting is ethically indefensible and arises from a failure of the imagination.”と述べた。このセンテンスの“Discounting”を「リスクプレミアムを無視すること」と置き換えて意味を成すか否か、今後、理学や工学、社会科学等の知見を結集して imagination を綿密にしていかなければならない。そして、事前の防災の

ための財政ルールにリスクプレミアムをどのように反映させるべきかを議論していく必要がある。

参考文献

- 1) Ahsan, S.M., Tsigaris, P.: The Design of a Consumption Tax under Capital Risk, *Journal of Economics*, Vol.68-1, pp.53-78, 1998.
- 2) Ahsan, S.M., Tsigaris, P.: Measuring the Social Discount Rate under Uncertainty: A Methodology and Application, *CESifo Working Paper Series*, No.824, 2002.
- 3) Arrow, K.J.: Discounting and Public Investment Criteria, in ed. A.V. Kneese and S.C. Smith, *Water Research*, Baltimore, 1966.
- 4) Arrow, K.J., Lind R.C.: Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions, *American Economic Review*, Vol. 60-3, pp.364-378, 1970.
- 5) Bailey, Martin J., Jensen, Michael C., Risk and the Discount Rate for Public Investment. M.C. Jense, *Studies in the Theory of Capital Markets*, Praeger Publishers, 1972.
- 6) Barro, R.J.: Rare Disasters and Asset Markets in the Twentieth Century, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.121-3, pp.823-866, 2006.
- 7) Barro, R.J.: Rare Disasters, Asset Prices, and Welfare Costs, *The American Economic Review*, Vol.99-1, pp.243-264, 2009.
- 8) Chichilnisky, G.: The costs and benefits of benefit-cost analysis, *Plociy Forum, Environment and Development Economics*, Vol.2, pp.202-206, 1997.
- 9) Davidson, M.D.: A Social Discount Rate for Climate Damage to Future Generations Based on Regulatory Law, *Climatic Change*, Vol.76, pp.55-72, 2006.
- 10) Gourio F.: Disasters and Recoveries, *American Economic Review*, Vol.98-2, 68-73, 2008a.
- 11) Gourio F.: Time-series predictability in the disaster model, *Finance Research Letters*, Vol.5-4, pp.191-203, 2008b.
- 12) Gourio F.: Disasters Risk and Business Cycles, *NBER Working Paper* 15339, 2009.
- 13) Graham, D.A.: Cost-Benefit Analysis under Uncertainty, *American Economic Review*, Vol.71, pp.715-725, 1981.
- 14) Hirshleifer, J.: Efficient Allocation of Capital in an Uncertain World, *American Economic Review*, LIV, pp.77-85, 1964.
- 15) Hirshleifer, J.: Investment Decision under Uncertainty: Applications of the State-Preference Approach, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.80-2, pp.252-277, 1966.
- 16) Jermann, U.J.: The Equity Premium Implied by Production, *Journal of Financial Economics*, Vol.98, pp.279-296, 2010.
- 17) Lettau, M., Ludvigson, S.: Time-varying Risk Premia and the Cost of Capital: An Alternative Implication of the Q Theory of Investment, *Journal of Monetary Economics*, Vol.49, pp.31-36, 2002.
- 18) Mehra, R. and Prescott, E.: The Equity Premium: A Puzzle, *Journal of Monetary Economics*, Vol.15, pp.145-161, 1985.
- 19) Mehra, R. and Prescott, E.: The Equity Premium: ABCs, *Handbook of the Equity Risk Premium*, Chapter 1, pp.1-36, 2008.
- 20) Posch, O.: Risk Premia in General Equilibrium, *CESifo Working Paper Series* No.3131, 2010.
- 21) Rietz, T.A.: The Equity Risk Premium - A Solution, *Journal of Monetary Economics* 22, pp.117-131, 1988.
- 22) Samuelson, P.A.: Principles of Efficiency: Discussion, *American Economic Review Proc.*, 54, pp.93-96, 1964.
- 23) Sandmo, A.: Discount Rates for Public Investment under Uncertainty, *International Economic Review*, Vol.13, pp.287-302, 1972.
- 24) Vickrey, W.: Principles of Efficiency: Discussion, *American Economic Review, Proc.*, 54, pp.88-92, 1964.
- 25) Wachter, J.: Can Time-Varying Risk of Rare Disasters Explain Aggregate Stock Market Volatility, *NBER Working Paper Series*, 14386, 2008.
- 26) 小林潔司, 横松宗太: 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*, No. 639/IV-46, pp. 39-52. 2000.
- 27) 小林潔司, 横松宗太: 災害リスクマネジメントと経済評価, *土木計画学研究・論文集*, Vol. 19, No. 1, 招待論文, pp. 1-12. 2002.
- 28) 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.

5. 空間的応用一般均衡モデルによる経済厚生空間的把握

土屋 哲*

5.1 はじめに

本章では、災害の経済的影響を推計する手法のひとつとして、空間的応用一般均衡モデル (Spatial Computable General Equilibrium Model, 以下 SCGE モデル) によるアプローチについて述べる。

都市部や地方、先進国や途上国を問わず、災害による地域社会、特に被災者・被災地域への影響は大きなものとなるが、人口・資産の集中した都市域において大規模災害が発生した場合、その被害はきわめて甚大なものとなりうる。

一般に、地震災害による被害は、地震によってもたらされる直接的な人的・物的損害を直接被害、直接被害を起因として生じる社会・経済的影響を間接被害と呼んで区別される。特に都市域の人口・資産の集積した地域における大規模な災害は、人的・物的な損害を直接被った地域に加えて、被災をまぬがれた地域にも社会経済的な損失を発生させ、間接被害が直接被害に比べて無視できないほど大きくなりうる。このことは、直接被害の軽減に加えて間接被害を小さくする方策が必要であることを示している。そして、代表的な経済的影響評価法である産業連関分析や応用一般均衡分析といった分析手法は、災害による産業活動への影響ならびに波及効果、すなわち間接被害を計測するものである。

経済的影響を推計する意義として、災害直後に復旧・復興にどのくらいの支出が必要となるのか費用の概算を把握すること、平常時の防災投資に関する政策オプションの立案・実施に際し、より有効な案を選ぶ優先順位付けの評価に資すること、などがあげられる。

5.2 災害影響評価の方法論と CGE モデル

5.2.1 経済的影響推計の方法論

災害の経済的影響の推計にはいくつかの手法が

あるが、それぞれの特徴を整理しながら SCGE モデルの位置づけを確認しよう。災害の経済被害 (間接被害) を計測する手法には、おもに、①災害前のデータを用いて産業ごとの生産関数を推定し、各産業部門の資本ストック毀損による産出高減少分を計算するという生産関数アプローチ、②産業連関表を利用した分析 (産業連関分析や応用一般均衡分析)、③アンケート調査による実際の企業のミクロ的情報の集計、の3つがあげられる。このうち、③は災害後に実施可能な方法であるから、①・②とはやや性質を異にする。

生産関数アプローチの長所は、推定された生産関数に統計的な裏づけがあることである。それゆえ、関数推定のためのデータが求められる。

産業連関表を利用した分析手法はおもに産業連関分析や応用一般均衡分析があり、いずれも災害の影響が産業・地域間の相互連関性を通じて波及してゆき、最終的に経済被害として計測することができる。ただし、一時点の経済データにもとづく静的な分析が中心である。

産業連関モデルが災害関連の研究に用いられるのは、主に分析が容易であるため、地域経済の中で経済連関性により波及効果を描写することができるためである。しかし、投入や輸移入に関する代替構造、資源制約、価格変化など、経済環境の変化への対応について考慮できない、あるいは線形の関係を仮定するなどといった点が問題点としてよく挙げられる。災害の文脈でこれらの欠点を克服するために、産業連関分析の枠組みの改良・拡張の試みがなされてきている一方で、代替的なモデリングも提案されている。

5.2.2 CGE/SCGE モデルの特徴

産業連関分析の代わりとなるモデリングの枠組みは、応用一般均衡分析である。応用一般均衡モデル (CGE モデル) は産業連関の仕組みを利用しつつ、一般に非線形で、価格変化に応答でき、投入や輸移入の代替性を組み込むことができ、供給制約を明示的に考慮できる。

SCGE モデルは CGE を多地域に拡張したもので、複数の地域を扱うことで地域間の連関も考慮

*長岡技術科学大学

した形で被害評価が可能となる。つまり、物的・人的な被災をこうむった地域から被災をまぬがれた外部地域への経済的影響の波及を描写しうるモデルである。このように多地域への拡張により、交通もより明示的に扱うことができる。

次節では、モデルの定式化について述べる。

5.3 SCGE モデル定式化の概要

SCGE モデルでは、経済社会を描写するのに産業や家計といった経済主体の行動を数理モデルで記述する。経済社会はいくつかの地域からなり、各地域に家計と企業という経済主体が存在する。また、地域間は交通ネットワークにより結ばれている。以下に、経済主体ごとにその行動原理の考え方を述べる。

5.3.1 家計の行動原理

各地域に一つの代表的家計の存在を仮定し、家計は予算制約下で効用を最大にするように各財の消費量を決定しているものとする。代表的な定式化は家計の効用関数 U を CES 型（代替弾力性一定）に特定し、予算制約下の効用最大化問題として記述するもので、例えば以下のように書ける。

$$U^k = \max_{\mathbf{d}^k} \left\{ \sum_i (\gamma_i^k)^{\frac{1}{\sigma}} (d_i^k)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } \sum_i q_i^k d_i^k \leq y^k \quad (1b)$$

ただし、 d_i^k : 家計の財 i の消費量、 y^k : 家計所得、 q_i^k : 財 i の消費者価格、 γ_i^k : 家計の財消費に関する選好パラメータ、 σ : 財消費の代替弾力性に関するパラメータ、である。添字 k は、地域 k に係る変数・パラメータであることを表す。

この最適化問題を解くことで家計の需要関数が得られ、予算（家計所得）と財価格の下でどの財にどれだけの需要が生じるかが判る。

5.3.2 企業の行動原理

(S) CGE モデルでは、一般に地域 k に立地する企業 i^k は産業 i を代表して生産活動を行うものとする。企業は、労働・資本や中間財（原材料）

などを生産要素として投入し、ただ一種類の財 i を生産しているとする。この生産関数の形が企業の技術を規定することになる。一般に、投入要素間の代替関係には、CES 型や CES 型の特殊系であるレオンチェフ型、コブ=ダグラス型関数がよく用いられる。生産技術全体の構造は、投入要素間の代替を多段階にする定式化が多い（図 5-1 参照）。

企業は、与えられた生産技術のもとで利潤を最大にするような生産行動をとる。これを最適化問題として定式化し、解くことで、生産に係る投入要素（資本、労働、中間投入財、etc.）の需要関数が得られる。

5.3.3 地域間の交易

家計や企業からの財需要は、地域内外（輸入を含む）からの供給によって満たされる。地域間交易に関する定式化の一例として、ここでは空間価格均衡モデルに確率要因を導入して構築したモデルを示す。地域 l の企業が生産地 k を財 i の購入先として選ぶ確率 s_i^{kl} を

$$s_i^{kl} = \frac{Q_i^k \exp[-\lambda_i \{p_i^k (1 + \phi_i^k)\}]}{\sum_m Q_i^m \exp[-\lambda_i \{p_i^m (1 + \phi_i^m)\}]} \quad (2)$$

で定める。ここに、 ϕ_i^k は輸送費用率を表し、輸送に伴う財（消費者）価格の上昇に関係する。 λ_i はスケールパラメータである。式（2）より、交易に輸送費用が考慮され、生産量が多い/財価格が小さい購入先地域の選択確率が高まるメカニズムを内包した交易モデルであることがわかる。

5.3.4 市場均衡条件

実際に定式化を行えば、各経済主体の最適行動原理から、労働・資本といった生産要素の需要、財需要とその交易パターンが求まっている。労働、資本、財は、それぞれ想定する空間範囲で需要と供給がつりあい、各市場が均衡に達するものと考えられる。このときの価格が、労働（賃金率）、資本（レント）、財、それぞれの均衡価格である。なお、各市場は完全競争的であり、社会は平常時（災害前）には長期的に均衡状態にあるものとする。

5.3.5 経済被害の評価

災害の影響は、財価格の変化を通じて、財消費量の減少という形で最終的に家計に帰着する。このとき市場内に起こる変化は、ある主体にとってのプラスの効果が別の主体にとってのマイナスの効果として相殺されている。(S) CGE モデルのアプローチでは、災害前の経済均衡と災害後に想定する経済均衡とで、それぞれ家計の効用水準に差が生じている。これを、等価変分を用いて金銭評価し、経済被害とするのが一般的な考え方である。

5.3.6 パラメータの設定と基準データ

構築したモデルに多数含まれるパラメータは、方程式系の解が基準データにできるだけ一致するように設定する。財の中間投入や地域間交易モデルのパラメータを決めるのに、基準データに用いる(地域間)産業連関表の仕組みが活きる。

5.4 シナリオ分析事例

分析事例として、東海・東南海地震による基幹交通網寸断の経済損失をとりあげる(参考: Tsuchiya *et al.* (2007))。SCGE モデルの具体的な定式化を図5-1内に示す。地域区分は、全国9地方に中部地方を県単位に分けた全14地域(図5-3参照)とし、産業数は3(第一次~第三次産業)とする。

5.4.1 モデル入力値の準備

交通条件の変化については、高速交通網を中心に主要幹線から成る図5-2のような道路・鉄道交通ネットワークを考え、輸送費用を決定する交通量配分ルールとして全地域に最短経路配分を仮定する。議論を単純化するため、鉄道は旅客(企業の業務トリップ)のみを取り扱い、道路は貨物輸送(地域間交易)のみを考慮する。すなわち、こ

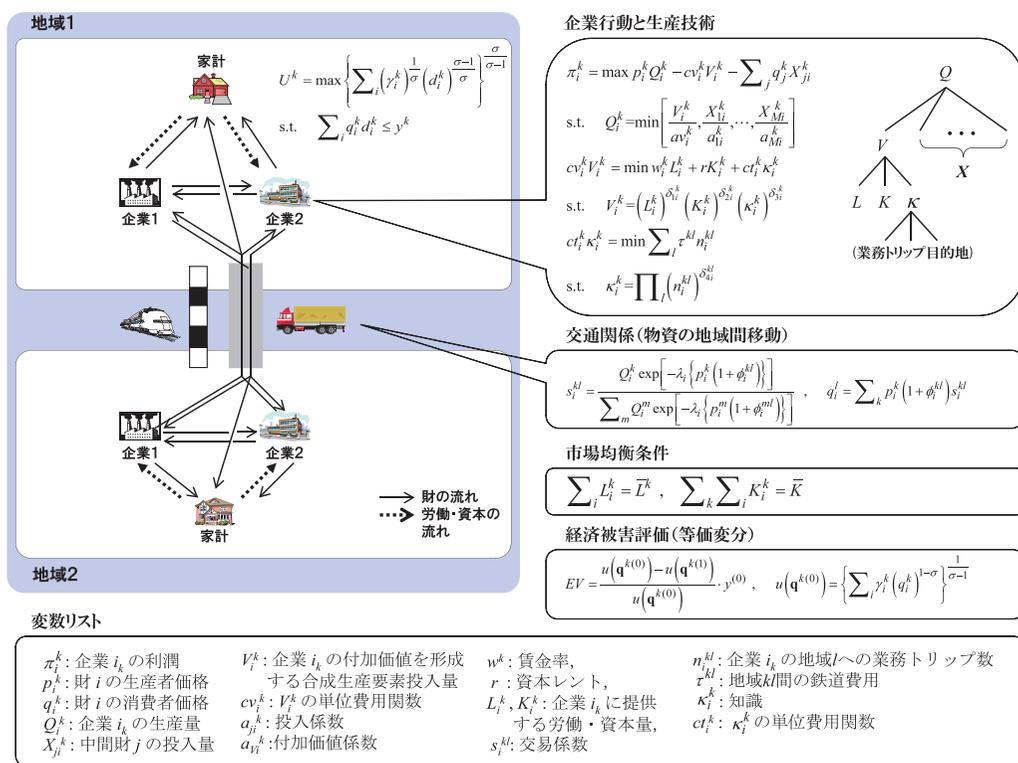


図5-1 地域経済モデルの概要と各主体の最適行動の定式化の例

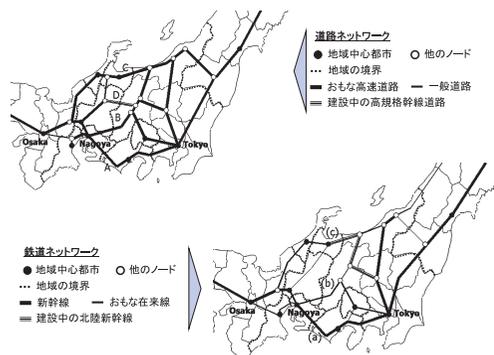


図5-2 基幹交通ネットワーク

のモデルでは道路の被災は物流コストの上昇、鉄道の被災は業務トリップを通じて生産性の低下に影響する構造となっている。被災前後における地域間交通費用の変化を求め、被災下の交通シナリオとして図5-1中の変数 τ_i^k , ϕ_i^h に反映させ、SCGE モデルの入力とする。交通ネットワーク寸断の基本シナリオとして次の2つを考える。

- I：静岡県周辺で道路・鉄道が寸断し、同県を通過する太平洋岸ルート（図5-2中の経路Aおよび(a)）が通行不可能となる。
- II：交通寸断の影響が内陸部の中央ルートにまで及び、経路A・(a)に加えて経路B・(b)の利用も不可となる。

5.4.2 経済被害の試算結果

図5-3は、交通ネットワーク被災シナリオIおよびIIの下での損失を地域ごとに比較したものである。これより、局所的に発生する交通寸断の影響が、経済的連関を通して当該地域やその周辺地域ばかりでなく全国へ波及していることが判る。近畿以西への影響も小さくない。これは、西日本経済が東海地方や関東地方と結びついていることを示すものである。

全地域での経済被害額は、シナリオIでおよそ185億円/日となる。一方、シナリオIIにおける経済被害の地域総額は約364億円/日である。すなわち、東海地域の太平洋沿岸ルートが被災して機能不全に陥った場合に、中央ルートの道路・鉄道が機能を維持していることの効果が、単純に比較を

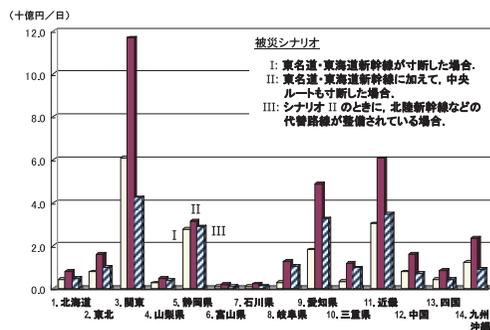


図5-3 基幹交通寸断による地域別経済被害

行って364-185=179（億円/日）となる。様々な仮定の下での試算結果ではあるものの、東海ルート（A・(a)）の代替機能として中央ルート（B・(b)）存在の意義が非常に大きいことが推察される。このように、中央ルートのリダンダンシー機能として、「東海・東南海地震を想定したときに、耐震補強などの方策で中央ルートを守っておくことにより、たとえ東海ルートが被災して不通になったとしても1日当たり約179億円という損失から免れることが可能である」と言い換えることができる。

さらに、図5-3中のシナリオIIIは、現在建設中の高規格道路や新幹線（D・(c)）が供用されていた場合の損失で、リダンダンシーがいっそう増していることが読みとれる。

5.5 今後の課題～結びに代えて

本章では、SCGE モデルを用いて災害の経済的影響を推計するアプローチについて紹介した。SCGE モデルによる災害時交通＝経済分析の今後の発展可能性としては、混雑を内生化した被害評価モデルの構築があげられる。

SCGE モデルは、産業連関分析に比べて柔軟な定式化が可能であり、文脈に応じたモデリングができる。一方、そのような柔軟性が分析結果に大きく影響する可能性もある。CES型関数の採用により代替弾力性をモデルに組み込んだことは特徴であるが、弾力性値を通常の基準データから設定することは困難であり、この点を実証的に進めよ

うとすればデータ要件が増える。

このような課題も残されているものの、適切な防災施策を講じるために、全国規模の災害の社会的影響を事前に評価することは今後ますます重要になると考えられ、SCGE モデルはこれに資するアプローチとなり得るであろう。

紙面の制約上、丹念なレビューや基礎的な学習事項は文献にゆだねたい(例えば多々納・高木(2005), 上田(2010), Okuyama and Chang(2004))。

参考文献

- 1) Okuyama, Y. and Chang, S.E. (eds.): Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters, Springer, 2004.
- 2) Tsuchiya, S., Tatano, H. and Okada, N.: Economic Loss Assessment due to Railroad and Highway Disruptions, Economic Systems Research, Vol.19, No.2, pp.147-162, 2007.
- 3) 多々納裕一, 高木朗義編著: 防災の経済分析, 勁草書房, 2005.
- 4) 上田孝行編著: Excel で学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.

6. 災害リスクの曖昧性とリバタリアン・パターンリズム

藤見 俊夫*

6.1 曖昧性と曖昧性回避

不確実性には2種類ある。一つは、対象とする事象が本質的に確率変数であることから生ずる不確実性であり「リスク」と呼ばれる。もう一つは、リスクの定量化の精度や確信度に伴う不確実性であり、「曖昧性 (ambiguity)」と呼ばれている。交通事故や病気など社会全体でみれば頻繁に発生するリスクと比べて、稀にしか発生しない災害リスクは大きな曖昧性を持っている。

曖昧性が意思決定に影響を及ぼすことを直観的に理解するには、Camerer and Weber¹⁾の2枚の硬貨の例による説明がわかりやすい。例えば、賭けをするにあたり、硬貨Aと硬貨Bのうち1枚を選

ばなければならないと想定しよう。前に行った実験から、硬貨Aは1000回投げて表と裏が共に500回ずつ出ており、硬貨Bは2回投げて表と裏が共に1回ずつ出たことを知っているとする。多くの人々は、どちらの硬貨もおそらく公正(表の確率=裏の確率=0.5)だと考えるだろうが、硬貨Aに賭けることを好むであろう。これは、硬貨Aより硬貨Bに関する知識のほうが曖昧であり、この曖昧性は硬貨Bに賭けることにある種のリスクを生み出すと解釈できる。つまり、誤った主観確率を用いることのリスクを避けているのである。このような曖昧性を嫌う傾向は「曖昧性回避 (ambiguity aversion)」と呼ばれる。

曖昧性回避の存在は数多くの実証研究によって裏付けられている。くじ引きなどの人工的な環境においてだけでなく、医療やマーケティング、経営などの現場においても曖昧性回避的な意思決定が行われていることが明らかになっている。

6.2 自然災害リスクと曖昧性回避

自然災害リスクの曖昧性下では、人々の曖昧性回避的な振る舞いによって、保険や耐震改修などの災害対策に関する市場の効率性が損なわれている場合があることが指摘されている。災害リスク移転・軽減サービスの供給側は、巨大災害リスクについては生起確率や被害規模を十分な精度で推定できるほどの情報が得られないため、大きな曖昧性に直面する。そのため、曖昧性回避的にサービス料金を高めに設定する可能性がある。Kunreuther et al.^{2,3)}は、アクチュアリーや保険会社、再保険会社がどのようにプレミアムを設定するかをアンケート調査に基づいて検証した結果、対象となるリスクが曖昧であるときにプレミアムが高くなることを明らかにしている。

需要側は、保険や耐震改修により災害リスクを移転・削減することができるが、それらの効果が発揮されないリスクに直面する。例えば、地震保険により支払われた保険金が期待したより少ないリスクや、耐震改修したにも関わらず地震によって倒壊してしまうリスクである。多くの家計は、保険の仕組みや耐震補強の工法などの詳細な知識

*熊本大学

を持っていない。さらに、災害が稀にしか発生しないため、保険金の支払い事例や耐震補強の効果が発揮された事例など、経験的な知識も少ない。そのため、これらのリスクに大きな曖昧性を認知することになる。

藤見・多々納⁴⁾は保険会社による被害査定リスクの曖昧性がどれほど支払意思額に影響を及ぼすのかをアンケート調査によって明らかにした。図6-1は被害が完全に補償される地震保険（完全補償保険）と5%の確率で支払額が減額される可能性のある地震保険（確率的保険）とで、保険料の支払意思額にどれほどの差が生ずるかを示している。この研究の設定では、被害査定リスクによる保険金支払いの減額の期待値は525円である。家計がリスク中立的かつ曖昧性中立的であれば、この額だけ支払意思額を減らすはずである。計量経済モデルにより曖昧性回避による影響のみを推定したところ、確率的保険への支払意思額は完全補償保険と比較して2098円も減少することが明らかになった。

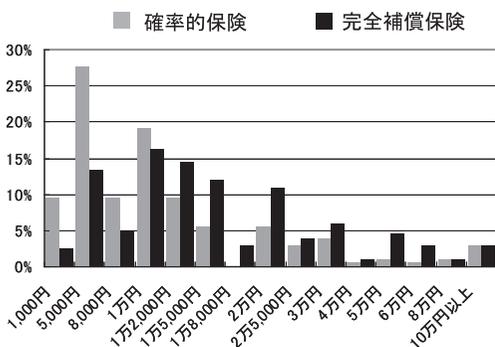


図6-1 完全補償保険と確率的保険に対する支払意思額の分布

Fujimi and Tatano⁵⁾は耐震補強効果の曖昧性に関して同様の調査を行った。調査対象となる家計を無作為に二つのグループに分け、一方には通常の耐震補強プランを提示し、もう一方には、耐震補強をすれば地震で倒壊したときに無料で立て直すという保証付きのプランを提示した。そして、それぞれに耐震補強に対する支払意思額（毎年、30年払い）を尋ねた。その結果を図6-2に示す。

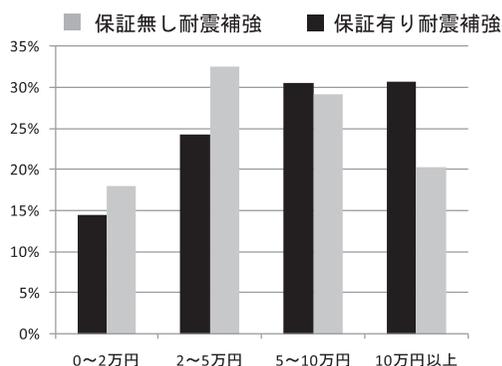


図6-2 保証有り耐震補強と保証無しの耐震補強に対する支払意思額の分布

この図から、耐震補強の効果を保証することで、支払意思額が大きく増加することがわかる。

6.3 曖昧性回避の政策的含意

曖昧性回避により人々の合理的な防災行動が阻害されていることが明らかになったなら、災害保険に加入していなかったり、耐震補強を行わなかったりする家計の選択が、必ずしもリスクとコストを天秤にかけたうえで合理的に判断したものとは見なせなくなる。そのため、家計の選択を尊重するという大義名分をもって放置することは適切な態度ではなくなる。その一方で、住民の利益になる措置だとしても、行政が地震保険の加入や耐震補強を義務付けることも望ましいとは言えない。なぜなら、行政による強制は、人々の多様な価値観に基づく自由な選択を認めないという問題があるからである。

こうした問題に対する解決案として、Thaler and Sunstein⁶⁾の提案するリバタリアン・パターナリズムという考え方が有益である。そこでは、人々の選択の自由は維持したまま、陥りやすい意思決定のバイアスに逆らわず、むしろ利用することで、結果的に合理的な選択を促すように選択肢の設計が行われる。人々の価値観や選好については介入しないため、行政による強制や意見操作といった倫理的問題は生じない。リバタリアン・パターナリズムに沿った提案として、目黒・高橋⁷⁾の提案した家屋の耐震補強効果の保証制度が挙げ

られる。Fujimi and Tatano⁵⁾は、それが耐震効果の曖昧性を解消するため、耐震補強の支払意思額が増えることを明らかにした。東日本大震災における津波被害地の復興において、住民の高台移住の是非が議論となっているが、規制と放置だけに選択肢を限定せず、リバタリアン・パターンズムに沿った政策がないか検討する必要がある。

参考文献

- 1) Camerer, C. and Weber, M.: Recent developments in modeling preferences: uncertainty and ambiguity, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol.5, pp.325-370, 1992.
- 2) Kunreuther, H., Hogarth R.M. and Meszaros, J.: Insurer ambiguity and market failure, *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol.7, pp.71-87, 1993.
- 3) Kunreuther, H., Meszaros, J., Hogarth R.M., Spranca, M.: Ambiguity and underwriter decision processes, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.26, pp.337-352, 1995.
- 4) 藤見・多々納：曖昧性回避が地震保険の加入選択に及ぼす影響の定量分析, *日本リスク研究学会誌*, 18巻2号, pp.47-58, 2008.
- 5) Fujimi, T. and Tatano, H.: Evaluation of ambiguity effect of earthquake retrofit on willingness to pay, working paper.
- 6) Thaler, R.H. and Sunstein, C.R.: *Nudge*, Yale University Press, London, 2008.
- 7) 目黒公郎・高橋健：既存不適格建物の耐震補強推進政策に関する基礎的研究, *地域安全学会論文集*, No. 3, 2001.

7. 家計の借入制約と流動性プレミアム

横松 宗太*

7.1 はじめに

本章では、家計が被災後に資金の借入制約に直面する場合に復旧過程が遅延することにより発生する被害に着目する。家計が自然災害により家財を損壊した場合、復旧のための資金を調達するこ

とが必要となる。しかし、家計が負債契約を完済していない家財を喪失した場合、被災後に負債(負の資産)のみが残ることになる。家計が金融機関から追加負債契約(二重負債)を拒否された場合、家計は復旧資金を調達できず、手元の現金の不足すなわち流動性不足に陥るといった問題が発生する。家計が物資を購入するための現金を用意できない制約、すなわち流動性制約に直面する場合、従前の生活状況を復元するために長い時間を要することとなる。このような流動性制約の存在により生じる被害を流動性被害と呼ぶ。

家計が災害保険を購入している場合、被災時に家計は保険金によって家財復旧のための流動性を獲得することが可能となる。通常、保険の機能としては所得の平準化機能が指摘されている。危険回避的な家計は、災害保険により平常時と被災時の間の所得を平準化する動機をもつ。これに対して、本章では災害保険が有する流動性供与機能に着目する。家計が危険中立的であっても、被災時には流動性需要が発生し、そのために家計は保険の流動性供与機能を利用する動機をもつことを指摘する。しかし、家計が災害保険を購入できない場合には、被災後の復旧水準が不完全になったり、復旧過程が遅延したりする流動性被害に直面することになる。小林等(2005)は、2004年台風23号による豊岡水害を対象とした実態調査を通じて、被災家計の多くが復旧過程において流動性制約に直面していることを実証的に示している。

流動性制約に関しては、これまで主として企業に対する貸出金融市場を対象として理論的分析が蓄積されてきた(例えば Dewatripont et al. 1994, Holmström et al. 1998等)。また、大西等(2005)は、災害時に企業が直面する流動性制約と、災害保険需要の関係について分析している。これら企業を対象とした既往研究では、流動性制約が発生する原因を、企業の有限責任性と負債契約の不完備性に求めている。それに対して、家計は災害により生じた被害を引き受けざるを得ず、自らの存続に対して無限責任を負っている。横松等(2008)では、災害時に家計が流動性制約に直面する原因を、災害リスクに対する既存不適格性に求めている

*京都大学防災研究所

る。すなわち、多くの家計は、歴史的経緯を経て家財を蓄積しており、災害情報が到達した時点において、すでに家財に対する投資が終了している場合が少なくない。そのため、家計の中には、災害情報が到達した時点で、災害リスクに対して十分なリスクヘッジが行えず、家計のリスクポジションにおいて家財は不適格な位置づけになっている。横松等 (2008) は、このような問題意識の下に、家財のリスクヘッジ上の不適格性を明示的に考慮したような動学的消費モデルを定式化した。以下、本章では横松等 (2008) による分析結果を要約する。モデルの定式化や分析の詳細については原著を参照されたい。

7.2 物的資産の復旧過程

家計は災害により損壊した物的資産を復旧するために、保有している預貯金を取り崩したり、金融機関から必要な資金を借入れる。しかし、被災家計が流動性制約に直面する（金融機関から借入金を調達できない）場合、家計の物的資産の復旧過程は、長期にわたり遅延する。このような流動性制約がもたらす被害を説明するために図7-1、図7-2に示すような復旧過程に着目しよう。家計は物的資産と金融資産の双方を保有している。家計は物的資産の消費から効用を獲得する。一方、金融資産はそれ自体が直接、家計に効用をもたらすものではなく、異時点間における消費を平準化させるための手段であると考えよう。いま、家計は被災前に価値 A_0 の物的資産を保有しているが、時刻 θ_0 に被災して資産を失うとする。まず、家計が流動性制約に直面していない場合、図7-1に示すように、家計は直ちに預金 W_0 を切り崩すと同時に、不足額の借入れを行って物的資産を A_0 に復旧することができる。家計は所得によって負債の返済を続けて、ある時間の後に負債を完済し、その後は預金を増加させる。それに対して、家計が金融機関から借入れを行えない（流動性制約に直面する）場合、図7-2に示すように家計は被災後、直ちに被災前と同じ水準の物的資産を買い直すことはできない。家計は復旧過程において、従前の水準には到達しない低い水準の物的資産を調達する

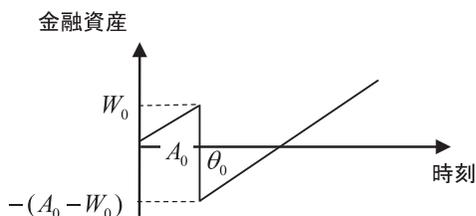
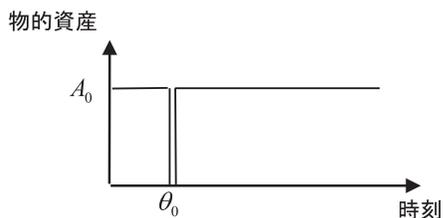
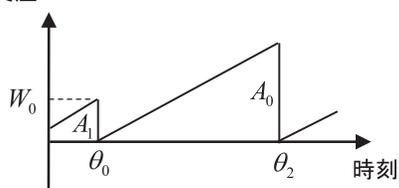
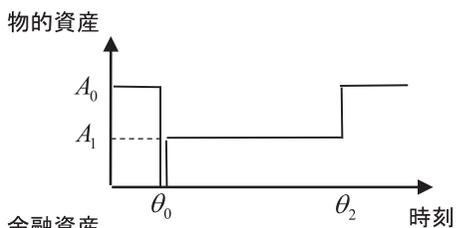
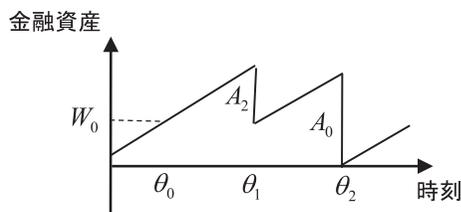
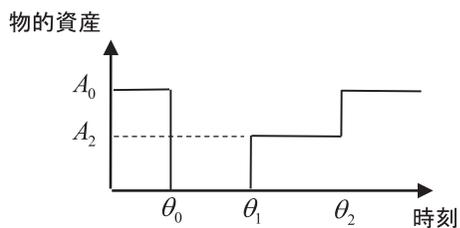


図7-1 流動性制約がない場合の復旧過程



a) 被災直後に部分的に復旧する場合



b) 部分復旧が遅延する場合

図7-2 流動性制約がある場合の復旧過程

ことにより、部分的な復旧を試みる。図7-2a)では、家計は被災時点 θ_0 直後に、物的資産を部分的に復旧している。一方、図7-2b)は、家計は被災時点から一定の期間を経て、ようやく物的資産を部分的に復旧できる場合を表している。これら2つのケースでは、時刻 θ_2 になり物的資産の本格的な復旧が完了する。それまでは、部分的な回復水準に甘んじる。図7-1に示すような借入れが可能な場合の復旧過程と、図7-2に示すように借入れが不可能な場合の過程の違いは、選好の違いで生まれる問題ではなく、流動性制約の有無によって生起する問題である。もちろん、災害が発生しない場合、流動性制約は顕在化しない。しかし、家計が被災し、復旧資金の調達が必要となった場合に、流動性制約の有無により、復旧過程に違いが生まれてくる。このように流動性制約が存在するために、物的資産の復旧水準が不完全となったり、復旧過程が遅延したりして発生する被害を「流動性被害」と呼ぶ。

7.3 流動性被害と防災投資便益

横松等(2008)では、家計が災害後に借入が不可能な状況において消費と物的資産の形成を行う問題を定式化し、家計の行動と厚生について分析している。紙面の制約上、本稿では結果の概要のみを紹介する。モデルでは、簡単化のため、家計の選好は消費と物的資産に関する準線形効用関数で表されるものと仮定する。よって所得水準に依存しない最適な物的資産水準が存在する。また、物的資産を形成したのちに災害情報が与えられると仮定する。よって家計は消費についてはリスク中立的であり、物的資産については災害リスクを知る前に形成してしまっている状況を設定する。

分析により、流動性制約下の家計の復旧過程は所得水準に決定的に依存することが示される。すなわち高所得層 H の家計は、借入を行わなくとも被災後ただちに物的資産を最適水準に復旧することができるため、流動性被害は受けない。所得層 H の家計の潜在的なリスクは期待被害額のみで与えられる。それに対して、中所得層 M_2 は、物的資産を完全には復旧できず、低い水準の資産で我

慢せざるをえない「部分復旧被害」を被ることになる。「部分復旧被害」は消費者余剰の損失で計られる。さらに、より低い水準の所得層 M_1 , L_2 , L_1 では、「部分復旧被害」に加えて、ある期間を物的資産なしで過ごさざるをえない「復旧遅延被害」が生じる。図7-3は被害の構成を表す。期待部分復旧被害はリスクプレミアムに相当する。家計が流動性制約に直面する場合、リスクプレミアムに相当する部分復旧被害だけでなく、復旧遅延被害が発生することになる。

そして、防災投資便益は図7-3に示す各被害の減少効果の和として構成される。すなわち所得層 H には「期待被害軽減額」のみが発生し、それ以下の所得層 M_2 , M_1 , L_2 , L_1 にはそれに加えて「期待部分復旧被害額(リスクプレミアム)の減少効果」が発生する。さらに所得層 M_1 , L_2 , L_1 には「期待復旧遅延被害額の減少効果」が生じることになる。

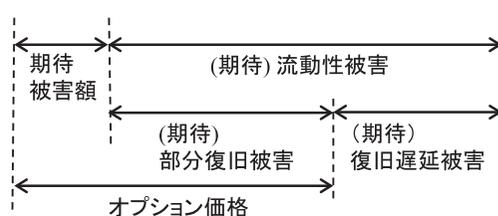


図7-3 被害の関係

7.4 流動性制約とリスクファイナンス

家計が災害保険を購入していれば、被災時に保険金支払いにより、追加的な流動性を獲得できる。家計は獲得した保険金を初期負債契約の返済に充当したり、住宅の再建資金の一部に充当したりすることができる。このように、保険金は流動性制約に直面した家計に対して、流動性を給付する機能をもっている。したがって、災害保険は家計が被災後に被る流動性被害を軽減する機能を持っている。その意味で、災害保険と防災投資は代替的な関係にある。しかし、全ての家計が災害保険を用いて流動性被害を回避できるわけではない。図7-4において、 EW は保険が存在しない場合の期待効用水準を、 EW^I は市場で保険が供給

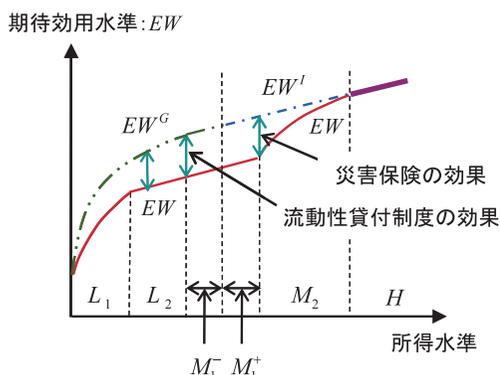


図7-4 災害保険と流動性貸付制度の効果の関係

された場合の期待効用水準を表している。図7-4は、市場で災害保険が供給されたとき所得層 M_2 と M_1^+ が保険の購入によって流動性被害を排除できることを示している。それに対して、所得層 M_1^- , L_2 , L_1 は保険を購入することができない。

いま、政府が被災者に対して無利子で復旧資金を融資する流動性貸付制度を導入したとしよう。そのとき、所得層 M_1^- , L_2 , L_1 は当制度を利用して、復旧遅延被害を回避することができる。さらに所得層 M_1^- の家計は部分復旧被害も排除できて、最適水準の物的資産形成を行うことができる。所得層 M_1^- , L_2 , L_1 の期待効用水準は EW^G の水準に上昇する。

災害保険が利用可能な環境において、防災投資は全ての家計の期待被害額を軽減すると同時に、保険を購入できない家計の流動性被害リスクを軽減する。さらに、期待被害額の減少による災害保険料の低下によって、一部の家計に保険の購入可能性を与えて、保険の流動性供与機能の利用機会を提供することになる。最後の効果においては、災害保険と防災投資が補完的な関係を示している。

7.5 おわりに

東日本大震災では二重債務問題への対応が問題となっている。政府は2011年6月17日に対応方針について取りまとめた。例えば、住宅金融支援機構は、住宅を復旧する個人に対して金利引下げや

返済期間の延長を提供する。このような政策は、上記のモデルにおける流動性貸付制度と同じ性格をもつ。したがって、比較的に低いほうの所得層の家計に発生する復旧遅延被害や部分復旧被害を軽減しているといえる。

その一方、二重債務問題に対する政策は何かしらの歪みももたらす。例えば、旧債務の軽減がなされたら、ローンを組まずに住宅を購入した個人との間の公平性が問題になってくる。あるいは今後住宅を購入する人はできるかぎり長期のローンを組むようになるかもしれない。そうすると貸し手は利子を高く設定することで対応するかもしれない。あるいは政府が実質的な保証人になるとしたら、それは国民全体が個人の財産形成のための利払いを行うことを約束することを意味するかもしれない。事後的な特別措置は避けられないが、今後の市場に影響を及ぼさないように注意する必要がある。

その意味でも、ますます適切な防災投資を実施していくことが重要になる。上記の研究では、ファイナンスが不完全な状態において、防災投資は所得の低い家計に、より大きな便益をもたらすことが示された。防災投資は累進的な政策であるともいえる。

参考文献

- 1) Dewatripont, M. and Tirole, J.: A theory of debt and equity: Diversity of securities and manager-shareholder congruence, Quarterly Journal of Economics, Vol.109, pp.1027-1054, 1994.
- 2) Holmström, B. and Tirole, J.: Private and public supply of liquidity, Journal of Political Economy, Vol.106, No.1, pp.1-40, 1998.
- 3) 小林潔司, 湧川勝己, 大西正光, 伊藤弘之, 関川裕己: 世帯の復旧資金の調達と流動性制約, 土木学会論文集D, Vol. 63, No. 3, pp. 328-343, 2007.
- 4) 大西正光, 横松宗太, 小林潔司: 流動性リスクと地震保険需要, 土木学会論文集, No. 793/IV-68, pp. 105-120, 2005.
- 5) 横松宗太, 湧川勝己, 小林潔司: 家計の流動性制約と防災投資の経済評価, 土木学会論文集, Vol. 64, No. 1, pp. 24-42, 2008.

6) 独立行政法人住宅金融支援機構 HP: <http://www.jhf.go.jp/customer/yushi/info/saigai.html>

8. 精神的被害の経済評価

松島 格也*

8.1 はじめに

災害によって被災した家計は、家屋や家財といった物的な資産の損失にとどまらず、生命の危険に対する恐怖感、大切なものを失った喪失感、災害後の後片づけによる疲労感等、精神的にも大きな苦痛を受ける。なかには、精神的なショックのために、日常生活への復帰が困難になるようなケースも珍しくはない。このように、災害の可能性を軽減する防災投資による効果は、単に物的資産の被害を軽減するだけにとどまらず、精神的な苦痛を回避する効果も存在する。たとえば、1999年に作成された現在提案されている治水関連事業の経済便益評価マニュアルである「治水経済調査マニュアル(案)¹⁾では、治水事業が被災家計が受ける精神的な苦痛といった被害を軽減する効果を有することに言及している。しかし、まだその経済的評価の方法論については、議論が進展していない。

家計は災害による精神的被害の発生を事前に制御することができず、いったん災害が生じれば、その被害を受け入れざるを得ない。さらに、家計が一度精神的被害を被れば、それにより被る苦痛を容易に解消できない。さらに、精神的被害によって生じた厚生低下を事後的に補償するような保険市場も存在していない。すなわち、家計は精神的被害リスクを制御するために利用可能なリスク・コントロール、及びリスク・ファイナンスの手段が極めて限られているのが実情である。災害の発生により、地域住民は同時に精神的被害を被ることになる。すなわち、精神的被害の発生は、「負の地方公共財²⁾の消費」と考えることができるが、各家計が被る精神的被害は、家計属性によっ

て多様に異なる。

防災投資の経済効果は、期待被害額の減少効果を用いて計測されてきた。期待被害額による防災投資の便益計測は、資産被害がリスクフェアな災害保険によりフルカバーされている状況を仮想的に想定していることに他ならない³⁾。しかし、精神的被害をヘッジする保険市場が存在せず、潜在的被災家計が精神的被害に対する選好が市場で顕示されない。そのため、防災投資による精神的被害の軽減効果を計測するためには、仮想的市場を想定するとともに、CVM (Contingent Valuation Method)⁴⁾を用いて、家計の支払い意思額を計測しなければならない。

災害に関する精神的被害の評価については、これまでにいくつかの研究事例がある。本稿で後ほどとりあげる水害に絞ってみても、水害によって家計が被る精神的被害の重要性は、いくつかの既往文献で報告されている。治水事業の経済効果に関する研究⁵⁾は、土木計画学の分野においても、多くの研究が蓄積されている。そのうち、物的資産に関しては保険市場によりリスクヘッジが可能であり、防災投資の経済効果を市場で観測可能な情報を用いて計測することができる。しかし、精神的被害のリスクは保険市場でヘッジできない。そのため、防災投資による精神的被害の軽減便益に関しては、保険市場の存在を想定した計測手法を用いることができない。

Green *et al.*⁶⁾や Tunstall *et al.*⁷⁾によれば、アメリカ合衆国における代表的な水害において、一般家計が被った物的被害よりも精神的被害のような無形の被害の方が深刻であることを指摘している。国土交通省も、水害軽減の防災投資には、精神的被害を軽減する効果があることを指摘している⁸⁾。しかし、これまで精神的被害の計測事例に関しては、ほとんど研究が進展していない。その中で、水害による精神的被害の計測方法に関しては、栗城等⁹⁾、高木等¹⁰⁾の先駆的研究事例がある。そこでは、FSM (Fuzzy Structural Method)¹¹⁾法を用いて、洪水による家計の精神的被害の構造モデルを作成するとともに、構造モデルを用いて項目間の重複に配慮しながら、精神的影響の調査項目それ

*京都大学

それぞれに対して尋ねた WTP を積み上げることにより精神的被害額を計上している。松島等¹²⁾は、負の地方公共財としてとらえた災害の発生に対する精神的被害の発生構造を、被災家計によるストレスの生産構造としてとらえ、災害による被災家計の精神的被害を共分散構造モデルと CVM を用いて計測する方法論を提案している。以降では、松島等¹²⁾にしたがって、精神的被害評価の考え方を紹介する。

8.2 精神的被害評価の考え方

被災家計は、ライフライン供給の停止、復旧作業のための過剰労働等、平常時とは全く異なる環境下での生活を余儀なくされる。人間は、日常の安定的な生活によって、無意識のうちに安心感を得ているが、被災時には日常と異なる環境への適応を強要される。このことから、被災家計はさまざまな不快感を感じる。以下では、精神的被害を、災害に伴う生活環境の変化に伴って発生する不快感の総体として定義する。心理学の分野では、ストレスの概念を用いて、精神的な不快感を説明した研究事例が存在する。そこでは、ストレスを「有害な刺激形態（心理的脅威を含む）に対する身体的防衛の総集した形」と定義している¹³⁾。

水害による精神的被害を経済学的に評価するためには、被災家計のストレスの形成による厚生水準の低下を計測することが必要となる。家計の厚生水準の大きさは、所得水準と水害に対するストレスの大きさによって決定されると考えよう。ここで、精神的被害と、精神的影響を表すストレスを区別することが必要である。ストレスは、水害による被災という外的な要因によって、家計が生理的に防衛手段として形成するものであり、それ自体は被験者の選好を反映したものではない。しかし、被災家計が形成したストレスに対して家計は不快感を認知するようになる。被災家計がストレスに対して不快感を認知したとき、家計の厚生水準が低下することになり、結果的に精神的被害が発生することになる。

精神的被害の発生構造を図 8-1 に示すような共分散構造モデルで表現しよう。図中の構成概念 $\eta = (\eta^1, \dots, \eta^{n\eta})$ は、水害により発生したス

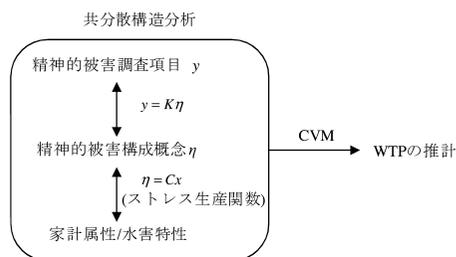


図 8-1 精神的被害の概念図

レスを意味している。共分散構造モデルの中で、モデル $\eta = Cx$ は、家計・水害属性 $x = (x^1, \dots, x^{n_x})$ に基づいて、ストレスの発生内容や程度を表現するストレスの自己生産関数を表している。被災家計が生産したストレスは観測不可能であり、観測可能な精神的被害の調査項目 $y = (y^1, \dots, y^{n_y})$ を通じて、観測方程式 $y = K\eta$ を通じて観測される。

いま、ある家計 i が水害によりストレス η_i を生産したと考えよう。災害の有無の状態に関する家計 i の間接効用関数は、平常時の所得水準 M_i とストレス η_i に依存すると考え、 $V_i(M_i, \eta_i)$ と定義する。さらに、被災家計が被る精神的被害のみを計測するために、被災家計は損失した資産を回復するために補償金、保険金が給付されると考えよう。この時、被災後においても従前の所得水準が補償され、精神的被害のみを被ると考えた場合の家計 i の期待効用水準 EV_i を

$$EV_i(M_i, \eta_i) = (1 - p_i)V_i(M_i, 0) + p_iV_i(M_i, \eta_i) \quad (1)$$

と定義する。ただし、 p_i は、治水事業を実施しない場合、被災家計 i が再び同規模の水害が発生すると考える主観確率を表している。つぎに、治水事業により、水害が発生する確率をゼロにすることができると考えよう。この時、水害によりストレス η_i を生産した家計の、治水事業の実施に対する支払い意思額は、

$$EV_i(M_i, \eta_i) = V_i(M_i - WTP(M_i, \eta_i), 0) \quad (2)$$

を満足するような $WTP(M_i, \eta_i)$ として定義できる。支払意思額 WTP が精神的ストレス η_i の関数

となっていることに注意しよう。これは、一度被災して精神的被害を受けた家計の支払意思額であることを示している。一度も被災していない家計は精神的被害 η_i を知り得ない。したがって、式(2)で定義される支払意思額は、水害を経験した家計のみに対して定義される。以下では、以上で定義した支払い意思額を精神的被害と呼ぶこととする。

8.3 推計結果

以下では、平成16年10月の台風23号により円山川流域で発生した水害を対象とした、精神的被害の推計事例を示す。豊岡市庄境地区、鳥居地区及び赤崎地区において実施したアンケート調査、ヒアリング調査を通じて収集したデータを用いている。なお、調査の詳細については参考文献¹²⁾を参照されたい。被災家計の精神的被害の構造を明らかにするために、精神的被害に関する具体化した質問項目に対して5段階尺度による回答を得た。精神的被害の発生構造として、網羅的にMIMICモデルを構成した。MIMICモデルの作成に先立って、事前に精神的被害項目に関する因子分析を実施することにより、精神的被害項目が生活レベルの低下に伴う精神的苦痛、再度の被災への恐怖・危機感という2つの因子に集約されることを確認した。その上で、図8-2に示すようなMIMICモデルが、最終的に選択された。その結果、水害が家計

にもたらすストレスを表す構成概念として、1)「生活レベルの低下に伴う精神的苦痛」2)「再度の被災への恐怖・危機感」の2つが抽出された。

以上のMIMICモデルにより、被災家計は「生活レベルの低下による精神的苦痛」、「再度の被災への恐怖・危機感」という2種類のストレスを生産することが理解できる。このうち、前者は資産喪失に伴う金銭的被害を厚生水準の低下として評価したものである。「生活レベルの低下による精神的苦痛」というストレスを抑止するための支払い意思額の中には、水害により喪失した資産額も含まれ、資産被害額の2重計算となる可能性がある。ここでは、精神的被害を「物的資産の喪失に伴う金銭的被害を補償したとしても、なお残存する水害に対する危機感・恐怖感による精神的な不快感」として定義している。したがって、CVMを用いて精神的被害を評価する際には、「再度の被災への恐怖・危機感」というストレスのみに起因して生じる精神的被害を分離計測することが望ましい。

次に、二段階二項選択法(double-bounded dichotomous choice)により、被災家計の精神的被害を軽減するためのWTP(willingness to pay; 支払い意思額)を尋ねた。ランダム支払い意思額モデルを用いて推計した結果を表8-1に記載している。水害による精神的な影響として、所得の低下による生活レベルの低下と、水害の再来に対する恐怖という2種類のストレスが発生する。しかし、CVM調査において、所得の低下という金銭的被害が給付金、保険金等により完全に補償されるといったシナリオを想定しているため、以上のモデルで推計した支払い意思額は、主として水害の再来に対する恐怖というストレスでもたらされる精神的被害を表現していることが理解できる。さら

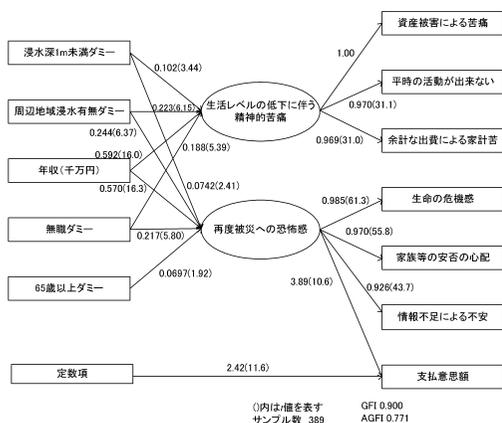


図8-2 推計結果

表8-1 推定結果

定数項 β_0	2.42	11.6
再被災への不安感 β_2	3.89	10.6
サンプル数	389	
対数尤度	-681.0	
尤度比	0.315	
平均値	44,679円	
中央値	44,398円	

に、図8-2をみれば、精神的被害の構造のなかの個人属性（同図中の左側の項目）が支払い意思額に及ぼす影響についても考察することができる。すべての説明変数が潜在変数「再度の被災への恐怖・危機感」に影響を及ぼし、さらにこの構成変数が支払い意思額に影響を及ぼしている。しかも、これらのパラメータが正の値をとっており、符号条件を満足している。この結果より、浸水深が低い家計、周辺地域が浸水すると予想した家計、年収が高い家計、無職者、高齢者ほど、精神的被害を軽減するために必要な措置に対する支払意思額が大きいことがわかる。

8.4 おわりに

本章では、水害による被災家計が被る精神的被害を共分散構造モデルとCVMを用いて計測する方法論を提案した。その際、家計が水害により被災し、精神的なストレスを形成するメカニズム（ストレス生産関数）を、共分散構造モデルで表現できることを示した。さらに、被災家計が自らが形成したストレスにより不快感を形成し、厚生水準が低下することにより精神的被害が発生すると位置づけた。その上で、共分散構造モデルにより推計される構成概念を用いた支払い意思額モデルを定式化し、CVM調査を通じて精神的被害を推計する方法を提案した。さらに、以上の方法論の有効性を豊岡地区で発生した水害を対象として実証的に検証している。

治水事業による精神的被害の低減効果を、治水事業の費用便益分析の実務に反映させていくためには、精神的被害の集計化、推進的被害の時間的変化に関する基礎的な知見の蓄積が不可欠である。特に、精神的被害額の計測と、資産喪失による精神的苦痛額との2重計算を回避することが必要となる。このような2重計算を避けるためには、提案したようなMIMICモデルを用いた精神的被害の計測方法の高度化が不可欠である。そのためには、MIMICモデルと支払い意思額モデルを同時推計する方法論の開発が必要である。

なお、本年3月に発生した東日本大震災では、未曾有の規模の被害がもたらされた。ここでは被

害の詳細についての議論は言及しないが、原子力発電所の事故に伴って避難生活を強いられている住民に対して、現在精神的被害についても保証すべきかどうか議論されていることについては、ここで述べておく必要がある。文部科学省に設置された原子力損害賠償紛争審査会では、現在、被災者が受けた精神的損害を類型化し評価する試みが行われている。同審査会第5回委員会¹⁴⁾においては、「避難等を余儀なくされたことに伴い、正常な日常生活の維持・継続が長期間にわたり著しく阻害されたために生じた精神的損害については、相当因果関係のある損害と認めることができるのではないか」という第二次指針が公表されており、被害の程度に応じた精神的損害を賠償する方向で議論が進められている。今回の精神的損害の評価事例がすぐに災害による精神的被害の評価につながるには限らないが、今後の方向性を示す有力な考え方の一つと言えよう。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案），2000。
- 2) 井堀利宏：リスク管理と公共財供給，清文社，2004。
- 3) 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。
- 4) Hausman, J.A.: *Contingent Valuation: A Critical Assessment*, North-Holland, 1993。
- 5) 例えば，多々納裕一，高木朗義編著：防災の経済分析，勁草書房，2005。
- 6) Green C.H. and Penning-Rowsell E.C: Evaluating the intangible benefits and costs of a flood alleviation proposal, *Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 1986。
- 7) Tunstall S., Bossman-Aggrey P., Waltham and Thornwood: Essex: An Assessment of the Effects of the Flood of 29th July, 1987 and the Benefits of Flood Alleviation, Flood Hazard Research Centre, 1988。
- 8) 国土交通省国土技術総合政策研究所：公共事業の総合コスト縮減効果評価・管理手法の開発，国土技術総合研究所プロジェクト研究報告，第18号，2008年。

- 9) 栗城 稔, 今村能之, 小林裕明: 水害の精神的影響の経済的評価, 自然災害科学, Vol. 15-3, pp. 231-240, 1997.
- 10) 高木朗義, 大國 哲, 阪井宣行: 洪水による精神的被害の構造分析とその金銭的評価に関する実証的研究, 河川技術に関する論文集, Vol. 6, pp. 225-230, 2000.
- 11) 田崎栄一郎: あいまい理論による社会システムの構造化, 数理科学, No. 191, pp. 54-66, 1979.
- 12) 松島格也, 湧川勝巳, 大西正光, 伊藤弘之, 小林潔司: 水害による被災家計の精神的被害の経済評価, 土木計画学研究・論文集, No. 24, pp. 263-272, 2007.
- 13) Lazarus, R.S., Folkman, S: *Stress, Appraisal, and Coping*, Springer, New York, 1984.
- 14) 文部科学省原子力損害賠償紛争審査会, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/016/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2011/05/23/1306259_17_1.pdf, 2011年5月26日アクセス.

が準拠する意思決定理論の方法的基礎をしっかりと保ちながら、対象としての自然災害リスクの特殊性を取り込んだ新しい分析・評価フレームを提案してきた。後半の曖昧性プレミアムや精神的被害などは、伝統的な費用便益分析の射程に入っていなかった問題である。著者らの研究成果が経済分析フレームの裾野を拡げている。その一方、本テーマは今後に多くの発展の余地を残している。例えば、統計的計量やモデルのキャリブレーション等の定量的評価の方法論の発展が不可欠である。また、人的被害、責任、「想定」の問題等は従来の経済学の枠組みの内側だけには解決できない。自然災害科学の場で、他の社会科学や理学、工学等の専門家が蓄積してきた知見を積極的に学び、取り込みながら、自然災害リスクの経済分析の新しいパラダイムを築き上げることが目標である。

9. 結言

横松 宗太*

東日本大震災後、連日、経済被害や復興財政の問題が論じられ、報道されている。大規模自然災害がマクロスケールの経済政策と関連していることは社会全体に認識されるようになった。そして、今後は将来各地で予想される自然災害に対する防災政策に関して、より明確で具体的なルール作りが求められるようになるだろう。昨今の経済被害の世界的な増大傾向の下では、人道的目的を最重視しながらも、経済的合理性に準拠して希少資源を配分することはますます重要になっている。そのためには防災対策の費用便益分析が必要となる。

防災対策の費用便益分析を行うことは、自然災害リスクの経済的インパクトを計量することと密接に関係している。後者は前者の前提条件といってもよい。本特集では、自然災害リスクの経済評価手法に関して、近年に蓄積された研究成果や議論を紹介した。著者達は、伝統的な経済学やそれ

*京都大学防災研究所