

3次元表面の脳内表現に関する心理物理的研究

(論文内容の要旨)

本論文は3次元表面に対するヒト視覚システムの情報処理能力の解明を目的とする。視覚システムは3次元表面構造の定量的な記述子である、奥行き、表面方向、曲率などを利用して知覚を行っているものと考えられる。しかし特に後者二つの量に対してヒトがどの程度センシティブであるのかについて定量的に明らかにしたデータはこれまでに数少ない。本研究の具体的な目的は、表面方向、曲率という高次の表面幾何情報に対するヒト視覚システムの情報処理能力を運動課題を用いた新しい心理物理実験のパラダイムによって検証する事である。

本論文は四章から構成される。第1章では主に本研究の背景、動機づけが論じられる。続く第2章、第3章は定量的な表面幾何情報を運動課題を用いてヒトが報告することができることをサポートする心理物理実験の結果が紹介される。最後に第4章は研究成果のまとめと今後の展望が論じられる。

第2章では陰影からの形状復元問題をテーマにとり、表面方向の知覚能力の検証が行われた。本研究の示した結果は人間の陰影からの形状復元を扱った過去の研究の間で定説となっていた「画像平面への回帰傾向」を否定するものであった。多くの被験者は一貫した表面形状を知覚し、それは実際の刺激表面と類似したものであることがわかった。また画像内のすべての領域において面の方向が過小評価されることはなく、過大評価される領域と過小評価される領域の両方が存在することがわかった。この結果は、画像情報の持つ様々なアーチファクトを考慮に入れても、一貫した現象として生じることが示された。

第3章では3次元立体画像を刺激として用い、表面曲率に対するヒトの視覚システムの反応特性が明らかにされた。データ解析に微分幾何の手法、課題にドローイング課題、ポインティング課題、カテゴリー判断課題を用い曲率の定量的な表現の可能性が調べられた。心理物理実験の結果以下のような結果が得られた。・曲面上の曲線の曲率の値そのものを答えることが可能であり、またその変化も捉えることができる。・曲線の曲率変化の極値を与える方向(主曲率方向)を答えることが可能であり、その現象が曲面の曲がり具合(最大、最小主曲率の差)に依存している。・知覚と運動の間で曲率の表現に乖離が生じている。

第4章では本研究の成果が要約され、結論としてヒトの視覚システムの中で高次の定量的な表面幾何情報がコードされていることが示された。そして課題に依存した視覚表現の議論を今後展開していく上で、本研究の成果が貴重な基礎データとなりうることが指摘された。

3次元表面の脳内表現に関する心理物理的研究

(論文審査結果の要旨)

情報科学において、人間、特に脳の情報処理は、近年、極めて大きな関心を持って研究が推進されている分野である。我が国においても、科学技術基本計画の実施に当たって、脳科学の研究は最も重要な研究課題に位置づけられており、国家的な研究推進体制が組織されつつある。この分野の研究では、生理学、心理学から工学に至る異分野間の壁を乗り越えた学際的な研究アプローチが、特に重要と考えられる。

このような背景のもとに、脳の情報処理の解明を目指した研究として、「ヒトの視覚系の情報処理の解明」を課題として扱い、具体的には「2次元陰影画像からの3次元表面構造の知覚」いわゆる「Shape from Shading(陰影からの形状復元)」を研究対象としたのが本論文である。

本論文では、3次元表面構造を表現する物理的な特徴パラメータに対する知覚特性を解明するために構築した新しい心理物理実験手法を基盤とし、実験で得られたデータに基づく脳の情報処理モデルの仮説の提唱とその実験的検証という学際的な研究アプローチを採用している。

本論文の成果は、以下のように要約できる。

(1) 3次元表面構造を記述する物理的なパラメータとして、表面幾何情報である「表面方向」「曲率」という二つに注目し、これらに対するヒトの知覚特性を精度良く測定することのできる心理物理実験手法を提案した。

(2) 上記の心理物理実験によって、従来研究ではえられなかった知覚特性の高精度な計測が可能となった結果、「表面方向」と「曲率」の知覚に関する新しい知見を示した。

(3) 「表面方向」の知覚に関する実験データに基づき、「陰影情報を3次元表面構造の知覚に関する弱い手がかり」とする従来仮説を退け、ヒトの視覚系においては、陰影からの表面形状復元に関する特有のアルゴリズムを持つとする新しい仮説を導いた。

(4) 「曲率」の知覚に関する実験データに基づき、曲面上に曲線で表現される曲率に対するヒトの知覚は、微分幾何学的に予測可能であることを示した。また、「双曲面形状が表わす曲率に関するヒトの知覚の有効な働きを否定」した従来仮説を退ける実験データを示し、双曲面上の曲線に依存して、曲線に関する安定な知覚能力が存在するとする新しい解釈を行った。

(5) 実験データの総合的な解釈において、ヒトが3次元表面の知覚の手がかりとして、安定した幾何情報を抽出しており、それを再現することが可能であることを明示した。このことは、ヒトの視覚系に幾何情報に関する定量的なコーディングシステムが存在することを示唆する。

以上のように、本論文はヒトの視覚系を対象として、新しい心理物理実験によって、従来は計測できなかった知覚特性を明らかにし、新しい知見を示しただけでなく、これらの知見に基づく新しい仮説を導いたもので、脳の情報処理の分野における学術的な貢献を認めることができる。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分に価値のあるものと判断する。