

令和 6 年度 地震研究所職員研修会 アブストラクト集



日 程 令和 7 年 1 月 29 日(水) ～ 31 日(金)

口頭発表 6 件 (1 日目)	p.1～p.11
口頭発表 5 件 (3 日目)	p.12～p.21
ポスター発表 10 件 (1 日目)	p.22～p.40

地震研究所研修運営委員会

DAS 技術を用いた地震観測と描画ツールの開発

○増田 正孝・田中 伸一（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

篠原 雅尚（東京大学地震研究所 観測開発研究センター）

DAS 技術とは

近年、分散型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing, 以下 DAS)と呼ばれる光ファイバーをセンサーとして利用する技術が様々な分野で用いられている。DAS では、インテロゲーターと呼ばれる装置がコヒーレントな光パルスを送り出し、光ファイバー内で生じた後方散乱光を検出する。このときに光ファイバーに地震等の現象によって歪が生じると、後方散乱光の位相にずれが生じる。その位相を入射光と散乱光の干渉を用いて検出することで、歪が得られる。DAS で検出できる距離は 100km に及び、チャンネル間隔を数 m など短く設定できるため、稠密な地震観測が可能となっている。近年では、津波の観測や構造探査にも用いられている。

DAS を用いた海底地震観測の例

防災科学技術研究所により高知県沖から日向灘にかけての海域で海底地震津波観測網 N-net が開発整備されている。宮崎県串間市にある N-net の串間陸上局にインテロゲーター (OptaSense 社 QuantX) を設置し、データ通信に使われていなかった片道 54km の光ファイバーを用いて 2024 年 8 月 2 日から 10 月 10 日まで観測を行った(2024 篠原 他)。図 1 は地震を観測した例で 2024 年 8 月 14 日 14 時 17 分頃に発生した M3.0 の地震を観測した際のウォーターフォール図を示している。この図は横軸がチャンネル(1ch から 10000ch)、縦軸が時間(14:15:11 から 5 分間)で、色は 2~8Hz の帯域での信号の大きさ(RMS)を示している。図が左

右対称に見えるのは 54km の地点で光ファイバーが折り返され、102km 先まで観測を行っているためである。

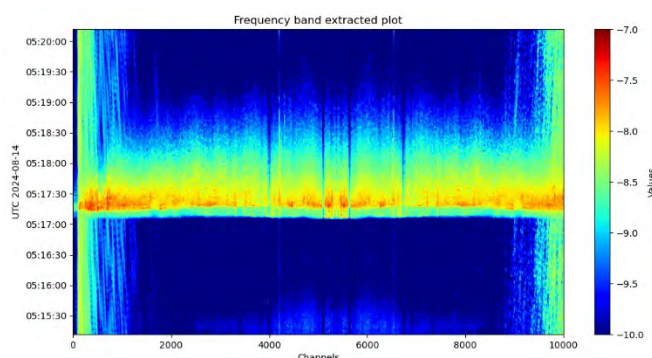


図 1. 地震を捉えた例(M3.0)

DAS ではこのような観測の際にユーザーが設定できる項目がいくつかあり、SN 比、ダイナミックレンジ、分解能等を大きく左右する。以下では QuantX で設定できる主な項目を挙げる。

・キャリアモード

光ファイバーへ入射する光パルスの種類を 1 種類か 2 種類か選択できる。空間分解能を優先させるか、遠方での SN 比を優先させるか等で判断する。

・ping rate

光パルスの入射を繰り返す周波数を示し、500Hz から 10kHz まで選択できる。サンプリングレートは ping rate に対応するが、デシメーション処理により ping rate より小さくすることも可能である。最大値は光ファイバーの全長で制限される。

・チャンネル間隔

空間分解能を示し、1.02m, 2.04m, 5.1m,

10.2m に設定できる。

- **ゲージ長**

位相の基準となる距離を示し, 2.04m から 204m まで設定できる。位相のダイナミックレンジはゲージ長と反比例する。

- **Launch Attenuator**

光ファイバーに入射される光パルスの減衰量を示す。測定したい全長に応じて減衰量を増減させるが、非線形効果が生じないように調整する。

- **Detect Attenuator**

検出器に入射される後方散乱光の減衰量を示す。クリッピングが生じない範囲で、検出される光量が大きくなるように調整する。

なお今回の N-net での DAS 観測においては、チャンネル間隔 10.2m, ゲージ長 102m, 収録チャンネル数 10000, ping rate は 800Hz, サンプリングレートは 200Hz である。本発表ではこれらの項目をどのような考えの元で設定するのかについても紹介したい。

Python を用いた描画ツール

DAS ではこのように観測したいデータやファイバーの性質に応じた設定が重要となる。現場でテスト収録したデータを吟味し、フィードバックができると、より条件の良い観測が可能となる。また、装置の評価をする際にもデータを処理し、描画してくれるツールがあると便利である。そのため Python を用いて以下のような図を描画するツールを用意した。

- ウォーターフォール図 (図 1)
- 歪もしくは歪速度の時系列波形
- スペクトル図
- スペクトログラムの図
- F-k スペクトルの図

- コヒーレンスとフェイズの図 (図 2)

これらのツールを実際に活用した例として、三陸沖海底地震津波観測システムの海底ケーブルを用いて行われた、2 台のインテロゲーターによる同時並行観測について紹介したい。図 2 は小さな地震を 2 台のインテロゲーターで捉えたときのコヒーレンスとフェイズを示している。コヒーレンスの高い帯域でのフェイズを元に、2 台の時刻差が数ミリ秒以下と求まった。

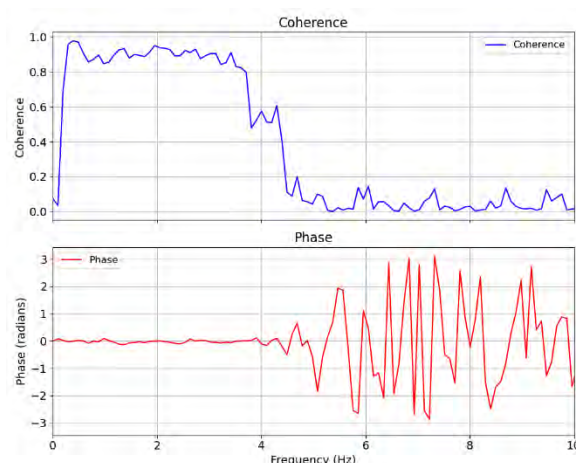


図 2. 2 台のインテロゲーターのコヒーレンス (上)とフェイズ(下)

まとめ

DAS は光ファイバーを歪センサーとして用いることのできる観測装置であり、稠密な地震観測を行うことができる。DAS による地震観測の例および観測時の設定項目について紹介した。また、DAS のデータを描画するツールを準備し、一例を紹介した。

文献

篠原 雅尚, 青井 真, 武田 哲也, 功刀 卓, 植平 賢司, 望月 将志, 田中 伸一, 増田 正孝, 2024, N-net 沖合システムによる分散型音響センシング海底地震観測, 日本地震学会 講演予稿集 2024 年度秋季大会

リアルタイム位置情報システムの試作

○阿部英二（東京大学地震研究所技術部総合観測室）

はじめに

観測航海において、航行中の現在地や船速、次の目的地までの距離、所要時間といった情報は、観測作業やその準備を進める上で欠かせない要素である。これらの情報を表示するシステムは船舶に備え付けられているものの、研究者が作業を行う場や必要とする場所に設置されていない場合が多い。その結果、情報を得るためにモニターのある場所まで移動して確認する手間が生じていた。このような状況を解消し、必要な情報を迅速かつ簡便に取得できるよう、リアルタイム位置情報取得・表示システムを試作した。

Python を用いて新たに開発したプログラムの **Serial2TCP** と **LocationMonitor** は、シリアル通信データの効率的な転送とリアルタイムデータ表示を実現する。

これにより、研究者が船上で迅速に情報を確認できる環境が整い、観測作業中の利便性が高まった。

システム構成

本システムは、リアルタイムで GPS データを取得し、以下の機能を実現することを目的としている。

- ・テキスト形式での位置情報の表示：リアルタイムで更新される緯度、経度、速度、方位を視覚的に確認できる
- ・地図上での現在地と航跡の可視化：地図上で、現在地や過去の航跡を視覚的に追跡できる

本システムは、以下の 3 つの主要コンポーネントで構成される。

1. Serial2TCP : GPS デバイスからの NMEA

フォーマットデータをシリアル通信で受信し、TCP/IP プロトコルで転送

2. **LocationMonitor** : TCP 経由で受信したデータを解析し、画面にテキスト形式で表示するとともにログ記録を行う

3. **QGIS**（地理情報システム（GIS）のためのオープンソースのソフトウェア）：地図上に現在地や航跡をリアルタイムで表示する

各コンポーネントの機能

1. Serial2TCP

Serial2TCP は、本システムのために新たに開発されたプログラムであり、以下の手順で動作する。

- ・NMEA データの受信：GPS デバイスからシリアルポートを通じて NMEA センテンスを受信

- ・データの転送：受信したデータを TCP/IP プロトコルを用いてネットワーク越しに転送

これにより、シリアル通信の制約（単一プログラムによる占有）を回避し、複数プログラムでのデータ共有を可能にする。また、ネットワーク越しでの利用を可能にすることで、他の端末でも同じデータを表示できる柔軟なシステム設計とした。

2. LocationMonitor

LocationMonitor も、本システムのために新たに開発されたプログラムで、**Serial2TCP** から転送されるリアルタイムの NMEA データを受信し、次の機能を提供する。目的地の情報は、CSV ファイルから読み込みリスト化し、適宜選択する。

- ・NMEA センテンスを解析し、緯度・経度・

速度・方位・時刻を抽出

- ・次の目的地までの直線距離や到着予想時刻を計算し表示

- ・NMEA データのログファイルへの記録

3. QGIS

QGIS には、事前に用意した地形データ、観測点、港湾の位置情報などを背景地図として表示する。Serial2TCP から送信される NMEA データは、この背景地図上に重ねて表示されるため、現在地や航跡をリアルタイムで可視化できる。

システムの特徴

1. 即応性の向上

リアルタイムでの情報取得を可能にすることで、従来発生していた確認の手間を削減し、研究者の作業効率向上に寄与する。また、意思決定を迅速に行えるようになる。

2. 構築の簡便性

すべてのコンポーネントが Windows PC 上で動作するため、特別なハードウェアを必要とせず、低コストで構築可能である。

3. 柔軟性

システムの Serial2TCP と LocationMonitor は、特定の用途に特化しつつ、オープンソースを活用して開発されたものである。そのため、必要に応じて容易にカスタマイズや複製ができる。また、ネットワークを介したデータ転送を採用することで、複数の端末で同時に利用できる拡張性を備えている。

システム表示

図 1 に、LocationMonitor の表示画面のサンプルを示す。この画面では、現在地の緯度・経度、速度、方位、目的地までの距離、到着予定時刻などがリアルタイムで更新される。

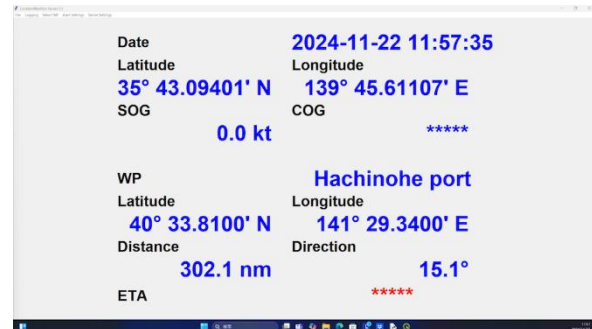


図 1. LocationMonitor の表示例. 緯度, 経度, 速度などがリアルタイムで表示される

今後の展望

1. 専用機器化

現行の Python スクリプトを, Arduino や Raspberry Pi などのデバイスで動作する専用機器に置き換えることで, さらに柔軟な運用が可能になる。

2. LocationMonitor のブラウザ対応

デスクトップアプリケーション型の設計を, ウェブブラウザ上で動作するシステムに拡張することで, スマートフォンやタブレットなど, さまざまな端末での利用が容易になる。

3. NMEA 情報の多目的活用

GPS データの活用範囲を拡大し, 他の観測装置やシステムとの連携を検討する。

4. 耐障害性の向上

システム全体の信頼性を高めるため, 通信エラーやデバイス障害時の自動復旧機能などが状況に応じて必要になる。

まとめ

本システムは, 航海中の位置情報をリアルタイムで取得・表示することで, 観測作業の効率化と利便性の向上を実現した。特に, 新たに開発した Serial2TCP と LocationMonitor は, 柔軟性と拡張性を備えた設計により, 研究者の負担軽減に大いに寄与するものである。今後さらに改良を進め, 幅広い用途での活用が望まれる。

方向探知機によるラジオビーコン電波発信源方位探索の試み ～ 海底地震計回収失敗事例を受けて ～

平野 舟一郎（鹿児島大学大学院理工学研究科 技術部）

海底地震計回収

海底に設置されている自己浮上式海底地震計は、船上からの音響切り離し信号を受信後、錘と地震計を繋げているステンレスまたはチタン製の薄板が強制電蝕により切り離され、60～75 m/min 程度の速度で浮上を開始する。地震計にはラジオビーコン及びフラッシャーが取り付けられており、水深 10 m 以浅に浮上すると個々の水圧スイッチが ON となり、ラジオビーコンは電波を発信する。船上では、この電波を携帯型マルチバンドレシーバーで受信し、地震計が海上に浮上したことを確認する。しかし、浮上位置は不明であり、予め音響測位により求められた地震計の着底位置と船舶の位置関係及び浮上中に行われる音響測距の値（斜距離）より、おおよその浮上方位、距離を予測し、海上を目視で探索する。尚、回収作業が夜間の場合、電波受信による浮上確認に加えて、フラッシャーが発光（水圧スイッチとともにデイルイトセンサが ON となる）する為、暗闇に光が映え、日中に比べ浮上位置の特定が容易である。

海底地震計漂流

鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所（以下、観測所）は 1990 年以降、主に日向灘、甕島周辺海域、南西諸島周辺海域に於いて、大学の練習船を利用（1990 年～2001 年：鹿児島大学水産学部練習船敬天丸、2002 年～現在：長崎大学水産学部練習船長崎丸）し、他大学との共同研究の一環として、毎年度 2 回（2 航海）の海底地震観測を実施している。前述の地震計回収であるが、近年は諸事情により日中に行われることが多い。従って、

海上に浮上した地震計は目視で探索することになる。それでも、乗組員の皆様の多大なご協力を頂き、地震計を漂流するような事は無かった。そのような中、2021 年 4 月、吐噶喇列島悪石島周辺海域に於いて発生した群発的地震活動に伴い、緊急に短期観測型海底地震計 1 台を活動域周辺に設置することとなった。投入は同年 4 月、年度 1 回目の長崎丸（1,131 t）による海底地震観測の為の航海計画を、急遽、一部変更し実施された。回収航海は同年 9 月、十島村高速観光船ななしま 2（19 t）を傭船した。当該船は移動式クレーン等の搭載が無く、作業者は 2 名のみであった為、地震計の探索以上に、浮上発見後の人力に限定された回収方法に注意を奪われていた。更に、投入及び回収航海時の時間的制約より、地震計の着底位置が未測量であった。それ故、投入地点と船舶の位置関係から浮上位置を予想せざるを得ない状況での回収作業となった。当日は音響通信による錘と地震計の切り離しに成功、船舶より半径約 0.3 NM の距離に地震計が浮上したことを、音響測距及びラジオビーコンの電波受信にて確認した。しかし、当該船は練習船に比べて舷が低い（探索する視点が低い）上、作業員 2 名のうち 1 名が船舶のナビゲーション及び船長との連絡員として、つきっきりの状態となった為、実質 1 名で探索する状況となった。尚且つ、波高 1.5～2.0 m 程度のうねりがあり、小型船舶で探索するには容易ではない条件であった。結果、浮上確認後、約 3 時間海上を探索したが発見出来ず、回収を断念した。その間、マルチバンドレシーバーはラジオビーコンのコール信号を絶えず受信していただけに苦渋の決断であった。

方向探知機 (R7 HD)

観測所が海底地震観測に関わるようになった1990年代は、H型のアンテナを備えた小型の方向探知機が使用されていたと記憶している。以降、2000年代に入り次第に見かけなくなった。理由は定かではないが、大学の練習船等、比較的大型の船舶を利用する場合、多人数で高い視点より探索を行うことが可能であり、方向探知機による探索より目視の方が早く発見されるケースが多いことに加えて、探知機の操作に習熟しておく必要があったのではないかと憶測する。以降、20年以上が経過した2022年、九州大学のご厚意により、1999年製の方向探知機 (ORION社製, R7 HD) を借り受けることになった (写真1)。しかし、取扱説明書が見



写真1. R7 HD

当たらないこともあり、観測所でも使われていなかった。そこで、悪石島周辺海域での漂失を受け、また、今回の技術発表を機会に、本機の習得を試みた。本機は前面パネル中央に受信信号のレベルメーターがあり、TONEとSENSEのON/OFFスイッチ、ならびに、SENSITIVITYとVOLUMEの調整ツマミが取り付けられている。TONEをONにするとラジオ音声から信号強度を示す音声出力に切り替わる。電源は9V角形乾電池である。アンテナは約40cm四辺の四角に近いループ型の形状をしており、ループ中央に53cmの棒状アンテナを通して固定する。尚、ループアンテナ正面右側に赤い印 (写真1) があり、その方向に強い指向性を持つことを示唆している。

方位探索の試み

方位探索を試みるにあたり、電波発信源として、観測所が海底地震観測に於いて主に使用しているNOVATECH社製ラジオビーコン (RF-700A3ST) を用いた。送信周波数43.528MHz、出力200mW、電波型式A1A、アンテナ部は1/4 wave whipアンテナである。電波到達距離はカタログ値4～8NMであり、併せて購入元に確認したところ、6NM程度 (周囲環境による) であった。電波経路に障害物があると、反射や透過、回折、干渉等の影響を受けることが推測される。そこで、2025年4月に予定される次航海での実地試験に先立ち、2024年12月以降、陸上観測点保守の機会を活用し、次の3箇所で試験を行った。①横当島 (鹿児島郡十島村 (写真2))、②手打湾 (薩摩川内市下甕町)、③吹上浜 (日置市吹上町)。①は火山堆積物に覆われた無人島であり中腹から山頂にかけての低木の植生以外、障害物は殆ど無い。②及び③は見通しの良い広い砂浜である。本稿作成時点、先に言及したアンテナの赤印側と、その180°反対側の両方向に大まかな指向性を持つことを確認した。



写真2. 横当島に於ける試験

謝辞：九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センターより、方向探知機をお借りしました。嶋野岳人教授 (鹿児島大学大学院理工学研究科) には、ラジオビーコンを背負い横当島東峰山頂に登頂いただきました。八木原寛准教授 (同) ならびに仲谷幸浩特任助教 (同) より、今回の試みに多大なるご理解を頂きました。深く感謝申し上げます。

今後、考察を行い、回収航海を想定した本機実用の可能性について報告する。

伊豆鳥島での地震・GNSS 観測

○渡邊篤志（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

松島 健（九州大学大学院理学研究院 附属地震火山観測研究センター）

はじめに

伊豆鳥島は、八丈島から南へ約 300km に位置する伊豆諸島の南端部に位置する火山島である。地形図上の表記は「鳥島」であるが、同名の「鳥島」や「〇〇鳥島」という島は全国に多数存在しているため、他と区別するために「伊豆鳥島」と呼ばれることが多い。また、どの市区町村にも属していない珍しい土地である。島は直径約 2.7km のほぼ円形をしており、中央に直径 1.3km ほどのカルデラがある。その中に聳える硫黄山の高さは 394m である。絶海の孤島であるため噴火の記録は少ない。1902 年 8 月の噴火ではマグマ水蒸気噴火が発生し、その時島に居た 125 名全員が死亡した。また、1939 年 8 月の噴火では流れ出した溶岩が千歳浦と兵庫浦を埋め尽くし、住民と海軍気象観測所の全員が島を離れた。近年では、2002 年 8 月に噴火が発生し、付近を航行中の船舶から噴煙や火柱が目撃されている。

伊豆鳥島では、2002 年から九州大学により地震観測が実施されてきた。この度、伊豆鳥島での観測を地震研究所が引き継ぐことになり、2024 年 2 月に保守および追加設置の作業を行った。

伊豆鳥島とアホウドリ

毎年秋になると、アホウドリが繁殖のため伊豆鳥島に飛来する。アホウドリは絶滅危惧種Ⅱ類（VU）の大型の海鳥で、最近 10 年間では伊豆鳥島と尖閣諸島（南小島と北小島）および伊豆鳥島から移送した小笠原諸島の鴎島列島（鴎島、媒島、嫁島）でのみ繁殖が確認されている。1880～1900 年代に羽毛採取のために乱獲され

て個体数が激減し、1949 年の調査で絶滅宣言が出されたが、1951 年に中央气象台鳥島測候所の職員により 10 羽が再発見された。1958 年には天然記念物に、1961 年には特別天然記念物に指定され、現在も保護活動が続けられている。伊豆鳥島自体も、鳥獣保護区（1954 年）や天然記念物の天然保護区域（1965 年）に指定されている。2024 年の調査によると、繁殖期の伊豆鳥島では総個体数が約 8600 羽にまで回復していると推計されている。

山階鳥類研究所は、1962 年から伊豆鳥島でのアホウドリの調査・保護活動を行っている。特に、1991 年からは年に数回訪れて精力的に活動しているが、2002 年に噴火してからは上陸調査期間中の安全確認が求められるようになった。そこで、男女群島の女島に NTT ドコモのワイドスターを利用した観測点を構築していた九州大学に、伊豆鳥島での地震観測の相談が持ち込まれたのであった。

観測システムの変遷

伊豆鳥島での観測システムの変遷は、3 つの期間に分けられる。第 1 期（2002 年～）は、山階鳥類研究所のアホウドリカメラの傍に上下動の L-22D を埋設し、カメラ画像の伝送に使用しているワイドスター端末にマルチアダプタⅣを接続して 3 つの回線と 1 つの RS-232C に分岐し、LS-7000 とシリアル通信することでトリガーデータを伝送した（観測点名：TRSM）。このシステムは、2012 年 3 月のワイドスターのサービス終了によりオフライン観測状態となった。

第 2 期（2015 年～）は、オフラインとなっ

た TRSM の観測を継続しつつ、旧地震計室に上下動の L-4C と気泡管式傾斜計 701-2 を設置し、ワイドスターⅡ 端末にテレメータボードのファームウェアを改造した HKS-9700 を接続して、CF カードに記録された連続記録の中から指定したデータファイルを取得するデマンド方式とした（観測点名：TRSD）。連続データが記録されている CF カードは、アホウドリ調査隊に交換を依頼している。

第 3 期（2024 年～）は、それまでの観測を継続しながら TRSM のロガーを LS-7000 から LS-8800 へ変更して連続記録を可能にすると共に、オフラインの広帯域地震計と GNSS 受信機を設置して連続観測を開始した（観測点名：TRSE）。これにより、地震計の固有周期や感度は異なるものの、一辺が約 110m の三角アレイとなった。

TRSE の新設

2023 年 10 月 9 日に鳥島近海で津波が発生したこともあり、引き継ぎのため現地確認をしに伊豆鳥島を訪れる際に広帯域地震計を設置することになった。ただし、漁船からゴムボートに乗り換えて上陸し、全ての物資を標高 90m の気象観測所跡まで徒歩で荷揚げするため、重く繊細な機器の輸送は困難で、土壌の酸性度が高く金属が腐食しやすい環境であることも考慮して、地震計は Trillium Compact Posthole 120s を採用し、塩ビ管で自作した密閉ケースに納めて埋設することにした。ロガーは LS-8800 で、32GB の SD カードに記録する。測地用の GNSS 受信機は GEM-2、アンテナは PolaNt-x MF である。地震計は放球台と思しき

コンクリート台の脇に埋設し、GNSS アンテナは旧オゾン観測所の屋上に設置した。屋上には使用されていないソーラーパネルがあり、電源にはこれを利用した。ロガーや受信機等はペリカンケースに納め、旧オゾン観測所の奥の壁際に設置した。観測開始は 2024 年 2 月 18 日である。この観測点もオフライン観測なので、アホウドリ調査隊に SD カードの交換を依頼している。

発表では、この TRSE 観測点の設置を中心に紹介する。

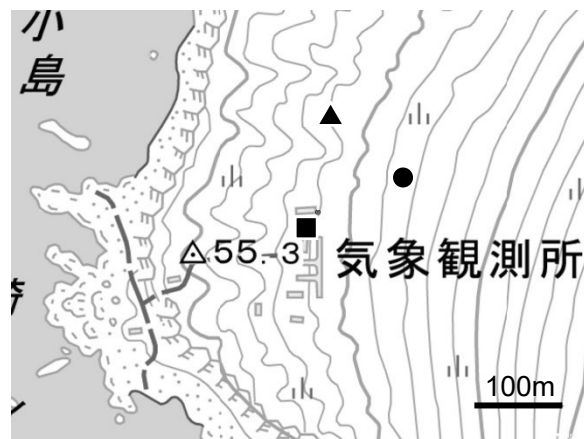


図 1. 観測点の配置図.

● : TRSM, ▲ : TRSD, ■ : TRSE

文献

気象庁 編, 2013, 日本活火山総覧（第 4 版）
Web 掲載版 68. 伊豆鳥島 Izu-Torishima,
https://www.data.jma.go.jp/vois/data/filing/souran/main/68_Izu-Torishima.pdf（参照 : 2025-01-09）.

リモートモニタリング地震観測システムを用いた機動地震観測装置の構築

○佐伯綾香・藤田親亮（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

浦野幸子（東京大学地震研究所 技術部技術開発室）

はじめに

地震研究所では、定常的に地震を観測する定常観測業務と余震観測を行うなど臨時的に観測を行う機動観測業務がある。この機動観測業務では、緊急で複数の観測点を設置する場合が多い。よって観測装置は軽量で、簡便に設置できることが重要である。これまで機動観測ではオフライン観測を行うことが多かったが、携帯電話回線の普及によりオンライン観測を行うことができる環境が整ってきた。株式会社NF計測技研では、4G LTE 回線でオンライン運用可能なリモートモニタリング地震観測システムが開発され、販売されている。今回はこの基本パッケージを用いて、より軽量で現地作業が容易になる観測装置を構築したので報告する。

仕様

構築にあたり、下記の仕様を目標に部材選択を行った。

1. 携帯電話回線を用いたオンライン観測
2. 女性が持ち運べるくらいの重量（本体：10kg 以内を想定）
3. 観測経験者であれば、誰でも設置できる
4. 外部電源なしで2週間程度は観測できる
5. 屋外設置可能で、長期観測に備え太陽光パネルを増設することができる

なお 3～4 は白山工業社製 DATAMARK JS13220 機動観測装置を参考にした。

使用機材

収録機器は、株式会社 NF 計測技研社製 HKS-9700 を使用し、バッテリーはリン酸鉄リチウムイオンバッテリーの 30Ah、防水ケー

スは Pelican 社製 V300 を使用した。地震計は Lennartz 社製 LE-3Dlite と Trillium Compact を選択して使用できるようにケーブルを2種類作製した。太陽光パネルは YMT ENERGY 社製 MSP8W12V を使用し、チャージコントローラーは電菱社製 Solar Amp mini を使用した。



写真1 外観

観測

まずはテスト観測として電力消費量の高い Trillium Compact を使用し、太陽光パネル接続なしで観測を行った。結果は3週間以上観測が可能ということが分かった。

次に実際に太陽光パネルも接続し、新潟県にて臨時観測を行った。2022年4月12日に設置し、2022年8月29日に撤収した。途中梅雨の期間や台風に見舞われたが、観測は途切れることなく行われた。本体の重量は7.7kg、太陽光パネルは1.3kg、地震計は1.9kgで計10.9kgであり、女性でも一人で運搬することができる。またコネクタ形状を1つ1つ変えることで繋ぎ間違いなどなく簡単に設置することができた。

地震計博物館拡充に向けた取り組み

○宮川幸治（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

はじめに

地震計博物館とは、地震研究所 2 号館 B18 号室にある、以前は「地震計展示室」と呼ばれていた部屋のことである（図 1）。その始まりであるが、当初は萩原尊禮・表俊一郎・高木章雄・村内必典・茅野一郎・唐鎌郁夫らが今よりも規模の大きな「地震計博物館」構想を立ち上げ、各大学に地震計現存調査をしたが、場所・資金等の先が見えず立ち消えとなった。それでも規模を小さくして地震研究所内で地震計展示室を作り、茅野一郎・唐鎌郁夫らにより展示機器の収集や配置、展示物説明パネルの作成等が行われ、また地震計展示室パンフレットも 1986 年には作られていた（唐鎌郁夫氏、私信）。

地震計展示室のパンフレットは 2013 年に大きく刷新されるが、その時に表紙のタイトルを「東京大学地震研究所 地震計博物館」とした。地震計博物館という呼び方は、この頃には一般的となった。

地震計博物館は、展示物の大きな更新がないまま長く利用されていたが、説明パネルの劣化が進み、また展示物も数が多く雑然として来ていた。そこで 2015 年に酒井慎一・宮川幸治・渡邊篤志・福井萌などが中心となって模様替えを行い、説明パネルやパンフレットの更新も行った。その際に、展示品は地震計のみで構成することとし、展示品数も 3 割ほど減らした。

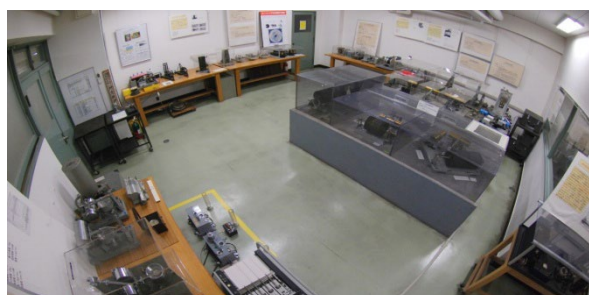


図 1. 地震計博物館（2 号館 B18 号室）

地震研 100 周年

地震研究所は、1923 年の関東大震災を契機に 1925 年 11 月 13 日に創立された。2025 年は創立 100 年となることから、さまざまな 100 周年事業が検討されている。その 1 つに「地震計博物館の展示拡充」があり、その取り組みに参画することとなった。現在、「バックヤード・展示エリアの拡充」と「展示地震計の拡充（萩原式電磁地震計と今村式 14 年型単微動計の収集）」に取り組んでいるので、その紹介をする。

バックヤード・展示エリアの拡充

希少価値のある古い地震計などの機器は年々増えていくが、それらを所蔵するスペースがこれまで殆どなかった。そこで、地震計博物館の廊下向いに位置する 2 号館 B09, B10 号室を、バックヤード・展示エリアとして利用するべく協議を行い、殆どのスペースを利用できることになった。2023 年から 2024 年にかけて部屋の片付けと清掃及び修繕を行い、現在、レイアウトや利用方法について協議を進めている。

南極で使用されていた萩原式電磁地震計 (HES) の収集

展示地震計拡充の検討を進めていた頃に、地震研究所 OB で国立極地研究所名誉教授の神沼克伊氏から、南極で使用されていた萩原式電磁地震計 (HES) 提供の申し出を受けた（図 2）。

HES は、地震研究所の萩原尊禮教授により 1956 年に開発された、電磁式地震計と光学式記録計（フィルムに感光させて記録する方式）からなる装置であり、地震研究所が提供した HES が、1959 年第 3 次日本南極地域観測隊や 1961 年第 5 次観測隊の際に、昭和基地に設置されていた。この度、当時設置された HES 地

震計の水平動（南北成分），及び HES 記録計を譲り受け，2024 年 7 月 5 日に国立極地研究所の保管庫から地震研究所に運搬された。



図 2. 譲り受けた萩原式電磁地震計（HES）の記録部（左）と南北動地震計（右奥），及びアストロコンパスとその木箱（右手前）

約 100 年の歴史を持つ「今村式 14 年型簡単微動計」の収集

価値ある古い地震計について，地震研究所 OB の唐鎌郁夫氏に相談した所「広島観測所に今村明恒が実際に使用していた今村式 14 年型簡単微動計が展示されている筈だ」とのことだった。確かに，広島観測所の玄関付近には煤書き記録方式の機械式地震計が展示されていた（図 3）が，広島観測所は無人化して 10 年以上経過しており，現役の技術職員は誰もこの古い地震計の由来を把握していなかった。

唐鎌氏の助言を元に関係者に当たった結果，この地震計の約 100 年にわたる由来がほぼ判明した。その詳細は（橋本，2025）を参照頂き



図 3. 今村式 14 年型簡単微動計

たい。地震計博物館に展示するべく，2024 年 7 月 18 日～19 日に広島から運搬された。

おわりに

地震研 100 周年に向けて，バックヤード・展示エリアの拡充を進め，また歴史的価値のある HES や今村式 14 年型簡単微動計などの収集を進めた。展示エリアの拡充に伴い，展示物全体の見直し，レイアウトの変更，パンフレットの改訂などが必要となるので，今後進めていきたい。またできるだけ実働展示できるよう，修復作業も進めていきたい。

地震計博物館は，唐鎌郁夫氏らが残して下さったパンフレットや説明パネルのおかげで，展示物の歴史や素性が良く分かり，今もアウトリーチ活動に有効に活用させて頂いている。このような先人の功績に感謝しつつ，現役世代もできるだけ書き残すことで後世に引き継いで行ければと感じた。

謝辞

地震計博物館の拡充に向けた活動は，地震研究所 100 周年事業の助成を受けて実施しています。また運搬作業や片付け作業などは技術部の皆様のご支援を頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

地震計博物館パンフレット，

https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2024/03/eri_seismometers_museum.pdf（参照：2025-01-10）。

地震研究所基金，[https://utf.u-](https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt183)

[tokyo.ac.jp/project/pjt183](https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt183)（参照：2025-01-10）。

橋本匡・宮川幸治・内田正之，2025，今村式 14 年型簡単微動計の起動器の部品製作とオーバーホール，東京大学地震研究所職員研修会。

桜島火山防災研究センターでの無人機活用について

○竹中 悠亮（京都大学防災研究所 技術室）

はじめに

桜島火山防災研究センター（旧火山活動研究センター）では、2022年8月に実施した口永良部島山頂付近観測点の被災状況確認で初めて無人機を利用し、その後も少しずつ無人機活用の機会が増えてきている。

そこで、今まで私の関わった3件の無人機を活用した観測について紹介する。



図1.口永良部島山頂観測点

口永良部島山頂観測点の被災状況確認

2022年5月に口永良部島の噴火警戒レベル1の発表があり、火口周辺の立ち入り規制が解除された。そこで、2022年8月に口永良部島山頂観測点(図1参照)の被災状況の確認を実施した。

被災状況調査をするため、古岳観測点を無人機の発着地点として、SDE,SDN,SDW,KUC,P3の被災状況調査を実施した。ほとんど観測の跡は残っておらず、土砂に埋もれている状況だと判明した。幸うじてKUCのみ観測で使っていたポールが残骸を発見することができた。(図2)このような状況においても観測点座標から、ルートを作成しておいたことで、迷うことなく観測点周辺の環境調査を実施することができた。

火口周辺の複雑な地形においても地形に左右されない無人機は、被災状況調査にとっても有効であった。

無人機での調査後、古里観測点から徒歩でアクセスできるF657,SDE,SDN,SDWへ移動し、現地調査を実施した。SDW付近において、無人機での被災状況確認では気付かなかった斜面崩壊が確認できた。



図2.KUC被災前後の観測点風景

西道沖変色域調査

西道沖変色域調査では、海水の変色域の状況を空撮することで確認し、熱赤外カメラで海水温の変化を確認した。

調査の結果、海水温の変化は見られなかった。

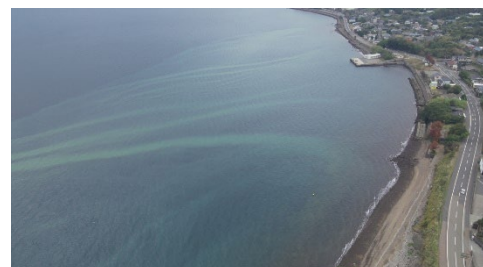


図3.西道沖変色域の様子

桜島昭和火口・南岳火口調査

まず、黒神河原から昭和火口への飛行を試みた。申請できた高度上限（地表から500m）では、昭和火口内を空撮することはできなかった。

火口周辺を熱赤外カメラで撮影したが、逆光や山体が太陽光により熱せられたことが原因で、観測にならなかった。

次に、標高の高い北岳付近から北岳山頂及び昭和火口、南岳火口への飛行を試み、火口内を撮影することができた。火口内の空撮ができたので、火口内の熱赤外観測も実施した。

DJI Thermal Analysis Tool3 を利用して熱赤外観測で撮影した画像を解析したところ、南岳 A 火口及び南岳 B 火口、昭和火口周辺の地表温度を測定できていることが確認できた。



図 4.桜島昭和火口(2024 年 9 月撮影)

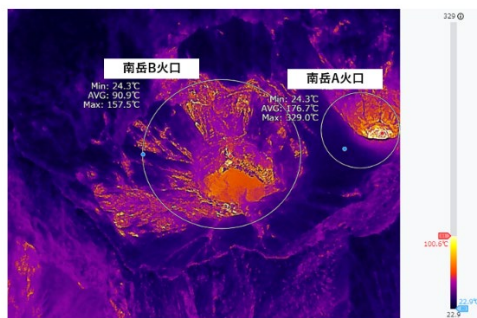


図 5.桜島南岳 A 火口及び B 火口熱赤外画像
(2024 年 9 月撮影)

今後について

火口上から空撮ができることが分かったの
で、サンプル回収装置を考え、サンプル回収実験
をしたいと考えている。

桜島火山観測所における自然災害発生後の対応

○園田忠臣・竹中悠亮

(京都大学防災研究所 技術室 勤務地：火山防災研究センター)

はじめに

京都大学防災研究所附属火山防災研究センター桜島火山観測所（以下、桜島火山観測所）がある鹿児島県では、これまでも様々な災害が発生している。例えば、梅雨時期には、豪雨による災害が発生し、早ければこの頃から台風襲来による災害の発生、時折発生する強風により災害が発生することもある。加えて、地震の発生や桜島火山の噴火の影響を受けることもある。これらの自然災害が発生したあとに真っ先に確認するのが、各観測点からのデータ伝送が正常に行われているかということである。これまでも桜島火山観測所では、データ伝送が正常な状況であっても、大きな被害が及んだと考えられる自然災害が発生した後は、すぐに各観測点の状況確認に現地まで行くことにしている。今回は、2024年に発生した地震と台風襲来後の対応について報告する。

令和6年8月8日 日向灘地震

令和6年8月8日16:42に、日向灘を震源とする大きな地震が発生した。地震の規模を表すマグニチュードはM7.1、震源の深さは31km、宮崎県日南市において最大震度6弱の地震が発生した。桜島火山観測所でも携帯電話への緊急地震速報の通知があり、大きな揺れを感じた。桜島島内でも震度5弱の揺れを観測した。この地震を受けてすぐに、各観測点からのデータ伝送状況の確認をしたが、この時は幸いにして、各観測点からのデータ伝送の異常は確認されなかった。しかしこれだけでは、観測室への影響が無かったのか判断することが出来ないの

で、翌日から震源地の方面にある観測室の状況確認に向かうことになった。

観測室の確認

ここの観測室は、国有林の中で借地している観測室になり、車を駐車してから5分程度林道を歩いた位置に設置されている。以前から倒木も多数確認されている場所になるが、国有林の中なので、自分たちで環境整備をすることが簡単にはできない地域になる。今回の地震を受けて、観測室までの林道を歩いていくと、新たに発生したと考えられる倒木があり、それが観測室まで引き込んでいる電力線と通信線に掛かっていることが確認された（図1）。但し、この倒木が今回の地震で発生したものなのかの判別はできなかった。

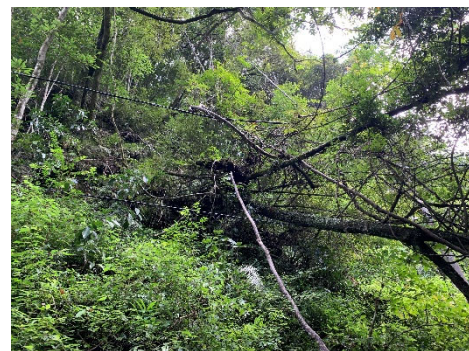


図1. 観測室までの林道での倒木状況

観測室に到着後、外観および室内の確認をしたところ、外観への異常はないことが確認された。また室内においては、無数のクラックが入っていることが確認されたが、先ほどの倒木同様、今回の地震で入ったクラックなのか判別がつかなかった。観測室の確認が終わり、最終確

認のため観測所へ連絡を入れたところ、短周期地震計の水平動（N-S 成分）について、地震発生後から地震波形の異常が確認されたので、地震計の確認をして欲しいとの伝言があった。そこで、短周期地震計のケースを開けて調整をしたところ、異常は解消された。この時の原因は大きな地震の揺れによる、コイルの引っ掛かりだった。

令和 6 年 8 月 台風 10 号

令和 6 年 8 月 28 日から 30 日にかけて、鹿児島県は台風 10 号の接近、上陸、通過があった。台風が近づく前の 8 月 27 日に台風対策として、観測所本館周辺の物の収納や飛散しそうな物の固定などを実施していた。またその他の観測室についても同様に確認作業に行ったところ、ハルタ山観測室にて既に台風による風の影響が出始めていた。

ハルタ山観測室とハルタ山観測坑道の間には、データ伝送を担っている光通信ケーブルが敷設されている。この通信線に倒木がかかり、その影響でケーブルの緩みと固定具の破損による金具の損傷が発生し、ケーブル固定用電柱の傾きが確認された（図 2）。急ぎ現場の状況をまとめた資料を作成し、施設整備掛へ報告した。



図 2. 光通信ケーブルへの倒木状況

台風通過後の観測点点検

台風通過後の 8 月 30 日から、桜島島内及び鹿児島県本土に設置してある各観測点の状況

を確認するために 3 班に分かれて点検に向かった。今回の台風は、薩摩半島側沿いを北上後、薩摩川内市に上陸し、その後通過していった。この経路に近い観測室において、大きな被害が発生していたことが分かった（図 3）。



図 3. 加治木観測室の被災状況

ここの観測室も国有林の中に設置されており、今回の台風の影響を受けて、観測室周辺に植林されている杉の倒木により、観測室屋根の化粧板の剥離破損と電力線及び通信線の引き込み柱が折れ曲がり、通信線の断線が発生していた。幸い、電力線は断線しておらず、データ伝送ができていない原因を特定することができたが、被害としては大きなものだった。現在も観測室に受けた災害復旧に向けて、復旧工事の継続中である。そのほかの観測室及び観測点については、台風の影響による被災は確認されなかったが、台風通過後すぐに確認作業を行ったため、一部の道路については、通行止めにより後日、改めて確認に行った観測点もあった。

まとめ

桜島火山観測所では、今回のように自然災害が発生した後はすぐに各観測室等の現場状況確認に行くようにしている。データ伝送が正常でも、建屋への被害は現場に行かなければ分からないし被害を受けていた場合は、早急に対処するために必要なことである。研究観測を続けていく上でも観測室や観測点の保守は、とても大切なことと考えている。

御嶽山南麓の地震観測網強化について ＝満点観測点を利用した通年テレメータ観測＝

○堀川信一郎（東海国立大学機構名古屋大学 全学技術センター）

概要

火山である御嶽山の南麓は 1970 年代から発生している群発地震や 1984 年の長野県西部地震の震源域でもあり、名古屋大学が地震・火山活動の研究を進める主要な地域であるが、山深いことから電源や通信手段の確保が困難な場所が多く、定常テレメータ観測点をおける場所は限られている。特に南麓を流れる王滝川の南側にはいずれの機関の定常テレメータ観測点も無く、観測の空白地帯となっている。他方、京都大学防災研究所では 1995 年より飯尾能久氏らにより南麓から東麓にかけて稠密なオフライン観測（満点観測）を行っていたが、同氏の退職に伴い 2022 年までに終了した。

近年の携帯網拡大や観測機器の小電力化により、テレメータ運用の可能性が高まっていることから、今回、満点観測点（もしくは近傍）の一部をテレメータ観測点として引き継ぐことを検討した。最終的に旧満点観測点から 4 点、近傍から 1 点の計 5 点を選定し、2023 年からの 2 カ年で設置を完了、間欠テレメータの運用を開始したのでこれを報告する。

引き継ぎ観測点の選定

観測点の存在しない王滝川南岸と近年注目している王滝川北岸の群発域を強化対象に定めた。観測は太陽光独立電源と携帯回線で行うため、候補地の日射と電波強度の有無を確認して引き継ぎ観測点を選定した。ひと昔前は木曽地域での携帯サービスは docomo のみと言って良いほどであったが、現在、広域性という意味では au と SoftBank がむしろ優勢である（私感）。選定した 5 点の内、docomo を

選択できたのは 1 点のみである。特に電波が弱い南岸の 3 観測点では 2 週間程度の通信試験を行なった。試験は実際の運用と同じ機材・伝送手法を用いて、1 時間毎に直近 1 時間分の WIN ファイルを転送する間欠テレメータである（後述）。またアンテナ設置箇所の判断材料や経験的な通信限界の把握を目的として使用基地局の所在確認を行った。

日射判断については 1 点で日射時間の見積もりを誤り、移設が必要となった。日射時間は太陽高度・方位と地形から予測できることであり、感覚に頼ったことが原因である。少なくとも夏至と冬至での日射環境を現地で把握することができれば間違いが起きにくい。

間欠テレメータ

狭い林道脇の限られたスペースで行う観測であるので、設備は小規模にすることが望ましい。現在、御嶽山山頂で使用している小型テレメータ装置 HKS-9710N（計測技研製、図 1 a）は、この目的に適しているが（平均消費電力 0.2W）、docomo 回線以外は使用できず、今回 1 点のみの使用となった（図 1b）。au、SoftBank 回線が必要な 4 観測点ではモバイルルータ NXR-G110/L（CenturySystems 製）とロガー HKS-9700（計測技研製）を使用し、間欠テレメータを行うシステムを新たに構築した。1 時間毎の間欠テレメータであれば、平均消費電力を 3W 未満に抑えられる。無日照で 2 週間程度の観測を可能にするため、鉛バッテリーには 12V、80-100Ah、ソーラーパネルには 100-120W を選択した（図 1 c-f）。

モバイルルータはスケジュール動作により毎

時決められた時刻に起動，大学に 10 分間 VPN 接続する．大学側のサーバはロガーに対し ftp 接続してデータを収集，伝送完了次第，ルータにスリープコマンドを送ることで観測点の電力消費を最小限に留める．

設置

今回の観測に用いる地震計は全 5 点において L-4C-3D を用いた．4 点においては岩体上に設置，1 点を半埋設（完全には埋めない設置）とした（図 1 g）．半埋設は表土（植生等のある柔らかい層）が薄いことが条件とはなるが埋設に比べ，コネクタ部に水が長時間滞留するようなリスクが低い．設置調整を浅い位置（手元）で作業でき，設置後の水平状態などの確認も容易になる．保守・管理性が良く，選択肢の一つとなっている．地震計カバーには雨水ます用のアジャスターを利用している（図 1 h）．高さ調整用の部材であるため，設置条件に合わせて現場で調整・加工ができるのが利点であるが，紫外線には強くない．

ソーラーパネルは 3 点において岩体壁面固定，2 点で架台による設置となった．架台には単管パイプを使用した（図 1 i）．積雪対策として高さが必要であること，入手が簡単であること，

重量が適度に稼げることから，今回初めて採用した．当初考えていた以上にパネルの増減や，取り付け位置，角度調整に自由度を持たせることができた．

設置作業では御嶽山火山マイスターに協力してもらった．ケーブルの敷設が 50m 以上になることもあり，人手を提供してもらう代わりに，木曽地域における地震観測の簡単な講義や機材の紹介，実際の設置体験の場を提供した．交流機会としてだけではなく，自分たちが設置した地震観測点のデータをモニタすることや，データが実際に震源決定や地震研究に使用されるという達成感を通じて，大学の観測や研究に興味を持ってもらう目的で企画した．

現況

2023 年 11 月に設置した観測点のうち，2 地点は通年観測に成功，1 地点は日射不足により 2024 年 10 月に移設した．2024 年 12 月までに 2 地点の設置を終え，現時点で問題なく運用できている．

なお，本研修会のポスター会場における名古屋大学のアウトリーチ活動の紹介で，この設置作業のムービーも展示する予定である．

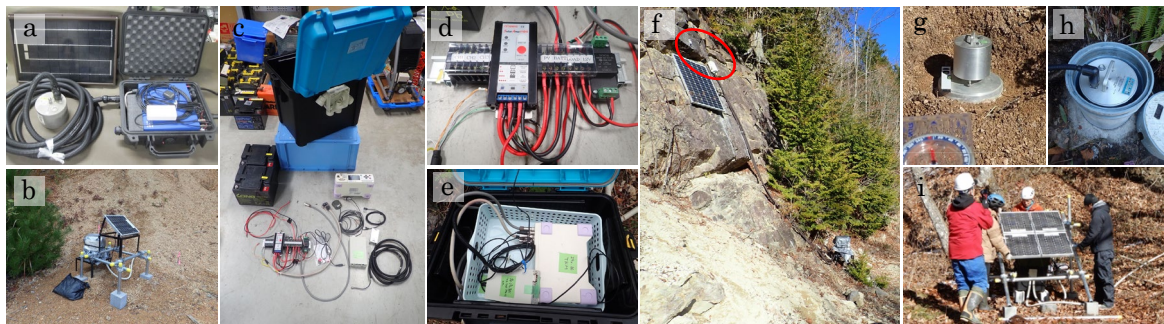


図 1．a) 小型テレメータ観測装置 HKS-9710N による観測機材一式．docomo が使える観測点で使用．b) a を使用した観測点．25W パネル 1 枚で運用．c) au/Softbank 利用観測点の機器ボックスと収納機材．下段にバッテリー (40Ah x2)，d) 中段に端子台と充放電コントローラを収納し，e) 上段に HKS-9700 とモバイルルータを収納．f) au/Softbank 利用の観測点の 1 つ．電波が弱いのでルータとアンテナも高い位置に設置．g) 地震計の半埋設設置．20cm ほど掘り込みアルミベース（スパイク付）を基台とした．h) 地震計カバー．排水ますのアジャスターを使用．i) 単管パイプによるソーラーパネル架台．御嶽山火山マイスターが 25Wx4 枚のパネル取り付け作業中．

数値シミュレーション結果の 3D モデル化

○浦野幸子（東京大学地震研究所 技術部技術開発室）

鈴木雄治郎（東京大学地震研究所 数理系研究部門）

はじめに

技術開発室（開発系）では機器の試作・開発を通して、地震研究所内の観測・実験研究の技術支援を行っている。2020 年に 3D プリンタを導入してからは機器だけでなく模型の製作依頼も受けるようになった。今回、数値シミュレーション結果からの 3D プリントを行った（図 1）ので、その 3D モデルの制作過程を紹介する。



図 1 製作した模型

対象の数値シミュレーション結果の特徴

3D モデル化の対象は火山の噴煙の広がりをシミュレーションした結果である。計算格子の間隔は一定ではなく、火口付近で間隔が細かくなっている。対象領域も高度の低い部分では狭いが、高度の高い部分では広い面積に対して計算を行っている。しかし高度によって格子数が増えることはなく、六面体の構造格子で構成されている。この格子一つ一つに対して噴煙濃度が記されている。

開発室所有の 3D プリンタでは濃度の表現は不可能なため、濃度にしきい値を設け、しきい値以上の濃度の部分を造形することとした。計算格子から濃度がしきい値を超える座標値を抽出することで造形対象の点群を得ることが

できる。この点群に対し 3D スキャナから得られるデータと同様の処理を行い、3D モデルを得ることを試みた。

点群処理の問題点

点群処理ソフトは Mesh Lab を使用し、BallPivot 法を用いてメッシュの生成を行った。BallPivot 法は点群の表面にボールを転がす計算を行い、接触した 3 点に面をはっていく手法である。通常ボールの径は点群の間隔から適した値を求めるが、今回の点群は火口付近とそれ以外で間隔が異なっているため一つの値では全体にメッシュをはることができなかった。この問題に関しては、ボールの径を変えて複数回計算を実行することで解決することができた。

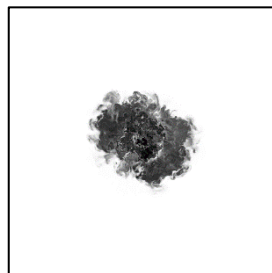
上記の手法では、生成されたメッシュの法線方向が揃わないという問題が生じた。BallPivot 法に限らず点群から面をはる場合、それぞれの点の法線を推定するという工程があるが、この段階で問題があるようだった。3D スキャナで得られる点群は形状の表面のみに存在しているのに対し、今回の点群は形状の内部にも点が存在しているため、法線を正しく推定できなかったのではないかと考え、点群から内部の点を取り除くこととした。

輪郭抽出の手順

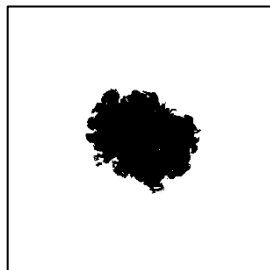
今回のデータは z 方向（高度）が一定の面毎にソートされたデータだったので、 z 方向が一定となる断面で計算格子 1 個が 1 ピクセルになるような二次元スライス画像を作成し、その画像に対して輪郭抽出を行った。

画像の生成および処理は OpenCV（画像処理

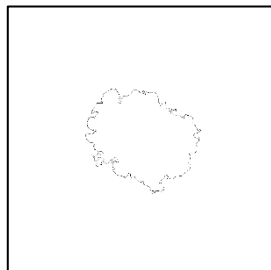
ライブラリ)を用いた **python** プログラムを作成して行った. 図 2(a)に, ある断面での二次元画像を示す. ここで噴煙濃度が画素の濃度になるように変換している. この画像に対して, 噴煙濃度のしきい値での二値化(図 2(b))と輪郭抽出(図 2(c))を行い, 座標値に戻した. こうして得られた輪郭だけの点群が, しきい値面の二次元断面となる. この点群を z 方向に重ねたが, z 方向の勾配が大きい箇所では点の配置が粗くなるという問題が発生した.



(a)二次元画像



(b)二値化



(c)輪郭抽出

図 2. 二次元画像の例と処理

そこでまず、噴煙濃度の値を線形補間し, xyz それぞれの方向で格子間隔が一定となるようなデータを用意した. このデータについて z 軸と y 軸の 2 方向の断面スライス画像を作り, その両方に対して二値化と輪郭抽出を行うことで粗密のない, 表面だけの点群データを作成した.

この点群データに対して **BallPivot** 法の処理を行うことで, 3D プリンタで造形できるモデ

ルを得ることができた.

医療用ソフトウェアの使用による 3D モデル化

医療分野で CT 画像からモデル化できるソフトウェア (**3D Slicer**) があることを知り, このソフトを使用してのモデル化を試みた.

先の輪郭抽出の過程で断面スライス画像を作成していたのでこれを用いたところ, 簡単にエラーのない 3D モデルを得ることができた. また, 点群処理でモデルをつくる方法では, 噴煙濃度のしきい値を変えるたびに二値化・輪郭抽出・座標値への変換作業が必要であったが, しきい値の設定も **3D Slicer** 内で設定することができた.

その後, 別の火山噴煙シミュレーション結果についても 3D プリントの依頼があったので, 初めから **3D Slicer** の使用を前提として二次元スライス画像を作成し, 問題なく 3D モデルを得ることができた.

まとめ

シミュレーション結果を 3D プリントできるモデルに変換するには, 3D スキャナの点群からモデル化するのは違った手順をふむ必要があった. 3D の計算格子が複数の断面スライスに分割できる場合, 断面スライス画像を生成することでより簡便に 3D プリント用のデータに変換することができる.

参考

3D Slicer ,<https://www.slicer.org/> (参照 : 2024-11-12)

Mesh Lab ,<https://www.meshlab.net/> (参照 : 2024-11-12)

ワイヤーソーの使用目的に最適化させた治具の開発

○竹内昭洋・内田正之（東京大学地震研究所 技術部技術開発室）

平賀岳彦（東京大学地震研究所 物質科学系研究部門）

はじめに

ダイヤモンドワイヤーソー（以下、ワイヤーソー）とは、ダイヤモンド粒子を表面に接着させたワイヤーが刃として働く鋸である。DIY で使われる手軽な工具（いわゆる糸鋸）から、建造物を解体撤去する際に使われる巨大な装置まで、様々なタイプが存在する。地球科学の分野でも、このワイヤーソーが使われることがある。ワイヤーを精密に動かすことができる装置であれば、カッティングロスやバリを少なくでき、切断面も綺麗に仕上げられる。貴重な試料や小さな鉱物を慎重に切りたい時には威力を発揮する。ただし、そのような装置は非常に高価であり、気安くは設備投入できない。

そうした中、長年使用されずにいたワイヤーソーの装置（Well 社製 3241）が他研究室から譲渡されることになった（図 1）。しかし、紛失しているオプションがあったり、使い勝手を良くするために取り付けたいオプションがあったりした。本体同様これらオプションも高価であり、そもそも現行品がうまく装着できるとも限らなかった。そこで、この研究室での使用目的に最適化させた治具を開発し、装置を改造することにした（図 2）。治具の自作に際しては、Autodesk 社製の Fusion を用いて 3DCAD 設計し、機械工作機（池貝社製 TVU-4 やソデック社製 AQ327L 等）を用いて加工した。

テーブル位置決め用ストッパー

マイクロメーターを備えたテーブルを、カットしたい試料の形状やサイズに合わせて、装置本体の任意の場所に取り付ける仕様となっていた。しかし、この研究室で取り扱う試料のサ

イズ（数 mm から 10mm 程度）はおおよそ決まっているため、後述の試料ホルダーに試料を貼り付けた際にワイヤーが試料の中央に来るような位置にテーブルを取り付けられる位置決めストッパーを自作した。

マウンター

本装置は同シリーズの他製品とは異なり、試料の向こう面からワイヤーが当たる仕様となっていた。このままではワイヤーの当て処を微調整するのも、カットされていく様子を観察することも難しかった。そこで、試料を手前側に向けて固定することのできるアーム状のマウンターを自作した（図 3）。これに合わせて、装置の傾斜を向こう側に倒し、ワイヤーが試料の手前面から向こうへと進むように変更した。ただし、傾斜変更により、接近センサーによる終了検知と自動ストップはできなくなった。

試料ホルダー

この研究室がワイヤーソーに期待したのは、小さな人工岩石試料を並行・直角・45 度にかッティングロスを少なくカットすることである。他の任意の角度にカットする予定はない。カットした試料を変形実験や電子顕微鏡観察に使うからである。そこで、試料を 0 度・45 度・90 度のみに回すことのできる試料ホルダーを自作した（図 4）。カットしたい試料をこのホルダーに貼り付け、いくつかあけてあるネジ穴を選んで上述のマウンターに固定すればカットする角度が決まる。

場合によっては、焼結した人工岩石試料の形状・サイズもそこから切り出す試料のサイズも

決まっている．これに最適化した試料ホルダーも自作した（図 5）．ホルダーの所定の場所に予め溝を掘ってあるので，ワイヤーソーが完全に試料をカットしたかどうかを目視できる．

水槽

本装置は，対象物にあわせて，乾式または湿式でカットすることが選べる仕様となっていた．湿式の場合には，プーリーを水に浸す水槽を装置本体に引っ掛けて設置する．しかし，この水槽が紛失していたので，代わりの水槽を自作した．ただし，アクリル板をボンドで貼り付けた物なので強度に少々不安があった．そこで，浮いている水槽の下に柱を足し，自重に耐えられるよう工夫した．

おわりに

自作した治具をフル装備した改造ワイヤーソー装置（図 2）で，実際に人工岩石試料を湿式でカットしてみた．ワイヤーが試料に当たる箇所もカットしていく様も視認でき，この研究室の目的に限った使い勝手としては特に問題はなくなった．

今後とも必要が出てくれば，個々の目的に最適化させた試料ホルダーを自作し，ワイヤーソーの使い勝手を更に向上させていく予定である．

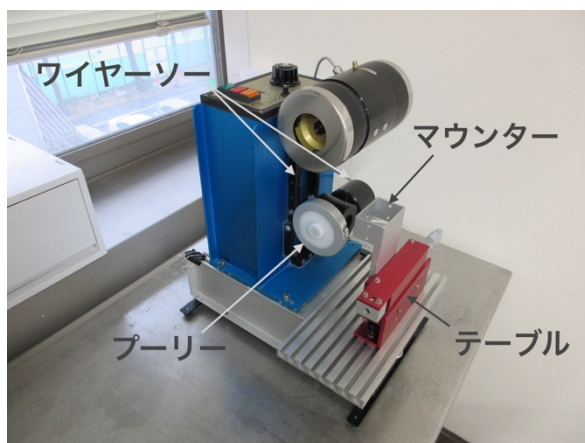


図 1. 多機能ダイヤモンドワイヤーソー
(譲受時)

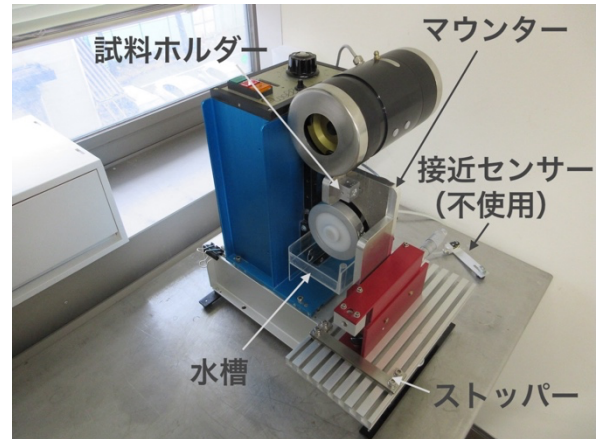


図 2. 多機能ダイヤモンドワイヤーソー
(改造後)

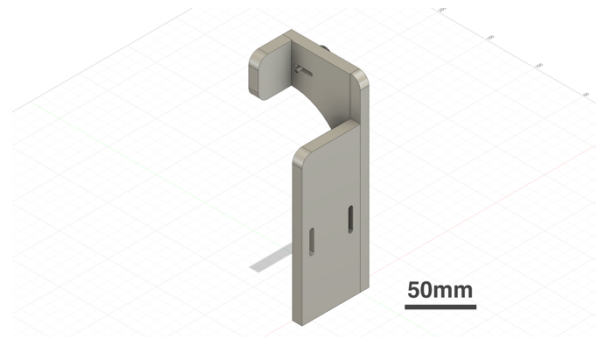


図 3. 自作したマウンター
(3DCAD イメージ)

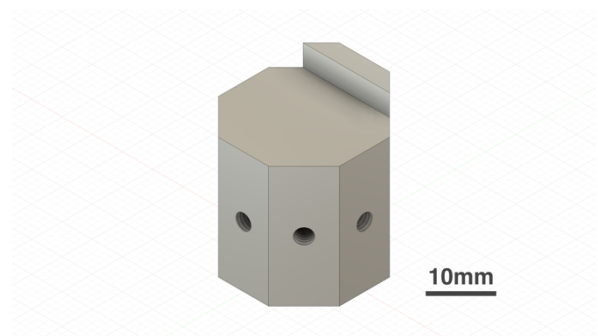


図 4. 自作した試料ホルダーの例 1
(3DCAD イメージ)

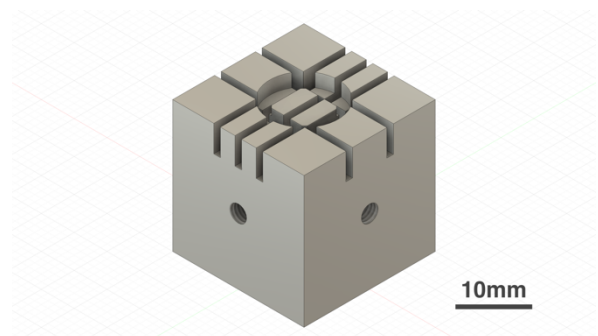


図 5. 自作した試料ホルダーの例 2
(3DCAD イメージ)

御嶽山山頂域定常 GNSS 観測点のオンライン化

○松廣健二郎（名古屋大学全学技術センター 計測・制御技術支援室, 地震火山研究センター）

はじめに

2014 年の御嶽山の噴火以降名古屋大学地震火山研究センターでは御嶽山での観測を強化しており 2015 年より山頂域において毎年夏季にキャンペーン GNSS 観測を行い火山活動による地殻変動の観測を行ってきた。前々回の研修会では低価格低消費電力 GNSS 受信機（ZED-F9P）により定常観測を開始したことを報告した。ZED-F9P はネットワークインターフェースを有しないことからラズパイ等小型 PC を中継する必要がある消費電力等の観点からオフライン観測にとどめていた。2020 年 Septentrio 社がネットワークインターフェースを有する GNSS モジュール mosaic-x5 を発表、そしてこのボードを搭載した受信機も登場したことから 2022 年より山頂観測点のオンライン化に着手した。

mosaic-x5 搭載 GNSS 受信機

mosaic-x5 は Septentrio 社が 2020 年に発売した GNSS ボードである。o quckle/z7 は先ほど述べたようにネットワークインターフェースを有するほか UF カードに生データや TRIPZ デ

ータ等複数データの書き込みが可能でありまたそのデータをネットワーク経由で収集することが可能である。

定常 GNSS 観測点のオンライン化

オンライン GNSS 観測機材の構成図およびボックス内の写真を図 1 に示す。使用した mosaic-x5 搭載受信機は写真のコア社製 Cohac ∞ Ten カスタムの他 i システムリサーチ社製の mosaic COCOLO も山頂域で使用している。通信は携帯通信を利用しており通信ルーターには MI 社製 AirREAL GEMINI を使用し消費電力を抑えるためタイムスイッチを利用してルーターへの電源供給を一日 1 時間に限定しその間にデータ回収を行なうようにしている。ソーラーパネルはオフライン観測時 6W×3 枚であったがオンライン観測機材に置換えることで消費電力が 2 倍近くなることから最大 3 枚増設を行なった。山頂域での定常 GNSS 観測点のオンライン化は 2022 年に 2 点, 2023 年に 4 点, 2024 年に 1 点行ない山頂域 12 点中 7 点のオンライン化を完了している。

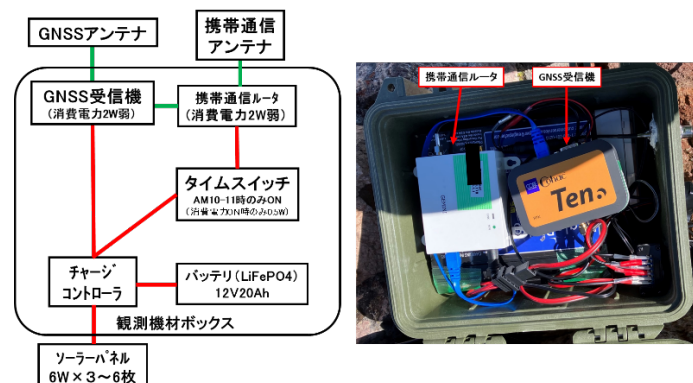


図 1. オンライン GNSS 観測機材構成図（左）とボックス内機材写真（右）。

東北大学の陸域臨時地震観測網の整備・運用状況(2024 年度)

○平原聡・木村洲徳・河野俊夫・堀修一郎・岡田知己・内田直希・高木涼太・吉田圭佑
(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)

はじめに

東北大学の陸域地震観測網は、地震観測点と火山観測点で構成される。この内、地震観測点は、「地震に関する観測データの流通、保存及び公開についての協定」(一元化協定)に基づき JDXnet でデータ流通を行っている定常地震観測点と、データが非公開またはグループ内限定公開となっている準定常・臨時地震観測点に分けられる。2025 年 1 月の時点で、定常地震観測点は 28 箇所、準定常・臨時地震観測点(図 1)は 39 箇所がある。以下では、準定常・臨時地震観測点を陸域臨時地震観測網と総称して、2024 年度の整備・運用状況について報告する。

陸域臨時地震観測網の目的と内容

陸域臨時地震観測網は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第 3 次)」(課題番号: THK_11, 代表: 東北大 岡田知己)に基づき、内陸地震の調査研究を主目的としている。陸域臨時地震観測網のうち、準定常地震観測点は、1969 年に観測を開始した釜房(KMF)観測点を含む 14 箇所である。一方、臨時地震観測点としては、東北地方での内陸合同観測(地殻応答臨時地震観測点)として、2019 年から設置を開始して、秋田県内 4 箇所と東北地方南部の 19 箇所で観測を行っている(岡田ほか, 2022)。また、能登半島での内陸合同観測(能登半島臨時地震観測点)として、石川県珠洲市内の 2 箇所でも群発地震が活発化した 2022 年から観測を行っている。

観測点の整備

準定常・臨時地震観測点の設置場所は、私有地

が 14 箇所、公有地が 26 箇所であり、両方に該当する観測点もある。設置にあたって、土地賃借契約, 国有林野使用許可, 保安林内作業許可, 行政財産使用許可, 普通財産使用許可, 道路占有許可, 砂防指定地内行為許可, 協議書, 依頼書等の申請手続きを行っている。

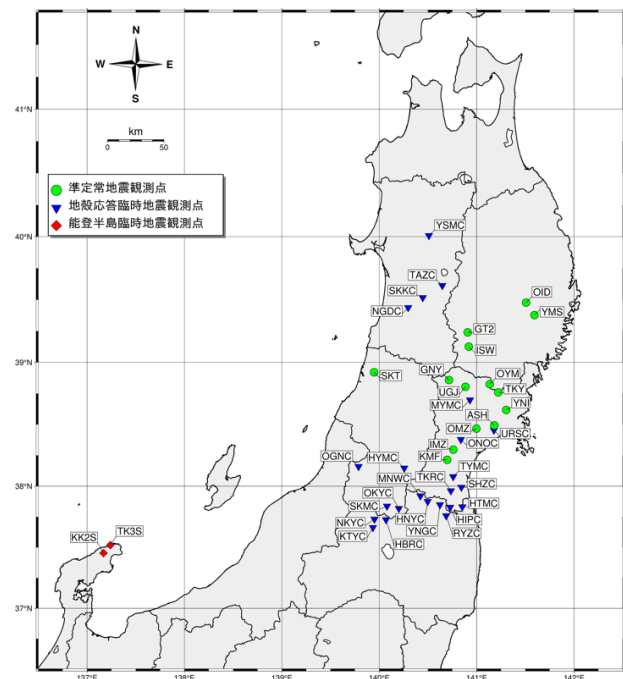


図 1. 観測点配置図

観測点の電源は、電力会社から直接電力の供給を受けている観測点が 31 箇所、既設の建物のコンセントからの電気を借用している観測点が 8 箇所である。短時間の停電対策として、8 箇所の観測点に出力容量 1000VA の UPS を設置している。また、数日間の停電対策として、26 箇所の観測点に容量 40Ah~60Ah (20 時間率) の鉛バッテリーを設置しており、2024 年能登半島地震の停電時にもデータを取得できた。停電対策が未実施の観測点もあるため、今後整備を進める予定である。

観測点の通信回線は、モバイル回線が 35 箇所、固定回線が 4 箇所である。固定回線の内訳は、光回線が 2 箇所、ISDN 回線が 1 箇所、専用回線が 1 箇所である。モバイル回線のルータは、サン電子 Rooster RX シリーズと YAMAHA NVR700W を使用している。固定回線のルータは、アライドテレシス AR410-V2 と YAMAHA RT58i を使用している。各観測点のネットワークは、VPN で当センターと接続されており、地震波形データをリアルタイムに送信している。

観測点の新設

2024 年 10 月に田沢湖卒田 (TAZC) 観測点を新設した。定常地震観測点の田沢湖 (TAZ) 観測点の廃止予定に合わせて、2023 年度から設置候補地の現地調査を実施した。地震計基礎は、既製品のコンクリート平板を組み合わせる工法を用いて、工期 1 日で完成した。オンライン観測用の鉛バッテリー（容量 40Ah）以外に、オフライン観測用の鉛バッテリー（容量 100Ah × 2 個）を設置して、電気使用開始日を待たずに観測を開始することができた。モバイル回線は、IIJ モバイルサービスの定額プラン（データ通信料 3GB）を利用している。

観測データの特徴

データ収録装置は、白山工業 LS-7000XT を 35 箇所、LF シリーズ LF-1100R・LF-2100R を 4 箇所で使用している。検出器は、大出 (OID)・山崎 (YMS) 観測点の 2 箇所では、観測壕（トンネル 長さ 50m）の最奥部に広帯域地震計 Streckeisen STS-2 を設置している。また、酒田 (SKT) 観測点では、観測井（深度 500m）の孔底にボアホール型地震計を設置している。この 3 箇所以外の 36 箇所では、短周期地震計 Sercel L-4C・L-22D、近計システム KVS-300 を地表に設置している。地表設置の場合は、風雨や人工物による振動の影響を避けられないため、一時的にノイズレベルが高い状態となる

ことがある。良好な観測データを取得するために、観測点の設置場所の選定に注力している。

東北大学では、陸域地震観測網の連続波形データを用いて、ホームサイズモメータによって開発された自動処理震源決定システムを運用している。自動処理での準定常・臨時地震観測点の読み取り数は、各観測点で 1 ヶ月間に平均 10 個以上である。定常地震観測点と同程度であり、陸域臨時地震観測網のデータが震源決定精度の向上に有用であることを再確認できた。

観測点の保守

準定常・臨時地震観測点の現地保守は、2024 年に約 20 回実施した。障害の主な原因は、地震計・収録装置・通信装置の故障・不調やブレーカー断である。障害の対応以外に、現地調査、NTT ケーブル撤去作業の立会い等も実施した。通信障害で受信できなかった観測データは、現地のデータ収録装置から自動で回収して、陸域地震観測網の連続波形データに補完する処理を当センターのサーバで毎日行っている。

謝辞：観測点の設置では、個人の地権者と行政機関の担当者の皆様にご協力いただいております。また、土地の借入れ及び使用許可申請の手続きでは、財務部資産管理課、理学部施設管理係、当センター事務室の関係者にお世話になっております。記して感謝申し上げます。

文献

岡田知己・中山貴史・平原聡・立岩和也・堀内茂木・勝俣啓・大園真子・小菅正裕・前田拓人・山中佳子・片尾浩・松島健・八木原寛・2011 年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ、2022、東北地方中南部における臨時地震観測、東北地域災害科学研究、第 58 巻、p. 19-24, <http://nds-tohoku.in.arena.ne.jp/ndsjournal/volume58/58-4.pdf>

技術職員による広報アウトリーチ室への協力(2024年)

○福井萌（東京大学地震研究所 広報アウトリーチ室）

浦野幸子（技術部技術開発室）

はじめに

本年も技術部による広報アウトリーチ室への協力は、工作から観測所訪問までと、幅広い範囲にわたった。今年度の技術職員研修会の所内向けラボツアーにおいて可搬式地震計教材が使用される予定とのことなので、ここではその地震計を中心に、技術開発室に製作いただいた工作物たち3点を紹介する。

1. 可搬式地震計（GS-1）

学校などに貸し出すこともできる、可搬式地震計教材を技術開発室の浦野幸子技術専門職員と内田正之特任専門職員に製作いただいた。地震計自体は、八木健夫技術専門職員からご提供いただいた米国のジオスペース社の動電型 1Hz 速度型地震計（1Hz のムービングコイル速度地震計）である。観測で使用できなくなった物だが、浦野技術専門職員によって地震計教材として再生された。

いくつか実験事例を新谷昌人教授にもご提案いただき、実際の貸し出しの際には、それらの実験提案書も併せての送付となる予定だ。

貸し出し用に作製した地震計教材ではあるが現在はまだ試用段階であり、所内で高校生達の訪問があった際に、木下正高室長やオンキャンパスジョブの学生達が使用し、地震波形の見方についてなどの説明の際に使用している。この約一年間の間で、都内外の高校9校の来訪時に使用されており、使用した木下室長によると、「実際の波形がリアルタイムで見られることはインパクトがあるようです。あとは歩いて遠ざかると振幅が減少すると

か、初動が+か-かで震源の方角がわかるとか、やはりセンサーの反応がじかに見られることはインパクトが強いと感じました」と、高校生達からの反応が良い様子がかええる。また、オンキャンパスジョブの学生による使用の際にも、高校生が様々な場所で揺れを起こし、地面の違いや方向による波形の違いを体験してもらうなど、各々の学生が様々な工夫を凝らした使い方をしていた。

使用幅の広さや、実際の観測用地震計を貸し出せるというのは地震研ならではの活用法である。

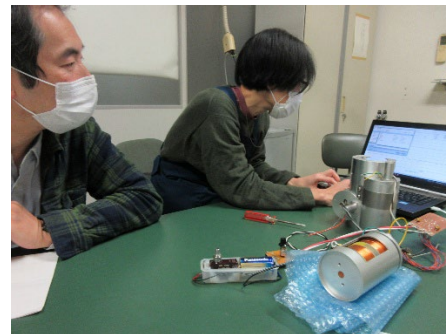


写真1：完成時の打合せ（左：新谷教授・右：浦野技術専門職員）



写真2：高校生の来所見学時に1号館2階ラウンジにて可搬式地震計を用いて説明をする堀内拓朗大学院学生

2. Mini-seis (Miniature Seismic-wave Demonstrator) のマイコン追加

夏に神戸市立盲学校より、Mini-seis(地震波発生装置のミニチュア版)の借用依頼をいただいた。Mini-seis が両手で触れるサイズであることと、安全に触れそうということで問い合わせを受けた。そのままでも良かったかもしれないが、浦野技術専門職員の提案により音の出る装置(マイコン)を同封することとし、併せて組み立てると、波が最後まで到達したら音が鳴るというオプションが加わった。結果、見えている人間にとっても、波が最後まで到達しているのかどうかが目視で曖昧だったものが明確になり、誰にとってもわかりやすいものとなった。

神戸へ発送する前に、依頼人である理科教諭の酒井緑先生と技術開発室とで zoom をする場を設けることもできた。マイコンの音は残念ながら zoom 越しに届くことはなかったが、酒井先生からは示唆に富んだお話を聞くことが出来とても貴重な機会となった。

酒井先生が今回の指導要案を共有してくださり、そこには地震波について深い理解に繋がるクリエイティブな授業が書かれていた。今後の「出前授業支援ツール」の製作を考えて行くうえで重要な学びを得ることが出来たので、活かしていけるよう努めたい。

また、「安全に触れそう」と評価いただけた技術開発室による丁寧な物づくりが、今回のような貴重な機会に繋がったことは、特筆すべきことだ。

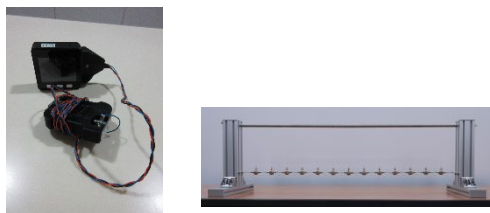


写真 3: 同封されるマイコン(左)Mini-seis(右)

3. 今村式 2 倍強震計の 1/3 木製模型

去年の技報にも記載した通り、2024 年は大正関東地震から 100 年ということで新たなグッズが製作された。その一つに今村式 2 倍強震計で録れた煤書き記録のパン缶があり、浦野技術専門職員がそれに合う 1/3 スケールの今村式 2 倍強震計ペーパークラフト模型を考案。店頭ディスプレイとして使用されたことを去年報告したが、今回新たにその木製組み立て式が、レーザーカッターを使用して作製された。

こちらは「地震研基金」の高額寄付者の返礼品としても使用される方向で検討が進められている。詳細は未定だが、自分で組み立てることで、より地震計の仕組みを理解してもらえる物になっているため、寄付者の方々にも満足いただけるのではないと思う。

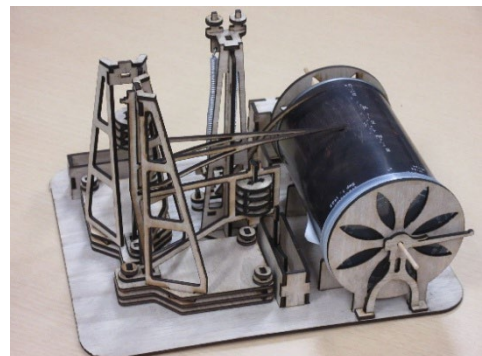


写真 4: 今村式 2 倍強震計の木製版模

JAVA による地震モニターアプリケーションの作成

一柳昌義（北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター）

はじめに

地震波形や地震活動をリアルタイムで把握するためには、現場での作業性や簡易性を考慮した波形や地震活動などのモニターシステムがあることが望ましい。そのため連続地震波形や地震活動を簡単迅速にリアルタイムに表示できるアプリケーションシステムを開発した。このシステムでは JAVA 言語で開発しており、Windows11, Linux, Mac iOS などの OS で動作させることができる。

地震波形表示プログラム Monwave

Monwave は、連続する 30 分間の地震波形を表示するプログラムである。このプログラムでは、1 分毎に自動的に更新され、観測点を選択することにより希望する観測点を表示することが可能である。また、振幅も拡大や縮小表示もできる（図. 1.）。

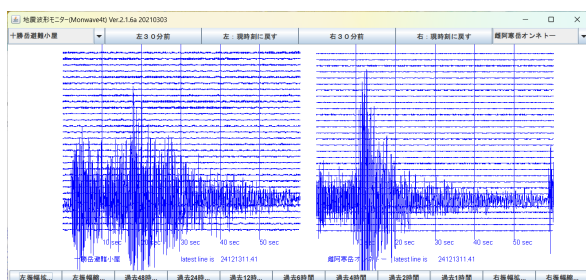


図 1. プログラム Monwave の地震波形。

地震観測点で記録された波形データは、WIN バイナリフォーマット(Urabe, 1994)によって 1 秒ごとに大学にあるサーバーに伝送される。サーバーでは毎秒のデータパケットを用いて、1 分毎のバイナリデータファイルを作成する。作成されたファイルから毎分バイナリデータをテキスト形式に変換し、ファイルサーバシス

テムに格納する。本システムは、それらテキストデータを読み込むことになる。

クライアントのパソコンで本システムを起動すると、自動的にファイルサーバからデータがダウンロードされ、画面に連続した地震波形が表示される。データはファイルサーバにアクセスすることにより 1 分毎に自動更新される。一つの JAVA ウィンドウ画面に 2 つの観測点の波形を同時に表示することができ、地震観測点は選択画面からマウスで選択できる。また、地震波形の振幅を変更し、30 分前の波形を表示することも可能である。このシステムは、ひずみなどの地殻変動データ、傾斜計、潮位計などの長期データも表示できる。表示時間は最大 48 時間まで表示可能で、地震データと地殻変動データの同時表示も簡単に実現できる。また、テキスト形式の時系列データであれば、どのようなデータにも対応可能である。

地震波形をモニタリングすることは、地震活動の変化や観測先での保守点検に役立つ可能性がある。また、ひずみ計の波形や潮位計などの長周期のデータでは、時間軸を最小 1 時間から最大 48 時間まで表示が可能であり、津波の発生時や大地震の余効変動のモニターなどに利用可能である。

メンテナンス用波形確認プログラム Latest

Latest は、win(ト部・東田, 1991)の 1 分間の波形表示プログラムである。観測点でのメンテナンス時に波形を確認する必要がある。その際は、波形を大学のサーバーからダウンロードして、win プログラムで表示して確認し、次の波形を確認するにはその作業を繰り返す手間が

あった。Latest は、起動しておけば自動的に 1 分ごとに波形をダウンロードして表示を行うので、手作業でのダウンロード等の手間がかからない。波形表示は 6ch の表示が可能である。また、振幅の拡大や縮小も可能である。

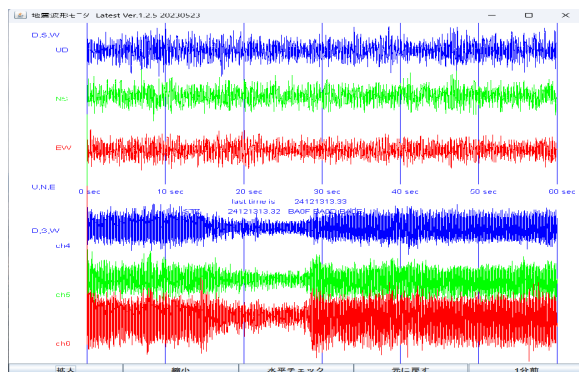


図 2. プログラム Latest の地震波形.

震源分布表示プログラム Winmap

Winmap は、現在の地震活動を表示するプログラムである。サーバーにあるある期間の震源データを 1 分毎にダウンロードして表示する。

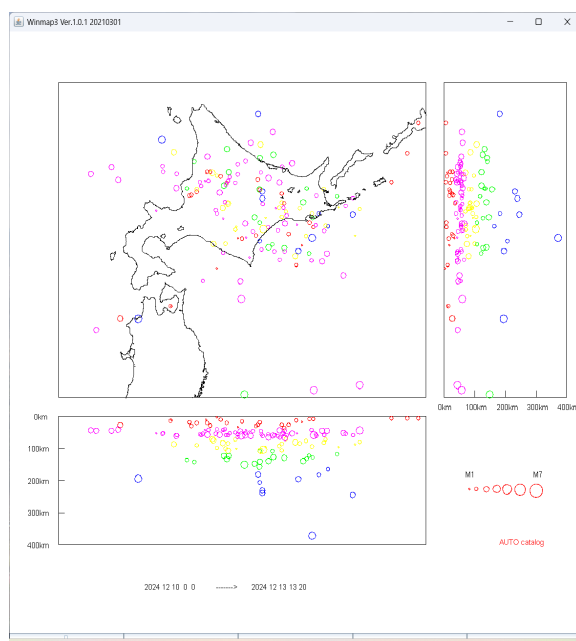


図 3. プログラム Winmap の震源分布図.

このプログラムは、北海道大学総合博物館や北海道上士幌町のひがし大雪博物館内の北大地震火山研究観測センターの展示で地震活動のモニターに使用されている。サーバー側に用意した震源データを crontab 等によって震源データを自動更新しておけば、ノート PC などを使用して屋外で観測中でもインターネットの接続可能であれば、地震活動をいつでもモニターすることができる。

おわりに

これらシステムは、地震活動、火山活動、津波波形などのリアルタイム監視ツールを簡単に提供できる。リアルタイムの地震モニタリングは、地震・火山観測という危険な現場でのリスクマネジメントのために非常に重要であり、必要なものである。本システムは、北海道大学における地震観測点の保守点検時や日常的な地震モニタリングにおいて長時間安定的に稼働している。

謝辞：本研究の構想は、北海道大学の大島弘光元准教授との議論の中で生まれたものである。記して感謝いたします。

文献

- ト部 卓・東田進也, 1992, win—微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), 日本地震学会講演予稿集, no. 2, 331.
- ト部 卓, 1994, 多チャンネル地震波形データのため共通フォーマットの提案, 日本地震学会講演予稿集, no. 2, 384.

水準測量で使用する標尺支持棒の製作

内田和也(九州大学大学院理学研究院理学研究院 附属地震火山観測研究センター)

1. はじめに

九州大学地震火山観測研究センターでは、火山観測の手法の一つである水準測量を用いて、地殻変動観測を行っている。近年では、他大学と合同で霧島・桜島・阿蘇山・御嶽山・箱根山を毎年または数年に一度の間隔で繰り返し水準測量を実施している。

水準測量で使用する機器一式の購入する時、デジタルレベル(本体)・三脚・標尺・標尺台は販売店から購入できる。しかし標尺支持棒は別で用意する必要がある。

2. 製作理由

標尺支持棒は、名の通り標尺を支えるための棒である。これが無いと標尺を立てている時に人や風等の影響で標尺がずれたり揺れたりして測定値の誤差が大きくなり、1級水準測量の精度が出ない。そこで我々や他大学では工夫して自作を行ってきた。なぜ自作を行うのかと言うと、固定スタンド型の支持装置の販売はあるが移動用の支持棒がほとんど市販されていない事と、市販されていてもコストパフォーマンスや使い勝手があまり良くないからである。

当初は、他大学が自作した竹製の支持棒をもらい受けて使用しており、それが壊れたら同じ様に自作を行ってきた。また違う大学から寄贈された鉄パイプ製の物も使用してきたが、標尺を立てている時は比較的安定しているものの、素材が重いので移動時に標尺手の負担が大きい。また竹製や丸い鉄パイプだと転がってしまうので、平面で角ある素材の方がいいのではないかと考えた。また平面の方が標尺との

接触部分を広くすることが可能なので標尺を支持しやすく、支持棒を直角に開いて標尺を支持する場合は初心者でも安定して固定できる。

そこでもう少し軽い素材で角がある市販されている材料で簡単に自作できないかと考え、製作をはじめた。

3. 材料の準備(1本辺り)

- ・アルミ角パイプ 15mm×25mm×1995mm 厚さ 1.5mm 価格:約 1,800 円
- ・コンクリート釘 90mm 1本 価格:約 24 円
- ・皿頭タッピングビス 太さ 4mm×長さ 12mm 2個 価格(1個):約 3 円
- ・木角材 12mm×24mm×50mm 価格(長さ 450mm):約 500 円
(長さ 50mm に切断し、アルミ角内に入るように削る)
- ・滑り止め機能付き熱収縮チューブ 幅 30mm ×長さ 1000mm 価格:約 3,500 円
(滑り止め機能無しでも可)
- ・高収縮(6:1)の熱収縮チューブ 幅 33.5mm 長さ 50mmと 70mmに切断 価格(500mm):約 2,000 円
- ・トラ表示テープ 幅 25mm 長さ適宜 価格(25000mm):約 400 円
- ・2 液式エポキシ接着剤 適宜 価格(80g):約 900 円
(いずれも、モノタロウ等のインターネット通

販や近所のホームセンターで購入可能)

4. 製作

まず石突を作成する。木角材を使用し片方の先端に径 8mm・深さ 10mm 程度の穴を開け、そこにコンクリート釘の頭をねじ込む。それをアルミ角パイプの先端から挿入する。コンクリート釘が 70mm 程度出ているくらいの位置まで押し込み、木角材が入っている部分にアルミ角パイプの両外側からタッピングビスで固定する。そしてコンクリート釘の根元をエポキシ接着剤で固定する。

固定が確認出来たら、標尺を支える部分に滑り止め機能がある熱収縮チューブを装着し密着させる。そしてアルミ角パイプの尖っている部分の上下両端を高収縮チューブで覆う。必要に応じてトラ表示テープ等で人や車等から目立つ様にする。

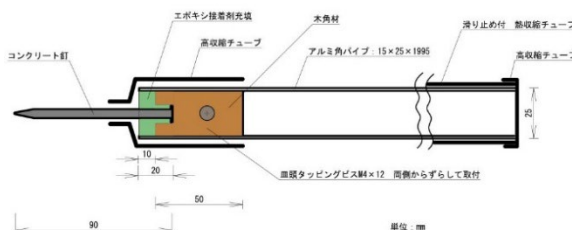


図 1. 支持棒内部構成

5. まとめ

比較的成本パフォーマンスが良く、簡単な工程で製作できた。しかしまだメリットデメリットがあり、改良の余地があると思う。今後も作業効率やより良い精度が出るような改良を考えている。



图 2. 完成写真



図 3. 標尺支持部分



图 4. 支持棒使用例

今村式 14 年型簡単微動計の起動器の部品製作とオーバーホール

○橋本匡（東京大学地震研究所 技術部総合観測室/技術開発室）

宮川幸治（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

内田正之（東京大学地震研究所 技術部技術開発室）

はじめに

今村式 14 年型簡単微動計（図 1）は 1925 年（大正 14 年）に今村明恒博士によって開発された（今村，1926）。同型のもは主として関東地方の地震観測に使用されたが（那須，1975），南海地動研究所（地震研究所和歌山観測所の前身）の観測点群にも設置された（今村，1929）。そのうちの田辺観測点に設置されていた微動計は，1949 年に和歌山県立耐久高校に移管後観測に使用された（新屋，1968）。役割を終えた本微動計は 1990 年頃に地震研究所広島地震観測所へ再度移管され展示されていた。

地震研究所 100 周年事業の一環として地震計博物館の展示拡充のため，2024 年 7 月に広島地震観測所から本所へ移設した。本発表では地震計博物館での動態展示を目指すため，記録ドラムの回転動力部分である起動器の部品製作とオーバーホールを実施したので報告する。



図 1．今村式 14 年型簡単微動計

起動器の状態と構成

今村式 14 年型簡単微動計は重錘式時計の起動器を用いて煤書き記録紙を巻き付けた記録ドラムを回転させて地動の連続波形を記録する方式を採用している。今回移設した微動計は，近年は展示のみで動かしておらず，また製造されて約 100 年の時を経ており汚れも目立って

いた事から，全体を軽く拭きつつ，駆動部については慎重に分解して清掃を行った。また，起動器内部のモデル化も行った（図 2）。なお，本発表では回転調節用の風切装置（那須，1975）を風切車と簡略化した名称で報告する。

清掃後軸受け等に摺動面油を給油したところゆっくりと回転したが，4 番車の歯車軸先端部分が湾曲しており途中で回転が停止することが分かった。湾曲部分の修正を試みたが改善しなかったため新しく製作することにした。

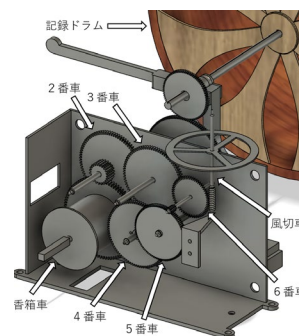


図 2．起動器内部のモデル。香箱車に巻かれたロープが側面小窓から繰り出され，滑車を介して重錘を吊り下げる。

4 番車の製作と起動器のオーバーホール

4 番車は歯数 90 のギアと歯数 16 のカナ（小さい方の歯車）と歯車軸で構成されている。ギアはねじで歯車軸に固定されているが，カナは圧入等で固定されており取り外しが困難であると判断したため，歯車軸とカナを新しく製作しギアは流用することとした。今村式 14 年型簡単微動計の起動器に関する文献を見つけることはできなかったが，歯車部分に関しては自記円筒時計と酷似していたため，鎌本（1963）を参考に歯車軸は銅材を使用し，カナは快削鋼

を用いて修正サイクロイド歯形で設計した。製作した4番車を使用して組立調整し時計用油を給油したところ、記録ドラムや風切車などの回転に不自然な減速等はみられずおおよそ正常に動作することを確認した。

回転速度の測定

今村(1926)によれば記録ドラムの回転速度は 60mm/min であり、記録ドラムの円周は約 760mm であったことから、記録ドラムが1周する時間は約 12 分 40 秒である。既存の起動器には 4.40kg の重錘と 0.30kg の追加重錘が使用されていた。オーバーホール後、4.70kg の重錘を使用し記録ドラム1周にかかる時間を計測したところ、18 分 44 秒かかった。そこで追加の重錘を製作し1周にかかる時間を計測すると 5.50kg の時に 12 分 43 秒となり、今村(1926)の開発時の記録ドラムの回転速度に近づけることができた。

起動器のすべての歯車の歯数を数えて速度伝達比を計算し風切車の回転数を求めたところ、おおよそ 380rpm となった。そこでフォトトランジスタ (L-51ROPT1D1) と赤外線 LED (OSI5FU5111C-40)、Arduino Uno を使用し

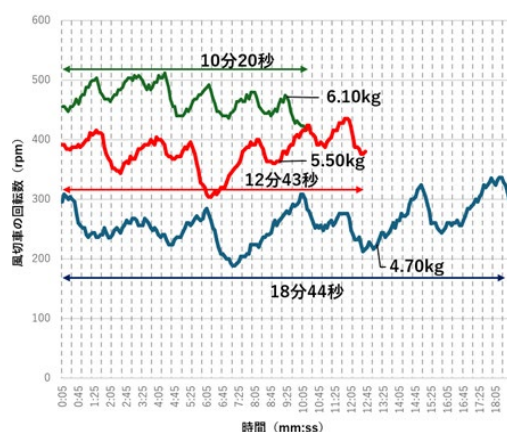


図3. 起動器の重錘を変えたときの風切車の回転数 (rpm) と記録ドラムが1周するのに要した時間のグラフ。回転数は5s 間隔でサンプリングしている。

簡単な回転数計測用赤外線センサーを自作し計測してみたところ、5.50kg の時の風切車の平均回転数は 380rpm となり計算結果と一致した(図3)。一方で最大回転数は 436rpm, 最小回転数は 304rpm で安定しておらず、那須(1975)でも指摘しているように、記録円筒の回転が不規則であることが推察される。

まとめ

地震計博物館展示拡充のため、今村式14年型簡単微動計を広島地震観測所から移設し、起動器のオーバーホールと湾曲した歯車軸の再製作、及び重錘の追加により、開発時の記録ドラムの回転速度で駆動させることに成功した。今後も動態展示に向けての取り組みを進めたい。

謝辞

本発表は地震研 100 周年事業の助成を受けたものです。

参考文献

- 今村明恒, 1926, 地震計測整備の一斑, 東京帝國大學地震研究所彙報 巻 1, p. 7-25
- 今村明恒, 1929, 昭和四年七月四日紀伊強震の発生機構と地震前の地盤傾斜とに就いて, 地震, 第1巻, 第12号
- 鎌本博夫, 1963, 自記時計の歯車効率について, 精密機械, 29巻, 1号, p. 30-34
- 那須信治, 1975, 1. 観測雑話, 地震研究所創立五十年の歩み, p. 73-93
- 新屋兼次郎, 1968, 和歌山県湯浅における地震観測, 東京大學地震研究所彙報, 巻 46, 号 1, p. 161-173
- おもしろ科学実験室 (工学のふしぎな世界), 2024, 速度や角速度を測定してみよう (横浜国立大学理工学部), https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/240209_02.php

Raspberry Pi Pico と安価な計装アンプを用いた教育・デモ用の地震計

大塚 宏徳（東京大学地震研究所 技術部総合観測室）

1. はじめに

Raspberry Pi Pico と A/D 変換ボード SX8725C を用いて、超簡素な地震計システムを製作したので報告する。目的は、低コストで微小電圧を測定できるシステムの構築である（高価なロガーを用意出来なくても、講義や一般向けの説明に気兼ねなく使える装置の必要性に迫られたため）。

2. ハードウェア構成

メインコントローラ	Raspberry Pi Pico
A/D 変換ボード	SX8725C 分解能: 16 ビット アンプ: 3 段階(最大 1000 倍) 動作電圧: 2.5~5.5V 内蔵基準電圧: 1.22V 変換レート: 0.483ksps I2C 転送速度: 最大 400kHz 消費電流(5V 時): 250 μ A~
センサ	15Hz ジオフォン(型式不明)

表1: ハードウェア一覧

配線はシンプルで、Pico と ADC は電源、GND、SDA、SCL の 4 本、センサ側は差動入力の 2 線で接続する。デモ用のセンサにはジオフォンを使用し、システムを地震計として構築した。センサは必ずしも本物の地震計である必要はない。設定では、測定電圧範囲は $\pm 0.61V$ 、分解能は 16 ビットとした。

3. ソフトウェア構成

・**ハードウェア側**: MicroPython を使用し、Pico 上で I2C 通信を介して SX8725C からデータを取得するコードを実装した。サンプリングレートは 100Hz で、取得したデータはプレーンテキストでシリアル通信により PC へ送信する。

・**PC 側**: Python を用いて、シリアルポートからデータを受信し、タイムスタンプを付与して CSV 形式でキャッシュするスクリプトを作成した。これにより、既存のソフトウェアによるデータの後処理や解析が容易になる。

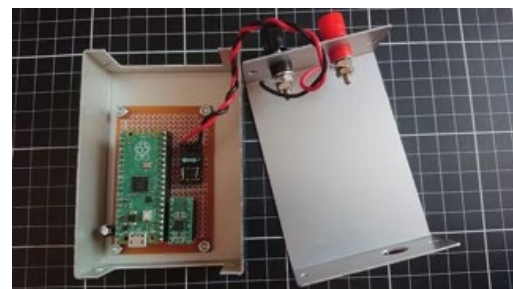


図1:装置の外観

4. データ後処理の例

取得した CSV データを、地震観測で一般的に使用される mseed や sac 形式に変換するため、ObsPy ライブラリを用いたスクリプトを作成した。さらに、データの概要を視覚的に把握するため、プロットを生成する機能も実装した。

5. 課題

ジオフォン接続時に、1Hz 前後の低周波ノイズが観測された。これは観測対象の周波数帯域に含まれるため、無視できない問題である。センサを外した場合でも、0.9Hz 付近にピークが見られ、回路側に起因する可能性がある。しかし、ノイズの原因については特定には至っていない。

6. まとめ

安価な材料で微小電圧測定器を作成し、地震計としての基本的な機能を実現した。趣味や実演用のガジェットとしては十分に活用可能だが、精度や信頼性が求められる用途ではまだ使えない。今後、ノイズの原因究明やシステムの改良を進め、低価格のままより高精度な地震計の構築を目指したい。

阿蘇中岳第1火口における Web カメラの設置について

○吉川 慎・井上寛之（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）

はじめに

阿蘇中岳第1火口は、阿蘇カルデラ（東西18km 南北25km）の中心からやや南側に位置し、静穏期（非噴火期）には直径約400m 深さ約120m の火口底に70℃前後の熱水湖（以下湯だまりと称する）を形成する。先行研究により、湯だまりの水位は、中岳火口の活動度や季節によって変動することが分かっており、常時モニタリングすることは、活動度を把握する上で重要な観測項目の一つである。これまでも目視観測やトータルステーションを使った現地観測が実施されてきたが、精度の問題や、現地観測となるための時間効率の悪さから観測頻度にも問題があり、重要な変動を見落とす可能性があった。近年、無人航空機（UAV）を使用した高精度撮影が可能となり、阿蘇中岳第1火口湯だまりおよびその周辺の画像が取得可能になった。しかしながら、湯だまりからは火山ガスを含んだ水蒸気が常時放出されており、上空から精度良く撮影することは困難である。そこで、水位を常時モニタリングできるよう、中岳第1火口のリムにカメラを設置し、連続的に画像を取得する運びとなった。

本報告では、これまでに設置した火口カメラシステムの改良と今回の設置に使用した部材や火山ガス対策について紹介する。

火口カメラシステムの改良

火山研究センターで、最初に火口カメラが設置されたのは2010年である。この時は、カメラ用三脚に、プラケースに収納したカメラ（Panasonic BB-HCM735）を固定し、撮影用の切り欠きを入れ、そこにアクリル板を貼った

簡素なものであった。この方式の最大の問題点は、 SO_2 を主成分とした火山ガスの対策が不十分だった点である。三脚に使用されているアルミが腐食し、プラケースの隙間からガスが流入したことにより収納していたカメラまで腐食した。



図1. 腐食した三脚とカメラ

初回の失敗の教訓を生かし、2011年に火山ガス対策を施した火口カメラを製作した。カメラは前回と同様のものを使用し、ハウジングには、耐薬品性の高い塩ビ管を使用し完全密閉型とした。また、カメラ用の窓には、引き続き加工のしやすいアクリル板を使用していたが、火山ガスの影響を受け、少しずつ表面が曇るようになったため、耐薬品性および熱膨張係数の小さいテンパックス（底膨張ホウケイ酸ガラス）へ変更した。上記の火口カメラシステムを用い、2016年2月17日の噴火によって破壊されるまで、ストロンボリ式噴火の様子など貴重な画像データを取得することに成功し、学術論文にも活用された。

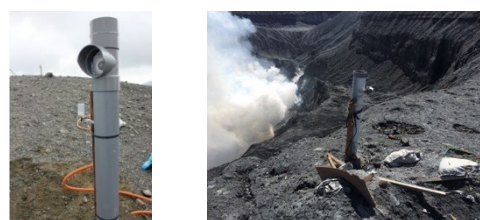


図2. 設置後の様子と噴火後の様子

前述の噴火後、同年 4 月 16 日に熊本地方を中心とした M7.3 の地震が発生した。この地震により、火山研究センターも被災し、地震後の対応が落ち着くまでカメラの設置を見送ることになった。再設置が可能となったのは、それから 4 ヶ月後の 8 月であった。火山ガス対策については、前回の設置環境で問題なく観測できていたこともあり、そのまま採用したが、地震の影響により、これまで使用してきた無線ネットワークが使用できなくなったため、モバイルネットワークへ変更した。また、コストカットにも取り組み、RaspberryPI (3) と USB Web カメラ (LogicoolC920) を使用したシステムへ改良した。しかし、約 40 日後の同年 10 月 8 日の爆発的噴火により、ハウジングは消失し、PC やバッテリーの収納箱は、噴火時の熱で溶けて破壊された。



図 3. 熱で溶けた収納箱と PC など

それ以降は火口カメラの設置を実施せず、活動を見守っていたが、中岳火口は噴火を繰り返し、特に 2021 年 10 月 20 日には、火砕流を伴う噴火が発生し噴石は約 900m 離れた地点まで飛散した。その後、噴火警戒レベルは 3 に引き上げられ、以降、レベル 2～1 を繰り返す状態が継続していた。2024 年 7 月によりやくレベルが 1 に引き下げられ、現在（2025 年 1 月）まで継続し、中岳第 1 火口の湯だまりも安定的に出現している。

そこで、2024 年 11 月に水位変動観測を目的とした新たな火口カメラの設置依頼を受け、部材の選定および設置を実施した。予算 10 万円程度ということであったため、これまでの経験で安定して動作していた、塩ビ管を使用したハ

ウジングや RaspberryPI (4) と USB Web カメラ (BUFFALO BSW505MBK) を用いた仕様はそのまま活用することとし、より設置が容易になるよう、管の径を 50mm コンパクト化し、それに合うよう部材の選定も調整した。

用途	機 器 等	型 番 等	個 数	金 額
撮 影	1 Webカメラ	BSW505MBK	1	2,149
	2 ラズベリーパイ	RaspberryPI4	1	流用
	3 USB延長ケーブル	2m	1	990
伝 送	4 無線アンテナ	PA2413A	1	流用
	5 無線ルーター	Allied Telesis WR54-ID	1	流用
	6 同軸ケーブル	NP-NPコネクタ付き3m	1	2,880
電 源	7 バッテリー	リン酸鉄リチウム電池	1	32,800
	8 ソーラーパネル	80W	1	流用
	9 ソーラー架台	ECO-WORTHY	1	5,790
	10 USB変換アダプタ	DC12V→5V	1	1,170
	11 充電コントローラー	VS1024AU EPEVER 10A	1	3,998
収 納	12 塩ビパイプ	HIVP管 4M	1	2,000
	13 塩ビチーズ	HIチーズ	1	1,000
	14 収容箱	収容ボックス	1	1,945
	15 ガラス	テンボックス100φ	1	5,000
他	16 アンテナ支柱		1	1,000
	17 ケーブル保護管	ミラフレキ (MFS-22)	1	6,328
	18 断熱シート等	防水対策等	1	3,000
			合計	70,050

表 1. 使用部材の仕様と価格

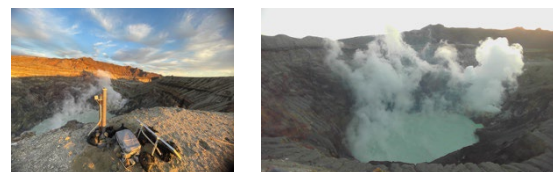


図 4 設置後の様子と撮影された画像

まとめと今後

今回は水位観測を主としているため、サンプリングは 1 分 1 枚とし、日中のみデータを取得している。冬季の阿蘇山上は氷点下 10℃以下まで冷え込むこともあるが、今のところ問題なく動作しているようである。しかし、降雪後の日中でも気温が上昇しない場合には、ハウジングのガラス表面へ付着したまま融雪せずそのまま氷結してしまい、湯だまりのモニタリングができない場合もある。

今後の目標として、限られた電源環境の中でも、解氷できる方法を確立し、安定期に画像が取得できる環境を整備していきたいと考えている。

火山研究センターの観測点の維持管理について 2024

○井上寛之（京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター）

1.はじめに

京都大学火山研究センターでは阿蘇中岳火口を主に阿蘇カルデラ・九重山周辺に観測点を設けて観測を行っており、その観測機器の保守・維持管理を担っている。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点について

火山研究センターは熊本県の南阿蘇村の西方に位置し、昭和3年から研究・観測が行われてきた。阿蘇中岳火口は火山研究センターから東側へおよそ7km離れた場所にあり、火口周辺に複数の観測点を設けている（図1）。また阿蘇カルデラ・九重山の広域のエリアにも観測点を設けて観測を行っている（図2）。

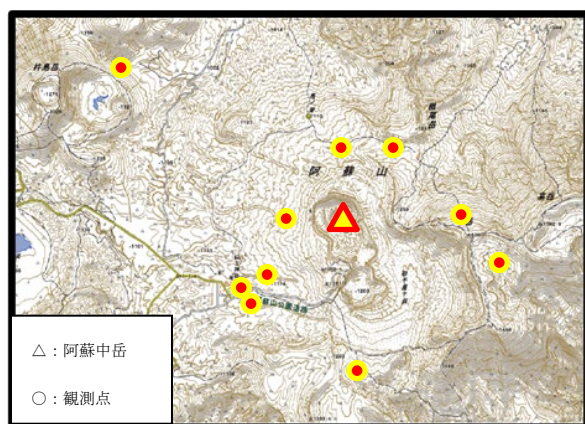


図1 中岳火口周辺観測点

3. 観測点の保守・維持管理について

基本的に常設観測点は365日24時間連続動作して観測を行っている。そのため、日々データのチェックを行いトラブルが発生した時に対応を行っている。



図2 阿蘇カルデラ・九重山観測点

具体的には、データが届かないなどの障害のほか、地震計の波形に異常があった時などである。また観測機器の更新で入替や追加設置等を行っている。

3.1 通信の不具合の対応

各観測点から火山研究センターへの観測データの送信には無線LANや携帯回線・NTT回線等を使用している。しかし、様々な理由で通信に不具合が発生する。経年劣化による機器の故障、自然災害による破損や強風によるアンテナのズレ等の様々なトラブルが発生し、その対応を行っている。

特に自然災害では台風や雷雨・強風によって様々な被害が発生する。雷による観測機器の故障も当然発生するが、NTT基地局が被災して通信不具合が発生することもあった。また強風で倒木が発生し、電線・NTT回線が物理的に切断されることもあった。一つずつ調査確認を行い不具合の原因の追究切り分けを行いデータ通信の復旧対応を行った。

不具合ではないが、使用している観測機器のテレメータ機能がデータを1か所にしか送れない機器もあり、ラズベリーパイにWIN systemをインストールし、観測点に追加設置を行った。このことで観測データを2か所へ送れるようになった。これは熊本地震の経験から火山研究センター以外の場所にデータを送ることでバックアップするためである。また現在費用の安い携帯simを使用してのデータ転送の準備作業も行っている。

3.2 機器の不具合の対応

機器の不具合としては、雷による機器の故障が雨季に発生し対応を行った。中岳火口周辺の観測点の商用電源を使用している観測点の機器の電源をソーラーパネルとDCACコンバーターに変更し雷対策を行った。また、それに伴い観測装置も消費電力が低い物に交換した。

中岳火口の火山ガスが酸性のため、なるべく被害が出ないように対策をしても徐々に浸食され機器の劣化故障が発生してしまうため都度交換等の対応を行った。具体的には、ケーブルや各種端子台等である。また商用電源の

無い観測点ではバッテリーとソーラーパネルを電源で使用しているがバッテリーの経年劣化で交換を行ったりもした。

3.3 UPSの整理

テレメータ室及び観測点に設置してある瞬停対策のUPSの確認整理を行った。古いUPSやバッテリーの交換履歴の無い物は新しいUPSや交換用のバッテリーの発注を行い、随時交換を行った。テレメータ室のUPS交換作業では、データ収録マシンもあるため教員と交換のタイミングの調整を行い、バッテリー作業を行った。

4.まとめ

日々学びながら観測の維持管理を行っている。大学の予算が残念ながら潤沢にあるわけではないので最新の機器をすぐに導入しているわけではないが、機器の更新があれば操作・設定の習得、また知識・技術の向上が必要となってくる場合もある。今回の発表では特別な技術を習得したというわけではないが自身を含め何か参考になれば幸いである。

PoE 給電を用いたデータ通信システム構築の試み

○山品匡史・大久保慎人（高知大学 理工学部附属高知地震観測所）

はじめに

地震波形データ送信に利用していた ISDN（Integrated Services Digital Network：サービス総合デジタル網）終了のため携帯電話網利用へ移行したが、窪川地震観測室（高知県高岡郡四万十町）においては携帯電話の電波状況が悪く通信に支障が生じていた。問題解決のため、電波状況が良好な地点に IoT ルータを配置し、観測室建屋とルータ間の電力供給および通信に PoE（Power over Ethernet：IEEE 802.3）を利用するシステムの構築を試みたので報告する。

PoE の選択理由

2024 年 1 月に地震観測点からの地震波形データ送信に利用していた ISDN サービスが終了することになったため、代替回線として携帯電話網の利用を原則とし、LTE 対応 USB ドングルを用いたデータ送信システムを構築した（山品・大久保, 2024）。このうち窪川地震観測室については、携帯電話電波状況が非常に悪くほぼ通信確立ができない状況となっている。その原因として観測室建屋周辺の地形による基地局との見通しが考えられ、電波状況が良好となる場所を踏査により確認すると観測室建屋から約 50 m 離れた地点であった。したがって、良好な通信状況を確保するためには通信機器（モデムやアンテナ）を同地点に設置する必要がある。

既存の USB ドングルを利用する方式は、USB 規格におけるケーブル最大長（USB 2.0 で 5 m）から利用することができない。USB エクステンダーを用いる方法もあるが、今回の場合ではルータ側に設置する受信機への電

源供給が必要となる。携帯電話網を対応した IoT ルータの外部アンテナについてもケーブルは長くても 10 m であり必要な長さが不足している。辻ほか（2004）が浅間山に導入した xDSL（x Digital Subscriber Line）技術を用いる方法は、必要な長さに対応し、通信と給電が重畳できることから利用可能な方式である。

IoT ルータと観測室建屋間の通信のみ無線方式で行うことは、ルータ側の電源供給用ケーブルの敷設または商用電源の引込、太陽光発電機器の設置などが必要となる。太陽光発電機器の設置は予定地では難しく、商用電源の引込は試行であることから行わないことにした。また、観測室建屋から電源ケーブルを敷設することは有線方式に対する利点が得られない。

その他の方法として、ワイヤレス給電（無線給電）や光ファイバケーブルを利用する光給電も使用可能な方式となり得るが、現在のところ、使用場所や伝送距離に制限がある、実証実験の段階で規格化されていない、などから用いることが難しい。

今回は、xDSL 方式も候補となるが、通信可能地点までの距離や機材の入手容易さ、試行であることなどから PoE を選択した。

システム構成・使用機材

2024 年 12 月に本システムを窪川地震観測室へ設置した。構成図は図 1、現地・機器の写真は写真 1 である。使用機器は以下の通り。

- IoT ルータ：NEC プラットフォームズ（株）, EA01L
- PoE インジェクター：PLANET

Technology Corp., IPOE-162 (IEEE 802.3at)

- PoE スプリッター : ANVISION Inc., AV-PS05 (IEEE 802.3af)
- LAN ケーブル : サンワサプライ (株) , KB-T6AAD-80BK

システムの稼働状況と今後の課題

本システムの窪川地震観測室への導入から約1ヶ月間、データ送信はほぼ途切れることなく行われている。今後も試行を継続し、通信や機器の動作安定性を確認する計画をしている。本システムを本格的に導入する際には、LAN

ケーブルの保護や埋設、今回は未導入のサージや避雷対策の検討と実施が必要と考えている。

文献

辻 浩・ト部 卓・嘉部 茂, 2004, 既設金属ケーブルと DSL モデムを利用した火山地震観測の高度化, 東京大学地震研究所技術研究報告, no. 10, p. 43-48,

<https://doi.org/10.15083/00032200>.

山品匡史・大久保慎人, 2024, 高知大学の観測点・データ流通に関する状況について, データ流通ワークショップ発表要旨.

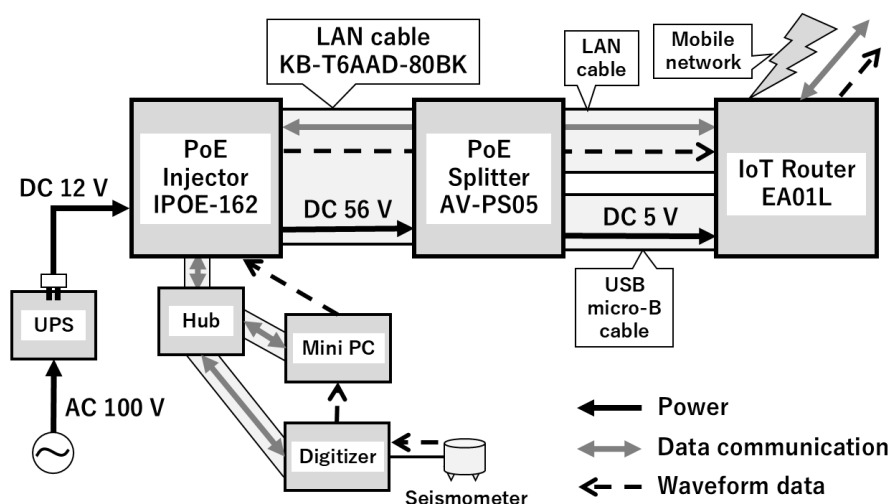


図 1. システム構成図

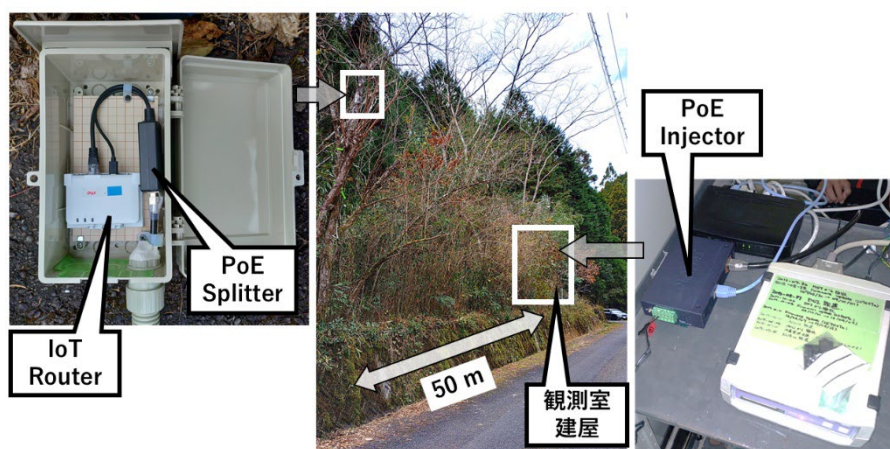


写真 1. 現地および機器の写真