

地震前兆解析システムによる自動前兆監視

堀 貞喜*・松村正三*・島田誠一**・大久保 正*
井元政二郎***・岡田義光****

国立防災科学技術センター

Automatic Monitoring System for Earthquake Prediction by the Analyzing System for Precursors of Earthquakes

By

Sadaki Hori, Shozo Matsumura, Seiichi Shimada,
Tadashi Ohkubo, Masajiro Imoto and Yoshimitsu Okada

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

An automatic monitoring system for *practical* earthquake prediction has been developed at the National Research Center for Disaster Prevention (NRCDP) as a main function of the Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE). The automatic monitoring system consists of three stages of data processing. Firstly, the high sampling-rate data (seismic wave data) and low sampling-rate data (crustal tilt data, etc.) are processed and modified to fundamental data bases ready for a variety of analyses. The primary processing of the high sampling-rate data compiles the data sets of hypocentral parameters, focal mechanism solutions and waveform-related parameters such as Q^{-1} of a coda wave. The data sets of minutely, hourly and daily values of the low sampling-rate data are also created at this stage. Secondly, various parameters considered to be possibly related with some earthquake precursors are calculated from the basic data bases prepared at the primary processing. These parameters are examined on their unusualness and the anomaly-level for each parameter is evaluated by analyzing the fluctuating pattern or deviation of the parameter from the value in the ordinary state. The precursory parameters are presently monitored for the following ten items: seismic activity, ν -value, b-value, frequency ratio for different magnitudes, spectral parameters of seismic waves, focal mechanisms, coda decay, crustal tilt, crustal strain and radon concentration. These parameters and results of the anomaly-level judgement can easily be monitored on a graphic display terminal. Finally, the system outputs the regional

*第2研究部地震前兆解析研究室, **第2研究部地殻力学研究室,

第2研究部, *第2研究部地震活動研究室

anomaly-level and suggests the probability of an earthquake occurrence which has been obtained by combining the individual anomaly-levels calculated by each item. These three processings are *full-automatically* operated by a realtime computer. The method or procedure of each processing can be easily modified corresponding to any technical or scientific development in the field of earthquake prediction.

1. はじめに

国立防災科学技術センター(以下「防災センター」と略す)は、昭和60年度末に「地震前兆解析システム(The Analyzing System for Precursors of Earthquakes, 以下APEと略す)」を導入した〔松村・他(1987)〕。APE導入の目的は、単に増大したデータを迅速に処理するためだけではなく、短期的地震予知の実用化に向けて、従来それぞれの専門家が行ってきた地震を予知するための様々な解析とその結果に対する判断を、計算機が自動的に行うシステムを実現することにある。従って、本稿で述べる地震前兆自動監視のためのサブシステム(以下「自動監視システム」と略す)は、APEの中核を成す部分になっている。この部分はAPEを構成する3台の計算機(1号機, 2号機, 3号機)のうち2号機によって行われる。具体的な地震前兆の検出手法や、地震発生の危険度の数値的表現, 例えば地震発生確率等を算出するためのアルゴリズムについてはまだ開発途上にあるが、処理の流れ, 起動タイミングやデータの格納形式等, システムとしての枠組みは、昭和61年度をもって完成した。本稿ではこの枠組みの内容について述べる。

2. 自動監視システムにおける処理の種類

自動監視システムにおける処理には図1に示すように、大きく分けて3つの段階がある。まず、入力データの種類によって、高速採取データ(80Hzサンプリングデータ=地震波形データ)に対する部分と、低速採取データ(1Hzサンプリングデータ=地殻変動などのデータ)に対する部分の2つに分かれ、それぞれに対して1次処理と2次処理がある。1次処理とは、生データに対して定常処理で行うような加工をし、最も基礎的なデータを作成することである。2次処理とは数種類の異常監視項目を設定し、1次処理による基礎的データから、それぞれのパラメータを算出し、その変動状況を監視することである。さらに最終処理として、高速採取データ、低速採取データ両者の監視結果を統合し、検出されたパラメータの異常性が地震前兆に結び付くかどうかの判定を行う総合異常判定処理がある。高速採取データに対する1次処理としては、震源計算, メカニズム決定, および波形情報の検測〔松村・岡田・堀(1987)〕が行われる。また、2次処理としては地震前兆との関係が想定されている各種異常監視項目

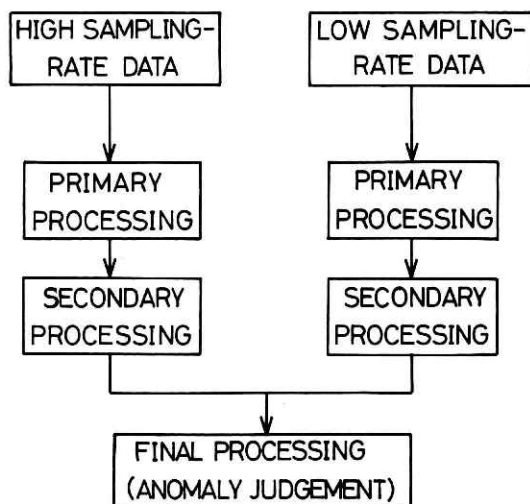


図1 地震前兆自動監視システムにおけるデータ及び処理の流れ

Fig. 1 Flow chart in the automatic monitoring system for precursors of earthquakes.

(後述)についてそのパラメータの算出及びそれらのパラメータの異常性の判定が行われる。一方低速採取データに対しては、1次処理として、収録されたデータをチャンネルごとに並べ替える編集処理が実行される。次に、2次処理として1次処理の結果から降雨・地球潮汐等、その挙動の分析が可能な「非前兆的変動」の影響を除去し、残存量の変動パターン等からその異常性が判定される。両者の2次処理結果は総合異常判定において次のように統合される。関東・東海地域を図2 a~cに示すような約60の領域に細分し、その個々の領域ごとそれぞれの地殻活動状態の異常性が総合され、最終結果としては異常性の度合が出力される。地震予知を実現するためには、発生が予想される地震の規模、発生時刻、及び発生場所を推定しなければならないが、現在のところそれら全てを予知するための決定的手法はまだ確立されていない。従って、自動監視システムではその手法を模索するためのデータを蓄積する意味で、このような出力を一応の最終結果としている。最終処理のため監視対象とした小領域群は、主として関東・東海地域における微小地震の震源分布をみることによって分割されたものであり、個々の領域は多面体で構成されている。領域を多角柱ではなく多面体で定義することによって、各領域は3次元的に分割されており、たとえば斜めに沈み込んだプレートの形状などもそのままの形で領域分割に反映するように工夫されている。これらの領域の大部分は、震源が密集する領域を取り囲むように設定されているが、地殻上部は、監視対象領域が隙間なく割り当てられており、地震活動度が非常に低い領域も存在する。

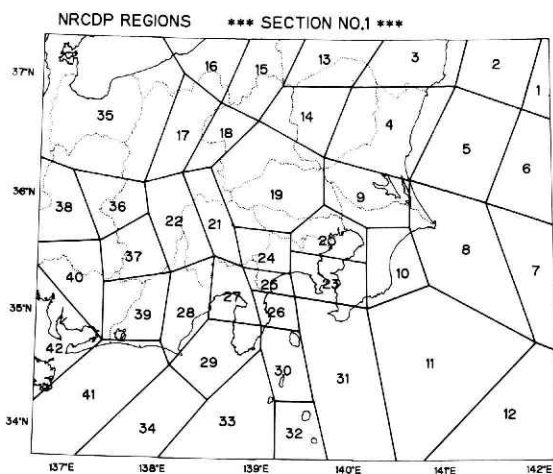


図2(a) 自動監視システムの監視対象領域断面1(浅部)

Fig. 2a Distributions of the regions monitored by the system. Section No.1 (Shallow).

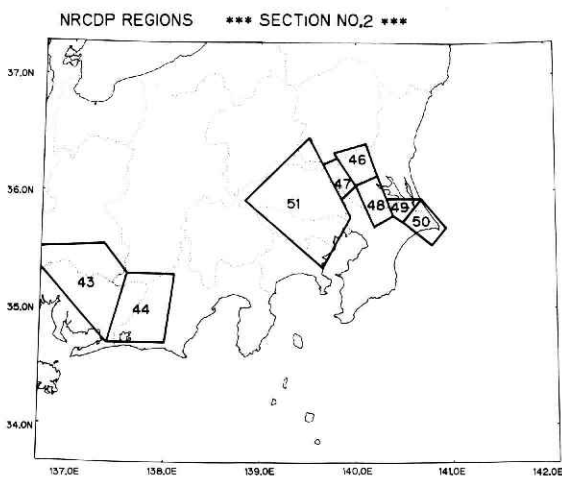


図2(b) 自動監視システムの監視対象領域断面2(中深部)

Fig. 2b Distributions of the regions monitored by the system. Section No.2 (Intermediate)

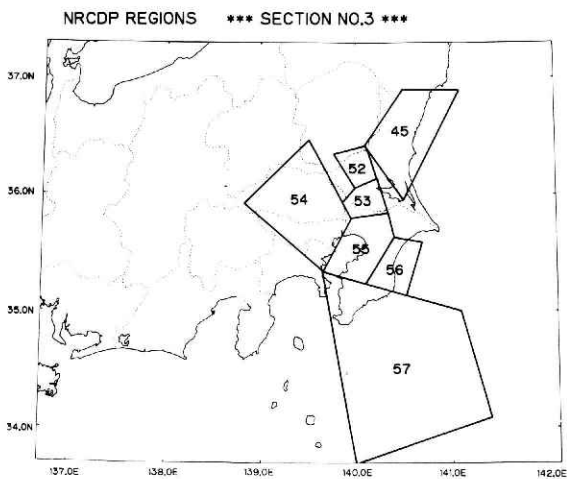


図2(c) 自動監視システムの監視対象領域断面3(深部)

Fig. 2c Distributions of the regions monitored by the system. Section No.3 (Deep).

3. 自動監視システムにおける各処理の内容

3.1 1次処理

3.1.1 高速採取データに対する処理

図3に高速採取データに対する処理の流れを示す。この処理はデータ収録の処理が終了すると直ちに起動される。まず磁気ディスク中に収録された高速採取データは、検出処理用に並べ替えられた後、磁気ディスク中に編集済み波形ファイルとして保存される。このファイルは9.6MBの容量を持っており、1～2週間程度の波形データが保存可能であり、同データを使ってグラフィックディスプレイ(GD)上に、後に行う検出結果と共に波形を表示することができる(図4)。得られた編集済み波形に対して、PおよびS波到着時刻の自動検出が行われ〔堀・松村(1987)〕、続いて震源計算、メカニズム決定〔岡田(1987)〕、そして波形情報の検出が実行される。これらの計算結果は磁気ディスク中にそれぞれ別ファイルとして格納される。震源ファイル、メカニズムファイル、そして検出パラメータファイルは、2次処理における

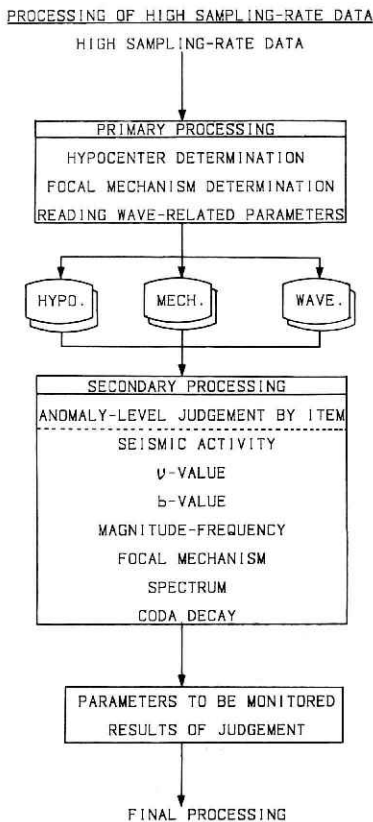


図3 高速採取データの流れ、HYPO. : 震源要素のデータセット、MECH. : 発震機構解のデータセット、WAVE. : 波形検出パラメータのデータセット

Fig. 3 Flow chart of processing for the high sampling-rate data. HYPO. : Dataset of hypocentral parameters. MECH. : Dataset of focal mechanism solutions. WAVE. : Dataset of wave-related parameters.

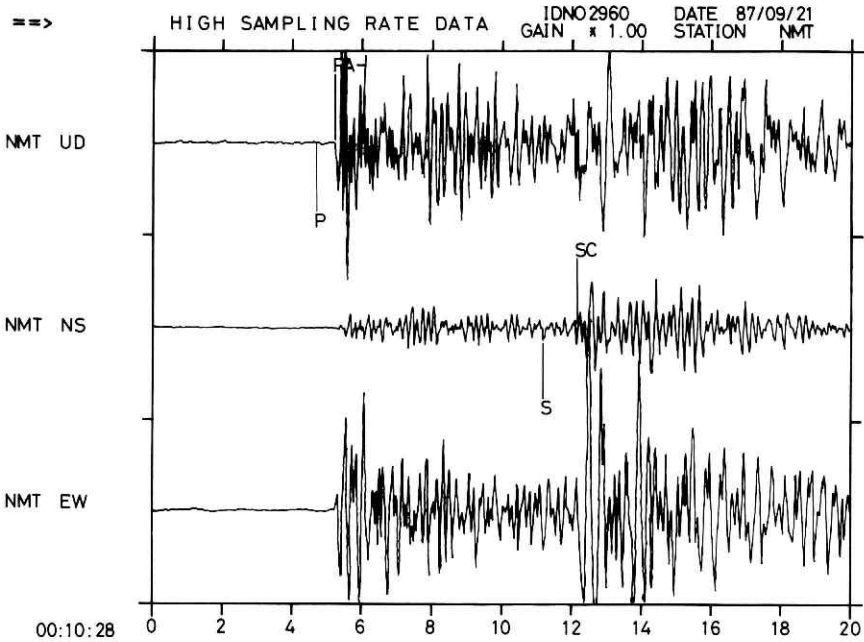


図4 地震波形のモニター画面。PA-：P波の到着時刻，読み取り精度のランク，初動の方向。P：P波の計算走時。SC：S波の到着時刻，読み取り精度のランク。S：S波の計算走時

Fig. 4 Example of the monitor screen of a seismic wave data. PA- : Arrival time, rank of accuracy and polarity of the initial motion of P wave detected by computer. P : Calculated P time. SC : Arrival time and rank of accuracy of S wave. S : Calculated S time.

使用目的を考慮し，それぞれ2通りの形式で格納されている。まず，主としてGD上に表示する目的で発生時間順に並べたデータファイルがある。容量は，震源ファイルが地震1500個分，メカニズムファイルは225個分，そして検測パラメータファイルは15000トレース分であり，いずれもほぼ1～2カ月分の情報が保存される。もう1つのデータファイルは，領域毎に分けたもので，容量は各領域とも震源ファイルが地震300個分，メカニズムファイルが45個分，そして検測パラメータファイルが3000トレース分となっている。震源データは図5に示す形式で常時GD上に表示されているが，より信頼度の高い震源マップを表示するため，10日毎に3号機(FACOM M360)で行われる定常処理の震源計算結果を2号機(FACOM S3500)側に転送し，2号機による自動処理結果とあわせて同一画面上に色を変えて表示している。通常は両者の重複表示を避けて，定常処理結果についてはその最新データまでを水色で表示し，それ以降から現在までの期間についての自動処理結果を緑色で表示している。さらに自動処理結果のうちの最新の震源位置は赤色で点滅表示させ，より識別しやすくしている。また，自動震源計算については，即時決定のルートが別に用意されており，この結果は同画面上に黄

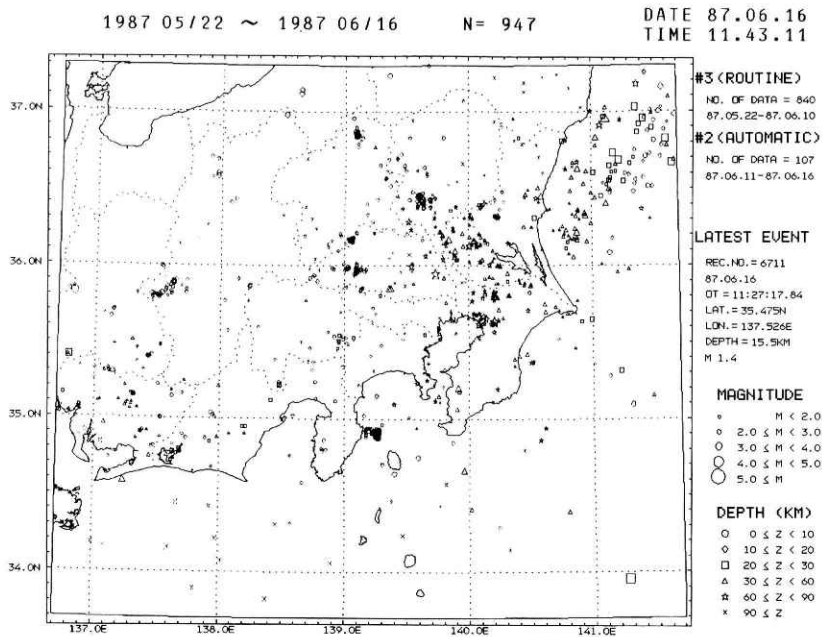


図5 震源分布のモニター画面例

Fig. 5 Example of the monitor screen of hypocentral distribution.

色で表示されるようになっている。ただし、これに続いて実行される自動震源計算が終了した時点で、結果は自動的に置換されるようになっている。すなわち、1つの地震の震源位置は黄色から赤点滅、そして緑を経て水色に変わっていくわけである。別ルートを用いて即時的な自動震源計算を行っているのは次のような理由による。本来の自動監視システムにおける自動震源計算では、結果の信頼性を重視するため、波形の収録を完全に済ませてから計算を開始するため、特に大きい地震に関しては、震源決定結果が見られるまでにかかなり時間がかかってしまう。これに対して信頼性はある程度犠牲にしても、より即時的な状況の把握を行えることが業務的な要請として提出されたからである。この即時震源計算では、扱う波形データをトリガオンとなった時刻を含む3秒間に限定し、P波の検測値のみを用いて震源計算を行っているため、地震発生から1分以内で計算結果を表示することができる。

3.1.2 低速採取データに対する処理

図6に低速採取データに対する処理の流れを示す。低速採取データに対しては、1次処理として分値、時間値、そして日値の自動編集処理が行われる。時間値と日値作成の起動タイミングはそれぞれ毎正時と0時であるが、分値作成処理だけは、10分毎に過去10分分のデータをまとめて処理することになっている。ここでの処理は、データをチャンネル別に並べ替えることのみで、3号機においてオペレータが定常処理として行う補間やオフセットの補正は

PROCESSING OF LOW SAMPLING-RATE DATA

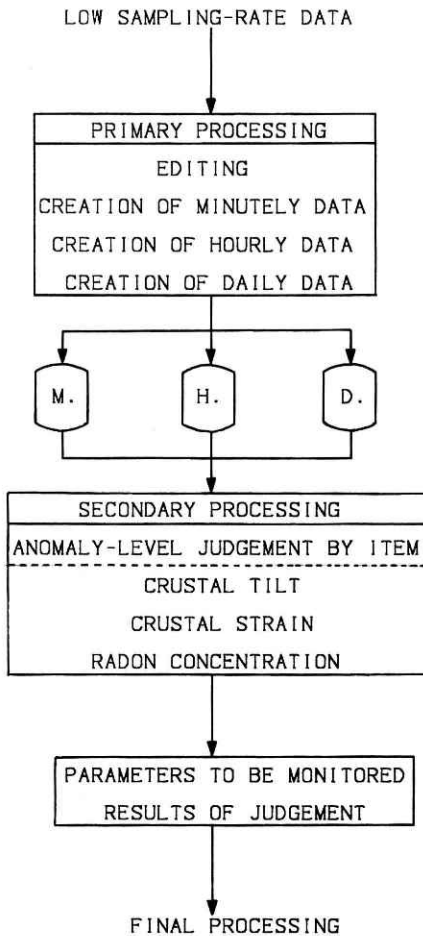


図6 低速採取データの流れ。M：分値のデータセット。H：時間値のデータセット。D：日値のデータセット

Fig. 6 Flow chart of processing for the low sampling-rate data. M : Dataset of minutely values. H : Dataset of hourly values. D : Dataset of daily values.

行わない。

3.2 2次処理

3.2.1 高速採取データに対する処理

2次処理は震源やメカニズムなどの基礎データから、地震前兆を検出するための各種異常監視項目についてそのパラメータを計算する部分と、それらのパラメータの変動量、過去の履歴等から対象領域における異常性を判断する部分から成り立っている。異常を判定する部分では、各パラメータの平均値と標準偏差を用いることが多いが、これらを毎回計算するのは余り効率的でない。そこで、主にこの2つを格納しておくために、異常判定用パラメータを確保するためのファイルが磁気ディスク中に設けられている。現在高速採取データに関して設定している異常監視項目は、図3に示すように地震活動度、b値、 ν 値、規模別頻度、発

震機構解，スペクトル，そしてコーダ減衰の7つで，これらの起動のタイミングには2種類ある。地震活動度と ν 値は定時起動で，1時間おきとなっている。その他の5項目はいずれも1次処理終了時，つまり地震検出時に起動がかかる。また，前者については全領域について計算が行われるが，後者については地震の発生した領域についてのみ行われる。ただし，後者のうちコーダ減衰については観測点単位で計算が行われることになっている。それぞれの項目の出力としては最大5個のパラメータを想定しており，2次処理の前半部分の処理結果，すなわち各項目について算出されたパラメータと，後半部分の処理結果，すなわち異常性の判定結果は磁気ディスク中にそれぞれ保存される。その容量は1領域あたり，定時起動項目

```

-----< 前兆指標モニターメニュー >-----
対象：高速採取データ      起動：地震時      区分：領域別
-----

領域番号 ==> 26      項目名 ==> BVALUE
パラメタ名 (赤)==> BV1      (緑)==> BV2      (青)==>
データスケール
    最大値 (赤)==> 2.00 (緑)--> 2.00 (青)==> 0.0
    最小値 (赤)--> 0.0 (緑)--> 0.0 (青)==> 0.0
表示期間 (日:時:分) ==> 60
終了時刻 (年:月:日:時:分) -->
    
```

図7(a) 地震前兆パラメータ(b値)のモニター画面例
メニュー画面

Fig. 7a Example of the monitor screen of a precursory parameter (b -value). Menu screen.

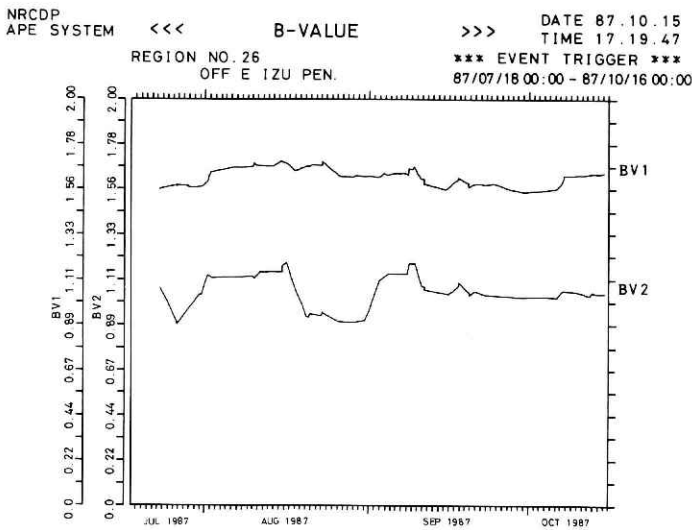


図7(b) 地震前兆パラメータ(b値)のモニター画面例
モニター画面

Fig. 7b Example of the monitor screen of a precursory parameter (b -value). Monitor screen.

については60日分、地震時起動項目については300地震分、そしてコーダ減衰の場合は、1観測点あたり300地震分となっている。これらの計算結果は、図7aに示すメニュー画面を經由して図7bのように、横軸を時間とした任意の時間幅でGD上に表示される。時間軸は、図7aの画面上で表示期間と表示終了時刻を入力することによって自動的に設定されるが、表示終了時刻に空白を入力した場合、図7bの画面はリフレッシュ機能を持つことになり、常に最新のデータが表示されるようになっている。

3.2.2 低速採取データに対する処理

1次処理で作成された分値、時間値、日値それぞれの編集済み低速採取データは、地球潮汐、降雨、気圧等の影響による変動だけでなく、地震や停電時のショックによるオフセットなど、地震の前兆を検出するためには妨げとなるものを数多く含んでいる。2次処理ではこうした非前兆的変動を除去し、後に残ったものを真の地殻変動に関わるデータとして異常監視項目の一つに加え、磁気ディスク中に格納する。そしてそのパラメータの変動パターン等をモニターすることによって異常な変動をとらえ、その情報も磁気ディスク中に格納する。非前兆的変動を除去する場合、例えば、気圧補正係数や降雨に対するタンクモデルの定数等、固定したパラメータを用いることが多いので、各チャンネル毎に124個の変動除去用パラメータを磁気ディスク中に確保できるようにしている。低速採取データの場合、それぞれの観測点に付随するデータとなるため、個々の処理における計算結果は監視対象となる領域毎にまとめられるということはない。また低速採取データのチャンネルの中には、雨量、気圧、温度等それ自体は異常地殻変動の監視対象にならないものも含まれているので、上記の処理の対象としては、データ採取時の960チャンネルの内から、最大150個の「観測点項目番号」で識別されるチャンネルデータが選択される。個々のチャンネルデータは、最大8個(異常判定結果の場合は最大12個)のパラメータを持つことができる。低速採取データの場合、現在のところ、観測点数は全てを合わせて30点に満たない。また、観測している項目も地殻傾斜、地殻歪、及び地下水中のラドン濃度の3つで、将来観測点数が増えたり、全ての観測点でこれら3項目の観測を始めたとしても、設定された容量で対応できるようになっている。磁気ディスク中の各ファイルの容量は、分値が8日分、時間値が60日分、日値が960日分となっている。処理結果は、高速採取データの場合と同様、メニュー画面で必要なパラメータを入力した後、GD上に表示することができる。

3.3 最終処理

図8に最終処理の流れを図示する。ここでは2次処理で作成されたデータをもとにして、各領域に対して総合的な異常性の度合を表すパラメータ(以下「領域別異常指数」と称す)を最大5個まで算出する。最終処理の起動のタイミングは1時間間隔である。この処理では、まず各観測点毎に計算された異常判定結果(低速採取データと高速採取データの内のコーダ減衰パラメータ)を領域毎の異常指数パラメータに換算する。そしてすでに各領域毎に計算さ

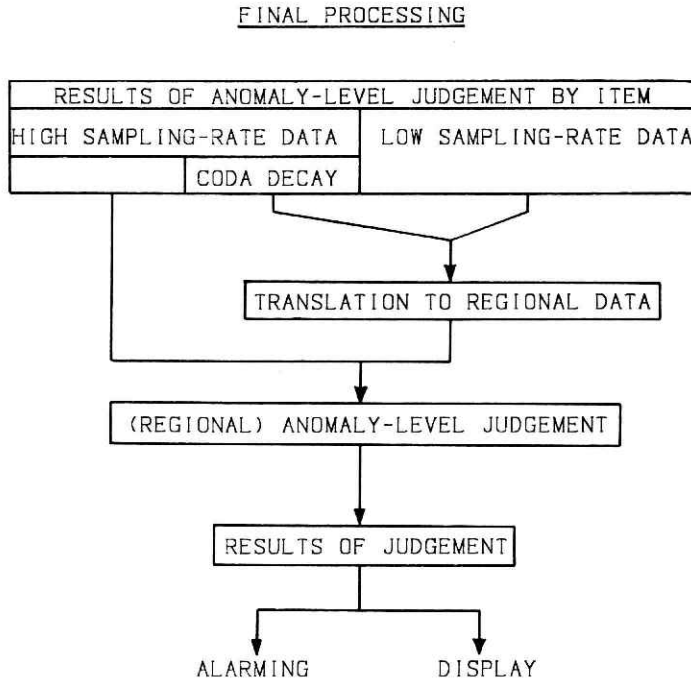


図8 最終処理におけるデータ及び処理の流れ
Fig. 8 Flow chart of the final processing.

れている高速採取データに関する異常判定結果と合わせて評価することによって、領域別の総合的な異常指数を計算する。5個のパラメータの割当を、例えば、異常判定におけるデータの時間幅によって分けてやれば、それぞれの潜伏期間の異なる地震前兆現象に対応してその領域で地震の発生が予想される時刻を推定するための資料になることも考えられる。この計算結果は磁気ディスク中に1年分保存される。そして、各項目別の異常判定の場合と同様、リフレッシュ機能を持つモニター画面上に以下のような2通りの形式で表示される。一つは、図9 aのように、指定した1領域について、横軸を時間にとって任意の期間だけ表示する方法である。もう一つは、図9 bのように任意の時間断面の空間的な分布として、異常指数の大きさによって各領域を色分けして表示する方法である。前者の場合、画面は上下2つに分割され、上半分にはその領域、ないしは指定した観測点における項目別の異常判定結果が最大3パラメータまで表示される。下半分には、指定した領域における総合異常指数が表示される。

4. 議 論

以上で述べたようにAPEにおける地震前兆自動監視については、処理の起動タイミング、

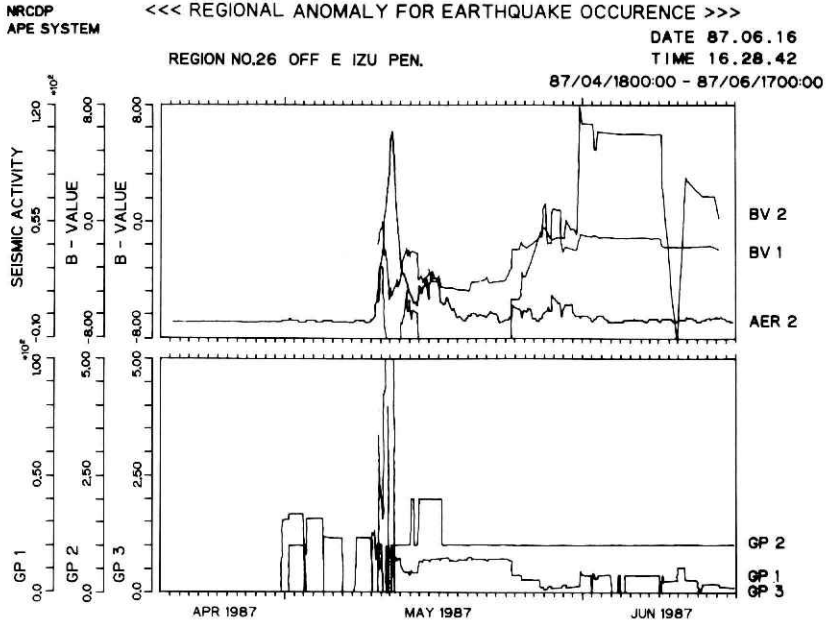


図 9 (a) 地域別異常判定結果の表示例
時間変化

Fig. 9a Example of the monitor screen for results of regional anomaly-level judgement.
Temporal variation.

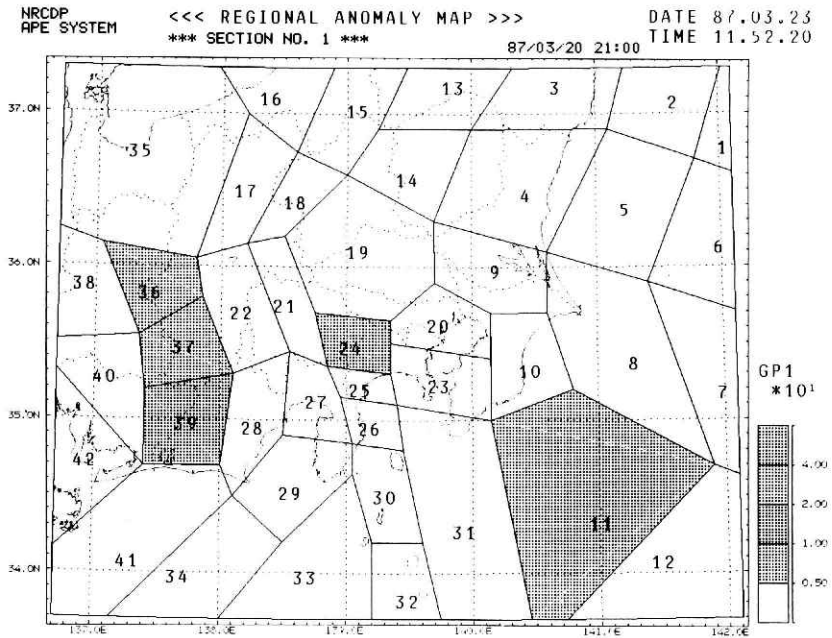


図 9 (b) 地域別異常判定結果の表示例
空間分布

Fig. 9b Example of the monitor screen for results of regional anomaly-level judgement.
Spatial distribution.

資源の割当、モニターの形式等、システムの枠組みに相当するプログラムが完成されている。一方、地殻活動の異常検出のために設定した各種の項目については、個々のプログラムが独立して開発され、昭和62年10月現在では、予定した10項目のうち地震活動度、 ν 値、 b 値、規模別頻度、地殻傾斜、そしてラドン濃度の6項目が組み込まれている。これらについてはまだテスト的な運用が始まったばかりであるが、今後はこれまでの研究によって得られた知見を生かして、実際に異常を判定するためのプログラムの開発を推し進めていかなければならない。今回完成したシステムの枠組みでは、こうしたプログラムの開発や改良が簡単にできるような環境が設けられている。例えば、各項目の処理は、バッチジョブとして次々に起動されていくのであるが、おのおのに対するイニシエータは、各起動タイミング毎に1つになっているため、一般のリアルタイムプログラミングに際してのように、各ジョブ間の処理の交錯に注意を払うことはそれほど大きな問題にはならない。また、汎用計算機である3号機の方に、シミュレーションのできる環境が用意されているため、プログラム作成・デバッグを3号機で行ってから完成したプログラムをリアルタイム機である2号機に移行することができる。新しいプログラムについて自動監視システムでの運用を始める場合には、起動タイミング別に用意された各ジョブの起動を行うプロシジャ中に、新しいプログラムを起動する部分を挿入するだけである。また、すでに運用されているプログラムを修正する場合も、スクリーンエディタの機能を用いてディスプレイ上で修正した後、翻訳・結合を行うのみで、次の起動時からは修正後のプログラムが走り始める。

現在の地震予知体制は、小数の専門家の知識や経験に基づく判断に頼っているところが少なくない。しかし、観測網の整備などが進むにつれ処理すべきデータ、目を通すべき資料も膨大なものになりつつあり、現体制では対応できない局面が生ずることが予想される。将来的には、これまでの地震学的知見を反映させた計算機システムに、判断を含めた処理の大部分を移行していく方向になっていくであろう。その意味でも自動監視システムはきわめて先駆的なものであり、その成否は新しい地震予知体制を探求する上で重要な意味を持つてくるといえる。

謝 辞

地震前兆自動監視システムの開発は小西秀之氏をはじめ富士通株式会社のスタッフの精力的な作業に負うところが少なくない。ここに厚く謝意を表す。また、最終処理における領域分けは、国立防災科学技術センター第2研究部の野口伸一主任研究官によっている。

参 考 文 献

- 1) 堀 貞喜・松村正三(1988):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, **41**, 89-100.
- 2) 松村正三・岡田義光・堀 貞喜(1988):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, 国立防災科学技術センター研究報告, **41**, 45-64.
 - 3) 松村正三・岡田義光・井元政二郎・島田誠一・堀 貞喜・大久保正・大竹政和・浜田和郎(1988):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, **41**, 35-44.
 - 4) 岡田義光(1988):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, **41**, 153-162. (1987年11月16日 原稿受理)