

情報処理実習3 「時系列データ処理とツール」

教材3 「ツールの利用」

こうけつ かずき
瀬瀬 一起

第1版 (2003年6月23日)

第2版 (2004年6月28日)

1. Seismic Analysis Code

SAC (Seismic Analysis Code) is a general purpose interactive program designed for the study of sequential signals, especially timeseries data. Emphasis has been placed on analysis tools used by research seismologists in the detailed study of seismic events. Analysis capabilities include general arithmetic operations, Fourier transforms, three spectral estimation techniques, IIR and FIR filtering, signal stacking, decimation, interpolation, correlation, and seismic phase picking. SAC also contains an extensive graphics capability.¹⁾

SACを開発した Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) は米国エネルギー省傘下の国立研究所であるが、カリフォルニア大学によって運営されている。したがって SAC はカリフォルニア大学の著作物である。

2. よく使うコマンド

SACのよく使うコマンドを以下に示す(神戸大・寛さんのリスト²⁾をベースに、信号処理関係のコマンドの説明を追加してある)。コマンドは略称が使えるので略称で書いてあるが、()内がコマンドやオプションの略称でない正式名である。なお、すべての SAC コマンドを機能別に一覧したリストを末尾の §A に示した。

- bd x (begindevices xwindows)

図の表示を X Window System 上で行ないます、の意。X Window System は UNIX, Linux の標準ウィンドウシステムであるから、これによりディスプレイ上に図用のウィンドウが開く。

- bd sgf (begindevices sgf)

これ以降は図の表示先はファイルにします、つまり図をファイルとして出力する、の意。ファイルのフォーマットは SGF (SAC Graphic File) という SAC 特有の binary のフォーマット。なお、SGF ファイルの名前は f001.sgf のように「f+通し番号+.sgf」という名前になる。

- qdp off

qdp は Quick and Dirty Plot の意。起動直後は qdp が on になっているので、これを off にしておかないと波形などのプロットが間引きされた手を抜いたものになる。

- **r (read)**
SAC フォーマットのデータをメモリに読み込む。例えば `r example_ew.sac` などと使う。複数のファイルを一度に読み込む時は `r example_ew.sac example_ns.sac example_ud.sac` とすればよい。
- **w (write)**
メモリに読み込んだデータをファイルに書き出す。例えば `w output.sac` などと使う。alpha オプションをつけて `w alpha output.alpha` とすればデータはバイナリでなく文字で書かれる。
- **p (plot)**
メモリに読み込んだデータを plot する。波形やスペクトルのトレース（グラフ線）は 1 本、グラフ枠も 1 個（single-trace, single-window）。複数データが読み込まれているときは 1 トレースずつ出力される。
- **p1 (plot1)**
メモリに読み込んだデータを plot する。波形やスペクトルのトレース（グラフ線）は複数本、グラフ枠も複数個（multi-trace, multi-window）。複数データが読み込まれているときは 1 画面上に複数グラフが出力される。
- **p2 (plot2)**
メモリに読み込んだデータを plot する。波形やスペクトルのトレース（グラフ線）は複数本、グラフ枠は 1 個（multi-trace, single-window）。複数データが読み込まれているときは 1 グラフ上に複数トレースが重ね描きで出力される。
- **xlim**
x 軸（通常は時間軸、fft 後は周波数軸）の範囲を `xlim 0 10` などと与える。
- **fft**
メモリに読み込んだデータを FFT によりフーリエ変換する。
- **psp am (plotsp am)**
`psp` はスペクトルをプロットするコマンド。am は amplitude だけを描くというオプション。標準は両対数表示だが、`loglin`, `linlog`, `linlin` のオプションで変更できる。
- **rmean**
積分の前処理などのためメモリに読み込んだデータから平均（直流成分）を取り除く。
- **rtrend**
積分の前処理などのためメモリに読み込んだデータから線形のトレンドを取り除く。
- **int**
メモリに読み込んだデータを積分する。
- **dif**
メモリに読み込んだデータを微分する。

- lowpass c (lowpass corner)

c 1.5 などと与えられたコーナー周波数により，メモリに読み込んだデータにローパスフィルタをかける．

- highpass c (highpass corner)

c 1.5 などと与えられたコーナー周波数により，メモリに読み込んだデータにハイパスフィルタをかける．

- bandpass c (bandpass corners)

c 1.5 7 などと与えられたコーナー周波数により，メモリに読み込んだデータにバンドパスフィルタをかける．

- sc (systemcommand)

SAC 上から UNIX のコマンドを使いたい時は，例えば sc ls のように sc の後にコマンドを入力すればよい．

以下は SAC の内部コマンドではなく独立した外部コマンドなので SAC 外で使う．SAC 内部で使いたければ普通の UNIX のコマンドと同様 sc コマンドを使って実行することになる．

- sgftops

これは SAC の内部コマンドではなく独立した外部コマンドで，SAC 専用画像フォーマットである SGF ファイルを PostScript 形式に変換．具体的には sgftops f001.sgf f001.ps などとすればよい．SAC 内部で使いたければ sc sgftops f001.sgf f001.ps とすることとなる．

3. 使用例

X Window System の環境にあることを確認して，環境変数 SACAUX を /usr/local/sac/aux に設定し，コマンド sac で SAC を起動する．すると以下のように起動メッセージおよびプロンプト SAC> が表示されて，SAC のコマンドが入力可能な状態になる．

```
onaga% setenv SACAUX /usr/local/sac/aux
onaga% sac
SEISMIC ANALYSIS CODE [August 11, 1992 (Version 10.6f)]
Copyright 1992 Regents of the University of California
SAC>
```

xyz.sac というデータのファイルがあったら，これを読み込み波形を表示して見るには

```
SAC> bd x
SAC> qdp off
SAC> r xyz.sac
SAC> p
```

とすればよい．X Window System 上に図 1 のように表示される．図面をファイルに落とす場合には

```
SAC> bd sgf
SAC> p
```

とすること. quit コマンドでいったん SAC を終了させ, ls などで見れば f001.sgf というファイルが作られていることがわかる. このファイルを sgftops を使って

```
onaga% sgftops f001.sgf f001.ps
```

と変換すれば, PostScript プリンタで印刷可能なファイルを作ることができる.

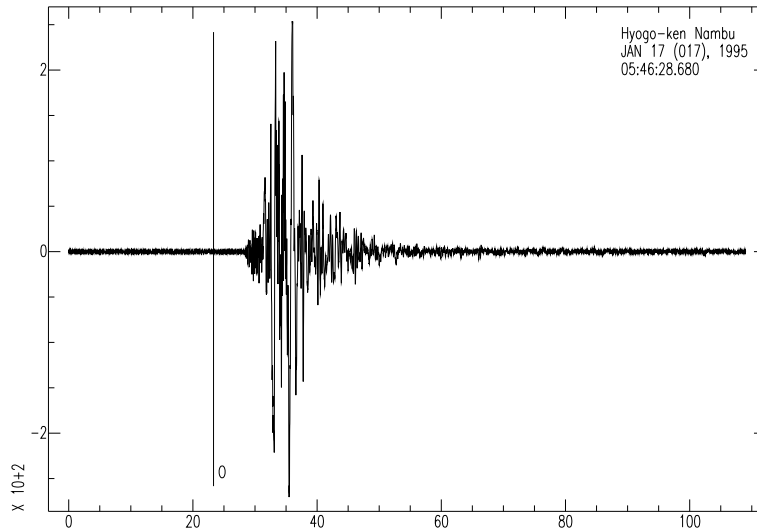


図 1. SAC における plot (p) コマンドの出力例.

なお, ネットワーク経由で onaga に login している場合に波形を表示させるには, 自分のコンピュータが X Window System の環境にあることを確認して,

```
mycomp% xhost onaga.eri.u-tokyo.ac.jp
```

を実行してから onaga に login すること. また login 後, 環境変数 DISPLAY を

```
onaga% setenv DISPLAY mycomp.mydomain.ac.jp:0
```

と設定すること. ただし, 自コンピュータのあるドメインがファイアウォールにより X Window System のパケットを受け付けないときには, 上記の操作でも波形を表示させることはできない. 波形が表示できない場合でも, bd sgf により図面のファイルを作ることができる.

4. レポート課題

1. onaga の /usr/local/sac/data にある SAC データファイル kob.an を SAC で読み込み, ALPHA フォーマットのファイルを作れ.
2. SAC ホームページ¹⁾ のデータフォーマットに関するページ http://www.llnl.gov/sac/SAC_Manuals/FileFormatPt1.html を参考にして, 上記ファイルを読み込んで FFT を実行する C プログラムを作成せよ.
3. 上記プログラムを実行して 0~10 Hz の振幅スペクトルを求めよ.

4. SAC において `fft, plotsp am linlin` を実行して振幅スペクトルの図面を描き, PostScript ファイルを作成して印刷せよ. 印刷されたスペクトル図と上記の結果と比較せよ.

以上の作業についてのレポートを任意のワードプロセッサ (Word, LaTeX など) を用いて執筆し, それをなるべく PDF ファイルに変換して 7 月 31 日までに `koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp` へメールの添付ファイルとして送ること. レポートには必ず FFT の C プログラムとその実行結果, および SAC による振幅スペクトルの図を含めること.

参考文献

Lawrence Livermore National Laboratory, http://www.llnl.gov/sac/SAC_Home_Main.html (2000).

筧 楽磨, http://www-seis.planet.sci.kobe-u.ac.jp/kakehi/sac/command_list (1999).

A SAC コマンドの機能別一覧

| Executive Function Module | |
|---------------------------|--|
| QUIT | Terminates SAC. |
| QUITSUB | Terminates the currently active subprocess. |
| PRODUCTION | Controls the production mode option. |
| NEWS | Prints current news concerning SAC. |
| HELP | Prints information about SAC commands and features. |
| REPORT | Informs the user about the current state of SAC. |
| SYSTEMCOMMAND | Executes system commands from SAC. |
| INICM | Reinitializes all of SAC's common blocks. |
| FUNCGEN | Generates a function and stores it in memory. |
| DATAGEN | Generates sample data files and stores them in memory. |
| MESSAGE | Sends a message to the user's terminal. |
| COMCOR | Controls SAC's command correction option. |
| SYNTAX | Prints basic information about SAC commands. |
| PAUSE | Sends a message to the terminal and pauses. |
| ECHO | Controls echoing of commands to the terminal. |
| EVALUATE | Evaluates simple arithmetic expressions. |
| SETBB | Sets (defines) values of blackboard variables. |
| GETBB | Gets (prints) values of blackboard variables. |
| READBBF | Reads a blackboard variable file into memory. |
| WRITEBBF | Writes a blackboard variable file to disk. |
| MACRO | Executes a SAC macro file. |
| SETMACRO | Defines directories to search when executing a SAC macro file. |
| INSTALLMACRO | Installs macro files in the global SAC macro directory. |
| UNSETBB | Unsets (deletes) blackboard variables. |
| TRANSCRIPT | Controls output to the transcript file. |
| TRACE | Controls the tracing of blackboard and header variables. |

| | |
|------------------------------------|---|
| Data File Module | |
| READ | Reads data from SAC data files on disk into memory. |
| READCSS | Reads CSS format data files into SAC. |
| READERR | Controls errors that occur during the READ command. |
| WRITE | Writes data in memory to disk. |
| CONVERT | Converts data files from one format to another. |
| CUT | Defines how much of a data file is to be read. |
| CUTERR | Controls errors due to bad cut parameters. |
| LISTHDR | Lists the values of selected header fields. |
| CHNHDR | Changes the values of selected header fields. |
| READHDR | Reads headers from SAC data files into memory. |
| WRITEHDR | Overwrites the headers on disk with those in memory. |
| SYNCHRONIZE | Synchronizes the reference times of all files in memory. |
| WILD | Sets wildcard characters used in read commands to expand filelists. |
| READALPHA | Reads alphanumeric data files on disk into memory. |
| COPYHDR | Copies header variables from one file in memory to all others. |
| DATAGEN | Generates sample data files and stores them in memory. |
| Graphics Environment Module | |
| XLIN | Turns on linear scaling for the x axis. |
| XLOG | Turns on logarithmic scaling for the x axis. |
| YLIN | Turns on linear scaling for the y axis. |
| YLOG | Turns on logarithmic scaling for the y axis. |
| LINLIN | Turns on linear scaling for the x and y axes. |
| LINLOG | Turns on linear scaling for x axis and logarithmic for y axis. |
| LOGLIN | Turns on logarithmic scaling for x axis and linear for y axis. |
| LOGLOG | Turns on logarithmic scaling for the x and y axes. |
| XFULL | Controls plotting of x axis full logarithmic decades. |
| YFULL | Controls plotting of y axis full logarithmic decades. |
| XVPORT | Defines the viewport for the x axis. |
| YVPORT | Defines the viewport for the y axis. |
| XDIV | Controls the x axis division spacing. |
| YDIV | Controls the y axis division spacing. |
| GRID | Controls the plotting of grid lines in plots. |
| BORDER | Controls the plotting of a border around plots. |
| AXES | Controls the location of annotated axes. |
| TICKS | Controls the location of tick marks on plots. |
| LOGLAB | Controls labels on logarithmically scaled axes. |
| XFUDGE | Changes the x axis "fudge factor." |
| YFUDGE | Changes the y axis "fudge factor." |
| TITLE | Defines the plot title and attributes. |

| | |
|---|---|
| Graphics Environemnt Module (Continued.) XLABEL YLABEL QDP FLOOR WAIT LINE SYMBOL BEGINFRAME ENDFRAME GTEXT COLOR XGRID YGRID PLABEL TSIZE WINDOW BEGINWINDOW | Defines the x axis label and attributes. Defines the y axis label and attributes. Controls the “quick and dirty plot” option. Puts a minimum value on logarithmically interpolated data. Tells SAC whether or not to pause between plots. Controls the linestyle selection in plots. Controls the symbol plotting attributes. Turns off automatic new frame actions between plots. Resumes automatic new frame actions between plots. Controls the quality and font of text used in plots. Controls color selection for color graphics devices. Controls plotting of grid lines in the x direction. Controls plotting of grid lines in the y direction. Defines general plot labels and their attributes. Controls the text size attributes. Sets the location and shape of graphics windows. Begins plotting to a new graphics window. |
| Graphics Control Module BEGINDEVICES ENDDEVICES ERASE VSPACE SGF | Begins plotting to one or more graphics devices. Terminates one or more graphics devices. Erases the graphics display area. Changes the maximum size and shape of plots. Controls the SAC Graphics File device options. |
| Graphics Action Module PLOT PLOT1 PLOT2 PLOTPK PLOTG FILEID PICKS PLOTPM SETDEVICE XLIM YLIM PLOTXY | Generates a single-trace single-window plot. Generates a multi-trace multi-window plot. Generates a multi-trace single-window (overlay) plot. Produces a plot for the picking of arrival times. Annotates SAC plots and creates figures using cursor. Controls the file id display found on most SAC plots. Controls the display of time picks on most SAC plots. Generates a “particle-motion” plot of pairs of data files. Defines a default graphics device to use in subsequent plots. Determines the plot limits for the x axis. Determines the plot limits for the y axis. Plots one or more data files versus another data file. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Spectral Analysis Module | |
| FFT | Performs a discrete Fourier transform. |
| KEEPAM | Keep only the amplitude component of the spectral file. |
| IFFT | Performs an inverse discrete Fourier transform. |
| PLOTSP | Plots spectral data in several different formats. |
| WRITESP | Writes spectral files to disk as “normal” data files. |
| READSP | Reads spectral files written by WRITESP. |
| LOWPASS | Applies an IIR lowpass filter. |
| HIGHPASS | Applies an IIR highpass filter. |
| BANDPASS | Applies an IIR bandpass filter. |
| BANDREJ | Applies an IIR bandreject filter. |
| WIENER | Applies an adaptive Wiener filter. |
| FIR | Applies a finite-impulse-response filter. |
| HANNING | Applies a “hanning” window to each data file. |
| UNWRAP | Computes amplitude and unwrapped phase. |
| CORRELATE | Computes the auto- and cross- correlation functions. |
| KHRONHITE | Applies a Khronhite filter to the data. |
| BENIOFF | Applies a Benioff filter to the data. |
| DIVOMEGA | Performs integration in the frequency domain. |
| MULOMEGA | Performs differentiation in the frequency domain. |
| HILBERT | Applies a Hilbert transform. |
| ENVELOPE | Computes the envelope function using a Hilbert transform. |
| Unary Operations Module | |
| ADD | Adds a constant to each data point. |
| SUB | Subtracts a constant from each data point. |
| MUL | Multiplies each data point by a constant. |
| DIV | Divides each data point by a constant. |
| SQR | Squares each data point. |
| SQRT | Takes the square root of each data point. |
| INT | Performs integration using the trapezoidal rule. |
| ABS | Takes the absolute value of each data point. |
| LOG | Takes the natural logarithm of each data point. |
| LOG10 | Takes the base 10 logarithm of each data point. |
| EXP | Computes the exponential of each data point. |
| EXP10 | Computes the base 10 exponential (10.**y) of each data point. |
| DIF | Differentiates data in memory. |
| Binary Operations Module | |
| MERGE | Merges (concatenates) a set of files to data in memory. |
| ADDF | Adds a set of data files to data in memory. |
| SUBF | Subtracts a set of data files from data in memory. |
| MULF | Multiplies a set of files by the data in memory. |
| DIVF | Divides data in memory by a set of data files. |
| BINOPERR | Controls errors that can occur during binary file operations. |

| | |
|----------------------------------|--|
| Signal Correction Module | |
| RQ | Removes the seismic Q factor from spectral data. |
| RGLITCHES | Removes glitches and timing marks. |
| RTREND | Removes the linear trend. |
| RMEAN | Removes the mean. |
| TAPER | Applies a symmetric taper to each end of data. |
| ROTATE | Rotates a pair of data components through an angle. |
| INTERPOLATE | Interpolates evenly or unevenly spaced data to a new sampling rate. |
| QUANTIZE | Converts continuous data into its quantized equivalent. |
| STRETCH | Stretches (upsamples) data, including an optional interpolating FIR filter. |
| REVERSE | Reverse the order of data points. |
| SMOOTH | Applies an arithmetic smoothing algorithm to the data. |
| DECIMATE | Decimates (downsamples) data, including an optional anti-aliasing FIR filter. |
| Event Analysis Module | |
| OHPF | Opens a HYPO formatted pick file. |
| CHPF | Closes the currently open HYPO pick file. |
| WHPF | Writes auxiliary cards into the HYPO pick file. |
| OAPF | Opens a alphanumeric pick file. |
| CAPF | Closes the currently open alphanumeric pick file. |
| APK | Applies an automatic event picking algorithm. |
| Signal Measurement Module | |
| MTW | Determines the measurement time window for use in subsequent measurement commands. |
| MARKVALUE | Searches for and marks values in a data file. |
| MARKTIMES | Marks files with travel times from a velocity set. |
| MARKPTP | Measures and marks the maximum peak to peak amplitude of each signal within the measurement time window. |
| RMS | Computes the root mean square of the data within the measurement time window. |
| XYZ (3-d) Data Module | |
| SPECTROGRAM | Calculates a spectrogram using all of the data in memory. |
| GRAYSCALE | Produces grayscale images of data in memory. |
| CONTOUR | Produces contour plots of data in memory. |
| ZLEVELS | Controls the contour line spacing in subsequent contour plots. |
| ZLINES | Controls the contour linestyles in subsequent contour plots. |
| ZTICKS | Controls the labeling of contour lines with directional tick marks. |
| ZLABELS | Controls the labeling of contour lines with alphanumeric labels. |
| ZCOLORS | Controls the color display of contour lines. |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Instrument Correction Module | |
| TRANSFER | Performs deconvolution to remove an instrument response and convolution to apply another instrument response. |
| Subprocess Invoking Module | |
| SPE | Initializes the Spectral Estimation Subprocess. |
| SSS | Initializes the Signal Stacking Subprocess. |
| Analysis Tools | |
| FILTERDESIGN | Graphically display the filter's digital vs. analog characteristics. |
| FK Spectrum | |
| BBFK | Computes broadband frequency-wavenumber (FK) spectral estimate. |
| BEAM | Computes the beam. |
| MAP | Produces a map of the array or "coarray". |