

「のぞみ」火星への旅を始める

佐々木晶¹

1. 打ち上げ

7月3日早朝3時。カウントダウンが始まる。PLANET-Bを載せたM-V3号機は3km先のミュウ台地の発射台で、海の方に少しだけ傾けられて打ち上げを待っている。

1分前、59, 58, だんだんとまわりは静かになる。

15, 14. 双眼鏡でのぞくと、右側にガスが噴出されているのが見える。もう後戻りはできない。5, 4, 3, 2, 1. 突然、視野がオレンジ色の光で占領される。打ち上げだ(図1)。左手のカメラのシャッターを切る。双眼鏡を離して眺めると、KSC付近は閃光のため明るい。轟音が聞こえてきた。ロ



図1 「のぞみ」を載せたM-V3号機の打ち上げ

ケットはぐんぐん加速して上昇していく。ダダダダという不連続な音が響く。噴煙は茶色の筋となって、うねうねしている。その先端のオレンジ色の光はどんどん高くなっていく。50, 51. 75秒後の第1段切り離しを待つ。75秒。ロケットが分離したのがはっきりと見える。もう40kmの高さのはずだ。まだかなり明るい。光はだんだんと東方へ遠くなっていく。双眼鏡で追っていたが明かりが小さくなり見失う。と、歓声。220秒。第3段ロケットの点火で再び輝く。そこからだんだん小さくなっていく光を追う。もう高度は200kmを越えていると、誰かが言っている。こんなに長時間見えるとは思わなかった。やがて、ついに闇の中にロケットは見えなくなった。

カウントが10秒おきになる。さすがに衛星分離は確認できない。1400秒を過ぎる。アナウンスによると衛星の分離も無事行われたようだ。空を眺めて余韻を味わう。その後、サンチャゴ局で衛星が捕捉されたというアナウンスが流れる。打ち上げは成功だ。つい数時間前まで試験をしていた我々の観測機器も、もう宇宙を進んでいるのだ。

2. PLANET-B

PLANET-Bは、火星上層大気と太陽風の相互作用を調べるという主目的のもと、日本初の惑星探査機として計画された。実質的に計画が動き出したのは1991-1992年である。

¹ 東京大学大学院理学系研究科

地球から火星へ探査機を飛ばす場合の打ち上げの機会「窓」は、およそ2年に一度である。当初PLANET-Bは96年の「窓」を利用して打ち上げる計画であったが、ロケットM-Vや衛星の開発状況の変更のため、98年の打ち上げとなった。PLANET-B計画の全貌については、遊星人の第1巻2号に鶴田氏が説明されている [1]。

バイキングやマーズパスファインダの観測により火星の探査はかなり進んでいるように思われるが、上層大気の組成や構造その時間変化に関する情報は地球や金星と比較するとかなり乏しい。磁場の弱い火星では、太陽からのプラズマ流である太陽風は直接に火星の上層大気に吹き付ける。これにより、プラズマの加熱、大気運動の励起、さらには大気の散逸といった現象が発生するはずであるが、今まで長期間の定量的なデータは得られていない。PLANET-Bの主要な科学目的は、火星の上層大気およびその太陽風との相互作用を解明することにある。そのために、様々なプラズマ観測器や大気組成の観測器、さらには火星周囲のダスト環境の計測器や、地表を撮像するカメラも搭載する。

はじめのうちは、日本の火星探査の計画は、ほとんどニュースとしては流れていなかったと思う。月にベネトレーターを打ち込むLUNAR-A計画はマスコミにも何度か取り上げられた。PLANET-B計画が知られるようになったのは、火星にあなたの名前を、という、キャンペーンに依るところが大きい。当初の予想を大幅に越える、26万人の人が名前を送ってきた。その整理のために宇宙研の事務機構の一部が滞ったくらいである。大勢の人々の名前はアルミのプレートに焼き付けられて、PLANET-Bのバランス重りの部分に入れられた。名前と一緒に、PLANET-Bの中心的な役割を果たして来た宇宙科学研究所の山本達人さんの遺影も入れられた。彼は打ち上げを見ることなく98年2月

に病のため帰らぬ人となったのである。

3. MDCの計画

PLANET-Bにはダスト計測器MDCが搭載された。これは、私がPLANET-Bの機器として1992年に提案して選定されたものである。PLANET-Bは、衛星フォボス、ダイモスの軌道を横切る長楕円軌道をとって火星の周囲を周回するため、衛星から放出されるダスト微粒子を検出可能である。その後の研究によると、フォボスからのダストは軌道傾斜角の小さいリング状に、ダイモスからのダストは軌道傾斜角の大きいトラス状に分布することが予想されている。また、ダストの衛星への衝突が新たなダストを放出する機構（自己保持機構）が有効に働けば、ダストの存在度は高くなる。これまで火星周囲ではダスト計測は行われていない。PLANET-Bにダスト計測器を搭載することにより、未開拓であった火星での衛星起源のダストについて、理論と比較できるようなデータを取得することが可能になる。さらに、惑星間塵、星間起源塵などの測定も行い、以前の観測と比較することも可能である。

宇宙研では、過去に工学試験衛星「ひてん」(90年1月24日打ち上げ)に、Igenbergsらによるミュンヘン工科大学製のダスト計測機(Munich Dust Counter:略称MDC)を搭載した実績がある。これはそもそも、実験室でのプラズマガンなどで加速された高速粒子の検出器として開発されたものである。「ひてん」のMDCは2年以上にわたり地球一月環境でのダスト粒子の数、質量、速度の計測を順調に遂行した。「のぞみ」に搭載されたものは、この改良型である。同じMDCだが今回はMars Dust Counterの略称である。

「のぞみ」MDCの大きさは $136 \times 127 \times 181 \text{mm}^3$ で検出器の有効開口部面積は $124 \times 115 \text{mm}^2$ である。

重量は730gで消費電力は3.78Wである。検出器の内面に貼られた金フィルムに衝突して発生したプラズマは±220Vの高圧によりイオンと、電子に別れて集められる。イオン電極、電子電極、電極以外の設置してある内部表面に集められた電荷（3チャンネル）は荷電有感型前置増幅器（CPA）により電圧に変換される。それぞれ、イオンチャンネル、電子チャンネル、ニュートラルチャンネルと呼ぶ。この電圧はデジタル変換され、メモリに蓄積される。衝突粒子の速度・質量とコレクタに集められる全電荷とパルスの立上がり時間との間には、ダスト加速器を用いたキャリアレーション実験によりイオン・電子の各チャンネルに付いてそれぞれ実験式が求められている。一個のダスト粒子が衝突することによりイオン・電子のそれぞれから衝突粒子の速度・質量に関する情報が得られる。さらには接地してあるニュートラルチャンネルのデータから、信号がノイズか衝突かについて判別する材料を得ることができる。

「のぞみ」MDCの製作はドイツ側で行われたが、今回はIgenbergs氏とともに私（佐々木）がCo-PI（共同首席研究者）として責任を持つことになった。設計段階から我々の意見を採り入れてもらうようにして、特にサイエンスの要求が仕様を生かされるようにした。ドイツ側で製作の中心として働いたのは、Münzenmayerという大学院生のちにポスドクである。日本側は、私の他に、東京水産大の大橋氏が主力メンバーとして製作・試験に従事した。他には、獨協医科大の野上氏、神戸大の向井氏、宇宙線研の山越氏が共同研究者となった。山越氏は残念ながら計画の遂行を見ることなく亡くなった。また、向井氏の学生であった、石元君は火星のダストリングの研究で博士論文をとり、日本側でのサイエンスを高めるという点で大きな貢献をした [2]。機器のオペレーションのソフトウェア開発にはドイツ側のFischerとともに、東大の宮

本君が大きく貢献している。また、Iglseider, Svedhem, NaumannといったメンバーもMDCの開発やキャリアレーション試験を行うとともに、度々日本を訪れて、宇宙研での試験に参加してきた。このように、わずか700g強という軽く小さな機器にも関わらず、多くの人々の協力で計画は進められてきたのである。

4. 相模原から

衛星搭載機器の開発は、衛星本体の開発と密接に連携をとって進められる。特にPLANET-Bの場合、当初から搭載機器の重量制限、消費電力制限が厳しく、過去の科学衛星では経験しなかったような機器の軽量化が求められた。情報伝達のための全体会合は数ヶ月ごとに相模原市の宇宙研で開かれて進捗状況が報告された。搭載機器の開発は、PM (Preliminary or primary model, 試験モデル)、FM (Flight model, 搭載モデル) の順で行われる。PMの段階では、宇宙研における電氣的な噛み合わせの試験が重視される。各搭載機器が衛星本体からのコマンドによって正常に動作するかどうかの試験は、何回も行われた。

搭載機器のFMを衛星に取り付けたのは昨年（1997年）の11月である。衛星が最終的には宇宙に行くにも関わらず、海外機器の最終的な搬入には税関の手続きが必要で、機器によっては膨大な量の書類を揃える必要があった。1998年2月からは、最終試験が始まった。実際に衛星で運用されるコマンドを使った試験、衛星全体の振動試験、熱試験、実際の宇宙空間のシミュレーションである熱真空試験などが継続して行われる。私自身も宇宙研で過ごす時間が大学で過ごす時間とかなり近くなった時期がある。

5月11日は、相模原では最後になる、機器電源を入れた性能試験である。MDCのデータをとると、

いつになく衝突シグナルが多い。たまにノイズが記録されることはこれまでもあったが、これは異常である。調べてみると6分半から5分半の非常に周期性のよいシグナルがイオンチャンネルとニュートラルチャンネルに現れる。よく見られるノイズとは異なり、立ち上がりがはっきりしている。もし宇宙空間でも同じシグナルが出ると、衝突として記録されてしまう。そのため、急速、ドイツにあるFM (Flight model) のスペアとの交換も考えて対策を練った。MDCのセンサー部をはずして検査しても異常は見あたらない。翌々日にセンサー部を取り付けて電源を入れたところ、周期性ノイズは見られなくなり、結局、交換は行わないことにした。その間の3日間、深夜まで宇宙研での作業となり、最後に部屋の明かりを消したのは私であった。もちろん、宇宙研やNECの関係者にも遅くまでつきあっていただき、対策に協力していただいたため、非常に感謝している。

5月末、PLANET-Bは、陸送で鹿児島県は内之浦町の宇宙空間観測所に運ばれた。そして、最終チェック、M-Vロケットとの接合の後、打ち上げとなる。

5. 内之浦、打ち上げまで

夏の日差しが頭上から照りつける、太平洋に面した南の小さな町、内之浦。宇宙科学研究所のロケットは、この町の海岸の崖の上から打ち上げられる。6月から7月にかけて、打ち上げとその準備のため、私は3回内之浦を訪れた。

はじめは、6月7日。鹿児島空港からバス、タクシーを乗り継いで3時間かかり到着。コスモピア内之浦というピカピカの新しい温泉付きの国民宿舎。すでに到着して仕事をしている宇宙研の、早川氏、吉川君らにいろいろと状況を聞く。夜は吉川君の案内で町内を散歩。宿を出たところにパチンコ屋。

不気味なネオサインが音を立てている。あとは、非常に静かな町中。現在国道が崩落止めの工事で夜間通行止めのため、通過する車もあまりない。新しい町役場の建物。その裏に山へと続く照明灯、555段の階段があり、宇宙研関係者の運動不足解消に役立っているとか。

翌日、宇宙研のバスでKSC (鹿児島宇宙空間観測所) へ。途中、何か所かに止まり、他の宿に泊まっている人をピックアップする。町外れから坂をぐんぐん登り、上がりきった標高300mに近い峠が観測所の入り口である。事務棟で手続きをして、科学機器担当者の待機場所であるPIセンターへ向かい、坂道を山の上に登る。機器チェックの場所はPIセンターのそばの衛星コントロールセンター。いずれも、平屋建てで建物というよりバラックか兵舎という感じである。まあ、立派な物を建てても、南国の潮風に曝されるとすぐにぼろぼろになってしまうかもしれないが。ここからは、発射台のあるミュー台地を眼下に望むことができる。その背景には太平洋。ただし、霧がかかると周囲の雰囲気は標高2000mの山岳地帯のようだ。

衛星コントロールセンターの中は、「あすか」、「はるか」、「ようこう」、といった宇宙研の天文観測衛星の定常運用も行われているので、多くの人でごった返している。天文衛星は、伝統的に学生が2週間交代で内之浦に来て衛星の運用を行っているそうである。忍耐力のテストと誰かは言っていたが、PLANET-Bの運用は相模原だから(忍耐力が無くても?)大丈夫だそうだ。何が大丈夫なのかは(過去に衛星に携わった経験のない)私にはわからないが。

PLANET-Bの衛星試験は、相模原と同じ手順で始まる。PLANET-Bは今、ミュー台地にある。午後2時にMDCの試験開始。順調にコマンドをこなしておく。あらかじめ書き込むフォーマットをつくっておいて正解であった。2時26分、MDCのテ

スト終了。そのあと、他の機器のテストの間もMDCの高圧電源は引き続き入れてもらう。5月に宇宙研のテストで確認された周期ノイズは無かった。ひとまず安心した。

翌日は、東芝の渡辺さん、極地研の田口氏とミュー台地にPLANET-Bを見に行く。昔のPLANET-Bは表面が金色のフィルムで覆われていたが、最終的に黒色のフィルムに変更された(図2)。熱制御などが本当の理由だが、火星に見つからないため、といった冗談が交わされる。その後、MIC(Mars Imaging Camera)のテストに立ち会う。こちらも無事に撮像ができることを確認した。

テストが一段落すると、周囲を散歩する余裕も生まれる。スウェーデンの山内氏に連れられて、観測所から内之浦まで裏道を歩いて降りた。車がほとんど通らないのに、立派な舗装道路である。道路を蟹が横切っている。宮崎出身の山内さんの話だと、海と行き来している蟹だそうで、海岸から1km以内のところに見られるとか。関東地方に比べると植物の生え方も濃密である。1時間かけて内之浦の町に降りて、吉川君に教えられたマツワ

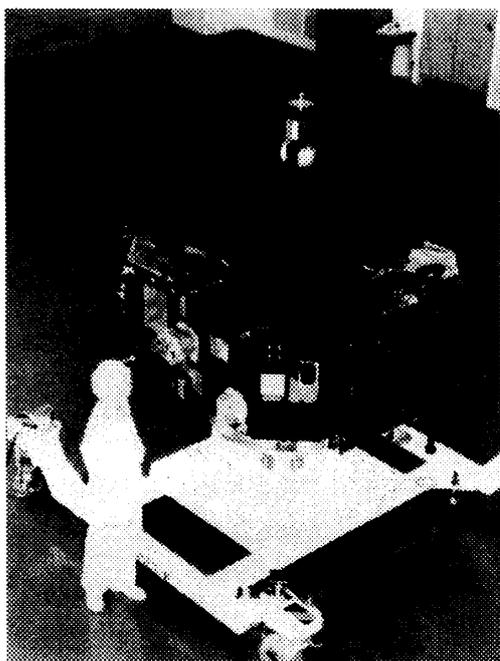


図2 打ち上げ前の「のぞみ」

キというラーメン屋にはいる。三枚肉のチャーシューののる、とんこつラーメン。はじめに大根の漬け物を出してくれる。気に入ったので、夜は何時まで?と尋ねたら、昼だけの営業だとか。ここは夜に店が開いているという常識が通用しないところなのだ、と納得した。

現地での「足」の必要性を痛感して、2回目の鹿児島行きは自分の車で行くことにした。四国経由で21日に到着。日本も広いと感じた。今回の宿は、KSCの西側にある岸良の宿。定置網観光センターという名前だが、民宿に近い。宿の名前のように、毎晩、新鮮な海産物の並ぶ食事にはとても満足した。東大の中村氏ら、MIC-XUVのグループにここで合流した。

22日の全体打ち合わせでは、関係者全員が勢揃い。これまではロケット、衛星とも作業は非常に順調に進行している。打ち上げまでの短い期間、気を引き締めて作業を行なうように、と通達がある。KSCの人数も前回よりもかなり増えたようだ。KSCの会議室を取り囲む壁の上方には、これまで成功した衛星毎に、参加者の名前の寄せ書きが並んでいる。一番新しいのは昨年打ち上げられた「はるか」である。PLANET-Bも無事この仲間入りをすることを願う。果たしてどんな名前になるのだろうか。

翌日は2回目の衛星動作チェック。MDCの電源を入れてしばらくすると、周期的な衝突シグナルの増加が再発した。今度は12分周期である。波形を確認したところ、前回と同じ形状で、イオンチャンネルとニュートラルチャンネルのみに現れる。すでに、対策として、宇宙空間でこのようなノイズが出た場合は、電子チャンネルでシグナルの無いものは衝突シグナルとしない、という判定をオンボードで行うことにしていたため、報告する。

ドイツ側と連絡をとったところ、センサー部の絶縁不良の可能性があるため最終外観チェックの

ときにMDCセンサー内部絶縁部に付着した汚れをとってほしい、とのメールが来た。しかし、宇宙研の人々と話し合った結果は、すでに衛星はロケットの再上段に取り付けられているため、グリッドを取るような作業は無理であるとのこと。MDCの内部を外から確認したところ、内部に塵やグリッドの破片は無い。しかし、一部が汚れているため、電氣的絶縁が悪くなっている可能性は全くは否定できない。複雑な気持ちでMDCに別れを告げる(図3)。

PIセンターに戻り、出発の準備をしていると、早川氏から突然の連絡。MDCのグリッドのネジが1つ無いとのこと。再び、衛星まで行って確認。過去の写真とも照らし合わせる。結局、以前の段階から外に出ているようなネジは無いことがわかった。この日の午後、衛星はフェアリング部に包まれて、姿を直接見ることはできなくなった。

その日にはまた、KSCの技術官の人に案内してもらいロケットの射場を見学した。M-V全体が収まる高い建物の上に登る。衛星は現在2段目までが組上がっていて、このあとで衛星と一体になった最上段をクレーンで持ち上げて組み付けるそうだ。衝撃波で方向を制御する技術などを紹介してもらった。ロケット関係者は、すでに1号機が成功していることもあり、自信があるようだ。

3回目の内之浦は7月2日。火星関係の番組の収録

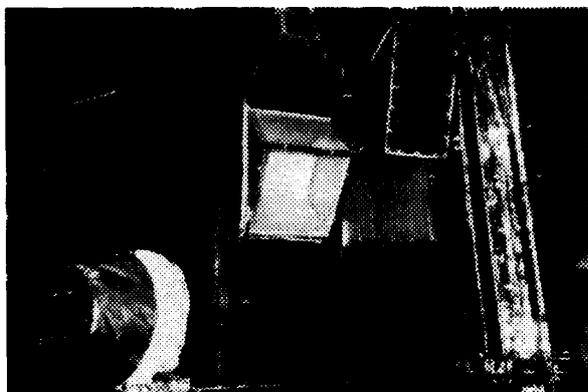


図3 「のぞみ」に取り付けられたダスト計測器MDCの外観

のため、大阪に寄った足でそのまま関西空港へ着くと、ドイツ側2人と合流。鹿児島空港には野田君に迎えにきてもらう。鹿屋でドイツ人を降ろして我々は内之浦へ。打ち上げ場所に近い宿が取れなかったことには、かなり不満を言われたが、なにせ何百人という人が来ているのだから、打ち上げだけ見に来る人々が、近くに宿泊できないのは仕方ない。鹿屋では明日に来賓を交えた打ち上げ前夜のパーティーが開かれるそうだ。

7月3日。いよいよ打ち上げ前日。予定通りに打ち上がることは無い、とさんざん聞かされていたが、ここまで順調、また鹿児島地方は梅雨明けで夏の太陽が熱い。もう打ち上げを阻むものはない。

夕方、KSCに向かう。衛星コントロール室で最後の機器チェック。打ち上げまで10時間を切っている段階である。このときに、複数の搭載機器に異常があるときは、打ち上げが延期されることもあるそうだ。ということは、個々の機器の責任は重大なのである。大橋氏とMDCの最終チェック。コマンドを送ったのち、他の機器の試験の間にノイズを調べる。MDCに異常なし。周期ノイズは出ない。あとは打ち上げを待つだけだ。だんだんと気持ちが高揚してくる。12時半に集合して、打ち上げを眺める宮原レーダーサイトにバスで向かう。

6. 打ち上げの後 PLANET-B から「のぞみ」へ

打ち上げの興奮も睡魔には勝てない。宿に帰って寝ていたところ、突然KSCからの使者に起こされる。7時からKSCで打ち上げ成功の会が開かれるとのこと。夢現のまま車でKSCへ。大会議室はパーティーの準備の真っ最中である。どんどん人が集まってくる。地元のサポートスタッフを含めて、ほとんどの人がKSCで眠らずに朝を迎えたようだ。KSCの車の運転手の方では2日間寝ていない人もいたらしい。

眩しい朝日の下、衛星の名前が「のぞみ」となったことがアナウンスされる。私の周囲ではこの名前を予想していた人はいなかった。賛否両論あったが、私自身は「かせい」という陳腐な名前にならなかったことにほっとしていた。これで、PLANET-B（通称プラビー：最近Black Biscuitsの略称プラビと混同されるので不評であった）という長く使われてきた名前と別れることになるのは、少し残念だ。

打ち上げ成功のパーティー。多くの人が笑顔、笑顔。共同で大きな仕事を成し遂げたという満足感なのだろう。MDCのドイツ側メンバーも喜んでいる。帰りの運転は他の人々にお願いして、焼酎のお湯割りに手を出す。鹿児島では何とんでもこれだ。宇宙研やNECの人々にはこれからもよろしく、と挨拶する。打ち上げ後のロケットから電送された映像が流される。M-V 1号機のビデオで予習していたとはいえ、ロケットが分離されるころなどはなかなかの迫力だ。寄せ書きに自分の名前を書き入れる。

ロケットの打ち上げは成功したが、衛星の機能は確認されていない。まだ手放しでは喜べない段階である。一度宿で休み、午後再びKSCへ。いよいよ衛星にとって重要な第一可視である。これまでの追跡によると、衛星は無事切り離されたが、モーターの噴射が強く、遠地点が予定より遠くなったらしい。1時半、衛星からの信号が弱くも出てきた。海面反射らしい。だんだんとはっきりしてくる。NECの安達氏が、成功のサインを出す。衛星の可視成功。次に衛星のステータスのチェック。まず、心配していた太陽電池パドルは問題なし。その他、温度が少し高いこと以外は正常である。皆の笑顔と拍手。プラズマサウンダーだけではなく衛星の電気系統・ノイズ対策に関して重要な働きをしてきた、東北大の小野氏が目頭を押さえている。

大橋氏と、KSCの下にある小さな社に行く。発射台から1kmも離れていないところに人が住んでいて、その部落の守護神らしい。道端の注意しなければ通り過ぎてしまうくらい小さな社である。そこには関係者が奉納した一升瓶が並んでいる。どんなに科学の時代になっても、神様を味方に付けなければ計画は成功しないのである。

7. 初めてのデータ、そして火星へ

7月10日、今日はダスト計測器MDCに最初に電源が入る日である。教室の大学院の発表会が3時過ぎに、ようやく終わる。宇宙研（相模原）に電話をすると、そろそろ電源を入れるコマンドを送るとのこと。結局、湯島駅からPHSでHV-ON(高電圧が入ること)を確認して一安心する。

2時間後に宇宙研の運用室に到着して状況を聞く。現在は、太陽光がセンサー内部にはいるために、太陽光のノイズがかなり衝突シグナルとして出ているらしい。紫外線がセンサーに当たると光電子が発生して、これが電子チャンネルにシグナルとして記録される。その後解析すると、データはほとんど全て、電子チャンネルのノイズであった。

7月12日、再び宇宙研。これまでのノイズを解析すると、太陽方向との角度120度付近で発生するインパクトカウントがあり、太陽方向をセンサーが向いているときよりも強い。のぞみの模型を作ったり、以前に撮った写真を見て照合する。MDCのとなりにあるNMS（中性質量分析器）の表面のカバーによる太陽光の反射と考えると、方向が一致する。しかし、反射光の方が強いというのは原因がよくわからない。紫外線の反射率は弱いはずである。

朗報もあった。11日のデータの中に、衝突シグナルらしいものも得られた。シグナルを見たが、

ノイズの可能性も否定できない。Müenzenmayerらと議論しているとだんだんと懐疑的になる。結局、13日のデータに、疑いなくダストの衝突によるシグナルと見られるデータが得られた。これは、間違いなく、「のぞみ」が得た初めてのサイエンスデータである。(一般には18日にMICが撮像した地球-月の同時写真が知られている)。それにしても、つい10日前まで地上で試験をしていた機器が、今まさに宇宙で働いているのは夢のようである。

その後も、MDCは他の機器の試験やスラスターエンジンを吹くときを除き、ダストの観測を行いながら、機器の性能をチェックしている。現在のところ、1-2日に1つ程度のペースで明瞭なダストの衝突があるようだ。これは、過去のダスト計測の結果とも合っている。

「のぞみ」が地球から火星に離脱する時期は12月である。PLANET-Bは、7月打ち上げの後、2度月に接近して重力スイングバイにより速度をえて、最終的に12月に地球重力を離脱する。そして、約10ヶ月の遷移軌道を経て、1999年10月より2年間、火星周囲を観測する計画である。ダスト計測器は地球-火星間も観測を続ける計画である。プラズマ観測機器など、多くの機器は、基本的には火星周回時より観測を開始する計画である。「のぞみ」の成果が、21世紀の日本の惑星科学の発展に大きな役割を果たすことを期待したい。

参考文献

- [1] 鶴田浩一郎, 1992: PLANET-B計画, 遊・星・人, Vol.1, 44-49.
- [2] 石元裕史, 1996: 火星にリングはあるのか?, 遊・星・人, Vol.5, 61-69.