



地学・技術教育のための 加速度地震計の製作

松林弘智(ANET)・関根秀太郎(地震予知振興会)・大竹和生(気象大学校)・根本泰雄(桜美林大)

- ▶ 高校までの直流回路の知識 + a でセンサー信号をデジタルデータに変換する回路(地震計)を作成した
- ▶ +aとは、OPアンプおよびRCフィルタの知識
- ▶ パーツショップにて安価に入手できる材料にて構成した
- ▶ 50ドルパソコン(Raspberry PI)に接続して波形データ収録ができた

本研究は平成27年度科学研究費助成事業(15K12394)の助成を受けたものです

高校までの理科・技術を思い出してみると(直流回路)

- ▶ 電圧・電流・抵抗
- ▶ 直列回路・並列回路
- ▶ 電流計・電圧計の使い方
- ▶ 電力
- ▶ コンデンサ(原理と動作)
- ▶ コイル(動作)

教科と実用回路との ギャップ

教科内容と実用回路の橋渡しの意義

* 計測回路を例に

- ▶ 実用回路を考えて作成→知識が実体化
- ▶ デジタル化による現象の数値化と解析による理解

- ▶ 理科や技術への興味を高める
 - ▶ 地震観測と解析
- ▶ 将来のプログラミングによる制御や新たな測定の基礎に

本研究の目標

5

- ▶ センサーのアナログ信号を、デジタルデータ化する計測回路を、高校までの直流回路の知識 + a にて構成する



- ▶ 本研究では、電圧出力の加速度センサーを用いた **地震計** 作成
 - 以降は、高校までの直流回路の知識に合わせた説明

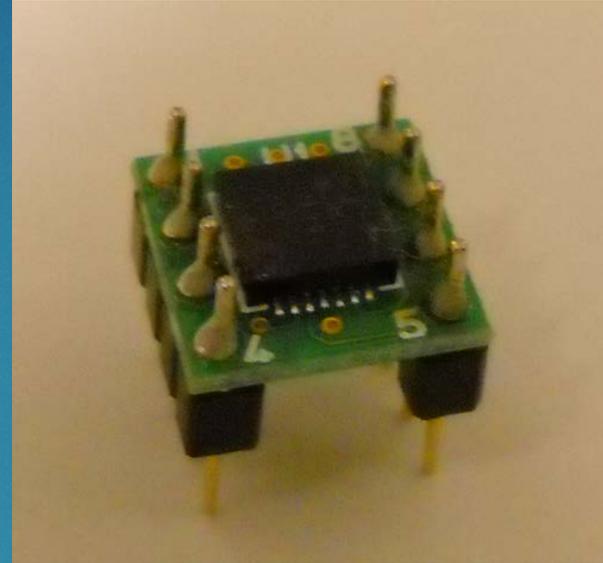
地震計の作成のための主要部品と用具

- ▶ アナログデジタル(A/D)変換IC : MCP3208
- ▶ 加速度センサー : 秋月電子のKXR94-2050
- ▶ 収録器 : Raspberry PI(50ドル"パソコン")

- 配線実験用具 : ブレッドボード(テスト用基板)、ジャンパーピン(テスト用配線)
- 測定用具 : テスター、ワニ口クリップコード

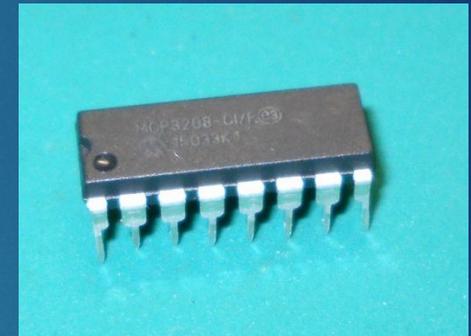
地震計の作成のための主要部品 加速度センサー

- ▶ 3.3V駆動
- ▶ 3成分
- ▶ オフセット1.65V
- ▶ 1G(980gal)=660mV
- ▶ 出力抵抗：**32k Ω**



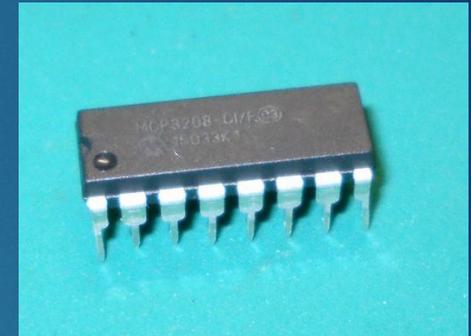
地震計の作成のための主要部品 アナログデジタル(A/D)変換IC

- ▶ 16ビット：電圧範囲0～3.3Vで4096カウント
 - 1.2galでデジタルデータ1カウント相当
- ▶ 入力抵抗：**1k Ω**



地震計の作成のための主要部品 アナログデジタル(A/D)変換IC

- ▶ 16ビット：電圧範囲0～3.3Vで4096カウント
 - 1.2galでデジタルデータ1カウント相当
- ▶ 入力抵抗：**1k Ω**
 - A) **センサーの抵抗の方が受け側より高い**
 - B) **感度不足**
 - C) **高周波の電気ノイズが大きい**
- ▶ 加速度センサー直結で十分な動作をしない



センサーと直結で十分な動作をしない

* 理由

- A) センサーの出力抵抗の方が受け側より高い
 - ✓ センサーから過剰に電流が流れる：不安定化
- B) 感度不足
 - ✓ 信号電圧が小さくデジタルデータで認識できない
- C) 高周波のノイズが大きい
 - ✓ 信号が電気ノイズに埋もれる

センサーと直結で十分な動作をしない

* 対策

A) センサーの抵抗の方が高い

- センサーの出力抵抗を下げる仕組み

B) 感度不足

- 信号増幅

C) 高周波のノイズが大きい

- アナログフィルタで除去

OPアンプ

RCフィルタ

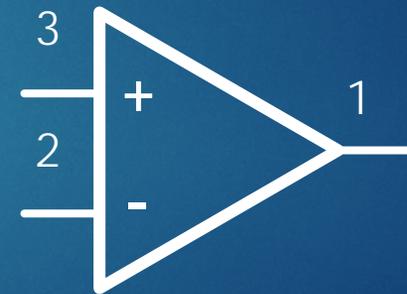
OPアンプの特徴

センサーの出力抵抗を下げる仕組み・信号増幅

- ① 入力抵抗が高い[$2.2\text{M}\Omega$ (LM324)]
- ② 出力抵抗が低い
- ③ 「+」と「-」の電位差をゲイン倍して出力する

利用方法：

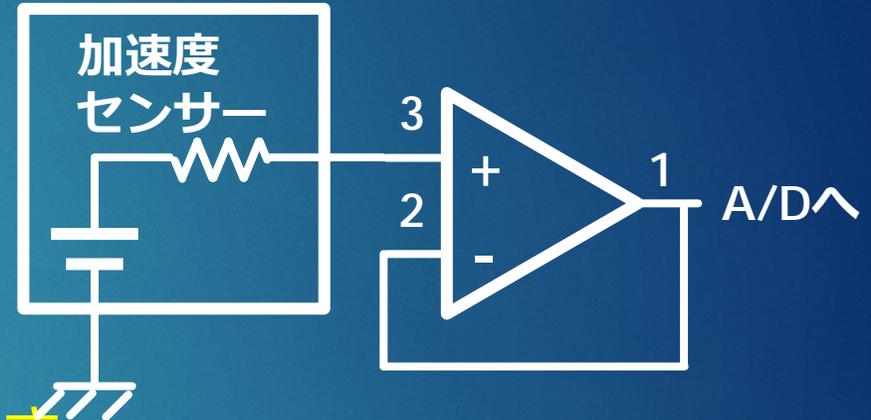
センサーの出力をOPアンプで受ける
OPアンプからAD変換へ出力する
信号を増幅する



OPアンプの特徴

センサーの出力抵抗を下げる回路

- I. 加速度センサーを+入力へ接続
- II. 出力をA/D変換の入力へ接続
- III. 出力を-入力へ負帰還接続
+入力と-入力を同じ電位にする働き



入力との同じ電位で低抵抗にて出力

OPアンプの特徴

信号増幅

- Ⅲ. 出力を-入力へ負帰還接続
 - 入力と+入力を同じ電位にする働き

- 信号を-入力→+入力のGND

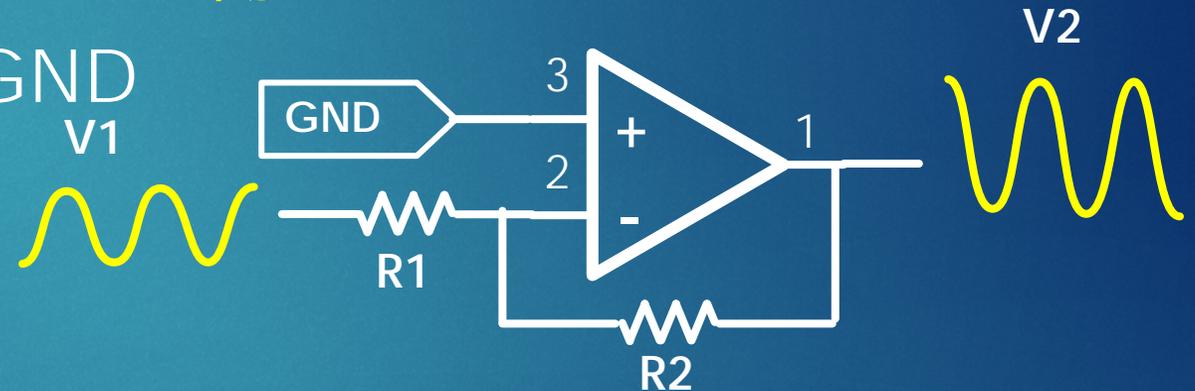
- ✓ R1を通る電流+

- R2を通る電流= 0

- ✓ $V1/R1 + V2/R2 = 0$

- $V2 = -R2/R1 \times V1$

抵抗の値で決めた倍率で信号増幅



センサーと直結で十分な動作をしない

* 対策

A) センサーの抵抗の方が高い

- センサーの出力抵抗を下げる仕組み

B) 感度不足

- 信号増幅

C) 高周波のノイズが大きい

- アナログフィルタで除去

OPアンプ

RCフィルタ

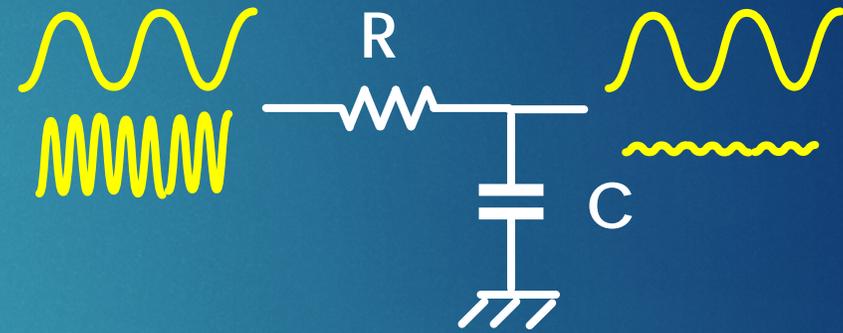
RCフィルタの特徴

* アナログフィルタで除去

- ▶ 本研究では低周波透過
- ▶ 抵抗RとコンデンサCで構成
- ▶ 遮断周波数 $f_c = 1/(2\pi CR)$

□ 例えば

R=7.5k Ω 、C=1 μ Fで遮断周波数21Hz

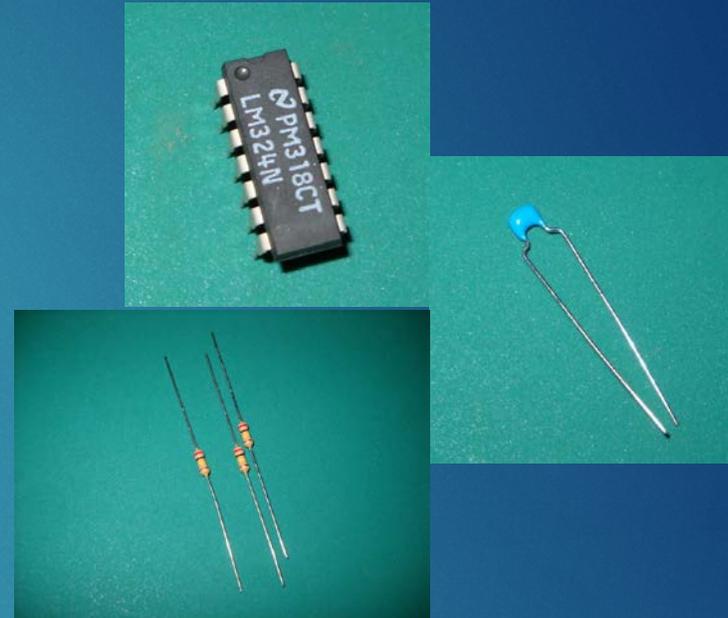


抵抗と容量の値で決めた周波数で信号透過

追加部品

17

- ▶ OPアンプ : LM324
- ▶ 積層セラミックコンデンサ
- ▶ カーボン抵抗



地震計の作成

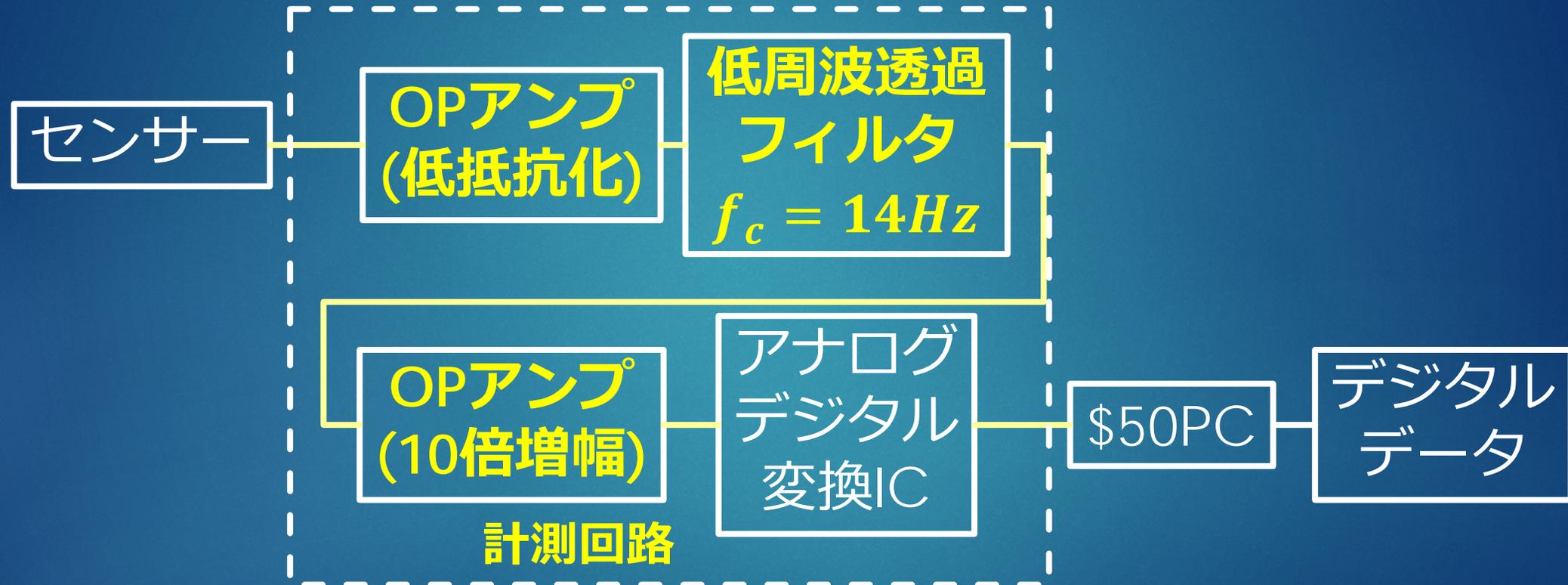
* 当初

18



地震計の作成

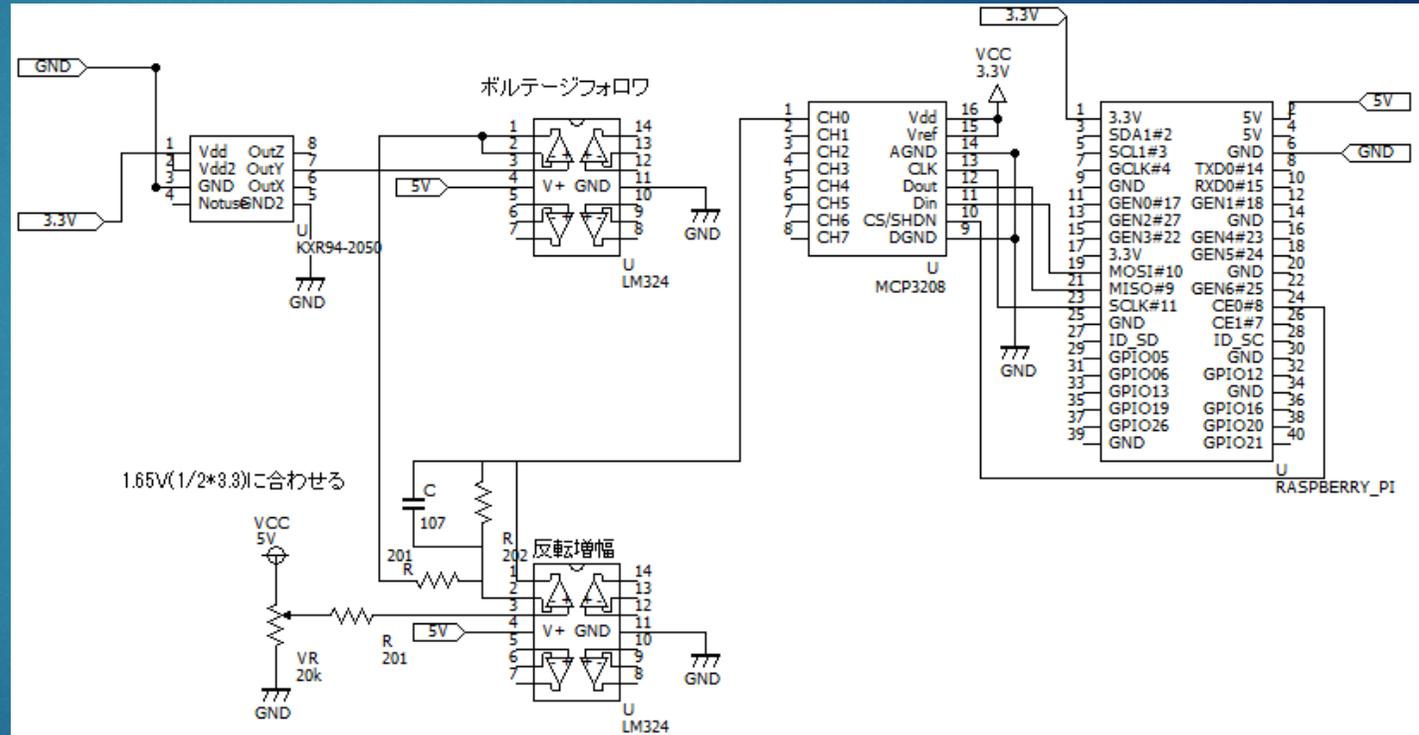
* 検討後



地震計の作成

▶ 1成分での回路図

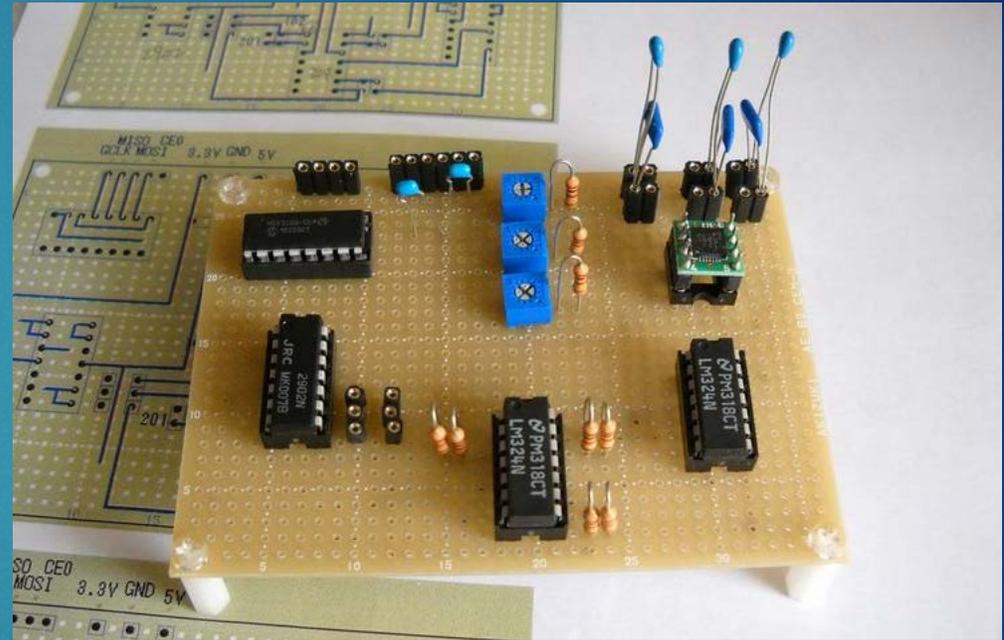
▶ 8.4count/gal
240galまで計測可



地震計の作成

21

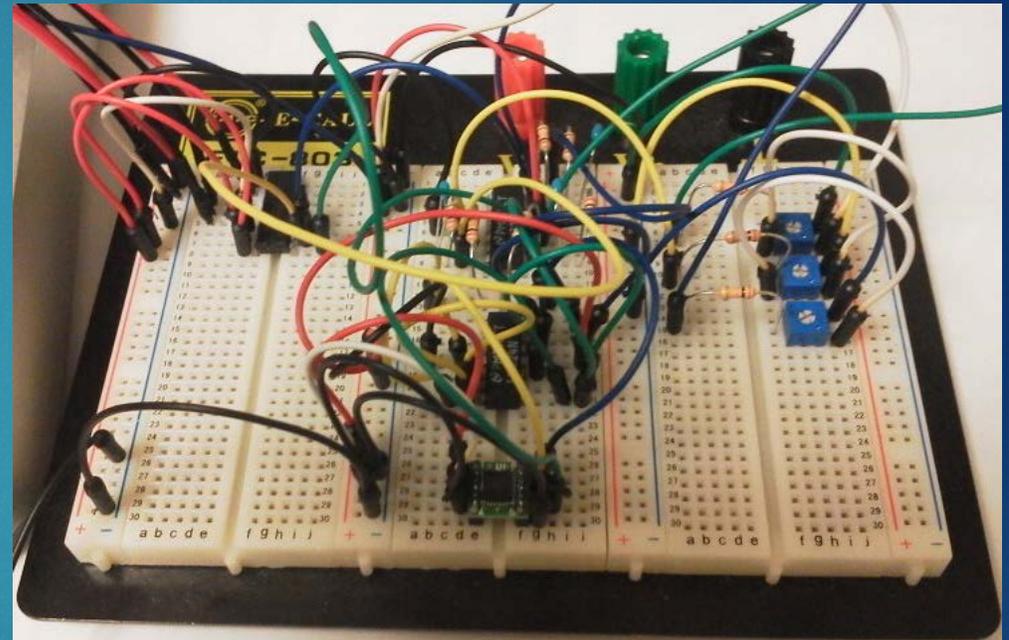
- ▶ ユニバーサル基板に作成
 - ▶ 予稿集写真
- ▶ 波形データ取得直前に断線
 - ▶ 基板裏配線が複雑すぎた



地震計の作成

22

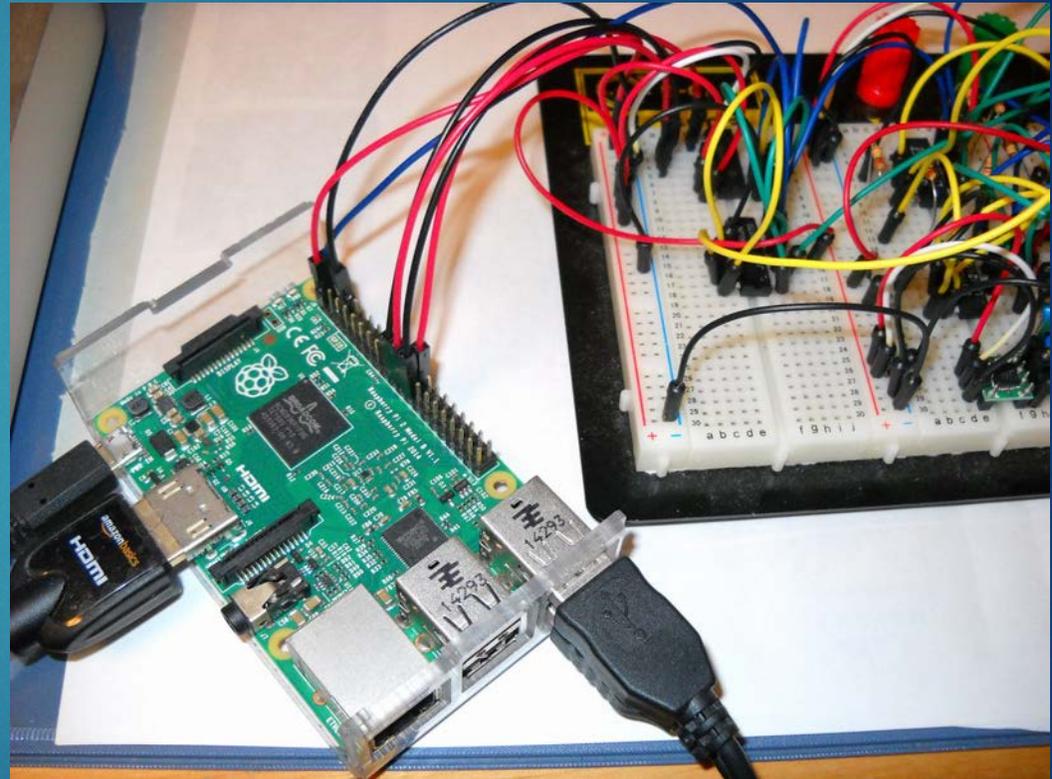
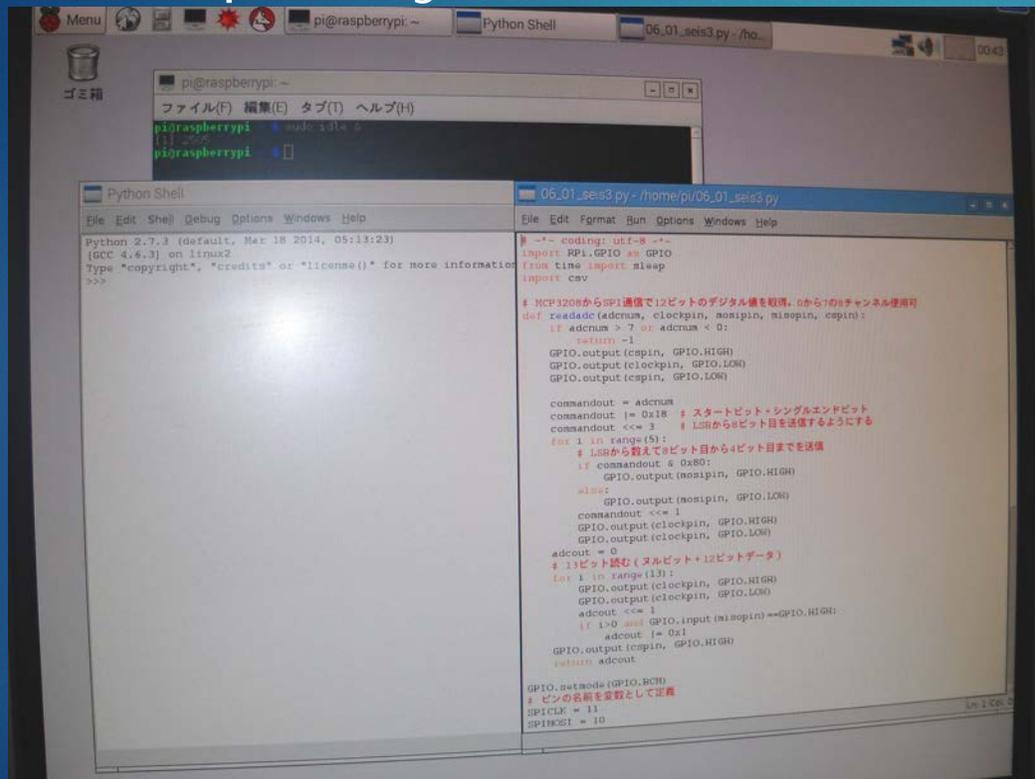
- ▶ 急遽ブレッドボードに作成
- ▶ \$ 50PC(Raspberry PI)接続
 - ▶ 波形データ取得



地震計の作成

23

▶ RaspberryPIとの接続状況

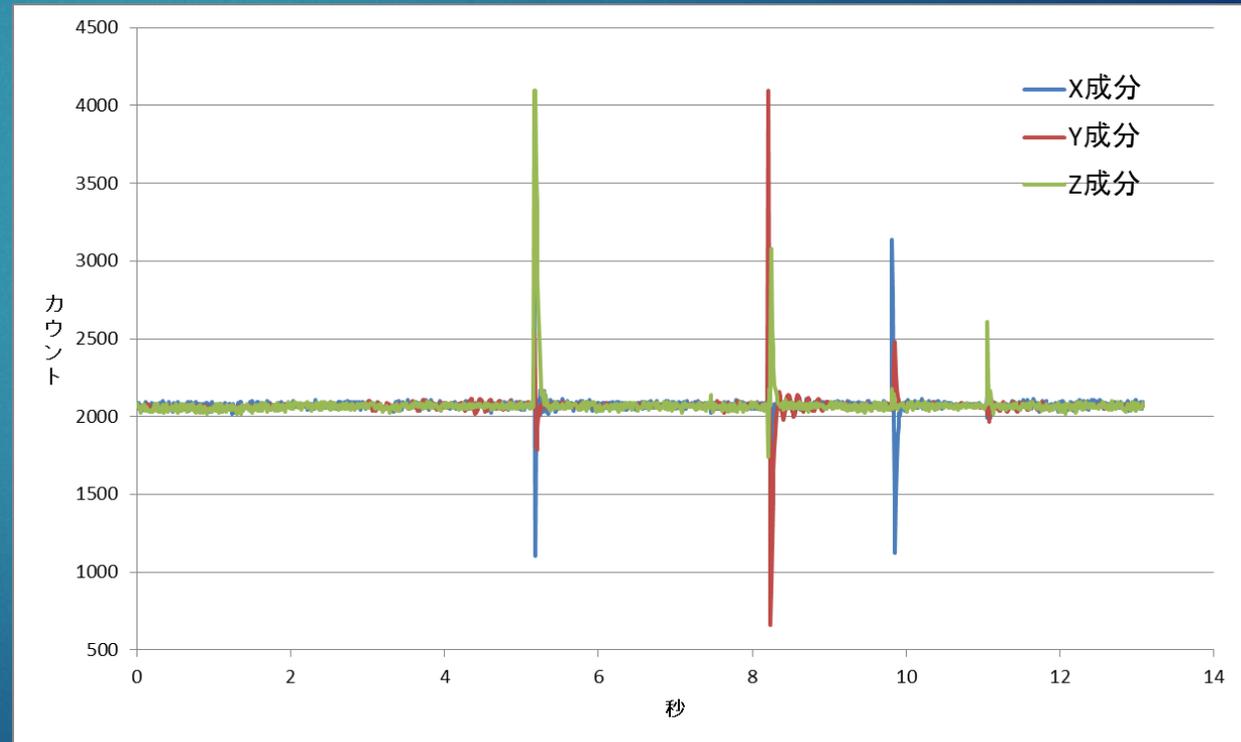


地震計の作成

24

▶ ブレッドボードを叩いた振動

▶ 下、手前、左



地震計の作成

25

▶ 価格

- ▶ 加速度センサー : ¥850
- ▶ OPアンプ : ¥40×2
- ▶ A/D変換 : ¥380
- ▶ 0.1μFコンデンサ : ¥10×3
- ▶ カーボン抵抗 : ¥1×9
 - ▶ 半固定抵抗 : ¥40×3
 - ▶ 基板関係 : 約¥200

合計¥1,669

今後の課題

- ▶ プリント基板による教材化
- ▶ 波形データの画面表示機能
- ▶ 波形データのInternet経由で送信機能
 - ▶ 計測震度計算機能(地震計感度の調整)
- ユニバーサル基板による再作成

- ▶ 高校までの直流回路の知識 + a でセンサー信号をデジタルデータに変換する回路(地震計)を作成した
- ▶ +a とは、OPアンプおよびRCフィルタの知識
- ▶ パーツショップにて安価に入手できる材料にて構成した
- ▶ 50ドルパソコン(Raspberry PI)に接続して波形データ収録ができた

本研究は平成27年度科学研究費助成事業(15K12394)の助成を受けたものです