

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 今井 千尋

我々を取り巻く色環境は時々刻々と変化している。視覚系に入ってくる光のスペクトル分布や強度は時々刻々と大きく変化し続けている。その変化のスピードも数ミリ秒の素早いものから年単位にわたるゆっくりとしたものまで幅広い。さらに、その時の状況に応じて我々が必要としている視覚情報も異なる。そのため、視覚系は環境や状況に適応的に情報処理を行っていると考えられる。本論文では、脳の視覚系の低次領域と高次領域それぞれで、適応的な色情報処理を実現する、新しい数理モデルを提案している。

本論文は「Modeling Neural Dynamics of Adaptive Color Information Processing」（適応的な色情報処理の神経ダイナミクスモデル化）と題し、5章からなる。

第1章「Changing Chromatic Environment」（変化する色環境）では、本研究の背景として、視覚系に入ってくる光の変化と、それに対応する脳の適応的な色情報処理、関連現象について概説している。適応的な色情報処理のなかでも、特に本論文の主題となる色知覚の時間軸方向の変化に着目して、色順応と適応的な高次色情報処理について詳しく述べている。

第2章「Psychophysical Experiment about Long-term Adaptation」（長期色順応に関する心理物理実験）では、低次領域での適応的な色情報処理について検討するため、まだあまり明らかにされていない長期色順応について、いくつかの色順応条件下で等色点の振る舞いと色残像の強度変化を心理物理実験により調べている。長期色順応の前後で色残像の強度が変化すること、対比効果を入れた場合に長期色順応の前後で残像強度変化の傾向が順応色と同色系と反対色系で異なることから、脳の色情報処理系のpost-receptor（錐体以降）の長期色順応への寄与を示唆している。

第3章「Color Adaptation Model with Various Time Scales」（様々な時間スケールでの色順応モデル）では、順応時間が数ミリ秒から年単位まで幅広い時間スケールで起こる色順応現象に関して、神経細胞の複数の時間応答特性と、網膜から初期視覚野までを想定した低次領域での脳の階層性に基づいた数理モデルを提案している。本モデルは、様々な時間スケールの色順応に関する、いくつかの先行研究での実験結果を包括的に再現することで、実際の色知覚の推定にも適用可能なモデルとなっている。シミュレーション結果から、長期色順応には一定以上の順応刺激強度と連続する順応時間が必要であり、色情報処理系の低次領域で起こる神経可塑性が長期色順応特有の累積的な等色点シフトと関係している可能性を示唆した。

第4章「Population Code for Higher Order Color Information Processing」（高次色情報処理のための集団符号化）では、脳の高次領域に関連すると考えられている、状況に応じた適応的な視覚情報処理に関して、色記憶・カテゴリ色知覚・色弁別などの個別の知見を初めて統一的に説明するモデルを提案している。この数理モデルは神経ネットワークモデルであると同時に、色の知覚推論をベイズ推定の枠組みで説明する、数理的にも新規性の高いものである。提案モデルは、報告されている複数の知見（色

弁別に関する心理実験、色記憶に関する3つの心理実験、タスクに応じたIT野の色選択性神経細胞のうちのカテゴリ分け選好細胞・弁別選好細胞の電気生理実験結果)を再現した。さらに、本モデルのpopulation codeの観点からIT野の色選択性神経細胞の活動に関する予測を立てたところ、先行研究の電気生理実験データの再解析結果において、この予測とおおまかに一致する活動が見られることが確認された。本モデルは、カテゴリに関する他の高次領域にも応用が期待できるものである。

第5章「Conclusion」(結論)では、本論文のまとめとともに、今後の課題が述べられている。

以上を要するに、本論文は、周囲の環境や状況に応じて適応的に処理される色情報について、脳で実際に処理できる可能性があるような現実的な数理モデルを提案し、その妥当性を検討したものである。心理物理実験と数理モデルによる幅広い時間スケールを持った色順応に関する検討と、高次視覚情報処理に関連する神経細胞活動・心理物理実験結果を解釈できる数理モデルの提案を通して、脳の複雑な情報処理機構の解明に貢献するとともに、適応的な色情報処理機構に数理的な解釈を与えており、数理情報学に貢献するところが大きい。

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。