平成 25 年度
地震研究所職員研修会

開催日：平成 26 年 1 月 22 日(水) ～ 24 日(金)

プログラム＆アブストラクト

地震研究所研修運営委員会

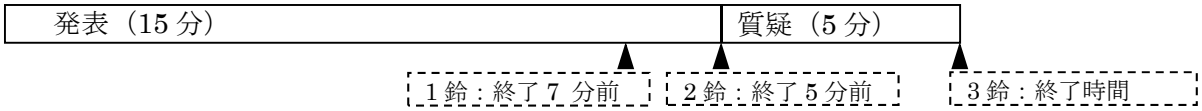
平成 25 年度 地震研究所職員研修会 日程・プログラム

日　程　　平成 26 年 1 月 22 日（水）～ 24 日（金）
会　場　　東京大学地震研究所 1 号館 2 階 セミナー室 A,B, コミュニケーションラウンジ
　　国土地理院・気象庁地磁気観測所（23 日）

22 日（水）	23 日（木）	24 日（金）
	08:00～ 集合・受付（農学部 3 号館前） 08:30　出発（時間厳守） 10:00～12:00 所外研修（国土地理院） （12:00～13:00：昼食休憩） 13:00　国土地理院出発 14:00～16:00 所外研修（地磁気観測所） 16:00　地磁気観測所出発 18:00　解散（農学部構内）	09:00～10:50 技術発表（口頭発表） グループ研修報告 11:00～12:00 特別講演 12:00～12:15 修了式
12:45～13:15　受付 13:15～13:30　開会式 13:30～14:50 技術発表（口頭発表） 15:00～16:00 技術発表（ポスター発表） 16:15～16:30 地震火山災害予防賞表彰式 16:30～17:30 受賞記念講演 17:30～　記念撮影 18:00～　懇親会		

注意等

※　発表時間には発表準備および質疑応答も含まれております。質疑応答時間は 5 分程度を想定しております。発表中には以下のタイミングで鈴が鳴ります。時間厳守でお願いします。



※　懇親会の会費（2,000 円）は受付時にお支払い頂く予定ですので、予めご用意下さるようお願い致します。

※　会場前にコーヒー・お茶類をご用意しておりますので、休憩時間などにご自由にお取りください。尚、セミナー室 A,B 内は飲食禁止になっていますので持込はご遠慮ください。

※　地震研内は指定された喫煙スペース以外では禁煙です。喫煙スペースの場所は、研修運営委員にご確認ください。

※　会場内は空調が効いておりますが、温度調整についてご要望がありましたら研修運営委員まで気軽にお申し付けください。

技術発表の予稿については以下の URL よりダウンロードすることができます。
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kenshu_iinkai/record/h25/pdf/H25_Abst.pdf

平成 25 年度の研修運営委員は以下の 8 名です。
今西祐一(運営委員長)　安田 敦(運営副委員長)　森 健彦(実行委員長)　八木健夫(実行副委員長)
井本良子　辻 浩　中島 剛　増田正孝

1日目：1月22日（水）技術発表・特別講演　　1号館2階 セミナー室A,B

12:45～13:15　受付　（1号館2階 セミナー室A,B入口）
13:15～13:30　開会式　挨拶：小屋口剛博（地震研究所 所長）　今西祐一（研修運営委員長）

技術発表

口頭発表（座長：八木健夫 ）

13:30～13:50	(1-01)	FOGコンパスの傾斜に対する安定性 渡邉篤志
13:50～14:10	(1-02)	コンパクトフラッシュの脆弱性によるオフライン地震観測データの消失事例 ○田中伸一　西本太郎
14:10～14:30	(1-03)	IEEE802.15.4準拠の小電力無線デバイスとその利用方法 堀川信一郎
14:30～14:50	(1-04)	精密温度計付き自己浮上式海底圧力計の開発 ○鈴木秀市　伊藤喜宏　日野亮太　稲津大祐　長田幸仁
14:50～15:00		休　憩

ポスター発表　（会場：コミュニケーションラウンジ）

15:00～16:00　コアタイム

(P-01)	蔵王山総合観測における地震観測網の展開 ○平原 聡　山本 希　三浦 哲　岡田知己　中山貴史　太田雄策 立花憲司　出町知嗣　市來雅啓　海田俊輝　西村太志　大園真子
(P-02)	蔵王山総合観測におけるGPS観測について ○出町知嗣　立花憲司　三浦 哲　太田雄策
(P-03)	蔵王山総合観測における全磁力連続観測点の展開 ○海田俊輝　立花憲司　市來雅啓　橋本武志　小山崇夫　田中 良　岡田知己
(P-04)	八ヶ岳地球電磁気観測所における地磁気絶対観測について ○阿部英二　西本太郎　辻 浩
(P-05)	高知大学の地震観測点について 山品匡史
(P-06)	日々の観測点メンテナンスについて ○井上寛之　吉川 慎
(P-07)	重力偏差計による海底探査 ○松尾友和　新谷昌人
(P-08)	地殻変動連続観測に用いるセンサ用アンプのキャリブレーションについて 小松信太郎
(P-09)	油壷地殻変動観測所の水管傾斜計の感度検定 ○増田正孝　芹澤正人　渡辺 茂　平田安廣
(P-10)	旧制第一高等学校から受け継いだ地震研究所由来の実験機器・鉱物・岩石資料と、 明治１８年工部省鉱山課作の鉱山借區図について 安成真理
(P-11)	安全衛生管理室活動報告 外西奈津美
(P-12)	STS-1のゼロ調整法 ○藤田親亮　森 健彦
(P-13)	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 ○中島 剛　宮川幸治
(P-14)	長野県焼額山周辺におけるオフライン観測 ○西本太郎　辻 浩　森 健彦　藤田親亮　田中伸一　酒井慎一
(P-15)	2013年4月13日に淡路島で発生した地震（M6.3）に伴う臨時観測点の設置について ○森 健彦　藤田親亮

16:00～16:15　休　憩

平成25年度地震火山災害予防賞　表彰式

16:15～16:30　受賞者：坂 守 氏（東京大学地震研究所）
全国の研究者と共同で行う制御震源地震探査実験の円滑な実施およびそれに用いる観測機器の整備とデータ処理における功績

受賞者：三浦 勉 氏（京都大学防災研究所）
次世代型稠密地震観測システムの開発および国内外における多点の観測網の円滑かつ効率的な運用に関する技術支援の功績

16:30～17:00　受賞記念講演
坂 守 氏「爆破地震動研究グループと爆破の観測に携わって」

17:00～17:30　受賞記念講演
三浦 勉 氏「技術を習得しながら支援する　～満点計画へ～」

17:30～　記念撮影

18:00～　懇親会（コミュニケーションラウンジ）

2 日目：1 月 23 日（木）所外研修　　国土地理院・気象庁地磁気観測所

所外研修

08:00　東京大学農学部3号館前　集合・受付，バス乗車

08:30　東京大学農学部構内より出発

10:00～12:00　国土地理院にて研修

12:00～13:00　休憩（国土地理院構内及び周辺にて各自昼食休憩）

13:00　国土地理院出発

14:00～16:00　気象庁地磁気観測所にて研修

16:00　気象庁地磁気観測所出発

18:00頃　東京大学農学部構内着，解散

3日目：1月24日（金）技術発表・特別講演　　1号館2階 セミナー室A,B

技術発表

口頭発表（座長：森 健彦，増田正孝）

09:00～09:20	(3-01)	桜島火山観測所における離島火山観測体制について 園田忠臣
09:20～09:40	(3-02)	阿蘇火山における重力測定 ○吉川 慎　Yayan Sofyan　大倉敬宏
09:40～10:00	(3-03)	地震観測にかかわる情報系業務 馬渡秀夫
10:00～10:05		休　憩
10:05～10:25	(3-04)	ガラス工作室の活動 三澤 徹
10:25～10:45	(3-05)	天井落下に関する実験および吊り天井の危険性 大矢俊治

グループ研修報告

10:45～10:50　3.11地震直後の対応と行動等の意見交換会および津波被害地巡検報告
○外西奈津美　内田正之　坂 守　宮川幸治　八木健夫
渡邉篤志　坂上 実　羽田敏夫　平田安廣

10:50～11:00　休　憩

特別講演

11:00～12:00　野外活動における有害な動物とそれへの対応
講師：大久保靖司（東京大学産業医）

12:00～12:15　修了式
修了証書授与
挨拶：小屋口剛博（地震研究所 所長）　森 健彦（実行委員長）

技術発表会

アブストラクト

（発表順）

平成 25 年度東京大学地震研究所職員研修会

FOG コンパスの傾斜に対する安定性

東京大学地震研究所
渡邉篤志

はじめに

地球物理観測には，地震計や傾斜計などセンサーの設置方位が大切な観測が多数ある．多くの場合，方位磁針を用いて磁北を求め，地形図等に記載された偏角を基に真北を定めて機器を設置する．稀に磁北に合わせて機器を設置することもある．しかし，鉄筋・鉄骨が使用されている構造物中や地中，溶岩流など磁性鉱物を多く含む岩石の近傍では方位磁針が指す磁北が信用できない．

そのような現場での方位測定には，天文測量や磁性体から十分離れた場所で方位磁針により測定した方位をジャイロコンパスや多角測量で接続する方法がある．しかし，前述のいずれも専門の機材と相当の手間を必要とする．もっと手早く簡単に方位を求める道具として，我々は FOG コンパスを使用している．

FOG コンパスとは

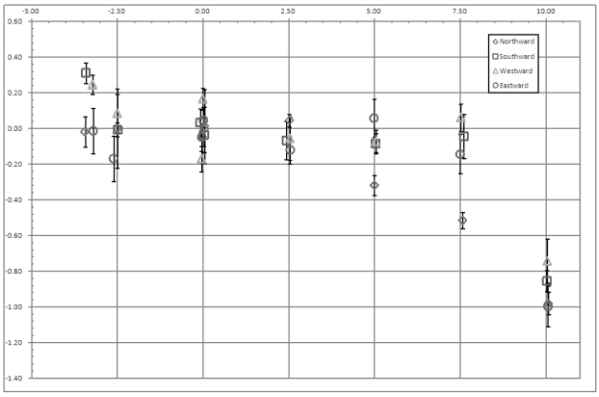
FOG コンパスはその名の通り Fiber Optic Gyro (FOG)を利用した方位測定機器である．FOG の簡単な原理は次の通りである．1．コイル状に巻かれた長い光ファイバの両端からレーザー光を入射する．2．コイルが回転運動をしていると，光ファイバを通るレーザー光の光路長に差異が生じる．これはサニャック効果と呼ばれている．3．光ファイバを通った光を干渉させることにより光路長の差異を検出し，回転速度に変換する．FOG は可動部がないため堅牢で，小型でもあることからロケットの慣性誘導装置などに利用されている．

我々が方位測定に使用しているのは日本航空電子製 FOG コンパス JM77 で，これは FOG を応用して地球の自転角速度を検出し，真方位を求める機器である．長さ 1km にもなる光ファイバを巻いたコイルを 90 度ずつ回転させて計測することで，それぞれ地球の自転角速度の成分から真方位を算出する．

FOG コンパスを傾斜させての方位測定

FOG コンパスで方位測定する際には水平から 5 度以内に設置するようマニュアルに記載されている．5 度も傾いた場所にセンサーを置くことは殆ど無いと思われるが，自分らで台を作った場合などでは 2～3 度の傾きはあり得る．また，以前に僅かな傾きで測定値に差が出るようだと使用者から感想が寄せられたこともあり，実際に傾いた状態で方位測定して測定値の安定性を確かめることにした．

測定は木工室の丸鋸盤に FOG コンパスを固定し，-2.5 度から+10 度まで 2.5 度ずつステージの傾斜角を増やしながら行った．傾斜方向も前後左右それぞれで測定を繰り返し，ピッチ角とロール角に対する反応を確かめた．充分な測定精度が得られるよう，各測定では探北開始から 30 分以上測定した．測定結果に幾つかの補正を施してプロットすると，ピッチ角，ロール角ともに 7.5 度までは水平に設置して測定した値との差が 0.2 度以内に収まることが分かった．



図．　傾斜角と測定値（補正後）のグラフ

コンパクトフラッシュの脆弱性によるオフライン地震観測データの消失事例

田中伸一・西本太郎（技術部総合観測室）

はじめに

2013 年に実施された立川断層帯自然地震オフライン臨時観測では，クローバテック社製レコーダーDAT5A が計 30 台使用されたが，そのうち観測点 TC30 に設置された DAT5A から回収した CompactFlash カード（CF カード）が読み取り不良であり約 2 ヶ月間の観測データが消失した．オフライン観測は観測データの正常な取得および読み出しが必要不可欠であるため，この事案の原因がどの部分にあるのかを特定することとした．

立川断層帯自然地震オフライン臨時観測

文部科学省では、平成 24 年度から、「立川断層帯の重点的な調査観測」（受託先：東京大学地震研究所、研究代表者：佐藤比呂志教授）を実施している．このプロジェクトのサブテーマ（1）では立川断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測を行うことを目標としている．その一環として立川断層帯において臨時地震観測を行い，首都圏自然地震観測網（MeSO-net）の観測データと併せて，地震活動度や発震機構などを明らかにするとともに，広域的な三次元構造を明らかにすることを目的としている．立川断層帯付近で発生する地震は震源が浅く規模も小さいと考えられるため，密な観測点間隔での観測が必要である．そのため，約 2～3 km の間隔でオフラインの地震計を 30 台立川断層帯周辺に設置した．地震計は乾電池で動くため，約 2 ヶ月毎に電池の交換とデータの回収を行なった．オフライン臨時地震観測の期間は平成 25 年 1 月 21 日から 3 月 6 日までを第一期，3 月 7 日から 5 月 15 日までを第二期，5 月 16 日から 7 月 26 日を第三期とする．読み取り不良が発生した CF カードは観測点 TC30 の第二期で回収されたものである．

CF カード読取不良の発生と原因調査

立川断層帯自然地震観測第二期のデータを回収して第三期の観測を開始させるため、5 月 15 日に観測点 TC30 の保守作業が実施されたが，DAT5A に操作端末（HP 製ポケットコンピューター）を接続しても通信できず、電池の電圧をテスターで計測すると約 7.3 V まで低下している状態であった．CF カード及び電池を交換すると観測が正常に開始された．その時に回収された CF カードは Windows PC 及び Linux PC でマウントできず読み取り不能であった．データサルベージ会社にデータの吸い出しを依頼したが，CF カードを分解してメモリ IC チップを取り出し直接アクセスしてみるという手法をとっても，まったく読み取れない状態であったと報告があり，TC30（第二期）のデータ消失がほぼ確定した．

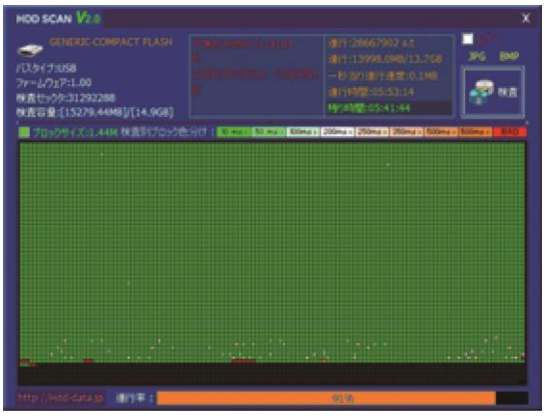
この結果をうけて，7 月 1 日に TC30 の点検・保守を行なったが，DAT5A は観測を続けており，CF カードには観測データが正常に記録されていた．第一期および第三期のデータが正しく取得されていた事実を併せると，DAT5A に異常はなく CF カードに不良があったと考えるのが妥当である．

観測に用いられた CF カードの検査

CF カードは NAND 型フラッシュメモリの一種であり，その寿命は機械的な劣化の度合いによって決まる. そこで, 立川断層帯観測に用いられた 90 個の CF カードについての健康状態を，Windows PC 対応のソフトウェアである株式会社スーホ社製 HDD SCAN V2.0 を用いて客観的に検査した．このソフトウェアは様々なメディアのセクタやセルの読み込み時間を ms（ミリ秒）オーダーで計測できるため，記録されたデータを改変することなくメディアの健康状態を把握できる（図参照）．健康状態の判定は，状態の良いブロックの読み込み速度（2～3ms）を基準として独自に分類した. 検査した 90 個のうち，27 個に読み込み時間の遅いブロックが多数見られ，そのうち 9 個において不良ブロックが多すぎて検査完了できないものが見つかった. また, 不具合の分類を試みたところ，とあるロット番号の CF カードのみに不良が集中していることを突き止めた. 従って, 立川断層帯オフライン臨時観測で使われた CF カードのうち 1 割という高確率でデータ消失の危険性をはらんでいたことになる.

CF カードを使用する際の事前検査の提案

DAT シリーズは観測開始前に CF カードのイニシャライズを行なうが, メモリ IC チップのセルの一部に不具合が存在しても CF カードに内蔵されているコントロール IC チップの機能によりその部分の書込みをスキップするためエラーを検出できない点に注意が必要である．HDD SCAN V2.0 を用いた検査方法は，一般的な Windows PC とカードリーダーさえあればフラッシュメモリを検査でき，その検査時間は正常な 16G の CF カードなら約 10 分であるため簡便な検査方法であるといえる. 従って, 今後オフライン観測に NAND 型フラッシュメモリ（CF カード，SD カード，USB メモリ）を使用する際には, 中古のみならず新品であっても事前に HDD SCAN V2.0 で検査を行ない製品の健康状態を確かめることを提案する. また、大規模観測等で大量に NAND 型フラッシュメモリを使用する際は、ロット毎に分別し、その一部を抜き取って検査することも有効な方法であると考えられる.



図：HDD SCAN V2.0 による CF カードの検査結果. 不良ブロックが多数見られ, 検査完了できなかった.

IEEE802.15.4準拠の小電力無線デバイスとその利用方法について

○堀川信一郎
名古屋大学 全学技術センター（地震火山研究センター）

はじめに

本年度、大学内の技術職員を対象にした技術研修（名古屋大学技術職員研修「計測・制御」コース）においてIEEE802.15.4準拠の無線デバイスを使用する機会を得た。IEEE802.15.4とはZigbeeの名で知られる無線規格のベースとなっている規格である。無線LANやBluetoothと同じ2.4GHz帯を利用しているが、その特徴は通信速度を250kbpsに抑え、数十mA程度の低消費電流で動作する点である。ここでは、デバイスの紹介と地震火山等の野外観測での利用の可能性について考えたい。

図１．東京コスモス製IEEE802.15.4準拠ワイヤレスモジュールTWE-001. Regular(1mW)とStrong(10mW)タイプ．どちらも外部アンテナタイプ.

IEEE802.15.4無線デバイス

今回用意したデバイスは、東京コスモス電機製IEEE802.15.4準拠のワイヤレスマイコンモジュール(TWE-001シリーズ)である（図１）。電波法令で定められている技術基準の適合認証（技適）を受けているため、国内に限り、法令等に関して特に意識する事無く利用できる。TWE-001シリーズには出力（Regular:1mW/Strong:10mW）とアンテナ（内蔵パターン／外部）の違いによる４タイプがある。

このような製品は他にもあると思うが、当時選定を行うほどの知識もなかったため、見通し距離でRegularタイプが1km、Strongタイプが3km強の通信距離を社内実験で確認していること、通信速度を上げる事ができること（IEEEの規格からは外れるが500/666kbps)、C言語によるソフトウエア開発ができること、開発環境／サンプルプログラム／技術サポート等が提供されていることなど、開発を進める中で出てくる要求をある程度吸収できそうな商品であることが購入決定の理由となった。

ネットワークトポロジとプログラミング

IEEE802.15.4における無線局はノードと呼ばれ、機能によりPAN(Personal Area Network)コーディネータ、コーディネータ、エンドデバイスという３つのタイプに分類される。PANコーディネータはネットワークを管理し、コーディネータはルーティングの機能を持つ。エンドデバイスにはルーティング機能は無く、その名の通り末端ノードとなる。これにより、１対１の簡単な通信からスター型、ツリー型、メッシュ型といった複雑なネットワークに対応可能となっている。

アプリケーションからの通信要求をハードウエアで実現するまでの仕組みや取り決めをプロトコルスタックと呼ぶ。プロトコルスタックにはZigbee Proの他、チップメーカーやモジュールメーカー等が独自に考案しているものがあり、各プロトコルスタックにより提供されているAPI(Application Programming Interface)ライブラリを利用する事でソフトウエア開発を行う。これまでの開発作業には、IEEE802.15.4より規定されているMAC（Media Access Control）を直接制御する為のIEEE802.15.4 APIと、メーカーから提供されているToCoNetスタック APIを利用している。

野外観測での利用

現在、名古屋大学では地震アレイ観測を愛知県下の３カ所で行っている。また2011年の新燃岳噴火時にもアレイによる地震観測を展開しており、活用頻度の高い観測手法となっている。アレイ観測では通信事情が悪い場合が多く、暗黙的にオフライン観測になる。しかし、各点の波形相関を計算するため高い稼働率を保つ必要があることから、バッテリ電圧などのステータス情報を定期的にリモートで受ける事ができればトラブルの早期発見を可能にし、観測効率／保守効率を上げることができる。小電力無線デバイスによる小規模ネットワークはこの問題を解決する一つの方法になり得る（図２）。観測点ステータス（電源電圧、GPS時刻校正の成否、信号平均値等）程度の情報伝送であれば起動時間はわずかであり、地震観測でありがちな電力問題もそう気にする必要がない。

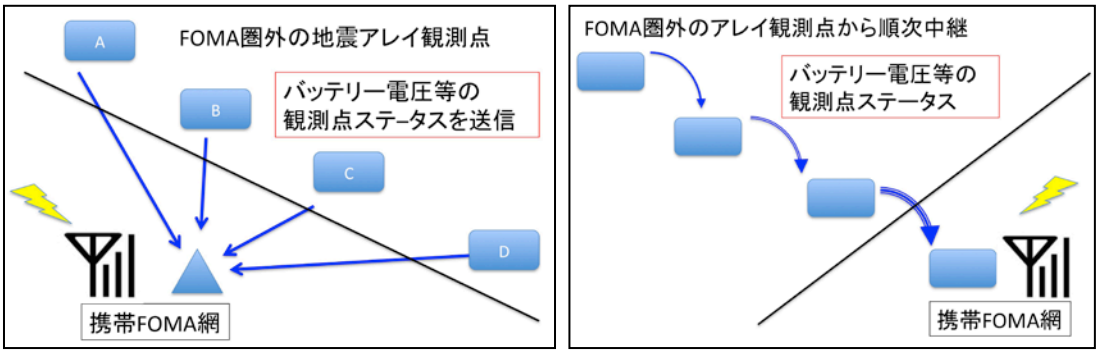


図２．小規模ネットワークの観測利用例．スター型ネットワーク（左）やライン型ネットワーク（右）により集積したデータを携帯電話網でテレメータする．

またアレイ観測に限らず、尾根さえ超えれば携帯電話の圏内に入ってくるような観測点も増えてきた。当初、波形データの伝送までは考えていなかったが、250kbpsという速度が実際に可能であれば、通常の地震観測としては十分な速度である。発表までの残された時間で、いくつかの試験等ができればその結果についても発表をしたい。

精密温度計付き自己浮上式海底圧力計の開発

The development of the self pop-up ocean bottom pressure gauge (OBP) with precision thermometers attached

#鈴木秀市[1]，伊藤喜宏[2]，日野亮太[3]，稲津大祐[4]，長田幸仁[3]

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: 東北大学　災害科学国際研究所　　4: 防災科学技術研究所　地震・火山防災研究ユニット

はじめに

我々は，大地震やスロースリップに伴う海底地殻上下変動の観測を目的として，自己浮上式の海底圧力計を用いた観測を宮城沖や根室沖において実施してきた．また，平成24年以降，ニュージーランド北島東方沖でも実施してきた．特に，2008年以降宮城沖で実施している海底圧力観測では，2011年東北地方太平洋沖地震に伴う5mを超える海底面の隆起(Ito et al., 2011)や地震前に発生したスロースリップに伴う地殻変動（Ito et al., 2012）を観測できた．

目的と方法

海底圧力計で用いる水晶式圧力センサーは水晶の温度補償用に計測器内部に温度計を備える．この温度計により，複数の観測点で地震後に特徴的な温度上昇を捉えることが出来た．この温度変化の原因として2つの理由が考えられる（図1），（図2）．1つは，地震や津波により誘発された陸側から海側深部に向かって流れる低層乱泥流によるもの，もう一つは，海底下からの湧水によるものである．前者については，1台の圧力計が低層乱泥流によって流されたことが圧力記録や潜航調査から確認された（Arai et al., 2012）．但し，他の海底圧力計の温度上昇は低層乱泥流では説明できず，深部からの湧水に伴う温度上昇である可能性が考えられるが，温度計が水温を直接測定していないこと，温度計が海底面から離れた位置に1つしかないことから，原因を特定することが困難であった．

本研究では，海底面と海中温度の計測機能付随の海底圧力計設置を行なった．現状の自己浮上式海底圧力計（図3）に超深海温度計ロガー2台の外装を設計し，試験観測を実施した．外装の設計および試験観測では，現状の海底地殻上下変動測定の精度が変わらないこと，および安全に設置回収できるか確認を行った．

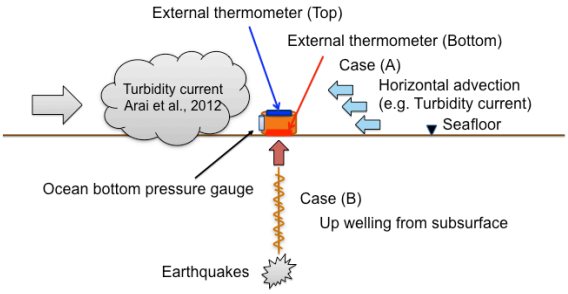


図１　海底下での観測モデル

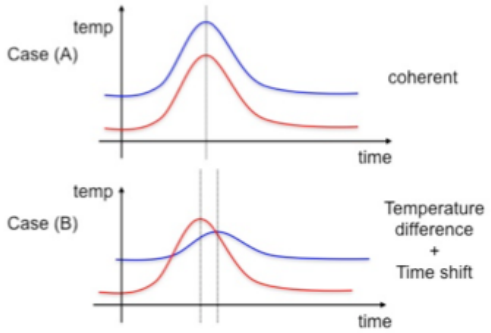


図２　予測される温度計の時系列変化

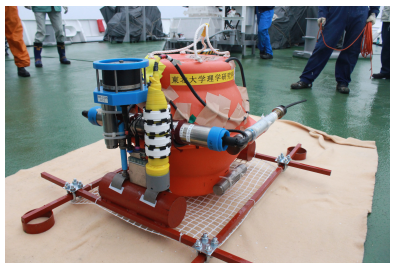
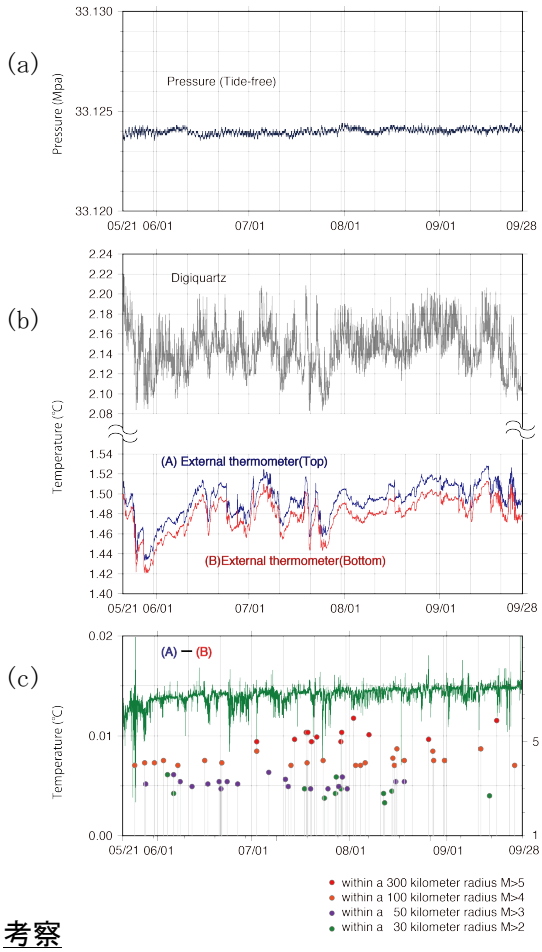


図３　精密温度計付き自己浮上式海底圧力計

観測結果



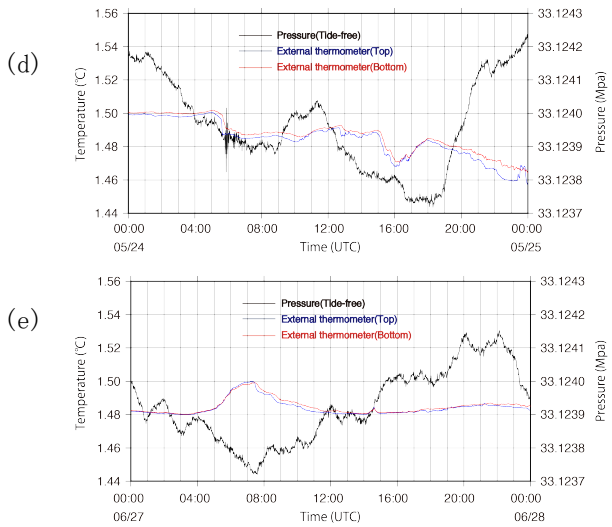


図 4 (a)水圧計データ

(b)水圧計に付随する温度計データと精密温度計のデータ

(c)精密温度計 2 台の温度差と M−T 図

(d) 5/24 日の温度計データと水圧計データ

(e) 6/27 日の温度計データと水圧計データ

水圧計データは，潮汐（BAYTAP-G: Tamura et al.，1991），海洋変動（Inazu et al.,2012）を補正した時系列である．

考察

開発した温度計付き圧力計により，従来の海底圧力観測に加えて海底面および海底付近の温度を今後記録できる．開発した海底圧力計が日本海溝およびニュージーランド北島東方沖に今後展開される．特に日本海溝の海溝陸側斜面では，2011年東北地方太平洋沖地震後，湧水量の増加が海底観察で確認されているため同海域に設置される温度計付き圧力計により地震後の余効変動に伴う海底上下変動のみならず，湧水量の時間変化に伴う海底水温の時間変化が将来観測可能になる．

参考文献

Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto (2011), Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355.

Ito, Y. R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi (2013), Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Tectonophysics, 600, 14–26.

Arai, K., H. Naruse, R. Miura, K. Kawamura, R. Hino, Y. Ito, D. Inazu, M. Yokokawa, N. Izumi, M. Maruyama, T. Kasaya (2013), Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geology, 41, 1195-1198, doi:10.1130/G34777.1

蔵王山総合観測における地震観測網の展開

○平原聡[1]・山本希[2]・三浦哲[1]・岡田知己[1]・中山貴史[1]・太田雄策[1]・立花憲司[1]・出町知嗣[1]・市來雅啓[1]・海田俊輝[1]・西村太志[2]・大園真子[3]

[1] 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
[2] 東北大学 大学院理学研究科 固体地球物理学講座
[3] 山形大学 理学部地球環境学科

1. はじめに

蔵王山は宮城県と山形県の県境に位置しており，火口湖である御釜（五色沼）を中心として，複数の山頂が北北東～南南西に連なる玄武岩～安山岩質の成層火山群である．蔵王山は常時観測対象に指定されている活火山であり，773（宝亀 4）年から 1895（明治 28）年 2 月 15 日まで多数の噴火記録が存在する．2013 年 1 月から火山性微動が観測され始めて，2013 年 12 月までに 13 回以上観測されている．蔵王山は 2011 年東北地方太平沖地震（M9.0）の震源域に最も近い火山であることから，今後の活動の推移が注目されている．

2. 地震観測網の概要

蔵王山には，東北大学の蔵王観測点（TU.ZAS）と気象庁の坊平観測点（V.ZABD）があり，周辺には，東北大学の七ヶ宿観測点（TU.SHC）と防災科研の Hi-net 上山（N.KMYH）がある．これまでは観測点数が少なく，配置に偏りがあったため，火山性地震の震源位置を特定することが困難であった．そこで，東北大学では新たに地震観測点を設置して，蔵王山の監視体制を強化することになった．

2013 年 4 月に，蔵王観測点に広帯域地震計 CMG-3ESPC を設置した．その後，現地調査を行い，不忘山（TU.FBU）・刈田岳（TU.KTT）・笹谷（TU.SSY）・地蔵山（TU.ZZU）の合計 4 箇所の臨時観測点に地震計を設置した．各観測点の位置関係は図 1 の通りである．これらの臨時観測点の地震データは，JDXnet と TDX のデータ流通ネットワークを経由して，仙台管区気象台へ送信されており，火山監視業務に利用されている．

図 1．蔵王山周辺の地震観測点（国土地理院 電子国土 使用）

3.　地震観測点の設置

屋内に地震計を設置する場合は，コンクリート基礎の上に設置して，断熱材カバー（図２）を被せた．地震計の設置方位は，鉄筋等の影響を避けるため，建物の側壁の方位角を計測して推定した．屋外に地震計を埋設する場合は，底部に即乾セメントとコンクリート平板を施工して，ビニール袋またはステンレス製防水ボックスに入れて設置した．広帯域地震計 CMG-3ESPC（周期 60 秒）の場合は，専用コントローラ Breakout Box で LOCK/UNLOCK/CENTER の操作を行う必要がある．

定常観測点（蔵王・七ヶ宿）では，フレッツ ISDN 回線でデータ伝送を行っている．臨時観測点（不忘山・刈田岳・笹谷・地蔵山）では，フレッツ回線を利用できない場所が多い．そこで，docomo FOMA 回線でデータ伝送を行うため，独自に開発した携帯電話データ伝送システムを採用した．このシステムでは，バックルストッカー（図３）にデータロガー等を収容して，マイクロサーバ Armadillo-420 にデータ通信端末 L-05A を接続している．FOMA 回線の 3G 電波強度は，b-mobile WiFi ルータで計測して，L-05A 用外部アンテナの設置場所を決定した．

商用電源を利用している観測点では，テレメータ機能付きデータロガーLS-7000XT と UPS を設置しており，Armadillo-420 に停電検出機能を実装した．既設のコンセントから電力を供給する場合は，無人の時もブレーカが OFF（切）にされないことを確認して，テスタで実際に AC100V の通電を確認した．刈田岳観測点は，データロガーHKS-9550 とテレメータ装置 HKS-9505 を設置しており，夏季はソーラパネルによる太陽光発電を利用している．蔵王エコーラインの冬季閉鎖期間（11 月初旬～翌年 4 月下旬）は，バッテリのみでオフライン観測を行う．各観測点の機器構成は表１の通りである．

図２．地震観測装置の外観
（断熱材カバー・バックルストッカー）

図３．バックルストッカーの内部
（Armadillo-420・Breakout Box・UPS）

表１．地震観測点の構成

観測点名	地震計	地震計の設置環境	電源	データロガー	通信回線	観測開始年月日
蔵王	Borehole (Akashi)	孔井（深度 88m）	商用（UPS）	LS-7000XT	フレッツ ISDN	1999/11/11
	LE-3D/20s	屋内				2004/07/29
	CMG-3ESPC			HKS-9550/9505		2013/04/26
七ヶ宿	PK-110	横坑	商用	LS-7000XT	フレッツ ISDN	1993/12/20
	STS-2					1994/12/20
不忘山	CMG-3ESPC	屋内	商用（UPS）	LS-7000XT	docomo FOMA	2013/08/09
刈田岳	CMG-3ESPC	埋設（約 40cm）	太陽光発電（バッテリ）	HKS-9550/9505	docomo FOMA	2013/10/18
笹谷	LE-3D/20s	埋設（約 30cm）	商用（UPS）	LS-7000XT	docomo FOMA	2013/10/29
地蔵山	LE-3D/20s	屋内	商用（UPS）	LS-7000XT	docomo FOMA	2013/08/07

4.　観測データ

長周期地震計 LE-3D/20s（周期 20 秒）は，近地の強震によりゼロレベルがシフトすることがわかっている．笹谷観測点の波形は，山形自動車道と国道 286 号線に近いため，常にノイズが大きい．また，地蔵山観測点の波形は，建物の影響によって不定期に高周波ノイズが現れることがわかった．

2013 年 11 月 1 日 5 時 43 分頃に発生した火山性微動は比較的規模が大きく，東北地方全域で周期 10 秒程度の長周期成分が観測された．気象庁の坊平観測点で観測された継続時間は約 2 分 30 秒，最大振幅（上下成分）5.2μm/s であった．東北大学の地震観測網で観測された上下動成分の波形記録は図４の通りである．単位は横軸が s（秒），縦軸が m/s で観測値はμm/s 程度である．蔵王観測点は，Z 成分がボアホール式短周期地震計（周期 1 秒），UL 成分が LE-3D/20s，wU 成分が CMG-3ESPC である．七ヶ宿観測点は，U 成分が短周期地震計 PK-110（周期 1 秒），UL 成分が広帯域地震計 STS-2（周期 120 秒）である．

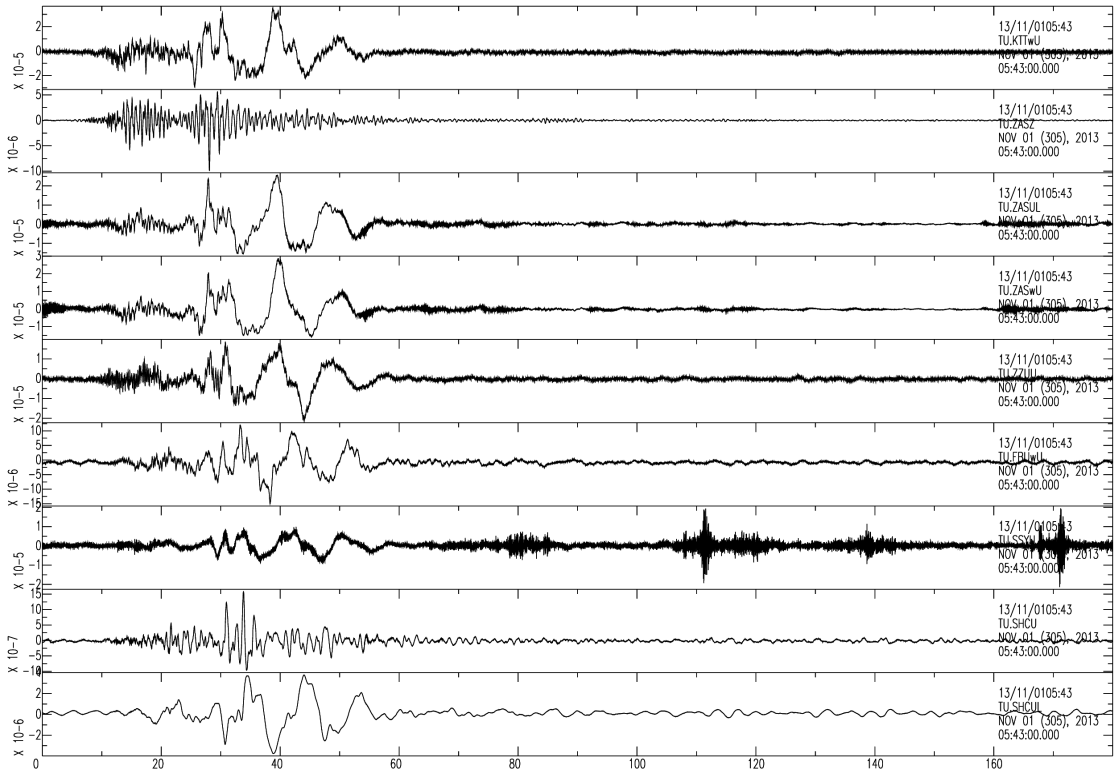


図４．火山性微動の波形記録（IRIS SAC 使用・フィルタ無し）

5.　まとめ

蔵王山の監視体制を強化するため，オンラインの地震観測網を構築して，長周期地震計と広帯域地震計を設置できた．今後は更に良質のデータを確実に取得できるように，ノイズ低減と冬季保守について検討する予定である．

謝辞

地震観測点の設置にあたり，下記の方々（順不同・敬称略）にお世話になりました．記して感謝いたします．

みやぎ蔵王白石スキー場 NPO 法人不忘アザレア・宮城県蔵王町まちづくり推進課・有限会社システムテック

・山形大学小白川事務部学生課・山形大学蔵王山寮・宮城県川崎町総務課・鈴木洋一・植木貞人・千葉幸彦

蔵王山総合観測における GPS 連続観測について

○出町　知嗣、立花　憲司、三浦　哲、太田　雄策
東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター

1　はじめに

蔵王山は東北日本弧中央部、宮城県と山形県にまたがる第四紀火山である。その火山活動は約 1Ma から始まり、現在も継続している（高岡ほか、1989）。最新活動期は約 3 万年前からで、その活動範囲は火口湖である御釜周辺に限られている（例えば、千葉、1961）。

2013 年 1 月 22 日に御釜周辺で低周波地震が発生して以降、2013 年 4 月には火山性微動が発生するなど、火山活動に活発化の傾向が見られる（気象庁、2013）ことから、今後の活動に注視していく必要がある。そこで東北大学では、1993 年に設置した蔵王観測点（ZAS）（図 1、地震及び傾斜観測）に加えて、新たに地震・傾斜・GPS・全磁力観測点を設置し、それぞれ連続観測を開始した。本発表では、そのうちの GPS 観測点新設に関して報告する。

2　GPS 連続観測点の新設

2－1　概要

従来の蔵王山周辺の GPS 連続観測点は、国土地理院 GEONET 山形（020934）観測点と気象庁坊平（J310）観測点のみであった。火山活動による地盤変動を面的にかつより詳細に把握するため、図 1 に示すように蔵王山、特に御釜を取り囲むように 5 観測点（SRIS, STMR, ZAS, ZIZO, ZSRH）を配置することにした。

2－2　GPS 連続観測点の選定

近年の東北大学での GPS 連続観測では、自立型鉄筋コンクリート製ピラーの上に GPS アンテナを設置する方法よりも安価かつ簡易に観測を開始できることから、鉄筋コンクリート構造の小・中学校や公民館などの公共施設の屋上塔屋部や壁面を借用し、そこに我々が設計したステンレス製治具を用いて GPS アンテナを固定する場合が多い。また、GPS 受信機やデータ伝送用の通信機器等の機材は壁付けの金属製キャビネットなどに収納している。今回の観測点整備においてもできるだけ早く連続観測を開始する必要性があること、また蔵王山一帯は観光地となっており、観測に適した場所にスキー場やロープウェイ、休憩施設等が位置していることから、同様の手法により観測機材の設置を行うこととした。

新設観測点については、Google Earth 等を利用して机上で用地選定を行った後、現地調査を行った。その結果、セントメリースキー場（STMR）では鉄骨構造のレストハウス屋上、白石スキー場（SRIS）では電気設備キュービクル用のコンクリート基礎面上、蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅（ZIZO）では鉄骨構造の駅舎屋上、また、蔵王山頂レストハウス（ZSRH）では建物の壁面に上記のアンテナ固定用治具等の観測機材を取り付けることとして、所有者である自治体や民間企業への借用申請を行った。申請に当っては、セントメリースキー場観測点以外は、蔵王国定公園内に位置するため、環境省への許可申請（窓口は宮城県の地方振興事務所）も必要であったが、関係機

関の協力もあって，最長でも 5 ヶ月程度で設置作業を完了できた。

2－3　GPS 連続観測システムの設計・設置

東北大学での GPS 連続観測では、GPS アンテナ、GPS 受信機、データロガー用 Linux-PC（PC Engines 社製 ALIX3d3）、遠隔電源制御装置（AVIOSYS 社製 IPPower 9212 Delux）を用いている。データロガー用 PC を利用することで、内部に記憶媒体を搭載していない GPS 受信機でもストリームデータ出力が可能であれば連続観測に用いることができる（三浦ほか、2000）。

蔵王山頂レストハウスでは、商用電源が利用できないため、太陽光発電システムによって電源を供給している。省電力のため、データロガー用 PC、遠隔電源制御装置は使用せず、長期の観測データを内部に保存できる GPS 受信機を用いている。蔵王山一帯は冬季になると樹氷ができることで有名である。レストハウス自体も雪氷で覆われてしまい、太陽光発電は難しいことが予想されたため、冬季間は大容量リチウム電池を電源として用いることにした。他の 4 ヶ所については、商用電源が利用できるものの、停電によるデータの欠測を防ぐために、フローティング充電による鉛蓄電池によって観測機材に電源を供給することとした。

GPS アンテナは、蔵王観測点・白石スキー場ではアルミ製支柱、その他 3 ヶ所ではステンレス製治具を用いて設置することとした。蔵王山頂レストハウスでは、前述の雪氷の影響に加えて、暴風となる場合もあるため、壁への固定を十分に補強するとともに、治具が破損した場合のことも想定して落下防止対策を施している。

観測データの収集には、蔵王観測点では既存のフレッツ ISDN 回線を、ほか 4 ヶ所については、出町ほか（2011）と同様の方法で携帯電話データ通信網を利用している。

以上のような方法によって、2013 年 4 月に蔵王観測点、7 月にはセントメリースキー場及び白石スキー場、8 月には地蔵山頂駅、9 月には蔵王山頂レストハウスに GPS 観測機材を設置し、連続観測を開始した。

図 1：蔵王火山周辺の GPS 連続観測点配置図
緑色の印で観測点を示す。

謝辞
本観測網を設置するにあたり、宮城県、白石市、川崎町、蔵王町、蔵王ロープウェイ株式会社、みやぎ蔵王白石スキー場、みやぎ蔵王セントメリースキー場にご協力をいただきました。記して感謝致します。

蔵王山総合観測における全磁力連続観測点の展開

○海田 俊輝[1]，立花 憲司[1]，市來 雅啓[1]，橋本 武志[2]，
小山 崇夫[3]，田中 良[2]，岡田 知己[1]
[1]東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター
[2]北海道大学大学院理学研究科　地震火山研究観測センター
[3]東京大学地震研究所　火山センター

１．はじめに

宮城県と山形県の県境に位置する蔵王山では、2013 年 1 月以降、火山性微動がたびたび発生している（気象庁，2013）。蔵王山は、2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域に最も近い火山であり、今後の活動の推移が注目される。

東北大学では、蔵王山における火山活動の詳細なモニタリングを目的として、2013 年度に地震・GPS・傾斜・全磁力・重力の各観測点を新設した。本報告では、電磁気グループの取り組みとして、全磁力連続観測点の概要とこれまでの解析結果について報告する。

２．全磁力観測ならびにプロトン磁力計について

一般的に岩石は、マグマや熱水等の高温物質によって、ある一定の温度に達すると磁性を失う（以下、熱消磁と呼ぶ）。この熱消磁によって、地表面の地磁気に変化をもたらすことが期待される。従って、マグマ活動を地磁気の変化として観測することが出来る。

地磁気を測定する機器の一つに、プロトン磁力計がある。プロトン磁力計は、水素原子核に存在する陽子（プロトン）の核磁気共鳴を利用したものである。ケロシンのような水素原子を豊富に含む液体の入った容器に、コイルを巻きつける。コイルに直流電流をかけて磁場を発生させると、プロトンのスピンの方向が磁場の方向に整列する。ここで、瞬間的に電流を遮断し磁場を消失させると、プロトンは地磁気の方向に戻ろうとして歳差運動を始める。歳差運動の周波数は、地磁気の強さに比例する。この周波数を計測することで、外部磁場である地磁気の強さを求めることが出来る。

３．蔵王山における全磁力連続観測

図 1 は、2013 年度に新設した全磁力連続観測点の位置を示す。蔵王山観測点の位置は、過去の噴火位置ならびに 2013 年 1 月以降の火山性微動の位置を考慮し、お釜からおよそ 1km 南東の大黒天登山道沿いとした。参照点の位置決めは、産業技術総合研究所が公開している地質図 Navi を用いて、磁気傾度のゆるやかな場所を選択した。参照点は、大黒天観測点から北におよそ 10km 離れた山形市滑川林道沿いである。

図 2 は、全磁力観測システムの概要を示す。システムは、センサ・磁力計本体（データ送信機）・バッテリー・チャージコントローラ・ソーラーパネルからなる。センサの位置は、設置点周辺の全磁力マッピングをおこない決定した。全磁力マッピングには、携帯型プロトン磁力計（G-826, GEOMETRICS 製）を用いた。センサは、非磁性の塩ビ製 VP 管あるいはアルミ管（以下、まとめてポールと呼ぶ）を 1.5m 埋設し、およそ 2.5～3m の高さに固定した。バッテリーと磁力計本体は、センサから 5m 以上離れたバックルストッカーに収納し、シルバーシートで覆った。電源には、ディープサイクルバッテリー105Ah（G&Yu 製）を使用し、ソーラーパネルにより充電を

おこなう。データは、一日一回メールで送信される。各観測点の機器構成は、表 1 のとおりである。

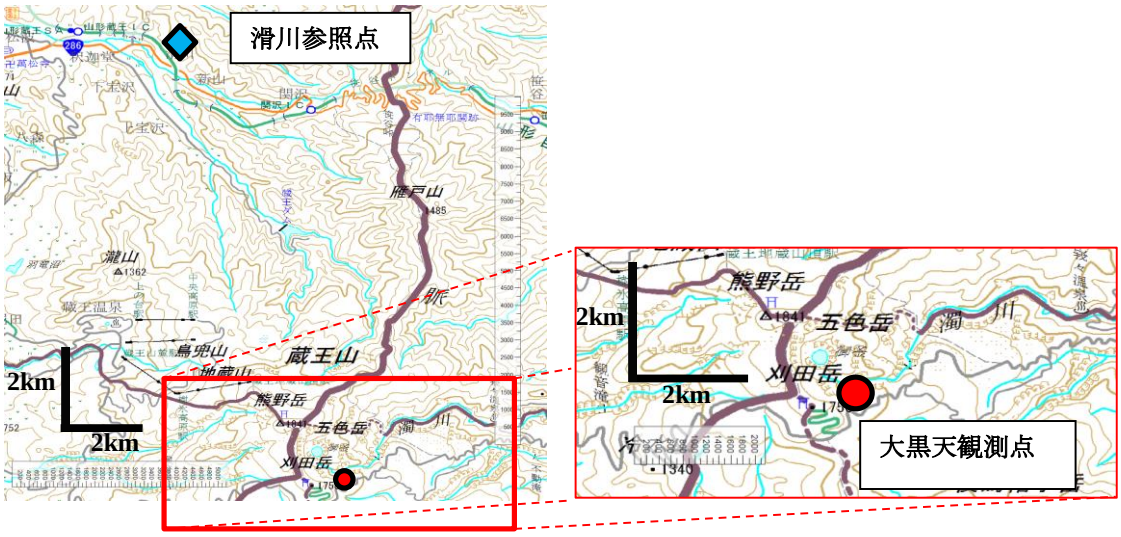


図 1. 全磁力連続観測点位置図（電子国土@国土地理院を使用）

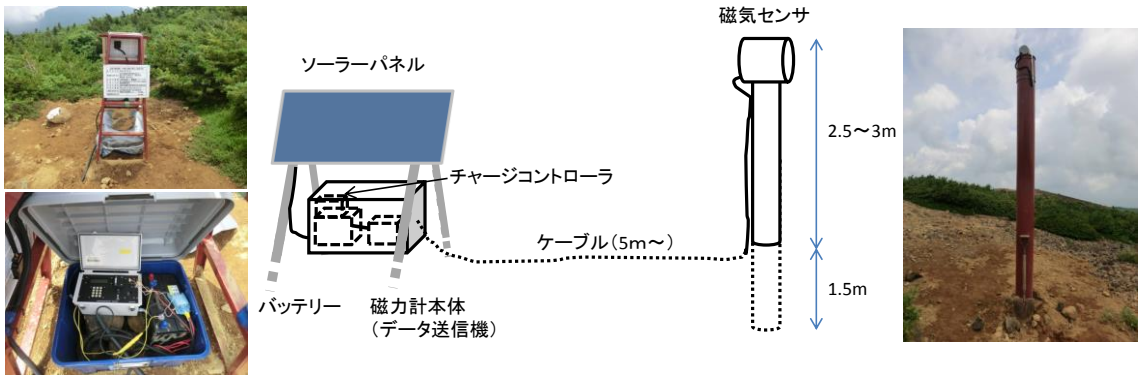


図 2. 全磁力連続観測システム概要

写真：大黒天観測点における設置の様子

表 1. 各観測点の機器構成

観測点名	プロトン磁力計	通信回線	電源	サンプリング周期	観測開始
大黒天	PM201@ネオサイエンス	FOMA@Docomo	太陽光発電 ＋ バッテリー →リチウム一次電池(11/2-)	10 分	2013/8/8
滑川 （参照点）	PM215@テラテクニカ →PM201(11/24-)	ARGOS →オフライン(8/23-) →FOMA(11/24-)	太陽光発電 ＋ バッテリー	20 分 →5 分(8/23-) →10 分(11/24-)	2013/7/10

４．観測データならびにデータ解析

図 3 は、8 月 24 日から 11 月 23 日までの全磁力変化を示す。本データは、現地収録のものを

使用している。2 つの観測点とも電波状況が悪く、5 割以上データ伝送に失敗したためである※。滑川観測点の欠測は、バッテリーダウンによるものである。

生データには、プロトン磁力計のミスカウントや作業者・観光客によるものと考えられるスパイクノイズが含まれている。スパイクノイズは、閾値処理によって検出し線形補間をかけた。赤線は、ウィンドウサイズ 2 日のメディアンフィルタをかけた結果を示す。フィルタ後のデータには、外部起源の磁場擾乱によって誘導される磁場の影響が残っている。火山活動に伴う変化の有無を詳細に調べるためには、より長い期間のデータが必要である。

※　滑川観測点は、11 月下旬の機材置き換え以降、毎日欠測なくデータ伝送されている。

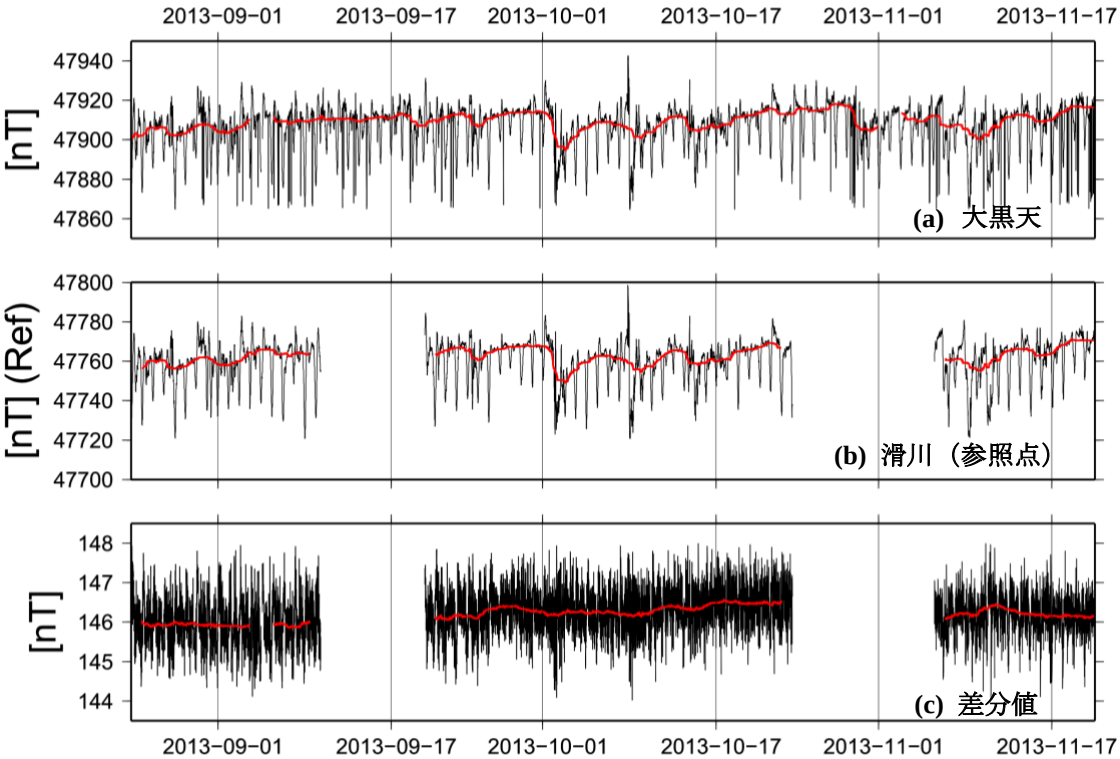


図 3.　(a)大黒天観測点の全磁力変化　(b)滑川参照点の全磁力変化　(c)それらの差分値
赤線はウィンドウサイズ 2 日のメディアンフィルタの結果

５．終わりに

電磁気グループでは、2013 年度から蔵王大黒天ならびに山形滑川参照点の全磁力連続観測を開始した。得られたデータは良好で、2013 年 10 月の火山予知連絡会にて第一報を報告することが出来た。来年度は、蔵王お釜付近に新規観測点を設置する予定である。データ伝送ならびにデータ処理の課題を解決し、蔵王山全磁力連続観測網の完成を目指す。

謝辞

観測点新設にあたり、多く方々に御協力・御助言を頂きました。記して感謝致します。

（順不同，敬称略）

宮城県大河振興事業所，仙台森林監督署，千葉幸彦氏，植木貞人氏，三品正明氏，渋谷建設，丸正精建

八ヶ岳地球電磁気観測所における地磁気絶対観測について

東京大学地震研究所 技術部 総合観測室
○阿部 英二　西本 太郎　辻 浩

１．はじめに

八ヶ岳地球電磁気観測所では、地磁気をオーバーハウザー磁力計による全磁力の観測、フラックスゲート磁力計による直交三成分の観測を定常的に行っている。このうち FG 磁力計は、センサーの傾斜や温度などによる影響が大きいことから、定期的に絶対観測を行うことによりデータを保証する必要がある。八ヶ岳観測所では、月に一度の頻度で絶対観測を行っているが、2013 年 7 月～11 月の観測を阿部・西本（記録：西本・辻）が行ったので、その紹介をする。

２．FT 型磁気儀による絶対観測

FT 型磁気儀は非磁性経緯儀に一軸 FG 磁力計のセンサーを取り付けたものである。このセンサーを地磁気の向きと直交させると、センサー出力が 0 になることから、これより地磁気の向きを測定する。具体的には、まずセンサーを水平にしてセンサー軸を回転させ、出力が 0 になる角度を探る。このときの角度は磁気子午面±90°を示していることになり、真北と磁気子午面との角度の差が偏角 D となる。次に、磁気子午面上でセンサー軸を回転させて出力が 0 になる角度を探る。このときの角度が伏角 I となる。更に、これらを繰り返し行うことにより、精度を高めていく。

３．基線値の算出

FT 型磁気儀による絶対観測で実際に観測しているのは、地磁気の方位角と伏角である。その観測を行った時刻のオーバーハウザー磁力計の全磁力の値から直交三成分の値を算出し、それを FG 磁力計の値と比較し、その差分が基線値となる。実際は何度も繰り返し観測を行っているので、それらの統計を取ることにより基線値を定めている。7 月～11 月の基線値を図 1 に示す。

４．さいごに

今回、八ヶ岳観測所での地磁気絶対観測を行う機会を得て、実際の観測の結果、一定の精度の結果を得られた。今後は更に精度の良いデータを取得できるよう習熟度を増していきたい。

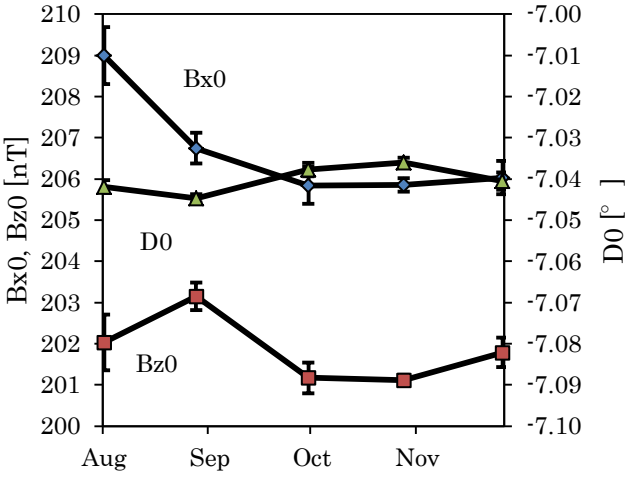


図１　2013 年 7 月～11 月の絶対観測でえられた基線値

図２　絶対観測を行う西本技術職員

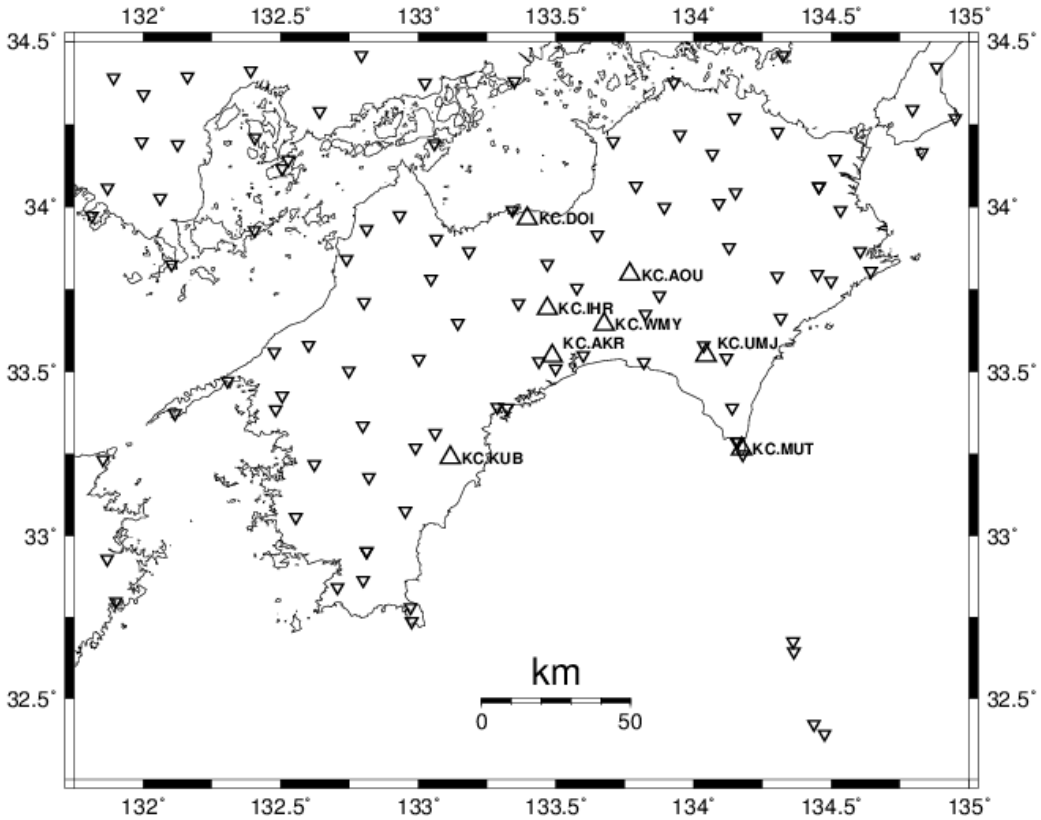
高知大学の地震観測点について

山品 匡史（高知大学理学部附属高知地震観測所）

高知大学理学部附属高知地震観測所（以下,「地震観測所」とする.）は，高知県に７か所，愛媛県に１か所の定常地震観測点を設置し，観測を行っている（下図）. 各観測点のデータは，ISDN 回線を通じて（朝倉観測点（AKR；地震観測所）を除く.）地震観測所に送信され，地震観測所から JDXnet 経由で気象庁・大学・研究機関等へ配信され，利用されている.

データ利用時において，データの質を評価するためには、観測点の環境，機器の種類や設置環境などを考慮する必要が出てくる.

そこで，本発表では，高知大の各観測点の観測環境や機器，現状を紹介する．また，議論等を通じて，高知大の観測点で抱えている問題の解決・改善に向けてのアドバイスやアイデアを得たいと考えている.



図）四国周辺の定常地震観測点

JDXnet でデータ流通している観測点.

△：高知大学の観測点（KC.AKR: 朝倉（地震観測所）；KC.AOU: 粟生；KC.DOI: 土居；KC.IHR: 石原；KC.KUB: 窪川; KC.MUT: 室戸; KC.UMJ: 馬路; KC.WMY: 若宮）；▽：高知大学以外の観測点.

観測点	コード	緯度（°）	経度（°）	標高（m）	地震計	収録装置	設置環境
朝倉	AKR	33.5471	133.4861	-30	勝島製作所 SD-112-3	白山工業 LS-7000XT	ボアホール（30m） 砂岩
粟生	AOU	33.7956	133.7680	470	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LS-7000XT	横穴（2m） 御荷鉾緑色岩
土居	DOI	33.9642	133.3949	120	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LS-7000XT	地表 砂岩
石原	IHR	33.6913	133.4686	510	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LF-1100R / LF-2000R	横穴（5m） 含細粒花崗岩
窪川	KUB	33.2388	133.1160	250	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LS-7000XT	横穴（2m） 砂岩
室戸	MUT	33.2650	134.1741	140	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LS-7000XT	横穴（2m） 頁岩
馬路	UMJ	33.5496	134.0444	320	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	白山工業 LS-7000XT	横穴（2m） 頁岩
若宮	WMY	33.6441	133.6745	170	勝島製作所 PK-110V / PK-110H	計測技研 HKS-9200	観測室床 石灰岩？

表）高知大学定常地震観測点の位置・観測機材など（2013-11-27 現在）

[参考]　財団法人地震予知総合研究振興会，地震観測施設要覧＜下巻＞，1996.

写真）観測点の写真

左上から右方向に順に，朝倉，粟生，土居，石原，窪川，室戸，馬路，若宮観測点.

日々の観測点メンテナンスについて

○井上 寛之 A)，吉川 慎 A)

A) 京都大学理学研究科火山研究センター

1　はじめに

私が火山研究センターの技術職員となり 10 年目となった。これまでに現場で様々な経験を失敗を含めてたくさんしてきた。今回はそのことについて発表を行う。

2　火山研究センターの観測網について

現在、火山研究センターでは阿蘇中岳火口周辺（図 1）と阿蘇外輪山、九重連山及び別府市周辺（図 2）に観測点を設けて地震観測を行っている。これまで火口周辺に関しては、データ送信は有線で送っていた。しかし一部のケーブルが落石・雷などの要因で劣化したため無線に変更した。広域の観測点については NTT の専用線・ダイヤルアップ回線でデータを送っていたのを順次フレッツ回線に変更した。また、地震データは web 上のモニターで監視している（図 3）。

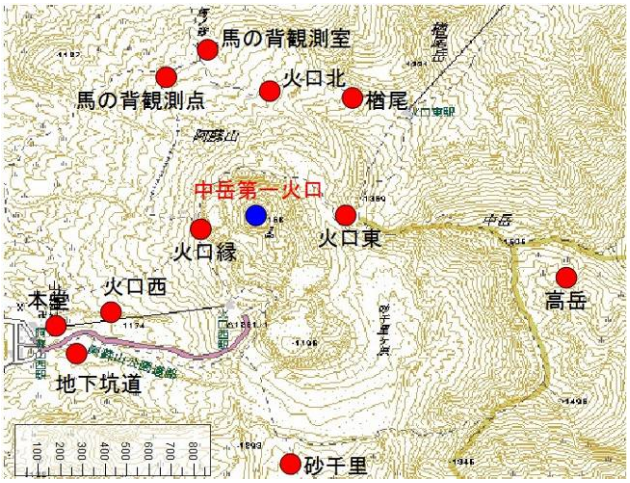


図 1.　阿蘇中岳火口周辺の観測点

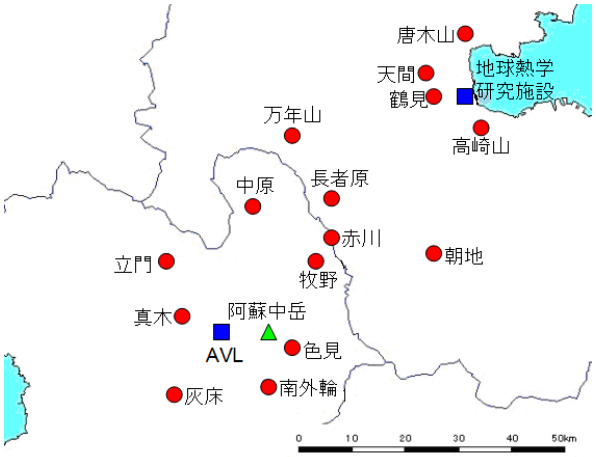


図 2.　阿蘇・九重・別府の広域観測点

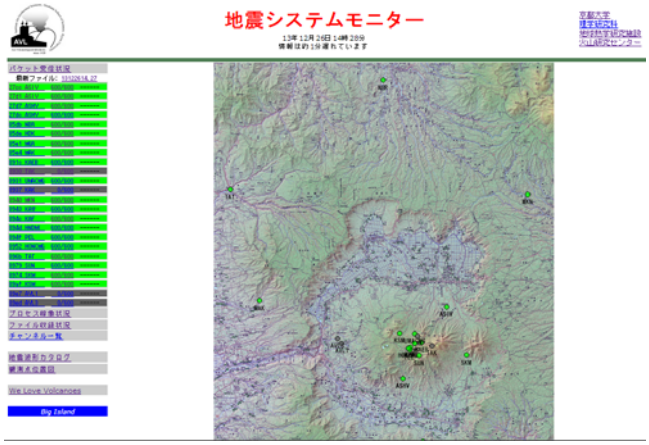


図 3.　地震波形モニター

3　メンテナンス経験談

3.1 地震計関連

・出力ケーブルの＋－の接続ミス

これは最初のころで最近は事前のケーブルのチェックや出力の確認を行う事で減っている。

・現場でのメンテナンス

地震計内の乾燥剤の交換やコイルの動作のチェックを行う。磁石内の清掃を行ったりもするが、風で周りの砂利が入り込むのを注意しながら行う。

図 4.　山上の地震計

・水平をレベルかミラーで調整を行う

基本的にレベルで調整をするが、レベル自身が狂っていたり、気泡が無くなっていたりすることもある。その場合、地震計の振り子部分に付いているミラーで調整を行う。

・コイルの交換。

落雷などでコイルが破損した時に交換を行う。出力の＋－の確認や動作の微調整を行う。

3.2 ロガー関連

図 5. ロガー

・chID やネットワーク設定の単純な設定ミス

設置時にすぐ確認を行うなどして減っている。

・現場で機材（LT8500）の電源が入らない

現場に行く前に動作確認と設定を終えて、現場に持って行き配線を完了して、電源をいれると電源が入らなくなった。はっきりとした原因は不明であるが、移動中の車内の衝撃が原因と考えられる。現在、原因の調査中。電源を入れた状態のまましばらくすると電源が入ったこともある。他には電源ケーブルが中で断線していることもあった。

・LT8500 の chID の不具合

4 スロットタイプを使用し入力モジュールを複数使用した場合、入力 ch を 1ch から連続で設定して使用しなかった場合、出力される chID に不具合（予定していた chID が割り振られていない）が生じた。

3.3 その他

図 6. WATCH BOOT

・設定ミス（表示では分からない：電源監視機器 WATCH BOOT）

機器設定を web ブラウザで行うことが出来る機器で、設定をブラウザ上で入力し表示上は間違いないように見えたが、通信ソフト（ハイパーターミナルなど）で設定を確認すると設定が反映されておらず、実際にリモート操作などを行おうとした際、アクセスが出来なかった。通信ソフトで設定の修整をして確認を行うと表示も反映されて、問題なくアクセスが出来るようになった。

・故障箇所の判別と各観測点の傾向

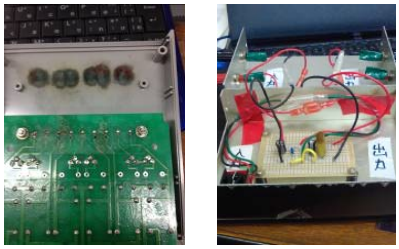


図 7. 故障した機器と修理した電源

観測点からデータが来なくなったとき、何が故障したのかを当然調べていく。ネットワーク回線、ルータ、IP 変換器、ロガー、地震計などどの箇所が要因になっているのか確認をしていく。一度だけ経験があるのが、落雷の原因と考えられる被害で電源（電力）を含めて全て故障をしたことがある。そのときは一つ一つ確認を行っていった。また、各観測点によって故障・トラブルが発生した際、被害を受けている頻度が高い機材に関しては順次、避雷器などをいれるようにして対策行っている。

・動物の被害

図 8. 動物被害

ロガーなどを入れている BOX をひっくり返されたり、地震計や GPS などのケーブルを噛み千切られたりした。カバーのシートの下に入れたり、枝や葉で隠したりして対策を行う。動物除けの木酢液を使用する事もある。

4 まとめ

メンテナンス経験談で色々と経験談を羅列したが、実際にはその他にも様々な問題があった。発表では更に具体的な事やその他の事についても話をしていく予定である。また、現場に行かれている方々と色々と意見交換が出来ればと思っている。

重力偏差計による海底探査

東京大学地震研究所　技術部　技術開発室
○松尾友和　新谷昌人

はじめに

日本は世界有数の排他的経済水域を持つ国であり、多様な海底鉱物資源があると期待されている。このような海底鉱物を利用するためには、海底に眠る資源量を広域にわたって効率的に測定、評価することが必要である。しかし、このような特徴を持つ探査技術は十分に確立してるとは言えない。

移動体搭載型重力計システムの高度化と実海域における実証試験[1](以下海底資源探査)では、実際に海底資源のあるだろう場所で重力値と垂直重力偏差の値を測定し、海底鉱物と周辺岩石との密度差を検出しようとする研究である。同探査は海洋研究開発機構JAMSTEC の自律型無人潜水艇(AUV)「うらしま」を用いて2013年12月6日～14日に行われた。

重力偏差計の構成

重力偏差計は、1.重力計2系統、2.信号系処理系統(PCBx)、3.データ収録系統からなっており、全体が耐圧容器に格納され、外部からはRS-232のコマンドおよびEthernet(陸/船上のみ)で制御およびデータ読み出しができるようになっている。

全体としては二種類の水平維持機構が装備されており、1.重力計部はx/yの2軸ジンバルにより常時水平が保たれるよう制御されるとともに、2.バランスの関係等で潜水艇が大きく傾いている時には耐圧球に取り付けられたアクチュエーターを使って手動で耐圧球全体をy軸方向に傾けることができる。また、この機構に合わせ、それぞれ重力計部及び耐圧球部の姿勢を測定する二系統の姿勢センサーがある。

信号処理系統では、1.二つの重力計のデータの差の生成、2.重力計ジンバルの制御および3.各部クランプモーターの信号の交換を行っている。1とそれぞれの測定装置の生データを合わせ、データは電圧信号としてデータ収録系統でAD変換され、2枚のSDカードに二重化して収録される。

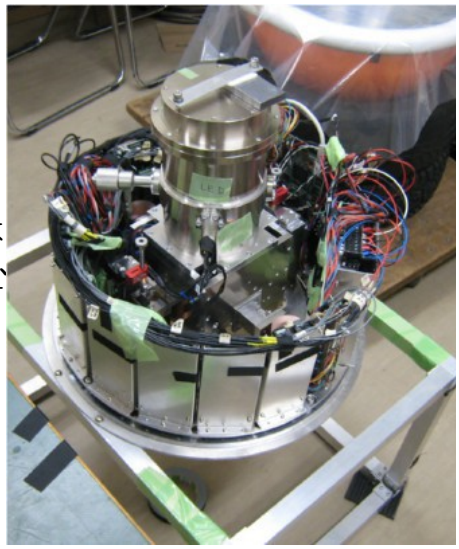


図 1: 重力偏差計の内部。測定部を取り囲むように信号処理系がアルミのシャーシに取り付けられている。

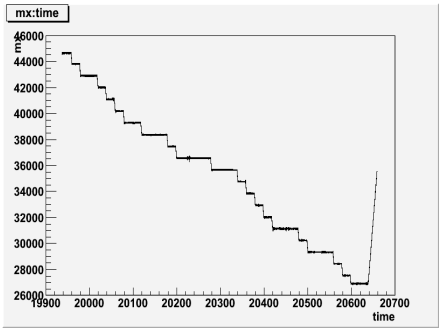


図 2: 角度毎の姿勢センサー出力

姿勢センサーの製作

耐圧球部の姿勢を測定する外部姿勢センサーを制作した。同装置は3つのMEMS型の加速度計とジャイロチップおよび6個のOPAMPからなる。センサーの評価段階で一部のセンサーのインピーダンスが高いことが判明したため、出力インピーダンスが十分低いものを使用してノイズを低減した。

このセンサーの出力はAD変換に送られ、耐圧球の状態を記録する。図3は耐圧球の角度を一定時間ごとに1度づつ変化させた時の出力であるが、1°の差を十分高い分解能で検出できている。

図 3: 姿勢センサー

重力偏差計の問題

技術職員の松尾が、重力偏差計の信号処理系、データ収録系の評価及び検査を担当した。その過程で次のような問題に遭遇した。

●RS-232

潜水艇に搭載された重力計および偏差計の制御は、両計器のマイコンへコマンドを送信することにより行う。具体的には、指令室キーボードから打たれたコマンドは、船から潜水艇に音響信号で送られ潜水艇のCPUによってデコードされた後、RS-232規格の信号によって重力計/偏差計に送られるため、テストには RS-232ポートが必要である。しかし最近のノート型PCにRS-232ポートが搭載されることは稀なため、USB接続のシリアル通信アダ

プタを用いる。
　最初にテストに利用したアダプタでは、同一のバイトを3byte以上順次送信すると、3byte目から1byte毎にD_7bitが反転を繰り返すという現象が現れ、データが破損した。テキストデータ、特にコマンドを送信するときに同一文字が3字以上連続することは少ないのでこの現象によるデータ破損はとても気づかれにくい。これはシリアル通信アダプタを別のものに交換して解決した。

●AD変換
偏差計では主に10Hz以下のデータを収録するために、周波数フィルタで高域をカットした後、サンプリング間隔200HzでAD変換を行いデータを収録する。偏差計の重力計部のデータは10Vを分解能24bitで、またその他のモニターセンサー等は10Vを分解能16bitで記録する。　また、重力偏差計では二つの重力計の出力の差を取るため、データの同時性を十分に良くする必要がある。実験ではマルチチャネル同時サンプリングが可能なAD変換素子を使用しており、ここに1Hzの三角波を並列入力して記録しデータを比較することにより特性の差を検証した。
　その結果、1.当初収録データ間隔100Hz、かつ5データ中1データが重複するという現象および、2.各チャンネル間に1サンプル以下の半端な同期ずれがあり同一チャネルでもサンプル間隔の数分の一程度のサンプリング間隔のばらつきが見られた。
　これらの問題はメーカー側にてFPGAを修正することにより解決した。一つ目の原因は収録周波数が80Hzになっており、かつデータ転送が100Hzを超えないようリミットがかかっていたためで、二つ目の原因は同原因はチップのリセットを省略していたためであった。一般にデータシートの手順から少し逸脱しても見かけ上何の問題もなく動作するように見えることはよくあるが、今回の問題もそのパターンであった。

●SDカード
本収録装置は組み込みのLinuxを使用して動作している。Ethernet経由もしくはRS-232によるコマンドによって収録を開始すると、Linux上のソフトウェアがマウントされたSDにデータの収録をするが、測定データのSDカードへの収録を開始し、しばらくたつと記録を開始してからリブートし収録が停止する問題が発生した。予備基板では症状が再現せず、またLinuxのログ等には特に原因は記録されていないため当初は原因不明だったが、問題の起こっている基板のSDカードを予備基板に取り付けてテストすると症状が再現することからSDカード不良によるカーネルクラッシュと推定、SDカードを交換することにより解消した。

観測航海
　観測船は2013年12月6日に横須賀・住友重機械東岸壁を出航し、9日に沖縄の南伊是名海穴に予定より一日早く到着した。AUVの投入は日の出後の7:30～日没前の17:00まで潜航する。これに合わせると午前5:50に観測装置の準備を開始し、6:50までに全ての周辺機器を切り離して準備を完了する必要がある。ところが、波が高い状態が続き船が大きく揺れたため、AUV自体が海面にたたきつけられる恐れから、9日～12日までAUVを海中に投入することはできなかった。
　悪天の合間を縫い、AUV海中投入のチャンスは13日にやってきた。皆一丸となって準備に当たり予定より30分早い6:15には準備を完了した甲斐あり、AUVは無事7時すぎに海中に投入されたが、AUVが海中に沈まないというトラブルが起こった。いったんAUVを回収しておもりを取り付けている間に再びうねりが悪化し、結局観測はできなかった。
　また、海中投入時にシステムの収録が停止しており、システムがリセットされていたことが判明したが原因は不明である。収録基板系に電源の瞬断に耐えるだけのコンデンサ等を搭載するとともに、外部電源をADで記録することが望ましい。

おわりに
　本航海では、天候の事情で残念ながら重力観測はできなかったが、様々なトラブルを解決することにより品質は向上した。その際、FPGAなど書き換え型デバイスを採用していたことがトラブルへの対処の上で極めて役立った。回路を物理的に変更するのは手間であると同時に困難となることがあるので可能な範囲で書き換え型デバイスでカバーする設計とすることが望ましい。
　また、今回の装置は基板および基板間配線が大量にあり、偏差計周りのスペースを使用している。基板自体を小型化するのは可能であればもちろん推奨されるが、そのほかにも測定用ADチャネル等必要なものを除き、信号のデジタル化・バス化等を行うなどして配線の低減や短距離化を行うと共に制御リレー等を極力スイッチ部品に置き換えることが望ましい。

　次回の観測ではぜひとも良い天気となることを願う。

参考文献
〝文部科学省　平成24年度科学技術試験研究委託事業　「移動体搭載型重力計システムの高度化と実海域における実証試験観測」成果報告書〞, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/U_Grav/index.html

地殻変動連続観測に用いるセンサ用アンプのキャリブレーションについて

小松　信太郎
京都大学防災研究所　技術室

１．はじめに

京都大学防災研究所付属地震予知研究センター宮崎観測所では、フィリピン海プレートの沈み込み地帯であり地震活動の活発な日向灘を研究標的として、観測坑道内（以下坑道内）で地殻変動連続観測を実施している。観測機器である伸縮計、及び水管傾斜計のセンサ部には、差動変圧器を使用し、出力されたデータは専用アンプで増幅して、データロガーで記録している。

坑道内は、湿度が非常に高く、電子機器の故障が頻繁に生じる。そのため、予備の専用アンプを用意し、故障が発生した場合はすぐに交換できるようにしている。専用アンプの交換後は、キャリブレーションにより、感度を決定しなければならない。しかし坑道内でキャリブレーションを行うと、その時間は観測が止まってしまい、データが欠測してしまう。また作業終了後に再びセンサ部の位置調整をしなければならない。そのため、事前に専用アンプのキャリブレーションを実施し、感度を決定することで、データの欠測時間を短縮でき、交換作業時の作業効率を短縮することができる。本稿では、専用アンプの使用前に実施するキャリブレーション、及び感度決定について報告する。

また地殻変動連続観測では、10^{-6}～10^{-7}の非常に小さなひずみ変化を計測しているため、温度変化が観測データに及ぼす影響を考慮しなければならない。そのため、温度変化の小さい坑道内で観測を実施している。キャリブレーションとは別に実験したセンサ部、及び専用アンプの温度変化の影響についても報告する。

２．キャリブレーション

観測機器のセンサ部には新光電気（株）社製の 1591-9D 形の差動変圧器を使用している。また専用アンプも同社の#1050 LVDT 用変位計カードを使用している（表 1）。測定誤差を小さくするため、キャリブレーション用に伸縮計センサ部を改良した実験用装置（図 1）を使用して測定した。専用アンプはプリアンプを有効にし、出力値を 5 倍に設定した。キャリブレーションの手順は次の通りである。

・実験用装置のマイクロメータで、差動変圧器の位置を動かし、出力値を読み取る。
・マイクロメータで、±0.04mm 移動する。
・出力値の＋方向と－方向（図 2）それぞれの場合を測定する。
・＋方向、－方向それぞれ 2 回測定する。
※プリアンプ 5 倍を有効にする

表 1　仕様の概要

差動変圧器（1591-9D）		専用アンプ（#1050）	
直線範囲	±2.5mm	感度	1mm/5Vdc
感度	0.294V/mm	ゼロ安定度（アンプ単体）	±20ppm・FS/℃　typ
励磁	5V 3kHz	スパン安定度（アンプ単体）	±50ppm/℃

測定結果（図 2）から、センサ移動後の出力値の平均差を求め、センサ移動量の±0.04mm から感度を決定した。計算結果、使用した専用アンプの感度は、0.03994mm/V となった。専用アンプの仕様（表 1）では、差動変圧器を使用し場合の感度は 1mm/5Vdc となっているが、今回プリアンプを 5 倍にしているため使用上の感度は、1mm/25Vdc（0.04mm/Vdc）である。測定結果から求めた感度と仕様に記載された感度は、ほぼ一致しており、特定の出力値だけで変位差が大きくなることもなく、どの位置でも変位差がほぼ等しくなった。

３．温度変化の影響

実験用装置（図 1）のセンサ部を任意の位置で固定し、±1℃温度変化のある場所で実験を行った。温度変化に伴い、出力値が変化していることが分かる（図 3）。最大値における温度計数を求めると、－ 0.0177V/℃となり、感度をかけると －7.0×10^{-4}mm/℃になった。実験結果から求めた温度計数は、実験用装置の温度変化も含まれているため、アンプ単体の安定度（表 1）よりも大きな値になった。

４．結果と今後の展望

温度変化についての実験結果より、センサ、及びアンプの出力値は温度変化の影響を大きく受けることが確かめられた。温度変化の影響を考慮するためには坑道内での温度計測が不可欠である。出力値から求められるひずみ変化が 10^{-6} ～10^{-7} 程度であり、実験結果から求めた温度係数が－ 7.0×10^{-4}mm/℃であるため、出力値の温度変化の影響を考慮するには分解能が 0.01℃以上の精密な温度計測が必要である。

今後の課題は、実際に温度変化の少ない観測坑道においてどの程度、温度変化が出力値に影響するのか、検証することである。微小な温度変化を捉えるために、より分解能の高い（0.01℃以上）温度計で計測する必要がある。

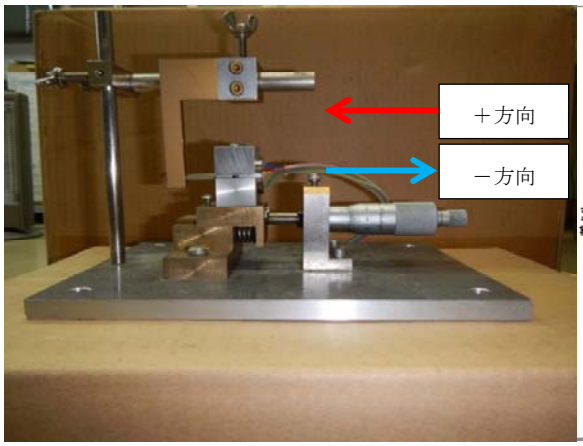


図 1　実験用装置

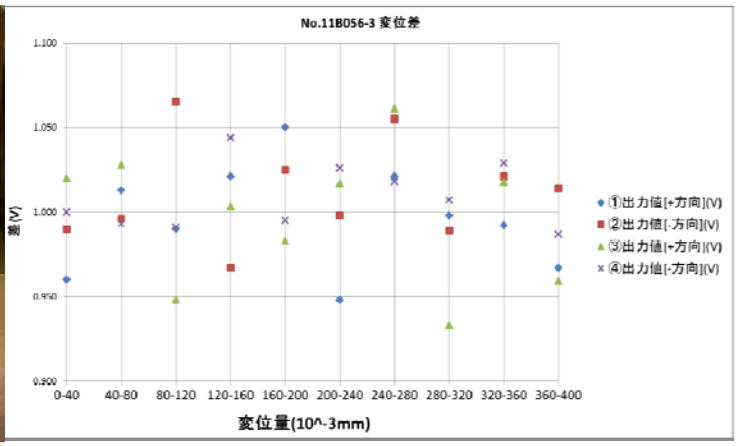


図 2　キャリブレーションで得られた値

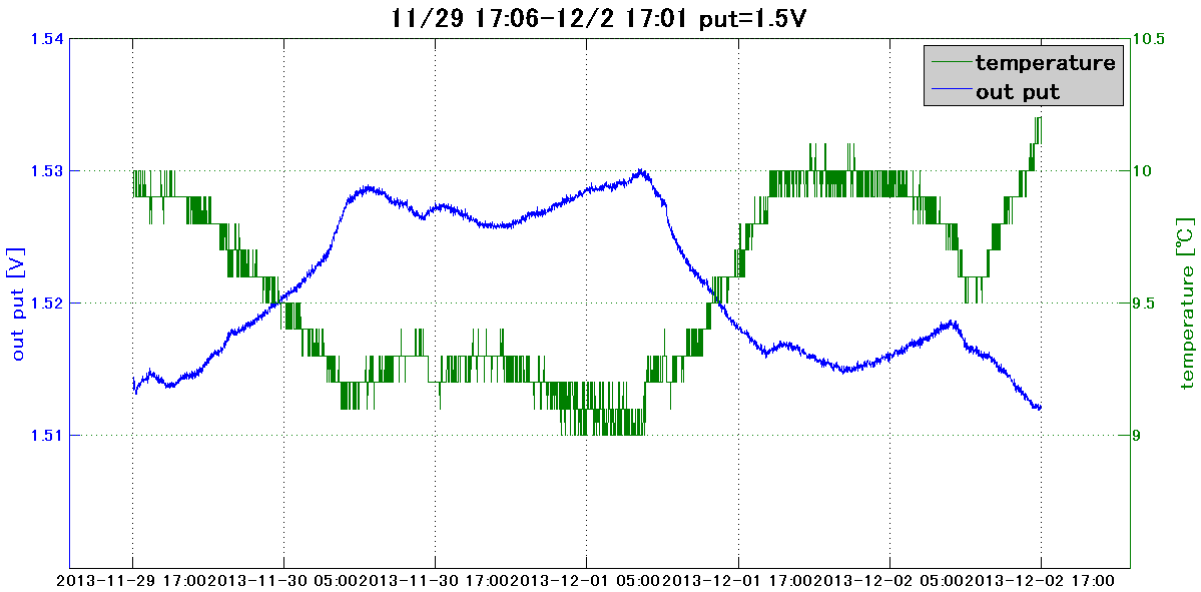


図 3　温度変化による影響

油壷地殻変動観測所の水管傾斜計の感度検定

増田正孝，芹澤正人，渡辺茂，平田安廣（東京大学地震研究所・技術部総合観測室）

1. はじめに

傾斜計、伸縮計、歪計等を用いる地殻変動連続観測は、1960 年代にはじまった地震予知計画の柱として発展してきたが、計画自体の見直しや、90 年代頃からの GPS による地殻変動観測の発展により、観測計画自体が縮小していった。一方で近年、歪計によるゆっくりすべりの発見や傾斜計による深部低周波微動にともなう傾斜変動及びスロースリップの発見等の重要な科学的貢献があり、GPS 観測に対する相補的な役割が見直されつつある。また伸縮計や傾斜計にあらわれる潮汐効果の精密な観測は、地球流体核による共鳴現象といった従来の研究だけではなく、潮汐の位相と地震の発生確率に相関があるという報告等によって、改めて重要性が認識されつつあると思われる。しかし伸縮計や傾斜計の観測の系統誤差や長期的な安定性を定量的に評価した報告はあまり多くない。我々は油壷地殻変動観測所の傾斜計の信頼性を評価するため、2 通りの独立した方法で感度検定を行った。またこの観測所には基線長 25m の 90 型と 40m のフロート型とよばれる 2 種類の傾斜計で南北、東西の 2 成分の並行観測を行っている。これらの傾斜計で観測したデータの比較も行った。このような感度検定方法や観測データの比較について報告する。

2. 水管傾斜計の感度検定

水管傾斜計による傾斜測定の原理を図 1 に示した。水管傾斜計は 2 つの水タンクをパイプでつなぎ、それぞれの水タンク内に浮かべたフロートの鉛直方向の変動を測定することで、離れた 2 地点間の傾斜角の変動を測定している。変位センサーは非接触式で温度依存性や環境依存性の小さいものが望まれる。90 型水管傾斜計では渦電流センサーIWRM18U9501 を使用している。

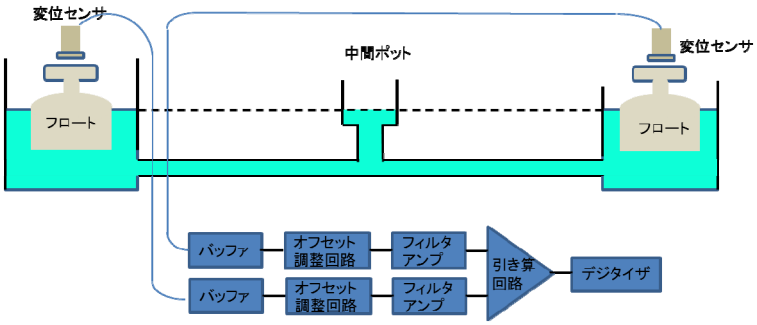


図 1.　水管傾斜計による傾斜測定の原理図

検定に対する潮汐の影響ができるだけ小さく収まるように小潮・長潮の日を選び、90 型水管傾斜計の感度検定を 2 つの独立した方法で行った。油壷観測所の 90 型水管傾斜計は N35° E 方向の AB 成分と、N125° E 方向の CD 成分がある。

最初に水管傾斜計の 4 つのポット(A,B,C,D)においてマイクロメータを用いた検定を行った。この方法では、フロートの位置を機械的に固定し、変位センサーをマイクロメータで 10μm ずつ動かし、センサー出力の距離依存性を各端で測定し、回路等のゲインを掛け算して感度を求める。測定データの例を図 2 に示した。

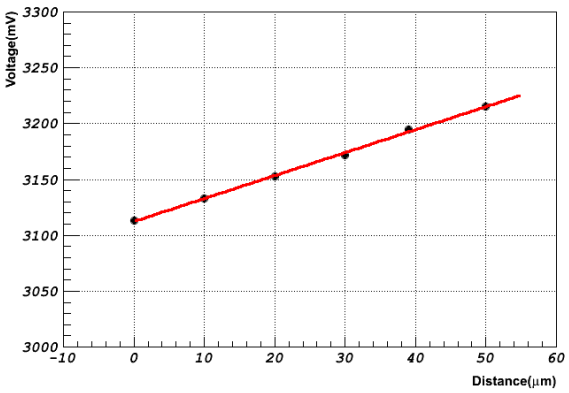


図 2.　測定データの例(90 型 A 端)　横軸がマイクロメータの変位(μm)、縦軸がバッファアンプ出力(mV)

次に中間ポットを用いた検定を行った。この検定では、中間ポットの高さをマイクロメータで変動させ、水を移動させることによって各端のセンサー出

力の距離依存性を測定し、回路ゲイン等を掛け算して感度を求める。まず PC からアクチュエータ 2 台を同時に制御し、水管傾斜計 AB の中間と CD 成分の中間にあるポットを Z 軸方向に同時に動作させた。この観測所は油壷湾の水辺に位置し、湾の特徴的な 14～15 分周期の水位変動(セイシュ)の影響を受けやすい。この水位変動の影響をなるべくキャンセルできるように、アクチュエータの動作は待ち時間を含めて+方向に 15 分間、-方向に 15 分間ずつかけるよう設定した。この 15 分の中で+(-)1000μm ずつ 5 回、3 分間隔で動作させた。データの例が図 3 である。

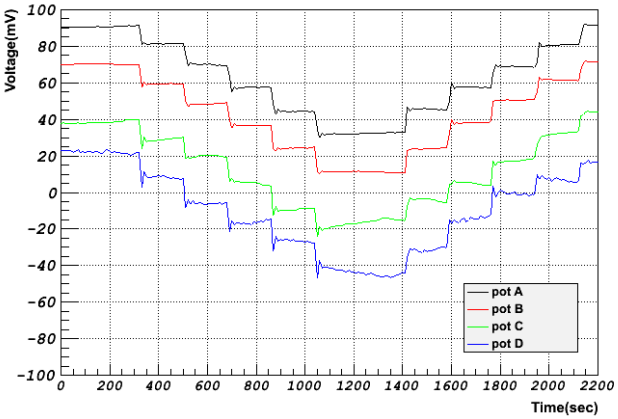


図 3. 中間ポットによる検定　横軸が時間(秒)、縦軸がセンサー出力電圧(mV)である。

中間ポットの位置は 3 分間に一回の間隔で変化させたので、センサー位置を変動させた時刻+50 秒～+170 秒までの 120 秒間の電圧の時間平均値を求め、感度に換算した。マイクロメータによる方法と中間ポットを用いた方法の測定結果以下の表のようになった。

	マイクロメータでの検定	中間ポットによる検定	単位
A 端	669.4	645.2	mV/μrad
B 端	708.7	650.7	mV/μrad
C 端	655.0	634.0	mV/μrad
D 端	650.3	688.7	mV/μrad
A－B	1378.2	1295.9	mV/μrad
C—D	1305.3	1322.7	mV/μrad

2 つの検定方法による最終感度を比較すると、どの成分も 10%未満のずれで一致していた。ずれの主な原因としては以下の事が考えられる。

- マイクロメータを用いた検定では水の移動の効果が含まれていないこと。
- 中間ポットでの較正に用いたアクチュエータの動作距離は較正されていないこと。そのため 1000μm 動作させるようコマンドを送ったが、実際の動作距離は異なると思われる。
- 中間ポットでの検定中に油壷湾の水位変動の影響を受けていたこと。特にこの日は低気圧の影響で擾乱があった。
- 中間ポットを用いた検定では中間ポットの面積や各端のポットの面積の測定が必要でそこに系統誤差を含むこと。

これらの事を考慮すると、今回の検定ではマイクロメータによる検定結果の方がより真の値に近いと考えられる。ただし独立した 2 つの感度検定で、10%未満の範囲内で感度が一致したので、感度検定の精度は 10%未満と言えるであろう。

3. 異なるセンサーによる傾斜観測の比較

1 章で述べたように油壷観測所ではフロート型と 90 型という 2 種類の独立した水管傾斜計で並行観測を行っている。マイクロメータを用いる方法でフロート型水管傾斜計の感度検定を行い、傾斜変動を求めた。その結果を用いて 90 型とフロート型の傾斜データを比較した(図 4)。概ね一致したが、より長期間でのデータの比較ではずれも見られた。長期間に渡るデータの詳細な比較検討が今後の課題である。

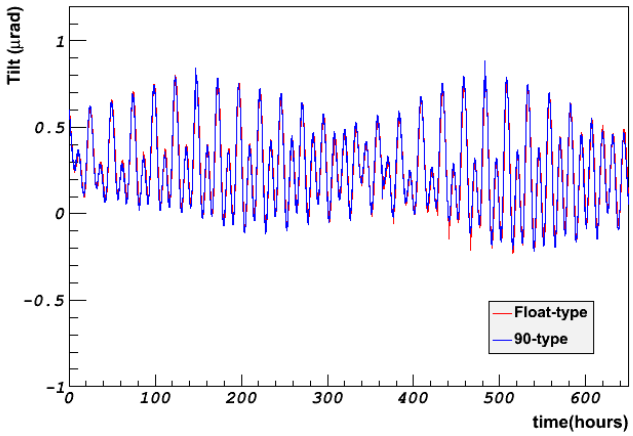


図 4.　フロート型傾斜計と 90 型傾斜計の傾斜変動の比較(AB 成分)　横軸が時間(時間)、縦軸が傾斜角(μrad)である。

旧制第一高等学校から受け継いだ、地震研究所由来の実験機器・鉱物・岩石資料と、明治18年工部省鉱山課編の鉱山借区図について

東京大学教養学部　共通技術室（駒場博物館）安成真理

1．駒場博物館の概要

駒場博物館は、教養学部の文科系教員で構成されている美術博物館委員会と、理科系教員で構成されている自然科学博物館委員会の二つの組織から成り立っている。2003 年よりかつて第一高等学校時代の図書館だった建物の中で、両組織が連携し文理融合した博物館として活動している。展覧会は年間３～４回開催し、一般にも公開している。

2．自然科学博物館と所蔵資料

教養学部の自然科学博物館は、1953(昭和 28)年に設置された。現在、自然科学博物館には、第一高等学校（以下一高と略す）由来の実験機器・骨格標本・図学資料・測量機器・岩石、鉱物、化石資料・地質図・模型のほか、近年に収集した昆虫標本等が収蔵されている。

3．地震研究所・理学部由来の資料

今回は、自然科学博物館に残されている地震研究所、理学部地質学教室等の印とともに残されている資料を報告する。

＜実験機器＞

写真１は、Ｘ線解析装置が利用される前に使われていた「結晶方位測定装置」である。R.Fuess　Berlin-Steglitz　製で製造番号は 6256 と刻印されている。“震研”“06－10”と白いペイント文字のしるしがある。この他にもう１点“震研”の R.Fuess の結晶方位測定装置があり、付記されている番号も“06－11”と写真１の装置と連番になっている。

＜鉱物・岩石・化石＞

① 鉱物標本：「beryl 緑柱石」　茨城縣真壁群山ノ尾　市村採取　（写真２）

② 岩石標本：「injection gneiss 貫入片麻岩」 黒部深沢 580m雪濠上落石　FH49052422

③ 化石標本：「Hacoparia Tourneminei」　M.Rouault　Almada

写真２の①の標本は、「Earthzuake Research Institute Tokyo Imperial University」のラベルが附属している鉱物であり、他にも同ラベルの岩石・鉱物標本が３点ある。②と③は「東京帝国大學理學部地質學教室」のラベルが添付されている。この他に岩石・鉱物・化石標本に付随しているラベルでは、「Mineralogical Institute, Imperial University, Tokyo.」や「東京大学理学部地質学教室」等がある。これらの標本は、現在までに 14 点を確認している。

4．鑛山借區図

鑛山借區図（写真３）は、明治 6 年から 16 年までに調査した内容を工部省鉱山課が編集したものであり、北海道を除く東北から九州までが９枚に分割して描かれている。駒場に残されている鑛山借區図は、掛け軸仕立てになっており、戦前期にはこのような教育用掛図が視覚教材と

して授業に用いられていた。残存している教育用掛図は、駒場図書館と連携し修復の終えたものから撮影後、電子化して公開している。

5. まとめと今後の課題

今回紹介した理学部由来の実験機器や鉱物資料は、市村毅教授ほかの教員が駒場に授業に来る際に持参したと思われる。この他、一高～東京大学教養学部の初期立ち上げの際に、駒場の学生実習用の標本や実験機器に加えてそのまま残されたものと見受けられる。これまでの基礎調査により、一高から新制東京大学教養学部となった 1949 年前後に、当時の教員等が教養学部の地学教育のために整備した標本群を確認している。それら 1949 年の整備標本は、台帳と連動して通番したラベルが添付されており、現在でも自然科学博物館が所蔵している地学資料全体の中で太い幹となっている。

今後も調査を進め、これら一高時代から譲り受けた標本の目録の作成と、資料の電子化を促進したいと考えている。また、鑛山借區図や一高の蔵書印のある地質図等との対比や、歴代教授陣の研究内容との関連性についても把握したいと考えている。

写真１　結晶方位測定装置“震研　06－10”
R.Fuess Berlin-Steglitz　6256

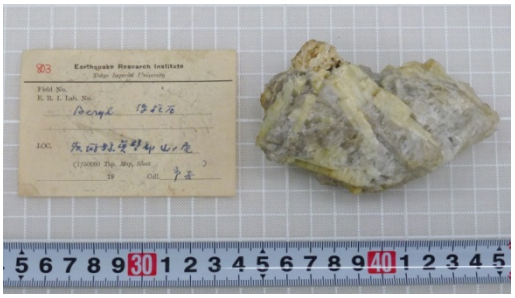


写真２　beryl 緑柱石　茨城縣　市村採取
Earthzuake Research Institute Tokyo Imperial University

写真３『鑛山借區図』陸前、陸中、陸奥、羽前、羽後　工部省鉱山課編　1030 ×1973 mm

関連ＵＲＬ　駒場博物館　http://museum.c.u-tokyo.ac.jp/

教育用掛図　http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/ichiko/kakezu/index.html

P-11

環境安全管理室の業務紹介

東京大学地震研究所
技術部技術開発室
外西奈津美

：環境安全管理室について：

国立大学が法人化した平成16年4月以降、東京大学に於いてもそれまでの人事院規則から労働安全衛生法に基づく責務が生じるようになった．従来の研究室や部局単位での化学物質管理や環境安全の体制から、大学全体としてこれらの問題に取り組むべく、環境安全管理運営組織が確立された．これにより廃棄物や化学物質の管理、作業環境の整備、健康管理などの問題について全学的な指針が規定され、対策が行われている．また近年、大学に対する社会的責任が増す中、地域社会や地球環境に配慮した対策と行動を実践することも求められている．

このような経緯を踏まえ、地震研究所では安全衛生管理室が設置されており、環境安全および安全衛生の理念に基づいた日々の活動を行っている．主な業務として、新入所者を対象とした安全衛生教育や野外活動に対する安全指導、危険物等の管理があり、その他にも各種講習会参加や資格取得の支援等その活動範囲は多岐にわたっている．

本発表では安全衛生管理室の業務のうち、自身が関係する危険物管理業務、実験系廃棄物業務および職場環境巡視について紹介する．

：薬品・ガス等の危険物管理業務：

研究室で所有する全ての薬品・ガス等の危険物は、薬品管理システム(UTCRIS:University of Tokyo Chemical Registration Information System)を用いた一元管理が行われている．ここに登録された情報を元に、所全体の在庫管理とその使用量を定期的に調査し、本部への報告を行っている．

：実験系廃棄物・廃棄試薬に関する業務：

実験により生じた有害な化学物質を含む廃棄物は、環境安全研究センターで回収・処理を行っている．センターの定める廃棄方法の指導および代行業務を随時行っている．廃棄試薬については入所以来、過去5年で約400件の廃棄手続きを行った．

：職場環境巡視：

産業医による職場環境の巡視が年に一度行われており、それに同行している．本所の人員と違い、遠隔地の観測所は在勤者が一人であるため、産業医によるリスク同定とその回避・改善アドバイスは、当該所員の安全や健康の確保にとって重要な業務である．

巡視風景@和歌山地震観測所

実験系廃棄物処理作業の様子

STS-1 のゼロ調整法

○藤田親亮[1]・森　健彦[1]
[1]東京大学地震研究所　技術部　総合観測室

はじめに

地震観測において，安定した観測データを得ることは最重要の課題である．そのため，定期的に行う地震計のメンテナンスは重要な業務の一つである．自然地震観測で用いている地震計は，振子の固有周期によって，様々なタイプに分けられる．そのうち，非常にゆっくりとした揺れまで検知することが可能な広帯域地震計と呼ばれるタイプの地震計は，設置から時間が経過すると，温度や気圧，地震計台のわずかな傾斜変化によって振子の位置がずれていくことがある．この状態をそのまま放置しておくと正しくデータを取得できなくなるため，状況によって振子の位置をゼロ点に戻す作業，すなわち振子のゼロ調整が必要となる．付属機器を使用し，このゼロ調整を半自動で行える地震計もあるが，STS-1 と呼ばれる広帯域地震計は，手作業でゼロ調整を行う必要がある（**図 1**）．今年度，広島県の白木微小地震観測所に設置されている STS-1 の上下動成分に異常が見つかったことから，ゼロ調整を含めた保守作業を実施することになった．保守作業にあたり，これまで全国各地の STS-1 の保守作業を実施してきた業者から直接指導をしていただける機会を得て，11 月に保守作業を実施することができた．本発表では，今回の保守作業で得たゼロ調整の方法について報告する．

図 1.　広帯域地震計 STS-1

ゼロ調整の方法

通常，オフセット電圧が大きくなった場合，モニター1 と呼ばれる機器を接続し，そのアナログメーターで表示される電圧を確認しながら，モニター1 のスイッチで調整を行う．ゼロ調整は表示電圧が 0 になれば完了となる（**図 2**）．多くの場合，モニター1 を用いた調整によってゼロ調整が完了するが，表示が振りきれて電圧が 0 まで戻らないなど，STS-1 の状態によってはゼロ調整ができないことがある．この場合，地震計の再設置よる再調整が必要となる．

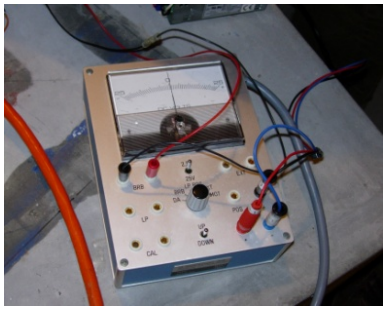


図 2.　モニター1

ゼロ調整手順

ゼロ調整は，以下の手順で実施される．

1.　精密調整用バランサーの操作

STS-1 地震計は，上下動成分 1 台と水平動成分が各 1 台，計 3 台で 1 セットとなっている（**図 1**）．各成分とも，本体裏のカバーを開けると精密調整用のバランサーを確認することができる（**図 3 左**）．前述の通常における保守の場合，モーターにてこのバランサーを移動させ，電気的に出力電圧を 0 となるように調整される．しかしながら，バランサーの位置がどちらか一方の端に到達した場合，それ以上の調整は行えなくなる．再設置作業における場合，9V 乾電池を使用したモーターを使用する調整用機器（**図 3 右**）によって，バランサーを半強制的に中央位置へ移動させることが可能である．

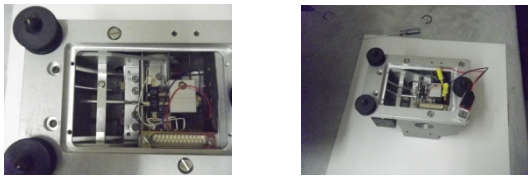


図 3.　上下動の精密調整用バランサー（左）と 9V 電池による操作（右）

2.　地震計本体の水準調整

次に，地震計本体の水準調整を行う．カバーを外した地震計上部に水準器を置き，足を調整して水準をとる．当然のことだが，調整前（ガラスプレートに設置前）に各足の長さを一定に揃えておく（**図 4**）．水準調整を行った後，上下動成分のみ 2 本足を固定する．上下動成分の残りの 1 本足と，水平動成分の足はそのままにしておく．

図4. 水平動地震計の足．ノギスや定規を使用し，可変2本の足の長さを固定の1本にあわせる

3. 粗調整用バランサーの操作

上下動成分においては，粗調整用バランサーを操作し，ブームがセンターの位置にくるように調整を行う．バランサーの調整のため，固定ネジを6角レンチで緩め，調整ネジを回すことで，ブームがセンターの位置にくるように調整していく（図5）．注意事項として，ネジを操作する際は必ずロックピンにてブームをロックするようにする．ブームがセンターにあるかどうかは，調整後静かにロックピンを外すと，上下の振れ幅によって確認ができる．

図5. ブームの調整

4. 感度調整（ダンピング試験）

次に，振子の感度調整を行う（図 6）．感度調整の際，フィードバックボックスは設定を360秒から20秒に変更して，地震計と接続する．バランサーの調整がなされていれば，その後モニター1を接続した際のPOSの電圧表示は±1V程度になる．これよりも大きなずれがあった場合，ブーム（上下動のみ）や地震計の足を調整して0Vに近づくようにする．±1Vの範囲内であれば，モニター1のスイッチで0Vに調整しても良い．0Vに調整した後，ダンピング試験を実施する．モニター1のBRB端子をペンレコーダーに接続し，スイッチをDAに切り替え，CAL端子にDC電圧を入力する．DC電圧は，小型のDCモーターを手動で回しモニター1に入力する．BRB端子からの出力電圧をペンレコーダーで確認し，出力変化が±1%程度となるように，上下動成分は固定していない1本足，水平動成分は2本足を調整する．水平動成分の調整は足を2本動かすため，足と地震計にマジックや修正ペンでマーキングをすると位置関係を把握しやすい．

図6. ダンピング試験

5. 最終調整

感度調整を完了後，足を完全に固定する．その後，モニター1のスイッチで0Vに調整する．先に変更していたフィードバックボックスの設定を360秒へ戻し，再度モニター1のスイッチにて0Vへ調整して，ゼロ調整は完了する．ただし，上下動成分はフィードバックボックスの設定前に，6V相当分のオフセットを設定する必要があるため，粗調整用バランサーのネジを時計回りに90°回す．これは，真空引きによって上下動の振り子に対する空気抵抗が6V分変化するためである．

おわりに

簡単ではあるが，STS-1地震計のゼロ調整について説明させて頂いた．本発表においては，保守前の準備作業も含め，より具体的な方法を紹介する．また，本発表時，間違いやお気づきの点，より良い調整方法などをご存じであれば，ご指導いただけると幸いである．

謝辞

株式会社アムコ技術部の高木六夫さんには，STS-1の保守方法につきまして大変ご丁寧にご指導いただきました．ここに記して感謝いたします．

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

○中島 剛・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

東京大学地震研究所では，房総半島において 26 点からなるオンライン地震観測網（大大特地震観測網）を運用している（図１）．本観測網は，自然地震の観測から関東地方地殻深部の弾性波速度構造やプレート境界近傍の構造を明らかにすることを目的として，2003 年に房総半島を南北に縦断する 30 点からなる観測網が整備された．現在では 10 点の広帯域地震観測点, 16 点の短周期地震観測点の合計 26 点において観測が継続されている．

図 2 に，大大特地震観測点の主な機器構成を示す．観測点は地震計（短周期地震計または広帯域地震計），データロガー， ISDN ルーター，信号アレスター，無停電電源装置（UPS）から主に構成され，停電時には UPS から給電されることにより観測を継続する．

しかしながら，運用開始から 6 年程度経過した 2009 年頃から，UPS の故障や内蔵バッテリーの品質低下による給電停止がしばしば発生した．これらの障害に対して UPS の撤去やバッテリーによるバックアップを行わない配線に変更することで対応してきが，運用が容易でより効率的な無停電電源システムを新たに開発し，大大特地震観測網の全 26 地震観測点に設置したのでその概要を報告する．

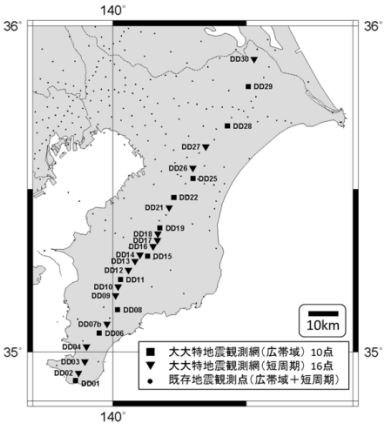


図 1. 大大特地震観測網の観測点配置図.

2. 新たな無停電電源システムの概要

地震観測では, 大地震による長時間の停電においても確実に観測が継続される仕組みが必要である．大大特観測点において，停電時に給電が必要な機器は広帯域地震計，データロガー， ISDN ルーターであり，消費電力は合計 10W 弱である（短周期地震計は Moving-Coil 型のため給電は不要である）．

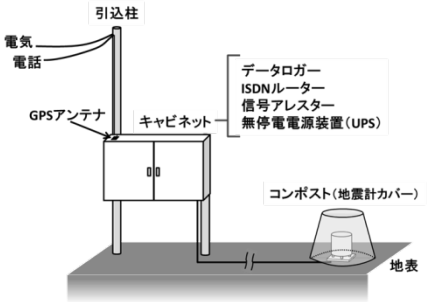


図 2. 大大特地震観測点の主な機器構成.

2003 年の観測網構築時に導入した UPS は APC 社製 ES500 及び CS500 であるが，これらの製品はパソコンなどの消費電力数十 W 以上の電子機器を短時間の停電から守ることを目的に開発されており，直流（DC）駆動させることも可能な消費電力 10W 弱の地震観測システムを長時間バックアップする目的で使用するには，電力の使い方において非効率である．すなわち停電時に UPS は内蔵バッテリーの電力をインバータにより交流（AC）変換して給電するが, 個々の機器に給電される際, 機器付属する AC アダプタにより再び DC に変換されるため 2 度の変換ロスが発生する．APC 社の UPS で概算した結果，内蔵バッテリー電力の半分程度が変換ロスとなることが推測された．また UPS を長期的に使用する場合，定期的な指定バッテリーへの交換が必要であり運用の制約となっている．

今回，UPS を更新するにあたって，1 週間の停電にも耐えられる無停電電源システムの開発を目指すことにした．消費電力を極力抑える工夫として，停電直後は全ての機器に対して電力供給するが，1 日以上停電が継続した場合は全体の消費電力の約 7 割を占めるルーターへの給電を停止し，バッテリーの残容量をデータロガーと地震計の作動に使用することで可能な限り現地収録を行う設計とした．つまり 1 日程度は 10W 弱で給電し，その後は 2W 程度の給電を 6 日間続けるシステムになることから，必要となるバッテリー容量は概算で 40Ah 程度と計算される．

新たに開発する無停電電源システムの特長をまとめると，避雷機能を有し，さまざまな種類の市販のバッテリーを利用でき，停電時に観測機器に効率的な給電が可能であること，そして保護する機器毎に給電時間を調整出来ることである．検討の結果，雷ガードタップ，バッテリー，バッテリ

ー充電器，そして電源放電コントローラを組み合わせた無停電電源システムを考案した（**図 3**）．電源放電コントローラは，過放電防止モジュールなどを組み合わせたもので,「大大特電源放電コントローラ（Daidaitoku Discharge Controller ; DDC）」と命名した．

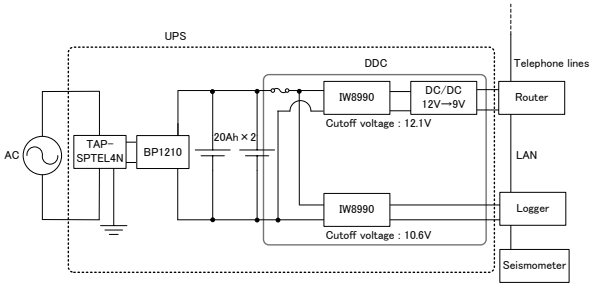


図 3. 新しい無停電電源システムの構成.

3. 電源放電コントローラ（DDC）の概要

DDC は主として 2 個の過放電防止モジュールと DC/DC スイッチング電源モジュールから構成される（**図 4**）．観測点で停電が発生した際には，バッテリー電圧が 12.1V に低下するまではルーター，データロガー，広帯域地震計の全てに給電する．12.1V から 10.6V までの間はデータロガーと広帯域地震計のみに給電を行い，10.6V 以下になると全ての給電を停止させて過放電によるバッテリーの劣化を防止する．その後商用電源の回復によりバッテリーに十分な充電が行われると観測機器への給電が再開される．

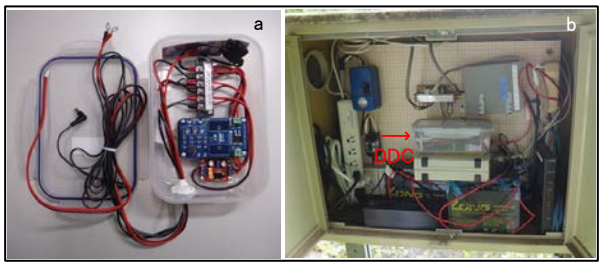


図 4. DDC の外観と設置状況.

4. 電源放電コントローラ（DDC）の性能試験

DDC の性能を確認するために，実験室にてバッテリー駆動による観測システムの試験（停電テスト）を実施した．現地の地震観測点と同等の条件で動作確認を行うため，ルーターはヤマハ製 RTA55i，データロガーは白山工業製 LS-7000XT，広帯域地震計は Guralp 製 CMG-40T を使用した．バッテリーは 2 台の WP20-12 を並列接続して使用した．

大大特観測網には，10 点の広帯域地震観測点，16 点の短周期地震観測点があるため，両観測点を想定した停電テストを行った．短周期地震観測点では給電が不要な Sercel 製 L-4C-3D を使用しているのに対し，広帯域地震観測点では消費電力約 0.6W の CMG-40T を使用している．

停電テストでは，ルーターの動作時間を調べるために DC/DC スイッチング電源モジュールの出力部の電圧を，データロガーの動作時間を調べるために過放電防止モジュールの出力部の電圧を，別のデータロガーで計測することにより確認した．停電テストの結果，バッテリー電圧の低下により過放電防止モジュールが動作し, ルーターは 12.1V, ロガーは 10.6V でそれぞれ給電が停止したことが確認できた（**図 5**）．

短周期地震観測点を想定したテストでは, 約 1.8 日（2,500 分）後にルーターへの給電が停止し，約 7.5 日（10,754 分）後に全ての給電が停止した（**図 5a**）．広帯域地震観測点を想定したテストでは，約 1.7 日（2,433 分）後にルーターへの給電が停止し，約 6.9 日（9,870 分）後に全ての給電が停止した（**図 5b**）．2 つのテストの動作時間の差はルーターの停止までに 67 分, 全停止までに約 14.7 時間（884 分）であった．また，停電テスト後のバッテリー充電時に，バッテリーの電圧が指定したリカバリ電圧以上に充電されると観測が再開されることを確認した．

これらのテスト結果から，今回製作した DDC と 2 台の WP20-12 バッテリーを用いることにより，広帯域地震観測点，短周期地震観測点の何れにおいても停電後 1 週間程度の現地収録が行われることが確かめられた．

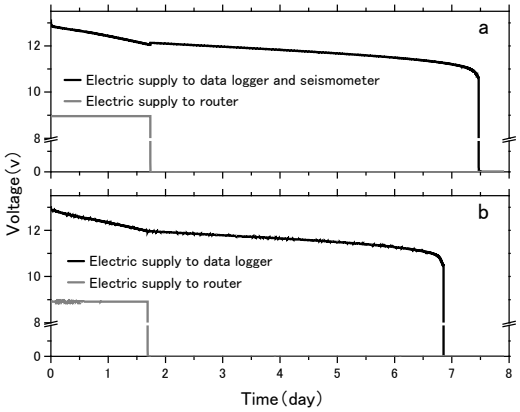


図 5. 停電テストによる動作時間計測結果.

5. 房総半島の大大特地震観測網への設置

電源放電コントローラ（DDC），バッテリー，バッテリー充電器，雷ガードタップから構成される新たな無停電電源システムの大大特地震観測網全 26 観測点への設置作業は，定期的な保守業務と合わせて 2013 年 4 月末から 5 月末までの計 5 日間で実施した．既存 UPS を撤去して無停電電源システムを設置するのに要した時間は，地震計の点検やキャビネット内の清掃等も含め 1 時間程度であった．2013 年 12 月末時点において，観測点に設置した無停電電源システムは故障等なく順調に稼働している．

長野県焼額山周辺で発生した群発地震のオフライン観測

○西本太郎 [1], 辻浩 [1], 森健彦 [1], 藤田親亮 [1], 田中伸一 [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

2013 年 4 月 8 日より長野県志賀高原周辺で群発地震（最大地震 M2.7）が発生した。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の発生以降、この周辺地域（長野県北部）では、地震活動が活発である。しかしながら震源域直上に定常観測点がなかったため、4 月 10 日よりオフライン観測装置を用いて群発地震の観測を行った。オフライン観測点は長野県焼額山周辺に 4 点（YB01, YB03, YB04, YB06）設置し、2013 年 4 月 10 日から 6 月 4 日まで（YB04 のみ 7 月 25 日まで）観測を行った。本発表では、オフライン観測とそのデータ処理の概要、および今後の課題について報告する。

2.　観測点概要

震源域周辺は標高が高く、当時雪が各地で残っていて、観測点探しのために脇道に入るのが難しかった。そのため設置した観測点は車が通る道路脇か、民家の近くになってしまった。観測点配置図を図.1 に示す。YB01 では道路脇のコンクリート製塩化カルシウムボックス台の上、YB03 では池の脇コンクリート台の上、YB04 ではペンション脇コンクリート製油貯蔵庫の上、YB06 ではホテル玄関脇土間コンクリート上にそれぞれ地震計を設置した。地震計は Le-3Dlite MK-Ⅱ（レナーツ社製）、収録装置は LS-8800（白山工業社製）を使用、電源は 105 Ah、12 V のバッテリー（G&Yu 社製）から供給した。全ての観測点で地震計の足を 3 点石膏で固定し設置した。また、収録装置に関してはサンプリング周波数 200 Hz、A/D 分解能 24 bit、GPS による時刻校正を 1 時間ごととし、連続観測を行った。

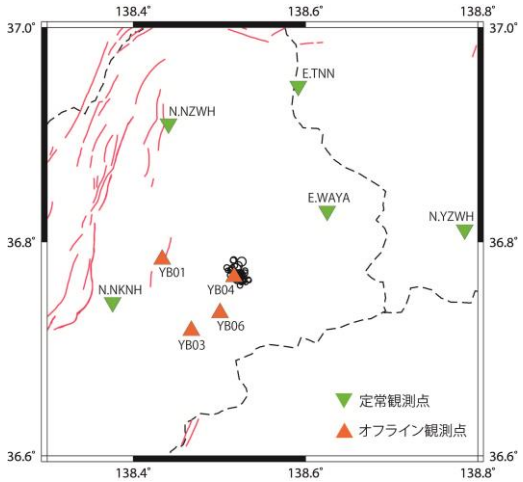


図.1 観測点配置図

3.　データ処理

取得したデータから、各観測点の 1 日分（4 月 15 日（月））の振幅の二乗平均平方根を計算した。YB01 では平均 1 μm/s オーダーで、4 点中最もノイズレベルが高かった。原因として道路脇であったことと、コンクリート台がそれほど大きくなかったことが考えられる。また、近くに川が流れていたため、ノイズレベルが高くなったと考えられる。YB03, YB04, YB06 では平均 100 nm/s オーダーであったが、YB04, YB06 では夜間-日中差が大きくなった。これは YB04, YB06 がそれぞれペンション、ホテル脇であったため人工ノイズの影響が考えられる。

また、取得した連続波形データからイベントファイルを作成し、気象庁一元化震源、地震研カタログとの比較を行った。気象庁一元化震源、地震研カタログにはない地震を検知することができたが、中にはノイズレベルが高く読み取りが困難な波形データもあり、今後の観測点の設置場所選定における課題となった。

2013 年 4 月 13 日に淡路島で発生した地震（M6.3）に伴う臨時観測点の設置について

○森 健彦・藤田親亮
（東京大学地震研究所　技術部総合観測室）

1.　はじめに

2013 年 4 月 13 日 05:33 頃, 兵庫県洲本市北部（淡路島）を震央とする M6.3 の地震が発生した（**Fig.1**）。この地震の震源は 1995 年に発生した兵庫県南部地震（M7.3）の震源域の南西端付近にあたり，兵庫県南部地震との関係性も含めて，以後の余震活動がどの様に変化していくのかを詳細に調査することが求められた。東京大学地震研究所では，他大学・他研究機関と連携して，淡路島における余震観測を展開することとなり，衛星テレメータ装置（VSAT）を用いた地震観測点を 1 箇所設置することとなった。

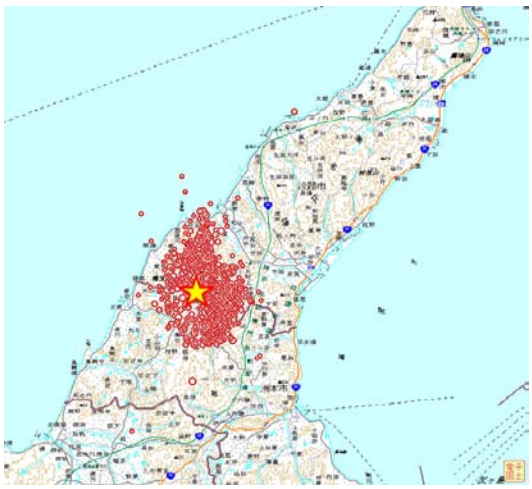


Fig.1 2013 年 4 月の震央分布（星印が本震）

本発表では，淡路島に於いて設置した VSAT を用いた地震観測点の設置作業について紹介すると共に，今回の設置作業で明らかになった業務上の問題点・課題等を整理して報告する。

2.　観測準備から VSAT の設置まで

地震発生日の 4 月 13 日は土曜日であったが，昼頃に淡路島における臨時地震観測を実施する旨を関係教員から伝達され，午後から 1 観測点分の観測機材を準備することとなった。夕方近くに公用車への機材積み込みは完了し，大まかな観測点候補エリアを教員からレクチャーされ，翌日曜日に東京を出発する事になった。

翌日曜日，9 時過ぎに地震研究所を出発し，16 時過ぎ，淡路 SA に到着した。ここで，修正された観測点候補エリアの指示をメールで受けとり，候補エリア中心に向かった（**Fig.2**）。地震観測点を設置するにあたり，岩盤等のノイズが少ない場

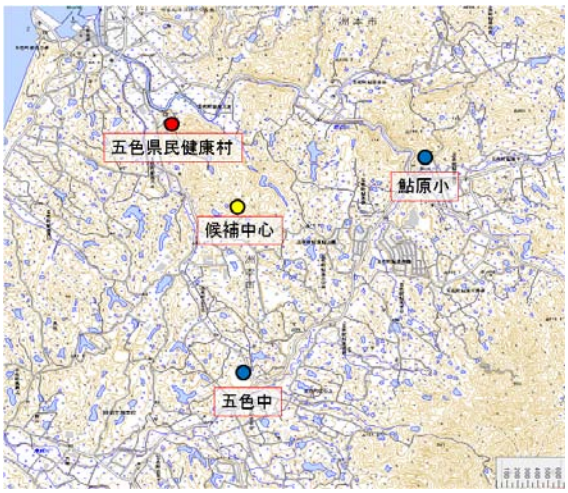


Fig.2 観測点候補地と探索場所

所があるかどうかが設置のための第 1 の基準となるが，VSAT での臨時観測の場合，VSAT を設置できる用地（約 2m×2m）があるか，VSAT に用いる電源を確保（貸借）できるかが設置用件として加わる。後者の設置条件は，今回の臨時観測点探索の際に大きなネックとなった。

翌月曜日，洲本市教育委員会を訪れ，観測の趣旨説明を行い，候補地の学校への事前手配をして頂いた。これにより，学校敷地内での候補地探索を恙無く進めることができた。しかしながら，学校の敷地内では地震計の設置に適した場所が見つけられず，東京の教員と相談の上，前日にあたりを付けていた五色県民健康村（教育委員会管轄）の体育館脇のコンクリート土台に設置をお願いすることとした。設置了承を得た後，VSAT 設置作業を 2 名で始め，20 時過ぎに完了することができた（**Fig.3**）。この観測点名は設置場所の地名から採

Fig.3 都志大日観測点（写真は撤去時）

用し，都志大日(E.TSDN)とされた。

設置完了後，帰途で 1 泊して東京へ戻った。帰所した後，洲本市教育委員会に提出する書類準備を進め，3 ヶ月の期間で，電気も含めた無償での使用契約を結ぶことができた。

3. 観測点評価

定常観測点を整備する際，RMS 振幅で評価されるノイズレベルは 100nm/sec を下回ることを目標として選定している。今回の都志大日観測点の場合，事前のノイズ調査は実施していないものの，周辺の探索で比較的岩盤が目立つ領域であり，大きなノイズ源となる施設は存在せず，体育館の使用頻度も低いとの情報を得ていたことから，ノイズもそれほど大きくならないのではと想定のみで選定した。結果，夜間のノイズレベルは 100nm/sec を下回ることができ，臨時で構築した観測点としては上々な結果を残すことができた（**Fig.4**）。

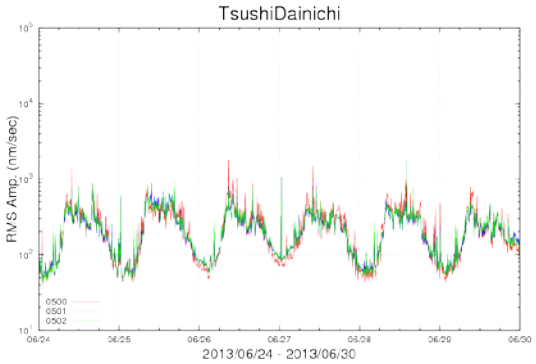


Fig.4 都志大日観測点の RMS 振幅

4. 観測点撤収に関して

余震の発生も落ち着いてきたことから，当初の計画通り，都志大日観測点の撤収を 7 月 17 日に行うこととなった。この撤収に向けて，洲本市教育委員会への書類提出準備を進め，事前連絡を実施した。撤収作業は設置と同じく 2 名で行い，午前中で完了することができた。作業完了後，洲本市教育委員会を訪ね，観測のお礼と撤去申請書類の提出先を再確認し，他の観測点保守業務を行うため，洲本市を離れた

5. 今後の課題

今回の設置では，観測点設置要請が出てから観測データ送信まで 2 日以上要している。観測点設置場所が兵庫県と遠方であったため，東京からの移動時間に時間がかかるのは仕方がないにしても，現地での観測点選定に要した時間ロスも大きいと考えている。この時間を短縮するために，例えば，先行する観測点選定班と機材準備・搬送班を分け，業務を分担することによる作業の効率化も検討すべき課題であろう。今回のような大学合同での観測の場合，現地に直ぐに到着できる機関によって観測点候補地の選定を行って頂くことも設置時間短縮化への道だと思われる。このことを実現するためには，観測点設営に関する業務知識を技術研修等を利用して，地震研究所のみならず，他研究機関を含めた多くの技術職員が共有することも必要になってくるのではないだろうか。

謝辞

都志大日観測点の設置にあたり，洲本市役所，洲本市教育委員会の多大なご協力を頂きました。特に，洲本市五色診療所の田中係長には，夜間の突然の来訪にもかかわらず，五色県民健康村の管理関係をご説明いただいた共に，洲本市役所・教育委員会への連絡を繋げて頂き，観測点設置を進める上で大きな助けになりました。また，白山工業の出川さんには，設置が夜遅くになったにもかかわらず，VSAT のリモート設定を実施して頂きました。ここに記して感謝致します。

桜島火山観測所における離島火山観測体制について

園田忠臣
京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

1. はじめに

桜島火山観測所では桜島の観測だけでなく，南北 600 キロにも及ぶ広い鹿児島県に点在している離島火山においても，さまざまな観測を行っている（図 1）．観測対象として薩摩硫黄島，口永良部島，中之島，諏訪之瀬島などがあり，これら以外にも屋久島に観測点を設けている．今回は，これらの離島火山における観測体制について簡単に紹介したい．

図 1．鹿児島県内主な火山

2. 薩摩硫黄島

薩摩硫黄島（図 2）は鹿児島県本土に一番近い位置にある火山島である．島への交通手段は定期船しかない．山頂火口からは火山ガスを含む噴煙が上がっている．ここでは，地震，空気振動，GPS の常時観測を行っている．

図 2．薩摩硫黄島

3. 口永良部島

口永良部島火山は屋久島の西側に位置し，天候の良いときは屋久島だけでなく，薩摩硫黄島も見ることができる．島への交通手段は，薩摩硫黄島と同じく定期船のみである．口永良部島には，古岳と新岳の 2 つの火口が存在し，また新岳の東側斜面においては 1945 年および 1980 年に水蒸気爆発を起こした割れ目火口を見ることができる．これら山頂火口周辺部に地震観測点が 5 点あり，また中腹に 1 点，周回道路沿いに 1 点の合計 7 点の地震観測点と GPS 観測室という体制で常時観測を行っている．また麓に，山頂観測点から無線データ受信をし，桜島火山観測所までデータ転送するための

観測室がある. また, その観測室において, 地震観測と空気振動観測も行っている.

4. 中之島

中之島はトカラ列島に属し，十島村の中で一番大きな島である．島の中北部にそびえる御岳は 979m の高さを誇り，その美しい山体から“トカラ富士”の愛称で親しまれている．中之島観測室では，GPS と地震観測を行っているが，それ以外に中之島の南に位置する諏訪之瀬島からの地震データを受信し，VSAT を使用して桜島火山観測所までデータ転送する重要な役割も果たしている.

5. 諏訪之瀬島

諏訪之瀬島の中央にそびえる御岳（787m）は，桜島同様今も活発な噴火活動を繰り返している. 現在, 諏訪之瀬島には山頂部に 4 点観測点があり, 各観測点から地震, 空気振動，傾斜データを麓の観測室まで無線を使用して伝送し，そこから VSAT を使用して桜島火山観測所までデータ転送を行っている. 諏訪之瀬島の山頂データは, 観測点位置により，麓の観測室まで無線送信することができない 2 点に関しては，中之島へ無線送信してから中之島の VSAT 経由で桜島火山観測所まで送られてきている．麓まで送信できる観測点も一部無線 LAN で中継して，諏訪之瀬島観測室に設置している VSAT を用いて桜島火山観測所まで転送している（図 3).

図 3．諏訪之瀬島観測室
観測室前にあるのが VSAT アンテナ

6. データ転送および観測メンテナンスについて

それぞれの島の各観測点からのデータは, 様々な通信手段によって，桜島火山観測所まで送られてきている. 前述したように, 諏訪之瀬島，中之島のデータは VSAT を使用し, 薩摩硫黄島と口永良部島のデータは, 気象庁経由の Earth LAN で桜島火山観測所まで送られてきている．GPS データについては，NTT 一般回線で定時回収を行っている. また, 一部現地収録している観測点もある.

前述した通り，口永良部島と諏訪之瀬島については，山頂火口周辺部に観測点を設けており，その全ての観測点でソーラーパネルとバッテリーによる電源供給を行っている．経年劣化による定期的なバッテリー交換や噴火によるソーラーパネルや観測機器損傷などの対応が必要である．また薩摩硫黄島や中之島においては，火山ガスや塩害による観測機器の劣化などが起こる．このようなことから, 離島火山観測において, 定期的なメンテナンスは必要不可欠である.

阿蘇火山における重力測定

吉川　慎[1]，Yayan Sofyan[2]，大倉敬宏[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]

九州大学大学院工学府地球資源システム工学専攻地球熱システム学研究室[2]

１．はじめに

阿蘇火山は九州の中央部に位置し，世界最大級のカルデラから成る活動的な火山である．これまでに何度も大規模なマグマ噴火を繰り返し，近年では 1989 年から 1993 年はじめまで，中岳第一火口において断続的なストロンボリ式噴火が発生していた．この噴火以降，現在まで土砂噴出現象や火口底および火口南壁における赤熱現象が発生するなどの活動をともないながら，火口底に湯が溜まった（湯だまり）状態が継続している．このように活発活動を続ける阿蘇火山において，1964 年から阿蘇登山道路沿いに沿って設置されている京都大学の水準点（図 1）にて，LaCoste & Romberg G 型重力計を用いた精密相対重力測定が開始された．それらの結果は，2008 年までに 5 回に分けて報告されている．

しかし，阿蘇火山における精密相対重力測定は，これまで数年おきにしか実施されておらず，測定して得られた重力変化は純粋に火山活動の変化を表しているのか疑問があった．そこで，2005 年に雨期をはさんだ 3 回の精密相対重力測定を行い検証した．その結果，雨期をはさんだ時期ではおよそ 30μGal 程度増加，逆に少雨期では 20～40μGal 程度減少がみられ，降雨が重力に影響を与えた可能性が示唆されていた．

筆者らは，2010 年から年間 3～4 回程度の測定を開始し，それらをさらに検証した．

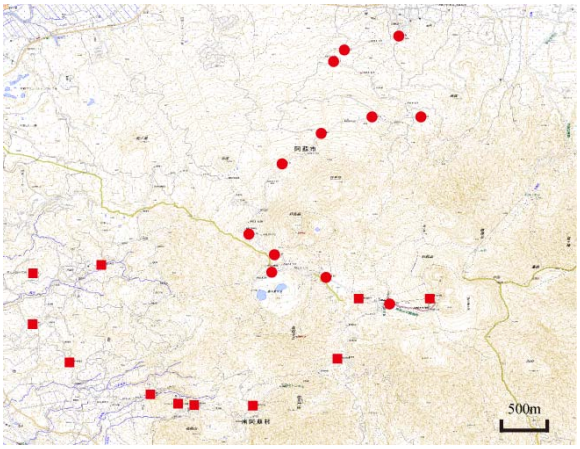


図 1-1．阿蘇登山道路沿いに設置されている水準点

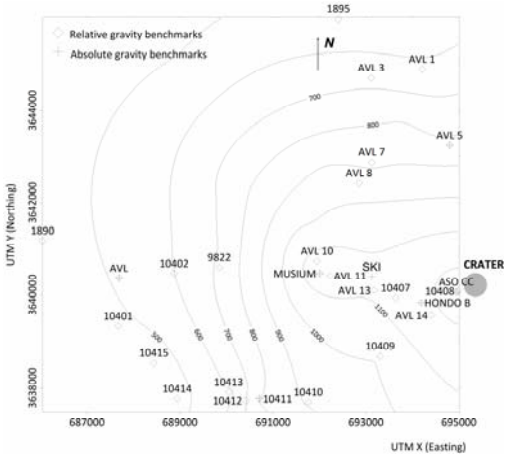


図 1-2．重力測定点の位置と等高線

２．繰り返し重力測定

重力の繰り返し測定は，阿蘇登山道路坊中線・吉田線および地獄沿いに設置されている京都大学および国土地理院の水準点を使用で行った．測定には，LaCoste & Romberg g-1016 重力計および Scintrex CG5 重力計を使用した．重力計の計器高，地球潮汐，ドリフトは標準的な補正で除去している．

繰り返し重力測定を行う上で，重力測定点の標高に時間変化があるかどうかは重要な問題である．2008年に行われた水準測量の結果では，1963年から1998年までの間に検知されてきた従来の変動と類似の変化が継続していることが明らかとなっている．もっとも大きな変動が見られた点でも，変動の大きさは0.35 cm/yearであり，フリーエアの変化としては 1

μGal/ yearとなる．こうした地殻変動が現在も継続しているとすれば，2010年から2012年の短期間に起きている標高変化は，数10μGalの重力変化には影響しないと考えられる．

3．重力測定の結果

測定は，2011 年 4 月から同年 8 月，11 月，2012 年 4 月，8 月，12 月，2013 年 5 月，9 月に行った．AVL を不動点とし 2011 年 8 月を基準とした結果を図 2 に示す．

7 回の繰り返し測定結果から，それらを 6 つの期間に分けて以下に解説する．

・第 1 の期間（2011 年 4 月～8 月）

中岳火口近傍では 50μGal 以上の重力の増加が見られ，AVL8 から北側および BM10412 から西側の点では最大で 80μGal 程度の重力の減少が見られた．

・第 2 の期間（2011 年 8 月～11 月）

火口近傍では 40μGal 程度の重力減少が見られ，その周辺部（AVL10～AVL13，BM10409～BM10411）では最大で 130μGal 程度の重力の増加が見られた．

・第 3 の期間（2011 年 11 月～2012 年 4 月）

火口近傍では僅かな減少が見られ，その周辺部では最大で 150μGal 程度の重力の減少が見られた．

・第 4 の期間（2012 年 4 月～8 月）

火口近傍およびその周辺部においては重力の増加が見られ，BM10412，BM10413 では 80μGal 程度の重力の減少が見られた

・第 5 の期間（2012 年 8 月～12 月）

火口近傍では継続的に重力の増加が見られたが，その周辺部では重力の減少が見られた．BM10412，BM10413 では，重力の増加が見られた．

・第 6 の期間（2012 年 12 月～2013 年 5 月）

火口近傍およびその周辺部において重力の減少が見られる．

図 2．AVL を不動と仮定し 2011 年 4 月を基準とした各測定点の重力変化（点線間隔は 200μGal）

4．まとめ

以上のように，火口近傍やその周辺部において，比較的短期間に重力の変化が見られる事がわかった．これらの考察については，ソフヤン他（2012）に詳しくまとめてあるので割愛するが，これらの重力変化には，阿蘇火山火口近傍の降水による地下水の流入，地下からの熱水の供給や移動，さらに湯だまりの増減等が深く関わっていることが分かってきた．

今後も測定を継続していく事で，火口地下から周辺部への熱水の流動などを定量的に議論することが可能となると考えている．

謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金奨励研究「阿蘇火山の降雨による重力変化の検知」(No. 17914010) の助成を受けたものです

参考文献

1 菅野貴之・大久保修平・松本滋夫・吉川 慎・大倉敬宏・井上寛之 (2009)：阿蘇火山における絶対重力測定, 第 4 回阿蘇火山の集中総合観測報告, 23-27.

2 吉川　慎・大倉敬宏・大島弘光・前川徳光・植木貞人・菅野貴之・松本滋夫・内田和也 (2009)：阿蘇火山周辺における精密重力測定 (2008 年 11 月), 第 4 回阿蘇火山の集中総合観測報告, 18-22.

3 Sofyan, Y., Yoshikawa, S., Nishijima, J., Fujimitsu, Y., Fukuda, Y., Kagiyama, T., Kazama, T., and Oka, D., 2012, Preliminary result of gravity monitoring on Aso Volcanic Field, Central Kyushu, 九大地熱・火山研究報告, 20, 97-104.

4 大倉敬宏・吉川 慎・井上寛之・宇津木充・鍵山恒臣・寺田暁彦・加納将行・由井智志・山本圭吾・高山鐵郎・山崎友也・多田光宏・立尾有騎・松島 健・内田和也・中元真美・山下裕亮・平岡善文・三森庸里江・根本盛行 (2009)：阿蘇カルデラにおける水準測量 (2008 年 9 月-10 月), 第 4 回阿蘇火山の集中総合観測報告, 8-15.

5 ヤヤン　ソフヤン・吉川　慎・鍵山恒臣・大倉敬宏：阿蘇火山における繰り返し重力測定による熱水流動のモニタリング (2012), 月刊地球

「地震観測にかかわる情報系業務」

京都大学　大学院理学研究科附属　地球熱学研究施設　馬渡秀夫

１．はじめに

地球熱学研究施設は、1923年(大正12年)、当初は京都大学理学部地球物理学教室附属地球物理学研究所として現在の大分県別府市に設置された。設置後、直ぐにウィーヘルト式地震計による地震観測が開始された。設置されたウィーヘルト地震計は、1975年(昭和50年)4月21日に発生した大分県中部地震の地震動で重りを逆吊りしていたバネが折れるまで観測を続けていた。現在は名古屋大学博物館・環境総合館１Fロビーに展示されている。

２．新たな地震観測網

ウィーヘルト地震計が破損した後、加速度センサーを用いた強震計による観測が別府施設において続けられていたが、1993年、地球科学総合研究所製の微小地震観測装置「MS100」を導入することになった。これは、以前から頻発していた別府地域の地震現象を詳細に調査し、新たな知見を得る事を目的としていた。MS100は多数の地震観測点と四線式による全二重のアナログ専用線(3.4kHz-4W)を通じて常時情報を交換し、その情報から地震発生を検知するものであった。そして検知した地震に関わる各地震観測点からの波形データを収集・整理しUNIXワークステーション上のデーターベースに保存するシステムであった。加えて、ワークステーションを利用し保存された波形データから震源やその他のパラメータをほぼリアルタイムに解析し、地震データの作成、保存が可能であった。また、保存された波形データや地震データはワークステーション上から解析が行えるものであった。

３．有感群発地震の発生と観測

2007年6月、別府地域で通例の群発地震が発生した。これは、以前より3～4年を周期として別府地域の扇状地内に起こる地震と同類のものであると考えられたが、この何周期かで起こったものよりもエネルギーが大きく、別府市内の居住地域の震度が大きかった。また、近年、気象庁や防災科研の地震計が大分県中部地域に増設されていたこともあって、広く注目されることとなった。その結果、それまでの別府施設の地震観測装置を改善することとなった。

改善すべき点の一つはMS100に続いて導入されていたMS1000の動作が不安定でデータ収録に不具合があること。もう一つは、波形データの収録方式が独自であり、再利用に手間がかかることであった。

４．IPによるデータ伝送ネットワークとPC-UNIXマシンの構築

改善が必要とされた地震観測装置は後継・更新としてWINシステムを利用することとなり、各観測点から別府施設へ波形データを伝送するためのIPネットワークと、WINシステムを動作させるベースとなるPC-UNIXワークステーション、また、データを保存するためのRAID装置の構築を行った。

参考文献:大分県温泉調査研究会報告,地球熱学研究施設活動報告

ガラス工作室の活動

東京大学生産技術研究所　試作工場ガラス工作室

三澤　徹

1. はじめに

私は２年程前に東京大学生産技術研究所試作工場のガラス加工職員として中途採用されました。以前の職場は半導体関連の工場で石英ガラス加工職員として２０年以上勤め、様々な事情により前の職場を離れ、今の職場に落ち着きました。

今の職場試作工場及びガラス工作室について紹介したいと思います。

2. 試作工場

試作工場は東京大学生産技術研究所の所内共通施設のひとつで所内の各研究室からの依頼を受け、研究や実験用の治具を制作しています。

「試作工場」

工場内には機械工作室とガラス工作室の二つの部署があり、機械工作室には手動型のスライス盤、汎用旋盤からコンピューター制御の CNC 旋盤などがあり、ガラス工作室にもガラス加工に必要なガラス用旋盤、バーナー等の設備を揃え、数名の各専門の技術職員たちが依頼に応じて作業を行っています。

3. ガラス工作室

「ガラス工作室」

上の写真はガラス工作室内の様子です。手前にあるのは私が使用している作業台で、台の上にはガラス加工に必要な工具（バーナー等）を揃えています。奥の方にはガラス用旋盤をはじめ様々な機器類が設置しています。

現在、ガラス工作室には二名の職員が居り、各研究室からの依頼を受け、ガラス加工品の製作をはじめ修理や材料、部品の供給など多岐にわたっています。

4. ガラス加工

「ガラス加工中」

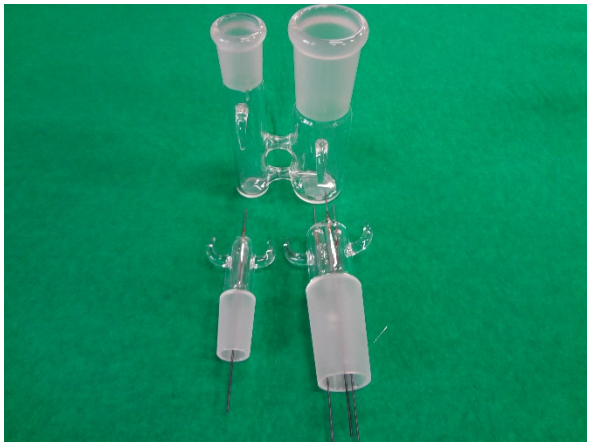
上の写真はガラス加工中の様子です。ここでのガラス加工は、バーナーの炎による溶融加工のことをいいます。溶融加工とはまず加工するガラス管にバーナーの炎で熱します。ある温度まで熱せられたガラス管は軟らかくなり、引伸ばし加工、曲げ加工、溶接加工など様々な加工が可能となり任意の寸法や形状のガラス部品を作成し、それらを溶接加工で組み立てて依頼されたガラス製品を仕上げていきます。

それらの加工工程をほとんど手作業で行います。現在の産業の工場ではコンピューター制御による機械加工が主流になっていますが、このガラス加工では機械では再現不可能と思われる細かい作業が多々含まれているため、最終的には熟練のガラス加工職人による手作業で組み立て完成させます。

5. ガラス加工品

ここでは最近手懸けたガラス加工品を紹介します。

加工品 1



加工品 2

加工品 3

6. おわりに

民間企業のガラス工場の作業は各専門の大量生産による反復作業がほとんどですが、ここではオーダメイドによる少数生産となり、あらゆる技術と専門知識が要するため、これからも期待に応えられるようキャリアと磨きたいと思います。

天井落下に関する実験および吊り天井の危険性

東京大学生産技術研究所　人間・社会系部門
大矢俊治

１．はじめに

1995 年阪神淡路大震災時には公共ホール、学校体育館等、鉄骨造の大空間構造物では構造躯体の被害は非常に少なかったにも関わらず、天井および照明装置等の吊り物が落下する事例が多数見られた（写真 1）。本来は避難所として使用されるべき施設が、天井等の落下により使用不能になった。2001 年芸予地震で天井落下により怪我人が出たのを期に国土交通省から技術的助言が出された。その後、地震による天井落下が度々発生し社会全体に注目されるようになった。

写真 1　阪神淡路大震災の被害

写真 2　2005 年宮城県沖地震でプールの天井が落下

２．在来工法の吊り天井

一般的な捨て張り天井は、構造躯体からおろした吊りボルトの先端にハンガーを用いて野縁受けを取り付け、野縁受けの直行方向に配置した野縁をクリップで連結して下地とする。野縁に石膏ボード等の天井材をビス留めし、さらに仕上げ材を貼り付けている。吊り天井は内装仕上げ材であり構造躯体ではないため、耐震性に関してはほとんど考慮されていない。

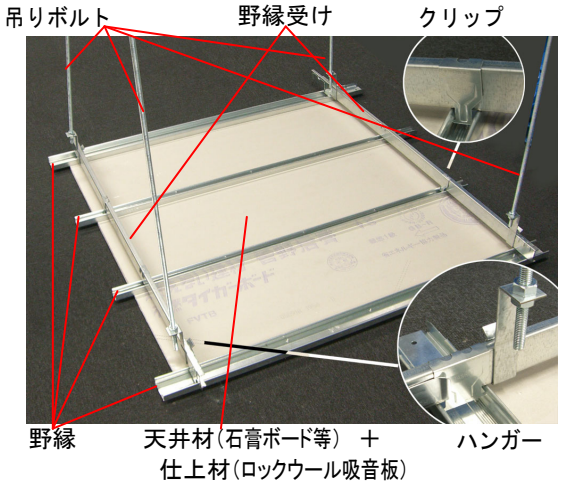


写真 3　在来工法の吊り天井

３．天井材落下時の衝撃荷重の調査

落下した天井が頭部に衝突した時に生じる衝撃力を調査するために天井材落下実験を行った。落下高さ 20m を得るために駒場Ⅱキャンパス CCR 棟外壁で実験を行った。屋上に設置したホイストで吊り上げた天井材を落下させ、首部分にロードセルを設置した人頭模型（ヘルメット試験用）に衝突させて衝撃荷重を測定するとともに、スピードガンを用いて天井材の落下速度も測定した。天井材落下時の横ブレを防ぐためにガイドワイヤーを 2 本設置した。

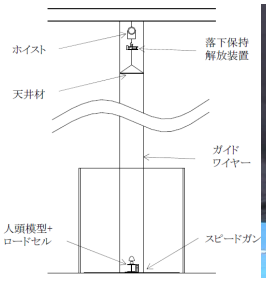


図 1　実験概念図

写真 4　衝突の瞬間

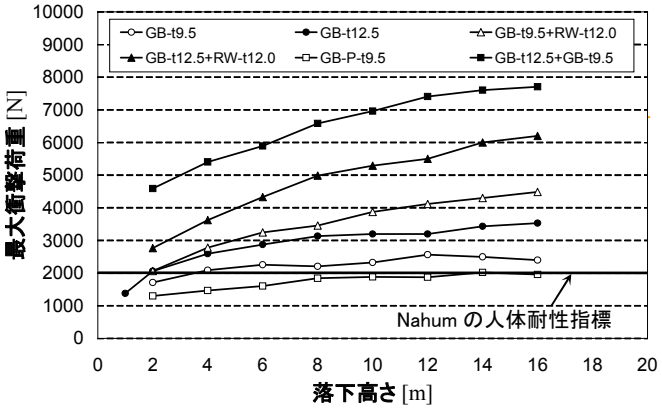


図 2　石膏ボード(GB)とロックウール吸音板(RW)の衝撃荷重

一般的な天井に用いられている石膏ボード(GB)とロックウール吸音板(RW)の衝撃荷重を図 2 に示す。Nahum らによる人体耐性指標の閾値 2000N[1]によると比較的軽い天井でも頭上 2m を越えると脳挫傷の危険がある領域に入ってしまう。

４．天井落下の原因

天井は様々な要因で落下する可能性がある。地震時にクリップ脱落、ハンガーの変形等で落下する以外に、非地震時でも湿気による材料劣化により天井材を下地材に取り付けているビスの頭抜けで天井材が落下する例、列車通過の振動と風圧を繰り返し受けていた駅の階段の天井が落下した例がある。

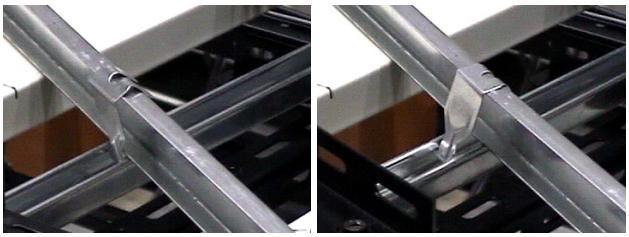


写真 5　クリップに水平変位を与える実験

写真 6 天井に引っ張られて変形したハンガーとクリップ（実験）

写真 7　湿気による材料劣化で落下（屋内プール）

5．耐震補強の問題点

既存の天井の耐震補強にあたっては、天井裏は狭く設備機器も設置されており、さらに天井材に作業員が直接乗ることが出来ないため足場の確保にも問題があり、非常に困難な作業が要求される。また、補強材が増えることにより天井重量が増加し、より大きな地震力を受けるようになる。耐震補強の想定を超える地震が来た場合には天井が落下する可能性もある。

人命保護の観点から、「落下させない」、「落下しても大事には至らない」措置が必要である。表 1 に基本概念を示す。耐震補強は「機能維持」のためのもので、震災時の避難所として使用できる等の機能を実現するためのものであり、最優先で必要な「人命保護」を実現するための対策をした上で行うべきである。

表 1　基本概念

人命保護	機能維持 （避難所、事業継続性(BCP)）
必ず実現すべき性能	**人命保護を実現した上で** 発注者と設計・施工者が合議により外力レベルと維持すべき機能を設定実現する性能
落下現象の制御	**損傷の制御** 地震：水平力の制御など 経年劣化：材料劣化の防止処置
安全性評価法の活用 より軽量柔軟な天井の採用 フェイルセーフ機構の活用 準構造の活用 さらに多くの選択肢… 今後の新材料や工法の開発など	水平力：耐震化、制振化等 経年劣化：防錆材の塗布等 風圧：下地金物の補強等 振動：防振ゴムの設置等 さらに多くの選択肢… 今後の新材料や工法の開発など

6．天井落下による被害を防ぐには

在来の天井において「面積が広い」、「多人数が集まる」、「天井高が高い」といった条件が当てはまる場合には大きな危険が存在している。人命保護のための対策をまとめたものを表 2 に示す。

実際に行われた対策の例として、天井を完全に撤去したプール（写真 8）、天井材が落下しても途中で受け止める落下防止ネットを設置した体育館（写真 9）、落下しても大事に至らない軽い膜材料を用いた天井（写真 10）などがある。

表 2　人命保護を達成するには

安全	実現手段	具体的な方法
予防安全	1.暴露コントロール	室内に入らない。高所に危険な天井材を設置しない
	2.損傷防止	あらゆる外乱に対して天井材及び下地材を損傷させない
事後安全	3.落下防止	落下防止ネット等で利用者の活動領域に至る落下を防ぐ
	4.損傷コントロール	目に見える形でゆっくり損傷を進ませることで確実に利用者避難あるいは天井撤去できるようにする
	5.傷害コントロール	落下発生時に傷害程度を低減させる
	6.行動の変更	事故に遭遇する危険を低減する
	7.受傷後の管理	受傷後の速やかかつ十分な救助処置、治療、リハビリテーションを行う

写真 8 天井の撤去　写真 9 落下防止ネットの設置

写真 10　軽い膜材料の採用（日本科学未来館）

参考文献

[1] Alan M Nahum et al.，Impact tolerance of the skull and face, 1968

[2] 天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン，日本建築学会 非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会，2013 年 3 月 4 日版