

'Arduino' と 'Processing' でよみがえる「フィルムケース地震計」

A reconstruction of "Film Case Seismometer" employing "Arduino" and "Processing"

G04-P02

岡本 義雄 (大阪教育大学・附属高等学校天王寺校舎)

yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

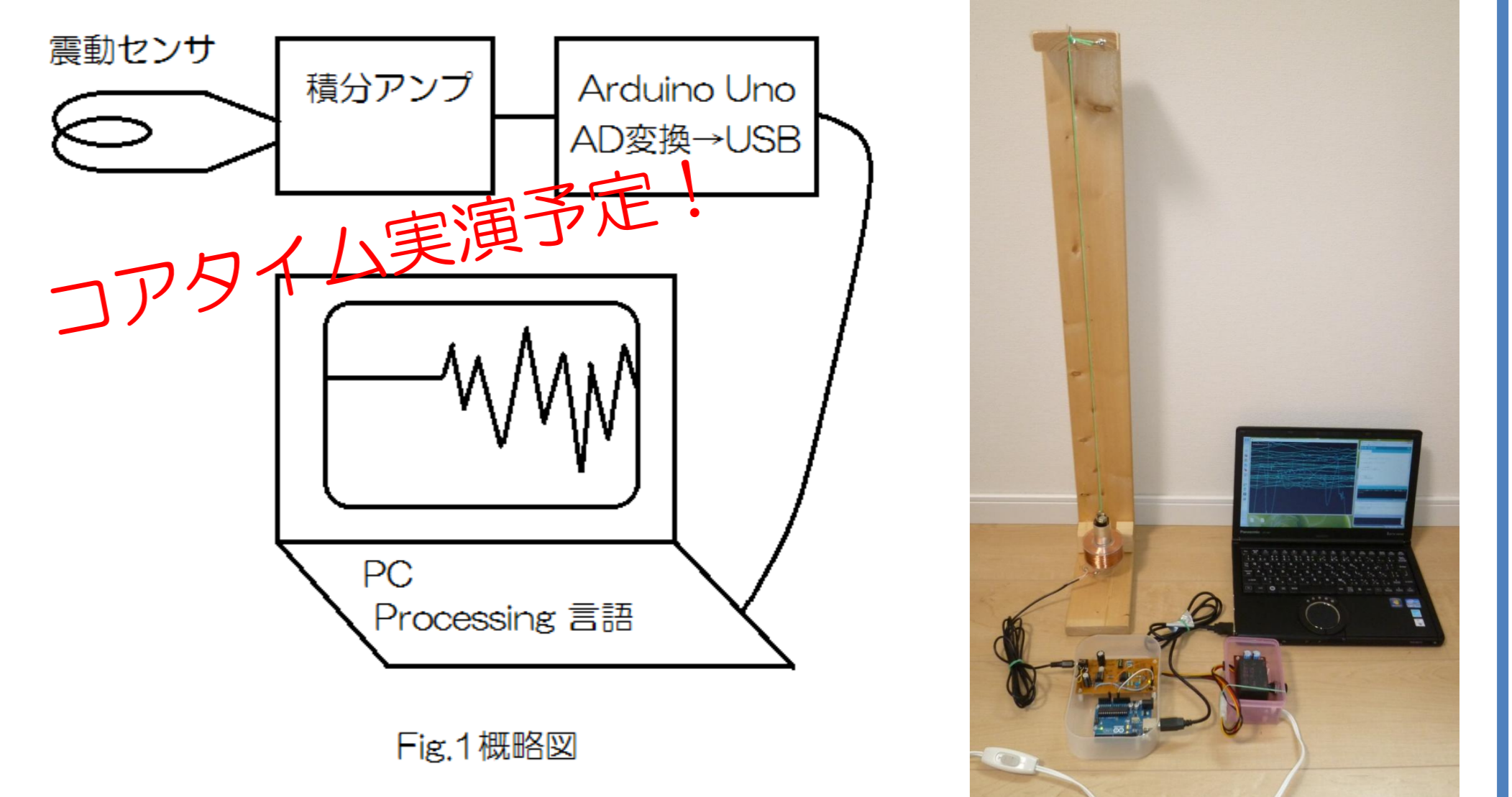
2014年日本地球惑星科学連合大会POSTER発表

はじめに

筆者は20年近く前、いわゆる「フィルムケース地震計」(岡本, 1997)を学校教材用に製作した。そのシステムは当時最新の地震計システムを真似て簡略化した、ムービングマグネットセンサとデジタルPC記録システムを含んだ地震計であった。震動センサは簡単で、すぐに組み立てることが容易であったが、記録システムはやや複雑な電子回路と、特殊なPC(NEC PC98シリーズ)でのみ動くプログラム言語(N88BASIC)を用いていた。そのため、他ではそれほど製作されることもなく、また教室で紹介されることも乏しかった。この観点に立ち、今回この古いシステムをフルモデルチェンジし、「Arduino」という新開発のワンチップマイコン(AD変換とIOインターフェイスの両方を兼ねる)と「Processing」という、JAVAベースでOSを選ばないフリーウェアのプログラム言語を信号処理に用いる仕様で改良した。フィルムケースはすでに廃品であり、センサコイル部は新たにアクリルパイプで製作した。また、従来の輪ゴム吊りの振子をより安定的に上下動を捉える形に改良を加えた。さらに、新たに身近に入手できる材料で簡単に製作可能な水平動センサも試作した。いずれのセンサ+振子も現在、自宅で自然地震観測に用いる試行を行っており、本報告はこれらの試作と観測の経過報告となる。これらの改良により、本地震計を以後、**improved Film-case Seismometer (iFS地震計)**と呼ぶことにする。右に本地震計の教室デモ用基本モデルの概略図を示す。振子部を改良した試作中の観測用システムは以下に記述する。

デモシステム概略図

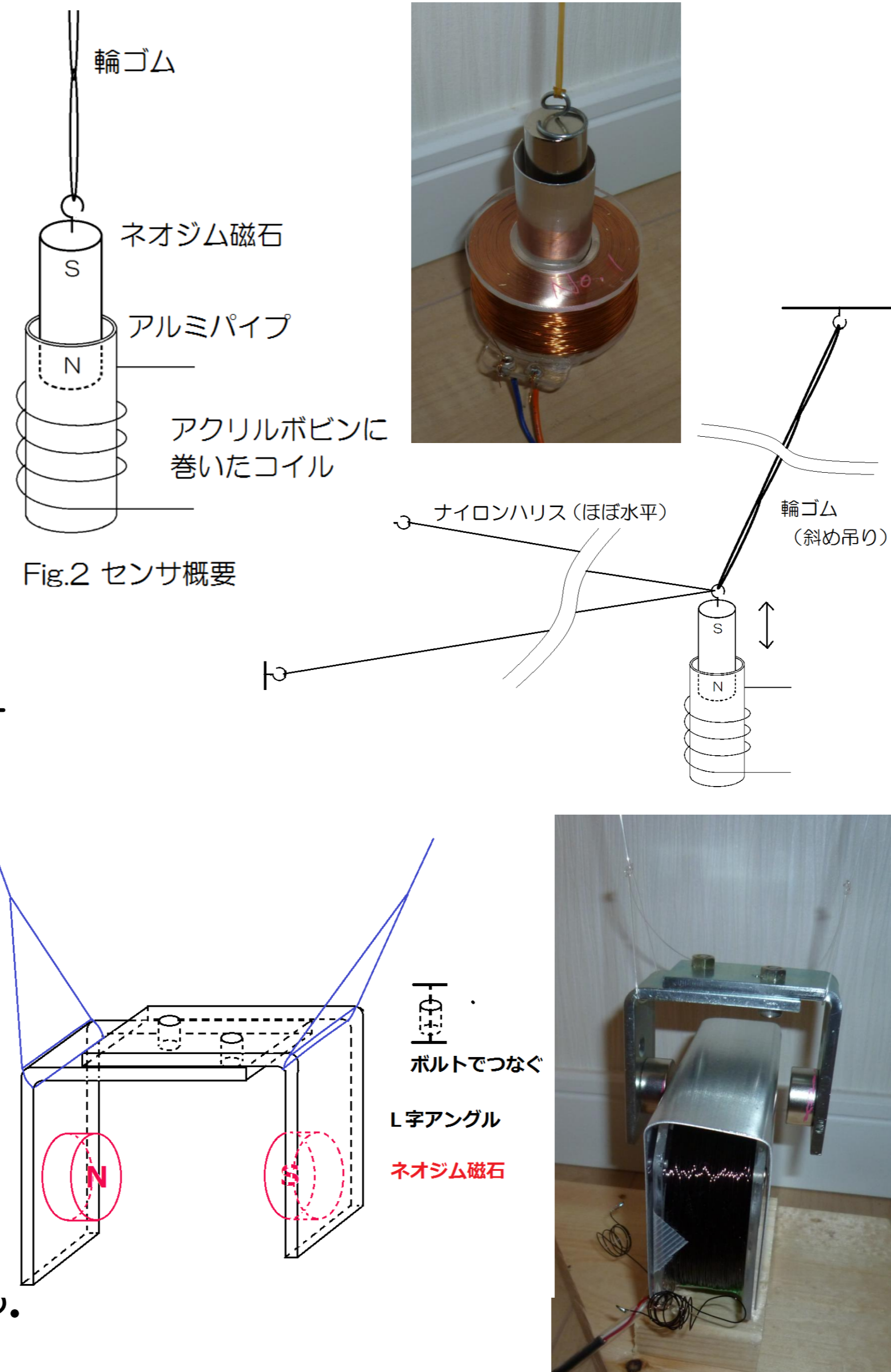
本地震計は教室でのデモ用と自然地震観測用のシステムの2つを製作した。下図は概要がわかりやすいデモ用のシステムの概略図と写真である。



震動センサと振子

前モデル(岡本, 1997)でフィルムケースに巻いたコイルは、本モデルではアクリルパイプと円板を組み合わせた自作ボビンに巻いた(右の概要図と写真参照)。試作したセンサ類、振子の諸元は次のとおり。

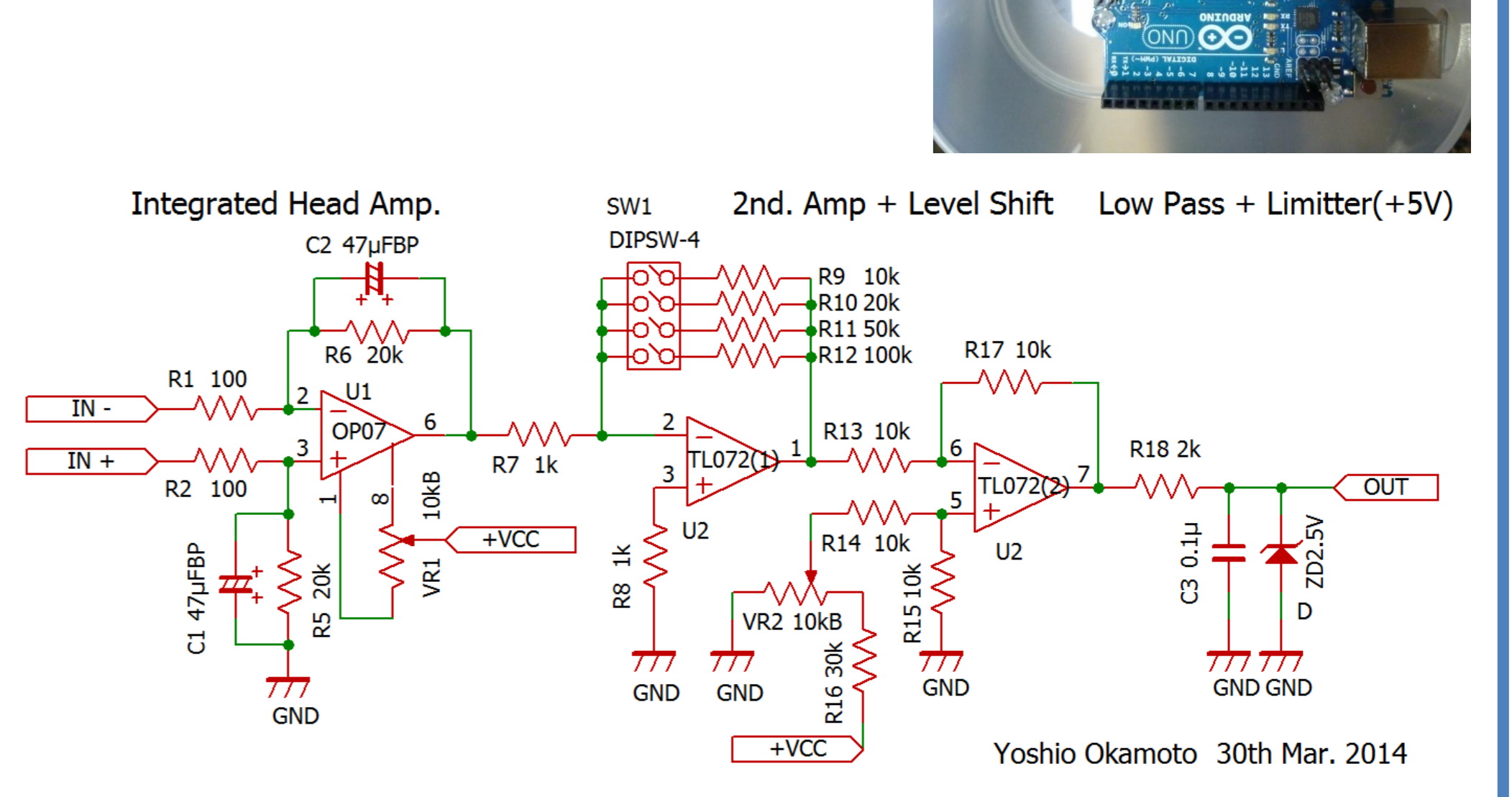
- ・ボビン外形: 30mm ウレタン線径: 0.26mm
コイル巻長28mm 巻き数: 約3700回(右写真)
- ・円筒形ネオジム磁石(φ約20mm, 長さ25mm, 表面磁束密度565mTを2個連結)
- ・ダンパー用のアルミ板: 厚さ0.3~1.0mmの円筒形(試行中)
※現在振子の吊り方を前作の1本吊りから、右図のように変更して観測中(振子の動きの方向の制限、輪ゴムの長さ: 2.38m)。
- ・水平動センサとセンサ部を2個(東西, 南北成分用)新たに**オリジナルな形式**で試作した。
- ・ボビン外形: 30mm エナメル線径: 0.4mm
コイル巻長25mm 巻き数: 約2600回(右下写真)
- ・磁気回路: 右下図のような**コの字型の磁気回路**をホームセンターで入手したL字アングルから自作。このコの字型磁気回路に、ネオジム円筒形磁石を2個磁力で張付け振子の重りとして使用。
- ・L字アングル: 60mm×30mm×4.5mm厚(鉄製, 詳細不明)
- ・円筒形ネオジム磁石: φ22mm, 長さ10mm, 表面磁束密度430mTを2個向い合せて使用(右図)
- ・ダンパー用のアルミ板: 厚さ0.5mmを角形にコイルに巻きつけて使用。センサ部の写真を右に示す。
- ※水平動の振子: 磁気回路を重りとして、**天井より2本の釣り用テグス(φ0.6mm)で吊る(Bifilar吊りと呼ばれる)**。これによりまだ不完全ながら、振子の振動方向は水平成分方向に制限される。テグスの長さ: 2.34m, コイルは床に置いた台に設置(右写真)。



信号増幅回路

信号増幅回路は基本的に前モデル(岡本, 1997)を踏襲したが、細部で回路定数の変更を行った。要点は次のとおり。

センサは速度比例信号なので、積分増幅をして、変位信号に変換。そのRC時定数は約5~10秒(次定数以下の周期の信号を変位に変換)で試行中。自然地震観測用に電圧増幅度(200倍~2万倍)をDIPSWで選択可能。現在3ch用に拡張済み。Arduinoとはブレッドボード用ジャンパ線でつながれる(次章の写真)。1chの回路図は次のとおり(文献の回路図を一部修正)。



AD変換とI/O回路+ソフトウェア

前モデルでは製作の「鬼門」であったAD変換とI/O回路に、最近使用例が著しいワンチップマイコン「**Arduino Uno**」(約3000円)を採用し、その制御ソフトウェアには**JAVA**ベースでこれも最近、流行中の「**Processing**」言語を採用した。これにより信号増幅用アンプを除くと、ハードウェアは至極簡単になった。

ハードウェアでAD変換された信号は、**USBケーブル**でPCに取り込まれる。波形信号はタイムマークとともに表示。メモリ数値データと共に10分ごとに保存している。3chを100Hzサンプリングで走らせているが、3chの波形同時描画と信号データ保存は最近のノートPCで十分余裕がある。ソフトはほとんどのOSに対応する形に改良も可能であり、タブレット(Android等)も使用可能なおそらくである。右に観測画面(2014年3月14日伊予灘M6.3のP波到達時)とArduino制御用ソフトウェアの一部を示す。

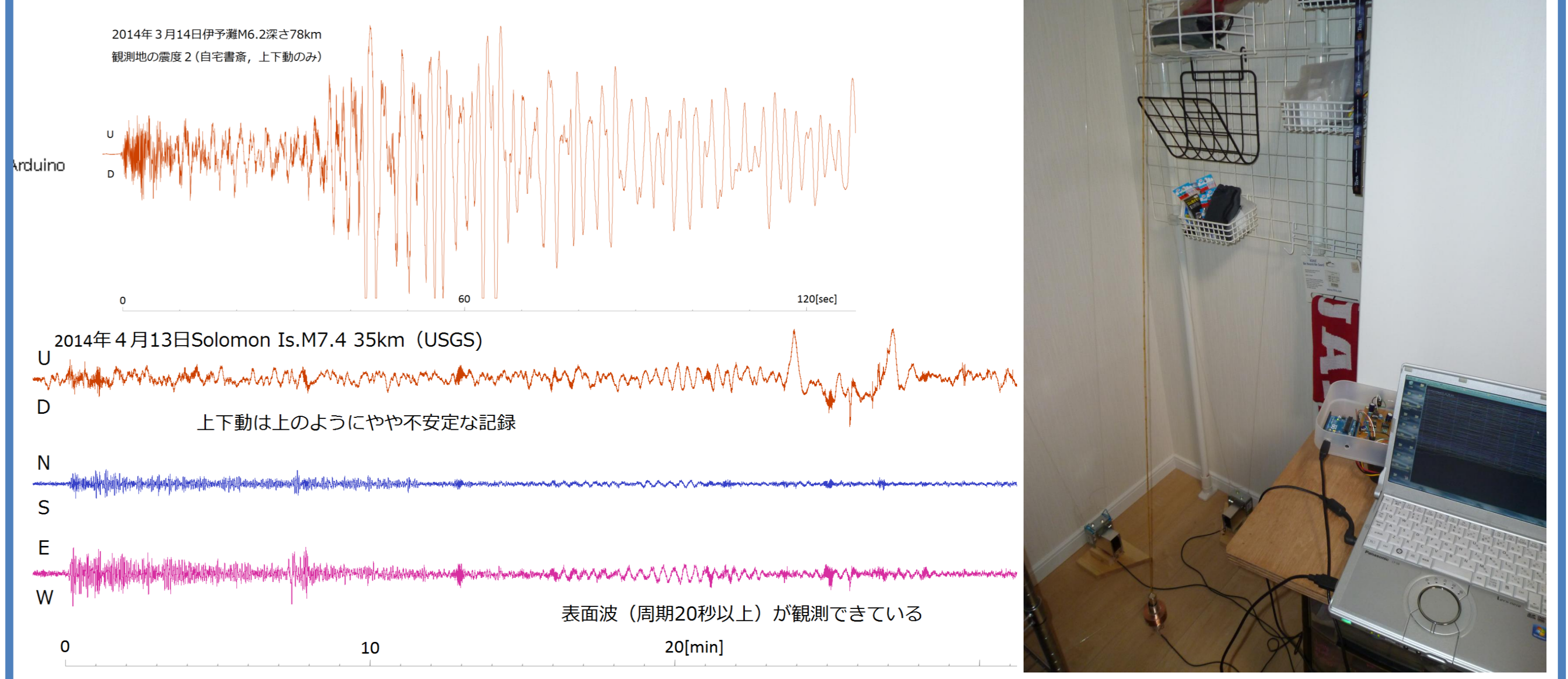
```
const int accel_pin[] = {0, 1, 2};
int accel_val[] = {0, 0, 0};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  byte buffer[2];
  // AD convert for 3-ch
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
    accel_val[i] = analogRead(accel_pin[i]); // read pin[]
  }
  // Data transfer: if processing send one byte character to
  if (Serial.available() > 0) {
    for (int j = 0; j < 1; j++) {
      buffer[j] = bytes(accel_val[j]);
      buffer[j+1] = bytes(accel_val[j] >> 8);
      Serial.write(buffer, 2);
    }
    Serial.read(); // take off * character
  }
}
```

観測用システムと記録波形

自宅2Fクローゼット内(郊外丘陵地の最寄駅から50mの住宅地の一角)での観測システム(写真)による自然地震観測波形を以下に示す(振子の自然周期: 上下動1.8秒 水平動2.9秒)。



考察

ゴム材料について: 輪ゴムは一見チープで頼りなく見えるが、寄生振動の減衰がピアノ線のばねなどより速く、教材用の地震計にはすぐれた素材であると思える。その非線形応答(例えば、中川, 1976)も本教材のような微振動に対してはほぼ問題とはならない。問題があるとすると、ゴムの劣化と温度によるゴムの長さの変化である。カラフルなゴムも安価に市販されており、教室でのデモ用に用いると効果的である。なお、現在までに気づいた点はつぎのとおり、
1) ゴムの温度特性は金属などと逆で、高温で縮むのが特徴。2) 劣化も高温で進行する。3) 伸びにより、数日で振子のゴムの長さの微調整が必要。
ネオジム磁石について: 教材にネオジム磁石を用いるときは磁力が強力なので、取扱時にくれぐれも怪我をしないように注意が必要。
上下動振子の問題点: 本改良振子は、磁石の回転、振子の円錐状の回転などの影響がかなり制限されるが、上下動成分のみをきちんと観測しているかの検証が必要。また観測記録にあるように**比較的安定な水平動振子に比べて、長周期の安定性に乏しい**。このあたりはまだ振子の構造も含めて改良の余地を多く残す。
水平動振子について: bifilar吊りは、おもりの(磁気回路)が振じれる動きには制限がかけにくい。この点純粋に水平動成分を観測できているかの検証が必要。
積分回路について: 積分回路の採用は、デモ用の器材で教卓などで波形観察する際に、磁石の動きと波形がきれいにリンクするので**教材として効果的**である。ただ当然長周期側で時定数(上記回路では周期約5秒程度)を越え、積分の役割を果たせない。振り子の短い自然周期と相まって、長周期の観測は今後の課題である。
自然地震観測における検知感度: アンプは高感度なので、このままでも十分に自然地震が観測可能である。観測場所の条件によるが、筆者宅(郊外の住宅地の1戸だて)の2F書斎クローゼット内の条件で、**本州内のM5の後半であれば、充分観測可能**である。さらに近地の地震では、M3が今のところの観測限界である。
遠地では2014年4月1日のチリ地震(M8.2, USGS)もその到来から1時間後の表面波到来まで自室のモニタ上でリアルタイムで観測できた。ソロモン地震の観測例でも表面波を明瞭に観測している。ただ、長周期の観測では上下動振子の安定性が問題となる(上の観測波形形を参照)。
地震計の躯体について: 観測用の本地震計は振子を天井から吊るため、**部屋全体がいわば地震計**となっている。この点市販の地震計とは構造が異なることに注意。
地震計の各種定数など: 地震計としての特性(変位倍率や減衰定数)などの詳細は重要であるが、現在解析中で本発表には間に合わなかった。

おわりに

一般の人々の地震に対する恐怖や誤解は根深い。地震が簡単に目に見える現象ではなく、その姿を捉える地震計が身近に存在しないということが大きいと筆者は考える。この観点から教材用の地震計を作り始めたが、本地震計の試作でやっと一つの折り返し点を通り越したと感じている。本地震計は、PCを除くと**1万円未満の製作コスト**で、教室や茶の間でリアルタイムに近地の地震のみならず、遠く世界の果ての地震でさえ観測・記録することができる。TVやインターネットの地震速報と相まって、地震について、不幸な災害の顔だけでなく、波の伝播の観測が地球内部構造の解明に役立ってきた面も大きいことを身をもって体験できる。何よりも地震計の自作を通して、次世代に地震や地球の不思議さを伝えたいと願っている。地震計の更なる改良、特性測定、観測成果については今後の研究課題としたい。

参考文献・謝辞

岡本義雄: 「フィルムケースで地震計を作ってみよう」第1回~第4回, 日本地震学会広報紙「なみふる」Vol.0, 5, 1997より不定期連載。
平田邦男: 「パソコンによる物理計測入門」/共立出版, pp.228, 1985
中川 鶴太郎: 「伸びる: ゴムの弾性(特集)日常経験する物理・化学的現象のやさしい解説」, 化学教育 24(1), 85-90, 1976
本研究には科学研究費補助金基盤C(No.25350200)の補助を得ています。本教材に関する詳細は筆者のWebサイトで順次公開予定にしています。本教材に関する問い合わせはメールで(yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp)までお願いします。