

地質調査所における微小地震解析システム

杉原光彦* 伊藤久男*

SUGIHARA, M. and ITO, H. (1986) Earthquake data processing system in Geological Survey of Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 37 (10), p. 525-553.

Abstract : A microearthquake data processing system has been developed aiming at efficient accomplishment of (1) semi-automatic routine process: making phase data, hypocenter calculation, data filing, and data display, and of (2) various analysis using routine data and waveform data.

The system has the following advantages: (1) easiness to access to and analyse seismic parameter data and waveform data, (2) efficiency in making phase data by conversational mode using graphic display, and (3) executing big jobs by a host computer under remote job entry.

要 旨

微小地震のデータ処理の専用システムを開発した。本システムでは地震波の検測、震源決定を中心とする半自動のデータ解析とその結果の表示、ファイリングをルーチン的に行う。またルーチン処理結果と波形データを使った解析も行う。本システムの特徴は検測処理をグラフィックディスプレイを用いて能率よく行えるようにしたこと、ルーチン処理結果と波形データを容易に利用できること、大型計算機と接続して大量の計算は大型計算機で実行できるようにしたことである。

1. はじめに

地質調査所では地熱地域の地熱活動に伴って発生する微小地震を熱水系の探査に役立てる目的で研究を行っている。微小地震を探査に利用するのは、石油・鉱床等の資源探査には例がなく、地熱探査に特有なものである。従って、その探査法としての歴史は浅く、観測方法、データ処理、解析、結果の解釈等についても未だ確立した体系ができるに至っていない。そこで我々は、まずディジタルシステムによる一貫したデータ収録、データ処理、解析システムを構築することから始めた。本稿ではデータ処理解析システムについて述べる。

微小地震データの処理システムとしては地震予知に関連して各大学等で開発したものがあがるが(黒磯, 渡辺, 1977; 前田ほか, 1978; 浜田ほか, 1982, など), データ

収録方法、ファイルの形式、出力機器のちがいなどからシステムをそのまま移植することはできない。また、震源計算や自動検測などの計算ルーチンについても、対象とする地震データのスケールや周波数、ノイズ状態に適應した処理を行うためにはプログラムレベルで試行錯誤を行える柔軟性が必要なため、独自に開発した。但し処理形態や出力形式、アルゴリズムについては既存のシステムを参考にした。

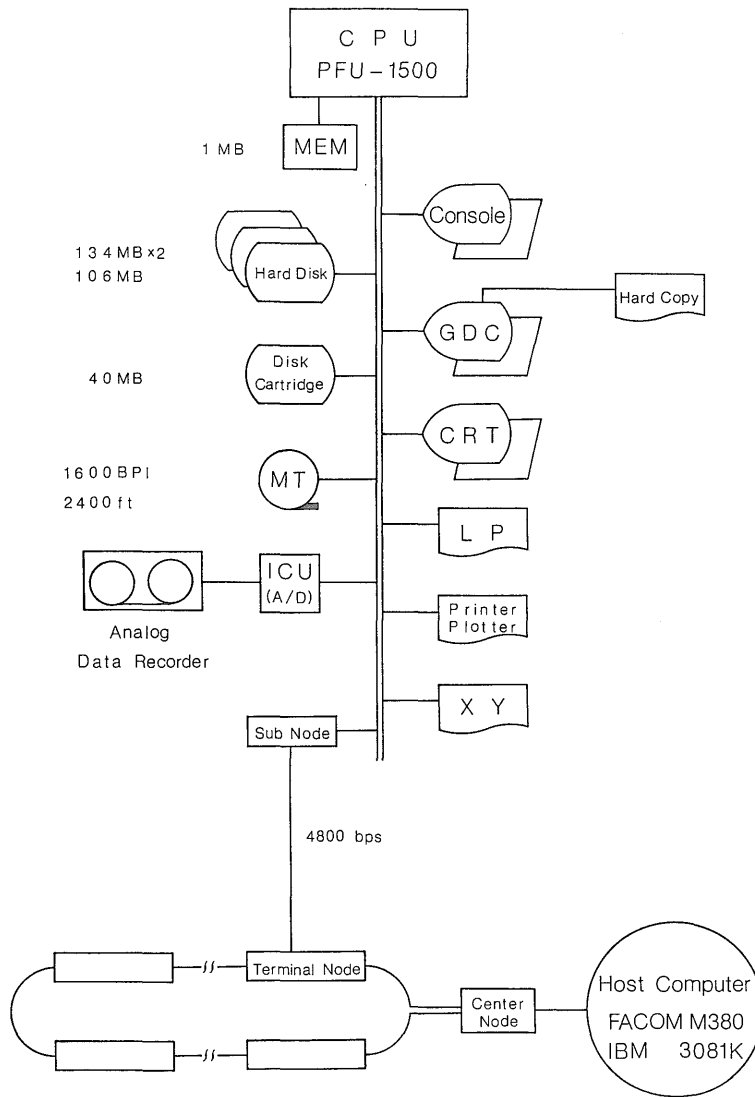
データ処理システムを構成するハードウェアは特殊なものではなく、処理プログラムも一部のファイル入出力を除いては FORTRAN で書かれているので汎用性のあるシステムといえる。システムは現在も開発中であるが、処理用のソフトウェアが一通り揃って、ルーチン処理も順調にこなせるようになったので、ここで処理システムの概要を報告する。

2. ハードウェア

処理システムのハードウェア構成を第 1 図に、その外観を第 2 図に示す。専用計算機の本体は 1MB の主記憶を実装したミニコンピュータ PFU 1500 で、これに各種入出力装置、記憶装置が接続されている。また、工業技術院の共用大型計算機、FACOM: M-380 及び IBM-3081K と回線速度 4800 bps の専用回線で接続されている。

システムを運用するために必要なシステム入出力装置として、システムとオペレーターとの会話のためにコンソールディスプレイを、システム出力装置としてはラインプリンターを使用している。また図形出力のためにグ

* 地殻熱部



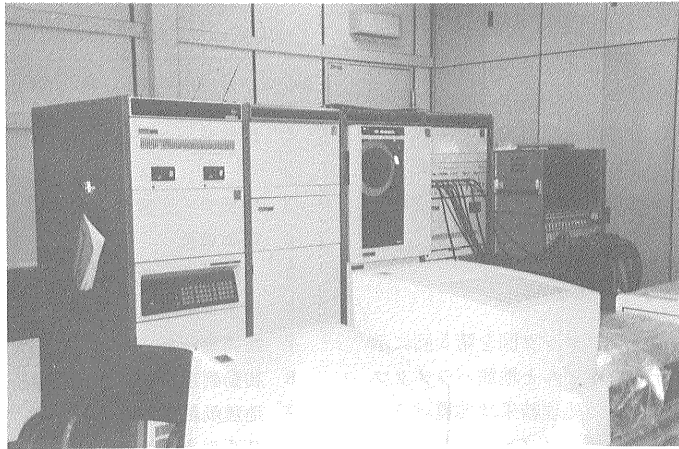
第1図 データ処理システムのハードウェア構成図

CPU: 中央処理装置 MEM: 主記憶 MT: 磁気テープ装置 ICU: インターフェース制御装置
 CRT: キャラクタディスプレイ GDC: グラフィックディスプレイ LP: ラインプリンタ
 XY: XYプロッタ

Fig. 1 Hardware composition of the data processing system.

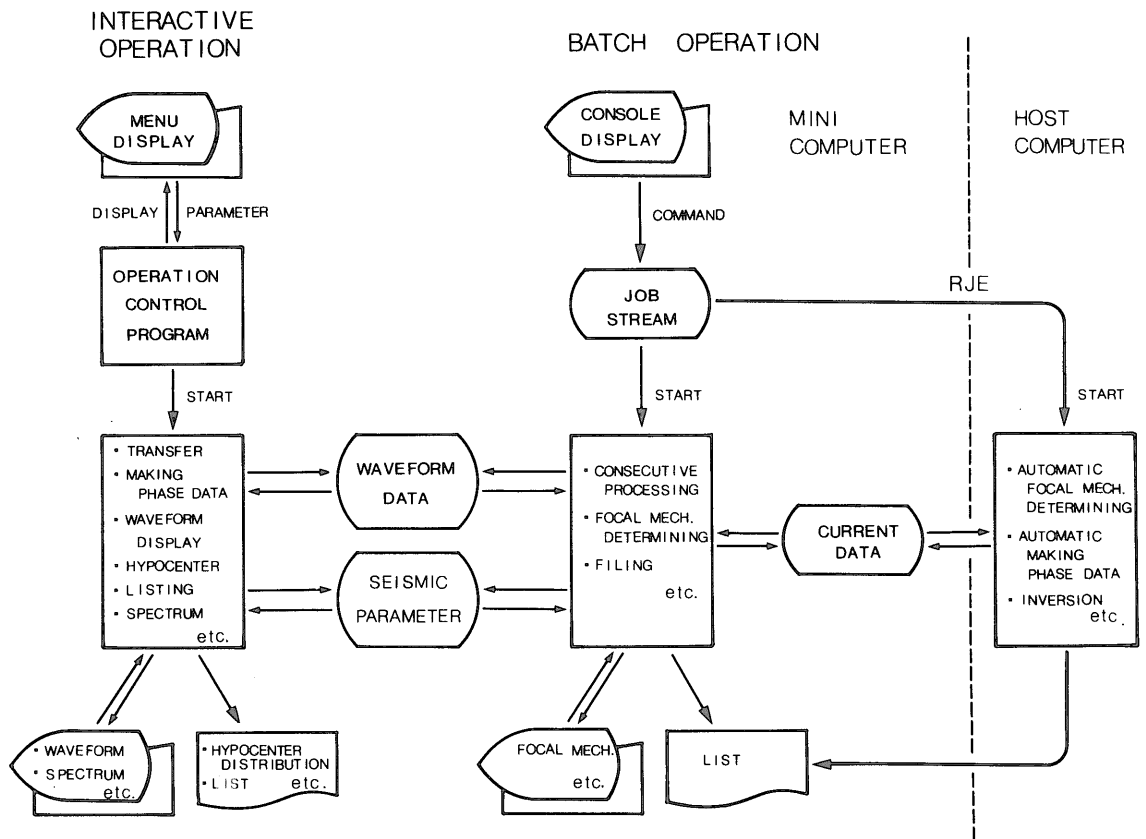
グラフィックディスプレイ, XYプロッター及び静電プリンタープロッターがある。グラフィックディスプレイにはハードコピー装置も接続されている。グラフィックディスプレイからは文字や座標値の入力もできるので、地震データ処理では処理オプションを指定したり波形を表示して画面上で検測するのに用いている。グラフィックディスプレイとミニコンの間は70 kbpsの速度でデータ転送される。このほかプログラム開発を行うためにミニ

コンによるTSS機能を使ってフルスクリーン編集のできるキャラクタディスプレイがある。キャラクタディスプレイは地震データ処理をメニュー形式で行う際に、メニュー及びパラメタ値を表示、指定する装置としても使用される。補助記憶装置としては40 MBのディスクカートリッジとデータ総容量が374 MBの固定ディスク装置がある。ディスクカートリッジはシステムディスクとして使用し、固定ディスク装置は地震データ処理の際に



第2図 データ処理システムの外観

Fig. 2 Mini computer system for earthquake data processing.



第3図 データ処理システムのソフトウェアブロック図

Fig. 3 Software block diagram of the data processing system.

使う波形データ及び処理結果を格納するために使っている。外部記憶装置としては1600BPI, 2400フィートの磁気テープを扱える磁気テープ装置があり、地震波形データの入力やシステム及びデータのバックアップに用いている。また、A/D変換をするためのインターフェースコントロールユニットが接続されていて、アナログデータレコーダからのデータをディジタル化して計算機で扱うことができる。

3. ソフトウェア

処理システムのソフトウェアブロック図を第3図に示す。データ処理は波形データファイルと地震パラメタファイルのデータに対して行われ、処理結果は地震パラメタファイルに格納される。波形データファイルとしては90MBの領域が三つ確保されていて実行時に一つを割り当てる。各々には磁気テープ約3巻分の波形データが入る。また地震パラメタファイルには10MBの領域が割り当てである。地震パラメタファイルは地震IDをキーとして検索する構造になっている。地震IDは10進数9桁で表わされ、第1表に示すように、データの種類の

第1表 地震IDのフォーマット

Table 1 Format of the Earthquake ID.

カラム	内 容
1	データの種類。1:九州4局, 2:九州7局, 3:東北
2-3	観測年
4-5	観測月
6-8	ファイル番号 (MT月番-1)×50+MT内ファイル番号
9	枝番号

観測年月がわかるようになっていて、波形データファイルとの対応もすぐわかるようになっている。同一波形データに複数の地震が記録されている場合は枝番号がつけられる。地震パラメタファイルでは一つ一つの地震について、512バイトの領域にP波到達時刻などの観測データや震源位置、マグニチュードなどが格納されている(第2表)。

基本的なデータ処理はミニコンピュータ内部で行うが、大量の計算を短時間で実行したい場合の便宜を考えて計算は大型計算機で行い、結果をRJEでミニコンピュータ側に転送する処理形態も設けた。

地震データ処理のオペレーションにはメニュー選択方式による会話型オペレーションとジョブストリームを起

第2表 地震パラメタファイルの項目

Table 2 Format of the earthquake parameter file.

No.	項 目	データ長 (バイト)
1	地震データ記録時刻(日時分秒ミリ秒)	7
2	データソースの種類	1
3	磁気テープ番号	6
4	観測局数	1
5	チャンネル数	1
6	局名コード(10局分)	10×1
7	観測実行日	4
8	初動到達時刻, 及び初動極性(10局分)	10×4
9	地震動終了時刻(10局分)	10×4
10	S波到達時刻(10局分)	10×4
11	初動到達時刻信頼度(10局分)	10×2
12	S波到達時刻信頼度(10局分)	10×2
13	ノルム最大振幅値(10局分)	10×4
14	成分毎の最大振幅値(24チャンネル分)	24×4
15	ノイズレベル(24チャンネル分)	24×1
16	平均周波数(10局分)	10×1
17	地震種別	4
18	震源計算実行日	4
19	震源時	10
20	震源計算誤差	10
21	震源位置: 緯度, 経度, 深度	18
22	振幅マグニチュード	2
23	地震動継続時間マグニチュード	2
24	震源計算時の重み	10×2
25	初動パルス幅	10×2
26	主軸方向	10×5
27	時刻補正值	2
28	予備	10

動するバッチオペレーションの二つの方式がある。一般に処理システムを運用するにはフルスクリーン端末によるメニュー方式が操作性の点で優れている。しかし、我々の計算機システム(PFU 1500, OS/UAS)ではそのようなユーティリティが用意されていないので、新たにフルスクリーン端末を用いてデータ処理システムのオペレーションを行うための制御プログラム(第3図中のOPERATION CONTROL PROGRAM)を開発した。

本システムではデータ処理は基本的にはこの制御プログラムのもとで会話形式で行う。但し、パラメタを次々と変えて連続処理するにはジョブストリームを作成して実行する方が使い易いので、その場合はバッチ形式をと

る。また震源メカニズム決定処理についてはバッチ処理の中で疑似的なメニュー形式で実行する。

オペレーション制御プログラムの機能概要を以下に列挙する。構成と形式については富士通のリモートセンシング画像データ処理システム, PROSID (富士通, 1981) を参考にした。

1. オペレーション制御プログラムで扱えるプロシジヤは最大 81 個とし, 最大 9 個のプロシジヤグループの各々に最大 9 個のプロシジヤを割り当てる。

2. 処理プログラムの起動, パラメタ指定のために

1. マスターメニュー (グループの案内)
2. サブメニュー (プロシジヤの案内)

3. プロシジヤメニュー (パラメタ入力案内) の 3 階層のメニュー画面により入力案内をする。

3. メニュー画面の選択はマスターメニュー画面, サブメニュー画面でのオプション選択指定の他, 特にプロシジヤメニュー画面の選択は各画面でプロシジヤ番号かプロシジヤ名の直接指定により行うこともできる。

4. メニュー画面形式及びパラメタのデフォルト値はメニューデータファイルで指定する。メニューデータファイルはフルスクリーンエディタで登録, 修正する。

5. 各プロシジヤのパラメタ値はカレントパラメタファイルに格納されていて, プロシジヤメニュー画面で表示され, そこで修正することもできる。

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8
1                                     HYPO(V01/L01)                               86/07/14 15:15:20
2                                     MASTER MENU
3  OPTION ==>                        (0.0 : MASTER MENU, N.0 : SUB MENU, N.N : PROCEDURE MENU)
4
5
6      1 TRANSFER      - TRANSFER WAVEFORM DATA
7      2 READING       - READING P,S,F-TIME
8      3 WAVEFORM      - WAVEFORM DISPLAY
9      4 HYPOCENTER    - HYPOCENTER COMPUTATION / DISPLAY
10     5 LISTING       - MAKE UP PHASE LIST,FREQUENCY DISTRIBUTION ETC.
11     6 SPECTRUM      - WAVE ANALYSIS
12     7
13     8
14     9
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24     2.AUTO 3.STOP 4.LIST

```

第 4 図 メニュー方式オペレーションでのマスターメニュー画面

Fig. 4 Master menu picture.

第3表 オペレーションコントロールプログラムでのプロシジャ構成
Table 3 Procedure composition of the Operation Control Program.

プロシジャグループ 番号, 名前	プロシジャ番号, 名前	プロシジャ内容
1. TRANSFER	1.1 DGTLMT	デジタル MT から波形データファイルへ転送する。
	1.2 ANLGMT	アナログ MT のデータを A/D 変換し, デジタル MT を編集する。
	1.9 WAVEID	波形データファイルに入っている波形データの ID のリストを表示する。
2. READING	2.1 RDTAKI	滝の上地域のデータの会話型検測。
	2.2 RDHOHI	豊肥地域のデータの会話型検測。
	2.3 SEISM	デジタル MT あるいは波形データファイルの地震波形データの自動検測。
	2.4 DFTIME	初動時刻を与えられて振動終了時刻, 最大振幅, 初動周波数などを計算する。
3. WAVEFORM	3.1 WAVE	波形をグラフィックディスプレイに表示する。
	3.2 PARTCL	パーティクルモーションをグラフィックディスプレイに表示する。
	3.3 WFXYP	波形を XY プロッタで出力する。
	3.4 BGATST	滝の上地域の波形データを内部表現で(ゲイン部と仮数部に分けて)表示する。
4. HYPOCENTER	4.1 HYPOGS	震源決定プログラム HYPOGS(ルーチン用)を実行する。
	4.2 HYPO 71	震源決定プログラム HYPO 71(汎用)を実行する。
	4.3 MEVENT	マスターイベント法により震源決定を実行する。
	4.5 HCPLT	震源分布図を作成する。
	4.6 TKPLT	滝の上地域の震央分布図を坑井データと重ねて出力する。
	4.7 TKSECT	滝の上地域の震源深さ分布図(断面図), 時空間分布図を坑井データと重ねて出力する。
	5. LISTING	5.1 EQLIST
5.2 PHLIST		フェイズリスト(各地震の各観測点毎の検測値のリスト)を出力する。
5.3 DAYFRQ		日別頻度分布図を出力する。
5.4 BVALUE		マグニチュード別頻度分布及び b 値を出力する。
5.8 LISTLP		地震パラメタファイルの内容を LP に出力する。
5.9 LISTGD		地震パラメタファイルの内容をグラフィックディスプレイに表示する。
6. SPECTRUM	6.1 SPECTR	波形データの振幅スペクトルを計算し, 表示する。
	6.2 XSPCTR	二つの波形データのクロススペクトル, 位相差, コヒーレンスを計算し, 表示する。
	6.3 DELAYT	二つの波形データのクロススペクトル, 位相差, コヒーレンスの時間変化を計算し, 表示する。

6. あらかじめ指定しておいたスケジュールデータに従って、連続処理をさせることができる。

7. メニュー画面選択以外のオペレーションはファンクションキイにより行う。処理内容は以下の9項目である。

1. 選択されているプロシジャを起動する。
2. スケジュールデータに従って連続処理する。
3. オペレーション制御プログラムを終了する。

4. 画面イメージをLPに出力する。

5. プロシジャメニュー画面を1頁戻す。

6. プロシジャメニュー画面を1頁進める。

7. カレントパラメタをデフォルト値で更新する。

8. 実行中の処理プログラムをキャンセルする。

9. パラメタ変更入力を無効にする。

プロシジャ構成は容易に変更できる。現在のプロシジャ構成を第3表に示す。

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8
1                               HYPO(V01/L01)                               86/07/14 15:15:32
2                               SUB MENU (1 TRANSFER)
3  OPTION ==>                   (0.0 : MASTER MENU, N.0 : SUB MENU, N.N : PROCEDURE MENU)
4
5
6          CODE          DESCRIPTION
7
8          1 DGTLMT : DIGITAL MT ----> WAVE DATA FILE
9          2 ANLGMT : ANALOG MT ----> WAVE DATA FILE ----> DIGITAL MT
10         3           :
11         4           :
12         5           :
13         6           :
14         7           :
15         8           :
16         9 WAVEID : DISPLAY ALL WAVE-ID
17
18
19
20
21
22
23
24         2.AUTO 3.STOP 4.LIST

```

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8
TASK-NO = 5012 ECODE = 0000

```

第5図 メニュー方式オペレーションでのサブメニュー画面データ転送プロシジャグループの例。ここで2番目のプロシジャを選択すると、第6図の画面が表示される。

Fig. 5 An example of sub-menu picture : data transfer procedure group. Selecting the 2nd procedure on this menu, then the same picture as Fig. 6 is displayed.

アナログデータ変換処理を例にしてオペレーションの方法を以下に示す。

1. コンソールディスプレイからオペレーション制御プログラムを起動すると、フルスクリーン端末はマスターメニュー画面となる(第4図)。
2. プロシジャグループ番号1を選択しオプション入力するとサブメニュー画面になる(第5図)。
3. プロシジャ番号2を選択しオプション入力すると、アナログデータ変換処理のプロシジャメニュー画面の第1頁が表示される(第6図)。
4. 表示されているパラメタ値のうち変更したいもの

があれば修正する。第1頁の指定が良ければファンクションキーを使って他の頁を表示する。パラメタの指定が終了したらファンクションキー1を押してプロシジャを起動する。実行中、キャンセルしたい時はファンクションキー10を押すと再確認の要求が出るので、YESかNOを指示する。

5. 実行終了後、パラメタ値を変更して実行する場合はそのままの画面で4と同様に操作する。他のプロシジャ、例えば波形表示を実行する場合は、メニュー画面番号を指定してサブメニュー画面、メニュー画面に戻るか、または直接プロシジャ名 WAVE を指定してプロシジャ

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8
1
                HYPO(V01/L01)                86/07/14 15:23:35
2
                PROCEDURE MENU (1.2 ANALOG MT --> WAVE FILE) 1/6
3
OPTION ===>          (0.0 : MASTER MENU, N.0 : SUB MENU, N.N : PROCEDURE MENU)
4
5
START TIME (YYYYMMDDHHMMSS)
6
    ===> 19860427170122
7
8
RECORD LENGTH (SEC)    ===> 30
9
10
RECORD SPEED           ===> 2
11
    (1 : 0.19CM/SEC)
12
    (2 : 1.90CM/SEC)
13
    (3 : 19.0CM/SEC)
14
15
SAMPLING FREQUENCY    ===> 500
16
17
MT OUTPUT FLAG        ===> A
18
    (A:ADD,N:NEW)
19
20
SLOW-CODE THRESHOLD   ===> 0200
21
22
23
24
1.EXEC 2.AUTO 3.STOP 4.LIST          8.NEXT 9.DEFAULT          PA2.RESHOW
-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8

```

第6図 メニュー方式オペレーションでのプロシジャメニュー画面
アナログデータ変換プロシジャの例。

Fig. 6 An example of procedure menu picture : analogue data transfer procedure.

メニュー画面に飛ぶ。オペレーションが全て終了したら、ファンクションキー3を押すと、オペレーション制御プログラムは終了する。

4. データ処理

地震データ処理の成果として最も基本的なのは震源分布である。地震活動自体、地熱活動の一部と考えられるし、さらに進んで地下構造、震源メカニズムなどの解析をする場合も震源位置情報が必要になる。従って、震源決定と、その入力データとなる初動到達時刻等の検測がデータ処理の基本である。本システムでもデータ処理流れ図(第7図)に示すようにルーチン処理の中で検測と震源決定を行い、結果をファイルに保存して定期的に集計し、震源分布図やリストを出力している。ルーチン処理は九州豊肥地域の地震観測網(伊藤・杉原, 1985)および東北滝の上地域地震観測網(伊藤・杉原, 準備中)で収録されるデジタル地震波形データを対象としている。それぞれのデータ形式を補遺1に示す。この他、デジタル収録のバックアップや補足観測データとして得られたアナログレコーダ記録も A/D 変換処理を行い、ルーチン処理で取り扱うことができる。この処理については補遺2に示す。

ルーチン処理から進んだ処理としては特別な地震活動に注目して選択した地震データについての集計処理や震源メカニズム決定、スペクトル解析による震源過程解析、波形の特徴に注目した再検測と震源精密決定などがある。また、検測結果等を大型計算機に転送すれば、速度構造インバージョンなどの大量計算処理をすることも可能である。

以下に各処理の内容について述べる。

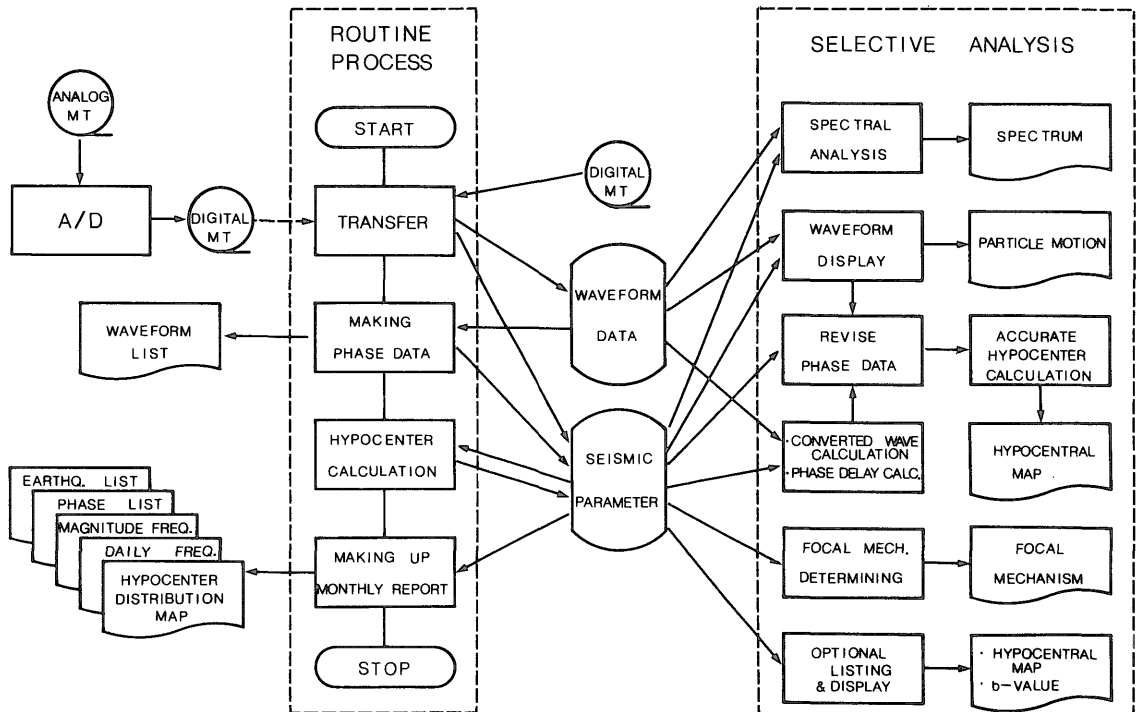
4.1 ルーチン処理

ルーチン処理は検測作業と震源計算、及び集計作業から成る(第7図)。地震波形を記録したテープが送られてくるとまず検測処理を行う。一月分のデータの検測処理が終わった段階で震源計算を行い、各種リストの出力、及び震源分布図の作成を行っている。

4.1.1 検測処理

検測処理は以下の手順で行っている。

1. 地震波形データを磁気テープから波形データファイルに転送する。
2. 波形データファイルのデータをグラフィックディスプレイに表示して初動到達時刻と初動極性の検測を行う。
3. 初動到達時刻の検測が終わったデータについて、



第7図 データ処理流れ図

Fig. 7 Flow chart of data processing procedure.

地震動終了時刻, 最大振幅, 平均周波数を計算する。

4. 最大振幅でスケージングした波形リストを静電プリンタプロッタに出力する。

このうち3と4は連続したジョブとして処理できるので, 人手を要するのは1で磁気テープをセットすることと2の検測作業である。この検測作業は以下の様に行う。

まず検測したい地震の地震 ID と表示形式の指定を行う。画面には一度に最大8成分まで表示できる。1成分について振幅は p-p で 320 ポイント, 画面上の長さで 2.7 cm, 時間軸は 3450 ポイント, 画面上の長さ 30 cm で表示する。表示形式の指定は, 表示する成分として何を選ぶか, 振幅の表示スケール, 時刻の表示スケール, 表示開始時刻, 及びタイトルについて行うことができる。頻繁に使う表示形式については8種類の標準画面が設定してあるので, その中から選ぶことにより表示形式をいちいち指定する手続きを省くことができる。地震と表示形式の指定が終わると, 指定した地震について波形データファイルにある波形データが, 既に地震パラメタファイルに格納されている検測データとともに表示されて指示待ちとなる。検測結果をチェックし, 不適切であれば修正値を指示すると, 地震パラメタファイルの検測データが書きかえられる。指示はキャラクター1文字の入力と, 必要に応じてカーソルを使って行われる。指示できるのは, P 波到達時刻検測, S 波到達時刻検測, 地震動終了時刻の検測, 仮の震源決定計算, 検測結果の取り消し, 地震データファイルの値の修正, 再表示, 継続表示, 終了指示である。P 波到達時刻の検測の時は, 到達時刻だけでなく, 初動極性も指示する。また仮の震源決定計算は, おもに P 波到達時刻検測結果の良否の判断の参考にするために行う。ノイズレベルに比べ信号レベルがそれほど大きくない時は, 前後の波と見分けがつきにくく P 波の同定に迷うことがある。そのような時, 震源決定計算をして計算上, 一番もっともらしい波を選べばよい。

会話型検測作業の能率は波形表示速度によって強く規定されるので, これを改善することは本質的に重要である。現在, 波形表示にかかる時間は8成分のデータを60秒分表示するのに50秒, 3.5秒分表示するのに21秒かかる。このうち主記憶からグラフィックディスプレイに転送する時間は11秒で, 残りはディスクから主記憶への転送とデータ変換に要する時間である。グラフィックディスプレイとミニコン PFU 1500 とのインターフェイスは, 既製品としては最高速度 70 kbps のシリアルインターフェイスを使っている。またディスクからのデータ

転送についてもアセンブラでプログラムを組むなどして高速化につとめた結果, 現在の表示速度を達成したのであるが, 表示速度は速いほど良いので, さらに高速化を目指して検討している。

初動到達時刻の検測については自動化をめざして AR モデルによる自動検測プログラムを開発中であるが, 未だ, 処理速度の点で, ルーチン処理に組み込むには至っていない。検測処理の結果は地震パラメタファイルに格納されるが, そのほか, 波形リストと初動検測画面のハードコピーもファイルされる。

個々の地震についてはルーチン処理によって震源位置, マグニチュード, 初動波到達時刻, 初動極性, 卓越周波数が計算されるが, 波形パターンの特徴など数値データとしては表現しにくい情報もある。そこで我々はルーチン処理の一つとして波形リスト作成を行っている。これは波形全体の特徴が見やすいように最大振幅でスケージングして各観測局の上下動成分を並べて出力したもので, 整理のしやすさと画質の点から静電プリンタプロッタで A4 判の折りたたみ紙に出力している。

4.1.2 震源計算

ルーチン処理の中での震源計算は独自に開発したプログラム HYPOGS で行っている。本システムにはこのほか USGS で開発されて, 広く使われている HYPO 71 (LEE and LAHR, 1975) を縮小したプログラムもあるが, 滝の上地域の地震観測網のスケールが HYPO 71 を適用するには小さいこと, システムの標準的な震源計算プログラムには, その一部機能を他の処理で引用する場合及び, 拡張性を考えると構造が適当にモジュール化されている必要があることから, 新たにプログラムを開発した。

現在のプログラムでは速度構造は水平成層構造を仮定し, 観測時刻と理論走時の走時残差について最小二乗法で決定している。最小二乗問題の解法としては特異値分解法によっている。初期値依存性に対処するため, 複数の初期値の場合について計算し, 走時残差が最小になるものを解としている。

マグニチュード計算は地震動継続時間を使う方法と最大速度振幅を使う方法を併用している。継続時間を T_d (秒) で表わすと, 継続時間マグニチュードは

$$M = a + b \log_{10} T_d \quad (1)$$

で表わすことができる(宇津, 1977)。a と b は観測地点毎に与えられる定数である。最大速度振幅マグニチュードは最大速度振幅を A_v (cm/sec), 震源距離を r (km) で表わせば,

$$M = c + d \log_{10} A_v + e \log_{10} r \quad (2)$$

で与えられる(宇津, 1977)。ここで c, d, e は観測地点

毎に与えられる定数である。(1)式や(2)式の係数はマグニチュードが既知の地震から求めるのであるが、今のところ既知の地震のデータが不足して係数を決定することができない。そこで、とりあえず宇津(1977)にある係数値

$$a = -2.36, b = 2.85, c = 2.94, d = 1.18, \\ e = 2.04$$

を用いている。

プログラム実行にあたっては計算する地震の地震番号、収束条件、出力の詳しさを指定する。入力データとして必要な観測値は地震パラメタファイルから読み込み、計

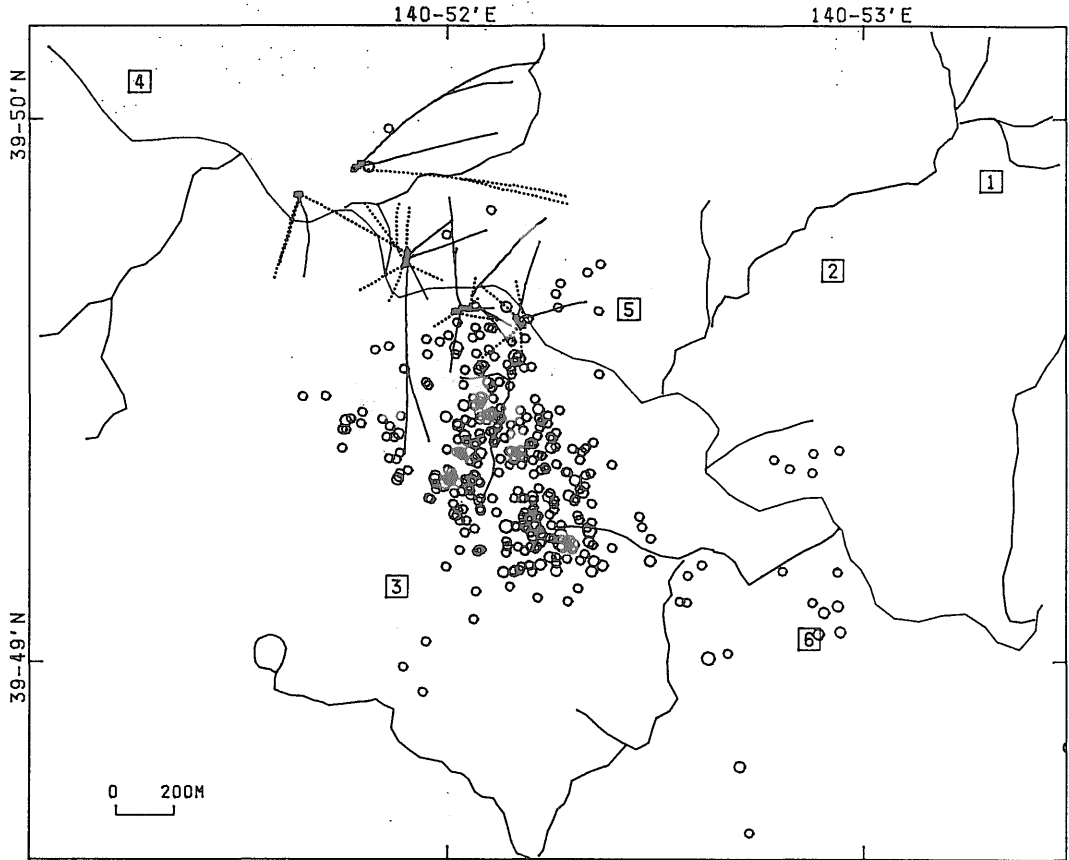
算の結果得られる震源位置とマグニチュードは地震パラメタファイルに書き込まれる。

4.1.3 集計処理

ルーチン処理では以下の項目について一月間のデータの集計処理を行っている。

1. 地震リスト
2. フェイズリスト
3. 日別地震発生頻度分布図
4. マグニチュード別地震発生頻度分布図
5. 震源分布図

地震リストは地震毎に震源時、震源位置、マグニチュ



FROM 85° 5' 12" 14: 0
TO 85° 5' 14" 14: 0

A-MAG. SCALE
M₂>M₂>M₂>M₁>M₂>0>M
○ ○ ○ ○ ○

— PRODUCTION WELL
..... REINJECTION WELL

DRAWING RANGE -3.00KM, 3.00KM, 39-48.670N, 39-50.200N 140-51.000E, 140-53.500E
HYPOCENTER PLOT CONDITIONS RESIDUAL (SEC) = 0.0, 0.02
HYPOCENTER 140.850E, 140.892E 39.811N, 39.837N -1.00KM, 3.00KM
A-MAG -10.0, 10.0 F-MAG -10.0, 10.0 OBS. STA. 6, 8

第8図 滝の上地域の震央分布図の例
坑井位置と観測点位置、河川を重ねて示す。

Fig. 8 Hypocentral distribution of earthquakes by the Takinoue observation network with geothermal wells, observation sites and river.

ード、卓越周波数を一行に並べて表示する形式でラインプリンタに出力したものである。

フェイズリストは地震リストの出力項目に加えて各観測点毎の P 波到達時刻、S 波到達時刻、地震動継続時間、最大振幅等の観測データと観測局毎に計算したマグニチュードがまとめて出力される。

日別地震発生頻度分布図にはデジタル記録計のトリガー発生数と震源決定された地震の個数が、それぞれ日別に示される。

マグニチュード別地震発生頻度分布図にはマグニチュード別の頻度分布と累積頻度分布のほか、分布を表現する Gutenberg-Richter の式のパラメタ、b 値の計算結果も示される。

震源分布図としては平面図、NS 方向の断面図、EW

方向の断面図の三種類の図面を出力している。

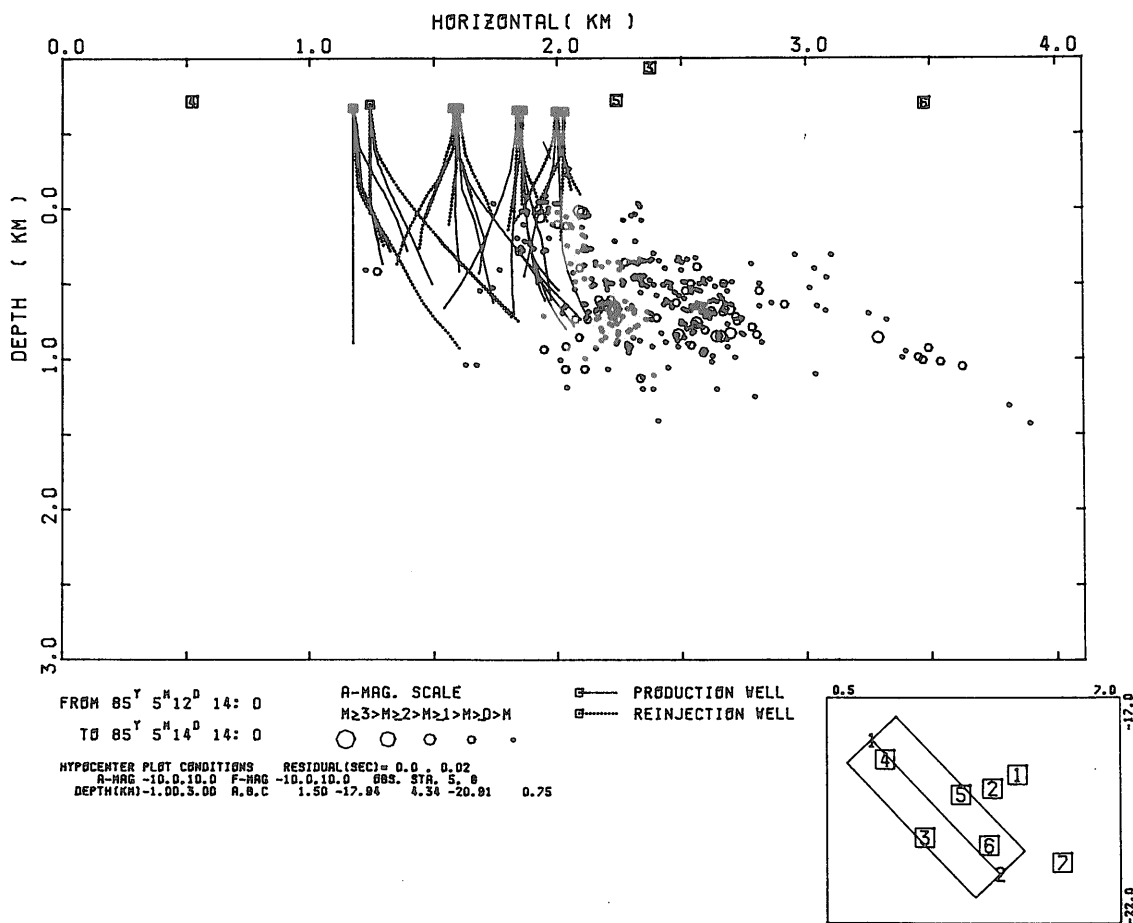
尚、ルーチン処理に使用している集計処理プログラムのうち、震源分布図作成プログラムとマグニチュード別地震発生頻度分布図作成プログラムは表示内容や形式について豊富なオプションがあり、いろいろな地震活動の特徴を把握するために広く使われる。これについては 4.2.1 項で詳しく述べる。

4.2 応用処理

現在、本システムを使って行っている主な応用処理は以下の 3 つである。

1. 集計処理
2. 震源メカニズム決定
3. 再観測及び震源精密決定

以下に各々の処理に関して処理プログラムの機能と処



第 9 図 滝の上地域の震源断面図の例

観測点位置と坑井の形状も重ねて示す。右下の図は断面図の範囲と投影面の位置を示す。

Fig. 9 Cross-section plot of hypocenters by the Takinoue observation network. The boundaries and projection line of the cross-section plot are shown on the lower right in the figure.

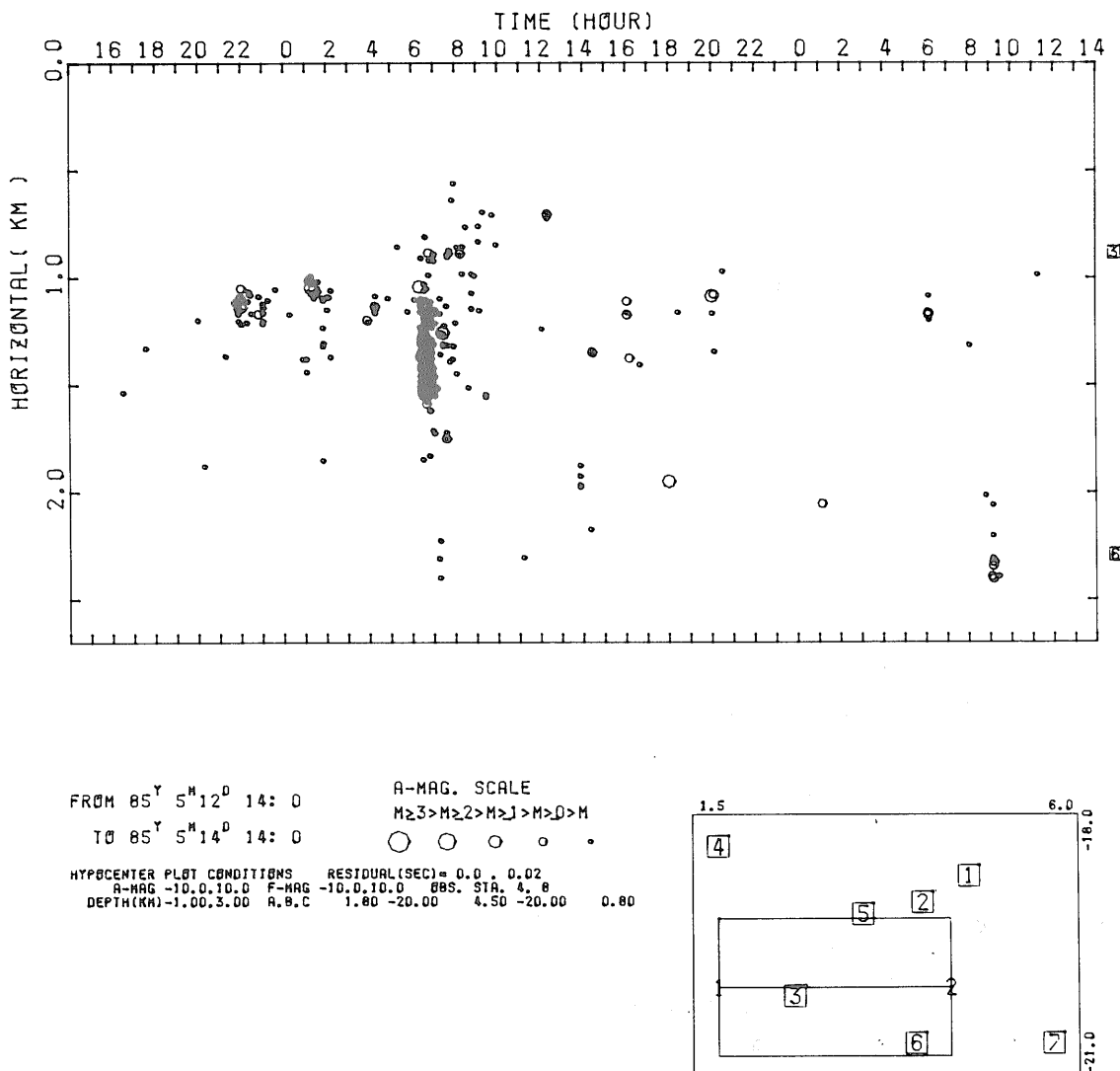
理例を紹介する。

4.2.1 集計処理

微小地震の研究では地震活動の様子をより詳細に調べるためにルーチン出力以外の集計処理を行う必要がある。本システムには表示内容や形式をかなり自由に指定できるプログラムが用意されている。いずれも対象とする地震を期間、区域、質、及び大きさによって選択することができ、震央分布図と震源断面図、時空間分布図については表示スケールを自由に指定し、坑井位置や形状

を重ねて表示できる。震央分布図については、さらに河川や等高線を重ねて表示できるし、震源断面図と時空間分布図は任意の断面で投影できる。第8図は震央分布図、第9図は震源断面図、第10図は時空間分布図の例である。震源断面図と時空間分布図では右下に出力範囲と投影面が示してある。

第11図は規模別頻度分布図の例である。図の上側にマグニチュード別に発生頻度と累積頻度を示し、下側にその分布を特徴づけるパラメタ、b 値の計算結果を示し



第10図 滝の上地域の震源時空間分布図の例
観測点位置を重ねて示す。右下の図は時空間分布図の範囲と投影面を示す。
Fig. 10 Space-time plot of hypocenters by the Takinoue observation network.
The boundaries and projection line of the distribution map are shown on the lower right in the figure.

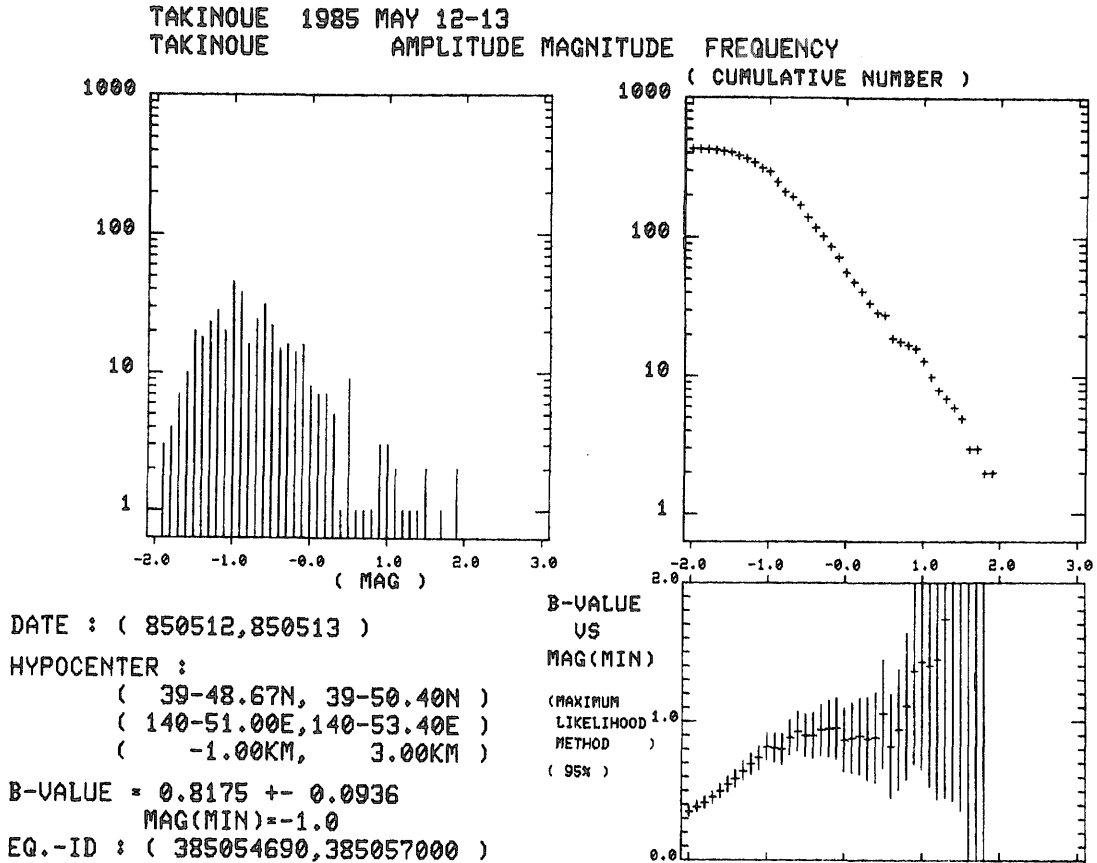
である。b 値の計算は宇津(1965)の最尤法によっているが、そこでは取りもたしなく観測できる最小のマグニチュード値を仮定する必要があるので、いろいろに仮定した場合について求めた b 値とその信頼区間を表示してある。この図の例では累積頻度分布の折れ曲がりと b 値の安定性から最小マグニチュードは -1.0 と考えられ、従って、この地震活動の b 値は 0.8 ± 0.1 である。尚、第8図～第11図はいずれも滝の上地域での同じ群発地震についての図である。

4.2.2 震源メカニズム解の決定

地熱地域で発生する地震の震源メカニズムを知ることが熱水系を構成する断裂の方向性や力学状態を推定するのに役立つ。震源メカニズム解は互いに直交する二対の偶力によって表現できる。震波線を逆にたどって震源球を中心とする単位球上での初動の押し引き分布を考えたとき、押しの領域と引きの領域は互いに直交する二つの

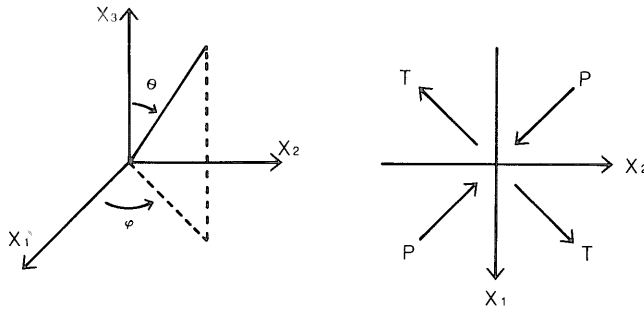
平面によって分けられる。この二つの節面を初動の押し引き分布から決めるのが今の目的である。

震源メカニズム解はそれに付随する座標系(第12図)を指定することで表現できる。従って決定すべき独立なパラメータは三個ある。三個のパラメータの決定は最小二乗法的に行う。即ち、仮定したモデルと観測結果を比較し、最もよく合うものをメカニズム解として選ぶ。ところが観測データ量が少なく、観測値と矛盾しない解を一意的に定めることができない。今の場合、観測データは各観測点での初動の押し引き分布であるので一つの地震のメカニズムを決めるためのデータ数は最大でも観測点数である。我々の微小地震観測網には数点の観測点しかないで、個々の地震のメカニズムを決定するのは難しい。そこで我々は主に複数の地震について合成したメカニズムを求めている。震源位置が異なるがメカニズムの同じ地震がいくつかあれば震源球上の初動の押し引き



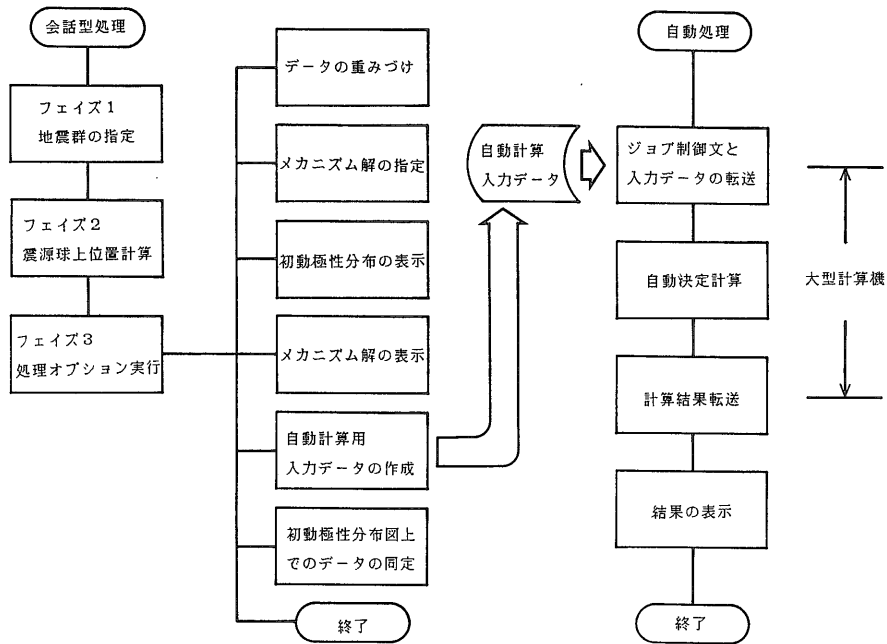
第11図 マグニチュード別地震発生頻度分布図の例
頻度分布、累積頻度分布の他にも b 値も示してある。

Fig. 11 Magnitude-frequency relationship. Frequency, cumulative frequency, and b-value vs. magnitude are shown.



第 12 図 震源メカニズムに付随した座標系

Fig. 12 Coordinates system attendant on the focal mechanism.



第 13 図 震源メカニズム決定処理の流れ図

Fig. 13 Flow chart of focal mechanism determining process.

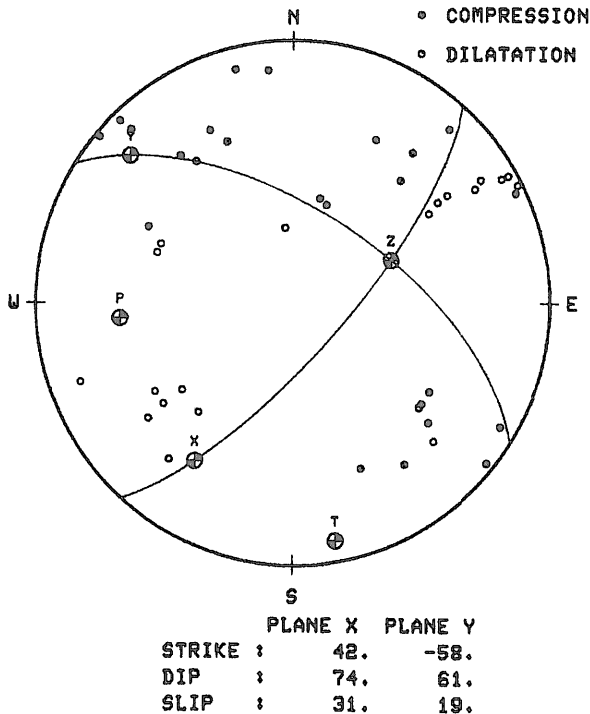
分布のデータは十分な量になるので、その地震群のメカニズムを決めることができる。但し地震群のメカニズムを同一と仮定したことの妥当性は注意深く検討する必要がある。

我々の処理システムでは震源メカニズムの決定は第 13 図に示すようにグラフィックディスプレイを用いた会話型処理と自動決定処理の両方で行うことができる。会話型処理には自動決定処理用の入力データファイルを作る機能もあるので自動決定処理の場合も通常は会話型処理を通して行う。以下に会話型処理と自動決定処理のそれぞれについて説明する。

会話型処理はグラフィックディスプレイを介して行う。会話型処理では最初に定義した地震群について初動極性分布をいろいろ仮定したメカニズム解と重ねて表示して、それを見ていって最終的に地震群とそのメカニズム解を決定する。会話型処理は三つのフェイズから成っている。フェイズ 1 では地震群を定義する。フェイズ 2 では震源球の投影方向を指示したあと、地震群の各々の地震について地震パラメタファイルの震源位置データを引用して震波線の射出角と方位角を求め、震源球面上での座標を計算する。フェイズ 3 では七つの処理オプションの

P-WAVE FIRST MOTIONS AND FAULT PLANE SOLUTION
(EQUAL AREA PROJECTION OF UPPER HEMISPHERE)

ID NO.	ID NO.
1 384011190	
2 384011130	
3 384010640	
4 384032690	
5 384033560	
6 384033830	



第14図 震源メカニズム出力図の例
Fig. 14 An example of focal mechanism plot.

中から指定した処理を行う。このフェイズでは終了オプションを指示するまでオプションの指示とその実行を繰り返すようになっている。オプション1ではデータの重みづけを行う。重みづけは0から10までの11ランクで行うことができる。0を指定するとこの後、初動極性分布図には表示されない。重みの値はメカニズム自動決定計算の時にも使われる。処理オプション2を指示すると、まず初動極性分布が表示される。ここでカーソルを使って仮の節面を指定する。初めに二つの節面の交線が震源球面を切る点Zを、次に節面XZ面と震源球面の交線上の任意の一点を指定する。ここでXZ面とは二つの節面のうち、点Zからその節面と震源球面の交線に沿って見たとき、左手側に初動の押しの領域がくる節面の方である。二点の指定が終了すると節面が計算される。オプション3では初動極性分布図が表示される。オプション4では初動極性分布にオプション2で指定したメカニズム解が重ねて表示される(第14図)。メカニズム解は節面のストライク角、ディップ角、スリップ角の数値でも表示される。オプション5では自動決定計算用の入

力データファイルが作られる。オプション6の処理では初動極性分布図上に表示されたデータがどの地震のどの観測点のデータであるかを調べることができる。この機能を使ってメカニズム解と調和しない地震データをピックアップできる。会話型処理を終わらせるにはオプション7を選択すればよい。

次に自動決定処理のプログラムについて述べる。プログラムは大別して二つの機能を持つ。一つは何点もの押し引きデータが与えられたとき、そのデータを最も良く説明するメカニズム解を求めること、もう一つはメカニズムが違うものを除いていくことである。以下にそれぞれの機能を実現するためのアルゴリズムを述べる。

〈押し引き分布からメカニズム解を決定する方法〉

P波の初動が押しである確率が次式で表わされると仮定する。

$$\pi = \gamma + (1 - 2\gamma) \Phi(\rho A)$$

ここで

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

A は仮定したメカニズムに対する振幅で、震源メカニズムに付随した座標系 (第 12 図) を使って

$$A = \frac{1}{R} \sin^2 \theta \sin 2\varphi$$

で表わされる。ρ はノイズを反映するパラメータで、ゼロならばノイズレベルが完全に信号レベルを越えていることを示し、大きい正值ならばノイズレベルが非常に低いことを表わす。実際、

$$\rho A = 0 \rightarrow \pi = 1/2, \rho A = \infty \rightarrow \pi = 1 - \gamma$$

γ は押しであるはずのものを間違えて引きと観測してしまう確率を表わす。

以上の仮定のもとにメカニズム解に付随する座標系を規定する三個のオイラー角と ρ, γ を最尤法で決定する。ρ と γ は一般には地震毎、観測局毎で異なるが、そのままでは条件数に比べ未知数が多いので、いくつか仮定をする。仮定のしかたに応じていくつかのモデルができる。プログラムでは 6 通りのモデルから選択できるようになっている。例えばモデルの一つは、測定誤差はゼロでノイズレベルはすべての地震観測点で共通であることを仮定して、地震 i の観測点 j での初動が押しになる確率は、

$$\pi_{ij} = \Phi(\rho, A_{ij})$$

で表わせると仮定するものである。これまでの定式化は BRILLINGER *et al.*, (1980) に従ったものである。我々のプログラムではさらに震源位置の誤差の影響も考慮している。これは、滝の上観測網の場合、震源位置の 100 m 程度の誤差があると、震源から観測点への震波線の射出方向について、10 度以上の誤差になりうることに配慮したものである。そこで、対数尤度関数としては、

$$L = \sum_{ij} \int \left[\frac{1+Y_{ij}}{2} \log \pi_{ij}(x_i) + \frac{1-Y_{ij}}{2} \log(1 - \pi_{ij}(x_i)) \right] \times \lambda_{ij}(x_i) \times W_{ij} d^3 x_i$$

を考へることにする。ここで Y_{ij} は観測点 j で地震 i の初動が押しと観測されたときは +1, 引きならば -1 とする。 W_{ij} は押し引きの観測値の重みを表わし、押し引きが不明瞭な場合はゼロを与えればよい。 x_i は地震 i の震源位置を示し、 λ_{ij} は震源位置の誤差を評価する重みである。

〈地震の取捨選択〉

まず、ある地震群のデータ全部を使ってメカニズムを求める。次に地震群の中からメカニズムが違うものを除いていく。プログラムでは、あるしきい値 N を設定し、全部のデータを使って得られた結果と N 点以上の観測点で観測値が適合しない地震については、メカニズムが違うものとして除き、残りについて再びメカニズムを求

める。これを計算結果と観測値の不一致が小さくなるまで繰り返す。

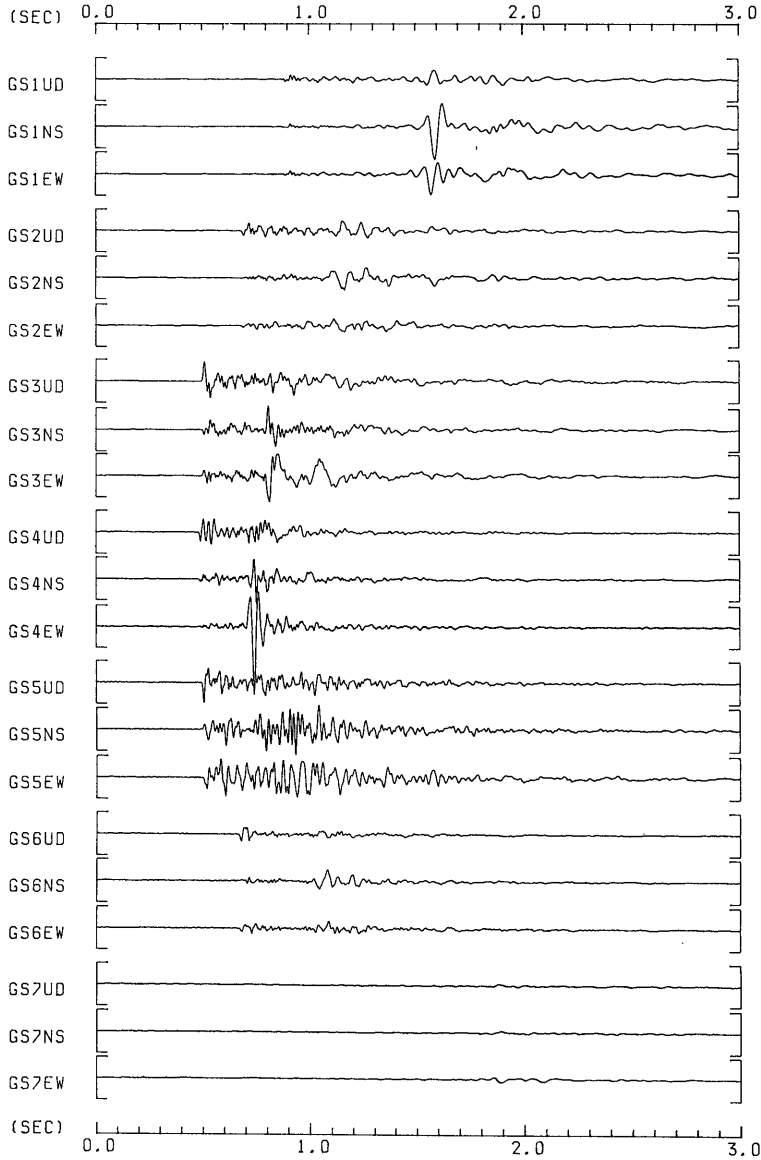
〈プログラムの実行方法〉

初動の押し引き分布のデータファイルと処理オプションを指定するデータのファイルをセットしてプログラムを起動する。押し引き分布からメカニズム解を決める部分の計算量が大きいので、転送して大型計算機で実行する。計算結果は処理システムのファイルに転送され、グラフィックディスプレイに表示される。

4.2.3 再観測と震源精密決定

ルーチン処理では初動到達時刻の観測を定型的画面で行っているために、ノイズレベルが高かったり地震が重なって発生した場合は初動到達時刻をずれたところで読みとったり、誤って別のフェイズを読みとってしまうことがあるが、波形を注意深く調べることによって正しく観測できることがある。例えば、パーティクルモーション図や、全成分の波形を並べた図 (第 15 図) を見比べたり、変換波や反射波、屈折波の走時と振幅比をモデル計算して対比することにより、フェイズの同定が確かになる。本システムにはそれぞれの処理をするためのプログラムが用意されている。観測の精度が向上すると震源位置の精度も向上するので、地震データから推察する地熱活動や地熱構造モデルも、より正確になる。

群発地震の中には波形のよく似た相似地震が含まれていることがある。この場合は別々の地震の同一観測局での地震波形の時間ウインドウをずらして位相差を見ることで各フェイズについて、その観測点での到達時刻差をサンプリング周期以上の精度で求めることができる (NAKAMURA, 1978, POUPINET *et al.*, 1984)。第 16 図は中央に示した二つの波形記録についてタイムウインドウをずらしながらクロススペクトルをとった時、位相差がどのように変化するかを図の上の部分に示してある。時間ウインドウが違えば波相も異なるが、二つの波形間の位相差、即ちその波相の到達時刻差も異なっていることがわかる。図の下部分は周波数を縦軸にとって、クロススペクトルとコヒーレンスと位相差の周波数分布を示してある。棒の長さが位相差を表わし、幅がコヒーレンスとクロススペクトル成分を示す。コヒーレンスが良く、スペクトル成分も大きい周波数領域の位相差が、その時間ウインドウでの波相の位相差を示していると考えられる。図の上の部分に示した位相差は周波数成分毎にクロススペクトルとコヒーレンスで重みづけして得た平均値である。第 17 図は時間ウインドウを指定してクロススペクトルとコヒーレンスと位相差を示した図である。この図は三つのグラフから成り、上から位相差、コヒーレ

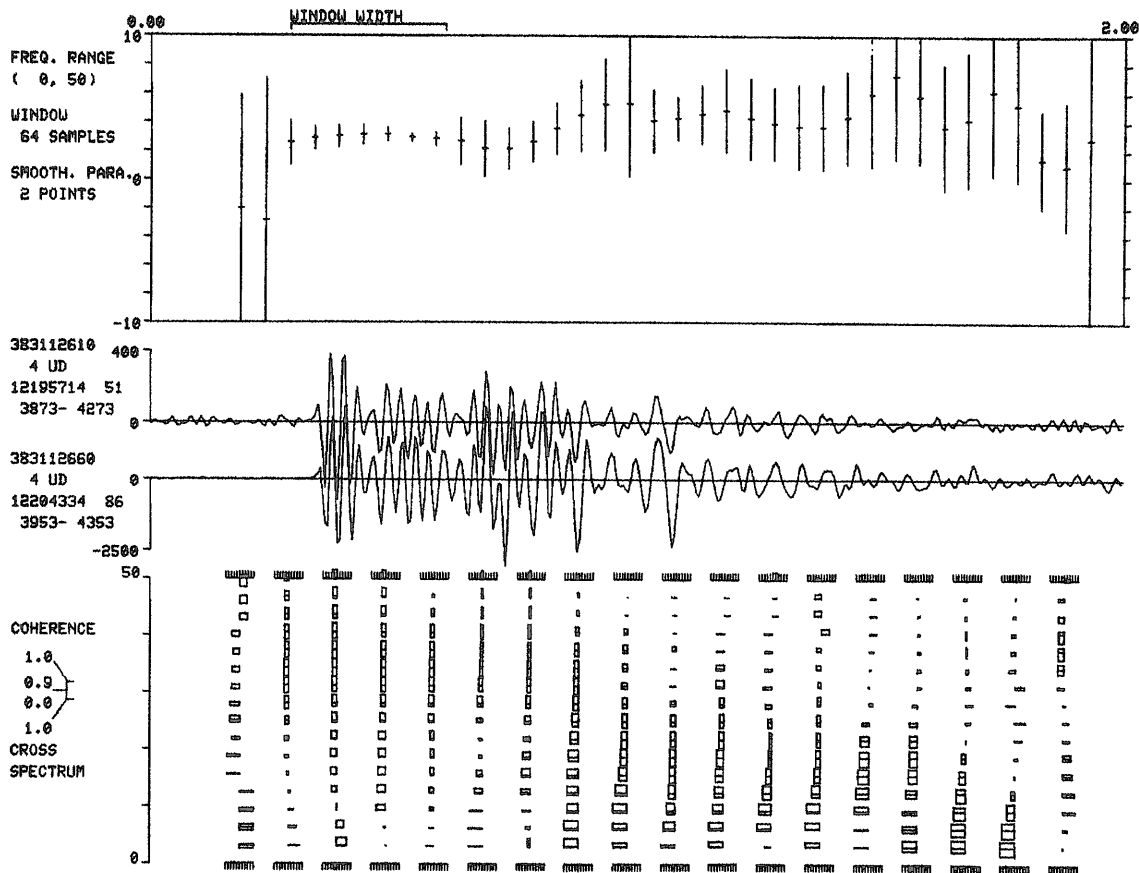


第15図 地震波形観測全成分を並べた出力図

Fig. 15 Three component seismograms for all stations.

ンス、クロススペクトルがそれぞれ横軸を周波数として示してある。縦軸はフェイズスペクトルについては度単位で示してあり、クロススペクトルについては最大値で正規化した値で示してある。位相差については 1 msec

毎の時刻差に対応した補助線も示してある。この図の場合にはクロススペクトルは 30-40 Hz で卓越して、コヒーレンスは 10-45 Hz で良い。そこで位相差については 30-40 Hz の部分を見ると、3 msec の時刻差に対応



第 16 図 相似地震波形の位相差の時間変化図

Fig. 16 Delay of arrival times between similar waveform earthquakes in milliseconds as a function of the time along the seismogram in seconds.

していることが 1 msec 以内の精度でいえる。

以上のような方法により改訂された検測値を用いて震源計算をすれば、得られる震源分布は、より正確なものになり、詳細に地下構造を検出できる可能性がでてくる。特に相似地震については震源位置が近いと仮定して良いので、マスターイベント法を適用して複数の地震の相対的な震源位置関係を精密に決定できる。本システムには伊藤・黒磯(1979)と同様の取り扱いによるマスターイベント法の震源決定プログラムが組み込まれている。

5. まとめ

ここで述べた微小地震データ処理システムの特徴は以下のとおりである。

1. グラフィックディスプレイを介して処理を会話形式で能率よく行うことができる。
2. 検測, 震源決定, 集計処理といったルーチン処理

は、初動到達時刻の検測以外は自動化されていて人手をかけずにスムーズに処理ができる。1ヶ月間に処理すべきデータ量は 2400 フィート磁気テープ約 20 巻であるが、7日間で処理できる。

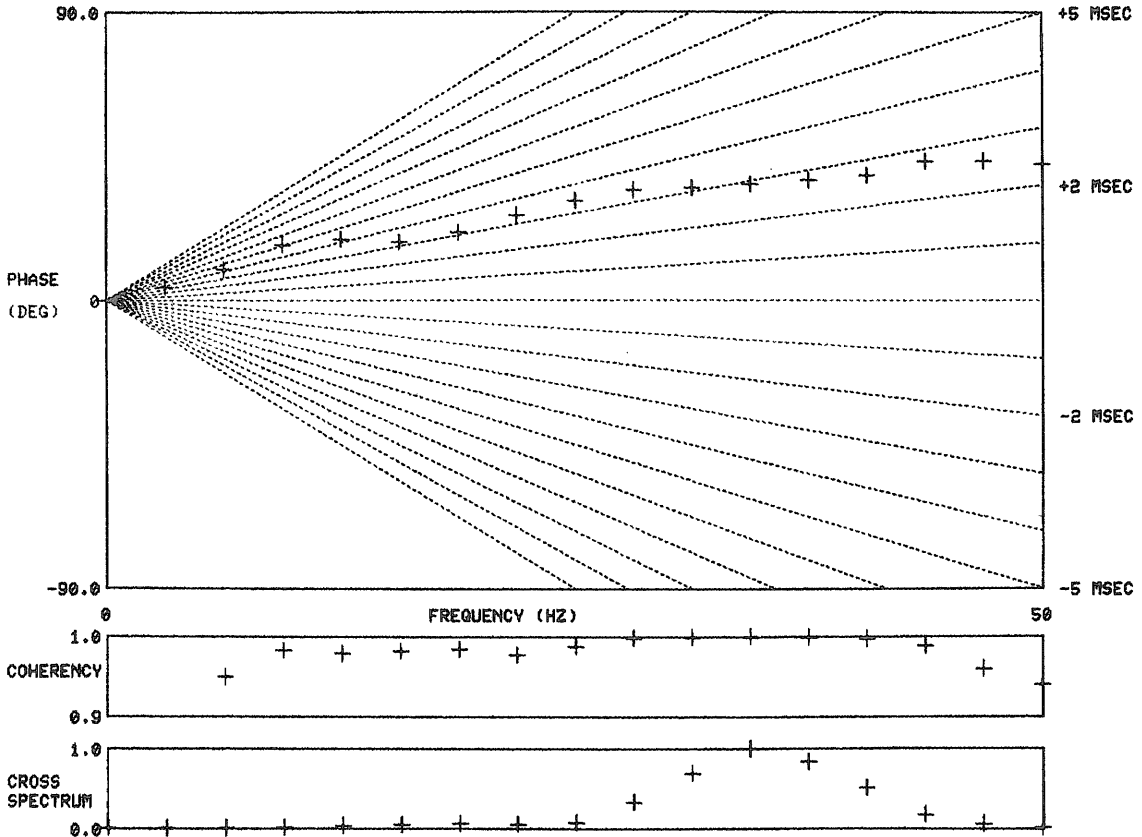
3. 波形データと地震パラメタファイルの利用が専用のファイルアクセスルーチンを用いて容易に行える。
4. 大型計算機と専用回線で接続されているので大量の計算は大型計算機で実行することができる。
5. データ処理システムのエペレーションをフルスクリーン端末を用いてメニュー形式で容易に行うことができる。

一方、今後検討すべき点として考えられるのは以下のとおりである。

1. 初動到達時刻の検測も自動化してルーチン処理を完全に自動化すること。
2. ルーチン処理で S 波到達時刻のデータも利用する

383112610 3943 1219 5714 51
 383112660 4023 1220 4334 87

ST 4 CH 1 SAMPLE= 64 SMOOTHING PARM.= 2



第17図 相似地震のクロススペクトル、コヒーレンス、位相差の例
 Fig. 17 Cross-spectrum, coherency and phase of cross-spectrum
 for the two seismograms shown in Fig. 16.

こと。S波到達時刻の自動検測を行い、震源決定の際にそのデータを使う。

3. 波形データの変換転送速度を速くすること。現在、ルーチン処理では磁気テープから波形ファイルへのデータの入力とグラフィックディスプレイへ波形を表示するときのデータの変換と転送で時間を費やしている。自動検測処理でもデータの引用が律速過程になっている。

4. 処理のメニューをふやすこと。例えばMEM法によるスペクトル計算、フィルター処理、一般的な速度構造での走時計算、波形データのキャリブレーションなど。

5. 地震パラメタファイル管理機能の強化。例えばデータの待避、復元を容易にする。

6. より大容量のマスストレージの開発を待って、波形データベースを構築する。

以上、地熱地帯の微小地震のデータ処理用に開発したシステムについて述べてきた。このシステムはまだ完全なものではなく、現在も改良を加えているが、既に震源決定、結果の集計などのルーチン処理を半自動的にスムーズに行えるようになっている。またスペクトル解析や震源メカニズム決定などの特別な処理も行える。

今後もこのシステムの改良を続け、より使いやすい、より高性能のシステムへと作り上げてゆきたいと考えている。

文 献

BRILLINGER, D. R., UDIAS, A. and BOLT, B. A. (1980) A Probability Model for Regional Focal Mechanism Solutions. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 70 p. 149-170.

富士通(1981) PANAFACOM OS/UAS PROSID 解説書(リモートセンシング画像データ処理システム). 125 p.

浜田和郎ほか(1982) 関東・東海地域地殻活動観測網—国立防災科学技術センター—. 地震 2, vol. 35, p. 401-426.

伊藤久男・杉原光彦(1985) 豊肥地域の地震活動. 地質調査所報告, no. 264, p. 407-443.

伊藤 潔・黒磯章夫(1979) 小地震の前震余震分布. 地震 2, vol. 32, p. 317-327.

黒磯章夫・渡辺 晃(1977) 阿武山地震観測所の微小地震テレメータシステムについて. 地震 2, vol. 30, p. 91-106.

LEE, W. H. K. and LAHR, J. C. (1975) HYPO 71 (Revised): A Computer Program For

Determining Hypocenter, Magnitude, and First Motion Pattern of Local Earthquakes. *U. S. G. S. Open File Report* 75-311.

前田 亙・本谷義信・鈴木貞臣(1978) 北海道大学の地震, 地殻変動テレメータデータ集録システムについて. 地震 2, vol. 31, p. 401-413.

NAKAMURA, Y. (1978) A_1 Moonquakes: Source Distribution and Mechanism. *Proc. Human Planet. Sci. Conf.*, 9th, p. 3589-3607.

POUPINET, G., ELLSWORTH, W. L. and FRECHET, J. (1984) Variations in the Crust Using Earthquake Doublets: An Application to the Calaveras Fault, California. *J. Geophys. Res.* vol. 89, p. 5719-5731.

宇津徳治(1965) 地震の規模別度数の統計式 $\log n = A - bM$ の係数 b を求める一方法. 北大地球物理研究報告, vol. 13, p. 99-103.

—————(1977) 地震学. 共立出版, 306 p.

(受付: 1986年4月21日; 受理: 1986年7月22日)

補遺 1. 本システムで扱うデジタル地震波形データ形式

本システムでは2種類のデジタル地震波形データを扱う。九州豊肥地域の地震観測網のデータ(タイプ A)と東北滝の上地域の地震観測網のデータ(タイプ B)である。それぞれのデータ形式を第 A1 図～第 A6 図に示す。

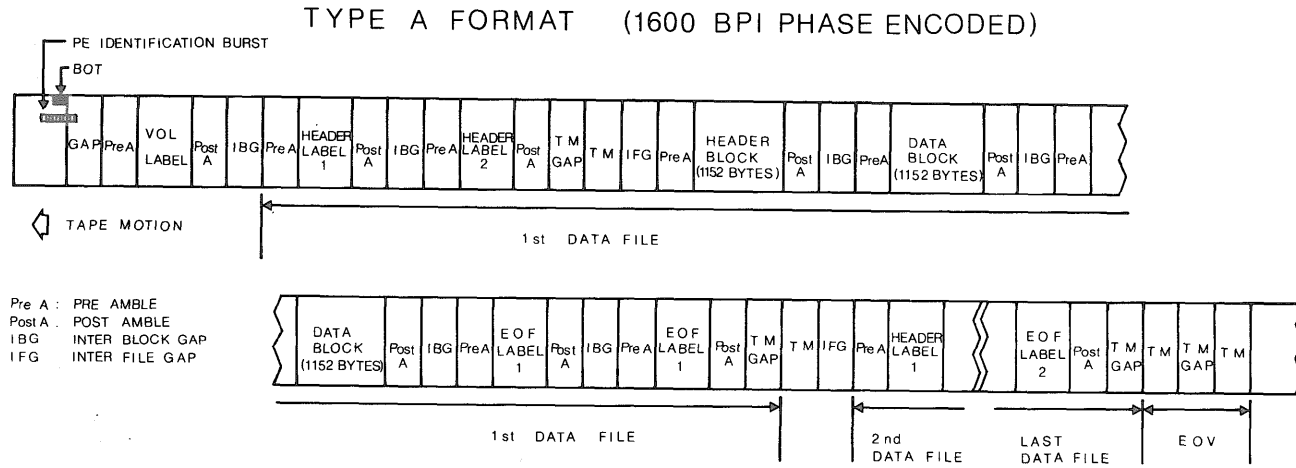
補遺 2. アナログデータ処理

アナログデータレコーダで記録された地震波形データの解析のためには解析すべき地震記録部分を捜して再生し, 初動到達時刻等を検出し, 処理結果をファイルする必要があるが, この処理をすべて手作業で行っているのでは能率が悪い。アナログデータを A/D 変換して後の処理はデジタルデータと同様にできるようにすれば処理はかなり省力化される。本システムのプログラム ANLGMT はアナログデータレコーダで記録されたデータのうち指定した時刻のデータ部分を捜し出したあと A/D 変換し, 処理システムで扱えるフォーマットのデジタルデータを編集するプログラムである。処理対象と

なるデータはソニーマグネスケール社製アナログデータレコーダ UFR-31400 AL によって計測用テープに記録されたもので, スローコードの違う二種類のタイプがある。各々のスローコードを第 A7 図と第 A8 図に示す。スローコードを読んでデータの該当部を捜すのはテープサーチ装置を制御して行い, A/D 変換は ICU 装置のアナログ入力モジュールによって行う。アナログ処理のブロック図を第 A9 図に示す。

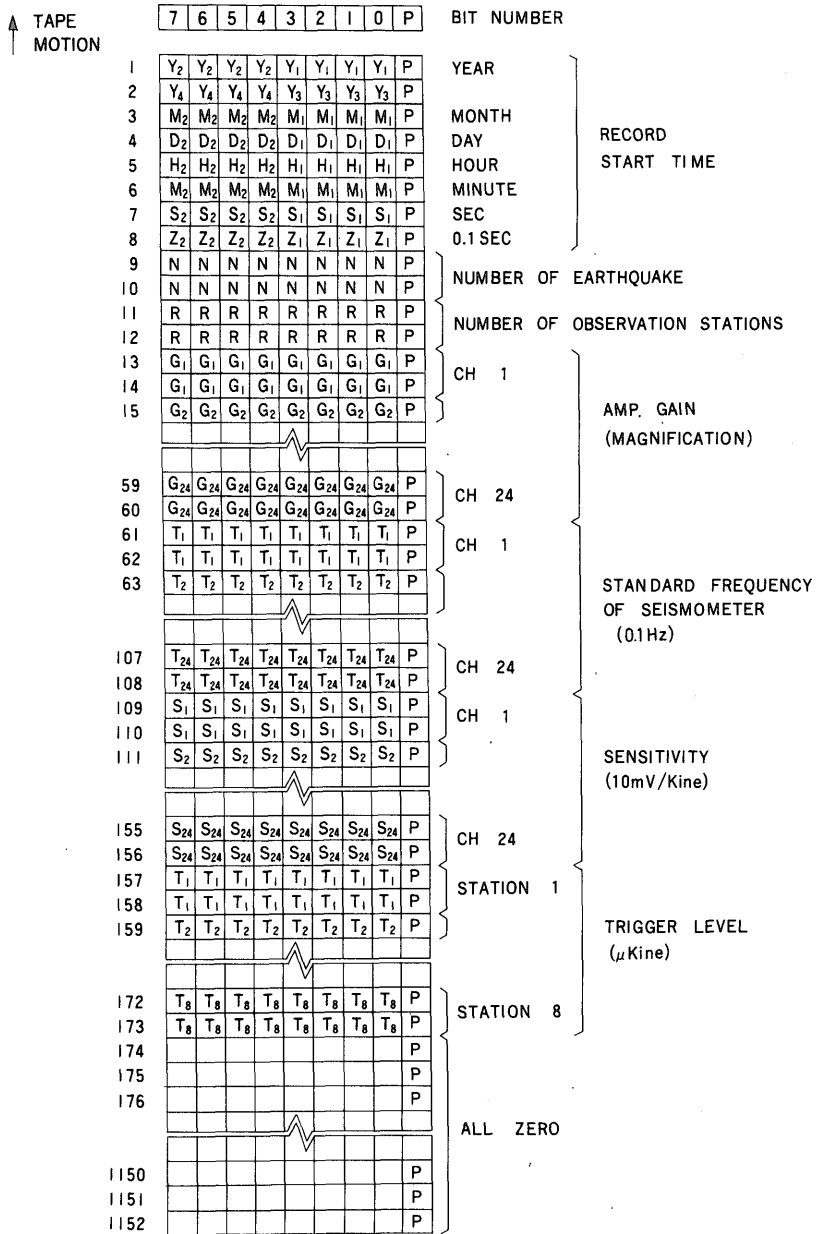
テープサーチ装置はスローコードの種類と記録時のテープ速度をスイッチでセットしておけばサーチ時刻の指定とサーチ動作は計算機で制御できる。サーチ動作中は読み取った時刻が7セグメント LED で表示される。

ICU 装置には入力チャンネルが 16 あり, 最高サンプリング周波数 100 kHz での A/D 変換が可能である。アナログ操作パネルでは BNC コネクタ入力でのアナログ信号の接続, 利得の切り換え, A/D 変換のモニターができる。データはデータ部 12 ビット(2の補数表現)とゲイン 4 ビット(2の指数表現)の合計 2 バイトで表わされる。ゲイン値は固定で, 1, 2, 4, 8 の 4 段階の中からアナログパネルで設定した値が使われる。



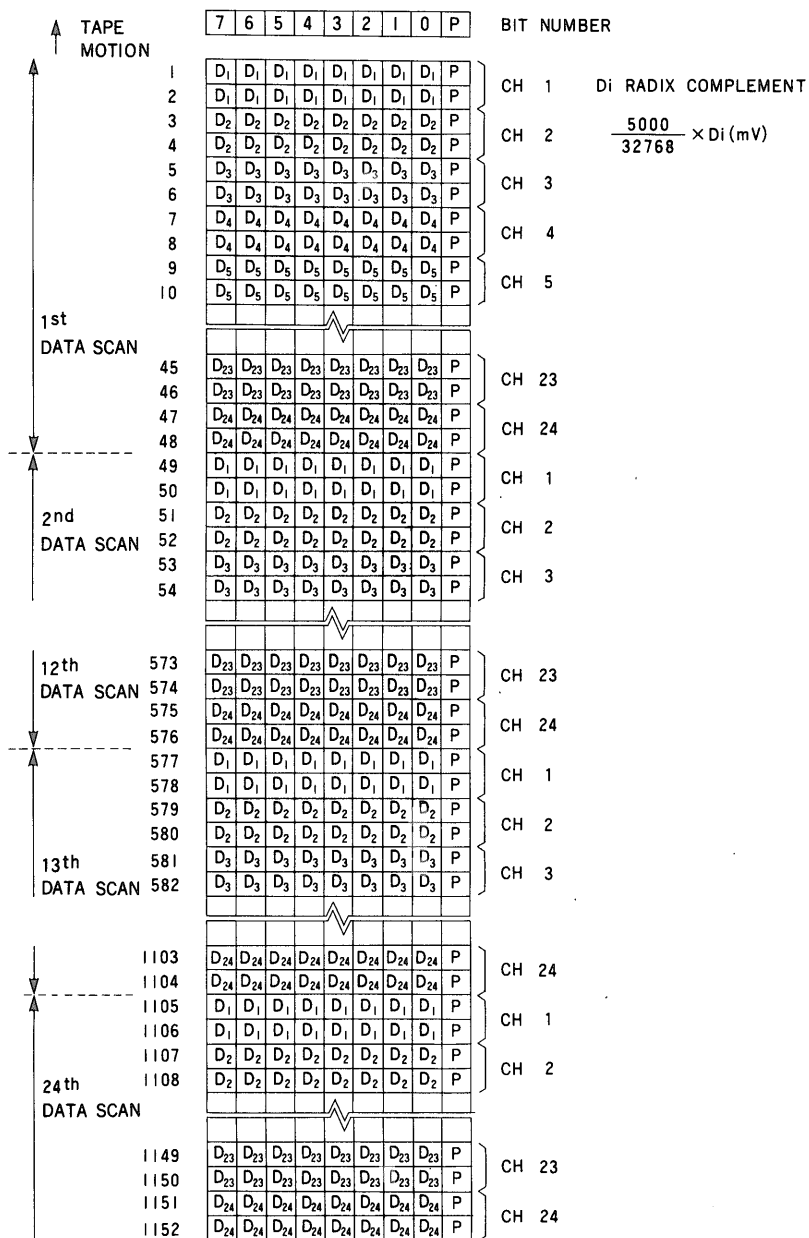
第A1図 タイプA(九州豊肥地域での集録データ)の磁気テープフォーマット
 Fig. A1 Tape format : Type A(Kyusyu Hohi Area)

TYPE A HEADER BLOCK



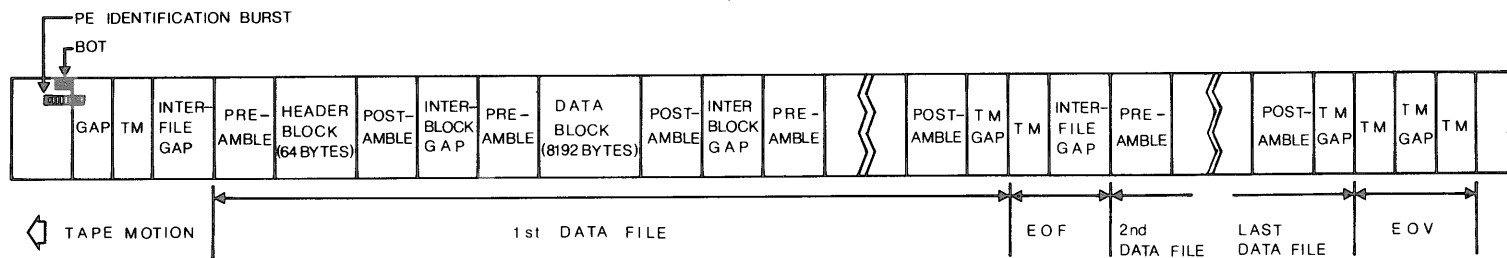
第A2図 タイプA(九州豊肥地域での集録データ)の磁気テープフォーマット(ヘッダーブロック)
 Fig. A2 Tape format(header block) : Type A(Kyusyu Hohi Area)

TYPE A DATA BLOCK



第A3図 タイプA(九州豊肥地域での集録データ)の磁気テープフォーマット(データブロック)
 Fig. A3 Tape format(data block) : Type A(Kyusyu Hohi Area)

TYPE B FORMAT (1600 BPI PHASE ENCODED)



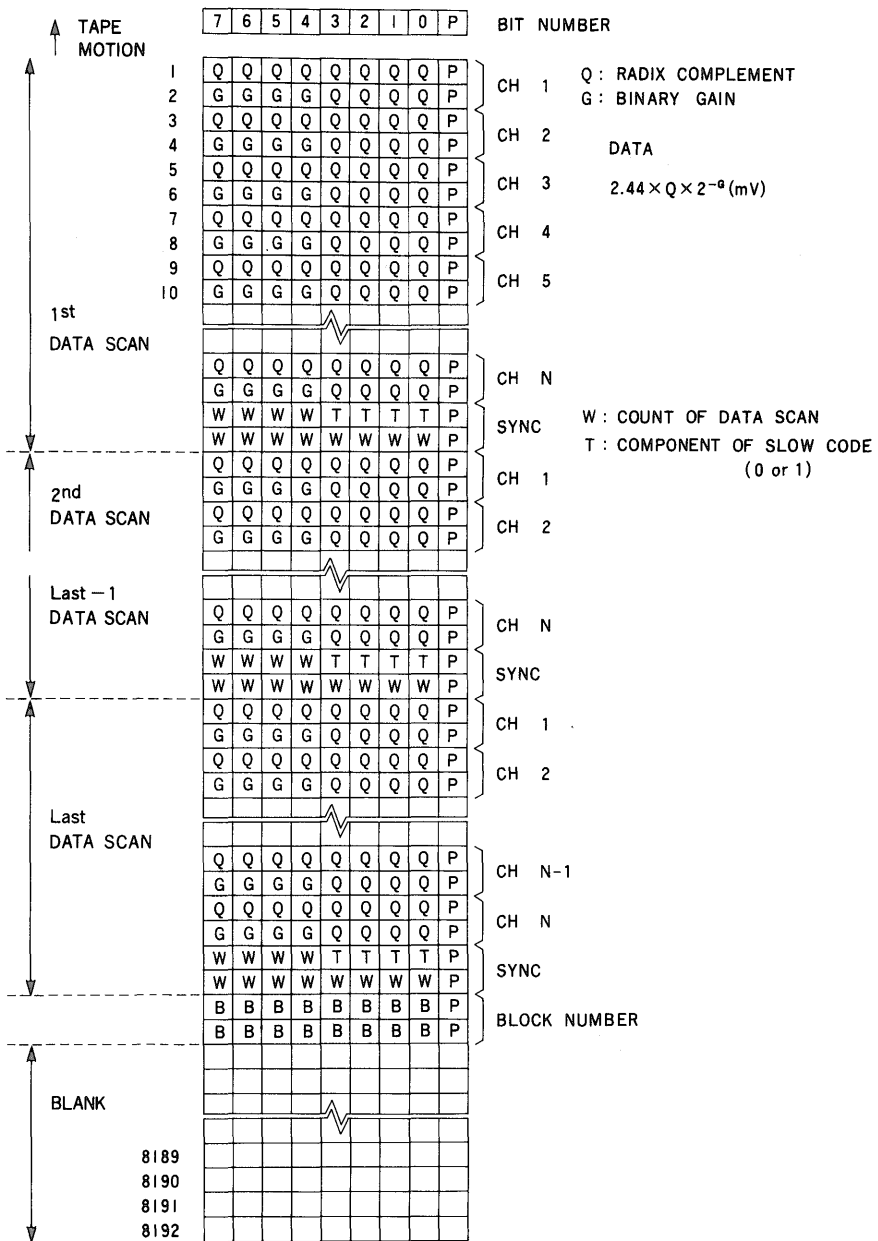
第A4図 タイプB(東北滝の上地域での集録データ)の磁気テープフォーマット
 Fig. A4 Tape format : Type B(Tohoku Takinoue Area)

TYPE B HEADER BLOCK

	7	6	5	4	3	2	1	0	P	BIT NUMBER	
↑ TAPE MOTION											
1	F ₂	F ₂	F ₂	F ₂	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	P	FILE NUMBER (4 digit)	
2	F ₄	F ₄	F ₄	F ₄	F ₃	F ₃	F ₃	F ₃	P		
3	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	P		FORMAT CODE (4 digit)
4	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	P		
5	A ₂	A ₂	A ₂	A ₂	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	P	AREA CODE (2 digit)	
6	R ₂	R ₂	R ₂	R ₂	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁	P		
7									P	REEL NUMBER (2 digit)	
8	0	0	0	0	R	R	R	R	P		
9									P		
10									P	RECORD MODE 1: TRIGGER REC. 2: MANUAL REC. 3: CALIBRATION REC.	
11	B ₂	B ₂	B ₂	B ₂	B ₁	B ₁	B ₁	B ₁	P		
12	I	I	I	I	B ₃	B ₃	B ₃	B ₃	P		
13	1	1	0	0	1	1	0	0	P	BYTES/SCAN(B) (3 digit) SAMPLE INTERVAL(I) { 1: 1msec 2: 2msec A: 0.5msec	
14	C ₁	C ₁	C ₀	C ₀	C ₀	C ₀	C ₀	C ₀	P		
15	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	P	PRE-AMP. GAIN CODE (dB) (6 BIT/CODE)	
16	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₂	C ₂	P		
17	R ₂	R ₂	R ₂	R ₂	R ₁	R ₁	R ₁	R ₁	P	RECORD LENGTH { A: 0.5min 1: 1min 2: 2min 4: 4min	
18	T	T	T	T	J	J	J	J	P		
19	G ₄	G ₄	G ₃	G ₃	G ₂	G ₂	G ₁	G ₁	P	RECORD TYPE(T), GAIN MODE(J)	
20	G ₈	G ₈	G ₇	G ₇	G ₆	G ₆	G ₅	G ₅	P		
21	G ₁₂	G ₁₂	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₀	G ₁₀	G ₉	G ₉	P		
22	G ₁₆	G ₁₆	G ₁₅	G ₁₅	G ₁₄	G ₁₄	G ₁₃	G ₁₃	P		
23	G ₂₀	G ₂₀	G ₁₉	G ₁₉	G ₁₈	G ₁₈	G ₁₇	G ₁₇	P	PRE-AMP. GAIN (2 BIT/CHANNEL)	
24	G ₂₄	G ₂₄	G ₂₃	G ₂₃	G ₂₂	G ₂₂	G ₂₁	G ₂₁	P		
25	D	D	D	D	D	D	D	D	P	DELAY TIME (SEC)	
26	D	D	D	D	D	D	D	D	P		
27	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₂	Y ₁	Y ₁	Y ₁	Y ₁	P		
28	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	P		
29	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁	P	TRIGGERED TIME	
30	H ₂	H ₂	H ₂	H ₂	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁	P		
31	M ₂	M ₂	M ₂	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	P		
32	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	P		
33	Z ₂	Z ₂	Z ₂	Z ₂	Z ₁	Z ₁	Z ₁	Z ₁	P	YEAR MONTH DAY HOUR MINUTE SEC mSEC	
34					Z ₃	Z ₃	Z ₃	Z ₃	P		
35	E ₂	E ₂	E ₂	E ₂	E ₁	E ₁	E ₁	E ₁	P	NUMBER OF CHANNEL	
36	E ₄	E ₄	E ₄	E ₄	E ₃	E ₃	E ₃	E ₃	P		
37	U ₂	U ₂	U ₂	U ₂	U ₁	U ₁	U ₁	U ₁	P	NUMBER OF Kilo-BYTE/BLOCK	
38	U ₄	U ₄	U ₄	U ₄	U ₃	U ₃	U ₃	U ₃	P		
39	S	S	S	S	S	S	S	S	P	UNIT SENSITIVITY (mV/Kine)	
40	S	S	S	S	S	S	S	S	P		
41	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	P	CH 1 CH 2 CH 3 SENSITIVITY = S ₁ × S	
42	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	P		
43	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	P		
									P		
62	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	S ₂₂	P	CH 22	
63	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	S ₂₃	P	CH 23	
64	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	S ₂₄	P	CH 24	

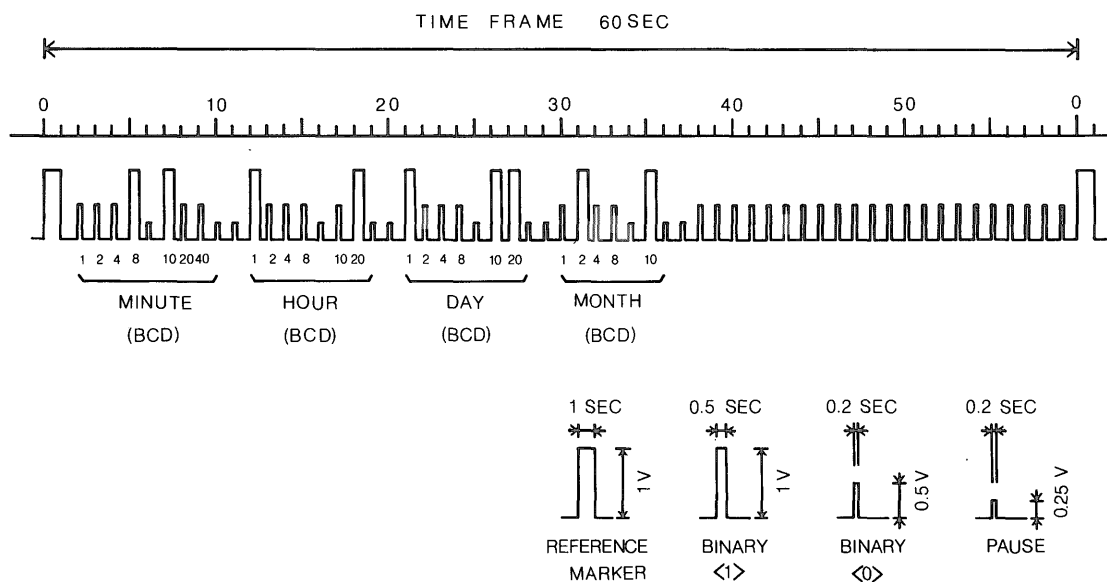
第A5図 タイプB(東北滝の上地域での集録データ)の磁気テープフォーマット(ヘッダーブロック)
Fig. A5 Tape format(header block) : Type B(Tohoku Takinoue Area)

TYPE B DATA BLOCK



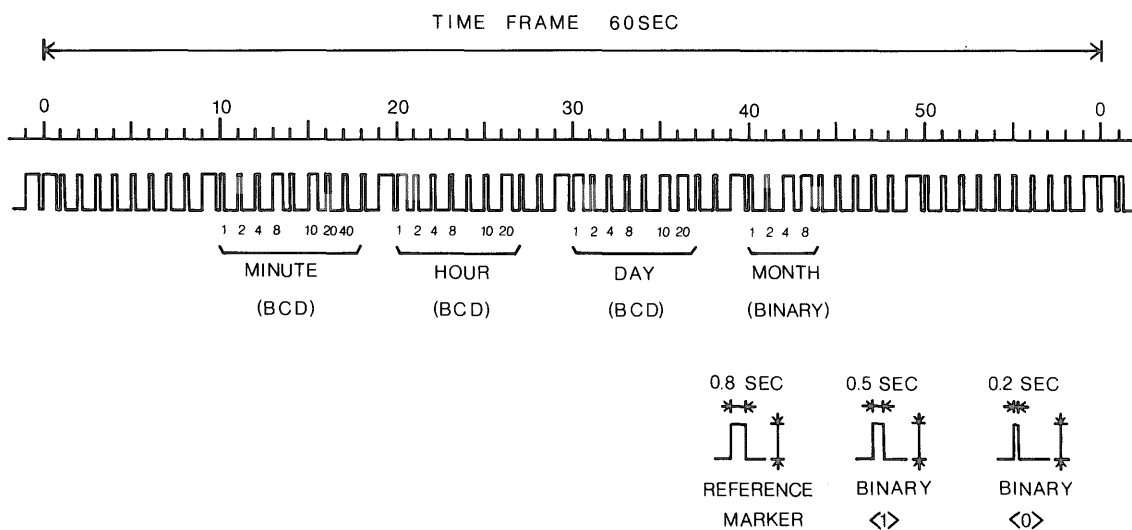
第A6図 タイプB(東北滝の上地域での集録データ)の磁気テープフォーマット(データブロック)
 Fig. A6 Tape format(data block) : Type B(Tohoku Takinoue Area)

SLOW CODE FORMAT: TYPE A (Ex. Dec. 31, 21:18)

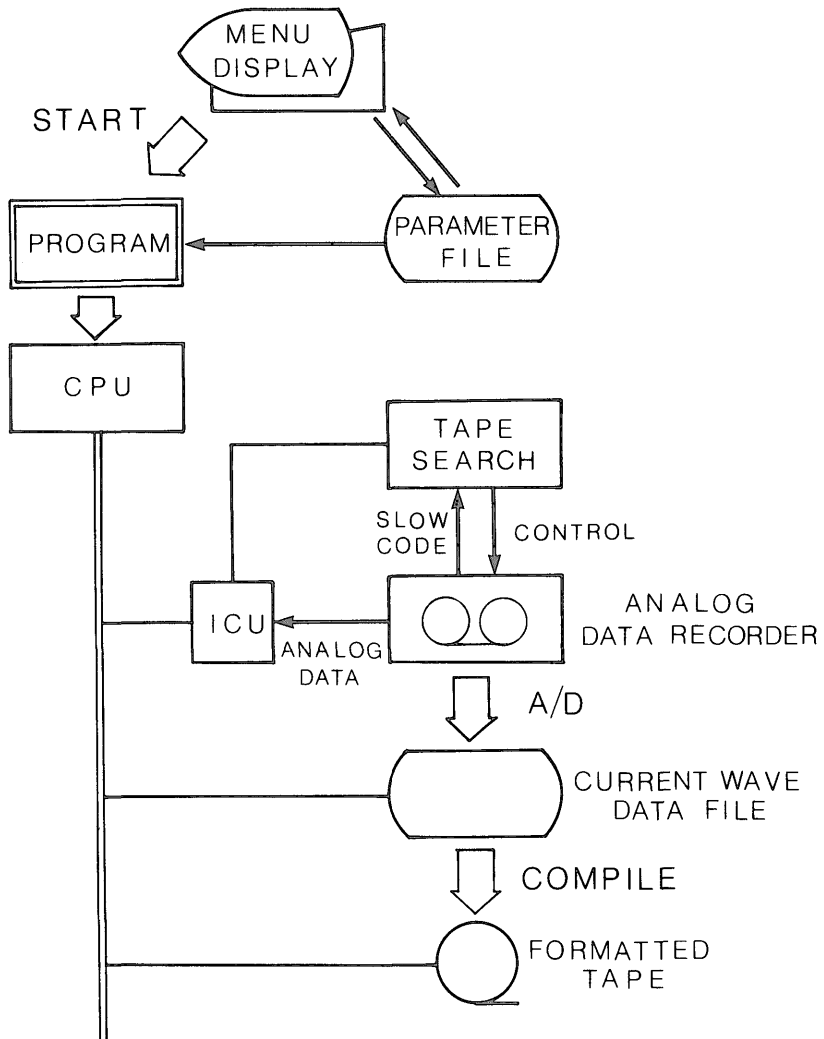


第A7図 アナログデータレコーダ記録のスローコード(タイプA:九州豊肥観測網のデータ)
Fig. A7 Slow-code used for analogue recording(Type A: Hoho observation network)

SLOW CODE FORMAT: TYPE B (Ex. Dec. 31, 21:18)



第A8図 アナログデータレコーダ記録のスローコード(タイプB:東北滝の上観測網のデータ)
Fig. A8 Slow-code used for analogue recording(Type B: Takinoue observation network)



第A9図 アナログ処理の流れ図

Fig. A9 Flow chart of analogue data processing.