

地学環境の遠隔探知 赤外線 の地学への応用について

②

長谷 紘和

前号ではアメリカにおける Remote Sensing に対する地質分野での取組みと現状などについて述べた。今回は赤外線領域を応用した Remote Sensing の主題に入る前段階として、電磁波全般の性質を地球物質との相互関係という面から書いて見たいと思う。今日では電磁波の全波長領域について非常に多くの利用技術が進歩し、つい最近までは未知の分野に属していた赤外線領域も有効な検出器の出現によって研究が進められ、電磁波の全波長領域は知識の鎖でつながられたともいわれるほどで、その応用分野も一段と進展している。

しかしながら、電磁波と地球物質との相互関係という点については可視光域をのぞいてほとんど知られていないというのが実情である。筆者が今号でご紹介するのは、主として American Geological Institute から1968年に発行された Remote Sensing という教科書によって、この教科書 (short course lecture notes) は現在スタンフォード大学の Remote Sensing コースで教科書として使用されているものである。

Remote Sensing という言葉は訳すと「遠隔探知」ということになるが、あまり良い表現ではない。むしろそのままリモートセンシングと使った方がよさそうである。遠隔探知とは意味通りに解釈すれば、直接手をふれることなく対象物について種々の資料を得ることになるが、今日 Remote Sensing と呼ばれているものは地表面、月面あるいは他惑星から放射あるいは反射される電磁波を、いろいろの波長域、角度などで測定して物質の性質を研究する分野をいう。しかしセンチロメーターやガイガーカウンターなどは、電磁波の波長域を利用する探査方式であるが、これらは Remote Sensor には含まれていない。それはこうした技術が最初から上記の目的のために開発されたのではないこと

によるらしく、したがって Remote Sensing という言葉は厳密に定義することが困難である。厳密な定義をなれて Remote Sensing を広義に解釈すると、わが国古来の探査法についてたいへん興味深い文献を見出すことができる。

わが国古来の遠隔探知 (Remote Sensing) 法

今日のような各種の調査技術や交通機関、ましてや Remote Sensor などなかったむかしの人達は、地質や鉱床の調査にあたって、人間の五感にうたええる一種の遠隔探知方式に大いに重きをおいたことが推察される。

たとえば、日本における鉱床学に関する文献のうちでもっとも古いものの一つに数えられる「山相秘録」などにたいへん興味深い一節がある。山相秘録は、秋田藩の佐藤信景、佐藤信季、佐藤信淵らによって、文政10年(1827年)に出版されたものといわれ、その後、明治に入ってから数回再版刊行された古典的名著である。その総論に七金(金・銀・銅・鉄・鉛・錫・水銀)を産する山の相を鑑定して含有する金属の種類をきわめ、また産出量の多少、鉱床の地表からの深淺まで見分ける方法についてのべているくだりがある。この中に遠見の法、というのがあって、雨上りの日中、山の相を北からながめると、「青翠の中に別に霞光瑞あいを發して鮮明他に異なる所なるは、即ち諸金含有の山相」とのべている。

日中、遠見の法で見当をつけておいて、今度は夜中をえらび、月明りのない晴れた夜に熟視すると、「その山に含有する諸金より蒸発する精気を望見して、金なるか、銀なるか、あるいは銅、鉛、錫等なるかを視定むべし、これを中夜望気の法と名づく」とある(第一図)。また、「遠見といういへども、外山のふもとを距たること二十町を過ぐべからず」と霞光が大気中を透過する間に弱められることについても説明を加えている。われわれが自然界の中で、ある種の動植物が、われわれの感覚器官ではとうてい識別できないものを容易に感知するのを知って、驚かされることがあるのと同様に、山相秘録の著者等が、われわれの及ばない鋭い五感の持主だったのかも知れないが、このような古典の中に今日の言葉でいう、広義の Remote Sensing を見出すことはたいへん面白いことである。



第1図 中夜望気の法・諸金より蒸発する精気を望見して金なるか、銀なるかを視定むべし。

今日の Opt-electronics 技術は われわれの肉眼に“見える” 範囲を大幅に広げてくれた。

電磁波の性質

さて 話をもとにもどそう。電磁波は波動および量子の性格を兼ね備えたエネルギーの一態で 主として分子や原子の振動によって生成される。

歴史的に17世紀の後半では電磁波(光) (electromagnetic rays 以後簡単のために EMR と呼ぶことにする) は微粒子 (ニュートン) とも また 波動(ホイゲンス) とも考えられていた。 光を波と考える人々は 波が “エーテル” 中を伝播してくるのであると考えた。

ちょうど 音波がガス状物体 液体あるいは固体中を伝播するのと同じ考えである。 やがて 研究が進み EMR は粒子と波との両者の性質を合わせもつことが明らかにされてきた。 今日では EMR が空間を一定速度で伝播する波 (continuous wave) であり またエネルギー量子であると考えられている。

われわれ地質学の分野で EMR に対して特に深い関連を持っているのは 岩石顕微鏡等により薄片の透過光あるいは磨面の反射光を研究している人々である。 しかしながらこの分野では EMR はほとんど可視光域のみで利用され わずかに γ 線 X 線あるいは赤外線領域で利用されているに過ぎない。

Remote Sensing データの解釈に当らうとする人々は当然 EMR の広い範囲の波長域の特徴を理解することが必要となってくる。 次にのべるのはこのためにわれわれとして必要な最少限の知識である。

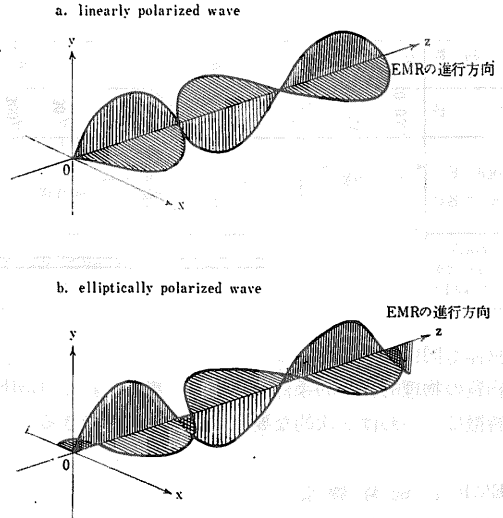
EMR 放射は温度に関連するエネルギー強度 振動数 波長 および偏光 (polarization) などによって特徴づけられる。 偏光という言葉は可視域で用いられるものであるから 全波長域について 一般的にいう場合には polarization としてそのまま用いる。 EMR の伝播速度と振動数 波長との関係はよく知られているように

$$c = f\lambda \quad \text{で与えられる*}$$

- c : EMR の真空中の伝播速度
- f : 振動数
- λ : 波長

*注 X線 紫外線 可視光線 および赤外線を取り扱う人は EMR を波長で区別するのが一般的である。 他方 マイクロ波など波長の長い EMR を対象とする人は一般に 振動数で表現するのが慣行となっている。

EMR 放射は波の形で表現され 正弦関数の形をとるが 放射源から 十分離れた距離では波面 (wave fr-



第2図 Polarize された EMR の例

ont) は面と考えてよい。

源から放射される EMR は おもにおびたしいランダムな原子 分子の振動によって生成されたものであるからこの EMR には方向性はない。 しかし 電場 (あるいは磁場) のベクトルが方向性を持っているとき この EMR は linearly polarized (又は plane polarized) されたという (第2図)。 たとえば 一本のアンテナから発信される 長波長の EMR は linearly polarized されていて この様な方式によって得られるレーダー映像などは polarize された EMR の記録である。(後述)。 完全に polarized された EMR と全くランダムなそれとの間には無数の段階がある。

電磁波スペクトル

EMR は 波長 振動数によっていろいろの名称が与えられている。 それらを表示すると第1表のとおりである(第1表)。

すべての波長域に対して有効な検出器というのは現在存在しない。 これは今日各種の Remote Sensor がそれぞれの有効波長域で考案設計されていることにもつながっている。

EMR の性質のうちで大切なことは すべての物体は絶対温度 0°K 以上 (-273.16°C) では その温度に比例した EMR を放射している ということである。 この事実をもっとも基本的かつ重要な原理である。 われわれは温度に関係した EMR というときすぐ赤外線を思い出すが そうではなくすべての EMR に共通の性質でたとえばレンズの焦点に置かれた物体が熱せられるのは 誰でも知っているし レーダーの強いビーム源近くにあ

振動数 (ヘルツ)	10^{20}	10^{18}	10^{16}	10^{14}	10^{12}	10^{10}	10^8	10^6	10^4	10^2	10^0					
波長	0.03Å	0.3Å	3Å	30Å	300Å	3μ	30μ	300μ	0.3cm	3cm	30cm	3m	30m	300m	3km	30km
電磁波 (E. M.R.) の名称	ガンマ線	X線	紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波 (レーダー)	超短波	ラジオ電波	低周波							
今日 Remote-Sensing として用いられている波長帯																

第1表 電磁波の区分表

注: $1\text{Å} = 10^{-8}\text{cm}$
 $1\mu = 10^{-4}\text{cm}$

る物体も同様に熱せられる。

物質の物理的・化学的条件によって規制される EMR の特徴は、いわば 2 次的な要素といえることができる。

EMR と地球物質

EMR と地球物質 およびその他天体などの物質との相互作用に関しては、現在多くの特徴ある関係が見出されつつある。それらは EMR の各波長域とその波長域における物質の表面およびその状態、化学組成、物理条件の関数である。たとえば EMR は可視光域では表面で反射するが、それよりずっと長い波長域では地中のある深さから反射される。元地質調査所応用地質部長の蔵田延男氏が、かつて地質ニュースに「地下のある深部を見透せるジェオインサイドコープ」という器機を地質家の理想的な道具の一つとして書いておられたが（地質ニュース no. 110）EMR のこうした原理と技術の進歩から見て、近い将来われわれの道具としてそのような器機が実現の段階に入るのではなかろうかという気がする。「反射面」が地表であれ、ある深度をもった地下であれ、EMR はこの「面」の組成によって、独特な吸収のされ方をするから、地表下で反射された EMR は、地下の情報を大いに内蔵しているものと考えられるのである。

一般的法則として、物質は構成する分子、あるいは原子、およびその集合体である結晶の粒子の大きさが EMR の波長に近いか、またはその整数倍になっている時、物質と EMR との相互作用が強く行なわれる。さらに分子、原子の数が多いほど相互作用は強くなる。われわれは Remote Sensor によって EMR を大気を通して見るわけであるから、種々の圏内で EMR が影響を受けることも考慮しなければならない。大気圏内では大気中のガスや粒子により、水圏では液体により、また岩圏では岩石などの固体やあるいは孔隙などによって影響される。エネルギーの一態としての温度に関する特質のほか、EMR では、次のような現象が特徴的であり、Remote Sensing に関しては重要な要素となっている。

- 1) EMR の反射
- 2) EMR の透過・吸収
- 3) ドプラー効果

そこでまず EMR の反射に関する幾つかの主要な特徴を、次に述べよう。

EMR の反射

可視光の場合、光の反射や透過に関してわれわれは物体を光学的に透明であるとか不透明であるとか表現するが、EMR 全体については電気について呼ぶように、良導体 (conductors) および不良導体 (dielectrics) などの呼び方をする。自然界にあっては、物体はすべて EMR に対しある抵抗値をもっており、物体から反射された EMR は入射量に対して完全に等しくなるということはなく、幾分かは物体内部で吸収される。そして conductivity が低くなればなるほど吸収が顕著になり、従って反射量が少なくなる。

今 EMR が面に対して直角より小さいある角度で媒質中に入射する場合について考えてみると、入射エネルギーの一部は反射され、また残りは媒質中を透過進行しながら媒質に吸収される。全反射は可視光では良く知られているように、媒質が光学的に密な物質から光学的に粗な物質に入射するとき生じる現象である。同様に電磁的に粗な媒質である大気中を通して伝播された EMR は、密な媒質である地球物質によって大きく吸収され、完全に反射されることはない。

EMR が地球物質によって反射される場合、反射のされ方としては鏡面状反射と乱反射が上げられる。入射 EMR の波長に対して物質表面が「滑らか」である時、鏡面状反射が生じるが、ある入射角をこえると急に乱反射の性質を帯びてくる。この関係は数学的には非常に複雑な証明を要するが、ある誤差の範囲内では Beckmann および Spizzichino (1963) (Beckmann, P. and Spizzichino, A., 1963, The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces: New York Mac Millan, 503p.) による表面の粗さと入射 EMR の経験式が適用できる。

彼等によれば鏡面状反射がおこるための物質の粗さ h は次の値以下でなければいけない。すなわち

$$h < \frac{\lambda}{8 \sin \theta}$$

λ : 入射 EMR の波長

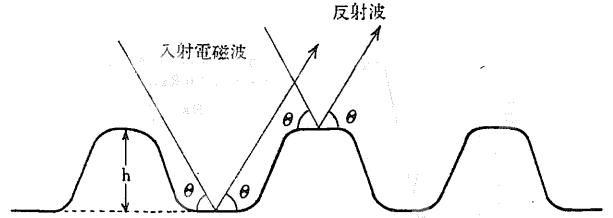
θ : 入射角

h : 表面の粗さ

この時入射 EMR は表面に対する入射角と等しい角度で反射される。一般に地表面などはかなりの粗い表面を持っているから入射 EMR の大部分はいろいろの角度を持って反射される。このような反射の形態は「乱反射」と呼ばれる。乱反射した EMR のある程度はもとの入射方向に反射する成分も持っている。この入射方向に返ってきた反射 EMR をとらえて映像を作るのがレーダー映像などの方式である。上式によれば入射 EMR の波長が長くなるほど鏡面状反射のおこる粗さ h は大きくなる。しかし数 cm から数 10 cm の波長を持つ EMR で得られるレーダー映像からみても分かるように地表面は一般に EMR に対して十分に粗い表面を持っているといえることができる。

EMR の透過

長波長域では上述のような入射 EMR の表面における反射と同様に物質中の透過現象が重要性を増してくる。地球物質中を透過する EMR の大部分は物質によって吸収される(吸収された EMR は物質の表面温度でさまる別の波長域で再放射される)が地球物質はそれ自体独自の EMR に対する導性を持っているので地表面から入射してある程度透過しさらに深部に達する。しかし透過に関しては物質の導性だけで大気中から入射される EMR の透過を示す指標にはならない。すなわち可視光域で良く知られているように反射透過は表面の粗さによって大きく変化する。それで地球表面物質の EMR に対する透過の特性は次の 2 つの値で表わされることが分かる。一つは物質そのものの導性でこれを真空中における測定値との比であらわした dielectric coefficient ϵ' で表現する。他の一つは表面の粗さによって変化する透過特性でそのような粗表面物質は lossy dielectrics と呼ばれる。この lossy dielectrics 物質 (lossy material とよばれる) の特性は loss factor ϵ'' で表現され $\frac{\epsilon''}{\epsilon'}$ 比が物質の EMR に対する透過を表わす尺度として用いられる。 $\frac{\epsilon''}{\epsilon'}$ は別名 lossy tangent と呼ばれる。 ϵ' と $\frac{\epsilon''}{\epsilon'}$ は EMR の波長(振動数)によって変化する。Dielectric coefficient ϵ' はかなり広い波長域(振動数域)にわたってほぼ一様な値をとることが知られているが loss factor



第3図 Beckmann および Spizzichino による反射面の粗さ(高さ h で表わされる)と入射角 θ との関係を示す図

ϵ'' は一般に波長が長くなると増大するから波長の長い EMR では地下かなり深くまで透過される。

これらを示す事実の一つとして EMR のマイクロ波領域を利用して得られるレーダー映像は植生に対してかなり透過力を持ち厚い植物被覆の地域でもその下に隠された地質を表現することが確かめられている。最近ではさらに長いメートル単位の波長域によって地下の地質および構造を映像の形で表示できるといわれている。この場合の透過深度は地表面を形成する物質によってかなり変化するだろう。この方面の研究は装置も大がかりなもので知られる限りでは現在アメリカにおいてのみ研究が進められているようである。

ドプラー効果

EMR のもう一つの特徴としてドプラー効果があげられる。相対的に移動する EMR の発信源から出て地表面で反射してもとの発信源に返ってくる EMR はその相対速度に比例して振動数が変化する。この原理はレーダー映像獲得や位置確認に使用されるドプラ航法などに利用される。この場合の振動数の移動は次の式で表わされる。

$$f_d = f_0 \frac{1 - \beta \cos \theta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{ここに } \beta = \frac{v}{c}$$

f_d : 観測される振動数

f_0 : 発信時の振動数

c : 真空中における EMR の速度

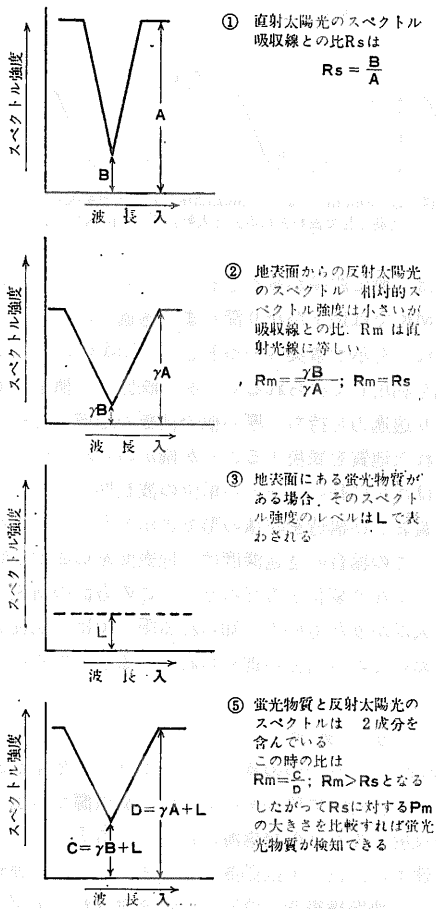
v : EMR 源の速度

θ : 移動体の方向と目標とのなす角度

このように EMR の場合のドプラー効果による振動数の変化は波源と観測者との相対速度だけで決まる。

EMR を利用して得られる Remote Sensing データ例
今まで EMR と地球物質との相互作用に焦点を合わせながらそのおもな特徴について述べてきた。

ここではいろいろな波長域(振動数域)を利用して



第4図 紫外線 Remote Sensor の原理図

地表面のデータを得る例についてご紹介する。そしてそれらの例は 今日 Remote Sensing data として受取られているものである。

EMR によって地球物質のデータを得る方法には大きく分けて二つの方法がある。

1 つは 受動的 (passive) 法と呼ばれるものである。この方式では物質それ自身が放射する EMR をとらえる方法で 紫外線 赤外線 あるいは passive micro 波などが含まれる。

他の 1 つは 能動的 (active) 法とよばれ 源から EMR を放射し その反射波をとらえる方式である レーダー映像などがこの範ちゅうに入る。

可視光域を利用する写真は 撮影時には太陽光を利用する訳であるから中間的な性質といえる。

紫外線利用による Remote Sensing の例

紫外線波長領域 (4000-0.5 オングストローム または振動数 $8 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ GHz) も Remote Sensing の目的に使用されており 最近の結果は地質を含む広い範囲で適用が考えられるようになってきている。

昔から蛍光物質である灰重石 (CaWO_4) やタンゲステン鉱床の探査に 手持ちの紫外線ランプが利用され夜間の野外で使用された。 今日エアボーンとして登場したのは フラウンホーファー line-depth 法と呼ばれ 日中太陽光下での使用が可能である。 その原理は まず太陽スペクトル中にみられるある特定の吸収線に注目し この吸収線の中心部と そこからスペクトル上のある一定の距離 (数オングストローム) におけるスペクトル強度の割合を比較することによるものである。

この比は太陽光それ自体でも あるいは地表面から反射して返ってくる光でも同じはずである。ところが地表面に蛍光物質があると 反射光の中にその影響が含まれるから その比は変わってくる (第4図)。灰重石に限らず 磷酸塩鉱物のあるもの 重晶石 エバポライトなどでは蛍光を発することが知られ それらが近紫外から可視光域の EMR によって刺激される。それであるから この方法は上記のような物質の地質探査目的に使用できる他 むしろ地学以外の分野で大きな効果を発揮しそうである。たとえば 魚のあるものは身体の表面から蛍光質油を出すことが知られているが この油が水面に油膜をつくり 上空からでもその存在や移動を知ることができる。さらに 最近 特に問題になっている公害の中で水質汚染などの探知に効果が期待されるであろう。 Hemphill によれば絹などを紅色に染める時に用いられる ローダミンという染料は溶液で蛍光を放つが この染料を海中に流して行なった拡散実験結果によれば ヘリコプター高度から 染料が海水中に拡散して 5ppb (1000分の1ppm) のレベルに下るまで検出された。 今後は大気中に含まれる蛍光物質の検出など 公害対策の一手段として威力を発揮するであろう。 さらに詳しいことを知りたい方は 次の参考文献を読まれることをおすすめする。

紫外線 Remote Sensing に関する参考文献

Dubois, Jean, 1959, Contribution a l'etude de la luminescence lunaire: Ceskoslovenke Akademie Ved, Rozpravy vol. 69, 42p.
Grainger, J. F., and Ring, J., 1962, Anomalous Fraunhofer line profiles: Nature, vol. 193, p. 762.
Hemphill, W.R., 1968, Remote detection of solar stimula-

ted luminescence: 19th Congress of the International Astronautical Federation, p. 1-6.

Kozyrev, N.A., 1956, The luminescence of the lunar surface and intensity of the solar corpuscular radiation: Izvestia Krymskoi Astroizitcheskoy Observatoriy, vol. 16, p. 148-161.

McCord, Thomas B., 1967, Observational study of lunar visible emission: Jour. Geophys. Research, vol. 72, no. 8, p. 2087-2097.

Myronova, M.M., 1965, Luminescence in the crater Aristarchus: Akad. Nauk Ukrainskoi SSR, Main Astronomical Observatory, no. 4, p. 455-459.

Noxon, J., and Goody, R. M., 1965, Noncoherent scattering of skylight: Aked. Nauk SSSR, Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics Series, vol. 1, no. 3, p. 275-281.

Spinrad, H., 1964, Lunar luminescence in the near ultraviolet: Icarus, vol. 3, p. 500-501.

可視光線利用による Remote Sensing の例

可視光域は波長およそ0.4-0.7ミクロンの範囲内にあってわれわれの視覚に感じる EMR である。この波長域はすでに空中写真などによって衆知のことであるから説明の要はないと思われる。最近では可視域でも各種の波長域フィルターを用いて写真を撮影する方法 (multiband camera) とそのデータの解析研究が進められておりこの多波長写真が Remote Sensing 特に人工衛星高度からの写真撮影において有効であると言われている。EROS 計画では次の四つの帯域による写真撮影が行なわれる予定になっている。

第 2 表

名	称	使用波長域 (ミクロン)
カ	赤	0.610-0.890
ラ	色	0.470-0.610
緑		
近	赤	0.680-0.890
赤	色	0.590-0.715

赤外線写真 (赤外線映像と区別して使用すべきである) はスペクトルの可視光線の中で波長の最も長い赤色光の外側 (長波長側) にあってわれわれの肉眼には見えないが写真乳剤には感光する赤外線波長領域 (近赤外とも写真赤外とも呼ばれる) によって得られる写真である。したがって特殊な感光乳剤フィルムによって普通写真と同様な撮影ができる。このフィルムを現像し赤色に発色させたものがカラー赤外写真で、赤外線領域の光線をよく反射する植物などが分かりやすく赤色で示される (地質ニュース no. 182 表紙参照)

赤外線利用による Remote Sensing の例

赤外線映像は物体それ自体から放出される EMR をとらえて表示する。受動的 (passive) 方法の代表的な例である。本シリーズの目的が赤外線映像とその地学への応用にあるのでこの Remote Sensing 法については後に詳述する。ここではごく概念的なことと映像例を掲げるだけに止めておく。

EMR の基本的な性質として絶対温度 0 度以上の物質はすべてその温度に比例する EMR を放射することについては前に述べたが物体の温度が常温付近にあるものではその放射される EMR の波長域はほとんど赤外領域に移動する。たとえば常温 (30°C) 付近の物体が放射する最大エネルギーを示す波長はおよそ 10 ミクロンの遠赤外領域にあるし、赤熱した溶岩 (1200°C) が示す最大放射の波長はおよそ 2 ミクロンの中間赤外領域にある。したがって赤外線領域で地表の EMR をキャッチしそれを映像化した赤外線映像は地表面の温度分布に対してもっとも忠実な情報を提供してくれるわけである (第 5 図)。

このような映像表示の Remote Sensing とは別に地表面物質の赤外領域におけるスペクトルを空中から記録しこれによって地表面物質の岩質を明らかにする方法などもある。この場合は温度データとしてよりもむしろ岩石の化学組成、物理条件などが主要な検知要素となり空中から地質図 (岩質図) の作成も考えられる。

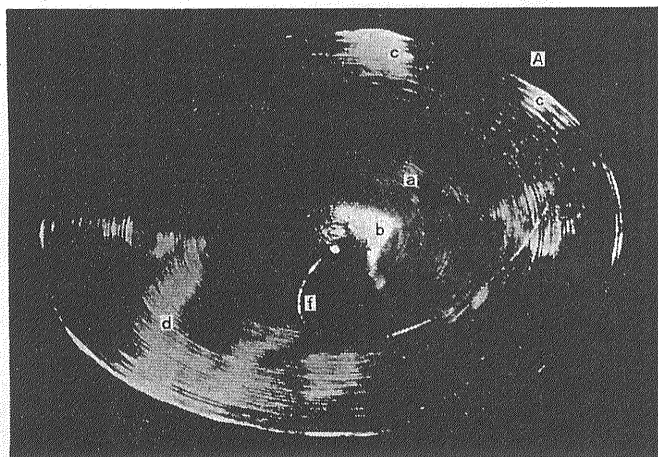
マイクロ波利用による Remote Sensing の例

マイクロ波領域は 3-300GHz (波長 1mm-1m) の EMR である。この領域ではこれまでの慣習上振動数で表現されている。マイクロ波の利用技術は可視領域とともにもっと進められてきた分野の一つであるがこれまで地質学に対する働きかけはほとんど皆無であったと言ってもよい。最近漸く地質家もこの EMR と地質との相互作用について研究を始めるようになってきた。しかし Remote Sensing 装置は一般に非常に複雑で高価でありわれわれが簡単に使いこなせるものではないことを頭に入れておく必要がある。

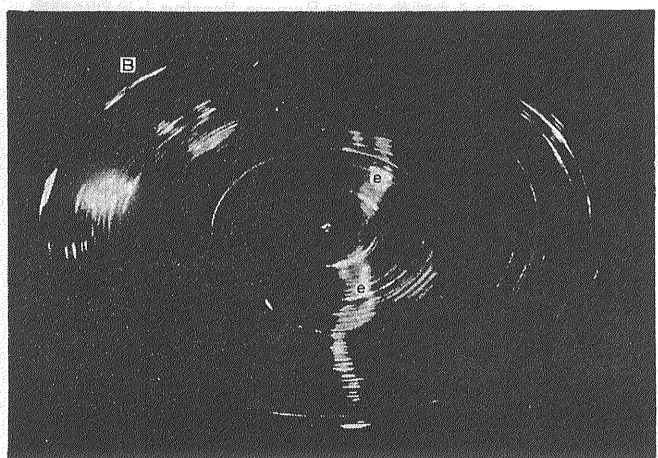
この波長域の Remote Sensor としては大きく 2 通りが上げられる。その 1 つは受動的 (passive) マイクロ波法である。マイクロ波領域でも EMR は温度と関連していることには間違いない。ただしこの領域では全体に物体それ自体から放射される EMR のエネルギー量は非常に小さくなる。受動的マイクロ波法ではこの微少なエネルギーを映像の形で表示するものである。表示されたデータは温度と関連する輝度温度

(brightness temperature) として表現される。このデータが果たしてどれほど地学分野において有効であるかについて現在筆者には不明である。ただ、マイクロ波領域ではある波長(振動数)域をえらべば、大気中の

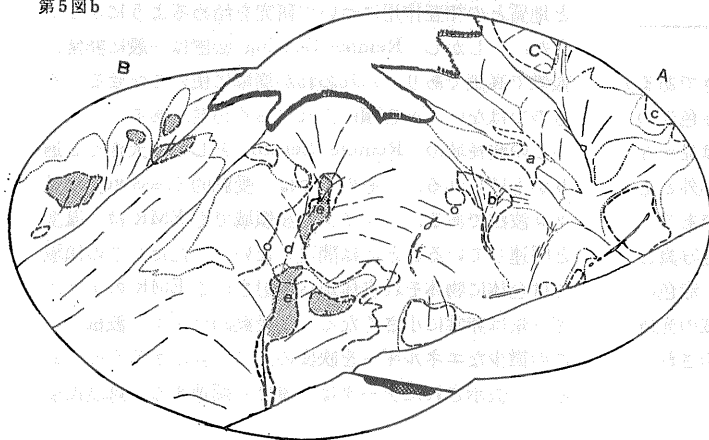
透過特性が非常によく、地表面をすっきり覆う雲海の上からでも、地表のデータがとれるという利点はあるようである。興味のある方は、現在筆者の手許に受動的マイクロ波の理論および技術に関して、下記のような参考文献があるのでお読みいただきたい。



第5図 a



第5図 b



第5図 c 赤外線映像の例 (a, b) と実験対象地のスケッチ (c) が国における地学的応用を目的にした赤外線撮像実験 (1966年3月9日) で実験初期の例である。箱根大湧谷地熱異常地におけるもの (スケッチ図 c 参照) 地熱異常地 a~d の中でとくに高温部が e で示されている

Pascalar, H.G., 1969, Microwave radiometric instrumentation for remote sensing applications: 14th Annual Technical Symposium Proc., Aug. 11-14, San Francisco, Calif., p. 1-18.

もう一つの方法として能動的 (active) 法としてのレーダー映像がある。Radarとは英語の Radio Direction-finding and Rnging の略称で、アンテナを用い EMR の送受信を行ない対象物の方向、距離などを測定する装置のことをいうが、指向性をもったアンテナから出された EMR の反射波をとらえてこれを映像の形で表示したものがレーダー映像である。その他連続的に EMR を発信し、ドプラー効果を利用して移動物体の速度、あるいは位置を測定するドプラーレーダーなどもある。

ここでは Remote Sensing の一手段として地学分野で研究が進められている Side looking radar (SLAR という) 映像について、簡単にご紹介する。

SLAR は航空機からコントラストの強い地表の写真様映像を得るためにデザインされたものである。その原理は航空機上の EMR 発信器からアンテナを経て発信された EMR が地表にパルスの形で向けられる。そして次の EMR が発信される間発信器は受信器として働き送られた EMR の反射波を受ける。この受信電波は記録装置に送られ、陰極管上に表示された後記録される。この繰り返して航路に沿った地域の映像が連続して得られる仕組みである。EMR はこの場合 polarize されるので、映像も垂直、水平 polarization の二通りが得られる。装置のデザインによっては一回のパルスでカバーされる地表地域は、航空機の航路に沿って幅 1km 位から 40km 以上にまで広げることができる。一般に地学目的のためには、できるだけ広い地域をカバーした方が利点があるので、アンテナは航空機から地面に下した垂線より幾分傾むけてある。このため航空機の直下の映像は得られない。さて、得られた映像はちょ

つと見るとコントラストの強い白黒空中写真のように見える(第6, 7図)。

しかし次に示すような点でそれとは異なっている。

撮像の原理から斜写真のような幾何学的性格を持ち、映像のコントラストは発信された EMR の反射によって形成されるので、その影(radar shadow)は点光源下に目を置いて地表の起伏をみるような関係にある。したがって影の部分は、地表面の情報は全くないものと考えてもよい。またマイクロ波領域では、EMR が大気中であり減衰しないので、晴天、日中にかぎらず、いつ

でも映像が得られる。

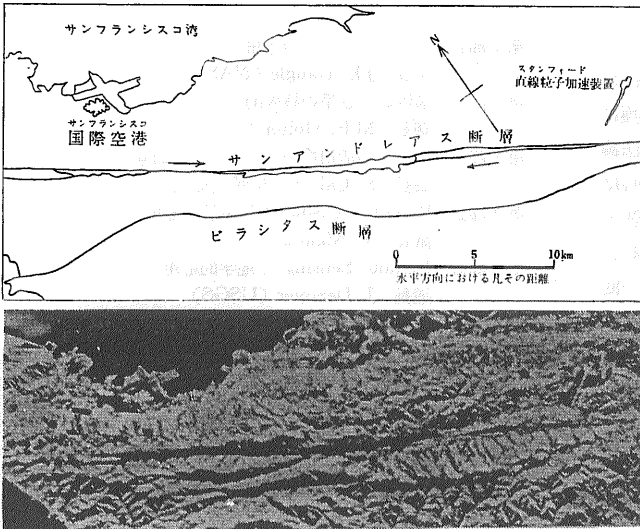
わが国では、まだこのような side looking レーダー映像は得られていない。レーダー映像を解釈する場合には基本的に、次の利点が考えられる。

1) 映像はその影(radar shadow)の方向によっては地質構造を大きく強調することが考えられる。

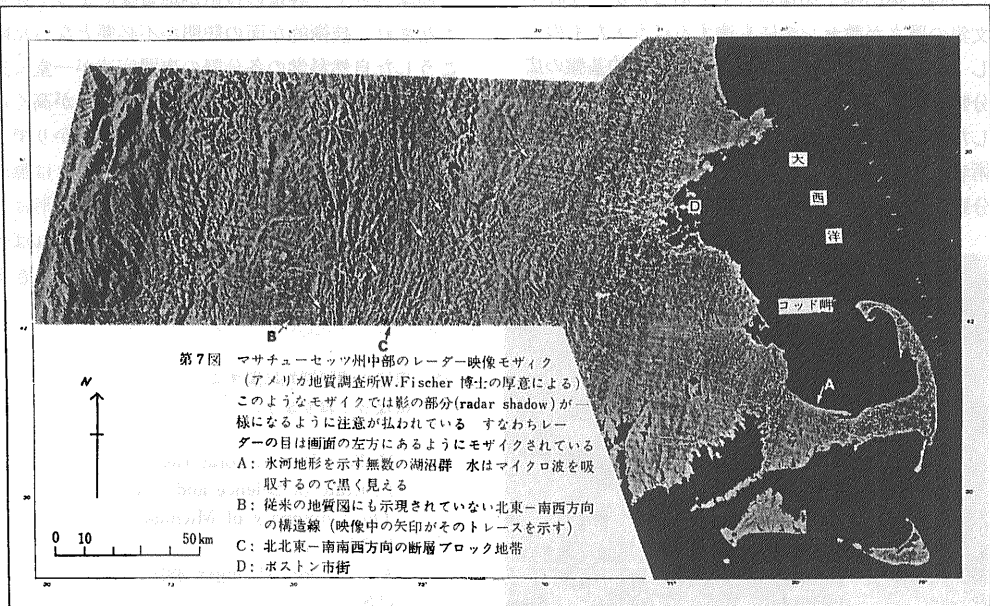
このことは航空機の飛行方向によってある地域の大構造を非常によくとらえることができるが、反対に方向を間違えば、得られた映像がほとんど地質構造を反映しないものになってしまう可能性が十分にある。

2) マイクロ波領域では EMR は地表の植生をかなりよく透過するから、植生が密で地表露頭がないといった場所では有効性が特に高いであろう。

3) さらに長波長のレーダー映像(波長メートル単位)では、映像は地表面下の地質および地質構造をかなり良く反映するという。長波長のレーダー映像について筆者はまだ実際にみたことがないが、現在アメリカでは研究が進められている。これらの長波長レーダー映像の解釈については、前に述べた物質の lossy tangent などに関する研究の積み重ねが必要であろう。



第6図 サンフランシスコおよびスタンフォード大学周辺のレーダー映像(水平 Polarized)画面。水平方向に比べて垂直方向は著しく縮まっている。撮像方式による本質的なものである。



地学関係のレーダー映像とその判読に関する研究は主としてアメリカ写真測量学会会誌である Photogrammetric Engineering と、毎年ミシガン大学で開催される環境の遠隔探知に関するシンポジウムの会報に報告されている。ミシガン大学におけるシンポジウムはおそらく Remote Sensing に興味を持つ人にとっては逃がすことのできない学会活動であろう。筆者も滞米中この学会に出席したので、その時の模様も含めてこのシンポジウムについてご紹介したいと思います。

環境の遠隔探知に関するシンポジウム (Symposium on Remote Sensing of Environment)

前回のアメリカ地質調査所 W. Pecora 博士の言葉にもあるように、資源の需要の著しい増大に対する方法論の確立の必要性は、アメリカでは各方面で早くから叫ばれ、さらに進歩した効率のよい資料獲得法と解釈に関する研究が推進されてきた。そして研究推進をはかる目的として、1962年2月、ミシガン大学において、第一回の環境の遠隔探知に関するシンポジウムが開催され、以後同年10月に第二回、1964年10月に第三回と毎年一回ほぼ10月に開催されてきている。筆者は、滞米中の1969年10月、第六回シンポジウムに出席する機会を得た。ミシガン大学は早くから赤外線に関する物理光学的の研究が進んでいるところで、シンポジウム開催地としての素地を備えている。

シンポジウムの後に出版される会報 (proceedings) は第一回目の時は提出論文20篇足らずであったが、現在では、論文集の厚さが数センチにも達するぼう大なものへと発展し、アメリカのこの分野における科学的基盤の広さと各分野での研究の意気込みがうかがわれる。筆者の出席した感じではシンポジウムは Remote Sensing 装置技術者によって得られるデータ判読関係者などいろいろの分野からの専門家の集まりであるので、何か焦点

のとらえがたい感じがした。シンポジウムは10の各分会に分かれ、地学関係はこの中の第五分会に属し、討議が行なわれたがデータ獲得の方法自体がかなり多岐にわたるし、かつ専門的な知識を要するものが多く、したがって発表者は技術的な説明にもかなり持時間を割かれるといった状態であった。地質関係の討論会が行なわれたのは Horace Rackham 記念講堂のホールの一つで、参加者はおよそ400~500名であった(第8図)。

10の分会は次のように分れている。

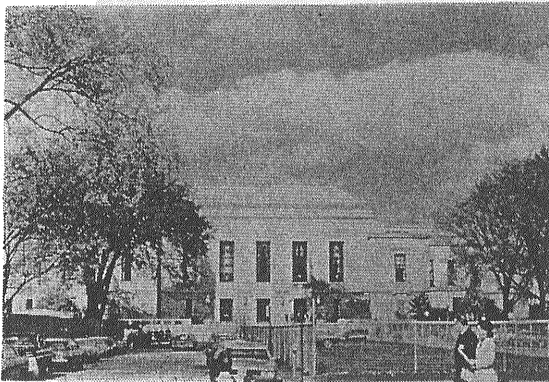
- 第1分会 多波長写真とその応用
議長 J.E. Naugle (NASA)
- 第2分会 装置および系の技術的な分析
議長 M.R. Holter (ミシガン大学)
- 第3分会 データの活用についてのパネル討論
議長 S. Cain (ミシガン大学)
- 第4分会 Remote Sensing の気象学的応用
議長 T. Malone
- 第5分会 Remote Sensing の地学的応用
議長 J. Denoyer (USGS)
- 第6分会 Remote Sensing の海洋学的応用 (第1部)
議長 G. Ewing (ウズホール海洋研究所)
- 第7分会 Remote Sensing の地理学的応用
議長 J.C. Sherman (ワシントン大学)
- 第8分会 Remote Sensing の海洋学的応用 (第2部)
議長 J.W. Sherman (US 海軍海洋局)
- 第9分会 Remote Sensing の農林学的応用
議長 B. Spada (森林局)
- 第10分会 Remote Sensing の地球外惑星研究に関する応用
議長 G.P. Kuiper (アリゾナ大学)

地学分野で、各種の技術が地質家によって完全に使いこなされ、技術的な面の説明が不必要となった時には、こうした自然科学の各分野の専門家達が一堂に集まるシンポジウムは、すばらしくポテンシャルが高くなるのではなかるうか。装置自体はかなり大がかりで、必ずしも多くの地質家がこれを直接使用することは無理だとしても、幾つかのグループによる共同使用の形は、わが国でも取れるのではないかと思う。そうすれば各自の研究分野でデータを有効に使用できる機会ができるだろう。(つづく)

注 環境の遠隔探知に関するシンポジウムの事務局は下記住所になっております。

Willow Run Laboratories
Institute of Science and Technology
The University of Michigan
P.O.Box 618
Ann Arbor, Michigan 48107
U.S.A.

(筆者は応用地質部)



第8図 シンポジウムの会場となった Horace Rackham 講堂 (ミシガン大学)