

金星探査機「あかつき」の電波掩蔽観測計画

*今村剛、安藤紘基（JAXA 宇宙研）、宮本麻由（東大理）、あかつき電波科学チーム

1. 電波掩蔽の狙い

「あかつき」の電波掩蔽（えんぺい）は気温の高度分布を精度 0.1 K、高度分解能 1 km 程度で観測し、光学観測を補完する。この観測では普段は探査機と地上局の間の通信に用いている電波を利用する。地上局から見て探査機が金星の背後に隠れる時と背後から出てくる時、探査機から送信される電波は金星大気をかすめるように通過して地上局に届く（図 1）。このとき電波が金星大気の影響で屈折する結果として Doppler 周波数が変化する。これを分析すると大気の屈折率の高度分布がわかり、そこから気温の高度分布がわかる。高度 100 km 以上の屈折率からは電離層の電子密度も得られる。受信電波強度の変化からは硫酸雲の下に多く存在する電波吸収体である硫酸蒸気の分布がわかる。

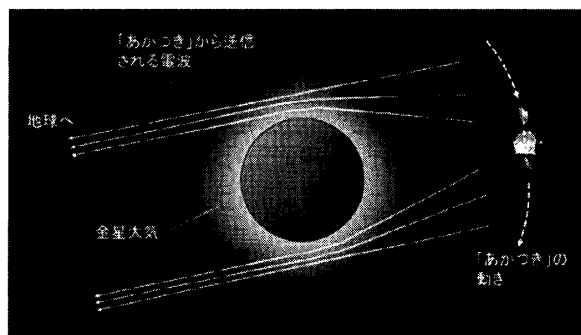


図 1 電波掩蔽観測のイメージ

電波掩蔽という手法自体は枯れた技術であり、金星でも実績がある。しかし電波掩蔽はラジオゾンデを放球するようなものであり、いつどこでどのように実施するかによって成果は全く異なるものとなる。「あかつき」の探査においては 5 台の気象カメラで得られる大気の水平構造の情報と組み合わせることにより 3 次元の気象場の推定を可能にする。また「あかつき」は赤道周回軌道をとるため従来の極軌道の探査機と異なり中・低緯度を重点的に観測することも特色である。

2. 観測装置

金星大気の変動がもたらす微小な周波数変化を検出するために、基準周波数に対する周波数変動の割合が 10^{-12} 以下という超高安定発振器(Ultra-stable oscillator, USO)を搭載した。これまでの金星探査においてこのような安定度の USO を搭載したのは欧州の金星周回機 Venus Express だけである。「あかつき」から送信された GHz 帯の電波は臼田宇宙空

間観測所のアンテナで受信され、ローカル信号のミキシングにより数百 KHz の信号に変換されたのち波形ごと記録される。このデータから周波数や電波強度の時系列を抽出する。

3. 新たな展開

Venus Express は 2006～2014 年の 8 年間にわたって金星大気を調査した。電波掩蔽においても多くの観測データを得て、多数の気温プロファイルからグローバルな温度構造や重力波の分布などが明らかになった。「あかつき」の電波掩蔽の狙いはこのような気温データのみを用いて得られる成果ではなく、撮像観測との連携である。異なる高度の多様な雲の変動が温度場（安定度）のどのような変化に対応するのか、水平発散場と温度場の対応はどうなっているのか、そのような雲中のダイナミクスとその上の中層大気の重力波活動はどう関係するのか。

「あかつき」の新たな軌道案では軌道周期が 8～9 日と長く、観測機会は限られたものになるが、撮像観測との有機的な連携を可能にする観測計画を検討中である。また、観測機会を増やすために臼田宇宙空間観測所に加えて海外局で受信するための調整を行っている。

観測データから得られる情報を最大化するための新たな解析手法も導入予定である。従来の電波掩蔽観測のデータ解析においては、各時刻における Doppler 周波数を短いデータ区間ごとの周波数解析によって求め、ここから幾何光学的に電波経路を推定して、大気の屈折率の高度分布を得る。しかしこの手法では、複数の異なる経路の電波が同時に受信器に届くマルチパス（多重伝搬）が生じる状況では正しく解が得られず、また回折効果により高度分解能がフレネル径程度（～1 km）に制限されるという問題もある。そこで我々は、受信信号の位相の時系列全体を同時に周波数解析して大気構造を得る「電波ホログラフィ」の一つである Full Spectrum Inversion によりこれらの問題の解決を図る。この手法では Doppler 周波数の関数として受信時刻が得られることによりマルチパスを正しく解くことができるうえ、長い時系列をまとめて解析することにより高度分解能が飛躍的に向上する。試験的に Venus Express の電波掩蔽データに適用したところ、およそ 100m の高度分解能を達成できる見込みで、雲頂付近の逆転層の構造などを従来より細かく分解できることがわかってきた。