

# 一番星へ行こう!日本の金星探査機の挑戦 その56 ~硫酸雲の材料物質, 二酸化硫黄の高度分布に 電波で迫る~

野口 克行<sup>1</sup>, 尾沼 日奈子<sup>2</sup>, 安藤 紘基<sup>3</sup>, 今村 剛<sup>4</sup>

(要旨) 金星を覆う硫酸雲は, 二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)と水蒸気から作られる. 雲層より上の高度域と比較して, 雲層及びその下の高度域におけるSO<sub>2</sub>濃度の時空間分布の観測例は非常に限られている. あかつきの電波掩蔽観測を利用して, 我々は硫酸蒸気に加えて当初は予定していなかったSO<sub>2</sub>の高度分布も得ようと試みている.

金星には高度45-70 kmにおいて主に硫酸からなる雲が存在し, 惑星全体を覆っています. この雲は, 金星大気の大気熱収支や大気運動だけでなく, 様々な化学変化を介して大気微量成分の時空間分布に大きな影響を与えています. 雲の主成分である硫酸は, 昼側の雲頂付近において二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)から光化学的に生成されると考えられています. つまり, 雲層よりも上ではSO<sub>2</sub>が光分解されるために, 雲層付近の高度域ではその混合比が大きく変化します. 雲層よりも下では数十ppmv程度であるのに対して, 雲層よりも上では10-100 ppbv程度まで減少します. 硫酸の生成が維持されるためには, 雲層下部からSO<sub>2</sub>を上方に輸送することが必要です. 硫酸とともにSO<sub>2</sub>の高度分布を観測的に明らかにすることは, 硫酸の生成速度や生成場所を知る手掛かりとなると言え, 最終的には金星の雲物理や大気運動をよりよく理解することにつながります. そして, 金星大気中の硫酸蒸気・SO<sub>2</sub>濃度の測定に力を発揮するのが, あかつきでも行われている電波掩蔽観測です.

電波掩蔽観測とは, 図1に示すように地上局から

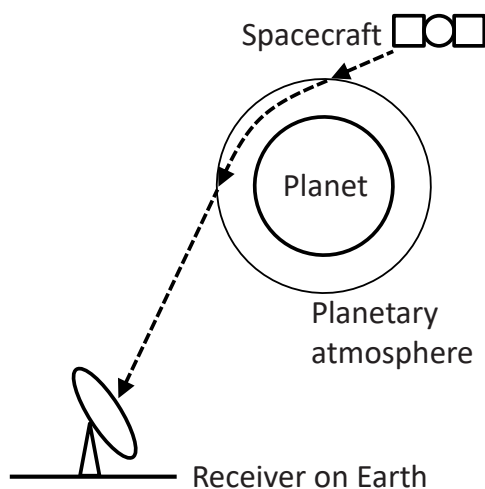


図1: 電波掩蔽観測の概略図.

見て探査機が惑星の背後に隠れる, または背後から出てくる時に探査機から電波を射出し, 惑星大気を通過してきた電波の受信周波数や受信強度の時間変化を利用して, 気温や微量物質濃度の高度分布を導出する手法です(例えば[1,2]). 本研究では, 日本の金星探査機あかつきの電波を用いて, 金星大気を通過して生じる受信電波強度の減衰量から, 大気組成混合比を導出します[3]. 減衰に寄与する組成としては, まずは金星大気の主成分である二酸化

1.奈良女子大学研究院自然科学系  
2.ウェザーニューズ  
3.京都産業大学理学部  
4.東京大学大学院新領域創成科学研究科  
nogu@ics.nara-wu.ac.jp

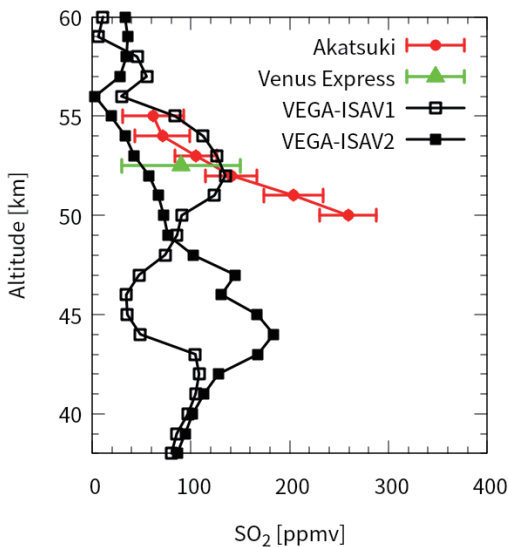


図2: あかつき電波掩蔽観測(2016年3月から2020年4月まで, 計28回)によって得られたSO<sub>2</sub>混合比の平均(赤い丸)。エラーバーは、標準誤差を表す。緑色の三角形はVenus Express電波掩蔽観測によって得られた高度51–54 kmでの平均値[4], 黒色の四角形は、VEGAプローブ搭載ISA V1・2によって得られた2本の高度分布[5]を示す。

炭素や、窒素が挙げられます。二酸化炭素や窒素の混合比は他の微量物質に比べて十分大きく金星大気中でほぼ不変であるとみなせるので、これらの寄与分を経験式に則って最初に除去します。そして、残りの減衰は硫酸蒸気とSO<sub>2</sub>に帰せられるのですが、Venus Expressによる電波掩蔽観測では硫酸の飽和蒸気圧が極めて低くて無視できる高度50 km以上の平均的なSO<sub>2</sub>混合比が求められました[4]。我々はこの手法を拡張し、雲層内の全高度で硫酸濃度が飽和蒸気圧になると仮定してSO<sub>2</sub>の高度分布を求めたのです。この手法でSO<sub>2</sub>の混合比が得られると期待される高度域は、広くはありません。高度50 kmよりも下では、高温のために硫酸が飽和しないのでSO<sub>2</sub>混合比を導出できません。また、高度55 kmよりも上では、下層に比べて大気が薄くなるので、電波減衰の絶対量が低下してノイズが相対的に多くなります。そのため、本手法で制約できるSO<sub>2</sub>濃度の高度領域は、雲層下部に相当する高度50–55 km付近ということになります。2020年までに得られているデータを解析した結果を図2に示します。観測期間を通して平均をすると、SO<sub>2</sub>混合比は高高度ほど減少

するという結果が得られました。この結果は、過去のプローブ観測結果やVenus Expressによる電波掩蔽観測の結果と比べても整合的です。

今後もあかつきによる電波掩蔽観測によってデータが得られる限り、観測数を蓄積してより精密な観測結果を取得したいと考えています。先にも述べたように、SO<sub>2</sub>の高度分布は上層での光化学分解と下方からの輸送のバランスで決まるはずですが、あかつきの観測で得られた硫酸蒸気やSO<sub>2</sub>の混合比分布と光化学を考慮した数値モデルの結果を比較することにより、金星雲物理や光化学の理解を深化させたいと思います。

## 参考文献

- [1] Fjeldbo, G. and Eshleman, V. R., 1969, *Radio Sci.* 4, 879.
- [2] Jenkins, J. M. and Steffes, P. G., 1986, *Icarus* 90, 129.
- [3] Imamura, T. et al., 2017, *Earth Planets Space* 69, 137.
- [4] Oschlisniok, J. et al., 2021, *Icarus* 362, 114405.
- [5] Bertaux, J. L. et al., 1996, *J. Geophys. Res.* 101, 12709.

## 著者紹介

---

### 野口 克行

奈良女子大学大学院自然科学系准教授。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了, 博士(理学)。JAXA宇宙航空プロジェクト研究員, 奈良女子大学助手・助教を経て, 2023年より現職。

### 尾沼 日奈子

奈良女子大学大学院人間文化総合科学研究科博士前期課程修了, 修士(理学)。2023年より現職。

### 安藤 紘基

京都産業大学理学部准教授。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了, 博士(理学)。JAXA宇宙航空プロジェクト研究員, 学術振興会特別研究員(PD), 京都産業大学助教を経て, 2023年より現職。

### 今村 剛

東京大学大学院新領域創成科学研究科教授。東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻博士課程修了, 博士(理学)。JAXA宇宙科学研究所勤務を経て, 2016年より現職。