平成 30 年度
地震研究所職員研修会
アブストラクト集

日　程　　平成 31 年 1 月 23 日(水) ～ 25 日(金)

地震研究所研修運営委員会

平成 30 年度東京大学地震研究所職員研修会

先島諸島におけるサンゴ（micro atoll）資料採取

東京大学地震研究所
渡邉篤志，佐伯綾香

はじめに

礁湖内の浅い海域でハマサンゴなどが成長した際に，頂上部分が平らな円形あるいは円環状になることがあり，その形状から micro atoll（微環礁）と呼ばれている．これは，サンゴが海水中でしか生きられないことに因る．海中で成長を始めたサンゴが最低低潮面に達すると，それより上へ成長することができず，横方向へのみ成長を続ける．その結果，頂上が平らな円形のサンゴとなる（図 1）．

micro atoll は，最低低潮面が変化するとそれに応じて成長している部分の高さも変化する．また，夏と冬では成長速度が違うため断面には樹木の年輪のような縞模様が現れ，それを数えることで年代を遡ることができる．ハマサンゴの成長速度は 1 cm/年程度なので，直径 2 m の micro atoll を調べると，過去 100 年間の海面変動を知ることができる．ここから気候変動による変化分を差し引けば，地殻変動による隆起や沈降の履歴が推定できる．

近年，地震研と IPGP との間で micro atoll を用いた共同研究が進められており，2018 年 7 月と 10 月に先島諸島における試料採取に携わることになった．

測量と切り出し

切り出し作業の前に，試料とする micro atoll 高さを測定する（図2）．測定にはトータルステーションを用い，海岸の岩の上に据える．切り出す部分の表面に中心から外縁に向けて 20～30 cm 間隔でネジを打ち，少し離れた外縁にも参照用に１箇所ネジを打つ．これらのネジの高さと汀線の高さを測定して試料の高さを求める．安全のために，汀線は時間を空けて繰り返し測定する．また，試料を切り出す群体や周辺に分布する群体の中心と外縁の複数箇所で高さを測定する．これは，目標の群体が傾いていないことと，付近の代表として不適格ではないことを確認するためである．周辺群体の測量は，試料の切り出しと並行して時間の許す限り行われた．

ネジの測量が済むと，切り出し作業に取り掛かる．作業は水中で行われるので，油圧チェーンソーを使用する．ダイヤモンドチェーンを装着しているので，刃物というより砥石に近い工具である．ガソリンエンジン駆動の油圧ユニットを載せたゴムボートを近くに係留し，油圧ホースでチェーンソーと繋いで使用する．作業の最初に，外縁から中心へ向けた浅い溝を約 10 cm の間隔で刻み込む．次に，中心側からチェーンソーの刃長（25 in）一杯まで鉛直もしくは僅かに内側へ切り込む（図 3）．ほぼ水平に溝に刃を入れて切り始め，徐々にチェーンソーを持ち上げて角度をつけていくと，やがてチェーンソーの自重で沈んでいくようになる．切削中は海水が白濁して何も見えなくなるので，何度も中断して切り進む方向などを確認する．砂が巻き上がってくるとサンゴの厚さを切り抜いたサインなので，それ以上深く切り進めなくてよい．切り込んでは一歩下がるのを繰り返して外縁を目指し，左右とも最後の 10 cm 程度を残しておく． これは，オーバーハングしたサンプルの両側を切り離して途中で折れてしまうことを防ぐためである．左右を切り終えたら，チェーンソーをほぼ垂直に立てて，中心の繋がっている部分を切り離す． 最後に切り残してお

いた外縁部を切り離すと，切り出し作業は終了である．チェーンソーで切った溝にバールを差し込んでこじると，骨折に似た鈍い音が響いて試料が離れる．しかし，実際の作業は非常に難航し，切り残し箇所を探しながら何度もチェーンソーを入れることになる．取り出した試料は複数の欠片に別れていることが多いので，その場で復元して番号を書き，ゴムボートに乗せて海岸まで運ぶ．陸揚げ後，可能な限り欠片を繋ぎ合わせて接合部分に符号を付け（図4），車に積んで宿泊先へ持ち帰る．

調査旅行

7 月の調査は，波照間島，石垣島，西表島で採取を行った．チェーンソーの操作は主にIPGP の技術者である Saurel 氏が行い，全くの初心者である我々にチェーンソーや油圧ユニットの扱い方や注意点，サンゴの切り方を教えてもらった．台風 8 号と 10 号の襲来や，切り出した試料が非常に重く（推定 180 kg）持ち上がらないなどのハプニングもあったが，予定通り 7 箇所で試料を採取した．

10 月の調査は，宮古島で採取を行った．Saurel 氏が不参加であったため，我々がチェーンソーを振るって何とか 3 箇所で 4 つの試料を採取した．1 箇所目の新城海岸では，不慣れと高潮位のために，試料を得るのに 4 日を費やした．2 箇所目からはコツがわかり初めて 1 日で採取できるようになったが，Saurel 氏のように真っ直ぐ切ることは叶わなかった．

本発表では，主に宮古島での試料採取の様子を紹介する．

図 1　micro atoll（直径約 4.5 m）

図 2　測量風景

図 3　切り出しの様子

図 4　砂浜での復元作業

MEMS 加速度計の強震観測への利用可能性に関する調査

松浦　侑[1]、島﨑 郁弥[1]、石川　聡[1]、飯沼　智宣[1]、中川　茂樹[1,2]、相澤　幸治[1]
1：気象庁地震火山部管理課　2：現・東京大学地震研究所地震火山情報センター

1.　はじめに

近年、MEMS 加速度計の高性能化が進み、ダイナミックレンジや自己ノイズ等がサーボ型加速度計と同等の製品も開発されている。MEMS 加速度計はサーボ型加速度計に比べて小型、省電力であり、単体価格が安価であることも相まって、強震観測網の整備や維持コストの低減につながることが期待される。MEMS 加速度計の強震観測への利用可能性について調査を行うため、自然地震観測及び振動台試験により、サーボ型加速度計との波形や計測震度の比較による評価を行った。

2.　調査に使用した MEMS 加速度計

本調査で使用した MEMS 加速度計の主なカタログ値を表１に示す。カタログ値が示すダイナミックレンジ、自己ノイズ等は気象庁が観測点に整備しているサーボ型加速度計とほぼ同等の性能を有している。

表１　調査で使用した MEMS 加速度計の主なカタログ値

感度	2.0 ±5% V/(m/s²)　以内
計測範囲	X,Y 軸：±19.6 m/s² 以上 Z 軸：-9.8～＋29.4 m/s²
バイアス温度係数	±1961 μ(m/s²)/℃ 以内
自己ノイズ	9.8×10^{-6} (m/s²)rms/√Hz 以下

3.　自然地震観測による比較

気象庁津波地震早期検知網東京観測点において、１台の MEMS 加速度計をサーボ型加速度計と同一の地震計台上に設置し、約半年間の連続観測を行った（図１）。

期間中、震度３を観測した地震では、サーボ型加速度計とほぼ同一の計測震度が得られた。また、P 波部分を拡大すると、立ち上がりからほぼ同一の波形形状となっている（図２）。さらに、期間中に得られたノイズレベルや波形形状、ランニングスペクトル等を比較した結果、サーボ型加速度計と有意な差は認められなかった。加えて、約半年の観測において連続して波形データを収録することができた。

図　１　津波地震早期検知網東京観測点における MEMS 加速度計の設置状況。

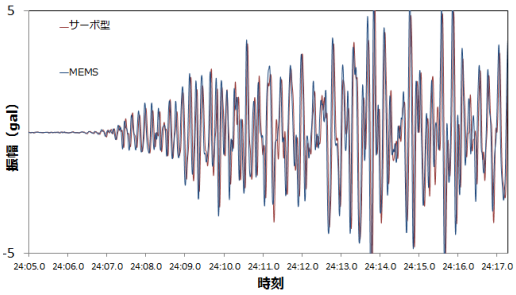

図　２　東京観測点において観測された 2018/07/07 23:23 に発生した千葉県東方沖 M6.0 の地震波形（P 波部分、NS 成分）

4.　振動台試験による比較

自然地震観測では、最大震度 3 までしか比較できなかったため、ダイナミックレンジの比較を行うため振動台による試験を行った（図３）。振動台は気象庁の震度計検定装置を用いた。震度検定装置では、３軸同時振動に

より正弦波や自然地震の加速度データを用いて震度１未満から震度７相当の揺れまで加振することが出来る。試験では震度検定装置に２個の MEMS 加速度計を設置し、加振には、震度計検定に用いる正弦波（34 パターン、周期 0.1 秒～2 秒）、自然地震の加速度データ（4 事例）を用いた。サーボ型加速度計を同振動台上に設置し比較した。

震度６弱の自然地震の波形による比較を図４に示す。MEMS 加速度計とサーボ型加速度計の波形はよく一致している。また、2 台の MEMS の波形はほぼ重なっており、同一機種間の個体差は認められなかった。

検定波形による MEMS 加速度計の計測震度について、サーボ型加速度計との比較を図５に示す。サーボ型加速度計との差は±0.1 以下であり、気象庁の震度計検定の合格基準を満たす。また、震度の大小による計測震度差の違いは認められなかった。

5. おわりに

今回調査した MEMS 加速度計は、自然地震観測および振動台試験でのサーボ型加速度計との比較から、波形や周期 0.1 秒～2 秒における計測震度については、強震観測に利用可能な性能を有することが確認できた。一方、気象庁では観測網の加速度波形データを用いて周期８秒までを対象周期とした長周期地震動に関する情報を試行しているため、周期 2 秒以上の長周期成分における特性についても評価する必要がある。このため、静穏環境における自己ノイズの比較調査等を進める予定である。また、自己ノイズ等が異なる複数の MEMS 加速度計の比較を行うとともに、屋外における観測の安定性、耐障害性の評価など、MEMS 加速度計の強震観測への利用可能性に関し、更なる調査を進めていきたい。

6. 謝辞

振動台試験の実施にあたっては、東京大学地震研究所観測開発基盤センター准教授の酒井様、技術部・総合観測室の西本様、藤田様に多大なご助言、ご協力を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

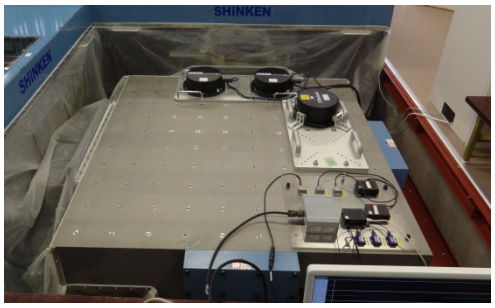

図３　震度計検定装置における試験の様子。手前の治具上に MEMS 加速度計を設置した。

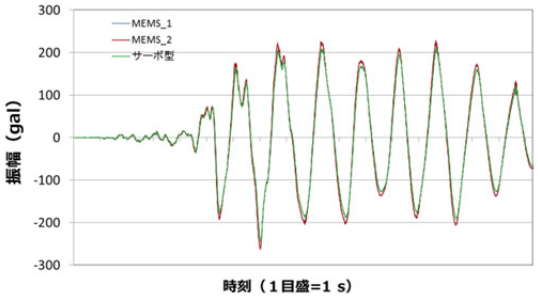

図 4　平成 16 年 10 月 23 日 18 時 34 分の新潟県中越地方の地震による南魚沼市六日町（震度 6 弱）の波形の MEMS 加速度計とサーボ型加速度計の比較（EW 成分）。

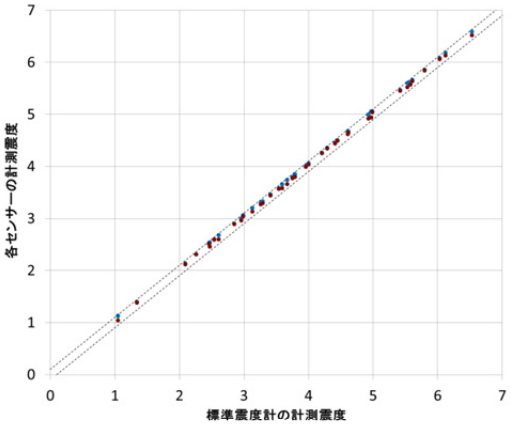

図 5　検定波形を加震した際のサーボ型加速度計と MEMS 加速度計による計測震度の比較。MEMS 加加速度計による計測震度は同一機種の２個のセンサのデータをプロットしている。点線は計測震度差が±0.1 の範囲。

桜島火山における火山灰連続観測の整備

○園田 忠臣 A)・井口 正人 B)・竹中 悠亮 A)・瀧下 恒星 C)
京都大学防災研究所技術室 A)・京都大学防災研究所火山活動研究センター B)・
京都大学大学院理学研究科 C)

はじめに

1955 年以降，鹿児島地方気象台では同気象台における桜島の降灰量を測定してきており，また，鹿児島県においても 1978 年以降，桜島周辺 58 か所（現在は 63 か所）において桜島の降灰量調査を実施している．その調査方法は，各観測点においてドラム缶等により火山灰を採取し，月毎，10 日毎，日毎に手作業により集計するものである．このような手作業による降灰量の観測では即時的に火山灰量を把握できない．一方，国土交通省は桜島島内に自動降灰量計を設置し，オンラインで降灰量を把握できるシステムを構築している．しかし，この自動降灰量計は感度が低く，現在，桜島において発生する小規模噴火では，個々の噴火に対して降灰量を測定することは困難である．

京都大学防災研究所火山活動研究センターでは，文部科学省が委託する次世代火山研究・人材育成プロジェクトのサブテーマ「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」において降灰予測技術の確立に向けて研究を進めている．本研究は，地震計，傾斜計，伸縮計などの観測機器のデータから火山灰噴出速度を噴火直後に定量化する，あるいは事前に評価したうえで，複雑な火山地形を考慮した火山周辺の風向風速等の気象場を再現して，火山周辺の降灰量を即時的に予測するものである．予測量は地上における観測降灰量によってはじめてその妥当性を確立できるので，降灰量観測システムを構築することは極めて重要である．このプロジェクト研究では，個々の小規模噴火であっても降灰量を把握できるように，降雨等の気象観測に用いられていたディスドロメータ（Parsivel2）を使用して[1]（井口・他　2017），火山灰連続観測を 2017 年より開始したので，その観測システムについて報告する．

ディスドロメータ（Parsivel2）について

ディスドロメータ（Parsivel2）は，降雨，降雪，ひょう，霰などの気象観測に使用されているもので，これらの粒子の粒径と落下速度をレーザー光により測定し，粒径と落下速度をそれぞれ 32 のクラスに分別し，単位時間当たりの粒子数を計測するセンサーである．また，径 0.2mm 以上の粒子を感知することができるので，桜島の噴火に伴う降灰を感知することが可能である[1]（井口・他　2017）．そして，降水の粒径測定だけでなく，降水種類の判定，天気コードの出力など幅広い範囲での応用を可能としている．更に，PC と通信網を接続することにより，テレメータが可能であり，リアルタイムに観測状況を把握することができる．また，サンプリング間隔は最短で 10 秒であるが，今回は 1 分毎にデータ取得するようにした．

設置位置の考察

通常，桜島の噴火が発生したときに，その時の桜島上空の風向きにより噴煙の流れる方向が決まってくるが，おおよそは，季節により流れる方向が決まっている．例えば，夏季は南からの暖かい風が流れてくるので，南風になり，噴煙は北側へ流れることが多い．また冬季は逆に北風になるので，噴煙は南側に流れることが多くなる．また，雨が降る前は東風になり，西側の鹿児島市内向きへ流れることが多くなる．

ところが，これらが当てはまるパターンは，ある程

度の風速がある場合であり，時には桜島上空の風が非常に弱い場合は，こうはいかない．その場合は，噴火後上空に噴煙がゆっくりと漂っていて，やがていずれかの方向へ流れていく場合もあれば，そのまま落ちてくる場合もある．また，一旦いずれかの方向へ流れた噴煙が途中から向きを変えて，全く違う方向へ流れることもある．そして，天候が悪い時は，桜島山頂付近は厚い雲や霧に覆われて，噴火が起きたとしても目視での噴煙方向を知ることができなくなる．

そのようなことから，いつ，どちらの方向へ噴煙が流れるのか？非常に判断が難しい場合もあるので，桜島を取り囲むように，観測機器を設置するようにした．また，こういったことからも，風向・風速の観測と高精細の風予測を行うことが，降灰予測観測の重要な部分となっている[1]（井口・他　2017）．

設置機材について

今回選定した観測点のうち，地震等の定常観測点では，商用電源を使用した．定常観測点ではない新設点では，ソーラーパネルとバッテリーで，電源確保をするようにした．また，Parsivel2 で測定されたデータをリアルタイムに把握できるように，定常観測点では，既設のテレメータにより伝送し，それ以外の場所については，携帯電話通信を使用した．その場合の基本的な機器構成は，下記の通りである（表 1）．

ここで問題となるのは，太陽光発電の設計である．太陽光発電を効率的に行うためには，降灰のような発電を阻害する現象は避けたいところであるが本観測が降灰観測を目的としている以上，降灰を避けることはできない．一方，降灰による発電量の低下の事前評価は困難であるので，設置当初は，ソーラーパネル 2 枚（188 W），バッテリー2 個（120Ah）とした．消費電力は最大で 0.65A であるので，無日照保障は 7.6 日とした．

問題点と改善点

ソーラーパネルで電源供給をする観測点の一部において，大量の降灰がある場合には，ソーラーパネルの発電量が低下し，給電が停止した．そこで，ソーラーパネルとバッテリーの数量を 2 倍にした．現在の桜島の降灰量では，その後，電力の低下は発生しておらず，一定の効果があったと評価できる．また，Parsivel2 は電源電圧をロギングする機能もあるので，これをモニタリングすることにより，桜島の降灰があった場合，観測点に行きソーラーパネルを清掃するようにした．現地に行くことにより，火山灰を採取でき，Parsivel2 での観測量と比較をすることができ，一石二鳥の作業となる．

参考文献

[1] 井口正人・園田忠臣・竹中悠亮・味喜大介（2017）：Parsivel を用いた火山灰連続観測，日本火山学会 2017 年秋季大会講演予稿集，B3－14．

謝辞

京都大学防災研究所火山活動研究センターの井口正人教授には，本稿を改善するうえで大変有益な査読意見を頂き，ご指導くださいました．ここに記して感謝申し上げます．

	観測機器	用途
ディストロメータ	ドイツ OTT 社製　Parsivel2	降灰観測
モバイルパソコン	neousys-tech　POC-120	データ収録
モバイルルーター	センチュリーシステムズ　AS-250/F-KO	テレメータ
チャージコントローラー	未来舎　PV-1212D1A	充電整流コントロール
ソーラーパネル	SHARP 製　NT-94TC　（94W）	太陽光発電
バッテリー	ニスコ製　CF-12V60SDC　（60Ah）	充電

表 1．基本的な機器構成

御嶽山火口域での地震観測を目的としたテレメータ装置の開発と運用試験
ー その2:年間運用状況について ー

○堀川信一郎、奥田隆、國友孝洋、田ノ上和志、前田裕太、市原寛、伊藤武男、山中佳子、寺川寿子
（名古屋大学 地震火山研究センター）

【はじめに】

2017年度秋までに御嶽山火口域での通年地震観測を目的とした小型軽量地震テレメータ観測装置（計測技研 HKS-9710N)の開発と、御嶽山での設置方法や運用技術の確立を目的とした実地運用試験を開始した[1]。今回は現時点まで約１年間の試験運用での状況について報告する。

試験地配置、地点名および運用状況等を表１にまとめた。

表１．試験地配置と各試験地の情報（試験地名、標高、3G通信状態、使用機材セット、運用状況）

	試験地名	標高(m)	3G	ｾｯﾄ	運用状況（赤字は発生した不具合）
1	Peak2812	2812	弱	A	
2	ｱﾙﾏﾔ天	2890	弱	A	18/09/02 ｹｰﾌﾞﾙ交換･ｶﾊﾞｰ設置
3	石室山荘	2817	良	A	18/09/02 ｹｰﾌﾞﾙ交換･ｶﾊﾞｰ設置
4	一ノ池	3042	稀	B	設置時3G故障 **ｵﾌﾗｲﾝ運用** 18/07/09 ロガー部交換 18/10/09 外部電源追加・吊下設置
5	剣ヶ峰	2991	稀	B	設置時3G圏外 **ｵﾌﾗｲﾝ運用** 17/12/12 記録停止 18/06/08 ロガー部交換 （地震計土砂に埋まる） 18/08/27 CF回収,外部電源追加 移設見送り
6	王滝頂上	2930	良	A	18/04/09 記録停止 18/06/08 起動 18/09/06 通信停止(ﾌｧｰﾑｳｪｱﾊﾞｸﾞ) 18/09/27 ｹｰﾌﾞﾙ交換･ｶﾊﾞｰ設置･ﾊﾟﾈﾙ移動
7	日の門	2937	良	A	18/02/09-18 外部電源停止 18/04/13-05/02 外部電源停止 18/09/27 ｹｰﾌﾞﾙ交換･ｶﾊﾞｰ設置･ﾊﾟﾈﾙ移動
8	奥の院	2930	良	A	18/09/27 ｹｰﾌﾞﾙ交換･ｶﾊﾞｰ設置･ﾊﾟﾈﾙ移動
9	大のぞき	2838	良	A	18/11/08より運用(９合目から移設)
10	富士見石	2668	良	A	18/11/08より運用(一口水から移設)
a	９合目	2830	良	A	18/03/05 記録停止 18/06/08 起動 18/11/08 移設
b	一口水	2748	良	A	17/12/06 記録停止 18/06/08 起動 18/11/08 移設

【機材概要】

HKS-9700をベースとしたHKS-9710Nは、3G通信モジュール、内蔵ニッケル水素電池(12V11Ah)及びその充放電回路で構成される。1時間毎の間欠送信での平均消費電力は0.2W以下で、データはFTPSにより学内サーバに送信される。各観測点の観測セットには、地震計にLennartz Le-3D を使用したもの(Aセット)、Sercel L-4C-3Dを使用したもの（Bセット）を用意した。両セットでは10W×２のソーラーパネル（以降、パネル）を使用している。Aセットでは１枚を外部電源である鉛バッテリ(12V7.2A）に接続し地震計とロガーへの電源供給を担う。もう１枚は内蔵電池の充電に使用し地震計への電源供給は行わない。ここでは詳細を省略するが、これには試験運用としての理由がある。Bセットは外部電源を使用せず、２枚並列にしたパネルで内蔵電池を充電する。

【設置当初からの課題】

環境配慮・設置作業の軽減は公園内、山岳域である本試験地では強く求められる要素である。ロガー部の養生はアースカラーの防草シート（耐候性強化ポリプロピレン）を袋状に縫製して利用した（図1-a）。防水・防塵性はないので内側にビニール袋を使用している。軽量で使い勝手もよいが、耐候性は２シーズンが限界と思われる。

試験地には太陽光発電による電力確保のため、積雪しにくい強風域を選んでいる。2017年秋の設置時には作業時間の制約から地震計の風防対策は不完全であった。このため本年度は地震計カバーの使用、L字コネクタを使用したケーブルへの交換を進めた（図1-b）。

3G通信ができなかった一ノ池では雪解け後にロガー部を交換した。しかし、人がいる起動時の通信は確立するが、退去後は接続できない状態が続いた。火口西側では他に代わる候補地がないことから継続を決め、ロガー部（3Gアンテナ内蔵）を地表から離し、岩への吊り下げ設置にすることで電波状態の改善を試みた（図1-c）。現在、一週間に一度程度の接続があるため発電（電源電圧）状況などのモニタが可能になった。

剣ヶ峰は3G弱電波地帯で設置時から通信ができない状態が続いていた。冬期運用では年超しもできず、12月中旬には電力を失い停止した。これは11月中旬から悪条件（悪天・着雪・低温等）が3週間続いたことによる発電不足が原因であった。移設を予定したが手続きが遅れたため、外部電源の増設のみ行った。運良く、稀に通信が確立するようになり発電状況がモニタできている。

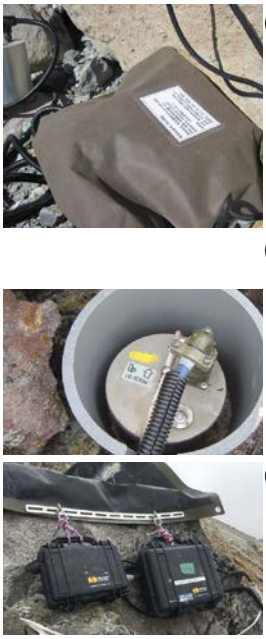

図1. a)防草シートを利用したテレメータ装置の養生. b)L字コネクタ、塩ビ管地震計カバー. c)吊下接地による電波状態の改善

【試験の経過と現況】

2017年の冬期は低温ではあったが積雪は比較的少なく雪解けも早く太陽光発電には好条件であったと思われるが、約半分の試験地で観測が停止する結果となった。雪解け後の現地調査で、各地ともに積雪による発電不足での停止であり、ハードウエア自体のトラブルではないことが分かった。また全地点において積雪・融雪による機器の移動や破損もなかった。冬期の保守はできないため、山麓からの遠望により試験地での積雪状況の把握や、移設候補地の選定・確認に努めた。以上の結果から剣ヶ峰、９合目、一口水の３点の移設を決定し（剣ヶ峰については上述の通り未着手）、王滝頂上、日の門、奥の院の３点ではパネル位置の変更をした。

夏期のトラブルとしては、日照による機材の温度上昇での故障、紫外線による劣化、落雷被害、台風被害、大雨被害、人・動物のいたずら、などが考えられる。今シーズンは特に、西日本豪雨、大型台風の通過で心配が絶えなかったが、剣ヶ峰での豪雨よる土砂でセンサーの埋没、パネル割れ（機能維持）、一の池でのパネル割れ（機能維持）と運に恵まれた面があるかもしれないが軽微であった。

夏期にファームウエアの更新を２回行った。通信環境にある装置はサーバから修正版をダウンロードし自動的にアップデートされる。オフラインの装置は保守時に最寄りの通信圏まで運びアップデートを行った。このアップデートにより弱電波域での動作が改良された。

取得した地震波形からは、これまで検知できなかった御嶽山の火山活動を捉え始めている[2]。運用試験と機器改良を継続し、御嶽山における観測スタイルの確立と本運用を目指したい。

（謝辞）石室山荘・向井修一氏、王滝村、木曽町、下呂市の各自治体には山頂作業にかかる様々な便宜を図って頂いた。この場を借りて心から謝意を表します。

参考文献

1) 堀川信一郎ほか, 御嶽山火口域での地震観測を目的としたテレメータ装置の開発と運用試験, H29 年度地震研究所職員研修会予稿集 P31

2) 前田裕太ほか, 山頂観測試験により得られた御嶽山 2017 年秋の地震活動の特徴, 日本地球惑星科学連 2018 年大会 (SVC41-P21)

機動観測支援機器「レナーツテスター」の開発と配備

○田中 伸一（東京大学地震研究所）

はじめに

Lennartz electronic 社製の LE-3Dlite MkII / MkIII（以降，レナーツとする)は，固有周波数 1 Hz の 3 成分速度型地震計である．レナーツは小型で省電力であるため，臨時に稠密な地震観測を実施する場合によく用いられる

臨時地震観測，とりわけ緊急を要する余震観測などでは，事前準備として，機材の動作確認，工具や消耗品の用意，移動ルートの下調べや宿泊の手配に加えて，安全やライフラインに関する情報も収集する必要がある．現場においては，迅速かつ確実に観測を実施する必要がある．また，良い観測データを得るために，なるべくバックグラウンドノイズが低そうな場所，地盤のよさそうな場所を選ぶ．設置可能場所が見つかったらその土地/建屋の管理者と交渉し，設置許可を取る．その後，なるべく短期間に地震計を設置する．これらを繰り返して余震観測網を構築する．

このように，臨時地震観測を行う際には，観測準備から観測開始まで，多くの作業があり，現場での作業を少しでも簡便にする努力は極めて重要である．

そこで，臨時機動地震観測の作業のうち，重要であり時間のかかる「レナーツの動作状態確認」,「バックグラウンドノイズレベルの把握」,「観測点間の車両等での移動」に注目し，それらを迅速かつ簡便に実施できる機動地震観測支援機器「レナーツテスター」を開発した．

レナーツテスターの概要と構成

レナーツの電子回路には「CAL (calibration)」機能が備わっている．これは，Weight lift 法を擬似的にシミュレーションする方法であり、ムービングコイルに既知の電圧を与えてコイルを動かしている．正常なレナーツの CAL 機能を作動させると，規定の振幅の波形（CAL 波形）が出力される．しかし，CAL 波形が出力されなかったり，CAL 波形の振幅が小さかった場合は，そのレナーツは異常と判定できる．

レナーツテスターは，レナーツの CAL 機能を素早く動作させるテスターケーブル，レナーツの波形を取得するテスターBOX，波形を表示するタブレット PC で構成される．

テスターケーブルは，既存のレナーツ用センサーケーブルに,CAL 機能を素早く作動させるためのコールボタンを追加した．

テスターBOX は,可搬型の防滴ケースの中に，白山工業製のロガー「LS-7000XT」，無線 LAN ルーター，乾電池 BOX を収め，簡単に持ち運びできるようにした.テスターBOX の電源の ON/OFF を素早くおこなうため，ミサイルスイッチを防滴ケースに取り付けた．また,テスターケーブルとテスターBOX の接続を簡便にするために，ワンタッチで着脱可能な防水コネクター選択した．

テスターBOX 内の LS-7000XT から出力された WIN パケットは無線 LAN ルーターを通してタブレット PC（Renovo 社製 Yoga Tablet 2 with Windows 8.1）に送信される．タブレット PC には，白山工業製の WIN 形式データビューア Winchkg をインストールし，レナーツからの出力値（ V ）を表示させた．

レナーツテスターは，およそ 1 分程度で起動し，レナーツの動作テストを開始する

ことができ,CAL 機能を用いた波形チェックも 1 分程度で終わるため，迅速かつ簡便である．

図． 左からレナーツ，テスターケーブル，テスターBOX，タブレット PC.

ノイズ調査への応用

レナーツテスターは，レナーツを迅速に動作確認するために開発したが，そのスタイルは，小型の機動地震観測装置そのものである. 従って, レナーツテスターとレナーツを組み合わせることで，リアルタイムで地動を確認できる．タブレット PC にインストールした Winchkg には, 取得した波形を FFT 解析してグラフ化できる機能があり，これを用いることで，現場にて 1，2 分程度バックグラウンドノイズを観測することにより，迅速かつ定量的にノイズレベルを把握することができる．

タブレット PC をナビとして使う

レナーツテスターのタブレット PC には，GPS 信号を受信して位置情報を取得する機能（GPS 測位）が内蔵されている．

そこで，タブレット PC に昭文社製地図ソフト「スーパーマップル・デジタル 16」をインストールすることにした．スーパーマップルは，GPS 測位情報を地図上に表示させることができるため，自分が今どこにいるか，どの方向に移動しているかを迅速に把握することができる. また, 地形や建物の密集具合などをある程度把握できるので, 臨時地震観測の事前の検討にも有用である．

まとめと今後の課題

レナーツテスターは，既存のロガーや市販の無線ルーター，タブレット PC を組み合わせて開発したため，簡単に持ち運びができる程度に小型化でき，かつ製作費は民生品の購入のみであったため，コストパフォーマンスが高かった. 現在では, レナーツテスターを 3 セット製作し，持ち運びに便利なキャリングケースに収め，いつでも持ち出し可能な状態で配備している. 今後は, 緊急地震観測や臨時地震観測の際にレナーツテスターを使うことで，観測者の作業効率があがり，現場での負担を軽減できるであろう．

一方で, ハードウェア面においては, ロガーや無線モデム，筐体などをより小さくすることで，さらに小型化する余地を残している. また，ソフトウェア面においても，波形描写をよりよくしたり，ノイズレベルを評価しやすくするために RMS やランニングスペクトルを図示できたりすると便利である．レナーツテスターのさらなる開発には, 予算とアイデアが必要であるが, 機動地震観測においても，小型化，省電力化，迅速化が求められており，課題の進むべき方向性はレナーツテスターと同じである．より利便性の高い機動地震観測装置やその支援機器を作る努力が必要であろう．

釜石沖繰り返し地震の震源直上における浅海底地震観測の試み

#鈴木秀市[1]，佐藤真樹子[1]，東龍介[1]，内田直希[1]，日野亮太[1]，　河野俊夫[1]
篠原雅尚[2]，　八木健夫[2]
1: 東北大学理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター　2: 東京大学地震研究所

はじめに

沈み込み帯のプレート境界でのゆっくりすべり（非地震性すべり）や繰り返し地震の活動は巨大地震の発生過程の理解に繋がる現象の一つで，東北日本や南海トラフで研究が進められている．繰り返し地震は，プレート境界の固着域に周囲のゆっくりすべりに伴い応力が集中し，最終的に地震としてすべるという過程を繰り返すことにより生じていると考えられている．このような比較的単純なモデルで説明できる地震群を解析することにより，より複雑な一般の地震の規模や発生時期を決める要因を明らかにできる可能性がある．

岩手県釜石沖の地震群では，M5 程度の地震が繰り返し起きている．それらは深さ約 45km のプレート境界面にあり，約 1km 程度のすべり域が繰り返しすべることにより生じている（図 1）．

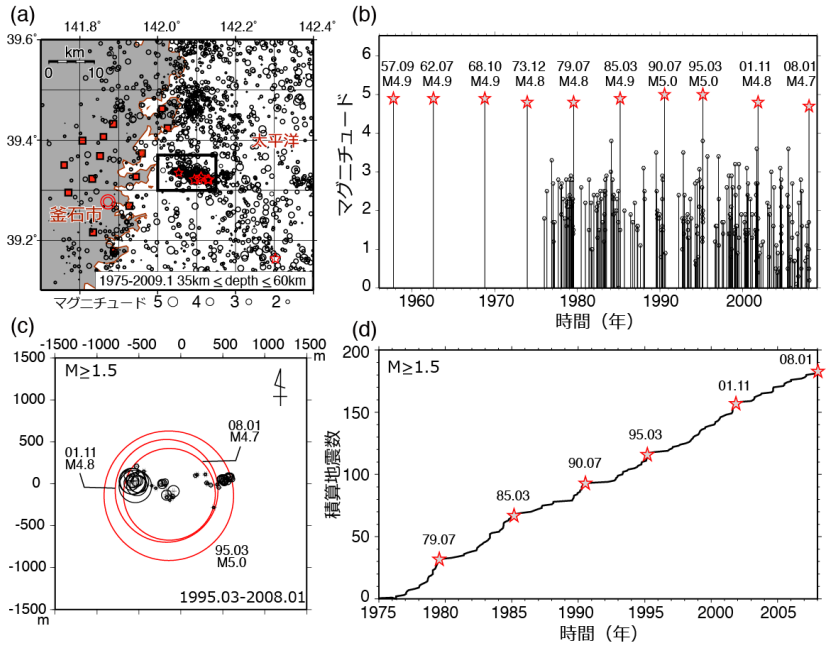

図 1．岩手県釜石沖の地震活動．赤星は M5 前後の釜石沖地震．(b-d) a の黒枠内において発生した地震の M-T 図(b)，波形相関を用いたダブル・ディファレンス法で震源再決定した，1995 年から 2008 年に発生した繰り返し地震のすべり域（赤丸）の分布(c)，積算地震発生数(d)．図 a の赤四角は，2017 年から稼働中の陸上臨時観測網．なお，図 b で 1975 年以前の微小地震はプロットされていない．（Uchida et al., 2018 を改変）

研究計画の概要

本研究では，2018年夏以降に発生が予測される釜石沖繰り返し地震の観測を目的とし，震源直上に小型の低感度地震計を設置し，繰り返し地震本震および前後の微小地震活動の観測を試みた(図2)．震源直上は浅海域にあたり，漁業が盛んな海域のため，漁業者の協力を得て，観測機材と漁具が共存できる観測システムを製作した．

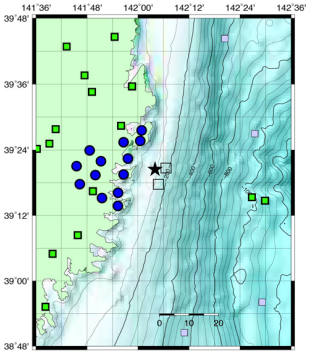

図 2．観測点配置図
●オフライン臨時観測 13 点，□海底地震観測 2 点

浅海底地震観測に向けて

漁場での観測のため通常の海底地震計では錘などが海底の漁具と干渉して不具合を生じる可能性がある．そこで，カゴ漁を営んで

いる漁業者と地震計の設置・回収方法，設置位置，設置期間など観測方法について意見交換し，カゴ漁と同様の係留式を採用することとした．観測装置は，潮流による振動が地震計に伝わらないよう，縦綱の長さやロープ径，アンカーの個数・形状・配置・間隔に配慮した（図3）．また，長期観測を見越して，係留装置の目印となるボンデンが行方不明となっても回収不能とならないよう，砂袋を数カ所取付け，海底で浮きロープがアーチ形状を成し回収フックがかかり易くなるような細工を施した（図3）．地震計本体の耐圧容器は，設置時に人力で投入可能とするため総重量25kg以下で設計した．また，海底で地面とのカップリングが向上するよう，回転防止板を取付けた．船上での通信や電池の交換作業等の省力化のため，耐圧容器の蓋をOリングで止水し，ボルト留めの構造とした（図4）．

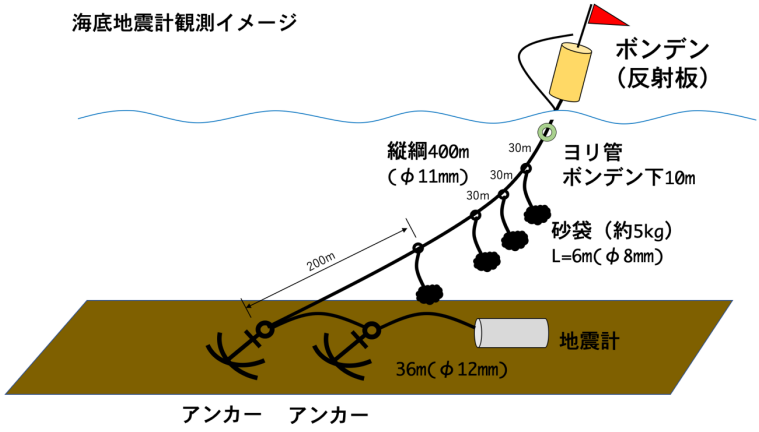

図3．観測システム概略図

図4．海底地震計

観測装置

センサーは高分解能と安定性を有する航空電子㈱のJA-5 TYPEⅢサーボ加速度計を採用し３軸ブロックに取付け，耐圧容器の蓋底に固定した（図5）．データレコーダは，㈱白山工業のDATAMARK LS-9100を使用した．また，装置の簡素化のため、密封した状態での耐圧容器内装置への通信に必要なケーブルポートを設けなかった．センサーおよびレコーダーの電源は半年観測仕様とした．

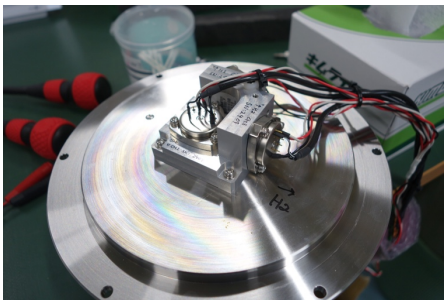

図 5．加速度センサー

観測装置の設置・回収作業

2018年5月に地震計を2ヶ所に設置した．2018年10月に回収を試みたところ，目印のボンデンの亡失のため回収作業に困難が予想されたが，無事回収できた．回収機材は浸水痕もなく，外観上も特に問題はなかった．船上で容器を開封し，センサー感度を観測点直下で発生した地震（2018/06/26-20:03, Mjma 4.4）の波形記録の振幅値から確認したのち，電池を交換して再設置した．次回は，2019年5月に回収予定である．

途中結果，今後の展開

本研究は日本で数少ない，特定の地震をターゲットとした待ち受け観測である．あらかじめ地震の場所や大きさを想定できるため，それに合わせて観測場所や波形の収録倍率を最適化することができた．

回収前に本震が起きる事を待つとともに，今後も地震研究の発展に貢献できるように努めたい．

ネパールにおけるオンライン地震観測網の構築

東京大学地震研究所技術部総合観測室
宮川幸治

はじめに

ネパールでは、2015 年 4 月 25 日にゴルカ地方で Mw7.8（USGS）の地震が発生（図 1 の星印）し、首都カトマンズを含む広い地域に大きな被害をもたらした。本地震はユーラシアプレートとインドプレートの衝突帯で発生したが、震源域の東側や西側、南側には地震空白域が依然として存在している。

このような地震発生ポテンシャルを受けて、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「ネパールヒマラヤ巨大地震とその災害軽減の総合研究」が、2016 年度から 5 年計画で始まった。ネパール側研究機関は DMG（Department of Mines and Geology ; 産業省鉱物地質局）である。日本側はさまざまな組織の研究者が参画しているが、地震研究所の纐纈教授が研究代表者を務めている。

本プログラムは 5 つのグループから構成され、技術部総合観測室では 2017 年度からグループ 4（G4）「地震観測システム」の技術支援を行っている。

2017 年度の職員研修では、2017 年 11 月に初設置した PUTL 観測点の報告をしたが、その後 2018 年 3 月・5 月・10 月の 3 度の追加訪問により、全 8 点による観測網の構築を完了させたのでその報告をする。

G4「地震観測システム」の概要

G4 は日本人研究者と DMG メンバーの約 10 名で構成される。主な目的は以下の 3 点であり、技術部総合観測室は主に 1.と 3.の技術支援をしている。

1. 中央ヒマラヤ地震空白域に、ソーラー給電のモバイル回線によるオンライン地震観測点を 8 点構築し、観測データを首都カトマンズの DMG オフィスに準リアルタイム送信する。地震計は速度計と加速度計を併設し、速度計は 4 点が短周期地震計（Sercel L-4C-3D）、4 点が広帯域地震計（Guralp CMG-3T）である。
2. 観測データから地震の震源とマグニチュードを自動決定し、有感地震が発生した際は自動決定された震源パラメータを Web 公開する。
3. 観測システムや自動処理の技術移転を行う。

図 1：ネパール国内のオンライン地震観測点マップ。赤星はゴルカ地震の震源

図 1 に、DMG のオンライン地震観測網と、G4 の新設 8 点の位置を示す。G4 観測網の観測点間隔は 50～80km であり、平野が広がる南側に短周期地震計 4 点を、山地内に位置する事で地盤が相対的に良くなる北側に広帯域地震計 4 点を設置した。セキュリティを考慮して、観測点は全て、学校・寺院・軍の駐屯地などの敷地内や、地域の共有地などに設置されている。

観測点の機器構成と設置作業

観測点デザインと機器ブロック図を図 2 に、完成した HATT 観測点の写真を図 3 に示す。観測データは強震計内蔵ロガーである東京測振 CV-375TN により収録され、モバイル回線経由で WIN ファイルを毎分カトマンズのサーバに SFTP 転送している。

速度計の設置方法であるが、PUTL 観測点では広帯域地震計を素掘りの穴に直接埋設した（センサーはビニール袋に入れ、穴底には速乾セメントを少量流し込んだ）が、設置後の保守性を考慮して、残る 7 点では埋設はするが、地震計台を穴底に設置し、蓋つきバケツで地震計をカバーする方式に変更した。

現地で必要な作業日数は、現地での土地交渉やセメント・砂利・フェンス等の部材購入が順調に進めば、概ね 2 日間（初日に機器設置＋コンクリ敷設＋テストラン開始、2 日目に動作確認＋残作業）で完了出来た。

モバイル通信には全点 Nepal Telecom（NTC）社のプリペイド SIM を使用し、データ通信のみに特化した「Data Package（10GB 単位）」を購入して利用している。速度計と加速度計の両データを送信させる場合、月約 4.5GB の通信量がある。全 8 点中 5 点では、モバイル通信規格が 3G のエリアなので速度計と加速度計の両データを送信しているが、残る 3 点は 2G のエリアであり、せいぜい数十 kbps の通信速度しか出なかった事から、速度計のデータのみを送信している。

おわりに

DMG スタッフや G4 研究者などと共に全 8 点の観測点設置を完了させ、カトマンズで地震活動のモニタリングが行える体制を整えた。現地作業を共に行う事で観測点作業に関する技術移転は概ね出来たと考えているが、カントマンズに設置したサーバ群など、観測システム全体に関する技術移転については今後の課題であり、積極的に進めていきたいと考えている。

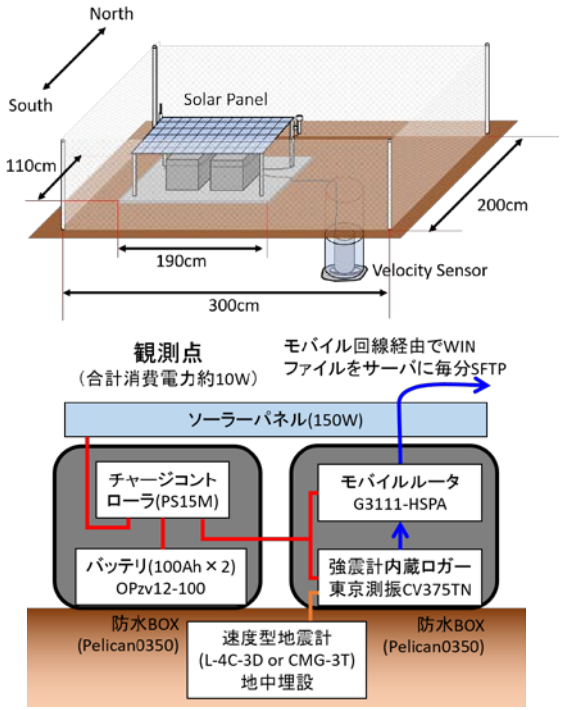

図 2：観測点デザイン（上段）とブロック図（下段）

図 3：HATT 観測点。設置中（上段）と完成後（下段）

3D プリントによる山体模型の製作

東京大学地震研究所　技術部　技術開発室（開発系）　〇浦野幸子
東京大学地震研究所　高エネルギー素粒子地球物理学研究センター　宮本成悟

はじめに

国土地理院の Web サイトで公開されている地理院地図の 3D 機能を使用すると、任意の場所の 3D データをダウンロードすることができる。このデータと、3D プリントサービスを利用して、研究打ち合わせやアウトリーチに使用するための模型（静岡県伊東市の大室山：約 11000 分の 1、図 1）を製作したので紹介する。

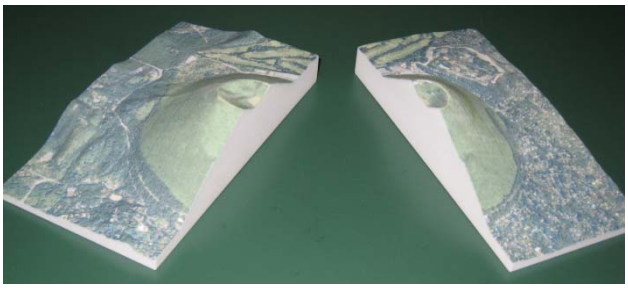

図 1　3D プリントで製作した山体模型

3D プリントの素材と方式

3D プリントで造形できる素材や方式は様々ある。今回は航空写真を貼りつけたフルカラー模型を製作したいとのことであった。フルカラーに対応する方式は、①石膏粉末に色つきの硬化剤をインクジェットで吹き付けるバインダージェッティング、②UV 硬化インク（樹脂）をインクジェットで吹き付け積層することで造形するマテリアルジェッティングの 2 通りがある。②の樹脂製の方が丈夫で高精度の造形が可能である。しかし、①の石膏と比較して価格が 2 倍程度であることと、②でなければ製作できないような微細な形状ではないことから、今回は石膏を選択した。尚、製作を外注した dmm.make の資料によると、造形直後の石膏モデルは砂を水で固めた程の強度であるため、後加工で硬化用のロウに含浸させているとのことである。

予算内に抑えるためのサイズ調整

地理院地図で作成される 3D プリント用のデータは、長辺が約 150mm、標高 0m が 5mm 厚になるように縮尺調整される。今回は、指定された領域を予算（50,000 円）内で作れる最大サイズに調整してほしいとの要望であった。dmm.make の場合、3D プリント費用は諸経費（420 円＋請求書払い手数料 500 円）＋材料費（126 円）×モデルの体積[cm^3]＋空間費（11 円）×モデルの最外形寸法容積[cm^3]＋消費税、で決定する。（2018 年 7 月時点の価格。現在は 1 割程度値上げしている。）そのため、初期状態の体積と最外形寸法容積から、決められた価格にするための縮尺係数を求めることができる。その結果、50,000 円では一辺が約 115mm になる見込みであった。しかし、一番薄い部分でも 20mm 程度の厚みがあり、その部分を削れば費用削減ができると考えた。外注先の仕様では造形可能な厚みの最小値は 2mm とされていたが、脆い材料であることを考慮し、最も薄い箇所が約 4mm となるようにした。その結果、同じ予算で一辺 150mm とすることができた。ただし、破損防止のため、底面に 5mm 厚のアクリル板を接着して使用することとした。

実際に造形されたものをみたところ、思っていたよりも丈夫であった。底面に板を貼りつけて使用するならば、最小厚みを 2mm にしても問題ないと感じた。今回は底面を一様に削るデータ編集のみであったが、内部をくり抜いて材料費を削減することもできそうだとも思った。また、ロウを含浸させていることから接着剤がつかないことも懸念されたが、市販の接着剤（スコッチ® 超強力接着剤 プレミアゴールド スーパー多用途 2）で問題なくアクリル板を接着することができた。

3D データのモアレ（干渉縞）

地理院地図からダウンロードした 3D データには、0.5mm 程度の規則的な段差が見られた（図 2）。しかし、地形データを編集する訳にもいかず、仕方のないものとして受け入れることとした。この段差は、3D プリントされた模型でも、明らかに視認でき

るものとして再現されている。今回の発表に当たり、データを精査したところ、この段差は地理院地図の標高データから 3D データをサンプリングする際に生じたモアレ（干渉縞）であることが分かった。

地理院地図からダウンロードしたデータは、指定した領域の縦横比が 1:1 の場合は、一辺が 256 個のデータに、縦横比が 1:1 以外の場合は長辺が 384 個のデータになるように調整されるようである。今回製作したものは長辺となる南北の長さが 1.56km であるので、1 データあたり約 4m の間隔である。一方で、縮尺を最大にしたモデル（図 3）からデータの間隔を求めたところ、こちらも約 4m と近い値であった。サンプリング間隔（p_1 とする）と元データの間隔（p_2 とする）が近い場合、図 4 のような段差が規則的に表れる。この段差の間隔 δ と p_1、p_2 との関係は $\frac{1}{\delta}=\frac{1}{p_2}-\frac{1}{p_1}$ となる（$p_1>p_2$ の場合）。

今回の模型の場合、24 データ毎に段差が生じていた。p_1=1、δ=24 として上式に当てはめてみると元データの間隔は 0.96 データ分である。サンプリング間隔を元データの間隔と一致させるため、地図上での指定領域の長辺を 0.96 倍し、3D データを作成したところ、モアレの無い形状を得ることができた。このように模型化する領域を縮小することができる場合は上記のような調整を、できない場合は 3D データ化する領域を拡大し $p_1>>p_2$ となるようにしてデータ作成し、模型化しない領域をトリミングすることで、3D データのモアレを回避することができると考えられる。

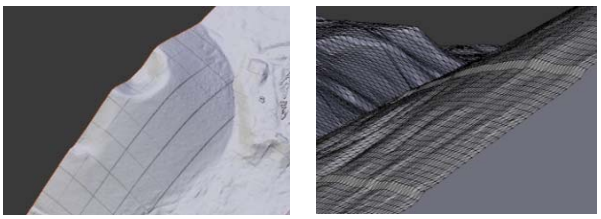

図 2　データ上の規則的な段差（右：拡大図）

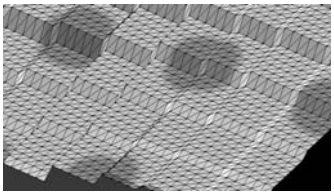

図 3　縮尺を最大にしたモデル（灰色の丸の間隔が 10m）

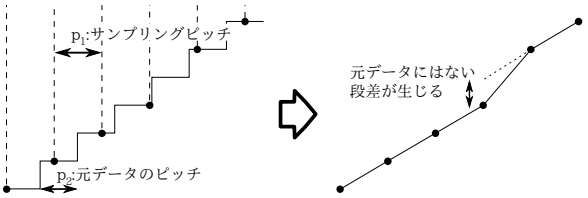

図 4　サンプリングで現れる段差

テクスチャ画像の解像度

今回の模型では表面に航空写真の画像を貼りつけている。この画像も地理院地図から 3D データと共にダウンロードできる。今回の模型では 800 ピクセルの辺を 150mm としたため、画像解像度は 135dpi であった。一方、外注先で使用している 3D プリンターの解像度は「600×540dpi」であったため、別に用意した 540dpi の画像に差し替えて造形を注文した。拡大した画像データと造形物の写真を図 5 に示す。比較すると、540dpi の解像度は不要で、最適値は分からないが元の 135dpi でも充分であったと思われる。今回は側面（断面）への画像貼りつけの要望がなかったため素材色となっているが、研究成果のデータや説明文などの画像を貼りつける場合、細かいデータを用意しても再現できないおそれがあることに留意する必要がある。

図 5　用意した画像と造形物の写真
左：540dpi, 中：135dpi, 右：造形物(写真)

おわりに

3D プリントを使用した模型製作について紹介した。それなりに高価であるため、頻繁に製作するものではないかもしれないが、今回得たノウハウを今後の製作に生かせればと思う。

参考文献

立体地図（地理院地図 3D・触地図）https://maps.gsi.go.jp/3d/

RICOH 3D PRINT ONLINE3D プリンターの造形方式の違い http://www.ricoh.co.jp/3dp/lineup/byMethod/

dmm.make　3D プリント＞選べる素材一覧＞石膏 https://make.dmm.com/print/material/1/

篠原 昭,1984, モアレ縞の幾何学, 繊維機械学会誌,37,**6**, 253-262(https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjtmsj1972/37/6/37_6_P253/_pdf)

地球内部構造と地殻活動の３次元表示

○海田　俊輝[1)]，長谷川　昭[1)]，海野　徳仁[2)]，松澤　暢[1)]
1）東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター
2）東北大学リーディング大学院

１．はじめに

近年の稠密な地震観測網から得られたデータによって、地球内部の３次元不均質構造やそこで生じている地殻活動の理解が大きく進みつつある。また、３次元表示技術は、複雑な地球内部構造や地殻活動の発生メカニズムの理解を深めるための有効なツールであるとともに、最新の研究成果をわかりやすく社会に発信するためのアウトリーチツールとしても重要なものである。

我々は、地球内部構造や地殻活動に関する研究成果について、３次元映像表示システムで的確に表示するための技術開発や、映像コンテンツの制作をおこなってきた。制作したコンテンツは、センター来訪者をはじめ、オープンキャンパスやサイエンス・デイといった各種イベントで積極的に公開している。本発表では、３次元映像表示システムと制作したコンテンツについて紹介する。

２．開発環境

表１は、主な使用ツールおよびソフトウェアを示す。震源やプレート、すべり分布といった各種３次元・４次元データは、一次処理ののち可視化処理をおこなった。可視化処理のツールとして、AVS Express を採用した。本ツールは、モジュールと呼ばれる特定の機能が組み込まれた部品をつないで、データの可視化をおこなう。モジュールとして、アニメーションや時系列データの表示など、多くの機能が提供されているほか、プログラミングによって独自の機能を組み込むことができる。また、別途ソフトウェアを組み合わせることで、Mixed Reality(MR;複合現実)やVirtual Reality(VR;仮想現実)コンテンツの制作を効率的におこなうことが可能である。

表１．主な使用ツールとソフトウェア

データー次処理	GMT, Meshmixer, Meshlab
データ可視化処理	AVS Express Dev Edition
音声解説	Windows Media Player
動画制作	Power Director
MR映像生成支援	Easy MR

３．映像コンテンツ

映像コンテンツは、（１）専用のハードウェアを用いた体験型の MR/VR コンテンツと、（２）パソコンやスマートフォンで視聴可能な動画コンテンツの２種類がある。

（１）MR/VR コンテンツ

図１は、MR/VR システムの構成図を示す。ヘッドマウントディスプレイを装着した体験者は、眼の前に表示された地球内部やその現象内部に踏み込んでいくような疑似体験ができる。３Ｄテレビは、ヘッドマウントディスプレイをつけた体験者が見ている映像を映すことで、体験者の映像を複数人で共有できるようにしている。 MR/VR システムで体験できるコンテンツは、地球規模のものから、日本列島・関東・東北といったローカルな規模のものまで複数ある。また、熊本や胆振地方など、大きな地震活動について随時コンテンツ化し、研究利用や見学に対応できるように

している。

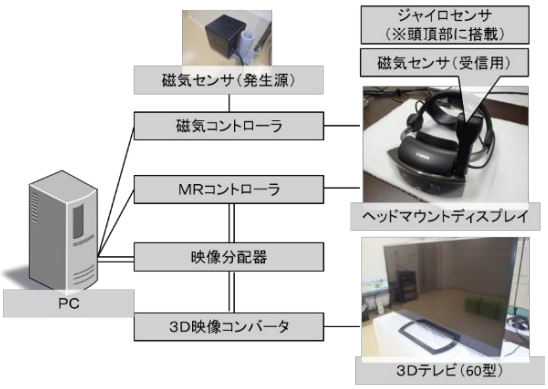

図１．MR/VR システム構成

（２）動画コンテンツ

MR/VR コンテンツの一部は、動画コンテンツに変換して活用を進めている。各動画には、表示されるデータや注目する点について、音声による解説をつけた。制作した動画は、東北大学の YouTube 公式チャンネルで公開しており、2019 年 1 月 7 日現在、7 種類の動画が視聴可能である。また、センターのホームページでも視聴できる。

（http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/finding/3d-movie/）

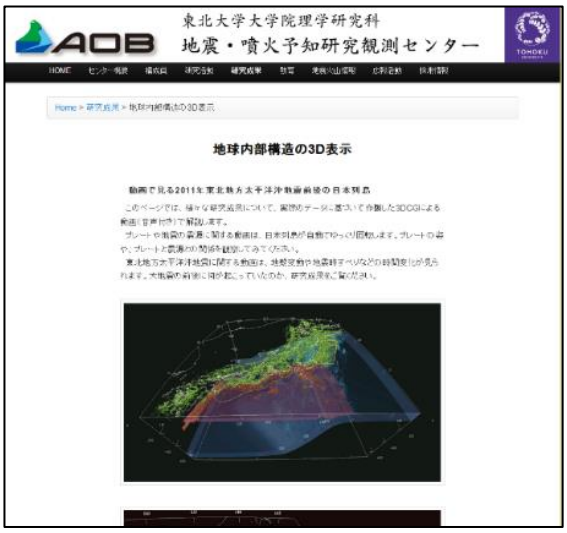

図２．動画公開ページ

４．おわりに

３次元映像表示システムで各種データを表示するための技術開発と、映像コンテンツ制作をおこなってきた。これまでの取り組みによって、我々が直接に眼で見ることのできない地下の構造や現象について、３次元映像表示システムを用いた体験型のコンテンツや動画コンテンツの制作が可能となった。特に、MR/VR システムとそのコンテンツは、防災教育の研修で利用されたり、日本経済新聞や地元メディアに取り上げられたりするなど、着実に成果をあげつつある。

今後は、引き続き体験者・視聴者から頂いた意見を参考にしながらよりわかりやすく注目されるようコンテンツを改良し、最新の研究成果を適宜コンテンツに取り込むことで、地震火山研究の進展に貢献し、その成果を一般の方々に広く周知していきたい。

謝辞

本コンテンツ制作にあたり、以下に示す機関のデータを使用いたしました。記して感謝いたします。

NOAA National Geophysical Data Center, 東京大学地震研究所，防災科学技術研究所，国土地理院，気象庁，東北大学リーディング大学院，東北大学災害科学国際研究所

本発表の成果の一部は、JSPS 科学研究費補助金（課題番号：15H00314，18H00239）の助成を受けたものです。

平成 30 年度東京大学地震研究所職員研修会

スマートフォンアプリケーションによる観測データの通信確認手法開発について

北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター
○ 岡田　和見

１、　はじめに

ここ数年、社会的には電話、メールに続いて新たなコミュニケーション手段として、スマートフォンの無料通話アプリケーション（以下、LINE）を用いた連絡手法が主流になりつつある。

この LINE を用い、観測現場においてデータ集約サーバーのデータ受信状況を即時的かつ簡易的に確認できる手法の開発を行っている。本発表では、デモ機を用いて現開発段階について報告する。

２、　開発手法と現開発段階

今回は下記のシステム及びソフトウェアを用いた。

- win システム（dewin コマンド、チャンネルズテーブル）
- LINE Messaging API(通称 LINE BOT)
- Web サーバー（Apache2、SSL 通信）
- Python を用いたデータ可視化処理（受信データの前処理からグラフ描画）
- django（Python における Web フレームワーク、サーバー内アプリケーションで使用）

具体的な第一目標としては､｢ある観測点にいるオペレーターが LINE 上でその場の観測点コード（ex. ERM）や位置などを打ち込むと、データ集約サーバーが現時点最新の受信データをグラフにしてオペレーターのスマートフォンに返信する。｣というものを作成している（図 1）

図 1、本システム概念図

参考文献

LINE Developers「Messaging API」
<https://developers.line.biz/ja/docs/messaging-api/overview/>

阿蘇中岳での電磁気観測について 2018

○井上　寛之 A)、宇津木　充 B)、南　拓人 C)
京都大学理学研究科技術部 A)、京都大学火山研究センターB)、東京大学地震研究所 C)

1. はじめに

京都大学火山研究センターでは,熊本県の阿蘇中岳火口周辺で定点地磁気全磁力連続観測を行っている．加えて 2014 年から不定期で ACTIVE と呼ばれる人口電流を用いた電磁探査を繰り返し行ってきた.今回はこの電磁探査を連続観測として行うことを目的に機器を設置した.そのことについて発表を行う.

2. 中岳での電磁気観測について

中岳火口周辺では火山活動モニタリングのための観測の一つとして全磁力観測を火口周辺で行っている（図 1）.この点は 2016 年 10 月の噴火で被災したため今は別の場所に設置している.

今回の ACTIVE 観測では 5 か所に観測機材を設置予定であったが,レシーバーの 1 台が旧式で通信機能が備わっていなかったため,4 点の設置となった（図 2）.内訳としては電流を流すトランスミッター1 セット,測定を行うレシーバー3 セットである.（図 2 で緑点は一時観測点、赤点は連続観測点を表す.）

2.1 トランスミッターについて

トランスミッターは中岳火口の南東側の砂千里と呼ばれる場所に設置を行った（図 3）.トランスミッターとは，地面に人工電流を流す装置である.設置した機材は，トランスミッター本体及びコントロール装置,装置の電源及び電流用のバッテリー,ソーラーパネル一式,チャージコントローラー,通信アンテナ,ルーター，GPS 等である.トランスミッターの点では人工電流を流すため、レシーバーの点よりバッテリーを多く設置した．また充電用のソーラーパネルも容量を多くした.阿蘇中岳では火口より強酸性のガスが出ているため，ソーラー架台の素材にはステンレスでの製作を依頼し設置した．また外に出ているケーブルに関しては蛇腹線を使用して保護を行った．通信は携帯回線を使用している.

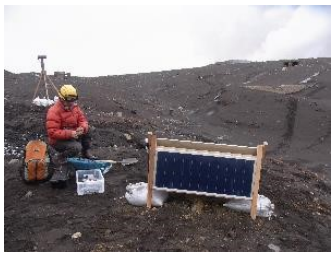

図 1 噴火前の磁場観測点

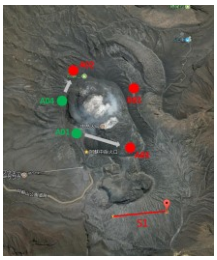

図 2 観測点候補地

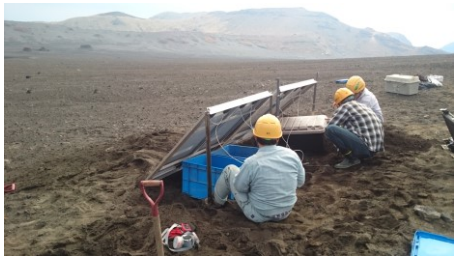

図 3 トランスミッター設置

2.2 レシーバーについて

レシーバーは先に書いたが 1 台が旧式のため今回は使用せず，中岳火口を囲うよう（図 2. A02，A03，B02）に 3 セットを設置した（図 4，5，6）．定点に設置する前に A01,A04 に設置

し 1 日観測を行い移設した． レシーバー側で設置した機材は，レシーバー本体，電源用のバッテリー，センサーコイル，ソーラーパネル一式，チャージコントローラー, 通信アンテナ, ルーター，GPS 等である. センサーコイルの設置のために，地面に鉛直方向に穴を掘り，コイル保護のための塩ビ管を埋設しその中にコイルの設置を行った.

図 4 A02 点

図 5　A03 点

図 6　B02 点

3. まとめと今後について

トランスミッター1 セット，レシーバー3 セットを中岳火口周辺に設置した.

データ通信（携帯用 SIM を使用）については A03 以外は問題なく送られている．A03 は第三火口内の点でアンテナの感度が低いため，アンテナ位置を高くして対処する予定である．今回設置しなかった残りの 1 セットについてもマイコン（RaspberryPi）を使用して対処を行い設置する予定である.

また，冬シーズンになり数日は悪天候で電源持つように計算してバッテリーを設置したが，トランスミッターの電源が落ちる問題が発生しているため、増設交換を予定している.

噴火の際に機材が回収できるようにするため設置の仕方についても今後検討する予定である.

京大ウィークスにおける VR 火口散歩映像の提供

○吉川　慎、宇津木　充
京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

1. はじめに

京都大学には、全国各地に数多くの教育研究施設が存在する。筆者が勤務する理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター（以下：火山研究センター）もその一つで、主に阿蘇火山を対象とした研究活動や学生教育を行っている。このような地域社会に根付いた研究活動を実践していくためには、地元住民の理解が必要である。そこで、火山研究センターにおいても、2000 年から毎年（熊本地震により 2016 年は未開催）施設一般公開を実施し、存在意義や研究活動についての啓発活動を行ってきた。

一方、京都大学では 2011 年から「京大ウィークス」と題して、全国に展開する教育研究施設（京都大学の窓）の施設公開を一定期間に集中して実施する企画が始まり、当センターも 2012 年から参加し、小学生から高齢者まで毎年多数の来場者が訪れている。そのような来場者に火山研究活動について幅広く理解を深めてもらうには、様々な年齢に合わせた「展示物」を用意しておく必要があり、特に小中学生などの子供達をターゲットにした物は、より視覚的であり体感しながら学べる物が望ましいと考える。しかしながら、そのような物は既製品的には存在せず、これまで頭を悩ませてきた。

近年、VR（仮想現実）や AR（拡張現実）などの映像を身近に楽しめるようになってきた。筆者らはそれらのうち VR に着目し、普段一般の観光客は立ち入りが規制されている阿蘇火山中岳第１火口近傍の様子を撮影しその映像提供を試みた。

2. VR 映像の制作

撮影および映像提供に使用した機材等は以下の通りである（表１）。

表１　使用機材等のリスト

撮影機材	360°カメラ（RICOH THETA V） 雲台付きポール（DENSAN DCL-CUP330）	内臓メモリ：19GB 動画品質：4K 30fps
映像編集	RICOH THETA Ver.3.7.3（2018.11.26） RICOH THETA File Transfer RICOH THETA Movie Converter	RICOH THETA 専用アプリケーション
映像再生	モニタ：iPhone（5C, 6S）など アプリケーション：VR Player Pro（iOS） その他：VR ゴーグル（Canbor），ステレオヘッドフォン，ライトニングケーブル（2m），AC アダプタ等	スマートフォン等　、 アプリケーション：¥240 VR ゴーグル：¥3,000 その他：¥100

撮影に使用した 360°カメラは、いくつかの候補の中から、記録可能容量、動画撮影の可否、画質、専用アプリの完成度などを考慮し選定した。また、撮影時には雲台付きポール（1.9～3.3m 伸縮可能）を使用し、より高い視点から撮影することによって、映像鑑賞者が全体の様子を把握出来るよう配慮し、さらにより理解を深めてもらうため教員に協力していただき専門的な解説を挿入した。

動画の編集には、カメラ付属の専用アプリケーションを用いて適当なサイズへと縮小し、再生端末（iPhone）へアップロードした。動画の再生には、VR Player Pro（iOS）を使用した。このアプリケーションの特徴は、操作がシンプルかつ、繰り返し再生やズーム機能を有しているため、使い勝手がよく臨場感溢れる映像を楽

しむことができ、再生端末と VR スコープに付属するリモートコントローラーを Bluetooth で接続することにより、再生・停止などが遠隔で行えるのも便利な点である。

3. VR 映像の提供

編集した映像はトータルで 4 分半程となったため、安全を考慮し希望者には椅子に着席して鑑賞していただいた。また、360° の映像であるため、首振りなどに支障が無いよう再生端末充電用のケーブルは長めの物を用意した。さらに、より映像に没入してもらうために、スピーカー音声ではなくではなくヘッドフォンを着用していただいた（図 1）。

図 1　映像展示コーナーの様子（左：火山研究センター、右：宮崎観測所）

4. まとめと今後

今回制作した映像は、京大ウィークスが開催された火山研究センター（阿蘇）、地球熱学研究施設（別府）、防災研究所宮崎観測所（宮崎）にて公開した。一般の観光客が普段見る事が出来ない映像かつ 360° 見渡す事が可能な映像は、そのいずれでも好評であった（図 2）。しかし、再生時間が 4 分半あった事により、待機列や映像を鑑賞出来なかった方もおられた。その点については、次回に向けて改善したい。

今回は、阿蘇火山のみの映像の提供であったが、今後は他の火山においても撮影を敢行し、一般の方々へ様々な形態の火山の紹介が出来ればと考えている。また、将来的には地上の映像だけではなく、360° カメラをドローンに搭載し、人が近付けない場所から撮影を行い、より臨場感溢れる映像を制作したいと考えている。

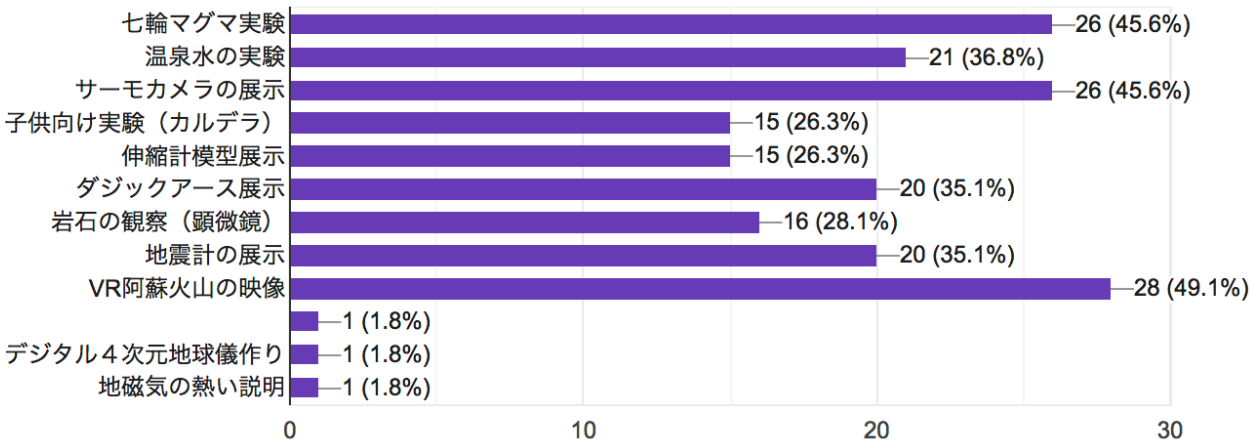

図 2　火山研究センターにおけるアンケート結果（複数回答可）

平成 30 年度東京大学地震研究所職員研修会

ドローン撮影画像による Micro Atoll 探索

東京大学地震研究所
渡邉篤志

はじめに

過去に発生した津波地震を解明するため，micro atoll と呼ばれるサンゴを用いて地殻変動を推定する手法がある．micro atoll とは，浅い礁湖内で成長した円形のサンゴで，その上面の凹凸と成長線を数えた年代とで過去の最低低潮面を推定するのである．ほぼ円形を示す単一群体で，波浪などによる移動や転倒がない micro atoll が，研究試料とするのに適している．

従来，このような micro atoll を探すには Google Earth が利用されてきた．調査地域の空中写真がほぼ全域で利用できる一方，画像の分解能が低かったり雲がかかったりして，詳しく知りたいところが見えないことがある．近年はドローンの発展が目覚ましく，個人でも高性能の機体が購入できるようになってきた．また，画像解析ソフトウェアも進歩し，画像データからの 3D モデル構築や正射影画像合成が比較的手軽にできるようになった．そこで，10 月に宮古島へ試料採取に行った際に，ドローンで撮影した礁湖内の空中写真から正射影画像を合成し，どの程度 micro atoll を識別できるのか試すことにした．

空中写真撮影

今回撮影に使用したドローンは，DJI 製の Phantom3 Professional である．同じく DJI 製のアプリである DJI GS Pro 上で撮影や飛行に関するパラメータをプログラムして自律飛行させる．Phantom3 Professional の主要諸元および DJI GS Pro で設定した主なパラメータは次の通りである．

Phantom3 Professional

全高	185 mm
全長・全幅	480 mm（プロペラ含む）
重量	1,280 g（バッテリ含む）
最大飛行時間	約 23 分
最大飛行速度	16 m/s
信号送信距離	約 5 km まで
撮像センサー	SONY EXMOR 1/2.3”
	（有効画素数 12.4 M）
レンズ	FOV 94º 20mm f/2.8
測位	GPS , GLONASS

DJI GS Pro

飛行高度	50 m または 75 m
飛行速度	8.1 m/s
撮影間隔	2 s または 3 s
オーバーラップ率	75 %（飛行方向）
	60 %（横方向）
シンバルピッチ	-90.0º（真下）

バッテリ 1 台の最大飛行時間は約 23 分であるが，安全に運用するには相当な余裕が必要である．バッテリ残量が一定値を下回るとその場で強制的に自動着陸に移行するので，離陸から着陸までの時間は 18 分以下に抑えなければならない．従って，広範囲を撮影する場合は，ある程度バッテリ残量が低下すると撮影飛行を中断し，帰還してバッテリを交換して再び撮影の続きに向かうことを繰り返す．10 月に宮古島の吉野海岸と新城海岸で，12 月に石垣島の名蔵湾で撮影を行った．

正射影画像合成

撮影した空中写真からの正射影画像合成には，Agisoft 製の PhotoScan Professional

を使用した. このソフトウェアは有償であるが, 簡単なパラメータ設定とバッチ処理で 3D モデルの構築や画像マッピング, 正射影画像の合成 ができる. 合成した正射影画像は, 通常の画像形式の他に KMZ 型式でもエクスポートできる. これを Google Earth などで開けば, 既存の空中写真に重ねて表示することが可能である(図 1). ただし, 大量の画像のマッチングなどの処理にはかなりの演算能力が必要である. 10 月の宮古島調査では宿泊先で合成画像を見ながらターゲットを検討したいとの要請から, Panasonic CF-RZ5 (CPU: Intel Core m5-6Y57, RAM: 8 GB) で処理した. 撮影した海底はほぼ平坦な地形であるので, 計算時間短縮のために高密度クラウドの構築を省略したが, 吉野海岸で撮影した 240 枚の画像からの合成に約 3 時間, 新城海岸で撮影した 958 枚の画像からの合成には約 13 時間を要した. 石垣島名蔵湾の画像は, 地震研に戻ってから raytrek LC-E M4 (CPU: Intel Core i7-6800K, RAM: 64 GB) で処理したので, 約 1.6 時間で 1445 枚の画像からの合成が完了した. 図 2 は, 合成した正射影画像と Google Earth の画像との比較である. 違いは一目瞭然で, 合成した画像ではサンゴの形がはっきりと分かり, 右下の micro atoll を形成しているハマサンゴの群体と左隣のハナヤサイサンゴ科もしくはミドリイシ科と思われる群体との違いも明瞭に判別できる. 合成画像を拡大すると, 海底の砂紋や泳いでいる魚の姿も確認できる.

実際に試料を採取する際は, 使用する油圧チェーンソーのチェーンガイドが 25 インチなので, 約 60cm の厚さまでしか切れないという制約がある. これは正射影画像では判断できないので, 最終的には直接観察せざるを得ない. しかし, ドローンを利用して低空から高精度な空中写真を撮影することにより, これまでよりも的確かつ容易に候補を探し出せる可能性があることがわかった.

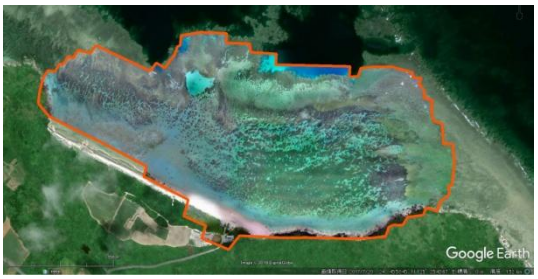

図 1 Google Earth で表示した合成した正射影画像. 橙線で囲まれた部分が合成画像. 面積は約 0.62 km^2.

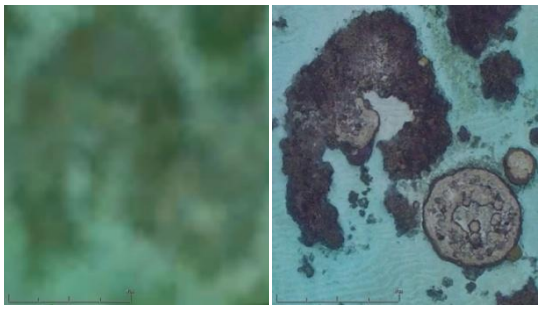

図 2 同位置, 同縮尺での画像比較. 左は Google Earth, 右は合成した正射影画像. 画像右下に写っている micro atoll の直径は約 4.5 m.

遠隔地施設の一般公開と七輪マグマ展示などについて

馬渡秀夫
京都大学 理学研究科附属　地球熱学研究施設-別府

1.　はじめに

京都大学では、2000 年を前にして、遠隔地施設の運営をどうしていくのか、という問題に取り組み始めた。それを受け、理学部内においても、遠隔地にある附属施設をどうしていくのか、どうするのかという議論が始まり、いわゆる執行部と呼ばれる職域のメンバーが来訪して視察、状況の調査を行うようになってきた。

そういった状況に対して、理学研究科附属地球熱学研究施設-別府(以下、別府施設と呼ぶ)では、出来るだけ教職員を入れ替え、組織を活性化することを目指すが、その他にも、生き残り策の一つとして存在場所である地元への社会貢献活動を強化していく事となった。

地元への社会貢献活動といえば地方自治体とのコラボレーションなどが考えられるが、別府施設では温泉の開発や有効利用、ジオパーク運営などについて、既に大分県と強固な協力関係を築いていた。それに反して別府施設そのものは一般市民に浸透しているとは言い難い状況であり、市民には、九州大学の施設と思われていたり、はたまた、冗談交じりに、何やら怪しい幽霊屋敷と言われたりしていた。

そこで、一般市民への浸透を目的とした社会貢献活動として、別府施設の一般公開を実施することになった。

2.　別府施設の一般公開（1期）

別府施設の一般公開は、第一回、第二回が 2001 年、2002 年に計画、実施され、当時、別府施設の過半に常駐していた JAMSTEC に在籍している由佐教授の娘婿であるボグダン氏らも交え開催された。

3.　別府施設の一般公開（2期以降）

施設の一般公開の第三回は、JAMSTEC 撤収後の 2004 年に開催され、それ以降、毎年実施されている

私自身は、当初、施設の存続などに興味はなく、というより、早く潰れて異動させてもらったらラッキーだ、

などとも考えていたのだが、2004 年の開催以降、大倉敬宏(当時助教授)の協力と共に地震計の展示を実施しているうちに、独自の展示を開発して貢献する必要があるのだろうと考え始めた。しかし、その頃の主な業務はネットワークやサーバの構築、運用管理作業であったため、「地球熱学研究施設」の一般公開で何かをやる、といってもどうしたものか、とも考えさせられる状況であった。

そこで、分野は大きく違うが、子供が喜びそうな水素酸素燃焼ロケットを飛ばしてみたりしていた。

そうこうしていた所、2010 年当時在籍していた三好雅也機関研究員(現・福井大学准教授)のグループが困った状況となっているのを見かねて溶岩展示を手伝うことになり、マグマ展示装置を開発することになる。

4.　まとめ

これらの取り組みは 2014 年以降、各地に展開する遠隔地施設の一般公開を京都大学の財産ととらえ京大ウィークスと銘打った事業の一環として実施されている。

私自身、2004 年当初、技術職員の評価として、社会貢献はいかがなものかと考えていたが、国立大学の法人化後、社会貢献の項目は評価されるようになってきた。今後も貢献していこうと考えている。

二軸圧縮試験機の制御信号生成ユニットの FPGA 化

○竹内 昭洋[1]、内田 正之[2]、浦野 幸子[2]、中谷 正生[3]

1：東京大学 地震研究所 技術部 技術開発室（実験系）

2：東京大学 地震研究所 技術部 技術開発室（開発系）

3：東京大学 地震研究所 地球計測系研究部門

地震研究所が現有する二軸圧縮試験機は、主に岩石の滑り挙動の解明を目指す室内岩石実験に用いられている。これまでに、油漏れの対処を行ったり[1)]制御プログラムの再開発を行ったり[2)]しながら、普段から様々なメンテナンスを通して装置の状態を保ってきた。しかしながら、最近の荷重と変位の実験記録データを解析した際に、縦軸および横軸の両成分に 5Hz の振動ノイズが乗っていることが確認された。そこで、このノイズに注目して過去のデータを精査したところ、徐々に顕著になってきていることが判明した。

ノイズの原因を調査した結果、制御信号生成ユニット（指令信号とフィードバック信号との差をとってサーボアンプユニットに制御信号を出力する）に同居する別目的の電気回路が浮かび上がった。この回路が出力する 5Hz 矩形波信号に同期して、矩形波電圧とその過渡電圧（パルス状）がアナロググラウンドに影響し、制御信号に現れていた。

この同居回路を使わなくても試験機の運転に影響はないと思われたが、使われているオペアンプ類が電子基板に直付けされているため、取り外す際に電子基板や回路を傷めてしまう可能性があった。そこで、諸処の事情も鑑み、この制御信号生成ユニットを使わずに、思い切って制御信号生成システムを自作することにした。

制御信号の計算と出力には、National Instruments 社製の Compact RIO を使用した。LabVIEW 2017 で FPGA プログラムを作成し、Compact RIO に組み込んだ。入力されるフィードバック信号にはデジタルフィルタを通すことが選択できるようにした。フィルタの種類やカットオフ周波数等の設定は随時変更可能で、今後の検証を通して調整する。

制御信号生成ユニットがこれまで挿入してあった場所には、同様な規格サイズに機械工作した新たなユニットを挿入した。新ユニットそのものには、試験機と Compact RIO とのインターフェース（信号の入出力端子）としての機能しかないが、バッファとローパスフィルタのアナログ回路を内蔵させた。Compact RIO へのフィードバック信号の出力端子のマイナス側にも個別にバッファを通すことにより、グラウンドループの発生を防ぐ仕様とした。また、Compact RIO からの制御信号の入力端子を、差動で受ける仕様とした。

参照

1) 竹内昭洋、二軸圧縮試験機の油漏れ対処、平成 27 年度地震研究所職員研修会

2) 竹内昭洋・中谷正生、二軸圧縮試験機の LabVIEW 制御プログラムの再開発、平成 28 年度地震研究所職員研修会

EPMA による San carlos かんらん石（Olivine）に含まれる Al の精密濃度分析

東京大学地震研究所　技術部技術開発室　外西奈津美

はじめに

地震研究所の走査型電子顕微鏡(EPMA: Electron Probe Microscope Analyser) JXA8800R (JEOL 社製)は所内の学術研究に利用されるだけでなく，全国の大学・研究機関からも機器利用の依頼に応じた運用もしている装置である．EPMA は真空中で極めて細い電子線を対象物質の表面に照射し，そこから発生する二次電子等を計測することにより，その物質の化学組成を知ることが出来る．弊所では主に岩石の鉱物や極微小領域の元素分析に用いられている．

目的および分析試料

今回の依頼は，アメリカ・アリゾナ州サンカルロス地域で玄武岩中に捕獲岩として広く産出するカンラン岩(主な鉱物はかんらん石・輝石・スピネルで構成される)の定量分析である．この San Carlos Olivine (SCOL) は上部マントルに由来する化学情報を持つことが，先行研究で多数報告されている (Jarosewich et al., 1980; Coogan et al., 2014; Batanova et al., 2015)．弊所におても，この試料の分析値や測定精度を先行研究と比較し，投稿論文(Nakamura et al., 2019)に必要なデータの裏付けや補強として利用するため，Al の精密分析を目的とした定量分析を行なった．一般的なかんらん石の化学式は $(Mg,Fe)_2SiO_4$ で，Al は微量成分(1 wt.%以下)として存在する．

定量分析テスト

弊所における通常のかんらん石の分析は以下の条件で行われる．

＊測定条件　15kV, 10nA, probe dia. 0 μ m

＊分光結晶　TAP: Na, Mg, P, Si, Al
PETJ: K, Ti, Ca
LIF: Ni, V
LIFH: Fe, Mn, Cr

＊測定時間　Peak: 20-30 sec.
Back ground: 20-30 sec.

この条件で SCOL をテスト分析(n=10)したところ，Al_2O_3 は 0.003~0.031 wt.%，標準偏差は 0.008 を示した．Batanova et al (2015) によると Al_2O_3 は 0.033 wt.%，標準偏差は 0.001 とあり，今回の結果は分析値，精度ともにばらつきが大きいことが明らかになった．通常の分析では存在量 1 wt.%以下の元素に着目することは殆どないため，この分析精度でも問題ないが，今回は投稿論文に用いるため精密に分析する必要がある．Al の分析条件の最適化のため，計測時間と分析値の評価を行った．

Al の分析条件の評価

EPMA による定量分析は，あらかじめ目的元素の標準試料を使って X 線スペクトルの Peak 強度と Back ground 強度の差を計算し，標準試料濃度に対する X 線強度を求める必要がある．未知試料の分析では，適切な Peak と Back ground の位置で X 線強度を計

測することで，より精度よく定量を行うことが可能となる．またX線強度には統計的に一定のノイズが含まれる．このノイズの影響を抑制するため，適切な計測時間で分析することも重要である．Al (kα)の分析条件の評価のため，標準試料(Pure Al_2O_3)の Peak 位置(90.582mm)・Back ground 位置(低角側 90.082mm，高角側 91.082mm)を用いて，計測時間を通常の 1 倍，2 倍，4 倍とした時の分析値と標準偏差を比較した(表 1)．計測時間を通常の 4 倍にした場合，Al_2O_3 の分析値は 0.015 wt.%，標準偏差は 0.002 を示し，Batanova et al (2015) の報告値とはズレがあるものの，測定精度は同程度となった．

表 1	Al_2O_3 (wt.%)	標準偏差
Batanova et al., 2015	0.033	0.001
1 times (n=10)	0.018	0.008
2 times (n=5)	0.013	0.010
4 times (n=10)	0.015	0.002

定量分析

この Al の測定条件を用いて SCOL の定量分析を行い，Batanova et al(2015)の報告値と比較した(表 2)．試料中に Al と同程度含まれる Cr や Ni などは先行研究と同じ分析値を示しており，今回の測定条件に問題はないと考えられる．今回の試料と先行研究の試料は，同一地域で採取されたものではあるが，天然試料のため全くの同一鉱物ではなく，そのため化学組成が均一でない可能性は十分にある．Al が少ない理由としては, Al はマグマ溜まりの中で部分溶解した所に拡散しやすいため，かんらん石の中から選択的に溶出したと考えられる．

表 2	Batanova et al., 2015	This time
SiO_2	40.81a	41.47
TiO_2	0.004	0.002
Al_2O_3	0.033	0.015
Cr_2O_3	0.02	0.02
FeO	9.55a	8.85
MnO	0.14	0.14
MgO	49.42a	50.02
CaO	0.09	0.07
Na_2O_3	0.01	0.03
K_2O	-	0.004
NiO	0.37	0.37
V_2O_3	-	0.02
P_2O_5	0.01	0.02

a: Jarosewich et al., 1980

まとめ

かんらん石に含まれる Al の精密濃度分析を行なった．通常の分析条件では測定精度が悪く分析値のバラツキが大きかったが，Al の計測時間を通常の 4 倍にしたところ，P/B 比が改善し安定した分析が行えるようになった．先行研究との比較では，Al の分析値に試料由来と思われる系統的な差があるものの，他の Cr や Ni などの微量元素は同程度の値を示しており，精度よく分析できたと考えられる．

地震計台における環境計測

大塚宏徳・佐伯綾香・安藤美和子
東京大学地震研究所 技術部総合観測室

はじめに

2018 年 6 月に佐伯鶴見観測点（大分県佐伯市）に CMG-3T(Guralp)を設置し、観測を開始した[1]. 本観測点では地震計を 1.5m 掘り下げたマンホール（観測井）の底部に設置した. 観測井から約 7 m 離れた位置に引き込み柱を立て，電源および収録系を引き込み柱に抱かせたキャビネット内に収納した. 本観測点では新たな試みとして地震計の防水を目的とした塩ビ製カバーを導入した. 加えてスタイロフォームとロックウールを組み合わせた断熱処理を施した（図１）.

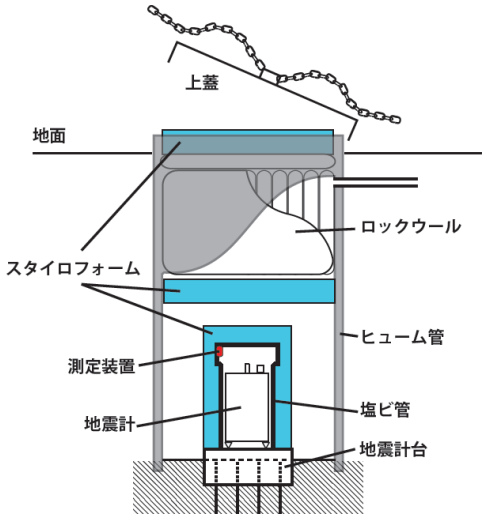

図 1 観測井の概略図 赤色で示すのが本発表対象の測定装置

広帯域地震計は温度変化の影響をできるだけ排して設置することが望まれる. しかし地震計設置後に長期的な温度変化を実測した報告は少なく，適切な断熱方法に関する知見は乏しい. そこで，主に本観測点で実施した断熱処理が効果的に機能しているのかを確認するために塩ビ製カバーの内部で温度変化を計測した. 加えて湿度および気圧についても環境情報として計測した. 本研修では初号機とその計測値，および初号機の問題点を改善した２号機の構成について発表する.

測定装置

測定値を準リアルタイムで把握することを目的とし，環境計測装置の必要条件を次のように定めた. ①測定値の記録・外部通信のためのデバイスを収録系キャビネット内に配置する. ②地震計が地下にあるため，キャビネットのデバイスと有線で通信する. ③塩ビ製カバー内の空間に収まる小型のセンサを用いる.

これらの条件を満たすため，計測には Bosh 社製 BME250 を用いた. このセンサは気温・湿度・気圧の 3 項目をモジュール単体で測定でき，センサ本体は 2.5mm 角と非常に小型である. 公称の測定精度は±1℃，分解能は 0.01℃であり，日変化や年変化を確認するには充分である. BME250 は I^2C または SPI 通信により測定値を取得することができる. ただし，両規格での通信可能距離が短いため，比較的小型で安定動作する Arduino Nano を介して USB による通信を試みた. キャビネット内に配置する記録・通信装置は入手性の高い Raspberry Pi (3B) を使用し，Arduino Nano の電源とシリアル通信を USB 接続で行った. USB の通信距離は規格上 5m ま

でのため，リピータケーブルを使用して 17m に延長した．センサ部と USB リピータ接続部をそれぞれタカチの防水ケースに入れ，現場に設置した（図 2）．センサ部のケースには防水透湿キャップを取り付け，湿度の監視も可能にした．

2-1　　2-2

図 2　初号機の外観　（2-1）左からセンサ部，USB リピータ部および Raspberry Pi　（2-2）防水ケースの内部

失敗と改善

2018/09/17 に記録的豪雨で観測井に浸水した際，USB リピータ部のタカチケースが水没し，観測停止となった．ケースを観測井の底部に置いたことで水圧を被ったことが主原因であるが，接続部が必要な設計にも問題があったと言える．そこで 2 号機では通信・電源ケーブルを接合部無しの構成にするため USB を排し RS-485 通信を採用した．通信と電源供給は 4 芯のシールドケーブル（15m）で直結する．装置の外観を図 3 に示す．

計測結果

観測点立ち上げ直後から 3 日程度で温度平衡に達したと思われ，その後は長期変動の記録を取得することができた．日変化は抑えられており，季節変動と思われる長周期のドリフトが確認された．

通常の温度変化以外に，観測井が浸水した際の記録については注目すべき結果を得た．浸水開始から 2 時間で温度が約 3℃低下し，その間に気圧は約 100hPa 上昇する様子が記録されていた（図 4）．周囲が雨水で冷却されると共に，静水圧の上昇に伴い塩ビカバー内部の水位が上昇したものと考えられる．観測停止時の水位は塩ビカバー内で 5cm 程度，観測井内は約 1m まで達したとみられる．

まとめ

準リアルタイムで環境計測することで，断熱の検証に加えて防水カバー内部の状況確認に有効であることが分かった．

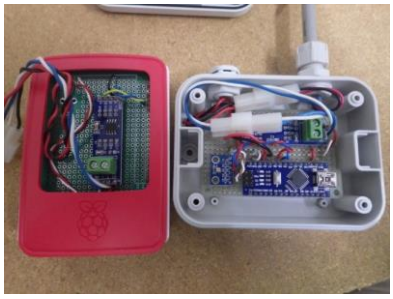

図 3　２号機の外観　左：RS-485 モジュールを載せたハットを取り付けた Raspberry Pi（2B）　右：センサ部を収めた防水ケース

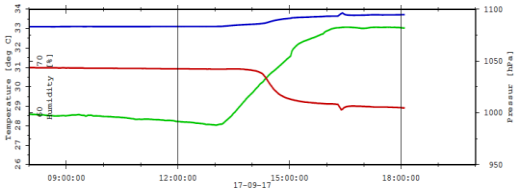

図 4　浸水時の環境データ　2017/09/17　8:00 - 20:00 の温度（赤），湿度（青）および気圧（緑）

参照

［1］佐伯ほか（2019）大分県佐伯市におけるオンライン広帯域地震観測点の設置（本研修会）

大分県佐伯市におけるオンライン広帯域地震観測点の設置

○佐伯綾香　大塚宏徳　安藤美和子
東京大学地震研究所　技術部総合観測室

1. はじめに

南海トラフでは，様々な種類のスロー地震が発生しており，スロー地震を監視することで海溝型巨大地震の発生予測に繋がることが期待されている．本所では，2015 年より四国南西部にオンライン広帯域地震観測点を 3 点設置し，スロー地震の観測を行ってきた．今回，新たに豊後水道周辺においてオンラインの広帯域地震観測点を 3 点設置した（図 1）．本発表では，2017 年 6 月大分県佐伯市に新設し，運用を開始したオンライン広帯域地震観測点を紹介する．

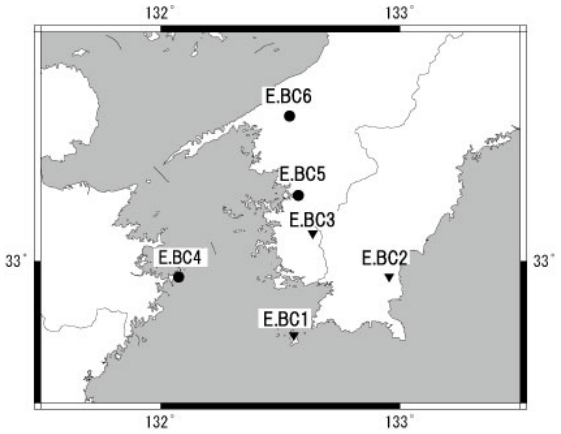

図 1 観測点配置（●：新設　▼：既設）

2. 地点選定

事前の地点調査を応用地質株式会社に外注し，用地選定された 6 点を机上選定で 4 点に絞った後，地動ノイズ調査を行い，ノイズレベルを評価した。さらに、携帯電波の強度と設置作業のやりやすさも勘案して設置場所を決定した．

3. 観測点の構成

観測点構成は図 2 に示す．基本的な構成は既設点を参考にした．電源は商用電源を使用するため，引き込み柱を立てた．引き込み柱にはブレーカー等を収納する電源ボックスと収録機器など収納するキャビネットを取り付けた．引き込み柱から 7 m 離して観測井（深さ 1.7 m）を掘り，地震計台を底部に設置した．

本観測では，地震計に CMG-3T，収録装置に LF-1100R と LF-2100R，モバイルルーターに NXR-G100/F を使用してる．停電対策として 12V-38Ah のバッテリーとバッテリー充電器，過放電防止モジュールを使用し、その他に DC/DC コンバーター，各種避雷器をキャビネット内に収納している．

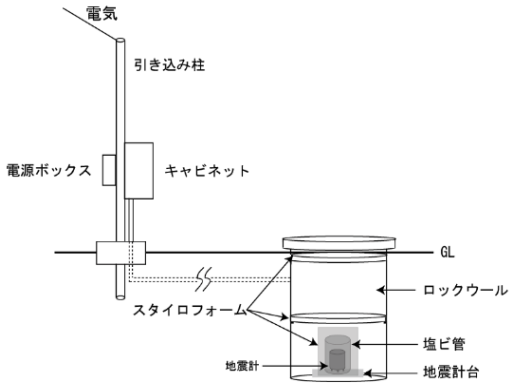

図 2 観測点構成

4. 地震計の防水

排水管の敷設が困難であったため，アメリカの観測機関が紹介している広帯域観測点の設置方法[1]を参考に，塩ビ管を用いた防水対策を行った．地震計に合わせた塩ビ管と塩ビ管用キャップを接着剤で固着させ，開口部側に L 字を取り付けたものを用意した．地震計台に L 字金具に合わせてアンカーを打ち込み，ボルトで固定した．これにより，塩ビ管内の空気の逃げ道が無くなり，観測井に水が入っても地震計のコネクタ部分に浸水することを防ぐことができると考えられる．本発表では，2018 年 12 月の保守で確認できた防水の結果も報告する．

参考文献

[1] IRIS PASSCAL Instrument Center, https://www.passcal.nmt.edu/content/instrumentation/field-procedures/seismic-vaults/broadband-vault-construction, (参照 2017-01-23)