一番星へ行こう! 日本の金星探査機の挑戦 その14 ~「あかつき」の金星周回軌道投入失敗をうけて~

中村 正人1(「あかつき」衛星主任)

(要旨) 2010年12月7日に予定されていた「あかつき」の金星周回軌道への投入は失敗した.「あかつき」は今、太陽の周りを公転する軌道上にあり、約6年後に再び金星と会合する可能性がある.

1. 初めに

"一番星に行こう"で、我々金星探査に関わるメンバーが、目指すサイエンスを具体的な方法論と共に順次述べてきた。2010年12月の金星周回軌道投入を楽しみにしていたのは金星探査のメンバーだけではなく、この連載を読んで下さった読者の方々であろうと思うと、探査機開発の責任者として大変悔しく、また申し訳ないと思う。しかし、惑星探査にリスクがある事を承知で10年前にこの計画に乗りだした事も事実である。この試練をいかにして乗り切る事が出来るかで我々に対する評価が定まってくるものと、身を引き締めている。本稿では最初に金星探査を策定した当初の目的を述べ、次に、金星軌道投入に失敗した時の経過、さらにはその時何が不具合として起こったのかを述べる。

2. 日本の金星探査策定

金星探査の歴史は古く、アメリカ、旧ソビエト連邦が相次いで探査機を送り込んでいる。特にソビエト連邦のベネラシリーズはプローブを大気中に直接投入し、大気組成、圧力、温度などのデータをもたらした。また、米国のパイオニアビーナスは金星の電離層と太陽風との相互作用を明らかにし、マジェランは金星表面

地形をレーダー観測により明らかにしている。そこで 判った金星の表層環境は驚くべきことに地球とは似て も似つかぬもので、高い圧力を持つ高温の大気に覆わ れていた。海は存在せず、大気の組成も地球とは異な っている。これらの探査機により金星にまつわる幾つ かの謎は解かれてきたが、しかし、いまだに金星には 多くのサイエンステーマが残されている。

20世紀の最後に初の惑星探査機「のぞみ」を火星に向けて送り出した日本が、次のターゲットとして同じく地球型惑星である金星を目指すことは、ある意味で自然な流れである。そこでは今まで誰も手を付けなかった分野に進むことが求められた。ここで我々が選んだ回答が金星気象探査である。

欧州の宇宙機関(ESA)は我々と同様の結論にたどり着きVenus Expressを2006年4月から金星周回軌道で運用している。この探査機は以前にESAが火星に送り込んだMars Expressを下敷きとして建造された。この為、計画の立案は日本より遅かったが、速やかに計画を進めることが出来たのは幸いだった。この探査機は日本の「あかつき」とは異なり、主に大気の分光を行い、大気成分を詳細に調べる。これに適した極軌道をとり、「あかつき」の赤道西向きの軌道とは大きく異なる。この2つの探査機は互いに相補的な観測、言うなればVenus Expressは化学的観測、「あかつき」は物理的観測を行い、相互のデータを参照することにより、より多くの成果が生み出されるものである。

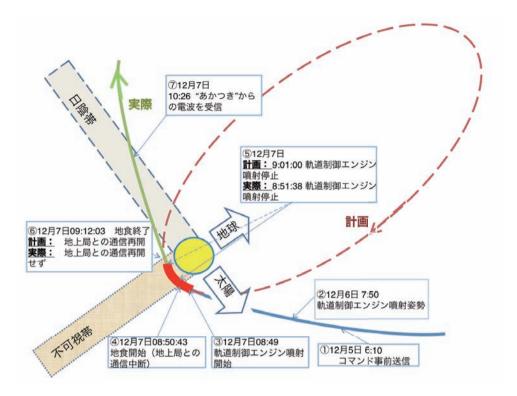


図1: 金星へのアプローチ

この様な背景のもと、1990年代後半に立ち上げら れた金星探査ワーキンググループ活動のゴールとして. 我々は2001年1月の宇宙科学シンポジウムにおいて、 2007年打ち上げ、2009年金星到着というストーリー を手にして探査の実施を訴えた. 幸いにして、提案は 聴衆に暖かく迎えられ、その後の宇宙理学委員会で もその科学的意義を認められ24号科学衛星PLANET-Cがここにスタートする. その後二度にわたる宇宙開 発委員会推進部会でも日本が金星探査を行う事を高く 評価された. プロジェクト進行の途上. M-V四号機 打ち上げ失敗に伴う, 三年間の打ち上げ遅延(到着予 定は一年遅延), さらには打ち上げロケットのM-Vか らH-IIAへの変更もあったが概ね開発は順調に進んだ. この背景には特に宇宙科学研究所の工学に携わるメン バーがこのプロジェクトを力強く支えてくれた事があ る. 打ち上げ半年前に「あかつき」と命名された我が 国初の金星探査機は2010年5月21日早朝. 種子島か ら打ち上げられて金星を目指した.「あかつき」は同 年12月7日に金星に最接近する軌道をとり、近金点の 前後で主推進器に点火して逆噴射を行う事により金星

を廻る軌道に投入されるはずであった.

3. 金星周回軌道投入の失敗

図1に金星へのアプローチと、シークエンスを示す. 今回の金星周回軌道投入オペレーションでは12月5日 には軌道投入に必要な命令を全て「あかつき」に送って、 タイマーによる制御に移行した。12月6日にはこの命 令に従って軌道制御エンジン(OME)噴射姿勢に遷移 している。12月7日8時49分にエンジンの噴射が開始 されたが、その103秒後、「あかつき」は地球から見 て金星の裏側に入っていったために通信が途絶える. 「あかつき」が金星の陰から出てきた9時12分すぎ(地 球では3分強の電波伝播遅延がある)には「あかつき」 との通信を再開する予定だったが、実際に「あかつき」 からの電波を地球でとらえることが出来たのは10時 26分前後であった。事故から約一日後にはNASAジ エット推進研究所による軌道決定の値がプロジェクト チームにもたらされたが、計画の約2割の減速しか達 成できなかったために、すぐには金星周回軌道に戻す

手立てがない事が判り、ここに第一回目の金星周回軌道投入は断念された.「あかつき」は再び太陽を周回する軌道に入った.現在の「あかつき」の軌道は公転周期約203日である.

この事故を受けて宇宙科学研究所と宇宙航空研究開発機構は対応チームをプロジェクトの外に設置し、プロジェクトはこのチームに協力して事故原因の究明にあたった、探査機にはデータレコーダが搭載されており、そこに記録された各サブシステムの挙動から、どの様な事態に至ったのか、また事故の引き金となった要因は何であったかが事故後約一月の間に明らかになった。この経緯は宇宙開発委員調査部会に報告されている。

探査機は予定通り軌道制御エンジン(OME)に点火して、金星周回軌道に入るべく減速を始めたが、噴射開始後152秒前後に探査機姿勢が乱れた。探査機は自律制御により、その姿勢を正常に戻そうと努力するが、予想より大きな擾乱を受けていると判断し、同158秒に自律制御でエンジンをシャットダウンした。噴射開始後375秒にはセーフホールドモードとよばれる、緊急待避姿勢に入っている。原因調査のきっかけとなった異常事象は以下の通りである。

- ・OME 噴射開始直後から、本来一定に調圧されるはずの燃料タンク圧力が緩やかに下降を続けた.
- ・OME 噴射開始から152秒で、急激な姿勢変動が起き、 ほぼ同時刻に機体加速度も急激に変化した。
- ・OME 噴射開始から158秒で、OME 噴射中断に対応 する姿勢制御モード変更が記録されている。
- ・OME 噴射開始から158秒以降, 燃料タンク圧力が 徐々に回復し始めた.

詳細は宇宙開発委員会調査部会への報告に述べられているが、「急激な姿勢変動によるOME噴射中断」を頂上事象とするFall Tree Analysis (FTA解析)が行われ、最初に引き金を引いた事故は燃料タンクにHeガスを供給するライン上の逆止弁(燃料と酸化剤が配管系の中で混ざって爆発する事を防ぐために設けられている)が正しくは開であるべきところ、閉塞が起きて居た事であると結論づけられている。この為燃料タンクの圧力が一定に保たれず、OMEへの燃料供給が不足となった。酸化剤は予定通り供給されていたため、噴射開始から152秒でOME燃焼室における燃焼に何らかの異常が起こり、スラスタノズル・スカートの破

損,あるいはスカート部における後燃え,燃焼室内における不安定燃焼などいくつか推定される事故の一つが起こり,探査機基軸に対して横方向の推力が一時的に発生し、急激な姿勢変動を引き起こした.探査機はその姿勢を戻そうとして姿勢制御エンジンやモーメンタムホイールを駆動したが、5秒以上にわたる外乱が発生した場合にはOME噴射を中断し姿勢維持モードに移行せよとの命令を守って、最終的にはセールホールドモードで地球からの命令を待つ体勢に入った.噴射停止は噴射開始から158秒後と考えられるが、その後燃料タンク圧力が徐々に回復した事実は、逆止弁が完全閉塞ではなく部分的に閉塞していた事を示している.逆止弁が異常動作をした原因、またOMEが現在どの様な状態にあり、どれだけの推力を発生可能なのかという調査は現在進行中である.

4. 現在の「あかつき」

このオペレーションで、計画の約2割の減速しか達成できなかったため、「あかつき」は金星を周回する軌道に入ることができず、太陽を周回する軌道に入った。現在の「あかつき」の軌道は公転周期約203日である。金星の公転周期は約225日であるため、このままの軌道をとれば「あかつき」は約6年後に再び金星と会合する可能性がある。

「あかつき」から送られてくるテレメトリデータをもとに「あかつき」の現在の状態について調べた結果、すべてのサプシステムが正常値を示している。また姿勢系の制御モードも正常値に戻って姿勢も安定し、高利得アンテナを地球に向けて、正常な運用を続けている。また、地上局との通信も正常である。さらに観測機器の健全性を確かめるために、12月9日(金星周回軌道投入制御を実施した日の翌々日)には約60万kmの距離から金星の撮像を行った(図2)。

再度の会合に備えて、各搭載機器について、長期に わたる運用で問題になると考えられる課題の整理をし ている。具体的にはバッテリーの劣化、放射線による 電子部品の劣化や材料の劣化、太陽からの紫外線に長 期に晒される探査機外部機器の劣化、また、予定より 太陽に近づくため熱的な成立性が検討されなければな らない、今後は可能な限り推進薬を消費せず、また放 射線、太陽光からによる劣化を防ぐ姿勢をとって再び

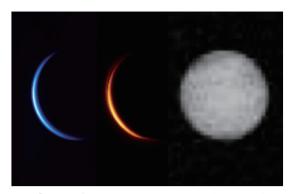


図2:「あかつき」が撮影した金星. 左からUVI(波長365nm), IR1 (0.9 µm), LIR (10 µm) によるもの.

金星に接近できるまで無事な状態を維持すべく検討が されている。また推進系の状態をレベルに分けて想定 し、それぞれに対応する軌道計画(金星まで、さらに 金星の周回軌道に入るまで)を検討している。

太陽周回中のサイエンスについては現在検討中である。金星から遠く離れぬうちに、各カメラで小さいながらも金星を撮影し、その光量の時間変化を調べたり、探査機が地球から見て太陽の反対側を通過する時に、電波科学の手法を用いて太陽大気の観測を行う事も考えられている。また、次の金星周回軌道投入チャンスまでに、金星大気の研究はさらに進んでいると考えられ、それに対応したサイエンスの準備も怠ってはならない。

幸いな事に私たちの「あかつき」は推進系の一部を除き健全な状態にある。推進系も制限付きながら運用できる可能性が残されている。ミッションは失われたわけではない。原因究明に全力を尽くし、続くミッションで同じ過ちを繰り返さず、「あかつき」を無事に飛行させ可能な限り多くの科学的・工学的成果を上げ、「あかつき」の後継機を宇宙に旅立たせ、人類の知識の獲得に向けて邁進すること。これが我々宇宙科学に携わる者の使命だとプロジェクトー同考えている。金星探査の意義は今も決して失われてはいない。