

人工衛星と資源探査

Earth Resources Satellites

小野 吉彦*・津 宏治**
Yochihiko Ono Kouji Ts

1. はじめに

石油、石炭、鉄、銅等の地下資源は採掘・消費すればなくなってゆく性質上、非再生資源と総称されている。

人類は、地表に露頭等があり簡単にみつけることのできるものから順次非再生資源を探査・開発・利用してきた。しかしながら人類の経済活動の活発化に伴いこれら簡単にみつけることのできる資源は次第に姿を消してゆき、必然的に地下深部や地表条件が悪くアクセスの困難な遠隔地域の資源を探査する方向に向いつつある。この様な状況の下での資源探査は、近年かなりシステム化されてきており、図-1に示されるプロセスをたどることが多い。

この資源探査のプロセスのうち、特に探査の初期段階である予備調査、概査においてランドサット衛星データを始めとする衛星データが有効であることがわか

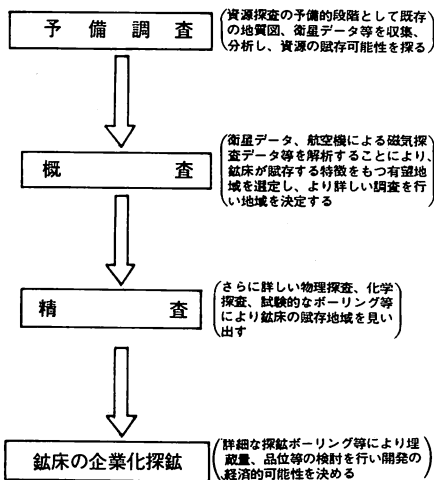


図-1 資源探査の一般的プロセス

* 工技院地質調査所物理探査部部長

〒305 茨城県筑波郡谷田部町東1-1-3

** 工技院地質調査所 物理探査部応用地球物理課長

り、一般に利用されるようになってきた。

すなわち、プラットフォームとして人工衛星を用いることにより、①広大な地域を瞬時にカバーする画像が得られ、従来の地表調査や航空機探査では発見困難であった大規模地質構造等が見つけやすい、②地形図や地質図の未整備の地域において、衛星画像を用いることにより地表調査等に較べてはるかに早く、かつ低廉な費用で第1次的な地形図、地質図をつくることができる、③アクセス等の悪い僻地の調査、政治的条件により立入の難しい国の予備調査等が容易に行える、④さらに、繰返しデータの取得が可能のため極地探査における海水の監視であるとか、探査・開発段階における環境モニタリング等に優れた威力を発揮する。

しかしながら、実際のLandsat 1~3号のデータを利用していくうちにこれらの有効性が確かめられてゆく一方で、資源探査への本格的利用を図る上でより高性能なセンサーを搭載した地球資源観測衛星の登場が期待され、これがLandsat 5号の打上げや、フランスのSPOT衛星計画、日本の地球資源衛星(ERS-1)計画へとつながってきている。

以下、人工衛星に搭載されるセンサー、衛星データ利用の現状と問題点、第2世代の資源衛星計画の展望等について簡単に紹介したい。

2. 人工衛星に搭載されるセンサーと資源探査情報

地上数百kmの超高空を周回する人工衛星に搭載され、資源探査に有効な情報を提供する代表的なセンサーとしては、光学センサーとマイクロ波センサーの電磁波センサーがあげられよう。もちろん、この他にも重力センサー、磁力センサー等も考えられるが、これらは地上数百kmの超高空での測定という条件から、波長数百km程度の重力異常、磁力異常を識別できるとどまり、資源探査に直接利用するというよりはむしろ地球物理学の見地での利用にとどまると思われる。

2.1 光学センサー

ここで光学センサーとは、太陽光が地表に当たり、地表物質によって宇宙空間へ放射される可視～短波長赤外～赤外域 (0.5～100 μm) の電磁波を観測するセンサーを総称したものである。

この反射電磁波のスペクトルは地表物質によって異なるため、スペクトル特性を利用して逆に地表物質を固定することが可能となる。図-2に植物、水、土壌等間のスペクトル特性のちがいを、図-3に土壌、岩石をさらに細分して、岩石の種類によるスペクトル特性のちがいをそれぞれ示した。

光学センサーはスペクトル情報以外に資源探査に有用な情報としてパターン情報 (リニアメント、トーンアノマリ等)、テクスチャ情報等を与えてくれる。これらは光学センサーに限らず後述のマイクロ波センサーからも得ることができる。リニアメント情報とは画像上において直線あるいは環状のパターンを呈し、地殻の断裂系を反映していると考えられるものを言う。また、テクスチャ情報とは土壌・岩石の種別によって浸蝕の度合い、水系パターン等が異なり、画像上での肌理のちがいとなって表われるものを言う。

光学センサーは太陽光が地表に当たり、その反射電磁

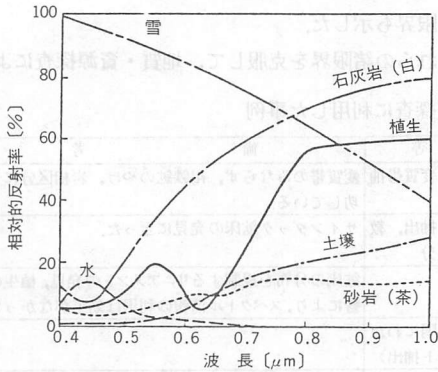


図-2 代表的地表物質の反射スペクトル分布¹⁾

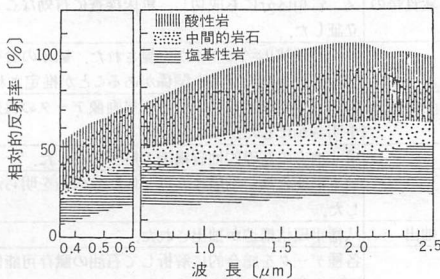


図-3 可視～短波長赤外域における岩石の種類と反射スペクトル特性²⁾

波を計測する受動型のセンサーであるため、夜間の観測は勿論、被雲状態では観測ができないなどの欠点も有しており、特に被雲率の高い熱帯多雨地域ではその能力が制限されることになる。

2.2 マイクロ波センサー (合成開口レーダー)

上述の光学センサーの有する諸欠点をカバーするセンサーとしてマイクロ波センサー特に合成開口レーダーが注目をあつめてきた。

合成開口レーダーは、

- ① 電磁波としてマイクロ波 (波長数cm～数十cm) を用いるため雲等を透過できる。
- ② 自らマイクロ波を放射する能動型センサーであるため、太陽の光を必要とせず夜間でも地上の画像を得ることができる。
- ③ 斜め方向にマイクロ波を放射し、地表対象物からの後方散乱を受けるため、地質の解釈に重要な要素である地形の起伏を明瞭に把握することができる。等の諸特徴を有している。

一般にレーダーは、アンテナから放射されるマイクロ波は、遠くにいくに従って広がっていくが、アンテナを大きくすればするほどビームをしぼることができ、高い分解能を得ることができる。しかしながら、人工衛星においては長大なアンテナを搭載することは不可能であるため、人工衛星の運動を利用して、衛星より地表に向って次々と放射されるマイクロ波の反射を順次受信し、合成処理することによりあたかも長大なアンテナを搭載しているのと同等の高い地表分解能を得ることが可能となる。この原理を用いているのが合成開口レーダーである。

3. 資源探査における衛星データ利用の現状とその限界

1972年に米国は陸域観測を主目的とした Landsat 1号を上げた。このLandsat 1号はMSS (マルチスペクトル スキナー) センサーを搭載し、その性能は表1に示される。その後、Landsat 2号、3号と打上げられたがセンサーとしては同じものを搭載している。

このLandsat 1～3号搭載MSSセンサーは穀物の生育状況把握を主目的に設計されており、必ずしも地下資源探査に適したセンサーではないが、本格的に陸域をカバーする初の衛星データとして、資源探査への適用が試みられ、資源探査の分野に対しても有効な情報を提供するものであったことがわかった。

表2に資源探査にLandsat MSSデータを利用し、成功を納めたいいくつかの事例を示す³⁾。

しかしながら、Landsat MSSデータについては、

その有効性ととも限界もまた指摘されるようになった。

これらの限界とは、

- (1) 可視・近赤外領域のみのデータを取得しており、資源探査にとって重要な変質帯の検出や、岩相分類を可能にする中間赤外域(1.5~2.2 μ m)や熱赤外域(10~100 μ m)のデータ取得がされていない。
 - (2) 地表分解能が約80mと低いため、詳細な地質構造解析ができない。
 - (3) 立体視機能を有していないため、地形の詳細な解析、把握ができない。
 - (4) 資源的に重要な低緯度地域は被雲率が高く、雲の存在により良好なデータが得にくい。
- 等である。

これらの諸限界を克服すべく世界は高性能センサーを搭載した第2世代とも呼ぶべき資源衛星時代に突入しつつある。

4. 資源探査に用いられる第2世代の人工衛星

資源探査あるいは地球観測における第1世代の人工衛星と位置づけられるLandsat 1~3号は既述のごとく、人工衛星から観測される情報は資源探査に有効であることを実証された反面、搭載センサーの能力から来る限界も示した。

これらの諸限界を克服して、地質・資源探査により

表1 ランドサット衛星諸元

LANDSAT- 1, 2, 3	
打上げ時期	昭和47年7月(1号) 50年1月(2号) 53年3月(3号)
高度	920 km
打上げロケット	Thor, Delta
重量	960 kg
観測周期	18日
搭載センサー及び仕様(波長, 解像度)	MSS 4バンド(-1, -2, -3共通) 0.5~0.6 μ m 80m 0.6~0.7 μ m 80m 0.7~0.8 μ m 80m 0.8~1.1 μ m 80m -3のみ 10.4~12.6 μ m 240m RBV 3バンド(-1, -2のみ) 0.475~0.575 μ m 0.580~0.680 μ m カメラ3台 80m 0.690~0.830 μ m -3のみ 0.505~0.750 μ m カメラ2台 40m
走査巾	185 km

表2 Landsat データを資源探査に利用した事例

地域(国)名	対象鉱床(鉱種)	解析手法等	備考
1. アメリカ, ネバダ州, ゴールドフィールド	銅, 鉛, 亜鉛	レイショ画像作成による変質帯抽出	変質帯のみならず, 褐鉄鉱のやけ, 岩相区分にも成功している。
2. パキスタン, バルチスタン地方	ポーフィリー・カップパー鉱床(銅, モリブデン)	変質帯地域の地形異常の抽出, 教師あり分類による岩石区分	サイディングック鉱床の発見に至った。
3. ブラジル南部	銅	リニアメントの抽出	鉱床の分布を規制するリニアメントの発見, 植生の影響により, スペクトル情報の利用は効果がなかった。
4. 南米アンデス地域	銅, 錫など	ペルー, チリ, ボリビアの3国にわたる広域解析(リニアメント抽出)	
5. アメリカ, ワイオミング州, ウィレドリバーベーズン	ウラン	リニアメント抽出 レイショ画像作成による変質帯の抽出	地域内の酸化鉄に由来する変質帯異常地域の自動判別図を作成した。 又 岩相区分にも成功し, 鉱床探査に有効なことを立証した。
6. 日本, 東北地方	多数の鉱種	リニアメント抽出	多くの環状リニアメントが発見された。鉱床の分布が地殻深部の割れ目系と関係があることが推定された。
7. オーストラリア, マウントアイサ地区	銅, 鉛, 亜鉛	レイショ画像作成による岩相区分	乾燥~半乾燥地域における衛星画像データの有効性を明らかにした。
8. 日本, 東北地方	多数の鉱種	水系密度分析	東北地方の基礎的地質構造の解析を行った。
9. インドネシア, カリマンタン	石油, 天然ガス	堆積盆構造の抽出	植生密度の高い地域における堆積盆構造を明らかにした。
10. 日本, 八幡平	地熱	水系分析, リニアメント抽出	八幡平環状構造が抽出された。
11. アフリカ, ケニア東部	石油	リニアメント, 総合解析	各種データを総合的に解析して石油の賦存可能性の高い有望地域の抽出に成功した。
12. 米国, 中西部	石炭	リニアメント, 岩相区分, 古河川系の解析	石炭層の対比・追跡, ベーズン構造の解明, 古河川系の解明に極めて有効なことが明らかにされた。

有効な情報を与える高精度、高機能のセンサーを搭載した第2世代とも呼ぶべき資源探査あるいは地球観測を目的とするいくつかの衛星が1980年代に入り打上げられ、あるいは打上げるべく計画が進行中である。我が国においても石油資源探査を主目的とする地球資源衛星(ERS-1)を昭和65年度頃に打上げるべく通商産業省と科学技術庁との共同連帯体制の下に開発が進められつつある。これらについて以下に記す。

4.1 Landsat 5号 (米国)

Landsat 5号は1984年に米国NASAによって打上げられ、世界各地の地上受信局においてデータ受信が行われており、我が国においても試験配布の段階にある。Landsat 5号はこれまでのLandsat 1~3号に搭載されていたと同性能のMSSセンサーの他にTM (Thematic Mapper) と呼ばれる高性能センサーも同時に搭載している。TMセンサーは、①地表分解能が30mと高分解能であり、②可視・近赤外・短波長赤外域に帯域を広げ、かつこの中より7つのバンドの情報を取得できる性能を有している。特に、これまでのMSSセンサーは農業を主目的としていたため、植生や水の検出に有効な0.5 μ m~1.1 μ mのスペクトル情報を取得しているのに比べ、TMセンサーはさらに土壌・岩石の識別に有効とされる1.6 μ m, 2.2 μ mバンドを有している点が優れているとも言える。

4.2 SPOT (仏国)

フランスは1985年にSPOT衛星を打上げようとしている。SPOTに搭載されるセンサーは、①パンクロマティック画像ではあるが地表分解能が10mと極めて精度が良いこと、②立体視機能を有しており、地形高度情報の取得はもとより詳細な地質現象、たとえば傾斜している地層の傾きや、断層ぞいのズレ変位等の把握に優れている等の諸特長を有している。

4.3 ERS-1 (日本)

我が国においても石油資源探査を主目的とする地球資源衛星(ERS-1)を昭和65年度頃に打上げるべく、通商産業省を中心としてセンサー開発が進められている(図-4)。ERS-1には光学センサーとマイクロ波センサー(合成開口レーダー)の2つのセンサーが搭載される予定でありまだ最終仕様は決定していないが、それぞれのユーザー要望性能を表3に示す。合成開口レーダーは資源探査を主目的とする衛星では最初の搭載となり、その性能も、地表分解能が10~20mと極めて高精度であるばかりでなく、地形・地質構造の特徴抽出を効果的ならしめるべくオフナディア角は40~50°

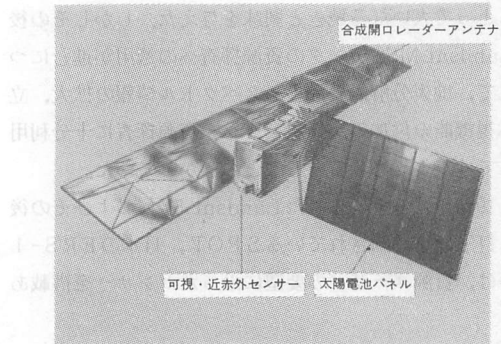


図-4 日本の地球資源衛星(FRS-1)の想定概念図

表3 日本の資源衛星(ERS-1) 搭載センサーの要望性能

1. 合成開口レーダー:			
波長域:	L バンド	H-H 偏波	
オフナディア角:	40°~50° (45°以上が望ましい)		
地表分解能:	10~20m		
走査巾:	100 km程度(但し、高分解能が得られる場合には、ある程度狭くとも良い)		
2. 光学センサー:			
波長域:	可視・近赤外域	3~4バンド	
	短波長赤外域	3~5バンド	
	(熱赤外域	1バンド以上)	
地表分解能:	可視・近赤外域及び短波長赤外域	10~20m	
	(熱赤外域	30~50m)	
走査巾:	100 km程度(但し、高分解能が得られる場合には、ある程度狭くとも良い)		
立体視:	可視・近赤外域及び短波長赤外域のうち1バンド以上		

と大きい角度をとっている。

また、光学センサーについても、①地表分解能が合成開口レーダーと同じく10~20mと極めて高く、TMの30mを大きく上廻っていること、②スペクトルバンドは可視・近赤外域に3~4バンド、短波長赤外域に3~5バンド設定されており、TM以上に岩石の識別、特に変質帯の抽出に優れていること、③地質・地形解析に大きな威力を発揮する立体視機能を備えていること、④さらに地表分解能は30~50mではあるが、地表物質の熱慣性測定、珪酸塩鉱物の把握に有効な熱赤外域バンドも予定されているなどの諸特徴を有している(図-4)。以上のようにERS-1が要望通りの性能を発揮し得るならば、資源探査の大きな武器となることが期待される。

5. おわりに

1972年にLandsat-1号が打上げられ、高度的900kmの超高空から我々の住む地球を大きく俯瞰する画像が提示され、画像の解析によりこれまで知られていなかったグローバルなテクニクスに関する情報、資源探査に直接的関連のある種々の地形・地質学的新知見等が得られたことは地質・資源探査にたずさわる者

にとって大いなる驚きと興味を与えた。しかしその後 Landsat MSS データの資源探査への適用が進むにつれて、地表分解能の向上、スペクトル情報の拡大、立体視機能の付加等が衛星データを資源探査に十分利用してゆく上で必要であることがわかってきた。

1984年に打上げられた Landsat 5号、およびその後打上げを計画されている SPOT、日本の ERS-1 等は、資源ユーザーの要望に沿ったセンサーを搭載あ

るいは搭載を予定しており、これら第2世代の人工衛星の実稼動によって、初めて人工衛星データの資源探査への本格的利用が始まるものと期待される。

引用文献

- 1, 2) 石井吉徳; リモートセンシング読本(1981), オーム社
- 3) 金属鉱業事業団; 資源探査データの利用技術研究報告書(1981)

話の泉

ベンチャービジネス

最近の目覚ましい技術革新の裏にはベンチャービジネス(V. B.)をおいて語ることはできない程新時代の花形となっている。V. B. は必ずしも新しい言葉ではないが、最近特に頻繁に目につくことはそれだけ新時代の発展に貢献している内容をもっているものと思われる。

ベンチャーとはもともとアドベンチャーからわかるように、未知の世界を切開いて行く一種の冒険的行為とみられ、その目的とするところは新規事業の開発であるが、その裏には一攫千金を夢を見ていないとはいえない。

V. B. は革新技術のトップといわれているエレクトロニクス関係事業に多く見られるが、新素材、合成化学、メカトロニクス、バイオテクノロジーなど画期的技術または地球上には存在しなかったような先端技術の創出など数えあげればきりが無い。

戦後の日本経済の躍進は、終戦直後の荒廃した原野から何人といえども予想も想像もなし得なかっただろう。その敗戦国の日本が世界の情勢を動かすような経済力をもつように発展したことは、多くの理由が挙げられるがその一つに新規技術の開発がある。戦前からの国営および大企業の組織的技術開発は云うまでもないが、戦後特に新しく出発した V. B. が有力な推進力になったことを見逃してはならない。

V. B. は本来の形は事業であるが、狭義には企業と見られる場合もあり、その背後に新規技術が存在しており、これをベンチャーキャピタル(V. C.)といわれる V. B. を育成する投資(投機的色彩を或程

度含んでいるかも知れない)機関が新しく出発したことが大きい力となっている。

V. B. は前にも述べたように特殊な新規技術が中心となった或意味における頭脳集団(その中心は個人の場合もあるが多くはシンクタンクの組織から生まれている)が技術的覇気と信念或は自信をもっており、それだけに冒険的色彩が無いとはいえない。たとえ技術に自信があるとしてもそれに経済的裏付け即ちその事業を推進する資金の協力が不可欠である。

事業資金は一般に銀行その他の金融機関にあり、貸出し資金はだぶついているとしても——現時点において担保その他の確実な返済の保障のない限り——たとえ将来大きい発展を予測させる革新技術というだけでは、所要資金の融資は困難である。

このような社会情勢の変化に応じ V. B. を対象とした V. C. が開業し積極的に活動を始めている。或程度の危険性があるとしても、革新技術の将来の発展性に賭けた融資機関といえるだろう。中でも外国(主としてアメリカ)からの進出が目立っていることは、それだけ日本の革新技術の将来性の有望さを我が国以上に評価、期待しているとみることもできよう。この時点において政府の立場として、たとえ或程度の危険性を予期しながらも将来の大きい税収の対象とした政府の育成事業の一つとして、積極的な政策が打出されてもよい時期ではないだろうか。

(F)