

PLANET-B 計画

鶴田浩一郎¹

1. 背景

PLANET-B 計画の概要について報告する。PLANET-B は1996年の打上げをめざして計画されている我国初の惑星周回機である。この計画は宇宙科学研究所の次期大型ロケット M-V の実現によって可能となる計画であり、M-V の開発を含め、初めての惑星周回機であることに伴う数多くの技術的困難の解決を前提としている。

この計画の科学的な目的は、まず、単独の衛星として、地球と同じように大気を持つ惑星でありながらその実証的研究がたいへん遅れている火星上層大気の構造・組成・運動、特に太陽風が直接上層大気に吹き付けることによって引き起こされる大気の散逸、運動の励起、プラズマの加熱等の効果を研究することを目的としている。第2の目的は、1996年前後には米、欧、ロシアが計画している火星探査機との協同研究を進めることによって、単独の衛星では果たすことの出来ない広い研究分野を含む総合的な火星研究の重要な一翼を担うことである。更に、第3の目的は惑星探査の基礎となる技術を習得して今後の我国の惑星探査研究の発展に寄与することである。

地球のように強い固有の磁場を持った惑星では太陽風は大気層のはるか彼方で磁場によってせき止められ、磁気圏を形成して流れ去る。従って地球の上層大気が太陽風に直接晒され、運び去られるということは起こらない。しかし、火星や金星のように殆ど固有の磁場を持たない惑星の大気は太陽風プラズマの直撃を受けることになり、地球の上層大気とは全く異なった構造、運動が現れることが考えられる。実際、金星の上層大気を調べ

た PVO (パイオニア・ヴィーナス・オービター) によると、金星上層大気は太陽風の強い支配下に置かれていることがわかっている。火星の場合には金星に比べて相対的に太陽風の影響が強いことが予想されており、火星上層大気に対する強い太陽風の支配が考えられる。しかし、数多くの探査機が火星に送られたにもかかわらず今までに火星の上層大気・プラズマを詳しく調べた探査機はない。ヴァイキング着陸船が降下時に測定した例が2例、あとは、探査機からの電波の火星による掩蔽をつかったデータが限られた太陽高度角の範囲で存在すること、短命に終わった旧ソ連邦の衛星「フォボス」による興味ある現象のいくつかが報告されているのみである。このような歴史的状況を踏まえて、PLANET-B では、火星上層大気に関する基礎的なデータを確実に取得することを重視して計画が進められている。

現実に火星に探査機を送ることを考えると、どれくらいの観測機器が搭載できるのか、どの程度軌道の最適化が出来るのか、観測データを充分伝送できるのかといった問題が出てくる。ハレー彗星探査を目指した PLANET-A (すいせい) を打ち上げた M 3 S-II 型ロケットに比べると、今回使用する M-V 型ロケットは約3倍の打上げ能力を持つと考えられている。しかし、探査機を火星の周回軌道に投入するための逆推進エンジンとそのための燃料を考えると探査機の重量はそれほど大きいものとはならない。現在まで工学的な検討で科学観測機器約40kg が搭載できると考えられている。観測量を厳選し観測装置をこの重量の中で設計することになる。

¹宇宙科学研究所太陽系プラズマ研究系

2. 衛星形状・軌道

先に述べた太陽風と火星上層大気の相互作用を調べるためには、昼間側太陽直下点で高度150km以下の領域を調べることが非常に重要である。太陽風と火星電離層の相互作用は高度150kmから300km 辺りで最も顕著な特徴を示すことが圧力のバランスから想像できるからである。また、「フォボス」が観測した火星大気イオンの大量散逸を調べるためには火星の夜側（反太陽方向）で10火星半径あたりを通る軌道が望ましい。同じく、火星の月、フォボスからのサブミクロンのダストがつくるリングの影響と考えられる太陽風磁場の乱れを調べるには、できるだけ火星の赤道面に近い軌道が望ましい。火星の固有磁場の存在は、太陽風が作る衝撃波の位置の解析から火星表面で数10 nT 以下であろうと考えられている。もしこのような大きさの固有磁場が存在していても数100kmの高度を通る衛星では電離層に誘起される電流にマスクされて検出が困難であろうとの予想もある。このためにも、近火点高度をなるべく電流層の中心より低く150km 以下にもって行きたい。さらに、もし、火星の固有磁場が稼働中のダイナモ磁場でなくて、過去のなんらかの原因で作られた残留磁場であるならば、探査機の近火点通過点を火星表面の特定の場所に固定することによって検出精度を大幅に向上して表面の磁場の測定を行うべしという提案もなされている。

実際の軌道を決定するための要因としては、2020年まで、火星に衛星が落下しないこと等も考慮する必要がある。さらに、近火点高度を下げるためには、軌道決定精度、軌道微調整用の燃料の量、また、夜側の軌道条件および、日陰時間中のバッテリー重量等が関係してくる。これらを総合的に判断して最終的な軌道が決定されることになる。現在の検討段階では当面

近火点高度 150km 以下
遠火点 約10火星半径

軌道面 ほぼ黄道面

をモデル軌道として検討が進められている。

衛星形状を決定する最大の要因は、まずは、燃料を除く250kg 弱の重量の中で、いかにして地球との通信を確保するための大型アンテナを搭載するか、弱い太陽光を補う大きな太陽電池パドルを搭載するかという点にある。また、これら基本的な問題の他に、プラズマの計測のように衛星のスピンの利用して行う観測とカメラのように出来ればスピンの無い3軸安定衛星が好ましい観測とをどうマッチングするかといった問題もある。現在検討されている形状は、常に地球方向に向けた1.8mのパラボラアンテナの中心線を軸として約8秒の周期で回転するスピン型の衛星である。今後の検討で衛星本体の形状は更に変わっていくと考えられるが第1次の検討で提案されている衛星形状は図1に示すようなものである。

3. 観測器機と科学観測

以下に搭載予定の観測機の特徴、観測の概要について簡単に述べる。

3.1. 磁力計

火星に太陽風が吹き付けるとき太陽風と共に運ばれてきた太陽の磁場は図2に示すように変形されて火星のまわりを流れ去ると考えられている。この時、太陽風磁場の一部は火星の電離層や固体部分に浸透し引きずられて磁場の尾を形成する可能性がある。尾の形成は火星での高エネルギー粒子の生成の可能性を生み出す。火星の非電離大気は太陽風の中に広く分布することが出来るが、一旦、電離すると自由な運動は不可能となり太陽風に補足されて高いエネルギーを得る（イオンピックアップ）ことになる。この時にも磁場が重要な役割を演じる。電離層の太陽風阻止の仕組みも磁場が強く関わっている。このように磁場は、太陽風と火星大気との相互作用を考える上で基本的なものであるが、火星の固有の磁場の大きさを同定することも磁場計測の重要な役割である。このよ

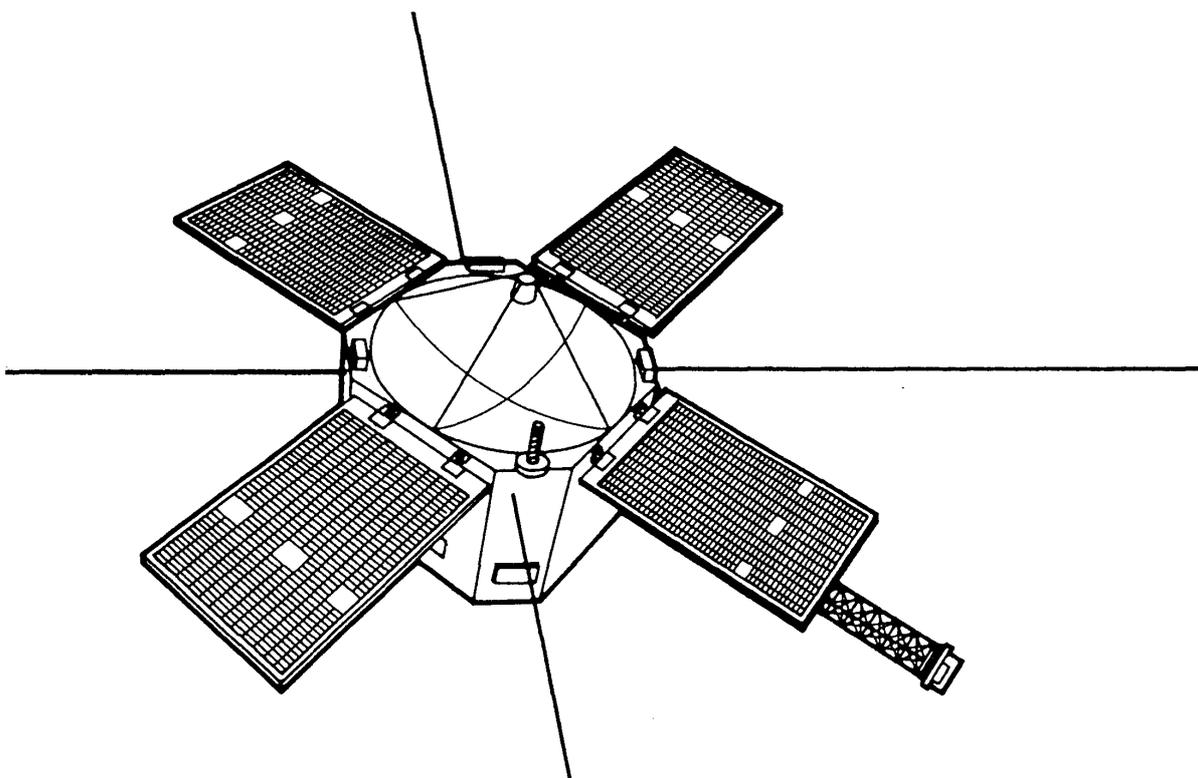


図1 PLANET-Bの外観図。第一次検討の時期に作られたもので、現在検討されているものは本体部分がさらに小振りになっている。大きな通信用アンテナを常に地球の方に向けてスピニングする構造は変わらない。4枚の太陽電池パドルは2枚になる可能性がおおきい。

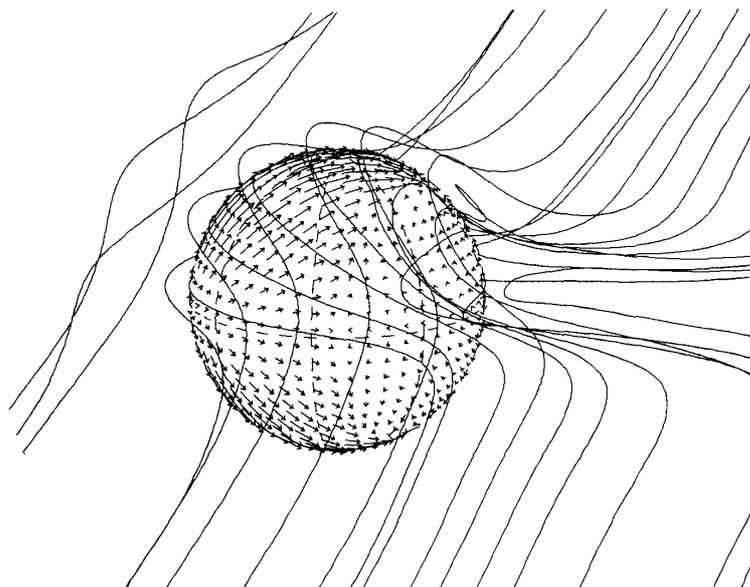


図2 火星に吹き付ける太陽風によって運ばれた磁場が火星の周辺をどのように変形して流れて行くかを計算機を使ってシミュレートした図（通信総合研究所田中高史氏提供）。

うな問題を調べるためには0.1nT（地球磁場の40万分の1）の絶対精度を確保することが必要である。この精度を衛星観測で達成することは決して容易なことではなく PLANET-B では長いブームの先に磁力計を取り付けることで達成しようとしている。

3.2. プラズマ計測器

太陽風と相互作用をする火星側の相手はまず、火星電離層のプラズマである。火星大気と太陽風の相互作用はプラズマ状態にある大気と太陽風の相互作用を仲介として起こる。従ってプラズマの組成、温度、運動を調べることがまず必要なことであり、磁場計測と合わせて今までの火星の観測で一番欠けていた部分でもある。PLANET-B では熱的なエネルギーから数100キロ電子ボルトまでの電子、イオンの分布を幾つかの計測機をつかって計測するエネルギーの低い方から述べると、まず、太陽風と火星電離層の圧力バランスを決めている電子温度、密度の計測、太陽風による電離層に励起される運動の計測、太陽風との相互作用の結果加熱を受けたり、加速されたりしてつくられた数キロ電子ボルトのイオンの組成とエネルギーの計測、「フォボス」で見られた酸素イオンビームはこの測定器で確かめられるであろう。さらに、相互作用が中性大気の濃度の高い低高度で起きている火星では先に述べた「イオンピックアップ」の重要性も大きいことが推定できる。この観測は数100キロ電子ボルトまで計測範囲をのぼした半導体検出器を基本とした装置で計測される予定である。

3.3. トップサイドサウンダー及びプラズマ波動計測器

太陽風の動圧を受けて火星上層大気がどうレスポンスしているかを端的に表すのは電離層の垂直構造である。トップサイドサウンダーは高周波パルスを発射して電離層からのエコーの遅延時間から電離層の垂直構造を調べる装置である。この装置の受信部はプラズマ波動の受信機として設計さ

れており、火星上層大気のマイクロな乱れ、エネルギー変換過程の研究に重要なプラズマ波動スペクトルを計測する。

3.4. 紫外分光撮像装置

火星の回りの中性大気の分布は火星の重力が小さいこと、太陽風による火星大気のはぎとり効果が大きそうなことを考えると、重要な測定項目である。PLANET-B では中性大気の計測を紫外分光と後述する質量分析器で行うことを考えている。この装置は紫外領域の分光撮像によって以下の大気要素の空間的な分布を測定する。

水素ライマン α	(121.566nm)
重水素ライマン α	(121.533nm)
酸素原子	(130.4nm)
	(279.2nm)
CO	(カメロンバンド)
CO ²⁺	(ダブレット)

この観測によって水素コロナ、酸素コロナの空間的な広がり、太陽活動、気象条件による変化が捉えられると考えている。

3.5. 可視光カメラ

正確な軌道決定の必要性、以下に述べる科学観測上の必要性から簡単なカメラの搭載が考えられている。

- ・火星の巨視的な気象状況の把握
火星大気の総量は気象条件により大幅に変化することが知られている。この変化と上層大気で見られる大気の散逸量との関係は興味ある研究課題である。例えば、極冠の消長と散逸酸素イオン量の間を明確にすることといったことである。
- ・マイクロ火星気象学
砂嵐の発達までに至らない小規模のダストデブルの追跡、雲や霧の発生状況、その運動から風系の研究等いくつかのテーマが考えられている。
- ・上層大気との関係では、砂嵐等の地表近くの気象状況が重力波等を介して上空に運動量を如何に伝えているか、上空まで巻き上げられるであ

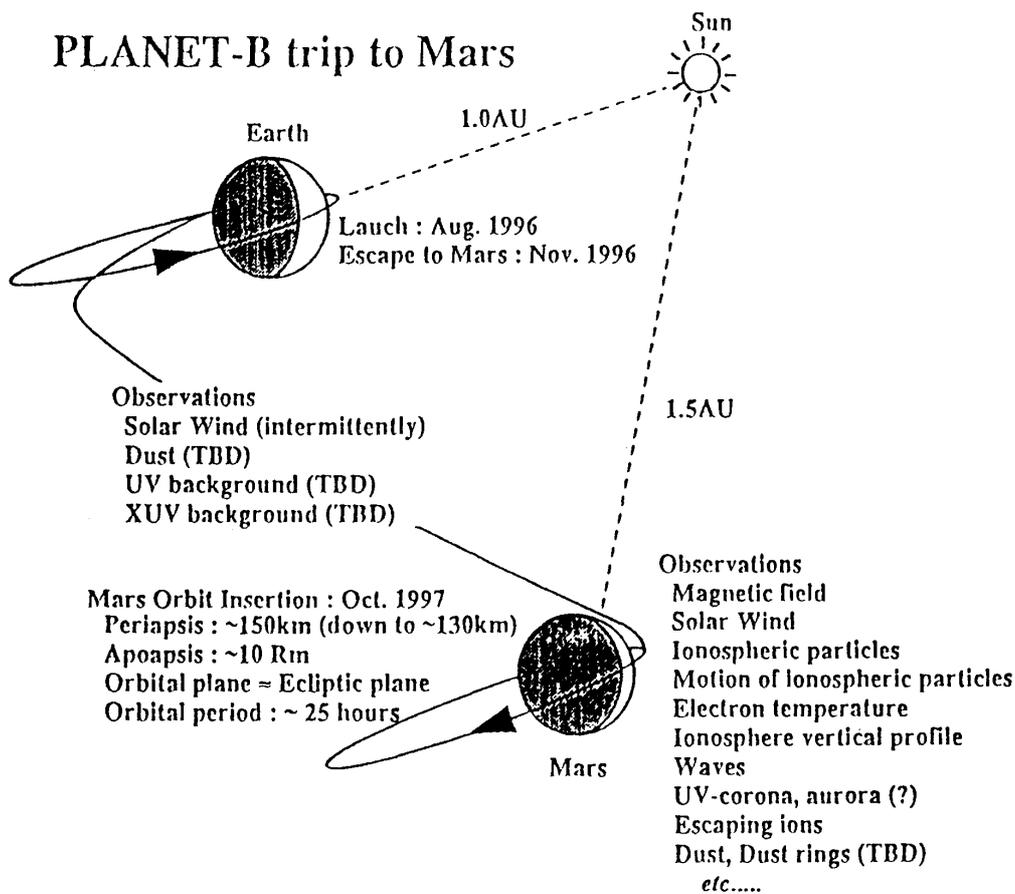


図3 火星軌道投入までのシナリオ。5段式のM-Vロケットによって地球をまわる大きな待機軌道打ち上げられ、そこで約3ヶ月待機した後、衛星搭載の2液式推進ロケットをつかって1年弱に及ぶ火星への長い旅へむけて地球を離脱する。火星に接近した自転で地球離脱に使用した2液式エンジンを再点火して減速し、火星の周回軌道に入り、火星の衛星となる。この後、軌道の微調整を行って予定の軌道で約2年間観測を続けることになる。

ろうサブミクロンのダストが大気の化学にどのような影響を与えているか等重要な情報を提供するはずである。

ただ、まもなく打ち上げられる米国のマーズオブザーバー(MO)が非常に精密なカメラを搭載していること、過去の火星探査機もカメラは搭載していることもあって必要最小限の機能を持ったカメラを搭載することになる予定である。

以上の他に以下の計測器も重量が許せば搭載することが検討されている。

3.6. ダスト計測器

「ひてん」に搭載されたダスト計測器と同種の観測器である。旧ソ連邦の探査機「フォボス」は火星の衛星フォボスの軌道に添ってダストのリングがあるのではないかとという間接的なデータを出しているがPLANET-Bでダストの存在が確認できればダストと現在ほとんど実証的には研究する機会の無い太陽風プラズマとダストの相互作用の研究、ダスト形成の理論的研究に貢献すると考えられる。

3.7. 中性ガス質量分析器

中性大気の組成は基礎的な観測量であり、この種の計測器を搭載する事が望ましい。特に探査機が150km以下まで降下するとなると、なおさら、中性ガス質量分析機の重要性が増す。ことに、夜間の大気組成を調べる計測器としてはこれ以外にありえないことを考えると「何とかしたい」装置の一つである。現在米国との共同開発をベースに搭載の可能性を探っているところである。

3.8. 極端紫外分光撮像装置

「フォボス」の観測で最大の驚きの一つは、数キロ電子ボルトの酸素イオンが毎秒数キログラムという量で火星から逃げ出していることの発見であった。この過程を明らかにすることはPLANET-Bの研究課題の中でも大きな比重を占めるものである。もしも、火星周辺のプラズマの分布が2次元的な像として捉えられるならば問題解決に大いに役立つであろう。その第一歩としてヘリウムイオンによる太陽極端紫外光の散乱を利用した撮像装置である。現在提案されている装置は簡単なものであるが大きな可能性を持った装置である。

また、搭載計器ではないが衛星の電波を使った観測として電波掩蔽法による大気電離層の観測が考えられている。

4. 打上げ時期

PLANET-Bが火星に到着する1997年は太陽活動が極小期から徐々に活発になる時期である。一般に太陽活動の立ち上がりは、立ち下がりより急速であることを考慮すると、PLANET-Bの運用期間中に太陽活動の最小期から最大期にかけて、火星上層大気と太陽風の相互作用を調べることが比較的容易に出来る。このことは、軌道制御の関係でPVOが出来なかったことでPLANET-Bの一つの長所となっている。

5. 国際情勢と国際協力

PLANET-Bが打ち上げられる1996年前後の諸外国の火星探査がどのような状況にあるかということを考えてみる。

まず、米国は本年秋に Mars Observer (MO) を高度約450kmの極軌道に打ち上げる。この衛星は火星の地形、気象を研究することを目的にしているため太陽同期の軌道を回り、詳細な地形の撮影を行うと同時に下層・中層大気のリモートセンシングによる観測を主に行う。1993年から約2年間サーベイ的な観測を系統的に行った後、PLANET-Bが火星に到着する頃には、特定の研究目的に沿った観測を行っているはずである。この時期を中心にPLANET-Bとの共同研究の実施が出来るよう準備を進める必要がある。

ロシアは旧ソ連邦時代に1994年打ち上げを目指した大がかりな探査機 Mars94の開発を進めていたが、不幸な政治・経済情勢の混乱のためにこの計画を縮小して1996年に打ち上げるべく準備を進めているようである。PLANET-Bとの同時打ち上げの可能性が大きくなってきた。このロシアの計画が実現すれば、新たな共同研究の可能性が開けてくる。

これとは別に、米国とヨーロッパはそれぞれ、Measur, MarsNet という名前で火星上に多数の観測点を配置するための調査研究を進めていたがそのための試験機を1機1996年に打ち上げ、その後数年をかけて総数16点に及ぶ観測点を配備したいと考えている。

MO, PLANET-B, Mars94 (96) がほぼ同じ時期に火星の回りで観測をすることになると、総合的な火星研究の絶好の場が国内外に生まれることになる。この場を生かすための準備も大切になってくる。