

# iasa

*JOURNAL OF THE INSTITUTE FOR ADVANCED SPACE ACTIVITIES*

# 宇宙先端

宇宙先端活動研究会誌

JUL. 1989  
VOL. 5—NO. **4**

**IN THIS ISSUE,**

OPTICAL NAVIGATION OF VOYAGER.....	K. NISHIYAMA et. al ...	63
SPACE STRATEGY (2) .....	M. MORI .....	75
SPACE INFRASTRUCTURE .....	T. IWATA .....	83

# 宇宙先端

宇宙先端活動研究会誌

## 編集局

〒105 東京都港区浜松町 2-4-1

世界貿易センタービル内郵便局私書箱 165号

## 編集人

岩田 勉 TEL 0298-52-2250

## 編集局長

長谷川 秀夫 TEL 03-769-8230

## 編集顧問

久保園 晃 宇宙開発事業団理事  
土屋 清 千葉大学映像隔測センター長  
中山 勝矢 工業技術院中国工業技術試験所長  
長友 信人 宇宙科学研究所教授  
山中 龍夫 航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ総合研究官

## 監査役

伊藤 雄一 日本電気株式会社宇宙開発事業部技師長

## 宇宙先端活動研究会

## 代表世話人

園山 重道

## 世話人

石澤 禎弘	伊藤 雄一	湯沢 克宜	岩田 勉	上原 利数
宇田 宏	大仲 末雄	川島 鋭司	菊池 博	五代 富文
笹原 真文	佐藤 雅彦	茂原 正道	柴藤 羊二	鈴木 和弘
竹中 幸彦	鳥居 啓之	中井 豊	長嶋 隆一	長谷川 秀夫
樋口 清司	福田 徹	馬島 亜矢子	松原 彰二	森 雅裕
森本 盛				

## 目 次

1. ボイジャー飛行での工学技術と  
その月／火星等宇宙運用への応用動向・・・・・・・・・・ 63
2. 宇宙開発戦略私案 パート2・・・・・・・・・・ 75
3. 宇宙インフラストラクチャの発展・・・・・・・・・・ 83

# ボイジャー飛行での光工学技術と その月／火星等宇宙運用への応用動向

西山建志 森山厚夫 有川寛 三上龍男 清水哲男

今年8月25日、太陽系の最も外側にある海王星に最接近するボイジャー2号機は12年前の1977年8月20日に2号機、半月後の9月5日に1号機が打上げられ木星への途中で1号が2号を超越し、木星、土星、天王星に接近して観測してきた。今から30年前の1959年、前年10月1日に発足したNASAは、マーキュリー計画の宇宙飛行士、いわゆるライトスタッフ7名を選んだ。同じ頃、木星、土星、天王星、海王星を歴訪する有名なグランド・ツアー計画が立てられた。このツアーは、惑星の引力、すなわちスウィング・バイ(図6)を利用する飛行である。このグランド・ツアーに必要な地球との有利な相対位置関係がすべての惑星に実現する機会は約175年に一度である。しかし予算が削減されたので、このグランド・ツアー計画はマリナー計画を拡張し、1977年のボイジャー計画になった。

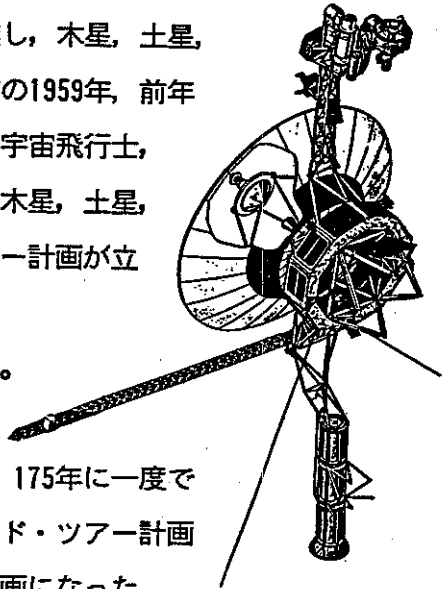


図1 ボイジャー

## ボイジャーミッションの技術的困難と光学的航法の利用

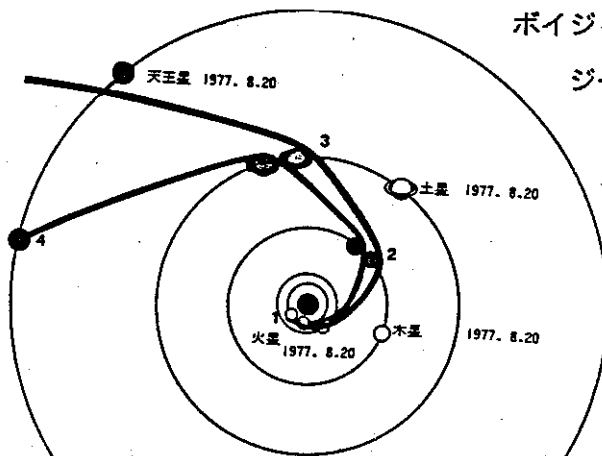


図2 スウィング・バイ

ボイジャーミッションに共通する重要な戦略は、惑星とその月をスウィング・バイ、又はフライバイして他の惑星へ飛行する運用である。しかしながら深宇宙ミッションでの電波によるスウィング・バイ制御は、地球周回衛星の軌道制御と異なり大きな困難がある。何故なら単に距離が遠いことによる誤差のみならず、スウィング・バイの期間、接近軌道誤差、または惑星質量誤差が、引力す

なわちスウィング・バイ後の飛行軌道の方向や速度の誤差を生ずるからである。この目標軌道からの誤差は燃料噴射によって修正し得るが、この噴射により十数年間の姿勢制御や軌道修正の為に使う燃料は減少し、スウィング・バイ後のミッション達成を困難にする。そこでボイジャーミッションでは探査機を軌道に正確に投入することが第一とされ、光学的航法が採用された。

光学的航法による追跡管制の運用

光学画像データは地上のスクリーン上に写され、背景天体と目標天体が識別され、カメラの焦点距離から二天体間の距離と二天体のなす角が判るので、探査機の位置、速度を知ることが出来る。ボイジャーでの光学航法の基準は、スウィング・バイする惑星ではなく、TV画像による惑星の月、例えば木星ではアイオ、土星ではタイタンである。その理由は、惑星より月の方が小さく鮮明で、光学航法に適しているからである。但し、このためには月軌道の位置（エフェメリシス）を探査機と同じ精度で知ることが必要である。光学的測定は、図8の理由により惑星接近の2~3箇月前からプライマリー航法制御用測定法として用いられ、電波ドップラー法はセカンダリー巡航システムとして使われた。すなわち電波ドップラー法は、木星接近の間、光学航法の初期値となり、またバックアップとした。2局レンジ測距システムによる軌道決定値は土星ミッションではバックアップ用であった。

木星探査ミッションの結果

この光学航法のため、ボイジャー1号では木星接近前60日間で100枚以上のガリレオ4衛星（アイオI、エウローパE、ガニメデG、カリストC）のTV画像を得て、このTV画像を地上で処理、解析して軌道決定した。この軌道を利用して、目標天体アイオへの軌道修正のため木星最接近34日前に4m/secの速度修正を行い、更にスウィング・バイ12日後に0.6m/secの速度修正を地上からの指令で行った。この結果、図3の上図に示すように、木星から35万kmの地点を通過し、木星の

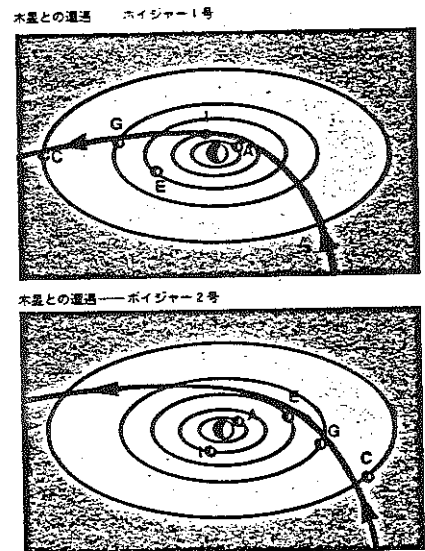


図3 木星のフライバイ

磁場による衛星アイオの荷電粒子の干渉によって作られた 2,000km幅の木星側を通過でき、アイオから2万kmの地点をフライバイして、ガニメデ、カリストをフライバイできた。この独特な航行経路により、5つの月を近距離から調査できた。

ボイジャー2号では同様に光学航法が用いられ、45日前に1.5m/secの修正と12日後に1.6m/secの修正が行われた。この結果、2号は1号の4ヶ月後、木星から73万km以内を通過し、ガニメデから6万2千kmを通過した。特に1号が土星のタイタン遭遇前に失敗した場合には、2号がタイタンに遭遇できるよう、2号では土星への遭遇の燃料を確保しておく方針であった。このため当初2号の木星科学調査に支障をきたさないために、木星遭遇14日後に噴射をするなら44m/secの速度修正が必要であると考えられていた。この噴射によりタイタン遭遇の為に土星遭遇の時期を修正する事になる。だが木星遭遇直前になって、タイタン遭遇の為に木星最接近時なら13m/secで可能なことが分かった。ただし巡行時の制御と異なり、搭載計算機は、科学調査処理のため、能力ぎりぎりなので、制御の処理のメモリー余裕はない。幸いにもボイジャー2号の場合には、下図4のように木星最接近時の噴射方向が、地球—探査機間の方向と同じになり、推進ノズルが地球アンテナの軸と平行に付いている構成により、制御処理は地上の計算機のみで行い、搭載計算機のメモリー負荷を軽減できた。このため最接近時でのマヌーバは、噴射の向きが打ち消し合わず、科学探査に影響しないような開始時点と持続時間のみメモリーで制限されたコマンドによって達成できた。この結果、科学探査に支障はなく、

全体の燃料節約は約30m/sec(44-13)にもなり、天王星へ飛行するチャンスが生まれた。しかし一般には、今述べたようにフライバイ制御期間は、探査機の位置、姿勢、燃料の面で常に探査ミッションと同時運用のため競合関係にある。また必ずしも地上の一局から常に見えるとは限らない。そこで地上の他局がフライバイ制御運用を分担すれば、その分ミッション運用が確保される機会が増える。ここに国際協力の必要性も生ずる。

又データ中継衛星を用いて可視性を広げればより効果的であろう。

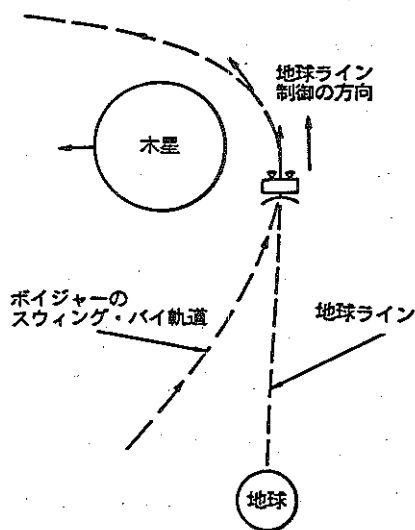


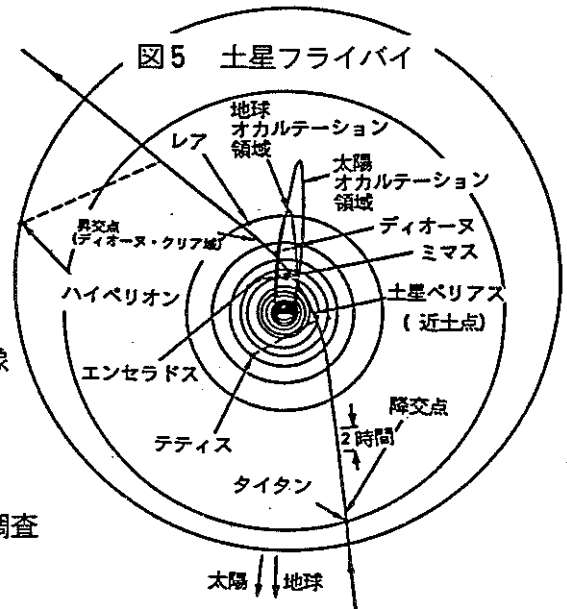
図4

## 土星探査ミッションの結果

図5にボイジャー1号と土星系の概観を示す。1980年12月、土星をフライバイし、土星に最接近する18時間前にタイタンから7,000kmを飛行するような軌道が目標とされた。しかしボイジャー1号の土星ミッションでは土星の月のエフェメリスは不正確だったので、光学航法は使えずドプラー航法しか使えなかった。

このためタイタンと土星の裏を飛行する時、その大気や土星のリングが電波信号に影響するので迅速なデータ処理と正確な軌道生成が求められた。

このようにタイタン接近の際、ボイジャー1号の制御は困難となるので、タイタンへの最接近の前、まず月を探してそのTV画像により地上で月のエフェメリスを更新して、迅速かつ正確に軌道決定を行った。この後、新たに計算された軌道を用いて科学的画像調査のための機器のポインティングを行った。



この結果、土星の月の天体エフェメリスはあまり正確ではなかったが、ボイジャー1号は、地上計算機での速く正確なデータ処理によって、土星のいくつかの月のTV画像が得られるほど正確な軌道を生成できた。これにより、タイタンへのフライバイを土星最接近33日前の1.9m/secの噴射と、5日後の1.5m/secの噴射で達成し、この結果、軌道誤差は330kmの精度であった。又、丁度反対側に来る、ほぼ完全なタイタンとの食は、科学的に大きな興味があるが、この場合の軌道誤差は37kmであった。

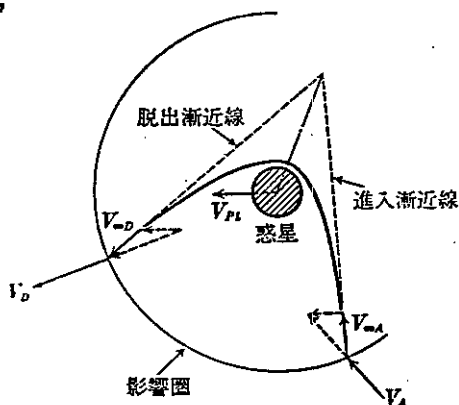
ボイジャー2号では光学航法が可能となり、木星と土星へのスウィング・バイが、天王星への軌道になるよう設計出来た。これはボイジャー1号が光学航法に必要な月のエフェメリスデータを更新したおかげである。このように、2号での追跡管制は天王星とその衛星ミランダ、そして海王星とその主衛星トリトンへ達する為に必要な燃料を残しておくことに最も関心を寄せて運用された。このため木星に最接近した時に速度修正という画期的な実時間的噴射計画運用の試みを行い、これより遠い惑星へ

の飛行可能性を開発した。更にボイジャー航法経験は、信頼できる光学航法手法を確立した。ちなみに2つの地上局によるレンジバックアップシステムは、実際には使われなかった。このように光学航法は電波航法と並んで、将来の宇宙運用の為に信頼し得る基本（プライマリー）システムとしての地位を占めるであろう。

### スウィング・バイとは (図6)

惑星の影響圏に相対速度  $V_{\infty A}$  で進入 (Approach) した宇宙船は相対速度  $V_{\infty D}$  で影響圏を離脱 (Departure) する。従って、惑星の速度を  $V_{PL}$  とすると、宇宙船の太陽中心軌道における速度は影響圏通過の前後で  $V_A = V_{PL} + V_{\infty A}$  から  $V_D = V_{PL} + V_{\infty D}$  へと変化する。すなわち、惑星の重力場を利用することにより、推進系を用いることなく軌道を変更することが可能である。

この現象をスウィング・バイと称するが、目的惑星に到達するのに、途中第3の惑星によるスウィング・バイを利用することにより、打上げエネルギーの減少（ペイロードの増加）、飛行時間の短縮を図ることが可能である。スウィング・バイによってもたらされる軌道のエネルギーの変化は影響圏への進入の仕方、惑星が軌道を曲げる能力によって異なるが、スウィング・バイ対象として最も魅力的なのは、その大質量ゆえに木星である。（航空宇宙工学便覧参照）



## 光学航法と電波航法

### ボイジャーミッション測距システム

ボイジャーミッションでは前述のようにTVカメラが惑星との相対的軌道の精度を向上させるのに重要な役割を果たした。そこで光学航法と電波航法の違いを次に述べる。



## 追跡管制システムの精度

地球周回ミッションに比較して、深宇宙ミッションでは軌道決定及び軌道修正に高精度が要求される。何故なら探査機までの距離が遠く、また惑星・月の引力も厳密に考慮する必要があるからである。深宇宙での追跡管制で使用される力学モデルでは、距離にして1m以下の精度をモデル化している。計算上は倍精度演算を行い、また太陽付近での一般相対性理論による効果等を組み込むことによりモデル化の精度を上げている。このモデルでは太陽系内のすべての惑星と衛星の位置、追跡局の位置、地軸の変化と向き、電波信号への伝播経路の影響が含まれる。例えば、宇宙機測距と月面レーザー測距により現在、内惑星と木星に対する精度は0.2マイクロラジアンである。追跡局の位置は過去20年のミッションデータに基づいた値を採用しており、精度は極軸方向で1m、自転回転方向で10mである。ドップラー測距への対流圏での屈折効果は方程式中にモデル化されており、電離層での荷電粒子効果はファラデー回転データから計算され、日々の仰角依存修正値としてモデル化されている。また太陽プラズマによる荷電粒子効果は、宇宙機からのS及びXバンドのドップラーデータ解析により直接修正される。

## ドップラー測距能力の限界

JPLの測距システムは基本的には電波によるドップラー法である。電波によるドップラー法は深宇宙においても距離、速度に関してそれぞれ5m、1mm/sという高精度を実現している。現在までのドップラー航法システムの実績としては、軌道投入誤差を緯度23.5度（地球自転軸の傾斜角）へ変換

した場合、過去数年にわたり深宇宙天体へ0.25マイクロラジアンの精度で送り得た。

しかしながら、探査機の赤緯が0度付近になるとドップラーによる軌道決定精度は、探査機赤緯の正弦の逆数に比例して精度が悪くなる。そこで、右図のように赤緯が6~7度以下になると、次の2局レンジングが必要になる。

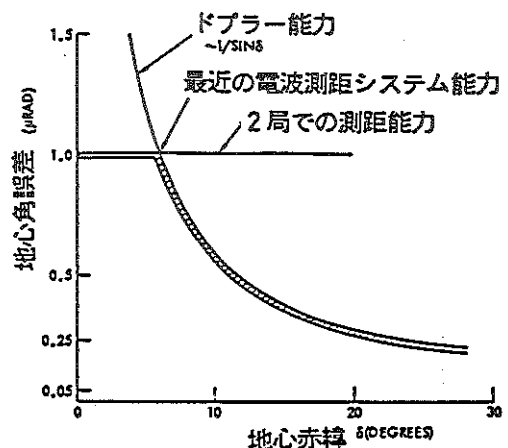


図7 電波測距の誤差

## 2局による測距

地球周回ミッションでは赤緯が小さくなった時の信頼性の低いデータは採用しなければよいが、深宇宙では赤緯が小さくても長期間にわたってドップラーデータを取り続けなければならない。この対策として、地球上で南北に遠く離れた2箇所のアンテナから同時にデータをとれば誤差は赤緯の余弦の逆数に比例するので誤差はおさえられる。すなわち、上図に示すように赤緯が大きい時は1局によるドップラー計測で十分精度が良いが、赤緯が5～6度以下のときは2局のレンジングが必要になる。深宇宙測距精度を5mとし、2局のベースラインを5000kmにとれば、位置決定誤差は1マイクロラジアン以上にはならない。この点で、国際協力の必要もある。

## 光学的追跡管制の必要性

しかしながら地球週回軌道と異なる問題点として、飛行体との距離が遠くなる一方の場合、地球からのドップラーによる追跡管制方法は右図8のように誤差が広がり、原理的に限界があると言わねばならない。これに対し、精度が悪くても目標天体を

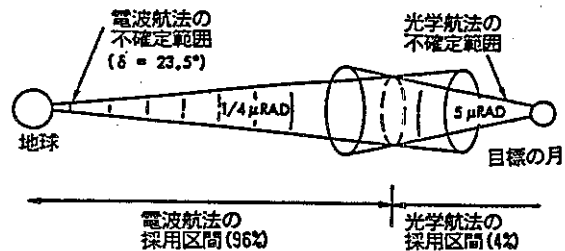


図8 光学と電波の分担

直接測量するのが本質的な解決であることは疑い得ない。この点から、光学航法は地上からの電波航法の精度が落ちる目標天体付近で、高精度な軌道評価を与える有力なセンサシステムとなる。何故ならば、光学観測は目標天体に依存し、天体エフェメリス誤差は最小になり、宇宙機は目標天体に近い位置で最終の修正マヌーバを精度良く行なえるからである。現在のJPLのシステムの精度は図8に要約される。即ち左側のコーンで示すように、ドップラーシステムの角度の誤差は0.25マイクロラジアンで100万km毎に250mとなる。一方、右側のコーンで示すように、光学データにより宇宙機は目標に対し5マイクロラジアン以内に位置する。誤差は100万km毎に5kmとなる。

ここで目標天体までの距離が全体の4%にまで近づいた時に注目すべきである。目標天体に関する角度誤差は、この地点を境にして光学測定の方がドップラー法より良く

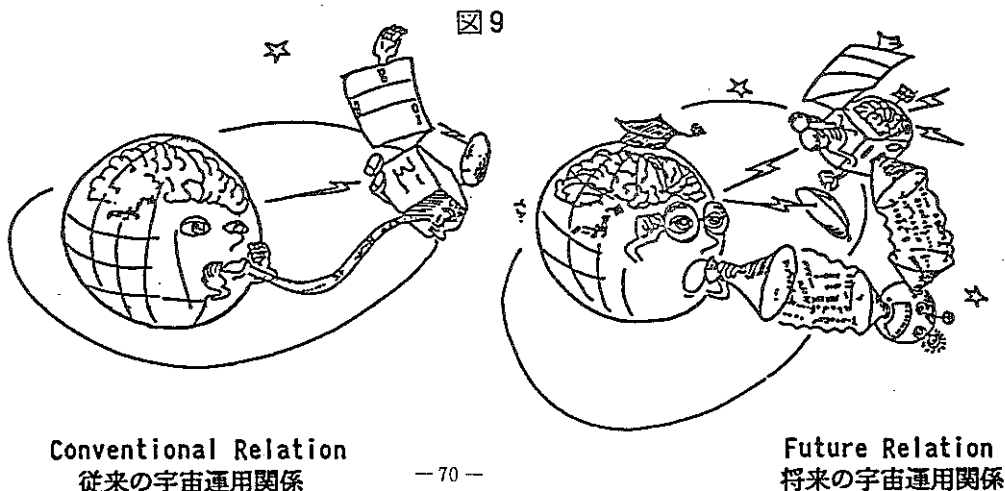
なっている。それ故、距離と速度はドップラーシステムで測定し、角度は画像データから決定するのが最良となる。例えば、ボイジャーの場合光学データで得られる究極の位置精度は、月の輪郭と満欠けの明暗境線測定から目標天体半径の1%以内の精度で中心を見出し得る。実際の運用としては、画像データは地上のスクリーンに示されて背景の天体と目標の天体が識別される。TVカメラの焦点距離から背景の天体と目標の天体までの距離が求まり、2天体のなす角もわかる。画像データはドップラーデータと相補的に軌道評価に用いられる。

### 高速データ伝送のための光通信システム

では、このように宇宙機を高精度で追跡管制したり大量の観測画像データを高速に伝送するには、どのような伝送システムが必要であろうか。この一つとして光通信が研究されている。光通信は大気や雨などによる減衰の問題を含んではいるが大気のない宇宙空間での高速/大容量データ伝送方式としては、非常に有望である。そこで将来の宇宙運用で脚光を浴びようとしている光通信、更にこれを含むフォトリニクス(光工学)技術の宇宙運用への応用動向を概観してみよう。

### 高データレート伝送の必要性

将来の宇宙開発では、月/火星及び外惑星への有人及びロボットミッションが考えられており、このミッションの成功を測る主要な尺度としては科学的生産性がある。この生産性最大化には、宇宙機と地上(または宇宙ステーション等)でのミッション運用の高データレート通信が必要である。この宇宙機と地上間通信のトレンドを下図9に示す。



ボイジャーのように宇宙探索では、二次元画像処理のような非常に高次の並列性を含むいくつかの処理要求がある。そして、軌道上の画像から識別された着陸地点にロボット着陸機を逆噴射で降下する時の最後の数分間にも、超高速な情報抽出／処理が決定的である。更にロボット探検車が月／火星表面を安全かつ高速に移動し、探掘場所を発見したり、特異な岩石や他の有望な表面資料を認知する知的探査を実行するには、光学画像、レーザ測距データおよびマルチスペクトルデータからの情報抽出が不可欠である。このような場合、全画像に渡る相関と特徴抽出を迅速に行う必要があり、百万個の並列チャンネルで画像を処理できる光処理の能力は非常に魅力的である。

NASAの将来の太陽系探査計画では、強力な情報処理システムと高度な耐故障性計算機／ネットワークを必要とするようなミッションが計画されている。例えばライドレポート「宇宙におけるリーダーシップとアメリカの将来」の4つのリーダーシップ計画では、宇宙の種々の情報取得及び処理を要求しており、乗員輸送機や月／火星の居住に関する管制／通信システムは、安全性を確保するためにも信頼性が非常に高くなければならないとされている。この耐故障性達成のためには、ハードウェアとソフトウェアに高度でかつ大きなオーバーヘッドを要求するが、このオーバーヘッドは逆に高速データ処理／高速データ通信を著しく妨げるといった高速データ通信への消極的な必要理由もある。なお月／火星の探索で必要となる自律的着陸機とローバー探検車では、多くの画像処理が必要であり、地上での処理では迅速性が確保できないため、大量の計算をする大規模な計算機が宇宙（たとえば宇宙基地やデータ処理中継衛星）も必要であろう。この場合には大気減衰もなく光通信やフォトニクスが活用できる。

### 従来技術の問題点と光通信の必要性

一般に、電波通信技術で高データレート伝送するには、ゲインが一定ならより高い周波数にするか、又はより大きいアンテナにするかである。それ故、現在の宇宙機通信は主にX、Ku、またはKaバンドのマイクロ波で行われている。しかしマイクロ波ではアンテナの直径が最大4～5mにもなり、例えば図1のボイジャーのように、アンテナが宇宙機のシステムのかなりの部分を占めてしまう。前述のJPLの深宇宙ネットワークDSN(Deep space Network)は、世界最大の可動電波望遠鏡群を擁しているが、このような巨大なDSNアンテナ群と大きな宇宙機のアンテナによっても、電波周波数

によるデータレートは将来のミッションの科学的成果に充分対応できないであろう。例えば前述のボイジャーミッションでは可能な最大データレートが土星遭遇時でも高々22Kbpsであった。またロボットミッションおよび有人ミッションではより高いデータレートが要求されるばかりでなく、通信も含めて全てのサブシステムについて電力、重量および体積がより厳しく制限されるだろう。例えばパスファインダープロジェクトの有人輸送機と居住には、通常のエレクトロニクスとケーブルを用いた管制／通信システムでは、重量と電源の制約内で必要なシステム性能を提供できないと予測されている。更に長期間の地表面探査では耐久性と信頼性が最も重要である。

このようにマイクロ波通信は現在のミッションの科学成果の達成に対して大きな制約であり、将来の野心的な太陽系探査ミッションのための最低のデータ要求についてすら重大なトレードオフを強いるであろう。それ故、従来の電波技術では、将来の宇宙開発の広範囲の様々なミッションに対して科学的生産性を最大にするのは難しい。

### 光通信の利点

この対策として、光通信技術を導入し、宇宙機にレーザや望遠鏡を積むことによって、送受信アンテナの大きさを十分の1以下に小さくすることができる。しかも地球軌道で数Gbps、内太陽系で数Mbps、また外惑星で数100Kbpsのデータレートが達成できるであろう。例えば、NASAでは宇宙機の通信ビームを深宇宙航行にも用いることを考えており、この場合光通信は強力なデータ伝送手段と提供すると考えられる。

一方、天文分野で開発された技術を用いれば、単一の光学的望遠鏡による宇宙機の天文測距航行追跡により、現在の大陸間配置マイクロ波VLBI（図7の2局のベースラインを Very LongにするためIntercontinental間にした測距系）追跡より2桁高い航行精度が得られるであろう。また宇宙機が太陽のプラズマまで飛ぶ時でも実時間通信が要求されるスタープローブ（Starprobe）のようなミッションも、光ヘテロダイン通信の実現で可能となることが示されている。

このような光通信の利点をまとめると以下のようなになる。

- ①ビーム幅が狭いのでアンテナ（望遠鏡）等オンボード機器が小型軽量化できる。
- ②大容量高速データ伝送が可能。
- ③RF帯と重ならず、EMIがないためシステム構築が簡単である。

## 解決されるべき課題

しかしながら、光処理システムは、現在のところ地上および宇宙のシステムで非常に限られた応用しかされていない。この応用例としてはNASAの宇宙ミッションで合成開口レーダーの地上データ処理に使われたくらいで、地上と宇宙での高速RFスペクトル分析用の光処理システムがNASAで計画/開発中である。そこで光通信技術の開発または改良すべき重要な課題としては、次のようなものがある。

- ①高出力、高信頼性、かつ中位から高位の変調率を持つ固体レーザ送信機
- ② $1\ \mu\text{ rad}$ 以下の高精度をもつ開/閉ループポインティング/追跡システム
- ③直接およびヘテロダイン受信機用検波要素
- ④鏡、レンズ及びまたフィルターなどの付加的光学要素

## 開発構想

将来のNASAの強力な情報処理システムと高度な耐故障性計算機/ネットワークを必要とするミッションのニーズに対して、パスファインダー (Pathfinder) プロジェクトのフォトニクス計画では、最大のキーとなるシステムと装置技術の開発をターゲットを絞っている。フォトニクス計画は現在の情報処理能力では達成出来そうにない将来のミッション要求を扱う。例えば現在の大容量光ファイバーネットワークは、光信号を電気信号に相互変換するインターフェイス装置を用いているが、この光/電気信号変換ではネットワークノードでデータのボトルネックが発生する。一方、情報を光のまま処理することができれば、故障が検出されない限り情報を伝送する光が阻止されることはない。また現在の典型的な宇宙機用のセンサーでは、惑星ミッションで要求される感度と寿命を達成できないと考えられている。また電子工学的に制御されるフェーズドアレーアンテナは、現在の設計では宇宙で使用するには余りに大きく重すぎると思われるが光制御の使用により、対応する電子工学システムより軽量の探検車/軌道機通信用のフェーズドアレーアンテナの開発が可能になると考えられる。

パスファインダーでの光通信計画では、スペースシャトルを基礎とするレーザ技術実験施設LTEF (Laser Technology Experiment Facility) とカッシーニ (Cassini) 宇宙機に搭載される飛行実験パッケージに焦点を当て行われている。

## 宇宙におけるフォトニクス（光工学）技術

そこでフォトニクス計画では、次のものが計画されている。

### ①宇宙システムに应用される耐故障／高データレートネットワークの開発

この応用としては、自律的宇宙機、惑星間輸送機および惑星や月の住居など通信のネットワークがある。光工学的ノードと光センサーの開発も目標に含まれている。耐故障ネットワークに関しては、最大1 Gbpsまでのデータスループットを持つ3重故障まで対応可能なネットワークを作る目標を達成するために必要な光工学的アーキテクチャー、装置およびセンサーの開発が計画されている。

### ②光パターン認識

光パターン認識は、惑星探検車をすべてを電子工学的に処理するシステムより電力消費が少なく、また高速で安全に移動できるようにする。即ち光マルチスペクトル処理装置は、惑星ローバにより得られる探査データを高速取得／解析できる。

### ③光工学的処理装置

ビジョンシステムは、自律的着陸機と自律的探査車の双方に対して開発される。光工学的処理装置は、惑星表面の自動着陸に必要な電子工学的ビジョンシステムの処理要求を最大3桁削減する。このクリティカルな技術は、光工学的センサー、光スイッチ、MMICチップの光ファイバー制御および画像処理アーキテクチャーの分野で開発されよう。

### ④自律的惑星システム

自律的惑星システムに関しては、様々な光センサーの開発を行なう。

フォトニクス技術の応用はこのような衛星間等のデータ伝送における光通信技術のみならず、計算処理、画像処理に应用されるであろう。このようにフォトニクスは本質的に高スループットであるため計算分野でエレクトロニクスを陵駕する可能性を秘めている。またアーキテクチャーが単一要素故障に対して本質的により耐性があるので、類似の電子工学的システムに比べてより高い耐故障性と信頼性があると期待されている。

(宇宙開発事業団；西山建志 森山厚夫 有川寛 富士通；三上龍男 清水哲男)

## 宇宙開発戦略私案 パート 2

—— グローバリゼーションの薦め ——

森 雅 裕

### 1. スーパー301条

カーラ・ヒルズ米通商代表部（USTR）代表は、1989年5月25日午後8時（米東部標準時）、包括通商法スーパー301条（不公正貿易国・行為の特定・制裁）に基づく、対日適用を決定し、発表した。

不公正貿易国として日本を特定すると共に、不公正貿易行為として、スーパーコンピュータ、人工衛星、木材製品の三項目を調査、交渉対象品目にあげた。

5月30日から21日以内に、USTRは、不公正貿易の慣行に対して、1974年米国通商法301条に基づき、日本に不公正貿易行為があるか否かの正式調査を開始し、1990年4月30日までに、USTRは議会に次のことを報告しなければならない。

- ①それぞれの慣行の制限的な部分の廃止に向けて合意が成立したかどうか、また進展がみられたかどうか。
- ②その慣行が廃止されたかどうか。
- ③1974年通商法301条に基づき、それぞれの慣行について、どんな措置が取られたか。

また、スーパー301条の手続きは、89、90の両年に適用されることになっている。

### 2. 米企業とUSTRとの利害の一致

対日赤字1%にも満たない人工衛星について、1986年1月のMOSS協議（市場重視型分野別協議）で取り上げられ、実質的な協議がなされないまま継続案件となっていたが、とうとうスーパー301条の適用品目に取り上げられてしまった。

MOSS協議に取り上げられた経緯及びその問題の危険性については、3年前の宇宙先端活動研究会誌 Vol.2 No.6 Nov.1986 「宇宙開発戦略私案」に詳述している。

MOSS協議で取り上げられるきっかけとなった原因は、米国ヒューズ・エアクラフト社が中心となり、ワシントンでキャンペーンを張った結果である。

なぜ一企業の動きで米国政府機関が振り回されるのかについても、前出の同会誌で述べたとおり、ロバート・B・ライシュ米ハーバード大学教授の分析が、正に当たっている。

つまり、米政府機関は、権限が広く分散しているため、米国内産業を再編成したり、育成したりするような、野心的な計画を立案することが出来ない。このた



め特定の産業が、政府の特定機関をおどしたりすかしたりして、彼らが望む産業政策を打ち出せることができるのである。

それではなぜ、日本電気㈱が主契約者である気象衛星「ひまわり」のサブコントラクタであるヒューズ・エアクラフト社が、M O S S 協議及びスーパー301条適用で、衛星調達問題に関しフィクサーとして暗躍したのか、そのモチベーションについて解明する必要がある。

ロックフェラー米上院議員（民主党）は、7月3日付の日本経済新聞（以下「日経」という）のインタビューに答え、「人工衛星調達に関し、日本が国産化方針の下に、外国企業を主契約者とししない方針を取っているのは問題だ。米国に追いつこうという努力を防げるつもりは全くないが、閉鎖的なやり方は好ましくない。」と述べている。

クーラー米ヒューズ・エアクラフト社副社長は、「（ライバルの）フォード・エアロスペース社は、日本電信電話（N T T）の通信衛星製造にあたり、提携先の三菱電機㈱に大量の技術を提供してしまった。」と日本に渡った米国技術のブーメラン効果を恐れる発言を6月19日付日経紙上で述べている。

ポストNロケット（Nロケットの後継機）を検討していた、1973年頃、米エアロジェット社は、国務省に対し「マクドネル・タグラス社とロックウェル社ロケットデザイン事業部は、日本のNロケットの開発にあたり、提携先の三菱重工㈱に必要以上の技術を教えてしまった。」と発言している。この後、米エアロジェット社は、石川島播磨重工㈱と組んで、N-IIロケット第2段推進系としての「AJ10-118F」の売り込みに成功している。このとき米国政府あるいは米議員がどのように動いたかは、残念ながら調査されていないが、何んらかの動きがあったとしても不思議ではない。

「ジャパンフォビア（日本恐怖症）」を植え付け、対日脅威論を展開する米企業は、『日本政府及び外務省を始めとする日本の役所が、米国からの外圧に比較的に弱いこと、日本の役所は「行政指導」という武器を持っていることに目を付け、非関税障壁撤廃に関する政府レベルの交渉において、日本政府に譲歩させれば、日米企業間の直接対峙を避けて、自分達（米企業）のエゴを通すことが、可能であること』に気づき始めたことを、これら一連の米企業の言動から読み取ることができる。

このまま、日本政府が、人工衛星、スーパーコンピュータ、木材製品等、あらゆる分野で、個別に譲歩しつづけるならば、500億ドルにのぼる日米不均衡が解消されないまま、日本内部の不満もつのも、いずれ限界点に達するであろう。

ブレディ財務長官は、三塚外相に対し「スーパー301条の適用を避けて構造協議を提案したのだから、ぜひ前向きに検討して欲しい」と呼びかけている。

(6月30日付日経)

大蔵省の行天財務官は「構造障壁が除去され、輸入大国になることは、世界の貿易秩序を再構築する近道になるかもしれないし、日本の経済安全保障が確保できる可能性も大きい。」と強調している(6月30日付日経)。

総合調整能力の無いUSTRを利用した米企業のエゴのために、日本の宇宙開発が飛散する前に、日本国政府は技術立国日本を強く意識して、人工衛星のような個別協議を極力避け、包括的で抜本的な問題である構造協議(日米双方の構造問題)に持ち込むような政策を、一刻も早く具体的に持ち出すべきである。

### 3. グローバリゼーション

物理学博士であるSRI(スタンフォード・リサーチ・インスティテュート)インターナショナルのウィリアム・F・ミラー理事長は、5月29日付日経紙上で「グローバリズム(世界的規模化)は、地域主義、すなわち、相互補完と相互協力に基づく、地域経済圏の発展を促しつつある。これらの経済圏は、経済の再編成、資源の移転、より大規模な市場や産業の発生、そして、より一般的には経済の発展の増進を助けている。世界的な規模でのダイナミックな地域発展のために、21世紀は「世界の世紀」となる公算が最も大きい。このことが示唆するものは世界的な規模での経済的、政治的、技術的、環境的相互依存が地方や二国間の問題を上回る重要性を帯びるようになるであろうということである。(例えば、通貨と金融の管理、テロリズム、エイズ等伝染病、オゾン等環境問題等)

企業と貿易が先頭に立っており、各国政府はそれに遅れまいと必死である。

世界的な視野と競争力のある産業基盤を確立するのに、時間を必要としている企業と国家にとって、暫定的な答えが、経済地域なのである。

地方的視野から国家的視野への転換はよく理解されている。今や、地域経済的視野は完全に確立されている。今後十年か、そこらの間に、この地域的視野がどのようにして、自然に世界的視野につながって行くかを知ることになるだろう。」とグローバリゼーションが今後、あらゆる分野において、急速に浸透していく旨述べている。

'89 ワールドシンポジウム(日本電気グループ共催)が、1989年4月23日にNHKホールで開催された。パネリストの一人、米国際経済研究所のフレッド・バーグステン所長は、21世紀に向けてのキーワードは「World Economy or Globalization Economy」であり、21世紀には、世界通貨や世界銀行が生まれる地球経済へと移行すると述べている。パネリストの一人、米マッキンゼー日本支社大前研一支社長は、「当面する問題は、地球的な規模で活動する世界企業と、19世紀風の民族国家、政府といった殻の中に閉じこもっている一般の人との間に、

大きなギャップがあることだ」と述べている。

フレッド・バーグステンは「企業や金融市場のグローバル化が進んで、世界そのものが市場になってきている反面、政府は依然、国家ベースで動いており国益を代表すべく自国通貨の力を守ろうとしている。また、貿易のインバランスについても政府が相手のせいにして、相手を叩くという誤った政策を取ることもある。ただ、お金や企業のように国境を越えて動けないもの、例えば未熟練な労働力などに対しては、政府はそういった人々の利益を守るための政策をたてる必要がある。従って、結局は国家経済をグローバルな経済にインターリンクさせていく方向に進むものと考え。」と述べたのに対し

大前研一は、更に一步進めて「日本国の利益と日本人の利益は、もはや違っており、日本人の利益は、同時に世界の利益になっている。例えば南カルフォルニアが繁栄するためにはワシントンにお願いして助成してもらうより、日本やアジアと手を結ぶほうが利益になる。そうだとすると、政府が『国益だ、国益だ』と言っているのは、国民をミスリードするのではないか」と主張する。

これに対し、ダニエル・ベル米ハーバード大学教授は「大前氏の言うとおりの国民国家は19世紀的な産物で、領土内のことを運営するためにできたものである。だから、現在の国境を越えて起きる国際的事象を解決するには小さすぎるわけである。

ただ、グローバル化と言うことのみならず焦点を合わせすぎると、経済や技術の面で同時に起こっている別のプロセスを忘れてしまいがちである。今日、お金の流れというものは、確かにグローバルである。しかし、貿易はそれほどでなく、ヨーロッパ大陸とか、北米大陸の枠の中で主として動いている。人間は大多数動いていない事実から、21世紀には規模の再定義が必要である。国家が対象とすべきこと、地域がやるべきこと、資源をどのように分かち合うか等々、この規模の再定義をしなければ、21世紀の大きな社会変化、特に情報化社会への変化に対応できないであろう。」と述べている。

1992年にはECは統合され、ソ連あるいは東欧圏では歴史的な変化が起こっており、世界の枠組みを変える大きなうねりが起きようとしている。

フレッド・バーグステンは「ゴルバチョフ自身も、過去60年間のソ連の決定は、過ちだったと認めている。ソ連経済の失敗は、世界経済を無視したことであり、世界経済とリンクなしに、経済的に成功しようとしても無理であった。」と述べ、更に

大前研一は、「結局ひとつのイデオロギーで、ある大きな集合体、国家のようなものを引っ張っていくことは難しいことであり、ソ連や東欧諸国が気づき始めたということである。

しかし、同時に日本も無縁ではない。単一な価値観でG N Pを錦の御旗にしてきた中央集権国家日本自身も、曲がり角にきている。日本人であるという前に、人間であり、地球の市民であるという前提に立って、西欧、ソ連等を含めて、世界を動かしていく指導原理や新しいビジョンを打ち立てることが必要である。このままでは、国と国との葛藤は増々ひどくなり、不安定になる恐れがある。こうした状況をなるべく安定化させるため、日本やアメリカやヨーロッパが世界市民としての立場に立って対話を続けていくことが今、きわめて重要である。」と締め括った。

前出のパネリストの他には、アルバール・ブレッサン仏プロメテ所長、ニコラス・ネグロポンテMITメディア・ラボ所長、堺屋太一（作家）、中沢新一東京外大助手が参加した。

#### 4. 宇宙開発におけるグローバリゼーションの薦め

宇宙開発は、一国のみで進めることは難しい。だから日本の宇宙開発も国際協力を基調に進めるべきであると言われて久しい。しかし個性的で具体的なビジョンがないまま、今日まで推移している。

6月28日宇宙政策大綱が発表された。これに対する各紙の論調は混乱しているが、特に目を引いた点は次の点であろう。

6月29日付日経は「日本独自の有人宇宙開発をすべきか」というタイトルの社説を載せ、この中で「問題は、果たして日本が将来、独自の有人宇宙活動を展開すべきかどうかにある。地球環境が問題になるほど、大規模になった人類の活動を考えると、将来のために宇宙に関する知識を積み重ねることは、大切である。ただ、これは人類全体の課題であって、一国の利害を超越しているはずである。

こう考えると、日本独自の有人宇宙活動を全面に押し出すのは、大いに疑問である。まず大事なのは国際的な強調と協力である。この分野で米ソに大幅に遅れている日本が独自に進めるより、国際協力の下に進めるほうが貢献するところは大きい。様々な形で技術力を蓄積していくことは望ましい。独自の有人活動をするかどうかは、別問題である。大綱の運用にあたってこの点を十分、考慮すべきである。」と述べている。

7月3日付朝日新聞は、更に具体的な提案を社説に掲載した。

「国の開発方針には、もっと日本独自の夢を描いてほしかった。今回の大綱に、軌道上の宇宙基地などへ物質を運ぶ無人の「宇宙往還機」を2000年ころまでに開発する方針が盛り込まれた。

だが、この開発も有人飛行への過渡段階と位置づけられている。

そうではなく、日本は宇宙空間での無人技術を確立することで独自性を出すこと

ができないだろうか。有人システムとは別のむずかしい技術課題はあろうが、お家芸のロボット技術などが生かせる。将来の火星旅行や月面基地建設などを支援する重要な技術になるはずだ。」

いづれにしても国の政策は、国際的な強調と協力を基調とした、個性的で先導的な開発を目指すべきであり、将来、欧米各国と競合するような、欧米後追的な方向づけをすべきではないと、これらの社説は言っている。つまり「日本の宇宙開発」も、「地球の宇宙開発」あるいは「世界の宇宙開発」として位置づけ、日本の自慰的なビジョンではなく、地球を意識したビジョンを明確に打ち出す時機にあると言っている。

21世紀に向けて、世界の経済動向は確実にグローバリゼーション傾向が進み、世界の宇宙開発においても、同様の傾向が見られる。特に米欧、米ソの間で顕著である。こうした中で日本の宇宙開発が、今までのように経済の動向、世界の動きを無視して、一人殻の中に閉じこもることは、もはや許されなくなっている。日本の宇宙開発も、21世紀に向けてやはりグローバリゼーションを求められていると考えても過言ではないであろう。

5月8日、米国のスペースシャトル・アトランテスは、金星探査機マゼランを宇宙に運んで無事帰還した。

このマゼランは、米ソの緊張緩和に役立つものと期待されている。米ソは、1987年に宇宙探査協力協定を結び、観測データなどの情報交換に合意し、1988年にレーガン大統領（当時）が訪ソした際、この協定が拡張され、宇宙科学者の交流、相手国の科学探査機器打上げの相互請負などの実現を目指すことになった。

今後の米ソ協力計画は、8月に米国の宇宙探査機ボイジャー2号が海王星に接近して観測する際、ソ連科学者が訪米して、オブザーブすることになっているほか、1992年に米国が打上げ予定の火星探査機による観測計画にソ連から十人の専門家が参加する。

このように両国との間で、18もの共同研究が進行中であるという。

このように他国の例にみるような、政府レベルでのグローバリゼーションが今後、増々必要となるばかりではなく、企業レベル、学術レベルのグローバリゼーションも大いに喚起したい。

国際電気通信衛星機構（インテルサット）が発出した次世代のインテルサット7号のRFP（提案要請書）に対し、1988年2月1日、米欧を中心とした4企業連合（コンソーシアム）が応札した。

この4つのコンソーシアムは ①フォード・エアロスペース社（米）、アルカテル社（仏）、三菱電機（日）、 ②GE・アストロスペース社（西独）、MBBエルノ社（西独）、エアロパシヤル社（仏）、 ③ヒューズ（米）グループ、

④マトラ社（仏）、ブリティッシュ・エアロスペース社（英）、TRW社（米）である。1988年6月15日、第76回インテルサット理事会において、第1交渉相手として、フォードグループを選定し、1988年9月8日、第77回インテルサット理事会で正式決定した。このように、通信衛星分野では、すでに米欧を中心とした企業のグループ化が確実に進行している。

純民間で「無人宇宙工場」というニュースが、7月2日付日経に載った。西独MBB社、仏マトラ社、伊アエリタリア社の欧州3社に、米GE社を加えた4社が手を組み、3億ドルを投じて、重さ4.5トン級の無人宇宙工場を実用化するという。

この企業連合は、すでに関係各国企業などへ、需要の有無を打診し始めた。この欧州3社は、ESAの無人宇宙基地「ユーレカ」計画にも関係しており、ユーレカの技術を転用するかわりに、相互補充機材として運用するなど、密接な関係を持つことになるという。

有人活動では、1988年にスペースハブ社の下で米マクドネル・ダグラス社と伊アエリタリア社が手を組み「スペースハブの開発」を推進させており、日本では三菱商事を中心にその参画計画を進めている。

このように、欧米では宇宙開発におけるグローバリゼーションが、ダイナミックに展開しつつある。

7月10日に開催された第4回宇宙先端活動研究会年次総会記念講演において、TRWオーバーシーズ・インコーポレイテッドの有野信行専務取締役は「宇宙開発において、グローバリゼーションは重要であり、特にグローバリゼーションで重要な点は、良きパートナーを世界に求めることであり、互いの文化の違いを認識し、容認しあう寛容の精神が必要である。」と述べている。宇宙開発において、政府レベルでも、企業レベルでも、産学官一体の共同事業でも、一時的な感情論を捨てて、個性的で具体的な長期ビジョンをもって良きパートナーを捜す時が到来したようである。

また、21世紀に向けての新しいテクノ・エコノミック・パラダイムに直面するために、各レベルでのグローバリゼーションの促進のみならず、社会的、構造的なイノベーションが強く求められることになる。ダニエル・ベル米ハーバード大学教授の言を借りれば、宇宙開発における国の役割りと、その規模の再定義をしていく時が来ているのかも知れない。

アーノルド&ポーター法律事務所パートナーのマシュー・J・サイデンはスーパー301条対日適用に関し、6月30日付日経紙上で「ECは米国への譲歩についての交渉を拒否したが、それにもかかわらず適用国リストに入らずに済んだ。ECが米国の議会、政府、産業界に張りめぐらした強力で永年にわたる支持者の

ネットワークが、ECの作戦成功に寄与したことは疑いの余地がないところだ。

逆に、日本は時には度を越えた派手なロビー活動にもかかわらず、ECが得ているような支持をすることは、まだ成功していない。この点は様々な意味で示唆に富み、また教訓に満ちていると言えよう。」と言っていることは、単にスーパー 301条適用の話に留まらず、21世紀に向けて、あらゆる分野で日本が世界と付き合っていくための課題ではないだろうか。

(宇宙開発事業団ロケット開発本部ロケットグループ。H-IIロケット推進系の開発に従事。昭和22年生まれ。)

1. 世界の動き

将来の宇宙活動に関して、この一年間の世界の動きから読み取れることは次のように整理できる。

- (1) ソ連の宇宙インフラストラクチャが確実に蓄積されている。プロトン、ミール、エネルギー、ブランと有人飛行の道具がそろってきた。またベレストロイカ、グラスノスチ等政治変化が宇宙活動の国際化を進め始めた徴候が見られる。国内の議論が自由化されると同時に、米国と同様の問題、すなわち、国際関係、科学、産業化と宇宙開発の関係をめぐって方針が混迷してくる面も表われてきている。
- (2) 米国のポスト宇宙ステーション構想は、依然として揺れ動いている。ブッシュ政権下に国家宇宙評議会が生まれ、新しい政策が練られているが、長期的計画は出そうにない。財政難が主な原因である。
- (3) 欧州は、宇宙環境利用を目標として、有人輸送系、有人軌道上施設などの低地球インフラストラクチャの整備を進めている。
- (4) 地球環境保護が、先進国の共同政策として挙げられるようになった。地球観測衛星／プラットフォームが国際活動の重要な道具となってくる。

以上のように、種々の興味深い現象が見られるが、大局的には、特に大きな変化はないと言える。各国の宇宙活動は、量的には異なるが、長期的に見れば、共通の特徴を持っている。すなわち

- ① 宇宙予算の対G N P比は急には変化しない。したがって、G N P成長に伴って宇宙活動量も漸増していく。
- ② 宇宙インフラストラクチャが毎年蓄積されていく。したがって、より高機能低コストの運用が可能となっていく。
- ③ 次々と、より高度な、あるいは少なくとも新鮮な、目標が追求される。

これらの事実により、長期的には宇宙インフラストラクチャは発展し続け、宇宙活動は大型化、大規模化し続ける可能性が高いといえる。

今後の十年間も、このような傾向が続くと考えれば、21世紀の初めには、世界の宇宙活動は、現在の二倍あるいは三倍の規模に達すると推定される。

このように大規模化していく宇宙活動はどの目標に向かって行くのであろうか。

現在、二つの方向性が観察される。一つは、地球から遠い方向への展開である。太陽系天体への接近撮影及び着陸撮影の段階から、ロボットローバー、サンプル持帰りと続き、ついには有人着陸が計画される。対象となる天体は、月、火星の月に続いて火星本体であらう。

他の一つの方法は、商業化の方向である。通信衛星市場に続き、微小重力市場、地球観測市場等が発生しつつある。これら新需要が商業的採算性を持つまでには、まだ時間がかかるとは見られているが、21世紀を見通せば、ロボット化されたプラットフォーム、軌道



上作業機及び有人サービスプラットフォームを基盤として、多種多様な商業活動が展開されると予定される。また静止プラットフォームと軌道間輸送機は現在の衛星通信のコストを大きく低減し多くの潜在需要を引き出す可能性を持つ。

また全体にわたって国際政治が強い影響を及ぼす。国際協力が宇宙開発の大きな機会となるとともに、宇宙開発がまた国際協力の大きな機会となろう。

極く短期的に見た場合、米政府の財政難により、NASAの計画はすべて遅延されることは間違いない。しかし、近い将来、米国は、月・惑星への進出あるいは本格的な商業化援財を打ち出さざるをえない。そうしないとスペースシャトルも宇宙ステーションも単なる壮大な実験でしかなくなってしまう。宇宙での敗北は、米政府の存在基盤の一部である「アメリカのリーダーシップ」を脅かすものであることは、ライド報告の思想の原点でもある。

米政府の立場以上に、今後の宇宙活動を主導するものは、新領域を求めて加速的に拡大しつつある世界全体の経済／文化／産業の活力である。これらは、制約がますます厳しくなる地球環境からとび出し、宇宙に新しい探検と市場の場を見い出して行くかも知れない。

## 2. 宇宙インフラストラクチャの発展

上のような背景のもとに宇宙インフラストラクチャの発展する方向を探ってみよう。

### ■ 月・惑星の探査

月・惑星の開発が、21世紀シナリオの中心となることは疑いない。米国の宇宙開発の基本思想は一貫して“宇宙フロンティアの開発”であり、“アメリカのリーダーシップ”であるから、技術的に可能な次のステップとして、月・惑星の開発を除外することはできない。

(1) 1995～1999年に、人間を月・惑星に送ることはできない。これは財政的に不可能である。月へ人間を送ることが最も小規模な有人ミッションであるが、これでさえも宇宙ステーションに匹敵するコストを必要とする。再び、月へ往復するためだけのために、宇宙予算を倍増することは認められないであろう。

(2) 1995～1999年に、月・火星へ無人探査機を送る必要がある。特に火星については、バイキングのデータのみでは、有人探査計画を設計することはできない。したがって、計画策定のためにリモートセンシング観測機、ロボットローバー及びサンプル回収船を送る必要がある。火星のリモートセンシング観測機は1992年9月に打上げが予定されており、実現は確実である。火星ローバーは、NASAの新技术開発プロジェクト（バスマファインダー計画）の一環として、昨年から強力に研究が進められている。これと連動する計画として、サンプル回収が検討されている。これらは1992年まで要素技術の研究を進めることとなっているので、1998年以降の打上げとなろう。

(火星への打上げ機会が1992、1994、1996、1998等である。)ソ連が1996年に、火星ローバーを計画していると公表しているが、これも机上の構想と思われる。しかし、ソ連の火星探査は、米国の計画を推進させる効果がある。

月面基地に関する無人探査としては、現在、政府計画はない。構想はいくつか公表されているが、いずれも月面基地の手段としてしか、位置づけられないので、現時点で開発が開始されることはないであろう。したがって、月面探査機、ローバー等の実現は1995年以降となる。

- (3) 1995～1999年に、米国の宇宙輸送系の能力向上が実行される可能性がある。現在、この期間の輸送系開発の構想が固まりつつあるようであるが、財政難から、あまり大きな計画は出ないと予想される。

貨物輸送用の使い捨て、あるいは部分再使用型の大型ロケットが、この時期に必要なとなる。技術的には、既存技術の組み合わせにより低コストを狙った輸送系である。宇宙ステーションの運用が始まり、輸送量が増加することに対応する計画である。前項に述べた、無人の月・惑星ミッションのコストを引き下げることに関与する。また2000年以降このロケットを増強することにより、月面基地あるいは火星有人ミッションのために、低地球軌道に貨物を低コストで輸送することができる。このロケットの打上げ能力は低地球軌道へ数十トン～百トン、ソ連のエネルギアに近い能力となる。月への有人輸送船を一回の打上げで送り出すことができる。また、計算上は、フォボス／ダイモスへの有人輸送機を打上げることも可能である。人員の輸送はシャトルにより、宇宙ステーションで乗り換える。

- (4) 1995～1999年に、宇宙ステーションに月・惑星輸送船の整備点検及び推進薬補給の施設設備を付加する構想がある。また宇宙ステーションとは別に、この目的で軌道上スペースポートを組み立てようという構想もある。しかし、宇宙ステーションを活用する方法がとられるであろう。大規模な宇宙ステーションの増築、あるいは別途の大型ポートの建設はこの時期には本格化しないと思われる。

- (5) 国内外に対する国家イメージの維持のためにも、米国は壮大な宇宙活動を展開せざるを得ない宿命にあるとも言える。財政上の問題を抱えながらも、大統領は近い将来、月・惑星への有人プロジェクトを宣言することとなろう。

以上の状況判断をもとに、月・惑星の問題に今後どう関わるべきかを検討し、次のような方針を提案することとした。

- (1) 宇宙インフラストラクチャを地球-月系にまで拡大することを目指す。
- (2) 我が国が、現在保有する技術と組織を基本とし、着実に開発を進める。この技術とは宇宙だけでなく、むしろ産業技術を活用すべきである。また組織とは、研究、開発組織のみではなく、メーカー、ビジネスの組織力を活用すべきである。
- (3) 月・惑星の問題は、地球の問題であり、次世代の日本人の問題であることを実際のプロジェクトによって訴える。
- (4) 我が国の社会、経済の長所を活かした独自の開発を進める。米国の後追いはしない。

これらを方針として、具体的な月・惑星の開発シナリオを作った。その考え方は次のようになる。

## H-IIの活用

すでに開発中のH-IIロケットを使って、無人の探査、開発を進める。

## ロボット、エレクトロニクスの活用

産業用に発達しているロボット、電子、通信技術を最大限に活用する。

## 産業技術の活用

生産技術とその研究開発組織を活用する。

## 月面資源の開発

最も手近の宇宙資源である月面資源の開発を指向する。

## 米国との補完性

米国の指向する大型の単発的有人システム開発に対し、日本は小型で発展性の高い無人システム開発により、米国の活動を補完する。

## 有人ミッションへの発展性

日本の無人システムは、米国に協力し得ると同時に、十年遅れで独自の有人基地を建設するための根拠とする。

以上より、第一歩の目標は、2000年頃の月面ロボット実験（月面移動探査機）プロジェクトとなる。H-IIロケットでロボットを月面に着陸させ、月面資源の探査、資源利用実験、有人基地建設実験などを実行する。これは、現在の衛星打上げプロジェクトと同規模の小さなシステムであるが、技術的に着実なものと先進的なものを適度に混在させることができる。

## ■ 宇宙環境利用

微小重力環境の利用に関して、最近の米国の傾向は、ますます消極的になっているかのように見える。一方では、微小重力を商業的投資の対象としようとするベンチャービジネスの勢いが盛んであり、一方では、その商業化は今後十年間は無理であろうとの議論が行われている。しかし少なくとも、微小重力環境を利用した実験を拡大することの意義は一般に認められている。

今後十年間は実験に徹するとしても、そのために大型プラットフォームあるいは有人短期滞在プラットフォームが必要であるかどうかにも、疑問が呈されている。シャトルの軌道滞在時間の延長と、フリーフライヤの活用によってほとんどの実験目的は達成されるのではないかというのだ。

これらの主張が正しいかどうかは、米国あるいは他の国が、大規模な宇宙実験を長期間続けて見せることによって実証されるしかない。

いずれにせよ、米国におけるこれらの悲観論が、我が国へ影響を与えないと考えることは非現実的であろう。宇宙環境利用が宇宙ステーション計画推進の主力となったことは事実であるが、今後とも、これのみを支えとして発展し得るかどうかを評価しておかなければならない。

宇宙ステーション計画が宇宙環境利用を支えている点にも注目すべきである。宇宙ステーション計画の持つ発展性、有人活動、国際協力及び多分野の企業／研究者への参加機会の提供という大規模宇宙開発に伴う魅力が宇宙環境利用の発展性を支持しているとも言える。

この点で、宇宙環境利用は商業化指向であると同時に、インフラストラクチャ指向であ

ると言える。表面に現われている商業指向のみを根拠として民間の参加を期待してもかえって困難に陥る恐れがある。

我が国においては、特に経済論理性が唯一の合理性となりがちであるが、現在の情勢では、宇宙環境利用は、利用面のみではなく、宇宙インフラストラクチャの一環として位置づけることによって発展の可能性が開けるものであろう。

## ■ 地球観測

サミットのテーマとなる地球環境保護のキャンペーンは新しい南北関係における米、ソ欧州、日本の協力目標として最適と考えられている。現在運用中あるいは開発中の地球観測衛星及び静止気象衛星は、すべてこのミッションに沿う観測装置となる。極軌道プラットフォーム及び宇宙ステーションもまた、強力なハードウェアとなる。ライド報告書にある mission to the Earth という発想によれば、惑星探査の技術と思想を地球観測へ振り向けることとなる。

しかし、地球観測に必要な宇宙インフラストラクチャはあまり多くない。既存のロケット、衛星でも相当程度の観測は可能である。さらに極軌道プラットフォーム及び静止地球観測プラットフォームを開発するとしても、軌道上サービスを必要とする規模になるかどうかは疑問である。

地球観測においては、有人宇宙活動にまで発展する可能性は少ない。また高度なロボット技術が必要となる可能性も多くないであろう。

地球観測センサーの技術は、高度な特殊技術として、地上の各種実験機器と同様に、技術基盤の強化につながる。しかし、宇宙インフラストラクチャとして将来の宇宙活動を発展させる設備とはならない。

気象を含めて、地球観測の需要は安定成長の見通しが強い。この需要を新しい共通の宇宙インフラストラクチャで満たすようにできれば、宇宙開発の発展に大きく寄与することとなる。他の宇宙活動とも有機的に組み合わせ、軌道上サービスを活用して高度の地球観測システムを組むためには、極軌道プラットフォーム、静止地球観測プラットフォーム及び宇宙ステーションの活用を検討すべきであろう。

## ■ 通信放送

静止衛星による通信放送は、二十年来、商業宇宙利用の最大ユーザであったし、現在もそうである。今後も、静止プラットフォームあるいは高機能静止衛星によって、宇宙通信はマーケットを拡大していくであろう。しかし、通信放送の打上げ需要に関しては現在の状況から見る限り、米国、欧州、日本、ソ連のロケット打上げ能力及び衛星製造能力を上まわる程の成長は見込みにくい。

これは、本質的に、通信放送のメディアであるトランスポンダーが軽くて長持ちするベイロードだからであるとも言える。

通信放送市場は、現在の宇宙インフラストラクチャの最大のユーザーでありこれを維持するためには、強固な支えとなるが、新しいインフラの誘因となる働きは見つけにくい。

### 3. 自律インフラストラクチャと有人システム

欧州は独自の有人システムを含んだ低地球軌道の独立したインフラストラクチャ（欧州自律宇宙インフラストラクチャ）を目指している。この考え方は見習うべきところが大きい。しかし、低地球軌道のインフラストラクチャを完成しても、そこで終って、後は民間活動にまかせればよい、という図式は簡単には成り立たないだろう。地球-月系にまでインフラストラクチャを展開すべき状況が来ているというのに、米国と同様に低地球軌道以遠の発展性に乏しいシステムを抱え込んでしまえば、すぐに後悔することにならないだろうか。この問題は我が国の問題でもある。有人インフラストラクチャを、どこまで延ばしておくべきか。その維持と活用に必要な毎年の固定経費をどこに求めるか。単に米国の後追いで解決できる問題ではない。

### 4. ミッションとインフラ

ミッションのためにシステムが開発される、ということであるが、これはある意味で間違いである。現在の宇宙開発は、科学ミッションであれ実用ミッションであれ、そのコスト全体を賄う程の必要性が認められることはほとんどない。大部分のミッションは、実は部分ミッションであって、宇宙インフラあるいは技術開発または、国家威信という大目的の表面を修飾している、ともいえる。本当に、ミッションのみが目的であれば、いずれの国においても、宇宙機関や宇宙予算は存在しないはずである。各ユーザーが、それぞれ国内あるいは外国から調達することとなるであろう。しかし、それをする国はいつまでたっても宇宙開発の能力を持つことができないだろうことも明らかである。

宇宙インフラストラクチャの蓄積は、経済合理性よりも、ずっと深い次元での国家あるいは人類の組織活動として、発展していくこととなる。

ミッションとインフラストラクチャは、互いに目的となりまた手段となって、両足が歩むように、世界の宇宙開発を進めている。これが我々の図式である。

（将来の宇宙活動ワークショップ89：1989年6月：つくば市：事務局の了承をうけて転載）

\*\*\*\*\* I A S A ニュース \*\*\*\*\*

平成元年7月10日、宇宙先端活動研究会年次総会が中退金ビルで開かれました。事業報告及び新事業年度の事業計画が了承された後、決算報告、予算案が諮られたり承されました。

その後、特別講演、記念講演が行われました。特別講演として、代表世話人である園山宇宙開発事業団副理事長から「宇宙開発基本理念」と題して、また記念講演として、TRWオーバーシーズ・インコーポレイテッド専務取締役有野信行氏から「宇宙開発とある波及効果」と題して、講演して頂きました。その後、懇親会を行い会員間の親睦を深めました。

### 入会案内

本会に入会を希望する方は、申し込み葉書にご記入の上送付し、年会費をお振込下さい。

年会費：3000円（1989年6月～1990年5月）

会誌 無料（1989年7月号～1990年5月号）

なお、会費は主に会誌発行にあてる。

振込先： 振込口座（郵便）No. 2-21144

宇宙先端活動研究会 宛

## 会誌編集方針

- 1 『宇宙先端』は宇宙先端活動研究会の会誌で、年6回発行される。
- 2 論文の内容は、全て著者の責任とする。
- 3 投稿資格：原則として本会会員に限る。
- 4 原稿送付：投稿する会員は、B5版横書き（33×29）またはA4版横書き（38×29）で、そのまま版下となるような原稿およびコピー1部を、東京都港区浜松町2丁目4番1号、世界貿易センタービル内郵便局私書箱第165号、宇宙先端活動研究会世話人兼編集人 岩田勉宛送付する。原稿は返却しない。
- 5 論文は未発表の原著論文に限る。ただし、他に発表したものの要約、解説等は歓迎する。掲載論文に対する質疑、意見、提案等、誌上討論は大いに歓迎する。
- 6 A4で20ページを超えるものは掲載しないことがある。宣伝、中傷、その他本会の趣旨から極端に外れる投稿は掲載できない。編集人は会誌の整合のため、著者に改稿を求めることがある。

### \*\*\* 編集後記 \*\*\*

最近の宇宙関連ニュースとして、ボイジャー2号の海王星接近が話題となっている。十数年間の飛行の後にようやくたどり着いた太陽系の果て。この十年間に人間が行ってきた愚かな争いと比べると、一服の清涼剤の感がある。最接近の8月25日には、宇宙の果ての神秘を画像として我々の目の前に展開してくれるであろう。

今回、宇宙開発事業団の西山、森山、有川、三上、清水の各氏連名の投稿がボイジャーをテーマにしたものであり、非常に時期を得た論文を掲載できたことを感謝したい。

日毎に、大きくなる海王星の映像を見ながら、茶の間で深宇宙の宇宙旅行の気分を味わっているが、それにしても、自然科学の発達と人文科学・社会科学の発達のアンバランスは何とか出来ないものか、とつくづく感ぜずにはおれない。今日も何処かで大小の争いが繰り返されている。（長）

宇宙先端	第5巻 第4号	頒価 1000円
平成 1年 7月15日発行		編集人 岩田勉
発行 宇宙先端活動研究会		
東京都港区浜松町	世界貿易センタービル内郵便局私書箱165号	

無断複写、転載を禁ずる。