

実践実用地震学 SACを使った地震波形データの 処理方法

地震予知研究センター

澁谷拓郎

SACとは

2

- Seismic Analysis Code
 - Lawrence Livermore National Laboratoryで開発
 - 現在, IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) に移管?
 - <http://www.iris.edu/software/sac/>

SACで何ができるか

3

- 波形表示
- フィルタリング
- スペクトル表示
- 地震計特性補正
- マクロを用いた処理の自動化
- FortranやCとのインターフェース

- マニュアル
 - <http://www.iris.edu/manuals/sac/manual.html>

準備

4

- Xmingのターミナルを起動
- 自分のホームディレクトリに移動
 - `cd_home` ←
- ds_sacというディレクトリを作成し, 移動
 - `mkdir_ds_sac` ←
 - `cd_ds_sac` ←
- カレントディレクトリに必要なファイルをコピー
 - `cp_~shibutan/ds_sac/ds_sac.tar.gz_.` ←
 - `gzip_dc_ds_sac.tar.gz_|_tar_xvf_.` ←
- pathの設定
 - `set_path=($SACHOME/bin_$path)` ←

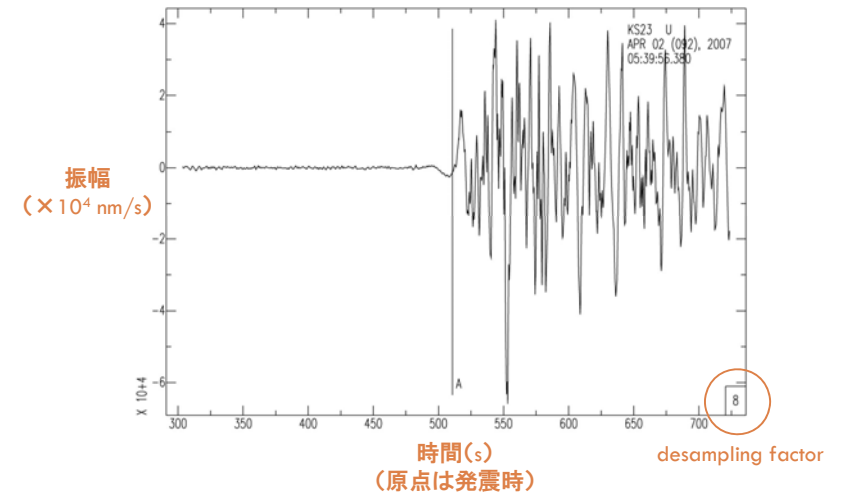
波形表示(1)

5

- SACの起動
 - `sac` ←
 - 起動メッセージとSAC>プロンプト
- 波形データの読み込み
 - `r_wav2.KS23.U` ←
 - `r`は`read`の省略形
- グラフィックウィンドウを開く
 - `bd_x` ←
 - `bd`は`begindevice`の省略形
 - `x`は`x window`を指す
- 波形プロット
 - `p` ←
 - `p`は`plot`の省略形
 - 波形1.1

波形1.1

6



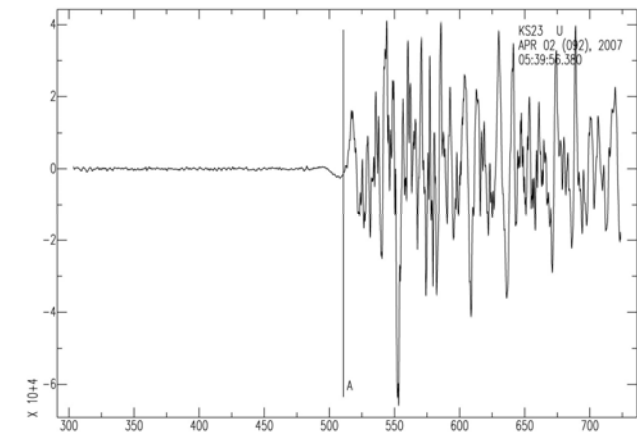
波形表示(1)

7

- qdpモードをオフ
 - `qdp_off` ←
 - `p` ←
 - 波形1.2
- 時間軸(横軸)の範囲の変更
 - `xlim_475_525` ←
 - `p` ←
 - 波形1.3
 - `xlim_off` ←
 - `p` ←
 - 波形1.2

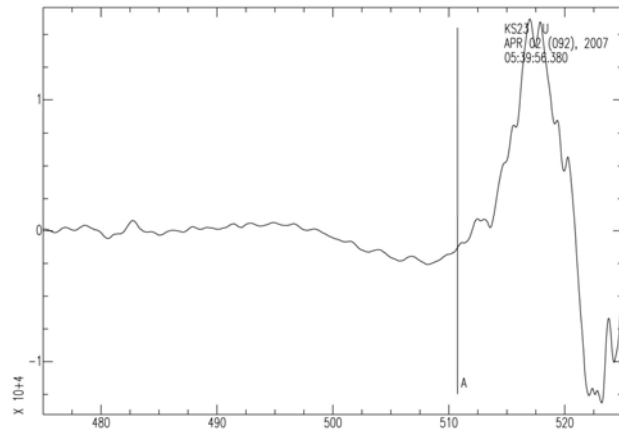
波形1.2

8



波形1.3

9



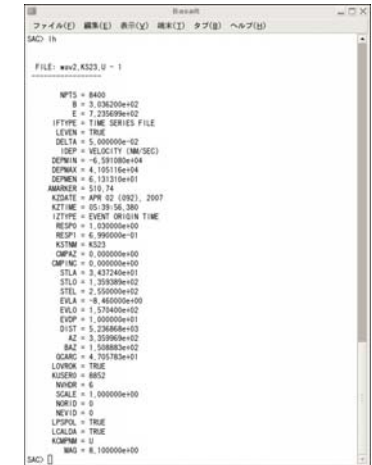
波形ファイルの内容(header values)

10

ヘッダー値の表示

lh

- lhはlistheaderの省略形
- NPTS: サンプル点数
- B: 開始時間
- DELTA: サンプル間隔(s)
- IZTYPE: 時間軸の原点のタイプ
- STLA, STLO: 観測点の緯度・経度
- EVLA, EVLO, EVDP: 震源位置
- BAZ: 観測点からみた震源の方位角
- GCARC: 震央距離(°)
- CMPAZ: 成分の方位角
- CMPINC: 成分の入射角



水平動2成分の回転

(N, E) → (R, T)

11

N成分とE成分の読み込み

r_wav2.KS23.[N, E]

p1

- p1はplot1の省略形。読み込まれている全波形を表示
- 波形2.1

回転

rot

- rotはrotateの省略形。デフォルトで大円経路方向に回転

p1

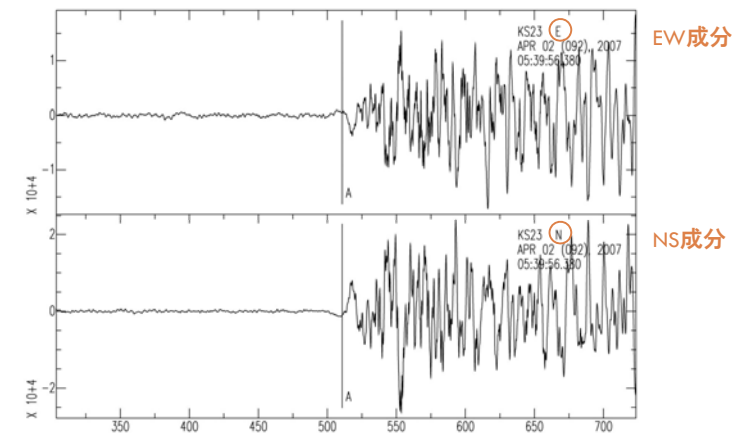
- 波形2.2

R成分とT成分の書き出し

w_wav2.KS23.R_wav2.KS23.T

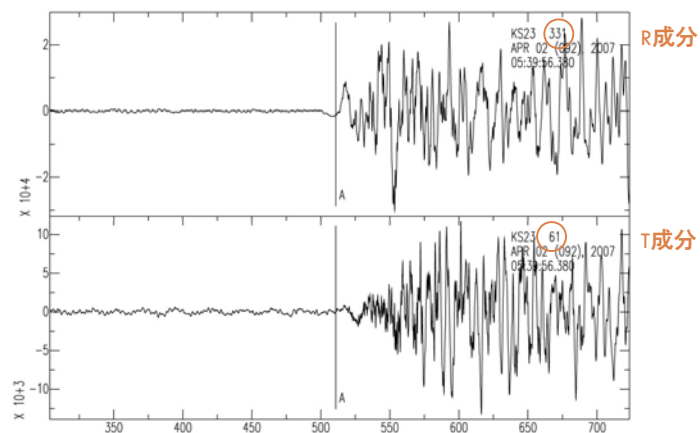
波形2.1

12



波形2.2

13



水平動2成分の回転

(N, E) \rightarrow (R, T)

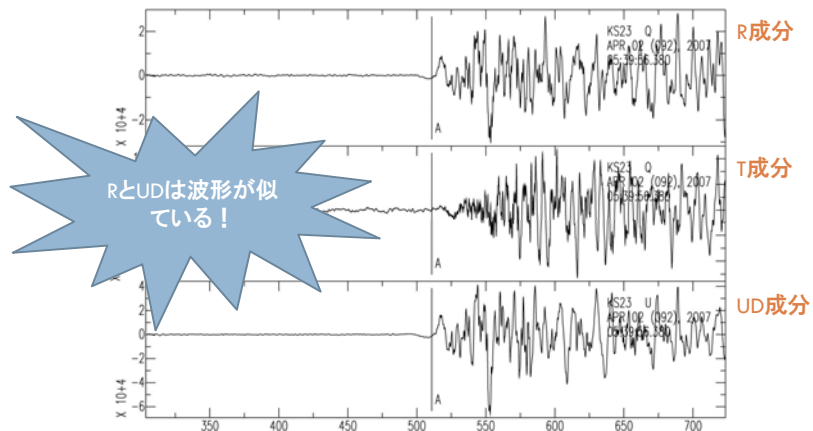
14

□ UD成分の追加読み込み

- `r_more_wav2.KS23.U` ←
 - メモリー上にあるR成分, T成分に加えて, U成分が読み込まれる
- `p1` ←
 - 波形2.3
- `ylim_all` ←
- `p1` ←
 - 振幅軸(縦軸)のスケールが全成分で同じになる
 - 波形2.4
- `ylim_off` ←

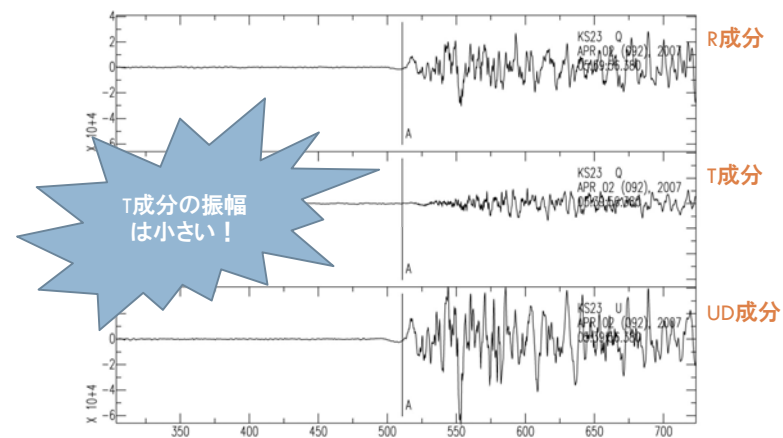
波形2.3

15



波形2.4

16



波形の部分的な読み込み

17

□ 波形の全部分の読み込み

□ `r_wav1.KS23.U` ←

□ `p` ←

■ 波形3.1

□ 読み込む部分の指定

□ `cut_475_725` ←

■ 475秒～ファイルの終わりの部分

□ `r` ←

■ ファイル名を省略すると、直前のファイルが読み込まれる。

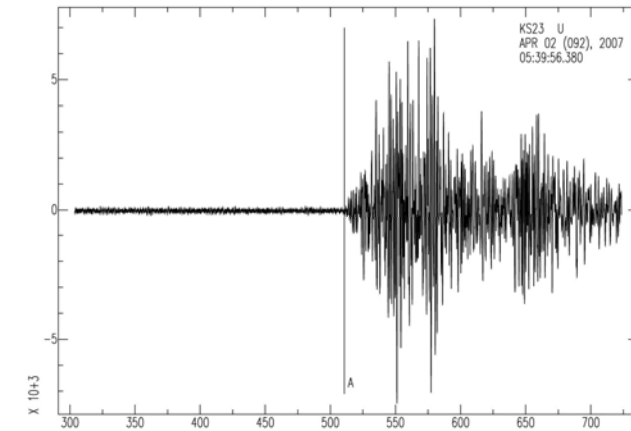
■ この読み込みの際に上記の部分指定が有効となる。

□ `p` ←

■ 波形3.2

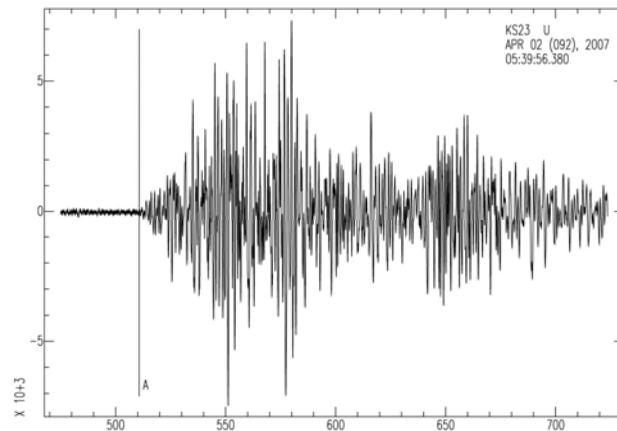
波形3.1

18



波形3.2

19



ダウンサンプリング

20

□ 元の波形のサンプリングの確認

□ `lh` ←

■ サンプリング点数(NPTS)とサンプリング間隔(Delta)をメモする。

□ 波形のサンプリング点数を減らす

□ `dec_5` ←

■ `dec`は`decimate`の省略形

■ `decimation factor`の5はサンプリング点数を1/5にするという意味。2~7の範囲で指定できる。

■ サンプリング点を間引く前にアンチエイリアジングフィルターが(自動的に)かけられる。

□ `p` ←

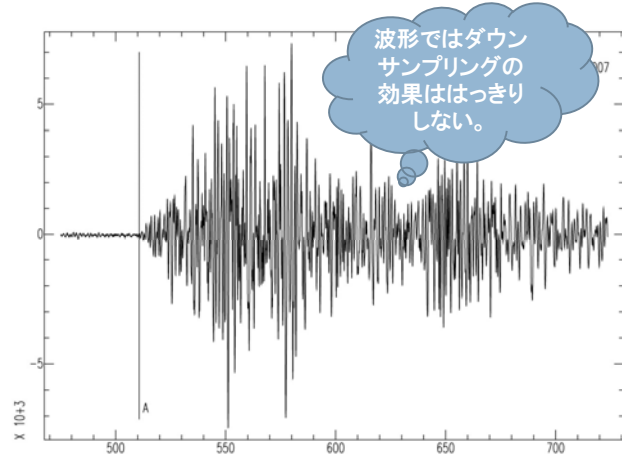
■ 波形3.3

□ `lh` ←

■ サンプリング点数とサンプリング間隔の変更を確認する。

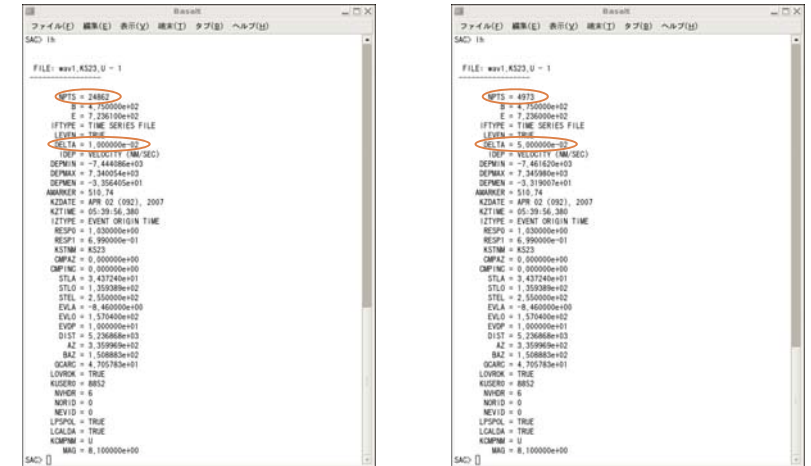
波形3.3

21



ダウンサンプリング前後でのヘッダー値の変化

22



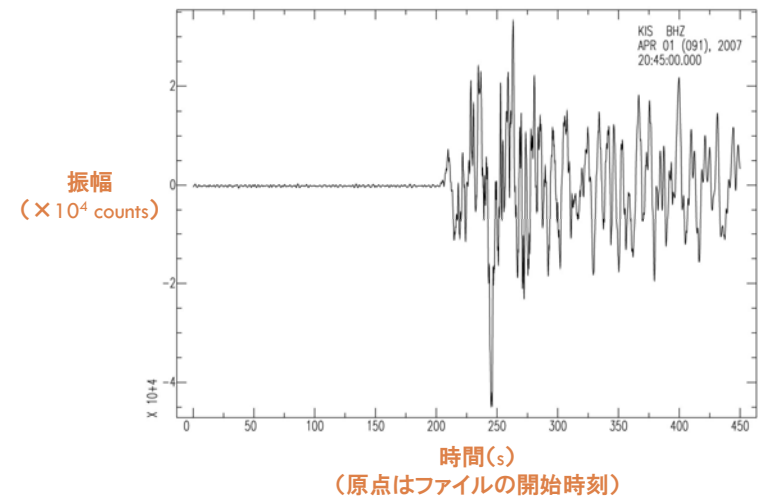
フィルタリング

23

- 波形の読み込み
 - cut_off ←
 - 部分読み込み範囲をオフ
 - r_wav3.KISF.U ←
 - p ←
 - 波形4.1
- バンドパスフィルター(Butterworth)
 - bp_co_0.01_0.1_p_2 ←
 - bpはbandpassの省略形
 - coはcornersの省略形。ここではフィルターのコーナー周波数を0.01 Hzと0.1 Hzに設定。
 - pはpassesの省略形。フィルターを前向きと後向きに2回かける。フィルタリングによる位相のずれをゼロにできるが、因果律は保てなくなる。
 - p ←
 - 波形4.2

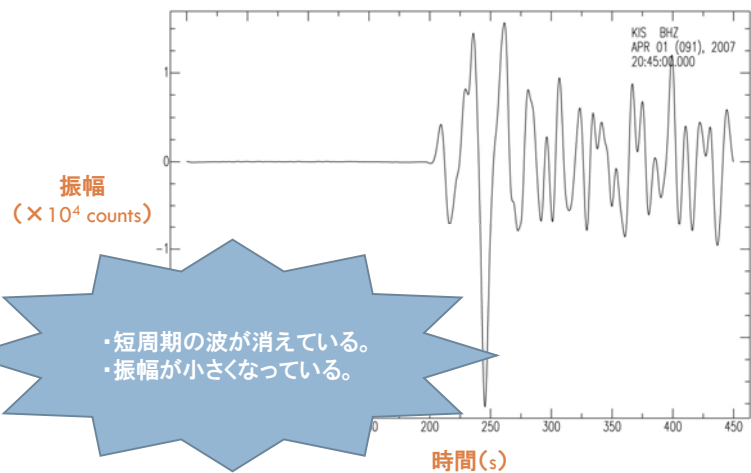
波形4.1

24



波形4.2

25



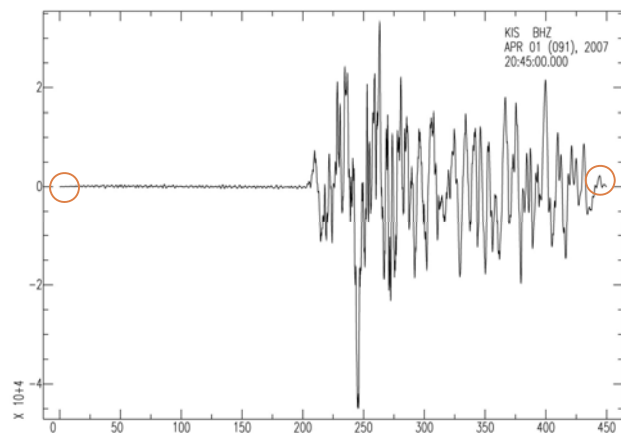
スペクトル表示

26

- 波形再読み込みとFFTの準備
 - r ←
 - rmean ←
 - DCオフセットの除去
 - rtr ←
 - rtrはrtrendの省略形。線形トレンドの除去
 - taper_t_c_w_0.1 ←
 - t_cはtype_cosineの省略形。wはwidthの省略形。ここでは両側10%のコサインテーパをかける。
 - p ←
 - 波形4.3
- FFT
 - fft ←
 - psp ←
 - pspはplotspの省略形。振幅スペクトル、位相スペクトルの順に表示する。
 - スペクトル4.4

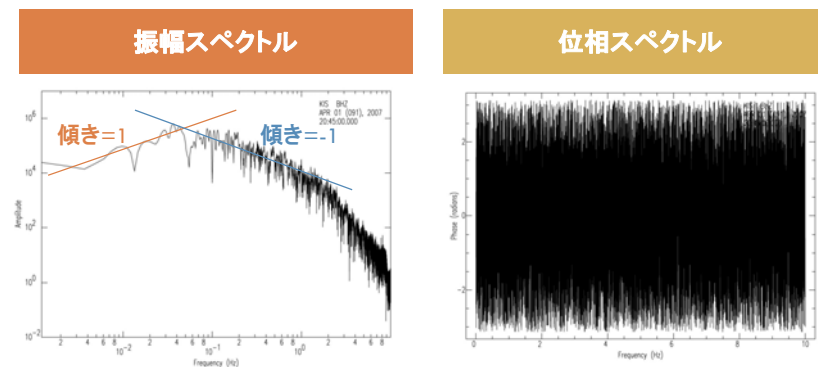
波形4.3

27



スペクトル4.4

28



SGF出力とPS変換

29

- SGF(SAC Graphic File)のオープン
 - bd_sgf←
 - psp_am←
 - 振幅スペクトルの描画
 - f001.sgfというファイルができる
- PS(PostScript)への変換
 - sgftops_f001.sgf_f001.ps_2←
 - sgftopsはSACの外でも使える
 - 最後の2は線幅を太くするため
 - sc_gs_f001.ps←
 - スペクトル4.4の左図
 - scはsystemcommandの省略形
 - gsはPSファイルを表示するコマンド(Ghostscript)

ヘッダー値の変更

30

- 波形再読み込み
 - r_wav3.KISF.U←
- 震源情報の追加
 - ch_evla_-8.46←
 - ch_evlo_157.04←
 - chはchnhdrの省略形。
 - lh←
- 時間軸の原点の変更(ファイル開始時→発震時)
 - ch_o_gmt_2007_91_20_39_56_380←
 - lh←
 - OMARKERの値をチェック(→303.62)。
 - ch_allt_303.62_iztype_io←
 - lh←
 - w_over←
 - 上書き保存。変更したヘッダ値も保存される。

ヘッダ値のリスト

31

```
Basalt
ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 端末(T) タブ(B) ヘルプ(H)
SAC: lh
FILE: wav0.KISF.U - 1
-----
NPS=0
B = 0.000000e+00
E = 4.499500e+02
IFTYPE=TIME SERIES FILE
LEVEN=TRUE
DELTA = 5.000000e-02
DEPMIN = -4.477600e+04
DEPMAX = 3.312500e+04
DEPMEN = -4.526111e+01
OMARKER = -303.62
KZDATE = APR 01 (091), 2007
KZTIME = 20:45:00.000
KSTNM = KIS
CMPAZ = 0.000000e+00
CMPINC = 0.000000e+00
STLA = 3.386510e+01
STLO = 1.358906e+02
STEL = -0.000000e+00
EVLA = -8.460000e+00
EVLO = 1.570400e+02
DIST = 5.189965e+03
AZ = 3.356099e+02
BAZ = 1.505967e+02
GCARC = 4.663594e+01
LONWV = TRUE
NHWDR = 6
NWDID = 0
NEVID = 0
LPSPOL = FALSE
LOCALD = TRUE
KOMPAN = BHZ
SAC: []

Basalt
ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 端末(T) タブ(B) ヘルプ(H)
SAC: lh
FILE: wav3.KISF.U - 1
-----
NPS=-3000
B = 3.006200e+02
E = 7.535700e+02
IFTYPE=TIME SERIES FILE
LEVEN=TRUE
DELTA = 5.000000e-02
DEPMIN = -4.477600e+04
DEPMAX = 3.312500e+04
DEPMEN = -4.526111e+01
OMARKER = 0
KZDATE = APR 01 (091), 2007
KZTIME = 20:39:56.380
IZTYPE = EVENT ORIGIN TIME
KSTNM = KIS
CMPAZ = 0.000000e+00
CMPINC = 0.000000e+00
STLA = 3.386510e+01
STLO = 1.358906e+02
STEL = 7.000000e+01
EVLA = -8.460000e+00
EVLO = 1.570400e+02
DIST = 5.189965e+03
AZ = 3.356099e+02
BAZ = 1.505967e+02
GCARC = 4.663594e+01
LONWV = TRUE
NHWDR = 6
NWDID = 0
NEVID = 0
LPSPOL = FALSE
LOCALD = TRUE
KOMPAN = BHZ
SAC: []
```

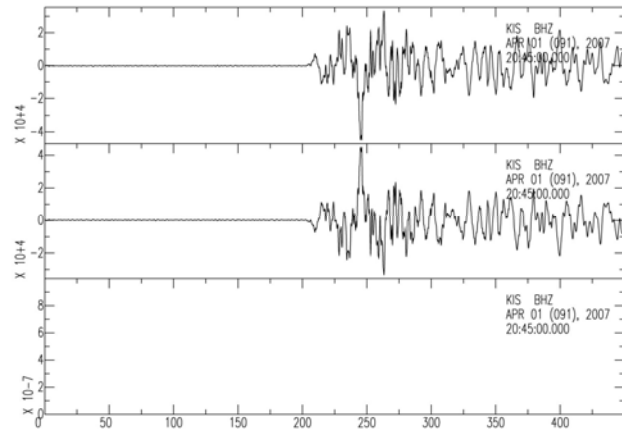
演算

32

- 波形の定数倍
 - r_wav3.KISF.U←
 - p←
 - メモリー上の波形の各データポイントを-1倍する。
 - p←
 - 波形4.5の中図
 - 極性が反転することを確認。
- 2つの波形の加算
 - addf_wav3.KISF.U←
 - メモリー上の波形と指定されたファイルの波形の各データポイントの加算が行われる。
 - p←
 - 波形4.5の下図

波形4.5

33



地震計特性補正(1)

34

- Streckeisen社製STS-1型広帯域地震計
- 速度出力の地動速度に対する伝達関数

$$T(s) = \frac{-s^2 G}{s^2 + 2\omega_1 h_1 s + \omega_1^2} \cdot \frac{\omega_2^2}{s^2 + 2\omega_2 h_2 s + \omega_2^2}$$

ここに,

$$\omega_1 = 2\pi/360, h_1 = 1/\sqrt{2}, \omega_2 = 2\pi \cdot 10, h_2 = 0.6235$$

$$G = 2.61545 \times 10^{-6} [\text{V}/(\text{nm/s})] \cdot 2.173915 \times 10^5 [\text{count/V}] \\ = 5.685766 \times 10^{-1} [\text{count}/(\text{nm/s})]$$

- Zeros: (分子)=0の根, 2個
- Poles: (分母)=0の根, 4個
- Constant: $G \cdot \omega_2^2 = 2.244649 \times 10^3$

KIS_BHZ.zp

35

```
KIS_BHZ.zp (~lectures/prac_seis) - gedit (basalt.rcep.dpri.kuins.net 上)
ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 検索(S) ツール(I) ドキュメント(D) ヘルプ(H)
新規 開く 保存 印刷... 元に戻す やり直し 切り取り コピー 貼り付け 検索 置換
KIS_BHZ.zp
CONSTANT 2.244649e+3
ZEROS 2
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
POLES 4
-1.234134E-02 1.234134E-02
-1.234134E-02 -1.234134E-02
-3.917566E+01 4.912341E+01
-3.917566E+01 -4.912341E+01
(10行, 1列) [挿入]
```

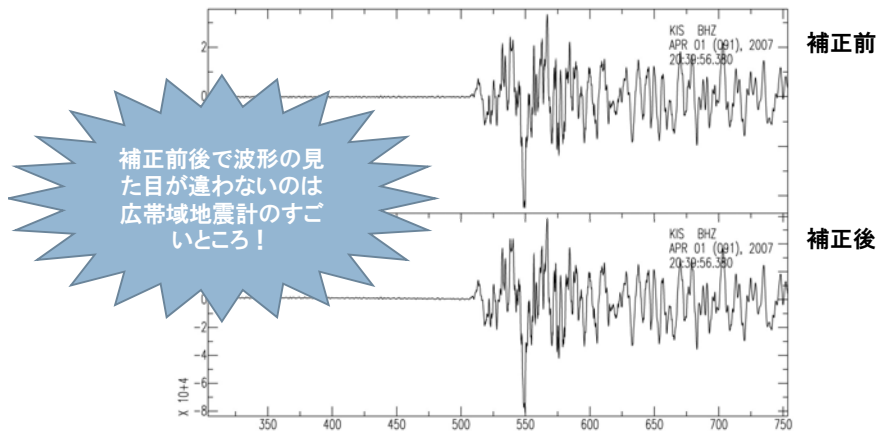
地震計特性補正(1)

36

- `r_wav3.KISF.U` ←
- `p` ←
 - 波形5.1上(波形4.1と同じ)
- `transfer_from_polezero_subtype_KIS_BHZ.zp_to_none` ←
- `p` ←
 - 波形5.1下
 - ヘッダー一値IDEPがDisplacementになるので,
`ch_idep_ivel` ←
とすると良い。

波形5.1

37



地震計特性補正(2)

38

- Sercel社製L-4-3D短周期地震計
 - 速度出力の地動速度に対する伝達関数

$$T(s) = \frac{-s^2 G}{s^2 + 2\omega_1 h_1 s + \omega_1^2}$$

ここに, $\omega_1 = 2\pi/1.03, h_1 = 0.699$

$G = 1.0$

- Zeros:(分子)=0の根, 2個
- Poles:(分母)=0の根, 2個
- Constant: $G = 1.0$

KS23_U.zp

39

```
KS23_U.zp (~lectures/prac_seis) - gedit (basalt.rcep.dpri.kuins.net 上)
ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 検索(S) ツール(I) ドキュメント(D) ヘルプ(H)
新規 開く 保存 印刷... 元に戻す やり直し 切り取り コピー 貼り付け 検索 置換
KS23_U.zp
CONSTANT 1.0
ZEROS 2
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
POLES 2
-4.264026E+00 4.362371E+00
-4.264026E+00 -4.362371E+00
(8行, 1列) [挿入]
```

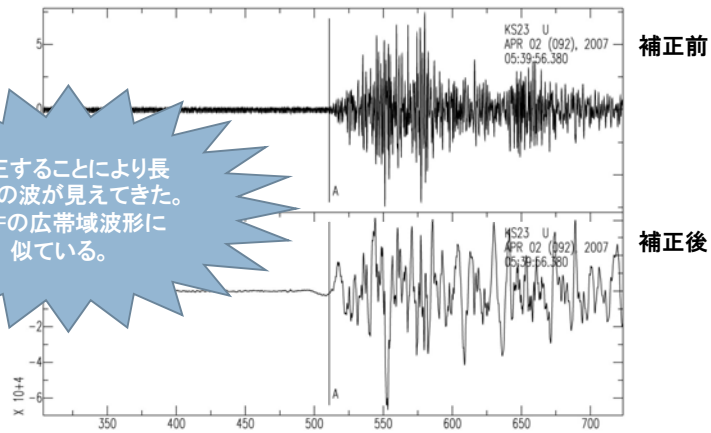
地震計特性補正(2)

40

- `r_wav1.KS23.U` ←
- `p` ←
 - 波形5.2上(波形3.1と同じ)
- `transfer_from_polezero_subtype_KS23_U.zp_to_none_freq_0.02_0.05_5.0_10.0` ←
- `p` ←
 - 波形5.2下
 - ヘッダー一値IDEPがDisplacementになるので, `ch_idep_ivel` ← とすると良い。

波形5.2

41



・補正することにより長周期の波が見えてきた。
・KISFの広帯域波形に似ている。

地震計特性補正(3)

42

□ STS-1型広帯域地震計

□ 速度出力の地動変位に対する伝達関数

$$T(s) = \frac{-s^3 G}{s^2 + 2\omega_1 h_1 s + \omega_1^2} \cdot \frac{\omega_2^2}{s^2 + 2\omega_2 h_2 s + \omega_2^2}$$

ここで、 $\omega_1, h_1, \omega_2, h_2, G$ は33ページの値と同じ。

- Zeros:(分子)=0の根, 3個
- Poles:(分母)=0の根, 4個
- Constant: $G \cdot \omega_2^2 = 2.244649 \times 10^3$

KIS_BHZ2.zp

43

```
KIS_BHZ2.zp (~lectures/prac_seis) - gedit (basalt.rcep.dpri.kuins.net 上)
ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 検索(S) ツール(I) ドキュメント(D) ヘルプ(H)
新規 開く 保存 印刷... 元に戻す やり直し 切り取り コピー 貼り付け 検索 置換
KIS_BHZ2.zp ✕
CONSTANT 2.244649e+3
ZEROS 3
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00
POLES 4
-1.234134E-02 1.234134E-02
-1.234134E-02 -1.234134E-02
-3.917566E+01 4.912341E+01
-3.917566E+01 -4.912341E+01
(5行, 1列) [挿入]
```

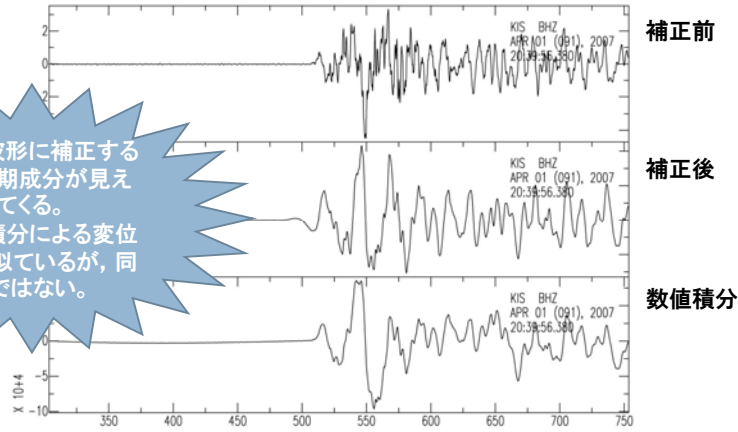
地震計特性補正(3)

44

- r_wav3.KISF.U↵
- p↵
 - 波形5.3の上(波形4.1と同じ)
- transfer_from_polezero_subtype_KIS_BHZ2.zp_to_none↵
- p↵
 - 波形5.3の中
- r↵
 - 元の波形(wav3.KISF.U)の読み込み
- hp_co_0.0033_p_2↵
- int↵
 - ハイパスフィルタリングと台形公式による数値積分
- p↵
 - 波形5.3の下

波形5.3

45



変位波形に補正すると長周期成分が見えてくる。
 数値積分による変位波形と似ているが、同じではない。

FortranおよびCとのインターフェース

46

- FortranでのSACデータの読み込みと書き出し
 - SACライブラリー(\$SACHOME/lib/libsacio.a)の利用
 - example_io.f
 - SACライブラリーが利用できない場合
 - FortranまたはCのサブルーチンを自作すれば、簡単に読み書きできる。

example_io.f

47

```

program example_io
c An example Fortran code showing the way
c to input and output SAC data
c 2010/05/09 T. Shibutani

parameter (max = 10000)

character aline*80
character kname1*80, kname2*80
real wdat(max), fdat(max)

write(6, '(Input SAC file name to read: ")')
read(5, '(a)') aline
lw = len_trim(aline)
write(kname1, '(a,1)') aline(1:lw),
& char(0)

call wsac1(kname1, wdat, nlen, beg,
& del, max, nerr)
write(6, *) 'npts=', nlen
write(6, *) 'b=', beg
write(6, *) 'delta=', del

c
c call getnhv('nzyear', iyear, nerr)
c call getnhv('nzjday', jday, nerr)
c call getnhv('nzhour', ihour, nerr)
c call getnhv('nzmin', minute, nerr)
c call getnhv('nzsec', isec, nerr)
c call getnhv('nzmsec', msec, nerr)

write(6, '(Input time range (t1,t2): ")')
read(5, *) t1, t2
n1 = int((t1 - beg) / del) + 1
n2 = int((t2 - beg) / del) + 1

npts = n2 - n1 + 1
do i = 1, npts
    fdat(i) = wdat(n1 + i - 1)
end do

write(6, '(Input SAC file name to write: ")')
read(5, '(a)') aaline
lw = len_trim(aaline)
write(kname2, '(a,1)') aaline(1:lw),
& char(0)

call newhdr
call setnhv('npts', npts, nerr)
call setnhv('itype', 'itime', nerr)
call setnhv('leven', .true., nerr)
call setnhv('delta', del, nerr)
call setnhv('irtype', 'io', nerr)
call setnhv('nzyear', iyear, nerr)
call setnhv('nzjday', jday, nerr)
call setnhv('nzhour', ihour, nerr)
call setnhv('nzmin', minute, nerr)
call setnhv('nzsec', isec, nerr)
call setnhv('nzmsec', msec, nerr)
call setnhv('b', t1, nerr)
call setihv('idep', 'ivel', nerr)
call setfhw('cmpaz', 0.0, nerr)
call setfhw('cmpinc', 0.0, nerr)
call wsac0(kname2, xdum, fdat, nerr)

stop
end
    
```

Makefile

48

```

# T. Shibutani, 2010/05/04

FC = gfortran
SACLIB = $(SACHOME)/lib/libsacio.a

example_io: example_io.o
    $(FC) -o example_io example_io.o $(SACLIB)
    
```

実践

49

- SAC>とは別の端末で作業
- makeを用いたコンパイルとリンク
 - `make_example_io` ←
 - `example_io.f`がコンパイルされて、`example_io.o`となり、`libsacio.a`とリンクされて、実行可能な`example_io`となる
- `example_io`の実行
 - `./example_io` ←
 - 読み込みSACデータファイル:`wav3.KISF.U` ←
 - 時間範囲:`475.0_725.0` ←
 - 書き込みSACデータファイル:`wav3_ex.KISF.U` ←

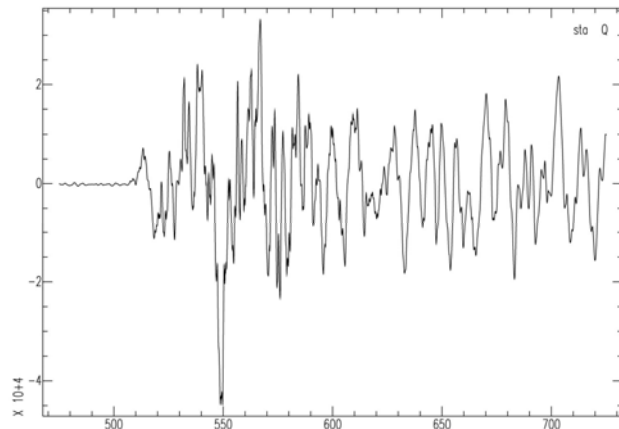
実践

50

- SAC>の端末で作業
- Fortranで書き出したファイルの読み込み
 - `r_wav3_ex.KISF.U` ←
 - `p` ←
 - 波形6.1

波形6.1

51



マクロによる処理の自動化

52

- マクロの実行
 - `m_macro1` ←
 - `m`はmacroの省略形
 - ファイル名:`wav1.KS23.U` ←
 - Pausingが表示されたら、波形の確認と説明を聞いて、←を押す。
 - 波形7.1

macro1

53

```
10:59 08 17:50 macro1 12行-9
*** macro1: transfer, decimate and rotate
*** 2010/02/17, T. Shibutani

bd x
qdp off
cut off
*xlim off
xlim a -150 150

setbb fu (reply "Enter file name @(ex. wav1.K
S23.U0): ")
setbb ff (subs 1 9 %fu%)

r %fu
rmean
p
pause
trans from polezero subtype KS23_U.zp to none
freg 0.02 0.05 5.0 10.0
dec 5
p
pause
setbb gu (cha 'wav1' 'wav2' %fu%)
w %gu

setbb fn (conc %ff '.N' )
r %fn
rmean
p
pause
trans from polezero subtype KS23_N.zp to none
freg 0.02 0.05 5.0 10.0
dec 5
p
pause

2010年 08月 17日 17時 50分 macro1 11
```

ユ-76: Takuo Shibutani

波形7.1

54

