

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 川 道 拓 東

本論文は、「メンタルローテーションにおける脳内情報処理機構の研究」と題し、非侵襲的計測手法である脳磁気計測(MEG: Magnetoencephalography)と機能的磁気共鳴イメージング(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging)によりメンタルローテーションタスク遂行時の脳内活動を計測し、その処理機構について述べたものであり、6章よりなる。

まえがきは、本研究の背景と目的、並びに本論文の構成をとりまとめたものである。

第1章「序論」で本研究の歴史的な背景と研究の目的を述べた。その中で、メンタルローテーションにおける脳内情報処理機構にはトップダウン的な処理が含まれていると示唆されることを示している。しかしながら、従来の研究では、脳内情報処理機構の解明に必要な、処理の時間的な構造、刺激と脳活動の因果関係についての検討が十分でなかった点を指摘している。

第2章「メンタルローテーションに関する心理学的な知見」では、メンタルローテーションに関する種々の知見の中で、最も基本となる2つの3次元物体を用いたメンタルローテーションタスクの心理的実験を概説している。この心理的実験により、メンタルローテーションタスク遂行中に、ヒトが脳内で心的シミュレーションを行っていることを示唆する結果が得られていることを示している。

第3章「身体の一部(手)のメンタルローテーション時の脳内処理過程」では、手を提示刺激として用いたメンタルローテーションタスク遂行時の、ヒト脳内の時間的な活動に関するMEGによる計測と解析について説明している。手のメンタルローテーションにおいては、視野と対側の視覚野(VC: Visual Cortex)(100~200ms)と下頭頂小葉(IPL: Inferior Parietal Lobule)の早い成分(200~300ms)の活動を報告している。その後、高次運動領域である左運動前野(PM: Premotor)とIPLの遅い成分の活動を報告している。この結果は視野と対側のVC、IPLにて身体図式の認識を行った後で左PM、IPLで心的シミュレーションを行っているというトップダウン的な処理の流れを示すものであるとしている。本結果はポジトロン断層法(PET: Positron Emission Tomography)による従来研究で示された脳活動の空間情報に、時間的な情報を付加するものであることを示している。

第4章「文字のメンタルローテーション時の脳内処理過程」では、第3章で得られた結果がメンタルローテーションに共通的なものか否かを検討するために、手のメンタルローテーションと同様にヒトが内的にモデルを持っている提示刺激の内、身体以外の刺激であ

るアルファベットを使ったメンタルローテーションタスク遂行時の、ヒト脳内の時系列的な活動に関する MEG による計測と解析について説明している。文字のメンタルローテーションにおいては、視野と対側の右 VC の活動(100~200ms)が見られた後に、文字の音韻的な処理に係る左上側頭領域(STR: Superior Temporal Region)(約 300ms)の活動を報告している。その後に PM、IPL、上頭頂小葉領域(SPR: Superior Parietal Region)の活動を報告している。PM、IPL、SPR の活動は心的シミュレーションに参与していると考えられるが、PM に関しては、両条件で活動が見られた被験者数が同程度だったことから他の二つの領域と比較して、文字の回転角度と活動量の相関がそれほど高くない可能性があることを示している。さらに、第 3 章および第 4 章に述べた 2 つの実験の結果から、外部刺激が何かを認識した後で心的シミュレーションを行うというトップダウン的な処理の流れが、メンタルローテーションに共通である事を示唆すると説明している。

第 5 章「3次元物体のメンタルローテーション時の脳内処理過程」では、運動系の活動と関係のある提示画像の因子を調べるために3次元物体のメンタルローテーションの実験デザインを詳細化した fMRI/MEG により脳内活動の計測と解析を説明している。本実験デザインにおいては、従来の回転角度の多寡の比較に加えて、3次元物体の回転方法を2種類(3次元的な回転、2次元的な回転)に分けての比較を行っている。ここで、3次元的な回転は被験者がタスク中に視覚刺激の見えない部分を想起する必要があるものであり、2次元的な回転はそうでないものである。fMRI の計測により、3次元的な回転のみが右 PM の活動と相関があることを示している。一方で、3次元的な回転における頭頂連合野の活動については、MEG の計測により、他のメンタルローテーションでの活動と同等の時間帯である 400~500ms の右頭頂連合野の活動に関して、2次元的な回転と比較し有意差を見出し、この領域での活動が見られることを示している。こうした結果から、視覚刺激の3次元的な想起がメンタルローテーションタスクにおける運動系を活用した心的シミュレーション処理の遂行に参与していることが示唆されると説明している。

第 6 章は「結論」として、本論文を統括するとともに、得られた知見の工学的な応用の可能性について述べている。

以上を要するに、本論文は、トップダウン的な処理により視覚認知を行っていると考えられる、メンタルローテーション課題遂行時のヒト脳活動を非侵襲的計測手法により明らかにしたもので、ヒトのトップダウン的な情報処理過程のメカニズムを研究する上で有用であり、電子工学、特に、生体情報工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。