

# SAC (Seismic Analysis Code)

## 村越 匠 (2020.7.10.修正版)

### 目次

1. SAC概要
2. 利用のためのシェル環境の設定・起動
3. データの入出力
  - sac内部コマンド
  - Fortranからの利用
4. 波形の表示・印刷
  - 基礎編
    - 簡易表示
    - 表示オプション
    - 印刷
  - 応用編
    - ベーストアップ (震央距離順+reduceの表示)
    - フェーズのピックアップ
    - パーティクルモーション(ppm)
5. データ処理
  - フィルター
  - 補正, ウィンドウ
  - 演算
  - 回転
  - 周波数解析
  - 地震計特性の補正 (pole&zeros)
  - ノーマライズ
  - 補間
6. ヘッダー情報
7. マクロ処理
8. その他コマンド
9. 参考資料
- 付録
  - A. SACの取得

### 0. はじめに

担当している卒研究生、院生への説明用に作成していたSACの使い方に関する資料です。5年以上更新していないので古い情報があったり、誤植もあるかもしれません。地震波形のデータ処理のいろいろな機能があるので、詳細は <https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual.html> のユーザーズガイドや、「The Seismic Analysis Code: A Primer and User's Guide (English Edition)」(ペーパーバック版とKindle版なら4,500円くらい) を読むのがいいと思います。

### 1. SAC概要

SAC (Seismic Analysis Code)はLinux, Macで動く地震波形の解析ソフトウェアです。具体的には、算術演算、フーリエ変換、フィルタリング (IIR, FIRなど)、ダウンサンプリング、補間、相関、地震波のフェーズのピックアップ等の機能があり、画面及びファイルへの図を出力することも可能です。マクロ処理により、複数の処理を一括して行うこともできます。

### 2. 利用のためのシェル環境の設定・起動

はじめに、各ユーザのシェル変数の設定を行う必要があります (未設定の場合のみ)。

利用シェルごとに下記の3行を追加して下さい。

```
sh系ユーザの場合(.bash_profile, .profileなど)
export SACCAUX=/usr/local/sac/aux
export SACGRAPHICS=xwindows
PATH=$PATH:/usr/local/sac/bin
```

```
csh系ユーザの場合(.cshrc, .tcshrcなど)
setenv SACCAUX /usr/local/sac/aux
setenv SACGRAPHICS xwindow
set $path = ($path /usr/local/sac/bin)
```

SACの起動は、シェル上で下記のように「**sac**」と入力してリターンとします。

```
$ sac
```

起動すると次のようメッセージが表示され、プロンプトが「**SAC>**」に変わります。  
この状態で、sacのコマンドを入力することで様々な処理を行います。

```
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/11/2013 (Version 101.6a)]  
Copyright 1995 Regents of the University of California
```

```
SAC>
```

sacを終了する場合は、「**quit**」または「**exit**」入力します。

### 3. データの入出力

sacの内部コマンド（sacを起動してから利用できるコマンド）とfortranでsacのサブルーチンライブラリを利用する2種類の方法があります。

#### 3.1 sac内部コマンド

読み込みが可能なのは、sac binary format, sac alphanumeric formatと任意の形式のascii formatのファイルです。  
出力可能なのは、sac binary format, sac alphanumeric formatです。

入力に用いるコマンドは「**read**」と「**readalpha**」、出力に用いるコマンドは「**write**」です。

複数のファイルの入出力もできます。

読み込むデータの範囲の指定は、「**cut**」を使います。

<注意>100以上のデータを読むことはできません。複数のファイル名を列記してreadする場合、文字列が長すぎると読み込みができないことがあります（※旧バージョンsac10.6の場合）。

(例1) 入力の例（"data.sac", "data.asc"はデータファイル名）

```
SAC> read data.sac <== sac binary format  
SAC> readalpha data.sac <== sac alphanumeric format  
SAC> readalpha content N data.asc <== ascii format  
(振幅データのための1列に並んでいる場合)  
SAC> readalpha header 10 content P data.asc <== ascii format  
(時間, 振幅データと2列に並び, 先頭にヘッダー情報が10行ある場合)
```

(例2) 複数のファイルの入力の例（"data0?.sac"はデータファイル名）

```
SAC> read data01.sac data02.sac data03.sac <== ファイル名を列記する場合  
SAC> read data*.sac <== ワイルドカードが利用可能
```

(例3) 出力の例（"data01.sac", "data01.asc"はデータファイル名）

```
SAC> write data.sac <== sac binary format
```

```
SAC> write alpha data.sac <== sac alphanumeric format
```

(例4) CUTの使用例

```
SAC> cut B 0 30 <== 最初から30秒を指定
SAC> cut B N 1024 <== 最初から1024サンプルを指定
SAC> cut 50.0 100.0 <== 50~100秒を指定
```

### 3.2 Fortranからの利用

sacのサブルーチンライブラリとして、rsac1, rsac2, wsac1, wsac2, wsac0の5つが用意されています。コンパイルの際に、sacのライブラリ「**sac.a**」を加える必要があります。

sac.aが/usr/local/sac/lib/sac.aにある場合は、下記のようになります。

```
$ gfortran source.f /usr/local/sac/lib/sac.a
```

(例1) rsac1の使用例

```
call rsac1(infile, amp, nlen, beg, samp, nlenmax, nerr)
* INPUT: infile, nlenmx
* OUTPUT: amp, nlen, beg, samp, nerr
* 変数の定義
* infile: Input Filename (character)
* ofile: Output Filename (character)
* samp: Sampling Interval (real)
* beg: Start Time (real)
* nlen: Length of Data (int)
* nlenmax: Max. Length of Data (int)
* nerr: Error return flag,"0" if no error occurred in rsac1 (int)
```

(例2) wsac1の使用例

```
call wsac1(ofile, amp, nlen, beg, samp, nerr)
* INPUT: ofile, amp, nlen, beg, samp
* OUTPUT: nerr
```

## 4. 波形の表示・印刷

### 4.1 基礎編

#### 4.1.1 簡易表示

画面に表示するには、まずXウィンドウに表示することを宣言する必要があります。

```
SAC> bd x
```

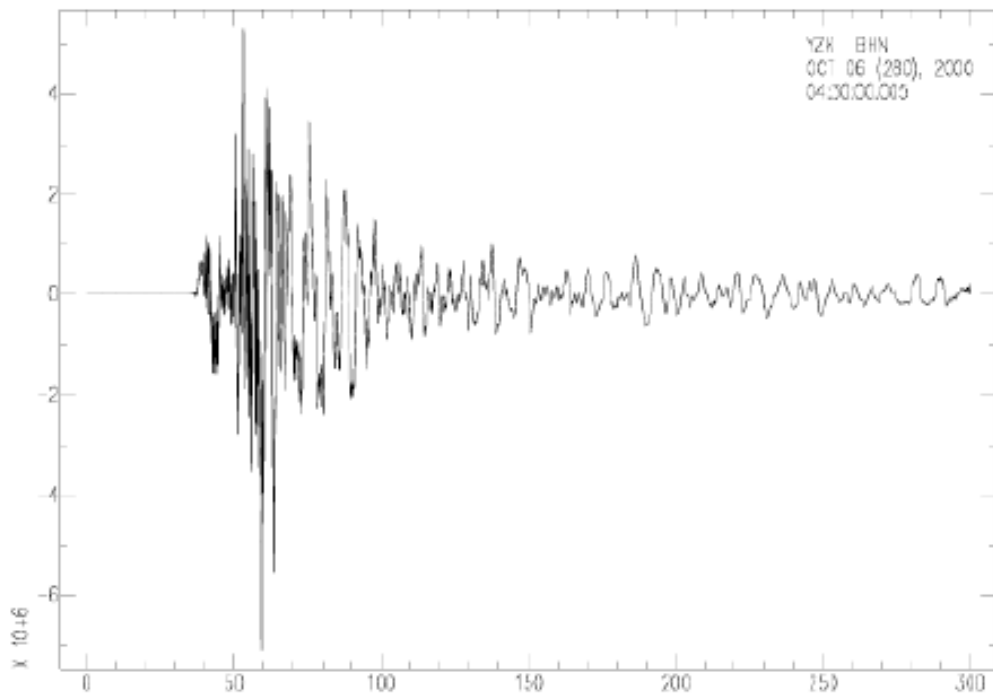
波形の表示には、「**plot**」「**plot1**」「**plot2**」コマンドを利用します。

```
SAC> plot <=== 1データずつ画面に表示する
SAC> plot1 <=== 1画面に全データ (readコマンドで読んだデータ) を並べて表示
SAC> plot2 <=== 1画面に全データ (readコマンドで読んだデータ) を重ねて表示

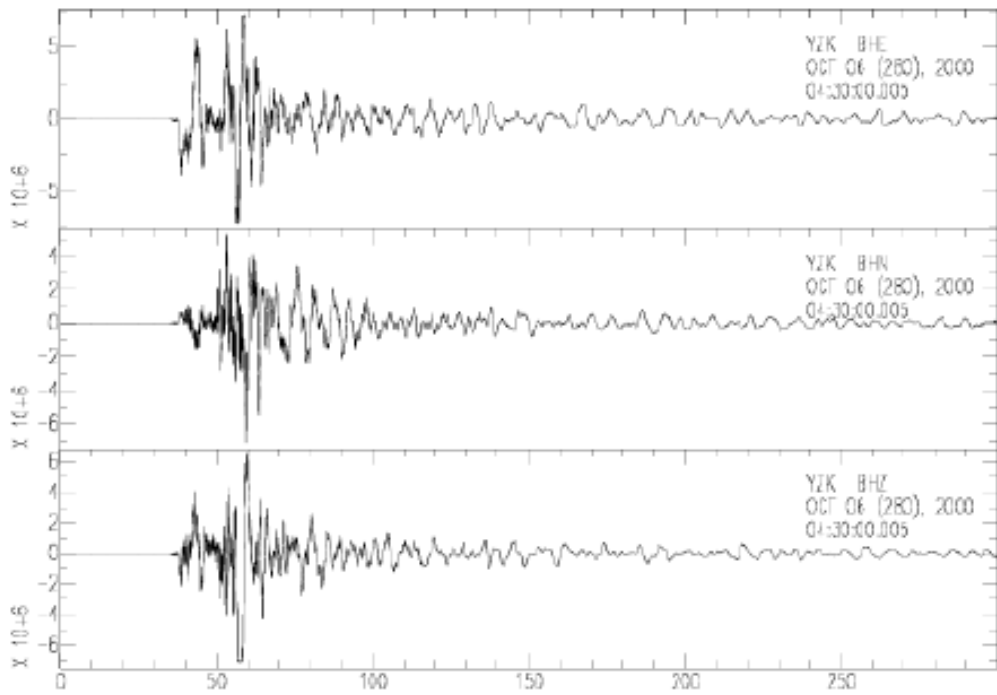
SAC> plot1 relative <=== 1画面に全データ (readコマンドで読んだデータ) を並べて表示
                        相対時刻で時間軸をあわせて表示する (各データの開始日時が異なる場合に有効)
```

表示データ範囲指定と表示モードの設定コマンドは、「**xlim**」「**yylim**」「**qdp**」です。

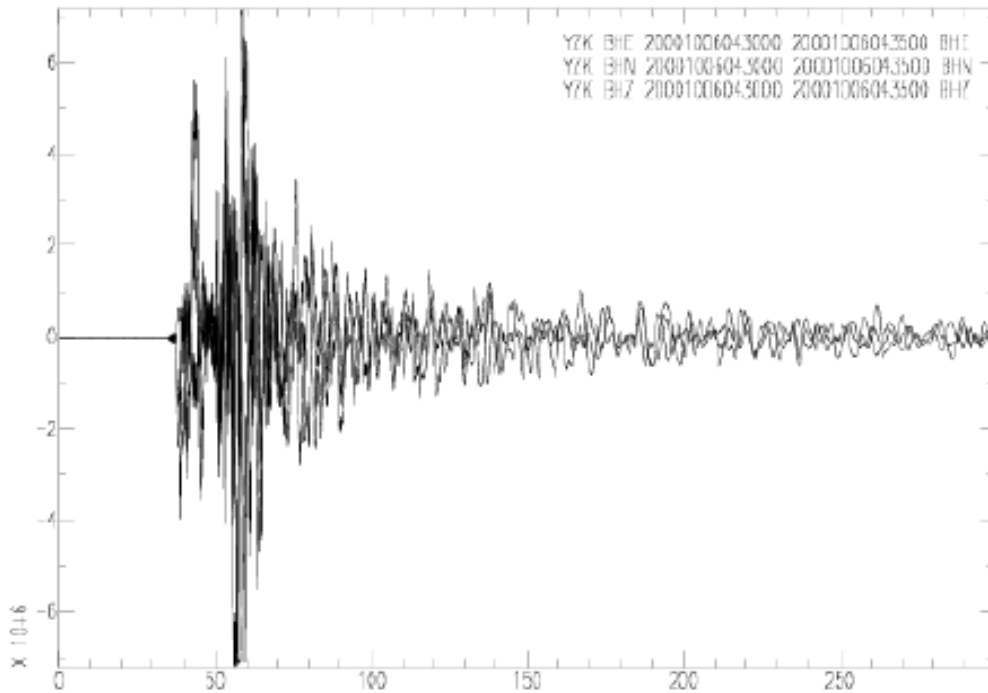
```
SAC> xlim 40 100 <===x軸方向の表示範囲を40~100とする
SAC> ylim -2 2 <===y軸方向の表示範囲を-2~2とする
SAC> qdp off <===表示モードを詳細な表示にする
```



「plot」の例



「plot1」の例



「plot2」の例

#### 4.1.2 表示オプション

画面分割、表示サイズ、文字の大きさ・色、軸ラベル・タイトル、目盛り等の指定ができます。

(例) コマンドの使用例

<b>SAC&gt; bw 2 x 0.01 0.5 y 0.5 0.95</b>	<==新規ウィンドウを開く (サイズの指定も可)
<b>SAC&gt; bf</b>	<==フレーム内の種々表示指定をする場合に実行
<b>SAC&gt; xvport 0.10 0.45</b>	<==フレーム内の表示サイズの指定
<b>SAC&gt; yvport 0.10 0.90</b>	
<b>SAC&gt; tsize small 0.02</b>	<==フォントサイズの定義
<b>SAC&gt; tsize tiny 0.01</b>	
<b>SAC&gt; gtext software font 1 size tiny</b>	<==利用するフォントの指定
<b>SAC&gt; title 'Sample Data [EW,NS,UD]' S small</b>	<==タイトル
<b>SAC&gt; xlabel 'Time [sec]' s tiny</b>	<==軸のラベル
<b>SAC&gt; ylabel 'Acc. [gal]' s tiny</b>	
<b>SAC&gt; grid dotted</b>	<==グリッドの設定
<b>SAC&gt; ticks only bottom</b>	<==目盛りの設定
<b>SAC&gt; axes on all</b>	<==軸の設定
<b>SAC&gt; border on</b>	<==ボーダーの表示の有無
<b>SAC&gt; fileid off</b>	<==FileID (観測点コード, 成分, 日時など) の表示の有無
<b>SAC&gt; linlin</b>	<==両軸ともlinearを指定
<b>SAC&gt; linlog</b>	<==x軸はlinear, y軸はlogを指定
<b>SAC&gt; color red increment</b>	<==データ別に線の色を変更する
<b>SAC&gt; symbol 2 increment</b>	<==データ別にシンボルを変更する
<b>SAC&gt; ef</b>	<==フレーム内の表示作業の終了

#### 4.1.3 印刷

sac内部コマンドでsgfフォーマットの画像ファイルを作成できます。「**sgftops**」コマンド (シェル上で動くコマンド) でPSファイルに変換できます。sgfフォーマットの画像ファイルを作成するには、plotコマンドを実行する前に、「**bd sgf**」として出力でバイスをsgfに設定する必要があります。

(例) データ"data.sac"を読んで、画像ファイルにする場合

```
SAC> bd sgf
SAC> r data.sac
SAC> p <== ここで, "f001.sgf" (ファイル名は自動生成) ができる
SAC> quit

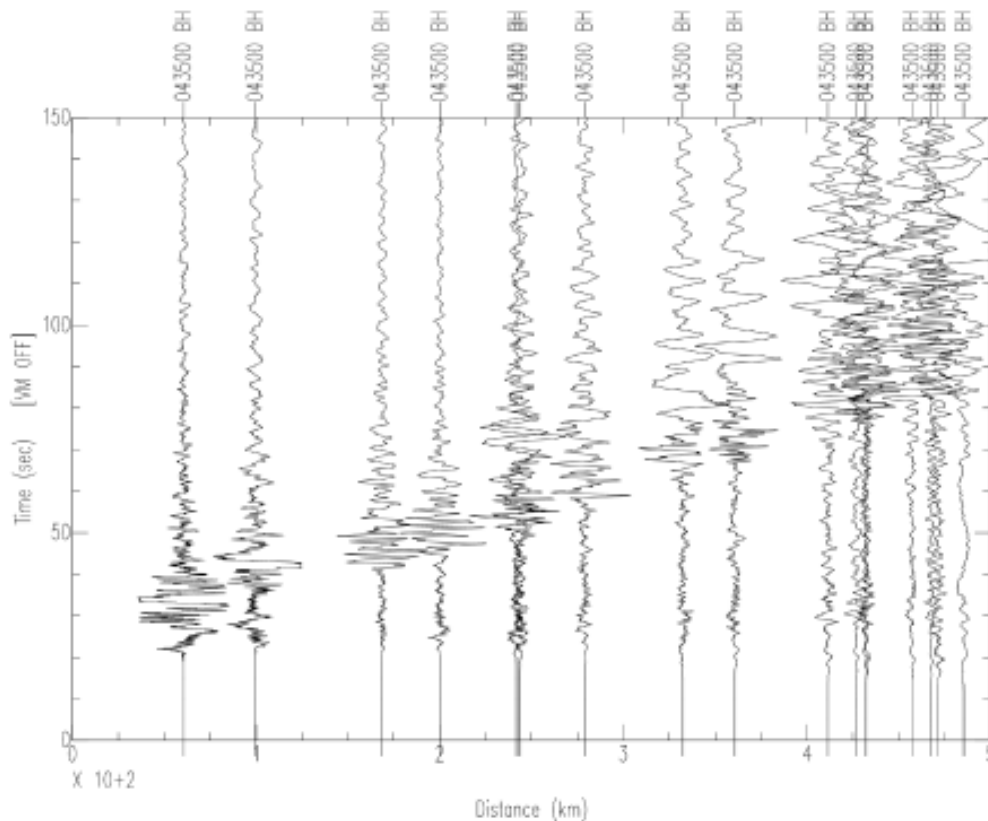
$ sgftops f001.sgf f001.ps <== 「sgftops」 コマンドでPSファイルに変換
```

## 4.2 応用編

### 4.2.1 ペーストアップ (震央距離順+reduceの表示)

SSS (Signal Stacking Subprocess)を利用します.

```
SAC> bd x
SAC> qdp off
SAC> r *BHZ
SAC> sss
SAC/SSS> tw 0 150 <== 時間軸の指定
SAC/SSS> dw f 0 500 <== 距離の指定
SAC/SSS> prs red v 6.5 <== 6.5km/sでreduceして表示
SAC/SSS> prs <== reduceなしで表示
SAC/SSS> quitsub <== SSSモードの終了
```



### 4.2.2 フェーズのピックアップ

GUIでの拡大表示の機能と波の到着時間を読みとり作業は、「ppk」(plotpk)コマンドを利用します.

```
SAC> oapf NAME pm.apf
SAC> ppk
```

```
SAC> capf
```

この画面上で、「P, S, X, Q」などのキーを押すことで、ファイルにピックアップした情報を保存できます。

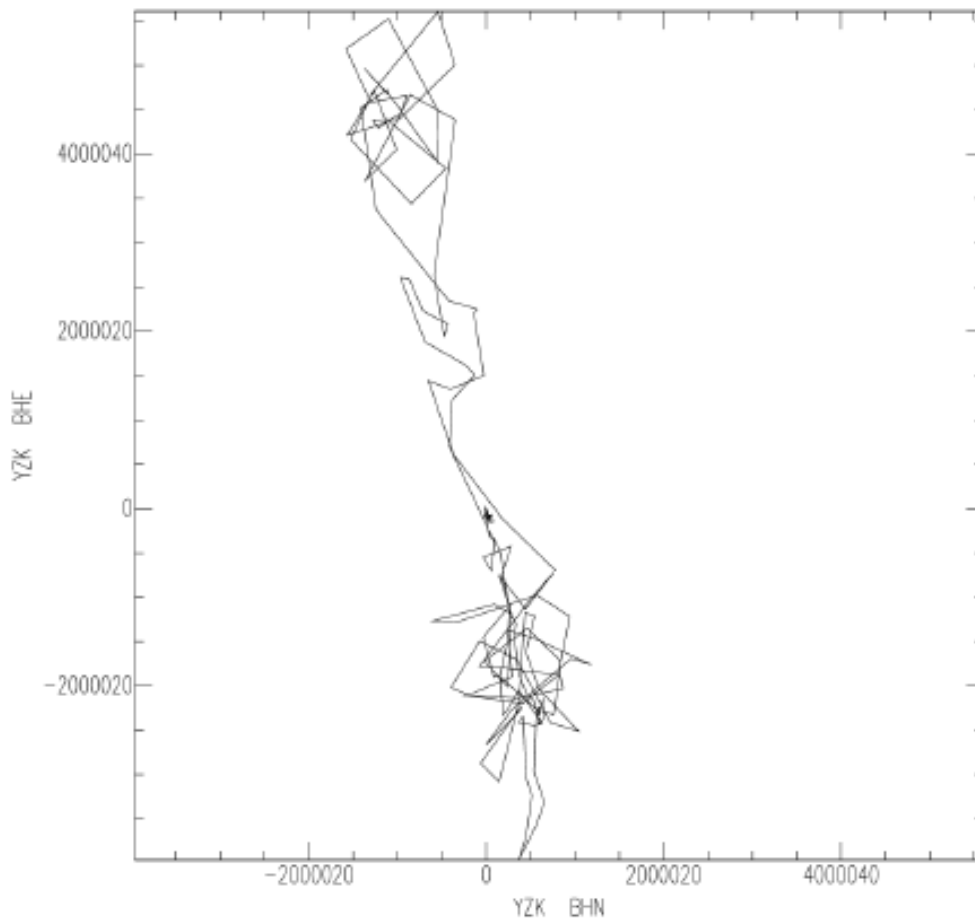
#### 4.2.3 パーティクルモーション

パーティクルモーションの表示には、2成分のデータを読み込んでいる状態で、「ppm」コマンドを利用します。

```
SAC> r data.bhe data.bhn
```

```
SAC> xlim 35 45
```

```
SAC> ppm
```



### 5. データ処理

#### 5.1 フィルター

```
SAC> bp bu c 1 5 <== バンドパスフィルタ(1~5Hz)
```

```
SAC> lp c 0.5 <== ローパスフィルタ (コーナー周波数0.5Hz)
```

```
SAC> hp c 10.0 <== ハイパスフィルタ (コーナー周波数10.0Hz)
```

```
SAC> hp c 10.0 p 2 <== ハイパスフィルタ (コーナー周波数10.0Hz & 位相変化ゼロ)
```

```
SAC> smooth <== スムージング
```

#### 5.2 補正, ウィンドウ

```
SAC> rmean <== オフセットを削除
```

```
SAC> rtrend <== トレンドの削除
```

```
SAC> taper <== テイパー (デフォルトは0.05秒のhanning)
```

SAC> taper type cosine width 0.1 <== テイパー (ウインドウ長の1割に適用)  
SAC> decimate 6 <== ダウンサンプリング(数値は2~7)

### 5.3 演算

積分, 微分, 四則演算, 絶対値, rms, 相関など

SAC> div 100 <== 割り算 (/100の場合)  
SAC> mul 100 <== かけ算 (x100の場合)  
SAC> add 100 <== 足し算 (+100の場合)  
SAC> sub 100 <== 引き算 (-100の場合)

SAC> int <== 積分  
SAC> dif <== 微分

SAC> abs <== 絶対値  
SAC> rms <== rms

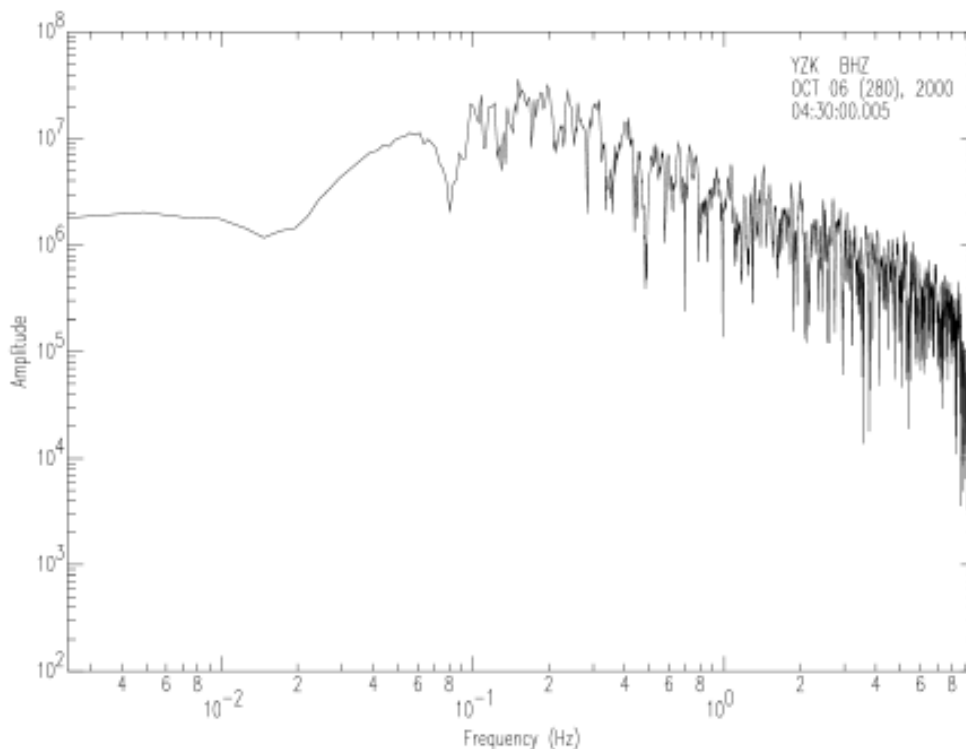
### 5.4 回転

SAC> r data.ew data.ns  
SAC> rot to gcp  
SAC> w data.radial data.transverse

### 5.5 周波数解析

フーリエ変換, 逆フーリエ変換, スペクトルの表示

SAC> fft  
SAC> psp  
SAC> psp am loglin  
SAC> ifft





## 5.7 地震計特性の補正

参考： <http://www-seis.planet.sci.kobe-u.ac.jp/~kakehi/sac/transfer/transfer.html>

transferコマンドその他を使った地震計の特性の補正の手順の例

### ★以下の手順例でのファイル名の説明

- ・補正前のデータ (sacフォーマット) のファイル名：TSA\_BLE
- ・poleとzeroのファイル名：TSA\_BLE.zp ← F-netの場合波形データとともに提供される  
IRISの場合はSEEDデータからrdseedで取り出す。
- ・補正後のデータ (sacフォーマット) を保存するファイル名：tsa.ew

### ★地震計の応答関数を与えるpole, zero, 倍率のファイルの中身の例

```
CONSTANT 2.936013e+10
ZEROS 2
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
POLES 3
-0.03614522 -0.03890150
-0.03614522 0.03890150
-7006.220 0.0
```

※注：F-netのデータとともに配布されてきたpoleとzeroのファイルは

```
CONSTANT 2.936013e+10
ZEROS 2
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
POLES 3
-3.614522E-02 -3.890150E-02
-3.614522E-02 3.890150E-02
-7.006220E+03 0.000000E+00
```

のように、POLESの数値が指数表示になっている。エラーが出る場合は、ZEROS, POLESを浮動小数点表示に変換するとうまくいく場合があるらしい（要確認）。

CONSTANT：倍率

ZEROS： zeroとして (0.0 0.0) がいくつあるかの数

POLES： poleの数.

その下の行はその値. 上記の場合 (-3.614522E-02 -3.890150E-02),  
(-3.614522E-02 3.890150E-02), (-7.006220E+03 0.000000E+00)の3つある.

IRISの場合、データをSACだけでなくSEEDでもダウンロードしておく。

そして、rdseed option pでseedファイルからpoles and zerosを抜き出す。

SAC\_PZs\_II\_OBN\_LHN\_00\_YYYY.ddd.hh.00.0000...等のファイルが生成される。

補正前のデータを読み込みます。

そのあとrmeanでDC成分をカット。

**SAC> qdp off**

```
SAC> bd x
SAC> r TSA_BLE
SAC> rmean
SAC> taper w 0.1
```

transferコマンドで地震計の特性を補正します。

```
SAC> transfer from polezero subtype TSA_BLE.zp
```

※from：特性を取り除く（=deconvolutionを行う）という意味。  
polezero：地震計の特性がpoleとzeroを記したファイルで与えられることを示す。  
s：このあとにpoleとzeroを記したファイル名を記す。

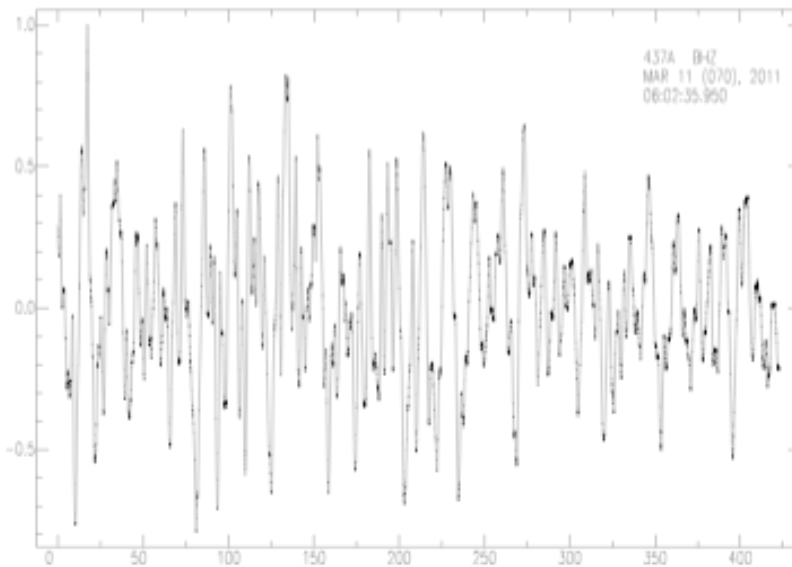
これで補正が終わり。  
補正を施すと多少のゼロ線からのずれや低周波（長周期）の信号が乗る。  
まずrmeanでオフセットを取り除いておく。ハイパスフィルタでもカットする。  
必要に応じて他のデータ処理も適宜行う。  
メモリーにあるデータをtsa.ewという名前のファイルに保存する。

```
SAC> rmean
SAC> hp co 0.003
SAC> w tsa.ew
```

## 5.8 ノーマライズ

```
$ sac
SEISMIC ANALYSIS CODE [11/14/2011 (Version 101.5)]
Copyright 1995 Regents of the University of California
```

```
SAC> qdp off
SAC> bd x
SAC> r 2011.070.06.02.35.9500.TA.437A..BHZ.R.SAC
SAC> rmean
SAC> p
SAC> setbb amp1 &1,depmax
SAC> setbb amp2 &1,depmin
SAC> setbb amp3 ( max %amp1 ( abs %amp2 ) )
SAC> getbb amp1 amp2 amp3
amp1 = 3.829987e+04
amp2 = -3.033313e+04
amp3 = 3.8299871E+04
SAC> div %amp3
SAC> p
SAC> q
```



## 5.9 補間

50Hzサンプリングのsample.sacという波形データを100Hzサンプリングにする例.

補間の処理は「interpolate delta 0.01」の行のみで、後はデータの読み込みとヘッダー情報による補間前後のサンプリング間隔の確認作業.

```
SAC> r sample.sac
SAC> listhdr NPTS B E DELTA
```

```
FILE: sample.sac
```

```
-----
```

```
NPTS = 6000
  B = 0.000000e+00
  E = 2.999500e+02
LEVEN = TRUE
DELTA = 5.000000e-02
```

```
SAC> interpolate delta 0.01
SAC> listhdr NPTS B E LEVEN DELTA
```

```
FILE: ./SBR_BHZ_8 - 1
```

```
-----
```

```
NPTS = 29999
  B = 0.000000e+00
  E = 2.999800e+02
```

LEVEN = TRUE  
DELTA = 1.000000e-02

## 6. ヘッダー情報

ヘッダー情報の読み書き, 表示, 変更 (追加も含む) は, それぞれ 「rh」 「wh」 「listhdr」 「ch」 コマンドで行います.

ヘッダー情報の詳細は, 『B. フォーマット』を読んで下さい.

### 6.1. 設置方位の情報を変更する例

(例) データ"ZK\_BHN\_20001006043000\_20001006043500\_BHN"からヘッダー情報を読み, 情報を表示, CMPAZ (水平方位) を変更し, 変更できていることを確認したのち, ヘッダー情報を更新する例

```
SAC> rh YZK_BHN_20001006043000_20001006043500_BHN
SAC> listhdr columns 2
```

```
FILE: YZK_BHZ_20001006043000_20001006043500_BHZ
-----
NPTS = 6000                B = .0000
E = 299.95                IFTYPE = TIME SERIES FILE
LEVEN = TRUE              DELTA = .50000E-01
KZDATE = OCT 06 (280), 2000  KZTIME = 04:30:00.005
KSTNM = YZK              CMPAZ = .0000
CMPINC = 90.000          STLA = 35.086
STLO = 134.46           STEL = 328.00
LOVROK = TRUE
```

```
SAC> ch CMPAZ 5.0
SAC> listhdr CMPAZ
```

```
FILE: YZK_BHN_20001006043000_20001006043500_BHN
-----
CMPAZ = 5.0000
```

```
SAC> wh
```

### 6.2. 震源情報を追加/変更する例

(例) カレントディレクトリにある複数のsacデータ(ファイル名が \*.sac) のヘッダー情報に

震源 (緯度) 40.33  
震源 (経度) 143.29  
震源 (深さ) 19  
を追加する例.

```
SAC> rh *.sac
SAC> ch EVLA 40.33
SAC> ch EVLO 143.29
SAC> ch EVDP 19
SAC> wh
```

ヘッダーに観測点の位置情報 (STLA, STLO, STEL) と震源の位置情報 (EVLA, EVLO, EVDP) の情報が揃うと, 震

央距離, 方位角, 角距離 (DIST, AZ, BAZ, GCARC) は自動で計算されてヘッダー情報に追加される.

## 7. マクロ処理

変数, コメント, 条件文  
getbb setbb  
\$keys \$default  
コメント\*  
pause (マクロ処理の途中でグラフ表示の一時停止をする)  
pause period on  
pause period 10000

## 8. その他コマンド

システムコマンド, サンプルデータの作成  
**SAC> sc ls**  
**SAC> funcgen sine 0.2 0.0 delta 0.05 ntps 2000 begin 0.0**

## 9. 参考資料

●ソースに付属のマニュアル (PSファイル)

●Seismic Analysis Code Users Manual (SAC開発元のwebサイト)  
<https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual.html>

●SACのマクロ例 (SAC開発元のwebサイト)  
[https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual/sac\\_macros.html](https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual/sac_macros.html)

●SACのデータフォーマット (SAC開発元のwebサイト)  
[https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual/file\\_format.html](https://ds.iris.edu/files/sac-manual/manual/file_format.html)

●本「The Seismic Analysis Code A Primer and User's Guide」  
<https://www.cambridge.org/jp/academic/subjects/earth-and-environmental-science/solid-earth-geophysics/seismic-analysis-code-primer-and-users-guide?format=PB&isbn=9781107613195>

## 付録

### A. SACの取得

下記の【SAC Software Request】から申請すると、メールの添付ファイルでプログラムが送られてくる。  
2020年7月時点の最新版は [11/11/2013 (Version 101.6a)]。

<https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/sac/>

## 謝辞

このテキストでは、サンプルデータとして、独立行政法人 防災科学技術研究所のF-Netで記録された鳥取県西部地震 (2000/10/06 13:30, M7.3) の地震波形データを利用しています。