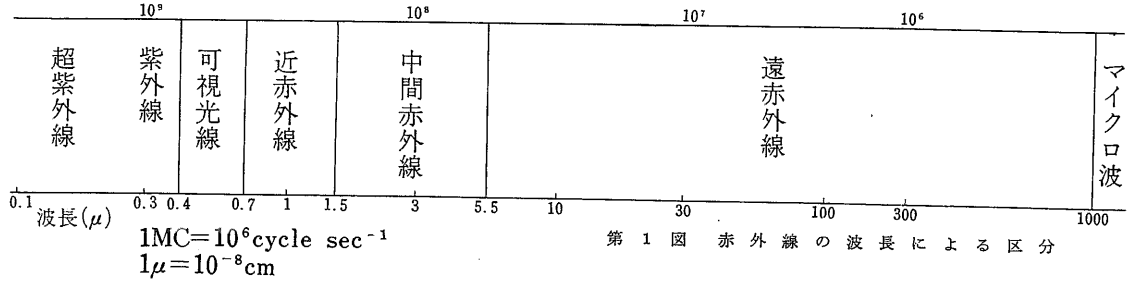


松野久也 長谷絃和

まえがき

1964年のアメリカ写真測量学会の30回総会で John L. Cantrell によって“赤外線地質 (Infrared Geology)”という言葉が提唱されている。写真判読に赤外線写真を応用しようという試み ないし実施は今さら目新しいことではないと考えられるであろう。しかしこれまで一般に赤外線写真と言われていたものは可視光線に近い波長およそ0.7~1.5ミクロンと言う短い波長の赤外線 言いかえれば近赤外線(near infrared)に限られていたのである。Cantrell によって提唱された赤外線地質とは これよりずっと長い波長の赤外線—すなわち中間~遠赤外線による地質調査のことであってこの点混同しないように始めにおことわりしておきたい。従来 種々のカメラとフィルムおよびフィルターの組合せによって 写真像としているいろいろの地質に関する情報が得られることは すでに実証されているところであり本誌にもその一端が紹介された(空中写真地質講座 および地質ニュースNo. 114)。そしてこれらは 各方面で実際の調査に応用されて多くの効果が挙げられている。しかし 普通の写真で取り扱える波長の範囲は 可視域(0.4~0.7ミクロン)を中心として 紫外域から近赤外域までの およそ0.3ミクロンから1.4ミクロンの間という狭い範囲の電磁波に限られている。ところが 最近になって 3~15ミクロンという長い波長の赤外線まで映像の形で記録することが可能となり これが地質調査に著しい貢献をなしつつある。

振動数(MC)



赤外線 (infrared rays) とは

赤外線は別名熱線ともいわれ 可視光線の赤端 波長およそ0.7ミクロンから 1000ミクロン位までの範囲にある電磁波をいう。そして人により多少 区分の仕方呼称が異なるが 波長によってこれを 近赤外 (near infrared)中間赤外 (middle or intermediate infrared)遠赤外 (far infrared)に分けるのが普通である(第1図)。もちろんこうした区分は便宜的なものであるから はっきりとした境界があるわけではない。

温度放射 (temperature radiation) と黒体 (black body)

絶対温度0度以上のすべての物体は その温度に対応する赤外線を放射しており 温度増加に伴って物体の赤外線放射エネルギーは 急激に増加する。

黒体の表面 1cm² から 1秒間に放射される温度放射エネルギー-Eは

$$E = \sigma T^4 \quad \text{で与えられる}$$

σ; 比例常数 T; 絶対温度

これをステファン・ボルツマンの法則 という。

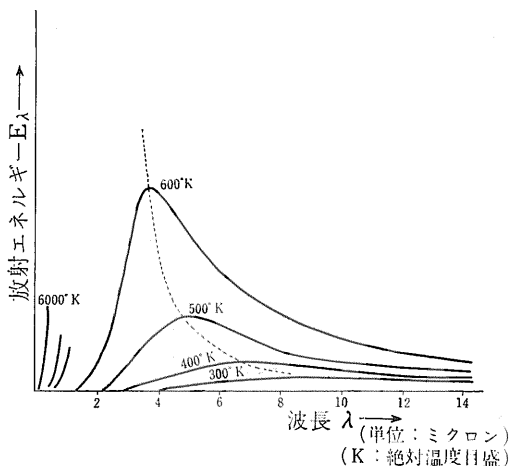
物質を熱していくと約600°Cで暗赤色の輝きがあらわれ さらに温度を上げていくと次第に明るさを増し 約1200°C で白熱するのをわれわれは実験によって知っているが 今 たて軸にエネルギー量を 横軸に波長をとって黒体から放射されるエネルギーのスペクトル分布を見ると(第2図) ある温度における最大放射に対応する波長は温度が高くなるほど短波長側へずれているのがわかる。そしてそれは 常温付近では9~10ミクロンのところにあり 太陽光 (6,000°Kの黒体のスペクトルに近似) ではおよそ0.5ミクロンのところである。

さて キルヒホッフによれば 与えられた波長においてよく放射する物体は またその波長でよい吸収を示し 物体の表面 1cm² から 1秒間に放射されるエネルギー Eλ と 物体に当る放射エネルギーのうちでその物体に吸収される割合 aλ との間には

$$E\lambda/a\lambda = f(\lambda, T) \quad \text{という式がなり立つ}$$

物体が入射する放射エネルギーを完全に吸収するとき aλ=1 となり このような物体を黒体という。実験室においては 完全黒体のモデルを容易に作ることができ

第1図 赤外線の波長による区分



第2図 黒体放射体のスペクトル分布

るが 自然界には全エネルギーを完全に吸収してしまうような物体は存在しないと考えるとよい。すずや白金黒は黒体はかなり近いもので 放射エネルギーのおよそ 99.8%を吸収する。

大気 の 選 択 吸 収

第2図からもわかるように 放射エネルギーの量は温度が低くなると急激に減少し 室温に近いような物体から放射されるエネルギー量は非常にわずかである。さらにもう一つの大きな問題として 地球を取りまく大気中の種々のガスの影響を考えに入れなくてはならない。

微量成分ではあるが 大気に含まれる二酸化炭素や水蒸気はある波長を選択的に吸収するので この部分の放射線は途中で吸収されて到達しないことになる。この様子は第3図に示されているが 15ミクロン以上では大きい吸収を示す。こうしたガスの影響を受けずに到達する放射線の部分を 赤外の窓(infrared window)と呼び われわれが実際測定しようとする対象となる部分である。

赤 外 線 放 射 温 度 計

以上から 物体の放射エネルギーを測定することによって その物体の温度を測定できる。これを応用したものに赤外線放射温度計があるが これから述べようとする赤外線探査装置に入る前にこれについてごく簡単にのべてみよう。これは 前述のように 絶対温度0度以上の物体は常に赤外線を放射し その強度はその物体の温度に比例するという原理にもとづいているもので 赤外線検知器の一つ Indium-Antimonide infratron detector は 放射される赤外線の強度に比例した信号電圧を発生する。この信号は増幅されてメータや出力指示器上に表示され この指示された信号はあらかじめ

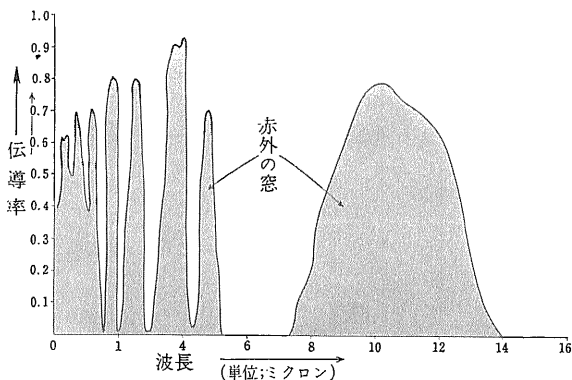
放射温度計に備えられた標準校正チャートによって温度指示を行なうように変換されるのである。こういった放射温度計は 完全な遠隔測定ができるという一つの大きな特徴をもっているの この点に注目して 移動中の物体とか あるいは近づきたい物体の表面温度を測定する といった応用面がひらけている。遠隔測定であるから 観測中の物体の表面に影響を与えず したがって 物体は汚染されたり 損傷されたりすることはない。こうして これらの温度計は 電気回路の異常発熱部の探知 電導体の適正な通電量の決定 化学反応の際に発生する反応熱の測定 さらには 人体の異常発熱部の探知など 工業 医学 その他の方面で広く利用されている。

赤 外 線 映 像 装 置

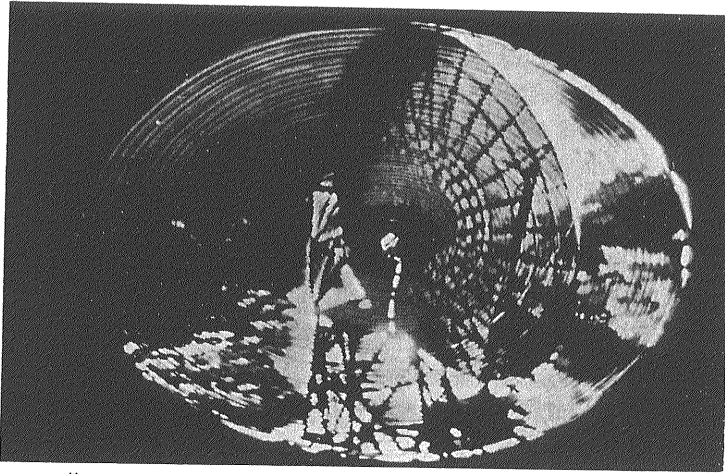
上にのべた赤外線放射温度は 従来 点または線に沿っての温度測定にだけ応用されていた。しかし ある視野で物体の表面上を走査する装置と 得られた信号出力を光に変換する装置を用いると 一定範囲の温度差を映像の形(写真の濃度)であらわすことができる。第4図はそうして得られた一例を示したものであつて 平面鏡を750rpmで回転させながら 400rpmに1回の割合いでわずかに傾きを与えることによって 長短径比が $\sqrt{2}$ の楕円渦巻状に視野を走査させ この視野中の赤外放射線をとらえたものである。第4図aはその撮像結果で 視野は20×14度 走査所要時間は16秒 走査本数は400本で表示はブラウン管を用いている。この装置によると煙突などは白く輝いた像として記録される。

空 中 赤 外 線 映 像 装 置

赤外映像をうるためには 今のべた例以外にもいくつかの型があるが これらは根本的には エネルギー源から空气中を通して到達した放射エネルギーをうける光学系並びに走査装置(a, b) 放射エネルギー検知器(c) 信号電圧増幅装置(d) および映像表示装置(e, f) からなつ



第3図 大気中を伝わるスペクトルの選択吸収の様子

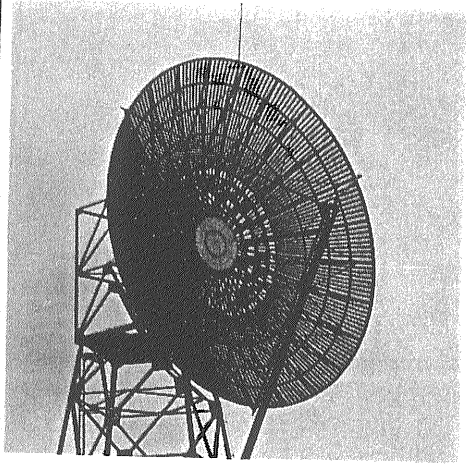


第4図a 日没直後距離60mで行なった撮像結果 背景は雲で熱放射によって白くみえる

ていることは わかっていただけたと思う。なお この自然の放射エネルギーを記録するパッシブな方法と関連して 人工的にエネルギーを発生してこれが地物にあって反射してくるエネルギーをとらえて記録する アクティブな方法があり レーダー写真などがこれに相当する。

赤外線映像装置を応用して ちょうど空中写真のように空中から地表の映像を得られないだろうか？ すなわちエアボーンへの利用が考えられるが これについて最近アメリカでいくつかの報告がなされている。

第5図にその原理図を示すが 航空機に赤外線映像装置を積み込んで 測定予定地上空を飛行しながら ある範囲の領域を走査する。この時前進方向は航空機によってなされるので 回転鏡を用いて地表からの放射エネルギーを瞬間的にとらえて行けば飛行方向に沿った一つの領域がカバーされる。そして 得られた映像を航空



第4図b 日中撮影した普通写真 (日本電気株式会社 通信技術研究所 提供)

機の進行に同調した送り機構によって記録すれば赤外線映像を得ることができる。

こうして得られた一つの例にハワイ島キラウエア火山頂上付近での試験記録がある。第6図の略図でもわかるように キラウエア火山の中央火口からは放射状のびた割れ目が発達しており こうした割れ目によってこれまでたびたび熔岩の流出があり 記録映画などを通してわれわれも 自然の創り出すすばらしい光景を身近かに感じているのであるが こうしたところは現在でもかなりの熱異常を示している。第7図aは 中央火口付近の赤外線映像で第7図bの空中写真を参考にして見て頂きたい。映像中にみられる細かい線は走査線である。

解像力など普通空中写真と比べると劣るが 映像の位置決定や その他補助として空中写真を用いれば問題の多くは解決されるだろう。

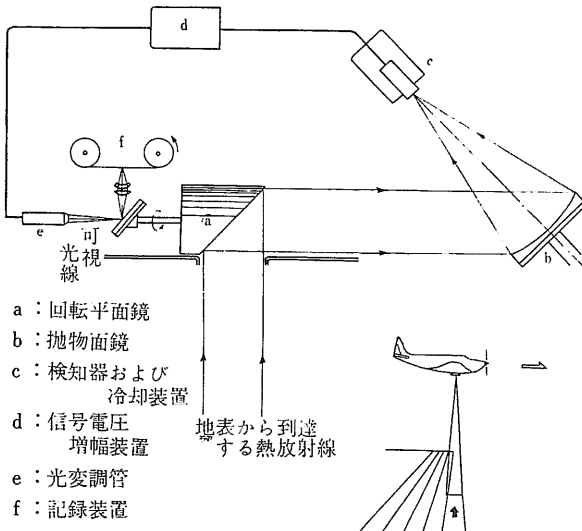
地質学への応用

こうした赤外線映像装置をエアボーンに応用した 空中赤外線映像装置を用いて 地質学にどのような貢献ができるかについて考えてみたい。

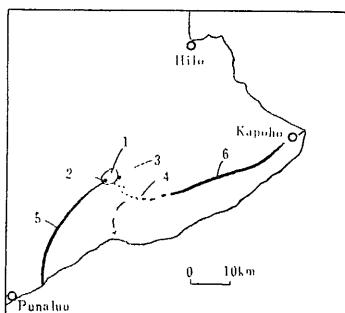
火山や温泉地域などで熱異常を示すところはとくにわが国の場合では多いが これらのうちで 数10度 あるいはそれ以上の高い熱異常地に関しては 山やけ 植生の欠如などの現象で 地表調査や空中写真観察によって容易に知ることができる。しかし 常温に近い温度で周囲よりわずかな熱異常を示すようなところについては 普通の空中写真観察ではまず不可能であるし 実際に地表調査を行うにしても非常に多くの困難を伴うであろう。

空中赤外線映像装置はこうした常温付近の探査を目的としたものだけに微弱な熱異常地を探るのに有効である。

また 空中撮像による映像記録の厳密な同時性に着目



第5図 空中赤外線映像装置原理図



第6図
ハワイ島キラウエア火山付近の略図

1. Kilauea カルデラ
2. Halemaumau
3. Kilauea Iki
4. Aloii
5. 南西にのびる割れ目帯
6. 北東にのびる割れ目帯

して 火山地域の定期的観測を行なえば 熱異常分布の移動から爆発予知の貴重な資料を得ることができる。

鉱床探査の面でも酸化帯における反応熱をとらえることによって 探鉱の一助となろう。

地表下を流れる浅層の伏流水の流路などを推定することができないだろうか。比熱の大きい地下水の流路に当たっているところでは 適当な時期 時間を選ぶことによってその違いが探知できるのではないか。平野地ではとくに地表面が平坦であるからこうした測定には適しているし また この地下水が海岸で海中に湧出している地点などを正確に把握できる。

その他 遠赤外の一部までという長い波長範囲が利用できるとなれば これに関して各種のフィルターが適用できることになるのでこの方面での開発が進めば 鉱物顕微鏡にそれを応用することも考えられようし いろいろ可能性をもった夢も浮かんでくるのである。

地質学以外への応用

最後に地質学以外の応用について考えてみると その

範囲は意外に広い。工業の分野における応用をはじめとして 気象学 大気汚染防止 海洋学 海況調査 農業および林業から宇宙工学まで 数えあげたら際限ないほどである。工業の分野では 火力発電所や工場の冷却水貯水池における冷却水の循環状況の調査に用いることができる。このような工場では 水をどのように循環させて使えばもっとも効率的であるかということは大きな問題である。すなわち わずかの温度差でも大きくひびいてくるのであるが 上述の赤外線映像装置が貯水池中のどの部分から水を汲み上げればよいか 適切な解答を与えてくれるであろう。

雲の動きやスモッグの追跡には このうえない威力を発揮するであろうし 海流や冷水塊または温水塊の分布の作図にも有効な手段となることが期待される。土壌調査 植物の生育状況や病害についても 他の方法では得られない情報を提供してくれそうである。さらに宇宙船に搭載して月の表面の地質図作成への利用も 米国の航空宇宙局や地質調査所で真剣に考えられている。

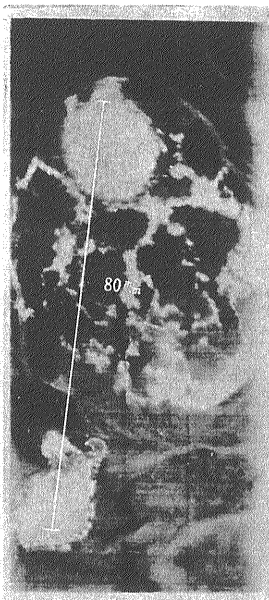
むすび

この空中赤外線映像装置の開発については まだ日も浅く したがって解決しなければならない問題も多い。それにもまして この装置によって得られる映像の解釈について検討を要する問題が 応用範囲が広がるにつれて 次から次へとあらわれてくるであろう。とにかく地質学上の問題の解決に当って これが一つの有力な手段となり得ることは疑いない。

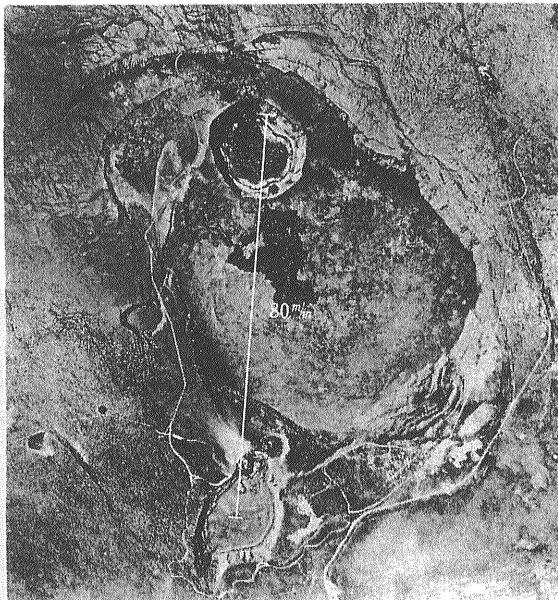
(筆者は応用地質部・地質部)

第7図
ハワイ・キラウエア
頂部付近

- a: 中央火口付近
赤外線映像記録午前7時2分
スペクトルの範囲4.5~5.5ミ
クロン 高度1,800mで撮影
- b: 普通空中写真
これらの両写真は アメリカ
合衆国地質調査所のWilliam
A. Fischer 氏より 前所長
斎藤正次氏に贈られたもので
ある



第7図 a



第7図 b