

一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その27 ～金星の新しい姿をとらえる「あかつき」IR2, 本格始動！～

佐藤 毅彦^{1,2}, 中村 正人¹, 上野 宗孝³, 上水 和典⁴, 鈴木 睦¹,
今村 剛¹, 山崎 敦¹, 山田 学⁵, 佐藤 隆雄¹, 笠羽 康正⁶,
はしもと じょーじ⁷, 木股 雅章⁸, 吉田 誠至⁹

(要旨) 2015年12月7日の金星周回軌道入り以来、IR2カメラによる金星観測は順風満帆というわけではなかった。三ヶ月に及ぶ長い苦勞の時期を乗り越えて、2016年3月からはいよいよ本格的に金星撮像データを取得できるようになった。

1. はじめに

3月に発行の本誌(第25巻 第1号)に掲載された「その26」[1]では、「あかつき」が金星周回軌道に入ってから4台のカメラが撮影した金星ファーストライト画像が紹介されています。その中で、IR2だけが他より4日遅れで金星を撮像した理由を述べました。IR2は一段スターリング冷凍機(住友重機械工業製)を使ってPtSi検出素子(三菱電機製)を70 K以下にまで冷やす、「一手間かかる」赤外線カメラ[2]であるため装置の立ち上げに時間を要するわけです。万事がこの調子で、周回軌道に入ってから熱環境下で必要な冷却を得るのがまた大変でした、というのが今回のお話です。

2. 昼よりも夜がコワイ理由(わけ)

オバケが出るから、ではありません。熱環境のことであり、金星夜面の観測は苦勞の連続だったという話

です。金星の輝面が細くなり夜面が大きく見える位置に「あかつき」がくると、IR2の波長1.735, 2.26, 2.32 μm フィルターの出番です。いわゆる金星大気の「窓」[3]を利用し、雲層下の高温大気が発する熱放射を背景とした雲のシルエットを撮像し、中下層大気のダイナミクスを調べるわけです。このとき大きな障壁となるのが「太陽からの熱入射」です。夜面の割合が大きいはど太陽と金星との見かけの離角は小さくなり、カメラ開口部のある面(探査機-X面)へ日光が正面近くから当たります。こうなるとIR2への熱入力が大きくなって、必要な冷却が得にくくなります。IR2のスターリング冷凍機は50 Wパワーで運転したとき、温度が60 Kの冷凍機先端から約1.3 Wの熱を奪うことができます。逆にいえば、これを上回る熱の流入が検出器に対してあると、必要温度を保持できなくなってしまうのです。そして設計上、平衡状態において冷凍機が奪う熱の9割ほどがフィルターホイールを含む光学系(ニコン製)からやってくることになっています[2]から、開口面側からの熱入力とそれに伴う光学系の温度上昇は大問題となるわけです。

2016年1月15～17日の三日間、最初の金星夜面撮像機会が訪れました。そのときのIR2冷凍機運転パワーは35W。地球との通信時、つまり高利得アンテナ(XHGA)のある探査機+Z面が地球を向いているときの光学系温度は、約195 Kでした。これが金星観測姿勢になると、10 K以上も上昇してしまい、それに引きずられるように検出器温度も上がってしまったので

1. 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
2. 総合研究大学院大学・物理科学研究科・宇宙科学専攻
3. 神戸大学・大学院理学研究科・惑星科学研究センター
4. 国立天文台チリ観測所 (三鷹)
5. 千葉工業大学・惑星探査研究センター
6. 東北大学・大学院理学研究科・地球物理学専攻
7. 岡山大学・大学院自然科学研究科・地球生命物質科学専攻
8. 立命館大学・理工学部・機械工学科
9. 住友重機械工業株式会社・産業機器事業部 設計部
satoht@stp.isas.jaxa.jp

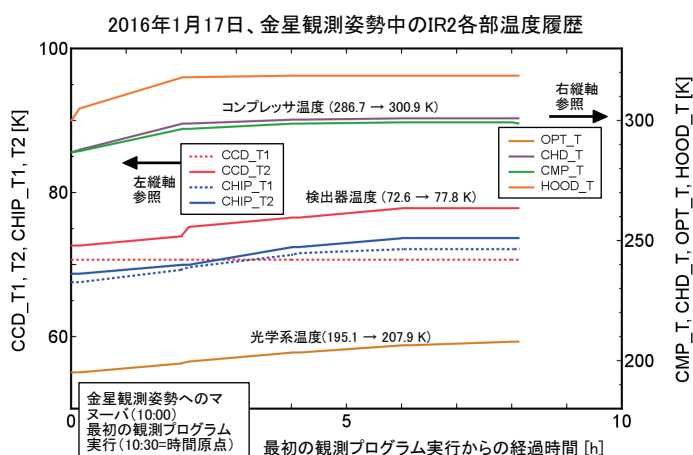


図1： 2016年1月17日のIR2各部温度履歴をプロットしたもので、時間(横軸)原点は金星観測姿勢へマヌーバして最初の観測プログラム実行時刻を原点としている。上から3本はフード、コンプレッサ、コールドヘッド温度で、太陽光入射により2時間で最高温度に達している。いちばん下の光学系はそれに引きずられて上昇を続け、真ん中の検出器温度も同様の傾向を見せている。

す(図1)。ほぼすべての画像が熱電子でサチってしまい、唯一17日の最初の一枚(検出器温度72.6 K)において、金星昼面から遠い方の夜側リムがかすかに視認できるという、だいぶ落胆させられる結果でした。「これは、もう少し運転パワーを上げなければ」と思っていた矢先、次の試練が訪れたのです。

3. コンタミとの闘い

次の試練、それは1月20日の日陰が明けようとしていたときのこと。冷凍機運転が突然停止してしまったのです。正確に言えば、駆動エレキ電源はONなのですがそれがハングしたような状態となり、消費電力は正常値よりずっと低く、運転電圧・電流・電力もゼロとなってしまう状態に陥ったのです。そのメカニズムについてまだ完全な理解には至っていないものの、どうも冷凍機本体の中に「水分」のコンタミのあることが一因となっているらしいことが分かりました。復旧を試みた2月の試験で今度は、駆動エレキはコンプレッサを動かす正弦波電流を流しているはずなのに冷却が効かない、つまり冷凍機内部で「動くべきものが動いていない」状態が発生したのです。どうやら、原因究明の間しばらく運転せずにおいたため、水分が凍りついてコールドヘッド内のディスプレイサをロックしてしまったらしいのです。組み立て・作動ガス(ヘリ

ウム)封入から6年以上が経過しています。金属表面からわずかずつ水分が作動ガス中に放出され、このような状態になる(ある程度 unavoidable 現象)わけで、これと仲良く共存してゆく道を探らねばなりません。

まずは凍りつきの解消です。2月・3月は金星夜面の観測機会が多くありましたから、このときカメラへの熱入力が自然と増えます。それによる自然の温度上昇に加えて、コンプレッサおよびコールドヘッドの保温用ヒータ設定を20℃として全体を温めたのです。3月10日、その効果を確かめるときがきました。

4. そしてひと山を越して

3月10日の運用は、吉田(IR2のメーカーである住友重機械工業の技術者)立会いのもと、冷凍機運転開始のコマンドを送信しました。すると冷凍機は、なにごともしなかったかのように、起動したのです！起動の2.5時間後には最小の実用的運転パワーである30Wへ到達させました(周回入り後のファーストライト画像も30W運転での取得)。この時期は「夜面の季節から昼面の季節への移り変わり」に当たっていて、-X面への太陽光入射が、1月中旬に比べれば緩和される方向です。そのため、うまくすれば30Wでも夜面の画像を取得できるのではないかとにらんだのです。そして2016年3月13日、最初のもともな金星夜面画像が

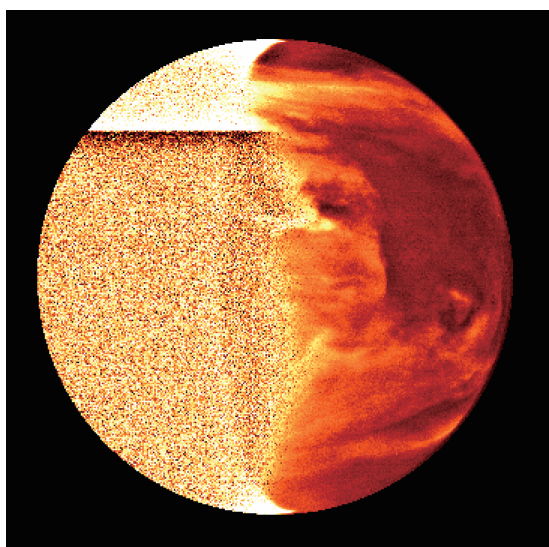


図2：2016年3月13日に撮影した金星夜面画像(波長2.26 μm)。冷凍機運転の問題を解決しながら得た、夜面の実質ファーストライト画像である(運転パワー 30W)。ハイパス・フィルター処理により、模様コントラストを強調している。

得られました(図2)。金星周回が始まってすでに3ヶ月以上も経ちましたが、3月31日に開催された「金星探査機『あかつき』試験観測中間報告に関する説明会」[4]にはかろうじて間に合ったのでした。

さて、冷凍機再始動の第一段階はこうしてうまくゆき、次にはますますの安定運用と高い冷却性能を獲得しなければなりません。そこで3月15日には再び冷凍機をOFFとし、今度は「もう少し長い時間昇温を与える」第二段階を開始したのです。これによって水分のコンタミが冷凍機内の一部に凝集するのではなく、作動ガス全体に拡散することでトラブルを発生させにくくなる(あるいは、性能低下までの時間を長くとれる)ことを期待したわけです。ちょうど臼田局のメンテナンスによる運用休みがあったためその期間も利用し、一週間近い保温状態としたのでした。3月22日の運用開始前に、事前に仕込んだタイムライン・コマンドで冷凍機運転を開始し、その日のうちに30Wを経て40W運転へと到達させることができました。これがまた「新しい世界」を開いてくれたのです。

5. 驚くべき金星夜面の姿

「あかつき」から地上へダウンリンクされた画像はデータ蓄積に入り、いくつかのプロセスを経たのち、

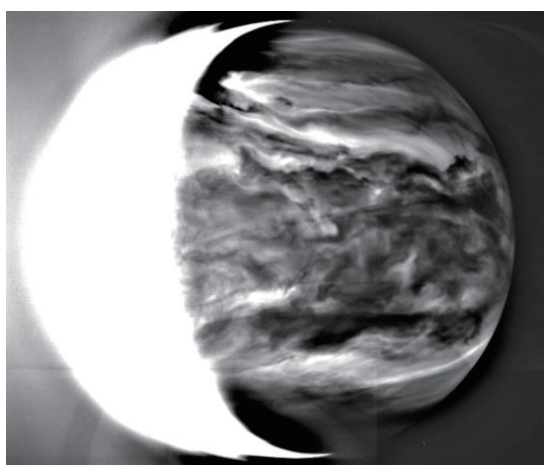


図3：2016年3月25日に撮影した金星夜面画像(波長2.26 μm)。赤道面近くから全球の雲の複雑な様相をとらえた画像として、これまでで最も詳細なもの(冷凍機運転パワー 40W)。ハイパス・フィルター処理により、模様コントラストを強調している。

われわれ機器チームが見られるようになります。3月25日に比較的金星近くから撮った夜面の画像、これは冷凍機40W運転を開始して最初の近傍撮像であったため大いに期待したところです。できれば31日の記者説明会に滑り込みでと思っていたのですが、残念ながらそれには間に合いませんでした。3月25日取得画像がサーバ上でアクセス可能になったのは4月1日の夜、それは英国オックスフォードで開催される国際金星科学会議[5]へと出発する前々日のことであり、急遽プレゼンの中にそれを仕込んでロンドンへと旅立ったのです。

4月4日に始まった会議の3日目には「あかつき」セッションが設けられ、私はIR2の報告で上に述べたような苦労を語ってゆきます。そして15分講演のいよいよ最後、「3月25日の1枚(波長2.26 μm 、金星からの距離約10万km)」をドーンと出したところ、まだ講演終了前でしたが満場の拍手となったのです(取材に来ていたNatureのニュース記者も、会場のこの反応に驚きを隠しませんでした[6])。「あかつき」到着前にミッションを終了した欧州Venus Expressは極軌道の上、搭載機器VIRTIS-M[7]から得られるこの波長の観測画像は256×256画素でしたから、赤道付近からの全球画像(直径約500画素)でこれほど鮮明に、複雑な雲の様相をとらえたのは、まさに史上初なのです。

15年以上の苦労が報われた瞬間ですね。

6. エピローグ

いえいえ、まだまだ序の口です。冷凍機を手なずける腕は上がり、本稿執筆時には46Wで運転中です。つまり、「あかつき」IR2はこれからますます鮮明に金星の新しい姿をとらえ、何年もの間、世界を驚かせてゆくのです！

謝 辞

文中に述べたメーカーの他、高性能遮光フードは馬越、フィルターはフジトク（製造はBarr Associates）のお世話になりました。冷凍機のトラブルシューティングは、中川貴雄（JAXA 宇宙科学研究所）、佐藤洋一（JAXA 研究開発部門）の両氏に貴重なご助言を頂きました。また日々の衛星運用支援の方々には厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 中村正人ほか, 2016, 遊星人 25, 4.
- [2] Satoh, T. et al., 2016, Earth, Planets, Space 68, 1.
- [3] Allen, D. and Crawford, J., 1984, Nature 307, 222.
- [4] <http://www.isas.jaxa.jp/j/topics/topics/2016/0401.shtml>
- [5] <https://venus2016.uk/>
- [6] News report by Elizabeth Gibney, 2016, Nature 532, 157.
- [7] Piccioni, G. et al., 2007, Nature 450, 637.