

パソコンによる地震波形の収録と読み取り

平 野 憲 雄

A NEW SOFTWARE SYSTEM FOR A PERSONAL COMPUTER TO OBSERVE AND READ SEISMIC WAVES

By *Norio* HIRANO

Synopsis

A new software for a personal computer to observe and read the seismic waves has been developed. The software consists of three programs, viz. multi-channel seismic wave observation, digitization of waveforms and manual reading of seismic phases on CRT display. Programs are written mainly in BASIC language. However, assembly language has also been used while transmitting waveform data from CPU to hard disk unit and vice versa, as well as for displaying those waveforms on the screen in order to process them faster. The software has been tested in practice and its usefulness ascertained.

1. は じ め に

地震波形をデジタルで処理しようとする、大容量のメモリーが必要である。パーソナルコンピュータ（以下パソコンと略す）にも大容量の補助記憶装置が接続出来るようになり、大量のデータの扱いが簡単になった。著者は補助記憶装置に20Mバイト(B)の容量を持つハードディスク（カセットストリーマー付き）を採用して、地震波形の収録から波形の読み取りまで処理できるシステムを開発した。パソコンのOS（OPERATING SYSTEM）としてはBASIC言語が広く普及して使われているが、このような大量のデータを迅速に処理するには作られてなく、不便である。そこで、BASIC言語だけでシステムを構成するのではなく、波形データの入出力の部分と、画面に波形表示をする部分とをアセンブリ言語に置き換えて構成した。これにより、演算結果を素早く画面に表示できるので、システムとの対話がスムーズに行なえるようになった。このシステムは幾つものプログラムから成っており、大別すると次のような3つのグループに分けることができる。

#1, 多成分地震観測

#2, アナログ再生機からの波形収録

#3, マウスを使った画面表示波形の読み取り

このシステムの機器構成は **Fig. 1** に示すように、3つのグループが共有する部分と、それぞれのグループが必要とする部分（点線で囲まれている。）とで構成されている。このシステムはフロッピーディスクの方に格納されており、それぞれの目的によってその都度プログラムをロードして実行するようになっている。また、ハードディスクとカセットテープとのデータの転送はマニュアル操作によって行なう。この操作により、デジタルの波形データをカセットテープ上にも保存できるので、データのバックアップ効率が高くなる。

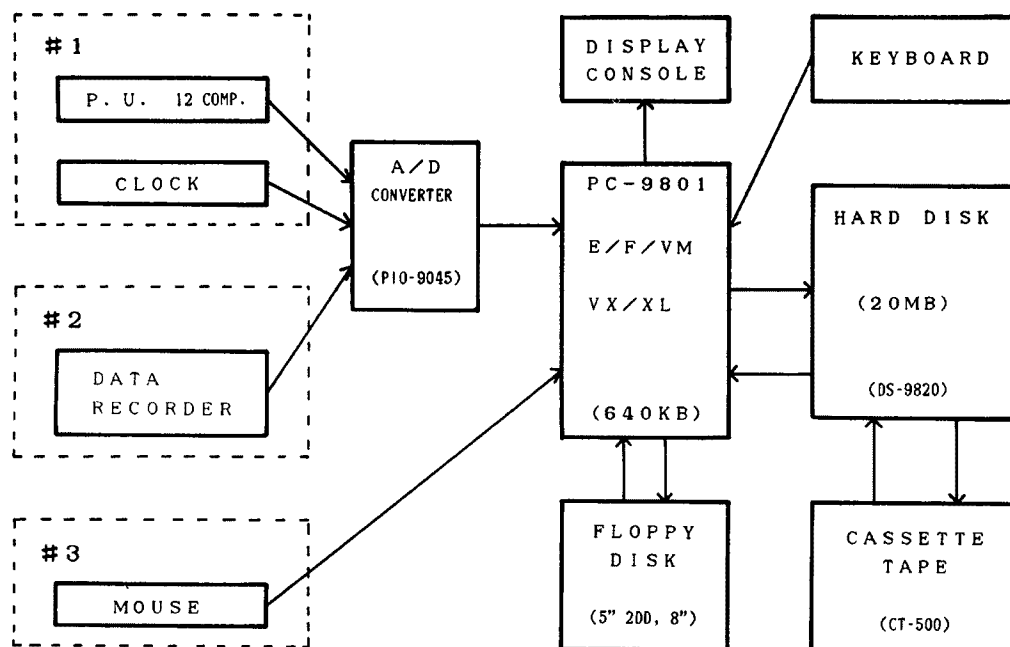


Fig. 1. Block diagram of the present processing system.

2. #1, 地震観測

#1には2つのプログラムがある。即ち、1014 Hz のサンプリング周波数 (sf) で記録長12秒の高速型と、214 Hz、60秒の低速型とである。採用したA/D変換ボード (PIO-9045 I・Oデータ機器社製) は12ビット用のADC (A/D CONVERTER) と、16チャンネルまで取り込めるマルチプレクサ付きで、外部電源を必要としないものである。また、入力電圧の設定は色々あるが、高速型は±10Vを、低速型は±2.5Vを採用した。このプログラムは、停電復帰後も観測を自動的に再開させる為に、オートスタートが働くようになっている。

観測を開始すると、サンプリングされた波形データは1チャンネル当たり32Kバイトのメインメモリー (RAM) 内をループしながら常に記憶されている。トリガー判定によって地震だと判断されると、波形収録後に観測を一旦停止する。ここで、タイムコードも12ビットの形で収録されているが、基本的にはONかOFFのデータであるので、これを1ビットの形にして波形データと合わせて13ビットにして、メモリーを節約した。このように、RAM上の全波形データを13ビットのデータとして合成し、トリガーの前の遅延時間に対応するアドレスから記録長に対応する範囲のデータを、地震番号に従ったハードディスクの領域に転写する。そして登録数を更新して観測を自動的に再開する。

観測停止から再開までの欠測時間はビットの合成の時間とディスクへの転写時間との和で約10秒間である。

登録数が60個になれば観測を中断し警音を10秒間隔で出力する。カセットテープにハードディスクの全内容をコピーした後、観測を再開させると、次の地震から1個目の地震として同じ領域に書き込むので、以前のデータは新しい地震を検知するごとに消されて行くことになる。

2.1 画面情報

観測画面に表示される情報は、イベント登録数、最後に登録された時刻、トリガー条件、内部時計の校正の有無などで、BASICによって提供される。Fig. 2に低速型の場合の画面を示す。高速型の場合の表示はトリガー時刻の代わりに波形収録終了時刻が、現時刻表示の代わりに内蔵時計の校正の有無の文字が表示される。一方リアルタイムの情報として、次々に取り込まれる信号のうち8成分の波形振幅の瞬時値が、

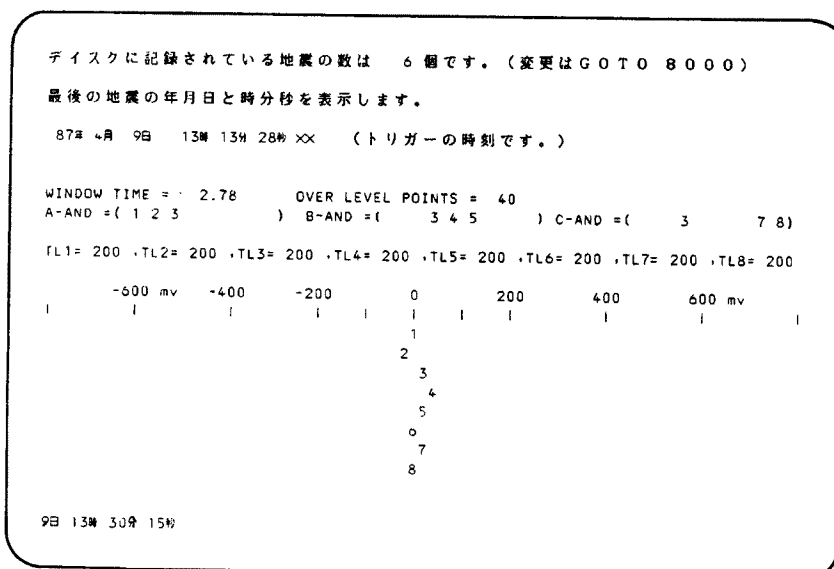


Fig. 2. Informations of the system shown on a graphic display by #1.

それぞれ8文字(1~8)の表示位置(画面中央に縦に並べて表示しておき、+なら右、-なら左のそれぞれの瞬時値に応じた位置)に変換された後、画面(VRAM)に常時出力されている。この文字の位置はサンプリングごとに変わる。高速型の場合には、次のサンプリングの時期までに8成分を全部表示する時間が足りない。従って、1回の表示成分数を減らして2成分1組(2文字)とし、4回のサンプリングで4組を順次画面表示すると、8成分の波形の瞬時値は1/253秒ごとの表示になる。文字は画面上で左右5mmのステップごとに表示されるから、波形振幅の急激な変化は文字のちらつきとなり滑らかな動きにはならないが、8チャンネルのオシロスコープのごとく波形のモニタができる。従って、8つの地震計からの信号出力の状態と観測状況がこの1画面によって把握できる。

2.2 トリガー条件

トリガーの方法は8つまでの成分を用いて判定出来るようにした。即ち、あるウィンドウタイム内(1~10秒間)において、トリガーレベル(8成分それぞれに与えてある)を超えたデータポイント数(OVP)を各成分ごとに監視しておく。ウィンドウタイムはサンプリングごとに移動して行くので、当然このOVPも波形の振幅に対応して変わって行く。これら8成分のうちで、このOVPがある閾値を超えたものだけを、ANDとORの組み合わせにより地震だと判定するようにした。ORは3組あり、それぞれの組は任意に選んだ3成分のANDで構成される。

ディスクヘデータを転送し終えたら直ちにAD変換を再開するが、最初のウィンドウタイム内でANDの条件を満たしていても、トリガーの判定をせず、地動が静かになるのを待って判定を始める¹⁾。

2.3 トリガー時刻

低速型の場合はトリガーの時に、高速型の場合は波形取り込み終了の時(トリガーをしてから10秒後の時刻)に、それぞれカレンダー時計から入力して採用し²⁾、トリガー時刻として解読を助けるようにした。このカレンダー時計は1日1秒程度の誤差を生じる為、校正をしなければならない。校正の方法は、親時計からの情報(A/D変換を中止する為の8時59分57秒のパルス信号と正時に合わす9時00分のパルス信号)をA/D変換器の15, 16 CHから受け取り、1日1回親時計と一致させる。この為、高速型は毎日3秒間の欠測を生じることになる。

トリガー時刻は1チャンネルの波形データの最後のセクタ(256B)に記録される。

2.4 波形データの登録

データが大量の場合、ハードディスクとのデータの転送は、NEC の OS にある内部ルーチン³⁾を使ってトラック (33セクタ=8,448 B) 単位で行なうのが最も高速で効率が良い。1成分を3トラック (25,344 B) とすると1個の地震は36トラック (304,128 B) となり、OS 領域を避けて割りふれば60個まで登録できる。空の領域を残さずに使えばもっと登録できるが、トラックアドレス指定が複雑になり、プログラミングの労力に比べて割りに合わない。RAM に収録された36トラック分のデータの転送はこのルーチンを使っても約5秒間かかる。ちなみに、BASIC で転送すると BSAVE 文でも約1分間、ファイル (セクタ=256 B) 扱いでは数分間、かかってしまう。もちろん、この時間は欠測となる。

この内部ルーチンは読み書き専用で、チェックの為の情報は出すがデータの保護機構が付いていない。本システムではディスクエラーがないものとして使用している。従って、高速ではあるが、エラーがあるとデータを書かずに次の処理に移ってしまう恐れがある。これを防ぐ為に、このシステムでハードディスクを使う場合には、前もって、あるいは時々処置として、データの転送が正常になされているかどうかを知っておく必要がある。この為のチェックルーチン (あるデータをディスクに転送し同じデータが転送されてくるかどうかのプログラム) も作ってフロッピーに入れてある。

万が一ハードディスクに1Gを超えるようなショックを与えた時などは、このプログラムでチェックをするが良い。

BASIC では意識せずに済むが、内部ルーチンを使う場合は、ヘッドクラッシュ (ヘッドが媒体と接触して傷だらけにする事) を防ぐ為に、アクセスが終わったら必ずヘッドを未使用シリンダへ待避するルーチンを使っている。また電源瞬断時には、ハードウェアの処置としてヘッドをすぐさま待避するようになっている。

2.5 サンプリング

波形の取り込みの流れは、次の(1)~(6)の過程の全てをアセンブリ言語で組み立ててある。

(1)内蔵の16ビットカウンタ (タイマコントローラ) からサンプリングの時期を読み取ったら⁴⁾、(2) A/D ボードに対して変換すべきチャンネルを指定し、(3) A/D 変換命令を出す。(4) 変換終了のビット情報を受けたらデータバス上の信号を AX (アキュムレータ) に取り込み、(5) 転送先である RAM のセグメントアドレスを指定し、(6) データを RAM に転送する。

以上、(2)から(6)の命令を成分数だけ繰り返せば良いのだが、全成分の変換終了までの時間は LOOP 命令 (繰り返し命令) などを使って短くプログラミングするよりも、成分数だけ長々とプログラミングした方が早く終わる。また、この A/D ボードは(3)の後、A/D 変換の間に、次のチャンネル指定を受けつけるので、2回目からは(2)の時間を短縮でき、更に早く終わらせる事が出来る。このようにして、全チャンネルの1回のサンプリングは、CPU (CENTRAL PROCESSING UNIT) のクロック 8 MHz の時 300 μ sec (10 MHz では 240 μ sec) と高速になった。従って、次のサンプリングの時期までに時間の余裕がとれ、トリガーの判定を複雑にしたり、画面表示の情報量を多く出力することができ、プログラミングも楽になる。しかし、サンプリングの速度をこれ以上早くするには、A/D 変換以外の処理をより簡略化しなければならない。また、16 CH で 3 KHz をこえる場合はサンプリングの時期をハード的に知るようにしなければならない。

ここで考慮しておくべきことは、1つのサンプルホールド用 IC で多成分を取り込む場合には、成分間の時刻差が上述のごとく最大で 300 μ sec 近くある事である。

2.6 試験観測

高速型では、長野県王滝村において、約 1 km のスパンで構成された観測網 (UD 成分7点) の信号を分岐して受け、1986年9月14日から16日にかけて、試験観測を行なった。トリガー条件は、ウィンドウタイムを1秒間、AND は7観測点の内から1, 2, 3を選び、トリガーレベルをノイズレベルの2倍程度にした。

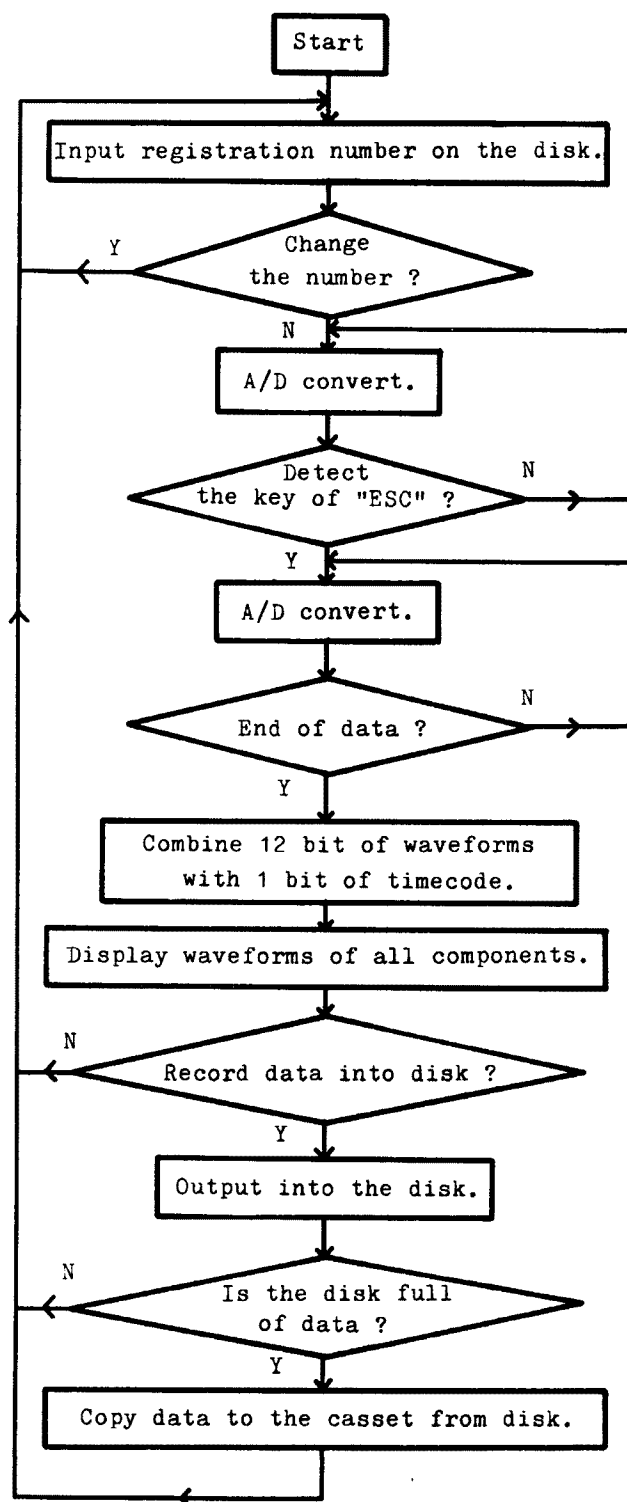


Fig. 3. Flow of waveform registration program (#2).

結果として109個のイベントが登録され、85個のイベントに88個の地震を記録することができた。残りのイベントは土木工事によるノイズであった。

低速型では北陸微小地震観測所内において、テレメーター装置から低倍率の出力を受けて、1987年2月25日から観測を続けており、2ヶ月程で80個のイベントが登録されている。

これらの結果から、このプログラムは実際の観測に於いて十分実用的であり、地震波形の詳細な研究にも大きく寄与するものと思われる。

3. #2, アナログ再生機からの波形収録

このプログラムは、アナログの形で MT などに大量に蓄積されているデータをデジタルの形に変換するものである。デジタルの形になれば色々な波形処理がパソコンで出来、#3のシステムで読み取り処理する事が可能になる。

#2は前述の観測用プログラムを改造したものである。アナログ再生機の出力を A/D ボードで変換して入力し、手動トリガー (ESC キーを押すこと²⁾) により収録をし、画面に表示された波形を確認して、ハードディスクに登録してゆくプログラムである。トリガーのかかる前の画面情報は観測画面と基本的に同じである。

sf は 214 Hz と 2025 Hz の 2 種類であり、記憶容量は 1 成分当たり 2,5344 B である。従って、MT 再生機のように再生速度が可変な場合は、速度に応じて sf や記録長が変わることになる。sf が 214 Hz の場合では 1 分間の波形取り込み時間になるが、sf が 2025 Hz の場合は A/D 変換終了までの時間が 6 秒と短く、再生作業が迅速に行なえる。また、オシロスコープの代わりに画面上の 8 文字がしてくれるので、MT における波形の頭出しも容易である。

Fig. 3 に波形収録のフローチャートを示す。ディスクへの登録番号を指定したら、画面の 8 文字の動きをみながら波形の頭出しを行なう。頭出しの後、再生機を起動し、適当な時に ESC キーを押すとデータ収録が開始され、同時に画面下部に収録中である事を示す文字列が表示される。波形収録終了時には警告音が出され、再生機の一時停止を促してくれる。続いて、#1 と同じように 13 ビットのデータを合成した後、収録された全波形を 1 画面に収まるように縮めて表示する。この画面を見てハードディスクに登録するかどうかを選択する。(全波形の画面表示は約 0.2 秒しかかからない。) 取り込み失敗ならば再度頭出しをして同じ操作をすれば良く、成功ならばディスクに登録する。そして、次の地震波形の頭出しをして、同じ操作を繰り返す。60 個の地震波形データの取り込みが終わればカセットテープに転写し、始めにもどって操作を繰り返すことができる。

sf を 2025 Hz にした場合、再生機の再生速度によってはタイムコードの 1 フレームが記録長に収まらなくなり、時刻の解読が不可能になる事がある。このような時には、1 フレーム以上のタイムコードを記録紙などに控えておいて、解読を助けねばならない。近い将来タイムコードを解読するプログラムを作る予定なので、再生時に 1 フレーム以上出力するようにすれば、この欠点がなくなる。

4. #3, 波形の読み取り

4.1 波形の表示

従来、北陸微小地震観測所では、波形の読み取りを座標読み取り装置に記録紙を乗せて読む方法を採用しており、実際の観測方式からみても手軽であった。最近では、画面上への波形表示が可能になり、読み取りも画面上で行なうことが求められるようになって来た。今のところ、画面におけるドットのピッチは 0.25 mm なので、波形を精密に再現しようとする、部分的な波形しか表示できないことになる。従って、読み取りの際には、波形の縮尺や表示範囲を頻繁に変えて画面に出力しなければならない。この出力の部分を高速化するために、BASIC の代わりにアセンブリ言語で実行させている。即ち、画面表示専用の LSI のメモ

リーと直結している VRAM に、直接画面データを書き込む方法で、波形の再現を素早くできるようにした。

4.2 読み取り方法

このプログラムはディスクにある60個のイベントを1個ずつ RAM に転写し、RAM 上のデータから部分的な波形を作って画面に表示し、その波形から読み取られた値をフロッピーディスクに記録して行くものである。波形の読み取り方法は、RAM 上の任意のデータを任意の縮尺にして、高速で波形を画面に表示し、マウスによってカーソル⁴⁾を読み取るべき波形に合わせ、左のボタンを押すだけである。このボタンが押されると、画面の座標値から時刻や振幅の値に換算されて読み取り値となり、また、読めない場合は、右のボタンを押すと、既定の値で読み取り値の代用をし、次のステップに移って行く。ただし、タイムコードの読み取りはコードパルスを肉眼で読んで解読し、キーボードから入力するという方法である。

プログラムには12成分を全部読み取る為のものと、観測点の配置等に応じて必要な成分のみを効率良く読むものとがある。後者は、1986年秋に行なわれた長野県王滝村での合同観測⁵⁾で記録されたデータを、読み取り用に合わせて開発されたものである。以下に、後者の場合を例として説明する。

4.3 読み取り手順

ハードディスクに登録番号を指定すると Fig. 4 のように全成分の地震波形が表示される。振幅は 1/16 に、サンプリングは10個おきに表示されているが、キー入力によって変更可能である。この画面で別の地震波形を指定するステップへ戻るか、読み取りのステップへ移るかを判断する。次にタイムコードの特定の立ち上がりの時刻をキー入力する。次のステップでは、Fig. 5 のように時間軸方向に於いて、最大に拡大された（画面は横方向に 640ドット×0.25 mm なので3秒間の記録になる。）タイムコードと、この表示範囲が、収録されている1分間データのどの部分であるかが示される。また、同じ時間帯の3観測点の UD 波形も画面下部に表示される。そこで、前のステップで入力した立ち上がりが画面上に現われるまで、キーボードからの操作により波形の表示範囲を移動させる。マウス本体を前後左右に動かして画面上のカーソル（+印）を目標の立ち上がりに一致させて（一致した部分は消える。）読む。この時点で、先程キーから入力した時刻が波形データのアドレスと結合される。それからP波の近くのコードの立ち上がりを同じようにして読む。次のステップは波形の読み取りで、P、ランク（Pの時刻精度）、ポラリティ（1/4周期の頂点

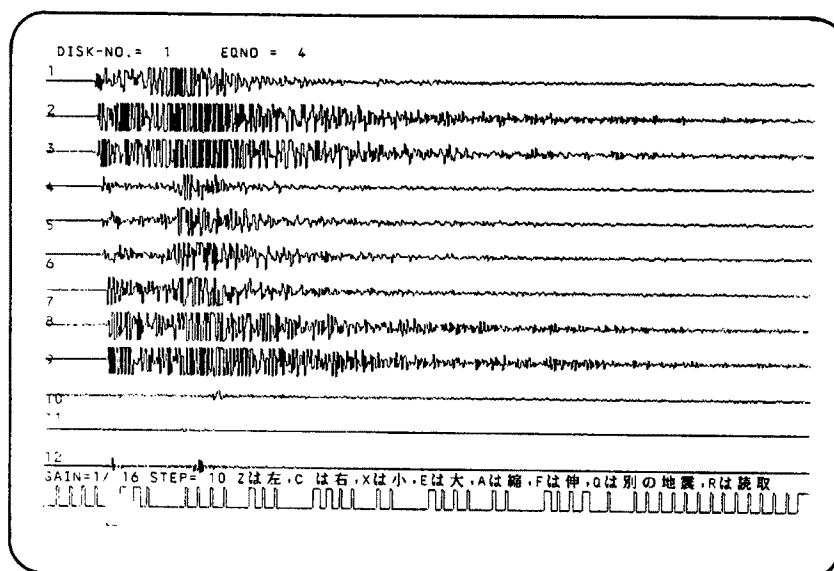


Fig. 4. Example of all waveforms shown on the graphic display.

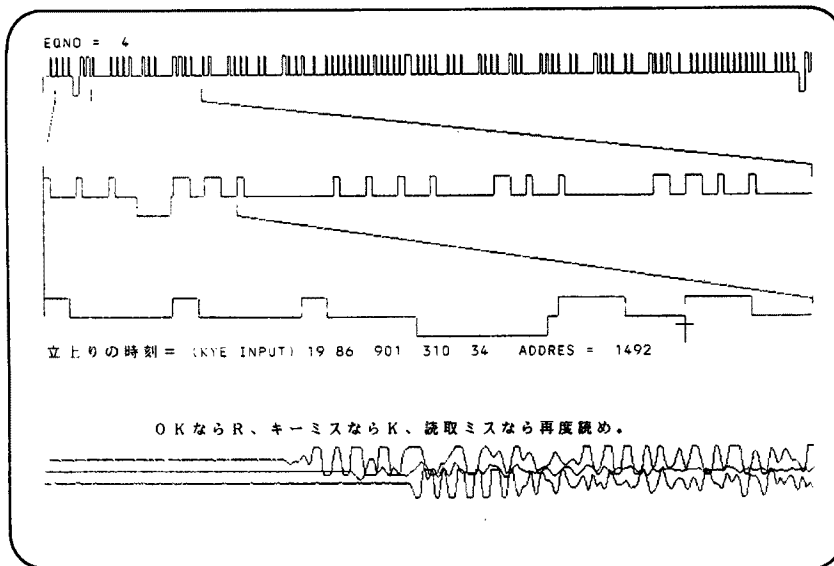


Fig. 5. Displayed time code with waveforms for reference. Onset of the time code can be read using a mouse.

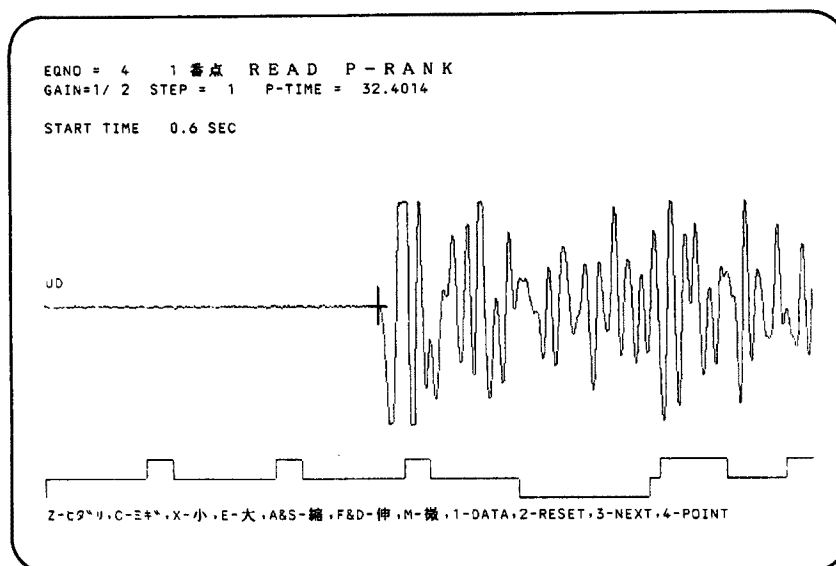


Fig. 6. Example of the waveform with the cross mark which can be moved on to the P onset for reading.

を読む), S波, ランク (Sの時刻精度), 最大振幅と順序良く読み取って行く。Fig. 6に P-RANK を読む時の画面を示す。振幅は1/2に, 時間軸は1/1で表示されている。波形によっては読めない場合や読み直しなどがあるので表示の縮尺を変えたり, 任意のステップへ移れるように専用のコマンドをキーボードから入力するようにしている。キーの配置は, 波形の左右の移動にZとC, 振幅の大小にEとX, 時間軸の圧縮にAとS, 伸張にFとD, を文字の意味に関係なく左手の形から決めた。また, 読み取りは自動的に1チャンネルから次のチャンネルへと移って行くが, 途中での読み取り値の確認用に1を, 波形の読み直し用に2を, 読みとばし用に3を, 成分指定用に4を, またP波の振幅が小さくて読み難い場合は, 3観測点の

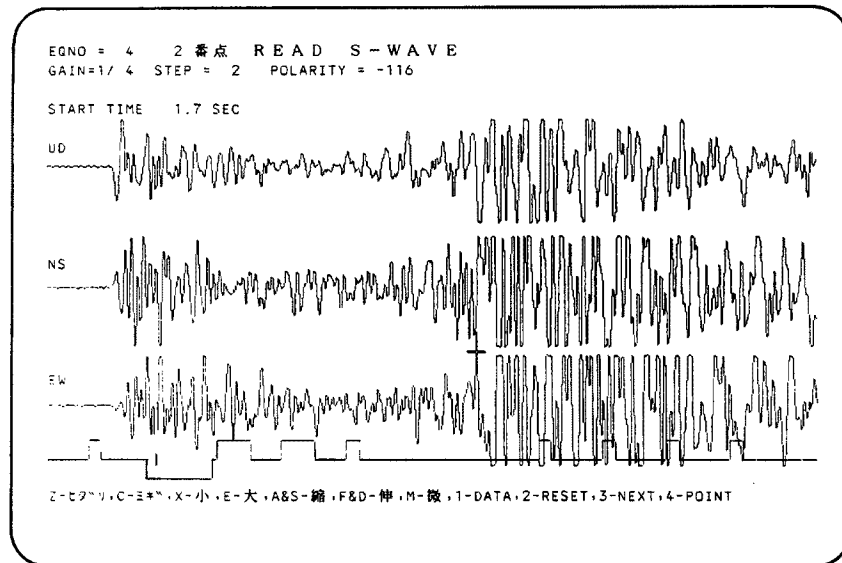


Fig. 7. Same as Fig. 6 for S time reading.

UD 成分を同時に表示するM等のキーも用意してある。S波を読む時は **Fig. 7** のように3成分を同時に表示したり、低倍率の成分と一緒に表示したりして読み取り易くしてある。Fタイム(地震波形の終了時刻)を読む時は3観測点のUD波形を時間軸方向に縮めて表示し、Pが読まれている成分から1つを選んで読む。

1つの地震波形の読み取りが終わると、**Fig. 8** のように3観測点の波形と読み取り値が一緒に表示される。ここで、フロッピーに読み取り値を登録するか、それとも、どこかのステップの読み取り手順に戻るかを選択する。

このようにして左手をキーボードに添え、右手にマウスを持ち、画面から読み取って行くと、約3分間で1個の地震を読み終えることができる。これは、座標読み取り装置の上で記録紙をめくって読む方法と同程度の速さである。また、読み取り手順も同じ画面上部に表示されているので、読み取り作業を中断しても、

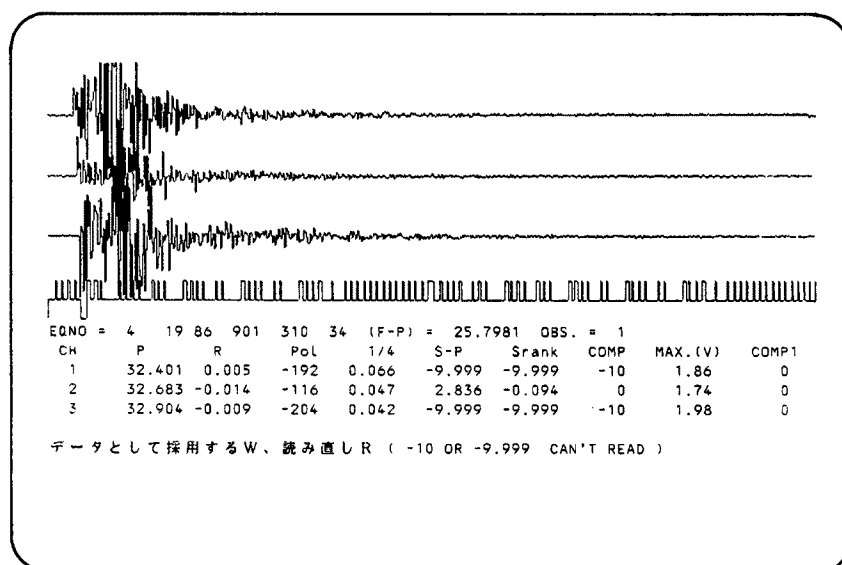


Fig. 8. Read values with waveforms.

容易に再開続行できる。

フロッピーへの登録はランダムアクセスのファイルにしてあるので、後日、読み取られた地震の個数の確認ができ、作業の続きを素早く開始できる。また、データの追加や修正も容易である。

5. お わ り に

長野県王滝村で合同観測された600個近くの地震波形の再生処理には、これらのシステムが有効に使われた。#2により早送りの記録紙を作らずに済み、代わりにデジタルデータとしてカセットテープ(10巻)に保存できた。波形の読み取りではこのカセットテープと#3のソフトを数人に渡して、読み取りの作業時間を大幅に短縮する事が出来た。このように波形の処理が簡単に且つ迅速にできたのは、広く普及しているパソコンを用いたためと、作業を多くの人で分担できた事が理由であると思われる。

特に、アセンブリ言語で作られている波形表示ルーチンは1つのサブルーチンとして扱えるので、目的に応じた引数を BASIC で渡してやれば、成分ごとに色を変えたり、数成分同時に表示したり、また時間軸をずらした特殊表示など、観測内容に合わせた画像処理が可能である。ここに示したソフトウェアは今後要求される、さらに高度な画像処理の基礎となりうるものであると考える。

論文作成に当たって種々御教示下さった岸本兆方教授と竹内文朗氏、開発に当たって暖かい御援助を頂いた西上欽也氏、および色々議論して頂いた微小地震部門の各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 平野憲雄：パソコンを用いた臨時地震観測システム，京大防災研年報，第29号 B-1，1986，pp. 29-37.
- 2) 川村 清：PC-9801解析マニュアル〔第0巻〕，秀和システムトレーディング株式会社，1983，pp. 27-28. pp. 191-196.
- 3) 山内 直：ディスクシステム解析マニュアル〔第4巻〕，秀和システムトレーディング株式会社，1985，pp. 210-217.
- 4) 徳田恵一・安部 健：インタフェース解析マニュアル〔第5巻〕，秀和システムトレーディング株式会社，1984，pp. 61-76.
- 5) 青木治三：地震学会講演予稿集，1987，NO. 1，pp. 18.