

パソコンによる波形のモニターおよび光ディスクへの 連続波形収録システム

平野 憲雄

A CONTINUOUS OBSERVATION SYSTEM OF SEISMIC WAVES USING A PERSONAL COMPUTER AND AN OPTICAL DISK

BY *Norio* HIRANO

Synopsis

A new continuous observation system of seismic wave has been developed. This system produces the digital data base of waveforms using a personal computer (16 bit) and an optical disk (800 Mbyte), in stead of the usual pen-writing system. Analogue waveforms from 7 stations are digitized into 8 bit data with a sampling frequency of 61 Hz. These data are written in an optical disk every 15 minutes with some informations in the header. This kind of recording can be continued during 10 days without changing the optical disk. Waveforms are displayed on a screen for the purpose of real-time monitoring.

1. はじめに

北陸微小地震観測所では1976年5月よりテレメータによる微小地震の観測が行なわれている¹⁾。トリガー方式によって得られた地震の個数は1988年12月末で15,275個になり、貴重な波形データが蓄積されている。また、トリガー方式では捕らえることができないような小さな地震の観測や波形のモニターを目的として、連続記録方式の長期間ペンレコーダ²⁾（以後 LTR と略す）による7観測点分のデータ収録も行なわれている。LTRの記録紙の1ページ当たりには1観測点の2時間分が記録されており（記録速度は4 mm/sec）、12ページ毎にその日の日付が記入され、1ヶ月毎に7冊ずつのバインダーにファイルされている。

LTRによる記録は、主にF-Pタイムの読み取りや余震の個数の調査などに利用されているが、バインダーから目的の地震波形を探し出すのに手間を要するなど、必ずしも利用し易い記録方式とは言えない。また現在の記録方式を継続していくとバインダーの数が膨大になり（現在までの13年間で1000余冊）、保管場所も分散してその利用に不便を生じることになる。以上の理由より、保管する場所を広く占有せず、より使い易い高密度の記録媒体を利用した地震波形の連続記録方式が望まれている。

そこで著者はLTR方式に代わるものとして、パーソナルコンピューター（以後パソコンと略す）を用いて、波形データを光ディスクに収録し、また波形のリアルタイムモニターは画面表示で行なうシステムを開発した。大容量の記録媒体としては磁気テープ（例えば、記録密度 6,250 bpi ので2400フィートのテープの場合では22.5メガバイトの容量）などがあるが、外部磁気の影響によってデータが破壊され易いことや磁性体が劣化するなどの欠点を持っている。一方小型で大容量（数百メガバイト）のコンパクト光ディスクは、バインダーとの体積比が約1/20と小さい上に磁気テープより一桁大きい容量を持ち、また磁氣的に破壊される

こともない。従って、このような光ディスクを採用することにより、データの収録が効率的になり、またその保管も容易になる。さらに、デジタル化する事により波形を画面上に高速に表示したり、収録したデータにフィルター等の前処理を行なって地震の検索をすることなども可能となる。

システムの開発にあたっては、このように単に記録媒体を変更するだけではなく、地動波形のリアルタイムモニター、および種々の波形処理・解析に使用できるデータを検索し易い形で収録する事に重点をおいた。

2. 波形収録システム

2.1 ハードウェア

今回開発したシステムの機器構成を Fig. 1 に示す。パソコンは NEC 社製の PC-98 シリーズ (VM, XL, XL² など) のうち V30, 80286, 80386 のプロセッサを搭載しているものであれば良い。上位機種になるほど、処理速度が速くなり、A/D 変換の合間に処理する波形のデータ量を多くすることもできるが、今回は下位機種の命令実行速度を基準として適応可能な機種の範囲を広げた。16 K バイト (以後バイトを B と略す) のディレクトリー領域をフロッピーディスクに設けても良いが、15 分間毎に行なうディレクトリーの更新の時間を短くするために本システムではハードディスクの方を採用した。容量はプログラム (24 KB) を含めても 5 MB のハードディスクで十分である。光ディスク装置はリコー社製 (RO-5040WL) で媒体の記憶容量は両面で 800 MB である。また追記型であるので、一旦記録すると磁気記録の様には二度と消すことが出来ない。光ディスクに転写する最小の単位は 1 ブロック (2048 B) で 0 から 191,951 までのブロックアドレスを指定できる。1 回の最大転送量は 256 ブロックであるが、パソコンの DMA (Direct Memory Access) の制限により 32 ブロック (64 KB) までである。A/D 変換器は I・O データ機器社製の PIO-9045 で、16 チャンネルのマルチプレクサー付きで 12 ビットの分解能を持っている。これは外部から電気信号を受け取るか、あるいはソフトウェアからの命令を受け取るかのいずれかの信号により A/D 変換を開始し、サンプリング用の発振器を内蔵してはいない。A/D 変換器に入力される波形データは本観測所のテレメータ出力 (7 成分) を 30 Hz

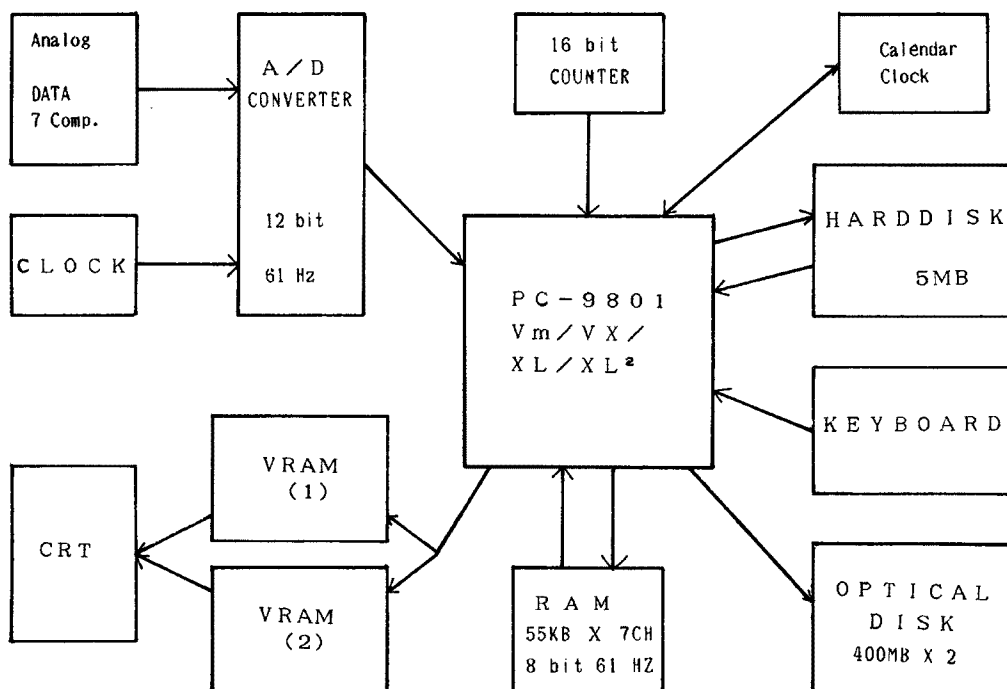


Fig. 1 Block diagram showing a continous observation system.

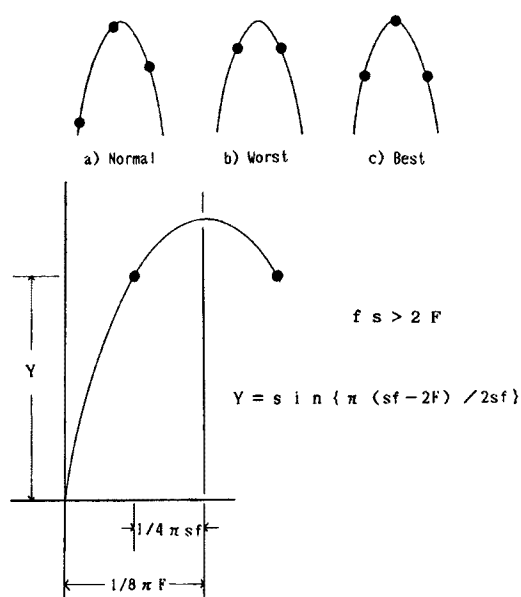


Fig. 2 Three cases of waveform digitization are shown from a pointview of waveform reproduction, i.e., a) normal, b) worst, c) best. In the worst case shown, the maximum amplitude takes a value of $\sin \{ \pi (sf - 2F) / 2sf \}$, where F and sf represent the frequency of waveforms and the sampling frequency, respectively.

のローパスフィルターに通したものである。また波形の時刻精度を高める為に外部時計の秒、分マークを電圧パルス（負論理）として入力した。サンプリング周波数の作成には16ビットカウンタを³⁾、波形データの一時記憶にはRAMを、波形の描画には二つのVRAMを、ヘッド内の時刻データの入力先にはカレンダー時計を、それぞれPC-98に内蔵されているものを利用した。また波形表示の切り替えにはキーボードを、VRAMに描画された波形を出力する画面には高解像度カラーディスプレイ装置を用いた。

2.2 記録密度と情報量

北陸微小地震観測所では、精度の高い地震波形解析はトリガー方式で記録されている磁気テープを再生する事によって行なっている。本システムの設計においては、従来のLTRの持つモニターとしての役目を行なえる程度の波形精度を持つ様に考えた。それにより、通常的地動とトリガー漏れの小さな地震とが識別でき、また各観測点の地動をリアルタイムで十分に監視することができる。

LTR方式の記録の周波数特性は30 Hzまでフラットで、読み取りの時刻精度は1/20秒以内、最大振幅はp-pで40 mmである。ペン先の太さにもよるが、波形振幅の分解能を0.2 mmとするとそのダイナミックレンジは46 db以上と考えられる。このようなLTRの持つ情報量と同程度のデジタルデータを得るためには、サンプリング周波数を60 Hz以上、ビット数は8ビット以上必要で

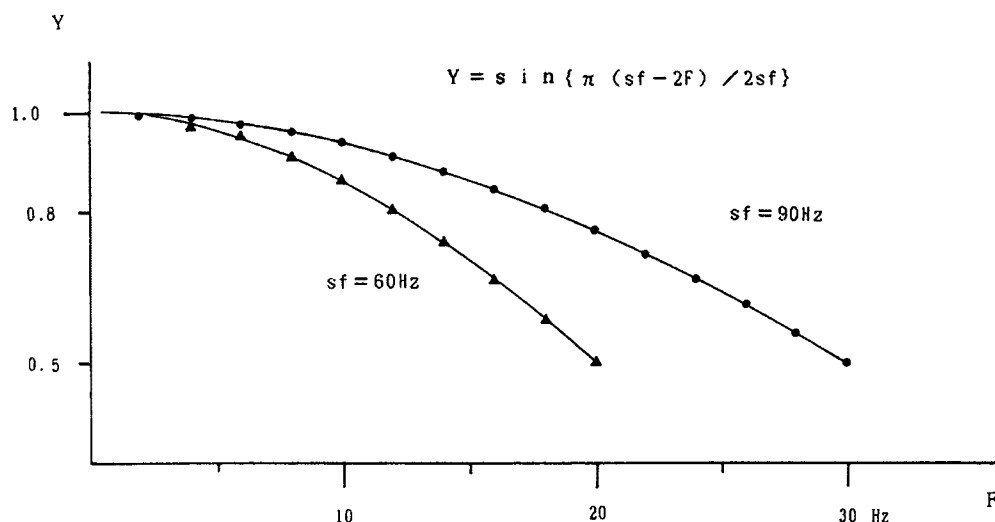


Fig. 3 The frequency characteristics of reproduced amplitude by the formula shown in Fig. 2. Two cases are shown for the sampling frequency of 90 Hz and 60 Hz.

ある。

Fig. 2 は、波形をサンプリングした場合、その振幅をどの程度再現できるかを示したものである。再現パターンとしては、図に示したような三通りが考えられる。観測波形の周波数を F 、サンプリング周波数を sf 、再現できる最悪の場合の振幅を Y とすると、 $sf > 2F$ の条件において、 $Y = \sin \{ \pi (sf - 2F) / 2sf \}$ と表わせる。サンプリングが 60 Hz と 90 Hz の 2 通りの場合について、観測波形の周波数を変えた時の Y の値を Fig. 3 に示す。もし 10 Hz の入力信号において地震波形か地動ノイズかの識別をする為に最悪でも 80% 以上の振幅再現を必要とすると考えれば、 sf を 60 Hz にすれば良いことがこの図よりわかる。また、前のデータとの差をとることにより、より少ないビット数でデータを表現する方法もあるが、ダイナミックレンジをある程度確保する為にはサンプリング周波数を数倍上げることが必要となり、必ずしも記録容量を有効に用いることにはならない。

一方、サンプリング周波数やビット数の選び方によって、一枚の光ディスクに何日分の波形データを記録できるか決まる。保守の手間や上記の条件を考えて、最終的に $sf = 61$ Hz (16 ビットカウンターの 1 周期の $1/2$)、8 ビットのデータ (1 ビット当たり 5 mV) として収録する事にした。これにより、10 日半以内に光ディスクを裏返すか、あるいは新品と交換しなければならない事になる。

2.3 ソフトウェア

波形収録は全て MS-DOS のマクロアセンブラ言語で組み立て、地震波形のリアルタイム処理を実現した。これは、リアルタイムの画像処理をするにはアセンブラ言語の方が有利であり、他的高级言語と併用しない方がより高速の処理が可能になる為でもある。

光ディスクのインターフェースには SCSI (Small Computer System Interface) が採用されている。これは、同時に 8 台までの機器をアクセスしたり、複数のホストからのクロスコールが可能など便利な機能を持っている。しかし PC-98 シリーズのバスのプロトコルとは異質なので直接制御をする事ができない。従って、SCSI プロトコルを実行するためのハンドリングプログラムがインターフェースボード上の ROM に搭載されており、この ROM 内のルーチンを CALL することにより一つの周辺機器として扱える様になっている。

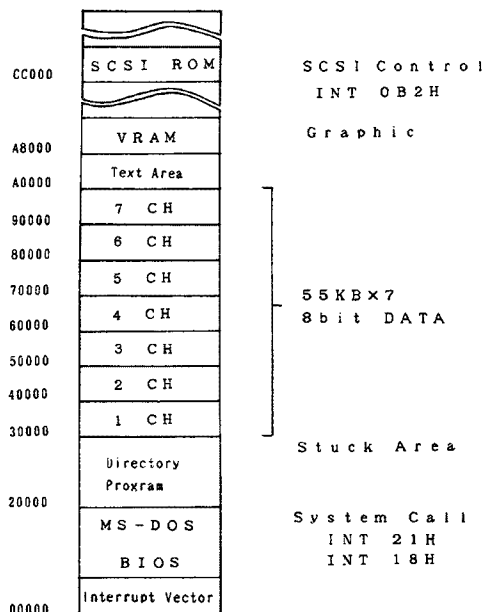


Fig. 4 Memory map of the CPU. Data area occupies 448 Kbyte from the address 30000H to 9FFFFH.

一般的に、この様な大容量の記録媒体は、文書ファイルとして使用されることが多く、ユーザーがバリディチェックや、機器固有のエラー処理などを意識する必要のない様に作られている。またファイルの確認をしてから最終的に光ディスクに登録するなど、リアルタイム処理とは異なったソフトウェアとして市販されている。しかし、休みなく大量に入力されている観測波形データを文字データに変換すると膨大な記憶容量が必要になってくる。

本システムでは波形の数値データを文字データに変換せず 2 進数のままで、かつリアルタイムで記録して行く方法を採用した。この為に、光ディスクのエラー処理ルーチンを新たに開発した。ユーザーには光ディスク装置内の媒体の有無やその表裏面の確認などが要求される。また、複数の光ディスク装置を制御するのではなく、CPU 一台に対して光ディスク装置一台だけが応答する入出力サブルーチンを作って使いやすいシステムとした。

リアルモードでのメモリーの配置を Fig. 4 に示す。

アセンブラ言語のみでは BASIC などの OS を組み込む必要がなく、その分だけ RAM 上の波形データ領域を大きく確保できる。アドレス 20000 H (最後の H は16進表示を意味する) までは、割り込みベクター、BIOS (Basic Input Output System)、MS-DOS などの基本 OS で占められている。20000 H から 30000 H までにプログラムやディレクトリーを、30000 H ~ 9FFFFH までに 7 成分のデータ領域を割り当てた。A0000H ~ BFFFFH まではテキストやグラフィック用のメモリーで CRT と直結している。なお、波形表示用として使う VRAM は同じアドレスのメモリーが二つ用意されている。これを利用して、二枚の画面をモードごとに切り替え、画像処理にかかる時間を節約している。光ディスクへのデータの転写は一度に 64 KB (1 バンク) までに制限されているので、1 バンク内に一つの成分 (15 分間で 55 KB) を記録しておき、サブルーチンを 7 回実行して全成分の転写を行なう事にした。各バンクに生じた残りの 10 KB も使えば合計は 70 KB であり、さらに一成分を確保できるがプログラムを複雑にすることになるので採用しなかった。

一方、SCSI のハンドリングプログラムは指定されている C8000H ~ D4000H のうちで CC000H から登録したが、C0000H ~ E0000H は超高解像度モード (ハイレゾリューションモードのことで 1120 × 750 の画素数を持つ) の VRAM の領域である。メーカー側が ROM アドレスを変更しないかぎり、今のところ超高解像度モードでの光ディスクの使用は不可能である。

パソコン内蔵の16ビットカウンタを利用して 61 Hz のサンプリングレートを作り、7 成分の波形データと時計の信号を 1 ビット当たり 5 mV の分解能で A/D 変換し^{3),4)}、-640 mV から +640 mV の範囲のデータを 8 ビット (1 バイト) データとして RAM に記憶していく。-640 mV 以下は 01H に、+640 mV 以上は FFH に変換される。特に、00H の値は波形データとその間に挿入されているヘッダとの区切用として使っている。1 秒毎に秒マークとして 20 H の値を波形データに加算した。ただし波形データが DFH 以上の場合は逆に減算している。これは、DFH 以上のデータに 20 H を加算すると FFH の値に固定されて秒マークの振幅が小さくなり、波形データが FFH 以上で秒マークが表現できなくなってしまうからである。従って、DFH 以上の波形データの秒マークはマイナス側に出る。この様に、波形振幅が飽和しても秒マークを必ず入れておけば、波形解析時に秒マークを削除し易いと考えたからである。分マークや時マークは波形データには加算していないが、正分毎には14バイトのヘッダ (ヘッダの構成は2.4章で述べる) を各成分のデータに挿入している。従って、これが分マークの代わりになり、任意に取り出したデータについても、その成分と時刻を知ることができる。これは LTR 方式では簡単には出来なかった事である。

RAM への書き込みが終わると、次のサンプリングまでの1/61秒間に現時刻の画面表示、VRAM への波形の直接描画、一分ごとのヘッダの作成などを行なっている⁵⁾。そして A/D 変換開始から14分間後の次の正分にヘッダを挿入し、新たな収録を停止する。次に、RAM のデータを 1 バンク当たり 27 ブロックにして光ディスクへ転写する。この時、1 成分の転写に 2 秒弱かかり 7 成分で約14秒間、そして、前の画面の消去やディレクトリーの更新などに 1 秒間を要している。従って、転写の時は波形収録を約15秒間程停止することになる。即ち、欠測率が1/60 (15分間で15秒間) となる。頻繁に転写する方法もあるが、ブロックアドレスの指定に一定の時間が必要であることからかえって欠測時間を長くする事になる。また 1 成分だけの収録に限れば 2 時間当たりで15秒間と欠測率を小さくできるが、いずれにしても欠測時間を持つ事がこのシステムの最大の欠点である。

ハードディスク内に作られたディレクトリーは光ディスクがデータで満杯になった時、もしくはユーザーが強制的に停止して別の光ディスクに交換する時に光ディスクに転写される。従って、本システムは収録中において光ディスク内にディレクトリーのデータを検出すると記録済みの媒体として判断し、新品の光ディスクとの交換を要求する。

2.4 データのフォーマット

このシステムは 1 成分15分間のデータを 1 個のファイルとして扱っている。A/D 変換を開始するとファイルの最初にはヘッダが記録され、15バイト目から 1 バイトの波形データが続いて記録されていく。そして分の時刻信号を検出する度に14バイトのヘッダが波形データに挿入され、15分目のヘッダを記録してファイル

の終わりとする。

ヘッダの構成は14バイト分のうち、先頭の1バイト目は区切りとして00Hを、2～4バイト目には光ディスクのブロックアドレスが、5～14バイト目には年月日時分を文字コードとして割り当てている。ブロックアドレスは3バイトからなる2進数であり、アドレスによってはいずれかのバイトが00Hを持つことがある。しかしヘッダの長さは14バイトと固定されているので、上述のヘッダの区切り用のバイトとは識別できる。ヘッダに書き込む時刻データはパソコン内蔵のカレンダー時計から入力したものであるが、これは1日に約2秒以内の精度しか持たない。また、ヘッダは正分毎に作るので、カレンダー時計が少しでも遅れると1分前の分の値を採用してしまう。これを防ぐ為、外部時計からの分マークを利用してカレンダー時計の校正を1日2回行なう。ただし正分には必ず外部時計の分の値と一致するように、常に外部時計より2秒だけ進めてカレンダー時計をリセットしている⁵⁾。

このようなヘッダを含んだ波形データをそのまま画面表示すると、ヘッダが分マークの代わりとなって波形に重なって表われる。ヘッダの大きさは固定であり、また波形データは01H～FFHの値をとるから、ヘッダの区切りである00Hを検索すれば、波形データのみを取り出すことも容易である。ただし、光ディスクへの転写直後より始まったデータだけは、ヘッダの中の時刻から15秒(欠測時間)後の時刻である。この様に、ヘッダからの秒マーク数を数えれば正確な時刻のデータとして利用できる。

同じファイル内にある1分毎のヘッダの示すブロックアドレスは、全てファイルの先頭アドレスである。同時刻の波形データは隣接した成分のファイルとの間では27ブロックずつ離れているから、1つの成分について15分間以上連続してデータを取り出す場合は、189(27×7)ブロック毎に離れたファイルを読み込んでつなげば良い。

ディレクトリーは16KBの大きさを持ち、7成分のうち先頭の成分についての15分間毎のヘッダの集まりである。他の成分のファイルの位置は上述の様に27の倍数として計算できるからそれらのディレクトリーは不要である。また先頭の2バイトには最終ヘッダのアドレスが登録されている。従って、光ディスクの途中のブロックアドレスで収録を完了した場合でも、最初と最後のヘッダから収録期間が簡単にわかるようになっている。

もし光ディスクのラベルがはがれても、ディレクトリーが壊れたとしても、データ内に挿入されている1分毎のヘッダから容易に波形を再現出来る。この様にヘッダを利用することにより、万が一のトラブルの場合でもデータの安全性と信頼性を保証する事ができる。

3. 波形のモニター

リアルタイムで波形を画面表示出来るのはRAM上に記憶されたデータのみであり、最長15分間までである⁵⁾。これ以上さかのぼって過去の波形データを見る場合は、現在セットされている光ディスクあるいは既に記録済みの光ディスクを別のパソコンに移して見なければならぬ(4章参照)。ただし、現在セットされている光ディスクを抜く場合は転写時以外の時間帯にしなければならない。

画面は横方向に640ドット、縦方向に400ドットの分解能を持ち、それぞれ青、緑、赤の三種類の画素を持っている。画面の縦方向をデータの振幅に対応させ、横方向の1ドットを1サンプリング(1/61秒)に対応させると画面の左端から右端までに10.49秒間の波形を表示することができる。データ数を間引く事によって、更に長時間分の波形表示も可能であるが、波形には見かけ上エイリアシングが生じてしまう。この様に画面の左端から右端まで表示した波形を「1本」と呼ぶことにする。画面を縦方向に等分した領域を作れば、それぞれの領域に複数本ずつの波形表示ができる。また、上述の三種類の色を交互に使えば上下に表示された波形と重なっても互いに識別できる。ここでは波形のモニターとして、①. 7成分を3分間(sf=8 Hz), ②. 1成分を30秒間(sf=61 Hz), ③. 1成分を前半後半に分けた15分間(sf=61 Hz)のそれぞれを1画面に表示できる様な3通りのモードを用意した。①では、画面の左端に現時刻やシステムの稼動状況を表示し、1本分が1分間になる様にデータの間引きをして表示する。1成分につき三色を用いて3分間分を表示し、

合計 7 成分で 21 本の波形が 1 画面上に表示される。新しいデータは古いデータを消して連続して描画される。また、7 成分を順番に表示するので、1 つの成分については 7 個目毎のデータを描画することになり、画面上での波形は $sf=8.7\text{ Hz}$ ($61/7$) で表示されることになる。②では、指定された成分のデータのみを表示する。③では二つめの VRAM に切り替えて 1 本を約 10 秒間 (608 ドット) とした。15 分間の波形を 1 画面に収めるには 90 本の本数が必要である。これでは上下の波形が重なってモニターとしての役には立たない。従って、7 分 30 秒間 (45 本) の大きさで前半後半の二つに分け、画面を切り替えて表示する方法を採った。これらのモードの切り替えや波形振幅の拡大、縮小はキーボード上のファンクションキーを用いることにより即座に行なえる⁵⁾。

4. 収録波形の検索

光ディスクに収録された波形の検索や読み取りをする場合は収録用のパソコンではなく、別のパソコンを使って行なう。従って、波形収録用のプログラムとは異なったソフトウェア構成となる。メインプログラムには MS-DOS 版 N88BASIC を使用し、光ディスクからの波形データの入力や、波形表示についてはマクロアセンブラでサブルーチン化している。この為、波形のハードコピーが可能となり、また今後波形解析のプログラムを開発しやすくする構成となっている。

今回は手始めとして、光ディスクから波形を読み出して画面に表示するプログラムを作った。データを検索する手順は、(1)ディレクトリーを検索して観測期間の確認をする。(2)成分名とその時刻から逆算して求めたファイル番号を引数としてサブルーチンをコールし、1 成分の波形データを RAM に転写する。(3)波形表示のサブルーチンに間引きの数や、振幅の縮尺を指定して 15 分間データを一旦画面に表示する。Fig. 5 はデータの間引きを 2 個目毎、振幅を 1/4 にして表示した例である。このように、(2), (3)を繰り返せば高速の波形検索ができる。目的の波形が見つかった場合、(4)マウスのカーソルを P 波の少し前の位置に合わせてボタンを押せば、その時刻より約 50 秒間の波形がデータの間引きをせずに Fig. 6 の様に表示される。

以上の様に片面 400 M バイトの巨大なファイルにもかかわらず高速に波形データの入力と画面表示が出

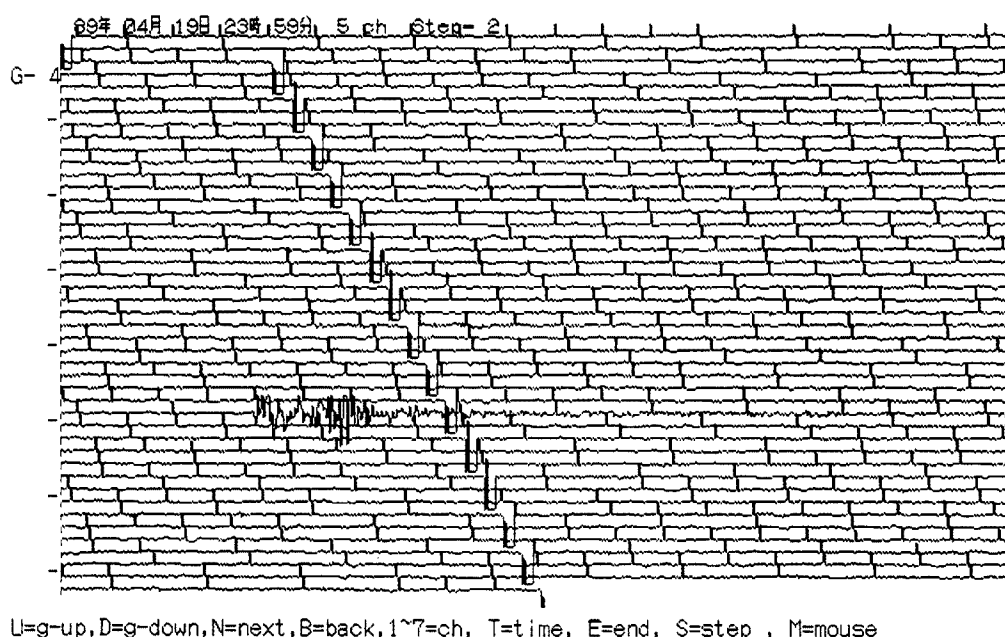


Fig. 5 An example of recorded waveforms shown on the graphic display with a sampling frequency of about 30 Hz.

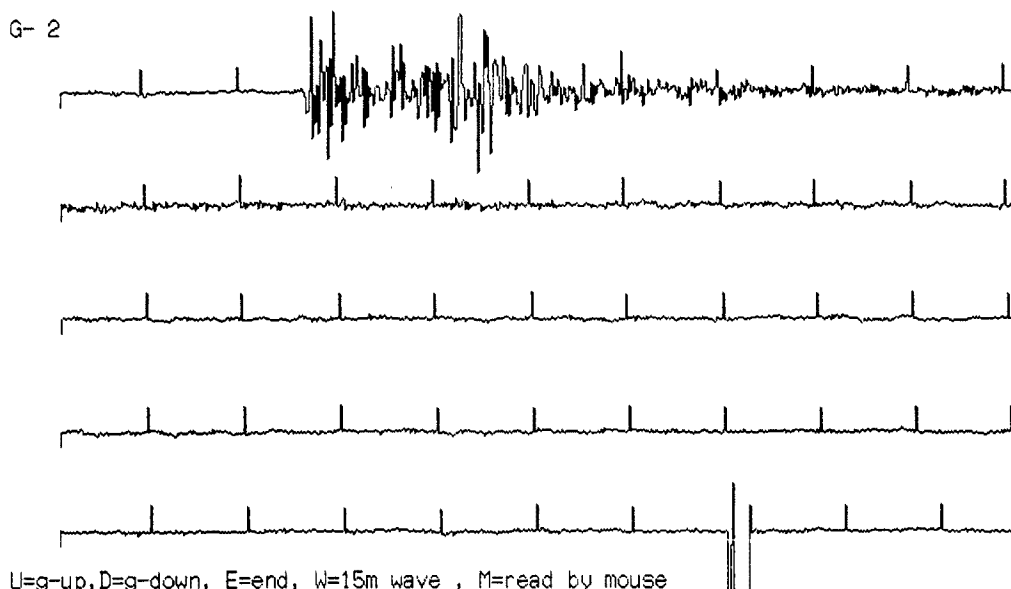


Fig. 6 Detailed waveforms of an event shown in Fig. 5, displayed with a sampling frequency of about 61 Hz.

来る。また収録された光ディスクの管理も容易である。本システムは従来の LTR 方式の場合と比べて、はるかに使いやすい波形データの連続記録を可能とした。

5. おわりに

ここで述べた収録システムは、欠測時間を全観測期間の1/60の比率で持つ事やダイナミックレンジを8ビットとしている事など、まだ不十分な点もいくつかある。欠測をなくするには、別のパソコンを用意しバッファメモリーとして利用すれば解決できる。またギガバイト（1000 MB）を越える大容量の記録媒体を利用すればダイナミックレンジの問題も解決するであろう。トリガー方式全盛の時流であるが、収録後あらためて視点の異なった（パラメータを変えて）検索を何回でも行なえることは連続収録のデータの最大の利点でもある。連続収録されたデジタルデータは、地震観測網の持っている検知能力を十分生かす事にもなり、今後地震の研究に大きく貢献する事も期待される。

本システムの開発や論文作成に当たって種々御教示していただいた京都大学防災研究所附属北陸微小地震観測所の西上欽也氏、および色々講論して頂いた防災研究所微小地震部門の各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 岸本兆方・尾池和夫・渡辺邦彦・佃為成・平野憲雄・中尾節郎：鳥取および北陸微小地震観測所のテレメータ・システムについて，地震II，31，1978，pp.265-274.
- 2) 尾池和夫・松村一男・竹内文明・松尾成光・清水昇：地震観測用長期間連続インク書き記録装置の開発，地震II，29，1976，pp.127-135.
- 3) 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.
- 4) 平野憲雄：パソコンによる地震波形の収録と読み取り，京大防災研年報，第30号 B-1，1987，pp.85-94.
- 5) 東工大電算機愛好会&小高輝真：98ハードに強くなる本II，技術評論社，1988，pp.57-59，pp.158-166，pp.33-46.