

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 結城笙子

結城笙子氏は、メタ認知という現象に興味をもち、その行動学的制御変数を明らかにするためにラットを用いた条件づけによる研究を行った。また、ラットで用いた課題と同質な課題を、ヒトを対象に開発し、課題遂行中の脳活動を機能的 MRI 装置により計測する実験を行った。これらの研究から、メタ認知の行動特性と脳機能について新規な理解が得られた。メタ認知とは「知っていることを知っている」などとも言い換えられるように、自身の認知に関する知識や認知である。本博士論文は、まず、メタ認知に関する詳細なレビューを総合序論としておく。次に、第 1、2 章においてラットを用いた行動実験を、第 3、4 章においてヒトを対象とした機能的 MRI 実験およびその斬新なデータ解析とモデル化を行った。最後に総合討論として、メタ認知のシステムの理解を呈示した。

第 1 章として、ラットを対象に、そもそもメタ認知的な手掛かりに基づいた行動制御が可能かを検討した。メタ認知課題は、遅延多肢位置合わせ課題の見本合わせ直前に、そのまま見本合わせを続行するか、正答時の報酬を減らすことと引き換えに、回避するかを選択できるようにしたものであった。そのため、正答が出来るような場合のみ選択的に課題の続行を選択し、正答できなさそうであれば回避することが最も報酬最大化に適うように設計されていた。6 肢遅延位置見本合わせ課題を基礎課題として用いた場合、実験に用いた全個体で強制課題続行時の正答率と選択課題続行時の正答率の間に有意な差が見られた。さらに、見本なし試行において通常試行よりも有意に多く回避を選択した。一方で、基礎課題としてよりチャンスレベルの高い 2 肢遅延位置見本合わせ課題を用いた場合には、強制課題続行時の正答率と選択課題続行時の正答率の間に有意な差は見られなかった。この結果の違いは、課題のチャンスレベルが低く、記憶確信度を課題選択に利用することの効用が高い場合に選択的にメタ認知的な行動制御が生じていたことを示唆する。第 2 章として、同一の個体内でも実験条件を切り替え、これに応じたメタ認知的行動の変化が生じるかを検討した。結果、選択効果は、個体内で課題のチャンスレベルがより低い場合や、見本提示から弁別までの間隔が長い場合など、その課題で正答するのがより難しい状況で出現しやすくなることが明らかとなった。

第 3 章では、こういったメタ認知的な行動制御とその調節機構の神経基盤を解明するために、メタ認知のモニタリングの神経基盤についての知見が既によりあり、かつ全脳からの脳活動計測が可能なヒトを対象に、MRI を用いてメタ認知的な行動制御中の脳活動を計測した。参加者は、ラットを用いた実験と同様の構造を持つ、遅延音見本合わせ課題に、見本合わせ直前の得点に関するリスク選

択(高リスク・高リターンか低リスク・低リターン)を導入したメタ認知課題を課された。メタ認知的な行動制御に関与する脳内ネットワークを検討するために、まずはメタ認知課題のリスク選択フェイズにおいて、選択可能条件で強制条件よりも有意に活動が増大する領域を探索した。結果、内側前頭前野の腹側部と背側部、楔前部にメタ認知的なリスク選択時に特異的な活動がみられた。これらの領域について、参加者内での記憶確信度に基づくリスク選択に応じた機能的な関係の変化を検討したところ、内側前頭前野の腹側部と背側部、楔前部間の機能的結合は、高リスク・高リターンを選択した試行で低リスク・低リターンを選択した試行よりも有意に高くなることが分かった。これらの結果は、内側前頭前野と楔前部を結ぶ脳内ネットワークがメタ認知に基づく行動制御に関与し、とくに内側前頭前野内での情報のやりとりがその調整に対応することを示唆する。

しかし、本研究がここまでで示したのはあくまで行動と神経活動の相関関係である。第4章では、前章で行った実験で取得したデータを用いて追加解析を行い、内側前頭前野の腹側部と背側部、楔前部をつなぐメタ認知関連ネットワーク内の情報伝播の方向性、ひいては階層性を検討した。手法としては **Dynamic causal modeling(DCM)**法によるモデルベース解析を用いた。モデルの推定は、前章における解析の結果に基づき、内側前頭前野の腹側部と背側部、楔前部、そしてリスク選択画面の呈示という視覚的な情報がメタ認知関連ネットワークを駆動すると考えられたため、視覚野を含めた4領域を用いて行われた。最終的に選択されたモデルを解釈すると、メタ認知的なリスク選択時には、課題と独立に参加者間で一貫してみられていた前頭前野内側部の背側部から腹側部、楔前部という伝播経路が、前頭前野内側部の腹側部から背側部、そして楔前部へという経路への切り替えが生じていたことが示唆された。

まとめると、本研究はメタ認知に基づく行動制御のシステムの理解をめざし、ラットの行動レベルの実験からその制御の規則性を探索し、メタ認知的行動を調整するような機構が広く動物でも共有されていることを示した。また、ヒトを対象とした脳活動計測から、メタ認知的行動制御の脳内での実装を検討し、内側前頭前野の腹側部と背側部、楔前部がメタ認知的な行動制御に関与し、特に内側前頭前野内の情報伝播がその調節機構と対応していることを示した。これらの結果から、本研究はメタ認知的な手掛かりに基づく行動制御の性質と、その性質を支える脳内システムについてシステムの理解を進めることに成功したといえる。

審査会では、**DCM**の有効性と信頼性について、相関関係と因果関係についての質問がなされた。また、ラットのメタ認知と報酬系の関連について、ヒトの結果とラットの結果の結びつきについて質問がなされた。結城氏はこれらの質問に対して広範な知識と理解を持って適切に返答することができた。

これらの成果により、本論文は東京大学総合文化研究科博士（学術）の学位請求論文として合格であると、審査委員が全員一致で判定した。