

嶋岡大輔氏の博士論文 *Macroscopic neural dynamics associated with subjective visual perception* (主観的視知覚に関わる巨視的神経ダイナミクス) は意識 (気づき、awareness) に相関する神経活動の解明を目指したものである。博士論文は5章124ページからなる。第1章の序の後、第2章では両眼視野闘争に関する理論モデル、第3章では多義図形の視覚の際の脳波の解析、そして第4章では見えたと気づく際の脳波の実験と解析が述べられて、第5章へのまとめに至る。

視覚の気づきについては、外部刺激に対して 200ms 以内の、主に初期感覚野で観測される初期の活動、そして 430ms 以降の、脳の様々な領野に広く分布した後期活動の2段階の研究がなされている。本論文では第2章では第一段階、第3章では第二段階の神経活動のダイナミクス、そして第4章では第一・第二段階の神経活動の連関に着目した研究結果が与えられている。

第2章では両眼視野闘争の一種である Continuous Flash Suppression (CFS) に関する数理モデル研究の結果が与えられる。両眼視野闘争とは、左右眼に異なる視覚刺激を提示すると、被験者の知覚が左右眼で交互に切り替わって、両眼からの刺激を同時には知覚しないという心理現象であり、本章で調べられている CFS という現象は片眼にのみ (数百ミリ秒周期の) フラッシュ刺激を提示すると、反対眼の静止刺激の知覚が抑制されるという現象である。この実験結果は、相互抑制と順応による従来の両眼視野闘争モデルでは説明できない。嶋岡氏は、相互抑制と順応に加えて空間次元を取り入れたモデルを導入し、その数値計算と解析計算によって CFS の心理実験結果を説明することに成功している。

第3章では、第二段階の遅い脳活動の解析がなされる。これまで第二段階の活動では離れた領野間の脳活動の同期と主観的な知覚との相関が議論されてきているが、この大域的同期活動の過程はいまだ明らかではない。本章ではネッカーキューブという、どちらが前方かに関して2つの見え方がある図形の知覚に関して、北城らにより測定された脳波の解析が行われる。この実験は、2つの知覚の交代において脳波活動がいかに変化するかを調べたものである。嶋岡氏はこの実験データを洗練された統計手法を用いて解析することで、脳波の θ 帯域で位相同期したクラスターが時間とともに形成されていく過程が明らかにしている。その結果、局所的に同期した神経活動のグループが次々に統合して大域的な同期へと至り、その後に崩壊するという過程が見出された。更に、この「動的クラスタリング」は、被験者が解釈の交代を受動的に報告する条件では主に視覚野内でクラスターが生成されたのに対し、どちらかの解釈にバイアスをかけた条件下では前頭と後頭を繋ぐ大きなクラスターが形成されている。この結果をふまえ、第二段階の神経活動における大域的位相同期モジュールの時空

間構造は被験者の内的な注意によって異なり、気づき(awareness)に対する神経活動のひとつの指標となっていることが示唆された。なお、この第3章は非線形力学系で発展してきたクラスター化の概念をふまえて統計解析を行った成果である。

第4章では、被験者に見えるかどうかの閾値上の弱い光刺激を提示し、その際の脳波測定で被験者が刺激を検出した場合と、検出できなかった場合の神経活動を比較することで、第一段階での視覚野の情報処理が第二段階の領野間をつなぐ情報へといかに結びつくか調べられている。特に、脳波の α 波の成分に着目して、領野間を伝わる伝搬波を位相勾配と大域的位相同期解析という2つの側面から、徹底した統計解析を行っている。

その結果、見えたときと答えられた時には後頭から前頭に向けての「ボトムアップ」型の伝搬波が顕著に観測された。この伝搬波はこれまで調べられてきた **feed-forward sweep** と呼ばれる初期視覚の応答とは、時間的にも機能的にも異なるものである。さらには、第一段階で強い神経活動が存在し、かつボトムアップ波が生じているときに第二段階の活動が増強されていた。これらの結果から、第一段階の活動の情報がボトムアップ波として伝えられ、第二段階の活動が引き起こされると示唆される。

第5章は結果をまとめ、今後の課題が議論されている。

以上、嶋岡氏の論文は、気づき(awareness)と神経活動のつながりを理論モデル、実験の両面から調べたものである。特に、見えたという気づきが脳神経のマクロな活動でいかに表現されるかを2種類の実験によって探求している。ネッカーキューブの双安定知覚では、脳波の同期クラスターの形成過程とその広がり一つが一つの指標として示唆され、次いで、第4章の、見えが確認できたか否かの実験では、見えたという場合に選択的に、後頭から前頭へ伝搬される脳波(α 波)を見出し、これが感覚野の処理をより後期の領野を連関する役割を担うという仮説を提示している。これらの結果は非線形力学系の同期、クラスター化の概念、そして最先端の統計手法を駆使して得られたものである。

もちろん、意識に対応した神経活動(neural correlates of consciousness)を同定するという問題は一朝一夕に解決される問題ではない。さらに、現在の測定技術、そして人間を用いた実験固有の限界も存在している。その点で、本論文による結果と、意識の特性を記述する神経活動の同定にはまだ大きな距離があることは否めない。とはいえ、高度な統計解析を駆使し、「見えた」と被験者が感じた時に特徴的なEEGの伝搬波の性質を明らかにしたことは、意識(awareness)の神経活動による理解につながる重要な貢献をしたと認められる。

本論文のうち第2章は、金子邦彦との共同研究、第3、4章は北城圭一、山口陽子両氏の理研グループとの共同研究の結果であるが、第2章については論文の提出者が主体となってモデル化、シミュレーション、理論解析を行ったもの、第3章は、論文提出者が共同研究者の実験データの解析を行ったもの、そして第4章については論文提出者が実験から解析まですべておこなったものであり、論文提出者の寄与が大であると判断する。

よって本論文は博士(学術)の学位請求論文として合格と認められる。