

教室で用いるスケルトン地震計 -アクリル樹脂, ネオジム磁石, およびESP32基板-

岡本義雄¹, 根本泰雄²

1. Retired geoscience teacher, 2. Ritsumeikan University

OBJECTIVES (研究の目的)

Purpose:

- 教室で見せる地震計の原理と構造が、わかりやすい地震計の開発
- 実用的な自然地震観測, 常時微動観測, あわせて環境振動観測に用いることができる。
- 工作のレベルは高校生でも自作可能なように, 極力簡素化する。
- 材料はアクリル樹脂端材とネオジム磁石その他で, 費用は1成分地震計製作で1万円以下にする。
- アンプと記録システムのupdateに挑戦する。

SEISMOGRSPHS (地震計)

1. 振り子部

<水平動>

・従来の地震計で用いてきた, スイングゲート型 (Paschwitch型) を採用する。
アクリル樹脂端材 (以下アクリル材と表記) の5mm厚板を, アクリルカッターで切断。アクリル接着材および4mmビスで組み立てを行う。振り子の重錘は, 積層円形ネオジム磁石および, 鉛板を質量の増分として追加する。

<上下動>

前モデル (3Dプリンタ地震計, 岡本2022b) で採用した Kirnos型を採用する。ピアノ線コイルスプリングを採用。固有周期を延ばすため, 今回もバネ製作者に依頼して, 初期長の短いバネを使用した。さらに, 特筆すべきは, 従来複雑な構造の十字バネを支点に採用していたが, 今回それを廃した。替わって主スプリングによる振り子支点の張力ベクトル方向に, 薄板バネを1枚傾けて設置。これで工作が簡単になった (Fig.1, およびFig.4参照)。

筐体の製作は水平動と同じ。

<支柱部>

アクリル板材5mm厚で接着。ボルト止め。振り子の動きを制限しないよう, 接着時はギャップ幅に注意する。

<支点部>

バネ用リン青銅薄板 (C5210P-H) の幅4mm, 厚さ0.1mm板を採用。3.5~4mmのギャップを開ける。留具は3Dプリンタで製作。4mmビスでバネを固定。
地震計全体の構造をFig.1に示す。

2. 磁気回路

<磁石部>

振り子の重錘を兼ね円形ネオジム磁石 (φ20mm, 5mm厚) を必要数重ねて, 振り子のアクリル薄板に磁力だけで取り付けて使用。磁界の向きは左右で同じ方向になる。

<コイル部>

ウレタン線0.2mmから0.26mmを2000回程度巻く。ポピン (内径30mm, 外径60mm, 内幅10mm) は3Dプリンタで製作。2個で1組となる。手動コイル巻機 (Amazonで4400円) を使用することで, コイルの製作は簡単になり, 巻取り回数も正確に記録できる。Fig.2にコイルを巻く様子を示す。

<磁気回路の構成>

同一磁極方向の磁石を左右 (水平動) あるいは上下 (上下動) に配置。これをまた, 同一巻方向のコイルと組み合わせることで, 2組の磁気回路の信号が倍加される構造。また2組組み合わせることで, 振り子の停止位置がどちらかにずれても, 信号強度の互いの補填が期待される。これは前モデル (岡本, 2022b) でも採用した手法である。

3. 本体部

アクリル材5mm厚から, 上記手法で組み立て。補強に8x8mm材を床材の下部に接着する。水平動機材は, 床材に傾きの調整機能をボルトで付加する。これにより, 水平動, 上下動ともに, 固有周期3秒程度を目標に据える。これは長周期が卓越する海外の地震を, それなりの感度で捉えうる最低の条件だと思われる。

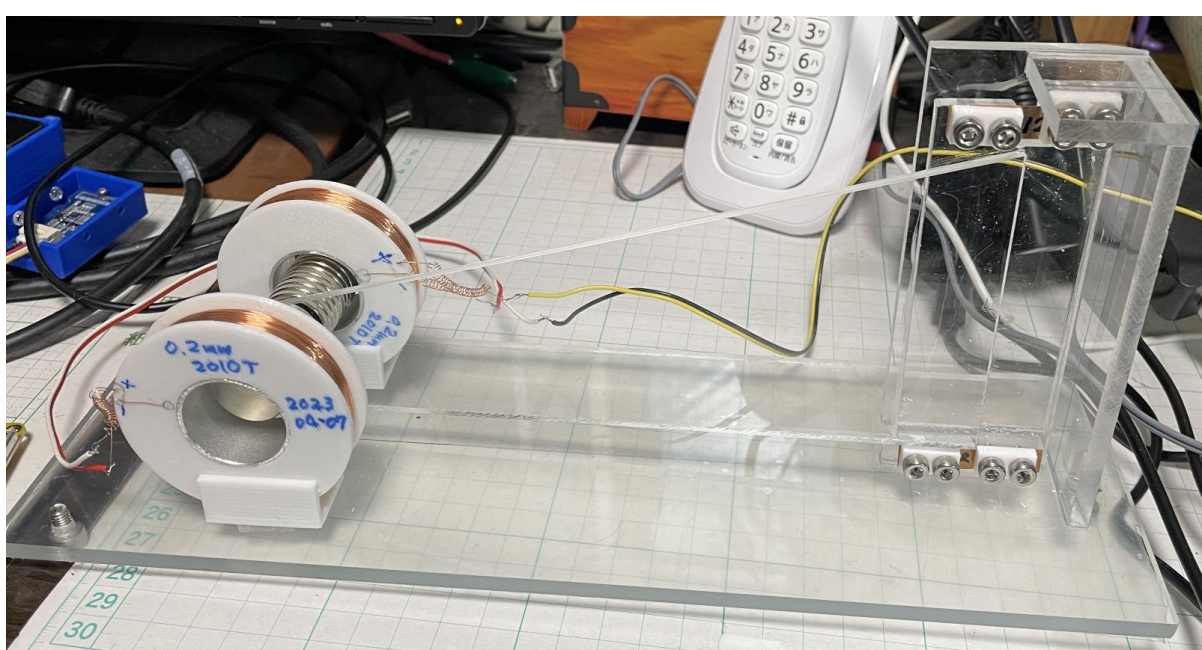


Fig.1 Horizontal pendulum (upper) and Vertical pendulum (bottom)

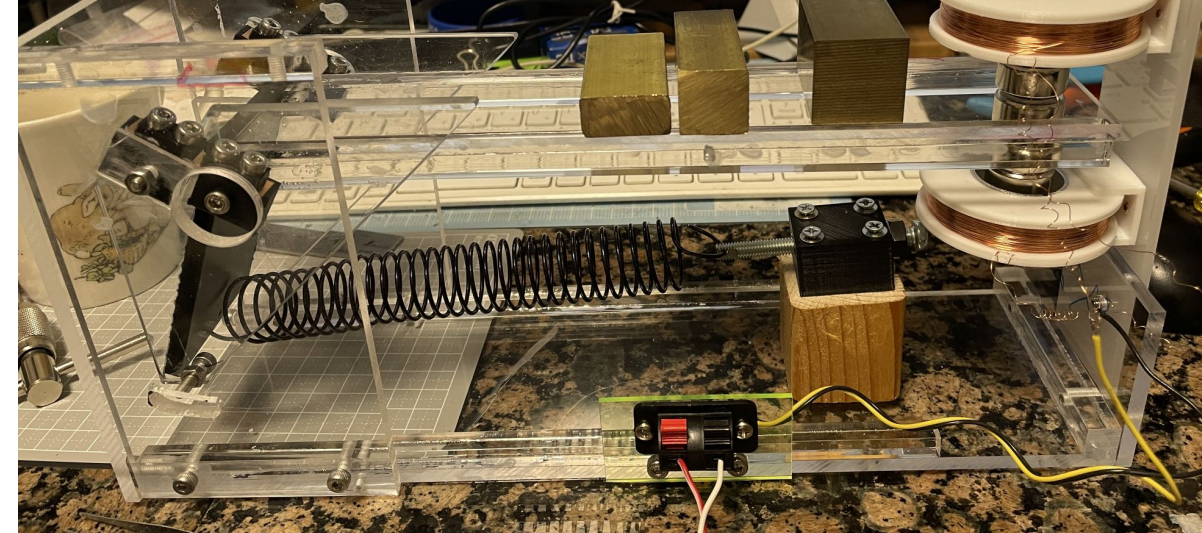


Fig.2 Hand coil winder with counter. Now 0.25mm urethane coil is winding



INTEGRATED AMP (観測用アンプ)

微小なコイルからの信号を増幅するアンプには, 筆者製作の ANB地震計 (岡本, 2015) の単電源 (5V) アンプ回路を流用し, 一部改良を行った。現在はこのアンプの基板を都合3枚分使用して, 3chの信号増幅を行っている。Fig.3にその回路図を示す。近地の地震を捉えるには十分な感度である。

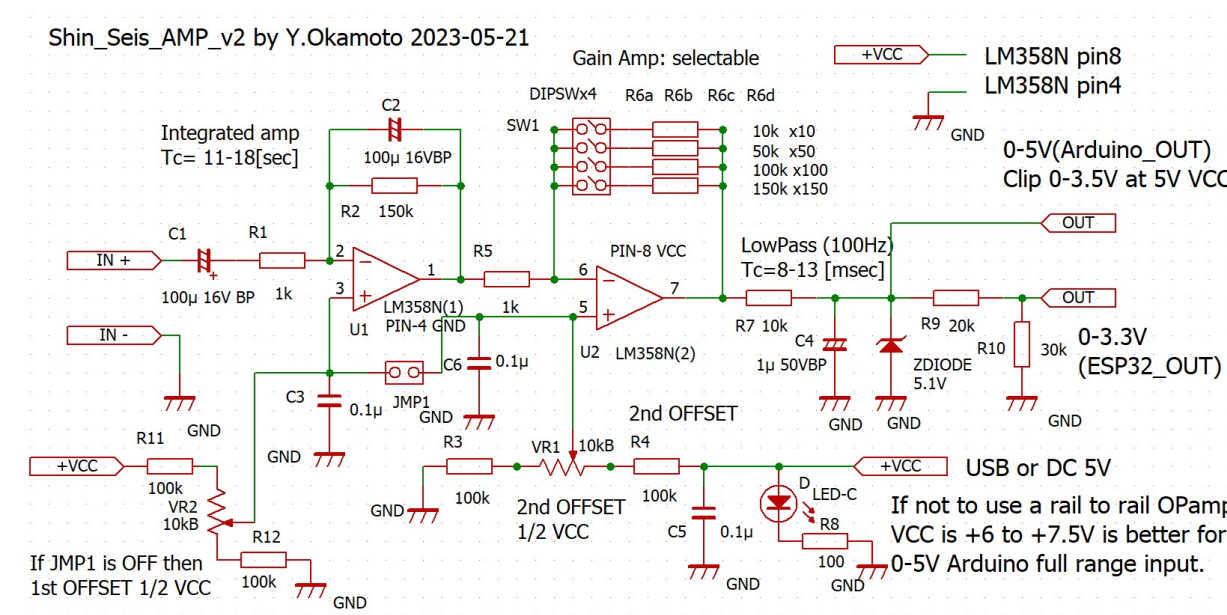


Fig.3 An integrated amplifier for our system (1ch). The time constant for the integration is around 30 sec

DATA LOGGER (記録装置, 試行)

1. 緒言

高校生などが小遣いの範囲での製作を考え, 記録装置の選択を行った。まず, 筆者の微気圧計 (岡本, 2022) で実績があるRasperryPi。しかし液晶モニタ込み1万円を超える。次にこれも微気圧計で用いたM5Stackをチェック。価格やサイズは十分であるが, 地震計としてはモニタのサイズ, サンプル速度に難があることが判明。最後にESP32というMC (マイクロコントローラ) の液晶付き基板に行き着いた。

2. ESP32のLCD付き基板

ESP32は上記M5Stackにも採用され, 現在計測の分野で流行りのMCである。液晶モニタが付く基板が中国通販で格安で入手できる。そのうち次の2種類の基板をテストした。

- ・ESP32-3248S035 (3.5"LCD320x480付き, 約2400-2800円, LCDタイプにより価格に差)
- ・ESP32-8048S043 (4.3"LCD800x600付き, 約3400-3800円, LCDタイプにより価格に差)

解像度が異なるほか, ピンアサインも少し異なり, 使用には注意を要する。小型の基板であるが, A/D変換, wifi受信 (JST時計合わせ), SDカードへのデータ保存などを有する多機能ICTアイテムである。従来のArduino+PCロガーが, この小さな基板で置換可能になる。

ただ, 現在は情報が極めて少なく, 試作には大変苦労した。しかし価格を考えると将来的には, Rasperry PiやArduinoなどと並ぶ, 教材活用には大変有望なMCである。製作費用が大幅に下がるメリットは大きい。

しかし, 地震計に用いるにはサンプリング速度が遅い, さらにSDへのデータ書き込み時間が長いことが欠点。ただ高校生などの観測で1chのみの試行であれば, 20-30Hz程度のサンプリング速度は出る。ただ3chで高いサンプリング速度が必要な場合は, やはり従来のArduino+PCの従来の手法がベスト。

3. ソフトウェア

ESP32基板はいずれもArduinoIDEに, ESP32駆動用の各種ライブラリをインクルードして, 使用が可能になる (いずれも無料)。ただ上記したように基板情報に注意が必要。

上記したようにチャンネルごとのA/D変換やデータのSDカードへの保存も可能である。画面表示も含めた制御プログラムは筆者Webサイトにて公開予定。この基板によるデータ記録の様子と有感地震記録を次に示す。

4. Arduino+PCによる収録

ESP32は小型で安価であるが, サンプリング速度に難がある。そこで現在は一旦ESP32の使用を中断し, 従来のArduino+PCの観測システム (岡本, 2015) に戻している。なおESP32のシステムは遅いサンプリング速度で十分な, 「微気圧計」 (岡本, 2022a) などでは極めて有効であり, 別の機会に詳細を発表予定である。

OBSERVATION SITES (観測サイト)

1. 自宅 (筆頭筆者) クローゼット内:

ESP32を用いたシステムは試作システムのため, その後, 廃止して, 一旦, Rasperry Piを用いたシステムを経て, 現在は自宅 (木造1戸建て2F) の自室のクローゼット内に設置したArduino+PC記録システムで継続観測を行っている。ここではESP32 (800x480LCD基板) を用いた試作記録システムの記録写真を載せる。また近くの有感地震の記録画面は次章。

2. タイ王国における, 机上デモンストレーション:

8月下旬からは, 同上のシステムを, タイ王国の幾つかの大学に持参して, 机上デモを行う予定としている。なお何セットかの試験観測機材を, 今後製作予定であるので, 借用して観測を希望する学校は連絡をお願いしたい。

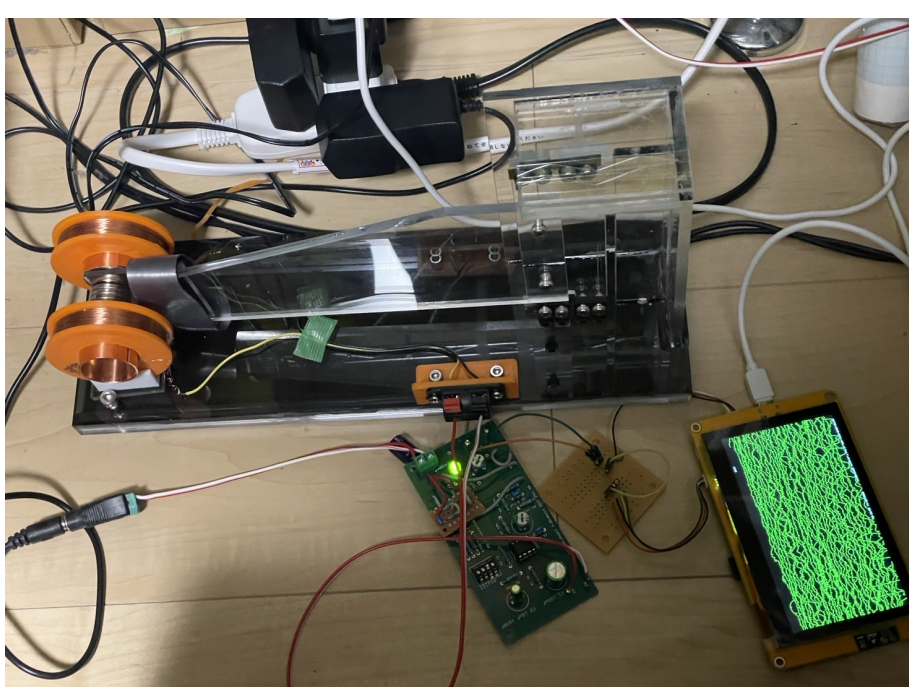
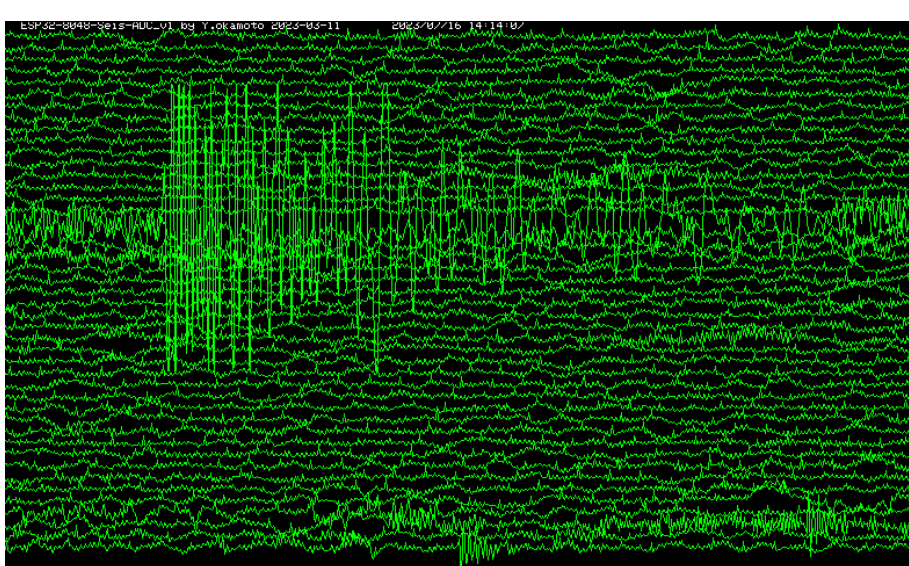


Fig.4 Observation site of my house: 2F closet. Using Esp32+LCD and mono power OP amp (upper).



A felt earthquake (Nara Pref. M4.0 h=70km) is recorded with ESP32+LCD system. LCD captured image (bottom).

DATA & RESULTS (データ・観測記録)

2023年5月5日の能登半島地震M6.5の最大余震M5.9と
2023年5月14日の八丈島近海の地震

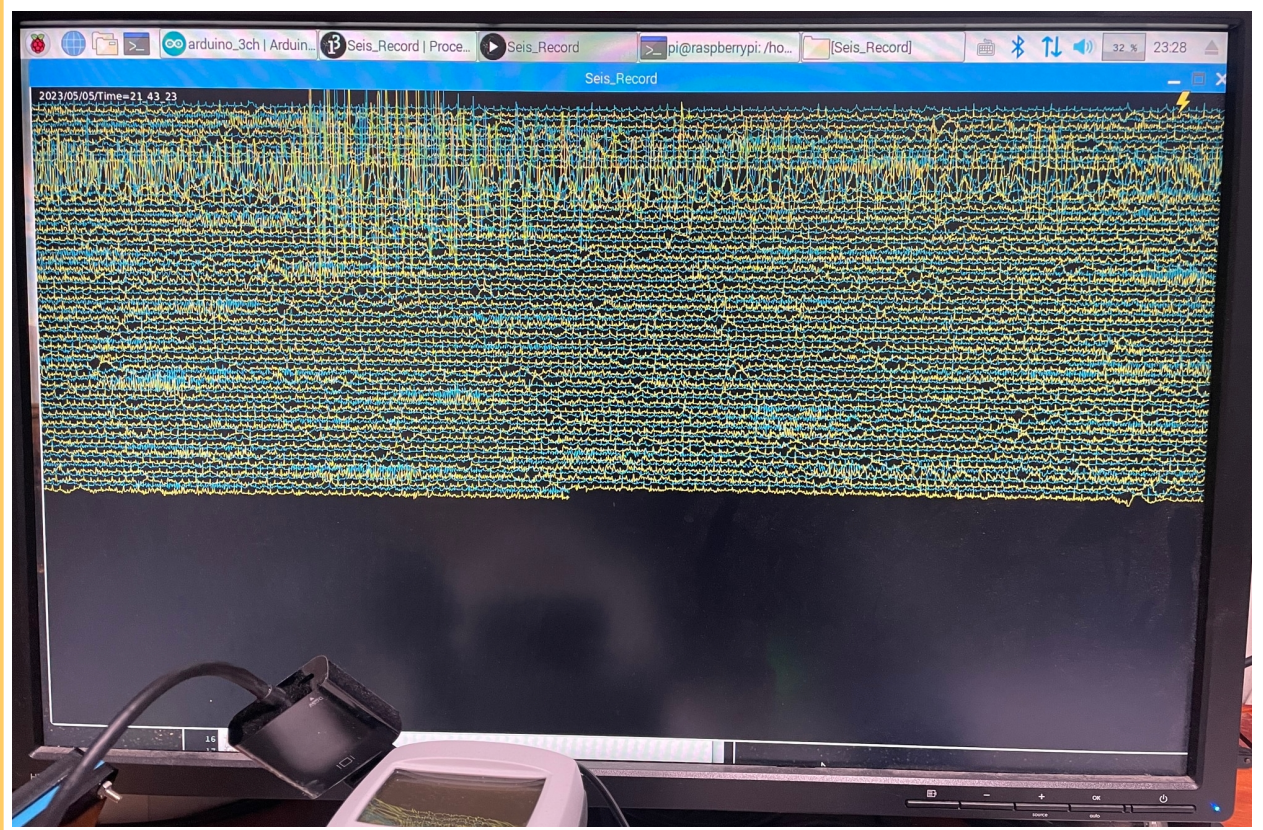


Fig.5 An aftershock M5.9 of Noto EQ (M6.5 2023-05-05) recorded with Raspberry Pi system. Time mark is 1 second. You can see clear short period ground motions.

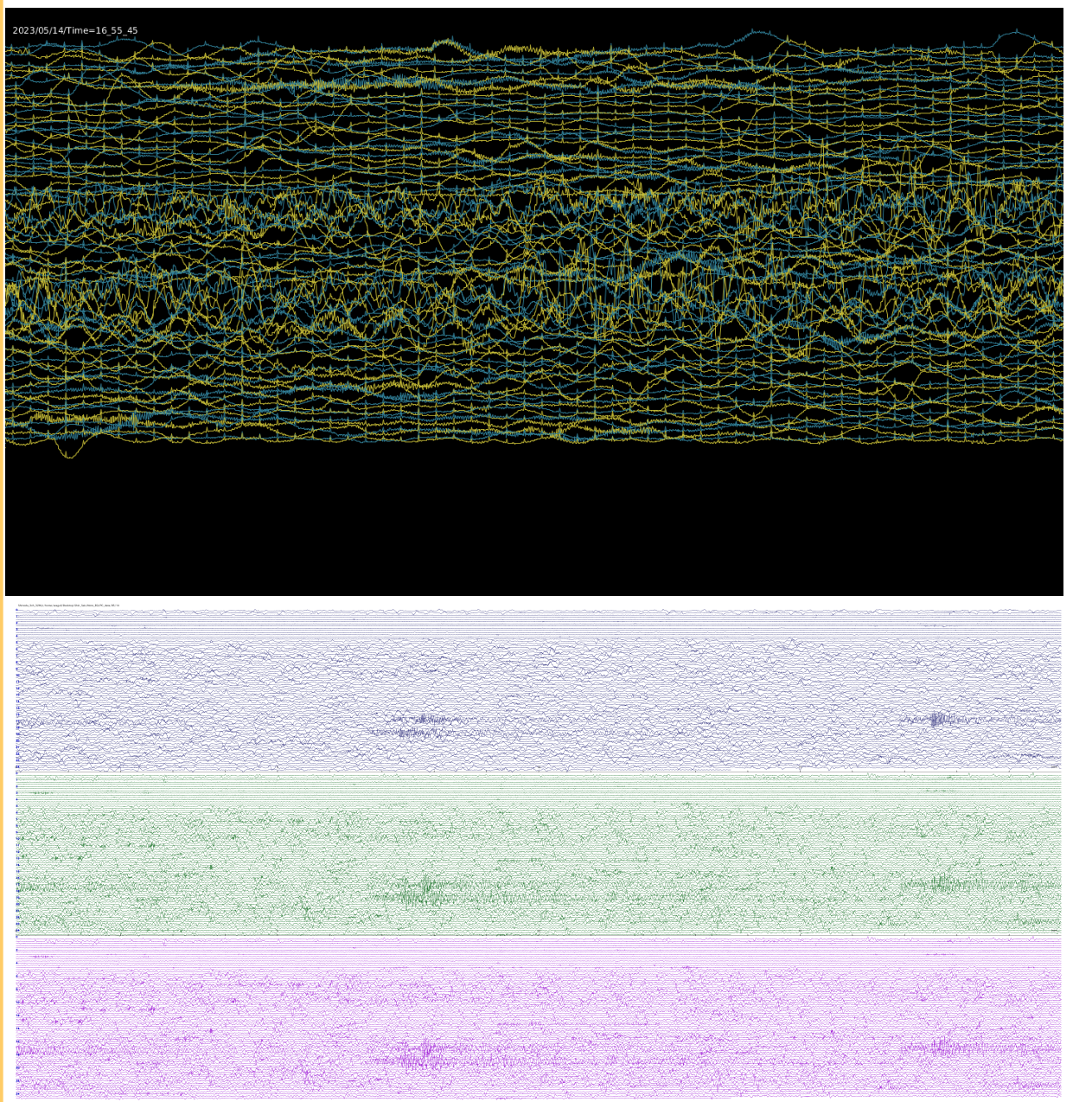


Fig.6 Near Hachijojima M5.6 and M5.9 2023-05-14 recorded with PC system. Up: PC realtime image. 16:55 pm start 14th May 2023 Bottom: Daily record of the same day

DISCUSSIONS (議論)

- ・アクリル板の工作スキルが必要。しかし端材単価は安い。
- ・重錘をネオジムの自重だけに頼るには, 少し軽すぎる。
⇒鉛板の追加でしのご。
- ・アクリル板の接着は接着剤 (ジクロロメタン) で行うが強度は十分。しかし調整は困難。そこでボルト止めも併用。
- ・コイル巻き機の導入は, コイル製作で大変な率が上がる。
- ・5V単電源 アンプは従来の「ANB地震計」 (岡本, 2015) 用のものを修正。基板製作は業者に任せただけで, 安価かつ組み立てが容易。また5V単電源で使用可能。しかし観測用の高増幅度ではオフセット調整が難しい。
⇒試行錯誤を行っているが, 打開は現況困難。
- ・ESP32はサンプリング速度に難があり, 地震の記録装置としては不向き (現在別途, 微気圧計での使用を試行中)
- ・しかし1ch観測であれば20-30Hzサンプリングを確保。
- ・Rasperry Piによるシステムは比較的高価な割にメリット小さい。⇒従来のArduino+PC記録システムに落ち着く。
- ・高校地学クラブによる, 地震観測ネットの創設を待ちたい。

CONCLUSIONS (結論)

- ・従来の教材用地震計の改良を行った。
- ・スケルトンの構造は地震計のしくみをよく示す。
- ・工作の簡素化は実現できた。
- ・それに反して, 単電源OPアンプおよび小型マイコンESP32の新たな記録システムには困難が見つかった。
- ・しかし1ch観測であれば十分観測可能
- ・上下動振り子の新たな吊り方は, 成功している。
- ・今後記録をさらに増やして, 性能評価を行いたい。

REFERENCES, MISC (参考文献, 雑)

- 岡本義雄: Rasperry Piと高感度気圧センサを用いた微気圧計の製作, 日本地学教育学会島根大会講演予稿集, 2022a
- 岡本義雄: 3Dプリンタ印刷パーツで製作する学校教材用地震計, 日本地球惑星科学連合大会2022, e-Poster, 2022b
http://seagull.stars.ne.jp/2022_JpGU/Seismograph_related.html
- 岡本義雄: やや本格的な教材用地震計の製作, 日本地学教育学会第69回全国大会福岡大会講演予稿集, 2015
http://seagull.stars.ne.jp/Articles/Japanese/Homemade_Seismogram_2015.pdf
- 岡本義雄: 教室でできる地学実験「ANB地震計を作ろう! その2」, 日本地学学会広報紙「なみふる」No.103, 6-7, 2015

- ・PCB基板の外注先は JLCPCB <https://jlcpcb.com/VGB>
- ・PCB/Gerber Editor: Minimal Board Editor (Japanese only): <https://www.suigiyodo.com/online/mbe/manual/set/set.htm>
- ・バネ製作は (有) スギウラハツジョー <https://s-spring.jp/>
- ・用いた地震データの緒言は気象庁とUSGSによる。
- ・ESP32基板解説のWebサイトは以下のとおり。
<https://macsbug.wordpress.com/2022/10/02/esp32-3248s035/>
<https://macsbug.wordpress.com/2022/11/29/esp32-8048s043/>
- ・筆頭筆者Website: <http://www.yossi-okamoto.net/>

ACKNOWLEDGMENTS (謝辞)

大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎 物理・地学実習助手, 三橋礼氏には地震計製作にあたり, 数多くの有益な助言をいただいている。タイVISTECのDr.Thanit Pewnim氏には, タイでの筆者の活動について, 常に便宜をはかっていただいている。両者に感謝します。