

# 地球観測衛星

竹内 端 夫\*

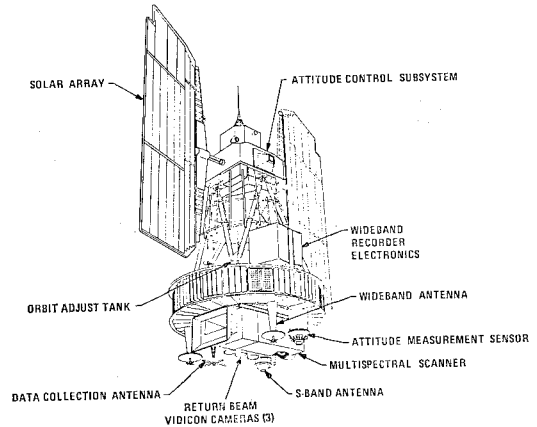
## 1. 地球を観測する人工衛星

元来、人工衛星は1957年、第3回目の国際地球観測年が実施されたときに、地球観測のための手段の一つとして誕生したものである。人工衛星が飛びまわっている地上数百キロあたりの空間の物理的性質の調査と、地球をとりまく大気に妨げられることなく天体を観測することと、そうして下を見おろして地球の観測をすることが人工衛星の主な役目であると、宇宙時代の開幕のころわれわれはよく聞かされた。

ところが実際に人工衛星の打上げに成功し、軌道上を飛行しながら集めた情報を電波にのせて地球に送り届けるようになってみると、人工衛星の利用範囲は決してそんな狭いところに限られたものでないことが分ってきた。テレビ電波の中継に利用する通信衛星、船舶の現在位置を教えてくれる航行衛星などのいわゆる実用衛星の分野や、人間の乗物としてウォストークに始まりウォスホート、マーキュリー、ジェミニを経てアポロ計画における月面探険に到る有人飛行の成功、さらに地球の勢力圏からはるか外側の空間に飛出して、火星や金星、さらに水星の近くにまで到達し、ジャガイモのような火星の衛星の写真を撮って見せてくれたり、月そっくりにクレーターをあばたで蔽われた水星の素顔をあばくなど、ここ17年間各方面への発展がそれを如実に示している。

その華々しさの蔭にかくれて、本命とされていた地球表面の観測をするという使命の衛星の登場してくるのが少し遅すぎたようだ。地球資源探査実験衛星 (Earth Resources Technology Satellite, 略して ERTS) と銘打って、地球観測をその使命とする衛星がアメリカの西海岸バンデンバーグの基地から極軌道に載せられたのは、1972年7月24日のことだったのである。もっともこれ以前に地球観測用の衛星が全然なかったというわけではない。ディスクカバーを始めとする一連の軍事衛星の中には恐らくそのような任務を持ったものもあったであろうし、現在天気図の作成に大活躍をしている気象衛星も地球観測衛星の一種と考えてよいであろう。

ただその載せられた軌道を見ても、また衛星の姿勢を制御して観測の目を正しく地球に向ける方式にしても、さらに地上を観測して得た情報を電波にのせて地上局に



ERTS 衛星外観図

送り、これをカラーの映像として再生するまでの装置をたどってみても、ERTSが地球観測の目的をもった最初の本格的衛星であることが分るのである。

## 2. ERTS 衛星の軌道

ERTSの軌道は周期103分、正確に毎日地球を14周するように選ばれている。したがって平均の地表からの高さは920キロとなるが、これは地球を観測する際の1駒がカバーする範囲を185キロ四方、分解能を約80メートルと設定したとき最も適当な高さである。観測の便利のためにももちろん軌道は離心率0の円軌道が選ばれた。軌道傾斜を99°と逆行の極軌道にしたため、地球の赤道のふくらみによる摂動力によって軌道面が毎日東向きに約1°回転する。これは地球が太陽のまわりを1日に約1°公転する影響を打消して、軌道面と太陽との関係位置を毎日同じような状態に保つための工夫である。

軌道を以上のように選んだ結果として、ERTSが地球の上をどのように走査していくかという第1図に示す通りである。軌道傾斜が99°であるので軌跡は緯度±81°の間に網の目を引き、カバーできないのは両極地方のみである。103分して地球を1周してくる間に、地球の方は約26°自転しているので、2周目の経路は第1周目よりも西方に26°ほどずれる、つまりある日にはERTSは経度が26°おきの地域を観測するわけである、そうして15周目、つまり次の日の第1周目の経路は昨日の第1周目の経路のすぐ西の所を埋めるように走ることが簡単な計算からわかる。1回の観測は幅185キロの地域であると先に述べたが、前日に観測した地域とは毎日

\* 宇宙開発事業団

T. Takenouchi: Earth Observation Satellite.

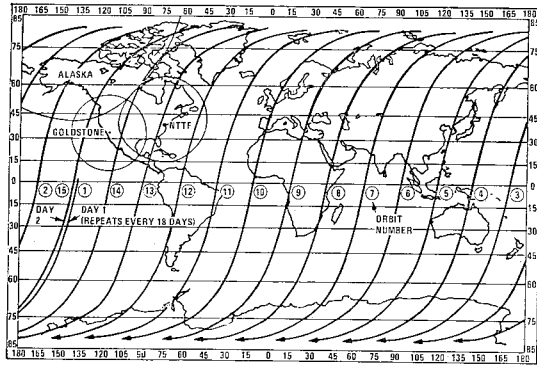


図1 ERTS衛星が1日間に通過する軌跡

10キロずつ重複させておくという芸の細かさである。

こうして毎日少しずつ西にずれて地球上を埋めつぶしていき、18日間で緯度  $\pm 81^\circ$  間の地域を全部観測して19日目はまた第1周目の経路上を飛ぶことになるのである。

### 3. 観測の目

このような軌道の上を飛行する ERTS に積まれている地球観測の目はリターンビーム・ビデオン (RBV) とマルチスペクトラル・スキャナー (MSS) の二種類である。RBV というのはつまりテレビジョンによる送像方式で、信号はビデオテープに記録される。ERTS には3台の RBV が積まれていて、それぞれ  $0.475\sim 0.575\mu$ ,  $0.580\sim 0.680\mu$ ,  $0.690\sim 0.830\mu$  の波長域を担当している。ただし ERTS 1号の場合、電源に故障を起したため1972年8月6日以降 RBV のスイッチはオフにされ、目下は作動していない。

MSS は対物面走査方式と呼ばれる分類に属し、回転鏡と集束用の光学系を用いて地球上のある一線分上からの電磁波を検知素子面上に集め、その強さを電気信号として取出すという方式である。回転鏡によって走査される方向が人工衛星の進行方向に対して直角になっているために、一方向の走査を繰返しているだけでも人工衛星の運動と組合わされて、ある矩形の面積の全体から来る電磁波の強さを検知できる。もし人工衛星が25秒間飛行する毎に画像を区切っていくとすれば、先に述べたように185 km 四方の画像が得られるというわけである。

回転走査鏡によって得られた電磁波をプリズムを用いてスペクトルに分解し、それぞれの波長域に適当するような検知素子を用いると多波長帯域の情報を同時に記録することができる。ミシガン大学の M-7 方式では  $0.32\mu$  から  $14\mu$  の間を12のチャンネルに分割しているが、ERTS 1号に積まれているのはチャンネル4から7までの4帯域 ( $0.5\sim 0.6\mu$ ,  $0.6\sim 0.7\mu$ ,  $0.7\sim 0.8\mu$ ,  $0.8\sim 1.1\mu$ ) のものである。

観測された情報はデジタル量に変換され PCM 信号で地上に送られる。25秒間に 185 km 四方の地域を観測すると言ったが、MSS 1号の画像は  $2340\times 3300$  の要素から成り、その1点について4種の波長での強さを6ビット、つまり1~64の区分に分けて送ってくるのであるから、大へんな情報量である。送信速度は毎秒15メガビット以上でなければ追いつけない。

いわゆる ERTS の受信局と呼ばれている施設では、直径10メートル程度のパラボラアンテナを用いて、衛星からの情報を受信し、これを記録、処理、再生してカラープリント、あるいは電子計算機で処理するための磁気テープとして利用者に配布するサービスを行なっている。利用者はこれらの印画またはテープを解析装置にかけて、自分の研究目的に沿うように処理し役立てるのである。

### 4. 地球資源の探査

地球観測衛星は ERTS のように資源探査衛星と呼ばれることもあって、地球の資源のあり場所をさがすことが目的のような印象を与えるが、ここで言っている資源とはいわゆる鉱物資源、農林業資源、水産資源などだけではなく、人類が快適な生活を送り続けるために必要な一切の環境、すなわち水、空気、さらにそれらの物理的状态までも含んだものを指している。

事実、技術テストのために打上げられた ERTS 1号が情報を地上に送り始めてから約半年しかたない1973年の3月に開かれたシンポジウムで、次のような興味ある数多くの成果が報告されている。

1辺の長さが100メートル以上あると、その畑が水田であるか普通の農地であるか、それも掘りかえたままであるか作物が植えてあるかの区別ができる。さらに作られている作物の種類がスペクトルの違いから判別できるし、成育状況、害虫被害状況なども肉眼による監視よりも早期に知ることができる。

カナダやアメリカでは山火事の発見や、洪水による被害の実況把握に利用して成果をあげている。

ブラジルでは従来作られていた地図の修正に ERTS の画像を利用している。アマゾン川流域の従来用いられていた地形図が大幅に修正されたという例が伝えられている。ERTS の1枚の画像 (185キロ四方) は航空写真約1000枚分にも匹敵する広さであり、しかもその精度は20万分の1の地形図のそれと同程度であるからこの方面への利用価値がいかに大きいものであるか推測することができるであろう。

現在、石油のような地下資源が埋蔵されている地点の地勢の特徴を統計的に処理して電子計算機に記憶させ、これ類似する地勢をさがして地下資源の探査に役立てよ

うという計画が提案されているが、成果が期待される興味ある利用方法であると思う。

極洋における氷山の追跡にも利用できる。海洋の色調および温度分布の観測から、漁業への応用、海流の調査、海水汚染の追跡などに利用することが考えられている。すでにアメリカでは都市やある産業から廃棄された汚染物質の移動、ひろがり、集中等の観測に役立てており、裁判の証拠物件として提出された例さえある。

## 5. 国連での問題

地球観測衛星はこのように、世界各国の広い分野の研究者からその利用価値が期待されている。国際連合の中には宇宙空間平和利用委員会が常置されていて、年に1回会合を開き世界各国に利害が及ぶような宇宙利用面に関する問題を審議しているが、今まで述べてきた通り、地球観測衛星の宇宙利用に対してもつポテンシャルの大きいことが明らかになったため、1972年から特別にこの問題だけを扱うワーキンググループが設置されることになった。

筆者はこの2月にニューヨークの国連本部で開かれた第3回のワーキンググループと、4月にその報告を受けて開催された親委員会である第11会期の科学技術小委員会に出席する機会を得たので、その時の模様をごく簡単に報告しておくことにしよう。この委員会には初期のころ故畑中武夫博士が出席されたことがあり、その頃から今日まで引続いて事務局長を務めているアブデル・ガニ氏から、畑中博士を懐かしむ声が聞かれたのにはびっくりした。

ワーキンググループにおける主な問題点は、(1) 地球観測衛星から得られた隔測情報を国際的に配布して広く利用者の便宜を計ることを目的とする機構について調査すること、(2) この種の衛星からの情報収集は探査される国の主権侵害になるのではないかと、という点についての法律問題について討議すること、(3) 地球観測衛星からの情報利用技術について開発途上国を援助するため、国連のかさの下にワークショップの設置や、技術者派遣等の計画を検討すること、の3点であった。

(2) の法律問題については、法律面からの検討が衛星による地球観測を規制する方向に進むことを強く警戒する国と、法原則を確立して探査される国の主権をまもり、得られた情報の配布についてもある制限を加える必要があるとする諸国の意見があって結論が出ず、結局宇宙空間平和利用委員会の中に科学技術小委とともに設置されている法律小委で討論を続けてもらうことになった。

また地球観測衛星からの情報利用については、現在の技術試験衛星の段階においてすら既に地球のほぼ全地域のデータが収集済み、かつ利用可能の状況になってお

り、世界各国はこれの活用方法を研究すべきであるという趣旨に各代表が意見の一致を見、データ配布機構の具体案として主要国に設置される国別センター、それらを地域ごとにまとめる地域別センター、そうして国連のかさの下にこれを統括するグローバルセンターという3種類の機構をもって実施するという案が検討された。

専門家の調査によると、現在打上げられている高さ920キロのアメリカのERTS 1号を対象として考える場合、適当に配置された14の国別センターがあれば世界中のほとんど全部の陸地をカバーすることが可能であるという。

## 6. 世界的利用体制

現在のようにまだ14の国別センターが整備されていないとき、ERTSが世界各地の上空を飛行して観測して得た情報を地上に回収するためには、衛星にテープレコーダーを積んでおいて、衛星がアメリカの受信局の近傍を飛行したときに捲戻して送信させるという操作が必要である。

ERTSから送られてくる情報量は毎秒15メガビットという大量なものであるため、観測した全部の情報を記憶させておくことはできない。設計された記憶能力は約30分ぶんであったが、現在は故障のためそのうちの約10分ぶんしか利用できない。これを画像の数に換算するとたった20駒ぶんである。せっかく世界中を観測しておきながら、その中の利用できる分がアメリカの受信局の近くを飛んでいるときプラス20駒というのではあまりに効率が悪いので、アメリカは各国に受信施設を設けることを奨励している。各国が受信能力をもって、そのアンテナから見通せる範囲を衛星が飛ぶとき、観測した情報を受信することにすれば、テープレコーダーに依存する必要がなくなるからである。

このような方策にしたがって既にカナダがサスカчевン州のプリンスアルバートに、またブラジルが南アメリカ大陸のほぼ中央に位置するクイバに受信局を設置して、いち早くERTS衛星からの情報利用の体制を整備した。NASAと協定を結んで自国上空を飛ぶときには常に地上に情報を送信するようにコマンドをかけてもらい、少くとも自分の領土に関する画像はもれなく利用できるよう確保しているのである。

## 7. カナダ局への招待

2月の国連のワーキンググループの席上、カナダの代表が希望者をプリンスアルバートの受信局の見学に招待すると発言したので早速応募した。委員長が2月のプリンスアルバートは胃袋の中まで凍りついてしまう寒さだろう、と冗談めかして言っていたけれども、カナダの首

都オタワから軍用機で5時間飛ばなければならないということで、定員の関係から日本、オランダ、スウェーデン、シラレオーネの4国代表が見学旅行に加わることになった。

この見学行の前半は御難続きだった。明日の朝9時半に軍用機がオタワの飛行場を出発するという事なので、それならば今日の会議は夕方まで聞いて、最終の飛行機でオタワまで飛んでおけばよからう、とのんびり構えていたのがいけなかった。7時すぎニューヨーク郊外のケネディ国際空港に着いてみると、カナダのモントリオール地方が吹雪で予定の飛行機が飛んで来ていないというのである。そうこうしてやっとカナダ行きの飛行機が用意されたのはもう真夜中の12時を回っていた。

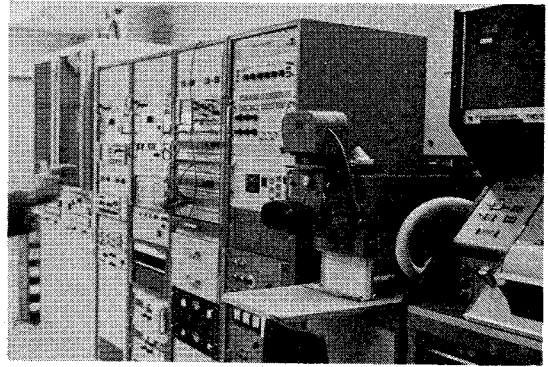
いくら遅くなっても、この飛行機がオタワまで飛んでくれば問題なかったのだが、都合によりこの飛行機はモントリオール止りになったという。こういう緊急重要事になると急に通じにくくなるブロークンイングリッシュを総動員して係員に食いついてみると、救いの神が現われた。

若いカナダ人の御夫婦だが、子供を家に残して来ているので遅くなくてもどうしても今夜中にオタワまで帰りたいのだという。モントリオールの空港でレンタカーをして200キロの夜道を走るつもりだが、宜しかったら御一諸にどうぞ、という親切な申し出。今夜中にオタワに着くためにはこの好意に甘えるほかない。いろいろな心配も一寸頭の中をよぎったが思いきってサンキュー助かりましたと答えた。午前5時ごろやっとの思いで予約してあったホテルに着き、すぐにベッドにもぐりこんだ。

8時に約束通りホテルのロビーで他の3人と顔を合せた。他の人たちは昨日の午後の便でオタワに着いていたのである。吹雪の中をタクシーに乗り普段ならば20分で着くところを1時間半かかって軍用機の発着するハンガー12という格納庫に到着し、定員6名の双発の地上遠隔探査用の軍用機に乗りこむ。「こんな吹雪でも離陸する方は別に問題はありますが、上空に行ってから具合の



プリンスアルバート受信局



プリンスアルバート受信局の内部

悪いことが分っても、もう一寸着陸するのは無理ですね」冗談のようにも本当のようにもとれる機長の少佐殿の言葉の通り、視界ゼロの滑走路から1分も上昇を続けると上空はもう素晴らしいカナダの青空であった。

## 8. プリンスアルバート受信局

プリンスアルバートはサスカチュワン州北部の農業の集散地で人口1万余の小じんまりとした町である。受信局はその郊外、北方12マイルのところにあった。見わたす限りの雪原で、受信局はやや小高い丘の上に建てられていた。元来この局は軍のレーダー基地として建設されたものを改造して、1973年6月からERTS衛星用に使用しているとのことで、そのため受信用のパラボラアンテナも直径28メートル、重量15トンという大きなものであった。この局で作業している人員は局長以下18名であるが、公務員は4名に過ぎず、残りは装置を納入したメーカーからの派遣オペレーターであった。

アンテナが必要以上に大きく、かつ近辺に電氣的ノイズの発生源がなく、しかも受信局が丘の上に建っているという好条件が重なって、ここでは人工衛星が地平線に顔を出す以前(マイナス1°)から電波を捕えることができるという話であった。アンテナは高度方位角方式で駆動され、局舎内のコントロールデスクから自動追尾、プログラム追尾、手動追尾の三通りの方法で人工衛星を追尾する。追尾に必要な情報はすべてNASAからテレックスによって供給されていた。

衛星から受信されたマルチスペクトラルスキャナーの観測情報は、まずデジタル信号のまま幅1インチの磁気テープに収録され、衛星が視界から飛び去ると同時に処理が開始される。処理の要点は四つの波長域の観測がシリーズになってテープに入っているのを分離して、波長ごとに1枚の画像として再生することと、二、三の基本的な修正を加えて画像の歪みを小さくすることで、結果は70ミリ幅のフィルム上にネガティブとして記録される。これをさらに直ちに人間の目によって検査できるよ

うにポラロイドカメラによって印画化し、またインデックス用にマイクロフィッシュに編集する作業が手際よく行なわれていた。

普通の利用者のためにはこの受信局で作られている程度の簡易処理で十分であるが、さらに精密な処理を要求する利用者のためには、ここから70ミリネガ、あるいはコンピューター用テープがオタワにある中央処理局に送られて精密処理を施した画像が作られるのだという。精密処理の要求は日ごとに増してこの頃では平均して週に1500枚からの需要があり、注文してから画像を手にするまでに5週間以上待たされるという盛況、とのことであった。

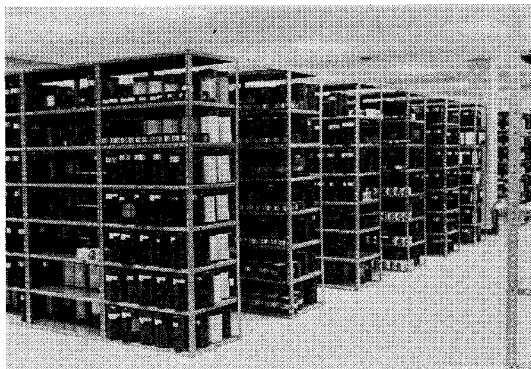
### 9. スーフォールズ EROS センター

受信局、中央処理局を経て作成された精密画像のネガを整理保存しておいて、注文に応じてこれをさがし出し希望するサイズにプリントして発送する作業は、大量生産の流れに乗らないだけに、極めて手数のかかる容易でない作業である。サウスダコタ州のスーフォールズにある EROS センターは、アメリカがこの目的のために開設したサービスセンターで、画像の注文は窓口でも、郵便でも、さらに電話でも OK というサービスぶりである。簡単な解説を加えた展示場もあり、画像解析の方法についての訓練コースも用意されていた。窓口にやってきて ERTS 衛星から撮った画像を注文したい場合、その概略の位置を経緯度で告げるだけでよい。もちろん受付には詳しい世界地図が備えてあるから、マサチューセッツ州ボストン市という風に指定しても構わない。受付嬢は机の上のキーボードからパチパチと計算機に客の注文を伝える。1秒か2秒待つ間にラインプリンターが動き出し指定した街を撮影した画像のストックを全部リストしてくれる。そのリストには客がどの画像を選ぶか判断するに十分な情報が含まれている。

このリストの中から画像を選択すると今度はその画像を8ミリネガに収めたカセットを取出して、直ちにブラ



スーフォールズ EROS センター



EROS センターのデータ収納庫

ウン管上に再生して見せてくれる。全く至れり尽せりの検索機構である。こうして原画を目のあたり見て、客は安心して自分の希望する画像番号を注文書に書き込むのである。

注文を受けてから作業にはこれと言って特別なことはない。このセンターでは ERTS 衛星の画像だけでなく、スカイラブや一般の航空写真のものも扱っているので、よく整理された大量の倉庫。それから東京あたりの大 DPE 工場に匹敵するであろう現像、焼付の設備。現像液の種類が多いことと、それをパイプで各現像機に配給しているのだが、その原タンクの大きいには全くびっくりした。出来上がった画像の荷造り発送部門を含めて、200人ほどの作業員が能率よく働いているのがまことに印象的であった。

### 10. 日本と地球観測計画

人工衛星とこれを軌道に載せるロケット自体の開発、そうしてそれらに科学的研究を行なわせることに意義のあった宇宙開発は、いま次第に世界の各国に、その国の国民全般に利益をもたらすシステムの一つのコンポーネントとして見直されなければならない時代にさしかかっている。

資源危機、食糧危機という言葉がしきりと叫ばれる今日、宇宙船地球号のもつ資源を最も効率よく活用し、かつその自然環境を人類が生きのびるために最もふさわしいように保つために、今まで述べてきた人工衛星による地球観測というシステムは、ごく近い将来に欠くことのできないものとして登場してくることになるであろう。

先人の先見の明ある対処によって、今日われわれが何の不思議もなくテレビ中継衛星、航海衛星、気象衛星などの恩恵を蒙っているのと同じように、今は地球観測衛星の開発、その受信処理を行なう地上施設の整備、得られた画像の利用解析のために、総合的な考察の下に着実な一歩を踏み出さなければならない時期であるということ強く訴えたい。