

## 論文内容の要旨

申請者氏名 奥山史

「バインディング問題」は脳情報処理の最重要課題のひとつとして考えられている。我々を取り巻く様々な情報は脳に取り込まれ、整理され再構築されることで知覚される。視覚情報をはじめ多くの脳情報は分解され分析的に脳情報が処理されていることが明らかとなってきた。しかし、これらの情報はどのようにつなぎ合わされることで外界が再現されているのであろうか。特に自然界では、陰に隠れた物体が何であるのか適切に判断できるか否かが個体の生死を決めることさえある。その際重要な手がかりとなるのは輪郭情報であるが、三次元世界ではしばしば別の物体に遮蔽されるため輪郭情報は不完全であり、位置関係もまた時々刻々と変化することから、見え方の変化を予想することは困難である。それにも関わらず我々は2次元の網膜像といった限られた情報から対象物が何か推測することができている。それを手助けする視知覚能力の顕れのひとつが「主観的輪郭」である。主観的輪郭とは手がかり刺激を元に頑強な輪郭線知覚がもたらされる現象で、捉えられた知覚と実際の刺激布置が異なるという視覚的錯覚、錯視に分類される。主観的輪郭は、二次元網膜像を脳が能動的に再構成した知覚産物であると考えられており、その生成メカニズムを明らかにすることができれば視知覚の理解へ向けた基盤的貢献が期待される。そこで本研究では視覚情報処理を足がかりに上記バインディング問題に立ち向かうべく、主観的輪郭課題の神経基盤解明に取り組むこととした。

特定形状の輪郭線が主観的に構築される現象は、ヒトをはじめとした哺乳類、鳥類、節足動物、魚類とさまざまな動物種に渡り知覚されていることが行動学的に明らかにされてきた。このことから、広域の視覚情報を統合し、輪郭線を形成する神経メカニズムの基本原則そのものは、進化段階の比較的初期から構築されていたと考えられている。一方で、神経細胞群の活動によって生じるメカニズムを調べるためには、単一神経細胞から神経細胞群および細胞間ネットワークの観察・活動測定が可能であり、遺伝子の改変が容易な実験動物を用いることが望ましい。以上のことからバイオリソースや行動学的知見が豊富なげっ歯類を研究に用いることが望ましいと考えられるが、これまでげっ歯類、特にマウスが主観的輪郭を知覚しているということに関してほとんど報告されてこなかった。これはマウスが夜行性のため視覚優位の動物でないと考えられてきたこと、視覚系認知行動の統制が困難であったことが考えられる。そこで本研究では、マウスの視覚認知を定量的に評価する視覚刺激の検討及びタッチスクリーンと報酬供給装置を併せ持った認識学習装置を構築し、視覚刺激と報酬を連合学習させることで視覚刺激に対して応答する術を習得させ、その後に主観的輪郭図形が認識されているか否かを検討した。併せて幾つかの統制実験を行うことで部分反応およびパターン認識の可能性を排除した。その結果、マウスにおいて錯視の一種である主観的輪郭が知覚されている可能性が高いことを見出した。

## 論文審査結果の要旨

申請者氏名 奥山 史

脳情報の解読は脳科学領域における最重要課題のひとつと考えられる。いかなる科学領域においても対象となるモデルの確立は非常に重要であり、これまでもイカの巨大軸索を用いた神経活動の伝導の様子の定式化が行われ、アメフラシを用いたシナプス伝達の解析が行われました。これらがノーベル賞に至ったことはよく知られている。本研究課題では遺伝子改変の実績、行動実験の積み重ねなどリソースが豊富に存在するマウスを用いた認知課題を試みた。実際には段階的学習課題を行うことでマウスがどのように知覚したかを回答・応答するための術を習得させ、マウスが主観的輪郭と呼ばれる視覚刺激を知覚しているか否かを検討した。マウスの応答を厳密に同定することを目的としてカスタムメイドのタッチパネルシステムを構築し、既出の視覚刺激を用いて実際にマウス応答が検出可能かを検証した。その後、マウスの視力に応じた視覚刺激（縦横バー刺激）の決定および、独自に開発した主観的輪郭誘導刺激を用いて主観的輪郭知覚弁別課題を行った。

認知課題で多く問題にされる統制実験も巧妙に行われていた。視野内の空間周波数分布による際をマウスが判定している可能性を可能な限り排除するために「ディストラクタ」と言われる補正図形を設置していた。また視覚刺激の一部に反応してマウスが応答している可能性を排除するために、主観的輪郭誘導部分を一部回転および欠損させることを行っていた。更にヒトを用いた研究でも報告があるように視覚刺激の図と地のコントラストの減衰による主観的輪郭の減弱についても検討を行っており、これは既出の実験結果と一致して、マウスにおいても減弱が見られた。

これらの結果からマウスが主観的輪郭を知覚している可能性が示唆され、マウスを用いた主観的輪郭課題による高次認知研究に利用可能であることを示したといえる。

錯覚現象は2次元である網膜像を脳内において3次元に再構成する際にみられる不良設定問題の現れであると考えられる。脳の情報処理能力をカバーするために自然現象を用いた知覚の高速化が具現化されたものであると考えられており、これは脳科学領域におけるハードプロブレムと考えられている「バンディング問題」の現れであると考えられている。欧米においてもコネクトームの出口としてこれらの問題を取り扱う動きがみられることから意義深い研究であるといえる。

今回マウスを用いた高次認知課題研究の可能性を示したことは、単一神経細胞レベルでこれら認知課題がどのように脳内において表象されているのかを探る緒を見出したものといえる。発展の著しい計測技術や遺伝子改変技術、光遺伝学などとの組み合わせによりさらなる発展が期待される研究といえる。よって審査委員一同は、本論文が博士（バイオサイエンス）の学位論文として価値あるものと認めた。