

WWW によるモーメントテンソル決定システムの開発

鶴岡 弘*

Development of A Moment Tensor Determination System on The World Wide Web

Hiroshi TSURUOKA*

Abstract

A powerful system which determines moment tensor solutions using broadband waveform data (stored hard disk) was developed. It needs neither downloading of waveform data nor installation of application because users can access this system's web page and can do moment tensor analysis. According to the user's inputs in the form, moment tensor solutions were automatically determined in this system. Using WWW interface, this system achieved a multi-platform application and proposed a new earthquake analysis system.

Key words : moment tensor, WWW, CGI, WIN

はじめに

インターネットに代表される広域ネットワークの発達によって、またその上で動作する World Wide Web(WWW)の普及により我々は様々な情報にアクセスが可能となった。地震関連の情報についても、震源カタログ、高感度・広帯域・強震等の地震波形データなど地震解析に必要な基礎データから大地震の震源過程の解析結果等に至るまで多様な情報の取得が非常に容易となった。WWWは、ハイパーテキストという新しい概念を提唱したこと、初期の Mosaic に代表されるテキスト以外の情報を扱えるブラウザ(クライアント)が開発されたことにより瞬く間に世界に普及した。開発当初は情報共有のためのシステムで情報をブラウズするだけの単方向システムであったが、ユーザの入力に対するインターフェースである CGI や PHP 等のプラグイン技術が開発され、ユーザと双方向の通信ができるように機能拡張されている。

このWWWの双方向性を利用し、ユーザの必要とする地震情報を検索・抽出可能なサイトは数多く存在している。例えば、<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/database-j.html> にそのリストを見ることができる。ただし、これらの情報は生データを加工したものや膨大なデータからユーザの必要とするデータを抽出するというシステムがほとんどであ

る。しかし鶴岡(1998)のように地震カタログに対して解析を行い、結果を表示するというようなシステムも存在している。つまりデータとアプリケーションが結合したシステムである。本報告では地震波形データとアプリケーションの結合の一例として衛星テレメタリングシステムにより収集・配信・保存されている広帯域波形データに対して容易にモーメントテンソル解を決定できるシステムを開発したので報告する。

システム概要

本システムは、(1)地震波形データ収集システム、(2)WWWサーバ・クライアント、(3)モーメントテンソル解析プログラム、(4)(2)および(3)のインターフェースのための CGI スクリプトより構成されている。図1に全体のシステム構成図を示す。(1)、(2)については既存のソフトウェア・システムを利用し、(3)および(4)のソフトウェア開発を行った。

(1) 地震波形データ収集システム

衛星通信テレメタリングシステムにより配信されている地震波形データのうちモーメントテンソル解析に必要な広帯域地震波形記録をディスクに保存した。データは WIN システムの recvt, order, wdisk を利用し、2ヶ月間の連続データを利用可能としている。

(2) WWWサーバ・クライアント

WWWサーバは、Linux(TurboLinux 8 Server)に標準インストールされる httpd (apache) を動作させた。クライアントについてのプラットフォームは特に

2003年9月29日受付, 2003年10月24日受理.

*東京大学地震研究所地震予知情報センター.

*Earthquake Information Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

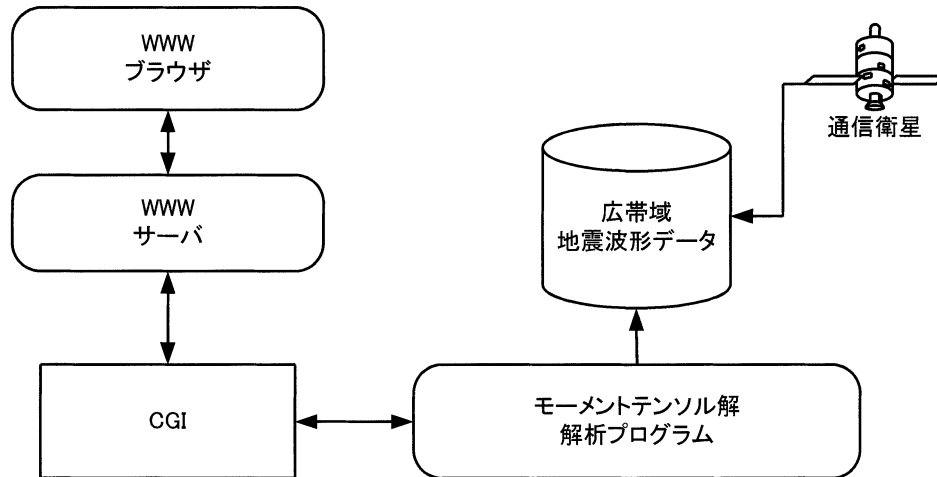


図 1. システム概要

問わないが PDF ファイルが閲覧できるように Adobe Acrobat などのプラグインがインストールされていることが望ましい。

(3) モーメントテンソル解析プログラム

モーメントテンソル解析プログラムは、Dreger のプログラムを改良してシステムに組み込んだ。実体波を利用した解析では、P 波や S 波の位相を合わせるのが難しく、マニュアルでのチェックが必要となるが、このプログラムでは、周期 10 秒以上といった長周期の表面波を解析に利用するので自動化に向いているためである。このプログラムでは、グリーン関数と観測データとの相互相関をとることにより、位相合わせを実行後、モーメントテンソルインバージョンを行う。さらに、インバージョン後に得られたメカニズムの理論波形と観測波形の相互相関を解が収束するまで行うというルーチンを新規に組み込んだ。モーメントテンソル解析プログラムは、波形データに対してバンドパスフィルター・リサンプリングを行う SAC、解析結果図作成のための GMT などのフリーのプログラム群から構成した。解析の詳細について解析手法で述べる。

(4) CGI スクリプト

CGI スクリプトは、移植性を考慮しスクリプト言語である perl を用いて作成した。リスト 1 にスクリプトを示すが、この CGI は、ユーザのフォームに従ってパラメータファイルを作成して、モーメント解析プログラムの実行、解析結果をユーザに送信しているのみの非常に単純なものである。ただし、解析に用いた波形データ等の作業ファイル・解析結果ファイルはユーザに結果を送信後に自動削除するようになっていること、複数のユーザが同時に解析のリクエストを行った

場合でも CGI が起動されたプロセス番号を利用した作業ディレクトリを作成して解析を行うようになっているため、完全に独立した解析が行えるようになっている。

システムの特徴

システム概要に述べたシステム構成により本システムは以下のような特徴を持つ。

- (1) マルチプラットフォーム (Windows, Mac, UNIX) で利用が可能。
Netscape や Internet Explorer などの WWW ブラウザは広く普及している。
- (2) インターネットに接続されたコンピュータから利用可能。
最近ではセキュリティの問題などによりリモートからのログインが制限されることが多いが、WWW は通常ポートが空けられているのでどこからでもアクセスができる。
- (3) データおよびアプリケーションの一元化管理により、ユーザは解析のみに専念することができる。
一元化されたデータを解析に利用するので、データのクオリティの向上、アプリケーションの機能強化が非常に容易。
- (4) フォームを用いた対話処理
ユーザは必要な入力項目を入力するだけでよい。また、解析に必要なマニュアル等も簡単にリンクが可能である。
- (5) 高速な解析結果表示
モーメントテンソル解析にかかる時間は数秒と非常に高速である。
- (6) PDF 出力対応

リスト 1.

```

#!/usr/bin/perl
$| = 1;
require '/cgi-lib.pl';
&ReadParse(*in);
$LON = $in{'LON'}; $LAT = $in{'LAT'}; $DEP = $in{'DEP'};
$YR = $in{'YR'}; $MO = $in{'MO'}; $DY = $in{'DY'};
$HR = $in{'HR'}; $MI = $in{'MI'}; $NSEC = $in{'NSEC'};
$STN1 = $in{'STN1'}; $STN2 = $in{'STN2'}; $STN3 = $in{'STN3'};
$STN4 = $in{'STN4'}; $STN5 = $in{'STN5'}; $STN6 = $in{'STN6'};
$STNS=sprintf("%s %s %s %s %s %s", $STN1, $STN2, $STN3, $STN4, $STN5, $STN6);
$PHCOMP = $in{'PHCOMP'};
$FILTER = $in{'FILTER'};
if ( $FILTER == 0 ) {
    $BP1='0.02'; $BP2='0.05';
} elsif ( $FILTER == 1 ) {
    $BP1='0.01'; $BP2='0.05';
} elsif ( $FILTER == 2 ) {
    $BP1='0.02'; $BP2='0.10';
} elsif ( $FILTER == 3 ) {
    $BP1='0.04'; $BP2='0.10';
}
$TYPE = $in{'TYPE'};
$OUTPUT = $in{'OUTPUT'};
$WORKDIR="/tmp/icMT$$";
system("mkdir $WORKDIR");
open(PRM, ">$WORKDIR/icMT.prm");
print PRM <<EOM;
COMENT=icMT_version_1.0,ERI
LON=$LON
LAT=$LAT
DEP=$DEP
MODEL=fnet
PHCOMP=$PHCOMP
BP1=$BP1
BP2=$BP2
BPFLAG=$TYPE
NSEC=$NSEC
STNS=$STNS
COR=0
RTM=0
YR=$YR
MO=$MO
DY=$DY
HR=$HR
MI=$MI
EOM
close(PRM);
system("(cd $WORKDIR; . /etc/bashrc; /dat/web/cgi/icMT.pl icMT.prm)>/dev/null 2>&1");
if ( $OUTPUT eq 'PNG' ) {
    printf("Content-type:image/png\n\n");
    system("/bin/cat $WORKDIR/mtplot.png");
} elsif ( $OUTPUT eq 'PDF' ) {
    printf("Content-type:application/pdf\n\n");
    system("/bin/cat $WORKDIR/mtplot.pdf");
}
system("/bin/rm -rf $WORKDIR");

```

画像出力 (PNG, JPEG) だけでなく、PDF 出力にも対応しているので、プリンター出力も高解像度である。

解析手法

解析に使用する波形データは、ユーザがフォームに入力

した観測点 3 成分のデータを解析開始時刻から 5 分間分だけディスクから切り出して利用する。WIN システムにより波形は 1 分ごとに保存されているので、解析に必要なイベントファイルを作成するためには該当する連続データを cat で結合させ、その後 SAC ファイルに変換して、バンド

パスフィルターをかけ、入力データとする。さらに選択された観測点に対してあらかじめ作成してあるグリーン関数の中から該当する震央距離・深さのグリーン関数を抽出してモーメントテンソルインバージョンを行う。グリーン関数の計算には、速度構造として表1の水平成層構造を仮定して行った。グリーン関数は、Saikia (1994) の波数積分法を用いて、深さ3km刻みに120kmまで、震央距離5km刻みに30kmから500kmまでを計算し、データとしてディスクにあらかじめ保存した。そのため、ユーザのパラメータ入力から結果が出るまで数秒程度である。本解析でのインバージョンには、Dreger のプログラムに対して、インバージョン後に得られたメカニズムの理論波形と観測波形の相互相関を解が収束するまで行うというルーチンを新規に組み込んであるが、どのような効果があるかについて図2に示す。地震は2003/09/25 13:24 茨城沖で発生したMj=4.0の地震についての解析結果である。1回目のイン

バージョン結果では、理論波形と観測波形のフィットを表す指標であるVRが64.23であったが、最終的にその値が84.08まで向上していることが分かる。このようにこのルーチンを組み込むことは解の信頼性向上に有効に働いていることが分かる。

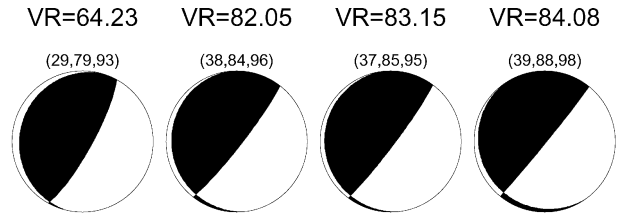


図2. 理論波形と観測波形のフィッティング (VR) の変化。VRは100が最大

利用の実際

本システムの起動画面例を図3に示す。図の解析結果は2003年7月26日に発生した宮城県北部地震(余震)の例である。画面左にユーザが入力すべきパラメータ入力のフォームがあり、その右に解析結果が表示されるようになっている。ユーザが入力すべきパラメータは

- ・地震の緯度・経度・深さ
- ・利用する観測点
- ・解析時間長

表1. グリーン関数の計算に利用した速度構造

厚さ (km)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (kg/m ³)	Qp	Qs
3	5.5	3.14	2300	600	300
15	6.0	3.55	2400	600	300
15	6.7	3.83	2800	600	300
67	7.8	4.46	3200	600	300
∞	8.0	4.57	3300	600	300

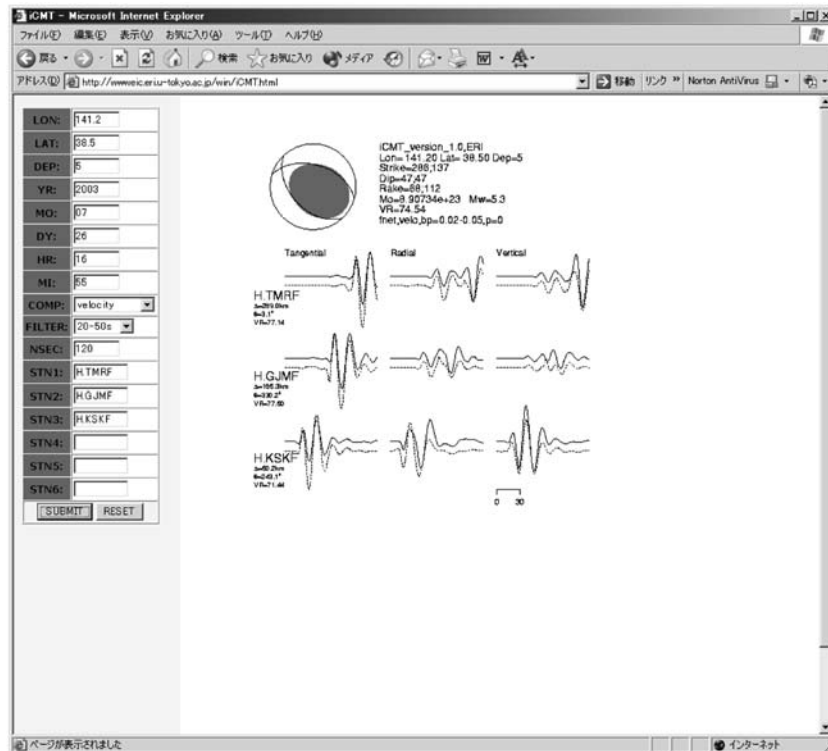


図3. システム利用例

- ・解析に用いる物理量（変位 or 速度）
- ・フィルターの周期およびタイプ

だけである。SUBMIT 後 LAN 環境であれば結果のファイル転送にかかる時間が必要になるだけなので、数秒後に結果が表示される。通常このような解析は UNIX システム上で手作業で行うが、このシステムを利用することにより高度に簡略化・高度化されていることが分かる。また、図 4 には 6 観測点を利用した結果の PDF 出力の例を示す。このように観測点の組み合わせを簡単に変更可能であることは重要であろう。現在、防災科学技術研究所では、福山他 (1998) に従って、広帯域の地震データを用いたモーメントテンソル解を決定しているが、本システムを利用すること

によってもモーメントテンソル解を簡単に決定可能である。

おわりに

本システムは、地震波形データとモーメントテンソル解解析プログラムが WWW により結合しており、真にユーザのためのシステムと言える。ユーザはデータ管理やアプリケーションのインストール作業等から解放され、解析に専念できる意義は大きいと考えられる。本システムの展望としては、波形データ保存期間の延長や詳細な解析が可能となるようなフォームのオプションの追加（例えば構造を変えたオプション）が考えられる。今後このようなデータ

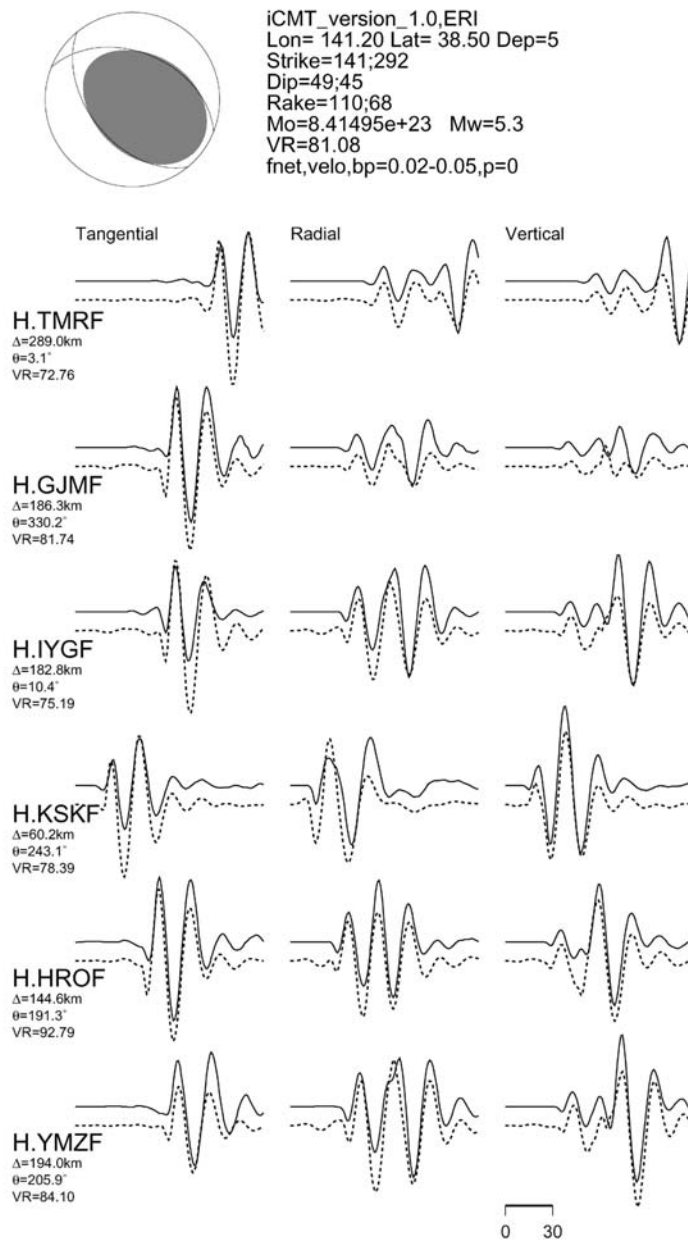


図 4. 6 観測点での解析結果例 (PDF 出力)

とアプリケーションが融合したシステムが多く開発される
だろう。

謝 辞：モーメントテンソル解を決定するプログラムは
Berkeley Seismological Laboratory の Douglas Dreger
が開発した `tdmt_invc` パッケージを修正して利用しまし
た。東原紘道教授と森田裕一助教授の査読は本稿の改善に
役立ちました。ここに記して感謝します。

文 献

- 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉・オンライン広帯
域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震 2, 51,
149-156.
- 鶴岡 弘, 1998, WWW を用いた地震情報検索・解析システムの
開発, 情報学基礎, 49, 9, 65-70.
- Saikia, C. K., 1994, Modified frequency-wavenumber algorithm
for regional seismograms using Filon's quadrature : model-
ing of Lg waves in eastern North America, Geophys. J. Int.,
118, 142-158.