

意思決定理論の現実性と進化的合理性について

松井博史

本稿では意思決定の定義から始まり、人間における意思決定の性質と代表的な現象についてを心理学的・生理学的な立場から考察する。また、より現実的な意思決定モデルについて検討を行う。

1 意思決定とは

1-1 意思決定の定義

以下竹村(2004)に従い意思決定問題を定義する。意思決定(decision making)とは、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)。より厳密に考えると、選択肢の数が有限であるとし、有限な要素を持つ集合 \mathbf{A} で表現すると、

$$\mathbf{A} = \{a_1, \dots, a_l, \dots, a_l\}$$

と表現できる。ただし、 l は選択肢の数である。同じくその結果の集合 \mathbf{X} も有限であるとする、同様に

$$\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_m\}$$

と表現できる。ここで、選択肢と結果との対応関係を与えるものが状態 Θ であり、

$$\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_k, \dots, \theta_n\}$$

となる。このように定義すると、意思決定の結果は採択した選択肢と状態から結果への写像として理解でき、

$$\mathbf{A} \times \Theta = \{(a_i, \theta_k) \mid (a_i \in \mathbf{A}, \theta_k \in \Theta)\}$$

とすると、選択肢、状況、結果の関係は

$$f: \mathbf{A} \times \Theta \rightarrow \mathbf{X}$$

と表現できわかりやすい。これに加え、結果の選

好関係を定義することで意思決定問題を定義できる。ある結果 x_i がある結果 x_j よりも好まれていることを $x_i \geq x_j$ と表すと、すべての選好関係を集めた集合 \mathbf{R} は

$$\mathbf{R} = \{(x_i, x_j) \mid x_i \geq x_j, x_i, x_j \in \mathbf{X}\}$$

と表現される。ここから導きだされる集合 \mathbf{X} 上の2項関係は選好構造と呼ばれる(市川, 1983)。これらの集合 $(\mathbf{A}, \Theta, \mathbf{X}, f, (\mathbf{X}, \mathbf{R}))$ を指して意思決定問題とする。

2 現実の意思決定と意思決定研究

2-1 意思決定の種類

意思決定の分類として最も広く用いられているものに、意思決定者にとっての問題構造の違いによるものがある。それによれば、意思決定は確実性下(decision making under certainty)、リスク下の意思決定(decision making under risk)、不確実性下の意思決定(decision making under uncertainty)の3つに大別される。

確実性下の意思決定は、その名の通りすべての選択肢が唯一の結果に結びつけられている場合である。このとき、(5)式より \mathbf{A} から \mathbf{X} の写像 g が

$$g: \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{X}$$

として定義できる。一方、リスク下の意思決定では、選択肢と結果との対応関係が唯一ではなく、ある選択肢が複数の結果と確率的に結びついて定義される。つまり、ある選択肢 a_i を選んだときの結果は \mathbf{X} 上の確率分布である

$$p_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}]$$

によって定義され、状態 Θ は以下のように行列で書き表すことができる。

$$\Theta = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{i1} & \cdots & p_{im} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{l1} & \cdots & p_{lm} \end{pmatrix}$$

これに対し、不確実性下の意思決定では確実性下の意思決定のように選択肢が唯一の結果を指し示さないばかりか、リスク下の意思決定のように結果の確率が与えられもしていないような状況という。これには様々な不確実性が考えられ、 A 、 X 、 Θ の総数が不明である場合、 Θ の確率分布の一部または全部がわからない場合、あるいは A 、 X 、 Θ の結果のうちいくつかまたは全部が、はっきりとはわからなかったり、あるいはまったくわからないような状況である。不確実性下の意思決定はさらに、曖昧性下と無知下の意思決定に細分かすることもできる（竹村，1996）。

確実性下の意思決定では、選択とその結果がはっきりとわかっている訳であり、通常そこでの意思決定が問題となることはない。ただし、現実の意思決定では（ X 、 R ）が完全に推移律を満たさない場合も考えられたり、あまりにも多くの選択肢による混乱が生じることも考えられる。これについては後に情報処理能力との関連から論じる。これに比べてリスク下の意思決定は遥かに多く取り扱われ、意思決定研究の中核をなしている。そもその意思決定研究の先駆けとなった賭けの問題がそうであるし、プロスペクト理論（Kahneman & Tversky, 1979）の紹介としてよく用いられるアジアの病気問題等もリスク下の意思決定である。この背景には、リスク下の意思決定が日常的に多く行われているとされ理解されやすい場面であることもあるが、選好逆転現象を明確に提示できることが大きい。選好逆転現象は、規範的な意思決定理論が主張する効用に現実の人々が必ずしも従っていないことを示す現象である。ここでは多く

を論じないが、確率に期待値を乗じることで計算される期待値の値に人々の意思決定は必ずしも従っておらず、問題の記述のしかたなどで簡単に意思決定が変わってしまうという現象が古くから指摘されてきた（竹村，1996；広田，2000）。これは多くの意思決定理論が仮定している記述普遍性や推移律などが必ずしも常に守られていないことを示すものであるといえる。ノーベル経済学賞を受賞したプロスペクト理論もこれらの選好逆転現象をうまく説明することで注目された。以上のように、単純な期待値計算と意思決定結果との対比がしやすく、またしばしばこれがずれることから、現象として意外性がありかつ実験しやすいため、リスク下の意思決定が注目を集めているといえる。また、意思決定において記述普遍性が必ずしも守られていないことが示されたことは、例えば消費者行動において商品の提示方法によって消費者の意思決定が異なることを暗示しており、現実的な応用可能性も高い。これらの現象がかならずしもリスク下の意思決定でないと扱えないわけではないが、客観的な値を計算しやすいなどの理由でリスク下の意思決定を仮定して研究されることがほとんどである。

2-2 現実の意思決定状況と意思決定理論

ここまでリスク下の意思決定の性質についての、意思決定研究の中核であることを述べてきた。しかし、現実において完全な確実性下の意思決定が生じることは厳密に言えば少ないと同様、完全にリスク下の意思決定の定義を満たす問題状況は現実においてはそれほど多くない。現実においては意思決定結果の予測が例え確率的であっても完全に可能であることはほとんどなく、人々の決断や判断のほとんどは不確実性下の意思決定状況のなかでくだされている。また、人々が現実には確率的・効用理論的な問題の記述や思考を現実にはほとんど行っていないことを示した研究も散見される（Beyth-Marom, 1982）。ギャンブルのように明確なルールによって問題状況と結果が定義

されている場合は一応リスク下の意思決定に入るが、それすら現実的な状況では不確実性が多い。例えばいかさまの問題があり、また、さいころやルーレットの結果の出現確率は個別のさいころやルーレットに限れば必ずしも等確率ではないという問題がある。現実には常にいくらかの不確実性を含み、また日々変化している。従って、意思決定問題とは、相互に関連する事象から得られた経験や推論から選択肢を選ぶ問題であり、状況が完全に理解され、かつ静的である状況はむしろ非現実的である。

2-3 進化的に合理的な意思決定

以上のようなことから、本稿では人間を進化的・適応的な観点から捉え直す。意思決定の研究においては、規範的な意思決定理論に従った意思決定を解とみなし、人々の行動傾向のそこからのずれをみるという手法が一般的である。そのため、人々がいかに誤った意思決定をしやすいかという文脈で実験結果が語られることが多い。しかし、Gigerenzer, Todd & ABC research group (1999) が示しているように、規範的な意思決定理論に従わない人々のナイーブな判断は必ずしも劣っているとはいえず、その意味で人々の意思決定が数学的な解に比べていかに劣っているかというこれまでの研究のあり方には疑問が生じる。むしろ、記述理論的には劣るこのような意思決定方略がなぜ生物に用いられているのかという観点からヒトの意思決定の性質を捉え直すべきだと思われる。ここでは以下、期待効用理論などに基づき最大限の情報を利用して最大限の効用を得るような意思決定方略を便宜上システマティック、後述する満足化の原理のように必ずしも最大の情報を利用せず、最高の効用を得ようとししないような方略をヒューリスティクスと呼びこれらの進化的な合理性について検討する。

2-4 情報処理能力と進化の観点からのヒトのヒューリスティクスについての説明

情報処理能力の限界という考え方から人間における意思決定の特徴をよくとらえたのが Simon (1957) の満足化基準による考え方である。サイモンは、人間がすべての情報を最大限に用いて最高の意思決定をしているのではなく、情報処理能力の限界のためにある程度満足いく基準を探すという満足化の原理によって意思決定することを指摘した。その中でサイモンは、通常仮定されている無限の情報処理能力をもった合理的人間像(仮定合理性)を排し、限定合理性の考えを導入することで経済学などに大きな影響を与えている。松井他 (2005) は、協力行動に関する進化ゲームにこのような満足化基準を仮定したエージェントを仮定し、内集団バイアスに近い形のモデルの合理性を論じている。他には、ギガレンザーらの高速儉約ヒューリスティクス (fast and frugal heuristics) なども提案されている (Gigerenzer, 2004)。

ここでは進化ゲームの観点からヒューリスティクスについて考えてみる。もしある生物をとりまく環境が例えばアイオワギャンプリングタスク (Bechara, Damasio, Tranel and Anderson, 1994) のような確率判断を伴う意思決定課題を繰り返し行い、その結果のみに従って子孫の数が決まる理想状況であれば、どのような戦略が大勢を占めるであろうか。各エージェント (仮想生物) は可能な限り確率判断を精緻化するように進化・適応していくと考えられるし、利得からコストを差し引いた利潤を最大化する戦略が最適解となることは明らかである¹⁾。そして、極度に肥大したヒトの脳ですら期待効用理論的なシステマティック処理による意思決定には不十分であることから、ゲームの構造にもよるが記述理論的な意思決定をする場合の維持コストが巨大すぎ、結局はサイモンのような満足化の原理などのヒューリスティクスに頼る生物が最適となるだろうことが容易に想像される。別の言葉を用いると、生物的な制

約により、意思決定の精緻化による効用の上昇とそのための生物的なコストの増大とは常にトレードオフの存在であり、そのことがある程度の精度を持つヒューリスティクスによる意思決定をヒトが用いることの説明になっていると考えられる。情報処理、特にワーキングメモリは脳の機能局在的には背外側前頭前野 (DLPFC) といわれているが (Baddeley, 1992), DLPFC は代表的な意思決定課題において常に高い活動を示しており Simon の主張の傍証となっている。

2-5 現実の意思決定課題の性質からみたヒトのヒューリスティクスの説明

多くの意思決定課題とは異なり、現実の意思決定はそれが重要なものであるほど一般に不確実性が高く、またその効用も定義しにくい。つまり、これまでの経験や推論により意思決定構造を把握しにくく、また結果も想定しにくいと考えられる。また、そのような場合、期待効用理論のようなシステマチックな問題解決手法を、不確実性要因として誤差項を仮定するなどして無理にあてはめても精度を著しく落とすことになる。つまり、多くの意思決定課題では、システマチックな意思決定手法は問題の頻度が少なく将来の予測が難しくなればなるほど認知的な負荷は高くなるものの意思決定の質は悪くなることが予想される。一方、現実にはむしろそのようなときにこそ多少の認知的負荷をかけてでも少しでもよい意思決定を行いたいことが多いと考えられるのである。

このように考えると、これまでの意思決定研究が報告しているような人間の意思決定のいいかげんさ (e. g. Simon, 1957) の適応性が浮き彫りになる。現実の意思決定は常にいくらかの曖昧性を含んでおり、意思決定研究がこれまで主に扱ってきたリスク下の意思決定などはむしろまれである。そして、特に状況 Θ については常に更新され続けており、動的であるため期待効用理論的な意思決定は不可能か、可能だとしてもかなりの誤差項を含むものになる。Gigerenzer & Goldstein

(1996) が報告しているように、そのような問題状況でのヒューリスティクス方略の妥当性は案外高く、認知的・時間的なコストも加味して考えると十分システマチックな方略に対抗しうると考えられる。このように考えると、情報処理能力の制約も一員として考えられるが、現実の意思決定場面の構造がそもそも生物に期待効用的な計算を行わせるような淘汰圧を生じていないのではないかと考えられる。

このような観点から考えると、問題構造が人間の情報処理能力にとって十分簡単であるならば期待効用理論に従って意思決定が行われるのかという課題が生じる。今後はこのような進化的なアプローチによる研究も必要であろう。

3 進化的合理性から見た意思決定理論

3-1 プロスペクト理論

現在人々の意思決定の非合理性や期待効用理論からの逸脱に最もよく使われているのがプロスペクト理論 (Kahneman & Tversky, 1979) である。プロスペクト理論では、1 利得と損失において効用の増大または現象の傾きが違う、2 効用の対数的な増加、3 確率の効用を上にも凹な関数で規定、4 参照点の移動などの性質を仮定することで、実験的に明らかになった多くの期待効用理論と反する現象を説明することに成功している。以下脳画像研究などからの知見をもとにその進化的合理性を論じる。

3-1-1 利得と損失の非対称性について

利得と損失の非対称性については、そもそも脳内レベルでは利得状況と損失状況では腑活する脳内部位自体がかなり異なることが知られている。損失状況ではロバストに扁桃体が腑活することが知られているが、利得状況ではほとんど腑活されないか、わずかである。一方利得状況ではドーパミンなどの報酬系とよばれる回路の腑活が指摘されている。De Martino, Kumaran, Seymour &

Dolan (2006) によれば、利得と損失のフレーミングの効果は脳内レベルでは多くの人に表れていることが報告されている。

3-1-2 効用の対数的な増加について

古くから知られている効用の対数的な増加（効用逓減）については、行動実験上で比較的ロバストな結果が得られている。

3-1-3 確率加重関数について

確率とその結果に従って扁桃体や線条体の腑活が指摘されており、(Trepal, Fox & Poldrack, 2005), また神経伝達経路としてはドーパミン系及びセロトニン系の関与が考えられる。これらから、感情的な反応が確率判断に影響を及ぼしているのではないかと推測されるが定かではない。

3-1-4 参照点の移動について

プロスペクト理論の弱点と呼ばれる参照点の移動というアイデアに関しては近年の脳画像研究でもまったく扱われていない。そもそも理論レベルでも、いつどのように参照点が移動するのか明確に記述されておらず、この部分に関しては大いに改善の余地がある理論だと言わざるを得ない。

3-1-5 プロスペクト理論の進化的妥当性

プロスペクト理論は、得られた値や確率などの非線形の効用曲線で変換しているだけで、特に情報の圧縮等を仮定している訳ではない、従って、これまでの議論からすると、どちらかという和本稿でいうシステマティック処理を仮定しており、人間におけるシステマティック処理の歪みを記述したモデルだといえる。脳画像研究からみても、それ自体の整合性は高いと思われるが、あまりにも多くの処理を仮定していることから人間の処理の大部分を占めるヒューリスティック処理を十分説明しているとは思えず、プロスペクト理論によって説明できる意思決定は現実場面ではそれほど多くない可能性も考えられる。

3-2 後悔 (regret) の最小化

ヒューリスティックな意思決定を説明するものの1つとして、後悔 (Rooms and Sugden, 1983) の概念があげられる。後悔理論自体はそもそも選好逆転現象を推移性により説明しようとしたものであるが、Coricelli et al., (2005) によるfMRI研究によって再び注目され、ヒューリスティックな意思決定の一つの説明軸として捉え直されている。Coricelliらが定義する後悔量とは自らの意思決定によって得られた結果と得られなかった結果との差に由来するものであり、リスク下の意思決定において、自らの意思決定結果がどの結果をもたらしたかによるものは落胆 (disappointment) として区別されている。

Coricelli et al. (2005) の課題では、2つのルーレット課題の選択をfMRI上で行わせていたが、その結果フィードバック時の脳内にある前頭眼窩後部 (lateral orbitofrontal cortex) は期待値や落胆量とではなく後悔量と相関強く相関していた。眼窩前頭は価値判断に関わる最も重要な部位であることから、これは人が後悔量のようなものに従って意思決定あるいはそのフィードバックを受けている可能性を示唆する。Coricelliらが定義している後悔が、日常語として用いられる後悔という感情と対応しているのかはやや疑問が残るものの、脳内過程から意思決定プロセスを推定した研究として注目される。また、この研究では課題の繰り返しによる行動の変化からも後悔忌避による意思決定というモデルを支持する結果が報告されている。

4 考察

本論では意思決定の定義から現実に行われている意思決定の性質を捉え直し、進化心理学的な合理性の観点から意思決定理論を再考した。その上で、プロスペクト理論や後悔理論などヒューリスティクスを扱った理論について脳画像研究による知見をもとに再考をおこった。結果として、プロスペ

クト理論はSimon (1957) がいうような人間の情報処理能力の圧縮にあわせた変換過程を扱っておらず、本稿の定義に従うとむしろシステムティックな過程を仮定していることが明らかにされた。現実の意思決定では高速儉約ヒューリスティクスなどのより単純な方略が多く用いられているらしいことを考えると、実はプロスペクト理論が主張しているように効用を計算している状況は非常にわずかであり、多くの場合人は効用の最大化に動機づけられておらず、むしろ後悔の最小化などまったく別の原理にしたがって意思決定を行っている場合も多いのではないかと考えられる。今後は本稿で検討した進化的な合理性も念頭に入れ、脳画像研究を取り入れた新たな包括的意思決定理論がになってくるであろう。その際問題になってくるのは、この数世紀続いた効用概念からの再度の脱却なのではないだろうか。

引用文献

- Baddeley, A. (1992) Working memory. *Science*, 255 (5045), pp.556-9.
- Beyth-Marom, R. (1982) How probable is probable?—Numerical translation of verbal probability expressions— *Journal of Forecasting*, 1, pp.267-269.
- G. Coricelli, H. Critchley, M. Joffily, & A. Sirigu, RJ (2005) Regret and its avoidance: a neuroimaging study of choice behavior. *Nature neuroscience*, 8, pp.1255-62.
- Gigerenzer, G. (2004) Fast and frugal heuristics: The tools of bounded rationality. In D. J. Koehler and N. Harvey (Eds.) *Blackwell handbook of judgment and decision*. Malden, MA: Blackwell Publishing, pp. 62-88.
- Gigerenzer, G., Todd, P.M. & the ABC research group. (1999) *Simple heuristics that make us smart*. Oxford University press.
- 広田すみれ・増田真也・坂上貴之 (2002) 心理学

が描くリスクの世界—行動的意思決定入門—慶応義塾大学出版会。

- 市川淳信 (1983) 意思決定論 共立出版。
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Looms, G. & Sugden, R. (1982) Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty. *Economic Journal*, 92, 805-824.
- 竹村和久 (2004) 意思決定現象と行動意思決定論 経済セミナー。
- 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 東京大学出版会, pp. 81-105.
- Trepal, C., Fox, C. R. & Poldrack, R. A. (2005) Prospect theory on the brain? Toward a cognitive neuroscience of decision making. *Cognitive Brain Research* 23, pp. 34-50.
- 松井博史・井出野尚・酒折文武・竹村和久 (2005) 内集団バイアスの合理性を考える—計算機シミュレーションによる検討— 第46回日本社会心理学会発表論文集。

注

- ¹ 本稿ではその後の議論のため、進化ゲームに関して詳細な解は求めなかったが、課題を多属性意思決定に変えると、様々な問題状況での最適解はそれほど簡単ではなく、また莫大なコストをかけて期待値計算を行うものが最適解である状況も確かに存在する。これについては別の場所で今後論じたい。進化ゲームにより意思決定の非合理性を説明するようなアプローチはこれまで少なかったが、ヒューリスティクスの適応性を示す上では有効な手段だと考えられる。