

微小地震波形記録のデジタルデータベースの作成

松村一男・伊藤潔・大見士朗・和田博夫・Anshu JIN

要 旨

地震予知研究センターではセンター設立以前を含め30年以上の地震の記録が存在する。今回はその中でデータ処理を行えば現在のデータと同様に扱うことが可能なアナログMTのデータのAD変換及びデータ変換処理を行い波形データベースに組み込むことを目指した。対象としたのは上宝観測所の1977年8月から1993年7月まで16年間約1,000巻のMTで、これらを高速一括変換した後、データを変換するソフトウェアの開発しwinプログラムで利用可能なデータベースを作成した。

キーワード：アナログデータ，地震波形データ，AD変換，地震波形データベース

1. はじめに

地震波形の利用が容易になり、種々の解析が行われるようになってきたが、長期間の時間変化を調査するためには、近年のデジタル記録だけでなく、ただ長期間のデジタルデータが必要となってくる。また、大地震前後の変化は長期間の観測データがないと十分な解析ができない。これまで、Q値の時間変化、S波の異方性、地震の震源パラメータ、S波反射面の時間変化、低周波地震などの研究が行われてきた。今後、波形を利用した研究は、震源、地震波の伝播構造などについて、進める必要がある。特に時間変化などの研究のためには、過去の地震のデータを利用することが考えられる。

微小地震観測は、すす書きあるいはインク書きのドラム記録を委託観測することで開始された。その後、数々の工夫がなされたのち、テレメータによる集中記録方式に移行した。その際の記録方式は早送りインク書き記録とアナログデータレコーダーによる記録が主流となった。京都大学の観測所で主に用いられたレ

コードは14チャンネルのFM方式のものであった。

これらの記録は各観測所で保管されているが、15年間ほどのものがある。これらの記録は、これまでに波形を利用する研究に利用され、そのたびに必要とされる部分が再生された。最近ではデジタル記録が得られ、波形記録の利用が容易になってきた。しかし、これらの古い記録も、長期間の地震記録の解析には必要なものなので、全部をデジタル化することにし最近のデジタル記録と同じように解析に供されるようにした。

アナログテープは年々劣化するとともに、再生レコードがなくなってしまう恐れが濃厚になっているので、早急にデータを残す方法を検討する必要がある。このことは早くから認識されていたが、多大な労力を伴うため、見送られていた。アナログ記録のデジタル化はすでに阿武山観測所の記録でなされている。ここでは1トリガーの記録は4台のアナログデータレコーダーで記録されたので、個々のトリガーごとに、時間サーチし時間軸を合わせてAD変換された。この方式は多大

の時間と労力を要するので、他の観測所のデータへの適用は見送られていた。今回は記憶媒体の大容量化と計算速度の向上を利用して、個々のトリガー時刻を探すことなく、全データを丸ごとAD変換することにした。アナログテープにはトリガーマークと時刻信号のスローコードが記録されているので、これを自動解析することによって、個々のトリガー時刻を取得し、それぞれのファイルを切り出すことができる。

2. 上宝観測所の地震波形データ

上宝観測所（設立当時は上宝地殻変動観測所）で

は、すす書き、インク書きなどのドラムによる観測装置を個々の観測点におき、跡津川断層付近を中心にした微小地震の委託観測を実施していた（和田・岸本, 1974; 和田, 1975）。これらをもとに、1977年に、上宝、天生、楡原、3観測点からのデータを上宝観測所で集める微小地震のテレメータ観測を開始した（上宝地殻変動観測所・地震予知計測部門, 1978）。これ以降、1993年にデジタル記録に移行するまで、アナログ・データレコーダによる地震波形のトリガー記録が収録されてきた。この間、1980年には、福光観測点を増設し、これに加えて、名古屋大学とのデータ交換も開始し、名古屋大学高山観測所の3観測点

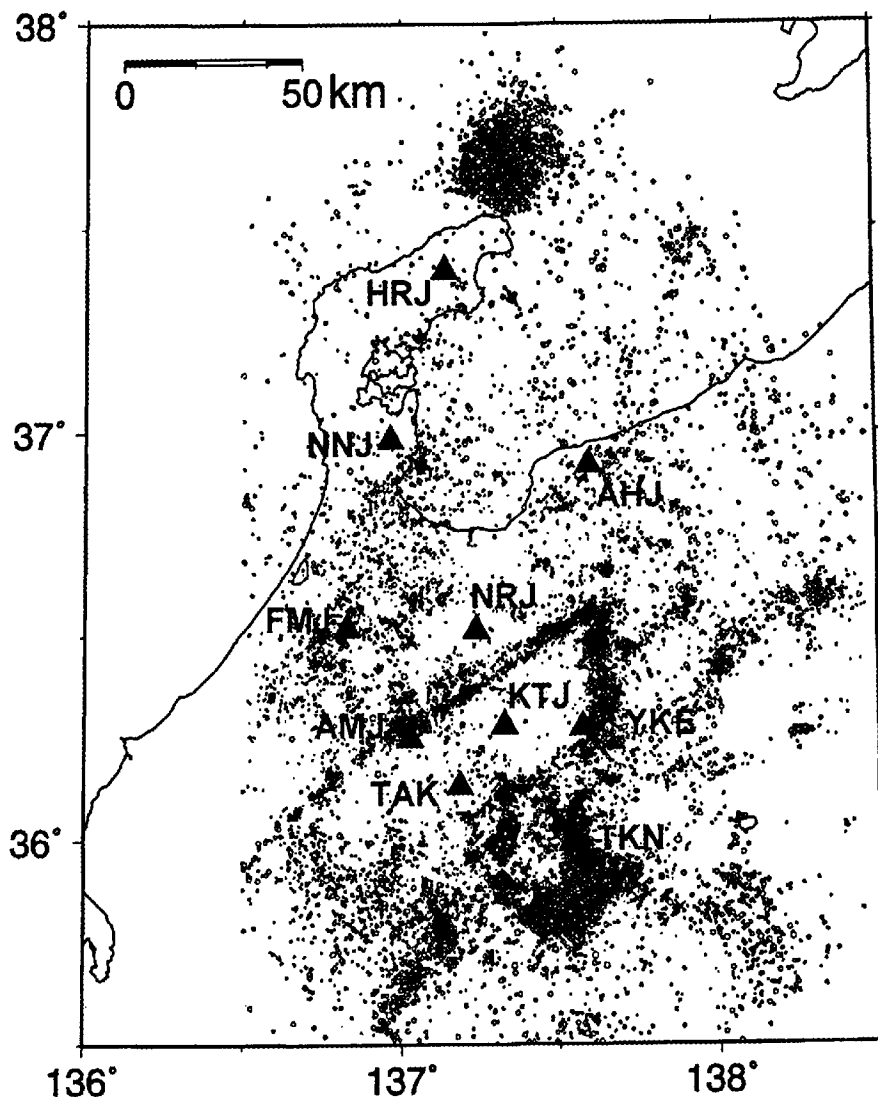


Fig.1. Epicenter distribution of earthquakes from May1977- 1993 during which period wave form data were AD-converted.

Table 1. Coordinates and characteristics of stations of which data were converted to digital database.

Station	code	Latitude(N)	Longitude(E)	Height	S	h	Obs. Period
Kamitakara	KTJ	36.2800	137.3269	760	300	0.7	Apr,1977-
Amo	AMJ	36.2491	137.0283	620	300	0.7	Apr,1978-
Nirehara	NRJ	36.5130	137.2382	220	300	0.7	Apr,1979-
Fukumitsu	FMJ	36.5178	136.8297	290	300	0.7	Apr,1980-
Nanao	NNJ	36.9820	136.9671	340	300	0.7	Apr,1981-
Asahi	AHJ	36.9203	137.5957	230	300	0.7	Apr,1982-
Horyo	HRJ	37.3980	137.1410	210	300	0.7	Apr,1983-
Takayama	TAK	36.1328	137.1842	700	230	0.7	Apr,1984-
Yakedake	YKE	36.2555	137.5698	1150	136	0.7	Apr,1985-
Takane	TKN	35.9837	137.5341	1262	230	0.7	Apr,1986-

S: sensitivity of seismometer (V/m/s), h: damping constant of seismometer

の上下動記録が収録されるようになった。1982-3年には、日本海側の観測網の強化がなされ、能登半島などの観測点を設置したが、1985-6年にこれらを能登系としてテレメータ化した。これらの観測点を震央とともにFig.1に示す。また、これらのデータによって、中部地方北西部の地震活動が詳細に解析された。中でも、跡津川断層に沿う微小地震活動の発見は、活断層と地震活動の関連の研究に大きな影響を与えた(Mikumo et al., 1988)。観測システムについては、上記の文献に記されているが、主な事項をTable 1に示す。地震計は固有周期1秒の上下動で、その信号は増幅されたのち、フィルターをかけて、AD変換さ

れ、NTTの専用回線で上宝観測所に伝送された。上宝観測所ではPCM復調ののち、DA変換され、ペン書きにより連続記録がなされた。また、複数点の信号によりトリガーがかけられ、インク書きトリガー記録が早送り(10mm/s)で収録されるとともに、アナログデータ・レコーダによる収録がなされている。PCMの伝送は12ビット、AD変換は11ビットであるが、データレコーダのダイナミックレンジは約40dbであるので、記録のダイナミックレンジはデータレコーダで決まっている。

刻時は上宝観測所における1台の時計によって、符号化されたスローコードが同時に記録されている。この時計は数mm秒の精度で、NHK(日本の放送協会)

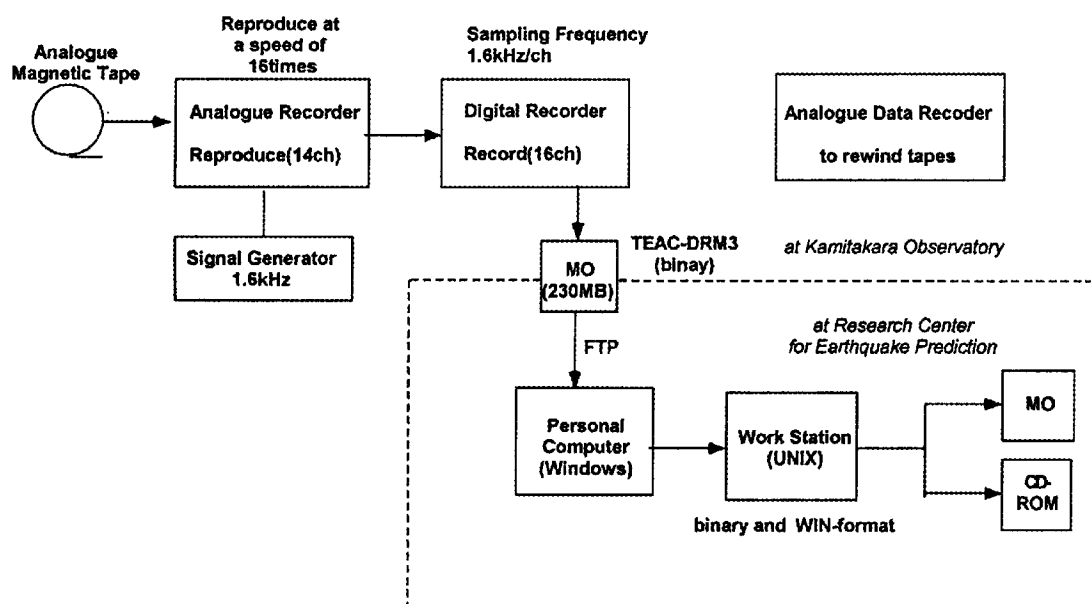


Fig.2 Block diagram for data conversion

の時報またはJJYによって日本標準時に校正されている。

アナログテープ記録（7号リール）は、観測所内の記録室に保管され、空調された部屋であるので、古い記録でも良好に再生することができた。

3. AD変換作業

アナログデータテープのAD変換は、阿武山観測所のデータについてすでになされている。この場合は、4台のレコーダで1トリガーの記録が収録されているので、4台のレコーダの時計を合わせてデジタル記録を得る必要があり、1トリガーごとに記録を時間サーチしてAD変換された。これは多大な時間を要した。今回は1巻のアナログテープを16倍の早送りで再生し、1データファイルとして丸ごとAD変換する方法とした。記録データは100Hzでディジタイズするので、AD

変換は1.6KHzで実施した。これによって、テープ1巻のAD変換を機械的に実施することができ、要する時間は12分程度になった。Fig.2に変換の方法を図示した。

AD変換データは光磁気ディスク(MO)にMS-DOSフォーマットで収録したが、チャンネル数14の場合、アナログテープ1巻が約30Mバイトである。これをワークステーションに転送し、次節で述べる方法でイベントごとのファイルを作成した。

4. イベントの切り出しおよびタイムコードの解説

データ変換作業はワークステーションに転送された磁気テープ1巻分のファイルを個々のイベントに分割するためにいくつかのテープのデジタル波形をプリントアウトしてみた。Fig.3にその例を示す。地震波形13チャンネル時刻コード1チャンネル計14チャンネルの

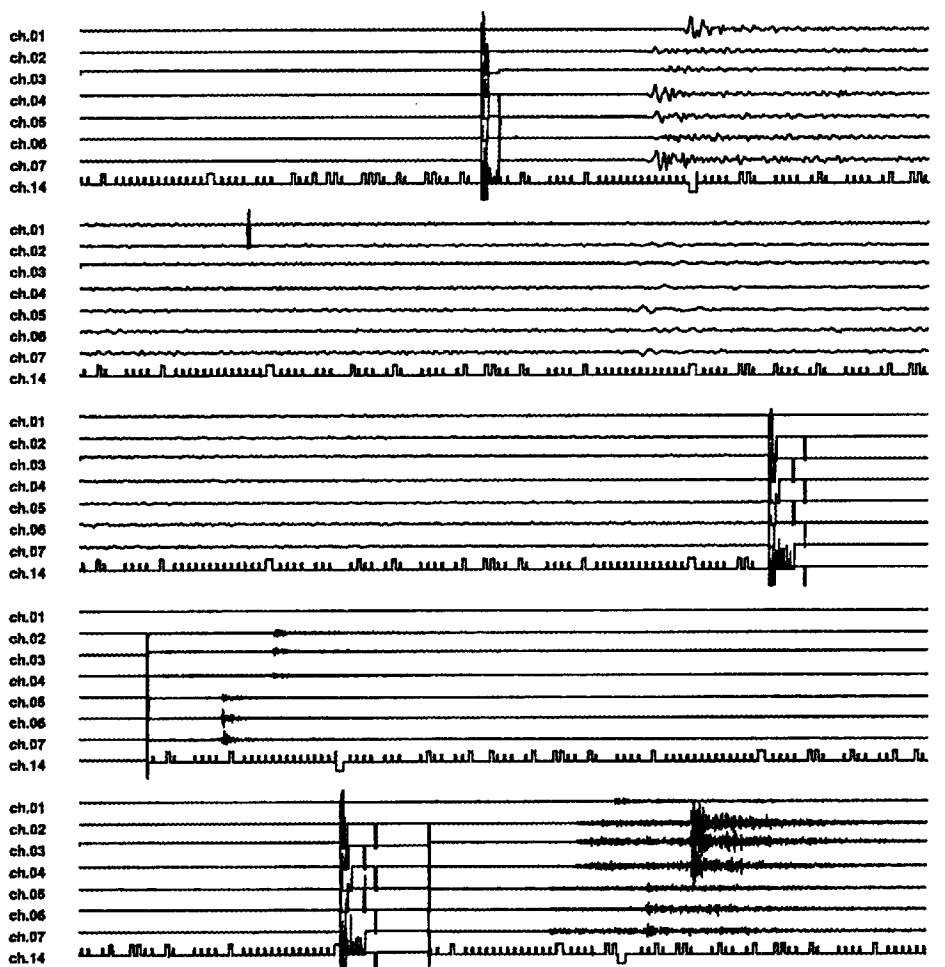


Fig.3 Sample of digitized data. form ch.7to 13 are not displayed.



Fig.4 sample of time code.

データであるがFig.3では8から13チャンネルのデータは省略してある。端から端まで1分で計4分のデータを表示している。磁気テープの起動と停止に伴うドロップアウトが全チャンネルにみられるのでこれをイベントの区切りと考えてデータの処理をおこなうことにした。イベントごとに切りだされた部分は時刻と正確なテープ速度がわからないと解析には耐えられないのでそれを決める作業が必要になってくる。Fig. 4に14チャンネルの時刻コードの例が示されている。図中の下に大きく出ているのがドロップアウトでイベントの境目である。同じく下に0.5秒の巾で出ている信号はトリガーのかかった時刻を知らせるコードである。上に出ている信号で0.5秒の巾の信号が30秒マークである。時刻コードは30秒フレームで30秒マークの後に秒の1位、10位、分の1位、10位、時の1位、10位、日の1位、10位、月の1位、10位の数字が0.5毎の信号の高低を使ったBCD(Binary Decimal Code)で表示されている。図の中央の30秒マークは10月13日6時40分のマーク（この場合は分マーク）である。ただしトリガーマークで分の10位の数の位を表す信号が消されているので50分の可能性もある。このような場合は次のフレームその次のフレームを解釈することによって解決する。1,0 を表す信号や30秒マークの信号トリガーマークは決まった電圧で決まった長さで表示されるものであるがテープの伸び縮みやテープ速度のムラのため必ずしも一定ではない。この例のような比較的採録状況のよい場合には簡単なアルゴリズムで解釈は

可能であるがノイズが多くなるとコードの解釈ミスが多くなってくる。解釈できなかったデータについてはそれを図化し、人間が判読できるようならそのノウハウを解釈アルゴリズムに取り込んで再解釈を行い、より解釈率の良いソフトウェアを作成した。

ただFig. 5に示されるようなテープの場合は信号のレベルよりも時間間隔を重視した解釈アルゴリズムで解析すると判読が可能であるがこれ以上ノイズの多いデータは時刻の判読は不可能である。

時刻コードの次に重要なテープ速度については約100Hz サンプリングであるが正確なサンプリング周波数を得ようとすると 0.5 秒マークや 30 秒マークの立ち上がりになるべく多く読んで統計的に処理する必要がある。今回はイベントの途中ではサンプリング周波数は変わらないものとしてイベントの先頭部分と末尾部分の 0.5 秒マークを数個選んで算出した。

すべてのイベントについて最初の秒マークの時刻およびデータの位置サンプリング周波数についてのファイルを作成した。正確にタイムコードが解釈できなかったイベントについても仮のタイムコードを設定した。

このファイルをチェックしタイムコードの未解釈データが多い場合は原因を調べるとともに必要な場合にはソフトの改訂を行ってファイルを更新した。処理すべきテープが 1,000 巻以上もあるために詳細なチェックが不可能であるがいくつかの体系に分けることによって誤りを最小限に押さえた。

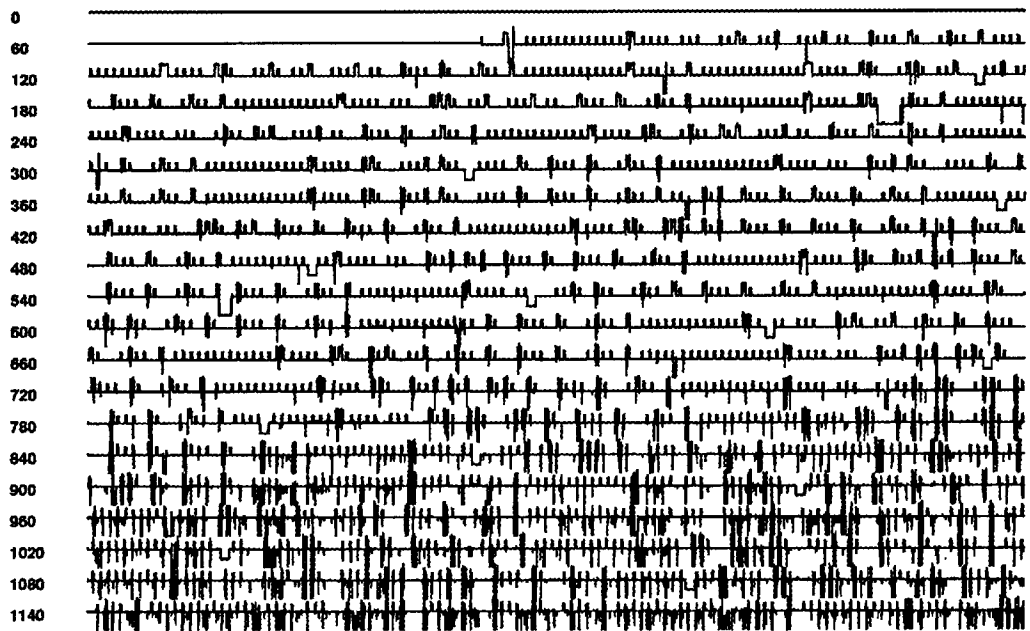


Fig.6 Printout of time codes with much noise. numbers of left side shows time from the first.

5. データ変換作業およびデータベース作成

タイムコードの解読サンプリング周波数の決定の作業がもっとも労力を費やしたが作成されたトリガーファイルをもとにした変換作業は量的には多いために時間は要するがそれほど労力は費やせずに済んだ。作成される波形ファイルは利用されやすさを考慮し地震予知研究センターの地震波形収録システムで採用されている win フォーマットのファイルを作成することにした。サンプリング周波数は 100Hz になるようにデータを変換した。上宝観測所の 1977 年 8 月から 1993 年 7 月まで 16 年間約 1,000 巻の MT は 30G バイトのデジタルデータに AD 変換され、このファイルをイベント毎に分割した地震波形ファイルは 11G バイトになった。これらのファイルの中にはタイムコードの解読できなかったものだけでなくノイズによるミストリガーのデータなどが多く含まれているためデータの検索がスムーズにいくとは言い難い。上宝観測所で読みとり作業の行われた地震については検震表が作成されているのでこれらの地震だけに限ったデータファイルも作成した。このファイルには、検震表のデータの 70% のデータが収録されている（ファイルの量は 2.5G バ

イト）。最初のデータファイルについては CD-ROM に観測点情報地震計情報を含めて収録し win プログラムで解析可能にした。Fig. 7 に プログラムで表示された波形データの例を示す。

6. おわりに

近年の計算機の機能向上優れたソフトウェアの登場に伴い地震波形データの種々の解析が容易に行われる状況になってきた。一方デジタルで利用効率のよいデータが得られ出してからそれほど時間は経過していない。地震活動の時間的な変化を調べるに十分なデータがあるわけではない。20 年近いアナログ記録はそれらを行うために重要なデータにかかわらず AD 変換の作業の繁雑さからデジタルデータとしての再編集は行われてこなかった。今回磁気テープの一括高速変換によるデジタル波形データの作成は開発段階の域を出ないため多大の労力を要したがこのノウハウを生かせばこれからの作業は労力的には楽になると考えられる。また、データの量が多いため、作業を機械的に進められることを重視したので、時刻コードの解読率が 70% 程度にしかならなかったが、時刻コード解読ルーチンの高精度化により、より多くのデータが利用可能になると

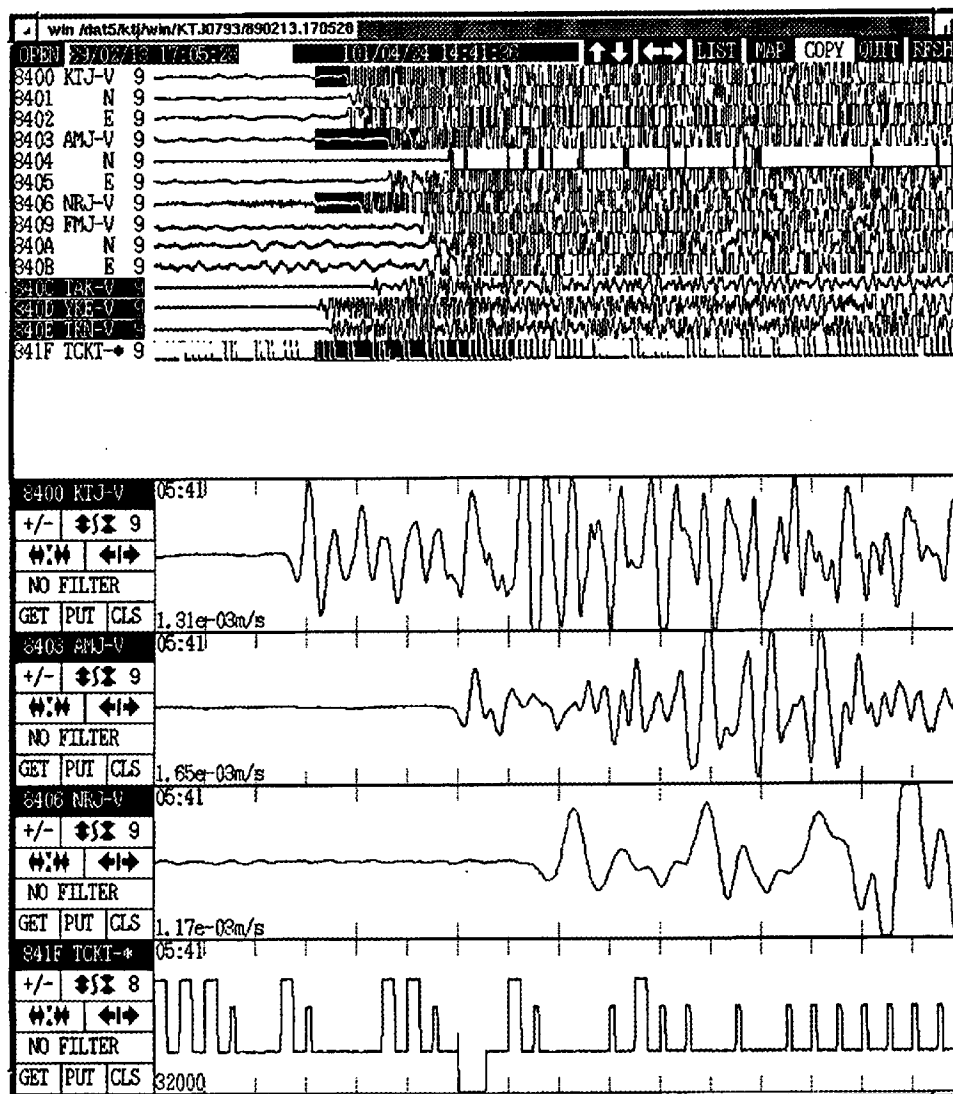


Fig.7 Sample of display by win program

考えられる。

今回、上宝観測所のデータを対象に行ってきたがほかにも北陸観測所や鳥取観測所には上宝観測所に匹敵あるいはそれ以上のアナログ記録を有している。MT再生装置が旧式で故障に対して対応不能な場合が多々あることを考えても早急にデジタル化をする時期かもしれない。

参考文献

- 上宝地殻変動観測所・地震予知計測部門 (1978) :
上宝地殻変動観測所の地殻変動・地震観測テレメ
ーター・システム, 防災研年報, 21B-1, pp119-135.
- Mikumo, T., H. Wada nad M. Koizumi (1988):
Seismotectonics of Hida region, central Honshuu,
Japan, Tectonophys., 147, pp.95-119.
- 和田博夫・岸本兆方 (1974) : 跡津川断層付近におけ
る微小地震活動第1報, 地震 27, pp. 1-9.
- 和田博夫 (1975) : 跡津川断層付近における微小地
震活動第2報, 地震 28, pp. 113-124.

Digital database construction for earthquake waveforms from analogue tape records

Kazuo MATSUMURA, Kiyoshi ITO, Shiro OHMI, Hiroo WADA and Anshu JIN

synopsis

Analog data of seismic wave are stored for longterm more than 20 years in the observatories of Reaserch Center for Earthquake Prediction. In order to digitize and convert a large quantity of data, new operation and software for converting to digital records are developped. Using thi oration and software More than 1,000 MT records which is accumulated in the Kamitakara observatory in 16 years until July, 1993 from August, 1977 were processed. Constructed digital data files are easily used and analized by win program.

Keyword: Analog data, Seismic wave data, AD convert, database for seismic wave data