

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Generalization of GNSS-A seafloor precise positioning and geodetic applications to the subduction seismic processes

(GNSS-A 海底精密測位の一般化と沈み込み帯における地震プロセスへの測地学的応用)

氏 名 渡邊 俊一

論 文 内 容 の 要 旨

前世紀後半以降、電磁波を用いた宇宙測地技術が著しく進歩した。この技術により、地球上の絶対的な位置をセンチメートルレベルよりも高い精度で測定することが可能となった。一方、電磁波の届かない海洋の下においては、音波を用いた測地技術である全球航法測位システム—音響測距結合 (GNSS-A) 方式が提案された。このアイデアは、米国のスクリプス海洋研究所の研究者により初めて実装され、日本でも観測が実現した。海上保安庁は、日本列島周辺の高溝型巨大地震の震源域で広域に観測することを目指し、2000 年以降、GNSS-A 観測点網を構築してきた。現在では、世界最大の GNSS-A 観測網となっている。観測網の維持及び拡張と同時に、GNSS-A 観測技術も、ハードウェア及びソフトウェアの両面で進歩を続けてきた。GNSS-A 観測を持続させるための様々な努力により、プレートの沈み込みによる海底地殻変動をセンチメートルの精度で検出することが可能となった。

GNSS-A 観測の推進と並行して、解析技術も継続的に向上してきたが、それらは複数の研究グループにより独立に進められている。その理由は、それぞれの研究グループは異なる観測方式を採用し、それぞれ独立に解析手法を開発してきたからである。特に 2010 年代後半以降には、音速場の水平傾斜構造についての議論及びモデルの実装が、複数の研究グループで進められた。観測方式の違いにもかかわらず、そのような傾斜構造モデルの導入により GNSS-A の精度が確実に向上することが、先行研究により確認されている。

本論文では、時間並びに海上局及び海底局の位置の関数として摂動項を表現する

音速摂動場モデルを導入することで、より一般化された GNSS-A 観測方程式を導出した。この表式を用いれば、これまでに提案された単一の音速傾斜層を持つようなよりシンプルな音速構造モデルは完全に表現される。その上、この表式ではモデルパラメータ推定に際してヤコビ行列の特異点を回避することができる。提案された観測モデルに基づき、音速場の時間変化がなめらかであるという仮定のもとで、経験ベイズアプローチによるモデルパラメータ推定手法を定式化した。さらに、連続する音響測距データの誤差に関する共分散項を考慮して定式化した方法により、精密な海底位置ともっともらしい音速場を同時に推定することに成功した。

海上保安庁で使用されている既存の解析ソフトウェアは多くの研究者による度重なるアドホックなコード増築により、徐々に解析の効率性、コードの拡張性及び可読性の面で困難を抱えるようになっていたことを踏まえ、著者は、定式化された解析アルゴリズムを Python コードにより実装した解析ソフトウェア「GARPOS」を新たに開発した。この解析ソフトウェアは、可読性を高めるように整理されたフォーマットに統一された GNSS-A データと合わせて、オープンソースソフトウェアとして公開された。

さらに、本研究では、地球物理学研究への応用を目的として、海上保安庁の GNSS-A データセットを解析した。相模トラフ沿いについては、既存の手法を用いた解析によってフィリピン海プレートのテクトニックブロックモデルを検証し、伊豆半島東部のブロック境界断層の固着率を推定した。南海トラフ沿いについては、ブロック運動を考慮に入れてプレート境界面上のすべり欠損速度分布を推定し、その結果を用いて津波の励起・伝搬をシミュレーションした。異なるプレート境界形状モデルを適用した場合について計算した結果、同じデータを用いても、断層形状が異なる場合には沿岸域における津波の高さが顕著に異なることが示された。日本海溝沿いについては、2011年東北地方太平洋沖地震後10年間に得られた GNSS-A データを GARPOS で解析し、地震後地殻変動の経時変化及び空間的パターンを捉えた。福島県沖の観測点で得られた海底変位の水平及び鉛直成分の減衰時間の違いから、観測点より海溝軸に近い浅いプレート境界断層が地震時に破壊されていたことが示唆された。この地震時すべりは地震直後の GNSS-A データからは解像されなかったが、津波のデータと整合的な結果である。

本研究で開発したオープンソースソフトウェア GARPOS と整理された入出力形式は、GNSS-A の標準化に向けた実践例となる。提案した形式に基づくことで、GNSS-A 研究コミュニティにおけるグローバルな議論を促進できると期待される。このことは、たとえば地震時の緊急 GNSS-A 観測や他の沈み込み帯への技術移転など、研究機関の間での協力促進の鍵であり、地球表面の70%を占める領域における「グローバル測地」の実現への貢献が期待される。