

京都大学	博士（工学）	氏名	夏川 浩明
論文題目	脳磁図・機能的MRI・眼球運動計測による奥行き注意下の運動透明視に関わる皮質活動の研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>ヒトの視知覚現象には未だ解明されていない多くの謎が残されている。近年、情報化や少子高齢化が進み、高い Quality of Life を実現するため、医療や福祉、情報処理の分野の技術革新が求められており、その一つとして視知覚現象に関わる脳内プロセスを理解しその機能を応用する事が有用であると期待されている。このような背景のもと、本論文はヒトの視覚にとって重要な、動きから奥行きを抽出する“structure from motion”と呼ばれる機能に関わる運動透明視に注目し研究を行ったものである。運動透明視は、視覚刺激は変化しないにも拘わらず見え方が時間とともに交替するといった双安定な知覚現象であると共に、知覚に伴って生じる不随意の眼球運動によってその知覚を客観的にも調べる事ができる非常に重要な現象である。しかし、その脳内機構についてはまだ一部が分かっているにすぎない。</p> <p>一方、近年、非侵襲的にヒトの脳機能を計測する技術が盛んに開発され、脳内プロセスを理解する強力なツールとなっている。そこで、本論文では非侵襲脳機能計測手法の中で時間分解能の高い脳磁図（MEG）と空間分解能の高い機能的磁気共鳴画像法（fMRI）及び眼球運動計測を用いて、奥行き注意下における運動透明視課題遂行中の皮質活動について多角的な検討を行った。</p> <p>本論文は7章からなっており、その構成は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、研究背景、運動透明視および脳機能計測手法の概要について述べている。</p> <p>第2章では、運動透明視とサッカードについての特徴やその脳活動についての従来の研究をまとめている。その後、本論文で用いた MEG の原理や事象関連脳磁界の解析や事象関連同期脱同期の解析について述べている。また、信号源推定を行うための空間フィルタ法について述べたほか、MEG と fMRI の情報を相補的に利用し信号源推定を行うための統合解析手法について述べている。</p> <p>第3章では、奥行き注意下の運動透明刺激に誘発される皮質活動について、奥行きが知覚される過程の脳活動を MEG と眼球運動計測により検討した。奥行き注意下の運動透明刺激呈示時の眼球運動の追従特性の変化に基づき、被験者の奥行き知覚が形成される期間を同定した。さらに運動透明刺激に誘発される事象関連脳磁界（ERF）の主要な成分について信号源推定法の一つである sLORETA を適用することで、運動透明視の奥行き構造の処理には低次視覚野から第五次視覚野に至る背側経路に加え外側後頭皮質近傍領域が関わっていることを明らかにした。</p> <p>第4章では、第3章における ERF の解析では捉えられなかった、活動潜時に試行間でのばらつきの大きい神経活動を調べるために、事象関連同期・脱同期（ERS/ERD）の解析を行った。また、眼球運動計測も行い MEG の結果を解釈するのに有用な行動指標を得た。時間-周波数解析の結果より、全ての被験者において、自発律動である <math>\alpha</math> 波帯域の ERD、<math>\beta</math> 波帯域の ERD、<math>\theta</math> 波帯域の ERS が見られ、特に 170-530 ms の <math>\alpha</math> 波帯域や 45-420 ms の <math>\beta</math> 波帯域の後頭部に配置したセンサにおいて計測された律動変化について</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	夏川 浩明
<p>て運動透明視タスクとコントロールタスクの間に有意差があり、<math>\alpha</math>、<math>\beta</math>波帯域の ERD が運動透明視の奥行き決定の脳活動を反映するという知見を得た。</p> <p>第 5 章では、高次脳機能に関わる複雑な脳活動を調べる新たなツールとなりうる Normalized fMRI-MEG 統合解析を提案した。この手法は標準脳の座標系の一つである MNI 座標においてクラスタリング手法を用いた被験者共通の神経活動を抽出するものである。そして、提案手法の有用性を検証するために、視覚誘導性サッカード遂行に関わる脳活動のダイナミクスを、提案手法を用いて調べた。まず、fMRI 結果より、大脳皮質の賦活部位をクラスタとして決定した。次に MEG 結果より事象関連脳磁界を求め、Normalized fMRI-MEG 統合解析を適応する。その結果、サッカード遂行に関わる前頭眼野に由来する二峰性の活動を捉えることに成功すると共に、今回提案した Normalized fMRI-MEG 統合解析が、被験者共通に見られる皮質活動の高時空間分解能な再構成法として有用性のある解析手法であると実験的に確認することができた。</p> <p>第 6 章では、運動透明視の皮質活動のダイナミクスについて、単独のモダリティによる信号源推定法ではなく、より高時空間分解能に皮質活動を調べるために、Normalized fMRI-MEG 統合解析を用いて皮質活動の時空間特性を検討した。まず fMRI の結果から運動透明視に関連する低次視覚野から頭頂間溝等を含む 10 個の賦活部位をクラスタとして同定した。次に MEG において運動透明視タスクとコントロールタスクの事象関連脳磁界を求め、統合解析を適用した。結果としては、頭頂間溝と外側後頭皮質を主とする繰り返しの活動が確認された。これらの結果より、複数被験者共通の皮質活動を高時空間分解能で捉えることに成功した。</p> <p>第 7 章は検討であり、第 3～6 章で述べた運動透明視の皮質活動をふまえた運動透明視のモデルについてや MEG や fMRI、その統合解析手法の課題についての総括的な考察および本論文の工学的応用と今後の発展について述べている。</p> <p>第 8 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

三次元の視覚像を構築するため、動きから奥行き構造を抽出する視知覚現象の一つとして運動透明視が知られている。本論文では、この運動透明視の脳内プロセスの解明を目指し、関連する皮質活動について脳磁図 (MEG) と機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) の二つの非侵襲脳機能計測法ならびに眼球運動計測によって検討を行い、以下の4つの結果を得ている。

- (1) 奥行き注意下の運動透明刺激呈示時の眼球運動の追従特性の変化に基づき、被験者の奥行き知覚が形成される期間を同定し、さらにこの刺激に誘発される事象関連脳磁界 (ERF) の主要な成分について信号源推定法の一つである sLORETA を適用することで、運動透明視の奥行き構造の処理には低次視覚野から第五次視覚野に至る背側経路に加え外側後頭皮質近傍領域が関わっていることを明らかにした。
- (2) 奥行き注意下の運動透明刺激呈示時に得られた MEG データに対して時間-周波数解析を行い、事象関連同期・脱同期 (ERS/ERD) について検討を行い、自発律動である  $\alpha$ 、 $\beta$  波帯の ERD が運動透明視の奥行き決定の脳活動を反映するという知見を得た。
- (3) 複数被験者に共通の皮質活動を捉えることのできる Normalized fMRI-MEG 統合解析を新たに提案し、その有用性を実験的に検証するため視覚誘導性サッカーボール遂行時の MEG、fMRI データに対して提案手法を適用した。その結果、サッカーボール遂行に関わる前頭眼野に由来する二峰性の活動を捉えることに成功すると共に、提案手法の有用性を確認した。
- (4) 提案手法を用いて運動透明視に関わる皮質活動について検討を行い、低次視覚野や頭頂間溝、第五次視覚野や外側後頭皮質近傍領域における複数被験者共通の皮質活動を高時空間分解能で捉えることに成功した。

以上のように、本論文では運動透明視の奥行き決定に関わる皮質活動の時空間特性に関する新知見を得ており、これらの知見を反映する新たなモデル化を進めることで、運動透明視の理解、さらにはヒトの視覚システムの理解と動画像処理等の工学的応用に結びつくことが期待でき大変有用な研究であり、学術上、實際上寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。