

論文審査の結果の要旨

氏名 下野昌宣

本論文は6章からなり、MEG計測を行うことにより、複雑な脳内の神経活動を解明するとともに、計測されたMEGの単一データを、数理的手法を用いて分類する手法を開発しその有効性を検討している。

第1章では、鳥瞰的な視点から、本論文で用いた視覚刺激、計測手法、解析手法を説明し、研究課題の位置付けを行っている。

第2章は、従来の脳磁図研究では、周波数情報を δ , θ , α , β , γ と名づけられる周波数帯での位相や強度と、認知機能の関係を調べる事がほとんどであったが、本論文では、広域的周波数にまたがるベキ分布成分がヒトの認知成績を反映することを示した。

刺激の入らない状況での脳活動(自発脳活動)は時間スケール、空間サイズでベキ則を満たす成分を含んでおり、近年、自発脳活動が刺激に対する脳の応答すらも予め決める、という報告が頻繁にされるようになってきている。そこで、『パワースペクトルのベキ分布が、非常に弱い刺激の検出可否と関係する』という仮説を、『ある周波数帯の強度が、検出可否と関係する』という仮説、及び『ベキ分布成分を差し引いて残る成分のある周波数帯の強度が、検出可否と関係する』という仮説とを比較した。

検出閾値輝度の点滅光を二つの視野にランダムな順序で提示し、被験者に知覚した位置を回答してもらい、事前に調べた刺激提示の位置に選択的に応答するセンサー群の活動にWavelet解析を適用したうえで、回答の正解群、不正解群の間での有意な差異が生じることを明らかにした。その結果、ベキ分布の自然対数の傾きで行動成績を説明できることを示した。

第3章では、複数の解釈や知覚が可能な刺激(多義図形)が提示された時の、脳内の情報処理特性について明らかにした。多義図形の一種である多義的仮現運動(ドットの対の画像を時間的に交互に提示する刺激)における、知覚の意図的コントロールに関する心理物理特性と脳活動の関係性を調べた。

本論文では、(1)画像1枚の提示時間に対する被験者の意図的コントロールの依存性を調べ、(2)知覚交代が必要な刺激提示時の脳活動と必要でない提示時の脳活動を比較し、(3)コントロールが50%可能なSOAに調節して、知覚交代が成功した時の脳活動と失敗した時の脳活動を比較し、(4)意図的な知覚交代時と受動的な知覚交代(知覚交代をただ待つ)時の脳活動を比較する、4つの実験を行った。

(1)では、刺激のSOAが約275msより長い場合では、知覚交代を極めて高い精度で意図的にコントロール出来る事が確認された。(1),(3)では、刺激の切り替わり後300msで条件間の違いが観測され、(2)では、刺激の切り替わり後、約40msと約250msで有意な違いが観察された。また、(4)では、SOAが約275ms以上の遅い刺激提示を行うと、知覚交代の成功率が極めて高くなる(100%に近い)現象を発見した。

第4章では、一試行のMEG信号に機械学習的手法を用いて、被験者の知覚を高い精度

で推定できる事を示した。提示した連続する画像三枚の内、二枚目の前後で知覚される運動方向の切り替えの可否に分類して応答を記録した。眼球運動由来のノイズを除去した後、100 試行のデータから SVM (Support Vector Machine) で状態分離面 (Classifier) を作成して、予測性能を評価した。

その結果、最も成功した状態分離面は、着目する試行の刺激の交代前の脳活動とその一つ前の試行の刺激の交代前後の脳活動とを組み合わせる方法であり、刺激の交代前でも70%を超える精度で知覚交替の成否が予測できることを示した。MEGでは刺激提示以前の脳活動の強度は一般に小さいため、一試行ごとに信号を分類できる事が示されたのは、初めてである。

第5章は、OC (Object Category) の画像を提示した時の MEG 計測を行い、好成績・高速な解析手法を提案した。事前の解析を通して、後頭-頭頂部のセンサーの 3-20 Hz 成分を選んだ。また、100 試行での Cross Validation (CV) から、120-200ms の中で classification に利く時間領域を選んだ。トレーニング期間で得られたデータにおいて得られた 170ms 成分の閾値を用いて、分類を行った場合の結果との比較検討を行った。

その結果、顔と車、顔と家の分類で被験者間平均 80% を超える精度を実現し、車と家の分類でも 70% を超える精度を得た。単に、170ms 強度のみ強度を用いた解析では、顔と車、顔と家で約 70%、車と家の分類で約 60% であり、約 10% の成績の向上を得た事になり、現時点での最高成績を達成した。

第六章では、以上 4 つの実験のまとめと総合考察を述べている。本論文では、脳磁図で計測した脳活動に数理解析を適用する事を通じて、視覚認知情報処理に関連する脳情報の抽出を試みた。なお、本論文第 2 章は大脇隆史、天野薫、北城圭一、武田常広、第 4 章は武田常広との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (科学) の学位を授与できると認める。