Vol.2021-SLP-138 No.13
2021/10/19

記銘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

長村 秀一[†]　大西 啓詩[†]　橘 亮輔[‡]　結城 笙子[‡]　小林 耕太[†]

†同志社大学大学院 生命医科学研究科 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3
‡東京大学大学院 総合文化研究科 〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1
E-mail: [†]ctuf1022@mail4.doshisha.ac.jp, kkobayas@mail.doshisha.ac.jp

あらまし 私たちは確信度のような内的状態を評価することで，行動を適切に制御できるメタ認知能力を備えている．このような方略制御に関与するメタ認知は潜在的なものが主であると考えられているが，確信度報告などで表出される顕在的なメタ認知との関係性についてはいまだに不明な部分が多い．そこで，記銘困難な音響刺激による遅延見本合わせ課題を行い，リスク選択に基づいた潜在的なメタ認知と，確信度評価に基づいた顕在的なメタ認知の行動指標を比較した．その結果，潜在的なメタ認知と顕在的なメタ認知は課題成績に異なる影響を与えるものの，メタ認知の行動指標には影響を与えないことがわかった．これらの結果は，潜在的・顕在的なメタ認知は一部で共通した認知プロセスの基盤を持つことを示唆している．

キーワード メタ認知

The Relationship between Risk Selection and Confidence Rating Based on Metacognition using Auditory Memory Task with Hard-to-Remember Stimuli

Hidekazu NAGAMURA[†], Hiroshi OHNISHI[†], Ryosuke O. TACHIBANA[‡], Shoko YUKI[‡], and Kohta I. KOBAYASI[†]

† Graduate School of Life and Medical Sciences, Doshisha University
1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto 610-0394 Japan
‡ Graduate School and College of Arts and Sciences, 3-8-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8902 Japan
E-mail: [†]ctuf1022@mail4.doshisha.ac.jp, kkobayas@mail.doshisha.ac.jp

Abstract We can appropriately control our behavior by evaluating internal states such as confidence. Although metacognition involved in strategy controls is mainly considered to be implicit, the relationship between it and explicit metacognition expressed in confidence report is still unclear. In this study, we conducted a delayed matching-to-sample task with acoustic stimuli which is hard to memorize and compared behavioral measures of implicit metacognition based on risk selection with that of explicit one based on confidence evaluation. The results showed that implicit and explicit metacognition had different effects on task performance but not on the behavioral measures of metacognition. These results suggest that implicit and explicit metacognition share some common basis of cognitive processes.

Keywords Metacognition

1. はじめに

私たちは自身の内的状態に応じて適切な行動方略を選択できる．例えば，勉強中に難しい問題に直面したとき，その問題の分野を勉強したことをよく覚えていれば，答えを見ることなく問題を解こうとするだろう．逆に，答えに見当がつかない場合は，長考せず問題の答えを見て次の問題を解こうとするだろう．過去に勉強した内容をよく覚えているかどうかで，勉強方法を変えて効率的に学習することができる．このように，記憶確信度のような自身の内的状態を評価する能力であるメタ認知[1]によって，目的を効率よく達成できる．メタ認知の行動プロセスを解明することは，柔軟な行動制御の理解につながると考えられている．

近年，潜在的な方略制御プロセスとしてのメタ認知研究が行われている[2-4]．例えば，Yuki ら[5]は記銘困難な音響刺激を用いた遅延見本合わせ課題に基づいたメタ認知課題を行った．この課題では得点最大化のために，回答をする直前にその試行で得られる得点に関するリスク選択（ハイリスク/リターンまたはローリスク/リターン）を適応的に選択する必要があった．その

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-SLP-138 No.13
2021/10/19

ため，見本刺激に関する記憶確信度のみがリスク選択に利用できる有効な手がかりであった．その結果，記憶確信度に基づくリスク選択から算出されるメタ認知の行動指標がメタ認知尺度と相関し，腹内外側前頭前野や内側楔前部の脳活動がリスク選択と相関していることが明らかとなった．これらの脳領域は確信度評価による顕在的なメタ認知にも関与することが知られている[4]．ここから，一般的には異なったメカニズムを持つとされる潜在的なメタ認知と顕在的なメタ認知は，一部共通した神経基盤を持つことが示唆される．一方で，この研究では両者を直接比較したわけではないため，両者の詳細な比較と検討は行えていなかった．

そこで，本研究ではまず行動レベルでの両プロセスの比較検討を行なった．被験者内実験計画でリスク選択に関する教示を変更することで，リスク選択に基づいた潜在的なメタ認知と確信度評価による顕在的なメタ認知を切り替え，それによる課題成績およびメタ認知の行動指標の変化を比較した．

2. 方法

2.1. 被験者

健常な聴力を持った右利きの成人 45 人を被験者とした．実験刺激として音列を提示するため，絶対音感を保持していない被験者を対象とした．課題中にリスク/リターンの選択を固定している被験者が 1 名いたため除外した．

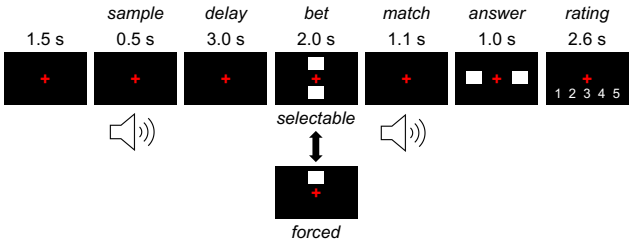

Fig. 1　The structure of task paradigm in the experiment. Participants had to select one of two betting options, high or low risk/return in the “betting” phase before performing the matching task. The second sound had to be matched (“match” phase) to the first sound stimulus (“sample” phase). Finally, the participants needed to answer confidence about their matching response (“rating phase”).

2.2. 音刺激

本研究では，先行研究[5]と同様の音刺激である音列と妨害音の 2 種類の音響刺激を用いた．音列は 8 音で構成されており，1 音あたり 62.5 ms，立ち上がり/立ち下がりは 10 ms の計 500 ms であった．各音は基本周波数（F0）が 440.0, 493.9, 554.4, 622.3, 698.5, 784.0, 880.0, 987.8, 1108.7 Hz（音名での A4 から D#6 までの全音階と対応）である 6 つの高調波成分（-6 dB/oct.）のいずれかを含んでいた．8 音のうち最初と最後の音の F0 は 698.5 Hz（F5）とし，それ以外の音の F0 は A4 から D#6 からランダムに選択された．音列の記憶難易度をコントロールするために，音列中で F0 の変化方向が 3 連続上昇または下降しているものは実験刺激から除外し，音列間の類似度は相関係数の絶対値が 0.6 以下となるようにした．妨害音は音列と同じ周波数パターンの 63 個の音からなっており，各音が 39.7 ms の計 2500 ms であった，全ての音刺激は MATLAB（R2014; MathWorks Inc., Natick, MA, USA）を用いて，16 kHz のサンプリングレートで作成した．

2.3. 実験手順

先行研究[5]で用いられたリスク選択を伴った遅延見本合わせ課題を一部改変した課題を行った（Fig. 1）．各試行は sample（0.5 s），delay（3.0 s），bet（2.0 s），match（1.1 s），answer（1.0 s）段階で構成されていた．被験者には match 段階で提示された比較刺激である音列が sample 段階で提示された見本刺激である音列と一致しているかを，answer 段階で左右矢印キーを使って回答するよう指示した．見本刺激の記憶を妨害するために，delay 段階で妨害音を提示した．半数の試行では，answer 段階の前の bet 段階でハイリスク/リターンまたはローリスク/リターンのどちらかを上下矢印キーを使って選択するよう指示した（selectable 条件）．リスク選択は match 段階で音刺激を聞く前に行うため，sample 刺激に対する潜在的な記憶確信度に基づいてリスク選択をする必要があった．残りの半数の試行では，bet 段階での選択肢がハイリスク/リターンの 1 つのみであり，その選択肢を選ばなければならなかった（forced 条件）．forced 条件時の正答率からリスク選択に依存しない正答率を求めることができ，確信度や選択バイアスの影響を除外できる．被験者には課題に正答することで得られる得点の合計を最大化するよう指示した．bet 段階でハイリスク/リターンを選択した場合，正解すれば 2 点獲得できるが，不正解であれば 1 点失い，ローリスク/リターンを選択した場合，正解すれば 1 点獲得でき，不正解であっても得点を失わなかった．bet 段階でボタンを押せなかった場合はハイリスク/リターン条件を行なった．answer 段階で回答した後，回答に対する回顧的な確信度を 5 段階で回答するよう指示した．

メタ認知に基づくリスク選択と確信度の関係性を調べるために，前述の bet 段階で潜在的なメタ認知に基づいたリスク選択を行う risk 条件に加え，bet 段階で顕在的なメタ認知に基づいた確信度選択を行う confidence 条件を行った．confidence 条件での実験手順

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-SLP-138 No.13
2021/10/19

は，被験者に対する教示内容と bet 段階を除いて risk 条件と同一であった．confidence 条件では，合計得点を最大化する必要はなく，sample 刺激を記憶している自信があるかどうかを上下矢印キーで選択するよう指示した．

本課題は 6 セッション行い，各セッションは 24 試行であった． risk 条件と confidence 条件での課題成績およびメタ認知の行動指標の変化を被験者内で比較するために，それぞれの条件を前後半セッションで被験者に割り当てた．具体的には，時間経過による影響や条件の順番のカウンターバランスを取るために，confidence-risk 群（n=15），risk-confidence 群（n=15），risk-risk 群（n=14）のように割り当てた．選択バイアスを避けるために，各セッションで 1 つのリスク/リターンの選択肢のみに選択を固定しないよう被験者に指示した．さらに，answer 段階での正誤の方向（左右の矢印キー）は Gellermann sequence[7]に基づいて無作為に割り当てた．MRI 装置内での実験を想定し，実験中は MRI のパルスエコー音を提示した．実験は全て防音室で行い，刺激提示には Presentation（Neurobehavioral Systems）を使用した．

2.4. 解析方法

各被験者の risk, confidence 条件でのメタ認知の行動指標を定量化するため，adaptiveness index[5]を算出した．adaptiveness index は selectable 条件と forced 条件でのハイリスク/リターン選択時の正答率の差分で定義されており，bet 段階での選択がメタ認知に基づいていると仮定している．全ての統計処理には Bonferroni 補正をした対応あり t 検定または被験者内分散分析（ANOVA）を行なった．

3. 結果と考察

3.1. 正答率

潜在的・顕在的なメタ認知による正答率の違いを比較するために，教示の異なる被験者群ごと，セッションの前後半ごとの正答率を算出した（Fig. 2）．その結果被験者群×セッションで交互作用が有意傾向であった（$F(2,41)=2.77, p<0.1, \eta^2=0.02$）．下位検定をしたところ，risk-risk 群でのみセッションの前半の正答率より後半の正答率が高かった（$t(13)=-2.40, p<0.05, d=0.64$）．これは risk 条件では合計得点を最大にするよう指示されたため，confidence 条件に比べ課題に習熟しやすくなり，正答率が上昇した可能性がある．次に，教示の異なる条件下でリスク選択ごとの課題成績を比較するために，被験者群ごと，セッションの前後半ごと，リスク選択ごとでの正答率を算出したところ，3 要因での主効果および交互作用はみられなかった（Fig. 3, $p>0.1$）．リスク選択間で正答率に差がなく，教示との

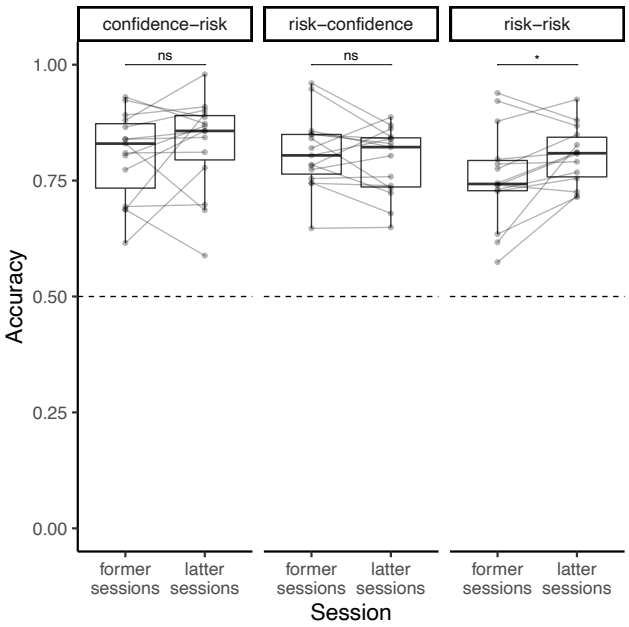

Fig. 2 Boxplot of accuracy by participant group and session. Each point and line indicate individual data. *p < 0.05.

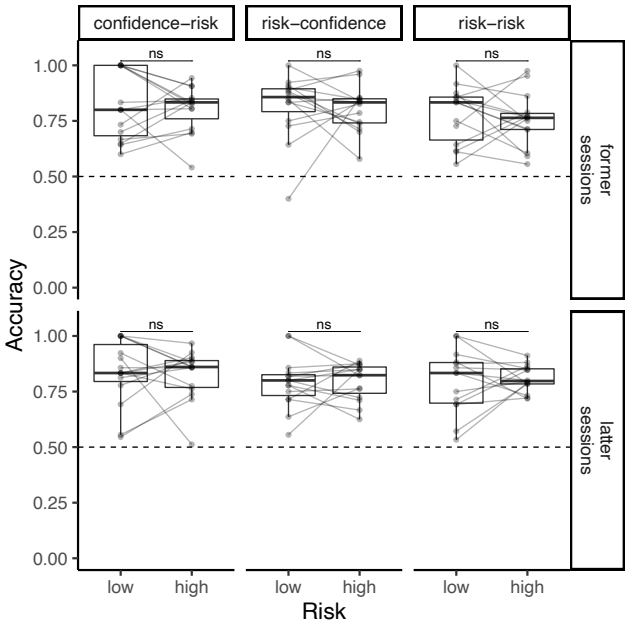

Fig. 3 Boxplot of accuracy by participant groups, sessions, and risk options. Each point and line indicate individual data.

交互作用がなかったことから，教示によって適応的な行動戦略が変化しなかったことを示唆している．次に，教示と回顧的な確信度の関係を調べるため，被験者群ごと，セッションの前後半ごと，確信度（低/高確信度）ごとの正答率を算出した（Fig. 6）．各試行の 5 段階の回顧的確信度の低/高確信度への割り当ては，それぞれの被験者の平均確信度より上か否かで行なった．その

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-SLP-138 No.13
2021/10/19

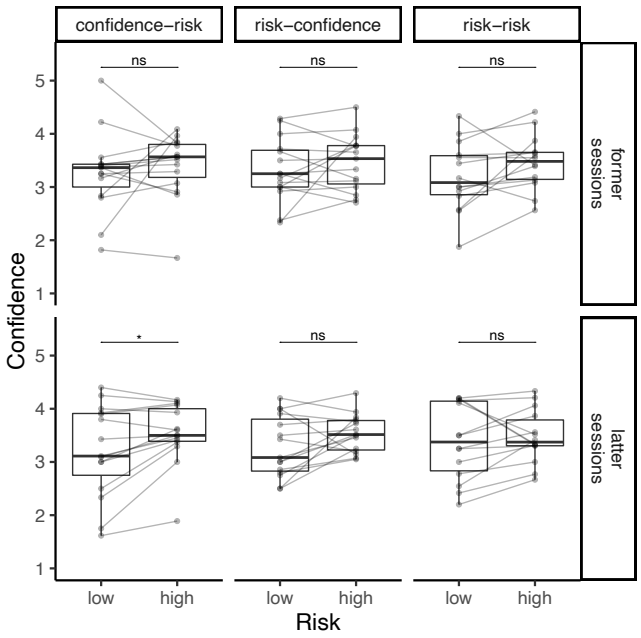

Fig. 4 Boxplot of confidence by participant groups, sessions, and risk options. Each point and line indicate individual data. *p<0.05.

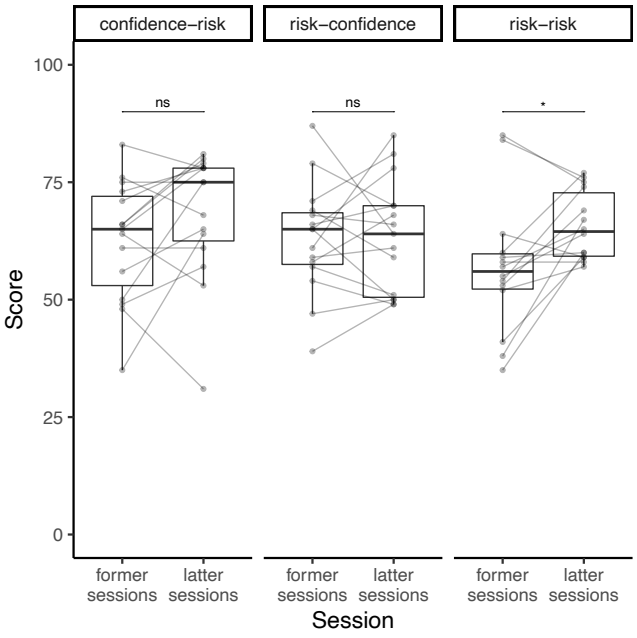

Fig. 5 Boxplot of score by participant groups and sessions. Each point and line indicate individual data. *p<0.05.

結果，確信度の主効果と被験者群×セッションで 1 次交互作用が認められた（Confidence: $F(1,41)=22.21$, $p<0.0001$, $\eta^2=0.11$; Group × Session: $F(2, 41)=5.74$, $p<0.01$, $\eta^2=0.04$）．下位検定をしたところ，risk-confidence 群のセッション後半および risk-risk 群のセッション前半では低/高確信度の正答率の差が有意にあり，confidence-risk 群のセッション前半では低/高確信度の正答率の差が有意傾向であった（risk-confidence & latter: $t(14)=-3.17$, $p<0.01$, $d=0.82$; risk-risk & former: $t(13)=-3.01$, $p<0.05$, $d=0.80$; confidence-risk & former: $t(14)=-2.02$, $p=0.06$, $d=0.54$）．高確信度のときの confidence 条件で正答率が高かったことから，教示によって確信度評価を再認させたことで，回答に対する自身の確信度をより正確に評価できた可能性がある．

3.2. 合計得点

潜在的・顕在的なメタ認知による課題成績の違いを比較するために，被験者群ごと，セッションの前後半ごとでの合計得点を算出した（Fig. 5）．その結果，セッションの前後半で主効果が認められた（$F(1,41)=7.08$, $p<0.05$, $\eta^2=0.04$）．下位検定をしたところ，risk-risk 群でセッション間の合計得点の差が有意であった（$t(13)=-2.71$, $p<0.05$, $d=0.72$）．confidence 条件では得点を獲得できるといった教示がされておらず，risk 条件では合計得点を最大化するよう指示したため，得点最大化のためにより課題に習熟したことを示唆している．

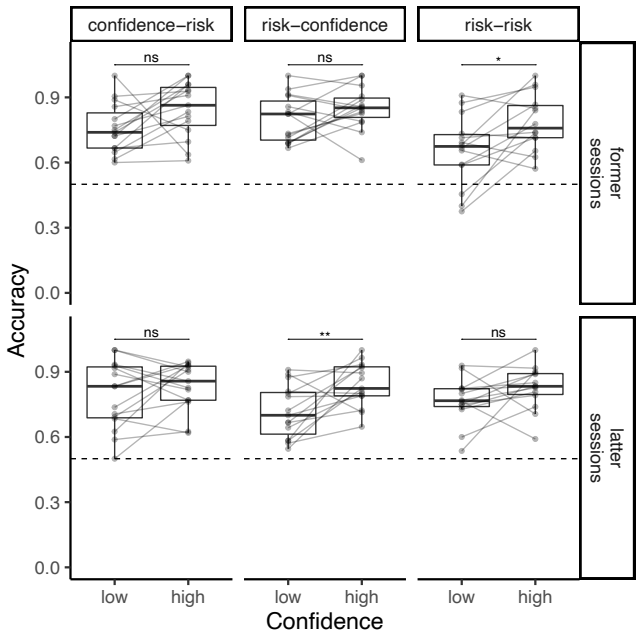

Fig. 6 Boxplot of accuracy by participant groups, sessions, and confidence. Each point and line indicate individual data. *p<0.05, **p<0.01.

3.3. リスク選択と確信度

潜在的・顕在的なメタ認知によるリスク選択および確信度評価の違いを比較するために，被験者群ごと，セッションの前後半ごとでハイリスク/リターンを選

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Vol.2021-SLP-138 No.13
2021/10/19

択する割合を算出したところ，2 要因での主効果および交互作用はみられなかった（p>0.1）．これは潜在的・顕在的なメタ認知どちらであっても記憶確信度の傾向が変化しないことを示している.また,被験者群ごと，セッションの前後半ごとの回顧的確信度を算出したところ，2 要因での主効果および交互作用はみられなかった（p>0.1）．これは潜在的・顕在的なメタ認知どちらであっても確信度の回答傾向が変化しないことを示している．次に，リスク選択と回顧的確信度の関係性を調べるために，被験者群ごと，セッションの前後半ごと,リスク選択ごとでの確信度を算出した(Fig. 4)，その結果，リスク選択で主効果が認められた（$F(1,41)=11.86, p<0.01, \eta^2=0.03$）．下位検定をしたところ，confidence-risk 群のセッション後半でリスク選択間の確信度の差が有意であった（$t(14)=-2.90, p<0.05, d=0.75$）．このことから，潜在的・顕在的なメタ認知と回顧的確信度が対応している可能性が考えられる．しかし，先行研究で内部情報の参照タイミングが異なることで確信度が変化するという報告[7]があり，本研究においても被験者群で有意な差が認められなかったことから，潜在的・顕在的なメタ認知と回顧的確信度の関係についてはさらなる検討が必要であると考えている．

4. Adaptiveness index

潜在的・顕在的なメタ認知によるメタ認知の行動指標の違いを比較するために，被験者群ごと，セッションの前後半ごとで adaptiveness index を算出した（Fig. 7）．その結果，2 要因で主効果および交互作用がみられなかった（$p>0.1$）．このことから，潜在的・顕在的なメタ認知によってメタ認知的な行動プロセスに影響を与えないことが示唆された．

5. まとめ

本研究では，潜在的なメタ認知と顕在的なメタ認知の行動プロセスの違いを調べるために，記銘困難な音刺激を用いて遅延見本合わせ課題を行なった．その結果，潜在的なメタ認知に基づいて課題を行なった場合にのみ正答率が向上するものの，潜在的・顕在的なメタ認知によってメタ認知的な行動プロセスは変化しないことが明らかとなった．このことから，潜在的・顕在的なメタ認知は一部共通した認知プロセスを持つ可能性がある．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K14485 の助成を受けたものである．

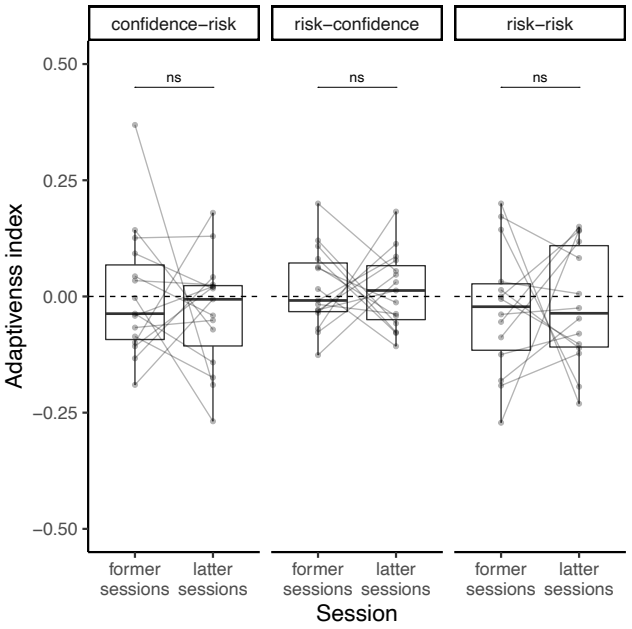

Fig. 7 Boxplot of adaptiveness index by participant groups and session. Each point and line indicate individual data.

文　献

[1] J. H. Flavell, “Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry,” American Psychologist, 34, pp.906–911, 1979.

[2] N. Shea, A. Boldt, D. Bang, N, Yeung, C. Heyes, and C. D. Frith, “Supra-personal cognitive control and metacognition,” Trends Cogn Sci, 18, pp.186–193, 2014.

[3] B. L. Schwartz, “The strategic control of retrieval during tip-of-the-tongue states,” The International Journal of Creativity & Problem Solving, 12, pp.27–37, 2002.

[4] 結城笙子, “モデル生物を用いたメタ認知研究の展望”, 心理学評論, 63(1), pp.82-96, 2020.

[5] S. Yuki, H. Nakatani, T. Nakai, L. Okanoya, and R. O. Tachibana, “Regulation of action selection based on metacognition in humans via a ventral and dorsal medial prefrontal cortical network,” Cortex, 119, pp.336-349, 2019.

[6] L. W. Gellermann, “Chance orders of alternating stimuli in visual discrimination experiments,” The journal of genetic psychology, 42, pp.206-208, 1993.

[7] R. Van Den Berg, K. Anandalingam, A. Zylberberg, R. Kiani, M. N. Shadlen, and D. M. Wolpert, “A common mechanism underlies changes of mind about decisions and confidence,” Elife, 5, e12192, 2016.

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan