環境基準は人間が生活する上で好ましい環境を規定するものであるが、騒音については、生活に支障のないと考えられる限度とせざるを得ない。このため、従来行われている諸外国および国内の社会調査を検討し、航空機以外の騒音との整合もとして定められた。

最近、米国 EPA は生活に支障がないと考えられる騒音の限度として、屋外で加重等価騒音レベル 55 dB (A)—Ldn—を提唱している¹⁰⁾。これは、ある地点で1日24時間に観測される騒音暴露量について、夜10時から翌朝7時の時間帯に対し10 dB 加算した上で平均したもので、ほぼ WECPNL の考え方に沿ったものである。これは日本の環境基準 WECPNL 70 dB をやや下まわる程度である。ただ、米国では EPA が guide line として出しているもので、我国では国が定めた基準となっている点に大きな違いがあるかも知れない。

参 考 文 献

- 1) W.C. SPERRY: Analysis of Noise Levels for Existing & Future Airplanes in View of Modification to Federal Aviation Regulation Part 36,

Proceeding of Inter-Noise 76 (1976).

- 2) Notice of Proposed Rulemaking on Aircraft Noise Requirements: Civil Supersonic Airplanes, EPA (1975).
- 3) N. SHAPIRO: Aircraft Operational Procedures for Community Noise Control, Proceeding of Inter-Noise 76 (1976).
- 4) Takeoff Procedures for Noise Control, EPA (1974).
- 5) Minimum Altitudes for Noise Abatement, EPA (1974).
- 6) Approach and Landing Procedures for Noise Control, EPA (1974).
- 7) Reduced Flap Setting Noise Abatement Approach for Turbojet Engine-Powered Airplanes, EPA (1975).
- 8) Two-Segment ILS Noise Abatement Approach for Turbojet Engine-Powered Airplanes, EPA (1975).
- 9) Visual Two-Segment Noise Abatement Approach for Turbojet Engine-Powered Airplanes, EPA (1975).
- 10) Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety, EPA (1974).

ヴァイキング計画と MJS ミッション*

西 村 敏 充

I. 深宇宙探査の歴史

17世紀の初めごろ、ガリレオ・ガリレイが、手製の望遠鏡を用いて火星、木星などの惑星観測を行って以来、光学的な天体望遠鏡による惑星の観測は、すでに4世紀にわたって続けられて来ている。

また、最近電波天文学やX線天文学の発達に伴って、地上の巨大なアンテナ、あるいは人工衛星搭載のアンテナを用いて、パルサー、クェザー、はてはブラック・ホールに至るまで、宇宙の神秘を探る研究は精力的に続けられている。

これらの地上からの観測と同時に、1960年代に入ってから、直接惑星に探査体を送って、テレビ・カメラその他の観測手段を用いて、惑星を身近に観測し太陽系の歴史を探る試みがなされていることは、記憶に新しい。読者も御存知のように、1962年、米国のJPL (ジェット推進研究所) の打ち上げたマリナー2号が金星付近を通過して以来、米国およびソ連が競って、

主として火星と金星に探査体を送った。特に火星に関しては、1971年のマリナー9号によって、火星表面の90パーセント以上の写真を撮って、火星の詳細な地図を描くことに成功している。また1975年秋には、ソ連が金星表面に探査体を軟着陸させて、表面の状況を電送して来た。そのほか、1974年春には、マリナー10号が水星の表面の写真撮影に成功し、また1973年および74年には、パイオニア10号と11号が、木星にまで足をのばし、さらに11号は目下土星に向けて飛しょう中である。

このように、少なくとも太陽系に関するかぎり、人類の手足は、たこの脚のように八方に延び、太陽系の生成から約50億年後の現在に至るまでの歴史の神秘を、徐々に解明しつつある。先に記したように、カリフォルニアのパサデナにあるジェット推進研究所は、米国の深宇宙計画の直接の担当者として、上記のNASAの計画を次々に推進して来たが、筆者が最近同研究所より帰国するところ、最も力を注いでいた、ヴァイキング計画およびMJS (マリナー・ジュピター・サターン) 計画について以下に解説したい。

申すまでもなく、ヴァイキング計画は、火星に探査

* 昭和51年4月1日原稿受理 Viking Project and MJS Mission

** 富士通国際情報社会科学研究所 Toshimitsu NISHIMURA

体を着陸させて、生命の発生の神秘を探ろうとする計画で、後述のように、すでに2台の探査体が今夏の着陸を目指して火星目がけて飛行中である。ミッションMJSは、さきに計画されたグランド・ツアー計画(約12年かけて、木星、土星、海王星、天王星を観測する探査体を、1970年代の後半に打ち上げる計画)の縮小版である。それは、やはり70年代の後半ごろ、木星および土星に向けて、三軸制御型の探査体を送り、前記のスピン安定型のパイオニア探査体より遥かに精密な観測の目を、この両惑星に向けようとするもので、1980年代に予定されているMJO (Mariner Jupiter Orbiter) のプレリウドをなすものである。

II. ヴァイキング計画

A. ヴァイキング計画のスケジュール ヴァイキング探査体を打ち上げてから、一年後に火星に着陸させるまで、そのスケジュールを大別すると、次の五段階に分けることができる。

1) 打ち上げ段階 1975年8月および9月に、ヴァイキング1号と2号がそれぞれ打ち上げられ、165キロメートルのパーキング・オービットに乗ってから、最終段ロケットによって太陽の周りの火星に向かう軌道に乗せられた。使用されたロケットは、タイタンⅢであるが、これは二段のタイタンⅡロケットの両側に、固体燃料ロケットを結合して推進力を増加させ、その上にさらに第三段ロケットとしてセントールをのせたものである。もちろん第三段ロケットの上には、オービターおよびランダーを結合した宇宙船がのせられて、これが後に切り離されて、火星へ向かったわけである。

2) 巡航段階 最終段ロケットから切り離されてから、ランダー/オービターの結合した探査体は、太陽をめぐる楕円軌道に沿って、現在順調に航行中で、約一年の長い旅の後に火星に到達する予定である。その間、地上局とは電波交信を行い、トラッキングも電波情報を用いて行い、途中の軌道修正は、オービターのエンジンを用いて実行される。

3) 火星周回軌道段階 今夏6月18日にヴァイキング1号が、8月7日にヴァイキング2号が、火星近辺に到達し、双曲線軌道で火星に接近し、近点(perigee)で、進行方向と反対方向にオービター・エンジンをふかして、いわばブレーキを掛けて、火星の周りの楕円軌道に乗る。この楕円軌道の近点における火星表面からの高さは、約1,500 kmであり、遠点(apogee)の高さは、約32,600 kmである。

3) 突入段階 周回軌道に入ってから、探査体は暫く火星の周りを廻り、最後に遠点より近点に向かう半

分ぐらいの行程の所で、ランダーを切り離す。その後、約4時間ランダーは火星表面に向かって飛び続け、250 kmの上空から、火星の大気圏に突入する。そして、火星表面から約6,400メートルの高さに達したとき、装備したパラシュートを開く。(第1図A)

火星の大気圧は、前回の1971年のマリナー・オービターの観測によれば、約7ミリバールで、地上の大気圧に比べれば遥かに少ないが、それでも軌着陸(ソフト・ランディング)のためには、パラシュートによる減速が大きな役割を果たす。また、ランダーの前方についているエアロシェルが、アポロ宇宙船の場合と同様に、特殊な耐熱材料および塗装を用いて、ランダー本体の保護と減速に大いに貢献するはずである。探査体は、パラシュートによってそのまま降下を続け、火星表面上約1,200mの所で、エアロシェルおよびパラシュートを切り離し、以後はランダー自体がレトロ・エンジンをを使って降下方向にジェットを噴出させながら、徐々に降下して火星表面に軌着陸する。この状況は、10年ほど前JPLが送ったサーベイヤーの月表面軟着陸とよく似ている。

5) 着陸後 このように軟着陸に成功したら、ランダーは搭載の諸機器の活動を開始させ、様々な観測および実験をはじめ。これらの観測および実験で得られたデータは、ランダー付属のアンテナからオービターに送られ、さらに地球上の地上局にリレーされるか、またはランダーから直接地上局に送信される。

(第1図B)

B. 探査体の構成

1) オービター(軌道周回船) ヴァイキング探査体、特にオービターの基本的な構成は、第I節で述べたマリナー型探査体と良く似ている。しかし、従来のマリナー型探査体よりも遥かに大きな燃料タンクを積み、ランダーを下部に抱えることになるので、構造がかなり変わって来ている。それは、火星に近付いて、双曲線軌道から楕円軌道に移る際の軌道修正は、オービター本体のみならず、ランダーの重量もかかっているもので、それだけ余分の燃料を要するわけである。

しかも、オービター自体も、重さが2,350 kgと前記の火星の周回軌道に乗ったマリナー9号が978 kgであったのに比して、3倍以上重く、その内燃料が、約1,600 kgを占めている。

オービターは、第2図に見るごとく、マリナー型探査体の典型的な形を取って、4枚の太陽電池のパネルを十字型に拡げている。パネルの総面積は15 m²で、太陽電池の出力は620 Wである。このパネルは、二つに折り曲げられてロケット上に積み込まれ、宇宙空

第1図 (A) ヴァイキング宇宙船の突入段階

第1図 (B) オービターとランダー

間に出てから揚げられる。また予備電力蓄積用に30アンペア時の容量のニッケル・カドミウム電池が積まれている。

第2図Aに見えるお椀型のアンテナは、ハイ・ゲイン・アンテナであり、Sバンド (2,300 MHz) と、Xバンド (7,000 MHz) の受信および送信を行うことが可能であり、地上局またはランダーの方向に向けて交信する指向性アンテナである。

また、ヴァイキング1号と2号の二つのオービターが、同時に火星の周りを飛んでいることになるので、両者の間の交信にも用いられる。ハイゲイン・アンテナの直径は 147 cm である。

オービターの送信器の出力は、僅か 20 W である。しかしこのハイゲイン・アンテナが地上局の 64 m の

アンテナと交信しているときには、4,000ビット/秒の速度で信号を送ることができる。

第2図の棒状に突き出たロウ・ゲイン・アンテナは無指向性で、Sバンドのみ使用可能である。特に、軌道修正時のように、ハイゲイン・アンテナが地上局の方向に向いていないとき、または何らかの理由で三軸制御機能が一時的に失われて、探査体が回転しはじめたような際には、地上局との交信に欠くべからざる役割を果たす。このアンテナは、ビット・レートは8¹/₃ビット/秒で非常に遅いが、コマンドの受信、ハウスキューピング、科学測定データの送信には十分である。

そのほか、特に火星表面上のランダーとの交信専用の小さなアンテナがついている。

テレビ・カメラは、マリナー型と同様に narrow

第2図 (A) ヴァイキング宇宙船上方図

第2図 (B) ヴァイキング宇宙船下方図

angle と wide angle のカメラ2台を積み、火星接近時および火星軌道上から、マリナー9号の場合と同様に火星表面の撮影を行う。特に、接近時には、いわゆるオプティカル・ナビゲーションと言って、第Ⅲ節のMJS ミッションで詳しく述べるように、テレビ・カメラの画像による航法を実施する。また、周回軌道上から、火星表面に着陸したランダーの写真も撮って、その位置を確認し、ランダーとのリンクによって、位置の推定を行うランド・マーク・ナビゲーションもして、火星の物理的、地理的定数の測定に寄与する重要な役割を果たすはずである。

以上述べたような、オービターの通信、制御、観測などの重要な機能は、すべて搭載された2台のそれぞれ4,096語の汎用コンピューターを通して、地上局から送信されたコマンド、またはコンピューター内蔵のプログラムによって、実行に移される。

従来のマリナー型探査体は、小さな特殊コンピューターしか積んでいなかったのですが、今回は、ヴァイキング探査体の複雑なオペレーションを遂行するために、このように格段に改良されたコンピューターが、のせ

られることとなった。

また、テレビ・カメラの撮影速度も、ずっと早くなったので、2.1 M ビット/秒の速さのテープ・レコーダーを積み、一度に55枚の画像、すなわち5億ビットの画像情報を記憶して、随時送信することになっている。

もちろん、ハイゲイン・アンテナを通して、これらの画像が地上局に送られた後は、プレイ・バックして、新しい写真の画像を記憶し、この動作を火星の周りを飛んでいる間くり返すわけである。

2) ランダー (着陸船) ランダーは、重さは1,120 kgで第1図のごとくカプセルに入って火星に到達し、周回軌道から切り離されるまでは、オービターに抱えられるような形で保持されている。さきに述べたように、着陸地点のかなり手前から切り離されて、約250 kmの厚さの火星大気圏に突入するが、一番外側のエアロシェルは降下時の風圧に堪え、また1,500°Cにも達する温度上昇に対して本体を守り、その後、パラシュート降下ののちその切り離しと同時に、本体から切り離される。パラシュートを開くときのランダーの

第3図 ヴァイキング・ランダー（着陸船）の構造

降下速度は、秒速 375m である。

パラシュートを切り離した後は、三つの降下エンジンを用いて減速するが、連続ドプラー・レーダーおよびレンジ計測器によって、火星表面に対する速度および距離を測りながら、レトロ・エンジンを作動させて軟着陸する。これらのエンジンの燃料は、ヒドラジンである。火星表面に達する時の速度は、秒速 1m 以下に減速される。（第3図）

この軟着陸の際のような、微妙なコントロールに対して、地上局は往復の交信時間が 42 分もかかるので、全く無力であるから、すべての制御は、ランダーにのせられたコンピューター内臓のプログラムによって実行される。このコンピューター・プログラムは、軟着陸後 22 日間、地上局と全く交信がなくとも、自動的に諸種の機能を果たし得るように、あらかじめ組み込まれている。

このコンピューターは、guidance, control and sequencing computer (GCSG) と呼ばれ、記憶容量は 1,800 語であり、二台装備されて一台は予備である。電力は、サーバイヤーと違って太陽電池は使用せず、すべて radioactive thermoelectric generator (RTG) でまかなわれ、その出力は 70 W である。RTG に使用される燃料は、プルトニウム 238 である。

ランダーの観測実験データは、やはりテープ・レコ

ーダー、またはコンピューターに収められて後、16,000 ビット/秒で上空を飛んでいるオービターに送られ、そこから地上局へ向けて送信される。また、さきに述べたように、地上局と直接交信をするため、ランダーには S バンドの信号用として直径 72 cm のアンテナが装備されている。この場合の交信速度は 500 ビット/秒である。

ランダー搭載のカメラは、オービターの場合のようにビデオコンではなく、テレスコープと小さな鏡を内蔵した円筒形をしており、鏡を動かしてスキャン・ライン上の像を写し、次に円筒を水平方向に回転させてスキャン・ラインの移動を行う方式である。

その外、ランダーは、マス・スペクトロメーターやガス・クロマトグラフを備えている。たとえば、火星大気に関しては、直接ガス・クロマトグラフを通して、酸素、窒素、アルゴン、クリプトンなどの検出を行う。大気の 90% を占める炭酸ガスや一酸化炭素は、他の元素の検出効率を良くするために、あらかじめフィルターによって取り除かれる。

火星表面の土壌の分析は、土壌を 100 mg ほどカプセルに採取して、オープンに入れて 200°C 程度に熱した後、排出された気体をガス・クロマトグラフに通して分析する。地球上に存在するような有機物が、土壌の中に含まれていれば、この段階で幾種類かの有機ガ

スが検出されるはずである。この温度での検出に成功しなければ、オーブンの温度をさらに $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ に上げて、分析を続ける。

ところで、以上述べた各種の観測および測定は、それぞれ重要であるが、何と言っても、ヴェイキング計画の最大の目的は、火星上に存在するかも知れない生命の発見である。その目的のため、次に述べるような三種類の生命発見装置が積み込まれている。

i) 乾溜実験 火星表面の土壌サンプルを採取して実験箱にそのまま入れ、中の大気組成は、火星表面の大気組成とほぼ同じにする。ただし、炭素 ^{14}C の同位元素を含んだ一酸化炭素と炭酸ガスを入れて置く。そして、火星表面の太陽光とほぼ同じ光度のクセノン・ランプで内部を照射する。また、水蒸気を随時注入する。このような条件で、もし地球上と同様の植物体が存在すれば、光エネルギーと炭酸ガスから光合成を行って、炭素を植物体の体内に取り入れるはずである。

数日を経た後、実験箱の中味をすべてオープンに移してから、 600°C に焼結する。そうすれば、有機物があれば、有機ガスが発生し、その中に炭素 ^{14}C を含んだ有機分子を検出できるであろう。この実験によって、地球上の植物と同様、光合成を行う生物が火星上にも生存することが検証できる。(第4図A)

ii) 放射性気体検出実験 手法的には i) の実験と良く似ているが、この場合は、土壌に炭素 ^{14}C を含んだ肥料を与え、さらに土壌を水分で湿す。そしてそのまま数日放置すると地上と同様の植物やバクテリアが、火星の土壌の中に生存していれば、養分や水分を取り込んで不必要物を排泄する新陳代謝が行われる。そこで排出された気体を分析して、もしその中に放射能を持つ炭酸ガスや揮発成分が発見されれば、土壌中の生命の存在を暗示することになる。さらに、実験を継続して、放射能を持つガスの変動を記録すると、生物の新陳代謝活動の状況が判り、その生活形態に関する詳しい情報が得られる可能性がある。(第4図B)

iii) 気体交換実験 この実験は、土壌サンプルが微生物を含んでいれば新陳代謝によって時間の経過とともに、実験箱内の気体の構成が変化していくはずであるという仮定に基づいている。土壌に十分な養分や水分を与えて後、実験箱内の気体を周期的に取り出して、ガスクロマトグラフに送り分析する。もし微生物がいれば、光をささぎり酸素のない状態にしてやると、炭酸ガスやメタンが排出されることが予想される。これらのガスの検出から微生物の存

第4図 (A) 乾溜実験

第4図 (B) 放射性気体検出実験

第4図 (C) 気体交換実験

在を証拠づけようとするものである。(第4図C)

このヴェイキング計画によって、現在、火星上に生命が存在しているか、あるいは過去に存在していた確証が得られれば、それはアポロ計画の成功以上の画期的な科学的発見となることは間違いない。それゆえに、今夏のヴェイキング宇宙船の火星着陸成功が待たれるわけである。

III. MJS ミッション

1) グランド・ツアーの挫折 1976年から80年の間に、木星、土星、天王星、海王星などの巨大惑星が、地球から見て同じ側に来る。これらの4惑星をじゅうつなぎにする探査体の最適な軌道が、1960年代のはじめ、当時カリフォルニア工科大学の大学院学生であったゲリー・フランドロによってはじめて計算された。その後、フランドロは、JPLに入所し、彼のアイデアは、4惑星をつなぐ有名なグランド・ツアー計画として JPL より正式に提案発表された。

このように、4惑星が最適な位置に来るのは171年に一回しかなく、しかも、巨大惑星、特に木星、土星の引力を利用するいわゆるフライ・バイ制御によって、最終地点の海王星には、通常の直接打ち上げ方式では30年余り要する所を、僅か12年で到達できる計算であった。(第5図)

この12年という年月は、もちろん通常の火星、金星へのミッションが半年ないし一年を要するのに対して、格段に長い期間であり、その間の探査体の本体および搭載機器の信頼性の問題や、海王星までは片道4時間も要する超遠距離通信の問題など、数々の技術的に困難な、しかし興味ある問題が、ミッション開始時期までに解決されねばならなかった。

たとえば、搭載測定器、通信機、カメラなどの制御用コンピューターを、12年間も故障なく可動させることは困難であろうとの推定から、自らコンピューター内部の診断を行い、故障箇所を検出したならば、その部分のモジュールを取り換える、いわば自己診断修理機能を備えた計算機、STAR (Self-Testing and Repairing) コンピューターの開発も、1960年代の半ば

ごろからはじめられた。

しかし、その後60年代後半のベトナム戦争の情勢悪化、アポロ11号の成功後の宇宙開発への関心の急激な減少などの犠牲となって、米国議会の予算上の承認を得ることができず、60年代の前半に計画された火星へのボエーチャー計画と同様に、一場の夢と消え去ってしまった。

けれどもその後の JPL および NASA のグランド・ツアー関係者の熱心な運動により、グランド・ツアーの前肢である木星と土星をつなぐミッションのみが復活を認められ、議会の予算上の裏付けも獲得することに成功した。そして、現在、ヴァイキング計画に続く、大掛りな深宇宙探査計画として、JPLを中心として、探査体の本体設計、ミッション解析、軌道設計などの作業が着々と推進されている。

以下に、このマリナー木星-土星計画 (MJS; Mariner Jupiter-Saturn) の概要を記すことにする。

2) MJS 計画 MJS 計画は、1977年の夏、2台の探査体を相ついで打ち上げる予定で、それぞれミッション JSG (Jupiter-Saturn-Ganymede) およびミッション JSI (Jupiter-Saturn-Io) と呼ばれている。ガニメードとイオは、後述するように、これらの探査体が接近する木星の衛星である。(第6図)

ミッション JSG は、1977年8月19日に打ち上げが行われ、木星に到着するのは2年後の1979年8月7日で、次の目標である土星には、さらに2年半を経過して1981年1月31日につく予定である。他方、ミッション JSI は、JSG より約2週間遅れて1977年8月30日に打ち上げられ、木星到達は1979年3月7日、土星には1980年11月21日に到達する予定である。

ミッション JSG では、木星の近点通過の約15時間

第5図 グランド・ツアーの構造

第6図 MJS ミッション

前に、木星の衛星ガニメードの 338,000 km の上空を通過し、さらに近点通過後 31 時間で、もう一つの衛星カリストの約 10 万キロ上空を飛んで、それぞれの衛星の観測も行う。木星通過地点は、木星半径の約 6 倍の地点、つまり木星の表面から 35 万 km の所で、その際、木星表面の詳しい観測を行うことは、申すまでもない。木星通過後、2 年半たって土星に到達した際は、やはりその衛星である。タイタン、レア、ディオニュの 3 衛星の近傍を通過して観測する。また、その際、土星の半径の約 2.5 倍、土星表面より 9 万 km の地点を通り過ぎる。

有名な土星のリングの間隙を通過する話もあったが、リングを構成している小さい岩石に衝突する可能性も考えられて、技術的に困難であるということから、結局リング平面を通過するときは、土星表面より約 19 万 km の所を通ることとなった。

ミッション JSI では、探査体は JSG の場合よりも木星表面により近付いて、木星半径の 5 倍の地点を通り、土星ではその半径の 2 倍の所を通り過ぎる。木星では、さきに述べたように近点通過の 3 時間後に、衛星イオの上空約 2 万 7,000 km 付近を通り、また土星では、ミコス、テシス、ディオネ、タイタンの 4 衛星を観測する。

これらのミッションに使用されるロケットは、いずれも、タイタン/セントールで、さきのヴァイキング計画の場合と同様である。

ミッション JSG および JSI の探査体は、いずれもマリナー型の 3 軸制御型であるが、太陽から遠く離れた軌道を飛ぶので、太陽電池は使用せず、したがって

第 7 図に見るように太陽電池のパネルはない。その代わり、電力の供給源としては、アイソトープの放射エネルギーを、直接熱電流に変換する RTG 装置を用い、出力は 250 W である。

通信用のアンテナは、2 コのロウ・ゲイン・アンテナ、1 コの中ゲイン・アンテナ、1 コのハイゲイン・アンテナと 4 コのアンテナを備えている。発信器としては、5 コの S バンド・トランスミッターと 2 コの X バンド・トランスミッターを搭載している。また送信のデータ伝送速度は使用されるアンテナの種類によって異なるが、131,072 ビット/秒から、8 ビット/秒の範囲である。

この MJS ミッションの航法で特徴的なことは、はじめて、テレビ画像を軌道推定に利用する、いわゆるオブディカルナビゲーションの手法が全面的に採用されることである。木星は、地球から 7~8 億 km の遠距離であり、従来のレンジおよびレンジ・レイトを用いるいわゆる電波航法では、軌道推定に関する十分な精度を期待できない。

さらに、木星自体の ephemerides (推算天体暦) にも、1,000~1,500 km の誤差がある。仮に、電波航法で十分に精度が上げられたとしても、それはあくまでも地上局に対する精度であって、実際の惑星フライ・バイに必要な惑星に対する相対的位置精度では、この ephemerides の誤差がそのまま加算されてくるので、木星の衛星近点通過とか、木星の重力を利用して次の土星に向かうフライ・バイ制御の精度に、致命的な影響を与える。

そこで、電波航法の弱点を補強する意味で、探査体

第7図 MJS 探査体の構図

搭載のテレビ・カメラによって、木星の衛星と、定められた恒星とを同時に一枚の画像内に収め、恒星の方向と、衛星の位置とか事前に判っていることから、逆に探査体の木星に対する現在の位置を推定するわけである。さらに、木星の衛星が刻々に移動しているため、何枚かの写真を連続的に取ることによって、探査体の位置精度を向上し、特に、軌道面に対して垂直な方向の精度が電波航法では悪いのでこれを補う点で、役に立つ。

反面、オプティカル・ナビゲーションの情報は、平面画像であるため、進行方向に対する情報が必然的に弱い。ところが、一般には地球が探査体の後方にある場合が多いので、電波航法によって進行方向の情報は十分与えられるから、両航法は相補的な役割を果たし、両者の併用によって、よい結果を得ることができると期待されている。

テレビ画像を利用した場合のオプティカル・ナビゲーションの精度は、光学的センサーのみを利用した場合に較べて、一桁精度が向上するとされている。

また MJS ミッションの後に、1980年代に実現を予定されている MJO (Mariner Jupiter Orbiter) では現在使用されているビディコンによるテレビ・カメラの代わりに、最近研究開発の目ざましい CCD (電荷結合素子) 使用によるカメラの搭載が考慮されている。もちろん、CCD が半導体素子であるため信頼性が高く、磁場の影響を受けない点などが採用の理由で

あることは申すまでもない。

また、ミッション MJO では、カリスト、イオなどの木星の衛星を次々と探査して行く軌道が検討されている。その場合は地上局との通信時間が往復約3時間要するので、このような遅延を許されないほど軌道推と制御に対する要求が厳しいので、4 k 語程度のメモ定リーを持つ小形計算機をのせ、オプティカル情報による軌道推定計算、それに基づいた軌道修正計算などをオンボードで行うことが計画されている。その場合、オプティカル情報は、テレビ画像をこのような小型計算機で短時間に処理することは困難なので、光学的センサーからの情報が主体となるであろう。

また、軌道計算用としてカルマン・フィルタ、あるいはその精度を高めるために開発された square-root フィルタを、コンピューターに内蔵することも検討されている。この MJO ミッション実現の際には、17世紀のはじめにガリレオ・ガリレイが手製の望遠鏡で発見した。イオ、ガニメード、カリスト、オイローパのいわゆるガリレアン・サテライトの神秘が、くまなく明らかにされることであろう。

IV. おわりに

以上、アメリカ、特に JPL を中心とした深宇宙探査計画のハイライトを、ヴァイキング計画、MJS 計画を中心として解説した。日本の宇宙計画も科学・実験衛星計画、静止衛星計画と急速な展開期を迎えてい

る。またさきの MJO 計画には、日本の宇宙開発陣の協力参加も伝えられている。1980年代には、日本も深宇宙の神秘を解き明かすプロジェクトに乗り出すのではないかと筆者は期待している。筆者は、1962年から74年帰国まで12年間 JPL にあって初期のレインジャー、マリナー2号の時代から本文に述べたヴェイキ

ング、MJS 計画の準備段階までアメリカの深宇宙計画に参加する機会を得たが、この一文によってその活動状況の一端をお伝えすることができれば幸いである。なお、MJS 計画の期日は、計画段階のものであって、実際にはやや遅れるものと思われるので、その点読者の御諒解を頂きたいと思う。