

## K-NET 強震計記録を用いた計測震度自動算出システムの運用

刃刀 卓\*・林 能成\*・伊藤 渉\*\*

### The Automatic System for Calculation of Instrumental Seismic Intensity Using K-NET Strong-motion Data

Takashi KUNUGI\*, Yoshinari HAYASHI\* and Wataru ITO\*\*

#### はじめに

地震発生直後に発表される震度情報は多くの防災関係機関が初動体制を整える上で重要視している項目の一つである。元来、震度は体感によって決定されていたが、決定の迅速化、機械化などの要請から、現在では地震計の記録から震度を決定する方式が採用されている(気象庁地震火山部地震津波監視課, 1996)。ここで採用された計測震度に基づいた震度情報は、1996年4月から気象庁が発表している。また、これと同時期の1996年6月から、防災科学技術研究所の強震ネット(K-NET)のデータが一般に公開されるようになった(木下ほか, 1996)。K-NETは全国約1,000観測点からなる強震計の観測網で、インターネットを介して自由に強震波形記録を入手することができる。

このような震度の計測化と強震観測網の整備を利用して、我々は自動でK-NET強震記録を取り込んで計測震度を算出し、震度分布図を作成するシステムを構築した(伊藤ほか, 1996)。システム構築の目的は、1) 強震記録の収集、2) 計測震度の決定、3) 高密度の震度分布図の作成であり、以上の処理を完全自動化した点が特色である。ただし、K-NET強震記録の公開がオペレーターによる波形チェック後になるため、現在のところ迅速な記録収集と震度計算については考慮していない。しかし、地震発生後即時ではないにしても、数日中に震度分布図が参照できることは日頃の防災意識の高揚にとって十分に意義があると考えられる。また、K-NET強震記録の自動取得とフォーマット変換、データベース化、後述のようなオフセットを持つデータについての警告が行なわれるため、強震記録を用いた解

析に共通する前処理の省力化にも役立っている。さらに、自動作成された震度分布図は、強震解析に際して強震動分布やデータの欠測状況を視覚的に把握する一助となっている。

本システムは、三年近く自動運用されており、現行の概要についてここに報告する。

#### 強震波形処理のながれ

基本的な処理内容は、K-NETデータベースの新規イベント登録を検知し、強震記録収集、震度算出、および震度分布図の作成を実行することである。K-NETのデータベースとはftpプロトコルを用いて通信し、筑波、仙台、大阪の3つのサーバーのうち通信可能なものを選択する。下記の処理が一日に一回、深夜に起動される。

- 1) 記憶容量などのチェック、通信可能なK-NETデータベースの選択。
- 2) K-NETデータベース上の新規イベントの検知。
- 3) 強震記録の収集、フォーマット変換。
- 4) 不良データのチェック、計測震度の算出。
- 5) 震度分布図の作成、電子メールを用いた通知。
- 6) ホームページの更新。

K-NETの強震記録はオペレーターによってチェックされた高品質のものであるが、ごくまれに図1のような、オフセットしたのち連続した値をもつ記録が存在する。そこで、暫定的に1サンプル(0.01sに相当)で $1,000\text{ cm/s}^2$ 以上変化するか、1秒以上一定値が連続するとオフセットを持つデータとみなすことにした。

計測震度の計算は、震度問題検討会検討結果最終報告(気象庁地震火山部地震津波監視課, 1996)に基づき行なっている。

この処理の概要は下記のとおりである(図2参照)。1) 100 Hz サンプリングの加速度記録を高速フーリエ変換することにより得られた周波数スペクトルに(1)式のフィル

1999年9月2日受付, 1999年10月26日受理。

\* 東京大学地震研究所海半球観測センター,

\*\* 日本電信電話株式会社。

\* Ocean Hemisphere Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo,

\*\* Nippon Telegraph and Telephone Corporation.

1996/08/11 03:12:18 [JST] Longitude 140.6°E Focal depth 10 km  
 SOUTHERN AKITA PREFECTURE Latitude 38.9°N Magnitude Mj 5.9

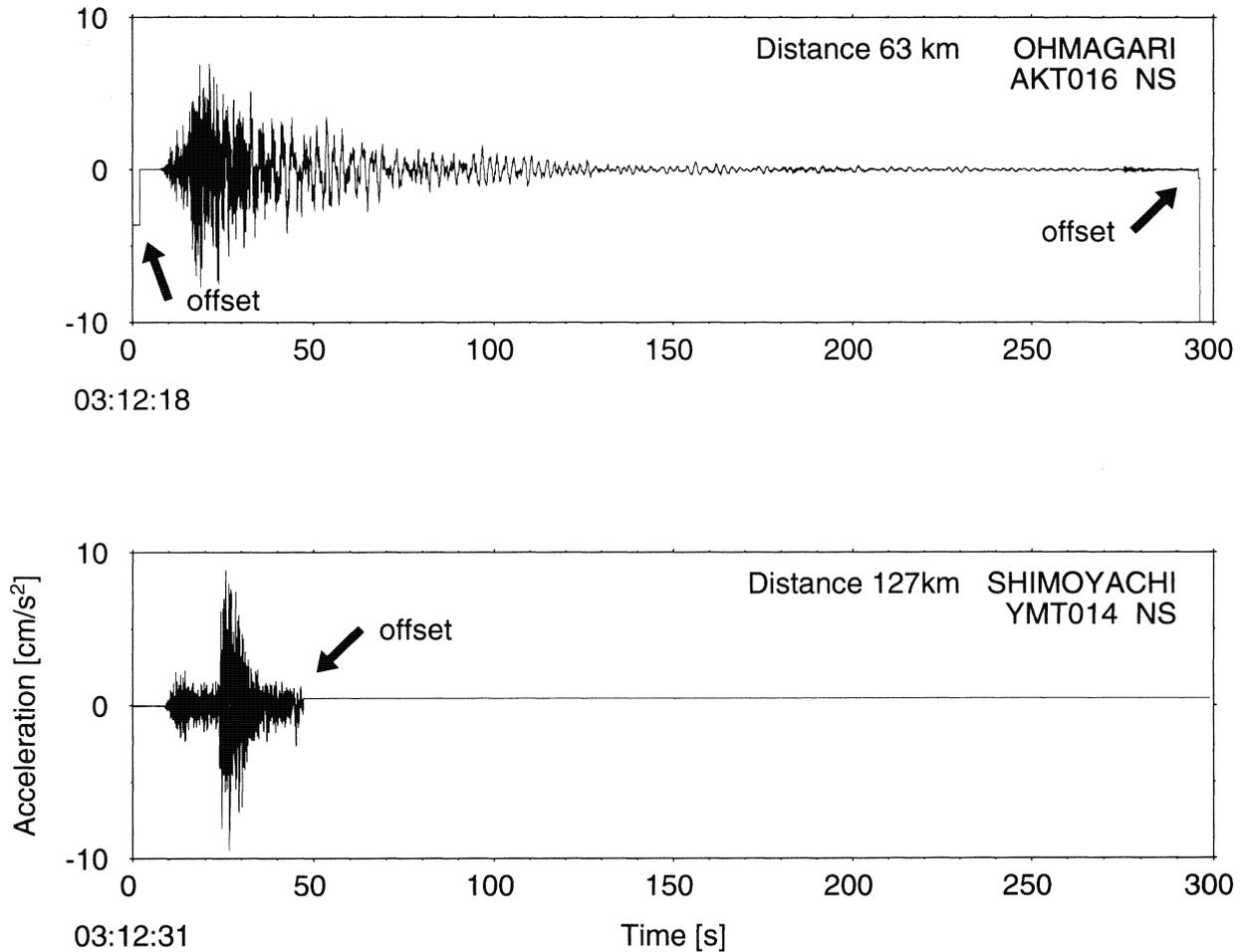


図 1. オフセットを持つデータの例

上段) データ後部のオフセットは 2,000 cm/s<sup>2</sup> 以上に相当する, 下段) オフセット後, 200 秒以上連続した値となっている。

タリング処理をしたのち, 逆フーリエ変換を施し, 周期補正をした 3 成分 (上下, 東西, 南北) 強震記録を得る. K-NET が使用している強震記録系のアンチエイリアシングフィルターのコーナー周波数は 30 Hz 付近のため (木下ほか, 1997), 周期補正フィルターはハイカットフィルターの部分も省略せずに構成している. 総合的な周期補正フィルターの振幅周波数特性  $R(f)$  は以下で表される.

$$\begin{aligned}
 R(f) = & (k/f)^{1/2} \cdot (1 - \exp(-(f/f_0)^3))^{1/2} \\
 & \cdot (1 + 0.694(f/f_c)^2 + 0.241(f/f_c)^4 + 0.0557(f/f_c)^6 \\
 & + 0.009664(f/f_c)^8 + 0.00134(f/f_c)^{10} \\
 & + 0.000155(f/f_c)^{12})^{-1/2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここで,  $f$  は周波数, フィルターの定数  $k, f_0, f_c$  はそれぞれ 1.75, 0.5 Hz, 10 Hz である. 2) 周期補正された 3 成分強震記録をベクトル合成し, 振幅の時間変動  $v(t)$  を得る. 3)  $v(t)$  から振動継続時間が 0.3 s になるしきい値  $a_m$  (単位

は cm/s<sup>2</sup> とする) を求め, 所定の算出式  $I = 2 \log_{10}(a_m) + 0.7$  を用いて計測震度  $I$  に換算し, 震度階級を決定する. 振動継続時間が 0.3 s になるしきい値  $a_m$  は,  $\int w(t, a) dt \geq 0.3$  s を満たす  $a$  の最大値と定義され,  $w(t, a)$  は  $v(t) < a$  のときに 0,  $v(t) \geq a$  のときに 1 をとる関数である. 実際の計算では, サンプル間隔 (0.01 s) で離散的に与えられている  $v(t)$  を線形補間し,  $a$  を 0 から  $v(t)$  の最大値の間で変えながらしきい値  $a_m$  を求める. この際の時間積分区間はプレトリガー時間も含めたデータ区間全体としている.

震度分布図の作成は, 汎用の地図描画ツールの GMT (Wessel and Smith, 1991) を日本語が扱えるように改良したものをを用いて行なっている. 強震解析では, 欠測状況や観測点分布を, 本震と余震群について比較したい場合が多い. この要求にこたえるため, 地図の縮尺をすべての地

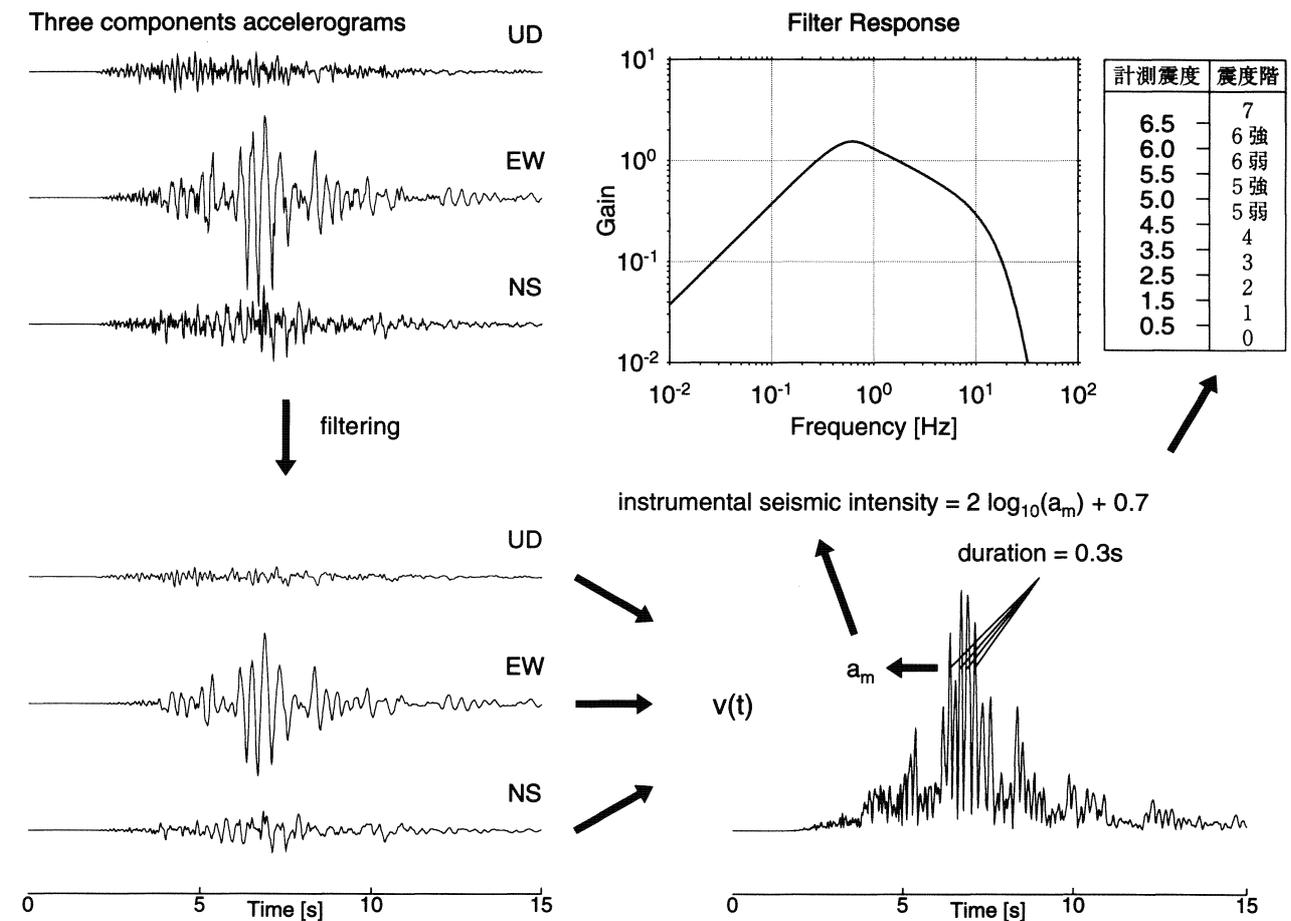


図 2. データ処理の流れ。強震波形記録に数値フィルターによる周期補正を施したのち、しきい値となる振幅を求め、計測震度および震度階を決定する。詳細は本文を参照。

震で共通にし、データがない観測点も表示することにした。描画の範囲は計測震度が大きい順に 10 観測点の重心を中心の緯度  $1^\circ \times$  経度  $1^\circ$  の領域に含むような、緯度  $3^\circ \times$  経度  $3^\circ$  の領域としている。この方法で作成した震度分布図の例を資料 1 と 2 に示す。二つの地震は本震と余震の関係にあるが、同一縮尺かつ同一領域の震度分布図から解析に使用可能な観測点などが視覚的に把握できる。図中、未入電とあるのが K-NET データベースに登録がない観測点である。また、例にはないがオフセットを持つデータと判定された観測点は未処理として表示される。

### 問題点と今後の課題

K-NET データは高品質なデータセットであるが、ごくまれに本論中で述べたようなオフセットを持つデータが含まれる。これらのデータの大半は波形の終了部にのみ震度計算に適さない部分があり、波形の主要な部分は正常であることが多い。今後は波形の正常部分のみをとりだし強震記録を最大限活用する自動化の方法を検討する必要がある。

また、波形記録を保存しているため他の強震指標（例えば、SI 値、応答スペクトル）なども算出し比較することができる。これらの比較は計測震度の強震指標としての妥当性を検証する上でも重要である。今後は各種の強震指標の自動算出も検討していく予定である。

最後に、本システムで決定された震度分布図と計測震度の値は、地震研究所内のホームページにて公開され (<http://komoku.eri.u-tokyo.ac.jp/zisin.html>)、閲覧することができる。

謝辞：本システムでは防災科学技術研究所の K-NET 強震記録を利用して頂いている。システム運用にあたっては地震研究所地震地殻変動観測センターと地震予知情報センターの計算機を使用させて頂いている。地震研究所の菊地正幸教授と井出哲助手には草稿の段階で御意見を頂いた。また、気象研究所の吉田康宏博士には震度の表示について教えて頂いた。地震研究所の東原紘道教授と森田祐一助教授の査読は原稿の改善に役立ちました。以上の機関と方々に感謝いたします。

文 献

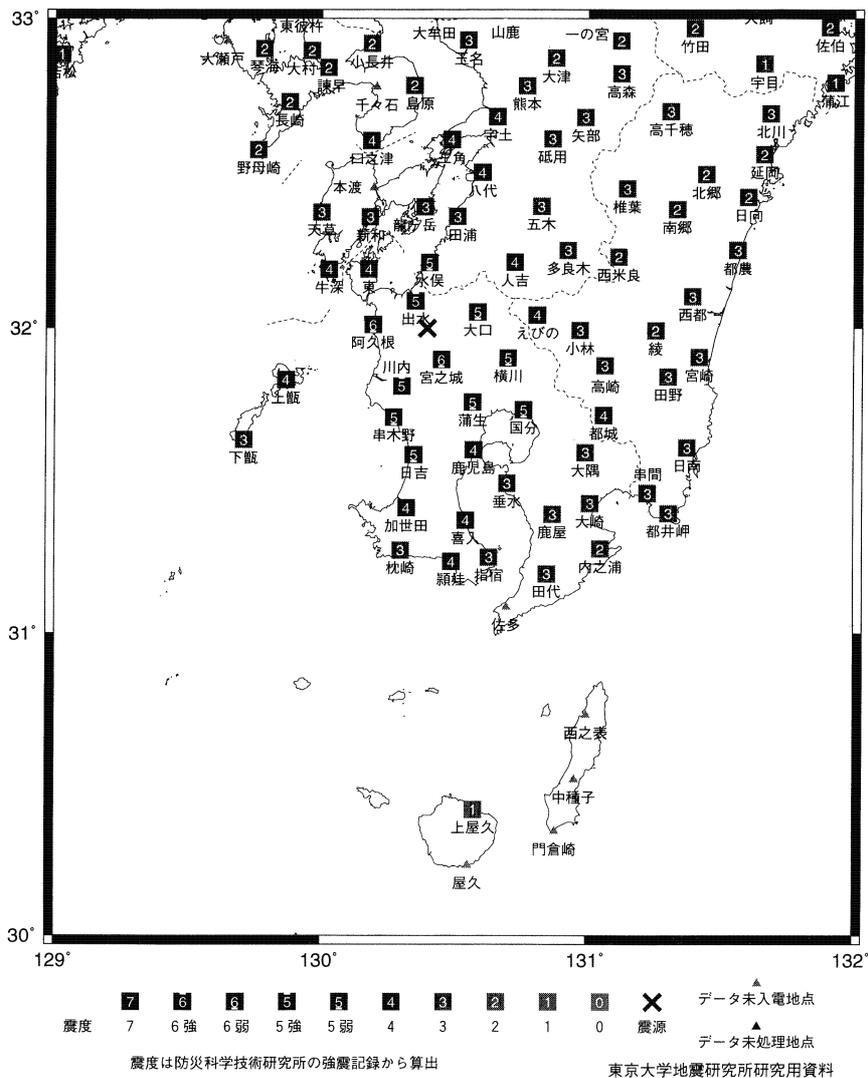
伊藤 涉, 功刀 卓, 林 能成, 1996, K-NET を用いた計測震度自動決定の試み, 日本地震学会講演予稿集, No. 2, p39.  
 木下繁夫, 和田安司, 小久江洋輔, 村田雅人, 成田 章, 1996, K-NET 観測センターシステム, 日本地震学会講演予稿集, No. 2, B56.

木下繁夫, 上原正義, 斗沢敏雄, 和田安司, 小久江洋輔, 1997, K-NET95 型強震計の記録特性, 地震 2, 49, 467-481.  
 気象庁地震火山部地震津波監視課, 1996, 震度問題検討会検討結果最終報告, 震度を知る (気象庁監修), ぎょうせい, 238 pp.  
 Wessel, P. and W.H.F. Smith, 1991, Free software helps map and display data, EOS, Trans. Am. Geophys. Union, Washington, D.C., 72, 441.

資料 1. 1997年3月に鹿児島県北西部で発生した一連の地震の本震 (M6.3) の震度分布図

1997年03月26日17時31分頃の地震による各地の震度に関する情報  
 震源地は鹿児島県北西部 (東経130.4度、北緯32.0度付近) で、  
 震源の深さは約8 km、地震の規模はM6.3と推定されています。

(震源情報は強震記録付帯の気象庁緊急震源速報による)



資料 2. 1997年3月に鹿児島県北西部で発生した一連の地震の余震 (M4.7) の震度分布図

1997年03月26日17時39分頃の地震による各地の震度に関する情報  
 震源地は鹿児島県北西部 (東経130.3度、北緯32.0度付近) で、  
 震源の深さは約8 km、地震の規模はM4.7と推定されています。

(震源情報は強震記録付帯の気象庁緊急震源速報による)

