

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13657

研究課題名（和文）抑制モデルに基づく個人差に着目した科学概念への変容に関する実証的研究

研究課題名（英文）Empirical Studies on the Transformation to Scientific Concepts Focusing on Individual Differences Based on the Inhibition Model

研究代表者

原田 勇希 (Harada, Yuki)

秋田大学・教育文化学部・講師

研究者番号：40883426

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は「科学的な概念を獲得した後も素朴概念は自動的に想起されやすい表象として脳内に残存し続ける」という命題を検証するとともに、科学概念と素朴概念の処理過程の詳細を調べるものである。

本研究では主に「動くものが生きている」という幼少期に顕在的な素朴概念について成人を対象とした実験によって存在を確かめた。反応時間の指標より、成人でも「動物は生きている」と判断する時間よりも「植物は生きている」と判断するためには多くの時間がかかることなどが見出された。また事象関連電位より、早い時間帯では素朴概念の自動的活性化とそれに続く素朴概念の抑制が生じ、続いて注意資源の動員が生じるという認知プロセスが提案された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素朴概念と科学概念は、理科教育領域では重要な研究テーマである。理科教育では古くから、科学的な概念が獲得されたはずの段階を経た後でも、また素朴概念の状態に後戻りしたり、そもそも科学概念の獲得が難しい児童生徒が存在したりすることが知られていた。概念変容を扱った理論やモデルは多数提案されてきたが、統一的理解を欠くこと、理論内部に観察不能な概念または反証不能な命題が含まれていることが問題であった。本研究で精緻化を目指した抑制モデルは、実験心理学的手法によって実証的に素朴概念と科学概念の表象形式を検討することが可能である点で、これまでの理科教育研究とは異なるアプローチでこの問題に挑戦できる利点がある。

研究成果の概要（英文）：This study aims to test the proposition that "naive concepts remain in the brain as representations that are automatically recalled even after the acquisition of scientific concepts," and to examine the detailed processing mechanisms of both scientific and naive concepts. The research primarily focused on the explicit naive concept prevalent in early childhood, "moving objects are alive," and confirmed its existence in adults through experimental procedures. Reaction time measures revealed that even adults take longer to judge "plants are alive" compared to "animals are alive." Additionally, event-related potentials suggested that in the early stages, there is an automatic activation of naive concepts followed by their suppression, and subsequently, the mobilization of cognitive resources.

研究分野：科学教育

キーワード：素朴概念 科学概念 実行機能 抑制

1. 研究開始当初の背景

概念変容はこれまでも盛んに研究され、提出された理論やモデルは少なくとも 86 以上にのぼる(レビューとして、Potvin et al., 2020, *Studies in Science Education*)。

こうした現状と個々の理論やモデルには、以下の問題があった。まず、それぞれが汎用的でない独自の説明的概念を用いており、統一の見解がないことである。次に、各理論内部で用いられる説明的概念の物理的・生物学的な対応物が明らかにされていないため、その概念が何を意味しているのかが不透明であり、またそれら自体を直接観察できないため反証実験が難しいことである。さらに教育応用を見据えた場合に最も重要となる点として、各理論やモデルは例えばどのような特徴を持つ学習者が概念変容に困難を示すかなどの、アプリオリな具体的「予測」を導くことが難しいことが挙げられた。

こうした現状に対し、近年の認知科学研究は、科学概念の獲得後であっても、素朴概念は自動的に活性化しやすい記憶表象として脳内に残り続け、素朴概念の自動的活性化、素朴概念よりも遅れて活性化する科学概念と素朴概念の心的競合、素朴概念の抑制、の一連のプロセスにより、科学的推論が可能になることを想定したモデル(以下、抑制モデル)を提案した。例えば、科学概念を獲得している大学生や科学者でも、素朴概念と科学概念の競合問題(e.g., 「重い物体と軽い物体を比べると、先に落ちるのは重い物体である」などの真偽判断)はそうでない問題より反応時間の遅延(Shtulman & Valcarcel, 2012)、心的競合を司る脳領域(前帯状回: ACC)の賦活(Foisy et al., 2015)、競合を反映する事象関連電位(以下、ERP)の惹起(Zhu et al., 2019)が見られる(以下、このような課題を概念競合課題と呼ぶ)。

ただし、抑制モデルはまだ黎明期にあり未検証な点も多い。例えば、抑制モデルに基づく、実行機能の下位概念である抑制機能の個人差が、適切な概念獲得や、流暢な素朴概念の抑制に関連すると予測されるのだが、実証研究によって見出された相関係数はそれほど高くない(e.g., Vosniadou et al. 2018: $r/s < 0.32$, Brookman-Byrne et al. 2018: $r/s < 0.25$)。しかし先行研究が用いた抑制機能の指標は、抑制課題(e.g., Stroop 課題, Go/Nogo 課題)の競合条件における反応時間や正答率であり、競合条件と非競合条件の成績差で定義される干渉量でなかったという問題があったため、真に実行機能における抑制機能の個人差と概念課題で見られる個人差に乖離があるのか、それとも方法論上の問題によって相関係数が希薄化されていたのか不透明であった。

また、素朴概念の抑制過程に関する認知科学的証拠が未だ十分でないため、メカニズムが完全に理解されているとは言えない。ERP を用いた脳波研究は、伝統的な抑制課題の波形と概念課題の波形が類似していることを根拠に抑制モデルを支持している(Zhu et al., 2019; Skelling-Desmeules et al., 2021)。しかしこれらの研究が示した N2 と抑制課題で見られる N2 は頭皮上分布が異なるため、同一の処理を反映したものであるかは不明である。また、通常、概念間競合などの意味レベルでの競合は、Flanker 課題, Go/NoGo 課題などで見られる N2 (刺激呈示後約 180 - 300ms) のような早い潜時帯の抑制関連成分ではなく、N450, Ni, Ninc と呼ばれる後期成分(刺激呈示後約 300 - 600ms)にて観察されることが多い。先行研究が用いていた実験条件には種々の問題点があったため、これを改善した上で、抑制モデル自体を精緻化する必要があった。

2. 研究の目的

上記の問題点を受け、本研究の目的は、概念競合課題における遂行成績の個人差と抑制機能との間の関連性を分析することと、概念競合課題遂行中の認知的処理過程を検討することとした。

この研究を達成することは、素朴概念から科学概念への変容に困難を経験する個人や、素朴概念の流暢な抑制が相対的に難しい個人が持つ背景を理解することにつながるため、教育実践方策を検討するための基礎的な資料を提供しうる。

3. 研究の方法

実験 1 では、これまで典型的に用いられてきた「動くものは生きている」という素朴概念を対象とした概念競合課題を使用し、素朴概念と科学概念が一致する条件(動物を生物と分類する条件と、動かない物体を非生物と分類する条件)と、素朴概念と科学概念が一致しない条件(植物を生物と分類する条件と、動く物体を非生物と分類する条件)の遂行成績差が、典型的な抑制機能課題である color-word Stroop 課題における干渉量との関連性を分析した。サンプルサイズ設計は、大きな効果量とされる相関係数($\rho = 0.5$)を検出目標としたときの危険率 5%、検定力 80% の条件下での必要サンプルサイズとして計算された人数($n = 28$)を参考にした。最終的に、成人 30 人を対象として実験を行った。

実験 2 では、上記の「動くものは生きている」という素朴概念を対象とした概念競合課題における事象関連電位を検討した。先行研究とは異なり、抑制機能課題(color-word Stroop 課題, Go/Nogo 課題)も同時に行い、概念競合課題で確認された ERP 成分と抑制機能課題の典型的な ERP 成分の頭皮上分布を直接的に比較できる方法論を用いた。最終的に、成人 20 名を対象とした実験を行った。

4. 研究成果

実験1の結果、反応時間の分析より、日本人の成人(大学生)においても、部分的に「動くものは生きている」という素朴概念は残存し続けていることが明らかになった(図1)。ただし、先行研究(Babai et al., 2010)とは、非生物条件においては動く物体であるか動かない物体であるかによって判断時間に有意な差が検出されなかった点で若干異なっていた。この結果は、抑制モデル研究で提案されてきた素朴概念に関する知見の再現性に疑問を呈するものであると同時に、先行研究とは参加者の年齢が異なっていたこと(本研究は成人、Babai et al., 2010は高校生)が影響している可能性を指摘するものである。概念競合課題における遂行結果の予測についての境界条件に関する基礎的な資料を提供したものと位置付けられる。

また、概念競合課題における反応時間差は、生物条件(植物-動物)と非生物条件(動く物体-動かない物体)の両方とも、Stroop干渉効果と強く相関することが明らかになった($r_s = 0.61, 0.47$, $ps < .01$, 図2)。この結果は、第一に、素朴概念の流暢な抑制と関連する個人差変数として実行機能における抑制能力を挙げることは妥当な推論であること、第二に、「動く物体は生きている」という素朴概念の存在は反応時間レベルでは顕在化されないものの(図1)、課題遂行のために抑制が必要な概念であることの2点を示唆するものである。

このことは、理科教育場面で適切に素朴概念を抑制して科学概念を表出できる児童生徒の特徴を推論する上で有益な情報である。後続研究によって、適切に概念変容を達成する児童生徒、あるいはそれに困難を示す児童生徒の特徴を見出していくことが必要であるが、本研究の結果はそうした検討のための基礎的知見として活用することが可能である。

実験2によって概念競合課題遂行中のERPを観察したところ、典型的な抑制課題で検出されるN2と類似した成分(N2-like, 刺激呈示後180-220msの前中心部における負の偏向)とNincと類似した成分(Ninc-like, 刺激呈示後350-500msで前中心部における負の偏向)、および注意関連のP3b(刺激呈示後300-500msで頭頂部中心における正の偏向)が確認された。この頭皮上分布は同時に行ったGo/Nogo課題におけるN2およびStroop課題におけるNincと一致するものであった。先行研究が報告したERP成分は抑制課題で典型的に見られる頭皮上分布と不一致であることが多かったため、本研究の結果は先行研究の知見を捉え直すための契機を与えるものである。また、異なる潜時帯での2つの抑制関連(競合検出)成分の出現は、概念競合課題では異なるステージでの表象の競合が生じることを示唆する。本研究成果も後続の研究で詳細に検討するための基礎的知見として有益である。

上記の本研究の成果はすでに国内学会(日野・原田, 2023; 原田・飯田, 2023)にて発表し、現在は学術誌に投稿し、査読を受けているところである。

引用文献

- Babai, R., Sekal, R., & Stavay, R. (2010). Persistence of the intuitive conception of living things in adolescence. *Journal of Science Education and Technology*, 19(1), 20-26. (<https://doi.org/10.1007/s10956-009-9174-2>).
- Brookman-Byrne, A., Mareschal, D., Tolmie, A. K., & Dumontheil, I. (2018). Inhibitory control and counterintuitive science and maths reasoning in adolescence. *PLoS One*, 13(6), e0198973. (<http://dx.doi.org/10.18743/DATA.00017>)
- Foisy, L. M. B., Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. (<https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>)
- 日野咲良, 原田勇希(2023)「植物は生きて...いる」素朴概念の流暢な抑制と個人差の検討, 日本理科教育学会第73回全国大会(高知大会)
- 原田勇希, 飯田匠(2023)学習された微生物の視覚的特徴は課題非関連条件下でも注意を捕捉するか 事象関連脳電位成分P3を指標として, 日本理科教育学会第62回東北支部大会

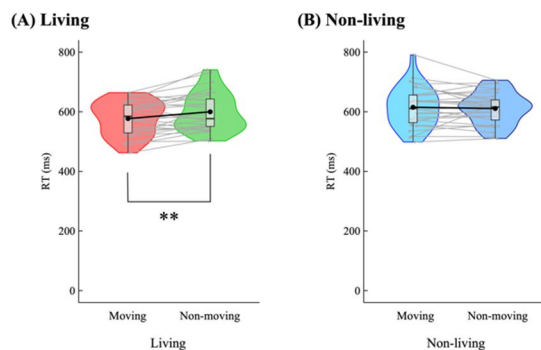


図1 概念競合課題における各条件の反応時間(実験1)

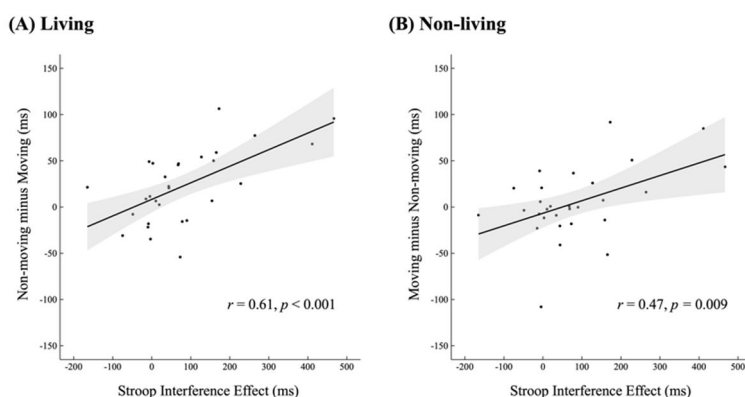


図2 ストロープ干渉量と概念競合課題における反応時間差の関連性(実験1)

- Potvin, P. et al. (2020). Models of conceptual change in science learning: establishing an exhaustive inventory based on support given by articles published in major journals. *Studies in Science Education*, 56(2), 157–211. (<https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1744796>)
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124(2), 209–215. (<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.04.005>)
- Skelling-Desmeules, Y. et al. (2021). Persistence of the “Moving Things Are Alive” Heuristic into Adulthood: Evidence from EEG. *CBE—Life Sciences Education*, 20(3), ar45. (<https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0244>)
- Vosniadou, S. et al. (2018). The recruitment of shifting and inhibition in on line science and mathematics tasks. *Cognitive Science*, 42(6), 1860-1886. (<https://doi.org/10.1111/cogs.12624>)
- Zhu, Y., Zhang, L., Leng, Y., Pang, R., & Wang, X. (2019). Event Related Potential Evidence for Persistence of an Intuitive Misconception About Electricity. *Mind, Brain, and Education*, 13(2), 80-91. (<https://doi.org/10.1111/mbe.12188>)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 日野咲良, 原田勇希
2. 発表標題 「植物は生きて...いる」 素朴概念の流暢な抑制と個人差の検討
3. 学会等名 日本理科教育学会第73回全国大会（高知大会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田勇希, 飯田匠
2. 発表標題 学習された微生物の視覚的特徴は課題非関連条件下でも注意を捕捉するか 事象関連脳電位成分P3を指標として
3. 学会等名 日本理科教育学会 第62回 東北支部大会（山形大会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------