

審査の結果の要旨

氏名 石津 光太郎

本研究は、意識的な知覚 (awareness) 生成に関わる脳内の情報流の解明を目的として行った。従来、意識的な知覚に対する視床と感覚皮質の重要性は指摘されていたが、十分な時空間分解能を有した計測が困難であった。本研究では、ラットを対象とした電気生理実験により、聴覚視床と聴覚皮質の同時計測をラット覚醒下・麻酔下で実現した。計測した神経応答の情報理論的解析から、意識的な知覚を生成する神経メカニズムの解明を試みた。

第1章「序論」では、本論文の目的を導いた。まず、先行研究の知見を体系的にまとめ、大脳皮質のフィードバック (FB) 伝達により意識的な知覚が生成される可能性を論じた。さらに本研究では、意識的な現実世界の知覚では、感覚皮質で生成される情報と環境からの感覚入力情報が合致すると考えた。このとき、視床-皮質系において、視床から皮質へのフィードフォワード (FF) 伝達と皮質から視床への FB 伝達との同期が生じると仮説を立てた。この仮説を動物モデルで実証することを研究の目的とした。

第2章「意識的な知覚課題時のラットの脳波の検証」では、微小電極アレイをラット聴覚野に慢性的に設置した上で、知覚報告課題を課した。聴こえと報告について、第一に、提示音圧が下がるにつれ応答が遅くなることが確認された。第二に、聴こえの報告があった場合のみ、脳波成分 P3 が確認され、報告がなかった場合は P3 が確認されなかった。同様の結果はヒトの脳波研究でも報告されていることから、本実験は、意識的な聴こえに関して、ラットとヒトは行動レベルおよび脳波レベルで相同であることを示唆する。そのため、ラットは、意識的な聴こえに関するモデル動物として適切であると判断した。

第3章「ラット覚醒下・麻酔下における聴覚視床-皮質系の多点同時計測」では、新たに構築した実験系を用いて、同一個体のラットから覚醒下・麻酔下において、聴覚視床 (内側膝状体) および聴覚皮質の神経活動を多点同時計測できることを示した。これにより、覚醒下・麻酔下の意識状態の違いが、視床-皮質系の神経活動パターンに大きく影響することを示した。

第4章「Transfer entropy による神経細胞集団間の情報流評価」では、ラット聴覚視床-皮

質系の活動電位 (Multi-Unit Activity; MUA) から移動エントロピー (Transfer entropy) を用いて伝達される情報の流れを推定した。まず、麻酔下の情報伝達の推定結果が、解剖学および神経生理学的な知見と合致することから、本解析手法の妥当性を示した。加えて、誘発応答時と自発活動時では、視床-皮質系の情報伝達の様式が異なることを示した。また、迷走神経刺激 (vagus nerve stimulation; VNS) による視床-皮質系の情報流に対する影響を評価した。これにより、活動電位の単純な比較では認められない有意な差が情報流では示され、解析の有用性が示された。最後に、麻酔下と覚醒下における視床-皮質系の FF/FB 伝達を検証した。まず、刺激のオンセット応答において、第一に意識のない麻酔下や、覚醒下でも刺激が冗長な場合は、FF 伝達の情報量は FB 伝達の情報量よりも大きく、覚醒下かつ刺激の情報性が高い場合は、FF 伝達の情報量は FB 伝達の情報量に等しいことが示唆された。第二に麻酔下では FF 伝達が FB 伝達よりも先に起こるが、覚醒下では FF 伝達と FB 伝達はほぼ同時に起こり、同期することを示し、本研究の仮説の妥当性を示した。さらに、覚醒下では、刺激オンセット後も情報伝達する経路が存在し、刺激の予測難度が上がると経路数が増える傾向も示された。

第 5 章「総論」では、本実験で得られた結果を先行研究の知見と統合したうえで、意識的な知覚生成のメカニズム解明の研究を推進するための今後の課題を提示した。さらに、本研究で得られた知見を基に、自己主体感の研究に応用する発展可能性を示した。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた上記の知見をまとめ、知識化した。

本研究の学術的な価値は、(1) 意識的な知覚の動物モデルの妥当性を拡充したこと、(2) 覚醒下・麻酔下の視床-皮質系の計測実験系の構築と神経伝達の情報流の推定方法を確立したこと、(3) 先行研究及び本研究で得られた知見を統一、整理することで意識的な知覚の神経メカニズムの理解を深めたことにある。これらの知見により、本研究は、視床-皮質系を研究対象にして、主観的な知覚と神経活動パターンとの関係性を動物実験で検証できることを示した。以上の観点から本研究は、神経科学、工学、情報学分野に対して学術的な貢献が認められる。

よって本論文は博士 (情報理工学) の学位請求論文として合格と認められる。