

DOPを指標とした係留ブイGNSS-A測位精度評価の実データに基づく定量化

DOP-based accuracy evaluation of GNSS-A positioning on a drifting moored buoy quantified using sea trial observation data

*今野 美芽¹、木戸 元之^{2,3}、本荘 千枝³、太田 雄策³、日野 亮太³

*Misae Imano¹, Motoyuki Kido^{2,3}, Chie Honsho³, Yusaku Ohta³, Ryota Hino³

1. 東北大学大学院理学研究科、2. 東北大学災害科学国際研究所、3. 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知観測研究センター

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. International Research Institute for Disaster Science, Tohoku University, 3. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions Graduate School of Science, Tohoku University

我々は、任意の頻度で定期的に、あるいはオンデマンドで海底地殻変動を自動計測することができる係留ブイを海上プラットフォームとしたGNSS-Acoustic (GNSS-A)観測システムを開発している (Takahashi et al., 2014)。本観測システムでは甚大な津波被害をもたらす M8 クラスの巨大地震発生直後に、任意の観測位置からの短時間測距で断層破壊による海底地殻変動 (～1 m) を検出することを目標としている。係留ブイを用いた観測システムを日本周辺の強海流域で運用するためには、水深より十分長い係留索を用いて張力を下げる必要がある。そのためブイが大きく振れ回り、測位精度劣化が予想される海底局アレイの外側 (Kido, 2007) から計測せざるを得ない場合も多く、定点保持が可能な従来の船舶観測より測位条件が厳しい。我々は南海トラフ近傍の想定震源域 (水深 3000m) で約 1 年間にわたり係留ブイGNSS-A観測を実施し、音響測距1ショットごとにアレイ位置 (測位解) を推定してその測位精度評価を行ってきた。水平方向の測位精度を測位解の標準偏差の2倍 (2σ) として定義すると、測位精度はアレイ内側にブイがいるときで 46 cm, アレイ外側では 97 cm となり、アレイ重心から観測位置までの水平距離が大きくなるにつれ測位精度が劣化することが示された (今野・他, 2017; Kido et al., 2018)。また、測位解のばらつきが観測位置からアレイ重心への視線方向に大きくなるという特徴から、両者の位置関係によって水平2成分の測位精度が異なるという測位精度の指向性が示された (今野・他, 2018)。本研究では、これまでに明らかになった係留ブイGNSS-A測位精度の観測位置依存性や指向性に基づき、任意の観測位置からの1回の測位で得られる海底水平変位の推定精度を求める方法を提案する。

係留ブイGNSS-A測位解の特徴を詳細に調べた結果、現状の測位誤差は主にデータ誤差に起因することがわかった (今野・他, 2018)。したがって、任意の1点におけるGNSS-A測位精度は、海上局と海底局の位置関係から求められる精度劣化指標 (データ誤差の最大拡大率) のスケーリングによって定量的に評価できると考えられる。そこで、GNSS測位で用いられる Dilution of Precision (DOP: Langley, 1999) を導入し、GNSS-A測位の精度劣化指標を導出した。従来のGNSS-A測位の精度劣化指標として用いられてきた観測方程式のヤコビアン行列の条件数により定義される測位解像度 (Kido, 2007) と比べ、DOPは測位精度の指向性についても見積もることが可能である。Langley (1999) の定義に従いGNSS-A測位の観測方程式からデータ誤差の拡大係数行列を求め、その対角成分を用いて DOP (EDOP: 東西成分, NDOP: 南北成分) を算出した。ただし、東西成分と南北成分の共分散値に相当する非対角成分が観測位置によっては有意に大きかったため、誤差拡大係数行列を対角化し任意の観測位置での2次元誤差楕円を得た。この誤差楕円は観測位置がアレイ重心から離れるに従い大きくなり、楕円の長軸の方向は観測位置からアレイ重心への視線方向とほぼ一致した。これは、係留ブイ観測および船舶観測データを用いて推定された測位解の特徴と一致した。

解析的に求めた誤差楕円の長半径・短半径は、走時残差の標準偏差を乗ずることで長軸・短軸方向の測位精度にスケーリングすることができる。そこで係留ブイGNSS-A観測で得られた全データ (527ショット) を用

いて一つの測位解を推定したときの走時残差の標準偏差 σ を求め、 $\sigma=0.098$ msを得た。誤差楕円とこの σ 値から得られる測位精度は、実際の係留ブイ観測による測位解の標準偏差とよく一致した。このことから、本研究で求めた測位精度は任意の観測位置における係留ブイ観測の測位精度を再現できると言える。

本研究により、任意の観測位置でGNSS-A測位を行ったときの水平測位精度を、解析的に導出した誤差楕円とその測位精度へのスケーリングにより算出する方法が示された。これにより、地震発生直後のごく短時間の測位で得られる海底地殻変動量の、指向性も含めた精度評価が可能となった。本発表では、上記の測位精度の導出過程とその結果に加え、巨大地震発生時のリアルタイムGNSS-A測位を想定した議論も行う。

謝辞：本研究で使用したデータは、文部科学省の受託研究「海底地殻変動観測技術の高度化」、JST 戦略的イノベーション創造プログラム (レジリエントな防災・減災機能の強化)、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの研究の一環で得られたものです。記して感謝いたします。

キーワード：GNSS-A 測位、係留ブイ、DOP

Keywords: GNSS-A measurement, Moored buoy, DOP