

リスクの認知と意思決定

稲垣敏之

1. はじめに

大きなシステムで事故が起こる。まさかと思うようなところで人々がテロの標的になる。老後に備えた預金も安心とは言えない。このような不安を表しているのだろうか、「リスク」ということばを日常的に聞くようになった。

使いやすいことばであるだけに、「リスク」に込められた意味はさまざまである。「危険なこと」を表している場合もあれば、「結末の重大性」に焦点が当てられていることもある。さらに、「結果が予測できない」ことを表す場合にも使われる。「リスク」の多義性は、ルネサンス時代からすでにリスクに関する議論が始まったとされる長い歴史[1]によるのかもしれない。

人の日常は意思決定の連続である。たとえ誤っていても痛みを感じない決定もあるが、取り返しがつかないほどの損失を与える決定もある。「状況に潜むリスクを把握して慎重に対応せよ」といわれても、おのずと限界がある。一般に、人は必ずしもリスクを正しく認識することはできない。さらに、リスク認知はその人の価値観にも影響され、時には誤った意思決定をもたらす。

本稿では、リスク認知やそれに基づく意思決定のむずかしさを概観する。工学的システムのリスク評価・解析では、依然として確率論的アプローチが主流であるが、万

能ではない。単一のアプローチですべてが解決できるほどリスクの問題は単純でもない。そこで、リスクの認知や意思決定について求められている研究課題についても考察する。

2. リスクとは

「リスク」には多くの意味がある。すべてを挙げることはできないが、代表的なものを表1に示す。

なお、「確率」と表現したところは、「可能性」と言い換えてよいものもある。

表1 「リスク」の多義性

-
- (1) 事故・災害・危難など個人の生命や健康に対して危害を生じさせる事象[2,3]
 - (2) 危険なことがら、あるいは損失が生じる確率[2,3]
 - (3) 損失の大きさとその発生確率との積[4]
 - (4) 事故とその発生確率の組 (事故, 発生確率) [5]
 - (5) (4) の一般形として, $\{(事象 1, 発生確率 p_1), \dots, (事象 n, 発生確率 p_n)\}$ [6]
ただし, $\{p_1, \dots, p_n\}$ は離散型確率分布.
-

海外旅行保険を掛けるとき、現地でロッククライミングやスカイダイビングなど

「リスクな行為」の予定を尋ねられたとすれば、(1)の定義に基づく用法である。

今まで難病とされてきた病気の治療のために、強力な薬が開発されたとしよう。「この薬で副作用が発生するリスクは20%」などと表現されるのは、(2)の意味によるものである。心理学的分野では確率認知バイアスのひとつとして、「ある病気にかかる確率が低くても、その病気にかかったときに死亡する確率(条件つき確率)が高ければ、その病気の死亡率を過大に評価する」[2,3]ことが知られているが、これも定義(2)に基づくものである。

(3)は保険などの分野で用いられる定義である。不具合事象の発生確率を p 、損失額を S としたとき、それらの積 pS をリスクと称している。「事象が起こりにくくするか、発生時の損失を軽減する手立てを取ればリスクを小さくすることができる」という主張はこの定義に則ったものである。なお、 pS を「期待損失」と称する人もいるが、確率論などでいう「損失の期待値」そのものではないため、注意が必要である。

(4)あるいは一般形としての(5)は、主にリスクに関する工学的研究で用いられる定義である。後に述べる確率的リスク解析などはこの流儀の定義に沿っている。

リスクをどのように定義するにしても、リスクを的確に認知することは容易ではない。次節(3節)においては心理的観点から、第4節においては技術的観点から、リスクの認知・評価の難しさを述べる。

3. リスク認知のむずかしさ

リスク認知が条件つき確率に支配される確率認知バイアスを前節で述べたが、確率認知バイアスは他にも知られている。「確率

の低い現象の生起確率を実際より高く感じ、確率の高い事象の生起確率は逆に実際より低く感じる」こともそのひとつである[2,3]。このほかにも、確率的現象に関する事前情報を観測情報を用いて更新する際、人がふつうに頭に描く「事後情報」は、ベイズの公式が与える事後情報とは大きく異なりうることなど、興味深い現象が知られている[7]。なお、これらの研究が対象としたのは、「ふつうの人」である。

では、対象について豊富な専門知識を持っている人であれば、リスクを正しく認知できるのだろうか。すなわち、原子力プラントや航空機などの高度技術システムの設計者、技術者、オペレータ、管理者は、それらのシステムのリスクを的確に認知できるのだろうか。実は歴史が物語っているように、専門家と称する人々でもリスクを正しく認知できるとは限らない。

3.1 過信

専門家の場合に問題になるのは、過信(complacency)である。過信とは、文字どおり過大な信頼を抱くことであり、適正な警戒心を持って事象や状況を見定める努力を怠ることをいう[8]。システムが安全な状態を長く保持することは良いことである。しかし、安全実績が逆に安全を損なうことがある。長い間トラブルが起こらない状況が続くと、「このシステムは安全だ」という過剰な自信が生まれ、いつしか「事故など起こるはずがない」との盲信に至る。

過信にはさまざまな形態がある。それを理解するには、「信頼」が何を意味するのかを知っておくと便利である。信頼(trust)には、表2に示す4つの次元があり[9]、これらがすべて満足されてはじめて人は対象

を信頼することができる。このうち、物理法則に従っている「工学的システム」では (1) は成立していると考えてよい。したがって、(2) — (4) をまとめて、「つねに一貫した動作を反復するものであっても、それを支える論理が誤っているものは信頼できず、また、たとえ論理的な誤りはなくても、正しい目的意識に支えられていると思えないものは信頼できない」といい表すことができる[10].

表2 信頼の4つの次元

-
- (1) 基礎： 自然界を支配する法則や社会の秩序に合致していること
 - (2) 能力： 終始一貫して、安定的かつ望ましい行動や性能が期待できること
 - (3) 方法： 行動を実現するための方法、アルゴリズム、ルールが理解できること
 - (4) 目的： 上記の背後にある意図・動機が納得できるものであること
-

過信にどのようなものがあるだろうか。(2) — (4) の各々に対応させてみると、つぎのようになる。

(2) 能力：「今までいつもきちんとやってくれていた。今回のケースでも当然上手に対応してくれるだろうし、これからもずっとそうだろう」

(3) 方法：「どのようにしてこの機能が実現できているかは知らないが、よく考えて設計されているだろうから、任せておいて大丈夫だろう。どのような手順でこのタスクを実行するつもりなのか聞いていないが、特に詳細まで把握しておく必要はなかろう」

(4) 意図：「なぜこのようなことをしているのかわからないが、良かれと思ってやっているのだろうし、別に悪いようにはしないだろう」

では、過信の具体例を見てみよう。

3.2 安全への投資や努力は無駄?

システム導入の当初は、安全第一を目標とし、石橋をたたいて渡るような規則や手順が定められる。そして、人々はそれらを生真面目に遵守する。念には念を入れた運用のおかげで、なにごともなく月日が過ぎていく。そのうち、配置転換などにより、システムの運用に携る人々も交代する。新しい世代の人々にとっては、七面倒くさい規則や手順が考案された理由や意図など、もはや理解できないかもしれない。すると「効率が悪い」ことを理由に、規則や手順の単純化や改変が起こる。あらゆる面で理想的なものは存在しない。新しい規則や手順のもとではどこかに無理が生じ、何かの拍子で事故が生じる。

「JCO 事故を念頭において書いたのだろう」と感じた方もおられるかもしれない。しかし、このような事例は時代や分野を超えて数多い。1979年5月、オヘア空港を出発した DC-10 が離陸まもなく墜落した。左翼エンジンがパイロン（主翼にエンジンを吊り下げる構造部分）もろとも脱落し、バランスを崩したのである。この事故要因のひとつが、パイロンのベアリング交換手順の「効率化」である[11]。パイロンのベアリング交換は、「まずエンジンをパイロンから外し、つぎにパイロンを主翼から取り外す。そのうえでベアリングを交換する」という手順（図1上）が定められていたが、「エンジンとパイロンを分離しないまま一挙に主

翼から外す」ことによって作業時間を短縮する「効率の良い手順」(図1下)を考え出したのである。改変された作業手順のもとでずさんな作業が行われ、パイロンの後方接合部の取付金具にクラックが発生し、進展していった。

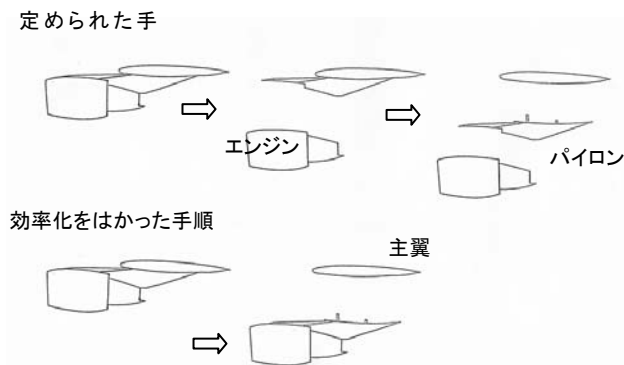


図1 効率の良い手順の発明

安全を確保するための規則や手順が骨抜きにされていくのは、安全の実現にどれほど役立っているのか、その効果が目に見えないからである。人が何らかの行為を進んで実践したいと思うのは、それを行ったときの効果が目に見えるからである。効果が体感できないのに、「それでもやらねばならないのだ」との強固な意思を持つことができるのは、修行を積んだ人だけかもしれない。

3.3 「失敗から学ぶ」ことはむずかしい

事故やトラブルが起これば、人はそこから何かを学ぶものと思いたくなるが、それは期待しすぎである。どこかのシステムで事故が起こったとしよう。同じようなシステムを運用している人はどのようにコメントするだろうか。「わが社のシステムでは、決してあのような事故は起こりません」と

いうことばをよく耳にしないだろうか。ちなみに、「わが社の」を「わが国の」などいい換えた表現にも出会ったことがあるはずである。

あるところで大きな事故が起こる前には、それと同じような小さな事故やトラブルが別のところですでに起こっていることが多い。1992年1月、エアバスA320が、降下角を指定したつもりで実は降下率を指定していたことに気づかないままストラスブル近郊の山へ墜落した事故は、モードエラーが関与したものとして有名である。実は、降下角と降下率を取り違えたために事故寸前まで至った事例は、1988年以来、ガトウィック、デュッセルドルフ、サンディエゴ、ナントの各空港近辺ですでに発生していた[12]。

他者の失敗から学ぶことは難しいが、自らの失敗から学ぶことも容易ではない。自らのプラントで何度もトラブルが繰り返されたにも関わらず、真剣に受け止めなかったため、ついに大事故に至ったボパールでのプラント爆発事故の例もある。

事故を起こしてから、「そういえば、以前にも同じようなことが起こっていたな。そのときに気づいておくべきであった」とあとで悔しい思いをするのは、古からの人間の性である。現状への過信を避けるには、何らかのしくみが必要である。

3.4 「三人寄れば文殊の知恵」の虚構

集団の合議で決めれば妥当な結論が得られるだろうと期待するのも正しくない。例えば、話し合いがリスクを高める現象は「集団意思決定のリスクシフト」[2,13]としてよく知られている。これは、一人ずつは慎重姿勢をもっていても、集団で討議

しているうちに、結論が大胆あるいは危険な方向にシフトする現象である。「気になるところはあるのだが、グループの和も乱したくないし・・・」「一人で反対しても・・・」など、集団の中から自分だけが逸脱しないよう、少なくとも平均以上であろうとする気持ちが働くからであるとされる。

組織としての決断が事故やトラブルを招くことがある。その組織には、「このようなことをしてもいいのかな」と思う人もいたはずである。しかし、集団意思決定のリスクシフトが起これば、どうだろうか。和を尊び、年長者を敬い、上司には楯突かないことを暗に陽に求めてきた日本の文化的土壌においては、特に細心の注意が必要であろう。

ヒューマンエラーをなくそうと、複数の人間でチェックするしくみが採用される場合も多いが、これも万全ではない。「たとえ自分がミスをして、誰かがカバーしてくれるだろう」と勝手に期待することは、過信以外のなにものでもない。過信のもとでは、何重かのチェック機構も企図したようには機能しない。

4. リスク定量化の落とし穴

リスクの定量的評価・解析法の代表的なものが、確率的リスク解析（Probabilistic Risk Analysis: PRA）法である。マスコミでは、「新しい方法」と紹介されることもあるが、実は PRA の歴史は古く、ルーツは 1960 年代に遡る[14]。PRA が一般に知られるようになったのは、商用原子力プラントの安全性を解析・評価した WASH-1400 報告書[15]以降であろう。そこで用いられた考え方は、いまや大規模システムのリスク評価に欠かせないものとなっている。ただ

し、PRA には気をつけるべき点も少なくない。PRA を実施する側も、評価結果を見る側も、過信は禁物である。

4. 1 独立性は仮定できるか？

システムのリスクを定量化するうえで、事故に至る事象系列（事故シーケンス）を知る必要がある。事故シーケンスの同定に用いられるのがイベントツリー（event tree: ET）である。ET は、初期事象（例えば、パイプ破断）を出発点とし、それ以降、関係する事象の生起・非生起（例えば、安全保護系の作動・不作動）で順次分岐させていくことによって事故シーケンスを見出そうというものである。ET は「事象 A のもとで事象 B が発生すると、何が起きるか」という前向き推論の図的表現といえる。

一方、ET に現れる各事象の生起確率の同定に用いる手法がフォールトツリー（fault tree: FT）である。例えば、ET に現れる事象 C の生起確率を求めたいとしよう。このとき、「事象 C が起こるには、どのような事象が発生していなければならないか」というタイプの後向き推論が反復される。事象 C（頂上事象という）から出発し、これ以上展開する必要のない事象（基本事象）に到達するまで推論を反復するわけである。

一般には、FT から最小カットを求めるという手順を踏んだ後に、頂上事象の生起確率を求めることになるが、基本事象の独立性を仮定できるかどうかで、計算の難易が大きく左右される。実際の PRA では、根拠もなく基本事象の独立性を仮定することはない（はずである）が、単に計算を簡単にしたいがために独立性が仮定されていないか、見極めが必要である。

例えば、基本事象 1 と 2 に対応するシス

テム要素が独立の機能を持つものであったとしても、それらが物理的に近い場所に設置されており、その設置場所が地震や火災などの単一の要因で同時に壊滅的被害を受けるとしたら、もはや統計的な独立性は保障できない。このような「共通モード故障」には時に想像を越えるものがある。

冗長性を持つシステムでも安心はできない。かつて航空機の油圧4系統が、隔壁破壊という単一の事象のためにすべて切断されたことがあった。油圧各系統が故障する確率を q 、隔壁破壊が起こる確率を r としてみよう。隔壁が正常であれば油圧4系統は独立であったとしても、隔壁破壊が起これば各系統は確実に切断されるなら、次式が得られる。

$$P\{\text{油圧4系統のすべてが故障}\} = q^4(1-r) + r$$

上の式は初歩的なものではあるが、 r が q に比べて極めて小さくても、 r の影響が支配的になる場合があることを実感するには十分であろう。

4. 2 信頼性データは信頼できるか？

PRAにおいてもひとつの重要な仮定は、「基本事象の生起確率データは信頼できる」ことである。PRAは、まだ実際に起こってもいないシステム事故がどれほどの確率で起こるのかを予想しようというものであるため、事故発生確率を統計的確率として捉えることはできない。そこで、ETやFTを用いて評価対象をより根源的なシステム要素（基本事象）に帰着させるわけである。これらの基本事象については、統計的確率を議論できる程度のデータがあることが前提となる。

基本事象の生起確率に不確実性が入ることは避けられない。例えば、機械部品であれば使用環境によって故障発生の可能性は大きく異なる。人間オペレータであれば、個人差もあれば、同じ人でも状況によってエラー発生率は大きく異なる。さらに、シミュレータで採取したデータをもとに人間のエラー率を定める場合は、真のエラー率とはかけ離れたものになる危険性があることに注意しておく必要がある。シミュレータでは、「失敗すると多額の損失が出る」という切迫感が出せないからである。

これらのことを考えると、たとえ頂上事象の生起確率を導出したとしても点推定値のような捉え方は不十分である。そこで、不確実性解析[6]と称する方法が必要とされる。

ファジィ論の立場からは、信頼性データ（例えば、要素の故障確率）をファジィ数と考える手法などが提案されている（例えば、[16,17]）。これらは、従来の確率的手法との対応が直感的でわかりやすい点に特徴がある。

4. 3 まず結論ありきのPRAが行われると？

PRAは、運用開始前のシステムを対象として実施するのが基本的である。事故やトラブルが発生する可能性を定量的に評価・解析した結果、もし安全性が当初目標に到達していないことがわかれば、設計変更や運用手順の改善などを策定することになる。

しかし、PRAによって当初目標を下回る不本意な結果が出たとき、満足できる結果になるまでデータを「改訂」した事例が過去にあった。典型的な例は、スペースシャトル・チャレンジャーに見ることができる。

1983年にアメリカ空軍が行った計算では、固体ロケットブースターの故障は、35回の打ち上げにつき1回の割合で起こるとの結果を得た。しかし、NASA当局はこの数字を嫌い、「独自の専門的判断」のもとに、10万回の打ち上げを行ったとしても固体ロケットブースターの故障は1回しか発生しないという結論を出したとされる[14,18]。同様の記述は、事故調査に関わったフィンマンの報告[19,20]などにも見ることができる。

このことは、「確率的アプローチに基づくPRAに不都合や欠陥がないか」という範疇の問題ではない。決定権を持つ人間が、リスク(あるいは人命)と何を天秤にかけたのか、「誰のための決定か」が問われる問題である。決定が国威発揚や成功がもたらす名誉のためになされることは、あってはならない。

4. 4 単調性は仮定できるか?

システムを構成する各要素が「正常」「故障」の2状態をとるものとしよう。「システムの中に故障要素が多いほどシステム故障の可能性が高く、正常要素が多いほどシステム正常の可能性が高い」という性質は直感になじむ。この性質を単調性とよぶ。あるいは、システム状態に影響力をもたない要素が除外できておれば、コヒレント(coherent)システムとよぶ。基本事象を「要素故障」として定義すると、コヒレントシステムをFTで表現する際の論理演算子としては、ANDゲートとORゲートがあれば十分である。

しかし、単調性を持たないシステム、あるいは非コヒレントシステムも存在する[7]。ある要素の正常動作がシステム故障をもた

らしうるシステムであるが、センサ信号に基づいてコンピュータがアクチュエータを用いた自律的制御を行う系などに例を見ることができる[21]。FTを用いた表現では、AND、ORゲートに加えて、NOTゲートも必要となる。

PRAにおいて非コヒレントシステムが扱われることは稀である。非コヒレントシステムの場合は、コヒレントシステムに比べて、頂上事象の発生確率の計算などが格段に面倒になる[21]。そこで、頂上事象に対するFTを展開したときにシステム要素の「正常」状態が基本事象に現れるときは、その基本事象を省略することが行われる。いわば、非コヒレントシステムのコヒレント化である。例えば、「要素1が正常に作動しているとき、要素2が故障すると、システムは異常な挙動を示す」ことがわかったものとしよう。この知識を、「要素2が故障すると、システムは異常な挙動を示す」というように簡略化するわけである。この簡略化は一見、妥当であるかのように思われる。なぜなら、「要素1が正常に作動している」ことは信頼性の高い要素であればほとんど確実に起こっているからである。

「ほとんど確実に起こっている」と考えてよい事象について、「もしその事象が起これば」など、わざわざ明記するのは無駄のようにも思われよう。しかし、非コヒレントシステムのコヒレント化は思わぬ落とし穴を作り出す。上述の非コヒレントシステムにおいて、要素1と要素2がともに故障状態にあったとしよう。このときシステム異常は発生していない(もし、システム故障が発生しているとするならば、要素1はシステム状態に影響力をもたないことになる)。さて、かねてから作業を進めていた要

素1の修理が完了したとしよう。このとき、何がおこるだろうか。システム異常である。非コヒレントシステムでは、このように、良かれと思ってやったことが、実は不都合をもたらすことがある。まさに、現在の複雑なシステムで起こっていることそのものといえないだろうか。

システム状態を表す命題変数は、要素状態に対応する命題変数のブール関数として記述することができる。一般のブール関数には否定、論理和、論理積の演算が現れる。システムリスクを評価するときに限って「否定演算は不要である」と主張してよい理論的根拠はない。

4.5 ブール論理のかたさ

FTやETが基盤とするブール論理の「かたさ」も気になる点である。システム状態を表すブール関数を主積和標準形で表現したとき、基本積 x_1x_2 が現れたとする。これは、「要素1と要素2が故障すると必ずシステムは故障する」ことの知識表現である。しかし、複雑なシステムであれば、つねに因果関係を断定的に表現できるほどの知識を持ち合わせている保証はない。例えば、「要素1と要素2が故障すると、直ちにというわけではないにしても、システムが故障するかもしれない」という不安を抱くこともありうる。現在のPRAの基盤になるブール論理では、このような知識を表現することはできない。

どのレベルで「要素」を定義するかにもよるが、現在のシステムでは要素がサブシステムとでもいえるほど複雑な機能を持つことがある。そのようなとき、要素間でのインタラクションを正確に把握することは難しい。「断定的な知識表現のみでこと足れ

り」とする態度は警戒心を欠くものであろう。「やがて・・・のようなことが起こりうるかもしれない」のような懸念を率直に反映させる解析が行える理論体系への発展が必要である。

4.6 ヒューマンマシンシステム

リスクを正当に評価したシステム設計がなされたとしても、そのシステムの運用段階でリスクを過小評価する現象が発生することもある。その背景には、システムの高度自動化がある。現在のヒューマンマシンシステムの多くは監視制御 (supervisory control) と称する形態を持つ (図2)。ここでの人間の仕事は、「何をなすべきかを決め、それをコンピュータに指示し、その指示に沿ってコンピュータが適切な制御を実行しているかどうかを監視すること」である[10]。

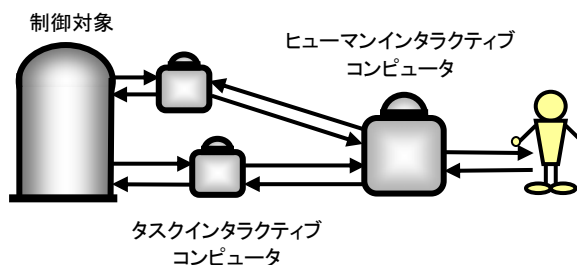


図2 監視制御形態をもつヒューマンマシンシステム

実は、監視は人間の得意とするところではない。「何らかの不具合が生じたときには迅速に対応する」という任務があるので警戒心を持ちつづけようと努力はするものの、信頼性の高い制御対象システムでは異常は稀にしか発生しない。しかも、部下であるコンピュータは高い知性を備えている。「能力のある部下だから、任せておいても間違いはないだろう」「問題が生じたら警報

が知らせてくれるはずだ」という気持ちが生じて不思議ではない。こうして、認知・判断の主体がしだいに人から機械へ移っていく[10].

コンピュータのもつ高い自律性と行為実行のための大きな力は、「今何が起きているのか」をわかりにくくする働きを持つ。例えば、システムに異常が生じてても、コンピュータが自動的に対応してしまうため、結果的には、人は異常に気づきにくくなることもある[22]。また、システムの安全確保のために設けられた複数の防護機能がたがいに思わぬインタラクションを起こすと、もはや人間がその状況を把握することは難しい[22]。知的機械の予期しない連携プレイは、現在の PRA には十分に反映されていない。

5. リスク環境での意思決定

応用数学やシステム工学などの分野で研究されてきた伝統的な意思決定論の基本形はつぎのようなものである。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && f(x) \\ & \text{subject to} && x \in D \subset R^n \end{aligned}$$

さまざまな制約条件から定められる実行可能領域 D の中から目的関数 $f(x)$ を最小にする「最適な」決定変数 x を選ぶことは、「理想的な意思決定はいかにあるべきか」を示すものでもある。このことから、上に示した意思決定問題は「規範的意思決定モデル」とよばれる。規範的意思決定モデルは、システムの設計、制御、管理計画などに重要な役割を演じてきた。

しかし、「現実の意思決定はどのように行われているか」を調べた研究からは、人間

の意思決定が規範的モデルからいくつかの点で逸脱することが見出されている。例えば、「確実に 800 ドル獲得できる選択肢」と「0.85 の確率で 1000 ドル獲得できるが、まったく賞金を獲得できない確率が 0.15 ある選択肢」では、多くの人は「確実な獲得」を好んで前者を選ぶ（リスク回避的な認知バイアス）[2]。一方、「確実に 800 ドル失う選択肢」と「0.85 の確率で 1000 ドル失うが、まったく損失を被らない確率が 0.15 ある選択肢」では、「確実な損失」を嫌って後者を選ぶ人が多いことが知られている（リスク選好的な認知バイアス）[2]。いずれのケースでも、目的関数（賞金期待値あるいは損失期待値）の最適化をはかる決定ではない。このほかにも規範的意思決定モデルでは説明できないさまざまな現象が知られている[2,3,7].

そこで、「人は実際にどのように意思決定しているか」を表現する記述的意思決定モデルがいくつか提案されている。確率事象についての人間の認知が期待値に基づく「合理的な判断」と一致しないことを反映したプロスペクト理論[23]はその代表的なものである。

記述的モデルのひとつで、最近話題になるのが Naturalistic Decision Making (NDM) である[24-26]。NDM 研究は、エキスパートと呼ばれる人々が、表 3 に示すような「性質の良くない」現実問題に対し、どのように意思決定を行うのか、その決定過程に見られる特徴を抽出するとともに、それを的確に記述するモデルを構築しようとするものである。エキスパートの意思決定過程をあるがままに観察・記述しようとする基本姿勢が「naturalistic」ということばに込められている[27].

表3 NDMが対象とする意思決定問題の特徴[28]

-
- (1) 時間圧力： 意思決定やそれに基づく行動を取るまでに許される時間は短い
 - (2) 動的環境： 状況は一定ではなく、時間とともに変動する
 - (3) 高リスク： 決定や行為の誤りは、意思決定者や周囲に多大の損失を与える
 - (4) 目標の変動： 状況が動的に変化するため、それに応じて意思決定者も目標をシフトさせる必要がある
 - (5) フィードバックループ： ある状況のもとで取った行動は状況を変化させるため、それ以降の目標や行動に多大な影響を及ぼす
 - (6) 情報の曖昧さ、欠落、不整合性： 状況を正確に把握するに十分かつ正確な情報が入手できるのは稀であり、複数情報間の矛盾、情報欠落、情報の精度不足などが生じるのがふつう
 - (7) エキスパート： 意思決定者は素人ではなく、対象とする問題に対してある程度の経験を有するエキスパートが意思決定にあたる
 - (8) 手がかり発見： エキスパートであるがゆえに、状況判断の手がかりとなる情報を見出すことができる
 - (9) チーム組織： 複数の人間から成るチームが意思決定にあたることもある
-

NDMのポイントのひとつは、「意思決定」を「状況診断」と「行為選択」の2種類に分ける点にある。規範的意思決定モデルが行為選択を考察の対象としたのに対し、NDMは、「状況診断に続いて行為選択が行われる」という意思決定の一連の流れを明示的に記述・表現しようというわけである。実際、「可能なすべての代替案をあらかじめ

列挙しておき、それらを比較して最適解を求める」形態の規範的意思決定論にはない新鮮な知見がNDM研究によって得られている。その代表的なものをまとめて表4に示す。なお、この表に示されたような「状況認知が意思決定の重要な鍵を握る」というエキスパートの意思決定過程の特徴を表現しようとするのが「認知主導的意思決定（Recognition-Primed Decision：RPD）モデル」[29]である。

表4 NDM研究による代表的な知見

-
- (I) まず「今何が起きているか」、状況を特定することが最重要である
 - (II) 状況が特定できれば、それに対応する行為はほとんど自動的に定まる
 - (III) 最初に想起された行為代替案が満足できるものであれば、その行為を採用する。それ以外の代替案を探索することはない。採用した代替案が最適であるか否かも検討しない
 - (IV) 想起された行為代替案が満足できないことが判明してから、はじめてつぎの代替案が生成される。すなわち、{ひとつの行為代替案生成・評価・採否決定}を単位とし、この操作が逐次的に行われる。複数の代替案を列挙し、それらを同時に比較しようとすることはない
-

では、エキスパートの意思決定はすべて認知主導的といえるだろうか。おそらく答えは否定的であろう。最近出版された[30]のなかに、つぎのような事例がある。

フランクフルトを離陸して成田を目指して4時間経った頃、心臓が弱った急病人が

発生する。このとき機長らは『急病人, 即, 最寄りの空港に緊急着陸』とせず, 着陸できる可能性のある空港 (ハバロフスク, 千歳, 成田) を列挙し, それぞれの気象条件を調べ, 「心臓専門の設備が整った病院に入院させるべきである」との医師の意見に基づいて医師および病院に関する情報を集めている。そして, 各空港への緊急着陸の可能性の連絡と協力要請を整えた後, いずれの空港に着陸すべきか, 機長, ファーストオフィサー, 交代機長, 非番で登場していた機長の4人が討議する様子が描かれている。それぞれの空港に降りた場合の利益, 不利益を明らかにしたうえで, 最終的にハバロフスクに緊急着陸をすることが決断されていく過程は, まさに規範型意思決定に他ならない。

筆者 (稲垣) は, エンジントラブルで緊急着陸を余儀なくされる場面を想定し, パイロットを被験者とした思考実験を行ってみたことがある [31]。問題設定によっては, 認知主導的意思決定モデルが主張するように即座に解が得られる場合があった。しかし, ある問題設定では, 想起される行為代替案のいずれにも満足できないまま代替案生成を反復していくうちに, もはや他に代替案がない状況に至る。最終的に代替案をひとつ選択する過程は, 規範的意思決定といえるものであった [31]。このように, ひとつの問題でも, 時間の経過 (状況の変化) につれて, 意思決定の方式が変わることがある。

RPD モデルは興味深い点をいくつも持っているが, それに対応する数理モデルはまだ提案されていない。必ずしも人間の判断や決定が確率的ではないことがわかっていて, ソフトコンピューティング・

アプローチによるモデリングが検討されてもよい時期である。

6. むすび

不確実性の存在するところにはリスクがある。人はリスクを正しく認知できるとは限らない。しかし, 人はそのような中で意思決定を求められている。リスクを伴わない意思決定などありえない。この状況を的確に表現・解析することはむずかしい。不確実性といえば確率論が当然のように用いられてきただけのことにはあり, その伝統は侮りがたく, 豊富な道具と知見がそろっている。

確率論とは別の観点から不確実性を定量的に表現・解析しようとするものの代表が, ファジィ理論であり証拠理論である。情報や人の知識に含まれる不確実性が確率論で表現できるものばかりではないこと, 人の認知が確率的モデルで予想されるものとは乖離していること, などを考えると, 非確率論的アプローチのはたす役割は大きく, 期待も大きい。

システムリスクあるいは安全性を扱う分野に限っても, 非確率論的手法の整備が求められている。本稿で述べた諸問題のほかにも, 安全か危険かの判断を下すのがむずかしいにもかかわらず Go/No Go を選択しなければならない意思決定問題など, 研究すべき重要課題は多い (例えばこの Go/No Go 問題を証拠理論的に解析すると, 不確実情報の統合方策と安全制御方策の適切な組み合わせが重要であることがわかる [32])。

ただし, 確率論, ファジィ理論, 証拠理論には, それぞれ得意とするもの, 不得意とするものがある。それらの利点と限界を

見極めた上で、「適材適所」とする柔軟なアプローチが必要であろう。いずれかひとつで十分であると考えるのは、過信というものである。

日本では、確率的リスク評価（PRA）のことを「確率的安全評価（Probabilistic Safety Analysis: PSA）」と称する人が多いようである。「安全」は何もしなくても手に入るものではなく、たえまない努力の結果として得られるものである。「安全が十分に確保できていない点を果敢に探し出して対策を講じる」意気込みを込めて「安全評価」と称しているなら良いが、システムが内包する危険性から目を逸らそうと、耳障りの良い「安全」ということばを使いたくて「安全評価」と称しているなら、見識が問われる。リスクの語源は、「立ち向かう」ことを意味する古代イタリア語 *risicare* であるとされる[1]。リスクを認識し、それに敢然と立ち向かう姿勢を示すには、確率的リスク評価という表現のほうがふさわしい。

参考文献

- [1] Bernstein, P.L.: *Against the Gods*, John Wiley, 1996.（青山訳）リスク：神々への反逆，日本経済新聞社，1998.
- [2] 岡本：リスク心理学入門，サイエンス社，1992.
- [3] 広田，増田，坂上：心理学が描くリスクの世界，慶応義塾大学出版会，2002.
- [4] 清水：設備安全工学，裳華房，1989.
- [5] Dougherty, E.M. & Fragola, J.R.: *Human Reliability Analysis*, John Wiley, 1988.
- [6] Kumamoto, H. & Henley, E.J.: *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists*, 2nd ed., IEEE Press, 1996.
- [7] Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (Eds.): *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge University Press, 1982.
- [8] Moray, N. & Inagaki, T.: Attention and complacency. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 1(4). 354-365, 2000.
- [9] Lee, J.D. & Moray, N.: Trust, control strategies and allocation of function in human machine systems. *Ergonomics*, 35(10), 1243-1270, 1992.
- [10] 稲垣：ヒューマンマシン共生のための知性と信頼，信頼性（日本信頼性学会誌）23(2), 167-175, 2001.
- [11] 諸星：航空機事故はなぜ起きる，エール出版，1995.
- [12] 岡野（編）：事故のモンタージュⅦ，全日空，1997.
- [13] 芳賀：ミスをしなない人間はいない，飛鳥新社，2001.
- [14] Bedford, T., & Cooke, R.: *Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods*, Cambridge University Press, 2001.
- [15] NRC: *Reactor Safety Study - An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants*, WASH-1400 (NUREG-75/014), 1975.
- [16] 鬼沢：信頼性解析・リスク解析への応用の現状と展望，日本ファジィ学会誌，5(5), 935-948, 1993
- [17] Tanaka, H., Fan, L.T., Lai, F.S., & Toguchi, K.: Fault tree analysis by fuzzy probability, *IEEE Trans. Reliability*, R-32, 453-457, 1983.
- [18] Leveson, N.G.: *Safeware*, Addison Wesley, 1995.
- [19] Feynman, R.P.: "What do you care what other people think?", Bantam Books, 1988.

- [20] 西脇, プライスル: 原子力, 宇宙環境のファジィネス, 日本ファジィ学会誌, 5(5), 1034-1050, 1993.
- [21] Inagaki, T. & Henley, E.J.: Probabilistic evaluation of prime implicants and top-events for non-coherent systems," *IEEE Trans. Reliability*, R-29(5), 361-367, 1980.
- [22] 稲垣: ヒューマンマシンシステム—高信頼性が損なう安全性, システム/制御/情報 (システム制御情報学会), 41(10), 403-409, 1997.
- [23] Kahneman, D. & Tversky, A.: Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291, 1979.
- [24] Klein, G., Orasanu, J., Calderwood, R., and Zsombok, C.E. (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Ablex, 1993.
- [25] Zsombok, C.E. & Klein, G. (Eds.): *Naturalistic Decision Making*, LEA, 1997.
- [26] Flin, R. Salas, E., Strub, M., & Martin, L.: *Decision Making Under Stress*. Ashgate, 1997.
- [27] Klein, G.: Private communication, 2001.
- [28] Kaempf, G.L., & Klein, G.: Aeronautical decision making: The next generation. In N. Johnston, et al. (Eds.), *Aviation Psychology in Practice*, 223-254, Ashgate, 1994.
- [29] Klein, G.: A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. In G. Klein, et al. (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*, 138-147, Ablex, 1993.
- [30] 桑野, 前田, 塚原: そのとき機長は 生死の決断, 講談社, 2002.
- [31] Inagaki, T. & Ishibashi, A.: Decision making under risk and time-criticality: Normative or recognition-primed? *Proc. 11th International Symposium on Aviation Psychology*, 6 pages, 2001.
- [32] Inagaki, T.: Interdependence between safety-control policy and multiple-sensor schemes via Dempster-Shafer theory," *IEEE Trans. Reliability*, R-40(2), 182-188, 1991.