

微小地震の実時間検測・処理方式 (1981-1993年) のまとめ

吉田 満¹⁾・千葉平八郎¹⁾・萩原弘子¹⁾・小形好則²⁾・溝上 恵¹⁾

¹⁾ 東京大学地震研究所

²⁾ 明星電気株式会社

(1993年11月29日受理)

Summary of Real Time Processing Methods for Micro-earthquake Automatic Processing System (1981-1993)

Mitsuru YOSHIDA¹⁾, Heihachiro CHIBA¹⁾, Hiroko HAGIWARA¹⁾,
Yoshinori OGATA²⁾ and Megumi MIZOUE¹⁾

¹⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

²⁾ Meisei Electric Co., LTD.

(Received November 29, 1993)

Abstract

Processing methods of the Automatic Processing System (APS), aimed at real time detection of micro-earthquake seismic signals and real time determination of hypocenters, are summarized. The online system APS is operated by the use of three mini-computers named APS0, APS1, and APS2. The basic software configuration is as follows:

Employing telemetered digital seismic wave data, the first computer APS0 detects arrival times of *P* and *S* waves (*P*- and *S*-times) together with the finish time (*F*-time) by analyzing amplitudes, and determines preliminary hypocenters, using five stations at most. The second computer APS1 has the following functions: (1) compilation of hypocenter and observation data separately transferred from APS0 for every group of five stations, (2) redetection of the arrival times by means of an autoregressive algorithm (AR model), and (3) redetermination of hypocenters using observation data from all the stations. The third computer APS2 transmits the hypocenters and observation data from APS1 to the Front End Processor (FEP), which is attached to the host computer of the national university real time data base.

1. ま え が き

本稿は1981年から1993年まで地震予知観測室で稼動してきた自動処理システムの特徴をまとめ、具体的に説明する。ここでいう自動処理システムとは、関東地方に展開された微小地震観測ネットワーク(溝上・中村, 1980; 溝上, 1984)で観測された微小地震のデジタル波形に基づき、*P*波・*S*波の到達時刻、コーダ(Coda wave)の終了時刻を計算機で実時間自動検測を行い、震源決定を行う処理システムの事をいう。実時間位相検測には振幅情報のみによるもの(溝上・他, 1980; 溝上, 1986)、振幅と位相情報を使う自己回帰(AR)モデル(横田・他, 1981)によるものの2種類があり、いずれも自動検測に適用される。

2. 自動処理システムと地震予知データセンター・データベースとの結合様式

自動処理システム (Auto-Processing System: APS) は震源データと観測データを地震予知データセンターのデータベース (以下 HOST と略記) (鷹野・他, 1985) へ通信回線を通して転送する。これら自動検出データの転送経路を Fig. 1 に示す。APS と HOST の間にある FEP (Front End Processor) と NCP (Network Control Processor) は、前者が APS 計算機側、後者が HOST 計算機側について前処理計算機で、いずれも通信制御、検出データの再配列、障害監視等の機能を持ち、2進データ同期通信 (Binary Synchronous Communication) 方式に基づいてデータの送受信が行われる (日本電気, 1980; 日本 IBM, 1978)。

APS で自動検出された実時間震源データと P 波の押し引き、振幅情報、震央距離等の観測データは HOST に転送されると同時に、APS 側に設置された FEP に即座に HOST からフィードバックされる。本 APS では、本 APS の自動検出結果のモニター及びその評価、そして全国特に隣接地域センターの APS の出力結果との比較参照をすべて FEP 端末を通して行うので、FEP (及び HOST) は APS システム構成の 1 部として位置づけられる。

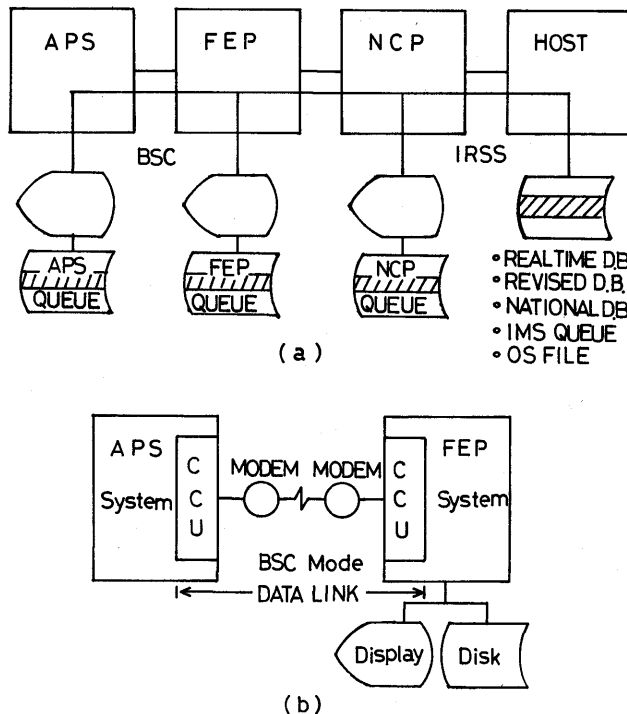


Fig. 1. (a) Block diagram showing the flow of hypocenter and observation data from the Automatic Processing System (APS) to the host data base through preprocessing minicomputers, Front End Processor (FEP) and Network Control Processor (NCP).

(b) Schematic diagram showing the data link between APS and FEP. Hypocenter and observation data generated by APS are transmitted to FEP in terms of Binary Synchronous Communication (BSC) mode.

CCU: Computer Control Unit, IMS: Information Management System.

3. 自動処理システム (APS) の特徴

3.1 地震波形入力データ

APS へ入力される地震波形は, Fig. 2 に示した関東地方の内陸部, 伊豆諸島, 関東地方周辺地域に展開されている微小地震観測網から無線又は電話回線を利用したテレメータ方式により伝送されてくる. APS へ入力される波形データは観測点の数: 最大 40 点, channel 数: 最大 128, sampling rate: 120 Hz である. 地震計出力の 1 数値データは 10 bit,

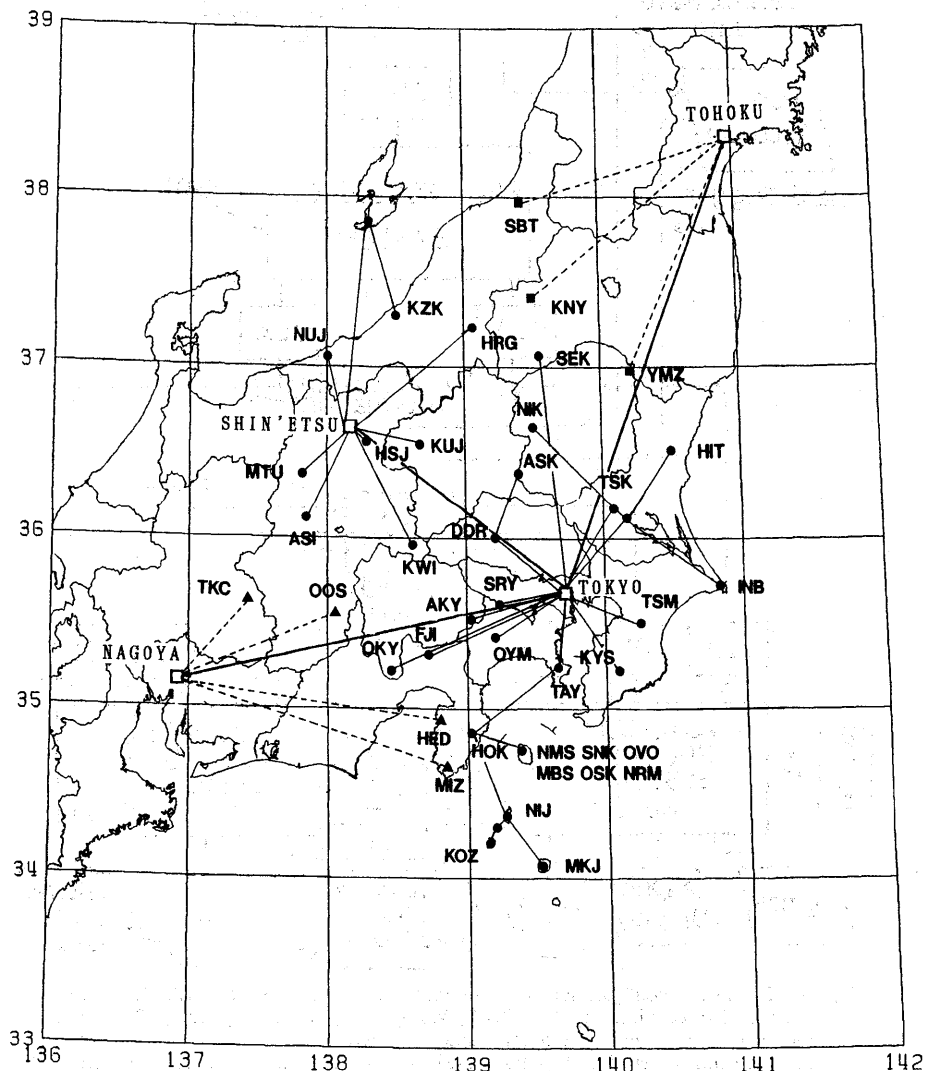


Fig. 2. Map of micro-earthquake observation stations in and around the Kanto-Koshin'etsu area. Earthquake prediction observation center is linked with the SHIN'ETSU subcenter (ERI, Nagano) and two regional earthquake prediction observation centers (TOHOKU and NAGOYA Univs.). Seismic signals observed at 40 stations designated by three-character station codes are used for data transaction by APS. Solid circles, squares and triangles show seismic stations corresponding to ERI, TOHOKU and NAGOYA Univs., respectively.

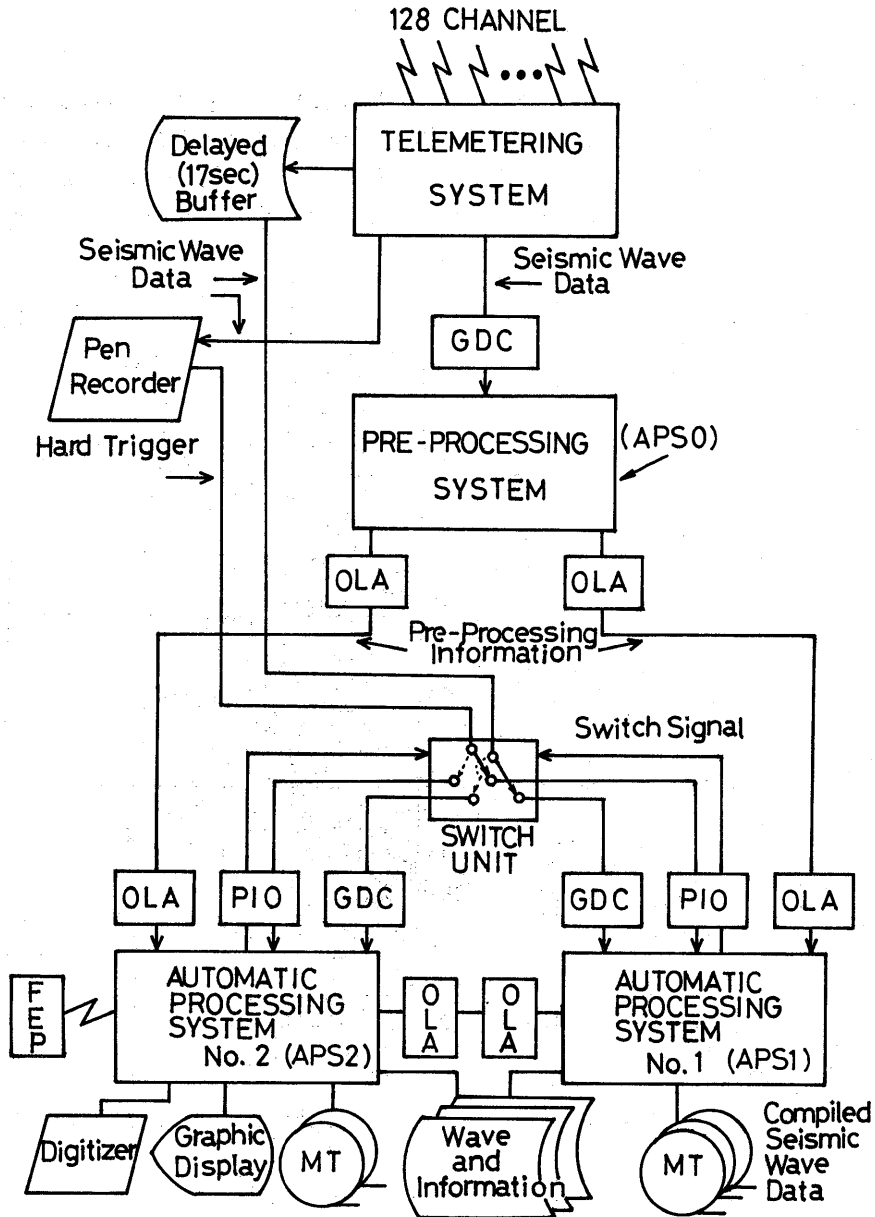


Fig. 3. Hardware configuration of Automatic Processing System (APS). APS consists of three minicomputers (NEC, MS/50); Preprocessing system (APS0) used for real time phase detection and hypocenter determination, Automatic Preprocessing system No. 1 (APS1) used for real time phase redetection by means of AR model and redetermination of hypocenters, and Automatic Processing System No. 2 (APS2) used for communication control of hypocenter and observation data transmission from APS to FEP. Seismic wave signals are stored into magnetic tape (MT) with preprocessing information of hypocenter and observation data in usual online mode. When APS0 is in trouble the signals are stored into MT in hard trigger mode.

GDC: General Data Control of digital seismic waves, OLA: Online Adapter controlling hypocenter and observation data, PIO: Process Input and Output controlling switch signal.

テレメータ回線では対数圧縮により 8 bit, 再生出力で 8 bit→10 bit 伸長変換される。

地震観測点には通常, 上下動 1 成分, 水平動 2 成分の地震計が設置されている。Fig. 2 には本研究所地震予知観測室に 1980 年-1994 年 3 月に属するもの以外に名古屋大学と東北大学の地域センター, 本研究所の信越観測所に属する観測点も一部含まれている。名古屋大, 東北大の sampling rate は 100 Hz なので本自動処理システムに入力される時にはまず DA 変換を行い, それを改めて 120 Hz で AD 変換される。

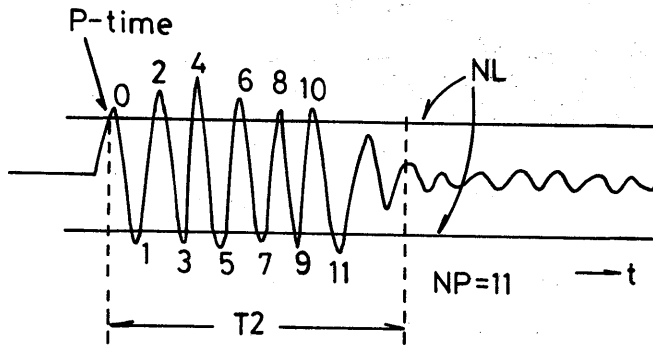
APS はミニコンピュータ 3 台 (NEC: MS50) から構成され (Fig. 3), 各々のコンピュータは機能面から前処理 (PRE-PROCESSING SYSTEM: APS0), 1 系 (AUTOMATIC PROCESSING SYSTEM No. 1: APS1) と 2 系 (AUTOMATIC PROCESSING SYSTEM No. 2: APS2) の 3 種類に分けられる。

3.2 前処理系システム (APS0)

前処理系ではテレメータリングシステムより 1 秒毎に地震波データ (最大 128 チャンネル, 40 観測点) を汎用入出力制御部 (GDC) を介して入力し, 実時間で振幅レベルの判定により P 波, S 波の到達時刻 (それぞれ P-time, S-time) と地震波終了時刻 (F-time) を検測する。検測観測点数が 3 点以上最大 5 点に達すると震源計算が行なわれ, 処理データは 1 つの地震番号がつけられて 1 系へ逐次転送される。観測点数が 5 点以下の場合でも, 任意の観測点の波形の F-time 検測終了後に次の観測点の波形の P-time が検測されると, 地震番号は分離されて 1 系へ転送される。位相検測は上下動成分から最初に P-time, 次に F-time, 最後に水平動成分の最大振幅情報を使って S-time が自動検測される。

P wave detection

(U/D-H component)



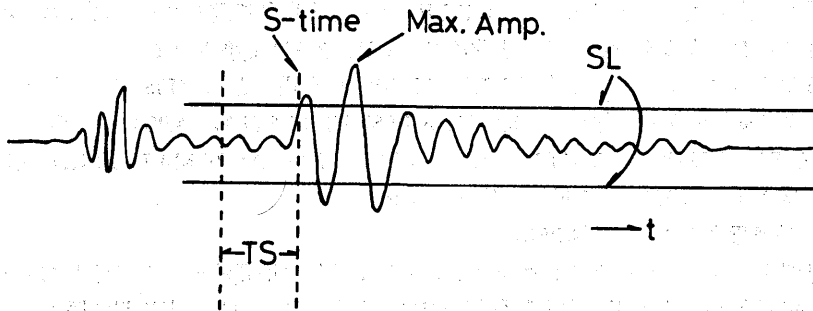
$$NL = \text{OFFSET} \pm (MNL \times CL + LB + NLB)$$

- NL : Noise level,
- MNL : Mean noise level,
- CL : Level set constant (CL=3),
- LB : Level bias (LB=10),
- NLB : Noise level bias,
- T2 : Preset time interval (T2=2s),
- NP : Number of peaks of waves (NP≥10).

Fig. 4a

S wave detection

(EW or NS component)



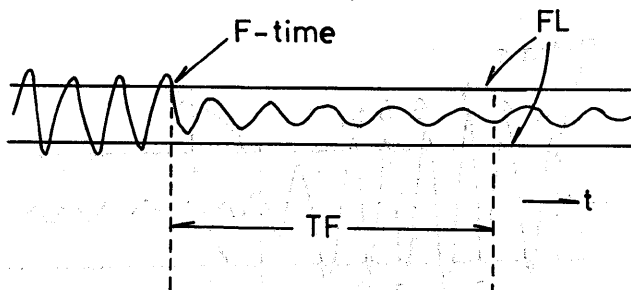
$$SL = \text{OFFSET} \pm \{\text{Max. Amp.} \times CS\}$$

- SL : S wave detection level,
 CS : S wave level set constant (CS=0.5),
 TS : Preset time interval corresponding to the amplitude level lower than SL (TS=1.5s).

Fig. 4b

F-time detection

(U/D-H component)



$$FL = \text{OFFSET} \pm (\text{MNL} \times CF + \text{FLB} + \text{FLBC})$$

- FL : F-time detection level,
 MNL : Mean Noise level,
 CF : Level set constant (CF=3),
 FLB : F-time detection level bias (FLB=10),
 FLBC : F-time detection level bias correction (FLBC=5),
 TF : Preset time interval (TF=2s).

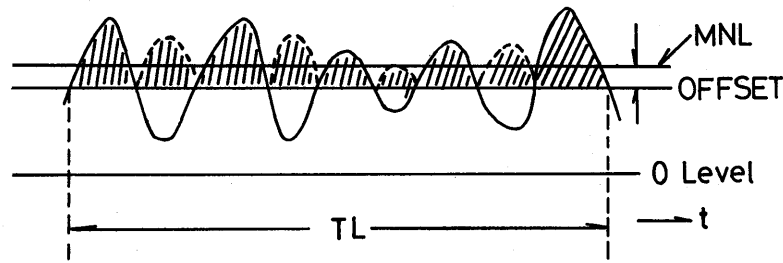
Fig. 4c

OFFSET Level

$$\text{OFFSET} = \frac{1}{\text{TL} \times \text{sr}} \cdot \sum_{i=1}^{\text{TL} \times \text{sr}} a_i$$

TL : Time interval for computing amplitude level (TL=60s),
 sr : Sampling rate (sr=120Hz),
 a_i : Amplitude of waves.

Mean Noise Level (MNL)



$$\text{MNL} = \frac{1}{\text{TL} \times \text{sr}} \cdot \sum_{i=1}^{\text{TL} \times \text{sr}} (|a_i - \text{OFFSET}|)$$

MNL : Mean noise level (Mean value of hatched area).

Fig. 4d

Fig. 4. Illustration for the method for detecting (a) P-wave, (b) S-wave, (c) F-time and (d) Offset and Mean noise levels in Preprocessing System (APS0). S-time is detected by amplitude information only on either EW or NS component with larger amplitudes. The amplitudes of incoming waves are given in a unit of 10 mv/one digit and the time in sec. The constants, such as CL, CS and CF, are nondimensional.

Fig. 4 に P-time, S-time, F-time, 及びそれらの検測に必要な常時微動の振幅レベル, 即ち, Offset Level や Mean Noise Level の定義や検測方法を示す. 波の振幅 (縦軸) に関するパラメータの数値の単位は地震計アナログ出力 10mV が 1 デジットに相当し, 時間 (横軸) に関しては秒 (sec) で与えられる. 掛算に使われる定数 (CL, CS, CF) は無次元である. 図より P-time は一定時間 (T2) 内にノイズレベル (NL) を越える振動が NP 回以上になると検出され, S-time は最大振幅に定数をかけた振幅レベル (SL) 以下の時間が一定の期間 (TS) 続いた時に決定される. F-time は F-time 検出レベル (FL) 以下の振動が一定の期間 (TF) 続いた場合に検測される. 又, Offset Level は一定時間 (TL) 内の常時微動の振幅の算術平均値, Mean Noise Level は常時微動から Offset-Level を引いた振幅の算術平均として定義される.

3.3 1系システム (APS1)

1系へ転送された処理データは1地震が複数の震源データと複数の観測データに分類されているので、1系の地震統合機能により1地震に統合される。結合規準は震源時差 (≤ 90 秒)、震源距離差 (≤ 100 km)、マグニチュード差 (≤ 6.0)、*P-time* 差 (≤ 60 秒) の4種類が設定され、複数の震源データが設定した規準を満たすと1地震に統合される。統合されると *P-time*, *S-time*, *F-time* がARモデル(横田・他, 1981)により、17秒遅延のかかった地震波データを使って再検出され、震源決定が行なわれる。ここで決定された震源データ、観測データは即座に2系へ転送される。

3.4 2系システム (APS2)

1系から2系へ転送されてきた震源データ・観測データは地震予知データセンターのデータベースの記録形式に合わせて2系で再編集され、直ちにFEPへ転送される。1系故障時には2系が1系に代わり自動検出を行なう。即ち自動処理は1系と2系でDUAL SYSTEMを構成している(Fig. 3)。2系は主として自動検出以外の研究用計算機として使われ、ディジタイザー(DGT)を使った人間による波形の位相検出、グラフィックディスプレイ(GDP)を使った波形の表示、静電プリンタープロッターを使った震央地図の作成等のバッチ処理が行なわれる。

3.5 システムの流れ図

Fig. 5は自動検出方式を図示化したものである。図より実時間震源・観測データは検出モード[A]より前処理系から、検出モード[C]より1系からFEPへ転送される事が分る。前者は群発地震や大地震がおり短時間に沢山の地震が検出される場合に、後者はそうでない場合に機能する。

1系からFEPへ震源・観測データが転送される形態として転送モード[B]があるが、これはARモデル方式を導入した時点(1980年前半)で消去され、以後ARモデルで自動的に位相の再検出を行う転送モード[C]を採用した。この転送モード[C]では震源計算が成功したときにのみFEPへの震源・観測データの転送を行なってきた。震源計算が不成功の場合には次の2つの転送方法がとられる。

その1つは1系ARモデルによって再検出された位相データに前処理系で成功した震源計算の最初の震源要素を加えて1つの震源・観測データとする方式の転送モード[C']である。他の1つは、もし前処理系においても震源計算が不成功に終了し震源情報がない場合には、1系AR再検出*P-time*を仮震源時として1つの震源・観測データとする方式の転送モード[C'']である。

これらの転送モード[C], [C'], [C'']を1系に適用して実時間処理した結果を、2系のDGTを使用して人間によって処理決定した結果と比較した1例をFig. 6に示した。前者(online)、後者(offline)共に観測点が5点以上の場合を対象にしたが、後者は一部に4点以下と観測データのみの場合も含まれる。1系(白丸)と2系(黒丸)の震源時が必ずしも1対1に対応しないのは、1系と2系とでは使用する観測点が必ずしも同一ではない事による。

転送モード[C'], [C'']が適用される以前は、人間介入による震源データの約2分の1から3分の1しか実時間データがHOSTへ転送されなかったが、これら2つの転送モードを追加したことにより1系処理データ(白丸)が2系のデータ(黒丸)とほぼ同数かそれ以上にHOSTへ転送されるのがFig. 6からよみとれる。

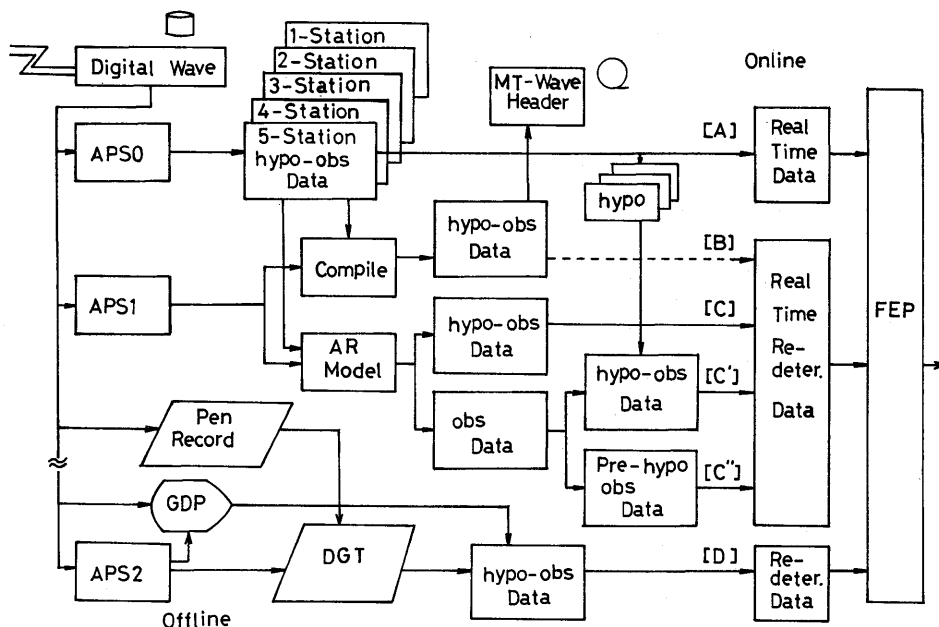


Fig. 5. Transmission modes of real time hypocenter and observation (hypo-obs) data from APS to FEP. Mode [A] transmits the hypo-obs data directly from APS0 to FEP, the maximum number of stations being five. Mode [B] in APS1 compiles the hypo-obs data from APS0 and transmits the compiled one to FEP. This transmission mode was replaced by Mode [C] when Mode [C] was constructed. Mode [C] in APS1 (1) redetects *P*- and *S*-times by AR model, (2) redetermines the hypocenters and (3) transmits them to FEP. Transmission modes [C'] transmits to FEP obs-data generated by AR model with hypo-data from APS0. Mode [C''] transmits to FEP obs-data generated by AR model taking the first *P*-time as the preliminary origin-time. The former [C'] runs when the hypocenter calculation failed in APS1, while the latter [C''] runs when it failed in both APS0 and APS1. Mode [D] in APS2 transmits, in the offline system, the hypo-obs data determined by manual operation of digitizer (DGT) using pen writing records.

Fig. 7 は Fig. 6 の中で 1 系統合処理が成功し、かつ 2 系と 1 系の震源が良くあっている地震の 1 部をプロットした震央図である。この中の 1 系出力の半数以上は前処理系で決定したものが含まれており、前述した転送モードの中の [C'] が有効に機能していることが分る。図の中で震源要素で深さ (H) が地表上に決まったものは H6R 等のように R (Restrained) がつけられている。マグニチュード (M)、深さ (H)、使った観測点数 (N) も示したが 1 系 (online) が 2 系 (offline) に比べてマグニチュードがおよそ 1.0 小さい。これは実時間処理ではノイズレベルを高めにして *F*-time を検測している事による。尚、Fig. 6, Fig. 7 に示した地震の震源計算は *P* 波と *S* 波を使ってなされたものである。

3.6 システムの評価

自動処理システムが稼動するといくつかの問題点がある事が分かった。それらの問題点に対しては次の様な検討を試みた。

本自動処理システムは 3.2 前処理系の節で述べた様に前処理系では観測点数が最大 5 点毎に震源が決められ、処理データが 1 系へ転送される。この方法は即座に震源がきめ

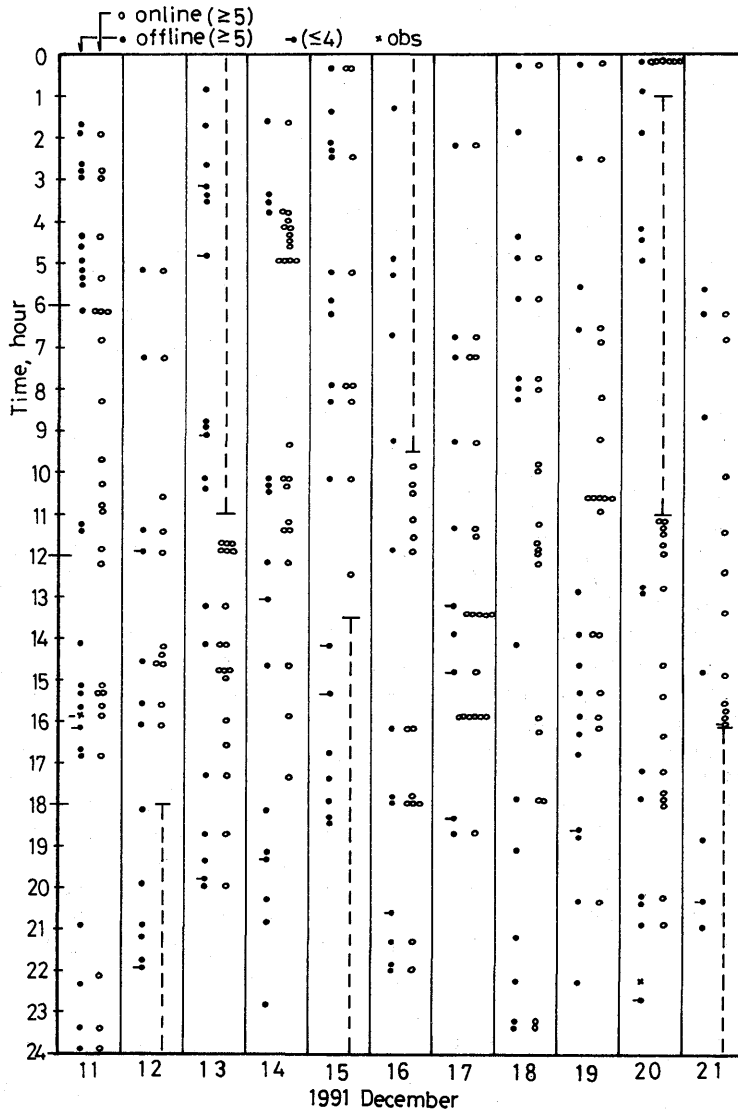


Fig. 6. Time sequence of hypocenters determined by applying the transmission modes [C], [C'] and [C''] in the online system (open circles) and those determined by manual operation in offline system (solid circles). In both systems the number of stations used in the calculation is more than five. In offline system, the hypocenters with the number of stations less than four are denoted by solid circles attached to horizontal bar in the left, and obs-data only without hypo-data are denoted by x-symbols. In online system, a number of open circles are plotted at the same time point when separated hypocenters determined in APSO could not be identified as one earthquake. Vertical dashed lines in the online system show that the system operation was suspended due to troubles. The experimental operation period is from 11 to 21 December, 1991.

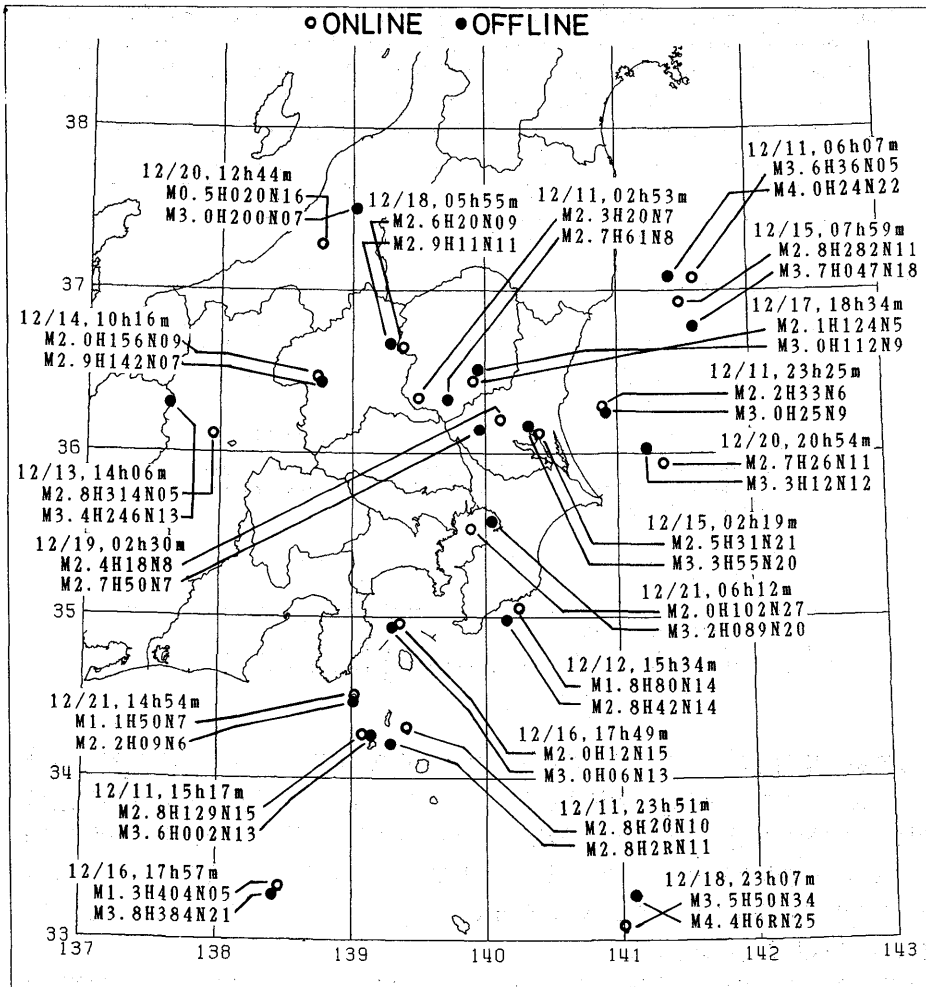


Fig. 7. Examples of epicenters determined by online (open circles) and offline (solid circles) systems sampled from Fig. 6. Magnitude, depth and number of stations are denoted by symbols M, H and N. Note that the magnitude by the online system is smaller than that by the offline system.

られ、データを前処理系に保存しないで前処理系の実時間処理の効率を高める事になる。ところが前処理系の震源精度が良い場合には1系の統合処理で、本来は1つであるべきはずの複数の震源が1つに統合されるが、震源精度が悪い場合には1つに統合されず(1地震の分裂)、1系結合処理の不成功の1要因になった。

又、当初、前処理系から1系への震源・観測データはF-time順に転送していたが、F-timeが正しく検測される場合にはその後の1系統合が成功するが、F-timeが実際よりも遅い時間を検測し、かつ1系震源計算が不成功の場合には、前処理系で最初に決めた震源時よりも早いP-timeをもつ観測データをもつ統合結果が時々発生した(震源時とP-timeの逆転)。それを防ぐ為に前処理系から1系への震源・観測データをP-time順に転送するソフトに改め、この問題を完全に解決した(Table 1)。

Table 1. Two types of functions of APSO named TYPE 1 and TYPE 2. Note that, in the software (bound unit) named 'MAINZ' in TYPE 2, the hypocenter is determined from *P*-times and the hypo-obs data is transmitted from APSO to APS1 in order of *P*-time sequence. Impossibilities of manual change of noise level bias (4) and network parameter construction (5) are merely due to lack of storage size of CPU in APSO.

Function of Automatic Pre-processing System (APSO)		
TYPE	TYPE1	TYPE2
(1) Bound unit name	MAINH	MAINZ
(2) Method of hypocenter calculation	3PIS (*1)	4POS (*2)
(3) Default value of noise level bias	common for all stations	different values for each station
(4) Manual change of noise level bias or station open/close	possible	impossible
(5) Transmission sequence of phase data from APSO to APS1	F-time order (not EQN order)	P-time order (EQN order)
(6) Network parameter construction and listing	possible	impossible

EQN : Earthquake number.

(*1) : The hypocenter is determined by using *P*- and *S*-times.

(*2) : The hypocenter is determined by using *P*-times only.

変換波や飽和した振幅が *S* 波近傍に現われると検測は困難である。 *S* 波誤検測が前処理系で起こると前処理系の震源精度が悪くなり、前に述べた 1 地震の分裂が 1 系統合処理において起こり易い。そこで、前処理系、1 系共に震源計算を *S*-time を使わず *P*-time で行ない、1 地震の分裂を防ぐ事も試みた。Table 1 には前処理系で改良したソフトの内容 (TYPE 2) を示した。Fig. 8 に *P*-time が AR モデルで精度良く検測されている例 (*S*-time は不正検測) を示した。

1 系における *P*-time の検測は前に述べたように AR モデルや AIC を使って検測される。しかしながら常に *P*-time が高精度で検測されるとは限らないので、精度の悪い *P*-time データ (観測点) を取り除く為に観測方程式に次の様な重みをつけて震源計算をする事にした。

いま *i* 番目の観測方程式につけられる重み係数を W_i とすると W_i は

$$W_i^{-1} = 1 + 0.05 \exp\{(\xi_i - \alpha)^2 / 2\sigma^2\}$$

のように表現される。 ξ_i は *i* 番目の観測点における残差、 σ は標準偏差、 α は重みのついた平均残差で

$$\alpha = \sum W_i \xi_i / \sum W_i$$

$$\sigma = \{\sum (W_i \xi_i)^2\}^{1/2} / \sum W_i$$

と表される (ARNOLD *et al.*, 1968)。 α や σ は、1 回目は *P* 波速度が 6 km/s の半無限弾性体を仮定して得られた仮震源を、2 回目以降は関東地方の地下構造を使って得られた震源を使って求められる。数学的には *P*-time データを使った観測方程式を最小二乗法で解くときに上記の重み係数を使って正規方程式がつくられ、震源要素が決定される事になる。この方法によって誤検測された *P*-time データ (観測点) は取り除かれるか、或いは

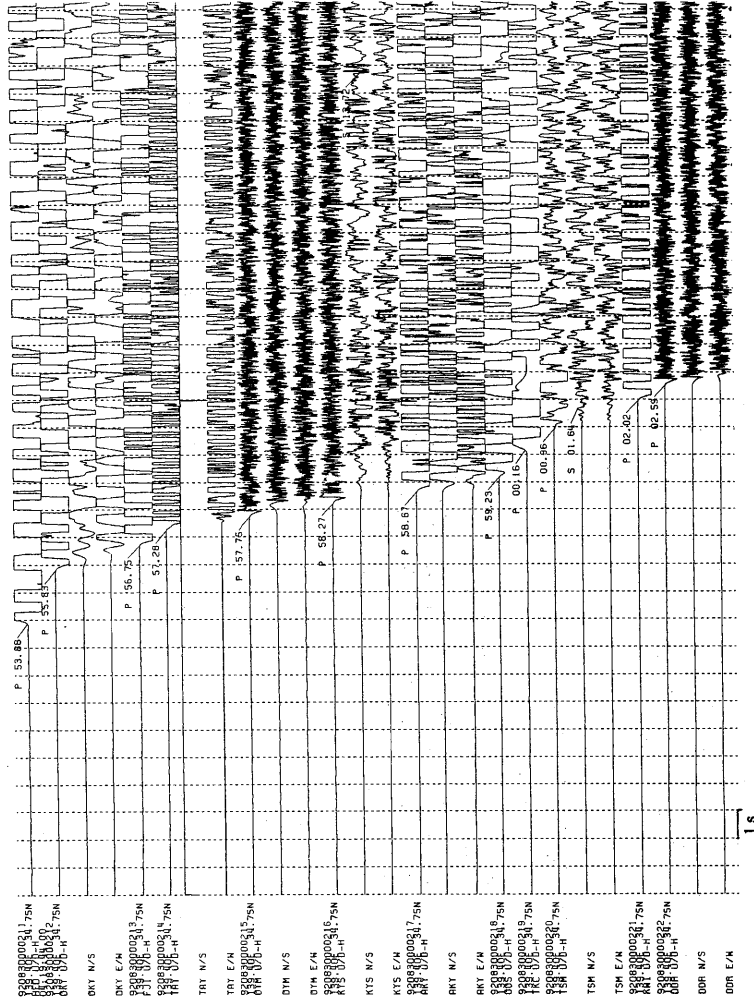


Fig. 8. An example of automatic detections of P- and S-times by means of AR model. Note that P-times are accurately detected. Solid circles are marked in the right hand side of wave trains whose S-times are erroneously detected.

Table 2. An example of hypocenter list calculated using P-times in APS1. The weighting coefficients (designated as WEIGHT) estimated from the residuals (designated as O-C) are employed in the calculation. Note that the erroneous P-time data of DDR station is suppressed by the weighting coefficient (WEIGHT=0.0).

```

***** IPPICENTER DETERMINATION *****
(EARTHQUAKE NO =94/03/06 0001 )
AKY * 94 3 6 *P 5H 14M 43.86 S S 3.19 S ORIGIN TIME= 39.490 S F-P= 16.58 S ME= 1-11
OYM * 94 3 6 *P 5H 14M 45.09 S S 4.65 S ORIGIN TIME= 38.720 S F-P= 16.34 S ME= 1-1
HED * 94 3 6 *P 5H 14M 49.14 S S ***** S ***** S ORIGIN TIME= ***** S F-P= 17.35 S ME= 1-2
OKY * 94 3 6 *P 5H 14M 49.45 S S ***** S ***** S ORIGIN TIME= ***** S F-P= 17.30 S ME= 1-7
DDR * 94 3 6 *P 5H 14M 49.60 S S 7.39 S ORIGIN TIME= 38.72 S F-P= 17.32 S ME= 1-1
      * 94 3 6 *P 5H 14M 53.30 S S 0.20 S ORIGIN TIME= 38.22 S F-P= 19.77 S ME= 0-3
(MEAN JF OT= 39.001 S) (M= 1-1)
(ST-DEVIATION= 8.230 S)

HYPOCENTER FOR HALF SPACE (VP= 5.0047/S) ( AKY , OYM , HED , KWI ARE OCCUPIED )
X = -96.088 KM Y = -39.574 KM Z = 26.102 KM 138.9414 (56.4833) E 35.4584 (27.502) N
ORIGIN TIME= 14M 38.755

-117.106 -70.230 -52.000 45.751
-92.304( 1.42) -56.047( 1.57) 25.881 39.379( 0.123)( RMS OF O-C = 0.214 )
-95.086( 0.25) -59.511( 0.93) 18.871 39.421( 0.071)( RMS OF O-C = 0.351 )
-97.592( 1.57) -59.511( 0.93) 18.271 39.552( 0.113)( RMS OF O-C = 0.386 )
-98.891( 1.97) -60.083( 1.21) 15.661 39.646( 0.143)( RMS OF O-C = 0.420 )
-98.891( 1.97) -60.083( 1.21) 13.051 39.643( 0.193)( RMS OF O-C = 0.489 )
-99.523( 2.16) -60.204( 1.68) 10.441 39.728( 0.223)( RMS OF O-C = 0.536 )
-99.815( 2.30) -60.330( 1.83) 7.230 39.808( 0.253)( RMS OF O-C = 0.568 )
-99.983( 2.38) -60.458( 2.00) 4.020 39.888( 0.283)( RMS OF O-C = 0.598 )
-100.192( 2.48) -60.588( 2.00) 2.610 39.752( 0.271)( RMS OF O-C = 0.588 )

ORIGIN TIME = 94 3 6 5H 14M 39S 38MS (+/- 0.12 SEC) MAGNITUDE = 1.1
X = -92.30 (4- 1.42) KM 138.9719 (58.312) E
Y = -39.57 (4- 1.29) KM 35.4724 (28.345) N
Z = 26.10 (RESTR.) KM

REGION = 1517 YAMASHI-PRE-E

ST DELTA AZIMUTH PROJECT E-ANGLE P TRAVEL TIME (SEC) S TRAVEL TIME (SEC) S-P TIME (SEC) WEIGHT (O-C)
(KM) (DEG) *(CM) *(DEG) O-C C O-C C O-C C O-C C O-C
AKY 13.23 103.76 3.82 31.37 4.48 4.42 0.06 7.67 7.65 0.02 3.19 3.23 -0.04 0.86 0.06
OYM 25.29 104.81 6.07 50.85 5.71 5.64 0.07 10.36 10.36 0.00 4.65 4.60 0.05 0.89 0.11
HED 58.79 194.93 8.83 72.22 10.16 10.09 0.13 17.65 17.65 0.00 7.35 7.32 0.03 0.599 -0.32
OKY 58.49 233.50 8.53 74.24 10.22 9.86 0.36 18.11 17.06 1.05 7.89 7.20 0.69 0.972 -0.19
DDR 61.69 176.48 8.70 76.91 19.12 10.60 8.52 19.32 18.33 0.99 0.20 7.74 -7.54 0.580 0.33
      01.69 176.48 8.70 76.91 19.12 10.60 8.52 19.32 18.33 0.99 0.20 7.74 -7.54 0.000 8.51
(RMS= 3.49) (RMS= 0.78) (RMS= 3.79)

```

* MEASURED FROM THE UPWARD VERTICAL
 ** FOR EQUAL AREA PROJECTION OF UPPER FOCAL HEMISPHERE WITH RADIUS OF 10 CM

そのデータの影響を小さくする事が出来る。この方法は検測データの数が多の場合に有効である。Table 2は1系における震源計算の1例であるが最後のカラムにある(O-C)はP-time残差で、この値を基に重み(WEIGHT)が計算に使われ、誤検測したDDR(堂平)観測点が除かれている事を示す。

Fig. 8に示したのはP-timeに比べてS-timeの検測精度が劣る例であるが、このような例は本APSでは数多く発生する。P-timeが正しく検測されてもS-timeが不正検測になると1系の統合処理が不成功になり、FEPを通してHOSTへ転送される実時間データは転送モード[C]を採用すると3.5節で述べたように激減する。それ故、P-timeデータのみによる処理がS-timeを含めた処理に比べてどの程度向上するかを次の様な検測実験で評価を試みた。

先ずマグニチュードが比較的大きな地震(M≥2.7)を対象にして前処理系でP-timeによる震源決定を行ない、1系で統合処理の後P-timeのみで震源決定を行った。Table 3には対象にした地震のリストを示した。この表にはP-time, S-timeが自動検測された数、その中で比較的精度良く検測された数(|O-C|が1秒以内のもの)を示した。この表より次の事が分る。(i) P-timeの総検測数(A)312の中で精度良く検測されたP-timeの数(B)は218(B/A=0.699)である。(ii) S-timeの総検測数(E)148の中で精度良く検測されたS-timeの数(F)は36(F/E=0.243)である。(iii) 精度良く検測されたP-timeの数(B)

Table 3. Hypocenters determined using P-times only in APS1. Numbers of P- and S-times detected by means of AR model in APS1, written respectively in the columns of A and E, are also shown along with the numbers of P- and S-times detected with the error of |O-C| less than 1 sec, written respectively in the columns of B and F. The column G indicates the number of S-time in the case that both P- and S-times are detected with the errors of |O-C| less than 1 sec. In the bottom, the ratios of the respective total numbers, such as B/A, F/E, F/B, E/A and G/B are also shown. The earthquakes with magnitude greater than 2.7 are sampled during the period from March 4 to 14, 1994.

M	D	H	M	S	LAT	LON	DEP	MAG	(P)		(S)			REGION
									A	B	E	F	G	
03	04	21	10	24	36.91	138.31	1.6	3.3	15	15	4	1	1	NIIGATA-PRF-S
03	07	16	29	37	34.91	139.29	14.0	3.1	22	18	13	7	7	SAGAMI-NADA
03	08	10	44	32	34.57	139.01	217.7	3.8	20	14	8	0	0	OFF-IZU-PEN
03	09	00	48	28	34.85	139.17	9.0	3.1	5	5	4	2	2	IZU-PEN-C
03	09	00	48	29	34.89	139.09	1.9	3.1	13	7	7	2	2	IZU-PEN-C
03	09	19	03	00	36.49	140.78	20.6	4.6	20	14	7	0	0	KASHIMA-NADA
03	10	15	40	01	35.63	139.17	99.4	2.7	9	8	5	0	0	KANAGAWA-PRF-W
03	11	17	19	27	34.32	139.26	2.0	3.6	23	17	11	0	0	NEAR-NIIJIMA
03	11	19	09	27	34.19	139.10	0.8	3.0	12	9	3	0	0	NEAR-KOZUSHIMA
03	12	04	36	59	34.31	139.29	9.7	2.9	19	10	10	2	2	NEAR-NIIJIMA
03	12	08	07	50	34.19	139.12	12.9	3.3	5	5	3	0	0	NEAR-KOZUSHIMA
03	12	14	27	59	33.98	139.09	10.0	3.2	13	7	7	0	0	OFF-SURUGA-BAY
03	12	15	15	46	34.49	139.28	31.0	3.1	5	5	4	4	4	NEAR-NIIJIMA
03	12	15	32	21	34.33	139.30	18.0	2.7	9	8	5	5	5	NEAR-NIIJIMA
03	12	16	06	43	34.28	138.97	13.0	3.4	5	5	3	1	1	NEAR-KOZUSHIMA
03	13	03	43	23	36.76	140.69	23.9	4.5	15	10	6	1	1	IBARAKI-PRF-N
03	13	03	43	38	36.26	139.68	23.6	4.0	16	7	7	0	0	TOCHIGI-PRF-C
03	13	08	13	38	34.24	139.19	2.1	3.6	23	12	14	3	2	NEAR-KOZUSHIMA
03	13	09	43	03	36.30	141.08	27.1	3.2	33	17	12	4	2	KASHIMA-NADA
03	14	02	26	57	35.75	140.96	92.9	4.9	10	9	3	1	0	KASHIMA-NADA
03	14	02	26	59	35.87	140.77	64.5	4.7	20	16	12	3	3	KASHIMA-NADA

(TOTAL) 312-218 148-36 -32

- (1) B/A=218/312=0.699
- (2) F/E= 36/148=0.243
- (3) F/B= 36/218=0.165
- (4) E/A=148/312=0.474
- (5) G/B= 32/218=0.147

218 に対して精度良く検測された *S*-time の数 (*F*) は 36 でその割合 (*F/B*) は 0.165 である。(iv) *P*-time の総検測数 (*A*) 312 に対して *S*-time の総検測数 (*E*) は 148 でその割合 (*E/A*) は 0.474 である。(v) *P*-time が精度良く検測された数 (*B*) 218 の中で *S*-time も精度良く観測された数 (*G*) は 32 でその割合 (*G/B*) は 0.147 である。これらの結果で特徴的な事は (iii) や (v) にみられるように、*S*-time が正しく検測される成功率は *P*-time の約 15% で非常に低い値を示している事である。Table 3 に精度良く *S*-time が検測された数が 0 の地震が相当数存在するが、この場合には *S*-time を使った統合処理は不成功になるか、精度の悪い震源が決定される事になる。

上記の実験結果は、*P*-time データのみによる震源計算の精度、統合処理の成功率が *P*-time と *S*-time の両データを使う場合に比べて著しく高くなる事を示している。

4. 各種自動処理システムの特性とその比較

1980 年前半から半ばにかけて各大学でも自動処理システムが導入され、その報告がいくつかなされた。本自動処理システムは 3 つの CPU で分散処理を行うものであるが、この形態にほぼ同様なのは東北大学の自動処理システム (長谷川・他, 1986) や名古屋大学の準自動処理システム (大井田, 1982) である。前者は前処理部で震源・*M* の決定、一次処理部で AIC による位相検測、二次処理部で会話処理を行う。後者は先ずマイクロコンピュータ (MP100) で地震発生情報を出力し、次のミニコンピュータ (NOVA3) で地震波形データの抽出・保存を行い、次のミニコンピュータ (ECLIPS/S140) で観震データを作成する。北海道大ではスーパーミニコン (MS190) 1 台でリアルタイム処理を行う (鈴木・他, 1986)。即ちタスク 1 で地震検出、タスク 2 で AIC の計算、*P* 波初動の検出を行い震源・観測データをつくる。京都大の阿武山観測所 (渡辺・他, 1982) ではリアルタイム処理を 4 つに分け、近似的な震源要素の決定、再検測、異常現象の判定、ファイルのあふれ状態の監視を 1 台の CPU で行う。又、京都大防災研究所の自動処理システム (佃, 1986) は 2 台のスーパーミニコン (E-800) で行なわれるが、オンライン処理は 1 台の CPU でソフトウェアのみで地震判定 (トリガー) が行なわれ、もう 1 台は通常はオフライン使用だがオンライン処理のバックアップにも使われる。

位相検測においては多くの大学で AR モデルと AIC を用いているのは特徴的といえる (例えば森田・浜口, 1984; 前田, 1985; TAKANAMI and KITAGAWA, 1988)。各大学ともその後テレメータ方式も改良され (卜部, 1991)、システムの拡張やソフトの改良が行なわれ、上記の自動処理システムはより発展していると思われる。上記以外の機関・大学における自動処理システムについては松村 (1989) によって報告されている。

5. あとがき

ミニコンピュータ 3 台を用いた地震波自動検測・処理の方法、FEP への転送方法を具体的にまとめた。いくつかの問題点には検討も試みた。今後地震波の自動検測・処理の方法は更に研究され改善されてゆくものと思われるが、*P* 波・*S* 波検測結果の正、不正を判定する地震学的或は統計学的手法 (例えば和達ダイヤグラムの利用 (吉田・他, 1990)) を実時間処理にも確立するともっと良い自動処理システムになると思われる。本自動処理システムではマグニチュードを地震波継続時間 (*F-P*-time) のみから決定したが、振幅やその他の情報を用いる他の方法を使用する事も検討すべきであろう。入力観

測点が非常に多く、ワークステーションを利用した新しい地震波実時間処理システムが
卜部・他 (1989; 1990) によって検討され、現在稼動実験が行なわれている。

謝 辞

2名の査読者、佃 為成助教授、匿名氏から頂いた御批判は原稿の改訂に有益でした。
又、自動処理の文献について卜部 卓助手から教えを頂いた。これらの方々に感謝致し
ます。

文 献

- ARNOLD, E. P., WILLMORE, P. L., KEILIS-BOROK, V. I., LEVSHIN, A. L. and PYATETSKII-SHAPIRO, I. I., 1968, Automatic identification of seismic wave arrivals. (In Russian.) *Vychisl. Seismol.*, No. 4, 158.
- 長谷川 昭・海野徳仁・山本 明・高木章雄, 1986, 微小地震観測網データの自動処理システム, 地震 2, 39, 381-395.
- 前田直樹, 1985, 地震波自動処理システムにおける読み取り評価, 地震 2, 38, 365-379.
- 松村正三, 1989, コンピュータによる地震観測のシステム化とその変遷, 地震 2, 42, 371-390.
- 溝上 恵・中村 功, 1980, 微小地震観測ネットワークシステムについて—関東ネットワーク—その1 テレメタリングシステム, 地震予知観測技術報告 第1号, 東京大学地震研究所地震予知観測室, 1-34.
- 溝上 恵・中村 功・萩原弘子・千葉平八郎・吉田 満, 1980, 1980年伊豆半島東方沖の群発地震のリアルタイム検測—システムの稼動実験, 地震研究所彙報, 55, 949-1015.
- 溝上 恵, 1984, 広域微小地震観測の現状について—その手法と結果—, 海洋音響研究会報, 11, No. 4, 137-143.
- 溝上 恵, 1986, 地震予知とセンサ, センサ技術, 6, No. 1, 56-61.
- 森田裕一・浜口博之, 1984, 自己回帰過程による地震波初動の自動検測とその信頼区間, 地震 2, 37, 281-293.
- 日本電気, 1980, EFP インターフェース基本仕様書, TD-D-170.
- 日本 IBM, 1978, 概設書—2進データ同期通信 (BSC), N: GA27-3004-1, 1-39.
- 大井田 徹, 1982, 名古屋大学理学部地震予知観測地域センターにおける地震波自動処理システムの概要, 地震予知観測情報センターニュース, No. 7, 2-14.
- 鈴木貞巨・高波鉄夫・本谷義信・笠原 稔・中西一郎, 1986, 北海道大学における地震波自動処理システム (I) (リアルタイム処理), 地震学会講演予稿集, No. 1, 287.
- TAKANAMI, T. and G. KITAGAWA, 1988, A new efficient procedure for the estimation of onset times of seismic waves, *J. Phys. Earth*, 36, 267-290.
- 鷹野 澄・額額一起・宮武 隆・吉田昌信, 1985, 地震データベース利用システム SEIS のシステム構成, 性能評価と改良, データベース・システム, 49-2, 1-8.
- 佃 為成, 1986, 京都大学防災研究所における地震波自動処理システムについて, 地震予知観測情報センターニュース, No. 12, 4-10.
- 卜部 卓・石桁征夫・溝上 恵, 1989, 新世代の微小地震テレメータ・システムの試み—新しい堂平微小地震観測網—, 地震学会講演予稿集, No. 2, 257.
- 卜部 卓・石桁征夫・溝上 恵, 1990, 新世代の微小地震テレメータ・システムの試み—2. 波形データの分散処理—, 地震学会講演予稿集, No. 2, 279.
- 卜部 卓, 1991, 地震波データの伝送法—テレメータ方式, 地震 2, 44, 15-26.
- 渡辺 晃・黒磯章夫・松本民雄, 1982, 阿武山における微小地震データの自動処理システム, 地震学会講演予稿集, No. 1, 81.
- 横田 崇・周 勝奎・溝上 恵・中村 功, 1981, 地震波データの自動検測方式とオンライン処理システムにおける稼動実験, 地震研究所彙報, 56, 449-484.
- 吉田 満・千葉平八郎・溝上 恵, 1990, 和達ダイヤグラムによる微小地震走時データの評価, 地震研究所彙報, 65, 587-610.

要 旨

1981年から1993年まで地震予知観測室で稼動してきた地震波自動処理システムの処理方法をまとめた。この自動処理システムは微小地震の地震波の実時間検出と震源の実時間決定を目的とする。オンライン自動処理システムはAPS0, APS1, APS2と呼ばれる3つのコンピュータを使って運用される。ソフトウェアの基本構成は次のようになる。テレメータされたデジタル地震波データを使い、第1段目のコンピュータAPS0はP波とS波の到達時刻(P-とS-time)と振動終了時刻(F-time)を振幅情報を解析することによって検出し、最大5つの観測点毎の検出データを使って即座に震源を決める。第2段目のコンピュータAPS1は自己回帰モデル(ARモデル)により上述の到達時刻を再検出し、APS0から5つの観測点毎に分離して送られてきた震源・観測データを統合した後震源を再決定する。第3段目のコンピュータAPS2はAPS1からの震源・観測データを全国国立大学実時間データベースを備えた地震予知データセンターのホストコンピュータの前段に置かれたフロントエンドプロセッサ(FEP)に転送する。