

一番星へ行こう!

日本の金星探査機の挑戦 その8

~ PLANET-C搭載2ミクロン帯カメラ IR2の開発~

佐藤 毅彦¹, 上野 宗孝¹, 上水 和典¹, 木股 雅章², 中村 良介³,
笠羽 康正⁴, 石黒 正晃⁵, 中村 正人¹

(要旨) IR2カメラは金星中下層大気からの熱放射を捉え、雲頂よりも下の高度における大気運動を詳細に観測することを主目的とした赤外線カメラである。良好な赤外線性能を得るため、検出素子と光学系を低温に冷却する必要がある、そのため多くの難問を解決しながら開発を進めてきた。

1. IR2カメラとは

2ミクロン帯赤外線で見られる金星夜面の光芒が「下層大気からの熱放射が洩れ出しているもの」と判明したのは、1980年代のことであった[1]。そうした「窓」波長は地上望遠鏡から、1990年に金星をフライバイしたGalileo木星探査機から[2]、そして2006年から金星軌道上のVenusExpress[3]により活用され、金星の中下層大気の物理化学状態を調べる有効手段となってきた。

PLANET-Cにおいてこの役割は、2ミクロン帯カメラIR2が担う[4]。表1にIR2カメラの諸元、図1に全体像を示す。金星夜面を撮像し中下層大気からの熱放射を捉える「窓」波長が3種類、昼面(太陽反射光)撮像により雲頂高度の変化を捉えるCO₂吸収帯波長が1種類、そして金星到着までのクルージング期間に黄道光を観測する波長が1種類という構成になっている。検出素子は三菱電機、光学系はニコン、遮光フードは馬越が製作し、全体の製作は住友重機械工業(以下ではSHI)が主担当している。IR2は先に紹介したIR1[5]と双子の兄弟のようなもので、合わせてLEONという愛称を与えた。漢字で書くと「冷温」であり、冷凍技術을駆使して対象の熱赤外線を観測するシステムであることを示している。

2. IR2開発最大の難関：冷却光学系の保持機構

IR1では、光学系はレンズを鏡胴に収めたアッセンブリとしてニコンから供給された。しかしIR2では、熱放射ノイズを抑えるため、光学系も195K以下に冷却される必要がある(金星周回軌道での観測時には、162K±10K程度の範囲を保つ)。そのため研磨を完了したレンズ単体としてニコンから供給を受け、それを冷却保持する機構はSHIが開発・製作した。

まず冷却方法を紹介すると、SHI製の一段スターリングサイクル冷凍機を用いている。このコールドチップから熱パスを介し、PtSi検出素子を66K以下という低温に冷やすわけである。冷凍機が奪った熱は、衛星の放熱面の一角を占めるIR2専用のコールドプレート(アルミとベリリウムの合金AlBeMet製)から宇宙空間へと捨てられる。検出器を取り囲む冷室壁面も66K以下、窓(2.5ミクロンより長波長の赤外線をカット)は83K以下となる。その前面に位置するフィルターホ

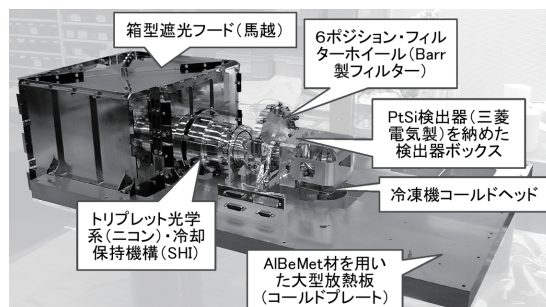


図1: IR2カメラの全体像

1. 宇宙航空研究開発機構
2. 立命館大学
3. 産業技術総合研究所
4. 東北大学
5. 国立天文台
sato@stp.isas.jaxa.jp

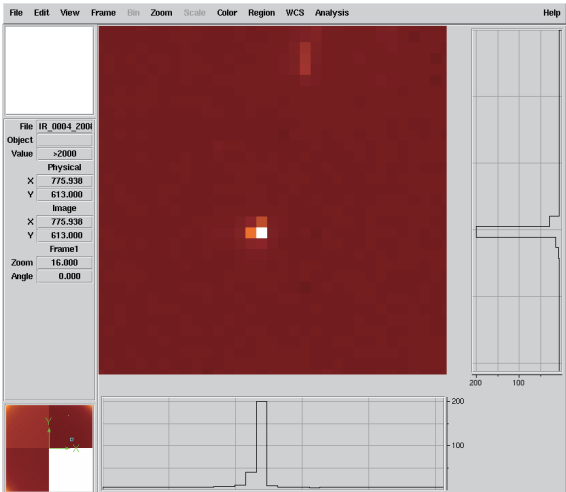


図2：焦点調整の結果得られた尖鋭なスポット像

表1：IR2カメラの諸元

検出素子		冷凍機		観測波長 (Barr製フィルター)		
検出原理	PtSiショットキー	冷却方式	1段スターリングサイクル	中心波長	透過幅	ターゲット
読み出し方式	CSD-CCD	冷却能力	1W @ 65K	1.65μm	0.3μm	黄道光
全画素数	1040 × 1040	消費電力	50W	1.735μm	0.04μm	金星夜面「窓」
有効画素数	1024 × 1024	メーカー	住友重機械			ダイナミクス、雲分布
画素サイズ	17ミクロン			2.02μm	0.03μm	金星屋敷
動作温度	65～70K					CO ₂ 吸収を用いた雲頂高度測定
メーカー	三菱電機					金星夜面「窓」
光学系		遮光フード		2.26μm	0.06μm	ダイナミクス、雲分布
タイプ	トリプレット	形式	ナイフエッジベーンをもつ箱型			
焦点距離	84.2 mm	妨害光回避角	26°	2.32μm	0.04μm	金星夜面「窓」
F数	4	メーカー	馬越			2.26μmとの差分によるCO分布
動作温度	162K±10K					
メーカー	ニコン					

イールと光学系へは、熱流入を最適化したチタン製スペーサを介して結合され、光学系は172K以下という必要十分な低温に保たれる。

機械冷凍は打ち上げ時にはオフであるため、光学系も常温に置かれている。宇宙空間で電力を得られるようになってはじめて、目的の低温へと冷却されるわけで、このときにレンズと金枠の熱収縮差から発生する応力でのレンズ破壊は防がなければならない。そのためにはレンズを「緩く保持」すればよいのだが、それでは打ち上げ時の振動に耐えられない恐れがある。柔軟性のある接着剤(ウラレンなど)を充填する方法は、極低温での長期にわたる柔軟性確保とアウトガスによる光学系や検出素子の汚染が心配である。

そこでIR2では、適度なバネ性をもたせた金枠を作り、それでレンズを径方向と光軸方向に抑える方式を

採用した。これにより、打ち上げ時の振動に耐えつつ低温に冷却されても光学系を破壊しない、さらに所定の低温になったときレンズの光軸が最適アライメントを得るという、難題を解決することができたのである(言葉にすると簡単そうであるが、特に光軸アライメント確保のため非常に苦労をした部分である)。

3. IR2開発近況：光学調整試験と、期待のパフォーマンスー

図2にIR2焦点調整試験において得られた「ベストフォーカスのスポット像」を示す。ご覧頂いて分かるように、苦労の甲斐あって、点光源からの光(放物面鏡で平行光線にコリメート)がほぼ完全に1画素に落ちている。ここまでシャープになると、スポット像の広がり(半値全幅)すら測定できないほどである。

VenusExpress 搭載の VIRTIS は、GalileoのNIMSに比べればはるかに鮮明な画像を届け、その複雑で変化の激しい様相を見せてくれた[3]。しかし、VIRTISの画像はおよそ256ピクセル四方に過ぎず、スリットスキャン式の分光撮像装置であることから図2ほどの像のシャープさもない。つまり、IR2がもたらしてくれる金星画像はVIRTISの16倍の画素数そして分解能は1画素単位という、まったく別次元の凄さをもつものと期待されるのである。それだけの情報量をもつ金星データ、想像しただけで身震いするほどであるし、他のカメラとともに、PLANET-Cにより金星大気力学の理解が劇的に進むことは間違いない。その喜びを目指して、IR2開発チームは今も労苦を惜しむことなく、開発・試験を続けている（図2のスポット像は4月26日に、海外から戻った筆者がその足でSHI新居浜工場へ飛び、取得した試験画像である）。

謝辞

R2カメラの製作に携わってこられた住友重機械工業、ニコン、三菱電機、馬越の皆さま方に感謝いたします。岡山大学のはしもとじょーじさんには、金星大気科学について多大なご助言を頂きました。

参考文献

- [1] Allen, D. and Crawford, J., 1984, Nature 307, 222.
- [2] Carlson, R. W. et al., 1991, Science 235, 1541.
- [3] Piccioni, G. et al., 2007, Nature 450, 637.
- [4] Nakamura, M. et al., 2007, Planetary and Space Science 55, 1831.
- [5] 岩上直幹ほか、遊星人 17, 244.