

INVESTIGATION OF GROUND MOVEMENT  
AND GEOTHERMAL STATE OF  
MAIN ACTIVE VOLCANOES IN JAPAN

By  
SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY  
DIVISION, MRI

気象研究所技術報告

第2号

主要活火山の地殻変動並びに

地熱状態の調査研究

気象研究所地震火山研究部

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1979

## Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. K. Sekihara

Forecast Research Division	Head : Dr. E. Uchida
Typhoon Research Division	Head : Mr. S. Fujiwhara
Physical Meteorology Division	Head : Mr. J. Kubo
Applied Meteorology Division	Head : Dr. Y. Kikuchi
Meteorological Satellite Division	Head : Dr. K. Naito
Seismology and Volcanology Division	Head : Dr. N. Den
Oceanographical Division	Head : Dr. T. Nan'niti
Upper Atmosphere Physics Division	Head : Dr. M. Misaki
Geochemical Division	Head : Dr. Y. Sugiura

35-8, Koenjikota 4-Chome, Suginami, Tokyo, 166, Japan

### Technical Reports of the Meteorological Research Institute

*Editor-in-chief* : Dr. E. Uchida

*Editors* : Dr. T. Tokioka      Miss M. Wada      Dr. Y. Sasyo  
            Dr. N. Yasuda      Mr. S. Koinuma      Dr. M. Katsumata  
            Dr. I. Isozaki      Dr. M. Kitamura      Dr. Y. Sugimura

*Managing Editors* : Mr. Y. Kojima      Mr. Y. Koyama

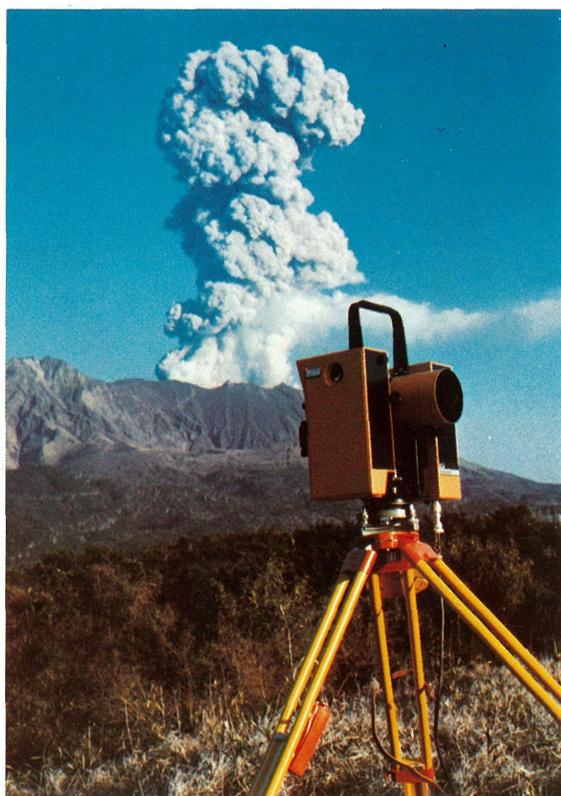
### Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.



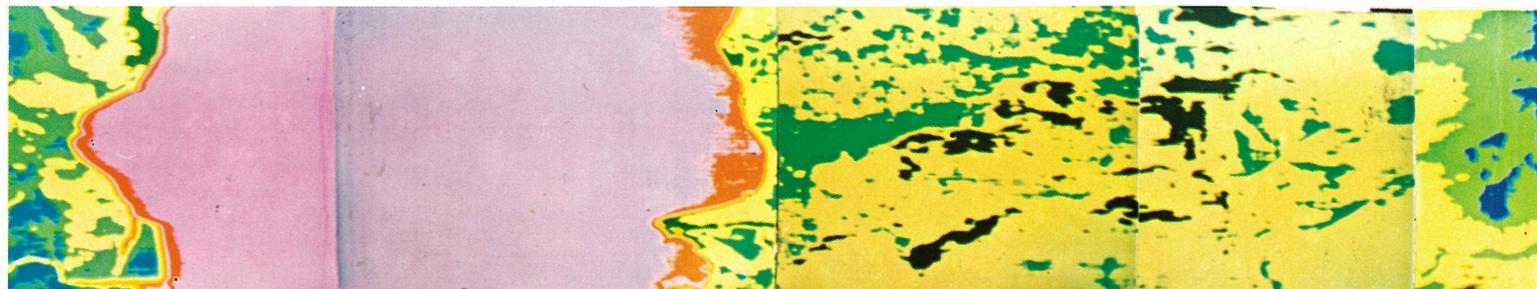
▲写真1

有珠山を東方から望む。左の海は太平洋，右の湖は洞爺湖。1977年9月25日撮影。アジア航測株式会社提供。



◀写真2

ジオジメーター。背後は桜島の爆発噴煙。1975年3月23日12時42分。(古田美佐夫撮影)



↑  
KAGOSHIMA

↑  
KINKŌ BAY

↑  
HAKAMAGOSHI



↑  
MINAMIDAKE

写真 3

↑  
SAKURAJIMAGUCHI

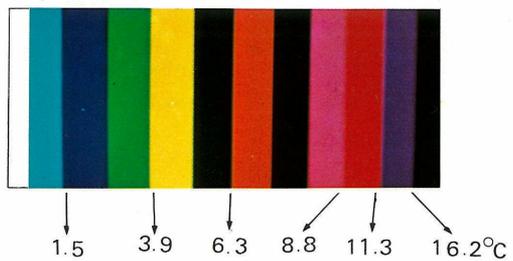


写真 4

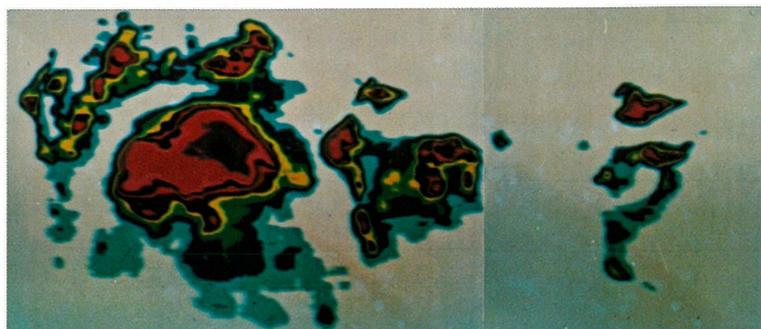


写真 5

- 写真3 桜島の空中赤外熱映像。上図の右端は下図の左端に続く。映像の範囲は写真6に示す。1976年1月27日撮影。
- 写真4 赤外空中熱映像のデジカラーに対する温度表示。写真3に適用。
- 写真5 桜島南岳山頂部の高温地帯の熱映像。

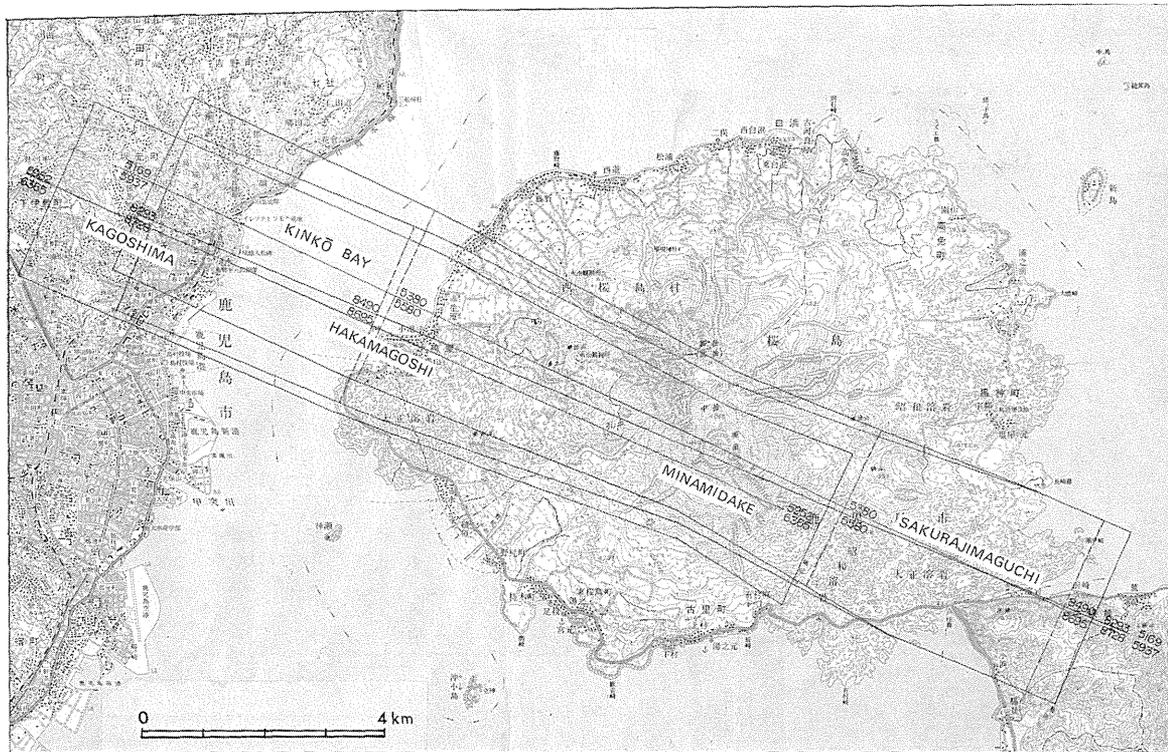


写真6 桜島と写真3の空中赤外熱映像撮影範囲。



写真7

桜島。噴煙をあげているのは南岳  
山頂火口。写真の右下方が北側  
あたり、中岳、北岳山頂が並んで  
見える。1975年11月9日撮影。

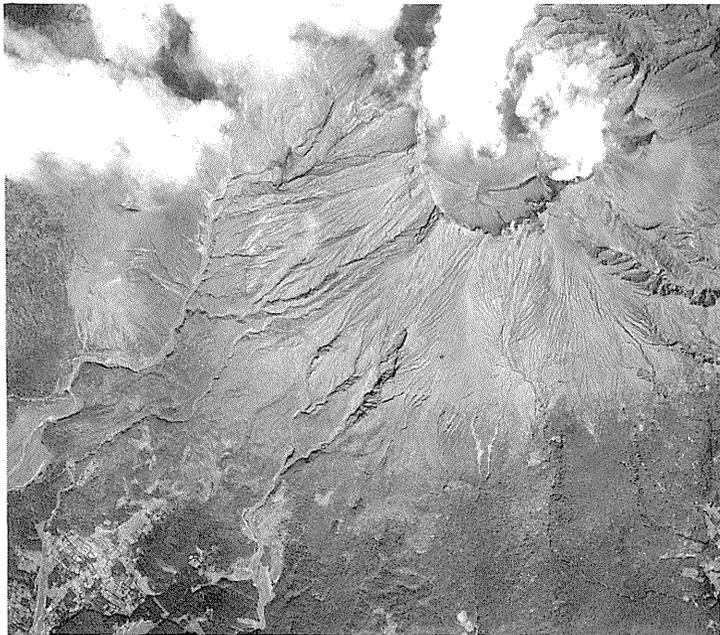


写真8

桜島。噴煙をあげているのは南岳  
山頂火口。写真の上側がほぼ北に  
あたる。1976年3月25日撮影。



写真9  
阿蘇山中岳火口と阿蘇山測候所付近。1975年10月21日撮影。

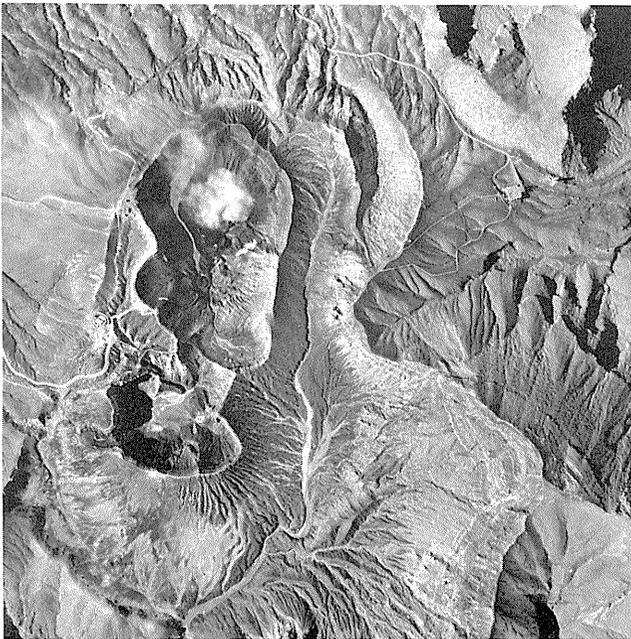


写真10  
阿蘇山中岳火口。1976年10月21日撮影。

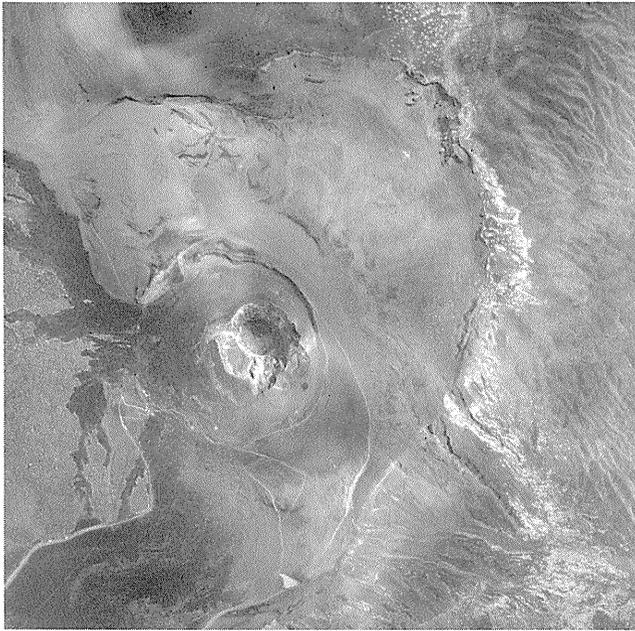


写真11  
伊豆大島三原山と三原火口。  
1977年4月7日撮影。

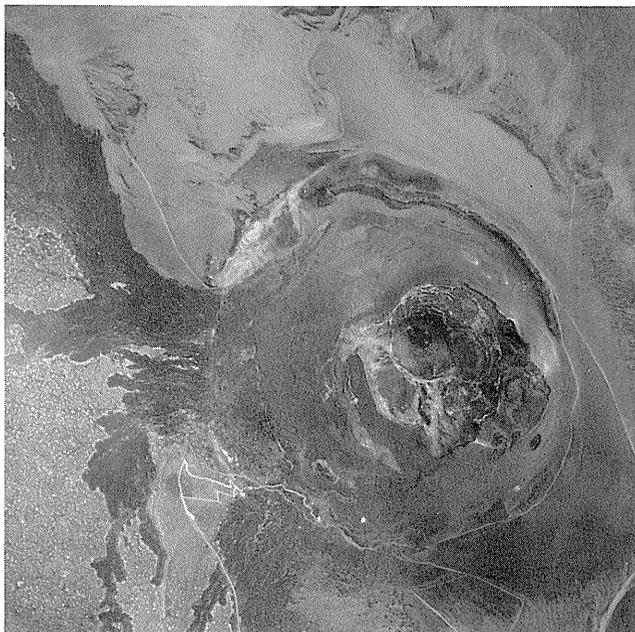


写真12  
伊豆大島三原火口。1977年4月  
7日撮影。



写真 13  
浅間山頂火口と外輪山。1976年  
10月6日撮影。

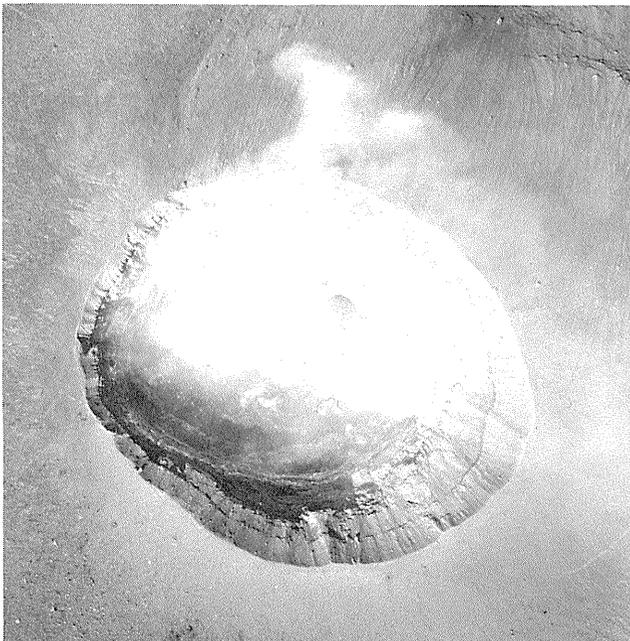


写真 14  
浅間山頂火口。1976年10月6  
日撮影。

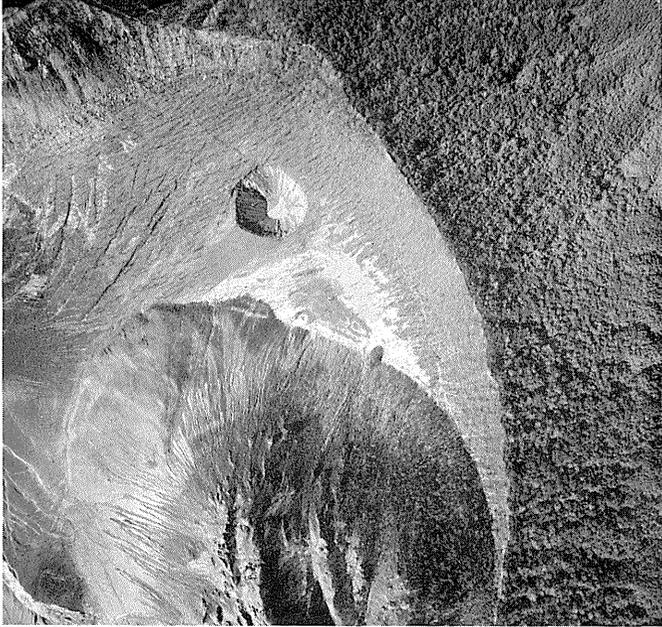


写真15

有珠山の大有珠。上方の小火口は1977年の噴火で生成した第4火口。1977年9月22日撮影。アジア航測株式会社提供。



写真16

有珠山の小有珠，オガリ山，銀沼，と1977年の噴火で生成した第1～3火口。1977年9月22日撮影。アジア航測株式会社提供。

## 序

わが国は世界有数の火山国であり、古来しばしば噴火災害をこうむってきた。特に、近年は火山地域の開発が急速に進み、一たび火山が噴火した場合、その及ぼす災害ははかり知れないものがあり、火山噴火予知技術の早急な開発は防災上当面の緊要事である。

このような時代の変遷に伴い、昭和48年6月には測地学審議会より「火山噴火予知計画の推進について」の建議がなされ、気象庁は業務化のための噴火予知の研究を推進するよう要望された。また、同年7月には「活動火山周辺地域における避難施設等の整備等に関する法律」が公布され、その第11条に「国及び地方公共団体は火山現象及び観測のための施設及び組織の整備に努めなければならない」ことがうたわれていた。

これらの要望を背景として、気象研究所では昭和49年度から新たに特別研究「火山噴火予知の研究」を発足させ、5か年計画で研究を進めた。

また、昭和49～50年度には気象庁の要望研究として「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」を上記の特別研究の中で実施した。

一方、昭和52年度には1977年有珠山噴火に伴い、科学技術庁の特別研究促進調整費により「1977年有珠山噴火に関する研究」を実施した。

本誌には上記諸研究の研究成果をまとめてある。

これらの研究を遂行するために、火山の現地で観測を手伝っていただいたり、研究に便宜をはかって下さった鹿児島地方气象台（桜島）、阿蘇山測候所（阿蘇山）、大島測候所（伊豆大島）、軽井沢測候所（浅間山）、三宅島測候所（三宅島）、宇都宮地方气象台（那須岳）、室蘭地方气象台（有珠山）の方々にお礼申しあげる。

この研究は地震火山研究部長および当部の第2研究室が担当した。研究に関係した職員は次のとおりである。

諏訪 彰（前地震火山研究部長、現地震観測所長、特別研究のうち昭和49～52年度の主任研究者）

田 望（地震火山研究部長、特別研究のうち昭和53年度の主任研究者）

長宗 留男（前第2研究室長、現第1研究室長、特調費による研究の主任研究者）

田中 康裕（第2研究室長）

古田美佐夫（第2研究室主任研究官）

澤田 可洋（同 上）

中禮 正明（第2研究室研究官）

大浦 悦子（前第2研究室研究官、現気象庁観測部高層課整備係技術主任）

この報告が火山噴火予知業務に寄与することができれば幸である。

昭和54年3月

気象研究所地震火山研究部長 田 望

# 主要活火山の地殻変動並びに地熱状態の調査研究

## 目 次

序	
概 要 (和文) .....	1
アブストラクト (英文) .....	4
第 1 編 活動火口の空中地形測量 .....	9
第 1 章 総 説 .....	9
第 2 章 桜 島 .....	11
第 3 章 阿 蘇 山 .....	17
第 4 章 伊豆大島 .....	22
第 5 章 浅 間 山 .....	29
第 6 章 有 珠 山 .....	34
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 .....	39
第 1 章 総 説 .....	39
第 2 章 桜 島 .....	46
第 3 章 阿 蘇 山 .....	51
第 4 章 伊豆大島 .....	56
第 5 章 浅 間 山 .....	62
第 6 章 有 珠 山 .....	67
第 3 編 傾斜計による火山の地殻変動の観測 .....	77
第 1 章 総 説 .....	77
第 2 章 桜 島 .....	85
第 3 章 阿 蘇 山 .....	92
第 4 章 伊豆大島 .....	101
第 5 章 浅 間 山 .....	111
第 4 編 リモートセンシングによる火口および火口周辺の地表面温度の観測 .....	147
第 1 章 総 説 .....	147
第 2 章 桜 島 .....	154
第 3 章 阿 蘇 山 .....	161
第 4 章 伊豆大島 .....	170
第 5 章 浅 間 山 .....	179
第 6 章 三 宅 島 .....	182
第 7 章 那 須 岳 .....	187
第 8 章 有 珠 山 .....	191

# 主要活火山の地殻変動並びに地熱状態の調査研究

## 気象研究所地震火山研究部

### 概 要

火山噴火と火山の地殻変動・熱的变化とは密接な関係があり、噴火に前駆して火口底が上昇したり、火口の温度が変化した例は古来少なくない。そこで、これらの諸現象を適確に観測し、監視する技術を開発して噴火予知に役立てるため、当研究所では1974年から1978年までの5か年間にわたり、特別研究「火山噴火予知の研究」を実施した。この研究では、火山の地殻変動を把握するために、航空機による活火山の地形測量、ジオジメーターによる火山周辺の地盤の伸縮の観測、傾斜計による火山の傾斜観測などを行い、その結果を解析して火山活動との関係を求めた。また、火山の熱的状态を把握するために、航空機に搭載した赤外線装置を使ったり、地上で携帯用赤外線放射温度計を使って、リモートセンシングにより、火口や火口周辺の地表温度を観測し、その結果を解析して火山活動との関係を求めた。

なお、リモートセンシングによる火山の温度観測の実用化を促進させるため、気象庁の要望もあって、1974～1975年には「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」を実施した。これは上記の特別研究と共通した内容を持っているので、特別研究の中に入れて実施した。

また、1977年8月に有珠山が大噴火したさい、科学技術庁の特別研究促進調整費により「1977年有珠山噴火に関する研究」を実施した。この研究題目のサブテーマは2つあって、「噴火活動と地殻変動に関する研究」および「噴火活動と地表温度分布の変化に関する研究」に分かれていた。前者ではジオジメーターにより地殻の伸縮観測を、後者では航空機に搭載した赤外線装置により地表温度を観測して火山活動との関係を求めた。この特調費による研究は上記の気象研究所の特別研究と共通した内容を持っていたため、一連の研究として遂行することができ、大変参考になった。

火山噴火予知のためには、火山活動に関連する火山性震動・地殻変動・熱変化・噴出物の組成、物性の変化などについて総合的な研究が必要である。現在はそれらの観測のすべてが気象庁のルーチン観測業務になっているわけではない。一方、本研究の手法は、いずれも気象庁のこれまでのルーチン火山観測業務にはなっていない新しい項目である。これらの研究成果が業務に反映することを期待している。

本誌には上記の諸研究の研究成果をまとめてあるが、研究の手法が4種類に分けられるので、目次にあるように4編に編集した。観測および研究の対象となった火山名、研究手法は次表のとおりである。また、次の英文アブストラクトの中にはそれらの火山の位置が記載してある。

研究実施火山と研究手法

研究項目 火山名	地形測量 (第1編)	光波測量 (第2編)	傾斜観測 (第3編)	温度観測 (第4編)
桜島	○	○	○	○
阿蘇山	○	○	○	○
伊豆大島	○	○	○	○
浅間山	○	○	○	○
三宅島				○
那須岳				○
有珠山	○	○		○

本誌の第1編には、5火山で実施した「活動火口の空中地形測量」の成果がまとめてある。それぞれの火山の活動火口およびその周辺の地形図を作り、要所については正確な位置を求めた。この地形図および測量の資料は第2～第4編の中に使用してある。また、今後は、この地図を基にして地形変化を追跡できる。

第2編には、第1編と同じ火山で「ジオジメーターによる火山周辺の地殻変動の測量」を実施し、火山活動と地殻の伸縮との関係を求めた。有珠山では最大  $10^{-3}$  の大きな歪が観測されたが、他の火山では  $10^{-5}$  程度の歪量であった。各火山で歪の変化と火山活動との関係を求めたが、測線によっては、火山活動の消長が地殻の伸縮に敏感に現われる所があることがわかった。このことは、火山活動を監視するために、光波測量は有用な手法であることを示唆している。

第3編には4つの火山で実施した「傾斜計による火山の地殻変動の観測」の成果がまとめてある。この研究では各火山とも、双軸型傾斜計を用い、観測は3～4地点で行った。この傾斜計は従来からよく使われている振り型の傾斜計と違って、地殻の傾斜による気泡の移動を利用した傾斜計であり、器械自身の安定性がよく、隔測ができる。観測は地上の建物内、および1～3mの深さの穴の中で実施した。気温の傾斜値への影響は深い穴ほど少なかったが、各火山とも、気温変化の影響を上まわるような大きな傾斜変化を観測した。桜島、伊豆大島、浅間山では、火山活動に関連すると思われる永年的変化の傾斜が観測され、阿蘇山では噴火の前駆現象と思われる大きな傾斜変化が求まった。桜島はこの傾斜観測実施期間を通じて、噴火活動を断続していたが、個々の噴火と傾斜変化との関係は余りよくわからなかった。

第4編には7つの火山で実施した「リモートセンシングによる火口および火口周辺の地表面温度の観測」の成果がまとめてある。このうち、桜島、阿蘇山、伊豆大島、浅間山、有珠山の5火山の観測は航空機からリモートセンシングによって実施した。また、阿蘇山、伊豆大島、三宅島、那須岳の4火山では携帯用赤外線放射温度計を用いて地上からのリモートセンシングにより火口およびその付近の地表面温度の状態を観測した。火口内の地表面温度は、噴火活動期ないしその前に高温部が拡大し、静穏期に狭くなる傾向が見られた。また、噴火活動期の地表面温度は一般に上昇する現象も認められた。これらは、火山の温度

観測が火山活動監視上非常に有用な方法であることを示唆している。なお、リモートセンシングによる火山観測は、危険な地域から離れて安全な場所から実施できるので、これからの火山観測には採り入れるべき手法の一つである。

火山の火口やその付近の地形は一般に凹凸が多いので、航空機から撮影した赤外熱映像は飛行コースと地形の影響を受けてひずんでいる。そのため、赤外熱映像から温度分布図を作る際には地形に対する補正をほどこす必要がある。第4編の研究を遂行中に、熱映像に対する地形補正の方法を開発した。

Investigation of Ground Movement and Geothermal  
State of Main Active Volcanoes in Japan

by

Seismology and Volcanology Division, M.R.I.

Abstract

There have been instances of the crater bottom rising and the temperature inside the crater changing, as precursors of a volcanic eruption. It seems that the volcanic eruption is closely related with topographical deformation and geothermal change of the volcano.

The Seismology and Volcanology Division of the Meteorological Research Institute of Japan carried out a project, "Prediction of volcanic eruption", during the period since 1974 through 1978, for the purpose of making special researches into this subject.

Thus distance measurement for estimating ground deformations by use of the geodimeter, observation of ground tilt by the tiltmeter, temperature measurement in and around a crater by remote sensing by the airborne infrared scanner or the infrared radiation thermometer, etc. were performed on seven main active volcanoes in Japan shown in the table below.

Another investigation "Routine observation system of volcanic activity by means of the infrared radiation thermometer" was carried out from 1974 to 1975, as part of the above research, for the purpose of developing a remote sensing method of temperature measurement in and around the crater.

On August 7, 1977, big eruptions took place at volcano Usuzan and great damage was reported around the volcano. Therefore, a special research entitled "Investigation of the 1977 eruption of Usuzan" was carried out under the financial aid of the Science and Technology Agency. In this investigation, distance measurement for estimating ground deformations at the

foot of Usuzan by use of the geodimeter and ground surface temperature measurements at the same volcano by means of the airborne infrared scanner were carried out several times. Then the relation was analyzed between these observation results and the variation of volcanic activity.

The above mentioned researches have somewhat similar content and supplement each other.

For the purpose of the prediction of volcanic eruption, we have to put together all the information obtained by many kinds of approaches, such as volcanic earthquakes, volcanic tremors, crustal deformations, geothermal changes, physical and chemical analysis of volcanic products, etc.. The present routine volcano observations of the Japan Meteorological Agency do not include all of the above items, while the present researches deal with new items hitherto neglected by the J.M.A.. We hope that the results of these resarches will be reflected in the routine volcano observation work in the future.

In the present paper, the results of the above researches are reported in four chapters. The name of the volcanoes and the methods of study are shown in the table and the figure below.

Volcanoes and Methods of Study

Item Volcano	Topographical survey	Distance measurement	Tilt observation	Temperature observation
Sakurajima	o	o	o	o
Asosan	o	o	o	o
Izu-Oshima	o	o	o	o
Asamayama	o	o	o	o
Miyakejima				o
Nasudake				o
Usuzan	o	o		o



Geographical position of the volcanoes  
cited in this report

In Chapter 1, the results of the "Topographical survey of the active crater" at 5 volcanoes are reported.

Topographical maps of 1/2500 or 1/5000 scale in and around the active crater were made, and accurate locations of the main spots were plotted in them. The maps and the data made in this study are used in the studies reported in Chapter 2 to Chapter 4. If ground deformation takes place at these volcanoes in the future, it is easy to catch them by referring to these map.

In Chapter 2, the results of "Distance measurement for estimating ground deformations by use of the geodimeter, at the active volcano" at the same volcanoes as in Chapter 1, are reported.

At Usuzan, large deformations with maximum value of  $10^{-3}$

are observed, but the other volcanoes, no more than  $10^{-5}$  is observed. It has since transpired that length at the several measuring lines change immediately with strong volcanic activities. Thus the distance measurement is considered a useful method for watching the state of volcanic activities.

In Chapter 3, the results of "Observations of ground tilt by tiltmeters" at four volcanoes are reported.

In this study, BIAXIAL tiltmeters were used at 3 to 4 points around the crater or at the foot of the volcano. This type of tiltmeter is a gauge using a bubble level, ensures good stability, and makes telemetering possible.

Observations of tilt were carried out in a cabin on the ground or in a hole of 1m to 3m in depth. The influence of air temperature upon the ground tilt was smaller in the deeper holes, while at all the volcanoes great tilt changes were observed that far outweigh such influence.

Secular changes of tilt probably due to volcanic activities were observed at Sakurajima, Izu-Oshima and Asamayama, while remarkable uplifts of the ground which are considered to be a precursor to an eruption, were observed at Asosan.

In Chapter 4, the results of "Temperature measurements in and around a crater by means of remote sensing" are reported.

An airborne infrared scanner is used at Sakurajima, Asosan, Izu-Oshima and Usuzan, while an infrared radiation thermometer is used on the ground at Asosan, Izu-Oshima, Miyakejima and Nasudake. The high temperature zone in and around the crater at the eruption time extended several times as large as that of the calm period. Furthermore, these anomalous high values of temperature at the eruption time were higher than that of the calm period. This suggests that some thermally anomalous areas in the crater changes their thermal characteristics before or at an eruption. The thermal infrared survey is very useful to volcano observation for the monitoring of some potentially hazardous

crater. It has, moreover, the advantage of being done with safety and quikness.

The topography of a crater and the summit of a volcano is so irregular that infrared radiation images taken from the air are grossly distorted. Therefore, a new method of correction for topography in infrared images was developed.

## 第1編 活動火口の空中地形測量

### 第1章 総 説

田 中 康 裕

#### 1.1 ま え が き

火口の地形変動と火山活動とは密接な関係があり、たとえば、火口底の異常隆起や火口の埋没後に火山噴火が発生したような記録例は、古来多数残っている。それゆえ、火口の地形を常に把握していることは、火山活動を監視する上で必要なことだと思われる。

ところで、これまでに公にされている火山の地形図には、国土地理院発行の1/50,000地形図および1/25,000地形図があるほかは、一部の研究者や地方公共機関などが、それぞれの目的によって作った地形図が若干発行されている程度である。それらの地形図に画かれている火口は、一般には単に崖で囲まれた環状地形として表現されていることが多いので、こうした地図を基にして火口内で起こった微小な地形変化を追求することは、きわめて困難であり、火山活動監視のための地形図としては満足なものとはいえない。

そこで、火山活動監視、ないし火山噴火予知に役立つような地形図の作製を目標として、日本の4大活火山「桜島・阿蘇山・伊豆大島三原山・浅間山」の活動火口の空中地形測量を実施し、1/2,500地形図を作った。

また、有珠山では1977年8月の噴火後、大きな地形変動が起こったが、噴火後1ヶ月半を経過した時期の空中写真を入手したので、これを基にして、有珠外輪山内の1/5,000地形図を作った。

これらの空中地形測量のための作業はアジア航測株式会社が担当した。

#### 1.2 測量の時期と測量のねらい

桜島、阿蘇山、伊豆大島三原山、浅間山の測量は気象研究所の1974～1978年の特別研究「火山噴火予知の研究」の一環として実施したもので、

桜島については1975年11月9日および1976年3月25日

阿蘇山については1975年10月21日

伊豆大島三原山については1976年9月23日および1977年4月7日

浅間山については1976年10月6日

に行った。

一方、有珠山の測量は1977年9月22日に実施した。

地形図を作るにあたっては、火口内の地形をなるべく詳細に表現することに重点をおき、崖にも等高線を入れて火口底の凹凸を詳細に表わすようにした。なお、等高線の間隔は、縮尺1/2,500地形図では2 m, 1/5,000地形図では5 mとした。

また、空中測量を実施した範囲内の、いくつかの要所を選んで、その地点の緯度、経度、高さを求めた。今後は、これらの地点を基点として、火山活動の監視に必要な地形変化の状態を知ることができよう。

以下、今回作製した活動火口の地形図を、火山別に掲載し、この空中地形測量に関連した諸事項を記述する。

## 第2章 桜 島

田 中 康 裕

### 2.1 使用した三角点

桜島の南岳山頂火口は1955年以来今日まで噴火活動を続けている。したがって、今回の桜島の測量は南岳山頂火口を対象として実施した。

この空中地形測量のための基準点としては、桜島島内およびそれに続く大隅半島内の、図1.2.1に示した6地点の三角点を使用した。各三角点の名称、等級、位置、高さ等は表1.2.1に示してある。これらの三角点は桜島の南岳山頂火口を中心としてほぼ西北西から東南東方向に分散している。各三角点には対空標識を設置した。

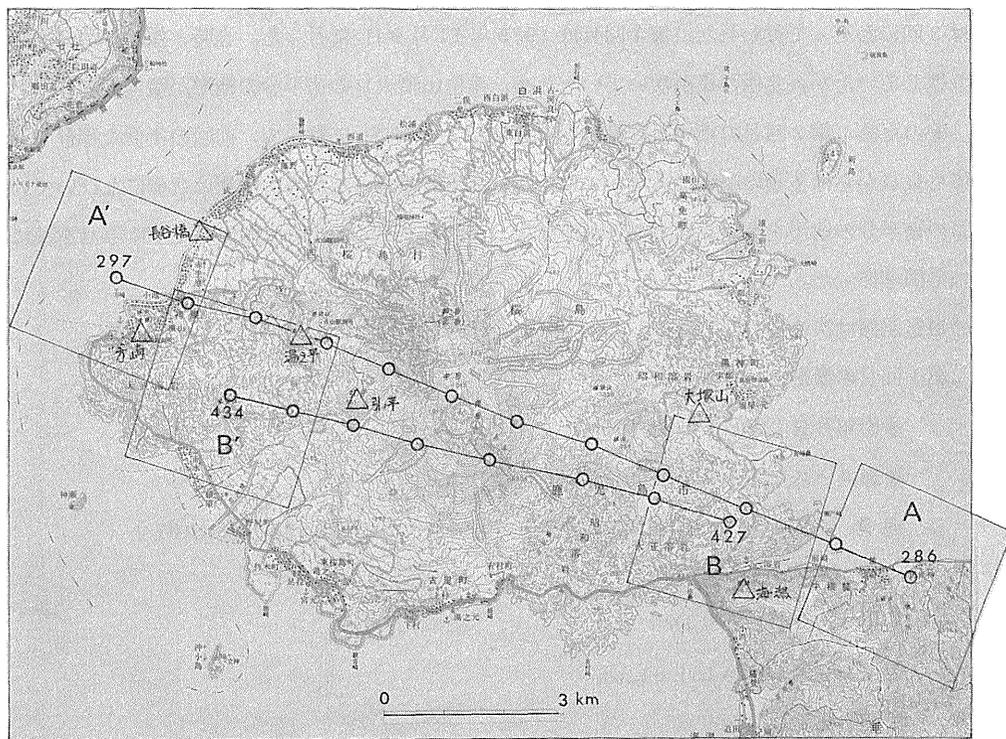


図 1.2.1 桜島の空中測量写真標定図

△ 測量基準点(対空標識設置点)

○ 空中写真撮影点

A-A'コースは1975年11月9日、

B-B'コースは1976年3月25日に撮影

表 1.2.1 桜島で使用した三角点

三角点名	等級	位置		
		北緯	東経	高さ
長谷橋 (汎5-1)	4	31° 36' 18.268"	130° 36' 53.511"	10.66 m
方 崎	3	31 35 19.497	130 36 15.672	71.40
湯之平 (汎交4)	4	31 35 17.032	130 37 57.072	373.69
引ノ平 (汎-1)	4	31 34 42.385	130 38 30.669	563.11
犬 塚 山	3	31 34 35.441	130 42 7.657	121.56
海 瀉	2	31 33 2.135	130 42 35.077	325.26

## 2.2 撮影記録

測量的ための空中写真撮影は、基準三角点および南岳山頂火口が1コースの飛行で画面に入るよう、桜島の東南東から進入して西北西へ抜けるコース上で行われた。

測量は2回にわたって行われた。第1回目は1975年11月9日に行った。当時、桜島は活発な噴火活動をくり返していたが、北西の風が吹いていたため、南岳山頂火口の南半分の地形が噴煙の陰になってしまった。そのため、第2回目の空中写真撮影を1976年3月25日に行って、前回の不備な部分を補った。この時にも火口からは多量の噴煙があがっていたが、南東風であったため、噴煙は北側になびいていたので、火口の南半分の地形をうまく写すことができた。これら2回にわたって撮影した空中写真を基にして火口の地形図を作った。

2回の撮影記録は次のとおりである。

### 第1回目の撮影

撮影年月日：1975年11月9日

撮影コース：図1.2.1の空中写真標定図のコースA-A'

撮影写真：12枚（図1.2.1のコースA-A'上のNo.286～No.297）

写真縮尺：1/12,500

使用カメラ：RC-10

使用レンズ：F=151.61mm

基準面標高：1,000m

飛行高度：2,900m

### 第2回目の撮影

撮影年月日：1976年3月25日

撮影コース：図1.2.1の空中写真標定図のコースB-B'

撮影写真：8枚（図1.2.1のコースB-B'上のNo.427～No.434）

写真縮尺・使用カメラ・使用レンズ・基準面標高・飛行高度は第1回目と同じ。

この測量時に撮影した空中写真の一部を口絵の写真7および写真8に示す。

### 2.3 測量成果

今回の空中三角測量によって得られた南岳山頂火口の地形図を図1.2.2(巻末)に示す。この図の座標系には第Ⅱ系を用いている。すなわち地図上の座標は、北緯 $33^{\circ}0'0.000''$ 、東経 $131^{\circ}0'0.000''$ の地点を原点として、そこから測った距離(km)である。また、高さは東京湾中等潮位を0mとして表わしてある。

空中写真を図化機にかけたときの図根点のうち、基準三角点についての残差はほぼ60cm以下に求まり、その詳細は表1.2.2に示してある。

また、空中三角測量の方法によって、南岳山頂火口およびその周辺の24ヶ所の地点の位置を求めた。以下これを求点と呼ぶ。それらの位置は図1.2.2の中に⊗印と番号とで記入してあり、表1.2.3には第Ⅱ系の座標を使って表わしてある。

表 1.2.2 桜島の基準三角点と測量残差

三角点名		地上座標			残差		
		-X	-Y	H	DX	DY	DH
		m	m	m	m	m	m
長谷橋	本点	154590.29	36539.95	10.66			
	標識点	154590.24	36540.06	13.48	0.05	-0.11	0.07
方崎	本点	156396.52	37543.73	71.40			
	偏心標識点	156389.73	37556.71	73.93	-0.10	-0.26	-0.13
湯之平	本点	156481.76	34871.16	373.69			
	偏心標識点	156476.12	34879.58	372.84	-0.28	0.28	-0.02
引ノ平	本点	157551.60	33989.08	563.11			
	標識点	157551.01	33988.63	563.29	0.59	0.45	0.18
犬塚山	本点	157782.59	28269.43	121.56			
	偏心標識点	157781.96	28268.22	126.66	0.10	-0.72	0.11
海瀉	本点	160657.77	27554.20	325.26			
	偏心標識点	160658.33	27553.06	327.12	-0.36	0.36	0.27

表 1.2.3 桜島の求点

求点番号および位置	座 標		
	- X	- Y	H
1. 中岳山頂の北西高地	157238.49 m	32376.44 m	1060.20 m
2. " 中央部	157324.48	32281.83	1046.26
3. " 南東高地	157423.82	32203.77	1060.66
4. " 南西高地	157471.01	32329.62	1070.69
5. 南岳山頂火口の西側火口縁	157695.61	32500.77	1040.79
6. " 西南西火口縁	157832.70	32483.50	1010.25
7. 南岳山頂火口原	157691.61	32255.57	910.82
8. 南岳山頂火口 (A火口東側)	157770.04	32163.82	902.36
9. " (A・B火口の間)	157798.85	32102.69	902.94
10. " ( " )	157832.67	32062.41	909.86
11. B火口の北側火口縁	157740.32	31916.63	1004.25
12. " 東 "	157942.70	31798.38	949.08
13. 中岳山頂火口の東側斜面 (昭和21年火孔上部)	157938.42	31510.47	760.52
14. " ( " 下部)	157911.66	31461.86	757.25
15. 南岳山頂火口の南側火口縁	157238.49	32376.44	1060.20
16. 火山観測所建物の南西角の地上 <sup>1)</sup>	156394.68	37569.04	70.26
17. 地震観測用A点小屋の南西角の地上 <sup>2)</sup>	156505.73	36757.14	30.53
18. " B点送信小屋の南西角の地上 <sup>3)</sup>	156240.11	34591.07	392.91
19. " B点小屋南西角の地上 <sup>* 4)</sup>	156060.38	34127.59	385.13
20. ジオジメーター基点No.1 <sup>5)</sup>	156147.83	37602.07	64.26
21. " No.2 <sup>6)</sup>	156208.00	37434.07	68.05
22. " No.10 <sup>7)</sup>	154751.72	36585.32	6.92
23. 有村傾斜計壕入口のコンクリート台の 南西角の地上 <sup>8)</sup>	160608.13	31079.95	39.01
24. ジオジメーター基点No.7の北東約10m (道路と広場と溶岩地との境界) <sup>9)</sup>	160645.49	30419.75	70.54

- 1) 北緯 31°35'19.55" 東経 130°36'14.71"
- 2) 31 35 16.34 130 36 45.52
- 3) 31 35 24.02 130 38 7.70
- 4) 31 35 29.22 130 38 25.28
- 5) 31 35 26.69 130 36 13.46
- 6) 31 35 26.52 130 36 19.83
- 7) 31 36 7.06 130 36 52.04
- 8) 31 33 3.74 130 40 21.16
- 9) 31 33 2.53 130 40 46.24

\* この観測点は付近の地形崩壊が進んでいるため、1978年4月、別の地点へ移設した。

## 2.4 南岳山頂火口の地形

南岳山頂には直径600~700mの大火口があり、その中にほぼ北西から南東に並んだ小さな火口が2つある。北西側の小さな火口は「A火口」、南東側のそれは「B火口」と呼ばれている。測量実施時にはど

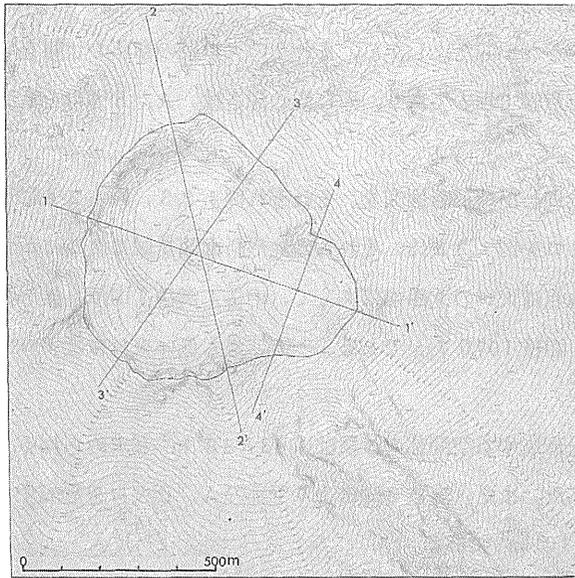


図1.2.3 桜島の南岳山頂  
火口縁および図  
1.2.5の火口の  
断面図に沿った  
切り口

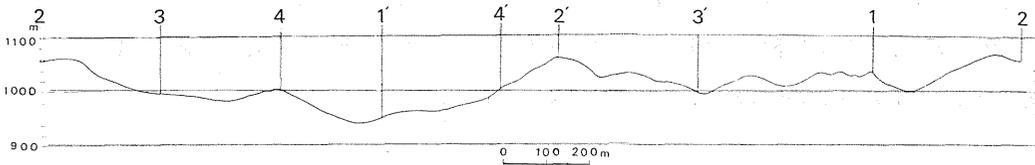


図1.2.4 桜島の南岳山頂火口縁の地形断面図

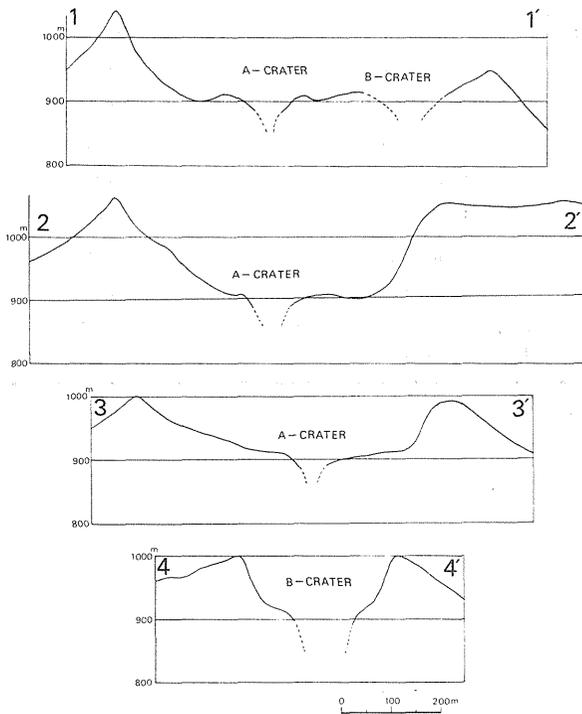


図1.2.5 桜島の南岳山頂  
火口要所の地形  
断面図

ちらの火口からも噴煙があがっていた。したがって、A火口については海拔887.3m以深、B火口については海拔920m以深の地形はわからなかった。しかし、まわりの火口壁の傾斜の状態を考慮して、図1.2.2には、さらに深い所までの地形を点線で画いてあり、火口底の深さは、A、B火口とも海拔870mくらいあると推定される。

火口縁と、それを時計廻りに一周した地形断面図を、それぞれ図1.2.3、図1.2.4に示す。また、火口をいくつかの方向から切った切り口を図1.2.3に、それらの地形断面図を図1.2.5に示す。

南岳火口の火口縁で最も高い地点は火口の北西端にあって、中岳（御岳）山頂と接している。その位置は表1.2.3に示した求点4番で、海拔1070.7mである。一方、最も低い火口縁は火口の東端にあって海拔940mである。

火口縁最低部より下部の火口を形成する空間部の体積は $4.43 \times 10^6 \text{ m}^3$ と求められる。ただし、A、B火口の深さを海拔870mと仮定した。また、海拔910mより下部のA、B火口を形成する空間部の体積は、それぞれ $0.16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $0.24 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。

A火口は1955年以来今日まで噴火活動を続けている。一方、B火口は1962年ごろから噴火活動を始めたもので、1961年以前にはB火口の位置からはわずかに噴煙があがっており、火口の形をしていなかった所である。噴火活動を重ねることによって、現在ではB火口はA火口より大きく成長した。

火口の要所の高さおよび火口の大きさは表1.2.4に示したとおりである。

表 1.2.4 桜島南岳山頂火口の要所の高さ  
(海拔)および火口の大きさ

火口縁最高点の高さ	(北 部)	1,070.7 m
"	(東 部)	1,004.3
"	(南 部)	1,063.6
"	(西 部)	1,040.8
火口底の高さ	(A火口)	887.3 >
"	(B火口)	920 >
火口の直径	(北-南)	660
"	(東-西)	590
"	(北西-南東, A火口および B火口を含む最長径)	720

## 第3章 阿蘇山

田中康裕

### 3.1 使用した三角点

阿蘇山の近年の噴火は中岳火口で起こっている。したがって、この火山の空中測量は中岳火口を対象として実施した。

この空中測量のための基準点は、阿蘇山中岳付近に点在する5地点の三角点を使用した。各三角点は図1.3.1に示してあり、それらの名称、等級、位置、高さ等は表1.3.1に示してある。これらの三角点には対空標識を設置して測量を行った。なお、測量の精度を高めるため、烏帽子岳（表1.3.1では西烏帽子岳となっている）と高岳との三角点間を水準測量した。この水準路線は図1.3.1に示してある。

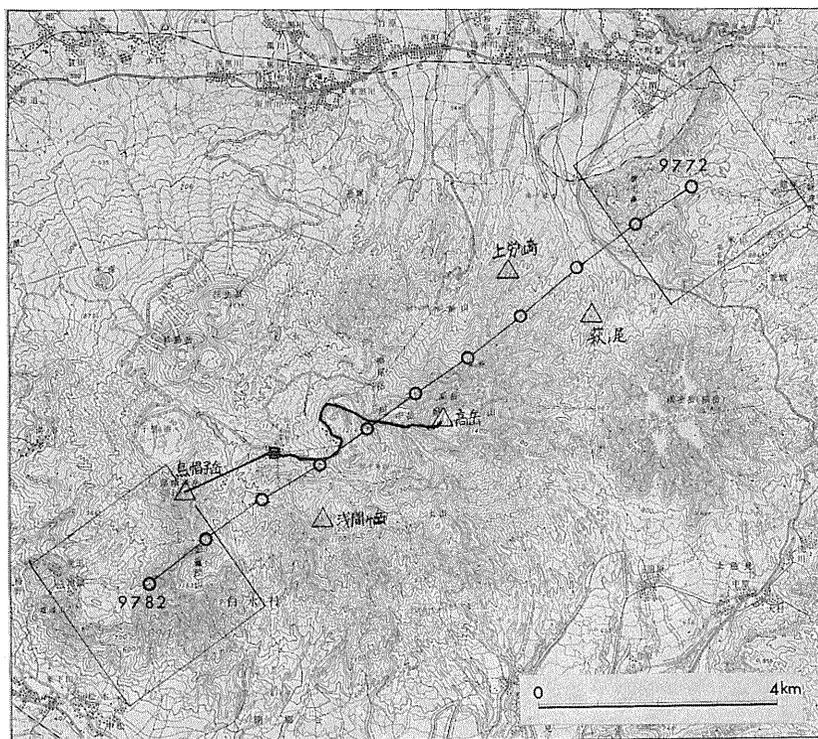


図 1.3.1 阿蘇山の空中測量写真標定図

- △ 測量基準点 (対空標識設置点)
- 空中写真撮影点
- 烏帽子岳—高岳 水準測量路線

表 1.3.1 阿蘇山で使用した三角点

三角点名	等級	位置		
		北緯	東経	高さ
西烏帽子岳	1	32° 52' 13.103"	131° 3' 37.386"	1337.35 m
浅間ヶ岳	3	32 51 58.998	131 5 5.247	1303.41
高 岳	3	32 52 51.420	131 6 22.675	1592.39
上 勞 崎 ( 匹 19 )	4	32 54 4.744	131 7 4.850	759.74
萩ノ尾 ( 匹 21 )	4	32 53 48.853	131 7 57.648	790.69

### 3.2 撮影記録

この空中測量写真は、中岳火口と基準三角点とを一回の飛行でカバーできるように、中岳の西南西から進入して東北東へ抜けるコース上で撮影された。空中写真の標定図は図 1.3.1 のとおりである。

写真撮影当時、中岳第1火口には噴煙が若干あったが、その濃度が薄く、かつ、拡がり範囲も狭かったので、測量には支障なかった。

撮影記録は次のとおりである。

撮影年月日：1975年10月21日

撮影コース：図1.3.1の空中写真標定図のとおり

撮影写真：11枚（図1.3.1の撮影コース上のNo.9772～No.9782）

写真縮尺：1/12,500

使用カメラ：RC-10

使用レンズ：F=151.61mm

基準面標高：1,200m

飛行高度：3,100m

この測量時に撮影した空中写真の一部を口絵の写真9および写真10に示す。

### 3.3 測量成果

今回の空中三角測量によって得られた中岳火口の地形図を図1.3.2（巻末）に示す。この測量の座標系は前章の場合と同じく第II系を用いている。また、高さは東京湾中等潮位を基準にしている。

空中写真を図化機にかけたときの基準三角点の残差はほぼ50cm以下であり、その詳細は表1.3.2に示してある。

また、中岳火口内およびその周辺にめばしい地点を14ヶ所選び、空中三角測量の方法によってこれらの求点の位置を求めた。それらの求点は図1.3.2の中に⊗印と番号で記入し、かつ、表1.3.3にまとめてある。ただし、16～24番の求点は図1.3.2の図面外にある。

表 1.3.2 阿蘇山の基準三角点と測量残差

三角点名		地上座標			残差		
		-X	+Y	H	DX	DY	DH
西烏帽子岳	本点	14378.90	5650.17	1337.35			
	標識点	14378.64	5650.08	1337.14	0.26	-0.09	-0.21
浅間ヶ岳	本点	14811.75	7934.16	1303.41			
	標識点	14812.02	7934.56	1303.91	-0.27	0.40	0.49
高岳	本点	13195.34	9945.09	1592.39			
	偏心標識点	13195.44	9944.97	1591.89	-0.10	-0.12	-0.50
上勞崎	本点	10935.76	11038.63	759.74			
	標識点	10935.25	11038.40	760.08	0.51	-0.23	0.34
萩ノ尾	本点	11423.59	12411.07	790.69			
	標識点	11423.99	12411.10	790.72	-0.40	0.03	-0.13

表 1.3.3 阿蘇山の求点

求点番号および位置	座標		
	-X	+Y	H
1. 測候所構内傾斜計壕南西角の地上 <sup>1)</sup>	13641.46 m	7096.08 m	1143.16 m
2. ジオジメーター基点No.5 <sup>2)</sup>	13275.62	7028.43	1138.79
3. 地震観測用A点小屋南西角の地上 <sup>3)</sup>	13022.84	7319.98	1148.45
4. 傾斜計小屋南西角の地上 <sup>4)</sup>	13199.38	7252.20	1151.38
5. ジオジメーター基点No.3 (朝間山) <sup>5)</sup>	13867.73	8063.75	1247.37
6. ロープウェー火口西駅待避壁東端の地上	13588.48	8094.39	1264.00
7. 第1火口西側火口縁待避壕南端の地上	13225.52	7930.47	1275.60
8. 第1火口北西火口縁	12981.53	8021.10	1288.43
9. 第1火口壁テラス	13072.21	8048.70	1232.31
10. 第1火口内	13157.54	8158.08	1175.74
11. 第2火口底	13316.42	8258.22	1187.55
12. 第3火口底	13433.41	8355.53	1234.41
13. 第4火口底	13783.62	8357.34	1200.83
14. ジオジメーター基点No.4 <sup>6)</sup>	12923.20	8681.15	1364.74

- |       |              |    |              |
|-------|--------------|----|--------------|
| 1) 北緯 | 32°52'36.98" | 東経 | 131°4'33.07" |
| 2) "  | 32 52 48.82  | "  | 131 4 30.47  |
| 3) "  | 32 52 57.00  | "  | 131 4 41.79  |
| 4) "  | 32 52 51.29  | "  | 131 4 39.08  |
| 5) "  | 32 52 29.65  | "  | 131 5 10.31  |
| 6) "  | 32 53 0.23   | "  | 131 5 34.07  |

### 3.4 中岳火口の地形

中岳火口は周囲約4 kmに及ぶ大きな火口で、その中に7つの小さな火口があり、それぞれ第1, 第2, 第3, 第4, 第5, 第6, 第7火口と呼ばれている。このうち、現在噴煙活動をしているのは第1火口である。各火口の境界は余り明瞭でない。

中岳火口の火口縁はほぼ平坦な地形をしていて、火口縁上は歩道になっている。

火口をいくつかの方向から切った状態を図1.3.3に、それらの地形断面図を図1.3.4に示す。中岳火口の北半分(第1, 第2, 第3火口)の火口縁の高さを海拔1260 m, 南半分(第4, 第5, 第6, 第7火口)のそれを海拔1240 mと仮定して、それより下部の中岳火口を形成する空間部の体積を求めると  $10.64 \times 10^6 \text{ m}^3$  となる。

中岳火口の要所の高さおよび火口の大きさなどは表1.3.4のとおりである。

表 1.3.4 阿蘇山中岳火口の要所の高さ  
(海拔)および火口の大きさ

中岳火口西側の最高点	1,281.5 m
第1火口北側火口縁の最高点	1,309.9
"    東    "	1,300.1
"    西    "	1,275.6
"    底最低部	1,150 >
第2火口東側火口縁の最高点	1,297.1
"    西    "	1,274.9
"    底最低部	1,187.6
第3火口東側火口縁の最高点	1,280.5
"    西    "	1,274.3
"    底最低部	1,234.4
第4火口東側火口縁の最高点	1,273.7
"    西    "	1,262.8
"    底最低部	1,200.8
第1火口 東—西の径	450
第2    "    "	400
第3    "    "	320
第4    "    "	420
中岳火口の長径(北北西—南南東)	1,000

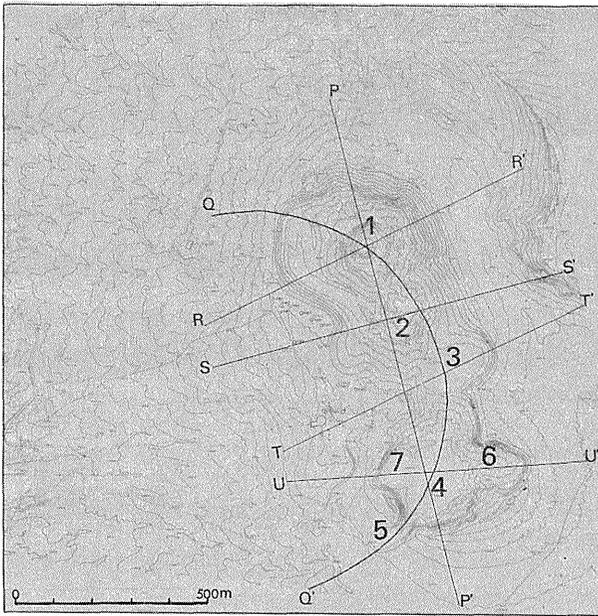


図 1.3.3 阿蘇山の中岳火口と  
図 1.3.4 の火口断面図に沿  
った切り口  
1, 2, ..., 7 はそれぞれ  
第 1, 第 2, ..., 第 7 火口

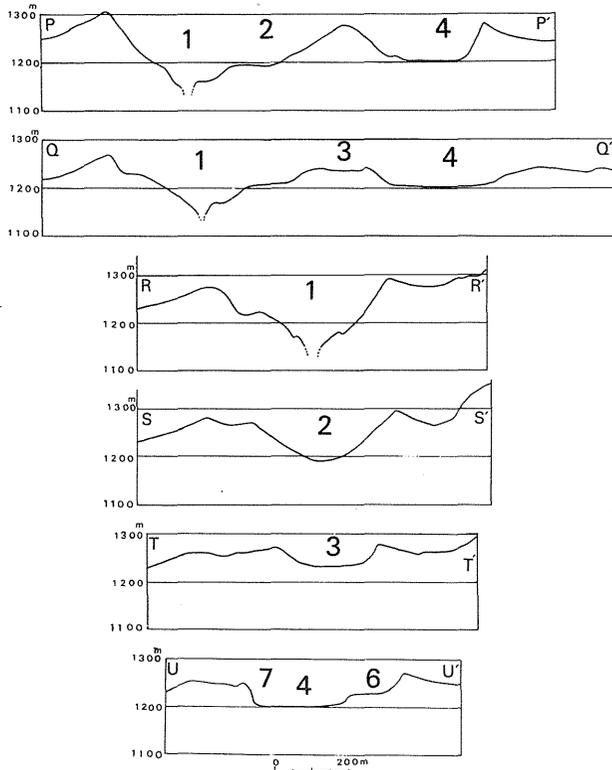


図 1.3.4 阿蘇山の中岳火口  
要所の地形断面図  
1, 2, ..., 7 はそれぞれ  
第 1, 第 2, ..., 第 7 火口

## 第4章 伊豆大島

田中 康裕

### 4.1 使用した三角点

近年の伊豆大島三原山の噴火は三原火口で起こっているため、この空中測量は三原火口を対象として実施した。

この空中測量のため、三原山周辺の5ヶ所の三角点に対空標識を設置して基準点とした。(国土地理院承認番号一昭52企公第6号)。基準点の位置は図1.4.1および図1.4.2に、また、それらの三角点の名称、等級、緯度、経度、高さ等は表1.4.1に示してある。

なお、測量の精度を高めるため、三角点「奥山」と三角点「三原火口」との間を水準測量した。この水準路線は図1.4.1および図1.4.2の中に記入してある。

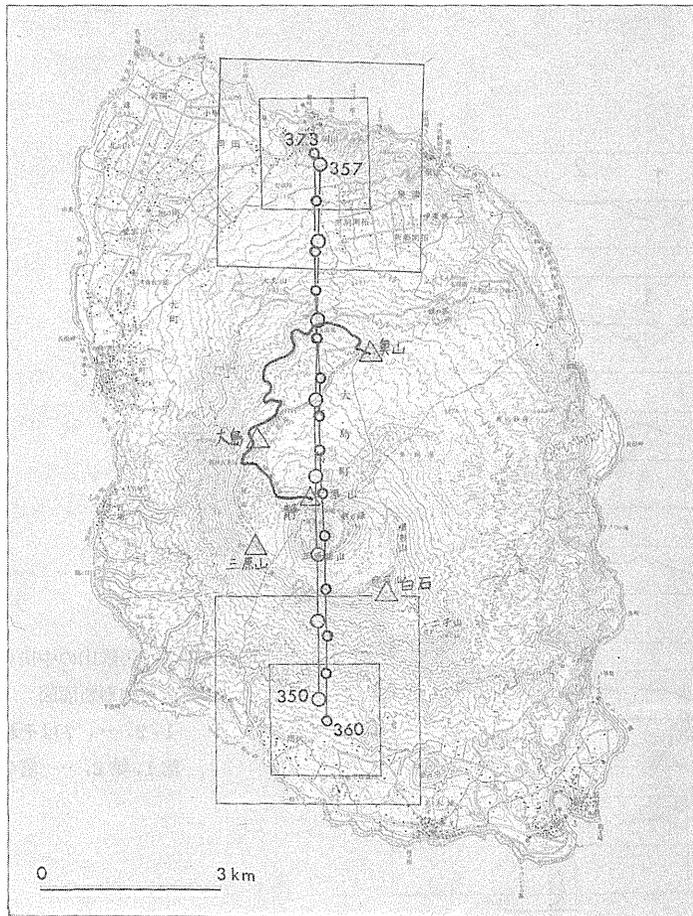


図1.4.1 伊豆大島三原山の空中測量写真標定図(1)1976年9月23日測量  
△ 測量基準点(対空標識設置点)  
○ 空中写真撮影点  
奥山-三原火口水準測量路線

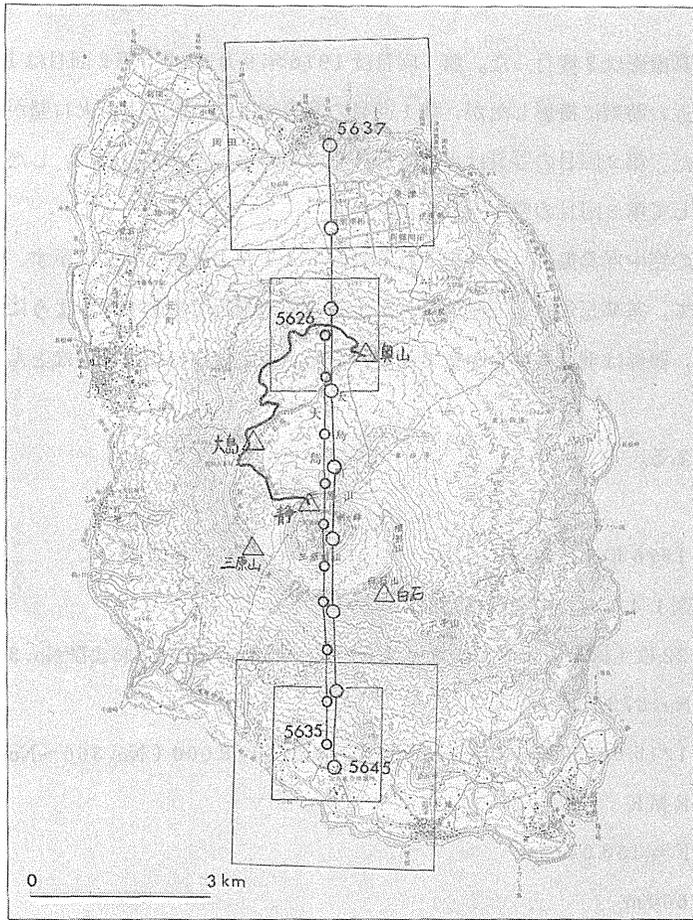


図 1.4.2 伊豆大島三原山の空中測量写真標定図(2)1977年4月7日測量  
 △ 測量基準点(対空標識設置点)  
 ○ 空中写真撮影点  
 奥山 - 静(三原火口)水準測量路線

表 1.4.1 伊豆大島三原山で使用した三角点

三角点名	等級	位置		
		北緯	東経	高さ
白石	3	34°42'54.254"	139°24'33.276"	736.05 m
三原山	3	34 43 18.089	139 23 6.891	592.32
三原火口(静10)	4	34 43 39.302	139 23 43.188	673.16
大島	1	34 44 14.541	139 23 8.608	603.58
奥山	3	34 45 1.087	139 24 21.826	498.36

## 4.2 撮影記録

この空中測量のための写真撮影は2度行った。第1回目は1976年9月23日、第2回目は1977年4月7日である。いずれも正午近い時刻に撮影したが、第1回目の写真では火口底および火口壁が日陰になっていて地形が不明瞭であった。第2回目の写真は火口内が詳細にわかるものが得られた。したがって、火口の地形図の作製には主として第2回目の空中写真を用いた。

第1回目および第2回目の空中写真撮影コースをそれぞれ図1.4.1および図1.4.2に示す。いずれも大島の中央部を南北に飛行して、基準三角点と三原火口とが1コースの飛行で撮影できるようにした。また、火口内を詳細に調べるため、撮影は飛行高度をかえて2度行った。三原火口には噴煙がほとんどないので、鮮明な写真が得られた。

撮影記録は次のとおりである。

### 第1回目の撮影

撮影年月日：1976年9月23日

撮影コース：図1.4.1の空中写真標定図のとおり

撮影写真：22枚（図1.4.1の撮影コース上のNo.350～No.357およびNo.360～No.373）

写真縮尺：1/15,000（No.350～No.357）および1/8,000（No.360～No.373）

使用カメラ：RMK

使用レンズ：F = 153.04 mm

基準面標高：600 m

飛行高度：2,880 m（No.350～No.357）および1,816 m（No.360～No.373）

### 第2回目の撮影

撮影年月日：1977年4月7日

撮影コース：図1.4.2の空中写真標定図に示したとおり

撮影写真：19枚（図1.4.2の撮影コース上のNo.5637～No.5645およびNo.5626～No.5635）

写真縮尺：1/15,000（No.5637～No.5645）および1/8,000（No.5626～No.5635）

使用カメラ：RC-8

使用レンズ：F = 150.96 mm

基準面標高：600 m

飛行高度：2,880 m（No.5637～No.5645）および1,816 m（No.5626～No.5635）

この測量時に撮影した空中写真の一部を口絵の写真11および写真12に示す。

### 4.3 測量成果

今回の空中三角測量によって得られた三原火口の地形図を図1.4.3(巻末)に示す。この地図の座標系は第Ⅸ系を使用している。すなわち、地図上の座標は、北緯 $36^{\circ}0'0.000''$ 、東経 $139^{\circ}50'0.000''$ の地点から測った距離(km)で表わし、高さは東京湾中等潮位を0mとして表わしてある。

空中写真を図化機にかけたときの基準三角点の残差はほぼ70cm以下で、その詳細は表1.4.2に示してある。

大島々内および三原山周辺にめばしい地点26ヶ所を選び、それらの求点の位置を空中三角測量の方法で求めた。それらの地点は図1.4.3の中に⊗印と番号で記入してある。ただし、19~26番の求点は図1.4.3の図面外にある。また、各求点の位置は第Ⅸ系を使って表1.4.3にまとめてある。

表1.4.2 伊豆大島三原山の基準三角点と測量残差

三角点名		地上座標			残差		
		-X	-Y	H	DX	DY	DH
		m	m	m			
白石	本点	142448.04	38839.73	736.05	0.02	0.49	-0.21
	標識点	142448.02	38839.24	735.84			
三原山	本点	141704.18	41034.10	592.32	0.68	-0.24	-0.31
	標識点	141703.50	41034.34	592.01			
三原火口	本点	141054.68	40107.94	673.16	-0.33	-0.12	0.41
	標識点	141055.01	40108.06	673.24			
大島	本点	139965.13	40982.69	603.58	-0.21	-0.20	0.36
	標識点	139965.34	40982.89	603.94			
奥山	本点	138539.16	39114.42	498.36	-0.16	0.07	0.10
	標識点	138539.32	39114.35	498.46			

表 1.4.3 伊豆大島三原山の求点

求点番号および位置	座 標		
	- X	- Y	H
1. 内輪北東 (ジオジメーター基点No.6) <sup>1)</sup>	141152.64 m	39587.80 m	712.89 m
2. 剣が峰 (ジオジメーター基点No.7) <sup>2)</sup>	141362.12	39456.74	754.12
3. 三原山霊供養塔南東角の地上	141266.63	40184.04	683.29
4. 内輪原北西の岩塊の最高点	141290.70	40114.39	687.86
5. 旧火口茶屋門柱の最北端の地上	141448.83	40135.95	684.13
6. 内輪南西 (ジオジメーター基点No.8) <sup>3)</sup>	141688.83	40205.07	716.02
7. 三原新山西側頂上	141701.55	40031.30	745.46
8. " 東側頂上	141749.65	39911.39	757.57
9. 火口縁南東	141654.55	39697.38	685.66
10. " 北西 (テラス)	141407.69	40059.07	663.28
11. " (テラス)	141412.14	39989.47	663.96
12. " 北東	141449.38	39749.14	684.87
13. 火口壁西	141490.81	39933.40	566.58
14. 火口底北	141466.86	39841.19	456.69
15. " 南西	141583.39	39918.72	457.49
16. " 中央	141544.98	39864.96	445.49
17. " 北東	141504.98	39811.26	448.25
18. 火口底	141565.31	39849.85	451.99
以下の地点は図 1.4.3 の地図の外にある			
19. 地震観測用A点小屋の南東角の地上 <sup>4)</sup>	140646.31	40142.84	590.38
20. ジオジメーター基点No.5 (砂漠) <sup>5)</sup>	140334.07	39132.36	521.85
21. " No.2 (バス停脇) <sup>6)</sup>	140182.60	41209.52	554.79
22. " No.3 (聖上臨幸之跡) <sup>7)</sup>	140312.47	41250.28	557.57
23. " No.4 (温泉ホテル) <sup>8)</sup>	138582.90	39278.35	494.21
24. 湯場入口石段の北角の地上 <sup>9)</sup>	138064.69	39929.30	437.92
25. ジオジメーター基点No.1 (測候所) <sup>10)</sup>	137123.81	41737.31	188.44
26. 地震観測用B点小屋南東角の地上 <sup>11)</sup>	136484.07	38098.49	238.50

1)	北緯	34°43'36.04"	東経	139°24' 3.75"
2)	"	34 43 29.25	"	139 24 8.93
3)	"	34 43 18.66	"	139 23 39.35
4)	"	34 43 52.46	"	139 23 41.82
5)	"	34 44 2.58	"	139 24 21.75
6)	"	34 44 7.49	"	139 22 59.64
7)	"	34 44 3.28	"	139 22 58.03
8)	"	34 44 59.35	"	139 24 15.98
9)	"	34 45 16.15	"	139 23 50.25
10)	"	34 45 46.66	"	139 22 38.78
11)	"	34 46 7.40	"	139 25 2.62

#### 4.4 三原火口の地形

三原火口は直径約400m、深さ約240mの大きさがあり、切り立った火口壁を持っている。火口の北西部の、火口縁から約20m下りた所には平坦なテラスがある。このテラスからさらに約100m下りた所までの火口壁は約50°の俯角をなして落ち込んでいるが、それより下の火口はほとんど垂直に切り立っている。火口壁と火口底の界には火口壁の崩壊による土砂が堆積している。とくに南および北側の火口壁の崩壊が顕著である。火口底には1974年に噴火した数個の火孔が、ほぼ南北に並んでいる。この測量を実施した当時は、いずれの火孔からも噴気は出ていない。

三原火口縁の南側には1950年の噴火活動で生成した噴石丘「三原新山」があり、崩壊が進んでいるが、現在、三原山の最高点(海拔757.6m)となっている。火口の東方の剣が峰(海拔754.1m)は三原新山に次ぐ高所である。

三原火口縁の外側の三原火口原は、南部の三原新山の地区を除いてはほぼ平坦な地形をしている。三原火口の北および北西方には、1950～1951年の噴火による溶岩流があって、これはさらに三原山の山腹を流下して外輪山近くまで続いている。

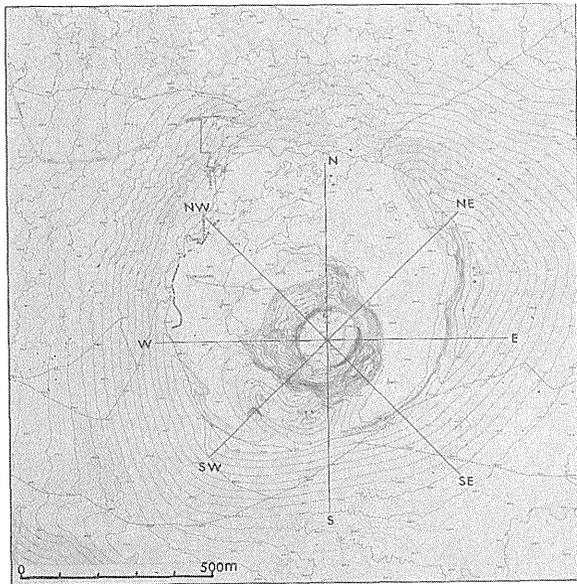


図 1.4.4 三原火口と図 1.4.5 の火口断面図に沿った切り口

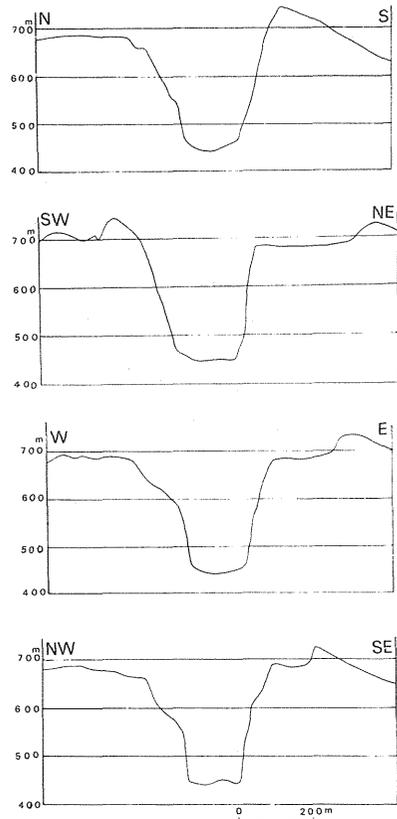


図 1.4.5 三原火口要所の地形断面図

表 1.4.4 三原火口の要所の高さ（海拔）  
および火口の大きさ

三原山最高点（三原新山）	757.6 m
剣が峰	754.1
北側火口縁	677.8
東側火口縁	686.5
南側火口縁	704.4
西側火口縁	684.1
火口北西のテラス	663.1
西側火口壁の中部（火口壁の傾斜が急激な勾配に移る地点）	566.6
火口底最深部	440.7
火口の直径（東－西）	400
"          （南－北）	400
火口底の直径（東－西）	150
"          （南－北）	150

三原火口をいくつかの方向から切った状態を図 1.4.4 に、その地形断面図を図 1.4.5 に示す。海拔 680 m 以下の三原火口の空間部の体積は  $9.64 \times 10^6 \text{ m}^3$  と求められる。

三原火口の要所の高さおよび大きさは表 1.4.4 のとおりである。

この測量当時、三原火口内外で噴気活動が見られた場所は次のとおりである。噴気量はいずれも少ない。

火口底と火口壁の境界付近の環状地帯

火口の北西部にあるテラスの一部

北西側火口縁の一部

三原新山の西側山腹

剣が峰の西側山ろく

## 第5章 浅間山

田中康裕

### 5.1 使用した三角点

浅間山の噴火は山頂火口で起こるので、今回の測量はこの火口を対象として実施した。

浅間山頂火口の空中測量のため、浅間山の山腹ないし山ろくにある4地点の三角点に対空標識を設置し、測量のための基準点とした。(国土地理院承認番号—昭52企公第6号)。基準三角点の位置は図1.5.1に、また、それらの三角点の名称、等級、緯度、経度、高さ等は表1.5.1に示してある。

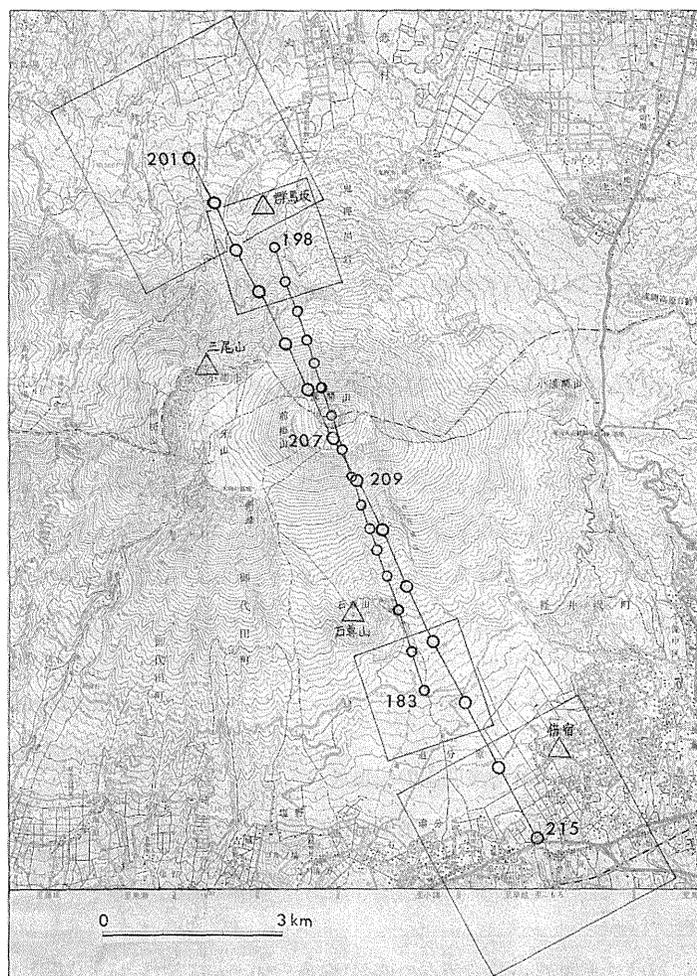


図 1.5.1 浅間山の空中測量写真標定図

- △ 測量基準点(対空標識設置点)
- 空中写真撮影点

表 1.5.1 浅間山で使用した三角点

三角点名	等級	位置		
		北緯	東経	高さ
群馬坂	4	36°25'59.089"	138°30'32.098"	1467.25 m
三尾山	3	36 24 39.143	138 30 0.749	2319.07
石尊山	3	36 22 26.250	138 31 37.591	1667.68
借宿	4	36 21 13.760	138 33 55.286	1096.26

## 5.2 撮影記録

この空中測量のための写真撮影は図 1.5.1 に示したコースで行われた。すなわち、浅間山頂を中心として、その北北西から南南東方向を飛行し、基準三角点と浅間山頂火口を同時に写すようにした。火口内を詳細に調べるため、撮影は飛行高度をかえて2度行った。

撮影記録は次のとおりである。

撮影年月日：1976年10月6日

撮影コース：図 1.5.1 の空中写真標定図のとおり

撮影写真：30枚（図 1.5.1 の撮影コース上のNo.183～No.198およびNo.201～No.215。  
ただしNo.208は欠）

写真縮尺：1/15,000（No.201～No.215）および1/8,000（No.183～No.198）

使用カメラ：RMK

使用レンズ：F=153.04mm

基準面標高：2,000m

飛行高度：4,280m（No.201～No.215）および3,216m（No.183～No.198）

この測量時に撮影した空中写真の一部を口絵の写真13および写真14に示す。

## 5.3 測量成果

今回の空中三角測量によって得られた浅間山の山頂火口の地形図を図 1.5.2（巻末）に示す。この地図の座標系は第Ⅷ系を使用している。すなわち、地図上の座標は、北緯 36°0'0.000"、東経 138°30'0.000" の地点を原点として、そこから測った距離（km）である。また、図中の高さは東京湾の中等潮位からの値である。

空中写真を図化機にかけたときの基準三角点の残差はほぼ 20 cm 以下で、その詳細は表 1.5.2 に示してある。

火口内とその周辺、および山腹にめばしい地点 16ヶ所を選び、その位置を空中三角測量の方法で求めた。それらの求点は図 1.5.2 の中に⊗印と番号で記入してある。ただし、12～16番の地点は図 1.5.2 の

表 1.5.2 浅間山の基準三角点と測量残差

三角点名		地上座標			残差		
		+ X	- Y	H	D X	D Y	D H
群馬坂	本点	m 48861.05	m 118735.09	m 1467.25	- 0.10	- 0.01	0.04
	標識点	48860.95	118735.10	1467.32			
三尾山	本点	46407.85	119549.86	2319.07	0.16	- 0.06	- 0.08
	標識点	46408.01	119549.92	2318.97			
石尊山	本点	42279.10	117192.80	1667.68	- 0.05	0.13	0.09
	標識点	42279.05	117192.67	1667.74			
借宿	本点	39999.24	113790.33	1096.26	- 0.00	- 0.05	- 0.04
	偏心標識点	39995.34	113791.66	1105.02			

表 1.5.3 浅間山の求点

求点番号および位置	座標		
	+ X	- Y	H
1. 南西外輪縁の最高点	45264.44 m	118111.49 m	2520.41 m
2. 火口縁西方の凹地最低点	45416.30	118059.29	2422.19
3. 西側火口縁	45607.91	117736.81	2527.54
4. 北側火口縁, 1950年噴火の大噴石最高点	45810.80	117526.04	2502.32
5. 北側火口縁	45795.17	117449.00	2499.56
6. 火口底中央部	45644.83	117532.47	2361.37
7. 火口底東部	45614.85	117403.55	2363.17
8. 東側火口縁	45591.56	117245.86	2567.13
9. 南側火口縁	45383.24	117472.21	2546.10
10. 火口の南南東方外輪	44997.50	117319.30	2441.83
11. 火口の東方, 登山道	45419.73	116769.57	2396.95
以下の地点は図 1.5.2 の地図の外にある			
12. 地震観測用 B 点小屋南西角の地上 <sup>1)</sup>	43689.83	117649.18	1864.4
13. 地震観測用 C 点小屋南西角の地上 <sup>2)</sup>	43050.80	115608.10	1579.0
14. 地震観測用 A 点小屋南西角の地上 <sup>3)</sup>	42128.98	116133.75	1388.4
15. ジオジメーター基点 No. 3 <sup>4)</sup>	42570.45	115819.00	1468.9
16. ジオジメーター基点 No. 2 <sup>5)</sup>	40895.17	117020.33	1222.40

- 1) 北緯 36°23' 11.10" 東経 138°31' 19.02"  
 2) " 36 22 50.79 " 138 32 42.07  
 3) " 36 22 21.48 " 138 32 20.68  
 4) " 36 22 35.51 " 138 32 33.49  
 5) " 36 21 42.25 " 138 31 44.61

図面の外にある。また、各求点の位置は第Ⅷ系を用いて表 1.5.3 にまとめてある。

### 5.4 浅間山頂火口の地形

浅間山の山頂火口は、東西に長軸をもった楕円形をしていて、東西の直径は約 450 m、南北の直径は約 350 m である。

火口壁は急激に落ち込んで、その下に直径約 200 m の火口底がある。火口底のやや北東寄りには直径約 50 m の同心円状に広がった溶岩池の跡があり、その中心部付近から噴煙があがっている。ここが火口底の最深部である。火口底の中央部よりやや西寄りにも凹地があるが、ここには溶岩池の跡はない。

火口縁には火山灰が積っていて滑らかであるが起伏に富んでいる。火口縁と、それを時計廻りに一周した地形断面図を、それぞれ図 1.5.3、図 1.5.4 に示す。また、火口をいくつかの方向から切った地形断面図を図 1.5.5 に示す。

火口縁の最低部は火口の北側にあり、また、最高部は火口の東側にある。火口底の深さは最も低い火口縁から測って約 140 m、最も高い火口縁から測って約 210 m もある。火口縁最低部より下部の火口内の空

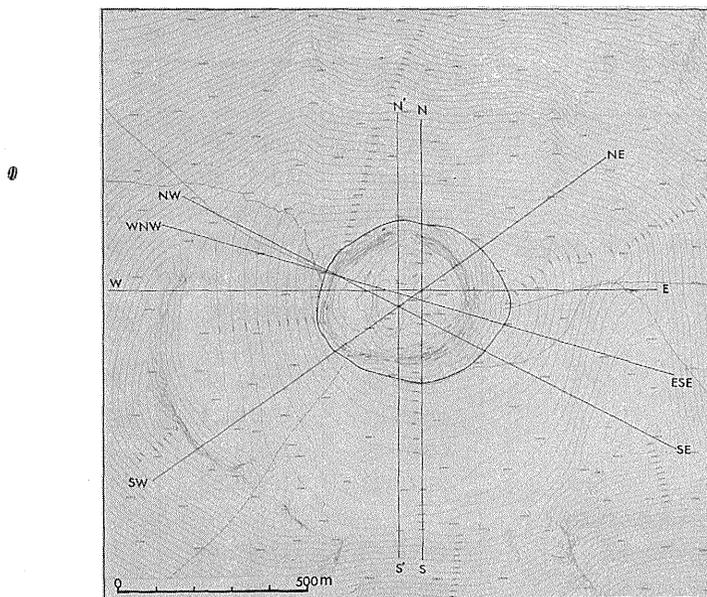


図 1.5.3  
浅間山頂火口縁および  
図 1.5.5 の火口断面図  
に沿った切り口

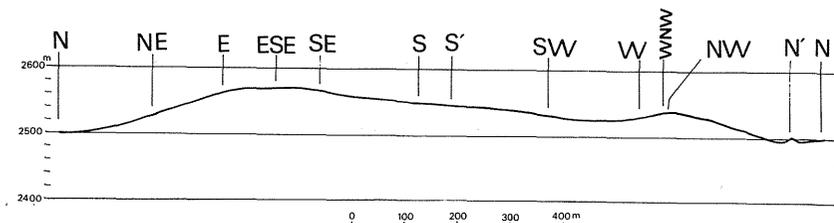


図 1.5.4  
浅間山頂火口縁  
の地形断面図



## 第6章 有珠山

田中康裕・中禮正明

### 6.1 まえがき

1977年8月、有珠山が大噴火した。この大噴火は「1977年有珠山噴火」と命名されたが、噴火は8月7～14日の期間に断続して起こり、その後は一旦おさまった。しかし、顕著な地形変動が長期にわたって続き、外輪山中央部のオガリ山地帯の隆起、小有珠の沈降、北部ないし東部外輪縁の外方への移動などが報じられた。

一方、小休止をしていた噴火は、1977年11月に1回、1978年1～7月にはときどき起こり、同年8月以後は、かなり大きな噴火もまじえて、ひんばんに起こるようになった。

このように、有珠山は現在(1978年10月)でも活動中であり、地形変動も続いている。噴火以後の有珠山の地形測量、水準測量、光波測量、隆起・沈降の測定などは、国土地理院を始めとするいくつかの機関、諸大学などによってときどき行われているが、それらの成果を総合して検討できるようになるのは、まだ、かなり先のことになるだろう。

そこで、ここでは、気象研究所が実施した空中地形測量について述べておく。

### 6.2 使用した空中写真

1977年9月22～25日、アジア航測株式会社が有珠山地域の空中写真を撮影した。この測量のための

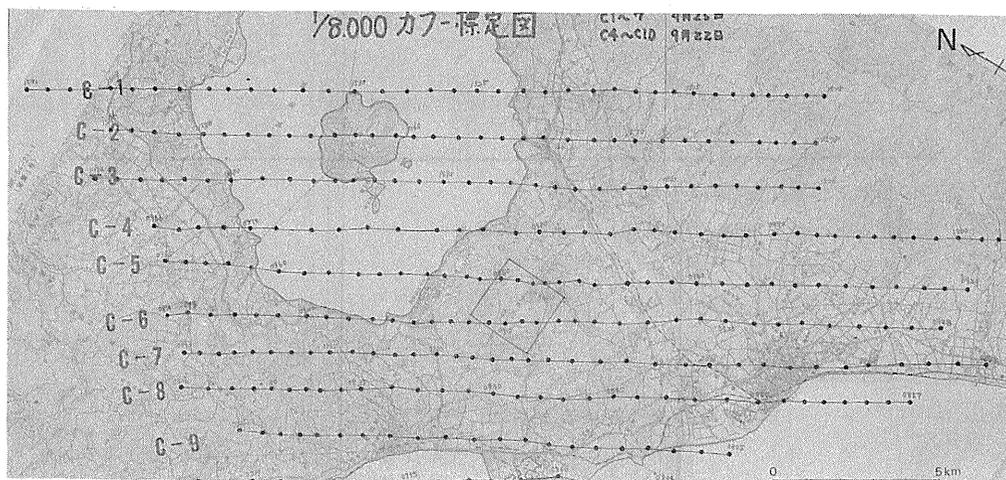


図 1.6.1 有珠山の空中写真標定図

● 空中写真撮影点

飛行コースおよび空中写真撮影点は図1.6.1のとおりで、全部で318枚のカラー写真が撮影された。撮影縮尺は1/8,000で、各写真とも鮮明に撮れていたため、これを利用して有珠山の外輪山内の地形図を作製した。

このとき撮影された有珠山の空中写真の一部を口絵の写真15および写真16に、また、有珠山の要所の斜め写真を口絵の写真1に示す。

### 6.3 地形図の作製

空中写真を用いて地形図を作製するためには、撮影以前に既設のベンチマークに対空標識を取り付け、それを空中写真に写し出して、そのベンチマークの位置を基準として地形図の図化を行うのが普通である。しかし、今回は対空標識を設置してないので、有珠山の山ろくの既知の適当な地点を基準点として図化を行った。

「1977年有珠山噴火」以前に作られた有珠山の地形図の中で最も新しいものは、1967年に国土地理院によって作られた国土基本図である。この基本図を作った当時と今回の空中写真撮影時とは10年の時間的隔りがあるが、基本図を作った当時の地形、地物の位置や形が10年後でも同じ状態で残っている所を、有珠山の山ろくでさがして、その地点を新しい地形図を作るための基準点とした。これらの基準点には、有珠山の外輪山の北～北東2kmの洞爺湖畔の道路の交差点、昭和山東方1kmの道路や河川、有珠山の外輪山の南方2～3kmの道路の交差点などを選んだ。これらの基準点とした所は、いずれも、1977年の有珠山の噴火による地形変動はほとんど受けてないと考えられる場所である。

完成した有珠山外輪縁内の地形図を図1.6.2(巻末)に示す。原図は縮尺1/5,000で、5mごとに等高線を入れてある。なお、この地形図の座標系には第Ⅻ系を用いている。すなわち、座標の原点は北経 $44^{\circ}0'0.000''$ 、東経 $140^{\circ}15'0.000''$ 、高さは東京湾中等潮位を0mとしてある。

### 6.4 有珠山の地形変動

1967年の国土基本図と今回作成した有珠山の地形図とを比較して、顕著な変化がみられる場所およびその状況は次のとおりである。

- 1) 噴火により、小有珠の東～南東および北東に新火口が生成した。
- 2) 小有珠 — オガリ山 — 大有珠を結ぶ断層が生成した。
- 3) オガリ山ないし外輪山中央部および大有珠にかけて異常な隆起がみられた。
- 4) 一方、小有珠はやや沈下した。
- 5) 北ないし北東の外輪縁が外方へ移動した。
- 6) 小有珠、オガリ山、大有珠の位置も北ないし東方へ若干移動した。
- 7) その他、噴火による噴出物の堆積などによっても、地形が顕著に変わっているようである。

1967年の国土基本図と比較した上述の変化の大要は図1.6.3にまとめてある。また、主要部の地形の

状態および変化については表 1.6.1 にまとめてある。

有珠山噴火後の空中地形測量については、リモートセンシング技術センター(1978)によって、1977年8月30日に実施したものがある。また、国土地理院では、1977年10月23日および1978年9月に空中地形測量を実施したほか、地上測量も実施している(1978)。

一方、オガリ山の隆起・小有珠の沈降・外輪縁の移動の測量・山麓の水準測量などは、主として北海道大学理学部・京都大学防災研究所など(1978)によって、現在(1978年10月)もなお続けられている。

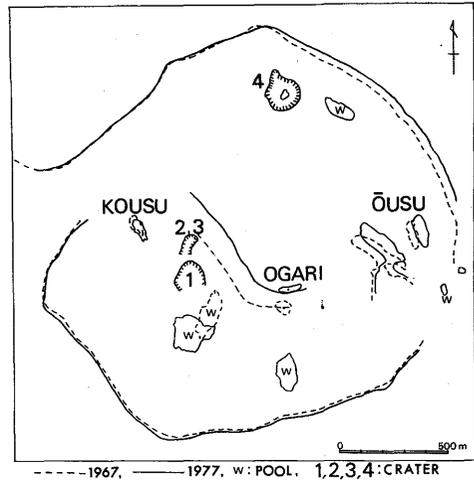


図 1.6.3 1967年と1977年9月22日の有珠山の地形の比較

表 1.6.1 1967年と1977年9月22日の有珠山の地形の比較

位 置	1967年	1977年
小有珠最高点	海拔約609m	海拔587.3m, 東方へ若干移動
第1火口	—	最深点は海拔382.6m
第2,3火口	—	最深点は海拔422.5m
第4火口	—	最深点は海拔379.3m
オガリ山最高点	海拔486.6m	海拔534.9m, 北北東へ約75m移動
大有珠最高点	海拔680.7m	海拔687.8m, 東北東へ約50m移動
北北西外輪縁	—	ほとんど変化ない
北東外輪縁	—	約25m外方へ移動
東外輪縁	—	約25m外方へ移動
南ないし南西外輪縁	—	約20m外方へ移動

参 考 文 献

北海道大学理学部(1978):計器観測による有珠山火口原の地殻変動(1977年8月~12月)。火山噴火予知連絡会会報, 11号, 8-12.  
 北海道大学理学部・京都大学防災研究所(1978):有珠山北東麓の地殻変動(1977年8月~12月), 火

山噴火予知連絡会会報, 11号, 13-20.

北海道大学理学部(1978):計器観測による有珠山火口原の地殻変動(1978年1月~3月),火山噴火予知連絡会会報, 12号, 6-8.

北海道大学理学部有珠火山観測所・京都大学防災研究所附属桜島火山観測所(1978):有珠山北東麓の地殻変動(1977年12月~1978年3月),火山噴火予知連絡会会報, 12号, 9-12.

北海道大学理学部有珠火山観測所(1978):計器観測による有珠山頂火口原の地殻変動(1978年4月~6月),火山噴火予知連絡会会報, 13号, 16-20.

北海道大学理学部有珠火山観測所・京都大学防災研究所附属桜島火山観測所(1978):有珠山北東麓の地殻変動(1978年4月~6月,火山噴火予知連絡会会報, 13号, 21-26.

国土地理院(1978):有珠山周辺の水準路線測量,火山噴火予知連絡会会報, 11号, 45-46.

国土地理院(1978):有珠山付近の地殻変動,火山噴火予知連絡会会報, 12号, 19-22.

国土地理院測図部(1978):有珠山の空中写真測量による地形調査,火山噴火予知連絡会会報, 12号, 23-25.

国土地理院(1978):有珠山周辺の上下変動,火山噴火予知連絡会会報, 13号, 35-36.

リモートセンシング技術センター(田中総太郎)(1978):リモートセンシングによる有珠火山の地表面温度分布と地形変位の計測,火山2集, 23, 150.

## 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。

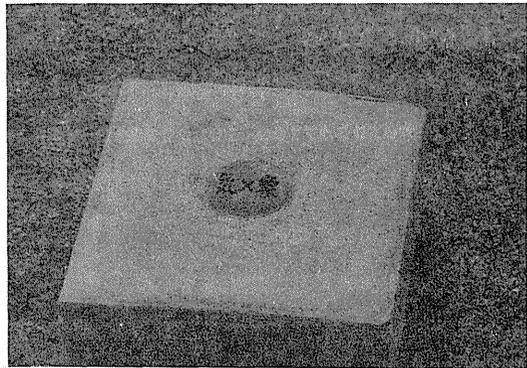


図 2.1.1 桜島における標石

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)。

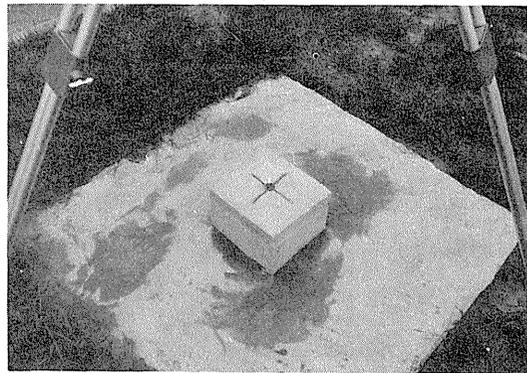


図 2.1.2 阿蘇山における標石

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<sup>かべら</sup>来, 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〕

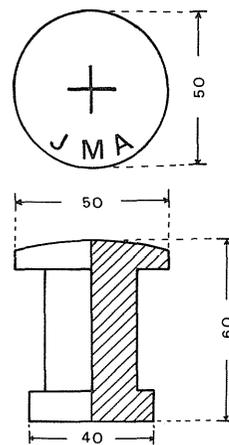


図 2.1.3 標石用メタル

(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 5mm+1mm/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

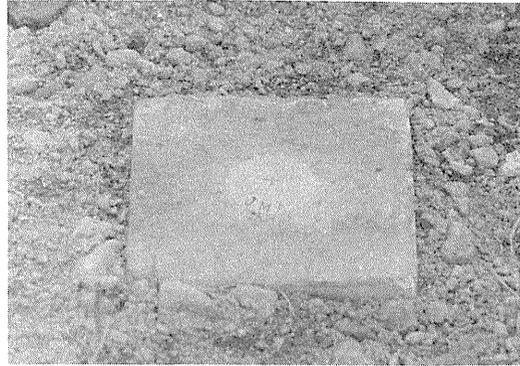


図2.1.4 伊豆大島、浅間山および有珠山における標石

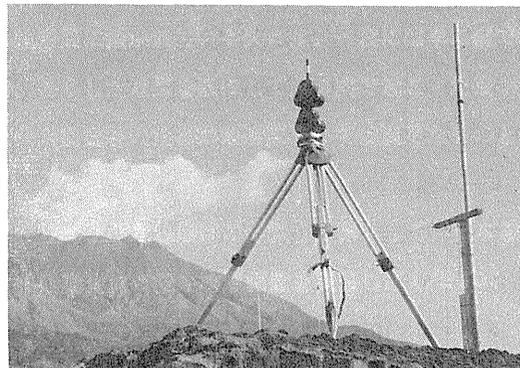


図2.1.5 ジオジメーターの反射鏡。背後は桜島

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： $-55^\circ \sim +90^\circ$

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  $\Delta D$  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<sub>m</sub>：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<sub>h</sub>、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<sub>h</sub>を一定として、上の式より

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

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<sub>1</sub>、ε<sub>2</sub>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<sub>a</sub>、ε<sub>b</sub>、およびε<sub>c</sub>とすると、

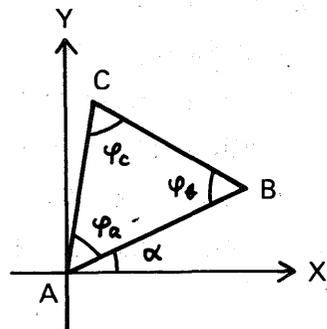


図2.1.6 三辺測量における主歪解析説明図

$$\epsilon_a = \epsilon_1 \cos^2 \alpha + \epsilon_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(\epsilon_1 + \epsilon_2) + \frac{1}{2}(\epsilon_1 - \epsilon_2) \cos 2\alpha$$

となる。ε<sub>b</sub> と ε<sub>c</sub> についても同様の式が成り立つので、これらを解いて ε<sub>1</sub>, ε<sub>2</sub> および α を求めることができる。

すなわち、ε<sub>a</sub>, ε<sub>b</sub>, ε<sub>c</sub> は光波測量による既知の量であり、また、φ<sub>a</sub>, φ<sub>b</sub>, φ<sub>c</sub> 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、各補正值なども記入し、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。

AGA

DISTANCE MEASURING

Area ..... Time ..... Date .....

Geodimeter Model 6B serial No ..... Geodimeter ..... Reflector .....

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

Phase	C		R			
	F1	F2	F1	F2	F3	F4
1	9   1   1					
2	9   1   1					
3	8   1   1					
4	8   1   1					
Sum 2+3	1   8   1		If diff > 1000 add ±2500 or ±5000			
Sum 1+4	1   8   1					
Mean	1   8   1					
0.5 × Mean	9   1   1					

1   0   0   0   0	correct meter figure	±2500 or ±5000 added, diff < 1000
-   9   1   1		
1   0   1   1		
±   1   1   1		

±2500 or ±5000 added, diff < 1000	nearest n × 200	±k × 5000 added diff < 1000 m
±k × 5000 added diff < 1000 m		

Total sum of corr

Slope distance

Approx. dist. .... Observer .....

Type of reflector ..... Recorder .....

Visibility: Good Fair Poor

Notes:

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。

鹿児島地方气象台: 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, 験震時報, 36, 85-88.

## 第2章 桜島

中禮正明・長宗留男・田中康裕・古田美佐夫

### 2.1 測線網

辺長測量用の測線は、図 2.2.1 のようにほぼ桜島の西半分に、海岸線に沿って設置した。その他鹿児島湾を横切る測線として、袴腰と鹿児島地方气象台および吉野公園を結ぶもの、島の北部（松浦）と吉野公園を結ぶものなどを設けた。

各測線の両端には、標石を設置し、辺長測量のための基点とした。それらの基点名、基点番号、位置などは次のとおりである。

基点1（袴腰1号）、基点2（袴腰2号）： 両点とも袴腰台地上の桜島自然公園内にある。この公園の要図と基点の位置とを図 2.2.2 に示す。標石のまわりは、いずれも芝生である。

第1編第2章の空中三角測量による基点1および2の位置は、それぞれ北緯  $31^{\circ}35'26.7''$ ，東経  $130^{\circ}36'13.5''$ ，高さ  $64.3\text{m}$ ，および北緯  $31^{\circ}35'26.5''$ ，東経  $130^{\circ}36'19.8''$ ，高さ  $68.1\text{m}$  である。

基点3（火北来）： 大正溶岩流の中かべらの小高い岩の上で、桜島一周道路（国道 224 号線）から約  $10\text{m}$  海寄りにある。国土地理院の標石四等三角点（北緯  $31^{\circ}34'30.004''$ ，東経  $130^{\circ}36'17.816''$ ，高さ  $34.82\text{m}$ ）である。

基点4（C点）： 桜島南端の観音崎の桜島大爆発記念碑公園から北西約  $200\text{m}$ ，鹿児島地方气象台の地震観

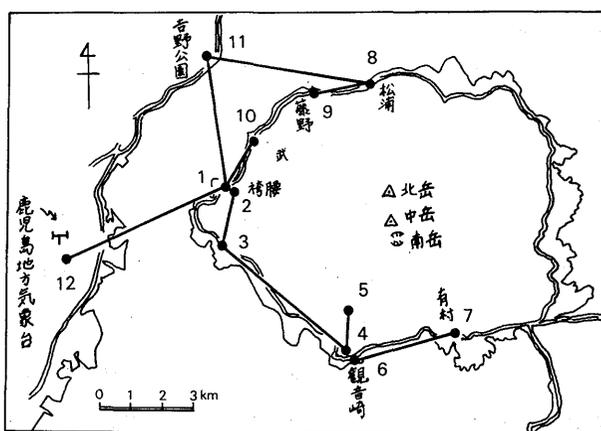


図 2.2.1 桜島における辺長測量用測線網

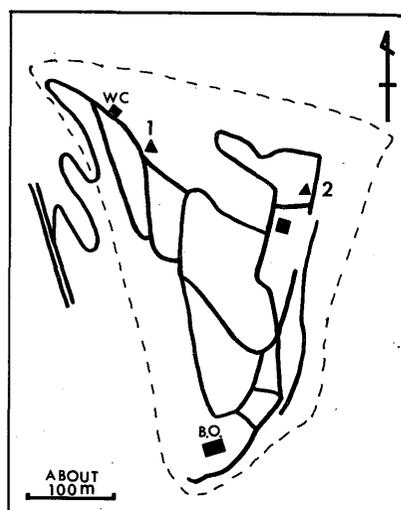


図 2.2.2 袴腰における標石設置地点 (1, 2), B.O. は鹿児島地方气象台火山観測所

測用C点の無線送信点小屋の南東約5mの所である。

基点5(農道): 基点4のほぼ真北約1.3kmの所である。アスファルトで舗装された農道の端にメタルが埋め込んである。

基点6(蜜柑島): 観音崎の桜島大爆発記念碑公園から約300m東南東、桜島一周道路から約50m下ったところ、傾斜地で、狭い農道が桜島一周道路と平行して通っており、一面が蜜柑島である。標石は農道の北側の蜜柑島の中にあり、農道と標石との距離は約1mである。なお、この標石面にはメタルは埋めてなく、十字が掘り込んである。

基点7(有村): 展望台の近くで桜島一周道路より海寄りにある。約10m離れた所にはみやげもの店がある。第1編第2章の空中三角測量の際に求めたこの基点の位置は北緯 $31^{\circ}33'2.5''$ 、東経 $130^{\circ}40'46.2''$ 、高さ70.5mである。

基点8(松浦): 桜島一周道路の南脇の遊園地の南東すみに設置してある。

基点9(藤野): 桜島一周道路の海側の端にメタルが埋め込んである(バス停の近く)。

基点10(武): 桜島一周道路の長谷浜バス停近くで、コンクリートで舗装された農道と一周道路とが三叉路になった所の、農道の端にメタルが埋め込んである。第1編第2章の空中三角測量によって求めたこの地点の位置は、北緯 $31^{\circ}36'7.1''$ 、東経 $130^{\circ}36'52.0''$ 、高さ6.9mである。

基点11(吉野公園): 吉野公園の海寄りの展望台のコンクリート敷地の南端にある。

基点12(气象台): 鹿児島地方气象台の庁舎の屋上にある。

## 2.2 測量結果の概要

桜島における測量およびその結果については、すでに報告(気象研究所地震火山研究部・鹿児島地方气象台観測課, 1977)してあるので、ここではその概要について簡単に述べる。

なお、桜島における測定結果は表2.2.1に、また、測線両端の高度差と機器の高さの差による補正量は表2.2.2に示してある。

図2.2.3は、各測線の歪の変化を示したものである。図でわかるように、測線によって、やや複雑に変化しているものや、比較的単調な変化をしているものがあるが、例えば、(1-10)、(2-3)および(8-9)の3測線の場合のように、地域によって似たような変化をしているものもある。

図2.2.4に、2, 3の測線の歪変化と火山活動と

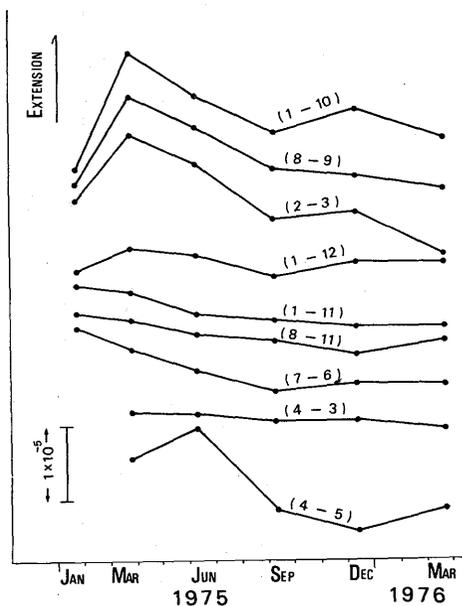


図2.2.3 桜島における測線の歪変化

表 2.2.1 桜島における辺長測量結果

D : 斜距離 ε : 歪量 ( - は縮みを表わす )

BASE LINE			1 - 10		1 - 11		1 - 12	
			D	ε	D	ε	D	ε
1975	JAN.	21 ~ 24	1727.063	$\times 10^{-6}$	4249.897	$\times 10^{-6}$	5284.551	$\times 10^{-6}$
	MAR.	22 ~ 25	091	16.2	893	-0.9	569	3.4
	JUN.	8 ~ 9	081	10.4	880	-4.0	559	1.5
	SEP.	8 ~ 9	072	5.2	878	-4.5	546	-0.9
	DEC.	12 ~ 13	076	7.5	870	-6.4	557	1.1
	1976	MAR.	22 ~ 23	070	4.1	872	-5.9	558

BASE LINE			2 - 3		4 - 3		4 - 5	
			D	ε	D	ε	D	ε
1975	JAN.	21 ~ 24	1714.987	$\times 10^{-6}$	4676.358	$\times 10^{-6}$	1306.371	$\times 10^{-6}$
	MAR.	22 ~ 25	1715.002	8.7	360	0.4	376	3.8
	JUN.	8 ~ 9	1714.996	5.2	351	-1.5	362	-6.9
	SEP.	8 ~ 9	981	-3.5	352	-1.3	358	-10.0
	1976	MAR.	22 ~ 23	974	-7.6	348	-2.1	362

BASE LINE			7 - 6		8 - 9		8 - 11	
			D	ε	D	ε	D	ε
1975	JAN.	21 ~ 24	3186.959	$\times 10^{-6}$	1699.421	$\times 10^{-6}$	5143.230	$\times 10^{-6}$
	MAR.	22 ~ 25	951	-2.5	441	11.8	225	-1.0
	JUN.	8 ~ 9	940	-6.0	435	8.2	214	-3.1
	SEP.	8 ~ 9	929	-9.4	425	2.4	211	-3.7
	DEC.	12 ~ 13	935	-7.5	422	0.6	200	-5.8
	1976	MAR.	22 ~ 23	934	-7.8	420	-0.6	209

表 2.2.2 桜島における測線両端の高度差と機器の高さの差による補正量

測線 (低地点) ~ (高地点)	高度差 (m)	機器の高さの差による補正量 (mm/10cm)
10 ~ 1	57	3
1 ~ 11	178	4
12 ~ 1	44	1
3 ~ 2	37	2
3 ~ 4	68	1
4 ~ 5	76	6
6 ~ 7	43	1
8 ~ 9	5	0
8 ~ 11	235	5

の関係を示してある。

上, 中および下の図はそれぞれ, 測線(1-10), (8-9)および(2-3)の歪変化, 月毎の爆発回数(鹿児島地方気象台の観測による), および鹿児島地方気象台地震観測点のうちA点における爆発地震の水平成分の最大振幅の自乗を旬毎に合計した値である。

中段の図によると, 1975年3月および11月に爆発の極大があり, これらの時期には, 比較的活動が活発であった。このうち, 1975年3月には, 下段の図でわかるように, 比較的規模の大きい(爆発地震の大きい)爆発が多く発生している。

図2.2.4に示した測線の歪変化と火山活動の消長(爆発回数の変化)とを比べ

てみると, 次のように, 両者はかなりよい対応を示している。

すなわち,

- 1) 桜島は, 1975年1月に比較して3月の方がはるかに活動的であった。これらの測線の長さは, 1月に比較して顕著な「伸び」を示している。
- 2) 3月を極大として, 活動は次第に穏やかになり, 5月から10月中旬頃までは小康状態にあった。測線の長さは, 3月に比較して9月まで「縮み」の傾向にある。
- 3) 10月下旬から11月にかけて, 活動は比較的活発になっている。この時期の9月から12月にかけて「伸び」を示している。
- 4) 1975年12月中旬から1976年3月にかけては, 観測期間中で最も活動の弱い時期であった。1976年3月は, 12月に比較して「縮み」の傾向にある。

以上のように, 桜島北西岸から西岸の地域における海岸に沿う方向の測線では, 火山活動の経過と歪の変化とがかなりよく対応し, これらの測線の歪の「伸びと火山活動の活発化」, 「縮みと火山活動の弱まり」という関係がみられる。

### 2.3 ま と め

桜島周辺における辺長測量は, 1975年1月から1976年3月にかけて, ほぼ3カ月毎に実施した。

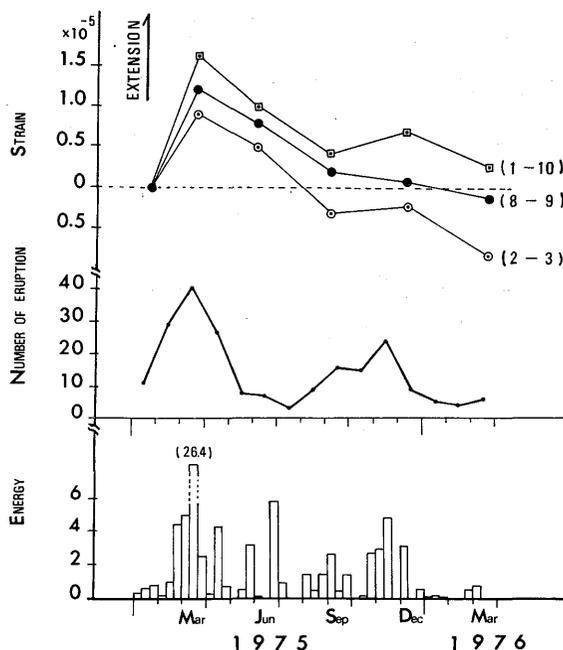


図2.2.4 桜島における測線の歪変化と桜島の月毎の爆発回数および爆発地震エネルギーの相対的变化

桜島は、測量期間中活動を続けており、約8カ月の間隔をおいて活動の活発な時期が2回あった。一方、辺長測量の結果によると、測線のうち、桜島の北側松浦付近および西側袴腰付近のものでは、やや大きな伸縮の変動があり、この変動は、火山活動の消長と良い関係を示している。

その他の測線については、期間中特に大きな変化はなく、多くの測線が縮みの傾向を示した。

### 参 考 文 献

気象研究所地震火山研究部，鹿児島地方気象台観測課（1977）：桜島における光波測量，気象研究所研究報告，28，139-145.

### 第3章 阿蘇山

中禮正明・長宗留男・田中康裕・古田美佐夫

#### 3.1 測線網

図 2.3.1 には、阿蘇山に設けた辺長測量用測線網を示してある。測線は全部で8本あり、最も短い測線で約355m、最も長い測線で約2566mである。表 2.3.1 には、測量のための基点名、位置等を示してある。表に示した基点の位置は、第1編で実施した空中三角測量より得た値である。

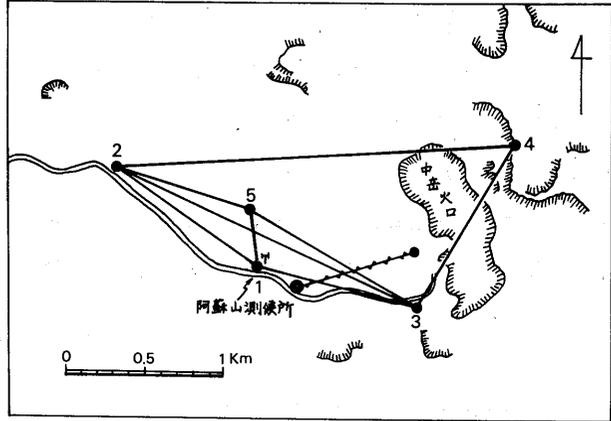


図 2.3.1 阿蘇山における辺長測量用測線網

各基点には、第1章2節で述べた仕様の標石を設置してある。

次に各標石設置地点について記述する。

基点1（阿蘇山測候所）： 阿蘇山測候所の構内で庁舎の北側にある。

基点2（スキー場）： 人工スキー場の南方約100mの地点で、阿蘇山測候所から千里ヶ浜に向う途中の自動車道の右手、約4～5m程度入った所にある。付近は牧草地で、標石付近には自動車道と平行したハイキングコースがあり、標石は自動車道とハイキングコースとに挟まれた地域に設けられている。

基点3（朝間山）： 中岳火口へ登るアスファルト道路の右手にある小高い丘「朝間山」の頂上にある。

基点4（火口東）： 中岳火口の東側にある唯一の基点である。中岳第1火口より東北東に約530mの地点で、約80mの切り立った崖の上にある。火口東のロープ・ウェイ駅より中岳登山道を登りきって、

表 2.3.1 阿蘇山における辺長測量用標石設置地点

基点番号	標石設置地点			
	地点名	東経	北緯	海拔高度
1	阿蘇山測候所	131°04'33.1"	32°52'37.0"	1143.2 m
2	スキー場			
3	朝間山	131 05 10.3	32 52 29.7	1247.4
4	火口東	131 05 34.1	32 53 00.2	1364.7
5	測候所北	131 04 30.5	32 52 48.8	1138.8

道がほぼ平坦になった付近の崖寄りにある。

基点5（測候所北）：阿蘇山測候所北側の谷をへだてて、やや小高くなった地域にあり、付近は牧草地である。

これらの基点を結んだ8本の測線のうち6本は中岳火口群のほぼ西の地域にあり、他の2本は中岳第1火口の上をほぼE~W方向に通るものと、中岳第3火口付近をNNE~SSW方向に横切るものである。

### 3.2 測量と測量結果

阿蘇山における測量は、1975年3月下旬から1976年3月までのほぼ1年間に5回実施した。測線(2-4)における6月と12月の測量および測線(3-4)における12月の測量は、阿蘇山中岳第1火口の噴煙にさえぎられたため欠測した。

表2.3.2には、測定結果を示してある。表中、Dは斜距離、εは第1回目の測定値を基準として計算した歪量である。なお、測線両端における測器の高さの差に対する補正は表2.3.3に示した高度差を用いた。

表2.3.2 阿蘇山における辺長測量結果

D：斜距離 ε：歪量（-は縮みを表わす）

BASE LINE			1 - 2		1 - 3		1 - 5		
			D	ε	D	ε	D	ε	
1975	MAR.	27~28	1058	594	1035	401	355	175	
	JUNE	4~6		582	-11.3	402	+1.0	165	-28.2
	SEPT.	12~13		572	-20.8	389	-11.6	164	-31.0
	DEC.	8		585	-8.5	382	-18.4	159	-45.0
1976	MAR.	25~28		576	-17.0	384	-16.4	169	-16.9

BASE LINE			2 - 3		2 - 4		2 - 5		
			D	ε	D	ε	D	ε	
1975	MAR.	27~28	2072	062	2566	021	909	296	
	JUNE	6		060	-1.0	-		291	-5.5
	SEPT.	12		040	-10.6	2565	996	293	-3.3
	DEC.	8~10		041	-10.1	-		284	-13.2
1976	MAR.	25~28		035	-13.0	997	-9.4	292	-4.4

BASE LINE			3 - 4		3 - 5		
			D	ε	D	ε	
1975	MAR.	27	1134	550	1196	518	
	JUNE	6		545	-4.4	511	-5.9
	SEPT.	12		514	-31.7	514	-3.3
	DEC.	8		-		512	-5.0
1976	MAR.	25~28		516	-30.0	501	-14.2

表 2.3.3 阿蘇山における測線両端の高度差と機器の長さの差による補正量

測線 (低地点)～(高地点)	高度差 (m)	機器の長さの差による補正量 (mm/10cm)
2 ～ 1	35	3
1 ～ 3	104.2	10
5 ～ 1	4.4	1
2 ～ 3	139	7
2 ～ 4	257	10
2 ～ 5	31	3
3 ～ 4	117.3	10
5 ～ 3	108.6	9

この高度差は、標石の海拔高度が得られているもの(表 2.3.1)についてはその値を利用し、その他については観測時に測線両端において観測した気温と気圧から求めた値である。

図 2.3.2 は、表 2.3.2 に示した歪量を図示したものである。それぞれの測線における歪量の時間的変化はまちまちであるが、1975年12月頃までは、ほとんどすべての測線が縮みの傾向を示している。その後は、やや変動があり、縮みの割合が小さくなったもの、伸びに転じたと思われるものなどがある。

測量を実施した期間中に最も大きい変化を示したのは、(1-5)の測線で、 $4.5 \times 10^{-5}$  の変化があった。この測線における歪量が他と比較してやや大きいのは、測線の長さが他の測線に比較して短いために測定誤差が大ききいているためだと考えられる。

火口付近の地盤変動は特に興味あるところであるので、火口を横切る2本の測線(2-4)と(3-4)をとり出して調べてみる。(2-4)は途中2回の欠測があるが、1975年3月から9月にかけて約  $1.8 \times 10^{-6}$ /月の割合で縮みを示し、以後1976年3月までほとんど変化していない。また(3-4)の測線は、1975年3月から9月までの期間にはおよそ  $5 \times 10^{-6}$ /月の割合で縮みを示し、以後1976年3月まではほとんど横ばいである。このように、火口を横切る測線の変化は、他の測線と比較して特別な変化はみられない。

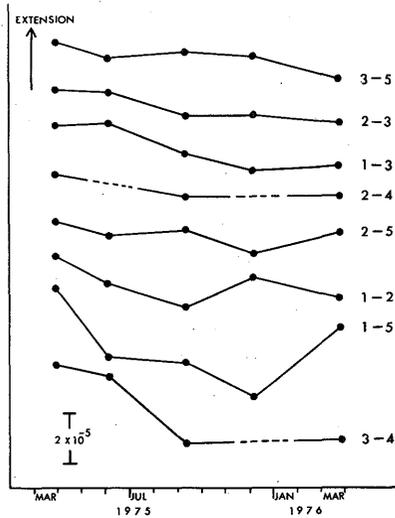


図 2.3.2 阿蘇山における測線の歪変化

### 3.3 三辺測量による主歪

図2.3.3の(a)には、三角形1-5-2、(b)には三角形1-3-5について、各期間毎の主歪を示してある。主歪の値およびその軸の方向は、2回の測定のうちの前回の測定値を基準として計算した。図中、実線は“縮み”、破線は“伸び”を表わす。また、矢印は中岳第1火口方向を示している。(I)、(II)、(III)および(IV)はそれぞれ、1975年の(3月27・28日)～(6月4～6日)、(6月4～6日)～(9月12・13日)、(9月12・13日)～(12月8～10日)および(12月8～10日)～(1976年3月25～28日)の期間である。

図にみられるように、三角形1-5-2と三角形1-3-5における期間毎の主歪の軸は、どちらもほぼ同じ方向を示している。また、(II)の期間を除く他の期間においては、主歪の軸の方向だけでなく主歪の伸縮もほぼ同じ傾向を示し、(II)の期間だけが伸びと縮みが全く逆になっている。(III)と(IV)の期間における変化は、(III)の期間に生じた歪場が(IV)の期間においてほぼ元に戻ったと考えられる。

図2.3.4の(a)と(b)には、それぞれ三角形1-3-5および三角形2-3-4における主歪の大きさと方向を示してある。同図中の(I)および(II)は、それぞれ1975年の(3月27・28日)～(9月12・13日)および(9月12・13日)～(1976年3月25～28日)の期間である。三角形1-3-5は中岳火口の

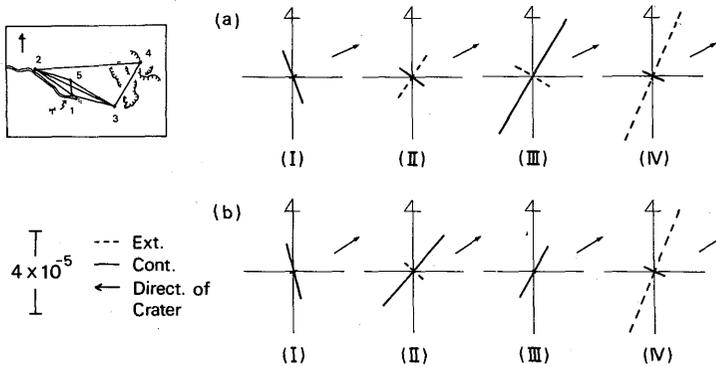


図 2.3.3

(a): 三角形1-5-2  
における主歪  
(b): 三角形1-3-5  
における主歪

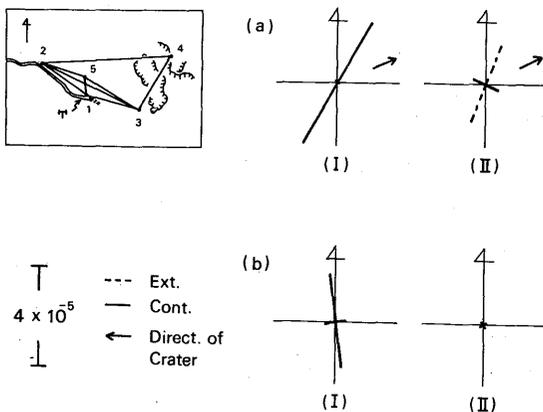


図 2.3.4

(a): 三角形1-3-5  
における主歪  
(b): 三角形2-3-4  
における主歪

西部に、一方、三角形2-3-4は中岳火口を横切っているが、両者の主歪を比較してみると、(I)の期間において前者はNE~SW方向に約 $5.6 \times 10^{-5}$ の縮みを、後者はほぼN~S方向に約 $3.8 \times 10^{-5}$ の縮みをそれぞれ示している。(II)の期間においては、前者はNNE~SSW方向に約 $3.3 \times 10^{-5}$ の伸びとなっているが、後者にはほとんどこの期間変化はみられない。

### 3.4 ま と め

阿蘇山の中岳火口周辺および中岳火口西側の地域に辺長測量用測線網を設け、1975年3月から1976年3月までのほぼ1年間に5回の辺長測量を実施した。この期間における阿蘇山の火山活動は、前半は時々噴火しながら次第に活動は静穏化し、後半には12月をピークとするやや活動の活発化した時期があったが、全体的には活動は低調であった。

辺長測量により得られたおもな成果は次のとおりである。

- i) 測量を実施した期間を通してみると、測線の変化は全般的に縮みの傾向を示した所が多かった。
- ii) 第1回目の測定値を基準とした測線の歪量は、最大 $4.5 \times 10^{-5}$ であった。ただし、この量は最も短い(約355m)測線における値であるから、測定誤差の影響がかなり大きいとみななければならない。
- iii) 中岳火口を横切る測線の変化と、その他の測線における変化には特に異なる点はみられなかった。

## 第4章 伊豆大島

中禮正明・長宗留男・田中康裕

古田美佐夫・澤田可洋

### 4.1 測線網

図2.4.1は、伊豆大島における辺長測量用測線網である。測量のための地点名、基点番号、位置等は表2.4.1に示してある。各基点の位置は、第1編第4章における空中三角測量により求めたものである。

次に各標石設置地点について記述する。

基点1（大島測候所）： 大島測候所構内、測風塔の南約3mの所にある。

基点2（御神火茶屋バス停）： 御神火茶屋のバス駐車場の西端、外輪山の斜面より約1mの所にある。

基点3（聖上臨幸之跡）： 御神火茶屋に隣接した「聖上臨幸之跡」の碑敷地内にある。

基点4（温泉ホテル）： カルデラ北方の外輪山上にある温泉ホテルの西側約40m 付近の広場の端に設けてある。カルデラ内へおりる道のおり口より西へ約15m の地点にある。

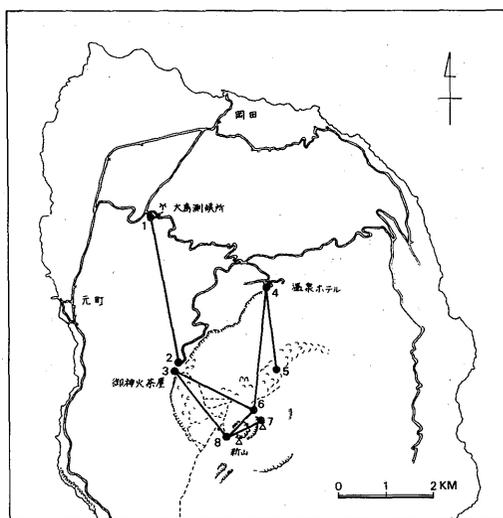


図2.4.1 伊豆大島における辺長測量用測線網

表2.4.1 伊豆大島における標石設置地点

基点番号	標石設置地点			
	地点名	東 経	北 緯	海抜高度
1	大島測候所	139°22'38.8"	34°45'46.7"	188.4 m
2	御神火茶屋バス停	22 59.6	44 07.5	554.8
3	聖上臨幸之跡	22 58.0	44 03.3	557.6
4	温泉ホテル	24 16.0	44 59.4	494.2
5	裏砂漠	24 21.8	44 02.6	521.9
6	内輪北東	24 03.7	43 36.0	712.9
7	剣が峰	24 08.9	43 29.3	754.1
8	内輪南西	23 39.3	43 18.7	716.0

基点5（裏砂漠）： 三原山北東の安永溶岩流の中、温泉ホテルから三原山裏砂漠へ行く道路から約30 m西へ入った小高い丘の上に設けてある。付近はパホイホイ状溶岩で、あちこちに縄状の紋様がみられる。この地点は1950～1951年の大噴火による昭和溶岩流にほぼ取り囲まれた地域にある。

基点6（内輪北東）： 三原山内輪縁の北東、剣ガ峰に登る途中にある。この標石は大島測候所が設置したものである。

基点7（剣ガ峰）： 内輪縁上の最高地点に位置する。

基点8（内輪南西）： 内輪縁の南西側にあり、三原新山西方の小高い地点にある。大島測候所が設置したものである。

測線は、図2.4.1に示したように、外輪山上の御神火茶屋と内輪縁を結ぶもの2本（3-6, 3-8）、外輪山上にある温泉ホテルと内輪縁および裏砂漠を結ぶもの（4-6, 4-5）、三原山火口を挟み内輪縁上を結ぶもの（6-8, 7-8）および大島測候所と外輪山上の御神火茶屋を結ぶもの（1-2）の合計7本である。（1-2）の測線はカルデラ外に設けた唯一の測線である。

## 4.2 測量と測量結果

伊豆大島における辺長測量は、1976年12月から1978年3月の約16カ月間に6回実施した。各測線の測量結果は、表2.4.2に示してある。表中、Dは斜距離、 $\epsilon$ は第1回目の測定値を基準とした歪量で、正は伸び、負は縮みを表わす。なお、測線両端における機器の高さの差に対する補正は表2.4.3に示した高度差（表2.4.1による）で行った。

図2.4.2は、表2.4.2の歪量を図示したものである。図でわかるように、測線の変化には大きくわけて2つの傾向がみられる。すなわち、観測期間を通じて縮みの傾向にあったものと、伸び縮みを繰り返しながらも全体的にみると横ばいの傾向にあったものとである。前者に属する例は、（1-2）、（4-5）および（4-6）の測線で、これらはほぼ南北方向の測線である。残りの測線は後者に属する。

次に、三原山火口を挟む測線、外輪山と内輪縁を結ぶ測線、外輪山とカルデラ底を結ぶ測線およびカルデラ外の測線のそれぞれについて検討する。

### i) 三原山火口を挟む測線

三原山火口を挟む測線は、（6-8）と（7-8）の2本である。（7-8）の測線は火口のほぼ真上をENE～WSW方向に通る、（6-8）の測線は火口の北側をかすめ、ほぼNE～SWの方向にある。図2.4.1でわかるように、これらの測線はかなり接近して設けてあり、それらの長さもほとんど等しいので、同じような結果が期待される。

図2.4.2から、これらの測線では、やや短周期の伸び縮みの変化がかなり大きい、長期的な変化としては、いずれも1977年12月頃まではやや大きい縮みを示しており、それ以後伸びに転じた、とみることができる。

表 2.4.2 伊豆大島における辺長測量結果

D: 斜距離 ε: 歪量 ( - は縮みを表わす )

BASE LINE			1 - 2		3 - 6		3 - 8	
			D	ε	D	ε	D	ε
1976	DEC.	1 ~ 2	3117	158	1847	483	1735	035
1977	MAR.	3 ~ 4	128	- 9.6	471	- 6.5	047	6.9
	MAY	19 ~ 21	143	- 4.8	497	7.6	042	4.0
	DEC.	13 ~ 14	125	- 10.6	482	- 0.5	035	0.0
1978	JAN.	19 ~ 20	101	- 18.3	494	6.0	046	6.3
	MAR.	5 ~ 6	092	- 21.2	484	0.5	029	- 3.5

BASE LINE			6 - 8		4 - 5		4 - 6	
			D	ε	D	ε	D	ε
1976	NOV. 30 ~ DEC. 1		812	578	1757	040	2587	612
1977	MAR.	3	594	19.7	026	- 8.0	586	- 10.0
	MAY	19 ~ 20	574	- 4.9	019	- 12.0	605	- 2.7
	DEC.	13 ~ 14	566	- 14.8	020	- 11.4	611	- 0.4
1978	JAN.	20	574	- 4.9	010	- 17.1	594	- 7.0
	MAR.	6	579	1.2	016	- 13.7	594	- 7.0

BASE LINE			7 - 8	
			D	ε
1976	DEC.	1	817	332
1977	MAR.	2	334	2.4
	MAY	19	328	- 4.9
	DEC.	13	324	- 9.8
1978	JAN.	20	337	6.1
	MAR.	6	330	- 2.4

表 2.4.3 伊豆大島における測線両端の高度差と機器の高さの差による補正量

測線 (低地点) ~ (高地点)	高度差 (m)	機器の高さの差による補正量 (mm/10cm)
1 ~ 2	366.4	12
3 ~ 6	155.3	8
3 ~ 8	158.4	9
4 ~ 5	27.7	2
4 ~ 6	218.7	8
6 ~ 8	3.1	0
8 ~ 7	38.1	5

ii) 外輪山と内輪縁を結ぶ測線

これに属するものは(3-6), (3-8)および(4-6)の3測線である。

これらの測線においても, 短期間の変動はかなり大きくなっているが, 測量期間を通じた長期的な傾向としては, (3-6)および(3-8)と(4-6)では, それぞれごくわずかな伸びおよび縮みを示している。

iii) 外輪山とカルデラ底を結ぶ測線

外輪山とカルデラ底とを結ぶ測線は(4-5)の測線だけである。この測線は(4-6)の測線とほぼ同じ方向(N~S)にある。測線の変化は, 測量を実施した期間を通してみると縮みの傾向にある。1977年半ば頃からはその割合がややゆるやかになったようにみえる。

iv) カルデラ外の測線

大島測候所と外輪山上の御神火茶屋バス停とを結ぶ測線(1-2)は, ほぼN~S方向にとった唯一のカルデラ外の測線である。この測線は, 全期間を通じて, “縮み”の傾向にあり, 変化の割合は約 $1.4 \times 10^{-6}$ /月であった。この測線の短期の変化は, (4-6)の測線とかなりよく似た動きを示している。これは, 測線(1-2)と(4-6)とが共にほぼN~S方向にとってあることに関係あるかもしれない。

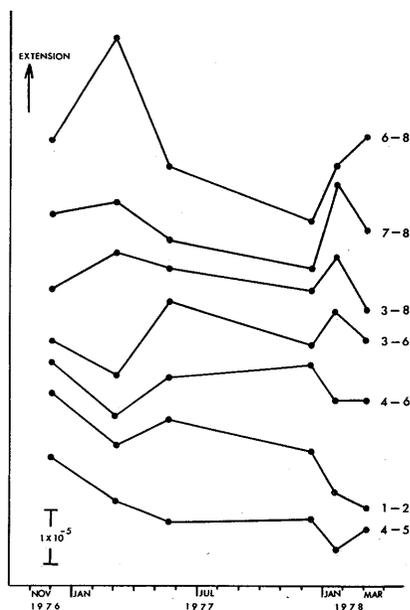


図 2.4.2 伊豆大島における測線の歪変化

4.3 三辺測量による主歪

外輪山上の基点3, 内輪縁上の基点6および8を用いて, (3-6), (3-8)および(6-8)の測線で三角形が構成されている。これらの測線における測定値から均一歪場を仮定して主歪の値と主軸の方向とを求めた。

図 2.4.3 の上段(a)には, 相隣る時期の測量について, 下段(b)には第1回目の測定値を基準とした各測量時までの主歪の大きさと方向を示してある。(a)の主歪は, 2回の測定のうち先に測定した値を基準として計算してある。図中の実線は, “縮み”を, 破線は“伸び”を示す。

図にみられるように, 主軸の方向はほぼ(NNE~NE)~(SSW~SW)の方向と, (WNW~NW)~(ESE~SE)の方向にあり, 主歪の値は前者の方向に大きな変化がみられるようである。下鶴他(1972)は, 1967年1月12日と1968年1月9日に実施した伊豆大島カルデラ付近の光波測量結果から, 主歪の軸を(NNE~SSW)と(WNW~ESE)に求めているが, 今回求めた主軸の方向

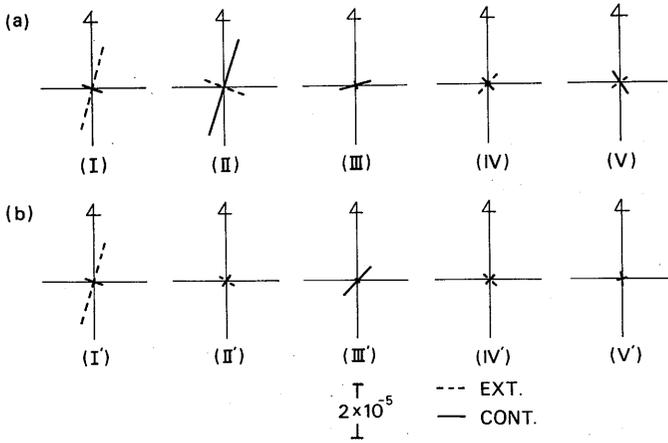


図 2.4.3  
 三角形 3-6-8 に  
 における主歪の変化  
 (a): 各期間毎におけ  
 る主歪  
 (b): 第 1 回目の値を  
 基準とした各測  
 量時までの主歪

もこれらとほぼ同じになっている。

#### 4.4 「1978年伊豆大島近海の地震」前後における歪の変化

測量を実施した 1976 年 12 月から 1978 年 3 月までの 16 ヶ月間における三原山の火山活動は静穏であつた。

しかし、1977 年 10 月および 11 月には、伊豆大島北西方沖に群発地震があつた。また、翌 1978 年 1 月 14 日には、マグニチュード 7.0 の地震、「1978 年伊豆大島近海の地震」が発生した。この地震の震源は伊豆大島の西方約 10km のところで、その P 波節面（断層面）は三原山と大島測候所との間を通つていゝといわれているので、地震の影響の有無を調べる目的で 1 月 19～20 日臨時に辺長測量を実施した。ここではこの地震の前後の変化について述べる。

「1978 年伊豆大島近海の地震」の約 1 ヶ月前、12 月 13～14 日、に実施した観測に対し、地震後伸びが観測された測線は (3-6)、(3-8)、(6-8) および (7-8) の 4 本で、反対に縮んでゐたのは (1-2)、(4-5) および (4-6) の 3 本である (図 2.4.2)。前者はいずれもカルデラ内で、しかも設置した測線網の中では南部寄りにあるものである。後者はいずれも三原山の北側で、ほぼ N～S 方向の測線である。

前にも述べたように、三原山における短周期の変化は、この地震時以外においてもかなり大きい場合があり、上記の変化が直接地震によるものかどうかかわからないが、長さそのものの変化量は、最も小さいもので (6-8) の 8 mm、その他の測線ではいずれも 10 mm 以上であつた。

#### 4.5 ま と め

伊豆大島三原山周辺に辺長測量用測線網を設け、1976 年 12 月から 1978 年 3 月にかけて 6 回の辺長測量を実施した。この測量において得られたおもな成果は次のとおりである。

- i) 1976 年 12 月の測定値を基準とした変化は、「測量期間を通じて縮みの傾向にあつたもの」と、

- 「伸び縮みを繰り返しながらも全体的にみると横ばいの傾向にあったもの」との2系統に大別された。
- ii) 測量期間を通じて縮みの傾向にあった3本の測線は、いずれもほぼN～S方向の測線であった。
  - iii) 「1978年伊豆大島近海の地震」前後の測線長の変化は、比較的南の測線では伸び、三原山の北側に設置した測線では縮みであった。

### 参 考 文 献

- 下鶴大輔, 長田昇, 堀米和夫, 沢田宗久, 岡田惇, 柴野睦郎, 松本滋夫, 佐々木幸一, 細谷与一(1972)  
: 伊豆諸島の地震活動および火山活動の特質, 火山2集, 17, 66～87.

## 第5章 浅間山

中禮正明・長宗留男・田中康裕・澤田可洋

### 5.1 測線網

浅間山における辺長測量用測線網は図 2.5.1 のように、浅間山の南東および北東の地域に全部で6本設置した。

測量のための基点名、基点番号、位置等は、表 2.5.1 に示してある。基点2と3の位置は、第1編第5章における空中三角測量により求めた値である。また、基点7は国土地理院四等三角点「浅間園」である。7を除く各基点には、第1章で述べた標石をそれぞれ埋設してある。

次に各標石設置点について記述する。

基点1（早稲田グラウンド）： 早稲田大学追分セミナーハウス敷地内の野球場の南端にある。場所は一塁ベースより約30m 外野側に進んだ土手の上である。付近はグラウンド建設にあたって盛土したところで松を植林してある。

浅間山火口から南々東約8 km の地点である。

基点2（石尊山下）： 石尊山のほぼ真南にあり、通称1300m 道路のすぐ傍、道より2～3m 追分側に

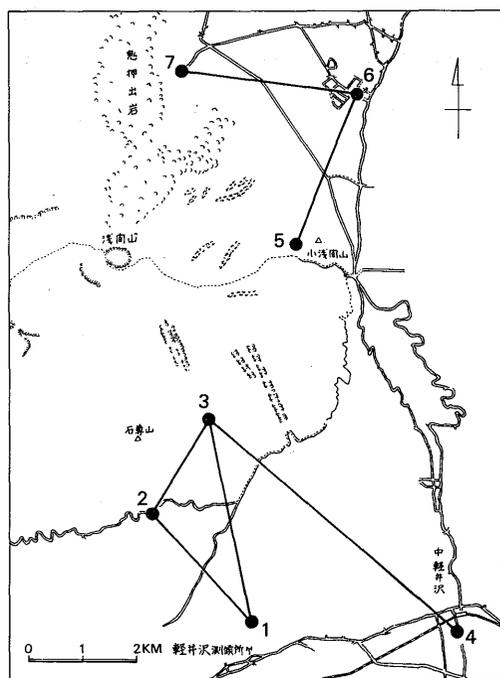


図 2.5.1 浅間山における辺長測量用測線網

表 2.5.1 浅間山における辺長測量用標石設置地点

基点番号	標石設置地点			
	地点名	東 経	北 緯	海拔高度
1	早稲田グラウンド	○ / //	○ / //	m
2	石 尊 下	138 31 44.6	36 21 42.2	1222.4
3	C点バンザマスト	138 32 33.5	36 22 35.5	1468.9
4	中 軽 井 沢			
5	小 浅 間			
6	ハ イ ラ ン ド			
7	浅 間 園	138 32 12.2	36 26 08.2	1409.8

ある。この付近はかつて山火事があった所で、現在(1978年)は広い草原になっており、落葉松の植樹がしてある。この基点からみて浅間山の頂上は石尊山の陰になっている。火口からの距離は5 km 弱である。

基点3 (C点パンザマスト) : 軽井沢測候所地震観測用C点から約500m下のケーブル架設用パンザマストの南東約30mの地点にある。標石付近は、高さ数10cmの雑草が密生している。標石の東方約10m付近からは落葉松の林となっている。また約20m下は急な斜面である。火口からの距離は約3.3 kmである。

基点4 (中軽井沢) : 中軽井沢の旧軽井沢測候所構内露場の南西寄りにあり、火口から約9.3 kmで最も火口から遠い基点である。

基点5 (小浅間) : 浅間山と小浅間の鞍部で、浅間山への登山道から数10m北へ寄った浅間山本体側の傾斜地にある。約10m北側からは樹木が茂っている。また、約2m下には東京大学地震研究所浅間山火山観測所の地震計用ケーブルを埋設した小道がある。

基点6 (ハイランド) : 浅間山北東山ろくにある分譲別荘地ハイランドの敷地内にあり、ハイランド入口より約200m入った右側のだけかんばん並木内にある。標石から約20m浅間山寄りに進むとロータリーがある。標石は歩道から約1m入った所に設置してあり、付近の土砂は火砕流の堆積物で、火口からは約5.3 kmの距離にある。

基点7 (浅間園) : この基点は国土地理院四等三角点“浅間園”を使用している。標石は長野原町営の火山博物館浅間園から約30m浅間寄りの大きな溶岩塊の上にある。標石の西側20~30m付近からは深い谷となっており、谷の向い側は鬼押出溶岩である。火口からの距離は約3.6 kmである。

測線のうち(1-2)は浅間山の南々東の山ろくにあり、ほぼNW~SEの方向、(1-3)は浅間山のふもとと中腹を結ぶ測線ではほぼNNW~SSEの方向、(2-3)は浅間山の中腹からNNE~SSWの方向にあり、これら3本の測線は浅間山の南々東地域において、三角形を形成している。(3-4)の測線は、測線の中で最も長く、約6.1 kmであり、測線の方向はNW~SEで(1-2)にはほぼ平行している。(5-6)および(6-7)の測線は浅間山の北東地域にあり、前者はNNE~SSW方向、後者はほぼE~W方向である。

## 5.2 測量と測量結果

浅間山における測量は、1976年9月から1978年4月までの約19ヶ月間に6回実施された。ただし、第5回目の測量において(3-4)の測線は、天候不良のため測量を中止した。

表2.5.2には測量結果を示してある。表中、Dは斜距離、 $\epsilon$ は第1回目の測定値を基準として計算した歪量である。なお、測線両端における測器の高さの差に対する補正值は、表2.5.3に示してある。測線(2-3)以外の高度差は、気温・気圧の観測から求めた値である。

表2.5.2からわかるように、各測線の長さは約2 kmから6 kmぐらいまでであるが、長さの変化は高

表 2.5.2 浅間山における辺長測量結果

D: 斜距離 ε: 歪量 (-は縮みを表わす)

BASE LINE			1 - 2		1 - 3		2 - 3	
			D	ε	D	ε	D	ε
			mm × 10 <sup>-6</sup>		mm × 10 <sup>-6</sup>		mm × 10 <sup>-6</sup>	
1976	SEPT.	17	2898	501	3907	419	2076	654
	NOV.	16	533	11.0	441	5.6	684	14.4
1977	APR.	12	506	1.7	455	9.2	680	12.5
	AUG.	2~4	487	-4.8	442	5.9	665	5.3
	OCT.	26~27	485	-5.5	425	1.5	669	7.2
1978	APR.	19	493	-2.8	440	5.4	668	6.7

BASE LINE			3 - 4		5 - 6		6 - 7	
			D	ε	D	ε	D	ε
			mm × 10 <sup>-6</sup>		mm × 10 <sup>-6</sup>		mm × 10 <sup>-6</sup>	
1976	SEPT.	16~18	6105	483	3143	614	3272	401
	NOV.	15~16	510	4.4	638	7.6	404	0.9
1977	APR.	11~12	498	2.5	639	8.0	413	3.7
	AUG.	2~4	496	2.1	633	6.0	413	3.7
	OCT.	25	-	-	625	3.5	429	7.0
1978	APR.	17~20	517	5.6	624	3.2	409	4.3

表 2.5.3 浅間山における測線両端の高度差と機器の高さの差による補正量

測線 (低地点) ~ (高地点)	高度差 (m)	機器の高さの差による補正量 (mm/10cm)
1 ~ 2	188	6
1 ~ 3	435	11
2 ~ 3	246.5	12
4 ~ 3	520	9
6 ~ 5	260	8
6 ~ 7	105	3

※ 30 数 mm の範囲であった。

図 2.5.2 には、第 1 回目の測定値を基準とした各測線の変化を示してある。測量を実施した期間において歪の変化量はそれほど大きくなく (高々 ± 1.5 × 10<sup>-5</sup>)、割合滑らかな変化をしている。最も大きな変化が現われたのは、1976 年 9 月中旬の第 1 回目の測量と同年 11 月中旬の第 2 回目の測量との間で、ほとんどの測線がそれぞれの測線における最大の変化を示している。なかでも、最も大きい変化を示したのは (2 - 3) の測線で、約 7.2 × 10<sup>-6</sup>/月 の割合いで伸びを示している。

歪の変化量は、各測線でそれぞれ違っているが、なかには似たような傾向の変化を示しているものもある。

(1-2)と(2-3), (1-3)と(5-6)などはその例である。

(6-7)の測線は、1977年10月下旬頃までおおよそ $0.5 \times 10^{-6}$ /月の割合いで伸びているが、その後やや縮みの方向にあるようにみえる。

### 5.3 三辺測量による主歪

浅間山の南々東地域の三角形について主歪の値およびその軸の方向を求め、図2.5.3に示した。図の(I), (II), ……(V)はそれぞれ第1回目と第2回目の測定値、第2回目と第3回目の測定値、……第5回目と第6回目の測定値から求めた主歪である。それぞれの期間については、先に測定した値を基準として主歪の値およびその軸の方向を求めてある。図中の矢印は浅間山火口の方向である。

図にみられるように、主歪の軸は5つの期間ともほぼE~WとN~Sの方向にある。

東西方向の主歪には歪量の大きな変化がみられる。なかでも第1回目と第2回目(1976年9月17日と同年11月16日)の測定値から求めた結果によると、約 $2.4 \times 10^{-5}$ の大きな伸びを、また次の期間(1976年11月16日と1977年4月12日)には反対に約 $2.3 \times 10^{-5}$ の縮みを示した。一方、南北方向の主歪値の変化量は全期間を通じて高々 $\pm 6 \times 10^{-6}$ の大きさであった。

### 5.4 歪変化と火山活動との関係

図2.5.4には、今回実施した浅間山南々東地域における三辺測量より求めた面積歪と、軽井沢測候所の地震観測用A点における地震回数とを示してある。図の上側は三辺測量より計算した面積歪(第1回目の測定値を基準)の変化、下側はA点における火山性地震回数である。

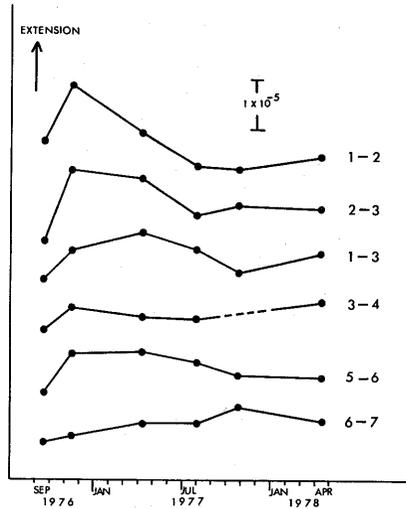


図2.5.2 浅間山における測線の歪変化

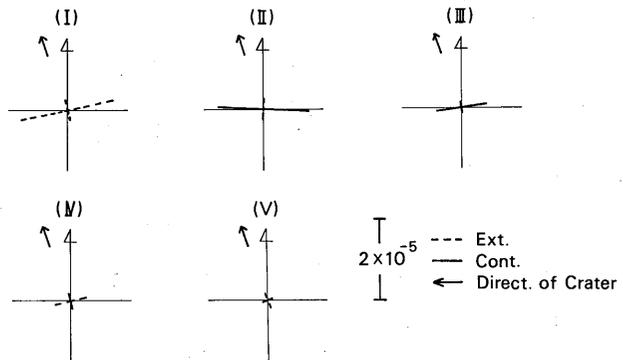


図2.5.3 三角形1-3-2における主歪

A点における月別地震回数は、1977年2月と1978年2月とに顕著に多くなっている。とくに前者では2月20日から23日にかけて地震が群発し、22日だけで74回も起こった。この異常な地震活動は、面積歪が膨張から収縮に移行したと推定される時期に起こっていることは、地震と歪とが何らかの関係にあるのかもしれない。

第2回目の測量時の面積歪は約  $2.9 \times 10^{-5}$  の大きな膨張を示し、その後第3回目の測量にかけて約  $1.7 \times 10^{-5}$  の縮み、第4回目には第1回目の値にもどった。その後の測量においては  $-3.5 \sim 1.3 \times 10^{-6}$  で、ほとんど変化がなかった。

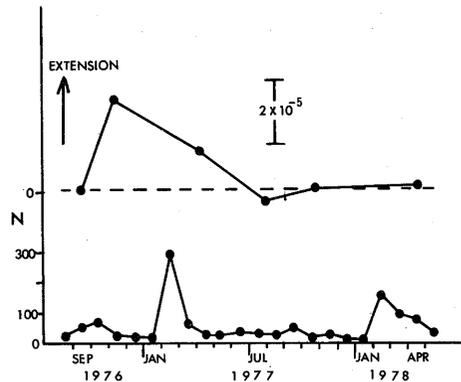


図 2.5.4 三角形 1-3-2 における面積歪の変化と軽井沢測候所の地震観測用 A 点における P-S 3 秒以下の月別地震回数

### 5.5 まとめ

浅間山の南東および北東の地域に、辺長測量用測線網を設け、1976年9月から1978年4月にかけての19ヶ月間に計6回の測量を実施した。この期間、浅間山の火山活動は比較的穏やかであった。唯一の火山活動の異常としては、1977年2月20日から23日をピークとした火山性地震の群発があげられる。辺長測量によって得られたおもな成果は次のとおりである。

- i) 第1回目の測定値を基準とした測線の変化は、大きいもので  $1.5 \times 10^{-5}$  であった。
- ii) 1976年9月中旬から11月中旬にかけて、(6-7)を除くすべての測線でそれぞれの測線における最大の歪変化を示した。
- iii) 浅間山の南々東地域における三辺測量において、主歪の軸はほぼ E-W および N-S の方向であった。
- iv) 主歪の値は、E-W の方向のものが大きく (約  $\pm 2 \sim 3 \times 10^{-5}$ )、N-S の値に比較すると約4倍の大きさであった。
- v) 第1回目の測定値を基準とした面積歪は、第2回目と第3回目の測量において  $1 \sim 3 \times 10^{-5}$  の変化があったが、その後の測量においてはほとんど変化がなかった。
- vi) 測量期間のうち、1977年2月には火山性地震が群発したが、この前後の辺長測量において、大きな歪の変化がみられた。

## 第6章 有珠山

中禮正明・長宗留男・田中康裕・澤田可洋

### 6.1 まえがき

有珠山は、明治新山(1910年)、昭和新山(1943~45年)の形成時などにみられたように、火山活動に伴って顕著な地殻変動が現われるという特徴をもっている。

1977年有珠山噴火は、山頂火口原内における噴火で始まったが、これに伴ない火口原内を中心に顕著な地盤の隆起、沈降、および水平方向への変動が起こった(北海道大学理学部:1978, 北海道大学理学部・京都大学防災研究所:1978, 北海道大学理学部地質学鉱物学教室:1978)。

これらの変動は、外輪山から有珠山の北西ないし東にかけての山ろくにまで波及した。

火山活動の消長と地殻水平変動との関係について研究するため、有珠山周辺に辺長測量のための測線網を設置し、1977年9月なかばから同年12月はじめの間、測量を実施した。なお、この研究は科学技術庁の特別研究促進調整費によるものである。

### 6.2 測線網

1977年9月中旬、図2.6.1に示したような測線網を設置した。A, B, …… Lは、この目的のために設置した標石の位置である。これら各基点の地点名は、表2.6.1に示してある。各基点の位置について、次に説明を加えておく。

基点A(三恵病院): 壮警温泉の南東約1kmの高台にある。標石は同病院の前庭園内にあり、まわり

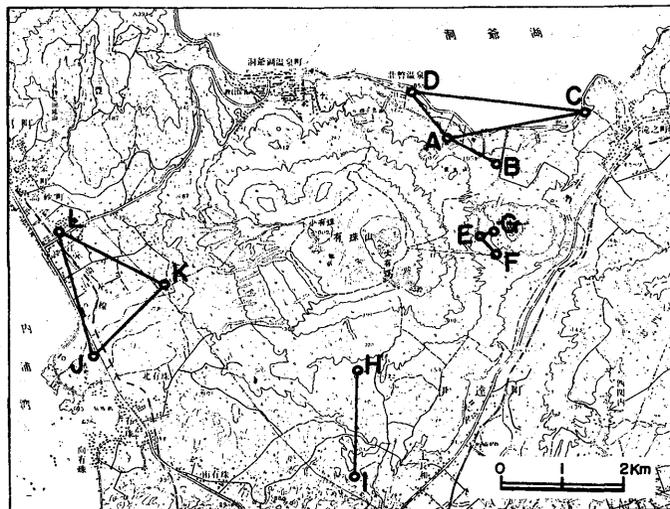


図2.6.1 有珠山における辺長測量用測線網

表 2.6.1 有珠山における標石設置地点

基 点	地 点 名	基 点	地 点 名
A	三 惠 病 院	G	昭 和 新 山
B	昭 和 新 山 入 口	H	伊 達 カ ン ト リ ー ク ラ ブ
C	別 荘	I	一 軒 屋
D	壮 警 温 泉	J	観 照 園
E	昭 和 新 山 バ ス 停	K	牧 草 地
F	熊 牧 場	L	入 江

は芝生である。所在地は北海道有珠郡壮警町壮警温泉76番地、院長は加藤和雄氏。

基点B（昭和新山入口）： 洞爺湖畔から昭和新山に向う道路と基点A方面からきた道路との交叉点（三叉路になっている）の南西部に設置してある。この土地の管轄は壮警町役場（北海道有珠郡壮警町字滝之町245番地）。

基点C（別荘）： 洞爺湖の南東にある別荘地ドクタービレッジ（北海道有珠郡壮警町壮警温泉145番地）の入口、湖畔から正門に向って左側の門柱付近にある。このベンチマークは十字を刻み込んだ直径約1cmの鉄針がコンクリート面に埋めてある。この土地の所有者は東洋信販（北海道有珠郡壮警町壮警温泉120番地）。

基点D（壮警温泉）： 壮警温泉近くの洞爺湖畔の一周道路から約20m有珠山寄りの毛利春夫氏（北海道有珠郡壮警町字壮警温泉64番地）宅の西側の庭園と畠との境に設置してある。

基点E（昭和新山バス停）： 昭和新山の西山ろくにある広場入口のバス停近くにある。この土地の管轄は壮警町役場（北海道有珠郡壮警町字滝之町245番地）。

基点F（熊牧場）： 昭和新山西山ろくの広場の最南端に近く、熊牧場前の植え込みの中にある。この土地の管轄はあけぼの開発株式会社（北海道支笏洞爺国立公園昭和新山）。

基点G（昭和新山）： E点から東方にほぼ水平に約178m離れた昭和新山の麓の樹木地帯内にある。この土地の所有者は北海道有珠郡壮警町壮警温泉81-15番地三松三朗氏。

基点H（伊達カントリークラブ）： 大有珠の南々西にあるゴルフ場の駐車場上の土手の最東端近くにある。所在地は北海道伊達市東有珠町241番地、伊達観光開発株式会社伊達カントリークラブ湘南コース。

基点I（一軒屋）： この地域は上長和台地といわれている。まわりは畠で、農道のそばに物置小屋が一軒あり、その小屋の北側に設置してある。この土地の所有者は北海道伊達市長和町567番地上山正夫氏。

基点J（観照園）： 有珠湾北方の国道37号線脇にドライブイン観照園がある。標石はその庭園の最高地点付近に設置してある。この庭園の所有者は北海道伊達市有珠町137番地斎藤巖氏。

基点K（牧草地）： 虻田から南有珠方面へ抜ける農道の途中にあり、付近は傾斜地で牧草地帯になっている。標石は、その牧草地帯中央部の、道路から約2m低い方（西方）に入った所に設置してある。この土地の管轄は虻田町役場（北海道虻田郡虻田町字栄町58番地）。

基点L(入江)： 虻田町から洞爺湖温泉に通ずる道路を、室蘭本線を横切ってから約100m進んだ所に、左へ入る坂道がある。標石はこの坂道を約10m進んだ右側の島の畔に設置してある。この土地の所有者は北海道虻田郡虻田町入江45番地 大滝昌氏。

測線のうち最も長いものは洞爺湖畔に沿うD-Cで、長さ約2743m、最も短い測線は昭和新山付近に設置したE-Gで約178mである。なお、有珠山の北東側および西側には三角形ACDおよびJKLを設け、三辺測量により主歪、面積歪等についての解析を行った。

### 6.3 測量と測量結果

測量は、9月16～20日、10月13～16日、11月8～11日、および11月29～12月1日に実施された。現地に滞在した3～5日の間に、1～2日おいて、あるいは毎日、各測線の長さを繰返し測定するようにしたので、各測線についての測定値は合計7～8個である。

表2.6.2には、測線両端の高度差と機器の高さの差10cmあたりの補正量を示してある。この高度差は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図から読み取った値、または測量の際両端で測定した気圧、気温によって計算した値である。

測量の結果は表2.6.3にまとめて示してある。表中のε(歪量)は、最初の測定値(9月16日または17日の値)を基準にした値である。図2.6.2および図2.6.3は、各測線の長さの変化および歪変化を示したものである。

表2.6.3、図2.6.2および図2.6.3からわかるように、測量された地盤変動の概要はおおよそ次のとおりである。すなわち、有珠山の北東側山ろくおよび昭和新山西側平坦地における変動は特に大きかった。

表2.6.2 有珠山の測線両端の高度差と  
機器の高さの差による補正量

測線 (低地点)～(高地点)	高度差 (m)	機器の高さの差による補正量 (mm/10cm)
B - A	27	3
C - A	53	2
D - A	50	5
C - D	3	0
F - E	4	1
G - E	2	1
I - H	84	5
J - K	32	2
L - J	19	1
L - K	51	3

表 2.6.3 有珠山における辺長測量結果

D : 斜距離 ε : 歪量 (-は縮みを表わす)

BASE LINE			A - B		A - C		A - D	
			D	ε	D	ε	D	ε
1977	SEPT.	16	985 887	$\times 10^{-6}$	2278 960	$\times 10^{-6}$	932 970	$\times 10^{-6}$
		19	894	7.1	922	-16.7	962	-8.6
	OCT.	13	986 009	123.7	490	-206.2	840	-139.3
		15	016	130.8	446	-225.5	826	-154.3
	NOV.	8~9	033	148.1	2277 953	-441.9	764	-220.8
		10	036	151.1	926	-453.7	762	-222.9
	DEC.	29	985 789	-99.4	2276 897	-905.2	504	-499.5
		1	777	-111.6	805	-945.6	482	-523.1
BASE LINE			D - C		E - F		E - G	
			D	ε	D	ε	D	ε
1977	SEPT.	16	2742 748	$\times 10^{-6}$	407 478	$\times 10^{-6}$	177 986	$\times 10^{-6}$
		19	748	0	432	-112.9	936	-280.9
	OCT.	13	708	-14.6	277	-493.3	775	-1185.5
		15	716	-11.7	263	-527.6	759	-1275.4
	NOV.	16	718	-10.9				
		8~9	650	-35.7	154	-795.1	659	-1837.2
		10~11	660	-32.1	134	-844.2	651	-1882.2
		29	617	-47.8	040	-1074.9	572	-2326.0
BASE LINE			H - I		K - J		K - L	
			D	ε	D	ε	D	ε
1977	SEPT.	17	1703 213	$\times 10^{-6}$	1716 542	$\times 10^{-6}$	1880 775	$\times 10^{-6}$
		19~20	219	3.5	547	2.9	772	-1.6
	OCT.	14	215	1.2	546	2.3	778	1.6
		15	224	6.5				
	NOV.	16	223	5.9	560	10.5	784	4.8
		9	201	-7.0	536	-3.5	768	-3.7
		10			557	8.7	785	5.3
		11	213				773	-1.1
		29			537	2.9	780	2.7
		30	214		547	-2.9	781	3.2
BASE LINE			L - J					
			D	ε				
1977	SEPT.	17	2019 845	$\times 10^{-6}$				
		20	843	-1.0				
	OCT.	14	854	4.5				
		16	867	10.9				
	NOV.	9	847	1.0				
		10	860	7.4				
		29	858	6.4				
		30	857	5.9				

これに比べて南側および西側の測線における変動はごくわずかで、途中やや複雑な変化を示しているが、最終的な長さの変化量は大きいもので約 10 mm 程度であった。

次に各地域ごとに詳しく述べる。

1) 有珠山の北東側

この地域には三角形 A C D および A - B がある。測線 A - C, A - D および D - C はいずれも終始縮みを示しており、A - C および A - D ではその量が特に大きかった。これらの測線における変化のパターンは、必ずしも一様ではなく時期によって変化している。

A - C および A - D は、11月10日ごろまではほぼ一定の割合（それぞれ約 19 mm/日および 3.8 mm/日）で縮んでいるが、それ以降変化の速さがそれまでの約 3 倍（それぞれ約 53 mm/日および 13 mm/日）に増大している。

北海道大学理学部・京都大学防災研究所(1978)によると、有珠山北東の洞爺湖岸と北東山ろくを結ぶ比較的短距離の測線の辺長測量結果では、11月上旬ごろから12月なかばごろまでの変化量が、一時的にそれまでの約 20 mm/日から 45 mm/日に増加している（その後、12月末では約 30 mm/日に減少している）。この測線の変化は、上に述べた A - C および A - D におけるものと同じ傾向を示しているとみられる。

湖岸にほぼ平行な測線 D - C の変化は、あまり大きくはなかったが、ほぼ一定の割合（約 1.8 mm/日）の縮みを示している。11月末までの約 2.5 か月間の変化量は約 13 cm、歪量にして約  $4.8 \times 10^{-5}$  の縮みであった。

A - B における変化は上の各測線のものとは異なり、10月中旬の測量時まではかなり大きい速度で伸びていたが、その後その速度がややゆるやかになり、11月10日の測量時、すなわち A - C, A - D において変化の速度が増加し始めた時期以降は反対に縮みに転じている。

2) 昭和新山付近

この地域には、有珠山と昭和新山との間の平坦な地域に、測線 E - F および E - G を設置した。

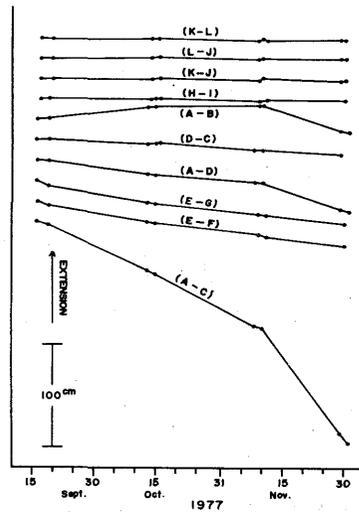


図 2.6.2 有珠山における測線の長さの変化

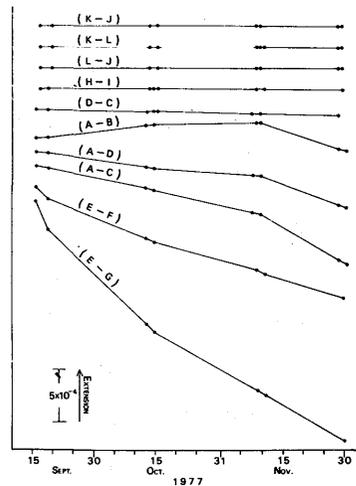


図 2.6.3 有珠山における測線の歪変化

これらの測線においては終始縮みが測定されたが、測量を開始した9月中旬ごろはかなり大きい速度で縮んでいたものと想像される（最初の2回の測定値によると縮みの量は、それぞれ15mm/日および17mm/日、歪量で $3.8 \times 10^{-5}$ /日および $9.4 \times 10^{-5}$ /日になる。図2.6.2および図2.6.3）。

その後徐々に変化速度が減少し、10月なかばからはほぼ一定の割合（1日あたりそれぞれ4.8mmおよび4.7mm、歪量で $1.2 \times 10^{-5}$  および $2.3 \times 10^{-5}$ ）の変化が続いている。

測量開始から終了までの約2.5か月間には、両測線ともほぼ同じ量（41～44cm）の縮みが測定された。図2.6.3からわかるように、歪量はこれらの測線でもっとも大きく、E-Fで $1.1 \times 10^{-3}$ 、E-Gでは $2.3 \times 10^{-3}$ であった。

### 3) 有珠山の南側および西側

この地域に設置した4本の測線では、時期によって $1 \times 10^{-5}$ 程度の変化はあったが、上の2つの地域におけるような大きな変動は測定されなかった。また、比較的短時間の変化をならしてみると、これらの測線の長さは、測量期間中ほとんど変動していない。（ただし測線L-Jでは、0.2～0.3mm/日程度の、ごくゆるやかな伸びを示しているともみられる。）

国土地理院によって実施された二次基準点測量の結果によると、1967～1977年に有珠山北北西の洞爺湖岸（洞爺湖温泉町）、南東側および南南西側中腹において42～54cmの外向き（山体が膨張するようなセンス）の水平変動が測量されている（国土地理院、1978）。

この変動は、恐らく今回の火山活動に伴って起こったものであろうが、われわれが南側（測線H-I）において行った測量では、上に述べたように、あまり大きな変動はなかった。このことを考慮すると、二次基準点測量によって得られた大きな変動は、少なくともわれわれが測量を開始した時期より前に一時的に起こったもので、1) および2) で述べたような火口原内の地盤変動に関連して続いている変動とは異なるものと思われる。

前に述べたように、この地域では期間中地殻変動はほとんどなかったと考えてよいが、表2.6.2からもわかるように、例えば測線H-I、K-JおよびL-Jにおける10月16日と11月9日との測定値の間には、20mm以上の差がある。又、測線K-J、K-LおよびL-Jにおける11月9日と10日の1日間でも、13～21mmもの変化がある。これらに関しては次節で述べる。

有珠山の北東側および西側における三辺測量の結果から、最初の測定値を基準にして主歪値ならびにその方向を求めると、北東側山ろく地域における歪の主軸の方向は、WNW～ESEおよびNNE～SSWであり、これは測量期間を通じてほとんど変わっていない。図2.6.4は、11月29日の測定値に対する主歪の方向を地図上に画いたものである。

図2.6.5は、三角形ACDについての測定から求められた主歪の時間的変化である。主歪値の変化の割合は、11月10日の測量時を境にして、その前後においてかなり大きく変わっているが、これは前に述べた測線A-CおよびA-Dの時間的変化の傾向と同じである。

三角形ACDについて求めた主歪、面積歪および最大せん断歪の1日当りの変化の割合をまとめて

表 2.6.4 に示しておく。

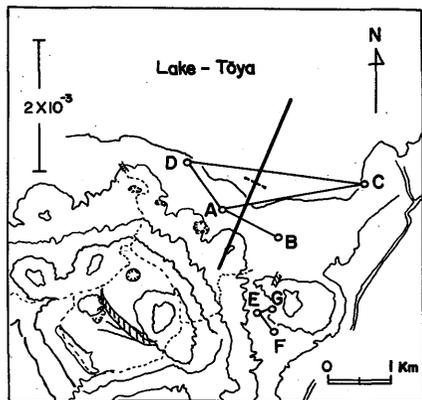


図 2.6.4 三角形ACDにおける主歪  
(9月16日と11月29日  
の測定値による)

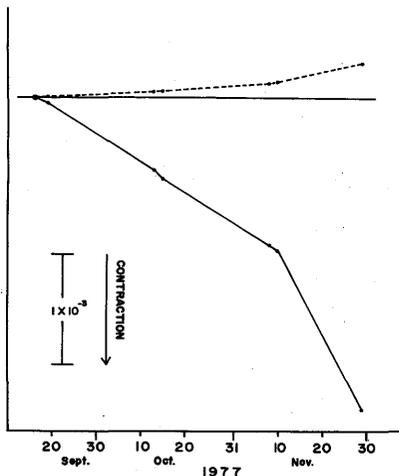


図 2.6.5 三角形ACDにおける  
主歪の時間的变化

表 2.6.4 三角形ACDの歪

期 間		9月16日～11月10日	11月10日～11月29日
主 歪 {	$\sigma_1$	$0.3 \times 10^{-5}/\text{day}$	$0.9 \times 10^{-5}/\text{day}$
	$\sigma_2$	-2.5	-7.6
面 積 歪		-2.2	-6.7
最大せん断歪		2.7	8.5

#### 6.4 辺長測量時における測線長の変化と地震

有珠山の火山活動においては、有感地震を含む多くの地震が発生した。測量を実施している最中にも、何回かの有感地震があったが、その際、地震前と地震後に若干測線長に変化が測定された例がある。

図 2.6.6、図 2.6.7 および図 2.6.8 に、測定例を示してある。図の横軸には測定時間の経過を、縦軸には辺長の読取値の下 2 桁を示してある。図の点線はそれぞれの期間における読取値の平均である。また、矢印は有感地震で、矢印に示したアラビア数字は震度である（筆者等の観測による）。

図 2.6.6 は、有珠山南側の測線 H-I における測定例で、有感地震のなかった時（10月16日、14時02分～14時46分の42分間）のものである。一般に測定は、この例のように行われる。すなわち、読取値にはバラツキ（この例では最大数 mm）があるが、これらの算術平均（点線で示した値）をもってその時の測定値とする。

図 2.6.7 には、有珠山北東地域の測線 D-C の測量例 (10月15日, 09時16分～10時16分の60分間) を示してあるが、この例では、始め4回の読取値と地震後の6回の読取値の間には、明らかにギャップがみられる。すなわち、09時36分ごろの震度Ⅲ程度の地震の前後で約4mmの縮みが観測された。観測中に経験したすべての地震の場合にこのような現象があったわけではないが、他にもいくつかの例があった。

北海道大学理学部・京都大学防災研究所 (1978) は、外輪北々東部と洞爺湖畔との間の辺長測量の結果から、大きな地震に対応して長さの縮みの量が大きくなり、しかもこのことは地震の震源位置に関係するらしい、ことを報告している。

われわれの観測においても、有珠山北東側から東側にかけての測線では大きな変化があったが、これらの変化は、恐らく図 2.6.7 の例のように、ある種の地震によって不連続的に大きく変化しながら進んだものと考えられる。

図 2.6.8 には、有珠山南側の測線 H-I における測定例 (11月30日, 09時05分～10時37分の92分間) を示してある。この例でも、始めの4回の読取値と震度Ⅰの地震をはさんで次の5回の値との間、および震度 (Ⅱ～Ⅲ) の地震の前後の読取値の間には、明らかにギャップがみられる。すなわち、震度Ⅰの地震によって数mm伸び、次に震度 (Ⅱ～Ⅲ) の地震によって反対に約4mm縮んでいる (その後の震度Ⅲの地震の前後における3回および4回の読取値についても一応

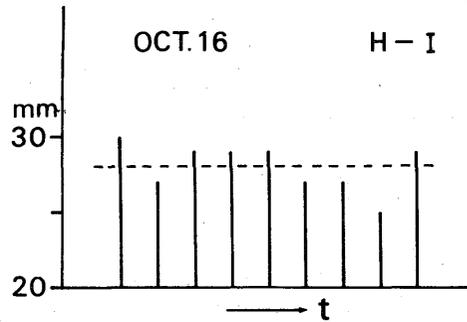


図 2.6.6 ジオジメーター読取値の例 (10月16日14時02分～14時46分)

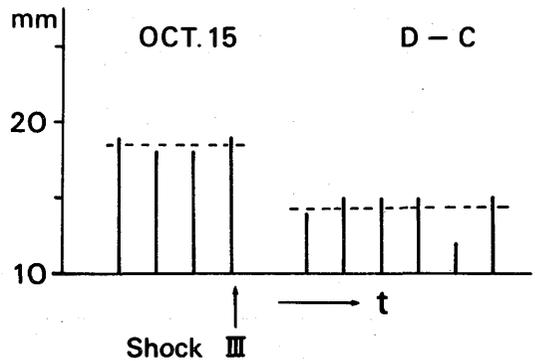


図 2.6.7 測線 D-C における地震前後の測線長の変化 (10月15日09時16分～10時16分)

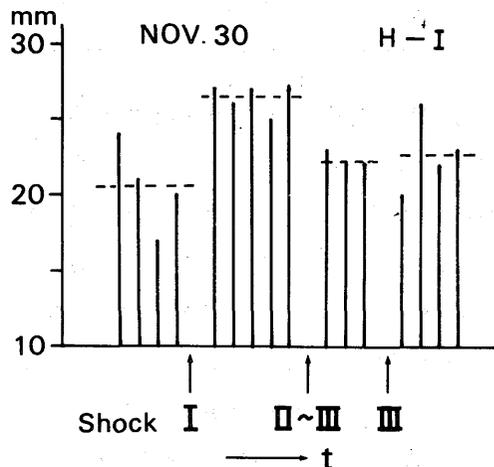


図 2.6.8 測線 H-I における地震前後の測線長の変化 (11月30日09時05分～10時37分)

別々の平均値を示してあるが、これらの間には特に変化があったとはみられない)。伸縮の量は必ずしも震度に関係ないようである。恐らく、大きさよりも震源の位置に関係があるものと思われる。

この測線は先に述べたように、測量期間を通じてみるとほとんど変化はなかった。しかし、図 2.6.8 でみられるように、ある種の地震によっては不連続的に伸び、また他の地震では反対に縮むような変化を繰り返し、全体としてはほとんど変化しなかったものと考えられる。

前節で述べた短期間の大きな測線長の変動も、おそらく上記のことに起因すると考えられる。

## 6.5 ま と め

「1977年有珠山噴火」に伴ない、有珠山周辺に辺長測量用測線網を設置して、9月中旬から12月初旬の間、ほぼ定期的に測量を実施した。

今回の噴火に続いて起こった地盤・地形変動は、山頂火口原中央部に生じた断層を境にして、その北ないし東方向において顕著であり、これらは北～東側山ろくにまで及んでいる。

特に筆者らが測量を実施した時期には、北東～東側山ろく地域において顕著な地盤変動が続いた。辺長測量用測線網のうちA点のある三恵病院付近では、家屋、石垣などの変形、路面の盛り上り等の現象が特に顕著であった。また、昭和新山と有珠山の間平坦地では、噴火後間もない8月18日にはすでに縁石の変形があった。

一方、有珠山の南側・西側等においては、家屋・道路の変形等の異常は現われていない。

今回実施した測量も、おおよそ上のような地形変動の傾向を反映している。測量によって得られたおもしろな成果は次のとおりである。

- (1) 有珠山の北東側および東側地域では、顕著な変動が測量された。しかし、南側および西側では、目立った変化はなかった。
- (2) 9月中旬から12月上旬までの約2.5か月間に、昭和新山西側の平坦地で $(1 \sim 2) \times 10^{-3}$ 、北東側山ろくでは大きいもので $(0.5 \sim 1) \times 10^{-3}$ の縮み(いづれも測線の歪)がみられた。
- (3) 北東側三辺測量の結果によると、歪の主軸の方向は測量期間中ほとんど変化なく、北北東～南南西および西北西～東南東で、前者の方向に大きな縮みがあった。
- (4) 北東側山ろくの測線における変動のパターンは、11月10日ごろを境にして多少変化した。A-Bでは伸縮の方向がそれまでのものに比べて反対になり、測線A-C、A-Dでは変動の割合が大きくなった。
- (5) 有感地震の前後で、測線長に数mmの変化が測定されることがあった。

なお、辺長測量によって測定する長さは両端の標石間の斜距離であるが、一端が他端に対して上下方向に変動した場合にも斜距離は変化する。

今回の活動では、北東～東側山ろくにおいてもかなり大きな地盤の上下変動があった(例えば、北海道大学理学部・京都大学防災研究所:1978)。そして基点A付近は、特に地盤の水平方向の変動とともに

隆起の大きかったところである。

測線A-B, A-D, A-C等には、当然このような上下変動の影響があるはずである。しかし、もしA点が相対的に約1 m隆起したとしても、これによる長さの変化は、もっとも影響の大きい測線A-Dにおいて約5 cm弱で、実際に測定された変化量に比べるとかなり小さく、議論の本質を左右するほどのものではないので、地盤の上下方向の変動の影響については考慮しなかった。

### 参 考 文 献

- 北海道大学理学部(1978):計器観測による有珠山頂火口原の地殻変動(1977年8月~12月), 火山噴火予知連絡会会報, 第11号, 8-12.
- 北海道大学理学部・京都大学防災研究所(1978):有珠山北東麓の地殻変動(1977年8月~12月), 火山噴火予知連絡会会報, 第11号, 13-20.
- 北海道大学理学部地質学鉱物学教室(1978):1977年有珠山噴火に伴った火口原の地形変化, 火山噴火予知連絡会会報, 第11号, 38-44.
- 国土地理院(1978):有珠山付近の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 第12号, 19-22.

## 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

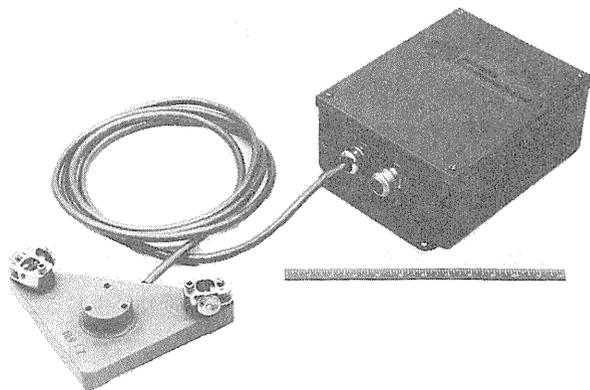


図3.1.1 双軸型傾斜計(TM-1A型,地上型)  
(North American Rockwell,  
Autonetics社パンフレット(1972)  
による)

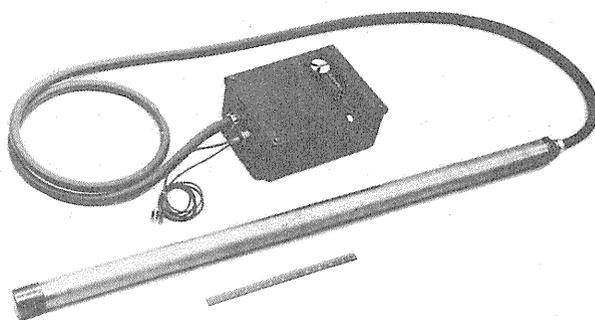


図3.1.2 双軸型傾斜計(TM-1B型,地中埋設型)  
(North American Rockwell,  
Autonetics社パンフレット(1972)  
による)

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  $\mu$  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0.008 Hz 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

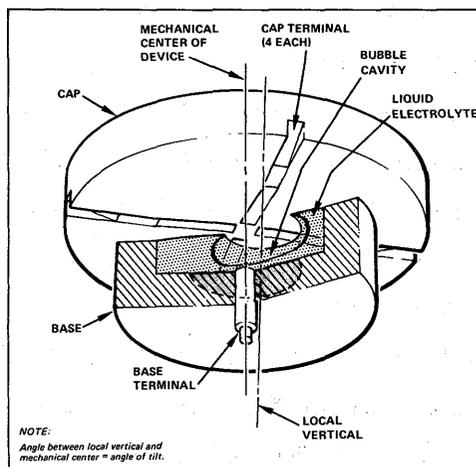


図3.1.3 傾斜計検出部の構造 (North American Rockwell, Autonetics社パンフレット(1972)による)

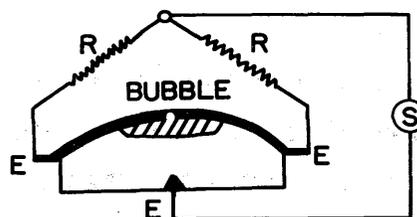


図3.1.4 傾斜計検出部とブリッジ (Rは抵抗, Eは電極をあらわす)

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。

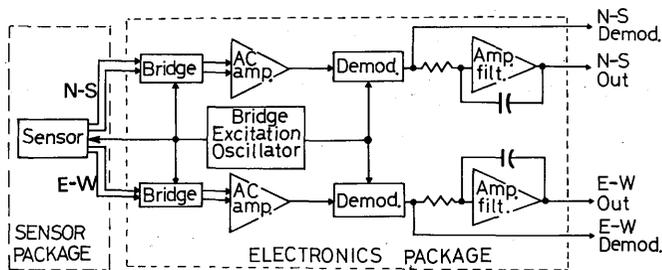


図 3.1.5 双軸型傾斜計のブロックダイアグラム

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つて、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)。

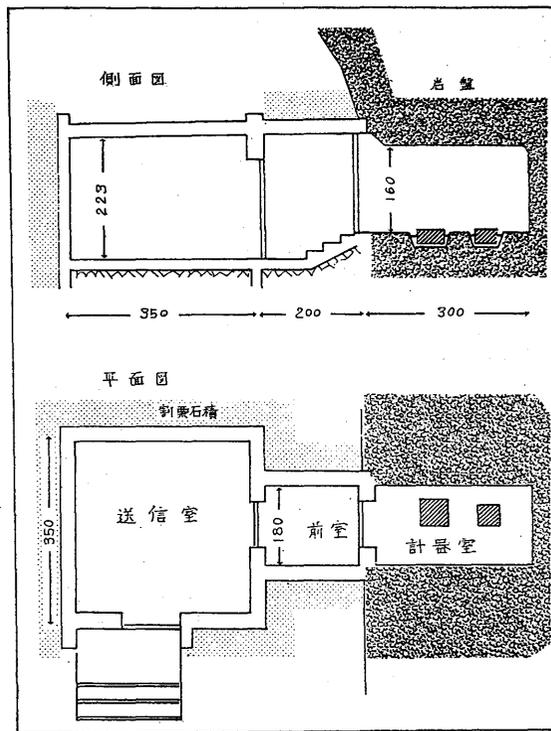


図3.1.6 桜島有村の傾斜計室(火山噴火予知に関する特別研究報告書(科学技術庁研究調整局, 1975)による)。数字はcm単位。

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。

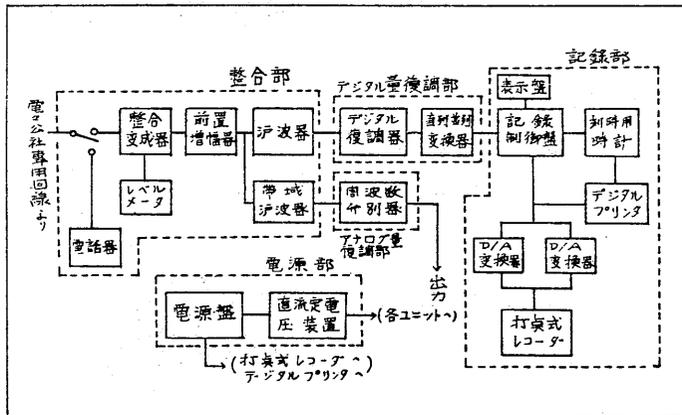
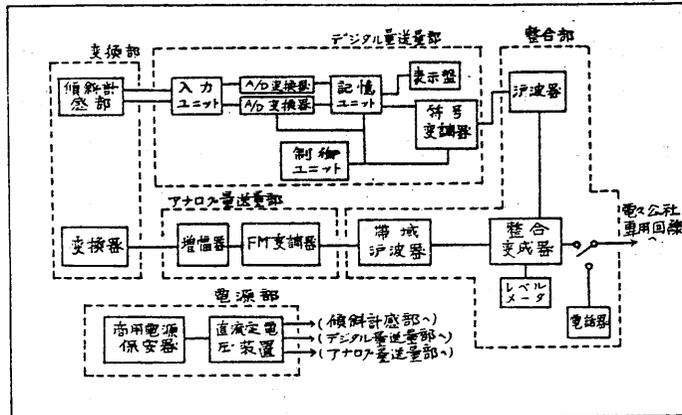


図 3.1.7 BU-73型傾斜計のブロックダイアグラム。上は送量側，下は受量側をあらわす。(火山噴火予知に関する特別研究報告書(科学技術庁研究調整局，1975)による)

### 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。

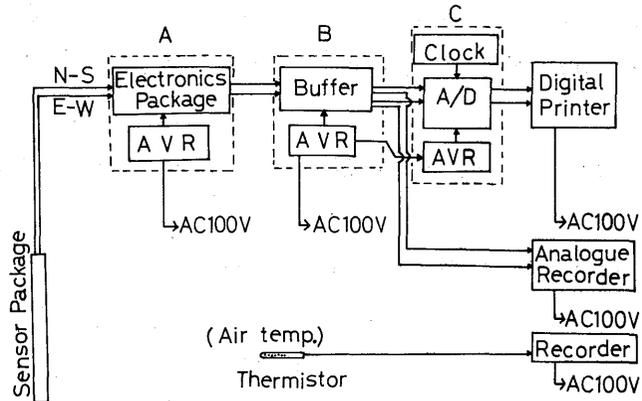


図 3.1.8 BU-76型傾斜計のブロックダイアグラム

### 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.

## 第2章 桜 島

中禮正明・田中康裕

### 2.1 はじめに

桜島は1955年10月以来活発な山頂噴火活動を行っている。桜島における傾斜観測は、南岳山頂の活動火口を3方から遠まきにするような形で、有村、袴腰および高免において実施した。

有村の傾斜観測は、第1章の2.3節で述べたように、鹿児島地方気象台が実施しているので、その資料を使用した。袴腰と高免については、有村と同じ双軸型傾斜計を設置し、1975年1～12月の間観測を行った。

この章では上記の3地点における傾斜観測と、その解析結果について述べる。

### 2.2 観測地点

図3.2.1には桜島における傾斜観測点を示してある。各観測点の位置と観測状況は次のとおりである。

有村：南岳山頂火口から南々東へ約3 kmの海岸に近い地点にある。正確な位置は北緯 $31^{\circ}33'03.7''$ ，東経 $130^{\circ}40'21.2''$ ，高さ39mである（第1編第2章による）。傾斜計は溶岩流に掘った横穴の中に設置してある。この傾斜計および観測方式等に

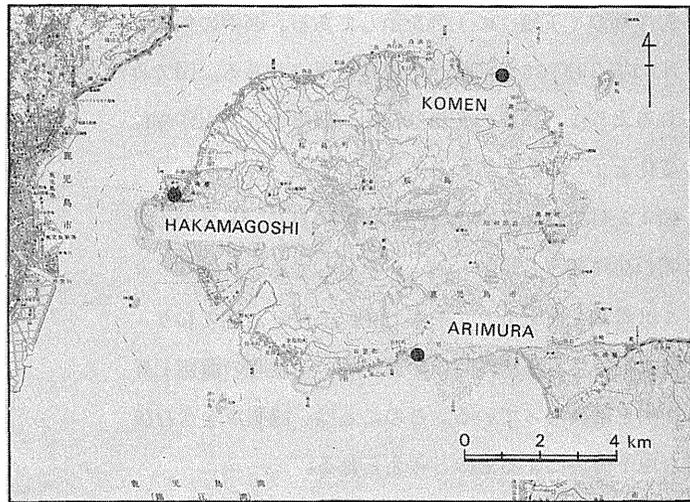


図3.2.1 桜島における傾斜観測地点

については第1章の2.3節で述べたので、ここでは省略する。

袴腰：桜島南岳山頂火口の西北西約5.4 km，袴腰台地上にある鹿児島地方気象台桜島火山観測所である。正確な位置は北緯 $31^{\circ}35'19.6''$ ，東経 $130^{\circ}36'14.7''$ ，高さ70 mである（第1編第2章による）。同所の地震計台上に傾斜計，記録器等を設置した。また，温度の観測は地震計室内および屋外（1975年6～12月）で行った。

高免：桜島南岳山頂火口から北東に約5.5 km，海岸線より約400m内陸へ入った地点にある。観測点は「桜島木工所」の敷地内にあり，傾斜計は地表に露出した大きな溶岩塊を平らに研磨し，その上に設置した。観測室は $4.5\text{ m}^2$ のプレハブ小屋（永大産業製MK-50型，図3.2.2）を使用し，小屋の内部には

発泡スチロールによって断熱処理をほどこした。傾斜および室内温度の観測と記録はこの小屋の中で行った。



図 3.2.2 高免の傾斜観測小屋

### 2.3 観測結果

3地点における観測値は、第3編の末尾の表

3.2.1に一括して記載してある。

次に各地点における観測結果を述べる。

#### 2.3.1 有村

桜島は海に囲まれているので、傾斜観測は海洋潮汐の影響を受けると考えられる。有村の観測点は海岸線から約200mぐらしか離れていないので、先づこの問題について検討した。

図 3.2.3 には有村における傾斜変化と鹿児島港における海洋潮汐（下段）の1例を示してある。図中の矢印は3月31日23時58分に起きた桜島の爆発である。図で見られるように、傾斜の変化は位相、振幅ともに海洋潮位の変化とよく対応している。

図 3.2.4 には、3月29日00時から30日00時までの1日間の海洋潮汐と傾斜ベクトルを示してある。傾斜ベクトルは満潮で南東上り、干潮で北西上りとなっており、一般に期待される満潮時の海側沈降、干潮時の海側上昇の傾向とは異なっている。このことは、観測点を含む複雑な地下構造によるものと考えられる。

ところで、3月29日の傾斜と潮位の毎時の値について、両者の関係を求めると、潮位と傾斜の南北成分、潮位と傾斜の東西成分の相関係数は、それぞれ-0.94, 0.99となり、どちらの成分も非常によい相関を示す。また、潮位1mの変化量に対応する傾斜の変化量は北西～南東の方向に約0.019秒である。

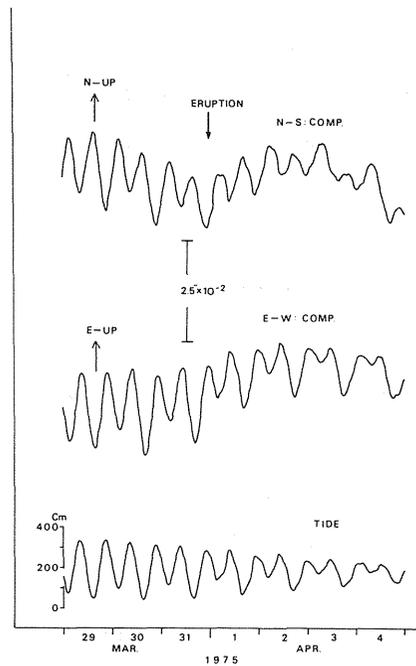


図 3.2.3 有村の傾斜変化と鹿児島港の潮位変化

次に、図 3.2.3 に示した傾斜変化において、やや長周期の変化に着目すると、3月31日から4月1日を境に長周期成分の大きな変化がみられる。特に南北成分の変化は顕著である。この前後、潮位は大潮から小潮に順調に移行しており、異常な変化は認められない。また、図には示していないが、この期間の鹿児島地方気象台における観測によると、雨量は4月1日に6mm、2日に1mmあった程度で、気

温, 気圧等にも特に異常な変化はなかった。たまたま3月31日23時58分には南岳山頂火口で顕著な爆発(鹿児島地方気象台のJMA-62F型地震計に約 $20\mu$ の振幅で記録)があったことから, 上述の傾斜の長周期成分の急変は火山活動と関係する変動であったのかもしれない。このように, 爆発の起きた前後で傾斜の傾向が変化した例は, いくつか見られた(詳しくは別途調査の予定)。

図3.2.5には1974年9月から1975年12月までの有村における傾斜変化, 鹿児島港の潮位および桜島の爆発回数を日毎に示してある。図にみられるように, 南北成分には春から夏にかけて南上り, 秋から冬にかけて北上りの, また, 東西成分については春から夏にかけて東上り, 秋から冬にかけて西上りという年変化がみられる。南北成分の年変化量は約1.5秒, 東西成分は約0.5秒で, 南北成分の変化量は東西成分の約3倍である。また, 傾斜の年変化の傾向は潮位の年変化に対応しているようである。

図3.2.6は, 潮位と傾斜の日平均値について月ごとに相関を求めたもので, 縦軸に相関係数を示してある。潮位と傾斜の東西成分とは1974年9月を除くと非常によい相関がある。一方, 南北成分とにおいてはやや相関のみられる時期もあるが, 浜田(1977)も指摘しているように全体的に相関はよくない。

図3.2.7には半月ごとの傾斜ベクトルを示してある。図中の矢印は, 鹿児島地方気象台のJMA-62F型地震計が $30\mu$ 以上の振幅を記録した爆発である。矢印に付けた数字は爆発回数である。

図には1974年9月から1976年6月までの期間について示してあるが, この期間に約1秒程度の北ないし北北西上りとなっている。1974年秋から冬にかけては約0.6秒の北西上り, また, 1975年の同じ時期には約1秒の北北西上りを示した。

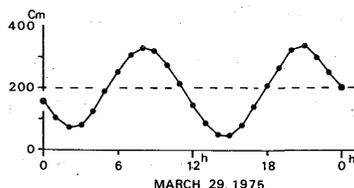
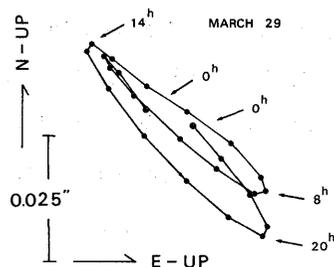


図3.2.4 有村における傾斜ベクトルの日変化と鹿児島港の潮位変化

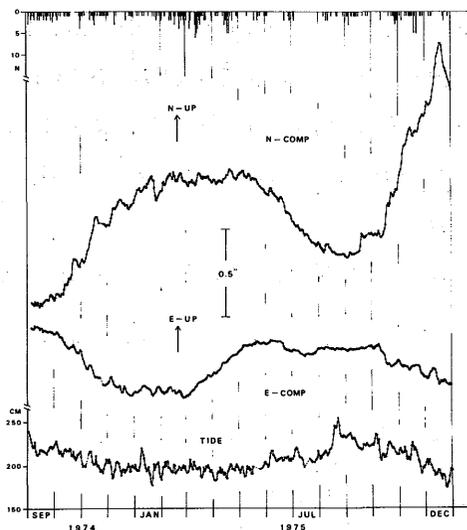


図3.2.5 有村における日別の傾斜変化, 鹿児島港の日平均潮位(TIDE)および桜島の日別爆発回数(N)

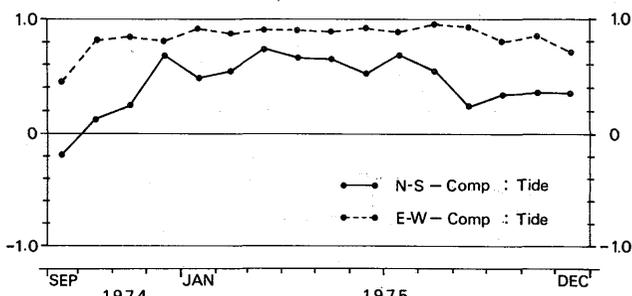


図3.2.6 有村における傾斜の日平均値と鹿児島港の日平均潮位との月別の相関

冬から春にかけては南北方向にほとんど変化なく、東西方向に0.3秒ほどの東上りの傾斜変化がある。春から夏にかけては南北成分が約0.5秒南上りを示している。

このような変化傾向は、鹿児島地方気象台のその後の観測にもみられ、年変化のパターンとなっている。

### 2.3.2 袴腰

袴腰における屋内温度の日変化量(最高値-最低値)は高々1℃程度であったが、傾斜の日変化量(最大値-最小値)はかなり大きく、南北成分において4~5秒、東西成分においてはその5分の1程度の変化があった。

図3.2.8には1975年1~12月の袴腰における傾斜変化、観測室内と屋外の温度および桜島の爆発回数を示してある。破線で示した部分は欠測あるいは1日の観測時間が12時間未満の期間である。

観測室内の日平均温度の最低は2月23日の5.8℃、最高は9月3日の32.4℃であった。

傾斜変化は南北成分においては春から夏にかけて南上り、秋から冬にかけて北上りがみられる。また、東西成分については、5月から6月にかけて約8秒の東上り、10月以降には1~2秒程度の西上りがみられる。

図3.2.9は半月ごとの傾斜ベクトル図である。傾斜ベクトルは北北西~南南東の方向に約18秒の傾斜変動を示している。変動の大きかったのは春から夏にかけての時期で、約10秒の南東上りであった。また、秋から冬にかけても北ないし北北西にやや大きな変化を示しているようにみ

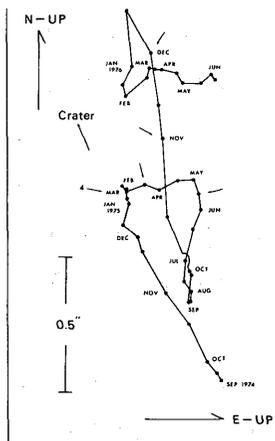


図3.2.7 有村における半月ごとの傾斜ベクトル。矢印は桜島の爆発、矢印に付けた数字は爆発回数

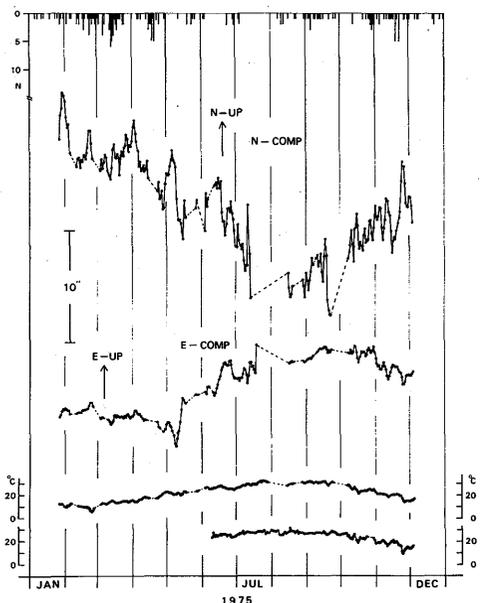


図3.2.8 袴腰における日別の傾斜変化、観測室内の温度(℃)、屋外の温度(℃、6~12月)および桜島の爆発回数(N)

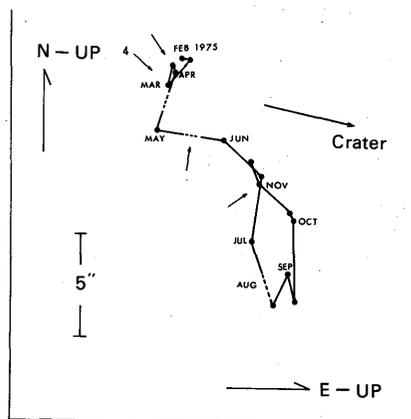


図3.2.9 袴腰における半月ごとの傾斜ベクトル。矢印は桜島の爆発、矢印に付けた数字は爆発回数

える。図中の矢印は鹿児島地方気象台のJMA-62F型地震計が $30\mu$ 以上の振幅を記録した爆発である。

### 2.3.3 高免

高免での観測は地上に建てたプレハブ小屋であったために、室内温度は外気温にほぼ対応して変化し、温度の日変化は非常に大きかった。傾斜の日変化も袴腰と同程度に大きかった。傾斜の日変化は南北成分に大きく現われて4~5秒を記録した。東西成分の日変化は南北成分の3分の1程度であった。

図3.2.10は、温度の日変化の量とそれに対応する傾斜の日変化の量について月毎に相関を求めたものである。1月と3月はデータが少ないのでこれらを除くと、その他の月の相関係数は、南北成分では0.8前後、東西成分では0.7前後となり、気温の変化量とかなり相関がみられる。

図3.2.11には1975年1~9月の高免における傾斜変化、室内温度および桜島の爆発回数を示してある。破線の部分は欠測あるいは1日の観測時間が12時間未満の期間である。

観測室内の日平均温度の最低は2月21日の $2.0^{\circ}\text{C}$ 、最高は9月13日の $31.8^{\circ}\text{C}$ であった。

傾斜変化は、南北成分については冬から春にかけて約10秒の北上り、春から夏にかけて12秒程度の南上りを示した。また、東西成分については冬から春にかけて約8秒の西上り、春から秋にかけて約23秒もの東上りであった。観測期間中の傾斜変動は東西成分が大きく、南北成分の約2倍であった。

南北、東西両成分に約10日前後の周期の変動がみられるが、これは温度の変化と対応している所とそうでない所とがある。温度変化と傾斜変化との相関は1~2月頃と6月頃に相関係数が0.6~0.7となった時期があったが、その他の時期の相関は悪かった。

図3.2.12は高免の半月ごとの傾斜ベクトルである。図中の矢印は鹿児島地方気象台のJMA-62F型地震計に $30\mu$ 以上の振幅を記録した爆発である。

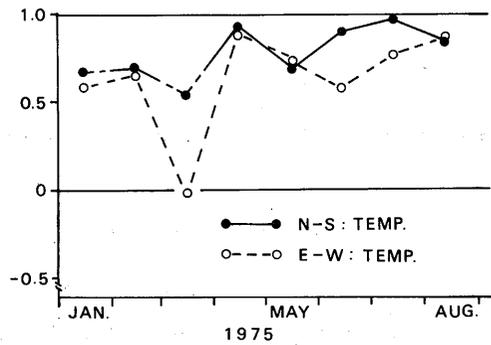


図3.2.10 高免における傾斜と温度の日変化量の相関(月毎)

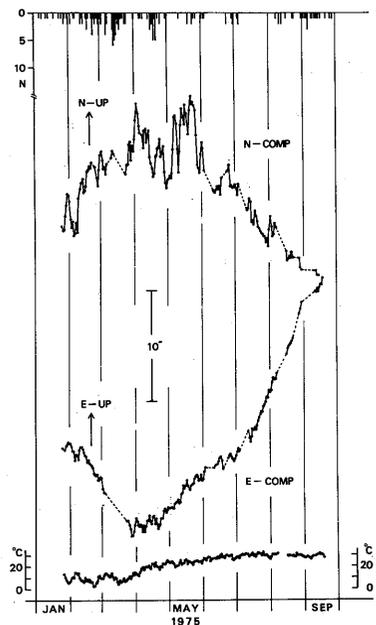


図3.2.11 高免における日別の傾斜変化、観測室内の温度( $^{\circ}\text{C}$ )、および桜島の爆発回数(N)

観測を実施した期間では、ほぼ北西～南東上りの大きな傾斜変動がある。火口は高免の南西方向にあるが、この方向への傾斜変化はほとんどみられない。北西～南東方向の傾斜変動量は約20秒で、これは春から夏にかけての南東上りによってもたらされたものである。冬から春にかけて約10秒の北西上りとなっている。

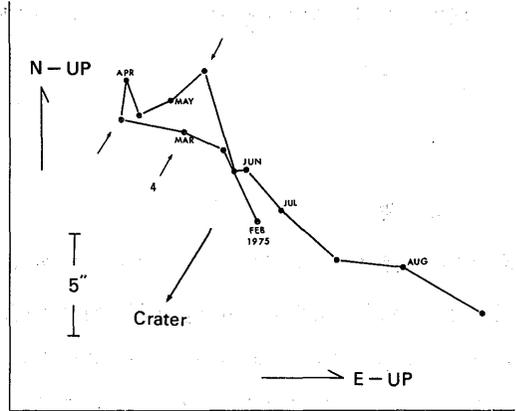


図3.2.12 高免における半月ごとの傾斜ベクトル。矢印は桜島の爆発、矢印に付けた数字は爆発回数

## 2.4 3地点における傾斜の比較

### 2.4.1 短期間の変化について

観測を実施した期間のうち、3観測点において順調に観測が行なわれた期間について傾斜を比較検討した。

図3.2.13は1975年3月23日から4月4日までの、有村、袴腰および高免における傾斜ベクトル（日平均値について示したもの）である。図中の矢印の所で爆発があった。矢印に付けた数字は爆発回数である。

この期間に最も大きい変化をしたのは高免で、南北に最大約6秒、東西に約2秒の傾斜があった。袴腰は北北東～南南西の方向に最大約3秒の変化があり、有村においては約0.05秒の南東上りであった。有村の変化量は袴腰、高免のそれと比べて約2桁小さい。

3地点の傾斜でよく似ている点は、傾斜ベクトルの顕著な変化は、ほとんど時を同じくして起こっていることである。

例えば、3月26～27日頃および4月2日頃には、明らかにベクトルの向きが大きく変わっている。又、袴腰と高免においては3月28日頃にもベクトルの向きが大きく変化しており、有村においても少し遅れてはいるが、そのような傾向がみられる。3月31日頃を見ると、有村と高免のベクトルの向きには明らかに大きな変化があり、一方、袴腰においては、向きにはほとんど変化はないが、ベクトルの大きさに顕著な変化が見られる。

このように、3地点の傾斜ベクトルの顕著な変化は、ほとんど時を同じくして起っている。

図3.2.13は1例にすぎないが、同様の傾向はかなりみられた。これらのことは、3地点の傾斜に影

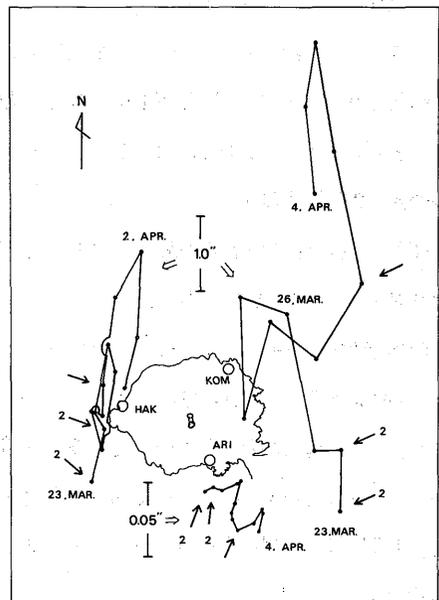


図3.2.13 有村、袴腰および高免の日別傾斜ベクトル

響をもたらすような何らかの要因があることを示唆している。

#### 2.4.2 年変化について

次に、3地点における傾斜ベクトルの年変化(図3.2.7, 図3.2.9, 図3.2.11参照)について検討する。まず、傾斜の南北成分についてみると、いずれの地点も春から夏にかけて南上り, 秋から冬にかけて北上りを示した。東西成分については、有村の2月から5月にかけての東上りが顕著である。高免では、これと対応する傾斜変化がみられるが、袴腰の傾斜変化は小さいものである。しかし、大局的にみると、3地点における傾斜ベクトルは、変化の大きい時期、小さい時期がそれぞれよく対応している。傾斜ベクトルの向きは必ずしも同一ではないが、春から夏にかけてと、秋から冬にかけての傾斜変化が大きいことは年変化における大きな特徴といえる。

### 2.5 傾斜変化と火山活動との関連

図3.2.7, 図3.2.9および図3.2.12には、各観測点の傾斜ベクトルと鹿児島地方気象台の地震計で30 $\mu$ 以上の振幅を記録した大きな爆発を示してある。

傾斜ベクトルの長期的変動をみると、袴腰と高免は観測期間が短いのでよくわからないが、有村においては北～北北西上りの傾向がみられ、ほぼ火口方向上りを示している。

大きな爆発の起こった時期と傾斜ベクトルには、特に特徴的なものはみられないようである。

第2章4.1節で述べたように、3観測点の傾斜ベクトルの大きな変化はほとんど時を同じくして起こった。このうち、図3.2.13の3月31日頃の例では有村と高免の傾斜ベクトルは、3月28～29日頃から火口方向下りの傾向にあったが、3月31日の爆発を境としたように、ベクトルの向きが明らかに変化した。袴腰は、この間、あまりはっきりした傾向はみられず、やや北上りであったが、爆発を境としたように大きな北上りを示した。

このように、爆発を境としたような顕著な傾斜ベクトルの変化は他にもいくつかみられた。

### 参 考 文 献

浜田信夫(1977): 桜島有村の傾斜観測(2). 火山2集, 22, 105.

## 第3章 阿蘇山

澤田可洋・田中康裕・中禮正明・古田美佐夫

### 3.1 はじめに

阿蘇山では有史時代に極めてひんぱんに噴火が発生している。最近の噴火は中岳の第1火口で起こっており、噴火形態はおもにストロンボリ式である。噴火による噴石は、遠方まで飛散することがほとんどないので、近年は火口周辺まで観光開発が進められており、火口近くでもAC電源を得ることができる。そこで、この火山においては、第1火口周辺の3地点にTM-1A型傾斜計を設置して、1975年12月から1977年1月までの約1年間観測を実施した。

### 3.2 観測点

図3.3.1に傾斜計を設置した3地点P, Q, Rを示してある。また、表3.3.1にはそれらの位置等を示してある。

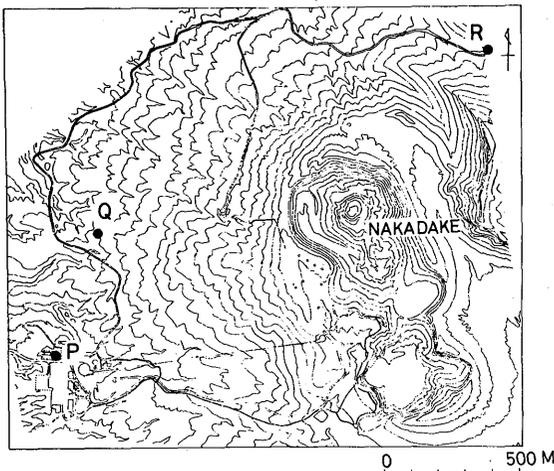


図3.3.1 阿蘇山の傾斜観測地点 (P, Q, R)

表3.3.1 阿蘇山の傾斜観測地点の位置と観測期間

地点名	北緯	東経	高度	火口からの距離・方位	観測期間
P (測候所)	N 32°52'36.978"	E 131°4'33.072"	m 1143.16	1.2km, S64W	1975年12月11日 ~1977年1月22日
Q (火口西側)	32°52'51.289"	131°4'39.080"	1151.38	0.9km, S85W	1975年12月11日 ~1977年1月15日
R (ロープウェイ東駅)	32°53'12.58"	131°5'34.25"	1270.4	0.8km, N39E	1976年2月1日 ~1976年12月31日

(R点の北緯, 東経, 高度は第1編の地形図による)

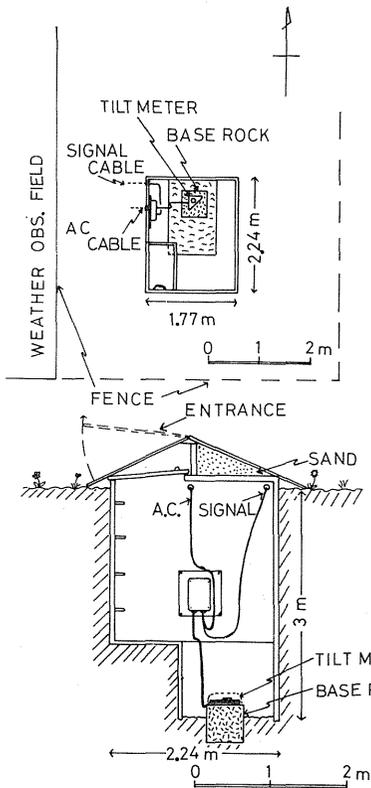


図 3.3.2 P 点観測坑の構造

P 点は阿蘇山測候所で、中岳第 1 火口の西南西約 1.2 km の距離にある。測候所の露場の脇に図 3.3.2 に示したような構造で 2.2 m × 1.7 m、深さ 3 m の穴を掘り、その底へ傾斜計を設置した。穴の壁はコンクリートブロックで固めてあり、底は土が露出している。底の一部に、しっかりした石を置き、傾斜計をのせる基台とした（第 1 章参照）。穴の天井は出入口を除き、コンクリートでふさぎ、その上に屋根をかぶせた（図 3.3.3）。

この観測坑は測候所の建物から約 20m 離れているので、その間に AC 用送電線と信号送信用ケーブルとを地中埋設し、記録は測候所の建物内で得られるようにした。

Q 点は中岳第 1 火口の西約 0.9 km の傾斜地

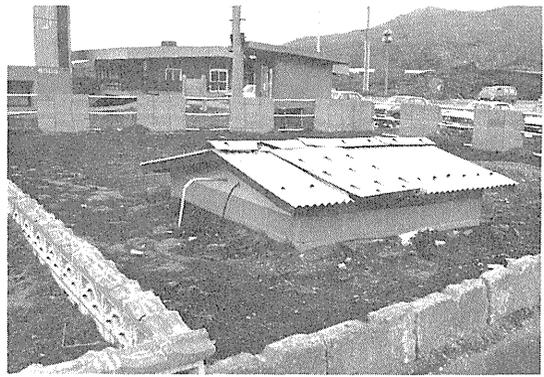


図 3.3.3 P 点観測坑の外観

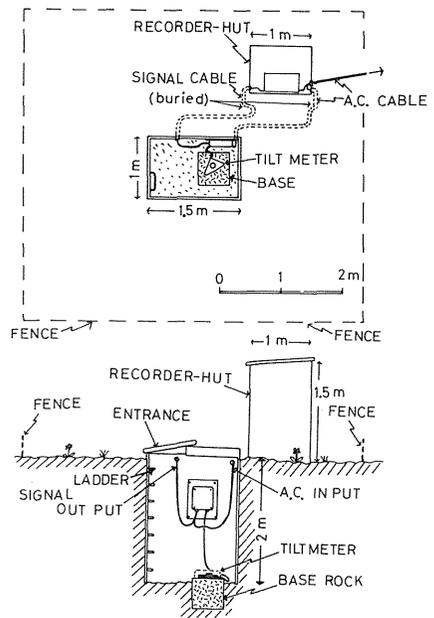


図 3.3.4 Q 点観測坑の構造

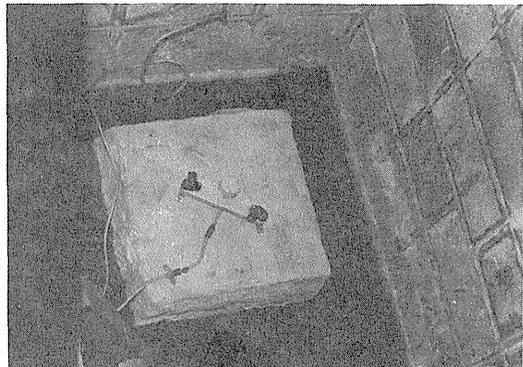


図 3.3.5 Q 点観測坑、基台に設置した傾斜計

にある。図3.3.4に示した構造で、1 m × 1.5 m、深さ2 mの穴を掘り、P点と同様な壁面構造とし、石の基台の上に傾斜計を設置した(図3.3.5)。また、この穴の近くの地上には1 m × 0.75 m、高さ1.5 mのコンクリートブロック製の小屋を建て、その中に記録器を設置した。

この地点は阿蘇山測候所の地震観測用A点のテレメータケーブルを張った電柱のそばにあるので、その電柱を利用して、測候所からQ点までの約450mの間をOV線を張ってAC電源を送った。電源電圧は約1.5割の電圧ドロップがあったので、Q点にスタビライザーを付けて電圧の安定化をはかった。

R点の中岳第1火口の北東約0.8 km、ロープウェー東駅の西約100mの位置にあり、まわりはほぼ平坦になっている。この地帯は溶岩流の跡で、観測点は、Q点とほぼ同様の構造で、固い溶岩に1 m × 1.5 m、深さ1 mの穴をあけ、底面の溶岩に傾斜計を設置した。穴のまわりにはコンクリートを張り、上面は木製の屋根をかぶせた。また、穴の近くの地上には、Q点と同じ仕様的小屋を建て、その中に記録器を設置した(図3.3.6)。



図3.3.6 R点観測坑の外観

電源はロープウェー東駅からVVR線を地中埋設して取り入れた。電源電圧には約1割の電圧ドロップがあったので、R点にはスタビライザーを付けて電圧を安定させた。

### 3.3 観測結果

各観測点の1年間の傾斜変化と、観測坑内の傾斜計周辺における気温(以下坑内温度と呼ぶ)の変化の状態を図3.3.7~図3.3.9に示す。各点の観測値は、第3編末尾の表(表3.3.2)にまとめて記載してある。

坑内温度は、観測を始めた時期と、約1年後の値とがほぼ同じで、各点とも冬期に低く夏期に高いという定常的な年変化が現われている。年間の温度変化の幅は、P点では15.2℃、Q点では24.5℃、R点では28.8℃であった。それらの値が各点で違うのは、

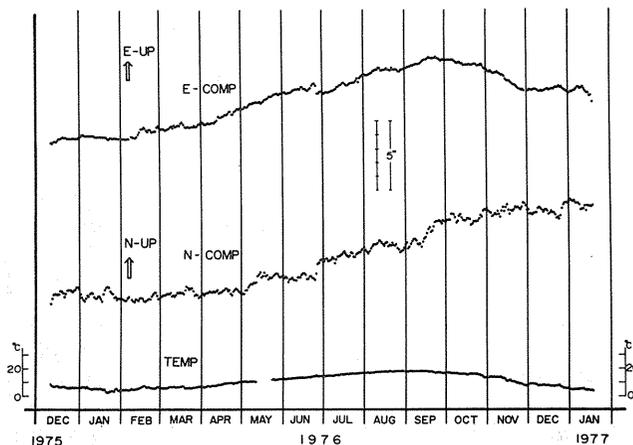


図3.3.7 P点における傾斜(N-COMPとE-COMP)および坑内温度(TEMP)の日別変化。矢印は上側が北側上昇または東側上昇を示す。

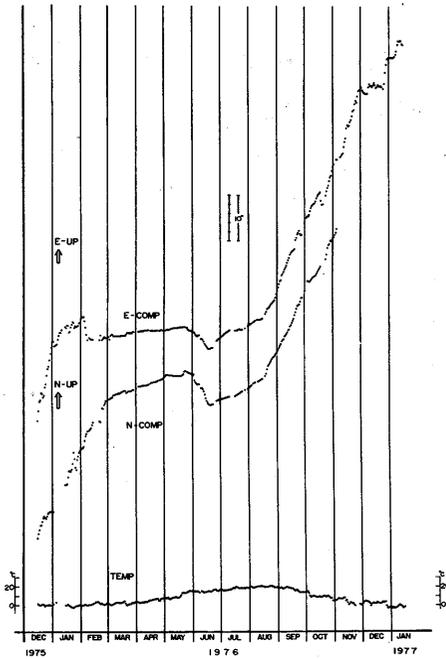


図 3.3.8 Q点における傾斜および坑内温度の日別変化。矢印等は図 3.3.7に同じ。

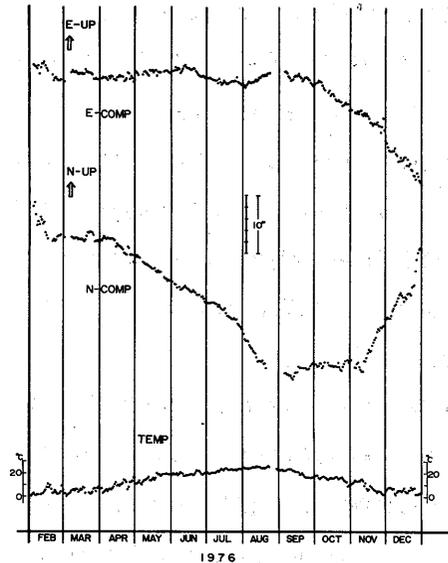


図 3.3.9 R点における傾斜および坑内温度の日別変化。矢印等は図 3.3.7に同じ。

観測点の高度や観測坑の構造、深さなどに影響されているためだと考えられる。

一方、傾斜の変化は、観測を始めた時期と、それ

から1年後では両者の値はかなりずれていて、坑内温度の変化のような明瞭な年変化はみられない。すなわち、1年間の傾斜変化量は、

P点では

N-S成分： 753mV (約 7.5 秒角)

E-W成分： 615mV (約 6.2 秒角)

Q点では

N-S成分： 8089mV (約 80.9 秒角)

E-W成分： 6762mV (約 67.6 秒角)

R点では

N-S成分： 3053mV (約 30.5 秒角)

E-W成分： 2055mV (約 20.6 秒角)

であった。この変化量は、一般の地殻変動観測で得られるものと比べて著しく大きく、季節変化によって生じる傾斜の変化量をもはるかに越えていると考えられる。また、火口に近いQ点とR点の傾斜変化量が、火口から遠いP点の値と比べてはるかに大きいので、この傾斜変化の源が火口付近にあるらしいことを示唆している。

各観測点における傾斜値について、N-S成分とE-W成分とを組み合わせで作った傾斜のベクトル変

化は図 3.3.10～図 3.3.12 のようになる。すなわち、

P点では、観測開始直後の1975年12月～1976年1月は南側上昇であったが、2月ころからは北東側上昇の傾向になり、さらに9月後半～10月から北西側上昇の動きに変わった。

Q点では、1976年1月以降北側上昇の動きを示したが、5～6月にかけてその方向が逆転し、7月以降は北東側上昇の動きが続いた。10月後半からは、傾斜の方向がやゝ変って東側（火口の方向）上昇の動きが続いた。

R点では、傾斜計設置直後の1976年2月後半～4月前半にかけて傾斜方向の逆転がみられたが、その後はほぼ火口の東側に当る南側上昇の動きが続いた。しかし、9月ころから10月末までは西側上昇の動きとなり、さらに、11月以降は北西側上昇の動きが続いた。

このように、3地点とも、活動火口である中岳第1火口、あるいはその北部方向が顕著な上昇を示していること、P点とR点では9～10月ころに大きく動きの方向が変化していることなど、傾斜変化には共通した内容が見られた。

上述の傾斜変化は異常であり、あるいは噴火に結びつくかもしれないという危機感があった。しかし、一

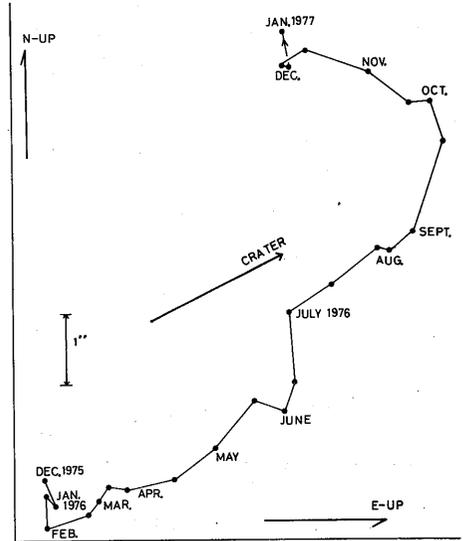


図 3.3.10 P点における半月ごとの傾斜のベクトル変化。縦軸、横軸の矢印は北側上昇、東または西側上昇を示す。図中の矢印は中岳第1火口方向を示す。

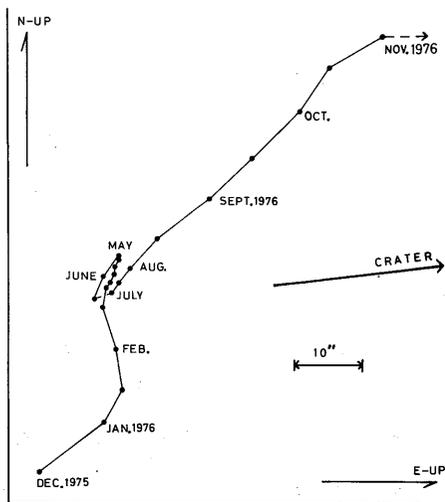


図 3.3.11 Q点における半月ごとの傾斜のベクトル変化。矢印等は図 3.3.10に同じ。

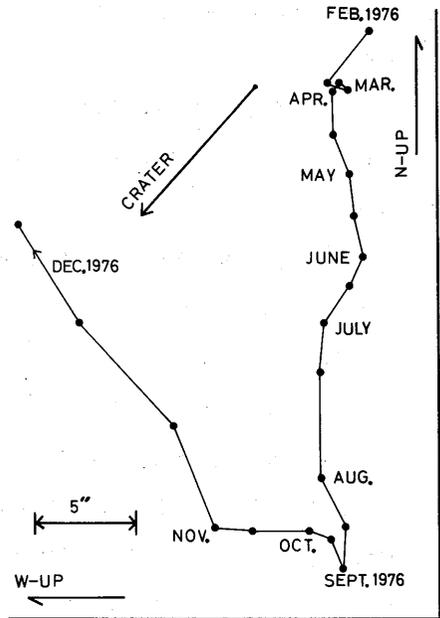


図 3.3.12 R点における半月ごとの傾斜のベクトル変化。矢印等は図 3.3.10に同じ。

連の年次計画にもとづく特別研究を遂行する必要上、この状況を関係気象官署へ知らせた上で阿蘇山での研究観測を終了させ、次の研究対象火山である伊豆大島へ傾斜計を移設した。そして、観測を終了して3ヶ月を経過した1977年4～7月にかけて、中岳第1火口は噴火した。

### 3.4 傾斜変化と気温変化

傾斜観測においては、気温の変化が著しい障害となっていることは良く知られている。そこで、一般には、傾斜計は深い孔の中や、深い壕の中に設置して気温変化の影響をさけている。

各点の1日あたりの傾斜変化状況を見ると、測候所の露場における気温（以下気温と呼ぶ）に最高、最低が現われた時刻か、またはそれより若干遅れて傾斜値の極値が記録されていることが多かった。また、坑内温度の1日の変化状況は、気温の場合と比べて著しく小さくなっているが、1日の気温の変化に対応する変動がみられることもあった。

こうしたことから、阿蘇山のP、Q、R点に掘った程度の観測坑では、地表における気温変化に伴う傾斜への妨害を完全に除去することができないことがわかる。

図3.3.13は、1976年7月6～7日におけるP点のN-S、E-W成分の傾斜値、坑内温度、気温を比較したものであって、傾斜の1日の変化が、極値の現われる時刻や変化の形態においてある程度のタイムラグをもって、気温の変化状況と対応づけられる例である。また、図3.3.14は、1976年9月9～10日のQ点の場合であって、両日とも雨天であったので、1日の気温変化が比較的小さく、かつ傾斜変化にも極大、極小が現われていない例である。

一方、1日の気温変化が大きくても、傾斜変化が著しいため、気温の影響が傾斜記録に現われず、一方向へ傾斜変化が進行しているようにみえる場合もある。

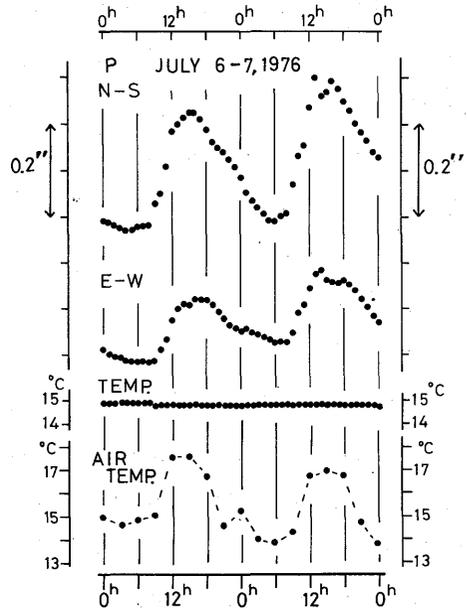


図3.3.13 P点における1日の傾斜（N-S、E-W）、坑内温度（TEMP）、気温（AIR TEMP）の変化の状況（1976年7月6～7日）。

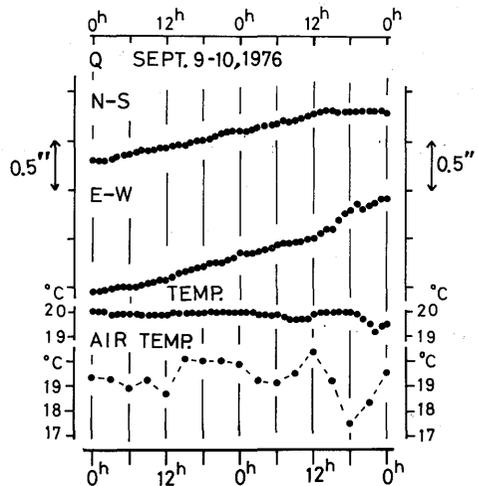


図3.3.14 Q点における1日の傾斜、坑内温度、気温の変化の状況。記号は図3.3.13に同じ（1976年9月9～10日）。

これらのケースも含め、気温変化が傾斜値に及ぼす影響の程度や、その現われ方には種々の形態があるので、気温変化による傾斜値への影響を除去することは単純ではない。

なお、傾斜および坑内温度の1日あたりの変化量(最大値と最小値との差。以下、日変化量と呼ぶ)の観測期間全体の平均は、

P点：0.2～0.3秒角，0.4℃

Q点：0.4～0.5秒角，1.5℃

R点：0.7秒角，2.3℃

であり、観測孔の深さが深いほど日変化量は小さく、値のバラつきも小さい。

図3.3.15は、各点の傾斜と坑内温度の日変化量の月平均を示したものである。傾斜の日変化量は、P点でははっきりした傾向はみられないが、Q点、R点では3～8月(あるいは9月)にかけて小さい。坑内温度は11月ごろQ点、R点で大きく、4月ごろR点で大きい。

図3.3.16は、気温と坑内温度との相関を月毎に求めたものであるが、両者は大勢としては良い関係にある。このことは、観測坑内でも坑内の気温は地表とほぼ同じように変動していることを示す。

図3.3.17は、坑内温度および傾斜値のそれぞれの日変化量の相関を月毎に求めたものである。相関

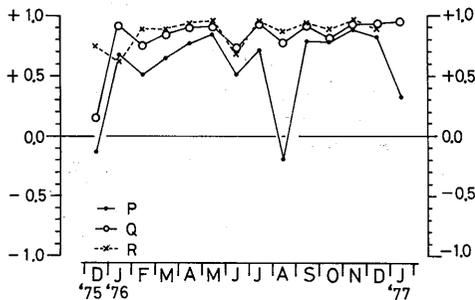


図3.3.16 測候所における気温と、各点における坑内温度との相関係数の月別変化。

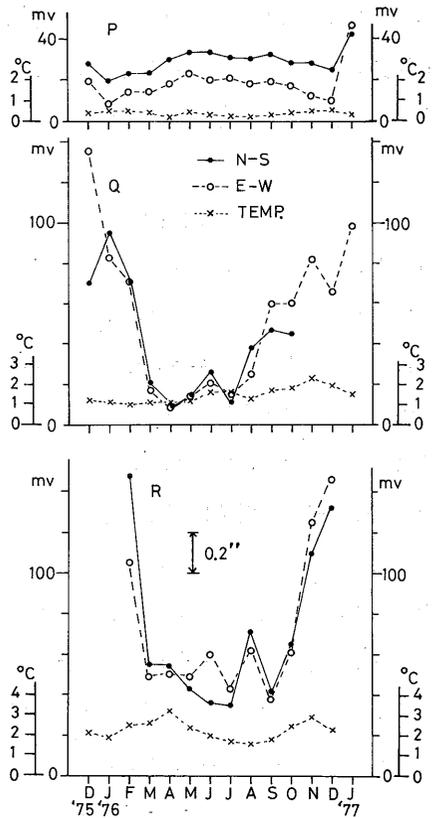


図3.3.15 各点(上からP, Q, R点)における傾斜(黒丸はN-S, 白丸はE-W成分)および坑内温度(×印)の日変化量の月別変化。

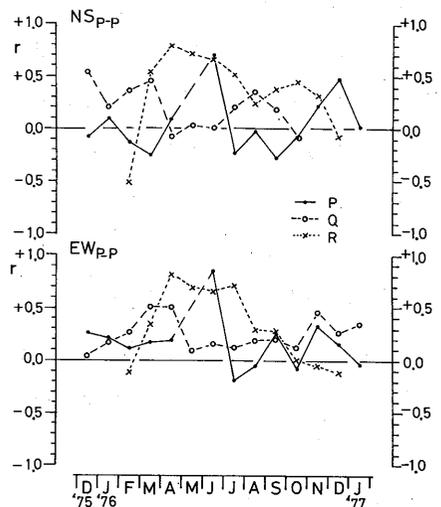


図3.3.17 各点における傾斜の日変化量と坑内温度の日変化量との相関係数の月別変化。

係数は正、負の領域にかなり分散しており、季節的变化は認められない。このことは、傾斜変化は気温の変化だけに左右されているのではなく、多分、火山活動によって生じたものであることを示唆する。

なお、傾斜観測を海岸近くで行うと海洋潮汐の影響を受けるが、阿蘇山のような内陸ではその心配はない。また、地球潮汐については該当するものを記録させる程、傾斜計の感度を上げてないので、考慮しなかった。

### 3.5 降雨および日照の影響

図 3.3.18 は、1日の雨量と傾斜の日変化量の相関を月毎に求めたものである。5～9月には月の雨量が300mmをこえ、6月には600mmをこえているが、両者の間には良い相関はみられない。これは、降雨が傾斜の変化に著しく影響を及ぼすことがなかったためだと考えられる。

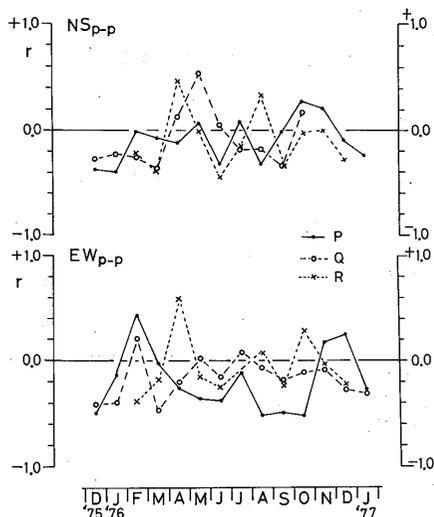


図 3.3.18 各点における傾斜の日変化量と、測候所における1日の雨量との相関係数の月別変化。

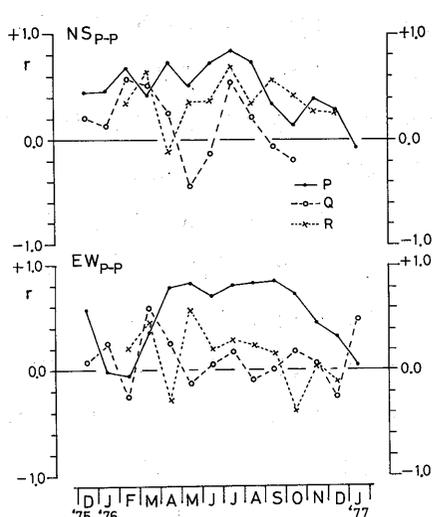


図 3.3.19 各点における傾斜の日変化量と、測候所における1日の日照時間との相関係数の月別変化。

図 3.3.19 は、1日の日照時間と傾斜の日変化量の相関を月毎に求めたものである。P点では、N-S成分は4月と6～8月、E-W成分では4～9月にかけて相関がやゝ良く、日照が傾斜の変化に影響を及ぼしたことを示すと考えられるが、Q点、R点では良い相関はみられない。

### 3.6 火山活動と傾斜との関係

観測期間中に噴火はなかったが、観測開始初期の1975年12月～1976年1月にかけては降灰を含む噴煙噴出があり、火山性地震発生の頻度もかなり多い時期であった。傾斜ベクトルの変化をみると、P点、Q点では1976年1月あるいは2月以降その方向がやゝ異なっているため、これは1976年1月以降噴煙噴出がおさまっていった時期と対応する現象かも知れない。

その後は有感の火山性地震が、4月、7月、9月に夫々1回発生した程度で、火山活動はおだやかであ

った。しかし、1976年8～9月ごろから各点で傾斜ベクトルの方向に変化が生じたり、あるいは傾斜変化が大きくなるという状態が生じた。この現象は10月ごろからさらに著しくなっていた。

図3.3.20は、3地点の傾斜ベクトルの変化を同一スケールで地図上に示してある。3点の傾斜変化と火口の位置との関係がわかり、傾斜ベクトルは火口の北側の地域を向く動きが著しい。

1976年10月以降は、傾斜変化が著しく、気温変化による影響が傾斜の記録にほとんど現われていない。この時期の傾斜の日変化量は1日の傾斜の変化量そのものを示すと考えてよい。図3.3.21には、1976年10月以降の傾斜の日変化量の10日毎の平均値が、各観測点の火口からの距離に対してプロットしてある。

3点を直接比較することに問題はあるが、火口に近い程値が大きくなっているため、火口付近に原因を有する火山性の傾斜変化を検出していたことを示すものであろう。

1976年秋以降の著しい傾斜変化は、3.3節で述べたように、1977年4～7月にかけて発生した中岳第1火口の噴火活動と密接に関連する現象であったと考えられる。

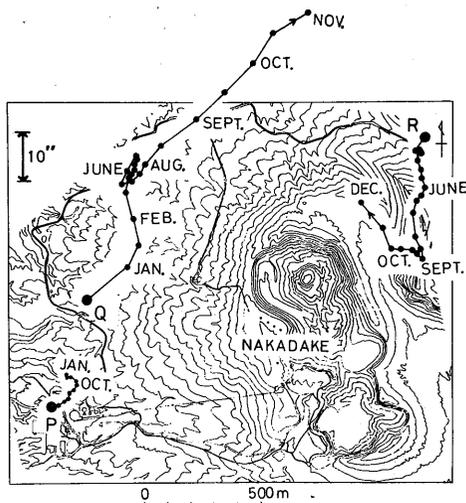


図3.3.20 傾斜ベクトルの変化

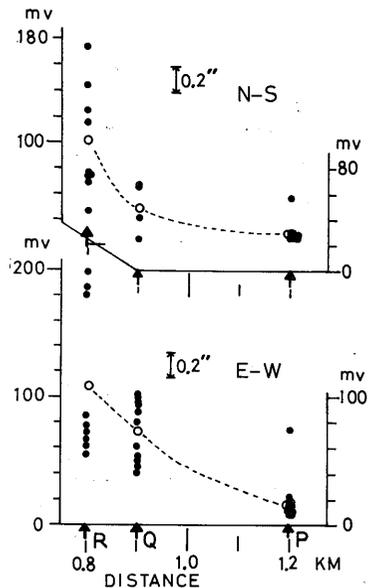


図3.3.21 1976年10月以降の、火口からの距離(横軸)に対する各観測点の傾斜の日変化量。白丸は平均値を示す。

## 第4章 伊豆大島

澤田可洋・田中康裕・古田美佐夫・中禮正明

### 4.1 はじめに

伊豆大島は、我が国では数少ない玄武岩質岩石で構成される活火山島である。最近の噴火はカルデラ内の三原山山頂火口で生じている。1950～1951年には溶岩流出を伴う大規模な噴火があって、以降噴火が断続したが、1974年の小噴火を最後に噴火は起こっていない。

火口周辺ではAC電源を得る上で制約があったため、カルデラ縁が火口に最も近い観測点となった(図3.4.1のA点)。ここにはTM-1 B型に加工したBU-76型傾斜計を設置し、また、カルデラ縁の南西～北側山ろくの3地点にTM-1 A型傾斜計を設置して、計4点で1977年2月から1978年3月までの約1年間観測を行った。

### 4.2 観測点

傾斜計を設置した4地点P, Q, R, Aを図3.4.1に示す。また、それらの位置等は表3.4.1に示してある。

P点は、大島測候所構内で、三原山の北々西約4.8 kmの距離にある。庁舎から約7 m離れた斜面に図3.4.2に示したような構造で3 m×1 m、高さ1.5 mの横穴を掘り、最奥部は土を露出させて基台となる石を固定し、そこへ傾斜計を据え付けた。天井、壁は鉄筋コンクリートで、入口には木製ドアを付



図3.4.1 伊豆大島の傾斜観測地点  
(P, Q, R, A)

表 3.4.1 伊豆大島の傾斜観測地点の位置と観測期間

地点名	北緯	東経	高度	火口からの距離・方位	観測期間
P (測候所)	$34^{\circ}45'46.657''$	$139^{\circ}22'38.777''$	188.44	4.8 km, N22 W	1977年2月19日 ～ 6月30日
Q (湯場)	$34^{\circ}45'16.153''$	$139^{\circ}23'50.250''$	437.92	3.9 km, N01 E	1977年2月19日 ～1978年3月6日
R (ピラ大島)	$34^{\circ}42'16.0''$	$139^{\circ}22'19.2''$	122.1	3.1 km, S48 W	1977年2月18日 ～1978年1月31日
A (御神火茶屋)	$34^{\circ}44.8'$	$139^{\circ}23.7'$	597	1.7 km, N46 W	1977年5月19日 ～1978年1月13日

(R点の北緯, 東経, 高度は, 国土地理院1/5万地形図による)

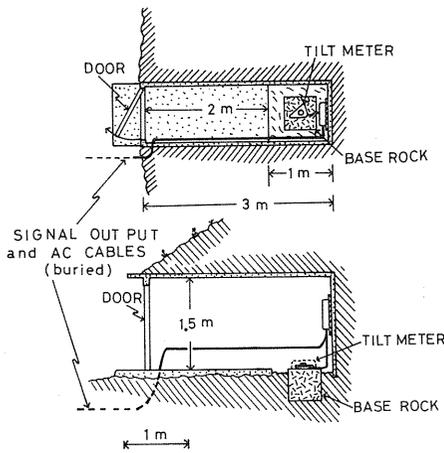


図 3.4.2 P点観測坑の構造

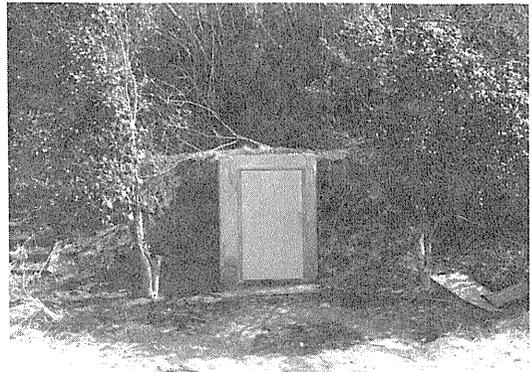


図 3.4.3 P点観測坑の外観

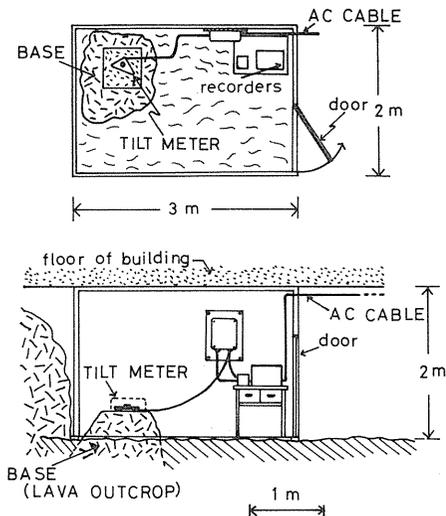


図 3.4.4 Q点観測室の構造

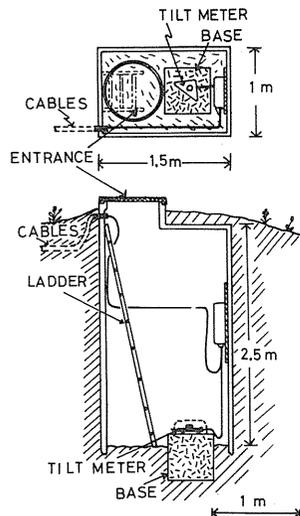


図 3.4.5 R点観測坑の構造

けた(図3.4.3)。

測候所との間にはAC電源と信号用ケーブルを地中埋設し、記録は測候所の建物内で得られるようにした。

Q点は、三原山の北約3.9 kmにある大島湯場福祉センターの建物床下に図3.4.4に示すように、2 m × 3 m、高さ2 mの小屋をつくり、床下にある溶岩露頭の上を平坦にして傾斜計の基台とした。室内にはAC電源を引き込み、記録は室内で得るようにした。

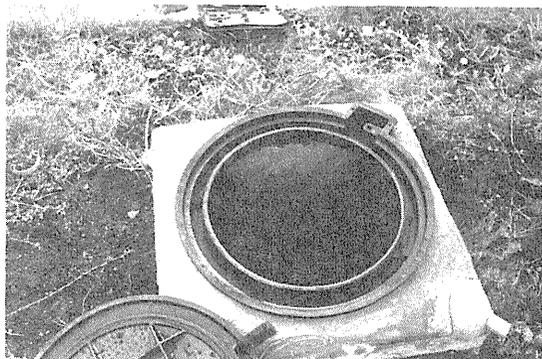


図3.4.6 R点観測坑の外観

R点は、三原山の南西約3.1 kmにあるジャパンビラ大島の構内で、海岸線から約800mの地点にある。観測坑は図3.4.5に示したような構造であり、1 m × 1.5 m、深さ2.5 mの縦穴を掘り、土を露出させた底には基台となる石をしっかりと固定して、傾斜計を据え付けた。壁および天井は鉄筋コンクリートで、天井には直径約60 cmの鉄製の円形出入口をつくった(図3.4.6)。

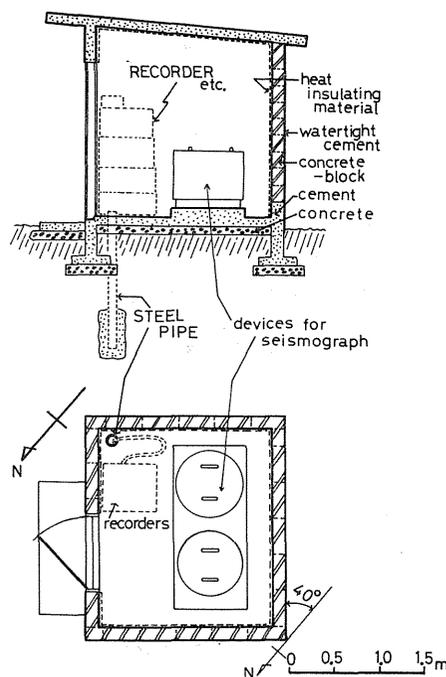


図3.4.7 A点の傾斜計設置状況

AC電源および信号用ケーブルは、地中埋設して約5 m離れた建物と結び、記録はその室内で得るようにした。なお、ここでの観測はE-W成分だけである。

A点は、三原山の北西約1.7 kmのカルデラ縁上の御神火茶屋付近にある大島測候所の火山性震動観測用中継点の小屋内に図3.4.7のようにBU-76型傾斜計を設置した。すなわち、中継点小屋(2 m × 2.3 m、高さ2 m)

の床に内径93.2 mm、長さ1.5 mの炭素鋼管を垂直に埋めて固定し、この管内に傾斜計を入れて、28メッシュの川砂で突き固めて据え付けた。記録は中継点の室内で得るようにした。

### 4.3 観測結果

各観測点において観測した傾斜変化および観測坑(または観測室)内における気温変化の状態を図3.4.8~図3.4.11に示した。なお、各点の観測値は本編末尾の表3.4.2にまとめてある。

傾斜計周辺の気温(以下P, R点については坑内温度, Q, A点については室内温度と呼ぶ)の変化は、夏に高く冬期に低いという年変化がみられ、Q点, R点では年間の温度変化の幅はそれぞれ24.2℃, 16.2℃である。この違いは、観測坑(室)の構造および深さが主な原因であろう。

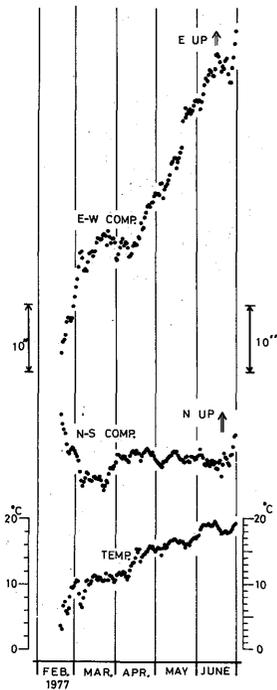


図 3.4.8 P点における傾斜(N-S COMPとE-W COMP)および坑内温度(TEMP)の日別変化。矢印は上側が北側上昇または東側上昇を示す。

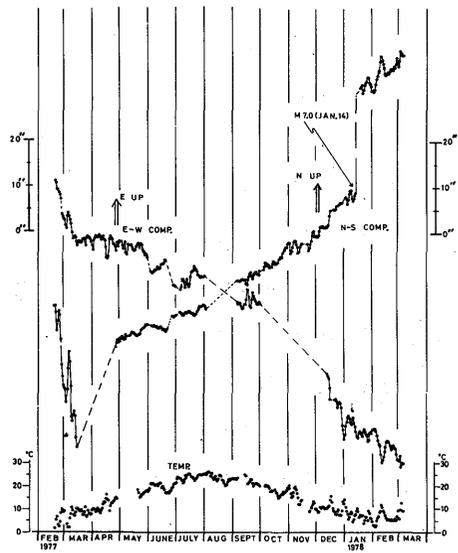


図 3.4.9 Q点における傾斜および室内温度の日別変化。矢印等は図3.4.8に同じ。図中、M7.0は「1978年伊豆大島近海地震」発生を示す。

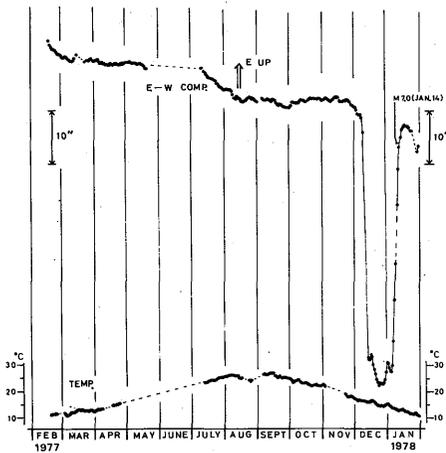


図 3.4.10 R点における傾斜および坑内温度の日別変化。矢印等は図3.4.9に同じ。

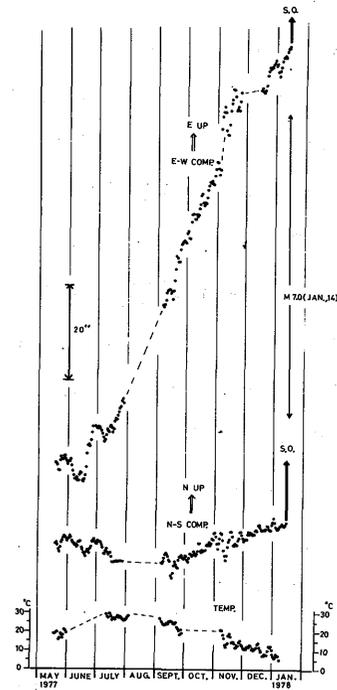


図 3.4.11 A点における傾斜および室内温度の日別変化。矢印等は図3.4.9に同じ。

一方、各点の傾斜変化には坑(室)内温度の場合のような年変化はみられず、Q点、R点のように、観測を開始した時期と、ほぼ1年を経過した観測終了時とではその値が大きく変っている。このことは、期間が短いA点、P点の場合についても同様と思われる。

各点における観測期間中の傾斜の変化量は、

- P点 N-S成分： 909mV (約 9.1秒角)
- E-W成分： 4,713mV (約 47.1秒角)
- Q点 N-S成分： 8,699mV (約 87.0秒角)
- E-W成分： 6,257mV (約 62.6秒角)
- R点 E-W成分： 6,401mV (約 64.0秒角)
- A点 N-S成分： 1,329mV (約 13.3秒角)
- E-W成分： 8,946mV (約 89.5秒角)

(ただし、1978年1月14日の地震の際スケールオーバーした。)

であった。

各点における傾斜変化量は大きく、季節変化が傾斜に及ぼす影響をはるかに越えていると思われる。しかし、火口からの距離と特に関係はないので、少なくとも、火口周辺に原因をもつ傾斜変化によるものではないと考えられる。

なお、1978年1月14日、当火山の西北西約10kmの海底で「1978年伊豆大島近海地震」(M7.0)が発生したが、この地震に伴ない、図3.4.9および図3.4.11にみられるように、Q点では約23秒角に及ぶ北側上昇の傾斜のステップが生じ、A点では北側上昇および東側上昇のセンスでスケールオーバーした。

また、R点では地震発生約1ヶ月前の1978年12月はじめから急激な西側上昇という動きが始まり、地震発生に先立ち再び元の傾斜値のレベルに向かって戻ってゆくという現象が生じている。この変

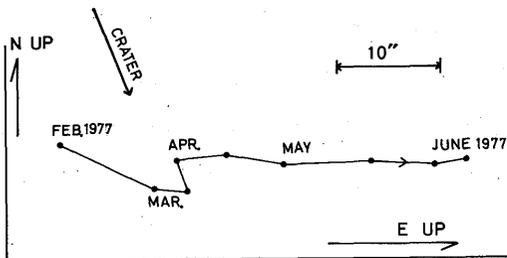


図3.4.12 P点における半月ごとの傾斜ベクトル変化。縦軸、横軸の矢印は北側上昇、東または西側上昇を示す。図中の矢印は三原山火口方向を示す。

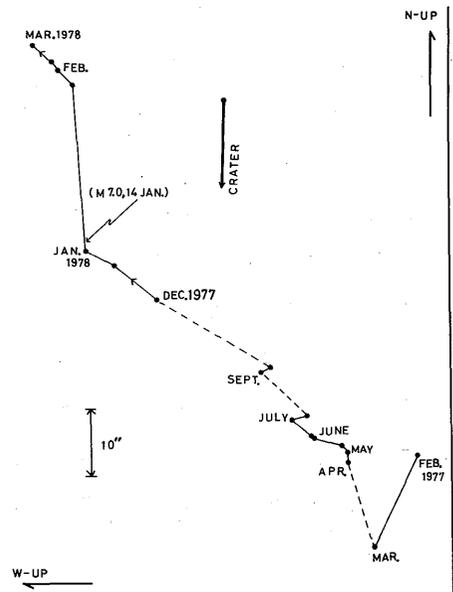


図3.4.13 Q点における半月ごとの傾斜ベクトル変化。矢印等は図3.4.12に同じ。図中のM 7.0は図3.4.9に同じ。

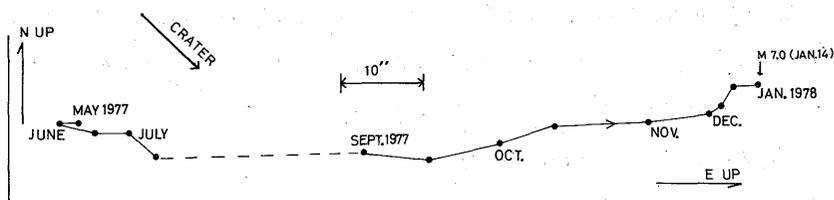


図 3.4.14 A点における半月ごとの傾斜ベクトル変化。矢印等は図 3.4.12 に同じ。

動は 52 秒にも及ぶ大きなものであるが、他の地点では検出されていない。

各観測点について、両成分の値を組み合わせて求めた傾斜ベクトルの変化を図 3.4.12～図 3.4.14 に示す。

P 点では、3 月にやゝ変化があるものの、ほゞ東側上昇の動きが継続した。

Q 点では、初め南西側上昇の動きがあったが、3 月以降はほぼ北西側上昇の動きが続いており、1978 年 1 月の地震に伴って傾斜にステップが生じた後もその傾向に変わりはみられない。

R 点は、E-W 成分の動きをみるかぎり大勢としては西側上昇の動きが続いた。

また、A 点では、P 点と同様に東側上昇という動きがずっと続いた。

このように、各地点の傾斜ベクトルがまとまった方向を向くことはなく、また、R 点以外には 1978 年 1 月の地震発生前後で傾斜変化の方向が著しく変ることはなかった。

#### 4.4 傾斜変化と気温変化

地表の気温変化の影響を小さくするために、傾斜計を観測坑 (P 点, R 点)、建物の床下 (Q 点)、地中埋設 (A 点) などに設置する方法がとられた。

しかし、各点では、測候所の露場で観測された気温 (以下気温と呼ぶ) に最高、最低が現われた時刻あるいはその後に 1 日の傾斜変化にも極値が現われることが多かった。P 点, R 点では坑内温度の 1 日の変化は、地表における気温の 1 日の変化に比べて著しく小さくなった。しかし、Q 点, A 点では 1 日の気温変化に対応する室内温度の変化が現われており、1 日の傾斜変化にもその影響が現われることが多かった。

したがって、R 点のような観測方式で、傾斜計周辺の気温変化を小さくすることは極めて効果的であったが、気温変化が傾斜に及ぼす影響を除去できるまでには至らなかった。

図 3.4.15 は、1977 年 5 月 17～18 日 (天気は晴れ、および晴れのち曇) における P 点の傾斜 2 成分、坑内温度、気温の変化を対応させたものである。気温の最低、最高が現われた 3～5 時間後に傾斜や坑内温度に極大、極小が生じており、時間的なズレがあるものの、それぞれの変化の量や、変化の様子が対応づけられる例である。

しかし、1 日の気温変化が大きくてもその影響が傾斜変化に現われない場合もあるので、気温による傾斜への影響を補正する際には検討を要する。

観測期間における傾斜および坑 (室) 内温度の 1 日あたりの変化量 (最大値と最小値との差。以下、日

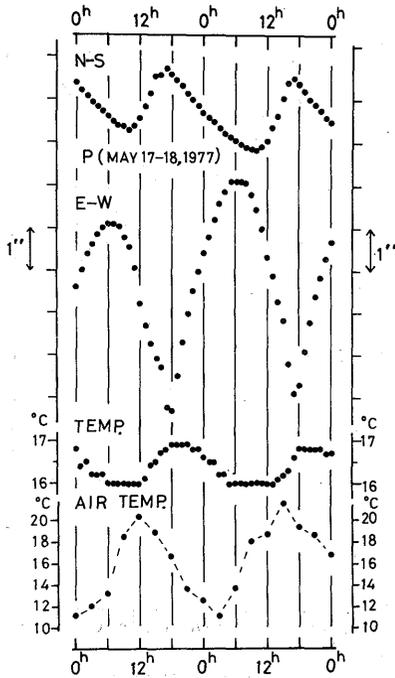


図 3.4.15 P 点における 1 日の傾斜 (N-S, E-W), 坑内温度 (TEMP) の変化状況と気温 (AIR TEMP) の変化状況 (1977年5月17-18日)

変化量と呼ぶ)の平均は,

P 点 : 1.0 秒角 (N-S 成分), 2.0 秒角 (E-W 成分), 1.0 °C

Q 点 : 1.2 秒角 (両成分), 1.6 °C

R 点 : 0.7 秒角 (E-W 成分), 0.4 °C

A 点 : 1.2 秒角 (N-S 成分), 1.5 秒角 (E-W 成分), 3.0 °C

であって, 縦坑である R 点で傾斜および坑内温度の日変化量が最も小さい。

図 3.4.16 は, 傾斜および坑(室)内温度の日変化量の月平均を示したものである。Q 点で 6 月前後に小さくなる傾向があるものの, 各地点である時期には共通して変化するという日変化量の季節変化ともいえるものはみられない。

図 3.4.17 は, 気温と, 各点の坑(室)内温度との相関を月毎に求めたものである。Q 点では大勢として両者の間に良い関係が認められ, A 点でも 7 月, 9 月を除けばある程度相関が良い。しかし, P 点, R

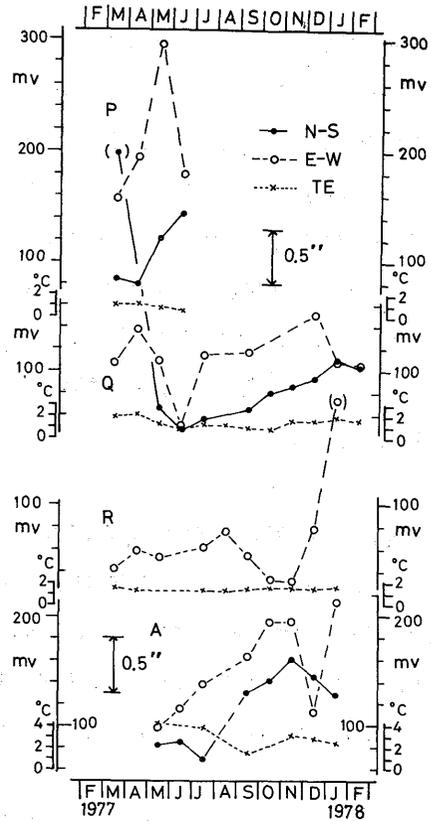


図 3.4.16 各点 (上から P, Q, R, A 点) における傾斜の日変化量 (黒丸は N-S, 白丸は E-W) および坑(室)内温度の日変化量 (×印) の月別変化。

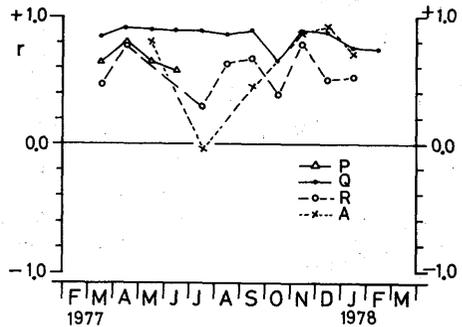


図 3.4.17 測候所における気温と, 各点における坑(室)内温度との相関係数の月別変化。

点では一時期は別として良い相関はみられない。

図3.4.18は、傾斜と坑(室)内温度の両者の日変化量の相関を月毎に求めたものである。両成分とも主に正の相関の領域に求められた。Q点のE-W成分のほかは、7~11月に相関が悪くなる傾向があるので、これは季節変化を示す現象かも知れない。ただし、1978年2月のQ点以外は、両者の間に良い相関は認められないので、傾斜変化が気温変化だけに左右されたのではないと言える。

#### 4.5 降雨, 日照および気圧の影響

1日の雨量と、傾斜の日変化量との相関を月別に求めたものが図3.4.19である。1977年3, 6, 8, 9月には月の雨量が300mmをこえているが、相関係数は正, 負の領域に分散しており、両者の間に良い関係はみられない。

図3.4.20には、1日の全天日射量と傾斜の日変化量との月別の相関を示した。両者の関係はほぼ正の相関の領域に求められたが、1977年5月におけるP点の例を除けば、両者の間にはっきりした傾向はみられない。

なお、図3.4.21は1日の気圧と、傾斜の日変化量との月毎の相関である。両者の関係は、正, 負の領

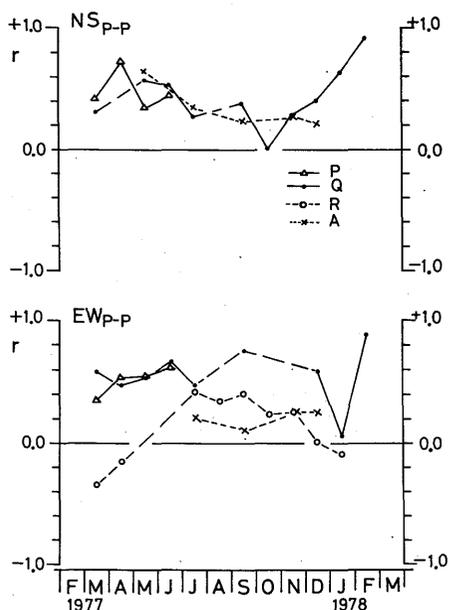


図3.4.18 各点の傾斜日変化量と坑(室)内温度日変化量との相関係数の月別変化。

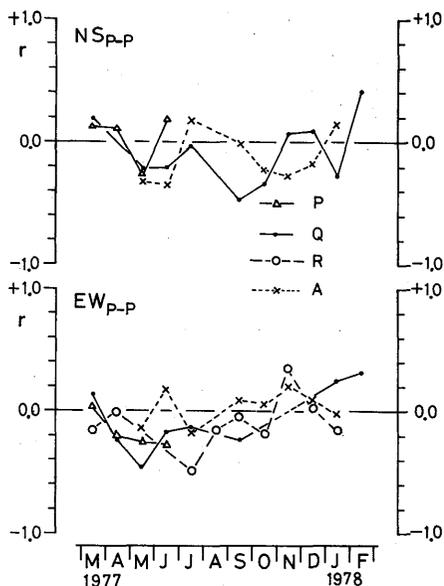


図3.4.19 各点の傾斜日変化量と、測候所における1日の降雨量との相関係数の月別変化。

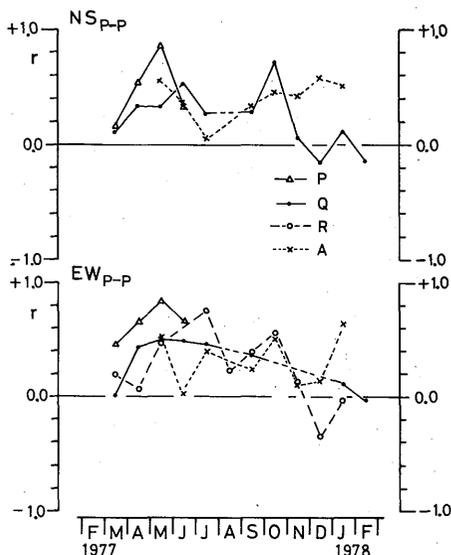


図3.4.20 各点における傾斜日変化量と、測候所における1日の全天日射量との相関係数の月別変化。

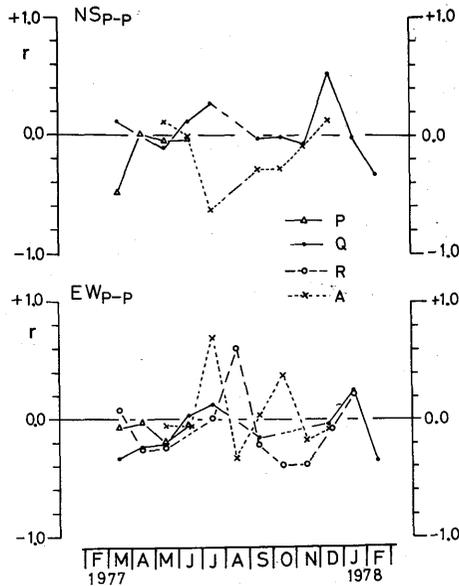


図 3.4.21 各点における傾斜日変化量と、測候所における1日の平均気圧との相関係数の月別変化。

域にかなり分散しており、良い相関は認められない。

これらのことから、降雨、日照量、気圧の変化が1日の傾斜変化に著しく大きな影響を与えることはなかったといえる。

#### 4.6 火山活動および地震活動との関係

観測期間中、三原山火山口では全く噴火活動がなく、異常な表面現象もなかった。

しかし、伊豆大島周辺における地震活動はかなり活発であって、1977年3月には地震発生の頻度がやゝ多く、10～11月にかけては群発地震活動が発生した。そして1978年1月14日にはM7.0の地震が発生し、その前震および余震活動が活発であった。

P点およびQ点では、図3.4.12と図3.4.13とからわかるように、1977年3～4月にかけて傾斜ベクトルが変化しており、R点では3月以降E-W成分の変化がやゝ小さくなった(図3.4.10)。この現象を、3月の地震活動に対応させることは、これよりはるかに活発な10～11月の群発地震活動の際著しい変化が生じていないので無理であろう。むしろ、この現象は坑内あるいは周辺の状況が安定するまでの変動であるかも知れない。

図3.4.22は、各点の傾斜ベクトルを同一スケールで示したものである。この図において、1977年5月以降をみると、Q点の傾斜ベクトルは北西側上昇を示し、他方、A点の傾斜ベクトルは東側上昇を続けている。そして、「1978年伊豆大島近海地震」の際、Q点では北側上昇のステップが生じ、A点では北東側象限上昇でステップ(スケールオーバー)し、R点ではわずかながら東側上昇のステップがあった。

この地震の発震機構(気象庁(1978))から、P波節線の一つとして、P点とA点の間をほぼ東西方向に通るものが得られている。そしてP点側では地震の初動が押し、A点側は引きの領域となっている。こ

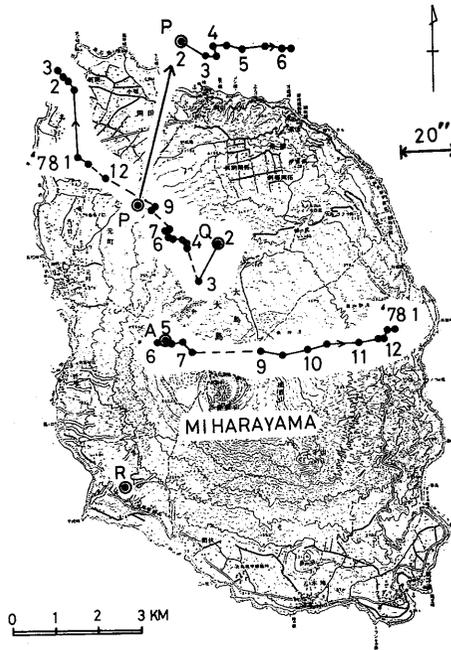


図 3.4.22 傾斜ベクトルの  
変化。図中の数字は年、月をあらわす。

れは、Q点とR点、A点とでステップの様子が異なることと調和する現象かも知れないが、さらに検討を要する。

### 参 考 文 献

気象庁地震課地震予知情報室(1978): 1978年伊豆大島近海地震について. 地震予知連絡会会報, 20, 45-50.

## 第5章 浅間山

澤田可洋・田中康裕・古田美佐夫・中禮正明・軽井沢測候所\*

### 5.1 はじめに

浅間山は山頂火口で激しいブルカノ式噴火を起こす我が国有数の活火山である。有史時代の噴火では、1783年の溶岩流や火砕流を伴った大規模な噴火（天明の大噴火）が有名である。噴火はひんぱんに起こるが、最近では、1973年2～5月にかけての一連の小噴火活動を最後に、顕著な表面現象は発生していない。

軽井沢測候所には、1973年8月、火山観測の目的で双軸型傾斜計（TM-1A型）が設置され、現在に至っている（神宮、1976）。

この火山では、測候所における傾斜変化状況と比較・検討することも含め、山頂火口の北および北東側と、南々西側山ろくとの3ヶ所にTM-1A型傾斜計を設置して、1978年4月から研究観測を開始した。

当火山の傾斜観測は、1979年1月現在継続中であるが、ここでは1978年12月までの各地点の傾斜変化の状況等について得られている成果を報告する。

### 5.2 観測地点

傾斜計を設置したP、Q、R点と測候所（O点）の分布を図3.5.1に示す。それぞれの位置等を表3.5.1に示す。

P点は、火口の北々東約3.6 kmで、群馬県長野原町町営浅間園の建物の地下である。ここは、地面（溶岩）を露出させ、周囲を鉄筋コンクリート壁で囲った地下室である。既設の地震計用鉄筋コンクリート基台（1 m × 1 m、高さ1.5 m）を利用して傾斜計を据え付け、記録は屋内配線により別の室内で得るようにした。観測開始後、周辺は倉庫として改造されたため、日中や夜温度変化が大きくなった。

Q点は、火口の北東約5.5 kmで、第一観光開発ハイランド敷地内である。図3.5.2に

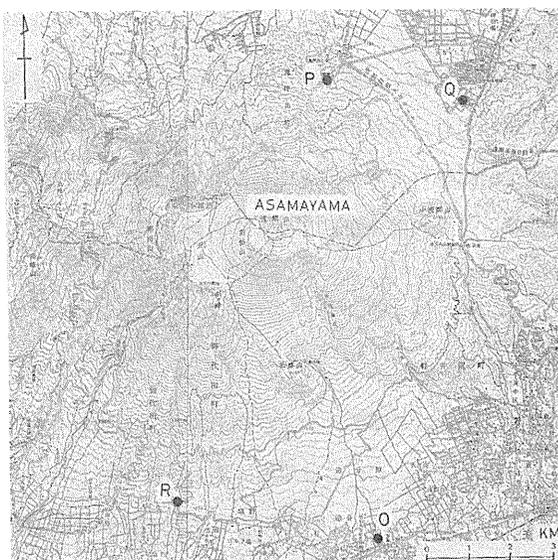


図3.5.1 浅間山の傾斜観測地点分布図（P、Q、R、O）

\* 浅間山の傾斜観測用O点の観測および資料整理を担当

表 3.5.1 浅間山の傾斜観測地点の位置と観測期間

地点名	北緯	東経	高度	火口からの距離・方位	観測期間
P (浅間園)	36°26'09.8"	138°32'13.8"	1403.3	3.6 km, N19E	1978年4月21日 ～ (継続中)
Q (ハイランド)	36°25'54.9"	138°34'24.3"	1300.7	5.5 km, N57E	1978年4月19日 ～ 7月11日
R (草地試験場)	36°20'47.4"	138°29'49.3"	1045.6	6.8 km, S21W	1978年4月18日 ～ (継続中)
O (測候所)	36°20'21.0"	138°33'01.1"	999.8	7.6 km, S18E	常時観測

(各点の北緯, 東経, 高度は国土地理院 1/5万地形図による)

示すように 1 m × 1.5 m, 深さ 3 m の縦穴を掘り, 土を露出させた底に基台となる石をしっかりと固定し, 傾斜計を設置した。壁および天井は鉄筋コンクリートで, 天井には直径約 60 cm の鉄製の円形出入口をつくった(外観は図 3.4.6 とほぼ同様である)。

AC電源および信号出力は, 約 2 m 離れた作業室と, 地中埋設したケーブルで結び, 記録は室内で得るようにした。

R点は, 火口の南々西約 6.8 km の草地試験場山地支場構内で, 図 3.5.2 と同一構造の観測坑を造って傾斜計を据え付けた。

AC電源は, 約 4 m 離れた庁舎別棟から地中埋設したケーブルで取り入れ, 信号出力はやはり地中埋設したケーブルにより約 20 m 離れた庁舎内まで隔測して, そこで記録を得るようにした。

O点は, 火口の南々東約 7.6 km の軽井沢測候所で, 庁舎内の地震計台上に傾斜計を設置, 記録も同台上で得ている。

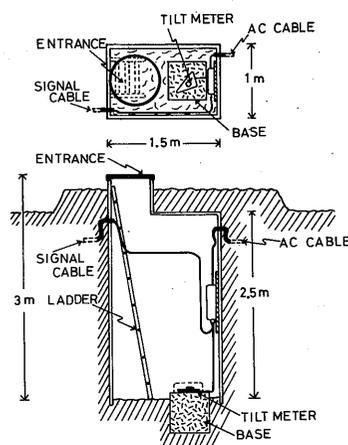


図 3.5.2 観測坑の構造 (Q点およびR点)

### 5.3 観測結果

各観測点における傾斜, および傾斜計周辺の気温〔以下, P点については室内温度, Q, R点については坑内温度, O点については気温(測候所露場における気温を用いた)と呼ぶ。〕の変化の状況を図 3.5.3～図 3.5.6 に示した。1978年12月までの各点の観測値は, 本編末の表 3.5.2 にまとめてある。

なお, O点については 1977年4月以降の資料も合わせ示してある。

O点の気温の変化は, 夏期に高く冬期に低いという季節変化を繰り返しており, P点の室内温度にも同様の季節変化がみられる。Q, R点は, 観測期間が短い, 夏期に向かって坑内温度が上昇しており, や

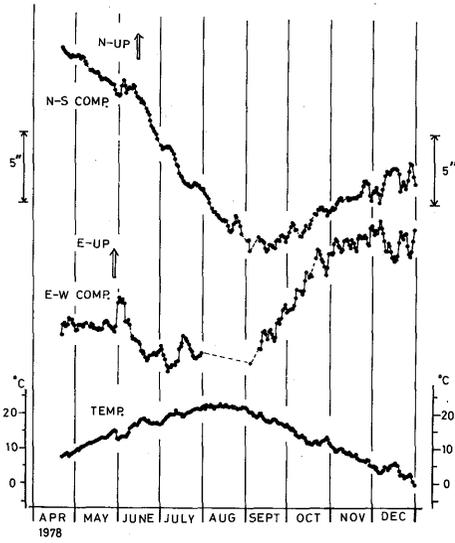


図 3.5.3 P点における傾斜 (N-S, E-W) と室内温度 (TEMP) の日別変化。図中の矢印は、上側が北側上昇または東側上昇を示す。

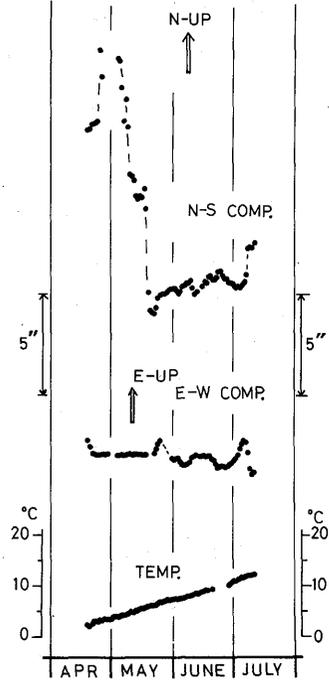


図 3.5.4 Q点における傾斜と坑内温度の日別変化。矢印等は図 3.5.3に同じ。

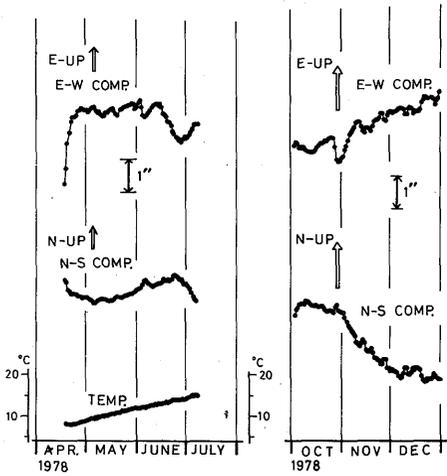


図 3.5.5 R点における傾斜と坑内温度の日別変化。矢印等は図 3.5.3に同じ。

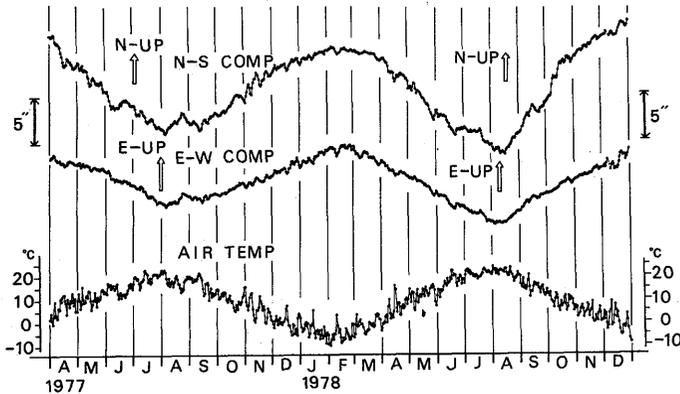


図 3.5.6 O点における傾斜と気温の日別変化。矢印等は図 3.5.3に同じ。

はり同様の季節変化を示すと思われる。

ほゞ2年間の観測資料にもとづくO点の傾斜変化をみると、1977年8月、1978年2月と8月を境として、両成分とも傾斜変化が逆転している。約1年を周期とするサインカーブ的な変化がみられること、ピークが現われる時期や変化の形態が気温の場合とほゞ一致していることから、O点における年間の傾斜変化には、主として気温変化にもとづく季節変化の影響が現われていることがわかる。

P点では、9月を境として傾斜変化（特にN-S成分）が逆転しており、O点の場合と同様の季節変化の影響が現われているのかも知れない。

Q点、R点では期間が短いため、はっきりとした季節変化に伴う傾斜変化の存在は良くわからない（R点では、10月に傾斜計を再設置したため、図3.5.5の左と右は不連続である）。

各点における観測期間中の傾斜の変化量は、

P点 N-S成分：1,449mV（約14.5秒角）

E-W成分：1,072mV（約10.7秒角）

Q点 N-S成分：1,300mV（約13.0秒角）

E-W成分：171mV（約1.7秒角）

R点 1978年4～7月

N-S成分：85mV（約0.9秒角）

E-W成分：259mV（約2.6秒角）

1978年10～12月

N-S成分：243mV（約2.4秒角）

E-W成分：218mV（約2.2秒角）

O点 1977年4月～1978年3月

N-S成分：1,034mV（約10.3秒角）

E-W成分：650mV（約6.5秒角）

1978年4～12月

N-S成分：1,437mV（約14.4秒角）

E-W成分：800mV（約8.0秒角）

である（ただし、O点は100mV/秒角に換算）。

阿蘇山や伊豆大島と比べ、浅間山の傾斜変化量は全体的に小さく、少なくとも数10秒角をこえる変化はみられなかった。

各観測点について、N-S、E-W2成分を組み合わせて求めた傾斜ベクトルの変化を図3.5.7～図3.5.10に示した。

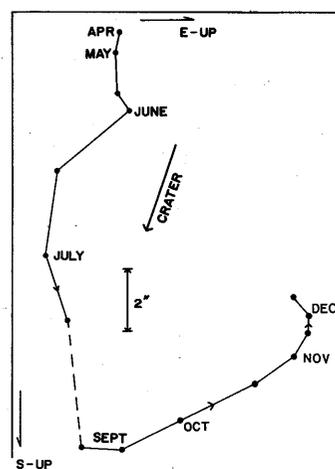


図3.5.7 P点における半月ごとの傾斜ベクトルの変化。縦軸、横軸の矢印は南側上昇、東側上昇を示す。図中の矢印は浅間山火口方向を示す。

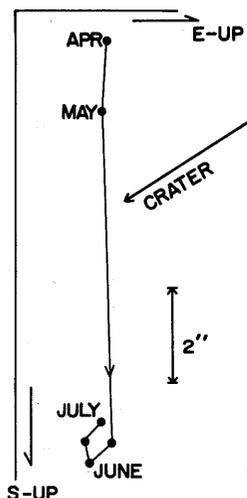


図3.5.8 Q点における半月ごとの傾斜ベクトルの変化。矢印等は図3.5.7に同じ。

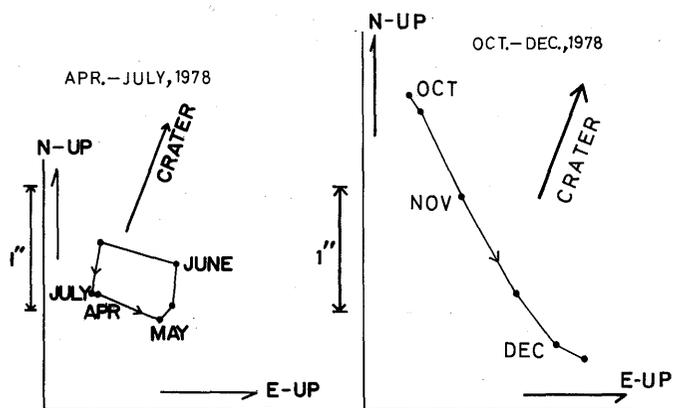


図 3.5.9 R点における半月ごとの傾斜ベクトルの変化。矢印等は図 3.5.7 に同じ。

P点では、大勢としては8月ごろまで南側上昇の動きが続いたが、9月以降、北東側上昇となり、さらに12月以降北西側上昇に変わるきざしがみられる。

Q点では、設置以来南側上昇であったが、6～7月にやゝ変化が生じ、傾斜ベクトルはほとんど逆転している。

R点では、傾斜変化は著しく小さく、4～7月にかけて傾斜ベクトルが東→北→西→南方向へと変化した。再設置した10月以降は、南東側上昇の動きが続き、11月以降は傾斜変化がやゝ大きくなっている。

O点では、年間を通して北東-南西方向の傾斜変化を繰り返していることがわかる。すなわち、1977年8月まで南西側上昇が続いていたが、その後は反対の北東側上昇が続き、1978年2月に再び傾斜ベクトルが逆転して南西側上昇が続いた。そして1978年8月にやはり傾斜方向が逆転して北東側上昇が続いている。

このように、2年ともほとんど同じ方向をもって傾斜ベクトルの逆転がくり返し生じていることがわかる。P, Q, R点ではこれほど明瞭な傾斜ベクトル変化はみられない。

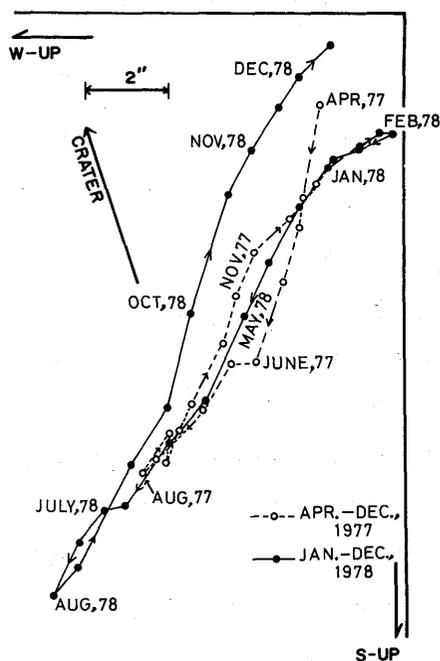


図 3.5.10 O点における半月ごとの傾斜ベクトルの変化。矢印等は図 3.5.7 に同じ。

### 5.4 傾斜変化について

図 3.5.11 は、1978年5月23-24日における各地点の傾斜、坑(室)内温度、気温の変化を対応させたものである。この図から、O点の1日の気温変化の程度にくらべ、Q, R点での坑内温度の1日の変化が著しく小さいことがわかる。また、気温の最高、最低が現われた時刻付近かその後で、P, O点の傾斜記録には極値が現われるが、Q, R点では明瞭でなく、特にR点では1日の傾斜変化そのものが著しく

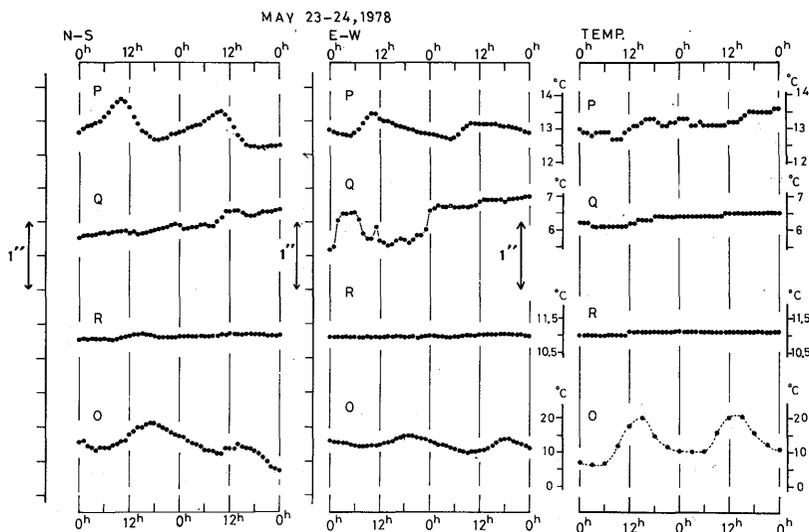


図 3.5.11 各地点における1日の傾斜(左からN-S, E-W成分), 坑(室)内温度, 気温(TEMP)の変化の状況(1978年5月23-24日)。

小さいことがわかる。

図 3.5.12 には, 傾斜, 坑(室)内温度, 気温の1日の変化量(最大値と最小値との差。以下日変化量と呼ぶ)の月別平均を示した。

Q点のN-S成分が観測開始後に大きな値を示したが, この時期は傾斜が大きく変化していた時期である(図 3.5.4)。これを除けば各地点は, 月により多少の変化がみられるが, 月あるいは季節による傾斜日変化量の違いというものはみられない。

また, 各地点の観測期間における傾斜, 坑(室)内温度, 気温の日変化量の平均は,

P点: 0.4 秒角(N-S成分), 0.5 秒角(E-W成分),  
0.8 °C

Q点: 0.7 秒角(N-S成分), 0.1 秒角(E-W成分),  
0.3 °C

R点: 0.1 秒角(両成分), 0.3 °C

O点: 1977年4月~1978年3月  
0.2 秒角(両成分), 9.0 °C  
1978年4月~1978年12月

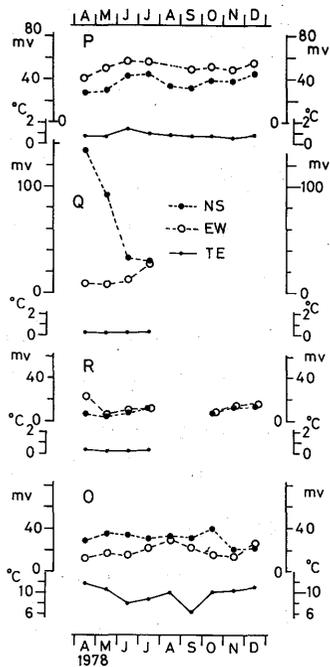


図 3.5.12 各点(上からP, Q, R, O点)における傾斜の日変化量(N-S, E-W)と, 坑(室)内温度, 気温の日変化量(TE)の月別変化。

0.3秒角(N-S成分), 0.2秒角(E-W成分), 9.6℃

であって, Q, R点では傾斜, 坑内温度とも, 他の地点とくらべそれぞれの日変化量が小さい。特にR点ではその傾向が顕著である。

これにより, Q, R点のような観測方式は, 気温変化に伴なう坑内温度の日変化量を著しく小さくする効果があったといえる。また, 傾斜日変化量を小さくする上でも効果があったと思われる。

しかし, 各地点における傾斜ベクトルの変化が, 火口あるいは山体の方向と特に関連がみられないことや, 傾斜変化量や傾斜日変化量がおおむね小さかったことは, 火山活動がこの期間に極めて静穏であったこと, 活動火口から離れた観測であったことなどによるものであろう。

### 参 考 文 献

神宮博(1976): 浅間山の傾斜観測について。東京管区地方気象研究会誌, 9, 20-22.

表 3.2.1 桜島における傾斜観測値, 傾斜計周

辺の気温および鹿児島港の潮位

○以下の表中における記号はそれぞれ

NS : 傾斜の南北成分

EW : " 東西 "

TE : 傾斜計周辺の気温

AVE : 月平均値

TIDE : 鹿児島港における日平均潮位

TEOU : 袴腰屋外の気温

を表わす。

○傾斜観測値は, 表に示した値の1/100 が1秒

角である。但し, 有村については1/2000 が1秒角である。

○傾斜観測値は数値の大きくなる方が北上りおよび東上りである。但し, 有村の東西成分だけは, 西上りである。

DATE	NS	EW	TIDE	NS	EW	TIDE	NS	EW	TIDE	NS	EW	TIDE
	SEP		cm	OCT		cm	NOV		cm	DEC		cm
1			239	648	1046	225	1109	1233	202	1506	1608	203
2			235	678	1042	228	1122	1278	199	1502	1596	207
3			231	716	1029	225	1099	1325	199	1494	1582	204
4			227	724	1019	222	1074	1351	200	1536	1548	198
5	569	972	223	721	1028	218	1092	1381	199	1578	1535	190
6	562	979	221	717	1047	214	1128	1416		1628	1563	185
7	562	990	221	695	1068	215	1170	1440		1688	1585	187
8	592	985	227	694	1078	217	1210	1442		1699	1610	193
9	630	956	216	724	1074	212	1228	1426	214	1683	1628	196
10	601	963	213	721	1084	211	1276	1407	216	1696	1642	203
11	593	968	212	718	1108	215	1337	1408	216	1708	1652	205
12	622	961	213	773	1131	219	1356	1408	211	1732	1650	204
13	619	972	214	822	1137	219	1411	1422	204	1753	1651	202
14	577	970	218	835	1161	217	1447	1464	201	1769	1637	198
15	611	992	219	824	1173	218	1498	1492	201	1784	1640	194
16	600	977	217	833	1194	218	1563	1525	203	1792	1679	188
17	589	971	217	866	1205	217	1593	1544	211	1786	1713	193
18	617	1012	217	897	1208	220	1598	1537	201	1754	1707	196
19	629	1008	215	892	1198	219	1595	1538	199	1750	1674	196
20	636	998	216	910	1186	212	1566	1545	200	1739	1644	192
21	651	1002	215	936	1183	212	1525	1548	197	1724	1662	193
22	654	1014	213	1073	1182	217	1526	1542	193			
23	657	1016	217	1120	1167	211			196	1727	1713	198
24	650	1018	218	1124	1185	209			193	1700	1731	202
25	650	1019	221	1112	1211	207			191	1685	1741	199
26	698	1010	222	1109	1231	210	1516	1626	196	1708	1745	193
27	711	1014	222	1091	1245	213	1514	1626	201	1727	1749	193
28	695	1022	220	1055	1251	213	1507	1630	203	1727	1750	199
29	693	1012	221	1038	1257	215	1499	1627	207	1740	1745	200
30	671	1031	223	1033	1250	217	1485	1617	207	1741	1736	198
31				1072	1226	210				1753	1725	197
AVE	628	994	220	876	1149	216	1372	1474	202	1694	1661	197

## ARIMURA 1975

DATE	NS	EW	TIDE															
	JAN		cm	FEB		cm	MAR		cm	APR		cm	MAY		cm	JUN		cm
1	1790	1710	201	1885	1705	190	1998	1757	191	1998	1496	183	2076	1237	191	1861	1156	201
2	1832	1708	196	1897	1713	198	1984	1754	192	2016	1484	183	2096	1229	196	1852	1153	198
3	1862	1718	194	1979	1715	198	1961	1753	194	2013	1484	183	2100	1224	198	1842	1149	200
4	1903	1708	195	1998	1725	204	1948	1744	199	1986	1490	183	2102	1212	199	1844	1141	209
5	1900	1706	194	1958	1713	199	1990	1734	207	1973	1487	191	2120	1190	191	1895	1131	214
6	1902	1692	199	1971	1702	204	1986	1711	202	1986	1477	193	2119	1170	187	1926	1117	217
7	1925	1687	211	2010	1703	205	1991	1697	198	1991	1463	192	2081	1172	188	1916	1117	218
8	1894	1687	220	2036	1680	197	2014	1695	196	2005	1455	198	2061	1173	192	1890	1118	212
9	1884	1653	216	2056	1665	197	1984	1689	204	2007	1451	191	2063	1173	199	1867	1119	211
10	1888	1640	212	2065	1658	195	1981	1674	200	2004	1429	196	2049	1178	196	1862	1114	208
11	1907	1634	208	2088	1652	193	1984	1660	197	1998	1402	192	2059	1173	198	1843	1120	206
12	1934	1634	200			192	1959	1653	196	1991	1381	189	2088	1169	195	1830	1121	205
13	1944	1642	197			192	1967	1637	196	2025	1366	192	2085	1163	196	1821	1122	206
14	1938	1653	193	2023	1696	202	2009	1620	197	2027	1371	191	2061	1167	195	1812	1124	207
15	1929	1660	194	2105	1689	199	2074	1599	198			186	2022	1178	195	1795	1124	207
16	1969	1664	198	2060	1688	191	2095	1595	196	2046	1369	185	2030	1167	199	1776	1122	208
17	1972	1667	191	2015	1712	192	2084	1594	188	2074	1368	193	2045	1158		1806	1120	209
18	2002	1672	189	2003	1722	194	2061	1587	186	2074	1355	196	2028	1155		1817	1129	209
19	2021	1684	180	2006	1720	195	2038	1586	190	2107	1333	198	2025	1152		1822	1134	205
20	2046	1710	177	2026	1706	199	2025	1587	198	2135	1327	202	2031	1136		1803	1148	206
21	2057	1738	185	2056	1693	198	2055	1574	193	2140	1310	200	2020	1128		1767	1182	210
22	2011	1749	201	2076	1698	195	2049	1567	195	2122	1297	196	1992	1131		1720	1203	209
23	2007	1730	195	2096	1716	195	2041	1564	199	2107	1290	196	1970	1136		1666	1208	208
24	1928	1716	198	2082	1746	198	2048	1552	198	2085	1288	195	1955	1142	196	1648	1218	210
25	1838	1705	201	2041	1765	200	2042	1540	200	2053	1288	194	1946	1146	197	1653	1227	211
26	1793	1679	202	2010	1775	196	2053	1518	197	2039	1276	199	1935	1149	197	1639	1223	207
27	1786	1656	204	2000	1767	199	2056	1514	193	2030	1277	202	1927	1145	198	1638	1224	205
28	1815	1650	198	2004	1759	194	2024	1522	193	2016	1274	198	1913	1142	200	1629	1231	208
29	1847	1651	191				2011	1527	195	2043	1262	198	1915	1139	203	1607	1234	205
30	1871	1664	186				2002	1525	191	2071	1248	195	1909	1143	204	1575	1237	209
31	1889	1686	183				1987	1518	187				1878	1152	202			
AVE	1912	1682	197	2021	1711	197	2016	1621	196	2040	1372	193	2023	1165	196	1781	1159	208

## ARIMURA 1975

DATE	NS	EW	TIDE															
	JUL		cm	AUG		cm	SEP		cm	OCT		cm	NOV		cm	DEC		cm
1	1548	1242	207	1287	1211	208	1134	1224	234	1394	1192	223	2062	1362	219	2772	1539	203
2	1542	1229	211	1261	1208	209	1131	1230	234	1379	1212	226	2106	1384	216	2851	1545	206
3	1528	1216	218	1247	1205	211	1136	1233	235	1386	1210	230	2132	1395	214	2911	1556	201
4	1505	1221	219	1231	1204	212	1162	1225	236	1401	1190	236	2200	1409	214	2896	1551	204
5	1487	1227	221	1214	1207	213	1190	1215	237	1397	1184	234	2301	1418	215	2878	1527	206
6	1494	1229	219	1193	1213	215	1188	1211	234	1381	1184	225	2398	1409	220	2884	1501	200
7	1497	1231	215	1219	1212	217	1169	1214	230	1399	1174	229	2406	1410	215	2897	1484	200
8	1481	1231	211	1267	1198	215	1164	1218	231	1433	1162	217	2420	1412	209	2927	1476	196
9	1461	1241	209	1285	1194	211	1170	1218	232	1392	1181	208	2425	1416	207	2963	1450	193
10	1444	1256	209	1289	1194	213	1174	1215	230	1364	1206	206	2476	1420	207	3043	1442	192
11	1448	1265	208	1287	1192	215	1175	1218	227	1356	1233	211	2535	1435	209	3114	1444	188
12	1450	1269	207	1255	1202	219	1180	1216	224	1373	1246	213	2571	1456	206	3199	1456	190
13	1438	1273	201	1247	1203	219	1192	1210	222	1394	1255	212	2598	1460	211	3311	1492	189
14	1407	1285	198	1236	1204	221	1197	1208	220	1423	1269	209	2622	1442	222	3358	1535	192
15	1387	1290		1209	1209	224	1198	1210	220	1451	1293	209	2584	1428	226	3441	1569	194
16	1398	1281		1194	1206	236	1210	1214	219	1505	1336	213	2530	1412	221	3486	1604	194
17	1404	1271		1198	1207	245	1265	1205	219	1619	1375	218	2516	1412	217	3538	1627	190
18	1390	1263		1199	1219	245	1405	1198	217	1722	1392	222	2557	1416	219	3600	1652	187
19	1377	1264		1185	1221	243	1386	1200	219	1743	1398	226	2571	1404	217	3598	1677	183
20	1355	1267	208	1177	1217	245	1369	1208	224	1717	1386	226	2580	1400	214	3577	1689	189
21	1333	1271	207	1172	1211	250	1355	1210	223	1742	1389	224	2571	1402	210	3515	1691	189
22	1320	1272	205	1166	1206	254	1353	1213	222	1816	1415	222	2566	1405	205	3378	1682	186
23	1308	1275	204	1168	1215	245	1369	1209	224	1862	1418	220	2603	1402	203	3327	1675	176
24	1301	1272	204	1169	1216	236	1379	1203	225	1846	1412	220	2658	1421	198	3309	1688	174
25	1299	1259	205	1165	1215	234			222	1822	1401	219	2688	1458	190	3275	1701	177
26	1291	1261	204	1166	1216	232			222	1841	1392	215	2715	1489	192	3243	1710	179
27	1290	1261	204	1176	1210	232	1400	1181	222	1875	1389	214	2744	1505	197	3196	1717	180
28	1270	1248	207	1176	1209	234	1406	1183	222	1902	1383	212	2768	1517	197	3171	1718	187
29	1275	1233	209	1172	1211	234	1399	1189	222	1898	1369	213	2755	1530	199	3142	1721	195
30	1293	1213	217	1158	1215	232	1403	1178	223	1905	1353	212	2748	1533	199	3101	1719	196
31	1306	1208	212	1147	1219	232				1981	1348	217				3054	1721	194
AVE	1398	1252	209	1210	1209	227	1259	1209	226	1604	1302	219	2514	1432	210	3192	1599	191

## (袴腰) HAKAMAGOSHI 1975

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	TEOU									
	JAN			FEB			MAR			APR			MAY			JUN			
	℃			℃			℃			℃			℃			℃			
1				3038	856	10.5			10.4	2950	811	15.8	2535	736	22.0				26.3
2				2946	845	11.0			10.8	3013	847	14.2	2542	733	22.0				26.8
3				2976	845	11.0	2557	772	12.2	2896	841	14.0	2608	715	22.0	2046	1016		26.7
4				2720	813	11.9	2676	782	12.7	2827	824	14.8	2665	702	21.5	2380	1001		27.0
5						13.0	2589	782	13.0	2749	810	15.6	2752	670	20.9	2261	1063		26.1
6						13.0	2643		13.0	2610	812	16.3	2660	625	20.5	2333	1063		25.4
7						13.7	2714		12.5	2650	802	16.6	2640	555	20.8				24.4
8						13.2	2689		12.4	2574	799	17.0	2600	527	20.6				24.5
9						12.2	2577		13.0	2588	770	17.3	2333	602	21.4				25.5
10				2608	818	11.3	2550	767	13.9	2621	755	18.0		645	22.3		1011	26.3	22.8
11				2678	824	10.5	2535	749	14.2	2568	762	17.8	2147	668	21.7	2421	985	26.7	22.3
12				2686	826	10.0	2499	722	15.2	2585	763	18.0	2148	745	20.0	2458	1008	27.1	22.2
13				2600	826	10.3	2600	733	15.5	2658		17.4	2115	858	20.5	2472	1044	27.5	23.0
14				2668	824	10.6	2755	755	15.3	2510		17.6	2041	960	21.6	2421	1079	27.7	24.9
15				2649	840	10.0	2802	799	13.9			19.0	1976	943	23.1	2515	1129	27.6	24.6
16				2708	846	10.0	2688	804	13.2			19.0	2316	913	23.6	2423	1151	28.3	25.9
17						9.6	2679	786	13.5			20.0	2162	908	22.7	2488	1214	28.0	25.0
18				2671	852	9.5	2717	802	13.6			19.5		23.0	23.0	2212	1237	27.1	26.2
19				2728	863	9.4	2681	788	14.0			18.2		23.0	23.0	2137	1270	27.0	25.4
20				2771	860	9.0	2534	785	14.3			18.0		22.6	22.6	2138	1281	26.3	25.4
21				2919	888	7.8	2703	791	14.3			17.6		21.5	21.5	2008	1261	26.0	25.7
22				2918	913	6.4	2743	791	14.4	2395	739	17.4		22.6	22.6	2110	1255	26.0	24.5
23				2808	910	5.8	2700	780	15.0	2473	697	19.0		23.5	23.5	2249	1255	25.5	24.1
24				2675	878	6.3	2773	798	14.4	2325	689	19.3		23.8	23.8	2251	1291	26.0	25.9
25						8.3	2794	784	14.8	2343		20.3		23.8	23.8	2219	1293	26.0	26.0
26	2846	788	12.2			9.3	2889	802	15.0	2396		21.0	2257	991	23.8	2311	1261	25.9	23.2
27	3050	806	12.3			10.0	2849	812	14.3	2240	664	21.3	2320	989	23.7	2204	1176	24.7	23.6
28	3113	838	11.9			10.2	2742	791	14.8	2254		22.3		24.4	24.4	2154	1152	24.7	23.5
29	3250	854	10.0				2797	781	15.1	2460	684	23.3		24.3	24.3	2051	1142	24.9	23.8
30	3222	850	10.0				2789	795	15.3	2548	720	22.5		23.5	23.5	1916	1143	26.3	24.9
31	3171	864	10.0				2832	796	15.6					25.0					
AVE	3128	833	11.1	2765	852	10.1	2693	782	13.9	2575	766	18.3	2379	762	22.4	2257	1151	26.3	24.4

HAKAMAGOSHI 1975

DATE	NS	EW	TE	TEOU																				
	JUL				AUG				SEP				OCT				NOV				DEC			
	°C °C				°C °C				°C °C				°C °C				°C °C				°C °C			
1	1912	1146	26.8	25.7			29.7	28.2	1608	1308	31.5	26.7			27.7	26.0	2176	1264	21.2	18.5	2342	1160	15.3	13.2
2	2107	1136	26.5	25.2			30.5	28.8	1525	1313	31.9	27.1			28.3	26.5	2149	1247	21.2	18.6	2273	1178	15.5	14.6
3	1961	1116	26.3	26.8			30.4	28.1	1613	1319	32.4	27.1			29.3	27.0	2178	1246	21.3	18.5	2123	1198	15.9	15.8
4	1918	1133	27.3	26.3			30.0	28.4	1694	1310	32.0	26.4			29.1	26.5	2258	1216	21.0	18.5				
5	1888	1137	28.0	27.4			30.6	29.0	1808	1323	31.2	26.1			29.3	26.7	2249	1213	21.0	19.5				
6	1931	1180	28.0	28.3			31.2	28.9		1339	30.8	26.5			28.3	24.5	2079	1243	21.0	20.0				
7	1788	1224	28.3	26.7			30.8	26.0			31.0	26.6	1806	1459	28.2	24.9	1968	1273	21.0	19.8				
8	1698	1215	29.2	27.2			28.5	25.1			31.7	27.0	1862	1459	27.5	22.6	2075	1247	20.8	18.1				
9	1747	1167	29.6	28.1			27.5	25.6	1810	1367	31.8	27.3	1920	1390	26.3	22.3	2146	1211	20.4	17.5				
10	1747	1083	29.5	28.3			27.8	25.4	1837	1377	31.2	27.2	2054	1355	25.6	21.3	2330	1154	19.2	15.5				
11	2278	1154	29.4	27.9			27.3	26.5	1740	1390	31.5	27.3	1931	1370	25.6	23.5	2312	1129	18.6	16.5				
12	1846	1271	28.2	27.5			28.6	27.8	1781	1400	31.9	27.4	1779	1420	27.0	25.5	2220	1154	19.0	17.9				
13	1454	1280	28.7	27.1			29.1	26.7	1852	1400	31.8	27.4	2065	1413	25.7	20.9	2181	1190	19.9	18.8				
14		1238	29.5	27.8			28.8	27.2	1694	1400	31.6	27.5	2075	1365	24.1	20.4	2044	1229	20.0	19.4				
15		1246	30.1	27.3	1683		29.4	27.6	1604	1408	32.3	28.2	2196	1316	22.8	18.6	1858	1256	20.4	20.2				
16		1210	29.5	27.3	1546	1268	29.5	28.1	1827	1417	32.1	27.5	2096	1276	22.0	20.7	1965	1252	20.8	18.5				
17		1180	29.4	27.3	1463	1275	30.0	31.3	1979	1413	30.5	26.1	1894	1323	22.7	23.2	1991	1239	20.4	18.6				
18		1434	29.6	27.6	1483	1278	30.1	28.4	1833	1396	29.2	25.8	1950	1370	23.9	22.2	1974	1239	21.0	19.2				
19			31.0	28.3	1560	1282	30.2	28.3	1435	1369	28.9	26.3	1910	1369	23.4	21.5	2052	1238	20.3	17.7				
20			31.7	28.2			29.9	28.3	1346	1386	30.3	26.5	1875	1370	24.0	21.8	2115	1213	19.8	16.6				
21			32.4	28.3			29.1	27.3	1302	1385	30.9	27.9	2005	1366	24.0	21.7	2163	1193	19.2	16.1				
22			31.4	27.5			28.6	28.1	1298	1388	31.3	28.2	2068	1329	23.7	22.1	2218	1185	19.2	15.8				
23			31.3	28.6			29.0	29.0			31.1	27.7	1943	1348	24.4	23.8	2483	1142	17.4	10.7				
24			32.6	28.6				26.7			30.5	27.3	1959	1388	25.3		2656	1081	15.1	9.3				
25			31.2	29.6				27.8			30.3	27.2	1975	1408	25.3		2612	1082	14.6	11.3				
26			32.3	26.7				27.3			30.2	26.7	2134	1380	25.0		2468	1107	15.0	12.8				
27			31.7	27.5			31.4	26.0			29.1	25.7	2142	1360	24.4		2291	1158	15.4	14.0				
28			30.7	27.4	1615	1292	31.0	26.3			28.0	25.4	2023	1378	24.3		2263	1168	15.5	13.8				
29			30.1	27.2	1563	1283	30.5	26.7			27.5	25.5	1968	1415	25.0	22.7	2261	1165	15.7	13.8				
30			29.7	28.7	1460	1285	30.9	26.7			27.6	25.3	2079	1367	24.0	20.3	2353	1160	15.8	12.8				
31			28.2	29.4	1679	1300	31.6	26.5					2267	1311	22.5	17.8								
AVE	1867	1197	29.6	27.6	1561	1283	29.7	27.5	1662	1370	30.7	26.8	1999	1372	25.4	22.9	2203	1196	19.0	16.6	2246	1179	15.6	14.5

## (高免) KOMEN 1975

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	JAN			FEB			MAR			APR			MAY			JUN		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1				1334	1289	10.6	1946	900	9.2	2227	600	12.4	1692	730	23.7	1971	1057	26.7
2				1259	1247	10.8	1867	865	11.5	2377	573	11.9	1725	734	24.2	1776	1093	25.5
3				1312	1248	9.4	1786	861	13.5	2289	560	14.6	1704	731	23.7			27.5
4				1189	1160	14.6	1804		13.5	2172	573	16.3	1750	725	22.5			28.2
5				1201	1218	14.3	1740		13.0	2107	563	18.0	1961	766	19.4			28.2
6				1305	1213	13.0	1829		11.6		509	19.1	2255	776	19.4			24.9
7				1220	1170	14.5			10.7	2097	570	17.3	2271	789	20.7			26.7
8				1524	1258	9.9			11.6	1979	512	19.2	2195	802	21.1			27.0
9					1283				13.5	2131	563	19.7	1965	774	23.7			27.0
10				1605	1288	8.0	1890		10.5	2149	610	19.3	1757	782	25.8	1598	1092	27.4
11				1660	1269	7.1	1944		8.8	2023	613	20.3	1940	851	21.5	1581	1113	27.6
12				1695	1236	6.0	1923		10.3	2071	667	19.8	2186	861	22.7	1570	1121	27.7
13				1578	1203	10.1			9.1	2133	608	18.0	2331	935	23.2	1605	1128	28.7
14				1592	1198	7.5			6.1	1896	585	22.5	2253	904	25.2	1630	1153	27.3
15				1630	1144	8.6			4.7	1837	649	22.4	2192	930	26.3	1604	1183	30.2
16				1763	1162	7.2			7.2	1798	659	21.6	2365	989	22.0	1633	1198	30.9
17				1780	1139	10.8			6.5	1714	582	23.7	2285	929	24.9	1550	1157	28.3
18				1815	1130	6.4			7.0	1747	632	20.6			24.0	1707	1080	29.2
19				1798	1116	6.5			7.2	1897	587	19.1	2099	895	23.0			28.8
20				1845	1097	5.4			9.6	1913	536	19.4	2314	932	22.9			28.6
21					1042	2.0			6.5	1971	566	17.7	2442	945	21.4			29.8
22					1030	2.5			7.6	1981	582	20.4	2367	950	24.2			28.1
23				1809	1029	8.8	1742	609	8.7	2055	635	19.2	2393	997	24.7	1767	1181	29.2
24					1031	10.7	1826	610	9.4	1898	634	22.4	2358	1013	25.0	1783	1205	29.5
25	1231		13.3	1709	982	11.0	1823	573	11.5	1929	706	22.0	2315	1025	25.3	1826	1221	30.0
26	1244	1252	13.5	1636	995	11.8	2010	538	9.2	1989	723	22.2	2090	1012	24.0	1630	1196	26.0
27	1360	1296	8.2	1779	1007	9.3	2033	473	11.7	1760	689	24.2	1825	979	24.5	1635	1171	27.0
28	1461	1308	6.9	1911	968	9.2	1868	479	14.2	1663	711	25.4	1798	985	24.7	1618	1159	26.4
29	1559	1331	5.7				1999	514	12.8	1612	736	24.5	1752	1028	22.5	1624	1180	27.5
30	1545	1320	6.0				1949	576	14.3	1689	730	23.2	1920	971	25.5	1645	1206	28.5
31	1492	1318	7.4				2052	638	14.0				2026	991	27.2			
AVE	1413	1304	8.7	1580	1148	9.7	1883	637	11.7	1969	615	19.9	2084	890	23.5	1670	1149	28.1

## KOMEN 1975

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	JUL		°C	AUG		°C
1	1619	1238	28.7	1361	1800	30.8
2	1554	1270	27.4	1269	1871	30.2
3	1650	1247	29.5	1182	1912	30.0
4			29.8	1200	1899	30.3
5			30.5	1298	1901	30.7
6			30.0	1266	1955	31.1
7			30.5			27.9
8			31.1			
9			30.7			
10			30.8			
11	1411	1435	28.6			
12	1435	1369	29.3			
13	1518	1333	30.2			
14	1492	1383	32.0			
15	1308	1453	29.2	1050	2129	29.6
16	1329	1443	29.9	960	2183	28.8
17	1289	1465	28.2	980	2202	29.6
18	1410	1447	30.9	1004	2210	29.6
19	1364	1487	31.3	990	2230	29.2
20	1316	1524	31.3	1042	2244	29.3
21	1267	1557	31.6	995	2273	28.7
22	1255	1585	29.5			28.7
23	1228	1607	30.9			31.3
24	1213	1606	30.9			29.8
25	1203	1653	29.4			29.7
26	1181	1670	29.8			29.8
27	1183	1697	30.6	990	2494	30.2
28	1125	1737	29.7	908	2537	28.9
29	1168	1735	29.5	895	2596	28.5
30	1093	1801	26.8			
31	1242	1788	29.2			
AVE	1331	1518	29.9	1085	2145	29.7

P点(測候所)1975

1976

表3.3.2 阿蘇山  
記号等は表3.2.1に同じ。

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	DEC			JAN			FEB			MAR			APR		
	℃			℃			℃			℃			℃		
1				104	53	6.0	31	36	4.1	36	114	6.0	62	154	6.8
2				69	55	6.4	35	36	4.2	51	109	5.9	70	155	6.9
3				46	59	6.5	26	36	4.4	58	107	5.5	58	144	6.7
4				27	68	6.9	22	35	4.7	63	106	5.4	63	137	6.6
5				18	60	6.4	21	33	4.6	62	103	5.5	79	142	6.9
6				41	58	5.9	41	34	4.2	68	98	5.7	78	149	7.0
7				61	58	6.6			4.2	72	108	5.9	87	146	6.8
8				54	58	5.6			4.6	71	113	6.1	83	145	7.0
9				72	59	5.1	24	49	5.0	77	125	6.4	82	153	7.1
10				78	57	5.0	20	44	4.8	54	127	6.5	86	152	7.1
11	3	8	8.5	75	56	4.9	14	45	4.8	60	124	6.5	80	152	7.1
12	38	5	7.5	48	55	5.1	19	45	4.8	50	137	6.7	93	163	7.4
13	67	16	7.0	42	50	5.1	16	49	5.0	62	124	6.2	101	172	7.8
14	73	19	7.0	42	49	5.1			5.2	77	129	6.2	75	196	8.1
15	69	15	7.0	55	50	5.0	41	87	5.7	77	135	6.6	80	190	8.1
16	71	31	7.0	53	50	5.0	43	106	6.0	80	131	6.6	80	194	8.2
17	73	41	6.7	35	49	5.2	41	108	6.7	77	150	6.9	92	198	8.6
18	94	39	6.4	34	50	4.8	22	117	7.1	78	154	7.1	99	203	8.9
19	89	46	6.4	69	51	4.2	15	114	7.0	69	138	6.6	112	211	9.0
20	78	51	6.8	99	51	4.6	23	96	6.2	90	124	5.6	107	212	9.0
21	54	47	6.6	117	48	3.0	35	90	6.2	120	119	5.3	87	216	9.0
22	74	48	6.1	122	37	2.8	28	103	6.4	114	123	5.4	98	229	9.2
23	99	43	5.8	118	33	2.8	31	97	6.0	102	121	5.6	75	234	9.4
24	103	42	5.9	93	44	3.5	54	87	5.6	110	118	5.3	62	213	9.5
25	99	40	5.9	79	43	3.7	67	86	5.7	111	122	5.6	87	214	9.1
26	96	42	6.0			3.9	79	91	5.6	87	123	6.0	100	233	9.3
27	87	43	6.0	66	41	3.8	82	92	5.7	55	131	6.1	106	244	9.6
28	98	40	5.9	54	40	4.6	60	118	6.4	65	121	6.1	103	252	9.7
29	104	41	5.9	37	38	5.2	35	132	6.7	61	126	6.3	92	250	10.0
30	118	41	5.8	37	36	4.0				41	144	6.7	78	259	10.3
31	117	41	5.8	38	36	3.9				51	144	6.8			
AVE	81	35	6.5	63	50	4.9	36	76	5.4	73	124	6.1	85	190	8.2

P点 1976

DATE	NS	EW	TE															
	MAY			JUN			JUL			AUG			SEP			OCT		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1	68	259	10.4	204	363	12.1	315	369	14.5	407	496	16.8	428	537	18.0	595	595	17.0
2	73	255	10.4	184	367	12.2	312	361	14.6	389	493	16.9	442	544	18.0	612	602	17.0
3	72	256	10.5	196	370	12.3	327	369	14.5	376	486	17.0	401	549	18.0	610	603	17.0
4	95	267	10.5	187	365	12.4				365	489	16.9	410	549	18.0	609	597	16.9
5	97	263	10.5	159	362	12.5	308	368	14.8	381	497	16.9	434	551	18.0	651	599	16.1
6	117	266	10.1	176	366	12.5	314	370	14.8	404	503	17.0	454	557	17.9	654	597	16.2
7	135	281	10.4	184	365	12.5	319	375	14.8	417	507	17.0	467	560	17.9	648	600	16.3
8	144	290	10.4	189	376	12.6	337	384	14.7	431	519	17.1	466	563	18.0	628	593	16.4
9	143	290	10.5	172	386	12.8	326	383	14.8	430	524	17.3	456	565	18.0	591	582	16.3
10	151	295	10.5	170	387	12.9	295	388	14.9	431	530	17.4	433	568	18.0	603	575	16.1
11	150	295	10.6	168	390	12.9	320	394	15.0	439	529	17.4	425	568	18.0	637	581	15.9
12	153	298		192	395	13.0	340	407	15.0	457	542	17.6	435	571	18.0	651	582	15.8
13	200	296		193	393	13.0	342	409	15.0	450	536	17.6	413	579	18.0	634	571	15.9
14	213	295		197	393	13.0	347	421	15.3	442		17.8	447	590	18.0	607	570	16.0
15	225	304		214	408	13.1	356	425	15.2	433	526	17.7	471	599	18.0	607	564	16.0
16	191	296		224	409	13.1	373	436	15.3	417	526	17.6	484	602	18.0	613	560	16.0
17	203	301		220	394	13.0	379	438	15.6	440	532	17.6	510	598	17.8	623	561	15.4
18	225	308		211	384	13.2	364	428	15.8	444	537	17.8	540	609	17.5	620	563	15.7
19	204	319		175	383	13.3	349	419	15.8	415	528	17.9	555	616	17.8	614	565	16.0
20	208	323		181	379	13.6	345	420	15.8	424	527	18.0	522	615	17.9	575	563	16.0
21	176	328		203	388	13.7	347	432	16.0	425	525	18.0	528	609	17.7	582	562	16.0
22	188	341		200	399	13.9	374	437	16.1	440	541	17.8	559	611	17.2	599	564	16.0
23	187	337		186	419	14.0	366	436	16.0	424	534	18.0	595	614	16.9	600	569	15.9
24	194	341		181	429	14.1	342	437	16.0	419	530	18.0	600	620	16.9	569	567	16.0
25	205	352		173	435	14.2	338	439	16.1	433	531	18.0	601	614	17.0	588	558	15.6
26	217	358	11.2	221	416	14.9	360	453	16.1	405	525	18.0	605	607	17.0	617	557	15.2
27	218	358	11.4	288	361	14.3	367	466	16.2	390	516	18.0	594	600	17.0	644	558	15.0
28	217	357	11.8	301	364	14.4	374	470	16.4	370	521	18.0	583	595	16.8	632	566	14.8
29	197	353	11.9	319	375	14.4	375	473	16.6	382	529	18.0	607	600	16.7	675	557	13.8
30	191	362	12.0	320	376	14.4	390	483	16.7	385	532	18.0	598	598	16.9	684	543	13.4
31	196	359	12.0				401	489	16.6	406	536	18.0				677	535	13.5
AVE	169	310	10.9	206	387	13.3	347	419	15.5	415	522	17.6	502	585	17.6	621	573	15.8

P点 1976

1977

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	NOV		°C	DEC		°C	JAN		°C
1	690	526	13.2	680	380	8.1	748	359	5.0
2	673	516	13.5	679	377	8.8	756	360	5.0
3	665	513	13.7	652	385	9.0	747	368	4.9
4	657	516	14.0	654	384	9.0	743	375	4.9
5	635	510	14.0	643	382	9.0	747	376	4.8
6	645	503	14.0	657	386	8.8	728	377	4.8
7	655	506	13.9	659	388	8.8	727	386	4.9
8	647	506	13.9	659	386	8.1	729	405	5.0
9	668	513	13.8	694	379	7.2	716	402	5.1
10	649	504	14.0	697	372	7.5	682	394	5.2
11	630	497	13.9	685	372	7.7	681	396	5.0
12	675	490	13.0	677	375	7.9	684	404	5.0
13	698	487	12.9	664	372	7.9	707	386	4.4
14	672	479	12.3	675	376	7.7	673	370	4.3
15	701	462	11.2	684	381	7.6	710	361	4.4
16	704	452	11.0	667	386	7.9	706	361	4.2
17	676	449	11.3	647	387	7.8	707	342	4.2
18	648	446	11.3	658	384	7.5	705	344	4.2
19	675	437	10.8	672	386	7.3			5.0
20	671	428	10.8	661	388	7.5			5.1
21	684	421	10.3	658	389	7.6			5.2
22	703	417	10.0	644	395	7.8			5.0
23	696	411	9.6	623	402	7.8			
24	698	402	9.2	629	401	7.8			
25	694	395	9.1	614	412	7.9			
26	682	386	9.1	636	398	6.8			
27	699	380	8.7	692	398	6.3			
28	730	381	8.1	715	391	6.0			
29	728	373	7.9	732	384	5.8			
30	710		7.6	734	377	5.6			
31				730	366	5.3			
AVE	679	459	11.5	670	385	7.6	716	376	4.8

Q点(火口西侧) 1975

1976

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	DEC		°C	JAN		°C
1					1525	0.5
2					1422	
3					1432	
4					1459	
5					1463	
6					1571	
7					1659	
8					1719	
9					1723	
10					1779	
11			4.1			
12			2.3			
13			2.0			
14			2.7		1844	0.2
15			1.5	1067	1830	-0.1
16	8	3	0.3	1089	1880	0.5
17	86	203	0.3	1235	1878	1.4
18	191	230	-0.1	1365	1725	0.4
19	193	382	0.4	1366	1744	-0.8
20	272	370	1.5	1360	1840	-1.4
21	342	288	1.4	1410	1902	-2.2
22	385	334	-0.1	1521	1969	-2.2
23	355	508	-1.1	1766	1946	-2.5
24	344	581	-0.4	1629	1827	-1.6
25	384	764	0.1	1437	1870	-0.7
26	438	915	0.4	1536	1852	-0.4
27	467	969	0.4	1615	1872	-0.7
28	467	1124	0.4	1686	1883	0.1
29	491	1256	0.2	1767	1939	0.6
30	483	1387	0.1	1809	1957	-0.2
31	467	1527	0.5	1849	2043	-0.7
AVE	336	678	0.8	1500	1770	-0.6

## Q点 1976

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	FEB		°C	MAR		°C	APR		°C	MAY		°C	JUN		°C	JUL		°C
1	1857	2071	0.0	2923	1637	1.9			4.2	3439	1791	8.8	3402	1754	15.5	2939	1651	17.4
2	1864	2069	0.3	2932	1662	1.4	3207	1764	4.2	3450	1798	8.2	3341	1740	15.9	2948	1668	17.0
3	1899	2069	0.3	2955	1666	0.5	3210	1757	2.8	3455	1807	8.7	3299	1705	15.4	2951	1685	16.4
4	2020	1986	1.1	2959	1686	0.7	3209	1765	3.0	3461	1814	9.0	3276	1675	15.5	2959	1707	16.7
5	2125	1840	0.8			1.1	3211	1774	3.2	3456	1806	7.8			15.7	2966	1726	16.7
6	2167	1682	-0.2			1.5	3221	1775	4.0	3453	1809	7.1	3264	1686	15.1	2971	1742	17.0
7	2228	1567	-0.2	3019	1653	2.4	3221	1773	3.4	3454	1826	8.0	3262	1688	14.4	2976	1756	17.0
8			0.4	3026	1652	2.8	3226	1778	3.8	3450	1831	8.4				2981	1770	17.1
9			0.2	3033	1654	3.3	3230	1782	4.3	3448	1833	8.7	3184	1608	15.9	2990	1783	17.4
10	2274	1590	0.7	3042	1652	3.4	3232	1781	4.0	3447	1839	9.0			15.6	2992	1801	17.8
11	2303	1577	0.7	3045	1655	3.1	3234	1781	4.2	3446	1842	9.3	3151	1596	14.7			17.5
12	2368	1588	0.9	3057	1659	3.7	3240	1788	4.8	3449	1845	9.6	3103	1552	14.6			18.7
13			1.7	3054	1659	2.6	3248	1790	5.4	3448	1845	9.1	3036	1502	15.1			19.1
14			2.6	3068	1660	2.6			6.1	3441	1847	8.5	2955	1465	15.1			19.4
15			3.0	3086	1663	3.4	3273	1783	5.8	3444	1856	8.9	2899	1440	15.4			18.9
16			4.2	3092	1660	3.6	3291	1778	6.1	3446	1859	9.4	2862	1413	15.8	3002	1794	20.0
17			4.0	3103	1666	4.5	3297	1780	6.3	3443	1857	10.3	2836	1384	16.0	3018	1791	20.4
18			4.5	3116	1666	4.9	3304	1781	6.7	3439	1867	11.9	2828	1381	15.8	3035	1791	19.9
19			3.7	3108	1655	2.2	3304	1781	7.0			14.0	2818	1394	15.2	3046	1804	19.0
20			2.1	3066	1697	0.3	3306	1781	7.2			14.4	2818	1407	15.7	3056	1820	19.1
21	2434	1667	1.6	3075	1733	0.4	3311	1783	7.5	3484	1863	14.5	2827	1412	16.5	3065	1831	19.5
22			2.8	3092	1730	1.2	3318	1787	7.9	3538	1869	13.8	2830	1416	17.3	3082	1817	19.5
23	2733	1571	1.8	3100	1721	1.6	3331	1785	7.8	3550	1865	14.2			17.6	3098	1806	18.9
24	2722	1620	1.1	3098	1723	1.5			5.6			14.7			17.7	3106	1818	19.0
25	2800	1637	0.9	3102	1728	1.9	3348	1782	5.7	3531	1851	15.1			17.0			19.2
26	2844	1626	1.1	3113	1719	3.1	3357	1791	7.4	3519	1816	15.6	2906	1564	16.4			18.7
27	2891	1611	1.7	3135	1757	3.5	3364	1792	7.9	3509	1789	16.3	2912	1579	16.2	3147	1847	19.5
28			3.1			2.8	3370	1796	8.3	3501	1787	16.2	2921	1601	17.0			19.5
29			3.7			3.9	3381	1790	8.9	3493	1786	16.1	2930	1619	17.5			19.2
30						4.3	3404	1791	9.1	3470	1779	15.9	2934	1635	17.7	3168	1899	19.5
31						3.8				3445	1766	15.8				3178	1912	20.0
AVE	2346	1736	1.7	3056	1681	2.5	3283	1781	5.8	3468	1827	11.5	3025	1551	16.0	3031	1783	18.5

Q点 1976

1977

DATE	NS	EW	TE	EW	TE	EW	TE									
	AUG °C			SEP °C			OCT °C			NOV °C			DEC °C		JAN °C	
1	3199	1930	20.6	4026	2750	18.9		4279	15.3	6505	5434	5.3	7082	2.5	7724	-3.2
2	3225	1947	20.5	4064	2820	19.3		4291	15.5	6551		5.9	7028	4.0	7725	-2.3
3	3244	1958	19.9			19.5	5543	4315	13.5	6605		6.5	6998	4.6	7728	-3.1
4			19.8			18.8	5545	4308	10.7	6687	5532	7.6	6975	4.3	7720	-3.2
5	3295	1982	19.7	4218	3013	18.4	5525	4344	9.2		5534	7.9	6959	4.3	7727	-2.9
6	3291	1997	19.9	4249	3049	18.7	5537	4423	9.6			7.2	6949	3.6	7749	-2.5
7	3300	2011	20.0	4286	3091	19.0	5573	4492	10.2			7.6	6953	3.8	7793	-1.8
8			20.6	4320	3141	19.7	5603	4532	10.4		5582	7.5	6952	2.0	7865	-0.5
9			20.8	4349	3182	20.0	5627	4569	10.4		5602	7.8	7092	-0.4	8006	0.1
10	3320	2031	20.6	4379	3229	19.8	5642	4583	10.2		5643	8.7	7163	1.1	8084	-0.2
11	3334	2033	20.9	4418	3288	19.6	5653	4598	9.5		5668	8.2	7118	2.1	8073	-1.0
12	3348	2037	21.3	4466	3346	19.4	5665	4635	8.8		5808	5.1	7125	2.4	8092	-1.3
13	3360	2041	21.3	4477	3395	19.0	5708	4701	9.5		5914	5.9	7097	2.5	8081	-3.2
14	3375	2052	20.8	4549	3464	18.6	5747	4745	9.9		5992	3.0	7139	1.6	8018	-2.7
15	3388	2067	20.9	4575	3500	18.6	5781	4783	9.9		6211	0.7	7195	2.0	8001	-1.9
16			20.1	4628	3538	18.1	5820	4808	9.4		6276	1.3	7139	3.6		
17			19.9	4670	3547	16.7		4831	9.2		6251	3.4	7091	2.7		
18			20.2	4711	3573	16.4		4647	10.2		6264	2.9	7099	2.3		
19	3499	2216	20.0	4794	3595	16.8		4568	10.5		6344	2.0	7145	1.7		
20	3596	2275	20.3			17.2		4569	10.5		6381	2.0	7115	2.2		
21	3661	2289	20.7			16.3			9.6		6464	0.4	7116	2.5		
22	3698	2306	21.4	4998	3914	15.1			9.8		6573	-0.8	7117	3.8		
23	3730	2343	21.0	5015	3946	14.6	6020	4761	10.0		6601			3.4		
24	3776	2364	20.7	5032	3994	14.4	6127	4858	10.5		6733			3.5		
25			20.7	5094	3921	14.4	6270	4925	9.1		6799			3.8		
26			20.1	5165	3887	14.5	6331	4978	8.5		6766		7173	-0.8		
27			19.5			14.7	6356	5068	7.8		6893	1.1	7404	-3.1		
28			19.7			14.5	6426	5151	8.0		7013	0.5	7575	-3.2		
29	3924	2523	19.7			14.3	6417	5195	5.0		7034	0.3	7689	-2.8		
30	3956	2604	19.6	5332	4156	15.1	6443	5293	5.0		7122	1.0	7725	-2.1		
31	3988	2681	19.3				6497	5373	5.7				7735	-2.6		
AVE	3500	2176	20.3	4601	3450	17.3	5907	4711	9.7	6587	6247	4.2	7177	1.8	7892	-2.0

R点(ロープウェイ東駅)1976

DATE	NS	EW	TE												
	FEB			MAR			APR			MAY			JUN		
			℃			℃			℃			℃			℃
1			0.7			2.7	2416	1777	6.8	2134	1903	10.5	1703	1906	19.3
2			0.7			2.4	2405	1783	6.9	2151	1872	10.9			19.8
3			1.9			-0.1	2442	1802	3.1	2125	1842	12.1	1660	1924	18.8
4			2.8			1.7	2475	1792	4.4			13.8	1647	1946	18.9
5	3062	1988	1.3			2.0	2448	1801	5.2			11.0	1605	1921	19.5
6	2854	1973	1.0			2.9	2439	1786	6.4			10.2	1609	1961	18.2
7	2666	1935	1.5	2467	1873	4.6	2456	1808	5.0	2042	1849	12.4	1614	1936	19.1
8	2730	1991	1.9	2458	1915	5.2	2446	1811	6.1	2023	1895	13.9	1565	1873	20.9
9	2674	1852	1.7	2437	1875	6.0	2439	1788	6.4	1999	1898	13.8	1575	1909	20.3
10	2813	1953	1.9	2435	1872	5.3	2440	1821	5.9	1991	1881	14.5	1592	1952	19.6
11	2764	2022	2.2	2451	1895	6.0	2445	1810	6.6	1993	1856	15.3	1607	1992	17.8
12	2691	2024	2.8	2403	1867	6.1	2433	1771	8.4	1976	1832	16.9	1627	2019	17.5
13	2725	2052	4.4	2429	1846	3.6	2413	1764	10.3	1963	1923	13.7	1599	1973	18.3
14	2541	1989	5.7	2430	1864	4.7	2303	1742	12.3	1944	1934	13.7	1589	1968	18.3
15	2496	1942	7.8	2422	1849	6.3	2352	1799	9.1	1923	1925	14.7	1574	1958	18.3
16			10.5	2426	1869	5.8	2333	1814	9.5	1929	1889	15.9	1548	1944	18.7
17			7.6	2413	1847	7.8	2312	1836	9.5	1932	1917	14.1	1521	1932	19.3
18			9.5	2387	1852	7.4	2302	1819	10.0	1881	1921	15.7	1525	1942	19.0
19			6.3	2423	1925	2.8	2284	1813	10.6	1869	1834	20.1	1550	1964	18.2
20		1833	2.5	2488	1883		2258	1806	11.6	1897	1895	18.9	1533	1950	19.2
21	2420	1734	3.0	2547	1879		2199	1734	14.2	1866	1888	19.0	1510	1913	20.6
22	2398	1784	5.0	2545	1870	3.3	2175	1785	13.6			17.6	1470	1851	22.2
23	2414	1795	3.3	2565	1874	2.0	2144	1788	12.4			18.1	1469	1854	22.3
24	2473	1759	2.1	2556	1861	2.5	2301	1886	6.0			19.1			21.9
25	2480	1738	2.0	2541	1846	3.8	2282	1868	8.3	1780	1903	19.1			20.5
26	2488	1735	2.5		1770	6.1	2164	1777	12.4	1756	1915	19.2		1816	19.1
27	2500	1750	4.2	2393	1767	6.6	2166	1820	12.3	1750	1920	19.8	1449	1833	18.5
28			9.2	2406	1781	4.4	2159	1795	13.2	1744	1906	19.1	1409	1822	19.3
29			5.5	2408	1765	6.9	2046	1725	16.1	1734	1895	19.3	1353	1815	20.4
30				2393	1761	8.2	2022	1757	16.1	1726	1886	19.2	1325	1811	20.8
31				2416	1777	6.7				1710	1895	19.2			
AVE	2622	1887	3.8	2452	1847	4.6	2317	1796	9.3	1914	1891	15.8	1547	1914	19.5

日点 1976

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	JUL			AUG			SEP			OCT			NOV			DEC		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1	1333	1795	20.5	799	1673	24.5			22.4	283	1718	17.7			10.8	1068	709	5.9
2	1332	1791	19.7	701	1639	24.7			22.9	275	1725	17.9			11.7	1101	639	7.3
3	1336	1801	19.4		1673	23.9			23.2	233	1736	18.0			12.6	1081	579	7.9
4	1333	1787	20.0		1708	24.0			22.2	249	1767	16.1	226	1219	14.1	1084	567	8.0
5	1342	1777	20.1	672	1741	23.7	113	1913	22.1	295	1750	15.2	219	1205	13.4	1125	558	7.8
6	1340	1762	20.4	600	1724	24.1	116	1907	22.4	289	1740	15.9	287	1235	12.9	1214	575	6.4
7	1339	1764	20.2	563	1712	24.2	97	1889	22.6	211	1682	16.6	310	1192	13.5	1248	573	6.9
8	1321	1758	20.4		1729	24.5	95	1834	23.4	239	1636	17.0	232	1238	13.2	1303	621	3.0
9	1312	1758	21.0	501	1722	25.1	73	1808	23.4			16.8	183	1256	14.7	1327	523	1.6
10	1266	1705	22.0	470	1748	25.0	77	1767	23.3			16.2	154	1188	15.1	1378	489	4.0
11	1299	1789	21.1	461	1775	24.8	41	1771	23.5			15.2	150	1164	13.8	1436	394	5.2
12	1261	1721	22.6	389	1748	25.7	9	1781	23.2			14.6	342	1209	9.4	1491	398	5.6
13	1233	1681	23.5	319	1776	25.4	62	1833	22.0	260	1591	15.6	334	1166	11.8	1529	455	5.3
14	1215	1707	22.9	330	1818	25.2	124	1848	21.4	252	1506	16.2	393	1192	7.1	1489	401	4.5
15	1217	1752	22.4	327	1809	25.2	133	1839	21.4	244	1536	15.9	464	1154	5.6	1454	421	5.7
16	1192	1721	23.5	320	1836	24.3	131	1853	21.2	250	1536	15.6	536	1112	6.3	1373	459	7.5
17	1158	1704	24.0	337	1849	24.0		1877	19.5	227	1501	15.8	499	1048	9.6	1451	465	4.5
18	1118	1694	23.6	279	1841	24.6	211	1830	18.9	248	1444	16.7	514	1038	8.4	1428	323	3.8
19	1103	1716	22.8	281	1853	24.4	210	1804	19.4	243	1419	17.1	609	1001	7.5	1508	426	3.4
20	1094	1721	22.8	200	1841	24.6	210	1758	20.0	234	1415	16.5	664	1029	6.4	1518	323	5.3
21	1071	1730	23.1		1876	25.5	209	1780	18.6	301	1427	15.0	708	1029	5.8	1519	354	5.6
22	1048	1747	23.3		1884	25.9	205	1816	16.8	225	1406	15.7	749	1021	5.0	1487	259	8.3
23	1052	1741	22.6				205	1817	16.6	184	1397	16.3	840	1056	3.8	1627	251	6.3
24	1075	1751	22.8				181	1810	16.3	160	1332	16.7	887	1003	5.1	1643	155	7.2
25	1049	1746	23.2				180	1794	16.5	235	1346	14.8	870	993	4.6	1665	147	7.3
26	1055	1815	22.4				198	1772	16.4	288	1361	13.7	923	880	4.4	1905	84	1.9
27	976	1736	23.4				244	1726	16.2		1391	13.1	907	977	2.9	2107	192	1.7
28	947	1726	23.5				272	1698	16.3		1366	12.5	941	1121	2.0	2224	138	2.2
29		1700	23.5			23.7	291	1674	16.4	355	1363	8.2	951	918	1.9	2283	71	2.7
30	891	1678	23.4			23.4	281	1692	17.3	318	1253	10.1	1077	744	4.2	2307	41	3.3
31	872	1693	23.6			22.6				326	1258	10.1				2269	-3	3.5
AVE	1173	1741	22.2	444	1772	24.5	159	1804	20.2	257	1504	15.3	554	1088	8.6	1537	374	5.1

P点(測候所)1977

表3.4.2 伊豆大島

記号等は表3.2.1に同じ。

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	FEB			MAR			APR			MAY			JUN		
	℃			℃			℃			℃			℃		
1				535	837	10.1	539	1250	11.2	448	2265	15.2	524	3670	17.3
2				501	956	10.5	538	1352	11.5	418	2275	15.6	536	3681	17.5
3				438	1149	10.3	532	1447	11.7	409	2250	15.5	635	3546	18.3
4				274	1356	8.5	502	1541	11.4	378	2421	15.4	537	3665	18.7
5				137	1384	6.9	484	1598	11.5	356	2433	14.4	492	3774	19.0
6				161	1283	6.4	530	1488	11.9	434	2200	15.5	399	3905	19.0
7				124	1093	7.8	518	1545	11.7	437	2339	16.0	381	4009	19.0
8				184	1104	8.9	473	1527	11.1	442	2387	15.5	463	3968	19.0
9				270	1081	10.4	455	1456	10.7	483	2421	15.6	434	4071	19.2
10				251	1213	10.5	433	1306	11.2	499	2474	16.1		4142	19.0
11				158	1351	19.8	529	1327	12.1	516	2565	16.4	446	4116	18.9
12				152	1374	10.0	580	1360	12.8	529	2723	16.6	452	4049	18.9
13				136	1385	10.4	598	1476	13.2	578	2755	16.6	395	4045	19.2
14				199	1308	11.0	567	1520	13.4	596	2805	16.8	433	4155	19.6
15				204	1382	11.3	557	1489	14.0	574	2810	16.9	342	4357	19.3
16				187	1519	11.2	607	1498	15.3	590	2662	16.7	330	4374	18.9
17				178	1592	10.7	564	1613	14.8	535	2749	16.4	432	4335	18.6
18				166	1578	10.5	562	1588	15.3	493	2824	16.3	461	4251	18.2
19			5 2.9	200	1562	11.0	454	1825	13.5	472	2900	16.6	205	4117	17.7
20	911	39	6.6	153	1577	10.9	525	1729	14.1	468	2979	16.5	393	4197	17.7
21	854	115	7.2	69	1627	10.4	568	1753	14.4	467	3377	16.5	568	4160	18.0
22	688	307	5.8	2	1646	10.4	586	1911	14.5	440	3568	16.1	508	4274	18.1
23	572	378	5.4	63	1620	10.6	623	1981	14.9	505	3427	15.6	487	4301	17.8
24	563	361	6.2	147	1476	11.6	637	2074	15.0	521	3469	16.1	413	4070	17.8
25	602	323	8.0	108	1699	10.5	612	2097	15.4	450	3529	16.1	386	3952	17.8
26	644	359	9.4	238	1617	10.5	581	2071	15.8	435	3552	16.0	534	3949	18.0
27	628	552	9.3	340	1514	11.2	534	2133	15.5	521	3480	16.5	553	4166	18.3
28	587	696	9.6	337	1575	11.1	577	2143	15.8	523	3524	16.8	660	4318	18.7
29				330	1585	10.8	518	2231	15.3	502	3602	17.0	822	4526	19.0
30				360	1526	10.2	479	2280	14.9	483	3670	17.1	842	4718	19.2
31				426	1275	10.5				484	3690	17.0			
AVE	672	314	7.0	223	1395	10.2	542	1687	13.5	483	2907	16.2	485	4095	18.5

## Q点(湯場) 1977

DATE	NS	EW	TE												
	FEB			MAR			APR			MAY			JUN		
	℃			℃			℃			℃			℃		
1				1310	5397	9.1			10.0	2373	4927				18.3
2				1261	5290			4961	10.0	2413	4836				18.7
3				993	5321			5005	9.8	2382	4769		2654	4276	21.0
4				1276	5488	3.6		5049	8.7	2340	4850		2639	4259	20.8
5				1710	5553	2.1		5032	8.9	2364	4918		2648	4237	20.9
6				2065	5490	2.0		5021	10.4				2656	4251	21.0
7				1861	5399	6.0		5039	9.7	2406	4732		2637	4289	20.5
8				1320	5313	7.9		5078	8.6	2348	4858				20.3
9				663	5117	10.8		5028	8.3				2639	4311	20.5
10				565	4992	9.6		4958	9.6				2610	4322	20.5
11				713	5023	7.6		4990	10.2	2447	4848		2595	4368	20.1
12				761	5033	7.2		5045	12.2	2496	4857		2617	4341	20.7
13				677	5004	8.5		4977	12.9	2507	4790		2633	4338	21.2
14				216	4919	10.1		4946	12.8	2496	4749				21.1
15				3	4847	10.2		4792	14.6	2507	4722		2566	4423	19.3
16					4900	9.4		4578	16.3	2471	4749		2583	4426	19.8
17					4938	9.0		4559	14.0	2441	4822		2574	4442	19.3
18					4923	9.5		4605	13.7	2436	4875		2554	4449	18.6
19	3086	6262	1.9		4897	9.8		4985	9.1	2444	4902		2529	4513	17.2
20	2925	6217	5.4		4915	9.0		5035	11.6	2454	4859	18.6	2581	4502	17.2
21	2537	6081	6.7		4985	7.3		5000	12.6	2467	4796	17.1			17.4
22	2745	6063	3.0		4998	7.7		4975	12.4	2494	4890	15.1			17.1
23	2961	5999	2.4		4983	8.7		4870	13.4	2566	4851	15.3			17.1
24	2877	5952	4.4		4844	10.6		4865	13.5	2587	4764	16.1			17.8
25	2352	5869	8.2		4997	6.4		4812	14.7	2620	4711	16.6			18.1
26	1797	5529	10.0		5036	7.2		4705	14.9	2613	4688	16.9			19.1
27	1531	5484	8.9		5012	9.4	2270	4901	14.5	2635	4644	17.3			19.7
28	1353	5426	8.7		5016	8.0	2337	4800		2675	4560	17.6	2870	3973	20.6
29					4982	7.7	2299	4890		2675	4520	17.8	2858	3968	21.0
30					4926	7.8	2308	4958		2679	4481	18.1	2876	3950	21.0
31					4838	9.5						17.8			
AVE	2416	5888	6.0	1026	5077	8.0	2304	4912	11.8	2494	4777	17.0	2648	4297	19.5

Q点 1977

1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	TE	NS	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	
	JUL			SEP			OCT		NOV		DEC			JAN			FEB			
	°C			°C			°C		°C		°C			°C			°C			
1	2891	3930	21.4			23.1			4501	20.0	4647		10.3	JAN						
2			23.4			23.3			4481	19.2	4634		9.3		600	14.1				3.0
3			23.9			23.5			4334	16.6	4633		8.7	5507	907	9.1	7844	817	2.8	
4			23.6			23.2			4260	15.4	4668		9.1	5467	989	7.9	7813	835	2.5	
5	2957		23.3			22.9			4309	15.9	4760		10.9	5361	1084	5.7	7853	832	3.2	
6	2939	3879	23.1			23.4	3971	19.7	4397	17.2	4851		11.1	5447	1124	6.4	7967	777	4.8	
7	2927	3933	22.7	3648	3566		4043	20.0	4516	19.2	4843		10.5	5565	1069	8.0	8085	685	6.0	
8	2890	4108	21.1	3642	3565		4041	20.0	4543	19.5	4871		11.1	5657	988	8.7	8151	581	6.9	
9	2885	4105	21.5	3633	3578		3982	19.9	4530	18.5	4865		11.1	5647	931	8.2	8228	493	7.5	
10	2923	4039	22.6	3652	3525		4004	19.9	4462	16.8	4834		10.3	5475	1054	4.6	8264	458	7.7	
11	2954	3920	24.6	3667	3491		3988	19.1	4392	15.1	4832		10.4	5424	1083	5.7	8461	262	11.9	
12	2929	4028	23.5	3674	3447		3935	17.6	4273	12.4	4842		10.4	5478	955	7.4	8580	93	10.8	
13	2929	4100	24.4	3668	3458		3938	17.7	4307	12.3	4830	2041	10.7	5551	876	7.9	8495	147	9.2	
14	2954	3988	25.2	3665	3558	24.7	3956	18.0	4418	13.6	4868	1987	11.0		777	9.0	8430	218	8.6	
15	2980	3935	25.3	3667	3559	24.4	4034		4464	14.1	4916	1936	11.7		666	10.1	8335	331	7.3	
16	2972	4002	25.1	3586	3753		4097		4490		5088	1726	14.0		629	8.9	8250	437	6.2	
17	2935	4168	24.2	3555	3875	20.8	4069	18.4			5201	1481	15.7		742	6.3	8172	540	5.1	
18	2927	4266	24.0	3675	3867	21.2	4037	17.5					13.1		775	7.3	8199	561	5.5	
19	2927	4290	23.9	3740	3713	21.9	4026	16.9					10.3		740	7.0	8228	552	5.6	
20	2903	4295	23.3	3798	3527	22.6	4036	15.8					9.4	7920	724	7.1	8216	546	5.1	
21	2887	4404	22.3	3830	3484	22.7	4055	15.0					8.7		666	10.1	8237	469	5.3	
22	2904	4362	22.9	3764	3663	21.0	4134	15.4					7.9	7954	674	7.2	8276	426	5.6	
23	2917	4317	23.2	3703	3823	20.0	4145	16.3	4333	9.1	5247	1495	7.9	7773	779	4.0	8276	426	5.6	
24	2967	4282	23.8	3779	3737	20.6	4177	16.6	4387	9.7	5308	1443	9.0	7842	828	5.1	8309	382	5.2	
25	3014	4214	24.5	3811	3672	21.0	4175	16.6	4477	10.8	5404	1304	9.9	7842	828	5.1	8312	409	5.1	
26	3044	4194	24.8	3839	3621	21.1	4267	17.3	4548	11.6	5324	1389	7.6	7952	771	6.7	8296	473	5.0	
27	3081	4171	24.9	3838	3569	21.0	4320	17.2	4658	12.3	5344	1419	7.7	7994	719	6.6	8349	429	5.9	
28	3079	4162	24.7	3808	3554	20.8	4360	17.6	4734	13.4	5365	1398	7.6	8027	697	5.1	8333	393	5.4	
29	3092	4175	24.7	3781	3581	20.4	4397	18.0	4753	12.9		1298	9.4	8118	570	9.3	8406	288	7.1	
30	3099	4164	24.9	3773	3617	20.0	4399	18.4	4644	10.4		911	13.2	8118	582	8.1	8547	154	9.6	
31	3109	4160	25.0				4476	19.5				812	12.4	7920	745	4.6				
AVE	2965	4133	23.7	3717	3617	22.0	4118	17.9	4467	14.6	4964	1474	10.3	6790	816	7.4	8246	466	6.2	

Q点 1978

R点(ピラ大島) 1977

DATE	NS	EW	TE
	MAR		℃
1	8472	129	6.1
2	8359	326	5.8
3	8479	244	9.8
4	8702	5	12.6
5	8646	62	9.2
6	8605	76	9.2
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
AVE	8544	140	8.8

DATE	EW	TE	EW	TE	EW	TE	EW	EW	TE	EW	TE	EW	TE
	FEB	℃	MAR	℃	APR	℃	MAY	JUL	℃	AUG	℃	SEP	℃
1			6179		6099	12.7	6075			5559	25.4	5332	
2			6164			12.9				5553	25.7		
3			6153	11.7	6129	13.0				5569	25.8		
4			6164	11.2	6138	13.0				5570	26.0		
5			6189	10.8	6135	13.0	6087			5565	26.0		
6			6190	10.7	6100	13.1	6087			5564	26.2		26.3
7			6167	11.0	6061	13.4	6067			5552	26.3	5379	26.6
8			6142	11.2	6066	13.1	6068			5542	26.2	5365	26.5
9			6132	11.7	6092		6065			5472	26.2	5357	26.4
10			6123	12.0	6057		6066			5406	26.1	5370	26.4
11			6115	12.0	6059		6062				26.0	5378	26.5
12			6108	12.0	6046		6048	5972	23.1		26.0	5372	26.6
13			6120	12.0	6038		6052	5911	23.0		26.0	5358	26.8
14			6165	12.5	6033		6056	5899	23.0	5408	25.4	5338	26.9
15				12.7	6047		6058	5868	23.2	5405	25.0	5342	26.9
16				12.9	6027		6046	5838	23.5		25.1	5378	26.8
17				12.9	6085	14.5	6040	5799	23.8	5342	25.4	5380	26.0
18		11.0		12.6	6040	14.6	6013	5794	23.9			5360	26.0
19	6406	11.0		12.8	6038	14.4	5954	5786	24.0	5330		5305	25.7
20	6362	11.4		12.9	6047	14.5	5954	5771	24.0	5347		5277	25.3
21	6320			12.8	6064	14.9			24.0	5352		5258	25.9
22	6323	11.3		12.6	6053	15.0			24.0	5383		5266	26.0
23	6319	11.6		12.7	6058	15.0			24.1	5406	24.3	5293	25.2
24	6299	11.4		12.7	6042	15.3		5736	24.5	5408	24.2	5273	25.0
25	6264		6105	12.7	6035			5682	24.9	5421	24.0	5249	25.3
26	6234		6129	12.5	6065			5670	25.0	5416	24.2	5236	25.5
27	6217		6122	12.8	6040			5636	25.0	5382		5225	25.2
28	6220		6113	12.9				5619	25.0	5401		5216	25.2
29			6145	12.8	6058			5610	25.0	5387		5215	25.0
30			6153	12.5	6069			5591	25.0	5360		5224	25.0
31			6114	12.3				5570	25.2	5348			
AVE	6296	11.3	6142	12.2	6065	13.9	6047	5750	24.2	5440	25.5	5310	26.0

R点 1977

1978

A点(御神火茶屋) 1977

DATE	EW	TE	EW	TE	EW	TE	EW	TE
	OCT	°C	NOV	°C	DEC	°C	JAN	°C
1	5222	25.0	5351	22.7	5240	17.6	449	15.4
2	5231	24.8	5352	22.6	5232	17.3	427	15.2
3	5266	24.4	5380	22.0	5182	17.0	339	14.7
4		23.5	5408		5097	16.9	270	14.2
5	5329	23.6	5409			17.1	258	13.9
6	5310	24.0	5382		5087	16.9	388	13.7
7	5308	24.1	5358		5091	16.9	843	13.8
8	5304	24.3	5349		5046	16.9	1627	13.6
9	5310	24.3	5339			16.9	2295	13.4
10	5308	24.3	5349			16.6		13.1
11	5331	23.8	5364			16.3	3383	12.6
12	5359	23.3	5401			16.1	4053	12.8
13		23.1	5423			16.0	4473	12.9
14		23.1	5414			16.0	4666	13.0
15	5353	23.2	5416		500	16.0	4803	13.1
16	5334	23.5	5417		504	16.4	4841	13.1
17	5332	23.3	5357		591	16.9	4885	12.6
18		23.0	5338		543	16.6	4894	12.3
19		22.8	5333		402	16.2	4875	12.3
20		22.5	5333		317	15.9	4871	12.3
21	5396	22.2	5346		236	15.4	4871	12.2
22	5386	22.2	5349	19.2	125	15.0	4838	11.8
23	5386	22.3	5376	18.8	67	14.9	4787	11.5
24	5398	22.3	5376	18.2	5	14.8		11.6
25	5394	22.4	5373	18.1	56	15.0		11.5
26	5387	22.4	5359	18.1	51	14.8		11.6
27	5389	22.3	5334	18.2	46	14.4		11.9
28	5381	22.3	5281	18.4	33	14.3		11.9
29	5381	22.2	5271	18.2	64	14.4	4095	11.2
30	5389	22.1	5251	17.9	123	15.1	4380	11.0
31	5374	22.2			260	15.1	4479	10.7
AVE	5342	23.2	5360	19.4	1662	16.0	3204	12.7

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	NS	EW	TE
	MAY		°C	JUN		JUL		°C
1				812	423	714	1107	
2				823	420	787	1145	
3				884	472	787	1130	
4				848	343	754	1095	
5				775	223	749	1062	
6				740	135	693	991	
7				718	62	632	915	
8				688	61	500	823	
9				701	87	490	855	
10				654	22	556	958	
11				673	26	617	1086	
12				740	142	537	1050	29.1
13				760	189	481	1026	27.7
14				763	190	514	1136	27.1
15				623	21	516	1161	29.5
16				575	6	444	1110	29.7
17				519	63	329	1022	27.9
18				492	140	323	1086	26.1
19	747	397	18.7	448	308	330	1249	26.6
20	691	348	19.8	538	580	333	1307	27.1
21	599	241	19.9	593	750	340	1285	26.2
22	534	234	15.5	577	770	339	1366	26.9
23	646	438	16.7	521	726	339	1443	27.6
24	737	517	18.8	612	857	340	1517	28.4
25	736	455	17.8	663	1013	339	1552	27.0
26	786	467	16.6	758	1127	346	1666	26.9
27	843	529	18.1	781		338	1707	27.3
28	879	534	21.1	819				26.5
29	854	471	20.6	753				25.9
30	829	422	19.4	721	1105			25.6
31	771	368						25.8
AVE	742	417	18.6	686	380	499	1180	27.2

A点 1977

1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	
	SEP			OCT			NOV			DEC			JAN		
	°C						°C			°C			°C		
1				475	5238	969	6749		784	8211	11.4	1335	8632	12.9	
2				453	5274	881	6616		818	8232	11.1	1248	8468	10.6	
3				380	5138	726	6486		824	8247	10.7	1161	8382	8.2	
4				332	5127	624	6592		823	8247	10.9	1112	8496	6.9	
5				425	5480	740	7439		912	8253	12.0	1106	8567	6.0	
6	303	3695	26.7	512	5631	840	7700		979	8255	12.3	1128	8694	6.9	
7	306	3670	25.4	507	5646	955	7790		923	8253	12.1	1159	8763	8.1	
8	350	3713	24.5	469	5541	926	7804	21.0	960	8257	12.8	1180	8775	7.4	
9	422	3806	23.9	490	5538	806	7687	20.9	950	8257	12.7	1208	8801	7.3	
10	492	3959	23.6	565	5638	591	7416	18.6	909	8249	10.8	1222	8769		
11	525	4009	23.9	516	5591	480	7331	16.5	935	8249	11.7	1185	8889		
12	500	4042	23.9	470	5626	392	7327	13.0	918	8247	10.4	1177	8952		
13	451	4036	24.6	513	5767	481	7544	12.1	1008	8246	11.0	1194	8952		
14	379	3963	24.3	578	5850	668	7821	13.5	1024	8251	11.5				
15	344	3994	25.6	734	6036	765	7970	14.0	990	8249	11.5				
16	61	3821	25.4	733	6084	817	8045	17.9	1118	8249	13.5				
17	6	4005	25.5	585	5886	978	8265	19.0	1199	8144	14.2				
18	101	4230	25.1	542	5823	977	8247	17.4	1158	8066	11.9				
19	265	4473	24.4	602	5893	878	8108	14.3	1097	8040	10.4				
20	341	4758	24.6	572	5877	703	7819	14.6	1079	8090	9.5				
21	297	4712	24.3	573	6001	695	7849	14.7	1089	8188	7.3				
22	245	4631	24.9	591	6156	742	7902	13.8	1096	8392	7.4				
23	213	4626	22.4	696	6255	700	7829	11.5	1100	8480	7.4				
24	378	4893	21.4	718	6323	707	8026	11.7	1120	8567	8.5				
25	438	5006	20.6	691	6310	795	8201	13.0	1176	8589	9.1				
26	456	5016	18.4	763	6351	846	8242	12.8	1179	8580	8.0				
27	488	5058	21.2	691	6295	970	8265	14.7	1105	8563	7.8				
28	436	5083	19.1	729	6273	976	8272	15.4	1091	8614	7.8				
29	409	5056		833	6468	910	8264	13.3	1090	8653	10.2				
30	410	5033		819	6606	836	8229	12.7	1218	8709	12.6				
31				946	6751				1253	8590	11.9				
AVE	345	4372	23.6	597	5886	779	7728	15.1	1030	8330	10.7	1186	8703	8.3	

P点(浅間園) 1978

表3.5.2 浅間山

記号等は表3.2.1に同じ。

なお、0点の傾斜観測値は  
100 m V / 秒角に補正してあ  
る。

また、0点のTEは測候所  
における気温である。

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	TE
	APR			MAY			JUN			JUL			AUG	
	℃			℃			℃			℃			℃	
1				1404	304	9.6	1123	539	12.6	774	192	17.0	452	22.1
2				1410	301	9.7	1137	511	13.2	743	172	17.2	432	21.3
3				1407	343	9.4	1203	502	13.6	753	134	17.9	414	22.4
4				1388	338	10.0	1238	529	13.5	757	101	18.4	394	22.0
5				1404	338	10.5	1198	493	13.5	763	53	18.8	364	21.9
6				1395	327	10.6	1143	364	13.2	750	11	19.2		22.4
7				1369	348	10.7	1172	358	13.8	769	40	19.8	325	22.0
8				1343	354	10.7	1188	378	14.4	755	46	19.8	307	22.0
9						10.9	1181	343	15.7	731	62	19.7	301	21.7
10						11.3	1182	264	16.1	713	60	19.7	285	22.2
11				1306	325	11.3	1207	247	16.5	679	62	20.1	275	22.2
12				1310	351	11.1	1198	243	17.1	638	85	20.9	261	22.2
13				1298	338	11.5	1149	237	17.0	620	141	20.1	249	22.5
14				1291	317	11.6	1121		16.9	575	173	20.0	239	22.1
15				1291	315	11.8	1107	228	17.4	555	187	20.0	246	22.0
16				1292	310	12.1	1106	209	18.1	543	214	19.8	235	22.3
17				1282	304	12.6	1082	163	18.4	523	267	19.2	239	22.4
18				1259	317	12.8	1092	158	18.4	508	250	19.5	203	22.2
19				1240	305	12.9	1071	137	18.7	497	246	19.9	169	22.0
20				1247	313	13.0	1035	114	17.8	501	228	20.4	157	22.0
21	1466	273	7.7	1248	352	13.0	1013	90	17.8	487	204	20.4	171	22.0
22	1455	339	7.9	1247	364	12.8	990	101	17.9	478	181	20.5	215	21.6
23	1439	351	8.2	1239	367	13.0	950	129	17.4	480	158	20.7	225	21.9
24	1425	328	8.5	1236	355	13.3	911		17.2	489	127	21.1	276	21.7
25	1417	339	8.4	1227	337	13.9	893	133	17.1	507	110	21.5	265	21.4
26	1409	397	7.7	1215	325	14.2	873	143	17.3	504	110	21.6	236	21.4
27	1393	379	8.1	1210	312	14.7	857	141	17.3	491	119	21.6	199	21.6
28	1412	379	8.3	1204	314	15.0	820	128	17.5	484	122	21.6	147	21.6
29	1403	352	8.9	1167	295	15.3		151	17.2	470	127	21.4		21.9
30	1402	334	8.9	1137	336	14.8		165	17.0	466	149	21.4		21.9
31				1134	497	12.9				461		21.8		21.9
AVE	1422	347	8.3	1283	335	12.2	1080	257	16.3	596	138	20.0	270	22.0

## P点 1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	SEP			OCT			NOV			DEC		
	°C			°C			°C			°C		
1			21.7	131	440	16.4	327	843	11.0	444	1019	4.9
2	100		20.8	162	448	15.5	346	853	10.8	457	991	4.9
3	101		20.2	201	452	15.4	332	920	9.9	453	1023	4.4
4	24	75	20.5	228	456	15.7	340	953	9.4	489	1000	4.8
5			20.3	212	479	15.5	372	941	9.4	441	1033	3.6
6			19.7	180	530	14.8	387	910	9.7	375	1083	2.9
7			19.5	185	594	14.0	404	895	9.9	432	1034	3.2
8			19.2			13.6	410	863	10.1	472	992	3.5
9			19.4			13.2	396	873	9.8	515	941	4.0
10	121	178	20.1	137	585	13.4		947	9.0	571	868	4.9
11	101	173	20.2	135	556	13.8		948	9.0	598	869	4.5
12	102	233	19.5	162	584	13.2		957	8.7	588	924	3.9
13	97	296	18.8	179	659	12.2	416	947	8.7	582	910	4.3
14	85	307	18.3	210	718	11.6	402	915	8.9	603	867	5.0
15	43	278	18.0			11.7	408	890	8.9	618	827	5.3
16	17	245	18.2	200	681	11.3	414	955	7.9	622	826	5.5
17	36	303	17.7	220	701	11.0	415	930	8.0	623	801	5.8
18	67	318	17.7	251	688	11.5	416	890	8.1	621	810	5.6
19	65	286	18.0			11.9	416	870	8.4	615	835	5.2
20	65	262	18.3			12.2	421	963	7.5	583	937	3.6
21	50	235	18.6	297	822	12.0	432	986	7.0	459	1011	2.4
22	44	263	18.3	291	880	11.1	431	971	6.9	501	979	2.5
23	95	360	17.9	326	869	11.1	459	961	6.8	531	960	2.4
24	108	391	17.6	324	842	11.7	498	961	6.7	507	990	1.3
25	97	354	17.6	338	811	12.1	535	981	6.5	482	993	1.5
26	132	399	17.3	341	787	12.2	528	964	6.5	549	914	2.0
27	136	456	17.0		762	12.4	522	922	6.9	608	859	2.2
28	130	470	16.7	320	703	13.2	512	912	6.8	665	841	2.5
29	124	492	16.3	325	756	12.5	426	1034	5.1	654	874	1.9
30	92	437	16.8	288	854	11.3	393	1045	5.0	569	954	0.4
31				310	854	11.1				511	1035	-0.6
AVE	85	310	18.7	238	674	12.9	421	933	8.2	540	935	3.5

## Q点(ハイランド) 1978

DATE	NS	EW	TE
	APR		
	°C		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19	919	182	2.2
20	922	151	2.1
21	949	117	2.6
22	952	112	3.0
23	957	112	3.0
24	969	112	3.0
25	1319	112	3.1
26	1182	112	3.1
27		113	3.2
28		113	3.3
29		113	3.4
30			3.4
31			
AVE	1021	123	3.0

Q点 1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	MAY		℃	JUN		℃	JUL		℃
1			3.6	139	87	7.4	154	84	11.0
2			3.9	130	93	7.5	147	97	11.0
3			3.9	114	94	7.6	149	115	11.2
4	1280	111	4.0	123	77	7.6	145	144	11.3
5	1263	111	4.1	151	59	7.6	154	171	11.7
6	1136	111	4.2	153	57	7.6	171	184	11.7
7	966	110	4.3	161	59	7.8	206	179	11.9
8	1079	110	4.3	164	63	8.0	336	123	12.0
9	938	111	4.4	173	71	8.0	339	40	12.1
10	702	111	4.5	147	97	8.1	340	13	12.1
11	690	111	4.8	109	103	8.3	363	23	12.2
12	677	111	4.9	119	109	8.5			
13	596	112	5.0			8.5			
14	582	112	5.1		105	8.7			
15	594	112	5.3	146	105	8.9			
16	590	112	5.5	172	106	9.0			
17	635	112	5.7	165	102	9.1			
18	531	112	5.8	199	103	9.2			
19	119		5.9	201	103				
20	31		6.0	181	90	9.3			
21	26		6.1	181	82				
22	19	123	6.1	193	60				
23	46	146	6.2	222	41				
24	89	166	6.5	223	47				
25	101	183	6.6	206	55				
26	108		6.7	191	52				
27	111		6.9	189	49				
28	117		7.1	170	53	10.3			
29	127		7.3	168	62	10.7			
30	133		7.3	164	74	10.9			
31	135	98	7.3						
AVE	479	119	5.5	166	78	8.6	228	107	11.7

R点(草地試験場) 1978

ただし、7月と10月は、  
傾斜計を再設置したた  
め、連続しない。

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	APR		℃	MAY		℃
1				29	242	8.7
2				28	236	8.9
3				23	242	9.0
4				20	246	9.1
5				18	249	9.2
6				13	251	9.3
7				15	240	9.6
8				21	233	9.5
9				23	235	9.7
10				23	230	9.8
11				23	224	10.0
12				24	224	10.0
13				22	232	10.1
14				21	236	10.1
15				19	240	10.2
16				20	243	10.3
17				21	245	10.4
18	81	14		24	241	10.5
19	74	61	8.1	31	230	10.6
20	54	138	7.9	33	226	10.7
21	45	172	7.9			10.9
22	39	205	7.9	30	244	10.9
23	38	219	8.0	30	247	11.1
24	38	220	8.1	33	249	11.1
25	38	224	8.1	35	252	11.2
26	32	238	8.2	36	254	11.3
27	31	241	8.3	38	257	11.5
28	30	245	8.3	40	260	11.6
29	28	241	8.5	42	262	11.7
30	29	239	8.6	44	258	11.8
31				50	246	11.8
AVE	43	189	8.2	28	242	10.3

## R点 1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	NS	EW	NS	EW
	JUN			JUL			OCT		NOV		DEC	
	°C			°C								
1	51	250	11.8	73	156	14.2			220	30	46	177
2	55	264	11.8	68	158	14.4			218	35	48	172
3	57	273	11.9	58	165	14.6			202	53	46	173
4	68	251	12.0	47	177	14.8	228	79	191	69	43	177
5	78	227	12.0	35	187	15.0	236	73	179	86	41	178
6	79	222	12.0	24	198	15.0	244	62	170	103	30	185
7	74	227	12.1	21	200	15.0	245	63	164	113	26	187
8	70	233	12.3	20	198	15.0	245	61	159	119	30	186
9	67	241	12.4				246	63	149	128	38	185
10	64	249	12.6				256	52	132	142	56	165
11	63	256	12.6				254	50	124	145	56	168
12	66	260	12.8				249	49	120	144	37	187
13	69	260	12.9				243	48	128	129	35	190
14	71	254	13.0				241	49	139	114	42	185
15	72	263	13.0				241	50	129	112	56	171
16	77	251	13.0				242	53	110	123	50	177
17	87	229	13.0				238	66	105	123	56	173
18	81	228	13.1				237	69	106	123	56	174
19	81	222	13.4				237	75	113	114	48	182
20	82	210	13.4				238	76	99	130	32	203
21	81	204	13.6				235	78	85	144	21	214
22	87	193	13.8				227	85	81	149	14	222
23	98	174	14.0				224	86	79	152	14	220
24	98	168	14.0				225	91	77	156	22	215
25	94	158	14.0				225	94	65	170	21	217
26	89	155	14.0				223	95	65	170	22	218
27	85	150	14.0				219	94	81	151	24	215
28	83	146	14.1				235	64	81	147	38	197
29	76	154	14.2				243	25	57	169	30	208
30	69	161	14.1				225	18	51	174	15	217
31							221	21			13	236
AVE	76	218	13.0	43	180	14.8	237	64	123	124	36	193

## O点(测候所)1977

DATE	NS	EW	TE
	APR		
	°C		
1	1313	691	1.9
2	1310	699	4.2
3	1301	700	1.5
4	1311	710	-0.3
5	1325	726	3.2
6	1312	712	9.4
7	1257	679	3.8
8	1241	668	3.1
9	1231	657	2.5
10	1239	657	6.5
11	1218	660	5.9
12	1189	651	10.5
13	1137	631	9.4
14	1094	630	11.2
15	1034	635	12.1
16	997	624	12.3
17	984	607	10.0
18	990	619	8.7
19	1006	622	4.0
20	1069	644	10.5
21	1060	658	9.1
22	1040	656	7.2
23	1035	659	10.2
24	1016	652	9.4
25	1009	643	12.5
26	986	645	10.0
27	965	635	8.0
28	969	626	10.7
29	975	625	5.5
30	998	626	5.5
31			
AVE	1120	655	7.3

0点 1977

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	MAY			JUN			JUL			AUG			SEP			OCT		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1	1027	634	10.1	727	574	13.6	581	421	17.1			22.9	403	327	20.1	495	351	14.5
2	1021	649	13.2	725	562	13.4	573	421	20.0	341	248	21.8	388	313	19.4	482	348	14.3
3	973	651	9.8	736	576	17.5	544	415	20.1	331	241	22.4	385	294	19.5	475	342	10.7
4	958	622	6.3	685	585	16.2	492	394	19.4	322	244	23.0	387	292	17.8	476	334	10.9
5	975	606	8.6	634	561	16.7	477	389	19.0	295	227	22.1	409	302	18.1	482	340	11.4
6	998	629	15.9	586	537	16.9	483	390	19.2	291	213	19.6	414	317	19.1	487	349	12.6
7	954	646	10.4	550	499	15.2	489	394	17.5	312	219	17.5	406	318	19.0	507	362	13.1
8	937	621	9.1	570	495	15.8	477	381	13.8	338	236	16.7	392	312	18.9	513	362	12.0
9	952	615	9.3	578	500	16.6	524	410	16.0	360	237	19.5	384	293	19.4	525	365	13.6
10	946	628	12.0	560	489	14.9	527	405	18.2	360	254	16.5	369	297	20.4	527	371	13.3
11	935	629	12.2	546	469	15.1	507	394	18.4	366	247	17.1	351	302	21.5	508	362	10.4
12	887	620	11.5	559	475	16.7	479	366	19.6	389	257	18.3	330	306	21.0	520	369	9.6
13	862	616	14.2	561	485	16.9	472	359	22.2	384	241	17.5	323	282	19.8	541	377	9.0
14	818	612	13.9	549	474	12.9	455	355	22.9	397	251	15.9	328	273	18.6	559	385	10.5
15	779	583	10.1	555	465	10.8	417	331	21.7	408	261	17.9	346	263	14.7	575	398	11.9
16	791	571	6.0	587	470	12.4	401	312	21.1	426	266	19.6	390	288	12.1	572	397	9.4
17	846	578	8.3	602	470	13.5	393	299	17.8	410	246	20.4	424	322	12.7	589	400	8.7
18	866	598	10.2	584	448	11.2	409	295	18.9	403	249	18.9	437	334	17.0	613	410	9.2
19	852	601	10.3	615	450	12.4	422	301	19.5	399	246	17.2	433	326	17.2	616	414	6.8
20	842	601	13.7	626	466	12.2	413	290	17.6	425	269	17.1	410	300	17.4	639	412	5.5
21	812	595	10.1	631	472	12.7	439	307	17.9	447	292	15.5	410	302	16.7	664	419	5.3
22	796	582	7.6	624	469	11.7	439	303	21.0	461	302	13.6	404	303	10.0	681	431	7.7
23	810	584	11.7	638	469	12.6	421	297	21.2	489	318	14.9	448	327	13.6	691	440	7.3
24	804	590	10.2	636	466	13.2	384	274	21.2	509	351	14.2	468	343	15.1	691	443	5.8
25	787	572	10.9	616	447	14.3	366	265	21.2	507	350	14.8	462	341	11.6	695	444	9.1
26	811	579	12.0			17.1	348	252	21.2	505	346	17.9	474	343	13.1	688	468	8.1
27	824	594	14.3			15.7	339	225	20.0	471	342	18.9	479	347	11.9	680	453	8.0
28	799	599	14.6	582	431	17.4	347	234	20.6	463	337	19.1	496	351	12.4	688	464	8.9
29	752	590	14.3	576	426	15.7	354	243	20.8	436	329	20.1	517	359	12.9	684	470	10.9
30	715	574	13.6	580	425	14.9	345	243	21.5	418	322	19.8	512	353	14.5	671	469	11.8
31	723	571	13.9				338	240	22.1	413	320	19.5				656	464	15.3
AVE	866	605	11.2	608	488	14.5	440	329	19.6	403	275	18.4	413	314	16.5	587	400	10.2

0点 1977

1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	NOV			DEC			JAN			FEB			MAR			APR		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1	631	444	15.5	918	542	0.6	1033	637	2.1	1166	816	-9.2	1146	800	-6.6	1056	688	-2.5
2	614	428	9.0	937	550	-0.6	1024	639	-2.1	1169	829	-9.2	1141	834	-5.3	1065	689	-0.6
3	677	425	7.5	953	566	-2.3	1045	664	-4.0	1183	834	-10.0	1151	829	-1.2	1071	667	-0.5
4	719	440	5.6	989	611	0.5	1071	695	-3.4	1184	847	-7.5	1152	779	3.5	1067	666	0.1
5	776	459	7.8	1017	615	2.8	1087	702	-2.7	1198	843	-5.5	1134	755	-1.9	1058	654	2.3
6	805	474	10.8	999	597	1.6	1091	701	-0.8	1193	837	-7.3	1132	759	-1.8	1039	630	3.3
7	765	472	12.3	981	587	-0.8	1087	690	0.1	1193	842	-4.7	1132	756	0.1	1026	627	0.1
8	705	464	12.9	996	600	1.3	1078	685	-1.4	1191	833	-4.9	1128	736	1.4	1016	631	6.9
9	689	450	5.9	1005	599	2.2	1085	689	-0.6	1177	824	-3.4	1117	718	-1.1	977	603	9.9
10	772	454	3.6	998	595	-0.2	1082	703	-6.3	1153	792	3.3	1117	720	-1.0	927	582	3.9
11	825	474	1.0	1003	615	0.4	1104	740	-4.6	1132	754	-1.3	1120	722	-2.2	923	585	1.7
12	857	489	0.2	1021	617	-0.8	1121	735	-1.1	1127	771	-4.3	1122	746	-4.6	925	580	3.4
13	869	513	2.2	1021	626	0.4	1110	717	-1.4	1137	788	-3.0	1131	771	-5.2	917	579	2.1
14	928	526	5.4	1026	632	0.7	1102	700	-0.4	1138	803	-6.6	1136	779	-4.3	922	584	4.7
15	915	521	5.5	1032	639	1.7	1093	690	5.2	1146	831	-8.8	1140	775	-3.8	898	578	16.2
16	898	512	6.7	1035	627	6.0	1077	681	-4.8	1162	858	-8.4	1138	766	-3.5	837	555	14.3
17	858	497	11.5	992	595	7.3	1093	718	-6.8	1172	861	-6.8	1130	769	-3.1	804	532	6.1
18	801	491	9.6	953	580	0.9	1120	750	-3.8	1172	855	-7.3	1129	756	-0.1	828	536	4.3
19	788	487	8.5	974	590	-1.4	1138	748	-3.3	1170	860	-7.1	1128	715	-0.7	864	546	8.4
20	804	480	5.6	1008	626	-1.3	1132	758	-5.0	1182	861	-2.8	1121	720	-1.0	850	542	8.1
21	838	483	7.2	1029	633	-4.0	1142	759	-3.4	1173	833	-4.3	1118	724	-1.6	844	545	3.1
22	852	488	5.8	1043	667	-5.5	1139	764	-7.2	1159	835	-5.4	1126	715	-0.6	867	566	3.1
23	859	497	0.4	1060	703	-5.0	1150	798	-5.7	1159	832	-6.4	1120	710	-2.2	880	570	6.6
24	920	527	-0.1	1080	707	1.2	1159	799	-3.1	1153	850	-7.5	1115	721	-1.7	880	561	7.4
25	945	550	2.4	1074	680	0.7	1151	795	-6.8	1155	856	-7.3	1123	708	3.1	870	556	6.0
26	948	550	6.1	1059	677	-4.9	1151	803	-5.8	1163	863	-5.9	1103	681	2.5	870	558	5.6
27	917	535	4.7	1069	702	-2.5	1156	794	-1.8	1168	849	-0.9	1083	673	3.7	866	559	9.7
28	895	526	4.5	1078	713	-5.7	1139	775	-5.6	1162	812	-0.9	1066	648	3.4	849	548	10.3
29	898	527	2.9	1093	747	2.0	1137	791	-8.9				1052	641	1.3	823	532	7.8
30	899	539	1.4	1092	703	3.7	1169	819	-4.4				1045	649	1.1	831	529	10.1
31				1057	666	3.1	1174	813	-5.2				1043	656	-3.6			
AVE	822	491	6.1	1019	632	0.7	1111	734	-3.3	1166	831	-5.5	1117	733	-1.2	922	586	5.4

0点 1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE												
	MAY			JUN			JUL			AUG			SEP			OCT		
	°C			°C			°C			°C			°C			°C		
1	804	525	14.3	490	359	11.6	275	192	16.5	107	30	21.4	235	139	16.2	571	334	12.4
2	719	509	11.9	488	357	14.2	290	197	20.3	114	38	23.9	245	144	15.1	587	341	12.1
3	739	505	8.6	449	333	14.0	304	179	21.9	75	22	22.6	257	151	14.9	595	336	11.1
4	750	505	12.9	411	308	10.8	290	171	22.3	51	7	22.7	297	175	18.7	611	339	12.8
5	718	497	12.8	423	308	13.9	277	166	22.3	42	4	20.9	301	178	14.4	626	345	8.9
6	699	489	5.8	437	318	13.5	274	165	21.2	54	16	22.5	330	190	15.5	630	341	8.8
7	738	499	5.3	441	315	14.0	261	147	21.8	66	26	21.3	372	214	14.1	655	348	8.2
8	779	506	8.9	428	307	15.4	245	133	20.3	61	20	20.5	395	226	14.8	751	353	6.2
9	771	503	11.9	421	308	17.5	248	137	21.0	76	27	22.0	419	242	17.9	822	364	9.8
10	717	490	14.2	430	309	16.9	261	137	20.5	59	30	22.5	440	255	20.4	844	371	12.1
11	669	466	8.4	415	301	15.8	246	122	19.6	37	26	22.4	429	244	15.2	831	374	11.5
12	694	471	11.1	411	294	18.7	248	118	20.0	19	16	22.2	410	236	11.3	829	381	10.0
13	693	472	11.7	378	272	17.0	253	123	19.5	24	15	21.9	458	246	13.3	829	383	6.2
14	681	469	11.2	355	260	17.3	262	124	20.2	36	23	21.5	489	264	13.3	845	389	4.3
15	671	467	11.9	345	248	19.4	258	119	19.8	30	25	23.1	522	282	15.4	915	400	6.7
16	650	459	14.3	308	222	18.6	246	116	18.7	20	27	23.1	531	291	16.6	985	421	8.8
17	626	450	14.1	308	218	22.4	245	122	19.1	10	21	21.1	530	301	16.5	992	431	6.5
18	618	438	11.0	289	200	22.2	249	118	19.4	54	36	20.1	507	296	15.8	982	434	7.7
19	612	430	15.4	275	195	19.8	251	122	19.7	72	48	19.9	494	293	15.7	1008	443	10.2
20	590	433	13.6	258	182	20.3	277	143	20.6	74	53	21.0	477	286	16.2	1023	449	11.4
21	564	418	12.7	243	171	20.1	257	131	21.1	77	60	23.5	458	274	14.3	1000	445	7.7
22	554	415	11.6	221	168	16.5	227	118	22.6	94	71	21.3	462	281	14.1	986	444	4.3
23	561	415	12.4	215	187	15.3	194	111	23.0	113	76	20.1	453	280	12.3	1015	458	6.1
24	539	409	14.4	264	219	18.6	157	96	22.6	135	87	18.8	482	286	14.7	1057	472	11.1
25	496	397	15.8	281	216	17.7	138	78	21.8	166	96	17.2	502	311	15.6	1061	480	11.0
26	462	379	15.1	279	214	19.9	137	49	21.4	181	105	18.4	509	316	13.6	1039	470	9.0
27	439	354	16.2	285	202	19.5	132	32	21.7	176	110	19.4	520	314	12.6	1043	466	10.2
28	410	338	15.7	271	191	16.3	125	40	21.9	189	116	19.8	520	322	11.3	1025	457	9.3
29	389	324	14.1	280	202	18.5	135	44	21.4	211	131	21.2	549	325	11.9	994	435	7.1
30	384	310	8.5	297	201	18.3	119	37	21.0	221	138	20.2	564	328	14.1	1012	445	4.7
31	430	331	7.1				105	27	20.6	233	145	19.7				1038	461	6.5
AVE	618	441	12.0	347	253	17.1	225	117	20.8	93	53	21.2	439	256	14.9	877	407	8.8

0点 1978

DATE	NS	EW	TE	NS	EW	TE
	NOV		°C	DEC		°C
1	1057	473	5.6	1271	598	0.7
2	1072	481	6.1	1278	605	3.9
3	1069	483	2.1	1287	603	0.9
4	1084	486	2.8	1294	623	3.4
5	1105	499	3.7	1296	611	-1.0
6	1123	509	5.5	1299	643	-3.7
7	1131	515	6.0	1333	688	-2.1
8	1134	516	7.1			3.6
9	1133	520	5.2			4.7
10	1122	514	2.0			8.8
11	1141	519	3.6	1284	577	-2.0
12	1166	528	4.2	1301	632	-1.6
13	1167	522	4.7	1322	648	2.2
14	1172	525	7.6	1322	631	7.6
15	1167	527	7.1	1298	588	4.6
16	1157	529	2.1	1285	596	1.9
17	1175	537	3.8	1292	597	3.9
18	1196	544	4.9	1291	596	-0.6
19	1196	543	8.6	1299	618	-3.8
20	1185	547	0.7	1329	665	-5.9
21	1208	567	-0.4	1367	710	-6.1
22	1240	585	0.1	1394	752	-5.5
23	1249	597	2.5	1424	762	-2.5
24	1262	597	1.0	1429	742	-2.1
25	1265	604	0.7	1424	736	-2.9
26	1281	613	3.5	1420	739	-2.1
27	1270	599	6.0	1418	733	3.1
28	1244	580	3.8	1388	690	0.4
29	1247	592	0.1	1385	714	-3.1
30	1261	596	0.3	1405	743	-7.8
31				1447	804	-8.7
AVE	1176	542	3.7	1343	666	-0.4

## 第4編 リモートセンシングによる火口および 火口周辺の地表面温度の観測

### 第1章 総 説

田 中 康 裕

#### 1.1 まえがき

火山噴火に先がけて、火山の地熱地帯の面積が拡大したり、温度が上昇したと伝えられる例は、古来、多数にのぼっており、火山活動と地熱とが密接な関係にあることは言をまたない。そこで、火山の地熱を観測して、その熱的異常の発見につとめることは、火山活動の監視ないし火山噴火予知のために有効な方法だと思われる。

ところが、噴火が起きそうな場所は、一般に、けわしい山岳地帯や、交通不便な僻地にあるので、そこへ接近するには幾多の苦勞や時間を要する。また、折角地熱地帯へ接近できたとしても、観測中に噴火に遭遇したり、有毒な火山ガスに侵されるような危険があって、その観測は容易でない。こうした観測はリモートセンシングによって、危険な地域から離れた安全な場所で行うのが理想的である。それが可能になれば、火山観測は画期的に改善され、進歩することだろう。

赤外線を使って、離れた物体の熱的状态を隔測しようとする技術は近年急速に進み、その用途は、地学調査・環境調査・海洋調査・農林調査・その他の広い分野にわたって有望視されており、その実用化の研究が各方面で進められている。

気象研究所では、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、

「火口周辺の地温変化の観測および結果の解析」

をテーマとする研究を5ヶ年計画により実施した。

また、この研究と平行して、昭和49～50年度には、気象庁からの要望研究として

「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」

をテーマとした研究を実施した。

観測は航空機に赤外線装置を搭載して、空中から地上の赤外熱映像を求める方法と、地上で赤外線放射温度計を使って地表面温度を測る方法を用いた。

なお、1977年には有珠山の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、「1977年有珠山噴火」に関する特別研究の一環として、「噴火活動と地表面温度分布の変化に関する研究」を実施した。

この研究の中で、航空機による温度観測の作業は、アジア航測株式会社が担当した。

これらの研究に関連して観測を実施した年度、年月日、火山名、観測方法などは次のとおりである。

昭和49年度

1. 1974年11月14日：三宅島で地上観測
2. 12月25日：阿蘇山で空中観測
3. 12月26日： ”
4. 12月26日：桜島で空中観測
5. 1975年3月29日：阿蘇山で地上観測

昭和50年度

6. 1975年10月20, 21, 22日：那須岳で地上観測
7. 11月17日：桜島で空中観測
8. 11月17日：阿蘇山で空中観測
9. 1976年1月27日：桜島で空中観測
10. 2月1日： ”
11. 3月28日：阿蘇山で地上観測

昭和51年度

12. 1976年10月11日：伊豆大島で空中観測
13. 11月25日：浅間山で空中観測

昭和52年度

14. 1977年9月13日：有珠山で空中観測
15. 10月20日 } : ”  
22日 }
16. 11月8日： ”
17. 11月29日： ”
18. 12月15日：伊豆大島三原山で地上観測
19. 1978年1月12日（早朝）：伊豆大島で空中観測
20. 1月12日（昼間）： ”
21. 1月26日：桜島で空中観測
22. 2月8日：浅間山で空中観測

以上の22回にわたり、6火山の熱的状態を観測したが、本編の第2章以下では火山ごとに研究成果をまとめて報告する。桜島、阿蘇山、伊豆大島、浅間山の空中赤外温度観測では、本誌第1編で作製した活

動火口の地形図を使用してある。

なお、空中赤外温度観測値を検定するため、観測時刻に合わせて各火山近くの地上で温度観測（これを ground truth という）を行った。この地上観測は、桜島では鹿児島地方気象台の観測課と高層課の職員、阿蘇山では阿蘇山測候所の職員、浅間山では軽井沢測候所の職員の方々に手伝っていただいた。ここにお礼申し上げる。

## 1.2 観測に使用した計器

昭和49年度の空中赤外温度観測には、富士通株式会社製のIRA-301型航空機搭載用赤外線走査計を使用した。

昭和50年度以降の空中赤外温度観測には、アメリカのDeadalus社製DS-1250 MSS（マルチスペクトルスキャナー）を使用した。

また、地上赤外温度観測には携帯用の赤外線放射温度計を使用した。その器種は次のとおりである。

アメリカのMIKRON Instrument Co.製：MIKRON-44

アメリカのBARNES Co.製：PRT-5

松下通信工業株式会社製：ER-2002/SD

次に上記の各計器の特性を述べる。

### IRA-301型赤外線走査計

検出器：Cd·Hg·Te。液体窒素冷却

波長帯域：8～14 μ

瞬間視野：6.7 mrad

感 度：0.1℃

走査本数：100本/秒

走査角：92°

温度測定範囲：-10°～80℃

揺れ補正：ジャイロにより±5°以内の横揺れ

記録方式：70 mm 白黒フィルム

### DS-1250型MSS

検出器：Cd·Hg·Te。液体窒素冷却

波長帯域：8～14 μ

瞬間視野：2.5 mrad

感 度：0.2℃

走査本数：80本/秒

走査角：87°（実質的には77°20'）

温度測定範囲：温度差60℃

揺れ補正：ジャイロにより±5°以内の横揺れ

記録方式：磁気テープ

#### MIKRON-44 型赤外線放射温度計

検出器：サーミスター・ポーロメーター内装

測定距離：0～∞m

波長帯域：8～15μ

視野角：1/3°

精度：±2℃

分解能：0.5℃

温度測定範囲：温度目盛が0～150℃，0～400℃の2段切換になっていて，既知の温度と測定対象物との温度差を測る

応答速度：1秒

電源：2.8V水銀電池

外形寸法：20cm×20cm×50cm

重量：2.2kg

#### PRT-5 型赤外線放射温度計

検出器：ゲルマニウムを使用したサーミスター・ポーロメーター

測定距離：0～∞m

波長帯域：8～14μ

視野角：2°

精度：±0.5℃

分解能：0.05℃

温度測定範囲：-70～50℃（3段切換）

応答速度：5，50，500 millisecondsの3段切換

電源：蓄電池内装

外形寸法：40cm×15cm×40cm

重量：13kg

ER-2002/SD型赤外線放射温度計

検出器：焦電形検知素子（ $PbTiO_3$ ）使用。集光レンズにはゲルマニウム単結晶を使用

測定距離：2～∞m

波長帯域：8.5～12  $\mu$

視野角：0.5°

精度：±1℃

温度測定範囲および分解能：0°～80℃（レンジ“Narrow”）において0.5℃，-40°～120℃（レンジ“Wide”）において1℃

応答速度：レンジ“F”で0.1秒，レンジ“S”で1秒

電源：蓄電池内装

外形寸法：15 cm×23 cm×30 cm

重量：2.8 kg

1.3 空中観測による赤外熱映像の解析方法

空中赤外温度観測を行ってから温度分布図を作るまでの解析手順は図4.1.1のとおりである。この図の中の用語ないし作業内容について、若干説明を加えておく。

揺れ補正とは、航空機のピッチング、ローリングを、計器に取り付けたジャイロシステムによって±5°まで除去することである。

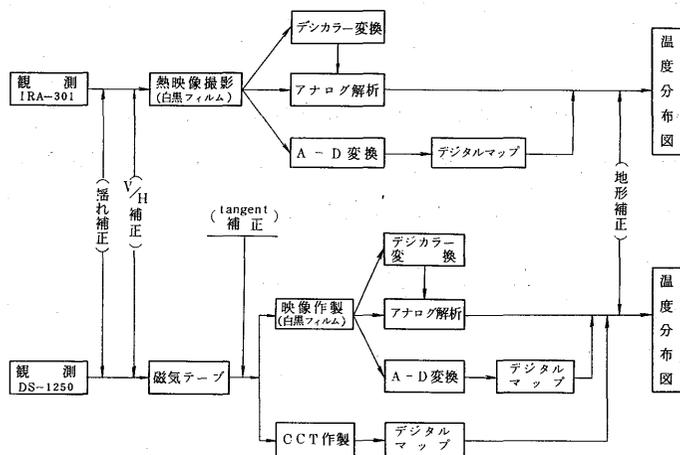


図4.1.1 空中赤外熱映像の解析作業フローチャート

V/H補正とは、飛行速度と飛行高度との関係から、フィルム（IRA-301の場合）または磁気テープ（DS-1250の場合）に記録される画像の縦横の比率を地形の縮尺と同じになるように調節することである。

tangent補正とは、スキャナーが地上を走査するときの対地速度が、直下を走査するときより両端で速いので、そのゆがみを補正することである。

デジカラー変換とは、アナログ解析のための参考資料にするため、映像をデジカラー画像になおすことである。それには、白黒フィルム画像をカラーに変換する方法と、磁気テープから直接カラーに変換する方法とがある。前者は後者とくらべて精度は落ちるが、安価にできる。ここでは前者の方法を採用した。

アナログ解析とは、白黒フィルムに撮影されている熱映像を、色調の濃度によって分解して温度表示になおすことである。同じ濃度の範囲をトレースした図を作り、さらに異なる濃度の範囲でも同様な図を作って、それらを重ね合わせると温度分布図ができる。

A-D変換とは、白黒フィルムにした熱映像画面の濃度を濃度計で読み取ってデジタル化し、磁気テープに収録する作業である。この磁気テープにより熱映像の濃度は記号化し、デジタルマップができる。その記号を温度に換算すれば温度分布図になる。

CCT (Computer Compatible Tape) 作製とは、観測したアナログテープをA-D変換してデジタルテープを作ることである。このテープからはただちにデジタルマップを作ることができる。

地形補正とは、熱映像が地形の凹凸の影響を受けてゆがめられているのを、地形図と合わせて修正することである。この地形補正の方法については、次の第1.4節で述べる。

### 1.4 熱映像の地形補正

空中赤外温度観測によって得られる熱映像は、同じ場所を観測対象として撮影したのもでも、飛行コースの一寸した違いや、凹凸のある山の地形の影響を受けて、非常に異なった姿に映ることがある。特に山岳地帯では地形による映像のひずみが大きいので、温度分布図を作製する際には地形補正が必要である。

ここでは、次に述べる手順（これを“メッシュ・アナログ法”と呼ぶことにする）により地形補正を行った。

1) 地上のいくつかの地点に、あらかじめ基準点を設置し、それがMSSによって写し出されるようにする。そのために、地上に6m×10mの大きさのアルミ箔板を設置したが、これは夜間でもMSSの熱映像に写し出すことができ、映像画面上の正確な位置づけをするのに効果があった。

2) 撮影した赤外熱映像画面上に 1) による基準点を見出し、飛行方向を  $x$  軸、スキャン方向を  $y$  軸として、適当な原点をとり、基準点の座標を読みとる。

3) 地形図上に 1), 2) で設置した基準点を合わせ、適当な直角座標系を設け、基準点の座標  $(X, Y, Z)$  を読みとる。

4) MSSの投影基準面を設定し、(図4.1.2のBASE LEVEL), 各基準点の標高を用いてMSSの画面上の基

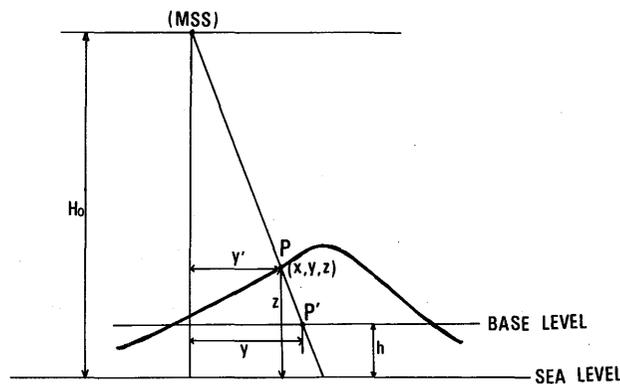


図4.1.2 空中赤外温度観測における地形補正

準点のスキャン方向の補正をし、補正後の座標を $(x_n, y'_n)$ とする。

いま、図4.1.2において、P点はスキャン効果によりP'点に投影されている。したがって、基準面上の物体の大きさ $y$ を画像上の実長 $y'$ に変換してやることにより、正射投影にすることができる。ここで $y' = \frac{H_0 - z}{H_0 - h} y$ である。

5) 投影基準面の画像上に求めた基準点を地形図の基準点に合わせ、地形図上に画像の座標系を設定する。

6) 撮影した赤外熱映像画面上に、直交した多数の直線を引く。そのときできるだけたくさんの方目(メッシュ)を地図上に移す。

7) 赤外熱画像を適当な温度レベルごとにトレースし、それを重ね合わせて温度分布図を作る。

8) 赤外熱画像上の温度分布値をメッシュごとに地形図上メッシュに移す。

9) 地形図上に移された赤外熱画像のメッシュの交点の標高 $z$ を読み取り、各メッシュ交点の、4)で述べたスキャン効果による移動量を計算し、スキャンによってひずみを受けたメッシュを作る。

10) 9)で作ったスキャンメッシュにスケールを合わせた温度の分布値を重ねる。

11) 地形図のメッシュに10)の温度分布をもどすと、地形補正(飛行コースの補正を含む)された温度分布図ができあがる。

なお、この研究で使用した桜島、阿蘇山、伊豆大島、浅間山の火口の地形図は、別途、気象研究所において作製したもので(本誌第1編)、温度分布図作製のためには、それらの地形図を利用した。

## 1.5 赤外線放射温度計による地上温度観測

気象官署では、火山の現地観測において、噴気温度、地熱温度などを観測するのに、従来は、熱電対温度計、サーミスター温度計、棒状温度計などの、いわゆる接触型温度計を使用してきた。これらの計器は、感部を噴気孔や地表の土砂に接触させないと温度が測れないので、広大な地域にわたる地熱地帯の形や熱分布の状態を調べるのは容易なことではなかった。

一方、赤外線放射温度計は地物から離れて温度が測れるので、広大な地域の温度調査を能率的、かつ、安全に実施することができる。ただし、赤外線放射温度計で測る温度は、物体の輻射率、測定距離とその温度計固有の視野角とが関係した面積内の平均温度である。

赤外線放射温度計のこうした特徴を十分に理解し、活用するならば、火山の現地観測は画期的に改良されよう。

本文においては、空中赤外温度観測のほか、阿蘇山、伊豆大島三原山、三宅島、那須岳の現地観測の際、地上で、赤外線放射温度計を使用して得られた成果も述べてある。

## 第2章 桜 島

田 中 康 裕

### 2.1 観測の方法

桜島は1955年以来今日（1978年末）まで既に23年余にわたり噴火活動をくり返している。噴火地点は南岳山頂火口内に限られているが、過去の大噴火では山腹噴火が多かったため、その名残りとして、弱い噴気活動をしている地帯が、南岳の中腹に、いくつか点在している。

南岳山頂火口および中腹の地熱高温地帯の熱的状況を調べ、桜島の火山活動と温度との関係进行研究するため、表4.2.1に示した5回の空中赤外温度観測を実施した。

表4.2.1 桜島の空中赤外温度観測

	観測年月日	観測時刻	使用計器	飛行高度	撮影回数
	年 月 日	時 分 時 分		ft	回
1	1974 12 26	12 12 ~ 12 45	IRA-301	8000	5
2	1975 11 17	06 28 ~ 06 55	DS-1250	9000	3
3	1976 1 27	06 25 ~ 07 15	DS-1250	8000	7
4	1976 2 1	10 42 ~ 11 07	DS-1250	6500	3
5	1978 1 26	06 20 ~ 07 01	DS-1250	8000	5

観測のための飛行コースは毎回ほぼ同じで、桜島の中央部を西北西から東南東へ飛んで赤外熱映像を撮影した。図4.2.1は第1回目の観測の飛行コースと赤外熱映像撮影範囲を示したものである。南岳山頂付近の四角な枠は温度分布図を作った地熱高温地帯である。この範囲の詳細な地形は図4.2.2に示してある。

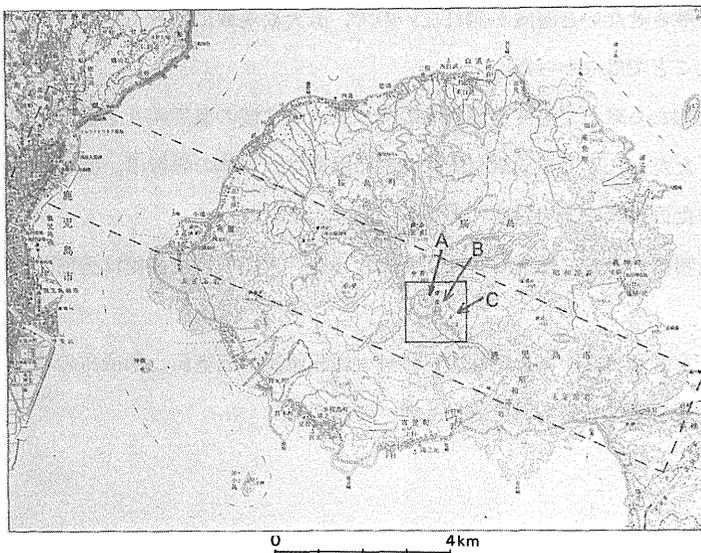


図4.2.1 桜島の空中赤外温度観測のための飛行コース，A：A火口，B：B火口，C：昭和21年火口，南岳山頂部の四角な枠は図4.2.2と同じ範囲を示す。

南岳山頂には長径約720m, 短径約400mの大きな火口があり, その中に, A火口, B火口と呼ばれている火口があって, 両火口ともときどき噴火をくり返している。

また, 南岳の東側中腹の海拔約850m付近には, 昭和21年(1946年)の大噴火で生成した火口の跡が残っていて, 現在でも噴気活動を続けている。図4.2.1および図4.2.2には, これらの火口の位置が示してある。

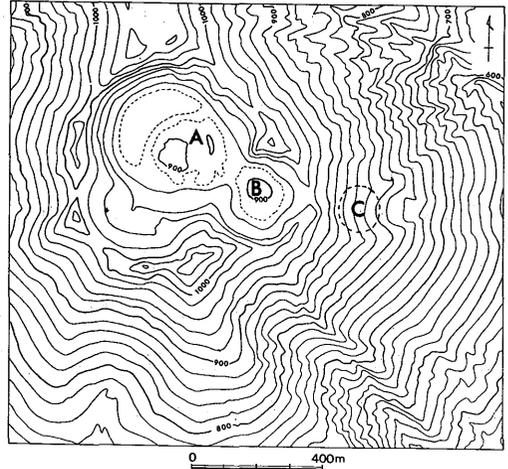


図4.2.2 桜島南岳火口の要所  
A: A火口, B: B火口,  
C: 昭和21年火口

空中赤外温度観測に際しては, 熱映像の指示温度を検定するため, 飛行機からの観測時刻に合わせて, 地上でも温度を観測した。すなわち, 第1回目の観測時

には, 飛行コースの最西端にある鹿児島地方気象台吉野分室の露場において地表温度を, また, 飛行コースの西部にあたる鹿児島港において海水の表面温度を観測した。第2~5回目の観測時には, 鹿児島港において海水の表面温度を観測した。

## 2.2 観測時における桜島の火山活動

桜島の南岳山頂火口の活動は非常に活発で, この研究実施期間の1974~1978年中に爆発が起こらなかった月は1度もなかった。鹿児島地方気象台が観測した月別爆発回数は図4.2.3のとおりである。

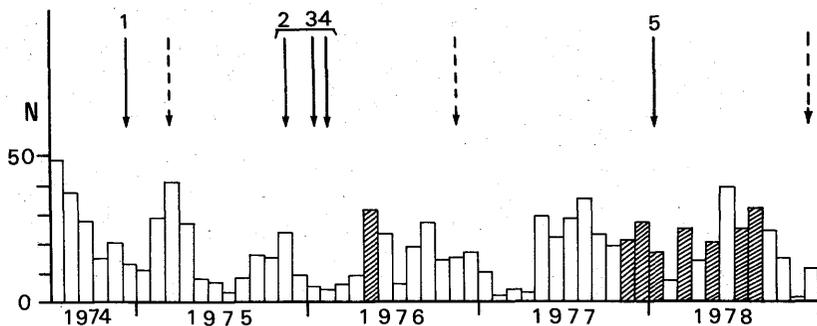


図4.2.3 桜島の月別爆発回数と空中赤外温度観測時期。斜線のある爆発回数は, 相当な被害を伴った爆発を含む。実線の矢印は気象研究所, 点線の矢印は他機関による空中赤外温度観測。

この図でわかるように, 噴火活動には多少の消長があって, 爆発の多い時期もあれば少ない時期もある。また, 被害を起こすような大きな爆発は集中して発生しているようにもみえる。

1974年12月の空中赤外温度観測は, 小さな爆発が散発的に起こっている時期に実施した。ただし, 温度観測の当日には爆発はなかった。

1975年11月は爆発が多かった時期で、温度観測当日にも爆発があり、切れ目のない多量の噴煙が常時あがっていた。

1976年1～2月は爆発がごく少なかった時期で、温度観測当日はもとより、その前後においても爆発はなかった。

1978年1月は噴火活動がきわめて活発な時期であった。爆発回数も多かったが、前年9月ごろから火山性地震が多数発生し続け、火口底にはしばしば溶岩が盛りあがっていた。なお、1977年11月から1978年5月にかけての爆発活動の中には、爆風や噴石、火山礫などによって山ろくで窓ガラス破損、山火事発生などの被害が出るような大きな爆発もしばしばあった。1978年1月26日の空中赤外温度観測当日は爆発はなかったが、その前後には連日爆発が発生していた。

### 2.3 1974年12月26日の空中赤外温度観測

この観測に用いた計器はIRA-301である。高温地域は南岳山頂火口およびその南南東約500mにある昭和21年の噴火口付近に検知された。その状態は図4.2.4のデジタルマップおよび図4.2.5の温度分布図に示してある。

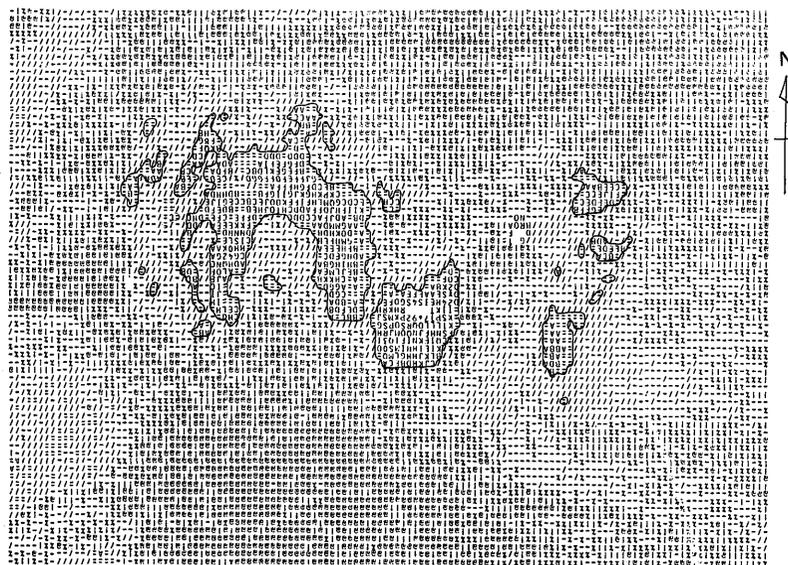


図4.2.4 桜島南岳山頂火口付近の赤外熱映像のデジタルマップ  
(1974年12月26日観測)

A火口、B火口とも、ときどき爆発しているので、これらの火口は当然高温である。最も高温な所はB火口内にあって80℃以上を示している。A火口は撮影時に噴煙が多かったので、その中央部から南側にかけての地表は噴煙の陰になってしまい、温度は低く示されている。

一方、南岳の東側中腹の昭和21年火口は、火山灰などで埋って地形的には既に火口の形はしていないが、熱的にはまだ余燼を保っていて、赤外熱映像には高温地帯として現われている。この地帯は山ろくか

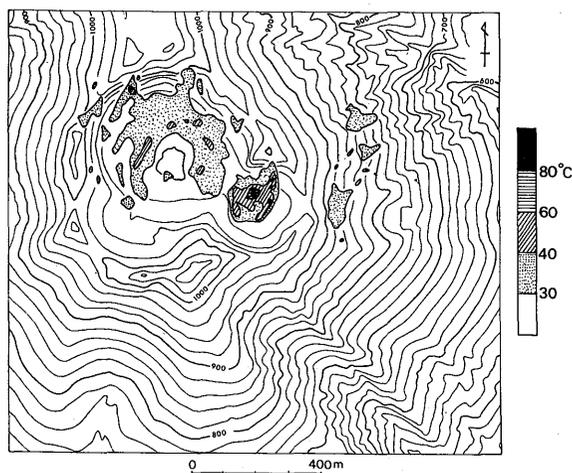


図 4.2.5 桜島南岳山頂火口付近の  
地表面温度分布図  
(1974年12月26日 観  
測)

らも弱い噴気活動をしているのが遠望できる場所である。

#### 2.4 1975年11月17日、1976年1月27日、1976年2月1日の空中赤外温度観測

1975年11月17日の火山活動は第2.2節で述べたとおり、多量の噴煙があがっていたため、空中からは地表が見えず、空中赤外温度観測には好ましくない状態であった。そのため、翌1976年1～2月に観測をやりなおした。

すなわち、1976年1月27日は夜間に、2月1日は昼間に観測を実施した。2月1日の観測は1月27日の観測の一部をチェックするために行ったものである。この両日の観測は、その時期が接近しているので、一つの観測値として1月27日の資料に含めて記述する。

高温地帯は南岳山頂のA火口、B火口、昭和21年火口、南岳南東側山腹の昭和21年噴火の溶岩流内（海拔560m付近）、および南岳北西山腹（海拔900m付近）で検知された（図4.2.6）。

観測時にはA火口およびB火口から噴煙があがっていて、両火口の南側火口縁をおおっていた。その噴煙の温度はかなり低く、図4.2.6の温度スケールでは最下位にある。しかし、噴煙の下の火口部の地表温度はかなり高いものと推定される。すなわち、A火口、B火口とも、それらの中心部から北側の火口壁にかけては高温であると同様に、火口の中心から南側の火口壁にかけても高温な地域が広がっているものと考えられる。

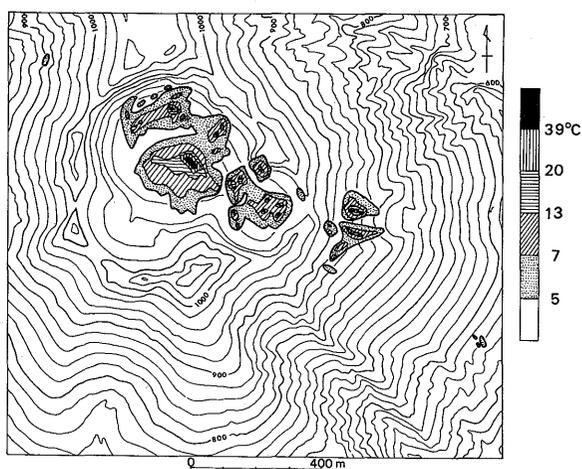


図 4.2.6 桜島南岳山頂火口付近の地表面温度分布図(1976年1月27日観測)

## 2.5 1978年1月26日の空中赤外温度観測

CCTから作製したデジタルマップ、および温度分布図を、それぞれ図4.2.7、図4.2.8に示す。これらの図でわかるように、南岳山頂のA、B両火口を中心として、かなり広い高温域があり、また、B火口の東方の山腹には昭和21年火口を中心とした広い高温域がある。このほか、南岳の南東側山腹の昭和21年噴火の溶岩流内（海拔480～580m付近）、南岳の南側山腹の安永溶岩流上部（海拔800m以上）および南岳の北西側山腹（海拔900m付近）にも高温地域が点在している。

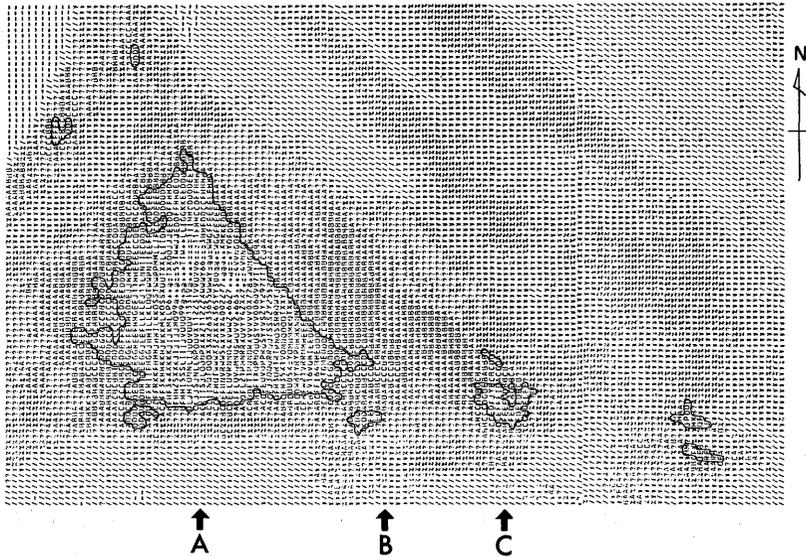


図4.2.7 桜島南岳山頂火口付近の赤外熱映像のデジタルマップ  
(1978年1月26日観測)

この空中赤外温度観測時には、B火口が噴煙をあげていたため、B火口の位置の温度は噴煙の温度を測っており、A火口の温度よりも低いように表現されている。しかし、噴煙の下の地表面温度は、A、B両火口とも同程度の高温だったと考えられる。

なお、第2.2節で述べたように、1977年11月～1978年5月は、桜島の噴火活動がとくに活発な時期であって、1978年の温度分布図（図4.2.8）と前に2回観測を実施した1974年および1976年の温度分布図（図4.2.5、図4.2.6）とを比較すると、1978年には全般に高温域が拡大していることが注目される。

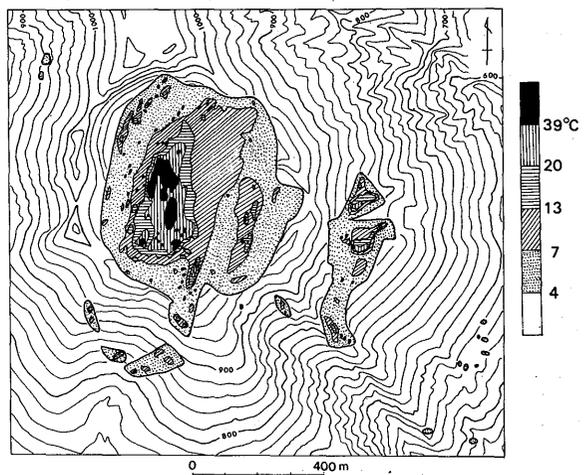


図4.2.8 桜島南岳山頂火口付近の地表面温度分布図(1978年1月26日観測)

## 2.6 1976年1月27日と1978年1月26日の地表面温度の比較

この両回の観測は、同じ季節の同じ時刻に行い、同じ計器を使い、同じ高度で同じコースを飛行するなどして、できるだけ観測条件を揃えた。

使用した赤外線映像装置の瞬間視野は2.5 m rad、飛行高度は海面上2400 mであったから、桜島の南岳山頂火口付近（海拔900～1000 m）では直径4 m程度の地域の平均温度を検知できたことになる。

両回の観測によって得られた温度分布図（図4.2.6と図4.2.8）とを比較すると、高温域の一部が噴煙に隠れているとはいえ、図4.2.8の高温域の面積が図4.2.6のものよりかなり広がっている。また、図4.2.6の温度分布図には見あたらないが、図4.2.8の分布図には新たに発生したと考えられる高温域が多数点在している。

一方、検知できた最高温度を各高温地域ごとに示すと表4.2.2のとおりで、1978年の観測時の方が1976年の時よりも、温度が上昇した所がある。

表4.2.2 桜島の高温地帯の最高温度

高温地域名	1976年	1978年
A 火口	> 38.7℃	60～80℃
B 火口	> 38.7	32.4～38.7
昭和21年火口	26.0～32.4	32.4～38.7
南岳南東側山腹	約7	7.1～13.4
南岳南側山腹	—	19.7～26.0
南岳北東側山腹	約7	7.1～13.4

1976年1月は火山活動がやや穏やかだった時期であり、1978年1月はごく活発だった時期であることを考慮すると、上述のように地表面温度が違うのは、桜島の活発な噴火活動と密接な関係があり、活動期には地表面温度が上昇するとともに、高温域が拡大するものと考えられる。

## 2.7 これまでの空中赤外温度観測

桜島の南岳火口に対して、これまで（1978年末以前）に実施された空中赤外温度観測は表4.2.3に示した8回の記録がある。このうちNo.1～No.5の観測については上述した。No. I～No. IIIについては、主として京都大学防災研究所桜島火山観測所のスタッフによって行われたものである。得られた高温域の分布状態は、気象研究所が観測したものとくらべて、全般的には同じであり、矛盾のない結果が得られている。

表4.2.3 桜島の空中赤外温度観測の記録

	観測月日	使用計器	実施機関等
1	1974年12月26日	IRA-301	気象研究所 <sup>1)</sup>
2	1975年11月17日	DS-1250	"
3	1976年1月27日	"	" 5)6)
4	1976年2月1日	"	"
5	1978年1月26日	"	" 6)
I	1975年3月18,19日	M <sup>2</sup> S	京都大学その他 <sup>2)3)4)</sup>
II	1976年11月3日	"	加茂その他 <sup>4)7)</sup>
III	1978年12月12日	"	"

### 参考文献

- 1) 気象研究所地震火山研究部(1975): 赤外線熱映像による阿蘇山および桜島の火山観測・火山噴火予知連絡会会報, 3, 17-19.
- 2) 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所・北海道大学理学部・東北大学理学部(1975): 桜島火口および周辺の赤外映像. 火山噴火予知連絡会会報, 4, 9-16.
- 3) 加茂幸介・西潔(1975): 赤外映像による桜島南岳の地表温度異常域の調査. 自然災害特別研究「桜島火山の総合調査」, 33-39.
- 4) 加茂幸介・江頭庸夫・西潔・石原和弘(1977): 桜島の熱映像の調査研究. 自然災害特別研究, No. A-52-1, 129-153.
- 5) 気象研究所地震火山研究部(1977): 気象研究所における「火山噴火予知の研究」. 火山噴火予知連絡会会報, 8, 19-32.
- 6) 気象研究所地震火山研究部(1978): 1978年1月の桜島南岳火口及び周辺の地表面温度異常域. 火山噴火予知連絡会会報, 13, 44-48.
- 7) 加茂幸介・江頭庸夫・西潔・石原和弘(1977): 赤外線映像による桜島南岳の地表異常温度域. 第2回桜島火山の集中総合観測, 34-44.

### 第3章 阿蘇山

田 中 康 裕

#### 3.1 観測の方法

阿蘇山は、火口近くまで車道が通じており、地上から容易に活動火口へ接近できる希少火山の中の一つである。そこで、この火山に対しては空中赤外温度観測のほかに、携帯用赤外線放射温度計を用いて、火口縁から火口内の熱的状況を観測した。観測の時期、使用計器、観測方法等は表 4.3.1 に示してある。阿蘇山に対しては、空中赤外温度観測を3回、地上赤外温度観測を2回実施した。

表 4.3.1 阿蘇山の赤外温度観測

観測年月日	観測時刻		使用計器	飛行高度	撮影回数
	年 月 日	時 分 時 分			
1	1974 12 25	17 27 ~ 17 45	IRA-301	8000 5000 8000	3 2 2
		26			
2	1975 3 29	13 ~ 14	MIKRON-44	(地上観測)	
3	1975 11 17	07 40 ~ 08 15	DS-1250	6600	4
4	1976 3 28	13 ~ 14	MIKRON-44	(地上観測)	

空中赤外温度観測のための飛行コースは、図 4.3.1 に示したように、阿蘇山の中央火口丘群上を東西に飛び、中岳火口を中心として東西に長さ約 10 km、幅約 1.5 km の範囲が撮影されるようにした。一方、この空中観測の時刻に合わせて阿蘇山測候所の露場（中岳火口の西約 1.2 km）において地表温度を観測し、これによって空中観測で得られた熱映像の示度を補正した。空中赤外温度観測を実施した 1974年12月25日17時30分の阿蘇山測候所露場の地表温度は-3℃、また、1975年11月17日08時ころの地表温度は4℃であった。

この空中赤外温度観測の結果、異常高温域は中岳火口内と中岳火口の西約 5 km の湯ノ谷温泉地域に存在していることがわかった。ここでは、中岳火口内の異常高温域についてのみ解析を進めることにする。

一方、赤外線放射温度計（MIKRON-44）を阿蘇山中岳の火口縁に設置して、同火口内の地表面温度および噴煙温度を観測した。温度計を設置した位置は図 4.3.2 のXおよびY点である。なお、ここでは、

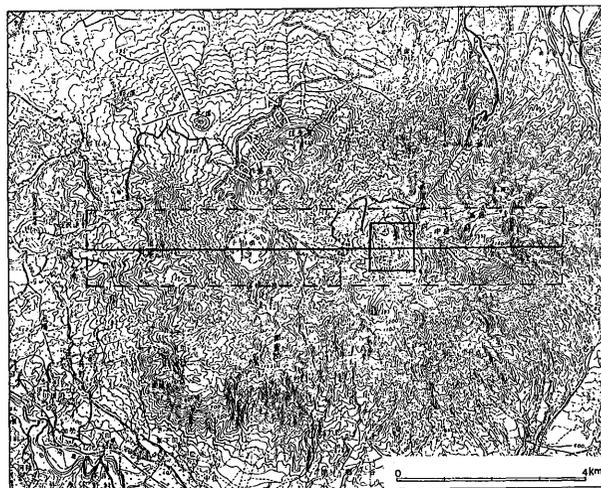


図 4.3.1 阿蘇山の空中赤外温度観測のための飛行コース。飛行コース内の四角な枠は中岳火口で、温度解析を実施した範囲である。

地物の輻射率をすべて1.0と仮定して観測した。

この地上観測は1975年3月29日と1976年3月28日とに行ったが、2回の観測結果を比較検討するため、観測条件をできるだけ揃えた。すなわち、観測時期は1年を経た同じ季節の晴天日を選び、観測時刻は火口内に火口壁の陰ができない時間帯を選んで、太陽が頭上から照らす13時ごろとし、同じ計器を用い、同じ位置から観測した。こうして得られた温度値を基にして、火口内の地表面温度分布図を作った。

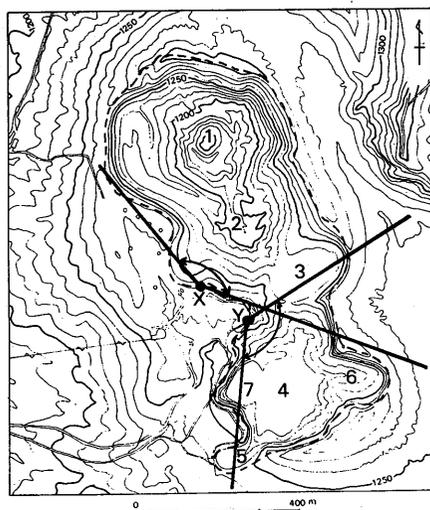


図4.3.2 阿蘇山中岳火口。X, Yは赤外線放射温度計設置点。1, 2, 3, ……7はそれぞれ第1, 第2, 第3, ……第7火口。

### 3.2 観測時における阿蘇山の火山活動

阿蘇山の中岳火口は7つの火口（それぞれ第1, 第2, 第3, 第4, 第5, 第6, 第7火口と呼ばれている）が合して、周囲約4 kmに及ぶ大きな火口を形成している。そのうち、近年の噴火は第1火口だけで起こっている。

この研究を実施した1974~1976年の第1火口の火山活動は、1974年の後半から1975年の前半にかけて、および、1975年10月から1976年1月の間に活発な噴火活動をくり返したが、その他の期間は穏やかであった。その大要は図4.3.3に示してある。この図は阿蘇山測候所の観測による火山活動資料で、

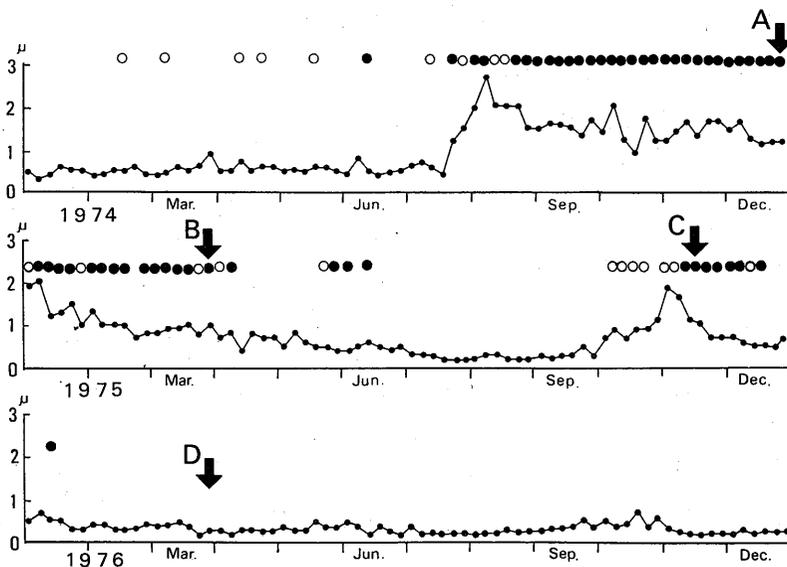


図4.3.3 阿蘇山の火山活動。  
●噴火, ○火山灰少量を含んだ噴煙, ・火山性微動の振幅。  
A, B, C, Dは温度観測実施時。

小さな黒丸の連結は火山性微動の半旬ごとの平均振幅，●印は顕著な降灰・噴石・爆発音などが観測された時期，○印は火山灰少量を含んだ噴煙を噴出した時期である。噴火活動期中は火山性微動の振幅が大きく，噴石・降灰活動も活発であった。

図4.3.3の中のA, B, C, Dは，この研究に関連した火口の温度を観測した時である。AとBは活発な噴火活動中における観測，Cは一度静かになった噴火活動が再び活発化した時の観測，Dは噴火活動が全く静穏化してからの観測である。

### 3.3 1974年12月25日と1975年11月17日の空中赤外温度観測

1974年12月25日には日没後に，翌26日には日中に，同じIRA-301を用いて空中赤外温度観測を実施した(表4.3.1)。この両者の熱映像を比較したところ，ほとんど同じようなものが得られていた。この季節の山岳の地表面温度は昼夜とも低いため，熱映像に与える日射の影響は少ないらしい。また，12月26日の天気は薄曇りであったことも，日射の影響が少なかった理由の一つであろう。そこで，ここでは1974年12月25日の観測値を記載する。

一方，1975年11月17日はDS-1250を使用して，日出前に観測を実施した。

上記2回の空中赤外温度観測によって求めた中岳火口の温度分布図を，それぞれ図4.3.4，図4.3.5に示す。両図とも異常高温域は第1，第2，第3火口内にあるだけで，第4，第5，第6，第7火口内および火口外にはない。

火口内の地表面温度の最高値は，1974年12月には60℃以上(ただし図4.3.4には図面の都合で40℃以上が示してある)，1975年11月には45℃以上が観測されたが，その場所はいずれも第1火口底に

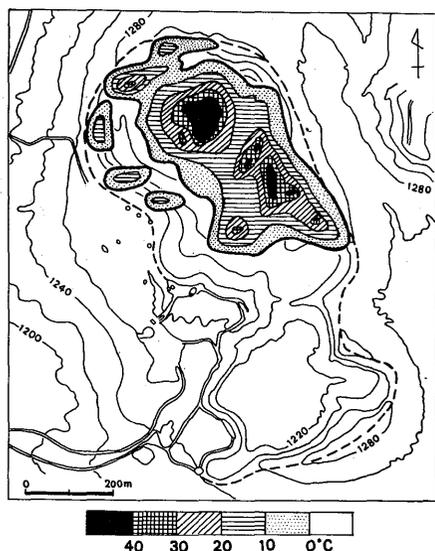


図4.3.4 阿蘇山中岳火口の地表面温度分布図(1974年12月25日観測)

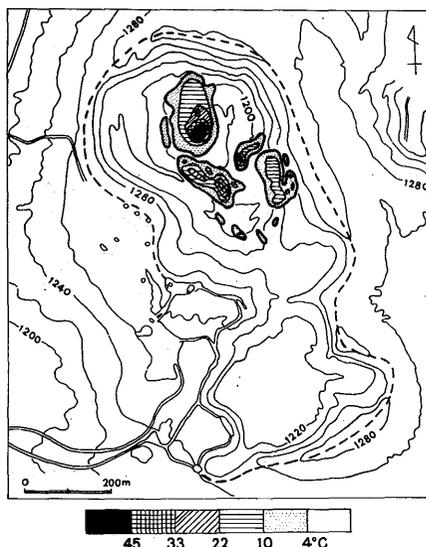


図4.3.5 阿蘇山中岳火口の地表面温度分布図(1975年11月17日観測)

あった。

この2回の空中赤外温度観測は、使用した計器、観測した季節、観測時刻、飛行高度などが違うので、厳密な比較はできないが、それでも、1975年11月の高温域の面積は1974年12月のものより、かなり狭くなっていることがわかる。

### 3.4 1975年3月29日と1976年3月28日の地上赤外温度観測\*

図4.3.6は1975年3月29日の観測時に、阿蘇山中岳火口縁のX点(図4.3.2に示してある)から撮影した同火口内の写真である。図4.3.7は図4.3.6の画面に合わせた火口内のスケッチである。同図の中の小さな数字はX点から赤外線放射温度計で観測した地表面温度(℃)、大きな数字1, 2, 3, 4は、それぞれ第1, 第2, 第3, 第4火口の位置である。図4.3.7を基にして、異常高温域を地図上に書きなおすと図4.3.8のようになる。

1976年3月28日における観測結果も、1975年の場合と同様な方法で表現することにして、X点付近から撮影した写真を図4.3.9に、地表面温度と火口を記入したスケッチを図4.3.10に、地図上に書きなおした温度分布図を図4.3.11に示す。

図4.3.7と図4.3.10に記入した温度を比較すると、1975年の地表面温度は1976年のものより全

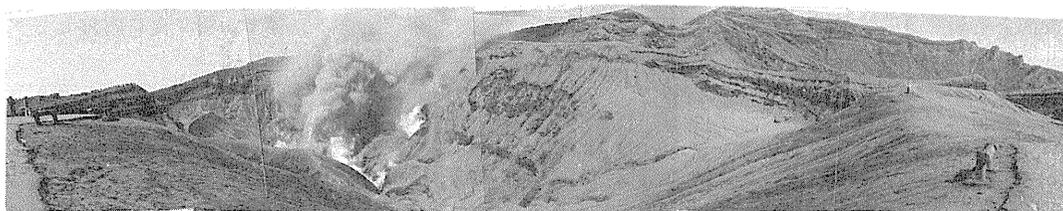


図4.3.6 阿蘇山中岳火口縁(図4.3.2のX点)から望んだ同火口内の状況(1975年3月29日)

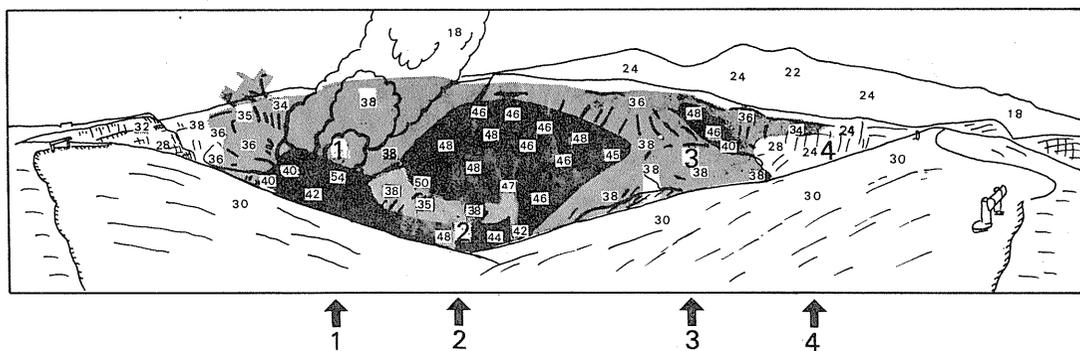


図4.3.7 図4.3.6に合わせた中岳火口内のスケッチと赤外線放射温度計で観測した温度(図中の小さな数字)。大きな数字1, 2, 3, 4はそれぞれ第1, 第2, 第3, 第4火口の位置。

\* 田中康裕・古田美佐夫・中禮正明観測

般にかなり高い。しかし、赤外線放射温度計を設置したX点近くの火口壁や火口縁のように、兩年とも同じ値(30℃)を示している所があるので、その温度を基準にして両図の中の温度を比較することができる。すなわち、図4.3.7と図4.3.10とで、薄黒く塗った地域は30℃より高い温度の所である。また、図4.3.7には40℃以上のかかなり広い高温域があるので、その地域はさらに濃い黒色に塗って区別してある。この濃色の地域の一部からは少量の噴気が立ちのぼっているのが認められた。

図4.3.7の温度分布の状態から、1975年の観測時の中岳火口には、第1火口から第3火口まで続いた広い異常高温域が発生していたことがわかる。中でも第1火口底とその火口壁の一部、第2

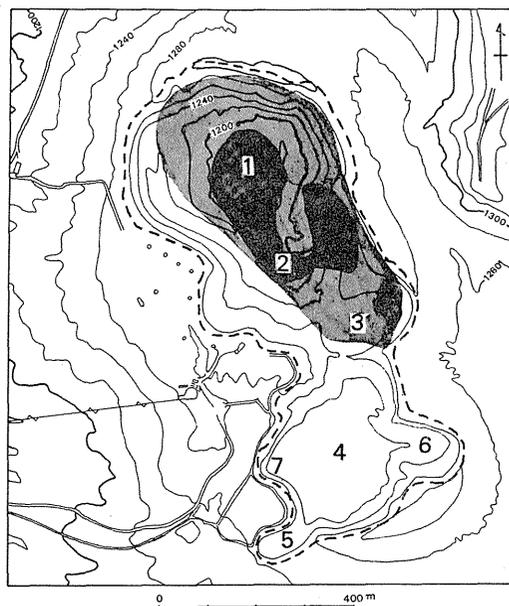


図4.3.8 阿蘇山中岳火口内の異常高温域 (1975年3月29日)

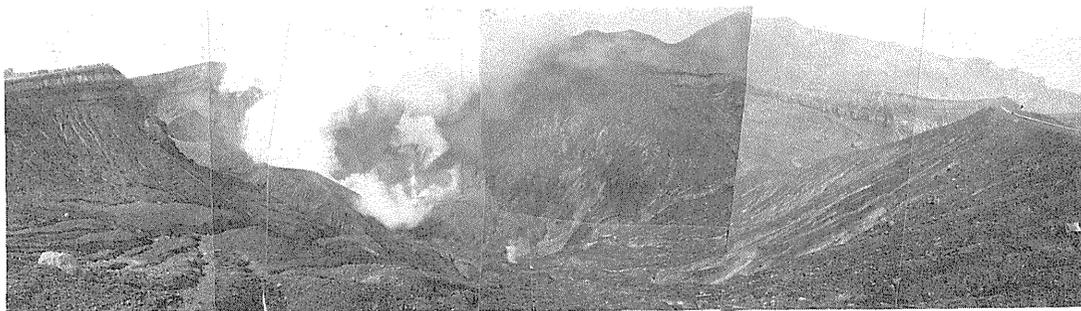


図4.3.9 阿蘇山中岳火口縁(図4.3.2のX点)から望んだ同火口内の状況(1976年3月28日)

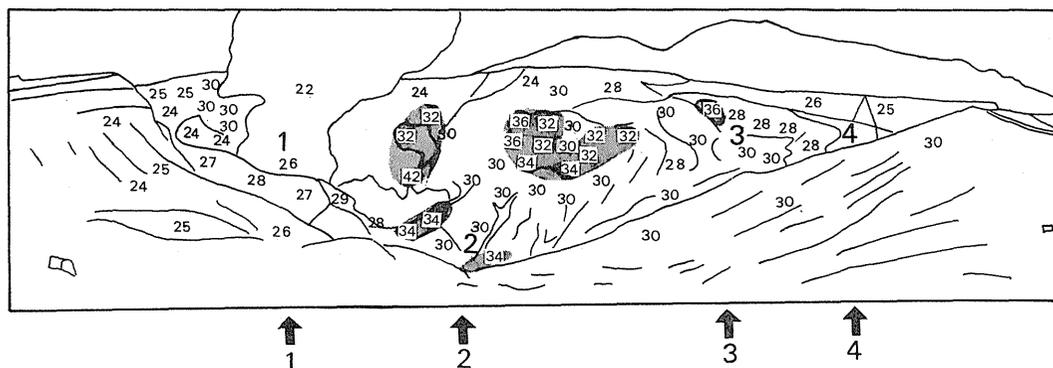


図4.3.10 図4.3.9に合わせた中岳火口内のスケッチと赤外線放射温度計で観測した温度(図中の小さな数字)。大きな数字1, 2, 3, 4はそれぞれ第1, 第2, 第3, 第4火口の位置。

火口底とその火口壁の一部、第3火口の火口壁の一部には、かなり高温な地域が存在していた。

一方、図4.3.10 からわかることは、1976年の観測時の異常高温域はかなり狭くなって、わずかに第1火口底、第2火口底、第1火口と第2火口間の東側火口壁の一部、第2火口の東側火口壁、および第3火口の東側火口壁の一部などに分散している程度である。これらの火口壁の異常高温域の一部からは、わずかに噴気が立ちのぼっている所があった。

次に観測点を中岳火口縁のY点(図4.3.2に示してある)に移し、第4、第5、第6、第7火口を含む中岳火口の南半分の地域について地表面温度を観測した。この地域での火山活動は、近年は非活動的で、数十年来噴火の記録はない。また、

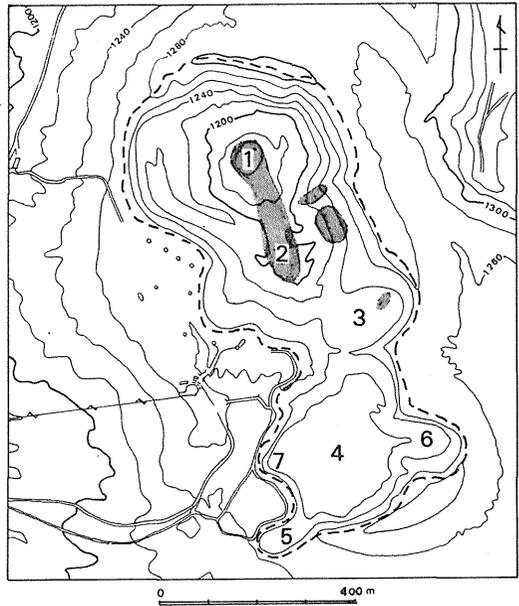


図4.3.11 阿蘇山中岳火口内の異常高温域 (1976年3月28日)

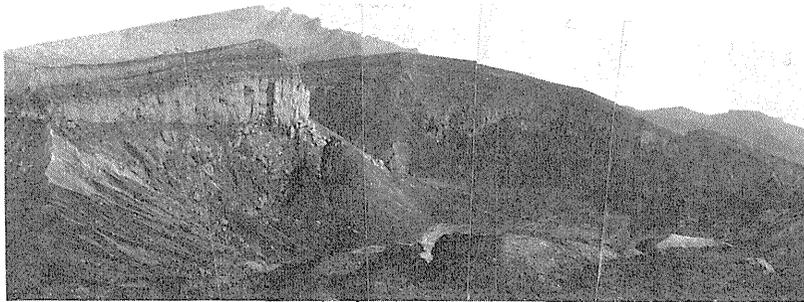


図4.3.12 阿蘇山中岳火口縁(図4.3.2のY点)から望んだ同火口内の状況(1976年3月28日)

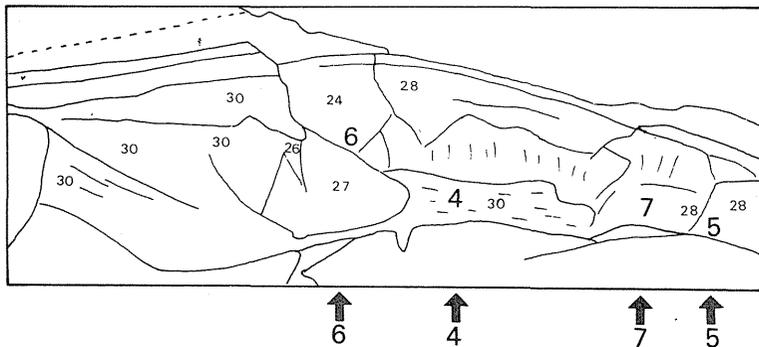


図4.3.13 図4.3.12に合わせた中岳火口内のスケッチと赤外線放射温度計で観測した温度(図中の小さな数字)。大きな数字4, 5, 6, 7はそれぞれ第4, 第5, 第6, 第7火口の位置。

1975年、1976年とも、噴気活動は全く認められなかった。

図4.3.12は、1976年の観測時にY点から撮影した中岳火口内の写真であり、図4.3.13はその写真に合わせたスケッチである。図中の小さな数字は温度(℃)で、大きな数字4、5、6、7は、それぞれ第4、第5、第6、第7火口の位置である。

この地域についての地表面温度のくわしい観測は1976年に行っただけであるが、温度は全般にかなり低く、31℃以上の高温域は観測されなかった。1975年にも同様に低温であったものと推定される。

### 3.5 火口の地表面温度と火山活動との関係

この研究に関連した期間中の阿蘇山の火山活動状況については第3.2節で述べたが、第1回目の温度観測(空中観測、1974年12月、図4.3.4)と第2回目の温度観測(地上観測、1975年3月、図4.3.8)とは、ともに顕著な噴火活動中に実施したものである。また、第3回目の温度観測(空中観測、1975年11月、図4.3.5)は弱い噴火活動中に、第4回目の温度観測(地上観測、1976年3月、図4.3.11)は火山活動の静穏期中に実施したものである。

顕著な噴火活動中の第1回目および第2回目の観測によって求めた温度分布図(図4.3.4と図4.3.8)は、観測計器、観測時期、観測方法などが違うので、温度分布図の細部にわたる比較はできないが、それでも、同程度に広がった異常高温域があることが認められる。

次に第1回目と第3回目との観測(いずれも空中観測、図4.3.4、図4.3.5)による温度分布を比較すると、一見して後者の高温域は前者のものよりかなり狭くなり、かつ、温度も全般に低下していることがわかる。前者の観測時期の火山活動は後者のそれよりも活発であったことから、火口の地表面温度は火山活動の強弱をよく反映していることがわかる。しかし、この2回の空中観測は、使用した計器、観測した季節、観測時刻、観測高度などが違うため、温度を詳細に比較することには問題がある。

一方、観測条件を十分に揃えた1975年3月(図4.3.7、図4.3.8)と1976年3月(図4.3.10、図4.3.11)との地上観測では、温度と火山活動との関係を詳しく比較できる。

図4.3.8と図4.3.11とから、異常高温域の面積は、それぞれ $16.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ と求まり両者は10倍も違う。次に、1975年と1976年とに火口内の同一地点を測った温度を比較して図4.3.14に示す。図中の●印は両年とも異常高温を示した値(1975年には40℃以上で、かつ、1976年には大部分が31℃以上)、●印は1975年には $39^\circ \sim 31^\circ \text{ C}$ であったが、1976年には30℃以下に変った所、○印は両年とも30℃以下の所である。この図からわかるように、噴火活

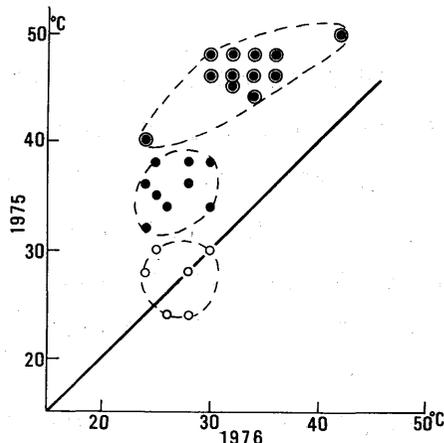


図4.3.14 1975年3月29日と1976年3月28日における中岳火口内の地表面温度の比較

動期（1975年）の地表面温度は静穏期（1976年）の時より、全般に10～15℃程度も高温である。

### 3.6 噴煙の温度

1975年3月29日に図4.3.2のX点から、中岳第1火口の噴煙の表面温度を赤外線放射温度計で観測した。噴煙の輻射率については、これまでに測定された資料が全くなく、不明であるが、ここでは1.0と仮定した。噴煙が火口から噴きあげられて間もない位置（第1火口の火口縁上10～20m）をMIKRON-44で照準し、約30秒ごとに、約10分間にわたって、くり返し温度を測った。

観測結果は図4.3.15のとおりである。この図からわかるように、温度は観測のたびに違っていた。これは、当時、火口から火山灰を含んだ濃い色の噴煙および水蒸気の多い白色の噴煙を交互に盛んに噴きあげていたためだと思われる。火山灰を多量に含んだ噴煙を勢よく噴きあげた瞬間の温度は高く、白煙だけを噴きあげている時の温度は低かった。わずか10分間の観測だったが、後程に噴出した噴煙ほど色が濃く、温度は高くなった傾向を示している。

これに対して、1976年3月28日の噴煙の温度は全く変化がなく、始めから終わりまで26℃を示していた。この時は白色の噴煙を静かにあげていた。

噴煙は上昇するにしたがって、その温度が急激に冷える。その状態は図4.3.7および図4.3.10の噴煙のスケッチの中に小さな数字で観測値が記入してある。

なお、ここで観測した噴煙の表面温度は全般に低過ぎるように思われるが、その原因の一つとして、輻射率を大きく仮定していることがあげられよう。

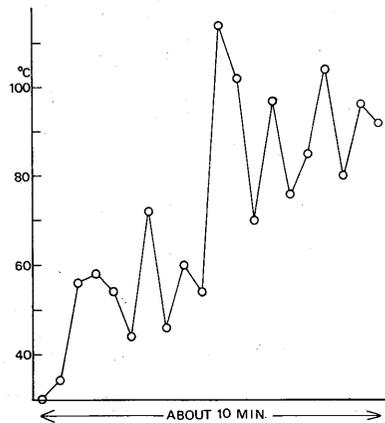


図4.3.15 噴火活動中の阿蘇山中岳第1火口の噴煙の温度の変動

### 3.7 阿蘇山に対するこれまでの赤外温度観測

阿蘇山の火山活動を対象として、これまでに実施された赤外温度観測は、上述の4件（気象研究所地震火山研究部，1975，1977．田中・他，1976．田中，1977）のほか、1977年12月28日に久保寺・他（1978）によって実施されたものがある。この観測は気象研究所が使用したDS-1250と同型の計器で行っており、中岳火口内の第1火口、第2火口、第3火口内に高温域を検知している。その位置は1974年および1975年の空中赤外温度観測の結果とほぼ同じであり、阿蘇山の火山活動に大きな変化は起こっていない。

久保寺・他（1978）は上記の観測と同時に、阿蘇カルデラ内の異常高温地帯に対しても空中赤外温度観測を実施した。それによると、地表面温度ないし湧水温度が若干高い所は、中央火口丘群の西部地域から湯の谷温泉にかけての地帯、およびカルデラ北西部の内ノ牧温泉地域に見つかっている。

参 考 文 献

- 気象研究所地震火山研究部 ( 1975 ) : 赤外線熱映像による阿蘇山および桜島の火山観測. 火山噴火予知連絡会会報, 3, 17-19.
- ( 1977 ) : 気象研究所における「火山噴火予知の研究」. 火山噴火予知連絡会会報, 8, 19-32.
- 久保寺章・須藤靖明・太田一也 ( 1977 ) : 航空熱測定. 阿蘇火山集中観測 ( 第1回 ) について. 火山2集, 23, 157-158.
- 久保寺章・須藤靖明・太田一也 ( 1978 ) : 空中赤外線映像法による阿蘇および雲仙火山の熱的調査. 阿蘇火山の集中総合観測 ( 第1回 1977 ) 報告, 40-50.
- 田中康裕・吉田美佐夫・中禮正明 ( 1976 ) : 赤外線放射温度計による阿蘇山中岳火口内の温度測定. 火山2集, 21, 185-197.
- 田中康裕 ( 1977 ) : 阿蘇山の熱映像の調査研究. 噴火予知のための主要活火山における熱的状態の調査研究, 文部省自然災害特別研究, No. A-52-1, 109-120.

## 第4章 伊豆大島

田中康裕

### 4.1 観測の方法

伊豆大島三原山の火口および火口原には噴気をあげている所が多数点在している。こうした地熱地帯を対象として、空中赤外温度観測を3回、地上赤外温度観測を1回実施した。観測の時期、使用計器、観測方法等は表4.4.1のとおりである。

表 4.4.1 伊豆大島三原山の赤外温度観測

	観測年月日	観測時刻	使用計器	飛行高度	撮影回数
	年月日	時分 時分		ft	回
1	1976 10 11	06 00 ~ 06 37	DS-1250	5800	4
		06 37 ~ 06 45		4300	2
2	1977 12 15	10 30 ~ 11 30	ER-2002/SD	(地上観測)	
3	1978 1 12	07 06 ~ 07 45	DS-1250	6000	6
4	1978 1 12	12 02 ~ 12 34	DS-1250	5900	6

空中赤外温度観測のための飛行コースは3回とも同じで図4.4.1に示してある。すなわち、大島の北西から進入し、中央部の三原山上空を経て、島の南東方へ抜けるコースを飛び、赤外熱映像を撮影した。観測のための飛行基地としては、このコースの北西端近くにある大島空港を使用した。また、ground truthは同空港の滑走路上でを行い、観測時刻に合わせて滑走路表面の温度を観測して熱映像の示度を検定した。

一方、地上赤外温度観測は、三原山の内輪山内において赤外線放射温度計（ER-2002/SD）を用いて地表面温度を測り、火口原、火口壁、火口底等の温度の状態を調べた。

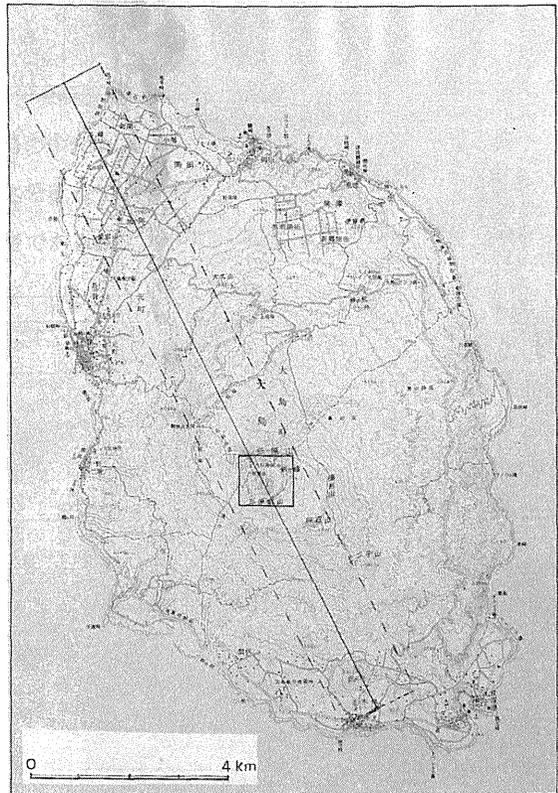


図 4.4.1 伊豆大島の空中赤外温度観測のための飛行コース。飛行コース内の四角な枠は三原火口およびその周辺で、温度解析を実施した範囲である。

## 4.2 観測時における三原山の火山活動

三原山は1974年2～6月の噴火を最後に、今日（1978年末）まで噴火活動は全くない。また、この噴火活動を契機として、噴煙活動が顕著に衰え、1975年半ばまでは山ろくから、ときどき噴煙が見えることがあったが、その後は山ろくからは噴煙が全く見えなくなった。しかし、噴火休止以降でも、1975年1月、1976年2月、1977年10～12月、1978年1月には、伊豆大島近くで群発地震が起こり、また、1978年1月14日には、伊豆大島のわずか10 km西方でマグニチュード7.0の地震「1978年伊豆大島近海の地震」が発生するなど、火山周辺の地震活動は活発である。

三原山で赤外温度観測を実施した1976～1978年における三原火口内、火口壁、火口原の状態は、三原火口壁の崩壊が少しづつ起こっているほかは、地形の変動はほとんどない。火山活動としては、所々で弱い噴気活動を続けている程度であるが、噴気孔に昇華物はほとんど付着していない。噴気は高い時で30 m程度、低い時には地面を這う程度にあがっている。噴気の噴出音は噴気孔の近くでもほとんど聞えない。

## 4.3 1976年10月11日の空中赤外温度観測

この観測で得られた赤外熱映像のうち、三原火口付近をA-D変換し、それをデジタルマップになおしたものが図4.4.3である。また、同図および白黒フィルム上の熱映像のアナログ解析に基づいて作った地表面温度分布図が図4.4.4である。両図とも火口を中心とした地域の温度を示したものであるが、地図の範囲は若干違っていて、図4.4.3では東西約750 m、南北約600 m、図4.4.4では東西1100 m、南北1025 mの地域を図にしてある。

異常高温地帯は、三原火口底、三原火口壁、三原火口北西縁のテラス、三原火口南部にある噴石丘「三原新山」、内輪山の東側の火口壁などに検知された。

三原火口底には火口壁に平行した環状の高温地帯がある。地表面温度の最高値は、三原火口底の東部に

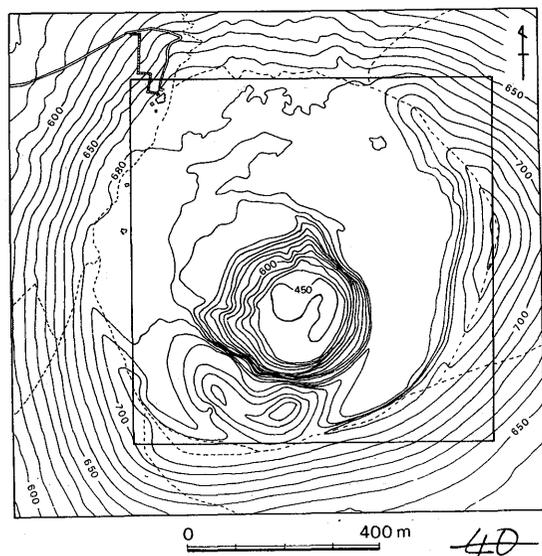


図4.4.2 三原火口およびその周辺の赤外熱映像のデジタルマップ作製地域

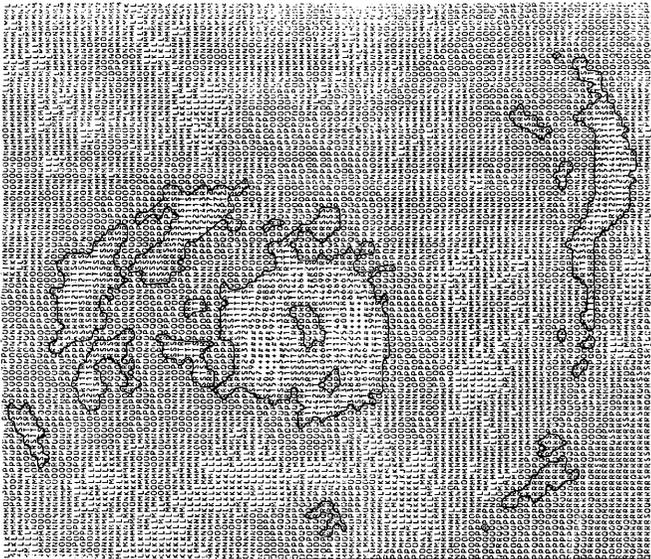


図4.4.3 三原火口およびその周辺の赤外熱映像のデジタルマップ(1976年10月11日観測)

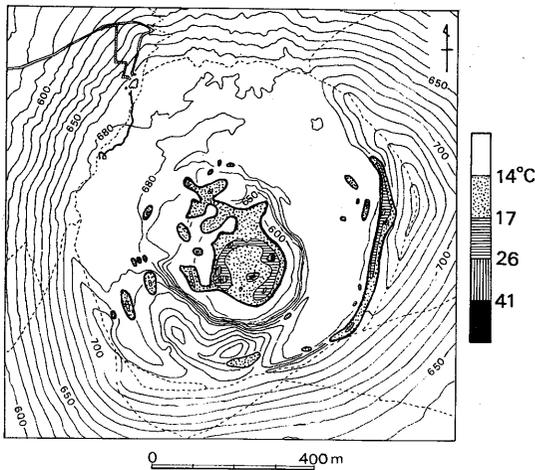


図4.4.4 三原火口およびその周辺の地表面温度分布図(1976年10月11日観測)

表4.4.2 1976年10月11日早朝の三原火口の地表面温度と平面積  
(記号は図4.4.3と対応)

記号	温度 ℃	面積 ×10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	記号	温度 ℃	面積 ×10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
J, K, …… , Q	13<	3794	6	22	11
R	14	314	7	23	10
S	15	117	8	24	10
T	16	79	9	25	10
1	17	38	0	26	3
2	18	34	#	27~31	18
3	19	21	+	32~36	8
4	20	23	*	37~51	1
5	21	11			

(注) 大島測候所における10月11日の最低気温は16.2℃。06時の気温16.5℃, 湿度70%, 気圧1009.8 mb, 風向東, 風速7.9 m/sec, 天気晴。

あって、51℃を示した。

デジタルマップからは詳細な温度が識別できるので、図4.4.3から温度別面積（ただし、この段階ではデジタルマップに地形補正を施してないので、面積は概略である）を求めると表4.4.2のようになる。

#### 4.4 1978年1月12日早朝の空中赤外温度観測

第4.3節に述べたものと同じ方法により、三原火口付近のデジタルマップと地表面温度分布図を作製して、それぞれ図4.4.5、図4.4.6に示す。図4.4.5は図4.4.3と、また、図4.4.6は図4.4.4と、それぞれ同じ地域が示してある。

高温地帯は1976年の観測の場合と同様に、三原火口底、三原火口壁、三原火山の北西縁のテラス、三



図4.4.5 三原火口およびその周辺の赤外熱映像のデジタルマップ  
(1978年1月12日早朝の観測)

原火口の南部の噴石丘、内輪山の東側の火口壁などに検知された。高温地帯の形状は、1976年のものとくらべて、細部では違っているが、大勢としてはよく似ている。三原火口底の環状の高温部はまだ存在しているし、1976年に高温だった場所の多くは、1978年にも高温である。ただ、この観測を実施した季節（1月）の気温は、第4.3節で述べた観測の季節（10月）のそれとくらべて約10℃も低下しているの、その影響もあって、1978年1月の高温域の示度は全般に低い。

地表面温度の最高値は三原火口底の東部で検

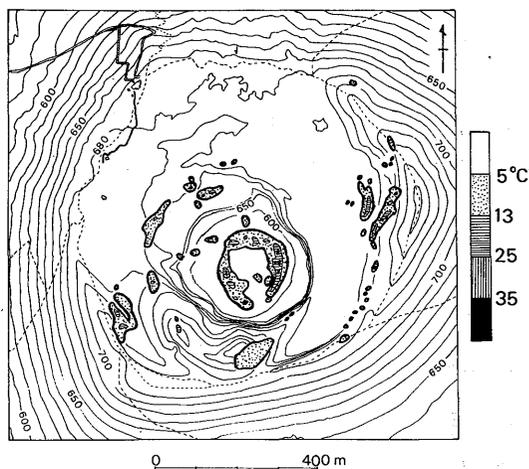


図4.4.6 三原火口およびその周辺の地表面温度分布図(1978年1月12日早朝の観測)

知され、約40℃を示した。

図4.4.5のデジタルマップから求めた温度別面積は表4.4.3のとおりである。ただし、このデジタルマップも地形補正は施していないので、面積には若干の誤差がある。

表4.4.3 1978年1月12日早朝の三原火口の地表面温度と平面積  
(記号は図4.4.5と対応)

記号	温度	面積	記号	温度	面積
O, P, ……., S	5.0 <	3463	Z	20.0~22.5	20
T	5.0~7.5	335	1	22.5~25.0	11
U	7.5~10.0	282	2	25.0~27.5	6
V	10.0~12.5	164	3	27.5~30.0	7
W	12.5~15.0	108	4	30.0~32.5	5
X	15.0~17.5	65	5	32.5~35.0	1
Y	17.5~20.0	35	6	35.0~40.0	> 1

(注) 大島測候所における1月12日の最低気温は4.5℃。0.6時の気温6.1℃,湿度70%,気圧1012.1mb,風向南西,風速5.7m/sec,天気晴。

#### 4.5 1978年1月12日昼間の空中赤外温度観測

この赤外温度観測の目的は、日射が熱映像に及ぼす影響を調べることにあった。そこで、この日は早朝(第4.4節)と日中との2回にわたって観測を実施し、両者の温度分布図を比較した。

観測当日の12時の気象状況は、大島測候所の観測によれば、気圧1010.4mb,気温11.5℃,湿度53%,風向西南西,風速8.3m/sec,天気快晴である。

この空中赤外温度観測で得られた三原火口付近の地表面温度分布図を図4.4.7に示す。

この観測は図4.4.6の時点から、わずか6時間後のものであるから、両者の間で火山体内部の熱的状态が変化したとは考えられない。しかし、地表面温度の状態は著しく変わったように見える。

早朝の観測(図4.4.6)では5℃以上の地域は明らかに高温地帯として識別できた。しかし、日中に観測したもの(図4.4.7)では、日射で山肌が温められて、大部分の地域の温度が5℃以上にあがってしまったため、高温地域として識別できるのは20℃以上の地域であった。しかし、

図4.4.7の20℃以上の地帯には、明らかに地熱地帯ではなくて、日射によって温められた岩肌地帯が含まれている。

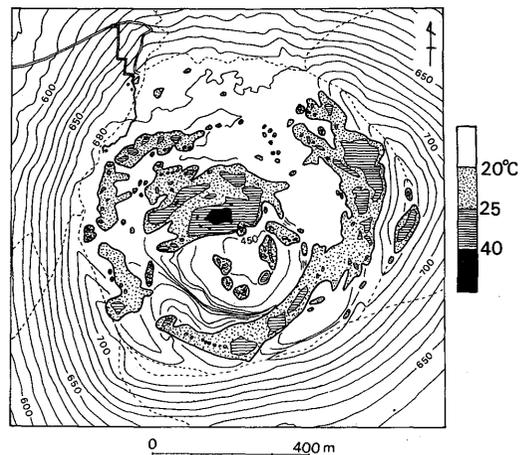


図4.4.7 三原火口およびその周辺の地表面温度分布図(1978年1月12日昼間の観測)

そこで、図4.4.7の25℃以上の地帯に注目すると、そこには図4.4.6の高温地帯のほとんどの所が含まれていることがわかる。ただし、両者の高温地帯の位置的関係はよく一致しているが、その形、面積、温度の示度等は必ずしも一致していない。

これらのことから、温度がかなり高い地熱地帯を対象とした調査では、日中の空中赤外温度観測でも、相当利用価値のある結果が期待できる。

図4.4.7で、日射の影響が顕著な場所としては、三原火口の北ないし北西火口壁があげられる。ここでは、早朝にはなかったかなり広い高温地帯が日中に現われ、温度も40～50℃に上がっている。この地域の火口壁は傾斜がややゆるやかで、かつ、南向きであるため、日射を強く受けやすいと思われる。同様な現象が内輪山東部の剣ヶ峰でも起きており、山頂部の稜線沿いの地帯が高温になっている。

#### 4.6 1977年12月15日の地上赤外温度観測\*

赤外線放射温度計(ER-2002/SD)を三原山上へ携行し、10時30分～11時30分の間に三原火口周辺の温度および噴気の状況を観測した。

観測当日の気象状況は、大島測候所の観測によると次のようである。

09時：気圧1031.9mb, 気温11.4℃, 湿度77%, 風向東, 風速3.4m/sec, 天気曇(雲量10)

12時：気圧1030.1mb, 気温13.2℃, 湿度74%, 風向東北東, 風速3.1m/sec, 天気曇(雲量10)

観測時は曇天であったため、この地表面温度値は、直射日光の影響は受けていない。

赤外線放射温度計を作動させた地点は図4.4.8中のP, Q, R, S, T点である。なお、この温度観測では、地物の輻射率をすべて1.0と仮定して行った。

##### P点からの観測

ここからは三原火口の東側火口縁、剣ヶ峰を含む内輪壁、三原火口南部の噴石丘「三原新山」などが見わたせる。それらを入れたスケッチを図4.4.9に示す。図中の数字は観測した温度である。高温な所が剣ヶ峰下の内輪壁の一部、それに続く火口原、三原新山の右側山ろくなどにある。図中に斜線を記入した位置からは、弱い噴気が1～2mの高さに立ちのぼっていた。

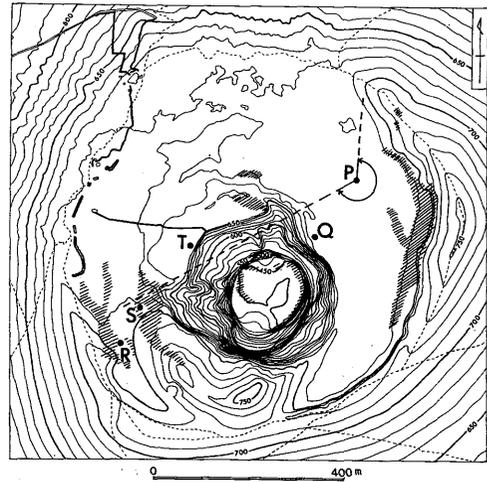


図4.4.8 三原火口周辺で赤外線放射温度計を設置し、観測した地点(P, Q, R, S, T)。P点に記入した角度は温度観測を実施した範囲。目視観測では、図の中の斜線の地域に噴気が立ちのぼっていた。(1977年12月15日)

\* 田中康裕・澤田可洋・中禮正明観測

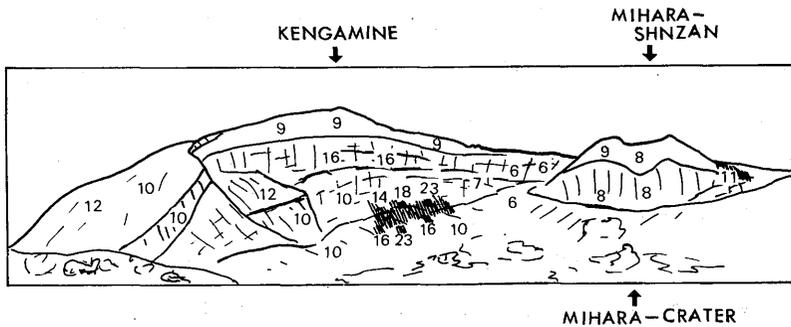


図 4.4.9 図 4.4.8 の P 点から望んだ三原火口原，剣ヶ峰（内輪山の最高点），内輪壁，三原新山などを含む範囲のスケッチと，赤外線放射温度計で観測した温度（数字で示してある）。図中の斜線部には少量の噴気が立ちのぼっているのが観測された（1977年12月15日）。

#### Q点からの観測

ここは三原火口縁の北東部である。ここから測った三原火口西側火口壁の温度は 8~12℃，同火口壁中央部の小噴気孔付近の温度は 18℃（この噴気孔からは弱い噴気を 1~2 m の高さにあげていた）。火口底の温度は最高 32℃ を示した。ただし，ここからは火口底の 1/2 程度しか見えない。三原火口北西縁のテラス上の温度は 16~18℃，このテラスの一部からは弱い噴気を約 3 m の高さにあげていた。

#### R点の観測

ここは噴石丘「三原新山」と内輪壁との間の凹地である。小さな噴気孔が凹地に沿って無数にあり，かすかに噴気を出している。噴気の高さは 50 cm 以下であった。噴気孔に接近して孔内の温度を測り，54~69℃ を得た。

#### S点の観測

ここは噴石丘「三原新山」の西側陵線である。火口に平行して 5~30 cm 程度の割れ目がじゅづつなぎにできている。噴気孔からは弱い噴気を 1~2 m の高さにあげている所もあった。噴気孔に接近して測った温度は 59~65℃ であった。

#### T点からの観測

ここは三原火口北西縁のテラス上である。ここから測った三原火口東側火口壁の温度は 10~12℃，テラス下の西側火口壁では 10℃，テラスの温度 19℃，テラス北東部の噴気地帯の温度は 23℃ であった。

### 4.7 1976年と1978年の地表面温度分布図の比較

先づ，日射の影響のない早朝に実施した標記 2 回の空中赤外温度観測の結果を比較する。これらの観測によって得られた熱映像ないしデジタルマップから求めた三原火口付近の地表面温度の状態は表 4.4.2 と表 4.4.3 とに記載してある。これらの表中の数字に基づいて兩年の等温度域の面積を対比させると表 4.4.4 のようになる。

この表でわかるように、1976年と1978年の早朝の温度分布図では、1976年の14℃以上、1978年の7.5℃以上の地域の面積がほぼ等しい。これらの示度は、それぞれの熱映像から高温域として識別できる限界付近の値であることから、何らかの物理的意味を持つ値であると思われる。一方、1976年と1978年の等温度域の面積を比較すると、後者は前者の半分程度しかなく、かなり冷却したように見える。また、火口底の最高温度も1976年は51℃であったのが、1978年には40℃になっている。

表4.4.4 1976年と1978年の三原火口の地表面温度の比較

温度範囲	面積 (×10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	
	1976年	1978年
> 7.5	—	704
> 14	708	—
> 15	394	150
> 20	105	50
> 25	40	20
> 32	9	2

しかし、わづか1年余の間に、火山体自身がこれほど急速に冷却するとは考えられないので、その原因は観測した季節の違いにあると考えた方がよい。そのことは、1978年1月12日の早朝(図4.4.6)と日中(図4.4.7)に実施した空中赤外温度観測結果を比較すればよくわかる。すなわち、日中の温度値は早朝のものよりかなり高くなり、かつ、広い範囲が高温に変わった。

1976~1978年の三原山の火山活動はきわめて穏やかであるので、火口付近の地表面温度にも大きな変化は現われていないと考えられる。

#### 4.8 これまでに実施された三原火口の赤外温度観測

火山観測を目的とした三原火口の赤外温度観測は、近年になって毎年実施されている。その様子は表4.4.5に示してある。なお、本章末尾の参考文献にはそれらの詳細が記載されているが、各文献の番号は表

表4.4.5 三原火口の赤外温度観測

No.	観測年月日	観測の種類	使用計器	実施機関等	参考文献
1	年月 1974 6 10~11 日	地上	サーモカメラ(CT-4B) 赤外線放射温度計 (千野IR-LH (ナショナルER-2002))	東京大学地震研究所・ 北海道大学理学部・ 防災科学技術センター 湯原・関岡	} 1,2,3,8 4
2	1974 10 29	航空	AGA-THP-1 (改造型)	東京大学地震研究所・ 北海道大学理学部	
3	1975 6 16	地上	ERI Ground Scanner (旭電子サーモエース・モデル) (TA-60Sの改造)	東京大学地震研究所	
4	1976 1 30	航空	JSCAN-AT-5M	"	6,7,8
5	1976 3 14	地上	ERI Ground Scanner	"	5,8
6	1976 10 11	航空	DS-1250	気象研究所	
7	1976 12 1	"	JSCAN-AT-12M	東京大学地震研究所	8
8	1977 3 10	地上	ERI Ground Scanner	"	7,8
9	1977 12 10	"	"	"	9
10	1977 12 15	"	ER-2002/SD	気象研究所	
11	1978 1 12(夜)	航空	DS-1250	"	
12	(昼)	"	"	"	
13	1978 1 16	地上	ERI Ground Scanner	東京大学地震研究所	9

4.4.5の右欄の番号と一致させてある。

下鶴・他<sup>3)4)</sup>によれば、三原火口底の温度は1974年の噴火活動以来低下しており、三原山の活動が活発化している傾向はないという。

### 参 考 文 献

- 1) 北海道大学理学部・防災科学技術センター(1974):大島三原山, その1, 火口の熱的状态. 火山噴火予知連絡会会報, 1, 15-17.
- 2) 北海道大学理学部・東京大学地震研究所(1975):空中赤外映像による伊豆大島三原山の観測. 火山噴火予知連絡会会報, 2, 4-7.
- 3) 江原幸雄・横山泉・下鶴大輔・宮崎務(1975):伊豆大島三原山の熱分布. 伊豆大島三原山の集中観測 — 1974年6月 — . 8-16.
- 4) 湯原浩三・関岡満(1975):三原山火口よりの放熱量と火口壁の温度分布. 伊豆大島三原山の集中観測 — 1974年6月 — . 17-22.
- 5) 東京大学地震研究所(1976):伊豆大島三原山の調査. 火山噴火予知連絡会会報, 7, 32-34.
- 6) 下鶴大輔・鍵山恒臣(1976):改造型赤外放射温度計による三原火口底の表面温度測定. 火山2集, 21, 95-105.
- 7) 東京大学地震研究所(1977):伊豆大島の地形変動と温度測定. 火山噴火予知連絡会会報, 10, 24-28.
- 8) 下鶴大輔・鍵山恒臣(1977):伊豆大島三原山の熱映像の調査研究. 噴火予知のための主要活火山における熱的状态の調査研究, No. A-52-1, 87-98.
- 9) 東京大学地震研究所(1978):伊豆大島三原山の最近の活動 — 特に1978年1月の大島近海地震に際しての三原山の挙動. 火山噴火予知連絡会会報, 12, 68-72.

## 第5章 浅間山

田中康裕

### 5.1 観測の方法

浅間山の山頂火口は常に噴煙をあげていて、高温部は火口内にある。この火山は海拔の高度が高いばかりでなく、山頂と山ろくとの標高差が千数百mもあり、気流が悪くて、夜間は山に雲が掛かりやすい。山頂から南南東8 km には軽井沢測候所がある。

この火山に対しては表4.5.1のとおり2回の空中赤外温度観測を実施した。飛行コースは2回とも同じ

表4.5.1 浅間山の空中赤外温度観測

No.	観測年月日	観測時刻	使用計器	飛行高度	撮影回数
1	年月日 1976 11 25	時分 時分 9 45 ~ 9 55	DS-1250	ft 11500	回 2
2	1978 2 8	11 51 ~ 12 02	〃	11350	6

で、測候所と山頂火口とを結ぶ直線上を飛び、図4.5.1に示した長さ14 km に及ぶ範囲の赤外映像を撮影した。飛行高度は海面上約3500 mで、これは山頂上では約900 mの高さにあたる。

測候所から約1 km 浅間山寄りには早稲田大学セミナーハウスの広いグラウンドがある。それが熱映像画面上で確認しやすい目標になるので、空中赤外温度観測の時刻に合わせて、同グラウンドの地表温度を測り、熱映像の温度を補正した。

観測は日射の影響のない夜間を実施しようとして、山に雲(霧)が掛からない夜をねらって長い間待機したが、ついにそのチャンスがなく、やむなく、観測は2回とも昼間に実施した。

しかし、山頂火口は約200 mもの深さがあり、切り立った火口壁が日射をさえぎって、火口底を日陰にしている時間帯がある。特に冬期には、火口内が日陰になっている時間が長い。第1回目の観測時には、火口内の大部分が、また、第2回目の観測時には西側の火口壁を除いた火口内が日陰になっていた。

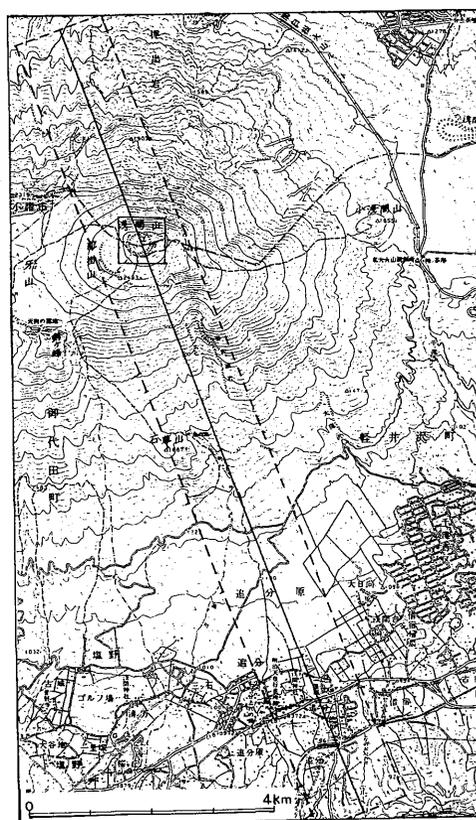


図4.5.1 浅間山の空中赤外温度観測のための飛行コース。飛行コース内の四角な枠は山頂の火口部で、温度解析を実施した範囲である。

したがって、昼間の観測ではあったが、火口底においては直射日光の影響は少なかったものと考えられる。

## 5.2 観測時における浅間山の火山活動

浅間山では1973年2～5月に噴火活動があったが、それ以後今日(1978年末)まで噴火は全くない。

1976年10月6日に撮影した空中写真(本誌第1編第4章参照)によると、火口底のやや北東寄りには湧出溶岩が同心円状に広がっている所があり、そこから少量の噴煙をあげている。また、火口底や火口壁の所々で弱い噴気活動が見られる。

空中赤外温度観測を実施した1976年11月および1978年2月の火口の状態は、ともに、白色の噴煙を火口縁上300m以下の高さにあげる程度で、浅間山としてはきわめて穏やかな活動が続いていた。

## 5.3 1976年11月25日の空中赤外温度観測

この観測では、磁気テープに収録した赤外熱映像を白黒フィルムに変換し、さらにそれをA-D変換してデジタルマップになおした。一方、白黒フィルムに変換した熱映像はアナログ的に解析してデジタルマップと対象させ、図4.5.2の地表面温度分布図を作った。

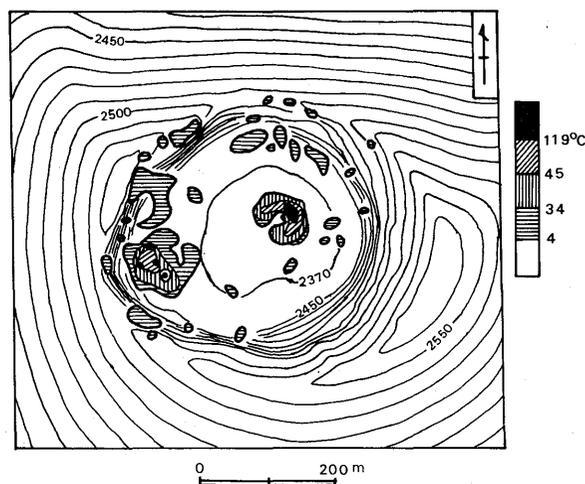


図 4.5.2 浅間山の山頂火口の地表面温度分布図(1976年11月25日観測)

温度の高い所は火口底および火口壁に点在している。火口外には温度の高い所は検知されなかった。

最も高い温度が観測された所は、火口底のやや北東寄りの、同心円状溶岩の中心部近くと、火口底の南西部にあって、ともに直径数m程度の広さの所が119℃以上を示している。

## 5.4 1978年2月8日の空中赤外温度観測

この観測では、磁気テープに収録した赤外熱映像をCCTに変換し、それをデジタルマップになおした。一方、白黒フィルムに変換した熱映像をアナログ的に解析してデジタルマップと対象させながら図4.5.3の地表面温度分布図を作った。

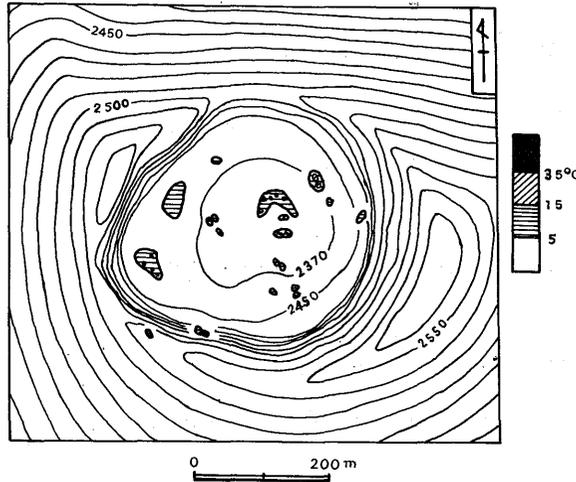


図 4.5.3 浅間山の山頂火口の地表面温度分布図(1978年2月8日観測)

顕著な高温部の位置は1976年11月の観測時(図4.5.2)とほとんど同じ所にあった。しかし、冬季のため、温度は前回の観測値より全般に、かなり低下していた。

前回の観測の際最高温度を記録した火口底北東部と火口底南西部では、今回も高温部が検知されたが、その最高温度はそれぞれ155℃と95℃であった。

### 5.5 1976年と1978年の地表面温度分布図の比較

この2回の観測を実施した期間を含めて、火山活動は静穏な状態を続けていたので、火口内の温度に大きな変動があったとは考えられない。両分布図(図4.5.2と図4.5.3)を比較すると、高温部の位置はよく似ている。ただ、高温部の形および温度が若干変っている。これは、観測した季節や観測時刻の違いによるためであって、火山活動が変化したためではないと考えられる。

浅間山についてこれまでに実施された空中赤外温度観測は上記の2回だけであって、これらの資料は浅間山の静穏期の状態を示す貴重なものである。

## 第6章 三宅島

田中康裕・古田美佐夫

### 6.1 はじめに

1974年11月14日、赤外線放射温度計（MIKRON-44）を用いて、三宅島山頂の地熱地帯の地表温度を観測した。

三宅島の火山活動は、1962年に大噴火があったが、その後は静穏である。

ここでは、上記温度観測の結果と、1962年以降の山頂の噴気地熱地帯の状況とについて述べる。

### 6.2 三宅島の地熱地帯

三宅島は過去において、山頂および山腹噴火を幾回もくり返した。したがって、山頂や山腹に多数の火

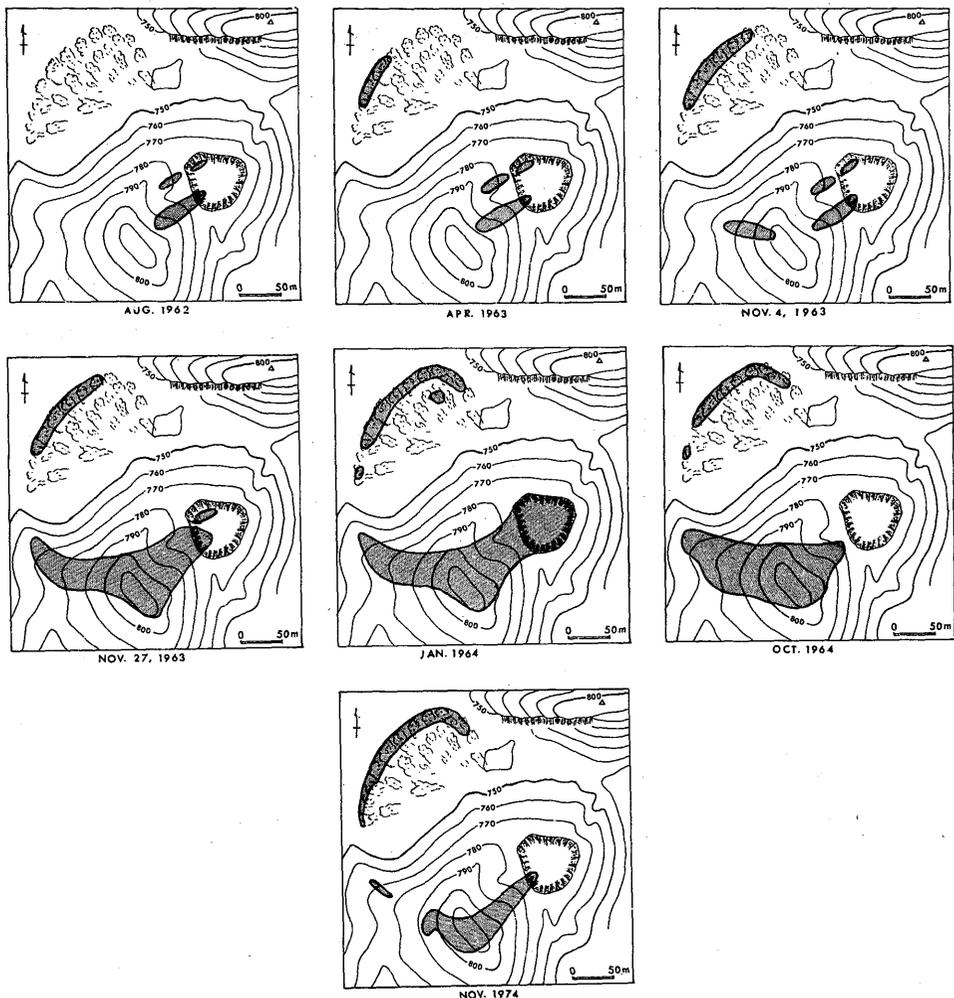


図4.6.1 三宅島山頂の噴気地帯の変動(1963~1974年)

口の跡がある。しかし、現在（1978年末）でも噴気活動を続けている所は、山頂に残っているだけである。この噴気地帯は、かつては、1940年の噴火によって生じた火口と、その付近のごく狭い地域だけで認められていたのだが、1962年の大噴火の翌年になって、急に広い地域に噴気が広がり、以後、現在まで噴気活動が続いている。

1962～1964年および赤外温度観測を行った1974年11月における噴気地帯の広がり状態は図4.6.1のとおりである。これらの図は、いずれも目視観測によって噴気が見える範囲を地図上に表わしたものであって、位置、広さなどが少しずつ変化している状態がわかる。

これらの噴気地帯は1940年の噴火によってできた噴石丘の山肌にあるが、その場所は2つの地帯に大別される。すなわち、噴石丘の北西山ろくに広がっている噴気地帯と、山頂から中腹にかけて広がっているものである。前者を第1、後者を第2噴気地帯と呼んでいる。三宅島測候所が、これらの噴気地帯内で観測し続けてきた地中温度を図4.6.2に示す。第1、第2噴気地帯の地中温度とも、1963年以降1969年ころまで、次第に上昇した傾向がある。

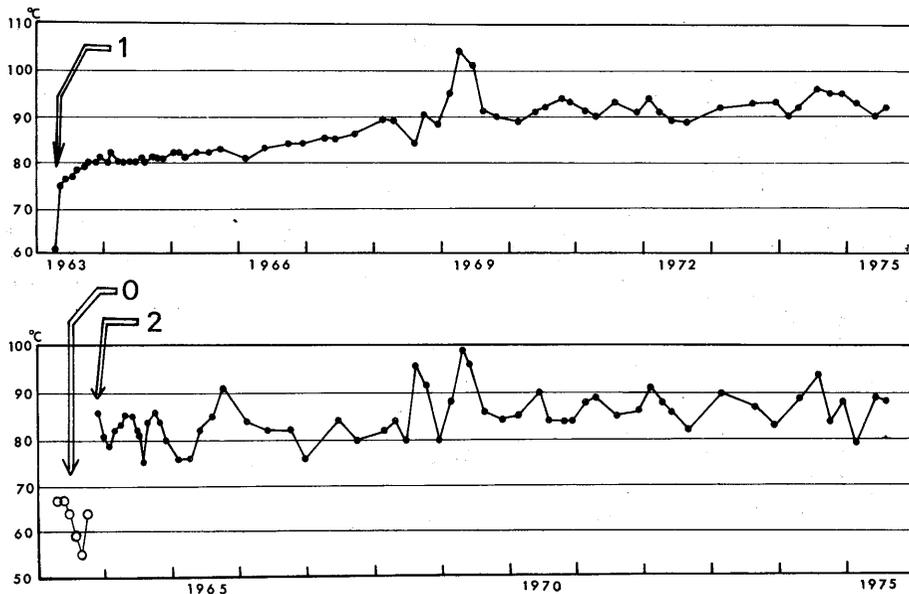


図4.6.2 三宅島山頂の噴気地帯の地中温度の変動。0は1940年の噴火で発生した火口付近の噴気地帯。1, 2はそれぞれ第1噴気地帯, 第2噴気地帯と呼ばれている所で、ともに1963年に発生した噴気地帯である。

### 6.3 赤外線放射温度計による地熱地帯の温度観測

MIKRON-44 を用い、地物の輻射率を1.0として、第1、第2噴気地帯の温度を調べた。すなわち、図4.6.3に示したA, B, C, D点にMIKRON-44を置き、同図の扇形地域の地表面温度を観測した。次にその観測結果を述べる。

A点からの観測（図4.6.4）

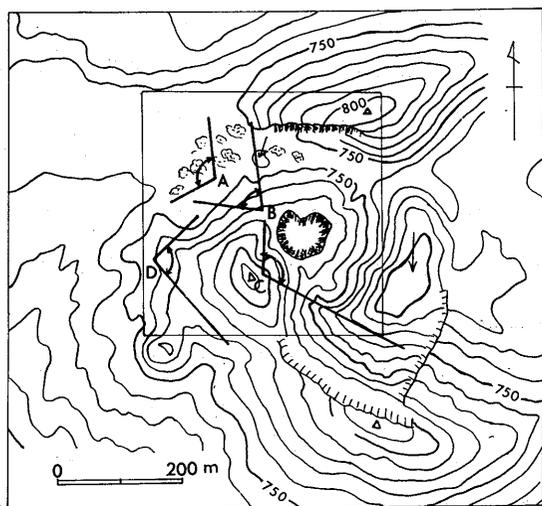


図 4.6.3 三宅島山頂で赤外線放射温度計を作動させた地点(A, B, C, D)と温度観測範囲

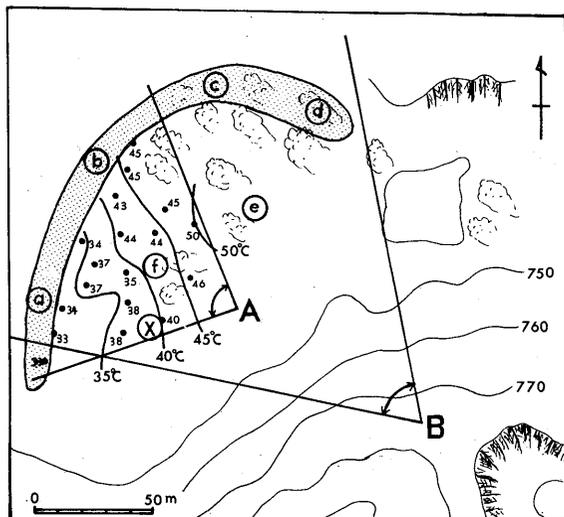


図 4.6.4 三宅島山頂の第1噴気地帯付近の地表面温度分布(図4.6.3のA, B点からの観測)

観測時刻：1974年11月14日10時30分～11時00分

天気：晴

図4.6.4の中のA点を頂点とする扇形地域を観測した。数字は温度である。図中のX点地域では38℃を示したが、同地点をサーミスター温度計で観測した温度は次のとおりである。

気温：16℃

地表面温度：20℃

地表面下1cmの温度：40℃

地表面下5cmの温度：46℃

地表面下10cmの温度：52℃

地表面温度は日射の影響を受けていて、高温すぎるように思われる。

B点からの観測(図4.6.4)

観測時刻：11時40分～11時45分

天気：曇ときどき晴

図4.6.4中のa, b, c, d, e, f点の温度を測った。3回の観測結果は表4.6.1のとおりである。

曇天時と晴天時とで、温度が顕著に違っている。

C点からの観測(図4.6.3)

観測時刻：11時50分～55分

天気：曇

図4.6.3に示したp, q, r, s地域の温度を観測した。結果は表4.6.2のとおりである。

表4.6.1 三宅島のB点における観測

温度観測点	温 度		
	第1回	第2回	第3回
a	30℃	40℃	31℃
b	30	36	30
c	34	38	32
d	32	33	28
e	34	30	30
f	37	28	32

表4.6.2 三宅島のC点における観測

温度観測点	温 度
p (1940年噴火口の西側火口壁)	54～58℃
q (1940年噴火口底)	38～40
r (1940年噴火の南東側火口縁)	38
s (古い火口底)	32

D点からの観測(図4.6.5)

観測時刻：13時30分～14時00分

天気：曇

ここでは、山の中腹から、第2噴気地帯の一部を観測した。D点から見上げた噴気地帯のある山のスケッチ、および地表面温度の状態は図

表4.6.3 三宅島のD点における観測

温度観測点	サーミスター温度計		MIKRON-44
	地表面	地表面下5cm	
k	48℃	76℃	44℃
l	42	70	42
m	約30	52	32
n	約20	24	30

4.6.5のとおりである。なお、図中のk, l, m, n点においては、MIKRON-44とサーミスター温度計

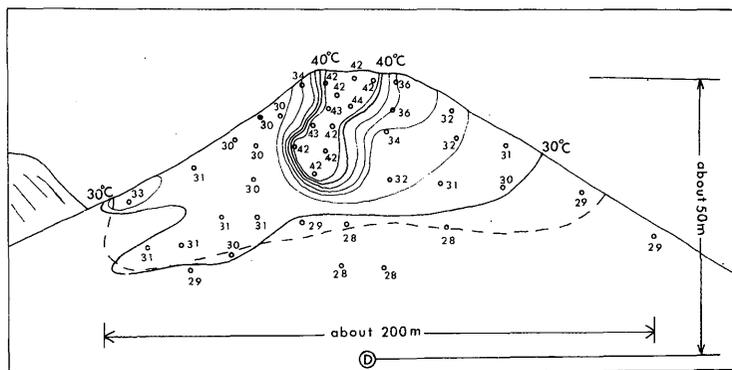


図4.6.5 三宅島山頂の第2噴気地帯付近のスケッチと地表面温度分布(図4.6.3のD点からの観測)

による観測を行って、比較した。その結果は表 4.6.3 のとおりで、両者は完全に一致してはいないが、温度分布の傾向は似ている。

#### 6.4 むすび

この観測は、近い将来、気象官署が赤外線を利用した温度計を火山観測に導入することを前提として、その手始めのための実験的観測であった。次章の那須岳での赤外線温度観測とともに、昭和49～50年度の研究計画（気象庁からの要望研究で、研究課題は「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」）の一部として実施したものである。

この研究観測に協力していただいた気象庁地震課の斉藤進、山本博二の両氏にお礼申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 気象庁地震課・三宅島測候所（1965）：昭和37年（1962年）の三宅島噴火後の異常現象について。  
    験震時報，29，145-151.
- 気象庁（1962～1975）：火山報告。
- 田中康裕（1971）：三宅島調査報告。気象庁技術報告，75，110-117.
- 田中康裕・古田美佐夫・斉藤進・山本博二（1976）：赤外線放射温度計による火山の地熱地帯の観測(1).  
    験震時報，40，109-114.

## 第7章 那須岳

田中康裕・古田美佐夫・中禮正明

### 7.1 はじめに

赤外線放射温度計（MIKRON-44 およびPRT-5）およびサーミスター温度計（芝浦電子工業製MODEL-MGBⅢ）を用いて、1975年10月20～22日に、那須岳の地熱地帯を調べた。

火山体に分布する地熱地帯は、上空または遠方の地上から、赤外熱映像を撮影することによって、一挙にその熱的狀態を求めることができる。しかし、赤外熱映像装置は、一般に大型で重く、それを山上や山腹まで持ち上げることは困難な場合が多い。また、その装置を航空機に搭載して観測するためには、かなり綿密に企画された飛行計画が必要であり、多大の経費を要し、さらに、天候などの制約を受けるなどで、緊急観測時には不都合な点が多い。

こうした短所を補うための目的もあって、この調査では携帯用の赤外線放射温度計を持って山腹を丹念に歩きまわり、地熱地帯を見つけて、その熱的狀態を調べた。この方法は、観測に長時間を要するが、安価ででき、直接地熱地帯に触れて噴気や昇華物などを観察できるなどの長所もある。

なお、この観測は、昭和49～50年度の研究計画（気象庁からの要望研究で、研究課題は「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」）の一部として実施したものである。

### 7.2 那須岳の地熱地帯

那須岳の中腹から山頂にかけての地域は、すべて岩砕でおおわれており、所々に昇華物が付着している。植物が生えている所はわずかにあるが、いずれも背の低いものばかりである。これは、この地域に地熱地帯が多く、また、噴気地帯も多くて、噴出、湧出する有毒な火山ガスが多いために植物が育たないためだと思われる。

地熱地帯の近くに赤外線放射温度計を設置し、同時にその地熱地帯の景色をポラロイドカメラに撮ったり、スケッチをして、温度の観測値を画面に記入し、それを基にして温度分布図を作った。

那須岳の中腹から山頂にかけて検知できた地熱地帯の分布を図4.7.1に示す。いずれの地熱地帯も、観測時に、まわりの地表温度より高温だった地帯を抜き出して記入してある。以下、図4.7.1に記入してある地熱地帯の状況を、同図中の番号順に説明する。

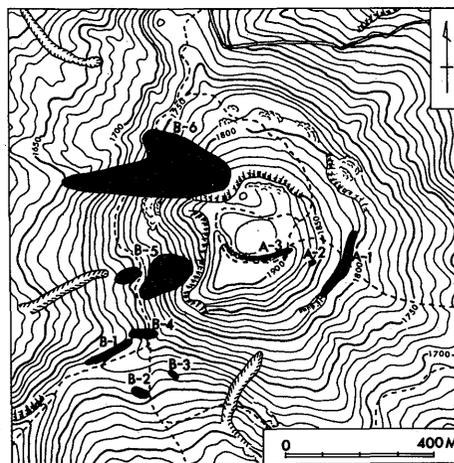


図4.7.1 那須岳の地熱地帯の分布  
(1975年10月観測)

A-1地帯(図4.7.2および図4.7.3)

海拔1,810m付近の等高線に沿って、長さ約150m、幅約10mの範囲に広がる地熱地帯である。一面に白ないし黄色の昇華物が付着しているが噴気はほとんど見えない。地熱地帯の中央部の小噴気孔内の温度は94℃。

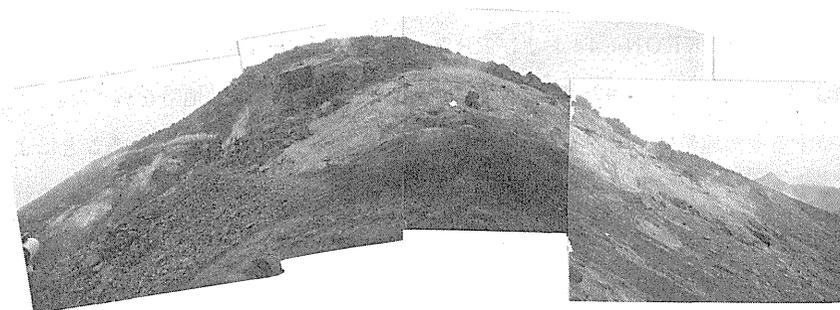


図4.7.2 那須岳の地熱地帯(図4.7.1の中のA-1地帯)の状況

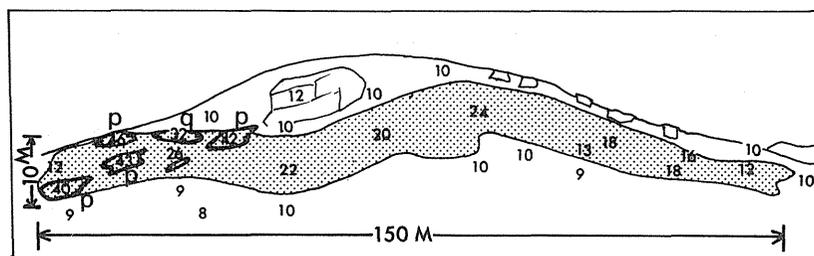


図4.7.3 図4.7.2に合わせたスケッチと赤外線放射温度計で観測した温度(図中の小さな数字)

A-2地帯

海拔1,850m付近にある噴気地帯で、直径約3mの範囲に白ないし黄色の昇華物が付着している。その中央部の直径数cmの噴気孔からは少量の噴気を出している。近くで小さな噴気音が聞かれる。その噴気孔内の温度は94℃。

A-3地帯

山頂の火口縁に沿った地熱地帯で、かすかに噴気が出ている。最西端の噴気孔内の温度は84℃。

B-1地帯

海拔1,720~1,730m付近の、長さ約150m、幅約5mの地熱地帯で、かすかに噴気があがっている。この地帯には所々に苔が生えていたり、白ないし黄色の昇華物が付着している所がある。地下20cmの最高温度は84℃。

B-2地帯(図4.7.4および図4.7.5)

長さ約30m、幅約10mの地熱地帯で、ほぼ全面に白ないし黄色の昇華物が付着している。噴気はほとんど見えない。この地熱地帯内の地下50cmの温度は95℃。地表面温度の最高値は60℃。

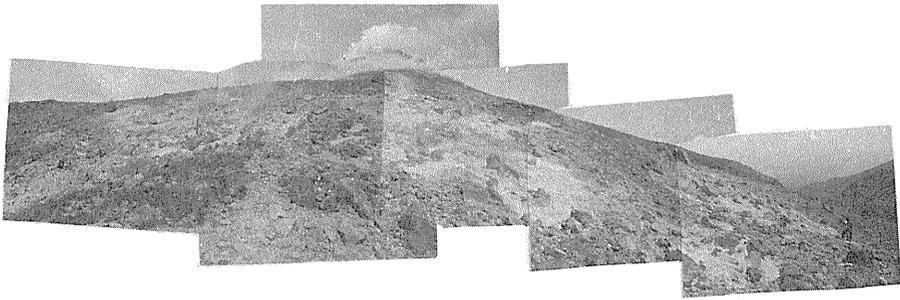


図 4.7.4 那須岳の地熱地帯(図 4.7.1 中の B-2 地帯)の状況

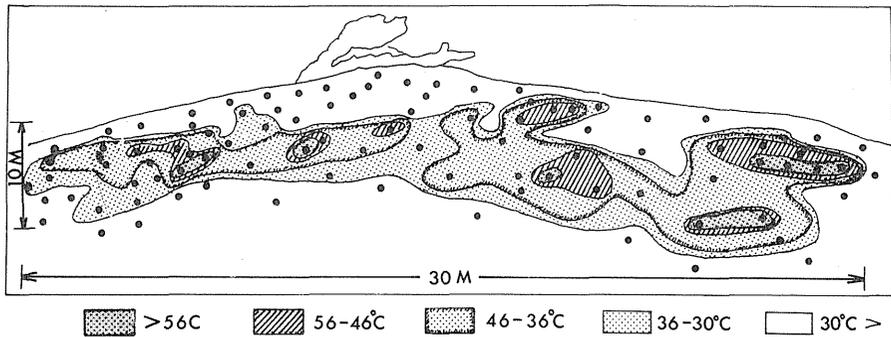


図 4.7.5 図 4.7.4 に合わせたスケッチと赤外線放射温度計で観測した温度分布図。黒点は温度測定点

#### B-3 地帯

長さ約 20 m, 幅約 5 m の地熱地帯で, 全面に黄色の昇華物が付着している。少量の噴気があがっており, 噴気音がかすかに聞える所がある。噴気孔内の最高温度は 165 °C。

#### B-4 地帯

東西約 50 m, 幅約 10 m の地熱地帯で, 中央部に直径 4~5 m の噴気孔があり, 噴気音を伴って活発に噴気をあげている。この孔のまわりには黄色い昇華物が付着している。孔内の温度は 128 °C。

#### B-5 地帯

この地帯は那須岳で最も活発な噴気活動の見られる所で“無限地獄”と呼ばれている。150 m × 150 m くらいの範囲で活発な噴気活動をしている。中央部の噴気孔のそばでは, 人の大声が聞きとれない程の大きな噴気音である。この噴気孔内の温度は 238 °C。

#### B-6 地帯

東西約 500 m, 南北約 200 m にわたる広い地熱地帯で, この中に多数の小噴気孔が点在している。噴気活動は B-5 地帯に次いで活発である。大きな噴気音をあげている噴気孔もある。噴気孔内温度の最高値は 156 °C。

### 7.3 噴気地熱地帯の変動

那須岳は1397, 1408, 1410, 1846, 1881, 1943, 1953, 1960, 1963年に噴火の記録がある。ことに1410年(応永17)の噴火は大きく、180余名の死者を生じたほか、多数の牛馬が死んだ。古い噴火資料では噴火地点を確認することがむづかしいが、1953年以降の噴火はいずれもB-5地帯で起こっている。

気象庁発行の火山報告では、B-1, B-2, B-3, B-4地帯を合わせて第3噴気地帯、B-5地帯を第2噴気地帯、B-6地帯を第1噴気地帯と呼んでいる。同報告による1965年当時の那須岳の地熱噴気地帯の分布は図4.7.6のとおりである。これを1975年に観測した分布図(図4.7.1)とくらべると、第1噴気地帯の状況はほとんど変わっていないが、第2, 第3噴気地帯の面積は、この10年間にかなり狭くなったようである。

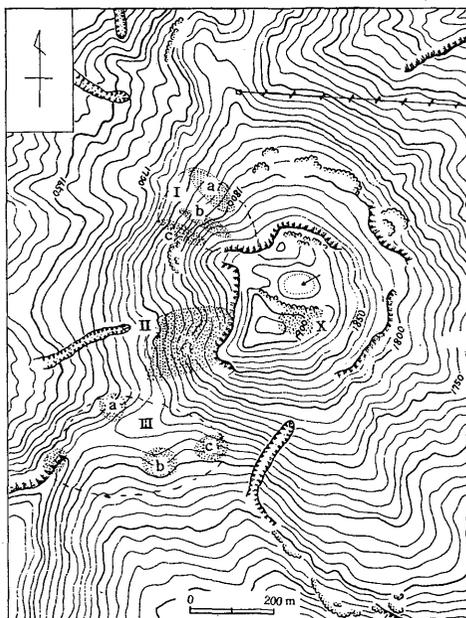


図4.7.6 那須岳の地熱地帯(1965年ごろの状態)。I, II, IIIはそれぞれ第1, 第2, 第3噴気地帯と呼ばれており、黒く塗った地域は噴気活動の盛んな所である。

### 7.4 むすび

赤外線放射温度計を使って那須岳の地熱地帯を地上から観測し、高温地帯分布図を使った。この観測方法によって作った地表面温度分布図は、空中赤外温度観測によって求める分布図とくらべて、分布状態に関する精度は劣るかもしれないが、手軽に観測できることでは勝っている。

この温度観測時における噴気地熱地帯と、10年前のそれとを比較すると、一部の地熱地帯では変化が起こっており、近年、高温域が狭くなってきたようである。

火山活動と地熱とは密接な関係があるので、火山活動監視上からも地熱を観測することが必要である。そのためには、手軽にできる赤外線技術を火山観測に採り入れることが望ましい。

この研究観測に協力していただいた気象庁地震課の浜田信生、築田俊郎の両氏にお礼申し上げる。

### 参考文献

- 気象庁(1965): 火山報告.
- 田中康裕(1977): 那須山の熱映像の調査研究. 噴火予知のための主要活火山における熱的状態の調査研究. No. A-52-1, 65-68.
- 田中康裕・古田美佐夫・中禮正明・浜田信生・築田俊郎(1978): 赤外線放射温度計による火山の地熱地帯の観測(2). 験震時報, 42, 31-40.

## 第8章 有珠山

田中康裕・澤田可洋・中禮正明

### 8.1 まえがき

ひとたび噴火が発生した火山では、それ以後、かなり長期にわたって活発な火山活動をくり返すのが常である。1977年8月7日に始った有珠山の噴火も、同月7～14日に顕著な噴火をくり返した後、同年11月16日、翌1978年1月13日、2月25、27日、3月2、3、4、6、11日および4月24日には、小規模ながらも噴火があり、さらに5月25日以降は現在（1978年10月）に到るも、なおときどき噴火が起こっている。一方、噴火開始以来、有珠山付近では連日多数の地震が発生しており、また、顕著な地殻変動も起こっていて、それらの活動は現在でもなお続いている。

有珠山の過去の噴火活動をみるに、噴火開始からかなりの月日を経た後、溶岩円頂丘や潜在円頂丘を生成した例がしばしばあるので、この火山においては、火山活動を厳重に監視し続けることが必要である。

今回の長期化した有珠山の噴火活動に対しても、ことによると、溶岩などの上昇によって、地表に熱的異常が現われることが考えられた。そこで、防災対策に資するため、有珠山の地表面温度の観測をほぼ定期的に、航空気からリモートセンシングによって実施した。

### 8.2 観測方法

飛行基地は有珠山に近い千才空港を使用した。地表への日射の影響を避けるため、観測時刻は日出前を選び、有珠山の上空を東西に飛んで赤外熱映像を撮影した。1977年9～11月の間に、ほぼ定期的に4回（9月13日、10月20日、11月8日、11月29日）観測をくり返したが、その撮影記録は表4.8.1のとおりである。

表4.8.1 有珠山の空中赤外温度観測記録

回	観 測 時				高 度 ft
	月	日	時 分	時 分	
第1回	9	13	3 20	～ 4 13	6600
第2回	10	20	5 18	～ 5 38	6600
			4 40	～ 5 46	
第3回	11	8	4 27	～ 5 40	6560
第4回	11	29	4 16	～ 5 49	6700

各観測回における飛行コースはほぼ同じで、有珠山を中心とした東西約11 km、南北約5 kmの範囲が3つのコースでカバーされるようにした。すなわち、有珠山の北側、中央、南側を飛んだコースを、それぞれC-1、C-2、C-3コースと呼ぶことにし、撮影コースの一例として、1977年9月13日のものを図4.8.1に示してある。C-1とC-2コース、C-2とC-3コースは互に少しづつ重なるようにし

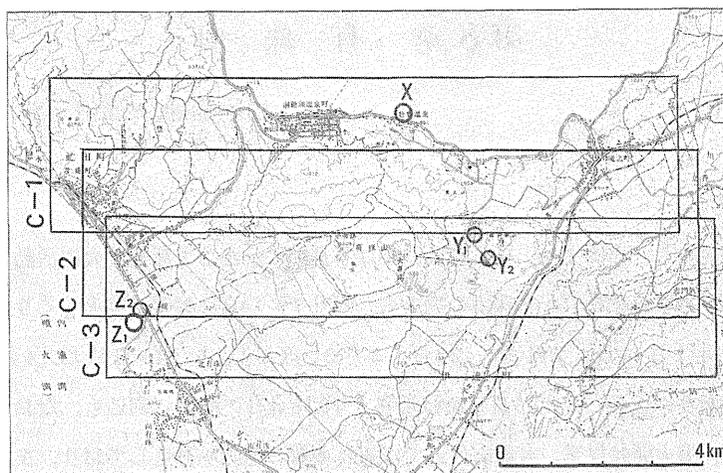


図 4.8.1 有珠山の空中赤外温度観測のための飛行コース (C-1, C-2, C-3)。図中のX, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>は Ground truth 実施地点

である。

C-1 コース内には四十三山, 洞爺湖温泉, 壮瞥温泉などが入るようにした。C-2 コース内には小有珠, オガリ山, 大有珠, 昭和新山などがある。また, C-3 コース内には有珠山の南部や内浦湾岸にある有珠町の埠頭が入るようにした。

撮影した赤外熱映像の示度をチェックするため, 空中温度観測の時刻に合わせて, 図 4.8.1 のC-1 コースの中にあるX点 (壮瞥温泉町の洞爺湖面), C-1 ないしC-2 コースの中にあるY<sub>1</sub> 点 (昭和新山西ふもとの道路) とY<sub>2</sub> 点 (昭和新山西ふもとの駐車場), およびC-2 ないしC-3 コースの中にあるZ<sub>1</sub> 点 (有珠町の内浦湾海面) とZ<sub>2</sub> 点 (内浦湾岸の埠頭) において, 水面や地表の温度を観測した。このGround truthの観測には, 棒状温度計, 熱電対温度計および赤外線放射温度計を併用し, それらの平均値を求めるとした。また, 上記のGround truthを行った地点に6m×10mの大きさのアルミ箔板を設置したが, これはMSSの熱映像に写し出すことができ, 映像画面上の正確な位置づけをするのに効果的であった。

### 8.3 観測結果

この観測に用いたMSSの瞬間視野は2.5 m radであり, 飛行高度は各観測回とも海拔2000 m前後であった (表 4.8.1)。この資料と, 小有珠, 大有珠, 昭和新山などの山体の主要部の高さが海拔700~300mであることを合わせて考慮すると, この空中赤外温度観測では, 直径3~4 mの物体の平均温度が検出できたことになる。

撮影された3つのコースの赤外熱映像を見ると, 有珠山で地表面温度が高い地帯は, 外輪山内では小有珠, オガリ山, 大有珠にあり, 外輪山外では昭和新山にあった。これらの高温地帯はすべてC-2 コース内にある。その他のコース内には, この空中赤外温度観測に関する限りでは, 異常な高温地帯は見あたらなか

小有珠 ↓      オガリ山 ↓      大有珠 ↓      昭和新山 ↓

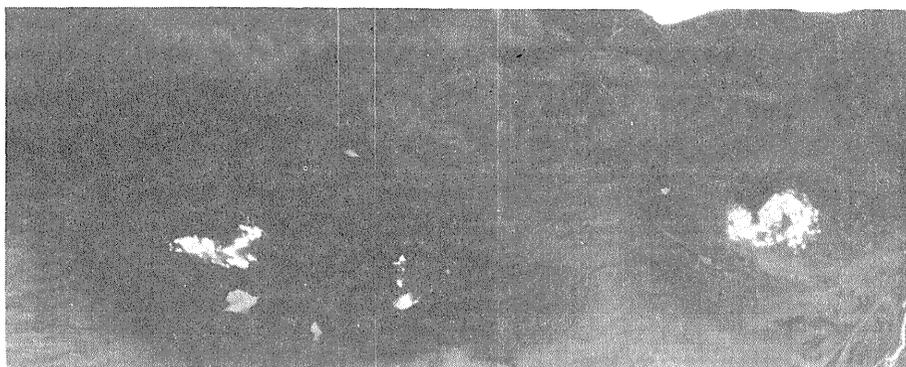


図 4.8.2 有珠山の赤外熱映像 (9月13日)

小有珠 ↓      オガリ山 ↓      大有珠 ↓      昭和新山 ↓



図 4.8.3 有珠山の赤外熱映像 (10月20日)

小有珠 ↓      オガリ山 ↓      大有珠 ↓      昭和新山 ↓



図 4.8.4 有珠山の赤外熱映像 (11月8日)

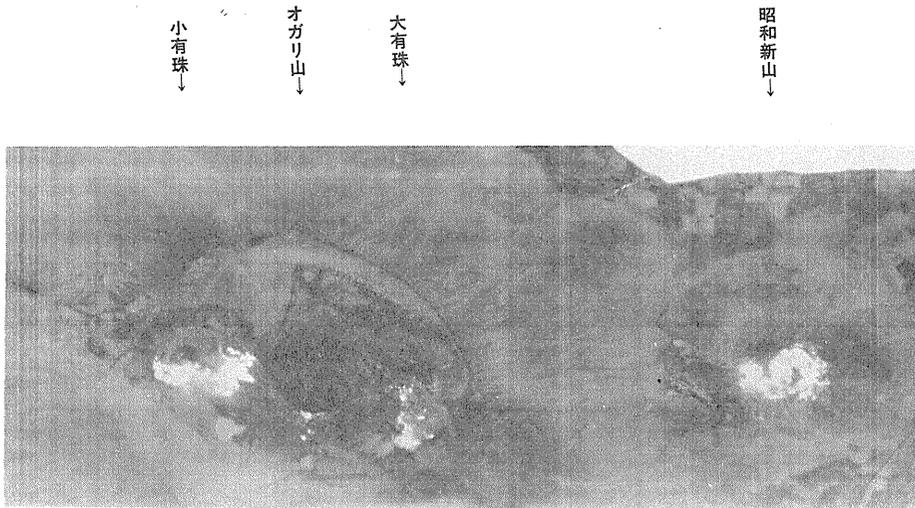


図 4.8.5 有珠山の赤外熱映像 (11月29日)

った。

図 4.8.2 ~ 図 4.8.5 はそれぞれ4回の空中赤外温度観測で得られたC-2コース内の高温地帯の熱映像である。各図には、それぞれ4ヶ所に高温地帯が認められる。すなわち、図中に記入した小有珠、オガリ山、大有珠および昭和新山の白色部がそれである。また、これらの図によると、道路、川、沼、湖、家屋の一部など高温を示している所が見あたるが、それらは地熱地帯とは異種のものであるから、解析からは除いた。

図 4.8.2 ~ 図 4.8.5 の熱映像図は、地形の凹凸の影響を受けており、さらに、飛行コースが各観測回ごとに若干違っていても影響して、このままでは比較できないほどにゆがめられている。そのため、各熱映像図に地形補正および飛行コースの補正をほどこして温度分布図を作成した。できあがった地表面温度分布図は図 4.8.6 ~ 図 4.8.13 のとおりである。なお、これらの温度分布図は小有珠、オガリ山、大有珠については海拔 470m、昭

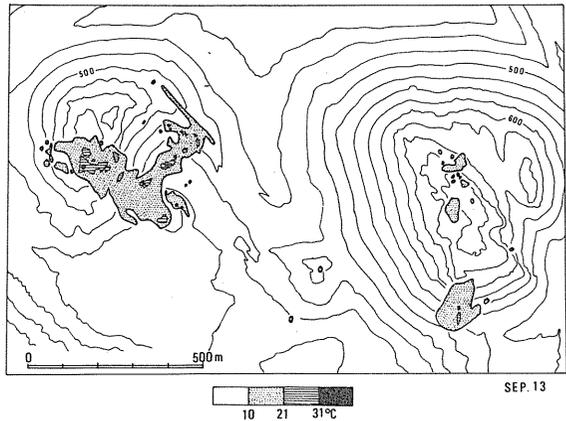


図 4.8.6 有珠山(外輪山内)の地表面温度分布図(9月13日)

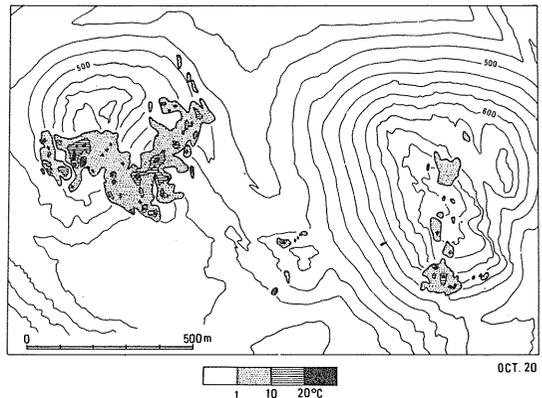


図 4.8.7 有珠山(外輪山内)の地表面温度分布図(10月20日)

和新山については海拔 40m の高さ基準面を設定して、その面に高温部を投影したものである。

ここで、地形補正に用いた地図は、小有珠、オガリ山、大有珠地区については、噴火後の1977年10月23日に国土地理院が航空測量によって作成した1/5000地形図であり、また、昭和新山地区については、1967年に同院が作成した1/5000国土基本図である。

有珠山のうち、とくに小有珠、オガリ山、大有珠地区は、10月23日の地形測量後も顕著な地形変化を続けていたため、各温度分布図の地形補正は十分なものとはいえないが、地形変化による観測誤差は、第8.4節で述べるように、わずかなものであると考えられる。

図4.8.6～図4.8.13によって、有珠山の活動域の地表面温度の状態の大勢を知ることができる。

小有珠には、その山頂から南～東～北東山腹一帯に広がる広い高温地帯がある。1977

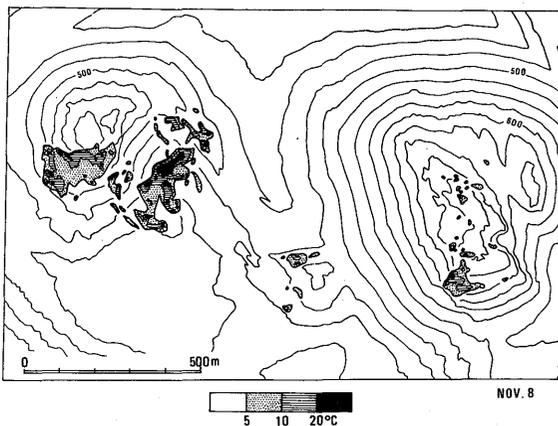


図4.8.8 有珠山(外輪山内)の地表面温度分布図(11月8日)

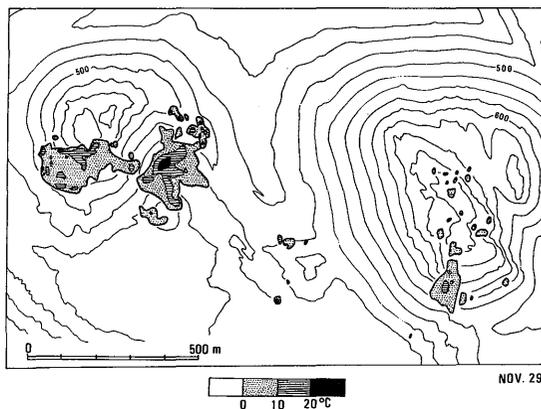


図4.8.9 有珠山(外輪山内)の地表面温度分布図(11月29日)

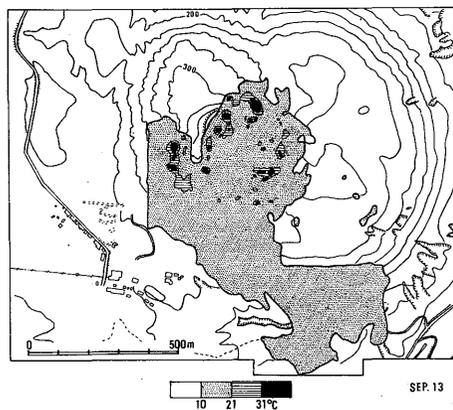


図4.8.10 有珠山(昭和新山)の地表面温度分布図(9月13日)

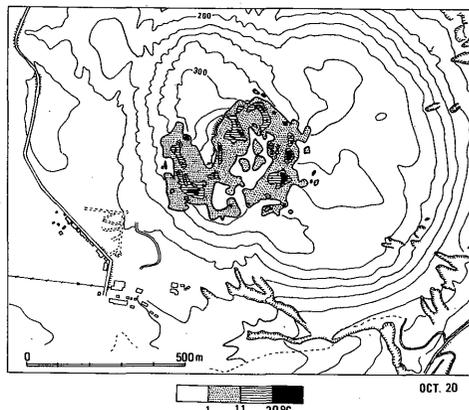


図4.8.11 有珠山(昭和新山)の地表面温度分布図(10月20日)

年の噴火でできた火口のうち、小有珠の南東～北東山ろくにあるものはいずれも高温で、小有珠山頂からそれらの火口まで高温地帯が続いている。一方、小有珠山頂から北東へ約800m離れた所に生成した火口（第4火口と呼ばれている）の地表は、異常とするほどの高温ではなかった。ただし、第4火口の位置は図4.8.6～図4.8.9の温度分布図の外にある。

今回の噴火に伴って、小有珠北東—オガリ山—大有珠北西を結んで大きな断層ができたが、この断層に沿って若干の高温地帯が見られる。とくに小有珠近くでの高温状態は顕著に現われている。

オガリ山には、ほぼ南北に並ぶ高温地帯が点在している。

大有珠には、山頂を通過してほぼ南北に並ぶ高温地帯が点在している。

昭和新山には、その山頂部の溶岩円頂丘を囲んで高温地帯が広がっている。その状態はアルファベットのS字を横にしたような形に見える。

これらの高温地帯を広いものから並べると、昭和新山、小有珠、大有珠、オガリ山の順になる。

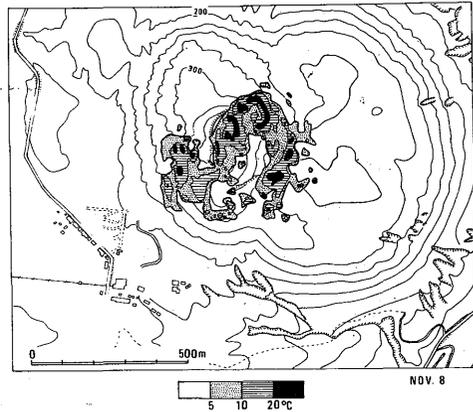


図4.8.12 有珠山（昭和新山）の地表面温度分布図（11月8日）

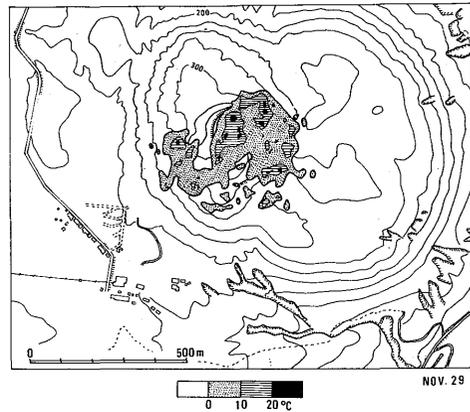


図4.8.13 有珠山（昭和新山）の地表面温度分布図（11月29日）

#### 8.4 赤外熱映像図の補正と誤差

同一物体を同じMSSを用いて撮影して得られる熱映像は、必ずしも同じにはならない。撮影条件を変えることによって、かなり歪を持った映像になってしまう。

有珠山で実施した空中赤外温度観測では、各観測回で同じMSSを使い、毎回ほぼ同じ高度を飛行した。観測時刻も、日射のない時刻を選んで、観測条件はなるべく揃えるようにした。この場合、航空機のピッチング、ローリング（MSSのジャイロシステムによって、±5°のローリングは除去できる）、ヨーイング（横ずれ）、高度変化、速度変化などはないものと考え、また、tangent補正はDeadalus社のGround station DEI-616によってFMテープをアナログ変換する際に補正され、また、V/H補正も同時に行っている。

以上のように観測条件を揃えたのであるが、図4.8.2～図4.8.5の熱映像を見ると、高温地帯の形は若干づつ違っていることがわかる。その原因は、高温地帯自身に変化していることもあろうが、さらに大きな原因は、飛行コースの一寸した違いと、凹凸の激しい山岳の地形との影響にあると考えられる。

そこで、温度分布図を作製するにあたって、MSSの熱映像画面から飛行コースを厳密に求め、かつ、本編第1章の1.4節で述べたメッシュ・アナログ法により地形補正を行った。

次に、これらの地表面温度分布図の誤差であるが、経験的にみて、MSSの画像上で基準点の座標を読み取る際には4mm以下の誤差があり、これは地図のスケールになおすと20m以下にあたる。

一方、有珠山の高温地帯が点在している山肌の傾斜角は、大きな所で、せいぜい45°程度であるから、そこにある目標物が山肌の上方から下方に、あるいは下方から上方に20mずれたとすると、その標高も約20mずれたことになる。この温度観測のための飛行高度は海拔約2000m（基準面からの高さは小有珠、オガリ山、大有珠では約1500m、昭和新山では約2000m）であるから、地表の物体の高度が20m程度変わったとしても、その物体の面積には、せいぜい2%以下の誤差しか見積られない。

有珠山の地形変動は、この空中赤外温度観測をくり返し実施している間にも進行していたが、地表面温度分布図の地形補正には、便宜上、同じ地図を用いた。この観測を行った期間、すなわち、1977年9月中旬から11月下旬までの有珠山の地形変動は、北海道大学の観測（北海道大学理学部1978）によれば次のとおりである。

オガリ山の隆起量：約35m

小有珠の沈下量：約25m

上記の変化量により地表の物体の面積には2~3%程度の誤差が見積られる。

### 8.5 地表面温度の変化と火山活動

図4.8.6~図4.8.13の温度分布図から、高温地帯の面積を読み取り、いくつかの温度レベルに分けて表4.8.2に示す。この面積には第8.4節で述べたように、若干の誤差が含まれているが、この表によって、

表4.8.2 有珠山の高温地帯の面積(×10<sup>2</sup>m)

観測日	小有珠	オガリ山	大有珠	昭和新山
(5℃以上)				
9月13日	—	—	—	—
10月20日	286	4	47	383
11月8日	396	7	63	911
11月29日	273	3	26	393
(10℃以上)				
9月13日	522	2	156	3404
10月20日	98	1	9	158(11℃<)
11月8日	147	3	18	404
11月29日	105	1	6	188
(15℃以上)				
9月13日	191	0	18	569
10月20日	26	0.8	5	60
11月8日	64	0.8	4	212
11月29日	39	0.3	1	80
(20℃以上)				
9月13日	48(21℃<)	0	2	16(21℃<)
10月20日	9	0	1	22
11月8日	27	0	0.5	62
11月29日	8	0	0	12

高温地帯の広さが変化した状態がわかる。

高温地帯の面積は、観測のたびに誤差を上まわるような大きな変化をしている。いま、10℃以上および15℃以上の高温地帯について、最初の観測時の面積を100として以後の面積の変化率を求めると、各高温地帯で図4.8.14～図4.8.17のようになる。オガリ山を除く各高温地帯は、大勢として、次第に冷えつつあるように見える。オガリ山の高温地帯だけは、11月8日の観測が顕著に大きく、異常である。

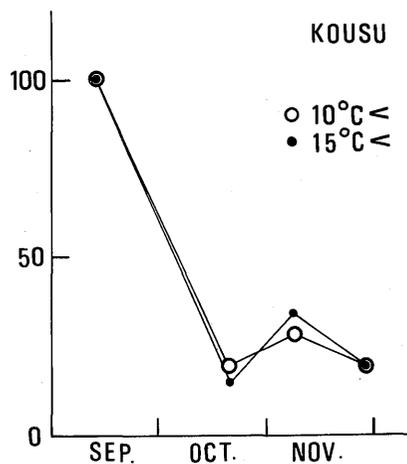


図4.8.14 小有珠の高温地帯の面積の変化率

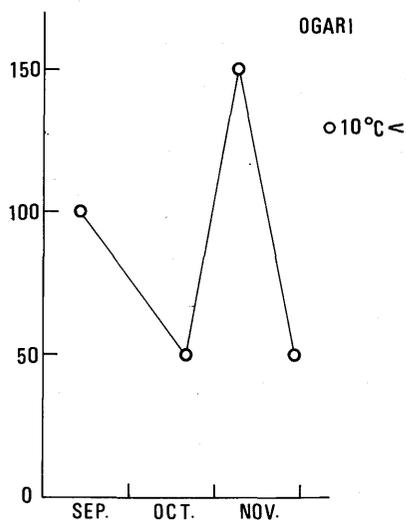


図4.8.15 オガリ山の高温地帯の面積の変化率

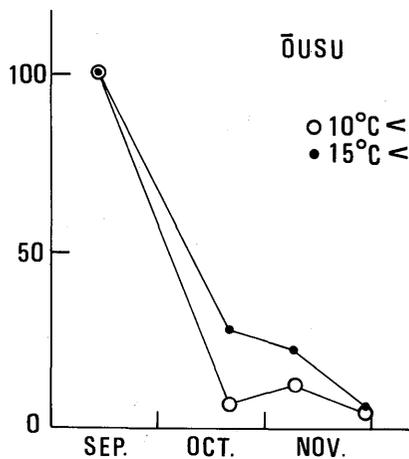


図4.8.16 大有珠の高温地帯の面積の変化率

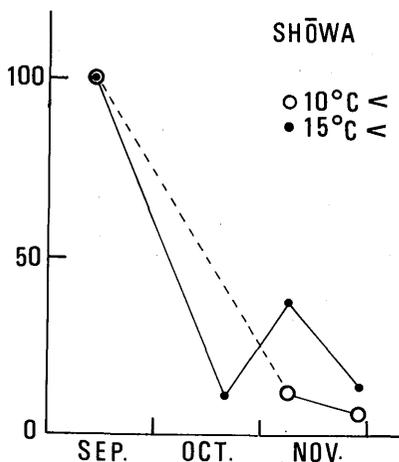


図4.8.17 昭和新山の高温地帯の面積の変化率

一方、各高温地帯内の最高温度（ある面積内の平均的な温度の中での最高値）は表4.8.3および図4.8.18のとおりである。

表 4.8.3 有珠山の高温地帯の最高温度

観測日	小有珠	オガリ山	大有珠	昭和南山
9月13日	41~51℃	10~15℃	21~31℃	51~81℃
10月20日	30~40	15~20	20~30	50~60
11月8日	50~80	15~20	20~30	70~80
11月29日	40~50	15~20	15~20	30~40

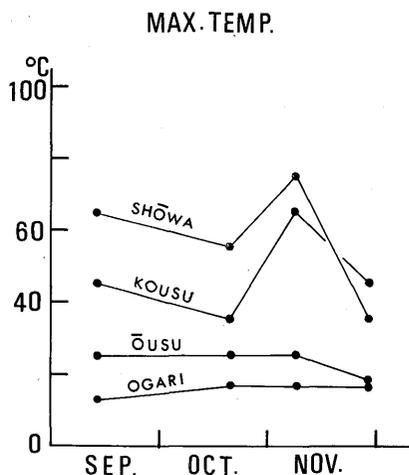


図 4.8.18 有珠山の高温地帯内の最高温度の変化

第3回目の空中赤外温度観測(11月8日)では、高温地帯がかなり広くなり、かつ、地熱地帯の最高温度がかなり高くなった所がある。これは、その後の11月16日に小有珠近くで起こった小噴火と関係があったのかもしれない。

しかし、高温地帯の面積は、大勢としては次第に狭くなるような傾向があり、これは秋から冬に向う季節の影響を受けているためだと考えられる。参考のため、空中赤外温度観測の時刻に現地(図4.8.1のGround trnshを実施したX点およびZ<sub>2</sub>点)で測った気温と湿度を表4.8.4に示す。

表 4.8.4 有珠山の空中赤外温度観測時の現地(X点、Z<sub>2</sub>点)における気温と湿度

観測日	9月13日	10月20日	11月8日	11月29日	
X	時刻	3時16分	5時43分	5時00分	4時55分
	気温	14.0℃	3.0℃	6.4℃	-1.0℃
	湿度	90%	86%	64%	-
Z <sub>2</sub>	時刻	3時20分	6時00分	5時48分	5時30分
	気温	14.6℃	5.2℃	6.8℃	3.0℃
	湿度	86%	82%	62%	92%

有珠山は、この温度観測を実施している期間にも著しい地形変化を続けていたが、その影響で高温地帯の位置も少しずつ移動したようである。図4.8.19~図4.8.20は各観測で得られた温度分布の高温地帯の形と位置を重ね合わせたものである。

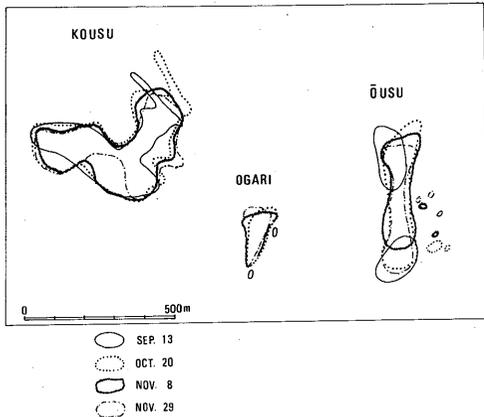


図 4.8.19 高温地帯の位置の移動(小有珠・オガリ山・大有珠)

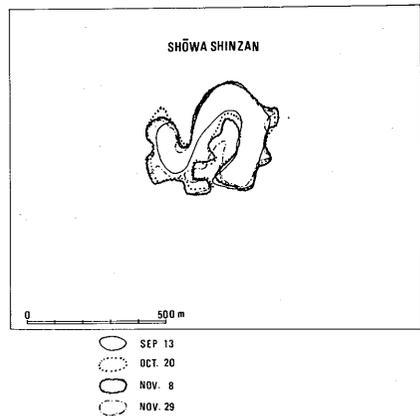


図 4.8.20 高温地帯の位置の移動(昭和新山)

図 4.8.19からは、小有珠の高温地帯は北東および東方に移動し、オガリ山の高温地帯は北方に拡大し、大有珠の高温地帯は北方に移動した時があったように見える。

一方、図 4.8.20 からは、昭和新山の高温地帯の位置はほとんど移動してないことがわかる。

### 8.6 むすび

1977年8月の有珠山の噴火以降、同年11月末までに、4回にわたり、航空機からリモートセンシングによって、有珠山の熱映像を求め、温度分布図を作成し、熱変化を調べた。

高温地帯は小有珠、オガリ山、大有珠および昭和新山で検知された。

高温地帯の面積および最高温度は、11月8日に観測したものにやや大きな値があり、これは、その後の11月16日の小噴火に関連した変動であったのかもしれない。

しかし、高温地帯の面積は、大勢としては次第に狭くなる傾向を示しており、これには秋から冬期にかけて次第に寒くなる季節の影響が現われているものと考えられる。

この観測を実施中にも、有珠山は顕著な地形変動を続けており、その影響で高温地帯が移動したり拡大した所が小有珠、オガリ山、大有珠で見られた。しかし、昭和新山の高温地帯の位置はほとんど変化していなかった。

ここで実施した4回の温度観測結果を総合すると、有珠山には顕著な熱的変動はまだ現われておらず、一連の観測を終えた1977年11月末ころまでには、

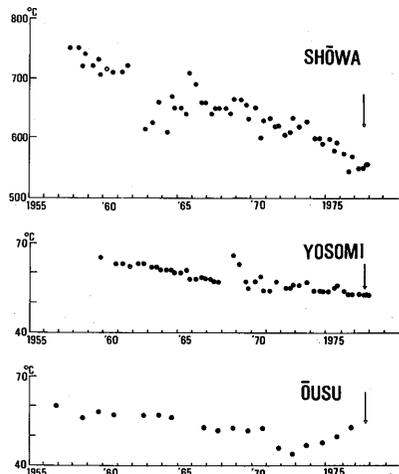


図 4.8.21 昭和新山、四十三山、大有珠の噴気孔温度の変化。矢印は「1977年有珠山噴火」の発生時

溶岩円頂丘が地表へ現われるような気配は見あたらなかった。

なお、室蘭地方気象台が長年にわたり、有珠山の同じ地点で、同じ方法で、定期的に観測を続けてきた噴気孔内の温度変化の資料を図4.8.21に示す。温度は今回の噴火まで、全般に低下してきた傾向があるが、今回の噴火地点に近い大有珠の温度が最近数年間に、やや上昇していたことは注目に値する。

### 参 考 文 献

- 北海道大学理学部（1976）：空中赤外映像による北海道内火山の地熱活動状況の調査。火山噴火予知連絡会会報，7，35-37.
- 横山泉・江原幸雄・山下済（1977）：有珠山（含昭和新山）の熱映像の調査研究。自然災害特別研究成果，噴火予知のため主要活火山における熱的状态の調査研究，昭和52年8月，pp.35-41.
- 北海道大学理学部・東京大学地震研究所（1978）：1977年有珠山噴火の熱学的調査（1977年8月～12月）。火山噴火予知連絡会会報，11，8-12.
- 気象研究所地震火山研究部（1978）：有珠山における航空温度測定及び光波測量。火山噴火予知連絡会会報，11，63-72.
- 北海道大学理学部（1978）：計器観測による有珠山頂火口原の地殻変動（1977年8月～12月）。火山噴火予知連絡会会報，11，8-12.

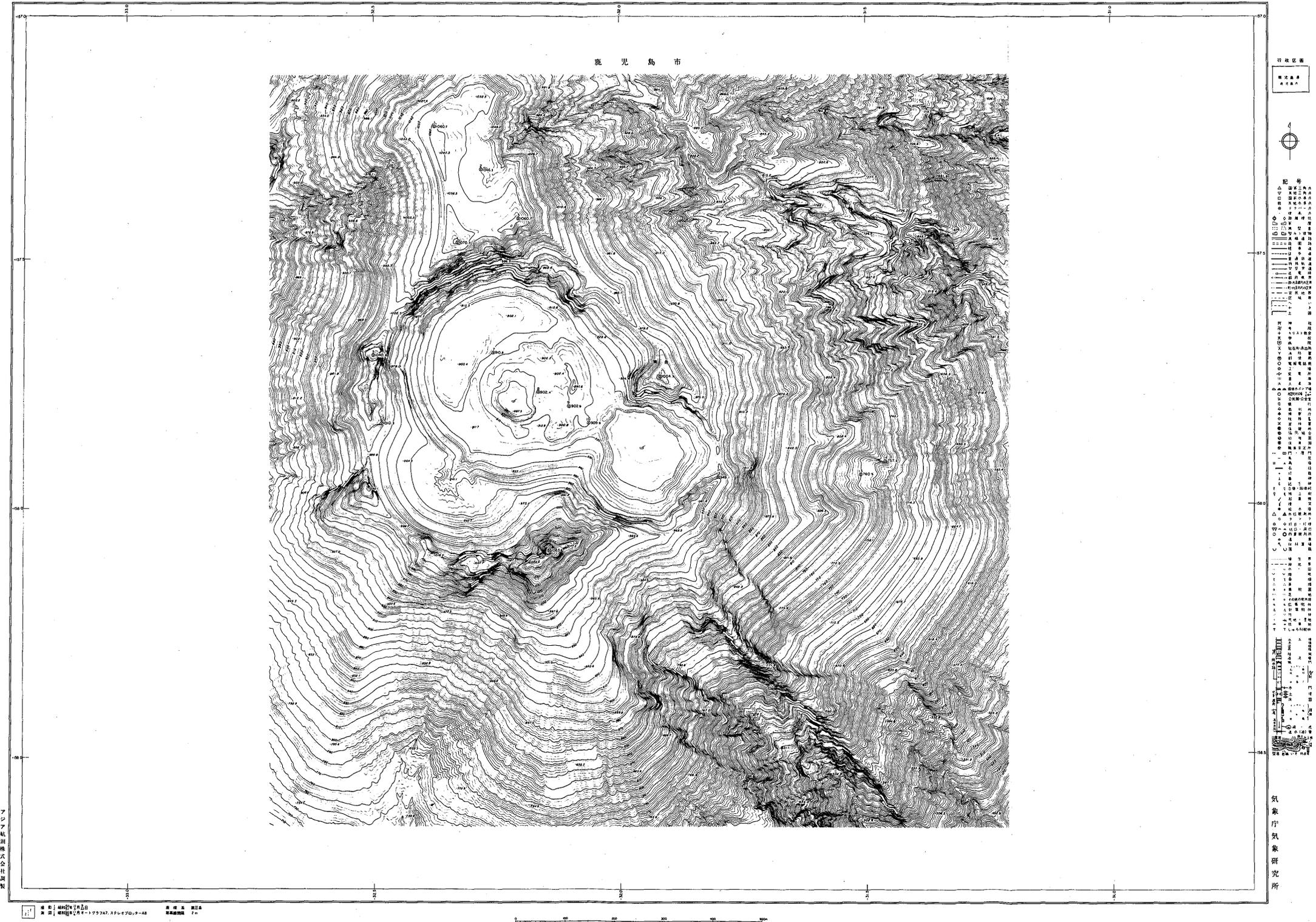


図 1.2.2 桜島の南岳山頂火口地形図 (1975年11月9日, 1976年3月25日)

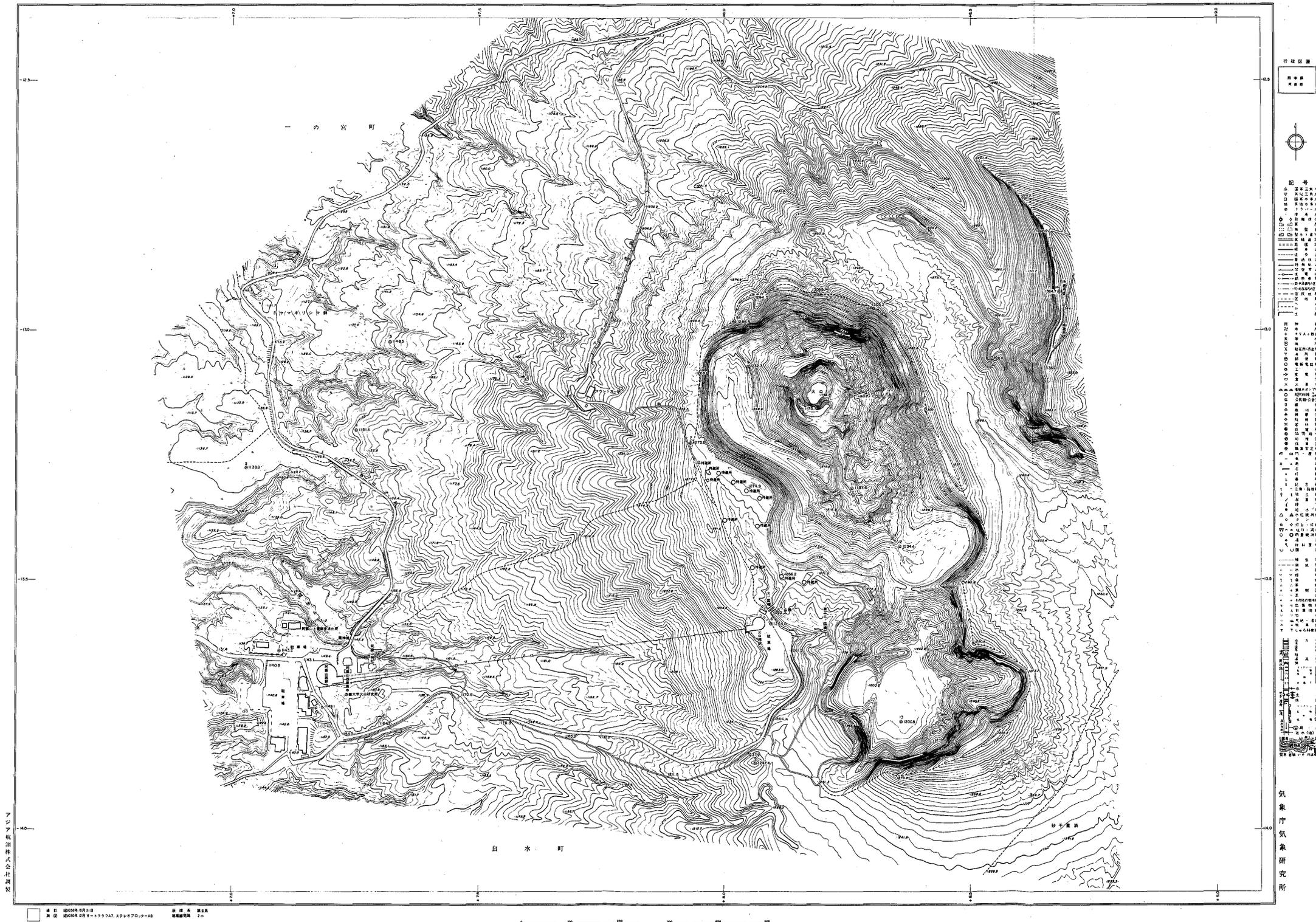


図1.3.2 阿蘇山の中岳火口地形図(1975年10月21日)

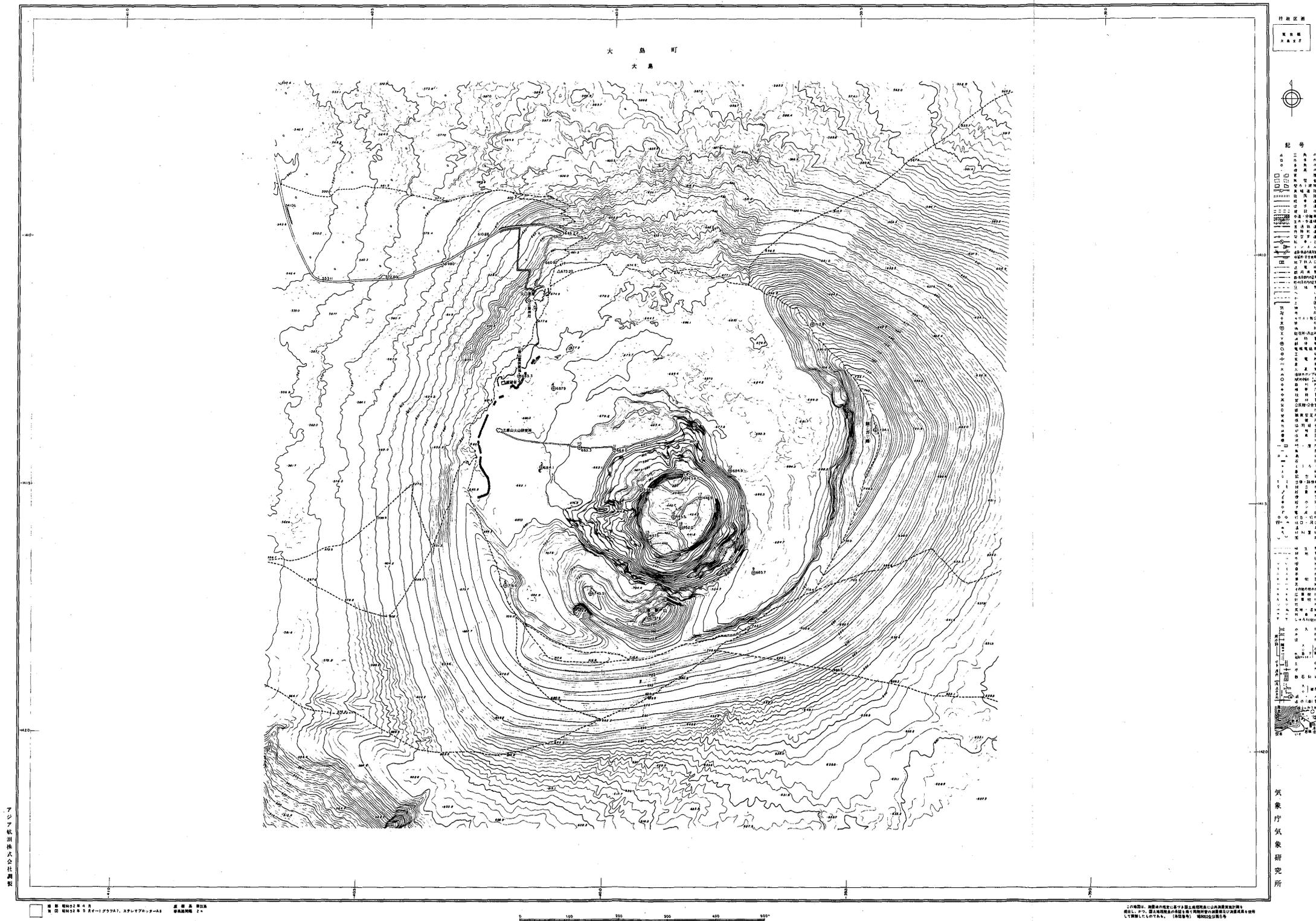


図 1.4.3 伊豆大島の三原火口地形図 (1977年4月7日)

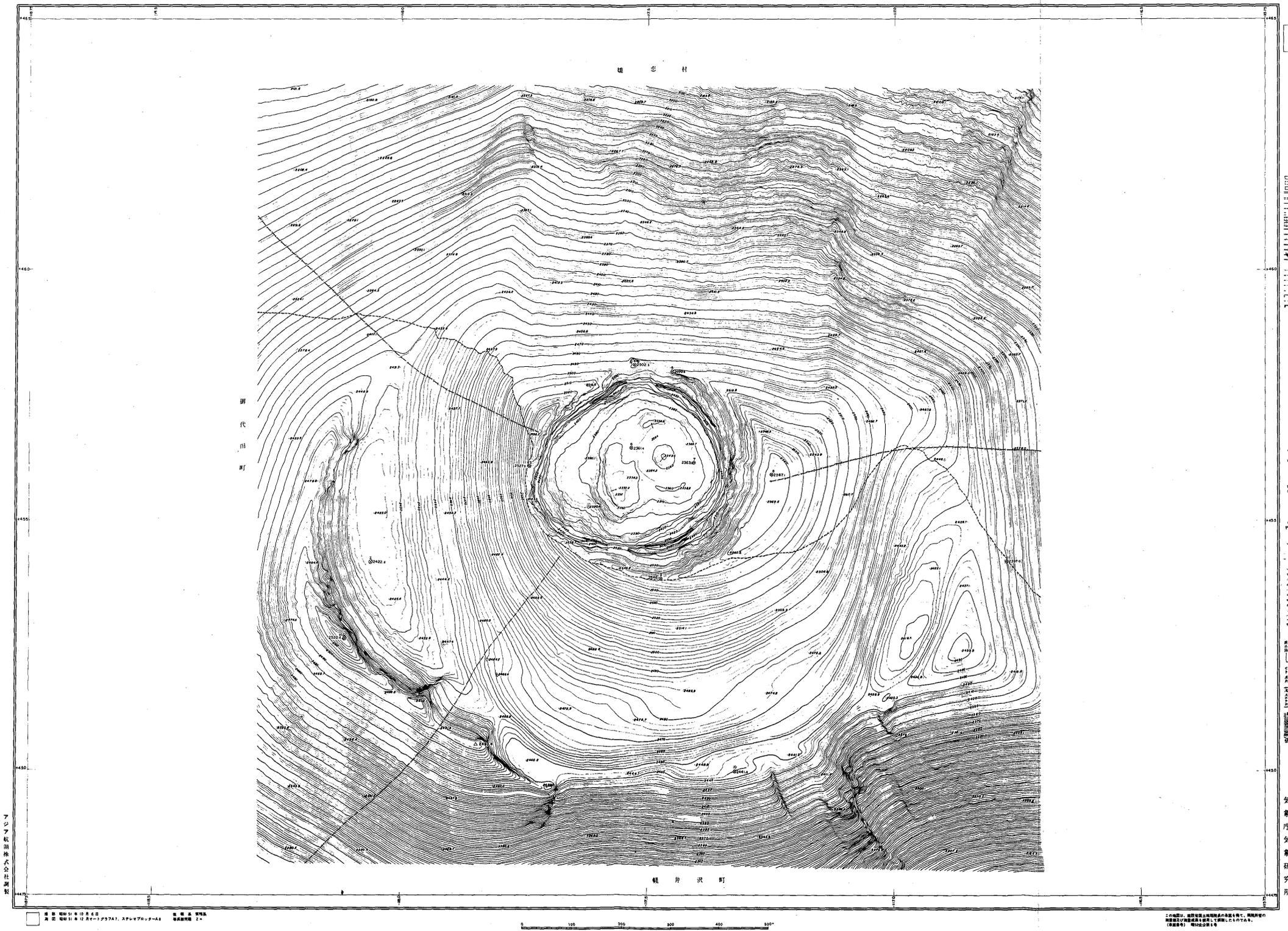


図1.5.2 浅間山頂火口地形図 (1976年10月6日)

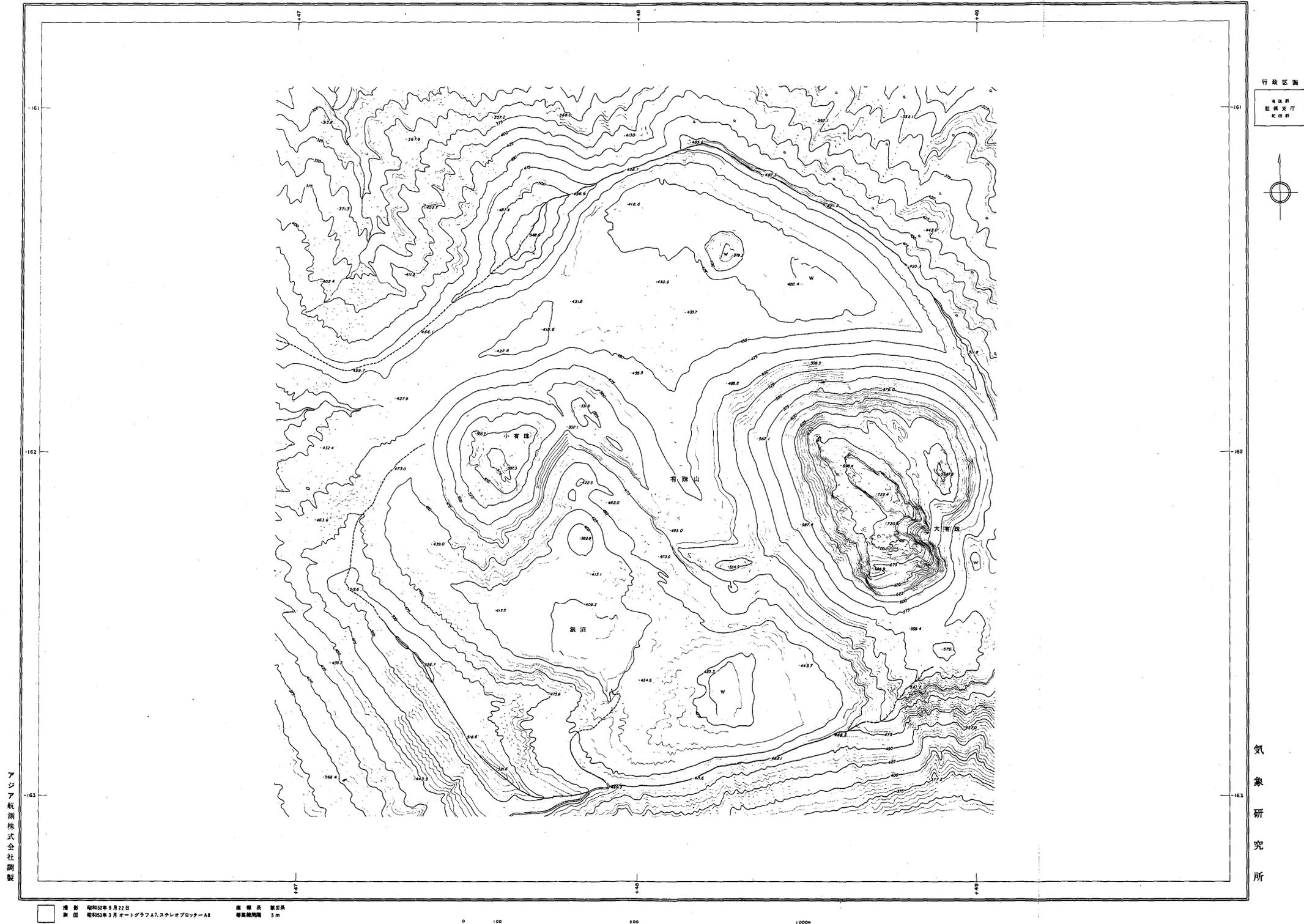


図1.6.2 有珠山の外輪山内の地形図(1977年9月22日)

# 気象研究所

1946年(昭和21年)設立

所長：理博 関原 暲

予報研究部	部長：理博	内田英治
台風研究部	部長：	藤原滋水
物理気象研究部	部長：	久保次郎
応用気象研究部	部長：理博	菊池幸雄
気象衛星研究部	部長：工博	内藤恵吉
地震火山研究部	部長：理博	田望
海洋研究部	部長：理博	南日俊夫
高層物理研究部	部長：理博	三崎方郎
地球化学研究部	部長：理博	杉浦吉雄

## 気象研究所技術報告

編集委員長：内田英治

編集委員：時岡達志 和田美鈴 佐粧純男  
安田延寿 鯉沼正一 勝又護  
磯崎一郎 北村正亟 杉村行勇

事務局：小島芳夫 小山八洲夫

気象研究所技術報告は気象学、海洋学、地震学、その他関連の地球科学の分野において、気象研究所職員が得た研究成果に関し、技術報告、資料報告及び総合報告を掲載する。

気象研究所技術報告は、1978年(昭和53年)以降、必要の都度、刊行される。

昭和54年3月30日発行 ISSN 0386-4049

編集兼発行所 気象研究所

東京都杉並区高円寺北4-35-8

印刷所 東京プリント

東京都港区西新橋3-24-9