

一番星へ行こう！

日本の金星探査機の挑戦 その34

～あかつき定常運用の終了～

中村 正人¹，佐藤 毅彦¹，今村 剛²

(要旨)「あかつき」は定常運用の終了審査を経て2018年4月に後期運用に入った。審査の経緯と今後の課題について紹介する。

1. 最初に

以下に最近のISASニュース事情欄に中村が載せた記事を引用する。

“金星探査機「あかつき」が宇宙科学シンポジウムで初めて計画発表されたのが2001年1月，打ち上げられたのが2010年5月。目的地である金星に到着するも，推進器の停止により，太陽の廻りを放浪した5年の日々。そして再度金星に近づき，全力で逆噴射をして金星の周回を始めたのが2015年12月。ここまでです。すでに15年の歳月がたち，当初計画と一緒に考えた仲間も，ある者はこの世を去り，あるものは引退している。他の部署で活躍している若い仲間のことも忘れることは出来ない。しかし，当初に地球と全く異なる異星の気象を解明しようとしたその志は消えること無く，その後の三年間の運用により多くの金星気象の観測が為された。そのうちのあるものは「あかつき」が最初に観測で捉えた現象であり，また，あるものは今まで知られてきた現象を定量的に記述することにより，その現象の起こるメカニズムに肉薄している。また，3年間という短い観測期間の中でさえ時間的，空間的に変動しているダイナミックな金星気象を明らかにして来た。いま，ここに我々は「あかつき」が定常観測のフェーズを終えた事を静かに宣言したい。「あかつき」は4月から後期運用フェーズに入る。探査機の推葉が

枯渇し，その寿命を終えるまでの期間がどれほどあるかは判らないが，それまでの間，我々は探査機とともに生きる。これまで「あかつき」を支えて下さった皆様に感謝の言葉を申し上げたい。

「あかつき」は大変に幸運な探査機であった。これまでの太陽系探査の歴史の中で，一旦軌道投入に失敗して，なおかつ再挑戦でその星に辿り着き，さらには当初の目的である科学観測を成し遂げた例はあまり聞いたことが無い。ただ，この幸運は，着実な設計運用の思想に沿って「あかつき」を丁寧に育ててきた人々の努力の上に成立したことを忘れてはならない。そしてまた，日本は重力天体に正当な方法でアプローチすることに成功したわけでは無い事も，惑星探査は歯を食いしばりながら石段を一段ずつ上がるようなものである。一足飛びに次のステップを飛ばして上に行けるわけでは無い。「あかつき」の後に続く日本の太陽系探査ミッションの成功と幸運を祈る。”

言いたいことは，言い尽くしているのであるが，少し丁寧に2017年度の末に行われたプロジェクト終了審査の内容を記述して置こう。この終了審査はJAXAとしてのプロジェクトを終了し，ISASの所内プロジェクトに戻る節目として位置づけられる。元々活動を始めた頃にJAXAは存在せず，宇宙研としてのミッションであったのだから，元の鞘に戻ったと言っても良いだろう。終了審査に臨むプロジェクトの姿勢としてはなるべく無駄な労力を掛けず，必要最小限の人員で，必要最小限の資料を用意して通過するというもので，実際科学面はプロジェクトサイエンティストの佐

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
2. 東京大学大学院 新領域創成科学研究科
nakamura.masato@jaxa.jp

藤毅彦, 工学的側面はプロジェクトエンジニアの石井信明のみで対応し, 審査会もこの三名で対応した. 審査会に先立ち科学的側面を議論する分科会1と工学的側面を議論する分科会2が設置されたが, 特に前者においては京都大学生存圏研究所の塩谷教授を座長に, 倉本(北大), 海老澤(宇宙研), 清水(宇宙研), 並木(天文台), 関(東大), 阿部(東大), 佐藤(薫)(東大), Atreya(ミシガン大), Wilson(オックスフォード), Smerkar(NASA)(敬称略)に委員となって頂き, 大変貴重な意見を頂いたことをここに記す.

2. 今後の科学課題

特に分科会1ではミッション延長が終了するとき評価すべき科学成果を現時点で用意しておくことの重要性が指摘された. これに対してプロジェクトとして以下に述べるポイントを重視したい旨返答した.

- ・ 雲頂レベルにおける子午面循環の強度が, 「あかつき」以前に予測されていた値に比べ高精度(以前に比べ桁での向上)に求められること
- ・ スーパーローテーションの生成・維持メカニズムについて, その主機構および副機構が分かり, さらにそれらの寄与の度合いが大局的に分かること
- ・ スーパーローテーションの長期(年単位)変動をとらえ, それに寄与するプロセスを明らかにすること
- ・ 定重力波について, その金星日毎の変化または安定性を定量的に示すこと. また, それがスーパーローテーションに対してどう関与しているのかを理解すること
- ・ 金星の雷を検出すること. 検出されない場合には, 従来の「雷発生頻度」上限値を有意に更新すること

これらのポイントは, 現在稼働している三台のカメラ, すなわち中間赤外カメラLIR, 紫外イメージャーUVI, 雷大気光カメラLAC, 電波科学RSを三年間運用して見込める成果をイメージした. UVIにおいてはこれまでに輝度画像を用いた雲追跡により, 雲頂付近(スーパーローテーションが最大になる高度)における大気潮汐やその他の擾乱による運動量輸送の見積もりが行われた. その結果, 雲頂におけるスーパーローテーション維持に関わる過程が定量化できることが明らかに

なった. そこからさらに, 平均子午面循環が, かつて考えられたよりもはるかに弱いことも明らかになった. この成果にもとづき, UVIによる観測・雲追跡を今後も長期間続けてゆくことで, 有効な物理量を得ることができると確信している. またRSでは熱潮汐を調べることができる. この高度で発生し下方へ伝わる熱潮汐は, 大気と固体地面との間の運動量交換を担いスーパーローテーション生成に寄与している可能性がある. RSは日本の受信局だけでは無く, インド, ドイツの局の応援を得て今後三年間に, この下方伝播する波の構造を調べ, スーパーローテーションに対する寄与を明らかにすることを目指す. LACによる雷検出確率は時間とともに増大し, 今後後期観測を行うことでそれを80%まで高められる予定である. それでも不検出であれば, 従来の雷発光発生頻度の見積りを修正できる確度が高まる. LIRとUVIにより地表面由来の大気重力波現象についての知見が得られるだろう. 金星の一日を周期に繰り返されるこの現象を後期運用の間に多数回観測することで, 最下層大気の状態を論じることができる. LIRにより雲頂付近温度の変化として顕著に観測される現象は地形由来の山岳波が元になっている可能性が大きく, この観測は大気最下層の静的安定度および風速に関する情報をもたらし得る. 最後に大気モデル研究との連携により進めるデータの解釈について述べておこう. 現在のところ最も成功している金星大気大循環モデルは金星版AFESと呼ばれるものであるが, その研究グループは, モデル構築・解析に取り組んでいる. この金星版AFESにさらにデータ同化手法を組み込む事が検討されており, それにより「あかつき」の実観測データが最大限活かされるようになり, 大気中のさまざまな現象の理解が格段に進む. こうしたモデル研究の発達により, これまで地球に限定されてきた気象学を, 惑星気象学に発展させるというミッション立案時に掲げた目標へ近づいて行く.

3. プロジェクト終了審査

それでは, かいつまんで審査結果について述べよう. まずプロジェクトの達成状況(サイエンス)については, 当初計画とは異なる観測軌道に投入したことにより, 最高空間分解能, 金星に近接しての観測頻度が減じたものの, その反面可能となった遠方からの金星全体観

測を実施し、金星大気構造の長期変動を見出した事も含めて十分に達成されていることが確認された。また、技術・マネジメントの観点からも、当初計画とは異なる投入軌道及び探査機の姿勢において、工学的影響の評価、課題識別、対処方針が適切になされたこと、また、この状況下において科学観測成果の最大化が図られたと評価されている。

実施体制としては比較的小規模の開発体制ではあったが、プロジェクトマネジャーの下、技術を担うプロジェクトエンジニア、サイエンスを担うプロジェクトサイエンティストの体制を当初から取って相互理解と監視の体制を構築したことが評価されている。また惑星科学コミュニティの多くの研究者が「あかつき」に関わることで、将来ミッションのリーダーとなりうる経験を積んだことから若手研究者の育成に貢献したと評価された。国際関係ではNASAからの外国人研究者の個別の参加のほか、NASA、ISROとの国際協定やESAチームとの研究協力を実施し、COSPARで金星探査のワーキンググループが結成されることに繋がったことから、今後は国際的な金星探査の機運を高める役割を果たしていくことが期待された。

「あかつき」の観測データがISASのDARTS、NASAのPDSに収められ、世界の研究者に公開されていることは審査員には良く知られておらず、審査会ではこの事情を佐藤が十分に説明したが、“さらに今後の研究活動を通じて、より容易に「あかつき」観測データにアクセスできる状態が作り出されることを期待する”，と述べられた。しかし、これを批判と捉えるのでは無く、プロジェクトとしては、さらに多くの研究者にデータが公開されていることを知らせる努力をし、ますます研究の輪が広がることに努めたい。

あかつきの成果は論文としては現時点で60本程度、直接的に観測データを解析した成果論文は20本程度出版されている。中でも、新発見の要素の大きい研究成果(表面地形による大規模な高層大気波動の励起)が専門分野に一石を投じ、アウトカムという意味では、惑星気象学の研究を、理論偏重の状態から観測に基づく実証的研究へと進化させる推進力であると評価された。また、科学的成果以外にも我が国が初めて惑星周回軌道に探査機を投入したことは注目を集め、多数のメディア取材を受けるとともに、第190回国会における総理大臣施政方針演説でも取り上げられるなど、大

きな社会的・政策的インパクトがあったとされた。これらの判断を元に「あかつき」が定常運用を終了し三年間の後期運用フェーズに移行することが認められた。後期運用フェーズの間に、探査機に何らかの不具合が生じ、あるいは観測に困難を覚えた場合は宇宙理学委員会にミッション継続の可否を問うことになる。

4. 今後の難局

終了審査の一連の顛末は以上であるが、プロジェクトはこれからも難しい局面を迎える。一つは2018年から2019年にかけて起こる長時間日陰である。遠金点が当初の目論見と異なり、36万キロという高高度になってしまったために、2時間を超える長い日陰が三回ある。この日陰中は地球から探査機の状態を確認しつつ、バッテリーに無理がかかるようならば即座にコマンドを送って探査機の電力消費を抑えなければならないのだが、不都合なことに日本からの可視時間帯と必ずしも一致しない。緊急の対策としてNASAに助力を求めて米国(あるいはNASAが外国にしている)深宇宙局のサポートを受ける必要がある。

二つ目は「はやぶさ2」との運用コンフリクトである。「はやぶさ2」は本年度目的地に着き一年間ほどの活動予定であるが、まさに地球から金星が見える方向とリュウグウが見える方向はこの間一致してしまっているのである。従って、臼田のアンテナを“はやぶさ2”が専有するとなると、「あかつき」は運用する事が出来ない。幸い2018年の金星は地球に近づく内合側を通るので、その間は何とか回線が細いながらも内之浦のアンテナを使うことができる。さらに運用時間を増やすことにより凌ぐことで、2018年は二つの探査機で運用局の調整が付けられそうである。問題は2019年であって、NASAに支援を仰ぐとしても、得られるデータはこれまでの半分程度を覚悟している。我々二つのミッションは協力し、最大の努力をしてはいるが、惑星探査用の大型アンテナを一つしか持たずに複数の探査ミッションを並行して走らせる日本という国の先見性の無さがここに露呈したのである。

5. 2010年の失敗をこえて

「あかつき」は2010年の軌道投入の失敗を乗り越え

て2015年に金星を廻る軌道に投入され、その意味ではこのプロジェクトは成功したと多少の誇りを持って言うことが出来る。しかしながら、2010年の失敗という事実は厳然として残っている。そして2018年の現在でも日本は他の惑星に正当な方法で到達する事に成功していないのである。今回我々が経験した失敗から学ぶべき事があるとすれば、それは何だろうか？

日経ビジネス ONLINE(2017年11月13日)に神戸大学の三品和広先生が“失敗の法則、プロジェクトが止まる5つの理由”に以下を含む記事を掲載された。“日本の企業は失敗する確率を小さくしようとする。そこで計算違いが起きる。自分が似たことをやったことがあると言うだけで失敗する確率が小さくなると考える。しかし経験は大事だが、似たことをしたことがあるというだけでは駄目ということに気がついていない。”

さて2012年1月に宇宙開発委員会調査部会が出した“第24号科学衛星(PLANET-C)「あかつき」の金星周回軌道への投入失敗に係る原因究明及び今後の対策について”のまとめにはこの様に述べられている。“また、新たなトラブルを未然に防ぐためにも、基礎的データ・知見の蓄積と活用をより一層推し進めるとともに、「類似性」や「実績」という概念に捕らわれることなくミッションごとに使用環境や運用方法の相違等によって起きうる事象を想像する能力を有する人材を育成することが重要である。”この2つの文章は発表された日時に5年の差があるものの、内容はまさに同じである。ここにこそ、2010年の失敗から我々が学ぶべき事があるのではないだろうか。今後の日本の太陽系探査ミッションの前途に幸多き事を祈る。