地震前兆解析システムにおける地震データ(高速採取データ)の処理

著者	松村 正三, 岡田 義光, 堀 貞喜
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	41
ページ	45-64
発行年	1988-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000966

550.34:681.3

地震前兆解析システムにおける地震データ(高速採取データ)の処理

松村正三*・岡田義光**・堀貞喜*

国立防災科学技術センター

Procedures for Seismic Data Processings by the Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE)

By

S. Matsumura, Y. Okada & S. Hori

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

The methods and procedures for seismic data processings have been improved by introducing a new data processing system, APE (the Analyzing System for Precursors of Earthquakes). One of the results of this development has been seen in the rise of the detection capability of earthquakes, compared with that of the old system. The number of seismic waves that can be detected has increased by applying a method of monitoring STA/LTA for data acquisition. An improvement in the filtering technique has brought about an increase in the deep or far earthquake data that has been located by APE.

In spite of the increase in the data caused by these improvements, the efficiency of processings by operators in reading seismic wave parameters has not diminish because automatic operation techniques have been highly applied everywhere in the processings in order to reduce the loads of the operators.

Besides these improvements, additional readings of seismic wave parameters, such as spectrum, coda decay parameter, and others have been introduced in a routine-base processings. These have brought out various important informations with respect to earthquake source mechanisms and aspects of the crustal medium, which may possibly be related to some of the precursory phenomena.

All of the results produced in the processings are being accumulated in the relational data-bases (RDB), for which utility programs have been well equipped in order to make management and utilization of these data more convenient.

＊第2研究部地震前兆解析研究室，＊＊同地震活動研究室

1．はじめに

地震前兆解析システムが扱う地殻活動観測データは高速採取データ(地震データ)と低速採取データ(地殻変動関連データ)とに大別される．この論文では，この内の高速採取データに対して，その処理方式についての解説を行う．

別稿(松村ら，1987)で紹介したように，地震前兆解析システムは3台のコンピュータ(1号機，2号機，3号機)によって構成されており，これによる高速採取データ(以下では地震波データと述べる)の処理には，1号機(FACOM・S3500)から2号機(FACOM・S3500)へとデータが渡され自動前兆監視に結びつけられる処理と，1号機から3号機(FACOM・M360)へとデータが渡されオペレータによって行われるマン・マシン処理の2系統がある．前者における処理の方式は，検測も含めた全ての手順が自動化されているということ以外，基本的に後者と同一である．また，自動前兆監視についてはやはり別稿(堀ら，1987a)で詳しく解説されているので，ここでは1号機と3号機とによる地震波データ処理について解説する．

テレメータによって各観測点から筑波へ伝送されてきたデータはインターフェイスを介して1号機に取込まれる．1号機の共用ディスク内に蓄えられた地震波データは，オペレータの指示により3号機へ転送され，用意された数次にわたる処理を経た後，最終結果として，震源要素，検測パラメータ，発震機構解，波形データの4種類のデータファイルが生成させる．以上の処理方式は，従来からの専用システム(Matsumura *et.al.*, 1981)による地震波データ処理方式を踏襲したものであるが，地震前兆解析システムの目的(浜田，1987)に沿ってその内容は大幅に強化されている．これらの処理内容について次節では個々のプロセスごとに説明を行う．

2．各プロセスにおける処理の内容

図1は地震波データ処理の流れ図である．各プロセスごとにつけられたタイトルはそれぞれの処理に対応するプログラムあるいはコマンドの名前である．TTM100からTHR200までのプロセスは1号機における処理であり全て自動化されている．他方，HSENDからHRDBまでのプロセスは3号機においてオペレータとの会話によって進められる処理である．

データは1号機側の共用ディスクに一旦蓄えられ，これがバッファとなって，1号機において随時受け付けられたデータが3号機では1日毎のサイクルで処理される．

2.1　データ取込み(TTM100，TTM200)

観測点からテレメータを経由して送られてきた信号は，インターフェイスの中で一旦集められ，1秒ごとのデータパックが形成される．図2に示したように1個のデータパック中の

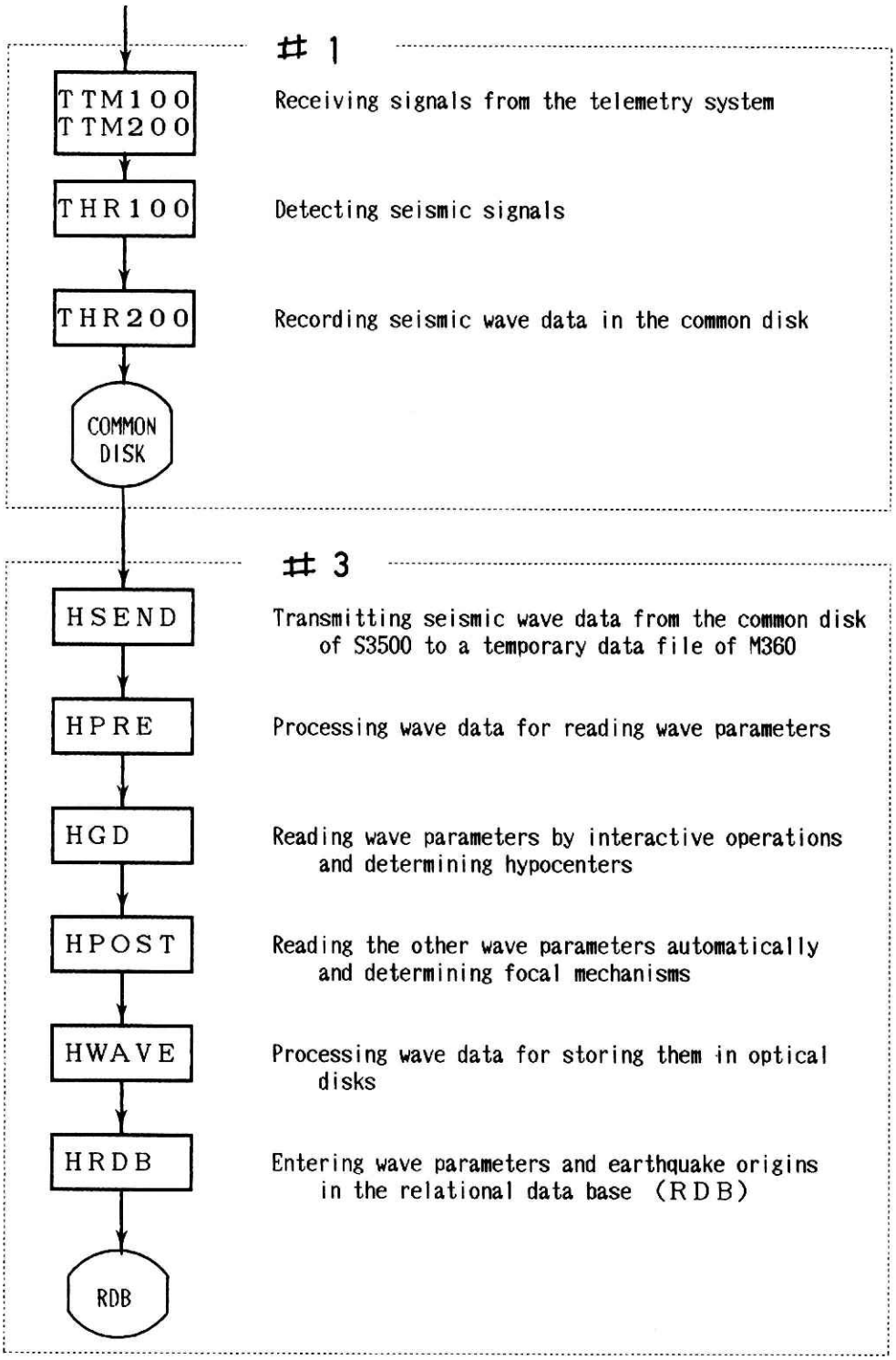


図1　地震前兆解析システムの1号機(#1)と3号機(#3)による地震データ処理の流れ．枠内のタイトルはコマンドまたはプロシジャの名前を示している．

Fig. 1　Flow of data processings by #1 and #3 computers of APE. Titles in the frames are names of each procedure or command.

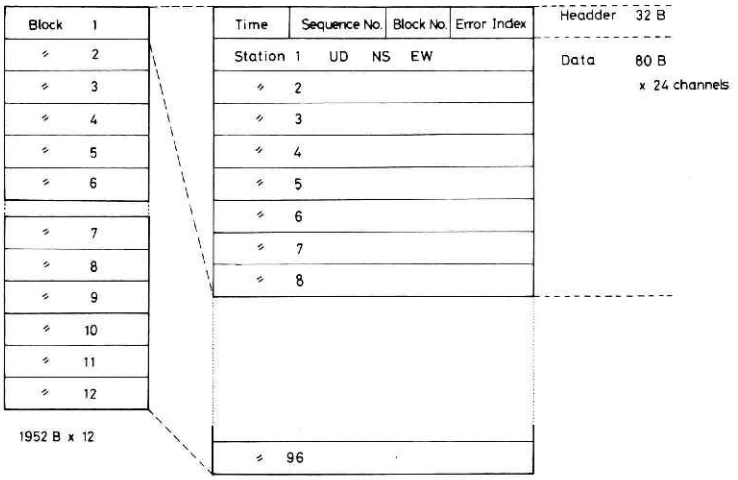


図２　テレメータインターフェイスから入力される地震波データの形式．96観測点１秒分のデータが12個のブロックにまとめられて１個のデータパックを形成している．

Fig. 2　Data format for seismic signals put into APE from the interface device of the telemetry system. One data pack comprises those data for 96 stations during one second.

表１　データパックの中の観測点配置．括弧は62年度導入予定

Table 1　Arrangement of seismic observation stations in the data pack. Those stations parenthesized are in progress.

A	1 (1 2 3)	2 (4 5 6)	3 (7 8 9)	4 (10 11 12)	5 (13 14 15)	6 (16 17 18)	7 (19 20 21)	8 (22 23 24)
1	岩槻A IWT UDH XH YH	岩槻C IWT2 UDL XL YL	下総A SHM UDH XH YH	下総C SHM2 UDL XL YL	守谷 MOR UD X	茂木 MOT UD NS EW	八日市場 YKI UD NS EW	銚子 CHS UD NS EW
2	川崎 HRM UD X	富岡 YPT UD NS EW	横須賀 YSK UD NS EW	市原 ICH UD NS EW	府中C FCH2 UDL XL YL	猿岡 MIN UD NS EW	館山 TYM UD NS EW	千倉 CKR UD NS EW
3	府中A FCH UDH XH YH	裾野 SSN UD NS EW	檜原 HHR UD NS EW	塩山 ENZ UD NS EW	大平 OHR UD NS EW	大間々 OMM UD NS EW	万場 MNB UD NS EW	臼田 USD UD NS EW
4	都留 TRU UD NS UD4	鹿留 TR2 UD NS EW	南足柄 ASG UD NS EW	沼津 NMZ UD NS EW	菲山 MSK UD NS EW	中伊豆 JIZ UD NS EW	西伊豆 NSI UD NS EW	下田 SMD UD NS EW
5	須玉 SDM UD NS EW	下部 SMB UD NS EW	静岡 SIZ UD NS EW	本川根 HKW UD NS EW	水窪 MSK UD NSP UDP	駒ケ根 KGN UD NS EW	阿智 ACH UD NS EW	下呂 GER UD NS EW
6	岡部 OKB UD NS EW	浜岡 HMO UD NS EW	掛川 KGW UD NS EW	天竜 TNR UD NS EW	串原 KSH UD NS EW	下山 SMY UD NS EW	三ケ日 MKB UD NS EW	赤羽根 ABN UD NS EW

B	1 (1 2 3)	2 (4 5 6)	3 (7 8 9)	4 (10 11 12)	5 (13 14 15)	6 (16 17 18)	7 (19 20 21)	8 (22 23 24)
7	北茨城 KIB UD NS EW	那珂湊 NMT UD NS EW	八郷 YST UD X Y	防七機内 CDP UD X Y	足尾 ASO UD NS EW	(鶴原) (FJW) UD NS EW		
8	波崎 HAS UD NS EW	勝浦 KTU UD NS EW					(温泉ホテル) (OOH) UD NS EW	(大島公園) (ODK) UD NS EW
9	吉見 YMI UD NS EW	愛川 AKW UD NS EW	山北 YMK UD NS EW	畑河原 YGW UD NS EW				
10	戸田 HDA UD NS EW	初島 HTS UD NS EW	大島 OSM UD NS EW	新島 NJM UD NS EW	神津島 KHZ UD NS EW	三宅 MKE UD NS EW	八丈 HCJ UD NS EW	御神火茶屋 GJK UD NS EW
11	小谷 OTR UD NS EW	下諏訪 SSW UD NS EW	芦安 ASY UD NS EW	(松代) (MAT) UD EW	(高山) (TKY) UD EW			
12	富士宮 FJM UD NS EW	畑薙 HTN UD NS EW	東栄 TOE UD NS EW	大須賀 OHS UD NS EW	(東海1) (TK1) UD X	(東海2) (TK2) UD X	(東海3) (TK3) UD X	(東海4) (TK4) UD X

地震波データは，3チャネル＊96観測点＝228チャネルの信号を12個のブロックに分けたものからなっている．各ブロックは時刻情報等のヘッダー部と80Hz＊3チャネル＊8観測点分のデータ部から成っており，具体的な観測点の配置は表1のとおりである．これにさらに2KBの低速採取データ分を加えた約25KBのデータを1単位とし，これをインターフェイス内で2分割して，TTM100，TTM200のプログラムによってそれぞれを1号機に取込む．1号機ではメモリー内に60秒分のデータバッファ(1.37MB)を用意しており，これを循環式に埋めていくことで遅延回路としての役目をもたせている．

2.2 地震波の検出(THR100)

THR100は，メモリー上に書かれている最新データをみることによって地震波の検出を行うプログラムである．

インターフェイスから入力されたデータは現地観測点でAD変換されたままの8ビット対数圧縮データである．これを線型データに変換したあと，ディジタルフィルターを通す．入力データを $\{x_i\}$，出力データを $\{y_i\}$ とすると，フィルターの式は，

$$y_i=|x_i-x_{i-2}|+|x_i-x_{i-160}|$$

で与えられる．添字は80Hzサンプリングによる各データに対応しており，第1項は20Hzにピークを持つフィルターに相当する(松村・大久保・勝山・浜田，1979)．これによって比較的高周波成分を持つ近地地震が検出されることになる．一方，第2項は直流成分以外の低周波を拾うため導入された項であり，これによって遠地地震も検出されるようになっている．

次に，ノイズの平均振幅が比較的長時間の周期で変動しているような場合(例えば，昼間と夜間のノイズレベルの違い等)にも，そこに重畳した地震波を効果的に拾い出すために，信号レベル $\{y_i\}$ の短時間平均(STA : Short Term Average)と長時間平均(LTA : Long Term Average)を計算し，その比を調べる．両者は，

$$STA(k)=y_i+y_{i+1}+\cdots+y_{i+79}$$

$$LTA(k)=LTA(k-1)+C\{STA(k)-LTA(k-1)\}$$

の式で毎秒計算される．STAは1秒間の信号レベルの積算である．LTAの方は，レスポンスの早さを決める定数Cによって規定された時間幅で見た信号レベルの代表値に相当している．ここではC＝0.0167，すなわち時定数が1分となるように設定している．地震波のように鋭い立上がりをもつ信号が入った場合，LTAはその変化に追随できないため，STA/LTAの値が急激に増加する．この比に対して一定のしきい値を設定し，地震波検出を行うが，大部分の観測点に対しては2.5という数値を与えている．一旦，地震波が検出されると，同じSTA/

LTAが今度はその終了時刻検出のために用いられる．このためのしきい値としては，通常1.5を用いている．また，検出の信頼性を確保するため，立上がり検出に対しては，しきい値を上回る状態が連続3秒以上，終了検出に対しては，しきい値を下回る状態が連続2秒以上持続することを条件としている．

ところで，地震波を検出した時にLTAの計算をそのまま継続していると値が徐々に上がりはじめ，STA/LTAは1に漸減する．その結果，概ね1分以上持続するような地震波の場合には検出状態が途中で打切られてしまうことになる．こうした事態を防ぐために，立上がりが検出された時点でLTAの計算を中断し，値を固定する．一方，STAの計算は継続されており，その値は毎秒更新されていく．ただしLTAの固定時間は10分間であり，これを過ぎるか，または地震波の終了が検出されるかすると，LTAの計算が再開され値が変り始める．この方法によって約10分間までは検出の状態を持続することが保証され，マグニチュード6程度の地震でも，その地震波の継続時間に見合った連続収録が可能となる．ただし，群発地震発生時のように多くの地震波が連続的に入った場合には，やはり検出が中断されるおそれがある．

STAは観測装置の動作状況監視のためにも利用されている．地震波が入らない状態でも通常は微動が存在するため，STAの値が零になることはない．しかし地震計やテレメータの故障で正常な信号が受信されなくなった場合STAはほぼ零となる．これをみることによって装置の動作が正常かどうかの状況監視が行われる．標準の観測点においては地震波3成分の観測がなされているが，地震波検出は上下動成分に対してのみ，また，動作状況監視は全成分に対してなされる．なお，上下動成分に障害が発見された場合，地震波検出処理の対象は自動的に水平動成分に移されるようになっている．

2.3 地震波データの収録(THR200)

地震波の検出は各観測点ごとに行われているが，検出された全てがデータ収録の対象になるわけではない．1観測点でしか検出されなかったようなデータは，ノイズである割合が高く，たとえ本当の地震波であったとしても利用価値が低い．そこでデータ収録に対しては次のような条件を課した．

ある観測点で地震波が検出された時，収録のためのポイントを自分自身とその周辺の観測点に与える．ポイントの設定は，自分自身に対しては10ポイント，周辺5観測点に対して各3ポイントである．このポイントを観測点ごとに集計して16ポイント以上になった時，その観測点を含むデータブロック(8観測点分)について収録を開始する．また，収録の停止はそのブロックが含む全観測点のポイントが12ポイント以下となった時である．この条件によって，実質的に近接する3観測点以上で地震波が検出された場合のみデータの収録がなされることになる．なお，実際に収録されるデータの範囲は，メモリー上の遅延バッファを利用して上記の収録条件がオンになった時刻の30秒前からオフになった時刻の10秒後までである．この間のデータを1個のイベントデータとして，これに対して時間順に番号がふられる．平

均的にみれば1イベントデータのサイズは約1MBであり，この中には通常，1個の地震に対応して各観測点で検出された地震波が含まれるわけであるが，群発地震時などでは1イベントデータの中に多数の地震が含まれることがある．このような場合，また，単独でも非常に大きな地震の場合には1個のデータのサイズが大きくなりすぎて処理に不都合をきたすことがある．従って，1イベントデータの大きさに対して4800ブロック・秒を最大として，これを超える場合には強制的に収録を一旦停止するようになっている．

収録データはブロック(=1952B)を単位として，共用ディスク内に一旦収容される．このために共用ディスク内には1GBのファイルが割当てられている．地震活動の平穏な状態では，入力データ量は，収録データ個数で1日あたり50～60個，約50MB程度であり，ファイルが一杯になるまでには20日間程度の余裕がある．しかし群発地震が発生したときには通常の10倍を超える割合でデータが入りはじめ，あとに続く3号機での処理が追い付かなくなってしまう．このような場合にはディスクファイルからあふれ出るデータを一時，磁気テープに退避

*** DATA COLLECT FILE INFORMATION *** DATE 87/10/15 TIME 17:06:23 PAGE 01

LR DATA * 87/10/13 - 87/10/15 87/08/16 - 87/10/12

	HR DATA			HR DATA			LR DATA(TRIG)		
	DATE TIME	NO.	BLOCK	DATE TIME	NO.	BLOCK	DATE TIME	NO.	BLOCK
*	10/15 16:53	4389	546	10/15 08:38	4369	852	10/12 23:09	294	3760
*	10/15 16:41	4388	224	10/15 08:10	4368	645	10/08 12:50	293	1180
	10/15 16:24	4387	298	10/15 07:58	4367	279	10/07 05:16	292	2920
	10/15 16:12	4386	60	10/15 07:47	4366	147	10/06 13:35	291	4780
	10/15 15:50	4385	72	10/15 07:43	4365	472	10/04 19:24	290	1300
	10/15 15:15	4384	124	10/15 07:37	4364	127	10/03 19:32	289	1480
	10/15 14:54	4383	321	10/15 07:32	4363	504	10/02 04:46	288	1060
	10/15 12:44	4382	718	10/15 07:28	4362	187	09/30 11:03	287	1360
	10/15 12:18	4381	526	10/15 07:06	4361	73	09/28 21:08	286	2980
	10/15 12:13	4380	142	10/15 06:09	4360	69	09/25 19:19	285	1420
	10/15 12:11	4379	321	10/15 05:50	4359	444	09/25 16:59	284	1840
	10/15 11:59	4378	240	10/15 05:11	4358	284	09/24 13:52	283	1360
	10/15 11:55	4377	150	10/15 05:05	4357	1435	09/17 14:00	282	1240
	10/15 11:49	4376	214	10/15 04:51	4356	68	09/04 13:31	281	2860
	10/15 11:42	4375	144	10/15 04:31	4355	425	09/03 17:23	280	2260
	10/15 11:37	4374	70	10/15 03:19	4354	343	09/03 16:02	279	4480
	10/15 11:29	4373	77	10/15 02:10	4353	656	08/24 09:20	278	940
	10/15 10:13	4372	952	10/15 00:51	4352	126			
	10/15 09:51	4371	1837	10/15 00:32	4351	522			
	10/15 09:17	4370	85	10/15 00:09	4350	129			

図3　1号機によって収録されたイベントデータ単位での地震波データのリスト．頭に星印が付いているのは3号機への転送が終わっていないことを示している．同じ画面内に低速採取データの収録情報も表示されている．

Fig. 3 GD screen of #1 computer displaying a list of event data set for earthquakes detected. Star marks affixed mean that those data sets are not yet processed by #3 computer. In the picture, informations about acquisition of crustal movement data are also listed.

する．例えば，1986年11月の伊豆大島噴火に伴う群発地震では11月21日から24日の4日間で30巻余りの磁気テープ(6250BPI，2400フィート)が排出された．

2.4 データ転送(HSEND)

1号機でのデータ収録状況はグラフィックディスプレイの画面上で見ることができる(図3，参照)．オペレータはこれを見て，処理すべきデータを共用ディスクから3号機へと転送するようコマンド(HSEND)を出す．これによって共用ディスク内のものと同じ形式のデータが3号機のディスクファイルに形成される．このコマンド(及び以下のコマンド)は単独で出すこともできるが，通常はHALLという複合コマンド(HPOST＋HWAVE＋HRDB＋HSEND＋HPRE)を出すことになっている．1日分の作業データを準備するためにHALLは通常4～5時間(ラプスタイム)を要しているが，実際の運用ではHALLを作業前日の夜半に行っているため，オペレータやTSSの使用者に迷惑をかけることはない．

2.5 前処理(HPRE)

転送されたデータは8観測点・1秒ごとのブロック単位に切られており，個々のデータも8ビットに圧縮された形のままである．HPREでは，グラフィックディスプレイ上に波形を表示するために，観測点ごと，チャネルごとにデータを並べ替えると同時にリニアデータへの変換を行う．

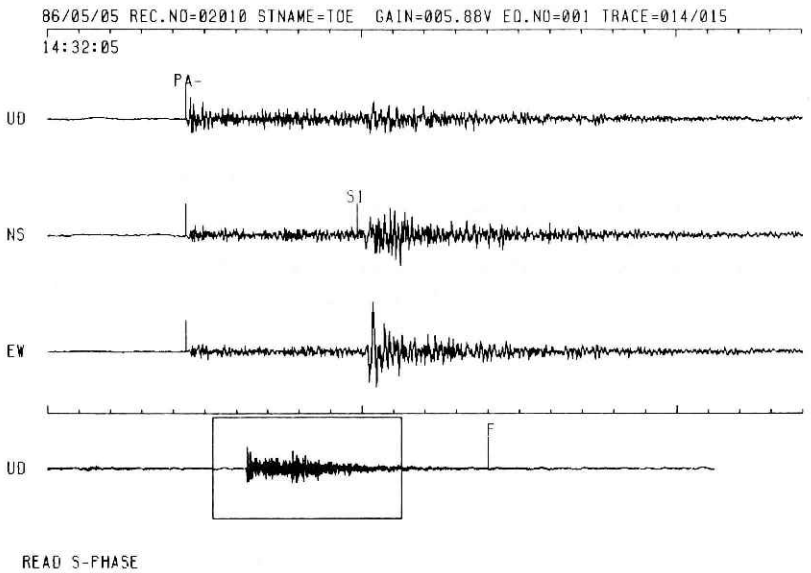


図4　地震波検測を行うためのグラフィックディスプレイ画面．地震波3成分と時間軸を圧縮した上下動成分が表示される．

Fig. 4　Picture where readings of seismic wave parameters are performed. Three components of seismograms and vertical component compacted in time axis are displayed together.

2.6 検測(HGD)

オペレータは毎朝，出勤するとHGDを起動する．このプロセスでは地震波の到達時刻，振幅等が検測され，震源計算が行われる．検測作業を行うグラフィックディスプレイには図4のような画面が表示される．処理はイベントデータごとに行われるが，画面上にはその中の1観測点ずつについて3成分の地震波形(まとめて1トレースと数えることにする)が表示される．この画面を使ってオペレータが行う検測の手順は次の通りである．

① 最初に自動検測によってP波初動の位置が表示されている．これを確認し，間違っていれば正しい位置を指示する．

② S波初動の位置を指示する．

③ 自動検測によって与えられたP波初動の極性，および検測精度を表す指標を確認し，必要がある場合は修正する．

④ 自動検測された波の終焉位置を確認し，必要があれば修正する．

図4の画面右上方に1イベントデータ内に含まれているトレースの数(地震波が検出された観測点数)が表示されており，上記の手順をこの回数だけ繰り返した段階で，震源計算(岡田，1987a)に移る．計算結果は数秒以内にオペレータの脇に置かれたプリンターに打ち出される．オペレータは観測点ごとに打ち出された走時残差を吟味し，これが大きい(基準値はPについては2秒以内，Sについては4秒以内)ものについては再検測を行うか，または地震が複数個に弁別されていて地震ごとへのグループ分けが適当でないと判断した場合は再編成を行う．

以上の検測手順は概ね従来の方式を受継いだものであるが，本システムで新しく導入したものとしては次のような方式，あるいは特徴を挙げることができる．

① HGDにおけるオペレータの作業は40cm角のタブレットを使用して行われ，この盤面から全ての指示を出すことができる．ただし，初動位置を指示する場合，画面上での分解能は2ドット相当である．標準の表示方法では地震波形の24秒分が960ドットに割当てられるので，時間の分解能は1/20秒でしかない．これを補うため，オペレータが指示した位置を中心としてP波に対しては0.2秒，S波に対しては0.3秒の時間巾の中で最適の位置が自動的に選び出されるようになっている．最適位置の決定には自動検測のために開発されたアルゴリズム(堀・松村，1987)を用いている．

② 自動検測をより積極的に取り入れることによって，オペレータの作業を基本的にP，S，F，それぞれの位置を確認することだけに集約した．これは結果の信頼性に対する自動処理の弱点を補いつつ，かつオペレータの負荷を軽減することを意図して採用した方式である．

初動極性の決定には自動検測された初動振幅の符号をそのまま使用する．ただし，極性として採用されるためには平均ノイズレベルの5倍以上の振幅があることを条件としている．

初動位置の検測精度を表す指標には従来のA(誤差0.1秒以内)，B(同0.3秒)，C(同1.0秒)，

D, をそのまま使用している．自動検測の方法は，それぞれの誤差に相当する時間巾で初動の前後の振幅比を求め，この値がしきい値を超えているかどうかによっている．しきい値は，Aに対しては20.0，Bに対しては6.0，Cに対しては1.5である．

③　最初のトレースに対してP，Sの位置を検測すれば，２番目以降のトレースに対しては，Pを検測した時，これに対応するSの位置を計算し画面上に表示するようにした(図４のS1，仮Sと称する)．仮Sの計算には，それ以前に検測された全てのP，Sの組合せを使って和達ダイヤグラムを作成し，$V_p/V_s=\sqrt{3}$ を用いて直線をあてはめ，対応するSの位置を求めている．このため，トレースの数が進むにつれて，仮Sの信頼度は高くなっていく．実際にオペレータが指示したSの位置が仮Sから大きくずれる場合(現在，10秒以上と設定している)，この検測結果は別の地震に属するものと認識される．和達ダイヤグラムを使って複数個の地震を識別する作業を計算機が行っているわけである．この機能は，１イベントデータセット内に複数個の地震が存在する場合，特に１トレースの上に複数個の地震波が載っている場合，複雑に入組んだ相の同定，あるいは検測結果の地震ごとのグループ分けに際して威力を発揮する．

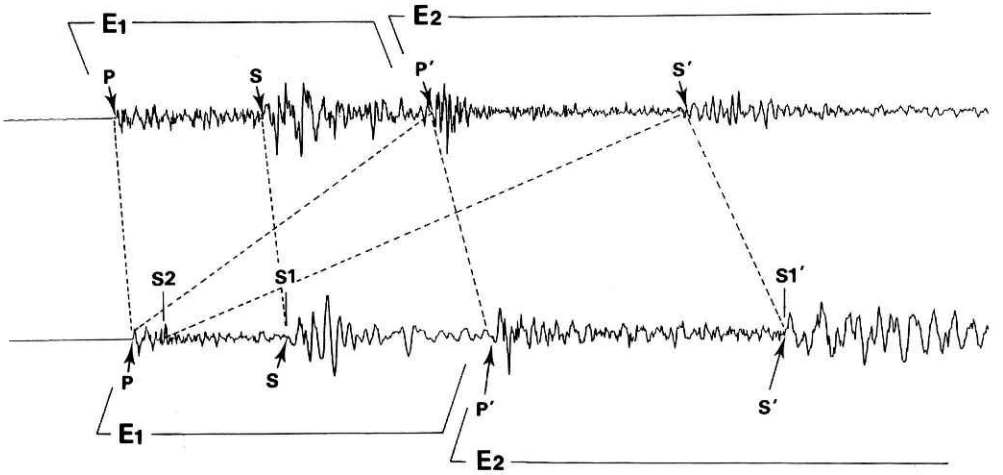


図５　２個の地震波が重なった場合，「和達ダイヤグラム」を利用して検測値をグループ分けする方法を説明している．最初(上側)のトレースで２個の地震波E1(P，S)，E2(P'，S')が識別されたとすると，２番目以降のトレースではこれに対応するはずのSの位置が仮S(S1，S2)として表示され，実際に読取られた位置との関係で自動的にE1，E2への振分けが行われる．

Fig. 5　Explanation how to distintinguish each seismic wave from a mixture of plual earthquakes on one trace. Assume that on the first trace, signals can be identified into two sets of seismic waves (P, S) and (P′, S′) of two earthquakes E1 and E2. Then, on and after the second traces, S onsets calculated by using Wadachi's diagram are given on the traces as S1, S2, and S1' after readings of P onsets. Results of operator's readings are automatically combined and put into each earthquake by taking account of nearnesses between S positions calculated and actually read.

図5にその具体例を示した．まず，第1トレースで2組の地震波(2個の地震，E1，E2に対応する)が検測されていたとする．次に第2トレースの最初のPが検測された時点で，E1，E2に対応する2個の仮S(S1，S2)が計算される．そして実際のSが検測された時点で，これに近い仮S(図の場合はS1)に対応する地震(E1)に属する地震波であると判定される．第2トレースの2番目のPが検測された時点では，もはやE2に対する仮S(図のS1')のみが表示され，これが検測されたSの位置に近ければE2に属するものと判定され，地震ごとのグループ分けが完了する．以下，第3，第4のトレースに対しても同様である．実際に組込まれたプログラムでは，同一観測点名が現れた場合新しい地震グループを設定する機能，また，P，Sのどちらかが検測不能の場合でもどれかの地震へのグループ分けを行う機能などが付随し，フローチャートはかなり複雑なものとなっている．しかし，この機能によって従来オペレータが弁別に迷った相の判定，地震波のグループ分けの作業の困難さが大いに緩和される結果となった．

表2　3秒差で連発した異なる場所の2個の地震が分離された例

Table 2　Example of eathquake data processed. Readings of two earthquakes which occurred in rapid succession could be well separated.

NO= 1 861012 OT=02 25 40.43(0.06) LAT=34.945(0.002) LONG=139.169(0.003) DEP= 10.9(0.8) MW= 2.3 MFP= -
X= 15.4(0.3) Y= -61.5(0.2) RMSRES= 0.08 NST= 12(10, 8)

HTS	861012	D	A	02	25	42.94	1893.	B	02	25	44.99	1407.	2.05	19.	-
JIZ	861012	U	A	02	25	43.94	741.	C	02	25	45.74	992.	1.80	20.	-
NRY	861012	D	A	02	25	44.76	2203.	B	02	25	47.84	757.	3.07	13.	-
HDA	861012		C	02	25	46.07	96.	C	02	25	50.31	234.	4.24	18.	-
SMD	861012	U	A	02	25	46.22	237.	A	02	25	50.30	322.	4.07	18.	-
NSI	861012		C	02	25	46.88	-	C	02	25	51.00	-	4.13	19.	-
OSM	861012		A	02	25	47.26	210.	D	02	25	51.92	185.	4.66	18.	-
NMZ	861012		A	02	25	47.27	237.	C	02	25	52.38	268.	5.10	15.	-
ASG	861012		C	02	25	48.00	80.	B	02	25	53.51	270.	5.51	13.	-
FJM	861012		C	02	25	51.31	-	*	-	-	-	246.	-	114.*	-
YMI	861012	D	A	02	25	56.71	766.	D	02	26	9.59	642.	12.88	83.	-
CKR	861012		C	02	26	6.96	514.	C	02	26	27.19	412.	20.23	115.	-

124.7	11.3	-4.32*	-6.59*	3.5	-
71.3	87.8	14.20*	25.64*	2.9	-

NO= 2 861012 OT=02 25 37.33(0.13) LAT=36.326(0.009) LONG=138.857(0.007) DEP=133.4(1.1) MW= 3.7 MFP= -
X= -12.8(0.6) Y= 91.7(0.9) RMSRES= 0.14 NST= 42(42, 35)

MNB	861012	D	A	02	25	55.77	1380.*	B	02	26	9.01	815.	13.24	118.	-
OMM	861012	D	A	02	25	56.45	2181.	B	02	26	11.27	2200.*	14.82	104.	-
SDM	861012	D	A	02	25	56.91	1013.	C	02	26	12.22	501.	15.31	93.	-
ENZ	861012	D	A	02	25	57.30	944.	B	02	26	12.54	976.	15.24	93.	-
SSW	861012	D	A	02	25	57.57	709.	C	02	26	13.49	62.	15.91	102.	-
HHR	861012	D	A	02	25	57.60	1182.	C	02	26	12.91	869.	15.31	79.	-
OHR	861012	D	A	02	25	57.82	3169.*	B	02	26	13.46	2970.	15.64	138.	-
IWT	861012	D	A	02	25	57.86	394.	C	02	26	13.56	664.*	15.70	127.	-
TR2	861012	D	B	02	25	58.71	1137.	B	02	26	14.00	844.	15.29	80.	-
TRU	861012	U	B	02	25	58.76	458.	B	02	26	15.21	478.	16.45	82.	-
FCH	861012		B	02	25	58.82	-	C	02	26	14.79	-	15.96	85.	-
AKW	861012	D	A	02	25	59.26	512.	C	02	26	15.74	465.	16.47	86.	-
KGN	861012	D	A	02	25	59.69	2517.*	B	02	26	16.92	197.	17.24	80.	-
CDP	861012	D	A	02	25	59.96	452.	B	02	26	17.26	468.	17.30	94.	-
MOR	861012		A	02	26	0.52	168.	B	02	26	18.41	168.	17.89	152.	-
ASG	861012		B	02	26	0.77	626.	C	02	26	18.84	912.	18.06	79.	-
HRM	861012		B	02	26	0.77	871.	B	02	26	18.99	618.	18.21	86.	-
YST	861012	D	B	02	26	0.81	250.	C	02	26	18.20	479.	17.39	113.	-
SHN	861012		B	02	26	0.86	226.	C	02	26	18.36	568.	17.50	139.	-
NMZ	861012	U	A	02	26	2.60	676.	C	02	26	21.74	452.	19.14	76.	-
ACH	861012	D	A	02	26	2.81	291.	C	02	26	21.21	151.	18.40	113.	-
NRY	861012		C	02	26	2.88	232.	B	02	26	23.06	364.	20.19	68.	-
SIZ	861012	D	A	02	26	3.65	238.	C	02	26	23.96	152.	20.31	82.	-
HTS	861012		C	02	26	3.82	496.	A	02	26	23.85	658.	20.02	62.	-
HDA	861012		B	02	26	3.97	233.	C	02	26	24.61	233.	20.64	75.	-
NSK	861012	D	A	02	26	4.13	-	*	-	-	-	255.	-	110.	-
NMI	861012		A	02	26	4.22	343.	D	02	26	24.31	737.	20.09	104.	-
HKW	861012	D	A	02	26	4.24	118.	D	02	26	24.17	55.	19.94	85.	-
GER	861012	D	A	02	26	4.50	394.	C	02	26	25.21	45.	20.71	102.	-
JIZ	861012		C	02	26	4.81	532.	C	02	26	25.91	532.	21.10	65.	-
NSI	861012		C	02	26	5.47	-	D	02	26	29.00	-	23.53	72.	-
TOE	861012	D	B	02	26	5.91	683.	C	02	26	26.92	89.	21.01	87.	-
KSH	861012	D	A	02	26	6.25	348.	C	02	26	27.19	84.	20.94	96.	-
KIB	861012		C	02	26	6.32	166.	D	02	26	27.63	223.	21.30	113.	-
SMD	861012		C	02	26	6.50	310.	C	02	26	28.00	134.	21.50	69.	-
KGW	861012		B	02	26	6.97	162.	C	02	26	29.21	47.	22.24	97.	-
TNR	861012	D	A	02	26	6.97	199.	B	02	26	29.76	71.	22.79	97.	-
TYM	861012		B	02	26	7.04	449.	B	02	26	29.21	1194.	22.18	122.	-
OSM	861012		B	02	26	7.47	259.	D	02	26	30.35	321.	22.88	72.	-
SNY	861012	D	A	02	26	8.29	-	*	-	-	-	155.	-	98.*	-
MKB	861012	D	A	02	26	9.74	289.	C	02	26	33.77	51.	24.04	83.	-
ABN	861012	D	A	02	26	13.02	384.	B	02	26	39.50	46.	26.48	87.	-

139.0	0.26	0.72	3.9	-	
121.5	93.4	-0.45	-1.37	3.6	-
120.6	119.0	0.03	-0.49	3.7	-
129.7	180.4	0.59	0.83	3.8	-
138.3	227.3	-0.08	-1.25	3.4	-
140.8	176.1	-0.12	0.40	3.6	-
143.0	199.7	0.42	0.90	3.3	-
145.7	168.6	0.37	0.37	3.9	-
151.2	181.8	-0.01	0.20	3.4	-
150.6	213.7	0.07	-	3.4	-
155.1	88.0	-0.14	-0.77*	4.0	-
151.5	205.6	0.16	-0.40*	3.0	-
154.9	245.0	0.05	-0.01	3.6	-
157.3	175.3	0.18	0.35	3.8	-
170.8	181.6	-0.41	1.23*	-	-
172.3	216.9	-0.22	-1.27	4.0	-
176.6	228.3	-0.33	-1.81	3.7	-
172.4	68.7	0.18	-0.59*	3.4	-
176.4	177.7	-0.01	-0.87	3.6	-
179.2	205.2	0.17	-0.18	3.3	-
180.3	209.5	0.05	0.16	3.4	-
175.1	148.9	0.66	0.57	4.3	-
189.4	163.5	-0.37	-0.89*	3.7	-
199.9	224.7	-0.71	-	3.4	-
208.4	216.1	-0.13	-1.05	3.7	-
239.0	218.5	-0.20	-1.30	4.0	-

地震の識別が非常にうまく行われた例を表2に示す．この例では200kmの距離をおいて3秒の時間差で連発した2個の地震が見事に分離されている．

④　上記により地震ごとの検測結果のグループ分けは自動的になされるわけであるが，結果に問題がある場合，オペレータは画面上で検測データグループの再編成を行うことができる．

検測のためにグラフィックディスプレイとプリンターのセットは5組用意され，5人のオペレータが並行して作業を行えるようになっている．現在は4人のオペレータが定常的に作業を行っており，月間約2万トレースの検測をこなしている．オペレータによるCPUタイムの占有量は月間70時間程度である．この中には低速採取データの定常処理等も含まれているが地震波データ検測によって消費される割合が大きい．

2.7 後処理(HPOST)

HPOSTで行われる作業は，発震機構解の決定(岡田，1987a)，およびHGDで行われた以外の項目の地震波検測である．

近年，微小地震についても震源要素や発震機構解だけではなく波形データ自体が解析の対象になるケースが増えてきた．しかし，後者は前者の千倍に相当するデータ量を有しており，高能力の計算機をもってしてもその取り扱いにはいろいろな制約が生じる．そこで，両者の中間的なデータとして，波形を代表する種々のパラメータをルーチン処理の段階で算出して

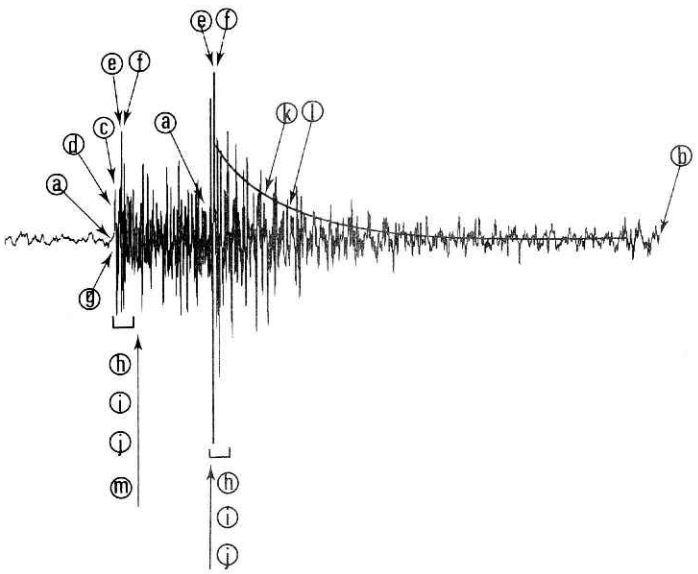


図6　検測によって1個の地震波から抽出されるパラメータの内容を示す．記号は表3のものと対応している．

Fig. 6　Contents of parameters extracted from one seismogram in routine-base readings. The marks are the same as those of Table 3.

表3　　1個の地震波から検測される項目と抽出されるパラメータの数
Table 3　Contents and numbers of parameters extracted from one seismogram.

	P wave	S wave	Coda wave
a) Arrival Time (+ reliability)	1(+1)	1(+1)	-
b) Final Time (+ mark)	-	-	1(+1)
c) Initial Phase Amplitude	3	-	-
d) Initial Phase Polarity	3	-	-
e) Maximum Amplitude	3	3	-
f) Time for Maximum Amplitude	1	2	-
g) First-Zero-Cross Time	1	-	-
h) Band-Passed Power Amplitude	4	12	12
i) Dominant Frequency	1	3	-
j) Power Amplitude for Dominant Frequency	1	3	-
k) Coda Amplitude	-	-	9
l) Decay Parameter	-	-	9
m) Covariance Tensor	6	-	-
Total Number of Wave Parameters			79(+3)

おこうと意図したわけである．このために設けた検測の内容は図6と表3に示したⓐ～ⓜの13項目であり，1トレースの地震波から抽出されるパラメータの数は80あまりにのぼる．この内，ⓐ～ⓕはHGDで検測されており，HPOSTで検測されるのはⓖ～ⓜである．以下にその内容と算出方法を述べる．

ⓖ　初動パルス巾…初動パルス巾は断層パラメータを推定するための有用な情報である．検測される量は図7の中のgで示した時間巾である．

ⓗ　周波数バンド別パワー…P, Sの初動立上がりから128個(1.6秒分)のデータを抜出しFFTを施し

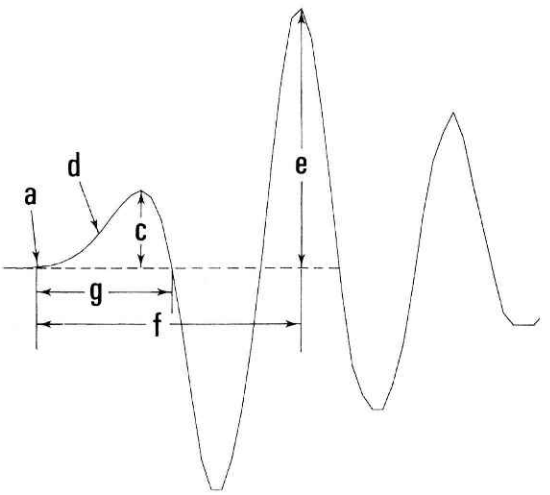


図7　地震波の初動部分における検測内容を示す．記号は表3のものと対応している．
Fig. 7　Contents of parameters extracted from the initial portion of a seismogram. The marks are the same as those of Table 3.

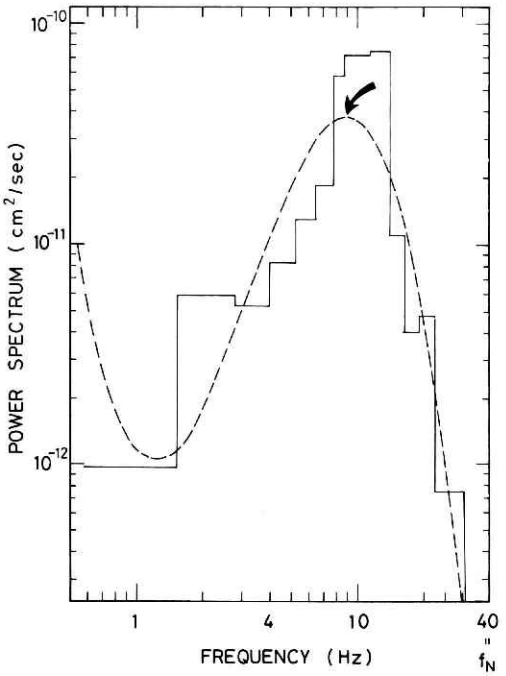


図8　地震波の卓越周波数とそのパワーを求める方法を示す。40Hzまでの範囲を14個のバンドに分け，FFTから求めた各パワーレベルに3次曲線をあてはめ，その極大値を用いる。

Fig. 8　Method how to determine the dominant frequency and its power density. First, FFT is applied to initial 1.6 second of both P and S waves. The whole frequency range from 0 to 40 Hz is divided into 14 bands, and a third order curve is fitted to the power spectrum obtained. The dominant frequency and its power are evaluated from the maximum position of the curve as shown by an arrow in the figure.

たのち，2，4，8，16Hzを中心とした4つのバンドについての平均パワーを算出する．

ⓘ，ⓙ　卓越周波数とそのパワー…これも断層パラメータや応力降下量を推定するための情報である．

前項のFFTで求めたパワースペクトルをもとにして図8で示したように三次曲線のあてはめを行い，極大を与える周波数とそのレベルを算出する．

ⓚ，①　コーダー振幅と減衰定数…コーダ波の減衰の形については，佐藤(Sato, 1977, 佐藤・松村，1980)が一次等方散乱モデルにより次の理論式を提唱している．

$$\mathrm{Power}=A/t_s^2\cdot K(t/t_s)\cdot\exp(-\alpha t)$$

ここで，

$$K(x)=1/x\cdot\ln((x+1)/(x-1))$$

$$\alpha=2\pi f Q_c^{-1}$$

$$t_s=\mathrm{S}-\mathrm{Origin\ time}$$

である(時間はすべて発震時を基準としている)．この理論式によるカーブを実際のデータに合せてみた結果の例を図9に示した．計算方法は以下の通りである．データ区間としては$1.15t_s$～$2.5t_s$(かつ$t_s<100$秒)をとりあげ，2，4，8，16Hzを中心とした4種のバンドパスフィルターを通す．次にデータ区間を10個に分割し，各小区間ごとに$\sqrt{\mathrm{Power}}$を求め，これに対して最小二乗法による理論式のあてはめを行う．この場合，理論式による表現が実際の

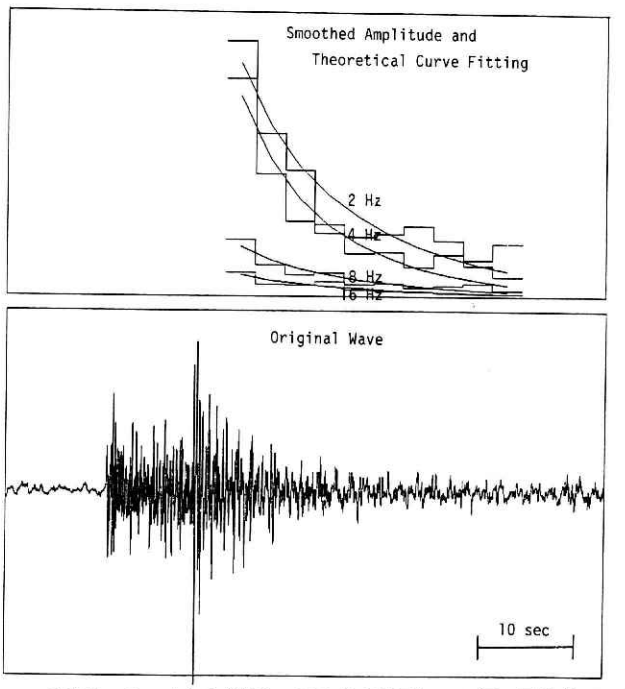


図9　地震波のコーダ部分にSato(本文参照)の理論式を適用し，4個の周波数バンド別にコーダ波の減衰定数と振幅を求める．

Fig. 9　Coda decay parameters are evaluated by fitting Sato's theoretical curves to smoothed amplitudes of coda waves obtained for four frequency bands.

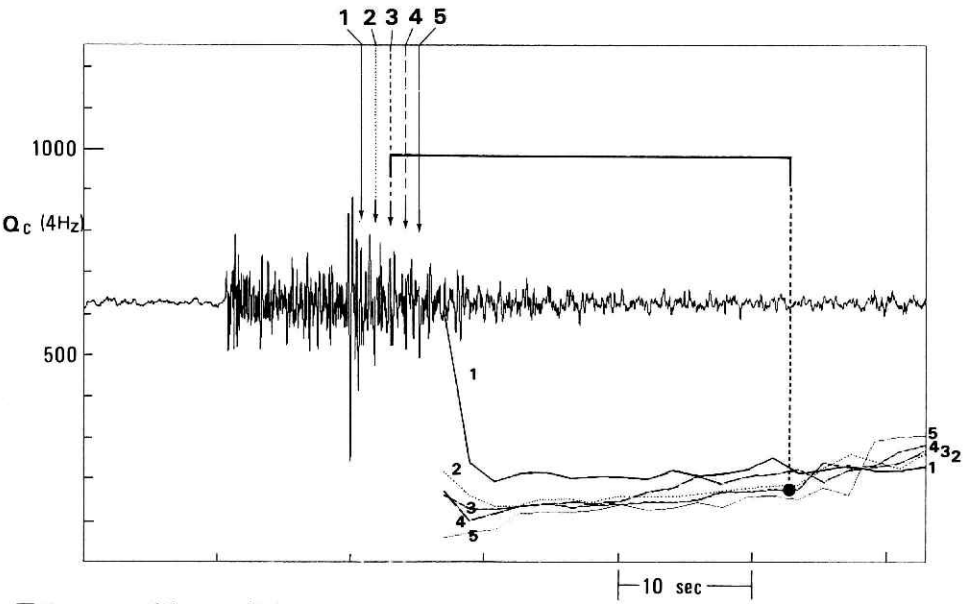
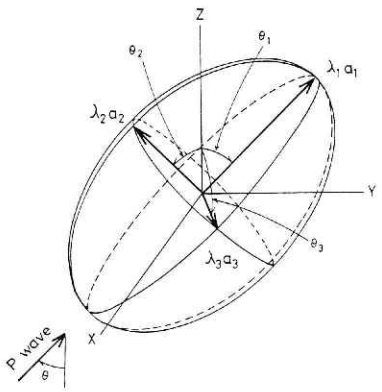


図10　コーダ波のどの部分を用いるかによって，求められた減衰定数がどのように変動するかを示す．5本の縦棒はウィンドウの始めを示し，それぞれに対して終わりを変えていった時，結果の変化してゆく様子が示されている。最終的に選択されたウィンドウが太線で示されている．

Fig. 10　Stability of the coda decay parameter is tested with various selections for the data window. Five vertical arrows in the figure show selections for initial positions of the window. Values of the decay parameter obtained are plotted at final positions of the window. The result shows good stability of the solutions. The window accepted for the routine-base processings is indicated by a thick horizontal line.

コーダ減衰の形にうまく適合していないと，データ区間のとり方によって結果が変動する可能性がある．そこでデータ区間を変えた時の減衰定数の安定性を調べてみたのが図10である．図中の5本の縦棒はデータ区間の始まりに対しての選択を示し，それぞれに対して区間の終わりを連続的に動かしていった時，算出された減衰定数をQ_cに換算して表示している．終わりを長くとるほどQ_cがやや大きくなっていく傾向がみられるが，どの区間をとっても値は比較的安定している．実際に採用している区間は図の太線で示された範囲である．

ⓜ　共分散テンソル…P波の初動部分(1.6秒)に対して，地震波3成分(x，y，z)による共分散テンソルを計算する．これの主成分分析を行えば，地動は1個の楕円体に帰され(図11参照)，初動の到来方向，散乱の強度など地殻構造についての有用な情報が得られる(Matsumura，1980)



$$\begin{pmatrix} \Sigma\ ZZ & \Sigma\ XZ & \Sigma\ YZ \\ \Sigma\ XZ & \Sigma\ XX & \Sigma\ XY \\ \Sigma\ YZ & \Sigma\ XY & \Sigma\ YY \end{pmatrix}$$

図11　P波初動の共分散テンソルとその主成分分析から得られる地動の楕円体

Fig. 11 Covariance tensor of P initial motions. A trajectory ellipsoid is obtained by analyzing the principal components of the tensor.

2.8 波形データ処理(HWAVE)

HGDの検測の対象となった全ての観測点についてその地震波形データを抜出す．データの範囲は検測されたPおよびFの時刻を基準にして，P−5秒～F+10秒の範囲である．データは一旦磁気ディスクに蓄えられたあと，1週間に1度くらいの頻度で光ディスクに移される(井元，1987)．

2.9 データベース登録(HRDB)

地震波データ処理の結果を保存し利用の便を図るため，震源要素，検測パラメータ，発震機構解，および光ディスクへの波形データ収録に関する管理情報(井元，1987)，の4種類のデータベースが用意されている．HRDBではこの内初めの3種類について，それぞれ固有のリレーショナルデータベース(データベース名：HYPCDP，EQDATA，MECACDP)への登録が行われる．1979年7月以来，現在(1987年10月20日)までに登録されたデータベース内のデータ量に関する情報(コラム数，レコード数，データ総量)を表4に示した．また，現在のペースで地震波データの定常処理が続けられるとした場合の1年毎に増加するデータ量を図

表4　地震データ処理において作られた3種類のリレーショナルデータベースのコラム数，および現時点(1987年10月20日)でのレコード総数，データ総量

Table 4　Numbers of columns, and total amounts of data counted in units of record and MB, which are accumulated in the three kinds of databases, as of October 20, 1987.

Data-Base	Columns	Records	Data Amount(MB)
EQDATA (Wave Parameter)	98	946581	441.2
HYPCDP (Earthquake Origin)	32	122266	30.0
MECACDP(Focal Mechanism)	31	8460	1.4

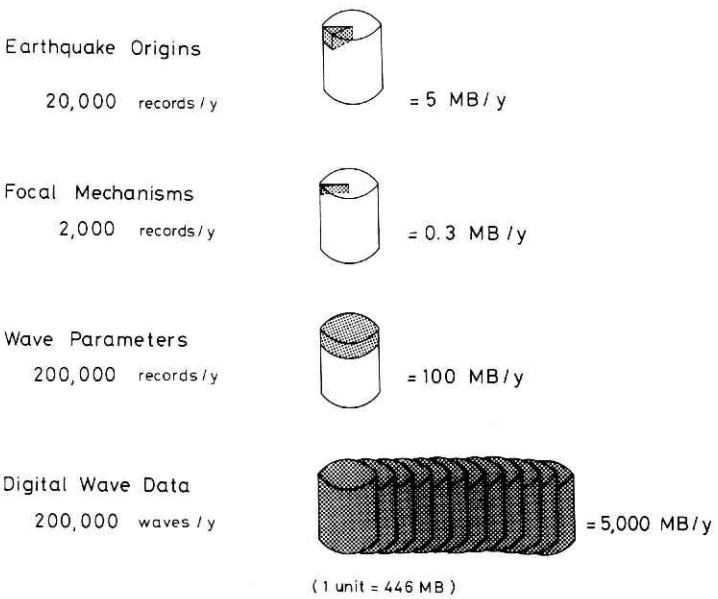


図12　地震データ処理によって生産される4種類のデータの年間蓄積量

Fig. 12　Yearly increasing rate of four kinds of data produced by the routine-base seismic data processings.

12に示した．この図から波形データを磁気ディスクに保管しておくことが不可能なことは明瞭に見てとれる．

3．支援プログラム

地震波データ処理に関して，前節で紹介した各プロセスの他にいくつかの支援プログラムが用意されている．ここでは，その中の監視情報出力と定数変更の2つについて説明する．

表5　障害月報の例．2日，3日，7日，および18日に障害が発生している．数値は分単位で数えた障害の回数あるいは持続時間を示す．

Table 5　Example of monthly error report produced by #1 computer. Some troubles appear on the 2nd, 3rd, 7th, and 18th of September, 1987. Numerals indicate frequency or duration of troubles in unit of minute.

***** MONTHLY ERROR REPORT *****　1987 (SEP)　STN = ABN

DAY	TM	HR-1	HR-2	HR-3	LRS0	LRS1	LRS2	LRS3	LRS4	LRS5	LRS6	LRS7	LRS8	LRS9	LRL0	LRL1	LRL2	LRL3	LRL4	LRL5	LRL6	LRL7	LRL8	LRL9
1	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
2	....	...1	...1	...1	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
3	....	..64	..64	..64	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
4	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
5	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
6	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
7	...1	...1	...1	...1	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
8	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
9	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
10	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
11	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
12	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
13	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
14	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
15	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
16	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
17	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
18	...1	...1	...1	...1	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
19	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
20	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
21	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
22	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
23	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
24	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
25	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
26	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
27	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
28	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
29	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
30	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
TOTAL	2	67	67	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1 監視情報出力(TMN200, TMR100)

2.2節で説明したように，観測点ごとの装置動作状況が1号機によって毎秒自動的に調べられており，障害に関する情報が提示されるようになっている．監視結果は前稿(松村ら，1987)で紹介したようにグラフィックディスプレイの監視画面に表示され，その都度メッセージがプリンターに打出される．さらに，時間ごとの障害回数が集計され，各観測点の障害統計リストが毎月作成される(表5の例参照)．

3.2 定数変更(@HCN)

各プロセスの解説の中には多数の定数が登場していた．この他に，位置座標要素等，各観測点固有の定数，ゲイン等，各チャネル固有の定数があって，これらは一括して3号機の定数ファイルに格納されている．定数に与える数値はシステムの運用の中で徐々に固定されてきたものであるが，観測点の新設や観測状況の変化に応じて数値の変更が要求される局面が時々生じる．このような場合でも現在稼働しているシステム全体を停止させることなく定数変更ができるように設計されている．変更する場合はエディターを利用してまず3号機が持つ文字形式で書かれた定数ファイルの中味を書き直す．次にやはり3号機に設定されたバイナリ形式で書かれた定数ファイルを修正したあと，これを1号機の共用ディスク内の定数ファイルに転送する．こうした一連の定数変更の手続きは@HCNコマンドを発することによっ

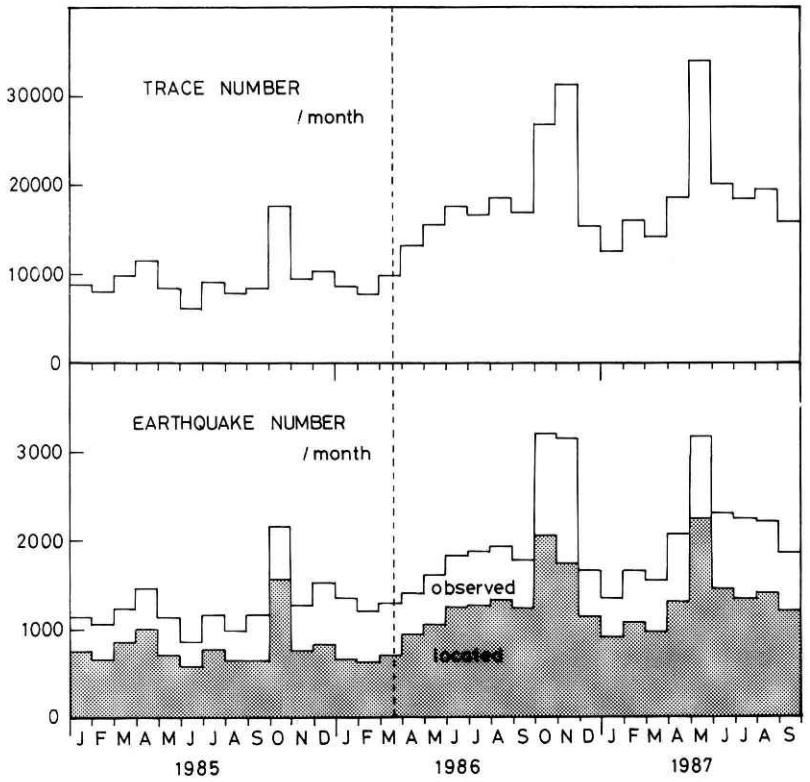


図13　月別の検測トレース数(上図)，検出地震数(下図)，震源決定数(下図，影部分)．点線の位置で旧システムからAPEに切換わり，処理数が倍増した．

Fig. 13 Monthly amounts of traces (top), earthquakes observed (bottom), and hypocenters located (bottom, shaded). The data processings were switched from the old system to APE at the time indicated by a broken line. Capability for seismic wave detection is markedly improved by introducing APE.

て容易に行うことができる．

4．おわりに

昭和61年3月19日を境として，徒来システムによる地震波データの処理作業が新システムである地震前兆解析システムに引継がれ，現在までの1年半にわたって良好な状態で処理作業が継続されてきた．新システムでは地震波検出の方式が改良された結果，図13で明らかな

ように検出された地震波の数が倍増し，観測網全体の地震検知能力が大幅に引上げられた．また，2号機によるバックアップ機能により，従来は定期保守のたびに免れなかった欠測から基本的に解放され，さらに，リレーショナルデータベースの採用でデータ管理が容易になるなどによって，システムの管理および利用の効率が著しく向上した．

しかし一方で，検測を行うトレースの数は年間25万件に達しており，これは4人のオペレータによる処理能力の限界に近い．現実に1986年11月の伊豆大島噴火に伴った地震データの処理は大幅に遅延し，1年たった現在も未だ完了には至っていない．平均的にみて関東・東海地域では年間1回強の割合で活発な余震を伴う地震，あるいは群発地震活動が発生しており，今後はこのような事態に対処して迅速な処理が確保できるような方式を開発することも必要である．

謝　辞

本論における地震波処理の方式は，地震前兆解析システム開発作業部会によって1年あまりにわたる討論と検討が繰返された末，産み出された成果である．また，具体的なプログラム開発にあたってはその多くを富士通株式会社のSEグループに負っている．記して感謝の意を表したい．

参考文献

1）浜田和郎(1987)：地震前兆解析システム開発の背景とその意義．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，31-34．
2）堀貞喜ら(1987)：地震前兆解析システムによる自動前兆監視．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，101-114．
3）堀貞喜・松村正三(1987)：地震前兆解析システムにおける自動震源決定．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，89-100．
4）井元政二郎(1987)：光ディスクを用いた地震波形の格納とその利用．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，129-136．
5）松村正三ら(1979)：計算機による地殻活動観測データ処理システム―オンラインリアルタイムシステム―．国立防災科学技術センター研究速報，**第35号**，1-18．
6）Matsumura, S.(1980): Three-Dimensional Expression of Seismic Particle Motions by the Trajectory Ellipsoid and its Application to the Seismic Data Observed in the Kanto District, Japan. *J. Phys. Earth,* **29,** 221-239.
7）Matsumura, S. *et.al.,* (1981): Data Processing of the Kanto-Tokai Observational Network for Microearthquake and Ground Tilt. *Proceedings of the 2nd Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake Prediction Technology, U. S. Geological Survey Open File Report* **82-180,** 144-163.
8）松村正三ら(1987)：地震前兆解析システムの機能と構成．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，35-44．
9）岡田義光(1987)：震源計算・発震機構解計算プログラムの改良．国立防災科学技術センター研究報告，**第41号**，153-162．
10) Sato, H. (1977): Energy Propagation Incluidng Scattering Effects: Single Isotropic Scattering Approximation. *J. Phys. Earth,* **25,** 27-41.
11）佐藤春夫・松村正三(1980)：関東地方のS波(2～32Hz)のQ^{-1}値．地震第2輯，**第33巻**，541-543．

(1987年11月30日　原稿受理)