

特集 「21世紀のAIのための数理モデル」

# 意思決定における数理モデル

## Mathematical Models in Decision Making

繁樹 算男  
Kazuo Shigemasa

東京大学大学院総合文化研究科  
Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo.  
kshige@bayes.c.u-tokyo.ac.jp, <http://face.c.u-tokyo.ac.jp/>

**Keywords:** normative model, descriptive model, SEU model, prospect theory.

### 1. はじめに

意思決定に関しては、多くの学問分野が関与している。心理学においては、どちらかといえば、人間の現実の意思決定のプロセスに関心があり、統計学、経済学、経営学、システム科学などと、力点のおき方が若干異なっている。それゆえにこそ、心理学、特にその数理モデルの展開を見るとき、規範モデル (Normative Model) と記述モデル (Descriptive Model) との両者の共通性と違いを整理でき、かつ、社会的に有用な知見にも結びつけることができる。この二つのモデルに加えて、実際に役に立つモデルを処方モデル (Prescriptive Model) と呼ぶことにして、本稿では、規範モデル、記述モデル、処方モデルの三者の関係を論じ、人間に役に立つシステムの構築の方針について述べる (処方モデルという呼び方は [Bell 88] による)。

### 2. 規範モデルと記述モデル

#### 2.1 整合的合理性と規範

まず、規範モデルの意味をはっきりさせる。規範モデルとは、意思決定はかくあるべし (Should) とするためのモデルである。意思決定とは、可能な選択肢が複数ある場合に一つを選ぶ場合に起こる問題であり、本来的には意思決定者の自由な選択を前提とするにもかかわらず、このような余計なおせっかい (?) を強要する規範と称するにはもちろん理由が要る。その理由は、モデルに基づく決定をすることが合理的であるからである。

ただし、その合理性の意味は、多様である。大きく分ければ、合理性の意味は二つに分けられる。一つは、ある公理の組を認めたくえで、そこから導かれるルールから成るシステムのように、無矛盾であることを合理的という場合がある。もう一つは、意思決定者が、そのような決定をすることが、同じような意思決定者にとって、また、同じような状況において、利益をもたらすことが、歴史的に、あるいは理論的に、認められている場合である。この区別は多くの場合よく認識されているようであ

るが、呼び方はいろいろである。ここでは、前者を整合的合理性 (公理的合理性)、後者を目的合理性 (生態学的合理性) と呼んでおく。

例えば、主観的期待効用モデル (Subjective Expected Utility: SEU モデル) は、規範モデルである。このモデルでは、決定すべき代替案 (alternative) は、その代替案によって予想される結果のそれぞれの望ましさの程度を、おのおのの結果が生起する可能性の測度 (確率) によって、平均した (期待値をとった、予想した) 値である。この方針は、意思決定に対して要請するいくつかの条件を公理として導くことができる。この公理化の試みとしていくつかをあげるだけでも、DeFinetti, Jeffreys, DeGroot などである (例えば [繁樹 95] に解説がある)。

しかし、いわゆる多属性モデルは、規範モデルではない。多属性モデルは、結果が複数の属性によって表現されるとき、その結果の効用は、個々の属性 (の値) の効用の線形結合であるとするものである。しかし、線形結合は、現実の近似ではあり得ても、線形結合であることを正当化する公理系はなく、また、この線形結合が役に立つという保証もない。

ただし、規範モデルは、SEU モデルの専売特許であるかどうかはわからない。SEU モデルを導く公理系は、その一つ一つは当たり前要請であるが、現実の複雑で時間的に変化する状況では、全体としてはかなりきつい要請である。もう少し人間の現実を考慮して、人にやさしい公理系も存在するかもしれない。ここでは、別の公理系の可能性を否定するものではないが、意思決定と確率的帰納推論を、統一的に数学の枠組みで処理することを可能とする SEU モデルを規範モデルの代表として議論を進める。

#### 2.2 目的合理性と規範

規範モデルであることを主張するもう一つの理由があった。すなわち、それが目的にかなない妥当であることを示すことである。人間の知的リソースは限られており、それを前提とすれば、SEU は、合目的的ではないと主張するものが、特に心理学において多い (例えば [Gigerenzer 99, Kahneman 82])。SEU モデルに基づき、

現実の意思決定問題を解くには、ラプラスの言うスーパー知能が必要であり、生身の人間の規範にはならないとされている。しかし、多くの異なる状況で通用する汎用性のある妥当なモデルを経験から導き出すのは非常に困難である。

人間が、実際に、確率を正確に評価し、考えられるおびただしい結果のそれぞれに正確な効用評価を行い、その加重平均という計算をしているとは考えられないことも事実であるが、人間は、人間にふさわしい方法で、例えば、概念(言語)依存、多重並列処理的に意思決定問題を解くことによって、結果的にSEUモデルに従うような決定をしている可能性は強いと思われる。

その一つの根拠は、人間の心の進化である。生物の進化の過程は、生態学的合理性の追及の過程であるといえる。進化の過程をゲーム理論的に分析する(例えば[Smith 82])と、実際に起こった進化が見事にある種の最適化として説明できる。人間の場合は、言語を用い、かつ、常に因果的説明を求めるゆえに、個々のケースの説明は難しいにしても、多くの事例、多くの人を概括化するとき、歴史的な進化の過程の産物として、SEUに従うパターンが見えてくる可能性がある。

### 2.3 意思決定のプロセスの記述

このように、現実の人間の意思決定は、数値的な計算ではないようである。記述モデルの代表とされるものに、プロスペクト理論がある[Kahneman 79]。ただし、これは、SEUモデルを基準として、人間の現実の意思決定が、それからどのように逸脱しているかという観点からの記述である。SEUモデルから離れ、人間の意思決定の現実のモデルとしては、属性消去モデル(Elimination By Aspects Model: EBAモデル)がおもしろい(図1)。

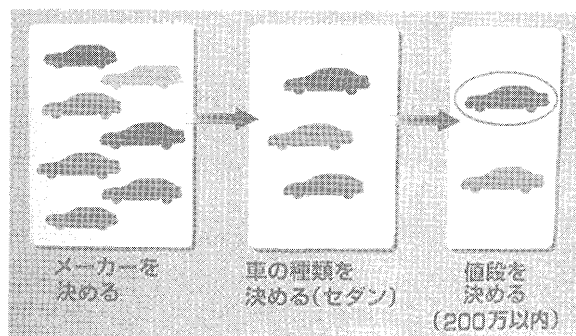


図1 属性消去モデル

このモデルは、意思決定が、系列的で、代替案の中から、思いつく順に、いらぬものを消去していき、最後に残った一つの代替案を採用するというプロセスの記述である。これを極端にすれば、多くの場合、何かを決める際に一つの理由があればよいということになる(One Reason Rule [Gigerenzer 99])。人間の現実の決定は、

意識的には、概念(言葉)を駆使し、同時に、アナログ的な感情の判断に影響され、常に時間的に変化する複雑なプロセスであり、おそらく、十分な数理モデルは難しいと思われる。

### 2.4 意思決定の指針と処方

実は、筆者自身、個人的な決定においては、ある意味で混沌としていても、むしろ自分の感情を大事にすることが大事であると思っている。しかし、個人的な意思決定でも、人生の最重要問題である場合、あるいは、組織や集団の意思決定の場合、やはり、理論に基づいた指針がほしいところである。この指針を得るための基盤となるモデルを探そうとするとき、SEUモデルは、規範モデルの資格はあるが、現実的ではない、一方、現実の意思決定のルール、あるいは、現実に役に立つルールを一般化したモデルは、それが、合目的であるという保証はないという本質的欠点があった。

そこで考えられる立場が、目標としてSEUモデルを想定し、その目標に近づくための、人間の現実の認知の様式に即したモデルを考える立場である。それが、処方モデルである。SEUモデルは、超人的な計算力を必要とするという批判は実のところ当たっておらず、実際にSEUモデルを適用する際に、可能な事象にしても可能な結果にしても、現実の近似として、かなり少数の数の事象や結果に絞るのは当たり前であるが、とりあえず、これも処方モデルということもできる。現実の処方として、SEUモデルを考える場合、より重大な欠点は、(1)事象や各結果の比較可能性を前提とするため、不確定性の測度(確率)や結果の望ましさを測度(効用)が一意に決まるとすること、(2)データ発生モデルがデータを得る前にすでに既知であることを前提とする(ベイズの定理を活用するため)の2点である。確率や効用が一意に定まらないこと、また、ベイズの定理を前提とした時間軸上の整合性のある程度あきらめることが、この欠陥への対象の一つの方法である。[Shigemasa 94]は、これを、柔軟なベイジアンアプローチと呼んでいる。

人間は、進化上、他の生物と同様、現時点での進化の一つの頂点である。もし、それが、外的客観的な観察によって、SEUモデルの予測に近似するとすれば、人間の意思決定のプロセスを深く考察することによって、人間の認知思考様式に合致した真の意味での処方モデルが可能になるかもしれない。ただし、現在のところは、大方の研究者が首肯するような処方モデルは未だ存在しない。もし、そのようなモデルが存在すれば、それは、もはや規範モデルであるといってもよいかもしれない。

## 3. パネル討論で出た興味深い話題について

心理学における数理モデルとしては、構造方程式モデル(Structural Equation Model: SEM)がよく知られて

いる。SEMは、無作為化を伴う実験が可能でない場合、調査データから因果関係を推測するためによく使われる。一種記述モデルであると言える。

構造方程式モデルは、潜在変数を使った同時方程式モデルであると考えられる。この方法に人気があるのは、心理学において、無作為割当てや無作為標本抽出が困難であること、取り上げる変数が多いこと、説明として構成概念による説明が説得力があることが理由であろう。しかし、この方法によって因果関係が最終的にわかったということはできないように思われる。変数の数の多さ（潜在変数も考慮するとなおさら）から、想定されるモデルの数は天文学的になり、その中の一つを真とする理由は、少なくとも現在使われているような統計的方法では不可能である。モデル選択の筆者の推奨する方法は、数あるモデルの一つを選択する予備的分析として、真のモデルの候補を理論的に少数に絞り、ベイズ的アプローチによって、個々のモデルを真とするデータに基づく事後確率を計算することである [繁樹 95]。さらに、それが役に立つ方法を直接的に示すのは、そのモデルを人工知能的なシステムとして実装し、それを実践に用いた成果である。

ただし、SEMを人工知能的なシステムとして実装するには、潜在変数を、実際に得られる観測変数の関数として定義しなおすことが必要である。

予測や診断において、“行儀の良い”伝統的な統計学と違い、実際のシステム作りには、情報は多くあったほうがよく、変数の数も多くてもよい。しかし、その中から、“ごみ”を除去し、安定した情報を取り出すためには、SEMのような潜在変数モデル (Latent Variables Model) が役に立つと思われる。

#### 4. あとがき

今回のパネル討論では、意思決定を話題として取り上げた。心理学は一般に人間の現実の記述を主とする学問であるが、意思決定においては、規範と記述について、他の領域にはないようなホットな議論があるからである。その後の討論では、SEMモデルも取り上げられた。意思決定支援システム、診断予測システムなどの構築に

おいて、これらのモデルは貢献するところが大きいと思っている。

しかし、このようなシステムを構築するプロジェクトチームを編成するとき、心理学研究者は有力な候補者になるであろうか？ もし、プロジェクトチームの中に心理学研究者が入らないならば、心理学研究がとすれば実験室的になることが原因であろう。このパネル討論を通じて、心理学の研究者は人工知能研究者とのより実践的な交流が必要であると強く感じた。

#### ◇ 参考文献 ◇

- [Bell 88] Bell, D. E., Raiffa, H. and Tversky, A.: *Decision Making: Descriptive, normative and prescriptive interactions*, Cambridge University Press (1988)
- [Gigerenzer 99] Gigerenzer, G., Todd, P. M. and group: the ABC research group: *Simple Heuristics that Make Us Smart*, Oxford University Press (1999)
- [Kahneman 79] Kahneman, D. and Tversky, A.: Prospect Theory: An Analysis of decision under risk, *Econometrica*, Vol. 47, pp. 263-291 (1979)
- [Kahneman 82] Kahneman, D., Slovic, J. L. and Tversky, A.: *Judgement Under Uncertainty*, Cambridge University Press (1982)
- [Shigemasu 94] Shigemasu, K. and Yokoyama, A.: Flexible Bayesian approach for psychological modeling of decision making, *Japanese Psychological Research*, Vol. 36, No. 1, pp. 20-28 (1994)
- [繁樹 95] 繁樹算男: 意思決定の認知統計学, 朝倉書店 (1995)
- [Smith 82] Smith, J. M.: *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press (1982)
- 邦訳 寺本 英, 梯 正之 訳: 進化とゲーム理論, 産業図書 (1985)

2000年12月12日 受理

#### 著者紹介



繁樹 算男

1946年生まれ。1968年東京大学教育学部教育心理学卒業。University of Iowa, Ph.D. (1974年)。1990年東京工業大学工学部教授。1996年東京大学総合文化研究科教授。専門は、意思決定、多変量解析、ベイズ統計学。行動計量学会功績賞、日本ファジイ学会論文賞受賞。日本心理学会、日本行動計量学会、日本ファジイ学会、日本教育心理学会。