



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地殻変動データベースシステムの開発
Author(s)	山口, 照寛; 笠原, 稔; 高橋, 浩晃 他
Citation	測地学会誌, 56(2), 47-57 https://doi.org/10.11366/sokuchi.56.47
Issue Date	2010-08-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57956
Type	journal article
File Information	Sokuchi_56_47-.pdf



地殻変動データベースシステムの開発

山口 照寛・笠原 稔・高橋 浩晃・岡山 宗夫・
高田 真秀・一柳 昌義

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
(2009 年 12 月 19 日受付, 2010 年 2 月 24 日改訂, 2010 年 2 月 27 日受理)

Development of Crustal Deformation Database System

Teruhiro Yamaguchi, Minoru Kasahara, Hiroaki Takahashi, Muneo Okayama,
Masamitsu Takada and Masayoshi Ichiyanagi

Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University
N8-W10 Sapporo 060-0810, Japan

(Received December 19, 2009; Revised February 24, 2010; Accepted February 27, 2010)

Abstract

We have developed an easy-to-use Crustal Deformation Database (CDD) for strain, tilt and other long-term geophysical data. WWW-based user interface is employed for operations and the servers are connected to internet. Anyone who has internet connections and web browser, therefore, are easily possible to refer and download data from anywhere. We have adopted the WIN format (de facto standard format for the seismic data exchange in Japan) for data acquisition and management, because it can treat any sampling interval data without re-sampling procedure during data processing.

This database has following functions; 1) data drawing on the display for selected period from 1 second to 10 years, 2) data download for selected channels and period, and 3) several data analyses, i.e., filtering, tidal analysis by BAYTAP-G program, plane strain analysis and its linkage to seismic data.

Trial run of CDD is in operation from 2004 and 66 stations data operated by Hokkaido University, Tohoku University, University of Tokyo, Nagoya University, Kyushu University, Tono Research Institute of Earthquake Science, Geological Survey of Hokkaido and National Astronomical Observatory of Japan have been stored to CDD in real time and above functions are in use. We hope any institutions operating crustal deformation observation will join our CDD network to establish unified CDD of Japan.

1. は じ め に

歪み計や傾斜計による地殻変動連続観測は、地震動帯域（数 Hz）から DC 変化までをフラットな応答特性により記録が可能なが大きな特徴となっている（例えば、笠原ほか、2007）。しかし、この広帯域性がデータの取り扱いを面倒にしている点でもあった。具体的には数カ月～数年といった長期間のデータに対しては、データ量の大きさ、その期間内での感度やチャンネルの変更、人為的なノイズの除去（データ編集）などである。また地震動帯域のデー

タに対しても収録とその検索・描画等の容易さが求められていた。さらに大きな問題点は、複数の機関同士のデータ流通と一元化ができていないことであった(橋本, 2007)。

現在、地震観測のデータ流通では大学、気象庁、防災科学技術研究所の地震波形データをリアルタイムに交換するためのネットワークである JDXnet が整備されている(鷹野ほか, 2006)。そこで 2007 年 1 月から、JDXnet を利用した地殻変動データ流通を試験的に開始した。参加しているのは北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、九州大学、東濃地震科学研究所、北海道立地質研究所、国立天文台の 8 つの機関である。また、北海道大学では流通している各大学の地殻変動データを受信し、それらのデータの一元化を同時に開始した。2009 年 12 月現在の各機関の観測点配置図を Figure 1 に、各機関の観測データの内訳を Table 1 に示す。

本稿では、この一元化されたデータを利用するために開発した、「地殻変動データベースシステム」について述べる。

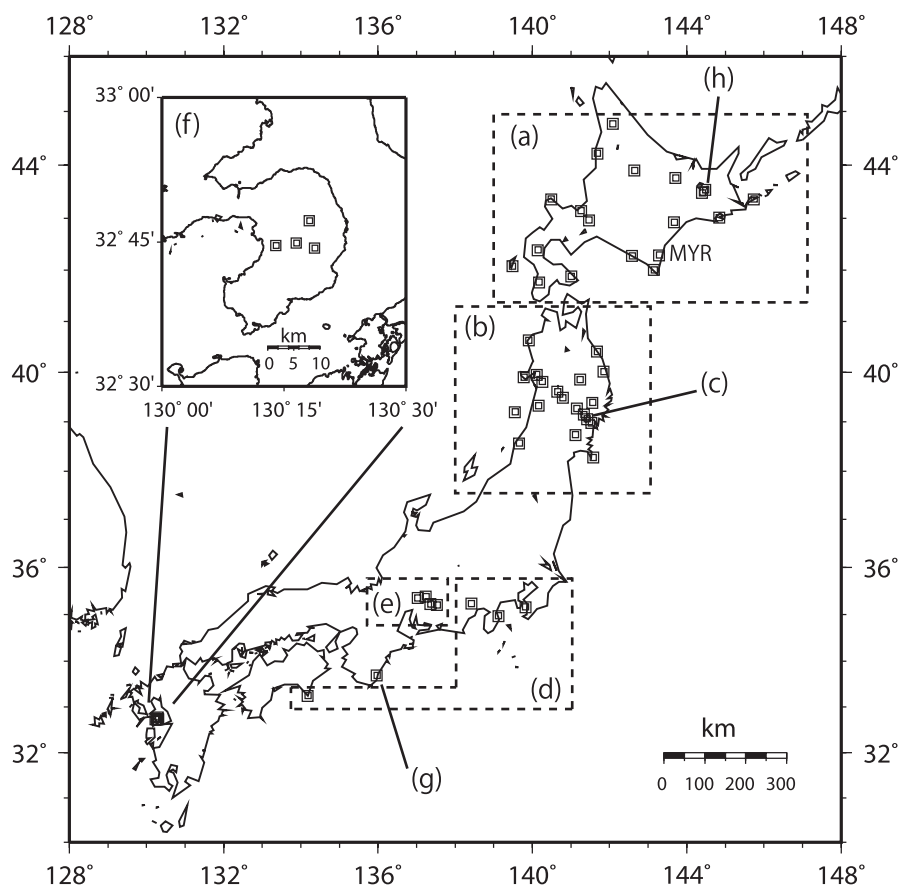


Fig. 1. Station distribution of strain and/or tilt meters observations participating in the trial operation of Crustal Deformation Database (CDD) described in this paper. (a) Hokkaido University, (b) Tohoku University, (c) National Astronomical Observatory of Japan, (d) University of Tokyo, (e) Nagoya University, (f) Kyushu University, (g) Tono Research Institute of Earthquake Science and Nagoya University, (h) Geological Survey of Hokkaido and Hokkaido University.

Table 1. List of crustal deformation stations which are connected to this database. 88 sensors are installed in 66 stations.

Institution	Station Type	Sensor	Station Number
Hokkaido Univ.	Vault	Strain	13
		Tilt	6
	Borehole	3component Strain	6
		Tilt	5
	Other	Proton Magnetometer	1
Tohoku Univ.	Vault	Strain	11
	Borehole	3component Strain	6
		Volmetric Strain	15
	Other	Gravity	2
Tokyo Univ.	Vault	Strain	3
		Tilt	3
	Borehole	Strain	1
		Tilt	1
Nagoya Univ.	Vault	Strain	4
	Borehole	4component Strain	1
Kyushu Univ.	Borehole	Tilt	4
NAO ^{*1}	Vault	Strain	1
GSH ^{*2} + Hokkaido Univ.	Other	Water Level	4
TRIES ^{*3} + Nagoya Univ.	Borehole	4component Strain	1

*1 NAO : National Astronomical Observatory of Japan

*2 GSH : Geological Survey of Hokkaido

*3 TRIES : Tono Research Institute of Earthquake Science

2. 地殻変動データベースシステム

2.1. 概要

本システムは JDXnet に接続されている各機関の観測データを収録・一元化するとともに、そのデータを利用した様々な機能をインターネットと WEB を介して各ユーザが利用できるものとなっている。概念図を Figure 2 に示す。

地殻変動データベースサーバ（以下、サーバ）へのデータ入力に関する設計思想は、「複数の研究機関のデータを収録すること」である。これを実現したのが JDXnet への接続である。JDXnet は前述のとおり、リアルタイム地震波形交換システムであり、現在利用している回線は SINET3（国立情報学研究所が構築、運用している全国の大学、研究機関等を結ぶ情報ネットワーク）、JGN2plus（情報通信研究機構が運営するネットワーク）や NTT の光回線等である。地震波形データ・地殻変動データは、このネットワークに WIN フォーマットでブロードキャスト配信されている。本システムにデータ送信する参加機関は、チャンネルテーブルを公表しているため、JDXnet に接続されたサーバはそのチャンネルテーブルを参照して必要なチャンネルを受信することができるようになる。

サーバからのデータ出力に関する設計思想は、「ユーザ側の OS を選ばないこと」、「いつでもどこでもデータ表示やダウンロードできること」の 2 つである。構成は Figure 2 のとおり、サーバサイド WEB アプリケーションの形とした。ユーザ側に必要なものはインターネットに接続されたウェブブラウザ搭載の端末のみであり、操作はすべてウェブブラウザで行うことができるため OS による制約は受けない。

出力システムにおいては PHP 言語（動的な WEB ページを作るのに適したプログラミング言語）でコーディングされたプログラムが処理の中心に位置する。すなわち、ブラウザで入力された変数を受け取り、その結果としてどのプログラムを呼び出すか、どのように出力するかは判断は PHP で行っている。このように処理をモジュール化することにより、解析機能等のアプリケーションソフトの追加が簡単になっている。

現在使用しているサーバの主なハードウェア、ソフトウェアの仕様は Table 2 のとおりである。

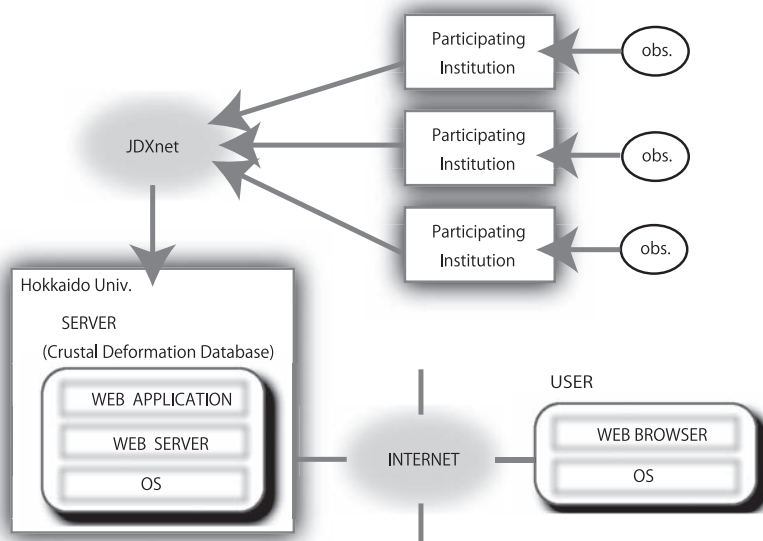


Fig. 2. Data flow of Crustal Deformation Database through JDXnet from each station to database server and internet protocol for user connection to database server.

Table 2. Specification and installed software of the database server.

Hardware	Processor	AMD Athlon 64 Processor 3000 +
	Memory	2GByte
	Hard drive	120GByte
	External Strage	2TByte
	Network interface	10/100/1000Mbps (Ethernet)
Software	Operating system	FreeBSD7.2R
	HTTP Server	apache2.2
	Database	mysql5.0
	Graphic	GMT4.2.0
	Ajax	The Yahoo! User Interface Library jQuery
programming language		PHP5
		C
		html
		perl

2.2. データ一元化

データの流れを Figure 2 をもとに説明する。地殻変動データは各観測点から各研究機関へ NTT 専用回線、ISDN 回線等を通して伝送される。各機関の間では JDXnet を利用しデータがブロードキャストされて流通している。そのデータをチャンネルテーブルの情報をもとにサーバが受信し蓄積する。サンプリングレートは 100 Hz, 50 Hz, 20 Hz (以下, 高速サンプリング), 1 Hz (1 秒値) であり, サーバではこれらの他に, 1/60 Hz (1 分値) と 1/3,600 Hz (1 時間値) にリサンプリングしたデータも保存する。1 分値は 1 秒値の 1 分間の相加平均, 1 時間値は 1 分値の 1 時間の相加平均をとることにより生成される。

サーバへのデータ転送・蓄積は WIN フォーマット (卜部, 1994) を 1 Hz より低いサンプリングレートのデータも扱えるように拡張したフォーマットで行っている (以下, 低速対応 WIN フォーマット)。本来の WIN フォーマットは地震波形データを利用する目的で開発されたため 1 Hz より低速のサンプリングレートはサポートされていないことと, ブロックが 1 秒固定のため 1 秒値のデータでは差分データを利用できずデータ圧縮の効果が無いことが理由である。

低速対応 WIN フォーマットでは 1 秒値を疑似的に 60 Hz のデータとみなして 1 分間 60 個のデータで本来の WIN フォーマットと同じ 1 ブロックを構成する。このため差分データが利用できるようになり, さらに時刻・サンプリング周波数・チャンネル ID などのヘッダ情報がブロックごと, つまり 1 分に 1 回しか入らないのでデータ圧縮効果が向上する。ファイルの保存は 1 分ブロック・1 時間長とした。同様にサーバで生成される, 1 分値のデータは 1 時間ブロック, 1 時間値は 1 日ブロックで保存している。ここで注意しなければならないことは, 疑似的なサンプリングレートを使っているため, ファイルが示すサンプリングレートだけでは実際のサンプリングレートが分からないということである (1 秒値のデータも 1 分値のデータもファイル上では 60 Hz である)。そのため, 「高速サンプリング」, 「1 秒値」, 「1 分値」, 「1 時間値」それぞれに別の拡張子を付け, 別のディレクトリに保存している。なお, 高速サンプリングのデータに関しては低速対応 WIN フォーマットと通常の WIN フォーマットは同じである。

1 秒値データ作成については, さらに次の点にも注意した。現在, 多くの観測点で使用しているディジタイザは白山工業株式会社製 LT8500 と LS-7000XT の 2 種類である。このうち, LT8500 ではすでに低速対応 WIN フォーマットが採用されている。つまり 1 分間のデータを 1 ブロックとしてパケット送信している。一方, LS-7000XT は 1 秒ブロックでパケットを出力しているためサーバがデータパケットを受信してデータファイルに書き込むと, 2 種類のフォーマットの 1 秒値データが存在することになる。このような状況はファイル構造を複雑にするので, LS-7000XT から受信したデータは前処理段階で低速対応 WIN フォーマットに変換してからファイルに保存している。

以上の処理を実現するために「WIN コマンド」, 「WIN コマンドを元に作ったプログラム群」, 「UNIX コマンド」を組み合わせるシェルスクリプトを構成している。このスクリプトを cron により毎分実行し, 「高速サンプリング」と「1 秒値」のデータは毎分, 「1 分値」と「1 時間値」のデータは 30 分に一度更新している。

上記データとは別に現地収録データや過去のデータ, 地殻変動以外の観測データも WIN フォーマット化されたデータであればサーバに収録が可能となっている。そのため, 井戸の水位観測, プロトン磁力計, 相対重力計のデータも同様に蓄積されている (Table 1)。

2.3. データ出力

データ出力のオプションは全てサーバに組み込まれ, 必要な変数をウェブブラウザの画面で選ぶことにより, サーバで処理される。現在, 以下に述べるアプリケーションが使用可能である。

2.3.1. 波形描画機能

「観測点」, 「X 軸 (描画開始および終了の年月日時分秒)」, 「Y 軸 (振幅スケール)」をそれぞれ選択し「Draw」スイッチを押すことにより波形を描画する (Figure 3)。サンプリングレートは描画する期間により自動的に選択される。描画時間が 5 分間以下の場合は高速サンプリングデータ, 5 分間を超え 24 時間以下の場合は 1 秒値, 24 時間を超え 11 日間以下の場合は 1 分値, 11 日間を超える場合は 1 時間値が選択される。Y 軸は「オートスケール」, 「メニューから選択」, 「マニュアルで入力」の 3 種類から選ぶことができる。描画時のオプションは「デジタルフィルター処理 (斎藤, 1978)」, 「BAYTAP-G による潮汐解析処理 (Ishiguro et al., 1981; Tamura et al., 1991)」がある。また, 表示形式は「電圧値」, 「A/D 値」, 「物理値」の 3 種類の選択が可能である。物理値出力は「描画開始点を 0 とする」または「描画開始点を 0 としない」の 2 種類から選ぶことができ, 歪みは [μ strain], 水位は [cm] 等の観測量に対応した単位が自動で選択, 表示される。

デジタルフィルターは「ハイパス」, 「ローパス」, 「バンドパス」の 3 種類が用意されており, その時定数もメニューから選択可能である。BAYTAP-G への入力ファイルは自動で生成されるが, パラメータの調整が必要であることも考慮し, データファイルとパラメータファイルをダウンロードできるようにした。パラメータファイルのアップロー

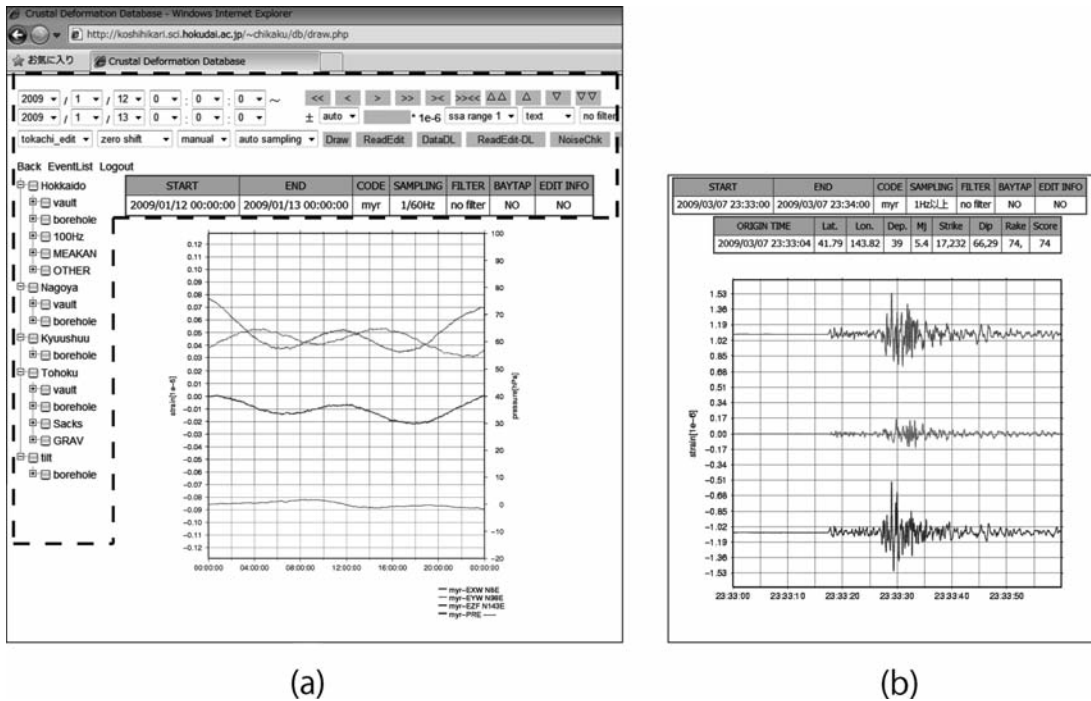


Fig. 3. An example of drawing figure function. Strain data of MYR station (Fig. 1) operated by Hokkaido University is shown.

(a) 1/60 Hz data during 2009/1/12-2009/1/13, (b) 100 Hz sampling data for one minute showing an earthquake with magnitude 5.4 determined by Japan Meteorological Agency (JMA). The part enclosed by broken line in (a) display window is common to Fig.4, 5 and 6.

ド機能は現在、実装されていないが、ユーザの計算機で再解析がしやすくなっている。

これらの機能を利用する場合、サーバ内では次のような処理が行われている。はじめに、ユーザが指定した変数を受け取り、間違いがないかをチェックした後、次の描画に備えて変数を保存しておく。次に、WIN フォーマットのファイルを描画に必要な期間分 cat コマンドを用いて連結し draw モジュールに渡す。draw モジュールは WIN システム（ト部・東田，1992）のアプリケーションである dewin コマンドを元にして作った c 言語のプログラムで、低速対応 WIN フォーマットのデータを要求された出力形式（電圧値、A/D 値、物理値）に変換し出力する。フィルタオプションも draw モジュールで処理されている。BAYTAP-G オプションは、draw モジュールから出力されたデータを使って作成した入力ファイルを用いて、BAYTAP-G を実行することにより処理する。その後 draw モジュール、もしくは BAYTAP-G が出力した時系列データを GMT (Wessel and Smith, 1998) で波形描画する。ただし GMT の出力ファイルは PS (PostScript) 形式なので、WEB ブラウザと親和性の高い PNG (Portable Network Graphics) 形式の画像ファイルに変換し、次の描画をするための入力フォームと一緒にユーザのブラウザに送信する。

2.3.2. データダウンロード機能

波形描画と同様のメニュー選択後「DataDL」スイッチを押すことによりダウンロード可能なファイルが表示される (Figure 4)。すべてのデータはサーバに低速対応 WIN フォーマットのファイルで保存されているが、データダウンロードの形式としては「タブ区切りのテキスト」、「WIN フォーマット」、「波形画像の pdf」、「K-NET 形式のテキスト (Okada et al., 2004)」から選択可能となっている。オプションは波形描画時と同じものを選ぶことができ、自由に組み合わせることができる。例えば、ローパスフィルタをかけてテキスト形式でのダウンロードや、BAY-

START	END	CODE	SAMPLING	FILTER	BAYTAP	EDIT INFO
2009/01/12 00:00:00	2009/01/13 00:00:00	myr	1/60Hz	no filter	NO	NO

ファイルを作成しました。
 以下のリンクを保存して下さい。
[20090112000000_myr_vs_txt](#)

Fig. 4. An example of data downloading screen page is shown. Users can select the data type from text, csv, PDF, WIN format and K-NET format. Extension of file name (txt) indicates text-formatted data.

TAP-G をかけた波形の画像を pdf でダウンロードすることができる。

2.3.3. 解析機能

1 つ目は、GMT の spectrum1d コマンドを利用した各成分のスペクトル解析である。図と同時に spectrum1d が出力したファイルをテキスト形式でダウンロードすることも可能である (Figure 5)。

2 つ目は、時系列ひずみ解析 (大久保, 2005) である。地震波到着時の主歪みの方位は観測点からみた、震源の方位を表しており、時系列的に歪み解析を行うことにより断層破壊の伝播方向や継続時間を知ることができる。2003 年十勝沖地震時、広尾観測点 (MYR: Figure 1 参照) で観測された歪み地震動を解析した例を Figure 6 に示す。Figure 6 上図は主歪みの方位を示し、中図では最大最小主歪みの方位と大きさを示している。なお、主歪みの大きさ、方位は解析開始時間の歪み観測値を 0 (基準) として求めている。また、下図には観測された歪み波形を示しており、(a) は広尾観測点での P 波到着時間、(b) は S 波到着時間を示している。主歪み方位を見ると、(a) の方位 (約 N150° E) から (b) の方位 (約 N130° E) に向かって断層破壊が進んでいったと考えられる。また、歪みステップが観測された後の (a) の方位 (N120-130° E) はセントロイドの方位であると考えられる。これらの破壊伝播方向の特徴やセントロイドの方位は震源過程解析の結果 (例えば, Yamanaka and Kikuchi, 2003) とも調和的である。なお、解析の詳細については、大久保ほか (2008) を参照されたい。解析期間はサーバでの処理の負荷を考慮し、10 分以内に制限しているが、数カ月から数年といった長期間の解析もできるようにする予定である。

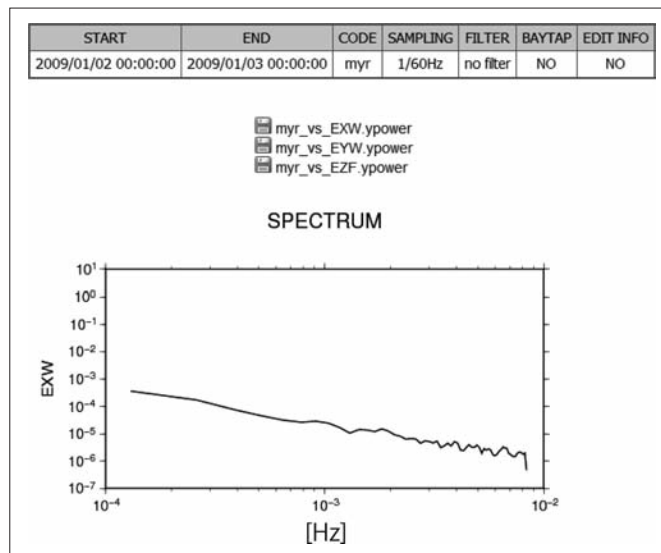


Fig. 5. An example of spectral analysis result by GMT's spectrum1d command is shown. Downloadable text files are shown in the upper side.

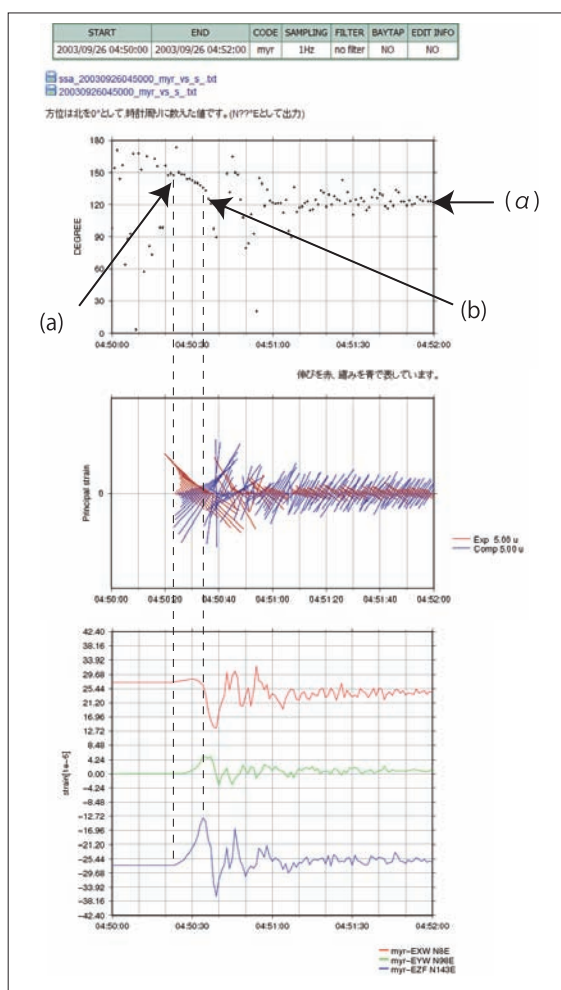


Fig. 6. Results of the principal strain direction analysis applied to the strain-seismograms of the 2003 Tokachi-oki earthquake recorded at MYR station are shown. Top; Azimuth variation of principal strain axis is measured clockwise positive from north. Middle; Amplitude variation of the maximum and minimum principal strain are shown. Red and blue lines show expansion and compression, respectively. Bottom; Original records of the strain-seismograms during two minutes.

2.3.4 イベント波形リスト

地震の震源過程を知るために、歪み地震動を解析することは重要である。そこで、地震ごとの歪み地震動を簡単に検索できるようイベントリストを作成している。気象庁一元化震源カタログを参照し、気象庁マグニチュード (MJMA) 4 以上の地震について歪み地震動の波形記録を保存している。また防災科学技術研究所の F-net (Okada et al., 2004) で決定されているメカニズム解がある場合はリストに付け加えている。

イベントは「発震時間」、「震央 (緯度、経度)」、「 M_j 」で検索することができる。イベントリスト表示例を Figure 7 に示す。この図で「Origin Time」は震央に一番近い観測点の歪み地震動波形にリンクし、「Area」は震央と (あれば) メカニズム解を表示する画面にリンクしている (Figure 8)。「Mech」は F-net の WEB サイトにリンクしており、対応する地震のより詳細な解析結果を参照できる。「Nd」は歪み地震動がトリガーされた観測点数を表している。歪み地震動のトリガー基準は、地震発生前のノイズレベル (N) と地震波が到達した後の振幅 (S) の比較により判

断している。具体的には、Figure 9 の①の区間での最大振幅をノイズ(N)、②の区間での最大振幅をシグナル(S)として、S/N 比が 2.5 以上の場合、歪み地震動を記録していると判断してトリガーをかける。トリガー基準は誤検知(ノイズを地震動と検知または地震動をノイズと検知)のないよう試行(判定時間,判定レベルを変化)を繰り返して決定した。この「Nd」は地震のノイズレベルやシグナルレベル、震央距離を表示したページにリンクしている(Figure 10)。ここでは「S/N 比が大きかった順」、「震央距離が近い順」に並べ替えることができ、そこから波形描画やデータのダウンロード等ができる。また全観測点の波形のサムネイル表示もできる(Figure 11)。

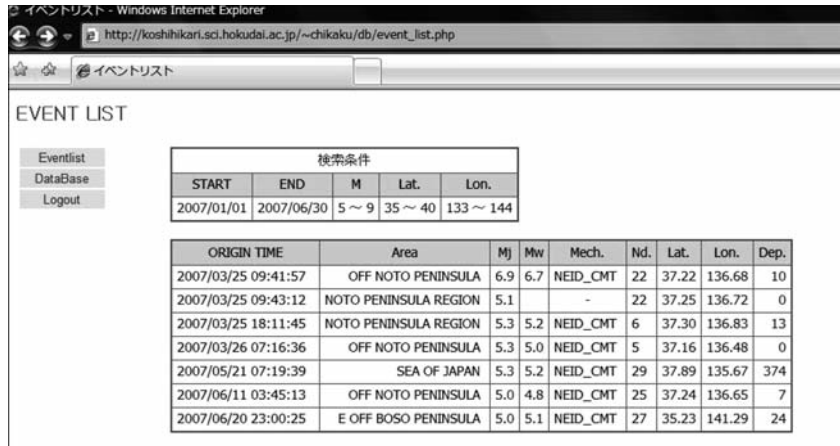


Fig. 7. An example of earthquake event list screen with several parameters is shown.

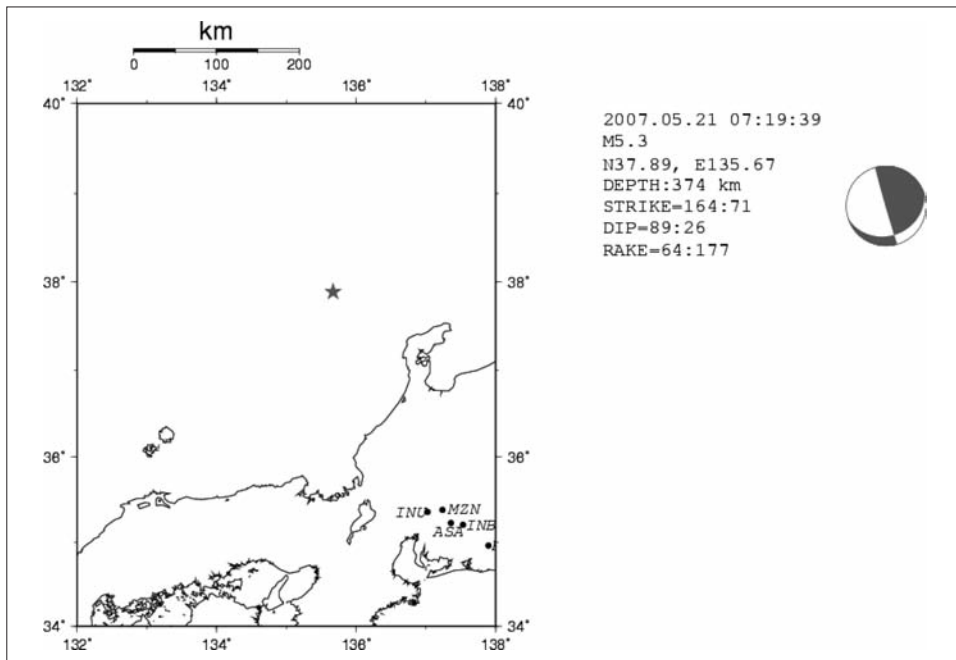


Fig. 8. An example of earthquake information screen is shown. This screen is linked the "Area" button listed in Fig. 7. Magnitude, hypocenter location and origin time provided by JMA and moment tensor solution determined by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention are shown.

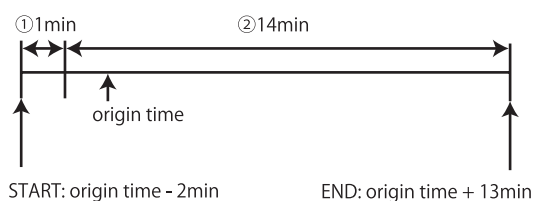


Fig. 9. Schematic illustration of triggering criterion for auto filing strain-seismogram data is shown. The peak amplitudes for periods ① and ② are defined as noise level (N) and signal level (S), respectively. The server starts to trigger the data, when S/N ratio is larger than 2.5.

20070611 03:45(JST) Mj5.0 OFF NOTO PENINSULA

View

All S/N over 2.5 Reset Draw DataDL tableDL

Chk	Stn	ST NAME	S/N	Noise	Signal	Delta[km]
☐	1	INU_vs	15.44	0.27	4.15	213
☐	2	MZN_vs1	43.50	0.33	14.31	214
☐	3	ASA_vs1	46.59	0.09	4.38	233
☐	4	INB_vs1	255.17	0.05	13.27	240
☐	5	ATM_sa	0.00	0.00	0.27	302
☐	6	TBS_sa	2.00	0.04	0.08	333
☐	7	KM2_sa	6.02	0.04	0.24	355
☐	8	MR3_bs	4.03	0.04	0.15	359
☐	9	MH2_sa	4.09	0.22	0.90	373
☐	10	KTA_vs	10.69	0.14	1.54	377
☐	11	HOJ_sa	1.48	0.03	0.04	384
☐	12	IW3_bs	1.00	0.27	0.27	396
☐	13	SNG_bs	1.61	2.88	4.64	400

Fig. 10. An example of detailed earthquake information is shown. This screen is linked the "ND" button listed in Fig.7. User can sort the order by several parameters. Thumbnail of strain-seismograms is displayed by clicking View icon.



Fig. 11. An example of thumbnail view of strain-seismograms.

3. ま と め

JDXnetを利用することにより全国の地殻変動観測データの流通が実現され、そのデータの一元化収録と基本的な解析機能を備えた地殻変動データベースシステムを新たに開発した。このシステムでは地震データの共通フォーマットであるWINフォーマットを採用しており、他機関のデータ収集・解析が容易に実現できる。地殻変動連続観測のデータ以外でも本システムを用いたデータ収録や処理が可能である。なお、本データベースの運用に関しては関係者間でガイドラインなどが定められ、試行参加機関の他、京都大学、神奈川県温泉地学研究所の参加が予定されている。データ一元化収録に参加する研究機関が増えれば、よりよいデータベースになると考える。

謝 辞

東北大学、東京大学、名古屋大学、九州大学、東濃地震科学研究所、北海道立地質研究所、国立天文台には地殻変動データベースの試行（データ提供）に参加していただきました。東北大学、鹿児島大学にはミラーサーバ設置に協力いただきました。気象庁の一元化震源カタログを使用しています。防災科学技術研究所のF-netのメカニズム解を使用しています。本システムを開発する際、株式会社マコメ研究所の植村徹哉氏から貴重な助言をいただきました。WINフォーマットでデータを保存しWINコマンドとその派生プログラムを使用しています。WINフォーマットデータのリサンプリングプログラム“win2mwin”を使用しています（開発：東濃地震科学研究所 大久保慎人氏、前出植村氏）。一部の図の作成とスペクトル解析にはGMTソフトウェアを用いています。潮汐解析プログラムBAYTAP-Gを使用しています。本研究は文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の支援を受けました。本稿をカリフォルニア大学サンタバーバラ校の前田宜浩博士に修正、確認していただきました。査読者の大谷文夫博士には本稿の改訂にあたり、貴重なコメントをいただきました。

ここに記して、関係する諸氏に感謝します。

参 考 文 献

- 橋本 学(2007): 地震予知のための横穴式地殻変動連続観測研究戦略に内在する困難, 測地学会誌, **53**, 183-195.
- Ishiguro, M., H. Akaike, M. Ooe and S. Nakai (1981): A Bayesian Approach to the Analysis of Earth Tides, Proc. 9th International Symposium on Earth Tides, New York, 283-292.
- 笠原 稔・岡山宗夫・一柳昌義・高田真秀・山口照寛(2007): 北海道大学における地殻変動連続観測, 測地学会誌, **53**, 349-357.
- Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H., and Yamamoto, A (2004): Recent progress of seismic observation networks in Japan Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net, Earth Planets Space, **56**, xv-xxviii.
- 大久保慎人(2005): ストリーミング歪解析法を用いた単一観測点地震検知手法, 日本地震学会講演予稿集 2005 年度秋季大会, C061
- 大久保慎人・笠原 稔・山口照寛・岡山宗夫(2008): 2003 年十勝沖地震によるひずみ地震動の解析, 日本測地学会第 110 回講演会要旨集, 129-130.
- 斎藤正徳(1978): 漸化式デジタルフィルターの自動設計, 物理探鉱, **31**, 240-263.
- 鷹野 澄・ト部 卓・鶴岡 弘・中川茂樹・三浦 哲・松沢 暢・岡田知己・中島淳一・中山貴史・平原 聡・大見士朗・植平賢司・松島 健・伊藤武男(2006): 高速広域 L2 網によるリアルタイム地震観測波形データ交換システムの構築, JGN2 シンポジウム 2006 in 仙台, 情報通信研究機構, 96-96.
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro (1991): A Procedure for Tidal Analysis with a Bayesian Information Criterion, Geophysical Journal International, **104**, 507-516.
- ト部 卓(1994): 多チャネル地震波形データののための共通フォーマットの提案, 日本地震学会講演予稿集, **2**, P24.
- ト部 卓・東田進也(1992): WIN—微小地震観測網波形検測支援のためのワークステーションプログラム(強化版), 地震学会講演予稿集, **2**, P41.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1998): New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, **79**, 579.
- Yamanaka and Kikuchi (2003): Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, Earth Planets Space, **55**, e21-24.