

火星探査機の消失

【1999年12月3日、宇宙 火星付近】

中尾政之（東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構）

NASA（米航空宇宙局）の火星無人探査機「マーズ・ポーラー・ランダー」が火星付近到着後に通信が途絶えてしまった。回復は絶望的となった。原因としては、着陸脚につけられた接地感知スイッチが誤って反応してしまい、着陸制御エンジンの燃料カットが早すぎ、地表約40m上空から落下して火星表面に激突したとの見方が強い。

図1は、火星着陸想像図である。

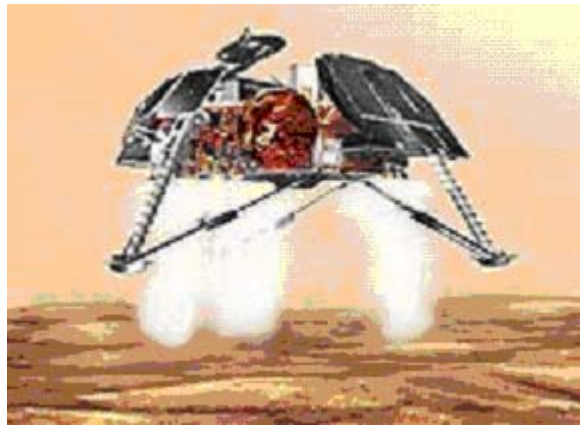


図1 探査機火星着陸想像図 [5]

1. 事象

火星での氷の層の調査や、特殊マイクで火星の音を地球に送るなどの実験のための、2つの小型探査機ディープ・スペース2（DS2：Deep Space2）を乗せたNASA（米航空宇宙局）の火星無人探査機マーズ・ポーラー・ランダー（MPL：Mars Polar Lander）が火星大気圏に突入後、地上との交信が不能となった。小型探査機からの信号も受信されず、分離が成功したかどうか不明となった。

2. 経過

無人火星探査機マーズ・ポーラー・ランダー（MPL：Mars Polar Lander）は、1999年1月3日に打ち上げられた。

打ち上げ後約11ヶ月後の12月3日早朝、約7億5700万kmを飛行して火星大気圏に到達しようとしていた。火星表面の南極付近の目標着地点目指して、大気圏突入6.5時間前に行われた最後の軌道修正は順調だった。

火星大気圏に突入した後の予定は、次の通りであった。（図2参照）
火星表面から7.5kmの高度に達したとき、探査機は毎秒250mの高速で運動している。減

速のため、幅 8.4m のパラシュートを開く。しかし、火星大気は薄いので、毎秒 80m 以下には減速できない。パラシュート開から 10 秒後、大気圏への高速突入の摩擦熱から探査機を守る耐熱シールドが投棄される。その 16 秒後に耐熱シールドの内側に折りたたまれていた探査機の 3 本の着陸脚が下ろされ、所定の位置で固定される。地表から 1,400m、毎秒 80m で降下中にパラシュートが切り離され、その 0.5 秒後、3 つの着陸用エンジンが点火される。この噴射は着陸用レーダーからのデータに基づいて調整しながら行われ、毎秒 2.5m で緩やかに着地する予定であった。

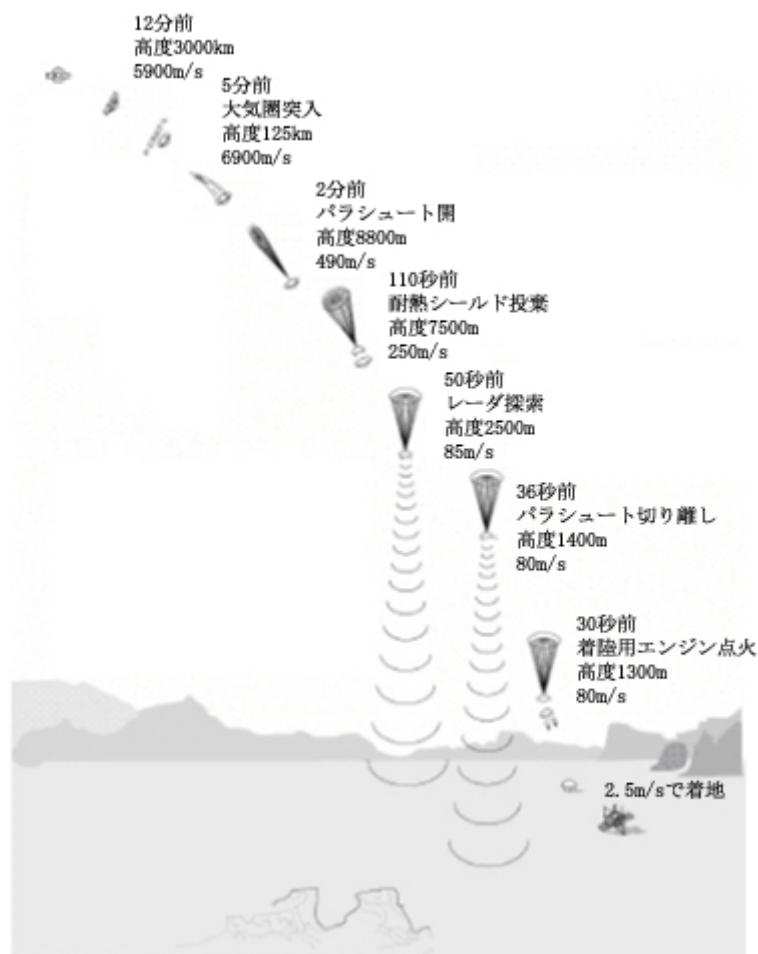


図 2 火星探査機火星表面着地運行予定 [1]を翻訳

12 : 02(米太平洋標準時)、探査機は大気圏に突入した。火星大気圏降下中は、高温高熱に包まれて通信装置が使えないため、地球との交信は途絶した。着陸予定時刻の 12 : 14 の 24 分後にあるはずのマーズ・ポーラー・ランダーからのデータ送信もなかった。

また、図 3 のように、マーズ・ポーラー・ランダーから投下され、自由落下で火星の表土に食い込んでいるはずの小型探査機ディーブ・スペース 2 から発信されるデータ（着陸後 7 時間後の 12 月 4 日の 7 : 25 に発信予定）も届かなかった。

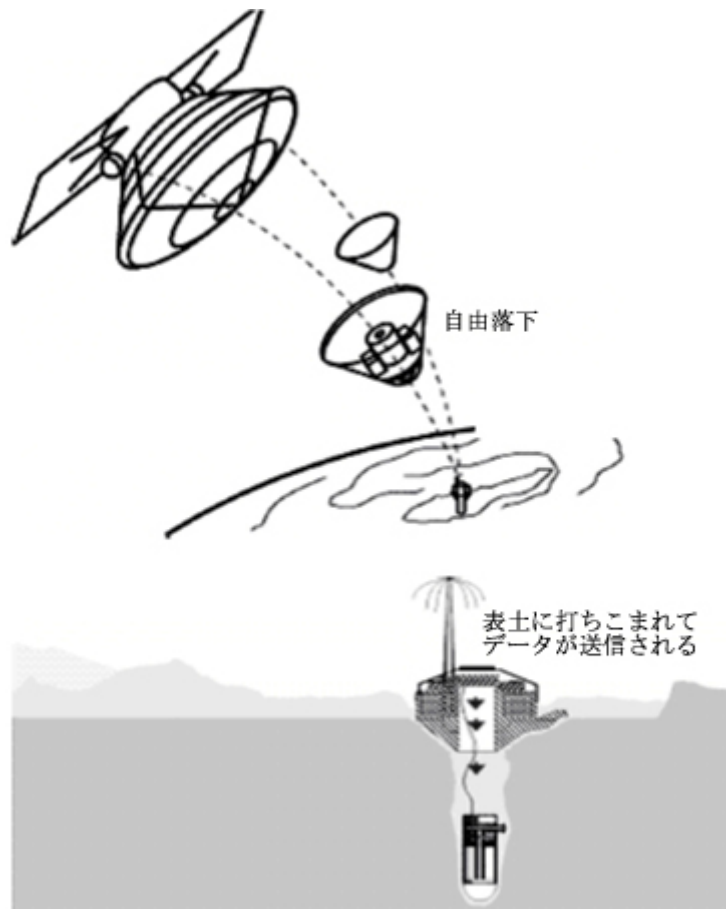


図3 小型探査機ディープ・スペース2の運行予定 [1]を翻訳

3. 原因

- (1) 着地用の脚にある接地感知スイッチが誤って反応してしまい「すでに着地したと誤解」。
NASAでは、最も可能性の高い原因として、マーズ・ポーラー・ランダーのコンピュータが、火星上空で「すでに着陸した」と誤解、その信号を受けて火星表面から約40mでエンジンが停止した可能性が最も高いとした。ランダーは毎秒22mの速度(時速約80km)で激突して壊れたとみられる。
- (2) 接地感知スイッチの誤反応
マーズ・ポーラー・ランダーが耐熱シールドを投棄後、着陸脚を所定の位置に固定するために振り下ろす際に、着陸脚の稼動部分に反動がかかり、接地感知スイッチが感知したと推定される。
このことは、失敗原因調査で行ったテストで再現されている。しかし、打ち上げ前のテストでは、この現象を洗い出すことができなかった。それは、着陸脚を下ろす動作のテストと、着陸脚を下ろした後のテストが別のチームで行われていたからであった。
- (3) その他の可能性として、火星の大気圏に突入した際に、マーズ・ポーラー・ランダーが燃え尽きた、着陸の際でこぼこの地面で転倒し破損した、などが考えられている。

4. 対処

NASA は交信できない原因として、探査機のアンテナが地球を向いていない、または、探査機に小さな異常があり、搭載コンピュータが安全のため一時的な「睡眠状態」になった可能性が大きいと推定し、アンテナの向きを変える指令を出したり、コンピュータの「目覚め」を待ったりして、交信を試みた。

その後、通信系統を火星周回軌道にあるマーズ・グローバル・サーベイヤー経由に切り替えるなど様々な方法で交信を試みたが回復せず、2000年1月17日、ついに交信を断念した。

NASA は、ロッキード社の元重役であるトーマス・ヤングをリーダーとし、18人の航空宇宙専門家より構成された調査委員会を結成し、調査を開始した。

2001年打ち上げの着陸機は今回のマーズ・ポーラー・ランダーとほぼ同じ方式だったため、打ち上げを断念した。

5. 対策

不明

6. 総括

莫大な費用が必要な宇宙開発であり、もちろんコスト削減の努力は不可欠である。しかし、コスト削減できる部分とできない部分（現時点の技術レベルで）を明確にしないと、本事例のように、コスト削減が失敗に直結し、かけた費用が水の泡となってしまう。

しかも、特別のアンテナなどが必要な降下中の通信をする装置が、コスト削減で外されていたため、探査機が通常の送信を打ち切った着陸12分前から、地球との交信は途絶したままとなり、一連の処理が正常に進んだかどうかのデータが得られず、どの時点で異常が発生したが不明など、状況判断が不可能となってしまった。

また、調査委員会の最終報告書では、次のように述べている。

- ・ マーズ・ポーラー・ランダーおよびマーズ・クライメート・オービター計画は30%も資金不足であった。
- ・ 有能だが経験不足の管理職によってプロジェクトが運営されていた。
- ・ NASA 本部、ジェット推進研究所およびロッキード宇宙航空社の古参管理職たちは、後輩管理職に適切な監督法を習得させることに失敗していた。
- ・ マーズ・ポーラー・ランダーが大気圏突入・降下・着陸における状態を常に送るような装置を欠いていたことは、大きな設計ミスであった。
- ・ マーズ・ポーラー・ランダーから投下され、自由落下して火星の表土に食い込むように設計されていた2機の小型探査機ディープ・スペース2は、設計がいい加減な上、十分なテストも行われておらず、全く打ち上げ準備が整っていない状態であった。
- ・ 政府および民間のチームは、ミッションの成功のために最善を尽くしていたが、時には週60~80時間も働いていた。

7. 知識化

- (1) コスト削減のための変更が失敗原因となる危険性がある。
月面(ルナー・サーベイヤー)や火星(バイキング)など以前の軟着陸機はレーダーにより、地表から3~4mに達したことがわかると、エンジンの制御噴射をカットするようになっていた。今回は着陸脚3本のショック吸収脚のどれかが、接地の衝撃を受けて収縮し始めたことを、感知する単純な方法を採用していた。
- (2) 複数のチームによる作業では、そのチーム間の境界に落とし穴が存在する。
- (3) 資金の不足、人員の不足、タイトなスケジュールでは失敗するのが当然である。
たまたま、うまくいくこともあるので過信は禁物である。その成功体験が却って災いとなって本来やらなければならないことも軽視されて失敗する。
- (4) 技術や管理ノウハウなどの伝承への軽視が、失敗を起させる大きな要因となる。

8. 背景

1992年、NASAのダニエル・ゴールドイン(Daniel Goldin)長官は、議会などからの予算削減圧力もあり、莫大な費用をつぎ込み、数十年間かけて実験を繰り返すプロジェクトはやめ、代わりに、目標設定を低くして簡素な宇宙船を短期間に数多く打ち上げ、下請けの企業により多くのことを任せるという“cheaper, faster, better mission”を発案し実行した。

1997年7月に火星北半球に着陸した探査機マーズ・パスファインダー(Mars Pathfinder)と、今も軌道を回っているマーズ・グローバル・サーベイヤー(Mars Global Surveyor)は、この方針で成功した。

しかし、探査計画の予算は約30%不足し、ジェット推進研究所(JPL: Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California)の常駐スタッフは15人になり、マーズ・グローバル・サーベイヤー(Mars Global Surveyor)、マーズ・ポーラー・ランダー(Mars Polar Lander)、マーズ・クライメート・オービター(MCO: Mars Climate Orbiter)の飛行チームの合計人数は、以前であれば1つの任務にあてられる人数の3分の1となった。事前試験も不十分であった。その結果、1998年12月11日に打ち上げられ、1999年9月23日に火星大気に深く突入しすぎて失ったマーズ・クライメート・オービター(MCO)の失敗があったばかりであった。

<引用文献>

- [1] NASA 調査委員会報告書：2000年3月28日
- [2] Mars Polar Lander/Deep Space 2 Loss：JPL Special Review Board Report
2000年3月14日
- [3] アストロアーツ天文ニュース：<http://www.astroarts.co.jp>
- [4] Mars Program Independent Assessment Team Summary Report：
2000年3月14日
- [5] Science NASA：http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast03dec99_1.htm