

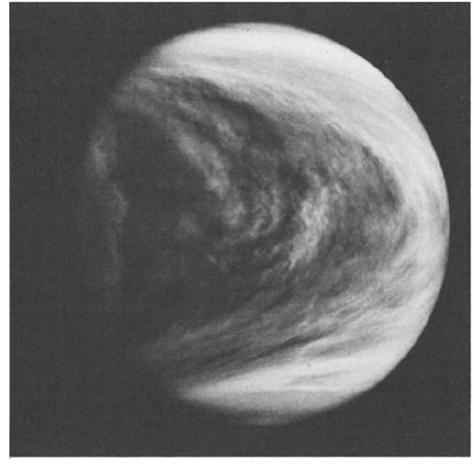
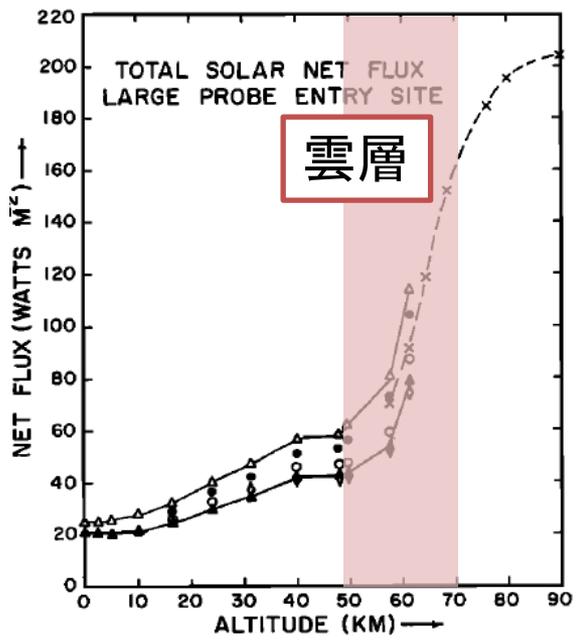
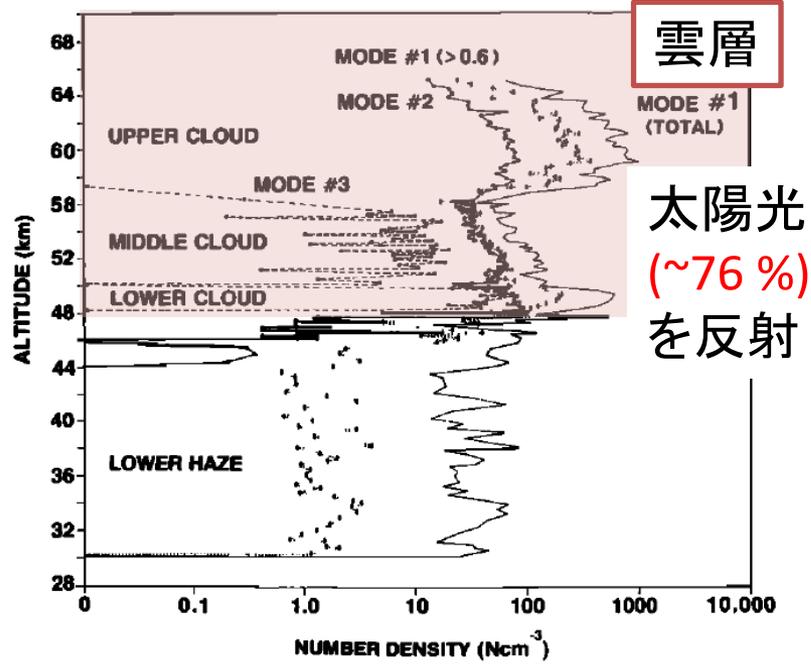
# 金星上層雲における濃淡模様 —中間赤外と近赤外観測の比較

佐藤隆雄<sup>1</sup>, 佐川英夫<sup>1</sup>, 神山徹<sup>2</sup>,  
今村剛<sup>3</sup>, 佐藤毅彦<sup>3</sup>

1: 情報通信研究機構, 2: 産業技術総合研究所,  
3: 宇宙航空開発研究機構宇宙科学研究所

# 金星中層大気

入射太陽光の~70%  
が雲層までで吸収  
(未知の吸収物質)

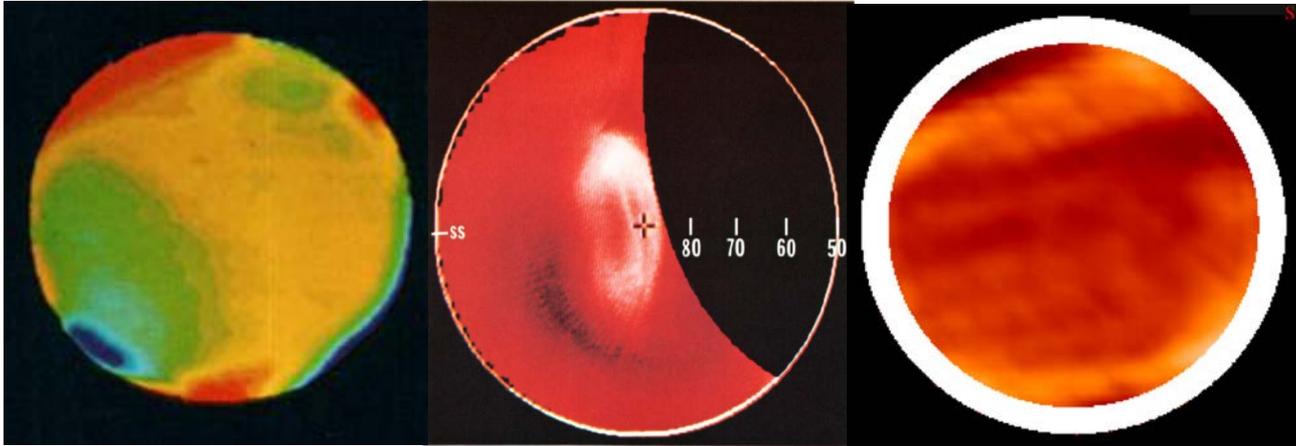


Figs. (左) PV probe entry siteにおける金星雲高度分布 [Knollenberg and Huntten, 1980],  
(中) PV probe entry siteにおける入力太陽フラックスの高度分布 [Tomasko et al., 1980],  
(右) PV/OCPPの紫外画像 [Rossow et al., 1980].

大気運動の駆動源である太陽光の入力は、  
中層大気 (50-70 km) でコントロールされている。

- 主な中層大気を知る観測手法:
- 紫外観測: 雲頂高度付近までの**未知の吸収物質**量を評価.
  - 中間赤外観測: 雲頂高度付近までの**温度・雲構造**を評価.

# 過去の中間赤外観測



Figs. (左) 周辺減光を除去した疑似カラー画像 (10.6-12.6  $\mu\text{m}$ ) [Apt et al., 1984],  
(中) PVO/OIRの北極中心画像 (11.5  $\mu\text{m}$ ) [Taylor et al., 1980],  
(右) 周辺減光を除去した全球画像 (8-12  $\mu\text{m}$ ) [Taguchi et al., 2012].

- ◆ 地上観測 [Apt et al., 1979]  
Raster scanning methodによる長期 (26日) 観測 (1977)
- ◆ Pioneer Venus Orbiter Infrared Radiometer (OIR) [Taylor et al., 1980]  
放射計, 北半球観測 (1978.12-1979.2)
- ◆ Venera 15 Fourier Spectrometer [e.g., Zasova et al., 2007]  
フーリエ分光器, 北半球観測 (1983.6-1984.7)      Subaru/COMICSを用いた
- ◆ Akatsuki Longwave Infrared Camera [Taguchi et al., 2012]  
ボロメータ, 赤道面軌道からの観測 (2010.12.9)      高空間分解撮像観測 (2007.10)

現時点では, 赤道面からの2次元アレイによる撮像観測は, **あかつきのみ**...<sup>3</sup>...

# Subaru/COMICSによる金星観測 [三津山ら]

◆ ハイパス処理後の画像 (8.59  $\mu\text{m}$ ) [神山による再解析結果]  
 元画像からガウシアン関数 (FWHM:  $\sim 1000$  km) で平滑化した画像を減算。

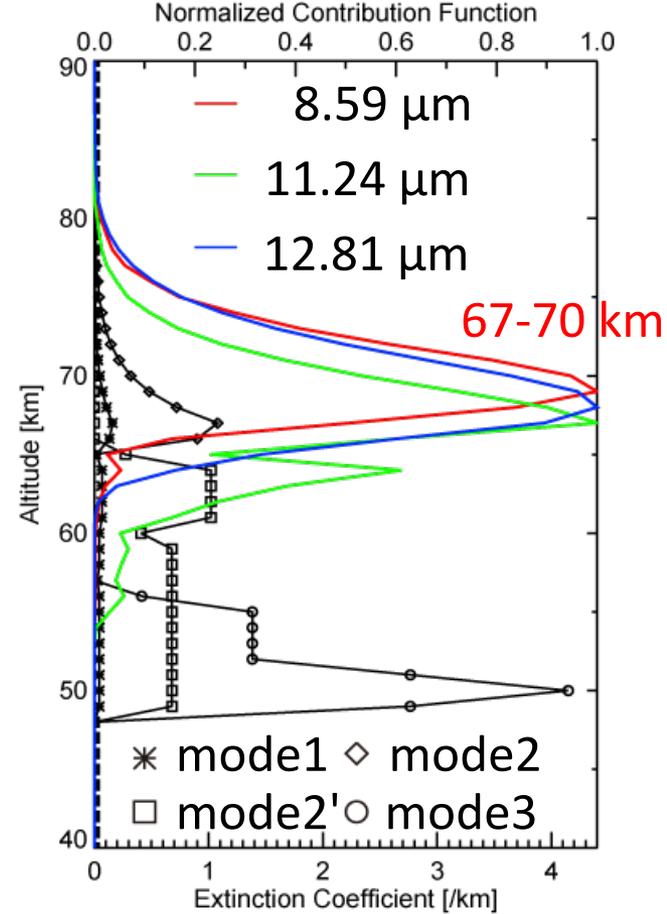
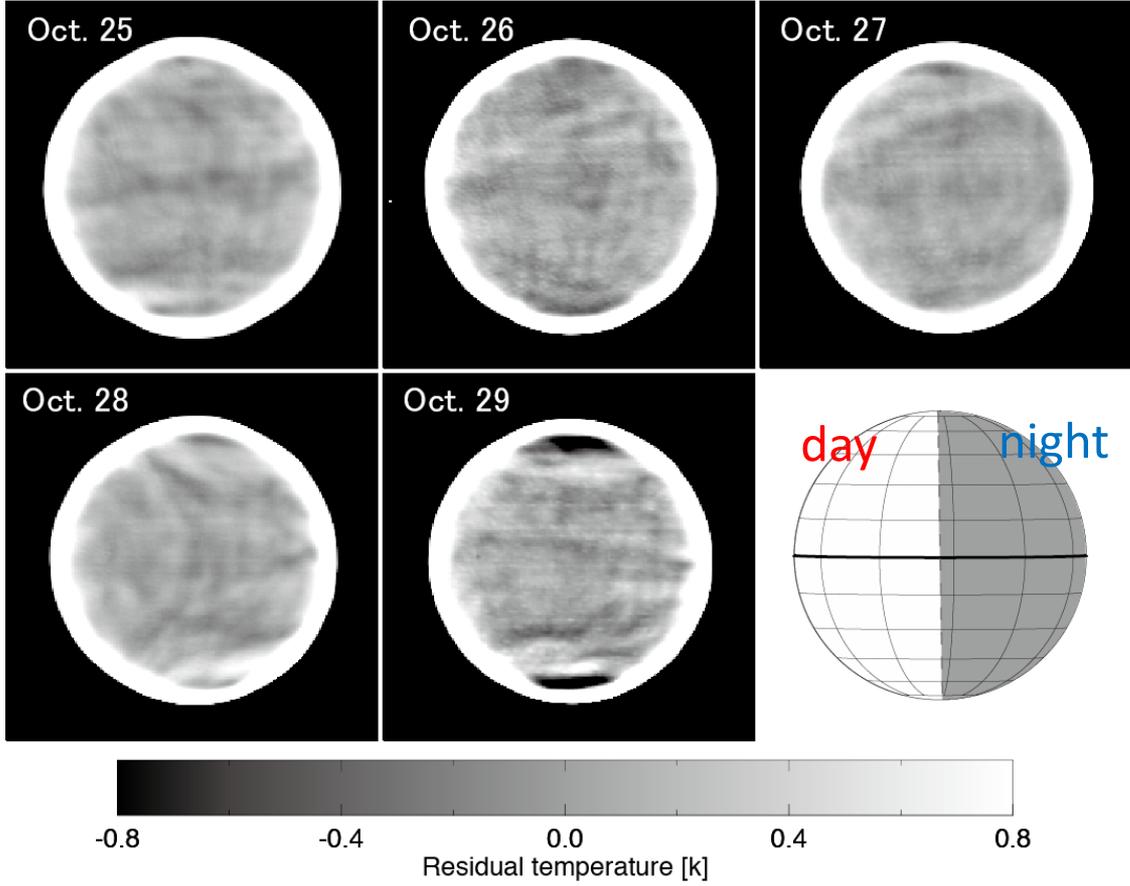


Fig. Subaru/COMICSで取得した微細構造の日変化.

微細構造は、**時空間変動**している。

紫外波長 (感度高度: 62-70 km) で顕著な**横Y字模様**が見えるような日がある。 4

Fig. Subaru/COMICS観測波長の寄与関数と雲分布.

## ◆ 10/28のハイパス画像の比較

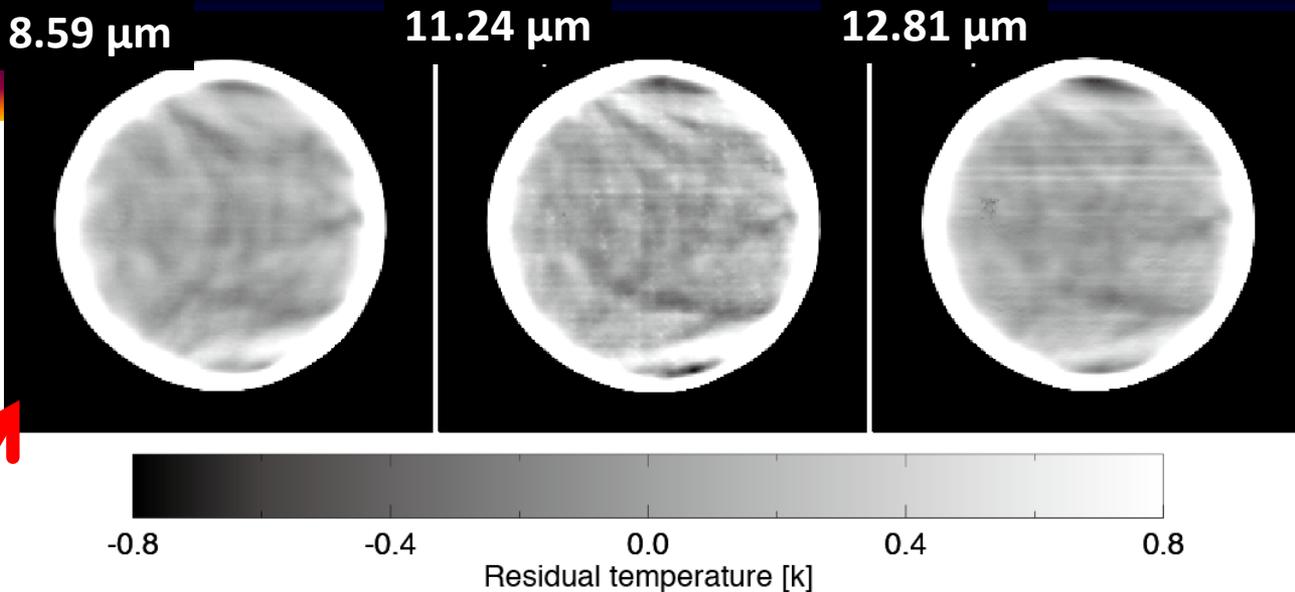


Fig. 微細構造の波長間比較 (10/28).  
(左) 8.59  $\mu\text{m}$ , (中) 11.24  $\mu\text{m}$ , (右) 12.81  $\mu\text{m}$ .

特定波長で横Y字模様が見えているわけではない  
→分子吸収の違いを反映しているとは考えにくい。

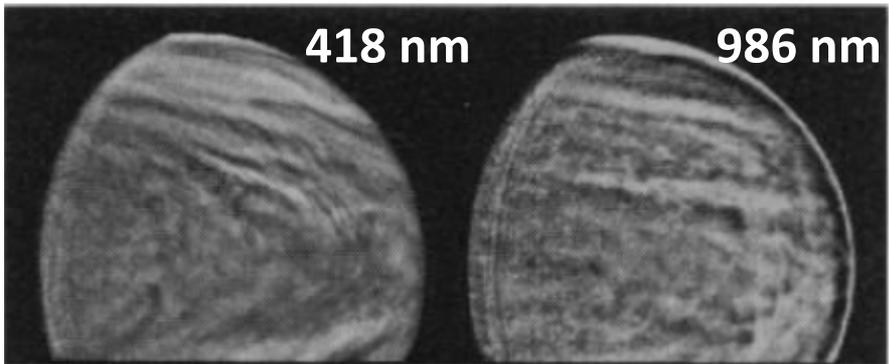


Fig. Galileo/SSI画像からモデル輝度分布を  
除算した画像 [Belton et al., 1991].

**本研究の目的**  
中間赤外波長における輝度温度振幅を  
生み出す**大気パラメータ**は何か？  
また、その**大気パラメータの変動量**は  
どれくらい必要か？

# 輝度温度の平均的な振幅

## ◆ 輝度温度振幅の導出

1. 昼面データ (赤道域) のみを使って, Taylor et al. (1980) の経験モデル式を用いてフィット

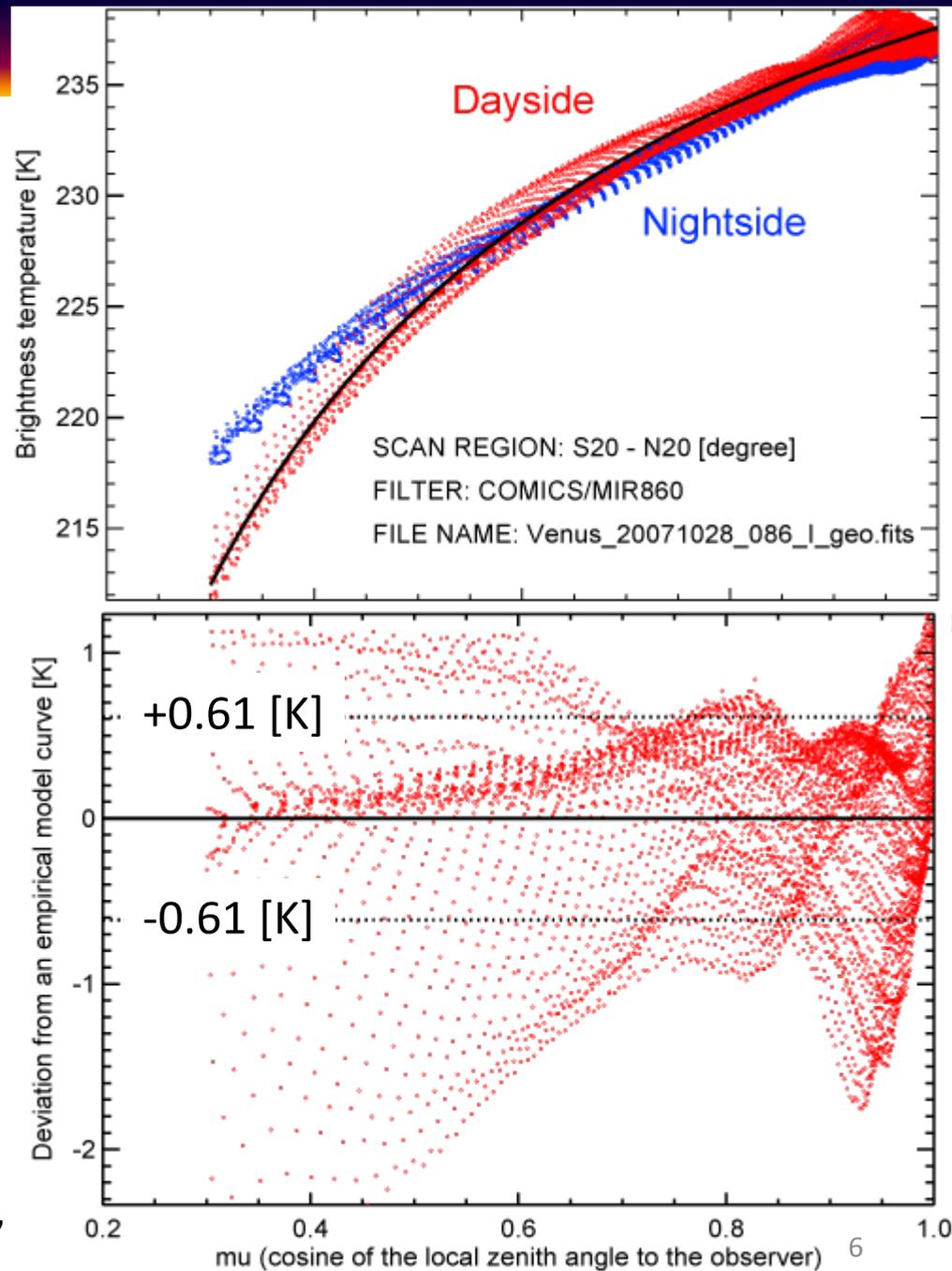
$$T(\mu) = C_1 + C_2 \ln(\mu) + C_3 \mu \ln(\mu) + C_4 (1 - \mu)$$

2. 観測データとモデルの残差を計算  
→  $1\sigma$ を平均的な温度振幅と定義

10月25日 : 0.66 [K]  
10月26日 : 0.69 [K]  
10月27日 : 0.44 [K]  
10月28日 : 0.61 [K]  
10月29日 : 0.70 [K]

SUBARU/COMICS観測期間中の平均的な温度振幅は,  $\sim 0.6$  [K]

Figs. (上) 赤道域における周辺減光曲線,  
(下) 観測データとモデルの残差.



# 放射伝達モデル計算 [中間赤外]

- 非散乱大気を仮定
- 気温： 赤道モデル (Seiff et al., 1985)
- 大気分子：  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{OCS}$  (Marcq et al., 2005)
- 雲粒子： mode1, 2, 2' and 3 (Eymet et al., 2009)
- 地表面射出率： 1.0

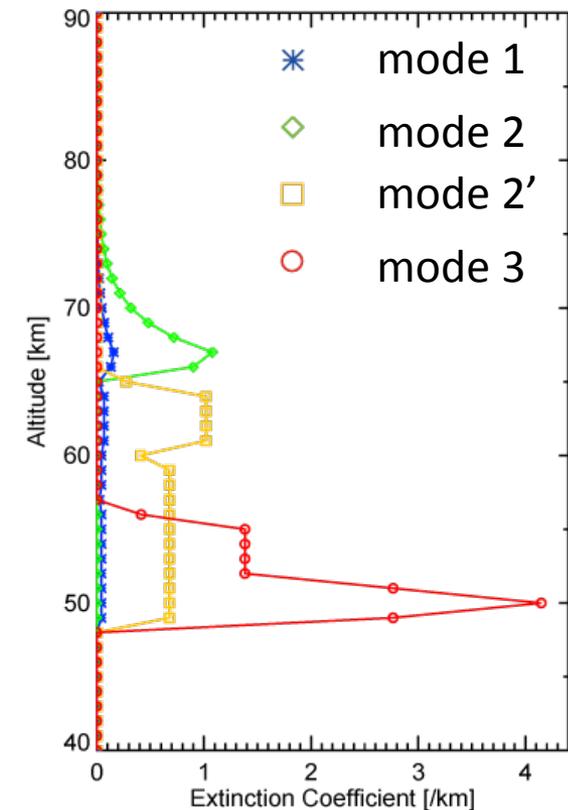


Fig. 4種類モード粒子の  
消散係数分布 (8.59  $\mu\text{m}$ )

「標準モデル」に対して、  
各パラメータ (気温プロファイル, 雲高度, 雲の光学的厚さ)  
を変化させ、輝度温度 (8.59  $\mu\text{m}$ ) の変化量を観測と比較.

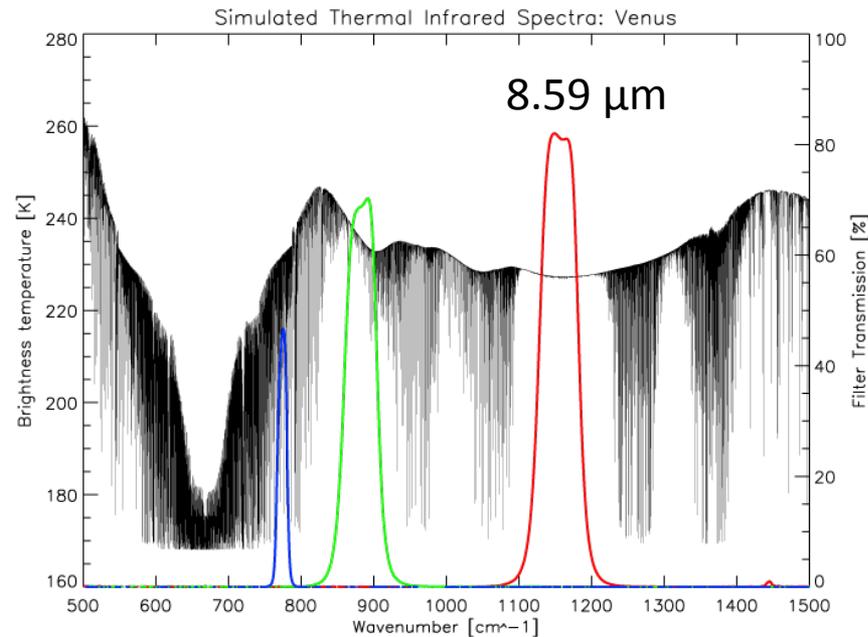
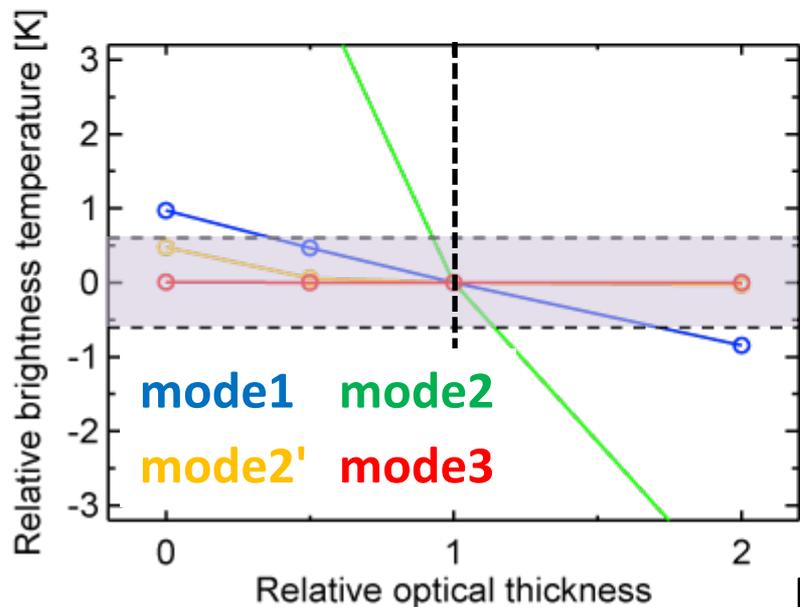
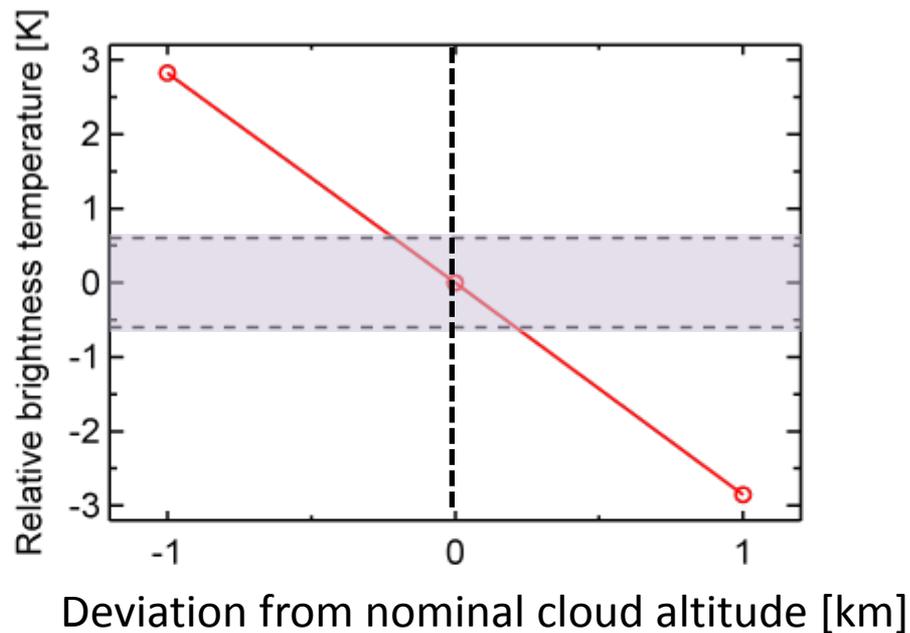
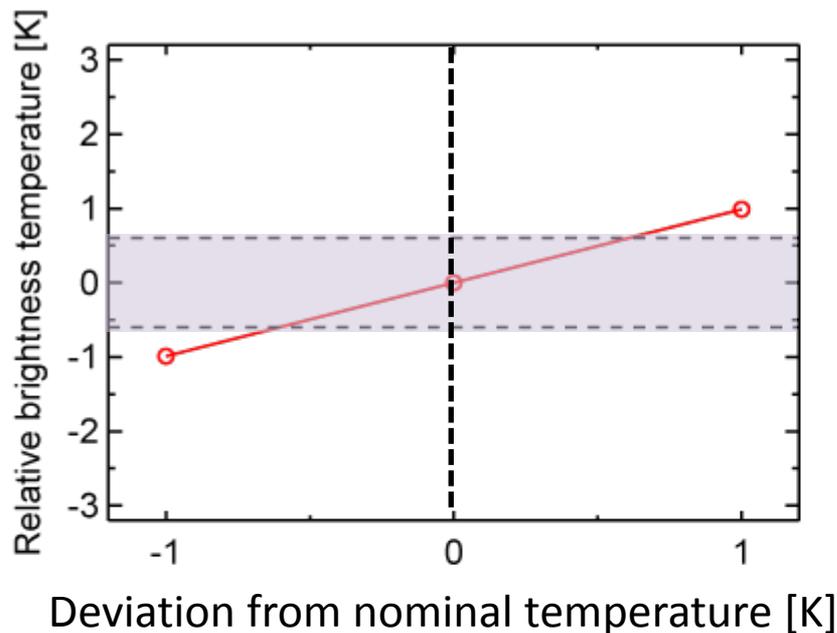


Fig. 「標準モデル」を用いた場合の輝度温度スペクトル.<sup>7</sup>

# 観測と放射計算で得られた温度振幅の比較 [中間赤外]



mode 2'とmode 3の光学的厚さ以外のパラメータは、観測された温度振幅を再現できる。

- 温度プロファイル:  $\sim 0.6$  [K]
- 雲高度:  $\sim 0.2$  [km]
- mode 1の光学的厚さ:  $\sim 70$  %
- mode 2の光学的厚さ:  $\sim 10$  %

Fig. 各パラメータに対する輝度温度の変化量。

# Galileo/SSIが取得した紫画像と近赤外画像

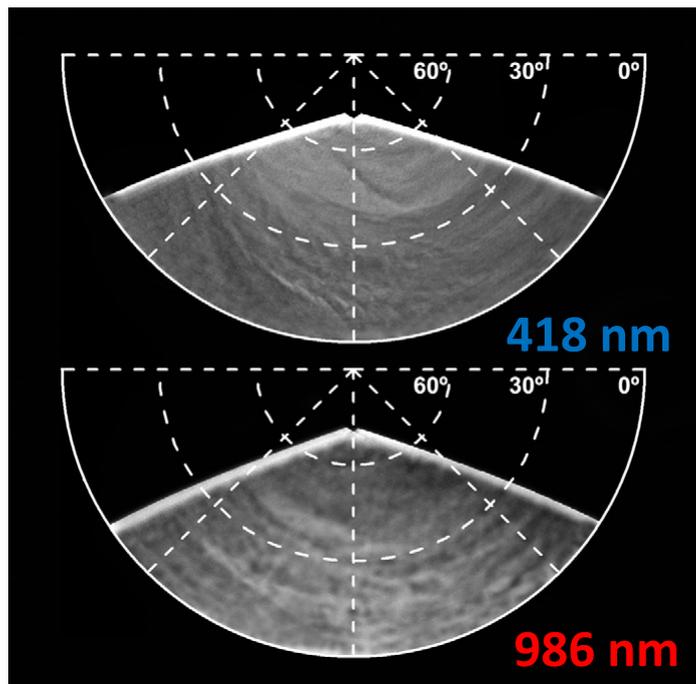


Fig. Galileo/SSIが (ほぼ同時刻に) 撮像した紫 (418 nm) & 近赤外 (986 nm) 画像 [Peralta et al., 2007].

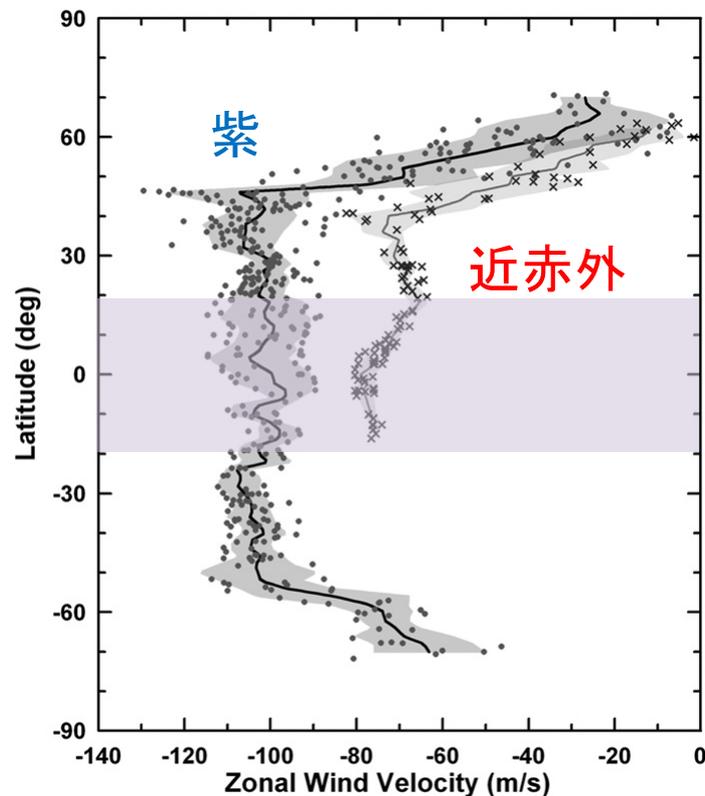


Fig. 雲追跡によって得られた帯状風速 [Peralta et al., 2007].

雲追跡による帯状風速結果は、紫画像と近赤外画像で**有意に異なる**。

→感度高度が異なる (紫: 62-70 km, 近赤外: 58-64 km [Sánchez-Lavega et al., 2008]).

中間赤外画像 (感度高度: ~70 km) ≠ 近赤外画像

→同一パラメータによって両者のコントラストが説明されるのは好ましくない。

# 放射伝達モデル計算 [近赤外]

- 散乱大気 [adding and doubling method]
- 気温: 赤道モデル (Seiff et al., 1985)
- 大気分子:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{OCS}$  (Marcq et al., 2005)
- 雲粒子: mode 1, 2, 2' and 3 (Eymet et al., 2009)
- 地表面アルベド: 0.15

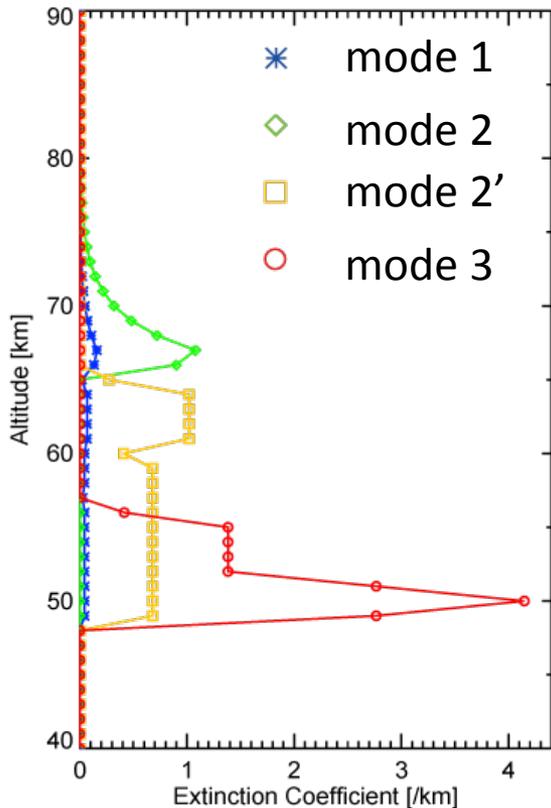


Fig. 4種類モード粒子の  
消散係数分布 (8.59  $\mu\text{m}$ )

「標準モデル」に対して、  
各パラメータ (気温プロファイル, 雲高度, 雲の光学的厚さ)  
を変化させ、放射輝度 (986 nm) の変化量を観測と比較.

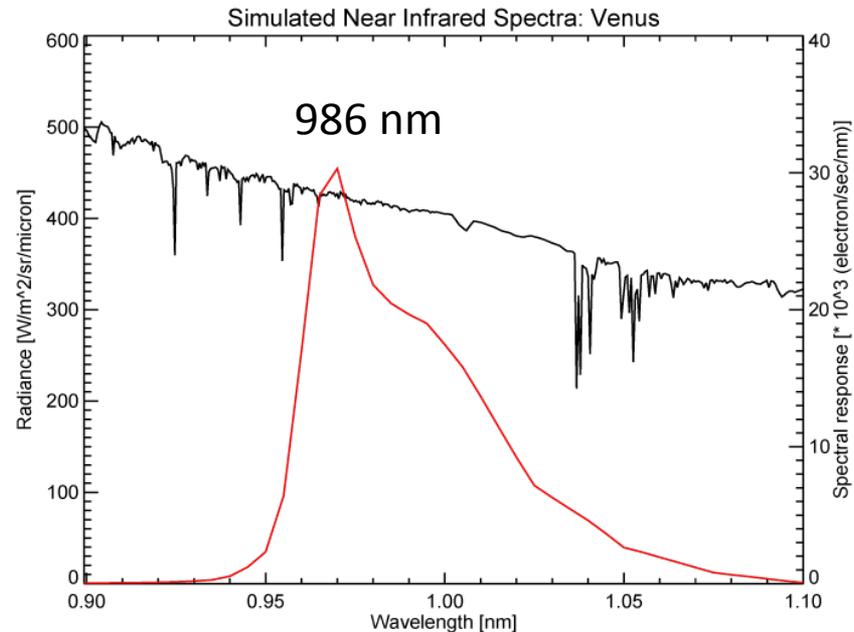
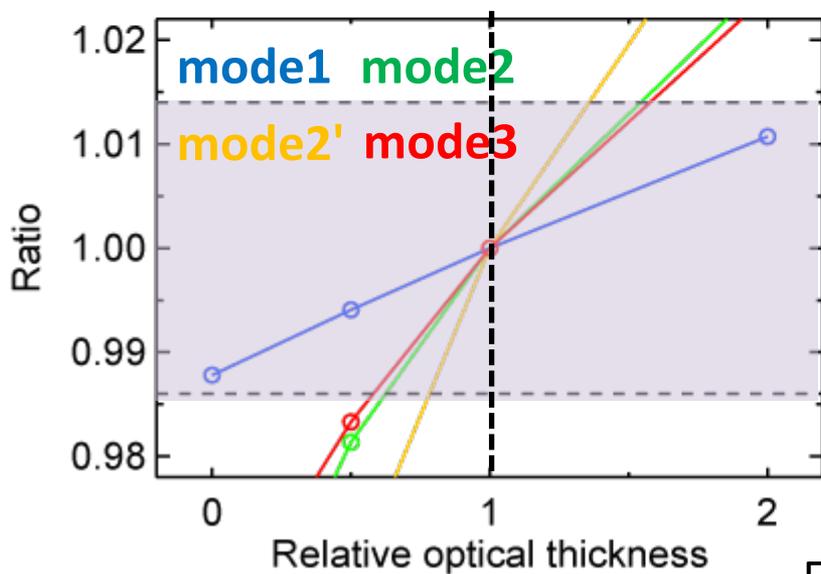
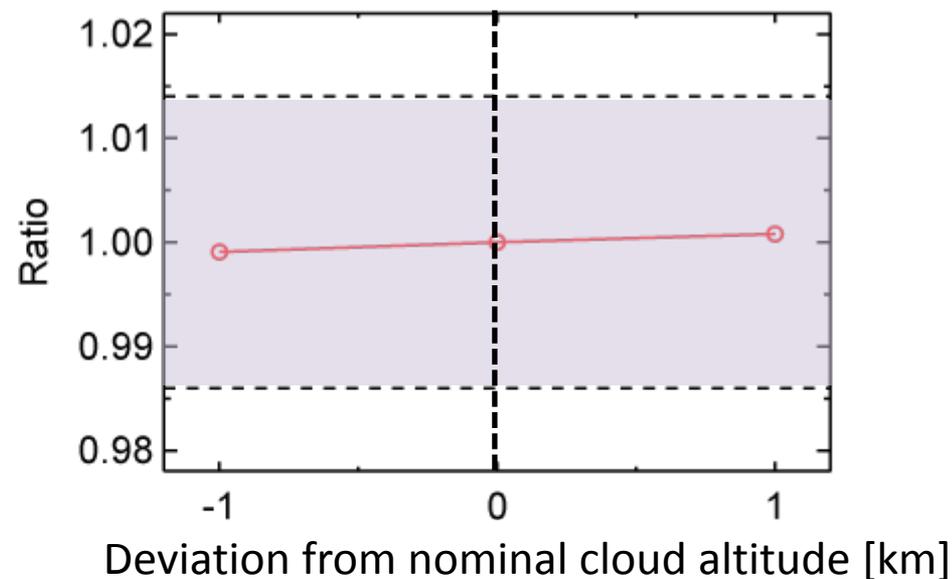
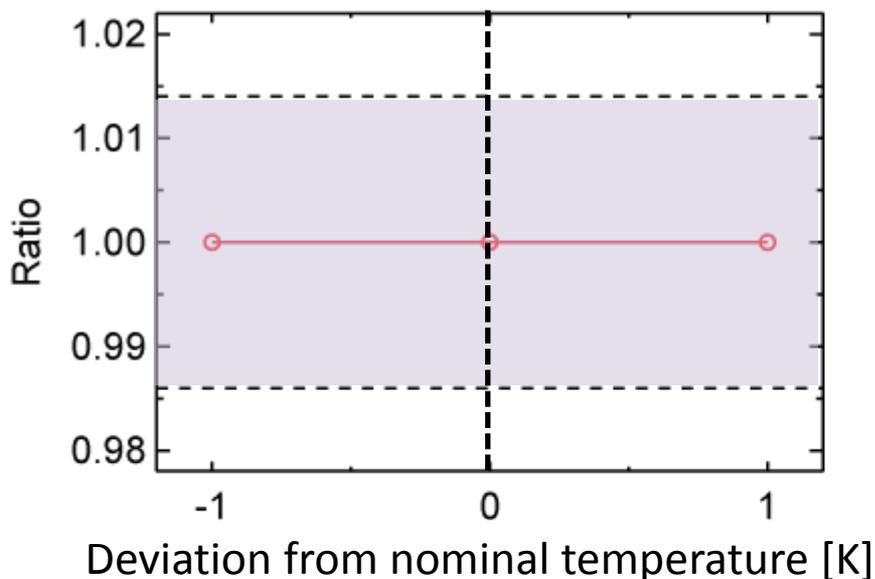


Fig. 「標準モデル」を用いた場合の放射輝度スペクトル.

# 観測と放射計算で得られたコントラストの比較 [近赤外]

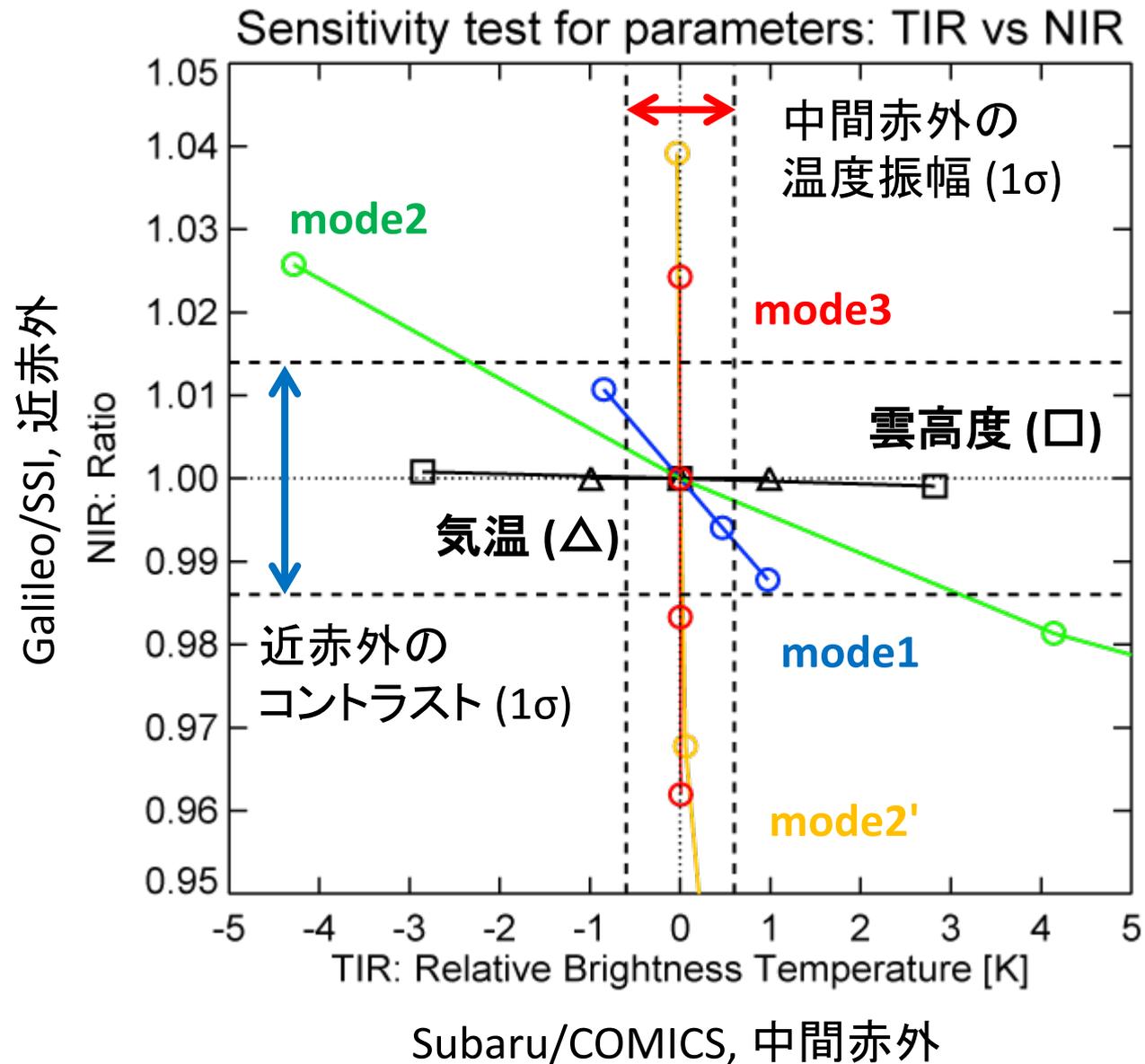


近赤外波長での  
平均的なコントラスト (赤道): 1.4 %

- 温度プロファイル: 変化なし
- 雲高度: ほぼ変化なし
- mode 1の光学的厚さ: ~100 %\*  
(\* コントラスト: 1 %)
- mode 2の光学的厚さ: 40-50 %

Fig. 各パラメータに対する放射輝度の変化量.

# 観測と放射計算で得られた近赤外コントラストの比較



mode 1の光学的厚さ:  
mode 2の光学的厚さ:

いずれも  
温度振幅を再現する  
変動量では,  
近赤外コントラストは  
再現できない.

Fig. 中間赤外における温度振幅と近赤外におけるコントラストのモデルマップ.

# まとめ

Q. 中間赤外における温度振幅を生み出すパラメータは何か？その変動量は？

➤ **温度構造**: ~0.6 [K]

➤ **雲高度分布**: ~0.2 [km]

Ignatiev et al. (2009)のVEX/VIRTIS解析結果 [赤道では雲頂高度差は数100m] と整合的.

これらの物理量は、観測高度の異なる近赤外波長 (986 nm) には感度がない.

➤ **mode 2の光学的厚さ**: ~10 %

→ 温度振幅を再現する光学的厚さの変動量では、  
近赤外波長でのコントラストすべては再現できない.

➤ **mode 1の光学的厚さ**: ~70 %

→ 温度振幅を再現する光学的厚さの変動量では、  
近赤外波長でのコントラストすべては再現できない.  
→ しかし、~70 %もの大きな変動があるとは考えにくい.

今後:

2-3年後のあかつきのLIRとUVI, LIRとIR1の**同時**観測データの比較に期待.