

第2章 地震活動総合監視システムの開発研究

2.1 ハードウェア設計*

2.1.1 装置の構成

業務用の観測処理装置には、一般の測定器とは異なり、必要な機能を具えているだけでなく、操作あるいは保守が容易で、しかも機械的及び電氣的に堅牢で故障の少ないことが、最低限の条件として課せられている。また得られる処理結果が安定し、常に信頼のおける出力を提供できることが要求されることも言うまでもない。

このような条件を満足させる装置を設計するには、通常は処理内容が明確で、しかもその観測・処理手法が規格化されていることが前提となる。しかし、大地震発生の可能性を評価・判定することを目的とした処理システムの整備を計画する場合には、これらの条件は十分に整っているとは言えない状況にある。すなわち、どの種の観測にどのような変動が生じたら異常と判断するのか、あるいは地震活動のどのような変化を異常と判断するのか等については、調査・研究の段階を完全に超えてはいないものと評価されており、地震予知の観測・処理手法はまだ完全には規格化できる状況には至っていない。

このようなことから当面各種の観測を強化する一方、予知の手がかりに関する経験を逐次積み上げることの必要性が、一貫して予知計画に盛り込まれてきた。ところがそれとは裏腹に、大規模地震対策特別措置法では、地震防災対策強化地域等に関しては、業務として地殻の活動状況を即時的に把握し、異常を判定することを求めている。このため、地震活動の即時解析に不可欠な、地震波の検測の自動化手法の開発が、強く求められるようになってきている。

この研究はこのような背景のもとで発足したものであるから、まだその内容には試行錯誤的な面も多く含まれている。地震の検測は、元来高度な判断を必要とし、結果の信頼度を高めるために、検測処理とその結果を用いた震源決定計算とが、相互に検定しあいながら最終結果を得るといった過程を必要とする。このため、検測精度が悪ければ、本質的に震源計算の解は精度が不足する傾向があり、冒頭に述べた業務として用いる装置としての条件（安定した出力の提供）を、完全に満足させることは容易ではない。このような難問を抱えてはいるがこの研究では、とりあえず操作と保守の容易さに設計の重点を置き、目標としては、できる限り装置の大型化を抑止し、簡易と堅牢の

* 松本英照：地震火山研究部

条件を優先する方向で、ハードウェアの設計とそれによって得られる処理機能の拡大を図ることとした。

図 2.1.1 に開発用の実験機材として構成した処理システムの概要図を示す。この装置の構成に際しては、堅牢さの面でハードロジックに近く、同一規模の構成でもハードロジックに比べ桁外れに高い処理機能が期待されるマイクロプロセッサが、前処理装置として付加されている。これは主処理装置の負担を軽減し、小規模な処理システムでより高度かつ正確な処理を実現させることを目的として導入したものである。これらの構成素子ごとに必要な機能をもれなく実験評価するとともに、採り上げた処理項目ごとに操作性の評価を行い、業務用として整備すべき装置の必要条件を吟味するために、この実験システムを構成し、開発ツールとして用いた。

2.1.2 基本構想

図 2.1.1 に示す構成のうち、ミニコンを含む主要機器は、既存の装置を転用したものであるから、装置規模としては理想的な業務用システムとはかけ離れており、この図に示す構成は、ハードウェア構想のすべてを表現するものではない。この図で示した方式の特徴として次のような点があげられる。

i) 主処理装置の負荷を軽減するとともに、故障による機能低下の低減と実時間処理能力の向上をはかるために、入力成分数に応じた台数の前処理装置を導入する新しい手法が採用されている。

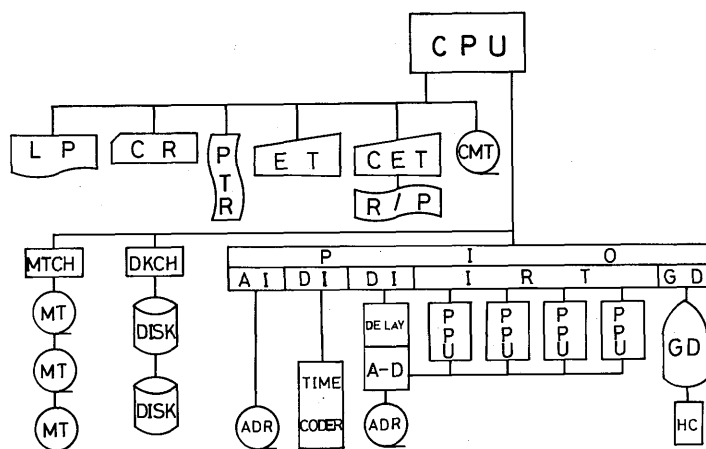


図 2.1.1 研究用器材として用いた処理システムの機器構成図。

CET: コンソールタイプライター

PPU: 前処理装置

ADR: アナログデータレコーダー

AI : アナログ入力インターフェイス

DI : デジタル入力インターフェイス

IRI：割り込み入力インターフェイス

R/P: 紙テープリードパンチ

HC : ハードコピー

その他は汎用記号である。

このシステムは、マルチプロセッサ方式の一例として、マイクロプロセッサ導入手法の利点と欠点を綿密に評価することができる。

ii) 一つの管理プログラムで全ての装置とその処理内容を一括制御する方式を採用したので、観測とデータ処理の密な結合を必要とする監視システムとして、構成上の最小限の条件は満足している。したがって業務用の監視システムの基本的な手法開発には、一応完備したツールである。

iii) 各部の処理は、グラフィックディスプレイを介在させた会話処理が可能な設計となっており、業務用として使用する場合の操作上の問題点の改善と、細部設計条件の確定に有効に使用できる。

iv) 地震活動と地殻変動の双方のデータを同時に取り込んで、それぞれに必要な処理をオンラインあるいはオフラインで行い、必要とされるすべてのファイルを作成する一連の処理を、並列に行うことができる装置構成となっている。したがって、ファイル作成に関する基本的な設計条件の確定に有効に使用できる。

この実験機材による各種の評価実験により、地震活動総合監視技術の基本的部分はほとんど吟味し得るので、結果としてこの実験機材の構成に関する検討は、業務用として整備すべきハードウェアの基本構想の骨格を検討するのと同じ効果をもたらすことが期待できる。

なお、ここで使用した前処理装置(図2.1.2)には、ROM 8 KB, RAM 4 KBを実装した8085型のマイクロプロセッサを使用し、独自のモニタープログラムと、前処理に必要なアプリケーション

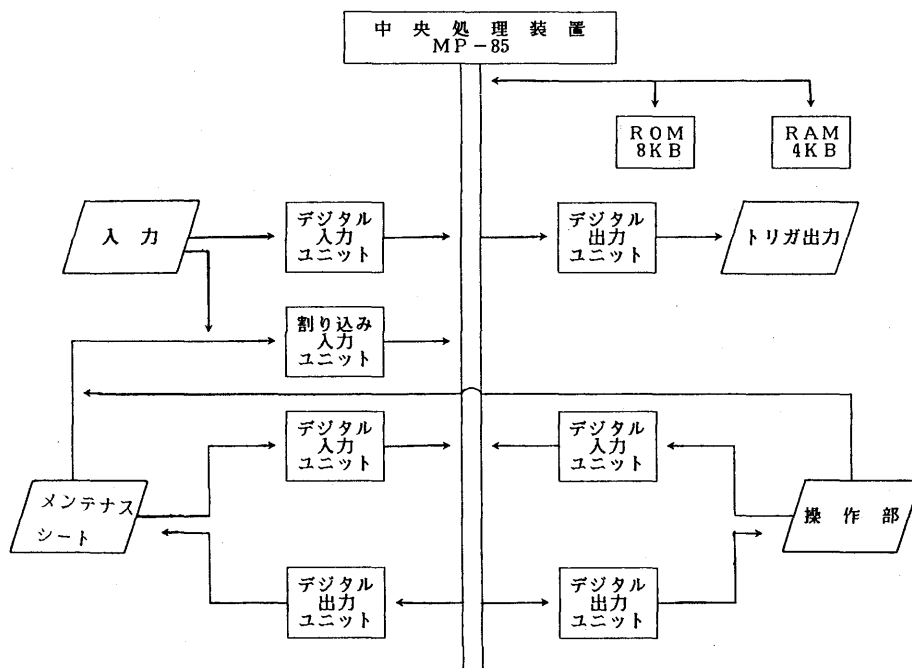


図 2.1.2 前処理装置の内部構成図。

ンプログラムとを組み込んでいる。ごく簡単なハードウェアの管理を行うとともに、P波初動とS波の検出処理及び地震動終止の判定を行わしめる方針がとられた。

一方、使用した主処理装置には、主メモリ360 KBを実装したオキタックシステム 50/40 が充てられ、すべての処理をその汎用オペレーティングシステムにより管理する方式がとられた。多成分の地殻変動データのオンライン入力とオフラインのデータ編集処理を行うとともに、多成分の地震波形データと前処理装置による地震波到達に関する判定信号とを入力して、地震波初動とS波の再検測と震源決定を行い、その結果と地震の波形データを、ファイルとして編集する処理を併行して行わせる方針がとられた。

この構想は、小規模構成のハードウェアの基本設計の一例として、他に先駆けて採り上げたもので、今後もマルチプロセッサ方式による地震波形処理手法の典型的な例として関連分野で応用されていくものと思われる。

しかしながら、ハードウェアの管理面では、この時点のマイクロプロセッサに適したオペレーティングシステムがなく、システム内に使用される台数が増加するに従って、人力による各種の管理が加速的に必要となり、システムとしての管理はだんだん困難になる傾向が見られた。このことは、業務用の大きなシステムを構成する場合には、この問題をまず解決する必要があることを意味している。管理プログラムの完備したマイクロプロセッサの出現を待って採用するのも一つの解決法ではあるが、現状ではやはり処理を集中し、全ての処理を、管理プログラムが完備した大型コンピュータに一括して行わせる手法が、操作と保守の面では優れていると言わざるを得ない。したがって、ここ数年内に関連システムを整備する場合には、この判断に沿って整備をすすめることが必要であるというのが、この研究での結論となっている。

このような観点から策定した、ハードウェアの基本構想を図2.1.3に示す。この構想は、市販、コンピュータの平均的な演算能力を調査して構成を決定したものであり、これを基本にハードウェアを整備すれば、地震活動の追跡に必要な処理は、無理なく消化できるものと確信している。

2.2 ソフトウェア設計*

2.2.1 基本的条件

前節の『装置の構成』の項で述べたように、業務に用いる装置には、操作と保守の容易さが無条件に求められるが、地震業務の中でも地殻活動の監視あるいは異常を検出した後の判定作業のように、特に緊急性の高い作業に使用する装置に対しては、殊更に操作の単純化をはかることが必要である。不注意による誤操作あるいは不慣れによる操作遅滞が起きにくいように十分配慮して、ハー

* 松本英照：地震火山研究部

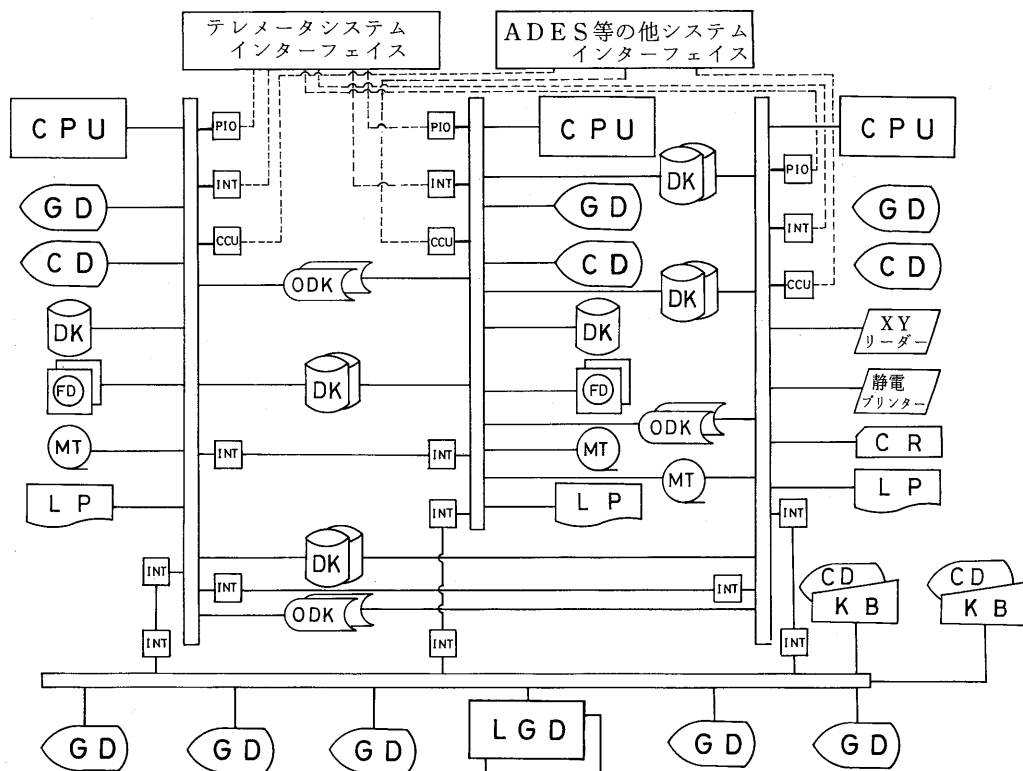


図2.1.3 完全なバックアップ機能を備えることを条件とした地震活動総合監視システムの構成図。

ODK：光ディスク記録装置 C C U：通信制御装置
C D：文字表示器 I N T：インターフェイス
L G D：大型図形表示器 K B：鍵盤（会話用）
その他は汎用記号である。

ドウェアとソフトウェアの構成を決定し、特にソフトウェアの面からは、装置の全ての機能が短時間に発揮できるよう、操作の組み合わせあるいは操作の方式等を選ぶ必要がある。しかしながら、操作性の良し悪しという判断には絶対的な規準を設定する術はなく、例えば熟練者にとって都合のよい操作は、未熟な人にとっては不適当な場合もある。逆に未熟な操作者に目標を置いたのでは熟練者にとっては、操作が冗長すぎるといった矛盾がつきまとうものであるから、操作に関するソフトウェアの構成の詳細な方針は、当事者でなくては決定できない面がある。

幸いなことに最近では、パソコン単体あるいはマイクロプロセッサを用いた装置で、プログラムによって機能を決定する方式のものが急速に普及し、気象庁でもかなり多くの部署でこの種の装置の操作に慣熟した技術者が増加してきている。このような状況を考慮して、操作に関しては特別な労力をかけて新しい手法を開発することはとりやめ、可能な限り既存の確立した操作手法を転用する方針を採った。

実験のための装置およびソフトウェアを構成するに当たっては、データを入力しつつ出力のファイルを作成する一貫作業の処理と、監視業務としての定常的な処理（例えば日報・月報・障害情報等の作成と出力）の機能を重視して、これらの内容については少なくとも業務として運用する場合の条件をもれなく吟味し確定することを目指した。そのために必要と思われるソフトウェアの内容とそれに応じたハードウェア構成とを吟味し、試験を行った。

試験に際しては、本来は同時の並列処理で実行することを必要とする処理プログラムが稼動試験中に、ハードウェアの不足が原因でプログラムが停止してしまい、試験が中断するような事態もしばしば発生した。またその他様々な形態の不能処理も発生した。しかしこの試験では、それらが机上の検討でも原因の追跡が可能で、入出力装置の不足に起因することが判明した場合には、実験による確認は省略する方法を採り、装置構成の規模は小さく、ソフトウェア構成は大きくといった矛盾を妊娠だまの計画による開発への挑戦を続けた。そして計画年度内に所定の吟味を一応終え、それに基づき地震活動総合監視システムの開発に関する研究の結論をとりまとめた。

2.2.2 地殻変動監視処理関連のプログラム

地殻変動監視手法を構成する各手法を評価する目的で使用したデータ処理に関するソフトウェアは、次の通りである。

1) ADIN

このプログラムは、オンラインで地殻変動関連の多種類・多成分のデータをコンピューターに入力し、全時間・全成分の観測量を無休で監視する手順と、磁気テープと磁気ディスクの双方に、入力信号に対応したデータファイルを作成していく手順を吟味するために用意されている。

ハードウェア構成上の制約から、最高サンプリング周波数は4 Hzと低いが、16成分までのアナログ信号を12ビットのデジタル信号に変換して、コンピューターに入力し演算する機能を持っている。更にこのプログラムは、入力されたデータが異常値か正常値かの判定を行い、異常値を検出した場合には、異常値の発生時刻と異常の大きさを印字する。A/D変換後の出力を1成分1データ毎のデータ配列として、図2.2.1のフォーマットで、磁気テープ及びディスクに記録し、ファイルとして保存・管理する処理を行っている。

2) CNSTIN

このプログラムは、入力される信号の成分、各入力信号の電圧物理量の換算率、観測地点名等、観測条件の変更に伴って変る観測点の管理常数、あるいは異常値の判定に用いる観測点毎の処理常数等の、登録・変更・抹消などの関連処理を行うもので、保存データの情報を管理する手順を吟味するために用意されている。このプログラムは、ADIN等のオンラインプログラムが動作しているメモリー領域（パーティション）以外の領域で、オフライン処理として実行される。

このプログラムはオペレーターのコマンド操作により随時起動し、上記の常数を個別に管理する

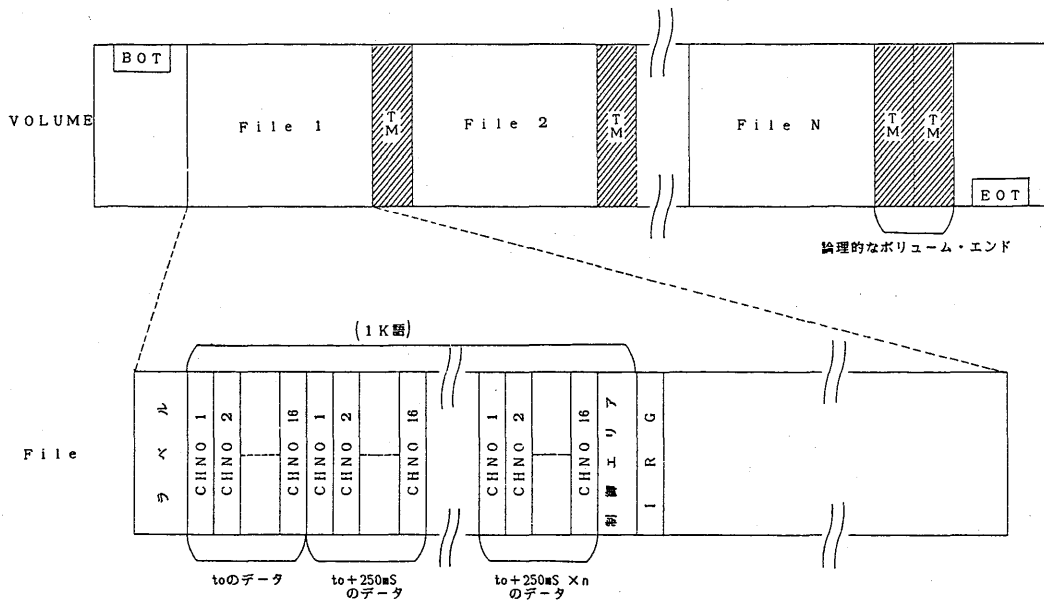


図 2.2.1 地殻変動監視観測の一次データファイルの書き込みフォーマット。処理時間を節約するためにデータ配列は成分毎にはなっていない。

機能を持つが、外部条件の変更に伴い、常数変更の必要が生じた時以外には、起動させる必要はない。なお、これらの常数はディスク内に登録する方式が採られ、ADIN が起動している時に参照する方式を採っている。

3) PHGX

このプログラムは、データファイル内の信号形態と時間軸の統一、不良データの除去とその補間、データ量の圧縮等に関連した検測手順の構成を吟味するために作成された。

現在気象庁に集中されている地殻変動関連の観測データは、観測・伝送方式の相違によって信号形態が異なる場合があり、また同時に入力された信号相互にも、サンプルされた時刻が異なる場合もあるので、これらを整合し、同一の解析は同一のプログラムで処理ができるデータに変換しておく必要がある。また送付される観測データには、伝送あるいは地震の発生によって生じる装置起源の雑音と、調整・校正・誤操作等人為的な起源の雑音とが混入し、直接長期的な変動現象を解析する為に使用するデータとしては不適當である。このため ADIN で作成されたデータファイルは、1 度グラフィックディスプレイに表示し、目視検査により雑音と見られるものを完全に除去し、その区間を短期間の欠測として補間し、長期変動の解析に便利なファイルに変換する。一方、ADIN で作成されるデータは、地殻変動監視の主要処理には必要以上の高速サンプリングを行っているので、処理の内容に応じ冗長分を圧縮し、最適なデータ密度に変換したファイルを準備しておく必要がある。

またリアルタイム処理のため処理時間が極端に制限を受け、図 2.2.1 に示したフォーマットで作

成された1次のデータファイルは、利用毎にデータの直並列変換を行う必要があり、処理に多くの時間を要するので、緊急な処理に使用するファイルとして必要条件を満たしていない。

このようなことから、このプログラムでは12秒に1データの1次データ50個を平均して、それを10分毎のデータと見なし、10分に1データのデータ列に変換するとともに、図2.2.2に示すようにデータの直並列変換を行い、成分毎に10日分まとめ、そのデータブロックを成分番号順に並べて2次ファイルを作成する。なおこのプログラムも、CNSTINと同様に相互に異なるメモリー領域を使用することにより、ADINと平行して処理を進めることが可能な構成としている。

4) FVROOT

このプログラムは、PHGXで旬毎に編成された2次ファイルのデータ形式を、更に高速処理に適応する形態に変更するとともに、日報・月報・年報等の作表と、長期間データの表示等の処理、あるいはファイルのデータを用いたスペクトラム計算等の演算・処理を行う。地殻変動のデータを主体として地震発生の可能性を検討するために必要な資料の構成を吟味するために作成された。

このプログラムでは、PHGXで作成された10分に1サンプリングのデータを、更に1時間1データに圧縮するとともに、旬単位で成分毎にまとめられていたデータブロックを、1か月単位にまとめかえ、長期間データの高速処理に適したファイルを作成する。また必要とするデータ区間を任意に抽出して、日報・月報・年報を印刷したり、あるいはグラフィックディスプレイに表示し、必要な場合はその表示のハードコピーをとる。また、判定作業に用いる画像の処理を想定した資料作成の処理手順と、指定した任意の区間データを用い、波形解析処理等を行うパッチ処理とファイル

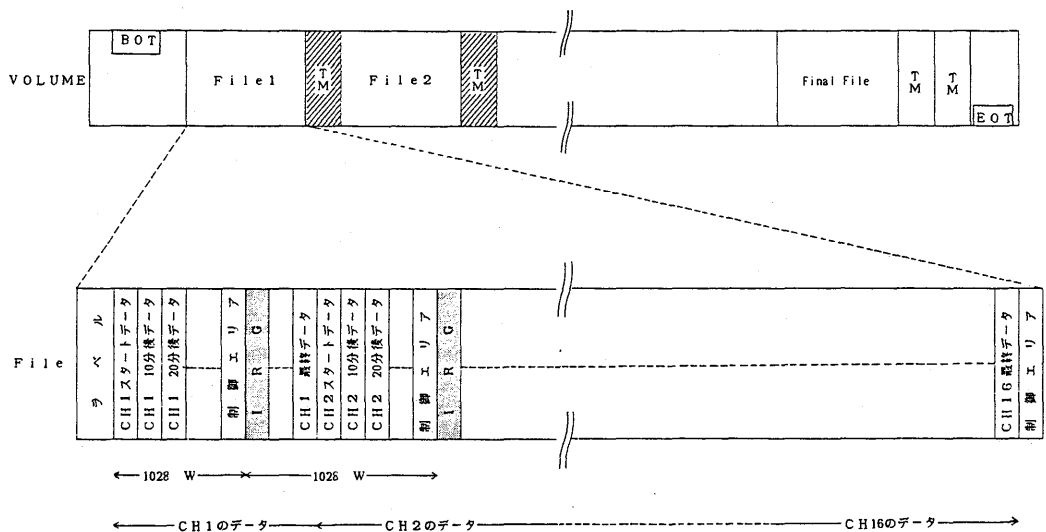


図2.2.2 地殻変動監視観測の二次データファイルの書き込みフォーマット。解析処理に適合するようにデータ配列が並び換えられている。

の保管手法が吟味された。

なおこのプログラムは原理的には、ADIN 及び PHGX と並列に作動し、上述の処理を行うことができなくてはならないが、通常は1か月に1度の編集処理を除いては不定期な作業である。これに必要な入出力装置は PHGX と共同とすることも可能であり、現実には実験は入出力装置共用で行われ、作業手順に大きな混乱は生じないことが確認されている。

2.2.3 地震活動監視処理関連のプログラム

地震活動監視手法を開発するための試験と評価の対象として採り上げたソフトウェアの主要な構成は次の通りである。

(1) 前処理用プログラム

ここでいう前処理とは、地震判別盤と呼称するマイクロプロセッサシステムを使用して行う一連の処理を総称する。処理内容は次の通りである。

i) 多成分の地震の観測波形データを逐一処理して、可能な限り早期に地震波の到来を検知し、主処理装置が分担する精密な検測処理を確実に立ち上がらせるとともに、その検知時刻を予備的な初動時刻として、主処理装置による第1次の震源決定演算に提供する。

ii) その後に続く精密な検測処理に、初期情報を与える。

前処理は、機械的に独立したハードウェアと、それにより制御される処理プログラムとによって行われ、監視システムの全機能にとっては小さな処理を分担しているにすぎないが、主処理装置の負荷を大幅に減らし、かつディスクアームのアクセス動作の頻度を圧縮することができる。またマイクロプロセッサというハードロジックと同等の信頼性を持つ素子への機能分散により、監視システム全体の信頼性の向上をはかる新しい試みとして、その成果には期待がかけられ、ソフトウェアの吟味も特に念入りに行われた。

図2.2.3にこの処理機能を吟味するために用いたソフトウェアの構成を示すが、図からわかるように、前処理装置には処理プログラムの他に、操作及び保守に必要な管理プログラムが数多く付加されている。これが目標にくらべ処理機能が縮小された主要原因となっている。

一般にエンドユーザーが、自分が使用する目的で、マイクロプロセッサによる処理装置を設計する場合には、機能を犠牲にしてまで、管理プログラムを強化するようなことは、殆ど考えられない。したがって、小さな構成の装置に、大型のソフトウェアを組み込み、製作費の低いわりに機能の高いシステムを構成することも不可能ではないが、このようにして開発された装置には運用上の欠陥が潜在し、業務用として採用するには問題が生じやすい。このようなことから、前述のようなソフトウェアを構成してみたが、吟味の結果は必ずしも意図した全ての機能を得ることにはならなかった。これは業務に必要な条件を優先する設計という面では、それなりに価値のある吟味を行ったものと言うことができよう。

図2.2.4に前処理装置のために試作した処理プログラムの流れ図を示す。このプログラムの特徴は、コンピューターの操作に慣れていない人でも、操作しながら処理の内容が理解でき、誤操作が

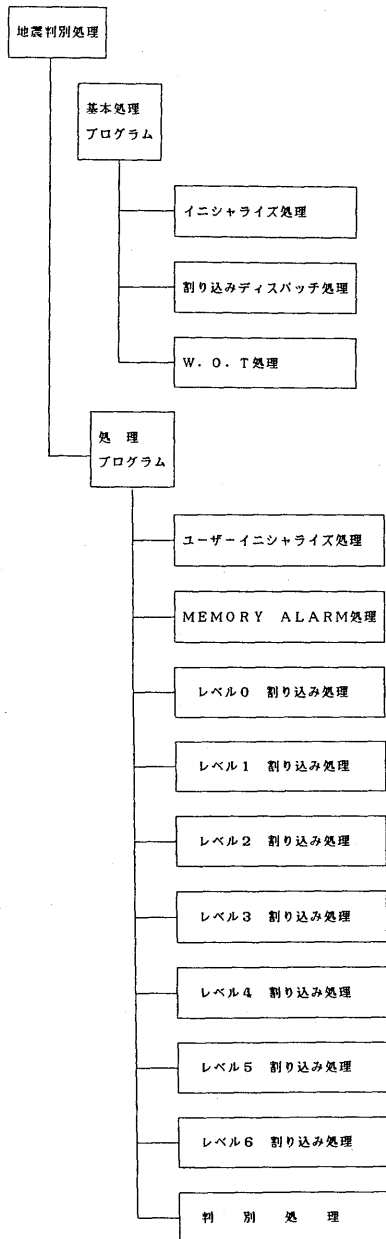


図2.2.3 前処理装置内で地震認識のために行う処理項目。各項目は次図に示される処理の各ステージに対応する。

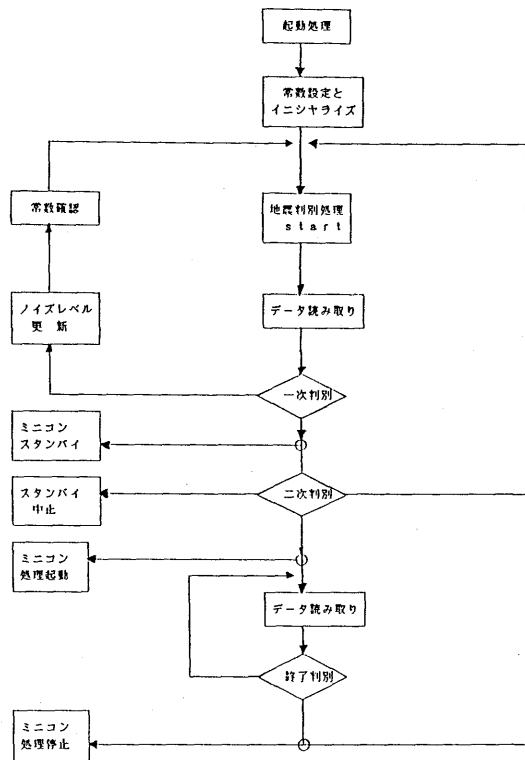


図2.2.4 前処理装置内の地震認識処理手順と主処理装置との通信手順の関係図。

防止できるように、従来の観測装置の操作に類似したスイッチ操作で、処理装置を作動させる手法を採用していることが第1番目に挙げられる。

さらに、判定処理を2段階に分け、完全なリアルタイムを必要とする処理と、その処理の判断を待ってから地震かどうかの判定を行うオンライン処理とを継続させることにより、より高い確度で、主処理装置の処理の起動をコントロールする手法を採用したことが、第2番目に挙げられる。これらは今までにない新しい発想である。

この重複処理の構成により、かなり確度高く地震の判定が可能になったので、誤認による主処理装置の無駄な処理とディスクへの書き込みの動作が軽減され、処理の輻輳による処理停滞が解消されるのみならず、ディスクのアクセスのような機械的な動作を軽減させることができる。このため、装置全体の信頼度を向上させる面で有効なソフトウェアの構成を行い得たものと言うことができる。

(2) 総合スケジュールの管理プログラム

主処理装置がリアルタイムで処理するすべての地震波形処理に関して、系の初期化、データ入力 of 制御、他機構の起動・停止、入出力機器の管理、コマンド処理等について吟味するために、TRIGIN という名称の管理プログラムを試作した。データ入力の制御にあたっては、前処理装置から受けた信号を用い、他機構の起動停止は、入力した波形信号による自からの地震の判別処理によって行う。

図2.2.5にこのプログラムの地震判別処

理に関連する機能構成図を示す。図中、上3行の処理は前処理装置からの信号を用いる処理、残りは遅延入力した波形信号を必要とする処理を示す。他のプログラムはこの処理結果によって起動・停止され、更にこの結果を参照して処理が進められる。また、TRIGINは、コマンド処理として、各時間ごとの地震数の集計表あるいはそのファイルを作成するとともに、集計された地震

の継続時間あるいは、最大値の度数分布についてファイルを作成するプログラムである。これは、地震活動の監視情報として出力する機能等、一連のリアルタイム処理の流れを吟味するために用いられた。

(3) 自動震源決定のプログラム

TRIGINで作成する各種のファイルを用いて、地震波のP波初動あるいはS波の再検測を行い、その結果を用いて信頼性の高い震源を決定するために、処理過程のすべてを継続し、人手を介さずに地震活動の監視情報を得るATEQという名称の処理プログラムを作成した。

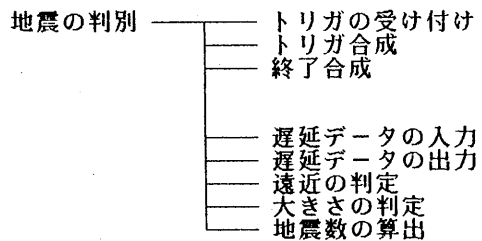


図2.2.5 主処理装置内のタスク管理に係わるプログラムの機能構成図。

地震1つの処理時間を、定常的に3分以内に収めるには、可視記録の読み取りを必要とする方式は適当ではない。電気信号を直接用いるリアルタイムの地震波形検測と、その結果を用いて、オンラインの震源決定を行う手法の開発が必要である。

このプログラム ATEQ は、まず TRIGIN で作成した検測結果のファイルを用いて第1次の震源計算を行い、その結果の精度を評価し、良ければその検測結果をそのまま新しいファイルへ書く。もし結果が悪ければ波形ファイルを用いる再検測処理プログラムを起動し、より精度の高い震源を求めて処理を反復する手法を採っている。

この処理の手順を図2.2.6に示すが、各手順の項目は、次のような機能を分担している。

1) 処理する地震の決定

TRIGIN で到来が判定され、波形ファイルが作成されている地震の中から、震源決定精度の充分ではない地震を選ぶ。まず1つの地震として区切られた波形ファイルの中に、規定の振幅値を規定時間超過しているデータが、何成分ファイルされているかをチェックし、規定の成分数を越えたファイルは、再処理して再度震源計算を行うために、精密処理の対象として再検測を行う。

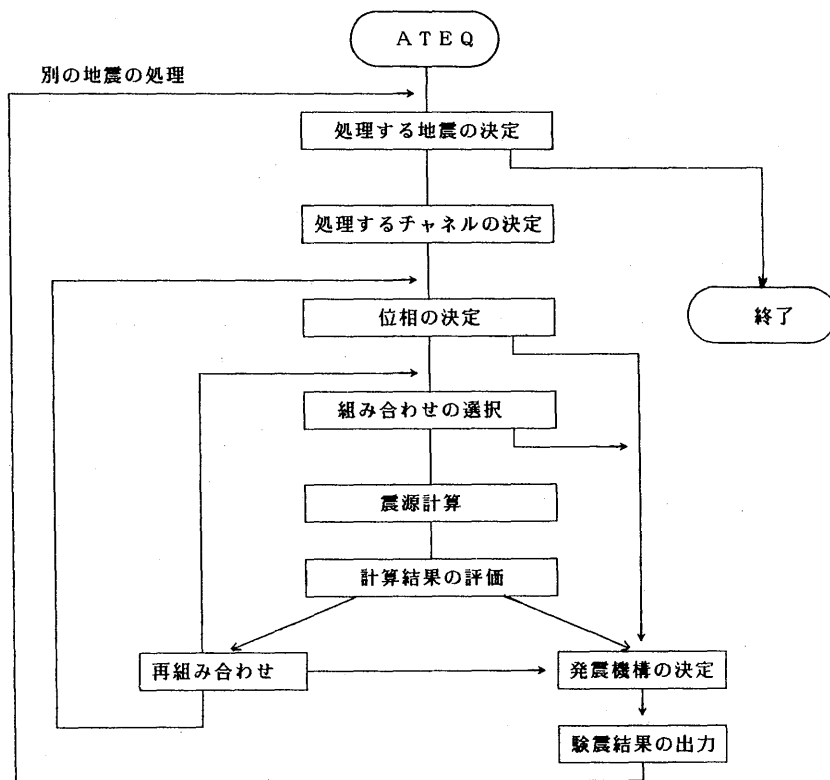


図2.2.6 研究開始時に設定した自動震源決定プログラム (ATEQ) の処理手順図。

2) 処理する成分の決定

地震判別装置で、最初に初動の検出された成分の発現時刻から、規定の時間内に初動を検測された成分で、TRIGIN で作成される最大値ファイルに、検測値が登録されている成分の波形信号についてのみ、ATEQ 処理の対象として精密な再検測が行われる。

3) 位相の決定

P波・S波の到着時刻、最大振動、地震終止時刻等、それぞれ工夫された論理処理により、自動的に読み取られる。特にP波とS波については、複数の処理法での処理を行い、手法の優劣を検定することも計画し、プログラムを構成している。

また初動の検出については、その検測精度が震源計算の処理効率に直接影響することを考慮して、特に念入りに処理する計画をたて、周期・振幅・明瞭度を統合して初動時刻の精度を評価するとともに、水平動成分と上下動成分の振幅比あるいは、AR モデルによる客観検測等の処理を重複させて、信頼のおける初動時刻の検測をはかるよう、プログラムを構成している。

またS波の検測も、その信頼度を高めるために、最大動との振幅比を用いる検出手法にAR法による客観検測の処理を加えた。特にS波の誤認率の低下をはかるためには、震源計算とその結果を用いた読み取り値の評価、さらにその評価を反映した再検測との3つの処理を組み合わせ、それを繰り返し行う等、幾重にも検測をチェックするプログラムの構成法について検討を行った。

4) 組み合わせの選択処理

地震波到来の1次判定の信号として、前処理装置から主処理装置が受け取る信号は、TRIGIN のプログラムで受け付けられた時点で、仮の初動時刻として登録され、第1次の震源計算に使用されるが、この場合規定の時間内に規定観測点数の初動時刻の登録がなければ、ATEQによる処理は起動しない。また例えばこの条件が成立してATEQが起動しても、震源の求まらない場合も多い。すなわち、大幅に検測を誤った成分があったり、あるいは検測は正確だがたまたま近接した時間内に異なった地点で地震が発生した場合には、震源計算は解が求まらない。

このような事態は観測網が広域化し、しかも高感度化している現在の観測では、日常的に発生しているので、検測とは別にこの対策の自動化が必要である。このプログラムでは、第1次の震源計算で演算結果の収束の悪い場合には、和達ノモグラムあるいは初動振幅とS-P時間の関係を用いて、異なる地震の検測データの排除と、データのグループ分けを目的とした検定処理を行い、自動的に検測データの合理的な組み合わせを、決定するための手法について吟味した。

5) 震源計算処理

震源計算には、所要時間が短く所要メモリーも小さなことを特徴とするプログラムと、計算結果の信頼度が高いことを特徴とするものがあるので、この実験では複数の震源プログラムの選定と実行順位を、オペレーターが任意に設定する方式を採っている。例えば、第1次の震源計算のように、初動検出のリアルタイム処理に追従できる速度を要求される処理には、計算の速い方式のプロ

グラムを、また後述の MAEQ のようなオフラインの震源計算では、速度は無視しても精度の高い結果を得るプログラムを選択できる構成を採用している。

6) 計算結果の評価処理

震源計算結果の精度の評価は、計算が終了するかあるいは打ち切った時の震源位置と、その前回の計算位置とのずれの量、すなわち計算結果の安定性を検定し、規定の条件に達しない時は、計算結果不良のメッセージを打ち出し次の処理に移る方式を採った。また走時残差についても検定し、これもプログラム内で定めた規定の条件に達しない時には、観測データの再組み合わせ処理を行い、その成果を用いて再度震源決定を行う方針を採り、プログラムを構成している。

7) 観測データの再組み合わせ処理

処理の対象として、ATEQ が採り上げた観測成分の走時残差が、規定に達しない時には、4)で述べた組み合わせ処理手順で、検測値が異常と判断され震源計算に用いるデータから除外されていた検測成分に対し、それまでに得られた仮の発震時と震源位置を用いて、排除の妥当性を再検討する。それによって有効な観測として評価できる観測成分を検出した場合には、そのデータを加えた再計算を行い、可能なかぎり、震源を求める方針を採りプログラムを構成している。

(4) 発震機構の決定処理

発震機構は、地震の発生位置によってほぼ一定し、その変化は応力分布の変化を反映するものとして、大地震発生の可能性の追跡手法の1つとしてその監視が要求されている。このようなことから、このプログラムでは明確に検測された初動方向の地理的分布と震源位置とを用いて、発震機構の自動決定処理を試み、その手法の信頼性を吟味した。

(5) 検測結果の出力

地震終止を判定した地震は、検測処理の終了を待って、検測結果を印字出力される。また同じ内容が、検測ファイルを作成するためにディスクにも出力されるが、この処理に割りあてられるディスクの容量には限界があり、このままのハードウェア構成を業務に適用する場合には、業務の形態に即して毎日、あるいは週に1度の再編集を行う必要がある。しかしながらこの手順や内容については、ハードウェアの構成を変えれば内容の変更は容易である。いつどこに何を出力するかについて、また各種の情報の管理方法をどうするか等については、整備時に機器の構成に即して再度検討すればよいので、ここでは大学等とのデータ交換に便利なフォーマットを採用する方針で、調査・研究用にも便利な資料を残すことに主眼をおいて、出力手法を吟味した。

2.3 ソフトウェアの特徴*

大地震の発生の可能性を物理的基礎に立って判定するには、前兆的な地殻変動あるいは前震の発生を前提としている。さらに現在までに得られている知見によれば、たとえ前兆が出現したとしても、個々の観測量単体に出現する異常のみで、可能性を結論することには、問題が多過ぎると考えられている。最低限の機能として、異常の地域的分布あるいはそれぞれの変動状況程度を即時的に図示できなければ、判定に大変な労力と時間を要するのみで、信頼のおける結論を得ることは困難となろう。また、過去の経験あるいは岩石実験等から、地震発生の直前には歪の進行速度が変化し、微小な破壊が発生する可能性の強いことが指摘されている。したがって、これらの時々刻々の状況を、観測と即時の処理とによって常時追跡していなければ、異常の発見は原理的に不可能と言えよう。

このようなことから、地震活動総合監視技術の開発に当たっては、これらの現象の常時監視と判定のためのデータ処理に必要なハードウェアの構成と、ソフトウェアの構成について、開発ツールを用いて吟味を行った。研究の成果として、今後の整備のためにまとめたソフトウェアの基本構想は次のような内容である。

2.3.1 地殻変動関連プログラム

前にも述べたように、地殻変動関連の観測データは、時々刻々のデータ一つ一つに、異常かどうかの情報を含んでおり、この情報をいかにわかりやすく人間の判断に反映させるかが、監視システムに組み込むソフトウェアの作成に際して最大の課題となる。

この開発・研究では、内容にも形態にも類似点の少ないデータを多成分入力し、コンピューター内部では同質のデータとして扱うことのできるように、ファイル化していく手法と、データの表示法について、ソフトウェア構成の吟味を行うとともに、入力するデータの監視手法について実験を行った。図2.3.1に実験を行ったファイルの作成・洗練手順と、データ監視との関連を示す。

この結果、この種のデータを用いて、業務用に監視処理システムを整備する場合には、次のような点を考慮する必要があることがわかった。

i) 高速でしかも大型のコンピューターの導入を前提とするにしても、人間の介在による不良データの除去と、データの縮減課程は残存させるべきである。また、この開発ではデータの補間処理を当然の作業として組み込んであるが、業務化の際は、組み込むべきか否か、組み込むとすればどのような方式により、どれだけの区間までを対象に、行うべきか等について、庁内のデータ管理方針に照らし、再検討すべきかもしれない。

* 松本英照：地震火山研究部

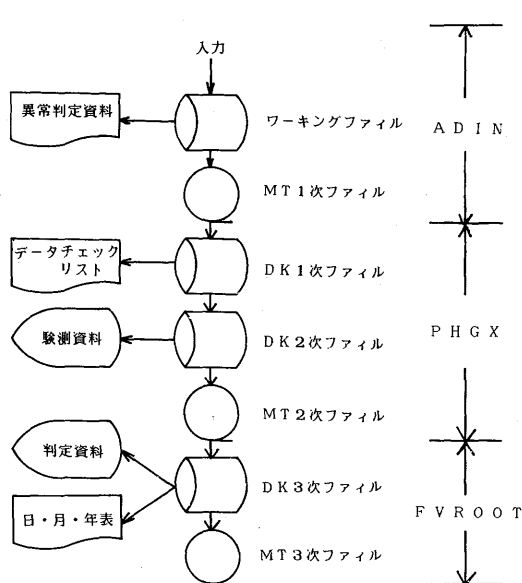


図 2.3.1 各処理プログラムとその出力ファイルとの関係図。

ii) データの監視については、気象・天文等の影響で発生する擾乱は、即時の補正処理を行い、地殻変動の検知力を向上させて、できるだけ小さなイベントも採り上げる形式の処理手法を採用する必要がある。装置のドリフトあるいは長期の変動現象に対しても、可能な限り予測フィルター等の処理を併用して除去し、短期変動に対する検出能力を重視したソフトウェアを構成することが必要である。

iii) 分かりやすいデータの表示は、判定に最も有効な基礎情報を提供することになるので、可能な限り多くの表示手法を吟味する。また、それぞれの表示処理に際しては、表示する時間・感度・成分数等の変数を手軽に変更できるような、手順を盛り込む

むことが必要である。

iv) データの解析については、周波数分析はもちろん、地殻変動のベクトル合成演算、あるいは多次元表示に関連する解析手法を可能な限り豊富に組み込み、その結果を多様な形式で表示する出力方式を用いるべきである。

2.3.2 地震活動関連プログラム

地震活動の監視に関連する業務では、地震の震源決定が不可欠であり、地震が発生したら何をさしおいても、早急に震源を決定する必要がある。

現在気象庁では、可視記録を介在させた半自動の地震検測処理方式を採用しているので、最善を尽くしても、1つの地震が発生して7～8分経過しなければ、震源要素を決定することはできない。このことは、1時間に10回以上の地震が発生すれば、処理作業が延滞し、気象庁の地震活動監視機能が低下することを意味し、この改善なしではとても大地震の発生の可能性を判定する責任を、全うすることはできないであろう。

また、この研究の当初に計画していたように、小型ハードウェア構成に固執していたのでは、信頼のおける初動検出の全数比が85%を上回るソフトウェアを組み込むことは不可能である。また小規模なハードウェアの増強方式では、信頼のおける初動検出が全数比90%を上回る機能を組み込むことはできないことが、この研究ではっきりした。これらのことから、中小規模のハードウェア構

成で行う処理についてはその検討を省略し、スーパーミニコン3台程度の大型なハードウェア規模によってのみ実現しうる、ソフトウェア構成についてまとめた基本構想を述べる。

(1) 前処理の機能関連

オンライン処理のプログラムを圧縮して、コンピューターの負荷を減らすことは、方式の如何にかかわらず重要である。このためには、地震の初動をいち早く検出し、精密検測を起動する機能を組み込むことが最も有効と思われる。この開発では、この機能をマイクロプロセッサに分担させることを計画したが、これはシステムの構成条件によって固執する必要はなく、要は開発した処理手順が活用されればよい。

この報告書では大型な処理システムを推奨しているが、その場合にはこの開発で得た前処理の技術は、そのまま全システムのバックアップ機能の組み立てに利用することができる。すなわち地震活動の監視処理を分担する装置、あるいは地殻活動の監視処理を分担する装置のいずれか一方に故障が発生した場合には、残された処理装置は自己の分担する機能の一部を一時停止して、他方の装置が分担していた必要最小限の処理内容は代行するよう、システムを構成する必要がある。いずれの装置に故障が発生した場合でも、最も大型の演算を必要とする地震波形のリアルタイム処理の切り捨ては、避けられない。このような場合にはまず、震源決定に最小限必要な成分のみに入力信号数をしぼることが必要になる。また、バックアップ用に付加した装置により遅延信号を得て、可視のトリガー記録を出力するなどして、人力による小規模な検測処理を行うか、あるいはこの研究で開発した機構を用いて、初動の簡易な検出処理と応急的な震源決定を行うことも必要となろう。このようなことからこの研究で開発した前処理に関するプログラムは、その応急的機能に関するソフトウェアとして、有効に利用することが考えられる。

(2) 総合スケジュール関連

いくつかのプログラム(ジョブ)を組み合わせるとまとまった機能を得るには、それら相互の結合と交通整理が必要である。総合スケジューラーは、その種の処理を分担し、システム全体の機能を形成する基幹となるソフトウェアであり、ハードウェア全体の稼働効率を左右するものであるから、必要な機能とその実行タイミングについては、十分に吟味しつくさなければならない。

この開発研究では、開発ツールとして使用したコンピューターの規模が限定されていたため、大規模なハードウェア構成を必要とする大きな処理内容に対して、一連の処理スケジューラーの完全な働きと、実験による詳細な手順の吟味は、十分にはできていない。したがって、ここでまとめた基本構想には、机上の検討のみによって得た結論も含まれている。このことは実用システムを設計する際、ハードウェアの構成の細部については、推定部分も含まれているので、選択する処理手法に合わせて、整備の際には再度検討を要する内容であることを、あらかじめ断わっておく。

前にも述べたように、地震防災対策強化地域に係わる観測は、急速に強化され、気象庁にはかなり大量の観測データが集中されたが、強化の時期がたまたま関連技術の大幅な変換期と一致し、各

機関が独自に観測方法を選択し、データ交換に際しても特別な変換は行っていないので、集中されたデータの形態はほとんど統一されていない。したがって、これらのデータをコンピューターに入力し、統一した形態でデータファイルを作成することが、大変な難事業となることは衆目の一致するところがあり、この解決をさせていたのでは、気象庁の地震関係のデータ処理業務のシステム化はできない。このようなことから、新しいシステムの総合スケジュールを設計する場合には、この難問の解決を優先して計る必要がある。

ここでのまとめの中では、開発としての実作業の内容には含まれていないこの種の処理についても、総合スケジューラーの主機能の一つとして盛り込むことにする。

コンピューターへのデータの入力には、いろいろな装置や手法が用いられているが、磁気テープやカードの読み込み等のように、一般にはコンピューター主導でデータを採り込む場合が多く、この場合には、データ入力には困難は生じない。一方、電気通信を利用して伝送される信号を、リアルタイムで入力する場合は、コンピューター主導かどうかを問わず、CPUにかなりの負担がかかる。そのため、通常は通信制御装置として、専用の小型のコンピューターを充当する事例が多く、これに類似した処理関連のソフトウェアの蓄積は進んでおり、いずれのメーカーでもかなりの実績があるようである。

上記のように気象庁に集中されている地震予知関連の観測データは、分解能・サンプリング周波数・フォーマット等が全く統一されていない。このようなデジタル信号を主体に、若干のアナログ信号もまだ残されている状況なので、これらの規格を統一して、コンピューター内部の処理に便利なデータに交換し、ファイルを作成していくには、既成の手法の応用は不可能であり、特別な工夫が必要である。

ここではこの種の処理のために、異なるサンプリングと異なる分解能（ビット数）の信号を、一旦大容量のバッファメモリーに個別に入力し、コンピューターに取り込む時には、一括して同一タイミングの同じ形態の信号として出力する特別な変換バッファを、通信系とのインターフェイスとして採用することを提案したい。

また、整備の対象となる処理装置は、予測のできないイベントを24時間無休で搜索し、大きな地震の発生の可能性を常時評価していくための装置であるから、機能の完全停止は許されない。このようなことから、総合スケジュールの管理ソフトウェアには、データの入出力処理ともからんで、故障時には、平常時に各々のプロセッサが分担する処理、及び必要な入出力装置を切り分けて再配分する処置として、大変に複雑な機能を必要とすることが判明している。この処理は、クローズカップルのマルチプロセッサの管理手法として、すでに机上の検討は終了し構想設計も終わっている。系の初期化、他機能の起動停止のコマンド処理等、この研究開発で吟味して得た基本的な管理機能と、机上の検討で得た気象庁独自のバックアップ機能とを組み合わせ、新しいシステムのすべての機能が、矛盾なく作動するよう、完備したスケジュール管理プログラムを作成する必要がある。

る。

(3) 自動震源決定のプログラム関連

新しく整備が計画されている地震活動監視システムに最も強く要求される機能は、人間介在の処理結果と同等、あるいはそれ以上の信頼度を持つ震源を、いかにして誤検測による脱落を防ぎつつ迅速に決定するかといった面にある。

ところが気象庁では、全国的な地震活動を均一に把握するために空間的に均等な観測を展開しているので、検測する地震のデータは、大学等が特定地域を対象に実施している観測から得られる、波形データに比べ、一般にはS/Nの悪い観測点が多く、地震波形の自動処理、特に初動の自動検測は非常に困難視されていた。この問題は横田(1981)により、統計的手法を用いて、精度よく位相の変化を検出する手法が開発され、殆ど解決を見たので、この成果を盛り込んで検測処理を行う方針を採っているが、この場合にも、まだ2つの問題が残されている。

一つは、高い検測精度を得るためには、かなり高速・大容量の演算を必要とすることであり、もう一つは、頻度は少ないものの、大幅でしかも初歩的な誤検測をおかす恐れがあることである。精度はよいが誤検測の発生を抑止できていないという欠陥が挙げられる。前者は、整備時にどのようなハードウェアの構成規模を採用するかといった、財政的な問題であり、技術面での本質的な問題ではないから、ここではシステム規模に関するまとめは省略し、後者の解決法についてのみまとめておこう。

ここでまとめた震源計算プログラムの特徴は、人間が介在して震源を決定する従来の定常的な作業をなぞって、処理内容を組み上げる一方、人間の追加判断部分を、コンピュータが容易に代行できるように、波動の性質を確認する手法を数多く導入し、より客観的と思われる判断手法で得た観測値を用いて、震源を求められるように配慮していることである。このため検測と計算との相互検索に関連し、かなり反復処理の多いソフトウェアの構成を用いる必要がある。従来の処理手順をなぞる処理プログラムについては、すでにソフトウェアの構成の節で、かなりくわしく手順を説明しているので省略し、ここではコンピュータによる、コンピュータ処理の評価原理と、その反映手法について説明し、このような手順を推奨する理由を示す。

図2.3.2に、自動震源計算に関連したプログラムのフローチャートを示す。この図の中で、網目を入れた部分の処理が、この開発研究で焦点を合わせた新しい処理手法である。特に重要な処理としては、観測網処理から検測処理に対して指定した区間を再検測の要求を行う一連の処理が挙げられる。この処理フローの追加によって、先に述べた自動検測手法の欠点が補われるとともに、自動震源計算の結果にも信頼度の向上がもたらされることは、疑う余地はない。

(4) 発震機構の決定処理関連

この研究での発震機構の決定に関する結論は、震源決定のために自動検測によって得た初動の情報では、質・量ともに不足するということである。検測結果の採否の判定と、更にその結果を用い

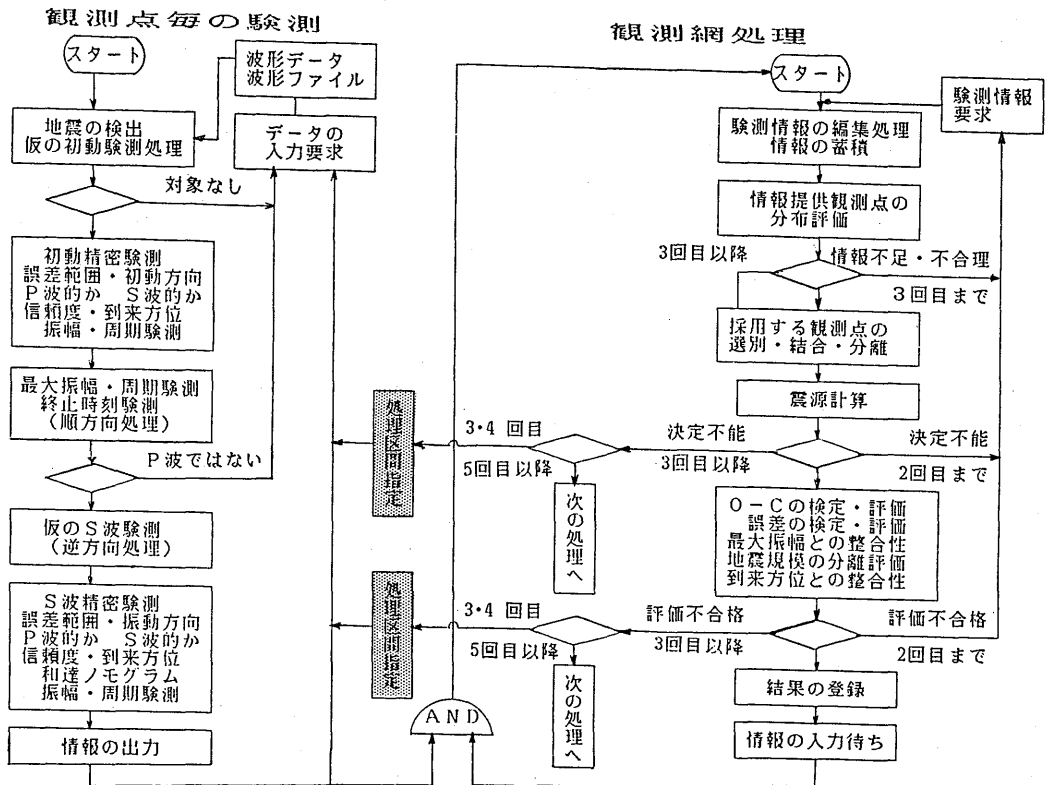


図 2.3.2 震源決定と検測の処理を密に結合する手法を追加し、結果の信頼度を向上させるために用いた改良 ATEQ の処理手順。

た押し引き分布から、発震機構を求める処理を、人間の介在なしに行うことは、現在の観測体制下では非常に困難なことが確認された。すなわちこの処理を完全に自動化するには、観測点の大幅な増強を必要とするとともに、震源決定の演算処理の手順における位相の同定以上に、評価と観測との反復処理手法を採り入れることが決め手になる。将来に向けて、この処理も自動化する方向で、観測体制の整備計画を進める必要がある。

(5) 出力処理関連

地震活動の監視システムで得られた処理結果は、地震活動の常時監視のための資料として活用される。また、異常を検出した場合には、大地震発生の可能性を判定するための資料となる。そのために、すべての処理結果及び波形データが、緊急的な使用を予定されており、それに対応し得る形態のファイルにまとめる必要がある。また、その結果は調査・研究のための資料としても活用される予定なので、最終的には他システムと交換可能な形態で、ファイル化しておくことが望ましい。

このようなことから、検測結果の出力は、自動検測と自動震源計算で得られる最初の仮出力を初

期データとし、C-アデス等のシステムから遅れて入力される検測データを加えて処理・更新するなど、時間の経過に従って順次洗練し、最終的な資料を得ていく必要がある。また、このためにもかなり大量な波形データのファイルも必要となるので、ハードウェアの構成に即して、新しいデータ管理方式を計画する必要がある。これらについては、この報告書では特に採り上げないが、この為に必要なハードウェアとソフトウェアの検討はすでに終わっており、整備に際して、資料の提供は可能となっている。図2.3.3に自動処理系で作成されるファイルの種類とその洗練過程を示す。

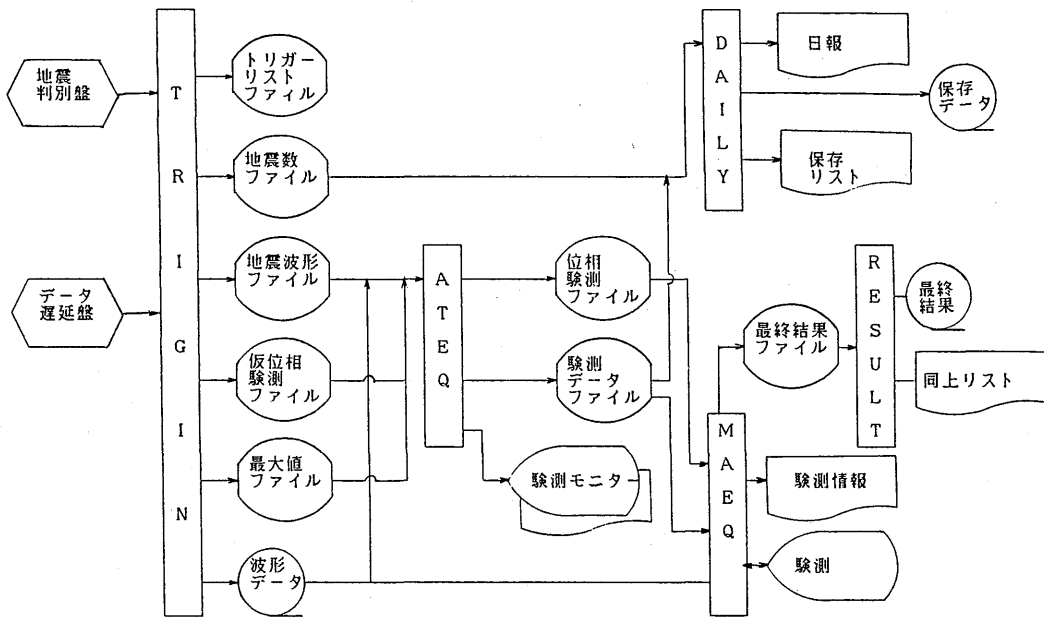


図2.3.3 データファイルとそれを作成するプログラムの関係図。

参 考 文 献

横田 崇、1981：地震波信号の時系列解析と自動検測処理への適用、A Thesis submitted to the University of Tokyo, for the Degree of Doctor of Science.

2.4 実用化試験

2.4.1 試験の概要

地震活動総合監視システムの開発では、既製品のミニコンピューター（以下ミニコンと略す）に、処理の主要部を分担させるために、インターフェイスとして必要なハードウェアを付加して、一群の処理システムを構成することを計画した。これにミニコン付属の既成ソフトウェアとしての制御

プログラムと処理プログラム、それにそのサポートをうけて機能する応用プログラムを作成して組み込み、ハードウェアと合体させて、地震活動監視に必要な一連の処理機能を持つシステムに組み上げることを主な作業内容としている。

したがって、個々の処理に必要なメモリーの大きさ、あるいは演算時間等のハードウェアの構成条件を試験によって確認するとともに、処理の手順あるいは処理の結果を吟味して、ソフトウェアの内容と構成を確定することを主な作業としている。ここで挙げた実用化試験とは、このような作業を総称するものであり、以下地殻変動と地震活動の2項にわけて、試験の内容と結果を説明する。

2.4.2 地殻変動関連データの処理*

(1) 試験の背景

地震活動に関する観測に比べ、地殻変動を対象とする観測を、気象庁が業務として採り上げてからの歴史は浅く、処理手順を含めて試行錯誤を必要とする作業内容が多く残されている。一方、東海地域の監視のために、他機関から提供されているデータは、その信号の形態や内容が機関毎に異なり、統一された手法でコンピューター処理を施すには問題が多い。このようなことから、地殻変動関連のデータベースを作成し、いつでも異常の判定を行うことを可能にするためには、データの収録と管理の手法について、特に実地的な試験を行う必要があった。

(2) 試験の内容

この研究のために整備した地震活動総合監視システムの開発ツールを用いて、1979年から84年3月までの東海地域の地殻変動観測データによる実用化試験を行った。各要素のデータは防災センター、国土地理院、および地質調査所から地震予知連絡会や地震防災対策強化地域判定会委員打合会にその都度詳しく報告されているので、データ及び現象の物理的な説明は各機関の調査・研究報告にゆずり、ここではデータ処理技術上の問題点について試験から得られた点を紹介する。なお、気象研究所で処理した結果も、一時期を除き、前述の判定委員打合会に参考資料として提出され、総合的な判断材料として有効に使用され、一応データ収録・管理手法とその利用手法について方式を確定することができた。

(3) 試験の結果

地殻変動関連要素として入力されるデータの量は、地震波処理に用いる信号に比べかなり少ない。また、その入力速度は遅く、コンピュータの処理速度から見れば問題にならない。このようなことから、ハードウェアの構成に関して、この開発では特に必要な試験項目は見当たらない。そこで試験は、主としてソフトウェアの構成と、それによって定まる処理機能の評価に限られた。

使用したデータは、傾斜観測として静岡市近傍の3地点(岡部、近又、野田沢)に防災センター

*岡田正実・松本英照：地震火山研究部

が設置しているボアホール型傾斜計の信号、潮位差観測として国土地理院が集めた御前崎、田子、焼津の3地点の潮位信号、それに地質調査所が関東東海地域に展開している地下水観測のデータの中から、大東、榛原、清水、賤機の4観測点の、水位又はラドン濃度の変化量を加えて用いた。これらの観測量は、テレメータ方式（フォーマット、サンプリング速度、遅れの時間等）が異なるので、この開発ではこれらを統一するために、全信号ともそれぞれの受信端局でD/Aして得られたアナログ信号を用いる方法を採用した。また、時刻のずれの補正、あるいは信号形態を統一するために、画面を用いた編集処理を行っている。

図2.4.1 A～Dに、この処理の各ステージで出力される画面例を示す。ADIN プログラムによって入力された信号は、成分ごとに電気量（V）としてファイル化され、その内容はA図で示す形態となっている。このファイルは、PHGX プログラムで電気量→物理量の変換を受け、B図に示す内容のファイルに変換される。次に人間による管面処理で種々のノイズを除去すると、C図で示すファイルへととなる。さらにこのファイルは、1時間に1回のデータへ変換され、FVROOT プログラムへ引き継がれる。FVROOT では、D図のようなデータ表示のほか、作表、スペクトル解析等を行う。

各年ごとの処理結果を、図2.4.2 A～Eに示すが、欠測がかなり多い。研究段階ではあまり問題とならないが、実用化する際はソフトウェアやハードウェアの問題よりもむしろ欠測を極力少なくすることに努める必要があることがわかった。

欠測の原因としては

- i) 観測測器の障害
- ii) 基準値の点検など、精度維持のために必要な観測休止
- iii) 通信回線の障害
- iv) データ収録装置の障害
- v) データ処理関連装置の障害

などがある。

今回扱ったデータは、他機関から気象庁へ伝送されてきたものであり、気象庁側だけでは対処できない障害もかなり含まれている。一般論として、測器の安定性の向上が望まれるが、特に地中深くに埋設する測器（例えば傾斜計）が故障すると、修理に多大の労力・経費を要するうえに、データに大きな不連続が生じ、前後の資料を同じデータとして扱えなくなる。したがって、関係機関にも可能なかぎり、落雷等による障害対策をたて、不連続のないデータを得るよう配慮頂く必要があらう。

通信回線の障害は、短時間で回復するものが多く、データ処理（補間処理）でほとんど克服できた。データ収録装置の障害として、気象庁に置かれている各要素の受信記録計から信号を取り出し、簡便な方法でレコーダにつなぎ込んだので、つなぎ目にさびが生じて接触不良をおこし、欠測となった例もある。またレコーダのオーバーホールでは40日程全面欠測している。システムの実用化の際

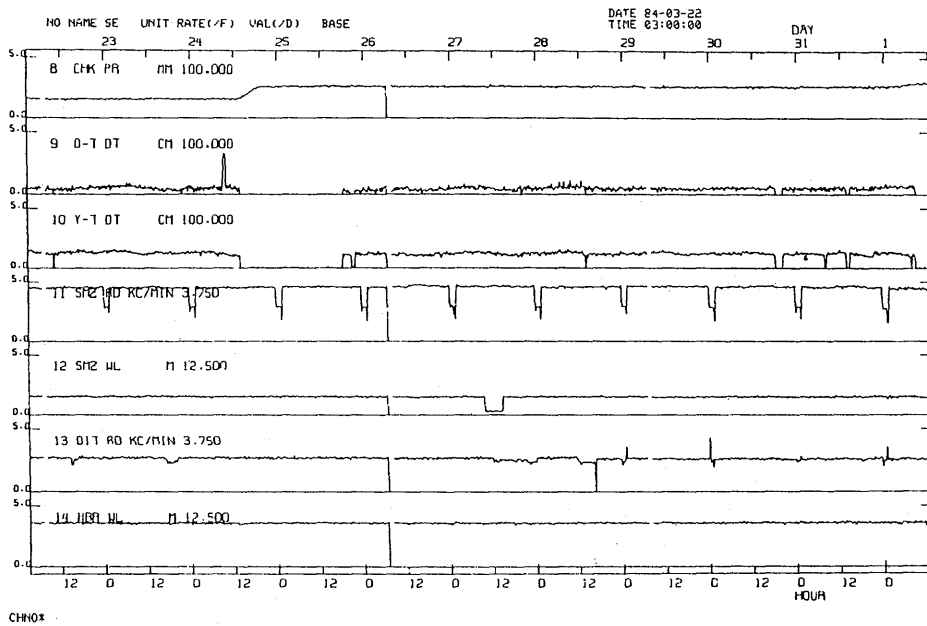


図2.4.1 A 地殻変動データの処理過程。

データ入力後に自動的に作成される電圧値によるファイルの中味。

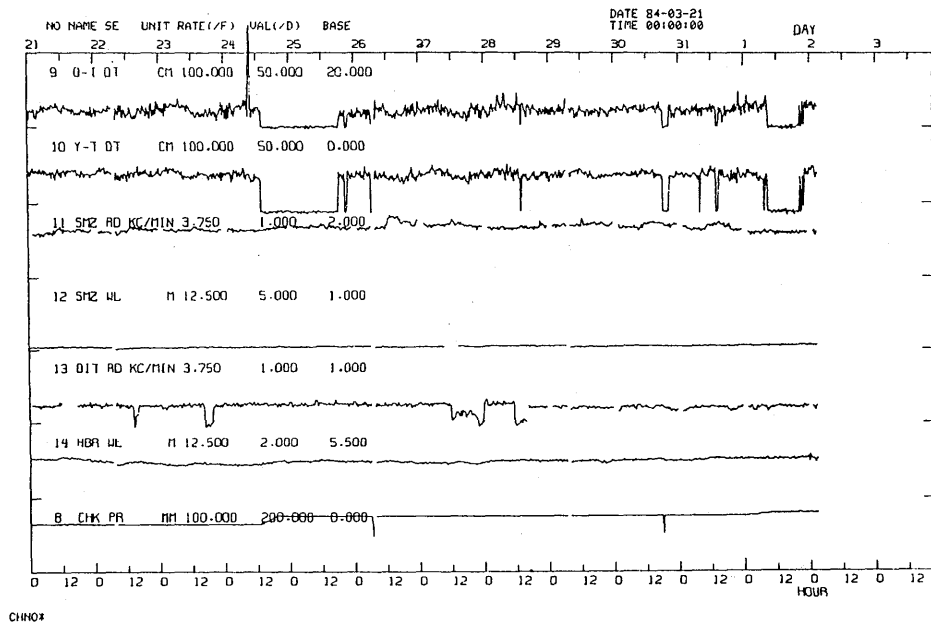


図2.4.1 B 地殻変動データの処理過程。

電圧値→物理量の変換を行って補正作業に用いるファイルの中味。

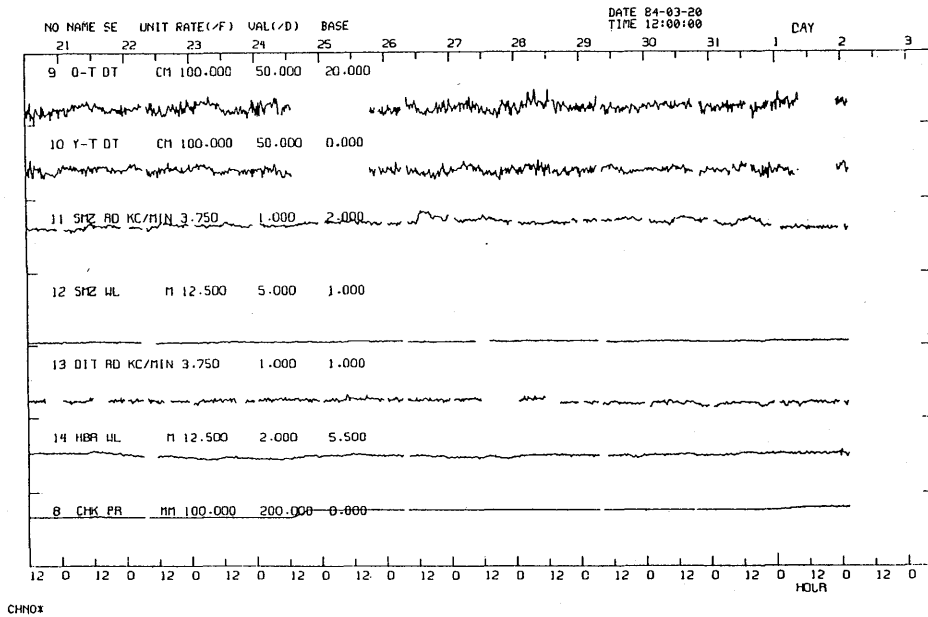


図2.4.1 C 地殻変動データの処理過程。
管面対話方式によるデータ処理を施した後のファイルの中味。

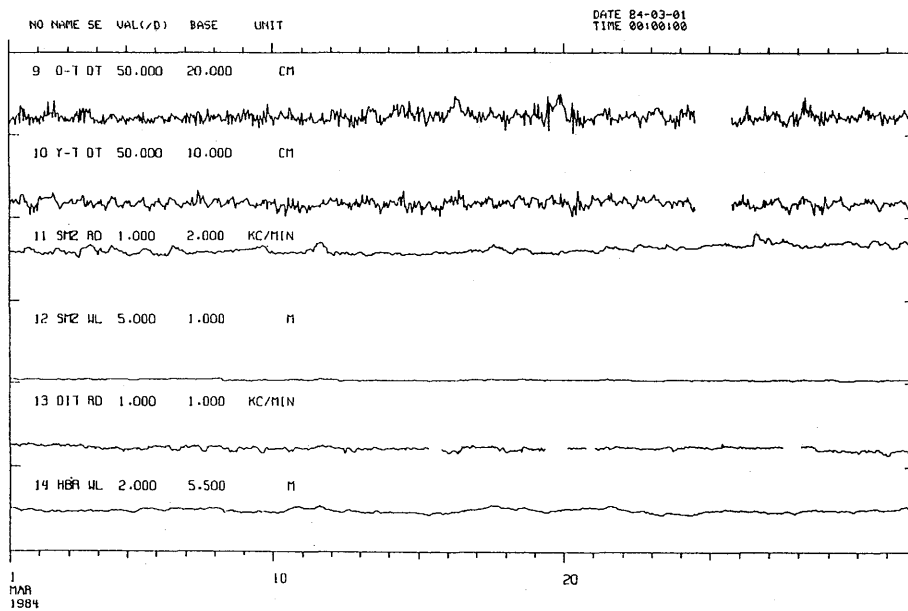


図2.4.1 D 地殻変動データ処理過程。
A, B, Cの処理を経た後に長期変動の追跡に用いるデータファイル
(毎1時間値)の中味。図2.4.2に示す各年値はこのファイルを使用。

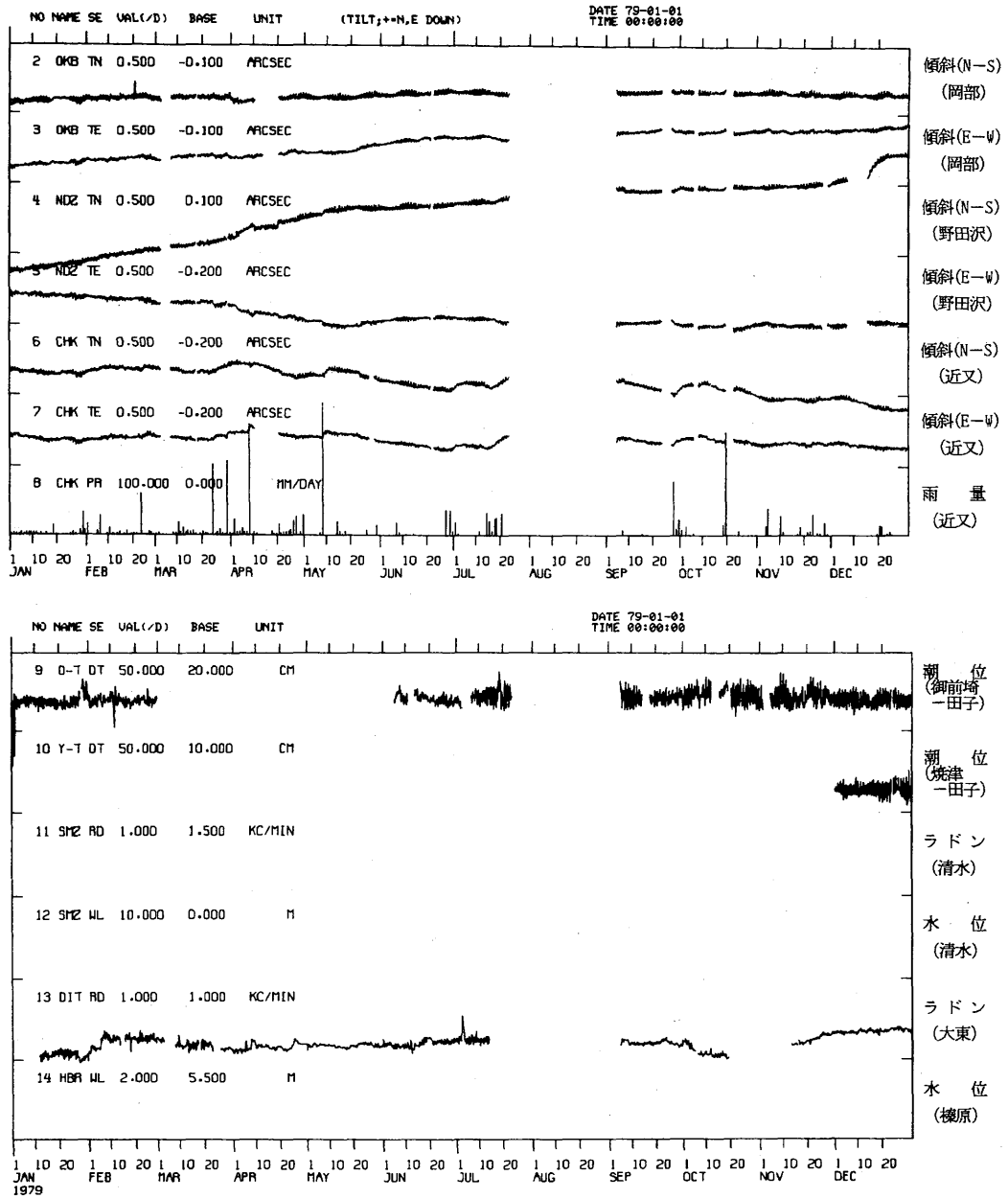


図 2.4.2 A 地殻変動データの処理結果 (1979 年)。

観測地点 (NAME) は、岡部 (OKB)、野田沢 (NDZ)、近又 (CHK)、御前崎と田子 (O-T)、焼津と田子 (Y-T)、清水 (SMZ)、大東 (DIT)、および榛原 (HBR) で、検出成分 (SE) は傾斜南北成分 (TN)、傾斜東西成分 (TE)、降水量 (PR)、潮位差 (DT)、ラドン濃度 (RD)、および地下水位 (WL) である。

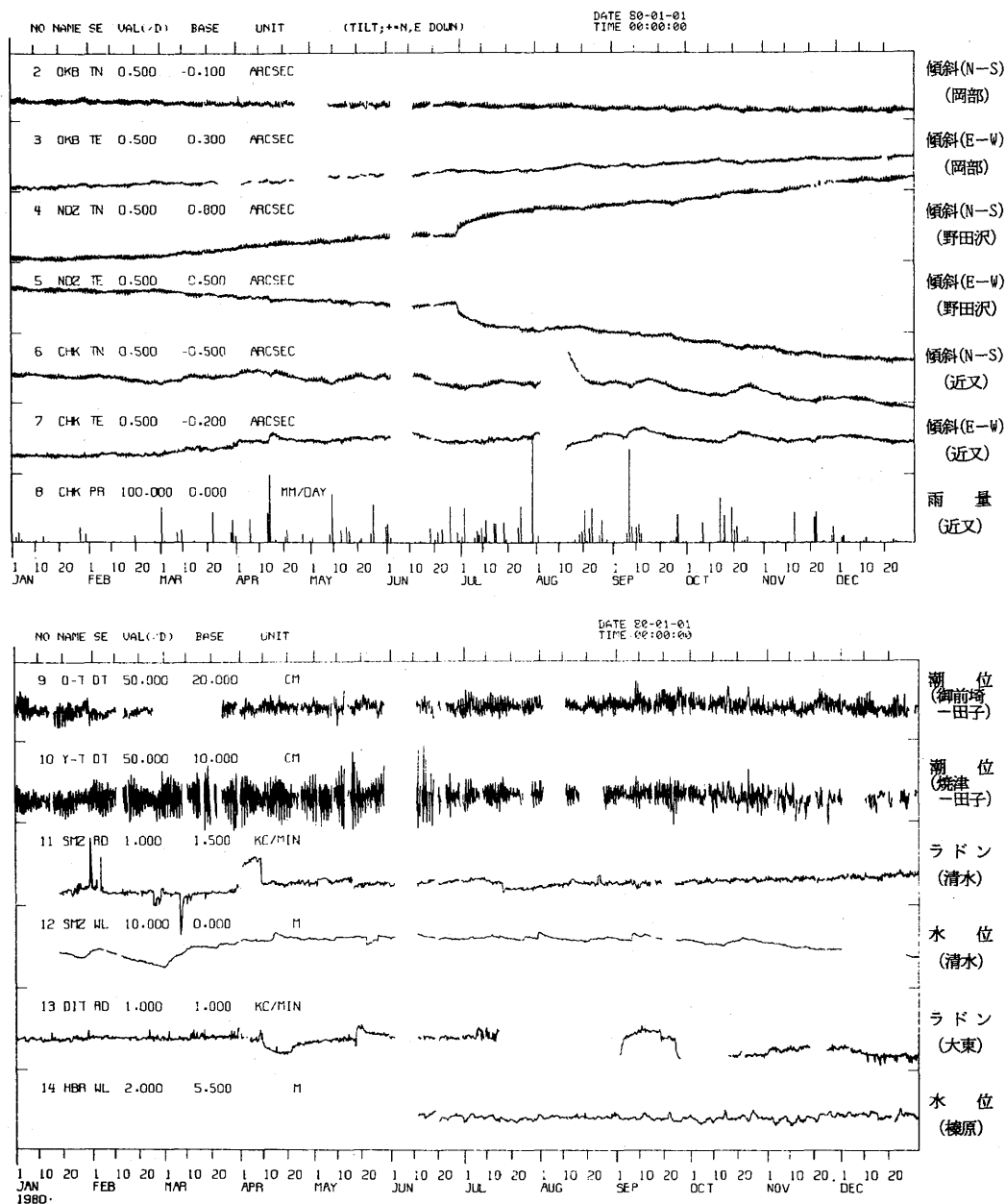


図2.4.2 B 地殻変動データの処理結果 (1980年)。

観測地点 (NAME) は、岡部 (OKB)、野田沢 (NDZ)、近又 (CHK)、御前崎と田子 (O-T)、焼津と田子 (Y-T)、清水 (SMZ)、大東 (DIT)、および榎原 (HBR) で、検出成分 (SE) は傾斜南北成分 (TN)、傾斜東西成分 (TE)、降水量 (PR)、潮位差 (DT)、ラドン濃度 (RD)、および地下水位 (WL) である。

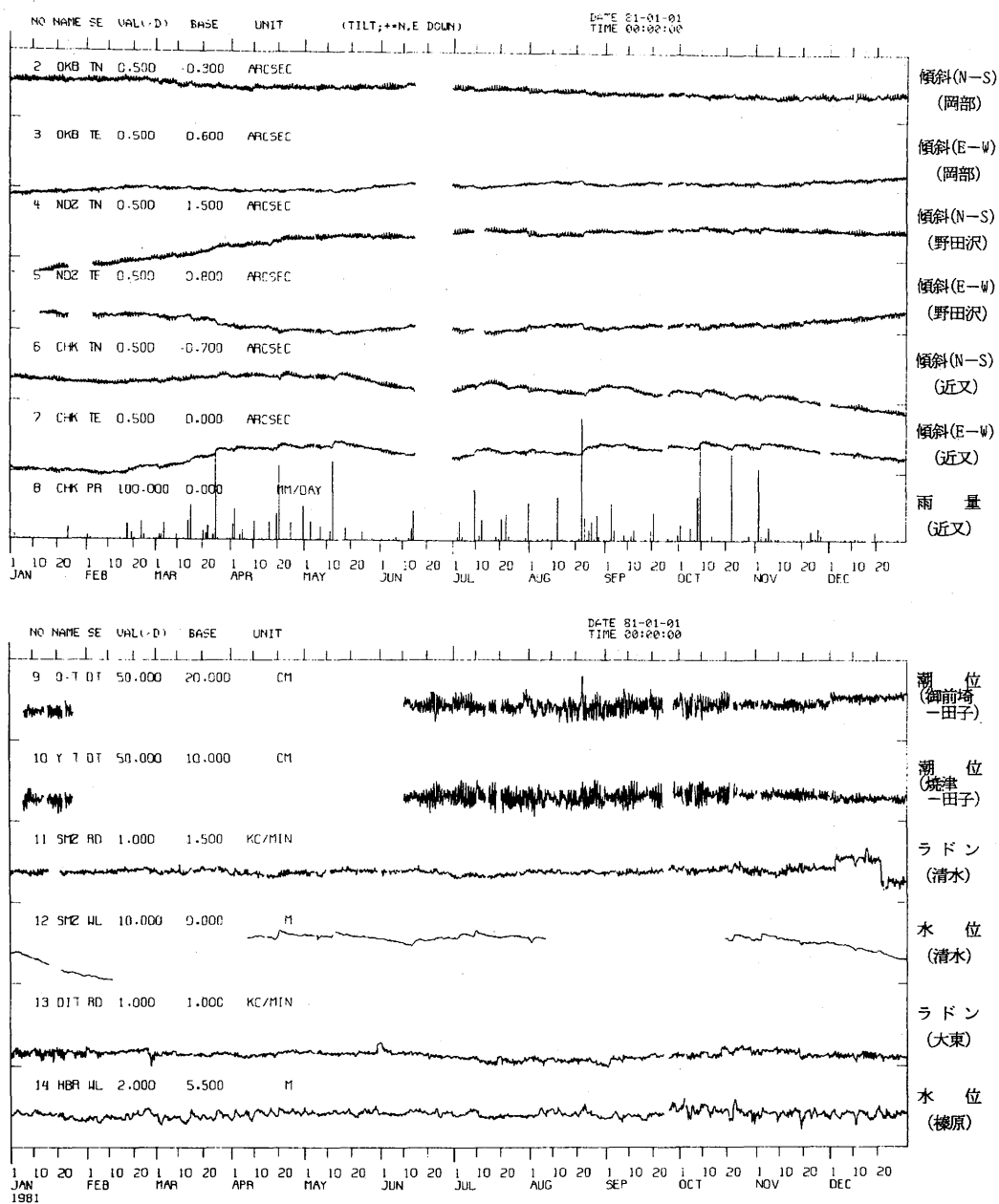


図 2.4.2 C 地殻変動データの処理結果 (1981 年)。

観測地点 (NAME) は、岡部 (OKB)、野田沢 (NDZ)、近又 (CHK)、御前崎と田子 (O-T)、焼津と田子 (Y-T)、清水 (SMZ)、大東 (DIT)、および榛原 (HBR) で、検出成分 (SE) は傾斜南北成分 (TN)、傾斜東西成分 (TE)、降水量 (PR)、潮位差 (DT)、ラドン濃度 (RD)、および地下水位 (WL) である。

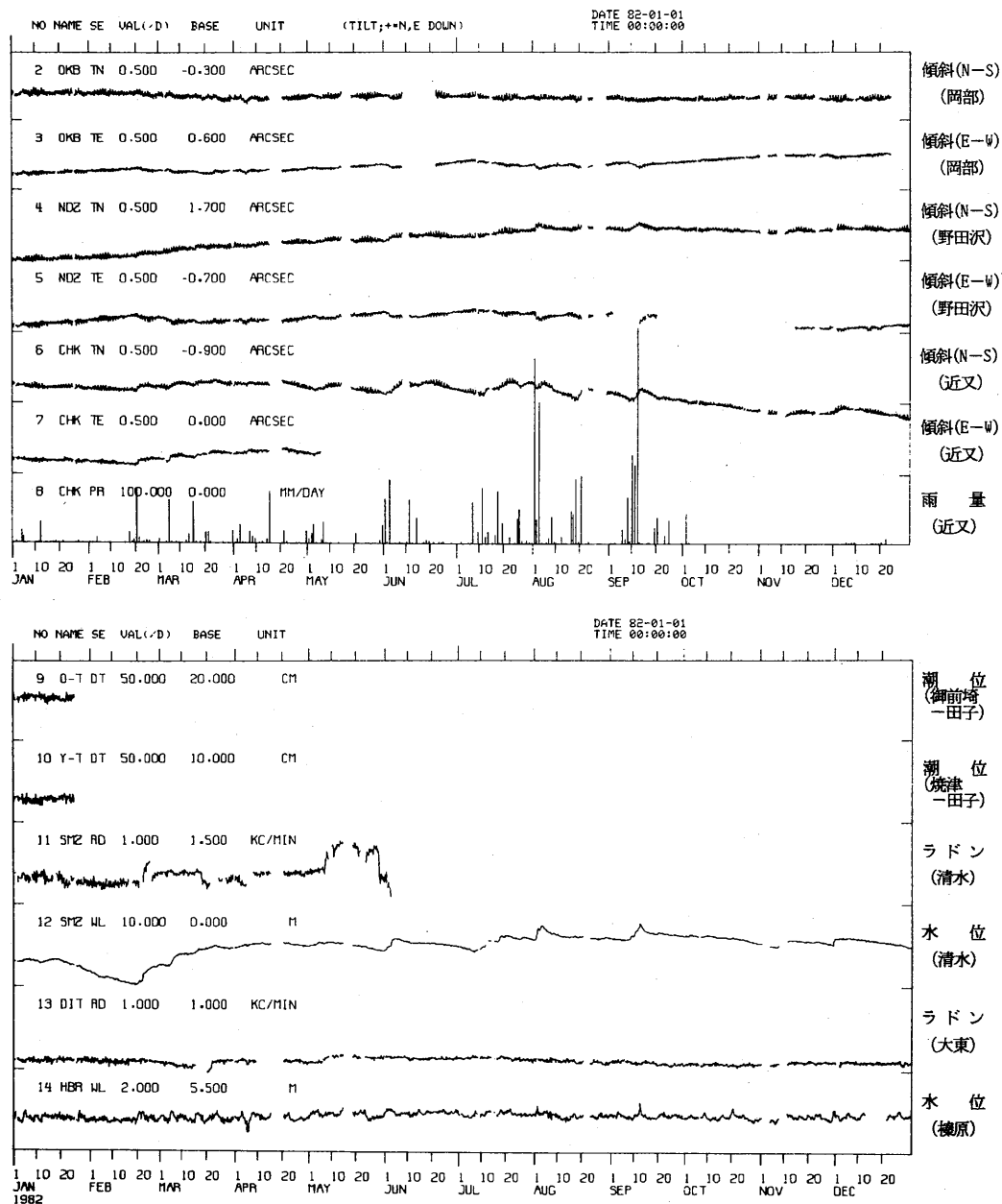


図 2.4.2 D 地殻変動データの処理結果 (1982 年)。

観測地点 (NAME) は、岡部 (OKB)、野田沢 (NDZ)、近又 (CHK)、御前崎と田子 (O-T)、焼津と田子 (Y-T)、清水 (SMZ)、大東 (DIT)、および榛原 (HBR) で、検出成分 (SE) は傾斜南北成分 (TN)、傾斜東西成分 (TE)、降水量 (PR)、潮位差 (DT)、ラドン濃度 (RD)、および地下水位 (WL) である。

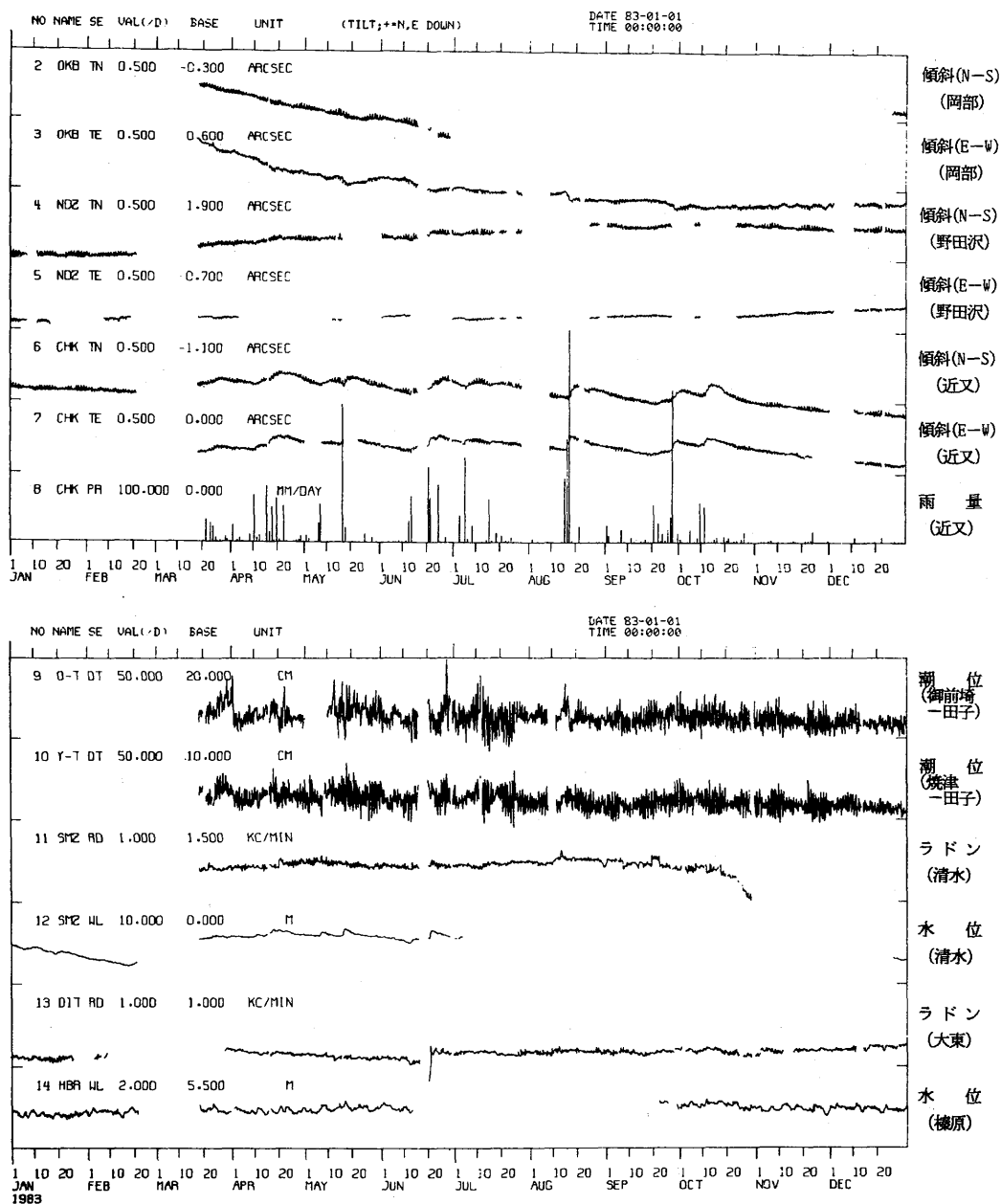


図2.4.2 E 地殻変動データの処理結果 (1983年)。

観測地点 (NAME) は、岡部 (OKB)、野田沢 (NDZ)、近又 (CHK)、御前崎と田子 (O-T)、焼津と田子 (Y-T)、清水 (SMZ)、大東 (DIT)、および榛原 (HBR) で、検出成分 (SE) は傾斜南北成分 (TN)、傾斜東西成分 (TE)、降水量 (PR)、潮位差 (DT)、ラドン濃度 (RD)、および地下水位 (WL) である。

は、オンラインでデータを処理装置に取り込むことになるので、データ収録関連の障害はほとんどなくなり、欠測は大幅に改善されることが期待できる。

処理装置関連の障害としては、記録再生装置の一部チャンネルの故障があり、その成分だけ欠測となったことがある。リアルタイムで処理しないので、この試験ではミニコン等の故障や点検保守は欠測を生じる原因とならなかったが、装置は年平均3回以上の障害が発生する可能性があり、この対策がかなり困難で設計の重要な力点となることが確認された。

また欠測として扱われていないが、ところどころに異常な変化を示すデータが見られる。時間軸を数10倍に拡大すると、これらはかなり滑らかに変化しており、定常業務的な処理過程では“測器の異常”かどうかを確認できなかった現象である。測器の異常を観測データだけから判別することが困難な場合が少なくないので、実用化の際には、観測を実施している機関と連絡を密にし、測器の作動状況を十分把握する必要があることを確認した。できれば毎時の観測値を観測機関から入手して、処理結果の相互チェックを行う手法が最も効果的なことも確認している。

傾斜や潮位差には潮汐成分がかなり含まれており、図2.4.2では短周期のノイズのように現われている。地殻変動の異常を監視するには、多くの場合潮汐成分を除去した方が好都合である。潮位差は基準面が安定しているので、通常の方法で潮汐定数を求め、天文潮を差し引けばよい。傾斜の場合はかなり大きなトレンドがあるので、それらを除いてから調和分析する必要がある。降水の影響などと比べ、潮汐は明確な現象であり、処理方法に本質的な問題はあまりないようである。なお、降水や気圧の影響を除去することは、各観測機関で試みられており、処理結果が地震予知連絡会等に報告されているが、画一的な手法を採用することはできないことが判った。

2.4.3 地震活動関連データの処理*

(1) 試験の背景

この研究は、できるだけ小さなハードウェア構成によって、地震活動監視に必要な機能をもれなく持たせることを目指して、研究を発足させたにもかかわらず、結果としては、装置の構成規模を大きくしなければ、信頼のおける処理機能を組み上げることは困難であるという結論を出さざるを得なかった。ここではこの経緯を、この実用試験の経過を辿りながら説明する。

地震波は既存の断層が滑ることによって発生し、震源ではかなり立ち上がりの急峻な弾性波として、波動エネルギーが放射されるものと想定されている。しかし、一般に観測点で観測される地震波動には、短周期成分の含有が少なく、地震波初動の波形は必ずしも立ち上がりのはっきりした形状を示すとは限らない。一方、地震の観測点、特に市街地に近接した観測点では、地点により多少の相違は認められるが、人間の活動に起因する振動や、気象状況等による自然現象を発生源とする

* 松本英照：地震火山研究部

振動が重畳して、常に地盤が揺れている。しかもその挙動は、その地点特有の地盤の共振現象により、到来する地震波動と類似した振動性状を示す例が多い。このため、小振幅の地震初動の到来を、その第1波目の立ち上がりから検出して、正確な初動時刻を求めるには、殆ど同振幅の地震波動と雑微動とを正確に区別する必要がある、かなり高度な判断を要する。

したがって、小さな地震から大きな地震まで、また近い地震から遠い地震に至るまでの全ての地震に対し、同じ精度で地震の初動を検測するには、ただ単純に振動の有無をチェックするのみでは、誤認が多く充分でない。また、スレッショールドを設けて到来を捉えた検測時刻をそのまま地震計算に使用した場合には、求められた震源の信頼度がかなり低下することは避けられないので、地震波の自動検測には、かなり高度な処理手法を用いる必要があるということは、関係者の常識となっている。

しかしながら、高度な処理には大型のコンピューターが必要となるので、コンピューター価格、特にメモリー価格の急激な下落が始まるまでは、何とか小さなコンピューターで自動処理を行うことができないものかと、小さなコンピューターを使った研究が、気象研究所をはじめとして、一時期地震観測を行っている各機関で一斉に採り上げられた。結果としては、現在気象庁が採用しているような人間介在の半自動処理の手法が、多くの機関で採用されたようである。

同じころ松本(1971、1977)は、小型のコンピューターとその補助装置を用いて、振動振幅の変化の検出による地震初動の全自動検測手法を考案し、その実用的価値について試験を行ったが、小規模な地震の自動検測装置による検測結果では、震央距離が遠くなるに従って急速に精度が低下し、それを用いて求めた震源の精度は、とても実用の域には達し得ないことを確認している。また、その後の研究、例えば菅原ら(1974)、渡辺・勝山(1975)、松村ら(1976)、渡辺ら(1977)などでは、松本の考案に改良を加えた手法で地震の自動検測の可能性を吟味し、これも人間介在の検測に完全には置き換え得ないことを確認して、実用化には踏み切っていない。

これに対し溝上(1974 a、1974 b)、溝上ら(1980)は、横田(1981)による統計的な予測手法を用いる地震初動の検出処理が、人間の判断よりも客観性のある判別能力を示し、さらに半自動検測に比べ、処理に要する時間をかなり短縮することができることを確認し、実用化に踏み切っている。しかしこの成果に対する、当時の国内関係者の評価はまちまちで、特に手法実現に必要なハードウェアの構成が大きすぎるものが、問題視されていたようである。

気象研究所は、時期的に菅原らの研究発表と、溝上等の研究発表との中間に、この研究計画を立て、開発に着手している。したがって、当初は振幅の変化により位相を同定する手法を更に洗練し、その検測値の評価・選別処理に力を入れることによって、震源の決定精度を向上させることを計画し、開発に着手した。これは当時の関連分野の開発状況から見て決して方針を過ったものではない。

しかしながら、その後の多くの研究、例えば、前田(1978)、松本(1977)、渡辺ら(1977)、Allen(1979)、Jonson(1979)、Mcevelly(1982)、Stevenson(1976)、Stewart(1977)などが明らかにして

いるように、この手法をいかに洗練したとしても、得られる検測精度は、原理的に熟練者の処理結果を上回ることはあり得ない。このようなことから、当初の研究方針では、若干の精度の劣化は、観測点の数と観測の能力の強化によって補うことを条件としていた。

すなわち、質の高い観測点を増強し、良質な信号のみによって得られる検測結果を震源計算に用い、評価結果の悪いデータは無視することを前提とした処理方式の開発を、目指していたのである。しかしながら、観測点の増強は仮定の条件であり、この条件を短期間に満たすことは容易ではない事が判明してきたので、研究途上で急処方針を変更し、研究計画の後半からは、システムの規模が膨らむことはあっても、現在の観測体制下で実現しうる方式として、横田の手法による検測処理を導入して、それに必要なソフトウェアとハードウェアの検討を併せ行った。このようなことから、開発のツールとして整備した処理システムは、振幅の変化を用いて初動を検測する前半の研究方針に最も適合した構成となっており、後半の研究方針による試験には、かなり機能的に欠ける面が見られている。また、後半の研究方針下では、前半の研究で得られた主要成果さえも、全く補助的な機能を分担するに過ぎなくなってしまった。

一般に、大型な構成を採用する場合には、装置の完全な二重化は現実的ではなく、故障対策がかなり重要な機能の一つとなる。それでここでは、前半の研究で得た成果を活かし、一刻の機能停止も許されない地震監視システムの機能を、システムが一部故障した時応急的に代行させる機構の一部として、この研究で開発した地震判別盤に重要な検測処理の代行を分担させることを検討し、提案をまとめる方針をきめた。

(2) ハードウェアの評価試験

前項でも述べたように、この開発は関連技術の進歩を反映して、着手時と研究の終了時点とでは、得られる検測精度と、震源計算の歩どまりに対する目標設定は大きく引き上げられた。これに対し、開発用に整備したツールの構成は、小規模な構成に即した処理手法の開発を目的とする初期の研究方針によって固定され、大容量のデータを用いた大規模な演算を要する変更後の開発目標に必要な構成へは変更できていない。

このため、変更後の目標を実現するための研究としては、信号処理に関連するアルゴリズム、及び各処理プログラム相互のインターフェイスの部分的な試験と、それに関連したハードウェア構成の検討に作業が限定され、現実には即した多様な多成分信号の入力手法、あるいはその入力を前提とした処理内容等については、机上の検討に止められている。機能別にハードウェアを区分し、試験の内容とその評価結果を以下に示す。なお、処理機能の評価は、必ずしもハードウェアのみによって決定するものではなく、むしろソフトウェア作成手順の巧拙に密接に関係する場合が多いが、ここでは可能なかぎり、両者の貢献度を分離し、ハードウェアの機能の評価に限定してとりまとめを行った。

1) 前処理装置 (地震判別盤)

前処理装置は、8085 型の CPU を主体としたマイクロプロセッサによって構成されており、この評価試験の大部分は、直接的に 8085 型 CPU の機能について評価すればよいものと考えていた。ところが企画したシステムでは、管理および操作性を強調するために、オペレーターとの会話処理を各所に採り入れたので、それらの殆どが直列の処理として組み込まれ、処理時間を大幅に消費してしまうことが判明した。OS (オペレーティングシステム、例えば CP/M あるいは MS/DOS 等) を持たないマイクロプロセッサから、リアルタイム処理で十分な機能を引き出すには困難があり、下手をすれば 8085 型 CPU の単体から期待される半分程度の処理機能しか引き出せない。

すなわち、高いサンプリングレートで信号を入力しながら、その信号に予定したすべての処理を施していくためには、許容処理時間内には、たかだか 4～5 種のリアルタイム演算処理しか組み込めないことが、実験により確認されている。このことは、第 1 世代のマイクロプロセッサの用途の限界を示すとともに、リアルタイム処理のように、処理時間の制約の強い処理に多くの機能を盛り込むには、現状ではまだ、ファームウェアと OS の完備した大型のシステムの使用が必要なことを意味している。

このようなことから、前処理装置で行うことを予定していた S 波の検出処理は、後続のミニコンによる処理へ移行させ、前処理装置では、1 次・2 次の地震判定として、振動振幅の変化の検出と、周期および上下・水平成分の振幅比を用いた地震初動の判定処理と、地震動終止の検出処理のみに機能を限定し、機能試験を行った。これにより、地震の初動については、従来の検出手法に比べ、かなり高い確度で判別できることが確かめられた。

このことは、すでに述べた用途、例えば大型構成の監視システムのバックアップ処理に、この装置を用いれば、有効に機能を発揮することを約束するものであり、前処理装置としては期待どおりの機能を得るには至らなかったが、バックアップ装置の一部として、重要な機能を果たす装置を開発したものと評価できよう。

この間に行った主な試験は

i) 処理速度の限界試験

常数の設定条件をいろいろに変え、組み込んだプログラムの実行に要する時間を測定して、プログラムリストから算定した処理時間と比較し、ハードウェア単体あるいはそれらの組合せによる演算時間を合成した値と、実行速度との間に大きな差は生じていないか、またプログラムの組み込み量の限界設定に、問題はないか等について試験した。その結果は、予想どおり、許容される最大許容時間の約 90% 程度が、処理の実行で消化されていることが判明し、マイクロプロセッサを用いた前処理装置として、地震判別処理の内容を限定した方針が、正しい選択であることが証明された。

ii) 常数設定機能の試験

処理に必要な常数を、各観測点の信号の状況に応じて設定し、処理の結果を評価した。その結果、デジタルスイッチによる観測点毎の常数の設定方式が、期待どおり有効であり、しかも操作性の

面から望ましい方式であることを確認した。

なお、処理に必要な時間の評価と併行して、1成分の信号処理に1台のプロセッサを充当する方式について検討し、8085クラスのCPUを用いたマイクロプロセッサでも、この開発で採り上げている処理の他に、振動振幅の変化を用いて、S波を検出する程度の処理の追加は可能なことが分かった。しかし、その検出の確度は、組み込みうるプログラムの量から推察して、あまり期待できないことも確認された。一方、新しい高性能マイクロプロセッサの開発と、それに伴う処理機能の向上は急速であり、加えてそれらに組み込まれるOSの開発も進んできている。これらの技術は、例えば比較的近距離の地震を対象とする、直下型地震予知のための野外の観測で得られる地震波形信号等を、簡易に自動処理するのに応用できるので、この技術をまた同規模のシステムとして開発する必要が近い将来に必ず生じるものと予想される。その場合に、この開発で得た経験は、ハードウェアとソフトウェアの双方の設計に直接役立つことが期待される。

2) 主処理装置

監視システムの機能を決定し主要な処理を分担するミニコンと、それによる総合的な評価試験の結果について報告する。

用いるコンピューターの規模の選択は、コンピューターの大型化と相対価格の下落に伴って、めまぐるしく変貌してきている。すなわち、小型でしかも高価なコンピューターの使用しか許されなかった時代には、殆ど選択の余地がなく、あてがわれたハードウェア構成下で、アルゴリズムの創作と同様に、いかに大きな処理までこなすかといった、エンドユーザーによるハードウェア機能の特異な活用手法の創作も、関係者から高い評価を受けていた。しかし最近では、その種の創作にエンドユーザーが時間を費やすよりむしろ、より便利な大型機を導入し、その労力を結果の優劣に関係するアルゴリズムの創作に向ける方が、より建設的であると認識されるようになってきている。

この開発でツールとして用いたミニコンは、主メモリーが360 KB、ディスク容量が60 MBといった構成となっており、昭和50年代初期のミニコンとすれば、かなり大きな構成に属する装置であった。管理プログラムや組み込みの処理プログラムも整っていたので、かなりの処理能力を期待し、少なくとも監視に必要な情報はすべてリアルタイムでファイルしていくことを目指して、開発に着手したものである。しかし、振り返って見ると、自動処理によって得られる検出情報の精度向上の限界に挑戦するといった面では、開発の方針に積極性が欠けていたことは、認めざるを得ない。

このようなことから当初は、処理の質を高めることよりはむしろ、できるだけ多くの処理をこなすための手順の開発に重点が置かれていた。すなわち地殻変動・地震活動の双方をリアルタイムで監視するための機能として、コンピューターの主メモリーを分割し、最低限次の5種類の処理を同時にこなす機能の実現を目指した。

- i) 地殻変動データの入力と監視
- ii) 地震発生の判定と地震波形データの入力

- iii) オンラインの震源計算とその評価及び再検測再計算の制御
- iv) 地殻変動データの編集・検測と地震波形データの再検測及び計算結果の再編集
- v) 集録データを用いた各種の解析・処理とその出力表示

これら各種の処理プログラムを組み込み、ハードウェアとソフトウェアの両面から機能試験を行うことを計画した。この試験に際しては、ハードウェアの構成面では、試験用という理由で、それぞれの処理で必要とする入出力装置の全数は用意されておらず、共通するものは切替使用を前提としているので、全機能の同時評価の試験を行うことは原理的に不可能であった。

したがってここでは、個々の処理あるいは組み合わせが可能な最大3種までの処理の、同時試験の結果に基づいてのみ評価を行う。

ハードウェアの構成に関する主な評価は、次のとおりである。

i) 地殻変動データの入力と監視に関してはメモリーを約56KB割り当てて実験を行った。データの入力速度が遅く入力成分数も少なかったので、リアルタイム処理に特に大きな問題は起きていない。なお、データの入力手法に地震活動とは異なる方式を採用して実験することによって、地殻変動データの受信端末とのインターフェイスには、ルーズカップル方式（通信結合方式）の採用も可能なことが確認された。

ii) 地震発生を検出と波形信号の入力処理には、約78KBのメモリーを割り当てて実験を行った。この処理は、地震活動の監視に必要な処理に対する、ミニコンの窓口ともいえるべき処理であり、この処理が信頼ができなければ、処理系全体の機能は麻痺してしまう。入出力制御装置を介したミニコンと地震判別装置との情報交換、あるいは信号遅延装置との信号の授受は、この開発のハードウェア構成上の一つの重要検討事項であったが、マイクロプロセッサとミニコンの結合手法に関する周辺技術が進んだので、ハードウェアの設計手法には特に問題がないことが確認された。

iii) オンラインの震源計算とその結果の評価等に関する処理には、約110KBのメモリーを割り当てて実験を行った。震源計算には一般に、80KB程度を割り当てれば正常に演算が進むと思われていたので、走時表をメモリーに搭載しない形式の演算プログラムを用いて実験を行った。実験に際し、不良検測データが混じり、震源の解が求めにくい状況が生じた場合に、震源計算は不能と判断ができるまでに5分以上を経過し、1地震あたりの処理時間を3分以内という当初の計画どおりに、処理が終了しない現象が多発した。原因は、震源計算のプログラムにオーバーレイ構造を用いたため、それがディスクアクセスの面で他のリアルタイム処理と競合し、演算効率が低下したことによることが確認された。これは単にソフトウェア構成手法だけの問題ではなく、ハードウェアの構成、特にメモリー領域に、走時表までを搭載して実行させることが、最も良い解決法であることを示唆する。

一方、初動検出のための、AR法による地震波形の精密検測には、最も計算量の少ない簡易な手法を用いても、この開発ツールの演算速度では、16成分の入力全信号を対象にリアルタイム処理する

ことは不可能なことが判明したので、この開発研究ではとりあえず、区間を指定し限定した成分に対する検測のみで、この検測プログラムの実験と評価を行い、必要な演算時間を推算した。

iv) 地殻変動データの編集、検測と地震波形データの再検測、及びデータ再編集に当っては、約90 KBのメモリーを割り当て、バッチ処理は、全てこのメモリー領域を使用して試験を実施した。

バッチ処理であり、しかもごく普通の計算処理を行っているだけなので、ハードウェア面で特に問題は生じていないが、入出力装置の不足が処理作業に混乱を与えるのみならず、誤操作を誘発して、時にはリアルタイムの処理を停止させてしまうことを経験した。実用システムでは、主要な処理には専用の入出力装置を十分に割り当てる方針を採る必要があることを確認した。

v) 収録データを用いた各種の解析処理の出力表示には、残り約15 KBを割り当て、オンラインの定型情報出力の印刷処理と共用し、リアルタイム処理とバッチ処理の双方から同一の入出力装置を使用する手法の実験を採り上げた。前項同様に、入出力装置の不足が作成時期の異なるプログラムの稼動に混乱をもたらしたが、本質的な問題は発見されていない。

なお、検測に係る評価は全プログラムの一斉稼動が不可能であったので、完全な評価となり得ないことが判った。したがって、この件に関しては、紙面を替えて報告する。

参 考 文 献

- 前田 函、1978：地震・地殻変動テレメーターデータ処理装置、北海道大学理学部地震予知観測センター、地震観測センター速報、3、1-7。
- 松本英照、1977：自動処理システムについて（その1）—処理能力—、和歌山微小地震観測所季報、15、1-4。
- 松村正三、浜田和郎、1976：計算機による地震波の自動読取りについて、地震2、29、383-394。
- 溝上 恵、1974：テレメーター化にともなう地震処理システムについての検討、和歌山微小地震観測所季報、2、7-33。
- 溝上 恵、1974：テレメーター化にともなう地震データ処理システムについての検討その2、ソフトウェアシステム、和歌山微小地震観測所季報、3、34-43。
- 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。
- 菅原正己、勝山ヨシ子、大村一夫、福井隆文、1974：微小地震の自動検出手法について、国立防災科学技術センター研究報告、9、1-9。
- 渡辺一郎、勝山ヨシ子、1975：微小地震の自動検出手法について（第2報）、国立防災科学技術センター研究報告、12、27-51。
- 渡辺 晃、黒磯章夫、1977：阿武山地震観測所における微小地震の自動処理について、地震2、30、115-118。
- 横田 崇、1981：地震波信号の時系列解析と自動検出処理への適用、A Thesis Submitted to the University of Tokyo, for the Degree of Doctor of Science.

- Allen, R. V., 1978 : Automatic earthquakes recognition and timing from signal traces. Bull. Seism. Soc. Am., **68**, 1521-1532.
- Jonson, C. E., 1979 : CEDAR-An approach to the computer automation of shortperiod local seismic networks. In Partial Fulfilment of the Degree of Doctor of Philosophy, Calif. Inst. Tech.
- Mcevilly, T. V. and Majer, E. L., 1982 : ASP : Automated seismic processor for microearthquake networks. Bull. Seism. Soc. Am., **72**, 303-325.
- Stevenson, P. R., 1976 : Microearthquake at Flathead Lake, Montana, study using automatic earthquake Processing. Bull. Seism. Soc. Am., **66**, 61-80.
- Stewart, S. W., 1977 : Real-time detection and location of local seismic events in central california. Bull. Seism. Soc. Am., **67**, 433-452.

2.5 まとめ*

2.5.1 実験の終了にあたって

予知の手段として策定され、試行錯誤を重ねてきた各種の観測とそのデータ処理手法は、理論的な研究の進展と周辺技術の向上に支えられ、急速な変貌を遂げつつある。このようなことから気象庁の地震業務は、これらの洗練された手法を反映させて、高度な観測 [気象研究所 (1983)] と処理装置の早急な再整備に取り組まなければ、地震予知に対する気象庁への社会的信頼への裏切になりかねない状況となってきた。

この研究は、進展を続ける観測・処理の技法とそれに関連する予知手法とを吟味して、業務の永年計画へ資するとともに、関連する研究・開発の将来予測も採り上げ、それによって浮上してきた新しい技術の開発を手掛けたものである。

この間にも、処理に用いるコンピュータのコストパフォーマンスは向上し、装置規模に関する経済的な制約も僅かながら緩和されてきた。したがって、関連機関でのリアルタイムデータ処理技術の開発対象は、ハードウェアを小規模にするための迫及よりはむしろ、ハードウェア規模にはこだわらない高度な処理論理の追求へと移行していったようである。

このため、この期間中に大学での研究が実り、実用化のための追試を行う段階に至った処理手法の多くは、処理精度の面で格段の進歩を示す一方、用いる装置には、だんだん大規模な構成を必要とするようになってきている。このような状況下で、5年先を予測して業務用の監視装置のシステム設計を行うためには、かなり大胆な意識の革命を必要とし、機能やハードウェア構成には、未来予測も取り入れ斬新な目標を設定することが求められる。

* 松本英照：地震火山研究部

さいわい、大学で最新の技術開発に携わり、未来予測に必要な情報と、コンピューターの新しい利用感覚を修得してきた研究者の参加を得たので、これらの問題を一挙に解決して開発作業を終了させ、59年度からはその成果を、気象庁の業務計画に反映させるための作業へ取り組んでいる。その際に行った整備目標の設計（概念設計）は、この研究の重要な成果の1つであり、これには一般の研究とは異なった面で、特に厳しい時代の先取り感覚と緻密な未来予測の成果が盛り込まれ、少なくとも、5年以上は陳腐化することのない策定を行い得たことを確信している。

これらの策定の背景を示すために2.5.2～2.5.4項では、主として関連各機関のデータ処理体制の動向について報告し、気象研究所の研究の位置づけを行ってみたい。

2.5.2 地震波形処理技術のあゆみ

ウィーヘルト地震計や強震計が、地震観測の主力となっていた昭和30年以前には、観測される地震の数は少なく、全国を対象とした気象庁の観測網でさえも、震源の決められる地震の数は、月平均で10個にも及ばなかった。これに対し、昭和30年以降は、微小な地震までを対象とした研究が脚光を浴び、電子機器を用いた高感度な観測が普及し、更にその研究成果が認められて地震予知の計画に盛り込まれるに至って、観測される地震数は飛躍的に増大した。気象庁を例にとってみても、決定される震源の数は、月平均で300個を超え、検測作業を人力のみに依ることは困難になってきている。

このようなことから地震予知に関連して、微小地震を対象とした観測を展開してきた各研究機関では、観測と検測を規格化し、検測結果の普遍性を高め、個人差の原因となる人間の介在を除去した検測を行う手法を確立したいという願望と、検測に要する研究者の労力を軽減したいという願望にせまられて、長い年月をかけかなりの数の研究者〔例えば、浜口・鈴木（1979）、渡辺ら（1976）、横田（1981）、森田ら（1984）〕が、関連の研究に取り込んできている。

Matumoto(1966)は1966年に、殆ど無数に近く発生していた松代の群発微小地震を観測するために、ハードロジック回路を組み合わせて構成した装置を用いて、初動時刻・S波到着時刻、地震波の到来方向、終止時刻等を活字で出力する装置を開発した。これが日本で最初に、地震波信号のオンラインリアルタイム方式による自動検測を手掛けた研究と言えよう。その後松本ら（1971）および松本（1977）は、1967年から、主メモリーが約4KBの小型のミニコンを用い、前出の処理内容をコンピューター処理に置き換え、処理の追加と精度の向上に成功したが、必要な精度と信頼度を得るには至らなかった。

1970年以降になって、関連の各大学のうち、京都大学が簡易なオンライン方式〔渡辺ら（1977）〕、東北大学が可視記録を介在させたオフライン方式で、地震検測の補助装置を開発し、地震波形自動処理の実用化の口火を切っている。気象研究所では、地震波形をグラフィックディスプレイの管面上で検測し、その読み取り結果を直接震源計算に連動させる手法を市川（1980）および市川ら（1980）

が、昭和45年度から4年の年月をかけて開発し、半自動検測装置の整備計画に反映させ、49年度から気象庁の地震の検測業務に用いている。

ここでこれらの開発を、地震波形自動処理技術の進展過程における第1期と定義すれば、1979年から年次を追って整備されてきた各大学の処理システムは、技術的な内容あるいは装置規模の面から見て、かなり異質な開発、すなわち第2期の開発として位置づけることができる。関連大学における、第1期と第2期の開発の主な相違点は、第1期に開発された処理システムでは、主メモリーが16キロワード程度の、第1世代のミニコンを用いた簡易な処理に限定されて、しかもまだ人間の介入を条件としていたのに対し、第2期の開発では、主メモリーが500 KBを超え、更に補助メモリーとして、100 MBを超える容量のディスクを備えた大型でしかも複数の、第2あるいは第3世代のミニコンを用いて、かなり高度な処理を行い、人間の介入なしでもかなりの処理をこなすようになってきていることである。

これに比較すると、国立防災科学センターでは、一つの機関としては、観測網の規模が、単独の大学の観測点の3倍を超えるようになったので、現在使用中の第1期の自動処理装置では、しばしば定常処理に支障を来すようになった。そのため第2期の装置として、汎用の中型機を含む大構成な処理システムを計画する等、大量データの処理といった面では、大学とは一味異なった開発に取り組んでいる。

この間気象庁では、資料伝送網の整備が進められ、その結果、管区气象台単位で管面表示法による半自動検測が行われるようになり、地方官署を含めたコンピューターによる波形処理のシステムの基盤が、ようやくでき上がってきている。

表2.5.1に、地震予知に関連する研究機関の、地震波形処理システムの整備状況を示す。この表から分るように、整備年次の相違によって、使用するコンピューターが、第2世代の16ビットのミニコンから、第3世代の32ビットミニコン、あるいは汎用コンピューターへと移行しつつあることが、この数年間における処理手法の変化を反映して特徴的である。地震波形処理技術の開発は、研究観測に携わる研究者によって手掛けられ、その実用性が確認されてから、業務観測へ移植されているといった面では、理想的な研究開発課程を踏んで、研究と業務の調和が図られながら進歩してきており、処理の規格化といった面では、ほぼ満足できるレベルにまで達したものと評価できる。

気象庁は、大学等の研究機関とは異なり、地震予知の最前線で、観測とそれによって得られる処理情報によって、大規模地震発生の可能性を常時監視することが求められている。このためには、客観性のある処理結果をいつでも即時に提供できる体制の、緊急な整備が必要であり、よい観測システムと、よい処理システムを車の両輪として、名実ともに地震予知の責任を全うする体制を確立する必要がある。そのための技術的な裏付けは、この研究によって着実に補強され、最新技術の導入も十分に検討されたので、自動検測技術とコンピューターの利用技術の先端に位置づけられる装置を、設計することが可能となったと判断している。

表 2.5.1 関連研究機関における地震波自動検測システムの整備状況

	装置規模	観測点数	整備年度	備考
北海道大学	MS-190(NEC) 1台 小型ミニコン 1台	15(自己)+8(他機関)	昭和58年度 昭和59年度	MS-190…スーパーミニコン
東北大学	OKITACSYSTM 50-60 2台 OKITAC V-65 1台	19(自己)+16(他機関)	昭和56年度 昭和57年度	
東京大学 地震研究所 南海道ネット	MS-50(NEC) 3台 MS-50 3台	17(自己)+24(他機関) 16(自己)+8(他機関)	昭和54~55年度 昭和56~57年度	
名古屋大学	ECLIPSE-S 140(DG) 1台 NOVA-3 (DG) 1台 MP-100(DG) 1台	16(自己)+18(他機関)	昭和55~56年度	DG: データジェネラル社
京都大学 理学部	OKITACSYSTM 50-60 1台 MP-85(OKI) 6台	12(自己)+12(他機関)	昭和55~56年度	
京都大学 防災研究所	E-800(HITACHI) 2台	21(自己)+9(他機関)	昭和58年度	E-800…スーパーミニコン
科学技術庁 防災センター	汎用中型 1台 スーパーミニコン 2台	地震計 66 傾斜計 23 歪計 2	昭和59~ 年度	59年度に設計開始・詳細未定
CALTEC (バサディナ)	NOVA-820(DG) 1台 ECLIPSE-S 230(DG) 1台	最 高 140	昭和51~54年度	南カリフォルニア観測網
UCB (バークレイ)	VAX-11(DE) 1台 1802(RCA)	最 高 127	昭和54~57年度	商品名Q-LOGとして発売 北カリフォルニア観測網 DE: デジタルエキュメント社

2.5.3 処理技術の展望

オンライン処理に適したコンピューターとして、昭和40年代の初期に日本にも登場してきた第1世代のミニコンは、主メモリーとして4キロワード、補助メモリーや管理プログラム(OS)がなく、入出力装置は紙テープリーダーとテレタイプといった程度の構成が多かった。これらの装置は速度も遅く、周辺機器も少ないので、現在では殆ど個人の専用機化しているハンドヘルドクラスのコンピューターにも及ばない機能しか発揮できなかったが、価格は数百万円以上もして、研究機関でも容易に購入することはできなかったようである。

それが、約20年を経た今日では、既にメモリー1MB以下の第2世代のミニコンの時代も終期を迎え、第2世代の代表的なものとして一世を風びした、DEC社のPDPシリーズのミニコンさえも殆ど姿を消して、現在では第3世代ミニコンのトップバッターとして登場してきた、同社のVAX-11に置き換えられつつある。さらに最近はそのVAX-11代表される処理速度1MIPS*クラスのスーパーミニコンさえも、計算速度の面ではそろそろ時代遅れといわれるようになってきている。

このように、コンピューターの世代交代は、急速である。また、要求される処理の内容は年々複

*MIPS: 毎秒1,000,000命令を実行する速度。

雑化し、OSの巨大化もあって、必要な主メモリーサイズが大きくなっていく傾向が強い。さらに、処理の高度化に伴い、データ等を蓄えるために必要な補助的なメモリー容量も年々増大し、光ディスクが出現するに至って、ミニコン使用の処理システムでも、ギガバイト単位の補助メモリーを実装することは、技術的にも経済的にもかなり容易となってきた。

一方、マイクロプロセッサの開発競争も激しく、これを応用した多機能な処理装置も容易に入手できる状況になってきた。通信制御あるいは図形表示等、従来はコンピューターの稼働率を低下させることで敬遠されていた処理を、マイクロコンピューターに分担されることにより、ホストコンピューターの負荷を軽減させる手法もかなり普及してきている〔檜皮ら(1980)〕。

このように、マイクロコンピューターもミニコンピューターも、それぞれ得意な分野での機能は限りなく前進を続けている。そこで、これらを組み合わせて通信系と処理系を一体化し、効率よく地震活動を監視するかなり大規模なシステムを構成することは容易であり、一連のリアルタイム処理を経てデータベースを作成し、即時的な大地震発生の可能性の判定に役立てることは、夢ではなくなってきた。

2.5.4 データ処理体制の強化にむけて

この小節では、これまでに行ったこれらの技術検討にそって、将来の業務に向けた地震活動総合監視システムの導入に関する問題点を概観してみよう。

気象研究所の開発目標が、当初計画に比べより高性能を求める方向へ途中で修正せざるを得なかった事情が物語るように、最近の関連技術の進歩速度には目を見張るものがあり、従来より大幅に関連技術の将来予測が困難となっていることをこの研究報告から読み取って頂ければ幸いである。またこのような経緯を反面教師として、今後この種の大型な整備計画を立てる場合には、可能な限り、斬新な装置と新しい手法を取り入れる努力が必要なことをまず提言しておきたい。また、最近の社会通念として、良くも悪くもコンピューターの導入に際しては、ほぼ5年間という耐用期間が常識化してきており、これを超えて使用する場合は、機能は陳腐化し、保守の困難さが増大してくる可能性が強く、これを避けるためにも、最も新しい装置の採用が必要である。この2点の主張は、可能な限り既存の技術と使い込まれた装置を採用するといった、従来の業務的な観測、処理装置の設計方針とは、大きく矛盾するものであるが、この開発研究で得た重要な結論であるから、あえて問題点としてあげておこう。

次に、採用すべきコンピューターの条件についてまとめてみよう。気象庁では、管区气象台単位で業務を分担し、機能を分散することによって、不事の障害対策を画ってきているので、ここではとりあえず、特に緊急性の高い東京地区に設置すべき処理システムの構成について、考察することとする。

東京管区气象台の分担地区には、地震予知に関連して2つの観測強化地域(内1つは地震防災対

策強化地域)が指定されているが、データの集中あるいは処理に関しては、この2つの地域を1つの観測・処理ユニットにまとめて装置全体を管理運営することが効率的である。この場合、処理システムに入力される観測信号の成分数は、今後の整備予定を含めると、地震波形信号で300成分以上、地殻変動信号で300成分以上が想定されている。

気象庁内には現在地震予知関連の観測データとして、Lアデスによる津波監視・地震調査用の信号に、東海・南関東の強化特別観測の信号が加えられ、更に関連他機関から提供される多種・多様な信号が収集されている。これらの信号は、整備年代あるいは提供機関の相違によって、データの形態あるいはサンプリング数等が異なっているが、コンピューターによる一括処理を望むならば、これらは統一することが必要である。

このようなことから、データの形式を統一することを前提に、発生するデータ量を計算してみると、例えば、地震波形データを毎秒100サンプリング、地殻変動データを毎秒1サンプリングとした場合には、1秒間に60KB以上のデータが発生するので、少なくともその30秒から40秒間のデータエリア、すなわち1MB以上のメモリーを持つコンピューターを必要とすることがわかる。一方、保存を必要とするデータ量は、抜取の地震波形データ(20~30地震分)で約100MB/日、連続の地殻変動データで約50MB/日程度が想定されるので、コンピューターには、このような大容量データの管理プログラムと、補助メモリー装置の運用プログラムを具えていることが必要となる。

さらに、100サンプリング/秒、300成分のデータに対し、そのサンプリング間隔内にリアルタイムで1つの処理を行うだけでも、単純計算で約3MIPSの計算速度を必要とする。もちろん、実際には処理手順を工夫し不要データの間引き使用あるいは大量データの一括処理等を行って、必要な計算速度を低く抑えることはできるが、本質的にかなり高速な演算を必要とすることには変りはなく、これは使用するコンピューターに課せられる絶対的な条件である。

以上、3つの条件を満たすには、現状ではまだ汎用コンピューター(メインフレーム)か、特定のスーパーミニコンの使用が必要であるが、この研究での検討では、複数のスーパーミニコンの使用が望ましいという結論を得ている。

最近、中型のメインフレームとスーパーミニコン、あるいは小型ミニコンと新型のパソコン相互では、演算機能の面では徐々に差がつまってきた。このため、最近ではメーカーのカタログ等に表示される機種の使用区分の指針には、処理内容と適応機種の区分境界は明確さが欠けるようになってきている。しかし、メインフレームはあくまでも演算の高速化と大規模演算の実現を追求することによって成長してきた機種であり、リアルタイム処理に関する機能と、そのソフトウェアのサポート強化への取り組みは、むしろ避けて来た経緯がある。したがって、リアルタイム処理を主としたシステムを組む場合には、コストパフォーマンスの面で制御用として誕生し成長してきたミニコンの方が優れている。

一方、パソコンを含むマイクロプロセッサの機能は急速に拡張されつつあり、ハードウェア面

でのミニコンとパソコンの機能差は、ミニコンが追い上げられることは間違いない。しかし、ミニコンには約20年の稼動実績があって膨大なソフトウェアの蓄積があり、それらを総合した機能を評価すれば、オンラインリアルタイム処理に関するミニコンの優位は当面は動かし難いものと思われる。

このような理由から、新しい整備に際しては、スーパーミニコンによって必要な機能を得ることが望ましいものと判断した。スーパーミニコンで使用不可能な入出力装置や、インターフェイス技術を検討し、得た結論のとりまとめを、図2.1.3に示した構成の決定に反映させ、研究成果の活用を図った。

以上、気象庁の地震予知に関係したデータ処理体制の強化に必要な問題を検討し、まとめてみたが、これらはあくまでも技術面からみた提言であり、運用その他に関して、変更を要する部分も当然起きるであろう。

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、藤沢 格、吉田 弘、1980：震源計算処理と処理結果、*験震時報*、**44**、75-85。
- 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、文部省自然災害特別研究成果、No. A-54-2、62-83。
- 檜皮久義、柏原静雄、浜田信生、1980：マイクロコンピュータを地震観測に応用する試みについて、*験震時報*、**45**、9-27。
- 気象研究所地震火山研究部、1983：83型強震計の開発、*気象研究所技術報告*、第7号
- 松本英照、宮村攝三、1971：地震と電子計測、*電子計測*、**11**、No. 2、2-10。
- 松本英照、1977：自動処理システムについて（その1）—処理能力—、*和歌山微小地震観測所季報*、**15**、1-4。
- 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**、281-294。
- 渡辺一郎、菅原正己、福井隆文、勝山ヨシ子、1976：微小地震の自動検測手法について（第3報）—自動検測の試み—、*国立防災科学技術センター研究報告*、**15**、33-47。
- 渡辺 晃、黒磯章夫、1977：阿武山地震観測所における微小地震の自動処理について、*地震* **2**、**30**、115-118。
- 横田 崇、1981：地震波信号の時系列解析と自動検測処理への適用、A Thesis Submitted to the University of Tokyo, for the Degree of Doctor of Science.