

不確実性下の意思決定におけるリスク態度と認知的満足化

Cognitive satisficing and risk attitudes in decision making under uncertainty

横須賀 天臣[†], 石倉 圭悟[†], 中村 紘子[†], 高橋 達二[†]

Takaomi Yokosuka, Keigo Ishikura, Hiroko Nakamura, Tatsuji Takahashi

[†]東京電機大学

Tokyo Denki University

tatsujit@mail.dendai.ac.jp

概要

認知的満足化は、行動の結果として見込まれる価値が満足化基準を満たすかによってリスク態度が異なり、意思決定の探索傾向に影響するというモデルである(高橋ら, 2016)。満足化基準が満たされない場合はリスク志向的になり、探索的な選択をすることが予測される。本研究はギャンブル選択課題を用いて、意思決定の探索傾向とリスク態度を検証した。その結果、損失が見込まれるほどリスク志向的になり、探索的な選択をしやすいというモデルの予測が支持された。

キーワード：認知的満足化, リスク態度, プロスペクト理論, 利益最大化傾向

1. 序論

不確実性下で人がどのように意思決定を行うかについては、これまでに多くの理論が提唱されてきた。主観的期待効用理論では、ある結果が生じる確率とその結果の主観的な効用の積である期待効用が最大となるような、「合理的」な意思決定を行うと仮定している。しかし、実際に人が行っている意思決定は、主観的期待効用理論からの系統的な逸脱が示されている。

プロスペクト理論は、人の意思決定の「非合理性」を考慮し、利益よりも損失を大きく評価する傾向である損失回避性を反映させた価値関数と、低い確率を過大評価し高い確率を過小評価する傾向を反映させた確率加重関数により、不確実性下の意思決定を記述する理論である[1]。プロスペクト理論では、利益・損失とその確率に応じて、多くの人が示すリスク態度の傾向を表1のように予測・説明している[2]。ただし、こうしたリスク態度には個人差が存在する。

表1 利益・損失とその確率によるリスク態度の傾向

確率	利益	損失
高	リスク回避的	リスク志向的
低	リスク志向的	リスク回避的

不確実性下の意思決定において、リスク志向的か、リスク回避的かといったリスク態度の個人差を測定する課題として、ギャンブルの確実性等価(certainty equivalent, CE)課題がある[3]。CE課題は、確率的にお金を得ることができる賭けに対して、主観的に等価だと感じる確実な金額であるCEを回答させる。例えば「40%の確率で5,000円を得るが、60%の確率で何も得られない」といった賭けに対して、「確実に1,500円を得る」ことが等価だと感じる場合、その賭けのCEは1,500円ということになる。賭けの客観的な期待値とCEの差をリスクプレミアム(risk premium, RP)と呼び、RPの符号が正ならばリスク回避的、負ならばリスク志向的、RPが0ならばリスク中立的であることを示す。先の例では、賭けの期待値は2,000円であり、RPは $2,000 - 1,500 = 500$ 円となり、符号が正なのでリスク回避的であることを示す。

2. 認知的満足化

Simonは、複数の選択肢の中から最適な選択をすることは現実的に困難な場合が多いことを指摘し、選択肢が目標に応じたある基準を満たすかにより探索を行うか否かという満足化の原理を示唆した[4]。この満足化のアイデアを取り入れた逐次的な意思決定のモデルが、認知的満足化である[5]。認知的満足化では、行動 a_i の結果として見込まれる価値の期待値 E_i と満足化基準 \aleph 、試行回数 n_i により表されるRisk-sensitive Satisficing (RS) 価値関数を用いることで、選択行動における探索傾向を記述している。RS価値関数は強化学習への応用研究がなされており、多腕バンディット問題での有効性が証明されている[6, 7]。

$$\delta_i = E_i - \aleph \quad (1)$$

$$RS_i = n_i \delta_i \quad (2)$$

認知的満足化によって記述される逐次的意思決定において、意思決定主体は RS_i が最大となる a_i を選択

する。(1)式より、 $E_i > \aleph$ の場合は δ_i の符号が正となり、(2)式の δ_i と n_i の積が大きい a_i を選択する。一方、 $E_i < \aleph$ の場合は δ_i の符号が負となるため、 δ_i と n_i の積が小さい a_i を選択する。

2つの選択行動 a_i と a_j において、 n_i と n_j が異なり、 $E_i = E_j < \aleph$ となるとき、意思決定主体はリスク志向的になり、より試行回数が少ない探索的な選択をする。一方、同様の状態で、 $E_i = E_j > \aleph$ となるとき、意思決定主体はリスク志向的になり、より試行回数が多い知識利用的な選択をする。例えば、60%の確率で当たった場合は10,000円を得て、40%の確率で外れた場合は10,000円を失うというスロットマシンが2台あったとして、「5回プレイして3回当たったスロットA」と「50回プレイして30回当たったスロットB」では、前者はより試行回数が少ない探索的な選択であり、不確実性が高くリスク志向的といえる。

このように認知的満足化では、満足化基準によってリスク態度が異なり、意思決定の探索傾向に影響することをモデル化している。また、RS価値関数は、期待効用理論やプロスペクト理論などの価値関数とは異なり、選択行動の試行回数を考慮するため、期待値が等しい選択肢であっても試行回数に応じた選好を説明・予測することができる。吉沢らは、RSモデルが人の意思決定を説明できるかを検討するため、上記のようなスロットマシンのシナリオを用いて、試行回数の情報が意思決定に及ぼす影響を検討した[8]。しかし、この実験では、RS価値関数に基づく予測とは異なり、損益の期待値の違いに関わらず、常に探索的な選択が行われた。この研究の問題点として考えられるのが、提示した選択肢の試行回数は10倍の比(5回対50回)によって定められたものであるが、参加者が試行回数の違いに伴う不確実性の差異を考慮しにくく、より試行回数の多いスロットが知識利用的な選択として認知されなかった可能性が考えられる。

本研究では、吉沢ら(2021)の実験に変更を加えた新たなギャンブル選択課題を用いて、認知的満足化が人の意思決定を説明できるかを検討する。課題のシナリオでは、10回プレイしたスロットに対して、100回・1000回・確率値が明確な3種類のスロットをそれぞれ比較する。当たり確率が低いほど期待値は小さくなり、満足化基準は満たされにくいため、探索的な、より試行回数が少ないスロットが選択されやすいと予想される。一方、当たり確率が高いほど期待値は大きくなり、満足化基準は満たされやすいため、知識利用的な、より試行回数が多いまたは確率値が明確なスロットが選択されやすいと予想される。

また、CE課題を用いて、リスク態度の個人差の影響を検討する。リスク志向的な参加者はギャンブル選択課題において探索的な選択をしやすく、リスク回避的な参加者は知識利用的な選択をしやすことが予想される。

さらに、利益最大化傾向尺度(maximizing tendency scale, MTS)の7項目(MTS-7)を用いて、目的達成のために選択肢を探索する傾向の個人差の影響を検討する[9]。利益最大化傾向は満足化基準と関係すると考えられ、利益最大化傾向が高いほど満足化基準も高く、ギャンブル選択課題において探索的な傾向を示し、試行回数の少ないスロットの選択が増えると予想される。

3. 実験

実験はWeb上で実施し、クラウドソーシングサービス(CrowdWorks: <https://crowdworks.jp/>)を用いて、実験参加者を200名募集した。回答に不備のあるデータを除外し、158名(女性68名、男性90名、未回答0名、平均年齢41.3歳、標準偏差8.97)を実験の分析に使用した。

3.1 手続き

実験では、はじめにインフォームドコンセントを行い、実験参加の同意を得た。次いで、ギャンブル選択課題、CE課題、MTS-7の順に課題を提示し、最後に参加者が課題に注意を向けていたかを確認するためのInstructional Manipulation Checkを行なった。

ギャンブル選択課題では、当たり確率に関する事前情報が与えられている2つのスロットマシンについて、どちらをプレイしたいかを回答するよう求めた。スロットマシンは、当たった場合は10,000円を得て、外れた場合は10,000円を失うというシナリオを用いた。当たり確率は0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0の11段階とした。当たり確率に関する情報は10回(例:10回プレイして5回当たったスロット)、100回(例:100回プレイして50回当たったスロット)、1000回(例:1000回プレイして500回当たったスロット)、明確な確率値(例:当たり確率の設定が50%のスロット)の4種類を用いた。実験では、異なるプレイ回数の情報が付随した当たり確率が同一である2つのスロットを3種類の比較条件、「A:10回対100回」、「B:10回対1000回」、「C:10回対確率値」から質問が構成され、ランダム順で質問を提示した。

CE 課題では、利益もしくは損失が見込まれる状況において、賭け（例：50%の確率で 10,000 円を得る）と確実な金額（例：確実に 5,000 円を得る）のどちらが好ましいかを回答するよう求めた。賭けは、「75%の確率で 10,000 円を得る」、「50%の確率で 10,000 円を得る」、「25%の確率で 10,000 円を得る」、「25%の確率で 10,000 円を失う」、「50%の確率で 10,000 円を失う」、「75%の確率で 10,000 円を失う」の 6 種類を用いた。質問は二段階で行われ、一段階目では、7 種類の確実な金額（10000 円, 8333 円, 6667 円, 5000 円, 3333 円, 1667 円, 0 円）と賭けについて、選好を回答した。二段階目では、一段階目で選ばれた最小の確実な金額より 25%高い金額と、選ばれなかった最大の確実な金額より 25%低い金額の間で、等間隔な 7 つの値を確実な金額として配置し、再度確実な金額と賭けについて、選好を回答した。同じ賭けにおいて、選ばなかった確実な金額よりも低い確実な金額を選んでいた場合は、回答に一貫性がないとして再回答を求めた。例えば「確実に 5000 円を得る」よりも、「50%の確率で 10,000 円を得る」という選択をした後で、「50%の確率で 10,000 円を得る」よりも「確実に 1667 円を得る」という選択をした場合が、一貫性がない回答に該当する。二段階目の回答において、選ばれた最小の確実な金額と選ばれなかった最大の確実な金額の中央値を、その賭けに対する CE とした。

MTS-7 では、「なにについても、最高のものを常に選ぶようにしている」といった、7 つの質問について 4 件法（そう思わない～そう思う）で回答を求めた。

3.2 結果と考察

ギャンブル選択課題の各比較条件において、当たり確率の推移に対して、探索的な、より試行回数の少ない 10 回のスロットが選択された割合を図 1 に示す。各比較条件における当たり確率ごとの探索的な選択がされた回数に差がみられるかを、 2×11 の χ^2 検定により検討した。その結果、条件 A（10 回対 100 回）と条件 B（10 回対 1000 回）では有意差はなく（ $\chi^2(10) = 4.89, p \geq .05$ ），条件 A と条件 C（10 回対 確率値）（ $\chi^2(10) = 24.4, p < .05$ ），条件 B と条件 C で有意差がみられた（ $\chi^2(10) = 40.5, p < .05$ ）。条件 A と条件 B では、当たり確率による探索的な選択の変化のパターンに差が見られなかった。一方、条件 C の場合、頻度で示す場合よりも、当たりが出る確率が小さい段階で、探索的な選択が減少することが示された。このことより、人は意思決定の際に頻度と確率値の違

いを考慮していると考えられ、知識利用的な選択とみなされやすいことが示された。

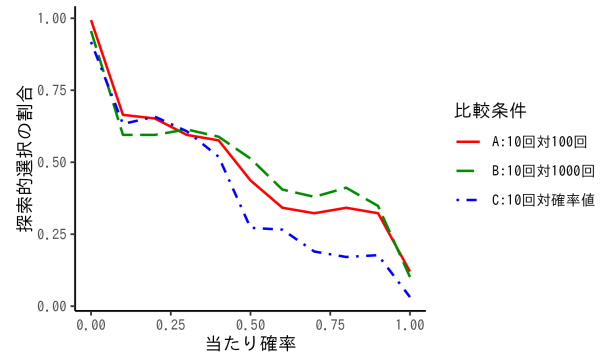


図 1 ギャンブル選択課題におけるスロットマシンの当たり確率と探索的選択の割合

CE 課題における、全参加者の CE と RP の標本平均と標準偏差を表 2 に示す。賭けにより RP に差がみられるかを参加者内一要因分散分析により検討した結果、有意差がみられた（ $F(1, 5) = 78.8, p < .05$ ）。75% および 50% で獲得できる場合は、それ以外の場合と比較し RP が有意に高く、リスク回避的といえる。一方、75% および 50% で損失の場合は、それ以外の場合と比較し RP が有意に低く、リスク志向的といえる。利益・損失が見込まれる状況において参加者が示したリスク態度を、負の RP が 2 つ以上ある場合をリスク志向的、正の RP が 2 つ以上ある場合をリスク回避的として評価した。参加者が示したリスク態度の割合を表 3 に示す。表 3 に対して、利益損失が見込まれる状況とリスク態度で差が見られるかを 2×2 の χ^2 検定により検討した結果、有意差がみられた（ $\chi^2(1) = 3.90, p < .05$ ）。残差分析を行った結果、利益が見込まれる状況ではリスク回避的、かつ、損失が見込まれる状況ではリスク志向的な参加者が最も多いことが示された。この結果は、プロスペクト理論の予測と合致し、損失回避性による影響があると考えられる。

MTS-7 の平均値は 2.25、標準偏差は 0.593 であった。

ギャンブル選択課題の回答に対して、一般化線形混合モデルを用いて回帰分析を行った結果を表 4 に示す。従属変数をギャンブルの選択、固定効果を当たり確率、比較条件 (A, B, C)、利益が見込まれる状況のリスク態度、損失が見込まれる状況のリスク態度、MTS-7 スコアとし、参加者の個人差を変量効果とした。ギャンブルの選択は探索的選択を、比較条件は条件 A を、リスク態度はリスク志向的をそれぞれ参照カテゴリとした。回帰分析の結果、スロットマシンの当たり確率、条件 B、損失が見込まれる状況のリスク態度、スロッ

表 2 CE 課題の 6 種類の賭けに対する確実性等価 (CE) とリスクプレミアム (RP)

賭け	期待値	CE の平均	RP の平均	標準偏差
75%の確率で 10,000 円を得る	7500	5341	2159	2186
50%の確率で 10,000 円を得る	5000	4118	882	1788
25%の確率で 10,000 円を得る	2500	2710	-210	1536
25%の確率で 10,000 円を失う	-2500	-2913	413	1663
50%の確率で 10,000 円を失う	-5000	-4338	-662	1808
75%の確率で 10,000 円を失う	-7500	-5794	-1706	2229

表 3 CE 課題の利益・損失が見込まれる状況において参加者が示したリスク態度の割合

		損失	
		リスク志向的	リスク回避的
利益	リスク志向的	.11	.07
	リスク回避的	.64	.18

トマシンの当たり確率と条件 B の交互作用, スロットマシンの当たり確率と条件 C の交互作用の効果が 5% 水準で見られた. 交互作用から, 条件 A と比較し, 条件 B では当たりが出る確率が高い場合は探索的な 10 回の選択が多く, 条件 C では当たりが出る確率が高い場合は知識利用的な確率値の選択が多いといえる. スロットマシンの当たり確率の効果から, 当たり確率が高いほど探索的な選択が減少することが示された. これらの結果は, 人は試行回数に基づいた当たりの頻度や確率の情報を考慮して, ギャンブルを選択することを示唆しており, 期待値が等しい選択肢であっても試行回数を考慮した選択を行うという認知的満足化モデルの予測を支持している. リスク態度の影響について, 損失が見込まれる状況でリスク志向的な参加者ほど, ギャンブル選択課題において探索的な選択が多いことが示された. 一方, 利益が見込まれる状況のリスク態度がギャンブル選択課題に及ぼす影響は有意ではなかった. これは, ギャンブル選択課題のシナリオにおいて, 10,000 円を得ることよりも失うことが強く考慮されたことを示し, リスクに対する損失回避性が関わっていると考えられる.

4. 結論

本研究は, 人が認知的満足化モデルに基づいて意思決定の探索傾向とリスク態度を示すかを, ギャンブル選択課題を用いて検証した. その結果, 期待値が低いほど満足化基準が満たされず, 探索的な選択をしやすくなるというモデルの予測が支持され, 損失が見込まれるほどリスク志向的になる傾向が影響することが示

表 4 ギャンブルの選択に対する回帰分析の結果

固定効果	推定値
スロットマシンの当たり確率	-3.84*
条件 B (10 回対 1000 回)	-0.23*
条件 C (10 回対確率値)	0.03
利益が見込まれる状況のリスク態度	-0.03
損失が見込まれる状況のリスク態度	0.19*
利益最大化傾向 MTS-7	0.01
当たり確率と条件 B の交互作用	0.61*
当たり確率と条件 C の交互作用	-1.25*
各状況のリスク態度の交互作用	0.04

*: $p < .05$

された. このことは, 満足化基準による探索傾向と, リスクに対する損失回避性を関連付け, 新たな意思決定理論の構築に資すると考えられる.

文献

- [1] Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263-292.
- [2] Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and uncertainty*, 5, 297-323.
- [3] Pratt, J. W. (1964). Risk Aversion in the Small and in the Large. *Econometrica*, 32(1/2), 122-136.
- [4] Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological review*, 63(2), 129.
- [5] 高橋達二, 甲野佑, & 浦上大輔. (2016). 認知的満足化 限定合理性の強化学習における効用. *人工知能学会論文誌*, 31(6), AI30-M-1.
- [6] Tamatsukuri, A., & Takahashi, T. (2019). Guaranteed satisficing and finite regret: Analysis of a cognitive satisficing value function. *Biosystems*, 180, 46-53.
- [7] Kamiya, T., & Takahashi, T. (2022). Softsatisficing: Risk-sensitive softmax action selection. *Biosystems*, 213, 104633.
- [8] 吉沢栄貴, 樋口知也, & 高橋達二. (2021). 人間の選択行動におけるリスク選好比較と満足化の関係. 第 83 回全国大会講演論文集, 2021(1), 367-368.
- [9] 石黒格. (2021). 二要因モデルに基づく利益最大化傾向の日本語版尺度の作成. *社会心理学研究*, 36(3), 88-95.