

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, Koenjikita 4-Chome, Suginami, Tokyo, 166, Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Dr. E. Uchida

<i>Editors</i> :	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.



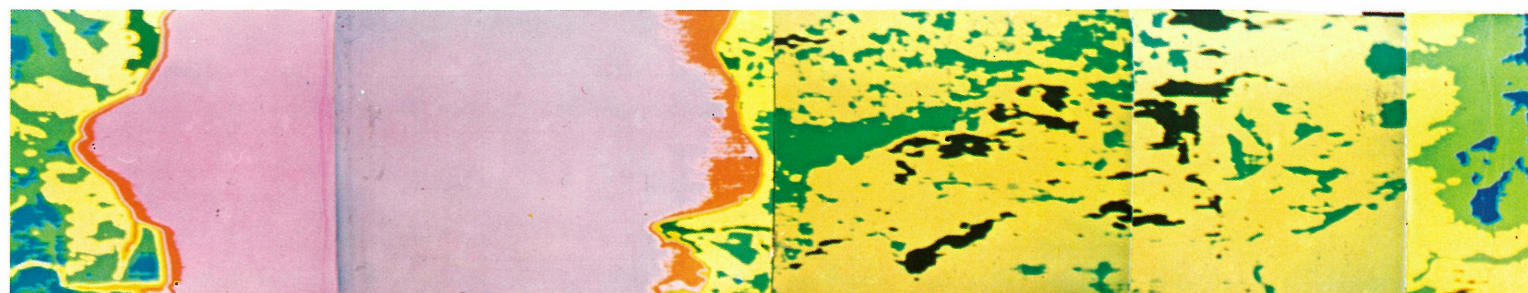
▲写真1

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

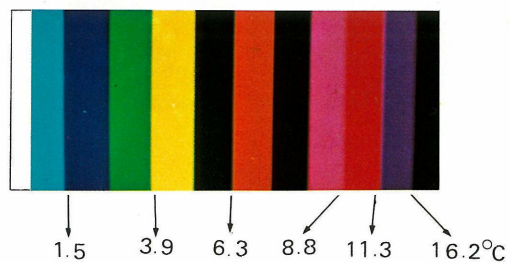


写真 4

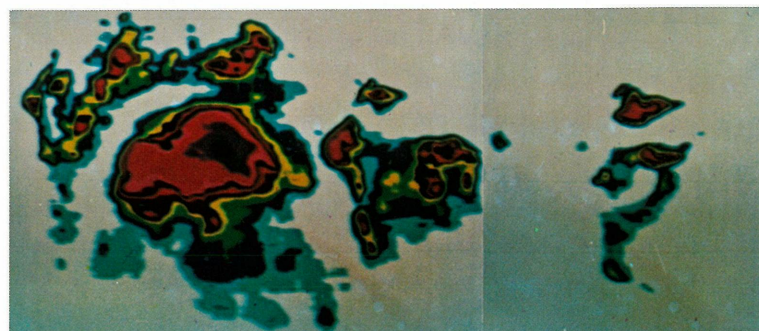


写真 5

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。

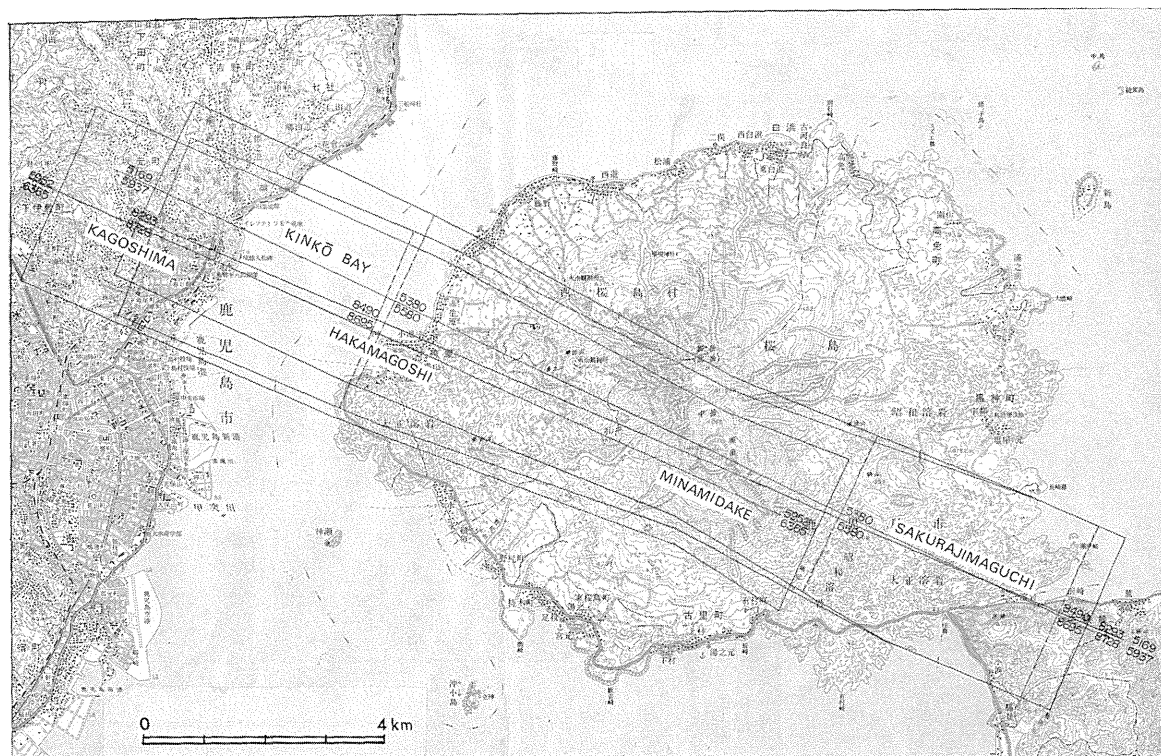


写真6 桜島と写真3の空中赤外熱映像撮影範囲。



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。

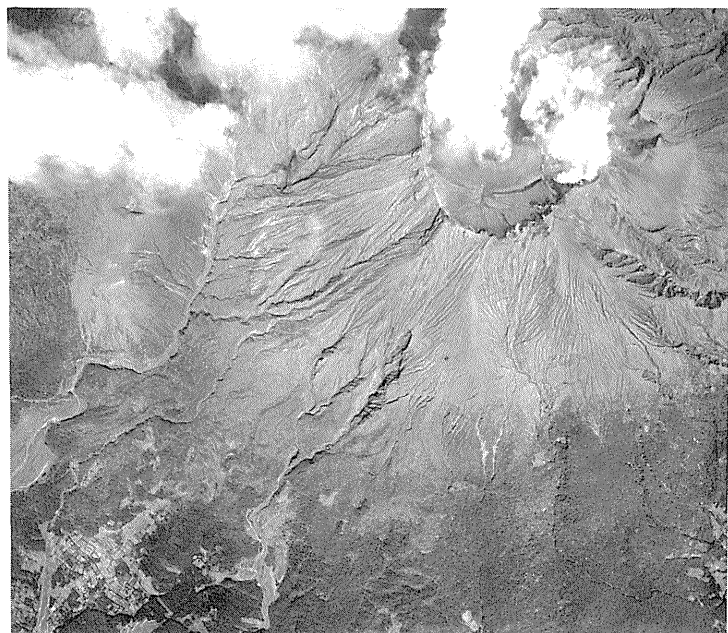


写真8

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。

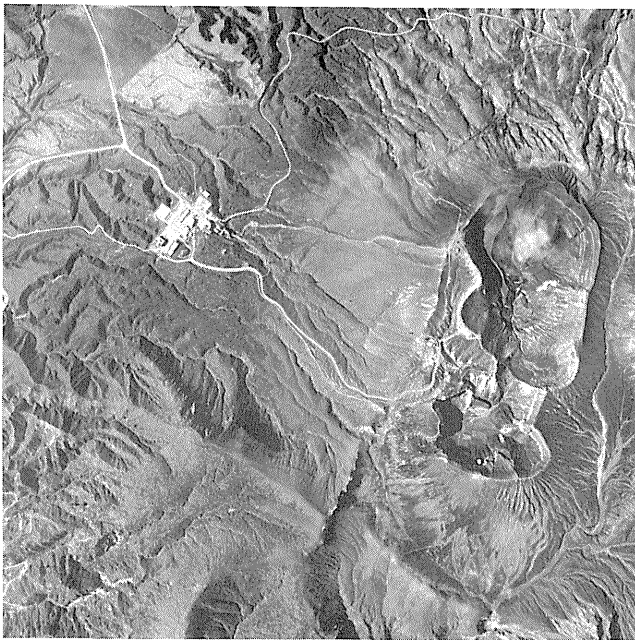


写真9
阿蘇山中岳火口と阿蘇山測候所付
近。1975年10月21日撮影。

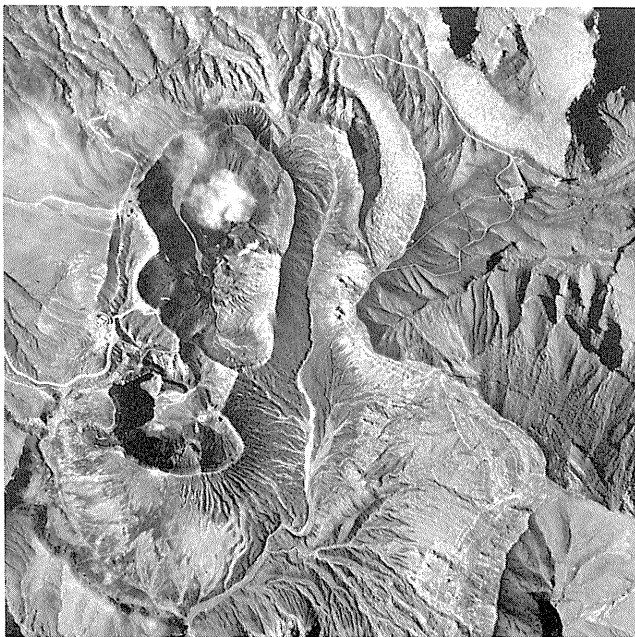


写真10
阿蘇山中岳火口。1976年10月
21日撮影。

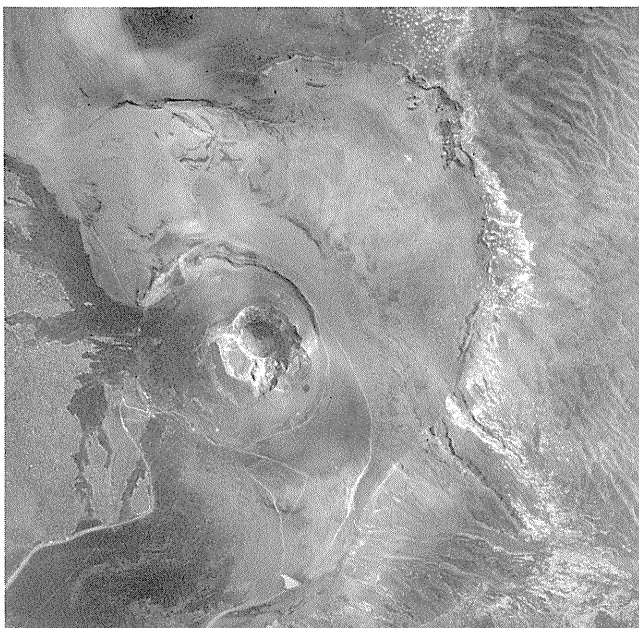


写真11
伊豆大島三原山と三原火口。
1977年4月7日撮影。

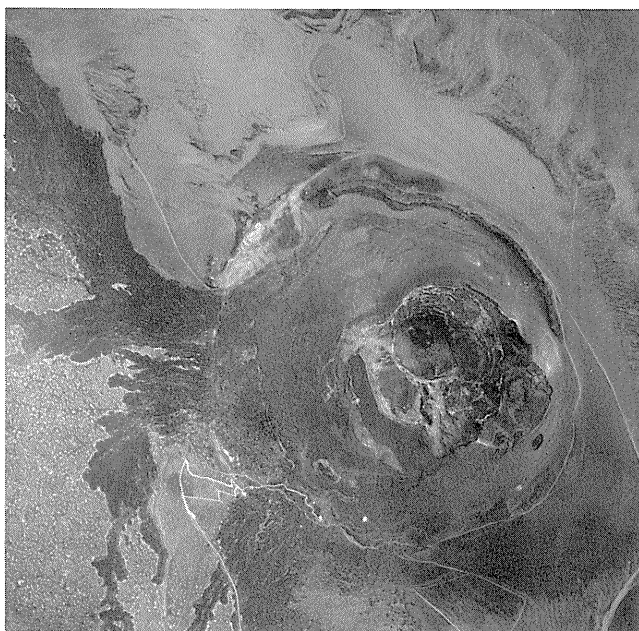


写真12
伊豆大島三原火口。1977年4月
7日撮影。

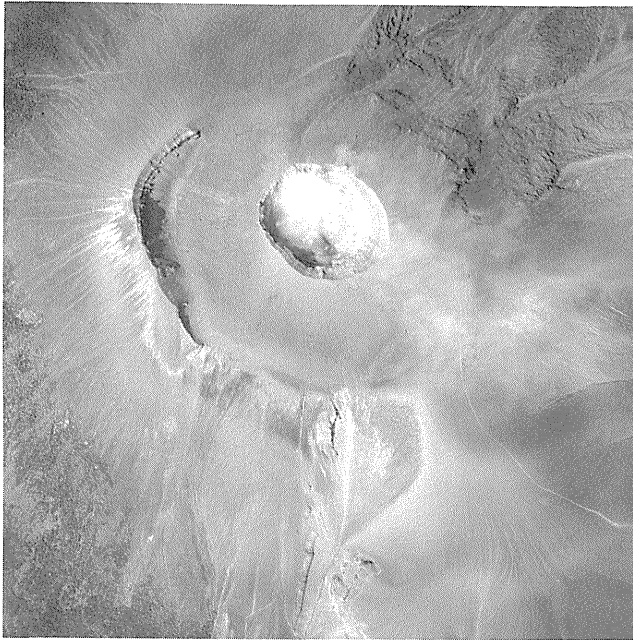


写真 13
浅間山頂火口と外輪山。1976年
10月6日撮影。

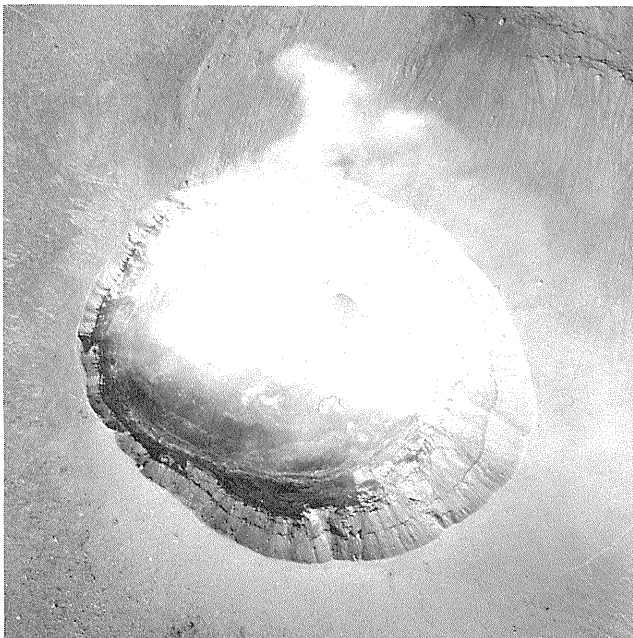


写真 14
浅間山頂火口。1976年10月 6
日撮影。

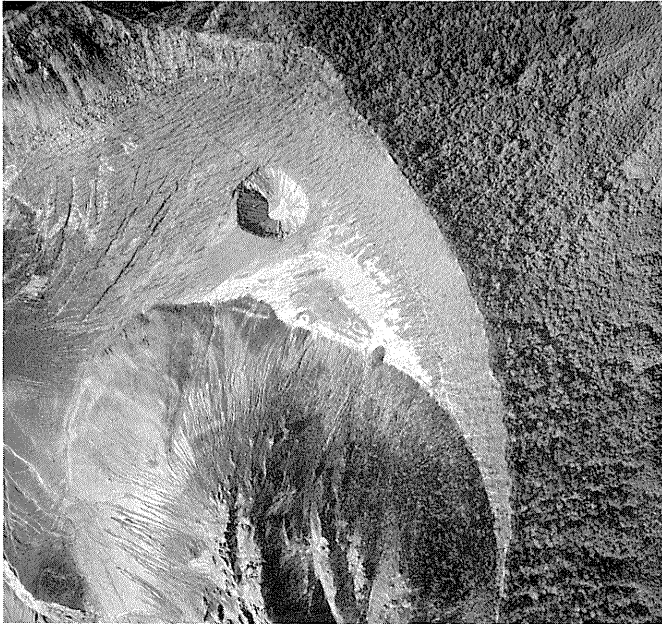


写真15

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。

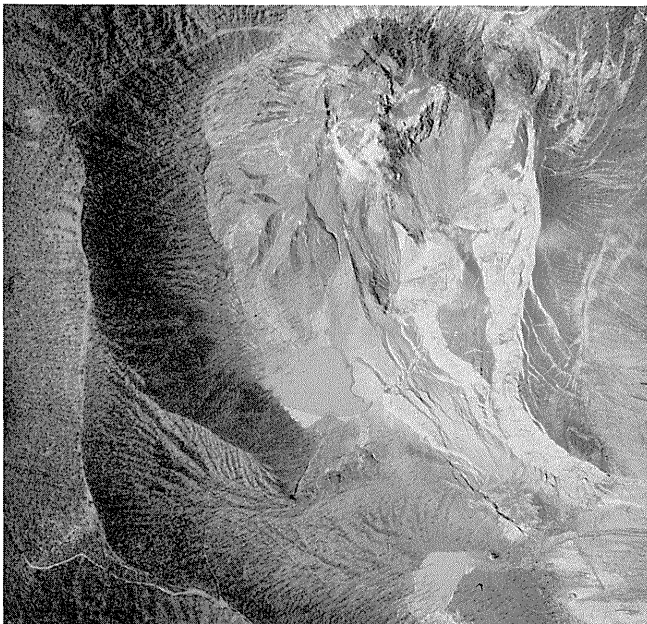


写真16

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気象台（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）、宇都宮地方気象台（那須岳）、室蘭地方気象台（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、航空機による活動火口の地形測量、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面温度を観測し、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、特別研究の中に含めて実施した。

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「噴火活動と地表面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面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盤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子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 researches 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.