

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成31年度（2019年度）研究進捗評価用〕

平成28年度採択分
平成31年3月28日現在

海洋GNSSブイを用いた津波観測の高機能化と海底地殻変動
連続観測への挑戦

A challenge to develop GNSS buoy system for high-functional tsunami monitoring and continuous observation of ocean-bottom crustal movements



課題番号：16H06310

加藤 照之 (KATO, TERUYUKI)

神奈川県温泉地学研究所・所長

研究の概要（4行以内）

GNSSブイを用いた遠洋での高精度リアルタイム津波計の実証実験を行うと共に新たにGNSS—音響システムを用いた海底地殻変動計測実験を実施し、連続的な海底地殻変動計測への新たな展開を切り開くことを目的とする。さらに、大気遅延推定や電離層擾乱の研究にも資するためのデータを取得して総合防災ブイ構築のための基礎技術を習得することを目的とする。

研究分野：津波、地殻変動

キーワード：津波、海底地殻変動

1. 研究開始当初の背景

我々研究グループはGNSS（Global Navigation Satellite System）をブイに設置して津波を早期検知するシステムの開発を行ってきた。このシステムは実用化され、GPS波浪計として、全国に17点以上設置されてきた。しかし、これまでの手法では相対的な測位方式を用いており、またデータ伝送に無線を使っていたため陸からの距離が高々20 kmと制限されていた。そのため、この制限をはずしてより遠方で津波を早期検知する必要が生じていた。

一方、GNSSと音響システムを組み合わせた海底地殻変動観測の方式は、2011年東北地方太平洋沖地震の際に30mを超える海底の地殻変動を検出するのに役立てられ、海底地殻変動観測の重要性が深く認識された。しかしながら、これまでの方法では海上の測位観測は船舶によるものに限られており、一年あたり数回の観測が限度であり、連続的な観測は不可能であった。そのため、海底地殻変動観測の連続化が求められていた。

2. 研究の目的

本研究計画ではこれまで着実に進められてきたGNSSブイを用いた津波計測の機能向上に加えて海底地殻変動の連続観測手法の開発を行う。測位解析の手法として基線を用いない精密単独測位とよばれる新たな解析手法を導入すると共に、データ伝送方式としては、衛星通信を用いた方式を導入する。

本研究では、これらの方式について実験を進め、精密単独測位法の精度評価と、ブイの動揺等による伝送率低減等の課題を克服して、衛星通信の信頼性を上げる手法を検討する。

一方、海底地殻変動観測の方式では、新たな音響解析用ソフトウェアを開発してブイ上で音響データの相関処理を実施し、得られたデータを衛星通信によって地上局に送って解析を行い、cm精度の連続的な海底測位を実施する。もし海底地殻変動の計測が連続的に行えれば、プレート境界の固着強度の時間変化や最近注目を集めているプレート境界のスロースリップイベントの機構解明に重要なデータを提供できることになる。

さらに、ここで得られたデータから大気可降水量や電離層TECデータを取得し、気象学や電離層研究に役立てることが可能である。本研究計画ではこうした応用技術への展開に資する基礎的な研究も行う。これらにより、海洋ブイを用いた総合防災ブイへの展開をめざす。

3. 研究の方法

実験場所は高知県の黒潮牧場ブイを借用して実施する。ブイにGNSSシステムと音響送受装置及び関連する各種センサーと衛星通信用機材を、海底3か所に音響送受波装置を設置し、GNSS及び音響を用いた計測を行う。データはブイ上で収録するほか、商用衛星を用いた伝送実験も実施する。

衛星通信に関しては欠測率の改善を、津波計測に関しては精密単独測位法の確度向上を図る。海底地殻変動は連続観測における新たな解析手法の開発と得られたデータの精度評価を行い、海底地殻変動が有意に抽出できていることを確認する。ブイデータから得られる可降水量と総電子数は精度評価を行い、海上でのデータ取得の有効性と既存の研究に対するインパクトを検証する。最後に、GNSS ブイアレイ展開の最終形とその実現に必要な衛星通信の仕様を検討する。

4. これまでの成果

まず、将来の通信衛星の仕様策定を行うための実験を実施し、船の動揺に伴う信号強度の変動調査のための資料を取得した。得られた資料から将来想定されるブイの設置密度等にもとづき、ブイ・衛星間通信の基本性能について評価した。

続いて、基地局を高知県仁淀川町に、また高知県黒潮牧場 18 号ブイに GNSS 機器をはじめとする機材一式を搭載し、商用衛星を用いた衛星通信を用いて海面変動監視のための測位を開始した。様々なアクシデントにより連続観測データが必ずしも十分には取れていないが、引き続き課題を克服しながら 2018 年度末には連続観測データが取れるようになっていく。

海底地殻変動連続観測への応用については、海中の速度プロファイルの初期条件を定めるため、ブイの周辺にて海中音速の測定を行った。続いて海底地殻変動観測用の海底局を設置するとともに船舶による音響測距観測および CTD 観測を実施した。続いて海底地殻変動観測に必要なトランスデューサのブイへの取り付けが完了し、海底地殻変動の連続観測に向けた準備が整えられた。またブイによる海底測位と船による海底測位の比較観測を行い海底局アレイの形状を±2cm で決定することができた。さらに、ブイ上からの連続音響測距試験を実施し、音響信号全体の 99.5% の測距信号に対して直達波の到着時刻を正しく決定できることを確認した。

ブイで取得された資料の応用として気象学・電磁気学への応用のためにデータがそれぞれの研究者に提供されて解析が進められ一部について成果が印刷・公表されている。電離層研究においても、GNSSブイで取得されたデータが地上で取得されたデータと比較して十分活用に耐える精度が得られていることが検証された。

5. 今後の計画

これまでにいくつかの問題が発生し、計画が一部遅延しているものの、問題はほぼ解決しており、今後海面高変動の高精度連続観測及び海底地殻変動の連続観測にとりかかる

計画である。連続観測開始後も様々な課題が見いだされると考えられるが、それらを克服しつつ、欠測の少ない衛星通信の手法、精密単独測位法を用いた高精度の海面高の連続観測並びに海底地殻変動の連続観測の手法の確立を実現する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) Teruyuki Kato, Yukihiro Terada, Keiichi Tadokoro, Natsuki Kinugasa, Akira Futamura, Morio Toyoshima, Shin-ichi Yamamoto, Mamoru Ishii, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Kenichi Takizawa, Yoshinori Shoji, Hiromu Seko, Tadahiro Iwasaki, and Naokiyo Koshikawa, "Development of GNSS Buoy for a Synthetic Geohazards Monitoring System," *Journal of Disaster Research*, Vol.13, No.3, pp.460-471, 2018.
- 2) Tsugawa, T., M. Nishioka, M. Ishii, K. Hozumi, S. Saito, A. Shinbori, Y. Otsuka, A. Saito, S. M. Buhari, M. Abdullah, and P. Supnithi, "Total electron content observations by dense regional and worldwide international networks of GNSS," *Journal of Disaster Research*, Vol.13, No.3, pp. 535-545, 2018, doi: 10.20965/jdr.2018.p0535.
- 3) Yoshinori Shoji, Kazutoshi Sato, Masanori Yabuki, Toshitaka Tsuda, "Comparison of shipborne GNSS-derived precipitable water vapor with radiosonde in the western North Pacific and in the seas adjacent to Japan," *Earth, Planets and Space*, 2017.
- 4) Teruyuki Kato, Yukihiro Terada, Keiichi Tadokoro, Akira Futamura, Morio Toyoshima, Shin-ichi Yamamoto, Mamoru Ishii, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Kenichi Takizawa, Yoshinori Shoji, Tadahiro Iwasaki, Naoyuki Koshikawa, "GNSS buoy array in the ocean for a synthetic geohazards monitoring system," *Proceedings of the twenty-seventh (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference*, pp.777-782, San Francisco, CA, USA, June 25-30, 2017, ISBN978-1-880653-97-5, ISSN 1098-6189.
- 5) 加藤照之・寺田幸博, 2018, GNSSを用いた総合防災ブイの開発, *地質工学*, **15**, 33-38.

7. ホームページ等

<http://www.tsunamigps.com/>