

箱根火山・傾斜変化解析システム

八巻和幸、小鷹滋郎、伊東博、棚田俊收、大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所 *

Tilt Change Analyzing System of Hakone Volcano

by

Kazuyuki YAMAKI, Shigeo ODAKA, Hiroshi ITO, Toshikazu TANADA and Yasue OKI

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

The Earthquake and Groundwater level Observation System (EGOS) is constructed by the Hot springs research institute of Kanagawa prefecture (HSRI) in March 1989. The EGOS is monitoring the seismic activity and the crustal tilt changes in the Hakone volcano to detect precursors of large earthquakes and volcanic activity.

The EGOS is composed of seismometers, tiltmeters, thermometers, rain gauges, water gauges and barometers. Borehole-type tiltmeters are installed at the bottom of the three boreholes about 100m deep. Three borehole-type tiltmeters are distributed in a regular triangle with the side length of about 3km. The stations are located at Kojiri, Kozukayama and Komagatake surrounding Mt. Kamiyama, one of the central cones. The data are transmitted through the NTT D - 1 lines to the Observation Center (HSRI), and outputted to a multipoint recorder and a magnetic disk.

We developed a Tilt Change Analyzing System using digital data with personal computer for a monitoring the long-term tilt changes. We introduce its operating functions in terms of graphic presentation and correction of noises, etc. The geological setting of the observation wells and the observation equipments are also described.

The quality of observed data are very good except for the effect due to rain fall as well as topographical and geological inhomogeneities. After 1989 East Off Izu peninsula Earthquake Swarm in July, tilt vector changed abruptly at every station.

* 神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第21巻、第3号、87-102、1990

1 はじめに

神奈川県西部地域にマグニチュード7級の大地震が、1990年代から2000年代初めに発生する可能性（石橋、1985、笠原、1985）が指摘されている。国では昭和62年度（1987）から科学技術庁が中心となり、神奈川県西部でマグニチュード7級の地震予知研究を開始した。

温泉地学研究所は、昭和43年（1968）から有線による箱根火山の地震観測を神奈川県土木部から移管された。また昭和51年（1976）からは、ボランティア活動による民間観測協力者の“なまずの会”による地下水位の観測を続けて地震予知研究を行っている。それらの観測体制をさらに強化するため、平成元年（昭和64年、1989）3月にNTTの電話回線を用いたテレメータによる地震・地下水位観測システム（伊東ら、1990）を完成させた。

このシステムには、大地震の前兆を捉えらるのに有効（佐藤ら、1984）であるボアホール型傾斜計も設置された。それらを設置した深さ約100mの観測井は、箱根カルデラ内の神山を中心に正三角形（一辺約3km）になるように3点配置されている。データは実時間で温泉地学研究所内に設置された観測センターに送られ、打点式記録計と磁気ディスクに記録される。

ここでは各観測点の設置状況とテレメータ装置の概略を説明する。また、パーソナルコンピュータを用いてデジタルデータの編集や作図を行う解析システムを開発したので紹介する。

2 観測点

箱根カルデラ内における観測点の位置を図1に、その詳細を表1に示す。箱根の火山性地震は過去の観測から神山の北側、大涌谷と早雲山硫気地帯の直下に集中していることが知られている（平賀ら、1986）。全体の観測点の配置は、それらの地震が精度良く震源決定されるように考慮された。さらに湖尻・小塚山・駒ヶ岳の3観測点は、約100mのボーリングを施し地震計のほかに傾斜計と温度計も併せて設置した。これらの3観測点は、神山を中心にして一辺が約3kmの正三角形に配置しており、箱根火山における群列傾斜観測を担っている。

2.1 観測施設

小塚山観測点で地上に加速度計が2台（上下動と水平動）設置されていることと、駒ヶ岳観測点で雨量計が設置されているのを除いて、どの観測点も同様な仕様で構成されている。箱根火山は、富士箱根伊豆国立公園内にあり十分な用地の確保が難しい。観測施設（図2）の敷地面積は12～16平方メートル（3.0×4.0～5.33m）で、テレメータ装置を納めた屋外筐体（0.7×0.6×1.9m）と観測井から構成される。避雷対策として、電力線は耐雷トランスで、信号線はアレスタで対処している。また、接地抵抗も観測井のケーシングパイプを用いているので、数～10数Ω（表2）以下と良好なアースとなっている。何等かの原因でAC100Vが切れても、電力バックアップ用のバッテリーにより約24時間稼働することができる。

表1 観測点の位置と深度

観測点	緯 度	経 度	標 高	掘削深度	設置深度
湖 尻	35°14'15.8"N	139°0' 5.0"E	782m	103.60m	97.96m
小塚山	35°15'20.7"N	139°2' 5.9"E	565m	104.25m	101.19m
駒ヶ岳	35°13' 0.8"N	139°2'10.9"E	1065m	101.00m	89.89m

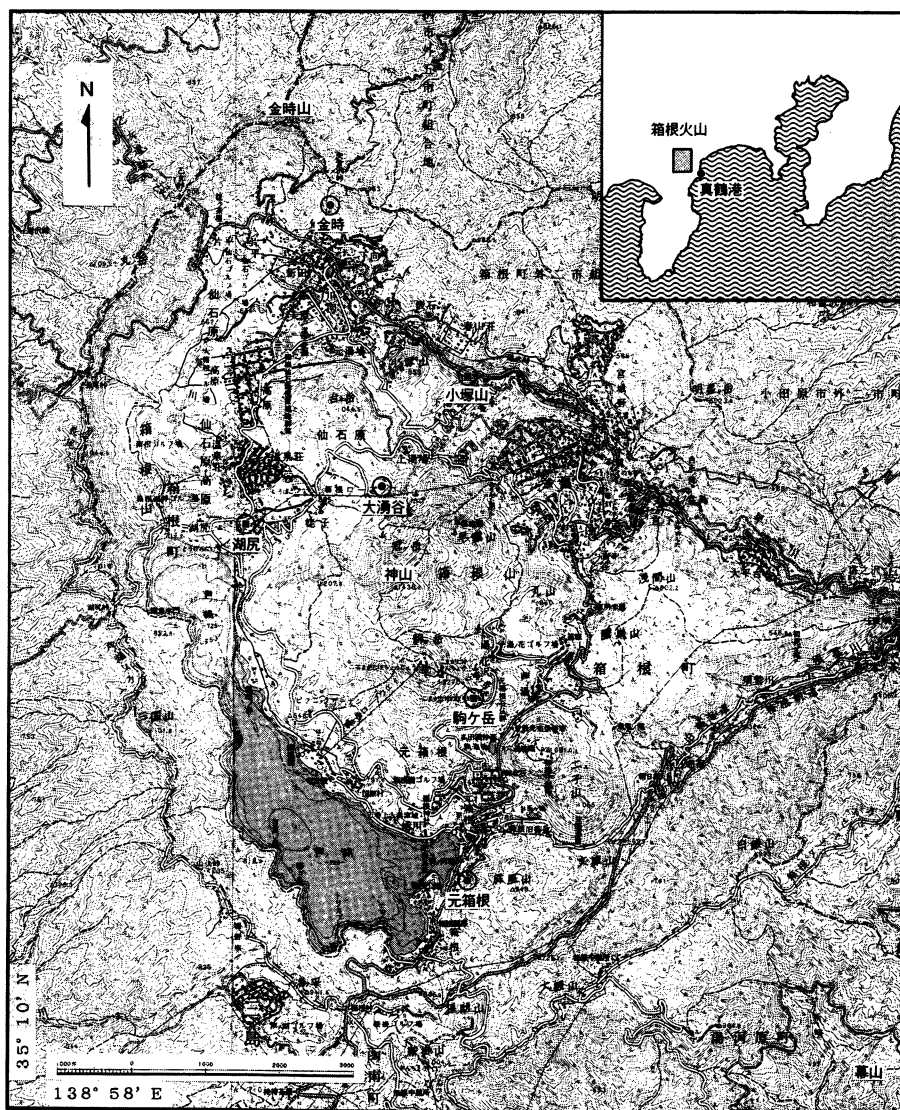


図1 観測点の位置 建設省国土地理院発行5万分の1地形図「小田原」と「御殿場」を使用し作成した。
 ■：地下埋設式地震計・傾斜計、●：地上据置式地震計

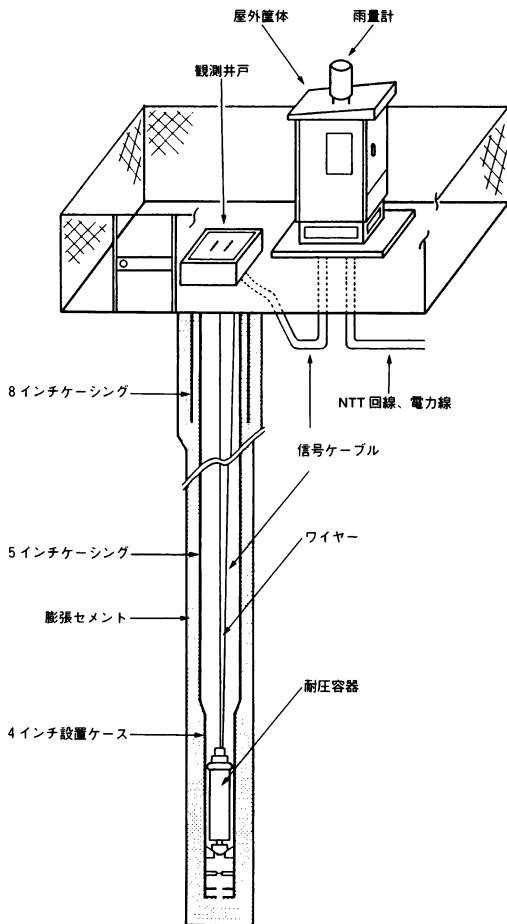


図2 観測施設（駒ヶ岳）

2.2 観測計器

長基線による傾斜観測装置の設置が望まれるが、前述の用地問題により難しい。また、微小地震観測も同時に行うため、生活ノイズによる影響を少なくでき建設用地が小さくて済む孔井方式を採用した。傾斜センサーは国防防災科学技術センターと明石制作所で共同開発（佐藤ら、1980）されたJTS-23型（明石、福尾、1977）で、直径101.6mm、長さ2330mmの耐圧容器に、地震計（水平2成分、上下1成分）と温度計と共に収納されてる。傾斜計（水平2成分）は力平衡型振子式（写真1）で、孔井内で振子を鉛直に保つため $\pm 3^\circ$ まで地上からパルスモーターを駆動することにより姿勢を制御することができる。各観測計器の特性を表3に示す。

2.3 観測井

観測井の掘削は、まず孔径244.5mmで約10mまで掘り進み、コンダクターパイプとしてフランジ付き8インチケーシングを挿入して比重1.80のセメント（セメント:水=1:0.54）で固定した。その後孔径98.4mmで、約100mの深度までコアリングを行ったのち拡孔し、非磁性の4インチ設置ケースを接続した5インチケーシ

ングパイプを挿入した。掘削時に逸水現象の発生した湖尻観測井と駒ヶ岳観測井については、比重1.90～1.94の硬ねりセメントミルクにより逸水防止を行った。4インチ設置ケースと5インチケーシングは、観測計器を支持する重要な部分であるので、膨張剤（ジブカル）を配合した比重1.80のセメントミルク（セメント:水:膨張剤=1:0.55:0.03）でフルホールセメンチングを行った。セメントミルクは孔底に接続されたパイプを通してポンプにより圧送し、5インチケーシングと8インチケーシングの間から排出されるまで注入した。その後、4インチ設置ケースと5インチケーシング内に清水を圧送して洗浄し、0.6%のレスコール（防錆剤）溶液で清水を置換させ孔口まで充満させた。

通常の水井戸などとは違い、地震や傾斜の観測を行う観測井では、センサーを鉛直または水平に設置する必要があり孔芯傾斜が問題となる。孔芯傾斜の測定結果（表2）は、いずれの観測井でも地上

表 2 試験測定項目と結果

試験測定項目	湖尻観測井	小塚山観測井	駒ヶ岳観測井
接地抵抗	8Ω	9Ω	15Ω
孔芯傾斜(100m)	1°00′	0°55′	1°00′
キー方位角	N84.9°E	S88.2°W	N75.2°E

から姿勢制御の可能な±3°以内の傾斜角に収まっている。

水平動地震計と傾斜計が孔底で正確に東西南北方向を向くようにするため、設置ケース内にはキーが設けられている。計器設置に先だってジャイロ検層を行いキーの方位を測定した。結果(表2)に基づき着底具をずらせて固定し、計器を台座に着底(写真2)させた。

2.4 地形・地質

箱根火山は伊豆半島の付け根にあり、更新世中～後期に2回のカルデラ陥没をはさむ3回の活動により形成され、古期外輪山、新期外輪山及び中央火口丘群からなる3重式火山である。2回のカルデラ陥没のあと第3期の活動で、北西(金時山)～南東方向(幕山構造線)に配列する7個の中央火口丘群がカルデラ内に生まれた。中央火口丘群は、成層火山の神山を除き全て熔岩円頂丘である(久野久, 1972)。

掘削時に各観測井から採取したコアから判明した孔井地質を地質柱状図(図3)に示す。

湖尻観測井

中央火口丘群の内ただ一つの成層火山である神山の北西部山麓の山崩れ堆積物の分布するゆるやかな

台地で、周りは杉の人工林である。安山岩熔岩と凝灰角礫岩から成り90m前後に泥流堆積物と推定される角礫混じりの粘土層がある。計器設置深度の98.0m付近は、硬質の灰色で中粒の斑状安山岩である。

小塚山観測井

中央火口丘群の熔岩円頂丘の一つである小塚山の東方約1kmに位置し、中央火口丘噴出物分布域と古期外輪山熔岩分布域の境界部に当るが本井は後者になる。上部に軽石流堆積物が見られるが、全体として所々に薄い安山岩熔岩を挟有する凝灰角礫岩である。礫は礫径1～10cm大で基質は暗灰色～暗褐灰色砂質火山灰で全体に

表 3 観測計器の特性

傾 斜 計	
検出成分	水平2成分(X・Y)
出力感度	100mV/秒角±5%
測定範囲	100～0.01秒角
増幅器高域折れ点	30秒
傾斜補正範囲	±3度角
固有振動数	X=1.8Hz、Y=2.0Hz
温 度 計	
測温範囲	0℃～+40℃
精度	±0.1℃
分解能	0.001℃
転 倒 ま す 型 雨 量 計	
1転倒雨量	0.5mm
受水口径	200mm
測定精度	20mm/h以下

半固結状である。計器設置深度は、部分的に固結している101.2mに設定した。

駒ヶ岳観測井

中央火口丘群の熔岩円頂丘の一つである駒ヶ岳の山頂から東南東800mの斜面にあり、駒ヶ岳安山岩の分布域内に位置する。表層の礫混じり土砂を除いて全体が安山岩熔岩で、上部は粗粒の斑状安山岩である。続いて粗粒で斑状の酸化～風化安山岩になる。23.6m以深は粗粒で斑状の緻密質安山岩で硬質であるが、割れ目が発達し半棒状～岩片状コアに砕け易い。計器設置深度は、比較的破碎の進んでいない89.9mに設定した。

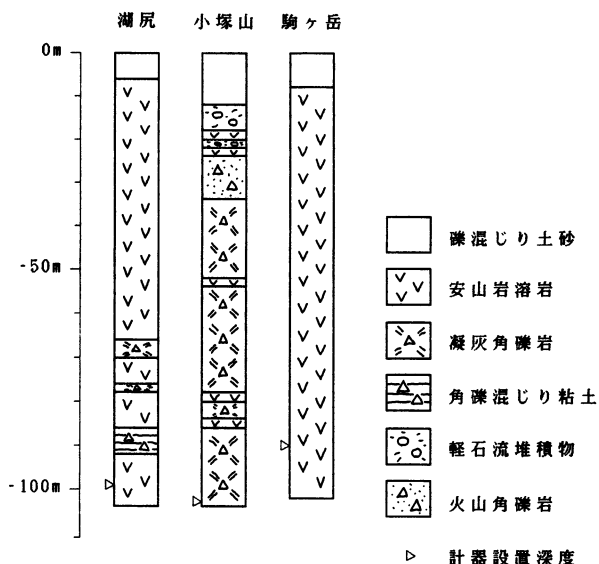


図3 地質柱状図 10m以浅については掘削状況から推定したものである。

3 テレメータ

観測点から観測センターまでの傾斜

データの流れを図4に傾斜観測システムとしてまとめた。傾斜計（水平2成分）・温度計・雨量計センサーの出力は、各観測点毎に1 Hz サンプリング（低速採取データ、語長16ビット）でA/D（アナログ/デジタル）変換される。低速採取データは、120 Hz サンプリング（高速採取データ、語長12ビット）の地震計出力と一緒にQAM（直交振幅）変調され、NTTの4線式D-1回線を用いて伝送速度9600bpsで観測センターに伝送されてくる。最大1観測点当り低速採取データ32項目と高速採取データ5項目まで観測が可能である。

観測センターでは、受量装置によりデジタルデータに復調され遅延装置に送られる。遅延装置ではアナログデータとデジタルデータの2系統の出力がされる。アナログデータ出力は16ビットデータの上位または下位の12ビットをD/A（デジタル/アナログ）変換して、常時監視用に打点式記録計（12打点）へ打ち出している。デジタルデータ出力は、高速採取データ64チャンネルと低速採取データ120チャンネルの合計15,846バイトのテレメータ（TM）データとして、1秒毎に GPIB インターフェイスを介して EWS 4800/50（NEC 製エンジニアリングワークステーション、以下 EWS とする）に送信される。EWS で低速採取データは、毎正分の瞬時値を抜き出されて高速採取データと分類される。分類されたデータは、毎日の替り時（0時00分）にチャンネルデータ収録ファイルとして磁気ディスク内に生成される。1日分のファイル容量は345,840バイトで最大62ファイル生成され、その後古いファイルから上書きされて行く。

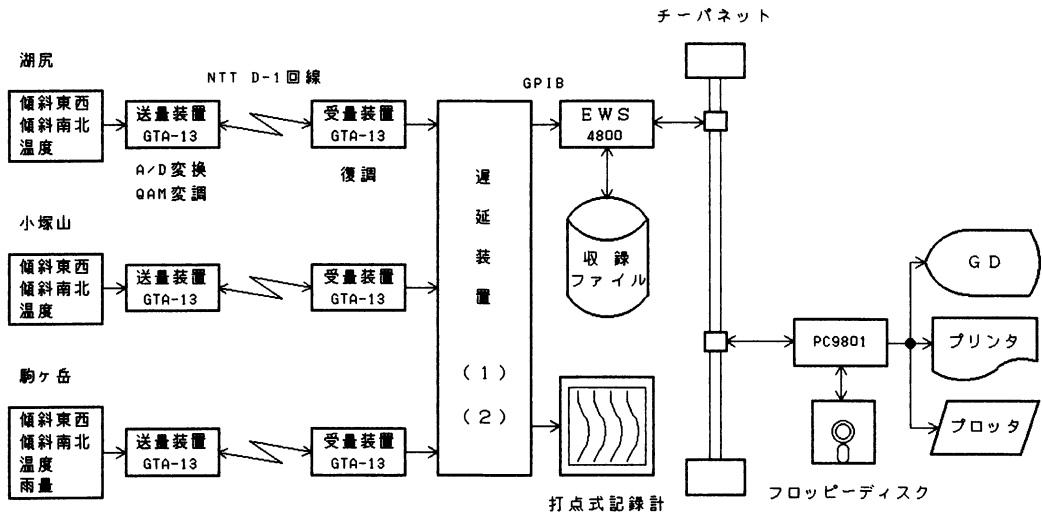


図4 傾斜観測テレメータシステム

4 解析システム

昭和63年度（1988）に完成したシステムでは、低速採取データの可視記録は、記録紙（紙送り速度6 mm/h）に打ち出されるのみである。記録紙は、数時間～1日程度の短期的な変化の確認には良いが、数日～数ヶ月の長期的な変化を見るには記録紙が長くなり適していない。そこで、デジタルデータを利用して長期的解析を容易に行う解析システムを、パーソナルコンピュータ（NEC製の16ビットのPC-9801RXを使用、以下PCとする）で作成した。EWSは、高速採取データのオンライン処理（地震の検出・収録・震源計算）に使用されており、画面は常に最新地震情報の表示がされていることにより使用しなかった。EWSとPCは伝送速度10Mビット/秒のチーパネットで接続され、オンラインでファイルのコピーや編集ができる。PCでのデータ処理は、(1)取り込み、(2)確認・修正、(3)編集、(4)作図から成り、詳細は次の通りである。

(1)取り込み

チャンネルデータ収録ファイルは未使用のチャンネルも含めた120チャンネルの固定長のファイルであるため、データ容量は膨大なものとなり全て保存することは難しい。PCで利用できるように、使用中のチャンネルのみを抜き出しディスクに保存するようにした。1 Mバイトのフロッピーディスク1枚に、3観測点のデータを1カ月分記録することができる。取り込みは随時行うことができ、実行直前の正分までのデータが取り込まれる。

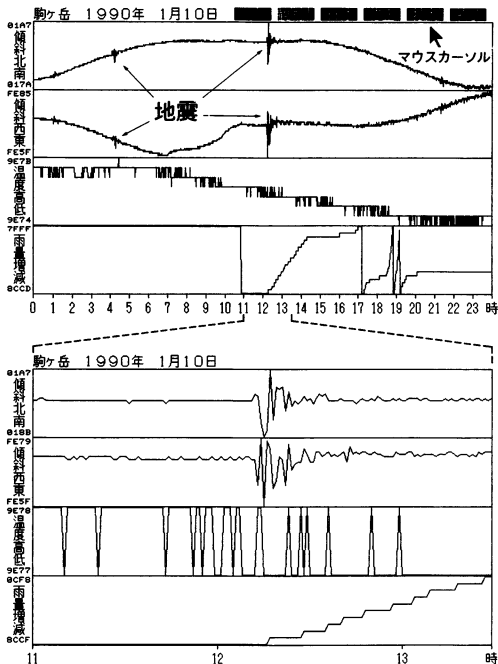


図5 確認・修正処理画面 下段は上段の11時00分～13時30分を拡大表示したもの。

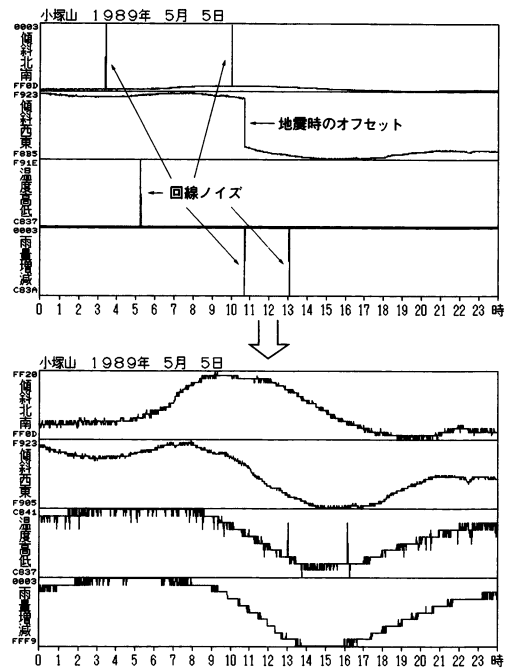


図6 回線ノイズと地震時の衝撃によるデータのオフセット この図のオフセットは人為的に挿入したものである。上段:修正前、下段:修正後

(2)確認・修正

グラフィックディスプレイ装置（以下GDする）とマウスを用いて、取り込まれた1日分のデータを観測点毎に表示（図5）し確認・修正することができる。画面の左端に表示されている数字は、検出器の出力電圧をA/D変換した値の最大値と最小値を16進数で表示している。データの物理量変換は、編集処理と作図処理で行う。

修正（図6）を行うデータの対象は、①伝送時のノイズによる誤りと、②地震時の衝撃による機械的なオフセットである。①の場合は、その区間のデータを欠測扱いとし作図処理では使用されないようにする。②の場合は、オフセット値を半自動（オフセットの発生する直前の値）または手動で入力しオフセット以降のデータから差引く。いずれの操作も画面を見ながらマウスで処理の選択と区間を指定することにより実行できる。変更を行った場合は、その種類と期間または修正量を修正情報ファイルに書き出し管理している。正確な修正作業を行うため（初期画面は596ドットに1440データを表示）、画面上の任意の2点をマウスで指定し拡大表示（図5）することもできる。

画面のハードコピーは、用途に応じて大中小（304mm×190mm、202mm×126mm、101mm×63mm）の3段階でプリンタに出力することができる。

(3)編集

16ビットバイナリデータを次の作図処理でできるように、アスキー変換しファイルへ書き出す。データは解析の目的に応じて、①1分データ、②1時間単純平均データ、③6時間毎の抜き出しデータ、④1日単純平均データが選択できる。傾斜データは傾斜角には変換せず、データ量が少ない整数値で書き出している。

温度データは、アンプの倍率とセンサーの感度をパラメータとして与えて温度に変換している。

雨量計は、転倒ます型で1転倒雨量(0.5mm)毎にパルス信号を1つ発生する。パルス信号は復調器で計数され電圧信号に変換される。出力電圧は $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$ を20分割した値を取り、1パルス毎に1分割づつ増加し $+5\text{ V}$ まで上がると -5 V に折り返す。電圧値を雨量に変換するには、任意の一定期間の差分を取り係数を掛けることにより行う。期間中に欠測データがある場合は、欠測部分は降雨なしとし前後の雨量の合計をその期間の雨量としている。

(4)作図

前項で編集されたデータを用いて、日報・月報・4ヵ月報・年報・ベクトル図を作図する。いずれもGDおよびXYプロッタの両方で出力が可能である。XYプロッタ出力で傾斜データは、目盛りに従って振幅を調整され作図される。ベクトル図以外は、(a)観測点毎に傾斜2成分・温度・雨量を1枚の図面に作図するものと、(b)3観測点の傾斜1成分と雨量を1枚の図面に作図する出力を選択できる。XYプロッタによる、日報(図7)、月報(図8)、4ヵ月報(図9)、年報(図10、図11)の出力例を示す。出力例中の“雨量計設置”や“システム調整期間”などの注釈は、表示方式・期間・文字列・高さを指定するだけで任意に作図させることができる。図面下段の雨量データ表示の欄は、ファイルに収録された地震を計数し、地震数を表示(図10b、c、図11b、c)することもできる。

ベクトル図は1日・4ヵ月・1年で作図でき、6時間と1ヵ月毎にマークを入れることができる。ベクトル図の原点を各観測点の位置に合わせたベクトルの日変化と年変化を、それぞれ図12a、図12bに示す。

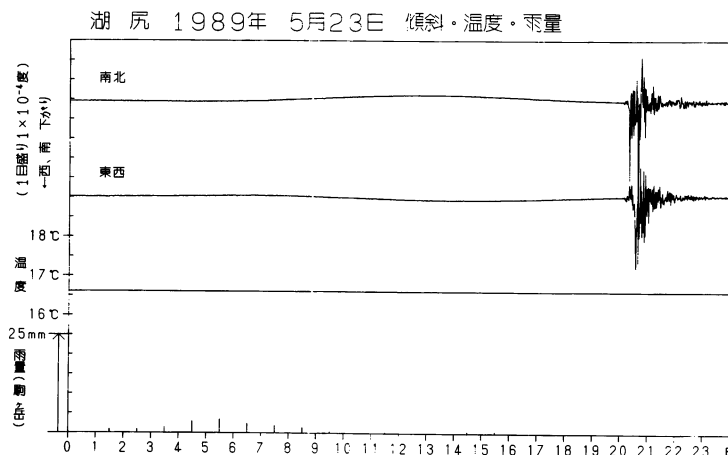
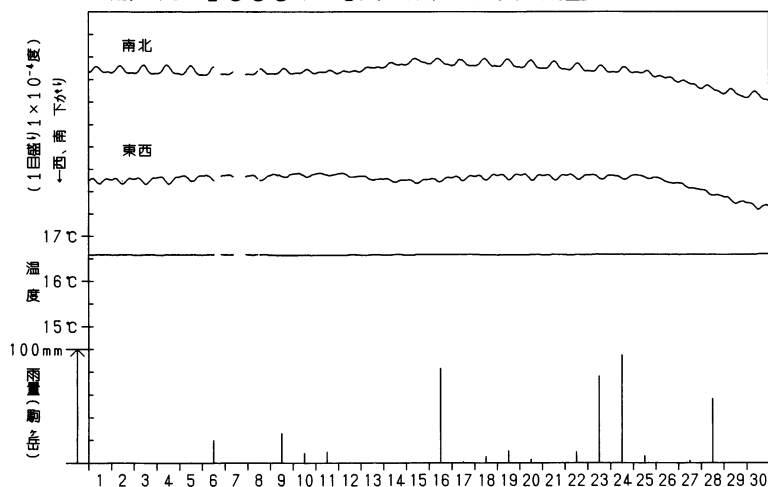
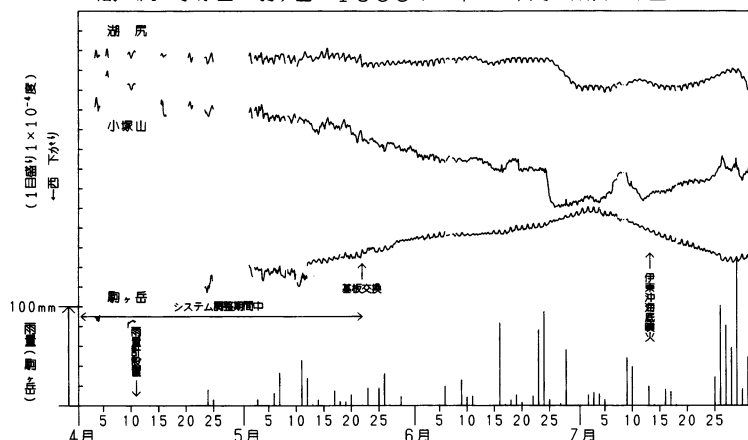


図7 XYプロッタによる日報
傾斜計でとらえられた地震記録

湖尻 1989年 6月 傾斜・温度・雨量

図8 XYプロットによる1カ
月報 観測点毎の傾斜・
温度・雨量

湖尻・小塚山・駒ヶ岳 1989年 4～7月 傾斜 東西

図9 XYプロットによる4カ
月報 3観測点の成分毎
の傾斜と雨量

5 観測結果

5.1 現在の記録状況

傾斜計を収めた耐圧容器は、それぞれ1988年の10月13日に駒ヶ岳観測井、11月18日に小塚山観測井、11月25日に湖尻観測井の孔底に設置された。孔底設置後まだ1年ほどでドリフトも大きく、ケーブルのたわみや耐圧容器のクランプ装置の歪みの解放による傾斜ステップも見られる。

1989年7月始めの駒ヶ岳観測井の東西成分(図11c)と10月中旬の湖尻観測井の東西成分(図11c)の傾斜方向の逆転は、それぞれ7月1日の山梨県東部地震(M4.4)と10月14日の伊豆大島近海地震(M5.7)により傾斜オフセットが発生した後に起っている。傾斜オフセットは全ての観測点で記録されているが、傾斜方向の逆転は前述の2ヵ所のみである。この傾斜方向の逆転は地盤の傾斜方向が変化したのではなく、地震の衝撃により耐圧容器が動いてしまった(佐藤ら、1980)と考えられる。小塚山観測井の南北成分の9月から10月にかけての傾斜方向逆転(図10c)に対応する地震の発生はなかった。

5.2 潮汐の影響

1989年6月20日大潮（満月）の翌日の傾斜ベクトル日変化を図12aに示す。明らかに駒ヶ岳観測井が、他の観測井と違った傾きを示している。同日の真鶴港（図1）における満潮の時刻は、4時と19時（建設省国土地理院資料による）である。満潮時刻に約1時間遅れで東南下がりと南下がりを示す湖尻観測井と小塚山観測井が、海水荷重による大局的な傾斜変化と調和している。駒ヶ岳観測井については急傾斜地にあるため、地形的な影響（Harrison、1976）の可能性がある。小塚山観測井の東西成分は特に変動が大きく、潮汐による変化も不明瞭（図9）である。地質的に小塚山観測井が中央火口丘噴出物と古期外輪山熔岩の境界部に当ることや状態が半固結であるためであろう。

5.3 降雨の影響

降雨や地形による影響は、観測井の設置場所によって固有の現れかた（佐藤ら、1980）をすることが知られている。

湖尻観測井は、最も明瞭に降雨の影響（図10a、図11a）が現れている。降雨後の傾斜変化は、芦ノ湖の増水（図13）に伴い芦ノ湖のある南西下がりを示している。観測点の中で芦ノ湖に最も近いため、その影響も最も強く受けている。

小塚山観測井の東西成分（図11a）でも顕著に降雨の影響が現れているが、その現れ方は複雑である。小塚山観測井の南側36mを西北西から東南東へ流れる幅15mの早川の存在や、観測井付近が神山から流れ出る地下水の大湧水地帯（大山ら、1987、1990）であることによる。

駒ヶ岳観測井では、7月下旬から8月にかけての梅雨時に降雨の影響（図10a、図11a）が現れているだけである。芦ノ湖の増水による影響と考えられるが、降雨後の傾斜変化は南南東下がりを示し地形的な影響の可能性がある。他の観測井で影響が出ている雨量に対して反応しないのは、標高が高く斜面に立地しており降った雨は付近に留まらず流れ去ってしまうためである。

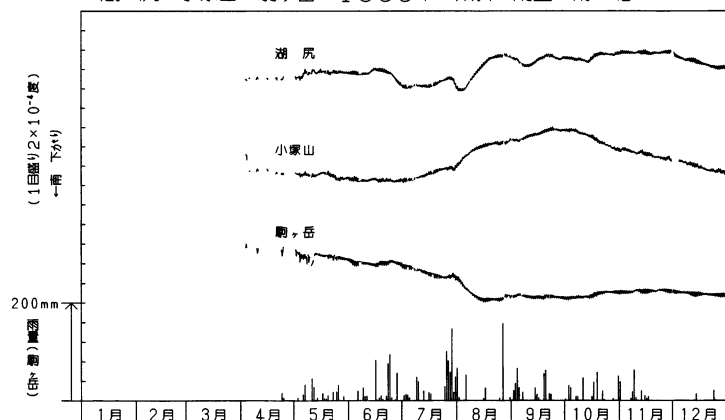
5.4 箱根火山の地震活動と傾斜変化の関係

箱根カルデラ内の地震計でS-P時間2秒以下の地震と傾斜変化の関係を図10bと図11bに示した。いずれの地震もF-P時間数秒程度の無感地震で傾斜記録にオフセットの発生したことはない。

今回、潮汐による傾斜変化と地震数の関係は調査していないが、平賀（1987）により次のような報告がされている。神山における地殻潮汐の位相（重力計算からの値）と地震数を比較した結果、明瞭な関係は見出せないとしている。

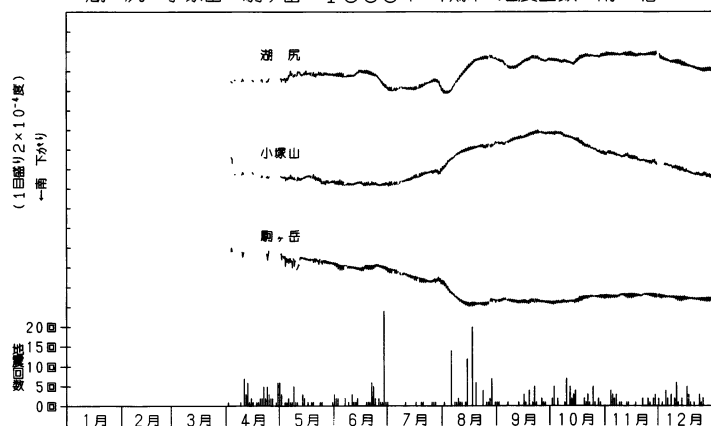
ここで注目して置きたいのは、平賀（1987）が指摘している“伊豆半島付近海域の地震活動と箱根火山の地震活動の間に相補的な関係が認められる”ということである。海底噴火を伴った1989年6月30日からの伊豆半島東方沖の群発地震に先立ち、箱根火山で6月29日01時～03時の間に22個の微小群発地震（温泉地学研究所地震・傾斜・地下水位の観測概況、1989年11月による）が発生している。

湖尻・小塚山・駒ヶ岳 1989年 傾斜・雨量 南-北

図10 XYプロッタによる年報
3観測点の南北成分

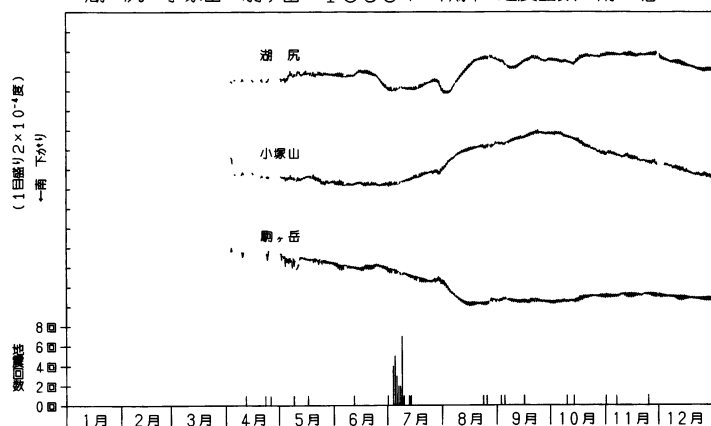
(a)雨量と傾斜経年変化

湖尻・小塚山・駒ヶ岳 1989年 傾斜・地震回数 南-北



(b)箱根カルデラ内の地震計でS-P時間2秒以下の地震数と傾斜経年変化

湖尻・小塚山・駒ヶ岳 1989年 傾斜・地震回数 南-北



(c)箱根カルデラを中心に半径300km以内に発生したマグニチュード4.0（気象庁週間地震概況による）以上の地震数と傾斜経年変化

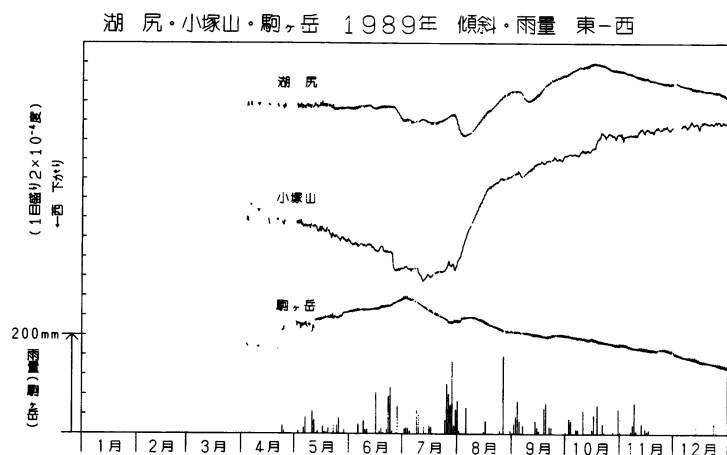
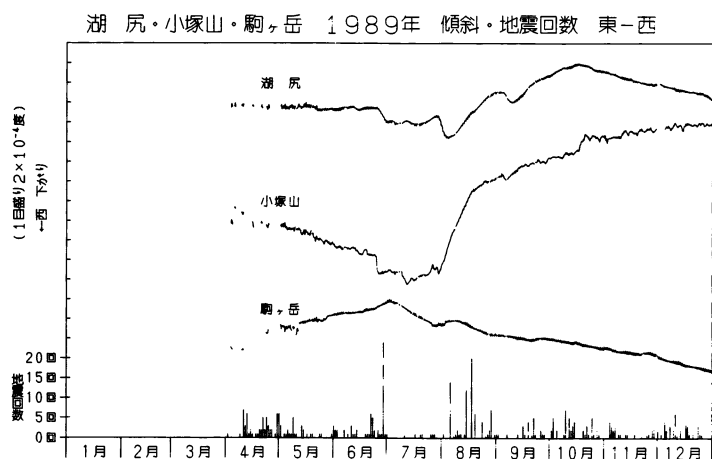
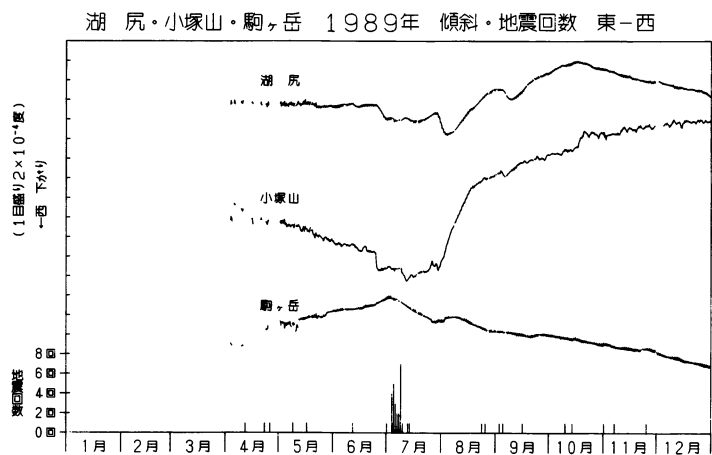


図11 XYプロットによる年報
3観測点の東西成分

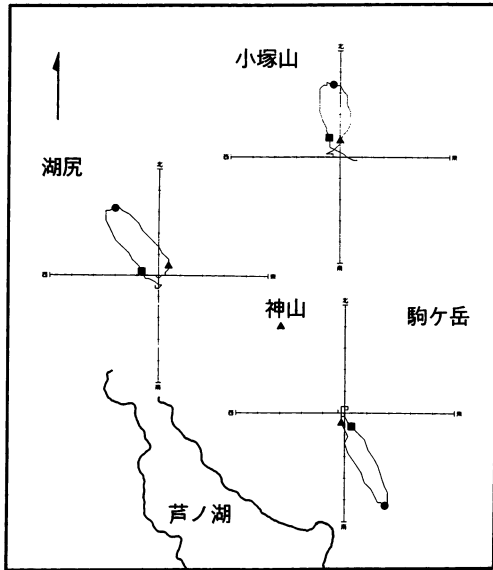
(a)雨量と傾斜経年変化



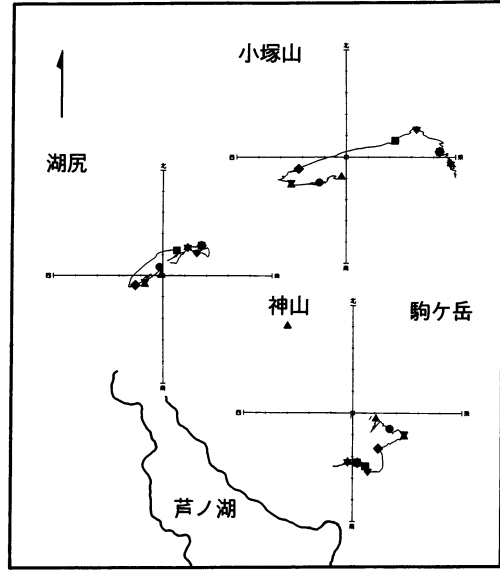
(b)箱根カルデラ内の地震計でS-P時間2秒以下の地震数と傾斜経年変化



(c)箱根カルデラを中心に半径300km以内に発生したマグニチュード4.0（気象庁週間地震概況による）以上の地震数と傾斜経年変化



(a)日変化ベクトル 1分データを30分で単純平均したものを示してある。フルスケール 5×10^{-5} 度で各軸下がり方向を示す。
▲:8時、●:12時、■:18時



(b)経年変化ベクトル 6時間データを1日で単純平均したものを示してある。フルスケール 1×10^{-3} 度で各軸下がり方向を示す。
▲:5月、●:6月、⊠:7月、◆:8月
■:9月、▼:10月、●:11月、★:12月

図12 傾斜ベクトル 各ベクトル図の原点は観測点の位置に合わせてある。

5.5 周辺の地震活動と傾斜変化の関係

箱根火山を中心に半径300km以内に発生したマグニチュード4.0(気象庁週間地震概況による)以上の地震と傾斜変化の関係を図10cと図11cに示した。期間中の最大マグニチュードは、1989年10月14日の伊豆大島近海で発生したM5.7である。伊豆半島東方沖の群発地震を境にして、いずれの観測点でも傾斜ベクトルの方向を大きく変化させた。幾つかの地震で傾斜記録にオフセットを伴ったので修正してある。しかし、今までのところ周辺の地震に先行して傾斜記録に変化を生じたものは観測されていない。

湖尻 1989年 傾斜・水位変動・雨量

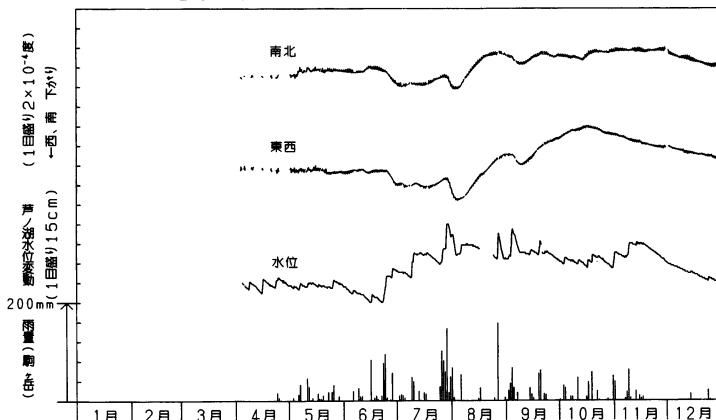


図13 芦ノ湖の水位と湖尻観測井の傾斜変化(芦ノ湖の水位データは神奈川県小田原土木事務所資料による)

6 おわりに

本解析システムは以下のような改良を加え、さらに発展させる計画である。①プログラムは、N 88BASIC の P コードコンパイラで記述され実行速度が多少遅いので（1 カ月分の 1 時間平均データを作成するのに 11 分）、完全なコンパイラ言語（C 言語など）に移植する。②修正作業では、誤りデータを欠測にしたりオフセット値をオペレータが任意に与えているので、多項式によりデータを補間したり AR（自己相関）モデルによる外挿計算でオフセット補正を行う（島田ら、1988）ようにする。③短期的異常の検出をするため常時監視を行い、潮汐や降雨による影響（田中、1979）を補正し自動的に異常を検出するシステム（大久保、1988）にする。

箱根火山は、今問題となっている西相模湾断裂（フィリピン海プレート内の鉤状断層、石橋、1988）の上盤の真上にある。このような地域で傾斜観測を行うことは、プレート運動に伴う歪の蓄積を傾斜変化として真っ先に捕らえることができる。観測および研究を進めていくことで、約 73 年毎に発生が危惧されている“神奈川県西部地震”など、大地震につながる前兆現象を検出し被害を最小限に抑えられれば幸いである。

7 謝辞

建設省国土地理院地殻調査部観測課計測係の方々には真鶴港の潮位データの使用を快諾して頂き、神奈川県小田原土木事務所の川口喜佐雄氏には芦ノ湖の水位データについて色々と便宜を図って頂いた。温泉地学研究所の平野富雄研究部長には、原稿を読み有益な助言を頂いた。箱根火山の水理については当所の横山尚秀博士と大山正雄主任研究員に指導して頂き、本稿の作成に当っては同所米山旭三管理課長はじめ管理課の方々のお世話になった。観測機器の保守や欠測データの扱いの変更などは明星電気株式会社の方々の協力を得た。以上の方々に感謝し、お礼を申し上げます。

8 参考文献

- 明石和彦、福尾信平（1977）：ボアホール型地震計及びひずみ計、精密機械、Vol.43、No. 4、111-117.
- 平賀士郎、伊東博、小鷹滋郎、袴田和夫（1986）：箱根火山における地震活動調査昭和 59 年（1984）、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.17、No. 4、1-60.
- 平賀士郎（1987）：箱根火山と箱根周辺海域の地震活動、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.18、No. 4
- 石橋克彦（1985）：小田原付近の大地震発生の可能性、地球、Vol. 7、No. 8、420-426.
- 石橋克彦（1988）：“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅰ、科学、Vol.58、No. 9、537-547.
- 石橋克彦（1988）：“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅱ、科学、Vol.58、No.12、771-780.
- 伊東博、小鷹滋朗、棚田俊收、長瀬和雄、横山尚秀、平野富雄、荻野喜作、大木靖衛（1990）：温泉地学研究所の地震・地下水位観測システムについて、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.21、No. 3、71-86.

J.C.Harrison (1976) : Cavity and Topographic Effect in Tilt and Strain Mesurment J. Goeph. Res., Vol.81, No. 2 , 319-328.

笠原敬司 (1985) : 関東南部における大地震再来周期について、地球、Vol. 7、No. 8、440-451.

久野久 (1972) : 箱根火山地質図説明書、久野久原著、箱根火山地質図再版委員会編.

大久保正 (1988) : 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.

大山正雄 (1987) : 箱根カルデラ河川の流量調査報告書、神奈川県温泉地学研究所.

大山正雄、平野富雄、粟屋徹(1990) : 箱根火山の湧泉、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.21、No. 3、103-126.

佐藤春夫、高橋 博、山本英二、福尾信平、上原正義、寺沢康夫 (1980) : 孔井用傾斜計による地殻傾斜観測方式の開発、地震 2、Vol.33、343-368.

佐藤春夫、立川真理子、大久保 正 (1984) : 山梨県東部の地震 (1983年 8 月 8 日) に先行した異常な地殻傾斜変化、地震 2、Vol.37、197-205.

島田誠一、大久保正、岡田義光、堀 貞喜 (1988) : 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、66-87.

田中寅夫 (1979) : 傾斜計・伸縮計記録に現れる降雨の影響とそのシュミレーション、測地学会誌、Vol.25、No. 2、91-100.

写真1 傾斜計センサー部



写真2 耐圧容器挿入(駒ヶ岳)

