

パソコンを用いた臨時地震観測システム

平 野 憲 雄

A SYSTEM FOR THE TEMPORARY OBSERVATION OF EARTHQUAKES USING A PERSONAL COMPUTER

By *Norio* HIRANO

Synopsis

We have newly developed an observation and recording system of earthquakes using a personal computer. Waveforms of three-component seismographs are always digitized and monitored. And they are written on a floppy disk when they are judged to be of earthquakes. This system is characterized by the following three points:

- (1) Operation is easy by the aid of messages and informations displayed on a screen.
- (2) Maintenance accompanying the observation is easy enough to be entrusted to private houses.
- (3) A flow chart for detecting earthquakes is designed to prevent mis-triggers by ground noises.

We carried out a temporary observation of earthquakes using this system and its usefulness was ascertained.

1. は じ め に

パーソナルコンピュータ（以下パソコンと略す）が16ビット機として市販されて広く普及し、多成分のアナログ信号を高速でAD変換することが可能になり、またメモリーも地震波形を処理できる程大容量になってきた。そこでパソコンを用いた臨時地震観測システムを開発し試験観測を行なった。このシステムの特徴は次の3点である。すなわち(1)画面上にできるだけ多くの情報を表示し、操作手順をわかり易くしたこと。(2)観測に伴う保守と管理を容易にして委託観測を民家に頼み易くしたこと。そして(3)簡単な波形処理をして効率良く地震だけを収録するようにしたことである。

パソコンを使う利点は、保守やデータの交換が容易なこと他に、プログラムソフトを入れ替えれば観測専用機としての用途だけでなく、地震波形の再生、処理、及び一般の科学計算まで可能なことなどにある。従って、従来のアナログ方式の記録にみられる観測後の再生・編集の作業を大幅に軽減することが可能である。

このような観測システムは、これからの地震観測及び、地震波形の詳細な研究に大きく寄与するものと思われる。

2. システムの構成

Fig. 1 にシステム全体の構成を示す。3成分地震波形など7チャンネルのアナログ信号がAD変換されてCPUに取り込まれ、トリガー（ソフトウェア）によって地震だと判断されると、メモリー内に記憶されてい

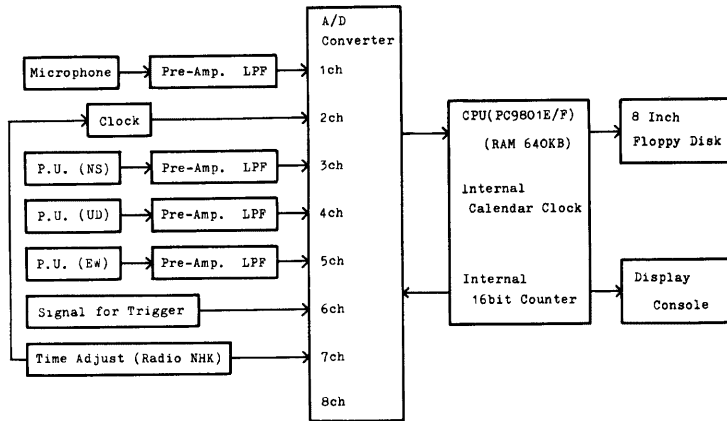


Fig. 1 Block diagram of the earthquake observation system.

る地震波形データがフロッピーディスクに書き込まれる。ディスプレイはトリガー条件を設定するときや、観測波形のモニターとして使用し、システムの稼動状態が常に表示される。パソコンの機種としては安価であること、ソフトウェアの互換性を考えて NEC の PC 9801 E を選んだ。

2.1 アナログ入力信号

AD 変換器に入力されるアナログ信号は 7 チャンネルである。3～5 ch は地震計 3 成分の出力波形でエイリアシングを防ぐためのローパスフィルターを通した。2 ch はスローコードを出力する時計、7 ch はそれを自動校正するための校正信号であるが、パソコン内部のカレンダー時計も同時に校正するために入力した。この校正信号は 1 日 4 回、6 時、12 時、19 時、23 時にラジオの NHK の時報を受けて出力される。ちなみに、カレンダー時計の修正はベシックプログラムによりキーボードから行なうこともできる。6 ch は地震判定に用いるための地震計出力波形である。1 ch は地震計の近くに設置されたマイクロホンの出力信号である。これは空気振動による地動ノイズや、音を伴う地動ノイズを検出して地震判定の際に負のトリガーとするためのものである。

2.2 AD 変換

AD 変換器は宝和産業社製 PC 98 AD で、分解能 12 ビット (5 mv/bit)、変換時間 25 μ s、入力信号は 8 チャンネルである。これはプラグイン方式でパソコン本体に簡単に増設できるものであるが、サンプリングクロック及び、電源が内蔵されていないので専用の電源 (± 15 V) が必要であり、サンプリング周波数はソフトウェアで与えなければならない。今回の観測ではサンプリング周波数を 210 Hz としたが、その場合のサンプリングの方法について以下に説明する (Fig. 2)。内蔵の 16 ビットカウンターは 16 進表示の (FFFF)₁₆ から次の (FFFF)₁₆ までを 1/30 秒かけてカウントダウンしこれを繰り返している¹⁾。この 1 周期を図のように 7 等分すると、分けられた 1 つの区間をカウントダウンする時間は 1/210 秒となる。従って、カウンターが図に示された各々の数値になったとき AD 変換器に変換命令を出せば 210 Hz のサンプリングができる。このようにカウンターの 1 周期を等分することにより 30 の倍数であるサンプリング周波数を得ることができる。図には AD 変換器及び、CPU が処理に要する時間も示した。例えば、カウンターが (9249)₁₆ になったときに変換命令を出し、8 チャンネルを 200 μ s で AD 変換する。続いてメモリーへの記憶に 200 μ s、トリガー判定に 20～40 μ s を要し、その他の処理をしてカウンターが (6 DB 7)₁₆ になるまで待つ。その他の処理として

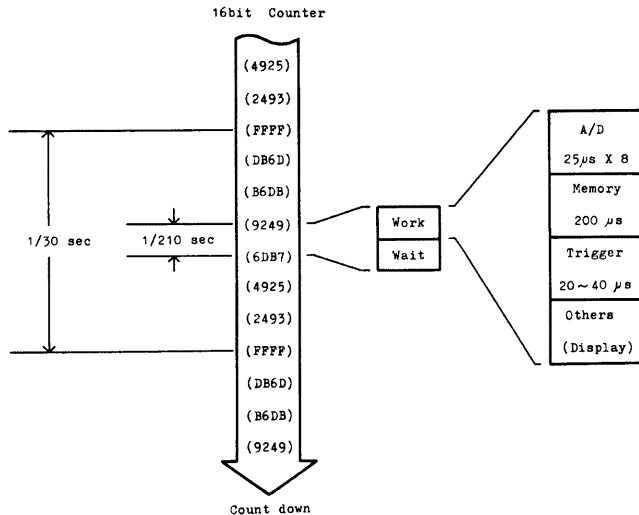


Fig. 2 The method of making timing pulses for sampling by using a 16 bit counter. This counter repeats counting down from $(FFFF)_{16}$ to $(0000)_{16}$ in $1/30$ sec. The sampling process is settled to start when the counter comes down to the numbers that are obtained by dividing $(FFFF)_{16}$ by 7 in our case. By this procedure we get a sampling interval of $1/210$ sec.

は、地動波形1成分の振幅の大きさ及び、現時刻などを画面上に表示すること、時刻校正信号が入力された場合にカレンダー時計を校正することなどがある。これらの処理時間を考慮すると、最高1 KHz ぐらいまでのサンプリングなら可能である。なお今回のシステム開発にあたっては、限られた処理時間内でできるだけ多くの情報を画面上に表示するように工夫した。これが本システムの使い易さを生み出している。

2.3 ディスクへの登録

今回使用したパソコンは1バイト(8ビット)単位でメモリーに番地がつけられている。サンプリングされた1つの波形データは12ビットである。また今回用いた時計のスローコードはパルス幅の大小で表現されているので、スローコードの情報は1ビットで十分である。従って、波形データ12ビットとスローコード1ビットを合わせて13ビットのデータとし、未使用の3ビットをつけ加えて2バイトのメモリーに記憶した。なお、スローコードの1ビットは3成分の波形すべてにつけ加えてある。トリガーによって地震と判定されると、後述するが、10.8秒の間AD変換しビットの処理がなされた後ディスクに登録される。ディスクのデータ管理においては、1トラック(6656バイト)単位で扱うとプログラミングしやすい²⁾。従って、地震波形1成分を1トラックとし、ひとつの地震(3成分の波形)について3トラックに登録した。サンプリング周波数は210 Hz であるから各成分の記録時間は15.8秒間になる。従って、トリガーがかかった時刻の前5秒間(遅延時間)とトリガー後10.8秒間の波形データがディスクに登録されるようにした。トリガーのかかった時刻はカレンダー時計から読み取り、上下動成分が登録されているトラックの最後の1レコード(256バイト)にその年月日時分秒を、時刻校正がなされたか否かの情報と共に書き込んだ。なお、地震番号もこのレコードに書き込まれている。この時刻を参照することにより、遅延時間(5秒間)とスローコードの立

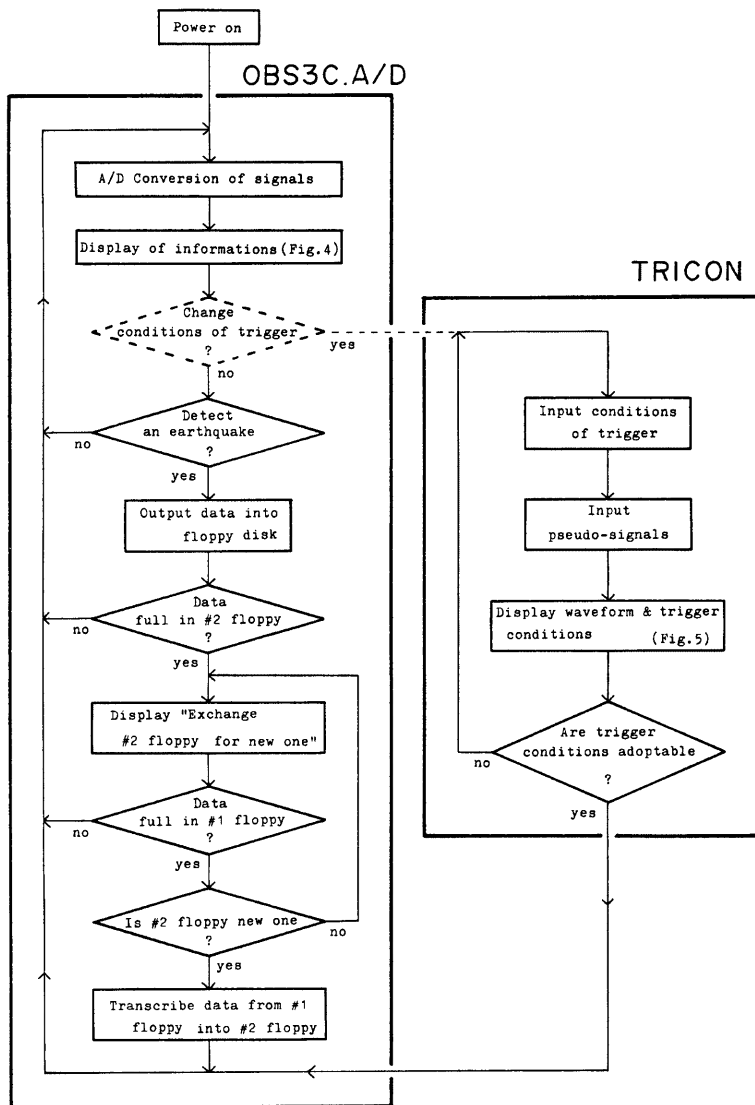


Fig. 3 Flow chart of the earthquake observation system. The system is composed of two programs named OBS3C.A/D and TRICON. OBS3C.A/D automatically runs when the power is supplied to this system and earthquake observation starts. TRICON is used for determination of trigger conditions. The interruption is shown by dotted lines.

上りから波形に対応する時刻がわかる。また、この1レコードを調べるだけで地震の検索などの処理も容易になり、登録された地震とそのときの時計の精度が確認できて便利である。

ディスク装置は #1, #2 の2つのユニットを持ち、#1 には主として OS (システムプログラム) と本観測システムのユーザープログラムが入っている。従って、地震波形のデータは #2 の方に地震番号1から順次登録され、地震番号が51以上になると #1 の空き領域に68番まで登録できるようにした。また、地震番号が51から68までの間に #2 のフロッピーディスクを新品に交換すると、#1 の波形データが #2 のディスクに転写され、地震番号が1から新しく書き替えられるようにもした。なおデータをディスクに書き込む時は AD 変換を停止するので、その間の約4秒間は地震が起きても処理されない。また、ディスクに登録時の停電、瞬断は登録中の地震データだけが無登録になるが、最悪の場合、すなわち、地震番号の処理中に瞬断があると、登録されている全てのデータが消される恐れがある。また、瞬断にはシステムダウンを起こし観測停止になる可能性もある。停電時にはディスクのヘッドがフロッピー面から離れており、復起後はオートスタートにより観測を続行するが、瞬断に関しては今のところ無防備である。今後これらの対策を考えて行きたい。

2.4 観測システムのフローチャート

Fig. 3 に観測システムのフローチャートを示す。これは大きく分けて観測プログラム OBS3C. A/D とトリガー条件設定のためのプログラム TRICON の2つから成る。前者はオートスタート機能により処理を開始し、後者はその後の割り込み操作により一時的に処理を行ない、再び前者が処理を続行する。図の点線の部分は割り込みを表わす。電源投入後直ちに観測プログラム OBS3C. A/D がスタートし、Fig. 4 のような画面を表示して観測を開始する。この画面の上部には既に登録されている地震データの数や、この中での最新の地震トリガー時刻と、そのときの時刻校正の有無が○, ×で表示されている。また中段には設定されているトリガー条件が、その下には地震計の上下動の振幅の大きさが○印の左右の動きによって表示されている。この動きによってオフセットの大きさや、時々刻々の地動のようすが容易にわかる。下段にはカレンダー・時計の現時刻を時刻校正の有無の印と共に表示してあるので、外部時計や JJY 信号等との比較をして時刻の確認をしたり、○あるいは×印によって校正動作の確認をしたりすることができる。

プログラム OBS3C. A/D では、トリガー条件のパラメータがあらかじめある値に設定されている。従っ

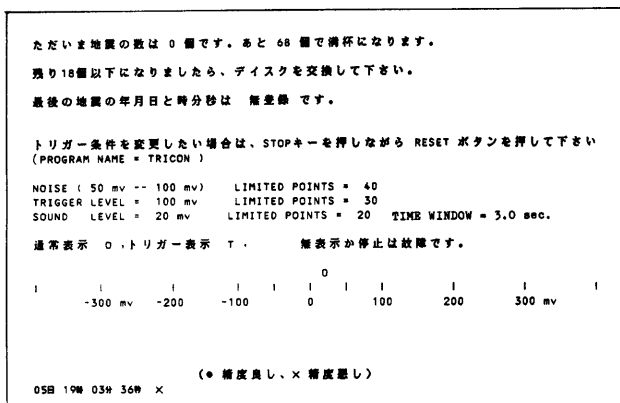


Fig. 4 Informations of the system shown on a display console by OBS3C. A/D.

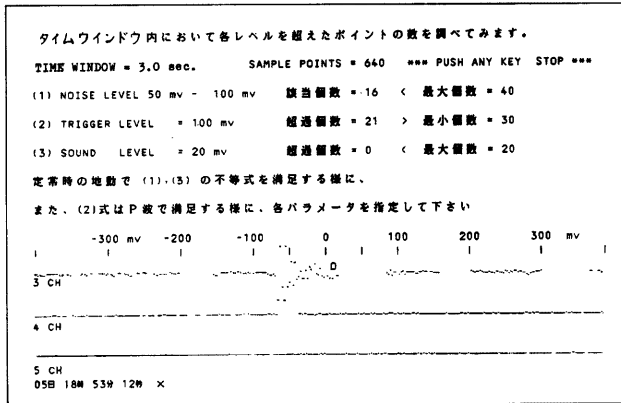


Fig. 5 Informations of processing and waveforms shown on the display console by TRICON.

で設定されたトリガー条件下での観測が自動的に開始されるが、トリガー条件を変更したい場合は随時、割り込みによりトリガー条件設定プログラム TRICON をスタートできる。TRICON では、地震計の近くの地面に振動を与えるなどの擬似信号を何回も入力し、その都度画面に表示された波形 (Fig. 5) を見てトリガー条件の変更ができる。次に OBS3C. A/D を再スタートし、新しいトリガー条件で観測を続ける。

そして、地震が検出されれば 2.3 で述べたように波形データがディスクに登録される。ディスク装置の #2 が満杯になると、#2 のフロッピーディスクの交換要求をディスプレイに表示しつつ #1 に登録される。#2 を交換せずに観測を続行してやがて #1 も満杯になると警音を10秒間隔に出して観測を中断する。ここで #2 のフロッピーディスクを新品に交換すると地震番号の処理がなされて観測を続行する。従って、このシステムの保守管理は適当な時にディスプレイの電源を入れ画面上の情報を読み取り、もし空き領域が少なくなっているならばフロッピーディスクを交換するだけの作業で良く、非常に簡単である。

3. 地震判定のトリガーについて

1 地点の地動波形の振幅変化だけから地震か否かを判断するのは難しい問題である。本システムではできるだけ効率的に地震だけを収録するためにトリガーの判定条件を多くして、ノイズによるトリガーを減らす工夫をした。ここでは、地震計によって捉えられる地動波形を、Fig. 6 (a), (b) に示すように、初動付近に最大振幅のある波形と後方に最大振幅のある波形とに大別する。地震の P 波の場合は (a) のタイプであることが多く、自動車による振動などのノイズ波形の場合は (b) のタイプが多いと考えられる。ただし、S-P タイムが短かく、P 波の振幅が S 波と比べて小さい場合は (b) のタイプに属する。そこでできるだけノイズ波形によるトリガーを防ぐために、(a), (b) の波形タイプの識別を行ない (a) のタイプの地震だけを選び出すことにした。そのために Fig. 6 のように 2 種類の閾値 $\pm H$, $\pm L$ を考えた。そして、ある一定の長さのタイムウィンドウにおいて、L から H のレベルまでのデータの数 n_l および H を超えるデータの個数 n_h をモニターした。なお、このタイムウィンドウは 1 つのサンプリングごとに移動する。ここで n_h は波形の振幅の大小の判定に、 n_l は (a), (b) のタイプの識別にそれぞれ用いられる。これを Fig. 6 において説明する。図には (a), (b) とともに n_h がある値 NH に達した時のタイムウィンドウの位置が示してある。このときの n_l の値は (a) より (b) の方が大きい。従ってこの n_l がある値 NL より大きいのか小さいかを調べ

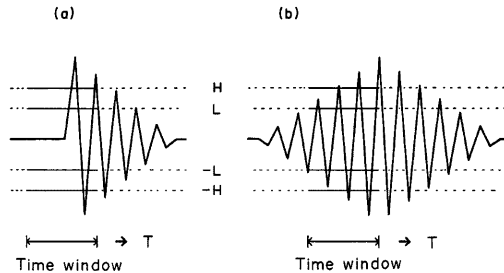


Fig. 6 Two types of waveform, (a) and (b). Many waveforms of noise belong to the type (b). It is possible, therefore, to pick up only the Type (a) by using two levels, H and L during the time window.

ることにより, (a), (b) を区別することができる。以上より地震と判定するためのトリガー条件は

$$nh \geq NH \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$nl \leq NL \quad \dots\dots\dots (2)$$

の2つの不等式で表わされる。電気的なノイズのように継続時間の短いパルス波形はたとえ振幅が大きくても(1)式により除去できる。nl, nhはタイムウィンドウや閾値によって同じ波形でも変わるの、プログラム TRICON を走らせ、擬似信号を与えることにより各パラメータの最適値を決定することができる。なお $H=L$, $NL>NH$ と設定すれば(1)式のみが判定条件となる。すなわち、閾値をHの1つだけにすることができる。

大きな地震の場合は振動の継続時間が長いので、P波初動でトリガーし、ディスクに登録した直後にも再びトリガーがかかることが予想される。本システムは振れ終りまで記録することが目的ではないので、登録直後は nh がゼロになるまで地震の検出はしないことにした。これにより、1つの地震について連続してトリガーすることではなく、より多くの地震を収録することができる。

また、地動ノイズは自動車や雪の塊の落下などのように音を伴う場合があるので、マイクロホンから取り込んだ空気振動を地震判定における負のトリガーとして使用した。すなわち、空気振動についても閾値 H_s を設け、地震計の出力信号と同じタイムウィンドウ内でそれを超えたサンプリングデータの数 ns をモニターした。そして ns がある値 NS を超えた場合には(1), (2)式が満たされても地震だとは判定しない。従って地震の判定条件として(1), (2)の他に

$$ns \leq NS \quad \dots\dots\dots (3)$$

を追加した。空気振動を判定条件として採用しない場合は、AD変換器の1chを短絡して(3)式が常に満たされるように設定すれば良い。結局、プログラム TRICON で入力すべきトリガー条件のパラメータはタイムウィンドウの長さや地震計の信号における H , L , NH , NL 及び、マイクロホンの信号による H_s , NS の合計7個である。 H , L , H_s は mv で NH , NL , NS は数の単位で入力する。

4. 試 験 観 測

観測場所は北陸微小地震観測所のテレメータ観測網の中で地震活動度の高い地域の中にある滋賀県の浅井観測点(AZJ)を選んだ。パソコンの設置場所は送信室内であり、除湿機が常時運転されている良い環境である。ルーチン観測で波形の振幅が飽和するような地震を捕らえるために低感度観測をした。地震計はルーチンのものを共用して使い、100倍のプリアンプ、遮断周波数 60 Hz のローパスフィルタ (-30 dB/oct) を通

して AD 変換器の入力とした。空気振動を検出するマイクロホン出力用のシールドワイヤーが断線する等のトラブルが続出したので、今回は空気振動をトリガーの判定に用いることを断念した。観測の期間は1985年10月24日から12月16日までで、トリガー条件を次のようにした。タイムウィンドウの長さは3秒、 $H=100$ mv ($330 \mu\text{kine}$)、 $L=50$ mv ($170 \mu\text{kine}$)、 $NH=40$ 、 $NL=30$ である。

結果は総数44個のイベントが捕らえられ、このうち地震は42個であった。この観測期間の震央分布図を Fig. 7 に示す。この震源決定は北陸微小地震観測所のルーチンによってなされた。同じ期間に同ルーチンでは885個のトリガーがかかり339個(発破も含む)の地震が観測されたが、本システムとの地震識別の能力等の比較は機構が異なるので単純にはできない。ひとつの目安として、本システムはS-P タイムが10秒までならS波を記録できるので、これを考慮して、AZJ から震央距離が60 km 以内のものを選び、マグニチュード別に捕らえられた地震の頻度を比較して Table 1 に示す。M3 クラスで5個の地震が本システムで観測されていない。これは5個ともP波の立上りが悪く、Fig. 5 の (b) タイプと判断したようである。この

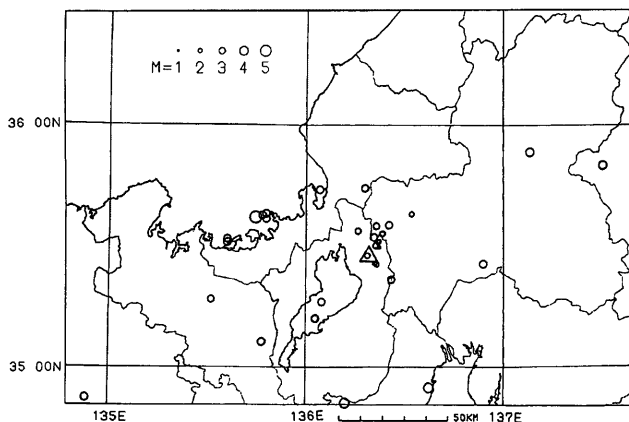


Fig. 7 Epicentral distribution observed by the present system at AZJ station, in a period from Oct. 24 to Dec. 16, 1985. The epicenters were determined by the routine work at HOKURIKU MICROEARTHQUAKE OBSERVATORY. Δ represents AZJ station.

Table 1 Numerals in the second line (Routine) means numbers of earthquakes in a circular area with radius of 60 km and the center at AZJ, determined by the routine work at HOKURIKU MICROEARTHQUAKE OBSERVATORY. The third line means the numbers of earthquakes detected by the present system at AZJ, of the total numbers described in the second line.

Magnitude	1	2	3	4	5
Routine	64	35	12	1	1
System	5	10	7	1	1

ような地震も捕らえることができるレベル、NL の個数の指定には再考の余地があると思われる。

この期間において停電 2 回、瞬断（0.5 秒以内）2 回の電源異常があったがシステムの異常は認められなかった。また 5 回の雷のうち誤って地震だと判断されたのは 2 回だけでディスクに 2 個のイベントとして登録された。これから当初の目的はほぼ達せられているものと思われる。

5. お わ り に

論文作成に当って種々御教示下さった岸本兆方教授と西上欽也氏、開発に当って暖かい御援助を頂いた竹内文朗氏、およびいろいろ議論して頂いた尾池和夫博士を始め、微小地震部門の各位、また実際の観測にあたって頂いた明石祐暁氏に深く感謝します。

この装置の経費の一部は日本海総合観測研究の予算による。

参 考 文 献

- 1) 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. 219-236.
- 2) 浅野泰之・壁谷正洋・金磯善博・栗野雅彦：PC-9801 システム解析（下）、アスキー、1984, pp. 91-94.