

金星大気雲層下部における二酸化硫黄の高度分布の導出

#尾沼 日奈子¹⁾, 野口 克行¹⁾, 安藤 紘基²⁾, 今村 剛³⁾, 佐川 英夫²⁾

¹⁾ 奈良女大・理・環境, ²⁾ 京産大, ³⁾ 東京大学

Derivation of vertical profiles of sulfur dioxide in the Venus cloud layer by the Akatsuki radio occultation measurements

#Hinako Onuma¹⁾, Katsuyuki Noguchi¹⁾, Hiroki Ando²⁾, Takeshi Imamura³⁾, Hideo Sagawa²⁾

¹⁾Nara Women's Univ., ²⁾Kyoto Sangyo University, ³⁾The University of Tokyo

On Venus, clouds exist at the altitudes from 45 to 70 km, covering the entire planet. This thick cloud layer plays a key role in controlling the heat budget in Venus atmosphere. One of the missing information is the vertical distribution of the sulfur dioxide (SO₂) which is the main chemical compound in forming the sulfuric acid clouds.

The previous observations of SO₂ vertical distribution in the cloud layer have been limited to the in-situ measurements of the VEGA probes and the radio occultation (RO) measurements of the Venus Express. The former showed only two vertical profiles of the SO₂ mixing ratio from the surface to 60 km. The latter derived the mean SO₂ mixing ratio at 51-54 km.

In the present study, we estimated the SO₂ vertical profiles in the cloud layer (50-55 km) using the data obtained by the RO measurements in the Japanese Venus climate orbiter mission, "Akatsuki". Provided that sulfuric acid vapor cannot be supersaturated in the cloud layer, we attributed any attenuations of radio waves that exceed the saturation curve of sulfuric acid vapor to the attenuations by SO₂. We examined the SO₂ errors by estimating the dependence of the sulfuric acid saturation mixing ratio on the concentration of sulfuric acid in cloud particles and by considering the noise of the radio wave intensity.

The averaged profile showed the mixing ratio of about 200 ppm at 50 km and 50 ppm at 55 km, decreasing with increasing altitude. Our results are consistent with the previous results of the VEGA probes and Venus Express RO measurements. Additionally, we found a local time dependence of SO₂ mixing ratio that tends to decrease during the daytime in the cloud layer, similar with previous observations conducted above the cloud layer. Long-term variations were not found in the present analysis.

金星の高度 45-70 km には硫酸からなる雲が存在し、惑星全体を覆っている。この雲の主材料である硫酸蒸気の生成には二酸化硫黄 (SO₂) が不可欠であり SO₂ の時空間分布に関する情報は金星の雲物理を理解する上で重要と言える。

SO₂ の分布に関しては、雲層上空では多くの観測に基づいた統計的な研究が行われているが、雲層内の観測は極めて少なく、VEGA プロブ観測と Venus Express 電波掩蔽観測に限られる。前者は、地表面から高度 60 km までの SO₂ 混合比の高度分布を示したが、その観測数は 2 本のみである。前者は、北極域を中心に全球で観測を行い高度 51-54 km における SO₂ 混合比の平均値を導出した。また、雲頂では SO₂ 混合比のローカルタイム依存性や長期変動が報告されている一方で、雲層では観測が極めて少ない。

本研究では、Venus Express 電波掩蔽観測で採用された手法を拡張し、あかつき電波掩蔽観測データから高度 50-55km での SO₂ の高度分布を得ることを試みる。電波掩蔽観測では、大気分子が電波を吸収することを利用して、探査機から地球に送信した電波の減衰率からその大気組成の濃度を導出できる。電波掩蔽観測で利用される周波数帯に関して、金星において電波吸収に寄与する気体種は、CO₂、N₂、SO₂、硫酸蒸気である。また、電波減衰の要因には、大気による吸収の他に発信機のアンテナの指向誤差、ディフォーカシングロスが挙げられる。受信強度の時系列から、後者の 2 つの影響を除去することで残りの減衰量から大気による吸収率を推定することができる。その後、CO₂ と N₂ による吸収率を差し引き硫酸蒸気と SO₂ の混合比を導出する。Venus Express 電波掩蔽観測データを解析した Oschlisniok et al. (2021) の解析では飽和蒸気圧が小さく硫酸が気体の形ではほぼ存在できないと考えられる高度領域 (51-54km) での減衰は全て SO₂ に起因すると仮定することで、雲層における平均的な SO₂ 混合比を得ていたが、本研究では硫酸蒸気が過飽和しないと仮定することで、雲層の SO₂ 高度分布の推定を試みた。

SO₂ 導出過程においては、硫酸飽和混合比の雲粒硫酸濃度への依存性を検討した結果 98 % の硫酸濃度を計算に用いることとした。また、掩蔽前の受信強度のばらつきを金星大気以外のすべての要因に起因する効果だとみなし、それをノイズとして掩蔽中の受信強度に加えた上で SO₂ を導出したところ、その差は 50ppm 程度であった。そのため、この値を金星大気以外の要因による誤差とみなすこととした。

導出された SO₂ 混合比の高度 50 km における平均値は 200 ppm 程度であり、高度が上がるにつれて混合比は減少し、高度 55 km では 50 ppm 程度であった。混合比の値は、Venus Express 電波掩蔽観測結果の先行研究と整合的であり、また、高度変化についても VEGA プロブ観測と整合している。また、雲頂で報告されているような昼で減少し夜に増加するというようなローカルタイム依存性が今回導出した高度域 (雲層) でも示唆された。一方で、長期変動に関しては、雲頂のような明確な変動は見られなかった。