

## 審査の結果の要旨

氏名 細田謙二

本論文は、脳の高次視覚野に見られる部品表現と位相的組織化を統一的に説明する学習モデルを提案するもので、階層視覚モデルを構築し、その上位層の学習に提案モデルを適用することで示すことに成功した。さらに、モデル応答と IT 野ニューロンの応答とを比較し、IT 野ニューロンの再現に関して正しい方向に提案モデルが学習することを示した。さらに、提案モデルを Web コンテンツに対するタグデータに適用し、書店を散策するような、新しい形のデータマイニングができることを示した。

本論文は 13 章から構成される。

第 1 章は序論であり、脳の視覚情報処理に関する背景、および提案モデルを考案するに到った理由を述べ、研究内容の概要を示す。

第 2 章では、脳の視覚情報処理に関するこれまでの知見が述べられている。神経細胞（ニューロン）の機能特性を述べた後、視覚情報処理の流れについて概略し、物体認知の情報処理に関わる腹側経路の生理学的知見を詳細に説明する。最後に、提案モデルで着目した高次視覚野に見られる部品表現と位相的組織化に関する研究を解説する。

第 3 章では、提案モデルを理解する上で重要な幾つかの学習モデルを紹介する。学習モデルを理解する上で必要な基本的な定式化を行った後、主成分分析、ベクトル量子化、独立成分分析について解説する。

第 4 章では、従来の皮質の位相的組織化モデルである自己組織化マップについて、そのアルゴリズムおよび脳の情報表現との関係について説明する。

第 5 章では、提案モデルの元となる学習モデル、**Non-negative Matrix Factorization (NMF)** (Lee and Seung 1999) を説明する。まず、NMF に関する基本的特徴を述べた後、学習アルゴリズムがどのように導出されるかを記述する。

第 6 章では、提案モデルについて説明する。提案モデルは、NMF を位相的組織化が実現されるように発展させたものである。そのモデル式およびアルゴ

リズムを記述する。

第7章では、提案モデルの特性を人工データへの適用によって示す。提案モデルの、幾つかの重要な特性をそのシミュレーション結果とともに解説する。第8章では、提案モデルの学習を組み入れた階層的視覚モデルについて説明する。階層的処理の必要性、およびそのアルゴリズムを述べる。

第9章では、提案モデルによって学習した階層モデルの上位層の特徴を示す。連続的に視点変化する物体画像を見せたときの活動分布を示し、部品表現および位相的組織化が獲得されていることを明らかにする。

第10章では、提案モデルの生理学的妥当性を検討するため、モデル応答とサルのIT野ニューロンの実応答との比較を行う。そして、ニューロン再現において、構築した階層モデル、そして提案モデルの学習の生理学的妥当性を示す。

第11章では、第10章までの研究についての考察を述べる。理論的考察では、TNMFの構造的特徴を脳の学習モデルの立場から議論し、また、他手法との関連性と違いを述べ、この手法の新規性を明らかにする。生理学的考察ではニューロンデータとの比較結果の原因と意義について述べる。

第12章では、提案手法のデータマイニング手法としての応用について紹介する。一つはニューロンの応答データを、もう一つはWebのコンテンツに対するタグ付けの度数データを対象に解析を行う。ニューロンデータの解析では、過去の様々な生理学的知見と整合性がとれた結果が得られたことを示す。タグデータの解析では、書店を散策するような、新しい形のデータマイニングが可能であることを示す。

最後に、第13章で結論を述べる。

以上のように、本研究の成果は、脳の情報表現の重要な特性である部品表現と位相的組織化を統一的に説明する学習モデルを提案したことであり、これらの表現特性に対する重要な知見を与えるものである。今後、本研究に関する洞察を基に、脳の機能が解明されていくことが期待される。さらに、提案モデルは、データマイニング分野においても新たな可能性を示す手法といえる。

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。