

第3編 傾斜計による火山の地殻変動の観測

第1章 総 説

田中康裕・澤田可洋

1.1 はじめに

火山体地下におけるマグマの動向は、火山活動の原因と考えられており、マグマの移動などによる火山体地下の状況の変化に対応して地盤に傾斜変動が生じることが期待される。

すでに、HawaiiのKilauea火山では、火口周辺に展開した傾斜観測網によって、該火山の噴火予知、火山活動推移の予測に役立てていることが報告されている(Eaton and Murata, 1960)。わが国でも、これまでに浅間山(例えば Takahashi and Minakami, 1937)、阿蘇山(例えば Sassa, 1936)、桜島(例えば吉川, 1965)などの活火山で傾斜観測が実施され、火山活動と傾斜変動との関係が研究されてきた。

気象庁では、傾斜観測を一部の火山で行っているが、今後、火山活動監視のためのルーチン業務として整備してゆく上で、火山活動に対応する傾斜変動を検出するための方式、観測施設の地理的、地質構造的、地形的諸条件、得られた傾斜変動の処理方法等を明らかにしておく必要がある。

このような観点に基づき、特別研究「火山噴火予知の研究」(昭和49~53年度)の一環として、後述する双軸型傾斜計を使用して、桜島、阿蘇山、伊豆大島および浅間山において、各1年間ずつ、傾斜観測を実施した。

火山地域の地質構造は複雑であるため、火山全体の傾斜の状況を1点だけの観測で求めることは困難である。そこで、火山地域の傾斜観測は、活動火口を取り囲む複数点で実施するのが有効な方法であると考えられる。

本研究を実施するにあたっては、各火山とも、活動火口を対象とした3~4個所に傾斜計を設置して観測を実施し、火山活動と傾斜変動の関係を求めるとともに、観測の方式についても検討を進めた。

1.2 使用した傾斜計

1.2.1 双軸型傾斜計の概要

本研究で使用した傾斜計の主要部は、アメリカのノースアメリカンロックウェル社が開発したもので“BIAXIAL TILTMETER”と呼ばれている。和訳としては双軸型傾斜計、両軸型傾斜計、気泡式傾斜計などと呼ばれている。

この傾斜計は、わが国では、1973年に浅間山の火山観測用として気象庁が初めて使用した。続いて同じ年度内に桜島の火山観測用にも取り入れられた（科学技術庁研究調整局,1975）。その後、この型の傾斜計は気象庁以外の諸機関でも、火山性地殻変動や地震予知のための地殻変動観測用に使用されるようになった。

傾斜計は感部、エレクトロニクス部および記録部からなり、1/1000秒の分解能で傾斜の方向と大きさが検出できる。地上型（TM-1A型、図3.1.1）と地中埋設型（TM-1B型、図3.1.2）の2種類がある。伊豆大島の1点でTM-1B型を用いたほかはすべてTM-1A型を用いた。

両器は感部の形が違うだけで、傾斜を検出する原理、諸特性は同じである。すなわち、TM-1A型の感部は直角二等辺三角形の金属盤（直角をはさむ2辺の長さはそれぞれ約18cm、高さは約6.5cm）の中央に電気回路を入れた水準器（以下検出部と呼ぶ）を取り付けてある。また、TM-1B型はステンレス製パイプ（長さ108cm、直径5.1cm）の先端に検出部を取り付けてある。

検出された傾斜は、安定したDC電圧出力に変換され、エレクトロニクス部と記録部との間の隔測が容易である。

1.2.2 双軸型傾斜計の原理と特性

傾斜計の検出部は水準器を応用した計器で、電導液と泡を封入したガラス製ふたと基台とで構成されている。ガラス製ふたは円筒状をしており、内部は上に凸で、半径12インチ（約30cm）の曲率を持たせてあり、4個の白金電極がついている。また、台の方には、その真中に1個の白金電極がついている。検出部を水平に置いたとき、泡は4個の電極の同程度の面積をおおうようになっている（図3.1.3）。

ふたの対になった電極は、エレクトロニクス部内で2個の抵抗につないである。基台の底についてい

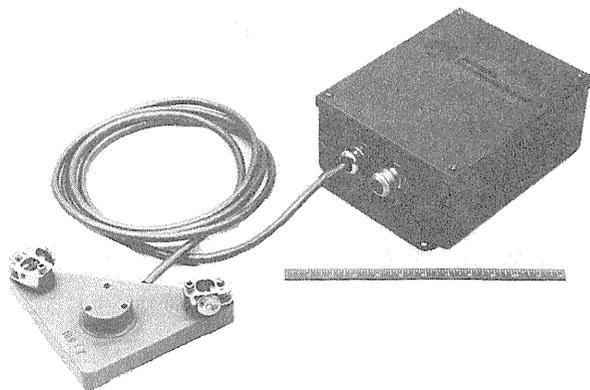


図3.1.1 双軸型傾斜計（TM-1A型、地上型）
（North American Rockwell, Autontics 社パンフレット(1972)による）

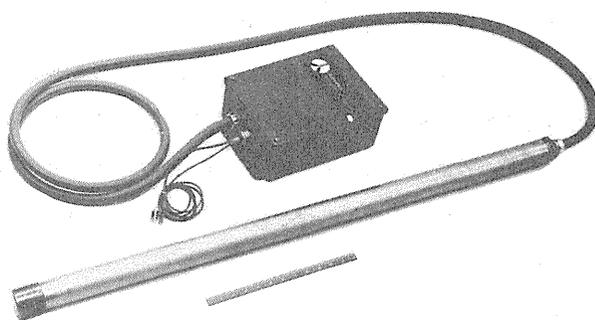


図3.1.2 双軸型傾斜計（TM-1B型、地中埋設型）
（North American Rockwell, Autontics 社パンフレット(1972)による）

る電極と、上記の2個の抵抗の間に交流電圧がかかると2組の交流ブリッジができ、2つの水平な直交軸に関する泡の動きにより電圧を生ずる。

一つの軸のまわりを検出部が回転すると、重力の方向に対し泡が一定の姿勢を保つため移動し、泡が片方の電極をおおう面積は少なくなるのに対して、もう一方の電極をおおう面積は多くなる。このようなことにより、ブリッジにアンバランスを生じて電圧を生ずる(図3.1.4)。

傾斜計検出部の傾斜運動は、その振幅が微小な範囲にあるうちは過減衰状態の振子の運動に近似できる。しかし、実際には、泡は変形したり、あるいは、泡の表面効果により動的な特性が非線型になることがある。実験の結果では、この検出部は23分角まで非常によい直線性を示した。したがって、12インチの半径(曲率)をもつ検出部は、1400秒角(6000 μ radian)までの測定範囲を持つ。しかし、傾斜計の出力電圧範囲は、記録器の倍率(分解能)と、エレクトロニクス部の利得により制限を受ける。

観測の際、感部には金属製のカバーをかぶせ、さらに木製のカバーをかぶせて温度勾配を減衰させる。これは、感部の安定性と精度を保つためである。

エレクトロニクス部は、インピーダンスマッチング、増幅、復調を行ない、両方の軸の出力をフィルターを通してアナログ信号として出力する。

感部からの入力は2つの抵抗ブリッジにつながる。このブリッジは2つの精密抵抗、0調整用のトリマー抵抗を持ち、出力の部分には0調整用のトリマーコンデンサーがついている。

検出部の各軸が重力の方向に対して完全に水平であるときは、5 KHz の矩形波の励起電圧がかかっているブリッジの出力は0になっている。どちらか一方、または両方の軸が傾くと、傾斜の方位と傾きに比例した電圧がブリッジに生ずる。

復調器からの出力はDEMOM, OUTの2種があり、DEMOM出力には傾斜角の正弦が重力加速度と、横方向の加速度の比に相当する信号として出力され、DC~10 Hz までの横方向の加速度成分を検出することができる。

また、OUT端子にはDEMOM出力を corner frequency が1.6 Hz あるいは0.008Hz の積分回路(ローパスフィルター)を通した信号が出力され、地震に伴う比較的高い周波数成分を除去できる

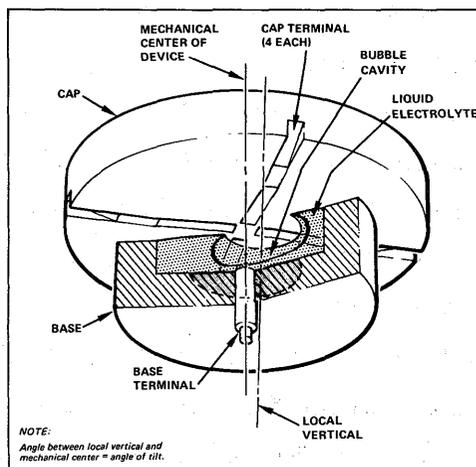


図3.1.3 傾斜計検出部の構造(North American Rockwell, Autonetics社パンフレット(1972)による)

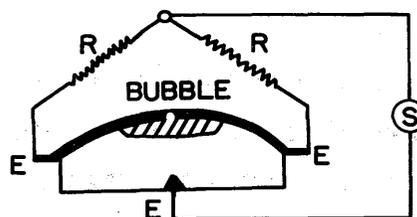


図3.1.4 傾斜計検出部とブリッジ(Rは抵抗、Eは電極をあらわす)

出力であり、とくに 0.008Hz のフィルターを通った信号（スイッチにより切換する）は傾斜そのものを示すことになる。

なお、エレクトロニクス部には回路の性能を見るための calibration 回路があり、スイッチ切換により任意の時に検定信号出力をチェックできるが、傾斜角に対応する電圧出力の検定ができない現状では、calibration 出力に変動があるか否かが機器の正常か否かを判断する唯一の方法である。エレクトロニクス部は1枚のプリント基板になっており、電源（±12V）とともに 11.4 cm×21.0 cm×29.2 cm の防水ケースに収納されている。

桜島の有村と伊豆大島の御神火茶屋付近で使用した傾斜計は、後述するように、エレクトロニクス部と記録部の間に送量部と受量部を挿入して隔測の安定化をはかってあるが、その他で使用したものは、エレクトロニクス部と記録部とを直結させて作動させた。

記録部はすべて国産品を使用した。エレクトロニクス部と記録部とを直結させた方式の傾斜計では、記録器に渡辺測器製作所製の SR 653-Z 型サーボコーダを使って、放電書きまたはインク書きでアナログ記録させた。この記録器は2成分の記録を同時にとることができる。記録速度は 30mm/時として使用した。

感部は、しっかりした石の基台（自然石または 50 cm×50 cm×50 cm の上面を平らに削った石を上面約 5 cm 地上に出して埋めた）にのせ、3本の足を金具で基台に止め、また、感部にかぶせた金属製カバーも石の基台に止めて、地震などによる滑りを防いだ。

この傾斜計のブロックダイアグラムを図 3.1.5 に示す。また、諸特性を表 3.1.1 に示す。

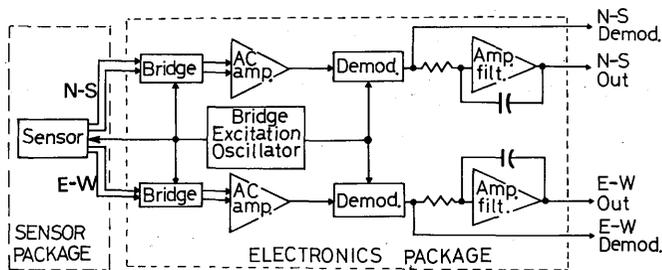


図 3.1.5 双軸型傾斜計のブロックダイアグラム

表 3.1.1 双軸型傾斜計の特性

感 度	100mV/秒角または 200mV/秒角
測 定 範 囲	±7 V D C (直線性を有する範囲)
出 力 範 囲	±70 秒角または ±35 秒角
出 力 抵 抗	100 Ω以下
電 源	±12 ~ ±15 V D C
消 費 電 力	650 mV
消 費 電 流	±12.6 V で 27 mA
作 動 温 度 範 囲	-29 °C ~ 49 °C
周 波 数 特 性	D C ~ 0.008 Hz
長 期 の ド リ フ ト	0.08 ~ 0.1 秒角以内 (1 ヶ月)
検 定 信 号 出 力	±110 ~ 120 mV

1.2.3 BU-73型傾斜計

この傾斜計は桜島の有村に感部および送量装置があり、鹿児島地方気象台に受量装置があって、その間を電々公社の専用回線を使って隔測している。昭和48年度の科学技術庁の特別研究促進調整費による「火山噴火予知に関する特別研究」によって気象庁地震課、気象研究所、鹿児島地方気象台が協力して製作した装置である。1974年9月～1975年12月に行った気象研究所の特別研究の一部に、この傾斜資料を使用した。

この傾斜計の感部およびエレクトロニクス部は前述のTM-1A型と同じである。感部を置いた計器室は、岩盤をくり抜いた横穴である(図3.1.6)。

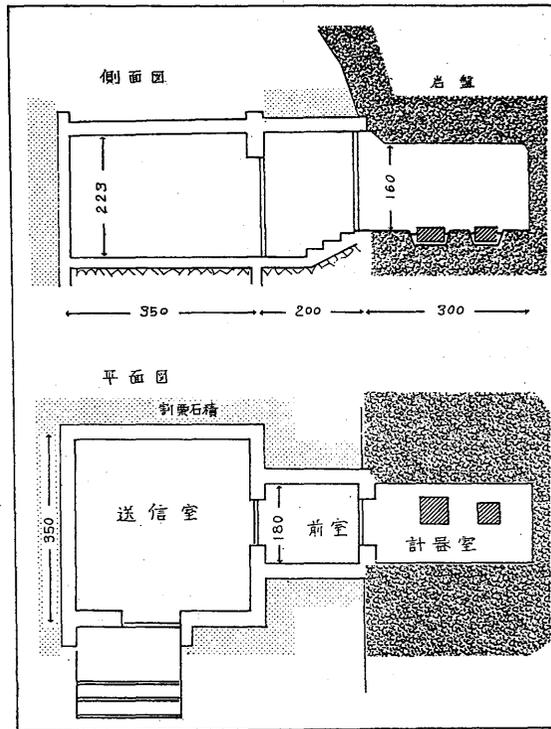


図3.1.6 桜島有村の傾斜計室(火山噴火予知に関する特別研究報告書(科学技術庁研究調整局, 1975)による)。数字はcm単位。

この装置のブロックダイアグラムを図3.1.7に示す。信号変換方式は、傾斜計の南北、東西2成分のアナログ信号を2秒おきに交互にサンプル、デジタル化する。伝送方式は電々公社D1規格回線によるFSKデジタル化伝送である。記録方式は12.5mm/時のアナログ打点記録および10分おきの印字記録をさせている。印字は21桁で、「日b時b分bN±9999E±9999」となっている。±の位置には+か-のどちらかの符号が印字される。bはブランクである。

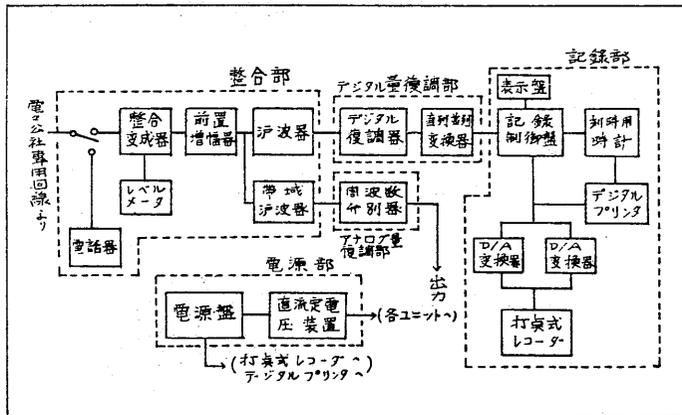
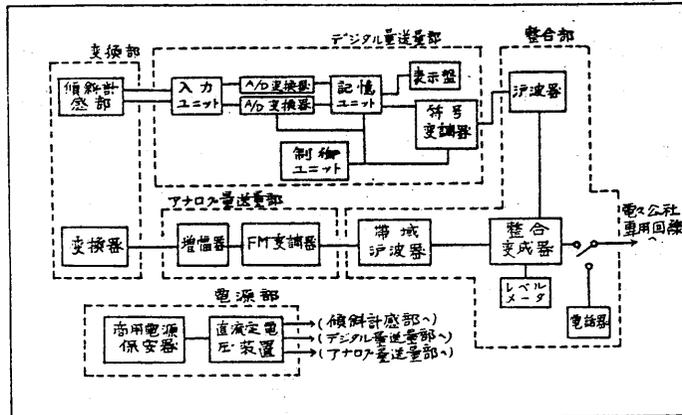


図 3.1.7 BU-73型傾斜計のブロックダイアグラム。上は送量側，下は受量側をあらわす。(火山噴火予知に関する特別研究報告書(科学技術庁研究調整局, 1975)による)

1.2.4 BU-76型傾斜計

本器は伊豆大島の御神火茶屋付近に設置して試験観測を実施したものである。

この傾斜計の感部とエレクトロニクス部はTM-1B型を用いている。エレクトロニクス部と記録部の間に加工をほどこしたため、標記の名称に改めた。

この傾斜計の感部は、ボーリング孔やマンホールに埋設し、周辺を細かい砂でつき固めて固定して使用する。本器は図3.1.8に示したように、感部、送量部、受量部、信号変換部、記録部からなり、アナログ記録のほか、A/D変換した値も時刻とともに印字させるようになっている。

アナログ用の記録器は放電書きで、記録速度は5mm/時または10mm/時、デジタル用の記録器の印字は21桁で、「日日時時分分b9.999b9.999bP/M P/M」となっている。bはblankであり、P/Mはそれぞれの成分の+(P)または-(M)を示す。

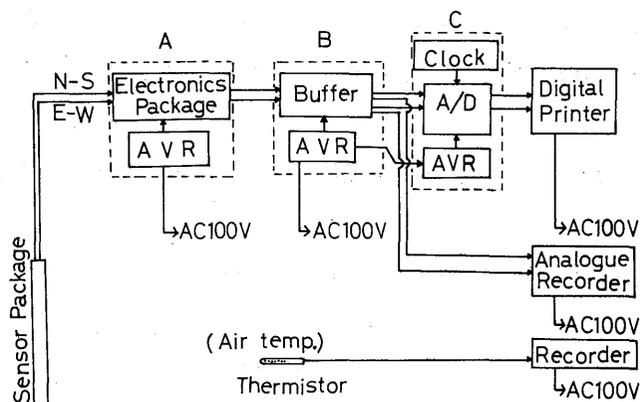


図 3.1.8 BU-76型傾斜計のブロックダイアグラム

1.2.5 自記温度計

傾斜変動の記録における温度の影響を考察するため、傾斜計周辺の気温を連続観測した。

本器は渡辺測器製作所製で、ガラスサーミスタ（MRS-2-B型）、温度-電圧変換器（SA-030型）および記録器（マイクロコーダSR-701型）で構成されている。温度-電圧変換器と記録器との間は隔測が可能である。記録速度は10mm/時で、カートリッジ式インクペンを用い、2ヶ月間の連続観測が可能であった。

1.3 観測方法と観測値

本研究における傾斜観測は、桜島および阿蘇山では3地点、伊豆大島および浅間山では4地点で実施した。

傾斜計は全てN-S方向と、E-W方向に設置して観測を行った。

観測した記録紙は気象研究所へ送ってもらい、読み取りおよび解析を行った。記録は毎時の値を読み取り、日平均値、月平均値を求めた。その資料は第3編末尾の表3.2.1、表3.3.2、表3.4.2、表3.5.2にまとめてある。

桜島、阿蘇山、浅間山での観測、記録紙交換は、それぞれ、鹿児島地方気象台観測課火山係、阿蘇山測候所、軽井沢測候所の職員に依頼した。伊豆大島では、大島測候所の構内に設置した傾斜計については同測候所の職員に依頼し、御神火茶屋近くに設置した傾斜計は長期記録ができたので、気象研究所から現地へ観測に行ったつど記録紙を交換した。また、同火山の他の2点、湯場（東京都大島町元町字2千坪山大島湯場福祉センター）およびビラ（東京都大島町野増ホテルビレッジ大島）へ設置したものについては、それぞれの所有者へ依託して観測した。

この傾斜観測のために、土地、建物、電力等を使用させて下さった所は、桜島の高免〔鹿児島市高免町

桜島木工所（所有者：浜田正夫氏）〕，阿蘇山ロープウェー駅，農林省草地試験場（長野県北佐久郡御代田町塩野），浅間園（群馬県吾妻郡長野原町北軽井沢），第一観光開発ハイランド（群馬県吾妻郡長野原町北軽井沢分去）である。

また，観測資料の読み取り，整理などでは二木紀好，清水真子，今村恵美子，中垣登喜江の諸氏に協力してもらった。

ここに，上記の多くの方々および諸機関に対して謝意を表する。

参 考 文 献

- Eaton, J.P. and K. J. Murata (1960): How Volcanoes Grow. *Science*, **132**, 925-938.
- 科学技術庁研究調整局 (1975): 昭和48年度特別研究促進調整費「火山噴火予知に関する特別研究報告書」昭和50年3月. 1-41.
- Sassa, K. (1936): Micro-seismometric Study on Eruptions of Volcano Aso (Part 2 of the Geophysical Study on the Volcano Aso). *Memo. College of Sci. Kyoto Imperial Univ., Ser. A*, **19**, 11-56.
- Takahashi, R. and Minakami, T. (1937): Tilt Observations During the Recent Activities of Volcano Asama. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **15**, 463-490.
- 吉川圭三 (1965): 火山性地殻変動. 火山2集, **10**, 110-118.