

アナタハン島での長期間オフライン地震観測点の設置

渡邊篤志*†・森田裕一**

Installation of Long Term Off-line Seismic Stations in Anatahan Island, Northern Mariana Islands

Atsushi WATANABE*† and Yuichi MORITA**

はじめに

地球物理観測において、長期間安定して動作し確実にデータを取得することは最も重要なことの一つであるが、同時に最も困難なことの一つでもある。長期間観測可能な自己浮上式海底地震計はその答の一つであるが、陸域において、特に活動中の火山での長期観測においては未だ決定的なシステムは確立していない。我々は、2008年6月に長期間（約1年）のデータ取得を目標としてアメリカ合衆国自治領北マリアナ諸島のアナタハン島に5点の地震観測点を設置したので、その詳細を報告する。

アナタハン島は北マリアナ諸島に属し、サイパン島の北約120 km に位置する東西10 km, 南北4 km の活火山島である（図1）。有史以来噴火の記録は残っていなかったが、2003年5月10日に突然山頂カルデラ内の東側火口から噴火を開始した。かつて島の北西部には集落があり島民が生活していたが、1990年と1993年に地震活動が活発化したため全員が離島避難を余儀なくされた。その集落も2003年の噴火により数メートルの火山灰の下に埋もれてしまった（Nakada *et al.*, 2005）。その後も時折噴火を繰り返し、火口からは常に二酸化硫黄の青白いガスが立ち上っている。

このように活発な火山活動を示す火山であるが、島内には北マリアナ地方政府の危機管理局（EMO）と米国地質調査所（USGS）によって設置されたFM無線テレメータのオンライン地震観測点が3点あるだけ（その内1点は機能していない）で震源決定すらできない状況である。そこで、

2008年8月27日受付, 2008年11月25日受理。

† atsushi@eri.u-tokyo.ac.jp

* 東京大学地震研究所総合観測室,

** 火山噴火予知研究推進センター。

* Technical Supporting Section for Observational Research, Earthquake Research Institute,

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

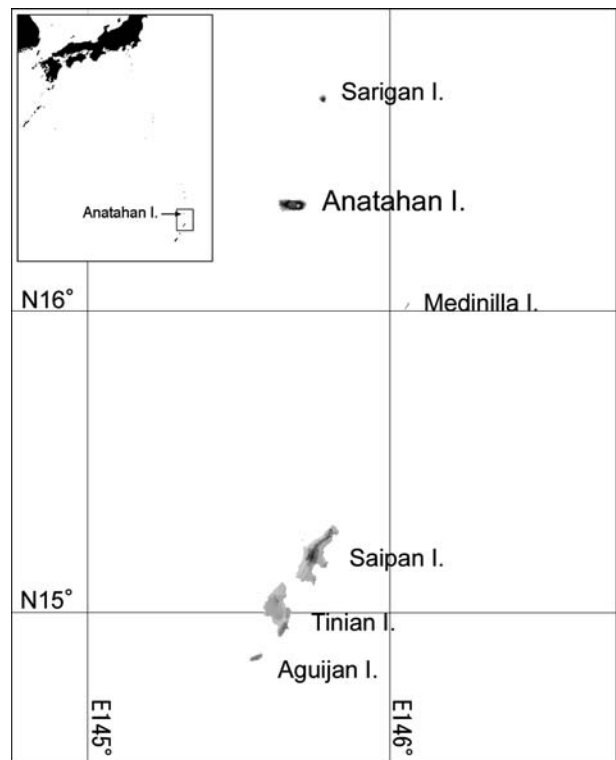


図1. アナタハン島とその周辺の島の位置

火山活動の盛衰ともなう地震活動や震源分布の遷移を掴むため、島内に5点の地震観測点を展開することが計画された。海外の離島での観測であることを考えると年に複数回訪れることは予算・体力ともに厳しく、しかもデータ・機材の回収のため島を訪れるのがいつになるか不確定である。さらに、一連の地震活動を捉えることを目的とする以上、約一年間は連測観測できるシステムの構築を目指すこととなった。検討の結果、

- 1) 約一年間メンテナンスフリーで動作。
- 2) データは現地収録。
- 3) GPSに同期した刻時。

4) 小型・軽量.

の4つが条件として挙げられた.

使用機材

1. 電池

長期観測でまず重要となるのが、電源の確保である。商用電源が利用できれば申し分ないが、当然無人島であるアナタハン島内には商用電源など無い。太陽電池を使用する案もあったが、

1) 火山灰が付着してすぐに発電量が低下する。

2) 台風の通り道に位置するので頑丈な架台が必要だが、組立・据付は少人数の人力で行わなければならない。

3) スリング（荷物を吊り下げた飛行）を断られたため、機材と人員がヘリコプタ（Bell 206B-2 Jet Ranger II, 最大積載重量：690 kg（含人員・燃料））のキャビンと貨物室に収まらなければならない。

という理由のために使用を見合わせた。普段短期間の臨時観測で使用しているディープサイクル鉛蓄電池は容量の割に質量が大きく今回の用には適さない。海底地震計に使用しているリチウム電池を使用する案もあったが、高額になることから電源には空気アルカリ電池を使用することとした。

この電池は大気中の酸素を消費しながら発電する一次電池であるが、鉛蓄電池に比べて容積比で約7倍、質量比で約10倍のエネルギー密度がある。大気中の酸素を消費するので電池を収納する箱には通気孔を開けなければならないが、ロガーさえ防水・防ガス措置を施しておけばよい。

今回使用した空気アルカリ電池はジーエス・ユアサ社製 YAA350-12 で、容量 350Ah、体積 $6 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 、質量 10 kg である。YAA350-12 の諸元を表 1 に示す。

後述するように、収録装置、地震計、DC/DC コンバータの消費電流はそれぞれ 336 mW、84 mW、240 mW であり、全体の消費電力は 660 mW である。空気アルカリ電池の容量、動作電圧がそれぞれ 350 Ah、10.4 V であるから、供給できる電力量は 3,640 Wh となる。単純計算すると 229 日

表 1. 空気アルカリ電池 YAA350-12 の主要諸元

YAA350-12		
開路電圧		12.0 V
作動電圧		10.4 V
容量		350 Ah
寸法	L	171 mm
	W	171 mm
	H	206 mm
質量		10 kg
最大連続負荷		200 mA

※GS・YUASA テクノロジー
特殊電池技術部，2005 より抜粋

間動作可能であるが、記録媒体の容量に余裕がありできるだけ長期間観測したいので、350 Ah の空気アルカリ電池を2台並列にして給電した。

2. 収録装置

大容量の空気アルカリ電池を使用するとはいえ、収録装置の消費電力が大きいのでは長期観測はできない。そこで、低消費電力である計測技研社製 HKS-9500 を採用した。当初は近計システム社製の EDR-X7000 の採用を視野に入れていたが、納期が間に合わないことが分かり、HKS-9500 を採用することにした。HKS-9500 の消費電力は公称 500 mW であるが、地震研での動作試験の結果では 336 mW (28 mA, 12 V) と仕様以上に低消費電力であった。また、長期間連続記録を収録するとなるとデータ量が膨大になるが、容量 32 GB のコンパクトフラッシュでの動作を確認した。今回使用した HKS-9500 はファームウェアで 3ch 入力、24 bit A/D、100 Hz サンプリングに固定されており、WIN フォーマットで収録するので1年以上収録し続けることが可能である。装置の時計は定期的に GPS と同期させることができ、今回は3時間に設定した。HKS-9500 の諸元および設定値を表 2 に示す。

HKS-9500 の背面には接地端子台があるだけで、その他のコネクタ、表示部、ボタンは全て前面に配置されている。今回はオフライン観測であることと収録装置を収納する密閉容器の大きさに制約があったため、背面の接地端子台とゴム足を取り外した。更に、前面の電源、GPS アンテナ、信号ケーブルのコネクタも全て L 型コネクタに変更した(図 2)。

3. 地震計

電池の容量を考慮すると電源不要のムービングコイル型地震計が望ましく、また 1~5 Hz 程度の火山性微動を捉えようとする固有周期 1 秒の速度型地震計を使いたい。こ

表 2. 収録装置 HKS-9500 の主要諸元

HKS-9500		
入力チャンネル		3 チャンネル差動入力
入力レンジ		$\pm 2.5 \text{ V}$
分解能		24 bit
サンプリング周波数		100 Hz
データ形式		WIN 形式
記録媒体		CF カード (32GB) *
時刻校正間隔		3 時間
電源		DC 9~15 V
消費電力		336 mW (28 mA, 12V)
寸法	幅	210 mm
	奥行	230 mm
	高さ	99 mm
質量		2.0 kg

* Transcend 社製 133 倍速 32GB



図 2. 地震研究所内で動作試験中の HKS-9500

表 3. 地震計 LE-3D Lite の主要諸元

LE-3D Lite		
固有周期		1 秒
ダンピング係数		0.707
電圧感度		400 V/m/s
出力		シングルエンド出力
電源		DC 9~16 V
消費電力		84 mW (7 mA@12V)
寸法	直径	95 mm
	高さ	65 mm
質量		1.8 kg

のような場合には Sercel 社製 L-4C を使用するのが常であるが、その大きさと重量のため輸送と設置作業時間に問題がある。今回は、噴出物により埋没して回収不能となったときの損失なども考慮して、Lennartz 社製 LE-3D Lite を使用することにした。地震計の諸元を表 3 に示す。

しかし、ここで一つ問題が生じた。LE-3D Lite の出力はシングルエンドであり、HKS-9500 は差動入力である。地震計と収録装置の電源が独立していればシグナルグランドを収録装置の入力の一方とアナロググランドに接続すればよいが、HKS-9500 のアナロググランドは電源グランドに対して +2.5 V のオフセットがある。そこで、地震計へは絶縁型 DC/DC コンバータを通して給電することにした。機材発送までの時間に余裕がなかったこともあり、入手できたコンバータは自己消費電力が 240 mW (20 mA, 12 V) もあった。地震計自体は 84 mW (7 mA, 12 V) しか消費しないので、その 3 倍近くも DC/DC コンバータで消費することになってしまった。この点には、十分改良の余地が残されている。

4. 収納箱

火山ガス（主に二酸化硫黄と硫化水素）から機器を保護



図 3. 箱に収納された機器。右側に写っている蓋には、GPS アンテナが取り付けられている。

するには密閉できる収納箱が望ましいが、今回使用する空気アルカリ電池は空気中の酸素を消費して発電するために、収納箱には通風孔を開けざるを得ない。そこで、収納箱を二重にして機器を保護することにした。外箱には通風孔を開けて電池のための酸素を取り入れられるようにした道具箱を使用し、内箱には密閉できるプラスチック容器を使用して収録装置と DC/DC コンバータを納めた（図 3）。外箱の側面には 5 つの通風孔を開け、塩化ビニルの L 字継手（内径 13 mm）に目の粗いスポンジの薄片を挿入したものを下向きに取り付けて雨水や虫が侵入しにくいようにした。また、日中の強い日差しで箱内が高温になるのを防ぐために、外箱の蓋の表にはアルミ蒸着したシートを貼り、裏には発泡スチロール板で裏張りをした。

運用中に必要となる大気量は以下の様に求めることができる。電池の反応式は正極側と負極側でそれぞれ



である。1 As あたりの電気量は 1C であり、1F = 9.649 × 10⁴ C であるから 1 Ah あたりの電気量は 3.731 × 10⁻² F となる。前述の反応式より酸素 1 mol の消費で 4F の電気量が取り出せるので、1 Ah あたり 9.328 × 10⁻³ mol の酸素を消費することになる。1.013 × 10⁵ Pa, 300 K の理想気体の体積は 2.46 × 10⁻² m³ であるから、同じ条件下で消費する酸素の体積は 1 Ah あたり 2.295 × 10⁻⁴ m³ (229.5 cm³) である。

観測機器全体の消費電流が 55 mA なので 1 時間あたりの酸素消費量は 12.6 cm³ であり、大気中の酸素濃度は 21 vol% なので 1 時間あたり必要となる大気は 60.1 cm³ となる。かつて森田が手石島で同型の空気アルカリ電池を使用した経験から、通気孔は 5 つで十分だと判断した。

観測点設置

図 4 に設置した観測点の位置を示す。サイパン島からアナ



図 4. 設置した観測点の配置. 大きな○は今回設置した観測点. 小さな○は EMO と USGS の観測点.



図 5. AFOK の設置作業風景



図 6. 設置が完了した ANNE (遠景). 左手にある GPS アンテナ・受信器は繰り返し測量の最中である.

タハン島まではチャーター船で一晩かけて移動し、ANNW 近くの砂浜に上陸した。上陸地点を基点として、サイパン島から飛来したヘリコプタで移動して観測点を設置した。設置は 2 名で行い、作業時間は概ね 1 時間以内であった。ただし、ANNW のみ、EMO 職員 1 名の協力を得て徒歩により設置に行った。観測開始日は AFOK、ANSW、ANNE、ANSE は 2008 年 6 月 25 日、ANNW のみ 2008 年 6 月 26 日である。

地震計は 30~40 cm 埋設し、そこから数 m 離れた場所に収録装置を設置した。台風時などの暴風に耐えるよう、収納箱は 3 分の 1 程度埋設した。GPS アンテナは磁石固定型であったので、外箱に鉄片を接着してそこに設置した。また、外箱には通風孔が開けてあるので、万一通風孔の高さまで浸水しても電池の電極が短絡しないように電池の部分は上げ底にしてある。

観測点設置風景を図 5~9 に示す。



図 7. 設置が完了した ANNE (近景)



図 8. ANSE の設置作業風景

ま と め

陸上で長期間のオフライン地震観測が可能なシステムを、北マリアナ諸島のアナタハン島に5点設置した。低消費電力（336 mW）の収録装置と比較的小型・軽量の350 Ahの空気アルカリ電池を2個組み合わせることにより、少人数・短時間で設置可能な長期間に亘るオフライン観測の実現に一步近付くことができた。地震計あるいはその電源の選択によっては、1台の電池でも1年間の観測が可能になるであろう。とにかく今は、設置した機材が回収の時まで無事に稼働してしてくれる事を、切に願うばかりである。

謝 辞：ANNW の設置作業では、EMO の Joe Fitial 氏



図 9. ANNW の設置作業風景. かつて、ここは集落であった。右の人物は EMO の Joe Fitial 氏。

に協力頂きました。図 1, 4 の作成には、地図画像表示ソフト Kashmir3D を使用しました。図 4 の観測点配置図には Google Earth の空中写真を使用しました。査読者の岩崎貴哉博士と酒井慎一博士には、本稿を改善する上で有益なご指摘を頂きました。ここに記して感謝致します。

文 献

- 株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー特殊電池技術部, 2005, エアアルカリ電池資料, F05K-7536.
- Nakada, S., T. Matsushima, M. Yoshimoto, T. Sugimoto, T. Kato, T. Watanabe, R. Chongd and J.T. Camacho, 2005, Geological aspects of the 2003-2004 eruption of Anatahan Volcano, Northern Mariana Islands, *J. Volc. Geoth. Res.*, **146**, 77-85.