

Subaru/COMICSデータで探る金星雲頂構造の特徴—TAOへの期待

佐藤隆雄^{1,2}, 佐川英夫³, 神山徹⁴, 佐藤毅彦², 今村剛²

1: 日本学術振興会特別研究員(PD), takao@stp.isas.jaxa.jp, 2: 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 3: 京都産業大学, 4: 産業技術総合研究所

Abstract

Subaru/COMICSで取得した5日間にわたる金星中間赤外撮像データ (8.66 μm , 11.34 μm) を解析することにより、金星の雲頂構造について研究を進めてきた。高空間解像度画像から、(1) 南北極域の輝度温度模様が同期しながら西向きに移動する可能性や、(2) 雲頂には様々なスケールの微細構造が全球に渡って存在しており、紫外域で見られる「水平Y字模様」と類似した特徴をもつことが初めて観測的に明らかとなった。本発表では、Subaru/COMICSを用いた金星撮像研究の成果を報告するとともに更なる研究の深化を可能とするTAO/MIMIZUKUに寄せる期待について発表する。

1. Introduction

◆ 厚い濃硫酸雲 (50-70 km)

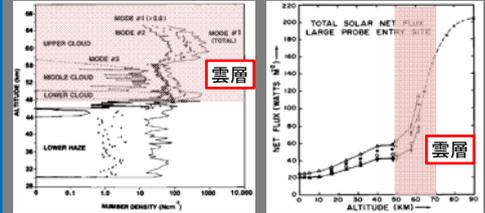
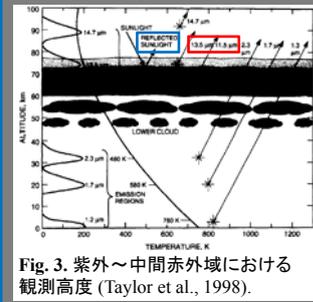


Fig. 1. Pioneer Venus プローブの直接観測による金星雲層構造 (Knollenberg and Hunten, 1980).

Fig. 2. Pioneer Venus プローブの観測地点における太陽正味フラックス (Tomasko et al., 1980).

- 入射太陽光の~76%が雲層上部で宇宙空間に反射される (Crisp and Titov, 1997).
- 金星大気・地表で吸収する太陽エネルギーの~50%が主に未知紫外物質によって雲層 (>64 km) で吸収される (Tomasko et al., 1980; Crisp, 1986).
- 雲層での熱入力が熱潮汐波や重力波等の大気波動を励起し、スーパーローテーションの生成維持に寄与していると考えられている (Fels and Lindzen, 1974; Takagi and Matsuda, 2007).
- 惑星全体の熱入力を支配する雲層の時空間変動の把握は、大気力学のみならず気候システムを理解する上でも重要な基礎情報である。

◆ 中間赤外観測



- 雲頂付近 (~70 km) からの熱放射
- 観測高度は紫外域とほぼ同じ
- 金星の昼夜関係なく同質のデータが取得可能
- 雲頂における大気温度、雲頂高度、雲の光学的厚さを導出可能

先行研究

- ラスタースキニングによる地上望遠鏡観測 (Diner et al., 1982, and references therein; Orton et al., 1991)
- PVO/OIR (e.g., Taylor et al., 1980)
- Venera 15/FS (e.g., Zasova et al., 2007)
- AKATSUKI/LIR (Taguchi et al., 2012)
- 現時点で、金星赤道面近傍軌道から2次元検出器を用いて金星中間赤外撮像観測を行ったのは、Subaru/COMICS (本研究) と AKATSUKI/LIRのみ。

2. Subaru/COMICS observations

- 観測期間: 2007年10月25-29日 (5夜連続観測)
 - 狭帯域撮像: UIR8.6 (λ_{eff} : 8.66 μm), UIR11.2 (λ_{eff} : 11.34 μm)
 - 金星視直径: ~25 arcsec
 - 太陽位相角 (地球-金星-太陽のなす角): ~90° (朝側昼夜境界)
 - 空間分解能 (標準星のFWHM): ディスク中心で~0.4 arcsec (~200 km)
- 放射伝達モデル計算による観測高度の推定
- 大気温度: 金星標準大気モデルVIRA (緯度<30°) (Seiff et al., 1985)
 - 大気分子: H₂O, CO₂, SO₂, HF, OCS (Marcq et al., 2005)
 - 雲粒子: 4種類のモード粒子 (modes 1, 2, 2', and 3) (Zasova et al., 2007; Eymet et al., 2009)
 - 雲による散乱は考慮せず

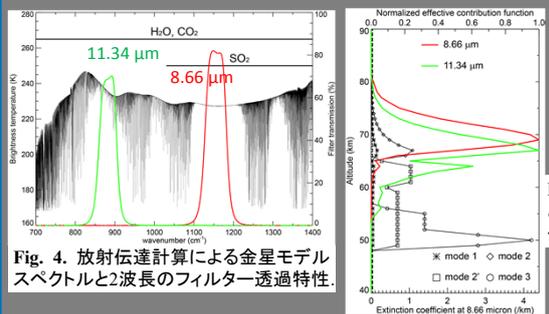


Fig. 5. 2波長の寄与関数と4種類の雲粒子の消散係数 (8.66 μm) 高度分布.

4. Summary and conclusions

- 2007年10月25日-29日の計5日間に渡って、Subaru/COMICSを用いて取得した金星中間赤外 (8.66 μm , 11.34 μm) 撮像データの解析を行った。
- 中間赤外域で顕著な構造を示すhot polar spotsとcold collarsは有意な日々変動を示した。これは観測高度における大気温度や雲頂上部構造の急激な変化を示唆するものである。
- 類似した南北極域の輝度温度模様が同期しながら西向きに回転する可能性を初めて観測的に明らかにした。
- ハイス処理画像には太陽非同期の微細構造が全球に渡って存在することを示した。またこの微細模様は日々変動することが明らかとなった。微細模様は雲頂温度または雲頂高度の空間非一様性によって形成されていると考えられる。10月28日の微細構造は紫外域で観測される「水平Y字模様」と類似しており、物理的関連が示唆される。
- TAO/MIMIZUKUは、金星を含む惑星研究において重要な長期モニタリングを中間赤外域において「高空間解像度かつ高い絶対値精度」で行うことのできる唯一の拠点である。今後Subaru/COMICSやAKATSUKI/LIRで得られる金星大気の興味深い現象のメカニズム解明においても必要不可欠な役割を担うと考えられる。水蒸気の少ないアタカマならではの波長域を用いた観測 (金星雲頂SO₂のマッピング等) についても今後提案していきたい。

Acknowledgments

本研究は国立天文台が運用するSubaru望遠鏡によって取得したデータに基づいて行っております。主著者である佐藤隆雄は日本学術振興会より科学研究費助成を受けております。

3. Results and discussion

◆ 11.34 μm における輝度温度分布と中央子午線 (CML) における輝度温度の緯度分布

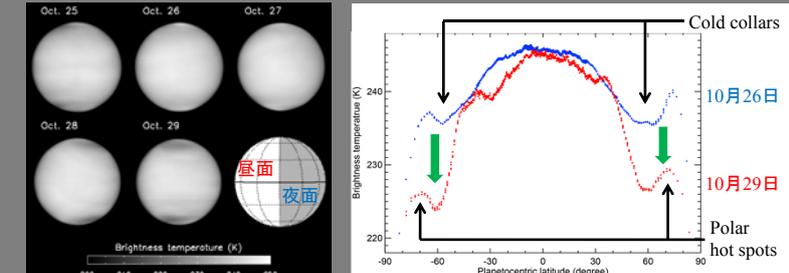


Fig. 6. (左) 5日間の輝度温度分布. (右) 10月26日と29日のCMLにおける輝度温度の緯度分布.

- 観測期間におけるディスク平均輝度温度: ~230 K (8.66 μm), ~238 K (11.34 μm)
- 中間赤外域では極域のPolar hot spotsとこれらに囲むように存在するcold collarsが顕著な構造であり、時間変化している。日日スケールでの輝度温度低下 (11.34 μm で~11 K) が見られた (Fig. 6).
- 南北の類似した極模様は同期して西向きに移動している可能性 (Fig. 7).
- 金星における南北同期現象の可能性を世界で初めて観測的に示した。

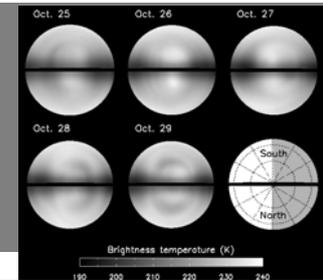
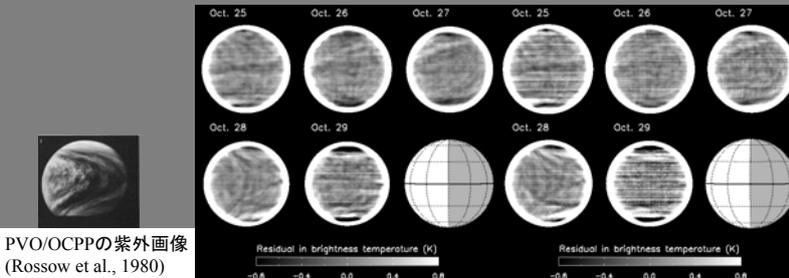


Fig. 7. 8.66 μm における極展開画像.

◆ ハイス処理後の太陽非同期の微細構造

残差画像 = 元画像 - ガウシアンスムージング画像 (FWHM: ~750 km)



PVO/OCPPの紫外画像 (Rossow et al., 1980)

Fig. 8. ハイス処理後の残差パターンの日日変化. (左) 8.66 μm , (右) 11.34 μm .

- 筋状や斑状構造 (振幅: ~0.5 K) が全球にわたって存在しており、日々変動している。
- これらの構造は波長依存ではないので、雲頂温度または雲頂高度の空間不均一性を反映している。
- 10月28日の模様は紫外域で見られる水平Y字模様とよく似ており、物理的関連を示唆している。

4. Future perspective with TAO/MIMIZUKU

- 探査機の空間分解能レベルでの長期モニタリングの可能性
- SUBARU/COMICSによる金星撮像観測: 複数の興味深い現象の発見
- 今日までの探査機観測の空間解像度及び質に匹敵する中間赤外データを地上大型望遠鏡で得られることを実証し、地上大型望遠鏡を用いた惑星大気モニタリングの有用性を示した。
- メカニズムに迫るには観測時間が圧倒的に不足 (e.g., 金星大気の回転周期は4-5日)。
- 金星探査機AKATSUKIの中間赤外カメラLIRによるモニタリング (2015年12月-)
 - 赤道楕円軌道 (周期: ~10日) からの単波長 (8-12 μm の広帯域フィルター) 観測
 - 既にいくつかの興味深い現象を発見 (Fig. 9)
 - 単波長では鉛直構造分解は不可能、地上大型望遠鏡の解像度の方が高い時期が長い (Fig. 10)
- TAO/MIMIZUKUによる2週間 (大気回転周期の~3周) に渡る複数波長モニタリング
- 水蒸気の少ないアタカマならではの長期間連続高空間解像度画像の取得が期待できる。
- 他の大型望遠鏡では不可能な長期モニタリングがTAOなら可能?

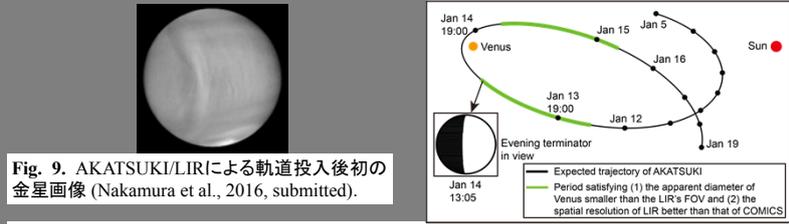


Fig. 9. AKATSUKI/LIRによる軌道投入後初の金星画像 (Nakamura et al., 2016, submitted).

Fig. 10. 地上からの次期観測好機 (2017年1月, HST) におけるAKATSUKIの軌道予想図。緑線はLIRが金星をFOV内に捉えかつSubaru/COMICSよりも空間解像度が高い時期を示す (~30時間)。

◆ 高精度校正画像取得の可能性

- Field stackerによるターゲットと標準星の同時観測で絶対値精度の向上が期待
- SUBARU/COMICS観測における絶対値誤差要因 (標準星フラックス文献値誤差: ~1 K, ターゲットと標準星のエアマス不一致による誤差: ~2 K)
- 絶対値精度~1 K → これまで見えなかった金星の短期・長期変動をモニタできる可能性

◆ O₂バンド撮像/分光による雲頂SO₂のマッピング

- 濃硫酸雲は、雲頂付近でSO₂から光化学的に生成
- 濃硫酸雲のSO₂分布は雲形成を考える上で重要
- SO₂ v₃ バンド (7.4 μm) は吸収が強く導出可能性が高いが、地上からは困難
- SO₂ v₁ バンド (8.7 μm) は吸収が弱く、かつ雲粒子吸収が強い困難
- SO₂ v₂ バンド (19.3 μm) の吸収の強さはv₁ バンドと同程度だが、雲吸収が10倍弱いため可能性あり
- 水蒸気の少ないアタカマならではの可能性

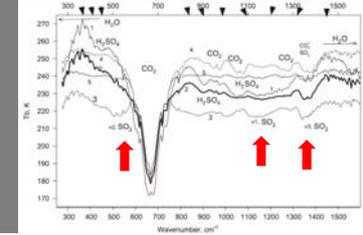


Fig. 11. Venera 15/FSで取得した金星スペクトル (Zasova et al., 2007). 中間赤外波長帯にはSO₂吸収帯が3つ (7.4, 8.7, 19.3 μm) 存在する。