

# 平成 27 年度 地震研究所職員研修会 アブストラクト集



平成 28 年 1 月 27 日(水) ~ 29 日(金)

地震研究所研修運営委員会

# 箱根山の地震活動活発化に伴い実施した 2015 年 5 月緊急広帯域地震観測

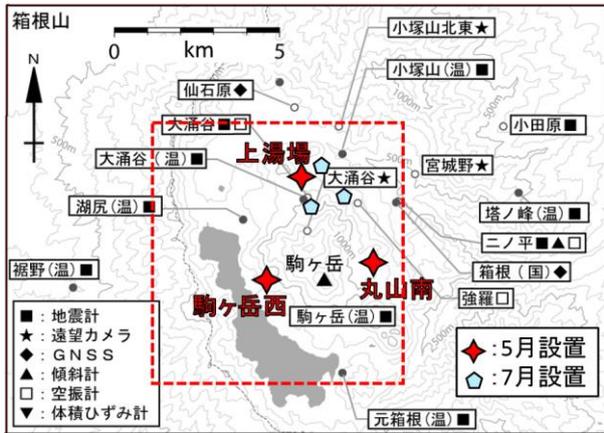
東京大学地震研究所

○宮川幸治・田中伸一・渡辺茂・技術部総合観測室

## はじめに

箱根山では 2015 年 4 月 26 日から大涌谷周辺で地震活動が活発化し、5 月 15 日には火山性地震の日回数が 442 回と 2001 年以降で最多となり、山体膨張を示唆する地殻変動も観測された<sup>1), 2)</sup>。

地震活動の活発化を受けて、地震研究所は温泉



小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。  
(国) : 国土地理院、(温) : 神奈川県温泉地学研究所

図 1 : 観測点マップ (気象庁の図<sup>1)</sup> に加筆)。

点線枠は図 2 の地図領域を示す。

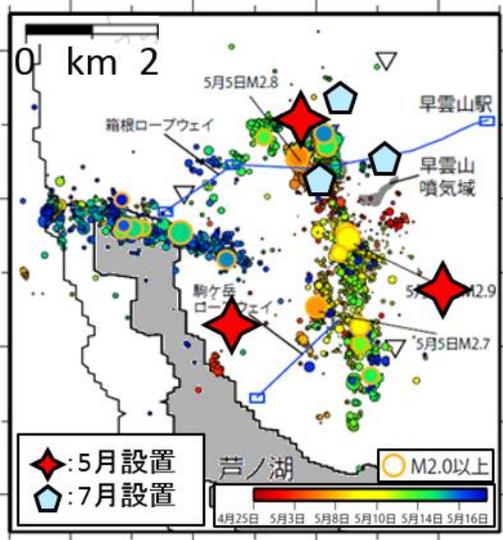


図 2 : 震源分布図 (温地研の図<sup>2)</sup> に加筆)。

期間は 4 月 25 日～5 月 17 日 10 時。震源を示す円マークは、4 月 25 日からの経過日数を色で示し、マグニチュードの大きさを円の大きさを示している。

地学研究所 (温地研) と共同で緊急観測を実施することを決定した。火山地帯では広い周波数帯域の変動が発生することがあるので地震計は広帯域地震計を使用し、また日々の地震活動を監視して迅速に解析するために、地震データはテレメータすることとした。地震研究所には、緊急観測の時しか使用できないように制約している「緊急機材」があり、NTT ドコモ社の携帯電話網を用いるモバイルテレメータ装置が即座に使える状態で保管されているので、今回はモバイル端末を用いてテレメータ化した。但し、モバイル端末は消費電力が約 5W あるので、商用電源が引き込める場所に観測点を構築することとした。

観測点候補地は、既存観測点分布 (図 1) や震源分布 (図 2) の情報を元に、既存観測点とは重ならず、且つ震源を取り囲む配置となる場所とし、更に、NTT ドコモ社の電波エリア内で商用電源が引き込める場所とした。現地地下見は 18 日 (月) に行われ、最終的に上湯場、駒ヶ岳西、丸山南の 3 点に決定した (図 1,2 の十字星マーク)。

## 観測システム

観測機材は、広帯域地震計が Nanometrics 製 Trillium Compact (周波数帯域 120.2 秒~108Hz)、収録伝送装置が白山工業製 LS-7000XT である。データはモバイル回線経由で地震研究所に送ら

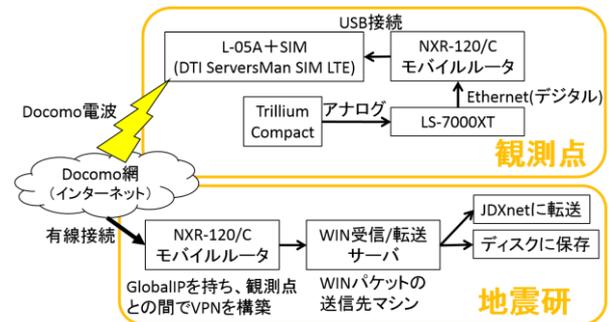


図 3 : 観測システムとデータの流れ

れ、保存されると共に全国地震観測データ流通ネットワーク (JDXnet) に転送される (図 3)。

観測装置には、停電時の対策として 105Ah バッテリーと充電器 (電菱製 BP-1210)、及び大大特コントローラ (DDC) <sup>3)</sup> と呼ぶ過放電防止システムを取り付けた (図 4)。これらの組み合わせにより、停電後もデータ伝送は継続するが、バッテリー電圧が 12.1V に下がった時テレメータ装置のみ電源を落として電力消費を節約し、その後ロガーだけでバッテリー電圧が 10.5V になるまで現地収録する仕組みとなっている。本システムの場合、バックアップ対象の機器の消費電力は計 8W 弱なので、1 週間以上停電しても無欠測での収録が可能である。

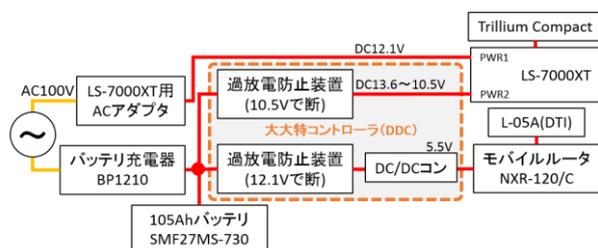


図 4: 電源バックアップシステム

広帯域地震計は周囲の気温変化に敏感に反応するために、地震計に対する断熱対策は重要となる。そのため緊急観測の際には地中埋設することがあるが、今回は設置の簡便さから地表設置することとした。その代わりに地震計にはコンクリート製集水枡 (縦横 30cm、高さ 40cm) を被せ、更に枡の内壁にスタイロフォーム板 (5cm 厚) を貼り、地震計とスタイロフォーム板との間にできた隙間には珪砂を充填する対策を施した (図 5)。また地震計は、強震動などで動かないようにするために、ボンドと石膏で地面に固着させた。



図 5: 断熱対策を施した地震計用集水枡の内部

予備も含めた 4 式の観測装置の準備と動作確認作業は、多くの技術職員の助けも借りて、18 日の午後と 19 日の計 1 日半で実施した。その後 20 日に現地で設置作業が行われ、1 日で 3 点設置した。なお丸山南観測点では、ドコモ電波の受信状況が悪かったため、後日ドコモに依頼して電波再放射装置 (ドコモレピータ) を設置している。3 点の観測は、2015 年 12 月時点で継続中である。

## おわりに

箱根山の地震活動は 6 月に入り減少していたが、6 月 29 日から 30 日にかけて火山性微動を伴って活発化し、小規模な噴火も発生した <sup>4)</sup>。上湯場観測点では、地面の傾斜変動に伴う周期 150 秒程度の長周期信号や、4~7Hz の狭い範囲に卓越周波数を持つ火山性微動が観測された <sup>4)</sup>。

これらを受けて地震研究所では更に 3 点、広帯域地震計による緊急オンライン観測点を 7 月 7 日に設置した (図 1,2 の 5 角形マーク)。うち 2 点には傾斜計 (Jewell 製 701-2A) も併設した <sup>5)</sup>。

今後突発的な地震火山現象が発生した際には迅速に緊急観測できるように、緊急機材などの事前準備を普段から十分にしておきたい。

## 参考文献

- 1) 気象庁、2015、箱根火山の火山活動解説資料 (平成 27 年 5 月)。
- 2) 温泉地学研究所ホームページ、2015、箱根山における火山活動 【暫定解析結果 5 月 25 日現在】。
- 3) 中島剛・宮川幸治、2013、電源放電コントローラの開発と房総半島の大大特地震観測網への設置、東京大学地震研究所技術研究報告、19、13-17。
- 4) 温泉地学研究所ホームページ、2015、6 月 29 日に観測された長周期の振動と連続微動、(参照 2015-12-21)。
- 5) 西本太郎・森健彦・藤田親亮・安藤美和子・諏訪祥士・池澤賢志・酒井慎一、2016、ユビキタスモジュールを用いた箱根緊急観測、東京大学地震研究所職員研修会。

## 足尾付近における臨時観測

○諏訪 祥士<sup>1</sup> 池澤 賢志<sup>1</sup> 藤田 親亮<sup>1</sup> 酒井 慎一<sup>2</sup>

1: 東京大学地震研究所 技術部総合観測室

2: 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

### 1.はじめに

足尾付近は、地震活動度が高い地域の一つである。1年間で1000個以上の地震が発生しているが、そのほとんどがM1以下の微小地震でM4を越える規模の地震は滅多にない。これまでの最大の地震は、1949年の今市地震(M6.2とM6.4)であるが、現在でも微小地震が続いていることは内陸地震の発生過程や防災的な観点からも重要な地域と考えられる([1]伊藤・鈴木 他 1994)。そのため観測開発基盤センターでは定常的な観測点として足尾(E.ASO)、銀山平(E.GNZ)、黒沢(E.KRO)、古峰ヶ原(E.KBH)、日光(E.NIK)の5つの観測点を設置し、観測を行っている。今回はその観測点の足尾と日光に隣接して臨時観測点[足尾(ASI1,ASI2)、日光(R.NIK)、行者沼(GYJA)、塩の沢(SNSW)]を密に設置し、観測機器による差や観測点のノイズの差を検証し、またその得られたデータから、定常観測点と合わせた震源決定を行って、震源決定精度の差の検証を行った。



観測点配置図 (引用：地理院地図)

### 2.観測概要

#### 2-1 足尾観測点での同時観測

2015年6月24日から7月10日までの17日間に定常観測点である足尾観測点に隣接して、2台の臨時観測点を設置した。Sercel社のL-4-3Dから端子台を経由し、データ収録装置として、計測技研製のHKS-9700にCFカード16GBを装填、GPSアンテナを時計補正用に接続し、収録を行った。バッテリーは容量105AhのG&Yu社のSMF27-730を使用した。もう一台は、Lennartz社のLe-3D lite Mark IIIからデータ収録装置として白山工業製LS-8800に32GBのSDカードを装填し、GPSアンテナも装着した。バッテリーはL-4-3Dと同一のものを使用した。メモリーカードは、1日で1分ファイル40KBが1時間に1つできるフォルダに収録され、最大で277日収録ができる計算であった。

- ・ 足尾観測点 [E.ASO]  
地震計:Sercel社 L-4-3D  
収録装置:白山工業 LS7000XT
- ・ L4観測点 [ASI1]  
地震計:Sercel社 L-4-3D  
収録装置:計測技研 HKS-9700
- ・ レナーツ観測点 [ASI2]  
地震計:Lennartz社 Le-3D lite Mk III  
収録装置:白山工業 LS8800

#### 2-2 日光観測点での同時観測

2015年12月10日に約5時間、定常観測点である日光観測点に隣接して、1台の臨時観測点を設置した。日光観測点のノイズレベルを見ると上下動成分が水平動成分より数倍小さい。これがその場所の固有の問題なのか、地震計や収録装置の不具合が原因なのかを確認するため、臨時観測を行った。

- ・ 日光観測点 [E.NIK]  
地震計:振動技研 鉛直:MTDV-1C 水平:MTDH-1C 2台  
収録装置:白山工業 VSAT
- ・ オフライン観測点 [R.NIK]  
地震計:Lennartz社 Le-3D lite Mk II  
収録装置:白山工業 LS8800

#### 2-3 足尾周辺での観測

2015年7月10日から7月17日までの8日間、足尾周辺で塩の沢と行者沼に臨時観測点を設置した。

足尾地域で発生する地震は、震源の深さが数kmと浅いものが多い。一般的に浅い地震の震源決定精度を上げるには、その深さと同程度の観測点間隔が必要であるとされている。そこで、現在のテレメータ観測点の間をうめるように臨時観測点を置いて、観測点密度を上げて震源決定の精度を上げられるかどうかを確かめた。

- ・ 塩の沢観測点 [SNSW]  
地震計:Lennartz社 Le-3D lite Mk III  
収録装置:白山工業 LS8800
- ・ 行者沼観測点 [GYJA]  
地震計:Sercel社 L-4-3D  
収録装置:計測技研 HKS-9700

発表では、観測機器による差や震源決定の精度の差についての検証結果を示す。

#### 参考文献

[1]伊藤明彦・鈴木将之他 栃木県西部の日光・足尾付近における微小地震活動 地震 第2集 第47巻 1994 287-304頁

## 2015年5月に発生した口永良部島噴火活動に伴う海底地震観測の実施

○平野舟一郎<sup>1</sup>, 内田和也<sup>2</sup>

鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所<sup>1</sup>

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<sup>2</sup>

### 1. はじめに

2015年5月29日09時29分、屋久島の西方約12kmに位置する口永良部島に於いて爆発的噴火が発生した。噴煙は火口縁上9,000m以上まで上がり、噴火に伴い発生した火砕流は新岳火口の北西約2kmにある向江浜地区の海岸まで達した。直後の10時07分に気象庁は噴火警報を発表し、噴火警戒レベルを3（入山規制）から最高レベルの5（避難）に引き上げ、口永良部島の住民や滞在者は同日中に屋久島へ全島避難した。噴火警戒レベル5の発表は2007年12月のレベル導入以後、初めてのことであった。

この噴火活動を受け、火山活動の更なる活発化や長期化に対応することを目的として、鹿児島大学・九州大学・長崎大学・神戸大学・京都大学は合同で、口永良部島周辺海域に於いて2015年7月～2015年10月の期間、海底地震観測を実施したので報告する。尚、本観測は気象庁・火山噴火予知連絡会に設置された口永良部島総合観測班が策定した調査・観測ガイドラインに基づき実施された。

### 2. 海底地震計投入

海底地震計（Ocean Bottom Seismometer：以下、OBS）の投入は、長崎大学水産学部附属練習船長崎丸（総トン数842トン）の第417次航海（2015年7月2～7月7日、長崎市出入港）によって、7月3日に実施された。当初、本航海では、OBSの投入や揚収を甬島周辺海域ならびにトカラ東方海域で行うことを計画していた。両海域間の移動の際に口永良部島付近を航行することが予想されたため、研究者は口永良部島周辺海域へのOBS投入作業を追加することを長崎大学に打診し、了承された。観測点配置を図1に示す。追加投入の計画立案時は、口永良部島周辺海域に広がる明瞭な地震活動は認められず、より島に近接した位置にOBSを投入することが望ましいと考えられた。その一方で、新岳火口から半径2海里の範囲内には火山現象に関する海上警報が発表されており（5月29日10時34分気象庁発表）、活動次第では観測期間中に海上警報の範囲が拡大され、OBS揚収が不可能になる懸念があった。また、投入作業中に顕著な噴火が発生する可能性もあり、海上警報の範囲からさらに外側に安全な間隔を保つ必要が考えられた。以上のことから、OBSは火口から半径3.5海里（約6.5km）離れた4箇所に、島を囲むように設置された。

水産学部練習船の航海は教育関係共同利用に基づき実施され、学生が乗船するため、安全策をより強化する必要がある。出港から投入作業終了までの航行中は、観測の現場責任者である研究者が火山活動に関する情報を（火山性地震・微動の発生回数・火山構造成地震等）、気象庁や防災科学

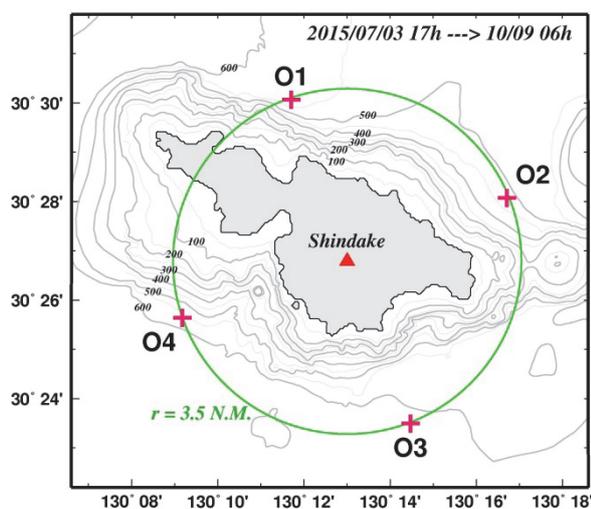


図1. 観測点配置

技術研究所等、複数の情報ソースから密に収集を行い、活動状況を把握した。作業当日は上記情報に加え、沿岸域情報提供システム（MICS）やレーダー・ナウキャストにより、気象・海象情報の把握を強化した。作業中、研究者は船上ブリッジより火口の状況を目視で確認した。噴煙高度3,000mを超える噴火が発生した場合は即刻作業を中断し、船長が船内退避を指示するか、現場海域を離脱することとした。これよりも小規模な噴火の場合は、噴煙の上昇・流向・移動速度の確認、火山灰降下状況の確認を行い、作業再開または退避の判断を行う体制を取ることとした。また、通常であればOBS投入後は、OBSが着底した位置を測量するが、現場海域での滞在時間を少しでも短くする為に今航海では実施しなかった。結果として、投入作業中に目立った噴火は発生せず、作業計画通りに終了した。

表1. 各観測点の着底位置ならびに設定パラメータ

観測点名	緯度	経度	深さ	センサー	サンプリング	分解能	ゲイン	観測期間	レコーダー
O1	30.50117°	130.19509°	-564m	1.0Hz	200Hz	20bit	300倍	2015/07/03-2015/10/09	HDDR-3C/KG
O2	30.46797°	130.27857°	-480m	4.5Hz	200Hz	22bit	300倍	2015/07/03-2015/10/30	HDDR-3C/KG
O3	30.39159°	130.24125°	-606m	1.0Hz	200Hz	20bit	300倍	2015/07/03-2015/10/09	HDDR-3C/KG
O4	30.42741°	130.15294°	-565m	4.5Hz	200Hz	24bit	1倍	2015/07/03-2015/10/30	LS-9100

今回使用した OBS は短周期短期観測型である。地動センサーはジンバル機構を備えた固有周波数 1Hz (Lennartz 1D/V) もしくは 4.5Hz (Mark Products L28-BL) の 3 成分速度型地震計を使用した。レコーダーは勝島製作所 HDDR-3C/KG または白山工業 LS-9100 を使用した。HDDR-3C/KG は分解能 24bit, サンプリング周波数 200Hz でセンサー出力が A/D 変換され, そのうち上位 22bit または 20bit が 40GB のハードディスクに収録された。ハードディスクは 40GB×2 個を接続し, 障害が発生した場合でも残りの 1 個に収録される。LS-9100 は 32GB の SDHC カード 2 枚にミラーリングで収録された。他, 各観測点の着底位置ならびに設定パラメータは表 1 の通りである。1Hz の地動センサーは OBS 揚収までにジンバルがロックされている必要がある。したがって, O1 ならびに O3 は揚収航海実施の予定日である 10 月 9 日の 6 時にレコーダーが停止するようにタイマー設定した (但し, 実際には延期日程の 10 月 30 日に揚収を実施)。なお, OBS 耐圧ガラス球内部の組立て作業は, 九州大学 (O1, O3 設置機体), 鹿児島大学 (O2, O4 設置機体) でそれぞれ分担し, トランスポンダ, 錘等の外装取付けについては出港前の 6 月 29 日～30 日の期間, 長崎丸船上にて行った。

### 3. 着底位置測量

OBS 着底位置測量は, 9 月 17 日, 小型兼用船第三葵丸 (総トン数 4.9 トン) を傭船して行われた (屋久島永田港出入港)。観測乗船者は研究者 1 名, 技術職員 1 名であった。現場海域到着後は, 投入位置の 1 点と, これを中心に囲む OBS の水深分離した三角形の頂点である 3 点の計 4 点に船を移動させ, 船上の音響呼出し装置と OBS 間の直線距離を 4～5 回程度測定した。本船は測量予定位置へ精度良く導く航海計器が装備されていない為, DGPS 機能を備えた GPS コンパス (Hemisphere, V-110) を設置し, 1Hz サンプリングで出力される船首方位と船位を, 電子海図を利用したビューアソフト (ピーシースタジオアルファ, AlphaMap Pro 版) をインストールした PC に表示させ誘導した。距離測定時の船位情報についても同様に GPS コンパスより得られた。

### 4. 海底地震計揚収

OBS 揚収航海は, 前述の通り当初 10 月 9 日を予定していたが, 海上時化の為, 延期日程の 10 月 30 日に実施された。使用船舶は着底位置測量航海と同じである。観測乗船者は研究者 2 名, 技術職員 1 名であった。着底位置付近の海上に到着後, 船上の音響装置から切り離し信号を送信した。本船は大学の練習船のように揚貨装置を装備していない為, OBS が海面に浮上したのを確認した後は, 船体を近付け, 先端にフックを取付けた長ポールで OBS を引き寄せ, 人力で船上に引き上げた。揚収した OBS は, 時刻較正用データ取得, レコーダー停止等の作業を船上で行った。OBS は全 4 台, 無事揚収することができ, 時刻較正の為の動作, 観測期間中のレコーダー動作も全て正常であった。作業当日は波高 1.5m, 雨天の中の決行であった。筆者は小型船舶による海底地震観測を, これまで比較的海上が穏やかな鹿児島湾では幾度も経験していたが, 外洋に於いては初めてであった。このような小型船舶で揚収作業を行うには, 波高 1.5m 程度でも揺れが大きく, これ以上波高が高ければ揚収作業の実施は不可能であった。OBS 外装部の分解・洗浄等は, 帰港後に永田港岸壁に積み下ろして行った。揚収した OBS は全て鹿児島大学に持ち帰り, 11 月 9 日, 全 4 台のガラス球内部解体, データ取り出し作業等を行った。

### 謝辞

観測航海は, 長崎丸の兼原壽生船長はじめ乗組員の皆様方, 第三葵丸の柴一直船長の多大な御協力のもと実施されました。また, 本発表は研究発表ではない為, 研究者の方々を連名とすることを割愛させて頂きましたが, 観測は, 八木原寛助教はじめ (鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島孤地地震火山観測所, 清水洋教授 (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), 山下裕亮助教 (京都大学防災研究所) 等の研究者が中心となり実施されました。さらに, 八木原寛助教には本報告書作成にあたって, 図の提供ならびに内容の指導等を行っていただきました。皆様方にこの場を借りて深く感謝致します。

## 四国南西部におけるオンライン広帯域地震観測点の設置

○安藤美和子<sup>1</sup>, 西本太郎<sup>1</sup>, 森健彦<sup>1</sup>, 藤田親亮<sup>1</sup>, 竹尾明子<sup>2</sup>, 小原一成<sup>2</sup>

1: 東京大学地震研究所 技術部総合観測室

2: 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

### 1. はじめに

南海トラフから西南日本に沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界では、海溝型巨大地震が約100年間隔で繰り返し発生している。また、これらの震源域の深部および浅部隣接域、さらに豊後水道から日向灘にかけての西部延長では、さまざまな時定数を有するスロー地震が発生し、スロー地震間で相互作用が観測されている。これらの相互作用は、隣接する海溝型巨大地震の震源域にも影響を与えていると考えられており、スロー地震と巨大地震との関係性解明が期待される。そこで、豊後水道で発生する多様なスロー地震間の相互作用のメカニズム解明と目的とし、四国南西部にオンライン広帯域地震観測点を新たに3点設置した。観測期間は、2016年に予想されている長期的スロースリップイベントに伴って発生する超低周波地震を観測するため、2015年度から5年間を予定している。本発表では、3点のうち2015年6月に設置した、愛媛県の宇和島榎川観測点と高知県の四万十深木観測点の2観測点を紹介する。

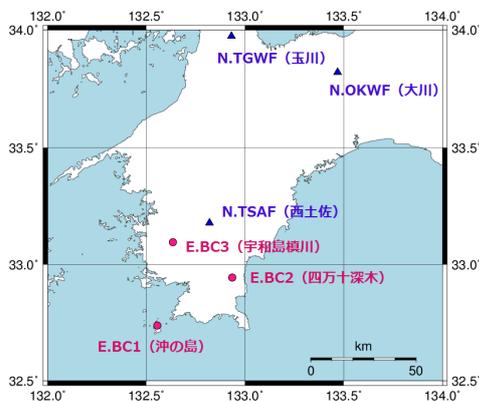


Fig. 1 観測点配置図 (●: 新設 ▲: 既設 F-net 観測点).

### 2. 観測点用地の選定

観測点の用地選定、短周期地震計による地動ノイズ調査、用地交渉ならびに借用地の賃貸借契約手続きは、応用地質株式会社に依頼した。用地選定に関する要求条件は以下の通りである。

- ・観測点建設の工事範囲ならびに観測点設備の占有面積が確保できること。
- ・オンライン観測に必要な既設の商用電力、通信線が近くにあること。

- ・地盤がしっかりしており、雨水が流れ込んだり溜まったりしないこと。
- ・用地周辺の交通量や人の往来が少ないこと。
- ・周辺に振動源となる工場や工事現場等がないこと。
- ・保守作業が容易にできること。

用地選定は愛媛県宇和島市から愛南町にわたる地域と、高知県土佐清水市、四万十市、三原村にわたる地域の2地区において行われ、短周期地震計による地動ノイズ調査の結果、宇和島市で2点、四万十市で1点が候補地として選定された。最終的な設置場所を決定するため、2015年2月下旬から3月上旬にかけて候補地において広帯域地震計による地動ノイズ調査を行い、地震計設置の適正を確認した。地動ノイズ調査は、地震計に固有周期120秒の広帯域地震計 Trillium Compact (Nanometrics)、収録装置に LS-8800 (白山工業社)、電源として40 Ah 鉛蓄電池を使用し、2週間オフライン観測を行った。得られた観測データのRMS (二乗平均平方根) 振幅からノイズレベルを、1時間の波形のFFT解析から、特異的な振動周波数を有していないか評価し、観測点の設置場所を決定した。

### 3. 観測点の構成

観測点構成図を Fig. 2 に、観測点機器構成図を Fig. 3 に示す。観測点の設計ならびに機器構成は、2011年に設置した千葉県・茨城県におけるオンライン広帯域地震観測網 (房総茨城広帯域アレイ)<sup>[1]</sup>、および福島県南東部のオンライン短周期地震観測網の観測点<sup>[2]</sup>を参考にした。

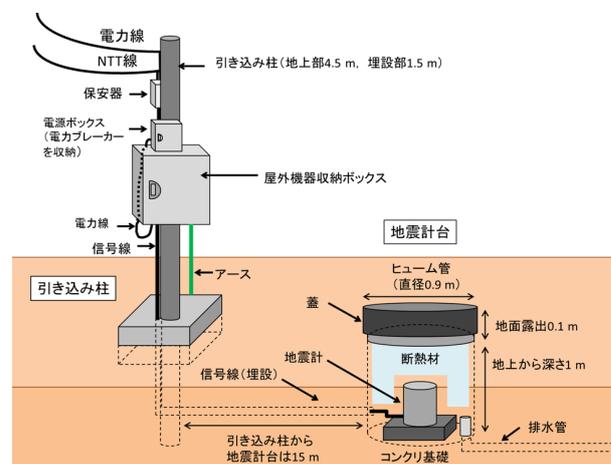


Fig. 2 観測点構成図.

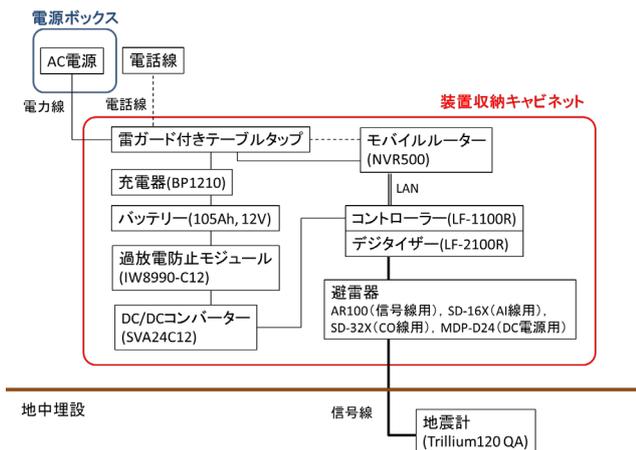


Fig. 3 観測点機器構成図.

### 3.1. 引き込み柱側キャビネット内の機器構成

電源は商用電源を使用し、その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、装置収納用に遮光板付きキャビネット（日東工業）を取り付けた。キャビネット内には、データ収録伝送装置（LF-1100R および LF-2100R, 白山工業）、ルーター（NVR500, ヤマハ）、12 V-105 Ah のバッテリー（SMF27MS-730, G&Yu）等を設置した。停電対策として、商用電源から小型バッテリー充電器（BP1210, 電菱）を用いてバッテリーを充電させながら、LF ロガーに給電させた。バッテリーと LF ロガーとの間には、過放電防止モジュール（IW8990-C12, 東京デバイセス）と、入力電圧 12 V、出力電圧 24 V の DC/DC コンバーター（SVM24SC12, イーター電機）を設置した。この機器構成ではバッテリーからルーターへの給電は行わないため、停電直後にデータの伝送は途絶えてしまうが、3 日程度はバッテリー駆動によりデータの収録・蓄積が可能である。データの通信方式は ACT プロトコルであり、通信が断絶した場合、通信再開後に欠測中に収録されたデータが再送される。通信は ISDN 回線を使用している。

### 3.2. 地震計の構成

本観測では、広帯域地震計として固有周期 120 秒の広帯域地震計 Trillium 120QA（Nanometrics）を使用した。遠隔地における保守作業の回数を低減するため、センタリングのリモートコントロール用信号線を LF に接続した。地震計台と LF ロガーを収納したキャビネット側は約 15 m 離れているため、雷対策として地震計のセンサー信号線、リモートコントロール用信号線、電源線にそれぞれ適した避雷器を導入した。

### 3.3. 地震計台の構成

地震計台構成図を Fig. 4 に示す。直径 0.9 m、長さ 1.2 m のヒューム管を地下に埋めて地震計台壁とし、

地下 0.9 m にコンクリートを打設して地震計台とした。地震計台壁面から伝わる振動の影響を避け、また、地震計台に侵入した水が逃げられるように、地震計台と壁面は接触させず、縁切りした。さらに水が逃げやすいよう排水管を設置し、水はけを良くするために、縁切りされた地面に園芸用の軽石を撒いた。広帯域地震計のノイズ源となりうる地震計周辺の温度変化と空気の対流を抑制するため、地震計台内部の空間をヒューム管の直径に合わせて円柱型に切った断熱材（スタイロフォーム）で充填した。

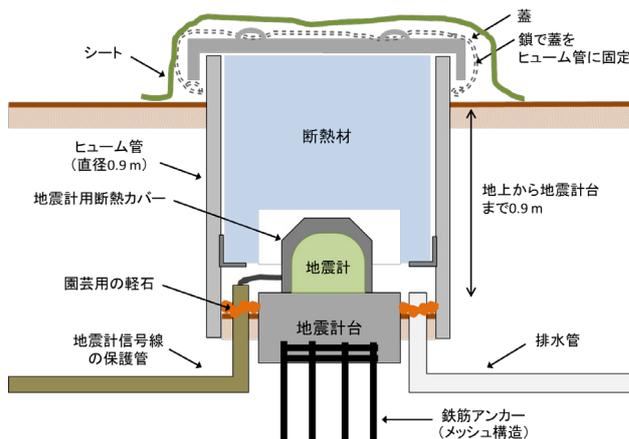


Fig.4 地震計台構成図 (四万十深木観測点).

## 4. 観測点の立ち上げ

2015 年 5 月下旬に観測点の設営工事を開始し、約 1 週間で完了した。2015 年 6 月上旬に観測点の立ち上げ作業を実施し、観測点の運用を開始した。以降、順調に観測が継続しており、既設の F-net 広帯域地震観測点の波形と比較しても遜色のない観測点となっている。

## 5. 地震計台内部の断熱効果の検証

地震計台内部に充填した断熱材の断熱効果を検証するため、運用開始から約 5 か月後の 2015 年 11 月 18 日から 20 日にかけて、四万十深木観測点の地震計台内部と屋外の 2 か所に温度データロガーを設置した。本発表では、屋外と地震計台内部の温度変化の相違についても報告する予定である。

### 参考文献

- [1] 宮川幸治・渡邊篤志, 千葉県と茨城県におけるオンライン広帯域地震観測網の整備 - 平成 23 年東北地方太平洋沖地震後の広帯域地震観測網強化を目的として, 東京大学地震研究技術報告書, 2011, 17, 23-41.
- [2] 藤田親亮・森健彦・荻野泉, 福島県南東部におけるオンライン地震観測点の設置, 東京大学地震研究所技術報告書, 2011, 17, 42-47.

## 広帯域ノイズ調査

○池澤賢志<sup>1</sup>, 諏訪祥士<sup>1</sup>, 森健彦<sup>1</sup>, 藤田親亮<sup>1</sup>, 酒井慎一<sup>2</sup>  
 1: 東京大学地震研究所 技術部総合観測室  
 2: 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

### 1. はじめに

2016年3月31日をもって東京大学地震研究所犬吠地震観測点が移転することになり、その移設先の観測点立ち上げを担当することとなった。現在の犬吠地震観測点との同時観測をしばらく行うため、撤収時期より前に移設観測点を稼働させる必要がある。そこで、2015年8月末より観測点を探し始め、3ヶ所で予備観測を行った。その記録から最適な地点（銚子市ふれあい公園）を選定し、銚子市へ使用許可申請を提出した。そこは、水郷筑波国定公園に含まれるため千葉県自然保護課へも申請を提出している。今後、許可が下り次第、観測点設置工事や機器設営を行って行く予定である。

犬吠地震観測点は1980年9月から情報通信機構の犬吠テストフィールドで観測が始められた。当時は400Hz帯の無線テレメータによって、リアルタイムにデータが送られていた。現在はインターネット網を使ったパケット通信でLF-1100R（白山工業製）で伝送するため欠測がほとんどなくなった。地震計は、道路から見える大きな崖の上に設置されていて、0.01-50Hzの帯域で感度が一定なCMG-3ESPC（GURALP製）である。

移設先でも広帯域地震計を用いた観測点になることから、あまり前例のない広帯域地震計を用いたノイズ調査を行った。本発表ではその結果から広帯域の周波数におけるノイズ調査の概要と有用性について報告する。

### 2. 予備観測の実施

今回の観測点候補地の選定にあたって、ノイズが小さいことを予想できるかどうか（地盤の安定度、多少の掘削で岩盤に地震計台を設置できるかどうか）、観測点の保守が行い易いかどうか、地権者から観測点移設の理解が得られやすいかどうか、を考慮した。予備観測の目的が振動ノイズ調査であり、曜日によるノイズの違いを見落とさない為、一週間程度観測を行うことにした。

候補地探査の結果、地震計を設置できるような露岩が見つからなかったため、新しい観測点では、数10cm掘った地下に地震計を設置することとした。温度変化によるやや長周期のノイズの影響を減らすためである。まず2015年9月10日に、銚子市立高神小学校で予備観測を行い、9月16日に同点を回収した。同じ日にふれあい公園敷地内に2ヶ所設置し、9月25日に撤収した。移設後の観測条件に近づけるため、地震計は約50cm埋設した。予備観測では、比較のため短周期地震計と広帯域



図1. 予備観測点の配置図（国土地理院地図より）。地震計で同時に観測を行った。

### 3. 観測システム

予備観測に用いた地震計は、固有周期1秒の3成分速度型地震計LE-3Dlite MK-II（Lennartz electronic社製）と周波数帯域が0.0083-108Hzの小型広帯域地震計Trillium Compact（Nanometrics社製）を使用した。収録装置にLS-7000XT（白山工業社製）、記録媒体には2GBのCFカードを使用した。このLS-7000XTの入力信号が6ch分あることから二機の地震計を用いた観測を、機材を少量にまとめつつ行うことができた。また電源として12V-65Ahのバッテリーを使用した。収録のサンプリング周波数は200Hz、A/D分解能は24bitとし、1時間毎にGPSによる時刻校正を行った。この条件で連続して地震観測を行う場合、CFカードへの記録可能時間は最大で約15日、LS-7000XTおよびLE-3Dlite MK-IIとTrillium Compactの稼働時間は約10日と見積もられ、予定している予備観測の期間は観測が続けられる。

### 4. ノイズ解析

まず一週間の生波形と10秒間の振幅平均を見て全体的なノイズレベルの大きさを比較した。また、フーリエスペクトルを算出し特異なピークがでていないかを確認した。

今回は広帯域地震計を設置する観測点を探すということを目的としたため、広帯域地震計を予備観測に用いた。

広帯域ノイズ調査の検証に関しては、現在の犬吠観測点の広帯域地震計のデータと今回予備観測で使用した2台の地震計のデータにおいて、スペクトル比を求め、その違いから広帯域ノイズ調査の検証に関する考察を行う。

## 2015年ネパール・ゴルカ地震 (Mw7.8) の緊急余震観測

○田中伸一・蔵下英司・酒井慎一・佐藤比呂志・平田直 (東京大学地震研究所)

### はじめに

2015年4月25日にネパールのゴルカ地方 (首都カトマンドゥより西北西に約80km, 深さ約15km) で Mw7.8 (USGS) の地震が発生した. この地震の発震機構解は南北方向に圧力軸を持つ低角逆断層型である. 5月12日には, カトマンドゥの東方約80km 深さ約15km において Mw7.3 (USGS) の最大余震が発生した. 余震は, 本震域と最大余震域の間に分布している. この地域では, インドプレートが年間約5cmの速さで北上し, ユーラシアプレートに衝突している. この運動が本地震を発生したと考えられている. しかし, 地震発生域に地震観測点が少ないため, 本震の震源, 特に深さや余震分布には不明な点が多く, 詳細なテクトニクスを議論できるデータが不足している. そこで, オフライン地震観測装置を用いて, 震源域において稠密な余震観測を実施した.

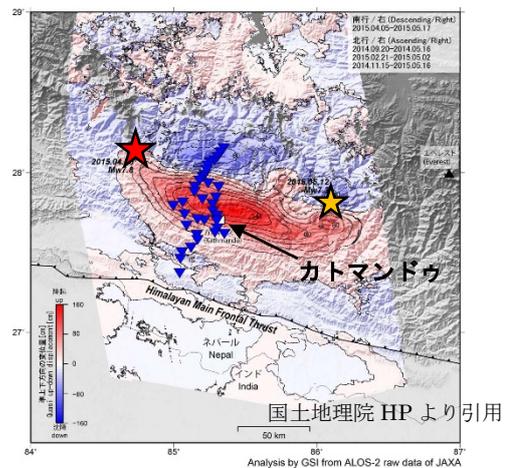
### オフライン地震観測装置の開発

日本からネパールまで観測装置を輸出することと, 現地での作業を可能な限り簡便にするために, 耐候性の高いペリカン社製スモールケースに, Geospace 社製のオフラインロガーGSX (GPS アンテナ内蔵) と 4.5Hz3 成分計 (GS-11D) を格納した観測装置を開発した. ボックス底部に3本のアルミフレームを強力接着剤 (セメダイン社製スーパーX ハイパーワイド) で貼り付け, 厚さ2mmのアルミ天板とフレームをネジ止めし, その天板に4.5Hz計をタイラップで固縛してボックスとカップリングさせた. また, 電源にはエボルタ単一乾電池11本を直列で繋ぎ, 30日以上連続で計測できる仕様とした. 現地での設置方法は, ボックスを厚手のビニー

ル袋で二重にくるみ, 時刻補正用GPS信号の受信感度をなるべく良くするため, 上面が露出する形で土壤に半埋設することとした. また, ボックス内部の4.5Hz計が水平になるよう水準器を用いて調整した.

### ネパールにおける機材展開

8月16日, 佐藤, 酒井, 蔵下, 田中は空路でカトマンドゥに到着し, ネパール科学技術アカデミー (Nepal Academy of Science and Technology; NAST) の研究者, シェルパと設置場所や機材の準備を行い, 3班に別れて展開作業を行った. 蔵下・田中は北班として, チベットとの国境付近まで北上して設置作業を行った. 建物や崖の崩壊が至るところで見られたが, 現地の人々がとても協力的であったため, 計12台の機器を設置することができた. 最終的に, 4日間で合計30台の機材を展開し, 輸送第一便に間に合わなかった残り5台は, 約2週間後に, NAST 研究者とシェルパで設置してもらった. 発表では, 設置風景なども併せて紹介する.



等高線と配色は地震前後の準鉛直方向変動, 観測点 (青三角・35箇所), 本震 (赤星)・最大余震 (黄星)

## 御嶽山における GPS 観測網の強化について

松廣健二郎

名古屋大学大学院環境学研究科附属 地震火山研究センター

### 1.はじめに

2014年9月27日の御嶽山噴火をうけ、今後起こりうる災害の軽減に貢献するためにも御嶽火山への理解を深める必要があり観測網の強化は急務であった。名古屋大学地震火山研究センターでは現在御嶽山周辺における地震火山観測網の強化を行っておりその一環としてGPS観測点を5点新設した。また今回のGPS観測点設置において携帯通信モデムを用いたテレメータシステムを稼働させたのでそれについても報告する。

### 2.GPS観測点の設置

昨年の御嶽山噴火時点での御嶽山付近のGPS観測点としては国土地理院の電子基準点(GEONET)が王滝、三岳、高根の三点あるものの火口から8km以上離れており、地殻変動を捕らえるためにはより火口に近い観測点が必要である。より火口に近いGPS観測点としては気象庁が田の原に設置しているものの火口より4km圏内としてはこの一点のみであった。そのため地震火山研究センターでは噴火後御嶽山火口周辺に5つのGPS観測点を設置し観測網の強化を行なった。

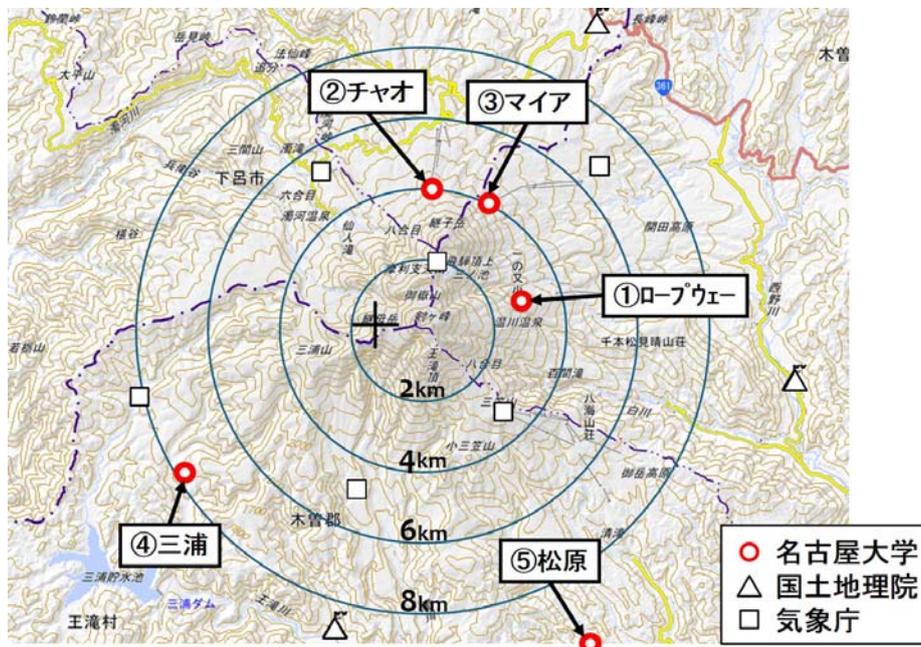


図1 御嶽山周辺のGPS観測点



(a)

(b)

図2 GPS観測点 ((a)ロープウェー飯森高原駅 (b)チャオスキー場)

図2に示すロープウェー飯森高原駅およびチャオスキー場の観測点では土台のしっかりした建物があったことからその上にアンテナポールを固定する形で観測点の設置を行なった。電源に関してはロープウェー観測点では冬季営業休止期間も凍結防止のため電源が入っており通年で使用することが出来たがチャオスキー場では夏季営業休止期間は電源が止まるため図2でわかるようにソーラーパネルを設置した。

図3に示すマイアスキー場では上記2点の様な建物が無かったためコンクリート基礎を使って観測ポールを建てることとした。また電源についてはチャオスキー場と同様夏季に電源が取れないためソーラーパネルをアンテナポールに取り付けた。

観測データは設置が容易で通信料も安い携帯通信を用いた。大学へのGPS観測データの送信に関してはTrimble5700を用いているものでは受信機よりシリアルからのストリーミングでLinux Boxに収録しDropboxを介して大学にデータを送信している。一方Trimble NetR9を用いているものでは受信機にネットワーク通信機能を有するのでSIMを利用できるルーターを設置して大学へのデータ送信を行なっている。

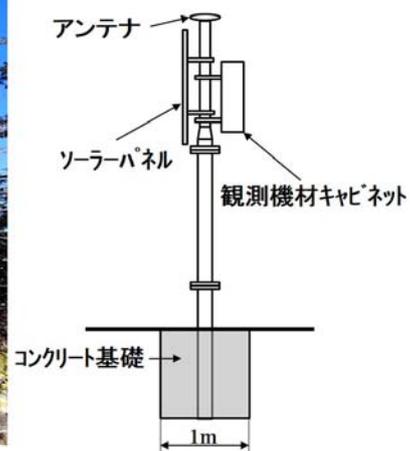


図3 マイアスキー場GPS観測点と観測機材断面図

## ボールねじ機構を利用した一軸振動台製作の検討について

○岡田 和見

北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター

## 1、はじめに

ボールねじとは、ねじ軸とナットの間でボールが転がる送りねじのことをいう。一般的にねじ機構は、ねじ軸とナットの間隙を持たせてやることで、ねじは自由に動かすことができる。しかし、その隙間が存在することでねじを逆方向に回転させた際に送りのずれや衝撃が生じる。ボールねじはねじ軸とナットの間隙をボールで埋めることで、ねじを回すときに必要不可欠な隙間を最小限におさえ、送りねじの高精度の位置だしを可能にすることができる工業製品である。

また、地震計校正の最も直接的な方法として、地震計を振動台の上に載せ、任意の振幅や周波数の振動における地震計の記録を見ることが挙げられる。

本検討においては、その任意の振動実験を行うためにボールねじ機構を用いた振動台を作製し試験を行ったので報告する。

## 2、目的

ボールねじの位置だし機能を応用した簡易的な振動台を製作し振動実験を行う。

## 3、使用機材と制御

## 3-1 使用機材

本振動台のメイン機材となるボールネジには NSK 社製 PSS1520N1D0461、ステッピングモーターには MERCURY MOTOR 社製の SM-42BYG011、カップリングには三木プーリー社製の SFT-034SA1、摺動板を支えるガイドには NSK 社製の NS150400CLC2TO4PHH を使用した。

設計には設計ソフトウェアである Auto Cad を使い使用機材の固定位置などを決め自作部品類を作製した。組立後の写真は写真 1、2 に示す。

制御系統は、小型シングルボードコンピュータである Raspberry Pi とモーターコントローラー IC の L293D を使い、データ収録には白山工業製の LS7000XT を使用した。

## 3-2 摺動板の変位とボールネジの回転の関係式

本検討で用いたコントロールプログラムにはモーターの回転数  $R[\text{rpm}]$  が必要なので下記に関係式を示す。

摺動板の振幅を  $A[\text{mm}]$ 、振動の周波数を  $f[\text{Hz}]$ 、とすると摺動板の速度  $v[\text{mm/s}]$  は

$$v = 2 \times A \times f$$

ステッピングモーターが1回転する時のボールねじの送り量を  $L$ [mm]とし、摺動板を1秒間に  $L$ [mm]動かす時のモーターの回転数  $R$ [rpm]は、

$$1 \text{ [rps]} = 60 \text{ [rpm]}$$

$$60 \text{ [rpm]} : L \text{ [mm/s]} = R \text{ [rpm]} : v \text{ [mm/s]}$$

$$R \text{ [rpm]} = 60/L \times v$$

本検討で使用したボールねじは  $L=20$  であるので

$$R=3v$$

$$R=6Af$$

以上の関係式を用いて、本検討では任意の振幅と振動周波数を与えた際のモーターの必要回転数を算出し、振動実験を行った。

#### 4、振動実験と今後の展開について

Mark Products 社製 L-22-3D を用いて水平方向成分の振動試験を行った結果と今後の展開については当日の発表時に示す。

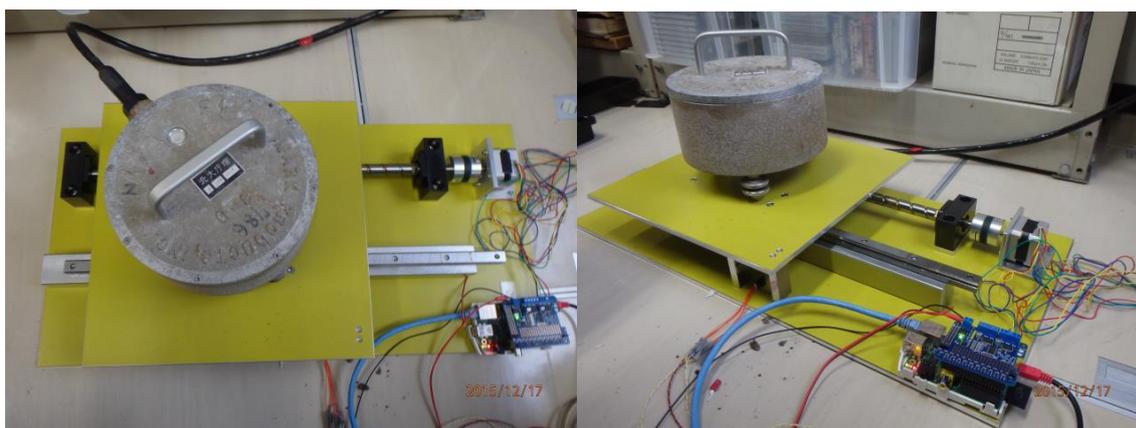


写真 1、2：製作した振動台(左写真:真上から、右写真:斜め上から)

## 阿蘇中岳噴火後の観測点のトラブル対応について

京都大学大学院理学研究科附属  
地球熱学研究施設火山研究センター

井上 寛之

### はじめに

京都大学火山研究センターでは、阿蘇中岳火口周辺に地震計など機器を設置し観測を行っている。2014年11月から阿蘇中岳で約20年ぶりのマグマ噴火が始まった。噴火の影響で観測機器にトラブルが発生した。今回の発表ではどんなトラブルが発生し、どのような対応を行ったかについて報告を行う。

### 観測とトラブルについて

火口周辺では商用電力が無いため、ソーラーパネルやバッテリーを使用して機器を動かしている。具体的には地震計、GPS、磁場観測の機器の電源として使用している。今回の噴火で火山灰がソーラーパネルに降り積もりバッテリーが充電出来なくなったため、バッテリーの電圧が低下し機器が動作しなくなるというトラブルが発生した(図.1)。

噴火の初期の頃はソーラーパネルの清掃(図.2)を行っていたが、噴火の度に清掃を行うのは時間的に制約があるのと清掃中にも噴火の可能性あるため安全面を考慮して、追加でソーラーパネルの取り付けやバッテリーの設置を行った(図.3,4)。この際、灰がソーラーパネルに付着しにくくすると噴石対策でソーラーパネルを西側(火口と反対方向)に向けて鉛直に設置した。また灰が観測室に流れ込み埋没してしまった点(図.5)もあるため、新たに観測点を設けた(図.6)。

また、噴石により機器(バッテリー、ソーラーパネル、三脚、磁力計など)の破損も発生した(図.7)。そのため破損した機器の交換や補修なども行った(図.8)。

### まとめ

火山灰対策で追加のソーラーパネルの取り付けやバッテリーの設置を行った。また噴石によって機器が破損をしたので、交換・補修を行った。



図.1 灰の清掃



図.2 灰の清掃完了



図.3 ソーラーパネル追加1



図.4 ソーラーパネル追加 2



図.5 灰の除去



図.6 観測点追加設置



図.7 溶けたバッテリー



図.8 ソーラー架台の補強

# 阿蘇火山におけるドローンの活用

吉川 慎

京都大学大学院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

阿蘇火山は2014年11月頃から活動が活発化し、一時は噴火警戒レベル3に引き上げられた。噴火を繰り返す中で、火口の形状も刻々と変化していった。その変化を捉えるべく昨年度導入したドローン（小型無人航空機）を用いて写真測量を実施した。その観測について報告する。

また、噴火警戒レベルの上昇に伴い専門家の立入も厳しく制限される状態においてドローンを有効活用するには、普段からどのような準備をしておく必要があるか自身の経験を交えて報告する。

## 2. 使用機材の特徴

写真測量に使用した機体は、DJI 社製 Phantom2 VISION+（以下 Phantom2）という HD カメラを搭載したモデルで、FPV（First Person View）機能が搭載されており、搭載カメラのリアルタイム映像が手元のスマートフォンで確認できるようになっている。さらに、機体上部には GPS も搭載されており、送信機を操作しない状態でのホバリングが可能である。また、バッテリーは 5200mAh LiPo が採用されており、その総重量は 1.242 kg、カタログ上の飛行可能時間は 23 分である。しかし、実際の運用においては、数メートル浮上させて送信機からの反応やコンパスキャリブレーション等の確認を行ったり、安全のためある程度バッテリー残量が残っているうちに着陸させたりするため、実際の飛行可能時間は 15 分程度である。

## 3. 撮影手法

前述の通り Phantom2 には、FPV 機能が搭載されており、映像をスマートフォン画面上で確認しながら操作・撮影することが可能であることに加え、現在地周辺の地図をダウンロードすることにより、ウェイポイントの設定、飛行高度および飛行速度が指定できる機能を有している。この機能を利用すれば、スタート地点から撮影したいポイントまで自動的に飛行させることができ撮影操作だけに集中することが可能である。撮影間隔はおおよそ 1 秒 1 枚程度で、直前の画像と 60%以上重なることが望ましい。カメラの画角はあらかじめ設定した角度で固定して撮影しても問題ないが、フライトごとに高度やカメラの画角を変更する方が、より良い解析結果が得られるようである。

## 4. 問題点と今後の課題

2014 年 12 月に導入され、当センター敷地内においてテスト飛行を重ね、これまでに 2 回の測量を行うことができたが、幾つかの条件によって実施を断念したり、機器のトラブルに見舞われたりした。ドローンを操縦する上でもっとも重要な条件は風と視界である。特に風速が 6m を超えるような場合は飛行を断念した方が懸命である。そのような条件下で飛行を実施すると最悪の場合墜落し機体の破損や紛失につながる。

また、Phantom2 では Flyaway（制御不能）と呼ばれる現象によって墜落の報告が多数なされている。飛行前には必ず幾つかの手順（機体のコンパスキャリブレーションーGPS 衛星の補足ー低空での飛行テスト）があり、安全に動作するかの確認を行うが、それらを行っても Flyaway に陥る場合がある。筆者もその状況に陥り、第 4 火口の火口壁に激突し大破させたことがある。幸いなことにこの時は火口周辺が立ち入り規制であったため人的被害はなかったが、常にこのような状況

下に陥ることも念頭におきながら操縦する必要がある。

まだまだ発展途上で危険な側面も持ち合わせているが、今後の火山観測に大いに貢献していくと考えている。例えば、噴火が継続していて火口周辺への立ち入りが規制される場合においては、観測設備の被害状況や噴出物の分布調査、さらには火口内部の状況を確認することもできる。だがその場合には、離陸地点から調査対象までの距離が必然的に長くなるためFPVフライトが基本となる。起伏のある地形であれば、目視できない分衝突などのリスクを伴う。したがって、比較的静穏時期に対象となる現地にて飛行テストを行い、地形の把握等を行っておくとより安全に調査ができると考える。

## 七輪マグマ展示装置の課題

馬渡秀夫

京都大学 理学研究科技術部

### 1. はじめに

京都大学理学研究科技術部では、技術職員によるアウトリーチ活動に力を入れている。そこで附属地球熱学研究施設(大分県別府市)の機関研究員を中心として「青少年のための科学の祭典」向けに始められていた、電気炉で岩石試料を熔解した溶岩の流れる様子とその性質や危険性を知ってもらう展示について参画し、熔融そのものから連続観察できる装置を開発した。その装置開発の第1目的は、もちろん岩石試料が熔融する様子をまざまざと観察できることであったが、第2目的は可能な限り安価で手軽に展示実験ができることであった。

### 2. 開発した装置

装置は七輪を利用する形で開発した。全体で七輪を2個利用する。1個は通常の使用方法どおりに設置し、その上に逆さにした七輪を被せて使用する。その被せた七輪の上部に穴を開け、その穴に岩石試料の入ったオーステナイト系ステンレス容器をはめ込み、その容器を加熱する。加熱燃料には木炭を使い強制的に空気を吹き込み燃焼させる。これら全ては、いわゆる DIY ショップ等で簡単に揃えることができる。



### 3. 実験展示

装置を利用した最初の展示は、小学校理科の出前授業であった。その後、附属地球熱学研究施設の一般公開で展示を行うようになった。また、火山研究センター(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)の一般見学会でも展示を行っている。展示に



に対する見学者からの感想は非常に好評である。また、公開においてマスコミの取材を受けた際にも好評であり、殆どの場合でTV放送もなされている。



### 4. 装置の課題

安価で手軽に実施できるように開発した展示装置であったが、手軽な作成手順を重視したこともあり、展示を重ねた結果、大きく2つの課題が浮かび上がってきている。

まず1つ目は、七輪の加工に掛かる課題である。現有の機材によって実現できる形状では、試料を入れた容器に対する効果的な加熱ができていないと言えない。そのため、試料の熔融までの時間が長くなってしまう事と、熔融試料の到達温度が高くない問題がある。

2つ目は、使用している燃料の課題である。現在使用している安価な木炭は密度が小さく全体の炭素量が少ないため供給熱量が小さい。装置内部の燃料を投入できる容積は限られている。その容積における最適な燃料が必要である。これは、価格の面、利用している七輪を破壊しない程度の燃焼温度に抑えなければならない面、また試料が全て熔融するまでの燃焼継続時間の面について要求を満たす燃料の探索が必要である。

#### 参考文献

- [1] 下岡順直ほか,七輪でマグマをつくる -身近なものを用いてマグマ形成過程を観察する-,地学教育 64 巻 3 号,53-69,2011
- [2] 馬渡秀夫ほか,七輪で火山岩の融解を連続観察する器具の製作,平成 26 年度北海道大学総合技術研究会要旨集,2014

## 薄片作製業務の紹介

京都大学 理学研究科 高谷真樹

### 1. はじめに

岩石、鉱物、化石、隕石などの地球惑星物質や実験生成物の観察や分析を通して地球を含む太陽系惑星の起源や形成、進化過程を解明する地球惑星物質科学では、物質から多様な情報を引き出すために様々な分析機器を使用する。薄片とは、こうした各種物質を偏光顕微鏡で観察するために作製される試料厚  $30\ \mu\text{m}$  のプレパラートのことであり、地球惑星物質は基本的に肉眼以下の細粒な鉱物からなることから、当分野では薄片の作製は基本的かつ重要なものとして位置づけられる。薄片作製業務では、偏光顕微鏡用に加え、SEM, EPMA, FT-IR, Raman spectroscopy, LA-ICP-MS などの各種分析機器にて観察・分析するための試片を作製している。

### 2. 薄片作製業務と作製する試片の種類

フィールド調査で採集された試料や実験で得られた生成物の加工依頼を受け、切断、研磨、接着、樹脂補強等の各種加工を行なうことにより、機器や目的に適した試片を提供している。依頼試料は多くの場合チップ状に成形された状態で預かるが、そのままの場合や小さい試料の場合には樹脂に埋められた状態（樹脂包埋）で預かる場合もある。作製においては試料の硬さや緻密さ、吸水性の有無、研磨液や接着樹脂との相性、加熱の可否などの諸性質を見極め適切な処置を採り加工を進める。

本業務では、主に以下の 3 種類を作製している。

薄片：

厚さ  $30\ \mu\text{m}$  に調整された地球惑星物質のプレパラート。観察に適した屈折率を持つ接着樹脂にて試料をスライドガラスに

接着・固定した後、もう一方から研磨、厚さ  $30\ \mu\text{m}$  に薄片化させ、カバーガラスを接着して作製する。

研磨片：

試料断面を鏡面仕上げした試料。試料の切断面あるいは樹脂包埋試料の表面を薄片作製と同様に研磨した後、さらに研磨布上で微細な研磨材（主に  $3\ \mu\text{m}$  以下）により琢磨して作製する。

研磨薄片：

試料表面を鏡面仕上げした薄片。薄片および研磨薄片は試料サイズに合わせた各種スライドガラスを用いて作製している（ $48\times 28\ \text{mm}$ ； $76\times 52\ \text{mm}$ ； $120\times 80\ \text{mm}$ ）。その他、切断加工や形状加工なども行っている。

### 3. おわりに

地球惑星物質科学においてこのような試片の作製は研究の萌芽・展開を担う基盤的作業であり作製数が多く、またその品質は地質情報の多寡や分析精度等に影響を与えることから、業務においては一定の品質で迅速に作製することが求められる。また、分析機器の発展、高精度化が進む中、薄片作製に求められる技術もさらなる高度化、多様な試料への適応が必要になっている。既存の手法に満足せず、研究者とともに技術開発に取り組み研究の進展や薄片技術の発展に貢献することも重要な役割である。

本発表では、薄片作製業務の紹介とともに、試片の作製方法および薄片の観察に適した偏光顕微鏡より得られる情報についても紹介する。

## 高知大学地震観測点の JDXnet/SINET4 データ中継拠点への接続

高知大学理学部附属高知地震観測所 山品 匡史

### はじめに

高知大学理学部附属高知地震観測所（以下、「地震観測所」と言う。）は、高知・愛媛両県 8 ヶ所に地震観測点（地震観測所も含む。）を設けている（山品, 2014）。各観測点の観測データは地震観測所へ送信され、地震観測所から JDXnet へ転送・配信されている（山品・田部井, 2014）。この構成の場合、地震観測所が被災、電力や通信関連設備の障害による影響を受けた場合、全てのデータを提供できなくなる。

東京大学地震研究所（以下、「地震研究所」と言う。）は、テレメータシステムの耐災害・耐障害性向上のため、SINET4 のデータセンター（DC）上に観測点からのデータを JDXnet/SINET4 へ中継するシステムを構築した（ト部ほか, 2013, 2014）。地震研究所が他機関による同システムへの接続の受け入れを開始した（ト部ほか, 2014）ことから、地震観測所では JDXnet へのデータ送信経路を同システムへ切り替えることにした。

本発表では、データ中継拠点への接続についての作業概要や現状について報告する。

### 接続申請・作業

JDXnet/SINET4 データ中継拠点への接続のための申請・作業の流れは以下の通りである。

1. 地震研究所へ接続の希望を申し入れ、了解を得る。
2. 地震研究所が管理者となっているフレッツ・VPN ワイドへ参加するための同意書を、地震研究所を通じて NTT へ提出する。
3. 地震研究所から、(1) VPN へ接続するために必要な、(a) 企業識別子、(b) DC の WAN 側および LAN 側それぞれのネットワークアドレスと (c) 各観測点に割り当てられたユーザーID、パスワードと WAN 側 IP アドレス、(2) 各観測点で利用可能な LAN 側のネットワークアドレス、(3) データ送信先となる DC 内の中継装置の IP アドレスとポート番号、が通知される。
4. 各観測点での切り替え作業日を地震研究所と相談し、決定する。作業中はデータ配信が中断するため、作業日を JDXnet メーリングリストなどで関係者へ連絡する。

5. 各観測点におけるルータ、データロガーやその他機器のネットワーク関連の設定を、3. に応じて変更・設定する。その後、波形データが正常に配信されていることを確認する。
6. 地震研究所へ当該観測点からのデータを JDXnet/JGN-X へ転送してもらえるように依頼する。

## 現状と今後の計画

2015年12月時点で2観測点(粟生および馬路)について切り替えを完了し、問題なくデータ配信が行われている。なお、完了した2観測点の設定変更作業は観測点において行った。今後は、残り6観測点についても順次作業を行い、今年度内には全観測点について作業を完了したいと考えている。そのためには、地震観測所から遠隔で設定変更できることが望ましい。作業手順についての検討・試験を行ったので、これからの切り替え作業では、現地での作業だけではなく、地震観測所から遠隔で行うことも考えている。

## 謝辞

JDXnet/SINET4 データ中継拠点への接続につきましては、東京大学地震研究所 卜部 卓先生(当時)、鶴岡 弘先生、出川昭子さんに大変お世話になっています。記して感謝申し上げます。

## [参考]

堀川信一郎・寺川寿子・山中佳子・出川昭子・卜部 卓, 2015, JDXnet/SINET 上に設置したデータ中継拠点の利用について, データ流通ワークショップ発表要旨集.

[http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data\\_ryutsu\\_WS\\_abstracts\\_150317.pdf](http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data_ryutsu_WS_abstracts_150317.pdf)

卜部 卓・鷹野 澄・鶴岡 弘・中川茂樹, 2013, JDXnet/SINET4 上に設置した観測データ中継拠点の試験運用, データ流通ワークショップ発表要旨集, 18-19.

[http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data\\_ryutsu\\_WS\\_abstracts\\_130326.pdf](http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data_ryutsu_WS_abstracts_130326.pdf)

卜部 卓・鷹野 澄・鶴岡 弘・中川茂樹, 2014, JDXnet/SINET4 上の観測データ中継拠点の利用について, データ流通ワークショップ発表要旨集.

[http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data\\_ryutsu\\_WS\\_abstracts\\_140326.pdf](http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data_ryutsu_WS_abstracts_140326.pdf)

山品匡史, 2014, 高知大学の地震観測点について, 平成 25 年度地震研究所職員研修会プログラム&アブストラクト.

[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kenshu\\_iinkai/record/h25/pdf/H25\\_Program3.pdf](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kenshu_iinkai/record/h25/pdf/H25_Program3.pdf)

山品匡史・田部井隆雄, 2014, 高知大学におけるデータ流通網への接続について, データ流通ワークショップ発表要旨集.

[http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data\\_ryutsu\\_WS\\_abstracts\\_140326.pdf](http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/data_ryutsu_WS_abstracts_140326.pdf)

## 蔵王山で実施した 2015 年人工地震火山体構造探査

中山 貴史・平原 聡・山本 希・三浦 哲・市來 雅啓  
東北大学 地震・噴火予知研究観測センター

### はじめに

2015 年 10 月、全国の 8 大学と気象庁によって、蔵王山の人工地震火山体構造探査が「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の一環として行われた。火山体の構造探査は 1994 年の霧島を皮切りに年 1 回ずつ実施されており、東北地方では、1997 年の磐梯山、2000 年の岩手山に続いて今回は 3 例目となる。蔵王山においては、これまで詳細な火山体構造が理解されていなかったが、本探査の実施により、火山性地震の震源決定の高精度化や地下の熱水分布の解明などが期待される。

東北大学は、実施主体として現地調査など準備を

進めた。本発表では準備から観測期間に行った業務内容について整理し、回収したデータの状況についても簡単に紹介する。

### 探査概要

本探査では、東西測線を用いた屈折法解析による火山体構造の基礎データの取得、ファン・シューティング法的解析による御釜(火口湖)周辺の地下熱水系の解明を目指し、図 1 に示す観測点・発破点配置で実施を行った(観測点・発破点の諸元は表 1, 2)。また、地中発破に加え、砕石場における発破も活用し、表面波解析による浅部構造推定も目指した。



図 1. 全体配置図.

- ★: ショット点 (S1, S2)
- : 観測点 (車アクセス可)
- : 観測点 (徒歩設置)
- H: みやぎ蔵王高原ホテル

表 1. 観測点情報

観測点数	132 点 + 既存点 7 点
測線範囲	東西 13km, 南北 6km
地震計	L-22D(上下動 1 成分)
ロガー	LS-8200SD

表 2. 発破点情報

	S1	S2
薬量	200kg	100kg
掘削深度	40m	30m

実施期間：2015 年 10 月 18 日～24 日（発破実施 10 月 22 日未明）

参加機関：北海道大学，秋田大学，東北大学，東京大学，名古屋大学，京都大学，九州大学，鹿児島大学，気象庁

参加人数：21 名（観測 5 班 + 本部 1 班）

## 事前準備

本探査の準備で行ったのは、主に観測点の現地調査とロガーの設定である。なお、一連の準備過程のうち、発破や観測点の設置に関わる許可申請・自治体対応と発破点の調査・業者対応については、筆頭著者が関与しなかったため省略する。

観測点の現地調査は、配置案を基にして、各地点で設置環境・上空視界に問題がなければ杭打ちを行い、座標の情報と点の記用の写真を行き帰り・遠近それぞれ記録した。調査は1日30点超に及ぶため、写真には観測点名を記入した小型白板を写し込み整理に役立てた。また、車移動となるエコーライン沿いの測線では、車を横付けできない場所が多数あるため、停車可能箇所を地図上に記入して観測期間中の無駄な移動を減らすよう努めた。ハンディGPSで取得した各点の座標は、GDB形式に集約して、点の記と共に事前に参加者へ公開された。

ロガーのスケジュール設定は2パターンを用意した。基本設定は、2回の地中発破を収録する21日夜から22日朝までの6時間と夕方17時前後に行われる碎石発破用の1時間であるが、作業の進捗をあらかじめ考慮し、碎石発破分の収録を20・21日に行うものと21日のみのものに分けた。設定が完了したロガーには色分けしたテープを貼り、2パターンのスケジュールを外見で見分けられるようにした。

## 観測点設置

設置した機材は、全点L-22D地震計とLS-8200SDデータロガーで、2013年桜島探査同様に専用アダプタを用いた接続を行った。設置手順はほぼ例年通りのため作業内容については省略する。

探査期間の蔵王山は紅葉時期で大勢の観光客が訪れることに加え、主な測線となるエコーラインは見通しの良い直線区間が少ないため、観測には安全確保が重要となる。そのため、カラーコーンに取り付け可能なサインボードや発光誘導棒を用意して通行車に注意を促した。また、期間中に熊に遭遇した班もあったため、交通事情と野生動物の両面で注意が必要であった。

期間中はおおむね天候に恵まれたが、時折、濃霧で視界不良となる地域もあったため、進捗に応じて担当する観測点を調整し、大部分の設置は、発破の2日前までに完了した。発破前日の日中には全点の見回りを実施し、夕方の碎石発破収録時間にはロガーの動作ランプ点灯などを一部の点で確認した。

## 発破対応

発破実施時の主な対応は、本部、発破点、周辺道路の交通規制の3つであった。本部機能はホテルの会議室に置かれ、地震活動のモニターにはWIN systemに付属のshmxを利用して、気象庁の坊平と東北大の蔵王の2観測点を監視した。波形表示は、ホテルに設置したLinuxマシンで直接データ受信したものと、大学内のマシンで描画したもの(VPN接続による)の2通りを用意した。通信は、auおよびNTT docomoのモバイルルーターを使用した。

発破点担当は、実施前日の日中に現場の下見を済ませた。本部との連絡が出来ないケースも想定し、2Hz地震計とロガー・オシロスコープによって発破点側でも地震活動を監視した。発破点に携帯電波が届かないS2では、連絡の中継箇所を設け、携帯電話と無線機を併用して通信を確保した。

交通規制は、自治体・所轄警察署との協議により通行止めの事前告知は行わない等の事情が絡んだが、規制場所を熟慮して人員を配置し、発光式の誘導棒や作業着を身に付け、説明用の資料も用意しておおむね滞りなく行われた。

## 回収データ

ショットマークは、データ回収(PCへの吸い上げ)、時刻校正、信号とも良好だった。測線の観測記録は、データ回収率100%、時刻校正の成功率も発破時間帯前後は100%であった。ただし、波形データについては、ケーブル切断等で2点で地動を確認できなかった。2回の発破とも波形はおおむね良好で、初動の読み取りも問題なく実施出来た。また17時頃の碎石発破の記録についても、表面波の伝播が明瞭に記録された。

また、発破前日午後、福島県沖で発生したM5.3の地震(気象庁発表)の余震波形も多数記録することが出来、観測点各点の表層地盤特性や地震計の設置状態等、解析に有用な情報が得られることが期待される。

謝辞：本探査を実施するにあたり、多くの方々にご協力いただきました。記して感謝申し上げます。

山形森林管理署、仙台森林管理署、宮城県大河原振興事務所、宮城県大河原土木事務所、山形県村山総合支庁、宮城県観光課、蔵王町、みやぎ蔵王高原ホテル、東邦採石(株)、(株)斎藤工務店、上山土建工業(株)、東京大学地震研究所、渡邊篤志、安藤美和子、仙台管区気象台(順不同・敬称略)

## 岩石薄片作製業務の紹介

名古屋大学全学技術センター  
分析・物質技術系 高木菜都子

### はじめに

名古屋大学全学技術センターでは、情報文化学部にて地学・情報系技術支援のための職員を配置し、関連教員の研究活動や学生の実験・実習に関する支援を行っている。

特に岩石薄片の作成や試料処理といった地学関連の依頼への対応のため、実験準備室内に各種機器を備え維持・作業を行っている。今回は薄片作製業務について紹介する。

### 薄片作成工程

岩石薄片の作製は通常次のような手順により行っている。まず岩石試料から目的とする試料範囲を含んだ岩片(チップ)を切り出し、片面(ガラスに貼付ける面)を研磨する。研磨盤と#800 GC 研磨剤を用いて表面を整えた後、メノウ板とアルミナ粉(#1000→#2000→#3000)を用いて手擦りでさらに研磨する。表面が平滑に仕上がったらエポキシ系接着剤を用いて110-120℃のホットプレート上でチップをスライドガラスに貼付ける。接着剤硬化後、徐冷したのち二次切断し、スライドガラス表面に厚さ0.5mm程度を残してチップを除去する。さらに試料厚が70μm程度になるまで研磨盤、研磨機器等により研磨し、手擦りでアルミナ粉#1000→#2000→#3000により仕上げる。仕上がりの厚さは30μmを基準としている。偏光顕微鏡観察などに用いる通常の薄片は、表面保護と観察を容易にするために試料表面にカバーガラスをかぶせ接着する。

### 各種分析用薄片

電子線マイクロアナライザ(EPMA)、二次イオン質量分析法(SIMS)等の分析に用いる薄片は、試料表面の凹凸が分析値に影響するため、#3000までの研磨に加え、さらにダイヤモンドペースト3μm→1μmにより研磨し鏡面仕上げとする。また、熱可塑性の樹脂の使用や反転法により試料の両面を鏡面仕上げとした両面研磨薄片の作製なども行っている。

### 保有機器

薄片作製のために主に以下のような機器・用具を保有し維持管理している。

- ・岩石カッター 5-MW (三池理化工業)
- ・パワーカッター MC-420 (マルトー)
- ・ファインカット 31 型 (平和テクニカ)
- ・プレパラップステップオート MG-315(マルトー)
- ・Doctor-Lap ML-180 (マルトー)
- ・超硬金属(WC)研磨板 MKL-105 (マルトー)

### 試料処理件数など

昨年度は年間でおおよそ330枚の薄片作製のべ50試料の岩石加工依頼があった。

### その他

2015年度より学部外からの薄片調製依頼にも対応できるよう部局内での取扱いを確認した。またHPを作成し業務紹介や依頼対応事例を掲出することを検討している。

### まとめ

名古屋大学全学技術センターでは現在主に情報文化学部関連の教員・学生からの依頼に応じて岩石試料処理を行っている。今後はより多様なニーズに対応できるよう機器等を整備・充実させていきたいと考えている。

## 御嶽山における観測網強化の内容と進捗状況について

○堀川信一郎、松廣健二郎、奥田隆（名古屋大学地震火山研究センター）

### 【概要】

これまで名古屋大学では、主に御嶽山山麓域で継続している群発地震を観測・研究するために周辺域において地震観測点を整備してきた。また時折やや活発化する火山活動に対しては臨時機動観測点を出すなどして対応してきた。平成26年には山頂での地震観測を計画している中、同年9月、噴火に至り大きな犠牲が出た。これを受けて、火山活動をより正確に把握するために、26年度補正予算において地震・空振・傾斜・GNSS等の観測を5カ所で強化する計画を申請し取得した。各観測点は本年度末までに運用を開始する予定である。なお既存観測点配置や観測条件の違いがあるため、GNSS観測については別に設置場所の選定を行った。GNSS観測点の運用は既に開始しており、本研修において別に報告する予定であるので（松廣）、ここでは主に地震観測を行う観測点についての報告を行う。

### 【新設観測点について】

概して御嶽山の北・東北側の山腹は岩の露出が少なく、地表は火砕物に覆われた場所が多い。そのため開発が進んでいることも多く、電力通信条件は比較的良いが地表での地震観測には向かない場所が多い。一方、南・西側の山腹は岩の露出は多いが山深く、電力・通信事情は甚だ悪い。定常点としての安定した電力・通信の確保や、少ない人員での保守を考慮すると、特に観測密度の低い西山麓での新設を除き、既存観測点を強化・補強する方針が現実的であった。諸々の事情により、最終的な計画は既存観測点を完全に移設・強化するものではなく、言わば「離れ」的観測点を新設する形となった。図1に他機関を含めた既存・新設観測点配置、また表1と図2に新設観測点の概略を示す。

100m深の地震観測井を備える観測点2カ所、簡易型の縦穴式観測壕を備える観測点2カ所、簡易型の横穴式観測壕を備える観測点1カ所、計5カ所の観測点を現在建設中である。これら観測点の選定、仕様、許認可、進捗等の詳細について発表・報告する。

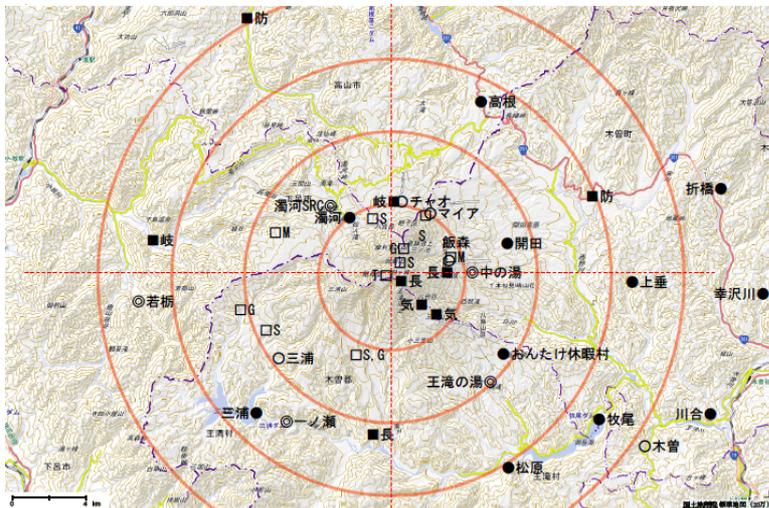


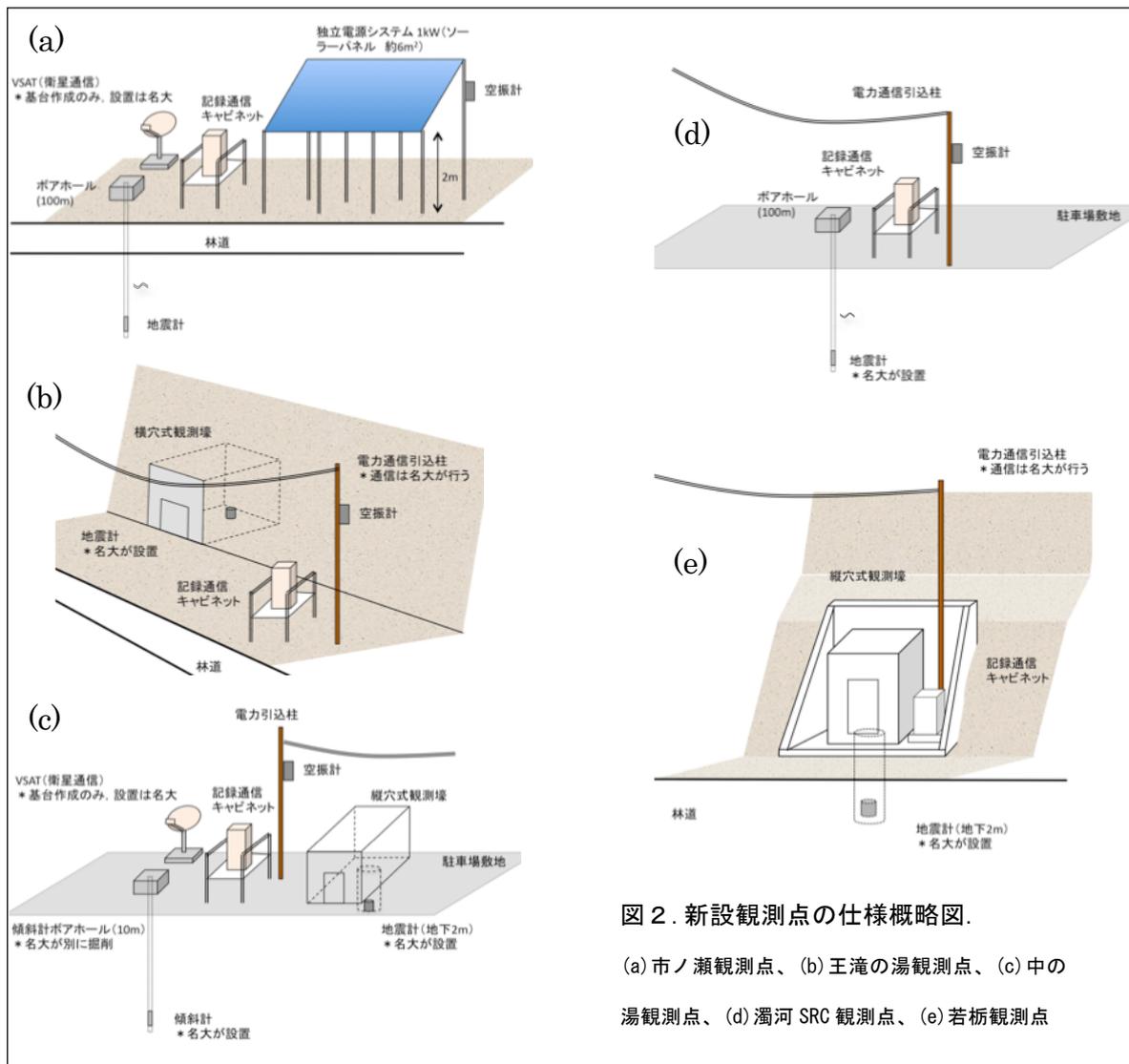
図1. 御嶽山周辺の観測点配置

- ：名大既存地震観測点
- ：他機関既存観測点（添字は気：気象庁、長：長野県、岐：岐阜県、防：Hinnet）
- ◎：名大新設（中）地震観測点
- ：名大新設GNSS観測点
- ：気象庁新設（中）観測点（添字はM：総合、S：地震、G：GNSS、T：傾斜）

表 1. 新設観測点概要

観測点名 (標高:m) 所在地	地権者	電力・通信	主観測項目	地震計設置様式	対応既存観測点と 問題
一ノ瀬 (1220) 長野県木曾郡王滝村	国	独立ソーラー VSAT	地震・空振	100m 観測井	三浦 ダムノイズ
王滝の湯 (1240) 長野県木曾郡王滝村	村	商用 地域情報網 (光)	地震・空振	簡易横穴式観測壕	おんたけ休暇村 施設ノイズ
中の湯 (1810) 長野県木曾郡木曾町	国	商用 VSAT	地震・空振・ 傾斜	簡易縦穴式観測壕	ロープウェイ (県) データの安定供給
濁河 SRC (1675) 岐阜県下呂市	国	商用 ISDN	地震・空振	100m 観測井	濁河 近隣施設ノイズ
若柵 (750) 岐阜県下呂市	個人・国	商用 地域情報網 (光) *	地震	簡易縦穴式観測壕	新設 西麓の観測密度

\*電力は約 500m、通信は約 1.2km の国有林内外線延長工事が必要



## ユビキタスマジュールを用いた箱根緊急観測

○西本太郎<sup>1</sup>, 森健彦<sup>1</sup>, 藤田親亮<sup>1</sup>, 安藤美和子<sup>1</sup>, 諏訪祥士<sup>1</sup>, 池澤賢志<sup>1</sup>, 酒井慎一<sup>2</sup>

1: 東京大学地震研究所 技術部総合観測室

2: 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

### 1. はじめに

2015年4月26日より箱根山大涌谷周辺で地震活動が活発化し、5月20日に温泉地学研究所（温地研）と共同で3点の広帯域地震観測点を設置した（宮川ほか、2016）。その後、6月29日から30日にかけて火山性微動を伴う小規模な噴火が発生したため、7月7日に追加で緊急観測を実施した。噴火活動直後であったため、現場での観測点設置の迅速性や安全性に充分配慮をした。本発表では緊急観測とそのデータ取得について報告する。



大涌谷南観測点設置時の様子

### 2. 観測概要

7月7日の緊急観測では3点（大涌谷南，下湯場，早雲山東）観測点を設置した。大涌谷南，下湯場では噴火警戒レベルが3のため立ち入り禁止区域であったが，温地研の本多さん，行竹さんに事前に許可を取っていただいていたため，立ち入ることができた。大涌谷南観測点は噴火口に近かったためプロテクタ，ヘルメット，ガスマスク，ガスセンサーを準備した。ガスセンサーによる硫化水素のモニターでは常時2~5ppmを計測し，



観測点配置図（引用：地理院地図）

5月20日設置：上湯場，駒ヶ岳西，丸山南

7月7日設置：大涌谷南，下湯場，早雲山東

一度だけ10ppmを超え警告音が鳴ったが，すぐに濃度は減少した。また，3点の観測点設置の際には温地研と地震研究所内で地震波形をモニターし，およそ20分おきに地震活動度の活発化の有無の連絡が入った。

大涌谷南観測点では広帯域地震計 Trillium Compact（Nanometrics製，周波数帯域120.2秒~108Hz）を設置した。収録伝送装置にはユビキタスマジュール付 HKS-9700（計測技研製）を使用し，サンプリング周波数100Hz，A/D分解能24bitとして収録を行った。データ伝送を含めた消費電力が最大で1.5Wと非常に低いのが特徴であり，装置の操作が簡易的で広帯域地震計の埋設作業を含めて設置時間が約32分であった。

下湯場観測点，早雲山東観測点では広帯域地震計 Trillium Compact，傾斜計（Jewell製701-2A）を設置した。収録伝送装置にはLS-7000XT（白山工業製ロガー）を使用し，サンプリング周波数100Hz，A/D分解能24bitとして収録を行った。広帯域地震計，傾斜計共に深さ30cm程の穴を掘り，コンクリート板の上に設置した状態で埋設した。

電源は 100V の商用電源から供給し、停電対策として 40Ah のシールドバッテリー (AGM ディープサイクル 12DD-20), 充電器 (電菱製 BP-1210), 過放電防止コントローラ (東京デバイセズ製 IW8990) を使用した。



広帯域地震計埋設の様子



観測装置ボックス内の機材

### 3. データ流通

大涌谷南観測点のユビキタスモジュール付 HKS-9700 で取得したデータは、計測技研が管理するクラウドサーバーに送られる。そのため地震研究所では scp コマンドを使用して定期的にデータを取得し、既存の観測点の raw データと結合し、events コマンドによるトリガーをかける作業を改めて実行する仕組みを作成した。まずは毎時 10 分に 3 時間前の 1 時間のデータをクラウドサーバー

からコピーし、既存の raw データに統合する。そして毎時 10 分に 4 時間前の 1 時間分の events を実行し、作成したイベントファイルを保存する。raw データへのファイル結合は、通常の遅延データの統合と処理が被った時に影響が出ないように 3 時間前のデータを処理するようにした。約半年の観測を行っており、データの欠測はほとんど見られていない。

下湯場観測点、早雲山東観測点のデータはモバイル回線経由で地震研究所に送られ、保存されるとともに全国地震観測データ流通ネットワークに転送されている。

### 謝辞

本観測に於いては温泉地学研究所の本多様、行竹様に多大なるご協力をいただきました。記して深く感謝いたします。

### 参考文献

宮川幸治・田中伸一・渡辺茂・技術部総合観測室, 2016, 箱根山の地震活動活発化に伴い実施した 2015 年 5 月緊急広帯域地震観測, 東京大学地震研究所職員研修会。

## Arduino を用いたデータロガーの製作

東京大学地震研究所 技術部 技術開発室 ○浦野幸子  
東京大学地震研究所 観測開発基盤センター 小河 勉

### はじめに

島津製作所製フラックスゲート磁力計 MB-162 は地磁気 3 成分時間変化の測定値 ( $\pm 500\text{nT}$ ) を 3 成分 $\pm 10\text{V}$  のアナログ電圧値として出力する。現状ではそのデータを地表の水平地電位差 2 成分とともに取得するために、テラテクニカ社製 5 チャンネル 16 ビット AD 変換器 AD16TR を使用してきた。しかし、購入から 20 年近くを経た AD16TR は現在、交換部品が製造終了となるなど老朽化が進んだため、AD 変換器と収録装置とを新たに自作することとした。

新規の自作に際してデジタルデータ収録の仕様も、AD16TR が 1 分平均値収録、内部時計によるタイムスタンプが施されていたものを、1 秒間隔での収録、GPS 時計同期へと時間分解能と時刻精度との向上を期することとした。今回、初心者でも扱いやすいと言われているマイコンボード Arduino を用いて AD 変換・データ収録装置を製作中であるので、その概要を報告する。

### 装置の構成

装置の構成を図 1 に、試作の写真を図 2 に示す。磁力計出力をローパスフィルタ (カットオフ周波数  $0.7\text{Hz}$ ) に通した後、レベル変換 IC (INA159) で  $\pm 10\text{V}$  を  $0\sim 4\text{V}$  に変換し、AD 変換モジュール (ADS1115 搭載 16BitADC、Adafruit 社製) で AD 変換している。このモジュールと Arduino 間は I<sup>2</sup>C 通信を行っている。3 成分あるため AD 変換モジュールも 3 台あるが、通常 I<sup>2</sup>C 通信では 1 台ずつとしか通信できない。しかし AD 変換開始の命令は 3 台同時に行う必要がある。そこで 3 台のスレーブアドレスを同一のものとし、I<sup>2</sup>C 通信線にアナログスイッチを挿入した。これにより、AD 変換開始命令書き込みは 3 台同時に応答させるグループブロードキャストを行えるとともに、変換結果の読み取りは 1 台ずつ行うことができるようにした。Arduino は Raspberry PI に搭載した GPS モジュールから 1 PPS の信号を受信し、そこから 1 秒の間に 16 回の AD 変換のトリガーを AD 変換モジュールにかけ、変換結果を受信する。

アナログフィルタのみではナイキスト周波数以上の信号を遮断するには不十分と考えられたため、デジタルフィルタを設けることとした。タップ数 57 の FIR ローパスフィルタ (カットオフ周波数  $0.5\text{Hz}$ ) とし、この演算も Arduino 内で行わせることとした。この演算結果を Raspberry PI に出力し、Raspberry PI で GPS と同期したタイムスタンプをつけて収録する。ただし、デジタルフィルタによる遅延が 3 秒あるため、タイムスタンプは 3 秒遅らせている。

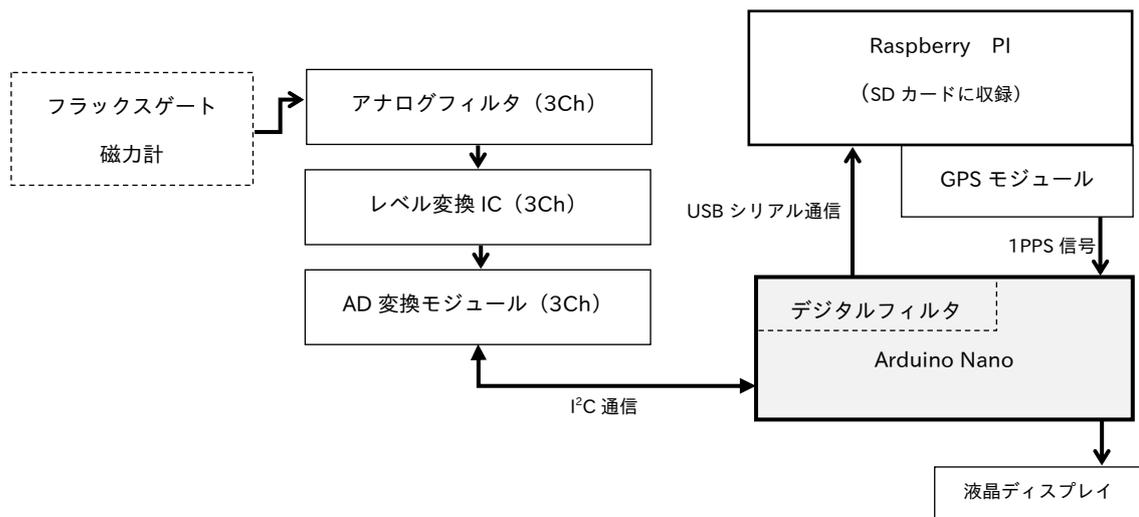


図 1. 装置の構成

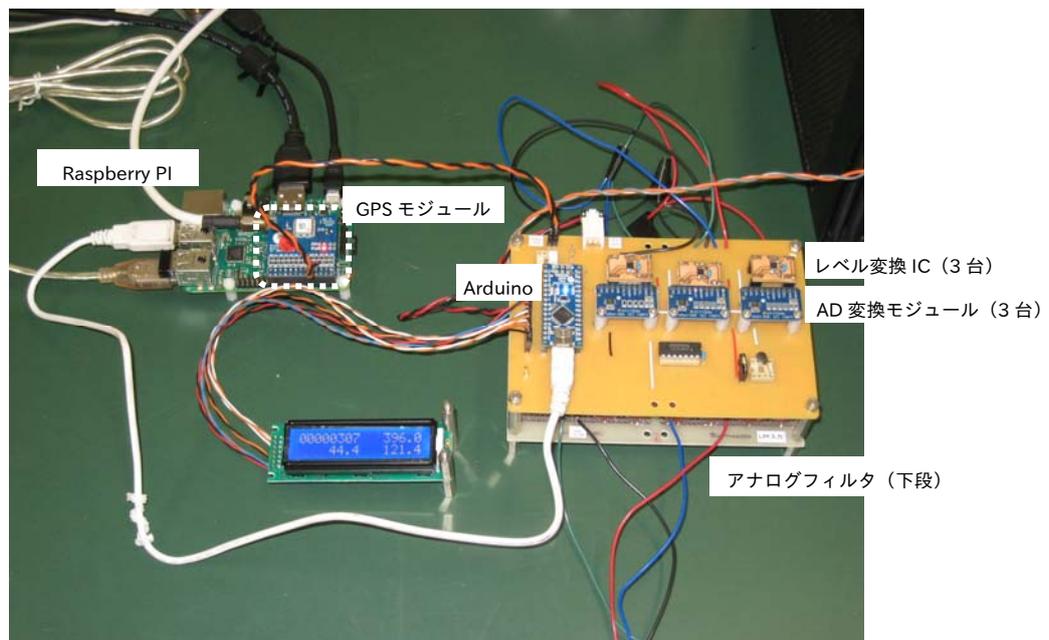


図 2. 試作中の装置

### Arduino を使用した感想

今回の製作にあたり初めて Arduino を使用したが、確かに初心者でも扱いやすいと感じた。AD 変換モジュールはそのメーカーによって Arduino 用のプログラムが公開されており、そのまま流用することができる。(Arduino 言語の元となった) C/C++ について、学生時代に授業で習った程度の知識しかない私でもすぐに扱うことができた。割り込み処理等で複雑なことをしようとするともどかしく感じそうではあるが(Arduino Nano は外部割り込みが 2 つしかない)、比較的単純な処理をおこなうだけならば有用であると思っている。

## 蛍光X線分析装置の分析管理および機器保守業務の紹介

東京大学技術部技術開発室 外西奈津美

### 初めに

本所には 2008 年 12 月に蛍光 X 線分析装置 Primus II (RIGAKU 社製) が導入されており、装置の運用および保守管理業務を担当している。本装置の概要については 2009 年度に発表しているため、今回は分析管理および保守管理業務について紹介する。

### 蛍光 X 線分析および装置構成

蛍光 X 線分析は、X 線を試料に照射することによって得られる蛍光 X 線（二次 X 線）を測定することにより、その物質を構成する元素の分析を行う定量分析法の一つである。

装置を構成する管球や分光結晶、検出器の経年変化(装置ドリフト)等により、計測される X 線強度は変動する。そのため、作成した検量線を長期的に使用するためには、それらの変動の影響を補正する必要がある。



図 1 装置光学系

### 装置ドリフトおよび保守管理

前述した理由により、分析で得られる分析値には、試料の組成と装置ドリフトの影響が反映されている。このため未知試料の分析時には、指標となる標準試料（以下、チェック試料）も同時に分析し、その基準値の変動から装置の状態および分析精度の評価を行っている。

チェック試料の変動が閾値を超えた場合には、装置ドリフトの補正や分析ルーチンの更新などの保守作業を行う目安としている。

### チェック試料の経年変化と保守

毎回分析を行うチェック試料には X 線照射によるビームダメージが蓄積し、蛍光 X 線強度は減衰していく。その結果、得られた X 線強度の変化が、装置の変動によるものなのかガラスビードの劣化によるものなのかの判別が困難になる。試料へのビームダメージを見積もるため、同一時期に同条件で作製したチェック試料のスペアを不定期で測定し、基準強度および濃度値が一致するかどうか評価している。有意な違いが認められた場合には、試料表面を研磨することでダメージ層を除去し、未使用の状態に戻す保守作業を行っている。

### ルツボの経年変化と保守

本所ではガラスビード法による XRF 分析を行っている。岩石粉末と融剤をルツボに入れ、熔融させてガラス形成させる。このルツボは白金が主成分であり、加熱や変質に強い金属であるが、試料中の僅かな硫黄や鉄などと反応することにより、徐々に劣化し、その表面に細かい凹凸が生じていく。この変形はガラスビードにも転写され、蛍光 X 線の乱反射を引き起こし、分析値の悪化の原因となる。約 100 回使用したルツボと新品の物で同一試料のガラスビードを作成した場合、最大で 3% の分析値の違いが認められた。このような状態のルツボでも表面を研磨することで鏡面状態に近づき使用期間を延ばすことが可能であるが、根本的な解決を求めるならばルツボを改鑄するのが望ましい。



図 2a 新しいルツボ



図 2b 古いルツボ

### その他

装置や試料の汚染および分析室の温度など外的要因についても紹介する。

## 広帯域地震計の比較試験

東京大学地震研究所  
渡邊篤志, 藤田親亮

### はじめに

かつて地震観測網で使用される地震計はムービングコイル型の短周期計が圧倒的多数を占めていたが、近年は火山性地震・微動や深部低周波微動などを観測するために広帯域地震計を設置する観測点が増加している。以前から使用されている Streckeisen 社の STS-1, STS-2 や Guralp Systems 社の CMG-3 シリーズに加え、近年は Nenometrics 社の Trillium シリーズや Metrozet 社の PBB も使用されるようになってきた。

カタログ値ではこれらの地震計は同等の性能を有しているが、北大の青山さんから STS-2 と PBB-200S に交換したら高周波側でノイズが高くなったよだとの情報が寄せられた。そこで、所内に在庫がある広帯域地震計のうち、速度出力帯域がほぼ同じ STS-2, CMG-3T (120s), Trillium 120QA, PBB-200S の 4 種で同時観測を行い、それぞれの特徴や相違点を調べることにした。

### 試験観測

試験観測は地震研究所 2 号館地下 1 階の B22 号室で行った。この部屋には長さ 300cm、幅 90cm および 60cm の地震計台があり、壁は二重構造になっていて室温の変化が少ない。更に、再放射器により GNSS 信号が利用可能、所内 LAN の使用可能、エアコンおよび除湿器により温湿度の制御が可能など、計測機器の試験に適している。

データ取得には白山工業の LF-1100R + LF-2000R/2100R を用い、速度出力は 100sps、マスポジションは 10sps で記録し、室

温と気圧も 30 分間隔で記録した。

同時観測は 2015 年 10 月 26 日に開始し、12 月 17 日まで安定した環境下での計測を行った。その間、11 月 24 日(世界時)にペルーで発生した Mw7.6 の地震を含むマグニチュード 7 以上の地震が 5 つ発生しており、これら大地震の記録を用いると長周期の性能を比較することが可能である。更に、環境温度変化に対する安定性の違いを調べるため、約 18°C の室温を 25°C に設定した暖房で急激に上昇させて 3 日後に停止し、室温が元に戻るまでの間の変化を調べる試験を行った。その際、厚さ 50mm のスタイロフォームで作った CMG-3T 用の断熱箱や STS-1 のグラスベル内の温度も 2 分間隔で計測して断熱効果を調べた。

本稿を執筆している時点ではまだ試験データ取得の途中だが、研修会ではそれぞれの地震計の記録を比較するとともにスペックを紹介する予定である。



試験観測の様子。左から LF シリーズ, STS-2, Trillium 120QA, PBB-200S, CMG-3T。

## 地震研究所広報アウトリーチ室の業務紹介

東京大学地震研究所広報アウトリーチ室 特任専門職員 福井萌

地震研究所の広報は、技術職員の協力なしに成り立たないと言っても過言ではない。この5年間、国内外の様々な研究所の人々との交流を重ねて得てきた情報の中で思うのは、観測をしているということ、また、専属の技術職員が所内にいるということは地震研究所の大きな特徴の一つである。視覚的に訴える物を求められることが多い科学系の研究所の広報活動において、地震計や実験・工作機器といった、見て触れることが出来る物があるということ、そしてそれを実際に開発したりメンテナンス・扱う人間が所内にいるというのは、組織のアピールをする上での大きなアドバンテージと言える。

技術職員の方々に多々ご協力いただいているにもかかわらず、互いに知り合う機会も少ないため、今回の発表のなかで広報アウトリーチ室の活動を紹介しつつ、普段の業務や海外の学会で自分が見聞きしてきたことをシェアしたい。それをすることによって、技術職員の方々自身のアウトリーチ活動の推進を促すとともに、研修会に参加されている他の大学や研究所では広報アウトリーチ室活動がどのようにされているかなどを知る、今後の交流・情報交換のきっかけになる事を期待している。

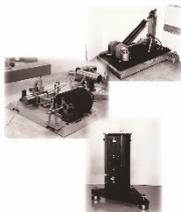


パンフレット用の写真を撮りに浅間山の観測所を訪れた際にも技術職員の方のお世話になった。



職員向けラボツアー。所内にいながらも、どんな観測がされているのかを知る機会は少なく、普段入れない部屋も多いため貴重な機会である。

東京大学地震研究所  
地震計博物館



技術職員の方々のご尽力により実現した地震計のカタログ。「地震の動きを探る～むかしといま～」の復刻版。



2015年6月伊藤謝恩ホールでされた文科省によるシンポジウムでのOBSの展示。

## 超硬合金の機械加工について

技術部技術開発室 内田正之

はじめに

技術開発室では今年度一般公開時の学生実験で使用する重力計の部品として、可逆振り子及びその台座の製作を依頼された。この部品類は固定台上下・支柱・支持棒・振り子本体 1~3・ナイフエッジ・ナイフエッジ受けの 9 品目計 13 品の部品数で材質は固定台上下・振り子本体は真鍮、支持棒はアルミ材、ナイフエッジ・ナイフエッジ受けは超硬合金であった。

振り子式重力計は振り子の動きを精度良く測定する必要があるため、振り子の支点がぶれず正確に定められるよう、鋭利なナイフエッジで接する必要がある、柔らかい材料だとナイフエッジの先端が変形して誤差が発生してしまうため、超硬合金が採用された。

真鍮・アルミ材は普段からよく加工している材質であり機械加工上問題はないが、ナイフエッジ・ナイフエッジ受けは超硬合金で形状加工及び1.4mmと3mmの穴あけ加工をしなければならなかった。超硬合金の加工は、今まで超硬バイトホルダの長さ調整のために



図1 学生実験用に製作した重力計

## 超硬合金の特徴

超硬合金は炭化タングステンと結合剤にコバルト等とを混合して高温で焼結して製造される。硬度・強度・比重などが大きく、特に高温時の硬度低下が少ないことなどから切削工具として多く使用されている。

## 加工手順

## 1. テストカット

超硬素材の穴あけ加工は、技術開発室では加工実績が無いのでテストカットを行うことにした。

超硬合金 K10 はフェイスミルで使用するチップが同材質なので使用済みチップをワイヤ放電加工機で2mmの厚さに切りだしテストカットを行った。その様子を図2に示す。



図2 超硬チップのテストカット

形状の切り出しは放電加工で問題なく切り出すことができた。穴あけはマシニングセンタを使用して行ったがΦ1.4mmの穴あけでは1穴加工するのに、マシニングセンタ（池貝製 TVU-4）の最高回転数 8000rpm で加工時間が1時間以上かかり4個連続加工するには不安に思ったが穴あけができることがわかったので、実際の加工を引き受けることにした。

## 2. 加工素材

ナイフエッジ受け・ナイフエッジの素材はダイジェット工業製 K10 でサイズ 3×12.6×12.6mm・住友電工製 A1 でサイズ 5.6×8.6×32.6mm であった。

ナイフエッジ・ナイフエッジ受けの製作図を図3に示す。

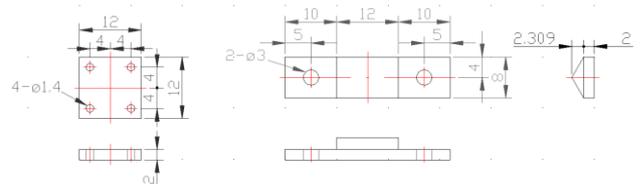


図3 ナイフエッジ受け・ナイフエッジ図面

### 3. 治具製作

まずは素材をワイヤ放電加工機取り付けのために図4のような治具を作成した。治具は加工しやすい真鍮製とし、すべてマシニングセンタで加工した。M1.4のねじ切りがあったが、問題もなく加工できた。

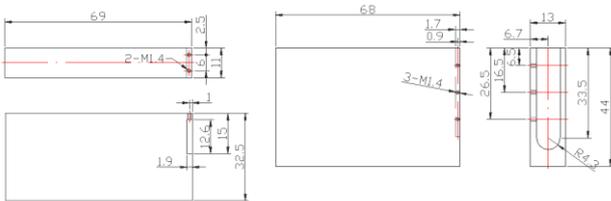


図4 ワイヤ放電加工機への取り付け用治具

### 4. ワイヤ放電加工機で形状加工

ナイフエッジ受は素材の厚さが3mmだったので治具の取り付け1mm部分を切り落とし厚さ2mmに仕上げた。

ナイフエッジは素材を治具に取り付けてまず長さ32mmの仕上げと両サイド厚さ2mm部分の加工を行い、治具の向きを変えてエッジ部分の加工を行った。

ワイヤ放電加工機はソデック製 AQE-327L を使用し、3回カットで行った。

図5、図6にナイフエッジの放電加工の手順を示す。

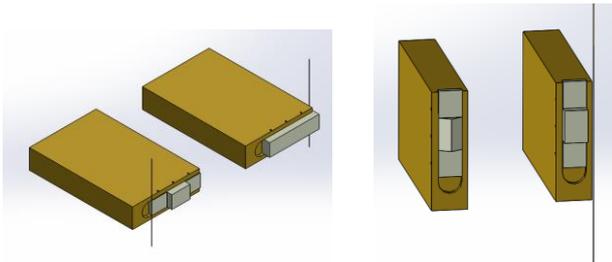


図5 両端の2mm部分切出し 図6 エッジ部の切だし

### 5. マシニングセンタによる穴あけ加工

マシニングセンタは池貝製 TVU-4 を使用した。

ナイフエッジ Φ3mm の穴あけデータは

- ・使用ドリル 三菱マテリアル製 DC-SSM 3
- ・回転数 6000rpm・送り速度 1mm/min・加工開始位置 0.1mm・ワンステップ加工深さ 0.05mm である。

ナイフエッジ受 Φ1.4mm の穴あけ加工データは

- ・使用ドリル 三菱マテリアル製 DC-SSS 1.4

- ・回転数 8000rpm・送り速度 1mm/min・加工開始位置 0.1mm・ワンステップ加工深さ 0.05mm である。

穴あけ加工はマシニングセンタの固定サイクルの G83 の深穴加工サイクルで行った。このサイクルのフォーマットは G83X\_Y\_Z\_R\_Q\_F\_ となっている。

XY : 加工座標値 Z : 加工深さ R : 加工開始位置

Q : ワンステップでの加工深さ F : 送り速さとなっている。このサイクルで加工をするとワンステップで切り込むと加工開始位置まで早送りして戻り前回の加工位置の 1mm 上から切削を始める。ワンステップ

0.05mm 加工すると、その 1mm 上から切削送りで動いてしまい加工時間が非常に長くなってしまう。加工時間を短縮するには固定サイクルを使用しないプログラムに作り替えるか、ワンステップ後の切削加工開始位置 1mm 上をもっと小さい値にすればよい。このワンステップ後の切削送り開始の量 1mm は制御器のパラメータで管理されているので、パラメータを 0.3mm

上から切削送りを開始するように変更した。これにより 1 穴 1 時間以上かかっていた穴加工時間が 20 分程に短縮することができ、完成希望日までに完成させることができた。

図7にナイフエッジ受の穴あけ加工の様子を示す。

6・まとめ

今回の加工では加工量が少なくとりあえず加工ができたという感じであったが、

図7にナイフエッジ受の穴あけ加工の様子を示す。

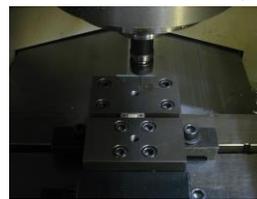


図7 穴あけ加工の様子

もう少し多く加工して最適な加工条件や刃物の耐久性なども試してみたいと思います。

謝辞

今回超硬合金加工を行ってみて、ドリルの性能向上に非常に驚いた。加工素材や工具選択・切削条件選定などのご相談をさせて頂いた販売店担当者・工具メーカー・機械メーカー担当者の方々には感謝致します。

## 二軸圧縮試験機の油漏れ対処

竹内 昭洋

東京大学 地震研究所 技術部 技術開発室（実験系）

技術開発室（実験系）は平成 26 年度に発足したばかりの新しい組織である。本所には、その目的に応じた大小様々な室内実験装置や計測機器があり、教員からの要請に応じて実験室や装置・機器のメンテナンスを行なうことが、時間的に最も大きな業務になっている。

岩石試料を圧縮させたり破壊させたりするための大型装置は油圧駆動であることが多く、しばしば油漏れの問題が発生することもある。装置が古い場合にはメーカーですら資料が残っておらず、部品交換が困難になることもある。今回取り上げる二軸圧縮試験機がまさにそうである。この装置は垂直方向と水平方向の二方向から岩石試料をサーボ制御で圧縮させることができるもので、縦軸と横軸に独立した油圧アクチュエータを備えている。過去に何度か増設・改造が施され、およそ現在のような仕様になったのは約 30 年前である。

稼働させる機会がないまま何ヶ月も経った昨年のある日、縦軸用油圧源ユニットのタンクの作動油量が激減していることに気がついた。縦軸はアムスラー型試験機を基にしたもので、何もしない状態でもタンクから油が極少量ずつアクチュエータに流入する仕様となっている。流入した油はアクチュエータ上部から溢れ、脇の小タンクに溜まる仕掛けになっている。このタンクが一杯になるとポンプが起動して油圧源ユニットのタンクに回収さ

れる仕組みになっている。

床蓋を開けて油回収用タンクやポンプのある半地下部を確認した所、半地下部の床面や壁面が油で濡れていることが確認できた。大元の電源を落としていたために油回収用ポンプが働かず、油回収用タンクから油が溢れ出していたのだらうと考えた。まずは漏油をできるだけ取り除き、油吸着材シートを敷き詰め、電源を入れて様子を見た。

油は順調に回収されるようになったが、回収用ポンプの付け根付近に油漏れの形跡を発見した。このポンプが稼働している間にパイプとの繋ぎ目の部分から漏れていると判明するのに時間を要した。同じ継手部品が現存しないため規格の合う別の継手を探し出し、新規にビニールチューブでポンプとタンクを繋ぎ直して事なきを得た。



写真：二軸圧縮試験機の半地下部

## 傾斜計の製作

○山口 照寛, 岡田 和見, 高橋 浩晃, 青山 裕

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

### はじめに

#### (1) 傾斜計の用途

傾斜計は主に火山活動の監視・研究で利用され, その成果が報告されている. たとえば, 噴火時の傾斜変動から噴出物の体積の見積もりがされてきた. 2000年の三宅島噴火(Fujita et al., 2002)や, 2011年の新燃岳噴火(Ueda et al., 2013)などである.

#### (2) 傾斜計のタイプ

横坑に設置する水管傾斜計, 据え置き型の気泡式傾斜計やボアホール設置型等, いくつかのタイプの傾斜計が利用されている. それぞれ, 一長一短があり設置場所や予算等により使い分けされている.

#### (3) 製作の目的

出力回路(感度・フィルタ特性)を自由に設定できることと, コスト低下を目的として, 傾斜計を自作した. 設置方法は据え置き型・ボアホール型の両方可能にすることを想定している.

### 利用したセンサと原理

センサは加速度センサを利用した. 傾斜計への応用の原理は図1の通りである. 重力加速度 $g$ の正弦が加速度センサの出力 $A_{out}$ に比例することを利用している. 加速度センサの検出軸を水平方向に設置し, 出力を観測すると, 傾き $\theta$ は次式のように表すことができる.

$$A_{out} = g * \sin \theta$$

通常,  $\theta$  は十分に小さいため

$$A_{out} = g * \theta$$

$$\theta = A_{out} / g$$

として, 傾斜を求めることができる.

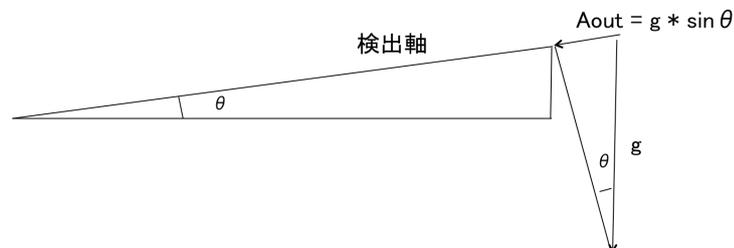


図1 傾斜観測原理

### 試作品の仕様と詳細

#### (1) 仕様

Jewll Instruments (旧 Applied Geomechanics) の A701-2A を参考に表1の仕様を考えた. 加速度センサは日本航空電子の JA-40GA02 を利用した. 本試作品の出力は加速度センサ出力を電子回路で増幅とフィルタリングしたものである.

表1 仕様

動作電源電圧範囲[V]	±16~±24
測定範囲[ $\mu$ rad]	±8000
成分数[-]	2
サイズ[mm] (ボアホール)	x100*y100*z120 以内
サイズ[mm] (据え置き)	x150*y150*z150 以内

## (2) アンプ・フィルター基板の設計と製作

オペアンプで非反転増幅回路とフィルタIC(LTC1063)でローパスフィルタを設計した。フィルタICを利用することで、ディスクリートの部品数点で5次バターワースのローパスフィルタが実現できる。回路CADとパターン設計CADはフリーソフトを利用した。図2, 3に回路部, センサ部の写真を示す。



図2 試作品 (回路部)



図3 試作品 (センサ部)

## 測定結果の例

傾斜計の試作品を2015年7月6日-10月7日の期間, 愛別地震観測所に設置した。地震帯域(数Hz)から数ヶ月のような長期の変化まで波形比較したいが, 紙面の都合上, 本主旨では地震帯域のみ取り上げる。図4に比較波形を示す。フィルタの特性の違いから, 短周期成分の有無や, 位相のずれも確認できるが, この帯域では比較的, 相関は取れていると考える。

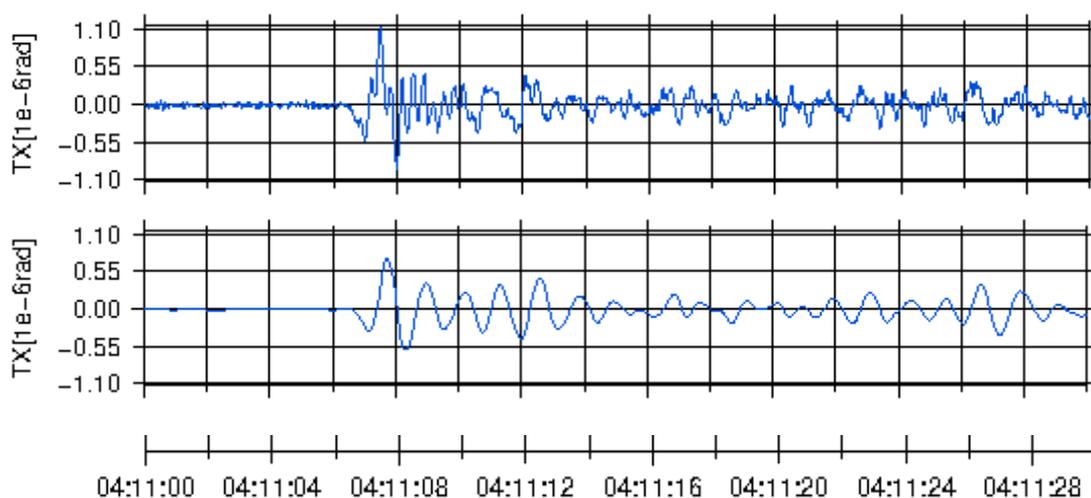


図4 2015年8月28日4時10分12秒(JST), 択捉島付近, M5.0 D156kmの地震時の波形。  
上が試作品, 下がA701-2A(Jewell Instruments)で1成分のみを比較。

## 今後の予定

他機関, たとえば防災科学技術研究所の傾斜データのスペクトルをとると, 現在試作中の傾斜計と比較して, シャープなフィルタ特性が得られる。そのため, フィルタ特性の検討をしていきたい。また, 数日間程度の帯域までは既製品との差は大きくないが, それよりも遅い帯域では相関が低いので, 検討が必要である。

## ネットワークを経由した U43 のデータ収録

高田真秀

北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター

### はじめに

平成26年度から「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」が実施され、その中に「電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較」という研究課題が含まれている。この課題では、地震発生の先行現象の観測を試みるために、DC-ULF 帯等の観測を行う。地震発生の先行現象発現のメカニズムを理解するために、既存の観測点周辺などで、比抵抗構造を測定するなどの観測計画が立てられている。それらの計画の一つとして、これまで電磁気観測の空白域となっている南海トラフ沿いの地域に、新たに複合的電磁気観測点を構築することになり、そのための観測システムの作成を依頼された。

### 経過

まず、観測に使用する機器は、U43(テラテクニカ製)であることを指定された。U43 を使用すると、ULF 帯の磁場の变化と磁場の変動によって生じる誘導電圧を同時に記録することが可能である。得られた記録を解析すると、比抵抗構造を理解することが可能で、これまでに多くのフィールドで利用されてきた。しかし、U43 は、センサーから得られたデータを CF に記録する機能を持っているが、地震観測などで利用されている LS-7000XT(白山工業製)などと異なり、計測されたデータをネットワーク経由で転送する機能がない。そのため、U43 のデータをネットワーク経由で収録するためのシステムを新たに構築する必要性があった。メーカーに U43 の詳細を問い合わせた結果、U43 はデータをモニターするためのシリアルポートを付属し、通常モードで観測をした場合、表 1,2 で示されるフォーマットの観測データがバイナリ形式で常時出力されていることがわかった。そうしたことから、U43 がシリアルポートから出力するデータを PC で受信・記録し、インターネットを経由してデータを回収することにした。だが、U43 は開発されて長期間が経過しているが、U43 と PC の間をシリアル通信させて、データを収録することは、メーカーでも実績がなかったため、観測を開始する前に、そのようなプログラムを自ら作成する必要性があった。そうして、インターネットで公開されているソースコード<sup>[1]</sup>を参考にして、U43 から出力されるデータを受信・記録するプログラムを作成した。同時に、観測点で記録されたデータは、定期的に北大に設置されている PC で回収された後、データ処理ができるように数値化される環境を構築した。

### まとめ

2015 年 4 月から、高知県黒潮町において、この収録システムを利用した地磁気地電位の連続観測が行われている。プログラム製作当時、シリアル通信は正常に行われていたが、連続観測を開始して以降、U43 がフォーマットと異なるデータを出力する現象が時々発生した。そのようなデータを数値化しても、データ解析に利用できないため、異常なフォーマットのデータを記録しないプログラムに修正し、現在も連続観測を継続している。また、2015 年 11 月から、千葉県内で、U43 を用いた ULF-MT 法による比抵抗構造の調査が行われ、一部の観測点では、このシステムを活用したデータ回収が行われ、メンテナンスを減らすことに役立っている。

## 謝辞

東京大学地震研究所の小山崇夫助教から、CF に収録された U43 のデータをアスキー化するプログラム(山口透氏作成)を頂いた。そのプログラムを利用して、データを正常に収録可能になったことを確認することができた。記して、感謝いたします。

## 参考文献

[1] RS-232 for Linux, FreeBSD and windows (<http://www.teuniz.net/RS-232>)

バイト目	バイト数	内容
1	1	'\$'
2	1	Y:年
3	1	M:月
4	1	D:日
5	1	H:時
6	1	N:分
7	1	S:秒
8	1	N:ノッチフィルター 0=50Hz, 1=60Hz
9	1	F:サンプルレート 7=128Hz, ..., 0=1Hz, -1=2SEC, -2=4SEC
10	1	M:記録モード 1=L, 2=H, 3=L&H
11	1	C:HPへのコマンド (現在は使用していない)
12	2	XX:打消値
14	2	YY:打消値
16	2	ZZ:打消値
18	data size	これ以降測定データ data size:サンプリングレートにより異なる(表 2 参照)

表 1. 1 ブロックのデータフォーマット

サンプルレート	バイト/秒 ( H OR L MODE )	バイト/秒 ( H&L MODE )
128Hz	1280	2560
64	640	1280
32	320	640
16	160	320
8	80	160
4	40	80
2	20	40
1	10	20
2sec	10bytes/2sec	20
4sec	10bytes/4sec	20

表 2. サンプルレート毎のデータサイズ