

地震前兆解析システムにおける 低速採取データの処理

島田誠一*・大久保正**・岡田義光***・堀 貞喜**

国立防災科学技術センター

Procedures for Low Sampling-rate Data Processings by the Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE)

By

Seiichi Shimada, Tadashi Ohkubo, Yoshimitsu Okada and Sadaki Hori

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Except for seismic and pore water pressure observation data, the data from most kinds of observations for the purpose of earthquake prediction research are sampled by 1Hz and telemetered from the observation station in Kanto-Tokai area to NRCDP in Tsukuba. The 1 Hz-sampling observations are concerned with crustal tilt, crustal strain, groundwater level or flow rete, radon evaporation and external conditions like temperature, atmospheric pressure and precipitation. We have developed software procedures for 1 Hz-sampling (low sampling-rate) data processings by utilizing the Analyzing system for Precursors of Earthquakes (APE). Using the No. 1 computer of the system, low sampling-rate data are filtered by running medians on 1 Hz data and sampled every minute. The running median filter is very effective in rejecting impulsive telemetry noise. Also 1 Hz-sampling long-period seismic wave data are recorded by the event triggering method, using a criterion of signal level ratio of short term average to long term average (STA/LTA). With the use of the No. 2 and the No. 3 computers, minutely values and 1 Hz event values are transformed to real numbers with physical unit. Hourly and daily values are calculated using minutely values. Minutely, hourly and daily value data are used for the automatic detection of anomalous phenomena performed by No. 2 computer, and for the data editing performed by No. 3 computer. In order to reject noises, adjust data offsets which have occurred as a result of the unstableness of sensors at the shock of the earthquake, and make interpolations, an operator edits data on the GD of the No.3 computer. Details of each data editing are recorded in an editing

*第2研究部地殻力学研究室, **第2研究部地震前兆解析研究室

***第2研究部地震活動研究室

information file on a relational data base. Hourly and daily value data are stored in files on the magnetic disks of the No. 3 computer, and minutely and 1 Hz event value data are stored on optical disks. A general display monitor has been developed for low sampling-rate data. In addition, tilt vector and strain tensor display monitors have been developed especially for the crustal tilt and strain observations. Various utilities have also been made in order to access these files for the analysis of the data.

1. はじめに

国立防災科学技術センターでは地震予知研究のために数多くの観測が行われ、そのほとんどが筑波の国立防災科学技術センターにテレメータされている。このうち一部を除き、地震観測は80Hz、その他の連続観測データは1Hzでサンプリングされ、これらは同一の地殻活動観測システムに収録されている(浜田ら, 1982; 島田ら, 1983)。これらの連続観測項目には地殻傾斜・地殻歪・地下水位・ラドン・水温・流量・環境気象要素(気圧・雨量・室温・地中温度)等があり、その種類・チャンネル数ともきわめて多い(Matsumura *et al.*, 1986; 松村ら, 1987)。これらのうち一部の観測項目のデータについては、従来もルーチ的な収録・処理がなされてきたが(大久保ら, 1982)、このシステムは本来地殻傾斜観測とそれに伴う雨量・地中温度の収録及び毎時データのグラフィック表示用に設計されたものであったので、多数の種類観測項目への拡張性に乏しく、またデータベースの蓄積と利用という面での制約も大きかった。

そこで地震前兆解析システム(Matsumura *et al.*, 1986; 松村ら, 1987)が従来の地殻傾斜データ処理システムを包含する形で新規に開発されるのを機会に、地震予知研究のための全ての1Hzサンプリング連続観測データを低速採取データと称して一括して処理することとし、またデータベースとしての機能も付加した。この新しい低速採取データ処理のためのサブシステムの開発にあたっては、特に以下の諸点に考慮した。①データ項目の多様性に考慮し、また今後のデータ項目の増大にも対応できるようにする。②種々の時間スケールの現象を効率良く把握できるように、秒値・分値・時間値・日値の4種類のデータを同時に作成し、利用できるようにする。③データ数の増大に対応できるように、従来研究者が行っていたデータの補修処理を研究者ではないオペレータがルーチンとして行えるようにし、そのための検測処理の簡便性を図る。④地震予知研究のためのデータベースとしてデータをアクセスしやすいよう利便性に心がける。

本稿では本サブシステムにおけるデータ収録、データ検測処理及びデータベースとその利用について述べる。

2. データ収録

2.1 連続データの収録

低速採取データにおいて、サンプリングされる毎秒のデータを全て処理システムに収録すると、そのデータ量は膨大なものになる。図1の3成分歪計AC成分のように10秒から1000秒程度の周期の長周期地震波を観測する際には毎秒データが必要となるが、このような場合に

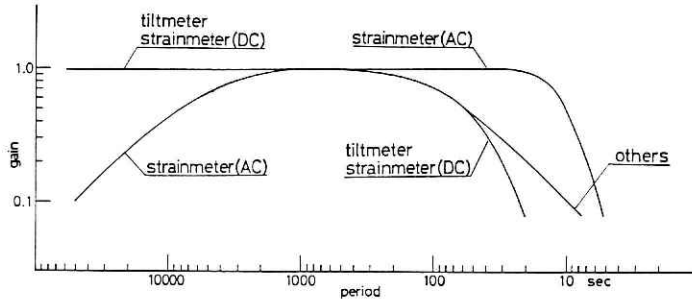


図1 傾斜計・3成分歪計データの周波数特性

Fig. 1 Frequency characteristics of the tiltmeter and the DC and AC component of the three-component strainmeter.

は以下に述べるようにトリガーによって地震時だけ収録を行った方が効率的である。通常の連続観測においては、図1の傾斜計や3成分歪計DC成分のようにローパスフィルターによって100秒以下のゆっくりした変動のみを対象とすることが多く、このような場合は毎分データで充分である。そこで従来の地殻傾斜データ処理システムでは、毎正分のデータを1分間の代表値として収録し、その他のデータは捨ててきた(大久保ら, 1982)。これは時系列のサンプリングとしてあまり良いやり方とはいえない。また、現在のテレメータシステムにおける伝送データのビットエラーに対して弱いという欠点もあった。

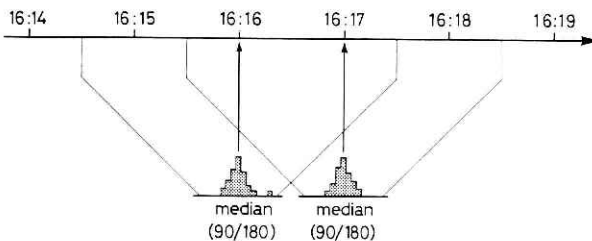


図2 メディアン法による分値データの収録方法

Fig. 2 Scheme of the sample of minutely data, filtered by 180-point running medians.

そこで今回のシステムでは、図2のように正分前後90秒ずつ合計180秒のデータを用いてヒストグラムを作り、そのメディアン値を1分間の代表値とするメディアン法を採用した。メディアン値は正規分布をしたデータでは平均値と一致し、ステップ状の変化はそのままの位置と大きさでステップとして保存される。図3上段のようにテレメータのビットエラーによる

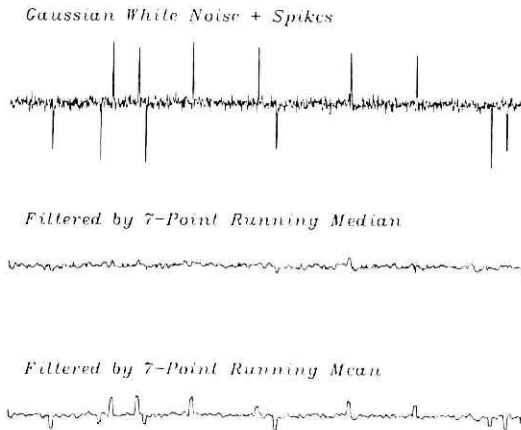


図3 テレメータのビットエラーが含まれるデータに対するメディアン値と平均値の出力例(Evans (1982)による)

Fig. 3 An example of running medians and running means on a combination of Gaussian white noise and brief random spikes (after Evans, 1982).

って1個だけ他と大きく異なる値のデータが含まれるときには、図3中段のメディアン値は図3下段の平均値や一般のローパスフィルタより効率良くビットエラーを除去することができる(Evans, 1982)。実際メディアン法による本システムの導入以来、テレメータのビットエラーが分値に混入することはほとんどなくなった。一方ローパスフィルタとして考えた場合、メディアン法は線型フィルタではないので、その特性はあまり良くない。長周期の

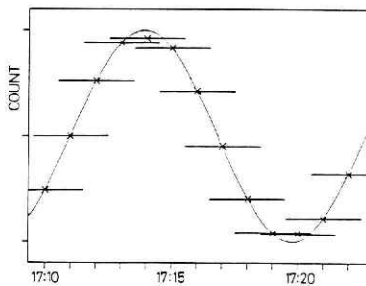


図4 正弦波形に対するメディアン法の出力波形
Fig. 4 Sample of running medians on a sine wave.

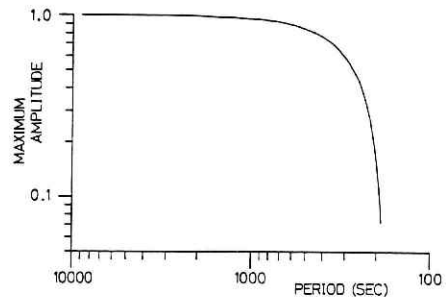


図5 長周期の正弦波に対するメディアン法出力波の振幅比
Fig. 5 Amplitude ratio of running medians to long-period sine waves.

正弦波に対しては、図4のように頂部が切断された出力波形となる。このような長周期の正弦波形に対する出力波の振幅比を周期に対してプロットすると図5のようになる。振幅比は500秒で84%、700秒で92%、100秒で96%程度となり、2000秒では99.0%でほとんど問題なくなる。傾斜計や歪計などの地殻変動連続観測において、100秒から1000秒程度の周期では長周期地震波を除けば大きなパワーは存在しないので、このような特性はあまり大きな問題点にはならないと考えられる。さらに長周期になると振幅比は10000秒(166分)で99.96%、12時間で99.998%、24時間では99.9995%となり、例えば地球潮汐の分潮解析にはほとんど問題なさそうである。しかし地球潮汐の場合近接した周期のたくさんの分潮が合わさっているので、非線型のメディアン法では厳密には理論的に合成した波形を用いて出力特性を確認してみる必要がある。またCPUの処理速度の点に関しては、メディアン値の算出は平均値よりは遅くなるが、特性の良いローパスフィルターより早いと考えられる。

上記のようなデータの収録処理は、松村ら(1987)で述べたように地震前兆解析システムの1号機において行われ、データは2号機との共用ディスク内に約2ヶ月分(180Mバイト)が收容される。実時間で地震前兆現象の監視を行う2号機は、通常10分間隔で共用ディスクからデータを読み取り、前兆現象の抽出・監視処理に用いる。またオペレータによるデータ検測やデータベースの蓄積を行う3号機には、低速採取データの全チャンネルのデータが1日分を単位として一括して転送・処理される。データ転送は回線または磁気テープ経由で行われる。通常この転送処理は毎火曜日に1週間分をまとめて行っている。

2.2 データの物理量変換

低速採取データは、テレメータ装置からインタフェイス装置を介して1語16ビットの符号なし整数型データとして転送されてくる。1号機ではこの整数型データを用いてメディアン値を算出し、共用ディスクに收容する。しかし本来、各低速採取チャンネルは傾斜・雨量等の観測項目毎に異なった単位をもった実数値である。従ってできるだけ早い段階で、16ビットの整数型データから各チャンネル毎の換算式に従って実数型の物理量に変換した方が、データのダンプや計算機のシステムユーティリティプログラムを使用する上で有利である。従来の地殻傾斜データ処理システムでは、データを最後まで16ビットの整数型データの形で磁気ディスクや磁気テープに保存していた。このためグラフィックディスプレイ装置(GD)へのデータ表示プログラムにおいて物理量へ変換しなければならないので、データ表示プログラムにおけるCPU負荷の増大や観測項目の多様化への障害を招いていた。今回の地震前兆解析システムでは、2号機や3号機における共用ディスクからのデータの読み取り・転送直後にデータ形式を実数型の物理量に変換することとし、大容量の磁気ディスクを導入して2バイトの整数型から4バイトの実数型へのデータ変換に伴うデータ收容領域の増大に応えられるようにした。

整数型から実数型へのデータ形式の変換は、整数型のデータを X 、実数型のデータを Y としたとき、 $Y=A \times X+B$ という形の変換式で行う。ここで A と B は通常チャンネル毎に異なる定数である。地震前兆解析システムでは、システムの種々のプログラムで共通して用いる定数を一括して管理する定数ファイルを設けている。データの物理量変換において用いる定数 A 、 B はこの定数ファイルに収容されている。

ところで低速採取データの観測項目のうち、3成分歪計によって観測される観測値は計器の断面積変化であり、これを歪量に変換するにはSakata *et al.*(1982)による変換式が必要である。また降雨量の観測は、転倒ます雨量計から1mmまたは0.5mm雨量毎に出力されるパルスを各観測施設内の積分変換器に入力し、パルス入力毎にフルスケールの中点(ゼロ点)から通常1/200ずつステップ状に増加する電圧出力に変換しテレメータしている。このステップ状の出力は、100段階目でゼロ点にリセットされてしまうこと、ある時刻の降雨量を計算するのに前後の時刻の値の差をとらなければならないこと等、モニターや解析に用いるのに不便である。そこで、テレメータ装置からの入力値である雨量積分値以外に、前後の時刻の差をとった雨量微分値も物理量変換時に同時に作成している。このように通常の線型変換式 $A \times X+B$ によって変換した1次データ以外に、1次データから作成される3成分歪計の歪量や雨量微分値のような2次データも、データの物理量変換時に同時に作成している。2次データ

表1 各観測項目の特性

Table 1 Characteristics of observation items of low-sampling data.

観測項目番号	項目名	項目コード名	物理量変換式	1次量・2次量	相対値・絶対値	モニター出力形式	単位
2	地殻傾斜	TILT	$A \times X + B$	1次量	相対値	折れ線グラフ	μ radian
3	歪断面積	STRC	$A \times X + B$	1次量	相対値	折れ線グラフ	mm ²
4	地下水水位	GWTL	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	m
5	ラドン	RADN	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	CPM
6	A E	AE	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	COUNT
8	気圧	BARO	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	hPa
9	温度絶対値	TEMP	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	°C
10	温度相対値	TEMP	$A \times X + B$	1次量	相対値	折れ線グラフ	m°C
11	水温	WTMP	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	°C
12	流量	FLRT	$A \times X + B$	1次量	絶対値	折れ線グラフ	ℓ/min
23	雨量積分値	RAIN	$A \times X + B$	1次量	相対値	折れ線グラフ	mm
24	流量積分値	FLUX	$A \times X + B$	1次量	相対値	折れ線グラフ	mm
31	地殻歪	STRN	(1)	2次量	相対値	折れ線グラフ	μ strain
32	雨量微分値	RAIN	(2)	2次量	絶対値	棒グラフ	mm prec. (mm/day)
33	流量微分値	FLUX	(2)	2次量	絶対値	棒グラフ	mm/hour (mm/day)

(1) 歪断面積からSakata *et al.* (1982)の変換式により算出

(2) 雨量積分値(流量積分値)から図6のアルゴリズムにより算出

```

A, B : 物理量変換の定数
X(t) : 分値      t=..., -1, 0, 1, 2, ...
W(t) : 時間値 (積分値) t=..., -60, 0, 60, ...
D(t) : 時間値 (微分値) t=..., -60, 0, 60, ...

F = int(65535*A+B+0.5)/2.0
G = F/100.0
W(t) = W(t-60)
for i=59 to 0
  if X(t-i-1) ≥ F and X(t-i) ≥ F then
    H = X(t-i) - X(t-i-1)
    if H ≥ 0.5 then
      H = int(H/G+0.5)*G
    else
      H = ( int(H/G+0.5) - 1 ) * G
    endif
    if H > 0.0 then
      W(t) = W(t) + H
    elseif H < -0.9*F then
      W(t) = W(t) + H + F
    endif
  endif
endif
next i
D(t) = W(t) - W(t-60)

```

図6 雨量微分値の算出アルゴリズム
Fig. 6 Algorithm to calculate precipitation values.

は、960チャンネルの1次データの後に最大240チャンネルまで作成できるように設計されている。表1に現在収容している観測項目の物理量変換方式を、以下で述べる各観測項目のその他の特性と共にまとめて示す。また、図6に雨量微分値の算出アルゴリズムを示す。雨量微分値は次項で述べる時間値と日値でのみ作成し、整数型データから直接作成する分値データでは作成していない。

2.3 時間値・日値の作成

上記の物理量変換によって毎分のデータよりなる分値データファイルが作成される。しかし通常のデータ解析や研究に多く用いられるのは、毎時値よりなる時間値データや毎日値よりなる日値データ

である。そこで物理量変換による分値データファイルの作成後、時間値データファイルと日値データファイルも同時に作成する。

分値から時間値を作成するには観測項目により2種類の方法を用いている。傾斜・地下水・ラドン・気圧・雨量積分値等ほとんどの観測項目は、正時の値を時間値としている。一方、歪断面積変化はローパスフィルターを用いて時間値を作成している。ローパスフィルターの特性は、遮断周期2.5時間の2次のButterworthリカーシブフィルターで、位相遅れののないものを用いている。次ぎに時間値から日値を作成するには4種類の方法を用いている。傾斜・地下水・気圧等は、24時間のデータの平均値を日値としている。ラドンは、毎日0時から1時までの期間に較正信号が入力されるので、2時から23時までの22時間のデータの平均値を日値としている。雨量積分値は0時の値を日値としている。歪断面積変化は時間値と同様、遮断周期60時間の2次のButterworthリカーシブフィルターを用いている。歪断面積変化に用いているローパスフィルターの遮断周期は定数ファイルで定めている。各観測項目の時間値・日値の作成方法を表1にまとめて示す。

2.4 長周期地震波形の収録

3成分歪計のAC成分では周期10秒から1000秒程度の長周期地震波が観測される。また傾斜計出力でも周期100秒から1000秒程度の地震波の観測が可能である。従来の地殻傾斜データ処

理システムで毎秒値の地震波形をトリガーにより収録する場合、収録時間が24分間で非常に短く、しかも遅延バッファがないため多くは初動を含まないデータしか収録できなかった。今回の地震前兆解析システムでは5分間の遅延バッファを設け、収録ファイルの容量も12時間まで収録できる大きさにした。

長周期地震波の収録開始・終了等の判定方法は、松村ら(1987)で述べた地震データの場合と全く同じアルゴリズムを用いており、アルゴリズムに用いる定数だけが異なっている。具体的には、トリガー判定のための信号レベルの短時間平均(STA)と長時間平均(LTA)を毎分計算し、収録の開始・終了の判断を行っている。LTAのレスポンスの早さを規定する時定数は60分、地震波検出判定のためには3.0を用い、地震波検出に対してはしきい値を上回る状態が1分以上、終了判定に対してはしきい値を下回る状態が連続2分以上持続することを条件としている。大地震時にLTAが上昇して地震波の検出状態が途中で打ち切られることを防ぐためのLTAの固定時間は15時間とし、LTAの上昇によっては打ち切られにくくなっている。このようなSTAやLTAの計算はチャンネル毎に行われ、地震波を検出した各チャンネルが持つ長周期地震波収録のためのポイントの合計が、あらかじめ定めたしきい値を越えたときに、収録が開始される。傾斜や歪など長周期地震波を観測できるチャンネルには、各チャンネルのノイズレベルによって、収録のためのポイントとして8以下のポイントを定めている。データの収録は、地震波を検出したチャンネルのポイント合計が40以上になった時に280秒前のデータから開始され、24以下になってから10分後に終了する。データの収録は960の全ての低速採取チャンネルについて一斉に行われる。これらの長周期地震波収録に用いる全ての定数は、定数テーブルに登録されており変更が可能である。

すでに述べたように、長周期地震波形のデータであるトリガー秒値は1号機・2号機の共用ディスクに最大12時間分まで収容できる。収録後のデータの処理・保存および利用は3号機で行うので、毎分の連続データと同様に回線または磁気テープ経由でデータを3号機に転送する。トリガー秒値のデータの転送は現在収録中のイベントについても行えるので、チリ地震のように非常に大きな地震の場合、定数テーブルを変更してデータ収録の打ち切りが起これないようにすれば、12時間以上の連続記録を収録することもできる。3号機に転送されたトリガー秒値のデータには、低速採取連続データと同様の物理量変換処理が行われる。

3. データ検測

3.1 データ検測の概要

地震前兆解析システムにおける低速採取データの検測内容には、図7のように地震時の衝撃等による傾斜計出力の機械的な跳び(オフセット)の補正、欠測等による無効データの指定、短期間の欠測データの補間等があり、分値・時間値・日値の各データに対してGDを用いて検

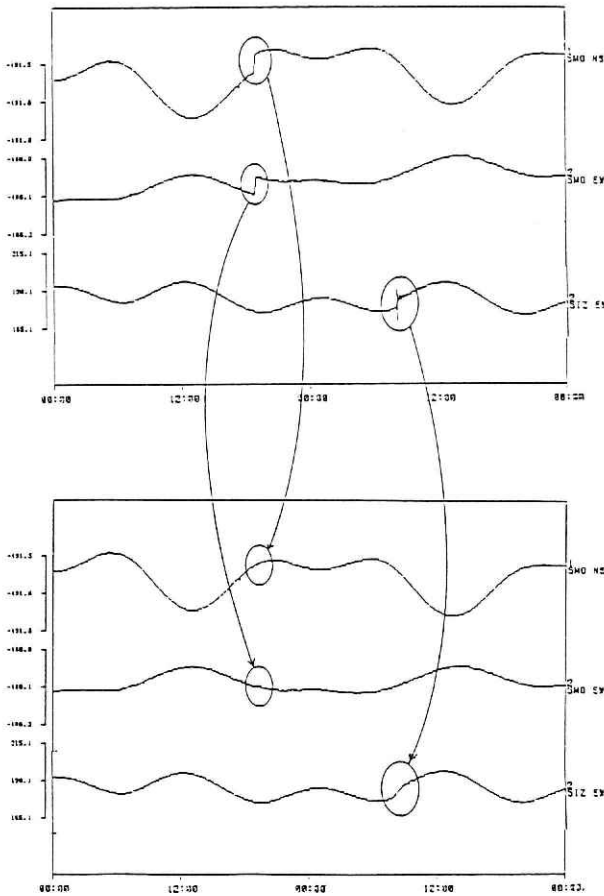


図7 データ 検測 の 概 要 (Matsumura *et al.*,1986 による)

Fig. 7 Example of data processing by man-machine communications. Top and bottom figures are before and after processing, respectively. Offsets are adjusted, and a noise is removed and filled up with an interpolation (after Matsumura *et al.*, 1986).

測を行うことができる。従来の地殻傾斜データ処理システムにおいてもGDを用いて簡単なデータの補修処理を行っていた(大久保ら, 1982)。しかし、時間値データのみを対象としたためオフセット処理の補正量の見積りが難しい、欠測期間・オフセット発生時刻やオフセット量をキーボードから数値で入力しなければならない、欠測期間を記録するファイルを持たなかったので欠測の補間ができない等の欠点があった。今回のシステムでは基本的に分値のデータに対して検測を行うことにしたため、地震時の衝撃等による瞬間的なデータの跳びに対しては、オフセット前後の時刻とオフセット補正量をGD上で機械的に指定することにより簡単にオフセット補正が行えるようになった。また正時を含む短期間のデータが欠測していても前後のデータから補間して正時のデータを作成し、時間値の欠測を少なくすることができるようになった。さらにリレーショナル・データベースの形式で作成した検測情報ファイルを導入し、個々の検測処理結果についての記録を保存するようになった。このためこのファイルの情報によって欠測補間したデータを区別できるようになったほか、複数のプログラムや

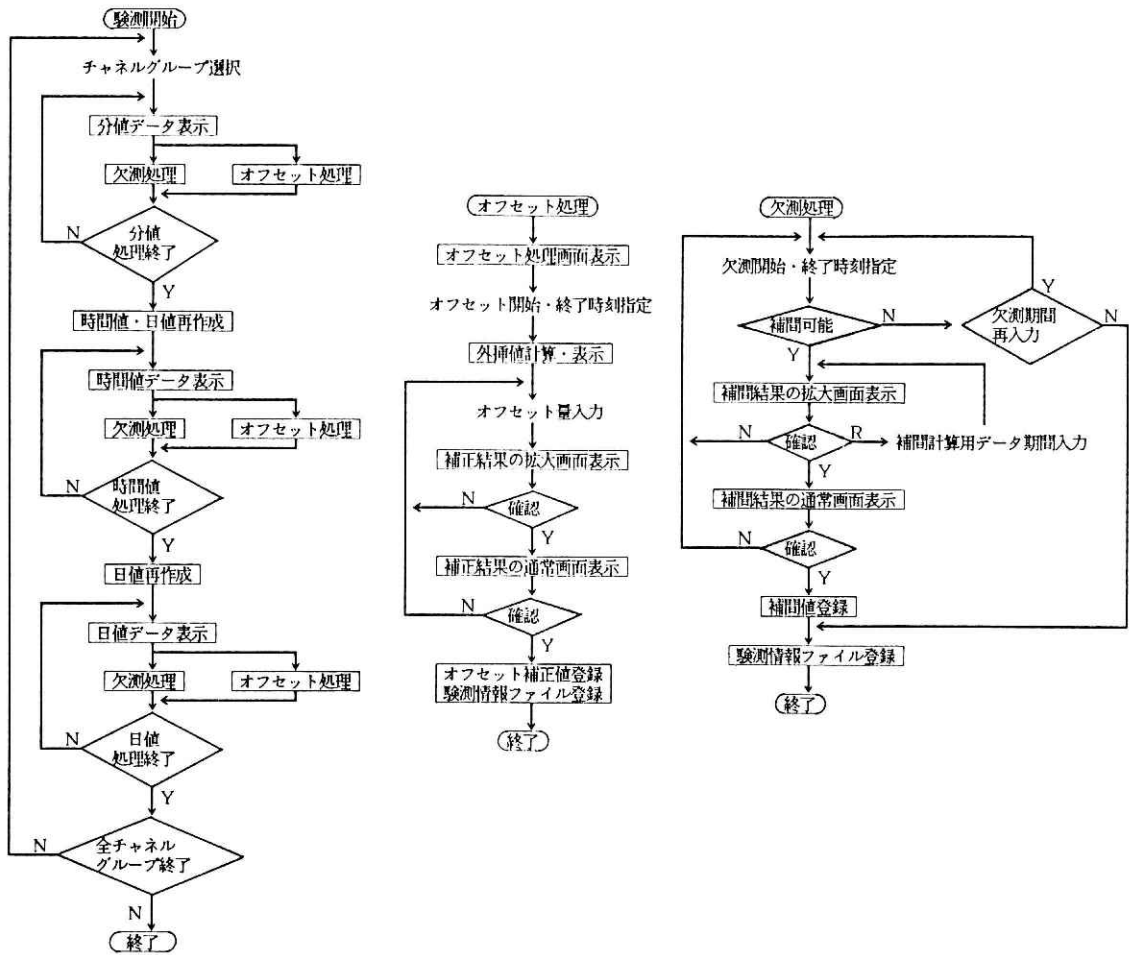


図8 データ検測の手順

Fig. 8 Flow chart of data processing by man-machine communications.

計算機端末から同時に観測情報ファイルにアクセスして、チャンネル毎や指定した期間など様々の限定条件を満たす観測情報を迅速・簡単に取り出せるようになった。

図8に現在行っているデータ観測の手順をフローチャートの形で示す。観測施設毎に傾斜計・3成分歪計・地下水等の観測項目と付随して観測している気象要素等を2～5チャンネルずつまとめてチャンネルグループを定め、チャンネルグループ毎に分値・時間値・日値の各データの順に最新のデータに対して通常毎週1回ずつ観測作業を行っている。分値のデータについては、前回の観測と1日ずつ重複して、通常は8日間のデータについて観測を行い、観測期間の切れ目前後での処理を容易にしている。時間値のデータについては最新の60日間、日値のデータについては最新の1年間のデータについて観測を行っている。分値については通常は画面に2日分のデータを表示し、その画面中のオフセット・欠測等の処理を行う。時間値については通常最新の30日分、日値については1年分のデータを表示する。時間軸(横軸)のフルスケールはコマンドにより分値では2日から3時間まで、時間値では120日から7.5日まで、日値では8年から0.5年までそれぞれ2倍(1/2)ずつ5段階で変更することができる。また時間軸はフルスケールの半分を単位としてスクロールすることができる。縦軸のフルスケールは標準値がチャンネル毎に定数ファイルに登録されており、コマンドにより標準値の512倍から1/512まで2倍ずつ19段階で変更することができる。さらにGD画面上の各チャンネルの位置もフルスケールの1/2から3倍までを単位として上下に移動させることができる。また画面上の任意の時刻でチャンネルの番号順になるようにチャンネルの位置を再調整することもできる。現在27程度のチャンネルグループが定数ファイルに登録され、毎週データ観測を行っている。

データ観測におけるデータ補正処理のためのコマンドは、オフセット処理と欠測期間を指定する処理だけである。以下ではこの両者の処理の概要を順に詳説する。

3.2 オフセット処理

オフセット処理ではオフセット処理コマンドの入力後、処理を行うチャンネルを指定してからオフセットの開始時刻と終了時刻を画面から入力する。低速採取データでは、センサー出力の瞬間的な跳びでもテレメータ等途中のフィルター処理により、3分程度かかって変化を完了する跳びになる。実際には数分間以上かかって変化するオフセットを補正することも多い。オフセット処理の画面は図9のように3分割された画面で、上半分にはオフセット処理コマンド入力前の時間軸で処理チャンネルのデータが表示される。表示は画面開始時のデータが縦軸中央にとられ、表示期間中のデータの最大または最小値が画面上半分内の上端または下端になるようにスケールされる。オフセット開始時刻を上半分の画面で指定すると、画面左下1/4の部分にオフセット開始時刻付近のデータが拡大して表示され、この画面で最終的にオフセット開始時刻を指定する。この拡大画面では、縦軸のフルスケールがオフセット

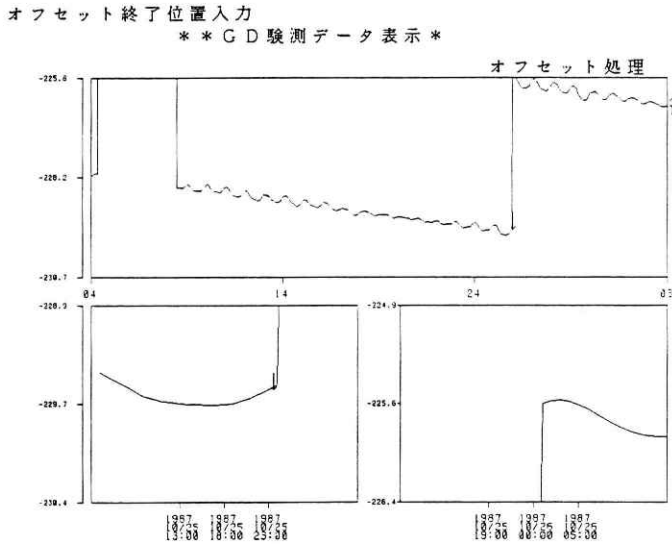


図9 データ観測におけるオフセット処理画面
 Fig. 9 Example of GD displaying for offset adjustment procedure by man-machine communications.

処理コマンド入力前の画面の $\frac{1}{4}$ (ゲインが8倍)で、時間軸方向は30データ分が表示されるように拡大されている。従って時刻に関しては最小単位まで誤りなくGD画面から入力することができる。オフセット終了時刻も同様にして画面右下 $\frac{1}{4}$ の部分の拡大画面から入力する。

すでに述べたように低速採取データではテレメータ等の特性からオフセット開始時刻の直後が終了時刻となることはない。従って両者の間のデータは無効なデータとなる。そこで今回のシステムでは、この無効な期間のデータをオフセット開始前のデータからの外挿値で代替している。外挿にはARモデルを用いて通常オフセット開始時刻直前の300個のデータを計算に使用している。外挿期間が長くなってデータの信頼性が低下するのを防ぐため、分値で最大8個、時間値で5個、日値で3個のデータまでしか外挿を行わない。また少なくとも外挿期間の10倍のデータが外挿計算に利用できなければ外挿は行わない。AR次数は外挿計算に用いるデータ数の $\frac{1}{10}$ としており、通常は30次である。外挿処理を行わなかった場合や無効データの期間が外挿期間より長かった場合は、オフセット処理後欠測処理を行ってその期間のデータを無効にしている。外挿期間の最大数は定数ファイルで指定している。

さてオフセット終了時刻を入力すると、計算機は外挿値を計算してオフセット開始時刻の拡大画面に表示する。オペレータはこの表示を参考にして、オフセット補正処理によって接続すべき前後のデータの縦軸上の位置を2つの拡大画面でそれぞれ指定する。これによってオフセット量が入力される。すると上半分の画面上のオフセット終了時刻以降のデータから、入力されたオフセット量が減算され、オペレータが確認を行う。オペレータはこの確認後さ

らに、オフセット処理コマンド入力前と同じスケールの画面でもう一度、補正処理結果の確認を行う。最後にオフセット終了時刻以降の全データから入力されたオフセット量を減算し、観測事項を観測情報ファイルに書きだしてオフセット補正処理を終了する。

観測機器の修理等によって2日以上以上の長期間の欠測後にオフセット処理を行わなければならない場合は、時間値においてオフセット処理を行っている。欠測期間が2ヶ月以上の場合には時間値でもこのデータ観測プログラムでのオフセット処理は行えない。

3.3 欠測処理

テレメータの回線断の期間や長周期地震波によってデータの乱れた部分などは、無効なデータとしてその期間を欠測としている。欠測処理では、コマンドを入力し、処理を行うチャンネルを指定してから欠測の開始時刻と終了時刻を画面から入力する。まず無効なデータの開始時刻をオフセット処理のときと同様に画面から入力すると、指定した時刻付近のデータを拡大して表示する。この拡大画面では縦軸のフルスケールが標準画面の $\frac{1}{2}$ (ゲインが2倍)で、時間軸方向は60データ分が表示されている。この画面で無効データの開始時刻を指定する。欠測の終了時刻も同様にして指定する。

次に計算機は欠測の期間が短時間であれば補間データの作成を行う。補間可能なデータ数は定数ファイルで指定しており、現在分値で最大100個、時間値・日値で5個までである。分値が時間値・日値に比べて多くのデータまで補間できるようにしているのは、多くの低速採取観測項目が数時間程度までの短周期に大きなパワーを持たないからである。補間データは5次の多項式を用いて欠測前後のデータから作成している。通常計算に用いるデータは、分値では欠測前後とも100個、時間値・日値では欠測前が10個、欠測後が5個である。時間値や日値では地球潮汐変化等の周期変動が大きく、多項式では長期間のデータに充分追従できないので短期間のデータだけを用いている。通常の補間計算に用いる欠測前後のデータ数は定数ファイルで指定している。補間計算の結果は、欠測終了時刻の拡大画面に表示され、オペレータが確認を行う。テレメータの回線不良等では短期間の欠測が断続的に生ずる。このような時には、補間計算に用いる欠測前後の期間にも欠測があり、補間計算がうまく行われなことがある。そのときには、オペレータが改めて補間計算に用いる欠測前後の期間を入力する。入力欠測期間の指定と同様な方法で行う。欠測前のデータが5個以上ないと補間計算は行われな。拡大画面に表示された補間データが適当であれば、オペレータはさらに欠測処理コマンド入力前と同じスケールの画面でも結果の確認を行い、補間後のデータが確定する。補間計算ができない長期間の欠測や補間結果が適当ではないとオペレータが判断した場合等は、補間を行っていない欠測として処理され、データは書き替えられずに保存される。この場合、分値で欠測補間ができなかったデータについて時間値において補間可能な場合は補間処理をしている。最後に観測事項が観測情報ファイルに書き出され欠測処理が終了する。

低速採取観測項目のうち雨量データについては既に述べた図6のようなアルゴリズムによっているので、停電等による長期間の欠測データをそのまま放置しておく、時間値計算において降雨量として計算されてしまう場合がある。そこで、雨量データについては最大補間可能時間以上の場合でも欠測前後のデータから線型補間を行うことができるようにしている。

3.4 験測情報ファイルとデータ再作成

験測情報ファイルには、各験測処理における験測対象チャンネルのチャンネル名とチャンネル番号、験測事項(オフセット処理・補間済欠測・無補間欠測の別)、処理したデータファイルの種類(分値・時間値・日値)、処理事項の開始時刻と終了時刻(オフセット処理の終了時刻は意味を持たない)、開始時刻と終了時刻の間のデータ数、オフセット量が記載される。物理量変換、時間値・日値の作成および以下に述べる時間値・日値の再作成の時には、験測情報ファイルを参照して今までの各チャンネルのオフセット累計値を計算して計算値に加算している。

各チャンネルグループの分値および時間値の験測が終了すると、験測によるデータの補正結果を全てのデータファイルに反映させるため、分値の験測終了後は時間値と日値、時間値の験測終了後は日値のデータの再作成を行っている。験測によってデータを修正しなかった場合は再作成は行わない。正時(日値再作成で0時)におけるデータを用いる時間値・日値作成では、この時刻のデータが無補間欠測の場合は、データの再作成は行わず、この時刻の再作成データについても無補間欠測として験測情報ファイルに登録する。ローパスフィルターや平均値を用いる時間値・日値作成では、計算に用いるデータの一部が無補間欠測の場合、データの再作成は行わず、再作成データも無補間欠測として験測情報ファイルに登録する。

4. データベースとその利用

地震前兆解析システムの3号機は、収録データのデータベースを構築し、地震前兆解析研究に供することを一つの主眼としている。従来の地殻傾斜データ処理システムでは低速採取データのアクセス、処理とGD表示を伴うデータ解析が非常に困難で、ミニコンピュータ2台より構成されるシステムのうち1台を延べ数日間占有するか、MT数巻におよぶデータをダンプして他の汎用計算機に移設して解析するほかなかった。今回のシステムではできるだけ大量のデータを磁気ディスク上に展開して、多数のユーザーから同時にアクセスできるようにした。またデータベース上からプライベートファイルへ複写して各研究者独自の処理を行ったデータについても、システムの豊富なユーティリティが使用できるように考慮した。さらにデータ量が膨大なため磁気ディスクへの収容が困難な分値データについては、光ディスクへ収容して研究者が必要な期間に必要なチャンネルだけを短時間にプライベートファイルへ

ロードできるようにした。

4.1 データベース

観測開始以来の全ての低速採取チャンネルの時間値および日値のデータは磁気ディスク上に展開されている。時間値・日値のデータは各チャンネル20年分が磁気ディスクへ収容できるように設計されており、観測開始の早い一部のチャンネルについて領域が不足した場合には、容易に拡張が可能である。また磁気ディスクの分値ファイルはバッファ・ファイルとして10日

表2 低速採取データ管理ファイルの内容
Table 2 Meaning of the words in a record of the managing files of low-sampling data.

項目名	内 容	データの型	データの長さ
観測項目番号	観測項目番号	整数型	4 byte
領域先頭レコード番号	データファイル内での収容領域の先頭レコード番号	整数型	4 byte
領域最終レコード番号	データファイル内での収容領域の最終レコード番号	整数型	4 byte
最終データレコード番号	最終データが格納されているレコード番号	整数型	4 byte
最終データ・データ位置	最終データのレコード中での位置	整数型	4 byte
最古データレコード番号	最初のデータが格納されているレコード番号	整数型	4 byte
最古データ・データ位置	最初のデータのレコード中での位置	整数型	4 byte
サイクリックフラッグ	サイクリックファイルかどうかのフラッグ	整数型	4 byte
観測処理済最終データレコード番号	観測が終了している最後のデータが格納されているレコード番号	整数型	4 byte
観測処理済最終データ・データ位置	観測が終了している最後のデータのレコード中での位置	整数型	4 byte
最終転送開始データレコード番号	一番最近に1号機から転送されて追加されたデータの先頭部分のレコード番号	整数型	4 byte
最終転送開始データ・データ位置	一番最近に1号機から転送されて追加されたデータの先頭部分のデータのレコード中での位置	整数型	4 byte
最古データ時刻	最初のデータの時刻	文字型	14 byte
最終データ時刻	最終データの時刻	文字型	14 byte
最終転送開始データ時刻	一番最近に1号機から転送されて追加されたデータの先頭部分のデータの時刻	文字型	14 byte

分のデータのみを収容しサイクリックに使用して、観測の終了したデータは光ディスクへ収録している。さらに長周期地震波を収録したトリガー秒値データには各イベントごとに必要な大きさのデータファイルを生成し、長周期地震波の解析に不要な雨量データ等のチャンネルを除いた全てのデータを光ディスクへ収容した後、磁気ディスク上のファイルは消去している。

これらの磁気ディスク上の秒値・分値・時間値・日値のデータファイルはすべて同一形式の管理ファイルとデータファイルの組から構成されている。管理ファイルはチャンネル番号順に各チャンネルの情報が90バイトの1レコードずつに収録された全チャンネル1200レコードのランダムファイルである。このファイルの内容の詳細を表2に示す。表2において、検測処理済最終データレコード番号・データ位置は現在使用されていない。サイクリックに使用するデータベースの分値ファイルでは、サイクリックフラッグの値が1となり、最終データレコード番号・データ位置と最古データレコード番号・データ位置が一致する。サイクリックに使用しない他のファイルはサイクリックフラッグの値が0となり、通常最古データレコード番号は領域先頭レコード番号と一致し、最古データデータ位置は1となる。プライベートファイルでは最終転送開始データレコード番号・データ位置は使用しない。このようにして管理ファイルは、データベースファイル・プライベートファイルとも分値・時間値等の別なく同一レコード長・同一レコード数で同一形式のファイルとなる。データファイルはレコード長1920バイトのランダムファイルで、データは1語4バイトの実数型なので480語(秒値で8分、分値で8時間、時間値で20日、日値で480日)が1レコードに収容できる。データファイルのレコード数は不定で、管理ファイルの指定するレコードが存在すればよい。

4.2 光ディスク

分値およびトリガー秒値を収録する光ディスクの概要については、井元(1987)に詳しい。低速採取データでは、光ディスクに収容した分値およびトリガー秒値データの管理のために分値光ディスク管理テーブル、分値チャンネル管理テーブルおよびトリガー秒値光ディスク管理テーブルという3つのファイルのリレーショナル・データベースの形式で用いている。

分値データでは、その時点で使用している全チャンネルの7日分のデータを、1つのファイルとして光ディスクに収録する。使用しているチャンネル数はときどき増減するので、これを管理するために分値チャンネル管理テーブルを用いている。このテーブルの各レコードは管理番号と1200文字のチャンネル情報からなり、チャンネル情報の1200文字が低速採取データの全チャンネルに対応し、収録されているチャンネルは文字「1」、収録されていないチャンネルは「0」が入る。チャンネルの増減があると、光ディスク収録時にこのテーブルに新しいレコードが生成される。分値光ディスク管理テーブルは、収録データの開始時刻・終了時刻、データ数、管理番号および光ディスクボリューム通番よりなり、毎回の光ディスク収録時に1レコードずつ生成される。データ数は各チャンネルのデータ数(通常は7日分で10080)で、管理番号は分値チャンネル管理テーブルの管理番号と同一のものである。光ディスクの分値データファイルのファイル名は開始時刻が含まれた形式になっており、ファイル名を開始時刻から生成できる。光ディスクのデータファイルは各セクター512バイトで、各チャンネルはセクターの最初から始まり、チャンネル間のすき間には0が詰められる。現在データ検測前と後の2種類のデー

タが、光ディスクデータのバックアップも兼ねて別々の光ディスクに入れられている。現在使用しているチャンネル数では2年間程度のデータが光ディスクの片面に収容できる。また従来の地殻傾斜データ処理システムにおいて作成した分値の磁気テープも光ディスクに同一形式で収録することにしており、現在作業を進めている。種類の異なるデータは、光ディスクのボリューム名で区別をしている。

トリガー秒値データは、各イベントごとに1つのファイルとして光ディスクに収録する。トリガー秒値光ディスク管理テーブルは各イベントの各チャンネルの光ディスク収録時に1レコードずつ生成され、収録チャンネル番号、収録データの開始時刻・終了時刻、チャンネル先頭セクター番号、データ数および光ディスクボリューム通番よりなる。データ数は分値データファイルと同様各チャンネルのデータ数である。光ディスクのトリガー秒値ファイルのファイル名も開始時刻が含まれた形式になっており、ファイル名は開始時刻から生成できる。光ディスクのデータファイルは各セクター512バイトで、各チャンネルはセクターの最初から始ま

表3 汎用モニターユーティリティのメニュー画面における選択パラメータ

Table 3 Parameter options at the menu page of the utility monitor for low-sampling data.

項目名	内 容	備 考
データ識別 管理ファイル名	データの分値・時間値・日値・秒値の別	秒値以外ではデフォルト値はデータベースのファイル名
データファイル名		
チャンネル名	チャンネル名・チャンネル番号又はチャンネルセット番号	最大10チャンネル
表示期間	表示データの開始時刻と終了時刻	両時刻とも年月日時分 両時刻間をハイフオン で区分
時間スケール	横軸のフルスケール値	10分から20年までの23 種類から選択
データスケール	縦軸のフルスケール値	観測項目毎に最大20種 類までの中から選択
オフセット補正表示	オフセット補正の時刻を矢印とその上の「C」の文字で示すかどうか	以下の項目はすべて 「ON」又は「OFF」で 選択
バルブオープン表示	歪計のバルブオープンの時刻を矢印とその上の「V」の文字で示すかどうか	
欠測補間表示(赤)	補間済欠測データを区別して赤で表示するか	
欠測補間無表示	補間済欠測データを表示するか	
オフセット無補正	オフセット補正を行う前の状態に戻して表示させるかどうか	
日本語標題	題字を日本語・英語のどちらで表示させるか	
日雨量, 日流量表示	時間値表示において棒グラフ表示の微分値だけは日値にまとめるかどうか	
スケールオーバー表示	グラフが画面からスケールアウトしたときに画面の反対側の端から折り返して表示させるかどうか	
座標回転	傾斜計・歪計のデータから任意の方向の時間変化を合成して表示させるかどうか	

り、チャンネル間のすき間には0が詰められる。現在使用しているチャンネル数では数年分のイベントが光ディスクの片面に収容できる。

4.3 データのモニター

低速採取データの研究では一般に、データをGD上にグラフ化してモニターすることが多い。このためデータのGD表示モニターのユーティリティは機能の多い充実したものになっている。モニターユーティリティには、横軸に時間軸、縦軸にデータの値をとって時間変化を表示させる一般的な汎用モニターユーティリティのほか、傾斜や歪の時間変化を傾斜ベクトルや歪テンソルの形で表示させる傾斜ベクトル・歪テンソル表示モニターがある。

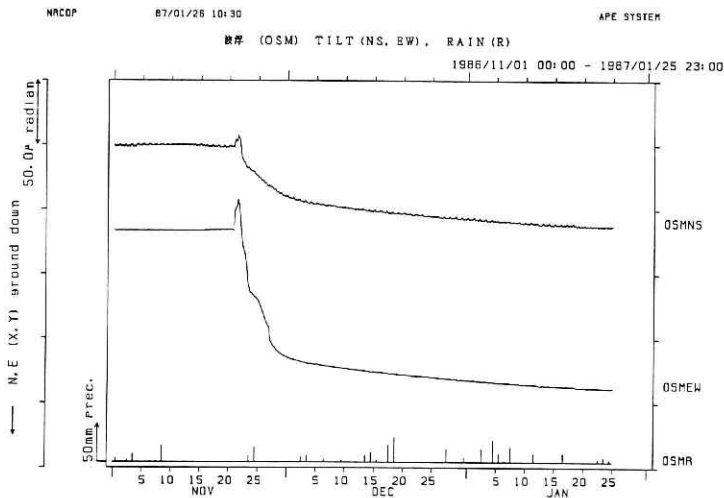


図10 汎用モニターユーティリティによる出力例
 Fig. 10 Example of the general display monitor for low sampling-rate data.

汎用モニターユーティリティでは、メニュー画面によって各種パラメータの選択が行えるようになっている。この選択パラメータの一覧を表3に示す。このモニターでは雨量等の微分値は棒グラフで表示されるが、時間値のデータを表示しているときにも、棒グラフだけは繁雑さをさけるために、選択パラメータによって日値にまとめることができる。また地震予知連絡会等への定期的な報告に用いるルーチン作業のグラフ作成においては、各グラフで選択するチャンネルセットの組み合わせをあらかじめ定数ファイルに登録しておき、チャンネル選択の繁雑さを避けることもできる。チャンネルセットの番号や時間軸・縦軸のフルスケールの選択肢がわからなくなったときには、ヘルプ機能呼び出し選択肢を表示させることもでき

る。さらに表3の座標回転を選択すると、傾斜や歪の表示において、観測されている傾斜計の直交2方向や3成分歪計の120°ずつ離れた3方向から合成される任意の方向の時間変化をモニターさせることもできる。メニュー画面で選択されたパラメータに従って、GD上には例えば図10のような出力が表示される。この出力画面において、縦軸フルスケールを変更したり、各チャンネルの画面上の位置をカーソルを用いて任意に上下させたり、任意の位置に矢印

表4 傾斜ベクトル・歪テンソル表示ユーティリティのメニュー画面における選択パラメータ

Table 4 Parameter options at the menu page of the tilt vector and strain tensor monitor for low-sampling data.

項目名	内容	備考
データ識別	データの分値・時間値・日値・秒値の別	
管理ファイル名		秒値以外ではデフォルト値はデータベースのファイル名
データファイル名		
表示図選択	傾斜ベクトルと歪テンソルのどちらか	
チャンネル名	チャンネル名又はチャンネル番号	傾斜計では南北・東西両成分 歪計では120°ずつ離れた3方向
表示期間	表示データの開始時刻と終了時刻	両時刻とも年月日時分 両時刻間をハイフオンで区分
フルスケール値	表示画面のフルスケール値	傾斜14種類, 歪15種類から選択
タイムマーク間隔	傾斜ベクトル表示に入れるタイムマークの間隔	10種類から選択

やコメントを入力したり、NLP (日本語レーザープリンター)やプロッターに画面のハードコピーを出力させることができる。また表示期間が長期にわたり何枚もの表示画面が必要なときには、任意の画面に移り変わることができる。

低速採取データでは今後も観測項目の種類が増大することが予想されるが、この汎用ユーティリティでは、縦軸に記入する物理量の単位記号、傾斜・歪等の相対値か気圧・ラドン放出量等の絶対値かの区別、雨量微分値のように棒グラフ表示させるか通常の観測項目

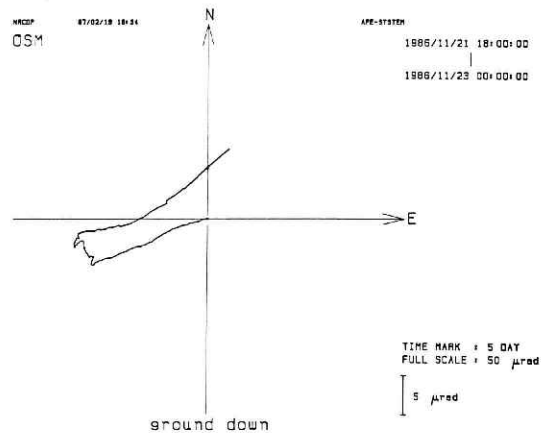


図11 傾斜ベクトル・歪テンソル表示ユーティリティによる傾斜ベクトルの出力例

Fig. 11 Example of the tilt vector display monitor.

と同様の折れ線グラフかとの区別, および観測項目ごとの縦軸フルスケール値の種類やきざみ幅を定数ファイルから読みこんでいるので, 観測項目種類の増大にも容易に対処することができる。これらの機能によって, 研究上必要なデータのモニターを円滑かつ効率的に進めることが可能となった。

傾斜ベクトル・歪テンソル表示ユーティリティでも, メニュー画面によって各種パラメータの選択が行えるようになっている。選択パラメータの一覧を表4に示す。フルスケール値やタイムマーク間隔の選択肢がわからなくなったときには, ヘルプ機能呼び出し選択肢を表示させることができる。メニュー画面で選択されたパラメータに従って, GD上には例えば図11のような出力が表示される。この出力画面において, フルスケールやタイムマークの間隔を変更したり, 任意の位置に矢印と4文字までのコメントを入力したり, NLP(日本語レーザープリンター)やプロッターに画面のハードコピーを出力させることができる。

4.4 データのアクセス

地震前兆現象の検出等の観測データの解析研究においては, データアクセスの容易さとデータ処理のためのユーティリティプログラムの豊富さが研究効率を大きく左右する。今回のシステムでは, 低速採取データに関するモニター以外のユーティリティの充実にも努めている。まずデータベース中の低速採取データの数値ダンプやユーザプログラムからアクセスするためのサブルーチン等は整備を完了している。またユーザがプライベートなファイルをデータベースの低速採取データファイルと同一形式で作成したり, そのファイルにデータをコピーしたりすることも可能である。すでに述べたように, こうして作成したプライベートファイルのデータについても, モニターユーティリティを使用することができるので, 現在通常の解析研究における支障はないと考えられる。さらにモニターユーティリティにおける欠測等の表示に使用する検測情報ファイルについても, プライベートファイルを作成してモニターユーティリティに利用することができる。これらユーティリティプログラムの一部については, 使用方法の一部に改善の余地があったり, 使用説明書の整備が間に合わない等の問題点がある。またプライベートファイルのデータを用いた時間値・日値の作成等のユーティリティも整備していく予定である。

5. 議 論

地震前兆解析システムにおける, 低速採取データの処理に関するサブシステムはほぼ完成し, 現在デバッグ作業も一段落したところである。振り返ってみて, 当初のねらい通りにできた部分と意図に沿わなかった部分がある。例えばデータ検測に関する当初の計画では, 最初の教育期間を過ぎれば, 処理の判断はオペレータによるマンマシンの半自動処理に移行し

て、研究者は通常の験測業務には関知しないことを目ざしていた。しかし現状では、毎週の験測前にあらかじめ分値のデータをNLPにモニター出力して、研究者が修正項目を決めてオペレータがこれに従って処理を行っている。このため担当の研究者の業務時間のかかなりの部分がルーチン験測に割かれてしまう。これは2つの点で問題である。まず担当の研究時間が単純作業で割かれてしまうこと。もう一つは、オペレータと違って研究者の処理規準は時間とともに変化してしまうことである。オペレータは最初に処理規準を覚えた後、研究者ではないので処理規準を変える理由がないので、処理規準はかわらないと考えられる。たとえオペレータが交替しても、引き継ぎさえされていれば問題はない。一方研究者は、研究の進展や計器に関する考え方の変化から処理規準を少しずつ変化させていく。また担当者が代わったときも、各研究者にはデータ処理や計測に対するそれぞれの考え方があるので、前任者のやり方を踏襲しようとは考えない。今回意図したオペレータによるマンマシンの半自動処理ができなかったのは、オペレータの処理判断に関する能力や教育を行った研究者の教育に対する熱意が足りなかったというよりは、低速採取観測項目を担当する各研究者間で、処理規準に関するコンセンサスができなかったのが主な原因である。研究者によって験測に関する処理規準が異なるのは当然のことなので、データ処理は担当者の専決により処理していく、という体制を確立していくことが今後重要であろう。

計算機システムの開発において、プログラムのアルゴリズムやデータにおける誤りは付きものである。重大な間違いの場合は直ちに修正されるが、影響の小さな機能のずれ、プログラムの冗長さや無意味な機能等では、訂正されずに放置されることも多い。計算機システムの開発においては、このような小さな部分の訂正によって重大な間違いを引き起こす場合も多く、開発費の効率の点からも不経済であるためである。前章までに述べた本システムにおいても、例えばデータ験測のオフセット処理におけるオフセット終了時刻は験測情報ファイルに保存されるはずであったが、現在験測情報ファイルのオフセット終了時刻には意味のない値が入っている。また験測情報ファイルのデータ数の項目は、開始時刻と終了時刻から計算できるので保存する必要はないが、削除されずに放置されている。データベース中のデータにもこのような不必要な部分や誤りが多数放置されている。しかし、計算機システムにおいて無謬性とシステム開発の経済性の追及とが矛盾する課題であるのと同様、研究においてもデータや処理システムの無謬性のある程度以上の追及は、研究効率の追及と矛盾してくる。両者のバランスをどうするかは常に問題となる点であろう。

6. おわりに

地震前兆解析システムにおける低速採取データ処理のサブシステム開発の概要をまとめた。本システムは地殻傾斜データ処理システム(大久保ら, 1982)を継承し発展させたもので

ある。

- ① 地震前兆解析システム1号機において、テレメータインタフェイスから伝送される毎秒値を用いて、メディアン法を使って毎分値を作成し収録している。この毎分値は2号機および3号機において物理量に変換され、さらに分値から時間値・日値を作成して自動前兆解析やオペレータによる検測に用いている。
- ② 地震データと同様のSTA/LTAの比を用いたトリガーにより長周期地震波の検出時に毎秒値を収録している。この毎秒値は事実上時間制限なく長時間の収録が可能である。
- ③ 分値・時間値・日値のオペレータによる検測処理プログラムを開発し、観測データの地震等による跳び(オフセット)や無効値の指定と補正を行っている。
- ④ 観測データを用いた解析研究のためのデータベースの整備を行った。時間値・日値は磁気ディスク上に観測開始以来のデータが全て収録され、分値とトリガー秒値のデータは光ディスクに収録されている。データ検測時の検測内容はリレーショナル・データベースの形式の検測情報ファイルに収録されている。
- ⑤ データベース上の低速採取データをモニターする、汎用性の高いユーティリティを開発した。また検測データの解析に用いる様々のユーティリティ・プログラムの整備も行い、研究の効率化を可能にした。

本システムの概成により、今後の各低速採取観測項目の研究の一層の発展が期待される。

謝 辞

本システムの設計にあたって、従来の地殻傾斜データ処理システムを用いたデータ処理にあっていた元当センター第2研究部の故立川真理子研究員に多くの助言を頂いた。ここに感謝し、冥福を祈りたい。当センター第2研究部の松村正三地震前兆解析研究室長には、地震前兆解析システム全体の設計の立場からいろいろと有益な助言を頂いた。同研究部の山水史生主任研究員にはButterworthフィルターのプログラムを提供して頂いた。また、同研究部の関口渉次研究員には低速採取データのデータ整理に関して多くの協力を頂いた。さらに、実際のプログラム開発にあたっては、小西秀之・塩谷毅・文道久志・村嶋学の各氏をはじめとする多くのシステムエンジニア・プログラマの多大の協力を得た。ここに記して感謝する。

参 考 文 献

- 1) Evans, J.R. (1982): Running median filters and a general despiker, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **72**, 331-338.
- 2) 浜田和郎ら(1982): 関東・東海地域地殻活動観測網——国立防災科学技術センター, *地震II*, **35**, 401-426.
- 3) 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, **41**, 129-136.

- 4) Matsumura et al. (1986) : The analyzing system for precursors of earthquakes (APE) of the National Research Center for Disaster Prevention, Japan, Proc. 5th Joint Panel Meeting U.J.N.R. Panel on Earthquake Prediction Technology, 308-330.
- 5) 松村正三ら(1987) : 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.
- 6) 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, **41**, 45-64.
- 7) 大久保正・佐藤春夫・松村正三(1982) : グラフィックディスプレイ装置を用いた地殻傾斜変動図の作成, 国立防災科学技術センター研究報告, **27**, 145-157.
- 8) Sakata S., Shimada S. and Noguchi S. (1982) : Continuous crustal strain observation in Kanto district, a triple junction area, by new-type three-component borehole strainmeters, Proc. General Meeting IAG, Tokyo, May 7-15, 1982, 226-232.
- 9) 島田誠一・坂田正治・野口伸一(1983) : 3成分ひずみの観測, 記録およびデータ処理方法, 国立防災科学技術センター研究報告, **31**, 101-110.

(1987年11月24日 原稿受理)