

## 論文内容の要旨

博士論文題目：行動予測に基づくヒト高次視覚情報処理の研究

氏名：鹿内 学

### (論文内容の要旨)

本論文では、ヒトの視覚系の脳情報処理、特に、認知・行動との関係が大きい高次視覚領野の情報処理を対象に実験的検証を行った。実施したヒトの心理物理実験では、計算論を考慮した実験課題を設計し、課題遂行中のヒトの行動を予測することで脳情報処理のアルゴリズム・情報表現の解明を試みた。本論文では、主に次の2つの点について議論した。

まず、ヒトが視覚目標（視標）の運動を予測して目を動かさずときのアルゴリズムについて検証した。この時の情報処理は、脳において動的な視覚情報処理を担う頭頂経路で行われている。特に、視標が離散的に移動し、サッカードと呼ばれる眼球運動系が駆動する場合について検証した。計算論的に考えて予測は脳の情報処理において不可欠な要素だが、サッカードの系においてダイナミクスを用いて予測していることを実験的に示した研究はこれまでになかった。本研究では、実験課題を数理的に定式化し、最適性と実現のための論理を考え、つまり、計算理論の水準を考慮した行動実験を設計した。その上で、行動実験におけるヒトの行動を数理モデルにより予測した。その結果、ダイナミクスを持つ視標運動に対してヒトがダイナミクスを用いて予測していることを確認した。また、本実験課題ではヒトは1試行前の情報を用いて予測していることがわかった。

次に、形状など静的な視覚情報処理を担う腹側経路で行われている顔知覚について、その情報表現を検証した。顔知覚に関わる情報処理はヒトにとって日常的に頻繁に行われる情報処理である。脳では、低次視覚領野で色や形などの視覚要素の情報処理がされ、一方で高次視覚領野では低次視覚領野の情報が統合され、そのための物や顔など情報表現を持っている。顔知覚の情報表現は、高次視覚領野の中でも最も高次に存在すると言われていた。本研究で実施した心理物理実験では、実験参加者が顔知覚と強制二択課題の顔識別を要する課題を採用した。また、顔知覚と顔識別行動の脳情報表現を数理モデルで表現し、実験に用いた顔画像（実験参加者が知覚した顔）を顔知覚の数理モデルに基づいて作成した。顔知覚モデルは主成分分析に基づいた基底空間表現として作成し、顔識別モデルは知覚にゆらぎがあることを仮定したモデルとして強制二択課題における識別確率を算出できるモデルである。これにより、これまでの心理物理実験よりも統制のとれた実験課題の設計となった。実験参加者の行動を解析した結果、モデルによって実験参加者の識別行動がよく説明でき、顔知覚の情報が線形な基底表現により表現されていることが示唆された。

(論文審査結果の要旨)

ヒトの認知行動に関わる脳の高次視覚情報処理を理解するためには、情報処理について数理的に表現し、定量的に評価する必要がある。そのための1つとして、行動予測に基づくアプローチがある。これは、数理モデルによりヒトの行動予測を行い、一方で実験によりヒトの行動を観測し、「行動予測」と「観測した行動」とを比較するものである。本論文では、脳の高次視覚情報処理に深く関連する系列予測と顔知覚の情報処理についての議論を行っている。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. ヒトは運動する物体を目（眼球）で追跡することが可能であり、追跡するために脳では運動系列の予測が行われている。ヒトの生活する実環境を考えると、周期的な運動系列など目に見える規則性だけでなく、非周期的だがダイナミクスをもった運動系列の予測もできるだろうと考えられるが、このことを実験的に示した研究はこれまでになかった。本論文では、シミュレーションを行うなど計算論的に考察された実験課題を用いた眼球運動計測実験をすることで、ダイナミクスをもつ系列の予測についての知見を得た。
2. 脳における顔知覚の情報表現を、主成分分析に基づく基底表現モデルとし、その顔知覚モデルによって生成した顔画像を用いて、行動実験およびfMRI脳活動計測実験を行った。観測した行動が、顔知覚モデルから導かれる識別モデルにより説明でき、また、脳活動解析により顔知覚モデルに相関する脳領域を示した。ヒトは顔知覚モデルに対応する情報表現を脳内に持つことが示唆された。

以上の成果は、脳の情報表現について数理的に定義する方法から導かれる成果であり、系列予測と顔知覚の高次視覚情報処理について深い理解につながる研究であった。これは、数理手法に基づく神経科学への貢献が少なくないものであり、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。