

第2編 ジオジメーターによる火山周辺の地殻変動の測量

第1章 総 説

中禮正明・田中康裕

1.1 目 的

火山噴火と地殻変動とは密接な関係にあることはよく知られている。また、火山地帯では一般の平地とくらべて、地殻変動が大きいと考えられているが、その原因は、火山の地下のマグマの上昇や沈降によって、火山体が押し上げられたり変形を受けるためであろう。

それゆえ、火山噴火予知のためには火山地帯の地殻変動を監視することが必要である。地殻変動を観測するには色々な方法があるが、その一つに光波測量がある。これはジオジメーターを使って2点間の距離を精密に測定するものである。その測定を、適当な時間間隔をおいて幾回もくり返すことにより、地盤の伸縮を調べて、火山活動との関係を求めるのである。

気象庁では、これまでに、こうした測量を実施したことは一度もなかった。そこで、ルーチン観測のための基礎的観測方法を検討するとともに、火山地帯の地盤の伸縮（ひずみ）と火山活動との関係を求める目的で、昭和49～53年度の気象研究所の特別研究「火山噴火予知の研究」の一環として、活動的な活火山——桜島、阿蘇山、伊豆大島、浅間山——において標記の研究を実施した。

なお、昭和52年度には「1977年有珠山噴火」に関連して、科学技術庁の特別研究促進調整費により、有珠山についても同様な研究を実施した。

1.2 標 石

測量を行うために、各火山の周辺に標石を設置した。標石の数や設置点の条件などは火山ごとに違いうので、それについては、それぞれの章で述べる。しかし、標石は各火山とも、ほぼ同じ規格のものを作り、ほぼ同じ方法で設置したので、それらの仕様を、ここでまとめて述べておく。

標石およびその設置方法は、おおむね次のとおりとした。

- 1) 材質は長さ1m、直径9mmの鉄筋4本を入れた速乾性コンクリートである。
- 2) 形状は15cm×15cm×1mの角柱で、上部10cmはモルタル仕上げとし、上面中央部に下記4)項のメタルを埋め込んである。
- 3) 標石を設置するには、地面に深さ1m程度、直径50cm程度の穴を掘り、その底に厚さ10cm、直径50cm程度のコンクリートを打ち、中央に標石を立てる。穴底のコンクリートの上は土砂で埋めて十分に地盤に固定させ、地表付近まで埋めもどし標石の周囲約40cm四方、厚さ約5cm程度に平ら

にコンクリートを張り、標石が動かないように固定する。

- 4) 標石の上面の形は各火山で少しずつ違っている。

桜島用の標石には、直径5 cm の真鍮の円柱が埋め込んである。その円形部が標石の上面に出ており、円形の真中に×印が、その横に気象という文字が刻み込んである(図2.1.1)。なお、桜島の標石の中には道路上に設置したものもあるが、そのような所では、コンクリート舗装した道路面に上記の真鍮のメタルだけを埋め込んである。また、鹿児島地方気象台に設置した標石は、庁舎の屋上のコンクリート床上に金属針を打ち込んだだけのものである。

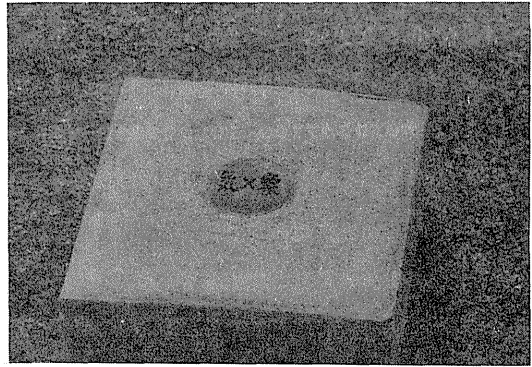


図2.1.1 桜島における標石

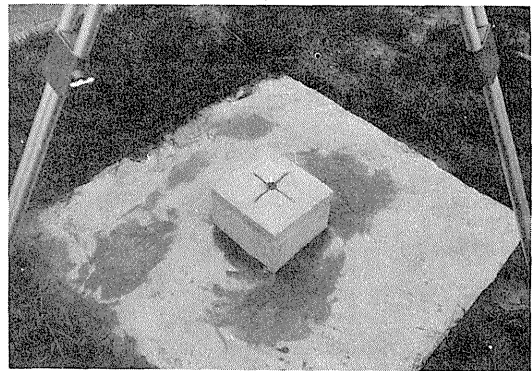


図2.1.2 阿蘇山における標石

阿蘇山用の標石には、コンクリート柱の上面が+印に掘ってあり、その中心部に直径約1 cm の×印を刻み込んだ金属針が打ち込んである(図2.1.2)。

伊豆大島、浅間山および有珠山用の標石には、直径5 cm、長さ6 cm の円柱状真鍮(図2.1.3)が埋め込んである。標石の上面には真鍮の上面が見えていて、その円形の中心部に×印が、その横にJMAの文字が刻み込んである(図2.1.4)。

なお、上記の標石のほかに、桜島と浅間山では国土地理院の標石を各1個所づつ使用した(桜島では火北来^{かべら}、浅間山では浅間園)。また、伊豆大島では大島測候所が1963年に三原火口のまわりに設置した標石2個所〔公共測量三角点(大島測候所) — 内輪北東、内輪南西〕

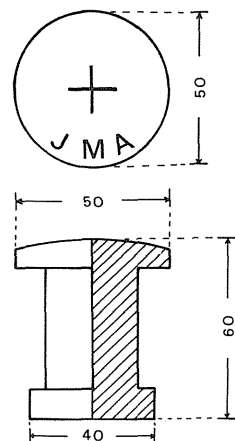


図2.1.3 標石用メタル

(田沢・他1971)を使用した。

1.3 測量計器

測量にはAGA社製の6BL型ジオジメーターを使用した(口絵参照)。また、反射鏡には3プリズム・ホルダーを使ったプリズム3個1組になった鏡(図2.1.5)を用いたが、観測点間の遠近、途中の気象条件などによってプリズムを6個使用したこともあり、また、1個だけで測定した場合もある。

このジオジメーターおよび反射鏡は、いずれもスウェーデン製である。また、本体用の三脚はスイスのWILD製の木製(GST 20型)を用いたが、これは非常に使いやすい構造になっていた。反射鏡用の三脚には日本光学製の金属製のもの(NIKON)を用いた。

光波測量には気象観測が必要であるが、これに使用した温度計は、吉野計器株式会社製のSY-1D型電動通風乾湿計、気圧計は柳計器株式会社製のYBBW-02型アネロイド型気圧計および、スイス製のEverest-5000型気圧計である。

ジオジメーター側と反射鏡側との連絡には、ナショナル製500mW出力の携帯用無線器(Panasonic)を使用した。また、ジオジメーター用の電源としては、GS12N18-3型鉛蓄電池を使用した。

AGA社製の6BL型ジオジメーターの諸特性は次のとおりである。

測定距離：15m～25km(測定範囲は視通度合、光の状態および反射鏡のサイズによる)

精 度：平均自乗誤差 $5\text{mm} + 1\text{mm/km}$

電気関係データ

光 源：1mW HeNe レーザー

電 源：12V D.C. バッテリー

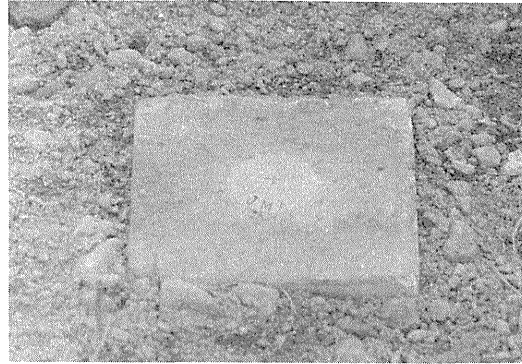


図2.1.4 伊豆大島、浅間山および有珠山における標石

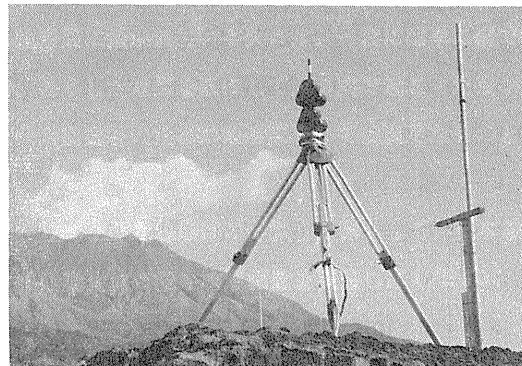


図2.1.5 ジオジメーターの反射鏡。背後は桜島

所要電力：26 W (12 V D. C. 1.0 ~ 2.5 A)

変調周波数： $F_1 = 749.250 \text{ kHz}$

$F_2 = 29,970.000 \text{ kHz}$

$F_3 = 30,000.000 \text{ kHz}$

$F_4 = 29,997.000 \text{ kHz}$

周波数精度： $\pm 1 \times 10^{-6}$

-5 °C, 760 mm Hgにおける単位波長

(この時の光の速度 $2.9970000 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$u_1 = 200,000 \text{ m}$

$u_2 = 5,000,000 \text{ m}$

$u_3 = 4,995,000 \text{ m}$

$u_4 = 4,995,500 \text{ m}$

光の有効波長： $6.328 \times 10^{-7} \text{ m}$

クリスタル・オープン温度：55 °C

ケルセル・ヒーター作動温度：+5 °C以下

光学的データ

ビーム幅：30 mm

ビームの分散：0.06 m/km

機械データ

送受光筒・鉛直面内可動範囲：-55° ~ +90°

重量および寸法：15 kg, 22×36×53 cm

反射鏡(1個用)の重量および寸法：0.4 kg, 9×10 cm

反射鏡(3個用)の重量および寸法：1.1 kg, 15×16 cm

なお、観測機材の輸送には、別途ジオジメーター測量用具一式を格納するコンテナ(4個からなる)を作製し、使用した。

1.4 測定値の補正

光波測量における距離の測定値は、気象および測線両端における機器の高さの差によって影響を受ける。そのため、標石間の正確な距離を求めるにあたっては、気象補正および機器の高さの差の補正をしなければならない。大気中の湿度の変化は、通常の光波測量においては精度に与えるほど大きな影響はない。

次に、気象補正および測線両端における機器の高さの差による補正について述べる。

気象補正

測定値の補正 ΔD は次式で求められる。

$$\Delta D = \{ 308.6 - 107.9 \times P / (273.2 + t) \} \times 10^{-6} D_m$$

ただし、 P ：気圧（mmHg）， t ：気温（℃）， D_m ：読み取られた長さ（mm）である。この式から、気圧約3mmHgまたは気温約1℃の変化による補正値は、ほぼ1mm/kmになることがわかる。

機器の高さの差による補正

測線両端におけるジオジメーターと反射鏡に高さ（標石頂部からの高さ）の差があると、測定された距離は標石頂部間の距離と異なった値になる。

いま、測線両端の標石頂部間の、高度差を H 、水平距離を D_h 、斜距離を D とすると、ピタゴラスの定理より

$$D^2 = D_h^2 + H^2$$

となる。ここで、測線両端における機器の標石頂部からの高さに、 ΔH の差があったとすると、斜距離の変化量（ ΔD ）は、 D_h を一定として、上の式より

$$\Delta D \div \frac{H}{D} \cdot \Delta H$$

となる。

すなわち、 ΔD は機器の高さに差がある時の補正量で、斜距離に対して両端の高度差が大きいほど、補正する割合は大きくなる。

測線両端の高度差および機器の高さの差が10cmに対する補正量は、各火山のそれぞれの測線について各章で示してある。

1.5 三辺測量による歪の解析

ある期間において、同じ測線の三辺測量を行うと、その三角形についての歪の諸量を求めることができる（例えば宇津1977, pp.201-202 参照）。

いま、図2.1.6の三角形ABCにおいて、XおよびY軸を歪の主軸の方向とし、それぞれの主歪値を ϵ_1 、 ϵ_2 とし、面積歪を θ 、最大せん断歪を Σ とすると、

$$\theta = \epsilon_1 + \epsilon_2, \quad \Sigma = \epsilon_1 - \epsilon_2$$

の関係がある。

ところで、AB、BCおよびCAの歪をそれぞれ ϵ_a 、 ϵ_b 、および ϵ_c とすると、

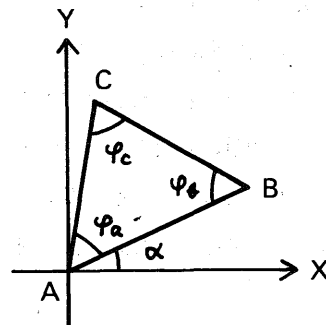


図2.1.6 三辺測量における
主歪解析説明図

$$\varepsilon_a = \varepsilon_1 \cos^2 \alpha + \varepsilon_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\alpha$$

となる。 ε_b と ε_c についても同様の式が成り立つので、これらを解いて ε_1 、 ε_2 および α を求めることができる。

すなわち、 ε_a 、 ε_b 、 ε_c は光波測量による既知の量であり、また、 φ_a 、 φ_b 、 φ_c は計算できる量であるから、主歪の値と軸の方向が求められる。

1.6 測量方法

測量に際しては、観測員をジオジメーターを設置した地点と、反射鏡を設置した地点との2個所に分散し、無線器で互に連絡を取り合いながら作業を進めた。

測定値には前節で述べた気象補正と機器の高さの差による補正が必要である。そのため、測線の両端において気温と気圧を5～10分間隔で観測し、測定時刻にあたる気温と気圧とから測定値を補正した。一方、ジオジメーターおよび反射鏡を設置した時の標石からの高さを測り、両者の高さの差を用いて測線の距離を補正した。

測定は、1測線につきほぼ10回行い、各回ごとに気象補正をした後、平均値を求め、さらに、機器の高さによる補正を行って測線の距離とした。

ジオジメーターの読み取り値は図2.1.7に示した専用の野帳に記入する。この野帳の与えられた欄に、各補正値なども記入し、矢印に沿って順次計算していけば、距離が求められる。

この研究は年次計画により、昭和49～50年度には桜島と阿蘇山について実施、昭和51～52年度には伊豆大島と浅間山について実施された。測量は各火山とも、ほぼ定期的に年4回の割で行った。また、有珠山については昭和52年度の3ヶ月間に、4回の測量を行った。

現地で光波測量作業を直接実施した気象研究所の職員は次のとおりである。

DISTANCE MEASURING

AGA Area Geodimeter Model 6B serial No Time Date

Corrections		Geodimeter	Reflector
Geodimeter eccentr. m		Station name	Station No.
Reflector eccentr. m		Station altitude	
Geodimeter constant m		Instr. height	
Reflector constant m		Instr. altitude	
Sum - m		Temperature	
Sum + m		Bar. press.	
Sum of corr. m		Sum of corr.	
Atm. corr. 10 ⁻⁴ D		Zenith distance	
Atm. corr. m		Y-coordinate	
Total sum of corr. m		Radius of earth	

C		R			
Phase	F2	F1	F2	F3	F4
1	9 1	1 1			
2	9 1				
3	8 1				
4	8 1				
Sum 2+3	1 8				
Sum 1+4	1 8				
Mean	1 8				
0.5 x Mean	9 1				

1 | 0 | 0 | 0 | 0
- 19 | 1 | 1 | 1 | 1
1 | 0 | 1 | 1 | 1
± 1 | 1 | 1 | 1 | 1

correct meter figure

Notes:

± 2500
or ± 5000 added,
diff < 1000

If diff > 1000
add ± 2500
or ± 5000

If neg.
add 10000

nearest
n x 200

If diff. > 1000 m
add ± k x 5000

Total sum of corr.
Slope distance

Approx. dist. Observer

Type of reflector Recorder

Visibility: Good Fair Poor

図2.1.7 光波測量用野帳

長宗 留男 — (桜島, 阿蘇山, 伊豆大島, 浅間山, 有珠山)

田中 康裕 — (同上の5火山)

中禮 正明 — (同上の5火山)

古田美佐夫 — (桜島, 阿蘇山, 伊豆大島, 浅間山)

澤田 可洋 — (伊豆大島, 浅間山, 有珠山)

また, この光波測量作業に協力して下さった現地官署の方々は次のとおりである。

鹿児島地方気象台: 宮崎良三・永福順則・立山清二・本村繁明・藤崎勝身

阿蘇山測候所: 坂本琢磨・吉武俊太・高橋計・中田勝・田中慎治・池田安彦・落水敏秀・三宅忠実・

松島正哉・嶋津稔・池田滋

大島測候所: 中谷敏明・吉沢謙吉

軽井沢測候所: 中島只一・柴田武男・池田清司・山田五郎・五明孝雄・藤井正典・神宮博

これらの方々に謝意を表する。

参 考 文 献

AGA Geotronics AB (1973): Geodimeter 6BL Operating Manual, 52p.

Printed in Sweden

ガデリウス (1974): アガ ジオジメータ 6B型取扱説明書, ガデリウス株式会社, 54p.

宇津徳治 (1977): 地震学, 共立出版株式会社, pp. 201~202

須田教明 (1971): 電磁波測距儀, 森北出版株式会社, 238p.

田沢堅太郎・高橋昌輝・神保功 (1971): 三原山の基準点測量, 驗震時報, 36, 85-88.