

第4編 リモートセンシングによる火口および 火口周辺の地表面温度の観測

第1章 総 説

田 中 康 裕

1.1 まえがき

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

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

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

気象研究所では、特別研究「火山噴火予知の研究（昭和49～53年度）」の一環として、

「火口周辺の地温変化の観測および結果の解析」

をテーマとする研究を5ヶ年計画により実施した。

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

「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」

をテーマとした研究を実施した。

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

なお、1977年には有珠山の噴火に関連して科学技術庁の特別研究促進調整費により、「1977年有珠山噴火」に関する特別研究の一環として、「噴火活動と地表面温度分布の変化に関する研究」を実施した。

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

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

昭和49年度

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

昭和50年度

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

昭和51年度

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

昭和52年度

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

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

動火口の地形図を使用してある。

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

1.2 観測に使用した計器

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

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

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

アメリカのMIKRON Instrument Co.製：MIKRON-44

アメリカのBARNES Co.製：PRT-5

松下通信工業株式会社製：ER-2002/SD

次に上記の各計器の特性を述べる。

IRA-301型赤外線走査計

検出器：Cd·Hg·Te。液体窒素冷却

波長帯域：8～14 μ

瞬間視野：6.7 mrad

感 度：0.1 $^{\circ}$ C

走査本数：100本/秒

走査角：92 $^{\circ}$

温度測定範囲：-10 $^{\circ}$ ～80 $^{\circ}$ C

揺れ補正：ジャイロにより $\pm 5^{\circ}$ 以内の横揺れ

記録方式：70 mm 白黒フィルム

DS-1250型MSS

検出器：Cd·Hg·Te。液体窒素冷却

波長帯域：8～14 μ

瞬間視野：2.5 mrad

感 度：0.2 $^{\circ}$ C

走査本数：80本/秒

走査角：87°（実質的には77°20'）

温度測定範囲：温度差60℃

揺れ補正：ジャイロにより±5°以内の横揺れ

記録方式：磁気テープ

MIKRON-44 型赤外線放射温度計

検出器：サーミスター・ポーロメーター内装

測定距離：0～∞m

波長帯域：8～15μ

視野角：1/3°

精度：±2℃

分解能：0.5℃

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

応答速度：1秒

電源：2.8V水銀電池

外形寸法：20cm×20cm×50cm

重量：2.2kg

PRT-5 型赤外線放射温度計

検出器：ゲルマニウムを使用したサーミスター・ポーロメーター

測定距離：0～∞m

波長帯域：8～14μ

視野角：2°

精度：±0.5℃

分解能：0.05℃

温度測定範囲：-70～50℃（3段切換）

応答速度：5，50，500 millisecondsの3段切換

電源：蓄電池内装

外形寸法：40cm×15cm×40cm

重量：13kg

ER-2002/SD型赤外線放射温度計

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

測定距離：2～∞m

波長帯域：8.5～12 μ

視野角：0.5°

精度：±1℃

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

120℃（レンジ“Wide”）において1℃

応答速度：レンジ“F”で0.1秒，レンジ“S”で1秒

電源：蓄電池内装

外形寸法：15 cm×23 cm×30 cm

重量：2.8 kg

1.3 空中観測による赤外熱映像の解析方法

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

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

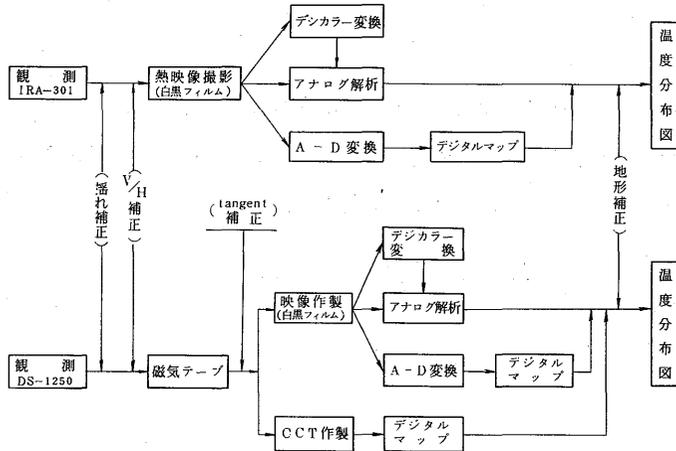


図 4.1.1 空中赤外熱映像の解析作業フローチャート

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

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

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

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

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

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

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

1.4 熱映像の地形補正

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

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

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

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

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

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

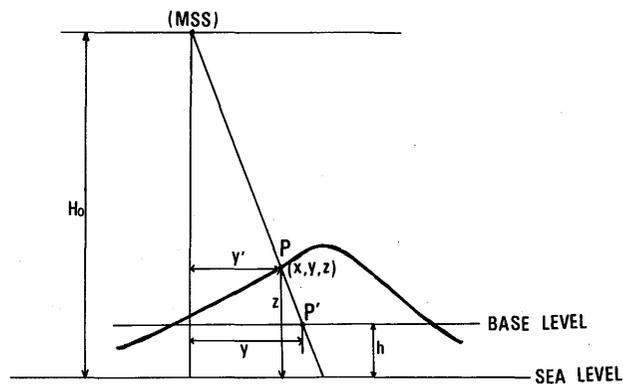


図4.1.2 空中赤外温度観測における地形補正

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

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

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

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

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

8) 赤外熱画像上の温度分布値をメッシュごとに地形図上メッシュに移す。

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

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

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

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

1.5 赤外線放射温度計による地上温度観測

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

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

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

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