

審査の結果の要旨

氏名 笹井俊太郎

脳科学研究は、機能局在論と全体論との間の相克により発展してきた。本論文は、脳の部分と全体との関係性を特徴づけるネットワークの様相が、安静時のヒトの脳の自発活動の分析によって得られることに着目し、特に、脳活動の時間スケールに応じて異なるネットワークが存在することを実証的に示したものである。

第一章では、安静時の自発活動の非侵襲計測により、脳領域間の機能的結合が推定され、グラフ理論を用いた解析により、ネットワークの特徴が明らかにされてきた研究の背景が述べられている。一方、様々な時間スケールで変動している自発活動がどのようなネットワークを形成しているのかについては未解明であることが指摘されている。これらの知見をもとに、機能的結合のネットワークが周波数依存性を持つという著者の仮説が提案され、本論文でそれを検証するための方針が提示されている。

第二章では、閉眼安静時の成人の脳の自発活動に関連して変動する脳血流動態を、時間分解能の高いNIRS（近赤外分光法）により計測した研究が述べられている。16カ所の脳領域で得られた信号間の時間相関の分析から、周波数帯域に応じて、異なる脳領域での機能的結合が存在するという発見が示されている。

第三章では、NIRSに加えて、脳領域全体の計測が可能なfMRI（機能的磁気共鳴画像）を用い、第二章と同様な自発活動の同時計測を行った研究が述べられている。その結果、両手法において、同じ脳領域から得られた信号が対応した変化を示すだけでなく、一貫した機能的結合が推定されることが明らかにされている。

第四章では、第三章のfMRIによって得られたデータについて、グラフ理論に基づく分析を行い、脳全体の空間的ネットワークに関して、周波数帯域に依存した性質があることを検証している。特に、多くの脳領域と機能的結合を持つ「ハブ」や強い相関を持つ空間構造の「コミュニティ」の性質に着目し、極低周波数帯域では、前帯状皮質がハブになり、コミュニティ間で高い分離性を示す一方、低周波数帯域では、後帯状皮質や視床がハブになり、コミュニティ間の相関が高いことを明らかにしている。

第五章では、本研究で明らかになった現象から、異なる度合いでの情報の分離と統合が、脳活動の異なる周波数において共存できる機構の可能性を示唆し、注意や意識に関する先行研究との関連性や、研究の将来展望を議論している。

本論文は、ヒトの脳の動作原理の解明に向けて、安静時の脳の自発活動に焦点を当て、NIRSとfMRIという異なる計測手法の一貫性を証明し、機能的ネットワークの特徴が周波数に依存して異なる現象を初めて実証的に示した点で、特に意義が認められる。よって、本論文は、博士（教育学）の学位を授与するに相応しいものと判断された。