

地震活動等総合監視システム*

(その1 概要について)

横田 崇**・山本 雅博***

§ 1. はじめに

気象庁では、地震が発生すると津波予報や震源、各地の震度、津波の状況などの地震、津波に関する情報を発表し防災に役立てるため、気象庁本庁に津波予報中枢を、各管区気象台、沖縄気象台に津波予報地方中枢を設けて、24時間常時監視している。

しかし、昭和58年5月の日本海中部地震(M7.7)では各中枢では地震発生の数分後に津波予報を発表したが震源域に近い沿岸では7～8分後に津波の第1波が到着した。この津波により100名にもおよび死者が出たが、このことにより、気象庁が行う津波予報のより一層の迅速化が社会的に強く求められるようになってきた。

迅速な津波予報の発表は防災上極めて有効であるが、従来のシステム(L-ADESS(地方気象資料自動編集集中継装置)を用いた津波予報システム)では地震波の検測、震源計算、津波判定および情報の作成等に人手を介して作業する方式を採用しているため、大幅に津波予報を迅速化することは極めて困難である。これらの要請に応えるためには、人間の介在する部分(時間)を極力短縮出来るような自動処理機能を有する新しいシステムの構築を図ることが必要となった。

また、事前に地震の発生を予知することは防災上極めて重要であり、気象庁では、大規模地震対策特別措置法に基づき、想定されている「東海地震」の短期直前予知に対する常時監視体制を整えてきた。地震の予知を的確に行うためには、観測データを増強するとともに、地震活動の推移や地殻活動の変化を常時監視し、総合的な異常の早期検出、および迅速かつ適切な判定資料の作成が行えるデータ処理・監視体制が必要である。しかしながら、従来システ

ムでは、それぞれの観測項目に応じた隔測観測(テレメータ)システム毎に記録され、それを人間が介在して処理しており、多種、多様のデータを総合的に解析するためには、多くの時間と労力を必要としていた。

「地震活動等総合監視システム(EPOS:Earthquake Phenomena Observation System)」は、このような背景のもとに気象庁本庁に導入され、津波予報発表の迅速化および東海地域における大規模な地震の短期直前予知に係る常時監視業務の強化を図ることを目指したものである。

気象庁では、昭和60、61年度にシステムの整備を行い、昭和62年3月から運用を開始した。津波予報の発表については、昭和62年8月から本格的にEPOSを用いた業務を開始し、津波予報発表の迅速化が図られるようになった。

また、今後は、札幌、仙台、大阪、福岡、沖縄などの津波予報地方中枢においても、このシステムの成果を踏まえながら、迅速に津波予報発表が行えるシステム整備の検討が進められている。

本報告では、EPOSの概要について述べることとする。各処理の詳細については、今後、稿をあらためて述べることとする。

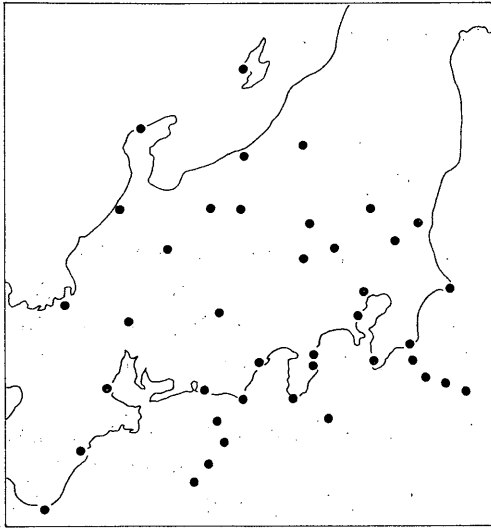
§ 2. システムの概要

EPOSにオンラインで取り込まれるデータには、第1図a, bに示すように津波予報及び東海地震予知のため気象庁本庁にテレメータされている各種地震計からの信号データ(これらを総称して「地震データ」を呼ぶ)、及び検潮、岩石歪、傾斜、ラドン等の各種地殻計測器からの信号データ(これらを総称して「地殻データ」と呼ぶ)、及び、ADESSを介して伝送されてくる震度等の電報型式のデータがある。

* T. Yokota and M. Yamamoto: On the Earthquake Phenomena Observation System (Outline of the system)

** 気象研究所

*** 気象庁地震火山部地震予知情報課



第1図-a 津波予報のための地震テレメータ観測点。この図外の八丈島、父島からもテレメータされている。

また、1986年伊豆大島三原山の噴火後緊急に整備された地震計、傾斜計等、大島火山活動監視のために気象庁本庁にテレメータされているデータも取り込み、蓄積、保存している。

システムとしては、テレメータからのデータとして、地震データ512チャンネル(100Hz, 16bit)、地殻データ512チャンネル(1Hz, 16bit)まで処理できるように設計されている。現時点での実装チャンネルは、地震データ、地殻データとも約360チャンネルである。テレメータからのデータには、各測定器の計測データの他に、テレメータ装置や測定器の稼働状態を示す監視信号(SVデータ)も含まれる。

EPOSからのシステム発信される発表情報には、ADESSを介して伝送される電報形式の情報、気象情報同報装置を介して伝送されるFAX形式の仮名漢字まじりの情報文がある。

津波予報発表の迅速化及び東海地震の監視強化の目的に資するためには、これら多種・多様な大量のデータを、オンライン・リアルタイムで、それぞれの業務に適合する自動的な処理を行わなければならない。

EPOSにおける処理には、

- (1) 「テレメータデータ入力処理」
- (2) 「ADESS送信・受信処理」
- (3) 「FAX形式送信処理」

- (4) テレメータ装置の稼働状況を監視する「回線監視処理」
 - (5) 「システム監視処理」
 - (6) 「処理状況監視処理」
 - (7) 地震データから地震波信号を検出する「地震波識別処理」
 - (8) 自動検出、自動震源決定を行う「地震自動処理」
 - (9) 大きな地震の震源・規模を迅速に求める「大地震処理」
 - (10) 津波の有無を判定する「津波判定処理」
 - (11) 「発表情報作成処理」
 - (12) 分値、時間値の作成及び補正を行う「地殻データ作成処理」
 - (13) 東海地震の前兆的な異常現象を検出する「異常検出処理」
 - (14) 判定会に迅速に資料を提供する「判定会支援処理」
 - (15) 「データ蓄積・保存処理」
 - (16) 作業が迅速に行えるよう操作慣熟するための「訓練処理」
 - (17) 「オフライン解析処理」
- などがある。

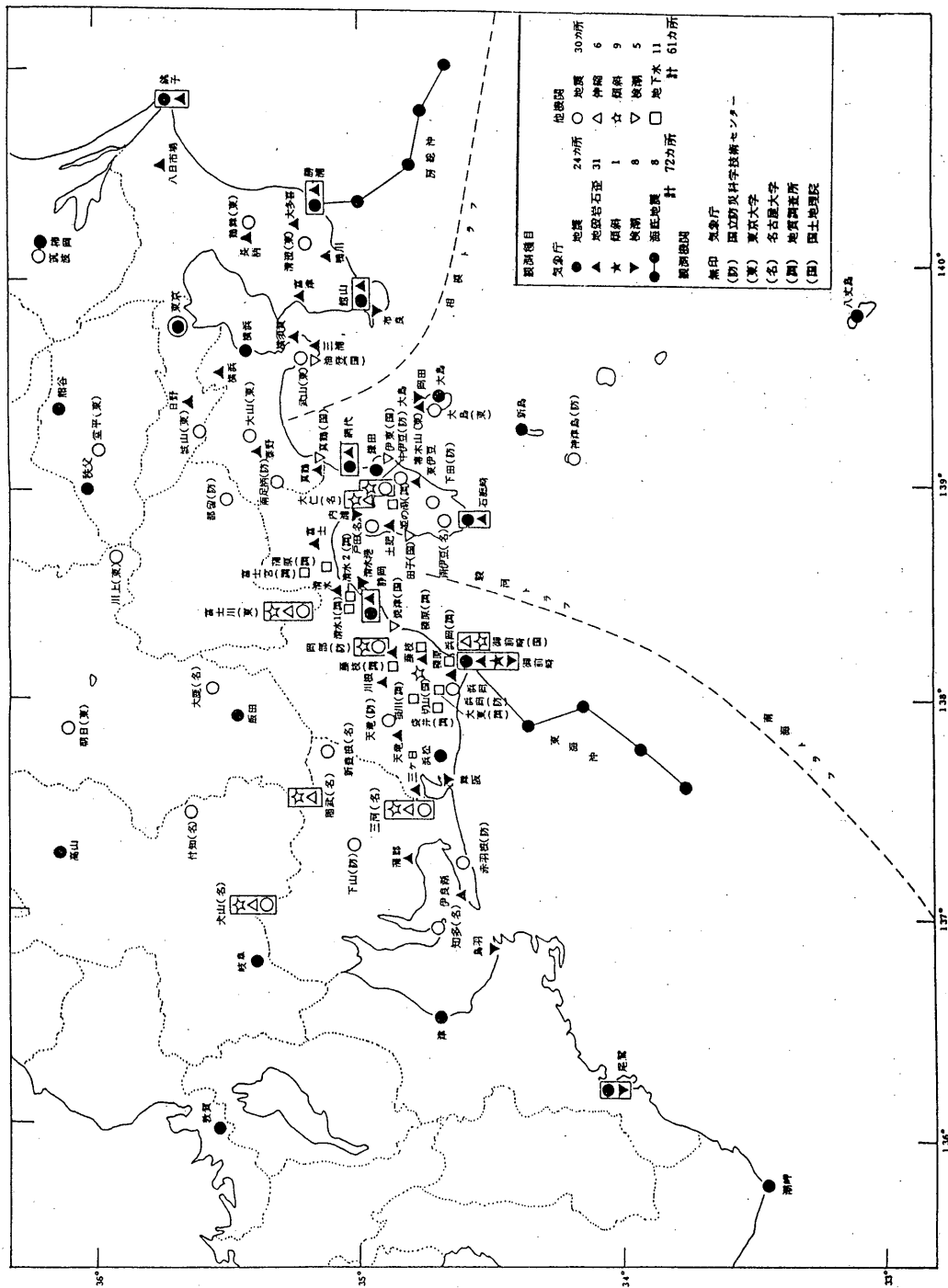
これらの地震および地殻のメイン処理の概要処理フローを第2図に示す。

地震波データ自動処理は、

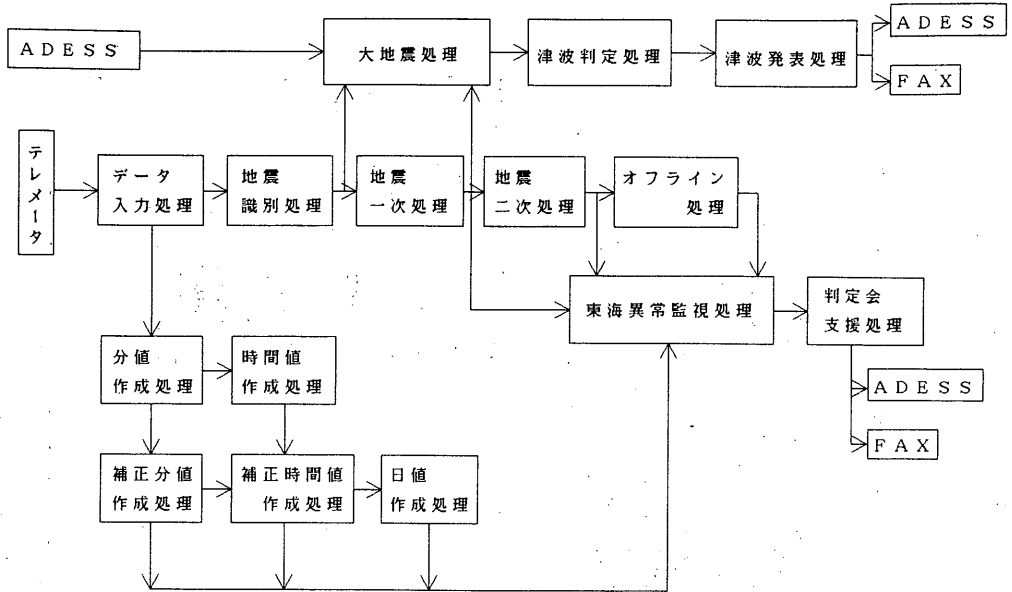
- (i) 「地震波識別処理」
- (ii) 「自動検出処理」：初動時刻の決定、振幅、周期等の算出など、の2段階の処理にわけられる。
- (iii) 「自動震源計算」：(緯度、経度、深さ)及び規模(マグニチュード)の決定、の処理が行われる。(ii)、(iii)の処理にあわせて、「地震自動処理」と呼び、精度及び確度をあげるため、繰返し実行(再検出、再計算)される。

また、迅速な津波予報のための「大地震処理」がある。この処理は、「地震波識別処理」あるいは「地震自動処理」から大きな地震が検知されると直ちに起動される処理で、これらとは独立して分散処理される。

津波予報のための処理は、即時性と確実度が要求されるため、自動処理とマンマシン処理とが互いの結果を利用しながら並行して稼働する。「訓練処理」



第1図-b 東海地域常時監視のためのテレメータ観測点



第2図 EPOSにおける処理フローの概要図

では、現業作業者が操作に十分慣熟できるよう任意の時間に仮想の地震データを用いて訓練することが出来るようになっている。

EPOSは、24時間稼働し、かつ大きな地震動が伴った場合においても、その機能を発揮しなければならないという使命があるため、ハード、ソフト両面で各種のバックアップ機能を有している。

§ 3. システムの構成

本システムは、大きく、インタフェース装置、時計装置、本体処理装置、周辺表示装置、磁気ディスク装置、入出力装置、モニタ装置等から構成されている（第3図参照）。これら機器は、障害及び保守・点検作業に対応するため、2重化もしくはシステム全体としての代替使用機器を持つ。

また、重要機器については、電源の瞬断及び停電に対するためCVCFを介して電源供給が行われている。

インタフェース装置は、ループ・バック方式の高速伝送光バスによって結合された複数のテレメータ装置及び2重化された通信制御装置で構成されている。この装置は、多種・多様の地震、地殻データを統一的に整理・編集して本体処理装置に転送するとともに、モニタ装置へのD/A出力及び制御を行い、また、ADESS、気象情報通報装置(FAX)との送受信を行う。

時計装置は、 $\pm 2 \times 10^{-11}$ /月の精度を持ち、時刻比較制御器を持つ2重化構成となっている。この時刻によりテレメータデータ及びシステム全体の時刻管理を行う最重要機器であるため、時計装置は独自のバックアップ・バッテリーを持っている。本体処理装置は、処理性能を向上するため、3系列の処理装置からなる分散処理構成を採っている。かつ、これら各処理装置は2重化されており、システム全体の信頼性を確保している。

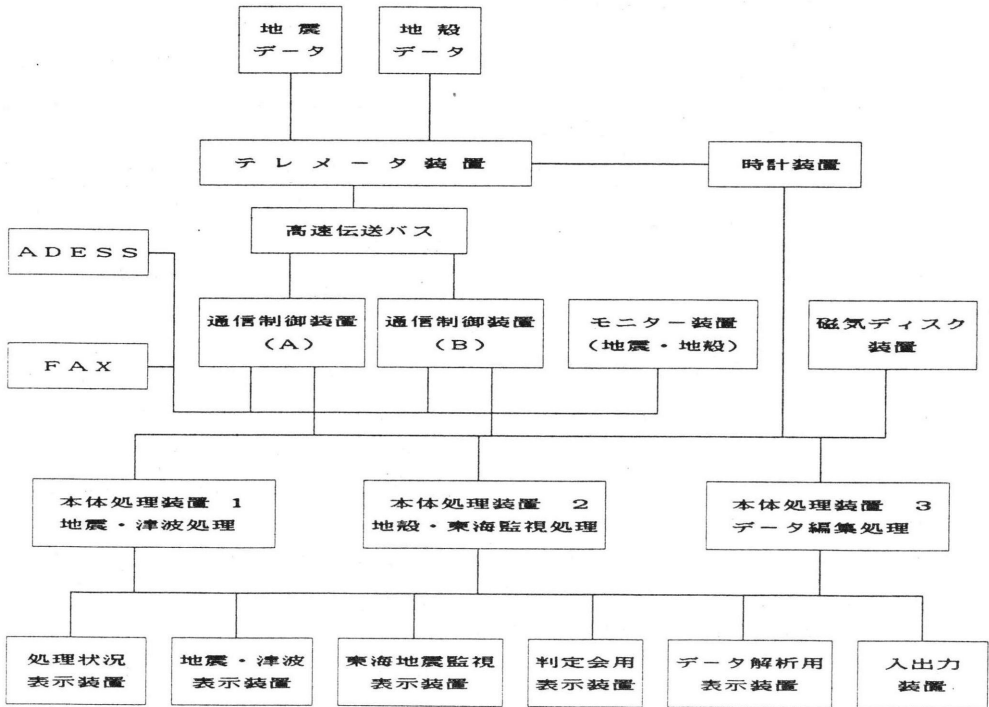
通常、1系は地震データの処理を、2系は地殻データの処理を、3系は、データの編集・保存及び一元管理をそれぞれ担当処理している。

津波予報のための大地震処理は、2系もしくは1系で稼働し、地震多発時の高負荷時や重度の障害発生時にも、重要業務は優先して処理が遂行できるよう対処されている。

周辺表示装置は、処理状況、地震・津波、東海地震監視、判定会用、データ解析用などの表示装置群からなり、これらは4台の表示制御装置に分散接続され、障害対策や表示、操作の応答性の確保を図っている。

津波予報作業などの緊急時においても、円滑に作業が実施できるよう、各表示装置は、グラフィック・ディスプレイを中心に入出力装置が配置されている。また、処理状況表示装置は、システムの稼働及び処理状況などEPOS全体運用の集中監視制御を

地震活動等総合監視システムの構成



第3図 EPOSシステム構成の概要図

行ない、現業作業室の中央には、全国の津波予報状況、各地の震度、東海地域の地震・地殻活動状況、及びシステムの稼働状況などを総括的に表示及び報知（アラーム）するための大型表示パネルがある。（参照 写真）



写真 大型表示パネル

磁気ディスク装置は、各処理装置から共用利用できる共用ディスク及び各処理装置占有のローカル・ディスクからなっている。大量データの利用・保全管理を行うため、その総容量は11GBである。これ

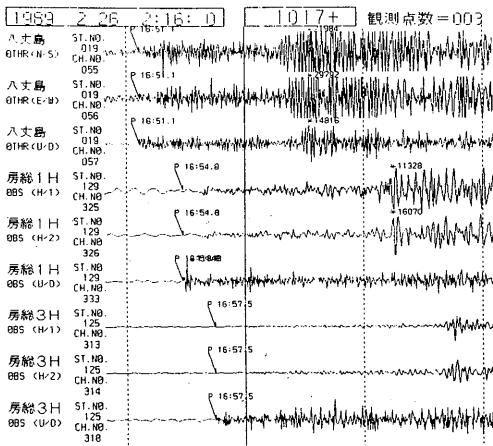
らディスク装置において、障害時や保守時にデータの欠落が無いよう、重要データ・ファイルについては2重化している。また、重要データ・ファイルを持つ磁気ディスク装置は、免震床上に設置され、地震動による障害要因が緩和されるよう設計している。

入出力装置は、ページプリンタ、静電プロッタ等の図形・帳票形式の出力、フロッピー・ディスク、磁気テープ装置、光ディスク装置等の入出力等の装置群からなる。

特に、光ディスクは、大量のデータをコンパクトに保存できる外部媒体として有効で、1枚あたり両面で2.6 GBの蓄積容量を持つ。光ディスク装置には、32枚まで実装できるオート・チェンジャー付き光ディスク装置と、シングル光ディスク装置とがある。

モニター装置には、100Hzの地震波データのアナログ信号を記録する地震モニター装置と、1 Hzの地殻データのアナログ信号を記録する地殻モニター装置がある。

地震モニター装置には、トリガ信号で起動する24チャンネル記録器と、3チャンネル長時間連続記録器があ



第4図 自動検出処理結果の例

る。

通信制御装置，本体処理装置，表示制御装置は，MELOM350/60-300によって構築されており，これらは2重化LANで接続されている。さらに，高速データ転送を実現するため，通信処理装置と本体処理装置はコモンメモリで結合されている。

§ 4. 地震データの処理

地震データの処理のうち自動処理の中核である地震波識別処理と地震自動処理の概要について述べる。

(1) 地震波識別処理

地震波識別処理は，各観測点からテレメータされてきた地震データ信号系列に対して，信号データからみたテレメータの作動状況（無変動など）を監視するとともに，地震波信号が含まれているか否かを判別する処理である。この処理は100Hz; 16bitの全チャンネルにわたる大量のデータに対し，遅れなくリアルタイムで実行されなければならない。

地震波信号の識別には，振幅や周期などの振動特性の変化に着目する。このとき，脈動など地動雑音の大きいチャンネルに対してはフィルタをかけて雑音を除去し，パルスノイズを除去するために入力信号が振動現象か否かの識別も同時に行う。

地震波信号が入力したと判断すると，第1次近似のP時刻(仮P時刻)，振幅，周期等を算出し，同時に最大振幅，周期の検出および地震信号の終了識別の処理に移る。また，大きな地震が発生したか否かを，振幅，周期，及び地震波信号入力観測地点などから判定し，大きな地震と判断すると「大地震処理」を起動する。

(2) 地震自動処理

地震識別処理の結果，地震波と判断された信号について次の処理を行う。

まず，仮P時刻をもとにP時刻を求める自動検出処理を行い（第4図参照），検出結果をもとに自動震源計算処理により震源，マグニチュードを算出する。マグニチュードがあらかじめ設定した値より大きければ，「大地震処理」を起動する。この処理は，地震の発生のリアルタイムでの監視と「大地震処理」の起動を目的とするため，P波情報のみを用いた処理である。

地震波の初動時刻の決定には，数学モデルを用いて行う。すなわち，地震波は局所的には定常過程とみることができ，「初動時刻=入力波の定常性の破れる時刻」ということに注目すると，初動時刻の決定は任意に与えられた非定常な区間を定常な二つの区間に分けることにより実現される。

この地震自動処理は，微小な地震を含むすべての地震を対象として処理される。このため，非常に多くの地震が短時間内に発生すると処理が大幅に遅れる事態になる。このような高負荷状態になると，それを検出し，回避するための機能を幾つか持ち，地震発生の状態により，それらを選択できるようになっている。

§ 5. 地殻データの処理

地殻データの処理のうち，データ作成処理と補正処理の概要について述べる。

(1) 分値，時間値，日値の作成処理

体積歪，傾斜，伸縮，検潮など地殻活動に関連するデータは，注目する活動変化の周期に応じて，秒，分，時間，日などのサンプリング周期のデータ（それぞれ秒値，分値，時間値，日値と呼ぶ）を選択して利用している。たとえば，検潮データについてみると，通常，津波波形をみる場合には秒値を，また，海洋潮汐をみる場合には分値あるいは時間値以上を用いる。

このため，テレメータより入力され蓄積，保存されているオリジナルデータ（1Hzデータ(秒値)）及びSVデータから，分値，時間値，日値を作成している。

分値作成処理では，SVデータを参照しながら障害などによる異常データを除いて分値およびMSVを作成している。

時間値作成処理では，MSVを参照して，分値より

時間値およびHSVを作成する。

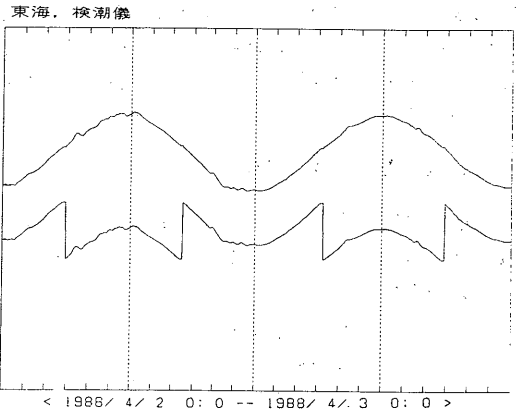
また、日値作成処理では、HSVを参照して、時間値より日値およびDSVを作成する。一部のデータを除き、分値は4分間の平均値、時間値は60分の平均値、日値は25時間の平均値である。なお、MSV、HSV、DSVは、それぞれ分値、時間値、日値データの欠測状態や作成手法等の識別するデータである。

しかしながら、テレメータされてくる地殻データは、測定項目あるいは同一項目においても、それぞれの計測方式の違いのため、データ自体も差分値、積分値等その意味合いが異なるもの、さらに、2成分（チャンネル）間の差をとることにより、初めて意味をなすデータ等、様々なデータがある。

また、地殻活動の変化領域を16bitデータのダイナミックレンジではカバーしきれないため、変化がある測定値に達すると有効な分解能を維持するために測定領域をシフトして計測しているデータ（シフトデータ）や、データ伝送容量の制限より測定データの低位bitのみが伝送されているデータ（折り返しデータ）等もある。

このために、分値作成にあたっては、連続した時系列データとして意味あるデータとなり、各成分毎の変化の把握や成分間の比較が容易に行えるよう、上記各成分毎の個別の対応処理（折り返しデータ補正等）を行っている。第5図に、その例を示す。

なお、秒値やSVデータを用いて、テレメータの作動状況の監視を行っている。



第5図 折り返し処理の例

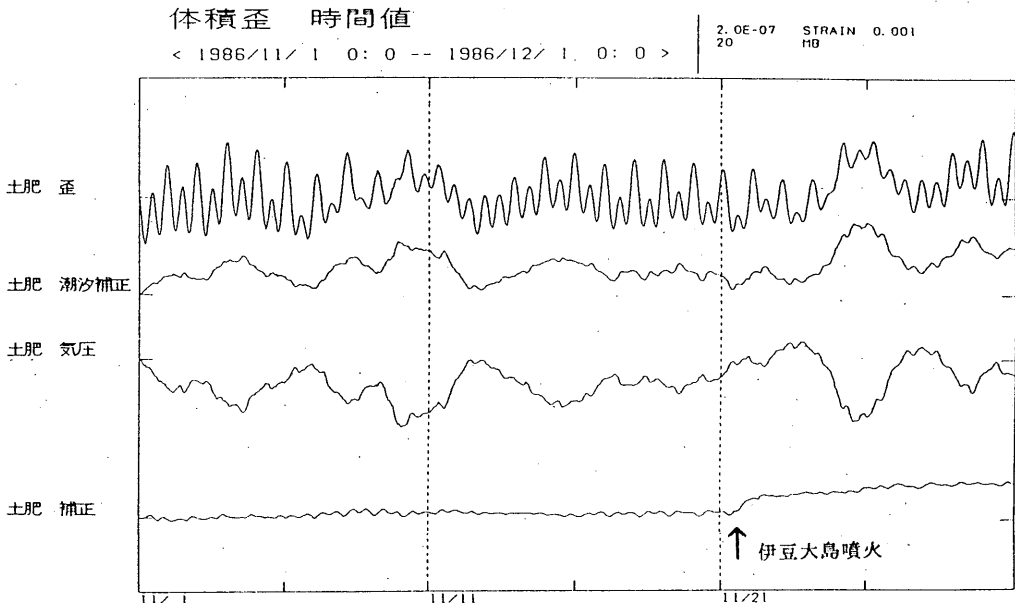
下段にオリジナルデータを、上段に折り返し処理結果例を示す。

(2) 補正処理

地殻関係のデータは、地球潮汐、海洋潮汐、気圧変動、雨など真の地殻活動には起因しない外部要因の変化による影響を強く受ける。微小な前兆現象を検出するためには、これら外部要因による擾乱を除去（補正）することが必要である。

EPOSでは、分値以降データに対して補正処理を行い、補正分値、補正時間値及びこれの平均値である補正日値を作成している。

現時点においてオンラインで補正している要素は、体積歪計のデータに対する地球潮汐と気圧の影響である。第6図に体積歪計のデータに補正処理を行っ



第6図 補正処理結果の例

た結果を示す。図からわかるように、これらの補正を行うことにより、生の体積歪データからでは識別できない微小な歪変化も検出することが可能となる場合がある。

§ 6. 津波予報に関する処理

大地震処理と津波判定及び津波予報発表情報作成処理の概要について述べる。

(1) 大地震処理

津波予報を迅速に発表するためには、

- 1) 各観測点のP時刻、最大振幅等の検測
- 2) 震源位置の決定
- 3) マグニチュードの決定

をより速やかに、かつ、確実に行わなければならない。

このため大地震処理では、自動処理と、その結果を即時に評価、修正できるマン・マシン処理とが、それぞれ並行して処理される必要がある。

地震識別処理、または1次処理から大地震処理が起動されると即時に、ランプ、ブザーなどで現業作業者に報知されるとともに、自動検出処理および自動震源計算処理が行われる。同時に、次々と取り込まれてくる地震波形データをグラフィック・ディスプレイに表示するとともに、自動処理の結果が随時表示される。

大地震処理では、検出情報が逐次得られつつある中で、より早く正確な震源やマグニチュードを知ることが要求されている。このため、自動処理では積極的にP波情報を用いて震源が得られる条件が整った時点で震源とマグニチュードを推定し、その後得られる検出情報に対して逐次チェックを行い、震源やマグニチュードの誤差が大きくなれば、すぐさま再計算することを繰り返している。第7図は震源決定用画面の一例である。このとき、ほとんど同時に他の地震が発生していると判断されると、現業作業者に報知するとともに2つ目の「大地震処理2」が起動される。

(2) 津波判定と情報

津波判定処理では、大地震処理にて震源、マグニチュードが得られると同時に、津波予報図にもとづき判定を行い、各予報区ごとに予想される津波の程度により予報グレード(オオツナミ、ツナミ、ツナミチュウイ、ツナミナシ)をグラフィック・ディスプレイに表示するとともに津波予報卓のランプが予報区、および、そのグレードに応じて点灯する。津

波予報担当官は、その他の状況も考慮し決定する。

津波予報担当官が確認ボタンを押し下げた後、再度、津波予報送信ボタンを押し下げることにより、津波予報がEPOSからシステム発信され、ADESSを介して全国の気象台、測候所やNHKなど必要な関係機関に即時通報される。また同時にFAXにより警視庁、東京都、JR等関係機関やテレビ、ラジオ等報道機関に通知される。

また、アメリカ、ソ連、ホンコン等関係各国への電文は必要な情報を英文の電報として組立て、それぞれADESSを経由して通報される。

津波予報を発表すると、沿岸各地に到着する津波の第1波の予想到着時刻、各地の震度の状況、その後の余震の発生状況、津波が来襲した場合にはその状況など必要な情報文を作成し、津波予報と同様ADESS、FAXを経て随時通報される。

§ 7. 東海地震に関する監視、情報発表処理

東海地域およびその周辺の観測点において、異常がある一定レベル以上に達すると、直ちに、「地震防災対策強化地域判定会」が招集される。また、東海地震の発生の恐れがあると認められた場合には、気象庁長官は「地震予知情報」を内閣総理大臣に報告し、内閣総理大臣は閣議にかけた後「警戒宣言」を発する。「警戒宣言」が発せられると、関係機関、住民などは、あらかじめ計画された防災応急対策を実施することとなっている。

異常監視処理と判定会および地震予知情報等関連情報文の作成処理の概要について述べる。

(1) 異常監視処理

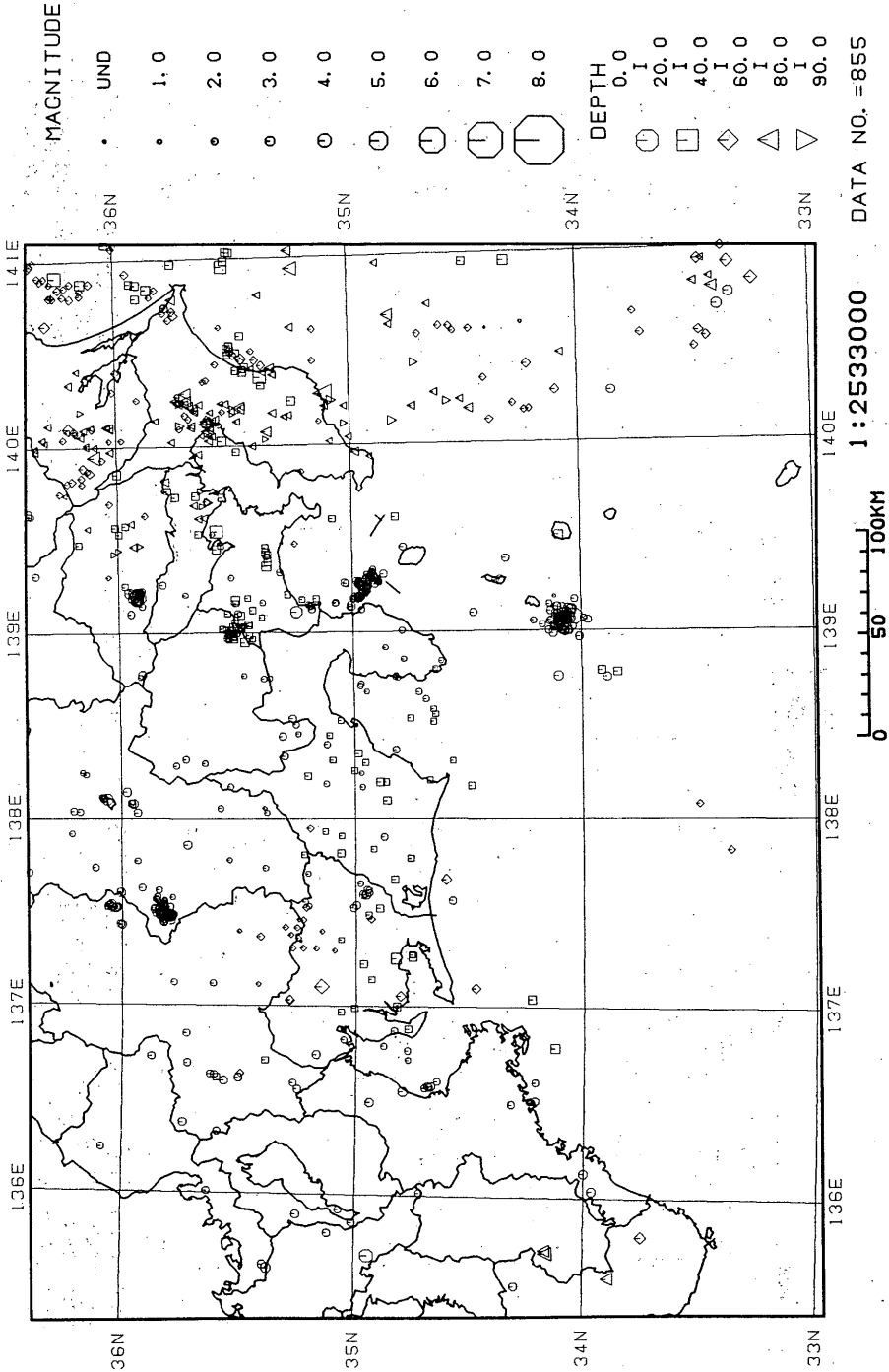
東海地震を予知するため、地震、地殻データについて4、5で述べたような処理の後、地震活動、地殻活動の異常監視処理を行う。異常が検出された場合、異常のレベルに応じて、ランプ、ブザーなどで現業作業者に報知される。

地震活動では、主として、ある地域に発生する地震回数や発生間隔およびマグニチュードの時間的变化に着目した異常検出処理を行っている。EPOSの整備に伴い、国立防災科学技術センター、東京大学地震研究所、名古屋大学から分岐、提供される地震波形データは飛躍的に増加した。このため、東海地域及びその周辺の地震活動は的確に把握出来るようになってきた。(第8図参照)

地殻活動については、主として、補正分値、補正時間値の変化量と変化率に着目した異常検出処理を

EPOS会誌
(G. T. K. L. J.)

震源分布図



1988/10/1 0:0-->1988/12/31 24:0

第8図 東海地域及びその周辺の地震活動(1988年10月1日から12月31日まで)
ただし、震源の深さ90km以下

行っている。

異常が検出されると、近接する観測点のデータや他観測項目（成分）にも同様の変化が発生しているか否か、同様の変化を示す過去の活動があるか否か、あるいは大雨などによる影響か否かなど比較検討する。

(2) 判定会支援処理と情報文作成処理

判定会では、判定会室用表示装置などを用いて、異常現象が大規模な地震の発生に結びつくか否かの検討が行われる。このため、判定会が要望する現在および過去のデータや資料など、判定のために必要な支援資料を迅速に提供できるよう大型ディスプレイ装置を用いて、地震活動、地殻活動の、それぞれについて現状の推移、各種解析結果が表示されるようになってきている。

また、気象庁は判定会の招集や「地震予知情報」の内容や地震、地殻活動の推移等を「大規模地震関連情報」として適時、速やかに発表しなければならない。（第9図参照）

訓練 判定会招集連絡報
平成 元年 1月26日13時30分
気象庁地震火山部

主文
1月26日13時15分に
判定会の招集が決定されました。
報道解禁時刻は26日14時00分です。

説明文
御前崎（おまえざき）、榛原（はいばら）、天竜（てんりゅう）、三ヶ日（みっかび）の歪（ひずみ）計に異常な変化があり、駿河湾南方沖に地震が多数発生しているので、1月26日13時15分に判定会の招集が決定されました。報道解禁時刻は26日14時00分です。

第9図 判定会招集連絡報の例

これらの情報は、判定会室のグラフィック・ディスプレイ装置を用いて、あらかじめ想定した文案に基づき、必要事項を追加、修正、削除することにより、速やかに情報文の作成、送信が行われる。

§ 8. おわりに

気象庁では、第4次地震予知5カ年計画に沿って、気象研究所において「地震活動総合監視技術の開発研究（昭和54年～58年度）」を進めてきた。一方、大学をはじめとする地震予知関係機関においても、地震データの自動処理にむけての研究が進められた。これらの技術の進展を踏まえ、気象庁では、昭和58年3月に「地震活動等総合処理装置検討委員会」を発足させ、2年間にわたり研究成果の実用化に向けての技術的な検討を重ねた結果、津波予報発表の迅速化および東海地域における大規模な地震の短期直前予知に係る常時監視の抜本的な強化対策が技術的に実用化可能であるとの結論を得た。

EPOSは、新しい実用的技術開発の動向を踏まえて整備されたものであるが、データ処理技術や解析手法など最近の研究開発はめざましく、これら新しく実用化可能となった成果を随時取り込み、今後とも改良、開発していく必要がある。また、発表される情報についても変革する社会のニーズに応じて改良していくことが必要であろう。

謝 辞

東海地域常時監視機能の強化を図るため、国立防災科学技術センター、東京大学、名古屋大学、地質調査所、国土地理院など関係機関の協力を得て、テレメータによる気象庁本庁へのデータ集中が実施されている。

本システムの整備にあたり、気象庁関係各部、気象研究所の諸氏から多くの助言を得た。地震火山部の諸氏には多大な御協力を得た。また、三菱電機株式会社の香取和之、川崎晶司両氏をはじめ多くの方々には積極的にシステム整備に取り組みされた。地震処理システムとしては、極めて大きい本システムの運用開始は、地震現業担当者をはじめとして、これら多くの人達なくしては成し得なかったものである。

併せて深謝する。