

### 3.6.2 三次元地震動データベース構築に関する研究

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目 三次元地震動データベース構築に関する研究
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成16年度業務目的

##### (2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) データベース機能の追加：データベース上での選択記録の表示機能 NetSmdaの開発
  - 2) 強震記録に含まれる長周期ノイズの検討
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### (3) 平成17年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

三次元地震動データベース構築に関する研究

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学 地震研究所 地震火山災害部門	助教授	工藤一嘉	kudo@eri.u-tokyo.ac.jp

### (c) 業務の目的

大型三次元震動台である E-ディフェンスへの入力用地震動は、幅広い実験研究に使用できるように準備される必要がある。そのため、既往の強震記録の調査を行い E-ディフェンスへの入力地震動策定のための検索・決定が可能なプロトタイプのデータベースを作成し、並行して行われる強震動シミュレーション結果と合わせて三次元強震動のデータベースを実現する。

### (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 14 年度：掲載すべきデータ量を約 200GB と想定し、データベース用 PC、OS (LINUX)、データベースソフト (PostgreSQL) を選定した。データベースの基本的設計のための項目を検討し、掲載可能なデータの選定を行った。利用制限の少ない K-NET、KiK-net、地震研究所のデータを用いてプロトタイプのデータベースを目指して試験的に登録を行った。クライアントのソフトに依存しない Web ブラウザをデータ登録作業インタフェースとして採用した。本年度は地震の発生時からの検索を可能とした。国内外のデータベースを調査し、米国の COSMOS が充実したデータベースであることが分かった。国内の 1995 年以前のデータには収集に多くの課題があること、関係機関との協議が必要であることが分かった。

#### 2) 平成 15 年度：

三次元震動台への入力地震動として必要とされる、既存の強震記録のデータベースを作成するため、各観測機関によって異なるデータフォーマットを統一的にデータベース化するためのプログラム・掲載のためのソフトウェア環境を整備し、気象庁データ、世界の強震記録のデータベース COSMOS に掲載されている米国の全データ、地震研究所データ(一部)を掲載した。

掲載データの増加によりデータの検索機能を高める必要があり、昨年度までに開発した機能に、地図による検索機能を追加し、世界にも適用可能とした。

極めて重要な強震記録が得られた観測点のサイト特性を把握することは、将来の立地条件を含めた耐震対策に重要である。内陸最大級のアラスカ、Denali 地震の現地調査を行ない、強震観測サイトの表層 S 波速度構造を求めた。

強震記録の最大加速度以外にも最大速度・変位などの情報が不可欠であり、データ登録

時あるいは登載後に組み込むための手法を調査した。

3) 平成16年度：

- ① プロトタイプデータベースの検索機能の拡充を図る。
- ② 15年度に引き続き、公開されたデータの調査とプロトタイプデータベースへの登録・実装作業を行う。
- ③ 15年度に引き続き重要地震記録が得られたサイトの中で、地盤特性が評価されていない地点での構造調査を行い、データベースに反映する。
- ④ 3次元強震動シミュレーション結果のデータベース化を検討する。
- ⑤ 地震動特性値の登載の手法を確立する。

4) 平成17年度：

- ① 未登載データの収集とデータベースへの登載。
- ② 地震動特性値登載の自動化の運用。
- ③ NetSmdaの改善拡充。
- ④ サイト特性（地盤データ）の把握と利用法の検討。
- ⑤ シミュレーション波形データの登載の検討と試験運用。

5) 平成18年度：

- ① 総合評価・改良を行う。
- ② 全体のまとめを行う。
- ③ 三次元振動台への一般利用に供する。

(e) 平成16年度業務目的

データベース登載用変換プログラムの機能追加と昨年度に引き続きデータ登載を行うと共に、地震動特性値登載の自動化への検討を行う。また、サイト特性（地盤データ）の把握とデータベース上での利用法を検討する。シミュレーション波形データの登載について検討する。

**(2) 平成16年度の成果**

(a) 業務の要約

1) 登録データの追加

昨年度に引き続きデータ登録作業を行い、メキシコの1990年代の記録、COSMOSに掲載された最近のデータ、台湾のデータ、気象庁の1995年以前のデータなどを登載した。

2) データベース機能の追加：データベース上での選択記録の表示

昨年度までは、記録データの表示機能として、波形を描写した画像をサーバに保存し、波形表示を行っていた。しかし、E-Defenseへの入力地震動を決定する際に、記録データの性質を知るための初期的解析もWeb上で行えると極めて便利である。そのためK-NETデータのViewerとして提供されているSmda2と同じような機能をもつNetSmdaの開発を行う。本年度は、機能を限定したNetSmdaのプロトタイプ作成を行い、NetSmdaのメリッ

ト・デメリットの評価を行った。

### 3) 強震記録に含まれる長周期ノイズの検討

K-NET、KiK-netによるデータが利用されるようになり、マグニチュードが小さい地震も利用価値が高まり、同時に膨大なデータが利用可能となりつつある。このような状況下でデータベース・データ検索機能の充実として、重要な指標である最大速度や最大変位等を半自動的に計算し、データベースでの利用に供するための検討を行った。最大限の情報を取り込むために長周期信頼限界の判定方法の検討が主要課題であり、応答スペクトルによる判定に一定の評価が得られた。

## (b) 業務の実施方法

### 1) 登録データの追加

メキシコの1990年代の記録、COSMOSに掲載された最近のデータ、台湾のデータ、気象庁の1995年以前のデータなどを全てK-NETフォーマットに変換し、データベースに登載する。

### 2) データベース機能の追加：データベース上での選択記録の表示

プロトタイプデータベースに記録データの初期的解析がWeb上で実施可能なソフトウェアNetSmdaの開発を行い登載する。本年度は、機能を限定したNetSmdaのプロトタイプ作成を行い、NetSmdaをデータベースに登載しメリット・デメリットの評価を行う。

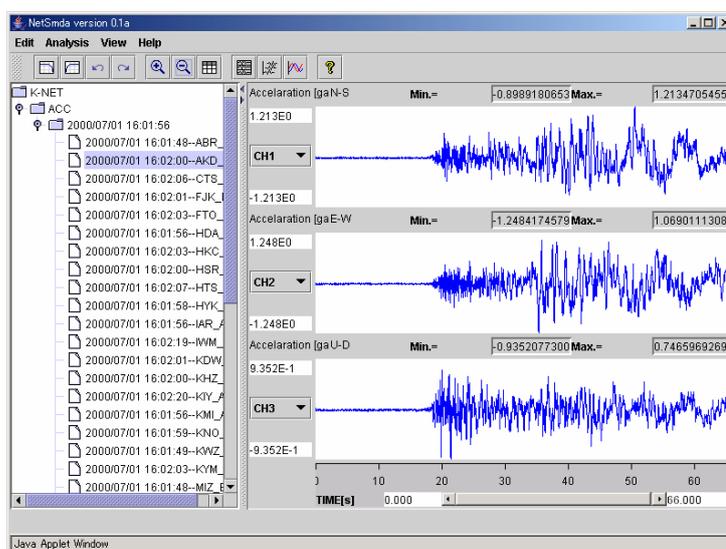
### 3) 強震記録に含まれる長周期ノイズの検討

最大速度・最大変位をデータベースに組み込むことはE-Defenseの利用にあたって重要である。しかし、加速度記録を主体とする強震記録は加速度であり、数値積分が必要であり、加速度記録に含まれる長周期ノイズの検討が必要である。K-NET データを中心として適当数のサンプリングを行い、長周期ノイズの系統的性質を把握するための解析を行う。

## (c) 業務の成果

### 1) データベース機能の追加：データベース上での選択記録の表示機能 NetSmda の開発

昨年度は、記録データの表示機能として、波形を描写した画像をサーバに保存し、波形表示を行っていた。しかし、記録データの解析もWeb上で行いたいという要求があり、Smda2 と同じような機能をもつNetSmdaの開発を行った。本年度は、機能を限定したNetSmdaのプロトタイプ作成を行い、NetSmdaのメリット・デメリットの評価を行った。



### ① NetSmda の機能

本年度はプロトタイプ作成とメリット・

図 1 NetSmda 画面

デメリットの検証を行うためのプログラムを作成したため、次の限られた機能のみを備えている。

なお、機能拡張を行えるようにソフトウェアは設計した。画面を図 1 に示す。NetSmda は以下の機能を有する。

- 1) 波形の表示、2) オフセットの ON、OFF、3) 波形の拡大、縮小表示、4) ヘッダの表示、5) フィルタ処理

## ② NetSmda の動作

地震発生時検索、詳細検索（地震検索、観測点検索、記録検索）、地図検索のいずれの検索結果にも、NetSmda を起動する「Smda」ボタンがリストに表示される。「Smda」ボタンをクリックすればその行に書かれている記録データにアクセスする NetSmda を起動できる。

3 個の結果が見つかりました

[ 1 - 3 ]      地震名    昇順    go      Page 1 / 1

	地震名	震源時	震源緯度	震源経度	震源深さ	M	データ数	地震情報	Net Smda	地図表示	リスト表示
<input type="checkbox"/>	新島近海 2000 07 01 1601 JST	2000-07-01 16.01.56 JST	34.2	139.2	16	6.4	55	詳細	smda	地図	表示
<input type="checkbox"/>	茨城県東方沖 2000 07 21 0339 JST	2000-07-21 03.39.18 JST	36.5	141.1	49	6.4	54	詳細	smda	地図	表示
<input type="checkbox"/>	三宅島近海 2000 07 30 2125 JST	2000-07-30 21.25.46 JST	34.0	139.4	17	6.5	60	詳細	smda	地図	表示

図 2 検索結果例（「Smda」ボタン）

## ③ NetSmda の操作

以下の方法で波形の拡大、縮小を行うことができる。

メニューより「View」→「Zoomin」「Zoomout」をクリックする。

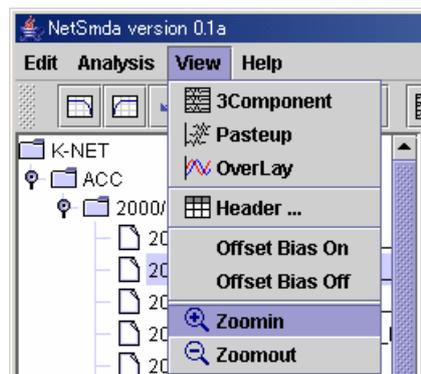


図 3 メニュー「View」→「Zoomin」「Zoomout」

あるいは、ツールバーより拡大縮小のアイコンをクリックする。



図 4 ツールバーの拡大、縮小アイコン

拡大の場合は、拡大したい範囲を選択する。

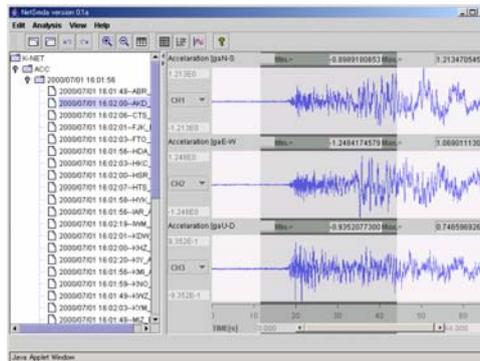


図 5 拡大領域を選択

④ 記録データのヘッダの表示

以下のどちらかの方法で図 8 に示すようにヘッダ情報を表示することができる。  
メニューより「View」→「Header...」をクリックする。

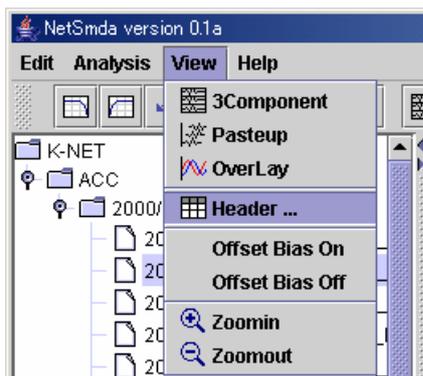


図 7 ツールバーのヘッダ表示アイコン

図 6 メニュー「View」→「Header...」

あるいは、ツールバーよりヘッダ表示のアイコンをクリックする。

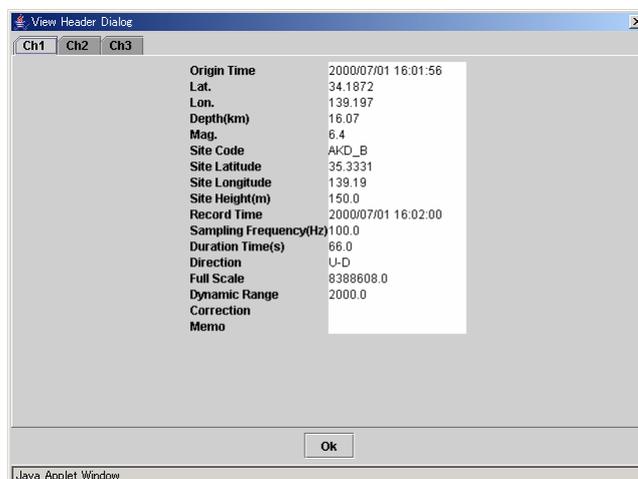


図 8 ヘッダ表示画面

NetSmda の終了に際しては、Java アプレットがインターネットからの不正アクセスの禁止などのセキュリティを確保するために終了などの操作を Java プログラムの方から行うことができないようになっている。そのため、Java アプレットを起動したウィンドウをユーザの操作により閉じることで NetSmda を終了することができる。

⑤ NetSmda のメリットとデメリット

NetSmda のメリットは利用者 PC の OS に依存しないことが挙げられる。

Java 言語でソフトウェアの開発を行ったため、Java 環境が築ける OS (Windows、Linux、Solaris、FreeBSD など) で動作可能である。また、記録データの解析ができることは大きなメリットである。記録データをダウンロードして波形の表示などを行っているため、記録データを使った処理を自由に行うことができる。例えば、応答スペクトルの解析や FFT 解析、計測震度や SI 値を計算することも可能である。また、処理が早いことも特徴である。作成したソフトはクライアント側で動作しており、サーバ側には依存しない。ただし、記録データのダウンロードを行っているため、ダウンロードには時間がかかる。これらの作業をしてもサーバに負荷を与えない、つまり、作成したソフトはクライアント側で動作しており、解析処理はサーバ側ではなく、クライアント側で動作するため、サーバには負荷を与えない。同時に複数人の接続がサーバにアクセスし、波形解析の処理を行っても、ほとんどサーバには負荷を与えない、などのメリットが指摘できる。

NetSmda のデメリットとしては、利用者が Java 環境をインストールする必要があるためやや煩雑である。しかし、標準では Java 環境がインストールされておらず、Java のプラグインをインストールする必要がある。ただし、1 度インストールすれば、次回からは問題ないが、Linux (Windows 以外の OS) にインストールする場合はかなりの知識が必要である。

やや大きな問題としては、記録データを不正に取得できる環境を作り出してしまうことにある。記録データの提供機関は記録データの 2 次配布を禁止しているのが通常である。しかし、NetSmda は記録データをダウンロードし、表示、解析を行うため、ネットワーク上で不正にデータを取得される恐れがある。また、通常は記録データを保存することができないようになっているが、クライアント PC の Java のセキュリティを変更することで、記録データを保存することも可能となってしまう。そのため、データの流出には注意が必要となる。また、Java はセキュリティに考慮して、外部のソフトが不正に大容量のメモリを使用しないようにメモリの使用制限を設定している。そのため、NetSmda は記録データをメモリ上に保持しているため、使用可能なメモリ容量以内の記録データしか保持することができない。つまり、無制限に記録データをダウンロードし、波形を表示、解析を行ったりすることができない。また、解析は大量のメモリが必要な場合があり、メモリ容量が不足し、処理が行うことができない等の問題が発生する恐れがある。

## 2) 強震記録に含まれる長周期ノイズの検討

### ① 目的：

強震記録は、震源パラメータの決定や構造物への入力検討には欠かすことの出来ないデータとなっている。強震記録の多くは加速度センサーを用いているのが大半であり、加速度そのものの重要性はさることながら、速度や変位波形の重要性も高い。また、各種スペクトルも長周期の信頼限界はどこにあるかは地震学的にも、工学にも重要な指標といえる。この問題の歴史は長く、古くはアナログ時代（30年程前）から議論のあるところであるが、最近のデータに関して言えば格段に精度が上がってはいるものの、長周期のノイズは依然として避けて通ることが出来ない。長周期ノイズはA/D変換器に起因するものや電源変動、観測点周辺の振動・微動による影響などが考えられる。温度変化もその一つであるが、一つの記録の中で温度が変動するとは考えにくいので、ここでは考えないことにする。実際には、重要な記録に対しては個々に基線補正をし、長周期の信頼限界を把握して、遮断周期を決めているのが現状である。

K-NET、KiK-netによるデータが利用されるようになり、マグニチュードが小さい地震も利用価値が高まり、同時に膨大なデータが利用可能となりつつある。このような状況下でデータベース・データ検索機能の充実が望まれるが、重要な指標である最大速度や最大変位等の指標を全ての地震記録に対して、マニュアル的に信頼限界（あるいはノイズレベル）を検討することは、時間的・費用的に難しい。特にM6以下の地震記録に対する長周期限界については記録数も多いことからあまり検討されていない。今後ますますデータが増えることも考慮して、「長周期限界の自動決定はできないか」、またそれに伴う幾つかの「障害は何か」など、特にデータベースへの登載のための検討を行った。

現在広く利用されている手法は、太田・他（1985）、Shakal and Rasgrade(1984)などが着目したように、擬似速度応答スペクトルがある周期（地震マグニチュードによる）から徐々に減少していくが、さらにその長周期側では逆に徐々に（ほぼ1次関数的に）大きくなる事が多い。これが長周期ノイズであり、増加に転じる周期が記録の長周期限界といえる。この長周期限界は、個々の記録や計器で異なるのが一般的であるが、ある程度の普遍性があるものと考えられる。

この普遍性を見出すために、地震マグニチュード、震央距離に関してランダムサンプリングになるようにデータを選択し、擬似速度応答スペクトルを計算し、周期1-50秒の範囲で極小を与える周期を長周期信頼限界周期（ $T_c$ ）として求め、平均的な震源像から決まるコーナー周期との関係を検討する。

強震動の特性値として、最大加速度、最大速度が良く用いられる。最大変位はさほど注目されることは少ないが、震動台入力を考える時、震動台の能力との関係で重要なパラメータとなる。強震記録は圧倒的に加速度記録が多く、速度・変位を求める際には、加速度記録に含まれるノイズを除去するため、使用目的・データの質に合わせて基線補正あるいはフィルター処理をするのが実情であり、加速度記録を速度・変位へ変換する際のフィルターの特性、特に積分の前処理としてのハイパスフィルターのカットオフ周波数を選定するために多くの検討が行われてきた。一方、多量のデータを扱う場合、半自動的にこのカットオフ周波数を決めることが出来れば便利である。

ここでは、防災科学技術研究所が一般に公開している強震ネットワーク（以降、K-NET）

の観測記録を用いてどのような状況下にあるかについて予備的な検討を行った。

② データセット：

K-NETによる強震データ公開が開始されて以降（平成8（1996）年5月）から本年（平成16（2004）年）5月までのおよそ8年間に得られた地震記録のうち、マグニチュードが4.0以上の地震とし、マグニチュードを0.5毎に7つに区分けし、これらのセグメントの中で発生場所が、陸、海でなるべく均等になるように10地震程度を目安に選択した。なお、選択した地震での観測点数が十分多いことを確認した上でランダムに地震記録を選択した。この結果、対象とする地震数は102地震となった。選択した地震記録の一覧を表1から表7、震央分を図9から図11に示す。

表1 K-NET地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(4.0 ≤ M ≤ 4.4) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1998/6/8 16:48	E OFF FUKUSHIMA PREF	141 ° 03.56 ' 37 ° 01.22 '		4.2	66.82
2	1998/11/8 21:40	CENTRAL CHIBA PREF	140 ° 02.51 ' 35 ° 37.62 '		4.4	79.96
3	2000/1/12 11:9	NORTHERN IBARAKI PREF	140 ° 35.45 ' 36 ° 26.88 '		4.3	60.05
4	2000/2/11 20:57	EASTERN YAMANASHI PREF	139 ° 02.83 ' 35 ° 29.75 '		4.4	16.81
5	2000/5/16 4:9	KYOTO OSAKA BORDER REG	135 ° 30.07 ' 34 ° 58.03 '		4.4	15.98
6	2000/7/17 8:0	WESTERN TOTTORI PREF	133 ° 25.43 ' 35 ° 22.14 '		4.4	16.33
7	2000/9/7 14:51	BUNGO CHANNEL	132 ° 21.89 ' 33 ° 29.31 '		4.3	45.03
8	2000/9/9 20:48	EASTERN SAITAMA PREF	139 ° 37.31 ' 36 ° 03.53 '		4.3	60.19
9	2000/10/11 15:15	KANAGAWA PREF	139 ° 41.58 ' 35 ° 32.02 '		4.0	86.72
10	2001/3/26 2:16	AKINADA SETONAIKAI	132 ° 42.18 ' 33 ° 57.06 '		4.1	43.60
11	2001/9/18 4:23	TOKYO BAY REGION	139 ° 48.85 ' 35 ° 27.25 '		4.4	41.88
12	2001/9/22 18:10	CENTRAL AICHI PREF	136 ° 56.92 ' 35 ° 02.47 '		4.0	38.21
13	2001/9/27 18:14	MIKAWA BAY REGION	137 ° 07.71 ' 34 ° 51.86 '		4.3	15.82
14	2003/1/31 17:53	SOUTHERN IBARAKI PREF	140 ° 06.40 ' 36 ° 02.40 '		4.4	66.00
15	2003/4/21 10:18	E OFF IBARAKI PREF	140 ° 51.10 ' 36 ° 32.10 '		4.4	53.00

表2 K-NET地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(4.5 ≤ M ≤ 4.9) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1996/8/9 3:16	EASTERN YAMANASHI PREF	138 ° 58.29 ' 35 ° 30.45 '		4.8	20.80
2	1997/8/9 5:34	EASTERN SAITAMA PREF	139 ° 30.28 ' 35 ° 49.77 '		4.9	67.44
3	1997/11/15 13:42	E OFF FUKUSHIMA PREF	141 ° 30.97 ' 36 ° 52.27 '		4.9	62.28
4	1998/4/9 2:44	EASTERN FUKUSHIMA PREF	140 ° 53.01 ' 36 ° 56.57 '		4.7	97.15
5	1999/1/28 10:25	CENTRAL NAGANO PREF	137 ° 59.14 ' 36 ° 22.14 '		4.8	9.39
6	1999/11/29 21:34	CENTRAL AICHI PREF	137 ° 01.77 ' 35 ° 06.59 '		4.8	44.92
7	1999/12/4 14:6	E OFF IBARAKI PREF	140 ° 46.30 ' 35 ° 55.71 '		4.9	95.56
8	2000/4/2 21:25	NORTHERN MIYAZAKI PREF	131 ° 07.44 ' 32 ° 30.97 '		4.6	146.85
9	2000/4/10 6:30	SW IBARAKI PREF	140 ° 03.80 ' 36 ° 11.22 '		4.8	54.62
10	2000/4/15 2:41	SOUTHERN WAKAYAMA PREF	135 ° 23.33 ' 33 ° 38.47 '		4.9	41.78
11	2000/9/29 8:56	TOKYO BAY REGION	139 ° 42.58 ' 35 ° 31.82 '		4.6	86.05
12	2001/1/6 11:48	SE GIFU PREF	137 ° 07.21 ' 35 ° 23.07 '		4.8	48.14
13	2001/4/3 21:14	IYONADA SETONAIKAI	132 ° 01.18 ' 33 ° 47.46 '		4.6	64.37
14	2002/5/19 5:0	CENTRAL CHIBA PREF	140 ° 12.96 ' 35 ° 38.51 '		4.6	72.31
15	2002/10/13 19:6	BUNGO CHANNEL	132 ° 21.54 ' 33 ° 20.73 '		4.9	42.70
16	2003/4/12 13:28	NW KAGOSHIMA PREF	130 ° 15.90 ' 31 ° 59.60 '		4.9	10.00
17	2003/8/4 20:57	NORTHERN IBARAKI PREF	140 ° 36.90 ' 36 ° 26.30 '		4.9	58.00
18	2003/8/18 18:59	NORTHERN CHIBA PREF	140 ° 06.70 ' 35 ° 48.00 '		4.8	69.00

表 3 K-NET 地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(5.0 ≤ M ≤ 5.4) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1998/4/9 17:45	E OFF FUKUSHIMA PREF	141 ° 01.23 ' 36 °	56.52 ' 5.4	94.87	
2	1998/5/23 4:49	IYONADA SETONAIKAI	131 ° 50.68 ' 33 °	42.05 ' 5.4	85.57	
3	1998/8/29 8:46	CENTRAL CHIBA PREF	140 ° 01.96 ' 35 °	37.78 ' 5.3	64.60	
4	1998/11/24 4:48	SE OFF MIYAGI PREF	141 ° 33.25 ' 38 °	00.75 ' 5.2	83.10	
5	1999/3/16 16:43	NW SHIGA PREF	135 ° 56.04 ' 35 °	16.45 ' 5.2	11.64	
6	1999/4/25 21:27	NORTHERN IBARAKI PREF	140 ° 37.52 ' 36 °	27.17 ' 5.2	59.47	
7	2000/6/8 9:32	SOUTHERN KUMAMOTO PREF	130 ° 45.86 ' 32 °	41.34 ' 5.0	10.31	
8	2001/1/4 13:18	MID NIIGATA PREF	138 ° 46.31 ' 36 °	57.21 ' 5.3	11.23	
9	2001/3/26 5:40	AKINADA SETONAIKAI	132 ° 42.70 ' 34 °	06.84 ' 5.2	45.86	
10	2001/4/3 23:57	CENTRAL SHIZUOKA PREF	138 ° 05.84 ' 35 °	01.25 ' 5.3	30.34	
11	2001/7/20 6:2	SW IBARAKI PREF	139 ° 48.95 ' 36 °	09.53 ' 5.0	55.17	
12	2001/8/25 22:21	MID KYOTO PREF	135 ° 39.77 ' 35 °	08.92 ' 5.4	8.18	
13	2002/4/4 8:42	E OFF AOMORI PREF	142 ° 00.75 ' 41 °	28.26 ' 5.4	58.70	
14	2003/5/12 0:57	SOUTHERN IBARAKI PREF	140 ° 05.30 ' 35 °	51.90 ' 5.3	47.00	
15	2003/5/17 23:33	NEAR CHOSHI CITY	140 ° 39.20 ' 35 °	44.10 ' 5.3	47.00	
16	2003/11/24 21:18	HIDAKA MOUNTAINS REGION	143 ° 00.30 ' 42 °	18.80 ' 5.3	52.00	
17	2004/1/23 18:1	福島県沖	141 ° 07.80 ' 37 °	15.50 ' 5.3	66.00	

表 4 K-NET 地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(5.5 ≤ M ≤ 5.9) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1996/12/21 10:28	SW IBARAKI PREF	139 ° 51.85 ' 36 °	05.58 ' 5.6	53.11	
2	1997/2/20 16:55	S OFF URAKAWA	142 ° 52.68 ' 41 °	45.41 ' 5.9	48.99	
3	1997/3/16 14:51	NE AICHI PREF	137 ° 31.69 ' 34 °	55.49 ' 5.9	39.12	
4	1997/5/12 7:59	E OFF FUKUSHIMA PREF	141 ° 14.99 ' 37 °	03.45 ' 5.7	54.07	
5	1998/4/22 20:32	SHIGA GIFU BORDER REGION	136 ° 33.97 ' 35 °	10.35 ' 5.5	7.78	
6	1999/8/21 5:33	CENTRAL WAKAYAMA PREF	135 ° 28.40 ' 34 °	01.65 ' 5.6	65.83	
7	1999/11/15 10:34	E OFF MIYAGI PREF	142 ° 25.87 ' 38 °	19.02 ' 5.7	46.06	
8	2000/10/31 1:42	SHIMA PENINSULA REGION	136 ° 19.46 ' 34 °	17.72 ' 5.7	38.73	
9	2000/12/5 1:47	NEAR CHOSHI CITY	141 ° 08.75 ' 35 °	49.87 ' 5.5	34.86	
10	2001/1/12 8:0	NORTHERN HYOGO PREF	134 ° 29.57 ' 35 °	27.77 ' 5.6	10.59	
11	2001/4/3 4:54	E OFF AOMORI PREF	141 ° 55.49 ' 40 °	36.62 ' 5.6	63.39	
12	2001/4/25 23:40	HYUGANADA REGION	132 ° 20.49 ' 32 °	47.73 ' 5.8	39.30	
13	2001/4/27 2:48	OFF NEMURO PENINSULA	145 ° 52.77 ' 43 °	01.52 ' 5.9	80.00	
14	2002/1/27 16:9	E OFF IWATE PREF	142 ° 24.98 ' 39 °	18.99 ' 5.5	46.26	
15	2002/2/12 22:44	E OFF IBARAKI PREF	141 ° 05.16 ' 36 °	35.19 ' 5.7	47.79	
16	2002/9/16 10:10	EASTERN TOTTORI PREF	133 ° 44.52 ' 35 °	22.01 ' 5.5	9.64	
17	2003/7/26 0:13	NORTHERN MIYAGI PREF	141 ° 10.00 ' 38 °	25.80 ' 5.6	12.00	
18	2003/9/20 12:54	KUJUKURI COAST BOSO PEN	140 ° 18.20 ' 35 °	12.90 ' 5.8	70.00	

表5 K-NET地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(6.0 ≤ M ≤ 6.4) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1996/8/11 3:12	SOUTHERN AKITA PREF	140 ° 38.22 ' 38	° 54.32 ' 6.1	6.1	8.63
2	1996/9/11 11:37	NEAR CHOSHI CITY	141 ° 13.21 ' 35	° 38.13 ' 6.4	6.4	51.99
3	1997/5/13 14:38	NW KAGOSHIMA PREF	130 ° 18.30 ' 31	° 56.69 ' 6.4	6.4	9.24
4	1997/11/15 16:5	NEMURO REGION	145 ° 07.06 ' 43	° 39.79 ' 6.1	6.1	154.95
5	1999/5/13 2:59	KUSHIRO REGION	143 ° 52.50 ' 42	° 57.90 ' 6.3	6.3	105.99
6	2000/6/7 6:16	NW OFF HOKURIKU DISTRICT	135 ° 33.95 ' 36	° 49.41 ' 6.2	6.2	21.30
7	2000/7/21 3:39	E OFF IBARAKI PREF	141 ° 07.32 ' 36	° 31.57 ' 6.4	6.4	49.37
8	2001/8/14 5:11	E OFF AOMORI PREF	142 ° 26.41 ' 40	° 59.57 ' 6.4	6.4	37.69
9	2001/12/2 22:1	SOUTHERN IWATE PREF	141 ° 16.00 ' 39	° 23.73 ' 6.4	6.4	121.50
10	2002/11/3 12:37	KINKAZAN REGION	142 ° 08.53 ' 38	° 53.61 ' 6.3	6.3	45.81
11	2003/2/19 14:1	RUMOI REGION	141 ° 51.00 ' 44	° 07.00 ' 6.1	6.1	222.00
12	2003/7/26 7:13	NORTHERN MIYAGI PREF	141 ° 10.40 ' 38	° 24.10 ' 6.4	6.4	12.00

表6 K-NET地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(6.5 ≤ M ≤ 6.9) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1996/10/19 23:44	HYUGANADA REGION	132 ° 00.65 ' 31	° 47.71 ' 6.9	6.9	34.00
2	1997/3/26 17:31	NW KAGOSHIMA PREF	130 ° 21.68 ' 31	° 58.16 ' 6.6	6.6	11.85
3	1997/6/25 18:50	YAMAGUCHI PREF	131 ° 40.12 ' 34	° 26.30 ' 6.6	6.6	8.29
4	1999/1/24 9:37	NEAR TANEGASHIMA ISLAND	131 ° 17.54 ' 30	° 33.89 ' 6.6	6.6	39.97
5	2000/7/1 16:1	NEAR NIJIMA ISLAND	139 ° 11.80 ' 34	° 11.20 ' 6.5	6.5	16.06
6	2000/7/30 21:25	NEAR MIYAKEJIMA ISLAND	139 ° 24.84 ' 33	° 58.06 ' 6.5	6.5	17.04
7	2001/3/24 15:27	AKINADA SETONAIKAI	132 ° 41.77 ' 34	° 07.75 ' 6.7	6.7	46.46
8	2003/9/29 11:36	SE OFF TOKACHI	144 ° 33.40 ' 42	° 21.40 ' 6.5	6.5	43.00
9	2003/10/31 10:6	SE OFF MIYAGI PREF	142 ° 41.90 ' 37	° 49.70 ' 6.8	6.8	33.00
10	2003/11/12 17:26	SE OFF KII PENINSULA	137 ° 03.40 ' 33	° 10.20 ' 6.5	6.5	398.00

表7 K-NET地震記録を地震規模により区分けした地震諸元  
(7.0 ≤ M) [対象期間：1996年5月から2004年5月]

No.	発震年月日	震央地名	東経 (deg)	北緯 (deg)	規模 (M)	深さ (km)
1	1998/5/4 8:30	FAR S OFF ISHIGAKIJIMA	125 ° 26.31 ' 22	° 22.51 ' 7.7	7.7	35.00
2	1998/8/20 15:40	W OFF OGASAWARA	139 ° 54.92 ' 28	° 53.20 ' 7.1	7.1	467.00
3	1999/4/8 22:10	NEAR VLADIVOSTOK	130 ° 59.57 ' 43	° 32.94 ' 7.1	7.1	633.00
4	2000/1/28 23:21	OFF NEMURO PENINSULA	146 ° 44.91 ' 43	° 00.33 ' 7.0	7.0	58.51
5	2000/8/6 16:27	W OFF OGASAWARA	140 ° 05.34 ' 28	° 49.02 ' 7.2	7.2	444.74
6	2000/10/6 13:30	WESTERN TOTTORI PREF	133 ° 21.10 ' 35	° 16.26 ' 7.3	7.3	8.96
7	2002/6/29 2:19	NEAR VLADIVOSTOK	131 ° 23.71 ' 43	° 30.11 ' 7.0	7.0	589.00
8	2002/11/17 13:53	SOUTHERN SEA OF OKHOTSK	146 ° 49.91 ' 47	° 07.53 ' 7.0	7.0	496.00
9	2003/5/26 18:24	NORTHERN MIYAGI PREF	141 ° 39.20 ' 38	° 49.00 ' 7.1	7.1	72.00
10	2003/7/27 15:25	SOUTHERN SIBERIA	139 ° 09.00 ' 46	° 49.00 ' 7.1	7.1	487.00
11	2003/9/26 4:50	SE OFF TOKACHI	144 ° 04.90 ' 41	° 46.50 ' 8.0	8.0	45.00
12	2003/9/26 6:8	SE OFF ERIMOMISAKI	143 ° 41.70 ' 41	° 42.40 ' 7.1	7.1	21.00

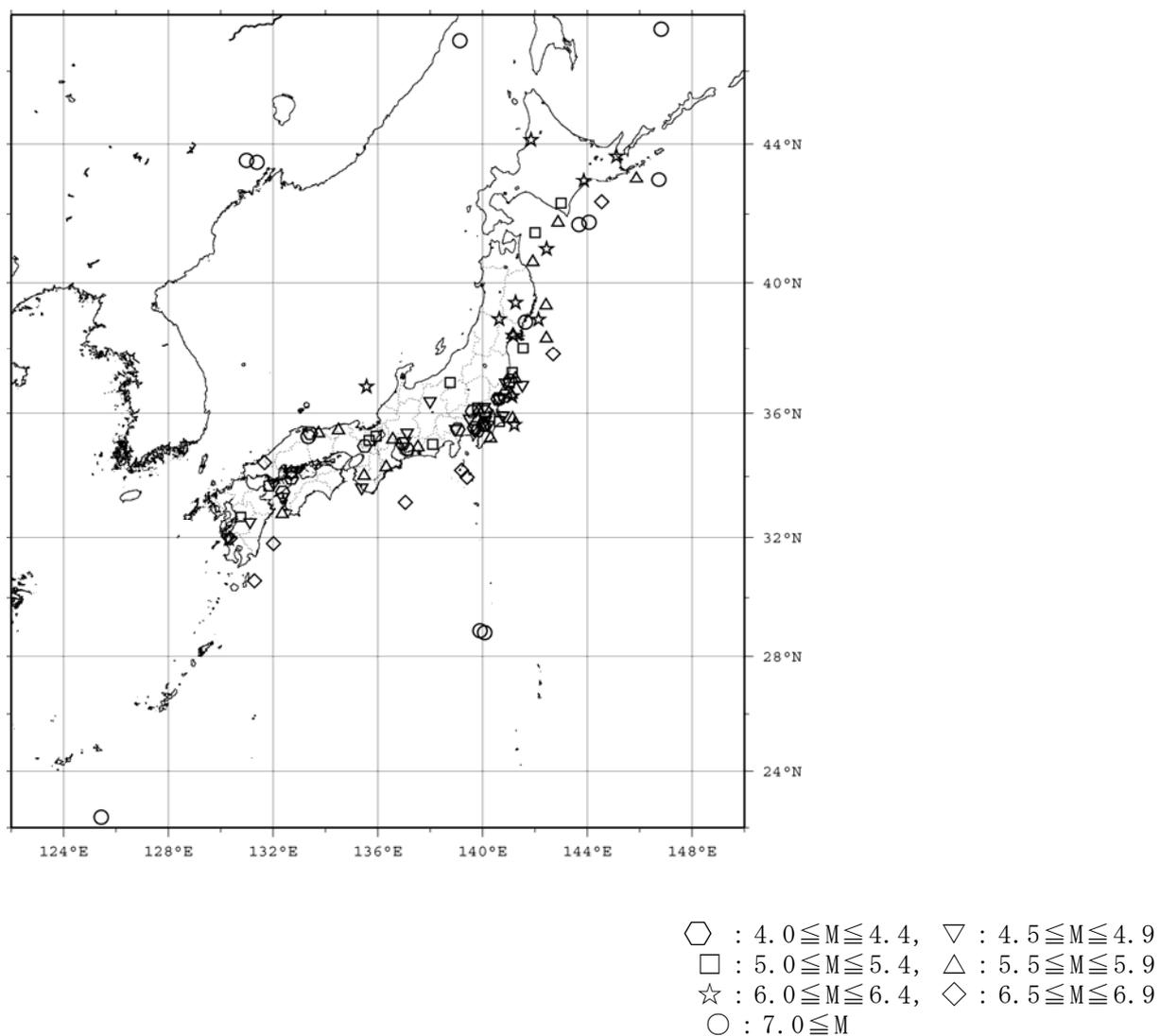
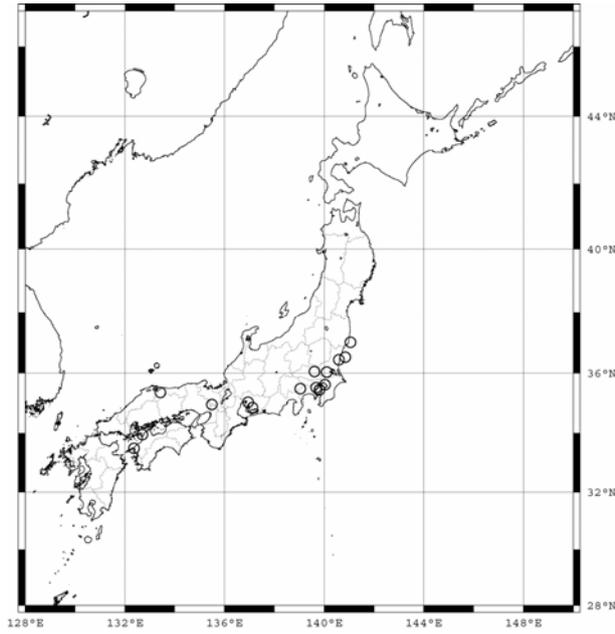
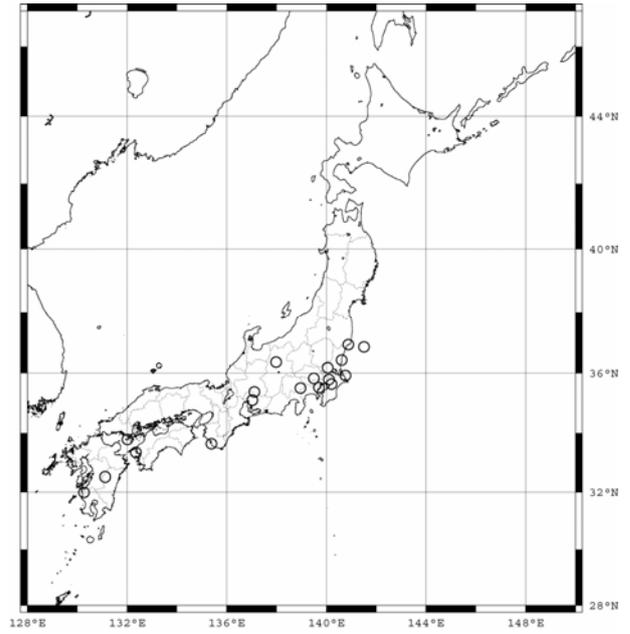


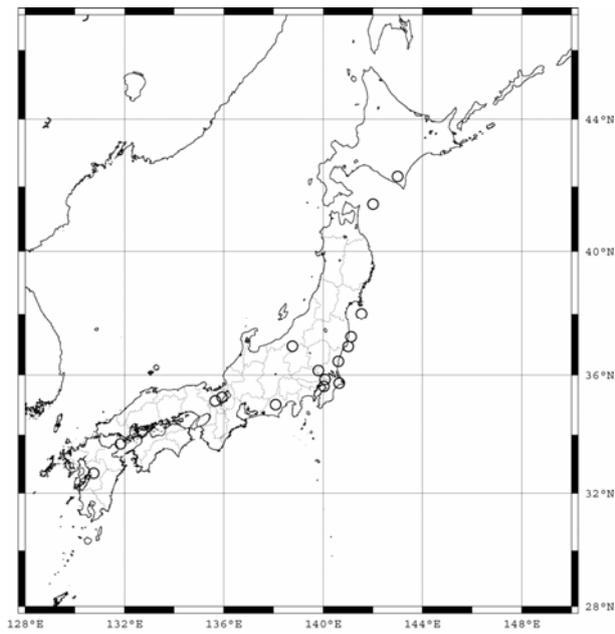
図9 選定した全地震をマグニチュード別に表示した震央分布  
 [対象期間：1996年5月から2004年5月]



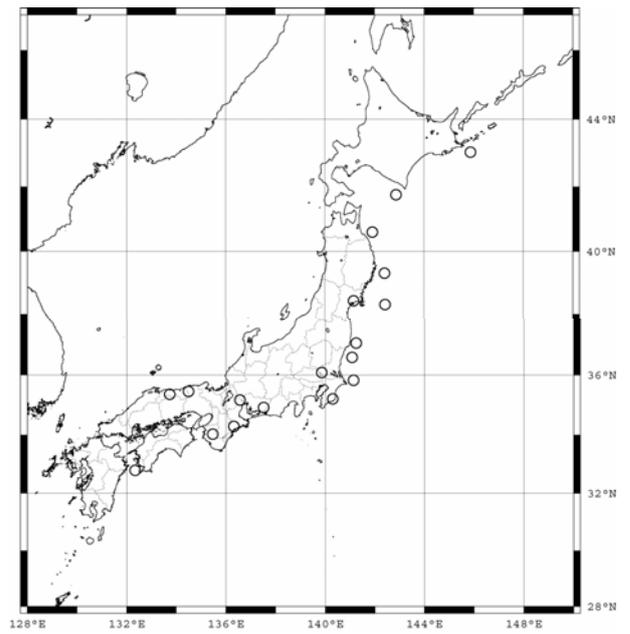
4.0 ≤ M < 4.5 15 地震



4.5 ≤ M < 5.0 18 地震

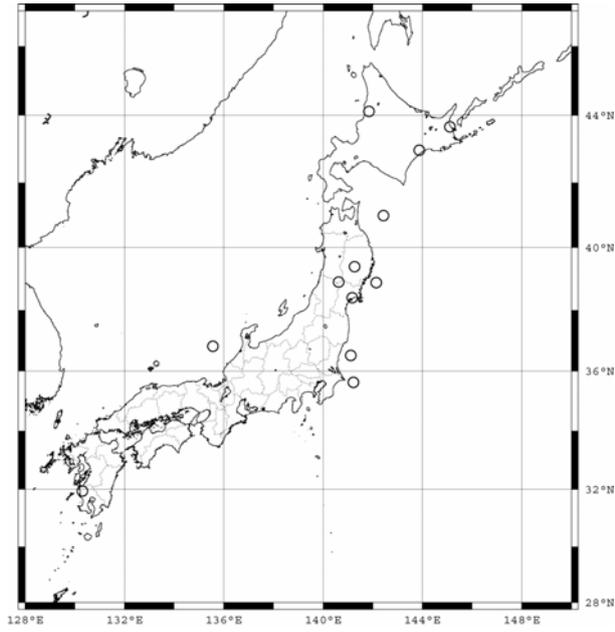


5.0 ≤ M < 5.5 17 地震

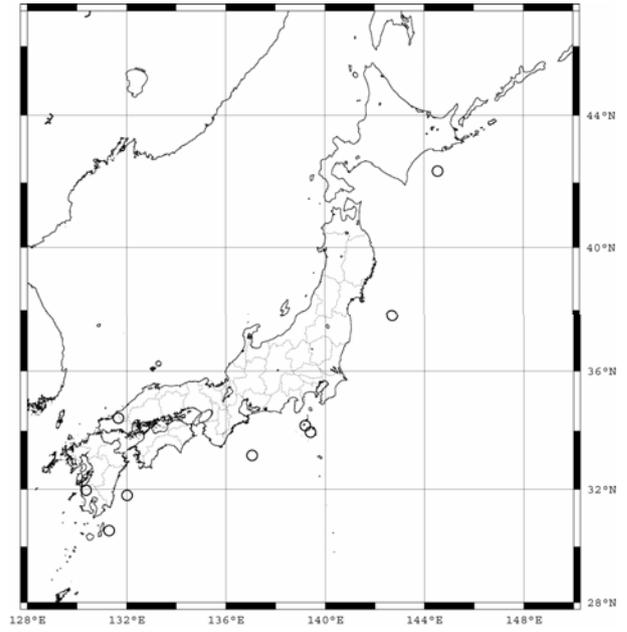


5.5 ≤ M < 6.0 18 地震

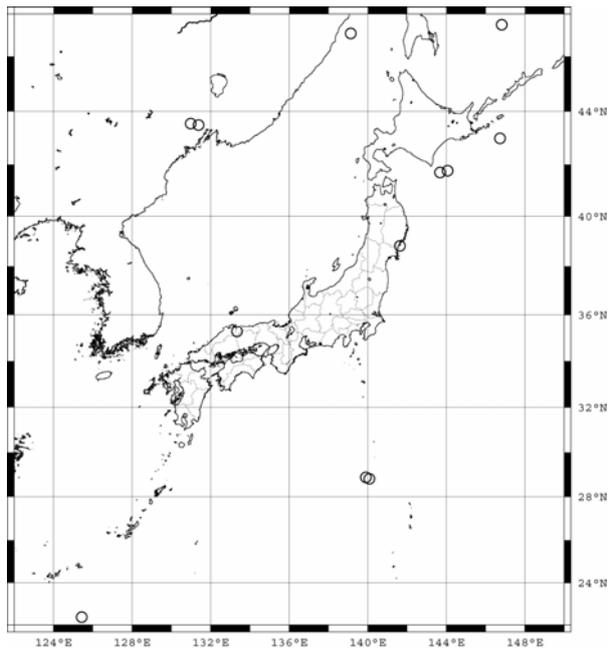
図 10 選定した地震のマグニチュード毎に区分けした震央分布  
[対象期間：1996年5月から2004年5月]



6.0 ≤ M < 6.5 12 地震



6.5 ≤ M < 7.0 10 地震



7.0 ≤ M 12 地震

図 11 選定した地震のマグニチュード毎に区分けした震央分布  
[対象期間：1996年5月から2004年5月]

選定した地震において K-NET 記録が得られている観測点のうち、各都道府県の中での観測点は原則的に 1 観測点とし、観測記録から計算される計測震度が大きい観測点を選定した。ただし、都道府県数が少ない場合には、同一の都道府県内で複数の観測点を選択した。

また、1つの地震で多くの都道府県で記録が観測されている場合には、震央地に近い都道府県を優先し、震源距離は1,000 km以下の観測点とした。1地震あたりの観測点数は10程度とした。この結果、985観測記録を選択した。選択した地震のマグニチュードと震央距離および震源距離の関係を図12に示す。

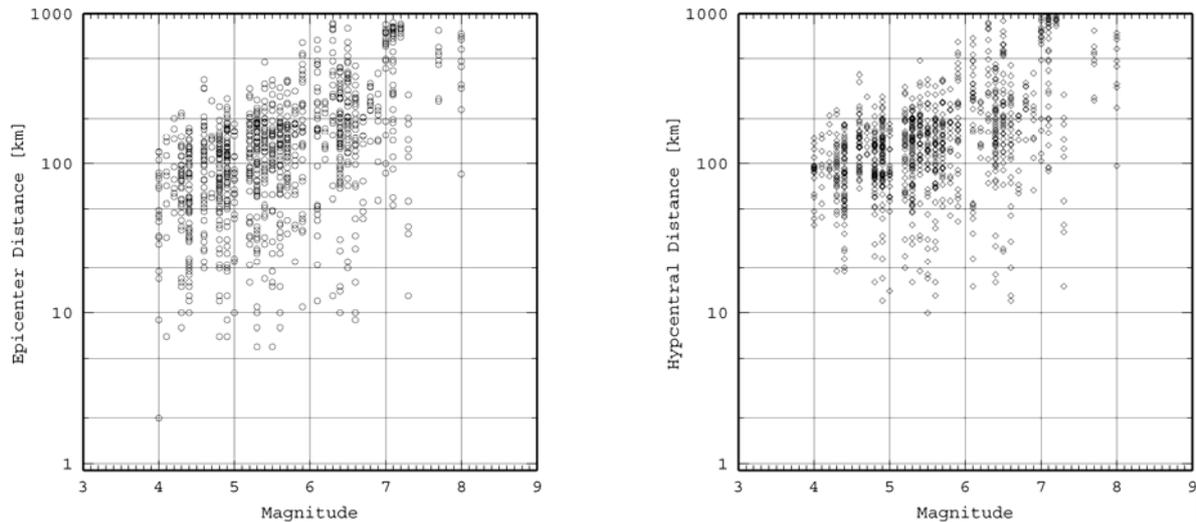


図12 選定した地震・観測点のマグニチュードと距離の関係

### ③ 長周期信頼限界周期の検索

長周期信頼限界周期とは太田・他(1985)やShakal and Ragsdale(1984)によって指摘されていることであるが、強震記録の擬似速度応答スペクトルは概念的に図13に示すような形になる。長周期側では、ノイズフリーの記録であれば、コーナー周期以上では変位スペクトルが一定となるから図13では周期(T)に対して1/Tの傾斜で減少するはずである。しかし、ノイズの擬似速度応答スペクトルは周期ともにほぼ周期に比例して増大し、ある周期以上ではノイズが信号を上回ってしまう。この交叉点の周期を長周期信頼限界周期と呼ぶこととするが、ここでは信号とノイズが同レベルとなる。本来の解析には、信号がノイズの2~3倍の振幅となる周期を採用すべきであるが、ここでは便宜上この交叉する(長周期側でスペクトルが一旦極小となる)周期を指すこととする。記録の中にはノイズが少ない場合も少なくなく、ほぼコーナー周期以上では単調減少する。このような複雑な記録の母集団に対して半自動的に長周期信頼限界周期を決めることが出来ないか、という課題に取り組んだ。なお、擬似速度応答の減衰係数は全て5%を用いた。

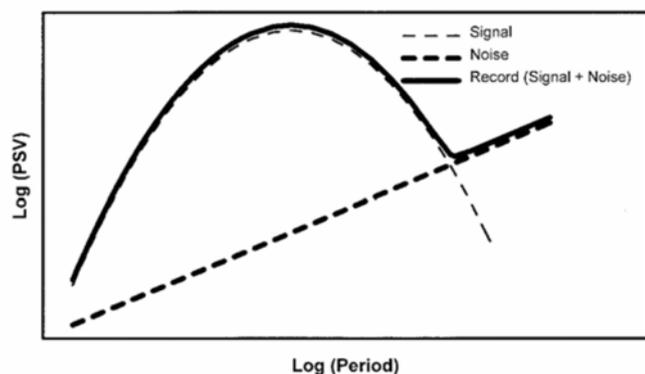


図13 長周期信頼限界周期に関する擬似速度応答スペクトルの概念図

K-NET 加速度記録より擬似速度応答スペクトルを計算し、長周期信頼限界周期 ( $T_c$ ) を読みとった。半自動的検索の手順を図 14 に示す。3 成分の記録に対し、1 秒から 50 秒の区間の擬似速度応答スペクトルを計算し、最小の振幅を検索する。ただし、マグニチュードが 6.0 以上の地震は 100 秒までとした。検索した周期より長周期側において確実にノイズであることを確認するために、検索した周期と周期 50 秒までの区間で、周期 50 (100) 秒での振幅値を越える振幅値の有無を調べ、大きな振幅がある場合 (図 14 右下の緑色で示す例の場合) には検索を終了し、 $T_c$  を 50 (100) 秒とする。但し、図 14 右下赤色の場合は約 40 秒のところで再びノイズレベルと同程度になるが、その周期を  $T_c$  と再定義する。次に、検索した周期と周期 50 秒の傾きが擬似速度応答スペクトルの加速度軸と同程度かどうかを判断し、大きく異なる場合には検索を終了する。図 14 右下の青色で示すようなスペクトル形状がこの例に相当する。

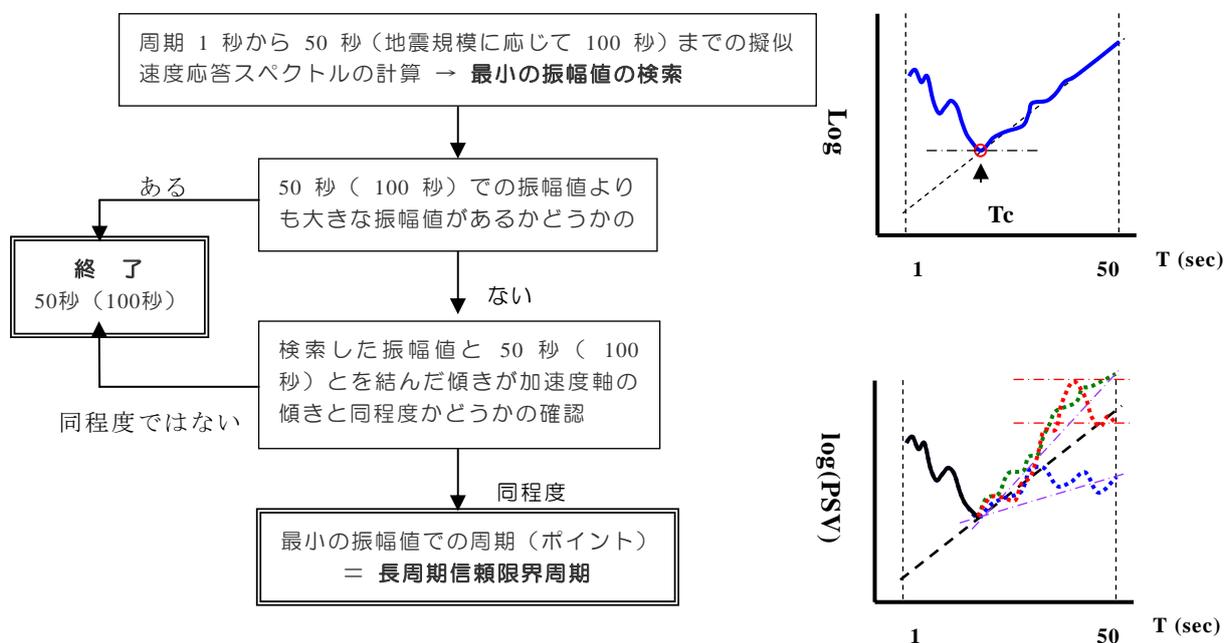


図 14 半自動的に長周期信頼限界周期の検索手順。一旦  $T_c$  が求まっても、右下の図の青色、緑色の場合は傾斜が異なるので信号と判断し何れも  $T_c=50(100)$  秒とし、赤色の場合は 50 秒以下にノイズの傾斜と交叉する周期 ( $T_c'$ ) を最終的な  $T_c$  とする。

対象とする地震観測点記録ごとに計算された長周期信頼限界周期のうち、対象とする成分によって結果に違いが出てくることから、成分ごとの比較を行った。横軸を地震規模とし、縦軸を成分ごとの長周期信頼限界周期とした分布を図 15 に示す。なお、赤の円は NS 成分、緑の四角は EW 成分、青の三角は UD 成分。また、図中にはしきい値として震源プロセス時間 (宇津、001) を黒の実線で比較のため記載してある。図 15 によると、赤線で囲んだ震源プロセス時間を下回っている地震観測点記録は、 $f$  をコーナー周期に相当するとすれば、長周期のかなり重要な部分を除去せざるを得ないことになる。震源プロセス時間を下回っている全体の比率は、NS 成分で 3 % (33)、EW 成分で 3 % (28)、UD 成分で 4 % (42) となっている。従って全体的には

半自動での処理で  $T_c$  を検索し、 $T_f < T_c$  として遮断周期を決めることが出来るが、数が少ないとはいえ、マグニチュード 6 - 7 という重要な記録にも多く見られることは、半自動処理の限界を示していることになる。水平動成分と上下動成分では水平動成分の方が若干長周期側に分布している。

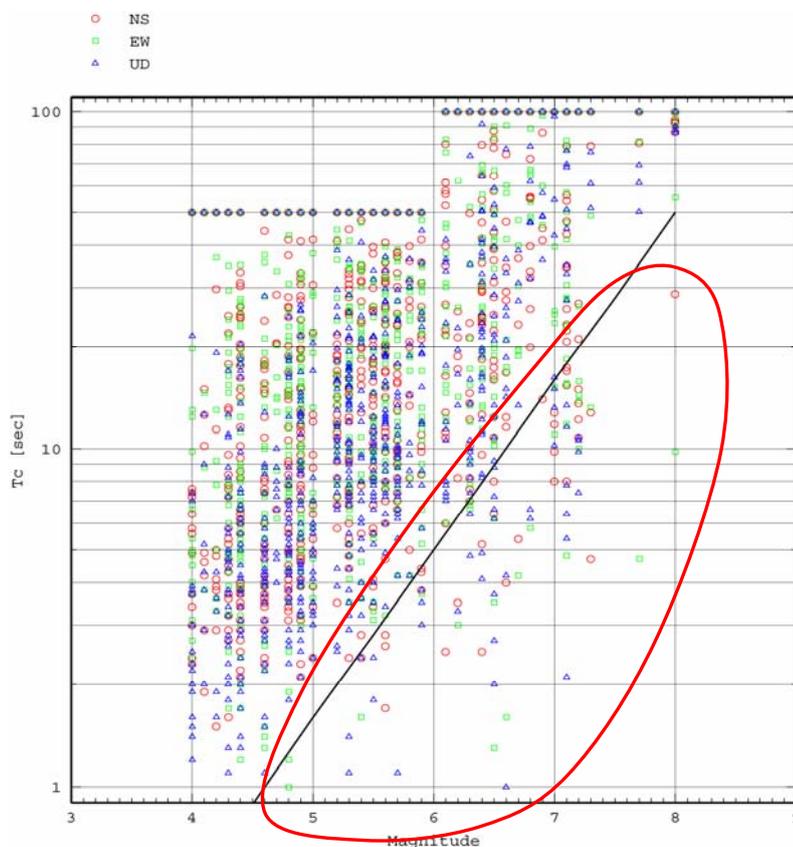


図 15 半自動的に求めた各 3 成分の長周期信頼限界周期 ( $T_c$ )。参考の震源破壊経過時間 ( $T_f$ ) との比較から、大半のデータは解析上問題とならないが、赤で囲ったデータは期待される長周期限界がかなり短周期であることを意味する。

この問題は基本的に記録の S/N の問題であり、当然震源距離や観測された地震動レベルによる影響があるはずである。図 16 は震源距離ごとに色分けした分布を示したものである。定性的な議論ではあるが、震源距離への依存性は明瞭には認められない。図 17 は最大加速度振幅ごとに色分けして示しているが、震源プロセス時間を下回っている地震観測点記録の多くは 10 Gal 以下の記録であり、やや振幅依存性が見られる。なお、最大振幅値は長周期信頼限界周期を採用した成分である。

得られた長周期信頼限界周期をハイパスフィルタの遮断周期とし、加速度記録から速度・変位記録を求め、目視による妥当性の検討を行った。なお、フィルタはバタワースの -24 dB/oct (4 次減衰) とし、積分は線形加速度法による。図 18 に観測された加速度波形 (1998 年滋賀・岐阜県境の地震、M5.5、彦根における記録) で a) に、その擬似速度応答スペクトルを b) に、および半自動的に得られた  $T_c \sim 20$  秒を遮断周期としたフィルタを用いた積分波形 (速度・変位) を c) に示した。また、信頼限界周期より短周期となる  $T_c = 10$  秒、及び震源プロセス時間 ( $T_f$ ) から求まる 2.8 秒を  $T_c$  とした場合の

積分波形を図 19 に比較した。波形の形状は変化するが、最大速度は 1 割程度以下、最大変位で 2 割弱の差しか見られないので、 $T_c > T_f$  であれば、遮断周期として  $T_c$  を一つの目安とすることは妥当であることが分かる、但し、S/N を考慮して多少バイアスを検討する必要もあろう。ここでは一例のみを示しているが、同様の検討を数例行ったが、傾向としては全く同等であった。

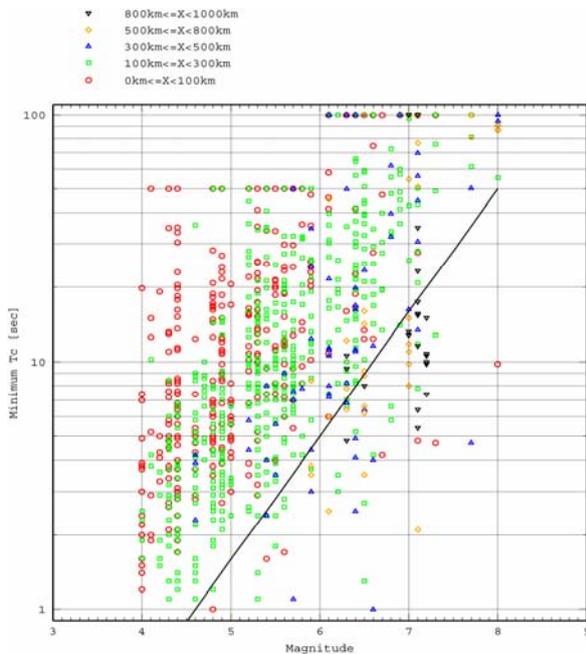


図 16 地震規模と長周期信頼限界周期及び震源距離の関係。(3 成分で最も小さい長周期信頼限界周期)  
 図中の黒実線は、震源プロセス時間 ( $\log T_f = 0.5 M - 2.3$ )

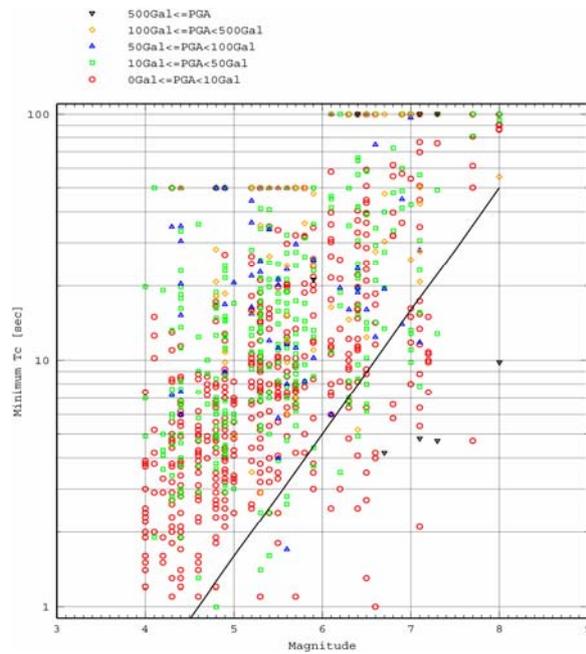
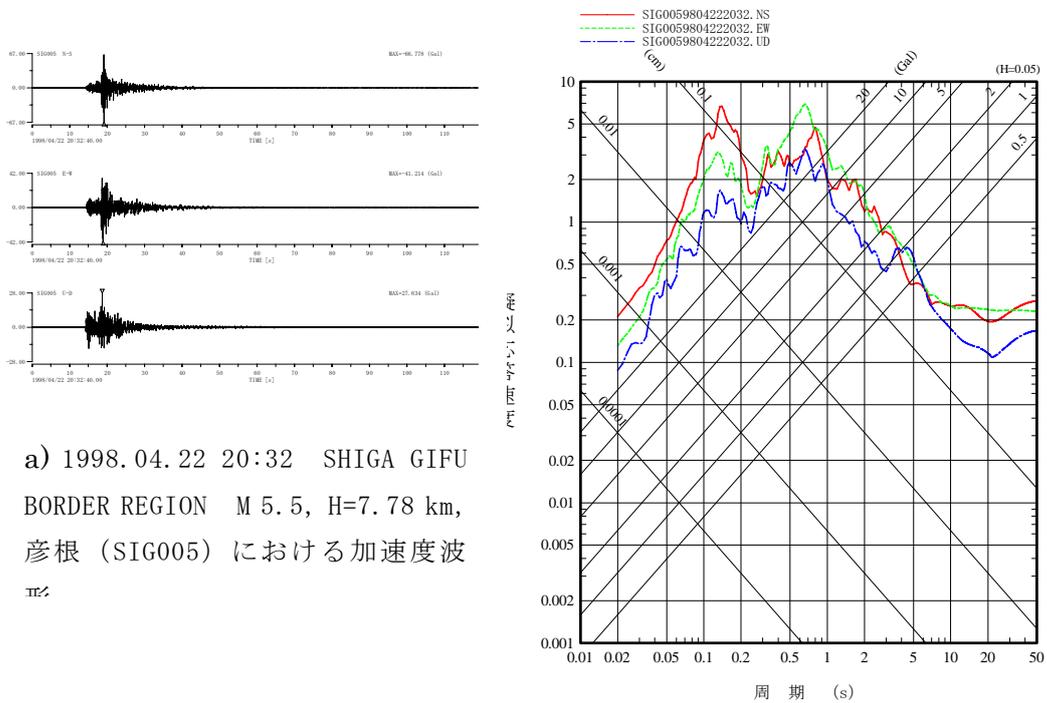


図 17 地震規模と長周期信頼限界周期及び最大加速度振幅値の関係。最大加速度振幅値は長周期信頼限界周期を採用した成分。

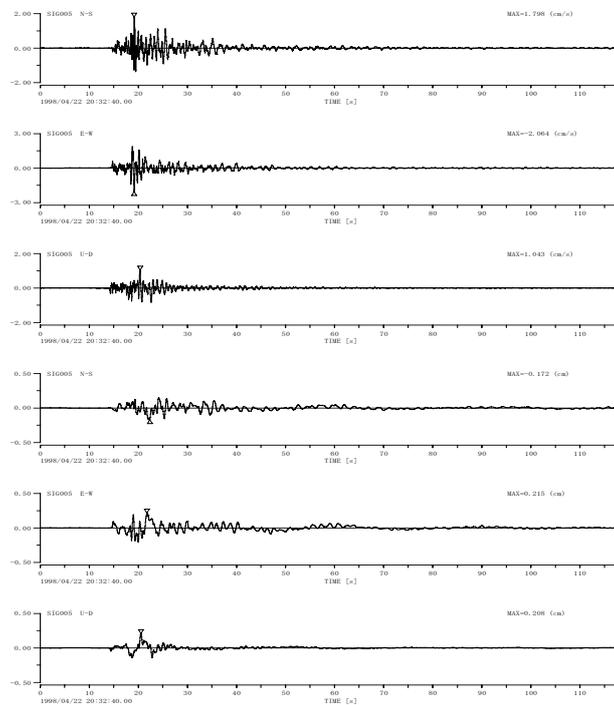
地震規模と長周期信頼限界周期の関係のうち、3 成分のうち最も小さい長周期信頼限界周期において、しきい値とした震源プロセス時間をいずれかの成分が下回った地震観測点記録は 77 (全体の 7.8%) あり、これらの地震観測点記録の原因について調べた。原因としては、本来の信頼限界周期よりも短い周期の点を検索している、記録の途中で基線がシフトしている記録が幾つかあり、その処理が十分ではない。2003 年の紀伊半島沖あるいは小笠原沖の地震など、地震の発生場所が深い地震を選択していること等が考えられる。これらを原因別に表示したのが図 20 である。図 20 の実線は震源プロセス時間として破壊速度 3.2 km/s を、黒点線は破壊速度を 4.0 km/s にした場合を示しており、青四角は正常より短周期に検索してしまったもの、赤六角形は基線がシフトしているもの、緑の菱形は発生場所が深い場合を示している。半自動による読み取りミスおよび判断ミスは、図 21 に示すように、目視による  $T_c$  の修正を行うと、大半が  $T_f$  より長周期側に求まる。一方、明らかに記録途中で基線がシフトしてしまう例があり (全体の

1. 2%)、この場合には半自動処理は断念せざるを得ない、基線がシフトしている記録についての補正方法については全く別途の処理法を考慮する必要がある。



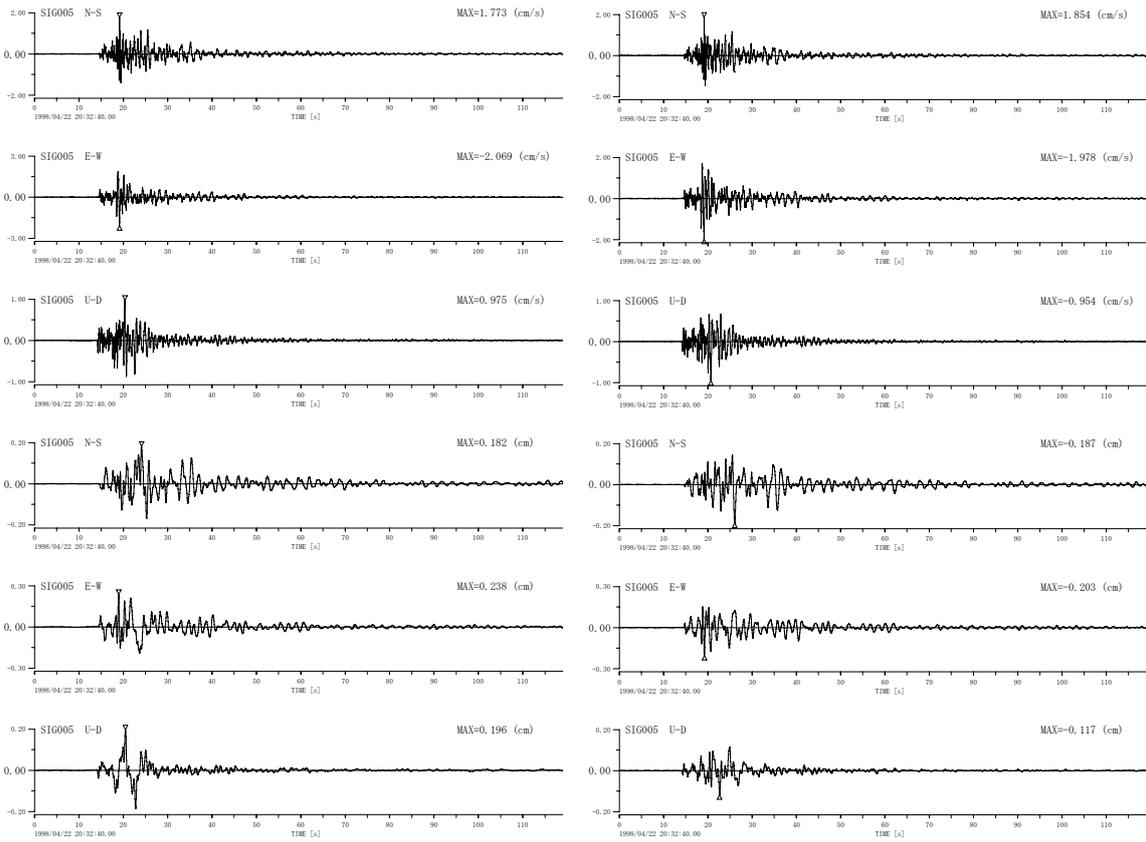
a) 1998.04.22 20:32 SHIGA GIFU BORDER REGION M 5.5, H=7.78 km, 彦根 (SIG005) における加速度波形

c) 積分波形



b) 擬似速度応答

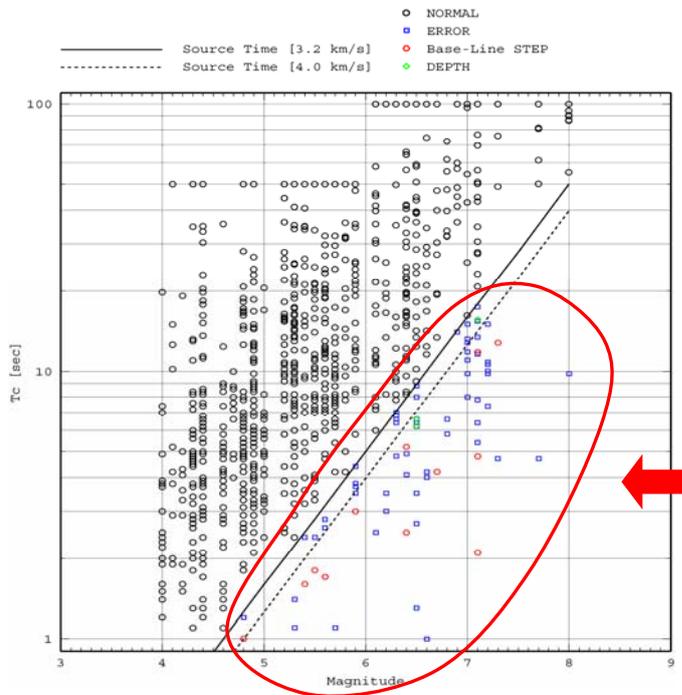
図 18 Tc~20 秒を用いた速度・変位波形。



a)  $T_c=10$  秒とした場合

b)  $T_c=2.8$  秒 ( $T_f$  から) とした場合

図 19  $T_c$  を変化させたときの積分波形。最大値には大きな変化がない。



77 地震観測点記録  
(7.8%)

図 20  $T_c$  が  $T_f$  以下に求まった原因別の表示

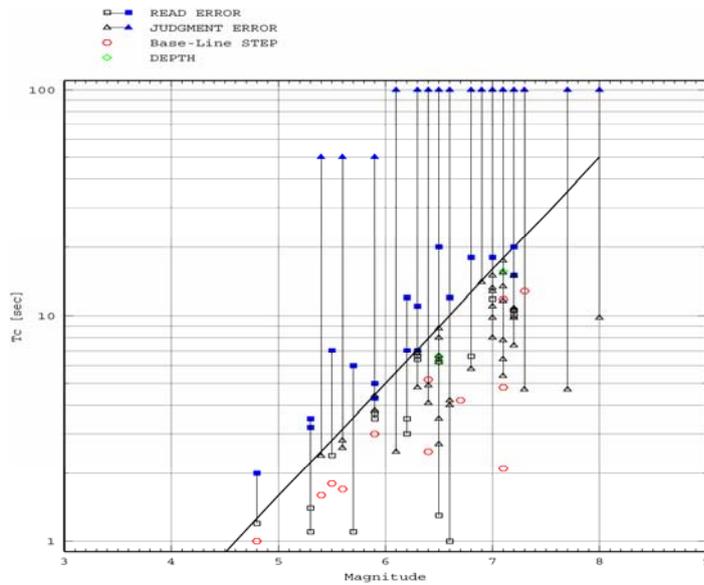


図 21 目視による半自動検索結果の見直し

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

国内では気象庁データ（1989年4月—2001年3月）、国外ではUSGS、SCMIPなどの米国のデータ、台湾、トルコ（比較的最近のデータ）、メキシコなどのデータを登載した。

NetSmdaによるデータ検索時（計算機上ではデータをダウンロードする）に初期解析が可能となった。データの性質を予め理解できるメリットは大きい。E-Defenseの利用に限れば利用価値が高い。ただし、一般利用のためにはセキュリティ対策が必要となる。

強震データの積分のために長周期信頼限界周期についてK-NETデータを用いて調べた結果、地震規模に強い依存性があり、震源プロセス時間を長周期限界として多くのデータが使用できることが分かった。しかし、やや深い地震のデータに注意が必要であること、8%程度のデータには基線ずれが生じていることから、半自動化処理が可能ではあるが、最終的には目視による判断も必要となることが分かった。なお、震源距離または加速度振幅の長周期限界への影響は、震源距離は若干の依存性は見られるものの地震規模ほど明確ではなく、加速度振幅の依存性は少ない。

2) 今後の課題

データベースに登載済みのデータの確認と、引き続き未登載の国内外のデータを逐次登載していく必要がある。また、強震動データの特性値（最大速度・変位・SI値など）の登載について自動処理（現実的には半自動化）プログラムの作成と既登載データへの摘要を検討する必要がある。

検索機能の充実を図ってきたが、最終的なデータベースのイメージを定め、検索項目の確定を測る必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 太田外気晴ほか：地震動加速度記録に含まれるノイズ特性の確認と数値積分時に使用

- するフィルター周期について、鹿島建設技術研究所年報 第 33 号、121-126, 1985.
- 2) Shakal A.F. and J.T. Ragsdale : Acceleration, Velocity and Displacement Noise Analysis of the CSMIP Accelerogram Digitization System, Proc. 8th WCEE, Vol. 2, 111-118, 1984.
- 3) 宇津徳治、地震の事典、朝倉書店、p283, 2001.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
工藤一嘉 成田 章 本間芳則	強震データベースの開発 (2) —世界のデータ登録と検索機能—	日本地震学会 2004 年秋季 大会	平成 16 年 10 月 10 日
湯沢 豊 宮下 茂 植竹富一 工藤一嘉	強震記録の長周期信頼限界につ いて —K-NET 記録による検討—	日本地震学会 2004 年秋季 大会	平成 16 年 10 月 9 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
データベースプロトタイプの開発 III	データ登載時のフォーマット変換、強震データ検索機能の改良
NetSmda	データ検索時における 1) 波形の表示、2) オフセットの ON、OFF、3) 波形の拡大、縮小表示、4) ヘッダの表示、5) フィルタ処理

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成17年度業務計画案

#### (a) 業務計画

##### 1) 未登載データの収集とデータベースへの登載作業

国内外で頒布または Web 上で公開されている各種強震データを収集しプロトタイプデータベースに登載する。特に国内の未公開データについては、各観測機関に提供依頼・他を実施する。

##### 2) 地震動特性値登載の自動化

昨年度の調査を踏まえ、フィルター特性値の半自動決定による特性値の登載を行い、最大速度、最大変位、SI 値などでの検索を可能にする。

##### 3) NetSmda の改善拡充

NetSmda での解析可能な機能を充実させる。

##### 4) サイト特性（地盤データ）の把握

昨年度に引き続き地盤データ・設置環境などの登載方法を検討するとともに、データ公開されているK-NET、KiK-netなどへのリンク、参照できる資料の閲覧・表示方法を検討する。

##### 5) シミュレーション波形データの登載の検討

三次元振動台への入力地震動として検討されるシミュレーション波形のデータベースへの登載を試験的に開始する。

#### (b) 実施方法

##### 1) 未登載データの収集とデータベースへの登載作業

EU の統合データベースからの入手をはじめとして、トルコの 1999 年以前のデータ、南米、ニュージーランドのデータなどのデータ入手とデータベースへの登載を行う。国内の未公表データの調査とデータ提供依頼を行う。

##### 2) 地震動特性値登載の自動化

半自動処理プログラムを作成し、データベース上での処理を目指す。

##### 3) サイト特性（地盤データ）の把握

データが公開されているリンク先への簡便なアクセス法と閲覧・表示法をデータベース上で実現する。

##### 4) シミュレーション波形データの登載の検討

登載するシミュレーション波形群を決定し、データベースに試験的に登載する。

#### (c) 目標とする成果

現時点で登載可能なデータは可能な限り登載し、世界のデータベースとして使用可能な体制とする。属性であるサイト特性・設置環境等のデータについては公開されているデータ先に速やかにアクセスできることを目指し、また、大地震記録については各資料の閲覧が可能な体制を作る。また特性値を登載し、検索機能の充実をはかる。シミュレーション波形のデータ登載を実現し、本格作業のための試験運用を行う。

