

特集「金星研究の新展開」

金星大気ミッションの現状と方向性

中村 正人¹，今村 剛¹，阿部 琢美¹

1. 始動した金星ミッション

本ミッションは、金星の科学の推進を目指す有志（工学メンバーを含む）によって構成される金星探査計画ワーキンググループによって Venus Climate Orbiterとして立案され、平成13年1月に宇宙科学研究所（当時）で開催された宇宙科学シンポジウムの席上で提案がなされた。そしてこの提案は、平成13年5月に宇宙科学研究所の宇宙理学委員会、同年7月には宇宙開発委員会に設けられた評価小委員会（主査：佐藤勝彦東京大学理学部長）において高い評価を得た。前者では宇宙科学研究所長、後者では宇宙開発委員会開発評価部会に対して速やかな計画の実行を推奨する報告がなされた。その後、ミッションはプラネットCという公式名称を宇宙科学研究所で与えられ、その準備が進められている。

ミッションの概要は2年前に「遊・星・人」誌上で紹介されている[1]。その目指す科学とは、地球と似た大きさでありながら全く異なる気候状態にある惑星・金星について、その大気大循環のメカニズムを探るというものであり、この科学目標は当時から今に至るまで些かの変更も無い。また、その達成方法についても5つのカメラ（近赤外カメラ1、近赤外カメラ2、中間赤外カメラ、紫外カメラ、雷大気光カメラ）で雲層の下を含む金星大気全体の構造を立体的に撮像し、それを連続画像として捉えて解析を行うという当初の方法は、若干の洗練を加えてはいるけれども、基本的に違いは無い（図1）。したがって、本稿ではそれらには立ち入らず、平成15年度におけるミッション全体の現状と、今後の進め方について述べたい。

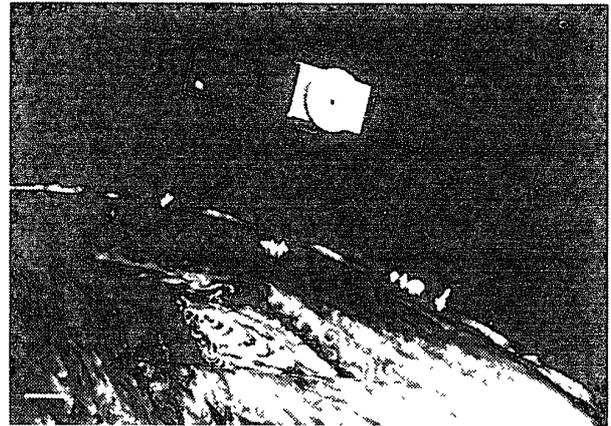


図1 金星大気運動形態を赤外線～紫外線のリモートセンシングで立体的に観測する金星探査機の想像図（池松均氏による）。金星の縁の噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象、水平にたなびいているのはオーロラや大気光。主力の観測装置である近赤外カメラは、近赤外の波長域に発見された「大気窓」を用いて、従来は見えなかった下層の大気や地表を周回軌道から観測する。

2. 本格的開発を平成16年から

金星ミッションは平成13年度に宇宙科学研究所（当時）で内部的に認められたミッションで、平成14年度にはPhase Aと言うべき基礎開発段階の位置づけがなされた。この一年間に科学観測機器である5台のカメラの基本設計が行われ、特に検出器や電子部品の放射線耐性の調査をし、また近赤外カメラおよび雷大気光カメラにおける迷光問題の処理方法が決定された。カメラの開発には、宇宙科学研究所の他に北海道大学、東北大学、極地研究所、東京大学、大阪府立大学、熊本大学などの大学等研究機関が参加している。

当初の予定どおり平成19年度冬期にM-Vロケットを用いてパーキング軌道に投入する為には、平成15年度にProto Modelの設計（PMあるいはPhase B）

¹ 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

に移行しなければならなかったが、諸般の事情により、これが許されなかった。この為平成16年度からPM段階に移行するという筋立てがなされたが、これによれば打ち上げは平成20年度以降となる。バックアップウィンドウを考慮して平成21, 22年度に同じ設計の探査機、ロケットで金星周回軌道への投入を行うためには、パーキング軌道に投入せず、より効率の良い惑星間軌道に直接投入する方法を用いることになる。この時、探査機の燃料を含めた重量は450 kgと推定され、ほぼミューゼスC(はやぶさ)と同クラスの探査機となる。当初案の670 kg探査機から、地球離脱燃料を省いて450 kgに減量することは技術的には大きなチャレンジであり、現在衛星開発メーカー、推進系メーカー、観測機器製作メーカーを含めて宇宙科学研究本部の総力を挙げて検討中である。この検討では、ミッションで達成されるべき科学目標の縮小は考慮しなかった。すでに練りに練った計画であり、この一角を崩すことは、全体として達成される科学を大きく減ずると判断したからである。これらの作業と同時に、平成16年度からのPMスタートを実現するために、概算要求をなし、財務省とのやり取りが文部科学省との間でなされている段階である(原稿執筆時)。

検討は平成15年10月には一応の結論を出し、金星大気ミッションをM-Vにより推進するべきか、中止するべきか、あるいは他の輸送手段を考慮するべきかを宇宙科学研究本部に新設されるプログラム室での討議に委ねる予定でいる。探査機を軽量化するために観測機の冗長系やセーフホールド(非常)時の姿勢安定継続時間に犠牲となった部分が存在し、これらの可否を確実なミッションの遂行という観点から論議しなければならない。特に過去に起こった宇宙科学研究所の探査機の失敗から多くを学ばなければならない。

平成20年6月に直接投入により探査機が打ち上げられた場合は、当初の金星到着のスケジュールを乱すことなく平成21年9月6日に金星探査機プラネットCは目的地に着く。それ以降のM-Vによるウィンドウ

を用いた場合、到着は1~3年遅れとなる。

また、大気の散逸などの問題にアプローチするためのプラズマ観測を行う観測機群は、搭載可能な重量が限られていることから依然としてオプション扱いとなっている。これらの機器は、M-Vで打ち上げる場合には重量的に搭載が不可能(ミッション中止時も同様)、他の運搬手段を用いる場合には搭載の方向で検討を進めている。

3. ヨーロッパとの協力

欧州宇宙機構(ESA)は平成17年にVenus Expressを打ち上げる。これはMars Expressのバックアップ機のための資金を流用し、基本的にMars Expressと同等の機体を金星周回軌道に投入するものである。従って、搭載される観測機器もMars Expressに寄せられたものを踏襲しており、基本的に大気分光に主眼が置かれている。軌道は極軌道であり、日本の金星探査機が採る赤道面内軌道とは直交している。

金星大気力学の解明を目指すプラネットCと大気成分を詳しく調べるVenus Expressは金星大気科学の解明を目指す良きパートナーであり、欧州の研究者との協力関係を模索している。協力の形態として具体的には

- ・データを相互受信する
- ・相互に共同研究者を出し、データ解析レベルで協力関係を築く
- ・欧州からの機器をプラネットCに搭載する(運搬手段がM-V以外の場合)

が挙げられる。データの受信については、日本の鹿児島宇宙空間観測所34 m、白田宇宙空間観測所64 mの二つの深宇宙アンテナによりVenus Expressのデータを受け見返りとして、ESAがスペインに建設中の深宇宙アンテナによりプラネットCからのデータを受信してもらうことになる。宇宙航空研究開発機構としてチリのサンチャゴに設置が検討されている34 mアンテナが現実のものとなるならば、この関係は

更に深めることが出来るであろう。また欧州から招く機器としてはマイクロ波観測装置(ドイツ, マックスプランク研究所), 紫外カメラ(同)が候補として挙げられる。

4. アメリカとの協力

米国の科学者と協力関係を築くことには当初、幾つか考慮すべき事があるのではないかと考えられていた。最も大きな事は、米国NASAが日本のミッションに参加した場合、資金を出して協力をする事の見返りとして、データの即時公開を求められることである。これは、必ずしも悪いことでは無いが、観測装置を製作した日本の研究者が、その結果を十分に有効利用する時間的余裕がないのではないかと懸念が生ずる。従って、このことについては慎重に検討を進めてきたが、日米の科学者の意見を集約すると、両者(ISAS-NASA)の協力関係はそのデメリットを補って余りあるメリットをもたらすだろうとの結論である。すなわち

- (1) 世界的にデータを使用してもらう方が、結局は金星大気科学・惑星気象学の発展のための近道となる。
- (2) 日本人研究者は競争に晒される事になり、機器開発に追われる身としてはつらい事は確かだが、それなりの心構えでデータ解析の下準備が進められる。
- (3) 米国の研究者は観測技術において経験豊富であると同時に、過去のミッションの成果を詳細に把握した上で金星気象学の問題をよく理解している。また信頼できる人柄を備えた研究者が多い。

という事が日本の各カメラチームの責任者によっても認められた。これを受けて宇宙科学研究本部の金星チームとしては現在、欧州に続いて、米国との関係構築を模索している。

具体的に考えられる協力関係で最も容易と思わ

れるのは、地球各地の地上望遠鏡をネットワーク化し、プラネットCの観測にあわせて2週間程度のキャンペーンを行うことである。3時間ごとに地理的に隣接した次のサイトで金星が観測できるように全球的に経度方向の間隔を持たせることが望ましい。このキャンペーンはNASAからの資金提供なしに行うことが可能と考えられ、協力のベースラインとなる。

これ以降述べることはNASAから出される研究公募(Announcement of Opportunity)に米国研究者が応募して、予算を獲得してくることが前提となる。

まず、プラネットC搭載のカメラへの米国研究者の共同研究者としての参加が考えられよう。このことにより観測計画の立案、データの圧縮、較正、風速ベクトル導出のための相関解析、などのノウハウを米国研究者と討議することが可能で、日本の研究者にとっても大きなメリットをもたらす。また、日本カメラチームから主要メンバーが米国へ行き、共同で地上観測を行って、米国側のノウハウを吸収することもありえよう。

次に考えられることは日本で作るカメラを米国の施設で較正することである。この場合、日本から米国へ一度機器を輸出し、較正の間は米国の機器として取り扱う必要がある。再度日本へ輸入してから衛星に搭載する必要があり、かなり煩雑な手続きを必要とするが、日本における較正設備が脆弱な観測機器に関しては選択枝の一つであろうと考えられる。ただし、技術移転の抑制の観点から、互いに技術情報の参照(例えば米国側では較正設備の建造方法、ランプの較正方法など、日本側ではカメラ光学系の詳細情報、回路の内容など)はしない方針を採らねばならない。このオプションを選択した場合は米国国務省、商務省での手続きが必要なため通常より6ヶ月のスケジュール上の余裕が必要であろう。

搭載可能な重量に余裕がある状況が生まれたとき(M-V以外の運搬手段を選択したとき)には、欧州から機器を受け入れると同様、赤外の分光器等を米国から受け入れる事が可能となろう。

これらのオプションが実現するならば、NASAの深宇宙ネットワーク(DSN)に打上げ時や金星周回軌道投入時などクリティカル運用フェーズでの運用支援を求めることも可能となるのではないかと期待している。また、深宇宙ネットワークにはKaバンドの受信機が設置される模様であり、プラネットCにその為の送信機および送信アンテナを設置することが出来れば、圧倒的に多量のデータを金星から地球に送り込むことも可能となり、考慮すべきオプションと言えるだろう。

5. カナダ・スウェーデンとの協力

カナダの研究者はEXOS-D(あけぼの)、プラネットB(のぞみ)にプラズマ観測装置を搭載しており、プラネットCが余裕ある運搬手段によって打ち上げられる場合には、プラネットBと同様の観測装置の搭載を希望している。これに関してはカナダ宇宙局が積極的に支援を約束している。

スウェーデンの研究者も同様に日本の探査機に機器を搭載してきた。今回オプションとなっているプラズマ観測機器の中で、電子およびプロトンの低エネルギー粒子計測器を京都大学のチームと共同で搭載したい希望を持っている。

さらに、スウェーデンの研究者チームから、プラネットCに積む衛星を製作したいという希望が出されている。この衛星はスピン衛星であり、プラネットCが金星周回軌道に投入された後に切り離され、主にプラズマ観測装置を搭載するものである。この計画もM-Vロケットでは実現は出来ないが、他の運搬手段を考えるならば考慮の範囲に入る。

6. 確実な実現に向けて

金星ミッションは多くの研究者の期待を裏切って、いまだスタートするに至っていない。宇宙科学研究本部の担当者として忸怩たる思いである。平成16

年には是が非でもPMの開発に着手し、確実な手法をもって探査機の開発を行っていく。確実性を増すためには、過去の探査機の失敗を徹底的に洗い出して、その轍を踏まぬようにすることが必要であると考えている。

参考文献

- [1] 中村正人, 今村剛, 2001, 日本の金星大気探査ミッション, 遊・星・人 10 (No.3), 120.