

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14485

研究課題名(和文)メタ認知の監視・制御過程の分離と精査：ヒトとラットを用いた神経科学的検討

研究課題名(英文) Isolation and examination of metacognitive monitoring and control processes: a neurobehavioral study in humans and rats

研究代表者

結城 笙子 (Yuki, Shoko)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：60828309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：メタ認知とは、自身の内的な状態について監視し、その結果に基づいて認知・行動を制御するプロセスである。本研究の目的は、これまでヒト成人と動物や乳幼児で独立に進められてきたメタ認知の監視・制御過程の研究を、比較認知科学的アプローチによって統合することで、そのメカニズムをより詳細に解明することである。研究の結果、ヒト成人に比較認知科学的なメタ認知課題を適用することで課題に反映されるメタ認知の過程が操作可能であることを示唆する結果を得た。さらに反応潜時の解析から、制御過程は確信度以外の複数の要因による影響を受けることを示唆する結果を得た。これらの結果は、メタ認知のメカニズムの理解に貢献するだろう。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、メタ認知の処理段階である監視過程と制御過程は一連の過程として捉えられがちであった。しかし、ヒト成人ですら実験場面ではメタ認知を利用した行動最適化を示さないこともある(Yuki et al., 2019, Anim Behav & Cogn)など、近年メタ認知の監視・制御過程は必ずしも連動しないことが明らかになりつつある。本研究で開発した、教示によって制御過程の関与を操作する実験プロトコルは、両過程の関係性を研究する端緒となる。また、実験結果は制御過程では確信度以外の外的な要因が多く参照されることを示唆するが、この知見は両過程をつなげるメカニズムの理解に貢献するだろう。

研究成果の概要(英文)：Metacognition is a cognitive process that monitors one's internal state and controls cognition and behavior based on the results. The purpose of this study was to integrate research on the monitoring and control processes of metacognition that has been conducted independently in human adults and in animals and infants, and to clarify the mechanisms involved. The results suggest that the metacognitive processes reflected in the task can be manipulated by applying the comparative metacognitive task to human adults. Furthermore, analysis of reaction times suggested that control processes are influenced by multiple factors other than confidence. These results will contribute to our understanding of the mechanisms of metacognition.

研究分野：神経行動科学

キーワード：ラット ヒト 確信度 メタ認知 行動の適応制御

### 1. 研究開始当初の背景

メタ認知とは、自身の内的な状態について監視し、またその結果に基づいて認知・行動を制御するプロセスである(Nelson & Narens, 1990)。例えば我々ヒトは、自身の記憶状態などの内的状態を監視して確信度を生成し、これを個人の問題解決場面では行動選択に反映させ、暗記テスト直前に自信のない単語を集中的に復習する、といった高度な行動・方略制御を実現することが可能である。また社会的な場面では発話などのコミュニケーションの制御に反映し、自信がない事物については特に積極的に他者に意見を求める、指導を求めるといった集団的意思決定や社会的学習を実現する。

従来、特にヒトのメタ認知研究では、自身の内的状態の監視過程やその正確性が注目されてきたが、メタ認知のシステム的理解には、そういった内的状態を監視して生成した確信度を行動などの制御に反映させる制御過程の神経基盤を理解することが重要である。

興味深いことに、自身の内的状態を行動制御に反映させることは、必ずしも行動の最適化にはつながらないという報告がある(Schwartz, 2002)。これは、メタ認知を意思決定に利用することにより何らかの認知的コストがかかるため、メタ認知の利用は、それに伴う認知的コストの上昇による悪影響を上回る利得が得られなければ行動の最適化にはつながらない可能性を示唆する。そうであれば、自身の内的状態の監視結果を行動制御に反映する過程には、単にそのまま監視結果を反映させるのではなく、状況などに応じて反映させる度合いを制御できるような、監視過程とは異なった、独特かつ重要な機能があると考えられる。しかし、その機構は明らかではなかった。

### 2. 研究の目的

ヒトのメタ認知研究がメタ認知の監視過程に注目する一方で、監視内容を言語的に表出することができない動物や乳幼児を対象とした研究では、その制御過程までも含めた行動の最適化の問題としてメタ認知が研究されてきた。本研究の目的は、動物の研究手法をヒトにも新たに適用し、従来手法による結果と比較することで、ヒトと動物のメタ認知研究を統合し、メタ認知の監視・制御過程の関係性や機能の違いを理解することである。

### 3. 研究の方法

監視過程と制御過程の関係性を探るために、言語教示によって直接監視過程の内容を表出するように指示することが可能なヒト成人を対象に、行動実験を行った。実施した実験課題の概要は図1の通りである。

実験参加者は、複雑で短い音刺激を1度聞いた後、少し経ってもう一度聞いた音が最初の音と同じか違うかを回答する記憶課題に取り組んだ。実験課題は、実験前の教示の違いによって、2音目の音を聞く前に、1音目の音をその時点でどの程度よく覚えているかという記憶確信度を回答する場合(記憶回答)と、同じ時点でその試行で正解できるかの予見的な賭けを行う場合(賭け選択)に分けられた。どちらも上下2つの選択肢を選び分けることによって回答された。

記憶回答での回答は記憶課題と独立であったが、賭け選択の場合は記憶課題の正誤に応じて参加者の持ち点が変わり、さらにその変化の度合いがその試行の賭け選択での選択肢に応じて決定された。2音目を聞いていない参加者が、賭け選択時点で自身の回答の正誤を有効に予測できる手掛かりは見本音への記憶確信度のみである。この点で、どちらの教示でも記憶確信度に基づいた選択が生じるが、賭け選択の場合のみ、確信度に応じて適切な賭け選択肢を選ぶという制御過程が生じる。そのため、前者にはメタ認知の監視過程のみが、後者には両過程が関与すると考え、教示間での参加者の行動を比較した。

まず、ヒト成人を対象とした対面の行動実験から、教示によって参加者が行動を変化させるかを検討した。この検討は、参加者内での比較で行われた。一つの実験を前半と後半に分け、前半は賭け選択を行うように教示し、後半では教示を記憶回答に切り替える群、前半が記憶回答で後半が賭け選択の群、前半も後半も賭け選択の群の3群を用意した。各群に15人ずつ、計45人が実験に参加した。もし教示の切り替えが上下選択の背後にある認知プロセスを操作するのであれば、教示を切り替えた群では前半と後半で行動が変容することが予想される。

そうであれば、教示が前半と後半で切り替わる2群では、例えば上下選択にかかった時間(反応潜時)などの行動指標が前半と後半で相関しないが、教示を切り替えていない1群では強く相関するだろう。

上記の手続きで教示の影響を確認後、237人の参加者を対象とした大規模なオンライン実験で、監視過程が加わることによる影響を検討した。

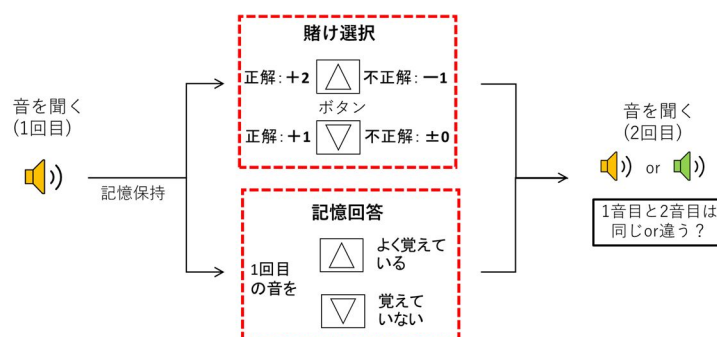


図1 実験課題の概要

#### 4. 研究成果

図2の上段は、教示によって要求が変わる上下選択の内、特に上側を選択する際の反応潜時について、前半後半での相関を調べた結果である。各軸の値は、上下を選択可能な条件で上を選んだ場合の反応潜時から、上しか選択できなかった場合の反応潜時を引いたものである。一般に反応潜時には個人差が大きいため、この除算処理はその統制のために実施した。図の通り、教示が切り替わらなかった参加者群では上選択の反応潜時が実験の前半と後半で有意に相関していたが、途中で教示が切り替わった2群では、有意な相関は見られなかった。このことは、教示の切り替えが上選択の反応潜時に影響を与えたことを示唆する。

図2の下段は、上下選択と毎試行の最後に聞いたその試行の出来栄に関する事後確信度(5段階評価)の対応について前半後半での相関を調べた結果である。各軸の値は、各参加者で上選択時の確信度の平均から下選択時の事後確信度の平均を引いたものである。こちらも同様に、教示が切り替わらなかった参加者群と途中で教示が切り替わった2群では前半と後半の相関に違いが見られた。これらの結果は、実験途中で教示を切り替えたことが上下選択に関与する認知過程に影響を及ぼしていたことを示唆する。

これらの結果を踏まえて実施したオンライン実験では、教示は被験者内では固定とし、参加者間の比較により教示の影響を検討した。さらに、毎試行の正誤のフィードバックを実施する、課題の難易度を実験途中で変えるなど、様々な要因を新たに加え、各種要因と教示の違いが上下選択の反応潜時にもたらす影響について一般化線形混合モデルを用いて探索している。この解析は現在も進行中であるため予備的な結果になるが、その試行の難易度、上下どちらを選んだか、事後確信度、その試行や1つ前の試行の正誤、記憶課題への回答や事後確信度回答の反応潜時などの影響を検討したところ、賭け選択教示は記憶回答教示に比べてその試行や1つ前の試行の正誤や難易度の影響を受ける、つまり影響を受ける要因が多いことを示唆する結果を得つつある。この結果は、メタ認知の制御過程は単に監視過程を反映するだけのものではなく、他の情報も参照して行動を切り替えるような機能を持つことを示唆する。

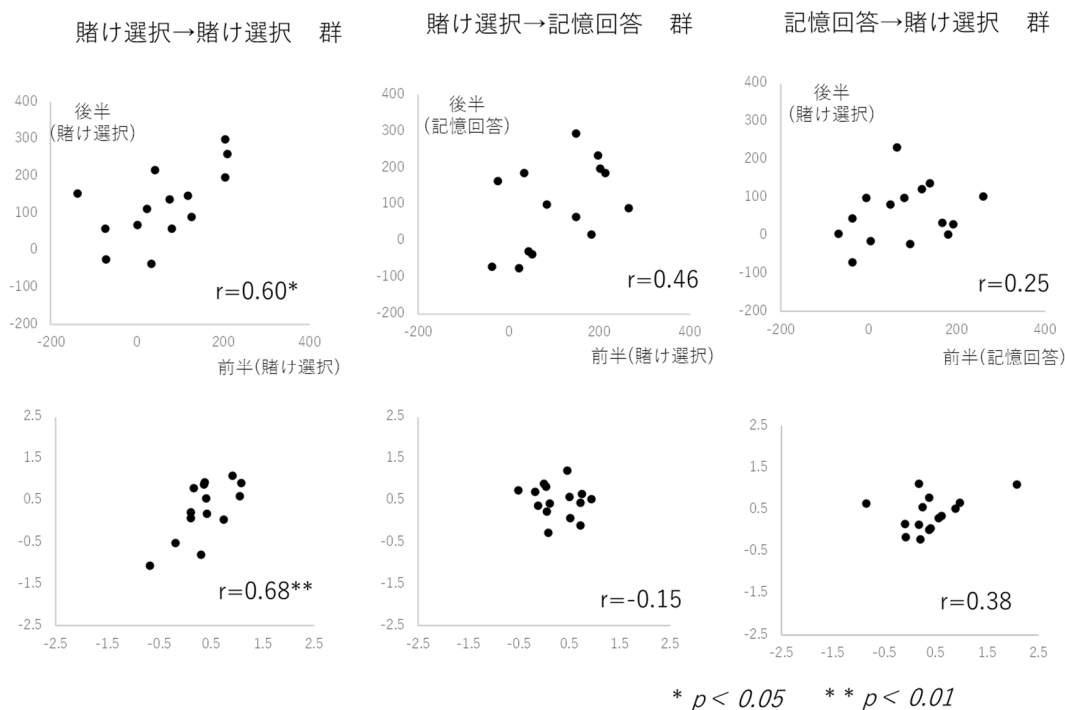


図2 参加者内で教示を切り替えることによる影響

上段：上側選択時の反応潜時の前半と後半での相関。下段：上下選択と事後確信度(5段階評価)の対応の前半と後半での相関。各図右下の数字は相関係数であり、1つの黒点は1人の参加者のデータに対応する。

#### < 引用文献 >

- Nelson & Narens (1990). Metamemory: a theoretical framework and new findings. The Psychology of learning and motivation, 26, 125-173.
- Schwartz, B. L. (2002). The strategic control of retrieval during tip-of-the-tongue states. The International Journal of Creativity & Problem Solving, 12(1), 27-37.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 結城 笙子	4. 巻 63(1)
2. 論文標題 モデル生物を用いたメタ認知研究の展望	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 心理学評論	6. 最初と最後の頁 82-96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuki, S., Nakatani, H., Nakai, T., Okanoya, K., & Tachibana, OR	4. 巻 119
2. 論文標題 Regulation of action selection based on metacognition in humans via a ventral and dorsal medial prefrontal cortical network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cortex	6. 最初と最後の頁 336-349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cortex.2019.05.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 長村秀一、大西啓詩、橘亮輔、結城笙子、小林耕太
2. 発表標題 記憶困難な音響刺激を用いたメタ認知に基づくリスク選択と確信度評価の関係性
3. 学会等名 2021年10月度 聴覚研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Genta Toya, Kazuhiro Goto, Kazuo Okanoya, Shoko Yuki
2. 発表標題 Evolutionary simulation of metacognition in rats
3. 学会等名 第81回日本動物心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shoko Yuk, Yoshio Sakurai, Dai Yanagihara
2. 発表標題 Development of a new metacognitive task for rats
3. 学会等名 第81回日本動物心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 外谷弦太, 結城笙子, 岡ノ谷一夫
2. 発表標題 A computational modeling of metacognition in rats
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nishimura, M., Ono, I., Narukawa, S., Kuze, I., Yuki, S., & Kobayasi, K
2. 発表標題 Why the fidget spinner is popular?: activation of a reward network during habitual motor movement
3. 学会等名 The 10th IBRO World Congress of Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------