

平成 28 年度 地震研究所職員研修会 アブストラクト集



日 程 平成 29 年 1 月 16 日(月) ~ 18 日(水)

地震研究所研修運営委員会

西之島への上陸

東京大学地震研究所
渡邊篤志

はじめに

噴火活動中や活動収束直後の火山で調査・観測を行うことは、活動の推移予測や火山そのものを理解するための重要な知見を得る貴重な機会であるが、様々な理由によりその実施は困難であることが多い。今回上陸調査・観測を実施した西之島もそのような例の一つである。

西之島火山

西之島は小笠原諸島父島の西方約 130km に位置する火山島である。火山フロントである七島－硫黄島海嶺の南部にあり、比高約 3000m の海底火山の山頂部である。前回の 1973～74 年噴火では、次々と火口を移動させながら新島(西之島新島)が成長し、噴火後に漂砂などにより旧島と結合した。

2013 年 11 月に始まった今回の噴火は、初期こそスルツェイ式噴火が観察されたものの、やがてマグマと海水が接触しなくなってストロンボリ式へと噴火様式を変え、12 月 25 日には西之島と接合した。その後はほとんど噴火口の位置を変えることなく溶岩を流出し続け、樹枝状の複雑な分岐が特徴的な溶岩流を形成しつつ島は拡大した。噴出率は最大で 50 万 m³/日に達し、最終的には約 1 億 m³の溶岩が流出して約 2.3km²の新たな陸地が誕生した。約 2 年間の活動を経た 2015 年 11 月ごろにはブルカノ式噴火も見られたが、12 月以降、新たな噴火や溶岩流出は確認されていない。

上陸への道

西之島への接近・上陸を規制している(た

のは、主に生態系保全のため(国立公園特別保護地区、世界自然遺産)と安全確保のため(気象庁の噴火警報、海上保安庁の航行警報)である。西之島を含む小笠原諸島は面積の 63%が国有林でその大部分が生態系保護地域に指定されており、世界自然遺産でもあり利用は厳しく制限されている。そこで、上陸予定者は全員、関東森林管理局の生態系保護地域利用講習を受け、調査のための入域許可を得た。8 月 17 日には噴火警報が引き下げられ、警戒すべき範囲が火口より 1.5km から 500m に縮小され、73 年噴火以前からある西部の台地(旧島)への上陸が可能となった。

噴火によりほぼゼロからの再生を余儀なくされた西之島は、海洋島における生態系の発展を観察するまたとない機会であるので、外界から生物を一切持ち込まないよう環境省から「布製品は全て新品」、「持ち込み品は事前に燻蒸したクリーンルームで密閉」、「浜にボートを着けず、ウェットスーツ姿で泳いで上陸」、「陸上での排便禁止」などの指導があった。

いざ西之島へ

西之島での上陸調査は、大気海洋研の新青丸の研究航海(KS-16-16)の一部として10月20日、21日に実施され、大湊・前野・渡邊(地震研)、中野(産総研)、吉本(富士山研)、川上(森林総研)、千田(環境省)の7名が、2013年の噴火開始以後初の上陸を果たし、旧島および周辺において火山地質調査、地震・空振観測点設置、生態系調査を行った。

本発表では、準備作業や上陸調査の様子などを紹介する。

地震研究所技術部総合観測室が実施した 2016 年 4 月熊本地震緊急観測対応

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

2016 年 4 月 14 日（木）21 時 26 分、熊本県熊本地方で $M_{jma}6.5$ ($M_w6.2$) の地震（前震）が発生し、益城町で最大震度 7 を観測した。更に 16 日（土）1 時 25 分には、 $M_{jma}7.3$ ($M_w7.0$) の地震（本震）が発生し、西原村と益城町で震度 7 を観測した。これらの地震を受けて東京大学地震研究所は様々な緊急観測を実施したが、本発表

ではその中から技術部総合観測室が支援した観測について紹介する。大きく分けて以下の 3 観測を支援した。

1. 緊急地震観測（4 月 15 日～19 日）
2. 緊急 GNSS 観測（4 月 26 日～28 日）
3. GSX による稠密地震観測（4 月 27 日～30 日）

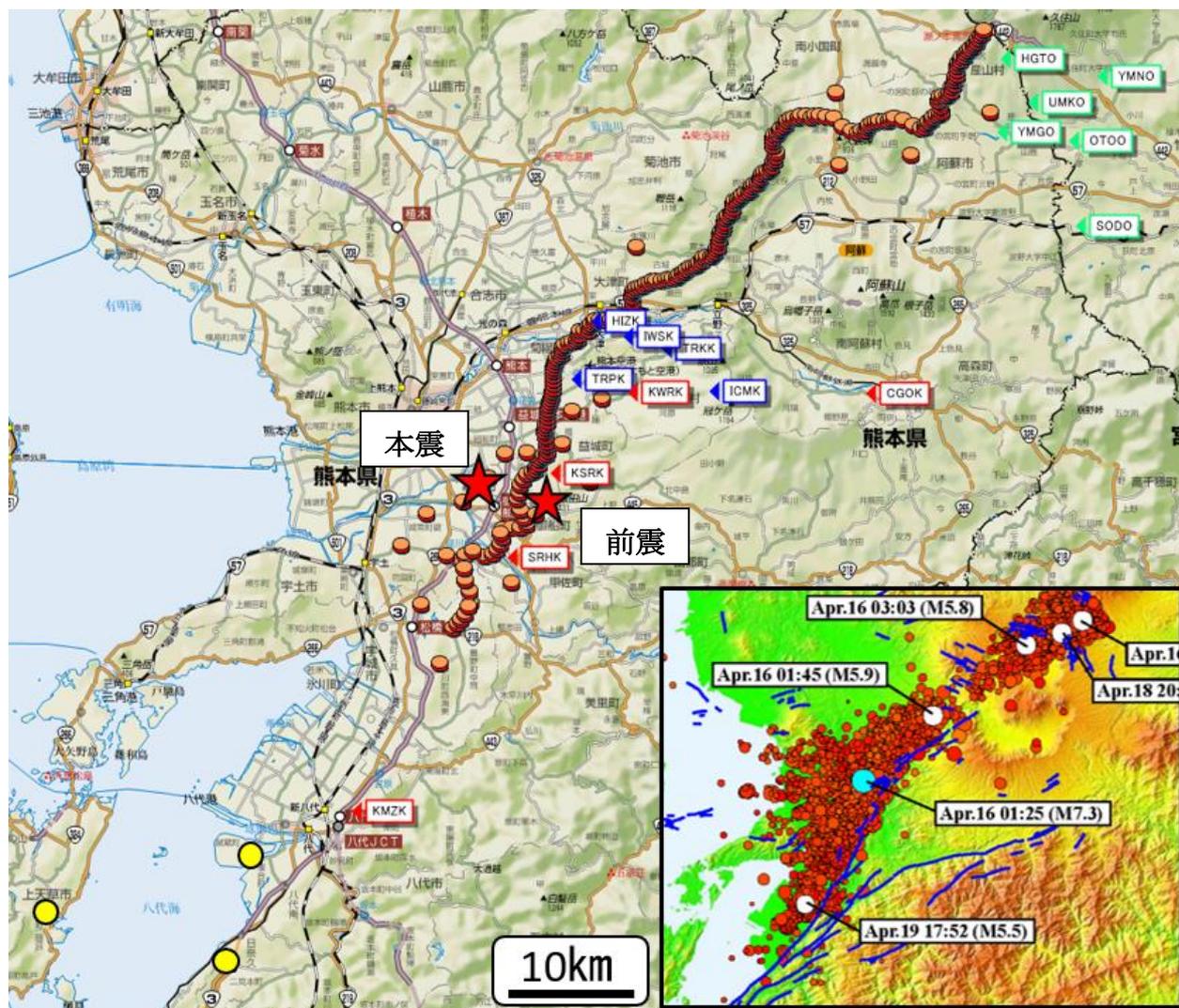


図 1：観測点マップ（右下枠内は $M_{jma}7.3$ 地震後 2 日間の震源分布図）

文字付アイコン：緊急地震観測点（赤：4 月設置のオンライン点、青：4 月設置のオフライン点、緑：5 月設置のオフライン点）。黄色丸：緊急 GNSS 観測点、オレンジ円盤：GSX 観測点

1. 緊急地震観測(4月15日～19日)

4月14日(木)の前震発生を受けて、15日(金)早朝の便でまず2名の技術職員が3点分の緊急観測機材を持って空路で熊本に向かった(先発隊)。彼らは九州大学のグループと合流し、前震震央直近に位置するが機器トラブルで前震前から観測停止中だったKU.KSRQ観測点に行き、レナーツLE-3DiteとLS-7000XTを設置してオフライン観測を開始した(観測点コードをE.KSRKにした)。

15日(金)夕方には更に4名の技術職員が8点分の観測機材を9個の青色コンテナボックス(PT-42C)を入れて羽田空港に向かい、空路で福岡空港に移動して博多で宿泊した(後発隊)。

16日(土)は先発隊・後発隊共に現地にて観測点設置作業を予定していたが、未明に本震が発生した事から、まずは安全確保を優先した。先発隊は阿蘇市で宿泊していた事から、午前中はまず震源域から離れた。後発隊は、総合観測室長から午前中の間待機を命じられていたので、福岡市内で資材の買い出し等を行った。午後になってから、先発隊と後発隊は震源域北部に位置する山鹿市に移動して宿で合流した。また本震を受けて観測点配置が変更となったので、宿で担当を協議した上で3班分の機材の振り分けを行った。

17日(日)から18日(月)にかけて現地で緊急観測点の設置作業が行われ、オンライン点5点とオフライン点5点の計10点が設置された

(図2; E.KWRK観測点)。またオフライン点5点の内2点には、強震計も併設した(6月に撤去)。その後19日(火)迄に6名全員が帰京した。

本観測網はその後、E.KSRKの保守を九州大学にお願いし、E.CGOKはHinet白水観測点の復旧に伴い5月に撤去した。また5月には、大分地域に6点のオフライン点を追加設置した(図1の緑アイコン)。その後6月と10月にオフライン観測点のバッテリーとメディアの交換作業が行われ、12月にはオフライン点を全て撤去した。よって2017年1月時点ではオンライン点を4点

残すのみとなっている。

2. 緊急GNSS観測(4月26日～28日)

技術職員1名が教員2名と共に、八代市と上天草市内の3箇所の中学校校舎屋上にアンテナを設置し、受信機を室内に設置した。

3. GSXによる稠密地震観測(4月27日～30日)

震源域の上に約300m間隔で250台のGSX地震観測装置を設置(図1のオレンジ円盤)する計画が立ち上がり、技術職員2名が現地入りして設置予定点の下見作業を支援した。設置・撤収作業は(株)ジオシスが実施し、約3週間の観測が行われた。

おわりに

今後も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、緊急機材などの事前準備を普段から十分におきたい。



図2: E.KWRK観測点

熊本地震及び阿蘇中岳噴火後の電磁気観測点の復旧について

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 宇津木充

はじめに

京都大学火山研究センターでは、センター本館（以下 AVL）周辺及び阿蘇中岳火口周辺に磁力計を設置して観測を行っていたが、2016年4月16日の熊本地震及び同年10月8日の噴火の為に機器が被害を受けた。今回の発表ではどのような問題が発生し、それにどのように対処したかについて報告を行う。

観測と被害について

阿蘇の中岳火口の火山活動モニタリングのために火口周辺（図1）及び AVL で磁気観測を行っていた。AVL での観測は火山活動に伴う火口周辺での磁気変化と比較するための基準観測である。

熊本地震により AVL のある丘の斜面が地滑りを起こし電源消失、通信ケーブル破断など観測を行う事が困難になった。（図2）

火口周辺の点は噴火による噴石及び降灰で機器が被災した。特に今回の噴火では降灰の量が多く、機器が完全に埋没するほどであった。（図3）

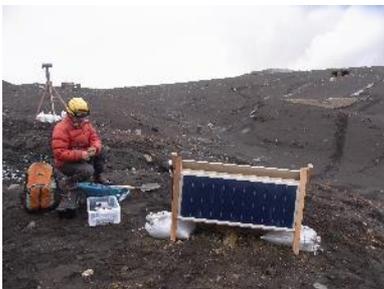


図1 噴火前の観測点



図2 AVL 周辺の電磁気観測室



図3 噴火で埋没

代替設置

AVL の基準観測点は先に述べた理由の他に道路が地滑りで通行不可能になったことや地滑りの拡大などの危険があるため別の場所に設置することになった。代替の点は複数の候補点で事前の磁気調査を行った結果、ノイズが一番少なかった真木観測点に決定した（図4, 5, 6）。更にこの点は地震観測で運用しており AC 電源及びインターネット回線が既設でありデータ送信などが容易といった利点もある。また通勤経路の近くにありメンテナンスにも行きやすいといった利点もある。

火口周辺の点は元の点より火口から 50m 程度離れた退避豪内にロガーを設置した。これは噴石による直撃を避けるためである。センサーはケーブルを可能な限り延ばして火口よりに設置した（図7, 8, 9）。

まとめ

地震及び噴火で観測機器が被災した。そのため AVL 及び火口周辺の磁気観測機器を代替設置した。発表では被害状況や設置時の状況等を詳しく行う。



図4 センサー設置（真木）



図5 真木観測室



図6 ロガー



図7 センサー設置（火口）



図8 退避豪



図9 ロガー（退避豪内）

おわりに

この度熊本地震で亡くなられた方々にお悔やみを申し上げますとともに、被災されました皆様にお見舞い申し上げます。火山研究センターも被災しましたが、他大学の教員や技術職員、地元自治体、企業、及び京都大学教職員の皆様方からたくさんの御支援、御協力をいただき観測業務を再開することが出来ました。ここに厚く御礼申し上げます。

火口付近への観測点整備について

気象庁地震火山部火山課

○中橋正樹・加藤幸司・近澤心・林洋介

1 はじめに

平成 26 年 9 月 27 日に発生した御嶽山の噴火を踏まえ火山噴火予知連絡会の下に設置された検討会において、「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言」が取りまとめられた（平成 26 年 11 月）。その柱の一つとして、水蒸気噴火の兆候をより早期に把握するための観測体制の強化が必要であると指摘され、火口付近への早急な観測施設整備が求められた。必要とされた火山観測施設は以下の通りである。

- ・ 広帯域地震計（火山体内の流体の増圧や流動による長周期震動を検知）
- ・ 傾斜計（火口付近の地殻変動を監視）
- ・ 熱映像監視カメラ（火口付近の熱活動を監視）
- ・ 火口監視カメラ（噴気の状態変化を監視）

気象庁では、火口付近の設置環境や気象庁以外の機関を含む既設の観測施設の配置等を鑑み、これらの観測施設を表 1 の火山について整備することとした。ここでは、各観測施設の整備内容、構成機器、火口周辺観測点ならではの特徴等を紹介する。

表 1 観測点整備種目と対象火山

（）付は 2016 年 12 月現在未設置

広帯域地震計	アトナヌプリ、雌阿寒岳、大雪山、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山、北海道駒ヶ岳、恵山、岩木山、十和田、八甲田山、秋田焼山、岩手山、秋田駒ヶ岳、鳥海山、栗駒山、蔵王山、吾妻山、安達太良山、磐梯山、那須岳、日光白根山、草津白根山、新湯焼山、弥陀ヶ原、焼岳、乗鞍岳、御嶽山、白山、箱根山、伊豆東部火山群、新島、神津島、八丈島、青ヶ島（硫黄島）、鶴見岳、伽藍岳、九重山、雲仙岳、霧島山、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島
傾斜計	アトナヌプリ、雌阿寒岳、大雪山、十勝岳、樽前山、倶多楽、北海道駒ヶ岳、恵山、岩木山、秋田焼山、岩手山、秋田駒ヶ岳、栗駒山、蔵王山、安達太良山、磐梯山、那須岳、日光白根山、焼岳、御嶽山、富士山、箱根山、三宅島、八丈島、鶴見岳、伽藍岳、阿蘇山、雲仙岳、霧島山、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島
火口監視カメラ （可視・熱映像）	アトナヌプリ、雌阿寒岳、大雪山、十勝岳、樽前山、倶多楽、北海道駒ヶ岳、恵山、秋田焼山、岩手山、栗駒山、蔵王山、吾妻山、安達太良山、磐梯山、那須岳、草津白根山*（浅間山*）、焼岳、御嶽山、箱根山、伊豆大島*、三宅島*、青ヶ島*、九重山、阿蘇山*、雲仙岳、霧島山、八甲田山**

* 熱映像カメラのみ、** 可視カメラのみ

2 観測施設の設計方針

火口付近の観測施設は、天候等厳しい設置環境の中でも安定した運用が求められる。そのため、観測施設の設計・設置場所の検討に当たっては、基本方

針として以下の各項に留意した。

- 観測データを気象庁へ常時伝送すること
- 観測装置を可能な限り遠隔で操作できること
- 雷の影響を考慮したコンパクトな施設設計
- 積雪・天候不良等長期にわたる無日照期間においても運用可能な電源設計
- 過酷な気象条件でも耐える施設の構造（構造計算により耐風速 60m/s を担保）

以下、観測種目毎に概要を述べる。

3 広帯域地震計

広帯域地震計のセンサーは、Guralp 社製の CMG-3T（固有周期 120sec、標準特性）を採用した。マスの lock・unlock・センタリング等の運用上必要な制御は、ロガーより行うことが可能である（ロガー A/D:24bit、100Hz サンプリング）。

センサーは温度変化に敏感であるため、温度変化を極力抑える設置構造としている。センサー孔を原則として深さ約 2～3 m まで掘削して外気・地表の温度変化の影響を抑えると共に、孔内の空気対流を抑止するためセンサー孔には断熱材を充填し、外側は保護カバーで覆っている（図 1、写真 1）。

通信に関しては、耐障害性を向上させるため、誘導雷を引き込むおそれのある有線（メタル回線）は極力採用せず、FOMA 通信により NTT ドコモ社が提供するビジネス mopera 網を経由し、気象庁のシステムにデータ伝送する設計とした。FOMA 通信が困難な観測点は、通信可能なエリアまで無線伝送を行っている。直接 FOMA 通信する観測点、双方向通信可能な（920MHz 帯）無線区間を持つ観測点については、テレメータ・ロガーの設定変更・再起動、センサーのマス制御等の遠隔操作が可能である。

電源は、極力ソーラー・バッテリーにより自活できる構成としている。ソーラーパネルが冬季に完全に雪に埋没することが見込まれる観測点については、最大で無日照 200 日の連続運用が可能な電源設計とした。

4 傾斜計

傾斜計観測点は、ボーリングにより深さ約 15m まで掘削した観測孔内に塩ビ管を設置し、その底にセンサー（ピナクル社製 Denali Tiltmeter: 1 Hz サンプルング）を設置している（図 1）。電源、通信等基本的な施設構成の考え方は広帯域地震計と概ね同様であり、雷による影響を抑えるため、センサーケーブルの長さが最小限となる施設配置としている。

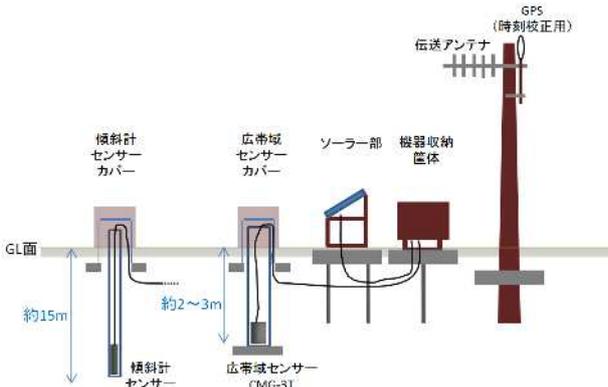


図 1 広帯域地震計・傾斜計観測点施設構成



写真 1 広帯域地震計観測施設外観（左）とセンサー（右上：CMG-31、右下：センサー孔充填材）

5 火口監視カメラ・熱映像監視カメラ

可視、赤外の 2 種のカメラ及びエンコーダ、FOMA 通信機器を同一ハウジング内に納めたカメラ部、太陽光発電装置、蓄電池及びその制御基盤からなる電源部が基本構成で、設置環境に応じて無線中継装置、商用電源等が組み合わされる。

可視カメラは WATEC 社製の高感度カメラ WAT-221S2（最低被写体照度 0.006Lx/F1.2）に FUJIFILM の DV3.8×4SR4A-1 レンズを装着、水平画角 69（又は 25°）に固定して撮影している。赤外カメラは FLIR 社製 A65 を用いて -40～+550℃ の対象温度範囲を 640×512px の解像度で観測（画角は可視のそれと同様）。耐障害性、省電力性の向上の為、PTZ 等の可動機構、ヒーターやデフロスター等の機

能は排除、着雪、汚損への対策は撥水材コーティング（NTT-AT 社 HIREC）のみとなっている。また、通信環境の不安定さを考慮し、撮影画像は動画での配信ではなくエンコーダにて 5sec 間隔（変更可）で JPEG 化し中枢システムへファイル転送される。加えて、温度解析用としての温度データを毎正時に RAW データを中枢に転送している。

電源、通信の設計の基本は他の観測機器同様だが、蓄電池の電圧状態を定期的に監視し、着雪、その他の原因で蓄電機能に問題が生じた場合、可能な限り長期間観測を維持するため、ファイル作成、伝送を 1 時間毎と頻度を減らす“間欠 MODE”に自動的に切り替わる仕様となっている。なお、蓄電池は無日照通常運転時 20 日間、間欠 MODE 時 7 ヶ月間観測持続可能な容量を持つ。

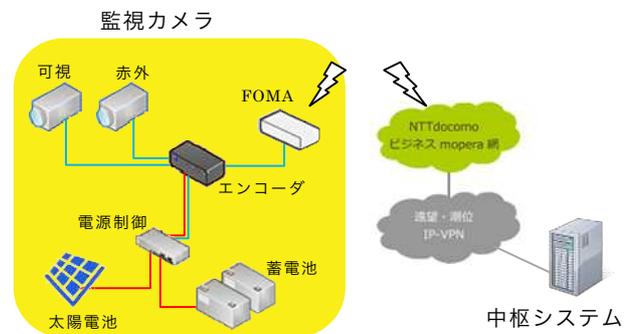


図 2 火口監視カメラ伝送ルート



写真 2 火口監視カメラ外観（御嶽山の例）

6 おわりに

気象庁において、火口付近への本格的な観測施設を全国的に整備するのは今回が初めてである。設置環境の過酷さを踏まえた整備を行っているものの、今後多くの観測障害が発生することが予想される（本発表では、運用後に発生した障害事例についても紹介する予定である）。観測点毎のノイズ特性の調査と共に、観測施設の安定した運用に係るノウハウについても、引き続き蓄積していく予定である。

小型マイコンボードの各種観測への応用

東京大学地震研究所 芹澤正人

Raspberry Pi が登場してから間もなく5年になろうとしている。その手軽さから IoT(Internet of Things : 様々な「モノ」がインターネットに接続して相互通信する)のベースや教育分野でも使われるようになり、国内でも徐々にユーザーを増やしている。研究分野でも試作などに用いられ、東大では生協に行けばいつでも買えるようになっている。

地震や地殻変動の分野でも様々に利用されているが、ここでは2つの事例と Raspberry Pi 以外の小型 Linux マイコンボードについても紹介する。

●地殻変動分野での利用

鋸山観測坑では様々な研究ニーズに対応するため坑内 LAN を敷設している。DSL モデムを利用して鋸山観測所局舎を経由して東京の本所と VPN で接続され、所内 LAN と同等に扱えるようになっている。観測坑-所内間の通信速度は実測で最大 50Mbps 程度である。このネットワークの構築時、DSL モデムなどの電源をバックアップしている UPS のステータス監視用に Raspberry Pi を設置した。その際、当時は特に観測する目的は無かったが、I²C 接続の気圧温度センサーを接続し、1分サンプリングで連続記録するようにスクリプトを仕込んだ。

その後、データの解析により平常時、気温は一定でも気圧は大きく変動しており大気の影響を受けていること、人の出入りにより一時的に気温が上昇するが元の値に戻るまではかなり時間がかかること、研究機材の増加により坑内温度が上昇傾向にあることなどがわかってきた。このデータを坑内環境の保全に役立てたいと考えている。

●地震観測分野での利用

地震研では長らく、その設置の容易さから臨時・緊急観測には主にオフラインのロガーが用いられており、テレメータは設置に電源・通信環境が必要となるため敬遠され、特に緊急時、活動初期のデータを手にするのにやや時間がかかっていた。近年、携帯電話の電波を用いたモバイルテレメータが主流となってきており、消費電力を大幅に抑えて 15W 程度の太陽電池で電源を賄える準リアルタイム型の通信モジュールを内蔵したロガー(計測技研製 HKS-9700)も発売され、実際に緊急観測で用いられている。しかしながら絶対数はまだ少なく、現在地震研が所有しているオフラインロガーがそのような製品に置き換わっていくのはかなり時間がかかると思われる。そこで、手持ちのロガーを使って疑似的に準リアルタイムテレメータのようなことができないか検討したところ、記録媒体であるメモ리카ードのデータを随時読み出すことで実現できそうであることが分かった。

具体的には白山工業製ロガーLS-8800の記録用SDカードをWiFi内蔵SDカードに替え、書き込まれたデータを無線LANで外部から読み出すのである。WiFi内蔵SDカードはいくつかのメーカーから製品が出ているが、今のところLS-8800で動作確認が取れたのは東芝製FlashAir™だけである。

この製品と Raspberry Pi ZERO を組み合わせて、現在、LS-8800 による準リアルタイムテレメータの試作を重ねている。

●Raspberry Pi 以外の Linux マイコンボード

個人輸入などで入手できる Raspberry Pi 以外の小型 Linux マイコンボードをいくつか紹介する。

・ Orange Pi

中国のメーカーが Raspberry Pi を真似て作ったと思われるが、性能的には Raspberry Pi を上回っている。しかし消費電力はやや大きく、熱暴走も多いと聞く。(放熱対策により安定する模様)

Orange Pi Zero と Orange Pi PC 2 を入手しており、性能評価を行う予定である。

・ VoCore2

クラウドファンディングにより作られた 2.6cm 角の超小型ボードである。DD-WRT というファームウェアをインストールして主に WiFi ルータとして用いる。ストレージが少ないのであまり大きなプログラムは動かせないが、消費電力は Raspberry Pi ZERO とほぼ同じ 74mA である。実際には各種コネクタのついた Dock と呼ばれる基板を接続する必要があり、USB や有線 LAN ポートのついた Ultimate Dock を繋げた状態だと 3~4cm 角のキューブになる。

VoCore2 基板単体と Ultimate Dock が繋がってケースに入った物を入手しており、動作確認を行っている段階である。

一点だけ注意したいのは、これらのマイコンボードに搭載されている無線 LAN モジュールは日本の技術基準適合証明(技適)を受けていないため、平地ではダミーロードをつけるか電波が発射されないようにしなければならない(Raspberry Pi3 は技適を受けている)。ただし例外として電波暗室での使用は可能であるが、地殻変動観測坑には電波暗室の要件を満たすものもあり、今回紹介した製品もこの中でテストを行う予定である。余談ではあるが一般的には電波暗室を作るのも借りるのもコストがかかるが、電波を遮蔽する観測坑は地殻変動観測の数少ないアドバンテージの一つかもしれない。

●終わりに

IoT は決して他人事ではなく、地震火山分野でもいずれ当たり前のように観測機器がネットワークにつながっている時代が来るとされる。その波に乗り遅れないよう、我々技術職員も IoT 技術についてしっかりと学んでおく必要があると考えている。

●謝辞

Raspberry Pi についてラズベリー財団の Mr.Eben および JRUG の皆様、LS-8800 の仕様について白山工業株式会社吉田様、FlashAir™ について株式会社東芝様および FlashAir™ Developers 様にご協力および情報提供いただきました。ありがとうございました。

平成28年熊本地震によって被災した火山研究センターの緊急対応について (地震観測データの代替伝送経路構築)

馬渡秀夫*1 井上寛之*2 大倉敬宏*2

*1 京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設 *2 京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

1. はじめに

平成28年4月16日1時25分頃に熊本県熊本地方を震央とする、震源の深さ12km、マグニチュード7.3の地震が発生した。その地震動により、京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター本館(熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽)が壊滅的な被害を受け機能を停止してしまった。

そこで、火山研究センターで収録していた観測データの喪失を防ぐ緊急対応として代替の伝送経路を構築した。



火山研究センター本館と敷地内の地割れ(2016.4.16撮影)

2. 被災状況

平成28年熊本地震の本震の揺れは、熊本地方に甚大な被害をもたらした。火山研究センターはその中でも被害の大きかった阿蘇大橋と同じく南阿蘇村河陽にあった。阿蘇大橋を崩落させたその揺れはセンター周辺でも複数の地滑りを発生させ、周辺の道路や電信柱を根こそぎ押し流してしまった。そのため、電力・通信が遮断され、各観測点からのデータ受信や、収録データの送信が途絶してしまった。

3. 熊本地震発生以前の状況

火山研究センターでは、熊本県、大分県などの九州中部地域に、地震やGPSの観測点を展開し各種データを収録していた。それらのデータの中には阿蘇火山の火口近傍の地震データが含まれ、それについてISDN電話回線を通じて気象庁へと送信していた。気象庁はその送られてくるデータを利用し阿蘇火山の活動の監視に役立てていた。

4. 緊急対応

前述の通り、熊本地震の被災により、NTTの通信回線が遮断されてしまったが、今回の地震後における阿蘇火山活動の活発化が懸念される中、火山研究センターが収録している火口近傍の地震データの気象庁への早急な送信再開が待ち望まれていた。

しかし、火山研究センター本館の被害は非常に大きく、その早急な復旧は絶望的であった。そこで、データ転送のための緊急対応として、各観測点からのデータについて、本学理学研究科附属地球熱学研究施設(大分県別府市)で受信できるように各種回線や各観測点、拠点のネットワーク機器の設定を変更し、伝送経路を再構築した。また、さらに気象庁へとデータを届けるため、地球熱学研究施設から本学防災研究所を経由して到達する伝送経路も構築した。

5. おわりに

平成28年熊本地震の被害は甚大であり、被災地周辺を始め、火山研究センター本館の復旧も未だ端緒にもないが、幸いなことに、我々は多方面からの支援を受けることができ、重要な観測データの早急な復旧を行うことが出来た。

なお、この度の地震災害でお亡くなりになられた方々にお悔やみを申し上げますと共に、被災されました沢山の方々に深くお見舞い申し上げます。

また、今回の復旧の支援について、文部科学省はじめ、京都大学事務関係の方々、他、地震防災、火山防災関係の皆様にも深く感謝申し上げます。

災害対応に追われた 2016 年 –熊本地震と阿蘇火山噴火–

吉川 慎^[1]

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]

1. はじめに

2016年4月16日午前1時25分、熊本地方を震源とした Mw7.0 の地震が発生した。同地方では14日にも Mw6.2 の地震が発生しており、家屋の倒壊、交通網やライフラインの寸断などの甚大な被害をもたらした。さらに、本震発生後には、熊本県北東部から大分県中部にかけてマグニチュード 5 クラスの地震が立て続けに起こった事も被害をさらに大きくした。

また、2016年10月8日午前1時46分頃には、阿蘇火山中岳第1火口において36年ぶりとなる爆発的噴火が発生した。火口周辺には最大で幅3m程度の噴石(図1-1)や、厚さ1m以上の噴出物が降り積もった。



図 1-1. 火口から噴出した噴石 (防災協議会提供)

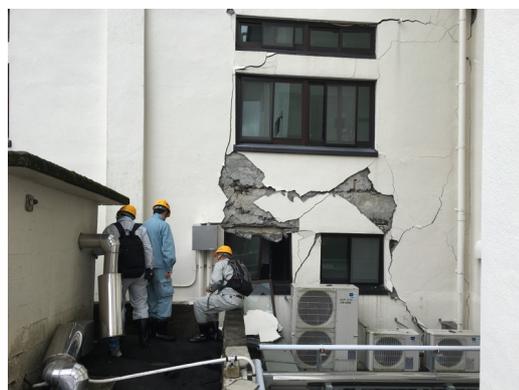


図 1-2. センター本館東側壁面の亀裂

2. 地震における火山研究センターの被害

京都大学火山研究センターは、熊本県阿蘇郡南阿蘇村の高尾野羽根火山の山頂に存在する、昭和3年(昭和4年完成)に設立された、地上7階建ての鉄筋コンクリート造りの建物である。2012年には国の登録有形文化財にも指定され、2014年3月には、本館の耐震化工事を終えている。

当センターも4月16日の地震によって甚大な被害を受けた。外壁の剥離や内壁の倒壊(図1-2)、敷地内道路の陥没、さらには山腹から発生した地滑りによって、周辺の住宅地へ土砂が流出した。

3. 観測体制の復旧作業

今回の地震は火山観測体制にも大きな影響を与えた。平野部では勿論のこと阿蘇山頂部周辺においても電力の供給が停止した事によって、観測データの欠測等が発生し火山活動のモニタリングが出来ない状況となったため、山上観測データの集約拠点となっている本館観測室にソーラーパネルおよびバッテリーを設置し、観測点の復旧作業を行った。

4. 噴火における観測機器の被害

阿蘇中岳火口周辺では、地震計をはじめとした観測機器を設置し、火山活動のモニタリングやデータの蓄積を行っているが、上述の爆発的噴火によってそれらの機器も被害を受けた。

被害機器一覧

短周期地震計 7 台、データロガー 4 台、空振計 3 台、
プロトン磁力計 1 台、GPS アンテナ 1 台、火口カメラ 1 式 (図 2-1)

さらに、これらの機器を設置している観測室やその屋根に設置していたソーラーパネル (図 2-2) も噴石によって被害を受けた。



図 2-1. 火口カメラ制御装置の収納ケース



図 2-2. 被弾したソーラーパネル

5. 今後の予定

先の噴火以降、噴火警戒レベルが 3 となり山上における長時間の作業が制限されている状態にある。そのため、本格的な復旧が出来ていない観測点も存在する。したがって、現場での作業効率をよくするため、入念な準備を行い、復旧作業を実施していきたいと考えている。

深海底における海水温変動を連続モニタするための手法の確立

#鈴木秀市¹，日野亮太¹，伊藤喜宏²，久保田達矢¹，稲津大祐³，佐藤真樹子¹

1: 東北大学理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

2: 京都大学防災研究所 地震予知研究センター 3: 東京海洋大学 学術研究院

はじめに

日本列島のような沈み込み帯では活発な地震・火山活動が進行しているが、その活動域の多くは海底下であり、変動現象の理解に海底観測は重要な手段である。我々は、日本海溝周辺での海底地震・地殻変動により2011年東北地方太平洋沖地震に前後する多様な変動現象を捉え、超巨大地震の発生機構の理解に大きく貢献してきた。海底地殻変動観測の観測データには、固体地球だけでなく海水層の動きも反映されるため、真の地殻変動を捉えるためには海水層の挙動の理解が不可欠であるが、海溝底のような深海域での海水の長期的な挙動に関する知見は極めて少ない。そこで、海水層の変動の指標として有用と考えられる長期連続観測を地殻変動観測と平行して行なってきたところ、海底水温データが底層乱泥流や海底下からの湧水の発生といった固体地球—海水層間相互作用の理解に有効であることがわかってきた。流れが非常に少ない深海底直上での海水温度変化には、移流の他海底からの熱輸送の寄与も含まれると想定される。そこで、海水温とともにその空間勾配の変動の長期連続観測に着手し、海底地殻変動観測を行う測器（高さ60cm）の上端と下端の2箇所に高精度温度計を取付けて海底直上の海水温鉛直勾配の時間変動を捉えることに成功した。本研究では、深海底での海水温変動とその3次元的な空間勾配を連続観測する手法を確立することを目的に、海水温を多点同時、高精度・分解能で観測する装置を作成して実証観測を行う。

目的と方法

海底鉛直変動の繰り返し観測で使用されている自己浮上式海底圧力計（Ocean Bottom Pressure Recorder: OBPR, 図1）に、超深海温度計を複数外付けすることで同時多点温度計測を実現する。OBPRによる観測は継続して実施される予定であり、OBPRの本来持つべき性能を損なうことなく温度計を外付けする工夫ができれば、確実に観測を実現する機会は得られる。

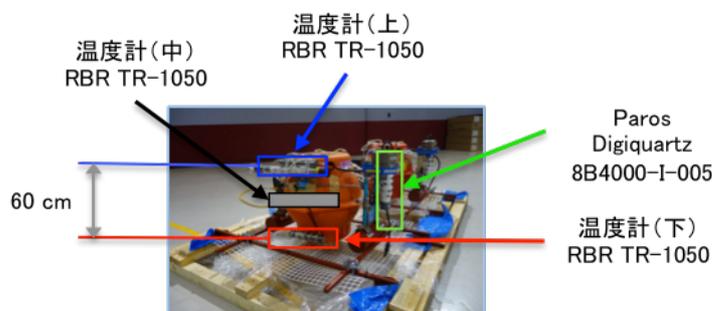


図1. 自己浮上式海底圧力計と小型超深海水温ロガー

外付けする温度計としては、自立して水温を連続記録できる小型超深海水温ロガーをOBPRの耐圧容器（図1中、橙色の球体）の周囲の離れた3箇所に取り付ける。温度勾配が小さいと、設置箇所間での温度差は極めて小さくなり、真の温度差と温度センサーの器差の区別が必要となる可能性があるため、3箇所各2台の水温ロガーを取付ける。1台のOBPRに6台の水温ロガーを取り付けることになることから、OBPRを用いて通常行う観測行程（設置・観測・回収の一連の動作）に支障のない実装方法を、水槽試験などを行いながら検討する。基本的には既存のOBPRとロガーを用いて研究・開発を行うが、6台同時観測にはロガーが不足するので1台を新規に調達する他、ロガーのOBPRへの取付治具を新規に作成する。一方、データ品位の観点からみたロガーの最適な配置の検討も必要であり、過去の観測データをもとに学外の共同研究者とも議論しながら進める。

こうした検討結果を踏まえて水溫ロガーを実装したOBPRを平成29年の3月に設置、10月に回収して、試験観測データを得て、6台の水溫ロガーで得られた時系列から、3次元水溫勾配時系列を作成して、その特徴抽出を行うとともに、OBPRで得られた海底鉛直変動との比較などの考察から、地球科学的な意義も踏まえた水溫勾配データの品質の評価を行うつもりである。

予想される結果、意義および今後の展開

海底近傍での水溫変動には様々な時定数・振幅をもつものがあることはこれまでの観測でわかっているが、水溫勾配の特徴からこれらを分類できる可能性があつて、深海底における海水層の擾乱過程に関する新たな知見の提供につながることを期待している。また、新たに作成した観測装置を、日本周辺だけでなく、国際共同観測を実施しているニュージーランドなどにも展開することで、国際的な観測技術・知見の普及にも貢献したい。

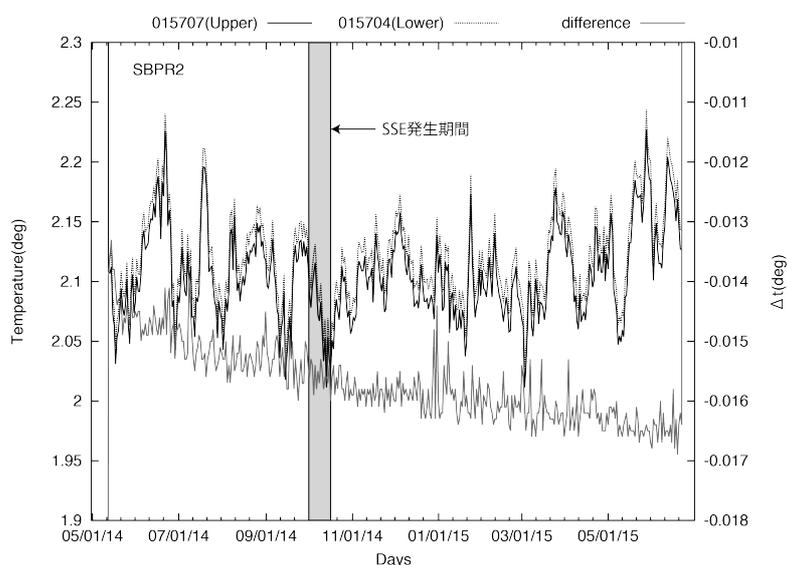


図2. ニュージーランド北島東方沖観測点SBPR2における日平均海水温時系列データ。横軸は2014年5月から2015年7月の通し日付を示す。実線は温度計015707（海底圧力計上端），破線は015704（海底圧力計下端）を表し，その差を灰色線で示す。また，灰色区間はニュージーランドプレート境界断層でのスロースリップ発生期間を示す。

西之島での地震・空振観測点設置

東京大学地震研究所
渡邊篤志, 大湊隆雄

はじめに

日本には世界の活火山の約 1 割があると言われており、海域にも活動的な火山が数多く存在する。しかし、火山活動によって海蝕に耐えうる程の新たな島が誕生するのを観察・観測した事例は 1934～35 年の昭和硫黄島と 1973～74 年の西之島新島だけであり、世界的にも例が少ない。2013 年 11 月に始まった西之島での噴火活動は、2 年間に亘り約 1 億 m³ の安山岩質溶岩を噴出し続けるという大変珍しい活動であった。このような活動を間近で観測することは、火山島の誕生と成長を理解する上で貴重な資料を与えてくれる。しかし、噴火警報や航行警報などの規制により、活動中は近傍まで接近あるいは上陸しての調査・観測をすることができなかった。2016 年 8 月に警戒すべき範囲が火口周辺 500m まで縮小されて島の一部が範囲外になったことにより、上陸しての調査・観測がようやく可能になった。

観測機材

西之島は無人の火山島であり、当然、電力や通信のインフラは皆無である。最寄りの有人島である父島も 130km と遠く、無線によるテレメータも事実上不可能である。そこで、観測装置には以下の機材を使用した。

地震計	Trillium 120QA
空振計	SI104
記録計	SC-ADHIMG
衛星通信	Thuraya IP+
太陽電池	GT133S
バッテリー	CYCLON-G G26EP
防水ケース	Pelican PC-1500, PC-1430

西之島への上陸時間は 4～5 時間と限られており、設置作業に割ける時間は 3～3.5 時間程度と見込まれた。作業量を少なくするためにケーブルはコネクタ接続方式とした。また、Thuraya への電源供給は Ethernet ケーブルの空き芯を利用して 1 本のケーブルで通信と電力供給を行う所謂 PoE (Power over Ethernet) 方式を自作した。

全てのデータを伝送する電力量と通信料は到底賄えないので、記録計は毎日 2 枚のランニングスペクトル画像を生成して送ってくる。欲しいデータの 1 分ファイル名を所内のサーバ上にリストアップすると、定時通信時にリストが記録計へアップロードされ、次の通信時にデータが送られてくる。

上陸作業

全ての機材は出航前に地震研内で防疫作業の後、防水ケース・バッグに詰められ、ゴムボートからは背負って、または抱えて泳いで陸揚げした。運搬は上陸した 7 人全員で、設置は著者の 2 人で行った。上陸地点から設置地点までは水平距離約 300m、高さ 20m 弱であるが、歩き難い礫浜や切り立った溶岩流の先端部をよじ登るなどで、運搬だけで 30 分ほどを要した。設置作業は、場所の選定を含めて 3 時間半ほどで完了した。普段に比べて作業時間が余計にかかっているが、上陸・荷運びの段階で相当に体力を消耗したためである。

本発表では、機器の構成や設置状況の詳細を報告する。

強震尺里観測点の移設

東京大学地震研究所

○宮川幸治・田中伸一

はじめに

強震尺里観測点（ひさり）（図1、図2）は、現在14点から成る足柄平野強震観測網の1点である。本観測網は、堆積層が強震動に及ぼす影響を調査する事を目的として1987年に構築された観測網がベースとなっており、1989年には国際地震学及び地球内部物理学協会（IASPEI）による、ESG（Effect of Surface Geology on Seismic Motion）研究の国際テストフィールドに指定され、基盤記録から堆積層上の記録を予測する強震動シミュレーションのブラインドテストが行われた。

尺里観測点は、足柄平野を取り囲む岩盤観測点

6点の内、北側を押さえる1点として位置付けられており、SMAD-3、K-NET95と収録装置を更新しながら、継続して観測が続けられて来た。

そんな中2015年6月にNEXCO中日本から、新東名高速道路の工事に伴う作業用道路の拡幅工事エリアに尺里観測点が含まれるとの連絡を受けた。協議の結果、移設は止むを得ないとなった事から、用地補償と移設に向けて作業を進めた。

用地補償については、物件確認調書が作成されて補償対象の確認が双方にてなされ、その後物件移転補償契約書が交わされた。補償金の支払いは、物件（尺里観測点）の解体前と解体後に、2回に分けて東京大学に支払われた。また本観測点は民

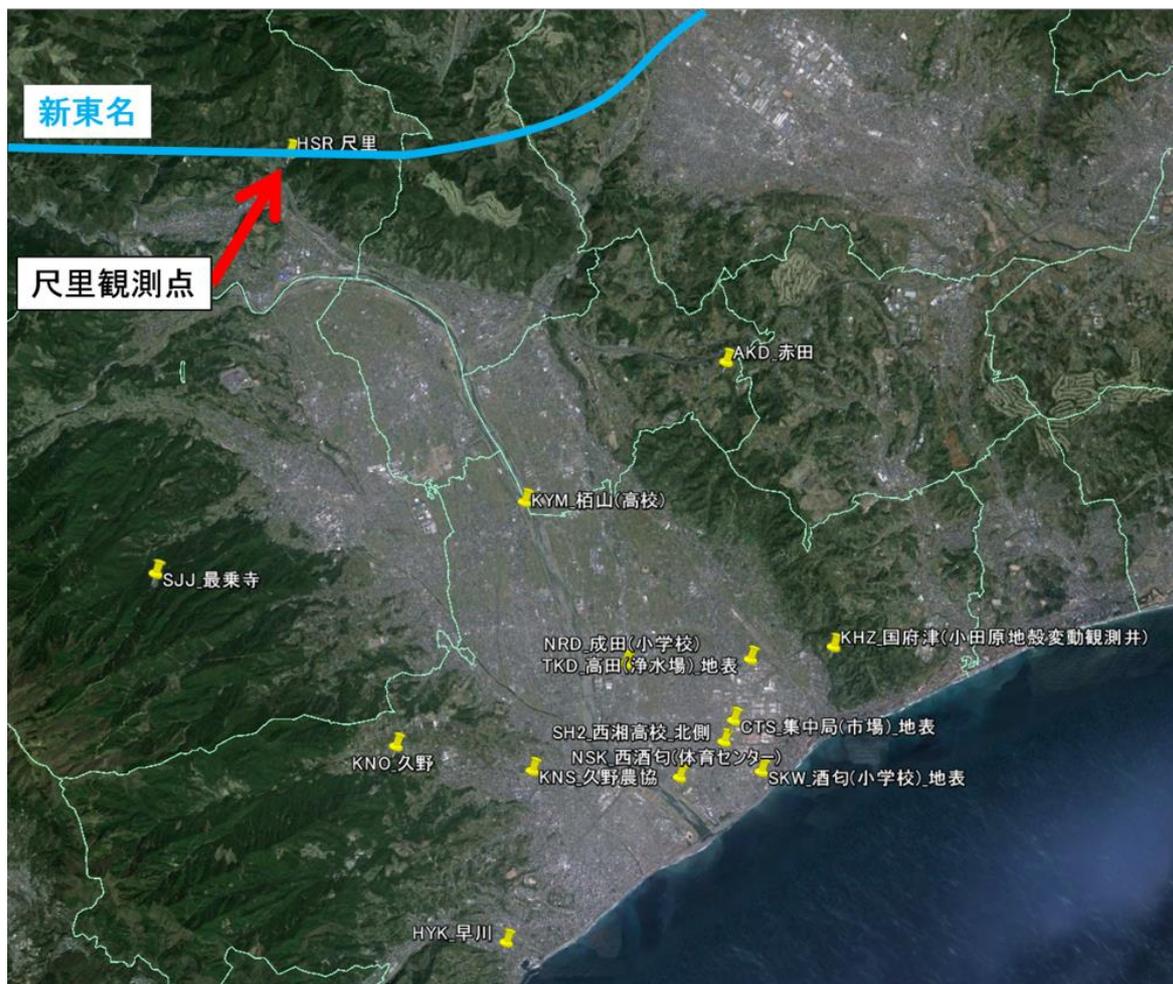


図1：足柄平野強震観測網



図 2：強震尺里観測点

地をお借りしていた事から、地主との間で土地賃貸借の解約手続きも行った。

観測点の移設については、研究者側から「現在の地点から西側の半径 2-3 km の範囲内の岩盤サイトに移設して欲しい」との希望が出ていた事から、この範囲内で候補地を探し、地動ノイズ調査を進めて来た。その結果、尺里観測点から南西約 100m に位置する、尺里川沿いの岩盤露頭に設置（図 3、図 4）する事となり、移設先の観測点名を強震新尺里観測点（しんひさり）と命名した。

この場所は切り立った岩盤露頭である事から、強震計の設置方法として、ボアホールを掘って地中設置する方法、岩盤露頭に地震計台を付けて強震計を置く方法、簡易の観測壕を作って中に設置する方法の 3 つが提案された。研究者側から地表設置を求められた事、また強震動が来ても安定して観測データが取得出来る事を考慮して、今回は奥行 2m の簡易な観測壕を掘削して、観測機器類を全て壕内に入れる方式にした。

観測壕の構造は、ライナープレートと呼ばれる

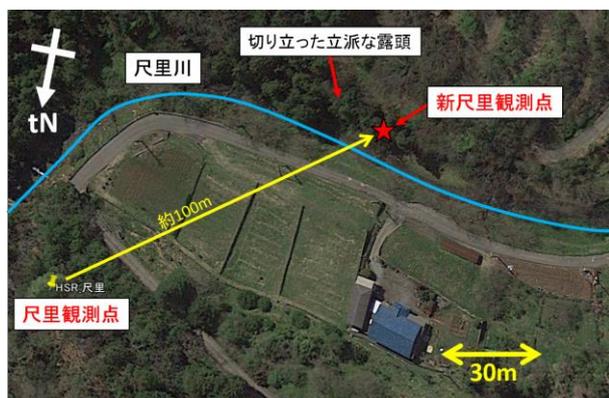


図 3：尺里観測点と新尺里観測点の位置関係

波付き薄鋼板で内壁を作り、掘削した岩盤穴とライナープレートの間隙間はコンクリートで充填した。また工事費を抑える為、観測壕のサイズは高さ約 1.5m、幅 1.5m、奥行き 2m と必要最小限の大きさとした。壕内は、奥に 70 cm 角の縁切りした地震計台を作り、そこに強震計（ミットヨ製 JEP-8A3）を設置した。また壕内脇に据え付けたラックに、データ収録転送装置（計測技研製 HKS9700）、モバイルルータ（FutureNet 製 NXR-120/C と Docomo 製 L-05A）、無停電電源装置を設置した。ラックの横には避雷対策として、電研精機製ノイズカットトランス（NCT-I4 型）を据え付けた。

尺里観測点では K-NET95 によるトリガ観測であったが、新尺里観測点からは連続観測に移行している。その為、強震波形の連続モニタの仕組みも構築し、障害監視を行っている。

今後も安定した強震観測データの提供に努めたい。



図 4：新尺里観測点の外観と観測壕内部

仙台の基準重力点の移設

○安藤美和子¹, 今西祐一², 大久保修平²

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 地球計測系研究部門

1. はじめに

東北大学地震・噴火予知研究観測センターには、国土地理院によって基準重力点（仙台 FGS）が設置されており、地震研究所では 2011 年 3 月に発生した東北沖太平洋地震後の重力変動の追跡のために活用している。2016 年 10 月に仙台 FGS が設置されている建物の取り壊しが急遽決定したため、2016 年 11 月 3 日から 11 月 8 日にかけて基準重力点の移設を実施した。本発表では、移設作業の概要を述べるとともに、（現）仙台 FGS と 2017 年以降に地震研究所が絶対重力測定を継続する予定の新基準点にて行われた、絶対重力測定ならびに相対重力測定の結果について報告する。

2. 移設先の選定

（現）仙台 FGS は、地震・噴火予知研究観測センター別館地下 1 階の地震計室に設置されている。別館の取り壊しが決定した後、同センターの三浦教授に移設先の候補地を 2 箇所、選定していただいた。候補地 1 は、センターの最も西側に位置している B 棟 1 階の岩石実験室、候補地 2 は同じく B 棟 1 階の資料室であった。岩石実験室は B 棟 1 階の大部分を占める部屋であり、広く、レイアウトの自由度はあるが、部屋の中央に 2 軸圧縮試験器があり、この場所で今後も重力測定を実施する場合、利用者に不便をかける可能性がある。一方で資料室は、室内にエアコンがないため夏の測定時に装置の熱がこもる可能性があったが、壁面や保管されていた記録紙にカビの痕跡がなく、湿度が低く保たれていると考えられること、また窓が無く日照の影響がないことから、より移設先に適していると考えられた。そこで、資料室を仙台 FGS 移設先の第一候補とした。

3. 観測機材

3.1 絶対重力計

絶対重力計は、測定場所の重力加速度の絶対値を求める装置である。使用した FG5 絶対重力計

（Micro-g-LaCoste 社製）はドラッグフリーチャンバー式の可搬型絶対重力計であり、真空チェンバー、ヨウ素安定化 He-Ne レーザーを光源とした干渉計、ルビジウム原子時計、地盤振動除去装置（除振装置）から構成されている。10 億分の 1 気圧まで減圧させた真空チェンバー内で落体（反射鏡）を自由落下させ、落下距離 l と対応する落下時間 t を測定し、式(1)より重力加速度 g を算出する。

$$g = \frac{2l}{t^2} \quad (1)$$

落下距離は次のようにして求める。He-Ne レーザー光を半透鏡で 2 光路に分割させ、1 つはそのまま半透鏡を水平透過させて干渉計の検出器へ、もう 1 つは半透鏡の鉛直方向にある落体に照射させる。落体からの反射光は、真空チェンバーの下にある除振装置に吊るされた鏡に反射し、さらに 45 度傾いた鏡に反射して検出器に入射する（図 1）。落体が半波長分落ちるたびに、直進光と落体からの反射光の光路差は 1 波長分だけ変化し、干渉光の明滅が起きるため、明滅の繰り返し回数に半波長の長さに乗じることで、落下距離が得られる。また、落下時間はルビジウム原子時計により測定する。FG5 の測定精度は $1 \mu\text{Gal} \sim 2 \mu\text{Gal}$ と高く、国際比較により再現性が非常に高いことが確認されている [1]。

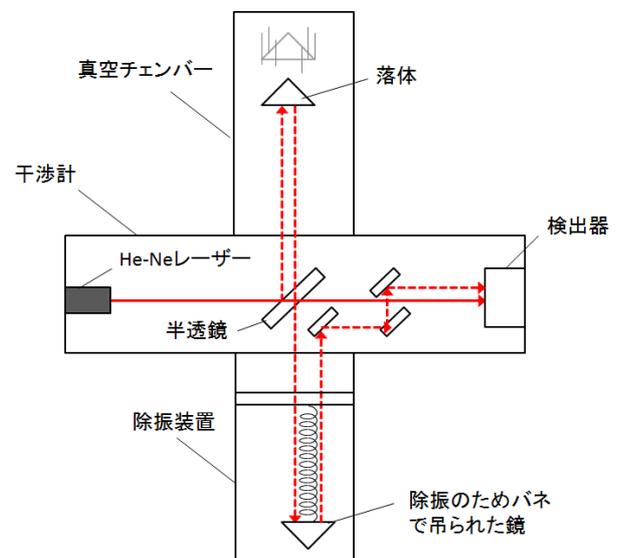


図 1. FG5 内の He-Ne レーザー光の経路。

3.2 相対重力計

相対重力計は、ある地点と重力加速度が既知の基準点との間の重力加速度の差の測定に用いられる装置である。一般に、複数の点で重力加速度を求めたい場合には、絶対重力計と相対重力計を組み合わせたハイブリッド重力測定を行う。ある1点を基準点として絶対重力計で重力加速度を測定し、ほかの地点では相対重力計で基準点との重力差を測定することで、複数の地点の重力加速度の絶対値を求めることができる。使用したラコステ・ロンバーグ重力計 (LaCoste & Romberg 社製) はスプリング式の相対重力計であり、内部の恒温槽にあるゼロ長バネに錘を吊り下げ、錘の位置が一定になるようにダイヤルで調整する。重力加速度の違いによりバネの伸びが異なるため、ダイヤルの調整量の差から相対的な重力加速度の差を求めることができる。測定精度は $5 \mu\text{Gal} \sim 10 \mu\text{Gal}$ 程度である。

4. 移設作業

まず(現)仙台 FGS がある別館地下1階の地震計室にて絶対重力測定と、FG5の真空チェンバーがある位置(床から高さ130 cm)で相対重力測定を実施した。次に移設予定のB棟1階資料室にて、絶対重力測定と床から130 cmの高さでの相対重力測定を実施した。真空チェンバーがある位置で相対重力測定を実施するのは、FG5から得られる重力加速度が、厳密には落体が落下を始める位置での値のためである。また、移設先として資料室が最終的に決定した後に床に基準重力点を示す金属標識を打ち込むため、資料室のFG5設置場所から壁や入り口までの距離を測量した。

5. 測定結果とまとめ

ハイブリット重力測定により、[絶対重力測定で得られた地震計室の重力加速度] + [相対重力測定で得られた地震計室と資料室の重力加速度の差] から求めた資料室の重力加速度 ($980064604.1 \mu\text{Gal}$) が、資料室の絶対重力測定値 ($980064603.3 \mu\text{Gal}$) と測定許容誤差 ($7.2 \mu\text{Gal}$) の範囲内で一致する結果を得た。これにより、資料室が新しい絶対重力基準点の設置場所として問題がないことが示された。

地震計室の重力加速度 (絶対重力測定)	980065432.4
資料室の重力加速度 (ハイブリッド測定)	980064604.1
資料室の重力加速度 (絶対重力測定)	980064603.3

表 1. (現) FGS が設置されている地震計室と移設予定先の資料室の絶対重力測定値 (μGal) .

謝辞

東北大学地震・噴火予知研究観測センターの三浦哲教授には、移設候補地の選定をはじめ仙台 FGS の迅速な移設作業の遂行に多大なるお力添えを頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

[1] 国土地理院測地部, 新しい日本重力基準網の構築, 国土地理院時報, 1997, 87, 13-20.

東北 MT における観測

○諏訪 祥士¹ 池澤 賢志¹ 上嶋 誠² 市來 雅啓³ 田村 慎⁴ 坂中 伸也⁵

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
3: 東北大学 地震噴火予知センター 4: 北海道立地質研究所 5: 秋田大学大学院 国際資源学研究所

1. はじめに

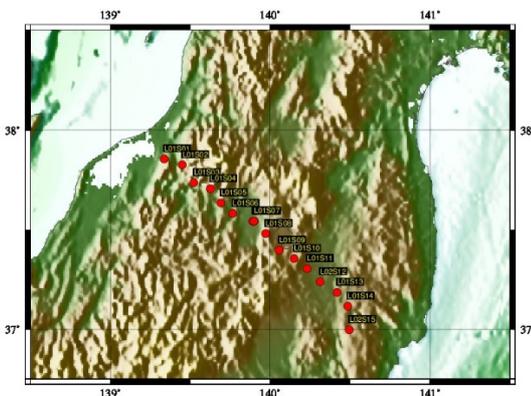
2011 年東北太平洋沖地震に引き続いてなお活発な地殻変動が継続している東北地方での総合的な観測(地震・測地・電磁気など)を実施している。電磁気観測のグループでは地球電磁気観測装置を用いて、福島県いわき地域から新潟にかけての測線において MT 法の探査を行った。

MT 法とは、磁場と電場を測定して、地下構造を推定する電磁探査技術の一つで、「Magneto-Telluric Method」の略語である。「Magneto」とは「磁場」という意味で、「Telluric」は「電場」という意味である。電磁場から導かれる地下構造は、必然的に比抵抗の構造ということになる。[1]

この MT 法を用いた観測について、紹介を行う。

2. 東北 MT 観測点での観測概要

2016 年 11 月 8 日から 30 日までの 24 日間に観測点に電磁探査装置(ADU07 と ADU07e)を 8 台、電場収録装置 ELOG1K を 9 台設置した。日本海班と太平洋班の 2 班に分かれ、日本海班は 10 点(07 は 3 点)、太平洋班は 7 点設置を行った。



観測点配置図

3. 装置

3-1. 電磁探査装置

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-6,6e)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、収録を行った。バッテリーは容量 115Ah の G&Yu 社の SMF32-850 を 8 台並列で使用した。改良版の ADU07e は SD カード 32GB を使用した。



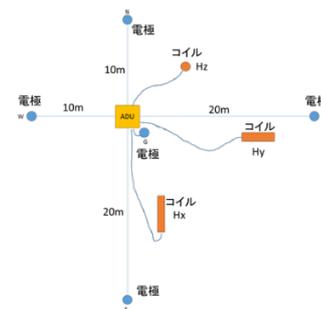
ADU07e(引用:Metronix 社 HP)とメンテナンス風景

3-2. 電場収録装置

NT システムデザイン社製 1KHz 電場収録装置(ELOG1K)をデータ収録装置とし、電極を 5 点(E・W・N・S・G)設置し、2 成分(EW,NS)を測定。32GB の SD カードを装填し、GPS アンテナを装着した。バッテリーは容量 115Ah の G&Yu 社の SMF32-850 を 2 台使用した。



ELOG1K(引用: NT システムデザイン社 HP)とその設置風景



観測機器設置概略図 (ELOG1K はコイルなし)

4. 発表

発表では、MT 観測の紹介と電磁場の時系列データを示し、観測点や計測時間ごとの比較を行う。

参考文献

[1]小川康雄(1990):MT 法による地下構造探査,地質ニュース 428 号,p48-54

トンガ王国での地磁気絶対観測

○西本太郎¹, 宮川幸治¹, 西田誠², 清水久芳³

1: 東京大学地震研究所 技術部総合観測室

2: 気象庁地磁気観測所 技術課

3: 東京大学地震研究所 海半球観測研究センター

1. はじめに

地震研究所海半球観測研究センターでは、既存の観測点が少ない太平洋地域に地磁気観測網を展開している。観測によって得られたデータを基に、全地球的な磁場変動について研究されている。本発表ではおよそ年に一度、現地で行っている Tonga 観測点での地磁気絶対観測について報告する。

2. 観測概要

Tonga 観測点はトンガ王国の首都ヌクアロファ中心部から 8km ほど離れたトンガ王国国土資源省の敷地内にある。1999 年 9 月より磁力計を設置して地磁気連続観測を行っている。主な観測装置は、全磁力を測定するオーバーハウザー磁力計 (OHM 磁力計) と磁場ベクトルを測定するフラックスゲート磁力計 (FG 磁力計) である。測定された観測データは観測局舎内の収録装置に記録され、無線・インターネットを経由して日本に送られる。FG 磁力計は補正值を測定する必要がある、磁気儀を手動で操作する絶対観測を定期的に行う必要がある。また、地磁気の向きを測定するために、水平角の基準となる目標物 (方位標) の地球上の方位を正確に求める真方位測定も行う。絶対観測、真方位測定は通常、



地磁気絶対観測の様子

測定係 (Observer) と記録係 (Recorder) が二人一組となって行う。

3. 観測出張スケジュール

今年度の観測出張は 10/3-10/9 に行われた。往路、復路共にニュージーランドのオークランドを經由して 2 日間ずつの移動となった。現地では 3 日間の観測を行った。初日は観測のための日除けテント設置や OHM 磁力計の保守作業、現地インターネット使用の諸手続きを行い、絶対観測を行った。2 日目は絶対観測、真方位測定を行った。3 日目は絶対観測、撤収作業を行った。絶対観測の合間に地点差観測として、プロトン磁力計による全磁力測定も行った。今回の観測では方位標を設置するためのポールが折れていたというトラブルがあったが、観測局舎壁面に一時的に方位標となる目印を付け、無事に観測を終えることが出来た。野外で観測を行うことの難しさを再認識した。

謝辞

本観測に於いてはトンガ王国国土資源省、気象庁柿岡地磁気観測所の方々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。



観測点局舎

2016 年環境安全管理室活動報告

東京大学地震研究所 技術部技術開発室 外西奈津美

野増観測所撤去に伴う危険物調査

野増観測所の前身は 1950-51 年の三原山噴火後に設立された伊豆大島地磁気観測所である。地磁気観測を中心に、伊豆大島の自然現象に関する観測や調査活動の拠点として運用されてきたが、1984 年には第三次火山噴火予知計画のもと発足した伊豆大島火山観測所に統合された。

以降、1986 年の三原山噴火を含む、日々の観測の活動拠点となっており、種々の火山現象の解明と噴火予知への応用や、火山と周辺の地下構造の探査、火山活動とテクトニクスに関連性などをテーマにした研究の礎となってきた。

現在に至るまで地震観測（3 成分観測）、GPS 観測、傾斜計の設置、重力観測、潮位観測等の様々な観測が行われている。

しかしながら、半世紀前に建設された局舎の老朽化と観測機器の無人化およびテレメータ化が進んだことで、30 年ほど前には常在の職員もいなくなり、常時閉鎖されている。現在では機器保守のため、年に数回の立ち入りがあるほかは無人の状態であり、以上のような状況から今年度で撤去となった。これに伴い、局舎内の状況確認および危険物調査を行った。

危険物調査

局舎の調査の結果、玄関や居室、水回り等の生活スペースは損傷が激しく、出入りの際には足元に注意が必要であることが分かった。所有者不明の古い装置や計器類が散乱し、それらを廃棄または移設の判断を下すには、大変な労力が必要であることが判明した。また当時の居住者の生活物資が放置されたまま朽ち果てており、衛生状況も決して好ましくはなく、落ち着いて作業が出来る環境ではない。

危険物に関して、古い除草剤や塗料、乾燥剤などが残されていたが、通常の家ゴミとして廃棄可能なものが主であった。しかし、内容物不明の試薬瓶も 1 本発見された。簡易的な pH 試験と瓶の発見された時の状況、元技術職員の坂下さんの記憶を合わせ、内容物が水であること判断出来たため、その場で廃棄処分した。

以上が、今回の調査結果である。長期間放置されて来た局舎の撤去には、その歴史的な経緯を知る人材の確保（協力）が不可欠である。その情報をもとに、屋内の調査や危険物調査を行えば、効率的に作業を進めることが出来ると思われる。また、そういった情報が無い場合にも、所有者不明の計器類や試薬類を作り出さない環境を整えておくことが大切である。今後、他の観測所の閉鎖の際にも同じ様な問題は発生すると思われる。そのため今回の経験は有用な情報として、共有化されることが望ましい。

小諸観測所における産業医巡視

小諸観測所の前身は1955年に設立された小諸火山化学研究所である。浅間山に関する地球化学的、地質学的、岩石学的な分野を対象として研究が行われてきた。1980年代からは、浅間火山観測所（1933年設立）と一体化して、浅間山の火山活動を総合的に研究する施設となった。それ以降、小諸観測所の役割は火山化学に関する研究から火山観測を中心としたものに移行している。特に、2004年噴火以後、定常観測点の拠点としての活動が強化されてきている。

私が環境安全管理室員として初めて訪れた2009年には、火山化学研究所時代に地下水の成分分析の為に使用されていた名残のボンベ類・薬品類が多く保管されていた。

産業医の指摘事項

- *使用予定の無いボンベや試薬類の廃棄および撤去→2009年以降、辻技術職員により、精力的に廃棄作業が行われ、現在では該当物品はない。
- *床に固定されていないケーブルやタコ足配線→ケーブルの固定や配線の工夫によって対処した。
- *市販の飲料用ペットボトルを薬品の保管容器として使用→誤飲防止のため専用容器準備するか市販品のラベルを破棄した上で使用する運用方法に変更した。
- *その他、2016年からの一人勤務体制に関し、一人作業における安全対策（害虫、害獣対策）、緊急時の連絡体制、仕事量の変化について、メンタルヘルス面のサポート体制に関する質問が多く寄せられた。

以上の点を確認し、巡視は終了した。

lennartz 社製 LE-3Dlite MarkII/III 用テスターの開発

○ 田中 伸一（東京大学地震研究所技術部総合観測室）

はじめに

lennartz 社製 LE-3Dlite MarkII/III（以降レナーツとする）は、小型かつ軽量であり、固有周期も 1Hz であるため、機動観測用として東京大学地震研究所（地震研）にて多数使用されている。また、2014 年 11 月の長野県北部の地震、2016 年熊本地震、2016 年鳥取地震において緊急余震観測を行った際もレナーツが多数使用された。特に、緊急観測では、迅速な観測機材の設置が求められるが、今まではレナーツの動作確認として、軽い衝撃を本体に与えて波形が出力されるかどうか、などで定性的に判定していたが、波形を出すために、ロガーにノート PC を接続したり、ロガーから記録メディアを取り出して波形データを見るなど、操作が煩雑であった。

そこで、簡便かつ迅速にレナーツの動作確認ができる方法を模索したところ、レナーツには CAL 機能が内蔵されていることがわかり、これを活用することとした。

CAL 機能

レナーツにはテストコイルがなく、CAL 機能には「擬似 weigh lift 法」が採用されている。これは、メインコイルに一定の電圧をかけてコイルを持ち上げ、電圧をカットした際のコイルの動きによる出力電圧値にて判定する方法である。MarkII ではおよそ $\pm 1V$ 、MarkIII ではおよそ $\pm 2V$ の波形が出力される（レナーツのマニュアル参照）。正常稼動する 7 台のレナーツ MarkII を水平に調整して CAL 出力を計測してみたところ、鉛直/水平成分共に $\pm 0.9V \sim \pm 1.1V$ の間でバラついていた。ただし、繰り返し誤差は小さく、再現性は高かった。この測定結果を元に lennartz 社に問い合わせ

たところ、CAL 機能に関しては、 $\pm 1V$ になるように調整しているわけではないので、個体差がある。その一方で、繰り返し精度は十分にあるとのことであった。これらより、例えば事前に各レナーツ（3 成分）の CAL 電圧を測定しておき、緊急観測などの現場では、その値と比較することでレナーツの状態を把握することが可能である。

テスターの開発

可搬であり、現場での作業が簡便かつ迅速なテスターが必要である。波形の記録も扱いやすい win 形式で残しておきたい。さらに、荒天時や狭い場所での作業を考え、波形データを無線で飛ばし、タブレット端末で受けることを考えた。そこで、波形の収録には、白山工業製 LS-7000XT を採用し、ポケット wifi を使って win パケットを windows タブレット PC に送る仕様とした。また、それぞれへの給電は、単一乾電池 8 本直列（12V）とした。電源 ON からテスト終了までの時間は 2~3 分と短時間である。発表当日は、実機にてデモンストレーションを行う予定である。



図. 左からレナーツ、CAL 専用ケーブル（スイッチ付き）、ロガー等を収めた BOX、windows タブレット。

電流帰還型オペアンプを用いた高速光検出器の開発

○米津 朋尚¹, 新谷 昌人²

1: 東京大学地震研究所 技術部技術開発室

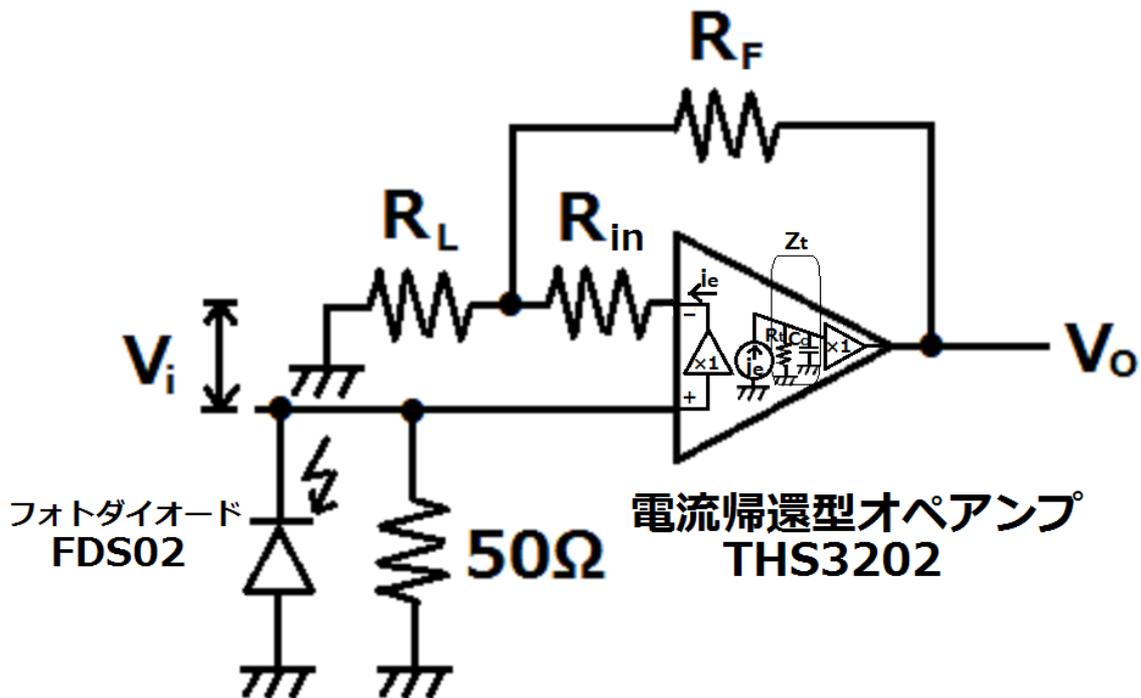
2: 東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

【目的】小型絶対重力計のレーザー干渉計で干渉信号検出に使用する高速光検出器を開発している。そのためフォトダイオードで受光された検出信号を増幅する際に使う、電流帰還型オペアンプを用いた増幅回路の検証や試作を行っている。増幅率を 200 MHz まで一定にしたいが、特定の周波数で増幅率が増加してしまうゲイン・ピーキングや発振、逆に高周波で増幅率が減少するロール・オフなどの現象が起きるため、現状は図 1. に示すような回路についてアンプの部分の特性を調べている。

表 1. 検出器の仕様

光源の種類	波長安定化 He-Ne レーザー
光源発振の種類	連続波
受光パワー	数十 μ W
光源波長	633nm
増幅率	10^5 V/W 程度 (多段増幅)
光検出器の周波数帯域	DC~200 MHz

図 1. 測定で用いた回路



【測定方法】 電流帰還型オペアンプを用いた増幅回路^{[1][2]}では、帰還抵抗値 R_F を小さくすることで、使用可能な周波数帯域が高い側へ広がるため、まず R_F を決める。増幅率は、帰還抵抗 R_F 、負荷抵抗 R_L の比 $(1 + \frac{R_F}{R_L})$ として求められる。

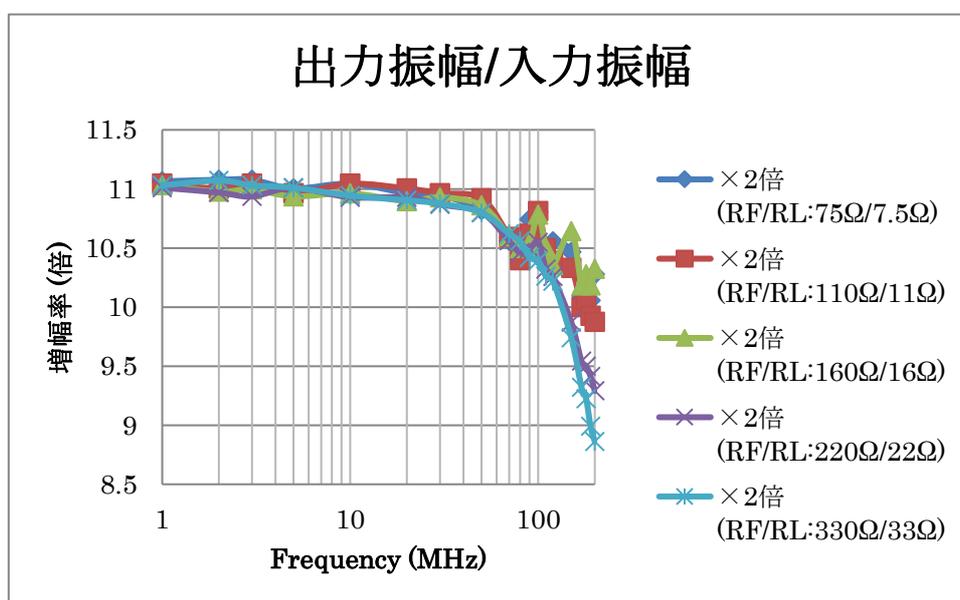
測定は、200 MHz の発振器で 100 mVpp、オフセット+50 mV の正弦波を出力し、帯域 250 MHz のオシロスコープを用いて、1~200 MHz の範囲について行った。

また、反射や発振によるゲイン・ピーキングを避けるため、50 Ω の BNC ケーブルや終端、抵抗を用いてインピーダンスマッチングを行う。フォトダイオード FDS02 や、ゲイン・ピーキングを抑えるための入力抵抗 R_{in} ははじめ付けない。

【結果】 図 2. は、増幅率を 11 倍程度に設定したときのもので、インピーダンスマッチングの 50 Ω 終端を入れた都合、1/2 の電圧としてオシロスコープに出力されたものを 2 倍している。

抵抗の比 R_F/R_L をそのまま帰還抵抗 R_F を小さくすることで、カットオフ周波数 f_c が高周波側にずれ、増幅率の低下が抑えられている。160 Ω/16 Ω まではゲインが改善されたが、110 Ω/11 Ω では増幅率が低下し、75 Ω/7.5 Ω では若干持ち直した。また、80-100 MHz や 150 MHz などに小さなピーキングがまだ見られる。

図 2. 抵抗値の違いによる増幅率の周波数特性



【考察】 抵抗の比 R_F/R_L をそのまま帰還抵抗 R_F を小さくしたとき、330 Ω/33 Ω や 220 Ω/22 Ω と比べ 160 Ω/16 Ω までは高周波数側の増幅率が改善し、より抵抗値の小さい 110 Ω/11 Ω では増幅率が低下した。このためパラメータとして 160 Ω/16 Ω までは、帰還抵抗値 R_F

を小さくすることで使用可能な周波数帯域が高い側へ広がり増幅率の改善を確認できた。一方で、それより小さい $110\Omega/11\Omega$ では増幅率が低下し、また $75\Omega/7.5\Omega$ では $160\Omega/16\Omega$ と同程度の増幅率が得られた。 $75\Omega/7.5\Omega$ より小さい時が不明だが、現在の条件で測定した限りでは抵抗の比 R_F/R_L について $160\Omega/16\Omega$ 程度に抵抗値を小さくしたものが、 200 MHz 付近で最も増幅率の低下が抑えられている。

【結論】 電流帰還型オペアンプの周波数帯域は、帰還抵抗値 R_F の値を小さくすると高くなる。増幅率は、帰還抵抗 R_F 、負荷抵抗 R_L の比で決まり、今回抵抗値の比を一定にすることで、 $R_F/R_L=160\Omega/16\Omega$ まで周波数帯域が高くなる傾向が確認できた。

R_F/R_L を $160\Omega/16\Omega$ とすることで、 200 MHz 付近において増幅率の低下は 1 割程度に抑えられた。 200 MHz で -3dB (増幅率が 3 割低下)を上回る特性が得られ、帯域 200 MHz の性能を得られた。

【今後】 フォトダイオードが付いた状態でも周波数帯域が得られているかどうか、回路にフォトダイオード FDS02 を取付けて増幅率がどうなるか試す。また、現状で増幅率は 200 MHz 付近で 1 割程度低下しているため、電流帰還型オペアンプの性能として 200 MHz の帯域性能を満たすとは言えるが 200 MHz まで平坦とはいえない。出来ればこれをもう少し改善したい。フォトダイオードが付いた状態で入力抵抗 R_{in} ([3]では Z と記載)をいくつか試すことで、 200 MHz 付近までできるだけ増幅率の低下やピーキングを抑えたい。これをフォトダイオードについて、直線性に優れる高精度測定向けの光起電力モード(ゼロ・バイアス)(図 1.参照)および、フォトダイオードの向きを逆にした、高速応答向けの光導電性モード(逆バイアス)について試す。その上で、後段のアンプを含めた多段アンプを組むことで、増幅率 10^5V/W 程度の光検出器とする予定である。

【参考文献】

[1] James Karki, “Voltage Feedback Vs current Feedback Op Amps”, TEXAS INSTRUMENTS, Application Report, SLVA051, November 1998.

<http://www.ti.com/lit/an/slva051/slva051.pdf>

[2] 「OP アンプ大全」アナログ・デバイセズ著、電子回路技術研究会訳(CQ 出版社)

[3] Randy Stephens, “Expanding the usability of current-feedback amplifiers”, TEXAS INSTRUMENTS Incorporated, SLYT099, Analog Applications Journal, Analog and Mixed-Signal Products, Amplifiers: Op Amps, pp23-29, 3Q 2003.

<http://www.ti.com/lit/an/slyt099/slyt099.pdf>

風吹岳付近における小規模地震の臨時観測 ～観測システムおよび初期解析結果～

大塚宏徳(1*), 佐伯綾香(1), 酒井慎一(2)

(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6月25日13時51分に新潟県上越地方を震源とする M_j 4.8の地震が発生し、長野県小谷村および小川村で最大震度4を観測した。その後も6月27日に M_j 3.4、7月1日に M_j 4.6の地震が発生し、それぞれ震度3を観測するなど活動が活発な状態が続いた(図1)。この地域では、2007年6月27日頃から約5[km]西方を震源とする小規模な群発地震が発生しているほか、2014年11月22日には神城断層を震源とする M_j 6.8の地震が発生している(気象庁 2014)。今回発生した地震の震源は風吹岳山頂付近の非常に浅い位置とみられ、直上に観測点がないため、既存の観測点のみでは震源決定の精度が不十分であった。また、比較的地震の規模が小さいことから、余震活動を十分に観測するためには活動域の近傍に地震計を設置することが望まれた。以上を踏まえ、2016年7月4日から震源域の近傍に臨時観測点を展開した。

2. 臨時観測点の設置

観測点は活動域を囲むように4点設置した(図1参照)。機材は地震計として Sercel 製 L-4C-3D(固有周期1秒、以下L-4C)を3台および Nanometrics 製 Trillium Compact(固有周期120秒、以下T-C)を1台、収録装置として計測技研製 HKS-9550を2台および白山工業製 LS-7000XTを2台用意した。またテレメータ用機材としてセンチュリー・システムズ製

NXR-120/C (VPN ルータ)および LG 製 L-05A (モバイルルータ)を用意した。E.TZWO は風吹岳登山道の土沢口駐車場付近の露岩に L-4C を石膏止めし、バケツで保護した(図 2)[2016年7月4日]。E.RNGO は蓮華温泉ロッジ敷地内、臨時建屋の跡地コンクリ基礎上に L-4C を石膏止めし、バケツで保護した。E.KTNO は風吹岳登山道の北野口駐車場付近とし、温度変化の影響を低減させるため T-C を埋設した。E.TGPO は梅池ビジターセンター敷地内の表土に設置し、バケツで保護した[2016年7月5日]。また E.TGPO 以外は FOMA のサービス圏外であるが、E.TGPO はサービス圏内かつ商用電源が確保できたため、7月5日16:25よりテレメータを開始した。

表1：観測装置の構成

Name	Logger	Sensor	Ch. ID
E.TZWO	HKS-9550	L-4C-3D	F00C
E.RNGO	HKS-9550	L-4C-3D	F003
E.KTNO	LS-7000XT	T-C	F006
E.TGPO	LS-7000XT	L-4C-3D	04A9

その後、地震活動は概ね収束に向かうと判断したため、オフライン点は8月17日から8月18日にかけて撤収した。ただし、撤収時においても低調ながら地震活動は継続しており E.TGPO については継続とした。E.TGPO は2016年10月28日に収録装置およびテレメータ機材を白山工業製 LS-8800 / TP-8800 に換

装し、積雪対策のため柵池ビジターセンター
建屋内に再設置して観測を継続中である
(2016/12/22 現在)。

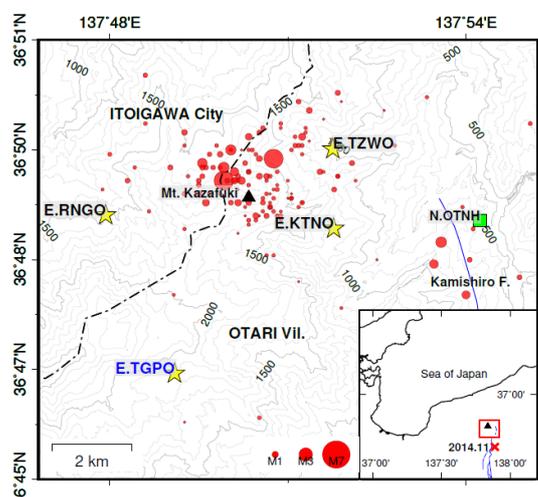


図 1：観測点配置 黄色の☆は観測点配置、黒字はオフライン、青字はオンラインを示す。緑の■は Hi-net 観測点 (N.OTNH) の位置を示す。▲は風吹岳、赤丸は 6/25-8/17 までに観測された地震の震央と規模を示す (気象庁一元化震源)。広域図内×は 2014/11/22 の震央、青線で糸魚川-静岡構造線を示し、拡大図内に神城断層の一部を示す。

3. 観測システム

各観測点は表 1 に示す機材構成とした。サンプリング周波数は E.TZWO および E.RNGO が 200 [Hz]、消費電力の大きい LS-7000XT を用いた E.KTNO および E.TGPO は 100 [Hz] に設定した。A/D 変換の分解能はすべて 24 [bit] である。E.RNGO および E.TZWO は 100 [Ah] のバッテリー 1 基、消費電力が大きい構成の E.KTNO は 100 [Ah] のバッテリーを 2 基並列で使用した。E.TZWO と E.RNGO は約 130 日、E.KTNO は約 50 日の稼働を見込んだ。E.TGPO は商用電源から 100 [V] を確保し、UPS(オムロン製 BY35S)を用いて電源バックアップを行った。停電時はテレメータも

ロガーも維持する配線とした。できる限り観測を止めないためにはテレメータも切る配線が望ましいが、今回は有人の施設であることや観光地であることから、停電時の回復が比較的早いものと期待し上記の配線とした。BY35S の内蔵バッテリーは 12[V] / 7.2 [Ah] であり、接続機器の消費電力および本体の内部消費電力 12[W] を加味すると約 4 時間の保持が期待できる (機器の力率等は無視、また実際の通信状況考慮していない)。



図 1：観測点 E.TZWO の設置状況

4. 観測記録の評価

E.KTNO は想定より早く観測が停止し、8 月 16 日 12:58 分まで (観測開始から約 42 日分)、他の 3 点は観測期間全体の連続データを回収した。本発表では、得られた波形の RMS 振幅および周波数解析の結果に基づきデータの品質について評価し、報告する。

5. 引用

気象庁 (2014) 平成 26 年 11 月地震・火山月報 (防災編)、p.42 - p.66.

謝辞：小谷村、柵池ビジターセンターおよび蓮華温泉ロッジには、本観測のため地震計の設置に快くご協力頂いた。ここに謝意を表する。

風吹岳付近における小規模地震の臨時観測 – 震源決定 –

○佐伯 綾香¹ 大塚 宏徳¹ 酒井 慎一²

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 観測基盤センター

はじめに

2016年6月25日13時51分頃、長野県小谷村風吹大池付近を震源とする、M4.8（震度4）の地震が発生した。その後、2016年7月1日8時4分頃、少し東を震源とするM4.6（震度3）の地震が発生した。この地域は糸魚川—静岡構造線北部に位置し、すぐ南に位置する神城断層では、2014年11月22日にM6.8の地震が発生して大きな被害が出た。今回の活動は、非常に浅く、やや活発であることから、震源付近を囲う様に、オンライン1点とオフライン3点の臨時観測点を設置した（図1）。本発表では、設置した臨時観測点4点と既存のHi-netの1点、計5点の観測点データを用いた震源決定の結果を報告する。

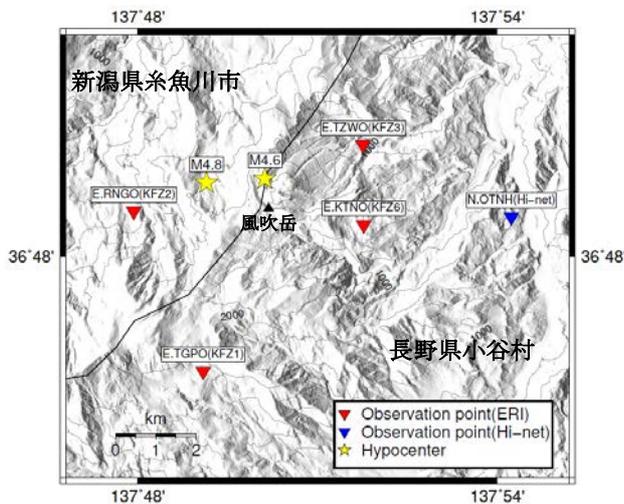


図1 観測点配置図

臨時観測点

2016年7月4日から5日にかけて、長野県小谷村風吹岳の土沢口林道脇（E.TZWO）、北野口駐車場（E.KTNO）、新潟県糸魚川市蓮華温泉（E.RNGO）にオフライン臨時観測点を設置し、長野県小谷村梅池自然園（E.TGPO）に

オンライン臨時観測点を設置した。地震計は固有周期が1秒で3成分一体型の短周期地震計L-4-3D（Sercel社製）と固有周期が120秒～1Hzで3成分一体型のTrillium Compact（Nanometrics社製）を使用し、ロガーはHKS-9550（計測技研製）とLS-7000XT（白山工業製）を使用した。

全てのオフライン臨時観測点は8月17日から18日にかけて撤収し、オンライン臨時観測点は2017年5月末まで観測を継続する。

震源決定

今回設置した臨時観測点と近傍のHi-netの点（N.OTNH）を統合し、2016年7月5日から8月17日までの期間のデータを使用した。STA/LTA比を2.5としてトリガーをかけ、トリガーが3点以上同時に立つとき地震が発生したとして、トリガーリストを作成した。それを元にイベントの切り出しを行い、目視をしてP検測を行った。7月中のデータで検出された地震が811個であった。

結果の比較

今回の結果と気象庁一元化震源で検知された地震の数と精度の比較を行った。2016年7月5日から7月31日までの期間で気象庁一元化震源では211個の地震が検知されていた。よって、約4倍の地震が検知する事が出来た。

謝辞：小谷村役場、梅池ビジターセンター、蓮華温泉ロッジの方々には、臨時観測点の設置の際に大変お世話になりました。また、本発表では、気象庁一元化震源のデータを使用させて頂きました。記して感謝致します。

ガラスビード法による蛍光 X 線分析装置 (XRF) を 用いた珪酸塩岩石の主・微量成分分析

東京大学地震研究所 技術部 外西奈津美

はじめに：

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。蛍光 X 線装置 (XRF: X-ray Fluorescence Spectrometry) を用いて珪酸塩岩石の主・微量成分分析を行う場合には、通常、岩石粉末と有罪の混合物を溶解させるガラスビード法が用いられる。この手法を用いることにより、岩石粉末を希釈し、均一化することができる為、粒度効果の除去やマトリックス効果を軽減できるメリットがある。

東京大学地震研究所では、これまでもガラスビードを用いた珪酸塩鉱物の主・微量成分分析が行われてきた（谷・ほか 2002）が、2009 年に蛍光 X 線分析装置を ZSX Primus II（RIGAKU 社製）に更新したのを機に、分析条件や分析手法を全面的に改訂した。本発表では、2015 年度地震研究所彙報に発表した内容について、1:5 希釈ガラスビードを用いた珪酸塩鉱物の主・微量成分分析についての分析ルーチンの手法を紹介するとともに、分析誤差や装置の安定性など性能評価を行なった結果を報告する。

検量線作成：

1:5 希釈ガラスビード法で作成した標準試料 26 種類を用いて、主・微量成分 (28 元素) の定量分析ルーチンを作成した。検量線の正確度係数は、これまでの報告値と比べても遜色はなく、通常の珪酸塩岩石の未知試料の定量分析については十分な精度を有している。

標準試料の分析値：

4 つの標準試料 (JA-2, JB-1a, JG-1a, JR-2) について、作成した定量分析ルーチンを用い、未知試料として分析を行った。主成分元素のうち、 SiO_2 は推奨値との差が最大 0.6 wt.% を示したが、相対誤差は他の元素と比べても小さかった。また JR-2 の MgO は差が 0.03wt% となり、かつ推奨値の持つ誤差範囲を逸脱し

た。しかしながら、その推奨値は本検量線の下限域に近いことから、未知試料の分析値として問題はないと結論付けた。その他の元素については推奨値と良く一致した結果が得られた。

微量元素については、JR-2のCr, Cuにおいて10 ppm以上の誤差を示したものの、これらの元素の標準値は検出下限に近く、そのため分析誤差が大きくなったものと考えられる。JR-2のCeの誤差が10 ppm以上となった理由について、ガラスビードの不均一性によるものか、推奨値に問題があるのか、今後さらに検討を行う必要がある。しかしながら、全体として、その他の元素については概ね良好な結果が得られた。

分析の再現性：

JB-1aとJG-1aについて連続10回の繰り返し測定を行い、装置の安定性と分析精度について検討した。主成分元素について、SiO₂を除く主成分元素について標準偏差0.02 wt.%以下の精度を得ることができた。SiO₂についても、含有量の影響を受けない変動係数で比較した場合には、他の主成分元素と同様にその値は十分に小さく、分析精度としては問題ないといえる。微量元素についても、概ね良好な結果が得られた。

二軸圧縮試験機の LabVIEW 制御プログラムの再開発

○竹内 昭洋¹、中谷 正生²

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

2014年4月8日をもってMicrosoftによるWindows XPのサポートが終了したことに伴い、東京大学ではその後のWindows XPによるネットワークへの接続が禁止されることとなった。これを機に、地震研究所が所有する二軸圧縮試験機のサーボ制御に使っていたPC（Windows XP搭載）をWindows 7が搭載された物に新調することとした。また、制御プログラムは2004年当時のLabVIEW 7.1で作ったものであるため、直近バージョン（LabVIEW 2014 SP1）へ対応させるのに伴い、この制御プログラムの再開発も試みることとなった。

旧制御プログラムは、横軸荷重と横軸変位のセンサーからのアナログ電位信号を10kHzサンプリングし、500個平均値を元に制御信号を計算し、そのアナログ電位信号を出力している。この信号は二軸圧縮試験機のコンソールに送られ、センサーの現在値との差を元にした電流が横軸用サーボ弁に出力される。これによりサーボ弁が開閉され、横軸アクチュエータが駆動する仕組みとなっている。

制御プログラムの再開発に当たって、幾つかの制約があった：

1. 操作画面（つまり、見た目の使い勝手）はできるだけ変えない。
2. 旧制御でも使っていたアナログ信号出入

カインターフェースを使う。

3. FPGA 化しない。

これら制約の元に、より俊敏で微調整の効く制御プログラムを目指した。

大きな変更点の一つがループ構造である。旧制御プログラムでは、一連の信号入出力処理を一つの「While ループ」内で行なっており、50ミリ秒間隔でループが更新されている。一方、新プログラムでは、信号入力用のWhileループと出力用のWhileループは分けられ、別々の間隔・タイミングで更新される。入力用ループ内でデータはリングバッファに格納され、出力用ループ内で直近のデータがリングバッファから読み取られ、処理される。

PCのマシンパワーが上がったおかげもあり、新制御プログラムは、5ミリ秒の制御信号更新間隔でも長期安定性があり、従来の10倍程度俊敏な制御が可能となった。



写真：二軸圧縮試験機の制御部