空華智子<sup>1.2</sup>、佐藤毅彦<sup>2</sup>、今村剛<sup>2</sup>、中村正人<sup>1.2</sup> 1. 東大・理・地球惑星 2. ISAS/JAXA

#### はじめに

金星は大きさや密度などの外的条件が地球と ほぼ同じであるにも関わらず、その環境は地球と は大きく異なっている。金星はその全球が分厚い 濃硫酸の雲で覆われており、雲層より下の CO<sub>2</sub>大 気は灼熱である。また、地面に比べて 60 倍もの 速さで大気が回転している「スーパーローテーシ ョン」と呼ばれる現象が存在している。このよう な大気運動の生成・維持のメカニズム、しいては、 金星の大気科学(気候システム)を理解する上で 雲構造の解明が重要であるがいまだ不十分であ る。雲構造を知る方法としては、金星の分厚い雲 を通って出てくる「大気の窓」と呼ばれる近赤外 波長の光を用いることにより雲層内部を探査す る方法が提案されている(Allen and Crawford 1984)。金星の雲層の研究は、この大気の窓領域 の波長を用いて、これまでに地上観測や Galileo 探査機の金星フライバイ(1990年)の際に近赤外 分光撮像装置 NIMS (Near-Infrared Mapping Spectrometer) により得られた分光画像データを 用いて行われてきた。NIMS から得られた大気の窓 領域の近赤外分光画像データを用いた過去の研 究では、Carlson et al. (1991)が金星の雲構造 や大気運動の研究を行っている。雲構造において は、近赤外領域の大気の窓である、波長 1.74 µm と 2.30 µm の分光画像データを用いて雲の粒径分 布が評価された。その結果、北半球と南半球とで、 雲の粒径が異なることが示された。



図1 金星の気温の高度分布と、波長ごとの熱放 射をする高度

個々の波長は、その波長における荷重関数(その 波長の放射高度から大気上層までの領域におけ る光の透過率と大気密度の積に比例)がピークと なる高度の情報を含む。 本研究では、欧州宇宙機関 (ESA) により打ち 上げられた金星探査機 Venus Express に搭載さ れた可視近赤外分光撮像装置 VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) の分光画像データを用いて、「大気の窓領域」の 波長である 1.19 $\mu$ m を加えることにより、より正 確に金星の雲構造の時空間変動を解明するこ とを目的とする。今回はこの途中経過を報告する。



図2 金星夜面の黙放射のスペクドルと大気の 窓領域[Carlson et al. 1991を改編] 主な大気の窓は、1μm 付近、1.7μm、2.3μm が ある。

#### 解析方法

本研究では、次の手順により、金星の雲構造を 理解する。今回はこの途中経過を報告する。

- VIRTIS で得られた波長 1.74µmと 2.30µm の分光画像を用いて、雲の光量と粒径との 相互関係を調べ、VIRTIS のデータからも雲 の粒径分布を評価できるかどうか調べる。
- 1.19μmの情報を加えて同時に解くことで より正確に粒径分布を求めることを試みる。

解析手法は Carlson et al. (1991)の方法に基 づき、2 波長の強度の相関をみることにより雲 の粒径分布を評価する。



図 3 1.74µm と 2.30µm の光の強度の相関図 [Carlson et al. 1991]

両波長において光の強度が小さくなる程雲量は 多く、大きくなる程雲量は少ないことを示してい る。また、分岐している上の枝は雲の粒径が大き く、下の枝は小さいことを示している。

図 3 のように、波長 1.74 $\mu$ m と 2.30 $\mu$ m に関し て光の強度の相関をとると、2 つに分岐する。 上の枝を赤色、下の枝を青色として色分けをし、 金星 disk 上に再度プロットすることで、雲の 粒径分布を得る。(図 4)



図4 金星の北半球と南半球での雲の粒径の 違い(赤い領域:雲の粒径が大きい、青い領域: 雲の粒径が小さい) [Carlson et al. 1991]

今回使用する金星探査機 Venus Express は南極上 空を遠金点とする楕円軌道を 24 時間周期で周回 している。VIRTIS の空間分解能は 20km/pixel、 波長分解能は 10nm/pixel、波長領域は 1.05-5.19  $\mu$ m である。今回は、Orbit29 と Orbit271、272、 273、274 のデータを用いた。

# 結果1:1.74 (m と 2.30 (m による雲の粒径 分布

0rbit29 の分光画像データのうち、波長 1.74  $\mu$ mと2.30 $\mu$ mの2波長の光の強度の相関をとった結果、図5のようにいくつかにブランチができた。



図5 0rbit29 における 1.74 µm と 2.30 µm の光 の強度の相関図

3つに色分けをして金星 disk 上に再度プロットし た結果を図 6a に示す。雲の粒径分布を表す再プ ロット図と元の画像(図 6b)とを比較することに より、以下のことがわかった。

雲の粒径と雲の強度との比較





再プロット図

1.74µmの元の画像 0.0 [Wm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>] 0.1

図7 金星 disk 上に再度プロットした図(左) と VIRTIS から得られた 1.74 µm の元の画像

- ・ 雲の粒径は、東西方向より緯度方向に対し ての方が変化は大きい。
- 中緯度では光の強度が大きく、雲粒サイズ が小さい。
- ・ 雲の光量と雲粒子サイズは1対1に対応していない。

VIRTIS でも NIMS と同様にして雲の粒径分布を評価することが可能であることが確認できた。

## 結果2:1.19µmを加えた場合

Orbit271、272、273、274の画像データを用 いて、Orbit29 で使用した波長 1.74 µm と 2.30 µ m に 1.19μm を加え、雲の粒径分布をより正確に 評価することを試みた。

図8は、1日ごとの雲の時間変化を示す。これ によると、雲の光の強度、粒径共に1日ごとの変 化が大きいことがわかる。現在は、この変化が、 雲構造の何によるものなのか、また、大気運動と どのような相互作用のもと成り立っているのか を調査中である。



Orbit271



Orbit273

Orbit274

図8 Orbit271、272、273、274 における粒径分 布と時間変化(a): VIRTIS から得られた 1.19 μm の元の画像、(b):1.74µmの元の画像、(c):1.74 と2.30 µmの再プロット図

また、4 つの Orbit において 1.19μm と 1.74 μm の分光画像をそれぞれ比較してみると、 Orbit271、272、273 では、コントラストが異なる だけでなく明暗が反転している箇所がみられた (図 9)。また、1.74 と 2.30 µm のそれぞれの光 の強度の相関と 1.19 と 1.74 µm のそれとを比較 すると明らかに異なる形状がみられた(図10)。こ れは、金星の雲のこれまでの描像からは説明しが たい現象である。



1.19 $\mu$  m

1.74  $\mu$  m



1.74と1.19µmの画像の比較 図 9 Orbit271において2波長間の光の強度に反転が存在 することを示す。図の比の値は赤の領域と青の領域 との比をとったものである。



図10 Orbit273 における 2 波長間の光の強度 の相関図(上)1.19と1.74μmの光の強度の相関 図、(下) 1.74 と 2.30 µm の光の強度の相関図

## まとめ

VIRTISで得られた波長1.74 $\mu$ mと2.30 $\mu$ mの分 光画像を用いて、雲の光量と粒径との相互関係 を調べ、VIRTISのデータからも雲の粒径分布を 評価できることを確認した。更に、1.19 $\mu$ mの 情報を加えて同時に解くことでより正確に粒 径分布を求めることを試みた。

1.74 $\mu$ mと2.30 $\mu$ mの放射強度の間には正の相 関があるのに対して、1.19 $\mu$ mとこれら2波長 との間には明瞭な相関がないことがわかった。 1.74 $\mu$ mや2.30 $\mu$ mの分光画像と1.19 $\mu$ mのそ れとを比較すると明暗のパターンは必ずしも 同じではなく、反転している箇所が存在した。

## 今後の課題

雲構造の時空間変動を調べ、大気運動との相互 関係を調査する。今回発見した、1 $\mu$ m付近の分 光画像と1.74 $\mu$ mや2.30 $\mu$ mの分光画像におけ る明暗が反転している現象は、金星の雲のこれ までの描像からは説明しがたいことであり、こ の現象に説明を与えるべく放射輸送の計算を もとに研究を進める。

### 参考文献

R. W. Carlson, L. W. Kamp, K. H. Baines, J.B. Pollack, D.H. Grinspoon, Th. Encrenaz, P. Drossart and F.W. Taylor, *1993*: Variation in Venus cloud particle properties: a new view of Venus's cloud morphology as observed by the Galileo Near-infrared Mapping Spectrometer. Planet. Space Sci., *7*, *477-485* 

R. W. Carlson, K. H. Baines, Th. Encrenaz, F.W. Taylor, P. Drossart, L. W. Kamp, J. B. Pollack, E.Lellouch, A. D. Collard, S. B. Calcutt, D. Grinspoon, P. R. Weissman, W. D. Smytthe, A. C. Ocampo, G. E. Danielson, F.P. Fanale, T. V. Johnson, H. H. Kieffer, D.L. Matson, T. B. McCord and L. A. Soderblom *1991*: Galileo Infrared Imaging Spectroscopy Measurements at Venus. SCIENCE. *253. 1541.1948* 

P. Drossart, G. Piccioni, A. Adriani et al. 2007: Scientific goals for the observation of Venus by VIRTIS on ESA/Venus express mission. Planetary and Space Science, *55*, *1653-1672* 

データ提供: ESA