

## 論文の内容の要旨

論文題目      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

氏 名      川 道 拓 東

ヒトの認知過程は、ボトムアップ的な情報処理とトップダウン的な情報処理の相互作用によって遂行されている。しかしながら、こうした処理機構に関する知見のコンピュータなどの情報処理システムへの工学的な応用は、ボトムアップ的な知見に基づくものが主であった。これは、工学的に応用可能なトップダウン的な処理機構に関する知見が十分得られていなかったことに起因すると考えられる。よって、ヒトのトップダウン的な処理機構に関する知見を得ることは、コンピュータの処理の高度化に繋がり、工学上重要な意味を持つと考えられる。

こうした、ヒト認知過程におけるトップダウン的な処理には、無意識下で、認知した外界の情報に基づいて、複数のモダリティの機能を活用しているものがある。このようなものの中で、その情報処理機構についてよく研究されているものにメンタルローテーション

がある。

メンタルローテーションタスクとは、被験者に角度差のある2つの物体が鏡像か同一かを判断することを課すものである。このタスクにおいては、被験者が判断するまでに要する時間と2つの物体間の角度差との間に相関があることが心理実験によって示され、心的シミュレーションを行う脳内情報処理機構の存在が示唆されてきた。さらに、近年の非侵襲的脳機能計測手法を用いた研究により、手のメンタルローテーションにおける心的なシミュレーションに、大脳皮質の運動前野(PM: Premotor Area)領域と頭頂連合野の活動が重要であることが示され、視覚刺激の認識およびその処理において運動系の領野を賦活するという複数のモダリティの活用が示唆されている。特に運動系の活動においては刺激に応じて左右手いずれかを動かす際に賦活される領域の活動が見られることから、提示された手に関して左右いずれかであるとの仮説をたてて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存在が示唆される。

一方で、こうした脳内情報処理機構の解明に必要な情報には(1)脳活動の空間的な情報、(2)脳活動の時間的な情報、(3)刺激と脳活動との因果関係がある。ここで、現在、メンタルローテーション時の脳内活動の計測に利用されている機器は、機能的磁気共鳴イメージング(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging)、ポジトロン断層法(PET: Positron Emission Tomography)が多い。fMRIやPETは空間分解能に優れる一方で、その時間分解能には制限がある。そうしたことから、賦活部位の時系列的な情報についてはあまり得られていない。さらには、3次元物体のメンタルローテーションでは運動系の領野の活動に関して異なる知見が見られるなど、トップダウン的な処理を誘発する因子がどういったものであるかといった知見も十分には得られていない。こうしたことから、メンタルローテーションにおける脳内の情報処理機構については、未だ不明な点が多い。これに対して、脳磁気計測(MEG: Magnetoencephalography)はミリ秒オーダの優れた時間分解能、および、ミリメートルオーダの空間分解能を持ち、高次脳機能の研究に用いられている。しかしながら、MEGによるメンタルローテーションの研究はほとんどなされていない。

本論文は、メンタルローテーションにおける脳内のトップダウン的な処理機構について、MEGとfMRI計測を中心とした非侵襲的な脳機能計測手法を用いて実験的考察を行ったもので、6章からなる。

第1章は序論で、本研究の歴史的な背景と研究の目的を述べた。

第2章では、メンタルローテーションに関する種々の心理学的な知見の中で、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の概要、および、その結果について述べた。

第3章では、PETでの先行研究により脳内活動の空間的情報が得られている、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に関する脳内の時間的な活動を、MEGにより調べた。結果として、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)の活動が見られた。その後、左PMとIPLの遅い成分の活動が見られた。この結果から視野と対側の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処理の流れが示唆された。

第4章では、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どうかを検討した。手のメンタルローテーションと同様に、被験者が内的にモデルを持つ提示刺激の内、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脳内の時系列的な活動をMEGにより評価した。結果として、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関係する左上側頭後部領域(STR: posterior part of Superior Temporal Region)(約300ms)の活動が見られた。その後にPM、IPL、上頭頂小葉領域(SPR: Superior Parietal Region)の活動が続く。これらのPM、IPL、SPRの活動は心的シミュレーションに関与していると考えられる。但し、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。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処理の流れが、メンタルローテーションに共通である事が示唆された。

続いて第5章にて、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実験デザインを詳細化して脳内活動を調べた。2種類(3次元的な回転、2次元的な回転)の3次元物体のメンタルローテーションを遂行する際の、被験者の脳活動をfMRI/MEGにより計測した。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の計測結果として、

3次元的な回転のみが右 PM の活動と相関があるという結果を得た。こうした結果から、視覚刺激の3次元的な要素がトップダウン的な心的シミュレーション処理の遂行に関与していることが示唆された。さらに、3次元的な回転において、回転角度との相関があまり見られなかった頭頂連合野については、その活動時間を調べるために MEG にて計測を行った。結果として、2次元的な回転と3次元的な回転において、400～500ms の右頭頂連合野の活動に有意差を見出した。この時間帯は他のメンタルローテーションの実験において、同領域に活動が見られる時間帯と一致することから3次元的な回転においても右頭頂連合野の活動が重要であることが示唆された。

最後に第6章に、結びとして、本論文を統括した。