

資 源 探 査 衛 星

松野久也

はじめに

いまや世界的にみて、人口の著しい増加と工業生産の目覚ましい発展に伴って、生活と生産活動のための環境の整備・管理と工業生産の要求する資源の獲得とがますます急を要する問題となっており、この傾向は将来いっそう著しくなることは疑いのないところである。これに対して、環境調査および資源探査を促進する能率的な方法を絶えず追求して行かなければならない。

この点、過去数10年間、とくに第2次世界大戦後、空中写真およびその関連技術と空中物理探査技術とが大きな役割を果たしてきた。しかしながら、現在われわれが直面している問題は非常に大きく、また色々な分野において世界的な視野に立っての施策が必要とされる今日、既存の機器および方法を、さらに広く活用しても追いつかない事態にきているといっても、いいすぎではなからう。いまこの間隙を大きく埋めるものとして期待を受けて登場してきたのが、人工衛星と種々の遠隔探知技術とである。

1957年10月4日、ソ連の人工衛星スプートニク1号がはじめて地球軌道を飛んで全世界を異常な興奮の渦に巻きこんでから、米・ソ両国の国の威信をかけた宇宙開発は、この7月にはアメリカのアポロ11号によって3人の宇宙飛行士が月に着陸するまでに急テンポで進められてきた。この間に多くの軍事偵察衛星、科学・技術衛星が生まれ、これらからの波及効果として、通信、気象、航行、測地などの実用衛星が生まれ、われわれもその利益を身近に享受できる段階にきたのである。

一方、1968年にスプートニク1号が打ち上げられてから10年目を記念して、8月14日から同27日までの2週間オーストリアのウィーン市で「宇宙空間の探査と平和利用に関する国連会議(United Nation's Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space)」が開かれ、宇宙開発を実施している国が得た成果を基礎として、宇宙開発による利益、とくに開発途上国が受けられる利益と、宇宙開発における国際協力に宇宙開発を実施していない国々が果たすことのできる役割が、74ヵ国、約600名近い参加者によって討議された。

この会議におけるグループ討論の対象となった大きな課題の1つに「衛星による地球資源探査」があって、とか

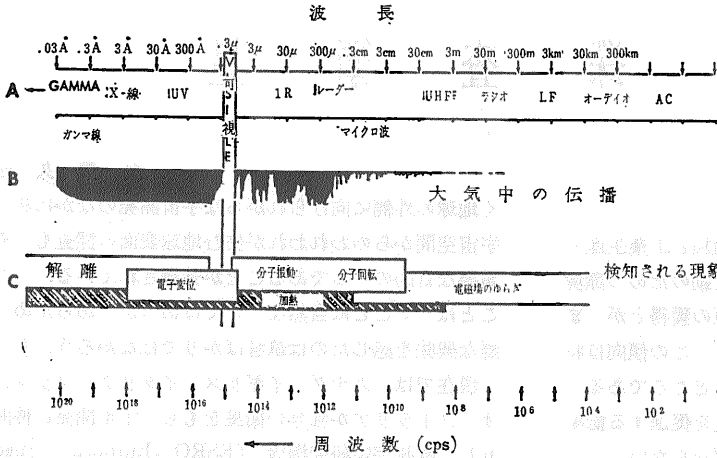
く地球の外側に向けられがちな宇宙開発のなかにあつて、宇宙空間からのわれわれが住む地球表面の探査も、その重要な目的の一つであることが強調されている。このことは、まことに当然なことではあるが、あらためて新鮮な興味を感じたのは筆者ばかりではなからう。

現在では、カナダ、イギリス、イタリア、フランス、オーストラリアが独自の衛星をもち、宇宙開発に仲間入りし、欧州宇宙研究機構(ESRO=European Space Research Organization)がヨーロッパ10ヵ国の加盟のもとに、米・ソに対する宇宙開発における第三勢力として平和目的のために宇宙研究を推進しつつある。わが国でも宇宙開発事業団を発足させ、宇宙開発を一元化しようとしており、このなかで資源探査衛星について委員会を組織しようという動きがある。

資源探査衛星

物体を7.9km/sec.以上の速度で地面に平行に投出すと、地球を中心とした円または楕円を描く人工衛星となる。しかし、11.2km/sec.以上の速度となると、地球の引力に打ちかって地球の引力圏から脱出するようになる。すなわち、人工衛星とは物体に7.9km/sec.以上の初速を与えて発射し、地球の周囲をまわすようにした物体のことである。人類初の人工衛星スプートニク(Sputnik)1号は、英語の衛星(satellite)に相当するロシア語のsputnikを固有名詞として用いたものである。有人衛星は、無人の人工衛星(artificial satellite)と区別して、衛星船あるいは宇宙船(spacecraft)と呼ばれるのが普通である。また、地球の引力圏をぬけ出して太陽のまわりを回るものを人工惑星と呼ぶ。

1969年4月1日現在、米国防総省の調べによると、宇宙空間をまわっている人工衛星および人工惑星の数は1649個にのぼる。そのうち、地球軌道をまわる人工物体は、アメリカが有目的物280、破片964、同じくソ連が各々66、247、イギリスが20、カナダが30、フランスが519、欧州宇宙研究機構(ESRO)が30である。国際地球観測年中に打上げられた人工衛星は、高層気象や地球の物理観測を目的としたものが多かったが、地上偵察、気象観測、旅行生物試験、テレビ中継、戦略など、いろいろな目的に使われ、宇宙旅行のための中間ステーション用の人工衛星も提案されている。



第1図 遠隔探知に重要な電磁波の性質

細かい点については 後から述べることにして 人工衛星あるいは宇宙船からの観測のもっともすぐれた点として 次の5項目を挙げることができよう。

- 1) 非常に広い範囲を1度に観測できること
- 2) 世界中をカバーできること
- 3) 非常に早い速度であること
- 4) 反覆観測が可能であること
- 5) 一定の太陽角度で観測できること

これから述べようとする資源探査衛星は 上述のような人工衛星の特徴を利用して 地球表面の観測・探査を行なうことを目的とするものである。これを国連報告の用語に従えば「地球環境内の状況とそこにおこりつつある変化とを 地球圏外から早い速度で反覆観測し その情報を人類に伝え かつ理解させることを特徴的機能とする人工衛星」ということができる。

遠 隔 探 知

宇宙空間から地球表面の調査および探査の手段として大きくクローズアップされたのは遠隔探知方式である。この方式に利用される機器 装置の原型は 本来航空機からの遠隔探知 すなわち空中探査に用いられているものであり 方法としては根本的には全く変らない。装置としては 磁力計のような場の力を測定するものと対象物から放射あるいは反射される電磁波エネルギー強度を測定あるいは記録するものがある。そして後者はさらに 受動的な方法と能動的な方法との2つに分けることができる。すなわち 太陽光の反射エネルギーを記録する空中写真は前者に属し 人工の電磁波を放射し その対象物からの反射エネルギーを測定・記録する

レーダーあるいはレーダー映像装置は後者である。

現在人工衛星あるいは宇宙船からの探知装置として おもに考えられているのは 電磁波の放射あるいは反射エネルギーを測定・記録する装置であって 遠隔探知装置という用語を 狭義にはこのような装置にだけ用いる人もある。

これら遠隔探知方式は 現在航空機上からの地球表面に関する迅速な情報獲得の手段として 環境調査 資源探査ばかりでなく 地学 農学 林学 水文学 海洋学など地球表面に関する科学・技術の分野における問題解決に大きく貢献しつつある。この面で ここ数10年間に大きな役割を果たし 長足の進歩を遂げてきた遠隔探知法の1つが 可視光線を中心として 近紫外域から近赤外域の一部にわたる 電磁波エネルギーを記録する空中写真である。普通の白黒写真は主として地表の地物の平面的配列と立体幾何学的形状の把握 すなわち地図作成あるいは地形測量に広く かつさかんに用いられてきた。可視光線の全波長域を記録するカラー写真は 地球表面の地物の識別にきわめて効果があり 写真判読の分野で威力を発揮しつつある。0.7~0.9 μ の波長域を記録するいわゆる赤外線写真は 地表の地物の含水率の差をその濃淡に記録し 沿岸測量 土壌調査 森林調査にかなり広く用いられている。空中写真およびその関連技術は すでに一応完成された遠隔探知方式であり 宇宙空間からの遠隔探知方式として現存するもっとも効果あるものと評価され 現に宇宙空間から地球表面あるいは月面の探査に実際に用いられている。

上述の写真で扱える電磁波の波長域を含めて さらに短い波長域および長い波長域にわたって 特定の波長域を分割して 選択的に記録することによって それぞれの波長域に応じて 地球表面の化学組成および物理的条件について 特有の情報が得られる(第1図)。中間赤外線から遠赤外線の1部を記録することによって 遠隔操作で地球表面の温度分布を探知することができ 紫外線領域の波長が特定の物質の識別に役立つことも知られている。また 赤外線装置を用いて夜間における観測あるいは映像の獲得が可能である。赤外線装置は天候に左右されるが レーダー装置は昼夜・全天候に適用で

第 1 表 地球資源データ収集装置応用範囲一覧表

	農	林	地	理	地	質	水	文	海	洋						
	植	土	火	交	居	大	組	地	蒸	地	積	熱	海	生	流	
	草	植	災	通	住	地	構	敷	降	雨	雷	水	熱	海	生	
	かん	種	地	お	地	形	層	地	分	下	調	雷	熱	水	物	
	木	類	利	よ	図	作	学	敷	布	水	査	河	水	学	面	
	密	お	地	び	候	成	地	マ	お	汚	の	川	面	上	下	
	度	よ	探	結	汚	地	質	ン	よ	流	の	流	の	の	の	
		び	利	合	染	形	構	ト	び	汚	流	の	の	の	の	
		活	関	関	学	学	成	ル	浸	出	出	出	出	出	出	
		力	係	係	学	学	学	研	透	出	出	出	出	出	出	
		差			学	学	学	究	出	出	出	出	出	出	出	
Metric camera	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Panoramic camera	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Multispectral tracking telescope	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Multiband synoptic camera*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Radar imager	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Radar altimeter/Scatterometer				?	?											
Wide range spectral scanner**	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
IR radiometer/Spectrometer	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Microwave imager		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Microwave radiometer	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Laser altimeter/Scatterometer																
Magnetometer																○
Absorption spectroscopy																○
Radio frequency reflectivity																○
View finder***				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ultraviolet spectrometer-imager																
Earth based sensors****		○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○

(*) フィルム回収および写真電送両方式を示す
 (***) 0.32~14.0ミクロン
 (****) この装置は宇宙飛行士の視距を光学的方法で強化しかつそれに方向データを与えるものである
 (*****) これら地上に設けられる探知器には、いろいろな固定式のものおよび移動式のものを含む。すなわち、パイロメーター、地震計、流量計などであり、地表近くにおかれ、多くの利用者のために、地球資源に関する現象を検知、記録し、かつ伝達するものである。(今日、このほかに予想される応用範囲がたくさんあると考えられているが、おもなものだけにとどめた)

き かつ発信装置、観測範囲、受信装置の関係位置を任意に決定できるという利点がある。

後章で詳しく述べるが、現在アメリカ合衆国で進行中の地球資源観測衛星計画(Earth Resources Observation Satellite Program 略して EROS 計画という)では、かなりの数にのぼる遠隔探知装置が考えられている。いまその主要なものを、それぞれの利用面をあわせて表示すると第1表の通りである。これらは、各協力政府機関および学会などの意見を総合したものであるが、種々のカメラ装置を除いて大部分のものは、現在航空機に搭載されて、宇宙からの観測への応用の可能性と実用性について検討が加えられつつある段階にある。

すなわち、ヒューストンの有人宇宙船センター(Manned Spacecraft Center)では、上昇能力の大きな航空機

を利用して高い高度からこれらによるデータ獲得の実験を行なっている。この実験は、始めにコンペア 240 A に、測量用カメラのほか、赤外線および紫外線映像装置、多波長帯域カメラ、レーダースキャッターメーターを搭載して実験を行なっていたが、1969年にはロッキード C-130 が使用されるようになり、さらに現在では上昇能力40,000フィートのロッキード エレクトラ(P-3)がこの実験のため就航している。このロッキード エレクトラ(P-3)には、2台の測量用カメラ(RC-8) 広波長帯域赤外線放射計、多チャンネル赤外線分光計、400MHz スキャッターメーター、自動マイクロウェーブ映像装置、RS-7 赤外線映像装置、スキャッターメーター-13.3Gc、DPD-2 レーダー、多チャンネルマイクロウェーブ放射計など、非常に多くの遠隔探知装置が搭載されている。

第 2 表 内務省・農務省の要望する仕様の要点

仕 様	理 由
地上分解能 100~200フィート	小縮尺の地図上に記入される地物の大部分は 大きさ100~200フィートあるいは それ以上のものである。低い解像力はデータの有効性を減少し 高い解像力は小縮尺で検討する場合データが多すぎて繁雑になる。
映像範囲 100×100 マイル (10,000平方マイル)	地球の曲率の大きな影響がなく正射投影的に撮像できる最大の大きさである。また この大きさは 地域的なあるいは大陸毎の集成映像を作成するために合理的な大きさであろう。(アメリカ合衆国本土全体で約 400 枚を必要とする)。
3つの波長帯域で同時撮像 1. 510 ミリマイクロンを中心として100ミリマイクロンの帯域 2. 780 ミリマイクロンを中心として150ミリマイクロンの帯域 3. 前記2波長帯域の中間の100ミリマイクロンの帯域	地物の識別・同定のため 色の組み合わせが濃淡により忠実に表現されるであろう。そしてモヤを透過し 水面下の地物の作図のため 海洋 内湾 湖水等で最大の透過が得られる。 水に対して最大の暗黒化が得られる帯域。これによって 汀線の詳細な作図ができ 地表面の相対的湿度分布および植物の活力差を推定することができる。 他の2つの波長帯域に関連して 農務省が選定した帯域。植物群落の区別および農作物の識別・同定を可能とする。
太陽の動きに一致した軌道 北緯50°で春分点において30°の太陽角度	太陽の動きに対する同期状態は 衛星・地球・太陽の3者が 如何なる経度においても一定の角関係にあることを意味する。これによって同一地域の反覆映像は常に同じ太陽光の照射角度で撮像され 地物の変化の比較を容易にする。
寿 命 1 年	四季を通じての変化の反覆観測が得られる。

このほか 軍関係 アメリカ合衆国地質調査所 大学 営利会社などにおいても 新しい遠隔探知方式の研究が進められ そのデータが研究者の利用に供せられ 種々の調査 研究のための新しい機器としての地位を確保しつつあり レーダー映像や赤外線映像のように営利事業として成立しているものもある。

E R O S 計 画

前に述べた通り 資源探査衛星計画として 現在具体的に進行中のものは アメリカ合衆国内務省地質調査所長所管の EROS 計画である。この計画は1966年9月に公表されたものであり 内務省は NASA (米国航空宇宙局=National Aeronautics and Space Administration) 農務省および他の政府機関と密接な連繫をとりつ

について 過去約5ヵ年間にわたって検討してきた。この結果 宇宙方式が科学的にも経済的にも他に比類ない多くの利点をもっているという結論に達し 地球資源調査のため その利用を勧告するにいたった。そして1971年に 本格的な地球資源観測衛星 (EROS) の前段階として 地球資源技術衛星 (ERTS=Earth Resources Technical Satellite) 2 を打上げることを目標として 1970会計年度に1,410万ドルを要求する段階にきている。これについて内務省が掲げている利点を要約すると 次の通りである。

- 1) 反覆カバーが可能であり しかも航空機によるカバーに比べて 1回当りの費用が非常に低廉である。また積雪や地表水の分布などのような時間に左右される現象の反覆観測が可能となる。
- 2) 狭い視野(20°以下)の観測装置を経済的に使用できる利点がある。そして 航空機からの観測に比べて 地球表面の“一様なながめ (uniform view)”が可能となる。狭い視野の装置(狭い写角のカメラ)からの映像は 正射投

- 1) 宇宙から地球資源の遠隔探知による調査を実施する場合 その利点についての評価
- 2) 地球資源調査のための宇宙方式の立案

影に近くひずみがない。狭い視野の映像は 航空機からの広角(90°)のカメラによる映像に比べて 水面からの反射がなく より大きな透過が期待でき 海洋調査に有効である。

- 3) 人工衛星は 太陽の動きに一致した軌道を飛ぶことができる。したがって ほとんど様な照明条件のもとで世界中の広い地域の映像を得ることができる。

このような観点に立ったこの衛星のもっとも主要なユーザーである内務省および農務省の要望する人工衛星とそれに搭載するカメラ装置の仕様の概要を表示すると第2表の通りである。

この EROS 計画は 前述の通り 内務省地質調査所の所管であるが 内務省傘下の各局の参加はもちろんのこと 農務省 NASA 海軍海洋局(Naval Oceanographic Office)および他省庁の協力が含まれている。地質調査所は わが国の国土地理院と地質調査所を一諾にしたような機関であって 国土基本図としての地図作成ならびに地理調査と地質および資源調査 さらにこれらに関連する科学・技術の研究を行なっており 空中写真をはじめ種々の遠隔探知技術のこれらの分野への応用について 永年にわたる経験をもっている。また EROS 計画の可能性を実証した点で高く評価されているジェミニシリーズの衛星による宇宙写真の地図作成 地理調査 水文調査 地質および資源調査への応用に関する研究も手がけて来たのである。このような関係から 地質調査所がこの計画の所管機関となったのは当然のことであろう。そして1966年7月以来 NASA の資金が地質調査所に投入されることになったのである。しかしながら この計画は非常にぼろ大なるものであり 地質調査所の研究陣・技術陣だけでは到底手に負えるものではなく 実際の試験研究の大部分は全国の大学 研究機関に委託研究の形で実施しているのである。

地質調査所内における組織としては 所長のもとに研究調整官(Research Coordinator)——現在は1961年国連の空中探査講習会の写真地質の教師として来所した William A. Fischer 氏である——とそのスタッフ(RESECS = Remote Sensing Evaluation and Coordination Staff)があって 各分野 各省庁との間の調整に当たっている。そして所内の各分野すなわち 地図作成 地質 水文 地理の各分野への応用計画に関しては 数人の専門スタッフメンバーがおかれ 業務遂行の任に当たっている。このような業務形態は 各方面 各機関 各研究者からのいろいろな提案を完全な計画として総合する面で非常な困難はあるが 一方では広い範囲から豊富な経験をもった

人材の参加が得られ 新しいアイデアが得られるほか 著名な学者の有効な貢献が得られるという点で はるかに利点があると考えられている。長谷技官の留学中のスタンフォード大学においても 地質調査所 NASA の遠隔探知に関する委託研究を実施し 遠隔探知装置を搭載して飛行実験が行なわれている。これらの実験を委託された人々は それぞれの実験について絶対的な主導権をもっており その成果については 月毎に技報を提出し 全体を集大成した成果は3カ月後に90日報告(90 days report)として提出することが義務づけられている。この90日報告が提出された後に それぞれのデータが公表されるようになっている。

NASA における同時撮影カメラ

すでに述べた通り 現在宇宙空間からの遠隔探知にもっとも広く 普通に用いられ かつ偉力を発揮しつつある装置は 種々のカメラ装置である。月着陸を目指すアポロ計画において 月表面の地形 地質に関する情報収集にもこれが もっとも偉力を発揮したことは読者の皆さんのご承知の通りである。

この観点から NASA では 多波長帯域(multi-spectral band)の同時撮影カメラ(synoptic camera)の開発とその資源探査への応用に関する実験にとり組んでいる。この実験の前駆となったのは ジェミニ計画であり 現在ではアポロ計画のコースで 取組まれている。もちろん この実験は特定の宇宙飛行方式に対してのみ考えているのではなく 多波長帯域の遠隔探知方式の有効な応用面を確立するための実験とみることができる。事実 地球資源観測衛星では 情報(写真像その他)のテレメトリーが要求されているが 現段階においてこの実験は有人衛星船からフィルムを回収することを立前として実施されている。

この多波長帯域の同時撮影カメラとは 写真域の全波長帯域を分割されたいくつかの波長帯域でカバーし 同時に数個の波長帯域で同一範囲を撮影し 一度に多くの情報を得ようとするものである。これは 被写体からの反射率が波長によって変化するという われわれのよく知っている事実に基づいたものである。この実験の目的は4個および6個のカメラによって 同時に異なった波長域の写真を同時に撮影し 1度に最大の情報を得るためのフィルムとフィルターの組み合わせを決定することにある。前者すなわちカメラを4個用いる実験に対して 多波長帯域地表写真という名称が与えられ 後者に対しては 多波長帯域同時写真という名称が与えられており それぞれ SO65 SO42 のコード番号が付されている。



第2図 ジェミニ5号による写真 写真の上部は ハリケーンの目をとらえたものであり 周辺では気流の渦巻状の動きがみられる。写真の下半部は 褶曲構造が明瞭にとらえられている (モロッコの Cape Ras Rhir 上空 原写真はカラーである)。

SO65—多波長帯域地表写真 (手持カメラ)

この実験の目的は 普通手持カメラによる写真と多波長帯域同時撮影カメラによる写真との比較・検討 および次に述べる SO42 と呼ばれる6個のカメラによる多波長帯域同時写真の実験に必要な基礎資料を得ることを目的として行なわれたものである。この実験に用いられたカメラ装置は 4個の手持 Hasselblad カメラを1つの枠に固定したものであり 標準的なアポロ宇宙船

の窓を通して 同時に同一範囲を撮影できるようになっている。この Hasselblad カメラは 西独のツァイス社で作られ ジェミニシリーズの宇宙船から 地球表面の多くのカラー写真を撮影し 地質 気象 森林海洋などに関する科学的情報を提供した (第2~4図) ことで一般によく知られている手持カメラである。このカメラは 焦点距離80mmのレンズを標準とし 焦点距離38mmの広角レンズおよび250mmの望遠レンズを交換レンズとして備えている。この SO65 の実験では 4個のカメラに80mmの標準レンズが用いられている。画割は $2\frac{1}{4}'' \times 2\frac{1}{4}''$ であり 第1回の飛行テストで使用されたフィルムとフィルターとの組み合わせは 第3表の通りである。

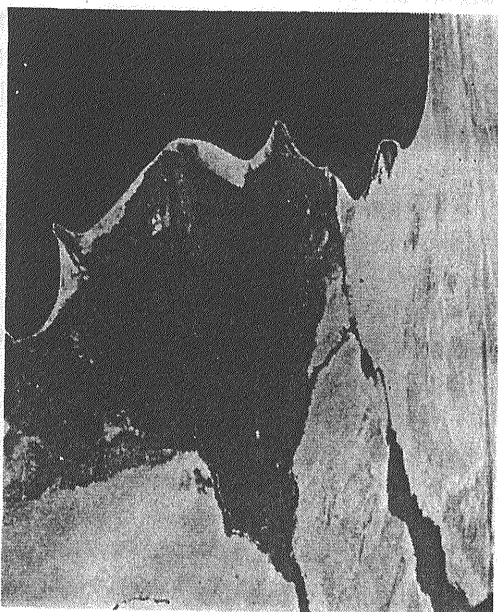
第3表 予備的に選定された波長帯域 (SO65)

フ イ ル ム	フ ィ ル タ ー	波長帯域(ミクロン)
1. 赤 外(白黒)	89B	0.7 ~ 0.9
2. パンクロ(白黒)	25A	0.6 ~ 0.7
3. パンクロ(白黒)	58	0.48 ~ 0.6
4. 赤外カラー	15	0.5 ~ 0.9

このカメラで1969年3月12日軌道高度240kmのアポロ9号から撮影された写真約130組のうちの1組(4枚)が表紙および第5図a~cに掲げた カリフォルニアのインペリアルバレー (Imperial Valley) の写真である。これらの写真は在日アメリカ大使館広報文化局報道部の厚意によるものであるが 詳しい技術的なことは不明で



第3図 ジェミニ7号による写真 アルジェリア西部のサハラ砂漠の写真であって 5~10マイル間隔で配列する。高さ500~800フィートの砂丘が はっきり記録されている。写真中央上部から右端中央にかけて よく成層し 急傾斜した堆積岩がみられる。(原写真はカラー)



第4図 ジェミニ4号による写真 100マイルの高さからナイル川の三角洲をとらえたものである。この写真では 紅海と地中海を結ぶスエズ運河の全ぼうがみられる。肥沃なナイルの三角洲とアフリカおよびアジヤの砂漠とのコントラストが目される。この三角州上には 25,000,000人が住んでいるのである。(原写真はカラー)

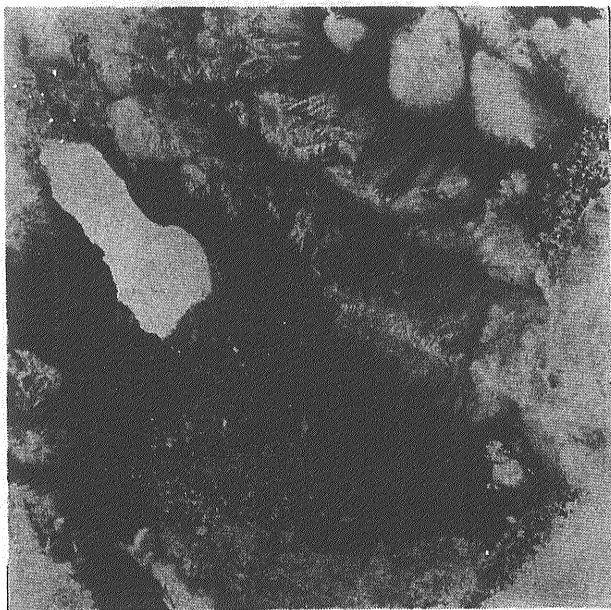
あるが、第5図aが赤外フィルムによるものであり、同じくbが白黒フィルムに赤色フィルター、cが同じく白黒フィルムに緑色フィルターをかけたものであり、表紙写真が赤外カラーフィルムによるものである。これらはそれぞれ第3表の1~4にほぼ対応するものである。これら4枚の写真間で色と濃淡に著しい差がみられる。

写真の中央下部にメキシコのメキシカリ(Mexicali)、左側上部にサルトンシー(Salton Sea)、右側下部にアリゾナのユマ(Yuma)が見える。この肥よくな谷間はアリゾナの乾燥地帯にあるが、海水準以下にあって、コロラド川から130kmの間を運河で水を運び灌がいされ、ビートとアルファルファがおもに栽培されている。

この写真を含めて、この飛行で撮影された約130組の写真については、現在、各分野の専門家によって検討が加えられつつあり、7月中にはその成果が得られているはずである。

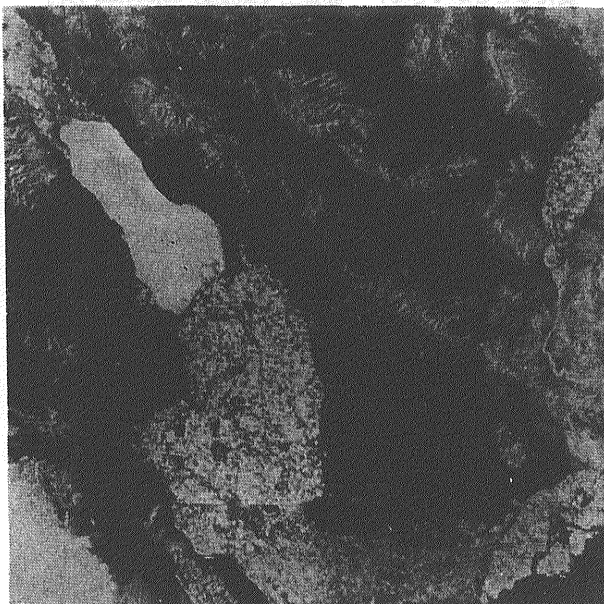
SO42—多波長帯域同時写真

この実験の内容は、SO65と根本的には変わらないが、実際にはかなりのちがいがある。すなわち、6個の固定されたカメラ群からなり、そのうちの5個は現在航空測量用に用いられている測量用カメラ(metric camera)であり、明らかに地図作成を目的としている。残りの1個は、小型の近紫外線域を記録するカメラである。これらのカメラによって、0.3ミクロンから0.9ミクロンまで、すなわち近紫外線領域から近赤外線領域までの写

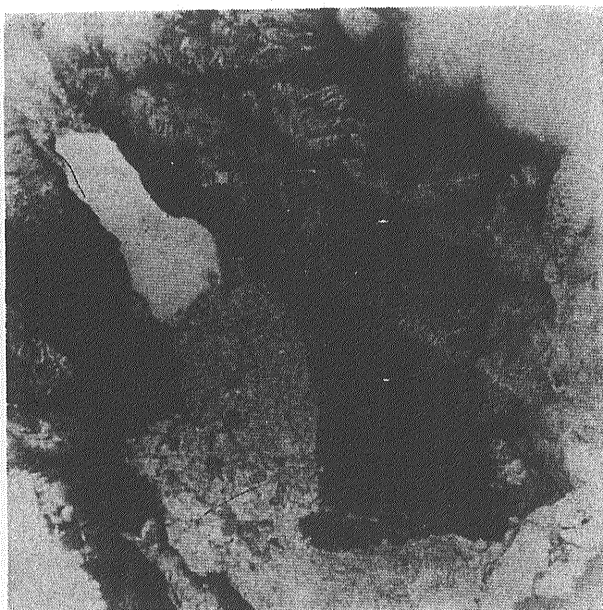


第5図a この写真は、赤外フィルムによって、近赤外域の波長を記録したいわゆる赤外線写真ということができよう。3枚の白黒写真中で、低地がもっとも暗いトーンで記録されている。

真領域の全波長をカバーするほか、5つの狭い波長帯域を分割記録が可能である(第4表)。これらのうちの1つには、カラーフィルムあるいは赤外カラーフィルムが使用されるものと考えられる。これらのカメラの基本的な特性および軌道高度125海里(nautical mile)における撮影範囲その他を示すと、第5~6表の通りである。



第5図b この写真は、白黒フィルムに赤色フィルターをかけて撮影されたもので、可視域の短い波長の部分をカットしたものであり、細部がもっともよく識別できる。



第5図c この写真は、白黒フィルムに緑色フィルタをかけて撮影したもので、すなわち可視域の中間の波長域を記録したものである。

第4表 予備的に選定された波長帯域 (SO42)

カメラ番号	波長帯域(マイクロン)
1.	0.3 ~ 0.40
2.	0.4 ~ 0.48
3.	0.50 ~ 0.57
4.	0.62 ~ 0.67
5.	0.77 ~ 0.92
6. (広波長帯域)	0.40 ~ 0.90

第5表 カメラの特性 (SO42)

	測量カメラ(5台)	UVカメラ(1台)
1. 画 割	9''×9''	2 ¹ / ₄ ''×2 ¹ / ₄ ''
2. 焦点距離	6''	3''~6''
3. 写 角	74°	42°~21°
4. F-番号	<6	≈3.3
5. 波長範囲	4,000Å~11,000Å	2,000Å~4,000Å
6. シャッター同調	±1 millisec.	±1 millisec.
7. 地上分解能(125nmから)	~35m.	~60~120m.

第6表 SO42 撮影範囲その他

	測量カメラ(5台)	UVカメラ(1台)
フィルム全重量(推定)	200 lbs	3.1 lbs
フィルム全長(0.022 lb/ft ²)	11,000 ft	605 ft
カメラ当りフィルム長	2,200 ft	605 ft
カメラ当りコマ数	2,640	2,640
コマ当りの撮影範囲	188×188n.m.	46.8×46.8 n.m.
写 真 縮 尺	1 : 1,500,000	1 : 1,500,000
立体モデルの大きさ(60%重複)	112.8×188 n.m.	
全 撮 影 面 積	37,200,000平方n.m.	

この SO42 の実験は アポロ応用計画のために実施されているが 1969年以後に実際に宇宙船に搭載されるものとみられている。すなわち 1969—1970年には アメリカ合衆国本土に関して 農業 人口および住宅に関する統計が実施されることになっており また 1969年には地質調査所によって最初の国土地図帳が出版される予定であって 宇宙船からの写真を これらと時期を同じくして撮影したいという意図がある。これによって宇宙写真の種々の資源調査への応用の可能性が具体的に評価できるものと考えられ 試験地域の選定については

差当って地質調査所の所属する内務省と農務省に優先権が与えられている。

宇宙空間からの遠隔探知に期待される成果として人工衛星あるいは宇宙船からの観測のすぐれた点についてはすでに述べた通りである。非常に高い地球軌道から どれ位鮮明な写真が得られるであろうか? これには大気の伝播中における光の散乱その他むずかしい問題があるが 写真の機能からだけについて試算した人がある。いま高度 240km にある衛星から 焦点距離 3,000mmのレンズを使用して撮影したとすると フィルムの解像力が1mm当り100線ならば 地上での分解能が約7mとなる。すなわち 地上にある地物の大きさ7mのものまで識別できることになる。この点は さておいても 非常に高い高度からの観測であるため 広大な堆積盆 あるいは造山帯を1枚あるいはわずかに数枚の写真におさめることができ 中央構造線やサンアンドレアス断層のような 一大構造線をも一望のもとに見渡すことができる(第6~8図)。また ある人が試算したところによると 極軌道を高度480km でとぶ宇宙船あるいは人工衛星にカメラを搭載することによって わずかに 4.5 日間で全地球面を撮影できるといわれている。現在 地球軌道上にある測地衛星の多くは100~120分位の周期で地球のまわりをまわっていることを考えただけでも いかにか早い速度で一定地域を反覆観測できるかがわかるであろう。これらの人工衛星は 赤道軌道を0度としてこれに直角の極軌道まで 軌道傾斜を任意にとることができる 高度を変えることによって 周期を任意に変えることができる。赤道上で高度約 35,800kmの円軌道の人工衛星は 地球の自転とほぼ同じ24時間で地球を一周するため 地球上からみると1点に静止しているように見える。すなわち 静止衛星である。

一方 遠隔探知装置についてみると 写真は太陽光による照明を必要とし 夜間の探知はできないが 中間~遠赤外線帯域の探知装置は夜間にも探知が可能である。赤外線装置は 雲を透過しないので これを通して地上を探知できないが マイクロウエーブ領域を利用するレーダー装置は昼夜・全天候に利用できる。これらは一部衛星上からの探知にその可能性が実証されているが目下のところ航空機からの探知において実用に供されている段階であるといえよう。また多くの遠隔探知装置が 室内実験を経て 野外における塔上から さらに高い山頂・軽飛行機上からの実験を経て 高空からの探査さらに宇宙空間からの探査への応用を目指して開発されつつある。

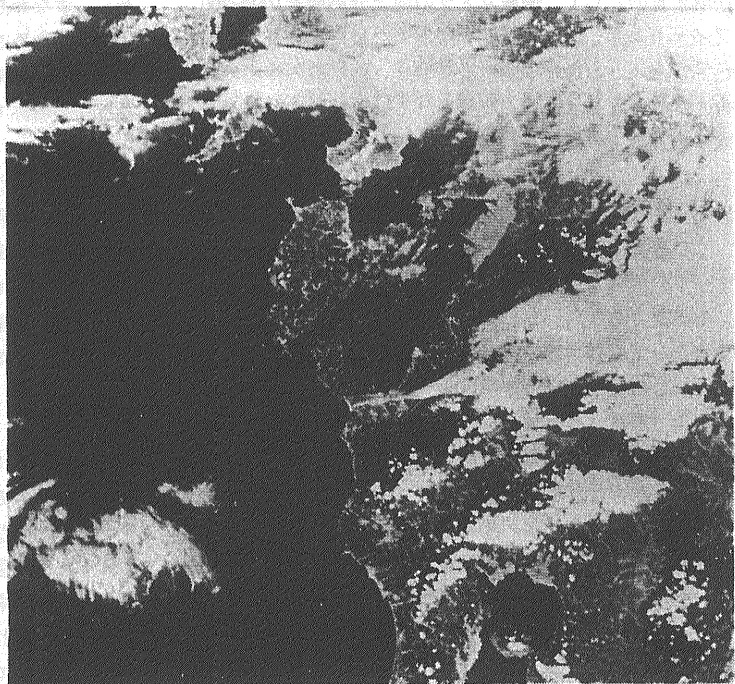
このような 大きな利点をもった人工衛星あるいは宇宙船と遠隔探知装置との組み合わせによって どのような成果が期待できるのであろうか？

沿岸図は しばしば1年ごとの改訂が必要である。EROS に対する内務省の要望仕様(第2表)をみると

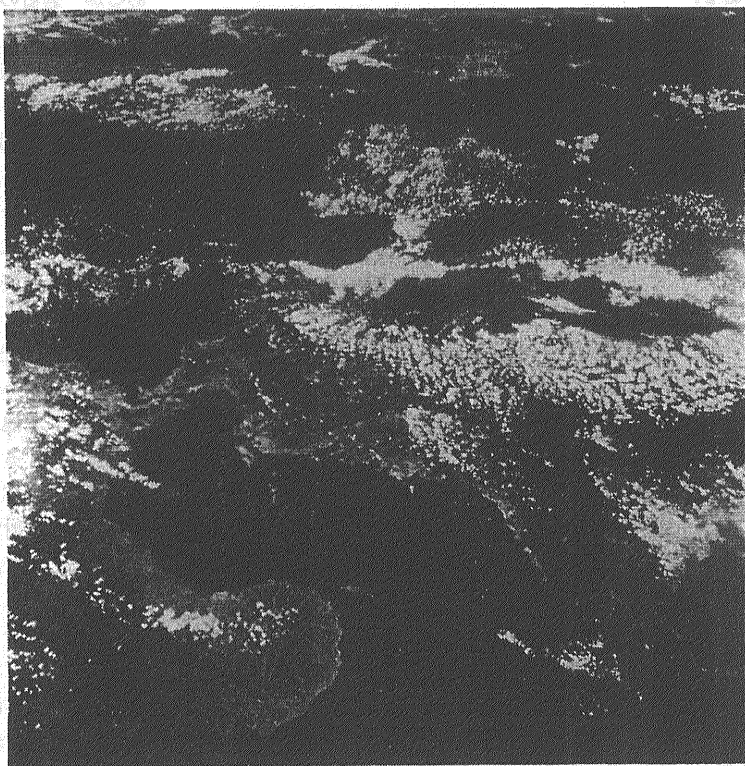
地図作成

地図はいうまでもなく 都市計画 道路計画 交通 資源調査および開発 地質調査 海洋調査など すべての調査 研究 開発 計画に必須のものである。しかしながら 現在のところ 極地方やヒマラヤ山脈のような僻地の大部分については使用に耐える地図がないのである。縮尺1:250,000の地図は 現在世界の陸地の約半分について作られているといわれる。しかしながら縮尺1:100,000以上の地形図にいたっては 20%をカバーしているにすぎず 縮尺1:25,000 以上の大縮尺の地形図になると 10%に充たない。しかも これらの50%以上は改測を必要とするものと考えられている。また 島嶼や海を距てた大陸間の関係位置については 従来の三角測量では視通がとれないので 正確な位置関係はわかっていないのである。したがって 資源探査衛星の利用の第1には 世界中の陸地についての情報を得るための地図作成計画にもっとも重点がおかれることは 疑いのないところである。この点ジェミニ計画の過程で撮影された多くの写真は この可能性を実証した点で高く評価されよう。すなわちケープケネディ付近の写真上ではロケットの発射台をはじめ縮尺1:250,000 程度の小縮尺の地図に記入されている程度の地物がはっきり読みとれることが実証されている。

これらの地図は また種々の遠隔探知の記録をプロットし解析するための基図となり 自然および人工の資源などを対象とする主題図編集の基図ともなるのである。これらは当然 一定期間毎に改訂を必要とするものである。たとえば都市図は人口 交通 住宅等の変化の実体を把握するためには 少なくとも5カ年ごとに改訂を必要とし



第6図 125 マイルの高度からアポロ7号によって撮影された九州地方の写真(原写真はカラー)



第7図 ジェミニ5号からの斜写真 中央左側に関門海峡がみえる(原写真はカラー)

この分野への利用を第1に考えていることがよくわかる。すなわち 小縮尺(1:100,000~1:250,000)の地図の作成を目的として 搭載カメラの地上分解能を100~200フィートとし 地物の識別・同定のため記録波長域を感色性のもっともよい中間の波長域と 海岸線の作図のため 水域がもっとも黒く記録される近赤外域すなわち赤末の波長域での撮影が要望されている。

地理調査

この分野はきわめて広い。地理調査とは 地表面のすべての地物と人間活動との関係およびその分布パターンの調査である。この関係および分布パターンは絶えず変化しており 短い時間間隔での反覆観察を必要とする。このような反覆観察こそ 他の方法では得られない利点である。この点 宇宙空間からの観察は 非常に広い範囲(第6表)を写真の1コマにおさめることができ しかもこれが瞬間的な記録である。この範囲を普通の空中写真でカバーすると数100枚を必要とするであろうし いくら足の早い航空機を使用しても 人工衛星によるような短時間での反覆観察は不可能である。アメリカ合衆国地質調査所では 人工衛星および宇宙船からの写真によるタイムリーなデータを利用して 国土地図帳の出版を考えていることは すでに述べた通りである。

この分野および前述の地図作成の分野では 最近「宇

宙・時間写真測量(space and time photogrammetry)」あるいは「4次元の写真測量」ということばが生れている。すなわち 立体対写真によって地物の3次元の形態をとらえることができることに加えて 早い速度での反覆観測から時間的変化をも把握できる利点に対して与えられた名称である。

地質調査および資源探査

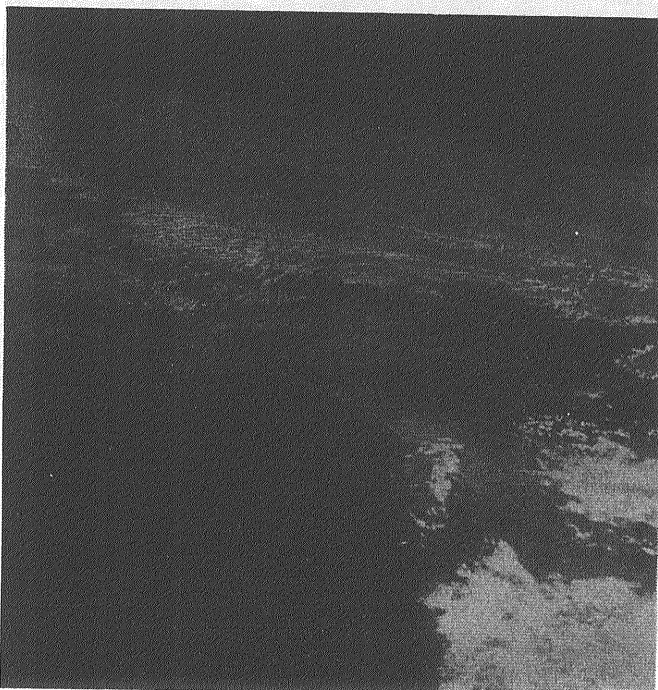
宇宙写真を利用する地質調査および資源探査の手法は普通の空中写真を利用する「写真地質調査法」と根本的には全く同じである。これもジェミニシリーズの有人衛星上から撮影された多く写真によって その可能なことが実証されたのである(第2~4図)。これらの写真の地質判読は アメリカ合衆国地質調査所によって実施されている。たとえば ジェミニ5号で撮影された西パキスタンの Salt Range—Potwar Plateau 地域を撮影した1枚のカラー写真には 約18,000km²の範囲が含まれ 主要な断層系 褶曲構造が一望のもとに識別され これが図上にプロットされている。また 火成岩 堆積岩 未固結の堆積物などの区分もかなり判読でき さらにそれぞれの層序関係についても ある程度の情報が得られている。

普通の空中写真を用いる地質調査法においても同様であるが 岩石の種類 地質時代 堆積環境等の検討は現地調査によらなければならないが 宇宙写真は 人跡未踏の地質に関するデータの全くない地域 あるいは非常に少ない地域の予察に大きな効果が期待されるのである。

その他

以上 地図作成 地理調査 地質調査および資源探査について 期待される成果をごく大まかに述べたが 農林 水文 海洋 環境調査などの分野での効果も非常に大きなものがある。表紙の赤外カラー写真は 植物像を他の被写体の像と はっきり区別して記録することができる。これは活力ある植物の葉体が他の物質に比べて非常によく赤外線を反射するという効果に基づくものである。すなわち 赤外カラーフィルムによる空中写真は 赤外線域の光を現像によって赤に発色させ 植物分布および活力差を識別するのに大きな効果があり 森林資源 農作物 植物病害について情報が得られる。

近赤外線域のいわゆる赤外線写真は 水に吸収され 水域について最大の暗黒化が得ら



第8図 ジェミニ5号からの斜写真 淡路島から伊豆半島付近まで一枚の写真に入っている中央部は伊勢湾 伊勢湾の湾口から 紀伊半島を横切って中央構造線がみえる(原写真はカラー)

れ 汀線の作図に効果があることはすでに述べた通りである。これによって 地表の含水率の相対的な差を把握することができ 地表水の分布 蒸発・発散についての情報が得られ 水文学上に大きな貢献が期待される。カラー写真では 水面下の情報が得られ 浅瀬 海岸の地図作成における効果も実証されている。ジェミニシリーズのカラー写真を利用して 海水の透明度を判定し 水深を5m以下 5~20m 20m以上という分類で すでに世界の陸地の沿岸35%について 1968年までに沿岸の深度調査の作業が完了しているといわれる。

このように 宇宙写真は 今まで人間が到達し得なかった非常に高い高度からの鳥瞰写真として 人々の目を楽しませて呉れるだけでなく 多くの専門家達の手によって われわれ人間生活にとって貴重なデータの獲得に利用されており またその利用面が積極的に開発されつつあるのである。

おわりに

地球上の資源・環境の探査に新しい機器として 人工衛星と遠隔探知装置が 大きな期待を担って登場してきた。現在 宇宙開発が月に人間を送るところまでに発展し その成果が直接われわれの生活に恩恵をもたらしつつある。そのあらわれが気象 通信 測地などの実用衛星の誕生である。さらに これら単一機能型の衛星より1歩進んで 多目的型の資源探査衛星が具体化しつつある。アメリカ合衆国の EROS 計画がそれであって 現在考えられる限りの遠隔探知装置を搭載して 地球上の資源・環境について 反覆観測によってできるだけ多くの情報を獲得しようという意図のもとに計画が進められつつある。

この計画は未だ実験の段階にあるが その可能性は非常にきょう固なものとなっている。すなわち これまでの科学・技術衛星あるいは気象衛星によって カメラ装置は 宇宙方式に応用できる既存のもっともポテンシャルのある遠隔探知装置として 方法論が確立されるところまできている。そして これから得られる利益だけでもはかり知れないものがある。本文では この宇宙写真を中心として述べたが 他の種々の遠隔探知装置も 開発が進み実用に供せられるようになるであろう。

これらの大部分は 目下航空機に搭載されて その可能性と実用性が検討されつつある段階にある。そのうち 赤外線放射計 赤外線映像装置 レーダー映像装置 紫外線映像装置などは 航空機上からの空中探査の実用に供されている。これら赤外線装置は 空中から夜間における映像獲得ならびに地表面の温度測定を可能にし レーダー映像は全天候 昼夜にわたっての観測に偉力を発揮している。未だ実験室にある各種の遠隔探知装置も それぞれの特徴を武器として 将来実際に利用されるようになるであろう。

そしてこれらが人工衛星とともにわれわれ全人類の利益のために有効に利用されることを望むものである。

最後にアポロ7号および9号 およびジェミニ5号からの多波長帯域同時カメラによる写真および日本本土を撮影した写真を提供していただいた在日アメリカ大使館広報文化局情報部に対して厚くお礼を申げたい。

(筆者は応用地質部)

新刊紹介

「温泉学」

防災科学技術センター 理博 湯原浩三
元 京都大学 教授 理博 瀬野錦蔵

本書は「温泉学」と名付けて世に出た わが国はもとより おそらく世界でも最初の本である。

温泉にはいろいろの側面がある。地質現象——火成活動——としての温泉 地下水としての温泉 熱としての温泉 溶液(熱水)としての温泉……などである。これらの調査や研究は 従来それぞれの専門分野の中でのみ行なわれる傾向にあった。本書は その副題が「温泉および鉱泉の地質学 地球物理学および地球化学」となっているように これらの分野の連けいを考えながら 温泉を自然科学の対象として体系的・総合的に扱った

最初の試みといえるであろう。ちなみに 本書の構成は

1. 序論
2. 温泉の分布と地質
3. 温泉水の流動
4. 温泉の熱
5. 温泉水の性質
6. 地熱現象
7. 温泉の成因 となっている。

300ページ足らずの手ごころな教科書であるが 数100の文献を引用し 豊富な図・表・数式 索引を使って 基礎理論はガッチリ書きこんであり 読みごたえがある。

温泉や地熱の探査・開発・保全にたずさわる人々には その理論的基礎として 本書は十分期待に応えてくれるであろう。また 温泉学の専門家には 一種のハンドブックとして座右におかれると便利であろう。

A 5版 293ページ

発行 地人書館(株) 東京都新宿区中町15

定価 1,500円 Tel (03) 260-7161