

ARモデルによる地震波形処理

塚越 利光**・望月 英志***・平井 俊一****・吉川 一光**

The Processing of Digital Seismograms Using The Auto Regressive Model

Toshimitsu Tsukakoshi, Eishi Mochizuki, Toshikazu Hirai and Kazumitsu Yoshikawa

The Japan Meteorological Agency has developed a system for telemetering concentrically and processing digital seismograms at each regional center since 1981 (L-ADESS). In this system, the method of measuring seismograms is such that the first arrival times of P and S waves are read by the operator using on XY digitizer.

Recently a new method of automatic detection of the first arrival times of seismic waves that uses an auto regressive model (AR model) has been developed. We evaluated this method statistically, and conclude that the method of detection and adjustment of phase onset using the AR model is effective enough for the processing of the JMA's digital seismograms in which sometimes high noise level records are included.

Then we have developed a program for detecting and adjusting the phase onset times by the measuring method using the AR model linked to the hypocenter determination program, and for checking and correcting the result easily by a graphic display unit. It is now employed in the routine work.

§ 1. まえがき

気象庁の地震観測には現在周期特性および倍率の異なる数種の地震計が使われている。そのうち、1倍強震計、100~200倍の直視式電磁地震計(59型、61型)では従来と同様に観測者が経験にもとづいて記録紙から地震波の相を識別し、その発現時、初動方向、最大振幅などの検測を行っている。

他方、磁気テープ記録式電磁地震計(67型:1,000倍、76型:10,000倍)が全国に展開されるとともに収録される地震記録数が飛躍的に増大した。これに対処するため、アナログ式磁気テープに記録された地震信号をデジタル化して電子計算機により相の識別、読み取りなどを自動的に行い、その結果をディスプレイ装置に表示して対話方式により検測結果のチェックと修正を行うシステム(地震記録自動処理

装置)が開発された(市川, 1980)。

(この報告では観測者が記象紙上から経験にもとづいて行う地震記録の読み取りを「検測」とし、電子計算機を使用して行う地震記録の読み取りを「検測」と呼んで区別することにする。)

昭和56(1981)年より順次東京、仙台、札幌、大阪、福岡に気象資料伝送網(L-ADESS)が展開されてきた。このシステムでは地震信号は地震観測点から電話回線により各地方中枢にテレメータされ、地震記録の収録・解析が行なわれる。その地震信号は地動変換器の出力を直接デジタル化したものであるため、従来のアナログ信号によるシステムに比べ格段にSN比が向上した(市川, 1982)。

このシステムによる地震検測方式は次の様なものである。まず、地方中枢のトリガー式ペンレコーダに記録された地震波形からオペレーターがXYディ

*Received May, 9, 1985

**気象庁地震予知情報課

***気象庁地震予知情報課(現気象研究所)

****気象庁地震津波監視課

ジタイザによりP, S相等を指示し震源計算を行う。この読み取り結果は地震波形(サンプリング30HZ)と共に編集され全国中枢である気象庁へ気象資料自動編集集中装置(C-ADESS)を通して通常1日1回伝送される。気象庁に伝送された各中枢の地震波形はまとめて地震記録自動処理装置にかけられ、ディスプレイ装置との対話方式により全ての地震記録につき検測結果のチェックと修正が行われる。

この処理ではディスプレイに表示する前にXYディジタイザで読み取った相の発現時刻を計算機プログラムにより調整していたが、その方式は従来の地震記録自動処理装置(市川, 1980)と同様に振幅レベルの変化に着目した方式であった。しかし、この方式は調整結果に不十分な面があり、例えば脈動や人工的ノイズの影響で、明瞭な立ち上がりの相でもかなり大きくずれてしまうことがあり、またかなり多くの場合オペレーターによる微調整が必要だった。

相の自動検測に最近、自己回帰モデル(ARモデル)を用いた確率論的方法を採用する検測方式が開発され、すでに実用化されている。

白井・徳弘(1979)は地震波初動の自動検出と発現時の自動調節に1次元自己回帰モデル(ARモデル)を使用する方法を開発した。この方法は地震波形の振幅と周期の情報を確率論的に扱っている点に特徴がある。白井らはまずノイズ部分のARモデルから残差の平方列を求め、これが一定のレベルを越えた時点で初動を検出したとみなし、この時点以後で信号部分のARモデルを作成した。そして初動の前後でノイズ部分に対する信号の対数尤度比関数を計算し、この関数が負から正へ零線を切る時点を相の発現時とした。

浜口・鈴木(1979)は白井らの方法を適用してP波の初動検測の方法を開発し、続いて森田・浜口(1981)は2次元ARモデルによるS波の初動検測の方法を開発した。

他方、市川(1980)は同じく白井らの方法を用いてP, S相の初動を検測し、その結果の評価を行ったが、従来の振幅レベルの変化を用いる方法より格段に良い結果を得ることはできなかった。この理由は白井らの方法によるサンプルの1点ごとに計算された対数尤度比関数がしばしば極値を多数持つような不規則な変化を含むため、この関数が零線を切る点の検出が困難になる場合があったためと思われる。

横田ら(1981)はARモデルを用いてより安定に地震波初動を検出する方法を開発し、実際にオンラ

インシステムに導入した。この方法ではノイズ部分と信号部分のARモデルの次数の決定および区間内の初動の判別に対して赤池の情報量基準(AIC)を用いた。計算されたAICの時間系列は相の発現時で最小値を示し、白井らの対数尤度比関数を用いる時の様な困難さは生じない。

ARモデルによる方法により決定される初動の発現時の信頼区間については、森田・浜口(1984)の提案もあるが、この問題についてはまだ議論の余地が残されている。この点については横田(1985)を参照されたい。

なお、ARモデルについては赤池・中井(1972)、砂原(1981)などを参考文献として上げておく。

我々はこのARモデルを用いた地震波検測法を、L-ADESSによる波形処理システムに、次のように導入した。すなわち、XYディジタイザの読み取り値の調整を、ARモデルを用いた地震波検測プログラム(検測プログラム)によって行い、次に、震源計算結果からP相, S相の発現時を計算し、再び検測プログラムによって前の調整値のチェック・再調整および検測値のない波形については自動検測を行う。これらの検測結果から、再び震源計算を行い、プリントアウトする。また、任意の地震波形とその検測結果をディスプレイ画面に表示し、検測結果のチェック・修正をマニュアル操作で行う。

震源要素から求めた計算走時によって、再調整および自動検測を行うことから、検測プログラムと震源決定プログラムは、交互に作動するものとした。また、波形編集プログラムを改修して、従来はXYディジタイザによる読み取り値のある波形だけを編集(収録)していたが、これを、読み取り値のない波形も収録して、自動検測を行うものとした。この他に、自動検測もれ記録および波形なし地震記録(ペンレコーダーにのみ記録されたもの)をXYディジタイザによって検測するプログラム(再検測)を用意した。

ARモデルを用いた地震波検測プログラムは昭和59(1984)年8月から、自動検測を含めた波形処理システムは昭和60(1985)年2月から、各管区L-ADESSに導入・運用されている。

§ 2. ARモデルによる検測法

まず、横田ら(1981)の検測法の概略について述べる。この方法は多次元のARモデルに適用できるものであるが、今回は1次元のARモデルを使用し

た. ここで AIC は赤池の情報量基準であり,

$AIC = -2 \times (\text{対数尤度}) + 2 \times (\text{パラメータ数})$ と定義され, AIC が小さいほどモデルと実際のデータの適合性が良いことを示している.

1 次元 AR モデルでは地震波データはモデル作成区間内で定常であると考え, 信号と雑音の和であるとして, 次式のように表現される.

$$x(k) = \sum_{j=1}^M a(j) x(k-j) + \varepsilon(k).$$

$$; k = 1, 2, \dots, n$$

ここで k は時刻を表わし, $x(k)$ は時刻 k における観測値を示す. また M は AR モデルの次数, $a(j)$ は AR 係数であり, $\varepsilon(k)$ は時刻 k における正規性白色雑音 (平均 $\bar{\varepsilon} = 0$, 分散 $V(\varepsilon) = \sigma^2$) である.

AR モデルの次数 M は定数項を除いて次式で表わされる AIC が最小となる M を採用する.

$$AIC = n \log \hat{\sigma}^2 + 2M.$$

ここで n はモデル作成に用いたデータ数であり $\hat{\sigma}^2$ は σ^2 の最尤推定値である.

あるデータ区間の中に P 相あるいは S 相が存在するとしてそれらの相の発現時を求める方法として次の 2 つの方法を採用する.

a) 区間の前部の AR モデルを用いる方法

区間の最前部で作成した AR モデルに対する予測誤差を区間内の各点に対し時間順に計算し, 定数項を除いて次式で表わされる AIC が最小となる時点と相の発現時とする. (Fig. 1-a)

$$AIC(k) = (k-1) \log \hat{\sigma}_F^2 + (n-k+1) \log \hat{\sigma}_{F_s}^2 + n + 2M$$

$$\hat{\sigma}_F^2 = \sum_{i=1}^{k-1} \left\{ x(i) - \sum_{m=1}^M a_F(m) x(i-m) \right\}^2 / (k-1)$$

$$\hat{\sigma}_{F_s}^2 = \sum_{i=k}^n \left\{ x(i) - \sum_{m=1}^M a_F(m) x(i-m) \right\}^2 / (n-k+1)$$

ここで n は区間のデータ数であり k は 1 から n まで変化させる. $a_F(m)$ は最前部で作成した AR 係数であり, M は次数である. $\hat{\sigma}_F^2$ は区間の前半部 ($i = 1 \sim k-1$) に対する, $\hat{\sigma}_{F_s}^2$ は区間の後半部 ($i = k \sim n$) に対する雑音の分散の最尤推定値である. なお, 上の $\hat{\sigma}_F^2$ と $\hat{\sigma}_{F_s}^2$ の計算式では予測誤差の平均は 0 であると仮定しており, 以下同様に仮定する.

b) 区間の前部と後部の AR モデルを用いる方法

区間の最前部のデータで作成した AR モデルに対する予測誤差を時間順に, 区間の最後部のデータを使用して作成した AR モデルに対する予測誤差を時間と逆順にそれぞれ計算し, 定数項を除いて次式で表わされる AIC が最小となる時点と相の発現時とする. (Fig. 1-b)

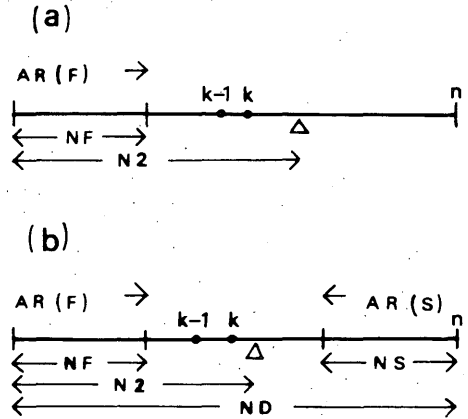


Fig. 1. Schematic representation of the time division with AR models.

- (a) : method - A with one AR model (F)
 (b) : method - B with tow AR models (F and S)

$$AIC(k) = (k-1) \log \hat{\sigma}_F^2 + (n-k+1) \log \hat{\sigma}_s^2 + n + 2(M_F + M_{F_s})$$

$$\hat{\sigma}_F^2 = \sum_{i=1}^{k-1} \left\{ x(i) - \sum_{m=1}^{M_F} a_F(m) x(i-m) \right\}^2 / (k-1)$$

$$\hat{\sigma}_s^2 = \sum_{i=k}^n \left\{ x(i) - \sum_{m=1}^{M_s} a_s(m) x(i-m) \right\}^2 / (n-k+1)$$

ここで n は区間のデータ数であり, k は 1 から n まで変化させる. $a_F(m)$, $a_s(m)$ は最前部および最後部に対する AR 係数であり, M_F および M_{F_s} はそれぞれの次数である. $\hat{\sigma}_F^2$ は区間の前半部 ($i = 1 \sim k-1$) に対する, $\hat{\sigma}_s^2$ は区間の後半部 ($i = k \sim n$) に対する雑音の分散の最尤推定値である.

AR モデルにより P 相および S 相の検測を行った例を Fig. 2. (a), (b) に示す. オペレータが XY デジタルタイザにより読み取った点を中心として調整を行

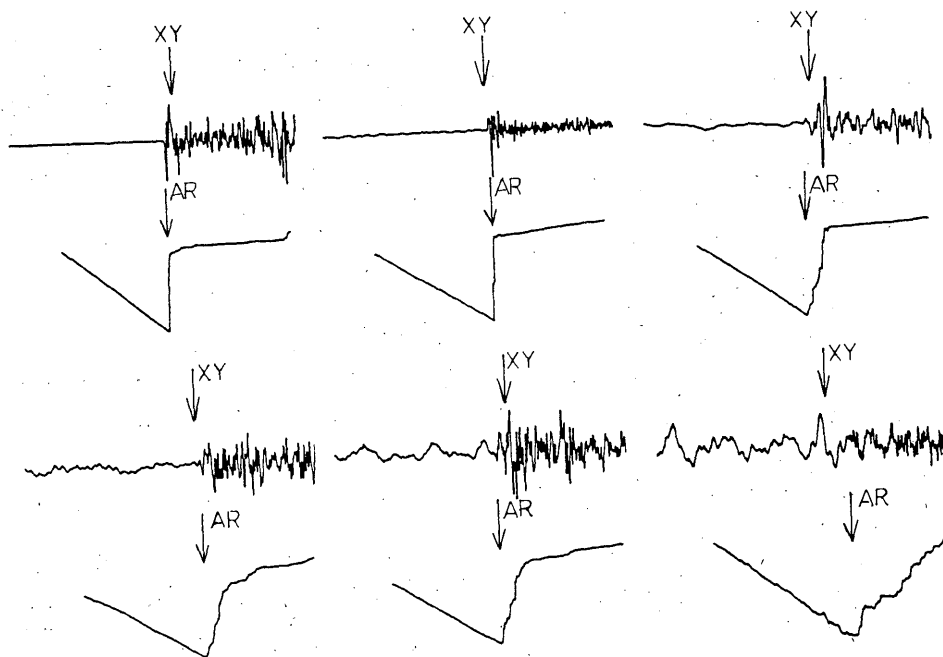
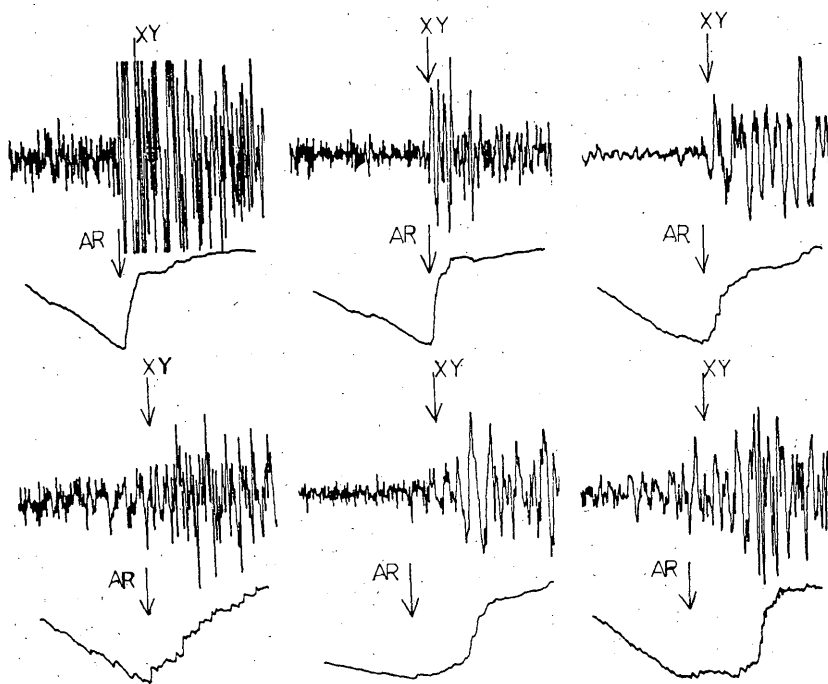


Fig. 2. (a). Examples of adjustment of P-phase by AR model (using method B)



(b). Examples of adjustment of S-phase by AR model (using method B)

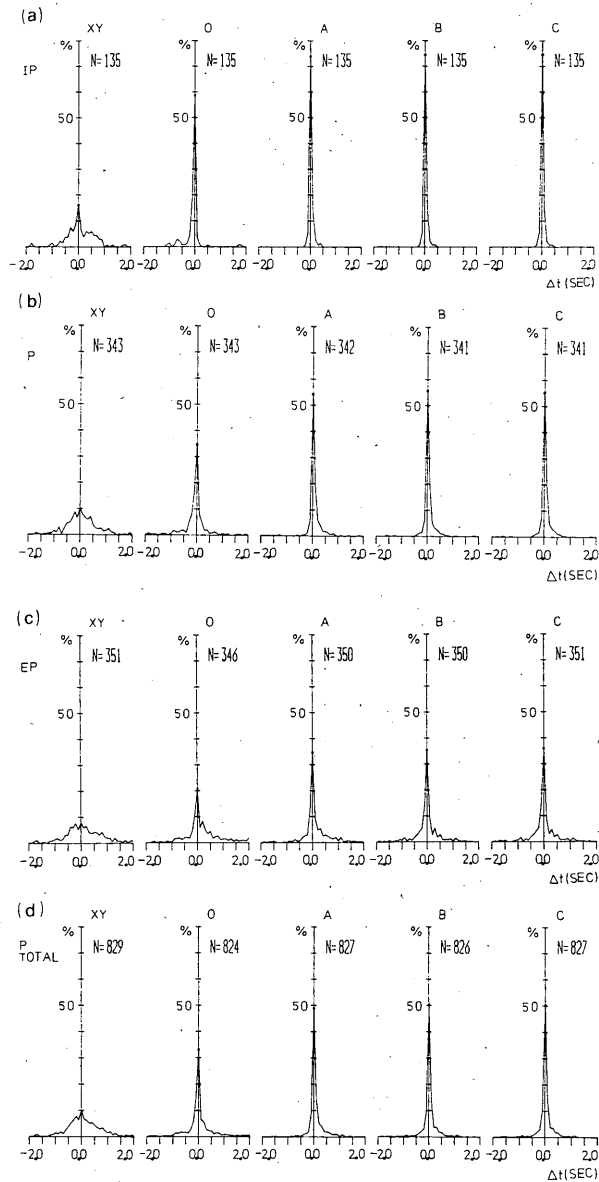


Fig. 3. Distribution of difference between the adjusted point by each method and the point read by the operator.

(a) for iP

(b) for P

(c) for eP

(d) for total P

'XY' is the picking-up method using XY digitizer by the operator.

'O' is the method which uses change of amplitude.

'A' is the method with one AR model.

'B' is the method with two AR models.

'C' is the method which takes the faster one between 'A' and 'B'.

なった。ノイズレベルの大小にかかわらず安定した結果が得られているのがわかる。

§ 3. 従来の方法との検測結果の比較

次に、§ 2で述べたARモデルによる方法と従来の方法による検測結果との比較を行った。

各管区で行うXYディジタイザによる読み取りをXY法（記録紙の送り速度は100mm/分）、地震記録自動処理装置のディスプレイ作業時に従来使われていた相の調整法（市川，1980，1982）をO法、新しく採用したARモデルによる方法のうち区間の最前部のARモデルを用いる方法をA法、区間の最前部および最後部のARモデルを用いる方法をB法とする。さらにA法とB法のうち前方のポイントに決まった方を採用する方法をC法とする。これらの方法の比較の基準としては、別にオペレータがディスプレイ画面上から指示した結果を用い、その時刻からのずれで各手法による結果を評価する。

O法では、XY法で読み取った点を中心として約±2秒の範囲で相の調整がなされた。AおよびB法では、ARモデルの作成区間を3秒（90ポイント）としXY法による点を中心としてモデル作成区間を含む±5秒の範囲で相の調整を行い、ARモデルの次数の最大値は8とした。計算に使用したデータは、昭和56（1981）年7~9月の東京管区分の約800個の地震波形データである。

3.1 P 相

上下動成分の記録から検測（あるいは検測）したP相についてオペレータのディスプレイ画面上での読み取り値との差の分布を各方法ごとに相の明瞭度別（iP, P, eP）にFig. 3-(a), (b), (c)に示してあり、全体としての分布がFig. 3-(d)に示してある。ただし、O法とARによる方法で調整区間の長さが異なるため、各方法ともオペレータの読み取り値を中心として±2秒以内に入った結果のみをとり出して比較してある。以下の統計もこの範囲内に対する比較である。また相の明瞭度はオペレータが指示したものである。

Fig. 4に各方法についてオペレータの読み取り値との差の平均と標準偏差が明瞭度別に示してあり、Fig. 5にはオペレータの読み取り値と±0.1秒（3ポイント）以内に入った割合（%）を各方法について示している。

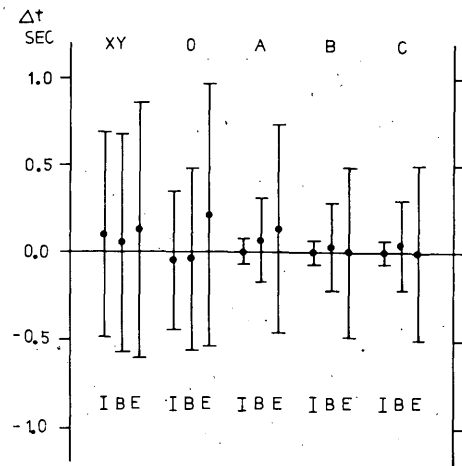


Fig. 4. Average and deviation of the difference between the adjusted point of P-phase by each method and the point read by the operator.

- I: Abrupt commencement of a phase
- E: Gradual or indistinct commencement of a phase
- B: Intermediate commencement of a phase between I and E

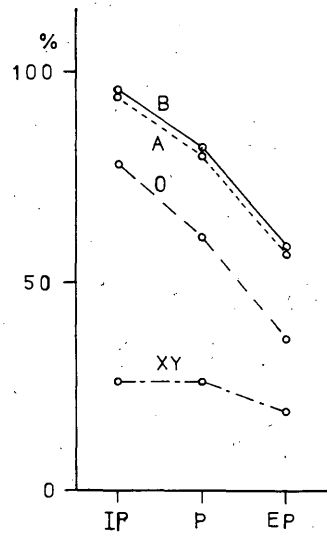


Fig. 5. Percentage of the difference of the adjusted point by each method from the point read by the operator falling within ± 0.1 sec.

上の結果によるとA, B法の標準偏差はいずれもO法の約5分の1(標準偏差はiPの場合, O法で0.39秒, A法で0.08秒, B法で0.07秒)であり, オペレータの読み取り値との差が ± 0.1 秒以内に入る割合(%)を見て, 相の明瞭度にかかわらずA, B法ではO法より15ないし20%も向上している。(iPの場合, O法は81%, A法は94%, B法では96%が ± 0.1 秒以内に入る。)

次にARモデルによるA法とB法の結果を検討する。A法, B法ともFig. 3, Fig. 4に見られるように相の明瞭度が落ちるとともにオペレータの検測値の前後にばらつき, かつわずかに後れる傾向が表われ, A法とB法を比較するとA法の方にその傾向が強く見られる。(B法とA, B法のうち早い方をとるC法を比較してほとんど差がないのはA法がB法より後れる傾向にあることを示している。) ± 0.1 秒以内に入った割合(%)で見てもP全体でA法では72.6%, B法では74.6%とわずかであるがB法の方が優れている (Fig. 5)

3.2 S 相

水平動(東西成分)から検出したS相についてP相と同様にして各方法についてオペレータの読み取り値との差の分布をFig. 6-(a), (b), (c)に相の明瞭度別に示し, S相全体としての分布をFig. 6-(d)に示した。またFig. 7には差の平均と標準偏差が明瞭度別に示してあり, Fig. 8にオペレータの読み取り値と ± 0.1 秒以内に入った割合(%)を示している。(なお, O法によるS相の調整結果は以下の統計に含まれていない。)

上の結果よりA法とB法を検討するといずれの方法でも相の明瞭度が落ちるとともに前後にばらつき, かつP相の場合以上に後れる傾向を示している (Fig. 6, Fig. 7)。明瞭な相(iS)に対してはA法の方がB法よりわずかに良い結果が得られた。それはオペレータの値と0.1秒以内に入った割合(%)で見てもわかる (Fig. 8)。この理由はiSの場合, S波部分の波形が振り切れている波形がSやeSの場合より多く含まれていて信号部分のARモデルが不適当となる場合が多かったと考えられる。しかし全体として見ればA法とB法はS相に対してはほとんど同等である。

以上で述べたP相およびS相に対する検測結果の比較をまとめると, ARモデルによる方法(A, B

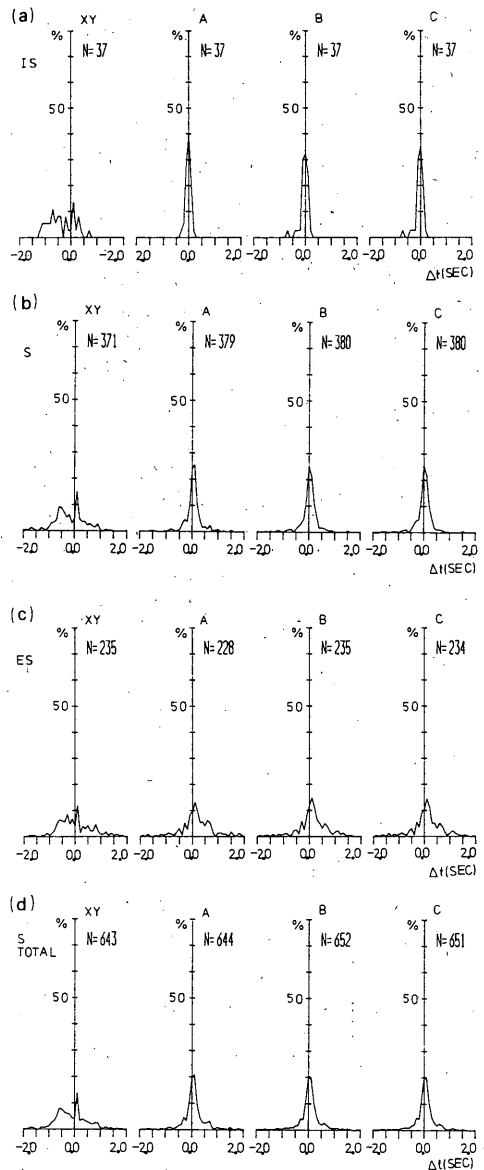


Fig. 6. Distribution of difference between the adjusted point by each method and the point read by the operator.

- (a) for iS
 - (b) for S
 - (c) for eS
 - (d) for total S
- 'XY', 'A', 'B' and 'C' are the same as in Fig. 3.

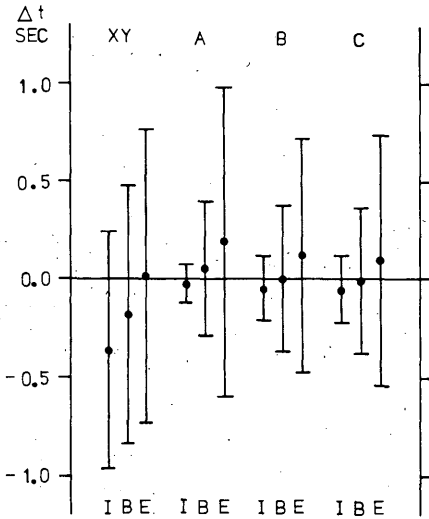


Fig. 7. Average and deviation of the difference between the adjusted point of S-phase by each method and the point read by the operator. 'I', 'B' and 'E.' are the same as in Fig. 4.

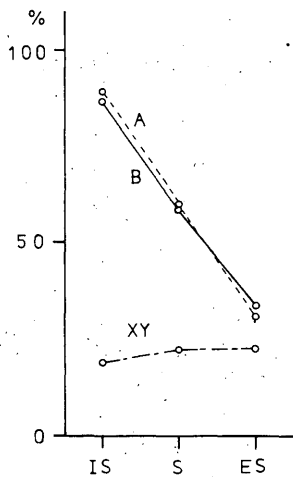


Fig. 8. Percentage of the difference of the adjusted point by each method from the point read by operator falling within ± 0.1 sec.

法)は従来の振幅レベルの変化を用いる方法(O法)より明らかに良い結果を示している。またARモデルによる方法のうち区間の最前部と最後部のARモデルを用いる方法(B法)は区間の最前部のみのA

Rモデルを用いる方法(A法)と同等か、わずかに良い結果を示している。

なお、XY法の結果は相の明瞭度にかかわらず ± 0.5 秒程度の誤差がある(Fig. 3, 4)。XY法では記録紙の紙送り速度は100mm/分であり、原理的にはXYディジタイザの分解能が0.1mmなので0.1秒程度の精度はあるはずである。しかし、基準となるタイムマークを1ヶ所しか指示しないための紙送りの誤差、記録紙をXYディジタイザ上にセットする時の記録紙のズレなどが影響しているためであろう。波形の収録されなかった記録の相の発現時はXYディジタイザによる結果が採用になるため誤差を少なくする工夫が必要である。(現在のXYディジタイザによる検測プログラムでは記録紙の1分間の長さを0.1mmの単位でディスク上の定数ファイルに登録し、検測作業時に時間が自動的に補正されるようになっているので、誤差は多少減少していると思われる。)

§ 4. ARモデルを用いた地震波検測プログラム

§ 3でARモデルを用いた地震の相の発現時の調整法は常時微動(脈動、人工的ノイズなど)のレベルがかなり高い観測地点を含む気象庁の地震波データに対しても有効であることが示された。

ARモデルを用いて地震の検出、地震波の検測およびその結果による震源計算まで自動的にオンラインで行うシステムがすでに実験段階を経て実用化されている(横田ら, 1981)。一方気象庁のL-AD ESSを中心とした地震波データの処理は§ 1で述べたようにオペレータが地震を識別してXYディジタイザにより相の発現時を指示するという作業が重要な役割を果している。このような現状に合わせて、まず上記XYディジタイザの読み取り値をARモデルによって調整する方式を組み込むことにした。

このARモデルを用いた相の発現時の調整法は昭和58(1983)年8月から地震記録自動処理装置による全国の地震波形データの一括処理に、また昭和59(1984)年8月からは各管区での波形処理に採用されてきた。その後上記のプログラムを基本にして、地震波初動の検出と発現時の調整、最大振幅、相の明瞭度の計算などいくつかの点で改良が行なわれた。また、震源計算と組み合わせて、1次震源計算により求めた計算走時をもとに再調整および相の検出(自動検測)を行う機能を追加した。さらにすでに編集済みの地震波形について上記の計算処理が終了

したのちに、オペレータは任意の波形をディスプレイ上に表示し、検測結果のチェックと修正を行うことができる。ディスプレイの方式は市川(1980)が開発したものを基本とし、操作がしやすいよう変更がなされている。

このプログラムの機能をまとめると次の様になる。

(ステップ1) XYディジタイザによる相の読み取り値のARモデルによる調整

(ステップ2) 1次震源計算で求めた計算走時による相の調整

(ステップ3) ディスプレイ表示による検測結果のチェックと修正

4.1 相の検出と調整法

地震の相はステップ1ではP相、S相、X相ともオペレータがXYディジタイザで指示したものを採用する。ただし指示された相がP相のみの時はS相を自動検出し、オペレータがどれの相も指示しなかった波形についてはX相を自動検出する。(これは検測値のない波形はノイズとみなされて保存されないでオペレータの読み忘れがあっても波形を確保しておくためである。)相の自動検出の方法を次に述べる(白井ら(1979)参照)。まず検出する相の前方でARモデルを作成し、相の検出区間で次式で表わされる残差の絶対値の数列 $W(i)$ を計算する。

$$W(i) = |x(i) - \sum_{j=1}^M a(j)x(i-j)|$$

$$; i = 1, 2, \dots, N$$

ここで N は相の検出区間の長さであり M はARモデルの次数である。 $W(i)$ は一般に変動が大きいため移動平均により平滑化する(現在7点移動平均)。この数列がある一定のレベルを越えた時、相を検出したと判定する。

ステップ2では1次震源計算の計算走時を基準として走時残差(O-C)が規定の値を越えている時、あるいはステップ1で検測されていない相がある時はステップ1で述べたと同じ方法で相の自動検出を行う。

オペレータにより指示あるいは自動的に検出された相に対し、次の様にARモデルによる調整を行う。相の調整区間のパラメータとしては最前部のモデル作成区間の長さ $N_F = 60$ 点、最後部のモデル作成区間の長さ $N_S = 60$ 点、全区間の長さ $ND = 210$ 点、調整前の相の発現時刻の調整区間の先頭からの位置 $N_2 = 120$ 点としてある(Fig. 1-a, b参照)。こ

れらの定数は計算時間の節約のため§3の評価実験の値より小さくしてあるが、結果は大きく違わないことを確かめてある。

XYディジタイザによる指示、あるいは計算走時の位置は実際の相の位置の前後にばらついているので、まずその点を中心とする区間の中で一次調整を行う(現在は±4秒としてある)。その方法を次に簡単に述べる。まず一次調整区間の最前部でARモデルを作成し、区間内で残差の絶対値を計算し平滑化した数列を得る。この全区間内の数列の最大値から高レベルのスレシヨルド値(最大値×0.5)を計算し、ARモデル作成区間を含む前方3秒間の数列の最大値から低レベルのスレシヨルド値(最大値×1.5)を計算する。次にパルス状ノイズによる残差の小さな山を越えるため、区間の前方から後方へ高レベルのスレシヨルドを越える点をさがし、この点から逆に前方へ低レベルのスレシヨルド以下になる点を求め一次調整した点とする(Fig. 9)。なお、

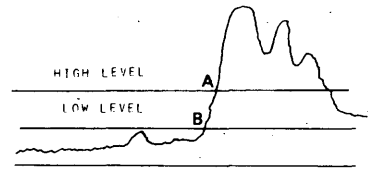


Fig. 9. Schematic representation of the preliminary adjustment of the phase. The curve shows the smoothed absolute values of prediction errors. First, point A that goes over the high level is sought for and next, point B that goes under the low level is found. B is the preliminary adjusted point.

調整区間内の残差の数列の最大値が一定の値以下であるか、高レベルのスレシヨルド値が低レベルのスレシヨルド値以下ならば一次調整は行なわない。

次に、一次調整した点を基準としてA法またはB法により、基本としては前方へ二次調整を行う。二次調整の方法はB法を優先して使用するが、区間後半部の波形の振幅が振り切れているなどの理由で後半部のARモデルが作成できない時はA法を使用する。

§3で述べた様にARモデルによる調整では相の明瞭度が落ちるとともに実際より後方に決定される

場合が出て来る。これは相の始まりの部分の振幅が徐々に大きくなる場合とか、微小な前駆波の後に大振幅の後続波が現れる場合など振幅が非定常的に変化する時に起りやすい。従って相の二次調整で一次調整の時点より規定のポイント数以上後方に調整された場合は一次調整の時点を採用にする。

相の立ち上がりが見えにくい場合、調整された点が常時微動の平均的レベルの範囲外にあるとオペレータはこのレベルの範囲内に読み直すことが多い。よって相の明瞭度が i 以外で(時間精度 0.2 秒以上)、かつ二次調整された点がノイズレベルの範囲の外にある時は、もしこの点の前方数点以内にノイズレベルを切る点があればこの点を初動の発現時とすることにした(市川, 1980 参照)。この場合のノイズレベルはノイズ部分(10秒間)で検出したノイズのピーク値の絶対値の平均としてある。

二次調整では AR モデルの調整区間 (Fig. 1) は固定にしてあるが、遠地地震などの場合、地震波の周期が長くなると調整区間が短か過ぎて相の調整ができなくなることがある。よって、もし地震信号のはじめの部分の平均周期が 1 秒を越えた時はデータを 1 サンプルごとにとって調整区間を長くした。この場合、時間の分解能が半分になるが、周期の長い立ち上がりの時は実用上、問題ないと思われる。

次に各相の検出条件について述べる。P 相については上下動成分を使用し、上下動が欠測の時は水平動 1 成分を使用して検出を行う。S 相に対しては水平動 2 成分、水平動 1 成分が欠測の時は正常な水平動 1 成分と上下動 1 成分により検出を行い、森田・浜口(1984)にならい時間精度 (§ 4-2 参照) の良い方を採用とする。ただし、上下動には SP 変換波など早い相が出ることがあるので原則として水平動の S 相を採用とするが、水平動の S 相が非常に不明瞭あるいは水平動が 2 成分とも欠測の時は上下動の S 相を採用とする。また 2 成分に対する時間精度が同等の時は早い方を採用にする。PS 時間が 3 秒以内の S 相は調整区間がとれないので 1 次および 2 次調整は行なわず、調整した P 相と XY デジタルで読んだ PS 時間から計算する。76 型地震計の記録の場合は水平動が高感度と低感度の 2 成分から構成されるので、通常は高感度成分を使用し、高感度成分の振幅が振り切れる時は低感度成分を使用する。

最後に X 成分については上下動成分と水平動の 1 成分につき検出し、時間精度の良い方を採用とする。

以上の処理で一番初めの相の検出と調整を行う際、

信号部分で作成した AR モデルを使用して、それ以降で残差の絶対値の数列 $W(i)$ を求め、絶対値が一定のレベル以下に下がった点を地震振動が終わる時刻 F とする。この F 点は最大振幅の検出区間の設定に用いている。

次に自動検出した相の採用の判定条件について述べておく。検出した相の前後の区間でそれぞれデータの階差をとり、おのおのの区間に対する分散を計算し、前者に対する後者の比が一定の値を越えているならば最終的に相として採用している。

なお、毎日 8 時に地震システムの稼働状態の監視のため 2 Hz の監視信号がテレメータ信号に重ねて送られてくる。このためこの時間帯の 1 分間は相の自動検出はしないようにした。(オペレータが指示した相に対する調整は行う。)

4.2 初動方向、相の明瞭度、最大振幅の計算

P 相の初動方向については AR モデルによる方法で調整された点を基準にして、次のポイントが動いた方向を初動方向とし、同時に初動の大きさ、周期も計算する。この方法は初動が明瞭な時は成績が良く、 iP の初動 134 例中 2 例を除いてオペレータの指示と一致した。この 2 例は初動部分にパルス状ノイズが混入していたためである。初動の明瞭度が落ちてくると上の方法では誤りの割合が増えるが、現在は自動検出した初動方向は iP の場合のみ採用となるので重大な支障とはなっていない。初動部分が長周期の振動に短周期の振動が乗っているような形を示す場合は、初動の決定はかなり難かしくなる。

相の明瞭度については従来より験測者が地震記録を見て経験的に急な立ち上がり(記号 i)、ゆるやかな立ち上がり(記号 e)、両者の中間程度の立ち上がり(記号なし)の 3 つのランクに分けて来た(氣象庁, 1967)。しかしこの場合かなりの個人差があり、信頼性にも問題がある(浜田, 吉田, 橋本, 1983)。そこで相の明瞭度を客観的に求めるためにまず AR モデルによる方法で決定された初動の前後の SN 比 (Signal to noise ratio) から明瞭度を決定することを試みた。Fig. 10 に 相についてオペレータが採用した明瞭度と SN 比および初動の周期との関係を示す。ここで SN 比は P 相の初動の振幅と直前のノイズレベル(ピーク値の絶対値の平均)との比を表わす。この図からもわかる様に相の明瞭度は SN 比に対してかなりばらつきがあるが、同じ SN 比に対しては短周期になるほど明瞭度が上がる

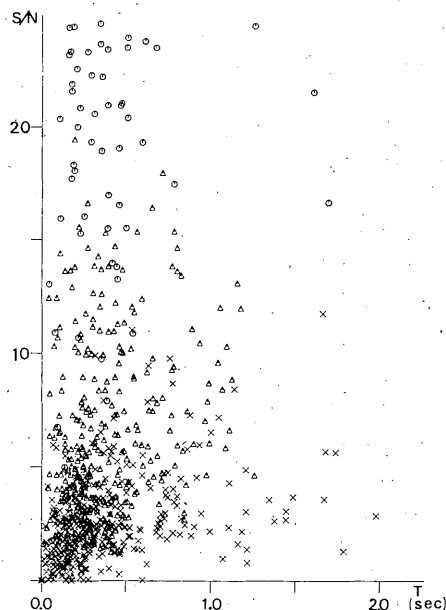


Fig. 10. Relation between phase clarity, SN ratio and period in the case of P-phase. Open circles, triangles and crosses represent iP, P, eP, respectively.

傾向を示す。これは明瞭度の決定に対してはSN比だけでなく周期の変化をも考慮すべきことを示している。

一次元ARモデルによる初動の発現時の信頼区間には森田・浜口(1984)の提案がある。彼らの方法によると、A法の場合初動の信頼区間は危険率を α として、対数尤度 $l(k)$ ($k=1, \dots, n$)が

$$l(k)_{\max} - \chi^2_m(\alpha) \leq l(k) \leq l(k)_{\max}$$

となる範囲になる。ここで $l(k)_{\max}$ は $l(k)$ の最大値であり、 χ^2_m は自由度 $m (= M_F + 1)$ の χ^2 分布を表わす。

またB法の場合は、初動の信頼区間は危険率を α として対数尤度 $l(k)$ ($k=1, \dots, n$)が

$$l(k)_{\max} - \frac{1}{2} \left\{ \chi^2_{m_F} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + \chi^2_{m_S} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right\} \leq l(k) \leq l(k)_{\max}$$

となる範囲である。ここで $m_F = M_F + 1$, $m_S = M_S + 1$ である。

Tab.1 相の明瞭度と時間精度の対応

相の明瞭度	時間精度 (単位 秒)
i	0.0 ~ 0.2
blank	0.2 ~ 0.7
e	0.7 ~

この方法を今回、プログラムを変更するにあたって試みに採用してみることにした。相の明瞭度と時間精度の対応は一応Tab.1のようにしてある。(この対応に合うよう経験的に α を50%とした。)ただし、一定の周期内では次のようにSN比も考慮した(Fig. 10参照)。すなわち、時間精度が0.2秒以内ではP相の場合はSN比が2.5以下、S, X相の場合は4.0以下ならば明瞭度がiでもblankに落とし、また時間精度が0.2秒と0.4秒の間でSN比が7.5以上ならば明瞭度がblankでもiに変える。(これらの定数は暫定的なものである。)

なお、森田・浜口(1984)の方法ではパラメータ数が小さくなると、基準として用いる χ^2_m の値がかなり小さくなって不合理な結果が出ることもある。よってパラメータ数が4以下の時は4に固定した。ARモデルによる初動の信頼区間を求める方法については他の方法も含めさらに検討する予定である。

次に最大振幅の計算について述べる。最大振幅は地震動の振幅レベルがノイズレベルにもどった時刻(F点)までの区間で検出する。しかし地震が重なっていたり、海底地震計のT相のように後続の相が出現して地震振動が仲々減衰しない場合があるので、PS時間が計算できる時はPS時間により最大振幅の検出区間を設定してF点にかかわらず検出を打ち切っている。また地震が重なっている時は最大動を誤まって検出することが特に多くなるため、上の検出区間に次の地震の相が現われた時はこの時刻で最大動の検出を打ち切った。

地震波形にテレメータ系などから混入するパルス状ノイズも地震の最大動の検出を誤らせる原因となっている。現プログラムではある振幅のピークをその前後のピーク数個と比較した時その絶対値が異常に大きいならばそのピークを最大動の検出から除いている。

最後に計算処理に要する時間について述べる。ARモデルで1つの相を検測するのに約1秒かかる。また磁気ディスク装置から主記憶装置に3分間分の波形データを読み出すのに1~2秒かかる。P相とS

相の2つの相がある場合、最大動の検出など他の計算処理も含めて1記録につき4~5秒の処理時間を要する(計算機はTOSBACシリーズ7/70を使用している。)

§ 5. 検測結果のチェックと修正

ARモデルを用いた地震波検測法により検測精度はかなり向上し、従来に比較して検測結果を修正しなければならない割合は減少した。特にARモデルによる調整が終わった後の1次震源計算で精度良く震源が決まり、O-Cによる再調整がされた場合は全く修正の必要がないといえる。しかし、次の様な場合はプログラムで対処することが難しく、オペレータが地震波形をディスプレイ上に表示し、検測結果のチェックと修正を行う必要がある。

- i) 複数個の地震が重なっている場合である。この様な場合はP、S相の組み合わせが適当かどうか注意し、最大振幅が正しい位置に決まっているかどうかチェックしなければならない。
- ii) 定時の2Hz監視信号と地震が重なっていたり、機器の障害等によりノイズが乗っている時はチェックが必要である。
- iii) 震源計算の結果よりP、S相の走時残差が規定の値を越えている様な場合はチェックまたは検測値の修正が必要である。震源計算結果と照合させて、ディスプレイ画面で地震波形とその検測結果をチェックすれば、一層確実なものとなる。

以上の様な検測結果のチェックと修正は、L-AD ESSのディスプレイ装置(縦・横の表示点は512ドット、カラー7色)に地震波形と検測結果を表示して、対話エリアのメニューに従って作業を行う。Fig. 11にディスプレイ画面の仕様を示した。オペレータがメニューに従って検測結果の修正を行うと、その都度表示中の検測結果が消去され、修正された結果が再表示されるので誤操作により不良データが作成されることはほとんど無くなった。

次にディスプレイ装置を使ってオペレータが実際に行う操作について説明する。

ディスプレイ・チェックのプログラムを起動すると、ディスプレイ画面上に一官署分の一地震波形が検測結果とともに表示される。最上部に記録番号、官署番号、日時分、官署名、年月、地震番号、地震波形の表示開始位置が表示され、下部にP S時間が表示される。地震波形は南北、東西、上下の3成分が表示され、相の位置が斜線で示される。この3成分の下に上下動の第1相付近が拡大して示され(時間軸は3倍に伸ばされる); 相の位置が1秒相当の時間軸スケールとともに垂線で表示される。第1相がP相の場合は上下動の初動方向が決定されていれば矢印で示される。最大振幅は各成分につき横構でその位置が示される。(左端が実際の位置を示す。)

南北、東西、上下の3成分の波形に対しては10秒間隔のスケールが縦線で示され、トリガー位置、振幅スケール(200mV相当)が表示される。

スクリーン下部の対話エリア内にはオペレータの操作用のメニューが表示される。(Fig.11, Fig.12をみよ。)

スクリーン下部の対話エリアのメニューの説明を

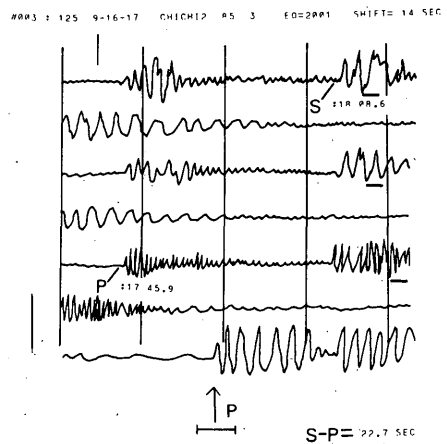


Fig. 11. Example of displaying seismogram.

P=>	S	X	DEL								
S=>	P	X	DEL	P : S I + B	MAX AMP	UP	SHIFT	BACK	CONP	DELETE	
X=>	P	S	DEL	NEXT	READ	DOWN	SKIP	NEXT	EXP	STOP	

Fig. 12. Illustration of communication area.

次に示す。オペレータは操作したい項目をカーソルで指示する。(Fig.12)

i) 相名の変更

P => S X DEL

S => P X DEL

X => P S DEL

P相, S相, X相をそれぞれ矢印の相名に変更する。DELを指示すると、その相は消去される。

ii) 相の明瞭度の変更

P : S (P : Sの下に対応する相の明瞭度が I + B 示される)

ここを指示すると

ASSIGN I+I/ I+B/ I+E/ B+I/ B+B/ B+E/ E+I/ E+B/ E+E/

と表示されるので、適当な明瞭度の組み合わせをカーソルで指示することによって相の明瞭度を変更する。(X相の明瞭度はすべてブランクとされる。)

iii) 相の読み直し

READ

スクリーン上に表示された相の位置を修正したい時、ここを指示する。

ASSIGN P/S/X/PS/PX/XS/PE/SE/XE/

と表示されたら、読み直したい相名をカーソルで指示する。各相名の意味は次の通りである。

P : P相を読み直す。

PS : P相とS相を読み直す。

PE : P相を読み直し、その他の相を消去する。読み直しを行う相に対し

PLEASE READ THE PHASE P.

などと表示されるのでカーソルを波形上の適当な所にあてて読み取る。南北、東西、上下成分および上下動の拡大成分のどの部分からも読み取ることができる。読み直しが終わると、その都度修正した結果が再表示される。

iv) 最大動の読み直し

MAX AMP

ここを指示すると

ASSIGN N-S/E-W/U-D/NSM/EWM/UDM/MMM/END

と表示されるので適当な所を指示する。それぞれの意味は次の通りである。

N-S, E-W, U-D : 各成分の最大動を読み直す。

NSM, EWM, UDM : 各成分の最大動を消去する。

MMM : 全成分の最大動を消去する。

END : 最大動の修正を終了する。

(MMMを指示した時はENDを指示しなくても終了する。)

PLEASE READ N-S COMP.

などと表示されたら、その成分の最大動の位置を指示する。プログラムは指示された位置を中心として±100ポイント(約3.3秒)以内で最大動を検出し、その位置が再表示される。

v) 上下動の初動方向の変更

UP DOWN

UPあるいはDOWNを指示すると上下動の初動方向がアップまたはダウンとなり矢印の表示が変わる。初動方向はP相がiPまたはPの時表示されるが、最終的にiPの初動のみが採用になる。よって初動方向を採用しない時はP相の明瞭度をii)の操作でBまたはEにすればよい。

vi) 表示開始位置の変更

SHIFT

時間をシフトさせて地震波形を再表示させる。

PLEASE KEYIN SHIFT TIME IN SEC. (NNN)

と表示されたら、収録波形の先頭位置から表示を開始したい波形の位置までの秒数を数字3桁でキーインする。

vii) 波形の拡大・縮小

COND EXP

CONDを指示すると現在表示中の記録を1/2に縮小して再表示する。EXPを指示すると記録を2倍に拡大して再表示する。この拡大・縮小は200mV相当線が規定の値になるまで繰り返し行うことができる。

viii) 任意の記録番号の記録へのスキップ

SKIP

任意の記録番号の記録へスキップする時指示する。

PLEASE KEYIN RECORD NO.(NNN)

と表示されたら、次にチェックしたい地震の記録番号を数字3桁でキーインする。

ix) 1つ前の記録へ後退

BACK

ここを指示すると1つ前の記録へもどる。

x) 次の記録へ前進

NEXT

ここを指示すると次の記録へ進む。

xi) 記録の消去

DELETE

表示中の記録がノイズとわかり消去したい時指示する。ここを指示すると画面上の波形部分が消去されノイズとして記録を消去したことが示される。一度消去した記録を元にもどす時はここを再度指示する。

xii) チェックの終了

STOP

ここを指示すると作業を終了する。また最終の記録を表示中にNEXTを指示すると

END OF WAVE FILE. STOP ? YES(1)
/NO (0)

と表示される。1を入力するとプログラムは終了し、0を入力すると最終の記録にもどる。

§. 6. L-ADESSにおける運用

ARモデルを用いた地震波検測法およびディスプレイ画面による検測結果のチェック・修正は、各管区のL-ADESSによる地震波検測精度、震源精度の向上を旨とするものである。このプログラムは昭和59(1984)年8月から各L-ADESSに導入、運用された。その後の顕著な地震としては、雲仙岳付近の群発地震・日向灘の地震・伊豆半島東方沖の群発地震・長野県西部地震・房総半島南東沖の地震などがあつた。これらの地震の際は、数多くのオーバーフロー(波形ファイルに空き領域がなくなること)が発生し、地震波形は磁気テープに収録される。これをL-ADESSのオフラインディスクに入れてから波形処理をするので、波形の編集が終了するまでで平常時の処理と比べて倍近くの処理時間となる。これに、ARモデルによる波形処理時間が追加されるので、一層処理の遅いことが目立った。大地震・群発地震時の波形処理の効率化としては、オンライン波形ファイルの容量を現行の10倍程度に増加して、オーバーフローをなくすることが最も有効であるが、これはL-ADESSシステムの改修を伴うため、実現は難しい。そこでオフラインプログラムの範囲内で行えるものとして、地震津波緊急作業と連動した波形処理、および任意の地震の抜き取り処理ができる機能を追加した。また、波形編集プログラムを改修して編集時間を短縮した。これによってオーバーフローする前に主要な地震の波形処理が可能となる。波形処理によって精度よく震源決定されることから、大地震の余震域の把握、群発地震の震源域の推移の監視などに有効である。

地震津波緊急作業では、震源決定に必要な地震記

録だけXYディジタイザで読み取り、その他の記録は読まれない。特定地震の抜き取り処理でも、読み取りは震源が決まる程度に限定される。一方、波形処理では、全波形記録を検測し、また波形のない地震記録(ペンレコーダにのみ記録されたもの)はXYディジタイザの読み取り値が採用される。津波緊急作業において一部の検測値から決定された震源要素から、各観測点のP相、S相の発現時を計算し、これに基づいてARモデルによる検測を行えば、XYディジタイザで読まれない地震波形も自動検測できる。しかし、全波形記録(XYディジタイザで読まれなかったもの全部)が自動検測されるという保障はない。そこで、自動検測もれ分および波形のない地震記録をXYディジタイザによって読み取るプログラム(ファイルWAVEFLの再検測)を用意した。これは、ディスプレイ画面にペンレコーダのチャンネルと観測成分の対応、検測値の有無、波形の有無が表示されるので、これを見て検測もれ分をXYディジタイザで読み取り、追加するものである。

地震津波緊急作業と連動した処理および抜き取り処理を可能とした波形処理システムは昭和60(1985)年2月から、各管区L-ADESSに導入・運用されている。

6.1 地震津波緊急作業後の波形処理

緊急作業後の波形処理は、管内およびその周辺の地震について地震津波緊急作業が行われた後に実行する。これは、震源がある程度精度よく決定されていること、また、観測点までの震央距離が近いことを必要条件とするためである。震央から遠い観測点の波形記録は、走時異常やP相、S相以外に顕著な相が現われることなどから、自動検測の適用は難しい。

また、この実行を開始する時期は、緊急作業を行った地震の波形がオーバーフローする前で行わなければならない。オーバーフローした後は、波形編集ができないので、処理されない。

うえの2つの条件のもとで、実行を開始すれば、波形処理された震源結果とマグニチュード(M)および各波形記録の検測値がプリントアウトされる。ここでは次の処理が連続して行われる。

- 1) 緊急作業によるXYディジタイザの読み取り値をファイルKENSOK 1に転送: KENSIFT,
- 2) 波形編集: WVCOM,
- 3) ARモデルによるXYディジタイザの読み取

り値の調整：ARDISP,

4) 震源計算およびP相, S相の発現時の計算：
EPDTST,

5) 前の調整値のチェック・再調整および検測値
のない波形については自動検測：ARDISP

6) 震源計算および震源要素, M, 検測値のプリ
ントアウト：EPDTST.

なお, 地震波形日処理 (§ 6.3) の最中に緊急作
業を行った場合は, 日処理終了後に, 上の波形処理
を実行するようにしなければならない。

6.2 抜き取り処理

抜き取り処理は, 大地震の余震域の把握, 群発地
震の震源域の移動の監視などのために, いくつかの
地震を選び, 前節と同様の処理を行うものである。
これらの地震のペンレコーダ記録から, 震源決定に
必要な地震記録のみXYディジタイザで読み取れば,
それぞれの地震について波形処理された震源結果と
Mおよび波形記録の検測値 (自動検測されたものを
含む) がプリントアウトされる。

抜き取り処理を行う地震は管内およびその周辺
の地震に限定されること, また, それらの地震の波形
がオーバーフローする前であればならないことは,
地震津波緊急作業後の波形処理と同じである。

抜き取り処理では, 次の各処理が連続して行われ
る。

- 1) XY ディジタイザによる読み取り：KEN-
SOKU,
- 2) XY ディジタイザの読み取り値による震源決
定 (この場合, Mは決定されない) :
EPDTST
- 3) 波形編集：WVCOM,
- 4) ARモデルによるXY ディジタイザの読み取
り値の調整：ARDISP,
- 5) 震源計算およびP相, S相の発現時の計算：
EPDTST,
- 6) 前の調整値のチェック・再調整および検測値
のない波形については自動検測：ARDISP,
- 7) 震源計算および震源結果, M, 検測値のプリ
ントアウト：EPDTST.

震源計算プログラム (EPDTST) は, 震源計算に
使う観測地点を固定することができるので, 抜きと
り処理で震源の相対的移動を監視する場合に適して
いる。

6.3 地震波形の日処理

地震波形日処理の作業手順を Tab. 2 に示す。処
理できる地震は, トリガーリストの最初の時刻から
最後の時刻までの地震である。この時間帯外の地震
は別に処理しなければならない (オーバーフローし
た波形の処理, 波形を消去した地震の処理)。なお,
トリガーリストには波形ファイルに収録された地震
波形の官署名, 日時分, 記録紙番号が地震ごとに表
示されている。

ペンレコーダ記録の整理は, 前日08時から当日08
時までの分について, 再検測 (検測もれ) 分と未処
理分に分離して整理する。これらがトリガーリス
トの時間帯に含まれることを確認する。再検測分とは,
地震津波緊急作業後の波形処理または抜き取り処理
が行われた地震の記録であり, これは再検測ジョ
ブを実行し, 検測値のない地震記録だけをXYディ
ジタイザによって読み取って処理する。検測値の有無
はディスプレイ画面に表示される。未処理分につ
いては, 検測ジョブを実行し, 全地震記録をXYディ
ジタイザにより読み取る。検測・再検測の作業手順
を Tab. 3 に示す。

Tab. 2 日処理手順

1. ペンレコーダ記録整理 (再検測 (検測もれ) 分
と未処理分)
2. トリガーリスト
3. 再検測 (検測もれ分: X-Yリーダー) ……ディ
スプレイによる対話方式
4. 検測 (未処理分: X-Yリーダー) ……ディス
プレイによる対話方式
5. 波形編集, AR調整, 震源計算, O-C調整,
震源計算…連続自動処理
6. ディスプレイチェック
7. 波形なし再検測
8. 震源再計算
9. 震源編集
10. 編集波形のMT吸上げ
11. オンライン波形ファイルポインタ更新……オー
バーフローが近い場合 (収録50%以上) 6.と7.
の間に行う
12. 波形伝送準備
13. 波形伝送

注) 再検測 (検測もれ) 分とは, 緊急作業に連動
処理, 又は抜き取り処理された地震記録です。

Tab.3 験測・再験測の手順

(1) 験測

験測用ローダを流す。

GD表示: ケンソク データ ネン ツキ
OK……1, NO……0

GD指示: 1 入力, 0 入力

GD表示: ネン ツキ オ ニュウリョク
(YYMM)

GD指示: 年, 月, 入力

GD表示: 日時分をメニューの数値で指示

XYリーダ: メニューの位置で日時分を2桁づつ指示 (注: 験測終了は, 99指示)

GD表示: 確認 OK……1, やり直し……0

XYリーダ: メニューで 1指示, 0指示
(日時分指示へ)

(XYリーダで験測)

GD表示: キロクシバンゴウ

XYリーダ: XYリーダのメニューで指示 (A, B, C, D, E, OBS, 7, 8, 9)

GD表示: タイムマーク

XY表-ダ: 記録紙上でディスプレイ画面に表示された時刻のタイムマークを指示

GD表示: ソウメイ (P, ハツゲンジ)

XYリーダ: 初めに位相名を指始 (メニューから)

次に位置を指示 (同じ位相名ならば順次位置を指示)

* 記録紙交換は, XYリーダのメニューで (exchan) 指示

* 一地震の験測終了は, XYリーダのメニューで (END) 指示

(2) 再験測 (波形編集後の再験測, ファイル WAVEFL: S 11C)

再験測用ローダを流す。

GD表示: サイケンソク ジシン バンゴウ
(XXX) ニュウリョク

GD指示: 編集された地震番号入力

GD表示: 時刻 及び 験測データ 表示

GD指示: (ジョイスティックで削除データ指示)

(験測と同じ)

XY デジタイザによる読み取り終了後, 波形処理ジョブ (波形編集, AR調整, 1次震源計算, O-C調整, 2次震源計算) を実行すれば, 震源要素, Mおよび検測値・読み取り値がプリントアウトされる。地震津波緊急作業のため, 途中でキャンセルした場合は, 再度このジョブを実行すればよい。

震源結果と照合して, 波形のある地震記録についてはディスプレイ画面上でチェック・修正を行うが, 波形のない地震記録 (ペンレコーダにのみ記録) の修正は再験測ジョブによって行う。検測値, 読み取り値を修正した地震は, 震源を再計算する。

以下, 震源結果の編集, 編集波形のMT吸上げ, オンライン波形ファイルポインタ更新, 波形伝送準備, 波形伝送が続くが, これらの作業はL-ADESS設置当初とほとんど同じである。オーバーフローが近い場合 (収録50%以上) は, 波形ファイルのポインタ更新を早目に行う。これは波形処理ジョブ (連続自動処理) のうち, 波形編集が終了した後ならば, いつでも良い。

編集波形のMT吸上げ後, ファイルWAVEFL: S 11Cは初期化されるので, それまでの地震について震源再計算はできなくなる。

ファイルWAVEFLおよび編集波形収録MT内の1波形データの構成は, 1800バイト長のラベル部と1800バイト長のデジタル波形12レコードよりなる。ラベル部とデータ部のフォーマットを付表1, 2に示す。

このラベル部の中には観測点の緯度, 経度や地震計のタイプ, 感度, 各成分の状態などの情報が入っているが, これらの観測点定数はディスク上の定数ファイル (GISIN) から読み出されてラベル部に記入される。各管区の担当者は各観測点の定数に変更になったらすみやかにこの定数ファイルを書き換える必要がある。定数ファイルの変更を行うためには観測点の定数カードを打ち直して, 定数変更用プログラムを起動させればよい。

6.4 オーバーフローMTなどの処理

オーバーフローMTの波形処理手順をTab. 4に示す。オーバーフロー・トリガーリストをプリントし, リストの最初の時刻から最後の時刻までのペンレコーダ記録を整理する。以下の作業は日処理と同じである。

ディスク障害などで, 収録された波形が消去された場合, また, トリガーリストの最初の時刻よりも前の地震記録 (ペンレコーダ記録) の処理は, Tab.

5の手順によって行う。

Tab.4 オーバーフローMTの波形処理手順

1. オーバーフローMT ==> ディスク
2. オーバーフロートリガーリスト
3. トリガーリスト時刻内のペンレコーダ記録整理
〔リストの最初の時刻から最後の時刻の間：再
検測（検測もれ）分と未処理分〕
4. 再検測〔検測もれ分：X-Yリーダ〕……ディ
スプレイによる対話方式
5. 検測〔未処理分：X-Yリーダ〕……ディス
プレイによる対話方式
6. 波形編集，AR調整，震源計算，O-C調整，
震源計算……連続自動処理
7. ディスプレイチェック
8. 波形なし再検測
9. 震源再計算
10. 震源編集
11. 編集波形のMT吸上げ
12. 波形伝送準備
13. 波形伝送

注）再検測（検測もれ）分とは、緊急作業に連続
処理、又は抜き取り処理された地震記録です。

Tab.5 波形消去のペンレコーダ記録の処理

1. ペンレコーダ記録整理
2. 検測〔X-Yリーダ〕……ディスプレイによる
対話方式
3. 検測値編集，震源計算……連続自動処理
4. 波形なし再検測
5. 震源再計算
6. 震源編集
7. 波形伝送準備
8. 波形伝送

6.5 検測値の処理状況

最終的に本庁のオペレータにより、ディスプレイ
チェックされた検測値は、XYディジタイザで読ま
れた値かAR処理での検測値あるいは、オペレータ
によりディスプレイで修正された検測値であるかの
うちいずれかである。Fig. 13は、その状況につい
て、各管区と全管区の平均を昭和59(1984)年12月

中旬から翌年2月中旬までの期間につき円グラフで
示した。各管区についてそれぞれ検測値の処理状況
は少しちがいが見られるが、全管区の傾向としては、
P相、S相、X相の順にAR処理で検測値がセット
される割合が減ってくる。これは、P、S、Xの順
に不明瞭な相の割合が大きくなるために、オペレー
タが修正する割合が増えるためと思われる。なお、
S相のAR処理はこの期間中、水平動一成分だけで
行なわれていたが、現在は水平動二成分で行なっ
ているので、AR処理で検測値がセットされる割合は
多少増えていると思われる。

またX相に対し、ディスプレイで修正した割合が
大きいのは震源計算の結果により走時残差が大きい
場合、ディスプレイ上の操作によりP、S相をX相
に相名変更したものを含むためである。

§7. まとめ

気象庁は1981年よりディジタル化した地震記録
を地震観測点から各地方中枢にテレメータし、記録
の収録、処理を行うシステムを展開してきた。この
システムではオペレータが記録紙上からXYディ
ジタイザを用いて相の読み取りを行うという検測方法
が採用された。

最近ARモデル(Auto regressive model)を
用いた検測法が実用化されている。このARモデル
を用いた検測法がかなりノイズレベルの高い観測点
を含む気象庁の地震波形処理に使用できるかどうか
を統計的に評価した結果、十分に実用的であること
がわかった。

そこでこのARモデルを用いた検測法を現状の波
形処理に使用し、さらに震源計算と連動させ相の発
現時刻の再調整および相の自動検出を行い、その結
果をディスプレイ上に表示しマニュアルで容易に修
正できるプログラムを作成した。このプログラムは
現在L-ADESSのルーチン作業で運用されている。

将来、地震検測および震源計算などをオンライン
で自動的に処理するシステムの開発にあたっては、
このARモデルを用いた検測法が大きな役割を果す
であろう。

謝 辞

本プログラムの作成、運用にあたっては山本雅博、
浜田信生(現気象研究所)、神林幸夫の各氏をはじ
め、地震予知情報課および地震津波監視課の方々か
ら多くの協力を得、またプログラムの理論的な面に

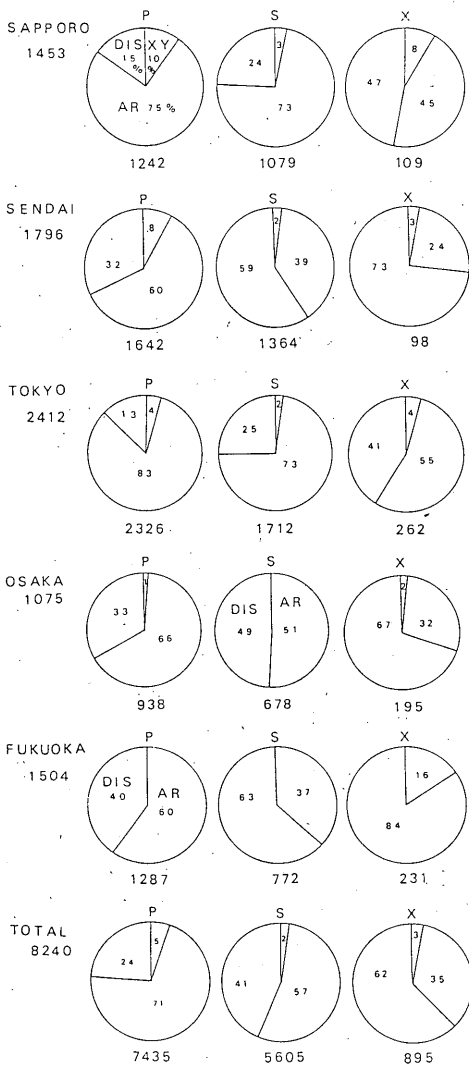


Fig. 13. Circle diagrams which represent the condition of the results for P, S and X-phase in each regional center. AR is the result by AR-method. X Y is that by XY-digitizer and DIS that by checking with the display unit.

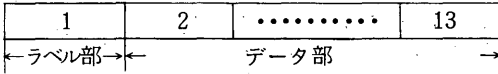
おいては横田崇氏(現気象研究所)から貴重な意見を頂戴したことを感謝します。

参考文献

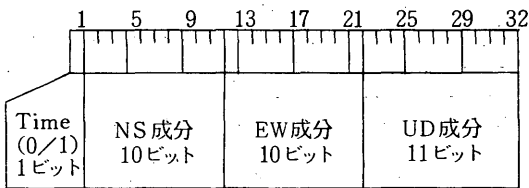
市川政治(1980):地震記録自動処理装置, 験震時報, 44, 55-74
 市川政治(1982):L-ADESS地震端末による地震データ処理, 験震時報, 46, 47-83
 浜口博之・鈴木次郎(1979):微小地震P波初動の自動検測とその信頼性について, 自然災害特別研究成果「地震予知観測データの伝送と高速処理に関する研究」, NOA 54-2, 62-83
 森田裕一・浜口博之(1981):2次元自己回帰過程によるS波初動の自動検測, 地震2, 34, 223-240
 森田裕一・浜口博之(1984):自己回帰過程による地震波初動の自動検測とその信頼区間, 地震2, 37, 281-293
 白井克彦・徳弘一路(1979):地震波初動の自動検出, 地震2, 32, 141-147
 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働実験, 地震研究所彙報, 56, 449-484
 横田崇(1985):地震予知に関する実験的及び理論的研究, 第3章自動検測手法の研究, 気象研究所技術報告, 16, 56-100
 浜田信生・吉田明夫・橋本春次(1983):気象庁震源計算プログラムの改良, 験震時報, 48, 35-55
 気象庁(1978):地震観測指針(観測編), 81-82
 赤池広次・中川東一郎(1972):ダイナミックシステムの統計的解析と制御, サイエンス社
 砂原善文編(1981):確率システム理論I, 基礎編, 朝倉書店

付表. 1 L-ADESS地震波形データのフォーマット

- 1) ラベル形式：ノンラベル (NL)
- 2) ブロックサイズ：1800バイト
- 3) 1地震記録の構成：13ブロック



- 4) ラベル部のフォーマット：付表. 2 参照。
なお、ラベル部をリードするためにはサブルーチン (LEDIT) を使用する
- 5) データ部のフォーマット：サンプリングは 30 HZ, 1 ブロックで15秒間 (=450データ), 12 ブロックで3分間の波形を含む。
- 6) 1データのビット構成：1データ = 32ビット



- 7) 1データ中の各成分の値の変換法

成分	x (16進数)	$y = f(x)$; 各成分の値 (mV)
NS/EW 成分	0 ~ 1 FF	≥ 0 ; $2 \cdot x$
	200 ~ 3 FF	< 0 ; $2 \cdot (1 FF - x)$
UD成分	0 ~ 3 FF	≥ 0 ; x
	400 ~ 7 FF	< 0 ; $3 FF - x$

x はデータ部の1データ内からとり出した各成分の値であり、y は変換された各成分の実際の値 (mV) である。 ($-1024 \leq y \leq 1023$) なお、この変換を行うためのサブルーチン (RWAVE) が用意されている。

付表. 2

Tab.4 L-ADESS地震波形データラベル部フォーマット

450 × 4 = 1800バイト長

1	絶対時刻 日時分秒を秒単位で表わしたもの	
2	官署番号 (2バイト) (整理番号)	
	Pのポイント数 (2バイト) 単位 1/30秒	
3	Sのポイント数 (2バイト) 単位 1/30秒	
	Xのポイント数 (2バイト) 単位 1/30秒	
4	ステータスP (2バイト), S (2バイト)	
5	ステータスX (2バイト)	
6	絶対時刻	
7	官署番号	波形なしの データの検測値 (なしの時は すべてゼロ)
8	Pのポイント数 単位 1/30秒	
9	Sのポイント数 単位 1/30秒	
10	Xのポイント数 単位 1/30秒	
	以下波形なしのデータの検測値 (7~10と同様のフォーマット)	
370	日	[震源要素]
371	時	
372	分	
373	秒 単位 1/10	
374	±秒 単位 1/10	
375	λ°	
376	λ' 単位 1/10	
377	$\pm \lambda'$ 単位 1/10	
378	φ°	
379	φ' 単位 1/10	
380	$\pm \varphi'$ 単位 1/10	
381	深さ 単位 km	
382	±深さ 単位 km	
383	MAG. 単位 1/10	
384	震源精度 0 : 震源がないor精度がよくないもの 1 : 震源精度が良いもの	
385	震央距離 単位 1/10 km	
386	空き (AZM)	
387	走時表によるPの計算値 単位 0.1秒	
388	走時表によるSの計算値 単位 0.1秒	
389	空き	
390	波形データ数	

391	空き		
392	AN	単位 AN, AE, AZ ; micro kine	
393	TN	単位 TN, TE, TZ ; 0.1 秒	
394	AE	なしのとき A = 0, T = 0	
395	TE	スケールオーバーのとき	
396	AZ	A = .999999	
397	TZ	T = 0	
398	初動	N成分	UP = + 1, DOWN = - 1
399		E成分	なし = 0
400		Z成分	
401	年 西暦下2桁		
402	月		
403	地震番号 札幌 0001 ~; 仙台 1001 ~; 東管 2001 ~; 大阪 3001 ~; 福岡 4001 ~; 沖縄 5001 ~;		
404	空き		
405	サンプリング周波数 30 Hz		
406	観測点名 (8バイト有効6文字, JISコード)		
407			
408	緯度	NNN MMM	[NNN(°) MMM(0.1')]
409	経度	NN MMM	[NN(°) MMM(0.1')]
410	標高	単位 m (海面下のときは負)	
411	センタータイプ (67型 = 1, 76型 = 2, OBS = 3, 59型 = 4)		
412	倍率	N成分	67型標準 1000 倍 (対数圧縮)
413		E成分	76型標準 10000 倍 (1.57 μ kine/mV)
414		Z成分	OBS標準 10000 倍 (2.0 μ kine/mV)
415	スタ	N成分	0; 正常
416	テス	E成分	1; 感度不良
417	l	Z成分	2; 欠測
418	感度	N成分	速度型感度. 67型のときゼ
419		E成分	ロとする.
420		Z成分	単位 10 ⁻³ micro kine/mV
421	処理状態 (0 = XYリーダ; 1 = AR 処理; 2 = O-C調整; 3 = ディスプレイチェック)		
422	最大振幅	N	最大振幅
423		成分	単位 最大振幅; mVolt
424		分	発現時ポイント数
425		E	最大振幅
426		成分	単位; 1/30秒 なし
427		分	発現時ポイント数
428	Z	最大振幅	

429	成分	周期	
430	分	発現時ポイント数	
431	初動方向	N	初動
432		成分	周期
433		E	初動
434		成分	周期
435		Z	初動
436		成分	周期
437	ノレ	N成分	単位 mVolt
438	イベ	E成分	
439	ズル	Z成分	
440	Fのポイント数 単位 1/30 秒		
441	最大ポイント数 (Fを求める時の上限. 通常は5400) 単位 1/30 秒		
442	スタ	N成分	0 = 検測に使用する.
443	テス	E成分	1 = 検測に使用しない.
444	l	Z成分	
445	明	P	0 = ブランク
446	瞭	S	1 = I
447	度	X	2 = E
448	検測成分	P	1 = NS; 2 = EW
449		S	3 = UP; 0 = なし
450		X	