

# 平成 29 年度 地震研究所職員研修会 アブストラクト集



日 程 平成 30 年 1 月 24 日(水) ~ 26 日(金)

地震研究所研修運営委員会

## GSX を用いたニュージーランド・タウポ背弧リフト帯における地震観測

○田中 伸一, 蔵下 英司 (東京大学地震研究所)

### はじめに

オーストラリアプレート上にあるニュージーランド北島の下には, 東から太平洋プレートが沈み込むことにより, ヒクランギ沈み込み帯を形成している(図1). その沈み込みに伴って, 北島の北部中央付近において, まさに, 今, リフティングが起こっており, この地域をタウポ背弧リフト帯と呼ぶ. このように陸域でリフティングが起こっている場所は数少なく, この地域の地下構造を明らかにすることは大陸背弧リフト形成過程を理解するために重要である. また, このリフト帯は, 南から北に向かってリフティングの進行具合が異なることから, リフティングによる地殻の改変過程を理解する上でも理想的な場所である.

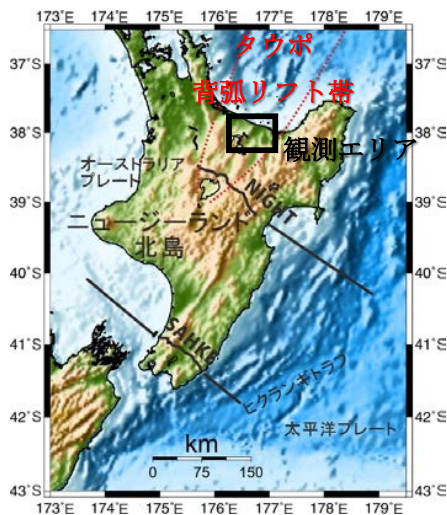


図1. ニュージーランド北島周辺のテクトニクス 黒四角は今回の観測エリアを示し, 黒線は既存地震探査測線 (NIGHT : Henry et al., 2006,

SAHKE : Henry et al., 2013) を示す.

過去に, タウポ背弧リフト帯の南端付近を横切るように稠密な地下構造探査が実施されている. 今回は, ニュージーランドおよ

び米国の研究チームと連携し, 北島の北部においてリフト帯を横切るように稠密にオフライン地震観測点を配置し, 観測船によるエアガン発震および自然地震を観測した.

### 地震観測機材と設置方法

観測エリアは牧畜が盛んであり野生動物も多く, 動物によって機材やコードなどが嘯まれて破損する可能性が高い. このような場合, 機材を土中に埋めることで, 被害を抑えられる. また, 地震計を埋設することで, 地面とのカップリングが高まると同時に, 雨風のノイズも抑えられる.

そこで, 防水性が高く設置操作の簡便な米国 Geospace 製のオフラインロガーGSX 及び 4.5Hz3 成分計 GS-11D を用いることとした. 今回は, 専用のリチウムバッテリーを2本つなげ, 1ヶ月以上観測することとした.

観測予定点は全て土壌のため, 機材が収まる穴(縦 80cm 横 40cm 深さ 30cm)を掘り, 埋設設置とした(図2). ただし, GSX を完全に埋設してしまうと, GPS の受信強度が下がってしまうため, GSX の上面だけを露出するようにし, それを隠すように注意書きを示した看板を配置した(図3).



図2. GSX 設置写真(埋設前) 穴を掘ってGSX一式を設置する



図3. GSX 設置写真（埋設後）GSX を埋め戻し、看板を設置する。

### 観測点の設置と回収

蔵下・田中は2017年10月15日に空路にてニュージーランドに到着後、レンタカーを借りて拠点となるファカタニのホリデーハウス（一軒家貸切）に移動した（図4）。日本から輸出したGSX一式を受け取り、機材チェックを行う。その後、米国テュラーン大学およびニュージーランド/ビクトリア大学のPDと合流し観測の打ち合わせやGSX設置方法のレクチャーなどを行った。輸出入手続きを簡便にするため、設置作業に必要なスコップや軍手などの消耗品は現地ホームセンターで購入した。



図4. ホリデーハウス外観

その後、2班に別れて設置作業を行った。タウポ背弧リフト帯を横切るよう約

2km 間隔でGSX を配置し、測線長は約50kmである。道中にて家畜の大移動で車内待機したりしていたが、天候にも恵まれたため、2日間で合計25台のGSXを展開することができた（図5）。回収に必要な機材等を貸し倉庫に預けて帰国した。

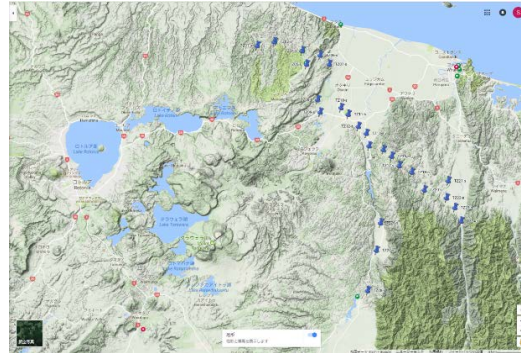


図5. GSX 観測点配置図。図1の観測エリアを拡大しており、青ピン印が観測点の位置を示す。

設置からおおよそ2ヵ月後にあたる12月10日に再訪し、設置時と同じホリデーハウスに移動した。機材を受け取り、今度はニュージーランド/ビクトリア大学の学生2名と合流後、2班に別れ、2日間かけてGSXの回収作業と清掃を行った。また、GSX内のデータを吸い上げる作業を行い、複数個所にデータをバックアップしてGSX内のデータを消去した。その後、イギリスの研究チームと合流し、GSXの使用方法をレクチャーし、この後の地震観測に使用するためにGSX25式とその他機材を貸与した。

今回の観測ではニュージーランドでのレンタカーの運転や、他機関の研究者/学生と班を組んで設置/作業を行うなど、初めて経験したことが多かったので、発表ではそれらを交えて紹介する予定である。

## ネパール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カプログラム

(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。ネパール側のカウンタパートの主体は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、瀧瀬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るが、技術部総合観測室は今年度からグループ4 (G4)「地震観測システム」の技術支援をすることとなり、2017年11月にオンライン地震観測点を1点設置 (PUTL 観測点) する支援を行ったのでその報告をする。



図1：オンライン地震観測点マップ  
青×8：日本候補点、黄×12+橙×9：DMG点  
単色アイコン：短周期地震計 (SP) 点  
白抜きアイコン：広帯域地震計 (BB) 点

### G4「地震観測システム」の計画

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点である。

1. 中央ヒマラヤ地震空白域にソーラー駆動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にDMGのオンライン地震観測網と、新設8点の候補地を示す。但し、PUTL以外の新設候補地は今後変更の可能性がある。

### 観測点の機器構成

観測点デザインとブロック図を図2に示す。以下の点を特に考慮して観測点をデザインした。

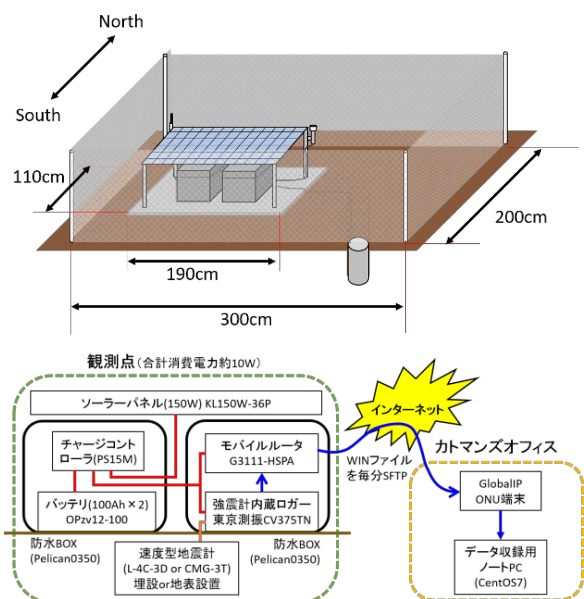


図2：観測点デザインとブロック図

1. 現地で工作や加工をせず、極力安価で短期間に観測点を構築するために、ソーラーパネル架台は予めカットした単管パイプを使用。
2. 少なくとも広帯域地震計は、気温変化と雑ノイズの低減を目的に地中埋設する。
3. 洪水リスクのある場所があるので、ロガーやバッテリーは防水ボックス 2 個に収納する。
4. 強震動発生時に支障なく観測を継続させるため、速度型地震計も含め機器は全て固定する。
5. 現地で雇う作業員には整地作業や穴掘りとコンクリート敷設作業、フェンス設置作業を主に依頼する。現地調達する部材はコンクリートと水とフェンスのみ。

現地で必要な作業日数は 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）と見積もった。

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 転送する。本装置にはトリガ機能も内蔵されており、地震検知時には読み取り情報を即座にサーバに送信する機能を持つ。

### PUTL 観測点の設置

2017 年 11 月 10 日～22 日にかけてネパールに出張し、G4 グループリーダーの堀内茂木氏や瀨瀬教授と行動しつつ、11 月 16 日～18 日にかけて PUTL 観測点の設置を実施した。現地作業員を 3 名雇って 3 日間滞在したが、実質的な設置作業は 2 日程度だった。

図 3 に PUTL 観測点の写真を示す。現地の土地管理者との交渉の結果、2017 年 2 月の下見時に決めた地点とは異なる、東に傾斜する斜面に設置しなくてはならなくなった。当初デザイン案ではソーラーパネルは東西方向に横長に配置することになっていたが、急遽デザインを変更し縦長に配置することで、東傾斜の場所にも土地の改変を最小限に抑えて設置することが出来た。

モバイル通信であるが、ネパールでは NTC 社と Ncell 社のサービスが一般的であり、今回は

NTC 社の SIM を購入し、データ通信のみに特化した「Data Package」を 20GB 分購入して SIM にチャージした。「Data Package」は 10GB あたり 3,164NRs（約 3,200 円）であり、本観測点の場合、通信量は月約 4.5GB の見込みである。

PUTL 観測点では CMG-3T を埋設設置したが、設置時間の短縮とセンサー固定のため、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）。この方式は簡便な反面、地震計交換時に設置時以上の労力が必要になることから、DMG と協議した結果、次回からは地中設置した後バケツを被せて交換を容易にする方式に変更する予定である。

### おわりに

今回の設置の経験を生かして、残り 7 点の設置にも可能な限り協力し、ネパールへの技術移転を積極的に進めていきたいと考えている。



図 3 : PUTL 観測点

## ノイズ軽減を目指した地震計設置方法の検討

京都大学防災研究所技術室 長岡愛理

## 1 背景

地震波形データのノイズの原因として設置場所の状態や雨滴などの外的要因がある。地震計設置時、ノイズ軽減のために基礎がしっかりした場所に設置したり、外的要因から地震計を保護するためのカバー（以後、地震計カバー）を付けたりする。地震計カバーの素材や形状は設置者により異なる。素材としてスポンジや笠を利用することがある。しかし、設置場所や地震計カバーの違いとノイズレベルの関係性について、定量的な検討はあまりされていない。ノイズ軽減に適した設置場所、地震計カバーの素材を確立することで、地震計設置時の一助となることが期待される。

## 2 目的

地震波形データのノイズを軽減する地震計の設置方法を検討すると共に、地震計とその設置方法について学ぶ。

## 3 方法

本実験では、雨滴対策として、最良の地震計カバーと緩衝材の組合せ、最良の地震計設置場所の 2 点を決定するため、2 項目に分けて観測した。地震計は上下動観測用の L-22D (Sercel

Inc.製)、データロガーは LS7000XT (白山工業製) を使用した。京都大学宇治キャンパス構内に地震計を設置し、各 1 週間程度観測した。

## 地震計カバーと緩衝材の検討

2 種の地震計カバー (プラスチック製虫かご、コンクリート升)、4 種の緩衝材 (合成ゴム発泡体、ウレタン、陣笠、人工芝) を使用した。地震計設置後に地震計カバーを被せその上部を緩衝材で覆った。全 9 種の組合せについて検討した。

## 地震計設置場所の検討

地震計設置場所として、全 4 箇所 (屋根のないコンクリート基礎、屋根のある犬走り、屋内、土壤中に埋設) を検討した。

## 4 結果・考察

地震計カバー：コンクリート升、緩衝材：陣笠の組合せが雨滴ノイズ軽減に最も有効であることが示唆された。設置場所は平常時のノイズレベルを見る限り、埋設が最も有効だと言える。しかし、降雨時に原因不明のノイズが発生したため、今後原因の追求が必要だ。地震計カバー、緩衝材の利用より、地震計の設置場所の方が、ノイズ低減のためには重要である。

## 啓風丸 KS17-04 次航海における西之島火山観測報告

東京大学地震研究所技術部

阿部英二

はじめに

西之島は東京から南に約 1000km に位置し、小笠原諸島に属する火山島である。2013 年 11 月に噴火して以来、活発な活動を続けていたが、2015 年 11 月に噴火活動は沈静化し、2016 年 10 月には上陸調査が行われるまでに至った。

一連の噴火活動は終焉したかのようであったが、2017 年 4 月に再噴火が確認された。

海底地震計による観測

地震研究所では、2015 年 2 月に噴火後初めての海洋調査船による学術調査研究が行われて以来、自己浮上式海底地震計(LTOBS)による連続的な火山観測を行ってきた。

その設置・回収作業にあっては、JAMSTEC、気象庁、海上保安庁の海洋観測船での調査航海で都度行われた。啓風丸 KS17-04 次航海

気象庁海洋気象観測船「啓風丸」KS17-04 次(2 レグ)航海が 2017 年 5 月 23 日～6 月 6 日で計画され、その航海の中でいくつかの観測項目のうち、西之島火山観測が予定されていた。航海直前に西之島が再噴火したことから、LTOBS は回収だけでなく、再設置を行った。

本発表では、LTOBS の設置・回収作業をはじめとする航海中の観測の様様を、西之島の噴火状況と併せて報告する。

本観測航海は、「啓風丸」船員、観測員、各機関からの観測乗船者の多大な協力により行われた。さらに、陸上の関係者からも支援があり、航海に大きな助けとなった。また、観測準備の段階からも多数の人間が関わり、観測結果はそれらの総体的な集大成である。



気象庁海洋気象観測船「啓風丸」



噴煙を上げる西之島

## 七輪マグマ展示装置の開発と改良

馬渡秀夫

京都大学 理学研究科附属 地球熱学研究施設

### 1. はじめに

京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設(大分県別府市)では、アウトリーチ活動にも積極的に力を入れている。2007年2月、施設の機関研究員を中心として「ジュニアサイエンスフォーラム: 科学実験ワークショップ」向けに、電気炉を使って岩石試料を融解したマグマの流れる様子とその性質や危険性を知ってもらう展示を実施した。

### 2. 七輪マグマ装置の開発

2010年7月、代替わりした研究員らが、先のマグマ展示を地球熱学研究施設の一般公開でも実施することを考え、電気炉での試行実験を開始したが、実験途中でるつぼが割れて資料が漏れ出し、電気炉を破損させてしまったため、何か別の加熱方法が必要となった。

彼らは七輪と炭を使って、るつぼを加熱する実験を開始する。当初、サンマを焼くような形でるつぼを加熱してみたが、岩石を融解させる事ができないまま一般公開が迫っていた。困っているとの相談を受けた私が提案・提供した



草焼きバーナーを使い、るつぼ上部から加熱することで資料を融解させるまでに到達させることができた。ただ、この手法は時間に迫られ、やむを得ず選択した方法であり、見た目が全くスマートとは言えず、かなり

不細工であった。また、不細工であること以外にも、加熱途中で、資料を入れたアルミなるつぼが度々割れてしまっていて、なんらかの解決策が必要な状況であった。まず、不細工の原因であるバーナーを使わずに融解まで持っていく方法を検討した。るつぼは金網の上に乗せていたが、炭からの熱が届かず冷たい空気に曝されている金網の周辺部へと熱が逃げ、るつぼを加熱すべきエネルギーをロスしてしまっているのではないかと考えた。また、これまでの経験から、七輪に1度で投入できる炭の量だけでは、資料の温度が上がる途中で燃え尽きてしまう事が判っていた。バーナー無しで融解温度まで加熱するには、危険を冒してでも予め熱しておいた炭を実験途中で追加投入する必要があった。

そこで、金網を使わない方法として、太い針金を使って五徳のような物を作り、直接るつぼを加熱できるように支えることとした。また、炭が足りなくなる

問題については、1回で投入できる炭の量を増やすために、底を切断した七輪を積み重ねて2段にすることで燃料を投入できる部分の体積を増大させた。

るつぼの破損については、素材のアルミナセラミクスが、高い昇温速度による不均質な熱膨張に耐えられないことが原因なのではないかと考え、この昇温速度と温度における破損・熔損が回避できる製品を検討した。候補として挙がったのは、炭化ケイ素、白金、ニッケルベースの超耐熱合金だったが、いずれも高価である。そこで、ある程度の耐熱性が期待でき、キッチン用品として安価に流通しているオーステナイト系ステンレス製容器を試すことにした。

これらの当初案はいずれも当を得ており、テスト1回目で資料を融解させることができた。見た目も相まって大変嬉しかった事を覚えている。



### 3. 装置の改良

開発した七輪マグマ1号機は、七輪の底を切り落としたりうえて、資料容器が収まる程度の凹みを加工して重ねたものに、φ2.7のステンレス線材で作った五徳を装着していた。

しかし、この線材は固く加工が大変難しいため、五徳製作の度に形状が違うなど再現性が悪く、また、歩留まりが悪かった事もあり、多くの手間やコストがかかっている改善の必要があった。また、七輪の加工形状についても、少ない手持ちの道具で作った簡易なものであり、まだまだ検討の余地があると考えていた。

そこで、七輪を加工する際、同時に五徳を作りこめないか検討したが、手持ちの道具ではなかなか難しいように思えたので、七輪の底に開ける穴径を小さくして、七輪の上面で容器を保持する形状として2号機を作ってみた。

しかし、この2号機は、資料を融解するまで、かなりの時間がかかってしまった。これは、七輪から立ち上る炎が資料容器底面の形状に沿って斜め外側上方に逃げるため、容器内の資料上面からの冷却損失が大きいのではないかと考えられた。





この失敗を踏まえ、3号機は、容器を七輪の上面より下の内部に保持できるように、七輪の研削時、穴径を広げるようにすると同時に、非常な手間をかけ、内壁に五徳形状を作りこんだ。しかし、それでも七輪の上面と容器の形状と五徳の設置位置が悪く、立ち上がる炎は容器の斜め外側へ逃げているように見えた。また、資料容器に合わせて七輪の穴径を広げたとつもりであったが、七輪と容器の熱膨張差を勘案しておらず、温度上昇後の七輪と資料容器の隙間が小さくなってしまい、それも炎が逃げってしまう原因となっているように思われた。

続く4号機は、これらの失敗を踏まえ、十分に穴径を大きくし、七輪上面より4cm程度下の位置まで資料容器を下げるよう製作した。これが功を奏し、融解までの時間がかかなり短くなり、融解後の最高温度も100度ほど上昇させることができるようになった。



ただ、七輪の中に資料容器が入ってしまうため、離れた位置にいる見学者からは、肝心の岩石の融ける様子や、出来たマグマが、七輪の壁に遮られて観察しづらい状態となってしまった。

そこで、更に検討を重ね、七輪内壁面の加工難度を下げ、上面からの容器の位置を比較的簡単に変更できるような構造として、ネジを使って容器を支える方法を考案した。

それは、七輪の外側から 5.5mm のドリルを使って穴を貫通させ、その穴に、M6 のネジをねじ込んで五徳機能を設置するというものである。この方法は、七輪の切削加工時、穴径拡大と同時に内壁面に五徳を形成する方法に比べれば、非常に簡単に加工することができるほか、トレードオフの関係となる、見学者からの見え方と、資料の融解までの時間との調整が大変容易になった。



#### 4. 燃料の選択

七輪マグマ展示の当初は、ホームセンターで簡単に入手でき安価でもあるマレーシア産のいわゆる黒炭を利用していた。これは、マングローブ材でできており、安価ではあったが、かさ密度が低いせい

か、燃焼時間が短く、焼成も足りないようで、燃焼初期にかかなり発煙することと、燃焼中は常にかかなりの火の粉が上がり、多少危険な状況でもあった。

そこで、この実験に適する燃料を選定するために、樫材の黒炭、輸入白炭(材は不明)、土佐備長炭(樫材の白炭)、コークス、オガ備長炭の5種類の炭素系燃料とマングローブ材との比較燃焼テストを実施した。

結果としては、マングローブ材と樫材の黒炭について、実験の燃焼中に噴き出す火の粉が多く、一般見学者向けの展示は避けた方が良いと思われたが、それ以外の燃料については、いずれも実験中の燃焼にはあまり問題がなかった。

ただ、オガ備長炭以外の白炭については、炭成焼成後の経時・吸湿により着火初期に爆発的にはざる現象が起きる場合が多いらしく、非常に危険かもしれない。

また、価格についても、マングローブ材、コークス、オガ備長炭が、いずれも 10kg 当たり 2000 円前後であるのに比べ、樫材の黒炭と輸入の白炭では 10kg 当たり 5000 円前後、国内製の白炭に至っては 10kg 当たり 10000 円程度となるので、今のところ、展示に適するのは、コークスかオガ備長炭であると考えている。

#### 5. まとめ

今回の改良で、以前開発した七輪マグマ展示装置の構造上の課題について非常に改善されたと考えている。

燃料については、今回の報告以外にも、展示に関わる燃焼の温度や継続時間などがあるが、影響はそれほど大きくはなく、選定を覆すようなインパクトではないと考えていることと、吸湿の影響による危険度の検討が必要であるなど、まだ差異をまとめるには時間と追加実験が必要である。

その他に、炭の燃焼を促進させる送風機の条件なども研究中であり、これらは今後の報告にまとめたいと考えている。

#### 謝辞

本発表中の改良研究の殆どは、JSPS 科研費(課題番号:17H00320)の助成を受けたもので、ここに深謝の意を表します。

また、七輪マグマ装置の開発や改良などについて、地球熱学研究施設の方々に大変なご理解とご協力を頂いた。ここに深謝の意を表します。

#### 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

[3] 馬渡秀夫、七輪マグマ展示装置の課題、東京大学地震研究所平成 27 年度職員研修技術発表予稿集 19-19

○池澤賢志<sup>1</sup>, 佐伯綾香<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

東京大学地震研究所において技術部総合観測室所属の技術職員は基盤的観測業務を1種類以上受け持っている。今回は私が受け持っている中で陸域自然地震観測の定常業務について紹介する。

地震研の技術職員の中で陸域自然地震観測を担当している職員は主に2名おり、私は関東近辺の観測点における点検、保守を担当している。具体的な業務としては昨年度、業務引継ぎを行い、今年度は実際に保守作業の立案、計画、実行をOJTも含め行っている。今回の発表では実際に行った保守作業を中心に、各観測点のこれまでの経緯やそれぞれの点で用いられている地震観測機器の構成、地震観測以外の部分の業務も交え紹介する。

### 2. 保守業務の事例(1) 機器不具合の場合

保守作業の事例として清澄観測点での昨年度から今年度にかけての作業が挙げられる。

清澄観測点は千葉県君津市に所在し、東京大学大学院農学生命科学研究科付属千葉演習林の札郷作業所内に、地震計ボアホールとコンクリート局舎が置かれている。

2016年の7月頃、広帯域地震計のEW成分に異常が見られ、リモートでの地震計の振り子のロックアンロック作業を行ったり、ロガー(LFシリーズ)の再起動を行ったりすることで正常に戻っていた。しかし、9月に同様の作業を行ったが、異常は解消されなくなった。

そこで、10月21日に現地に行き保守作業を実施した。地震計と収録装置の両方の異常が考えられていたが、地震計の調整を先に実施した際、この時点で波形は正常に戻り、ロガーを通して正常に見えた。しかし、リモートでの調整が出来なかったことを考慮し、念のため地震計は交換した。現地でデータ収録を行い、波形を確認、FFT解析で各周波数帯域での異常も見られなかったため作業完了とした。

この出張では、上記の観測データ取得とその質の維持する作業の他に、自身が清澄観測点を担当するようになってから初めて訪れたこともあり、観測点の現在使用されていないボアホールの情報や、今後の想定される作業に関して前任者より引継ぎを行った。

### 2. 保守業務の事例(2) 観測点の整備の場合

1980年に作られた清澄観測点は、地上波無線(400MHz帯)を利用して地震研までデータ伝送を行っていた。鉄筋コンクリート製の観測局舎は

二部屋からなり、機器がラックに収められ、停電時のバックアップ用にバッテリーが10数個置かれていた。その後衛星通信を利用したパラボラアンテナが設置されたりしたが、現在は、有線(光回線)を利用している。そのため、GPSアンテナを局舎屋上に移設し、高さ約15mのアンテナ用パンザマストが不用になった。そこで、解体撤去工事することに決め、2016年の11月に業者に解体見積りを依頼し、2017年度に撤去工事の予算が認められた。夏季はヒルが多く生息していることから12月に工事を行うことにした。

日頃、このような保守作業や観測点の維持管理、新設、移設及び廃止を行っており、発表時には他の観測点での事例も紹介予定である。



清澄観測点の観測機器 (左: 広帯域地震計(GURALP製、CMG-3T) 右: 収録装置(白山工業株式会社製、LFシリーズと電源装置・モデム))

### 3. おわりに

現在、陸域自然地震観測で行っている定常業務の一例を紹介したが、今後も様々な業務が想定されている。例えば、ISDN回線の停止による、光回線もしくはは廉価なモバイル通信への転換作業、予算縮小による観測点や観測し越の廃止が考えられる。また地震波形の読み取りから機器の不調や異常活動を見抜くような監視業務およびデータ収録やアーカイブ等の蓄積システムなどの、自身のスキルの問題でできていない業務も多く、今後共研鑽を重ね、観測の維持と向上に努めていきたい。

## 名古屋大学における GNSS 観測およびそのテレメータについて

松廣健二郎

名古屋大学 地震火山研究センター

## 1.はじめに

名古屋大学における GNSS 観測について主に本年および昨年度新設観測点および定常 GNSS 観測点のテレメータについて報告する。また昨年度より始めた御嶽山頂付近におけるキャンペーン GNSS 観測についても報告する。

## 2.GNSS 観測点の新設と名大 GNSS 観測点のテレメータについて

名古屋大学地震火山研究センターでは東海地域において国土地理院の電子基準点の隙間を埋めるように三重県中南部において津市、松阪市および大台町の 3 ヶ所で定常 GNSS 観測点の新設を行なうとともに海底地殻変動観測の地上 GNSS 基準局の増強として和歌山県新宮市に定常 GNSS 観測点の新設を行った。また 2016 年 4 月の熊本地震直後には大分県内において 3 ヶ所のオンライン GNSS 観測点を設置した。これにより松廣が主として管理している名大 GNSS 観測点は 32 ヶ所となりうち 22 ヶ所でテレメータを行っている。発表ではこのテレメータのシステム構成、状況について報告する。

## 3.御嶽山頂付近におけるキャンペーン GNSS 観測

2016 年度より御嶽山頂付近においてキャンペーン GNSS 観測を開始した。図 1 はその時設置した観測機材の写真である。また御嶽山麓域においても図 2 のように折り畳み式ソーラーパネルを用いて観測を行っておりその運用状況についても報告する。

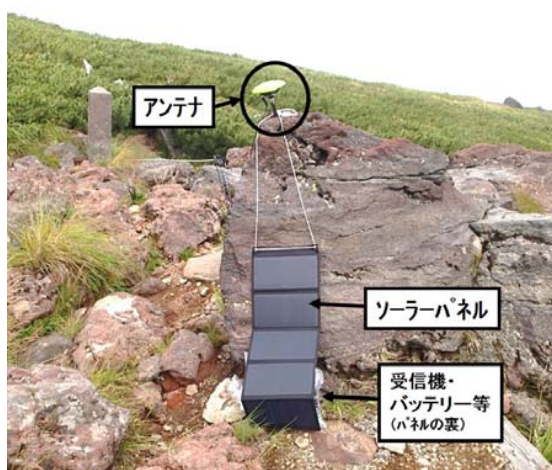


図 1 御嶽山山頂域キャンペーン観測



図 2 御嶽山麓域キャンペーン観測

平成 29 年度東京大学地震研究所職員研修会  
 ラコスト重力計取扱い失敗例と十勝岳相対重力観測について  
 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

私は 2014 年の春から LaCoste & Romberg 社製 G 型重力計(以後、ラコスト重力計)の取り扱い方法を北海道大学有珠火山観測所の大島弘光准教授、前川徳光研究支援推進員からご教授いただいて参りました。

私が今までこの器械の取り扱いにおいて失敗した事例について、また、失敗を経験した後の最近の観測結果報告について、当日は発表させていただきます。

## 2、自分の失敗事例

- ・ 検流計感度を誤改変  
 →いくら手順通り検定を行っても器械感度が合わない。
- ・ 検定器具を自主設計  
 →共に観測する観測者と異なる観測結果の時、誤差の主要因になりうる。

## 3、2017 年十勝岳相対重力観測結果

2017 年 6 月 28 日に、十勝岳相対重力観測を行いました。

長時間の登山を伴い、機材の上げ下ろしを繰り返すラコスト重力計には不向きな観測でしたが、往復誤差も小さく安定した測定値の観測を行うことができました。



図 1. 前十勝での相対重力観測

## 4、おわりに

ラコスト重力計は測定者の調整技術や観測技術が観測値に影響を及ぼす取り扱いが難しい器械です。

しかし、誠実に確実に正しい調整と観測を行えば誤差の非常に小さい測定値を得ることができる器械でもあります。

まだ、私の観測技術は未熟ですが、今後も技術の研鑽を怠らず、精進していこうと思います。

## 5、謝辞

ラコスト重力計の取り扱いをご教授いただいた北海道大学有珠火山観測所の大島弘光准教授と前川徳光研究支援推進員、毎年、晩春のまだ肌寒い北海道沿岸にて共に精密重力観測をしていただいている東京大学地震研究所大久保修平教授、今西祐一准教授、田中愛幸准教授、安藤美和子技術職員に、この場をお借りして感謝申し上げます。

## 無人ヘリコプタによる火山観測

東京大学地震研究所

渡邊篤志, 大湊隆雄, 金子隆之, 小山崇夫

### はじめに

活動的火山の火口周辺は立入が禁止あるいは厳しく制限されている場合が多く、また火山噴出物の降下の危険や非常に険しい地形と脆弱な地質により活動中の火口近傍で観測・調査することはできない。そこで、地震研究所火山噴火予知研究センターでは 2005 年ごろより自律飛行型の無人ヘリコプタを利用した火口周辺での観測を進めている。

### 無人ヘリコプタ

我々が利用している無人ヘリコプタは、ヤマハ発動機の RMAX G1 である。全長 3630mm, メインロータ直径 3130mm, 重量 84kg の機体に排気量 246cm<sup>3</sup>の水平対向 2 気筒 2 サイクルエンジン(最大出力 15.4kW)を搭載している。2014 年に航空機製造事業法が改正される前に設計・製造されているので、最大ペイロードは 10kg である(最大離陸重量 100kg)。離陸重量や気温・気圧に因るが、飛行時間は 90 分である(いずれもカタログ値)。離着陸時を除いて、設定された経路を約 20cm(無風時)の精度で自律飛行することができる。近年、電動小型ドローンの発達が目覚ましいが、10kg のペイロード、90 分の飛行時間、20cm の位置精度のアドバンテージは揺るぎがたい。

このヘリコプタと地上局のセットは極めて高価であり、実際に運用するとなると機体の点検整備や保険などで更にコストがかかる。そこで、自分たちで機体を所有するのではなく、ヤマハ発動機にオペレーションを依頼している。

### 観測項目

これまでに RMAX G1 を利用して実施してきた観測は、空中磁気測量、画像撮影(可視画像・動画、赤外面像)、地震・空振・GNSS 観測装置の設置及び回収、試料採取、火山ガス観測などがある。

最も早くから取り組んできたセシウム磁力計を用いた空中磁気測量は、既に実用レベルに達しており、実機や踏査に比べて圧倒的な測定密度と高い位置再現性により微細な磁化構造のイメージングや時間変化の追跡が可能になった。

設置型の観測装置の開発は 2009 年に始まり、年々改良が重ねられている。装置を下ろすためのウインチが約 5kg なので、観測装置の総重量を 5kg に抑えなければならない。設置は不整地にワイヤーで下ろすだけで固定されず、強風でも飛ばされない形状であることが求められる。発電や蓄電の容量は十分に確保したいが、重量や形状には大きな制限がある。また、方位や水平が制御できないので、地震計には加速度計を使用し、ヘリから撮影した画像と機首方位から設置方位を判読している。

試料採取は、回転ブラシ式や曳索式の採取装置が試作されたが、現時点では西之島で使用した漬け物石に強力両面テープを貼った鳥もち式が最も有効と思われる。

火山ガス観測は、産業技術総合研究所で開発された携帯型マルチセンサーシステムのヘリコプタへの搭載方法や観測飛行経路の実施試験が進められている。

## 観測を実施した火山

2005年から2017年までの13年間で火山センターが無人ヘリ観測を行った主な火山と観測項目は次の通りである。

浅間山	空中磁気
伊豆大島	空中磁気
桜島	空中磁気, 装置設置・回収, 画像撮影, 試料採取, 火山ガス
霧島山	装置設置・回収, 空中磁気, 画像撮影
口永良部島	装置設置, 空中磁気, 画像撮影, 火山ガス
三宅島	空中磁気
西之島	画像撮影, 試料採取

本発表では, 無人ヘリによる観測の様子を紹介するとともに, 最新型の地震観測装置のモックアップを展示する。



飛行前点検中の機体



桜島安永火口へ地震計の設置に向かう無人ヘリ



口永良部島に設置した地震観測装置. 手前は2015年4月17日に設置して5月29日の噴火で破壊されたもの. 右は2015年9月10日に再設置したもの. いずれも2016年7月18日に徒歩で回収した. 左上の白い架台は噴火で被災した京大桜島の古岳観測点.

## 地磁気絶対観測における磁気儀の1秒読み精度の検証

○西本太郎<sup>1</sup>, 辻浩<sup>1</sup>, 小河勉<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

八ヶ岳地球電磁気観測所(以下、八ヶ岳)は1970年に長野県小海町に設置され、全磁力、地磁気3成分などの連続測定が行われてきた(小山, 1996). その中で、フラックスゲート磁力計による直交3成分の観測では、機構上、気温・傾斜変化などの影響を強く受けオフセットがドリフトしやすい。そのため、定期的に磁気儀を用いた絶対観測による補正值の測定を行っている。

八ヶ岳では磁気儀にWILD社製の6秒読み機T-1を使用している。磁気儀としては他に、カール・ツァイス社製の1秒読み機THEO 010Bが知られている。今回、八ヶ岳での絶対観測で6秒読み機から得られた補正值(基線値)の精度について検証を行った。

### 2. 観測概要

絶対観測では方位標方位角や方位標を基準とした偏角、伏角を測定する際に6秒ごとの読み(具体的には0秒、6秒、12秒、..., 48秒、54秒)を行っている。本観測では通常の6秒読みをした後に、目視で目盛を6分割して1秒の読みを追加で行った。これにより得られた基線値のばらつき(標準偏差)の違いについて検証を行った。また、比較のために1秒読みの値を四捨五入した“仮想的な”10秒読み機の値を求め、同様に検証を行った。

2015年10月~2017年11月における絶対観測の内、10回分の観測結果を用いてこれらの統計的性質を検証した。

基線値を求める3成分フラックスゲート磁力計は、テラテクニカ製RF-821を使用した。また、磁気儀台上の地点差を求める全磁力計には、野外の連続観測にはテラテクニカ製オーバーハウザー磁力計OH-20を、磁気儀台上での繰り返し観測で

はGEM Systems社製GSM-19をそれぞれ用いた。

### 3. 結果と考察

通常の6秒読み、追加で行った1秒読み、仮想的な10秒読みそれぞれの $B_{z0}$ 、 $B_{x0}$ 、 $D_0$ 及びそれらの標準偏差を求めた。 $D_0$ に関して6秒読みの結果を基準として、1秒読みの値が誤差の範囲内に入っていたのは10回の観測のうち8回であった。また、1秒読みを基準として6秒読みの値が誤差の範囲内に入っていたのも10回の観測のうち8回であった。1秒読みを基準として10秒読みの値が誤差の範囲内に入っていたのは10回の観測のうち4回であった。

次に $D_0$ に関して1秒読みと6秒読み、1秒読みと10秒読みの値の差を計算した。1秒-6秒読み間ではその差は±1標準偏差の範囲内で一致していたが、1秒-10秒読み間ではその差は10観測中3回で±1標準偏差の範囲内で一致しなかった。

このことから通常行っている6秒読みの精度は1秒読みの精度とよく一致していることがわかり、6秒読みの精度でも十分であることがわかった。また、1秒読みと10秒読みを比較すると、半分以上の観測でその観測値の誤差範囲を超え、また $D_0$ の値の差が±1標準偏差の範囲内で一致しない観測があったことから、10秒まで読みを荒くすると十分な精度が得られないことがわかった。

### 4. まとめ

八ヶ岳で行う絶対観測では6秒読み機で十分な精度が得られることがわかった。

### 参考文献

小山 茂, 1996, 八ヶ岳地球電磁気観測所の観測システムの変遷と現状, 震研技報, 1, 23-29.

## 電磁気共同利用機材の管理とキャリブレーション

○諏訪 祥士<sup>1</sup> 池澤 賢志<sup>1</sup> 上嶋 誠<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 地震予知研究センター

### 1. はじめに

東京大学地震研究所では、平成 22 年度より地震・火山科学の全国共同利用・共同研究拠点として文部科学省に認定されている。本拠点は、地震・火山に関連する固体地球科学、地震及び火山噴火に起因する災害の防止・軽減に関する理工学、及び、国内外における地震・火山噴火予測のための観測研究を推進することを目的としており、この目的を達成するために、課題公募型と参加者公募型の共同研究を行い、地震研究所が保有する施設・設備・資料データ等を全国の関連研究者に提供している。その一環として、上嶋准教授を中心に管理を行っている高精度広帯域 MT 観測装置を共同利用機材として貸し出しを行っている。

この機器の管理とキャリブレーションについての紹介を行う。

### 2. 高精度広帯域 MT 観測装置

Metronix 社製 24 ビット電磁探査装置メインシステムユニット(ADU07)をデータ収録装置として、Metronix 社製広帯域インダクションコイル型磁力センサー(MFS-06,06e,07,07e)を 3 成分(東西・南北・鉛直)接続。電極を 5 点(E・W・N・S・G)設置し、2 成分(EW,NS)を測定。CF カード 32GB を装填、GPS アンテナを時計補正用に接続し、収録を行う。改良版の ADU07e は microSD カード 32GB を装填している。

従来品の ADU07 ではコイルのキャリブレーションはできないため、本体のシステムチェックのみを行い、コイルのキャリブレーションは改良版の ADU07e を使用し、行う。



ADU07e(引用:Metronix 社 HP)



Metronix 社製  
MFS-06



WOLF Chemical 社製  
NONPOLARIZING ELECTRODE  
(電極)

### 3. 管理

地震研究所 2 号館 117 号室に主に収納されている。部屋の左右に棚を設け、入り口から左側の棚に電位線、右側に電磁探査収録装置セットをブルーボックスに収納し、保管している。また、地震研で使用するバッテリーも同室にて保管し、充電も行う。

物品の貸し出し状況は、Excel によって管理されている。



機器収納状況(地震研 2 号館 117 号室)

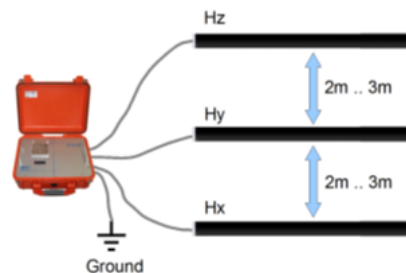
左: 電位線 右: ADU

### 4. 貸出方法

従来は貸出時に本体が動作するかどうかを確認する程度であったが、年が進むにつれて、不具合が生じるものが出てきた。そのため、主に今年度から ADU 本体のシステムチェック、コイルのキャリブレーションを行い、不具合がないかを確認してから貸し出すこととなった。

### 5. キャリブレーション

地震研究所では、地震研 2 号館屋上にて下図のように展開し、行う。キャリブレーションは、ADU 本体のシステムチェック、コイルのキャリブレーションの順に行われる。



キャリブレーション設置展開図

(引用:Metronix社 In-Situ Coil Calibration Tool マニュアル)

### 6. 発表

発表では、電磁気共同利用機材の管理状況とそのキャリブレーションの紹介を行う。



## 自動震源決定システムを用いた地震データ処理のための取り組み

○大塚宏徳、宮川幸治、西本太郎、平田直（東京大学地震研究所）

## 背景

従来の WIN system による地震の自動検出 (pmon) には STA/LTA を用いた地震判定が組み込まれているが、微小地震を正しく検出するためには手動検出が欠かせない。限られた人員で可能な限り多くの地震を処理するために、より効果的に地震/ノイズ判定を行える自動震源処理システムの導入が求められている。その一つとして「見かけ速度適合 (Apparent Velocity Matching: AVM) 法」を応用した自動震源処理システムが検討されている。AVM 法とは離散化した領域に震源を仮定し、全ての離散点について観測波形との相関を評価することで震源を推定する手法である。また地震/ノイズ判定には、隣接情報を考慮した MLSAR モデルを適用し、P 相および S 相を検出している。処理システムの開発については MeSo-net の観測波形を試験データとして進められてきた。現在は計算に用いる諸パラメータが MeSO-net に最適化されており、他の観測データでの試験は充分に行われていない。そのため、開発の次の段階として様々な観測データでの試験やパラメータの最適化を行うこととなった。最適なパラメータを探索するためには多くのテストランが必要となるため、技術部で支援することが決まった。本発表では、支援に向けた取り組みについて紹介する。

## 処理システム運用に向けた取り組み

現在 2 台の処理用マシンが導入され、運

用体制を整えるための準備を行っている。MeSO-net 以外のデータとして、福島・茨城地域に展開しているオフライン観測点および数点のオンライン観測点の観測波形を用いて試験運用することが決まった。最適化を行うためには、複数のパラメータを変動させ、地震の検出数、ノイズ混入率、波形の読み取り精度が最も良くなる組み合わせを探索しなければならない。従って、処理システムのフローや各パラメータの意味を良く理解して試験する必要がある、かつ複数人で効率よく作業することが望まれる。今年度はシステムについて正確な理解を深めるため、システムの納入元である (株) 海洋先端技術研究所から講師を招き、全 5 回の予定で演習型の講習会を開催している。処理フローに従い順番に演習問題をこなしていく事で、それぞれのパラメータの決定方法を修得できるように配慮されている。講習内容の概要は以下の通り (予定を含む)。

1. 導入、原理の解説
2. 波形の切り出しパラメータ
3. 地震・ノイズ判定パラメータ
4. 自動検出のパラメータ
5. 結果の評価方法

今後、講習会で得たスキルに基づき実際の運用体制を整えていく予定である。

## 首都圏強震動総合ネットワーク SK-net のデータ活用

○上原 美貴<sup>†</sup>, 鷹野 澄<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京大学地震研究所

首都圏強震動総合ネットワーク(Seismic Kanto strong motion network in metropolitan area : SK-net)<sup>ii</sup>では、首都圏の各自治体等に協力を仰いで、首都圏の震度計や強震計の強震波形データを広域・高密度に収集し利用者に提供している。本発表では、SK-net の概要を紹介するとともに、そのデータ活用の実態に焦点を置き、本システムを維持するうえでの留意点について述べる。

### SK-net の概要

SK-net では、10 都県 13 観測網で収集された合計 972 点の震度計・強震計の強震波形データが利用可能である。さらに防災科研の K-net/KiK-net と気象庁の震度計を加えると約 1400 点の震度計・強震計の強震波形データが利用可能となっている。

これらのデータは観測網ごとに異なる方法・フォーマットで収集され、SK-net 波形収集サーバにより防災科研の K-net フォーマットに変換されたのち、データ提供サーバに格納され、ユーザ登録された研究者に公開されている。また、自動作図された加速度、速度、変位の波形や最大加速度、SI 値や応答スペクトル図などは未登録でも閲覧することができる。

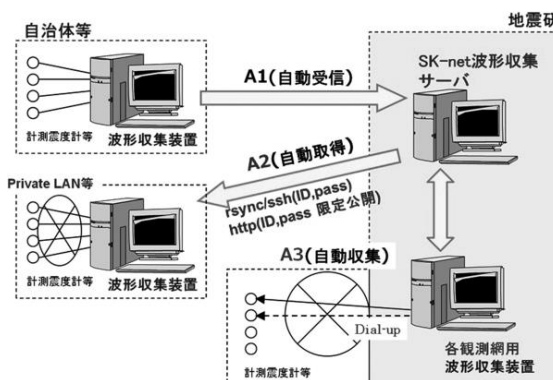


図 1 各観測網からの波形データ収集<sup>1)</sup>

### 活用状況

SK-net のデータを利用するためには、ユーザ登録申請を毎年度行う必要がある。申請内容は各データ提供機関に照会され、疑義のないものだけがデータ利用を許可される。登録ユーザ数は例年 50 名ほどで、2017 年度はそのうち 8 割が前年度からの継続利用であった。登録ユーザの内訳は、半数以上が大学教員、3 割強が研究員等、残りが学生となっている。登録ユーザには研究成果の報告をお願いしており、報告件数は年 20 件程度である。これらの報告は SK-net Web サイトにてデータ提供機関に限り公開している。

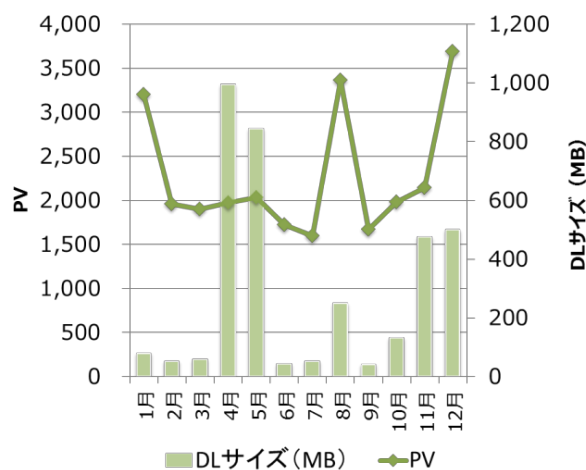


図 2 月間 PV と DL サイズ (MB)

図 2 は SK-net データ提供サーバにおける月ごとの閲覧数(PageView, 以下 PV)とダウンロードされたデータのサイズを比較したものである。PVのほとんどが登録ユーザ以外によるもので、その PV だけでも月に 2200、ときには 3600 を超える月もあり、図やグラフだけの利用者も多いことがわかる。一方、ダウンロードサイズはそのほとんどが当然ながら登録ユーザの波形データダウンロードによるもので、新規のユーザが増える 4、5 月と、11、12 月にピークがある。

### システム維持のために

システムの維持に必要なことは、単にハードウェアやソフトウェアのメンテナンスにとどまらない。データの収集は機関によって異なるため、発生するトラブルもまた、まちまちである。庁舎の移転等による震度計の移設、システム更新による通信方法の変更、落雷による通信機器の故障、震度計や通信回線の不具合等、諸事情によりデータの提供が滞ることもしばしばある。欠測を防ぎ、データを収集するためには、日ごろからデータ提供機関の担当者を含む関係者と密なコミュニケーションを保ち、正確な情報を入手する必要がある。

また、利用者からの指摘によりデータの誤りに気が付くこともある。データ提供は一方通行ではなく、データを利用する側からの情報を提供側とも共有し、反映してもらうことも大切であり、SK-net はその仲介役ともなっている。データ提供に対しては、あくまで協力いただいている立場であることを忘れず、たとえ不具合が相

手にあったとしても、自治体の防災担当としての労苦に敬意を払い、決して上から目線や批判にならないよう心掛けている。

### まとめ

SK-net の活用状況について報告した。データベースの質を維持し、続けて利用してもらえるシステム、データを提供し続けてもらえるシステムであり続けるためには、データ提供者、利用者双方へのケア、裏方的な努力も必要である。今後も引き続きデータの充実に努め、首都圏の防災に役立っていきたいと考えている。

**謝辞:**SK-net の趣旨にご賛同いただき、データ提供にご協力いただいている、東京都・東京消防庁・神奈川県・横浜市・埼玉県・千葉県・山梨県・群馬県・栃木県・茨城県・長野県・静岡県の各自治体ならびにご担当者みなさまに深く感謝します。

### 文 献

- 1) 鷹野 澄・上原美貴, 2014, 首都圏強震動総合ネットワーク SK-net におけるデータ収集の現状, 東京大学地震研究所技術研究報告, No. 20, pp1-10
- 2) SK-net 報告書, 2002, 首都圏強震計ネットワーク報告書, 2002.04
- 3) SK-net 報告書, 2003, 首都圏強震計ネットワーク報告書, 2003 年度版, 2003.07
- 4) SK-net 報告書, 2005, 首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)報告書, Vol. 3, 2005.07
- 5) SK-net 報告書, 2008, 首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)報告書, Vol. 4, 2008.03

<sup>i</sup> u-miki@eri.u-tokyo.ac.jp

<sup>ii</sup> <http://www.sknet.eri.u-tokyo.ac.jp/>

## 電池内部抵抗・電圧測定モジュールを用いた電池劣化モニタリング装置の試作

高知大学理工学部附属高知地震観測所 山品 匡史

### はじめに

臨時観測や機動観測における電源には、蓄電池（主に鉛蓄電池）を用いることが多い。こうした蓄電池を電源とする場合、蓄電池の劣化によるトラブルが発生した際は通信が不能となることで原因が通信機器・電源・その他の機器なのかを現地以外から絞り込むことが困難となる、放電が進み観測機器への十分な給電を行うことが出来なくなり欠測が生じてしまう、ことがある。蓄電池の劣化状況（内部抵抗の増加や電圧低下）の確認ができれば、観測中断時の原因究明、事前の電池交換による予防保守や欠測の回避、現地での保守頻度の低減、などが期待される。

本発表では、蓄電池使用観測点の電池劣化状況モニタリングを目的として試作した電池劣化モニタリング装置について報告する。

### 使用機材

今回、電池内部抵抗・電圧測定用のモジュールには、東京デバイセズ製「絶縁型 I<sup>2</sup>C 電池内部抵抗・電圧測定モジュール IW7817-CS」を用いることにした。同製品は「稼働中<sup>1</sup>の電池からリアルタイムに内部抵抗と電圧を測定」することが可能なこと（東京デバイセズ, 2017）が、同製品の採用理由の一つである。また、測定データは、広く用いられている I<sup>2</sup>C（Inter-Integrated Circuit; I-squared-C）によりマイコンなどから直接デジタルデータとして読み出すことができるため、データの取得・処理に関する開発を容易に行うことができると期待される。

IW7817-CS の測定データを読み出すためには、マイコン等の I<sup>2</sup>C マスタが必要となる。現在、遠隔観測点におけるモバイル通信やデータ処理等を行うために、ぷらっとホーム株式会社製「OpenBlocks IoT EX1」の使用を想定している。今回の電池劣化モニタリング装置についても同製品に接続し、測定データを取得することを計画している。しかしながら、OpenBlocks IoT EX1 には I<sup>2</sup>C や GPIO（General-Purpose Input/Output; 汎用入出力）のインターフェースが搭載されていないことから、両者をつなぎ I<sup>2</sup>C マスタとなるものが必要となる。OpenBlocks IoT EX1 には USB ポートがあることから、「USB ⇄ I<sup>2</sup>C 変

---

<sup>1</sup>「稼働中」とは、電池から負荷（機器）へ電源供給を、または電池への充電を行っている状態（東京デバイセズ, 2016, 私信）

換」が可能な機材か回路を用いれば良い。そこで、同変換機能を持つ Adafruit Industries 社製「Adafruit FT232H Breakout - General Purpose USB to GPIO+SPI+I2C」を使用することにした。

### 現状と今後の計画

IW7817-CS と Adafruit FT232H Breakout、その他必要なプルアップ抵抗などを用いて回路を作成し、また、デスクトップ PC 上(OS: Ubuntu 16.04 LTS)で測定データを取得するための Python スクリプトを作成した。そして、両者を用いて鉛蓄電池の内部抵抗値と電圧値が取得可能であることを確認した。

今後は、OpenBlocks IoT EX1 との組み合わせでの動作確認、負荷接続や充電中での動作確認、などを行い、実用可能性の評価や改良を行う計画である。

### [参考]

Adafruit Industries, Adafruit FT232H Breakout - General Purpose USB to GPIO+SPI+I2C

<https://www.adafruit.com/product/2264> (リンク確認: 2018-01-08)

Adafruit Industries (Tony DiCola), 2017, Adafruit FT232H Breakout.

<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ft232h-breakout.pdf> (リンク確認: 2018-01-08)

ぶらっとホーム株式会社, OpenBlocks IoT EX1

[https://openblocks.plathome.co.jp/products/obs\\_iot/ex1/](https://openblocks.plathome.co.jp/products/obs_iot/ex1/) (リンク確認: 2018-01-09)

東京デバイスズ, 2017, IW7817-IS/CS マニュアル・データシート Rev 2.0, 8 p.

[https://tokyodevices.jp/system/attachments/files/000/000/348/original/IW7817-IS\\_CS\\_MANUAL.pdf?1509407556](https://tokyodevices.jp/system/attachments/files/000/000/348/original/IW7817-IS_CS_MANUAL.pdf?1509407556) (リンク確認: 2018-01-08)

# EPMA 分析における炭素蒸着の膜厚の影響と評価

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)は所内の利用のみならず、全国の大学・研究機関からも機器利用の依頼に応じ、運用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分析装置である。

未知試料の定量分析を行う場合、試料の分析条件は標準試料のそれと同等であるのが望ましい。弊所で試料の前処理を行う場合、技術職員の立会いのもと、一定の基準に従って試料を調整し分析することが出来る。しかしながら、他の大学や研究機関から持ち込まれる試料の中には、弊所の基準から外れた品質の試料の分析依頼を受けることもある。そのような場合には、弊所で試料の再調整を行う必要があるため、限られたマシンタイムを有効に使えない等の問題になっていた。

## EPMA 分析および蒸着装置

鉱物試料などの非導電性試料を EPMA で分析を行う場合、試料表面は極薄い導電性皮膜で覆われる必要がある。弊所ではコーティングの皮膜材として主に炭素を使用している。その利点として、炭素は鉱物の主要元素には含まれず、また他の軽元素の検出を妨げる可能性が少ないこと、また、一度蒸着させた試料も、研磨し蒸着膜を剥がすことによって、別の分析に再利用可能な点が挙げられる。

蒸着装置には、一般に油拡散真空ポンプ(Diffusion Pump)と油回転真空ポンプ(Rotary Pump)を併用する真空蒸着装置(高真空  $10^{-3}$ Pa)と、油回転真空ポンプ(RP:Rotary Pump)のみを使用し低真空(10Pa)で蒸着するカーボンコーターの 2 種類ある。カーボンコーターは操作が簡便で、作業者の熟練度に関わらず任意の膜厚に仕上がるものの、蒸着膜の品質や耐性はやや劣る。一方、真空蒸着装置は蒸着膜の品質や耐性に優れるものの、膜厚の調整には絶妙な操作を求められる事が多く、品質が作業者の熟練度に大いに依存する。また同じ作業者でも、装置のセッティングの微妙な違いによって、厳密には蒸着膜の厚さがコントロール出来ないという問題がある。

蒸着膜は、そのコーティングが厚すぎると試料表面の微細構造が不明瞭になるなど、目的元素(特に軽元素)の二次電子放出を妨げ、分析値に影響を与えるようになる。またコーティングが薄すぎると、電流が試料内で帯電現象を引き起こし、観察や分析が行えなくなる。そのため一般的には蒸着膜が数 nm~10 数 nm の厚さになるよう調整を行なっている。

## 炭素蒸着の手順

弊所では日本電子社製の真空蒸着装置(JEE-400)が導入されている。ガラスチャンバー内の電極に取り付けられた炭素棒は、高真空( $10^{-3}$ Pa 以下)で通電させることによって加熱され、蒸発し拡散した炭素粒子が試料表面に付着する。蒸着膜の厚さを一定の品質にするため、以下の条件で蒸着を行うようマニュアルを定めている。

- ・蒸着開始時の真空度は、 $4 \times 10^{-4}$ Pa 以下(蒸着中は  $\sim 1 \times 10^{-3}$ Pa)
- ・蒸着源と試料の距離は、炭素棒を電極の最上部にセットした場合、約 10cm
- ・2本の炭素棒(約  $\phi 5$ mm)は一方を細長い円錐形、他方を斜め平滑に削り、両者は 1 点で接するようにセットする
- ・蒸着時に電極に流す電流値は 50A 程度(炭素棒の形状と接点の面積により毎回微妙に異なり、この電流調整も手動で微調整を行う必要がある)
- ・コーティング時間は、数秒~十数秒(微妙な電流調整を手動で行いながら、炭素の蒸散を見極めるので、時間は毎回異なる) 実際は蒸着膜の厚さは試料の色から判断される。試料全体が灰色の金属光沢を帯びる具合を目安に蒸着を終了する。

この場合の蒸着膜の厚さをコントロールする要因は、炭素棒の削り方、蒸着中の電流値の調整、蒸着時間の 3 要素である。

## 膜厚が分析値に及ぼす影響とその評価

このようにして蒸着した炭素のコーティングがどの程度の膜厚なのか、今までは見た目の色合いや分析結果から推察することしか出来なかった。しかし、今年度、新たに導入された FE-EPMA(JXA-8530FPlus 日本電子社製)は、EDS(Energy Dispersive x-ray Spectrometry)が搭載され、炭素の検出が簡便に行えるようになった。EDS とは試料から放出された特性 X 線をエネルギー分散型の検出器で計測し、スペクトル分析を行う装置である。X 線のエネルギー分解能が 130eV 程度であるため、元素の検出精度は EPMA に比べて劣るものの、多元素同時分析が短時間で出来ることから、広く利用されている。

膜厚を調整された市販のカバーガラス（カーボン蒸着膜濃度板比較セット SSS-1003 ステム社製）について EDS で炭素を分析した結果、見た目の色の濃淡と膜厚および炭素のカウントに相関があることが分かった(分析条件 15kV, 6nA, 1min)。また弊所において、通常のマニュアルで作成した蒸着膜はおよそ 16nm であることが分かった。次に、予め蒸着膜の厚さに差をつけた薄片ガラスの定量分析を行った(分析条件 15kV, 6nA, 5φ)。その結果、膜厚が 16nm 前後の薄片ガラスが最も分析値が良いことが分かった。さらに、膜厚の違いによる鉱物の分析値の影響を評価するため、斜長石とカンラン石に着目し比較をおこなった。その結果、炭素のカウントで 30000~50000kcps, 膜厚にして 15~20nm 程度が最も精度よく分析できることが分かった。

鉱物の化学分析で一般的に用いられる指標に、斜長石の An#と輝石・カンラン石の Mg#がある。An#=Ca/(Ca+Na)\*100 および Mg#=Mg/(Mg+Fe)\*100 でそれぞれ求められる。マグマの組成や分化に応じて Ca および Mg の値が変化することで、その鉱物が晶出した時のマグマの情報を得ることができる。そのため EPMA 分析には必須の元素となるが、Ca や Na などの軽元素は、Mg や Fe に比べ炭素に吸収されやすいことが分かっている。そのため、弊所の標準試料である斜長石とカンラン石について、予め膜厚の差をつけた試料を用いて分析を行い、各元素に及ぼす影響の評価を行った。その結果、膜厚が薄い/濃すぎるものでは、標準値に対して各元素ともに低くなる傾向が認められた。しかしながら、100%規格化した値を使えば、極端に膜厚薄い試料は別にして、標準試料の基準値と同等の結果を得ることができ、膜厚の影響を除去できることが分かった。

今後は EPMA 分析の前に EDS 分析を行い、蒸着膜の評価をすることによって分析効率を高めることが出来るようになる。それにより、所内外の機器利用者の利便性の向上も期待出来る。

参考文献 新・走査電子顕微鏡 共立出版 (2011)

## 回転式断層摩擦物性解析装置を地下実験室に導入するための営繕工事

○竹内 昭洋<sup>1</sup>、中谷 正生<sup>2</sup>、壁谷澤 寿海<sup>3</sup>

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 地球計測系研究部門

3：東京大学 地震研究所 災害科学系研究部門

文部科学省による科学研究費補助金制度の新学術領域研究として「地殻ダイナミクス - 東北沖地震後の内陸変動の統一的理解 - (領域番号 2608) <sup>1)</sup>」が平成 26-30 年度にかけて採用された。その一環として、断層すべり素過程における圧力溶解-沈殿作用および塑性変形の効果を解明する目的で、熱水式回転摩擦試験機を設計開発することとなった。

設計開発した実機を東京大学地震研究所 2号館の地下実験室に設置することとなり、それに合わせて実験室の営繕工事を行った。図 1 に営繕工事後の実験室の図面を示し、工事の様子を時系列に沿って報告する。

### ● 2016 年 9 月 電源増設

実験室の隣が変電室となっている。そこから屋外壁を這わせて、三相 200V100A の電源ケーブルを引き込んだ。100A 漏電ブレーカの下流に、30A ブレーカを 4 器取り付けた。

### ● 2016 年 12 月-2017 年 1 月 床補強

本装置の重量は 3t を優に超え、2 号館の定格床耐荷重 300kg/m<sup>2</sup> に収まらないため、床を鉄筋コンクリートで補強する必要があった。

工事にあたり、同実験室にある既存装置や棚などに砂埃が被らないよう、実験室の西側半分を簡易壁で塞いだ。また、はめ込みガラスの小窓を取り外し、出入口および排塵口として使用した。

本装置の重量だけでなく、地震動に伴い本装置の根元に発生するトルクにも耐えられるよう、梁（幅 1200mm、厚み 600mm）が装置設置箇所ですべて十字に交差する構造で鉄筋を配筋した。既存床内部の鉄筋を引き込んで溶接し、建物の既存基礎とケミカルアンカーで連結させることにより、補強部の安定性を増した。また、装置を床に固定するための M24 インサートを鉄筋に溶接し、引張強度を増した。



写真 1：生コンの流し込み

### ● 2017 年 2 月 壁塗装

既に使っていない LAN ケーブルなど不必要な挿入口を壁から取り外し、床補強工事時に付いた壁傷や壁を這わせていた配線跡を塗装で補修した。

### ● 2017 年 2 月 エアコン・照明移設

本装置の設置場所の天井にエアコンの室内機が吊り下げられていたが、高さが 3m ある本装置と干渉するため、照明と共に移設した。



(2017年3月 装置フレーム部納品)

昨年度末に本装置のフレーム部と関連する装置が納品された。

● 2017年10月 チェーンブロック設置

圧力容器(約500kg)や重量のある治具を昇降させる必要が予想されたため、定格荷重1tのチェーンブロックを装置の上方に設置した。

(2018年3月予定 圧力容器納品)

圧力容器と関係する装置は本年度末に納品予定である。

参照

1) <http://cd.dpri.kyoto-u.ac.jp>

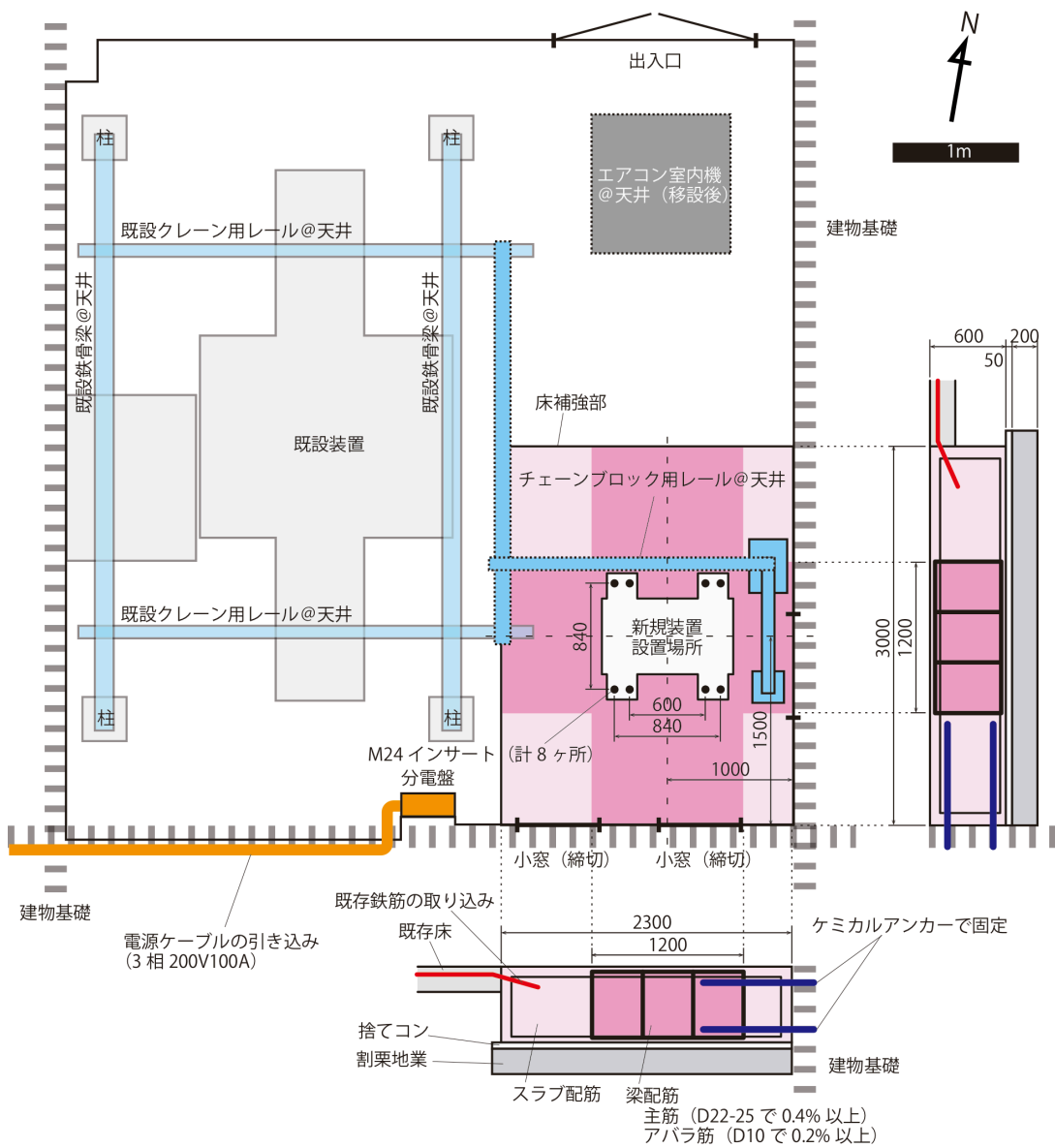


図1：営繕工事後の実験室の図面

## 鋸山観測所検潮儀の修理

技術部総合観測室地殻変動グループ

芹澤正人・大塚宏徳・増田正孝

### ★検潮所概要

鋸山地殻変動観測所の附属施設である鋸山検潮所は平成 4 年に鋸山近くの浜金谷港内に設置された。当初はフロートを用いたフース型検潮儀(写真1左)と水圧式検潮儀、水温計による観測を行っていたが、現在はフース型検潮儀と水温計のみとなっている。またフース型検潮儀も途中で改良があり、紙への直接記録からポテンショメータを用いたアナログ信号出力へと変わった。これを白山工業製データローガーLS-3300にて記録し、アナログモデムを用いて地震研へデータを送っている。(写真1右・図1)



写真1 検定中のフース型検潮儀(左)と収録装置(右)

### ★経緯

平成 29 年 10 月に大型の台風が通過した際に高潮などの影響により浜金谷港は防波堤や岸壁の一部が崩落するなどの甚大な被害を受けた。後日、検潮所の隣にある浜金谷港連絡事務所から連絡があり、事務所内に設置されている波高計が故障したためデータの提供を依頼されたことをきっかけに調べたところ、当方の検潮儀も故障していることが判明した。

観測機器を点検した結果、フロートの高さをポテンショメータの回転に変換する機械的な部分およびポテンショメータ自体には問題が見られなかったが、ポテンショメータの抵抗値を電圧に変換する装置が全く機能していないことがわかった。メーカーを調べ連絡を取ったもののアナログ出力型は既に取り扱っておらず、修理不能とのことだった。

しかしデジタル型検潮儀は非常に高額なため容易に入れ替えることはできず、また測量方法の違いからこれまでと波形が変わってしまう恐れもあり、まずは自前で修理できるか確認することにした。

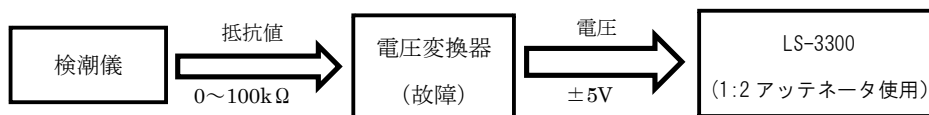


図1 フース型検潮儀による観測ブロック図

当初は壊れた部品を交換するだけで済むと楽観していたが、実際に調べてみると回路図がないこともあり故障箇所の特정이困難だったため修理は諦め、新たに同等の回路を製作する方向に方針転換した。

## ★設計製作

主にオペアンプを用いた基本的な回路の組み合わせになっており、抵抗値を電圧に変換する分圧回路、ロガーの入力レンジに合わせて $\pm 2.5V$ の範囲にステップさせる引き算回路、海面の揺らぎを取り除くためのLPFといった回路を製作した。また雷サージからロガーを保護するため電源は絶縁タイプを用い、最終段に絶縁アンプを入れている。(図2)

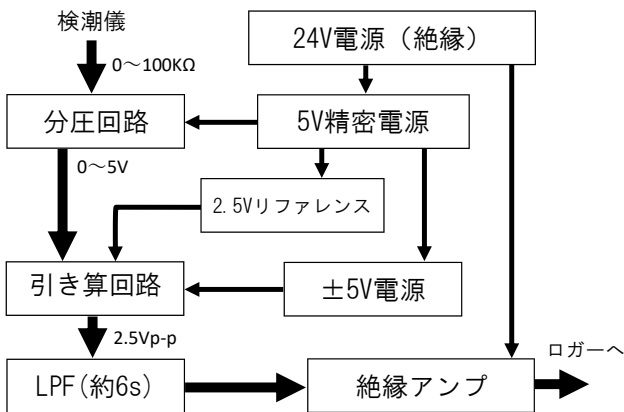


図2 電圧変換器ブロック図

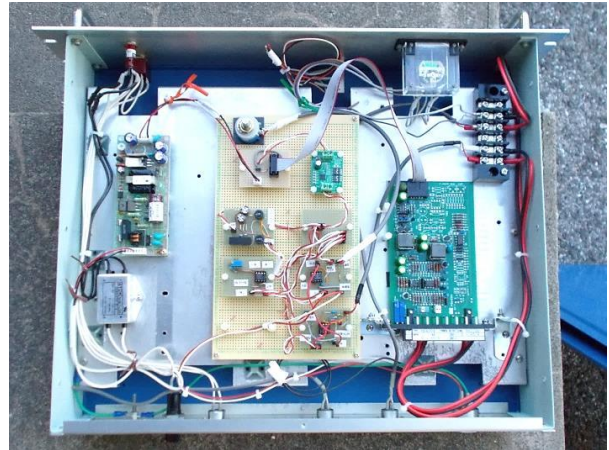


写真2 電圧変換器内部

また試作の都合やメンテナンスを考え同一基板上にすべての回路を載せるのではなく、ブロックごとに基板を分けてモジュール化した実装とした。(写真2)

試作回路の現地運用実験や改良を経て、12月下旬に本格的な観測を再開し簡易的な感度検定も行った。

一週間観測し公開されている木更津港の予測値と比較すると波形は概ね一致しており良好な結果が得られた。(図3)

## ★今後の予定

- ・ LPF の時定数調整
- ・ 高精度な感度検定
- ・ GPS 等による基準面標高の測量
- ・ 無線通信によるリアルタイムな観測所へのデータ転送といったものを検討している。

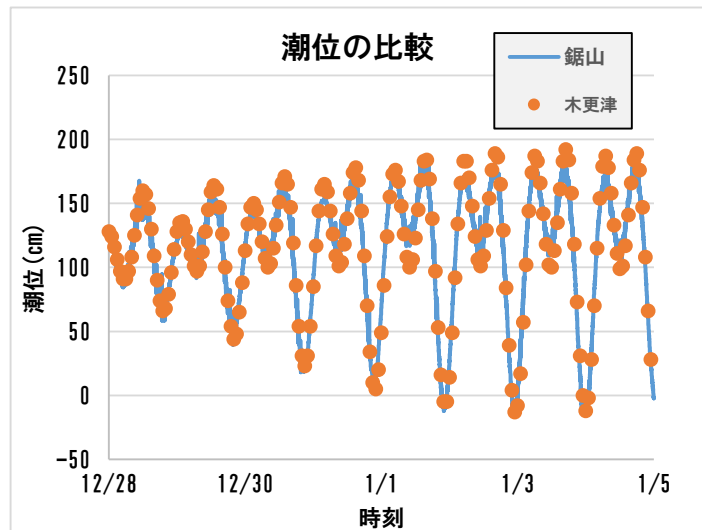


図3 鋸山 (青線) と木更津港 (赤点) の比較

## 八重山地域への GNSS 観測点づくりのもろもろ

九州大学地震火山観測研究センター

手操 佳子

### はじめに

2016 年から 2017 年にかけて、松島准教授の指導のもと八重山地域の地殻変動の観測を目的とした GNSS 観測点 3 点の設置に関する作業（具体的には各関係機関への連絡と許可申請や機材・資材の準備、設置作業）を手伝わせていただいた。本発表は設置に至るまでに行った作業内容について紹介するものである。

### 八重山地域の地殻変動

フィリピン海プレートが琉球開港から沈み込んでいる八重山地域では、1 年に 1～2 回のペースで「スロー地震」が起きている。1771 年に発生した八重山地震ではそのゆっくりした断層運動が遡上高 30 メートルに及ぶ大津波を発生させ、12,000 人以上の犠牲者を生み、多くの財産が失われた。

この地域の地殻変動の観測をするための施設は国土地理院や京都大学防災研究所により 12 点設置されているが、それらは八重山地域の中でも居住地に近くアクセスのよい場所のみ存在し、地域全体をカバーしているとは言い切れないものであった。

### 下見と計画

そこでこの空白地域を埋めるべく、新学術領域「スロー地震」（平成 28～32 年度）の分担として、八重山地域の観測点空白地帯を網羅する観測点設置を計画した。

3 地点、地図上でおよその場所の選定を行った後、関係者との打ち合わせ、詳細な設置場所を決定するために 2 度、設置の拠点となる西表島を訪れた。また、西表島全体が国立公園に指定されており、かつ、場所により保安林、天然記念物等の規制により許可申請の手続きにかなりの労力と時間を費やした。渡り鳥の繁殖地である仲の神島への上陸には鳥類の専門家である東海大学の方々の同伴が必須であり、スケジュールの調整も困難であった。

なお、3 点とも何らかの船の手配が必要な場所であり、仲の神島については 100 メートル沖から泳いで上陸するより方法はなかった。

観測に使用した受信機は測位衛星技術（株）製 GEM-2UD であり、au もしくは docomo の回線網を利用してデータの伝送を行うことができるが、西表島の居住区の真裏に位置する 2 点について当初携帯電話は利用できないと思っていたため衛星電話通信を検討していた。しかし幸い、西表島からはるか沖にある波照間島の基地局に電波が届き携帯電話の回線で事足りるようである、ということが下見時に判明した。

### 設置の実際

普段我々は学生の勉強も兼ねて彼らにフィールドに同行してもらうことが多いが、今回の

作業は日程が直前まで定まらないこと、天候を見ながら柔軟な対応をしなければならなかったこと、仲の神島は最少人数での上陸しか許されなかったことなどから基本的に陸上の機材・資材の運搬と設置作業は松島准教授と2人で行った。

設置にかかる手続きが比較的容易であった点を第1号として2017年8月に設置作業を実施したが、その際に機器（GEM-2UB）の設定の不具合が発覚。3か月後に現地にて設定変更を行い改善したことが確認できた。アクセスが難しい残りの2点の設置直前に設定変更を反映できたことは幸いであった。この現地へのアクセスが極めて悪い2点についても、設置作業に入るまでに大方の体力を消耗してしまったが、無事作業を終え、現在、先行設置の点を含め3点とも観測点として稼働している。

### おわりに

この事案では技術的な経験を積むというばかりでなく、様々な分野の方々とかかわりを持つことができた。国の機関、地方自治体、地域で暮らす方々、他分野の研究者。様々な立場の方々の思いの上に研究活動や観測が成り立っていく様子を肌で感じることができた。目の前の作業で精いっぱいだった自分に、新たな気づきを与えていただいた。

貴重な経験をさせていただいた松島准教授をはじめ、関係者の皆様に心より感謝申し上げます。



(写真) 仲の神島設置完了

## 読み取りシステムの再構築 — Raspberry Pi を用いたシンクライアント環境 —

東北大学 地震・噴火予知研究観測センター

中山 貴史

はじめに

東北大学では、2018年1月現在、4名のオペレーターによって地震波の走時や極性の読み取り作業を行っている。従来、作業環境には、WIN をインストールした Linux PC を使用していたが、OS のサポート終了が迫り、また、経年劣化によってハード面の障害が増加することも予想された。そこで、システム一式の更新とともに管理者負担を軽減するためのシステムの再構築を行った。また、安価かつ保守作業の容易なクライアント端末の導入を実施したので報告する。

従来のシステム

オペレーターが使用する Linux PC からは、データサーバーへ個別に NFS マウントがなされ、波形データを読み出していた。読み取りに使用する WIN やそれ以外の作業に必要なソフトも、個々の PC 上で起動していた。各種の設定変更がある場合は、1台ごとに対応が必要なため管理面で手間になっていた。

第一期更新 (サーバーマシン導入)

従来の構成は管理効率が悪いことから、シンクライアント環境によるシステムの構築を担当教員から提案された。そこで、下記のうちの接続方法が適当であるか、サーバーマシンの導入前に調査した。

1. VNC : クライアント PC の性能によってレスポンスが不十分な場合あり
2. xrdp : WIN のカーソルが正常に表示されないなどの問題あり
3. xdmcp : レスポンスが良好であり、接

続操作が Linux のログインメニューから可能なことなど条件が合ったため、これを採用

サーバー環境の構成のため、同スペックのワークステーションを2台用意し、メインの1台は通常の作業用途に、サブの1台は障害時の使用に加えてメイン機のデータをバックアップする役割とした。サーバー導入時点において、PC の OS サポート終了までは若干の猶予があったため、クライアント環境には、従来使用していた PC を一旦そのまま流用した。

第二期更新 (クライアント端末更新)

サーバー導入時点では、クライアント環境のハード面における変更は無かったが、導入以前と比較して障害頻度が減少し PC にかかる負荷が軽減されたように思われた。そのため、より低いスペックの端末によるクライアント環境の更新を検討した。

事前の動作試験には、価格やサイズなどが手ごろな Raspberry Pi 2 Model B を使用した。試験で主に重視するのは、読み取り操作に耐えうる応答性と、長時間接続の安定性であった。応答性については、熟練のオペレーターによる読み取りにおいても問題はなく、接続の安定性についても、2か月以上連続して保持されたことが確認できた。なお、実際に導入した端末は Raspberry Pi 3 Model B で、これを各々のディスプレイの裏面に固定して使用している (写真 1)。

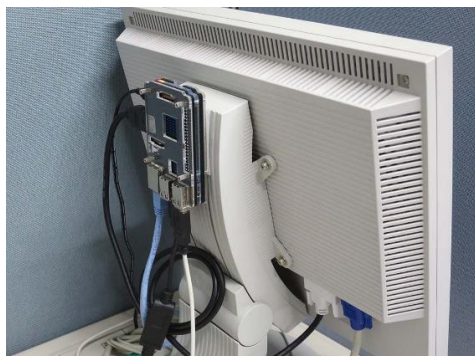


写真 1. Raspberry Pi の設置状況

1 台のセットアップができれば、microSD カードの複製によって複数台のクライアント端末の設定が完了する。安価で設定も容易なため、予備機の確保も手軽である。

#### 技術的な補足

##### ◇Raspberry Pi からの xdmcp 接続

Xorg コマンドを使用する。オペレーターによるコマンド入力が必要となるよう、ごく簡単なスクリプトを用意したため、実際の作業ではマウス操作のみで接続が完了する。

##### ◇サーバー間のデータバックアップ

rsync を使用し、深夜の時間帯に cron で 1 日 1 回差分バックアップが実行される。作業時間帯のサーバー負荷軽減を考慮したほか、意図しない上書きや削除などの誤操作があっても直後であれば後戻りが可能な時間差を設けている。また、自動バックアップを監視するため、rsync 実行によるエラー出力を管理者に毎日メールで通知している。

##### ◇サーバーのスペック

表 1 の通りで、5 名までの同時作業ならストレスのない動作を確認している。オペレーターは WIN 以外に、メールソフト、WEB ブラウザ、Office 互換ソフトなどを主に使用しており、これらは全てログインしたサーバー上で起動される。Raspberry Pi の役割は xdmcp 接続のクライアントとしてのみであるため、本体 microSD への書き込み頻度も少ない。

M/B	Supermicro X10SLA-F
CPU	Xeon E3-1220v3 3.1GHz 8MB 4C/4T
RAM	DDR3-1600 ECC unbuffer 16GB
HDD	4TB SATA
PSU	ニプロン ePCSA-500P-X2S
OS	CentOS 6.7

表 1. サーバマシンの仕様

#### マニュアルの作成

主な管理者である技術職員は、観測点保守等により不在になることが多いため、使用方法に関するマニュアルを作成した。サーバー・ネットワーク管理の知識がある職員であればある程度の障害対応が可能になるよう、システム全体の構成と、主な障害の対応等について情報共有を目的としている。障害対応に関しては、症状の重さに応じて、オペレーターのみで対応する障害と管理者による対応が必要な項目に分けた。

#### おわりに

システムの更新に伴い、全体の設計から見直しを行ってさまざまな改善が図られた。サーバーの導入では、管理面の負担軽減とデータの信頼性が向上した。また、新たなクライアント端末の導入によって、初期投資・使用電力・設置スペースの削減に加え、初期設定・電源バックアップ・障害対応などが容易になった。今後の改良・更新等については、管理面の効率化だけでなく、実際に作業を行うオペレーターが使いやすい環境づくりも優先して検討していきたい。

## 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

○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)

## 【概要】

2016年度末までに、御嶽山火口域での地震観測を目的とした地震テレメータ観測装置の開発を行った。御嶽山観測において必須となる、積雪期の乏しい電力でも通年テレメータ観測を可能にする小電力装置であること、観測機材一式の一人での運搬・設置を可能する小型・軽量の装置であることに加えて、他の観測目的にも対応できる汎用性を備えたものになっている。この装置は機動性が高いため、迅速な設置とデータ取得開始が可能で、火山に限らず大地震後の余震活動が活発な地域などでの即時性が求められる観測、作業者の安全確保が必要な観測において有効である。本年度秋までに、このテレメータ装置を御嶽山火口域とその周辺の計10箇所（標高2700m以上）に設置し、運用試験を開始している。開発の経緯、仕様、試験地と設置状況、現在の運用状況について発表する。

## 【開発経緯】

2014年、御嶽山山頂での安定した通年地震観測を目指し、ソーラー独立電源と携帯テレメータによる小規模地震観測点の設置方法や運用技術を確認するための試験的観測点の設置を計画した。当初計画は既成ロガー・USB型データ通信端末・ルータ（Linux box）を使用するため数Wの電力が必要であり、その電力確保が問題であった。対応として間欠送信による小電力化と、卓越風の影響を受け積雪にくい場所を選ぶことでシステム全体の小型・軽量化を図る計画であったが、同年9月の噴火により中断した。

2015年7月、東大地震研と計測技研で共同開発が進んでいたオールインワン型小電力テレメータ装置の紹介を受けた。同年10月、テスト機を借用し、御嶽山五の池周辺の2箇所（火口の北2kmの稜線上）で冬期運用試験を開始した。この結果、適切な観測地を選べば必要な電力確保が可能であることがわかった。改善点など必要な仕様変更に関して検討を開始し、年度末に補正予算の配分が決まったことで、2016年度での実用機の改良開発が始まった。

## 【仕様：基本仕様と実用機での変更点】

テスト機、実用機的主要仕様と変更点を表1にまとめた。

共通仕様では小電力が大きな特徴で、消費電力はオフライン時：0.1W、オンライン時：0.8W、1時間毎の間欠送信で平均消費電力は0.2W以下である。表示部を持たない代わりにBluetoothで携帯端末と通信し起動状態を把握することができる。携帯通信は3G回線を使用し、データはFTPSにより専用サーバに送信される。格安SIMに対応しており、現在、ASAHIネットの128Kbpsプラン（748円/月）を利用している。

大きな変更点は、実用機ではセンサーを外付にして筐体を樹脂製にしたことで、これにより目的に合わせた地震計が選択可能となり、またケーブル損傷事例の多いGPSや3Gアンテナが内蔵可能となった。電源は12V系へ変更し、外部電源入力を設け、この電源設計に適合しない観測での利用を可能にした（例えば電力の必要な広帯域地震計の利用など）。想定した標準観測セット（テレメータ装置・センサーLe-3D lite・10Wソーラーパネル）を図1に示した。

表1. テスト機・実用機的主要仕様

	テスト機	実用機
筐体	アルミダイキャストケース 20x20x12 cm	強化樹脂ケース 27x25x13 cm
電源	内蔵 Ni-MH (4.8V 14.7Ah) 外部電源なし	内蔵 Ni-MH (12V 11Ah) 外部電源 12V
センサー	内蔵 4.5Hz	外部入力
重量	約 8 kg	約 4 kg
共通仕様 コア部	7チャンネル入力 3ch, レンジ ±5V(差動), ΔΣ方式 AD変換, 分解能 24bit, サンプリング 100Hz/200Hz, 記憶容量 64GB 対応 (CF), GPS モジュール内蔵	
通信部	3G回線, FTPSによる専用サーバへの間欠データ 送信	
その他	消費電力 0.2W 以下 (100Hz サンプリング, 1時間毎の送信) Bluetooth 状態モニタ (iOS アプリ)	



図1. 標準観測セット。樹脂ケース内の青 Box は装置本体、白 BOX は 3G アンテナ。



### 【御嶽山火口周辺域での運用試験】

火口周辺域での試験候補地は最終的に表2に示す10箇所とした。これら場所は長野県・岐阜県の県立自然公園の特別地域に指定された保安・国有林内であり、観測のための認可取得は秋以降と予想された。また、火口周辺域は自治体による規制区域内であるため作業日程・時間には制限を生じる。強風域を逆手にとる観測スタイルであることから、特に地震計の設置には時間をかけて対応する必要があるが、氷点下での作業となる可能性、規制区域であり下見が不十分であることを考慮し、初年度（本年度）の計

画としてはテレメータ装置の設置と運用開始を重視し、地震計の接続・設置の良し悪しは問わない方針とした。今後、数シーズンの試験を行い、設置環境や試験地配置の最適化（いずれは観測点）、装置の課題洗い出し・改良を経て、将来的には、研究・デ

ータの外部提供に耐えうる観測体制を目指す。

設置作業は、10/4-5(Peak2812)を3名、10/16-19(石室山荘・一の池・剣ヶ峰・王滝頂上、日の門、奥の院)を5名、10/30-11/2(9合目・一口水・アルマヤ天)を3名で行った。認可を待つ間、機材の9割程度を既存試験地や山小屋・避難小屋（いずれも規制区域外）に荷上しておき、設置時の負担を減らした。

機材は、テレメータ装置(CF:16GBを使用)の他、10Wソーラーパネル2枚、センサーにはLe-3D lite、外部補助電源(Pb電池7.2Ah)を基本セットとした。砂礫帯で埋設を予定した場所(一の池・剣ヶ峰)にはL-4C-3Dを使用、この2点はふもとからの遠望が難しいため積雪状況を記録するためにタイムラプスカメラを設置した。

設置イメージを図2に示す。ソーラーパネルは風が吹き抜ける場所に設置方位を変えて固定、着雪時に補完的な動作をするようにした。

表2. 御嶽山火口周辺域試験地一覧

	試験地名	標高(m)	設置時状況	1/8現在の状態
1	Peak2812	2812	電波弱	稼働中
2	アルマヤ天	2890	良好	稼働中
3	石室山荘	2817	良好	稼働中
4	一の池	3042	オフライン*1	不明
5	剣ヶ峰	2991	オフライン*2	不明
6	王滝頂上	2930	良好	稼働中
7	日の門	2937	良好	稼働中
8	奥の院	2930	良好	稼働中
9	9合目	2830	良好	稼働中
10	一口水	2748	不完全*3	停止(12/6)*4

1) 機器不具合、2) 電波弱、3) 外部補助電源未接続、4) 充電トラブル

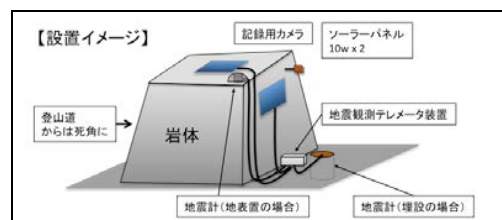


図2. 試験地設置方法

### 【現況と課題】

1/8現在、10地点中7地点で良好な稼働を確認しており充電状況も良い。これらの地点では地震計設置が不十分で強風時にノイズの上がる地点もあるが、興味深いデータも取れ始めている。剣ヶ峰試験地付近は電波が弱いため、一の池では通信部不具合のためオフライン動作になっていて現状を把握できない。一口水試験地は、設置時に外部補助電源にトラブルがあったためメイン電源のみで運用していたが、昨年12月に充電ができなくなり停止した。

改良の課題として主なものをあげると、間欠送信に失敗した際の再送処理と通信速度の向上がある。現在の仕様では未送信データを古い順に送信するが、通信エラーが多くなる電波の悪い地域ではリアルタイム性が失われてしまう可能性がある。また通信速度はロガー部と3Gモジュール間の通信がボトルネックとなり最高50kbps程度となっている。通信速度向上により平均消費電力をさらに小さくできる可能性がある。さらに3Gサービス停止を見据える必要もある。

(謝辞) 石室山荘・向井修一氏には、ヘリコプターによる機材の荷上・保管での便宜だけでなく、設置作業期間には営業終了後にも関わらず宿泊のお世話をして頂いた。また王滝村、木曾町、下呂市の各自治体には設置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。

## 2017年度データ流通収集処理グループ活動報告

○安藤美和子・○大塚宏徳・○佐伯綾香  
田中伸一・藤田親亮・増田正孝・宮川幸治  
東京大学地震研究所 技術部総合観測室

### 1. はじめに

これまで東京大学地震研究所（地震研）では、様々な観測研究を行ってきた。自然現象を対象とした研究にとって、データ収録の良し悪しは、その研究の成否を左右する。観測データの収集は、現地収録からテレメータ収録へと変わり、現在は、ほとんどのデータがリアルタイムで連続的に収集されている。かつてテレメータの経路は、専用電話回線もしくは地上波無線であったが、最近の技術の進展により、有線のインターネット回線、衛星回線、モバイル回線等、選択肢が増え、便利に迅速に観測が行えるようになった。一方で、観測の種類や目的に応じて、データ伝送部やデータ収録システムも多様化し、どのような機器を選択するのか、それらを統一させて効果的に利用することは可能なのか、得られたデータの質を維持する仕組みを構築できるのか等、新たに多くの課題が生じている。また、現地に機器を設置してデータを送信し始めても、それが正しく収録されるまでには、様々な経路やシステムを経由するため、高度な知識や技術が必要になってきている。

そこで、2016年に技術職員が中心となって「データ流通収集処理ワーキンググループ（WG）」を作った。このWGでは、観測データの流通や収集の仕組みを理解することを第一の目的としている。現状の理解を通じてシステムのさまざまな課題を明らかにし、新たな技術の動向をうまく取り入れつつそれらの改善を目指している。現在は、技術職員7名と教員4名で活動している。本発表では、今年度の活動を報告する。

### 2. 活動内容

まず、地震研テレメータ室が運用のために使用しているメーリングリストに加わり、日々どのようなことが問題となっているのかを知ることから始めた。テレメータ室は、地震観測機器を開発した業者（2名）によって、全国の地震観測データ流通網の管理運用を行っている。その流通網には、地震データだけでなく全国から様々なデータが送られてくるため、いろいろな問題が生じていて、データの不具合の発見やその対処方法、そして安定した収録を維持すること等において学ぶことが多い。

その他、毎月1回程度、会議（教員を含めたものは3か月に1回程度）を行って、進捗状況の確認と今後の活動予定を話し合っている。

### 3. 転送用サーバと監視用サーバの設置

新たに設置した転送用と監視用の2台のサーバ（akebonoとkawatare）について紹介する。技術職員は、担当する観測点に不具合が無いかが、伝送に欠けがないか等の監視を行っているが、技術職員それぞれが独自の仕組みを各々のマシンに構築して監視することが多い。監視に必要なデータは、全国のデータを収録しているテレメータ室のデータ交換サーバからそれぞれのマシンに転送されていたが、監視マシンの数が増えるにつれてサーバの負荷が大きくなってきた。そこで、1台のデータ転送専用サーバ（akebono）で受け、そこから各技術職員のマシンへ転送することにした。akebonoは、全国のデータがブロードキャストされているサブネットに接続したため（図1）、テレメータ室

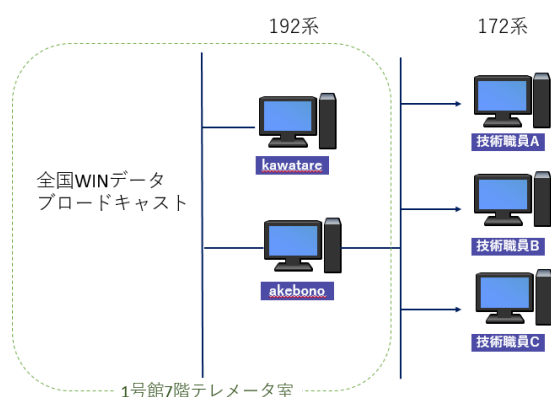


図1 技術職員にWINデータを転送する流れ

のデータ交換サーバに負荷をかけることなくデータを受信して、技術職員のマシンに転送する事が可能になった。

データ監視の仕組みが、技術職員それぞれのマシンに構築されていて共通化されていないことも課題であった。そのため、個人のプログラミング能力に依存せずに、誰でも容易に監視できる共通化した監視プラットフォームの構築が提案された。まず、データ量の少ないステータス情報の監視システムの共通化と高度化を目指すこととし、この役割を kawatare に持たせることとした。この kawatare は、akebono の代替機としての役割もあるため、2つは同じスペックにしている。1Uラックマウント型サーバ

(CPU : Intel Xeon E3 4core, メモリ : 8GB, HDD : 4TB, OS : CentOS7) 2台を1号館7階テレメータ室に設置した(図2)。



図2 akebono, kawatare 設置状況

#### 4. ステータス監視用 Web ページの作成

観測点のデータロガーから送られてくるステータス情報のフォーマットや内容には、違いがある。そのため、これまではロガーごとに監視システムが構築されていた。その結果、多くの観測点を監視するためには、別々の監視用 Web ページを閲覧しなければならなかった。そこで、機器によらず一元的にステータス情報を確認できる共通監視用 Web ページの作成を開始した。今後も、観測システムの多様化が予想されるため、様々なフォーマットや内容に対応できるロバスタなものが必要である。現在は、ステータス情報の取得には、既存の監視システムを利用して、フロントエンドとなる Web ページの監視項目の選択やより見やすいページデザインについて検討している。

#### 5. おわりに

今年度は、akebono を設置したことにより、テレメータ室のマシンにあまり負荷をかけずに、各自のマシンで WIN データを受信することが可能となった。今後は、kawatare の機能をさらに充実させ、監視能力を高めていきたいと考えている。更に、データ流通収集処理の理解を深め、現在のシステムにおける課題を明らかにし、改善を行いたい。例えば、いち早く不具合を発見する仕組みの開発や後から回収したデータの自動補填手法等は、業務時間の軽減につながる。ノイズの軽減や観測データの質を高めるためにも、新たな技術の動向をうまく取り入れ、それらの課題を改善していきたい。

#### 謝辞

テレメータ室の白山工業・出川昭子氏には、サーバの設置と構築を行う際、大変お世話になりました。記して感謝致します。