

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280052

研究課題名(和文)メタ認知を支える神経基盤と多重モデルの解明

研究課題名(英文)Neural basis of metacognition and the multiplex model

研究代表者

小村 豊 (Komura, Yutaka)

京都大学・こころの未来研究センター・教授

研究者番号：80357029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,000,000円

研究成果の概要(和文)：メタ認知(metacognition)とは、認知の認知(cognition about cognition)とも言われ、認知の内部状況をモニターして、認知を制御する能力を指す。本研究では、非言語的な行動テストを用いて、霊長類のメタ認知を、確信度を評価することで、定量した。さらに、深部脳に位置する視床枕において、確信度がコードされ、その神経活動の試行間変動が、サルでのメタ認知の変動と、相関していることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Metacognition, called cognition about cognition, refers to the ability which monitors and regulates the internal status of cognition. The present study quantified the primate metacognition by evaluating the confidence. Moreover, trial-by-trial fluctuations in the neural activities of the pulvinar encoding confidence correlated with the change of metacognition.

研究分野：神経科学

キーワード：メタ認知

### 1. 研究開始当初の背景

メタ認知とは、thinking about thinking, knowing about knowing とも言われ、自己の内部状況をモニターして、自己を制御する能力を指す。

我々は、その能力を使って、日常生活で出会う様々な問題に、適応的に対処している。例えば、あるテーマのレポートを完成しなければいけないときに、目の前にある資料を、ただ順々に調べていくのではなく、自分の理解が足りないと思った場合は、別の資料を漁ったり、あまりに難解すぎる場合は、テーマを変えたりすることだってあるだろう。このような学習、方略決定から、記憶、知覚判断まで、メタ認知は、多岐にわたり関与している。しかし、内省するプロセスを前提としているので、これまで、その内容は、結局、本人にしか分からないものとされていた。

したがって、メタ認知研究は、ヒトの言語報告にたよることが、多かったが、本研究では、非言語的な行動テストを用いて、霊長類のメタ認知の有り様を、定量評価する。さらに、その系に、神経科学的手法を適用して、メタ認知の生物基盤を明らかにする。

### 2. 研究の目的

メタ認知は、主観性を問うテーマなので、言語によるヒトの内観報告に依存していたが、動物でも、定量評価できるようになれば、その脳内メカニズムの解明にむけて、大きく前進する。本研究は、霊長類の動物モデル(サル)において、メタ認知を支える神経機構を、実験的に迫る点に、特色がある。

一口にメタ認知といっても、様々な要素によって、構成されることが予想される。本実験によって、その構成要素と、各々

に対応する神経基盤の実体が、明らかになるだろう。また、メタ認知は、思春期において、その能力が発展することや、統合失調症において、その機能が逸脱することが、指摘されている。本実験で得られる結果は、児童心理・精神症候学で扱われてきた問いに、生物学的基盤としての新知見を与えることが期待される。

また本研究は、メタ認知の揺らぎという点に着目する。ある人が、同じ事象に対して、どうして日によって、違う態度をとるのか、ひいては、自信をはじめメタ認知の個人差を説明するための基礎知見を提供する。

### 3. 研究の方法

メタ認知は、自己の内部状況をモニターして、自己を制御する能力を指す。これまで、その内容は、本人にしか分からない主観性に関わることなので、メタ認知研究は、ヒトの言語報告に頼ることが多かったが、今回、非言語的な行動テストによって、メタ認知の有り様を検証できるようになれば、これまで、ほとんど未知だった、メタ認知の神経基盤の詳細が、解明されていく。

#### Moving dots

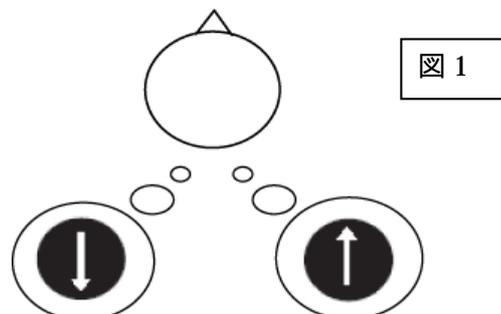
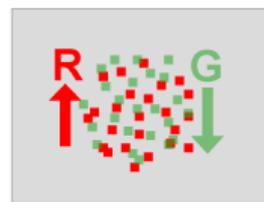
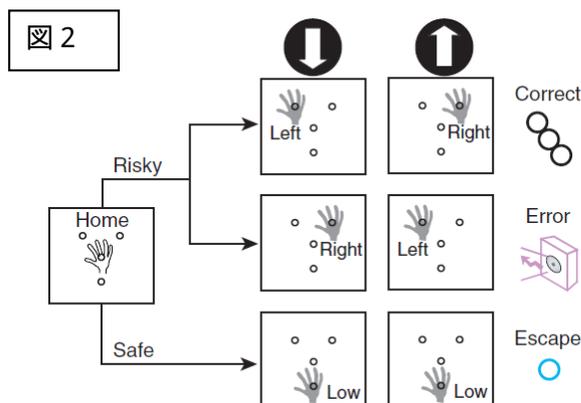


図 1

サルは行動課題としては、categorize 判断と gambling 手法を組み合わせ、視覚刺激の知覚内容を報告させた後、その判断に対する自信の有無を報告させる。具体的には、視覚刺激にランダムドット (図 1) を用いて、ターゲットの動きが、上向きか下向きかで、右バーか左バーを触ることを、まず要求する。

その後、ホームバーに戻り、そのまま一定時間待っていて、もし、先の知覚判断が正しい場合、多くの報酬量 (ジュース) を与え、間違っている場合、大きなブザー音がなると、報酬を与えない。もし、ホームバーで待たずに、下のバーを触れば、先の知覚判断が、正しかろうが、間違っていようと、常に、少量の報酬量を与える (図 2)。すると、サルが自分のカテゴリー判断に自信があれば、ハイリスクハイリターンを選択 (ホームバー待機) をするし、自信がなければ、ローリスクローリターンの選択 (下のバー) をとることが予想される。

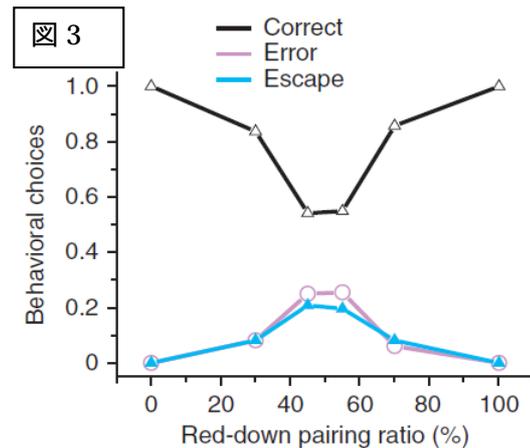


さらに、近年、申請者が見出した、視床の神経活動の試行間変動と、サルの確信度の変動が関連するかに着目して、メタ認知の生物学的メカニズムと計算機構を明らかにする。

#### 4. 研究成果

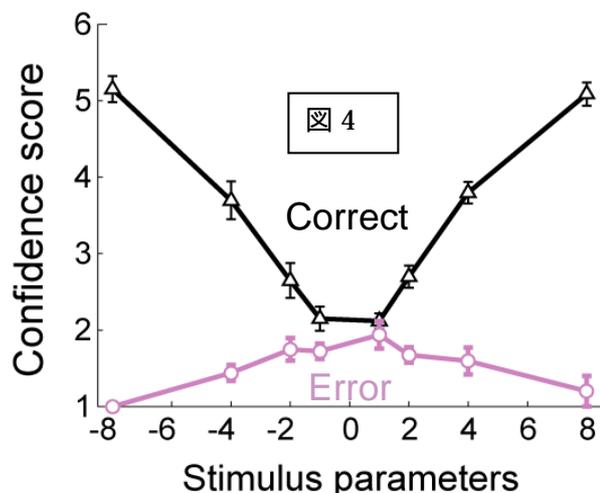
実際に、複数のマカクサルにおいて、上述のメタ認知課題を遂行してもらうと、

刺激が曖昧になればなるほど、下のバー (ローリスク・ローリターンのオプション) を選択する頻度が増えた (図 3)。すなわち、行動学的に、サルの確信度を評価することができた。



確信度は、計算論的には、自己が下した判断の正しさに対する統計量で、自分の認知状況を、どのくらい確かにモニターできているかという点から、メタ認知の鍵となる指標である。これまで、メタ認知を司る脳領域として、前頭葉が注目されてきたが、近年、申請者は、脳の深部領域に位置し、前頭葉と結合している視床枕において、確信度が表現されていることを見出した。

視床枕のニューロン群の応答を縦軸に、視覚刺激の曖昧さを横軸にとって、プロットすると、マカクサルの判断が正しい試行群は、Vカーブ、誤った試行群は、逆Vカーブのチューニング特性を示した。



マカクサルで行った課題と同等の課題を、ヒトを被検者にして、明示的に確信度を報告してもらい、複数試行群の確信度の平均スコアを縦軸に、刺激の曖昧さを横軸にとってプロットすると、判断が正しい試行群は、Vカーブ、誤った試行群は、逆Vカーブのチューニング特性を示した(図4)。このことは、マカクサルの行動課題にて、間接的に推定していた確信度が、ヒトの主観的確信度に相当していることを裏付ける結果となった。

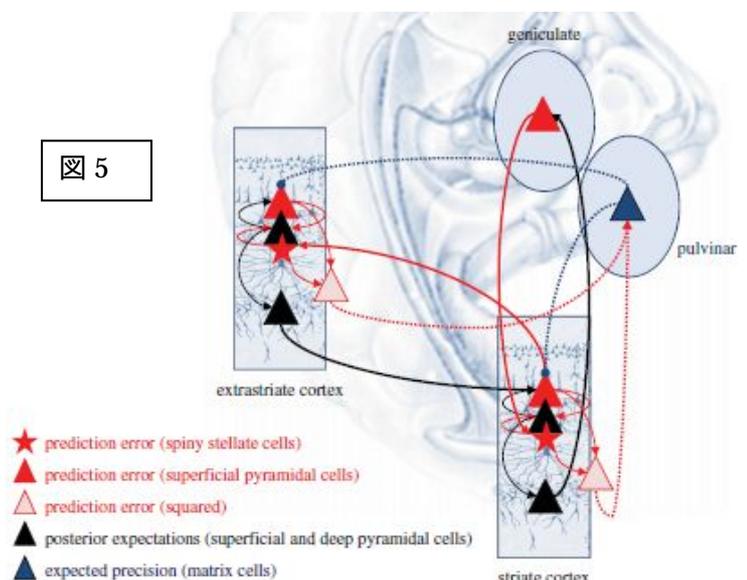
この知見をもとに、メタ認知の変動について、検証した。すなわち、同一個体の、同じ日の実験のなかでも、変動しているサルの確信度と、視床枕のトライアルごとの神経活動変動が、リンクしているか否かを解析したところ、関連していることが分かった。

視床枕は、ほぼすべての視覚系皮質領域と、解剖学的に結合していることがわかっており(図5)その領域が障害されると半側空間無視をきたすことから、注意を司る領域であることは示唆されてきたが、どのように制御されてきているかについては、不明だった。今回、視床枕が、確信度を表現していることが分かったことで、大脳皮質で処理される情報の精度をモニターして、どの皮質領域の信号を促進したり、抑制したりする機能を持ちうることを、計算論的に示した。

以上、行動学的手法・神経科学的手法・計算論的手法を組み合わせ、メタ認知の神経基盤の一端が分かった。ただし、それを支える生物基盤については、国際的にも研究がはじまったばかりなので、今後も、システム神経科学の手法を用い

て、綿密に検証していきたい。

図5



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

1) Fujimoto, S., \*Komura, Y. (2017) Brain and Nerve 69, 471-478, The map of auditory function

2) Nikkuni, A., \*Komura, Y. (2017) Clinical Neuroscience 35(8), 945-948, 注意のスポットライトと視床

3) Kanai R, Komura, Y., Shipp S, Friston K. (2015) Phil Trans Roy Soc B, 370 (1668) 69-81, Cerebral hierarchies: predictive processing, precision and the pulvinar.

4) Nikkuni, A., \*Komura, Y. (2015) Numata, K., Journal of Rehab Neurosci 15, 5-15, Different processes of subjective certainty between visual detection and discrimination tasks.

[学会発表](計11件)

1) Noguchi, M., Fujimoto, S., Nikkuni, A., \*Komura, Y. (2017) Consciousness Research Network 17, 11-12, Core of neural network for conscious percepts in primates.

2) Nikkuni, A., \*Komura, Y. (2017) ICCS

11, 27, Self-evaluation in vision of monkeys and humans

3) \*Komura, Y. (2017) The primate model with metacognitive ability and disability. JNS symposium

4) 新國彰彦, \*小村豊 (2017) 脳科学とリハビリテーション 17, K10, 視覚系メタ認知の変動と多次表象モデル

5) Komura, Y. (2016) International symposium for SPIRITS, Self-reflective codes in the deep brain.

6) Nikkuni, A., Fujimoto, S., \*Komura, Y. (2016) Gordon Research Conference, Feeling of knowing one's own status in humans and animals

7) \*Komura, Y. (2015) BRI 15, Linking metacognitive signals to vision in monkeys and humans

8) \*小村豊 (2015) 生理研研究会 「視覚の現象・機能・メカニズム - 生理学的、心理物理学的、計算論的アプローチ」、知覚の内省とその神経機序

9) \*Komura, Y. (2015) Cinet seminar, Feeling of knowing one's own vision in monkeys and humans

10) \*Komura, Y. (2015) 6<sup>th</sup> FAONS Congress CNS-JNS joint symposium, Thalamic algorithm for subjective experiences in vision

11) Nikkuni, A., Miyamoto, A., Numata, K., \*Komura, Y. (2015) SFN, A shared mechanism of metacognition in animals and humans

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
小村 豊 (Komura Yutaka)

京都大学・こころの未来研究センター・  
教授

研究者番号：  
80357029

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者