

不確実性の分類とリスク評価

- 理論枠組の提案 -

TAXONOMY OF UNCERTAINTIES AND RISK EVALUATION:
A PROPOSAL OF THE THEORETICAL FRAMEWORK

竹村和久¹・吉川肇子²・藤井 聡³

¹博士(学術) 早稲田大学教授 文学部(社会技術システム統括研究グループ非常勤研究員)(E-mail: kazupsy@waseda.jp)

²博士(文学) 慶應義塾大学助教授 商学部(社会技術システム統括研究グループ非常勤研究員)(E-mail: geg01510@nifty.com)

³博士(工学) 東京工業大学大学院助教授 土木工学専攻(社会技術システム統括研究グループ非常勤研究員)(E-mail: fujii@plan.cv.titech.ac.jp)

本論文では、種々の社会的リスクについて議論するための意思決定論的枠組を提供する。筆者らには、これまでの伝統的リスク解析研究者、リスク社会学者、予防原則を擁護する人々の間では、社会的リスクに関連する環境の不確実性をどのように把握して、考察するかということに関して、共通の認識枠組がないように思われる。本論文では、不確実性を、意思決定主体の環境の構造によって分類して、これらの社会的リスクに関わる問題がどのようなものであるかを、不確実性下の意思決定問題として検討する。また、本論文で提案する理論枠組が、今後の社会的安全のための技術の一過程としてのリスク評価にどのような応用的含意があり得るのか考察を行う。

キーワード: リスク評価, 不確実性, 無知, 意思決定, 予防原則, 決定フレーム, 社会技術

1. はじめに

我々の社会は、そのグローバル化が進行する中で、多様なリスクに取り囲まれている。近年の日本の例だけ取り上げても、BSE問題、SARS問題、テロ、地震、などのリスクや、内分泌かく乱化学物質(いわゆる「環境ホルモン」)などをあげることができる。それらの中には、地球温暖化の問題のようなあまりその全容が科学的に把握されていないようなリスクもある。社会学者のBeck(1986¹、2002²)は、このような社会を、端的に「リスク社会」と命名している。

このような災害、疾病などのリスクを技術的な観点から検討するリスク解析(risk analysis)の立場がある。リスク解析は、リスクに関する科学研究から政策決定に至るまでのリスク査定(risk assessment)、リスク管理、リスクコミュニケーションからなるプロセスを経ると指摘されているが(National Research Institute, 1983)³、リスク査定では、人間の健康、生命への危害とその確率を明らかにしようとする。すなわち、リスク解析の研究者による定義は、確率論や期待効用理論に基づく。ここでの不確実性とは、加法性を満たす確率の概念でとらえられるものである。確率論や期待効用理論

の立場に基づくリスク解析にとって、欧州圏やカナダを中心に提案されている、いわゆる予防原則(precautionary principle)あるいは予防的アプローチ(precautionary approach)は、あまり親和性がない概念となっている。というのは、予防原則や予防的処置という概念が、確率では表現できないとする「不確実性」を想定しているからである。予防原則や予防的アプローチというのは、人間や社会に重大な危害を与えると判断できる可能性があり、リスク査定が行われた結果、必ずしも科学的に因果関係が証明できない時の政策的なオプションを問題としている。科学的な評価に多くの不確実性がある場合である。それでもなお、公共的観点から予防的に規制した方がよいと判断出来る場合に、費用対効果を勘案しつつ、規制を行うこともあり得るとしている。その意味で、確率論的な立場から、あるいは期待効用理論的立場から、この規制や原則を擁護することは直ちにはできないのである。ただし、Dekay, Small, Fischbech, Farrow, Cullen, Kadane, Lave, Morgan, & Takemura (2002)⁴のように、主観的期待効用理論的観点から予防原則や予防処置を説明しようとする試みもあるが、予防原則や予防処置の背後にある考えは、必ずしも確率で表現できないような曖昧性を含んでいる。

さらに、リスク解析によるリスク評価(risk evaluation)に関しては、リスク社会学的観点から批判を加える立場の人々がいる(Beck,1986¹⁾, 2002²⁾; 平川, 2002⁵⁾, 小松, 2003⁶⁾, 山口, 2002⁷⁾)。例えば、Beck (1986)¹⁾ は、有害物質の科学的測定やリスク査定に関して、不可知の部分があり、安全性の問題に答えられるわけではなく、リスク解析学者のような科学的立場を取る者のリスクに関する知の独占に疑義をはさんでいる。さらには、リスクという概念自体が社会的に構成されるという立場をとるものは少なくなく(例えば、山口, 2002⁷⁾, 大坪・山本・吉川(2002)⁸⁾)、リスク評価の客観性の評価に関して共通の枠組みが形成されていない現状である。

本論文では、このような認識枠組の不一致を解消するための一助となることを期待して、種々の社会的リスクを評価するための理論枠組を提供することを試みる。本論文では、不確実性を意思決定主体の環境の構造から分類して、意思決定問題として、これらの社会的リスクに関わる問題がどのようなものであるかを検討する。また、今後の社会的安全のための技術として、科学的なリスク査定にとどまらない、社会としてのリスク評価 (risk evaluation) にどのような展開があり得るのか考察を行う。

2. リスク評価に関わる不確実性のこれまでの分類

先に述べたようなリスクに関わる様々な不確実性を、まず、最初に分類する必要がある。以下ではまず、これまでの先行研究を紹介して、従来の研究の有意義な点を継承しながらも、問題点を指摘する。

リスクの不確実性の組織的分類の一例は、Wynne(2001)⁹⁾によって示されている。この分類によると、不確実性は、リスク、狭義の不確実性、無知、非決定性、複雑性、不一致、曖昧性である。平川(2002)⁵⁾は、Wynne(2001)⁹⁾の分類をTable1のようにまとめている。

このWynne(2001)⁹⁾による不確実性の分類は、リスク評価に関わる不確実性の重要な側面を指摘している。例えば、この分類枠組によると、通常のリスク評価で明示的に扱われるのは、「リスク」と「狭義の不確実性」までであるということである(平川, 2002)⁵⁾。また、「無知」の状況のように危害の内容や起りうる事態などがわからない場合は、通常のリスク解析ではわからないことになる。さらには、問題の構成の仕方に「非決定性」や「不一致」がある場合も、不確実性を構成することになる。このよ

Table 1

Wynne (2001)⁹⁾の不確実性の分類(平川, 2002)⁵⁾

リスク	危害の内容が知られ、その発生確率も知られている
狭義の不確実性	危害の内容は知られているが、その発生確率は不明。ただし、不確実性の程度は定量的に推定される。
無知	未知の危険があるのかどうかさえ不明(セカンドオーダーの不確実性)
非決定性	どんな種類の問題なのか、どんな要因や条件が関係しているかが不明で、問題の立て方(フレーミング)が定まらず、議論が開かれている。
複雑性	振舞いを決める要因が一意に定まらなかったり複合的で非線形
不一致	フレーミング・研究方法、解釈の多様性、参加者の能力に疑いがある。
曖昧性	事柄の正確な意味や、何が主要な現象や要因かが曖昧。

うな分類をもとにすると、分類に応じた問題解決の方法が考えやすくなると期待できる。

しかし、この分類では、「リスク」、「無知」、「不一致」などの分類の下位項目が並列的に指摘されているだけであり、これらの項目間の関係がどのようになっているのかが明らかでない。さらには、社会問題を解決するための意思決定問題として、不確実性下の状況を定義しようとする、どのような理論枠組をつくれるのかが明らかでないのである。

3. 意思決定論的枠組の導入

このように、Wynne(2001)⁹⁾の分類は従来のリスク評価を再考する上で非常に重要であると指摘できるものの、そのままでは政策決定などの重要な社会的意思決定の基礎とはなり得ない。この問題を克服するために、本論文では、意思決定論的枠組を設定し、リスク評価に関わる不確実性の問題を明示化する。

まず、ここでは最初に、意思決定とは、何かと何を定義する必要があるだろう。意思決定(decision making)は、操作的には、一群の選択肢(alternatives)の中からある選択肢を採択すること、すなわち、行為の選択(choice)であると定義することができる(竹村, 1996)¹⁰⁾。例えば、意思決定には、BSE 対策としてどのような検査が望まし

いかの意思決定や、どこに核燃料廃棄物の処分をすべきかと言うような社会的意思決定だけでなく、個人が消費者としてどのようにして、食の安全を確保するためにどんな食品を購入するかという購買意思決定なども含んでいる。

ここで、意思決定現象を集合の概念を用いて、整理してみる。有限な選択肢の集合を A として、その要素を互いに背反な選択肢 $a_1, \dots, a_i, \dots, a_l$ (l は選択肢の数) に整理すると、集合 $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_l\}$ と記述できる (集合 A は、無限集合も想定できるが、ここでは簡単のために有限集合と考える。以下の集合の扱いも同様に簡単のために有限集合で表現する)。例えば、 A の要素は、安全対策における対策 $a_1, \dots, a_i, \dots, a_l$ からなる選択肢であると解釈することができる。

つぎに、この選択肢を採用することによって、生起する結果の集合 $X = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_m\}$ を考える。例えば、 X の要素は、 $x_1 = 100$ 人死亡する、 $x_2 = 50$ 人死亡する、 $x_3 =$ 誰も死亡しない、などである。ある特定の選択肢 a_i を採用すると、ある結果 x_j が出現すると考えられるが、 a_i と x_j は一対一に対応しているとは限らない。 a_i と x_j はある不確実性をもって対応している場合が多い。すなわち、選択肢 a_i を採用することによって生起する結果 x_j は、少なくとも社会情勢などの状態 $= \{1, \dots, k, \dots, n\}$ に依存していると考えることができる。例えば、 $x_1 =$ 「ある地域 B でマグニチュード 6 以上の地震が発生」、 $x_2 =$ 「ある地域 B でマグニチュード 6 未満の地震が発生」、 $x_3 =$ 「地震が生起しない」、などである。一般に、我々の社会では、大地震が発生することを予期して、さまざまな対策を考えている。この対策の集合を選択肢の集合 A と考え、地震に関する自然の状態の要素に応じて、結果の集合 X の要素が決まると考えることができる。ここでは、例を示すために、事態を単純化して、Table2 のように、自然の状態に応じて結果が決まってくると考えてみる。

Table2 の例からわかるように、結果は、採択した選択肢と状態から結果への関数 (写像)、すなわち、 $f: A \times X$ によって決まることになる。ここで、 $A \times X$ というのは、直積 (cartesian product) のことで、集合 A と集合 X の可能な組み合わせも集合のことである。集合での表記をすると、 $A \times X = \{(a_i, x_k) / a_i \in A, x_k \in X\}$ となる。これは、集合 A の任意の要素 a_i と集合 X の任意の要素 x_k の順序を考慮した対の集合 (a_i, x_k) を要素とする集合を、 $A \times X$ と定めるとのことである。ひるがえって、 $f: A \times X \rightarrow X$ というのは、選択肢 a_i と状態 x_k が決まると、何らかの結果 x_j がひとつ決まるということ

Table 2 選択肢と状態に応じた死亡人数の結果の例

A \	1: 大地震 (M6以上)	2: 地震 (M6未満)	3: 地震なし
a ₁ : 対策1	x ₁ : 100人	x ₁ : 100人	x ₃ : 0人
a ₂ : 対策2	x ₁ : 100人	x ₂ : 50人	x ₃ : 0人
a ₃ : 対策3	x ₂ : 50人	x ₃ : 0人	x ₃ : 0人

を表記したものになる。現実の社会的意思決定においては、後で述べるように、 A の集合のうち、どの要素が出現するかということや、 X の集合の要素は何かということは、不確定な場合が多い。

4. リスク評価に関わる意思決定問題の構造

結果の集合の要素は、Table2 の場合は死亡者数であり、「100 人死亡 (x_1)」が、「50 人死亡 (x_2)」より望ましくなく、「50 人死亡 (x_2)」の方がまだ選好され、「死亡者 0 (x_3)」が最も選好されるべきは自明である。この「より選好する」という関係を、 \succ という記号で表現すると、 $x_3 \succ x_2$, $x_2 \succ x_1$, $x_3 \succ x_1$ などと表現できる。結果は、状態に過ぎず死亡者数や金銭的損害だけで表現できる場合だけでもないことと、また、ある程度被害が増えてくると無差別になってくるとも考えられるので、結果に関する選好関係を考えることは、意味がある。

最も単純な選好関係は、2 つの選択肢のうちどちらが好きかどうかというような 2 項関係である。結果の集合 X の要素に関する意思決定者の選好関係を考えてみる。すなわち、どちらが好きかとか同じくらい好きかなどの経験的に観測される関係 (弱順序関係、全順序、半順序でもよい) を考え、その関係を \succ という記号で表してみる。 $x_i \succ x_j$ となるようなすべての順序対 (x_i, x_j) を集めた集合を R とすると、

$$R = \{(x_i, x_j) / x_i \succ x_j, x_i, x_j \in X\}$$

と表現される。この集合 R は、結果の集合 X の直積集合の部分集合になっており、 X 上の 2 項関係を表している。すなわち、

$$R \subseteq X \times X = \{(x_i, x_j) / x_i, x_j \in X\}$$

である。

集合と、その集合上の関係などの性質を規定した集合を関係系 (relational system) と呼ぶが、集合 X 上の 2 項関係から構成される集合 (X, R) も関係系であり、選好に関する関係系なので選好構造と呼ばれる (市川, 1983)。¹¹⁾

まとめると、選択肢の集合 A 、状態の集合 X 、結果の集合 X 、写像 $f: A \times X \rightarrow X$ 、選好構造 (X, R) の5項組は、状態に依存する意思決定の問題を最小限表現していると考えられる。意思決定の理論では、この集合 $D = (A, X, f, (X, R))$ を、「意思決定問題」と表現することができる。この集合は、不確実性下における意思決定問題にほかならない。

また、意思決定者を複数考える相互作用状況下や社会的意思決定の場合は、意思決定者の集合を I として、 $i \in I$ に応じて、選択肢 A^i や選好関係 R^i が異なるとすると、社会的意思決定問題 $SD = (A^1, A^2, \dots, A^n, X, f, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$ などと表現できる（例えば、市川(1983)¹¹⁾参照）。この例の場合は、意思決定者の選択肢と選好関係が異なっていると、状態 X や結果の集合 X や結果への写像 f は全員に共通していると仮定したことになるが、これらも個人によって異なっているような意思決定問題の記述も可能である。

ここで、Wynne (2001)⁹⁾の言う「不一致」の問題を考えて見よう。意思決定者の集合を I として、 $i \in I$ に応じて、選択肢 A^i や R^i が異なるとすると、

$$SD = (A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n, f^1, f^2, \dots, f^n, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$$

という社会的意思決定問題が考えられるが、これらの社会的意思決定問題 SD の要素が異なる場合、すなわち、社会的意思決定問題の構成要素である $A^i, X^i, f^i, (X, R^i)$ が、意思決定者 i 毎に相違する場合に、「不一致」が生じると解釈することができる。なお、個人 $i \in I$ の状態の X^i を、自然に対する状態とゲーム状況のような対人関係に関する状態に分割することも可能である。前者は、統計的決定理論で仮定されるようにゼロサムゲーム、後者はゼロサムゲームと非ゼロサムゲームの両方で考えることが可能である。

さらに、Wynne(2001)⁹⁾の言う、「不一致」に伴うフレーミングの問題を、意思決定論的枠組で表現しよう。フレーミングによって変化した決定フレームは、個人 $i \in I$ が持つ社会的意思決定問題に関する認識の変容の関数であり、写像 F^i で表現することができる。すなわち、個人 $i \in I$ の決定フレームは、写像 $F^i(SD)$ で表現できる。したがって、 F^i は、

$$F^i : SD \rightarrow SD'$$

あるいは、

$$F^i : (A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n, f^1, f^2, \dots, f^n, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$$

$(A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n, f^1, f^2, \dots, f^n, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$ ということに表現できる。この意味は、ある個人の意思決定問題のフレーミングは個人 i ごとに異なっており、フレーミングされた意思決定問題は、
 $SD' = (A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n, f^1, f^2, \dots, f^n, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$ というように、

$$SD = (A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n, f^1, f^2, \dots, f^n, (X, R^1), (X, R^2), \dots, (X, R^n))$$

とは異なる構造を持つことになる。フレーミングが個人間で異なる場合、Wynne(2001)⁹⁾の「不一致」が生じると解釈できる。さらに、そもそも誰もがひとつの意思決定問題に定式化できていない場合には、「非決定性」が生じていると解釈できる。

また、これらの意思決定問題の要素間の関係構造が複雑であったり、不確定関係がある場合には、Wynne(2001)⁹⁾の言う「複雑性」の程度が高いと考えられ、意思決定問題の要素である $A^1, A^2, \dots, A^n, X^1, X^2, \dots, X^n$ などがファジィ集合で表現できるような曖昧性を有して、集合自体が曖昧である場合には、Wynne(2001)⁹⁾の言う「曖昧性」が存在すると解釈できる。

なお、このように、意思決定問題のフレーミングを意思決定問題の写像の観点から説明する立場は、リスク下の意思決定のフレーミング効果を説明するプロスペクト理論(Kahneman & Tversky, 1979¹²⁾; Tversky & Kahneman, 1981¹³⁾; 1992¹⁴⁾) や状況依存的焦点モデル(竹村, 1994¹⁵⁾; 藤井・竹村, 2001¹⁶⁾) と共通している。ただし、前者のプロスペクト理論と後者の状況依存的焦点モデルでは、写像の性質が異なっており、その心理学的解釈も異なっている。

5. 不確実性の分類と意思決定

ここでは、主に状態の集合から不確実性の分類を行う。なお、これまでは、複数の成員からなる社会的意思決定の枠組でリスク評価の問題を考えることが望ましいことを示唆してきた。ただ、以下の論考では、議論を簡単にするために、表記上、意思決定問題を個人あるいは単一の社会の問題として扱う。しかし、もちろん多人数からなる利害を異なる成員からなる社会的意思決定問題としても、不確実性は定義でき、その本質的構造は変化しない。

意思決定を、意思決定者を取り巻く環境についてその意思決定者がどれだけ知っているかという意思

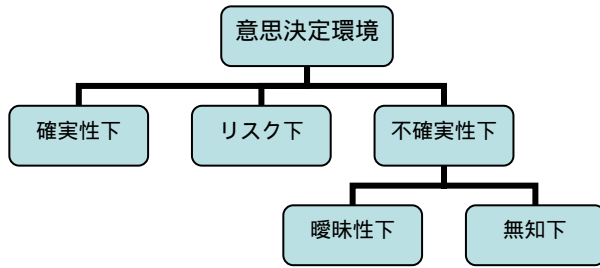


Fig. 1 意思決定環境に応じた不確実性の分類

決定環境の知識の性質から分類すると、Fig.1 に示したように、以下の 3 つに大別できる（竹村，1996¹⁰⁾）。すなわち、(1)確実性下の意思決定、(2)リスク下の意思決定、(3)不確実性下の意思決定となり、不確実性下の意思決定は、さらに、()曖昧性下と()無知下に区分することができる。

(1)確実性下の意思決定 第 1 は、確実性下の意思決定(decision making under certainty)であり、選択肢を選んだことによる結果が確実に決まって来るような状況での意思決定である。例えば、効果が確実にわかる 5000 万円の費用のかかる対策と、効果が確実にわかる 8000 万円の費用がかかる対策とのどちらが良いかを定めるような状況は、確実性下での意思決定になる。先の集合による表記で説明すると、状態の集合 Ω のうちの ω_k が生起するかが既知の場合か、 ω_k がどんな状態であっても（任意の ω_k でも）、選択肢 a_i によってのみ結果 X_j が決まるような場合である。別の表現をすると、選択肢の集合 A から結果の集合 X の写像 $g: A \rightarrow X$ が存在する場合であると言える。ただし、選択肢を採択した結果の範囲を時間的・空間的に大きく考えると、確実性下の意思決定はほとんど存在しないことになる。

(2)リスク下の意思決定 第 2 は、リスク下の意思決定(decision making under risk)である。リスクというのは、心理学の分野やリスク研究の立場では、「危険性」や「損害」というようなより広い意味をもっているが（例えば、吉川，1999¹⁷⁾； 広田，増田，坂上，2002¹⁸⁾），意思決定研究の文脈では、選択肢を採択したことによる結果が既知の確率で生じる状況を指す。たとえば、傘をもって行くか行かないかの意思決定を考えてみよう。雨が降るかどうかを確率で表現できる場合、傘を持って行くかどうかの決定は、リスク下の意思決定になる。また、この場合、天候が雨であれば、傘を持って行くことの価値は高いが、晴れば傘は邪魔なだけである。こ

Table 3 リスク下における結果の集合 X 上の確率の例

$A \backslash$	$x_1: 100$ 人 死亡	$x_2: 50$ 人 死亡	$x_3: 死亡者$ 0
$a_1: 対策 1$	$p_{11}: 0.8$	$p_{12}: 0.0$	$p_{13}: 0.2$
$a_2: 対策 2$	$p_{21}: 0.3$	$p_{22}: 0.5$	$p_{23}: 0.3$
$a_3: 対策 3$	$p_{31}: 0.0$	$p_{32}: 0.3$	$p_{33}: 0.7$

のように、選択肢を採択したことによる結果は天候などの状態に依存すると考えることができる。リスク下の意思決定の「リスク」は、Wynne(2001)⁹⁾の指摘する「リスク」と同じである。

集合による表記でリスク下の意思決定をもう少し整理してみよう。状態の集合 Ω 上に確率分布が定義されている状況を考える。例えば、先の例で言うと、「ある地域 B でマグニチュード 6 以上の地震が発生する確率」である $P(\omega_1) = 0.3$ 、「ある地域 B でマグニチュード 6 未満の地震が発生する確率」である $P(\omega_2) = 0.5$ 、「地震が生起しない確率」である $P(\omega_3) = 0.2$ というように確率分布がわかっているとすると、選択肢 $a_j \in A$ ごとに、結果 X 上の確率が決定でき、Table3 のようになる。Table3 の結果は、Table2 の結果と Ω 上の確率分布の仮定から、書き換えて表現したものである。例えば、Table3 の p_{33} の箇所に注目する。この確率は、Table2 をみると、この結果は、状態 ω_2 と ω_3 が生起した時に生じるので、確率 p_{33} は、 $P(\omega_2) + P(\omega_3) = 0.5 + 0.2 = 0.7$ となって、Table3 に示されているように、 $p_{33} = 0.7$ となるのである。

このことから、選択肢 $a_j \in A$ のうち、どれを選択するかというリスク下の意思決定問題は、 X 上の確率分布 $p_1 = [p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1m}]$, $p_2 = [p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2m}]$, ..., $p_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}]$ のどれを選ぶかという問題に置き換えることができる。このことは、 X 上の確率の集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$ の上に選好関係 R を入れた選好構造 (P, R) でリスク下の意思決定を表現できることを意味している。このようなリスク下の意思決定は、効用を確率（あるいは確率の公理を満たす主観確率）で重みづけて期待値をとった期待効用理論（例えば Barberà, Hammond, & Seidl, 1998）¹⁹⁾ の体系で説明することができる。

(3)不確実性下の意思決定 最後に、第 3 は、不確実性下の意思決定(decision making under uncertainty)である。ここでいう不確実性下とは、選択肢を採択したことによる結果の確率が既知でない状況をいう。この不確実性下の意思決定は、以下のように下位分類することができる（竹村，1996）

10) .まず,第1が曖昧性(ambiguity)の下における意思決定である.曖昧性とは,どのような状態や結果が出現するかわかっているが,状態や結果の出現確率がわからない状況を言う.この曖昧性の状態は,ある意味で Wynne (2001)⁹⁾の指摘する「曖昧性」にも重なるが,「狭義の不確実性」にも対応している.というのは,我々が言うところの曖昧性は,確率以外の測度などで数値化ができるからである.

集合で表現すると,状態の要素 i や結果の集合 X の要素 x_i はすべて既知であるが,上の確率分布が既知でない状況,あるいは X 上の確率分布が既知でない状況のことになる.例えば,先ほどの例で,金利下降 x_1 の確率 $p(x_1)$,現状維持 x_2 の確率 $p(x_2)$,金利上昇 x_3 の確率 $p(x_3)$,いずれも曖昧にしかわからないか,不明だとする.そのような状況では,各選択肢を採用したことによる結果の集合上の確率は,Table4のように,曖昧か不明になってしまうのである.

このような場合,確率を数値で表現できないが,「多分高い」「結構低い」「まあまあ」というように言語で表現されることもあるのである.実際,自然科学のトレーニングを受けた天気予報の専門家であっても,確率を数値表現するよりも,言語表現を用いて確率を表現する傾向があることがわかっている(例えば, Beyth-Marom,1982)²⁰⁾.さらには,不確実性を仮に数値で表現できたとしても,確率のように加法性を満たさない測度(例えば,可能性測度,デンプスター=シェーファー測度など)も考えることができるのである(Smithson, 1989²¹⁾; Takemura,2001²²⁾).このような意思決定は,非線形効用理論の体系(例えば, Fishburn,1988²³⁾; Edwards, 1992²⁴⁾)やファジィ意思決定理論の体系(例えば, Nakamura,1991²⁵⁾;瀬尾, 1994²⁶⁾)で説明することができる.

不確実性下の意思決定の第2が,状態の集合の要素や結果の集合の要素が既知でない場合になる,無知下の意思決定(decision making under ignorance)である(Smithson, 1989²¹⁾; Smithson, Bartos, & Takemura,2000²⁷⁾).例えば,ある社会政策を採用することによって,どのような状態が生じ,どのような結果が出現するかその可能性すらもわからない状況である.すなわち,集合の表記を行うと,状態の集合の要素 k が何なのか,さらには,結果の集合 X の要素 x_i が何なのかよくわからない状況である.これは,確率論的に述べると,標本空間の要素が既知でないような状態の無知であるので,「標本空間の無知(sample space ignorance: Smithson, Bartos, & Takemura, 2000²⁷⁾」と呼ばれることが

Table 4 不確実性下における結果の集合 X 上の確率が曖昧か不明な場合の例

A \	x_1 : 100人 死亡	x_2 : 50人 死亡	x_3 : 死亡者 0
a_1 : 対策1	p_{11} : 高い	p_{12} : 低い	p_{13} : 低い
a_2 : 対策2	p_{21} : ?	p_{22} : ?	p_{23} : ?
a_3 : 対策3	p_{31} : ?	p_{32} : ?	p_{33} : 高い

ある.このような標本空間の無知については, Walley(1996)²⁸⁾の定義するような上界確率と下界確率で意思決定の仕方を導くことができる.

無知下の意思決定には,どんな選択肢がそもそも存在し得るのか,どんな状態が可能性としてあり得るのか,どんな結果の範囲があるのか,よくわからない状況での意思決定もある.実際の社会においては,未知の土地での種々の意思決定にみられるように,このような無知下の意思決定はよく出現する.したがって,無知の程度が深刻な場合は,結果の集合 X ,選択肢の集合 A ,状態の集合の要素だけでなく,それらの全体集合自体がわからないような無知もあり得るだろう.そこで,我々は,この無知を全体集合の無知(universal set ignorance)と命名することにする.この無知も,細かく分けると, $X, A,$ のどれがわからないかによっても分類できるであろう.このような全体集合がわからないような無知下の意思決定すべてを扱えるような理論はほとんどないのが現状である.しかし,無知下の意思決定を理論的に取り扱った Walley(1996)²⁸⁾があり,今後の研究の発展が期待できる.

6. リスク評価と意思決定の処方的アプローチ

本論文では,不確実性の分類を行って,意思決定論的観点から広義のリスク評価の枠組を提示しうることを述べてきた.

意思決定の理論には,非常に数多くの種類があるが,基本的に,意思決定理論は,規範理論(normative theory)と記述理論(descriptive theory)との2つに大別されることが多い(小橋, 1988²⁹⁾; 広田, 増田, 坂上, 2002¹⁸⁾).前者は,合理的な意思決定を志向し,どのような意思決定が望ましいのかということをお説く理論であり,後者は,人間が実際にどのような意思決定をしているのかということをお説明する理論である.この両者の理論体系のもとに,リスク評価にかかわる不確実性を組み入れたモデルを採用することが今後必要になってくるだろう.すなわち,規範

理論研究では、不確実性に応じた望ましい意思決定方式の探究であり、記述理論研究においては、様々な不確実性下において人間がどのような意思決定をするかを探究することである。

この規範理論と記述理論に対する第3の統合的アプローチとして、処方的アプローチ (prescriptive approach) と呼ばれるものがある (Bell, Raiffa, & Tversky, 1988³⁰; Keeney & Raiffa, 1976³¹)。ここで、処方というのは、医師が出す処方箋 (prescription) という語から来ている。処方的アプローチは、合理的な意思決定を支援することを目標とするが、現実の問題状況にあわせて、意思決定をサポートするためのアプローチである。リスク評価に基づく合意形成など、現実の意思決定問題においては、曖昧性や無知性などの不確実性のために、厳密な規範理論を打ち立てることもできないことがある。また、規範理論によるアプローチが不可能であることもあり、記述理論のように、記述だけを行うという態度では問題解決ができないこともある。したがって、処方的アプローチは、現実問題の意思決定支援を考えると非常に重要である。

たとえハザードや被害の程度、生起確率が未定であり、定量的に表現できないものであっても、それを、狭義の「リスク」とは区別しつつ、広義ではリスクとして捉える見方は、一定の支持を得ているように思われる。たとえば、ヨーロッパ環境庁 (EEA, 2002)³²の立場はこれに該当する。本研究の不確実性 (uncertainty) とは分類の視点が異なるが、ハザードと確率がわかるものは risk, ハザードは同定できるが確率が未確定なものは uncertainty, ハザードも確率も未定なものは ignorance と、用語を使い分けている。これらそれぞれに対して政策的対応が異なり、risk に対しては prevention (予防) を、uncertainty に対しては precautionary prevention (事前警戒的予防) を、ignorance に対しては precaution (事前警戒) をとっている。

我が国においても、現実の社会問題を解決するため、社会技術研究が発足している。そして「安全で安心して暮らせる社会の実現するための社会技術を開発し、社会へ実装する道筋を提示する」ことが目的のひとつになっている。

(http://www.ohriki.t.u-tokyo.ac.jp/S-Tech/sokats_u/intro/intromission.htm)。無論、数理モデル、あるいは、技術だけでもって、安全で安心できる社会を築きあげることなど不可能である。しかしながら、それを支援するためには、不確実性に応じたリスク評価をモデル化し、社会的安全や社会的安心の技術を考えることが前提として欠かせない。そのために

は、本研究で検討した様な数理モデルの枠組み等を援用しつつ、具体的問題に対処するための処方箋を一つずつ検討していく、という処方的アプローチが有効なものとなる可能性が期待できる。例えば、新しい疾病の流行対策や化学ホルモンのように科学的な知見が十分でないような状況においては、従来型のリスク下の意思決定の分析枠組みで社会問題を捉えるのではなく、曖昧性下の意思決定や無知下の意思決定の問題として扱って、対処の仕方を考えて行くほうが有効であるように考えられるのである。

7. まとめと今後の展望

これまでのリスク解析、リスク社会論、予防原則をめぐる政治的議論などにおいて、社会的リスクに関連する環境の不確実性をどのように把握して、考察するかということに関して、共通の認識枠組がなく、混乱が見られた。本論文では、不確実性を意思決定主体の環境の構造から分類して、意思決定問題として、これらの社会的リスクに関わる問題がどのようなものであるかを検討した。また、今後の社会的安全のための技術としてのリスク評価においては、処方的アプローチの必要性を指摘した。

現代の社会的リスクは、専門家の間においてすら、意見が相違することがあり、食い違う場合もあり得る。このような場合、リスク評価の基礎となるべき生起確率の確定ができない場合や危害の内容が未確定な場合がある。また、藤垣 (2003)³³が説くように、研究者間での知識の共有化をすることはかなり困難である。しかし、このような場合でも、本論文が示したような理論的枠組をもとに、社会問題の状況を不確実性の観点から分類し、その状況に応じたリスク評価の理論を構築することによって、リスク研究者の間のコミュニケーションがより進展すると期待できる。また、そうした議論が、より安全で安心できる社会の構築する諸努力に資する可能性が、十二分に期待できると考える。

引用文献

- 1) Beck, U. *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Suhrkamp Verlag. Frankfurt am Main, Germany. (1986).
『危険社会 - 新しい近代への道』(東廉・伊藤美登里訳) 法政大学出版局 (1998).
- 2) Beck, U. *Das Schweigen der Wortel: Uber Terror and Krieg*. Suhrkamp Verlag. Frankfurt

- am Main, Germany (2002).
『世界リスク社会論 - テロ, 戦争, 自然破壊』(島村賢一訳) 平凡社 (2003).
- 3) National Research Council (1983) *Risk assessment in the federal government*. Washington, DC: National Academy Press.
- 4) Dekay, M. L., Small, M. j., Fischbeck, P. S., Farrow, R.S., Cullen, A., Kadane, J.B., Lave, L.B. Morgan, M.G., and Takemura, K. (2002). Risk-based decision analysis in support of Precautionary policies. *Journal of Risk Research*, 5, (4), 391-417.
- 5) 平川秀幸 (2002). 「リスクの政治学—遺伝子組換え作物論争のフレーミング分析」小林傳司(編) 『公共のための科学技術』(pp.109-138). 玉川大学出版部
- 6) 小松 丈晃(2003). 『リスク論のルーマン』勁草書房
- 7) 山口節郎 (2002). 『現代社会のゆらぎとリスク』新曜社
- 8) 大坪寛子, 山本明, 吉川肇子 (2002). 「社会的現実としてのリスク:合理的なリスク概念の限界」 『日本リスク研究学会誌』(14) 63-68
- 9) Wynne, B. (2001). Managing scientific uncertainty in public policy. Background paper to the conference, Biotechnology and global Governance: *Crisis and Opportunity*, April 26-28, Harvard University Wetherhead Center for International Affairs. Cambridge, MA.
- 10) 竹村和久 (1996). 「意思決定とその支援」市川伸一(編) 『認知心理学4巻 思考』(pp.81-105). 東京大学出版会
- 11) 市川淳信 (1983). 『意思決定論』(エンジニアリング・サイエンス講座 33) 共立出版
- 12) Kahneman, D., and Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- 13) Tversky, A., and Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211, 453-458.
- 14) Tversky, A., and Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323.
- 15) 竹村和久 (1994). 「フレーミング効果の理論的説明 - リスク下での意思決定の状況依存的焦点モデル」 『心理学評論』(37) 270 - 293 .
- 16) 藤井聡・竹村和久 (2001) 「リスク態度と注意 - 状況依存焦点モデルによるフレーミング効果の計量分析」 『行動計量学』(54) 9-17 .
- 17) 吉川肇子 (1999). 『リスク・コミュニケーション: 相互理解とよりよい意思決定を目指して』福村出版
- 18) 広田すみれ・増田真也・坂上貴之(編著)(2002). 『心理学が描くリスクの世界 - 行動的意思決定入門』慶應義塾大学出版会
- 19) Barberà, S., Hammond, P. J., and Seidl, C. (Eds.) (1998). *Handbook of utility theory*, Vol.1(Principles), Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 20) Beyth-Marom, R. (1982). How probable is probable?: Numerical translation of verbal probability expressions. *Journal of Forecasting*, 1, 267-269.
- 21) Smithson, M. (1989). Ignorance and uncertainty: *Emerging paradigms*. New York, NY: Springer Verlag.
- 22) Takemura, K. (2000). Vagueness in human judgment and decision making. In Z.Q. Liu and S.Miyamoto (Ed.s.), *Soft computing for human centered machines*, Springer Verlag, Tokyo, pp.249-281.
- 23) Fishburn, P. C. (1988). *Nonlinear preference and utility theory*. Sussex: Wheatsheaf Books.
- 24) Edwards, W. (Ed.) (1992). *Utility theories: Measurement and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- 25) Nakamura, K. (1991). Canonical fuzzy numbers of dimension two and fuzzy utility difference for understanding preferential judgments. *Information Sciences*, 50, 1-22.
- 26) 瀬尾芙美子 (1994). 『思考の技術』有斐閣
- 27) Smithson, M., Bartos, T., and Takemura, K. (2000). Human Judgment under sample space ignorance. *Risk, Decision and Policy*, 5, 35-150.
- 28) Walley, P. (1996). Inference from multinomial data: learning about a bag of marbles. (with discussion) *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 58, 3-57.
- 29) 小橋康章 (1988). 『決定を支援する』(認知科学選書 18) 東京大学出版会
- 30) Bell, D. E., Raiffa, H., and Tversky, A. (1988). Descriptive, normative, and prescriptive interactions in decision making. In D. E. Bell, H. Raiffa, A. Tversky (Eds.), *Decision making: Descriptive, normative, and prescriptive interactions* (pp.9-30). New York, NY: Cambridge University Press.
- 31) Keeney, R. L. and Raiffa, H. Decision with multiple objectives: *Preferences and value tradeoffs*. New

York: Wiley. (1976). 『多目標問題解決の理論と
実例』(高原康彦・高橋亮一・中野一夫監訳) 構造計
画研究所 版会 .

32) Eueopean Environment Agency (2002). *Late
Lessons from early warnings: precautionaly prin-
ciple 1896-2000. Environmental Issue Report,*
No.22.
<[http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_
report_2001_22/en](http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_report_2001_22/en)>

33) 藤垣裕子 (2003). 『専門知と公共性』 東京大学出

謝辞

本研究を進めるにあたり，東京大学大学院工学研
究科堀井秀之教授から有益なご助言を賜った。

TAXONOMY OF UNCERTAINTIES AND RISK EVALUATION: A PROPOSAL OF THE THEORETICAL FRAMEWORK

Kazuhisa TAKEMURA¹, Toshiko KIKKAWA², Satoshi FUJII³

¹Ph.D. (System Science) Professor, Waseda University, Dept. of Psychology(E-mail:
kazupsy@waseda.jp)

²Ph.D.(Letters) Associate Professor, Keio University, Dept. of Commerce, (E-mail:
geg01510@nifty.com)

³Ph.D. (Engineering) Associate Professor, Tokyo Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering
(E-mail: fujii@plan.cv.titech.ac.jp)

We propose a decision theoretic framework for evaluating uncertainties of several societal risks in society. There are controversies on the theoretical discussions about uncertainties related to the societal risks among scientists, sociologists, and also, possibly, the populace. In the present paper, we propose taxonomy of the uncertainties from the standpoint of the environmental structure of decision makers, and examine the social risk problems as decision making problems uncertainties using it. We also discuss practical implications of our framework for risk evaluation as a process of social technology for social safety and security.

Key Words: *Risk evaluation, uncertainty, ignorance, decision making, precautional principle, decision frame, and social technology*