

## 地球観測と宇宙産業

Earth Observation and Space Industry

村井俊治・安岡善文

Shunji MURAI and Yoshifumi YASUOKA

### はじめに

人工衛星を利用した宇宙技術の始まりは1957年に初めての有人衛星(スプートニク)が当時のソビエトによって上げられてからであり、その後、米ソ冷戦時代に大きな発展を見た。1960年代に入ってリモートセンシングの概念が確立したが、民生レベルを含めてリモートセンシングが全世界の注目を浴びるようになったのは、1972年に米国が最初の地球観測衛星(ランドサット1号)を上げてからである。1970年代後半には、米海軍が衛星を利用した移動体(航空機、船舶、車両など)の位置決めを行うポジショニング技術の開発を始めた。この技術は汎地球測位システム(GPS)として、1993年までに24個のGPS衛星の打ち上げにより完成した。1980年代後半にはフランス、日本、インド、ヨーロッパ宇宙局が独自に地球観測衛星を上げた。1990年代に入ると、これらの国以外にも、カナダ、中国、ブラジル、チリ、タイ、韓国などが国際参入を始めた。ロシアは冷戦時代には宇宙技術に関して秘密を保っていたが、1990年代に入って冷戦が終結すると地球観測衛星画像を公開するようになった。

地球観測衛星は1999年に米国の民間企業が上げるまでは国家的事業として上げられ、アメリカ、フランス、インドがその衛星画像データの販売を商業化していた。米ソ冷戦の終結に伴ない軍縮が進む一方で軍事技術の民間産業への転用が進められ、スパイ衛星の高度技術の民間利用が米政府によって条件付きで了承された。これを契機に1997年頃から一気に商業化高分解能地球観測衛星の上げ計画が民間企業により発表された。1998年および1999年に何回かの打ち上げ失敗の後、1999年9月24日にスペースイメージング社(三菱商事も資本参加している)により、世界最初の商用高分解能地球観測衛星IKONOS-1が上げられ、1m高分解能衛星画像が公開された。新たな宇宙産業の幕開けである。

\*東京大学生産技術研究所 第5部

1999年7月にオーストラリアのウィーンにおいて国連による第3回宇宙会議が開催され、地球観測の平和利用に関するウィーン宣言が選択された。この宣言には宇宙技術のスピンオフとして宇宙産業の商業化が人類の持続可能な環境と資源の開発および管理に貢献するものと位置付けされた。

一方、国内においても新たな宇宙産業を推進すべく様々なレベルで活動が開始された。国のレベルでは、1999年から産業競争力会議が内閣官房に設置され、未来産業の創造に向けて「国家産業技術戦略」の策定が進められているが、その中で、宇宙産業は16の分野別産業技術の一つとして位置付けられ、宇宙産業技術戦略の検討が開始された。また、産学のレベルでも連携の動きが急で、東京大学生産技術研究所は先陣を切って、1999年に住友電工株式会社と共同でジョイントベンチャー(名称:宇宙情報技術研究所)を設立し、地球観測や情報処理の先端技術の研究開発を開始した。

従来は宇宙開発は巨大プロジェクトであり、国家的規模の予算がなければ成立しなかったのであるが、軍縮により戦略ミサイルのロケットが大量に不要になったことから、小型衛星を安価に上げることが可能になった。大型衛星で400~500億円の上げ費用が、小型衛星なら10~30億円ですむことから、途上国でも、民間でも、さらに大学でも上げが可能となっている。

このように宇宙技術は実用化時代に入った。すでに宇宙通信およびGPSはすでに実用段階に入っており、宇宙リモートセンシングが次に実用化されようとしている。以下に地球観測における宇宙産業の論点を概観する。

### 1. ロケットおよび衛星の開発競争

わが国は1992年に純国産のロケットH IIの開発に成功し、欧米の技術水準に追いついた。しかしその価格は欧米に比べ約4~5倍高かった。価格競争に耐えるために、わ

が国の民間企業 12 社が企業体を作り、静止衛星軌道に 5 トンの衛星打上げを可能とする H II A を約 100 億円で製作することに成功した。これによりヨーロッパ宇宙局のアーリアンに競争力で肩を並べたといわれる。

一方で衛星の小型化および軽量化が進み、積載重量が 500 kg より小さいいわゆる小型衛星が新たな技術競争として浮かび上がった。衛星を 100 kg 前後の軽量なものに押えられれば、数 10 億の小型ロケットで衛星の打上げが可能となる。小型衛星の開発および製作で先進的役割をしているのは英国のサリー大学であり、同大学では大学に付属したサリー会社を設立して、自ら小型衛星を打上げるだけでなく、途上国に小型衛星の開発および製作の技術移転を開始した。すでにタイおよび韓国はサリー大学に人材を派遣して小型衛星製作の技術を習得した。タイにあるマハナコン大学は 1998 年に TM-PHAT と称する 50 kg の小型の地球観測衛星を打上げ、空間分解能 65 m のマルチバンド画像の撮影および受信を始めた。2号機からはタイ国内で製作をする手筈を整えている。韓国は同じくサリー大学の指導のもと 1999 年にインドのロケットにより KITSAT を打上げ空間分解能 20 m の画像の受信を始めている。シンガポール国立大学は韓国と協力して独自の小型衛星の開発を目指し始めた。

中国とブラジルは 1999 年に主としてアマゾンを中心として熱帯林の観測をするための地球観測衛星の打上げに成功しており、初めての南南協力として注目を浴びた。このように先進国の間では、大型衛星の価格競争が激化している一方で、途上国の間では小型衛星の開発競争が進んでいる。衛星打上げは巨大国の独占事業ではなく、国家的事業から民間および大学レベルへと大衆化してきたといえる。

表 1 は国連の調査による 1997 年の地球観測衛星関係の市場を示す。

## 2. 高分解能衛星画像の商業的利用

地球観測には分解能から見ると大きく 2 つの流れがある。1 つは、低分解能であるが地球全体を頻度高く観測する方式であり、静止気象衛星や NOAA の軌道気象衛星がこれにあたる。いわゆるグローバルチェンジの分析にグローバルデータベースを構築する流れである。他の 1 つは可能な限り高分解能で局地的に詳細に観測する方式で、LANDSAT, SPOT, IRS などがこれにあたる。商業的価値は第 1 のグローバルなものより、第 2 の高分解能画像にある。

表 2 は現在までに国家規模で上げられた主な地球観測衛星の光学センサーの地上分解能を示したものである。

前にも述べたように米ソ冷戦終結後、スパイ衛星開発で培った高分解画像取得の先端技術を民用利用に転換することが認可され、アメリカの 3 つの民間会社（スペースイメージング社、アースウォッチ社、オーブビュー社）が殆ど同時に 1 m の高分解画像の取得可能な衛星打上げ計画を発表した。スペースイメージング社は三菱商事、アースウォッチ社は日立製作所、オーブビュー社は NTT データの日本の民間会社が資本参加しており、本格的な商業的利用の

表 1 地球観測衛星の市場（国連宇宙部調査、1997 年）

分野	市場売上高（百万ドル）
地球観測衛星本体	580 ~ 620
衛星打ち上げ	230 ~ 250
衛星生データ	60
地上局	280 ~ 300
データ処理加工	839 ~ 850

表 2 主要な地球観測衛星センサの性能

衛星	センサ	観測波長帯	空間分解能	観測幅	回帰日数
LANDSAT	TM	0.45-12.5 $\mu\text{m}$ 7 バンド	30 m	180 km	17 日
SPOT	HRV	0.50-0.89 $\mu\text{m}$ 4 バンド	10-20 m	60 km	26 日
ERS-1	SAR	5.3 GHz	30 m	100 km	35 日
JERS-1	OPS	0.52-0.86 $\mu\text{m}$ 4 バンド	18 m	75 km	44 日
〃	SAR	1.275 GHz	18 m	〃	〃
NOAA	AVHRR	0.58-12.5 $\mu\text{m}$ 5 バンド	約 1 km	2700 km	0.5 日
ADEOS	AVNIR	0.40-0.92 $\mu\text{m}$ 4 バンド	8-16 m	80 km	41 日
〃	OCTS	0.40-12.5 $\mu\text{m}$ 12 バンド	700 m	〃	〃
EOS	ASTER	0.52-11.3 $\mu\text{m}$ 14 バンド	15-90 m	60 km	16 日
〃	MODIS	0.66-14.2 $\mu\text{m}$ 36 バンド	250-1000 m	2330 km	〃
IKONOS	Pan/MSS	可視・近赤外 1/4 バンド	1-4 m	11 km	11 日

競争に入ろうとしている。

スペースイメージング社は、1回失敗した後、1999年の9月にIKONOS-1号の打上げに成功し、1mの高分解能画像の撮影に成功した。写真1は1m分解能の東京、霞ヶ関付近を撮影したものであり、建物はもとより、走行中あるいは駐車中の自動車の識別が可能である。第1の問題は画像の価格であるが1平方キロメートルあたり約1~3万円であり、航空写真の業界と競合関係となるといわれる。第2の問題は衛星画像の画像処理あるいは他の地上データとの融合によりいかに高付加価値製品に加工して商品価値を高めるかである。地理情報システム(GIS)に最新の情報源あるいはデータベースとして有機的に結合することが鍵であるといわれる。GIS産業は近年に急速に伸びており、2000年には全世界で50億ドル市場になると予測されている。わが国においても国土空間情報基盤整備の一貫としてGISの奨励策が取られており、高分解の衛星画像との結合は大きな発展を見るものと期待されている。

### 3. 汎地球測位システム(GPS)の実用化

GPSは、アメリカ海軍が軍事用の目的で、移動体の測位をリアルタイムで実現する技術を提供するものである。地球全体で24個のGPS衛星が飛行しており、正確にその位置を追跡し、各衛星に原子時計を搭載して時刻信号を発信すれば、移動体のGPSアンテナでその信号を受信することにより瞬時に正確な位置および高さが計測できる。米軍は軍事用にもかかわらず、信号の一部に雑音を混入して質を低下させた上で民間利用を黙認してきた。

1993年に24個のGPS衛星が完備されると、24時間どこでも上空さえ視通できる場所なら約1秒毎にその緯度、経度、楕円体高(正確には標高ではない)が得られるよう

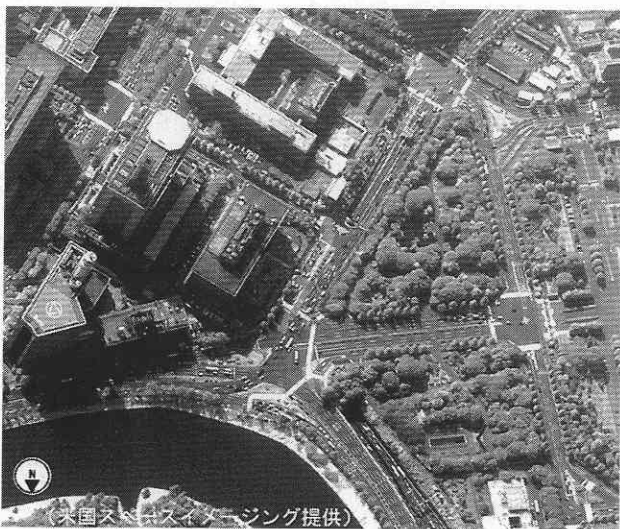


写真1 IKONOS-1からの画像(霞ヶ関, 空間分解能は81cm)

になった。GPSアンテナおよびデータ処理のソフトウェアを販売する民間会社は数10社を超え、1993年当時5億円市場だったものが、2000年には20億ドル市場(GPSアンテナの販売)に急成長すると見込まれている。アメリカに対抗してロシアはGLONASSと呼ばれる汎地球測位システムを同じように公開をはじめ、GPSとGLONASSの同時受信をして精度を上げるアンテナ技術も販売された。

GPSの利用は、数ミリの高精度を要求される精密測地(地震予測も含む)から、センチの精度の土木工事測量、メートル精度のナビゲーション(航空機、船舶、車両など)に幅広く利用されている。最近ではカーナビゲーションにもGPSが搭載されているものもある。

またカメラ、パソコン、腕時計に組込まれたGPS製品が市販されておりますます市場が広がる傾向が見られる。

GPSもGLONASSもともに軍事目的のための信号の操作が行われ、本来の品質が得られない難点がある。市場の拡大傾向と高精度への要求を考慮してヨーロッパ連合体およびヨーロッパ宇宙局は近い将来民生用の汎地球測位システム(Galileoと呼ばれる)の打上げを計画している。信号操作がなくなれば精度は飛躍的に向上するものと期待されている。わが国においては測地精度の向上により地震予知の基本データが得られるかも知れない。

GPSの欠点は上空に視覚障害があると受信できる衛星の個数が減り、測位が不可能であったり、精度が低下したりすることである。たとえば高層ビルが林立するような高密度都市ではGPS受信が困難とされる。この問題を解決するために静止衛星(気象衛星や通信衛星)に原子時計を搭載して補助的機能を付加することが提案されている。ヨーロッパではEGNOS、アメリカではWASSとよばれており、GPSの地域レベルでの機能向上が新たな産業育成に貢献するものと期待されている。

わが国においては、地震予知および国家的測量事業のために、GPS信号を恒常的かつ連続的に受信可能とする電子基準点を全国で約1,000箇所建設しており、GPSは不可欠の存在となっている。(写真2参照)

### 4. 地球観測と宇宙通信との結合

宇宙通信技術が実用化され、商業化されていることは、衛星放送、衛星テレビ、衛星電話の分野で周知のことである。通信衛星の送受信アンテナ技術が進歩して、地上の受信アンテナを小型化できることになったことが商業化を加速したといわれる。通信衛星を介して伝送できるデータレートも近い将来秒あたりギガビットと高密度化できるまでに進歩し、わが国はギガビット通信衛星の打上げを計画している。この段階に達すると、多量のデータからなる画像の伝送もほぼリアルタイムで可能となる。このことから、遠

隔医療および遠隔教育に大きな伸展が見られると期待されている。

著者は1999年3月に、タイのアジア工科大学院、日本の宇宙開発事業団、アメリカのハワイ大学、およびワシントンのNASAの計4機関の間で実施した通信衛星によるテレビ会議に参画したが、想像していたよりはるかに迫真感があり新しい宇宙技術であることを認識した。画像も支障なく見えたし、講演後の質疑応答も臨場感があった。

さて、宇宙通信は通信技術として発展してきたが、その機能が向上するにつれて、衛星リモートセンシング、汎地球測位システムとの有機的結合が新たなシステムインテグレーションの機能を生むと考えられている。特にリアルタイム性を要求される災害のモニタリングに大きな効果を上げると期待されている。

地震、洪水、山火事、火山噴火など一刻を争う災害モニタリングにおいては、その状況を把握するのにリモートセンシング、位置や分布を計測するのにGPS、そしてそれらのデータを災害対策本部に通信するのに宇宙通信を利用すれば、従来ではできなかった災害情報システムを構築できる。

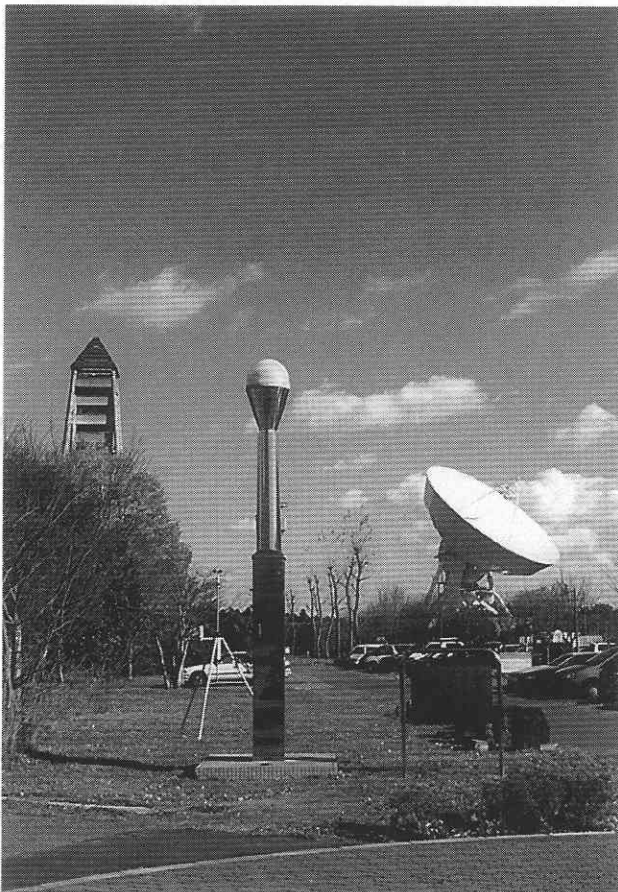


写真2 我が国における電子基準点

このように宇宙技術は動的観測をも可能にするようになりつつある。動的観測技術の進歩は、漁業、公害監視（不法投棄を含む）、穀物生育監視などいわゆる4次元環境情報システムの構築を支援すると期待され、関連する産業が育つものと考えられる。

### 5. 宇宙技術と地上システムとの結合

宇宙リモートセンシングによる地球観測は1mの高分解の時代に入ったとはいえ、いくつかの限界がある。分解能の限界以外に、大気を通して得られる画像の大気補正の限界、画像の判読の限界、雲による撮影タイミングの限界などがあり、地上システムの支援なくしては十分にその機能を発揮できない。衛星画像の較正あるいは検証をするのに必要な参照データをグランドトルスとよぶが、宇宙リモートセンシングの成否はグランドトルスにあるといわれる。

地上システムは衛星画像を用いたモデル開発の際に必要な未知パラメータを決定する時にも必要である。たとえば狭い地域において航空機リモートセンシングで詳細に調査してモデルを構築し、このパラメータをさらに広範囲をカバーする衛星画像に適用することが考えられる。このような技法は、農業、森林、水質などの調査に有効である。

このように宇宙リモートセンシングと地上システムとの結合は、高品質で高付加価値の情報を提供するのに不可欠な技術である。著者が開発した航空機搭載のリニアアレイセンサ（GPS、光ジャイロ、高速データレコーダーに支援されたスリーラインセンサ）は、宇宙リモートセンシングの地上システムとしての役割を担うだけでなく、宇宙リモートセンシングで達成できないさらに高分解能の画像を得ることを目指している。この技術は東京大学生産技術研究

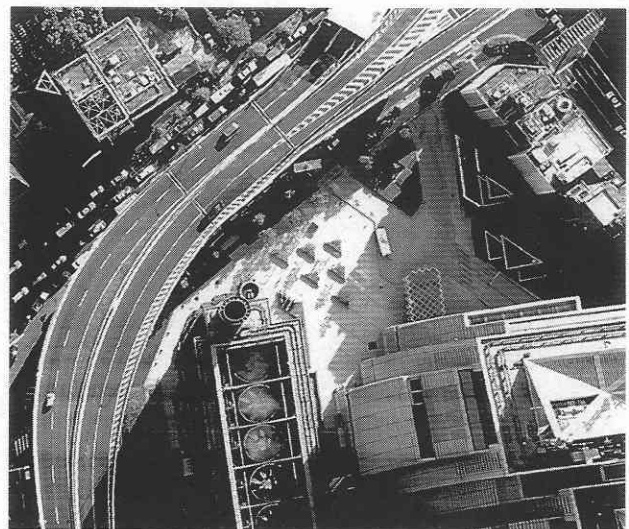


写真3 航空機搭載スリーラインセンサ（TLS）からの画像（新宿副都心、空間分解能は約10cm）

所と住友電工株式会社で設立したジョイントベンチャー(名称:宇宙情報技術研究所)で開発され実用化されることになっている。写真3は試作のスリーラインセンサによってデジタル画像として撮影された新宿副都心の高層ビル街の出力画像である。

#### おわりに

地球観測および汎地球測位の宇宙技術は、確実に商業化

の傾向にあり、実用化の道を歩んでいる。これらの宇宙技術は宇宙通信および地上システムとの複合的かつ有機的融合システムとしてより高付加価値の情報を提供する宇宙産業に成長するに違いない。生産技術研究所は今後ますます産学協同により宇宙情報技術の実用化研究をすべきであろう。この意味で設立された宇宙情報技術研究所の今後の飛躍を期待するものである。

(2000年1月31日受理)