

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H00740

研究課題名（和文）メタ認知の神経基盤と変容メカニズムの相互理解

研究課題名（英文）Neural basis of normal metacognition and the mechanism of disordered metacognition

研究代表者

小村 豊（Komura, Yutaka）

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：80357029

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,600,000円

研究成果の概要（和文）：メタ認知とは、自己の内部の状況を把握し、自己を適切に制御する能力である。近年、巧妙な実験パラダイムが開発されて、動物でも非言語的に測定され、意思決定の正誤と、確信度との関係性によって評価できるようになったが、その計算機構は不明だった。本研究では、実験データとシミュレーションを用いることで、意思決定と確信度は、リンクはしているものの、必ずしも同じ計算リソースから生成されているわけではないという知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は、メタ認知（自己の内部の状況を把握し、自己を適切に制御する能力）を活用して、日常生活を送っている。それを支える意思決定と確信度は、状況に応じて変動している。その変動に着目することで、メタ認知の生成機構を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Metacognition is the ability of monitoring our cognitive status and regulating ourselves. Some elaborate paradigms has captured the animals' metacognition and enable us to evaluate the metacognition based on the relations between decision accuracy and confidence level. However the computation mechanisms remain elusive. We combine the experimental data and simulations, thereby suggesting that decision and confidence does not generate from the same computational resource.

研究分野：認知科学

キーワード：メタ認知 確信度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

メタ認知とは、 knowing about knowing とも言われ、自己の内部の状況を把握し、自己を適切に制御する能力である。これまで、メタ認知の内容は、本人にしか分からない主観性に関わることなので、動物では、評価が難しいとされてきた。しかし近年、巧妙な実験パラダイムが開発されて、非言語的に、動物のメタ認知を評価できる可能性がでてきた。また我々は、日常生活において、様々な意思決定をくですが、一つ一つの意思決定に確信度が伴っている。その確信度に応じて、適応的に行動を制御している。メタ認知がうまく働かないと、その適応が崩れるが、そもそも意思決定と確信度の関係と、そのメカニズムの詳細は分かっていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、まず動物のメタ認知を問う課題を課し、その在り様を継時的に計測する。メタ認知は固定されているわけではなく、状況によって変動する。その変動を定量化する。またメタ認知は、意思決定の正誤と、確信度との関係性によって評価できるが、それらの計算機構はよくわかっていない。そこで本研究では、意思決定の変動と、確信度の変動に注目して、それらの関係性から、メタ認知の計算機構を探ることを目的とする。

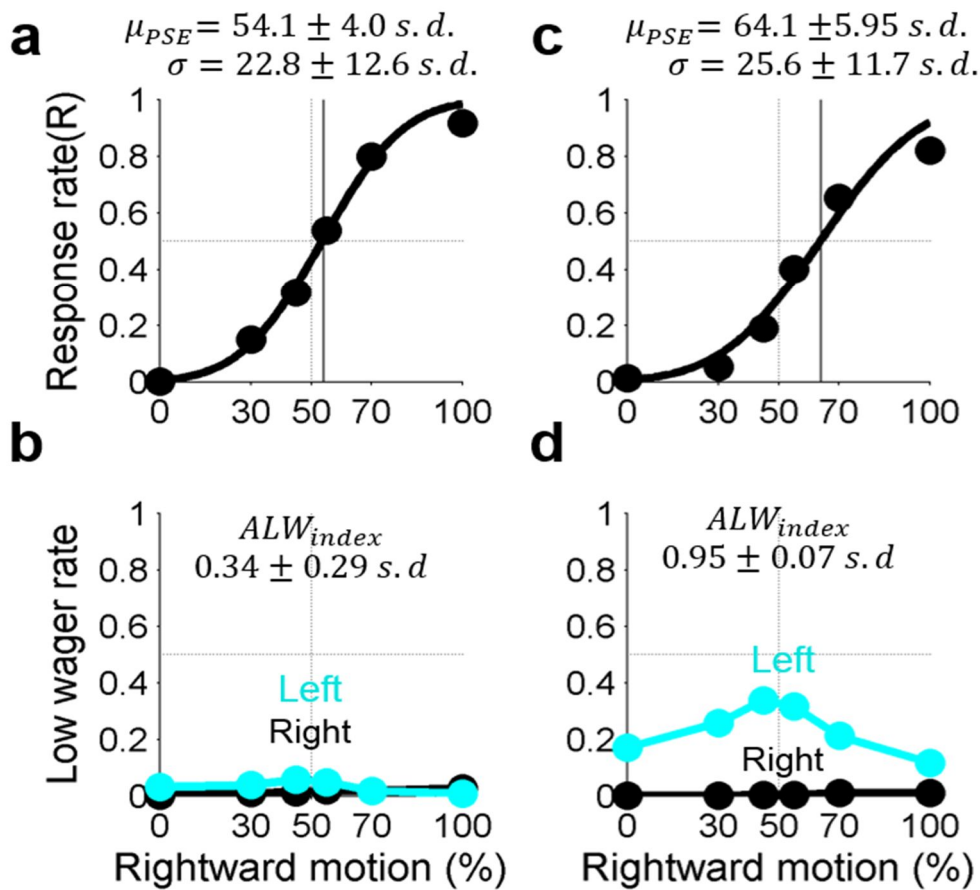
### 3. 研究の方法

本研究では、被験体にマカクサルを用いて、PDW (post-decision wagering) という手法を適用して、マカクサルのメタ認知を問うた。具体的には、被験体が中央のバーを握るとモニターに注視点が現れ、課題が開始された。被験体は課題の回答として別のバーを握る時以外、常に中央のホームバーを握り続けていることが要求された。被験体は、ターゲット刺激において、より多くのドットが、左(もしくは右)方向に動いた場合に、各々、左(もしくは右)のバーをタッチすると、1st decision stage の回答が正解と判定された。実際には、被験体が、decision stage の左右のバー選択を行った後、中央のホームバーを握り直し、そのまま、ホームバーをある一定時間タッチし続け待機していれば、decision stage の左右弁別が正解の場合、大きなサイズの報酬が与えられ、decision stage が不正解の場合、報酬は与えられず、エラーとして、ピーブ音が鳴らされた。また、decision stage の弁別判断を行った後の wagering stage として、被験体は逃げの選択肢をとることもできるようにした。被験体が刺激への返答後に中央のバーに戻った後に下のバーを握ると、decision stage での判断に関わらず、すぐに報酬が与えられた。ただし、ここでの報酬は中央のレバーを握り続けて正解した場合に与えられる報酬より少なく与えられた。このように wagering stage において、下のバーを選択するか否かによって、報酬の与え方を差別化することで、サルは、decision stage の弁別判断に自信がない場合には、ローリスクローリターンの下のバーを選択し (low wager)、decision stage の弁別判断に自信がある場合には、wagering stage において、下のバーを選択せずに、ホームバーを持ち続ける (high wager) ことが予想された。その実験データから、意思決定の心理測定関数 (psychometric function) を割り出し、各セッションごと、各個体ごとに、判断バイアス (bias) と精度 (precision) を算出できるので、それぞれの変動と、確信度の関係性を定量化した。

### 4. 研究成果

まずセッション毎に、知覚判別期間において、個体が右と判断した確率を、呈示された6種類の視覚刺激の関数として算出した。その6点の確率値を、正規分布の累積分布関数でフィットし、decision の心理測定関数を求めた。次に、視覚刺激の関数として、個体が low wager を選択した

確率 (low wager rate;  $P(\text{Low wager} | S_m)$ )を算出し、知覚判別期間における判断内容で場合分けした時に、左右の判断で均等に low wager を選択したのか、それともどちらかの判断でより多く low wager を選択したのかを調べるために、Asymmetrical Low Wager (ALW) index を求めた。その結果、2 種類の傾向があることがわかった。その代表例を Fig. 1a-d に示す。ひとつは、左右の判断で low wager rate の偏りが少ないセッションで (Fig. 1a, b) それらの ALW index は低く、判断バイアスが小さく、low wager rate も低い、傾向があった。もうひとつは、左右の判断で low wager rate の偏りが大きいセッションであり (Fig 1c, d) . それらの ALW index は、高く、判断バイアスが大きく、low wager rate が高い傾向にあった。



一方、

PDW の過程を、計算論的に評価するために、ベイズ理論の枠組みのなかで、意思決定 (decision) と賭け行動 (wagering) を、二通りの方法で定式化を行った。具体的には、数理モデルとして、判断バイアスに即した事前確率を組み込んだ状態で、confidence を計算する現実モデル (model\_1: factual confidence) と、判断バイアスには依存せずに、常に中立な事前確率で、confidence を計算する反実仮想モデル (model\_2: counterfactual confidence) を用意し、それぞれにおいて、判断バイアスと精度を操作し、wagering をシミュレートした。

その結果、判断バイアスがない状況においては、両 model とともに、左右どちらの判断をしても、均等に low wager が選択され、ALW index は 0 となった。次に、判断バイアスを加えた状況で、両者のモデルを比較すると、factual model では、判断バイアスが生じていても、判断内容によらず、均等に近しい状態で low wager を選択することがわかった。一方で、counterfactual model で

は、判断バイアスによって増加した方のレスポンスでのみ、low wager を選択するという、判断内容による不均衡が生じることがわかった。したがって、counterfactual model でのみ、実験結果をうまく再現することがわかった。

確信度の計算過程は、これまで信号検出理論を元に静的なモデルで説明されることが多かったが、今回、ベイズ理論の枠組みでモデル化することで、意思決定の判断バイアス、精度などを、統一的かつ柔軟に評価することができた。さらに最近、ヒトにおいて、反実仮想的な推論が行われていることが見出されているが、それを PDW における確信度モデルに組み込み、実際に、動物の判断バイアスと確信度のデータを説明できた。以上の知見は、意思決定と確信度は、異なる計算過程から生まれることを示唆している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujimoto, S., Noguchi, M. & Komura, Y.	4. 巻 33
2. 論文標題 Biology of consciousness from the viewpoint of metacognition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 人工知能学会誌	6. 最初と最後の頁 468-471
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 Fujimoto, S., Komura, Y.	4. 巻 69
2. 論文標題 The map of auditory function	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Brain and Nerve	6. 最初と最後の頁 471-478
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 無
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 新國彰彦 小村豊	4. 巻 35
2. 論文標題 注意のスポットライトと視床	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 945-948
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 無
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 知念浩司、三澤魁旺、小村豊	4. 巻 48
2. 論文標題 予測する脳が生み出す知覚世界	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床精神医学	6. 最初と最後の頁 1399 - 1402
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 無
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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 新國彰彦, 小村豊
2. 発表標題 Mal-adaptive behavioral adjustment in metacognition
3. 学会等名 脳機能とリハビリテーション研究会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小村豊
2. 発表標題 意識の再帰性を生み出す神経基盤
3. 学会等名 新潟脳神経研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小村豊
2. 発表標題 自己省察のシステム神経科学
3. 学会等名 脳科学研究科セミナー（同志社大学）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Komura Y.
2. 発表標題 The primate model with metacognitive ability and disability
3. 学会等名 JNS（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noguchi, M., Fujimoto, S., Nikkuni, A., Komura, Y.
2. 発表標題 Core of neural network for conscious percepts in primates
3. 学会等名 Consciousness Research Network (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nikkuni, A., Komura, Y.
2. 発表標題 Self-evaluation in vision of monkeys and humans
3. 学会等名 ICCS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小村豊
2. 発表標題 意思決定の「ゆらぎ」の生物基盤と計算機構
3. 学会等名 生理研究会「視覚・認知脳機能研究の先端」(招待講演)
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
研究分担者	宮田 淳  (Miyata Jun)  (90549099)	京都大学・医学研究科・講師    (14301)	

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
---------	---------