

地震前兆解析システムの機能と構成

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*****

国立防災科学技術センター

The Functions and Constitutions of the Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE)

By

S. Matsumura, Y. Okada, M. Imoto, S. Shimada, S. Hori, T. Ohkubo, M. Ohtake, & K. Hamada

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

A data processing system named the Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE) is now under development at the National Research Center for Disaster Prevention. This system is designed to be an experimental system which will make possible a method for practical short-term earthquake predictions. Under such a system, all the processes used in detecting earthquake precursors, such as observation of crustal activities, data analyzation, detection of anomalous activities, and judgement whether a precursor is going on, are put into programs for automatic operations.

The actual system is composed of three sets of computers, each of which has its own role and function. The first computer has been assigned the role of OBSERVATION, which means that it performs data acquisition and monitoring of the operational state of the observation system. The second computer is being used for MONITORING, which means it continuously monitors states of the crustal activities in order to find some anomalous changes. The third computer has been assigned the role of ANALYSYS. In this case, general studies concerning earthquake precursor research are conducted by utilizing previously provided data-bases. These three computers, connected with each other, form an organized system suitable to the subjects.

* 第2研究部地震前兆解析研究室, ** 同地震活動研究室,
*** 第2研究部, **** 同地殻力学研究室, ***** 流動研究官

1. はじめに

昭和54年度に始まった第4次地震予知計画の最終段階で国立防災科学技術センター(以下では、防災センター)は、関東・東海地域における地殻活動観測網の骨格的建設を終え、70を超える観測点を擁する広域観測網を完成させた(浜田ら, 1982)。同時に、観測網から送り込まれるデータの効率的な収集および検測解析を行うため、テレメータと直結させた専用データ処理システムが整備され(Matsumura *et.al.*, 1981)、その日々の運用によって、データ収録・震源計算等の定常的な作業が続けられてきた。

このように観測と基本的なデータ処理を統合したシステムが一応は完成されていたわけであるが、前稿(浜田, 1987)で解説されたように、地震予知への具体的な取組みが進むにつれて、また、前兆現象の解明が進むにつれて、地震予知そのものを指向した思想的に新しいデータ処理システムを開発することの必要性が強く指摘されるようになった。こうして、第5次地震予知計画の中で、「地震前兆解析システム」(以下では英語名の“The Analyzing System for Precursors of Earthquakes”を省略してAPEと称する)と名付けられたシステムの開発が始められることになった。地震の短期予知を実際的なものにするためには、観測から解析、異常変動の検出、そして地震前兆かどうかの判定に至る予知へのプロセスを完全にシステム化してしまうことがどうしても必要である。APE開発の目的は、このようなシステムの実現可能性を探るための実験システムを確立することにあった。

昭和59年度に始まった開発は、昭和61年度でまずその基礎部分の工程を終了した。

APEの具体的な機能は極めて多岐にわたっているが、その個々の内容については別稿で詳述されるので、本稿では、システム全体の概括的な機能と構成について解説する。

2. 地震前兆解析システムの位置づけと目標

APEの位置づけをより一層明確にするために、地殻活動を観測する一般のシステムについて、過去からの変遷を振り返ってみると、図1のように4つの段階にわけて考えることができる。

- (1) 初期の段階では、測器と記録器が双方共、観測現場におかれていた。データは現場で収集され、その解析は研究室に持帰ってからのことになる。従って結果が見られるまでにはかなり時間がたってしまう。
- (2) 第2段階に入ると、テレメータが整備され、データの集中記録と実時間モニターが、観測センターに居るままで可能となった。この場合、生記録はその場で見ることはできるが、震源等の解析結果が得られるまでには多少時間がかかることになる。
- (3) 続いて第3段階に入ると、アナログ記録器がコンピュータにとってかわられ、人手を介

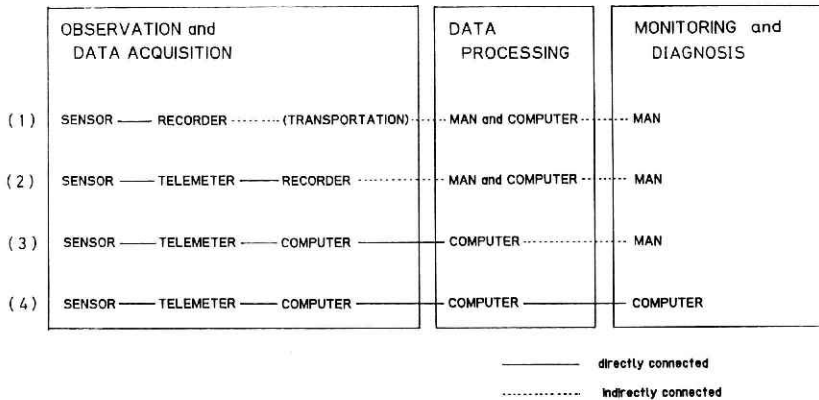


図1 (1)→(2)→(3)→(4)と観測システムの進歩の段階を示す。

Fig. 1 Progresses of the observation systems on crustal activities are told in four stages (1), (2), (3), and (4).

していた定常的な解析作業が自動化されるようになった。これによって、例えば地震の発生後極めて短時間の内におおよその震源が知らされるようになった。

(4) 我々のシステムでは自動化の方向をさらに推し進め、前兆現象を検出するための解析、例えばサイスミシティの変化やテクトニックな要因による地殻変動等について、従来は研究的に行われてきた解析作業の多くを自動処理によって行うことにする。そして予知判断のある程度高次な部分までをコンピュータに委ねることによって、地震予知の実用化に迫ろうとしている。

現在では、地震前兆の評価あるいは判定を行うためには、地震のみならず、地殻変動、地球化学などの多彩なデータを観ることが必要であると考えられている。これらのデータは通常、研究担当者独自の方法によって解析され、そして独自の表示方法によって提示されるため、時間軸を揃えて活動を総合的に把握するということが厄介な仕事となっている。例えば今、前兆的な異常が発見され、寸刻を争う対応にせまられるような事態を想定してみるならば、データの解析、異常の判定、そして総合判断という予知のプロセスに対して従来のシステムが即応性を発揮することは非常に困難であると考えられる。このような状況下では、解析処理の済んだ情報がつぎつぎに吐き出されてくる完全に自動化されたシステムが必要であるということは容易に理解されるであろう。ただし、こうした自動化システムによる判定に一定の限界が在ることも事実である。そこで、我々が当面目標としているのは、異常事態を自動監視し、必要に応じて警報を出し得る、また、緊急事態に直面した場合、判断資料を即時に提供できるようなシステムを開発することである。

以上から、APEに求められた機能の特徴をまとめると、

- ①完全自動運転による実時間データ処理システム

- ②多様な観測項目，解析項目を対象にした総合解析システム
 - ③客観的な基準をもとにした自動判定システム
- ということになる。

3. 地震前兆解析システムの機能

このシステムでは，従来のデータ処理システムが行ってきた地震波検測等の定常処理の機能を包含すると同時に，ここから一歩進んで自動処理による地殻活動の異常変動検出とその評価を行おうとしている。しかし現実には，異常変動の評価に対しての決定的な方式が確立されているわけではなく，どういった異常が見出されるか，また，それが地震前兆とどう結びつくか，ということ自体がまだ研究の対象といえる段階である。こういった現状で，単にシステムの自動化だけを追及することは，システム開発の本来の趣旨からはかえって遠ざかってしまう可能性もある。我々の開発の一次的な目標は，現在，地震前兆解析手法としてその可能性が期待されているものについて，これを自動監視できるシステムに組み上げることであったが，それと同時に，システムの運用を通して前兆解析手法そのものの改良あるいは新規開発を行うこともまた一方での重要な目標としてとらえられる。

上記の目標を踏まえたうえで，必要な機能とこれに対応する具体的なコンピュータシステムについての検討を重ねた結果，得られた結論は，リアルタイムで自動処理を行う専用コン

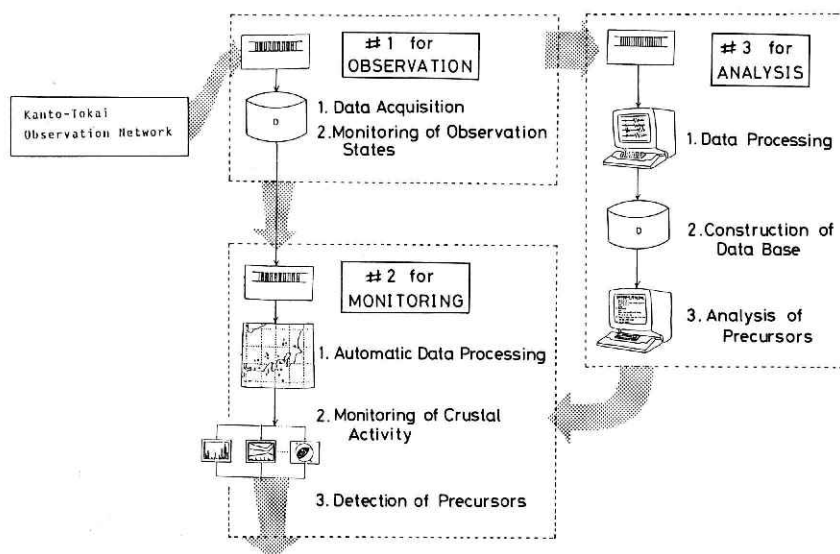


図2 地震前兆解析システムの機能を表す模式図。テレメータとオンラインで接続された3台のコンピュータから構成されている。1号機は観測用，2号機は監視用，3号機は解析用となっている。

Fig. 2 Schematic diagram presenting the functions of APE, which is composed of three sets of computers. The first one is assigned a role of OBSERVATION, the second is for MONITORING, and the third is for ANALYSIS.

コンピュータと、自由な解析研究を行うための環境を備えた汎用コンピュータとを結合させたシステムを構築することであった。

図2は実際に構築されたシステムの機能と構成を模式的に表現したものである。全体は互に結合された3台のコンピュータによるサブシステムから成っている。それぞれのサブシステムをテレメータ側からみて近い順に1号機、2号機、3号機と呼ぶ。1、2号機はリアルタイムで稼働する自動処理用コンピュータであり、3号機は上述した解析研究用の汎用コンピュータである。以下に各サブシステムの機能を概説する。

(1) 1号機

1号機は、テレメータと直結され「観測用システム」として、データの取込み、編集、および観測状況の監視を行う。テレメータ観測網から送りこまれるデータは80Hzサンプリングの地震波データと、1Hzサンプリングの地殻変動データとに大別される。このシステムでは前者を高速採取データ(松村・岡田・堀, 1987)、後者を低速採取データ(島田・大久保・岡田・

表1 地震前兆解析システムに入力されるデータ成分
Table 1 Compositions of data to be processed by APE.

	station	channel	sampling	data size
1) microearthquake	80	243	80 Hz	8 bits
2) crustal tilt	26	74	1 Hz	16 bits
3) crustal strain	5	36	do.	do.
4) radon evaporation	1	1	do.	do.
5) groundwater level or flow rate	4	8	do.	do.
6) external conditions				
*temperature	27	34	do.	do.
*atmospheric pressure	6	6	do.	do.
*precipitation	23	23	do.	do.

堀, 1987)と称し、それぞれに対して、288チャンネル、960チャンネルの受入容量を持っている。低速採取データは傾斜、地下水、ラドン濃度等の地殻変動情報の他、気象要素を観測項目として含んでいる。現在取込まれているデータの仕様を表1にまとめた。

高速採取データに対しては、地震の検出がなされる。抽出された地震波データは1号機と2号機の間にある共用ディスク(両方のコンピュータからアクセスが可能)内に書き込まれる。このための容量は1Gバイトで、通常1000件、半月間程度の地震波形データを収容することが可能である。群発地震が起きた場合のようにこれに続く処理が追い付かなくなった時には、データを一旦磁気テープに待避する措置がとられる。

一方、低速採取データに対しては、メディア法を用いて毎分につき1個のデータを選び

出し、この代表値による連続ファイル(分値ファイル)を作成する。共用ディスクには180Mバイトの領域が確保されており、約2ヶ月間のデータが収容される。そのほか、低速採取データからは高速採取データの場合と同様の方法で、傾斜計、歪計がとらえた大振幅の長周期地震波が採録される。このための領域としては90Mバイトが用意され、1Hzで連続12時間分の収容が可能である。

以上の作業と並行して、1号機では観測網の動作状況の監視も行っている。70以上の観測点があればその全てが正常に働いていることはむしろ稀である。一定の条件での観測を持続してゆくうえで装置の稼働履歴を把握しておくことは重要な意味を持っているのであるが、常に状況をチェックし正確な記録を残しておくことは、一般に大変煩わしい作業である。

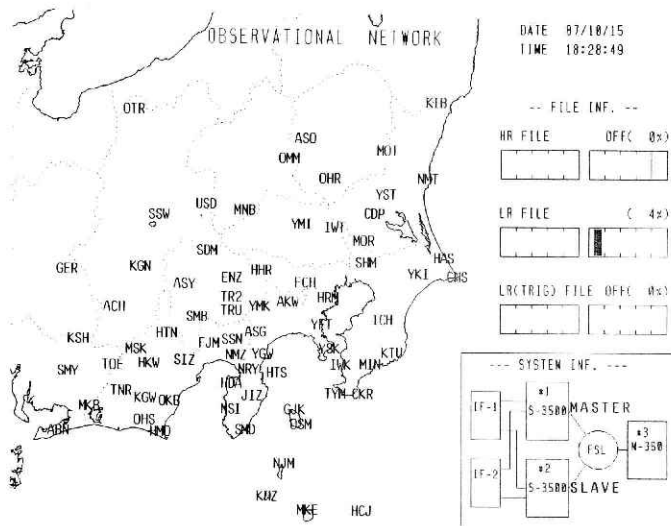


図3 1号機のグラフィック・ディスプレイに表示される観測状況監視画面

Fig. 3 Picture on the GD screen for monitoring the operational state of the observation system.

こうした作業をシステム化することは、観測能力の安定的維持を側面からサポートすることになるわけである。このシステムでは、テレメータあるいは観測装置等に障害が発生し、正常な信号が送られてこなくなった場合にはその旨がGD上に表示され、かつその回数が記録される。図3はそうした観測状況の監視画面である。各観測点のコードは通常、緑色で表示されているが、地震波検出、あるいは障害等の状況に応じて表示の色が青、黄、赤と変化する。なお、右上の棒グラフは上述した共用ディスク中の3種類のデータについてその蓄積量を示している。また、右下の模式図はコンピュータの結合状態を表わしており、どれかのサブシステムに障害が発生した場合にはその障害状況が一目でわかるようになっている。

このように1号機は観測のベースを担う仕事を受持つており、これが停止することは、即、観測の中断を意味する。このような事態を防ぐため、1号機および2号機の背後には動作監視装置が設置されており、保守や不慮の事故のため1号機が停止した場合には、自動的な2号機へのスイッチングにより観測の機能が中断されないように設計されている。切替はほぼ瞬時に行われ、この時に生じる欠測は1秒以下である。このほか、共用ディスクも2系統に分割されており、さらに、テレメータおよび1号機、2号機に供給される電源も無停電化されるなど、欠測を防ぐために有効なあらゆる手立てが講じられている。

(2) 2号機

2号機は、前述したように1号機のバック・アップを行うようになってはいるが、その本来の役割は地震前兆現象を発見するための「監視システム」である。システム全体の名称「地震前兆解析システム」からみてこのサブシステムが全システムの中核的な役割を担っているというよう。

ここでは、観測から前兆現象発見に至るプロセス—観測データの処理、地殻活動の変化をモニターするための解析、異常変動の検出、そして前兆現象であるかどうかの総合的な判定—についてその全てを自動化することを図っている(堀ら, 1987)。図2に戻って処理の概略を述べると、高速採取データに対してはまず、地震波検測・震源決定等の通常のデータ解析が自動処理によって行われる(堀・松村, 1987, 岡田, 1987a)。次にこの結果から地震前兆に関連すると考えられる種々のパラメータ(前兆指標と称する)が算出されその変動が追跡される。前兆指標としては、地震回数、 b 値のように古くから取り扱われてきたもののほかに ν 値、コーダ波の減衰定数など新しく登場してきたものも採り入れられている。低速採取データに対しても、同様に、データの自動解析、および前兆指標の算出が行われる。前兆指標は30項目まで設定できるようになっているが、当初はその内の10項目についてプログラムが搭載される予定である(堀ら, 1987a, 参照)。次に、項目ごとに行われた変動追跡によって異常変動であると判定された結果がまとめられ、最後に総合異常判定結果として打出される。これらの結果は3台のグラフィック・ディスプレイと3台のプリンタに自動的に出力されるようになっている。

(3) 3号機

この節の初めでも述べたように、地震前兆解析システムの開発は、前兆に関する基礎的な研究と並行して推進される必要がある。そのために用意されたサブシステムが「解析システム」としての3号機である。3号機は、オペレータによる定常的なデータ処理作業と、処理結果によるデータベースの構築、さらにデータベースを用いての前兆解析研究に供される(岡田, 1987b, 島田・大久保・岡田・堀, 1987)。

ここでは、地震波検測等の通常のデータ処理作業がオペレータとコンピュータとの会話形式によって行われる。処理の内容は基本的に2号機が行うものと同一であるが、オペレータ

の目を通すことによって研究用のより信頼度の高い結果が確保され、これが最終データとしてデータベースに登録させる。

データベースは原則として磁気ディスク内に作られるが、ディスクに収容可能な量は年間200Mバイト程度までである。地震波形データおよび低速採取分値データについてはデータ量がこれをオーバーするため、その収容は光ディスクに頼ることになる(井元, 1987, 島田・大久保・岡田・堀, 1987)。

構築されたデータベースは研究者に開放され、過去の事例を用いての新しい前兆項目の開発が進められる。こうして開発されたプログラムは2号機へ移植され、同機での運用を通じ

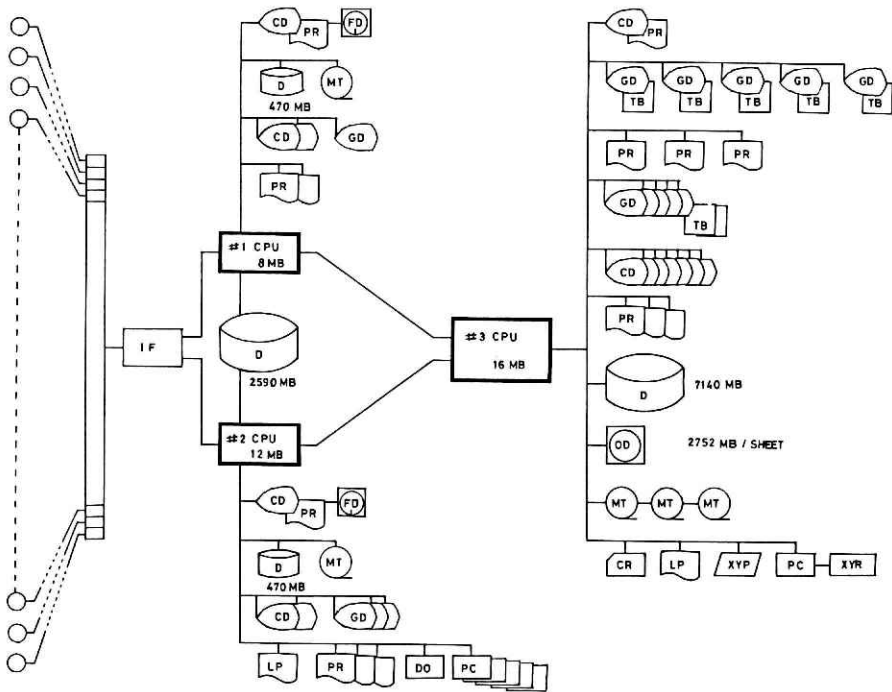


図4 地震前兆解析システムのハードウェア構成図

Fig. 4 Hardware compositions of APE. CD : character displaying device, CR : card reader, D : disk, DC : digital output device, FD : floppy disk, GD : graphic displaying device, IF : interface device, LP : line printer, MT : magnetic tape, OD : optical disk, PC : personal computer, PR : printer, TB : tablet, XYP : X-Y plotter, XYR : X-Y reader.

てその機能がチェックされる。以上のような形で、1, 2, 3号機が全体としてひとつのシステム体系を構成するように設計がなされているわけである。

4. 地震前兆解析システムのハードウェア構成

図4にAPEのハードウェア構成を示す。1, 2号機は富士通(株)のスーパーミニコンピュータ・S3500で構成される。前節で述べたように2号機は1号機のバックアップ機能を有するため、その構成は1号機と同じものを包含し、かつ両者はテレメータ側から見て対称形に配置されている。2号機に接続された5台のパーソナルコンピュータは1号機にはないものである。これは、傾斜データの常時モニター用として使用され(大久保, 1987)、2号機の役割の一端を担っている。1, 2号機はリアルタイム処理システムとして24時間無休運転を行う。

3号機は同じく富士通(株)の汎用コンピュータであるM360APを中心として構成されている。構成図の右上に表示されたグラフィック・ディスプレイとタブレット、およびプリンタの組合せはオペレータによるデータ解析のための装置であり、5人のオペレータによる同時作業が可能である。その他に10台あまりのTSS端末、全容量7GBの磁気ディスク装置、3台の磁気テープ装置、2台の光ディスク装置等の周辺機器が備えられている。

3号機のOS(オペレーティング・システム)は、1, 2号機のOSと親和性がよく、データあるいはプログラムを共有するうえで有利な構成になっている。

5. おわりに

昭和59年度から始まった「地震前兆解析システム」の開発も今年で4年目にはいった。全体の工程の内、1号機によるデータ収録、および3号機による解析の部分の開発がまず昭和60年度に終了し、昭和61年3月の運用開始以来、着々とデータを蓄積しつつある。

一方、2号機による自動処理の部分については、1年遅れて昭和61年度に開発作業が実施され、システムとしての枠組が出来上がった。自動震源決定等を含んだ解析部分については昭和61年10月から稼働が開始され、良好な状態で運用されてきている。他方、自動前兆監視については個々の項目を逐次導入する形を採っており、当初予定の10項目分が全面稼働するまでにはまだ時間が必要である。しかしながら、b値をはじめ幾つかの項目についてのプログラムは既に搭載されており、異常判定結果の出力等に関してシステムがほぼ設計どおりの動作を行っていることが確認された。これによって、実際に実時間自動監視システムとして機能できるシステムが実現できるか、という問題に対する答えが一応は得られたものと考えられる。しかし、異常検出のための判定レベルの設定方法、大地震発生の可能性を評価する総合判定の方式等、検討すべき課題がまだ多く残っている。今後は、現在のシステムを運用しながら、短期的地震予知に対しての実用システムを構築するという最終の目標に向けて開発研究を進めていきたい。

謝 辞

地震前兆解析システムの開発には著者らの他に多くの人々が携わっている。まず、同システムの設計方針を考えるため、国立防災科学技術センター第2研究部の中にAPE開発の検討委員会が組織され、およそ1年にわたって精力的な討議が重ねられた。具体的な設計は著者らによって組織された作業部会と富士通株式会社のSEグループとの討議によって進められ、実際のプログラミングの多くはSEグループに委託された。特に同社の渡辺進、小西秀之の両氏には主任技術者として、作業全般の運営に多大な尽力をいただいた。記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 浜田和郎ら(1982): 関東・東海地殻活動観測網—国立防災科学技術センター—。地震第2輯, 第35巻, 401-426.
- 2) 浜田和郎(1987): 地震前兆解析システム開発の背景とその意義。国立防災科学技術センター研究報告, 第41号, 31-34.
- 3) 堀貞喜ら(1987): 地震前兆解析システムによる自動前兆監視。国立防災科学技術センター研究報告, 第41号, 101-114.
- 4) 堀貞喜・松村正三(1987): 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, 第41号, 89-100.
- 5) 井元政二郎(1987): 光ディスクを用いた地震波形の格納とその利用。国立防災科学技術センター研究報告, 第41号, 129-136.
- 6) Matsumura, S. *et.al.* (1981): Data Processing of the Kanto-Tokai Observational Network for Microearthquakes and Ground Tilt. *Proceedings of the 2nd Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake-Prediction Technology, U. S. Geological Survey Open File Report 82-180*, 144-163.
- 7) 松村正三・岡田義光・堀貞喜(1987): 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, 第41号, 45-64.
- 8) 岡田義光(1987a): 震源計算・発震機構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, 第41号, 153-162.
- 9) 岡田義光(1987b): 地震データ利用のためのプログラムシステム。国立防災科学技術センター研究報告, 第41号, 137-151.
- 10) 大久保正(1987): パーソナルコンピュータによる地殻傾斜常時モニターシステム。国立防災科学技術センター研究報告, 第41号, 115-127.
- 11) 島田誠一・大久保正・岡田義光・堀貞喜(1987): 地震前兆解析システムにおける低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, 第41号, 65-87.

(1987年11月30日 原稿受理)