

西之島での基準点設置及びGNSSブイによる潮位観測装置の開発 Installation of Control Points in Nishinoshima Island and Development of the Tide Observation Device using GNSS

測地部 植田勲¹・大森伸哉¹・大滝修

Geodetic Department Isao UEDA, Shinya OMORI and Osamu OOTAKI

要 旨

国土地理院は、我が国の領海及び排他的経済水域の外縁を根拠付ける離島の正確な位置情報を整備する施策を実施しており、該当する離島に順次三角点を設置している。

平成25年11月からの噴火によって島が拡大し地形が大きく変化した西之島において、当施策の一環として平成28年10月に上陸し測量作業を実施した。

また、離島の標高を決定するための潮位観測について、GNSS観測によって行う装置を開発したことで、従来の水圧計を用いる方法と比較して安全性・効率性が向上した。

1. はじめに

国土地理院は、国土の適切な管理・保全・利用及び海洋基本法・海洋基本計画に基づく「離島の保全・管理」に資するため、我が国の領海及び排他的経済水域（EEZ）の外縁を根拠付ける離島の正確な位置情報を整備する施策を実施している。測地部では、これらに該当する離島のうち三角点がない離島について、平成18年度から順次三角点を設置している（図-1）。



図-1 平成28年度までに整備した離島の基準点

この施策の一環として、平成28年度は、噴火活動

が一旦収束した西之島に上陸し、三角点を設置した。なお、西之島に関しては、噴火活動によって陸地が拡大し、地形が大きく変化したことから、測量法第31条に基づく測量成果の修正（地図の更新）を行う必要があり、そのために三角点を設置する目的もある。

対象となる離島が本土から離れている場合は、三角点を設置する際に、潮位観測を実施して三角点の標高を決定する。この潮位観測には、従来は水圧計を用いる方法を採用していたが、離島という特殊な現場を考慮し、安全性と効率性を改善する新たな方式を検討してきた。

本稿では、西之島での現地測量及びGNSSによる潮位観測装置（以下「GNSSブイ」という。）の開発について報告する。

2. 西之島の活動状況と上陸までの経緯

2.1 西之島の活動状況

西之島は平成25年11月からの活発な噴火活動により拡大を続け、噴火前の島（旧島）はその一部（以下「旧島部分」という。）を残して溶岩などの噴出物により覆い尽くされた（図-2）。この間、国土地理院では測量用航空機「くにかぜⅢ」や無人航空機（UAV）を用いて地形の変化を定期的に計測し、その変遷を記録している（甲斐ほか、2014; 飛田ほか、2014）。平

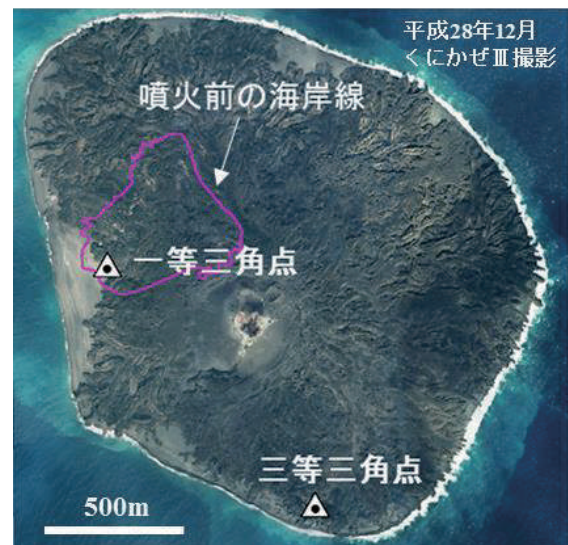


図-2 西之島のオルソ画像と三角点設置場所

成 27 年 11 月以降、噴火活動は沈静化し、平成 28 年 8 月 17 日に噴火警報（火口周辺）の警戒範囲が火口から半径 500m 以内に縮小されたため、上陸による測量作業が可能となった。

2.2 関係機関との調整及び準備

現地作業は、海図の作製を担当する海上保安庁海洋情報部と協力して測量作業を実施することとなり、海上保安庁の測量船に同乗した。

西之島は噴火前から各種法令等の規制対象地区となっている。三角点新設に際しては自然公園法に基づき環境省と協議を行い、国有林への立入りに際しては国有林保安林制度（森林生態系保護地）に基づき林野庁から講習を受けた。

また、西之島は今回の噴火で世界的にも珍しい新しい生態系が構築される場所と考えられており、人為的攪乱を防ぐために「小笠原諸島西之島の保全のための上陸ルール」（小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会 平成 28 年 6 月 14 日策定、以下「上陸ルール」という。）が定められている。具体的には、人員や機材は必要最低限とし、持ち込むものはできる限り新品を用意した。既存のものを持ち込む場合は、



写真-1 船内クリーンルーム（上）での燻蒸の様子（下）

清掃後、船内に設置したクリーンルームで燻蒸し（写真-1）、燻蒸できない衣服や精密機器等は、冷凍又はアルコール洗浄を施した。これらの防疫作業は上陸の度に実施した。なお、上陸させる機材については、本船の出航前に環境省の検疫を受けている。

3. 上陸と測量作業

3.1 人員・期間と上陸

3.1.1 人員及び期間

上陸を伴う測量作業は、表-1 及び表-2 のとおり実施した。なお、期間 1 で島内に設置していた GNSS 測量機材は、台風の接近に伴う波浪により回収できなかったため、期間 2 で再上陸して機材及び観測データを回収している。

表-1 測量作業の概要 期間 1

船	海上保安庁測量船「昭洋」
期間	平成 28 年 10 月 22 日～11 月 8 日 (期間中に 5 回上陸)
人員	植田勲基準係長、大森伸哉係員、海洋情報部職員 4 名、東京工業大学野上健治教授 ※報道関係 4 社 10 名（上陸不可）が同行し、船上からドローン等による撮影を行った。

表-2 測量作業の概要 期間 2

船	海上保安庁測量船「拓洋」
期間	平成 29 年 1 月 23 日～2 月 5 日 (期間中に 1 回上陸)
人員	植田勲基準係長、大森伸哉係員、海洋情報部職員 2 名

3.1.2 上陸

上陸者は、前述の上陸ルールに従って全身を海水で洗浄した後に上陸する「ウェットランディング」を行った（写真-2）。上陸中の食事は、トマトなど種子がある食物は持ち込めないため、乾パンなどの行動食とした。

3.2 三角点の設置と観測結果

3.2.1 三角点の設置と GNSS 測量

西之島周辺の三角点の配点密度及び後続の地図更新作業での測量成果の使用を考慮して、一等三角点 1 点及び三等三角点 2 点の設置を計画した。一等三角点は約 25km 間隔の密度で設置し、三等三角点は約 8km 間隔に満たない場合に設置する。地盤が最も安定している旧島部分に一等三角点（写真-3）を、噴火によって新たに陸地が形成された部分に三等三角点（写真-4）を設置した（図-2）。三等三角点周辺

は、冷えて間もない溶岩が分布しており、上層のものは非常に脆い上に不規則に重なっていたため、三角点の選点は難航した（写真-5）。

三角点設置後は、GNSS 測量を実施し、空中写真撮影のための対空標識を設置した。なお、計画していた北西部での三等三角点設置は、海況に恵まれず上陸できなかつたため断念した。



写真-2 ウェットランディングの様子



写真-3 設置した一等三角点



写真-4 三等三角点での GNSS 測量と設置した対空標識



写真-5 三等三角点周辺の溶岩の様子
(提供：海上保安庁)

3.2.2 GNSS 解析

GNSS 測量の基線解析図を図-3 に示す。「西之島」とあるのが一等三角点、「西之島南」とあるのが三等三角点である。また、海洋情報部が設置した「海上保安庁水路測量標」も同時に観測・解析を行った。

基線解析は、電子基準点「父島 A」「青ヶ島」「北大東」を既知点とし、24 時間の GNSS データを用いて実施した。西之島におけるセミ・ダイナミック補正パラメータ（国土地理院，2017）は、「父島 A」「P 父島」「母島」「青ヶ島」「八丈」の 5 点の電子基準点から計算したが、実質的には距離に近い「父島 A」「P 父島」「母島」によって求めたものといえる。

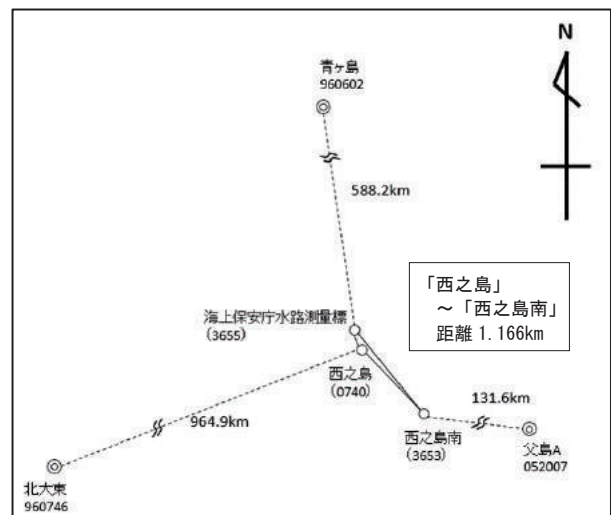


図-3 基線解析の概要

4. GNSS ブイによる潮位観測

国土地理院では、測量法第 11 条第 3 項の定めにより離島における潮位観測を実施して、その離島における測量（標高）の基準としている。この潮位観測の方法として従来は、水圧計による方法を用いていたが、GNSS 観測を利用する装置を開発し、平成 27

年度実施の銭洲において実用化に成功した（湯通堂ほか、2015）。ここでは、開発に至る経緯と西之島における観測の概要について示す。

4.1 標高算出の原理

水圧計を用いる方法は、以下のとおりである（図-4）。

- 1) 波打ち際にメインパイプが鉛直になるように設置する。
- 2) 水圧センサーを用いて潮位（水深）変化を測定する。
- 3) 潮位観測の基準となる水圧センサー設置位置と基準点との比高は、メインパイプの長さ計測と水準測量によって決定する。

この方法は、メインパイプや標尺のような長尺物やそれを設置するための工具などの器材が多いため、離島においてはこれらの荷揚げに労力が必要であった。また、波打ち際に設置するため危険を伴い、海底地形が急に落ち込んでいる場所では設置自体が困難であった。

これに対し、GNSSによる方法は、以下のとおりである（図-5）。

- 1) GNSS ブイと基準点で GNSS 観測を実施する。
- 2) 両者の比高を後処理キネマティック解析で求める。この際両者は近接しているためジオイド高は同じと仮定する。
- 3) 水圧センサーは GNSS ブイの喫水面までの水深を計測するために使用する。

なお、いずれの方法も基準点に対する潮位変化データは、現地での時間的制約から最大で 24 時間程度と限られているため、最寄りの験潮場における過去 20 年間の平均潮位と観測期間中の平均値との差を平均海面への補正量としている。

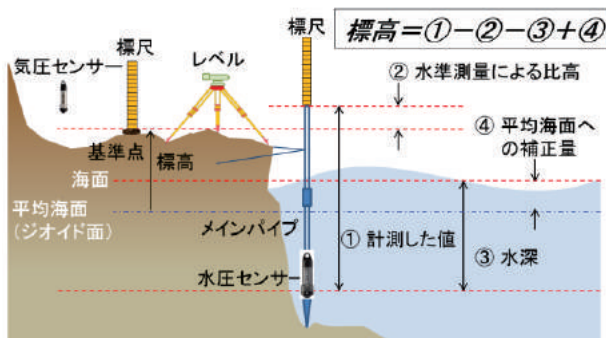


図-4 従来の水圧センサーを用いる方法

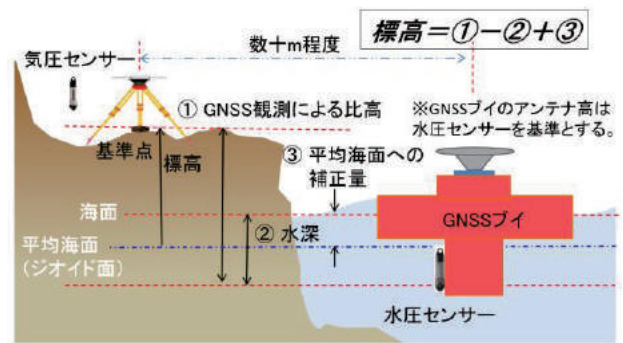


図-5 GNSS ブイを用いる方法

4.2 試作機による試験観測の概要と結果

平成 25 年度に GNSS ブイの試作機を製作し、従来の水圧計による方法との比較観測を実施した。

平成 25 年度は、港内にあって比較的波浪がない勝浦験潮場付近で実施した（図-6）。両方式の潮位観測結果は勝浦験潮場の結果とよく一致している。平成 26 年度には南硫黄島での実作業において比較観測を実施した（図-7）。基準点の標高をそれぞれの方式で求めた結果を表-3 に示す。両方式の差は 2cm 程度であった。また、勝浦験潮場では最寄りの水準点（附 20）成果値との比較でも、3cm 以内で整合していた。

表-3 試作機による試験観測の結果

試験地	各方式による基準点標高		差(m)
	水圧計(m)	GNSS(m)	
勝浦験潮場	2.382	2.360	0.022
南硫黄島	3.978	3.958	0.020

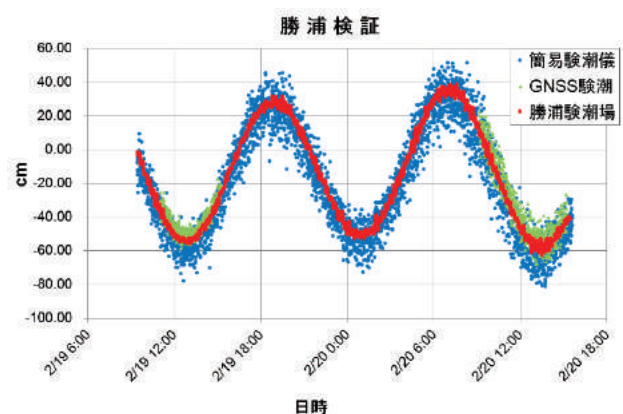


図-6 勝浦験潮場における試験観測結果

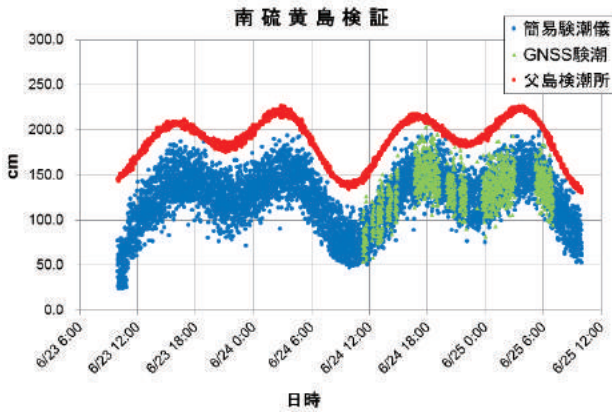


図-7 南硫黄島における試験観測結果

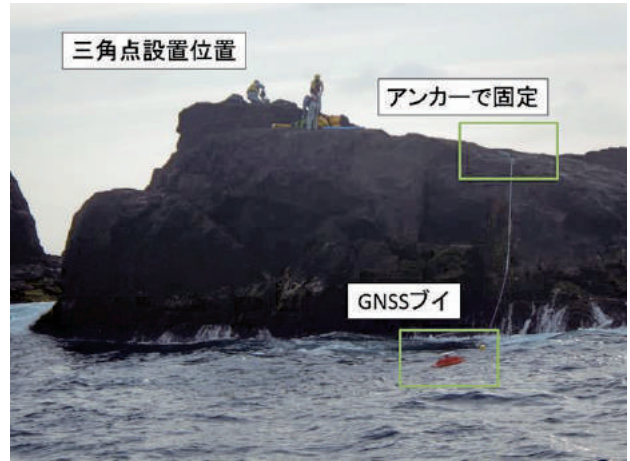


写真-7 銭洲での GNSS ブイによる潮位観測

4.3 GNSS ブイの実用化

試験観測の結果を受けて、実用化に向けて GNSS ブイを製作した。直径 85cm、高さ 60cm、重量 50kg で、内部に受信機及びバッテリーを収納し、総重量約 60kg である (写真-6)。

GNSS ブイの性能を確認するため、平成 27 年度に伊東験潮場付近で試験観測を実施した。験潮場に設置された GNSS 連続観測点 (P 点) の標高を GNSS ブイにより求めた結果、験潮場の潮位観測とから求めた結果と数 cm で一致した (表-4)。この結果を受けて、平成 27 年度の銭洲における潮位観測を本手法で実施した (写真-7)。



写真-6 製作した GNSS ブイ

表-4 実用機による試験観測の結果

	GNSS(m)	験潮(m)	差(m)
P 点の標高	7.670	7.647	0.023

4.4 西之島での観測結果

GNSS ブイによる潮位観測は、上陸作業や船上作業との兼ね合いやブイ設置方法を検討した結果、一等三角点の沖合に停泊した「昭洋」に係留して実施することとした (写真-8)。11 月 2 日～3 日かけて、約 14 時間のデータを取得した。GNSS ブイと一等三角点間で 30 秒毎に後処理キネマティック解析を実施した (図-8)。基線長は 520m～770m で FIX 率は 98%であった。基線解析結果に気象庁父島験潮所の長期の潮位データを用いた補正を行い、一等三角点の標高を決定した。一等三角点を西之島における高さの原点とし、三等三角点の標高は一等三角点との基線解析結果から計算した。なお、両点間のジオイド高差はないものと仮定している。両点の成果はその後の地図の更新作業に使用した。



写真-8 測量船「昭洋」に係留した GNSS ブイ

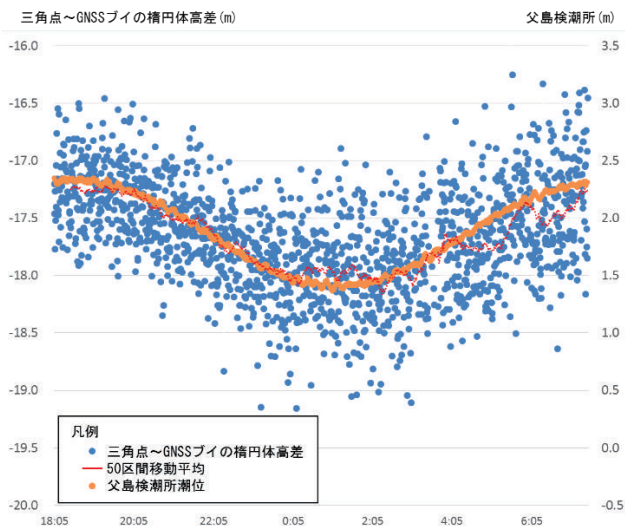


図-8 GNSS ブイによる潮位観測結果（西之島）

5. まとめ

国土地理院は、我が国の領海及び排他的経済水域（EEZ）の外縁を根拠付ける離島の正確な位置情報を整備するため、平成 25 年 11 月に噴火し領土が拡大した西之島に、活動が沈静化した平成 28 年 10 月に上陸して三角点 2 点と対空標識を設置し、測量を実施した。この測量成果と平成 28 年 12 月「くにか

ぜⅢ」撮影の空中写真を使用して、四半世紀ぶりに全面更新された 2 万 5 千分 1 地形図が平成 29 年 6 月 30 日に刊行された。

上陸困難な離島での潮位観測を安全かつ効率的に実施するため、GNSS ブイを開発し、平成 27 年度から実用化した。その効果は西之島においても十分に発揮された。

国土地理院では、離島の地理空間情報の整備に貢献するため、離島における基準点整備を着実に実施していく。

謝 辞

今回の測量作業は、海上保安庁と協同で実施した。海洋情報部職員とはお互いの作業を援助しながら十分な成果を得ることができ、乗組員には船内での快適な生活環境を提供していただいた。作業に同行した東京工業大学野上健治教授には火山に関する様々な知見を御教授いただいた。測量船に同乗した報道各社の方には、現地での測量作業の様子等を報道いただき、国民に対する国土地理院事業の理解の一助となった。この場を借りて御礼申し上げる。

（公開日：平成 29 年 8 月 9 日）

参 考 文 献

- 甲斐納，小澤安二，佐藤忠，畠山真介，瀧繁幸，藤原博行（2014）：西之島噴火に伴う測量用航空機「くにかぜ」による空中写真撮影並びに数値標高モデル及び正射画像作成，国土地理院時報，125，137-144.
- 国土地理院（2017）：座標・標高補正パラメータ，<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun40037.html> (accessed 30 Jun. 2017).
- 飛田幹男，神谷泉，岩橋純子，中埜貴元，高桑紀之（2014）：無人航空機による西之島空中写真の撮影とその分析，国土地理院時報，125，115-124.
- 湯通堂亨，植田勲，大森伸哉，黒田次郎，田中博幸，加古考範，齋田宏明，兒玉篤郎（2015）：GNSS 測量機を用いた潮位観測 ～離島での標高決定～，日本測地学会第 124 回講演会要旨集，179-180.