

浅間火山における水準測量方法の工夫とその成果

小山悦郎*・竹田豊太郎**

Improving Method of Leveling Surveys at the Asama Volcano

Etsuro KOYAMA* and Toyotaro TAKEDA**

Abstract

In order to detect even small ground deformation during the calm period of the activities of Asama volcano, we have improved the method of precise leveling surveys. The careful adjustment of leveling instruments and a well-designed survey scheme have resulted in the considerable improvement of measurement accuracy to the level of 0.5 mm/km, which is less than the quarter of the first order leveling surveys. On the soft ground and asphalt roads, a sufficient number of supplemental benchmarks installed on stable base are very effective in reducing the accidental subsidence of leveling staffs.

Key words : leveling, ground deformation, Asama volcano

はじめに

火山活動に伴って、山体周辺地域に隆起あるいは沈降などの地盤変動が生ずることはよく知られている。火山の山体や周辺地域での水準測量は、火山活動を監視するために重要な観測のひとつである。

浅間火山は長野・群馬両県境に位置する日本の代表的な活火山である。浅間山では、1935年に火山の全体的な地盤変動を解明する目的で設置された、山頂を越える水準測量路線で最初の測量が行われている(高橋, 1936)。この山頂を越える水準路線は、その後の噴火や道路拡張などによって紛失し、現在ではほとんど機能していない。わずかに残った南山麓の路線については、1990年までの変動が報告されている(宮崎, 1990)。

1980年代前半までは、浅間火山は活動が活発であったため変動も大きく、繰り返し測量により十分に検出できる量であった。しかし、その後今日まで火山活動は低い状態が

続いている。そこで、わずかな変動量もとらえるべく、水準路線の増設と測量精度の向上に努めてきた。ここでは、測定精度の向上のために行ってきた機器の改良や測定方法についての工夫およびその成果について報告する。

水準路線網

現在、水準測量が実施されている測線およびその地形的特徴は図1に示されている。

1977年、浅間山の北東山麓に辺長測量を目的とした基線網が設置された。菱形基線網の3次元の変動を把握する目的で、基準点間の水準測量も併せ行っている(竹田ほか, 1978)。その後、この菱形基線網を基に水準点の増設を行い、図1に示されている水準点網ができた。この水準点網を便宜上R3, R5, R7, R8の4つに分け、それぞれの路線の特徴を述べる。

水準路線R8は、菱形基線の対角測線上に設置した13個の水準測量用基準点(以後BMとする、図中ではBMを省略番号のみ表示)によって構成されている。対角線の交点をBM80000と呼んでいる。水準路線R7は1980年に設置された。この路線は、浅間火山観測所のBM10823から、国土計画(株)の有料道路に沿って、黒豆河原のBM70600に至る路線である。基準点BM70000を1983年に浅間火山観測所構内に増設した。その後、R7をBM70600よりさ

1998年9月4日受付, 1998年12月3日受理.

* 東京大学地震研究所火山噴火予知研究推進センター浅間火山観測所

** 火山噴火予知研究推進センター.

* Asama Volcano Observatory,

** Volcano Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

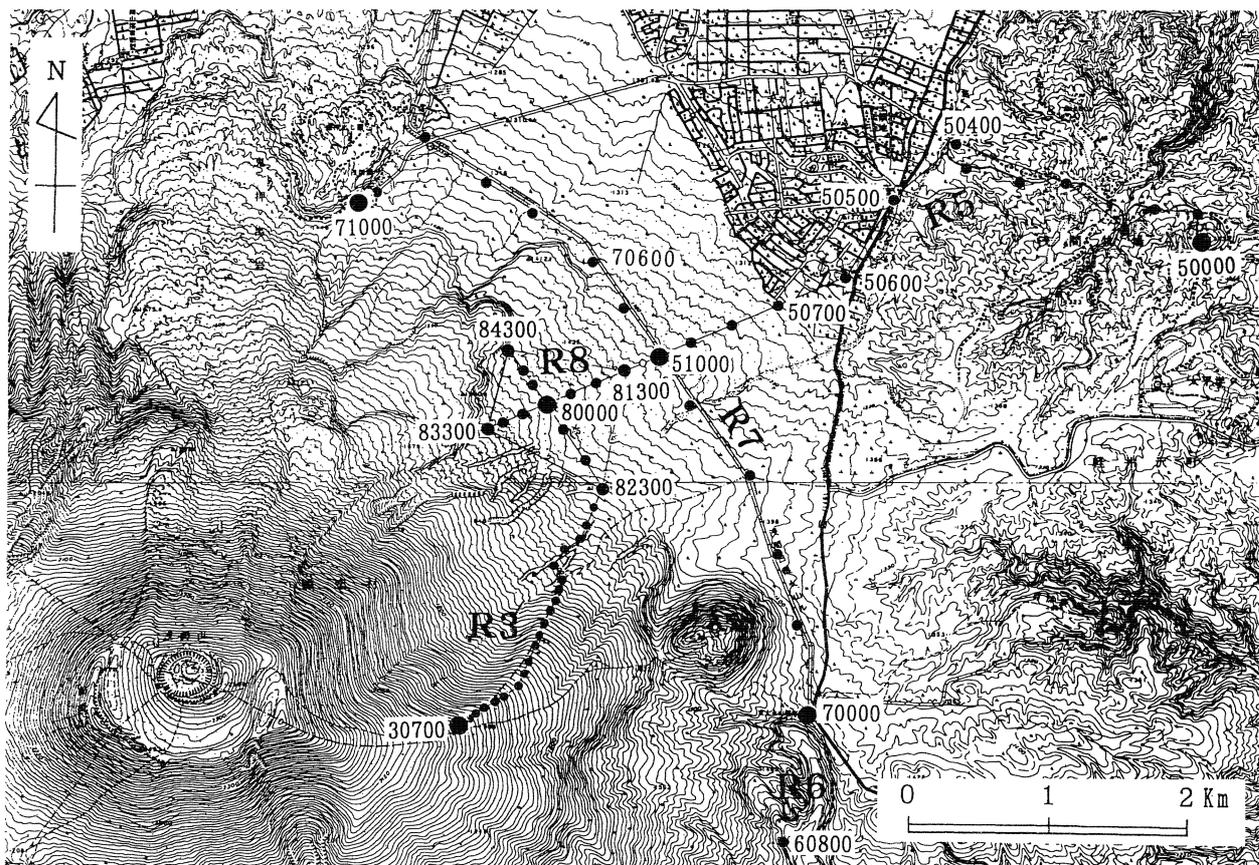


図 1. 浅間山北東山麓に展開した水準路線

らに北へ延長し、長野原町営浅間園内の辺長測量基準点 429 (BM71000) につなぎ現在に至っている。この路線 R7 の長さは約 5 km で、その方向は山腹を横切るように設置されており、BM 51000 で菱形基線と R5 路線にそれぞれつながっている。水準路線 R3 は 1981 年春に設置された。菱形基線 R8 の BM 82300 から山頂火口方向へと伸び、BM 30700 と結ぶ路線である。この路線は路線長約 2 km、高度差約 540 m と急勾配で、多数の補助点で結ばれている。

水準路線 R5 は山体の上下変化をよりの確にとらえるため、山裾方向への拡がりかほしいという観点から、1984 年群馬県浅間家畜育成牧場内の天丸山の辺長測量基準点 834 に水準測量基準点 BM 50000 を設置し、牧場内に補助点を設けて、BM 51000 と結んだものである。

相互に連結されたこれらの路線は、火口から山裾方向に約 2~8 km の範囲と、山腹を横切る方向にその角度にして約 70 度の拡がりをもつ地域をカバーしている。

上記 4 路線の他に、1979 年には浅間火山観測所内の BM 10823 (国土地理院) と軽井沢町追分の BM 549 (国土地理院) を結ぶ水準路線の整備を行った。浅間火山観測所から南へ延びるこの水準路線 R6 を図 2 に示す。

測定方法の工夫と精度の向上

主要な活火山地域で行われている精密水準測量とは一等水準測量を指し、各水準点間を往復測定差 $2.5 \text{ mm}/\sqrt{d}$ 以内の精度で測定することをいう (d は水準点間の距離 km)。測定の目的は、噴火活動に至る過程と地盤変動との関係を正確に把握することにある。図 1 および図 2 に示した観測網からより詳細な山体全体の動きを追跡するためには、測定精度を向上させることが不可欠な条件となる。測定では、往復測定差から推定される確率誤差が 0.5 mm (単位 km あたり) 以内になることを目標としている。また、測定の繰り返し間隔はより短いことが望ましい。しかし、水準測量は野外観測であるため、気象条件による制約を受ける。浅間山における測定は、比較的気候の定まる春と秋の年 2 回行っている。測定精度に関わる誤差要因は、以下のように分類される: (a) レベル (水準儀) に関する誤差、(b) 標尺に関する誤差、(c) 気象条件による誤差、(d) 測定方法による誤差。

以下に、それぞれについて説明する。

(a) レベルに関する誤差には、おもに視準軸の不調整による誤差と、扱い方に含まれる誤差がある。これらの誤差

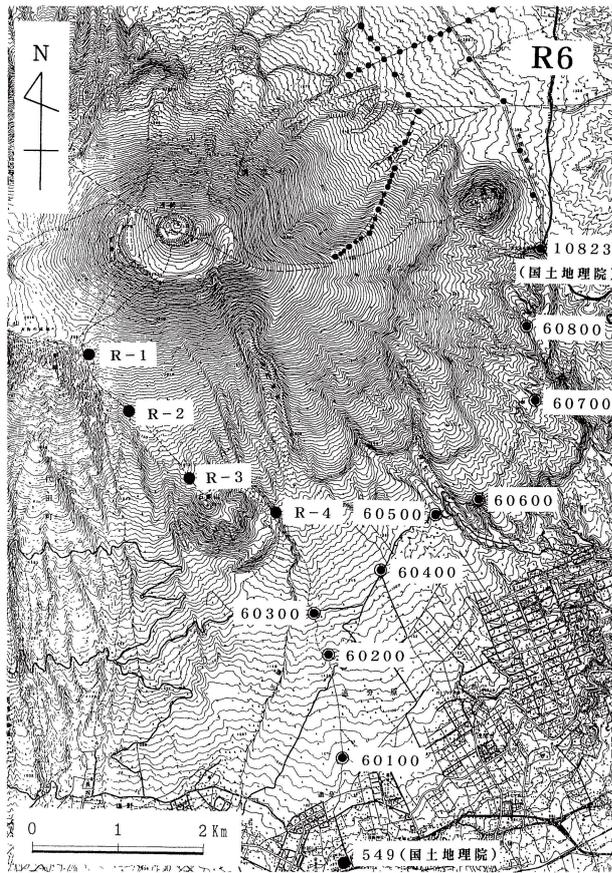


図 2. 浅間山南東山麓水準路線 R6



図 3. 標尺の点検. 標尺を立て、前面と側面に糸をつり下げ、ポトラルなどにて標尺の傾きを調整.

を軽減するために、特に注意した点は以下の2点である。

(1) 丸形気泡管は十分に調整し、測定中は正しく中央に導く。(2) 視準時の視差による誤差を極力少なくするため、レベルの設置は眼の高さと等しくなるよう注意をはらった。

(b) 標尺に関する誤差には、標尺の目盛りの誤差や標尺の傾きによる誤差がある。標尺の目盛り誤差については、経年変化をとらえるため定期的に検定を行っている。標尺が鉛直軸から傾いて立てられた場合、測定された高低差は過大に評価され、その大きさは標尺の読み大きさに比例し、傾きの角の二乗に比例する。したがって、高低差のある路線では決定的な誤差となる。そのため、測定の前には、必ず標尺の鉛直についての検定を行っている。検定の様子を図3に示す。標尺は、付属の丸形気泡管によってその鉛直を出しているが、この気泡管の狂いには細心の注意を払っている。一般には、気泡管は取り外しが自由な構造となっているため、測定中に狂いが生じる可能性が高い。浅間山における測定では感度の高い気泡管を用い、さらにそれを標尺に固定した。また、手が触れても動かぬよう、ステンレスの板(厚さ3mm・幅30mm)でカバーを取り付けた。改良前と後を図4に示す。

(c) 気象条件による誤差としては、地表付近の温度勾配

による光の屈折による誤差が主なものである。光の屈折による誤差を少しでも押さえるため、標尺下方部の50cm以下はなるべく読みとらないよう心がけている。さらに、わずかな誤差要因も取り除くため、測定(気象)条件が同じになるよう、一区間ごとに往復測定を行っている。かげろうは視通線を不安定にし読みとり誤差を生じさせるため、かげろうの出やすい時を避けるなど測定の時間帯にも考慮を払っている。

(d) 測定方法による誤差としては、観測者の機器の取り扱い方による誤差や、器械および標尺の沈下による誤差などが考えられる。取り扱い方に関しては、測定中あるいは測定後に精度外のデータがでた時、測量機材によるものか観測者によるものかを知る手がかりとして、個々の測量機材に対し観測者を定めて測定を行っている。

器械および標尺の不当沈下による誤差は致命的である。R8やR5は足場が非常に軟弱なので、標尺の立つ位置に補助点の埋設を行った。補助点のサイズは図5に示す。特に、アスファルト舗装路は陽射を受けると軟化し、不当沈

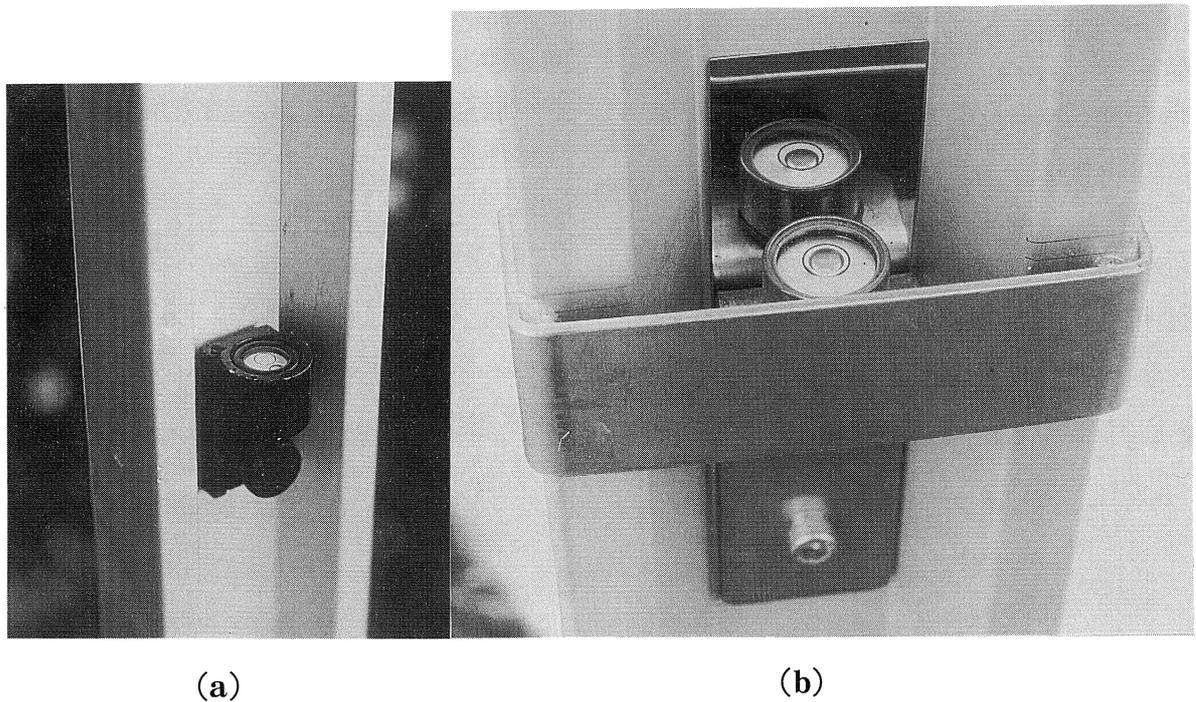


図 4. (a)加工前の標尺と気泡管, (b)加工後の標尺と気泡管. ステンレスの板(厚さ 3 mm・幅 30 mm)でカバーを取り付けた.

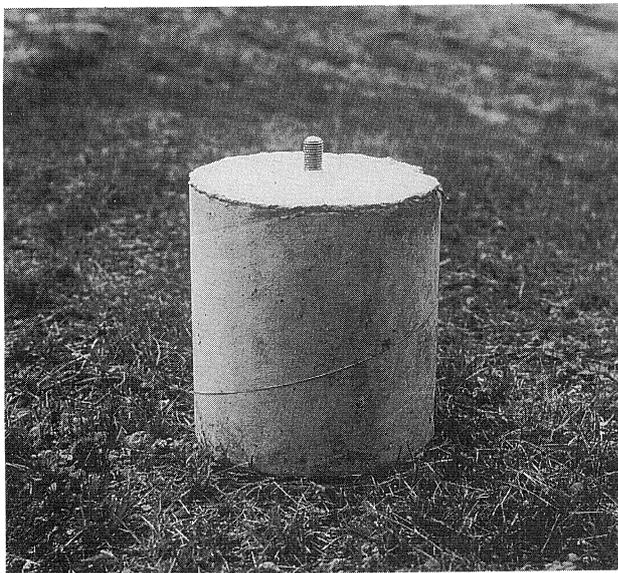


図 5. 補助点. $\phi=200$ mm, $h=200$ mm のコンクリート柱に金属標を埋め込み, これを標尺の立つ位置の地中に埋設する.

50700 の区間は別荘内のため, 図 7 に示されているようにアスファルトに穴をあけセメントを流し込む対策をした. これらの点では, 補助点そのものが水準点としての役割を果たしているもので, 作業効率の向上につながっている. また, 空間的により詳細な変動をとらえることが可能となる.

以上のような配慮を行った結果, 測定値の信頼度が向上した. 水準路線 R5 と R8 における顕著な改善例を図 8 に示す. 図 8(a) は, 1978 年～1986 年の期間に, 補助点は無いができる限りの配慮は行った上で測定した各水準点間の往復誤差の頻度分布図, 図 8(b) は, 1994 年以降, 測定方法について上述の工夫をこらし, 補助点も設置した後の往復誤差の頻度分布図である. 誤差の頻度分布は, 図 8(a) は分散していたが, (b) ではガウスを分布している. この図から, 測定精度を向上させた成果が測定結果に現れていることが分かる.

下の影響が大となる. R5 のアスファルトの部分では, 以下のような対策を行った. 路線の一部 BM 50400 から BM 50600 の区間では, 群馬県中之条土木事務所の許可を得て, 図 6 のような補助点を設置した. 次の BM 50600 から BM

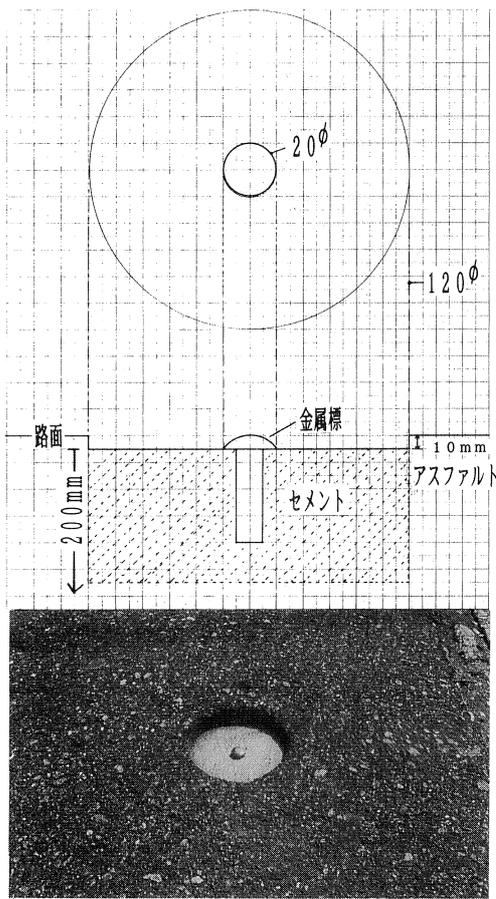


図 6. 国道上のアスファルト補助点. セメントを流し込み金属標を埋め込む.

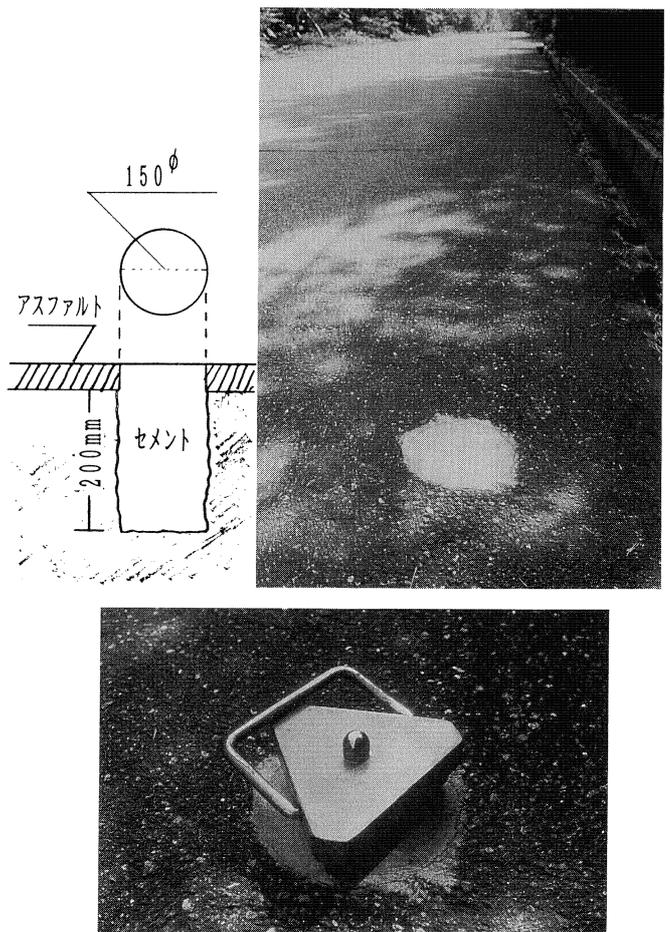
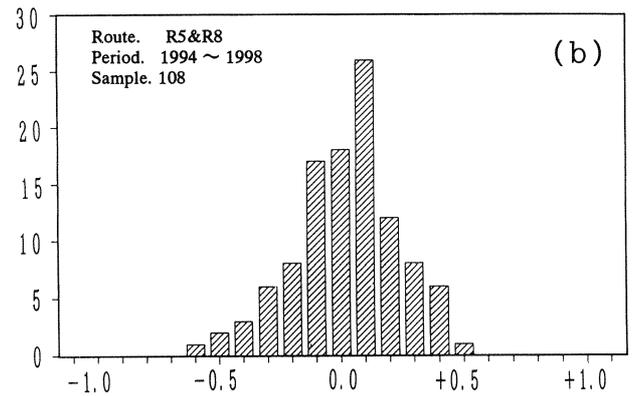
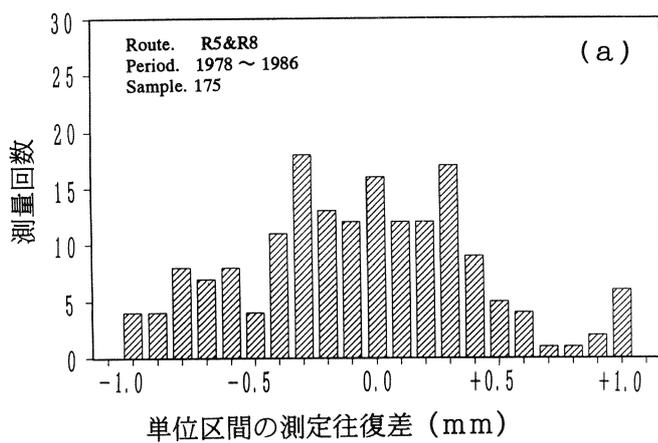


図 7. 別荘内アスファルト. セメントを流し込み沈下を押さえた.



単位区間の測定往復差 (mm)

図 8. 水準路線 R5 および R8 における各水準点間の測定往復差の頻度分布.
 (a) 補助点設置以前. $\pm 1\text{mm}$ を越えた区間は再測を行った.
 (b) 補助点設置以後.

謝 辞：宮崎 務氏（元東京大学地震研究所）には、全体にわたる御教示を頂いた。行田紀也氏（当時浅間火山観測所）および辻 浩氏（小諸火山化学研究施設）には、測定及び補助点の設置に協力を頂いた。火山噴火予知研究推進センター長渡辺秀文氏には原稿を見て頂いた。高橋春男氏（地球ダイナミクス部門）には、有益な助言を頂いた。ここに記して感謝を表します。

文 献

- 宮崎 務, 1990, 水準測量によって明らかにされた日本の活動的火山の地殻変動, 震研彙報, **65**, 665-807.
- 高橋龍太郎, 1936, 浅間火山の精密水準測量結果, 震研彙報, **14**, 18-25.
- 竹田豊太郎・行田紀也・小山悦郎・長田 昇・江頭庸夫・園田忠惟, 1978, 浅間火山北東山麓における光波測量（第1報）, 震研彙報, **53**, 497-508.