

## 審査の結果の要旨

氏名 出口知敬

本論文は、合成開口レーダ（SAR: Synthetic Aperture Radar）の応用技術の一つである干渉 SAR において、地盤変動計測精度に影響を与える因子についての包括的検討、平滑化拘束条件を考慮したインバージョン手法を用いた時系列解析による解析手法の開発と数値実験による評価、実データを用いた実証試験を行うことにより、当該技術の広域地盤変動計測への適用性と実用化を追求したものである。広域地盤を長期的にモニタリングする技術は、資源開発・地下空間利用の影響評価、災害対策や震災被害予測などの観点から重要であり、とりわけ面的マッピング能力を有する干渉 SAR の計測・解析技術を高度に確立することは喫緊の課題となっている。しかしながら、現状は火山噴火や大地震などの有事災害発生時において、研究者レベルで単発的に処理が実施されるだけであり、計測精度等の実用的な観点からの包括的な体系が構築されていない。

そこで筆者はまず、干渉 SAR の地盤変動計測精度に影響を与える因子として、画像マッチング、軌道間距離推定、臨界軌道間距離、大気位相遅延、経時的変化に伴うコヒーレンス低下、センサーノイズ、DEM (Digital Elevation Model) の標高精度の 7 種類の誤差要因を取り上げ、干渉位相に含まれる誤差解析を詳細に実施し、JERS-1 (地球資源衛星 1 号) /SAR ならびに ENVISAT (欧州宇宙機関(ESA)の地球観測衛星) /ASAR における計測精度を評価している。さらに、地表における気象データから鉛直方向の大気構造を推定する方法を試み、大気位相遅延の年周期変動と不規則変動幅を求めている。これらの包括的な評価は、実用的な観点から、現状の干渉 SAR 技術のポテンシャルを見極める上で有効な計測誤差を定量的に提供したことが評価できる。

次に、経時変化計測の精度向上を目的として、解析手法の提案を行っている。まず、既存の計測技術である PSInSAR (Permanent Scatters Interferometric SAR) と SBAS (Small Baseline Subset) の 2 手法を詳細にレビューすることにより問題点を整理している。その上で筆者は、既存の手法の持つ問題点を改善するために、平滑化拘束のインバージョン手法を用いた時系列解析による手法を提案し、シミュレーションデータへの適用を試み、位相アンラップエラーや突発的変動への応答の点で、既存手法に対する提案手法の有効性を明確に示している。

最後に、実データを用いた実証として、**JERS-1/SAR** ならびに **ENVISAT/ASAR** のデータを用いて、実際に地盤変動が報告されている関東平野、九十九里平野、フィリピン国マニラにおける広域地盤変動の経時変化を求め、地上で取得された水準測量結果、GPS 連続記録（国土地理院 GPS 連続観測システム：**GEONET**）、地下水位データなどと対比し、調和的な結果が得られていることを示している。とりわけ、植生地域でも干渉位相が維持され、5 年を超えるような長期間の計測においても安定した変動計測をモニタリングできたことを示している。このような実データに対する適用結果は、本論文が提案している解析手法の有効性と適用性を示唆する明確な根拠となっている。さらに、波長の長い **L-band** センサーを用いる **JERS-1/SAR** と波長の短い **C-band** センサーを搭載している **ENVISAT/ASAR** との精度比較や植生への応答の差異などにも言及することや、地盤の 3 次元的な変動情報を得るための衛星センサー仕様についても考察を行っており、今後の課題と展望についても適切に考察がなされている。

以上のように、本論文は、干渉 **SAR** の計測能力を実用的な観点から包括的に整理した上で、当該技術を用いて広域地盤の時空間変動を監視・計測できる手法を提案し、その有効性と適用性を明確に示しており、定常的な地盤変動モニタリングに向けた実用的計測技術のための方法論を確立した点での貢献は大きいと判断する。

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。