

# 一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その26 ～金星到着～

中村 正人<sup>1</sup>, 山崎 敦<sup>1</sup>, 田口 真<sup>2</sup>, 岩上 直幹<sup>3</sup>, 佐藤 毅彦<sup>1</sup>,  
高橋 幸弘<sup>4</sup>, 今村 剛<sup>1</sup>

(要旨) 金星探査機「あかつき」は2015年12月に金星周回軌道に入った。日本初の惑星周回機の誕生である。観測機器の初期チェックは順調に進んでいる。中村プロジェクトマネージャーと観測機器担当者が所感を記す。

## 1. 日本初の惑星周回機 (中村 正人)

日本時間平成27年12月7日朝8時51分、探査機「あかつき」は金星に到着し姿勢制御用のシステムを使って周回軌道へ投入されました。軌道投入4時間後からは1ミクロンカメラ、中間赤外カメラ、紫外イメージャをONにして金星観測を始めました。5年間OFFにしてあったカメラ群ですが、熱や放射線による劣化も少なくサイエンスに耐えうる精度の高い観測ができています。その後、冷却の必要がある2ミクロンカメラも無事画像データを地球に送ってきました。

今回の周回軌道投入は、はじめて日本が他の惑星を廻る人工衛星を作り出したという意味で重要であり、日本の惑星科学が新たな領域に踏み出したと考えています。今回の成功により、日本は世界に向けて、刻々と変化する惑星のデータを発信するレベルに到達しました。質の高い大量のデータを世界の研究者に使う。これにより日本ははじめて太陽系探査を担う国として世界に認められることでしょう。

## 2. 紫外イメージャ (山崎 敦)

12月7日は忘れたい日から忘れられない日となりま

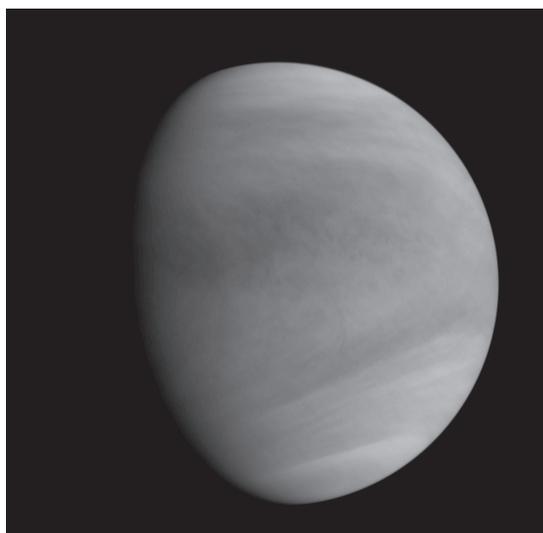


図1: 金星周回軌道投入直後にUVIによって得られた波長283nmの金星画像。

した。紫外イメージャ(UVI)の視野いっぱいに映し出された金星画像を撮像した日です。機上からのUVI撮像のなかで観測対象からの有効な光が入射された画素の最も多い画像でもあります。世界初となるSO<sub>2</sub>吸収帯波長領域の金星雲頂画像を図1に示します。一見、より長波長の、これまでの衛星観測でも使われた未同定物質の吸収帯の画像と似た濃淡模様が見られますが、輝度の緯度・経度分布には大きな差も捉えています。画像には打上前から心配した放射線劣化による白傷はほとんど目に付きません。フィルターターレットも問

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

2. 立教大学 理学部

3. 東京大学大学院 理学系研究科

4. 北海道大学大学院 理学院

imamura.takeshi@jaxa.jp

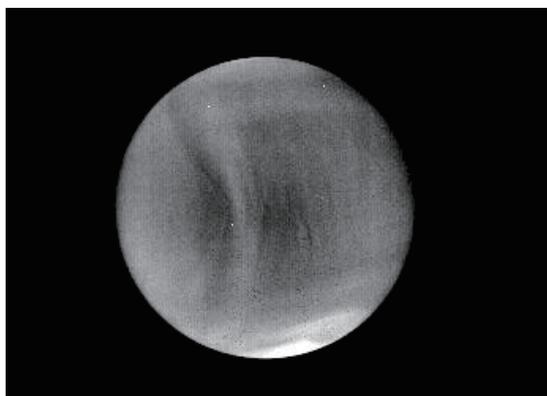


図2：金星周回軌道投入直後にLIRによって得られた波長10 $\mu\text{m}$ の金星画像。

題なく駆動しています。最後の最後まで機器設計・開発にご協力いただいたみなさんに感謝です。

これまで私は研究テーマとして極端紫外観測を主戦場としてきました。プラズマ計測の主流であるエネルギーや密度計測ではなく、プラズマの大局的な空間分布を光学的に観測するニッチな世界で研究を進めてきました。しかし、金星観測では紫外観測が目玉です。初めてスーパーローテーションを発見した波長域であり、金星探査機にはもれなく搭載される観測機器です。先日のサイエンス会議では、UVIで撮像した紫外画像を喰い入るように見つめる国内外の研究者の熱気を感じました。その期待に応えねばと思いつつ、負けられない戦いに足を踏み入れた感を抱きました。

### 3. 中間赤外カメラ（田口 真）

2001年6月28日付けの退色が進んだファックスがPLANET-C関係の分厚いファイルに残されています。私が南極観測隊員として昭和基地で越冬中に受け取った非冷却マイクロボロメーターアレイに関する技術資料です。あかつきプロジェクトに関わるようになったのは、その頃、中村プロジェクトマネージャー（まだ就任前）からメールによる誘いを受けてからです。その後、何回かに分けて、技術資料をファックスで送ってもらい、オーロラ観測の傍ら私が担当することになる中間赤外カメラ(LIR)のボロメーターアレイ検出器について勉強しました。当時、国内と昭和基地間のメールは1回の送信あたり100 kBまでという容量制限があったため、大量の資料の送付にはまだファックスが利用さ

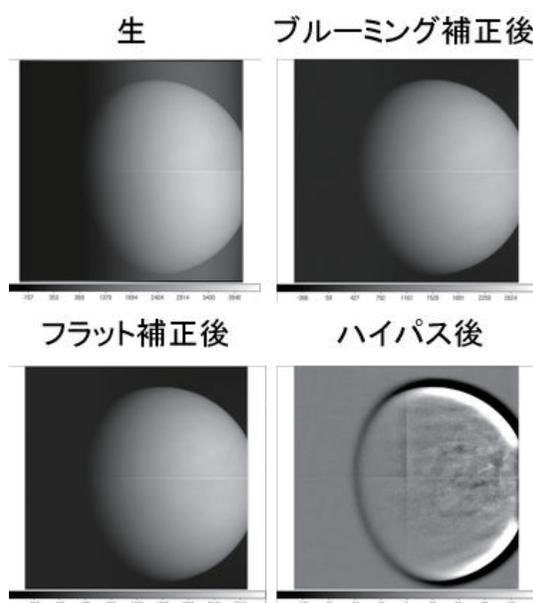


図3：金星周回軌道投入直後にIR1によって得られた波長0.9 $\mu\text{m}$ の金星画像。

れていたのです。

2005年2月5日の「LIR開発の現状報告」というPLANET-Cサイエンス会議の発表スライド資料があります。それを見ると、当時はまだプロトモデルの前段階の試作機を用いてボロメーターアレイの性能評価をしており、ごま塩ノイズ、滝ノイズ、斜めノイズという三大ノイズに苦しめられていたことが思い出されます。このままではとても使い物にならないという状況でした。図2は金星周回軌道投入直後に撮像された金星画像です。このような美しい画像を手にすることができたのは、ひとえに、一つ一つノイズの原因を特定し、問題を解決していったメーカー技術者の献身的な努力のおかげです。この場を借りて感謝申し上げます。2010年6月8日作成のLIR想定論文リストがあります。あかつき打ち上げ直後にLIRチームでとりまとめたもので、今見返すとやや漠然とした研究テーマの論文タイトルが散見されます。当時の記憶をたどれば、「のぞみ」失敗のトラウマからかも知れませんが、議論の場の空気として「捕らぬ狸の・・・」感があり、真剣さが欠けていたようにも思えます。しかし、2016年1月18日に再度とりまとめた想定論文リストは、内容に具体性があり数も倍増し、LIRチームの漲るやる気を感じられます。失われた5年間の後にやってきた歓

喜に浸っている暇はありません。これからが本当の我々の出番です。

#### 4. 1 $\mu\text{m}$ カメラ (岩上 直幹)

周回軌道投入2日線後、4年ぶりにONしたIR1・IR2・UVI・LIRの金星昼面テスト画像が降りてきました。いずれも「ワーオ」という感じのきれいな絵です。IR1による波長0.9  $\mu\text{m}$ の画像を図3に示します。5年間放射線を浴びただけだからピクセルの3割くらいは死んでボロボロの絵になっているのではないかと心配していたのですが杞憂でした。死んだピクセルが少ないのはずっとOFFだったことが大きいのでしょうか、この5年間太陽活動度が異様に低かったことも幸いしたのでしょうか。

この絵をちょっと料理してみました。生(上左)からブーミング除去(上右)フラットをとって(下左)ハイパスすると(下右)こうなります。フラットは一見効いてませんが、拡大すると小さな凸凹がちゃんと消えています。生はいつぞやのガリレオ1  $\mu\text{m}$ 画像とそっくりで(あたりまえ)のっぺりですが、最後のハイパスまでいくと何やら魑魅魍魎がうごめいています。これからが楽しみというか・・・美しい論文を書かねば・・・とプレッシャーを感じます。

#### 5. 2 $\mu\text{m}$ カメラ (佐藤 毅彦)

冷凍機という大仕掛けを用いるIR2カメラですから、たとえば周回軌道投入時のようにクリティカルな運用時にはオフとされています。そして冷やし始めたからといって、すぐには検出器も光学系も使える状態に達しません。2010年5月打ち上げ後の地球撮像、12月に周回軌道入りに失敗した直後の金星撮像、これらにIR2が参加していなかったのはまさにこの理由によります。軌道投入の再挑戦はうれしい結果となりましたが、その直後の金星撮像にもIR2はまだ参加できず、分かってはいてもやはり寂しい思いをしたものでした。

2016年12月10日に探査機Y軸(概ね南北方向)の反転オペレーションが完了し、ようやくIR2冷凍機の運転を開始することができました。そして翌11日の運用で冷凍機の運転パワーを少しUPしいよいよその夜(日本時間)の金星観測に対する準備が整ったわけです。

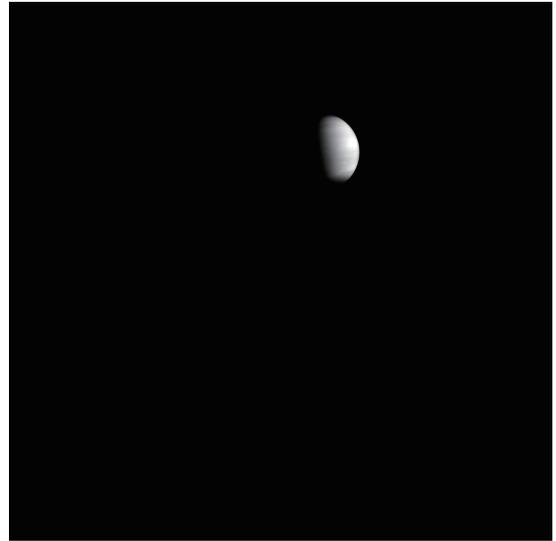


図4：金星周回軌道投入から4日後にIR2によって得られた波長2.02  $\mu\text{m}$ の金星画像。

結果は報道されているとおり、距離41万kmから波長2.02  $\mu\text{m}$ の美しい金星画像をとらえることに成功したのでした(図4)。IR2カメラはその企画時から波長1.74  $\mu\text{m}$ 帯、2.3  $\mu\text{m}$ 帯で夜面をターゲットとすることは既定路線でした。あとどのような波長が有効かという議論の中で、私が推したのがこの2.02  $\mu\text{m}$  CO<sub>2</sub>吸収帯、したがってその成功はかなりうれしいことなわけです。さて、これからが本格的な観測、金星のどんな姿をIR2が見せてくれるか、世界中の人々と楽しみに運用を続けてゆきたいと考えています。

#### 6. 雷・大気光カメラ (高橋 幸弘)

Planet-C(あかつき)の構想が始まった頃、金星の雷の有無について20年にも及ぶ謎として紹介していたのですが、いまや30年を優に超える時間が経過しました。あかつきが打ち上げられるまでの10年、さらに周回軌道投入までの5年、金星雷の存否に関する議論は冷めるどころか、その注目度は上昇の一途であると言えます。世界各地の地上望遠鏡では金星や木星の検出が試みられましたが、いずれも明確な信号を捉えるには至っていません --- 木星に雷放電発光があることはガリレオ探査機などの観測から証明済みなのですが、Venus Expressの磁力計の観測に基づき、Nature誌に雷の存在に肯定的な論文が掲載される一

方、同じ探査機に搭載された赤外線カメラの解析では証拠らしきものは捉えられていません。米国の惑星プラズマ波動で著名な研究者は、ガリレオ探査機に搭載した受信機のデータに金星の雷のパルスを発見したと Science 誌に書き、その10年後には、カッシーニ探査機に搭載された同種のセンサーのデータから、雷の存在を示す統計的に優位な証拠はないと Nature 誌に書いています。本人に直接尋ねる機会があったのですが、本当に分からない、これは私のライフワークだとおっしゃっていました。あかつき LAC は、この問題に決着をつけます。ひょっとすると、一つも見つけられない、つまり殆ど無い、かもしれません。でも、もしアリゾナ大学がかつて地上望遠鏡で捉えた発光が本物であり、かつ放電規模の分布が地球と類似するのであれば、地球の雷と同規模の放電発光を、1時間あたり数千個を検出する可能性もあります(LACは地球雷の平均の1/10を捉える感度を持つよう設計してあります)。たかが雷、されど雷。この20年の間に、地球では雷が大気活動を理解するのに不可欠なツールであることが認識されつつあります。LACは、太陽系で最初の、惑星規模で雷放電発光をモニターできるセンサーです。ここから新しい大気科学が始まる可能性も秘めています。

## 7. 電波科学 (今村 剛)

この原稿を書いている2016年2月1日、あかつきに搭載された超高安定発振器(USO)が4年半ぶりに目を覚ましました。管制室のクイックルック画面に見慣れた機器ステータス表示が並び、ほっとするとともに、懐かしさがこみあげます。前回USOを立ち上げたのは2011年、あかつきが地球から見て太陽の反対側を通過する機会を利用して太陽コロナの電波掩蔽観測をしたときでした。その頃は金星へ到達するための軌道計画も定まっておらず、USOが活躍するのはもしかしたらこれが最後かもしれないと不吉なことも考えたものでした(もちろんそのようなことは口に出しませんでした)。USOを用いて行う電波掩蔽観測は、探査機が地球から見て金星の背後に隠れるタイミングで、金星大気をかすめた通信電波が地球に届くのを記録・分析して大気構造を求めるといいます。カメラ群とほぼ同時に観測を行うことにより大気の3次元構造

の解明に資するというのが打ち上げ前からの戦略であり、あかつき電波科学のユニークな点です。金星周回軌道上で再び超高精度で時を刻み始めたUSOに報いるべく、周波数安定度の評価実験、そのあとの本番、と着実に進めていくことを誓っています。