

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 林 隆介

本論文は「両眼視覚情報処理とその神経回路モデルに関する研究」と題し、5章からなる。

両眼立体視と視野闘争現象は、これまで独立な視覚現象として研究されることが多かった。本論文は、奥行き配置が遮蔽に基づく幾何光学的な制約条件を満たす場合、奥行き不連続部に生じる両眼間非対応領域では、視野闘争が生じずに奥行きが知覚される現象に注目し、遮蔽によって生じる両眼間非対応領域の奥行き知覚の情報処理過程を心理実験および脳波計測実験により解明し、両眼視差検出と、両眼間で異なる画像入力が行われた際に生じる視野闘争との関係を論じ、両者が共通の神経基盤に基づく知覚現象の異なる側面であるという仮説のもと、両眼視現象全般を説明しうる包括モデルを提案し、その神経回路モデルを構築したものである。

第1章は序論で、両眼視覚情報処理の中でも視野闘争現象のメカニズムが未だ多くの点で未解明であること、さらに遮蔽によって生じる両眼間非対応領域の奥行き知覚を通して、視野闘争と両眼立体視が密接に関わることを現在までの先行研究から明らかにして、両眼間非対応画像の情報処理解明をとおして両眼立体視や視野闘争など両眼視現象全体を包括的に扱うことのできる神経回路モデルを提案するという本研究の目的と立場と意義を明らかにしている。

第2章は、「心理実験に基づく解明」と題し、大脳視覚一次野 (V1) の視差選択性細胞の応答的確に記述することで知られる両眼視差エネルギーモデルを取り上げ、このモデルに両眼間で非対応な画像を入力することで、視差選択性細胞がどのような応答をするのかをシミュレーション実験で調べ、その結果から、新たな錯視現象の予想を導き、それを実際の心理実験により実証することを通して、両眼間非対応入力の処理機構について考察し、その考察に基づいて、両眼間の刺激非対応を検出する機構に関する提案を行っている。すなわち、両眼視差エネルギーモデルが、C-RDS (Correlated Random-Dot-Stereogram)、A-RDS (Anti-correlated RDS)、U-RDS (Uncorrelated RDS) に対しどのような応答を示すかをシミュレーションしたところ、A-RDS がその視差に対応する両眼視差細胞を選択的に抑制する性質があるのに対し、U-RDS は全ての両眼視差細胞を一様に活性化するという結果を得て、このことから、全く新しい錯視現象の存在を予測している。その予測は、A-RDS を長時間凝視し、順応した後、U-RDS を提示すると順応時に用いた A-RDS が交差視差か非交差視差かによって、U-RDS が注視点より手前あるいは奥の奥行きに知覚されるという現象である。実際の心理実験を行って、この錯視の存在を実証し、それが A-RDS への順応期間中、抑制された両眼視差細胞は、U-RDS の提示により他の細胞より相対的に強く活動し、そのため、実験のような奥行き知覚を生成するという仮説から説明できることを明らかにしている。なお、この錯視が特異的なのは A-RDS も U-RDS も視野闘争知覚を示し、一定の奥行き知覚が生じないにもかかわらず、その残効が一定の奥行き知覚を生じる点にある。このように、順応刺激には明確な視知覚が意識されないにもかかわらず、残効として明確な知覚が生じる現象はこれまで報告されておらず、従って、この現象

は、視知覚において意識にのぼるものが何かを解明する一つの手掛かりを提供しうる錯視現象であると主張している。

第3章は「脳波計測実験による検証」と題し、神経細胞の生理学と心理学の溝を埋めるべく、脳波計測法を用いた実験を行い、人間の知覚活動に伴う神経活動の電気生理反応を手掛かりに両眼視覚情報処理のメカニズムにアプローチしている。すなわち RDS 提示時の視覚誘発電位 (VEP) 波形では、後頭部に限局した潜時 200ms 付近に生じる陰性ピークと、後頭部からより前頭部に広がる、潜時 300ms 付近に生じる陽性ピークが顕著な活動として確認され、各反応の頂点潜時は刺激の提示位置、視差量に依存して大きく変化し、中心視野と周辺視野、交差視差と非交差視差で処理機構が大きく異なることを明らかにしている。さらに、A-RDS を提示した場合、両眼視差エネルギーモデルが示唆するように、RDS 提示時と反応潜時の視差依存性が逆転することが明らかになっている。モデルはまた、両眼間で非対応な画像入力がある場合、さまざまな両眼視差細胞が一様に活動することを示唆するが、同様の傾向を U-RDS 提示時の VEP 反応により確認している。以上の結果は、両眼立体視と視野闘争の過程が両眼視差エネルギーモデルで記述される V1 の両眼視差細胞を共通の神経基盤にしていることの直接的な証拠であるといえる」と主張している。

第4章は「両眼視の神経回路モデル」と題し、両眼視差エネルギーモデルのシミュレーション、心理学、電気生理学の実験結果に基づき、両眼間非対応入力の処理機構モデルの実装とこれを組み込んだ三次元構造復元の神経回路モデルを提案している。なお、両眼間非対応な画像入力は遮蔽が起こる状況で必ず生じるという事実に着目し、遮蔽関係に基づく幾何光学的制約条件が実装された三次元構造復元のモデルとなっている。提案した両眼立体視モデルがさまざまな両眼視現象を説明できるだけでなく、両眼間で全く異なる画像が入力した場合、視野闘争現象をも再現できることを示して、このモデルにより従来論争が繰り返られていた視野闘争のメカニズムが、両眼立体視のメカニズムの中で統一的に説明できることを示している。

第5章は結論で、本論文をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本論文では、従来、独立な視覚現象として研究されることの多かった両眼立体視と視野闘争現象を、両眼視差検出と左右眼の両眼間非対応検出処理によって包括的に説明するモデルを提案し、その妥当性を心理学的実験と脳波計測データから検証したものである。この両眼間非対応領域の奥行きを遮蔽の制約条件に基づき推定する両眼立体視の神経回路モデルは、従来の多くのモデルが対応できなかった奥行き不連続の処理を計算理論から導かれる制約条件によって解決している。さらに、このようなモデルが通常の両眼立体視知覚以外に、視野闘争現象をも再現できることを明らかにしており、脳科学や神経工学の発展に寄与できると考えられ、計測工学及び脳神経科学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。