

## 審査の結果の要旨

氏名 高久 淳一

高久淳一の博士論文は「衛星光学センサによる数値標高モデルのノイズ低減手法」と題し、本文は6章から構成されている。

地形データは、地理情報システムにおける基盤データとして、地図の作成・更新はもとより、交通・電波・送電・ダムなどの国土利用計画、洪水・土砂崩れ・氷河融解などの災害監視、森林体積・掘削などの環境監視、石油・水などの資源探査、など幅広い分野で利用されている。地形データの中でも地上の等間隔格子における標高値として数値化された数値標高モデル (DEM) は、その汎用性・応用性の高さから主に先進国の間で整備が進められているが、広域の事象や全球スケールの問題を扱う場合は、精度や品質が均一なグローバルデータの整備が必要となる。この解決策の一つとして、近年、衛星リモートセンシングによる DEM (衛星 DEM) 作成の研究が進められている。光学センサではステレオ視による三次元座標推定で衛星 DEM が作成される。しかしながら、衛星 DEM は、その観測機器仕様やデータ処理手法に依存したデータの精度や品質の知見が未だ不十分であり、より詳細な解析が求められている。本研究では、これらグローバル DEM 作成ミッションにおいて用いられている衛星搭載光学センサ由来の DEM データについて、その精度に影響するノイズの特性を明らかにし、低減する手法を提案している。あわせて、本提案手法を用いた将来の衛星 DEM のための光学センサ開発およびデータの高精度化への貢献についての議論を行っている。

第1章は序論であり、DEM データの必要性、データ整備の背景、および衛星リモートセンシング活用の利点について論じ、衛星に搭載されている光学センサを用いた DEM 作成に関する既存研究の整理を実施している。衛星 DEM で問題とされるノイズについてその要因毎に整理したノイズモデルを定義し、その特性を説明した上で、衛星姿勢変動に伴う DEM の周期的なシステムノイズ、および DEM 作成の過程で用いるステレオマッチングアルゴリズムに依存した DEM のランダムノイズが共通の課題となっていること、およびそれらを低減することの意義・必要性について述べている。

第2章では、衛星搭載光学センサによる DEM の作成について概観し、ALOS

衛星搭載の PRISM センサを例にして、作成した DEM から検知した衛星姿勢変動由来の周期的なシステムノイズ、およびステレオマッチングに伴うランダムノイズについてそれぞれの解析結果を示している。

第 3 章では、衛星 DEM の周期的なシステムノイズの低減手法について、ノイズの周波数が比較的低周波な場合と高周波な場合の 2 つのケースを扱っている。ノイズが比較的低周波、かつ衛星の姿勢センサデータが姿勢変動の周波数帯をカバーする場合はこれを適用したノイズ除去が一般的である。但し、姿勢センサの応答特性が未知の場合は光学センサの姿勢変動が正しく再現できずに、DEM の周期ノイズが残留してしまう問題がある。本研究では、これら DEM の残留周期ノイズの傾向分析から姿勢センサの応答特性を補正する手法を提案し、これにより推定した光学センサの正しい姿勢変動を DEM 作成に適用することで低周波な周期ノイズが低減できることを、実データを用いた検証により示している。一方、これら姿勢センサの応答特性推定が困難となる DEM の高周波なノイズについては、DEM 作成後の後処理による低減手法として、ウェーブレットフィルタを用いる方式を提案し、実データを用いた検証により一般的な FFT フィルタよりも高度なノイズ除去性能が得られることを示している。

第 4 章では、ステレオマッチングに伴う DEM のランダムノイズ低減手法について扱っている。一般にランダムノイズ低減の手法としては、ローカルカーネルによる平滑化フィルタが最も汎用的であるが、本研究では、自然画像を対象に開発されたノンローカルカーネルによる適応的フィルタを衛星光学センサ由来の DEM に適用する手法について提案している。フィルタのパラメータについては、対象とする画像および DEM の特徴に沿って推定するモデルを定義し、実データへの適用を行って、目視による定性評価のほか、参照 DEM を用いた定量評価によりその有効性を確認している。また、他の平滑化フィルタ手法との比較検証を行い、提案手法の優位性を確認している。

第 5 章は、第 4 章の結果を基にした将来の光学衛星 DEM に対するシミュレーションである。将来光学衛星で想定されるより高解像度な DEM データに対して提案手法の適用を行い、その有効性・汎用性を確認すると共に、衛星搭載のセンサ総重量などミッションの制約によりセンサ解像度に一定の制限が掛った場合にも DEM の精度低下への影響を低減する効果があることを示している。

第 6 章はまとめであり、本研究で得られた結果および考察を総括している。

以上のように、衛星光学センサによる DEM データについて、普遍的な問題となっているシステムノイズ、およびランダムノイズのそれぞれ低減手法を提案し、その有効性を示している。また、提案手法の将来データに対する汎用性を示すなど工学としての意義が十分に高く、また地球科学への貢献も大きい。

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。