

## リスク、不確実性およびセキュリティ

池田信夫

上武大学大学院経営管理研究科

### はじめに

最近、セキュリティの強化が重要な課題となる中で、企業の危機管理やガバナンスの強化が説かれるが、その場合のガバナンスとは、単に法律を遵守することや情報の機密性を強めることを意味していることが多い。特に日本企業には、個人情報保護にみられるように、費用対効果を考えないで「完璧」を求める傾向が強い。しかし Schneier(2003)も指摘するように、セキュリティは第一義的には経済問題である。100%の情報セキュリティを実現するのは簡単である。情報機器を使わなければよい。したがって問題はリスクをゼロにすることではなく、許容できるリスクはどの程度で、コストはどれくらい負担してもいいのかという制約条件を明示した上で、どの程度のリスクがあるかを予測し、どういうセキュリティ対策をとればもっとも効果的かを考えることである。

費用対効果を評価する場合、もっともむずかしいのは、将来どのような損害がどの程度の確率で発生するのかという予測である。従来のベイズ的な意思決定理論では、主体が事象の確率分布を知っていると仮定してその期待値を考えてきたが、このような理論は実際の企業経営にはほとんど役立たない。現実には企業の直面するリスクは、サイコロの目のように客観的な確率で与えられることはまずなく、事故の発生を事前に予想することさえ不可能な場合が多いからである。

このような場合、情報システムを提供する業者は、考えうる最大限のリスクを想定して100%完璧を期すシステム設計を提案し、顧客の側も（特に官庁のように依頼人がコストを負担しない場合）システム業者のいうままに高価で無意味なセキュリティ・システムを調達することが多い。その結果、わずか10GBytes程度のデータを守るために「全国センター」を400億円で建てて24時間体制で警備し、年間200億円かけて専用線で自治体と結ぶ住基ネット（住民基本台帳ネットワーク）のような社会的浪費が生じる。

リスクを評価するときには、こうした過剰反応が起こることが多いが、最近の経済学ではこのような「不合理」な行動を合理的に理解するためのツールが開発されている。ここでは、そうした研究の成果をごく簡単にサーヴェイし、それを応用して情報ガバナンスの基礎となるリスクと不確実性をどのように評価すべきかを考える。

## 1. リスクと不確実性

フランク・ナイトはその古典的著作『リスク、不確実性および利潤』(Knight 1921)において、自然現象のように繰り返し起こり事象の確率分布が客観的に知られているリスクと、事業の成功のように 1 回限りで確率分布そのものがわからない不確実性を区別した。リスクは基本的には保険などの金融商品でヘッジ可能であり、いわば事務的な問題として処理できるが、確率分布がわからない(起こるかどうかもわからない)不確実性は、経営者の決断によってしか処理できず、それが利潤(あるいは損失)の源泉だというのがナイトの理論である。

同じころ、ケインズは『確率論』(Keynes 1920)で、確率と証拠の重みを区別し、確率が完全にわかっている場合と不確実にしかわからない場合では、人々の行動は異なると考えた。収益の分布が確実にわかっているならば、投資家はその平均値を想定して投資を行なうが、収益を推定する根拠がない場合には、収益は低いが確実な資産である貨幣を保有しようとする。これが、のちの流動性選好の理論の基礎になった。

このようにリスクと不確実性の違いは 80 年以上前から指摘されていたにもかかわらず、その後の確率論や意思決定理論にはほとんど取り入れられなかった。特にフォン・ノイマン・モルゲンシュテルン効用関数によって期待効用が定義され、Savage(1954)によって主観的確率が公理的に構成されると、その後の意思決定理論やゲーム理論の多くは、こうした公理的確率論にもとづいて構築されるようになった。1970 年代から始まった金融工学では、ブラック＝ショールズ公式に代表されるように、価格変動がランダム・ウォークで、その確率が正規分布に従うと仮定してリスクをヘッジする技術が高度に発達した。

しかし金融技術でヘッジできるのは、ナイトの分類でいえばリスクであって不確実性ではない。その違いを示す象徴的な出来事が、1997 年のアジア通貨危機から始まった金融危機の中で起こった LTCM(Long-Term Capital Management)の破綻だった。ショールズとマートンという 2 人のノーベル賞受賞者を擁した LTCM は、ロシア国債など理論価格に比べて過小評価されている債券を大幅に買い越し、金利スプレッドが縮まるのを待って売ろうとしたが、世界的なパニックによって金利スプレッドは逆に拡大し、ロシア政府は債務不履行を宣言して、LTCM の経営は破綻したのである。

リスクと不確実性の違いを(今日でいう)実験ゲーム理論の立場から明確に定義したが、Ellsberg(1961)の思考実験である<sup>1</sup>。これは簡単にいうと、次のようなものだ：

A と B の二つの壺に赤と黒の玉を入れる。A には赤が 50 個、黒が 50 個入っているが、B にはどちらかの色の玉が 100 個入っている(たとえば赤は 0 個かもしれないし 100 個かもし

---

<sup>1</sup> エルズバーグは 1971 年、ベトナム戦争に関する国防総省の機密書類、いわゆるペンタゴン・ペーパーをニューヨーク・タイムズに提供し、国家機密漏洩などの罪で起訴されたが、違法捜査が行なわれたため、公訴棄却となった。

れない) この二つの壺から 1 個とり、それが赤だったら 100 ドルもらえるとすると、あなたはどちらの壺に何ドル賭けるか。

サヴェジの主観的確率の公理系では、A も B も同じように扱われるが、実際に賭け金を使って行なわれた実験では、エルズバーグの思考実験と同様、つねに A への賭け金の方が B よりも有意に高い。たとえば Fox-Tversky(1991)の実験では、A が 24.34 ドルなのに対して B は 14.85 ドルだった。これを主観的確率の表明と考え、A で赤が出る確率を  $A(r)$ 、B で黒が出る確率を  $B(b)$  のように表記し、選好関係を等号と不等号で表記すると、

$$A(r) = A(b) > B(r) = B(b)$$

となる。 $A(r)+A(b)=1$  だが、 $B(r)+B(b) < A(r)+A(b) = 1$  だから、B についての主観的確率の和は 1 より小さくなり、サヴェジの公理 (加法性) を満たさない。これは人々の意思決定が合理的な確率論とは異なる基準で行なわれていることを意味する。ほとんどの被験者が「半分の確率で赤い玉を引くこと」のほうが「赤い玉を引く確率が 0 から 1 の間であること」よりも好ましいと考える、つまり不確実性回避的なのである。

この結果を合理的に解釈する試みとして、Gilboa-Schmeidler(1989)がある。壺の中の玉の確率 (事前確率) が一つではなく複数あると想定し、状態  $s$  の集合  $f(s)$  と  $g(s)$  を考えると、エルズバーグの実験結果は次のようにあらわすことができる：

$$f > g \text{ となるための必要十分条件は、} \min \int u(f) dp > \min \int u(g) dp$$

ここで  $u$  はフォン・ノイマン・モルゲンシュテルン効用関数、 $p = p(s)$  は確率測度である。これは簡単にいうと、複数の確率分布がありうるとき、その最悪の場合の期待効用を最大化するマクシミン原理を示す。つまり壺 B の中の確率分布として想定される最悪のケース (赤が 0) よりも壺 A の確率 (赤が 0.5) のほうが高いため、壺 A が選好されると考えるわけである。

同様にエルズバーグの実験を合理的に説明しようとしたモデルとして、Bewley(1986)がある。これは主観的確率 (選好の可能性) が複数あり、しかもそれらが必ずしも整合的ではないと仮定するものである。このように選好に不完備性がある場合には、主体はいろいろな場合を想定して、どの場合にも現状より望ましい状態を選ぶ。すなわち

$$f > g \text{ となるための必要十分条件は、すべての } u \text{ について } \int u(f) dp > \int u(g) dp$$

となることである。ここで  $g$  を現状 (期待利得はゼロ) とすると、 $f$  がすべての場合に  $g$  を上回るということは、絶対に損をしないということだから、このような不完備選好のもとでは、現状維持が最適の選択となりやすい。

## 2. 行動経済学

リスクや不確実性に直面した人間の行動を、合理主義的理論ではなく実験によって実証的に解明しようというのが行動経済学である。Kahneman-Tversky(1979)は多くの実験の結果を踏まえて、図1のような曲線であらわされる価値関数を提案した。その特徴は、第1に価値は利得の絶対値ではなく、現状との差分で決まることである。図の原点は利得がゼロの状態ではなく、現状(参照点)である。第2に、正の価値と負の価値が非対称になっていることだ。価値は、正の方向へも負の方向へも、最初は高く評価され、次第に逓減する通常の効用関数とよく似た曲線を描くが、損失は利得よりも強く意識され、ある額の利得よりも同額の損失のほうが重要な問題と評価される。これは人々の選好がリスクについて中立ではないことを示している。

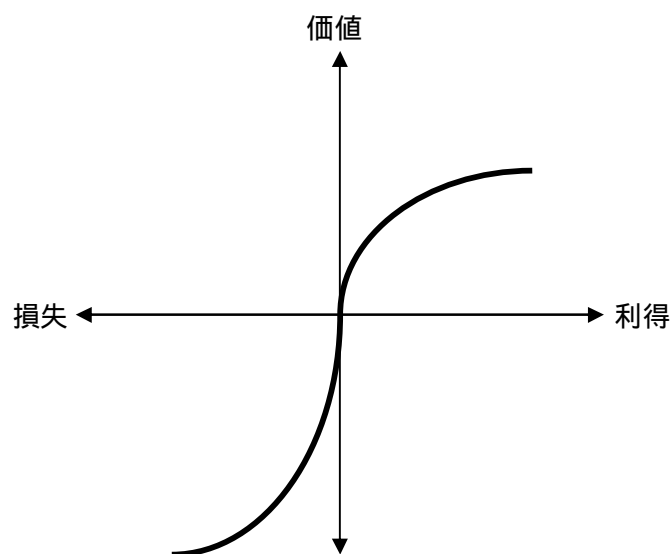


図1 価値関数

さらに不確実性に直面した場合、被験者が事象の確率を意思決定においてどう重みづけるかについて Tversky-Kahneman(1992)は、実験の結果から図2のような確率加重関数を導いた。確率のきわめて低い現象、たとえば宝くじの1等に当たるという事象の確率は、ゼロより少しでも高いと本来の確率よりも高く評価されるが、その確率が2等、3等と高まっても、評価は比例して上がらず、中間的な確率は相対的には低く評価される。これに対して、確率1で(必ず)起こる事象と少しでも不確実な事象との差は大きく意識される。

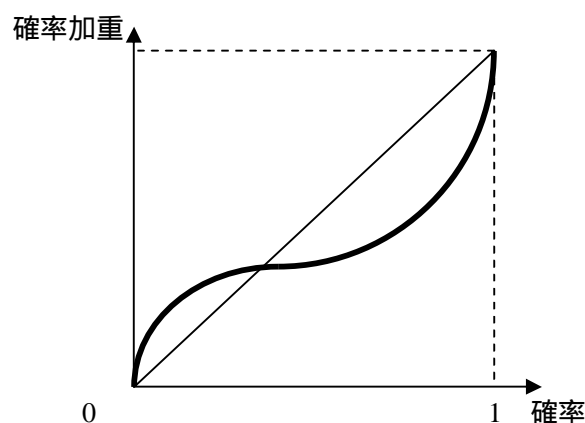


図2 確率加重関数

このように人々が確実な出来事を特に高く評価する効果は、「アレのパラドックス」として古くから知られている(Allais 1952)。ここからいえる経験的な結論は、人々は利益を好む以上に損失を恐れること、そして確実な出来事を（期待効用が低くても）不確実な出来事よりも好むということである。これは実験的にはきわめて強固な結果であり、民族や文化の違いにもほとんど依存しない。

### 3. 経済物理学

現実の人々の行動がこのように「感情的」だとすれば、それを非合理的な行動と断じてバイアスのない客観的評価だけを基準にしてセキュリティの設計を行なうことは必ずしも正しくない。むしろこうしたバイアスを計算に入れ、それを中立化する設計が必要である。特に重要なのは、予想外の形で出現して大きな影響を与える極端な現象である。アジア通貨危機や同時多発テロのような危機は突然、予測不可能な出来事として起こり、それがパニックを誘発して危機がさらに増幅される、という正のフィードバックを引き起こすことが多い。これは経済学の均衡理論が想定しているような負のフィードバックとは異質なメカニズムである。こうした現象は 1 回きりなので、正規分布のような分布関数を描くことはできず、期待値や分散も意味を持たない。Taleb(2007:p.275)はこのような現象を「黒い白鳥」とよび、過去 50 年間に株式市場でのリターンの半分は、もっとも極端な値動きを見せた 10 日間で上がったと論じている。

実際の株式市場や為替相場の値動きの幅について詳細なデータをとると、連続的に損失が拡大する「ドローダウン」による累積損失は、たとえば過去 100 年間のダウ・ジョーンズ工業平均株価では、図 3 のようなベキ分布になっている(Sornette 2003 : 訳書 p.58)。直線の傾きで表されるベキ指数は、ここでは 0.63 である。両座標軸に対数をとると、損失はおおむね直線状に分布し、特に損失の大きい部分（1987 年の「ブラック・マンデー」など）

では、そのベキ分布よりもさらに大きな損失が出ている<sup>2</sup>。1日でも30%以上も株価が下落したブラック・マンデーのような極端な出来事は、通常の正規分布では100兆年以上に1度しか起こりえないが、現実には世界のあらゆる株式市場でほぼ一様に（ベキ指数は異なるが）みられる。こうした実証データを非線形の物理学で分析する経済物理学も、成果を上げはじめている。

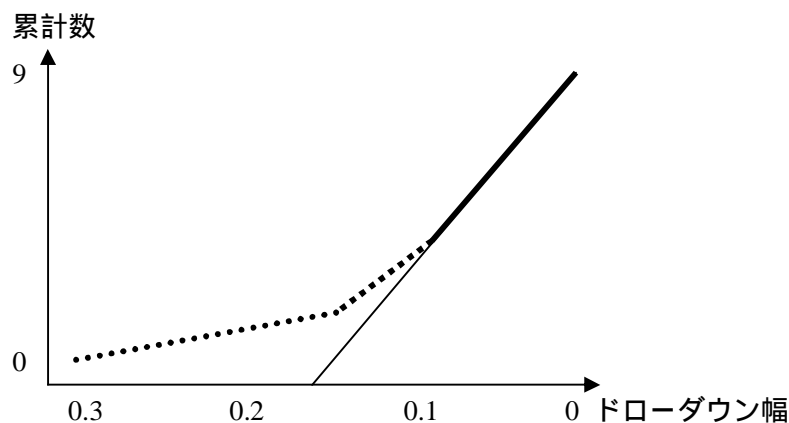


図3 ダウ・ジョーンズ指数のドロウダウン

#### 4. 不確実性にどう対応するか

アメリカ連邦準備制度理事会のアラン・グリーンスパン議長（当時）は、1998年の世界的な金融危機を次のように分析した：

こうした危機は、市場参加者が非流動的な資産を現金に換えようと努力したために生じたものである。不確実性、とりわけナイトの不確実性に直面すると、人間はだれでも中長期的な投資からのがれて安全性や流動性に逃避しようとする。(Greenspan 2004)。

このような確実性への逃避は、一定の規模を超えると群衆的パニックとなって、経済全体に大きな影響を与える<sup>3</sup>。最近のサブプライムローンをめぐる問題は、その一例である。サブプライム自体の残高は、世界の証券市場の1.4%にすぎないが、不安がそれを組み込んだ資産抵当証券に広がり、さらに証券市場全体に確実性への逃避が広がっている。

こういう場合の緊急対策として世界の金融当局がとる対策は、まず迅速に大量の流動性

<sup>2</sup> 図では大体のトレンドを直線で示したが、実データでは、ベキ分布から離れたデータはきわめて少なく、点在している。

<sup>3</sup> Dow-Werlang(1992)は Gilboa-Schmeidler(1989)のマクシミン原理を金融市場に応用して、不確実性回避が過少投資を引き起こすことを示し、Rigotti-Shannon(2005)は、Bewley(1986)の不完備選好の概念によって、不確実性が大きい場合には市場に非決定性が生じ、取引が停止する均衡とリスクのない資産に取引が集中する均衡が生じることを示している。

を供給して金融機関の破綻を防ぎ、問題の所在を特定して情報を積極的に開示し、パニックが金融システム全体に広がるのを防ぐことである。こうした政策は、グリーンズパンが「ナイトの不確実性」という言葉を使っているように、以上のような経済学の成果を反映している。不確実性回避的な行動が生じるのは、人々が個々の事象の確率分布を知らないためだから、銀行が個々の資産のリスクを公表すれば、無差別的な確実性への逃避はある程度、防ぐことができる。公表されたリスクがたとえ高くても、無知よりはましである。

中長期的には、こうした逃避を予防する政策が重要である。たとえばエルズバーグの実験で、被験者が赤の出る確率と黒の出る主観的確率をともに 40%と予想すると、その合計は 80%だから、彼らが賭けに参加するインセンティブは、最適な水準に比べて 20%低くなる。観察される経済変動が（特に負の方向に）激しいときには、こうした不確実性回避によって投資資金の供給が減り、金利が投資の限界効率よりも高くなるため投資が減退する、というのがケインズの流動性選好理論である。

同様の「合成の誤謬」がセキュリティにも生じている。個々の企業にとっては不確実性を回避することが主観的に好ましくても、社会全体としては過剰なセキュリティによって経済活動が阻害され、人々がリスクをとろうとしなくなる。ナイトによれば、利潤の源泉は不確実性のもとでの「冒険」だから、それが減退することは経済全体を萎縮させる結果になる。西暦 2000 年の初めに世界中のコンピュータがダウンするといわれた「2000 年問題」や、2001 年の同時多発テロの直後に起こった極端なセキュリティ強化の動きは、こうした集団的な確実性への逃避の一種といえよう。日本では、個人情報保護法がそうしたバイアスをさらに強めた（池田 2003）。

セキュリティの価値を依頼人が満足するかどうかで評価するなら、このようなバイアスのもとで過大評価されたリスクを最大のコストをかけて守ることが合理的な対策だ、という定義も可能である。システム業者にとっては、このバイアスを利用して利潤最大化することが合理的な行動ということになる。しかし、こうしたバイアスにもとづくシステム設計は、依頼人に損害を与えるばかりでなく、社会的な外部性を及ぼし、セキュリティの過剰供給を引き起こす。最近では、エンロンやワールドコム的事件のあとアメリカで制定された企業改革法（通称 SOX 法）のように内部統制を過剰に要求すると、会計コストが企業経営を圧迫し、ベンチャー企業の上場が困難になったり資本逃避が起こったりする。

ケインズは、流動性選好を抑制する手段として、「貨幣スタンプ」を提案した。これは毎月、政府に一定の料金を払って貨幣にスタンプを押してもらわないと、その貨幣が無効になるという制度で、いわば貨幣に負の金利をかけるものだ。このスタンプの料金を市場金利と投資の限界効率の差にあわせれば、貨幣需要が減って資金需給が好転し、投資水準が最適化される (Keynes 1936:p.357)。

もちろんこれは思考実験にすぎないが、同様の考え方は情報セキュリティにも応用可能である。個々の企業の主観的なリスク（不確実性）評価が過大で社会的に最適な水準から乖離しているときは、情報セキュリティ保護を政府が推進するのではなく、むしろセキュ

リティのコストをなるべく各企業に負担させることが望ましい。企業秘密の漏洩はその企業の損失になるので、企業にはそれを守るインセンティブがある。個人情報の漏洩は、パスワードなどの金銭的な損失に結びつく情報以外は、社会的には大した問題ではない。それを大きな損失と評価する人は、司法的に争えばよいのであって、個人情報保護法のように一律に行政処分を課す必要はない。セキュリティの問題は基本的に民間ベースで解決し、情報漏洩についても刑事罰や行政処分を課さず、当事者同士で民事的に解決するための紛争処理機関(ADR)を整備することが望ましい。

## 5. むすび

セキュリティの最適水準を決めるのはむずかしい。その基礎となる不確実性が主観的であり、各企業ごとにばらばらだからである。また各企業にとって好ましくても、社会全体としては過剰防衛となるケースがしばしば見られる。特に、この種の事件についてのメディアの報道が、バイアスを強めることが多い。よく起こる(リスクの高い)出来事ほどニュース価値は低く、逆にめったに起こらない(リスクの低い)極端な出来事ほどニュース価値が高いからだ。Schneier(2003)も指摘するように、アメリカ人が1年間に自動車事故で死ぬ確率は1/7500だが、テロで死ぬ確率は1/100万以下である。しかし報道の量は圧倒的に後者のほうが多いため、リスクの評価がゆがめられ、社会的な浪費が生じる。

企業にとって、企業秘密などの重要な情報はIDカードなどの常識的なセキュリティ技術で十分防げる。またインターネットでは日常的に大量の情報が漏洩し、違法に複製されて流通しており、これは交通事故よりも軽微でありふれた出来事である。むしろ問題なのは、ちょっとした個人情報漏洩などの情報管理の不備がスキャンダルとして大々的に報道され、企業経営を脅かすリスクである。これについてもファイナンスの場合と同様に、迅速な情報開示による疑心暗鬼の防止が重要である。メディアは、前述のように珍しいリスクを誇大に報道するバイアスをもっているため、これを打ち消すには、あらゆる企業がこうしたトラブルを細大もらさず公表し、交通事故のように「おもしろくないニュース」にすることが効果的だろう。

## 参考文献

- Allais, M. (1952) “Fondements d’une Theorie Positive des Chix Comportant un Risque”, *Econometrie*, 15:257-332.
- Bewley, T.F. (1986) “Knightian Decision Theory: Part I”, Cowles Foundation Discussion Paper, <http://cowles.econ.yale.edu/P/cd/d08a/d0807.pdf>
- Dow, S.R. and Werlang, S.R.C. (1992) “Uncertainty Aversion, Risk Aversion, and the Optimal Choice of Portfolio”, *Econometrica*, 60:197-204.

- Ellsberg, D. (1961) "Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms" *Quarterly Journal of Economics*, 75: 643-669.
- Fox, C.R. and Tversky, A. (1991) "Ambiguity Aversion and Comparative Ignorance", *Quarterly Journal of Economics*, 110:585-603.
- Gilboa, I. and Schmeidler, D. (1989) "Maximin Expected Utility without Additivity", *Journal of Mathematical Economics*, 18:141-153.
- Greenspan, A. (2004) "Remarks by Chairman Alan Greenspan at the Meetings of the American Economic Association", <http://www.federalreserve.gov/BoardDocs/Speeches/2004/20040103>
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979) "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk", *Econometrica*, 47:263-91
- Keynes, J.M. (1920) *A Treatise on Probability*, Macmillan.
- Keynes, J.M. (1936) *The General Theory of Employment, Interest and Money*, Macmillan.
- Knight, F.H. (1921) *Risk, Uncertainty and Profit*, Chicago University Press.
- Rigotti, L. and Shannon, C. (2005) "Uncertainty and Risk in Financial Markets", *Econometrica* 73: 203–243.
- Savage, L.J. (1954) *The Foundations of Statistics*, John Wiley & Sons.
- Schneier, B. (2003) *Beyond Fear: Thinking Sensibly about Security in an Uncertain World*, Copernicus Books. (邦訳『セキュリティはなぜやぶられたのか』日経BP社)
- Sornette, D. (2003) *Why Stock Market Crash*, Princeton University Press. (邦訳『[入門]経済物理学』PHP研究所)
- Taleb, N.N. (2007) *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*, Random House.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1992) "Advance in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty", *Journal of Risk and Uncertainty*, 5:297-323.
- 池田信夫 (2003) 「個人情報isdだれのものか」経済産業研究所ディスカッションペーパー、  
<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/summary/03030009.html>