

GEOSAT 計画

LANDSATに続く地球観測衛星(1)

駒井二郎 (物理探査部) 松野久也 (環境地質部)

はじめに

1966年10月に発足した EROS (Earth Resources Observation Satellite—地球資源観測衛星) 計画は 1972年7月の LANDSAT (旧名 ERTS) —Aの打上げ成功によって本格化した。この LANDSAT—A による宇宙からの地球資源観測の feasibility study にひきつづき 同一Bの応用実験 (application demonstration) が順調に進捗し 多少おくれてはいるが 1977年9月には 同一Cが打上げられる予定であった。Bまでは応用面の実証段階 (application validity) と考えられてきたが Cにいたって半実利用 (semi—operational) 段階に入ったものとみなしてよい。

この LANDSAT シリーズと並行して それぞれ特定分野に目的をしぼった米国の各種地球観測衛星の打上げ計画は 一段と活発でかつ多彩となりつつある。

これらのうち 地学関連のもので80年代前半ぐらいたの間に関わりと登場が見込まれている新顔のいくつかについて ここに簡単な紹介を試みてゆく。とくに噂の域を出なかった GEOSAT や MAGSAT の内容がこのところ相次いでその輪郭をあらわしてきた。一連の動きのなかでもっとも具体化しているのは 周知の通り LANDSAT—C と SEASAT—A である。

しかし前者については これまでの経緯からも一般によく知られており 一方 SEASAT は名前が示すように主たる対象を海洋にしているため マイクロ波帯センサーを重視したこの衛星に寄せる期待はまことに大きいものがあるが ここではとくに触れないものとする。

I. GEOSAT (地質衛星)

接頭語として “GEO” のつく語は少なくないから これだけではどの分野を指しているのか明確さを欠くが GEOSAT のそれは geology に由来しており その狙いとするとおのずと明らかであろう。すなわち GEOSAT とは石油 天然ガス 地熱 ウラン あるいは銅 鉛 亜鉛 カリ 石灰石等の各種エネルギー・金属・非金属鉱床の資源探査 ならびに土木・防災技術等につながる地質工学 環境地質工学等 経済的に何らかの形で地質学に関連した諸分野への応用を直接の目的として設計されるところの いわば “地質指向 (geologically

oriented)” の人工衛星を指す。

これまで以上に上げられたすべての地球観測衛星は 各方面に巨大なインパクトを与えた LANDSAT にしてさえも 地質の観点からは必ずしも満足できるものでは決してなかった。もちろん このことは LANDSAT 等の地学分野への貢献度をいささかなりとも傷つけるものではなく 実際これらの映像解析によってもたらされた多くの成果は広く知られているところであり 宇宙空間からの “地質リモートセンシング” が包蔵するゆたかな可能性を実証してきた意義は大きい。GEOSAT を含む目的別専用衛星への進化も これらの土台が強固に踏み固められていたならばこそともいえる。

しかしながら SKYLAB にしても LANDSAT にしても それぞれ文字通りの “空の実験室” “陸地 (観測) 衛星” であって地質学への利用に的をしぼったものではないだけに この面からは若干の物足りなさがあつたことは否めない。たとえば写真地質構造判読においても もっとも本質的な立体像の再現よりはむしろ正射投影映像の方に重点がおかれ 鉱物同定のカナメとも考えられる熱赤外領域のセンサにいたっては LANDSAT ではCになってようやく実現にこぎつけられようとしている。もっとも別にこれらの必要性を軽視していた訳ではなく 熱赤外センサなどはAのときにすでに考慮されていたが開発のメドが立たず Bでもついに間に合わなかったというのが実情ではある。

とにかくこのような状況にかんがみ 一方においては見事なまでに提示された宇宙からの観測の可能性に刺戟された地質界—とくにエネルギー・鉱物資源探査に携わる人々が 自分たちの要望を真に取り入れた合目的な観測衛星に挑戦しようとしたのも当然の成り行きといえよう。そしてこの発想は やはり経済面より直接的な効果が期待でき しかも急速に枯渇してゆく重要資源の確保を強く迫られている産業界の方から強く起こった。実際 GEOSAT の趣意書 (後記) を通読して痛感されるのは そこに一貫して流れる米国の この豊かな国にしてなお抱えている危機感の深刻さであり 別の一面においては烈々と脈打つ “民間主導” 型社会の活力の底流である。

したがってこの種の衛星が実現すれば 副産物として 学術的見地からも地球科学の前進に大きく寄与するであろうことは自明であるが GEOSAT の主目標がはっきりと鉱産資源探査や環境・地質工学等を中核とした現実面への応用を指向していることは 強く認識しておかねばなるまい。

GEOSAT 委員会の設立とその活動

GEOSAT を一部好事家の単なる「夢想」や「発想」の段階から 実際的な「構想」の域にまで発展させたのは現在 GEOSAT Committee Inc. の会長である F. HENDERSON III (カリフォルニア大学—Lawrence Berkeley 研究所) とみられる。彼は1957年9月 USGS の地質家で LANDSAT をはじめとする NASA の宇宙計画に参画した G. SWANN などとこの実現策を練ったのち 同年10月 例の第1回 W. T. PECORA 記念シンポジウム(長谷一本誌 No. 259)の際に並行して行なわれた American Mining Congress で225人の出席者にアンケートを配り GEOSAT 構想についての意見を求めた。

回収された175の回答のうち実に98パーセントがこれを支持し 翌76年1月には早くも運営委員会がグランドキャニオンに近い Flagstaff で開かれ workshop を組織して産業界地質家としての取り組み方を検討する運びにいたる。

3月から4月にかけては NASA の Application Survey Group との会合がもたれ すぐきつづいて5月10日~14日に再び Flagstaff において各種鉱産資源 土木・環境地質等の諸分野にまたがった45人の地質関係者が一堂に会した。これが workshop で 合衆国政府による GEOSAT の開発を促進するよう働きかける共同体—GEOSAT Committee Inc. の設立を決議している(この委員会設立に関する会合の決議は ただちに各国の関係各方面に送付されたが わが国では筆者の一人(松野)に送られ 日本の関連各界への周知と協力が要請された。この要点は本誌 No.274 に紹介されている通りである)。73ページにおよぶ “GEOLOGICAL REMOTE SENSING FROM SPACE” と題する分厚いパンフレットはこのときの産物で 77年2月に編集を終えて各方面に配布された。この小文も その骨子はほぼ同資料に準拠しているものである。

Workshop の結果を踏まえて76年8月 デンバーで各企業の経営スタッフ17名が組織化の具体的検討に入り 9月にはヒューストンで第1回委員会 そして12月2日には 免税の恩典を受ける純然たる非営利法人として正式認可を受けているから このあたりの展開はまことに

スピーディで かつ精力的なものがあつた。またこれらの初期活動に必要な seed money は 15の企業から自発的に提供されている。

GEOSAT 計画は今後 すべてこの委員会が軸となって推進されてゆくこととなるが それ自体は衛星の打上げやセンサーの開発についての資金的援助 議会に対するロビー活動の類は一切行なわず その代り政府関係諸機関との“インターフェース”として 宇宙からのリモートセンシングに関する産業界地質家の統一した声を代弁しようとするものである。対象とする政府機関は NASA だけにとどまらず NSF や国立科学アカデミーなどまで含まれているけれども 同時に本計画にもとづく技術開発の波及効果の産業界へのフィードバックを期待していることはいうまでもない。

委員会メンバーの構成は企業体のみに限定され その拠出金によって運営されるが この委員会への企業の参加形式には三通りの道が開かれている。もっとも積極的な形は企業単位で voting corporate member となることであつて これには最低2,500ドルから最高5,000ドル(平均3,500ドル)の会費が必要な代り 同委員会の活動によって生ずるすべての情報が提供されることとなる。

あとの二つは個人ベースでの参加となるが まずひとつは自己の所属する企業の GEOSAT 計画とのかかわり合いの如何にかかわらず 同委員会に付属する専門別小委員会において活動することができる。ただし この場合の出費は自己負担となるらしい。もうひとつは各自の専門に応じて同委員会の“専門家プール”に所属し 適宜 短期的プロジェクトに参加してゆく。この場合 明記はされていないが 会費の類は不要な代りそれぞれの知識・労力の提供がある程度は要請されることとなる。

このほか一般に対する PR 活動の一環であろうか ニューズレターの類は登録されれば無料で送られるから 関心のある向きは進んで申込まれるとよい。ただし入手できる情報の質と量が それぞれの contribution の度合によっておのずから差別が生ずるのはやむをえない。

この GEOSAT 計画は関連業界に大きな波紋をまき起したとみえ 77年8月17日現在で 40社に達する石油・鉱山・メーカー等の大企業が voting corporate member として参加し ほかにも入会の内意を表明している企業は 44社にものぼる。これらのなかには たとえば Anaconda, Bethlehem Steel, Chevron, Cominco, Exxon, Falconbridge, Getty Oil, Gulf Oil, Inco,

Mobil Oil, Phelps Dodge, Union Oil といったいずれも各界を代表する超一流企業が名を連ね 逆に国際的に知られた企業で参加していないところを探す方が骨が折れるほどである。

現時点ではあらゆる面でエンドユーザー側が圧倒的に主導権を握っている模様であるが 小粒ながらユニークな先端技術でとくに鉱山探査の分野では著名な Barringer Research の名もみえ 一方 Bendix, Boeing, Raytheon, Dupon 等のメーカーサイドや IFP, Selection Trust Australia, Shell 等の外国系企業も入っているから 呼びかけはかなり広汎に行なわれたのであろう。NASA もこのような産業界の姿勢を歓迎し GEOSAT 委員会の活動に協力の意向を表しているとのことである。なお幹事会は AMAX, Newmont, ASARCO, Superior Oil, Texas Gulf 等の各社で構成し 政府側との連絡には USGS ジェット推進研究所各州の地質技術者協会などをメンバーとするグループがあたることになっている。

さらに下記の五つの小委員会を設置するが その業務内容からみて種々の技術的実務は おそらくこれらが中心となって進められてゆくこととなろう。

- (1) Missions Evaluation Subcommittee
- (2) Mission Economics Subcommittee
- (3) Program Development Subcommittee
- (4) Mission Organization Subcommittee
- (5) Implementation Organization Subcommittee

GEOSAT への技術的要請

ここで現在 垣間みることのできる GEOSAT の内面を 少し詳しくのぞいてみよう。それには地質的観点から一体 何が優先されるべきかという“needs oriented”な考察がまず第一に必要であり 事実 前記のパンフレットの大部分もこのことに費やされていて 早くいえば GEOSAT の“趣意書”“目論見書”といった印象が強い。

前にもふれたが 従来の地球観測衛星はどの系列も地質学的应用をとくに配慮して計画された訳ではない。なかでも LANDSAT は“LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment—広域農作物調査実験)”に象徴されるように農業関係に主眼をおいて諸パラメータが設計されていることは折にふれて当局者が述べているところであり NASA における“地質”のランキングはこれまでのところではせいぜい3~4位以下にすぎないとまでいわれているほどである。

LANDSAT 映像データの利用者の最大顧客が鉱物資源産業である現況(松野—1975)を思い合せると何とも

皮肉な事実で NASA もこの点は気にしているものとみえ 私企業も含めた関係方面における LANDSAT データの鉱物資源探査への効用評価については いろいろな角度からの分析に腐心しているという。

衛星からのリモートセンシングに直接探鉱的な効果を期待する方がもともと無理であるが 過熱気味のマスコミ記事とは裏腹に直接 LANDSAT が“発見”した新鉱床はまだ存在しない。探査手段としての投資効率は農業分野への応用よりも間接性の度合いが強く 算定しにくいものがある。

SKYLAB や LANDSAT の果たした役割は高く評価しながらも 地質関係者がなお望みの感を抱かざるをえなかった点を整理すれば次の通りである。

SKYLAB

- (1) カバーされた地域が全般に虫喰い的であり とくに北極に近い高緯度帯が欠如
- (2) やむをえないことではあるが地質的にみて重要な地域が必ずしも含まれておらず したがって多くの問題解決に不適
- (3) 可視光域センサーが主体であったから気象条件に左右され MSS の画質も地質判読には不満足なレベル
- (4) 立体視は不可能ではないまでも不十分であり 分解能も低い
- (5) 系統的なくり返し観測が予定されていない

LANDSAT

SKYLAB とも共通している点が多いが すでに使命を一段落した SKYLAB と異なり 後続の C はもちろん大幅な改変が見込まれるという D でも一部をのぞいては根本的な解決が期待できない点が問題であろう。

- (1) 概査用としてのマッピングにはよいが やはり何といても分解能が不足
- (2) 立体視できる地域は高緯度帯に限定され また可能であっても効果が不十分
- (3) 岩石同定にもっとも有効とみられる1.6~2.2 μ m 領域が含まれていない
- (4) C以降の将来計画には一応 長波長の赤外センサーが予定されているものの 理想にはほど遠い
- (5) 重要地域のなかで 雲に覆われている部分が多すぎる。米国に関する限り 撮像時期は異なるにしても全国土が雲量ゼロの状態ではカバーされたが 世界的にはまだまだ不完全で日本でも必要とする50シーンのうち とくに LANDSAT-1 では雲の皆無なシーンはむしろ珍しい

以上のような批判と反省を踏まえた上で GEOSAT workshop はとりわけ重要な4つの利用分野—石油・天然ガス 地熱資源 金属・非金属鉱床 地質・環境地質

工学別にそれぞれに固有の技術的問題点を吟味し GEO-SATが備えるべき機能に対するいわば第一次要求を設定した。とくに入念な検討が加えられたのは金属・非金属鉱床で 前記パンフレットの本文中3分の1に近い26ページを割いて堆積性ウラン鉱床 火成岩起源ウラン鉱床 ポーフィリクopper (モリブデン) 鉱床 ミシシッピーバレー型鉛・亜鉛鉱床 低温性金—銀鉱床 火成起源の鉛・亜鉛・銅・銀鉱床 頁岩を母岩とする鉛・亜鉛・銅・銀鉱床 鉄 錫 ポークサイト ラテライトニッケルの各鉱床 始生代の銅—ニッケル鉱床 砂礫 硫黄 磷酸塩 石炭 石灰石—ドロマイト 粘土 カリ 蒸発岩 (岩塩 石膏 硼砂……) 鉱床の20種類をとりあげている。石炭がこのグループに入っているのはやや奇異な感を与えるが 米国に関する限り埋蔵量に不足はなく問題はむしろ環境工学的な面にあるため としている。これと同じ傾向は粘土や石灰石鉱床などの記述にも認められるが いずれにしても米国におけるこれら鉱産資源の自給率 埋蔵量分布等の現況から説き起こし それぞれに付随した探査上の技術的特質から歴史的経緯などまでを網羅してなかなか格調高い筆致であり その内容は GEOSAT は別にしても一読して損はない。

ただ執筆者のグループが当然ながら専門別に分化されているためか 足並みをなすべくそろえようとした努力の形跡はうかがえるものの全体としては部門毎に精粗のアンバランス 表現の不統一が散見され みかけ上 金属・非金属鉱床の比重が高いのも 重要度というよりは その多様性のため とみなすべきであるかも知れない。

上記の各分野から寄せられた要望事項は非常に盛たくさんであるが 共通点も少なくない。これを大まかに要約すれば

- (1) 最適スペクトル帯の選択と新領域 (とくに中間—遠赤外バンド) の追加・増強
- (2) 分解能の向上 (10m~30m)
- (3) 立体視機能の付加
- (4) レーダー等のマイクロ波帯センサーの強化

の4点になる。これは workshop の検討をとりあえず現用の ないしは一兩年以内に実用化されると見込まれるものに限定したからで 未踏革新的な技術開発を念頭においてない訳では別れない。また既存技術の見直しにしても 今回のそれはほんの第一歩であって この先のツメがまだ大幅に必要である。さらにここに集約された内容が各グループでのコンセンサスはえているにしても 個人—とくに所属企業の方針を代表している訳でないことはいうまでもない。したがってこれは あ

くまでも最大公約数として理解されるべき性質のものであろう。以下 個別にいくつかの技術要素を考察してゆく。

FLD・レーザー蛍光

第1表としてかかげた総括表を一見して フラウンホーファーラインディスクリミネーター (FLD-Fraunhofer Line Discriminator) とレーザー蛍光スペクトロメトリイに対する要望が比較的多い点が目につく。古典的なミネラライトのタングステン ウラン鉱床探査への適用はさておき リモートセンシングの範ちゅうに入るこの種の試みとしては1956年 太陽光をエネルギー源とする受動方式が最初に成功して以来 とくに月面探査などの分野で FLD によってなしとげられた成果は小さくない。

地表物質への応用に関しては“鉱化樹”としての概念を重視した USGS 系の研究者が熱心で 土壤中の銅モリブデンの異常濃集や油母頁岩などに特徴的な反応の検出を報じているが 全般的傾向としては工場 (鉱山) 廃水のような公害汚染方面への応用に向っている気配が濃厚に感じられる。

レーザーレーダーにしても同様で これにもいくつかの変種が考案されているが わが国の電子技術総合研究所をも含めどちらかといえば海洋汚染や珪藻分布等への利用に進んでいるのが世界的動向のように思われる。マイクロ波放射計や赤外映像 SLAR などでも油汚染そのものは検出できるが その種類や濃度までの判別は困難とされているのに対し ラマンスペクトルの併用などによってレーザー光を用いる方式はたしかにこの種の用途には強力な手段となるだろう。

しかし鉱物・岩石に関しては 一部に斜長石 方解石等の弁別結果が報告されているがまだ実験室の域を出ていない。それも低高度の航空機・ヘリコプタならまだしも 衛星からの利用に関しては現在のところやや疑問視されかけている雰囲気だけに その潜在的可能性はきわめて魅力的なものがあるにしても この表にみられるような期待は多少 意外の感がしないでもない。

スペクトル帯域

MSSに望まれるスペクトル帯に関する集計は $0.05\mu\text{m}$ キザミにまとめられていてさすがにキメこまかい。分光特性からする岩石の弁別については悲観論もよく聞かれるが 最適バンドの選択に関する定量的検討は近年ようやく緒についたばかりである。

放射特性の方は適切な野外測定器がないことも一因を

第1表 GEOSAT の機(性)能に対する地質各分野の要望の総括

機(性)能	合計	%	石油・天然ガス		鉱物資源		地質・環境工学	
			No.	%	No.	%	No.	%
回答数	133	100.0	20	100.0	71	100.0	42	100.0
構造要素抽出	55	41.4	13	65.0	28	39.4	14	33.3
特徴抽出	81	60.9	10	50.0	49	69.0	22	52.4
最小分解能								
50-meter	3	2.2	—	—	3	4.2	—	—
30-meter	33	24.8	7	35.0	22	31.0	4	9.5
15-meter	32	24.1	4	20.0	23	32.4	5	11.9
10-meter	42	31.6	5	25.0	19	26.8	18	42.9
<10-meter	17	12.8	—	—	3	4.2	14	33.3
立体視	86	64.7	20	100.0	43	60.9	23	54.8
磁気	6	4.5	4	20.0	2	2.8	—	—
重力	4	3.0	3	15.0	1	1.4	—	—
レザラ	76	57.1	17	85.0	24	33.8	35	83.3
写真真	110	82.7	19	95.0	61	85.9	30	71.4
熱赤外	78	58.6	12	60.0	43	60.6	23	54.8
マイクロ波(受動)	8	6.0	—	—	—	—	8	19.0
レーザ蛍光	20	15.0	4	20.0	11	15.5	5	11.9
熱慣性	24	18.0	—	—	21	29.6	3	7.1
フラウンホーファー線	9	6.8	—	—	9	12.7	—	—
LAGEOS	1	0.8	1	5.0	—	—	—	—
スペクトル帯(μm):	59		13		40		6	
0.40	—	13.6	1	7.7	7	17.5	—	—
0.45	88	13.6	1	7.7	7	17.5	—	—
0.50	41	69.5	12	92.3	27	67.5	2	33.3
0.55	48	81.4	11	84.6	34	85.0	3	50.0
0.60	49	83.1	11	84.6	34	85.0	4	66.7
0.65	37	62.7	3	23.1	30	75.0	4	66.7
0.70	30	50.8	3	23.1	23	57.5	4	66.7
0.75	29	49.2	3	55.0	22	55.0	4	66.7
0.80	52	88.1	12	92.3	34	85.0	6	100.0
0.85	51	86.4	12	92.3	33	82.5	6	100.0
0.90	50	84.7	12	92.3	33	82.5	5	83.3
0.95	4	6.8	—	—	3	7.5	1	16.7
1.00	19	32.2	3	23.1	15	37.5	1	16.7
1.05	15	25.4	3	23.1	12	30.0	—	—
1.10	14	23.7	3	23.1	11	27.5	—	—
1.15 ° 1.45								
1.50	1	1.7	—	—	1	2.5	—	—
1.55	35	59.3	8	61.5	24	60.0	3	50.0
1.60	35	59.3	8	61.5	24	60.0	3	50.0
1.65	35	59.3	8	61.5	24	60.0	3	50.0
1.70	1	1.7	—	—	1	2.5	—	—
1.75 2.05								
2.10	22	37.3	3	23.1	17	42.5	2	33.3
2.15	22	37.3	3	23.1	17	42.5	2	33.3
2.20	22	37.3	3	23.1	17	42.5	2	33.3
2.25	22	37.3	3	23.1	12	42.5	2	33.3
2.30	22	37.3	3	23.1	20	50.0	2	33.3
2.35	4	6.8	—	—	4	10.0	—	—
2.40	4	6.8	—	—	4	10.0	—	—

なして データがまだいじりしく不足しているが 反射率に関しては最近いろいろなグラウンドトゥースにもとづくぼう大なデータが蓄積されてきた。長波長帯の重要性はかなり以前から認識されてはいたが 現在では熱赤外以外の領域では LANDSAT—A B には欠けていた $1.0\sim 2.5\mu\text{m}$ —とくに $2.0\sim 2.5\mu\text{m}$ の範囲が岩石弁別の鍵をにぎっていることがほぼ明らかとなり 航空機による実測でもこの結果は支持されている。

一般に $1.3\mu\text{m}$ 以下の短波長では反射率は遷移元素の陽イオンによって支配され とくにその曲線の形状は酸化鉄の状態によってきまってしまう。したがって鉄分の含有が多い変質作用などには LANDSAT でもある程度の情報はえられるが 別種の変質に対しては ratioing stretching 等 いかにかデータ処理の過程で工夫をこらしても その割には報いられるところが少ない。

Rowan ら (Rowan et al.—1974 長谷—前出) によれば 変質鉱物の多くは $0.45\sim 0.5\mu\text{m}$ $0.85\sim 0.95\mu\text{m}$ および $2.2\mu\text{m}$ 付近に吸収帯を形成しており これまでの LANDSAT ではバンド自体がこれからはずれているか あるいは入っていても幅が広すぎてスペクトル分解能が悪い。これまでの諸研究の多くが もう一步の踏み込み不足を感じさせた原因の一端はこの辺にあったかとも思われる。

今 第2世代の MSS として期待を集めている LANDSAT—D の Thematic Mapper に $1.6\mu\text{m}$ と並んで $2.2\mu\text{m}$ 帯を付け加えることの意義を GEOSAT 委員会があらためて確認しているのも この辺の事情によるものであろう。

一方 無暗にスペクトル帯を細分することの弊害はすでに筆者の一人 (松野—1977) が指摘しているところであり 統計的なユラギからくる不確定性の増大やいたずらに大量のデータをかかえ込む結果を招くにすぎない。USGS の実験でも特殊な場合を除けば 4チャンネルと12チャンネルとの間に顕著な判別能力の差は認められなかった。しかし これらはいくまでも一般論であって その限りにおいてはもちろん正しいが 岩石・鉱物のもっとも特徴的な波長帯域に整合を図ったセンサー系の最適構成の価値を否定するものではない。技術的にはこの面でのさして大きな障害は考えられず たとえば SKYLAB—B に用いられたものでもスペクトル分解能はすでに $0.04\mu\text{m}$ 幅に達している。

スペクトル帯に関する当面の焦点は むしろ熱赤外センサーの強化に求められよう。鉱物組成のマッピングで本命視されてきたにもかかわらず 熱赤外センサーは

LANDSAT シリーズではCにいたってやっと $10.4\sim 12.6\mu\text{m}$ の1チャンネル (MSS の第8バンド) が実現しようとしている。しかし温度差 1°C までの検出を目標とするならば 最低2チャンネルを備えてその比をとらねばならない。GEOSAT 委員会は きたるべきDにおいても変わらず予定されている1チャンネルを2チャンネルに分割する可能性について 現在 照会中である。熱赤外領域に対する要望は 地質以外の分野でも非常に強く 航空機による MSS では 最高34チャンネルとした例まで発表されているが 大部分は可視から中間赤外領域までの間を細分しており 熱赤外はせいぜい1~2チャンネル程度にとどまっているのが現状だけに この領域の拡充は最優先課題の筆頭といえよう。

分解能

分解能に関しては $10\sim 30\text{m}$ を望む声が断然強い。センサー工学としての観点からは 瞬間視野角 (IFOV—Instantaneous Field of View) として mrad または μrad で規定されるが 利用者側としては m の単位で表現されるべき地上物標の解像能力こそが最大の関心事である。よく知られているように LANDSAT の MSS の公称80mは写真印画としては 平均的コントラストの場合よくとも200—300mの程度に低下し それ以下の微細構造の決して少なくはない地質分野として 10m 前後の要求は理解できる。

ただし広域の巨視的な情報収集を目的とする高々度衛星にここまでの分解能を求めることの適否は 議論の分れるところで 少なくとも10m以下は 航空機にまかせの方が得策とする考え方も不自然ではない。79~80年代に打上げ予定の EOS 計画において Thematic Mapper と並んで搭載されることとなっている HRPI (High Resolution Pointing Imager) が 可視・近赤外領域で10mを目標として開発途にあるから これも GEOSAT としてのセンサーの製作自体にはとくに大きな困難は考えられず 結局は他の要因との兼ね合いから総合判断により決定されることとなる。

余談ながら「土地利用」「農業」の方面でも LANDSAT の80mに対しては改善が望まれており とくに米国よりも何かとスケールの小さい目標の多いわが国において然りである。地質にしても“地質学としてならともかく 探鉱にはどうも……”といった種類の批判がしばしば聞かれるのも 分解能の不足が大きくひびいているものであろう。因みに LANDSAT の MSS はCにおいても抜本的には変わらず Dの Thematic Mapper にいたってようやく30mが考えられている程度にすぎない。Cの熱赤外バンドなどは240mである。ただ これま

でのところ 期待の割には諸般の事情によりあまり活躍しなかった RBV が Cではチャンネル数を1バンドに減少する代り映像の区画を $\frac{1}{2}$ (面積として $\frac{1}{4}$) に減じ分解能をおよそ40mに設定している。

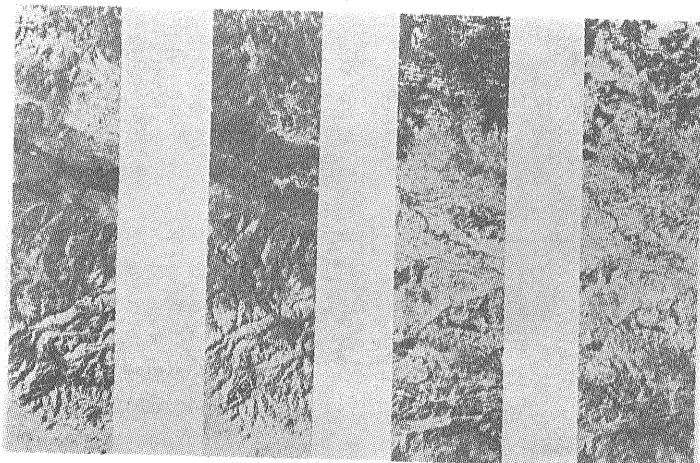
立体視

立体視への配慮も 宇宙からのリモートセンシングにおけるもうひとつの懸案であった。この方での最近の話題は 既存の25万分の1地形図から読み取った標高値を用いて LANDSAT 映像のピクセル毎に適切な処理を加え 人工的に視差を導入して立体視を可能ならしめた USGS の仕事である。しかし これは高度なデータ処理技術を巧妙に駆使した着眼点のよさは買えても 所詮は一時しのぎの便法であり やはり本来の姿とはいえない。

第1図は LANDSAT の隣接軌道のサイドラップからえられた数少ない一対の映像 (メキシコ東南部～グアテマラ) の例で これだけではあまり明瞭には認識できないが 歪みを生ずるため必ずしも望ましいとはいえずサイドラップによる立体視にしてさえその効果は絶大と説明されている。

GEOSAT workshop が勧告する撮影基線長と高度の比は0.4~1.0であるが この辺の問題は1980年と予想される STEREOSAT の動向に大きく左右されよう。分解能20mを以って極軌道を回り 世界全域のカバーに2年を要するといわれているこの衛星の実態は 今のところまだあまり明らかではないが 同委員会としては近い将来同衛星に匹敵する機能を有する他計画が見当たらないところから STEREOSAT の進展を全面的に支持している。

計画が先行している他の諸衛星のなかでは このほか



第1図 LANDSAT のサイドラップ対による立体視映像の例 (Petén 盆地—メキシコ南部—グアテマラ)

に例の「宇宙シャトル」が立体視にかぎらず GEOSAT がかかっている要求性能の多くを満しうる点で注目される。シャトルのペイロードは18トンに達するから この意味ではまず不足はない。惜むらくはシャトルがカバーする範囲は少なくとも1983年までの初期段階では地球全域にはいたらず また現在 候補に上っている焦点距離12インチの広角カメラそのままでは 第2図に示すように若干のギャップが生じてしまう。いずれにしても NASA は 1979年7月には開始される予定の6回の OFT (Orbital Flight Tests) には地質関係者に機会を提供する旨 GEOSAT workshop に通告しているから これを利用していろいろな基礎実験が行われることだろう。

レーダー

レーダー部門の充実も GEOSAT 計画の主要な一角をなす。アポロ計画で使用されたことはあつたが 地球軌道としては今度の SEASAT が最初の衛星レーダーで 開口合成式のLバンド (22.2cm) を用い 分解能25mを目指している。これもシャトルでの実験が試金石となろうが 多重波長レーダーの価値は力説されているほどにはまだほとんど実証されておらず 今後の大きな課題として残されている。

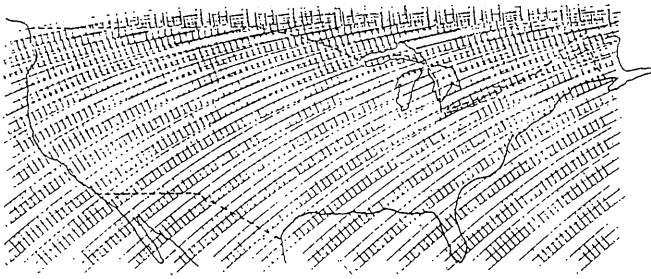
熱慣性

なじみの比較的少ない新顔の測定系としては「熱慣性 (Thermal Inertia)」がおもしろい。分光特性とは異なった方向からのアプローチで あまり知られていない割には以前から試みられており 気象衛星としての枠をハミ出した Nimbus などでも岩石弁別に利用した結果が報じられている 分光特性と相補ってうまく使えば 地質応用におけるキメ手にもなりうるほどの潜在力を秘めているが AEM (Applications Explorer Mission) シリーズのひとつとして HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) が78年に計画されており この問題に関してはいずれ項を改めて別の機会を考えたい。

地質・環境工学的応用

最後に資源探査とは異種の応用面に属する土木・建設・防災・環境等の諸分野において GEOSAT が果たすべき役割について簡単に展望しておく。

まず災害防止の面からは 人工衛星のもつ「くり返し観測機能」の重要性が大



第2図 “宇宙シャトル”の軌道飛行テストの際に生じる撮像範囲のギャップ (米国本土の例)

きくクローズアップされてくる。資源探査の方でもこれは無用ではなく、少なくとも一年間の季節的な変化ぐらいいに対応したデータはひと通り用意する必要性がしばしば力説されているが、その威力が最高に発揮されるのは何と云っても災害関係であり、予知の面もさることながら災害が発生してしまったあとも各種警報や被害・再建状況の把握等に多大の活躍が期待される。

GEOSAT workshop がとりあげた対象は地震、地すべり、火山噴火、地盤沈下、洪水、ダム決壊、海岸侵蝕、流氷・氷河のモニタリングの8種類で、詳細は省略するが資源探査と同様に所要のセンサー種別、波長帯、分解能等がさらに小分類された項目に対応して分析・集計されている。

災害関係以外でも、地質がからんでいる分野はまことに多種多様な範囲に広がっているが、ここでは土木地質産業立地（原子力発電所の敷地選定を含む）、岩盤・土質力学、鉱山開発に分け、また水資源（水理地質）も集水域調査ほか7項目について、GEOSAT に対するそれぞれの要求を列挙している。とくに雪氷を含む水関係では、所要の周期はまちまちであるにしても、やはり定期観測の重要性が強調されている点が目立つ。

LANDSAT—C、D、STEREOSAT、HCMM、宇宙シャトル等との関連性はこれらの分野にも共通しているが、地震予知を中心とする災害関係の応用にとくに密接な関係をもつのは、76年5月に打上げられた測地衛星 LAGEOS であろう。もっとも期待通りにセンチメートル級の大陸間移動が検出できるのならば、プレートテクトニクスの観点からも資源探査の方にも無縁である筈はないが…

おわりに

GEOSAT 計画について現在、われわれの把握している内容のあらましを以上に素描した。前述の通り、大筋としては、再三引用した GEOSAT 委員会の資料から要約しているが、適宜、筆者らの推測やコメントを加

えた部分も少なくはない。とくにこれからあとの“結び”に関しては、まったくの私見である。

GEOSAT 計画が今後どのような推移をたどってゆくことになるか、未知数の部分が多量にも多い。現段階では地質界の重要事項を吸い上げて単に整理しただけであり、各センサーの開発計画も、先行プロジェクトからの流用・転用がかなり利くとはいえず、すべてこれからである。いわんやプラットフォームの軌道高度等の計画にいたっては、はるかに先の話といえよう。第一、何となく“GEOSAT”なる特定の衛星が設計されるような雰囲気では話を進めてきたけれども、必ずしもそのような形をとるとは限るまい。

集約された所要性能にしても、すでに気がつかれている通り、NASA が現在、進行中の諸衛星によって相当部分が充足される筈なので、果して“GEOSAT”という名の観測衛星が独立に上げられるかどうかさえもさだかではない。たとえ断片的であっても、ここに総括された産業地質界の要望の骨幹部分が、将来、他衛星によって取り込まれて実現されてゆくならば、あえて巨額の経費を要する単独衛星を上げる必然性は希薄と考えられる。

ただここに興味深いのは、例の SEASAT が GEOSAT と類似の経過をたどって実現にこぎつけられたことである。もっとも時間的にはむしろ話が逆で、GEOSAT の方が SEASAT のあとを追っているというべきであろうが、とにかく潜在的な需要者の間で SEASAT の基礎的検討が開始されたのは、1973年の春であった。NASA の計画として正式に採用されたのは75年であり、打上げは78年の後半が予定されているから、全体としてはこの間に約5年の才月が流れた勘定になる。別に GEOSAT が SEASAT と同じ経過をたどらねばならない理由などはないが、ここまで大きくふくれ上った産業界の要望が一体、どのような形で実を結ぶことになるか、80年代にかけてもっとも成行きが注目される地学分野の最大トピックスのひとつといえよう。

一方、まだ先の話ではあるが、われわれとしてはなほだ、気がかりなのは、このような態勢を以って進められている地球観測衛星がかりに何らかの形で実現した場合、データの利用に関する自由度に強い制限が加えられはしまいか、という点である。GEOSAT が民間主導とはいえ、少なくとも打上げを含めたかなりの部分は全面的に政府に依存せざるをえまいし、もし単独衛星という

形態をとるならばいずれは NASA の計画中の一環として組込まれることになるのは ほぼ間違いないだろう。

その場合 いかにか資金の拠出があったにせよ GEOSAT のデータがまったくの門外不出になるとは考えにくい。さればといって LANDSAT のように無制限のオープンといった提供が果して考えられるであろうか。

SEASAT にしても これは軍事上というやや異なった視点からではあるが そのデータの公開については関係筋から異論が寄せられていると聞く (この動きに対し 昨年わが国を訪れたカナダのミッションから 非公式にはあったが SEASAT のデータ利用を国際的に自由化するよう EC および日本と協力して働きかけたいという発言がなされている)

一般に収集される情報の価値が大きくなるほど 影響範囲について徹底的なアセスメントが行なわれ その流通に対して万全の方策が講じられてくるのは当然であろう。その意味では LANDSAT クラスは良くも悪くもまだ“無難”であった。

GEOSAT のデータ利用に予想される線のひとつとしては 一定期間をおいたのちの一般公開といったあたりが当面 考えられるが もしそうなった場合 この“一定期間”のもつ意義はきわめて重大である。とくに先願性がものをいう資源産業にとっては 致命的な結果をもたらす恐れも生じよう。

現在でも石油 金属とわず わが国の海外進出がごとく欧米系メジャーの後塵を拝し 実質上“落穂拾い”を余儀なくしている実状はすでによく知られている通りである。全地球的規模の超広域概査の道具として GEOSAT がよしんば究極のものではないにせよ まだ残されている地表地質情報の大部分が GEOSAT の網にかかってしまうことは覚悟せねばなるまい。LANDSAT の例から考えても 前述の機能がすべて具備された GEOSAT の情報収集能力の巨大さは容易に想像できるところである。すなわち GEOSAT によってえられる知見は このスケールのものとしては ほぼ最終形式に近いものになるのではあるまいか。

またかりに GEOSAT 委員会に相当の発言力をもつ構成メンバーとして参加していたとしても あるいは希望通りにデータが国際的に開放されたとしても 権利として あるいは自由に利用することのできるデータはおそらく生データそのままか せいぜい基本的な前処理を施された程度のもにとどまるだろう。即時性ないしは公共性を要求される火山噴火警報 洪水監視 あるいは船舶の航行安全にかかわるアイスチャートのフアクシミリ電送の類をのぞけば 各ユーザーの使用目的に応じ

たところの真に有意義な地質情報を生み出すべきデータ処理・解析・判読の段階は 地域毎・国家毎の利用者の手に多分 ゆだねられることとなる。デジタル処理を中心としたハード・ソフトの双方にまたがる利用者間の解析能力ターナアラウンドタイムまでも含めた 質・量両面にわたる技術格差が決定的にひびいてくるかも知れない。

競争原理そのものが否定されない限り GEOSAT の進展は地球科学における面期的前進→知識の増大による未知領域の解明—といった見地から 無邪気に胸ときめかせていてよいものかどうか 考えさせられるものがある。“世界はひとつ”といったような高邁な理想が本当に真実のものとなる日まで この発展に対して前向きに協力を図るか あるいは座して待つか 二者択一を迫られることはわが国の立場としてきわめて切実な問題となるのではなからうか。数年後 このような私見が見当違いの杞憂として 一場の笑い話に終わってくれば幸いである。(つづく)

参 考 文 献

- BRANT, A. A. (1977): The Geosat Committee Inc., Geophysics vol. 42 No. 4
 地質構造解析小委員会 (日本鉱業会リモートセンシング利用技術の基礎研究委員会 (1977)): 東北地方におけるリニアメントと鉱床分布の関連について 地質ニュース No. 274
 FISCHER, W. A., et al. (1976): Progress in Remote Sensing (1972—1976) Photogrammetria 32
 GROSS, H. G. (1973): Progress in the Application of Higher Specificity Laser Induced Luminescence to the Remote Sensing of the Environment and Resources, Remote Sensing of Earth Resources, Vol. 2
 長谷敏和 (1974): EROS 計画と第一回 W. T. PECORA 記念シンポジウム 地質ニュース No. 259
 HENDERSON III, F. B. and SWANN, G. A. (1977): Geological Remote Sensing from Space, Lawrence Berkeley Lab., Univ. of California
 金属鉱業事業団 (1977): 昭和51年度鉱物資源探査技術調査団報告書 (アメリカ篇)
 松野久也 (1975): LANDSAT 映像データの地質・鉱物資源探査への応用 RESTEC vol. 1
 松野久也 (1977): リモートセンシングの現状とその問題点 (II) 新金属工業 1977年3月号
 ROWAN, L. C., et al. (1974): Discrimination of Rock Type and Detection of Hydrothermally Altered Areas in South-central Nevada by Use of Computer-enhanced ERTS Images, U. S. Geol. Survey Prof. Pap., 833
 WATSON, R. D., et al. (1975): Remote Sensing of Luminescing Environmental Pollutants Using a Fraunhofer Line Discriminator (FLD), Proc., 10th Intn'l Symp. Remote Sensing of Environment.