

# 測定不能な不確実性下におけるリスク・ マネジメントに関する研究

——リスク閾値の存在と閾値設定フレームワーク——

上 原 衛

## 1. はじめに

著者は先行研究 [1] において、不確実性下の「リスク評価」に注目し、リスクの計量化における問題点を指摘したうえで、リスクの発生頻度が極めて稀であり大数の法則が適用できるリスクと適用できないリスクを区別してリスク・マネジメントを行う必要があることを指摘した。今回の東日本大震災でその必要性が証明されたが、また、新たな問題として、リスクの発生頻度が極めて稀であり大数の法則が適用できない測定不能な不確実性下において潜在的事象を識別する際に、「想定外」あるいは「想定しておくべき」という、相反する意思決定がなされたことが散見され、測定不能な不確実性下の潜在的事象に識別の問題点が明らかとなった。本研究では、測定不能な不確実性下の「潜在事象の識別」に焦点を当て、人間の意思決定に関する先行研究を整理したうえで、測定不能な不確実性下の潜在的事象の識別におけるリスク閾値の存在と、そのリスク閾値設定のメカニズムを明らかにするフレームワークを提示する。

## 2. 不確実性下における潜在的事象の識別とリスク評価について

グローバル化や情報化が急速に進展している状況下において、企業のみならずあらゆる事業体は事業機会を追及する一方で、それに伴う不確実性とリスクへの対応の強化が求められている。こうした要請に応えるために制定され、現在リスク・マネジメントの概念フレームワークのデファクトスタンダードとして位置づけられているものが、2004年9月に米国トレッドウェイ委員会組織委員会 (the Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission: COSO) から公表された Enterprise Risk Management Integrated Framework (以下、COSO ERM) である。COSO ERM ではリスク・マネジメントにおいて、事業体に (負の) 影響を及ぼす可能性のある潜在的事象をリスクとして捉え、「潜在的事象を識別」することが求められている。ここでは、経営者による戦略および目的の実行に不利な影響を及ぼす事象を「リスク」として定義し、潜在的事象という不確実性 (uncertainty) を前提としている。したがって、COSO ERM は、不確実性下における「潜在的な事象の識別」が実施できるリスク・マネジメントの構築を指向することを求めている。さらに、COSO ERM では潜在的事象を識別したうえで、その大きさと発生可能性の測定によって「リスク評価」を行い、そのうえでリスク対

応の実施を求めている。

著者は先行研究 [1] において、不確実性下の「リスク評価」について注目し、リスクの計量化における問題点を指摘したうえで、先験的ないしは経験的にデータを揃えることができる事象と、極めて稀にしか発生しない事象、すなわち、大数の法則が適用できる事象と適用できない事象を区別すべきであり、発生頻度に対応したリスク・マネジメントの必要性を提唱した。そして、著者が提唱したリスク評価における発生頻度に対応したリスク・マネジメントの必要性は、不幸なことに、2011年3月11日の東日本大震災後で証明された。すなわち、リスク評価をその大きさと発生可能性の測定によって評価すべきとは言うものの、確率さえ分からないような測定不能な不確実性下では、測定可能な不確実性下で実施されているものと同様のリスクの計量化が難しい。今回の東日本大震災の地震・津波・原子力発電所事故などから生じたリスクの計量化は極めて困難であり、適切なリスク対応ができなかった。先行研究で著者が指摘したとおり、大数の法則が適用可能なリスクと不可能なリスクを分けた形の、発生頻度に対応したリスク・マネジメントが必要であることが実証された形となった。

さらに、今回の東日本大震災では、確率形成の基礎となるべき状態の特定と分類が不可能、かつ、発生頻度が極めて稀で特異であり大数の法則が成立しないという測定不可能な不確実性下における、「潜在的事象の識別」の点で問題点が表面化した。すなわち、多くの企業が、COSO ERMに基づきリスク・マネジメント体制を構築しており、不確実性下における潜在的な事象の識別を行っているにも関わらず、東日本大震災のような発生頻度が極めて稀で特異な不確実性下において潜在的な事象を識別する際に、「想定外」あるいは「想定しておくべき」という、相反する意思決定がなされていたと思われる事象が散見されたのである。確率形成の基礎となるべき状態の特定と分類が不可能であり、かつ、発生頻度が極めて稀で特異であり大数の法則が成立しないという状況において、リスク・マネジメントにおける「潜在的な事象の識別」に関して、相反する意思決定によって潜在的な事象の識別が行われたのである。これは、不確実性下における人間の意思決定の問題であり、このように相反する意思決定がなされる背景には、Frank H Knight [2] が主張した、先験的確率ないしは統計的確率によって数値計算することが可能であり測定可能な不確実性 (measurable uncertainty) と、確率さえ分からず過去の生起頻度もほとんどない測定不可能な不確実性 (unmeasurable uncertainty) の存在が起因しているものと考えられる。このことから、著者が先行研究で指摘したリスク計量化によるリスク評価の問題点に加えて、今回新たに潜在的な事象の識別の観点からも、発生頻度に対応したリスク・マネジメントが必要であることを、ここで改めて強調しておきたい。そして、本研究では、不確実性下における「潜在的な事象の識別」に焦点を当て、人間の意思決定に関する先行研究を整理したうえで、潜在的な事象の識別におけるリスク閾値の存在と、測定不能な不確実性下におけるリスク閾値設定のフレームワークを提示することとしたい。

### 3. 発生頻度に対応したリスク・マネジメントの必要性

この節では、発生頻度に対応したリスク・マネジメントの必要性について、まず、リスク計量化によるリスク評価に注目した著者の先行研究 [1] を概説し、次に、今回新たに指摘する、測定不能な不確実性下における潜在的事象の識別に焦点を当てた問題点を明らかにしたい。

#### 3.1 不確実性下におけるリスクの計量化と問題点 [1]

リスク・マネジメントの実施には、リスクを評価する必要があるが、その際に、リスクを計量化し定量評価を行うことが多い。リスク計量化において、一般的に、リスク額の分布を算定し最大損失額を算出する。すなわち、損失規模と頻度（発生件数）の分布に基づいたシミュレーションを実施することにより、損失金額の分布を推定し損失金額の平均値と最大損失（例えば、99パーセンタイル値）を推定する（図1）。

リスクを認識する際に、企業にとって発生が極めて稀であり自社では経験したこともないが、発生した場合膨大な損失が発生するテイル・リスクが存在し、この定量的な推定・把握は困難を極める。

リスク・マネジメントにおけるテイル・リスクの問題を解決するために、従来のリスク計量化理論の応用に加え、「極値理論（Extreme Value Theory：EVT）」を利用する試みがなされている。リスク評価を行う際の損失データ把握の特徴としては、①サンプル数が少ない、一方で、②損失額が巨額である場合が多いという点がある。サンプル数が多い場合に良い統計的性質を

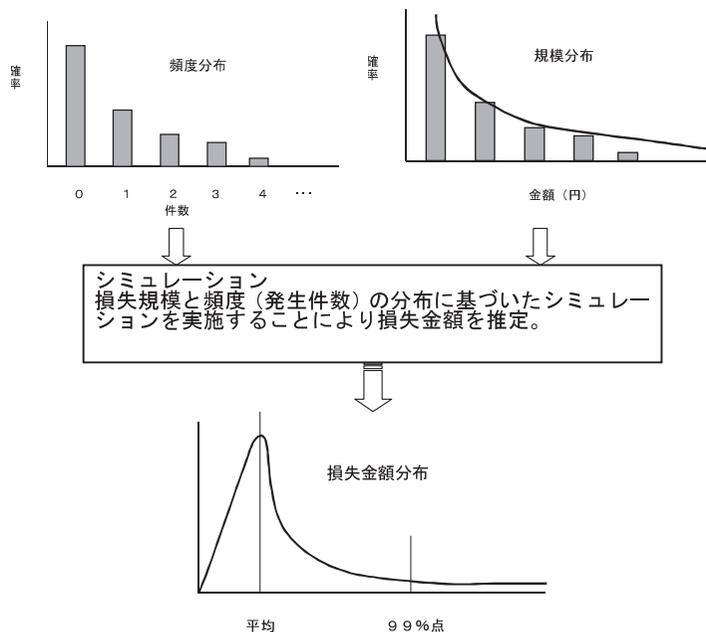


図1 リスク計量化手法の概念

保証する推定法は多いが、サンプル数が少ない場合、極めて稀にしか発生しない「超」小サンプルの事象があり、適切な推定方法が少ない。上記の極値理論を利用した手法を試みた場合でも、テイル（分布のすそ野）部分のフィット感を良くしようとすれば、すそ野以外のフィット感が悪くなり、分布全体にフィットするモデルの作成は極めて困難であることが提唱されている [3]。

もし、上記の手法で「テイル」部分が計量化できたとしても、テイル・リスクは図2に示すとおり信頼区間（例えば、99パーセンタイル値）の遙か外側に存在しているため、このリスクをカバーするためには信頼区間を相当広げる必要がある。しかし、これに必要な資本や保険といったリスクファイナンスのコストは、相当高くなるため経営者としてはテイル・リスクをカバーした信頼区間まで広げてリスクに備えるという意思決定は採り難いと考える。

一方、損失が少なく発生頻度が多い事務ミスなどはデータを集め易く、統計的手法で計量化が可能であるが、この種のリスクは企業を危機的な状況に陥れることは少ない。この部分は頻繁に発生しており、毎年の費用で損失処理されている。

また、Frank H Knight [2] は不確実性には確率で計測可能な不確実性（これをリスク (risk) とし）と確率では計測不可能な不確実性つまり「(真の) 不確実性 (uncertainty)」の二種類を区別し、両者の相違を基礎として自説を展開している。後者の特徴は、前者と異なって、確率形成の基礎となるべき状態の特定と分類が不可能なところにある。さらに、推定の基礎となる状況が例えば一回限りのように発生頻度が極めて稀で特異であり、「大数の法則」が成立しないという論理を展開し「ナイト理論」として知られている。大数の法則を基盤とした頻度主義に立脚した数学的・統計的確率が存在せず、これは「(真の) 不確実性」であり測定不可能な不確実性であると指摘している。

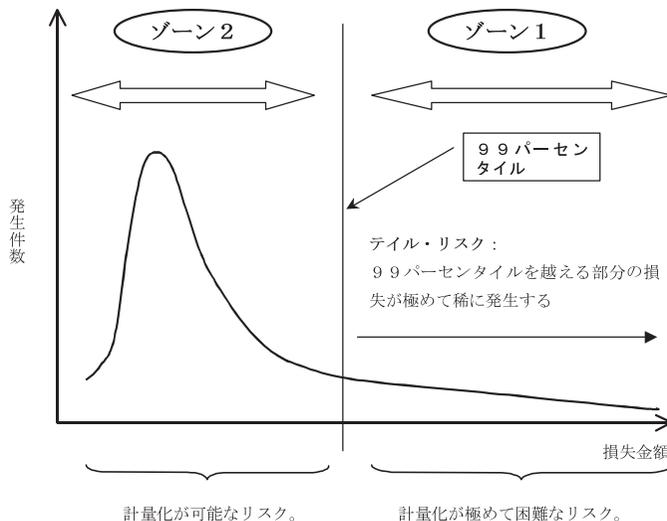


図2 計量化が極めて困難なリスク「ゾーン1」と計量化が可能なリスク「ゾーン2」

以上を総合的に勘案すれば、企業は「大数の法則」が成立しない測定不能な不確実性下のリスク（図2の「ゾーン1」）と、測定可能で計量化ができる不確実性下のリスク（図2の「ゾーン2」）を峻別し、それぞれのゾーンに適したリスク・マネジメントを適用すべきであることが指摘できる。

### 3.2 測定不能な不確実性下における潜在事象の認識の問題点

ここでは、まず、不確実性下における人間の意思決定に関する先行研究について、小島 [4]、酒井 [5] の解説に従い、先行研究の関係を整理する。そのうえで、測定不能な不確実性下における潜在事象の認識の問題点を明らかにしたい。

#### 3.2.1 測定可能な不確実性と測定不能な不確実性の存在

確率の分かっていない環境と確率すら分からない環境の区別を最初に主張したのは、Frank H Knight という経済学者であり [4]、ナイト理論と呼ばれている。酒井 [5] は、ナイトの著書「リスク、不確実性および利潤」 [2] について、以下のように解説している [6]。

「我々の直面する「確率的状況」(probability situation) について、三つのタイプを明確に区別することの必要性を指摘する。

第一のタイプは「先験的確率」(a priori probability) である。その最たるものは、数学的命題である。例えば、サイコロを振って「1の目」の出る確率は六分の一であり、奇数の目（つまり1または3または5の目）の出る確率は二分の一である。これは数学的確率として先験的に決定される。

第二のタイプは「統計的確率」(statistical probability) である。これは、(特定国、特定年次、特定年齢の) 男女の平均寿命や、(特定地域、特定年月日の) 交通事故死亡率ないし(特定地域・年月日時間の) 降雨確率のごとく、経験的に決まる数値である。第一のタイプのような数学的厳密性がないものの、一定の誤差内で経験的に信用できる確率である。

問題となるのは、第三のタイプの確率的状況である。少し不思議なことに、ナイトは「諸々の推定」(estimates) と呼んでいる。「単数の推定」(estimate) ではなく、「複数の推定」(estimates) である点が、ナイトの気配りのするところだろう。私ならば、むしろ「主観的判断」や「個人的評価」と呼びたい気がするが、ナイトがわざわざ「諸推定」と称するのには、それなりの理由があるのかもしれない（これは今では闇の中の推定であろう）。

第三のタイプの確率的状況、つまり諸推定ないし諸判断の特徴は、それらが間違いを犯すことである。これとは対照的に、第一のタイプや第二のタイプに関しては、数学的あるいは経験的に決まっているから、確率の数値に誤りの余地が全く入らない。

前二者のタイプはリスクに関係し、第三のタイプは（真の）不確実性に関係する。その

間の相違は本当に決定的である。』

すなわち、酒井 [5] は、ナイトが提案している不確実性の区分基準は、不確定事象の「測定可能性」であると述べている。そして、上記の第一のタイプは、先験的確率 (a priori probability)、数学的確率であり、また、第二のタイプは経験データから作られる統計的確率 (statistical probability) であるとし、この二つのタイプは測定可能な不確実性 (measurable uncertainty) であり、この部分を「リスク」と対応させているとしている。そして、第三のタイプが確率さえも分からない、過去の生起確率も割り当てることができない測定不能な不確実性 (unmeasurable uncertainty) であり、この不確実性こそが「真の不確実性」(true uncertainty) であると述べている。

### 3.2.2 期待値基準と期待効用基準からナイト流不確実性理論への展開

不確実性を伴う現象に直面した場合の人間の意思決定の判断基準として古典的かつ基本的なものは、大数の法則を基盤とする頻度主義 (客観確率) に立脚した「期待値基準である」。その後、人々の経済行動には、「期待値基準」では説明しきれない部分があることが分かり、新しい説明方法として、フォン・ノイマンとオスカー・モルゲンシュテルン [7] が「期待効用基準」を提示した。小島 [4] によれば、「期待効用基準」は人間の内面や市場や信念などを基盤とするベイズ主義 (主観確率) に立脚する考え方であり、ベイズ主義を唱えるベジアンたちは、大数の法則を根幹に据える規範的な立場にこだわらず、あくまで人間行動の心理的側面を記述することに関心を持っているとしているため、理論の構築にはかなりの自由度が生じているとしている。

小島 [4] によれば、さらにその後「期待効用理論」にさえも合致しない人間行動がいくつか報告されたとしている。そして、その一つとして、「エルスバーグのパラドックス」[8] が有名であるが、これは人々は明らかに「確率の与えられた環境」と「確率さえ分からないような不確実性」とを嗅ぎ分け、後者を嫌うというものであり、「不確実性回避」と呼ばれると述べている。この、「確率の与えられた環境」と「確率さえ分からないような不確実性」による「不確実性回避」を示したエルスバーグの実験によってナイト理論を証明することとなり、ナイトの考えは実体的なものとなり、それ以降一連の研究は「ナイト流不確実性理論」と呼ばれている [4]。

### 3.2.3 加法性を持たない確率

客観確率に立脚した期待値基準でも、主観確率に立脚する期待効用基準でも、エルスバーグのパラドックスは解明できないため、不確実性の評価方法を見直す必要が生じた。そして、既存の確率理論から加法性を取り除けば、エルスバーグ・パラドックスは数理的に説明できることが分かった [4]。

小島 [4] によれば、加法性確率が最初に取り扱われたのは、物理学における量子力学においてであり [9]、その後、ショケという数学者が、静電場の研究において加法性を持たない確率

を使い、コンデンサーに使われる用語にちなんで「キャパシティ」と名付けたとしている。ショケ以降、「加法性を持たない確率」をしばしばキャパシティと呼ぶ。そして、キャパシティ理論は数学では「非加法的確率」と呼ばれる一方、経済学では上述のとおりナイト流不確実性理論と呼ばれていると述べている。

### 3.2.4 不確実性回避をめぐるナイト流不確実性理論の展開

小島 [10] によれば、「エルズバーク・パラドックスが代表する不確実性回避の成功を、キャパシティやマルチプル・プライヤーで説明した [11] のが、経済学者でもあり数学者でもあるデビット・シュマドラー」であるとしている。シュマドラーは「ショケが導入したキャパシティを利用する説明に成功」[10] した。「さらには、アイザック・ギルボアとの共同研究によって、キャパシティ理論とマルチプル・プライヤーにおけるマックスミン原理とが実は同一のものであり、同じことを二つの立場から説明しているに過ぎないことを証明した」[10] としている。

そして、小島 [10] は、「このようにして、不確実性回避をめぐるナイト流不確実性の理論は、重要な数理的理論として広く認知されるようになった」と述べている。

### 3.2.5 過去の経験による帰納的意思決定

さらに、小島 [4] は、近年になってベイジアンたちの中に「経験から引き出す推測」を理論化しようという動きがあることを紹介している。具体的には、過去の経験の中から類似の問題を抜き出して類似度関数を当てはめるというギルボア&シュマイドラーの「事例ベース意思決定論」[12] であり、また、金子・松井によって開拓されつつある経験を基礎とするゲーム理論である「帰納論的ゲーム理論」[13] であり、人は自分の推論を期待値計算ではなく理屈から行動を決定していると仮定している小島本人の「論理的選好」[14] であると述べている。そして、これらは「帰納的」な推測理論だと評することができるとしている。

### 3.2.6 測定不能な不確実性下での潜在事象の識別における問題点

3.2.1 から 3.2.5 で、不確実性下の人間的意思決定に関わる先行研究を、小島 [4]、酒井 [5] に従い整理した。しかし、これらの先行研究を用いても、今回の東日本大震災のような確率さえ分からないような測定不能な不確実性下における潜在的な事象の識別において、「想定外」あるいは「想定しておくべき」という、相反する意思決定が生じることを説明することが難しい。ただし、3.2.5 の過去の経験による帰納的意思決定をさらに拡張させ、測定不能な不確実性下における潜在的な事象の識別における、人間の意思決定を表現するフレームワークの提示が可能なのではないと考える。以下に、その概念フレームワークを提示したい。

#### 4. 測定不能な不確実性下における潜在事象の識別におけるリスク閾値の存在と閾値設定のフレームワーク

測定不能な不確実性下では、小島 [4] が指摘するように人間は自らの「理屈」のようなある判断基準に基づいて意思決定をすると仮定し、人間を以下の三つの判断基準を設定するタイプに分類する。

- ①「潜在的事象の大きさ(V)」を判断基準とするタイプ
  - ②「主観的確率(P)」を判断基準とするタイプ
  - ③「潜在事象の大きさ(V)」と「主観的確率(P)」の両方をミックスして判断基準とするタイプ
- この三通りのタイプの人間が存在し、人によってタイプが異なることを想定する。

測定不能な不確実性下では、人間は上記三つの判断基準のいずれかによってリスク閾値を設定し、潜在的事象がその閾値に達するか否かで意思決定をすると考える。すなわち、閾値を下回っている範囲ではその意思決定を選択し、閾値を超えたらその選択肢は選択しないという行動を取るのである。

概念フレームワークとしては、

閾値を  $y$  とした場合、 $f(V)$  と  $g(P)$  に対する重みをそれぞれに  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  とすると、

$$y = \omega_1 * f(V) + \omega_2 * g(P) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ただし、} 0 \leq \omega_1 \leq 1, 0 \leq \omega_2 \leq 1 \dots\dots\dots (2)$$

と表し、①の場合は  $\omega_1=1$ 、 $\omega_2=0$ 、②場合は  $\omega_1=0$ 、 $\omega_2=1$  のケースであると考える。

#### 5. おわりに

著者は、先行研究 [1] において、不確実性下の「リスク評価」に注目し、リスクの発生頻度が極めて稀であり大数の法則が適用できるリスクと適用できないリスクを区別してリスク・マネジメントを行う必要があることを指摘したが、今回の東日本大震災でその必要性が証明された形となった。そして、新たな問題として、リスクの発生頻度が極めて稀であり大数の法則が適用できない測定不能な不確実性下において潜在的事象を識別する際に、「想定外」あるいは「想定しておくべき」という、相反する意思決定がなされ散見され、測定不能な不確実性下の潜在的事象に識別の問題点が明らかとなった。そこで本研究では、測定不能な不確実性下の「潜在事象の識別」に焦点を当て、不確実性下の人間の意思決定に関する先行研究を整理したうえで、測定不能な不確実性下の潜在的事象の識別におけるリスク閾値の存在と、そのリスク閾値設定のメカニズムを明らかにするフレームワークを提示した。

今後は、このフレームワークを元に測定不能の不確実性下における人間のリスク閾値のメカ

ニズムをモデル化し、「想定外」あるいは「想定しておくべき」という、相反する意思決定がなされる人間の意思決定過程を模写し、今後のリスク・マネジメントの高度化に資する研究に近づきたい。

#### 引用・参考文献

- [1] 上原衛、“発生頻度に注目したリスクマネジメントの概念モデル”、日本経営システム学会誌、Vol. 19, No. 1, pp. 41-47 (2002)
- [2] Frank H. Knight, “Risk, Uncertainty and Profit”, Houghton Mifflin Company (1921)
- [3] 三菱信託銀行オペレーショナル・リスク研究会、「オペレーショナル・リスクのすべて」、東洋経済新報社 (2002)、pp. 189-210
- [4] 小島寛之、「確率的発想法 数学を日常に活かす」、日本放送出版協会 (2004)
- [5] 酒井泰弘、“フランク・ナイトの経済思想—リスクと不確実性の概念を中心として—”、CRR DISCUSSION PAER SERIES, Discussion paperNo. J-19, 滋賀大学経済学部付属リスク研究センター (2012)
- [6] 酒井泰弘、“フランク・ナイトの経済思想—リスクと不確実性の概念を中心として—”、CRR DISCUSSION PAER SERIES, Discussion paperNo. J-19, 滋賀大学経済学部付属リスク研究センター, pp. 10-11 (2012)
- [7] フォン・ノイマン、オスカー・モルゲンシュテルン、「ゲーム理論の経済行動」銀林浩ほか訳、東京図書 (1997-73)
- [8] Ellsberg, D., “Risk Ambiguity and the Savage Axioms”, Quarterly Journal of Economics, 75, pp. 643-669(1961)
- [9] 小島寛之、「数学の遺伝子」日本実業出版社 (2003)
- [10] 小島寛之、「確率的発想法 数学を日常に活かす」、日本放送出版協会、p. 124(2004)
- [11] Schmeidler, D., “Subjective Probability and Expected Utility without Additivity”, Econometrica, 57, pp. 571-587(1989)
- [12] Gilboa, I. and Schmeidler, D. A, “Theory of Case-Based Decisions”, Cambridge UP(2001)  
イツァーク・ギルボア、デビッド・シュマイドラー「決め方の科学」、浅野貴央、尾山大輔、松井彰彦訳、勁草書房 (2005)
- [13] 松井彰彦、「習慣と規範の経済学」、東洋経済新報社 (2002)
- [14] 小島寛之、「限定合理性とその成長・環境配分問題への応用」、「フィナンシャルレビュー」44号、大蔵省財政金融研究所編 (1997)