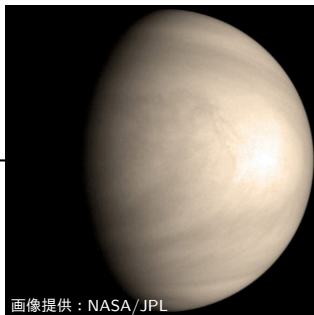


金星温故知新セミナー

はしもとじょーじ

- ▶ 比較惑星気候学
- ▶ 表層環境システムの安定性
 - Hashimoto and Abe (2005) Planet. Space Sci., 53, 839-848.
- ▶ 地表放射率から金星の過去を探る
 - Hashimoto et al. (2008) J. Geophys. Res., 113, E00B24
- ▶ 活火山探索
 - Hashimoto and Imamura (2001) Icarus, 154, 239-243.



比較惑星気候学

金星

地球

火星



画像提供：NASA

温度

灼熱

温暖

酷寒

H₂O

微量

海洋

氷

大気量

100

1

0.006

進化

?

暑→温

温→冷

金星の地表は観測するのが難しい

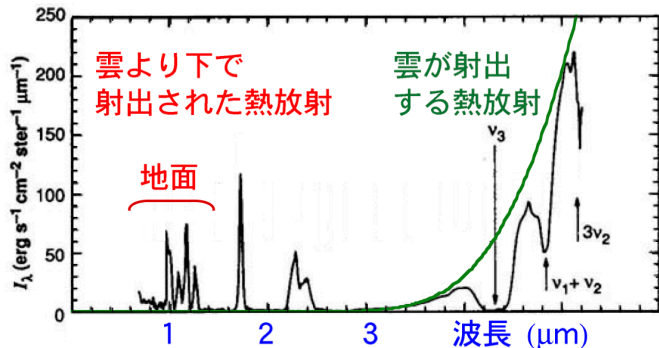
惑星の全面を切れ間なく覆う雲

- ▶ 普通に観測して見えるのは雲から上だけ

近赤外線窓の発見 e.g., Allen and Crawford (1984)

- ▶ 夜面で雲頂下の大気/地面が射出した熱放射を観測

放射輝度



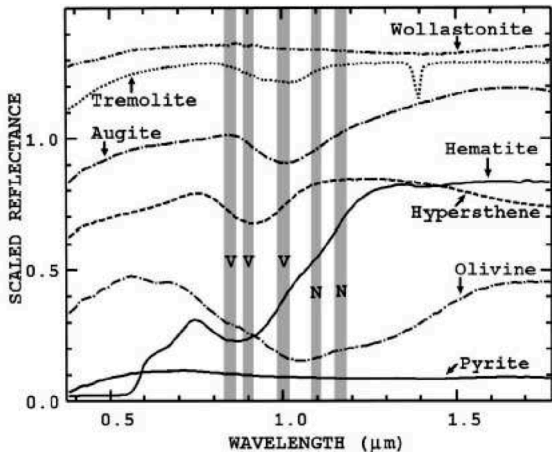
金星夜面の
スペクトル

Carlson et al.
(1990) に加筆

地表が見える5つの窓

Baines et al. (2000)

0.85, 0.90, 1.01, 1.10, 1.18 μm



反射スペクトル
⇒ 鉱物の同定

波長 $\sim 1 \mu\text{m}$ 付近

▶ 鉄を含む珪酸塩鉱物に特徴的な吸収

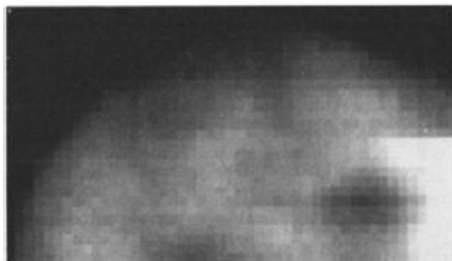
周回軌道上からの遠隔測定から金星バルク組成の推定

地表が射出する熱放射の観測

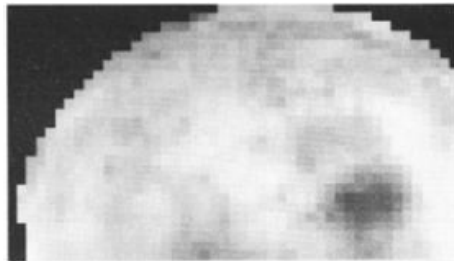
Lecacheux et al. (1993), Meadows and Crisp (1996)

- ▶ 近赤外の窓 (波長 $1.0 \mu\text{m}$ 他) で金星熱放射を観測
- ▶ 熱放射の強度は地表温度とよい相関
- ▶ 放射率に地域差なし (放射輝度は放射率に比例すると仮定)

Meadows and Crisp (1996)



1.00 microns



Surface Elevation

雲上の放射輝度と地表放射率の関係

Hashimoto and Sugita (2003), Moroz (2002)

- ▶ 地面が射出する熱放射 $\sim \varepsilon$
- ▶ 地面が反射する熱放射 $\sim (1 - \varepsilon)$

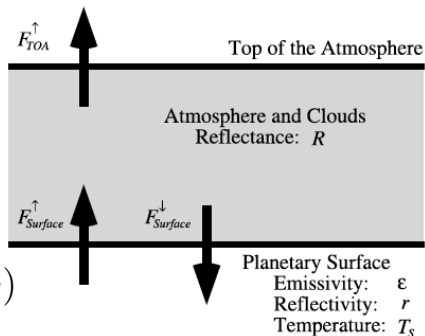
$$F_{Surface}^{\uparrow} = \varepsilon \pi B_{\lambda}(T_S) + (1 - \varepsilon) F_{Surface}^{\downarrow}$$

$$F_{Surface}^{\downarrow} = R F_{Surface}^{\uparrow}$$

$$F_{TOA}^{\uparrow} = (1 - R) F_{Surface}^{\uparrow}$$

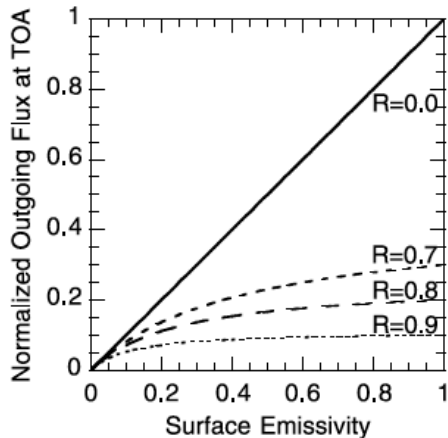
連立して解くと

$$F_{TOA}^{\uparrow} = \frac{(1 - R)}{1 - (1 - \varepsilon) R} \varepsilon \pi B_{\lambda}(T_S)$$



雲上の放射輝度と地表放射率の関係

Hashimoto and Sugita (2003)



$$\frac{F_{TOA}^{\uparrow}}{\pi B_{\lambda}(T_S)} = \frac{(1-R)}{1-(1-\varepsilon)R} \varepsilon$$

観測される熱放射 F_{TOA}^{\uparrow} は地表放射率 ε に比例しない

金星は大気・雲の反射率が大きい ($R \approx 0.8$) ので、地表放射率 ε の差は見えにくい

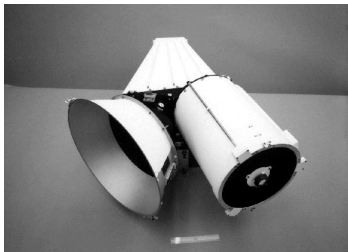
Meadows and Crisp (1996) の観測 $\Rightarrow (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1 \gtrsim 0.17$

Galileo NIMS

Near-Infrared Mapping Spectrometer

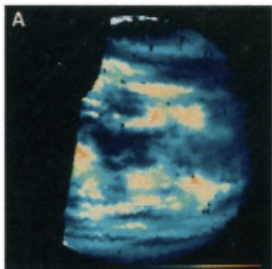
(Carlson et al., 1992)

- ▶ wavelength range : $0.7 - 5.2 \mu\text{m}$
- ▶ spatial scan : 20 positions
- ▶ detectors : 17
- ▶ grating positions : 24



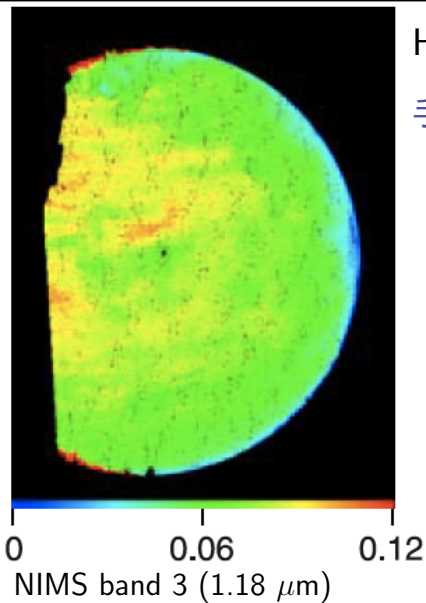
Galileo Venus flyby

- ▶ February 1990
- ▶ VPDIN-1, VPDIN-2 : 17 wavelengths
- ▶ VJBARS : 408 wavelength



Carlson et al. (1991) $2.3 \mu\text{m}$

Galileo NIMS データの解析



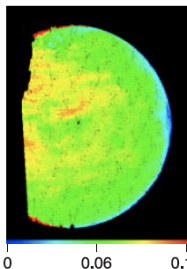
Hashimoto et al. (2008)

手順

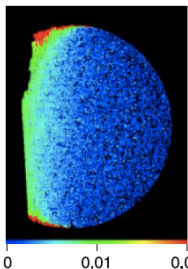
- 1 昼面からの迷光除去
- band 4
- 2 周縁減光の補正
- 3 雲 (数密度とサイズ) の推定
- Carlson et al. (1993)
- band 5 + 7
- 4 地表放射率の推定
- 標高 Magellan

Galileo NIMS データ

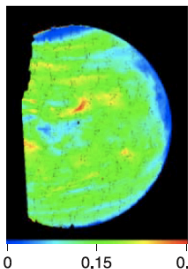
(a) band 3



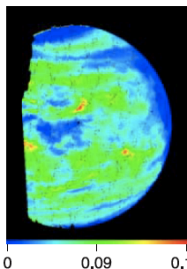
(b) band 4



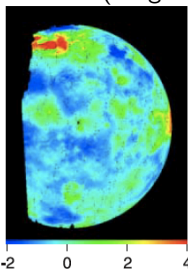
(c) band 5



(d) band 7



(e) 標高 (Magellan)



NIMS

band 3	1.18 μm
band 4	1.47 μm
band 5	1.74 μm
band 7	2.31 μm

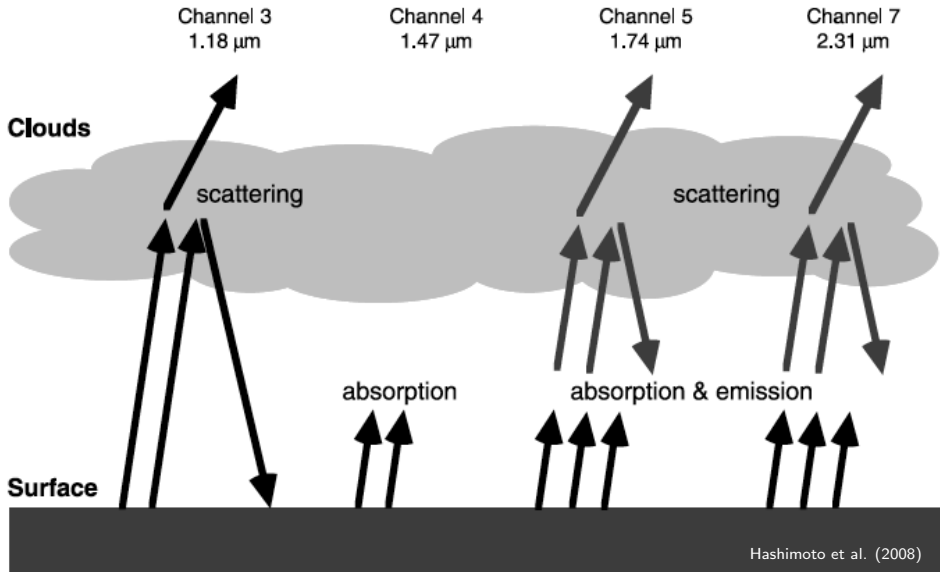
band 3 地表温度 \times 放射率
 \times 減光 + 迷光

band 4 昼面からの迷光

band 5, 7 雲による減光

標高 地表温度

NIMS 各バンドにおける光学特性



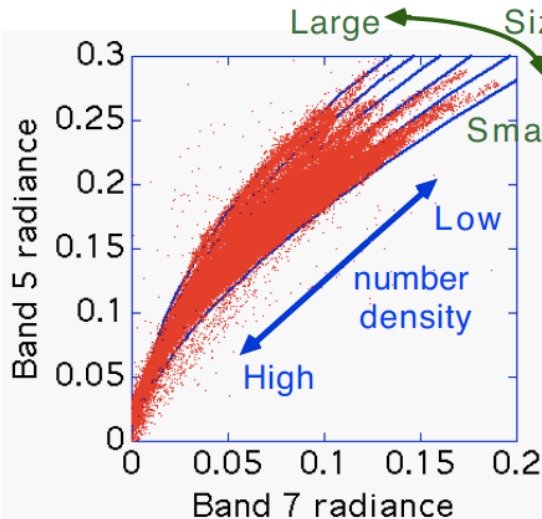
ラインバイライン放射計算

Hashimoto et al. (2008)

- ▶ **アディング法**
 - 吸収と散乱, 平行平面大気
- ▶ **HITEMP + HITRAN2000**
 - Rothman et al. (2003), personal communication
- ▶ **CO₂ 連続吸収**
 - Pollack et al. (1993), Bevard et al. (1990)
- ▶ **雲の光学特性 (Mie 理論)**
 - Palmer and Williams (1975)
- ▶ **大気温度 VIRAS**
- ▶ **大気組成 Pollack et al. (1993)**

雲の放射特性 Carlson et al. (1993)

1.74 μm と 2.3 μm の放射輝度から雲水量と雲径を推定



赤点 NIMS 観測

▶ 迷光補正あり

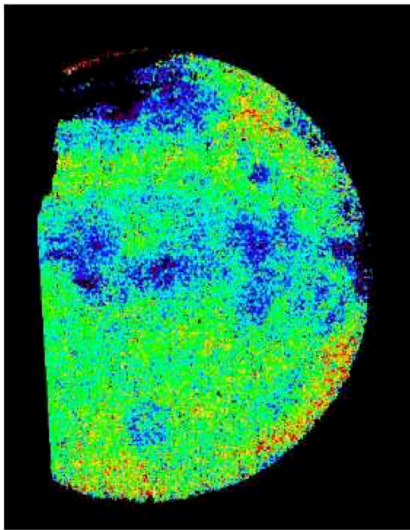
▶ 周縁減光補正あり

青線 放射計算

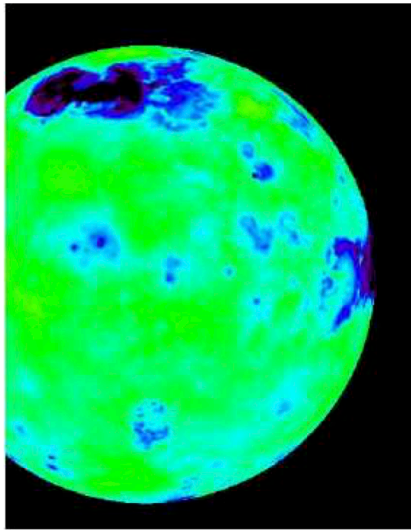
▶ mode2' と mode3
の比を一定にして
数密度を変化

地表熱放射

Hashimoto et al. (2008)



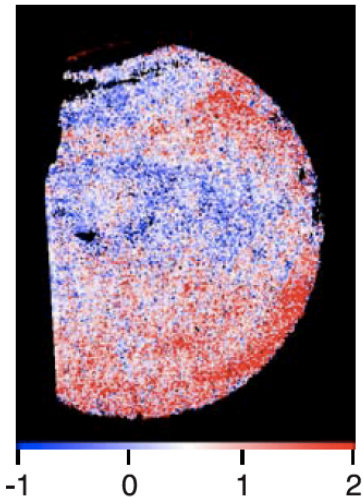
NIMS band 3 補正後



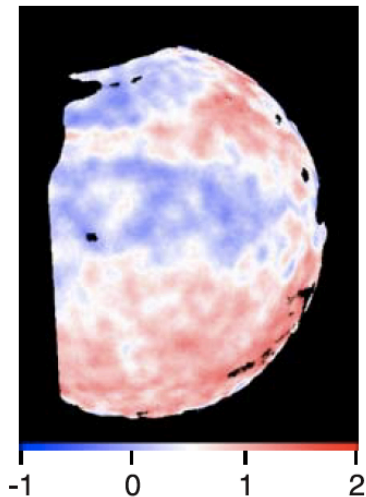
標高 (Magellan)

地表放射率 Hashimoto et al. (2008)

(a) $1.18 \mu\text{m}$ 放射率



(b) スムージング (250km)



地表放射率 Hashimoto et al. (2008)

1.18 μm 放射率は標高に依存

- ▶ 高地 \Leftrightarrow 放射率 小
- ▶ 低地 \Leftrightarrow 放射率 大

$\sim 1\mu\text{m}$ 放射率 \sim 鉄含有量

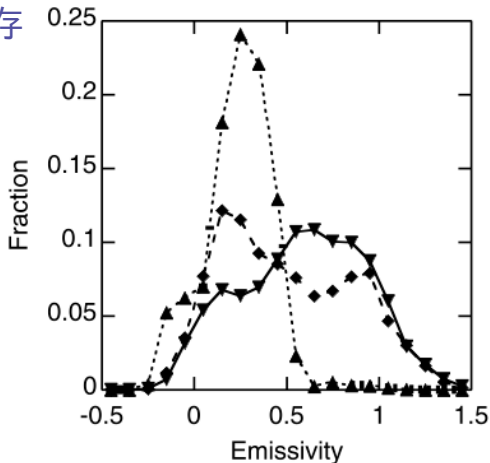
- ▶ 高地 \rightarrow 花崗岩質
- ▶ 低地 \rightarrow 玄武岩質

地形

- ▶ 低地は低粘性の溶岩

アイソスタシー

- ▶ 密度 \sim 鉄含有量



- ▲ : $2 < z < 4$ km 高地
- ◆ : $0 < z < 2$ km 低地
- ▼ : $z < 0$ km 低地

地表温度

放射率の標高依存性を地表温度に押し付けるのは難しい

地表温度 T_S

- ▶ 標高 z の関数として与える
 - 標高と温度の関係は VIRA を使用

温度減率 $\Gamma = -(dT_S/dz)$

- ▶ 温度減率を大きくすると
 - ⇒ 地表温度： 低地 ↗ 高地 ↘
 - ⇒ 放射率： 低地 ↘ 高地 ↗
- ▶ 推定された放射率の高度依存性を打ち消すには、超断熱温度勾配が必要

古金星の海 Hashimoto et al. (2008)

玄武岩に水を加えて溶かすと花崗岩質マグマが生成する
(e.g., Campbell and Taylor, 1988)

- ▶ 花崗岩が確認されているのは地球のみ
- ▶ 海と沈み込み (プレートテクトニクス) を示唆

古金星の海を示唆する状況証拠

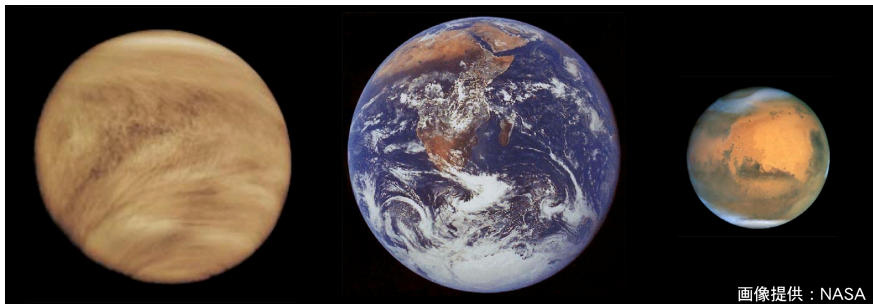
- ▶ 金星にも地球と同じくらい H_2O が集積したはず
 - 地球と金星の表層にある CO_2 と N_2 はほぼ同量
- ▶ 水素同位体比 (D/H) は地球の約 100 倍
 - 軽いものほど宇宙空間へ逃げやすい
 - 金星は重い水素が濃集 → 水素逃散の証拠
- ▶ 暗い太陽はハビタブルゾーンを内側に広げる
 - 惑星アルベド $\gtrsim 0.4$ で海洋形成条件を満たす

海洋が存在する地球は特別なのか？

金星

地球

火星



画像提供：NASA

現在
過去

乾燥
海あり

海あり
海あり

凍結
海あり

- ▶ 過去の太陽系においては3つ全て水惑星
- ▶ 水惑星であり続けることが難しい？