

三本嶽点の記 (大野原島観測点新設の記録)

渡邊篤志*[†]・大湊隆雄**・及川 純***・松島 健****

Installation of a Seismic and GNSS Station on Ohnoharajima Rocks

Atsushi WATANABE*[†], Takao OHMINATO**, Jun OIKAWA*** and Takeshi MATSUSHIMA****

はじめに

三本嶽とは、三宅島の西方約 9km に浮かぶ大小 10 余りの岩礁からなる大野原島の通称である。三宅島からは水平線上に子安根、エビ根、大根の 3 つが浮かんで見えるためにそう呼ばれている。今回、大野原島の大根に地震・GNSS 連続観測点を新設したので報告する。

三宅島は度々噴火を繰り返している活動的な火山で、20 世紀では 1940 年、1962 年、1983 年、2000 年と約 20 年間隔で 4 回噴火した。2000 年の噴火では、山頂部の陥没に先だつて三宅島と神津島間の海域で大規模な地震活動があり、震源分布の推移や地殻変動から三宅島直下のマグマの移動や海底下のマグマの上昇が推測されている (例えば酒井ほか, 2001)。また、1962 年や 1983 年の噴火の際にも三宅島と神津島間で群発地震活動があった (浜田, 2001)。2000 年噴火の後も三宅島周辺では度々地震活動の活発化が認められており火山活動との関連性を見る上で震源の分布や移動は重要な要素であるが、震源域が海域であることから震源決定精度が高くなかった。また、大野原島の大根には海上保安庁の GNSS 基準点が、間角根には地震研・名古屋大・九大合同の GNSS 基準点 (SBN) が設置されているが、いずれもキャンペーン観測による繰り返し観測であるため即時性と時間分解能に欠けるという弱点があった。

2013 年 4 月 17 日に三宅島西方沖の大野原島付近でマグ

2014 年 9 月 30 日受付, 2014 年 11 月 14 日受理.

[†] atsushi@eri.u-tokyo.ac.jp

* 東京大学地震研究所技術部総合観測室

** 東京大学地震研究所観測開発基盤センター

*** 東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

**** 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

* Technical Supporting Section for Observational Research, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

** Center for Geophysical Observation and Instrumentation, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

*** Volcano Research Center, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

**** Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Sciences, Kyushu University.

ニチュード 6.2 の地震が発生した。三宅島では最大震度 5 強の揺れと最大 7cm の津波が観測され、3 名の負傷者や崖崩れで林道が通行不能になるなどの被害が生じた。この地震を契機に三宅島と神津島の間における地震・GNSS 連続観測点が要望され、大野原島に新設することとなった。

大野原島

大野原島は三宅島阿古港の西南西約 9km に浮かぶ大小 10 あまりの岩礁の総称であり、子安根、エビ根、大根、間角根、鋸根、青根、文蔵根、間の根、カサゴ根、平根などからなる (図 1)。大野原島までは阿古漁港から瀬渡し船で約 30 分である。最も大きな子安根は標高が 114m あり、海面から頂上までほぼ垂直な絶壁に囲まれている。次に大きなエビ根は海食によるアーチ状の岩礁で、三宅島からもその大きなアーチが見える。今回観測点を新設した大根はエビ根に次ぐ 3 番目に大きな岩礁で、長さ 210m、最大幅 85m、標高 33m である (図 2)。大野原島は全域が国立公園特別保護地区に指定されており、更に子安根は国指定天然記念物で環境省レッドリスト絶滅危惧Ⅱ類のカムリウミスズメの生息地として国指定鳥獣保護区の特別保護地区に指定されている。

現地事前調査

大野原島に観測点を設置することが可能なのかを確認するため、2013 年 6 月 17 日に予備調査を行った。間角根は大野原島の中で最も渡礁し易く、頂上が比較的平らで機器を設置し易いと思われるが、標高が 14m しかないために時化ると波を被ってしまう。最も高い子安根は垂直に近い断崖であり水深が浅く船が寄り付けない。エビ根は子安根に次ぐ 61m の標高があるが、急峻な地形と脆い岩質で上部へ登ることが出来ない。3 番目に高さがある大根は、標高が 33m しかないが南東側から頂上までよじ登ることが可能であることから大根の頂上部を観測点候補地に定めて上陸調査を行った。その際、4 月 17 日の地震による地殻

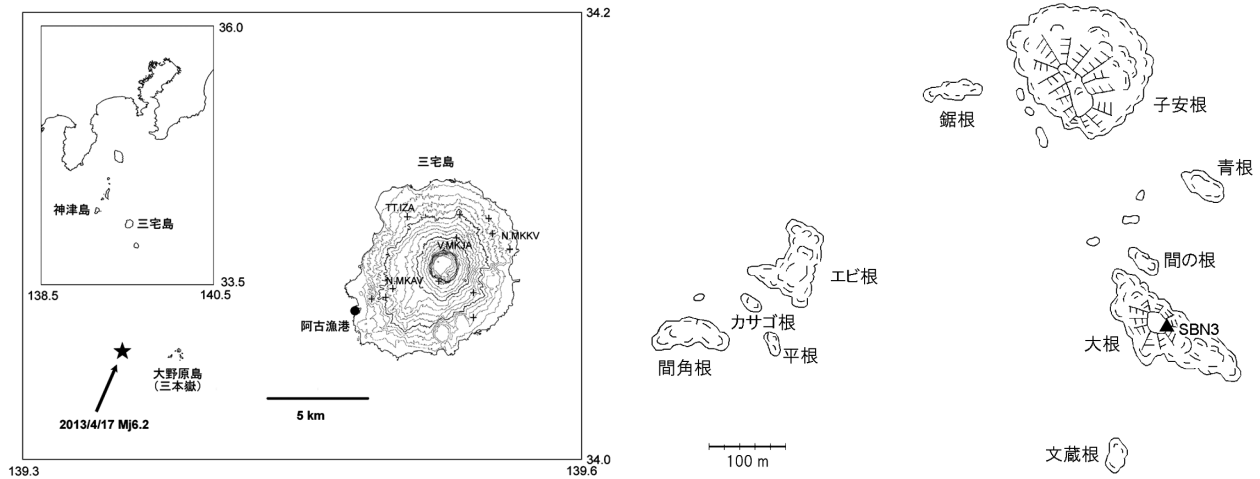


図 1. a) 三宅島および大野原島の位置図。星印は 2013 年 4 月 17 日に発生した地震 (Mj6.2) の震央。b) 大野原島の岩礁の配置図。大根の黒三角は今回新設した観測点。これらの地図には、国土地理院発行の 250 m メッシュ標高データ、10 m メッシュ標高データおよび 2 万 5 千分の 1 地形図 (大野原島 (分図)) を使用。



図 2. 南西方向から見た大根の全景。黒三角は観測点を設置した地点。

変動量推定のために同行した防災科研の小澤氏が間角根の基準点で GNSS 観測を行い、2012 年 9 月の時点から西南西に 6.3 cm 変動したことが分かった (松島ほか, 2013)。

大根の最高地点は岩が積み重なった狭い稜線で、機器を設置して観測する環境ではなかった。そこで、南東に 20 m ほど離れた比較的平面がとれそうな場所にて地震計、GNSS アンテナ、計測機器箱、バッテリー箱、ソーラーパネルなどの配置を検討し、何とか工夫すれば設置出来るであろうとの感触を得て設置予定地点とした。また、この地点でのデータ通信の確認を行った。確認方法は、PC にデータ通信端末 L-05A を接続して FOMA 網に接続し、地震研究所との間で VPN を構築してから所内のサーバへ ftp で 1 MiB のファイルをアップロードするというものである。三宅島が見える位置では安定して 42.9~48.6 kbps の上り速度が得られた。それに対して岩の陰では最高でも 7.3 kbps の上り速度しか得られず、しかも非常に不安定でタイムアウトが頻発した。この結果から、データ通信端末の外部アンテナ

を三宅島に面した岩に取り付けることにした。

予備調査の前後に東京都三宅支庁と三宅村役場を訪ね、自然公園法の新築許可申請と借地に関わる相談をした。現地調査には三宅支庁の担当者が同行して現場確認を行い、問題なさそうだとのコメントを受けた。借地に関しては即答できないとのことであったが、後日三宅村役場から連絡があり借地手続きは不要との指示を受けた。

9 月 7 日には再度大野原島を訪れて本調査行い、実際に設置するソーラーパネルと同寸の合板や収納箱の底面と同寸の木枠をあてがって各機材の設置位置を決定した。

環境省の自然保護官も予備調査や本調査への同行を強く希望したが、都合が付けられずどちらも不参加であった。さらに、設置作業の際も日程が合わず未だ現地を案内できずにいるので、保守作業の際に日程調整して案内する予定である。

環境省への申請

前述の通り、大野原島は国立公園の特別保護地区に指定されているため、自然公園法により工作物の新築には環境大臣の許可が必要になる。また、隣接する子安根が鳥獣保護区の特別保護地区に指定されているため、鳥獣保護法の規制を受ける可能性がある。そこで、大野原島を含む伊豆諸島全域を所管する伊豆諸島自然保護官事務所を訪ね、観測の必要性を説明して必要な申請手続きの指示を受けた。記載内容や様式の相談や確認に 3 回事務所を訪ねるとともに、頻繁に電子メールを交わした。自然公園法に関する工作物新築申請は、7 月 31 日付で窓口である東京都三宅支庁に申請して 9 月 5 日に許可が下りた。また、自然保護官との打ち合わせでは鳥獣保護法に関する申請は不要との判断であったが本庁で申請が必要と判断されたため、急ぎ 9

月13日に申請して9月24日に許可が下りた。

使用機材・資材

設置予定地点は面積が限られていることに加えて渡礁の際には船の舳先から岩場へ飛び移らねばならないことから機器は小型・軽量なものを選んだが、それでも持ち込んだ機材・資材の総重量は250kgを超えた。主な使用機材を表1に示す。当然のことながら大野原島にはインフラが一切ないので、電力はソーラーパネルで賄う。観測点全体の消費電力はカタログ値を合算すると13.8Wで実際には10W程になるが、全てのパネルを南向きに適切な仰角で設置できないことを考慮して56Wのパネルを4枚使用し、5日間程度の無日照稼働と防水ケースに収まる大きさを考慮して70Ahのバッテリーを2台使用した。設置場所の都合でソーラーパネルは3枚並列と1枚のみの2系統に分かれ、SS-10Lの端子で並列接続されている。図3は電力の接続図である。

通信には霧島山などで常時接続の使用実績があるVPNルータNXR-120/Cとデータ通信端末の組み合わせ（辻ほか、2011）を採用して地震研との間でVPNを構築した。また、NXR-120/CにはEthernetポートが2つあるので、それぞれTP-8800、SIGMAとLANケーブルで直結してハブを使用しない構成にした。図4は信号の接続図である。FOMA通信網は12時間毎に強制切断されるので再接続するまでの数分間通信が途絶するが、地震波形データはACTプロトコル（森田ほか、2009）で伝送しており、通信途絶中のデータは再接続後に順次自動再送されるので通信途絶によって欠落することはない。GNSSデータは1日1回前日分のデータを自動でダウンロードしている。

観測点は遮るもののない吹き曝しの環境であるから、潮風や紫外線への対策に配慮した。地震計には硬質塩化ビニル製の掃除口と継ぎ手を利用したカバーを自作した（図5）。GNSSアンテナは、予め高さ500mmのステンレス製

ピラーの上部に取り付け、アンテナ部に硬質塩化ビニルのTSキャップを被せて内部をシリコンコーキング材で充填した。防水ケースの収納箱として板厚2mmのステンレス箱を特注した。信号および電力ケーブルの保護にはより耐候性の高い二層保護管を使用した。直接潮風に曝されるGNSSアンテナピラー、防水ケース収納箱、保護管のサドル、ソーラーパネル取り付け金具などは全てステンレス製とし、さらに亜鉛塗装を施すことで防錆能力の向上を図っ

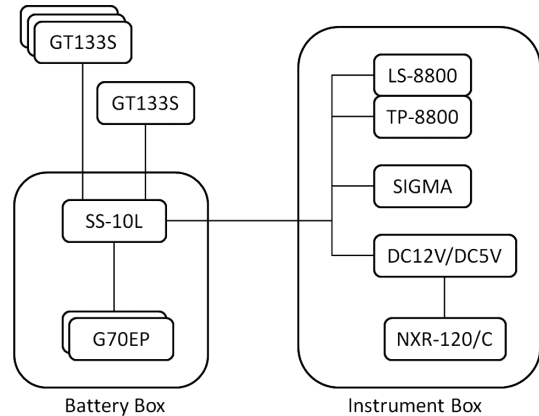


図3. 観測点に設置した各機器の電力配線図。

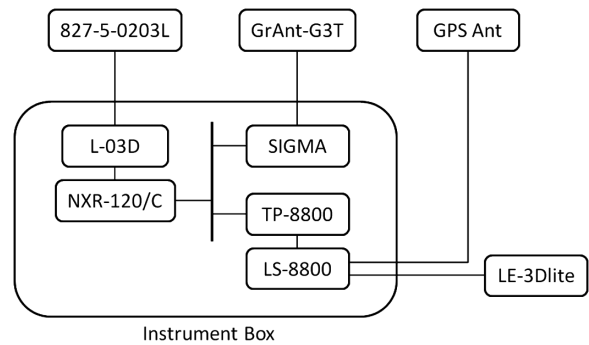


図4. 観測点に設置した各機器の信号配線図。

表1. 観測点に使用した主な機材

機材	型式	製造元	備考
地震計	LE-3Dlite	Lennartz Electronic	1Hz, 3成分, 400V/m/s
デジタル計	LS-8800	白山工業	100sps, 24bit A/D, 32GB SDHC
テレメータ	TP-8800	白山工業	ACTプロトコル
GNSS受信機	SIGMA	JAVAD GNSS	2周波, 30秒サンプリング
GNSSアンテナ	GrAnt-G3T	JAVAD GNSS	ピラー高: 500mm
ルータ	NXR-120/C	センチュリー・システムズ	VPN機能
通信端末	L-03D	LGエレクトロニクス・ジャパン	外部アンテナ接続可
外部アンテナ	827-5-0203L	サガ電子	帯域: 800MHz/1.7GHz/2.1GHz
ソーラーパネル	GT133S	ケー・アイ・エス	56W, 4枚使用
ソーラーコントローラ	SS-10L	Morningstar	負荷切断: 11.5V, 再接続: 12.6V
バッテリー	G70EP	Hawker Energy Products	12V 70Ah, 2台使用
防水ケース	1550	Pelican Products	2個使用
保護管	MF-22K	未来工業	二層式耐候性PF管



図 5. 設置された地震計。塩化ビニル製カバーの中に LE-3Dlite が設置されている。カバーの大きさは、外径 125mm、高さ 133mm。

た。

通常、自然公園内の工作物は焦げ茶色に塗装するよう環境省から求められるが、灰白色の岩場に焦げ茶色はかえって目立つことから自然保護官と協議して岩の色に近い灰色に塗装することにした。これは亜鉛塗装の灰色のままでも良いことになり、焦げ茶色に上塗りする手間が省ける一石二鳥の結果となった。

設 置 作 業

大野原島は銭洲群礁や男女群島と並ぶ釣り人憧れの磯であるが、渡礁の難しさでも有名で波高が 1m を超えると渡礁困難になる。磯釣り研究会 (2007) の航空写真を見ると、大野原島の岩礁はどれも白波に囲まれており、容易には上陸を許さないことが見て取れる。我々も例に漏れず、再三の計画の変更や三宅島での待機を余儀なくされた。最初の試みは 2013 年 10 月 6 日～11 日の日程で観測機器を設置しようとして意気込んで三宅島へ渡ったが、うねりが高く一度も阿古漁港を出港することなく敗退した。機材や資材は、一先ず定宿にしている民宿に預かってもらい、後に気象庁三宅島火山連絡事務所の宿舎の空き部屋に置かせてもらった。三宅島にて 4 日間待ち惚けた苦い経験から、民宿の主人や渡船の船長と連絡を密にして明日、明後日は渡れそうだなとなったら都合が付く人員 (最低 2 名) が急行して少しずつでも作業を進めるヒット・アンド・アウェイ方式に方針転換した。それでも台風や低気圧の影響で波浪が高かったり、海は穏やかでも都合が付かなかったりして設置は遅れに遅れ、2014 年 5 月 11 日、12 日の 2 日間で設置作業をして観測点の運用を始めた。以下、設置作業の詳細を述べる。

5 月 11 日は 04 時 50 分にさるびあ丸で三宅島に入り、午前中は気象庁の宿舎から荷物を取り出し、機器の動作確認や輸送に備えて再梱包をした。13 時 05 分に瀬渡し船住



図 6. 設置作業時 (5 月 11 日) の上陸風景。右奥に見えるのは文蔵根。

吉丸で阿古漁港を出港し、同 25 分で大根へ到着した。黒潮が三宅島の南側近海を流れている影響で、大根の周囲は増水した河川のような激流であった (図 6)。到着後すぐに民宿の主人と釣り客 2 人の手を借りて全ての機材と資材を設置予定地点直下まで荷揚げして作業を開始した。機材の設置位置の再確認、計測機器収納用のステンレス箱を置くための岩肌の研り、アンカーボルトの穴開け、ステンレス箱と地震計設置場所へのモルタルの打設、GNSS アンテナの設置、ソーラーパネル間の配線と設置、ステンレス箱の設置と作業を進めたところで日が傾き、残置する資材等を波にさらわれないよう養生した。この日は 3 人で 3 時間 25 分の作業をし、17 時 10 分に終了した。迎えに来た船に乗って阿古漁港に着いたのは 17 時 45 分であった。

翌 12 日は 05 時 55 分に阿古漁港を出港して 06 時 20 分で大根に着いた。夜の内に波の向きが変わって前日とは違う地点に上陸したので、観測点までは約 10 分間のトラバースであった。到着後、朝食の弁当を素早く食べて作業を開始した。前日の作業に続いてソーラーパネルの設置、バッテリー用ステンレス箱のためのモルタル打設と設置、地震計の設置、電源・信号ケーブルの配線、FOMA アンテナの設置、LS-8800 用 GPS アンテナの設置、保護管の固定を行った。最後に観測点の銘板を取り付けた。この日は 4 人で 5 時間 45 分の作業をし、12 時 20 分に設置完了して観測点が稼働し始めた (図 7)。既に間角根に 2 つの GNSS 基準点が設けられていることから新設した GNSS 観測点は SBN3 と名付けられ、地震観測点もそれに倣い観測点コードを SBN3 とした。風が強くなって海が荒れ始めた中、12 時 55 分に阿古漁港に着いた。

今回設置した機材は、全てステンレスボルトで岩に固定した。ソーラーパネル、GNSS アンテナピラー及びステンレス箱は直径 8mm のボルトで、それ以外の物は直径 5mm のボルトで固定した。ボルトの岩への固定はエポキシ樹脂

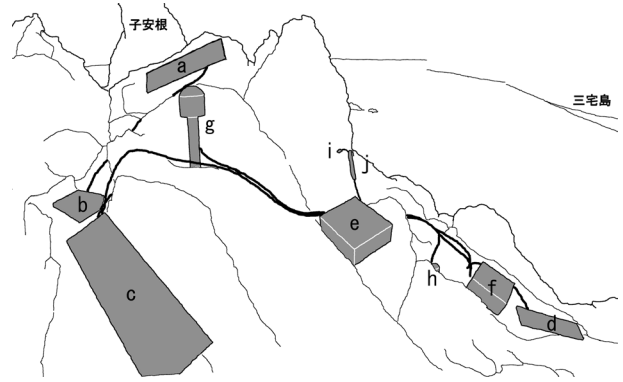


図 7. a) 観測点の全景. 左奥に子安根, 右手に三宅島が見える. b) 図 7a のスケッチ. a~d: ソーラーパネル. e: 計測機器収納箱. f: バッテリー収納箱. g: GNSS アンテナ. h: 地震計. i: LS-8800 用 GPS アンテナ. j: L-03D 用外部アンテナ.

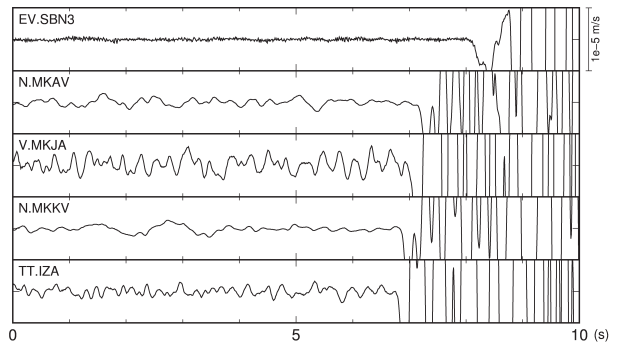
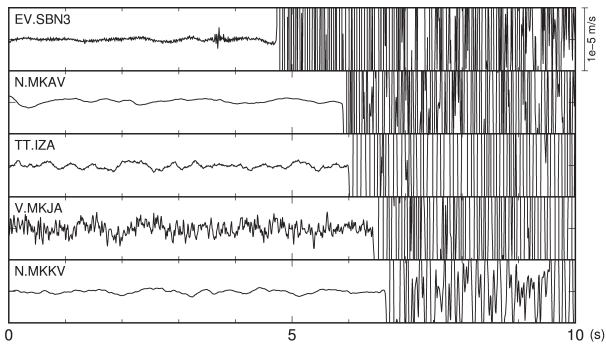
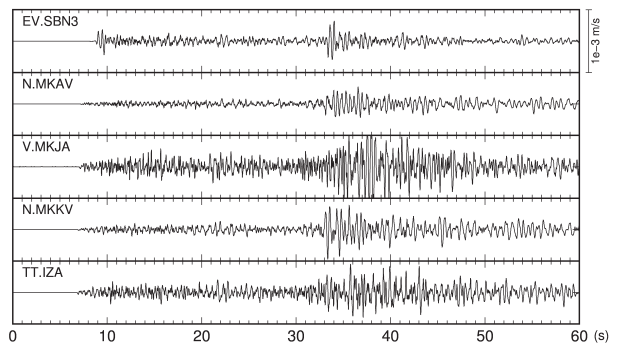
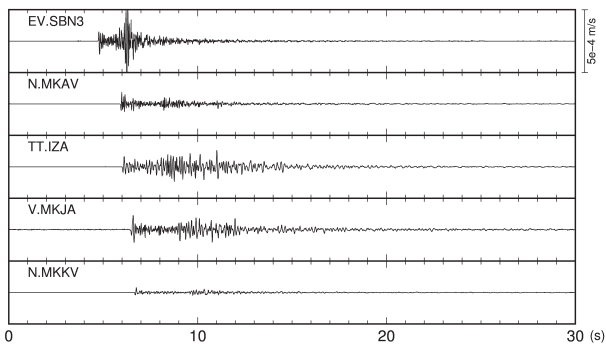


図 8. 近地地震の観測波形例. 三宅島島内の地震観測点 N.MKAV, N.MKKV (防災科学技術研究所), V.MKJA (気象庁火山課) および TT.IZA (東京都) の波形も同時に示す. 横軸の原点は 20 時 28 分 55 秒. a) 波形全体. b) 初動付近の拡大図.

図 9. 遠地地震の観測波形例. 波形を示した観測点は図 8 と同じ. 横軸の原点は 12 時 28 分 55 秒. a) 波形全体. b) 初動付近の拡大図.

を用いたが、数が多くまた鉛直でない細い穴の奥まで樹脂が入りにくいこともあり、作業には時間と手間を要した。この点は次回以降への反省点である。例えば、カプセル型接着系アンカー等を利用すると効率的に作業できるであろう。

おわりに

大野原島観測点は、5月12日の運用開始以来順調に稼働し観測データを送り続けている。10月10日現在、電力不

足による停止は1度もないが、watchdog timer によるリセットで、2、3分の欠測が10回ほど発生している。図8と図9は2014年8月20日20時28分に大野原島の北北西5.7kmの深さ13kmで発生したマグニチュード2.3の地震および2014年9月16日12時28分に茨城県南部の深さ47kmで発生したマグニチュード5.6の地震の観測波形である。三宅島島内に設置されている既存観測点の波形と共に示した。既存観測点と比較して遜色のない記録が得られている。ただし、大野原島は海況の影響を受け易いので、海が荒れるとノイズレベルが高くなる。2014年7月11日未

明に台風8号が近海を通過した際には、ノイズレベルがRMS振幅で2.8倍になった。地震データは調整が済み次第、JDXnetを通じて関係機関に提供される予定である。GNSSデータは防災科学技術研究所と国土地理院に提供され、統合解析に使用されている。

今回のような岩礁への連続観測点の設置は初めての試みなので、このまま順調に稼働し続けるとは限らない。おそらく、予想していないトラブルに苦労することになるだろう。が、何よりも観測点へ保守に行くこと自体が一番高いハードルなのかも知れない。それでも毎年少しずつ改良を重ね、次の三宅島噴火に向けて欠けのない良質なリアルタイムデータが得られるように努めたい。

謝 辞：民宿夕景には、大野原島へ渡るための情報提供や現地サポートを受けると共に、大量の機材・資材を無償で一時保管して頂きました。気象庁三宅島火山防災連絡事務所の宮崎真章所長と松村智之氏には現地での活動に便宜を図って頂くと共に、宿舎の空き部屋を機材・資材置き場として提供して頂きました。環境省伊豆諸島自然保護官事務所の三宅里奈自然保護官には、自然保護法および鳥獣保護法に関する申請に際し、親切丁寧に指導して頂きました。

査読者の酒井慎一准教授と鈴木雄治郎助教には、本稿を改善する上で有益な指摘を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- 浜田信生, 2001, 三宅島, 神津島, 新島周辺の過去の地震活動, 地学雑誌, **110**, 132-144.
- 磯釣り研究会, 2007, 「空撮 伊豆七島釣り場ガイド ②神津島, 三宅島から八丈, 八丈小島まで」, コスミック出版, 174頁.
- 松島 健・福井海世・及川 純・渡邊篤志・大湊隆雄・小澤 拓・宮城洋介・河野裕希・奥田 隆, 2013, 三宅島大野原島近傍で発生したMj6.2の地震と今後の定常観測について, 日本火山学会2013年秋季大会, P64.
- 森田裕一・酒井慎一・中川茂樹・笠原敬司・平田 直・鏡 弘道・加藤拓弥・佐藤峰司, 2009, 首都圏地震観測網(MeSO-net)のデータ伝送方式について—自律協調型データ送信手順(ACT protocol)の開発—, 震研彙報, **84**, 89-105.
- 酒井慎一・山田知朗・井出 哲・望月将志・塩原 肇・卜部 卓・平田 直・篠原雅尚・金沢敏彦・西澤あずさ・藤江 剛・三ヶ田 均, 2001, 地震活動から見た三宅島2000年噴火時のマグマの移動, 地学雑誌, **110**, 145-155.
- 辻 浩・森 健彦・渡邊篤志・阿部英二, 2011, 霧島新燃岳噴火に伴う臨時地震・空振観測点の設置, 震研技報, **17**, 12-18.