

「選択肢の数」を決める認知メカニズム：行動実験による検討 Cognitive mechanisms for determining the number of options to consider

菅沼 秀蔵[†], 隅田 莉央^{†‡}, 森 隆太郎^{†‡}
Hidezo Suganuma, Rio Sumida, Ryutaro Mori

[†] 東京大学, [‡] 日本学術振興会

The University of Tokyo, Japan Society for the Promotion of Science
suganuma.hiz@gmail.com

概要

人々が「考慮する選択肢の数を増やすこと」と「所与の選択肢セットを適切に評価すること」の間のトレードオフにどう対処しているのかを行動実験により検討した。結果、人々は最適値が異なる環境において、選択肢の数を適応的に調整することに失敗していた。一方、選択に伴う後悔感情は選択肢の数の調整と関連しており、主観的な感情経験が意思決定の制御プロセスにおいて機能的な役割を果たしている可能性が示された。

キーワード：情報探索、後悔、選択肢過多

1. 序論

ランチの店選びからキャリア選択に至るまで、我々は無数の選択肢からいずれかを選ぶ意思決定に日々直面している。より多くの選択肢を吟味することは、選択肢セットに優れたものが含まれる蓋然性を高めるという意味で合理的である。しかし、選択肢の数が大きいことは必ずしもより良い結果を保証しない。選択肢セットの拡大に伴ってそれら一つ一つを正確に評価・比較することが困難になり、最良ではない選択肢を誤って選んでしまうリスクが高まるからである。つまり、限られた認知的資源や時間制約を前提とすると「選択肢を増やすこと」と「選択肢を比較検討すること」の間にトレードオフが存在する。人々がこのトレードオフのもとで選択肢の数をどう決定するのかは、十分に解明されていない問題である。

意思決定の心理的な帰結を扱った実証研究では、人々が選択肢の数に対して敏感であることが示唆されている。例えば、商品の購買の際に用意された選択肢が多すぎると満足感の低下や後悔を経験する現象（「選択肢過多効果 (choice overload effect)」）が知られる (Iyengar & Lepper, 2000)。選択肢が多すぎる状況ですべてを比較しようとする認知資源を超える過剰な認知的負荷がかかり、選択に対する自信や満足感が低下し、後悔も大きくなる (Diehl & Poynor, 2010)。この点に関して、時間制約や参照基準の有無などの選択に伴う認知負荷量を規定する調整要因の存在が議論されている (Chernev

et al., 2015)。ただし、これらの研究は外部から与えられた選択肢セットに対して人々が過大だと感じる条件を個別に検討することにとどまっており、そうした主観的な経験が選択肢の数の決定にどう影響するのかは明らかにされていない。

本研究では、選択肢セットの広げ方をめぐるトレードオフをモデル化し、人々が予測される最適な選択肢セットの大きさを見つけるために主観的な経験を利用しているという仮説を実証的に検討する。はじめに、選択肢の数によるトレードオフを形式モデルにより定式化する。次に、モデルの最適方策のもとで最適な選択肢の数が異なる2つの環境を導入した行動実験から、人々が選択肢の数をどのように調整するのかを経験的に明らかにする。

2. 形式モデルによる予測

以下では、選択肢の数に関するトレードオフ関係を形式化したモデルについて説明する（本章の内容は日本心理学会第88回大会で発表済みである）。

本モデルにおけるエージェントは、以下の2段階のプロセスを通じて意思決定をおこなう。まず、(1) 検討の対象とする選択肢の数を決め、次に (2) そのセットの中から限られた回数のサンプリングを通じて最も良いものを探し出す。情報を集める時間や労力には限りがある（＝サンプリング回数に上限がある）ため、選択肢の数を増やすほど選択肢を吟味する精度は低下することになる。このように、探索の「広さ」と「深さ」の間に生じるトレードオフをモデル化する。

形式的表現

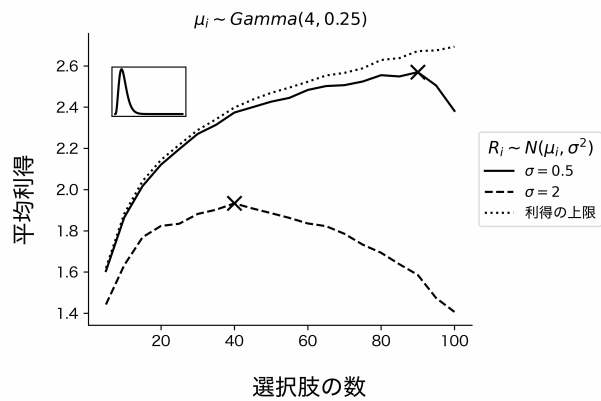
はじめに、エージェントは考慮する選択肢の数 k ($k \leq T$) を決定する。次に、各時点 $t = 1, 2, 3, \dots, T$ において k 個の選択肢から1つを選び、選択肢 i に割り当てられた報酬 $R_i(t) \sim P_i$ を観測する。選択肢 $i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ から得られる報酬の真値 μ_i はある分布から独立に生成さ

れるものとする. エージェントは時刻 T までの観測をもとに選択枝 $i^*(T)$ を1つ決定し, 報酬の真値 $\mu_{i^*(T)}$ を利得として受け取る (ただし, T 回の観測を通じて k 個の選択枝すべてから最低1回はサンプルを得る). エージェントの方策は, (1) 初期状態において選択枝の数 k を決定する決定する方策 π_1 , (2) k 個の選択枝から報酬値をサンプリングし, 最適な選択枝 $i^*(T)$ を決定する方策 π_2 の組 $\{\pi_1, \pi_2\}$ として表現できる. エージェントが期待利得の最大化を目指すとする, 所与の π_2 のもとでの目的関数は k の関数

$$f(k) = \mathbb{E}_{\pi_2}[\mu_{i^*(T)}|k]$$

として表せる.

図1 選択枝の数と平均利得の関係.



シミュレーション

次に, 具体的な設定のもとで上記の関数 $f(k)$ がどのような形状を取るのかを示す. ここではサンプリング方策 (π_2) として規範的な最適腕識別アルゴリズム (Gabillon et al., 2012) を想定する. このアルゴリズムのもとで, エージェントは選択枝の平均利得とその不確実性を評価しながら逐次的にサンプリングする選択枝を決定する. ここでのパフォーマンスは, ある選択枝の数を所与として最適に情報をサンプリングした場合に達成可能なベンチマークとみなせる.

図1は, 先述した環境とエージェントを仮定した場合における選択枝の数と平均利得との関係を示している. ここでは問題設定として, 観測される報酬が正規分布 $R_i \sim N(\mu_i, \sigma^2)$ に, 利得の真値がガンマ分布 $\mu_i \sim \text{Gamma}(4, 0.25)$ に従う状況を考えている. 横軸に選択枝セットの大きさ k をとり, 縦軸に1000回のシミュレーションに基づく平均利得をプロットすると, 2つの観測ノイズ $\sigma \in \{0.5, 2.0\}$ のパターンそれぞれで逆U字型のカーブが得られる. すなわち, k が極端に小さい場

合や大きい場合は平均利得が低下し, それらの中間に選択枝の数の最適値 $\hat{k}$ が存在している. $\hat{k}$ の具体的な値は σ (および真値の分布) に依存しており, σ がより小さく1回の観測から得られる情報量が多い環境では, 選択枝の数を増やすのが合理的であるとわかる.

環境の構造が未知である場合, 望ましい選択枝の数を事前に知ることはできない. 一方, 意思決定を繰り返すなかで得られる感情経験は, その後の意思決定制御に影響を与えうる (Zeelenberg & Pieters, 2007). そこで本研究では (1) 選択枝を精査しきれず, 最良のものを選べなかった後悔 (選択枝内後悔) と, (2) より多くの選択枝を考慮することで, より良いものを選べたかもしれない後悔 (選択枝外後悔) の2つの感情に着目する. 前者は選択枝数を減らすことに, 後者は増やすことに寄与すると予測される. これらの反応が最適な選択枝の数からの乖離と対応していれば, 人々は選択枝の数を適応的に調整できる可能性がある.

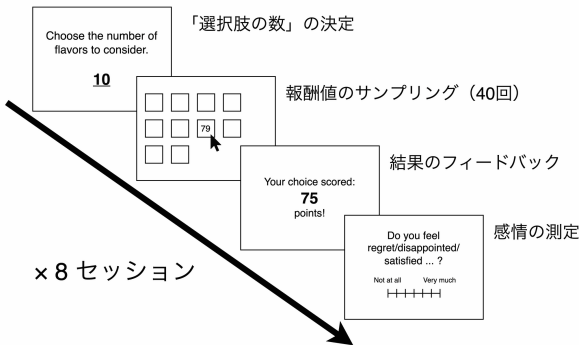
以上の予測に基づき, (1) 2種類の後悔の経験が選択枝の数の調整プロセスに影響を与えているのか, および (2) 最適な選択枝の個数が異なる環境において人々が選択枝の数を適応的に調整できるのか, の2点を行動実験により検討する.

3. 方法

参加者

Prolific (<https://www.prolific.com/>) に登録しているアメリカ在住の成人130名を対象に募集した. 実験はオンライン実験の形式で実施され, 課題を最後まで実施しデータを記録できた128名 (平均年齢37.4歳, $SD = 13.9$) を分析対象とした.

図2 実験の概略.



実験課題

実験課題の概略を図 2 に示す。各セッションの冒頭で、参加者は選択肢の数 (2-40) を決定し、続いてその個数だけのタイルが画面上に呈示された。タイルをクリックするたび真値にノイズが加算された値 0 以上の整数値として呈示された。全てのタイルを 1 回クリックするまで同じタイルは選べなかった。なお、呈示された値の履歴とその平均が画面の下部に呈示された。計 40 回タイルをクリックしたのち参加者はタイルを 1 つ選び、割り当てられていた真値がフィードバックされた。その後、感情に関する質問項目として後悔、満足および失望を尋ねた (7 件法)。後悔に関しては「考慮した (k 個の) 選択肢のなかで別の選択肢を選んでおけばよかった」という選択肢内後悔と、「もっと多くの選択肢を検討すればよかった」という選択肢外後悔を、それぞれ尋ねた。以上を 8 セッションにわたり繰り返した。

タイルに割り当てられた真値は同じ分布から生成された乱数 ($\mu = \mu^* + 50; \mu^* \sim \text{Gamma}(6,3)$) であり、参加者は 8 つのパターンを一度ずつ経験した (順番はランダム化された)。参加者が指定した k 個の選択肢は、当該セッションにおける 40 個の真値のセットから重複なしでランダムに抽出されたものを用いた。

実験条件

報酬値の観測におけるノイズの大きさを参加者間で操作した。ノイズ低条件 ($n = 65$) では標準偏差 6 の、ノイズ高条件 ($n = 63$) では標準偏差 18 の正規分布に従うノイズが真値に加算され、参加者に呈示された。

手続き

本研究は東京大学に設置された倫理審査委員会の審査を受けた (UTSP-24013)。参加者は Prolific 上の募集要項を読み、各自の端末を利用して実験用ウェブサイトアクセスして課題に取り組んだ。

教示において参加者は「ジャムの購入」というカバーストーリーが与えられた。8 つの異なる店でジャムを 1 つずつ購入すること、それぞれの店には 40 個のジャムが置いてあり、決める前にいくつかの個数を決めてそれらを「味見」できること、味見のたびに感じられる美味しさ (観測値) にはバラつきがあること、40 回の味見を経て最終的に選択したジャムの「真のおいしさ」

(真値) が課題成績になることが伝えられた。なお、経験を通じて選択肢の数を自然に調整できるかを検討するため、ジャムの個数にトレードオフがあることは明

示的に教示しなかった。

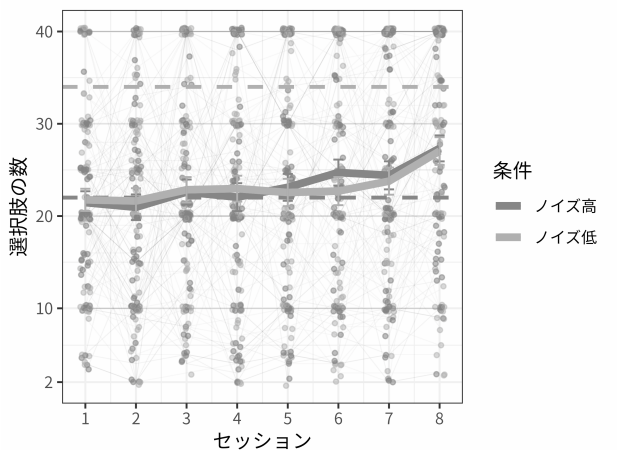
教示を受けた参加者は課題に関する理解度チェックに正答したあと、1 回の練習セッション (選択肢は最大 5 個で計 10 回サンプリング可能、ノイズは 2 つの条件の中間にあたる $\sigma = 12$ に統一) を経て本番セッションをおこなった。終了後、参加者は課題に関する事後アンケートに回答し、課題成績に応じた金銭報酬を受け取った (平均£4.57, $SD = 0.42$)。

4. 結果

選択肢の数の調整

参加者が決定した選択肢の数の時間的な変化を図 3 に示す。参加者が環境に応じて選択肢の数を動的に調整できるかを検証するため、セッション (対数値) と条件 (ノイズ高 = 0; ノイズ低 = 1) を独立変数、選択肢の数を従属変数とする回帰分析 (GLMM) を実施した。両変数の交互作用の事後平均は負の値を取り、95% ベイズ信用区間の上限値は 0 をわずかにを下回った ($\beta = -0.025$; 95% CI[-0.049, -0.001])。この結果は仮説とは異なり、ノイズ高条件の方が選択肢の数を増やす傾向にあったことを示している。条件の主効果は有意でなかった ($\beta = -0.005$; 95% CI[-0.165, 0.155])。また、セッションの主効果が有意であり ($\beta = 0.081$; 95% CI[0.064, 0.098])、後のセッションほど選択肢の数を増やす傾向がみられた。

図 3 選択肢の数の時間的変化。



(注) エラーバーは標準誤差。最適な選択肢の数を破線で示した (ノイズ高: $\hat{k} = 22$; ノイズ低: $\hat{k} = 34$)。

後悔感情と選択肢の数の変化

2 種類の経験された後悔が選択肢の数の調整にどう

活かされているのかを調べるため、セッション間の選択肢の数の差分を予測する回帰分析を実施した。ランダム切片とランダム傾きを想定し、条件とセッションの主効果および交互作用に加えて選択肢内後悔・外後悔得点を個人ごとに中心化した値を独立変数として投入した。結果、選択肢内後悔は有意な負の効果を ($\beta = -0.713$; 95% CI[-1.268, -0.154])、選択肢外後悔は有意な正の効果を持っていた ($\beta = 1.084$; 95% CI[0.464, 1.693])。つまり、選択肢の数の決定プロセスにおいて「選択肢セットのなかで良いものを選べなかった」という後悔が選択肢セットの選択肢の縮小に、「もっと多くの選択肢を考慮したほうがよかった」という後悔が選択肢の探索の拡大に結びついていた。一方、後悔の効果は個人間の異質性も大きかった ($\sigma_{\text{random}}/|\beta_{\text{fixed}}| \geq 0.64$)。

5. 考察

本研究では「より良い選択肢に出会うために選択肢の数を増やす」とことと「所与の選択肢セットからより良いものを選ぶために選択肢の質を評価する」ことのトレードオフ下において、人々がどのように選択肢セットのサイズを調整するかを検討した。

行動実験からは、選択に伴って生起する後悔が選択肢の決定の至近因となっている可能性が示唆された。後悔は行動の結果に対する単なるネガティブな反応ではなく、意思決定の前後で予期され、行動の回避や調整に関与するとされる (e.g., Zeelenberg & Pieters, 2007)。本実験の結果は選択肢の探索という観点からこれらの主張を支持するものといえるだろう。

数理モデルに基づく予測からは、観測ノイズが小さい(大きい)ときに選択肢の数を増やす(減らす)行動が予測された。しかし、平均的な参加者の行動はこれらの最適反応とは一致せず、特に選択肢の数を増やすべき条件で過少になる傾向がみられた。確実な評価を優先するバイアスは情報探索における不確実性回避 (e.g., Wilson et al., 2014) と関連付けられる一方、この傾向はノイズが大きい場合にはみられず、モデルの予測からの乖離に対する一貫した説明とはならない。別の視点からの説明として、選択肢の真値とその分布を同時に推定する階層ベイズの枠組みが考えられる (e.g., Tenenbaum et al., 2011)。真値の分散と比較して観測ノイズが小さい場合、選択肢の数を増やしても個々の選択肢を生成する分布の推定精度は向上しにくい。逆にノイズが大きい状況では選択肢を増やすことで推定精度

が高まりうる。利得の最大化と同時に環境構造の推測を目的に含むエージェントを仮定することで、選択肢を増やす行動が合理化できるかもしれない。

本実験の限界として、サンプリングの自由度や結果のバラつきが大きかったため、選択肢の数の意図的に調整するのが困難だったことが挙げられる。また、自然に生起する後悔のレベルは高くなく個人間の異質性も大きいいため、選択肢の数の調整に与える効果を高い精度で捉えられていない可能性がある。今後の研究ではより統制された実験環境の構築に加えて、課題の認知的負荷の調整や後悔を誘発する実験的介入をおこなうことにより、選択場面における後悔感情の機能を精緻化することが必要だろう。

本実験の結果は、環境の構造に関する事前知識やトレードオフに関する明示的な理解がない状況で経験に基づき選択肢の数を適応的に決定するのが容易でないことを示唆している。このような人間の探索行動と選択好形成に関する知見は、商品選択やキャリア形成のように選択肢が無数にある状況での人々の意思決定を支援する仕組みや介入策を設計するための理論的な基盤を提供するだろう。

文献

- Chernev, A., Böckenholt, U., & Goodman, J. (2015). Choice overload: A conceptual review and meta-analysis. *Journal of Consumer Psychology*, 25(2), 333–358.
- Diehl, K., & Poynor, C. (2010). Great expectations?! Assortment size, expectations, and satisfaction. *Journal of Marketing Research*, 47(2), 312–322.
- Gabillon, V., Ghavamzadeh, M., & Lazaric, A. (2012). Best arm identification: A unified approach to fixed budget and fixed confidence. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3221–3229.
- Iyengar, S. S., & Lepper, M. R. (2000). When choice is demotivating: Can one desire too much of a good thing? *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(6), 995–1006.
- Tenenbaum, J. B., Kemp, C., Griffiths, T. L., & Goodman, N. D. (2011). How to grow a mind: statistics, structure, and abstraction. *Science*, 331(6022), 1279–1285.
- Wilson, R. C., Geana, A., White, J. M., Ludvig, E. A., & Cohen, J. D. (2014). Humans use directed and random exploration to solve the explore-exploit dilemma. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(6), 2074–2081.
- Zeelenberg, M., & Pieters, R. (2007). A theory of regret regulation 1.0. *Journal of Consumer Psychology*, 17(1), 3–18.