

## 火星探査に関する日米協力について

## 1. 現状 (Planet-B, IMEWG : 鶴田、水谷)

我が国の火星探査計画は1998年打ち上げ予定のPlanet-Bがある。この衛星の主目的は火星上層大気と太陽風の相互作用の研究であるが、火星生命の研究に関係の深い研究項目として以下のものがある。

1. 火星大気散逸機構の研究
2. 大気組成の研究
3. 火星気象の研究
4. 電波による地下構造探査の実験的研究
5. 特定領域の地殻構造の研究

Planet-Bには日本以外の観測装置も搭載されているが(米、スウェーデン、カナダ、ドイツ、フランス)米国からは中性大気質量分析器および電波掩蔽観測(大気密度測定)のための超安定水晶発振器が搭載されている。これらの機器の搭載に付随して米国の関連研究者もPlanet-B研究班のメンバーとなり日本の研究者と同じ権利と義務を持つことになる。これとは別に、打ち上げ後、取得データの評価が終わった時点でPlanet-Bのデータは広く研究者の利用に供される予定であり、日米に限らず幅広い国際協力による火星研究の基礎データとしていく考えである。

米国の計画は本年打ち上げ予定のPathfinder(小型の着陸機)、Mars Global Surveyor(失敗したMars Observerのリフライト)、1998年打ち上げのMars Surveyor(着陸機を含む)と2年ごとの打ち上げウィンドウを使って火星の探査を展開していき21世紀の早い時期に火星からのサンプル回収を計画していると聞いている。今後、これらの米国の計画とPlanet-Bとの共同観測についてもミッションレベルで進めていく必要がある。

また火星探査における国際協力の枠組みとしてIMEWG(International Mars Exploration Working Group)が作られており、日本からも代表が参加している。Lunar-Aのため開発が進められているペネトレーターの火星への応用についてIMEWGは高い関心を持っている。将来、ペネトレーターを応用した火星の生命探査も考えられる。

## 2. 火星生命について(南極隕石ALH84001に関連して: 清水)

含んでいるガスが火星に似ているゆえに火星由来のものとされる南極隕石ALH84001中に、36億年前に形成されたと思われる0.1ミリメートル程度の炭酸カルシウム微細粒子と、多量の有機物(PAHと呼ばれる芳香族型高分子)が見出された。炭酸カルシウム微細粒子の周りにはマグネタイトや硫化鉄が存在する。これらの状況証拠を総合して太古の火星に生命活動の可能性があったと議論された。またそれ以前に、この隕石の $^{12}\text{C}$ と $^{13}\text{C}$ の同位体比から炭酸同化作用の存在を匂わすデータも出ている。ただし、他の炭素質隕石に存在しているアミノ酸や核酸塩基は検出されてい

## 火星探査に関する日米協力について

## 1. 現状 (Planet-B, IMEWG : 鶴田、水谷)

我が国の火星探査計画は1998年打ち上げ予定のPlanet-Bがある。この衛星の主目的は火星上層大気と太陽風の相互作用の研究であるが、火星生命の研究に関係の深い研究項目として以下のものがある。

1. 火星大気散逸機構の研究
2. 大気組成の研究
3. 火星気象の研究
4. 電波による地下構造探査の実験的研究
5. 特定領域の地殻構造の研究

Planet-Bには日本以外の観測装置も搭載されているが(米、スウェーデン、カナダ、ドイツ、フランス)米国からは中性大気質量分析器および電波掩蔽観測(大気密度測定)のための超安定水晶発振器が搭載されている。これらの機器の搭載に付随して米国の関連研究者もPlanet-B研究班のメンバーとなり日本の研究者と同じ権利と義務を持つことになる。これとは別に、打ち上げ後、取得データの評価が終わった時点でPlanet-Bのデータは広く研究者の利用に供される予定であり、日米に限らず幅広い国際協力による火星研究の基礎データとしていく考えである。

米国の計画は本年打ち上げ予定のPathfinder(小型の着陸機)、Mars Global Surveyor(失敗したMars Observerのリフライト)、1998年打ち上げのMars Surveyor(着陸機を含む)と2年ごとの打ち上げウィンドウを使って火星の探査を展開していき21世紀の早い時期に火星からのサンプル回収を計画していると聞いている。今後、これらの米国の計画とPlanet-Bとの共同観測についてもミッションレベルで進めていく必要がある。

また火星探査における国際協力の枠組みとしてIMEWG(International Mars Exploration Working Group)が作られており、日本からも代表が参加している。Lunar-Aのため開発が進められているペネトレーターの火星への応用についてIMEWGは高い関心を持っている。将来、ペネトレーターを応用した火星の生命探査も考えられる。

## 2. 火星生命について(南極隕石ALH84001に関連して: 清水)

含んでいるガスが火星に似ているゆえに火星由来のものとされる南極隕石ALH84001中に、36億年前に形成されたと思われる0.1ミリメートル程度の炭酸カルシウム微細粒子と、多量の有機物(PAHと呼ばれる芳香族型高分子)が見出された。炭酸カルシウム微細粒子の周りにはマグネタイトや硫化鉄が存在する。これらの状況証拠を総合して太古の火星に生命活動の可能性があったと議論されだした。またそれ以前に、この隕石の $^{12}\text{C}$ と $^{13}\text{C}$ の同位体比から炭酸同化作用の存在を匂わすデータも出ている。ただし、他の炭素質隕石に存在しているアミノ酸や核酸塩基は検出されていない。

い。直接的証拠が何も無いので証明には程遠いが、地球上の生命のみに対象が限られていた生物学を普通科学する一つのきっかけにはなろう。アミノ酸が非ラセミ体であるかどうか、遺伝暗号が地球のそれと同じかなど、分子生物学の本質に迫るデータを得ることが今後の真の目標となる。

### 3. 火星生命探査と我が国の体制整備（中沢）

火星における生命の存在確認は短期的には決着が付けられるような問題ではない。火星の環境変動、火星の地下構造、隕石中に見られるアミノ酸など有機物質の研究、小惑星、彗星表面における有機物質の探索、地球太古代の微生物化石の調査など、惑星科学全般の発展を必要とすると思われる。火星探査や小惑星探査などはすでに宇宙研で準備が進められているが、わが国としてはこれらの探査を支える母体である固体惑星科学者グループは、今育ちつつある所であり、まだ弱体である。火星生命探査を国際的に推進するには、まずわが国におけるこれらの研究者グループの育成をはかる必要がある。

今回の火星生命発見のニュースとなった南極隕石研究については、極地研究所による採集により、南極隕石の保有数はわが国が最大であることから、潜在的には日本がイニシャティヴを取れる研究課題である。すでに採集されている隕石の中に、南極隕石ALH84001に似たものがまだある可能性はある。これら南極隕石について、多様な研究者が協力しつつ総合的研究を進める事は緊急課題であろう。

### 4. その他の生命探査に関連する日米協力（Astro-F等の役割：鶴田、水谷）

米国は最近Originという21世紀前半を見通した壮大な計画を立案しつつある。宇宙の起源、惑星の起源、生命の起源を探ろうというものであるが、この計画の比較的早い時期に位置づけられているのがSIRTF（赤外線）衛星計画である。日本で計画されているAstro-Fと相補的な計画であり、両者の間の協力によって科学的な成果を一層高めることが出来よう。これらの赤外線衛星によって、太陽系外の惑星生成に関する情報が得られる。

生命の探査に限らず、宇宙の探査については長期的戦略にしたがって準備を進める必要がある。ヨーロッパではHorizon 2000 plusとしてこの戦略を公表している。上に述べたOrigin計画はNASAの長期戦略に対する入力である。宇宙研でも長期戦略の議論が進んでおり、日米協力もその中でより広い国際協力の一環として位置づけていくことが必要であろう。

## 火星探査へ向けた宇宙開発事業団の検討状況

平成8年8月28日

宇宙開発事業団

中川科学技術庁長官とゴールドフィン米国NASA長官との会談において、次のプログラムに関し、米国側より我が国の参加協力について期待が表明された。

①火星探査プログラム (火星でサンプルを採取し、地球へ持ち帰る計画を含む)

②50～100 光年離れた太陽系外における生命体を探査するオリジンプログラム (赤外線望遠鏡打上げ計画を含む)

これを受け、火星探査に関する各国のこれまでの成果、今後の計画、インフラストラクチャーを中心とする宇宙開発事業団における検討状況をまとめ、報告する。

## 1. 各国の火星探査成果と今後の計画

火星探査は米国・ロシアを中心に実施されており、計26機の探査機が打ち上げられた内、米国6機 (内着陸機2機)、ロシア6機 (内着陸機2機) から探査データが得られている。探査ミッションは、火星周回軌道からの科学的計測及び着陸機による表土分析、生命探査を主としている。特に1976年に火星に着陸したViking 1/2号は、生命探査を行ったが、生命の存在は確認できなかった。

今後の計画としては、コスト低減に配慮した、周回探査機からの多種類/分解能向上型センサによる火星表面、大気の計測、ペネトレータによる地中の科学探査、水の存在調査、着陸機/ローバ (走行車) による火星表土の詳細分析、生命体調査、及びサンプルリターン等が計画されている。

各国の火星探査実績・計画を別添-1に示す。

## 2. 宇宙開発事業団における検討状況

## (1) ミッション構想検討例

## ① 周回衛星による火星観測

- ・ ミッション：火星の科学的探査
- ・ H-IIAロケット (3トン級) により、火星高度100kmに約1.3トンの周回衛星を投入可能
- ・ H-IIAロケット第2段エンジン再着火により火星遷移軌道へ投入

## ② 火星大気突入/着陸

- ・ ミッション：火星の科学的探査  
生命体の調査  
火星表面画像の伝送
- ・ H-IIAロケット (3トン級) により、約600kgの着陸システムが着陸可能

### ③サンプルリターン

- ・ ミッション：生命体の調査等
- ・ H-II A ロケット 2 機及び宇宙往還機によりミッションを実施
- ・ H-II A ロケット（4 トン級）により打ち上げる火星遷移軌道輸送機（約 20 トン）及びH-II A ロケット（2 トン級）により打ち上げたミッションシステム（着陸システム（約 4 トン）、軌道周回衛星（約 2.7 トン））を組み合わせ、火星遷移軌道へ投入し、着陸システムが地表へ着陸。
- ・ 着陸システムの一部であるローバによりサンプル採取。
- ・ サンプル（約 5kg）を搭載した離陸機が周回衛星とランデブドッキングし、地球周回軌道へ帰還。
- ・ 別途打ち上げる宇宙往還機等によりサンプルを取り込み、地上へ帰還する。

### (2) 既存技術の適用

- ・ 打上げロケットはH-II A ロケット 2 ～ 3 トン級まで使用可能（将来的には 4 トン級も使用可能）。打上げ能力は別添－2 の通り。
- ・ 観測センサは光学、レーダ、サウンダ等、地球観測衛星搭載品が使用可能と考えられる。
- ・ その他宇宙環境計測、重力場計測等の実施、火星への着陸等については、月探査周回衛星にて得られる技術が適用可能と考えられる。
- ・ ローバ（月面車）技術も適用可能と考えられる。
- ・ 追跡管制技術については、宇宙科学研究所の惑星探査機追跡技術、月探査周回衛星の追跡管制技術、及び米国NASAのDSN (Deep Space Network) の利用が考えられる。

別添一 1 火星探査実績 (1/2) (地球近傍で故障したものを除く)

| 計画      | 国   | 打上げ      | 火星到着               | ミッション概要 (計画)                                                                                                 | 主要成果                                                                                                                    |
|---------|-----|----------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| マリナー 4号 | 米国  | 64/11/28 | 65/7/14<br>(通過)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>262kgの探査機</li> <li>TVカメラと6つの計測器により地球～火星軌道間の観測及び火星観測</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>9,846kmまで接近し、22枚の画像取得 (地表の約1%)</li> <li>クレータ周縁部に氷を発見</li> </ul>                  |
| マリナー 6号 | 米国  | 69/2/24  | 69/7/31<br>(通過)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>413kgの探査機</li> <li>2台のカメラ、赤外線波計、赤外／紫外分光計を搭載</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>3,431kmまで接近</li> <li>マリナー7号と併せて201枚の画像取得</li> <li>火星直径、表面組成、大気圧、温度を計測</li> </ul> |
| マリナー 7号 | 米国  | 69/3/27  | 69/8/5<br>(通過)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>413kgの探査機</li> <li>2台のカメラ、赤外線波計、赤外／紫外分光計を搭載</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>3,430kmまで接近</li> <li>マリナー6号と併せて201枚の画像取得</li> <li>火星直径、表面組成、大気圧、温度を計測</li> </ul> |
| マーズ 2号  | 旧ソ連 | 71/5/19  | 71/11/28<br>(着陸失敗) | <ul style="list-style-type: none"> <li>周回機と着陸機 (計4,650kg) から構成</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>初の火星への着陸計画</li> <li>周回機は1972年まで大気組成データ取得</li> </ul>                              |
| マーズ 3号  | 旧ソ連 | 71/5/28  | 71/12/3            | <ul style="list-style-type: none"> <li>周回機と着陸機 (計4,643kg) から構成</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>着陸成功したが、20秒間の画像伝送後故障</li> <li>周回機は1972年8月まで大気組成データ取得</li> </ul>                  |
| マリナー 9号 | 米国  | 71/5/30  | 71/11/24<br>(軌道投入) | <ul style="list-style-type: none"> <li>506kgの周回機</li> <li>70%の地表マッピング (マリナー8号で計画一失敗)、大気・地表変化データ取得</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>7,000枚以上の砂嵐状況を含む画像取得、85%の地表マッピング</li> <li>火星の衛星フォボス・ディモスの画像取得</li> </ul>         |
| マーズ 4号  | 旧ソ連 | 73/7/21  | 74/2<br>(軌道投入失敗)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>4,650kgの周回機</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>減速に失敗し、火星から2,200kmを通過</li> <li>一部の画像、データを取得</li> </ul>                           |
| マーズ 5号  | 旧ソ連 | 73/7/25  | 74/2/12<br>(軌道投入)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>4,650kgの周回機</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>数日間作動し、画像データ取得</li> </ul>                                                        |

## 火星探査実績（2／2）（地球近傍で故障したものを除く）

| 計画       | 国   | 打上げ     | 火星到着               | ミッション概要（計画）                                                                                                  | 主要成果                                                                                   |
|----------|-----|---------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| マーズ 6号   | 旧ソ連 | 73/8/5  | 74/3/12<br>（軌道投入）  | ・ 周回機と着陸機（計4,650kg）から構成                                                                                      | ・ 着陸機は大気データを取得したが、降下中に故障                                                               |
| マーズ 7号   | 旧ソ連 | 73/8/9  | 74/3/9<br>（軌道投入失敗） | ・ 周回機と着陸機（計4,650kg）から構成                                                                                      | ・ 火星から1,300kmの地点を通過                                                                    |
| パイカ 1号   | 米国  | 75/8/20 | 76/7/20<br>（着陸）    | ・ 周回機（565kg、高度約17,000km）と着陸機（605kg）により、高解像度の表面観測、大気・地表の構造、組成観測、及び生命探査                                        | ・ 周回機は1980年8月17日までに1,400周以上の火星周回実施<br>・ 約300kmの高度から、150～300mの分解能で画像取得<br>・ 生物の痕跡は検出できず |
| パイカ 2号   | 米国  | 75/9/9  | 76/9/3<br>（着陸）     | ・ 周回機（494kg、高度約18,500km）と着陸機（598kg）により、高解像度の表面観測、大気・地表の構造、組成観測、及び生命探査                                        | ・ 周回機は1978年7月25日までに706周の火星周回実施<br>・ 約300kmの高度から、150～300mの分解能で画像取得<br>・ 生物の痕跡は検出できず     |
| フォース 1号  | 旧ソ連 | 88/7/7  | （軌道投入失敗）           | ・ 2,600kgの周回機<br>・ 惑星間の環境把握、太陽観測、火星近傍のプラズマ観測、地表・大気観測、衛星フォースの表面組成観察                                           | ・ 火星遷移軌道上で故障                                                                           |
| フォース 2号  | 旧ソ連 | 88/7/21 | 89/1/30<br>（軌道投入）  | ・ 2,600kgの周回機<br>・ 惑星間の環境把握、太陽観測、火星近傍のプラズマ観測、地表・大気観測、衛星フォースの表面組成観察                                           | ・ 1989年3月まで観測実施<br>・ 最終的にフォースに50mまで接近する直前に故障                                           |
| マーズ オプザバ | 米国  | 92/9    | 93/8<br>（通信途絶）     | ・ 378kmの太陽同期軌道に2,500kg（燃料1,440kg含む）の周回機を投入<br>・ 全球の地表元素組成、地形・重力場・磁場測定<br>・ 物質、ダストの季節変動特定<br>・ 大気プロファイル、循環の測定 | ・ 火星軌道投入直前（3日前）に通信途絶                                                                   |

## 今後の各国火星探査計画

| 計画                  | 国   | 打上げ               | 火星到着    | ミッション概要(計画)                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|-----|-------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| マーズ グローバル<br>サーベイヤー | 米国  | 96/11/6           | 97/9/11 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・約1,031kgの周回機を太陽同期軌道へ投入</li> <li>・6つのセンサにより、高解像度の地表映像取得、地形図/重力/地表・大気中の水・塵の役割、地表・大気組成、磁気圏の観測</li> <li>・短期間/低コストでの“マーズ・オブザーバー”ミッションの代替</li> </ul>                                           |
| マーズ '96             | ロシア | 96/11/16          | 97/12/9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・周回機、着陸機×2、ペネトレータ×2(計7t)から構成される</li> <li>・ペネトレータは4~6mの深さに突入</li> <li>・周回機(650kg/高度300km)にはプラズマ計測器×7、他3つのセンサを搭載</li> <li>・高分解能地表マッピング、鉱物・地表組成・地殻構造計測、活火山の振動、磁場、熱流計測、大気圧、組成、温度計測</li> </ul> |
| マーズ<br>ハスティングス      | 米国  | 96/12/2           | 97/7/4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・264kgの着陸機、10.5kgのローバー</li> <li>・パラシュート、ロケット、エアバックによる着陸</li> <li>・低コストの着陸、探査実証</li> <li>・大気突入時の大気・気象観測、地表画像取得</li> <li>・ローバーにα線、プロトン、X線計測機器搭載</li> </ul>                                  |
| プラネット B             | 日本  | 98/8              | 99/11   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・約340kgの周回機を150×34,000kmの軌道へ投入</li> <li>・上層大気、太陽風との相互作用調査</li> <li>・磁場計測、プラズマ粒子/波動計測、紫外分光撮像等を実施</li> </ul>                                                                                |
| マーズサーベイヤー<br>'98    | 米国  | 98/12/10<br>(周回機) | 99/9/24 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・380kmの太陽同期軌道</li> <li>・2つの計測器による、気候・大気状態の観測、風及び大気状態による地表変化、大気温度プロファイル測定、大気中の水蒸気・ガス含有量測定</li> <li>・別途打ち上げられる着陸機のデータ中継</li> </ul>                                                          |
|                     |     | 99/1/3<br>(着陸機)   | 99/12/3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・南極近傍の気象状況記録、極地帯に堆積した水分・二酸化炭素等揮発物質の分析、掘削による内部構造把握、着陸場所付近の探査</li> </ul>                                                                                                                    |
| マーズサーベイヤー<br>2001   | 米国  | (未定)              | (未定)    | (不明)                                                                                                                                                                                                                             |
| マーズサーベイヤー<br>2003   | 米国  | (未定)              | (未定)    | (不明)                                                                                                                                                                                                                             |
| マーズサーベイヤー<br>2005   | 米国  | (未定)              | (未定)    | ・土壌のサンプルリターン                                                                                                                                                                                                                     |

## H-IIA ロケットファミリーの打上げ能力

|                                    | 低軌道 | 静止軌道 | 火星ミッション  |     | 月ミッション   |     |
|------------------------------------|-----|------|----------|-----|----------|-----|
|                                    |     |      | 100km円軌道 | 着陸  | 100km円軌道 | 着陸  |
| 静止２トン級<br>H-IIA ロケット               | １０  | ２    | ０．８      | ０．４ | ２．３      | １．１ |
| 静止３トン級<br>H-IIA ロケット<br>(液体ブースタ１基) | １５  | ３    | １．３      | ０．６ | ３．９      | １．９ |
| 静止４トン級<br>H-IIA ロケット<br>(液体ブースタ２基) | ２０  | ４    | １．８      | ０．９ | ５．３      | ２．６ |

注記：

- (1) ホーマントランスファーによる。
- (2) 概略値。単位はトン。

# 別添一 3 (参考) 火星と月の比較

|                             | 火星                                                      | 月                   |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|
| 重力                          | 0. 3 8 G                                                | 0. 1 7 G            |
| 脱出速度                        | 毎秒 5 k m                                                | 毎秒 2. 4 k m         |
| 大気                          | 非常に希薄な大気 (大気圧<br>は地球の約 0. 8 %)<br>局地的な砂嵐発生<br>主成分は二酸化炭素 | ほとんど真空              |
| 半径                          | 3 3 9 7 k m                                             | 1 7 3 8 k m         |
| 地表の特徴                       | 地形が複雑大規模<br>高緯度地方に永久凍土か                                 | 表面は乾いた泥と砂           |
| 表面温度                        | - 1 4 0 度 ~ 2 0 度                                       | - 1 7 0 度 ~ 1 2 0 度 |
| 自転周期                        | 2 4 時間 3 7 分                                            | 2 7. 3 日            |
| 地球からの到達時間<br>(ホーマントランスファ軌道) | 2 6 0 日                                                 | 5 日                 |
| 通信時間の遅れ                     | 3 ~ 2 2 分                                               | 1. 3 秒              |