

Title	大災害リスクのプレミアム・パズルについて
Author(s)	四塚, 朋子
Citation	大阪大学経済学. 2008, 57(4), p. 177-188
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/18128">https://doi.org/10.18910/18128</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 大災害リスクのプレミアム・パズルについて

四塚 朋子

## 1 序

地震・津波，台風などの自然災害，またテロや戦争など巨大リスクの評価問題は，我々の経済社会にとって重要課題のひとつである。この10年ばかりの間に保険や債券の形でリスク・ファイナンスの手法は飛躍的に普及しつつあるが，そのリスクの考え方・評価方法については議論の只中にある。

リスクについての最も基本的な定義は，National Research Council (1989) による“被害の生起確率と被害の重大性の積”とされ，多くのリスク研究者に共有されている。この定義によれば，リスクは被害確率と被害 (hazard) の積で与えられる期待値になり，したがって，被害の重大性を被害額や死亡者数についての線形の効用関数で評価することを前提とするような期待効用の枠組みの範疇にあると解釈できる。しかしながら，主観的な確率分布さえ不明な事象のリスク評価に期待効用理論が適さないことは自明であろう。

本稿では，2節で巨大災害のリスク・ファイナンスの現状を概観し，我が国の保険制度や個々の意思決定のアノマリーを整理するとともに，理論・実証両面の主な研究をサーベイする。また，我が国ではリスク・コントロールで制御できずに残存するリスクをリスク・ファイナンス手段を用いてヘッジするという発想が主流を占めるが，後者によって前者の適切なインセンティブ設計を行うことが現実的な課題であることを強調する。続く3節において曖昧性概念へのアプローチの系譜を簡単に整理し，非期

待効用のひとつの手法である  $\alpha$ -MMEU モデルのもとで地震債券 (CAT ボンド; Catastrophe Bond) の要求利回りスプレッドを求め，これをリスク・プレミアムと曖昧性プレミアムとに分解する。最後に，財政の持続性に資するインセンティブ設計の観点から今後の研究方向について言及し，結語に替える。

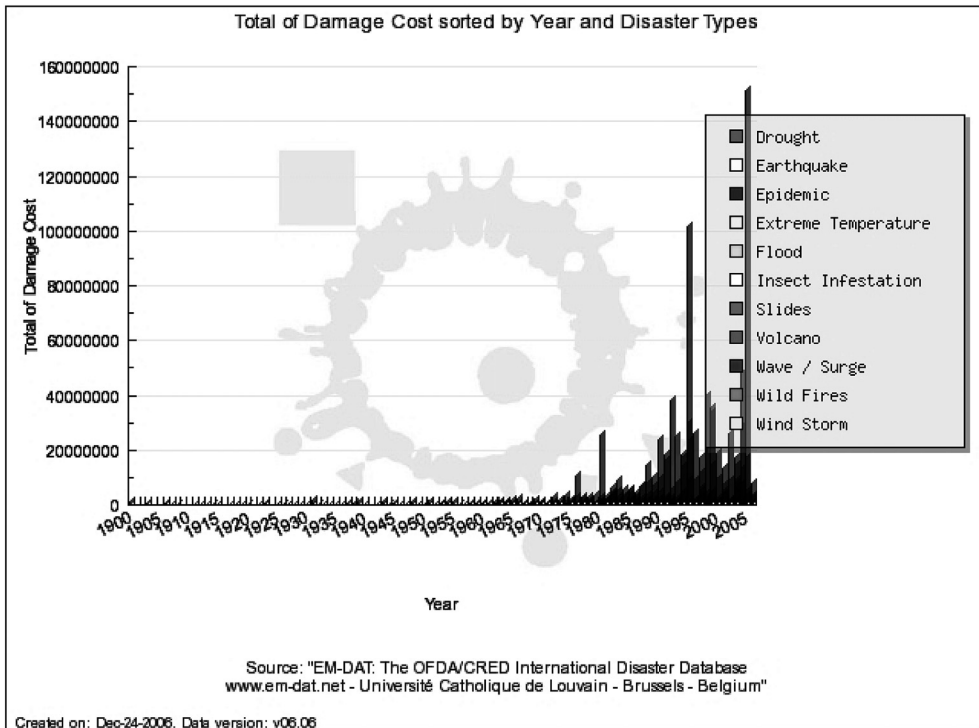
## 2 巨大災害のリスク・ファイナンス概説

### 2-1 近年の巨大災害とリスク・ファイナンス

災害に対して脆弱な人口および資産が特定の大都市に集中する傾向は世界的に進んでおり，したがって大都市は災害に対する脆弱地域となっている。第二の近代化を経て，リスクの配分 (= 負担) が喫緊の重要課題となった社会の出現である。

90年代以降，高額な補償を必要とする自然災害・テロの多発により，世界的にいくつもの保険会社が破綻し，再保険市場での保険料は急上昇した<sup>1</sup>。保険料率のボラティリティが高いのは，狭義の保険市場のみではリスクの担い手は限られているためである。これらを契機に，巨大リスクを証券化することにより保険市場とは桁違いの大きさをもつ金融資本市場を通じて投資家に広く分担・移転する代替的な方法 (ART, Alternative Risk Transfer) が検討されるようになった。空間的には限定された地域内で起きる災害・テロなどの，確率は低いが大規模な

<sup>1</sup> 日本経済新聞2001年10月23日付，同11月25日付，2002年3月29日付など。



図表 1

被害をもたらす結果を世界中の国々の投資家に分散することができれば、効率的なリスク・シェアリングの仕組みが成立する。このような対応が可能となった背景には、自然災害についてのシミュレーション技術の発達<sup>2</sup>およびリスクの証券化技術の普及がある。1994年にハノーバー再保険会社により CAT ボンド (Catastrophe Bond) が再保険の代替手法として導入され、我が国でも97年以降、損害保険会社（東京海上、安田火災、ニッセイ同和損保）により発行されている<sup>3</sup>。また、99年には世界で初めて一

般事業会社（オリエンタルランド）が地震債券を発行している。世界的には本数・総額とも増加傾向にあり、オルタナティブ投資の魅力ある選択肢として機関投資家の注目を集めている。

次節では、地震保険および CAT ボンドが果たすべき機能と実態に関する研究成果を紹介する。地震保険を含めて議論するのは、再保険市場における CAT ボンドとの裁定関係から、地震保険のドメインにおける問題の緩和が ART の成立についても重要な鍵を握ると考えられるからである。

## 2-2 地震リスクのマネージメントと意思決定行動

一般にリスク・マネージメントの手段には、リスクの発生の軽減・予防を目指すリスク・コントロールと、リスクの外部移転やリスク保有に備えた準備（引当金の設定など）を図るリス

<sup>2</sup> スイス再保険会社の資金提供を受けた地球物理学者、Ross S. Stein の応力誘発説（地震の間の微妙な相関性を重視する）が、現在最も信頼性が高いとされている。

<sup>3</sup> 安田火災とニッセイ同和損保の債券については満期後、更新されていない。東京海上の債券は10年もので満期を迎えていない。CAT ボンドの仕組みについては甲斐・加藤などの解説を参照されたい。

ク・ファイナンスとがある<sup>4</sup>。

リスク・コントロールは、リスク回避とリスク軽減とに分けられる。リスク回避手段として、企業・個人には地震リスクの高い地域で事業を行わない・転居するという選択肢があり、保険会社にはリスクの選別により引き受けないという手段がある。リスク軽減の手段としては、企業・個人にとっては立地分散・耐震補強であり、保険会社は保険契約者のそのようなリスク軽減措置（ミティゲーション）を引き出すインセンティブの設定という手段を持ち得る。

一方、リスク・ファイナンスはリスク移転とリスク保有に大別され、リスク移転の手段として、企業には地震保険加入・CATボンドの発行・CATオプションの購入という手段が、個人には地震保険加入という手段がある。保険会社としては、再保険への出再・CATボンドの発行・CATオプションの購入という手段がある。リスク保有の手段としては、企業には引当金の設定・キャプティブの設定があるが、個人には純資産の蓄積以外には事実上無い。また、保険会社には免責の設定でリスク保有を限定するという消極的な手段があると言える。

大規模な自然災害のリスク特性が低頻度かつ大損失であることから、伝統的保険市場による直接的な担保は困難である。巨大なリスクを移転させるためには、〈保険契約者－元受保険会社〉、〈元受保険会社－再保険会社〉、〈再保険会社－再々保険会社（または政府）〉、と複雑なネットワークを介して分散させる必要がある。または、CATボンドの発行を伴う場合には、〈保険契約者－元受保険会社〉、〈元受保険会社－投資家〉という関係の中で消化される。一般事業会社がCATボンドを発行する場合は、〈一般事業会社－投資家〉間で直接的なリスク移転が実現される。

一般に、保険市場の失敗についてはモラル・

<sup>4</sup> この分類は、一般的なリスク管理のフレームワークである。

ハザードと逆選択の問題が挙げられるが、大規模災害保険については、これらの他に大規模災害の事後に保険金カバレッジの縮小とともにプレミアムが急上昇して、実質的には市場が破綻してしまう事態が発生することが知られている<sup>5</sup>。再保険・再々保険によるリスクの空間的分散化を通じて、大数の法則が成り立たない事象であるから短期的には収支相等の原則や公平の原則も成り立たない。実際、再保険料が保険数理的な保険料（期待被害額）に見合わず、その変動が大きいこと<sup>6</sup>、また再保険市場にも偏りがあり、再保険カバレッジにも上限があることなど、再保険市場のリスク引受け能力が限定されていることは90年代以降強く認識されてきた。

ここでは、保険契約者、保険者（元受保険会社、再保険会社）、投資家など一連の利害関係者が意思決定の際に陥りがちなバイアスや非合理的な結果、またそれらの緩和策について概観する。

## 2-2-1 保険契約者

まず、潜在的な被保険者（保険契約者）側の意思決定に見られる問題を概観しよう。ここには、保険に加入するかしないか、リスクの軽減措置（耐震補強など）をとるかとらないか、という意思決定が含まれるが、いずれについても人々の簡略化された思考（近道思考）が働きやすく合理的な行動に結びつきにくい。①近視眼的な行動を取りやすい、②リスクの認知にバイアスがある、③借り入れ制約に直面している、などの理由が指摘されている。結果として、地震の発生確率の過小評価やリスク軽減措置への先行投資の抑制につながるのである。

阪神・淡路大震災の際には、推定損害額が10

<sup>5</sup> 911テロ後の再保険市場は顕著な例。再保険市場パズルとも呼ばれる。

<sup>6</sup> カリフォルニア州の地震保険では6倍以上になったことがある。

兆円であるのに対し、支払われた保険金は3000億円強、地震保険に限れば783億円で世帯加入率は3%未満であった。

潜在的な地震保険契約者の意思決定については、保険料算出機構が火災保険加入者を対象に行った調査(2003)では、我が国の地震保険制度のもとでは再取得費用の全額が補償されないことと、補償内容と比較して割高な保険料であると見做されていることが、主たる理由として挙がっている<sup>7</sup>。特に我が国の場合には、大数の法則が適用できる火災保険に付帯する形で販売されるために、それとの比較によって割高であるような印象をもたせるという側面もあろう。藤見・多々納(2005)の仮想的なアンケート調査においては、人々は曖昧な状況を非常に楽観的に捉えており、このことが保険の購入を妨げているとの検証結果が得られている。なお、2005年末時点での世帯加入率は20.1%、火災保険への付帯率は40.3%である。

企業についても同様の議論が可能である。経済産業省の『リスクファイナンス研究会報告書』の第4部・リスクファイナンスに係る調査報告によれば、リスクファイナンス手法が採られないことの理由は、どの項目についても軒並み「社内での必要性が認知されていない」ことである(100社超/回答会社182社)。緊急時の資金調達については、「メインバンクからいつでも融資を受けることができる」という楽観的な観測が1/3以上の企業に共有されている。

リスク軽減措置への投資については、以下のような例を考えてみよう。この30年の間に巨大な地震がほぼ確実に起きると予想されている地域に建造物を所有する当事者が、20万円かけて耐震強化・補修することで実際に被災した場合

の150万円の損害を防止できるとしよう。地震発生時刻の確率分布が一様分布(地震発生がポワソン過程)だととして、1年当たりの年間の予想損失額は150万円×1/30=5万円になるが、割引率をかなり高めに設定したとしても5、6年程度で見合う投資になるはずである。ところが、各年の損害軽減額の5万円がキャッシュインフローとは解釈されず、短期的視野でこの選択肢は棄却されてしまうのである。

## 2-2-2 保険者・再保険者

次に、保険会社の意思決定に関して報告されている調査結果を見てみよう。Hogarth and Kunreuther(1992a, 1992b)の一連の研究では、元受保険会社と再保険会社のアクチュアリの意思決定について、曖昧な確率と明確な確率、確率の大きさや損害の大きさの違い、独立なリスクと完全相関するリスク、などの比較ができる調査を行い、やはり期待効用理論とは非整合的な結果を得ている。確率が曖昧である場合にプロフェッショナルのアクチュアリが課す保険料のメデアンは、確率が明確である場合の2倍から10倍にも上る。また、アンダーライターの意思決定に関する調査では、地震リスクに関して確率と損失とが明確に与えられているシナリオと確率が曖昧で損失が不確実なシナリオとで保険料を比較したところ、曖昧・不確実シナリオでは、やはり平均で元受アンダーライターが50%、再保険アンダーライターが40%程度高く課すことが報告されている。

ここで、保険料および再保険料の妥当性を見るために、我が国の海外再保険収支(但し、地震に関する細目ではなく、すべての再保険を合算したデータ)に目を向ければ、図表2と3に見られるとおり、出再保険(=海外に再保険の形でリスクを移転する)についても受再保険(=海外の保険リスクを引き受ける)についても、ほぼ恒常的にマイナスの収支が続いている(但し、年度内の収支で計算されているのは同

<sup>7</sup> 地震保険に加入しない理由(複数回答可): ①保険料が高い(53.2%) ②住居建物の再建ができない(24.0%) ③被災することは無いと思う(21.4%) ④加入の機会や勧誘が無かった(17.6%) ⑤住居建物が新しい(14.9%)

図表2 出再保険料の推移

(単位: 億円)

年 度	出再保険料 (支出)	回収再保険 金 (収入)	収 支
1994	2,467	1,238	△1,230
1995	2,333	1,197	△1,136
1996	2,281	1,245	△1,036
1997	2,508	1,303	△1,205
1998	2,380	1,726	△655
1999	2,274	1,891	△383
2000	2,139	1,356	△783
2001	2,516	1,144	△1,372
2002	2,641	1,141	△1,500
2003	2,557	1,235	△1,322
2004	2,441	2,421	△20
2005	2,484	1,627	△857

一の保険についてはない)。換言すれば、我が国のリスク移転には割高な保険料を取られ続けており、逆に海外のリスクを割安な保険料で引き受け続けていることに他ならない。また、それが比例再保険による出再・再出再および受再の結果であるならば、国内の保険料が割高である可能性もある。

さらに、世界的にCATボンドの発行が本数・総額ともに増加傾向にある中で、我が国の損保会社による再保険のART手段としては更新されず、再保険が選択されていることも特筆に値する。97年の東京海上以降、安田火災とニッセイ同和損保が相次いで証券化しているもの、既に満期を迎えた安田火災とニッセイ同和損保については更新されていない。資金調達手段として割高であると認識されている可能性もあり、調査が必要なところである。証券化の利点としては、資本市場の資金量、トリガー・インデックスによる資金回収の簡便さ、キャッシュフローの安定化、などを挙げることができるが、反面、インデックスの採用によるベーシ

図表3 受再保険収支の推移

(単位: 億円)

年 度	受再保険料 (収入)	支払再保険 金 (支出)	収 支
1994	1,922	1,977	△55
1995	1,783	1,827	△44
1996	1,945	2,010	△65
1997	1,903	2,015	△112
1998	1,814	2,008	△194
1999	1,709	1,384	325
2000	1,643	1,788	△145
2001	2,025	2,364	△339
2002	2,504	2,443	61
2003	2,251	2,794	△543
2004	1,954	2,126	△172

(注) 支払再保険金は、1999年度は再保険手数料を含まない。

スリスク<sup>8</sup>、この他に、格付けの取得、専門機関によるリスク分析、初期費用などがコストに相当する。

海外では、RMS社(Risk Management Solutions, Inc.)<sup>9</sup>を始めとして自然災害リスク評価を行う専門会社が多数存在し、情報提供ビジネスが行われている。潜在的な被保険者側のリスクとそのコストに関する認識の低さとともに、保険者側のリスク評価能力の弱さ(リスク評価ビジネスの欠如)が、我が国の効率的なリスク移転を阻害する大きな要因となっている可能性がある。そもそも、地方自治体の災害リスクに関する基本情報の開示が徹底していないことがリスク評価ビジネスのコストを徒に底上げしていると考えられ、結果として保険の契約コストやCATボンドの発行コストを高めてしまうことにも注意されたい。

<sup>8</sup> 実際の損害とカバーされる金額とが一致しないリスク。ただし、一般事業会社が証券化する場合は、モラル・ハザードの緩和に寄与する。Doherty (1997)

<sup>9</sup> Stanford大学が母体となり、1989年に設立された自然災害専門のリスク・マネジメント会社。

### 2-2-3 投資家

世界の再保険市場の規模は約20兆円で、日本政府の責任負担額4.1兆円を受け入れる余地はない。そのため、約3500兆円という格段の資金力をもつ資本市場の活用による再保険スキームを通じたリスク移転が補完的に検討され実行に移されたが、投資家が求めるプレミアムはリスクに対して過大であると見られている<sup>10</sup>。

自然災害リスクは他地域における金融商品のリスクとはほぼ無相関であると前提できるため、CAT ボンドは機関投資家に対してポートフォリオのリスク・リターン特性を改善させ得る投資機会の提供でもある。そのため当初は、市場から要求されるリスク・プレミアムはそれほど大きくはないものと予想され、再保険の補完的な存在として高過ぎる再保険料への暗黙的規制の役割を期待されていた。しかしながら、実際には再保険コストの軽減には至っておらず、むしろ再保険よりも割高であるという指摘がある。この理由として Bantwal and Kunreuther (1999) は、再保険料との裁定の他、新手の証券に対する投資家の学習・適応の遅れ、元受会社のクレジット・リスク回避分の上乗せ、流通市場の未整備に起因する流動性の低さ、を指摘している。

Froot and Posner (2002) は、期待効用 (EU) の枠組みを用いながら、パラメータの不確実性と事象の確率が独立な場合には、前者によって CAT ボンドの過大なリターンはほとんど説明できないことを見出している。

また、行動ファイナンスで言及される曖昧さ回避 (ambiguity aversion) も重要な要素である。この分野での先駆的な業績としては、Bantwal and Kunreuther (2000) が挙げられる。

投資家は Gilboa and Schmeidler (1989) の意味で曖昧さ回避的であると仮定され、確率密度関数の集合  $G$  における  $f(x)$  について期待値  $\int u(x) \min f(x) dx$  を最大にするように行動する。結果として、確かに CAT ボンドにはプレミアムが要求されるが、現実には観察されるほどの水準ではないとの結論を出している<sup>11</sup>。

例えば、一旦災害が起きてしまえばそれが起きない確率自体に不確実性が発生し、たとえ non diversifiable なリスクが無くてもパイオフの期待値が下がり、プレミアムが要求されることになる (Froot and Posner (2002) の枠組みでは影響しない)。曖昧性プレミアムの発生である。

## 3 大災害リスクのプレミアム

### 3-1 非期待効用モデル

経済学において、最初に確率で記述されるリスクと不確実性との峻別を主張したのは Knight (1921) であった。Knight はリスクを“先験的、理論的、あるいは統計的に確率が知られているもの”、不確実性を“確率さえ知られていないもの”と定義した。これらふたつの概念は明確に異なるにかかわらず、経済学では区別しない分析を行ってきたが、その根拠を与えたのが Savage (1954) である。Savage は、たとえ客観的な確率が不可知であっても人々は主観確率に基づいてあたかも既知であるかのように意思決定を行う、ということを実証した。不確実性に主観確率を付与することにより不確実な状況をリスクの伴う状況へと読み替えたのである。

社会選択の文脈において Arrow (1951) が、von Neumann and Morgenstern (1944) を始祖とする期待効用理論 (EU) の優勢を展望して以

<sup>10</sup> リスク・コンサルタント (マーシェブローカー・ジャパン) によれば、3.5~4%のプレミアムが必要であるというヒアリング結果がある (平泉・小黒・森・中軽米 (2006))。99年のオリエンタルランドの CAT ボンドでは、元本リスク型の場合で6ヶ月 LIBOR + 3.1% (310bp) であった。

<sup>11</sup> Hogarth (2000) もテロ保険について同様の結果を得ている。

来、期待効用理論はゲーム理論の基礎概念として普及した。また伝統的なファイナンス理論の中核でもある。

これに対し、不確実な状況の中にさらなる区別が必要である可能性を示唆したものが Ellsberg (1961) の有名なパラドックス「Ellsberg の壺」として知られる反例である。当たる確率が既知であるような「くじ」と、確率が未知な「くじ」とでは、人々は既知である方を選択する傾向が強いという結果から、人々は曖昧性を回避するとしたものである。広義の不確実性の構成を集合で描写すれば、確率が既知である「リスク」(客観確率)の外側に「主観確率」、さらにその外側を「曖昧性」が包囲する。すなわち曖昧性は、情報の不足から主観確率が唯一に定まらない状態を指すことになる。

Savage の問題を克服し、不確実性下の意思決定問題を分析する手段のひとつとして Schmeidler (1989) が非加法的確率測度である capacity を用いた Choquet Expected Utility (CEU) モデルを開発した。また、Gilboa and Schmeidler (1989) は複数事前確率を用いた Maxmin Expected Utility (MMEU) モデルを提唱し、いずれも曖昧性を捉える理論として普及している。CEU および MMEU は、Anscombe and Aumann (1963) の Subjective Expected Utility Theory (SEU)<sup>12</sup>を基本的な枠組みとしている。CEU では、非加法的測度に関する Choquet 積分が期待値の自然な拡張として意思決定モデルの基本的な道具となっており、Ellsberg のパラドックスも CEU で説明することができる。しかしながら、Epstein (1999) は非加法的測度の凸性が反例のための必要条件でも十分条件でもないことを示し、CEU は不確実性を説明していることにはならないと指摘している。MMEU では、曖昧性を意思決定に際しての情報不足に

よって主観確率を唯一に決められず複数の主観確率を認識している状態を扱い、その中で最悪の結果をもたらすものに基づいて意思決定が行われる。これに対し、Ghirardato (2002), Ghirardato et al. (2003, 2004, 2006) は、SEU と同じ選択をする場合には曖昧性中立であると定義を置くことにより MMEU ほど悲観的ではなく、曖昧性への態度によって主観確率が決まり、曖昧性と曖昧性に対する選好を分離することができる  $\alpha$ -MMEU モデルを提案し、また実験を行っている。

### 3-2 曖昧性プレミアムとリスクプレミアムの分離： $\alpha$ -MMEU

本節では、曖昧性プレミアムとリスクプレミアムを検証可能な形で導出するため、損害保険購入に関する藤見・多々納 (2005) のモデルを踏襲して離散的確率分布を前提としながら、2 期間モデルにおける投資家の意思決定問題に  $\alpha$ -MMEU を適用してみよう。0 期にリスクのない一般社債と地震債券を同時に発行する企業が存在するものとする。1 期に当該企業の所在地周辺においてあらかじめ決められた規模以上の地震が発生した場合に、一般社債は優先的に必ず償還されるが、地震債券については一部あるいは全額償還がないものとする。また、安全資産である一般社債の利回りは所与の値  $r$  であるとする。専門会社による詳細な調査の結果、潜在的な投資家に地震発生と償還額についての客観的確率分布が  $Q = (q, Y_0; 1 - q, 1)$  であることが知らされたとしよう。ただし、 $q$  はトリガーとなる規模の地震が発生する客観確率、 $Y_0$  はその時の償還額 ( $0 \leq Y_0 < 1$ )、また満額での償還額を 1 とする。 $u(\cdot)$  を意思決定者である投資家の効用関数、地震発生の主観的確率分布を  $P = (p, Y_0; 1 - p, 1)$ 、曖昧性を  $A$  とすれば、投資家にとってこの地震債券のペイオフがもたらす効用は以下のような  $\alpha$ -MMEU で表現される。但し、 $\alpha$  は曖昧性に対する選好を示す定数

<sup>12</sup> Savage の完全な「主観」とは異なり、客観確率を採用して SEU を形成している。



で<sup>13</sup>,  $\alpha = 1$  のとき  $\alpha$ -MMEU は MMEU に一致し,  $\alpha$  が小さくなるほど楽観性の度合いが大きくなることを意味する。

$$U^{\alpha\text{-MMEU}} = \alpha \min_{p \in A} [pu(Y_0) + (1-p)u(1)] \\ + (1-\alpha) \max_{p \in A} [pu(Y_0) + (1-p)u(1)]$$

このようなペイオフの効用は明らかに一般社債のペイオフ 1 がもたらす効用  $u(1)$  以下である。したがって, 主観的割引率を  $\beta$  として

$$u\left(\frac{1}{1+r}\right) = \beta u(1) \\ u\left(\frac{1}{1+r} - \pi\right) = \beta U^{\alpha\text{-MMEU}}$$

が成立する。すなわち, 観察される価格差が  $\pi$  以上であれば, 投資家は地震債券を購入する。なお, 投資家からの要求ディスカウント  $\pi$  と要求プレミアム (利回りスプレッド)  $\rho$  の関係は, 近似的に  $\rho \cong \frac{\pi}{1-\pi}$  となる。

ここで, 曖昧性  $A$  について, 地震と償還額についての客観的確率分布  $Q = (q, Y_0; 1-q, 1)$  から主観的確率分布  $P = (p, Y_0; 1-p, 1)$  への相対エントロピー<sup>14</sup> (KL 情報量; Kullback-Leibler divergence とも言う)

$$R(P \parallel Q) = p \ln \frac{p}{q} + (1-p) \ln \frac{1-p}{1-q}$$

$$R(P \parallel Q) \geq 0$$

$$R(P \parallel Q) \neq R(Q \parallel P)$$

を導入する。エントロピー概念は統計力学からの転用で, 直観的には確率変数のもつ乱雑さの目安である<sup>15</sup>。本節では, 曖昧性を客観的確率分布  $Q$  から主観的確率分布  $P$  への相対エントロピーによって計測される曖昧性パラメータ  $\eta$

までの範囲の確率分布の集合, すなわち  $A = \{P; R(P \parallel Q) \leq \eta, \eta \geq 0\}$  と定義する。

さて, 主問題  $U^{\alpha\text{-MMEU}}$  を第 1 項の最小化問題と第 2 項の最大化問題に分離する。まず第 1 項の問題は,

$$\min_{p \in \{P; R(P, Q) \leq \eta\}} [pu(Y_0) + (1-p)u(1)]$$

の問題を解くことに帰着し, MMEU と同形になる。したがって, 以下の robust 制御問題として解くことができる。

$$\min_p [pu(Y_0) + (1-p)u(1) + \theta R(P \parallel Q)]$$

ここで  $\theta$  は,  $p$  の解のもとで特定の  $\eta$  に一対一対応するパラメータである<sup>16</sup>。 $pu(Y_0) + (1-p)u(1)$  は  $p$  について線形で,  $R(P \parallel Q)$  は  $p$  について凸であるから, 1 階の条件より解

$$\bar{p} = \left[ \frac{1-q}{q} e^{\frac{u(Y_0)-u(1)}{\theta}} + 1 \right]^{-1}$$

を得る。 $\bar{p}$  はもっとも悲観的な主観確率である。主問題  $U^{\alpha\text{-MMEU}}$  の第 2 項の最大化問題

$$\max_{p \in A} [pu(Y_0) + (1-p)u(1)]$$

は, 以下の問題に置換される。

$$\max_p [pu(Y_0) + (1-p)u(1) - \theta R(P \parallel Q)]$$

同様に, 1 階の条件からもっとも楽観的な主観確率は

<sup>13</sup> Ghirardato et al. (2004)

<sup>14</sup>  $P$  と  $Q$  のクロス・エントロピーと  $P$  のエントロピーの差で定義される。 $Q$  の代わりに  $P$  を使った場合の情報利得とも言う。K-L 情報量には対称性は無く, divergence とは確率分布の距離を意味しない。

<sup>15</sup> 簡単な例として, 確率変数  $X$  が  $\{0, 1\}$  をとる 2 値エントロピー関数を考えれば,  $X=0$  となる確率を  $p$  とするとエントロピー関数

$$H(X) = -p \log p - (1-p) \log(1-p)$$

は上に凸な連続関数になり,  $p=1/2$  のときエントロピー (乱雑さ) は最大値をとる。

<sup>16</sup> 解  $\bar{p}$  のもとで  $\eta = \ln \frac{1-\bar{p}}{1-q} + \bar{p} \frac{[u(1)-u(Y_0)]}{\theta}$

を満たす。したがって,  $\theta$  が大きいほど曖昧性は大きくなる。また, 曖昧性回避度  $1/\theta$  は客観的確率  $Q$  への信用の度合, あるいは  $Q$  から乖離した主観的確率  $P$  をもつことへの不効用の大きさを示す。

$$\bar{p} = \left[ \frac{1-q}{q} e^{\frac{u(1)-u(Y_0)}{\sigma}} + 1 \right]^{-1}$$

で与えられる。したがって、 $U^{\alpha-MMEU}$  を主観確率に関する解  $\bar{p}$  および  $\bar{p}$  を用いて表現すると

$$\begin{aligned} U^{\alpha-MMEU} &= \alpha [\bar{p}u(Y_0) + (1-\bar{p})u(1)] + \\ &\quad (1-\alpha) [\bar{p}u(Y_0) + (1-\bar{p})u(1)] \\ &= [\alpha\bar{p} + (1-\alpha)\bar{p}] [u(Y_0) - u(1)] + u(1) \end{aligned}$$

となる。 $u\left(\frac{1}{1+r}\right) - \pi = \beta U^{\alpha-MMEU}$  であるから、Taylor 展開の一次近似によって以下の要求ディスカウントを得る。

$$\pi = \beta \frac{[\alpha\bar{p} + (1-\alpha)\bar{p}] [u(1) - u(Y_0)]}{u'\left(\frac{1}{1+r}\right)}$$

現実のディスカウントがこれを上回った場合に、投資家は地震債券を購入することになる。さらに要求ディスカウント  $\pi$  は、以下のようにリスクに由来する  $\pi^R$  と曖昧性に由来する  $\pi^A$  に分解することができる。

$$\begin{aligned} \pi^R &= \beta \frac{q [u(1) - u(Y_0)]}{u'\left(\frac{1}{1+r}\right)} \\ \pi^A &= \beta \left\{ \frac{[\alpha\bar{p} + (1-\alpha)\bar{p}] [u(1) - u(Y_0)]}{u'\left(\frac{1}{1+r}\right)} \right. \\ &\quad \left. - \frac{q [u(1) - u(Y_0)]}{u'\left(\frac{1}{1+r}\right)} \right\} \end{aligned}$$

ここでは CRRA 型の効用関数を仮定しているので、

$$\begin{aligned} \pi^{R^*} &= \left( \frac{1}{1+r} \right) q [u(1) - u(Y_0)] \\ \pi^{A^*} &= \left( \frac{1}{1+r} \right) \left\{ [\alpha\bar{p} + (1-\alpha)\bar{p}] [u(1) - u(Y_0)] \right. \\ &\quad \left. - q [u(1) - u(Y_0)] \right\} \end{aligned}$$

したがって、曖昧性プレミアム  $\rho^A$  およびリスクプレミアム  $\rho^R$  は、それぞれ  $\rho^i = \frac{\pi^{i^*}}{1-\pi^{i^*}}$  (ただし、 $i = A, R$ ) で与えられる。

#### 4 今後の研究方向

そもそも大災害リスクの取引市場は極めて流動性が低く、他の金融資産によってキャッシュフローを複製できない不完備市場である。結果として、完備市場での測度変換に依拠する Black-Scholes 式のような一意な解を得ることはできず、実確率と等価な測度変換（ウェイト付け）の仕方は無数に存在することになる。情報量（相対エントロピー）に関する仮定を置かなければこれを制限することはできない。

本稿では投資家の要求プレミアムに着目した。 $\alpha$ -MMEU は曖昧性への態度を分離することができるモデルであることから、実証分析における含意が分かりやすく実用的である。投資行動の他、地震保険の加入行動<sup>17</sup>や耐震補強行動について同時に多様な調査を行うことで、新しい知見や実効性のある政策的含意が得られる可能性がある。投資と保険加入と耐震補強とでは、同じ脅威に対して異なる主観確率が形成されることも十分にあり得ることであり、特に耐震補強についての適切なインセンティブ設計のために有用であろう。現行の被災者生活再建支援法には地震発生前の自助努力を促進する要素がないために、M7～8クラスの地震が都市部で続けて発生した場合、条件によっては財政的に成り立たなくなることが指摘されており<sup>18</sup>、より積極的なリスク評価のシステムとそれを反映する保険料制度など、耐震補強を強力に促進するようなインセンティブ設計が保険のドメインに必要であるとの認識も共有されつつある。

平成12年度（最後の）『建設白書』の推計によれば、過去のストックに対する維持投資額・更新投資額の合計が2025年には公共投資全体の42%を占めることになる<sup>19</sup>（公共投資の伸びを

<sup>17</sup> 藤見・多々納 (2005)

<sup>18</sup> 目黒 (2007) など

<sup>19</sup> 同白書では、2000～25年の四半世紀を「ストック・メンテナンスの世紀」と呼んでいる。

ゼロとした場合)。我々は急速なインフラ老朽化の途上にあり、このことが我が国のリスクをさらに高めていることを認識すべきであろう。ドイツのミュンヘン再保険会社が、東京・横浜の災害危険度を世界の主要都市の中で1位、神戸・大阪・京都を4位と発表して内外に強い衝撃を与えたことは記憶に新しいところだが、これらのランクの高さは災害の予想される大きさ (hazard)、地域の経済的価値 (exposed value) という動かしがたい要素によってのみ算出されている訳ではなく、地域の脆弱性 (vulnerability) の要素も積算されている。耐震偽装の発覚などにより、国全体の危険度がより高まる可能性もある。無論、リスク指標の計算方法については議論の余地もあるが、人口・資産・政治経済機能の集中する東京で大震災が起きた場合には、国家としての機能停止や財政破綻に陥ってしまう<sup>20</sup>という可能性を否定できない以上、脆弱性の克服は最優先課題である。

世界の再保険市場の規模が約20兆円であることを考えれば、日本政府の責任負担額4.1兆円を受け入れる余地はなく、また世界で突出して高いリスク地域と分類されているために、空間的リスク分散の手段として現時点では選択肢がない。我が国のリスク総量が下がればCATボンドの発行条件は改善され、空間的なリスク移転はより円滑に行われるのである。

(追手門学院大学経済学部准教授)

## 参考文献

- Bantwal, V. J., and H. C. Kunreuther (2000), "A Cat Bond Premium Puzzle?", *The J. of Psychology and Financial Markets*, 1
- Bossaerts, P., P. Ghirardato, S. Guarnaschelli and W. Zame (2006), "Ambiguity and Asset Prices: An Experimental Perspective", mimeo.
- Cummins, J. D. (2006), "Should the Government Provide Insurance for Catastrophes?", *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 88-4
- Doherty, N. (1997), "Financial Innovation for Financing and Hedging Catastrophe Risk", presented at ASTIN
- Froot, K. A. and S. Posner (2002), "The Pricing of Event Risks with Parameter Uncertainty." *The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory*, 27-2
- Gagliardini, P., P. Porchia and F. Trojani (2005), "Ambiguity Aversion, Bond Pricing and the Non-robustness of Some Affine Term Structures", mimeo.
- Ghirardato, P. (2002), "Defining Ambiguity and Ambiguity Attitude",
- Ghirardato, P., F. Maccheroni and M. Marinacci (2004), "Differentiating Ambiguity and Ambiguity Attitude", *J. of Economic Theory*, 118
- Ghirardato, P., F. Maccheroni, M. Marinacci and M. Siniscalchi (2003), "A Subjective Spin on Roulette Wheels", *Econometrica*, 71
- Gollier, C. (2006), "Does Ambiguity Aversion Reinforce Risk Aversion? Applications to Portfolio Choices and Asset Prices", mimeo.
- Hansen, L. P. and T. J. Sargent (2001), "Robust Control and Model Uncertainty", *American Econ. Rev.*, 91
- Hansen, L. P. and T. J. Sargent (2007), *Robustness*, Princeton Univ. Press
- Heath, C. and A. Tversky (1991), "Preference and Belief: Ambiguity and Competence in Choice under Uncertainty", *J. of Risk and Uncertainty*, 4
- Hogarth, R. M. (2002), "Insurance and Safety After September 11: Has the World Become a 'Riskier' Place?", SSRN, URL: <http://www.ssrc.org/sept11/essays/hogarth>.

<sup>20</sup> 関東大震災クラスの震災が再び起きた場合、GDPの1/5に相当する110兆円の経済損失が予測されている。

- htm
- Hogarth, R. M., and H. Kunreuther (1992a), “How Does Ambiguity Affect Insurance Decision?”, *Contributions to insurance economics*, Kluwer Academic Publishers
- Hogarth, R. M., and H. Kunreuther (1992b), “Pricing Insurance and Warranties: Ambiguity and Correlated Risks”, *The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory*, 17-1
- Jafee, D. and T. Russell (2003), “Markets under Stress: The Case of Extreme Event Insurance”, *Economics for an Imperfect World: Essays in Honor of Joseph E. Stiglitz*, MIT Press
- Kleindorfer, P. and H. C. Kureuther (1999) “Complimentary Roles of Mitigation and Insurance in Managing Catastrophic Risks”, *Risk Analysis*, 19
- Kunreuther, H. C. (2006), “Has the Time Come for Comprehensive Natural Disaster Insurance?”, *On Risk and Disaster: Lessons from Hurricane Katrina*, U. of Pennsylvania Press
- 赤松隆・長江剛志 (2006) 「社会基盤整備・運用事業の経済リスク管理問題に対するファイナンス工学的アプローチ」土木計画学研究論文集 23-1
- 甲斐良隆・加藤進弘 (2004) 『リスクファイナンス入門』金融財政事情研究会
- ギルボア・シュマイドラー (2005) 『決め方の科学：事例ベース意思決定理論』勁草書房
- 経済産業省 (2006) 『リスク・ファイナンス研究会報告書』
- 建設省 (2000) 『建設白書平成12年度版』
- 瀬本浩史・山田哲也・江岡幸司・渡真利論 (2006) 「社会資本運営における金融手法を用いた自然災害リスク平準化に関する研究」国土交通政策研究 第62号
- 損害保険料率算出機構 (2003) 『巨大災害リスクに関する研究』
- 損害保険料率算出機構 (2005) 『自治体による地震防災施策の調査』
- 高尾厚・山崎尚志 (2006) 「「行動保険学」再考」国民経済雑誌 第193巻 第3号
- 内閣府『防災白書平成18年度版』
- 平泉信之・小黒一正・森朋也・中軽米寛子 (2006) 「地震保険改善試案」財政総合政策研究所 DP06A-14
- 広田すみれ (2006) 「リスクコミュニケーションにおいて送り手に関する曖昧性が説得効果に与える影響」武蔵野工業大学環境情報学部紀要 第8号
- 藤見俊夫・多々納裕一 (2005) 「災害保険購入行動における曖昧性回避傾向の実証分析」第19回応用地域学会研究発表大会
- ミザーニ, ニコラ『保険リスクの証券化と保険デリバティブ』シグマベイスキャピタル
- 目黒君郎 (2007) 「耐震改修促す施策を—自助誘発で被害軽減」毎日新聞10/22朝刊
- 四塚朋子 (2007) 「CAT ボンドのプライシング・パズルに関する研究」大阪銀行協会研究助成論文集 第11号
- CRED (ルーバン・カトリック大学疫学研究 所) Emergency Disasters Data Base (EM-DAT) HP: <http://www.em-dat.net/>

## On the Catastrophe Risk Premium Puzzle

Tomoko Yotsuzuka

This paper selectively reviews recent developments in catastrophic risk finance and surveys related empirical studies in the US and Japan. While the market for catastrophe bonds (CAT bonds) has grown in recent years as an alternative to catastrophe reinsurance, CAT bonds are generally thought to be underpriced (and their risks are overpriced), a phenomenon called “CAT bond premium puzzle”. We examine various potential sources of this “puzzle”.

Much of literature in economics and finance assumes that individual agents obey the Savage axioms. However, we cannot analyze such rare events as catastrophic risk (Knightian uncertainty) within models of expected utility if individual agents display aversion to ambiguity as well as to risk. The objective of this paper is to provide a testable form of a return premium required by investors, by decomposing the premium into a risk premium and an “ambiguity premium”. A particular class of non-expected utility, called  $\alpha$ -maxmin expected utility (Ghirardato et al.), provides the framework for doing so.

This framework allows us to examine such phenomena as optimism and pessimism observed in individual agents’ insurance and mitigation behavior. This paper also emphasizes the role of insurance design in mitigating actual losses from future earthquakes.

JEL Classification: D81, G12, G22

Keywords: catastrophic risk, CAT bond, ambiguity aversion,  $\alpha$ -MMEU