

より良い代替案の探索とエフォートフル・コントロール

The relationship between the exploration of better alternatives and effortful control

二宮 由樹[†], 伊奈垣 伸一[†], 三輪 和久[†]
Ninomiya Yuki, Inagaki Shinichi, Kazuhisa Miwa

[†]名古屋大学

Nagoya University

ninomiya.yuki.t1@f.mail.nagoya-u.ac.jp

概要

本発表では、既知の解決策よりもより良い代替案の探索と注意を制御する能力であるエフォートフル・コントロールの関係を検討した実験の結果を報告する。実験の結果、不適切な行動を抑制する能力と適切な行動を開始する能力の両方が低い場合と高い場合において、どちらか片方のみが高い場合よりも、既知の解決策に関係ない情報を探索する傾向が示された。このことは注意制御能力の低い場合と高い場合の両方で、代替解法を探索しやすい可能性を示唆している。

キーワード：代替案の発見(finding of alternatives), 構えの効果(Einstellung effect), エフォートフル・コントロール(Effortful control), 情報探索(information seeking)

1. はじめに

既知の解法にとらわれず、より良い代替案を見つける能力は、科学的発見や創造的活動における重要な能力である[1][2]。Luchins(1942)は、水がめ課題を用いて、代替案の発見の難しさを示した[3]。この課題の目的は、容量の異なる複数の水がめを利用して、ターゲットとなる水の量を汲むことである。初めに、特定の解法のみで解決可能な試行を繰り返し行う。このフェイズを Set フェイズと呼び、学習される解法を訓練解法と呼ぶ。次に、訓練解法に加え、より簡便な解法でも問題解決が可能な試行を行う。これを Critical フェイズと呼び、このより簡便な解法のことを代替解法という。このとき、一度訓練解法が獲得されると、代替解法が発見されにくいことが示されている。

代替解法の実見は、訓練解法の適用が失敗する状況と、成功する状況の2つの状況で生じる[4]。前者の失敗状況では解法の変更を余儀なくされるが、後者の成功状況では自発的な解法の変更が求められる。本論文では、後者の成功状況において、自発的により良いものを探すことによる発見を扱う。

成功状況での代替解法の実見には、訓練解法を獲得した後も、その解決策に関係のない領域を探索し続

けることが重要である[4][5]。例えば、二宮ら(2023)では、より良い解決策を発見する参加者は、訓練解法で問題解決を行っている時から、訓練解法に関連のない領域(固着無関連領域)を探索し続けることが示されている。

なぜ、訓練解法を獲得した後も、固着無関連領域の探索をし続けるのかについては2つの説明が考えられる。1つ目は、注意散漫によって固着無関連領域の探索を行うという説明である。言い換えると、参加者は、訓練解法で課題を解き続けることに集中できないため、固着無関連領域の探索が増えるということである。実際、訓練解法の使用に認知負荷をかけると代替解法の実見が促されることが示されている[6]。

2つ目は、新しい解決策を探して能動的に固着無関連領域の探索に切り替えたという説明である。言い換えると、参加者は、訓練解法で問題を解き続けるという行動を抑制し、固着無関連領域の情報を得る意図をもって探索を切り替えたということである。先行研究では、代替解法の実見者は、固着無関連領域の情報を得ようとする探索が、訓練解法を使用している時から多いことが示されている[4]。

これらの説明は、自身の注意を制御する能力が代替解法の実見に負の効果を持つ場合もあれば、正の効果を持つ場合もあることを意味している。つまり、前者の説明では、注意制御能力の低い参加者の方が、固着無関連領域の探索が多く、代替解法を発見しやすいと考えられる。一方で、後者の説明では、注意制御能力の高い参加者の方が、固着無関連領域の探索が多くなり、代替解法を発見しやすいと考えられる。

注意制御能力の指標として、エフォートフル・コントロールがある。エフォートフル・コントロールは注意の制御能力の個人差を測定するために開発された指標である[7]。具体的には、継続中の反応を抑制し、顕在化していない反応を開始したり、そのために注意を切り替える能力と定義される。このエフォートフル・コント

ロールは質問紙によって測定することができ、エフォートフル・コントロールの合計得点が高い参加者ほど、ストループ課題における干渉効果が小さいことが示されている[7].

一方で、これまでの研究では、エフォートフル・コントロールのような注意制御能力が固着無関連領域の探索にどのように寄与するかは明らかになっていない。そこで本研究では、代替解法の発見・探索とエフォートフル・コントロールの関係を検討する。

上記の2つの説明それぞれに対して以下の仮説が立つ。

仮説1: 注意制御能力の低い参加者が、固着無関連領域の探索を行い、代替解法の発見をしやすいだろう。

仮説2: 注意制御能力の高い参加者が、固着無関連領域の探索を行い、代替解法の発見をしやすいだろう。

2. 方法

2.1. 参加者

参加者はクラウドソーシングにて136名(女性50名, 男性86名, $M_{age}=38.07$, $SD_{age}=8.86$)を募集した。実験はすべてオンライン上で実施された。実験の終了後、参加者は謝礼金990円を受け取った。

2.2. 課題

水がめ課題

課題は二宮(2023)の水がめ課題を改変した課題を使用した。この課題では、A~Eの5つの水瓶を使用し、ターゲットとなる水の量を計算することを求めた。このとき、より少ない回数で水を汲むことを求める教示は行わなかった。これは、複雑な手続きの使用を、失敗だと認識されることを避けるためである。

重要なのは、訓練解法をC-D-Eとし、代替解法をC-Aとしたことである。これにより、C・D・Eの水がめを訓練解法に関連する情報、A・Bの水がめを訓練解法に関連しない情報と区別することができる。つまり、A・Bの水がめへの探索を調べることで、固着無関連領域に対する探索について議論することができる。

本課題では、それぞれの水がめはマウスでポインティングしないと水がめの数字は確認できないように設定されていた。これによりA・Bの水がめに対するポインティング量を調べることで、固着無関連領域の探索量を計測した。

課題は、41試行で構成されていた。訓練解法のみで解決可能なSetフェイズで9試行、訓練解法と代

替解法の両方で解決可能なCriticalフェイズを30試行行った。残る2試行は代替解法のみで解決可能な課題とし、 $C < D$ とすることでまじめに計算を行っているかのチェック項目として使用した。

エフォートフル・コントロール尺度

エフォートフル・コントロールの測定には、成人向けエフォートフル・コントロール尺度[7]を使用した。この尺度は、行動抑制の制御、行動始発の制御、注意の制御の3つの因子で構成されていた。行動抑制の制御とは、不適切な行動を抑制する能力であり、行動始発の制御とは、ある行動を回避したい時でもそれを遂行する能力、注意の制御は必要に応じて、集中したり注意を切り替えたりする能力と定義されている。

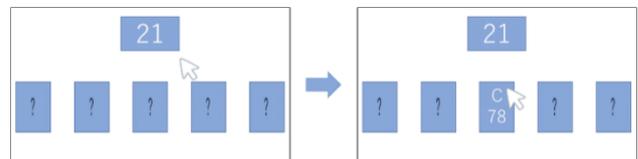


図1 水がめ課題と探索の測定方法。水がめは左から、A, B, C, D, Eとラベル付けした。この例では水がめの容量は $A = 57$, $B = 23$, $D = 41$, $E = 16$ となっていた。

2.3. 手続き

実験はオンライン上で行われた。最初に、水がめ課題を行った。具体的には、参加者は、最初に課題の内容の説明を受け、その後、練習課題を3試行行った。続いて、水がめ課題の本課題を行った。本課題終了後に、水がめ課題の経験を尋ねた。そして、水がめ課題終了後、成人向けエフォートフル・コントロール尺度(山形他, 2005)に回答した。

3. 結果

全参加者136名のうち、訓練解法を発見しなかった4名、水がめ課題を経験したことのある1名、チェック項目で訓練解法で回答した2名、解答に不備のある1名を除外した128名(女性81名, 男性47名, $M_{age}=38.03$, $SD_{age}=8.82$)を分析の対象とした。

はじめに、固着無関連領域の探索と代替解法発見成績の関係を検討した。固着無関連領域の探索は、訓練終了時点での固着無関連領域の探索量として、Setフェイズの最後の試行におけるABの水がめに対するポインティング時間を求めた。代替解法発見のパフォーマンス

スは Critical フェイズで代替解法発見するまでにかかった試行数を算出した。このとき、代替解法発見までの試行数を生存時間とし、最終試行まで未発見の場合はその時点で打ち切りとみなした。エフォートフル・コントロールに関しては、各因子得点を算出した。分析では、これらを標準化したものを使用した。

そして、これらのデータに対して生存時間分析を行った。具体的には、固着無関連領域の探索量を説明変数、発見までの試行数を被説明変数とする Cox 回帰分析を行った。分析の結果、固着無関連領域の探索量が発見成績を有意に正に予測した($HR = 1.415, 95\% CI [1.189, 1.685], p < .001$)。

つぎに、エフォートフル・コントロールが固着無関連領域の探索量を予測するかを検討した。具体的には、エフォートフル・コントロールの各因子得点とその交互作用項を説明変数、固着無関連領域の探索量を被説明変数とした重回帰分析を実施した。その結果、行動始発と行動抑制の間に有意な交互作用がみられた($\beta = 0.275, p = .020$)。他の変数に関しては有意な効果は見られなかった($p < .05$)。交互作用がみられた行動抑制と行動始発の関係を調べるため、行動抑制を調整変数とした単純傾斜をプロットした(図2)。分析の結果、単純傾斜は有意ではなかったが、行動抑制が高い場合($\beta = -0.226, p = .150$)と低い場合($\beta = -0.325, p = .069$)で、行動始発の傾斜の方向が異なっていた。

最後に、エフォートフル・コントロールが代替解法発見成績を予測するかを検討した。発見成績を被説明変数、エフォートフル・コントロールの各因子得点を説明変数とした Cox 回帰分析を実施した。分析の結果、探索の場合と同様に、抑制制御と始発制御の間の有意な交互作用がみられた($HR = 1.494, 95\% CI [1.127, 1.980], p = .005$)。また、他の変数に関しては有意な効果は見られなかった($p < .05$)。交互作用がみられた行動抑制と行動始発の関係を調べるため、行動抑制の中央値で参加者を分け、行動抑制の高群低群それぞれに対して、発見成績を被説明変数、行動始発の制御と注意の制御の残りの2因子を説明変数とする Cox 回帰分析を行った。その結果、行動抑制の高い群では行動始発の効果は見られなかったが($HR = 0.991, 95\% CI [0.468, 2.097], p = .982$)、行動抑制の低い条件において、発見成績を行動始発の制御のみが負に予測した($HR = 0.348, 95\% CI [0.1723, 0.701], p = .003$)。これらの関係を可視化するために、行動抑制の高低と行動始発の高低で参加者を4分割し、それぞれに関する生存曲線をプロットした(図3)

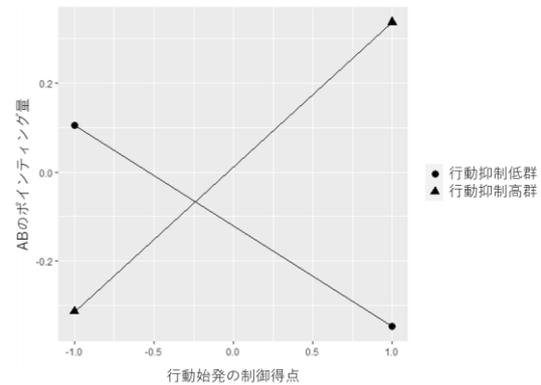


図2 行動抑制を調整変数とした AB のポインティング量に対する行動始発の単純傾斜

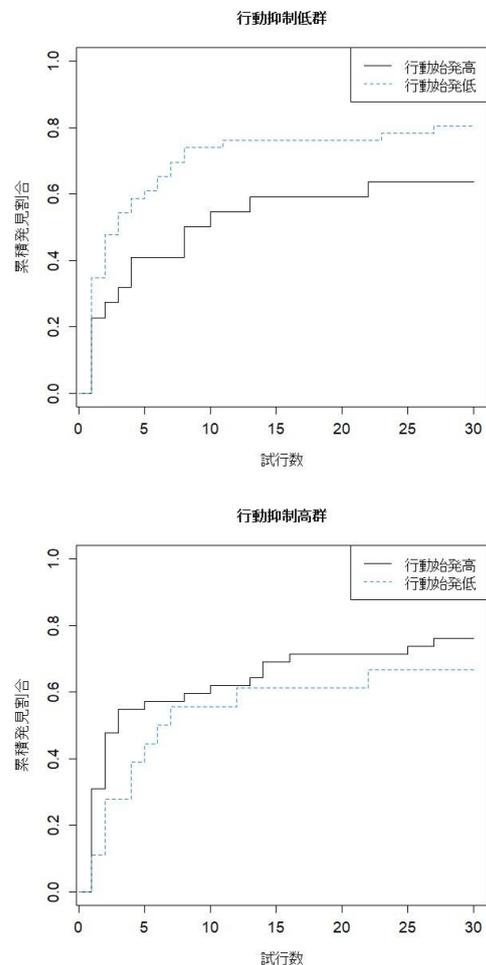


図3 行動抑制と行動始発の高低ごとの生存曲線

4. 考察

本実験の目的は、エフォートフル・コントロールが固着無関連領域の探索や代替解法の発見をどのように予

測するのかを検討することであった。まず、探索と発見の関係は、先行研究の結果[4][5]と一致し、固着無関連領域の探索量が多いほど代替解法はより早い試行で発見された。このことは、代替解法の発見のためには、訓練解法で問題解決が可能であると繰り返し訓練されてもなお、無関係の情報を探索し続けることが重要であるという結果の頑健性を示唆している。

次に、エフォートフル・コントロールと探索との関連については、行動始発の制御と行動抑制の制御の間で交互作用がみられた。そして、固着無関連領域の探索は、プロットからどちらか片方だけの値が高い場合に比べ、行動抑制と行動始発の両方が高い場合と行動抑制と行動抑制の両方が低い場合に多いことが読み取れた。この結果は、2つの仮説の両方を支持する結果である。つまり、注意制御能力の低い場合と高い場合の両方で固着無関連領域の探索の探索が多くなる可能性を示唆している。言い換えると、注意制御能力と固着無関連領域の探索量の間には、逆U字のような関係があると考えられる。

同様に、エフォートフル・コントロールと発見成績の間にも、探索の場合と同様の交互作用がみられた。具体的には、発見成績も行動抑制の制御と行動始発の制御の両方が低い場合と両方が高い場合、行動抑制のみが高い場合は同程度であり、行動始発のみが高い場合だけ低かった。このことは、少なくとも行動始発のみが高い場合に比べると、行動抑制と行動始発両方高い、もしくは両方低い場合に、代替解法が早く発見されることを示している。この結果は、注意制御能力は高い場合と低い場合の両方で、代替解法の発見に恩恵を与える可能性を示唆している。

以上より本研究の結果は、注意制御能力が低い参加者と高い参加者の両方が、固着無関連領域の探索を多く探索し、代替解法を発見しやすい可能性を示唆している。ただし、本研究の結果は交互作用の結果を解釈したのみであり、積極的に逆U字の関係を示す証拠を提示したわけではない点で注意が必要である。また、これらの関係は、エフォートフル・コントロール尺度のうち、2つの下位因子からみられた限定的な結果であり、エフォートフル・コントロールの全体の得点における関係を示すものではない。注意制御能力に関しては、ストループ課題などパーソナリティではなく行動パフォーマンスとして測定する方法も確立されている。今後の検討では、これらの行動レベルのパフォーマンスとの関係を調べることで、より良い解決策の探索や発見

がどのような能力に依拠しているのかを検討したい。

加えて、このような結果が示された原因の1つに、参加者の動機づけが関与している可能性がある。今回の実験では、自発的な代替解法の発見を求めるために、課題の目的に関する教示を行っていないかった。例えば、訓練解法で解き続けることに集中させるような課題状況では、注意制御能力が高い参加者は訓練解法に集中するため、注意制御能力が低いほど代替解法が発見しやすいと考えられる。今後の検討では、このような課題に対する動機づけが、エフォートフル・コントロールと代替解法の探索・発見をどのように媒介するのかについてより深く検討したい。

文献

- [1] Jansson, D. G., & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design studies*, 12(1), 3-11.
- [2] Miwa, K. (2004). Collaborative discovery in a simple reasoning task. *Cognitive Systems Research*, 5(1), 41-62.
- [3] Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, 54(6), 1-95.
- [4] 二宮 由樹・岩田 知之・寺井 仁・三輪 和久 (in press) 成功状況におけるより良い代替解法の発見と意図的探索の関係：マウストラッキングに基づく検討, *認知科学*, 30(3), 217-231.
- [5] Ninomiya, Y., Terai, H., & Miwa, K. (2022). Differences in the distribution of attention to trained procedure between finders and non-finders of the alternative better procedure. *Frontiers in Psychology*, 5089.
- [6] Ninomiya, Y., Iwata, T., Terai, H. & Miwa, K. (2024). Effect of cognitive load and working memory capacity on the efficiency of discovering better alternatives: A survival analysis. *Memory & Cognition*, 52(1), 115-131.
- [7] 山形 伸二・高橋 雄介・繁樹 算男・大野 裕・木島 伸彦 (2005). 成人用エフォートフル・コントロール尺度日本語版の作成とその信頼性・妥当性の検討 *パーソナリティ研究*, 14(1), 30-41.