

審査の結果の要旨

氏名 ダニエル マルゲリト デラタ

修士（理学）ダニエル マルゲリト デラタ提出の論文は「Automatic Crater Detection using Segmentation Convolutional Neural Networks (セグメンテーション畳み込みニューラルネットワークによるクレーター自動検出)」と題し、英文で書かれ、7章から構成されている。

近年、深層学習に代表される新たな機械学習の手法・アルゴリズムが開発されるとともに、様々な分野への応用例が報告されており、宇宙科学および宇宙工学への同技術の応用の期待も高まっている。実際、いくつかの応用事例も散見されるが、一般的な方法論が確立されたとは言えず、効果的な適用のための知見も整理されていないのが現状である。このような背景を踏まえ、本研究は、月惑星のクレーターカウンティング問題を主な題材として取り上げ、宇宙科学・宇宙工学の諸問題に対して機械学習技術を効果的に応用するための枠組みを作ることを目的としている。

第1章は序論であり、宇宙科学・宇宙工学の諸問題に対して機械学習技術を応用することの意義を明らかにするとともに、本研究で扱う月惑星のクレーターカウンティング問題を説明し、既存の関連研究を俯瞰している。また、2章以降の本論文の構成と主な貢献を要約している。

第2章では、月惑星のクレーターサイズの頻度分布を特定することが表面形成年代を推定する上で重要である一方、探査機などによる観測データから膨大な数のクレーターを手動で検出し数え上げることが惑星地質学者にとって極めて負荷の高い作業であることを述べ、その労力を軽減する目的で実施されてきたクレーターカウンティングの自動化に関する先行研究を網羅的かつ体系的に調査し考察している。この分析結果に基づき、畳み込みニューラルネットワークによるクレーターカウンティング自動化の有効性を指摘し、同時に解決すべき技術的課題を挙げている。

第 3 章では，U-Net アーキテクチャによる画像領域分割と畳み込みニューラルネットワークに基づくクレーター検出を統合した Crater U-Net を提案し，THEMIS 赤外画像データおよび Robbins と Hynes による火星クレーターカタログを訓練・検証データとして実験的評価を行っている．その結果，提案手法によって検出されたクレーターの 65% から 76% が専門家によるアノテーションと一致し，検出結果に基づく地質年代推定についても専門科による従来の推定結果と高い精度で一致することが示されている．さらに，クレーターカタログと一致しない検出結果の中には，専門家による詳細な事後解析の対象になり得るものが含まれていることを指摘している．

第 4 章では，提案手法 Crater U-Net を従来の U-Net アーキテクチャなどと実験的に比較することにより，その有効性の評価を行っている．その結果，クレーター検出率，すなわち，専門家アノテーションとの一致率については有意差が見られないものの，クレーター検出に要する計算時間を約半分以下に削減することが示された．また，複数種類の学習済みモデルを組み合わせるアンサンブル学習への拡張を提案し，その有効性を議論している．

第 5 章では，前章までの実験結果を踏まえ，より大規模なクレーターカウンティングタスクにおける惑星地質学者と，畳み込みニューラルネットワークを含む機械学習技術との効果的な協調プロセスを一般的な枠組みとして提案している．

第 6 章では，月惑星表面上のクレーター以外の目標物検出や，数値標高モデル (DEM) データなど異なる観測データの利用，さらには，宇宙機自己位置推定など，本研究成果の他分野への応用可能性について議論している．

第 7 章は結論であり，本研究の成果をまとめ，今後の課題を議論している．

以上要するに，本論文は，宇宙科学・宇宙工学への機械学習応用の枠組みを提案しており，航空宇宙工学上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．