資料１－１

研究課題終了時評価書

１．研究課題名：衛星干渉 SAR による高度な地殻変動監視のための電離層補正技術に関する研究

２．研究期間：平成２５年４月　　～　平成２８年３月　（３年間）

３．予算：特別研究経費　31,696 千円

４．成果の概要

（１）電離層擾乱の特性把握及び干渉 SAR における影響評価

国土地理院が全国で運用している電子基準点データから計算された、過去約 10 年間の日本上空とその周辺における TEC（電離層電子密度）に関する情報に基づき、この期間に発生した電離層擾乱現象を抽出し、その種類、規模、継続時間等の特性情報の分析を行った。その結果、電離層擾乱現象は、TID（伝搬性電離層擾乱）、プラズマバブル、両者の混合型、それ以外のもの（空間波長が長く、干渉 SAR における影響は小さい）の 4 類型に区分することができること、発生件数は TID がプラズマバブルの 6 倍程度と多いこと、また、TID、プラズマバブルともに太陽活動が活発な時期に多く観測されること、また、両者とも現地時間（日本標準時）の 22 時ごろに多く観測されること、などの知見を見出した。

次に電離層擾乱現象が発生している日時を含む 2 時期の組（ペア）に観測された SAR 衛星「だいち」データを用いて SAR 干渉画像を作成するとともに、上述の TEC に関するデータを用いて、SAR 干渉画像のペアの観測日時に対応する簡易的な擬似干渉画像を作成し、両者を定量的に比較・分析して干渉 SAR における電離層擾乱の影響を評価した。その結果、「だいち」干渉画像と擬似干渉画像の平均振幅には相関が見られたが、両者のパターンを比較すると位置がずれている場合が多いことを見出した。

（２）電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正技術の開発

（１）の結果を踏まえ、電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正手法を構築した。

（１）で試行した簡易的な手法を改良し、電子基準点データ（電離層電子密度）を用いた干渉 SAR 電離層補正手法を構築した。そのため、まず（１）において「だいち」干渉画像と擬似干渉画像のパターンのずれが発生する原因を調査した。その結果、GPS 衛星の視線方向の電離層電子密度情報から SAR 衛星の視線方向の電離層電子密度を内挿計算する際に、GPS 衛星数の不足に起因した、内挿手法による電離層電子密度の計算値のばらつきが顕著に見られ、不適切な内挿手法を選択した場合にずれが発生することがわかった。それを踏まえ、改良した手法においては、複数の内挿手法のうち適切なものを選択できるようにするとともに、GPS 以外の測位衛星のデータを取り扱えるようにして内挿手法による電離層電子密度計算値のばらつきを抑える工夫をした。構築した SAR 電離層補正手法について「だいち」干渉画像を用いて補正効果を評価した結果、電離層誤差の影響を概ね低減することが可能であることを確認した。

その一方で、上記手法では電離層誤差の影響低減が困難な場合もあることから、そのような場合に対処するため、電子基準点データ（座標変化）を用いた干渉 SAR 電離層補正手法を新たに構築した。本手法は、SAR 干渉画像と電子基準点座標変化から計算される擬似干渉画像との差を電離層によるものと仮定し、それを補正画像として適用するものである。「だいち」干渉画像を用いて補正効果を評価した結果、電子基準点データ（電離層電子密度）を用いた補正が困難な場合

においても電離層誤差の影響低減が可能であることを確認した。

（３）国土地理院における「だいち２号」による干渉 SAR を用いた国土の地盤変動監視に適合した電離層補正システムの構築

（２）で開発した SAR 電離層補正手法を、国土地理院における「だいち２号」による干渉 SAR を用いた国土の地盤変動監視に用いられている解析ソフトウェアである新 GSISAR で利用可能にするため、干渉 SAR 電離層補正ソフトウェアを構築するとともに、新 GSISAR との間の必要なインターフェースを整備した。新 GSISAR 及び干渉 SAR 電離層補正ソフトウェアともに GUI 上で直感的に操作できるように設計した。

５．当初目標の達成度

（１）当初計画における目標

本研究は、電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正手法を構築するとともに、国土地理院における「だいち２号」を用いた干渉 SAR による国土の地盤変動監視へ適合した補正システムを構築することで、地盤変動の正確で稠密な情報の安定的な提供を可能とし、干渉 SAR を用いた国土の地盤変動監視の信頼性向上を図ることを目標とした。

（２）最終達成度

本研究では、電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正手法として、１）電子基準点データ（電離層電子密度）を用いた干渉 SAR 電離層補正手法、２）電子基準点データ（座標変化）を用いた干渉 SAR 電離層補正手法を構築し、「だいち」干渉画像を用いて補正効果を評価した結果、概ね電離層誤差の影響低減が可能であることを確認した。また、構築した干渉 SAR 電離層補正手法を、国土地理院における国土の地盤変動監視に用いられている干渉 SAR 解析ソフトウェアである新 GSISAR で利用可能にするため、干渉 SAR 電離層補正ソフトウェアを構築するとともに、新 GSISAR との間の必要なインターフェースを整備した。

本研究で開発した干渉 SAR 電離層補正ソフトウェアは、GUI 上で直感的に操作できるように設計されており、新 GSISAR を用いた SAR 干渉解析において解析者が手軽に操作して干渉 SAR 電離層補正を実施することができる。本ソフトウェアは地理院における干渉 SAR による国土の地盤変動監視において定常的に用いられ、干渉 SAR を用いた国土の地盤変動監視の信頼性向上が図られることが期待されており、当初目標が達成されたと言える。

６．成果公表状況

研究報告書	3 件
発表論文	1 件
学会発表	10 件
特許等	0 件

７．成果活用の見込み

本研究で開発した干渉 SAR 電離層補正システムは、国土地理院で実施する干渉 SAR による国土の地盤変動監視において定常的に用いられ、地盤変動のより正確で詳細な情報の安定的な取得を可能とすることで地盤変動監視の信頼性向上に寄与するとともに、特別研究「干渉 SAR 時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究」(H26-H30)において、時系列解析システムに組み込まれ、活用される。

本研究で開発した干渉 SAR 電離層補正手法は論文等で公開され、大学・研究機関におけるだいち２号以外の衛星も含めた干渉 SAR を用いた地盤変動把握の高精度化に寄与する 。

本研究でアーカイブされた電離層状態のデータについては、大学や研究機関、測量会社等の要望に応じて提供され、電離層研究、測位誤差の分析等に活用される。

８．達成度の分析

（１）有効性の観点からの分析

初年度に電離層擾乱の特性把握及び干渉 SAR における影響評価を実施したことは、次年度以降の評価データの抽出に効果的であった上、電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正手法の構築における課題を明確化することにつながったため、国土の地盤変動監視に適合した干渉 SAR 電離層補正システムを構築する上で有効であった。

また、電子基準点データ（電離層電子密度）に基づく干渉 SAR 電離層補正では十分な誤差低減効果が得られない場合もあることから、電子基準点データ（座標変化）に基づく干渉 SAR 電離層補正手法をあわせて開発したことが、国土の地盤変動監視に適合した干渉 SAR 電離層補正システムを構築する上で有効であった。

（２）効率性の観点からの分析

電子基準点データを用いた干渉 SAR 電離層補正手法の構築にあたっては、汎用のオープンソースのツールを積極的に導入して効率的に作業を行った。また、干渉 SAR 電離層補正システムの GUI 化については、外注を活用して効率的に作業を行った。

９．残された課題と新たな研究開発の方向

GPS 以外の測位衛星を追加した場合の、干渉 SAR 電離層補正効果の向上に関する評価については、まだ実データによる評価が十分に行われていないため、今後評価を継続して実施する必要がある。また、最近 SAR データのみを用いた電離層補正手法の有効性が論文上で報告されており、今後の研究の進展を注視する必要がある。

また、干渉 SAR の誤差低減には個別の誤差源に対する対策に加え、複数画像を統計的に処理して地盤変動の時系列を抽出する時系列解析とよばれる手法が有効であることがわかっており、今後の研究の進展が望まれる。なお、国土地理院では、時系列解析に関する研究として、特別研究(地殻変動研究室 ; H26-H30)「干渉 SAR 時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究」を実施しており、本研究の成果も反映される予定である。

10. その他，課題内容に応じ必要な事項

特になし

11. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室

TEL：029-864-1111(内 8331)　　FAX：029-864-2655