

あかつき電波掩蔽による金星大気の温度分布と硫酸蒸気分布の観測計画

安藤 紘基 [1]; 今村 剛 [2]

[1] 東大・理・地惑; [2] JAXA 宇宙科学本部

Observation of the temperature and sulfuric acid vapor distribution in Venus atmosphere by radio occultation method

Hiroki Ando[1]; Takeshi Imamura[2]

[1] EPS, The University of Tokyo; [2] ISAS/JAXA

It is essential to observe the temperature distribution for understanding the dynamics of planetary atmospheres. From the temperature distribution we can evaluate the stability and the energy balance of the atmosphere and detect various atmospheric disturbances. Radio occultation can obtain the vertical temperature distribution with an uncertainty of ~ 0.1 K and a vertical resolution of ~ 1 km; such an accuracy can not be achieved by other remote sensing techniques.

When Akatsuki goes behind or emerges from Venus as seen from the tracking station on the Earth, radio waves are transmitted from Akatsuki and pass through the Venus atmosphere, followed by reception at the ground station. Then frequency and intensity of the received radio waves vary with time due to the influence of the Venus atmosphere; the frequency provides vertical temperature profiles, while the intensity provides vertical profiles of the mixing ratio of sulfuric acid vapor, which is a radio wave absorber.

In terms of Venus meteorology, the most significant question is the mechanism of the global westward circulation of the atmosphere, that is, super-rotation. For maintaining the super-rotation it is supposed that vertically propagating waves such as Kelvin waves, thermal tides and internal gravity waves might transport angular momentum vertically to accelerate the atmosphere. To detect the temperature fluctuations associated with these waves, the frequency of radio waves transmitted from the spacecraft has to be stable enough. For this purpose Akatsuki has an ultra-stable oscillator (USO), which assures a relative variation of the transmitted frequency on the order of 10^{-13} .

Because of Akatsuki's orbit near the equatorial plane, the radio occultation will mainly probe the low latitude region. Consequently, it is possible to detect waves with large amplitudes near the equatorial region more precisely than any other previous Venus missions. Apart from the temperature measurement, from the intensity variations of the radio waves received at the ground station, we can derive the vertical distribution of the sulfuric acid vapor. The vapor will originate from the evaporation of, or condense into, the sulfuric acid cloud. This observation is essential to the studies of cloud formation.

To verify the observation system at the Usuda Deep Space Center as well as to test the data processing software, we have received the radio waves transmitted from ESA's Venus Express (VEX) during its occultation by Venus, and analyzed the recorded data. The orbit of VEX is a polar one, and thus the VEX's radio occultation mostly probes the high latitude, contrary to the Akatsuki's radio occultation. Since VEX also has an USO, we can sufficiently examine the accuracy of our analysis tool using the VEX data. A primitive analysis provided vertical temperature profiles and the mixing ratio profiles of sulfuric acid vapor, which are roughly consistent with the previous observations.

金星大気を力学的・運動学的視点から理解する上で温度情報を欠かすことはできない。温度場を知ることにより、大気の安定度やエネルギーバランスを評価し、大気中に生じる様々な擾乱を捉えることができる。この温度場を高い精度と鉛直分解能で測定できるのが電波掩蔽である。地上局（臼田宇宙空間観測所）から見て「あかつき」が金星の背後に隠れようとする時と背後から出てくる時「あかつき」から送信されて地上局に届く電波が金星大気をかすめる。このとき金星大気の影響で受信電波の周波数や強度が変化するが、これを地上局で記録して解析することにより、大気鉛直構造の情報を得る。

金星気象学の最大の謎は大気全体の西向き循環、スーパーローテーションであり、金星周回衛星「あかつき」はこれを解明することを目的の一つとしている。スーパーローテーションを駆動するメカニズムとしてケルビン波や熱潮汐波などの惑星スケールの鉛直伝搬する波動による運動量輸送が提案されている。温度情報は受信電波の周波数変動から得られるため、衛星が送信する電波の周波数が十分に安定していなくてはならない。このためにあかつきには超高安定発振器 (USO) を搭載し、送信周波数の相対的な変動を 10^{-13} のオーダーに抑えている。回線の設計上は、0.1 K 程度の温度分解能と数百 m の鉛直分解能をおよそ 35~90 km の高度範囲で達成できる見込みである。あかつきは概ね赤道を周回するため、観測点の多くは低緯度となる。このような特色を武器に、低緯度で大きな振幅を持つ波動を過去のどの観測よりも精確に抽出することが可能である。温度情報とは別に、受信電波強度の変化から金星大気中の電波吸収体である硫酸蒸気の高高度分布が得られるが、これは金星の硫酸雲の生成過程の解明に資する。

我々は観測システムの試験のために、現在金星を周回する欧州の Venus Express (VEX) の電波を臼田局で実験的に受信し、そこで得られたデータの解析を行った。VEX は極軌道を周回していて電波掩蔽では主に高緯度を観測するため、あかつきとは若干性格が異なるが、VEX でもあかつき同様 USO を搭載しているため、あかつき電波掩蔽に向けた解析ツールの精度を検証するには十分である。初期的な解析では温度分布や硫酸蒸気混合比として従来の知見と整合する結果が得られている。