



＜学生が聴く、日本の惑星探査の過去・現在・未来＞ 第6回  
The planetary explorations of Japan, interviewed by students.  
将来計画委員会・惑星探査検討グループ企画

## 見ろよビーナス —ベールを脱ぐ女神—

Planet-C: Unveiling Secrets of Venus

インタビューワーカー：伊藤 有沙（東北大 M1）

本企画も過去に実施された探査計画、打ち上げられ、現在進行中の探査計画、探査機の実機が組上げられ打ち上げを目前に控えた探査計画と、インタビューを進めて参りました。今回からは研究者の方々が計画を提案し、プロジェクトとして認められたばかりの探査計画をテーマとして予定しています。今回は、昨年宇宙科学研究所の理学委員会にて計画が承認されて進められている金星探査計画を取り上げ、プロジェクトマネージャーを勤める宇宙科学研究所の中村正人先生にお話を伺いました。インタビューワーカーは東北大学の伊藤さんをお願いいたしました。

金星探査計画は、地球よりも濃密な大気を持つ唯一の固体惑星・金星の大気循環に焦点を当てて立案された計画です。固体惑星として地球よりは希薄ではあるけれども、やはり濃密な大気を持つ火星は、第2回のインタビューでも取り上げた“のぞみ”によって調査が期待されています。SELENE, MUSES-C, LUNAR-Aといった岩石学的な固体惑星を探る探査計画に対して、日本では“のぞみ”や金星探査計画のように、惑星大気に関しても詳細な研究が行われています。これら探査機のもたらす情報は、地球の大気運動に関して、様々な知見を与えてくれると期待されます。

今回のインタビューでは金星探査計画の内容もさることながら、探査計画がまさに立ち上がる様



図1：中村正人先生と筆者

子が垣間見ることが出来ると思います。本稿がこれから惑星探査の門に進まれるすべての方の参考になれば幸いです。

### 1. 金星探査計画について

金星の地表は470℃、90気圧の高温高圧の世界である。この濃密な大気は高速で回転することでも知られているが、これまで厚い硫酸の雲によって覆い隠され、そのメカニズムや構造に関する探査を阻んでいた。この地球とほぼ同じ大きさ・質量を持ちながら、地球とは大きく環境の異なる金星を探査する計画が、2001年5月10日に理学委員会から宇宙科学研究所の計画として所長に進言された。重量約650kg（うち燃料320kg）の探査機が2008年2月に打ち上げられ、2009年9月に金星へ到着し、観測を開始することになっている。この日本初の金星探査機は、赤外線カメラで金星の雲より下の部分の連続写真を撮るという世界初の試

み（雲の下の写真はNASAの木星探査機Galileoが1990年に金星にスイングバイ時、2枚撮影している）に挑戦しようとしている。今回のミッションで一番注目すべき点は、複数の波長の赤外線を用いて観測する点である。具体的には、 $1.0\ \mu\text{m}$ は地表付近、 $1.7\ \mu\text{m}$ は高度20km、 $2.3\ \mu\text{m}$ では高度30km付近からの赤外光をとらえる。波長 $10\ \mu\text{m}$ や紫外線で、もっと高々度の雲からの光もとらえる。これにより、従来は解明できなかった金星の大気運動の謎に迫ることが出来るミッションである。金星の大気運動の謎とは？また、それを明らかにする探査計画とはいかなるものなのか？まとめ役である宇宙研の中村正人先生にお話を伺った。

## 2. インタビュー

日本が進めている金星探査計画に関して、宇宙研の中村正人先生にお話を伺いました。聞き手は東北大学の伊藤さんです。

**Q：先生が関わっている金星探査ミッションの概要はどのようなものですか？**

**A：**宇宙研のホームページで公開されているスケジュールに変更が加えられ、打ち上げは2008年2月を予定しています。それにあわせてスケジュールを組みなおしているところです。ミッション系は、今年（2002年）は、概念設計の年です。来年はミッション機器のプロトモデル（PM）を作り、その後フライトモデル（FM）作成に着手します。それに対してバス（システム系）は、宇宙研展示室にあるような実機モデルを、まず振動試験機にかけ、その後真空中で熱試験など、いくつか試験行い、結果をFMに反映します。

このミッションは今の所、全体として順調に進んでいます。それは、機器の製作が既存の技術の組み合わせでできるため、新技術を

実証する試行錯誤（＝時間と費用のコスト）が少ないためです。このミッションでは5つのカメラを搭載することになっているのですが、金星に多種類のカメラを持っていくこと自体が新しい試みです。今まで他の国ではそういう試みはありませんでした。それは、80年代まで、金星で雲の中を覗くカメラが使えることが分からなかったことによります。今までは外から雲の上だけを見ていました。しかしその後、中が見えるバンド（周波数帯域）が3つ以上発見されました。

**Q：そういった特定の周波数帯域で金星を観測ができるのはなぜですか？**

**A：**簡単に言うと影絵の原理です。これらの光は、大気による吸収を受けずに金星の外に放射されています。すなわち光源が地表の熱放射で、ある波長で見える吸収体の空間パターンが影として追跡できる、という意味です。広く受け容れられている大気構造を基に吸収体の高度分布を仮定すれば、そのパターンがその高度での大気運動の追跡マーカーになります。地表の温度分布も測定できます。雲は4日で循環するのに対し地表は動いてないので、地表に火山があると発見することもできます。

**Q：海外、日本の金星探査構想の歴史に関して教えてくださいませんか？**

**A：**最初はロシアがプローブをたくさん落とし、風向き、気圧、温度、大気構成などを調べていました。赤道上の自転速度が秒速1.5mの金星で、表面付近では秒速数m程度の風しか吹いていないのに、高度と共に東風が強くなって、高度70kmでは秒速100mと非常に大きいのが不思議だという話になりました。この現象をスーパーローテーションと呼んでいます。

日本としてはこれが初めての金星探査です。もちろん地球からの観測は以前からやっていましたが、そして平成10年に、宇宙研で金星探査のためのワーキンググループが結成されました。

Q：なぜ最近10年くらいは金星ミッションがなかったのですか。いい軌道がなかったのか、不況のせい、金星以外の興味があったからでしょうか？

A：みんなの興味が火星に向いていたからでしょう。

Q：アメリカでは火星に注目しているようですが？

A：金星の大気力学は新しいサイエンスを切り開くでしょう。火星は生命がキーワード。みんなが同じことをやっているのはだめです！気象は日本が比較的得意としており、計算機を使う気象学は世界のトップレベルです。

Q：金星生命体の可能性についてどうお考えになりますか？

A：硫酸と高温環境なのでないと思います。光があっても、アミノ酸はあっても、こういう場所では難しいのではないのでしょうか。

Q：金星のスーパーローテーションに関してはわかりましたが、赤道域から離れた北極、南極の真上の風はどうなっていますか。

A：今はまだわかりませんが、やはりスーパーローテーションしていることが間接的に示唆されています。それを調べるのもこのミッションの目的の一つなのです。スーパーローテーションを説明する有名な仮説の一つに、子午面循環による角運動量の動きから説明するものがあります。

Q：金星で観測された気象データにより、地球気象研究との協力は可能ですか？

A：はい。まだまだ始まったばかりです。温室効果はほとんど解明されているので、今回は特には観測の対象にしていません。取得したデータは整理した後世界中に公開します。これは日本だけでなく、世界の気象研究者のために行っているミッションなのです。

Q：金星の大気密度と高度の関係はどうなっていますか？

A：金星の大気は地球と同じように高さとともに薄くなりますが、高度50kmが1気圧に相当します。地球は地表で1気圧あったものが高度50kmで1000分の1気圧になるのですが、金星では地表で90気圧あったものが高度50kmで1気圧（約100分の1）となります。このように、金星大気は同じ高度で比べると地球大気よりずっと濃くなっています。

Q：金星探査計画提案書 (<http://www.ted.isas.ac.jp/venus/>) を読んでみました。オカルテーションという言葉が使われていますがどういうことですか。なぜ金星観測に重要なのでしょうか。

A：オカルトという言葉はもともと隠されたものを意味します。電波源が惑星によって隠されると、惑星の周りの大気で電波が屈折し、周波数も変わりますね。入力と出力が変わるということです。探査機が出した電波の変化を見て、屈折率の高度プロファイルや振幅から大気吸収が分かり、途中にいくつかの仮定を置くことで大気組成も分かり、それから気圧の分布、気温も分かるというように、芋づる式に金星の環境が解明できます。その観測をするためには、探査機が発信する信号が安定していることが必要です。

Q: それでは次に、探査技術に関してお聞きします。M-Vロケットを用いる利点は何ですか？

A: H II Aを使わずにM-Vを使うのは、M-Vは宇宙研で開発されたロケットであり、お互によく知った仲だからです。値段も若干安いこともあります。探査機はM-Vに入るサイズで設計します。だからといって小さいわけではなく、燃料を含めて600kg以上あります。M-Vは信頼性があるのですが、固体ロケットなので打ち上げ時の衝撃が大きいです。

Q: バックアップウィンドウに間に合わない場合はどうするのですか。

A: 次の打ち上げチャンスは8年後。ミッション機器はそれまで取っておくことになるでしょう。そうならないように万全を期して進めています。

Q: スイングバイをして燃料を節約する利益はどのくらい大きいのですか。

A: スイングバイ（惑星の重力を利用し探査機の進行方向や速度を変えること）は今回の軌道計画に入っていませんが、検討はしています。ペイロードや燃料節約というよりは、地球での日陰（にちいん）時間を減らすため、つまりバッテリーの寿命の問題です。日陰にいる時間が長いと、その分大きいバッテリーを持っていかなくてはならないからです。余裕を持って6月前に打ち上げて地球周回軌道で待ち、6月に地球を離れます。到着日付も計算済みです。

Q: 今回の探査は長期運用を予定されているようですが、この点に関して教えてください。

A: 今回の計画では、探査機を2年間運用することになっています。運用していると日陰時間が毎年だんだん長くなるため、2年以上使え

るようにバッテリーの設計をします。姿勢制御用のスラスタ燃料がなくなったらミッションは終わりになります。更に長い期間観測するためには他の探査機を送ることになります。が、気象学的には2年分（金星年で3年分）のデータで必要十分です。観測終了後もデータ処理に追われるでしょう。

Q: 長期観測に当たっては、熱と放射線以外に探査機材料への影響はありますか。

A: 材料への影響はほとんどなく、対策はアンテナに白色塗料を塗ることくらいです。放射線は太陽に近くなるので強くなりますが、材質は他の探査機とさほど変わりません。衛星の部品は特別高価なものは使っていません。むしろ人件費の方が高いくらいです。

Q: 日本は現在“のぞみ”を火星探査のために航行させている最中ですが、内惑星と外惑星の探査で共通点と相違点はどんなところでしょうか？

A: 内惑星に探査機を送り込むのはスピードを低減させていくので力学的に難しいです。また外惑星はアンテナを地球に向けたとき、探査機に固定された太陽電池を太陽に向けていられますが、内惑星ではそれが難しい。そういう工学的な若干違いはあるものの、熱的環境を除いてあまり違いはありません。サイエンスの面では地球型惑星（金星、火星）、月型（水星）というような成り立ちの違いによるものの方が大きいです。

Q: 通信に関する話が出ましたが、日本の地上局に届くまでにどこを経由するのですか。

A: ダイレクトに臼田で受信します。大きいアンテナで受信したいので、途中に通信衛星は挟みません。

**Q：**次に中村先生が描かれる将来の夢や宇宙研に関してお聞きしたいのですが

**A：**個人的なことでは、自分は磁気圏の研究からこの道に入っているのですが、日本のミッションとして木星に行きたいです。木星は地球と同じく強い磁場を持っています。地球の磁場は太陽の影響を受けていますが、木星は半径の50倍まで支配する広大な磁場を持っており、これは太陽の影響を受けていない。そのため、自律的な磁気圏の観測には打ってつけです。こういうミッションは50年先のことになるでしょう。アメリカの木星探査機ガリレオは、木星の衛星写真がターゲットだったので、全く別の方向から探査したいです。木星に行くに太陽電池ではむずかしく、原子力推進の話になる。原子力に対する世論も気になるところで…

**Q：**私には宇宙研＝東大のイメージがありますが、内部の人から見ると実際はどうなっていますか。

**A：**宇宙研の教官の大半は東大の教官と兼任になっているのでそう見えるでしょう。宇宙研は外部に対して開いていて、内部進学と同じ数外部から来ています。宇宙研で勉強するための道は3つあります。

- 1) 東大の院生として入る。
- 2) 委託、例えば東北大に籍を置き、宇宙研で研究する。
- 3) 来年4月総合研究大学院大学(総研大)になるので、ドクターの1年から入学する。これは国立大学と同等なものになります。

**Q：**宇宙研として求めるのはどのような人材ですか？

**A：**第一に体力。短時間集中して覚えれば、他分野出身者でも受け入れます。実験の腕があれば理学と工学の両方に対応できる。だから、修士で今までやったことを究めてきてほしい

です。宇宙研の卒業生は研究職に就く人も多いです。宇宙研の助手になる確率はある程度高いが、もちろん毎年ではないし、もともとここに残るポストは少ないです。

**Q：**高校生や大学生低学年などの若い世代で、将来惑星探査に関わりたいと思っている人は、どういう進路を選ぶのがいいとお考えですか。

**A：**理系の学部なら何でも惑星探査に応用できます。例えば地球の地質学は惑星の地質学に応用できるので、基礎をしっかりと学べばいい。人と違ったことをやるとなるとお良いと思います。

**Q：**惑星探査分野が必要としている人材のバックグラウンドは何ですか。

**A：**体力と、三度の飯より宇宙が好きという気持ち。さっき東大の話が出たけど、東大の学生は体力があることが他の大学生との大きな違いです。彼らは受験のとき相当鍛えており、文武両道です。宇宙研は24時間型で研究を進めています。どんな状況でも冷静な思考力、いろんな人と仕事をするとき人間関係を維持

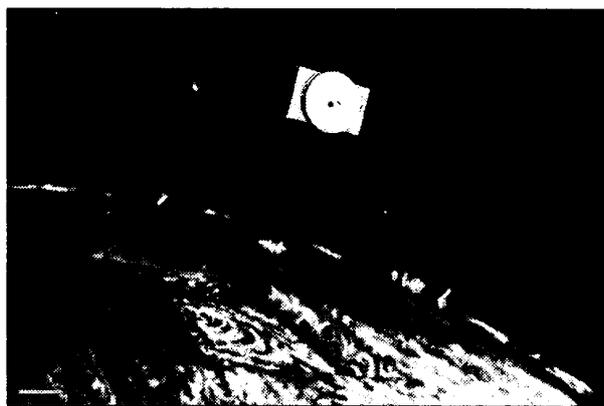


図2. 金星探査イメージ図 (ISAS提供)

分厚い金星大気を赤外線立体的に透視する探査機の想像図。この絵では、明け方の上空から渦巻く雲や雷や地表を観察しています。雲は毎秒100メートルという暴風に押し流されています。雲海の彼方の白い噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象です。金星の縁で水平にたなびいているのはオーロラや大気光(大気が化学反応で発光する現象)です。

できる人。泊まって実験していたい。計算したいという人。他の人が寝ても代わりに仕事をしてくれる人に来てほしいと思います。

### 3. おわりに

先生はピアノが趣味で、近々発表会も控えているという、多彩な側面を持ち合わせていらっしゃる。とても優しい方で、後で聞いたが女子学生にとっても人気があるということも納得できた。

「宇宙開発がわれわれの生活に何の役に立つのか。」この一言で多くの宇宙ミッションを否定することは簡単だが、技術の還元やそれ以上の魅力を提供し、若い世代にも宇宙をもっと身近に感じてほしいと思う。このインタビューを通して、宇宙研が予想以上に外部からの学生を受け入れていることを知り、なによりも私が一番驚いた。高校生や大学生低学年のより多くの学生にこの真実を知っていただき、多くの人に宇宙研で、また宇宙研外で、宇宙に関して学んでほしいと思う。

## 人物紹介

**中村 正人**：文部科学省宇宙科学研究所共通基礎研究系教授。理学博士。専門は惑星プラズマ物理学。静かなクラシックがBGMに流れる落ち着いた研究室は、兎角雑然としがちな理系の研究室の中でもオアシスのような存在。御自身もピアノを嗜まれる。惑星探査に関しても実現場での豊富な経験をお持ちで、探査に必要なハード面そして理論的なソフト面の両面に関して日本の惑星探査に大きく貢献をされている。一方その優しい指導方針に、研究室の学生の人気も高い。

**伊藤 有沙**：1980年岩手県生まれ。1998年東北大学工学部入学。2002年東北大学大学院工学研究科機械知能工学専攻進学。日本航空宇宙学会学生会員、MEF会員。学部時代にスペースプレーンエンジン用複合材料、小型衛星のための微小重力模擬実験装置、現在は水ロケットの内部流れの計算に取り組み、宇宙工学関係全般に興味をもって勉強を続けている。

1993年より日本宇宙少年団(YAC)団員、大学進学に伴い活動を休止していたが、最近では2003年度の「YAC仙台たなばた分団」結成の準備に関わるなど、宇宙教育のための社会活動も積極的に行っている。2002年度夏にはNASDAから学費の全額支援を受ける「国際宇宙大学(ISU)派遣プログラム」に選抜され、9週間の夏季セミナー(Summer Session Program, 通称SSP)に参加した。いわゆるNew Space Generationの代表的存在として、今後の活躍が非常に期待されている。