

第1編 火山噴火現象監視に関する研究

第1章 リモートセンシングによる火山の表面現象の 定量的把握に関する研究*

1. 目 的

火山の噴煙は火山の活動度によって敏感に変化する。今まで噴煙が認められなかった火山から噴煙が出始めたり、白色の噴煙が紫色に変わったり、噴煙量が急に増加するような現象は火山活動が活発化した証拠であり、そのような異常噴煙の後で噴火が起きた例は古来少なくない。それゆえ、噴煙現象は火山活動監視上きわめて重要な観測種目である。

しかし、気象庁における噴煙観測の現状は、噴煙が見える位置に気象官署がある場合に限って、該当する官署またはその近くから目視による簡単な遠望観測が行われている程度である。観測の方法は、各火山についてあらかじめ作られた噴煙量階級図とその火山の噴煙の状況とを対照させながら、噴煙の色・量・高さ・流向・噴出位置などを毎日定時刻に測るものである。こうした観測方法は観測者の経験と勘にたよる所が多く、個人誤差も大きいし、火山の見えない官署では観測できないという欠点がある。また、噴煙の温度や噴煙中の火山ガスは火山活動と密接な関係があるにもかかわらず、その観測はこれまでほとんど手がつけられていなかった。

そこで本研究では噴煙観測を器械化することによって、これまでの遠望観測の精度を高めるとともに、噴煙の温度、火山ガスが測れ、かつ、火山の見えない官署でも観測できるようなシステムを開発した。また、この装置を用いて噴煙と火山活動との関係を研究した。

なお、日本には約70の活火山があり、気象庁はその中の活動的な17火山を指定して常時火山観測を行っている。これらの火山では最寄りの気象官署で地震計測を中心とした火山観測を実施しているが、官署から火山の要部が見えないため噴煙観測を行っていない火山が6火山もある(図1.1.1)。

2. 装置の概要

図1.1.2は上述の趣旨に沿って考案した火山噴煙の器械観測概念図である。

噴煙にあたる太陽光の反射や噴煙自身が発する放射エネルギーを可視光線、赤外線、紫外線の

* 田中康裕・古田美佐夫・澤田可洋・中禮正明・福井敬一：地震火山研究部

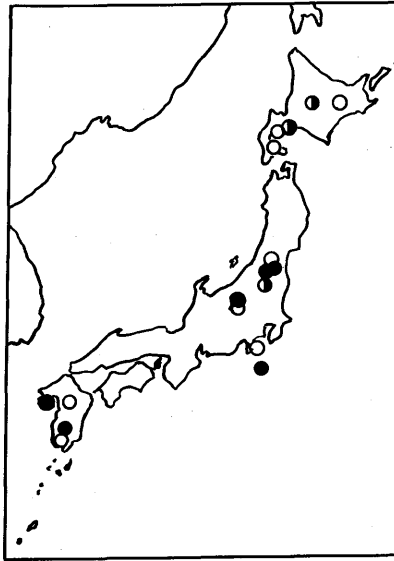


図1.1.1 気象庁の常時観測火山と観測指定官署からの遠望状況

- よく見える
- ◐ 遠望等に支障があるので観測所などを建てて別途観測
- 遠望不能

波長帯を使った検出器で常時自動観測し、噴煙の性質を解析しようというものである。このような観測手法は日本では勿論、世界でも初めての試みである。

このシステム全体の構成を図1.1.3に示す。可視光検知装置はテレビカメラを主体とした噴煙撮影部(VIS部)、噴煙記録部及び画像解析部とからなり、噴煙の色・量・高さ・形・噴出速度等を求める。赤外線検知装置は赤外映像カメラを主体とした温度検知部(IR部)、温度記録部及び温度解析部とからなり、噴煙の温度や夜間の噴煙の形状を観測する。また、噴煙撮影部の信号を温度解析部に入力することによって噴煙の色調や輝度が求まる。紫外線検知装置は相関スペクトロメーターを主体とした火山ガス検知部(UV部)と火山ガス記録部とからなり、噴煙中の SO_2 濃度を測る。

観測装置は阿蘇山へ設置した。それぞれの検出部(口絵写真9、写真1.1.1)は噴煙の良く見える位置に建てた無人小屋(写真1.1.2)内に置かれ、そこで撮影した映像を阿蘇山測候所の現業室へテレメーターした。観測はコントローラーの信号によって定時刻に自動的に行われるほか、必要な場合には任意の時刻にも手動で観測できる。噴煙の映像は現業室のモニターテレビに写し出されていると同時に記録器に収録される(口絵写真10、写真1.1.3)。なお、画像解析部と温度解析部(写真1.1.4)は気象研究所の火山実験室に置き、これを用いて阿蘇山から送られた噴煙資料を解析した。

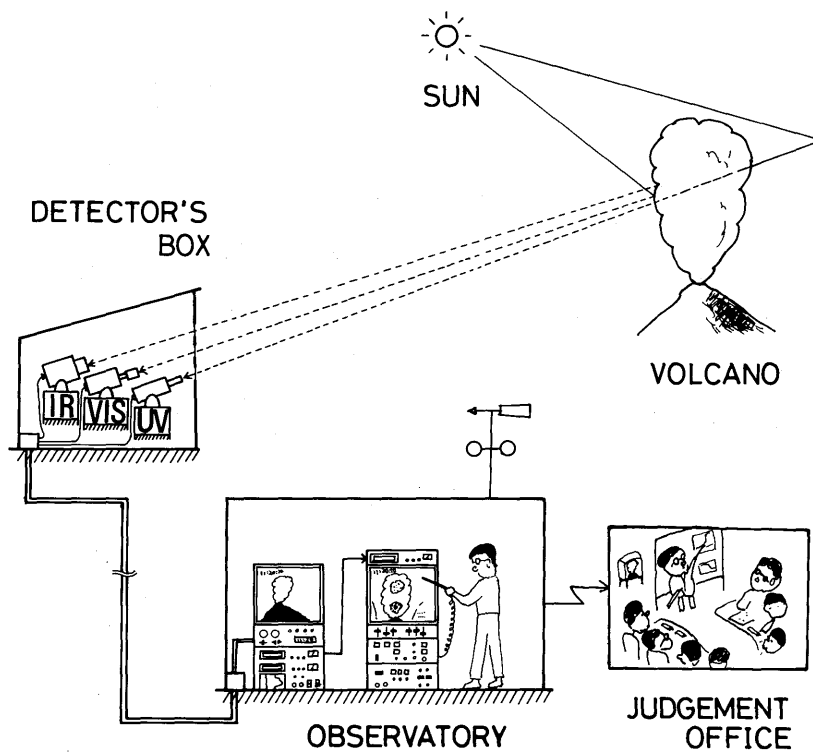


図1.1.2 火山噴煙監視システム概念図

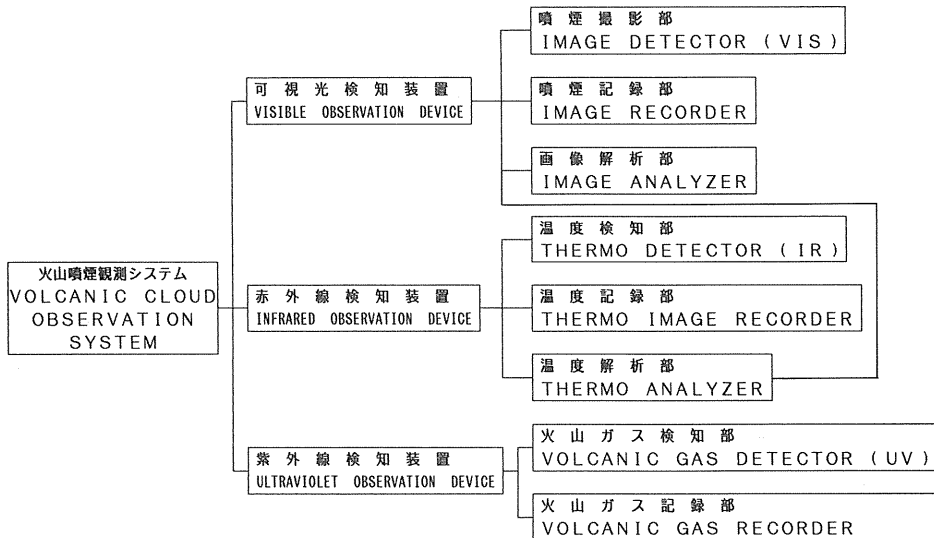


図1.1.3 火山噴煙観測システム

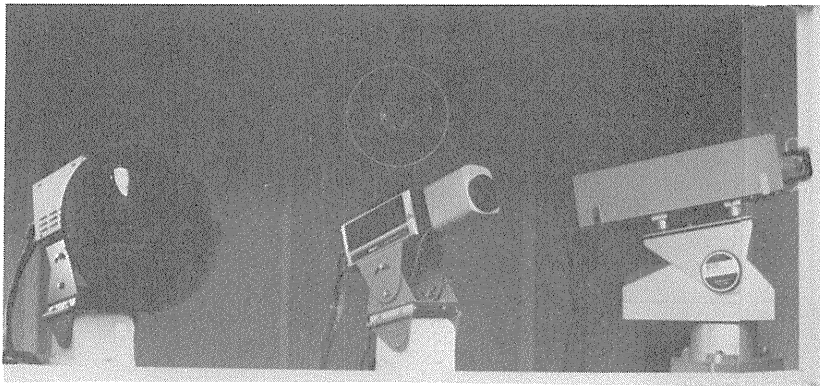


写真1.1.1 噴煙観測装置

左から、温度検知部、噴煙撮影部、火山ガス検知部

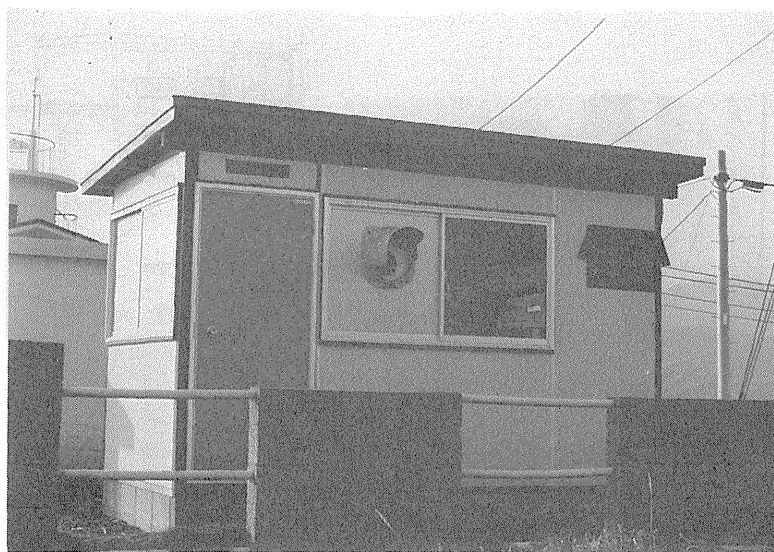


写真1.1.2 観測小屋



写真1.1.3 火山ガス記録部

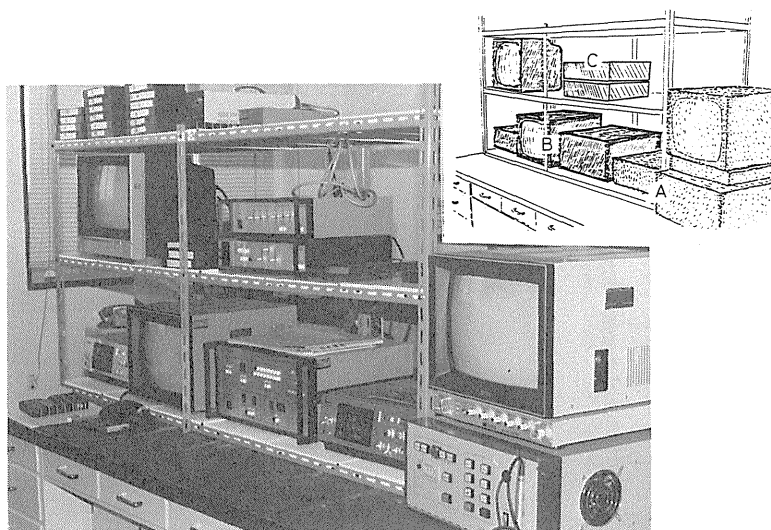


写真1.1.4 画像解析部(A)、温度解析部(B)、及び色調処理器(C)

3. 装置の選定と製作

3.1 可視光検知装置

3.1.1 噴煙撮影部

噴煙の動的形状を撮影するには、ムービーカメラにより映像をフィルムに収録する方法がある。これは古くから用いられてきた手法で、鮮明な画像が得られるのが長所である。しかし、毎日のルーチン観測となるとフィルムは莫大な量になり、その現像や解析処理、保管に苦慮することは明らかで、火山観測向きではない。また、近年は航空機や人工衛星に搭載するための精度のよいMSSカメラが開発されている。これは可視光線の波長帯を適当に分割して映像をテープに収録するようになっている。この方式はコンピューターにより詳細な画像解析を行えるという利点があるが、高速走査のため、毎日のルーチン観測では長大な磁気テープを累積させることになり、やはり火山観測には不向きである。

一方、近年のビデオ技術の急速な進歩によって、テレビカメラによる映像の撮影や再生は日常生活の中にも普及してきた。また映像の録画は小型のビデオカセットテープを使用でき、映像の入・出力も容易である。そこでこの技術を火山観測に応用することにした。

現在市販されているビデオの機種は非常に多いが、火山観測専用に設計されたものは一つもない。そこで、既成の製品の中から、火山観測になるべく適したものを選び、それに改造を加えることにした。

ここでは、ビデオ装置の選定にあたって配慮した基本的事項とその理由について以下に記載する。

(1) 工業用（産業用）ビデオから選ぶ

ビデオ装置は、その用途から工業用ビデオと放送用ビデオの2つに分けられる。前者が後者と異なる特長を列挙すれば、次のとおりである。

- i カメラと受像機の間は、通常ケーブルによって接続される。
- ii カメラの調整は受像側から遠隔制御できるので、カメラマンを要しない。
- iii 構造が簡単で、調整箇所が少なく、据えつけ及び取扱いが容易である。
- iv 動作が安定確実で、長時間の連続使用に耐える。
- v カメラは一般に小形軽量で、人間の近寄りにくい場所にも設置できる。
- vi 被写体に対して特に明るい照明を加える必要がない。

(2) カラービデオである

噴煙の色を判別する必要があるのでカラービデオを選んだ。モノクロビデオの映像はカラーの場合と比べて、一般に画質がよいとされているが、その点は犠牲にせざるを得ない。

(3) カメラは単管式である

カラーテレビカメラは使用する撮像管の数により単管式、2管式、3管式に分類され、それぞれ対象物の色を光の3原色〔R（赤）、G（緑）、B（青）〕に分解する方式が異なる。また出力信号もR、G、Bを複合搬送するNTSCカラー信号方式と、それぞれを独立させたRGB信号方式とに大別される。色調の再現性や解像度などの画質は3管式カメラによるRGB方式が最も優れているが、単管式カラーカメラの解像度が近年向上してきたこと、および安価であることから単管式・NTSC信号方式のカメラを使用し、カラーデコーダーによってR、G、Bに分離させた上で画像を処理する方式をとった。

なお、カラーテレビカメラは通常人間の色感覚（明るさ、色相、彩度）に合わせてR（ $0.6\mu\text{m}$ 付近）、G（ $0.55\mu\text{m}$ 付近）、B（ $0.45\mu\text{m}$ 付近）各波長の組み合わせや信号変調を決めている。すなわち、明るさYの信号を E_Y 、R、G、B信号の大きさを E_R 、 E_G 、 E_B とした時、 $E_Y = 0.3E_R + 0.6E_G + 0.1E_B$ としている。色相、彩度は E_{R-Y} 、 E_{B-Y} の形に信号変換し、それぞれキャリアー信号の振幅、位相に対応させている。したがってテレビ映像はGが最も明るくなる状態で表現される。

3.1.2 噴煙記録部

市販のカセットビデオにはVHS、 β 、U規格などがあり、録画方式が異なるとともにカセットテープの大きさも異なり互換性がない。本研究の噴煙観測においては、後述するように1巻のテープで少なくとも半月分の映像資料を収録する必要があり、このためには120分の収録時間が求められる。この点ではVHSおよび β 規格が適しているが、ここでは可視光の映像を温度解析部（4.2.3項、画像入力にはVHS規格のカセットビデオを使用）でも処理できるようにするため、VHS規

格に統一した。

3.1.3 画像解析部

気象庁の火山観測においては、噴煙は次の要素を観測するようにきめられている。すなわち、

〔色・量・高さ・幅・流れている方向、
噴出位置、その他気付いたこと〕

である。これらの要素はいずれも単純なものではないので、器械に自動的に判定させることは困難である。また、VTRの画質はフィルムやFMテープによるものと比べて、はるかに劣るので、ここでは、人間の判断を介入させることにした。すなわち、人間が画像を見て判別した噴煙現象に対して必要な入力を与えると計数処理がなされるというMan and Machineの処理方式を用いた。

画像解析部については適当な既成品がなかったので、医療関係の装置で使われている一部の技術を応用して新しい装置を開発した。

また、再生した映像のNTSC信号を、R、G、Bの各信号に分離し、それぞれの信号の強さを加減して組み合わせることにより画像の中から必要な部分を強調させて有意な画像資料を抽出させるための装置も開発した。このためには温度解析部を利用することとし、同解析部のオプションとして色調処理器と呼ぶ装置を製作した。

画像解析部で噴煙の高さ・幅・量を計測するには次のようにする。

まず、画面内の単位スケールを得るために、画面に写し出される地形のうち、既知の2地点間の距離を求め火口地点の平面上の長さに換算し、その値をブラウン管の画素数に置きかえて画像解析部に入力しておく。この値が火口からあがる噴煙の高さ・幅・量等を測るための基礎数値となる。

次に、ブラウン管に写し出された噴煙の高さ・幅・量（垂直断面積）について、その計測した部分にライトペンをあてる。長さに関しては測りたい2点にライトペンをあてるとその間の画素数が長さに換算されてブラウン管上に表示される。それを10m単位で読みとった。また、面積に関しては、測りたい画面の輪郭をライトペンで閉塞線で囲むと、その中にある画素数が面積に換算されてブラウン管上に表示されるのでそれを 10^2m^2 単位で読みとった。

3.2 赤外線検知装置

あらゆる物体は、その温度に対応した赤外線を外部のあらゆる方向に放射している。それは肉眼では見えないが特殊な半導体に感ずる。現在は赤外線を利用した多種類の温度観測機器が開発されているので、その中から火山観測に耐えられるようなものを選び、必要に応じた改造を加えて使用することにした。

赤外線映像装置の最も肝腎な所は赤外線検出機構である。例えば $8\sim 14\mu\text{m}$ 付近の遠赤外を検知するにはHgCdTeが、 $2\sim 5\mu\text{m}$ の赤外領域ではInSb素子が使われている。両者の検知器を使用

する際には低温で冷却させる必要があり、その方法として一般に液体窒素が用いられている。この方式の装置は温度分解能がよく、 0.1°C 程度まで測定できる。記録はFMテープに収録するのが普通である。

なお、 0°C 以上の黒体の中赤外領域における放射は遠赤外領域よりやや大きいので、その検出には有利であるが、反面、水蒸気による吸収や太陽光の散乱による影響が大きい。しかし、この性質を利用すれば、殆んど水蒸気からなる噴煙の形状は温度の情報も含めて中赤外域で観測するのが有利かも知れない。

一方、検知器に焦電素子を用いた装置もある。この原理は、赤外線吸収膜を蒸着した面状の焦電素子に赤外線を結像させ、赤外線の熱吸収で素子に生じた温度変化分布が焦電効果により表面電荷分布に変換されるのを、電子ビームで検出するものである。これは標準テレビ信号としてVTRに収録できる。焦電型方式による赤外映像装置を製作しているのは今の所松下技研一社しかなく、機種も限られていて、 $8\sim 14\mu\text{m}$ の波長帯が使われている。

この焦電型方式機器による温度分解能は、前述の冷却型方式よりはるかに劣るが、冷却装置を必要としないのが長所であり、毎日同じ観測を自動で繰り返すための装置としては焦電型方式が半導体素子を使った冷却方式より勝ると考えられる。そこで、自動観測用として設置する装置は焦電型方式を用いるが、その他に $2\sim 5.3\mu\text{m}$ の中赤外帯を使った液体窒素冷却方式の赤外線映像装置で時々噴煙を同時に観測し、噴煙と火口縁との温度差を比較するなど、自動観測の精度をチェックすることにした。

3.3 紫外線検知装置

気体はその種類によって特定の波長帯に吸収線を持っているので、ある気体の中を通過する光線は、その気体特有の吸収線の波長帯で減衰を生ずる。弱められる波長帯によってガスの種類がわかり、弱められる度合によってガスの濃度がわかる。 SO_2 はおよそ $290\sim 320\text{nm}$ の波長帯域において、約 2 nm 間隔で並ぶ吸収帯があり、このうち 300nm ($3000\text{ \AA}$) 付近が最大の吸収線である。

この原理を用い、リモートセンシングによって離れた所から太陽散乱光の中の吸収の程度を検出して気体中の SO_2 や NO_2 等を測定する装置がカナダのBarringer-Research社で開発された。装置名は相関スペクトロメーター (Correlation Spectrometer) と呼ばれ特許製品として世界各地へ輸出されている。日本にはこれに匹敵するような製品はまだない。

この装置を使って火口から噴出する噴煙中の SO_2 放出量を測定した例は既に多数あるが、これを自動的に観測した例はこれまで一つもない。本研究の目的は相関スペクトロメーターを加工し、 SO_2 濃度の自動観測ができるような装置を開発すること、及び自記記録を解析することによって、火山活動と火山ガスとの関係を求めることである。

4. 装置の構成と仕様

4.1 可視光検知装置

本装置は噴煙撮影部、噴煙記録部、画像解析部及び色調処理器（次節で述べる温度解析部の一部）からなっている。

4.1.1 噴煙撮影部

次の1)～5)の機器を接続して構成し、阿蘇山の観測小屋へ設置した。ブロックダイアグラムは図1.1.4のとおりである。各機器の仕様は次のとおり。

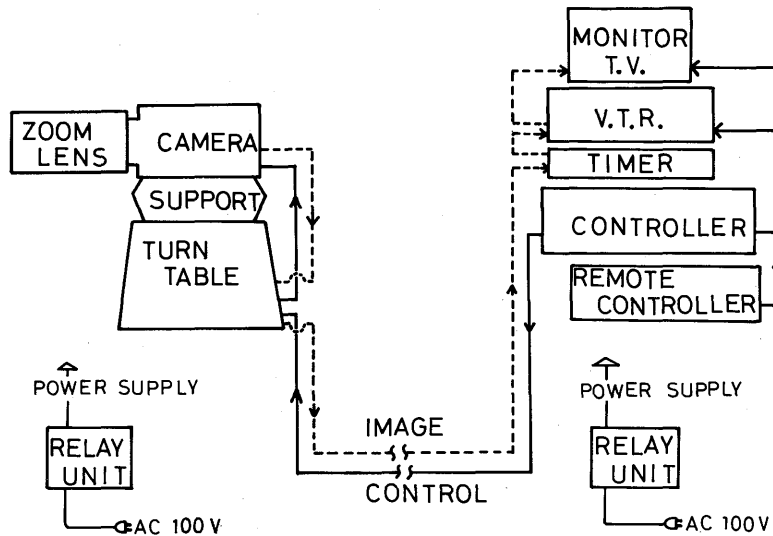


図1.1.4 噴煙撮影部（左側）と噴煙記録部（右側）のブロックダイアグラム

1) カラーテレビカメラ (CAMERA)

型 式 ナショナルWV-3600

撮 像 方 式 単一搬送周波数分離方式

撮 像 管 ストライプフィルター内蔵。1インチセパレートメッシュ静電集束ビジコン
S4089A

波 長 帯 域 人間の色感覚に対応 (3.1.1 参照)

走 査 方 式 525本、60フィールド、30フレーム。2:1インターレス

映 像 出 力 NTSCコンポジット信号。1.0V_{P-P}/75Ω、2出力

水 平 解 像 度 250本以上 (中心部)

S N 比 45dB以上

消 費 電 力 約8W

作 動 温 度 $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

寸 法 $104(\text{幅})\times 140(\text{高さ})\times 299(\text{奥行})\text{ mm}$

重 量 約 2.9kg (カメラ本体のみ)

2) テレビカメラ取付台 (SUPPORT)

型 式 ナショナル WV-7060

積 載 重 量 20kg 以下

可 変 角 度 水平： 45° 、垂直：上下ともに 45°

寸 法 $153.2(\text{幅})\times 150(\text{高さ})\times 180(\text{奥行})\text{ mm}$

重 量 約 3 kg

3) 電動ズームレンズ (ZOOM LENS)

型 式 キヤノン V10 $\times$ 15REA (DC)

焦 点 距 離 $15\sim 150\text{mm}$

最 大 口 径 比 $1:2.8$

ズ ー ム 比 10倍

E E 作 動 範 囲 F2.8 $\sim$ F362相当

包 括 角 度 15mm にて $45.4^{\circ}\times 34.8^{\circ}$ 、 150mm にて $4.9^{\circ}\times 3.7^{\circ}$

最短撮影距離 1.5m

最近接の撮像範囲 15mm にて $103\times 77\text{cm}$ 、 150mm にて $10.5\times 7.9\text{cm}$

操 作 方 式 ズーム、フォーカス各操作はコントロールボックスCC-7 Tによる直流モータードライブ。アイリスはEEアンプによる。

作 動 ス ピ ード ズーム：約 8秒 、フォーカス：約 10秒 、アイリス：約 3秒

作 動 温 度 $-5^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$

寸 法 $100(\text{幅})\times 121(\text{高さ})\times 202(\text{奥行})\text{ mm}$

重 量 約 2 kg

4) 水平・垂直回転台 (TURN TABLE)

型 式 ナショナル WV-7260

電 源 入 力 AC24V50/60Hz

映 像 入 力 VS1.0V_{P-P}

電 源 出 力 AC24V50/60Hz：テレビカメラ、カメラハウジング用(直出し)。DC $\pm 6\text{V}$ ：
0.1Aズームレンズ用(直出し)。

映 像 出 力 VS1.0V_{P-P}。同軸ケーブル直取付

水平回転速度 50Hz：約 $6^{\circ}/\text{秒}$ 、60Hz：約 $7.2^{\circ}/\text{秒}$

垂直回転速度 50Hz：約 $3^{\circ}/\text{秒}$ 、60Hz：約 $3.6^{\circ}/\text{秒}$

水平回転角度 $10^{\circ}\sim 340^{\circ}$
 垂直回転角度 上： $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、下： $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$
 積 載 重 量 20kg以下
 消 費 電 力 最大50W
 作 動 温 度 $-20^{\circ}\text{C}\sim +50^{\circ}\text{C}$
 寸 法 208 (幅) $\times$ 295 (高さ) $\times$ 276 (奥行) mm
 重 量 約13kg

5) 電源制御器 (RELAY UNIT)

型 式 ナショナル WU-R40
 電 力 容 量 最大 800W
 電 流 容 量 最大 10A
 制 御 方 式 無電圧メーク接点制御により AC100V 断制御
 制 御 電 流 DC24V 60mA、一極性あり
 消 費 電 力 2.3W
 寸 法 パネル：163 (幅) $\times$ 115 (高さ) $\times$ 45 (奥行) mm
 筐 体：134 (幅) $\times$ 72 (高さ) $\times$ 40 (奥行) mm
 重 量 約0.6kg

4.1.2 噴煙記録部

次の1)～6)の機器を接続して構成し、阿蘇山測候所の現業室へ設置した。ブロックダイアグラ
 ムは噴煙撮影部とともに図1.1.4に示してある。各機器の仕様は次のとおり。

1) タイムデイトジェネレーター (TIMER)

型 式 ナショナルWJ-800
 電 池 寿 命 約10日間 (停電または電源切で連続使用時)
 映 像 入 力 $1.0\text{V}_{\text{P-P}}/75\Omega$ またはHi-Z (コンポジット信号) 1回路
 映 像 出 力 $1.0\text{V}_{\text{P-P}}/75\Omega$ (コンポジット信号) 1回路
 表 示 文 字 月一日一年、時：分：秒
 カ レ ン ダ ー 2099年までうるう年を含む完全自動繰上げ式
 表 示 配 列 横一列または横二列 (スイッチ切替)
 表 示 位 置 水平、垂直方向とも有効画面80%以内で任意可変
 文 字 寸 法 大 (36H)、小 (26H)、切替可 (走査線数にて)
 文 字 構 成 7セグメント構成
 文 字 縦 横 比 2：1
 時 刻 基準：使用電源周波数 (50Hzまたは60Hz)

精度：使用電源の周波数精度による

消費電力 最大13W

作動温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$

作動湿度 90%以下

寸法 480 (幅)×44 (高さ)×251 (奥行) mm

重量 約4.1kg

2) プログラムコントローラー (CONTROLLER)

型式 ナショナルWZ-9000B

バックアップ電源 内蔵バッテリーまたは外部DC24V

内蔵バッテリー 密閉型ニッカド蓄電池7.1V 1.5AH

0 $\sim$ 30 $^{\circ}\text{C}$ で48時間バックアップ可能

プログラム数 100ステップ (メモリー増設による)

プログラム内容 曜日、時、分、秒、制御時間、出力番号

コントロール時間 1 $\sim$ 63秒または1 $\sim$ 63分及び起動・停止

出力回路 16回路 (無電圧メイク接点)、自動・手動切替可能

接点容量 DC24V0.1A以下

時計入力 別売の水晶発振器 (WU-Z100B) または1 Hzの24V正の矩形パルス

時刻設定 時刻合わせスイッチ及びキーボードによる

表示部 発光ダイオード及び数字表示器

消費電力 約70W

寸法 480 (幅)×221 (高さ)×275 (奥行) mm

重量 約12kg (バッテリー、水晶発振器を含む)

3) ビデオテープレコーダー (VTR)

型式 ナショナル NV-8200

録画方式 回転2ヘッドアジマス記録VHS規格

テープ速度 33.35mm/秒 (通常時)

使用テープ 12.7mm (1/2インチ) 幅高密度ビデオテープ

録画時間 120分

早送り時間 4分30秒以内 (NV-T120E)

巻戻し時間 4分30秒以内 (NV-T120E)

テレビジョン方式 日米標準テレビジョン方式、525本、60フィールド

変調方式 輝度信号周波数変調方式、色信号低域変換、 $\pi/2$ 移相

入力 1.0V_{P-P} 75 Ω 不平衡

出力 $1.0V_{P-P}$ 75Ω 不平衡
 水平解像度 白黒300本以上、カラー240本以上
 映像 S / N 45dB以上
 音声 S / N 40dB以上
 消費電力 50W
 寸法 382 (幅) $\times$ 156 (高さ) $\times$ 382 (奥行) mm
 重量 約15.5kg

4) モニターカラーテレビ (MONITOR T.V.)

型式 ナショナル TM-140TN
 使用ブラウン管 14型90度偏向
 ブラウン管の大きさ 画面有効高さ 211mm、画面有効幅 281mm
 接続端子 映像入出力端子 $1V_{P-P}75\Omega$ 、テレビ出力端子 (映像) $1V_{P-P}75\Omega$
 消費電力 64W
 寸法 380 (幅) $\times$ 355 (高さ) $\times$ 391 (奥行) mm
 重量 12.6kg

5) リモートコントロールユニット (REMOTE CONTROLLER)

型式 ナショナル WV-7460
 回転台動作 LEFT/RIGHT/UP/DOWN、メイク接点各1回路
 テレビカメラ電源 ON/OFF メイク接点 1回路
 電動ズームレンズ動作 WIDE/TELE/FAR/NEAR/OPEN/CLOSEメイク接点各1回路
 寸法 210 (幅) $\times$ 95 (高さ) $\times$ 179 (奥行) mm (ゴム足高さ7mm含む)
 重量 約1.6kg

6) 電源制御器 (RELAY UNIT)

噴煙撮影部で使用しているものと同一規格品。

4.1.3 画像解析部

次の1)～4)の機器が接続されている。ブロックダイアグラムは図1.1.5のとおりである。

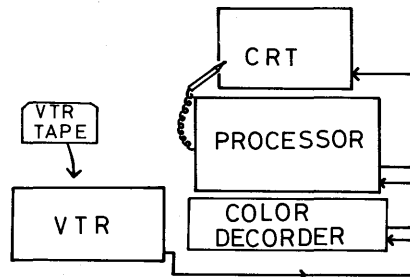


図1.1.5 画像解析部のブロックダイアグラム

1) ビデオテープレコーダー (VTR)

噴煙撮影部のものと同一規格品 (ナショナルNV-8200) を使用。

2) 画像解析器 (PROCESSOR)

型 式 池上通信VIP-11S (処理装置部カラーディスプレイ、カラーデコーダーで構成)

総合性能 NTSC信号を入力とし、カラーディスプレイ上で、ライトペンとの対話方式により噴煙の面積、距離 (幅、高さ)、移動速度を計測する。計測の基準となるスケールは1画素あたりの寸法 (基準値) を入力。本研究では火口と観測小屋との距離の関係により基準値は3.7m/画素とした。

映像入出力信号 NTSC VBS 1.0V_{P-P}またはVB 0.7V_{P-P}/75Ω

同期入力信号 EIA標準1V_{P-P}負極性

同期出力信号 4V_{P-P} 負極性

計測画素数 288 (横)×224 (縦) ドット

消費電力 約200W

作動温度 0℃～+40℃

寸 法 425 (幅)×199 (高さ)×500 (奥行) mm

重 量 28kg

機 能 入力映像、ライトペン画。計測結果を数値表示

計測項目 面積 (m²単位)、距離 (m単位) を指数表示

面積計測 画素数× (基準値)²を有効数字3桁で表示。

噴煙の輪郭をループで囲むと、そのループ内の面積が表示される (ループを閉じない場合やループがクロスする場合の計測はできない)。

距離計測 カラーディスプレイ上でライトペンにより指定した2点 (座標 (X_A, Y_A), (X_B, Y_B)) 間の距離を $\{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2\}^{1/2} \times \text{基準値}$ によって計測。

3) カラーデコーダー (COLOR DECORDER)

型 式 池上通信 ICD-702N

機 能 NTSC方式カラー信号を、R、G、Bの各色信号及び同期信号に復調。ディスプレイ上の色調、輝度調整。

映像入力 NTSC方式VB 0.7V_{P-P} またはVBS 1V_{P-P}。映像正極性

信号出力 R、G、B各色信号及び同期信号一系統。R、G、B 0.7V_{P-P}、同期信号 1V_{P-P}

消費電力 約15W

作 動 温 度 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

寸 法 370 (幅) $\times$ 49 (高さ) $\times$ 365 (奥行) mm

重 量 約 5 kg

4) カラーディスプレイ (CRT)

型 式 池上通信 CDM-141-C

映 像 入 力 R、G、B各 $1.0\text{V}_{\text{P-P}}$ 正極性 75Ω

走 査 周 波 数 水平 15.734 KHz、垂直 59.94Hz

最大有効画面 14インチ、280 (横) $\times$ 210 (縦) mm

消 費 電 力 200W以下

作 動 温 度 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

寸 法 370 (幅) $\times$ 290 (高さ) $\times$ 420 (奥行) mm

重 量 30kg

4.1.4 色調処理器

ブロックダイアグラムは、4.2節 (赤外線検知装置) の中で示す。

総 合 機 能 本装置は後述する赤外画像処理装置と合わせて使用するものでNTSC方式映像入力をR、G、B各色信号に分離し、それぞれのレベルの強弱を独立に調整できる。これにより映像中の噴煙の輝度、色相、彩度を強調し、周辺から噴煙の信号を取り出し画素数計測等の解析を行う。

型 式 松下技研 イメージセクターA及びBで構成

入 力 信 号 NTSC信号

出 力 信 号 標準TV信号

信 号 調 整 R、G、B各色信号連続可変

消 費 電 力 約25W

作 動 温 度 $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

寸 法 350 (幅) $\times$ 220 (高さ) $\times$ 355 (奥行) mm

重 量 約14kg

4.2 赤外線検知装置

本装置は温度検知部、温度記録部及び温度解析部とからなる。

また、噴煙温度の細部を調べるため、この装置とは別に赤外線映像装置 (サーモトレーサ) を整備した。

これらの機能及び仕様は次のとおりである。

4.2.1 温度検知部

次の1)~5)の機器を接続して構成し、阿蘇山測候所構内の観測小屋へ設置した。これらの機器

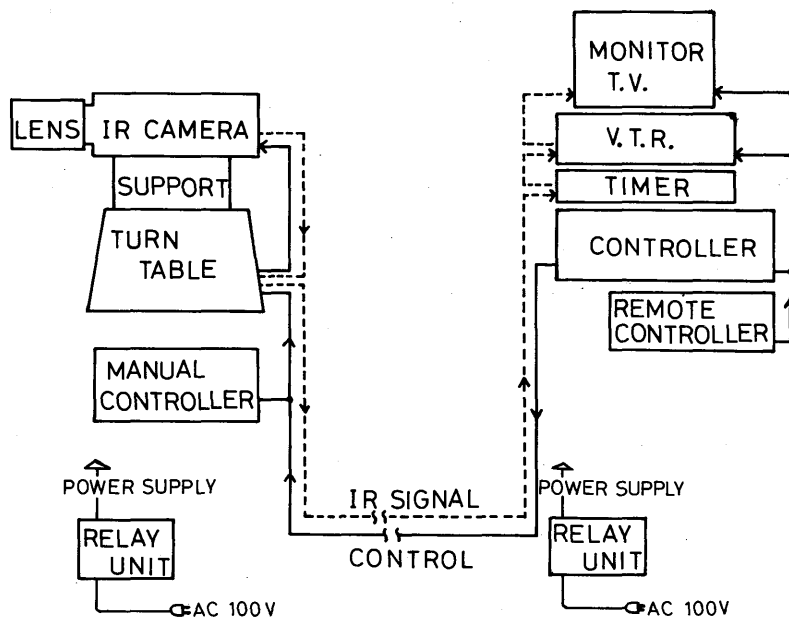


図1.1.6 温度検知部（左側）と温度記録部（右側）のブロックダイアグラム

のうち、3)～5)は噴煙撮影部のものと同一規格品を使用した。ブロックダイアグラムは図1.1.6のとおりである。

1) 赤外線検知カメラ (IR CAMERAとLENS)

型 式 松下技研 パナサーモカメラ MG-IR15

撮 像 管 1インチ焦電型ビジコン

赤外線レンズ 松下技研PANAKRON、ゲルマニウム、75mmF0.7、視野角12°(～210mrad)

波 長 帯 域 8～14μm

測 定 距 離 2m～∞

温 度 分 解 能 1°C以下(常温物体を計測の場合)

角 度 分 解 能 6 mrad以下/1°C

温度測定範囲 外部チョッパ温度±16°/1°CSTEP

外部チョッパ温度±32°/2°CSTEP

出 力 信 号 標準TV方式

出力インピーダンス 75Ω (M型コネクタ)

走 査 方 式 525本/60フィールド、インターレス

入射光路遮断 シャッター内蔵

消 費 電 力 75W

作 動 温 度 0～+40°C

寸法(レンズを除く) 132(幅)×157(高さ)×292(奥行) mm

重 量 3.3kg(本体), 2.3kg(レンズ)

2) リレー制御器 (MANUAL CONTROLLER)

機 能 温度記録部からの制御信号をリレー制御し、水平垂直回転台および赤外線検知カメラの作動を手動に切り替える。

寸 法 220(幅)×195(高さ) 320(奥行) mm

重 量 6.1kg

3) カメラ取付台 (SUPPORT)

4) 水平垂直回転台 (TURN TABLE)

5) 電源制御器 (RELAY UNIT)

4.2.2 温度記録部

次の1)～6)の機器を接続して構成し、阿蘇山測候所の現業室へ設置した。ブロックダイアグラムは温度検知部とともに図1.1.6に示してある。各機器の規格または機能は、プログラムコントローラーを除き、噴煙記録部で使用したものと同一規格品である。

1) プログラムコントローラー (CONTROLLER)

型 式 ナショナル WZ-635

停 電 補 償 約100時間 (25°C)

プログラム数 120ステップ (メモリー増設による)

プログラム内容 曜日・時・分・秒・連続時間・出力番号

コントロール時間 1～99秒間または1～99分間または接・断の指定

精 度 月差±5秒以内 (25°C)

消 費 電 力 約12W

寸 法 420(幅)×90(高さ)×190.5(奥行) mm

2) タイムデイトジェネレーター (TIMER)

3) ビデオテープレコーダー (VTR)

4) モニターカラーテレビ (MONITOR TV)

5) リモートコントロールユニット (REMOTE CONTROLLER)

6) 電源制御器 (RELAY UNIT)

4.2.3 温度解析部

次の1)～4)の機器を接続して使用する。また、可視光で撮影した映像は1)～5)の機器を接続することにより噴煙の色調を調べることができる。

ブロックダイアグラムを図1.1.7に示す。

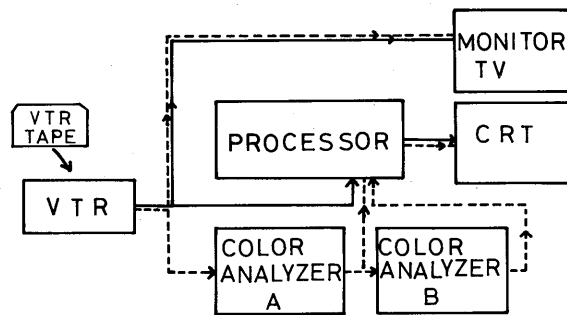


図1.1.7 温度解析部のブロックダイアグラム

1) ビデオテープレコーダー (VTR)

噴煙撮影部のものと同一規格品 (ナショナル NV-8200)。

2) 画像処理部 (PROCESSOR)

型 式 松下技研パナサーモMG-IR23

入 力 信 号 (複合映像信号)

映像信号：0.7V_{P-P}正極性、同期信号：0.3V_{P-P}負極性、入力インピーダンス：75Ω

出 力 信 号 R、G、B映像信号：各1.0V_{P-P}正極性、同期信号：1.0V_{P-P}負極性、出力インピーダンス：75Ω

画 素 数 256×256、128×128 (拡大表示時)

温 度 分 解 能 1°C (外部チョッパ-3.75Hz)

等 温 表 示 任意の温度帯を選択表示

表 示 色 カラー16色、白黒64階調 (グレースケール16階調)

電 源 AC100V±10% 50/60Hz

消 費 電 力 200W以下

作 動 温 度 0～+40°C

寸 法 436 (幅)×226 (高さ)×440 (奥行) mm

重 量 約20kg

3) カラーディスプレイ (CRT)

型 式 松下技研MG-IR61

電 源 AC100V 50/60Hz

ブラウン管の大きさ 205 (縦)×275 (横) mm

寸 法 365 (幅)×300 (高さ)×420 (奥行) mm

重 量 30kg

4) モニターテレビ (MONITOR TV)

機能 赤外映像記録へ時刻を表示。また、可視光映像を解析する際に表示させる。
規格 噴煙撮影部のものと同一。

5) 色調処理器 (COLOR ANALYZER A及びB)

4.1.4 参照

4.2.4 赤外線映像装置 (写真1.1.5)

次の1)～5)を接続して使用する。ブロックダイアグラムを図1.1.8に示す。

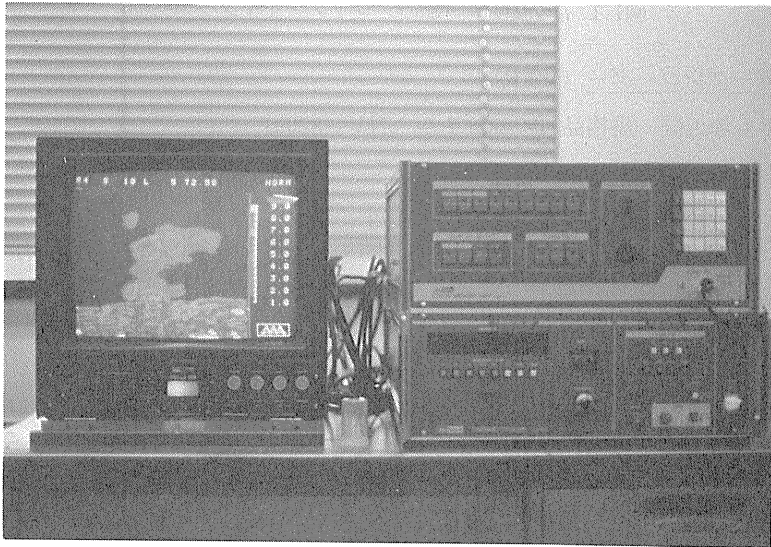


写真1.1.5 赤外線映像装置 (カメラ部とデータレコーダーを除く)

左：カラーディスプレイ
右上：カラーメモリー
右下：コントロール部

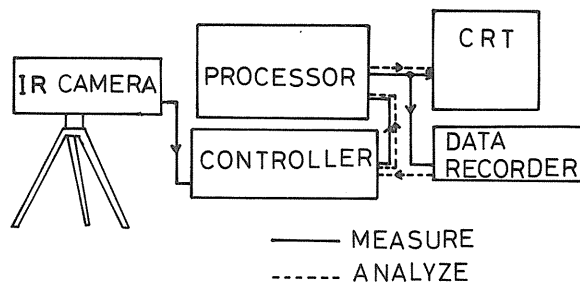


図1.1.8 赤外線映像装置のブロックダイアグラム

- 1) カメラ部 (6 T08A) (IR CAMERA)
- 2) コントロール部 (UNIT6T08A) (CONTROLLER)
- 3) カラーメモリー (静止画像表示装置UNIT1511) (PROCESSOR)
- 4) カラーディスプレイ (UNIT2333) (CRT)
- 5) データレコーダー (TEAC R-80) (DATA RECORDER)

なお、1)～5)を総合した特性は次のとおりである。

型 式 三栄測器 サーモトレーサー 6 T08A

温度測定範囲 0～1000°C (4レンジ)

温度分解能 0.2°C (30°C黒体に対して)

感 度 1、2、3、5、7°C×1,×10,×100

中心温度レベル 0～999°C

放射率補正 0.10～1.00連続

使用赤外線波長 2～5.3μm

検 出 器 InSb (液体窒素冷却)、約4.5時間ホールド

瞬間視野角 2 mrad

走査視野角 30° (水平)×25° (垂直)

ズーム機能 光学的に1～5倍連続

焦点範囲 15cm～∞

水平ミラー走査周波数 75Hz

フレーム時間 1.2秒～51分 (12段切替)

走査線数 1.2秒 96本、2.5秒 192本、5秒以上 384本

画像メモリー 512×512×6 bitにて静止画。

オーバーレイメモリー 512×256×1 bit

表 示 R、G、B方式 14インチカラーブラウン管

8色カラー、16色カラー、白黒64階調、白黒反転 (64階調) で切替

表示モード 8本偏光変調表示+画像表示、カラー1本等温度帯表示、偏光変調 (64本)、
白黒8段等温、1本等温線、1本等温線+白黒画像、4本等温線、4本等温
線+白黒画像で表示。なお、カーソル表示にて水平・垂直温度波形表示及び
クロスポイント温度表示。レンジ、感度、中心温度レベル、フレーム時間、
放射率、表示モードをCRT上に表示。

消費電力 約140W

作動温度 0°C～+40°C

寸 法 検出部160 (幅)×155 (高さ)×316 (奥行) mm

本体426(幅)×323(高さ)×520(奥行)mm

重量 検出部約7.5kg、本体約32.5kg

4.3 紫外線検知装置

本装置は火山ガス検知部と火山ガス記録部で構成されている。このうち、前者は阿蘇山の観測小屋に、後者は阿蘇山測候所の現業室に設置した。ブロックダイアグラムは図1.1.9のとおりである。

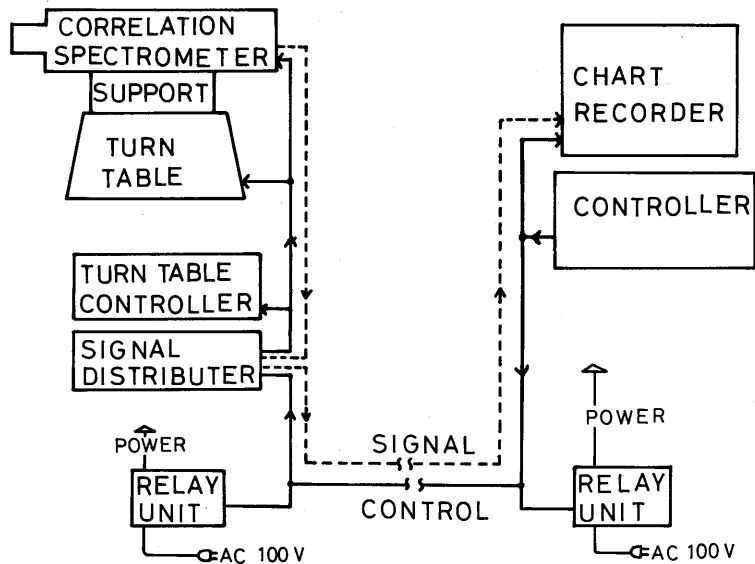


図1.1.9 紫外線検知装置の火山ガス検知部(左側)と火山ガス記録部(右側)のブロックダイアグラム

4.3.1 火山ガス検知部

1) 相関スペクトロメーター (CORRELATION SPECTROMETER)

型 式 相関スペクトロメーター (COSPEC V、カナダBarringer Research社製)

採 光 部 カセグレン望遠鏡、検定用内部光源付

分 光 部 Ebert—Fastieスペクトロメーター (焦点距離250mm、F5.6)

スリットからの入射光を回折して後述のCorrelation Discへ導く

検 出 部 Correlation Disc、光電増幅管などで構成。スリットのあるCorrelation Disc (アルミコート石英製)が50Hzで回転して回折されたスペクトルをチョッピングし、光電増幅管へ導く。

検 定 用 セ ル 既知濃度のSO₂ガスが封入された石英ガラス製セル。モーターで光路へ自動

挿入され、検定に使用する。

測定対象ガス SO₂
 測定方式 自然光光源の相関測定法
 視野 10mrad×30mrad
 測定領域 1～1000ppm-m
 電源 AC100V 60HZ. または、24VDC作動
 S / N 0.5ppm-m
 応答 1～32秒（5段切替）
 標準ガス濃度 高濃度 920ppm-m、低濃度 130ppm-m
 出力 0～10V
 消費電力 23W
 作動温度 0℃～+50℃
 寸法 275（幅）×222（高さ）785（奥行）mm
 重量 約20kg

2) 電動施回台 (SUPPORTとTURN TABLE)

型式 ミカミ製 PTH-V-S8
 水平施回角度 最大340°（左、右170°）、速度 0.05°～0.8°/秒から選定
 垂直施回角度 最大80°（上向20°、下向60°）、速度 水平施回に同じ
 消費電力 30W
 寸法 282（幅）×538（高さ）×420（奥行）mm
 重量 40kg

3) 回転台制御器 (TURN TABLE CONTROLLER)

機能 相関スペクトロメーターによる自動測定の際の水平、垂直方向の測定視野範囲、および回転移動速度を調整。また、手動によって任意の方向の測定をするために電動施回台を作動させる。
 寸法 420（幅）×99（高さ）×350（奥行）mm
 重量 約15kg

4) シグナルディストリビューター (SIGNAL DISTRIBUTER)

機能 火山ガス記録部からの制御信号を分配する。また手動測定、自動測定の切替えを行い、手動測定時に1)～3)へ電源を供給する。
 寸法 420（幅）×145（高さ）×350（奥行）mm
 重量 約20kg

5) リレーボックス (同RELAY UNIT)

火山ガス記録部からの制御信号により各部に電源を供給。

4.3.2 火山ガス記録部

次の1)~3)の機器を接続して構成されており、阿蘇山測候所の現業室へ設置した。各機器の様子は次のとおり。

1) リレーボックス (RELAY UNIT)

火山ガス検知部と同一規格品。

2) プログラムコントローラー (CONTROLLER)

温度記録部と同一規格品。

3) 記録計 (CHART RECORDER)

型 式 理化電機製RO-102

ペ ン 数 2

動 作 方 式 DCサーボ方式

精 度 フルスケールの $\pm 0.25\%$

感 度 フルスケールの $\pm 0.1\%$

入 力 フローティング・ガード方式

ペ ン ス ピ ード 1600mm/sec. 動特性 $0 \sim 1.8\text{Hz} \sim 0.36\text{db}$

ペ ン ファイバーペン

ペンギャップ 3mm

ペ ン 上 げ 手動、全ペン同時

記 録 紙 有効幅250mm、長さ15m、折りたたみ

電 源 AC100V 50/60Hz (115V、230Vも可)

消 費 電 力 最大 $4\text{W} + 9\text{W} \times \text{ペン数}$

寸 法 484 (幅) $\times$ 310 (高さ) $\times$ 310 (奥行) mm

重 量 約20kg

5. 観測小屋とモニター室 (写真1.1.1、写真1.1.2)

火山観測のために、噴煙観測装置を野外へ設置するには、機器を風雨、塵埃、火山ガス等から保護する必要がある。そのためには機器自体を保護ケース (ハウジング) に入れて火山の見える位置に設置するか、火山の見える場所に小屋を建てて、その中に機器を設置するかのどちらかを選ばねばならない。

ところで、この噴煙観測装置の感部——噴煙撮影部、温度検知部、火山ガス検知部——は、観測の際、回転運動をさせるようになっており、その他の機器にも、可動部分が多いので、ハウジングを作るとしたら、かなり大がかりなものになる。一方、小屋の中に機器を設置するならば、

観測者が機器を調整したり、風雨をしのぐためにも都合がよい。このような理由で、本研究においては機器の保護のためには小さな小屋（観測小屋）を火山のよく見える場所に建てることにした。

観測小屋は阿蘇山測候所の敷地内の最も山寄りの空地に、市販のプレハブ小屋を建てた。ここから中岳第1火口までは1.2km離れており、小屋と火口との間に障害物がなくて噴煙はよく見える。火口縁と小屋との高度差は約120m、小屋から見た第1火口の方法は北から時計回りに65°(N 65°E)である。

小屋の大きさは床面が3.6m×2.7m、地表から屋根までの高さが2.6mである。

建物の位置、内部に配置した装置、ケーブル路線の見取図等を図1.1.10、図1.1.11に示す。ケー

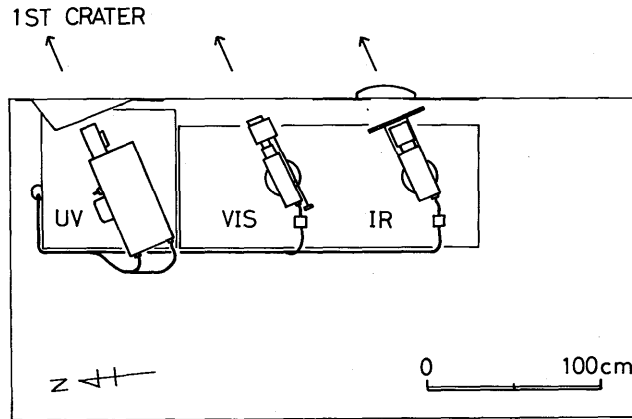


図1.1.10 観測小屋内の機器配置状況

UV：火山ガス検知部、VIS：噴煙撮影部、IR：温度検知部

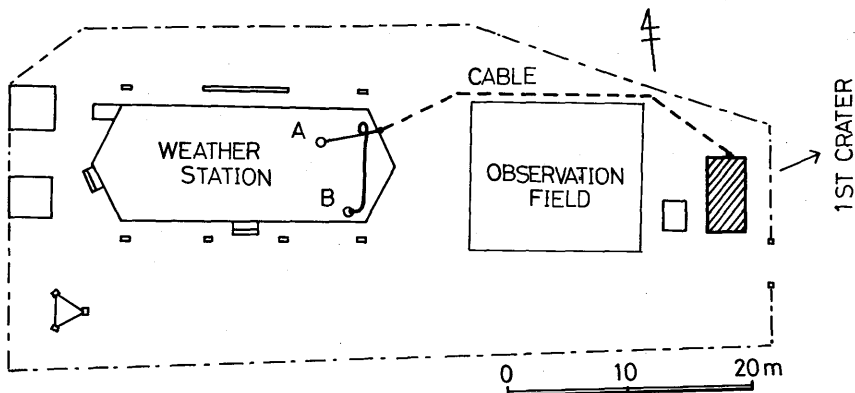


図1.1.11 観測小屋（斜線部）の位置とケーブル路線

ブル路線には直径5cmの塩化ビニール管を地下約30cmの深さに埋設し、その中に可視、赤外、紫外の3つの装置に必要な3系統のケーブルを通した。

この小屋は、噴煙をあげている中岳第1火口に対しておよそ25°東を向いているため、噴煙から放射される電磁波は、窓を斜めに通って入射する。このことは窓の面積が約1割も狭くなったのと同じことであり、観測の効率を悪くする。そこで、一部の窓については火口に向く窓枠を特製して取り付け、観測の効率をあげた。

また、電磁波は、その波長によって透過しなかったり、強度を著しく減衰させる物質がある。そこで、窓の材質として、可視光線用には普通のガラスを、赤外線用にはポリエチレンフィルム（厚さ70 μ m、直径160mm、透過率約90%、円形アルミ製フレーム枠に取り付ける）を、また、紫外線用には上質の石英ガラス（厚さ3mm、300（縦） $\times$ 400（横）mm、透過率約90%、昭栄商事製）を使用した。

観測のモニターは阿蘇山測候所の現業室で行った。ここには、ラックが設置してあり、その中にモニターテレビ、VTR、タイムデイトジェネレーター、コントロールユニット、プログラムコントローラー等が組み込んである。また、別のラックには、紫外線検知装置用の記録計、プログラムコントローラー等が組み込んである。

観測の初期のころ観測窓への結露に気付き、これを除去するため、1982年3月以降は小屋内に除湿器と扇風器を取り付け、湿度70%を検出すると自動的に作動するようにした。これは結露防止に効果があった。

各検知装置は、冬期間気温が0℃以下に低下しても作動した。しかし、機器数が年々増えるにしたがって電力の消費量が増えたため、電圧が低下して映像信号が不安定になった。そこで、1982～83年には、観測小屋及び現業室の機器に定電圧装置を使用した。

6. 自動観測と問題点

6.1 観測視野及び観測時刻の制約

図1.1.12は観測小屋から中岳火口縁方向を見た図である。上の図には各観測装置による水平観測視野が、下の図には垂直観測視野が示してある。

可視光による噴煙撮影部の視野は図中のVISと記した範囲で、第1火口の中心を含む火口列方向の幅約800m、高さ約700mである。赤外線による温度検知部の視野は図中のIRと記した直径約200mの円形内である。また、紫外線による火山ガス検知部の視野は図中のUVと記した水平方向約700m、垂直方向約500mの2つの帯上を走査するようにしてある。

なお、測候所は第1火口の西南西方向にあるため、季節及び時刻によっては太陽が視野内に入り、検出素子を破損するおそれがあるので、そのような時刻の観測は避けることにした。

図1.1.13は観測小屋（O）における立春（2月4日）、春分（3月21日）、立夏（5月6日）、夏

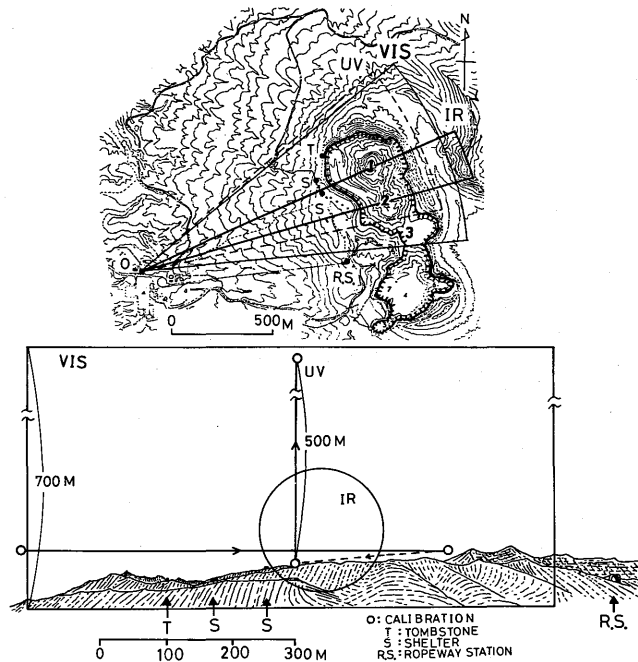


図1.1.12 観測小屋から中岳火口方向を望んだ各検知装置の水平（上）および垂直（下）観測視野。なお、下図のスケールは中岳の第1、第2、第3火口を結ぶ線上の縮尺である。

至（6月22日）、立秋（8月8日）、秋分（9月23日）、立冬（11月8日）、冬至（12月4日）の日の出から09時までの太陽方位を、各観測装置の観測視野とともに示したものである。資料は理科年表（昭和57年版）によった。

立春から立秋のうち、とくに夏至の前後には日の出から08時ころまでは太陽の直射が可視光の観測視野内に入ることがこの図からわかる。

一方、観測小屋(O)から火口方向に $N60^{\circ}E$ 、 $N70^{\circ}E$ 、 $N80^{\circ}E$ 、 $N90^{\circ}E$ をとった地形プロファイル（図1.1.14）を見ると、立夏、夏至、立秋ころには太陽光の観測視野内への直射は避けられない。このため、観測時刻は09時以降に限定した。

6.2 観測小屋の窓

第5節で述べたように、観測小屋の窓の材質として、可視光線用には普通のガラスを、赤外線用にはポリエチレンフィルムを、紫外線用には石英ガラスを用いた。このうち、ポリエチレンフィルムは外面が直射日光、降雨、埃、温度変化等にさらされるため赤外線透過率の低下が懸念された。そこで使用期間の異なるポリエチレンフィルムの赤外線透過率の違いを求めた。図1.1.15はアメリカNICOLET社製NICOLET-FT-IR7199型赤外分光光度計（気象研究所応用気象研究部所

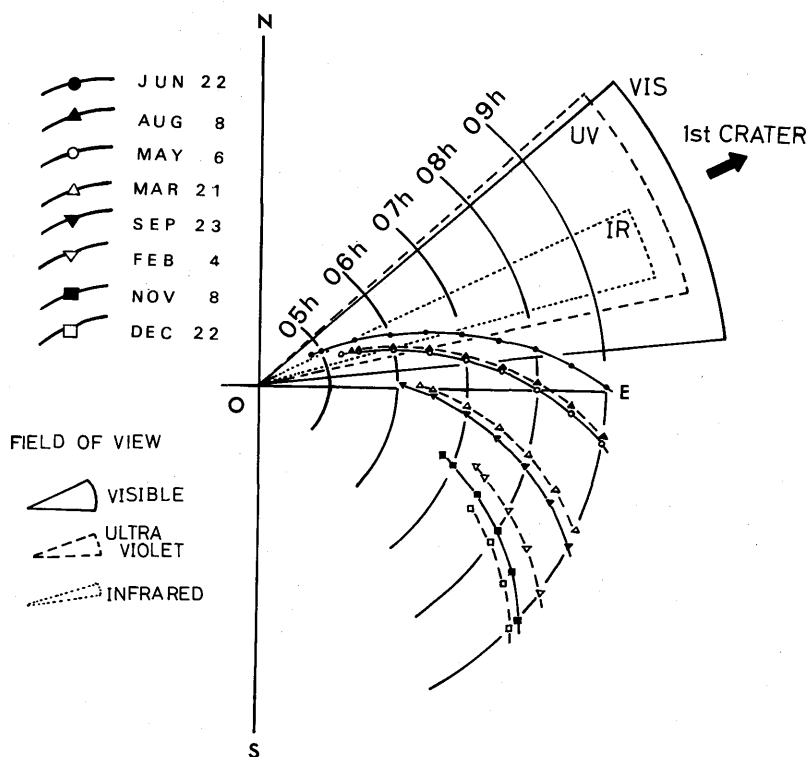


図1.1.13 時期別の日の出から09時までの太陽方位

有) で測ったポリエチレンフィルムの平均赤外透過率である。図に示した $8 \sim 14 \mu\text{m}$ の範囲では、未使用フィルム (A) で平均透過率が約90%、B (1ヶ月使用) と付したフィルムでは約3%ほど透過率が低下、C (3ヶ月使用)、D (6ヶ月使用) ではそれぞれ約8%、約13%程度低下した。これらの結果このような方式及び材質を用いた場合は、季節、気象状況にもよるが、最低1ヶ月程度でフィルムを交換することが必要なことがわかった。

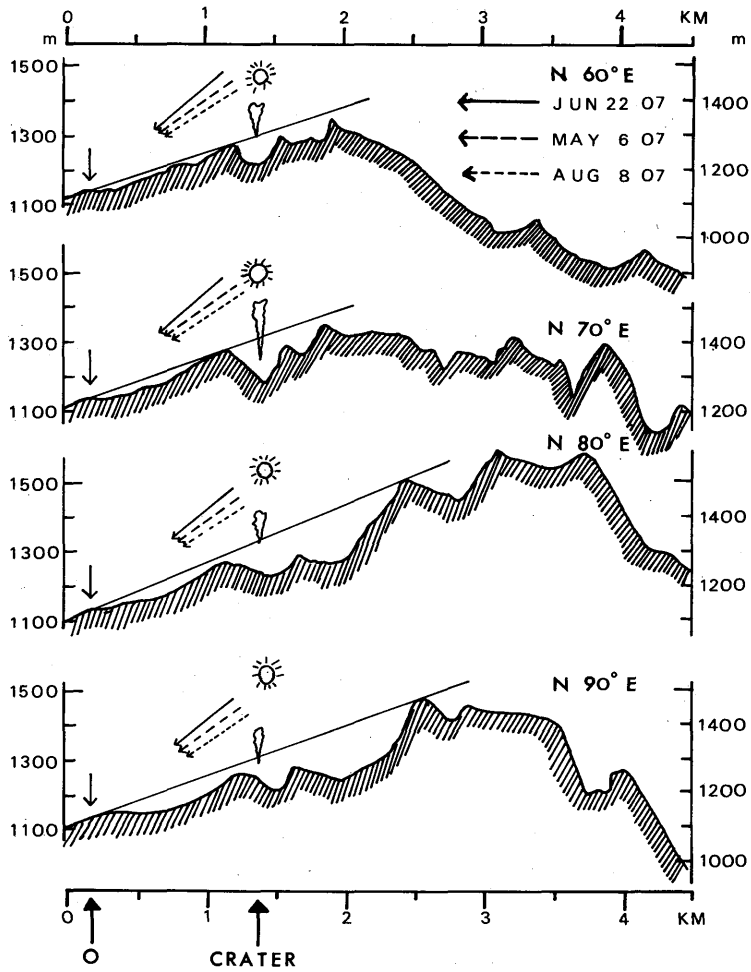


図1.1.14 方向別地形プロファイルに対する07時の太陽高度
(縦軸は横軸に対して拡大表示してある)

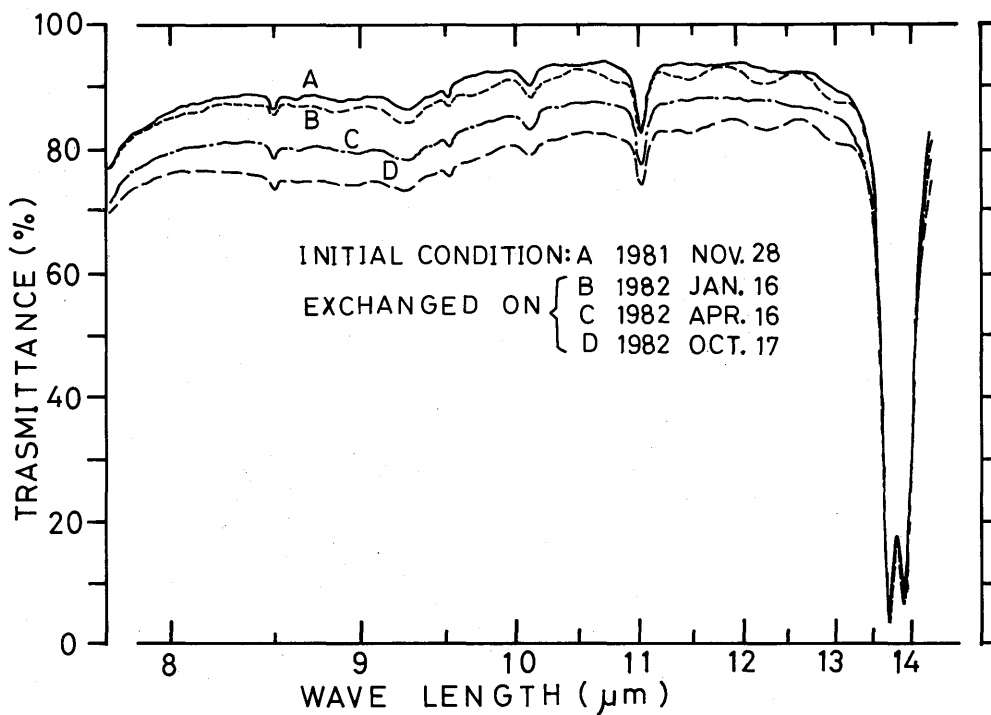


図1.1.15 ポリエチレンフィルムの遠赤外域透過率の変化

7. 観測方法

7.1 可視光

観測は1980年12月11日から1984年3月13日まで行われた。観測の視野角は観測窓の大きさの制約で水平 37° ×上下 21° となった。

毎日09時、11時、13時、15時、17時の5回自動観測を行った。観測時には自動制御によって一定時刻に電源ON、ウォーミングアップ、視野設定、観測・収録、電源OFF、カメラ部の位置リセットを行う。また、日射から撮像管を保護するため、観測しない時間帯にはカメラは外景に向けておかないで室内の壁に向けるようにした。プログラムの1部を表1.1.1に示す。

1日の映像の収録時間の合計は6分20秒で、一巻のカセットテープで16日分以上収録でき、毎月1日、16日の2回交換した。

テープに収録された噴煙の映像は、画像解析器を通して、色・量・高さ・幅を読み取った。噴煙は火口上空の風の影響を受けて乱され、たえず形をかえるので、風のない時の状態を観測するのが望ましい。そのため、噴煙がなるべく高くあがった瞬間の形を風の影響が少なかった時の状

態と考えて読み取るようにした。噴煙の高さ及び幅は10m単位で、量は10²m³単位で計測した。

表1.1.1 可視光検知装置作動プログラム (07時、09時)

観測時刻	作 動 内 容	プログラム番号	時	分	秒	継 続 時 間	出力番号
07	カメラON	00	06	55	00	07 分	01
	回転台左よせ	01	06	56	00	25 秒	06
	回転台左よせ	02	06	56	00	25 秒	07
	回転台 下	03	06	56	30	25 秒	11
	回転台右よせ	04	06	57	00	10 秒	08
	回転台 上	05	06	57	30	22 秒	09
	回転台 上	06	06	57	30	22 秒	10
	テレビON	07	06	59	00	03 分	02
	ビデオ再生	08	07	00	00	10 秒	03
	ビデオ録画	09	07	00	00	10 秒	04
	ビデオ停止	10	07	01	00	05 秒	05
	カメラ左よせ	11	07	01	10	11 秒	06
	カメラ左よせ	12	07	01	10	11 秒	07
	カメラ 下	13	07	01	30	05 秒	11
09	カメラON	14	08	55	00	08 分	01
	回転台左よせ	15	08	56	00	25 秒	06
	回転台左よせ	16	08	56	00	25 秒	07
	回転台 下	17	08	56	30	25 秒	11
	回転台右よせ	18	08	57	00	10 秒	08
	回転台 上	19	08	57	30	22 秒	09
	回転台 上	20	08	57	30	22 秒	10
	テレビON	21	08	59	00	04 分	02
	ビデオ再生	22	09	00	00	10 秒	03
	ビデオ録画	23	09	00	00	10 秒	04
	ビデオ停止	24	09	01	40	05 秒	05
	カメラ左よせ	25	09	01	50	11 秒	06
	カメラ左よせ	26	09	01	50	11 秒	07
	カメラ 下	27	09	02	10	05 秒	11

7.2 赤 外 線

観測は1981年11月28日から1984年3月13日まで行われた。カメラのレンズ等の性能に制約され、観測可能な領域は火口上及び火口縁を含む直径約200mの範囲である。

毎日03時、09時、13時、15時、21時の5回自動観測を行った。自動制御によって電源ON、ウォーミングアップ、カメラ位置設定、観測・収録、カメラ位置修正、電源OFFを行う。日射から検知装置を保護するため観測しない時間帯はカメラを壁側に向けた。プログラムの1部を表1.1.2に示す。

表1.1.2 赤外線検知装置作動プログラム (03時)

作 動 内 容	プログラ ム 番 号	時	分	秒	継 続 時 間	出力番号
カメラ電源ON	01	02	50	00	16 分	01
回転台 右	02	02	51	00	20 秒	04
回転台 上	03	02	51	20	05 秒	05
TV電源ON	04	02	58	00	04 分	02
ビデオ再生	05	03	00	00	90 秒	15
ビデオ録画	06	03	00	00	90 秒	14
ビデオ停止	07	03	01	30	05 秒	16
カメラ12V	08	02	50	00	14 分	13
カメラオープン	09	02	58	00	04 分	11
カメラクローズ	10	03	02	03	02 分	12
回転台 下	11	03	04	00	05 秒	10
回転台 左	12	03	04	10	20 秒	03
アイリス 1	13	03	00	00	90 秒	17
アイリス 2 ON	14	02	58	00	02 分	18
アイリス 2 OFF	15	03	00	00	90 秒	18
アイリス 2 ON	16	03	01	30	30 秒	18
アイリス 2 OFF	17	03	02	00	05 秒	18

1日の赤外映像の収録時間の合計は7分20秒で、一巻のテープに16日分以上収録でき、毎月1日、16日の2回交換した。観測初期のころ内部チョッパー、外部チョッパーの同期不良が生じたが、その後は内部チョッパーを作動させないで観測を継続した。

この装置は相対温度を1℃の精度で観測できるが、絶対温度は測れない。そのため、噴煙の真の温度を知るためには、映像の視野内に既知の温度を持つ物体があることが必要で、その物体の

温度を基準にして噴煙の温度が計測される。この観測では、火口縁の地表温度または観測小屋内の温度を基準とした。

観測によって収録されたテープは、温度解析部を用いて、噴煙像の中で最高温度を示している所の温度階と、火口縁の最高温度階とを読み取り、それらとカメラの外部チョッパーとの温度差を観測値とした。

7.3 紫 外 線

観測は1982年10月20日から1984年3月13日まで行われた。観測の視野範囲は水平方向24°、上下方向12°である。

電源のON、測定位置の設定、測定前後の検定セルの光路挿入と測定、水平走査、上下走査、センサー位置の修正等を、毎日09時、11時、13時、15時の4回、可視光観測の時刻と合わせて自動観測した。また、日射の影響のない20時には内蔵光源により高濃度検定セルの測定を行い、長期間にセルの感度変化がどの程度あるかをモニターした。他の機器と同様、観測しない時間帯にはカメラを壁側に向けるようにした。プログラムの1部を表1.1.3に示す。

1日の観測は記録紙の上で合計約87cmとなり、一卷(15m長)で16日以上データをとれる。交換は毎月1日、16日の2回行った。石英ガラス窓の外面の汚れはときどき、測候所職員に清掃してもらった。

自記紙には測定前後における高濃度、低濃度の検定信号、水平及び上下に走査したSO₂濃度信号及びAGC(Automatic Gain Control: 入射光量の変化を自動調整する機能)信号が記録される(図1.1.16)。AGCは10V、SO₂は5Vレンジで測定した。

噴煙中のSO₂濃度は自記紙に記録された濃度と低濃度の検定信号の振幅、及びSO₂濃度の最大振幅を読み取り、それらの振幅比からSO₂濃度をppm-m単位で算出した。

なお、COSPEC Vによる観測には次のような問題があるが、後述するように、それぞれ検討し、ほぼ解決させた。

- 1) 入射光量によって信号が変化する。
- 2) ゼロレベルが変動する。
- 3) 温度変化により信号にドリフトが出る。
- 4) 感度が直線的でない。
- 5) 測定する距離の違いで信号の強度が変わる。
- 6) セル濃度の経年変化がある。
- 7) 観測時間は夏期で08時—17時、冬期で10時30分—14時に制約される。

1)の問題は時間、季節による太陽光散乱の変化をAGCで補償し切れないことを反映している。この現象は雲の量に変化しても生じる。本研究ではこの対策として7)の問題と合わせて測定を年間09時—15時に限定し、かつ測定の前後にガス濃度をセルによって検定することでその影

表1.1.3 紫外線検知装置作動プログラム (09時)

作 動 内 容	使 用 機 器	プログラム 番 号	出 力 番 号	時 刻			継 続 時 間
				時	分	秒	
COSPEC POWER	COSPEC	001	17	08	40	00	32 分
TABLE POWER	TABLE, RECORDER	002	05	08	58	00	15 分
REF.ライト	COSPEC	003	01	08	57	00	3 分
ペンダウン	RECORDER	004	11	08	58	00	13 分
チャート送り	RECORDER	005	10	08	58	40	80 秒
サンプルHI	COSPEC	006	02	08	58	40	01 秒
サンプルLO	COSPEC	007	03	08	59	05	01 秒
NORMAL	COSPEC	008	04	08	59	40	01 秒
チャート送り	RECORDER	009	10	09	00	00	80 秒
サンプルHI	COSPEC	010	02	09	00	00	01 秒
サンプルLO	COSPEC	011	03	09	00	25	01 秒
NORMAL	COSPEC	012	04	09	01	00	01 秒
タイムマーカー	RECORDER	013	12	09	00	40	05 秒
GO TO POS. 1	TABLE	014	13	09	01	20	01 秒
チャート送り	RECORDER	015	10	09	04	00	90 秒
サンプルHI	COSPEC	016	02	09	04	00	01 秒
サンプルLO	COSPEC	017	03	09	04	25	01 秒
NORMAL	COSPEC	018	04	09	05	00	01 秒
GO TO POS. 2	TABLE	019	14	09	05	30	01 秒
チャート送り	RECORDER	020	10	09	06	00	80 秒
サンプルHI	COSPEC	021	02	09	06	00	01 秒
サンプルLO	COSPEC	022	03	09	06	25	01 秒
NORMAL	COSPEC	023	04	09	07	00	01 秒
GO TO POS. 3	TABLE	024	15	09	07	20	01 秒
チャート送り	RECORDER	025	10	09	09	30	90 秒
サンプルHI	COSPEC	026	02	09	09	30	01 秒
サンプルLO	COSPEC	027	03	09	09	55	01 秒
NORMAL	COSPEC	028	04	09	10	30	01 秒
TABLE RESET	TABLE	029	16	09	11	00	01 秒

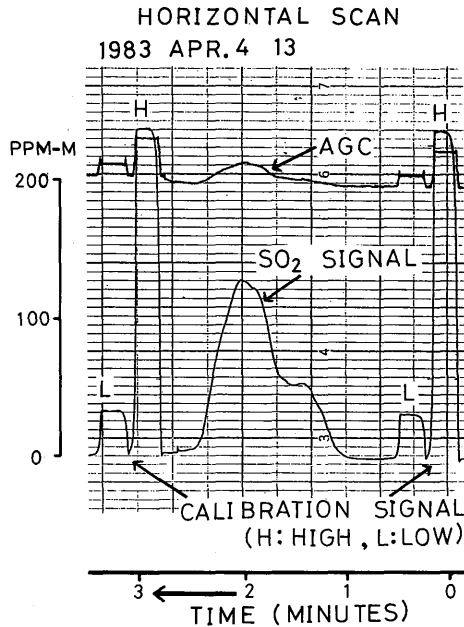


図1.1.16 SO₂記録例

響を減らすようにした。また、雲量、天候の妨害に対して同時刻に得られる可視光の映像から判断してデータを選択した。2) については記録状況から判断した。3) の問題については、機器を直射日光にさらすことがないように室内に設置してある。ただし、年変化については人工光源による検定値の変化でチェックした。4) については測定結果の数値の上限を500ppm-m程度までは直線的であるとして判断した。5) については本装置は定点観測であるため、その影響はないと考えられる。6) の問題は測定上致命的な点である。検定用セルの濃度変化の原因としてセルの材質である石英の含有水分の変化、SO₂ガスのセルへの吸着、測定時の日射照度による劣化が考えられている。本研究では、購入後半年ほど経過したセルを検定してから使用するようにした。例えば、本研究で当初購入した2個のセルはメーカーで520ppm-m、130ppm-mとしていたものであるが、7カ月経た1982年10月15日の測定(ジャスコインターナショナル社による)では426ppm-m、57ppm-mとそれぞれ半分程度の数値となった。こうしたセル濃度の変化を補正するための処置として、約1年後に新しい検定用セルを購入し、ガス濃度を検定した上でこれまで使用していた検定用セルと交換・測定して出力値に大きな変動がないことを確かめた。

8. 噴煙観測の捕捉率

8.1 映像観測

可視光検知装置のカラーディスプレイで見る噴煙の映像は背景に雲がある場合は噴煙だけを識

別することは容易でない。ここでは、ディスプレイ上で映像として解析可能なデータの割合を調べるため、噴煙のあるなしにかかわらず火口方向が良く見え、映像内に雲があっても噴煙と判別できた観測資料を解析可能なデータとし、一方、火口方向が天候などの理由で見えない場合及び雲のため噴煙を識別できない観測資料を解析不可能なデータとして両者の割合を調べた。

月別、観測時刻別に噴煙捕捉率を求めたものが図1.1.17、表1.1.4（本章末尾）である。全体の66%の噴煙が解析可能ということになる。なお07時のデータは1980年12月11日～1981年4月10日の観測しかなく若干問題があるが、観測時刻別捕捉率は07時、17時よりは09時、11時、13時、15時の方が高い。このことから朝、夕方より日中の時間帯の方が可視光観測に適しているといえる。また、月別の捕捉率では梅雨期の7月、秋～冬期の10月～2月には捕捉率が低く、7月を除く3～9月にかけて捕捉率が向上する傾向がある。

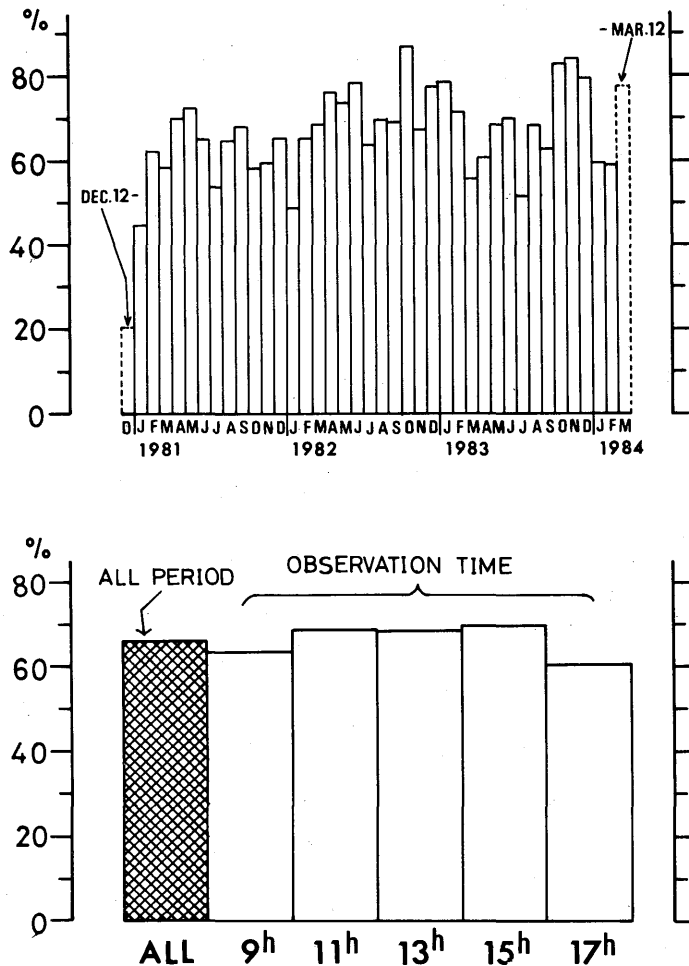


図1.1.17 可視光検知装置による噴煙捕捉率

8.2 温度観測

火口縁付近に雲がある時は赤外映像信号から噴煙を検出することが困難となる。それは噴煙の温度信号が雲でマスクされたり、日中には噴煙と雲の温度が同程度のレベルとなるからである。赤外線熱映像の捕捉率を把握するため可視光の場合と同様、噴煙の有無にかかわらず明瞭に火口方向の熱映像が得られている場合、及び雲と噴煙の識別が可能な場合とを解析可能なデータとしてその割合を求めた

図1.1.18は月別、観測時刻別に解析可能なデータの割合を表わしたものである。捕捉率は約51%で可視光の場合より低い。これは主に火口と観測小屋との間の水蒸気により赤外線の信号レベルが低下するのが原因と思われる。装置の温度分解能が現在の 1°C より向上すればさらに捕捉率は向上すると思われる。

なお、日中の13時、15時までは捕捉率が60%前後であるのに対し、噴煙の温度測定上で日射の影響のない03時と21時には約40%程度に低下する。(表1.1.4参照)。図1.1.18からは1～2月の冬期、7月の梅雨期に捕捉率がかなり低下するという傾向が見られる。また、温度分解能を 2°C (通常は 1°C)で観測した1982年6～7月の熱映像からは、火口縁は検出できたが、噴煙の熱映像はほとんど検出できなかった。

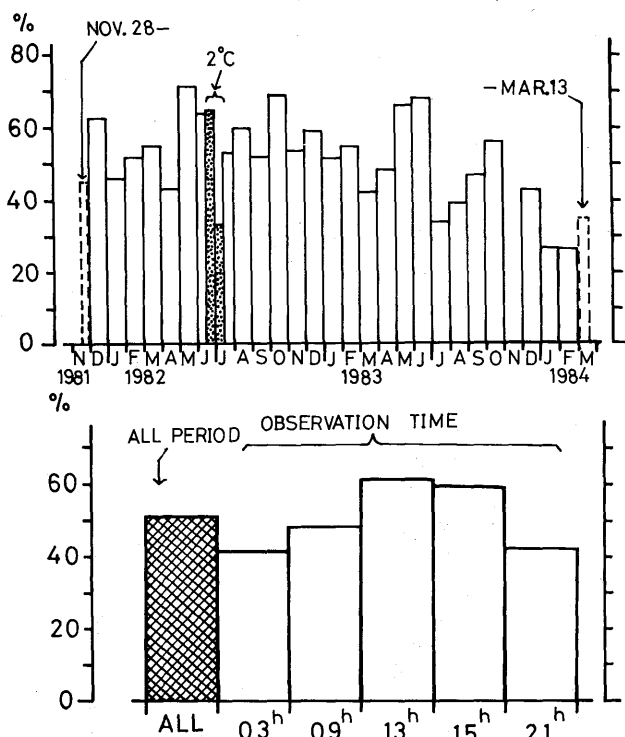


図1.1.18 赤外線検知装置による噴煙捕捉率

8.3 火山ガス観測

COSPEC Vの視野内に雲があれば、出力には見かけ上、 SO_2 を検知したようにあらわれる。したがって、もし火口上空に一樣に雲がある場合は、検定信号はすべてその出力記録上に重なってゼロレベルがとれなくなる。この場合は可視光映像と合わせて判別することにより、見かけ上の出力変動を判別できる。また、天候不順の際は入射光そのものが低下するのでAGCあるいは信号出力の状態が異なるため判断が容易である。そこで、明らかに噴煙による出力変動、及び噴煙が見えなくても SO_2 ガスを測定できたと判断できる資料を正しく測定できたデータとして、全測定頻度に対する割合を求めてこれを SO_2 ガス資料の捕捉率とした。月別、観測時刻別の捕捉率を図1.1.19、表1.1.4に示した。全体で約71%が測定できたことになり、可視光、赤外線検知装置と比べて捕捉率が高い。これは噴煙塊そのものが火口上に上昇していない場合でも放出されている SO_2 ガスを検出したことを表わしている。時刻別には11時から15時までの捕捉率が高く、日中の時間帯が測定に適していると言える。月別では変動があるもののほぼ60%以上測定できた。

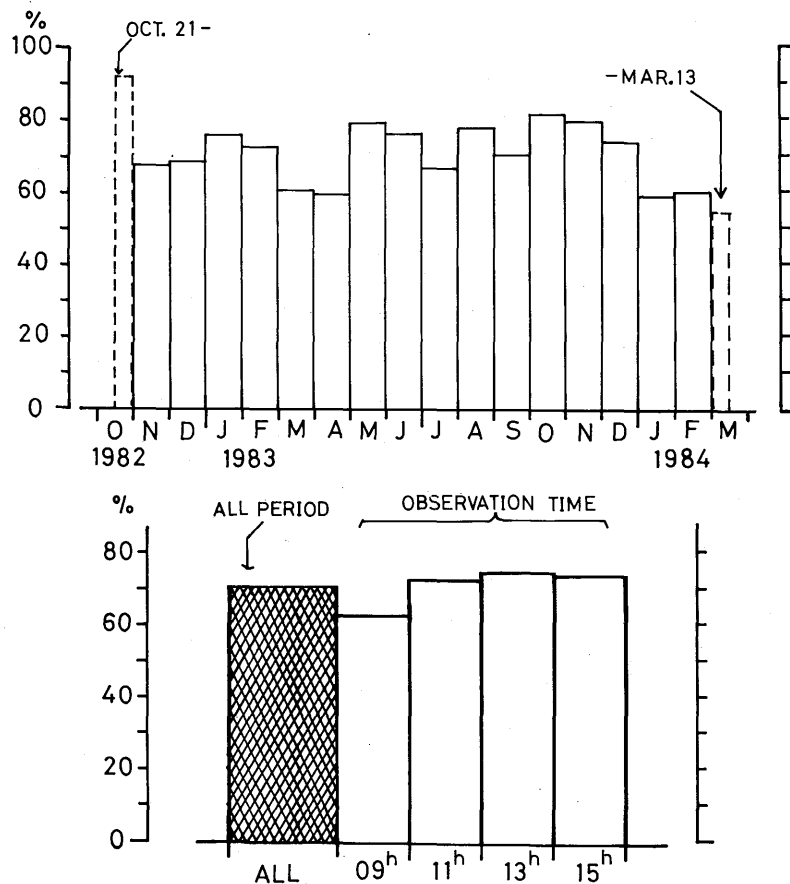


図1.1.19 紫外線検知装置による噴煙捕捉率

9. 観測結果

9.1 観測資料

この研究のために製作した噴煙観測装置を用いて、阿蘇山の噴煙を自動観測した資料を表1.1.5（本章末尾）に示す。同表には、阿蘇山測候所が行った従来の目視による噴煙の遠望観測資料も参考のため記載してある。

この表の中の可視光検知装置による噴煙の色・量・高さ・幅の値は、1日5回行った観測のうちで、噴煙が最も高くあがった時の値をその日の代表値として記載してある。これは、火山活動が静穏なときに、高くあがるような噴煙は、風の影響が少ないと考えられるからである。

赤外線検知装置による噴煙の温度の欄では、1日5回（昼間3回と夜間2回）行った観測のうち、日射の影響のない夜間2回の観測値から、高温を示す方を選んでその日の代表値とした。ただしここに示した温度は6.2.2節でも述べたように、カメラの外部チョッパーと中岳火口縁の地表最高温度との温度差(t_1)、及び同チョッパーと噴煙の表面最高温度との温度差(t_2)である。したがって、火口縁及び噴煙の真の温度は補正が必要である。

また、紫外線検知装置による噴煙中の SO_2 の観測は、1日4回、噴煙を水平及び垂直に走査して、それぞれ SO_2 の最大値を観測しているが、表1.1.5には、それらの観測値の平均をとってその日の代表値としてppm-m単位で記載してある。ただし、500ppm-m以上の数値は、この装置に取りつけた高濃度ガス検定セルの濃度を越えた値であって正確さを欠くので今後の検討、補正が必要である。

次に、表1.1.5の資料に基づき、阿蘇山の噴煙活動状況ないし火山活動を概観する。

9.2 可視光観測資料

9.2.1 器械観測と目視観測との比較

阿蘇山測候所のルーチン観測では毎日09時と15時に目視による噴煙の観測を行っている。そこで、この資料と可視光検知装置による09時、15時の観測結果を比較した。

図1.1.20は測候所の目視観測と、本システム作動時刻とが合致した場合の噴煙捕捉率の比較図である。図中のAの領域は天気が悪くて噴煙が見えなかった時であり、Bは目視観測と本システムによる器械観測とが良好であった時である。C、Dの領域は目視観測と器械観測とがうまく合致していない時で、両観測の時刻が少し違ったために、どちらかの観測で噴煙が見えなかったことに原因があると思われる。

図1.1.21は噴煙の高さの比較、図1.1.22は噴煙量の比較図である。これらの図からは、目視観測と器械観測の精度がある程度わかる。両観測結果は大勢としては正の相関があるが、器械観測値は目視観測値よりはるかに高い精度が得られていると考えられる。

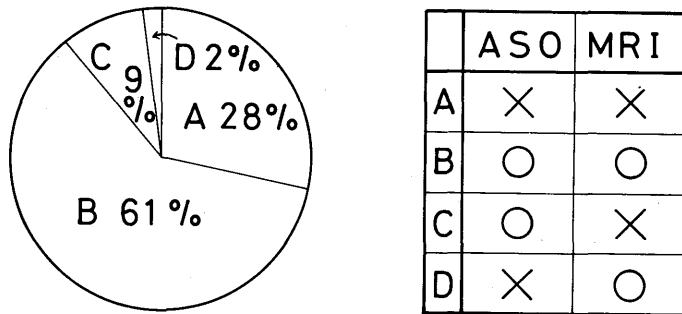


図1.1.20 噴煙の捕捉率の比較 (1980年12月11日～1983年末の資料による)

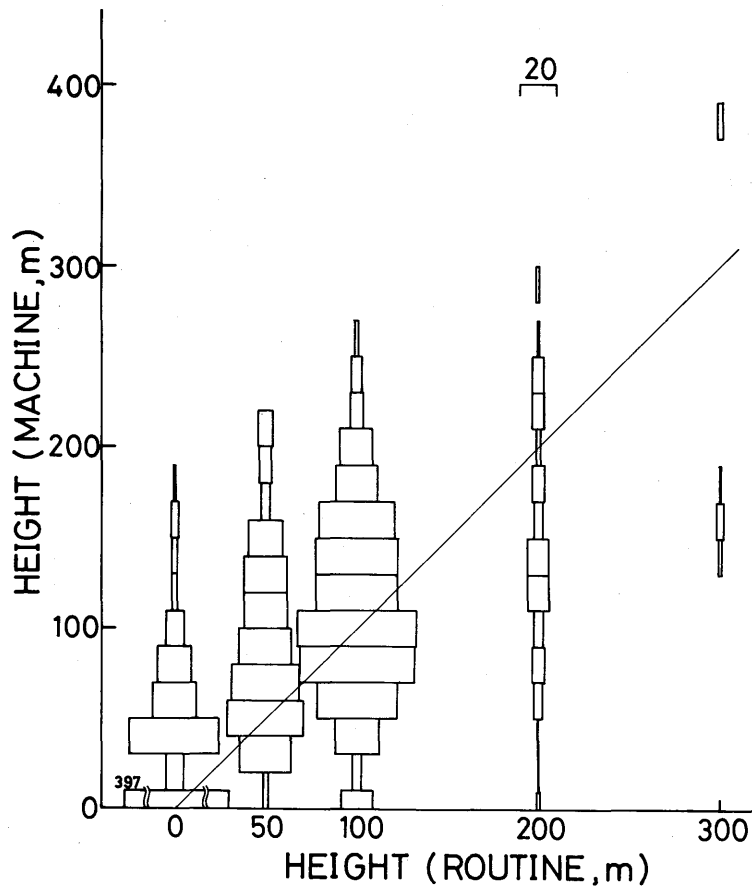


図1.1.21 噴煙の高さの比較 (1980年12月11日～1983年末)

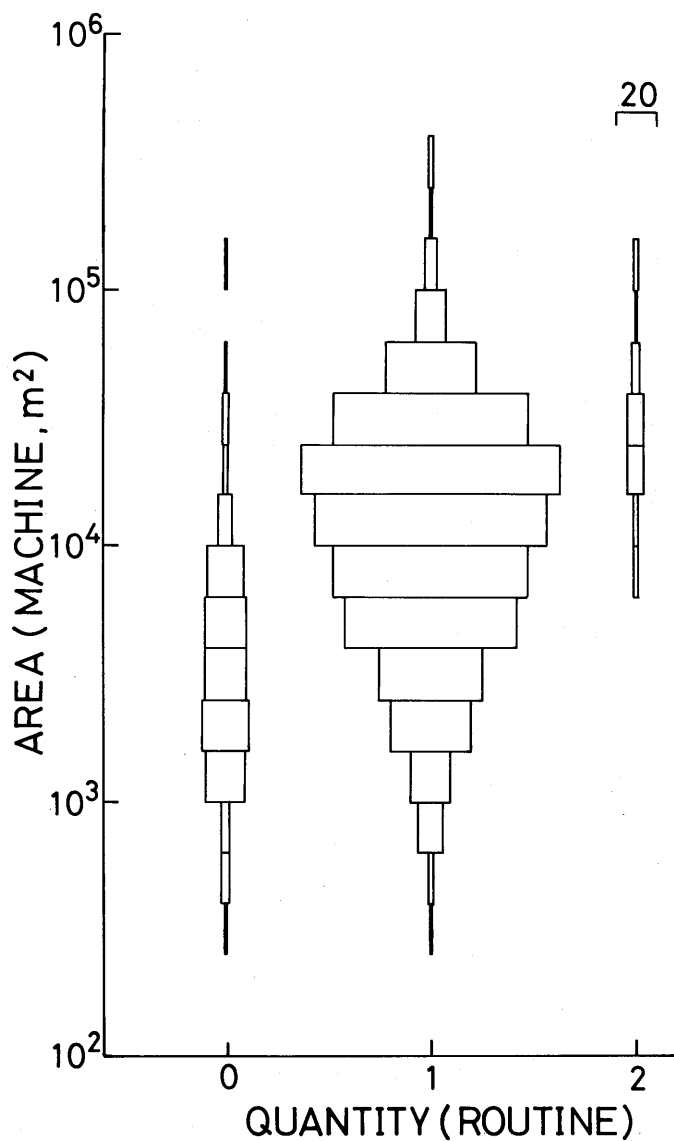


図1.1.22 噴煙の量の比較 (1980年12月11日～1983年末)

9.2.2 噴煙の形状の変動

図1.1.23、図1.1.24、図1.1.25は、それぞれ噴煙の高さ(h)、幅(ℓ)、垂直断面積(a)の旬別平均値の変化図である。また、噴煙の形を回転楕円体として、その体積 V は

$$V = \frac{2}{3} a \ell$$

で近似できると考え、Vの旬別変化を求めて図1.1.26に示す。

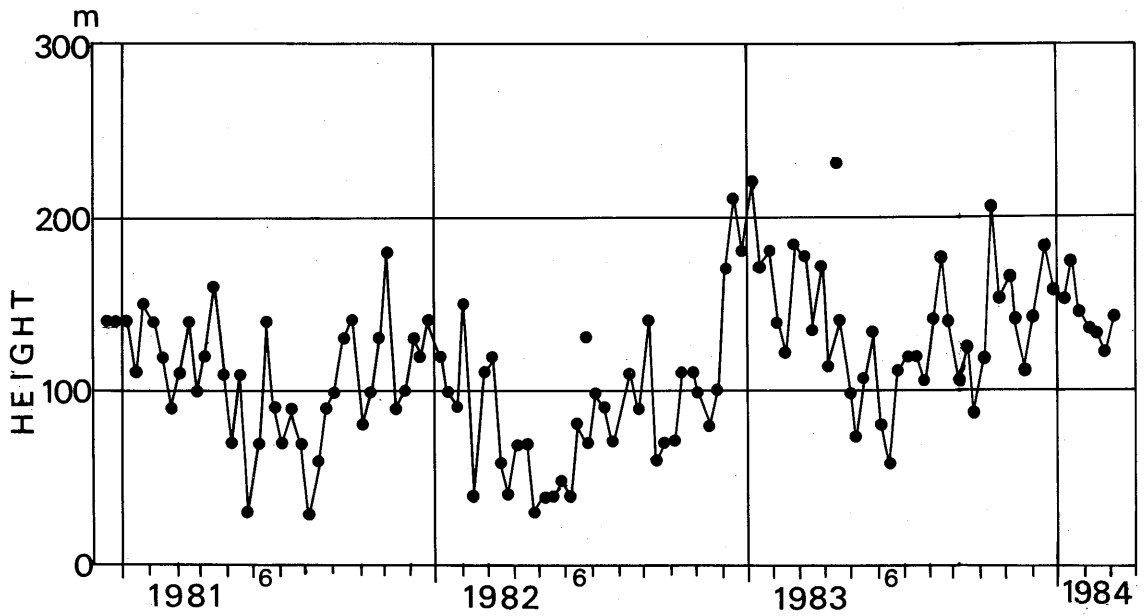


図1.1.23 噴煙の高さの変化

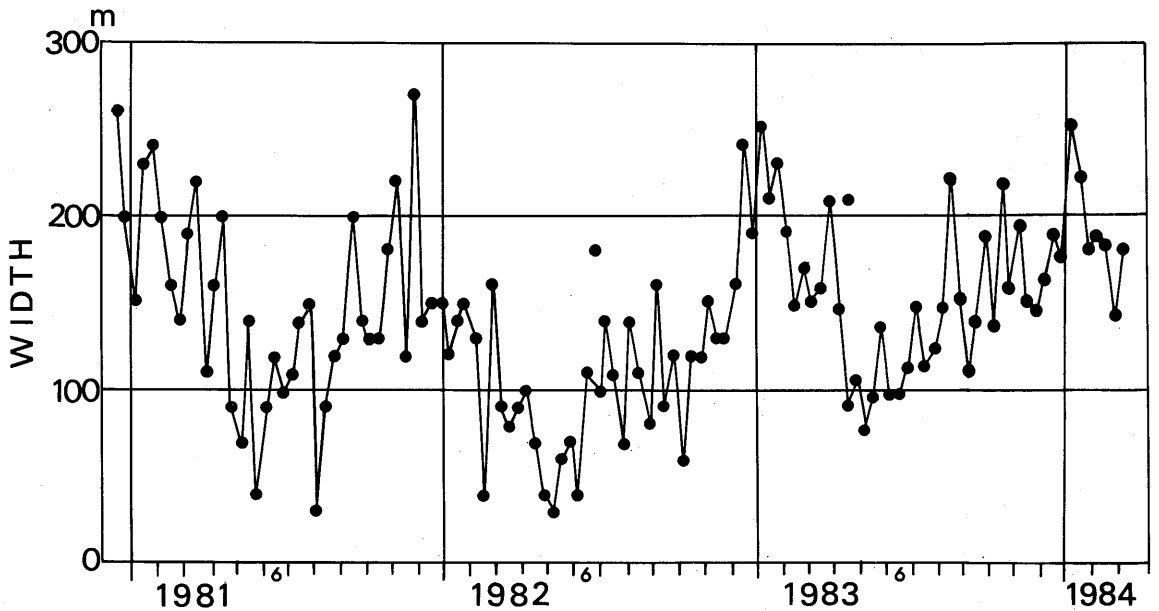


図1.1.24 噴煙の幅の変化

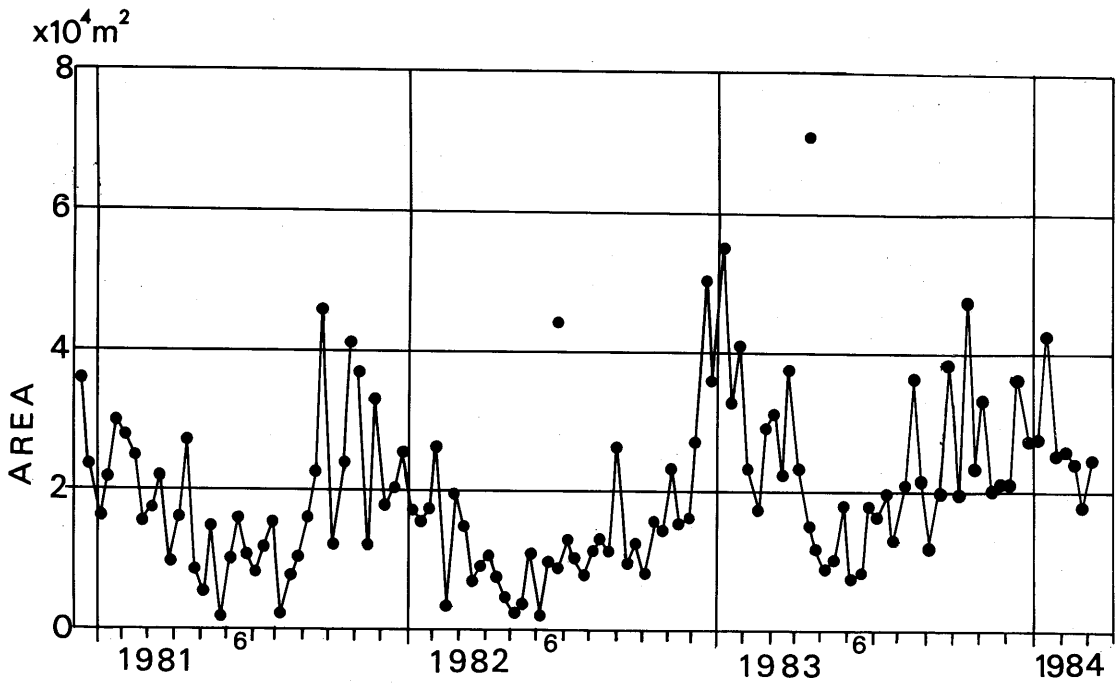


図1.1.25 噴煙量（垂直断面積）の変化

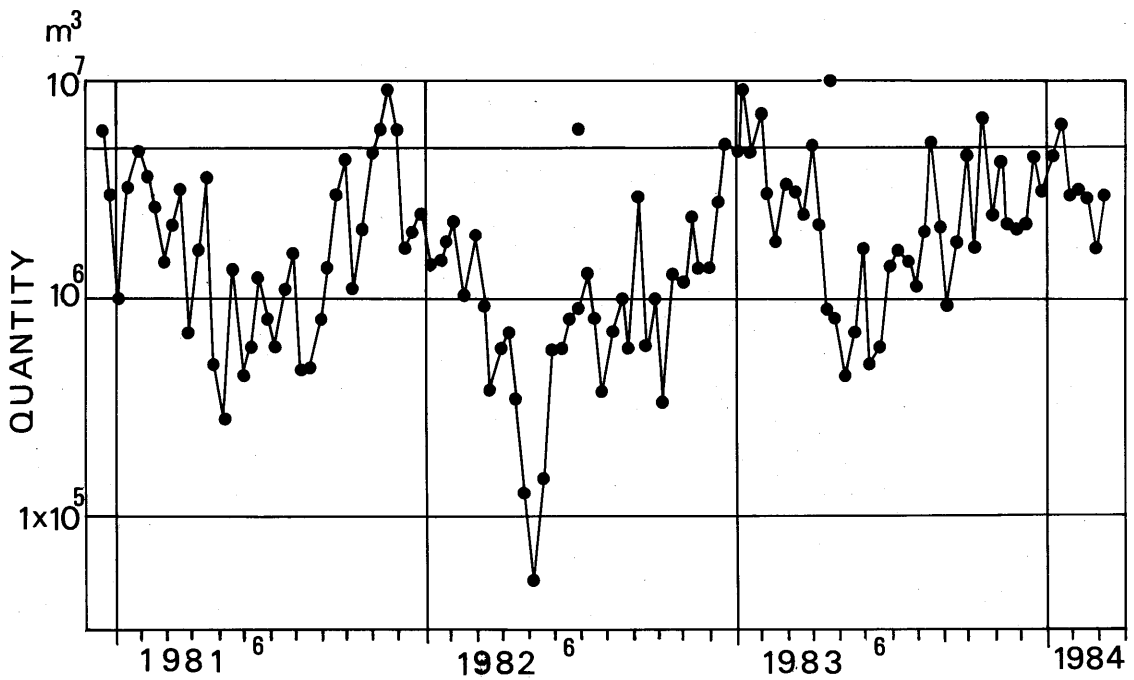


図1.1.26 噴煙量（体積）の変化

この観測実施期間中の阿蘇山の火山活動はきわめて静穏であり、噴火などはなかったが、図1.1.23～図1.1.26から、噴煙は冬期に多く夏期に少なくなるような年変化をしていることがわかる。この変動の原因は気象要素の変動によるものと考えられる。

噴煙の形状の年間の変動幅及び平均値（観測開始から1983年末まで）はおおよ次のとおりである。

$h = 50 \sim 200\text{m}$ （平均120m）

$\ell = 50 \sim 220\text{m}$ （平均140m）

$a = 5 \times 10^3 \sim 4 \times 10^4 \text{m}^2$ （平均 $2 \times 10^4 \text{m}^2$ ）

$V = 1 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6 \text{m}^3$ （平均 $2 \times 10^6 \text{m}^3$ ）

一方、 h と ℓ との関係は図1.1.27のとおりである。この図には表1.1.5には載せなかった観測値も用いてある。

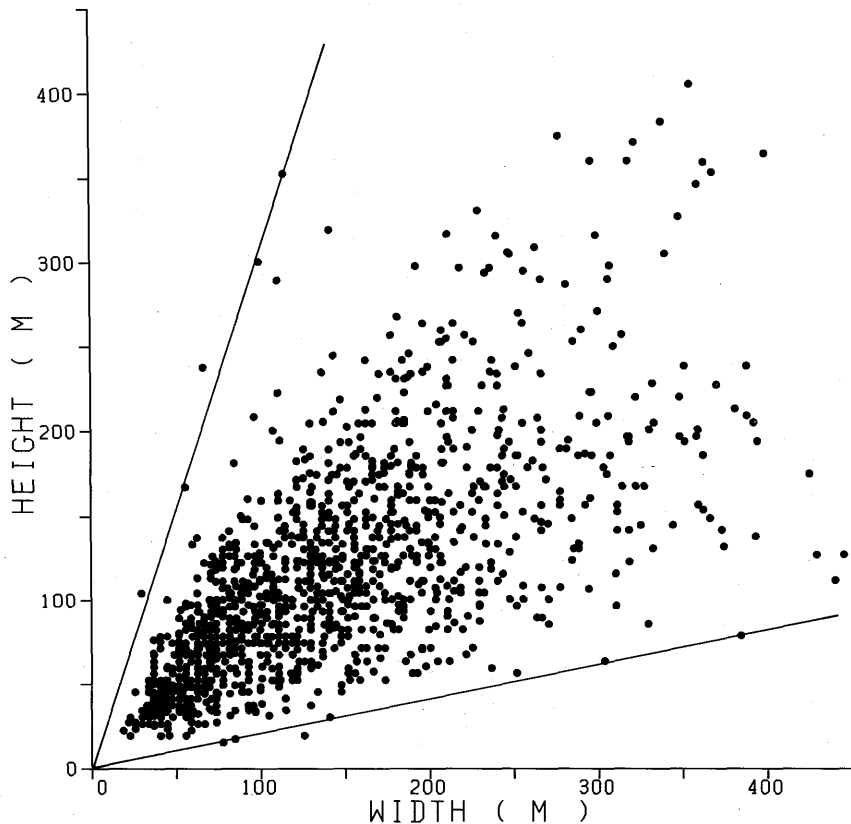


図1.1.27 噴煙の高さと幅の関係（1980年12月11日～1983年末）

なお、可視光検知装置で得られた噴煙の動画からは、噴煙の上昇速度を読み取ることができる

ので、噴煙の動く状態がよくわかる画像についてはそれを判読した。表1.1.6（本章末尾）は噴煙の上昇速度である。

この速度を測った噴煙の位置は観測小屋から火口縁を望んだ時、火口縁付近に見える噴煙であるため、火口底からは約150～200mの高さにあたる位置である。したがって、火口から放出した当初の噴出速度ではない。

観測された噴煙の上昇速度は1～8 m/sec、平均2.7m/secであった。

9.3 温度観測資料

9.3.1 観測資料の解釈

本研究で用いた赤外線検知装置は、温度検出機構に焦電型素子を使っているため、入射赤外エネルギーは、カメラの外側に取り付けた外部チョッパーの温度を基準として測られる。すなわち、温度測定のための対象物とチョッパーとの温度差を検出する構造になっている。そのため、測温対象物の温度が仮に一定であったとしても、赤外線検知装置周辺の気温が変化することによって、それに対応した測定値も見掛け上変化することはされない。

このことを考慮し、本装置を使って観測した熱映像からは、次の手順により温度を読み取り、解析した。

① 温度解析部を用い、熱映像から火口縁の最高温度 T_1 を求めるかわりに、温度検知部の外部チョッパーと火口縁の最高温度値との温度差 t_1 を読み取る。一般にチョッパーの温度 T_0 は T_1 より高くなっていた。

② 次に、熱映像から噴煙の温度の最高値 T_2 とチョッパーの温度 T_0 との差 t_2 を読みとる。

③ チョッパーの温度 T_0 はこの装置を設置してある観測小屋内の温度である。その小屋は阿蘇山測候所の露場近くにあり、しかもここでは夜間の観測資料について検討したので、小屋の温度は露場の気温に等しいとして解析を補足した。

④ また、 T_1 の実地観測は行われなかったが、たまたま1975～1977年に気象研究所が中岳火口北側で傾斜観測を実施した際に測った現地の温度の資料（田中・澤田1979）があるので、それを参考にして解析を補足した。

図1.1.28は03時と21時の t_1 （図の上段）、 t_2 （図の中段）の旬別最高値及び T_0 （図の下段）として03時の阿蘇山測候所における旬別最低気温をプロットしたものである。この図から、 t_1 と t_2 はともに夏期に低く（図の上、中段の実線）、冬期に高い年変化を、 T_0 はその逆の変化をしている（図の下段の点線）ことがわかる。 t_1 と t_2 の年間の変化幅はどちらも同じ程度で10数度あるように見えるが、これは真の温度並びに温度変化ではない。火口縁及び噴煙の真の温度 T_1 及び T_2 はそれぞれ、 $T_1 \div T_0 + t_1$ 、 $T_2 \div T_0 + t_2$ で近似できる。 T_0 は冬期 -10°C 、夏期 $+18^{\circ}\text{C}$ の年変化をしているので、その温度幅は 30°C 近くもある。 T_0 で火口縁や噴煙の温度を補正すると、図1.1.28に点線で示したように、 T_1 、 T_2 とも冬期に低く夏期に高い変化幅約 20°C の年変化が見られる。したがって、

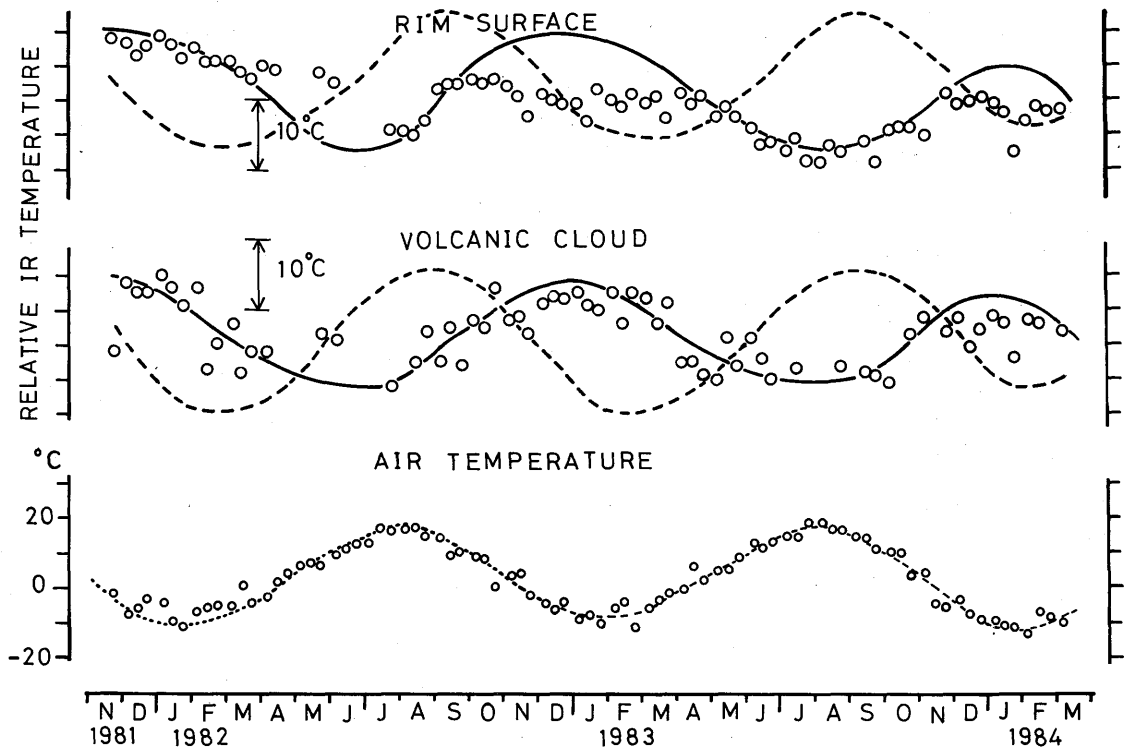


図1.1.28 火口縁表面、噴煙表面の旬別最高温度レベルと03時の旬別最低気温

T_1 、 T_2 とも、気温の影響を大きく受けていることがわかる。一方、上の④で述べた火口縁の03時と21時における平均温度は、冬期が約 2°C 、夏期が約 24°C でその間 22°C の幅を持つ年変化をしている。その形は図1.1.28上段の火口縁の温度変化図(点線)にほぼ合致していることから、本装置による温度観測は良好であることがわかる。したがって T_1 の平均値は $(24^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}) / 2 + 2^{\circ}\text{C} = 13^{\circ}\text{C}$ となる。

次に、観測時刻によって生ずる計測値の特徴を調べた。図1.1.29は1981年11月～1983年7月の観測時刻別 $T_1 - T_2 = t_2 - t_1$ の頻度分布である。日射の影響が大きい13時と15時、影響のない03時と21時の場合はそれぞれ類似しており、09時の形状は後者に近い。温度差の頻度の極大値は03時と21時が 0°C 付近、09時、13時、15時が 2°C 付近である。また、13時、15時では高温側での出現頻度が明らかに高く低温側への分布は低い。このことは日中の観測では太陽光が火口縁の温度を上昇させるため噴煙との温度差を検出できないこと、03時、21時には噴煙の温度が火口縁よりも高温となるのでその温度差を検出しているが、 0°C 付近の頻度が多いことから噴煙の温度そのものが余り高温ではなかったことを表わしている。なお、09時が夜間の結果と同様に低温側の出現頻度が多いことは日中ほど火口縁表面が太陽光で昇温しておらず、かつ噴煙が太陽光の直射を受け

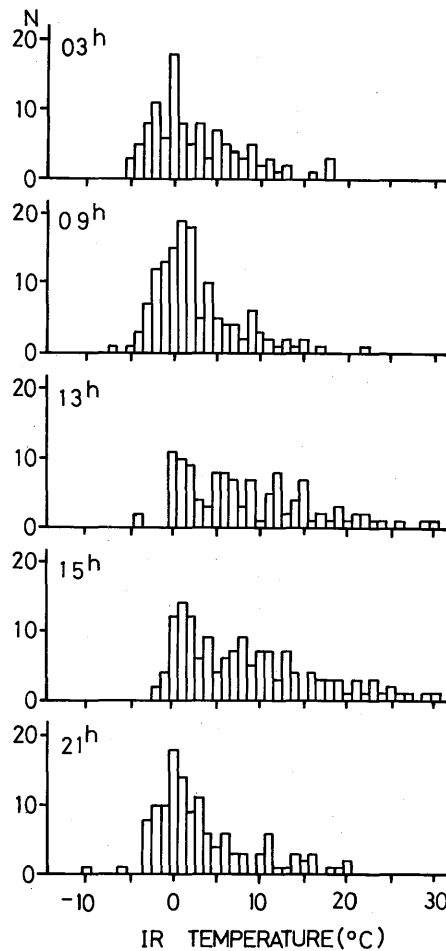


図1.1.29 火口縁と噴煙の観測時刻別温度差の頻度分布

たことの相乗効果によるものではないかと考えられる。

日射の影響のない03時と21時の $t_2 - t_1$ の値で、観測頻度の多い所を、図1.1.29から、 $-10 \sim +10^\circ\text{C}$ とすると、 $T_2 = T_1 + (t_2 - t_1) = 13^\circ\text{C} + (\pm 10^\circ\text{C})$ で、 T_2 の平均値は 13°C 、年変化幅はおよそ $3^\circ\text{C} \sim 23^\circ\text{C}$ となる。

9.3.2 噴煙の温度変化と火山活動

図1.1.30の下段には火口縁と噴煙との温度差の旬別最大値($T_1 - T_2 = t_2 - t_1$)がプロットしてある。同図の上段と中段には、下段の温度を測った時点での t_1 と t_2 が示してある。 $t_2 - t_1$ (下段)の値は観測開始以来2年間で、じょじょに小さくなっているように見える。この現象は、噴煙の温度が火口縁の温度に近づいていることを示すものである。もし、火口縁の温度が毎年同じ程度の年変化をしているならば、上述の現象は、噴煙の温度が次第に上昇したとも解釈できる。

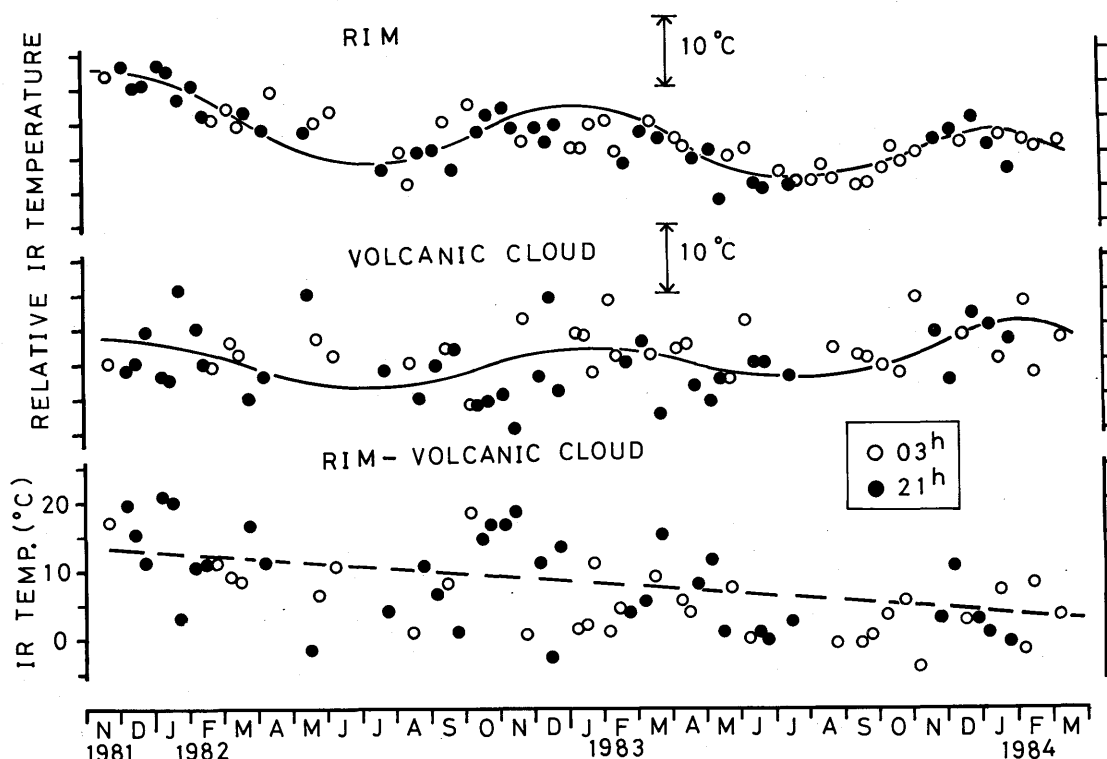


図1.1.30 火口縁と噴煙との旬別最大温度差（下段）とその時の火口縁（上段）、噴煙（中段）と観測小屋との温度差

図1.1.31は火口縁と噴煙との温度差の旬別最小値が現われた時の t_1 （上段）、 t_2 （中段）、 $t_2 - t_1$ （下段）をプロットした図である。

図1.1.30、図1.1.31とも、観測値のバラツキは大きい、似たような傾向が見受けられる。

9.4 火山ガス観測資料

9.4.1 検定信号

関連スペクトロメーターを用いて火口から放出される SO_2 ガスの量を長期にわたって測定しようとする際、ガス濃度検定用セルの濃度の経年変化が大きな問題となる。その検討のため、測定用データを読み取った観測時刻について検定セル濃度（高、低濃度）に対応する記録紙上の電圧出力値と、ゼロレベル（記録紙上のペン位置を電圧換算）をチェックした。また、20時に内蔵光源で測定している高濃度セルの出力とゼロレベルについても同様の方法でチェックした。

図1.1.32は記録紙の上に高、低濃度検定信号が入力した時のゼロレベルを水平及び上下走査の順で、観測時順にプロットした図である。一部にバックグラウンドとして SO_2 ガスが重畳したためシフトしている時期があるものの、全期間にわたり測定系のゼロレベルはほぼ一定であったと見

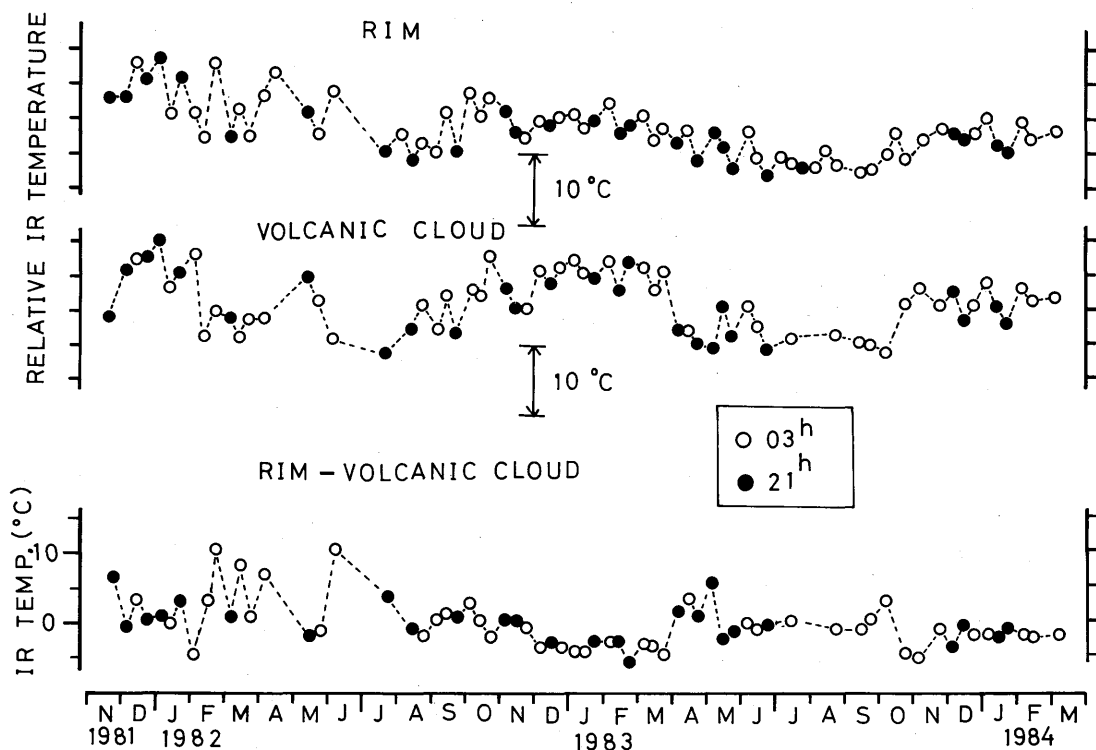


図1.1.31 火口縁と噴煙との旬別最小温度差（下段）とその時の火口縁（上段）、噴煙（中段）と観測小屋との温度差

なすことができる。

図1.1.33には観測時における高、低濃度検定セルの出力の日最大値の変化を示した。高濃度セルの出力は1982年10月下旬に観測を開始してからほぼ一定値を示していたが、1983年3月上旬以降次第に低下するようになってきた。低濃度セルの出力は変化幅が小さいものの同様の出力低下が見られる。しかし、9月下旬以降両者とも出力低下が鈍化し、12月以降は高濃度セルの出力の変動幅が大きくなった。また、図1.1.34には毎日20時の内蔵光源による高濃度検定セルの出力とゼロレベルの値の日別変化を示した。ゼロレベルは1983年1月～4月にわずかなシフトが見られるほかは全期間中ほぼ一定であった。ただし、高濃度セルの出力は1983年2月末以降出力低下が始まり、10月中旬まで続いた。しかしその後は出力の変動幅が大きくなり、出力値も一部回復する傾向が見られた。

観測時の高濃度セルの出力低下は1983年3月～9月で約0.4Vであるが、20時の場合は約1.2Vに及び、かつ低下の始まった時期がやや早い。これは、内蔵光源の方が、太陽光を光源とした場合より光源の状態が安定していることによるものであろう。

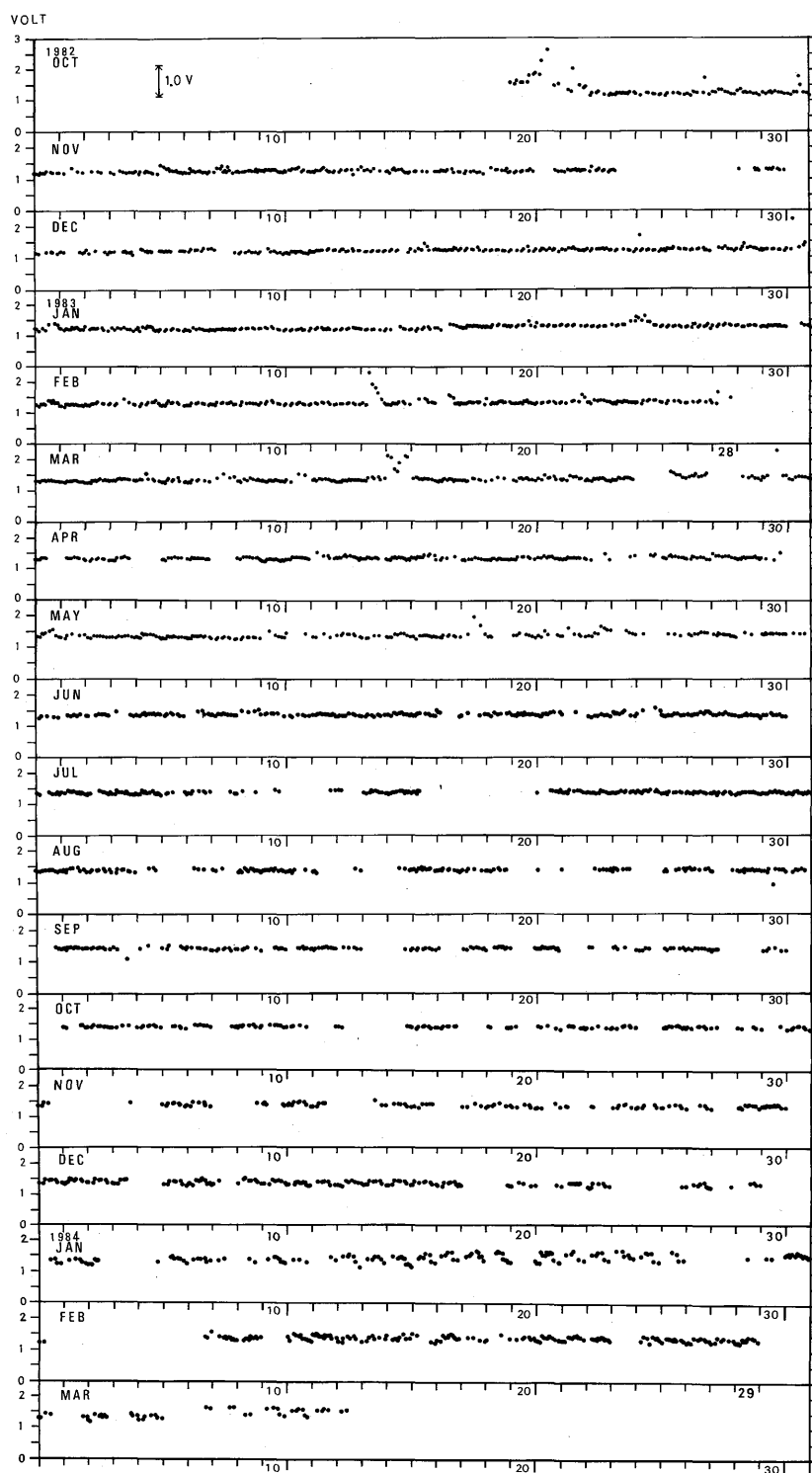


図1.1.32 観測時刻におけるゼロレベル変化

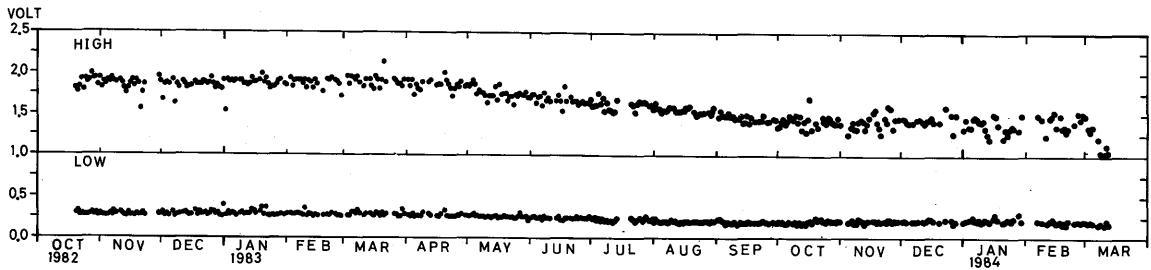


図1.1.33 観測時刻における高、低濃度検定セル出力の変化

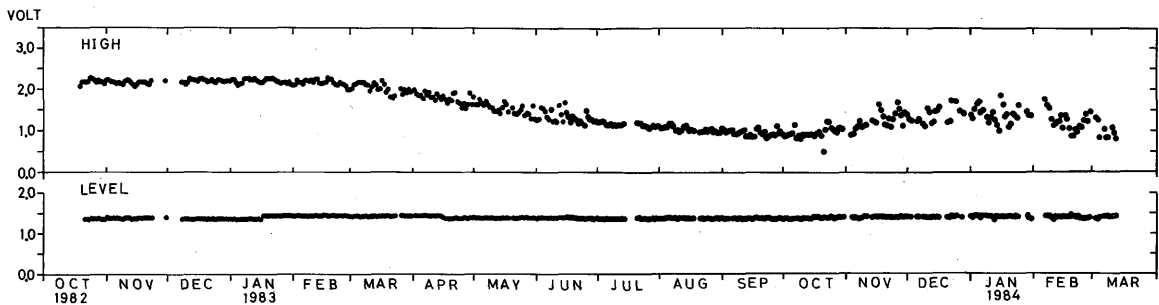


図1.1.34 毎日20時の内蔵光源による高濃度検定セル出力およびゼロレベルの変化

このような濃度検定用セルの出力が低下した原因としては、(1)光源入射軸のズレによる光源入射量の系統的な降下、(2)濃度検定用セルの濃度そのものの低下、(3)光電増幅管を含むエレクトロニクス系の検出感度の低下、(4)分光系のズレが考えられる。

これらを検討するため1983年10月9日、新しいセルを交換して観測に使用していたセルとの出力を比較した。結果を表1.1.7に示す。新しいセルの日本ジャスコインタナショナル社による検定結果（表中の検定濃度）は製造時濃度の約半分の値であった。

比較測定は内蔵光源を用いて機器のウォーミングアップを20分、内蔵光源点灯後15分後という

表1.1.7 SO₂セルの比較

種	類	製造時濃度 ppm-m	検定濃度 ppm-m	出力 mV	単位出力 mV/ppm-m
使用セル	高濃度	920	426	1,557	3.65
	低濃度	130	57	242	4.25
交換セル	高濃度	1,147	560	1,892	3.38
	低濃度	131	55	225	4.09

条件をおいて実施した。表の結果は3回の測定の平均値である。単位出力をみると、両セルで高濃度セルの値が低濃度の場合より小さい。これは分光測定では通常高濃度側の出力が完全に直線的ではないという傾向を反映しているものであろう。両セルの単位出力の数値を比較すると新しいセルの値の方が数%小さくなっているが、少なくとも両者の値が著しく異なるという結果ではなく、ほぼ同様の結果が得られたとみなすことができよう。したがって、これまで観測に使用していたセルの濃度に著しい濃度低下がなかったこととなる。

このため、セル濃度出力の変動の原因としては上述の(1)、(3)、(4)が残るが、(1)については機構上調整部分がなく固定されていること、また、(3)については前述のようにゼロレベルがほぼ一定であったことからそれぞれ考えにくいので、(4)が主な原因であると思われる。

セル濃度の数値が大きく低下することがなかったことは、観測に使用していたセルを製造後約半年を経過した時点で検定して使用していたものであるので、セル内でのSO₂ガスの吸着などがすでに平衡状態に達していて数値が安定したことを示すものであろう。

比較測定後は再び従来使用していたセルを取り付けて観測を続け、分光系の調整は行わなかった。その後わずかながら出力値の回復が見られる(図1.1.33、図1.1.34)本研究におけるSO₂の観測は火山ガス検知部が噴煙を水平及び上下走査する前後に高・低濃度のSO₂セルの出力を検定し、噴煙のガス濃度を算出している。したがって見かけ上のセル濃度の低下は測定値にも同様に影響するので測定値を補正しないですむ。

なお、表1.1.7の比較測定で示されたように高濃度側の出力は必ずしも直線的ではない。このため測定結果がほぼ500ppm-mを越えるような高濃度の観測値については数値として取扱う上で注意が必要である。

9.4.2 噴煙中のSO₂濃度の変化

図1.1.35はSO₂濃度の変化を示したものである。火山ガス検知部が噴煙を水平及び上下に走査してSO₂濃度を測定した値の中から日別に最大値を選び、さらに、それを旬別に平均したものを黒丸で、日別平均値をとり、さらにその旬別の平均値を白丸で示してある。観測期間中にSO₂濃度は最低10ppm-m付近から最高1100ppm-m付近までの広い範囲で変動した。ただし、前節でも述べたように、500ppm-m以上の値は不正確かもしれない。なお、観測開始から1983年末までのSO₂濃度の平均値は310ppm-mであった。

観測期間中にSO₂濃度が高くなったのは、観測初期の1982年10～11月、1983年9月以降である。火山活動は一貫して静かな期間だったので、この濃度変化は気象要素による季節変化かもしれない。気象要素が原因でSO₂濃度が増加する機構としては、風向きによって火口から上がる噴煙や火山ガスが、火口と観測小屋との間に吹き寄せられて、観測値が増大することも考えられる。

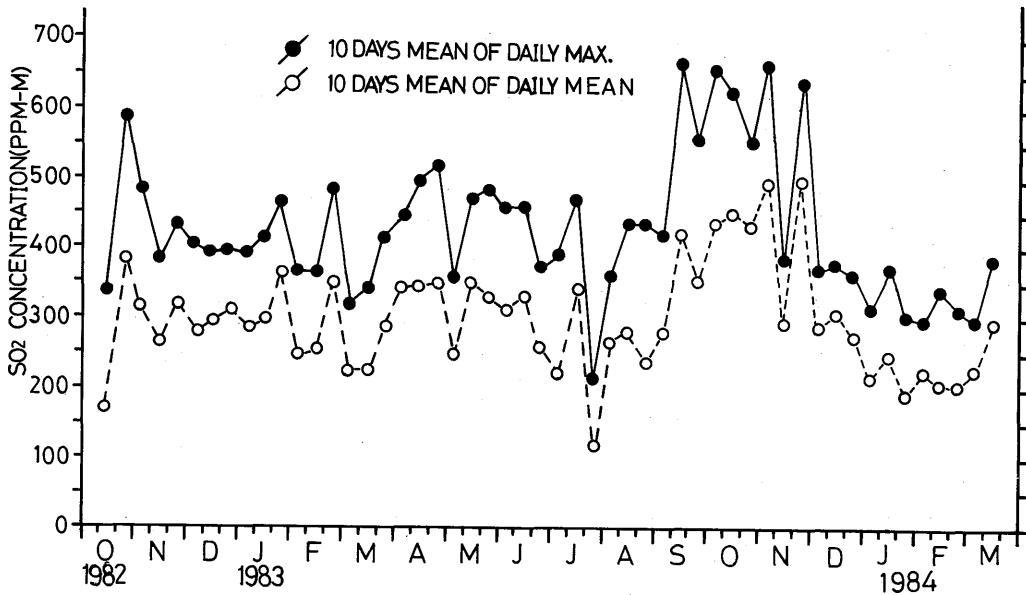


図1.1.35 SO₂濃度 (ppm-m) の旬別時間変化

10. 噴煙によって放出される水蒸気・熱・SO₂量

火山灰等の固形物を含まない火山噴煙は、地中の高温高压の水蒸気を含むガス体が低温低压の大気中に放出され、周囲の空気と混合、冷却、膨張しながら浮力によって上昇し、水蒸気が凝結して可視可能となる現象である。この節では、いくつかの仮定をおいて、熱及び質量保存則により、平均的な噴煙によって放出される水蒸気量・熱量・SO₂量を推定した。

10.1 噴煙によって放出される水蒸気量・熱量の保存則による推定の方法

噴出する噴煙の状態に、次のような仮定をおく。

① 火山噴煙中のH₂O以外の成分は無視できるとする。本研究の観測期間中には降灰を伴うような噴煙はなかった。一般に火山ガス中の水蒸気以外の成分(SO₂、CO₂等)は数Vol.%以下である。

② 地中の高温高压の火山ガスが大気中に放出された後、瞬間的に外気と混合して外気圧と平衡に達し、まだ凝結を始めない段階を初期状態と考える。現地観測によれば、初期状態に相当すると考えられる噴気孔での水蒸気の温度は80℃で、本研究期間中変化は見られなかった。初期段階において含まれる水蒸気量のうち外気から混入したものの割合は外気温が30℃でも数%以下であり、放出水蒸気量を求める際、無視した。

③ 初期状態のガス塊はさらに外気と混合して凝結を始め、噴煙として観測されたとする。

④ 放出された H_2O は観測されている噴煙において、すべて可視可能な噴煙内部に含まれ、噴煙は飽和状態にあるとする。この拡散消滅し始める前の噴煙の状態を観測している。

⑤ 噴煙は外気と平衡を保ちながら上昇するものとする。

⑥ 観測された噴煙の上昇高度は高々200~300mであるので、気圧は噴煙中心の高度で代表させる。

⑦ 噴煙は一定の速度で上昇しているとする。

温度 T_0 、体積 V_0 を有する初期状態におけるガス塊が、温度 T_e 、体積 V_e の外気と混合し、温度 T 、体積 V で観測された噴煙を形成していると考え、エネルギー保存の式、乾燥空気の質量保存の式及び H_2O の質量保存の式は次のように書ける。

$$\begin{cases} \{C_v w_0 + C_d (\rho_0 - w_0)\} V_0 T_0 + \{C_v w_e + C_d (\rho_e - w_e)\} V_e T_e \\ = \{C_v w + C_d (\rho - w)\} V T + C_v T W_e - L(T) W_e \dots\dots\dots(1) \\ (\rho_0 - w_0) V_0 + (\rho_e - w_e) V_e = (\rho - w) V \dots\dots\dots(2) \\ w_0 V_0 + w_e V_e = w V + W_e \dots\dots\dots(3) \end{cases}$$

但し C_v : 水蒸気の定圧比熱 ($2.0 \times 10^3 \text{ J/K} \cdot \text{kg}$)

C_d : 乾燥空気の定圧比熱 ($1.0 \times 10^3 \text{ J/K} \cdot \text{kg}$)

$L(T)$: 水の気化熱 $L(T) = 2.490 \times 10^6 - 2.13 \times 10^3 t \text{ J/kg}$

ここで t は $^{\circ}\text{C}$ で表わした温度

この他の記号については次の表に示した。括弧内に次項で使用した値を付した。

	初 期 状 態	外 気	噴 煙
体 積 V	V_0	V_e	V ($1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$)
温 度 T	T_0 (353K)	T_e (281K)	T (284K)
圧 力 P	$P_0 = P_e$	P_e (865mb)	$P = P_e$
密 度 ρ	ρ_0 (0.677kg/m ³)	ρ_e (1.068kg/m ³)	ρ (1.057kg/m ³)
水蒸気密度 w	w_0 (0.293kg/m ³)	w_e (0.006kg/m ³)	w (0.009kg/m ³)
水 蒸 気 圧 e	e_0 (474mb)	e_e (8 mb)	e (13mb)
相 対 湿 度 H	H_0 (100%)	H_e (80%)	H (100%)
水 滴 量	—	—	W_e

(1)~(3)式より、初期状態におけるガス塊の体積 V_0 は

$$V_0 = \frac{(\rho_e - w_e) A - (\rho - w) A_e}{(\rho_e - w_e) A_0 - (\rho_0 - w_0) A_e} V \dots\dots\dots(4)$$

但し、 $A_0 = C_d T_0 (\rho_0 - w_0) + \{L(T) + C_v (T_0 - T)\} w_0$

$$A_e = C_d T_e (\rho_e - w_e) + \{L(T) + C_v (T_e - T)\} w_e$$

$$A = C_d T (\rho - w) + L(T) w$$

から求められる。

又、凝結を無視した場合

$$V_o = \frac{\rho w_e - w \rho_e}{\rho_o w_e - w_o \rho_e} V \dots\dots\dots(4)$$

となる。

⑦の仮定により高さhの噴煙は、上昇速度をvとしてh/vの時間で形成されたと考えることができる。すると単位時間当りの水蒸気放出量 $\dot{W}$ は、仮定②に述べたように、初期段階において外気より混入した水蒸気量を省略して

$$\dot{W} = \frac{w_o V_o}{h/v} \dots\dots\dots(5)$$

となる。

噴煙によって放出される熱量 $\dot{Q}$ は、初期段階で混合した空気 $(\rho_o - w_o) V_o$ に与えられた熱量を考慮して、

$$\dot{Q} = \{C_v (T_o - T_e) w_o + L(T_o) w_o + C_d (T_o - T_e) (\rho_o - w_o)\} \frac{V_o}{h/v} \dots\dots\dots(6)$$

から求められる。

10.2 阿蘇山における噴煙によって放出される水蒸気量・熱量

(4)~(6)式を本研究期間中の阿蘇山の平均的な噴煙に適用し、その平均放出水蒸気量及び平均放出熱量を求めた。

第9節で与えられた平均的な噴煙に関する状態量は次のようになる。

	平均値
高さ h	120m
幅 ℓ	140m
断面積 a	$2 \times 10^4 \text{m}^2$
体積 V	$1.8 \times 10^6 \text{m}^3$
上昇速度 v	2.7m/s
温度 $T_{\max}$	13°C
SO ₂ 濃度 $s_{\max}$	310ppm-m

前項の表に記した噴煙に関する状態量中、温度Tは、観測された温度が噴煙中の最高温度 $T_{\max}$ であるので、 $T = (T_{\max} + T_e) / 2$ とした。仮定④、⑤により、密度等が求められる。前項②で述べ

たように初期状態における温度は80°Cであり、仮定②により密度等が求められる。

外気の気圧 P_e 、温度 T_e は、阿蘇山測候所における1981～83年の平均値（気圧886.4mb、気温9.3°C）より、噴煙中心と測候所の高度差200m（中央火口高度+噴煙の高さ×0.5—測候所高度）、気温減率を6.5deg/kmとして与えた。又、相対湿度 H_e についても阿蘇山測候所における1981～83年の平均値82%を考慮して80%とおいた。 ρ_e 、 w_e 、 e_e は T_e 、 P_e 、 H_e から求められる。

本研究期間中の噴煙による平均放出水蒸気量 $\dot{W}$ 、平均放出熱量 $\dot{Q}$ は、上記平均値を(4)～(6)式に当てはめることにより、

$$V_o = 0.0133V$$

$$\dot{W} = 1.6 \times 10^2 \text{ kg/s} \dots\dots\dots (7)$$

$$\dot{Q} = 4.1 \times 10^8 \text{ J/s} \dots\dots\dots (8)$$

と求められる。ここで $w_o V_o = 7.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 、 $w_e V_e = 11.7 \times 10^3 \text{ kg}$ 、 $W_e = 1.3 \times 10^3 \text{ kg}$ となり、噴煙中への外気の混入の効果は大きく、又凝結の効果は数%程度きいてくることがわかる（凝結を無視した場合 $\dot{W} = 1.3 \times 10^2 \text{ kg/s}$ 、 $\dot{Q} = 3.3 \times 10^8 \text{ J/s}$ 、混合も無視した場合 $\dot{W} = 3.9 \times 10^2 \text{ kg/s}$ 、 $\dot{Q} = 9.7 \times 10^8 \text{ J/s}$ となる）。

(5)式において、噴煙は連続的に放出されとしたが、現実には間欠的に放出されることが多い。噴煙が放出されている割合を α （噴煙の放出率と呼ぶ）とすると、平均放出水蒸気量 $\dot{W}$ は、

$$\dot{W} = \alpha \cdot \frac{w_o V_o}{h/v} \dots\dots\dots (5')$$

となる。 $\dot{Q}$ も同様に修正される。 α がどの程度の大きさになるか問題となる。

図1.1.36のように噴煙の形状を6つの型及び噴煙なし（TYPE 0）に分類し、その発生率を求めた（09時の観測による）。また、各TYPEに対する、 α は観測時間に対する噴煙の噴出継続時間から与えた。

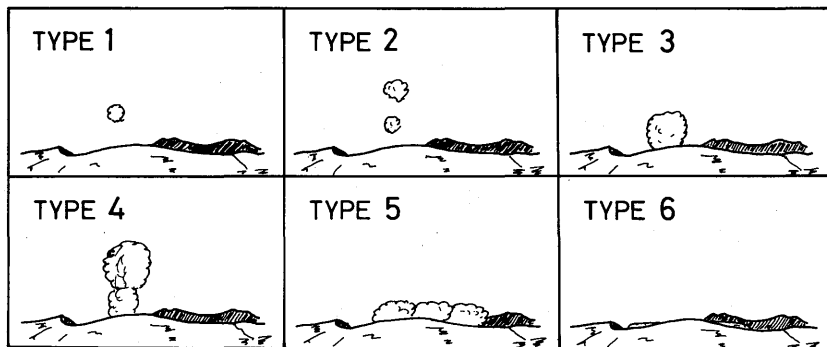


図1.1.36 噴煙上昇の形別分類

TYPE	0	1	2	3	4	5	6	計
FREQUENCY (%)	211 (32)	53 (8)	159 (24)	125 (19)	37 (6)	67 (10)	3 (1)	655 (100)
α	0	0.1	0.5	1	1	1	1	

この表から、噴煙の平均出現率としての α は0.5となる。この数値を用いて、(7)、(8)を補正すると、

$$\dot{W}=7.9 \times 10^4 \text{ kg/s} \dots\dots\dots (9)$$

$$\dot{Q}=2.0 \times 10^8 \text{ J/s} \dots\dots\dots (10)$$

となる。

なお、噴出初期の温度 T_0 、外気の温度 T_e 、相対湿度 H_e 及び噴煙の温度 T の違いによって、 $\dot{W}$ 、 $\dot{Q}$ は次のように変化する。

$$\Delta T_0 = \pm 10^\circ\text{C} \rightarrow \Delta \dot{W} = \mp 1\%, \Delta \dot{Q} = \mp 2\%$$

$$\Delta T_e = \pm 1^\circ\text{C} \rightarrow \Delta \dot{W} = \mp 25\%, \Delta \dot{Q} = \mp 25\%$$

$$\Delta H_e = \pm 10\% \rightarrow \Delta \dot{W} = \mp 25\%, \Delta \dot{Q} = \mp 25\%$$

$$\Delta T = \pm 1^\circ\text{C} \rightarrow \Delta \dot{W} = \pm 30\%, \Delta \dot{Q} = \pm 30\%$$

ΔT_0 に対する、 $\Delta \dot{W}$ 、 $\Delta \dot{Q}$ は他の量による変化に比べて小さく、 T_0 の測定がない時も、 100°C と仮定して $\dot{W}$ 、 $\dot{Q}$ を求めても大差はない。今回適用した方法では、気象要素の観測を並行して行うことが重要となる。

噴煙によって放出される熱量の推定にBriggs (1969) による plume rise の式

$$\dot{Q} = 1.1 \times 10^5 \frac{h^3 u^3}{x^2} \quad (\text{J/s}) \dots\dots\dots (11)$$

u : 風速 (m/s)

h : 熱源からの水平距離 x (m) の点における煙の高さ (m)

を用いることが試みられている (鍵山、1978)。噴煙は風と同じ速度で移動するものと仮定して、この方法を適用してみる。

上の仮定により

$$x = u\tau$$

ここで τ は噴煙が出現している時間で、上昇速度 v を用いると

$$\tau = \frac{h}{v}$$

以上より(11)式は

$$\dot{Q}=1.1 \times 10^5 v^2 h u \cdots \cdots \cdots (12)$$

と変形できる。uとして阿蘇山測候所の1981～83年の平均値4.6m/sを用い、h、vは(7)、(8)で用いたものを使うと

$$\dot{Q}=4.4 \times 10^8 \text{ J/s} \cdots \cdots \cdots (13)$$

となる。この値に対しても噴煙の放出率 α による補正が必要であり、これによって求められる値は(10)で求めたものに一致する。しかし、Briggsの式は平均的な大気状態に対する実験式であり、噴煙の温度及び大気の状態が観測される場合、今回用いた方法(4)～(6)（あるいは(4)(5)(6)）で $\dot{W}$ 、 $\dot{Q}$ を求めることがより望ましく、噴煙量の季節変化を考慮することができる。Briggsの式の適用は、可視光検知装置で得られる資料のみから求められることに利点がある。

10.3 噴煙によって放出されるSO₂量の推定

幅 ℓ を持った噴煙が、上昇速度vで連続的に放出されているとする。噴煙中の視線方向の気柱の平均SO₂濃度 $\bar{s}$ を用いると、単位時間当りのSO₂放出量 $\dot{G}$ は

$$\dot{G}=k \bar{s} \ell v \cdots \cdots \cdots (14)$$

で求められる。ここでkは体積濃度を重量濃度に換算するための係数で

$$k=2.86 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3 \text{ ppm} \cdots \cdots \cdots (15)$$

である。

本研究で測定されたSO₂濃度は噴煙中の最高濃度で $s_{\max}$ であった。噴煙は鉛直方向を軸とする回転体であると仮定すると、

$$\bar{s}=\frac{\pi}{4} s_{\max}$$

となる。10.2の表で与えた値を用いると

$$\dot{G}=0.27 \text{ kg/s}=23 \text{ ton/day} \cdots \cdots \cdots (16)$$

となる。 $\dot{W}$ 、 $\dot{Q}$ と同様に放出率 α による補正を施すと

$$\dot{G}=0.14 \text{ kg/s}=11 \text{ ton/day} \cdots \cdots \cdots (17)$$

となる。この結果は、1976～77年の比較的静穏ではあるが、時々小噴火を起こした時期に測定された値50～80ton/day（太田他、1978）と比べオーダーは同じではあるが、値は小さい。

H₂OとSO₂の質量比は(9)、(17)より600：1となった。この値は、他のいくつかの火山で求められた値10～10³：1（鍵山、1978）に含まれている。

今回得られた放出水蒸気量、熱量、SO₂量は阿蘇火山の静穏期を代表するものと言える。

11. 噴煙塊の温度分布

噴煙の熱映像は噴煙塊表面の温度分布を示すが、同時に、ある程度噴煙塊内部の熱分布をも反映する。図1.1.37は赤外線検知装置で得られた噴煙熱映像（口絵写真3）にもとづく噴煙塊の温

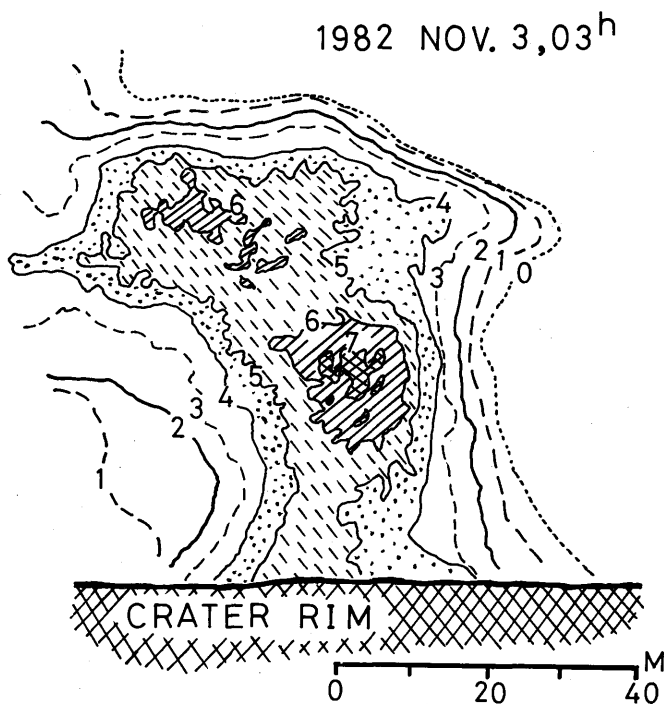


図1.1.37 口絵写真2の熱映像内の噴煙塊の温度分布。数字は相対的な温度差(°C)である。

度分布の例である。噴煙の高さは約70m、火口縁と噴煙との温度差は6°Cで、このときは火口縁の温度が高く現われている。噴煙塊の温度分布において最高温度を示す領域は火口縁上約30mにあり、噴煙の外縁との温度差は7°Cである。噴煙の表面温度が最高値を示す領域は噴煙塊の主要部であると考えられるが、通常は火口縁付近に位置することが多い。図1.1.37の場合は風が弱く、かつ下方から噴煙が連続して上昇したような状況での噴煙塊である。

また、噴煙の熱映像により噴煙の外形を判別することもできる。図1.1.38は赤外線映像装置(4.2.3項、図1.1.8)による熱映像(口絵写真4)にもとづく噴煙塊と火口縁の温度分布の例である。観測小屋わきから撮影したもので、風は殆んど無く、撮影視野内にはうすい雲がわずかにあり(雲量2)、周辺気温は11.2°C、やや太陽の直射があった(図中の白、黒矢印は次の図1.1.39と対応する位置を示す)。視野内の雲は、雲より高温域を抽出することで除去でき、噴煙外形には殆んど影響が無かった。噴煙の高さは約280mで、塊状の噴煙の上昇が繰り返されていた。太陽光の直射がやや付加されているものの、上昇してきた噴煙塊(A)が火口縁付近で最高温度を示すこと、その前に上昇した噴煙塊(B)がやや高温を保ちつつ拡散すること、さらにその前の噴煙塊(C)が消散直前である状況、そしてそれぞれの温度分布や形状の変化を把握できる。

また、図1.1.39は同じく赤外線映像装置による夜間の温度分布図の例である。観測小屋わきか

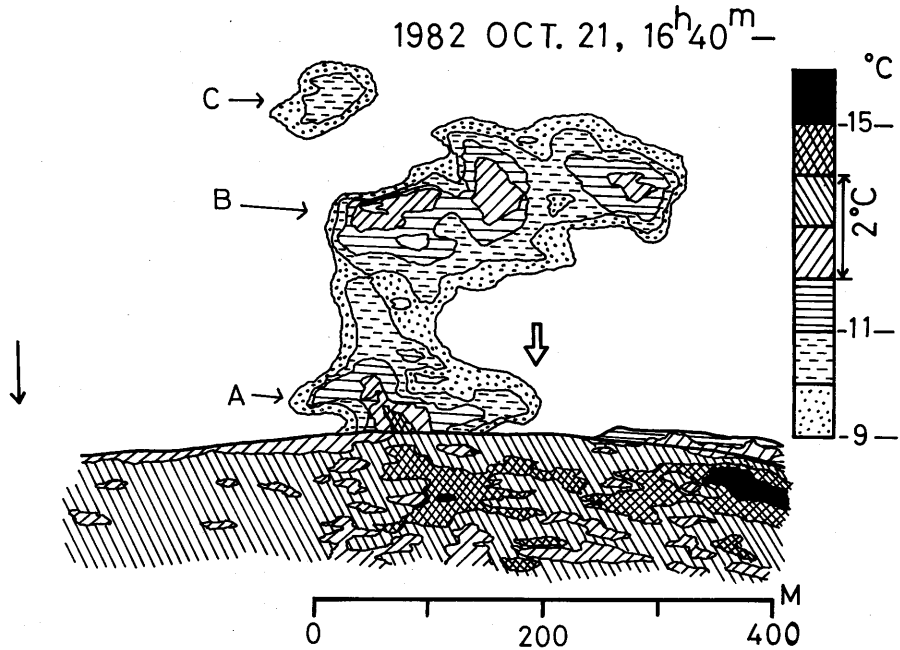


図1.1.38 口絵写真3の熱映像にもとづく噴煙塊、火口縁の温度分布。白、黒矢印は図1.1.39との位置関係を示す。

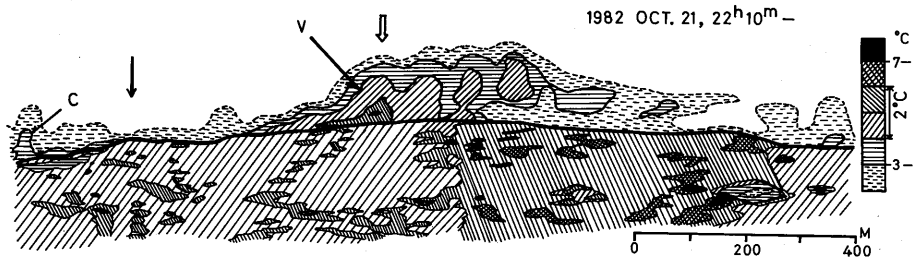


図1.1.39 赤外線映像装置による1982年10月21日22時10分～18分の熱映像

ら撮影し、風は弱く、周辺気温は8.2°C、暗夜であった。熱映像中に高岳の地形が見えないこと、図中Cと印した低温側の温度域が火口上にもあることから火口上ないし後方には低層の雲か霧があったと思われる。その中に図中Vと印したやや高温の領域の移動が見られ、火口付近にはさらに高温部があるのでVと印した領域が噴煙塊であろう。したがって後方に雲が存在していても熱映像によって噴煙外形とその移動状況を把握することが可能である。

12. 噴煙の色調処理

可視光検知装置で噴煙を検出する際、周辺の雲と噴煙との判別が問題となる。口絵写真4は可視光検知装置による噴煙の観測状況で、周辺に雲が多いものの噴煙の判別が可能である。そのスケッチを図1.1.40に示すが、図中A、Bは人間が判別した噴煙塊で、噴煙の高さ、幅、面積は、

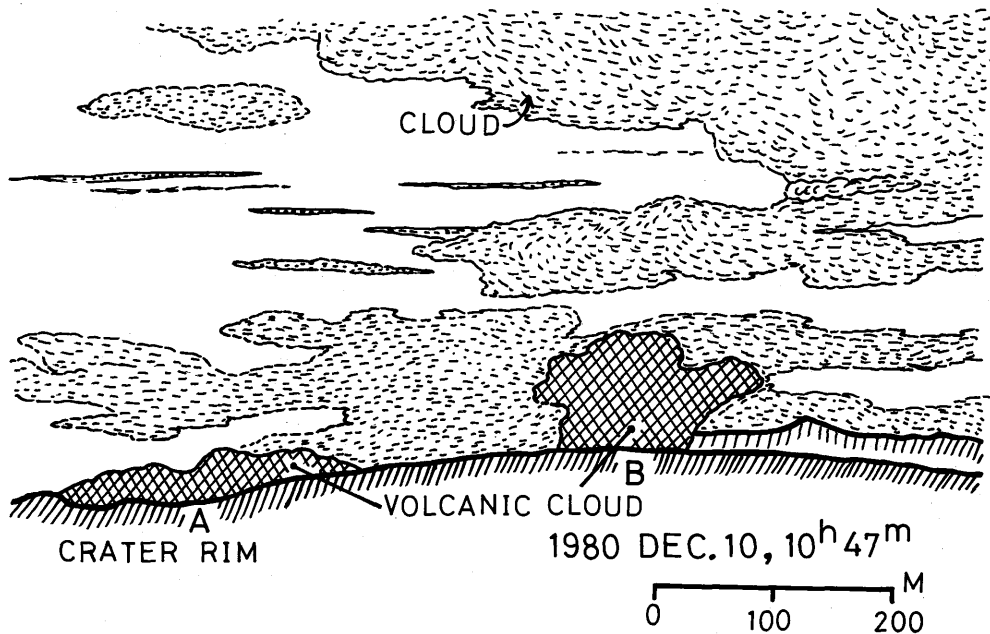


図1.1.40 口絵写真4の可視画像のスケッチ。A、Bが噴煙。

Aではそれぞれ40m、260m、 $70 \times 10^2 \text{m}^2$ 、Bでは100m、190m、 $170 \times 10^2 \text{m}^2$ である。

4.1.4項、図1.1.7に示した色調処理器で可視画像出力をR、G、Bの3色調信号に分離した上で周辺の雲との分離を行いカラー表示した結果が口絵写真5である。図1.1.41にはその結果を相対的な色調レベルで表わした。周辺の雲との分離の際、Rを消去ないし極く低いレベルに置き、Gを強調し、Bは低レベルにした時が、噴煙を抽出する上で効果があった。このことは、TVカメラ撮像管ではG領域がR、Bと比べて感度が高いという一般的な特性のほかに、噴煙塊表面における太陽光散乱の状況が雲と異なることも反映しているのであろう。図1.1.41の抽出した噴煙A、Bは、人間が判別した広がりより10%ほど小さい。しかし、図1.1.41で14と表示した領域も含めると周辺の雲や火口縁内にも同じレベルの領域が現われてくる。

なお、噴煙塊が薄い場合には当装置による雲と噴煙の差のエンハンスメントや、人間による判別は困難である。将来、撮像カメラなどの波長特性を考慮する必要がある。

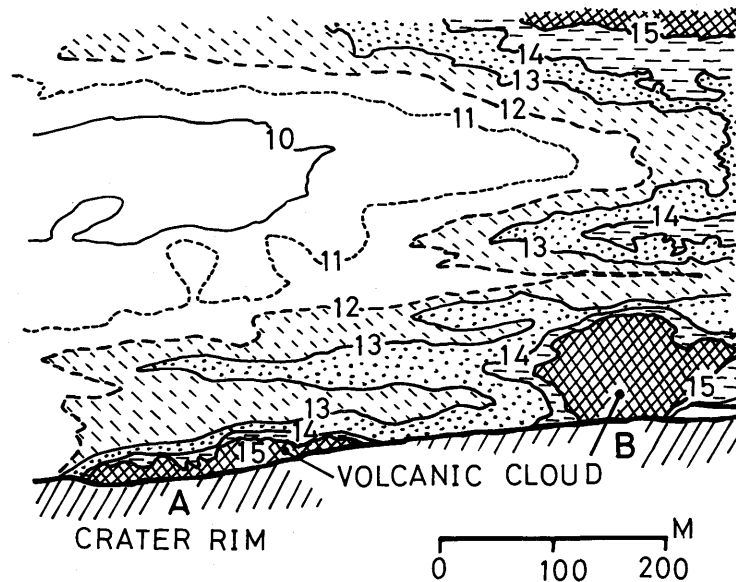


図1.1.41 口絵写真5で示した解析例にもとづく相対的な色調のレベル (各数字)

13. ま と め

可視光、赤外線、紫外線を用いた噴煙観測システムを開発し、阿蘇山へ設置して観測を行った。可視光では噴煙の色、量、高さ、幅、噴出速度等を、赤外線では噴煙の温度を、紫外線では噴煙中の SO_2 濃度を観測するようにした。

観測装置は噴煙がよく見える無人小屋に設置した。観測はコントローラーによって自動的に行われ、観測資料は阿蘇山測候所の現業室へテレメーターされ、テレビ画面でモニターされると同時に、テープ等に記録された。

一方、気象研究所には噴煙資料の解析部をおき、阿蘇山測候所から送られたテープ等を解析した。

阿蘇山の噴煙は従来、阿蘇山測候所により、主として目視観測が行われていたが、この装置を用いると観測精度が格段と良くなることがわかった。また、従来は全く手がつけられていなかった噴煙の温度や、噴煙中の SO_2 等も観測できるので、火山活動と噴煙活動との関係を明らかにするために、有望な装置である。さらに、この装置は、気象官署から火山が見えない場合にも、観測装置を火山の見える所に置き、そこから官署までテレメーターすることによって、噴煙の遠望観測を可能にする。

この特別研究実施中(1980~1984年)の阿蘇山の火山活動は静穏であったので、平穏時における噴煙活動の状況を把握することができた。すなわち、噴煙は気象要素の影響を受けて冬期に多

く、夏期に少なくなるような年変化をしている。平均的な測定量としては次のように求められた。

噴煙の高さ120m、噴煙量 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、噴煙の温度 13°C 、噴煙中の SO_2 量 310 ppm-m

また、噴煙によって放出される水蒸気量は $7 \times 10^3 \text{ ton/day}$ 、熱量は $5 \times 10^7 \text{ cal/sec}$ 、 SO_2 量は 11 ton/day と推測される。

〔付〕 火口周辺の光波測量

阿蘇山には昭和49～53年度気象研究所特別研究「火山噴火予知の研究」に関連して設けられた測量網（図1.1.42）がある。これを利用し、昭和50～53年度の特別研究期間中、ジオジメーターAGA—6BLにより辺長測量を年1回実施した。

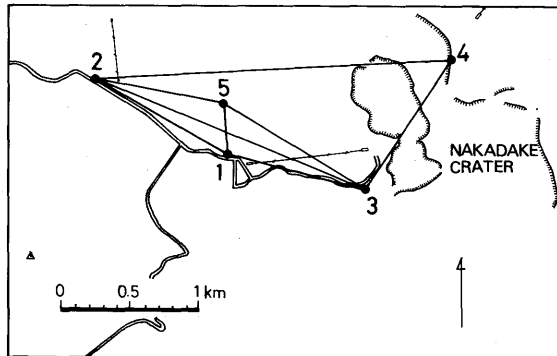


図1.1.42 阿蘇山における光波測量網

測線1—5は観測誤差が大きく出ることが明らかになったので測量を中止した。基点4は1979年の大爆発により埋没し使用できなかった。従って、基点1、2、3で囲まれた三角形について測量を行った。

表1.1.8に測量結果を、図1.1.43に各測線の歪量の変化を示す。ここで歪量は第1回目の測量（1975年3月27～28日）を基準としている。又、図中最終観測時に付した縦線は最大測量誤差（田中他1982）を示し、上部の矢印等は噴火活動（気象庁火山報告による）を示す。特に、1979年9月6日の爆発は死者3名を出す大規模なものであった（第2編参照）。

図1.1.44に三角形1-2-3により求めた主歪を（I）1975年3月～9月、（II）1975年9月～76年3月、（III）1976年3月～80年12月、（IV）1980年12月～81年11月、（V）1981年11月～83年11月の期間に分けて示す。主歪の大きさ及び方向は2回の測量のうち、前の測量値を基準として計算した。実線は伸び、破線は縮みで、矢印は中岳第一火口の方向である。測線2—3については1980年の測量が欠測となったので、 -3×10^{-5} を仮定して計算したものを示した（1975～76年の歪量を

表1.1.8 阿蘇山における辺長測量結果

D : 斜距離

ϵ : 歪量 (－は縮み)

測線 年月日	1-2		2-3		3-1	
	D	ϵ	D	ϵ	D	ϵ
1976. 3. 25~28	1,058,576 ^{mm}	$\times 10^{-6}$ -17.0	2,072,035 ^{mm}	$\times 10^{-6}$ -13.0	1,035,384 ^{mm}	$\times 10^{-6}$ -16.4
1980.12.10	601	6.6	—	—	360	-39.6
1981.11.28	592	-1.9	049	-6.3	394	-6.8
1982.10.20	595	0.9	044	-8.7	399	-1.9
1983.11. 9	595	0.9	043	-9.2	406	4.8

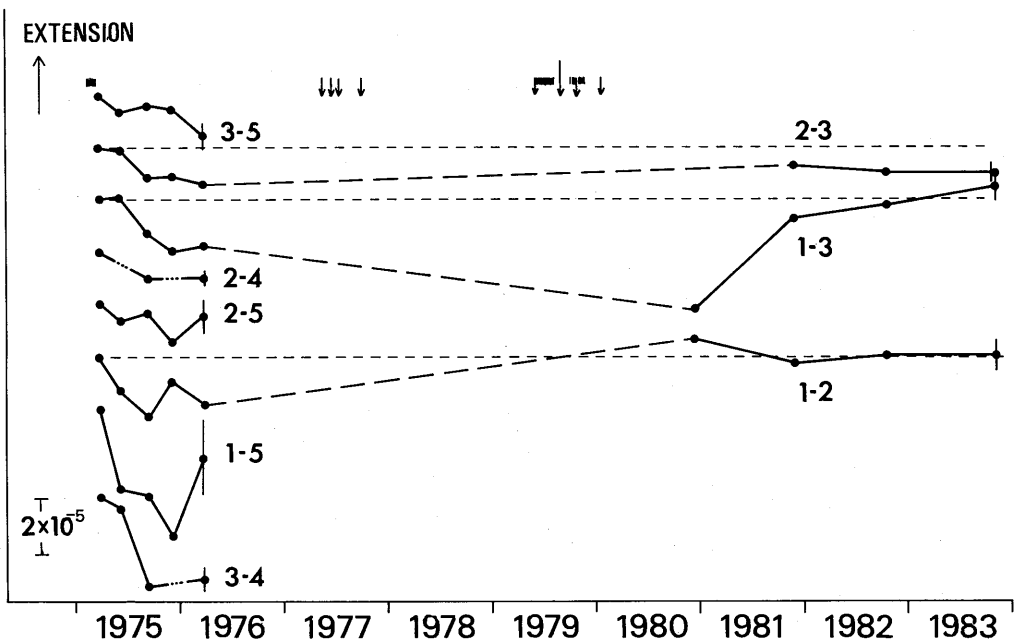


図1.1.43 光波測量による基線の伸縮

見ると測線2-3の歪量は1-3と同じような変化を示し、その量は約5分の4である)。この値に 1×10^{-5} 程度の幅をもたせると大きさでは0.5~2倍、方向については $\pm 10^\circ$ の範囲で変化する。

この三角網は扁平であるため主歪の計算誤差は大きく、歪量の標準誤差を 2×10^{-6} (田中他1982) として見積ると、(I) では 7×10^{-4} 、(II) で 1×10^{-4} 、(III) で 2×10^{-4} 、(IV) で 1×10^{-4} 、(V) で 8×10^{-4} 程度となる。

これまで種々の火山で観測された噴火前後の歪変化を考えると、1979年の大爆発前後に 10^{-3}

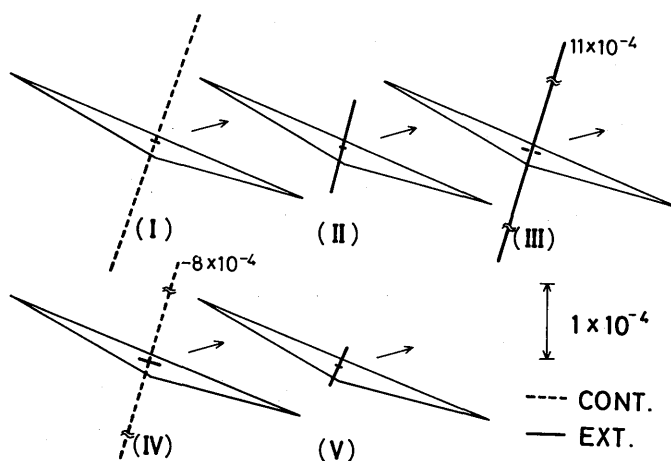


図1.1.44 観測点1-2-3でかこまれた三角形の応力変化

～ 10^{-4} のオーダーの伸びから縮みへの変動があったと推定される。この大きさは浅間山の1982年10月の爆発前後の歪変化（例えば東京大学地震研究所1983、気象研究所地震火山研究部1984）に比べ1～2桁大きなものとなっている。歪量については2倍程度の時間変動を示している。

1981年以降の伸縮は誤差範囲内でほとんど変化していない。

参考文献

Briggs, G.A. (1969): Plume Rise, AEC Critical Review Series, TID-25075, U.S. Atomic Energy Comm., Washington D.C. 1-81.

中禮正明・田中康裕 (1979): ジオジメーターによる火山周辺の地殻変動の測量、気象研究所技術報告 No. 2、39-66

鍵山正臣 (1978): 火山からの噴気による熱エネルギーと H_2O の放出量——Plume riseからの推定——、火山II、23、183-197

気象研究所地震火山研究部 (1984): 浅間山の光波測量、火山噴火予知連絡会会報、29、54-56

太田一也・松尾紉道・鎌田政明 (1978): 阿蘇火山からの二酸化イオウ放出量の遠隔測定、阿蘇火山の集中総合観測 (第2回) 報告、51-55

田中康裕・澤田可洋 (1979): 傾斜計による火山の地殻変動の観測、気象研究所技術報告No. 2、77-145

田中康裕・中禮正明・澤田可洋・紫田武男 (1982): 活火山における光波測量の精度と有意測線の検出、気象研究所研究報告、33、175-185

東京大学地震研究所 (1983): 浅間火山北東山麓における辺長と水準測量、火山噴火予知連絡会会報、26、26-32

表1.1.4 噴煙観測の捕捉率(%)

(1) 可視光検知装置

年月	観測時刻	07 ^h	09 ^h	11 ^h	13 ^h	15 ^h	17 ^h	平均*3
1980	12*1	(5)	(19)	(21)	(16)	(30)	(15)	19
1981	1	31	50	56	26	50	42	45
	2	50	54	54	57	71	75	62
	3	52	71	58	39	55	68	58
	4	(63)*2	71	76	72	69	62	70
	5		68	74	74	74	71	72
	6		63	60	70	72	60	65
	7		55	65	63	48	35	54
	8		55	71	71	80	47	65
	9		70	77	73	73	47	68
	10		71	68	55	58	39	58
	11		69	78	50	59	43	59
	12		77	74	68	71	35	65
1982	1		45	63	52	45	39	49
	2		71	70	61	63	61	65
	3		61	68	74	74	65	68
	4		80	77	77	77	70	76
	5		71	81	77	71	67	73
	6		73	73	87	83	73	78
	7		61	68	71	65	53	64
	8		61	77	81	72	57	70
	9		72	66	72	76	59	69
	10		83	81	87	93	90	87
	11		72	70	73	70	50	67
	12		71	74	84	81	77	77
1983	1		77	88	76	77	73	78
	2		61	68	75	79	75	71
	3		39	55	58	71	55	56
	4		47	57	66	67	67	60
	5		58	68	71	77	68	68
	6		67	76	79	62	66	70
	7		39	48	67	58	45	51
	8		71	71	73	69	57	68
	9		62	65	70	64	52	63
	10		81	87	81	87	77	83
	11		70	83	87	87	93	84
	12		81	81	83	77	74	79
1984	1		45	65	61	65	61	59
	2		45	55	66	64	66	59
	3*4		62	62	75	100	92	77
平	均	38.9	63.2	68.7	68.4	69.6	60.4	66.1

* 1 12日～31日(但し、07^h、09^hは11～31日)、* 2 1日～10日、* 3 07^hを除く、* 4 1日～13日(但し、13、15、17^hは1日～12日)

表1.1.4 (2) 赤外線検知装置

年月	観測時刻	03 ^h	09 ^h	13 ^h	15 ^h	21 ^h	平 均
1981	11* ¹	50	25	50	50	50	45
	12	45	61	77	63	61	62
1982	1	39	35	52	62	43	46
	2	33* ³	58	53* ³	38* ²	39	52
	3	56* ³	75* ²	50* ²	56* ³	35* ³	55
	4	—	—	—	—	43* ²	43
	5	73* ²	73* ²	73* ²	73* ²	64* ²	71
	6	53* ³	53* ³	80* ²	80* ²	60* ²	63
	6* ⁴	67* ³	73* ³	75* ³	70* ³	40* ³	64* ⁴
	7* ⁴	25* ³	30* ³	47* ³	47* ³	20* ³	33* ⁴
	7	64* ²	73* ²	50* ³	50* ³	31* ³	53
	8	45	65	77	76	36	60
	9	39	55	66	59	39	52
	10	60	70	81	87	43	68
	11	40	55	60	57	53	53
	12	48	48	77	65	57	59
1983	1	42	52	55	58	48	51
	2	36	50	68	71	46	54
	3	39	26	61	58	26	42
	4	40	40	53	60	47	48
	5	58	65	77	74	55	66
	6	63	70	79	70	57	68
	7	26	36	45	42	19	34
	8	28	28	54	—	—	39
	9	29	43	68	—	—	46
	10	45	58	65	—	—	56
	11	—	—	—	—	—	—
	12	29	43	55	48	38	43
1984	1	26	6* ³	33	33* ³	29* ³	27
	2	29	15	39	33	17	27
	3* ⁵	23	27	42	42	42	35
平	均* ⁶	41.8	48.6	61.7	59.8	42.8	51.1

* 1 27日～30日、* 2 観測日数8～14日、* 3 観測日数15～20日、

* 4 感度2℃、* 5 1日～13日、* 6 感度2℃を含まず

表1.1.4 (3) 紫外線検知装置

年月	観測時刻	09 ^h	11 ^h	13 ^h	15 ^h	平 均
1982	10* ¹	92	83	92	100	92
	11* ²	60	70	75	65	68
	12	65	61	77	71	69
1983	1	74	81	74	74	76
	2	61	71	79	79	72
	3	39	65	65	71	60
	4	53	57	63	63	59
	5	77	77	81	81	79
	6	63	67	77	97	76
	7* ²	48	57	81	81	67
	8	77	83	77	73	78
	9	70	73	70	67	70
	10	74	87	84	81	82
	11	75	83	81	80	80
	12* ³	56	94	87	60	74
1984	1	32	77	72	55	59
	2	63* ²	63* ²	56* ²	58* ²	60
	3* ⁴	46	58	40	73	55
平 均		62.6	72.6	74.5	73.6	70.8

* 1 20日～31日、* 2 観測日数20～21日、* 3 観測日数15～16日、* 4 1日～13日

表1.1.5 噴煙観測表

可視の欄

色・量・高さ・幅は可視光検知装置による観測値で、噴煙が最も高くあがった時の値を記載。

Col、Q、Hは阿蘇山測候所による噴煙の遠望観測値で、記号はそれぞれ、噴煙の色、量(階級)、高さ。観測値は各項独立に日別最大値を記載。

噴煙の色の欄でW：白、Be：青、－：現象なし、×：不明。

赤外の欄

赤外線検知装置で観測した03時、又は21時（*印）における火口縁及び噴煙表面の相対的温度。×：不明、－：現象なし。

温度検出部の外部チョッパーと火口縁、チョッパーと噴煙との温度差をそれぞれ t_1 、 t_2 とする。 $t_1 - t_2$ は火口縁と噴煙の温度差（℃単位）となる。

紫外の欄

紫外線検知装置で観測した噴煙中の SO_2 濃度（ppm-m）の日平均値。×：不明、－：現象なし。

年 月 日	可 視						
	色	量 ×10 ³ m ³	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q	H ×100m
1980.12.11	W	407	19	29	W	2	1
12	×	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×	×
15	W	296	22	17	W	2	2
16	×	×	×	×	W	2	1
17	W	342	14	13	W	2	1
18	W	78	7	13	W	1	1
19	×	×	×	×	W	1	1
20	W	258	10	23	W	1	0.5
21	×	×	×	×	W	1	1
22	×	×	×	×	W	1	0.5
23	×	×	×	×	×	×	×
24	×	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	W	1	1
26	×	×	×	×	W	1	1
27	×	×	×	×	×	×	×
28	×	×	×	×	W	1	0.5
29	×	×	×	×	W	1	0.5
30	W	229	13	20	W	2	2
31	×	×	×	×	W	2	2

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視						
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q	H ×100m
1981. 1. 1	W	186	20	16	W	1	0.5
2	W	119	12	10	W	2	1
3	×	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	W	2	1
5	×	×	×	×	W	1	×
6	×	×	×	×	W	2	1
7	W	54	5	11	W	1	0.5
8	×	×	×	×	Be	1	0.5
9	W	287	20	21	W	2	1
10	×	×	×	×	W	1	0.5
11	×	215	11	20	W	1	1
12	W	103	9	22	W	1	0.5
13	W	194	9	27	W	1	0.5
14	W	337	16	29	W	2	1
15	W	120	10	12	W	1	2
16	×	×	×	×	W	2	1
17	W	497	19	35	W	2	2
18	×	×	×	×	W	1	1
19	W	127	11	13	W	1	0.5
20	W	139	7	17	W	2	1
21	×	×	×	×	W	1	0.5
22	W	645	26	21	W	1	1
23	W	118	8	12	W	1	1
24	W	246	15	20	W	1	0.5
25	×	×	×	×	W	1	1
26	W	134	14	13	W	2	1
27	W	192	14	19	W	1	1
28	W	31	7	7	W	1	0.5
29	W	349	19	25	W	2	2
30	W	106	11	7	W	1	0.5
31	×	×	×	×	W	2	2

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視						
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q	H ×100m
1981. 2. 1	×	×	×	×	×	×	×
2	W	427	19	30	W	2	2
3	W	370	13	29	W	2	1
4	W	360	14	23	W	2	1
5	W	109	13	8	W	1	1
6	W	177	14	13	W	1	1
7	W	217	12	18	W	2	1
8	W	401	16	19	W	2	1
9	W	182	12	14	W	1	1
10	W	207	9	27	W	1	1
11	W	301	15	21	W	1	1
12	×	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×
14	W	168	8	21	W	2	2
15	W	357	15	25	W	1	1
16	W	248	20	13	W	1	1
17	W	1080	36	32	W	2	1
18	W	149	11	14	W	2	1
19	W	105	9	11	W	1	0.5
20	W	257	14	22	W	1	2
21	W	440	19	29	W	2	1
22	W	24	6	6	W	1	1
23	×	×	×	×	W	1	1
24	W	96	7	12	W	2	1
25	W	58	6	15	W	1	1
26	×	×	×	×	W	2	1
27	×	×	×	×	W	2	1
28	W	11	5	3	W	1	0.5

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視						
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q	H ×100m
1981. 3. 1	×	×	×	×	W	1	0.5
2	W	142	14	14	W	1	1
3	×	×	×	×	×	×	×
4	W	214	11	23	W	2	1
5	W	50	9	5	W	1	0.5
6	W	202	10	22	W	1	1
7	W	52	10	6	W	1	0.5
8	W	8	3	3	W	1	0.5
9	W	26	3	10	W	×	×
10	W	399	13	45	W	2	1
11	W	45	3	3	W	1	1
12	W	37	8	5	W	1	1
13	W	97	7	13	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×	×
15	W	83	9	10	W	1	1
16	W	43	9	6	W	1	0.5
17	×	8	3	3	Be	1	0.5
18	×	×	×	×	Be	1	0.5
19	×	×	×	×	W	1	1
20	W	89	7	14	W	1	0.5
21	×	×	×	×	W	1	0.5
22	W	81	10	9	W	1	0.5
23	W	12	3	6	—	—	—
24	×	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	×	×	×
26	W	168	12	18	W	2	1
27	W	39	7	6	W	1	0.5
28	×	×	×	×	Be	1	0.5
29	×	×	×	×	W	1	0.5
30	×	×	×	×	Be	1	0.5
31	×	×	×	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視						
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q	H ×100m
1981. 4. 1	W	167	12	15	W	1	0.5
2	W	199	10	25	W	1	1
3	W	114	9	18	W	1	1
4	×	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×	×
6	W	221	15	17	W	1	0.5
7	W	22	5	4	W	1	0.5
8	—	—	—	—	W	1	0.5
9	×	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×	×
11	W	438	19	19	W	1	0.5
12	W	72	9	11	W	1	0.5
13	W	82	11	7	W	1	0.5
14	W	213	30	10	W	1	0.5
15	W	95	9	11	W	1	1
16	×	×	×	×	×	×	×
17	W	96	10	9	W	2	1
18	W	15	4	5	Be	1	1
19	×	×	×	×	×	×	×
20	W	250	11	30	×	×	×
21	W	36	7	6	W	1	0.5
22	W	11	3	3	—	—	—
23	W	107	13	8	—	—	—
24	W	201	10	21	W	1	1
25	W	103	12	12	W	2	1
26	×	×	×	×	W	1	0.5
27	—	—	—	—	W	1	0.5
28	W	58	7	7	W	1	0.5
29	W	62	12	7	×	×	×
30	W	164	8	20	W	2	2

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m H
1981. 5. 1	W	66	6	12	W	1 0.5
2	×	×	×	×	W	1 1
3	W	118	12	9	W	2 1
4	W	76	10	9	W	1 0.5
5	×	×	×	×	W	1 0.5
6	×	×	×	×	×	×
7	W	128	10	16	W	1 0.5
8	—	—	—	—	—	—
9	W	97	15	9	W	1 1
10	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×
12	W	54	7	9	W	1 0.5
13	W	45	3	14	W	1 1
14	—	—	—	—	W	1 1
15	W	111	12	10	W	1 1
16	W	65	10	7	W	1 1
17	W	449	19	36	W	2 1
18	W	270	17	16	W	2 1
19	W	386	21	18	W	1 1
20	W	36	7	7	W	1 1
21	W	39	7	7	W	1 1
22	—	—	—	—	W	1 0.5
23	W	22	5	4	Be	1 1
24	×	×	×	×	W	1 1
25	—	—	—	—	W	1 0.5
26	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—
28	×	×	×	×	×	×
29	W	16	5	5	W	1 0.5
30	W	23	7	4	—	—
31	—	—	—	—	—	—

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m H
1981. 6. 1	W	597	20	35	W	1 1
2	×	×	×	×	—	—
3	—	—	—	—	—	—
4	W	22	6	4	—	—
5	W	29	6	8	W	1 1
6	W	14	5	4	W	1 0.5
7	—	—	—	—	W	1 0.5
8	W	17	5	4	W	1 0.5
9	W	81	7	17	—	—
10	W	246	15	18	W	1 1
11	W	65	9	8	W	1 1
12	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	W	1 2
14	W	174	15	16	W	2 2
15	W	108	12	8	W	2 2
16	W	58	7	10	W	1 1
17	W	166	10	18	W	1 0.5
18	×	×	×	×	×	×
19	W	426	32	14	W	1 0.5
20	×	×	×	×	×	×
21	W	270	17	19	W	1 1
22	W	26	5	5	W	1 0.5
23	W	149	11	12	W	1 0.5
24	—	—	—	—	—	—
25	×	×	×	×	W	1 0.5
26	×	×	×	×	×	×
27	×	×	×	×	×	×
28	W	54	6	10	W	1 1
29	×	×	×	×	×	×
30	W	162	13	15	W	2 1

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m H
1981. 7. 1	W	209	11	17	W	1
2	W	89	9	10	W	1
3	×	×	×	×	W	1
4	×	×	×	×	×	×
5	W	16	5	4	W	1
6	W	167	9	17	W	1
7	W	68	6	17	W	1
8	W	97	10	12	W	×
9	W	40	7	7	W	1
10	×	×	×	×	W	1
11	×	×	×	×	W	1
12	W	80	9	10	W	1
13	×	×	×	×	W	1
14	×	×	×	×	W	1
15	W	615	29	28	W	2
16	W	24	5	7	W	1
17	W	577	21	25	W	1
18	×	×	×	×	—	—
19	×	×	×	×	W	2
20	×	×	×	×	W	1
21	W	277	11	26	W	1
22	W	283	11	28	W	2
23	W	57	7	9	W	1
24	W	383	14	32	W	1
25	W	124	7	17	W	1
26	W	×	×	×	W	1
27	W	359	17	23	W	1
28	W	70	5	16	—	—
29	×	×	×	×	W	1
30	W	64	17	6	W	1
31	×	×	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m H
1981. 8. 1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	W	1
3	W	42	4	7	Be	1
4	×	×	×	×	W	2
5	×	×	×	×	W	2
6	W	79	8	12	W	1
7	—	—	—	—	W	1
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	W	1
10	W	73	9	8	W	1
11	×	×	×	×	×	×
12	W	18	3	6	W	1
13	W	369	18	24	W	1
14	W	295	26	18	×	×
15	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—
17	×	×	×	×	—	—
18	×	×	×	×	—	—
19	×	×	×	×	W	1
20	W	20	5	5	W	1
21	W	1790	47	47	W	1
22	×	×	×	×	W	1
23	W	726	21	39	W	1
24	W	28	7	6	W	1
25	—	—	—	—	W	1
26	W	100	9	8	W	1
27	×	×	×	×	×	×
28	W	60	4	13	W	1
29	×	×	×	×	W	1
30	W	67	7	12	W	1
31	W	16	3	4	W	1

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m
1981. 9. 1	W	74	10	7	W	1
2	W	102	13	8	W	1
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	W	371	13	33	W	1
6	W	17	7	4	—	—
7	W	166	13	13	—	—
8	W	91	7	9	W	1
9	W	152	7	9	W	1
10	W	505	22	30	W	1
11	W	80	6	9	W	1
12	W	370	19	25	×	×
13	W	444	16	28	W	1
14	W	232	10	31	—	—
15	W	243	18	17	W	1
16	W	169	30	24	W	1
17	W	85	8	6	W	1
18	W	482	16	34	W	1
19	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	W	1
21	W	63	7	6	W	1
22	W	402	25	19	W	1
23	W	3100	71	62	W	1
24	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	W	1
26	W	86	6	20	W	1
27	×	×	×	×	—	—
28	W	61	6	13	Be	1
29	×	×	×	×	W	1
30	W	38	6	6	W	1

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視					
	色	量 ×10 ² m ²	高さ ×10m	幅 ×10m	Col	Q ×100m
1981.10. 1	W	328	15	23	W	1
2	W	99	8	17	W	1
3	W	203	14	14	W	2
4	—	—	—	—	W	1
5	×	×	×	×	×	×
6	W	95	9	14	W	1
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	W	102	5	17	W	1
10	W	43	5	9	W	1
11	W	23	5	5	W	2
12	—	—	—	—	—	—
13	W	68	8	11	W	1
14	W	214	12	23	W	2
15	W	57	8	7	W	2
16	W	17	4	4	W	1
17	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	W	1
19	W	1240	36	40	W	1
20	W	712	21	29	W	1
21	×	×	×	×	W	1
22	W	1600	31	54	W	1
23	W	124	10	12	W	1
24	W	252	13	19	W	2
25	W	106	11	10	W	2
26	W	176	13	12	W	1
27	×	×	×	×	W	1
28	×	×	×	×	W	1
29	W	457	23	24	W	1
30	W	9	5	3	W	1
31	W	19	6	4	W	1

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1981.11. 1	W	1030	38	47	W	2	3		
2	×	×	×	×	W	1	0.5		
3	W	93	11	9	W	1	1		
4	W	362	12	29	W	1	1		
5	W	342	17	20	W	1	2		
6	W	186	12	14	W	2	×		
7	×	×	×	×	W	2	1		
8	W	156	13	9	W	2	1		
9	W	478	19	31	W	1	0.5		
10	W	298	20	18	W	1	1		
11	W	475	19	31	W	1	1		
12	W	42	7	7	W	1	1		
13	W	119	7	10	W	1	1		
14	W	72	6	7	W	1	1		
15	W	219	11	22	W	1	2		
16	×	×	×	×	W	2	0.5		
17	W	184	10	14	W	1	1		
18	W	19	4	5	W	2	3		
19	W	53	14	6	W	1	1		
20	W	18	4	5	W	1	0.5		
21	W	1030	22	85	W	1	1		
22	W	79	7	14	W	1	1		
23	×	×	×	×	×	×	×		
24	—	—	—	—	—	—	—		
25	×	×	×	×	W	1	0.5		
26	×	×	×	×	W	2	2		
27	W	436	14	35	W	1	1		
28	×	×	×	×	W	1	1	27	10
29	W	371	23	21	W	1	1	*20	14
30	W	55	8	9	W	1	2	×	×

(11月28日観測開始)

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1981.12. 1	×	×	×	×	W	1	1	×	×
2	W	237	19	15	W	1	1	×	×
3	W	207	12	21	W	1	1	*28	9
4	W	130	12	14	W	1	0.5	*28	13
5	W	134	13	13	W	2	1	*22	19
6	W	313	20	16	W	2	0.5	*20	21
7	W	100	9	12	W	1	1	*21	21
8	W	212	17	12	W	1	1	*25	19
9	W	118	13	8	W	2	2	*26	24
10	W	137	11	15	W	1	1	17	16
11	W	301	18	20	W	1	1	26	21
12	W	1380	21	91	W	1	1	×	×
13	W	70	11	6	W	1	1	20	16
14	W	248	15	20	W	1	0.5	25	21
15	W	406	16	30	W	2	1	×	×
16	W	121	12	13	W	1	1	25	12
17	W	168	14	13	W	1	2	*25	13
18	W	50	6	9	W	1	1	26	22
19	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21	W	153	14	14	W	1	1	×	×
22	W	256	20	11	W	1	1	×	×
23	×	×	×	×	×	×	×	×	×
24	W	218	12	20	W	2	1	×	×
25	W	14	3	3	W	1	0.5	*28	—
26	W	175	9	14	W	1	0.5	27	—
27	W	291	23	14	W	1	1	*17	16
28	W	5	2	4	W	1	0.5	*23	22
29	W	381	18	19	W	1	0.5	25	—
30	W	786	29	26	W	1	2	*25	14
31	W	169	8	20	W	1	0.5	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高き	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 1. 1	W	423	20	21	W	1	1	×	×
2	×	×	×	×	W	1	1	*28	8
3	—	—	—	—	W	1	0.5	26	—
4	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
5	×	×	×	×	W	1	1	*21	14
6	W	39	8	7	W	1	1	26	8
7	W	340	19	24	W	1	1	*24	15
8	W	182	13	19	W	1	1	26	10
9	W	245	17	13	W	1	1	*26	25
10	W	206	21	10	W	1	1	23	21
11	W	33	4	4	—	—	—	*18	13
12	W	115	12	8	W	1	0.5	18	18
13	W	70	8	7	W	1	1	26	21
14	W	1280	27	48	W	1	1	*27	7
15	W	306	17	20	W	1	1	25	—
16	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
17	W	257	13	24	W	1	2	*24	23
18	×	×	×	×	W	×	×	×	×
19	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
20	W	202	11	19	W	1	1	×	×
21	×	×	×	×	W	1	1	×	×
22	W	34	5	9	W	1	1	×	×
23	W	616	21	31	W	1	1	*26	—
24	×	×	×	×	W	1	×	×	×
25	W	174	13	15	W	1	1	*23	20
26	W	125	6	19	W	1	0.5	21	—
27	W	163	6	16	W	×	×	×	×
28	W	135	16	10	W	1	0.5	×	×
29	W	1040	16	75	W	1	0.5	×	×
30	W	376	24	19	W	2	5	×	×
31	×	×	×	×	W	1	0.5	18	—

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高き	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 2. 1	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	W	502	27	18	W	1	2	18	23
3	W	88	10	8	W	1	1	×	×
4	W	53	6	7	W	1	0.5	×	×
5	W	496	24	20	W	1	1	×	×
6	W	104	7	10	W	1	0.8	×	×
7	W	832	30	30	W	2	2	×	×
8	W	183	16	13	W	1	1	*25	15
9	W	84	13	8	W	1	1	27	—
10	W	285	18	18	W	1	1	*19	16
11	—	—	—	—	—	—	—	18	—
12	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
13	W	3	2	3	W	1	0.5	×	×
14	W	189	12	15	W	1	1	*21	10
15	W	75	12	7	W	1	1	*25	—
16	×	×	×	×	×	×	×	15	11
17	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	—	—	—	—	—	—	—	23	—
19	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21	×	×	×	×	×	×	×	×	×
22	W	194	15	15	W	1	1	*15	—
23	—	—	—	—	W	1	1	15	—
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	W	422	14	33	W	1	0.5	25	15
26	W	66	7	10	W	1	0.7	×	×
27	W	418	18	27	W	1	2	×	×
28	W	209	11	22	W	1	1	20	9

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 3. 1	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	W	246	15	19	W	1	1	×	×
3	W	238	17	13	W	1	0.5	22	13
4	×	×	×	×	W	1	1	17	12
5	×	×	×	×	×	×	×	×	×
6	W	262	14	17	W	1	1	*17	10
7	W	43	7	7	W	1	1	13	11
8	W	152	14	12	W	1	1	*15	14
9	W	3	2	2	W	1	1	*15	14
10	W	5	3	2	—	—	—	23	18
11	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
12	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
13	W	57	7	12	W	1	1	×	×
14	×	×	×	×	W	1	0.5	24	—
15	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16	W	47	5	7	W	1	0.5	×	×
17	W	7	4	4	—	—	—	19	11
18	W	190	12	22	×	×	×	×	×
19	×	×	×	×	W	1	1	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21	×	×	×	×	×	×	×	*21	5
22	—	—	—	—	—	—	—	22	—
23	×	×	×	×	×	×	×	17	7
24	W	131	6	25	W	1	0.5	×	×
25	W	510	13	29	W	1	1	×	×
26	W	6	3	3	W	1	2	*15	—
27	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
28	W	36	5	8	—	—	—	15	14
29	—	—	—	—	W	1	0.1	23	—
30	—	—	—	—	W	1	1	×	×
31	W	57	6	15	×	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 4. 1	W	31	5	4	—	—	—	×	×
2	—	—	—	—	—	—	—	25	—
3	×	×	×	×	W	1	2	×	×
4	W	58	7	8	W	1	1	×	×
5	W	18	5	4	W	1	1	×	×
6	×	×	×	×	×	×	×	×	×
7	W	598	20	36	×	×	×	×	×
8	W	164	10	15	W	1	1	21	14
9	W	208	12	16	W	1	1	×	×
10	W	239	13	20	W	1	1	*24	—
11	—	—	—	—	—	—	—	24	—
12	W	139	14	12	W	1	1	×	×
13	—	—	—	—	×	×	×	×	×
14	W	292	13	21	W	1	1	×	×
15	W	147	8	22	W	1	1	×	×
16	×	×	×	×	×	×	×	×	×
17	W	67	7	10	W	1	2	×	×
18	W	221	17	14	W	1	1	×	×
19	—	—	—	—	—	—	—	×	×
20	W	26	4	4	W	1	0.5	22	—
21	×	×	×	×	×	×	×	×	×
22	—	—	—	—	—	—	—	×	×
23	—	—	—	—	—	—	—	×	×
24	—	—	—	—	W	1	4	×	×
25	—	—	—	—	—	—	—	×	×
26	×	×	×	×	—	—	—	×	×
27	×	×	×	×	W	1	0.3	×	×
28	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
29	W	1290	27	53	W	1	0.5	×	×
30	W	1320	33	53	W	1	1	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可				視			赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 5. 1	W	109	6	19	W	1	1	×	×
2	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	W	46	6	6	W	1	1	×	×
4	W	17	4	6	W	1	0.5	×	×
5	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
6	×	×	×	×	×	×	×	×	×
7	—	—	—	—	—	—	—	×	×
8	—	—	—	—	—	—	—	×	×
9	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10	W	39	6	9	W	1	0.5	×	×
11	W	80	8	14	W	1	0.5	×	×
12	—	—	—	—	—	—	—	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	W	1	1	×	×
15	—	—	—	—	—	—	—	×	×
16	W	23	5	9	—	—	—	×	×
17	W	159	12	13	W	1	2	×	×
18	—	—	—	—	—	—	—	×	×
19	—	—	—	—	W	1	2	×	×
20	W	43	7	9	W	1	2	*18	20
21	W	63	8	9	W	1	1	*24	—
22	—	—	—	—	—	—	—	22	—
23	—	—	—	—	—	—	—	20	13
24	—	—	—	—	W	1	0.5	*22	—
25	—	—	—	—	—	—	—	22	—
26	—	—	—	—	—	—	—	15	16
27	—	—	—	—	—	—	—	19	—
28	W	56	8	6	×	×	×	21	—
29	W	305	16	20	W	1	1	×	×
30	W	249	14	19	×	×	×	×	×
31	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可				視			赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 6. 1	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	W	18	3	6	W	1	0.5	×	×
3	W	48	9	5	W	1	0.5	×	×
4	W	5	3	3	W	1	1	22	—
5	—	—	—	—	—	—	—	22	13
6	W	72	8	8	—	—	—	20	15
7	W	43	6	7	×	×	×	×	×
8	W	17	4	5	—	—	—	*18	—
9	W	7	4	6	—	—	—	*21	10
10	—	—	—	—	—	—	—	21	11
11	W	16	4	5	W	1	1	×	×
12	W	21	5	6	—	—	—	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×	×	×	×
15	W	31	7	4	—	—	—	×	×
16	W	21	4	6	W	1	.2	×	×
17	W	363	15	29	W	1	1	×	×
18	W	179	11	20	W	1	2	×	×
19	W	98	13	8	W	1	2	×	×
20	W	79	10	11	W	1	1	×	×
21	×	×	×	×	W	1	2	×	×
22	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
23	×	×	×	×	×	×	×	×	×
24	W	462	17	33	W	1	1	×	×
25	W	284	17	23	W	1	4	×	×
26	W	3460	66	81	W	1	1	×	×
27	W	357	21	22	W	1	0.5	×	×
28	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
29	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
30	W	19	7	4	W	1	0.1	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ³ m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 7. 1	W	184	9	33	W	1	1	×	×
2	W	132	14	12	W	1	1	×	×
3	W	95	10	15	W	1	1	×	×
4	—	—	—	—	—	—	—	×	×
5	W	66	10	8	W	1	1	×	×
6	W	128	6	24	W	1	0.5	×	×
7	W	117	11	9	W	1	1	×	×
8	W	151	12	13	W	1	2	×	×
9	W	83	7	12	W	1	2	×	×
10	W	508	25	23	W	1	1	×	×
11	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×	×	×	×
15	W	302	16	21	W	1	0.5	×	×
16	W	28	4	12	×	×	×	×	×
17	W	63	7	8	W	1	1	×	×
18	W	28	10	3	W	1	1	×	×
19	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	W	1	2	×	×
21	—	—	—	—	W	1	0.5	*14	—
22	—	—	—	—	—	—	—	13	—
23	×	×	×	×	—	—	—	×	×
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	×	×	×	×	×
26	W	314	16	18	W	1	1	*13	9
27	W	101	10	13	W	1	2	×	×
28	W	84	9	13	—	—	—	14	—
29	W	112	12	10	W	1	2	*12	—
30	W	84	9	7	W	1	0.5	13	—
31	W	15	4	4	—	—	—	15	—

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ³ m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 8. 1	W	7840	75	90	W	1	2	×	×
2	W	111	12	11	W	1	1	×	×
3	W	18	3	7	W	1	1	*13	—
4	W	31	7	6	W	1	1	15	—
5	W	55	6	12	W	1	1	×	×
6	W	83	8	11	W	1	2	×	×
7	W	2070	69	41	W	1	1	×	×
8	W	39	7	7	W	1	2	×	×
9	W	131	14	12	W	1	1	×	×
10	W	113	13	14	W	1	1	×	×
11	W	86	13	7	W	1	1	11	10
12	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14	W	12	5	3	W	1	0.5	*12	12
15	W	527	20	32	—	—	—	15	—
16	W	86	9	10	W	1	1	×	×
17	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	W	402	18	26	W	1	0.5	×	×
19	W	244	12	22	W	1	1	×	×
20	W	273	29	11	W	1	1	×	×
21	W	366	19	25	W	1	1	14	16
22	W	64	10	6	W	1	0.5	12	—
23	W	149	16	12	W	1	2	×	×
24	—	—	—	—	W	1	1	*13	9
25	×	×	×	×	—	—	—	×	×
26	×	×	×	×	—	—	—	×	×
27	×	×	×	×	×	×	×	×	×
28	W	186	9	21	W	1	0.5	×	×
29	W	170	16	13	—	—	—	17	17
30	—	—	—	—	—	—	—	14	7
31	W	196	24	7	W	1	1	15	12

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可				視			赤	外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m		
1982. 9. 1	W	390	17	27	W	1	1	15	9
2	W	66	9	6	W	1	1	13	12
3	W	447	21	27	W	1	1	×	×
4	W	79	10	7	W	1	0.5	*16	9
5	W	24	7	5	W	1	1	×	×
6	×	×	×	×	W	1	2	×	×
7	W	80	9	15	W	1	3	*21	—
8	W	513	27	25	W	1	1	20	—
9	W	106	10	16	W	1	1	×	×
10	W	1080	38	34	W	1	3	*19	—
11	W	87	6	16	W	1	1	19	7
12	W	155	10	16	W	1	1	*20	15
13	—	—	—	—	—	—	—	22	—
14	—	—	—	—	—	—	—	*18	15
15	—	—	—	—	—	—	—	×	×
16	W	42	5	11	W	1	0.5	×	×
17	W	344	19	22	W	1	1	×	×
18	W	292	17	15	W	1	0.5	×	×
19	W	130	10	10	W	1	1	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21	W	21	4	7	W	1	1	*19	—
22	—	—	—	—	W	1	0.5	×	×
23	W	360	13	29	×	×	×	×	×
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	×	×	×	×	×	×	×	×	×
26	×	×	×	×	×	×	×	*13	12
27	×	×	×	×	W	1	0.5	22	—
28	×	×	×	×	W	1	1	×	×
29	W	181	13	14	W	1	2	×	×
30	W	187	14	18	×	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外			
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂	
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m	
1982.10. 1	W	98	11	10	W	×	×	×	×	(10月20日観測開始)	
2	W	182	14	18	W	1	0.5	×	×		
3	×	×	×	×	W	1	1	*23	—		
4	—	—	—	—	—	—	—	22	—		
5	W	153	13	11	W	1	1	22	—		
6	W	24	5	4	W	1	0.5	*16	13		
7	—	—	—	—	W	1	0.5	21	18		
8	W	30	6	6	W	1	0.5	22	4		
9	W	82	10	9	W	1	1	×	×		
10	W	456	26	20	W	1	2	18	9		
11	W	61	10	7	W	1	2	20	7		
12	W	24	5	7	W	1	1	21	—		
13	—	—	—	—	W	1	0.5	21	10		
14	W	79	9	10	W	1	0.5	22	—		
15	W	32	7	7	W	1	2	20	—		
16	W	583	31	25	W	1	3	18	17		
17	W	38	6	11	—	—	—	13	12		
18	W	281	24	16	W	1	2	18	17		
19	W	29	6	5	W	1	1	×	×		
20	W	441	16	31	W	1	1	×	×		17
21	W	207	19	14	W	1	2	*15	16		37
22	W	32	4	5	W	1	0.5	16	18		53
23	W	198	15	9	W	1	2	21	23		33
24	W	85	6	12	W	1	1	×	×		16
25	W	158	13	13	W	1	2	*21	—		51
26	W	12	4	3	—	—	—	*21	4		53
27	W	28	5	7	W	1	1	23	—		37
28	W	191	15	18	W	1	1	×	×		29
29	W	482	17	32	W	1	1	×	×		48
30	W	17	4	7	W	1	2	×	×		26
31	W	294	20	15	W	1	3	19	13		34

(10月20日観測開始)

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外		紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1982.11. 1	W	61	5	12	W	1	1	*19	18	16
2	W	845	24	39	W	1	2	21	8	68
3	—	—	—	—	W	1	0.5	*22	17	50
4	—	—	—	—	—	—	—	*20	9	49
5	W	206	12	18	W	1	1	×	×	27
6	W	320	18	19	W	1	2	×	×	18
7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	6
8	W	639	23	33	W	1	2	×	×	26
9	W	180	15	13	W	1	1	×	×	23
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11	W	400	13	38	W	1	1	×	×	20
12	×	×	×	×	×	×	×	*16	15	8
13	×	×	×	×	—	—	—	*20	6	47
14	—	—	—	—	—	—	—	20	14	43
15	W	217	13	17	W	1	1	×	×	9
16	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×	21
17	W	216	10	27	W	1	1	*19	0	21
18	—	—	—	—	—	—	—	19	—	43
19	W	189	14	15	W	1	1	*10	8	19
20	W	488	26	22	W	1	2	*17	19	31
21	W	11	4	4	W	1	1	17	16	56
22	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×	13
23	W	30	6	7	W	1	2	×	×	28
24	W	395	15	27	W	1	1	×	×	×
25	W	328	20	19	W	1	3	14	14	×
26	W	68	8	9	W	1	1	*12	—	×
27	W	251	18	17	W	1	3	*17	16	×
28	×	×	×	×	×	×	×	15	15	×
29	×	×	×	×	W	1	1	×	×	×
30	W	63	7	11	W	1	1	×	×	28

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視							赤 外		紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1982.12. 1	W	86	9	11	W	1	0.5	×	×	16
2	W	334	18	17	W	1	2	×	×	21
3	W	380	23	20	W	1	2	*19	8	16
4	W	13	5	3	W	1	1	21	—	37
5	W	135	13	11	W	1	2	13	—	25
6	×	×	×	×	×	×	×	*14	14	×
7	W	396	17	23	W	1	3	18	19	18
8	W	952	36	36	W	2	5	×	×	30
9	W	295	16	19	W	1	1	×	×	44
10	W	245	19	16	W	1	2	17	21	41
11	×	×	×	×	W	×	×	×	×	×
12	W	304	10	31	W	1	1	×	×	22
13	W	319	21	16	W	1	2	×	×	19
14	W	543	23	27	W	1	2	*15	18	37
15	W	729	29	27	W	1	3	19	22	39
16	W	508	19	32	W	1	1	20	—	33
17	W	62	7	14	W	1	1	×	×	×
18	W	283	17	17	W	1	2	×	×	24
19	W	1290	40	36	W	1	3	*20	—	29
20	W	665	33	23	W	1	3	*17	19	32
21	W	58	13	6	W	1	1	19	20	40
22	×	×	×	×	W	1	1	×	×	11
23	W	808	23	37	W	1	1	*15	15	20
24	W	118	12	12	W	1	1	*15	15	40
25	W	132	10	17	W	1	2	×	×	28
26	W	195	12	13	W	1	1	×	×	19
27	W	770	32	30	W	1	1	×	×	24
28	W	755	37	28	W	2	4	17	20	41
29	W	434	18	24	W	1	2	18	21	32
30	W	369	20	19	W	1	2	*16	18	29
31	W	119	13	12	W	1	2	19	16	52

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高 さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 1. 1	W	15	4	4	W	1	1	16	14	52
2	×	×	×	×	W	1	0.5	18	20	15
3	×	×	×	×	W	1	2	×	×	37
4	×	×	×	×	W	1	2	18	22	36
5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	10
6	W	225	14	22	W	1	3	*10	10	43
7	×	×	×	×	W	1	×	×	×	14
8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
9	W	1120	35	36	W	2	3	13	13	28
10	W	318	18	17	W	1	1	*16	19	21
11	W	133	13	10	W	1	1	16	20	42
12	W	505	19	28	W	1	1	×	×	21
13	W	358	19	21	W	1	1	*16	18	19
14	W	121	12	12	W	1	1	16	19	38
15	W	298	20	16	W	1	2	16	14	46
16	W	879	36	30	W	1	4	17	18	40
17	W	347	15	27	W	1	1	15	—	23
18	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
19	W	166	9	22	W	1	1	×	×	16
20	W	268	14	19	W	1	1	×	×	21
21	W	390	23	19	W	1	2	×	×	17
22	W	451	16	28	W	1	1	*15	—	24
23	W	940	30	34	W	1	3	×	×	35
24	W	622	31	26	W	2	5	*17	14	45
25	W	600	17	43	W	2	3	21	—	33
26	W	316	19	19	W	1	3	*19	—	52
27	W	79	8	10	W	1	1	16	8	45
28	W	613	20	33	W	1	1	*17	20	20
29	W	174	13	17	W	1	1	*18	14	34
30	×	×	×	×	W	1	0.5	×	×	×
31	W	13	3	6	W	1	0.5	*21	—	52

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高 さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 2. 1	W	20	5	5	W	1	1	20	22	16
2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	W	112	12	12	W	1	1	×	×	13
4	W	432	19	28	W	1	2	*15	16	50
5	W	358	18	18	W	1	1	×	×	20
6	W	345	16	21	W	1	1	×	×	23
7	W	169	10	20	W	1	1	×	×	19
8	W	377	16	23	W	1	1	×	×	29
9	W	527	19	28	W	1	2	×	×	27
10	W	153	11	15	W	1	1	×	×	22
11	W	340	21	24	W	1	2	15	11	31
12	W	156	12	15	W	1	2	*15	17	17
13	W	423	20	26	W	1	2	*17	—	28
14	W	100	12	10	W	1	1	*15	18	27
15	W	100	11	10	W	1	1	*15	—	23
16	W	18	6	5	—	—	—	19	—	43
17	×	×	×	×	W	1	1	×	×	×
18	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
19	W	126	11	16	W	1	1	×	×	11
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21	W	841	39	23	W	1	2	*17	—	26
22	W	96	9	12	W	1	0.5	*17	22	37
23	W	376	15	37	W	1	1	13	—	18
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	W	378	17	25	W	1	2	*18	17	22
26	W	282	35	12	W	1	1	*16	16	31
27	W	52	10	6	W	1	0.5	*14	10	49
28	W	11	3	4	—	—	—	19	—	63

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 3. 1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	W	113	10	11	W	1	1	×	×	5
4	W	441	25	21	W	1	1	*18	—	24
5	W	560	23	24	W	1	2	×	×	20
6	W	551	24	22	W	1	1	×	×	17
7	W	84	12	7	W	1	1	19	17	21
8	W	317	21	14	W	1	3	*18	19	36
9	W	97	9	7	W	1	2	18	21	36
10	×	×	×	×	W	1	1	×	×	×
11	W	154	16	9	W	2	5	*17	17	37
12	W	57	7	9	W	1	1	13	15	14
13	×	×	×	×	W	1	1	×	×	×
14	W	438	15	31	W	1	1	×	×	22
15	W	115	13	11	W	1	2	17	—	29
16	W	352	12	24	W	1	2	×	×	19
17	×	×	×	×	×	×	×	×	×	10
18	W	273	14	19	W	1	1	*20	—	16
19	W	52	9	6	W	1	1	*17	19	46
20	W	335	21	18	W	1	1	15	18	13
21	W	349	18	24	W	1	1	×	×	26
22	W	315	17	18	W	1	1	16	21	25
23	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
24	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	W	532	25	26	W	1	2	17	14	×
26	W	361	15	20	W	1	1	×	×	16
27	W	761	25	31	W	1	3	×	×	19
28	W	435	20	24	W	1	2	×	×	65
29	W	45	8	6	W	1	0.5	×	×	34
30	×	×	×	×	×	×	×	×	×	28
31	W	283	12	23	W	1	1	×	×	21

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 4. 1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	W	99	11	12	W	2	1	×	×	13
3	W	62	7	10	W	1	1	*13	—	35
4	W	89	12	7	W	1	0.5	14	12	26
5	W	16	4	5	W	1	1	*18	—	72
6	W	70	8	6	—	—	—	*14	10	38
7	W	105	11	11	×	×	×	13	—	17
8	W	1290	27	51	W	1	2	*21	—	61
9	W	140	12	11	W	1	1	17	12	11
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12	W	2910	60	58	W	1	2	*18	—	40
13	×	×	×	×	W	1	1	16	12	19
14	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
15	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16	W	166	15	12	W	1	3	×	×	43
17	W	260	17	14	W	1	2	*18	—	36
18	W	56	9	8	—	—	—	19	—	35
19	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	W	129	16	11	W	1	2	*18	—	33
21	W	162	14	13	W	1	1	20	—	15
22	W	319	13	29	W	×	×	*12	10	21
23	—	—	—	—	—	—	—	*13	—	58
24	—	—	—	—	—	—	—	12	8	52
25	W	23	5	6	—	—	—	18	—	53
26	W	110	12	9	W	1	0.5	15	8	14
27	W	91	11	11	W	1	1	×	×	32
28	W	158	16	13	W	1	1	13	—	19
29	×	×	×	×	W	1	×	*10	7	×
30	—	—	—	—	—	—	—	*14	6	49

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m	×10ppm-m
1983. 5. 1	W	175	15	14	W	1	1	9
2	W	175	15	15	W	1	0.5	*16 43
3	×	×	×	×	—	—	—	13 38
4	W	27	6	5	×	×	×	×
5	W	265	13	17	W	1	1	×
6	×	×	×	×	×	×	×	×
7	×	×	×	×	W	1	1	×
8	W	32	5	6	W	1	1	*16 4
9	W	19	4	4	—	—	—	17 33
10	—	—	—	—	—	—	—	*16 10 48
11	W	27	6	6	W	1	2	18 — 54
12	—	—	—	—	—	—	—	19 — 43
13	W	63	10	9	W	1	2	*14 — 30
14	W	35	7	6	W	1	0.5	* 8 7 47
15	W	88	12	7	W	1	0.5	17 — 32
16	×	×	×	×	W	×	×	×
17	W	105	13	10	W	1	1	*14 16 19
18	W	145	15	12	W	1	0.5	18 — 48
19	W	339	21	19	W	1	1	18 — 31
20	W	178	16	17	W	1	1	13 12 30
21	W	413	20	24	W	1	1	*13 9 36
22	W	202	18	13	W	1	1	×
23	W	258	16	16	W	1	1	×
24	W	620	32	21	W	1	1	×
25	W	9	4	4	W	1	1	*17 — 38
26	W	34	7	7	—	—	—	17 — 52
27	W	102	10	10	W	1	1	15 7 35
28	W	102	10	10	W	1	1	*13 — 29
29	W	196	17	12	W	1	1	11 12 39
30	×	×	×	×	×	×	×	13 — 12
31	W	229	13	23	W	1	0.5	13 — 50

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m	×10ppm-m
1983. 6. 1	×	×	×	×	—	—	—	16 16 37
2	—	—	—	—	—	—	—	12 — 34
3	W	136	10	14	—	—	—	*13 — 32
4	W	17	6	4	W	1	1	*15 — 40
5	W	129	10	13	W	1	1	14 — 14
6	W	65	10	7	W	1	1	×
7	W	45	6	7	W	1	1	×
8	W	142	12	16	W	1	2	×
9	W	21	3	6	W	1	1	13 — 34
10	W	65	7	8	W	1	1	10 — 20
11	W	21	4	6	W	1	0.5	12 13 41
12	×	×	×	×	W	1	0.1	×
13	W	88	7	16	W	1	1	*12 — 37
14	—	—	—	—	—	—	—	13 — 16
15	×	×	×	×	×	×	×	12 — 9
16	W	235	8	15	×	×	×	×
17	×	×	×	×	W	1	1	×
18	W	188	15	20	W	1	1	11 — 46
19	W	81	7	11	W	1	0.5	11 — 22
20	×	×	×	×	×	×	×	×
21	W	89	9	12	×	×	×	×
22	—	—	—	—	—	—	—	×
23	—	—	—	—	—	—	—	14 — 29
24	W	243	18	17	W	1	1	*10 10 35
25	W	52	9	8	W	1	1	11 — 34
26	×	×	×	×	×	×	×	×
27	W	429	23	18	×	×	×	×
28	W	93	10	11	W	1	1	×
29	W	154	12	13	W	1	1	×
30	W	553	20	24	W	1	1	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高 さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 7. 1	W	264	16	20	W	1	1	12	—	17
	W	225	12	16	W	1	0.5	×	×	10
	W	181	15	18	W	1	1	*9	—	12
	W	76	7	12	W	1	1	×	×	10
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	W	99	11	8	W	1	1	×	×	18
	W	193	10	19	W	1	1	×	×	26
	W	432	23	24	W	1	1	×	×	32
	W	48	9	6	W	1	2	×	×	53
	W	34	7	6	W	1	2	×	×	37
11	W	671	25	29	W	1	2	*10	8	57
12	W	178	18	14	W	1	1	12	11	35
13	W	279	17	16	W	1	2	×	×	27
14	W	144	15	9	W	1	0.5	14	—	16
15	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
17	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	—	—	—	—	—	—	—	*10	—	×
19	—	—	—	—	—	—	—	12	—	×
20	W	122	9	12	×	×	×	×	×	×
21	W	123	10	13	×	×	×	×	×	5
22	W	162	14	15	×	×	×	×	×	7
23	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
24	W	226	13	22	W	1	0.5	*11	—	19
25	W	192	9	20	W	1	0.5	×	×	19
26	W	138	12	13	W	1	1	×	×	16
27	W	223	15	14	W	1	1	×	×	14
28	W	109	9	16	W	1	1	×	×	20
29	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
30	×	×	×	×	W	1	1	×	×	10
31	×	×	×	×	W	1	×	×	×	7

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983. 8. 1	×	×	×	×	W	1	1	×	×	×
2	W	149	14	17	W	1	0.5	×	×	15
3	W	82	10	10	W	1	2	11	—	32
4	W	44	7	5	W	1	1	×	×	37
5	W	116	13	10	×	×	×	10	—	40
6	W	63	10	9	W	1	1	×	×	43
7	W	580	20	35	W	1	2	×	×	11
8	W	652	32	24	W	1	1	×	×	33
9	W	150	11	16	W	1	1	×	×	29
10	W	62	10	7	W	1	1	×	×	23
11	W	126	12	12	W	1	1	×	×	41
12	W	313	18	19	W	1	1	13	—	40
13	W	697	15	36	W	1	1	×	×	31
14	×	×	×	×	×	×	×	×	×	28
15	×	×	×	×	W	1	1	×	×	29
16	×	×	×	×	×	×	×	×	×	12
17	W	230	10	26	×	×	×	×	×	18
18	W	562	27	30	W	1	0.5	×	×	22
19	W	354	23	18	W	1	2	×	×	30
20	W	226	19	13	×	×	×	13	—	×
21	W	184	16	13	W	1	2	×	×	27
22	W	112	12	9	W	1	2	×	×	34
23	W	196	15	14	W	1	2	×	×	20
24	W	211	14	17	W	1	1	×	×	12
25	W	71	9	9	W	1	0.5	×	×	31
26	W	61	11	8	W	1	1	12	—	21
27	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
28	W	196	11	21	W	1	0.5	×	×	19
29	W	266	14	19	W	1	0.5	×	×	14
30	W	124	12	15	W	1	1	11	12	31
31	W	677	26	29	W	1	1	×	×	34

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	
	×10 ² m ²	×10m	×10m				×100m	×10ppm-m
1983. 9. 1	×	×	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	W	1	1	×
3	W	214	11	17	W	1	1	33
4	W	70	13	9	W	1	1	35
5	W	141	12	14	W	1	0.5	26
6	W	88	8	9	W	1	1	36
7	W	211	16	14	W	1	1	27
8	W	127	11	10	W	1	1	38
9	W	15	4	4	—	—	—	42
10	×	×	×	×	×	×	×	10
11	×	×	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	W	1	1	×
13	W	130	13	13	W	1	3	14
14	W	204	15	18	W	1	1	10
15	W	559	18	26	W	1	1	×
16	W	64	9	7	W	1	0.5	13
17	W	47	7	6	W	1	1	×
18	W	116	9	10	W	1	0.5	×
19	×	×	×	×	W	1	0.5	×
20	W	278	17	17	W	1	0.5	×
21	W	105	11	10	×	×	×	×
22	×	×	×	×	×	×	×	×
23	W	166	15	14	W	1	2	×
24	W	690	26	32	W	1	2	×
25	W	440	23	19	W	1	2	11
26	W	197	12	16	W	1	1	×
27	W	97	13	9	×	×	×	×
28	×	×	×	×	W	1	0.5	×
29	W	1070	33	35	W	1	4	×
30	W	258	18	15	W	2	3	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	
	×10 ² m ²	×10m	×10m				×100m	×10ppm-m
1983.10. 1	—	—	—	—	—	—	—	12
2	W	279	18	19	W	1	0.5	15
3	W	263	19	16	W	1	1	13
4	W	227	12	17	W	1	1	×
5	W	287	14	19	W	1	1	×
6	W	46	7	7	—	—	—	12
7	W	27	5	6	—	—	—	13
8	W	156	9	19	×	×	×	×
9	W	540	25	21	W	1	2	×
10	W	118	11	13	W	1	1	×
11	W	321	14	22	W	1	2	16
12	W	861	29	31	W	1	1	×
13	W	355	18	19	W	1	1	×
14	W	484	26	22	W	1	2	×
15	W	450	24	24	×	×	×	×
16	W	246	17	15	W	1	1	×
17	W	115	9	15	W	1	0.5	×
18	W	1210	35	37	W	1	2	13
19	×	×	×	×	×	×	×	×
20	W	148	14	11	W	1	1	×
21	W	671	19	40	W	1	1	×
22	W	39	6	7	W	1	1	×
23	W	280	19	18	W	1	2	×
24	W	374	21	23	W	1	1	16
25	W	146	15	11	W	1	1	16
26	W	157	13	16	W	1	0.5	14
27	W	303	18	21	W	1	1	×
28	W	170	18	12	W	1	3	12
29	W	296	22	15	W	1	2	×
30	W	114	14	8	W	1	1	×
31	W	23	4	4	W	1	0.5	16

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外			
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂	
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m	
1983.11.	1	W	92	13	9	W	1	2	×	×	19
	2	W	593	26	26	W	2	3	15	19	×
	3	W	41	8	9	W	1	2	×	×	×
	4	W	220	19	11	W	1	2	×	×	×
	5	W	273	16	18	W	1	2	×	×	63
	6	W	594	20	39	W	1	2	×	×	42
	7	W	807	30	25	W	1	1	×	×	40
	8	W	35	5	6	W	1	0.5	×	×	72
	9	W	569	20	36	W	1	1	×	×	75
	10	W	121	9	15	W	1	1	×	×	37
	11	W	206	12	17	W	1	1	×	×	24
	12	W	202	12	19	W	1	1	×	×	26
	13	W	188	14	16	W	1	0.5	×	×	×
	14	W	435	23	21	W	1	2	×	×	44
	15	W	297	19	15	W	1	2	×	×	33
	16	W	74	10	8	W	1	1	×	×	17
	17	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	18	W	251	15	18	W	1	1	×	×	16
	19	W	307	19	18	W	1	2	×	×	21
	20	W	16	3	4	W	1	0.5	×	×	55
21	—	—	—	—	W	1	2	×	×	70	
22	W	674	22	30	W	1	0.5	×	×	82	
23	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
24	W	352	18	21	W	1	1	×	×	24	
25	W	371	21	20	W	1	1	×	×	32	
26	W	68	8	11	W	1	1	*17	14	38	
27	W	322	14	31	W	1	1	16	16	39	
28	—	—	—	—	—	—	—	20	—	83	
29	W	104	11	13	W	1	0.5	*17	15	34	
30	W	41	8	6	W	1	1	×	×	×	

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1983.12. 1	W	280	17	19	W	1	1	×	×	33
2	W	81	10	12	W	1	1	×	×	15
3	W	170	12	15	W	1	0.5	×	×	24
4	W	207	13	20	W	1	2	×	×	28
5	W	179	12	17	W	1	1	14	13	×
6	W	231	16	15	W	1	1	*16	18	29
7	W	93	11	9	W	1	1	17	—	44
8	W	253	15	22	W	1	0.5	*18	7	×
9	W	283	17	17	W	1	1	*13	14	23
10	W	288	20	17	W	1	1	×	×	34
11	×	×	×	×	W	1	1	*16	14	×
12	W	623	30	22	W	1	5	*18	—	32
13	W	168	12	16	W	1	1	18	—	37
14	W	400	23	21	W	1	2	×	×	21
15	W	265	18	15	W	1	1	×	×	22
16	W	132	10	14	W	1	0.5	×	×	24
17	W	184	16	12	W	1	1	×	×	29
18	W	649	29	33	W	1	2	*15	14	×
19	W	221	14	16	W	1	1	×	×	×
20	W	598	22	32	W	1	1	16	14	52
21	W	18	3	6	—	—	—	19	—	32
22	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
23	W	348	16	22	W	1	1	*14	13	31
24	W	155	12	13	W	1	2	16	16	×
25	W	675	22	35	W	1	1	*13	12	×
26	W	361	23	17	W	1	2	×	×	27
27	W	216	19	16	W	1	2	×	×	25
28	W	155	14	13	W	1	1	×	×	25
29	W	267	16	19	W	1	1	17	16	25
30	W	321	19	18	W	1	2	*20	17	×
31	W	175	15	16	W	1	1	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外		紫 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m	×10ppm-m
1984. 1. 1	W	240	19	17	W	1	4	27
2	W	223	16	17	W	1	2	40
3	W	327	12	26	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×	×	2
5	W	241	14	30	W	1	1	*16 15
6	W	214	10	24	W	1	1	19 — 33
7	W	416	17	32	W	1	2	×
8	W	161	12	15	W	1	1	×
9	W	203	12	22	W	1	1	×
10	W	432	27	43	W	1	1	×
11	W	296	13	21	W	1	1	17 10 28
12	W	417	18	23	W	1	2	*13 15 35
13	W	39	7	6	W	1	1	×
14	W	433	14	27	W	1	1	*14 — 34
15	W	187	13	14	×	×	×	17 — ×
16	W	487	22	32	W	1	1	*16 18 8
17	W	341	16	21	W	1	2	×
18	×	×	×	×	W	1	0.5	16 — 39
19	×	×	×	×	×	×	×	×
20	W	1180	36	33	W	1	4	13 12 13
21	W	148	10	15	×	×	×	×
22	W	128	9	14	W	1	1	×
23	W	321	21	16	W	1	2	×
24	W	245	16	17	W	1	2	×
25	W	192	9	19	W	1	1	×
26	W	256	14	26	W	1	0.5	×
27	W	359	19	18	W	1	1	×
28	W	248	15	19	W	1	1	×
29	W	478	18	22	W	1	2	*12 13 54
30	×	×	×	×	×	×	×	×
31	W	168	15	14	×	×	×	×

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外		紫 外	
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m	×10ppm-m
1984. 2. 1	W	209	13	20	W	1	1	×
2	×	×	×	×	×	×	×	×
3	W	185	13	17	W	1	1	×
4	W	299	15	20	W	1	1	×
5	W	430	20	21	W	1	2	×
6	W	205	13	19	W	1	1	×
7	W	205	13	17	W	1	1	×
8	W	28	6	8	×	×	×	×
9	W	511	16	32	W	1	1	×
10	W	255	14	14	W	1	1	17 18 ×
11	×	×	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×	×	*19 — ×
13	W	284	14	26	W	1	1	16 8 9
14	W	199	10	19	W	1	2	*13 12 13
15	W	117	8	10	W	1	2	14 16 9
16	W	143	11	12	W	1	2	×
17	×	×	×	×	×	×	×	×
18	W	319	14	23	W	1	1	×
19	W	366	20	19	W	1	4	16 18 36
20	W	271	16	19	W	1	2	15 — 26
21	W	76	9	11	W	1	1	14 — 24
22	W	107	9	13	—	—	—	18 — 14
23	×	×	×	×	×	×	×	×
24	W	342	20	19	W	1	1	*15 — ×
25	W	116	9	12	W	1	1	14 — 19
26	×	×	×	×	×	×	×	×
27	W	206	13	16	W	1	1	×
28	W	317	19	14	W	1	2	×
29	W	102	7	15	W	1	1	×

表1.1.6 噴煙の上昇速度 (m/sec)、観測時刻はすべて09^hである

年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度
1980		1981		1981		1981	
12 11	1.6	4 23	1.4	9 17	0.5	12 8	1.7
15	1.8	25	2.0	22	3.1	10	3.1
23	3.1	30	1.7	23	1.5	12	2.0
1981		5 1	1.3	10 1	1.3	13	1.3
1 17	2.3	9	3.1	2	0.6	14	2.3
19	2.8	15	3.5	3	1.3	15	1.7
22	2.3	17	1.3	13	1.1	16	2.1
30	2.0	18	2.8	14	1.8	17	2.1
2 2	1.3	19	3.7	15	2.4	18	1.6
3	2.1	20	4.5	19	1.7	22	3.0
4	2.3	21	3.1	20	0.9	27	2.4
5	2.0	23	2.7	22	4.8	30	1.7
6	1.6	6 1	4.1	23	0.9	1982	
11	2.7	10	3.5	26	1.9	1 6	2.4
16	0.9	11	2.8	30	6.8	7	2.8
18	1.7	16	2.9	11 1	1.3	9	2.4
21	2.3	22	2.9	3	3.5	15	3.9
28	1.1	30	0.6	5	2.6	17	2.1
3 4	1.6	7 2	2.0	6	1.7	23	1.2
5	2.6	9	0.4	8	1.4	29	1.3
10	3.3	12	3.2	10	0.8	30	2.1
11	1.1	15	2.5	11	2.4	2 2	1.2
20	3.1	17	2.3	15	3.6	5	1.5
26	7.4	21	0.3	18	3.4	6	2.4
27	4.1	24	1.6	19	3.0	7	1.6
4 1	3.3	8 21	1.3	21	1.6	15	2.2
6	1.8	23	1.8	22	5.9	22	2.8
7	1.6	9 1	2.1	12 2	2.0	25	2.4
11	3.6	5	1.8	3	1.4	26	0.6
14	1.6	8	1.3	4	3.5	27	1.0
15	1.1	11	1.4	5	3.7	3 2	1.8
21	2.6	13	0.5	7	1.8	3	2.6
						6	2.6

表1.1.5 (続き)

年 月 日	可 視				赤 外			紫 外		
	色	量	高さ	幅	Col	Q	H	t ₁	t ₂	SO ₂
		×10 ² m ²	×10m	×10m			×100m			×10ppm-m
1984. 3. 1	W	466	29	27	W	1	2	×	×	12
2	W	295	12	24	W	1	2	×	×	×
3	W	120	11	15	W	1	1	*14	15	11
4	W	250	13	18	W	1	2	×	×	16
5	W	349	17	22	W	1	3	15	17	22
6	W	95	9	12	W	1	0.5	*16	12	34
7	W	158	10	13	W	1	1	×	×	18
8	W	217	10	19	W	1	1	16	13	37
9	W	412	20	21	W	1	2	×	×	20
10	W	128	12	10	W	1	1	×	×	35
11	W	311	16	19	W	1	1	*16	15	50
12	W	310	14	21	W	1	2	18	—	23
13	×	×	×	×	W	1	1	×	×	36

(3月13日観測終了)

表1.1.6 (続き)

年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度
1982		1982		1982		1983	
3 7	2.9	8 2	3.6	10 25	1.4	1 9	3.1
8	2.4	4	2.2	28	2.4	10	4.3
9	3.0	9	3.4	31	2.4	11	2.9
10	2.8	10	1.8			12	2.9
13	4.7	11	1.9	11 2	2.2	13	3.7
25	3.5	18	1.3	5	3.7	14	2.3
		21	2.4	6	1.0	15	2.3
4 4	7.7	23	3.6	8	2.2	16	3.3
7	0.9	29	1.8	9	3.0	17	2.3
10	2.1	31	4.5	15	2.8	20	2.2
14	1.9			20	5.6	22	2.6
17	1.9	9 4	7.3	23	1.6	23	3.4
18	2.4	7	1.5	25	2.1	25	2.7
29	1.0	9	3.7	27	2.3	27	4.7
		10	3.8			28	3.1
5 17	1.6	11	3.7	12 2	3.3	29	3.1
21	3.2	12	3.3	5	1.0		
29	1.7	16	1.8	7	2.3	2 4	2.6
		17	0.6	8	2.2	5	2.6
6 4	3.7	18	3.6	9	1.8	9	2.7
7	1.2	23	3.4	10	4.2	10	5.4
17	1.2	29	2.0	13	2.4	11	2.3
19	3.1	30	3.6	14	1.5	12	2.3
20	5.0			15	3.7	13	3.5
25	5.2	10 2	2.1	16	2.9	14	2.8
26	4.1	5	2.7	19	2.0	16	4.8
27	2.0	9	1.9	20	1.8	21	3.9
30	7.0	11	4.5	21	1.8	22	2.1
		12	1.7	23	5.6	25	3.1
7 5	4.0	14	4.1	24	4.8	26	3.2
7	3.2	15	2.6	27	4.2	27	3.1
10	2.9	16	3.1	28	1.8		
26	2.0	18	1.8	29	1.8	3 15	2.1
30	1.9	21	2.6	31	1.8	19	4.6
8 1	7.8	23	2.0			20	2.9

表1.1.6 (続き)

年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度	年 月 日	上昇速度
1983		1983		1983		1983	
3 21	3.0	7 1	3.8	10 3	2.3	12 20	3.3
25	4.8	4	1.6	4	2.4	24	1.3
26	3.2	6	1.6	11	3.0	25	2.2
27	2.4	8	3.5	12	3.1	26	2.0
28	4.8	11	3.1	13	1.9	27	2.3
29	5.5	12	2.9	16	3.6	28	2.5
31	2.8	13	2.6	18	2.6	29	2.1
		14	3.9	24	5.0		
4 3	3.1			25	5.7		
7	4.3	8 4	5.3	27	3.0	1 1	2.8
9	3.7	9	2.4	28	1.5	5	2.2
21	3.7	10	4.4	29	2.7	7	2.3
27	3.4	12	1.7	30	3.1	8	4.3
28	4.6	18	1.7			11	3.9
		19	1.4	11 1	3.5	12	1.5
5 8	2.7	20	2.8	2	3.3	23	2.2
11	2.2	21	5.0	3	2.5	24	3.3
13	5.1	22	1.1	5	3.0	28	1.8
14	2.7	24	1.5	6	3.9		
18	4.8	28	2.7	12	2.9	2 1	3.3
20	3.5	31	4.3	14	2.1	4	2.1
21	3.4			15	2.6	10	4.7
23	4.9	9 4	2.9	22	3.3	16	2.0
26	4.8	5	4.2	24	2.1	19	2.1
28	2.6	6	1.3	25	2.9	20	3.9
29	2.8	7	1.8			21	7.4
31	5.8	9	3.5	12 1	2.1	28	2.1
		14	2.8	4	2.1		
6 4	2.6	20	1.8	6	2.1	3 4	2.5
6	1.2	23	3.3	7	1.4	5	2.5
9	2.6	24	2.0	10	1.7	8	1.6
10	3.2	25	3.6	12	2.3	9	1.9
18	0.6	27	5.4	15	2.4	10	3.4
28	2.6	29	2.6	17	2.5	11	5.0
30	3.6	30	3.1	18	2.0	12	1.0