

## 審査の結果の要旨

氏名 岡本 弘野

この学位請求論文「深層学習を用いた複雑な構造を持つ高次元データの分布外検知」は、深層学習においてモデルの訓練時に与えられたデータと異なる分布に基づくデータがテスト時に与えられたときに、モデルの挙動が不確実になるためにこれを検知したいという問題、すなわち分布外検知の問題を取り扱った研究である。

分布外検知は、自動運転や画像診断などの領域で深層学習が実用的に使われる上で重要な技術である。分布外検知の問題設定には、教師なし分布外検知と、一部の分布外データを訓練データとして利用できる半教師あり分布外検知の2種類がある。また、分布外データの種類として、同ドメインのデータの新規クラスを用いる場合と、異なるドメインのデータを用いる場合がある。本研究では、2種類の問題設定、2種類のドメインを対象とし、3つの手法を提案している。すなわち、VQVAEを用いた二段階学習による分布外検知、クラスと幾何変換の同時確率を利用した分布外検知、深層学習の中間層出力を利用した半教師あり分布外検知であり、それぞれ新規の手法を提案するとともに、その有効性を比較実験により検証している。

本論文はまず第1章で序論を述べ、本研究の背景と目的について説明したあと、第2章で深層学習に関する教師あり学習、教師なし学習、自己教師あり学習など、分布外検知を理解する上で必要な前提知識を述べる。第3章で本研究全体に関わる関連研究をまとめ、第4章で本研究の目的について詳しく説明する。

第5章は、1つめの提案手法であるVQVAEを用いた二段階学習による分布外検知について述べている。VQVAEはベクトル量子化変分オートエンコーダであり、潜在変数が離散であることを仮定したモデルで、鮮明な画像の再構成が可能である。そして、VQVAEの潜在空間上で、負の対数尤度の下界などの異常スコアを求め、分布外検知を行う。実験を行った結果、提案手法では同ドメインの分布外検知において、従来手法より精度が高いことを示した。

第6章では、2つめの提案手法である、クラスと幾何変換の同時確率を利用した分布外検知について述べる。入力を与えられたときのクラスと幾何変換（こ

ここでは回転)の同時確率を求め、これをもとにした正常スコアを提案する。これは単純に2つのスコアを足し合わせる場合よりも理論的な根拠があるものであり、実用的にも使いやすい。実験では、標準的な複数のデータセットを用い、提案手法がベースラインよりも、分布外データの高い検知精度をもたらすことを示した。

第7章では、3つめの提案手法である、深層学習の中間層出力を利用した半教師あり分布外検知について述べている。深層ニューラルネットワークの中間層の出力を分布外検知の特徴量として用いるものである。分布外データの場合には、見たことがないデータであるため特徴量が適切に抽出されず、分布内データと異なる出力となることが予想される。本提案手法では、ベクトルの次元が異なる中間層の出力を扱うために、別に深層ニューラルネットワークを用意し、これが分布内か分布外かを分類するように訓練する。実験では、一般的な画像データセットを用い、提案手法が他の半教師あり分布外検知の手法と比べて、少量の教師データでもよい精度を達成することを示した。

第8章では、提案手法全体を通じて得られた知見や手法の適用範囲、適用可能性についての議論を行い、第9章で本論文をまとめている。

本研究では、3つの提案手法を通じて、さまざまなドメインや問題設定に対しての新しい手法を提案し、その効果を検証している。また、分布外検知の手法を体系的に整理し、統一的な視点からその動作原理や発展の可能性について考察を行っている。分布外のデータを頑健に検知することができれば、信頼性をもって深層学習を活用することができ、近年注目が高まる深層学習のさまざまな産業領域における活用可能性を広げることができるという点で、本研究は実用上の意義も高い。

以上、分布外検知に関して新規性の高い手法を提案しており学術的な貢献が大きいと同時に、実社会における深層学習の活用に必要な課題に対する解決策を示している点も評価できる。

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。