

地球資源技術衛星 (1972, 73年に打ち上げ)

松野久也

はじめに

本誌第182号に「資源探査衛星」と題して アメリカ合衆国における「EROS (Earth Resources Observation Satellite=地球資源観測衛星) 計画」について述べ その前段階の実験として ERTS (Earth Resources Technology Satellite)」が打上げられる予定であることについてふれた。昨年6月に入って この ERTS 計画が具体的な形で公表され 国連の Outer Space Affairs Division を通じ 外交ルート経由で ERTS データの応用に関する研究への参加が 加盟国および専門機関に対して呼びかけられるにいたった (Opportunities for Participation in Space Flight Investigation. Memorandum Change 28 1970年6月2日付)。

この呼びかけに対して 日本政府は早急にもその態度を決定する必要に迫られ 各方面で種々検討が行なわれつつある。とくに科学技術庁研究調整局では 従来からこの種の実用衛星を重要視して基礎的調査・検討を進めており 早速「資源衛星データ判読技術に関する検討会」を発足 (1970年12月21日) させた。この検討会は 1971年3月末日を目途として ERTS 計画の研究への参加形態と参加項目の審議 さらに4月以降参加決定に伴う事後措置 判読技術育成に関する長期方針について継続審議を行なうものである。

以上のような政府機関の動きもさることながら 今回具体的な形で公表された ERTS は どのような探知装置 (sensor) を備え 地球資源についてどのような情報

を獲得しようとしているのか? 地球表面に生活し そこで地学の問題にとり組んでいるわれわれにとって非常に興味深いものがある。

Memorandum Change 28 の要点

目的: 1972および1973年に打上げられる地球資源技術衛星 (ERTS-A およびB)からの地球資源観測データの応用に関する研究への参加要請

前提: NASA は1972年および1973年に2個の地球資源技術衛星を打上げる。これら両衛星には 次のような探知装置が搭載される。

1. 多波長帯域テレビカメラ装置
2. 多波長帯域走査装置
3. 地球上既知点の観測装置からのデータ収集装置

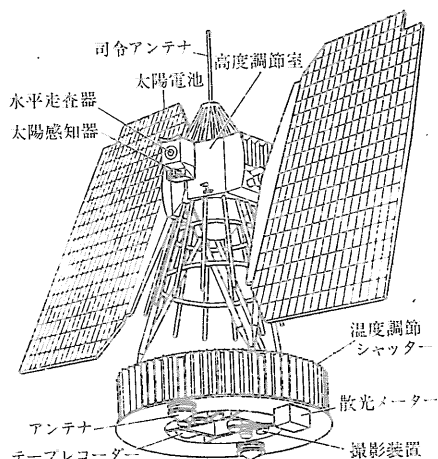
上記の探知装置によって得られるデータは研究参加者に対して 次のような形で配布できる。

1. 多波長帯域白黒
2. 再合成カラー赤外
3. 再合成スペクトロソナルカラー (一ブルー)
4. コンピューター用デジタル磁気テープ

上記1~3は印画 陰画 (ネガ) および透明陽画 (ダイヤポジ) の形で配布できる。

研究参加申請: 申請については NASA Handbook (NHB) 8030・1A 参照のこと。この Handbook は Clearing House for Scientific Technical Information (No. 69-75724), Springfield, Virginia 22151, U. S. A. で入手できる。

外国からの参加申請は 各々それぞれの宇宙関連の政府機関を経由して NASA の Office of International Affairs に提出する。それ以後は国内からの申請と全く同一に取り扱われる。採択された研究についてはそれぞれの国家機関と NASA とが協力して種々の取扱いをする。ただし研究資金の交換は行なはない。NASAおよびそれぞれの国家機関は それぞれの責務を果たすための費用を負担する。



第1図 ERTSのスケッチ (西尾元亮による)

情報：申請研究は ERTS—A およびBによって得られる観測データの地球資源分野への利用を目的とした科学研究 調査 分析であることが切に要望される。

さらに 申請研究は 地球資源の把握のために宇宙からの観測データの利用法の向上 さらにそれらの地球資源の管理への積極的利用に貢献するものであること。

申請には 研究の目的 研究の方法 期待される成果を略述する。とくに期待される成果については 予期される宇宙からのデータと他の方法（地上あるいは航空調査）からのデータとの関連について記述する。NASA によって整えられるべきデータの形 数量を明らかにし研究に必要な施設について概説する。研究施設については 研究者の所属機関あるいは政府によって整備されることについての確認を必要とする。データの入手について研究者の手許にいたるまでの時間・速度を記入する。ERTS—A のデータについての研究参加申請は 1971年4月15日まで 同Bについては1972年4月15日を締切りとする。

地球資源

先に進む前に ERTS計画 さらにその最終ゴールである EROS 計画で 地球資源(Earth Resources)といわれている資源の概念についてははっきりした認識が必要であろう。これら両計画ならびにこれらに先行する種々の研究・調査・検討に関するプロジェクトは総合して「地球資源計画 =Earth Resources Program)」と呼ばれている。われわれは 資源といえは従来の概念から地下資源 農林水産資源など天然資源だけを考えがちである。しかしながら 最近では人類の存在のために欠くことのできない大地 水 空気なども環境資源(environmental resources)と称して広い意味で資源の中に含められつつある。地球資源計画で資源といわれている範囲はさらに広範囲のものを含んでいる。この点1968年8月におけるウィーンの国連会議に提出された Background Paper No. 13 によって 非常によく理解することができる。すなわち同 Paper では 地球資源を次のように分類している。

1. 人類の生存の基礎となる原料：食物・清浄な空気・新鮮な水
2. 近代文化の維持に基本的な原料：燃料・鉱物・水
3. より深く理解し 統御することによって人類の生活レベルを向上させる自然現象：大気現象 地質・地球物理的営力 海洋現象 環境と人間活動との間の相互作用（地理）など

1および2については今さら説明する必要はないが

3については若干の説明が必要であろう。上述のうち大気現象を1例としてとりあげてみよう。天候は人類がこの世に出現して以来ずっとその生活に大きな影響を与えて来た。しかしながらわれわれ人類は気まぐれな天候を受身に切り抜けつつ生活して来たのである。いま 天候の根源である大気現象を完全に把握することができ さらにこれを自由にコントロールすることができる。そこには生れる利益にはかり知れないものがあることは容易に想像できる。そこまでは行かなくとも 向う1週間の天気予報が確実に行なわれるようになれば 天候だけは世界中のあらゆる人々が等しく影響を受けるだけに その恩恵には実に大きなものがある。

また 環境あるいは自然と人間活動との間の相互関係の理解は 学問上地理学の分野に入るが ある場合には人間が積極的に両者の関係の変更あるいはコントロールを行なう必要がある。こういった観点から地理の理解も1つの重要な資源と考えられているのである。

ERTS の 軌道

本誌第194号「人工衛星の軌道」で述べたように 地球資源探査のための衛星の軌道は 観測結果の解析を簡単にし 観測範囲および分解能が均一になるようにするため 地球表面から探知装置までの距離が一定となるような円軌道であることが望ましい。また一定の観測条件（太陽の照射角度）で全地球表面を反覆カバーするために 太陽同期軌道であることが望まれる。

したがって ERTS（第1表）では 円軌道（偏心率0）で 太陽同期とするために 高度912,423kmに対して99.088°の軌道傾斜角を与えられている（本誌194号 p. 26 第1表）。さらにERTSの昇交点における時間は21時30分とされている。このことは 何時も同じ地方時に赤道を通過するように計画されているのである。つまり ERTSは南に向かって打上げられ 地球の反対側にまわって21時30分に北向きに赤道を横ぎり軌道に乗るのである。このとき180°反対側の地点の地方時は9時30分であり ERTSは周期の半分（1.72時間/2）おくれた時間に北から南に向かって赤道を横切ることになる。この間における地球の自転量は12.84°であって この量だけ昇交点の対せき点から東へずれた所を通過することになる。24時間後 すなわち地球の1自転後における軌道のサブポイントトラックと 24時間前のそれとのずれは西へ159,486kmである（第2図）。地球の1自転毎にこの量だけ 逐次サブポイントトラックが西へ移動し18日間（251周）毎に等間隔（159,486km）で地球全面をカバーすることになる（第1表）。さらにこの衛星の軌道傾斜角は99.088°であるから南北に180°-99.088°

第1表 ERTS 軌道 パラメーター

軌道パラメーター	公称軌道
高度	912.423km(492.35n. mi.)
傾斜角	99.088°
周期	6196.015秒
偏心率	0
昇交点における時間	21時30分
地球全面1周カバー所要時間	18日(251周)
赤道上隣接サブポイントトラック間隔	159.486km(86.06n. mi.)

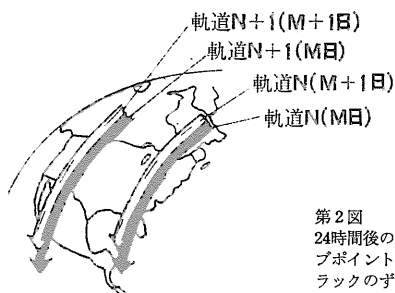
=80.912° に相当する緯度までをカバーすることになり極付近だけを除いてほとんど地球全面をカバーする。

搭載遠隔探知装置

多波長帯域テレビカメラ装置(RBM=Return Beam Vidicon)

多波長帯域テレビ(リターン ビーム ビデコン)カメラ装置は 3つのカメラからなり 同一地域をそれぞれ異なった波長域で記録する。すなわち波長分割方式をとっている。1枚の映像に記録される範囲は軌道高度を919km(496n. mi)として 185.32×185.32 km(100×100n. mi)である。その仕様の要点を示すと第2表の通りである。

映像は衛星カメラハッチから鉛直方向を視準するカメラ群によって連続的に撮影 リードアウトされ ビデオ信号は地上局における磁気テープに記録される。露光時間は8~12あるいは16ミリ秒 リードアウトに要する時間は3.5秒であり 25秒間隔で撮像されることになる。第2表の通り 隣接サブポイント間の重複率は10%であり 立体観察は考慮に入られていない。事実上16.2° という視野では衛星の高度からみて地球の曲率や地表面の凹凸は無視してもよい。すなわちここで得られる映像は正射投影とみてよい。25秒間隔で撮像



第2図
24時間後のサブポイントトラックのずれ

第2表 多波長帯域テレビカメラ装置(RBV)仕様

映像範囲	185.32×185.32km(高度919km)		
	カメラNo.1	カメラNo.2	カメラNo.3
波長帯域(μ)	0.475~0.575	0.580~0.680	0.690~0.830
分解能(テレビライン)	4,500	4,500	3,400
周辺分解能(中心に対する百分比)	80	80	80
映像ひずみ(最大)	1%	1%	1%
画割サイズおよび中心の変動(最大) ±2%	±2%	±2%	±2%
映像重複率(サブポイントトラック間)	10%	10%	10%
視野(対角線上)	16.2°	16.2°	16.2°
濃度スケール(√2刻み)	10	10	8
信号雑音(S/N)比(db)	33	33	35

されるとして ERTSの地上速度から割出すと コース上で隣合う映像の重複率は約13%となる。地上局で受信された信号から 磁気テープおよび映像が作られ 選択された映像については 偏歪修正がなされる。これらのデータについて 時刻 位置などの注記が付されることはもちろんである(後述)。

多波長帯域走査装置(MSS=Multi-Spectral Scanning System)

この装置は 多波長帯域放射測定走査装置(multi-spectral radiometric scanner system)ともいわれ 一定の視野をもった光学系で直接対象物の表面を走査し その表面からの電磁波放射あるいは反射エネルギー強度を波長域毎に分割して記録する装置である。衛星あるいは航空機に搭載される装置では 回転する走査機構によって左右の走査を行ない 前後方向は衛星の進行成分によってカバーされる。したがって 対象物表面の放射あるいは反射エネルギー強度分布を面としてとらえることができる。ERTS-A では可視域から近赤外域までの波長域を4つの帯域に分割して記録し 同Bではこのほか遠赤外域の10.4~12.6μの波長域を検知記録する

第3表 多波長帯域走査装置

映像範囲	軌道を中心として185.32km幅 地上走査速度646.76km/sec(高度919kmとして)
波長帯域(μ)	
1チャンネル	0.5~0.6
2チャンネル	0.6~0.7
3チャンネル	0.7~0.8
4チャンネル	0.8~1.1
5チャンネル	10.4~12.6(ERTS-Bのみ)
分解能(地上)	
1~4チャンネル	70.1m
5チャンネル	216.4m
放射測定レンジ	42db~29db(帯域による)
マッピング精度	185.32×370.64kmの映像範囲で37.06km 衛星の姿勢変動率によって左右される

チャンネルが加えられることになっている(第3表)。

この走査装置は テレビカメラのデータをバックアップする目的で搭載されるのである。すなわち テレビカメラによる波長記録限界が 0.83μ のところにあつて緑色の植物体の赤外線反射の肩に当る部 (0.95μ) をカバーできないことから それを補う意味で搭載されることになったのが1つの大きな理由である。さらに このデータは 放射エネルギーの直接検知のデータとして重要な意味をもっている。また ERTS—B における第5チャンネルの $10.4\sim 12.6\mu$ 波長域は 対象物表面の常温付近の温度差の測定を目的とするものである。

地球上既知点の観測装置からのデータ収集装置

ERTS には上記2つの遠隔探知装置のほかに 地球上の既知点におかれた観測装置からデータを収集する装置が搭載される。本誌第182号「資源探査衛星」の記事中第1表の earth based sensors (地震計 流量計 温度計など) のデータを受信し 地上にテレメトリーする機構である。これら地上において直接観測されたデータは 上述の2つの探知装置から得られたデータの解析のための重要な指標となるものである。現実問題として大洋の真中や山間避地の場合観測点がおかれたとしても 地上通信施設の設置 維持には莫大な費用を要する。さらに災害時においては地上通信施設の信頼性はきわめて低いものとなる。これらの点を考慮すると 衛星を利用するテレメトリー方式の方が はるかに信頼性がありかつ経済的とさえ考えられる。

一方 衛星に点あるいは線に沿ってのデータが得られる観測装置が搭載できるとしても 衛星の姿勢変動によってその位置付けの精度がきわめて悪い。たとえばテレビカメラ装置による映像中心位置の変動をみても $\pm 2\%$ (第2表) とかなり大きい。さらに走査装置に至っては 走査速度が比較的におそいために 速度の速い衛星の姿勢変動(縦揺 横揺 偏揺)によってきわめて敏感に影響され マッピングの精度はさらに低い。これは衛星からの探知装置として 対象物の関係位置を2次元の形で表示出来る映像表示型のものが選ばれる理由でもある。したがって当然の結果として 地上設置観測装置からのデータ収集が考えられるのである。

ERTS による地上データ収集方式の実施目標としては アメリカ合衆国大陸部およびその周辺の約1,000にのぼる観測点の各々から12時間以内の時間間隔で それぞれの観測データを受信できるようにしようとしている。

そして この目標に対する遂行率は95%以上 間違ったメッセージが受信される可能性は1%以内であろうと見込まれている。

ERTS データの処理

ERTS データはアラスカの地上局で受信され NASA の ERTS Ground Data Handling System で処理され 研究者に配布される。この部門は NASA の有人宇宙飛行センターの23号館の3階におかれ 併立する2つの部分からなる。すなわち 飛行と指令を司る Operation Control Center (OCC) とデータの処理と配布を行なう NASA Data Processing Facility (NDPF = NASA データ処理施設) とである。

NASA データ処理施設で行なわれるデータ処理作業は テレビカメラ装置 (RBV) および走査装置 (MSS) からのビデオ信号を記録し これを映像に変換し 必要な注記を付ける作業が根本である。この作業にはカメラの露光時間 探知装置のキャリブレーションについての情報 撮像時における衛星の軌道高度などを抽出する作業も含まれ 映像の中心点の地理的位置の算出もまたここにおける重要な作業の1つである。検査 選択された映像は番号を付けて登録され また偏歪を修正しメルカトル図法のような標準地図投影に変換する作業も行なう。以上 データ処理のごく概要を述べたが 次にもう少し詳しく段階を追って述べる。

先行処理

検波された RBV のビデオ信号は地上局において ビデオテープレコーダーによって2インチ幅のテープに記録(縦方向走査)される。MSSのデータは—15.4MHZの連続的 PCM ビットの流れ—24 (ERTS—A) あるいは26 (ERTS—B) ビットの流れにして 多重送信され地上基地において28トラックのデータレコーダーに記録される。その他管理上のテレメトリーおよび位置時間についてのコードは 両探知装置のためのビデオデータと一緒に記録される。これら2つの探知装置の出力を記録したビデオテープは 記録後3~4日以内にアメリカ合衆国データ獲得基地に郵送される。一方管理上のテレメトリーデータは 別の経路で NASA データ処理施設に送られる。このデータおよび軌道計算グループによって作られた軌道テープから 映像注記テープが作成される。

次の段階として すべてのビデオテープの映像変換が行なわれる。露光されたフィルムはすべて写真処理され 前述の注記がほどこされる。品質検査および雲によるカバーが検査され これを経た全映像の必要な複製が作られ利用者および研究者に発送されることになる。

ここまでが 先行処理の段階であつて 1名「大量処理」ともいわれ データが地上局で記録されてから18日以内に発送できるように計画されている。

この段階は文字通り「大量処理」であって アメリカ合衆国に関する分だけでも1日当り48組(48州について33組 アラスカについて12組)のデータ処理量となる。映像だけについても各組RBVの3チャンネル分MSSの4~5チャンネル分を含むことになる。

選 別

ERTSデータの選別は 次の2つの段階で実施される。

1. データの品質および雲のカバーの有無についての選別であり 既に述べた大量処理(先行処理)段階での選別である。
2. 大量処理データの再選別であって 精密処理あるいは数値化する必要のあるデータの選別である。この段階の選別は 研究者および利用者によって実施される選別である。

第1段階の選別では 100% 雲におおわれたデータおよび全面にわたって全くコントラストのないデータ以外は全部複製されて 申請者に配布される。研究参加者あるいは利用者は フィルムコピーを検討したうえで必要な映像について さらに精密な処理あるいは数値処理を要求することができる。この段階が第2の選別である。この段階で選別されたものが次の追加処理の対象となるのである。

追 加 処 理

選別されたデータの追加処理には2つの基本的な業務がある。

1. アナログRBVテープの数値化 数値化MSSビデオデータの製作 注記およびコンピューターによる読取可能なデジタルテープの作成。
2. 映像データの精密処理業務は RBVデータの登録 カメラ装置のひずみの幾何学的修正 カメラ感度のキャリブレーション MSSデータについての衛星の高度変動による映像のひずみの補正 標準地図投影図法への変換などを含む。この処理では映像のエンハンスメントも行なわれる。ここで処理される製品の形は 種々の写真フィルム 印画 デジタル磁気テープであるが その処理能力には限界がある。すなわち MSS映像のデータのコンピューターテープ化は 全体の10% 全RBVおよびMSSデータの5%の精密処理がその限界である。このほかにRBVデータの1%を数値化する能力がある。地上位置の精度の向上のために 地図あるいは正射投影写真が使用される。

以上のほか NASA のデータ処理施設では 利用者のためにマイクロフィルムによるデータファイル 撮像範囲カタログ サンプル製品カタログ データの検索 参考資料(標準地図帳・地図)など 種々のライブラリーサービスをも計画している。

お わ り に

この計画のゴールは「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 その情報をリアルタイムで人類に伝え かつ理解させるEROS衛星」を打上げることであろう。この種の衛星の実用例はESSA TIROS NIMBUSなど一連の気象衛星にみられる。これらの衛星からの観測データが気象観測——天気予報——に利用されるようになってからかれこれ10年位になるだろう。わが国の気象庁でも これらからの観測データをリアルタイムで受信し 毎日の天気予報に利用している。日本におけるアンテナで受信できる範囲は東経110度付近から太平洋の真中日付変更線の付近までわたっている。例をESSAにとると 軌道高度1,450km位で 115分内外の周期で 飛び108°の視野の観測装置を備えている。このような気象衛星の出現までは 直接的な方法であれ 間接的な方法であれ 全地球面をカバーする方法は全くなかったのである。また 可視域の探知装置による雲の分布のマッピングは日中しか出来なかったが 赤外線装置の利用によって夜間のマッピングも可能となったのである。

また雲のないところでは 地球表面の温度分布のマッピングが昼夜にわたって可能となり 地球表面の熱収支に関するデータが提供されている。

大気現象のスケールは非常に大きい。したがって かなり粗い精度(低分解能小縮尺)のマッピングで十分である。しかし地球上の人間活動に対応する自然のパターンをマッピングするには より高い分解能と大縮尺のマッピングが要求される。その反面 地球表面全面カバー周期が気象衛星の1日に対して18日とかなり長くなり 分解能および縮尺も2ケタ以上細くなり気象衛星程広い範囲にわたって厳密な同時性をもった情報の獲得は不可能である。しかしながら 少なくとも185km×185km(秋田県の面積の3倍 鳥取県のその10倍に相当する)にわたって同時性をもったデータを得ることは現在の航空機を以てしては不可能なことであり 18日周期で地球全面をカバーすることも実に素晴らしいことである。これらのデータの利用面について各分野で各々専門の立場から真剣に検討する必要があるのではあるまいか? この実験衛星が成功して 気象衛星データのようにそのデータをリアルタイムで入手できるようになるのも近い将来のことではなからうか?

(筆者は 応用地質部)

追記:わが国における宇宙関係の国家機関は科学技術庁研究調整局であり 所管課は同局の宇宙開発課である。詳細お知りになりたい方は同課へお問合わせ下さい。電話:(03)581-5271(代表)(03)581-1679(直通)