

一番星へ行こう!日本の金星探査機の挑戦 その44 ~ ΔV と三機協同観測: 2020年10月の多忙な 「あかつき」~

佐藤 毅彦^{1,2}, 山崎 敦¹

(要旨) 2020年10月は、あかつきが金星の周回軌道に入ってから間もなく5年という時期でしたが、特筆すべきイベントのあった「多忙な一か月」でもありました。ひとつは、探査機にとって4年半ぶりの「軌道微修正運用」であり、もうひとつは「日本の宇宙機3機による金星協同観測」という、日本の宇宙科学史上でも初のイベントへの参加です。その二つについて、運用の当事者目線からドキュメンタリ風にお伝えしています。

1. 「超長時間日陰」を避けよ!

あかつきは金星の赤道面近くを西回りに、約11地球日をかけて一周回する軌道をとっています。長楕円軌道の長半径は約37万kmで、周回軌道上でときどき金星がつくる影「日陰」を通過することになります。長期の軌道計算を行ったところ、2022年2月11日より先に「超長時間日陰(半影を含む)」が頻繁に起こることが分かりました。

「あかつき」搭載のバッテリーはそもそも、最長90分の日陰を安全に過ごすことを想定したものです。そこはもちろんマージンもあり、また高信頼の日本製ということもあって、これまでに最長259分の日陰(2019年1月30日)を乗り切ることができました。しかし2022年2月11日より先に予測されたのは、300分を超え500分に近い「超長時間日陰(半影を含む)」であり、しかもそれが頻繁に起きます(表1の左側)。2019年1月30日の経験から推測して(2022年までの間にも徐々にバッテリーの劣化は進行しますから)、300分超を乗り切るとは難しそうです。そこで軌道の微修正計画が練られました。

実は軌道を修正するのは、2016年4月4日(金星周

回軌道に入って約4ヶ月後)以来、久しぶりのことです。今回の修正はPhase Controlを略してPC2と呼ばれます(2016年4月4日はPC1)。PC2により日陰時間をどれだけ短くできるか、計画値を表1の右側にまとめました。日陰の起きるタイミングからして変わりますので一対一対応にはなっていませんが、最長でも250分、これまでの実績内に収まる見通しであることが分かります。

2. 決戦は2020年10月7日、 わずか4秒間の大勝負

PC2の実施日は2020年10月7日、日本時間21:22:00と決定。内惑星の金星はこの時間帯、日本からは非可視となりますので、DSN局(NASAが運用する深宇宙探査用アンテナ局ネットワーク)のお世話になりました(マドリッド局からゴールドストーン局へとリレーする運用)。

10月7日といえば、BepiColombo(以下ではBCと略記します)が金星フライバイをするわずか一週間前です。何もそのタイミングで「リスクがゼロではない」PC2をやらなくてもよさそうなのですが、しかしそこには事情がいくつもあります。PC2は近金点に探査機が差しかかるタイミングで行うものであり、選択肢は10月7日または18日または29日でした。最

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・物理科学研究系・宇宙科学専攻
satoh@stp.isas.jaxa.jp

表1: ΔV実施有無による長時間日陰時間の違い.

長時間日陰(ΔV無し)			長時間日陰(ΔV実施)		
年月日	本影 (分)	半影(40%以上) (分)	年月日	本影 (分)	半影(40%以上) (分)
2022.02.11	232	333	2022.02.05	213	250
2022.09.28	231	453	2024.01.06	195	244
2023.05.14	249	489	2025.02.17	149	231
			2027.01.17	199	226

後の29日では予備日を確保することができません。18日は、15日のBCスイングバイとの協同観測延長線上にあり、ここでのデータ取得を行いたいところ。そうすると消去法的に10月7日になるわけですが、7日ならではの利点もあります。この日であれば、スラスト噴射姿勢へと移行する際、探査機のY軸(常に角運動量をもたせている方向)を傾ける必要がなく、安全性の高い実施が可能なのです。所の了承を得て、10月7日に向けて準備作業が始まりました。

スラストの噴射時間はわずか4秒、探査機速度の変化であるΔV量として約0.53 m/sという小さなものですが、これが表1のような大きな違いを生むのです。逆にいえば、このΔVに対するごく微小な誤差も先々の大きな差になり得るわけで、慎重かつ正確にこれを達成しなければなりません。

3. そしてPC2の結果は

メンバーが固唾を飲んで見守る中、探査機に仕込まれたタイムライン・コマンド(直前の白田局運用でアップロードしたもの)は着実に実行されてゆきました。すべてが終了し、「出来上りの軌道」をもとにΔV量を計算したところ、98%以上が達成されることが分かりました。この場合、これまでの最長実績259分を上回る日陰の発生はなんと2035年7月3日

です!これから15年先ではその前に燃料が尽きてしまうでしょうから、実質的に「超長時間日陰の心配はなくなった」ことになります。ΔVオペレーションをするのも、これが最後でしょう。そう思うと少しさびしい気もします(もちろんリアクションホイールに蓄積した擾乱アンローディングのため、秒以下の噴射はときどきありますが)。

こうしてPC2を無事終えたあかつきは次の大仕事、15日のBCスイングバイイベント(金星協同観測)へ向けた準備に取りかかったのでした。

4. 協同観測計画

BCは水星軌道に向かうため金星での減速スイングバイを10月15日に実施する計画で、1年以上前からこの日の前後に金星観測を行う計画を進めていました。現在金星を周回する唯一の探査機「あかつき」も同時観測を計画し、地球を周回する惑星分光観測衛星「ひさき」も金星に視野を向けて、日本の宇宙機3ミッション協同による金星同時観測という壮大な計画となったのです。各衛星の特徴を生かして、金星の雲層から金星近傍の宇宙空間プラズマまで総合的な観測、複数衛星での観測で初めて可能となる全球的な観測、そして、同時・同波長帯観測による相互校正データの取得が目的です。

黄道面に投影した位置関係

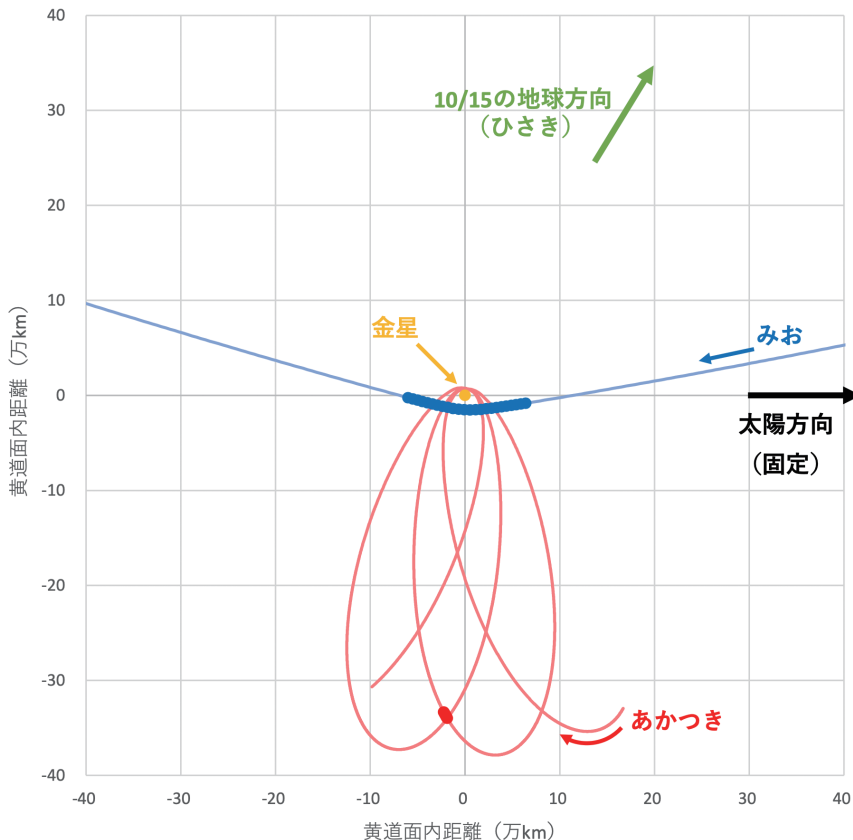


図1. 原点に金星, 太陽方向を右側に固定した座標系で, 黄道面に投影した各探査機の軌道. 赤線が10月の「あかつき」の軌道を示し, 太線部分がBC(「みお」)の金星最接近前後数時間の軌道を表します. 青線がBCのスイングバイ軌道を示し, 「ひさき」は地球方向(緑矢印)から観測します. (ISASニュース掲載図より)

当日の「あかつき」, BC, 「ひさき」の軌道位置関係を図1に示します. 「あかつき」と金星の間をBCが通過し, その反対側から「ひさき」がモニタリング観測するという構図です. 「あかつき」は, 遠金点を過ぎた当たりに位置し視直径小さめの金星しか観測できないのは残念ですが, その一方で固定した地方時を連続して観測できるメリットがあります.

BCのスイングバイは15日ですが, もちろんこの日だけ観測すればよいものではありません. ご存じのとおり, 金星を覆う雲はスーパーローテーションしていますし, 大気圏・電離圏は熱潮汐波・重力波で数日の周期変動が知られています. 貴重な協同観測を最

大限有効に活用するには, スイングバイの前後数日以上観測を継続していることが必要となります. 「あかつき」は紫外イメージャおよび中間赤外カメラで1~2時間毎に雲頂の構造と温度を10日間以上観測し, 「ひさき」で金星電離圏の極端紫外分光観測を前後1週間継続, BCで金星の赤外・紫外の分光観測や金星周囲のプラズマ環境計測を実施する, という協同観測計画を立案しました.

5. 観測の実施結果

「あかつき」は, 10月12日から金星観測を再開しま

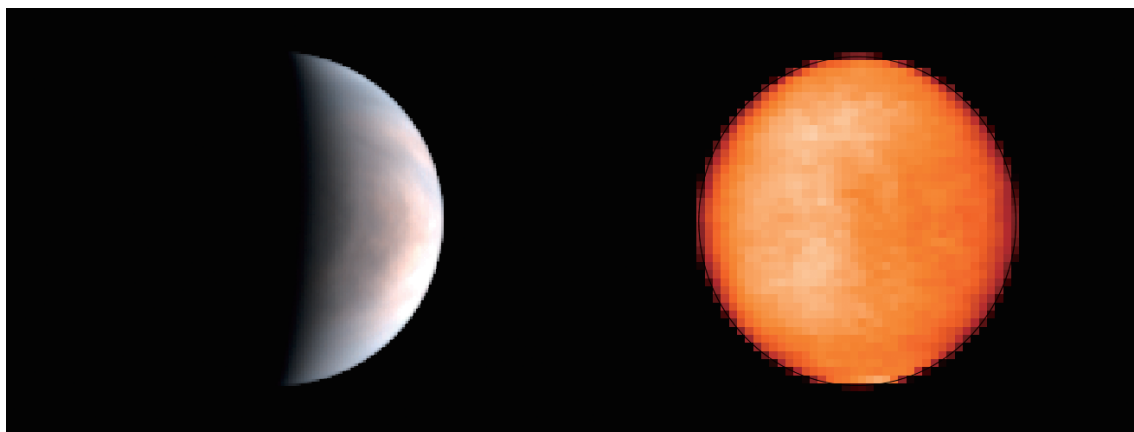


図2. 10月15日13時頃(日本時間)に「あかつき」搭載紫外イメージャ(左)および中間赤外カメラ(右)が捉えた金星像 (Credit: Planet-C Project Team).

した。PC2後の初観測ということで撮像後すぐに観測データを確認したい焦る気持ちがありましたが、金星の協同観測のために観測姿勢を継続する必要があります。協同観測機は一瞬で過ぎ去るのに対し、データ再生は後日でも可能ですから、そこ(即日観測データを再生できない)はぐっとこらえたのです。協同観測時の画像データを再生開始できたのは16日で、付帯情報まで含め必要なデータがすべてそろったのは19日のことでした。心落ち着かずの数日を過ごしましたが、無事に図2に示した画像を取得することに成功しました。BCの金星最接近は10月15日12時59分(日本時間)で、その最近接時刻の画像です。

紫外線の画像(左)は、10月15日の13時01分と13時05分(日本時間)に撮影された2波長(283nm:赤と365nm:青)から疑似カラー合成したもので、昼半球の雲の濃淡が見て取れます。中間赤外線の画像(右)は、13時08分(日本時間)に撮影された雲頂の温度を色付けした画像で、視直径の小さめ金星像にも関わらず熱潮汐波構造がはっきりと見えています。今後の定量的なデータ解析が待たれます。

6. まとめ

超長時間日陰回避のためのPC2を無事成功させた「あかつき」チームは、「ひさき」とともにBC金星ス

イングバイ時の金星観測キャンペーンも成功させ、極めて多忙な一か月を過ごしました。日本の宇宙機3ミッション協同による惑星同時観測は、地球以外では日本の宇宙科学史上初めて実現されたものです。金星の近くに日本の探査機が2機飛翔し3機での協同観測が成功したことは、今後の惑星科学への日本の貢献度をますます高める実績になると期待します。