リスク学と確率論の狭間で

木 下 富 雄

A Delicate and Unique Relationship between the Probability Theory and the Science of Risk

Tomio KINOSHITA

Although the mathematical bases of risk are not entirely derived from the probability theory, the two have a delicate and unique relationship. At the origin of the science of risk, insurance companies flourished in the 17th and 18th centuries, where the calculation of insurance premium was based on probabilistic concepts, especially those developed by Pascal. Distinguished mathematicians such as Huygens, Bernoulli, and Bayes all belonged to this era. The probability theory was often used for risk analysis with relatively simple structures such as chemicals and toxicology, and this tendency is still dominant today. However, as risk targets expanded to include complex and non-linear phenomena such as environmental and social risks, the conventional, simple probability theory proved inadequate. In particular, probabilistic tools cannot be used to assess the complex mechanisms of low-level radiation risk. Moreover, huge earthquakes and nuclear power plant meltdown incidents that have a low frequency of occurrence but devastating repercussions cannot be approached with the probability theory. The appropriate mathematical model for such risks has not yet been developed.

Key words: probability theory, risk science, cultural difference

キーワード: 確率論, リスク学, 文化差

1. リスク学の源流としての確率論

1.1. リスクが概念化された時代的・経済的・学問的背景

リスクという概念がいつごろ誰によって唱えられたのかは定かでない。例えばリスク概念のルーツは、古くバビロニアのラクダ隊商にあったという説がある(東京海上, 2004)。商人にお金を貸与して成功すれば儲けの分け前を受け取り、失敗すれば商人の担保を受け取る仕組みであったと言われている。ここにリスクという言葉は登場しないが、概念的にはリスクヘッジの発想が明らかに見て取れよう。これ以外にも後述する「原始的保険」と呼ばれる制度などリスク概念に繋がるエ

ピソードはいろいろあるようだが、科学史の専門家でない私には確かなことは分らない。

だが素人なりにこれらのエピソードを通覧していると、15~17世紀を中心とした大航海やほぼ同時代のルネッサンスに象徴されるチャレンジング精神をベースとして、現実社会における災害を経験する中から学び取ってきた実務的な発想と、それとはまた別に発展してきた数学的確率論という三つの支流が結びついて、リスクという概念が大河として浮かび上がってきたように思える。以下にその具体的な背景を述べよう。

1.2. 大航海に象徴されるチャレンジングな時代精神

まず15世紀から17世紀にかけての大航海の時代(Age of Discovery)であるが、これについては皆さんもよくご存じだろう。ヨーロッパの人びとの間に「ジパング」という国では、黄金や絹がウソのように安い値段で手に入る」などといった類のうわさが拡がり、そ

(公財) 国際高等研究所フェロー・京都大学名誉教授
(International Institute for Advanced Studies)

連絡先: 〒619-0225 京都府木津川市木津川台 9-3

E-mail: tomio.kinoshita.74n@st.kyoto-u.ac.jp

れに乘せられた冒険野郎どもが、こぞって未知の大海に乗り出した歴史を思い出して欲しい。まだ優れた羅針盤もない時代のことであるから、大多数の船人は嵐に遭ったり、絶壁や氷山にぶつかりあえない最期を遂げたが、中には奇跡的に成功して巨万の富を手に入れた人がいた。これがリスクの語源なのである。

すなわちリスク (risk) は英語であるが、この元になっているのはフランス語の *risque* である。その元はイタリア語の *risco* であり、さらにその元は俗ラテン語の *risco* に遡れる。その動詞形を *risicare* というが、これは「絶壁の間を縫って航行する」という意味であるという (上村, 2003; 新英和大辞典, 2002)。

このようにリスクという言葉のもともとの意味は、冒険とか、危険を冒してチャレンジするという、能動的なニュアンスを持っていることがお分かりであろう。それをよく物語るものとして、イタリアには“*Chi non risica non rosica*”という格言があり、これは「リスクを冒さないものは儲けもない」という意味である (ここで *risica* というのが上述の *risicare* の三人称単数)。日本の格言なら、さしずめ「虎穴に入らずば虎兇を得ず」という表現になろうか。

1.3. 災害を経験した中から学び取った経験知

次に現実の災害経験がリスク概念の形成にもたらした影響を述べよう。人類は昔から自然災害、火災、盗難、物品破損など、さまざまな物的被害を蒙り続けてきた。前近代的社会において人びとは、その経験の中から血縁、地縁、職縁、宗教的繋がりといった共同体を基礎とする、互報酬の一相互扶助的な制度や慣習を作り上げたい。これが「原始的保険」と呼ばれるもので、共同体によるリスク管理の原型であるという (田村, 2006)。

田村によると、この原始的なシステムが10世紀ごろ、地中海交易の発展に伴い、ビジネスの世界に浸透し始めたらしい。それが13世紀になってから、商人の間で、今でいう海上保険に近い形で具体化することになった。それまでの共同体という狭い枠を超えて、利害関係者の間で結ばれる、契約と計算を基礎とした原始的リスクヘッジ手法の誕生である。そして先述した15~17世紀の大航海が、市場の拡大と、リスクを冒してベネフィットを求める行動規範を刺激することになった。

このリスクヘッジという概念がさらにビジネスとして一般化ようになったのは、17世紀のイギリスと

言われている。契機となったのは1666年のロンドン大火 (The Great Fire of London) であり、これへの対応の必要性に迫られた商人たちは、建築業者でかつ医師であったニコラス・バーボン (N. Barbon) のアイディアを元に、世界で最初の火災保険業を1667年に設立させた。それがファイア・オフィス社 (The Fire Office) である。海上保険業の基礎を作ったロイド社 (Lloyd's) の設立は1688年ごろであり、その設立のエピソードも興味深いがここでは省略する。

また生命保険業の設立は、遺族の生活保障を目的に設立された1706年のアミカブル・ソサエティ (Amicable for Perpetual Assurance Society) が最初であったが、その仕組みに不備があり不評であった。そこでこれに数学者のドッドソン (J. Dodson) が、平準保険料という確率的発想を導入して近代化したのが、1762年に設立されたエクイタブル・ライフ社 (Equitable Life Assurance Society) といわれている。ともあれ、17世紀の後半から18世紀の初めは、リスクの概念をもとに、保険業というビジネス・モデルが成立した記念すべき時期といえよう (酒井, 1995; 田村, 2006)。

1.4. 確率論の発生

さてこれまで述べたように、元はといえば実学的要請によって育まれてきたリスク概念であるが、それと平行して学問の世界でも、リスク概念に繋がる数理的な研究が進められていた。たとえばBernstein (1996) によると、リスクの現代的な考え方のルーツはヒンズー・アラビア式の数字システムに見いだされ、このシステムは今からおよそ700~800年前に西洋社会に普及していくが、本格的な研究が始まったのがやはりルネッサンスの頃であるという。すなわちルネッサンス全盛の1654年に、フランスの教養人Méré, C.deが、数学者Pascal, B.に骰の出目やゲームの賭金に関する質問をしたのがきっかけで、Pascalは数学者であり法律家でもあったFermat, P.deと、書簡で解法の確認をしながらこの問題を解いた (竹内, 1989)。これがリスク概念の数学的基礎となる確率論の発見に繋がるが、その子細についてはさらにHacking (2006) を参照して欲しい。

このPascalとFermatの確率論と同じ頃、現代のリスク学に繋がる数理的研究が、ヨーロッパで続々と声を上げ始めることになった。たとえばオランダのHuygens (1660) による「チャンスの価格」や、Bernoulli (1738) による「期待効用基準」や、Bayes, T. & Price

(1763) による「主観確率論」の提唱がそれである。そして 20 世紀になってから、Knight (1921) がこれらの概念を経済学に本格的に導入し、有名な「リスク、不確実性および利潤」を上梓した。そしてそれを新しい視点から飛躍させたのが、von Neumann & Morgenstern (1944) による「期待効用理論」だといわれている (酒井, 2006)。

このあたりの詳しい解説は酒井 (2006) のほか、Bernstein (1996) や Hacking (2006) や吉田 (2014) を始めとする優れた類書に委ねることにしたいが、リスクという概念が、大航海やルネッサンス時代を通じて高揚していた「冒険を厭わない」時代精神を基礎として、大災害の経験の中からリスク回避法を探っていた商人たちと、それに理論的根拠を与える確率という数学的手法が、15 世紀から 17 世紀という時代に結びついて、花を開かせたことがお分かり頂けたと思う。

2. リスク観の文化差

2.1. 欧米のリスク観

前章で述べたようにリスクという概念は、その出自において地域 (主として欧米) が醸し出す、文化的・歴史的・時代的な要因に彩られていることが明らかである。その結果として欧米で論じられるリスクとは、一言でいえば「能動的」「積極的」「選択的」「チャレンジング」というイメージの概念といえよう。

かつてサッカーの日本代表チームの監督を務めたイビチャ・オシム (Ivica Osim) が、「リスクを取らない選手は、このチームから出ていって貰う」と選手にハッパをかけたが、これは欧米人にとって当然の発想に過ぎない。また本の題名に「リスクー神々への反逆」 (原題: Against the Gods) というように、自然災害ですら単純に受け入れるのではなく、それと闘う姿勢を示した Bernstein (1996) の言葉の中にも、欧米のリスク観が現れているといえるのではないかな。

2.2. 日本のリスク観

それでは日本におけるリスク観はいかなるものだろう。それを一言でいえば、「受動的」「消極的」「天から降ってきた迷惑なもの」「危険」とでもいった、正反対のイメージ概念ではなからうか。自分は良い子で何も悪いことをしていないのに、突然災厄が天から降ってきて、大迷惑をしているという感覚といっても良いだろう。事実、日本の国語辞典でリスクという言葉を引き

いてみると、ほぼ半分の辞典はリスクを危険と誤訳していることが分かる (例えば、岩波国語辞典)。

その背後には、リスク概念を作りだした 15~17 世紀における西欧の 3 つの支流が、日本にはどれもなかったことが関係している。つまり日本は島国で地政学的に見て外敵の侵入リスクが低く (これについては反対論もあるが)、国策として大航海とは反対に鎖国をしていた。国内的に見ても日本は類似民族・類似言語・類似文化で価値の対立が相対的に乏しく、産業形態も元々は農業を基本に出発し、結果としてモビリティが低いという、独特の「安全」で「静的」な国柄である。諺通り「安全と水はタダ」だったのである (木下, 2013; Kinoshita, 2014)。

ではそこでどのようなリスクがあるかということ、地震、台風、火山の噴火といった自然災害である。ことに地震リスクは強烈で、陸地面積は世界全体の 0.25% に過ぎない小国なのに、世界全体の地震エネルギーのなんと 20% が日本で放出されているという、日本は世界随一の地震大国なのだそう (土岐, 2011)。そして自然災害のリスクは、いわゆる「involuntary」で「uncontrollable」なリスクの典型といえよう (Covello, McCallum, & Pavlova, 1989)。日本人は、どこへ居を移しても地震や台風から逃れられない環境に置かれているのである。

このような環境に長年慣らされた日本人は、結果として、天から降ってくる災害リスクはそのまま受け止めざるを得ないという、受け身的な宿命観、ないし諦観を持つに至ったというのが Reischauer (1977) の考え方で、彼はこれを「タイフーン・メンタリティ」と呼んだ。「天災」という伝統的な表現も同じイメージであろう。

言葉を換えると、貿易とか都市火災といった、もともと「voluntary」で「controllable」なリスク環境のもとに出発した西欧のリスク概念と、自然災害を典型とする「involuntary」で「uncontrollable」なリスク環境から出発した日本のリスク概念の違いといえよう。これを一言でいえば、西欧のリスクが「攻め」のリスクといえるのに対し、日本のそれは「守り」のリスクといえるのではないかな。先に挙げたサッカーの例で言えば、日本の選手はフォワードの選手ですら積極的にゴールを直接狙うことをせず、より確実に得点してくれそうな選手にラストパスを出したがる。そして冒険的にシュートを狙う選手に対しては自己中心的、チームの和を乱すと非難する。(この風潮は最近少し変わりつつあるように見えるが)

以上に述べたように、日本人のリスクの捉え方は外国のそれと少し異なっている。リスクの土台となる確率についての数理的な考え方には文化差はそれほどないのだが、その確率をどのように感じるか、またそれにどのように向き合うかという点で大きな差があるように見える。そしてそのことが、最近流行する「安全と安心」というスローガンに関係してくるのではないかと(木下, 2009c; 2013)。すなわち日本で「リスク」という学問的に正しい言葉を用いずに「安全」というあいまいで情緒的な言葉が幅をきかせるのは、人びとが、リスクという言葉の中に含まれるネガティブなイメージを嫌うからなのである。マスコミの科学部の記者に、マスコミでリスクという言葉を使うときどのような基準で考えるかと問えば、「市民が怖がること」という答えが返ってきた。日本はリスク社会ではなく「不安社会」なのである。

3. リスク学と確率論の蜜月関係

3.1. リスク概念の大衆化

17世紀を中心に発生したリスクという概念は、その後ヨーロッパのさまざまな国で独自の発展を遂げるようになる。例えばイギリスでは、貴族の社交として始まった競馬を対象として、18世紀の末には賭屋が登場し庶民にも賭事が広がることになった。いわゆるブックメーカーの誕生である。1960年代に「賭事遊技法」が施行され、賭事が公認されるようになり、それにつれて賭事の対象はスポーツ、選挙結果、天気予報、芸能界や政界の出来事など、あらゆるものに広がった。ブックメーカーは現在全英で7千店ほど存在するが、彼らは自分でオッズを設定して、顧客と知恵比べをするわけである。一種のリスク・アセスメント・ゲームといえるわけで、ブックメーカーは広く庶民に親しまれている。かくしてリスクは、欧米では商人の世界から庶民の世界にまで舞い降りることになった。

3.2. アカデミックな世界への進出

このリスク概念は、学問領域でも拡がりを見せるようになる。その嚆矢となったのは上述したKnight (1921)の書物であるが、その後経済学だけではなく、疫学、公衆衛生学、毒性学、食品科学、放射線生物学といった、生体影響を確率的に捉える必要のあった分野、またそれが可能であった分野に広がった。

工学分野への導入はそれに比べてかなり遅れたが、

装置や設備の保守・点検の手法として確率的なデータが2000年頃から用いられることになった。それまでの保守・点検はいわゆる「定期点検」という言葉に代表されるように時間軸の中での劣化を想定した手法であったが、その手法の限界が明らかになってきたからである。現実の装置の劣化は経年変化によって一律に発生するのではなく、その装置の機能的な配置関係によって異なること、したがって点検は個々の装置の使われ方ごとに劣化データを蓄積して、それに対応した手法をとる必要があるという確率的発想が理解され始めたのである。

人文・社会科学領域への進出は相対的に出遅れているが、これはそれらの学問が扱う現象の性質に基づくものでやむを得ないところがある。例外は経済学と心理学であるが、これは両学問がもともと不確定性という現象や、確率事象と親和性の高い分野であったからだろう。例えば心理学者のKahnemanはTversky (1979)とともにリスク状況下における人間の意思決定の仕組みを説明するために「プロスペクト理論」を構築したが、この功績のためにKahnemanは2002年にノーベル経済学賞を受賞している。

以上に述べた諸学のうち、放射線生物学におけるリスク研究の変遷については菅原 (2005, 2006)を参照して欲しいが、それ以外の個別科学ごとにリスク研究発展の歴史を辿るのは私の能力をはるかに超えるし、また本論文の趣旨でもないので、ここではこれ以上述べない。

3.3. 素朴なリスクの定義

上記の分野で取り上げられたリスクの定義は、大まかに言えば次のようなものである。

$$R \sim p \times M \quad (1)$$

ここで R : リスク, p : 生起確率, M : 被害の大きさ

例えば化学物質のヒト健康リスクを例にとるとこの式の意味は、「ある有害性を持った化学物質にヒトがどの程度曝露されることにより、人体にどの程度の害をもたらすかそのdose-response関係を、何らかの確率的指標で明確化する」ということになる。そこにはリスク評価の手順の設定に始まって、有害性評価と基準値の設定、曝露評価、リスク判定に至る一連の標準的な手順が法律(化管法)によって設定されている(経済産業省, 2007)。

このような手法は実験デザイン的に見てロジックが簡明である。というのは、用いる化学物質は原則的にその構造が明確であり、毒性の強さは濃度や投与量などで制御できるし、生体に対する有害性の測定は少し複雑だがこれも多面的な指標によって可能になっているからである。それに中毒症状に関与する攪乱要因も相対的に見てあまり多くないという意味で、全体としてみれば「筋のよい」評価計画が可能である。

そしてこのような研究が積み重ねられた結果、有害な影響の発生率と曝露量はほぼ一義的な関係にあることが分かってきた。行政はこの関係を元に、いわゆる「規制値」なるものを示すことになる。死亡確率が極めて高くなる dose の値を致死量と呼ぶわけである。逆に言えば、一生毎日摂取してもこの量までの摂取は耐容されると判断される量を「耐容一日摂取量 (TDI)」という。一言で呼べばこの分野のリスクと確率の関係は、比較的素直であるという意味で「蜜月状態」であったと言える。

4. 両者の悩ましき関係

だがこのような蜜月関係は危うさを含んだものである。というのはリスクの元となる現象は本来不確定性・曖昧性を前提としたものだから、そこに確率論を持ち込むのは間違いではないけれども、リスクの種類や性質によっては、両者の関係に歪みが出てくるからである。不確定性や曖昧性は確率論だけで説明できるわけではない (田中, 1980)。

例えばリスク対象が拡大したり複雑化すると (典型的には対立する複数のリスクがトレードオフ関係にある場合など)、生起確率と災害の関係は単純な線形関係ではなくなるし、ステークホルダーが多様であったりメンバー間に感情的な対立関係が持ち込まれたりすると、これまた両者の間柄は素朴で単純な関係ではなくなる。これらの問題を以下に述べよう。

4.1. 大規模で複雑な構造を持つリスク

数あるリスクの中には戦争や革命やテロ、それに環境の複合汚染のように、規模が極めて大きく、複雑な要因で構成されているものがある。地域の開発を巡る合意形成リスクや、政治場面における意思決定のリスクもそれに該当するかも知れない。

このようなリスクは複雑系、非線形性の形を取るものが多く、単一の化学物質や食品の dose-response 関

係のような 1 次元性を仮定することが不可能である。またそれ以前に、現象のモデル化 (シナリオ作りを含めて) 自体が極めて難しい。リスク論と確率論の蜜月関係には当然ながら軋みが出始めるだろう。その困難さを克服するために数々のモデルが構築されているが、そのモデルにはいくつもの仮定 (時には不自然な) が設けられていることが多く、素直に受け入れ難いものが少なくない。

4.2. dose-response 関係が単調でない場合のリスク

上に述べたことと関係して dose-response 関係が単調でないケースも扱いが難しい。例えば電離放射線の身体影響リスクがそうである。放射線のリスクは高レベルでのそれと低レベルのそれとでは dose-response 関係がかなり異なり、放射線が高レベルの場合 (一般に 100 mSv 以上の場合が想定されている) は「確定的影響」と呼ばれ、細胞死や臓器の機能不全に陥ることが知られている。そこにはしきい値の存在が推定されている。

それに対して放射線が低レベルの場合には「確率的影響」と呼ばれ、身体影響はがんや遺伝的変異として表出すると考えられている。そしてがんや遺伝的影響の基となる細胞の DNA 損傷過程は確率的でしきい値がないと仮定されている。さらに興味深いことに、被曝を可能な限り縮減した状態で生物を飼育すると (実験手法は極めて難しいが)、生体にかえって重篤な健康影響が出ることが知られている (Luckey, 1982)。そしてこの現象を Luckey はホルミシスと呼んだ。

このように放射線身体影響のリスクは、放射線の強さによって確定的であったり確率的であったりするわけですがその関係は単純ではない。ただ確定的という表現には決定論的な響きがあり誤解が入りやすいので、近年は「組織反応」と呼ばれることが増えてきた。

私自身はこの分野の素人ながら、100 mSv を境に確定的、確率的と分けること自体に違和感がある。同じ放射線影響なのに 100 mSv を上回れば突然確定的になり、下回れば突然確率的になるという離散的な位相の変化は、そもそも生体反応として不自然だと思うからである。それに確定的と呼ばれる領域にしても、放射線に耐性のある個体、過敏症の個体など必ず個体差があるから、100 mSv を境に全ての個体が例外なく組織や臓器の機能不全を起こすことはあり得ないだろう。そこには一定の確率分布があるに違いない。

だとすれば放射線の強さが 100 mSv を超える場合も、dose-response の関係は確定的と強引に表現せず、これも確率的と素直に言えば良いのではないか。その方が生体影響を一元的な論理で説明できるからである。例えば被爆線量が大きくなれば、「臓器の機能不全が大きくなる確率が增大する」と表現すれば良いだけのことである。

それにもう一つ気になるのは、100 mSv 以下の低レベル放射線リスクの表現が不統一で、その効果は「よく分かっていない」「ブラックボックスである」「あいまい」といった説明を市民に対して行う放射線専門家が多数である。そしてこの説明を聞いた市民の大多数はその意味が理解できず、却って不安や不信を増大させることになる。

専門家が上記のような説明するのは、低線量の場合、そもそも死亡したり発病する個体数が非常に少ない上に、発病する個体があったとしてもそれに関係する生活習慣など、放射線の直接影響以外の攪乱要因が大きいから、統計学的な検定をしても有意な差が出難いという意味である。統計学について知識のあるものならこの表現は理解できるが、普通の市民にはまず理解できないだろう。

といって放射線影響を明確にするためには、個体数を増やせば良いという単純な話ではない。というのは条件による差の大小と有意性検定に用いる p 値の関係は、個体数に強く依存しているからである。個体数が大きくなると条件間に僅かな差しかなくても、計算上は有意な差になる性質があることに留意して欲しい。私たち社会心理学の領域では、事前に必要な個体数を統計学的に推定したり、また簡便な手法として、個体数が大きくなると有意水準を 5% でなく、厳しめに 1% や 0.1% に引き上げてこの問題に対応することが多いが、医学の世界では、この問題をどう考えているのだろう。いずれにしても条件差を出すために、個体数を無理に増やすことだけは止めて欲しい。

こうした問題が発生するのは、 t や F 検定などに代表される、もともと少数例統計を念頭に置いた有意性検定論を前提とするからである (豊田, 2015)。従って豊田の主張するように、Baysian 的な統計学の立場で説明を行えば、差の推測の論理が異なるのでこうした問題は発生しない。だが Bayse の立場でも、市民に対する統計学的な説明が難しいという問題は依然として残る。

4.3. 超低確率・超大被害のリスク

リスクの中には、生起確率と被害の大きさに関してさまざまなタイプがある。前述の (1) 式に即して言えば p が高く M も高いもの、 p は低い M は高いもの、 p は高い M は低いもの、 p も M も低いものというわけである。これまで本稿で挙げてきた例では M の特性に関してあまり言及しなかったが、この節で取り上げるのは p が低く M が高いというリスクである。それも極度に p が低く、極度に M が大きいという特殊なケースである。具体的には巨大隕石が偶然に原発の炉心を直撃し炉心溶融に至るといった超過酷事故を想像して欲しい。今回の東北大地震における地震・津波・原発事故はそこまで特殊な例ではないが、それにやや近いケースであろう。

このような超過酷事故は確率的にはほとんど発生しないから、コストとのトレードオフを考えれば運を天に任せて放置するという選択肢も政策的にはあり得る。しかし超過酷事故の惨事を避けるために可能な限り対応しようとするなら、何らかのモデルを必要とするだろう。そのモデルは統計学的に言えば $n = 1$, $\sigma = 0$ に近い世界であるから、その確率分布は下図に示すようなベキ分布になるのではないか。

図 1. 確率の高低と災害の大小の関係

ベキ分布は Pareto, V.F.D. (1896) が経済の世界で発見し、その後正規分布では説明できない自然現象や、社会現象にも適用されるようになった経験法則の一つと言われている。図を見れば明らかなごとく災害の確率が高い場合は災害の程度は小さいが、確率が低くなると災害の程度は大きくなり、確率が極めて低くなると災害の程度は極端に大きくなる。図の X 軸の右側

の曲線がそのことを表しており、この部分は「ロングテール」と呼ばれている。平均と分散が意味を持たなくなる世界と言えようか。そしてこの分布が、今回の大災害のような極端なケースを説明するモデルとなり得るかも知れないと考えられている（日本工学アカデミー原発事故・エネルギー問題検討会, 2011）。

これまで巨大システムのリスクを分析するツールとして fail-safe, fault-tree, PSA などといった手法がよく用いられてきた。これらのツールを否定する必要は全くないが、これらのツールの背後にある前提、つまり事象の発生やその展開が線形で独立という仮定が満たされない大災害の発生に備えて、低確率巨大リスクの新しい解析手法を用意する必要があるのではないかと思う。

5. 確率的発想の難しさ

確率的表現が市民に理解されにくいことは先に述べたが、これは私自身も実感していることである。昔、小学校へ出前講義に出かけたときも、一番苦労したのが確率の話であった。例えば心理学のあらゆる法則は確率的であることを伝えようとして、「どんな場合にでも必ず当て嵌まるという法則は心理学にはない」「心理学の法則性は絶対的なものでなく相対的で、常に曖昧性（一定の幅）を含んだものである」「人間の行動には個人差があるので心理学の法則はあくまで一般的なものである」「心理学の法則とはある条件の下に一定の割合で起る行動の規則性のこと」など、手や品を変えさまざまな表現を試みたのだが、子供たちから「心理学はそんなにいい加減な学問なのか」と怪しまれた。そこで表現を変えてサイコロの出目の分布の話に基づき方法論の面から確率の説明をしようとすると、「心理学の法則はサイコロで決めるのか」と反問されてさらに困った覚えがある。

でも確率が分からないのは子供だからではない。大人だって分からないのである。かつて科学技術庁が存在したとき私も委託されて、科学技術に対する市民の態度や知識を調査したのだが、その中で確率に対する知識を4問からなるテストで調べた（科学技術庁科学技術政策研究所, 1992）。対象は成人である。その結果日本人の場合、4問のうち正答率は最も高いもので44%、最も低いもので31%しかなかった。確率について正しい知識を持つ人の割合は、日本の成人でも半数に満たないのである。

また日本統計学会の招きでリスクに関わるシンポに出席したとき、この話を私から持ち出して確率論を平易に市民に伝える技法を統計学の専門家集団に問いかけたのだが、この業界のプロたちですらよい手法を持たないという回答であった（木下, 2012b）。確率概念を基礎に置くリスク概念を、確率という言葉を使わず市民にどう理解して貰うか、その難しさが改めて分かり頂けたであろう。

もちろんこの問題は放置してよいものではなく、現にリスクや確率概念を市民に理解して貰う時に発生するバイアスや、それを克服する技法がいくつか議論され始めている（広田, 2011, 2014）。たとえばリスク探しの画面作成、リスク・リタラシーのテスト、ゲーミング・シミュレーションによる訓練、e-learning とか active learning といった技法である。しかしこれらの技法はまだ発展途上のものであり決め手となる標準技術とは言えない。

私たちもこの問題を解くために、現在小さな研究を始めている。それはまだリスク場面を低線量の電離放射線被曝の影響に限った話であるが、この分野の専門家である放射線生物学の方たちと、直接の専門家ではないがこの分野でリスクをされている方たちにお願ひして、確率的影響を市民に対してどのように説明されているかを調査させて頂いた。その回答資料を基に説明の仕方をいくつかのタイプに分け、各タイプごとに私たちがリスクの文案を新たに作成して、それをふたたび放射線の専門家、リスクの専門家、さらに一般市民にフィードバックし、評価を求めることにした。このようなコラボレーションによって専門家の評価に耐え、同時に市民からも受け入れて貰える平易なリスクの素案ができればと思っている。

参考文献

- Bayes, T. & Price, R. (1763). An essay towards solving a problem in the doctrine of chance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 50, 370–418.
- Bernstein, P. L. (1996). *Against the God: The remarkable story of risk*. John Wiley & Sons. (青山護訳 1998 リスク―神々への反逆 日本経済新聞社)
- Bernoulli, D. (1738). Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitane*. 5, 175–192. (English translation by Sommer, L. 1954 Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica*, 22(1), 23–36.
- Covello, V.T., McCallum, D. B., & Pavlova,

- M.T. (1989). *Effective risk communication: The role and responsibility of government and non-government organizations*. Plenum Press.
- Hacking, I. (2006). *The emergence of probability*. (2nd Ed.), Cambridge University Press. (広田すみれ・森元良太訳 2013 確率の出現 慶応大学出版会)
- 広田すみれ (2011). リスクコミュニケーションにおける確率を用いた不確実性伝達の心理学的課題, 心理学評論, 54(2), 153-167.
- 広田すみれ (2014). 事故・災害生起確率の集団・時間表現によるリスク認知の違い, 社会心理学研究, 30(2), 121-131.
- Huygens, C. (1660). *Van Rekeningh in Spelen van Geluck*.
- 科学技術庁科学技術政策研究所 (1992). 日・米・欧における科学技術に対する社会意識に関する比較調査, 平成2年・3年度科学技術振興調整費調査研究報告書.
- 上村健二 (2003). 私信.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, XLVII, 263-291.
- 経済産業省製造産業局化学物質管理課 (2007). 化学物質のリスク評価のためのガイドブック 実践編.
- 木下富雄 (2008). リスク・コミュニケーション再考—統合的リスク・コミュニケーションの構築に向けて (1). 日本リスク研究学会誌, 18-2, 3-22.
- 木下富雄 (2009a). リスク・コミュニケーション再考—統合的リスク・コミュニケーションの構築に向けて (2). 日本リスク研究学会誌, 19-1, 3-17.
- 木下富雄 (2009b). リスク・コミュニケーション再考—統合的リスク・コミュニケーションの構築に向けて (3). 日本リスク研究学会誌, 19-3, 3-24.
- 木下富雄 (2009c). 安全と安心—その真実と虚構, ヒューマンセキュリティ・サイエンス, No.4, 1-30.
- 木下富雄 (2012a). 「想定」を再考する—福島を経験をもとに, 日本リスク研究学会誌, 22(4), 237-247.
- 木下富雄 (2012b). リスク論と確率論の悩ましき関係 日本統計学会春期集会シンポジウム「リスク, 信頼性, そして確率統計: 震災1年, 統計学の役割を問う」発表資料.
- 木下富雄 (2013). 日本人のリスク観とは, 月刊エネルギーレビュー, 3月号, 12-13.
- Kinoshita, T. (2014). Short history of risk communication in Japan. Special Issue: Risk Communication. *Journal of Disaster Research*. Vol.9, 592-597.
- 木下富雄 (2016). リスクコミュニケーションの思想と技術—信頼と共考の技法, ナカニシヤ出版 (刊行準備中)
- Knight, F.H. (1921). *Risk, uncertainty, and profit*. Boston, MA: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Company.
- Luckey, T.D. (1982). *Hormesis with ionizing radiation*. Florida: CRC Press. (松平寛通監訳 1993, 放射線ホルミシス: ヒトおよび動物データを中心に, ソフトサイエンス社)
- 日本工学アカデミー原発事故・エネルギー問題検討会 (古崎新太郎・北澤宏一・小林敏雄・宅間正夫・松井一秋・松方正彦・御園生誠・向殿政男・山田興一・上野茂幸) (2011). 福島第一原子力発電所事故後の電気エネルギーの円滑な供給に向けて.
- Pareto, Z. (1896). *Cour d'Economie Politique*. Lausanne.
- Reischauer, E. O. (1977). *The Japanese today*. Mass: Harvard University Press. (福島正光訳 ザ・ジャパニーズ・トゥデイ 文藝春秋).
- 酒井泰弘 (1995). 和算と確率と保険と—日本人の数理思考 (1), 水島一也 (編著) 保険文化—リスクと日本人, 千倉書房, pp.49-68.
- 酒井泰弘 (2006). 社会経済的リスクの分析とマネジメント 日本リスク研究学会 (編) リスク学辞典増補改訂版 阪急コミュニケーションズ, pp.182-185.
- 新英和大辞典 (2002). 第6版 研究社.
- 菅原努 (2005). 「安全」のためのリスク学入門, 昭和堂.
- 菅原努 (2006). 日本のリスク研究は何処へ行く? 日本リスク研究学会 2006, *News Letter*, No.4, 1-3.
- 竹内啓 (編集代表) (1989). バスカル 統計学辞典 東洋経済新報社 P.968.
- 田村裕一郎 (2006). 保険史—過去・現在・未来 日本リスク研究学会 (編) リスク学事典 増補改訂版, 阪急コミュニケーションズ, pp.190-191.
- 田中幸吉 (1980). 種々のあいまいさとその取り扱い, 第1回あいまい科学研究会資料.
- 土岐憲三 (2011). これからの地震防災, *Biophilia*, SP2011, 21-24.
- 東京海上リスクコンサルティング株式会社 (2004). リスクマネジメントがよくわかる本, 秀和システム.
- 豊田秀樹 (2015). 基礎からのベイズ統計学—ハミルトニアモンテカルロ法による実践的入門, 朝倉書店.
- von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press. (銀林浩・橋本和美・宮本俊雄監訳, 1972-73 ゲーム理論と経済行動 全5巻, 東京図書)
- 吉田 忠 (2014). 近代オランダの確率論と統計学, 八潮社.

注 本論文は筆者がこれまでに執筆した諸論文 (2008, 2009a, b, c, 2012a, b, 2014) と, 現在出版準備中の単行本 (2016) の内容を下敷きにしている. 詳しくはこれらの論文を参照して頂きたい.

(2015年11月8日受付, 2016年1月29日最終修正)