

## 金星のメソ気象：あかつきからその先へ

今村 剛（東京大学）

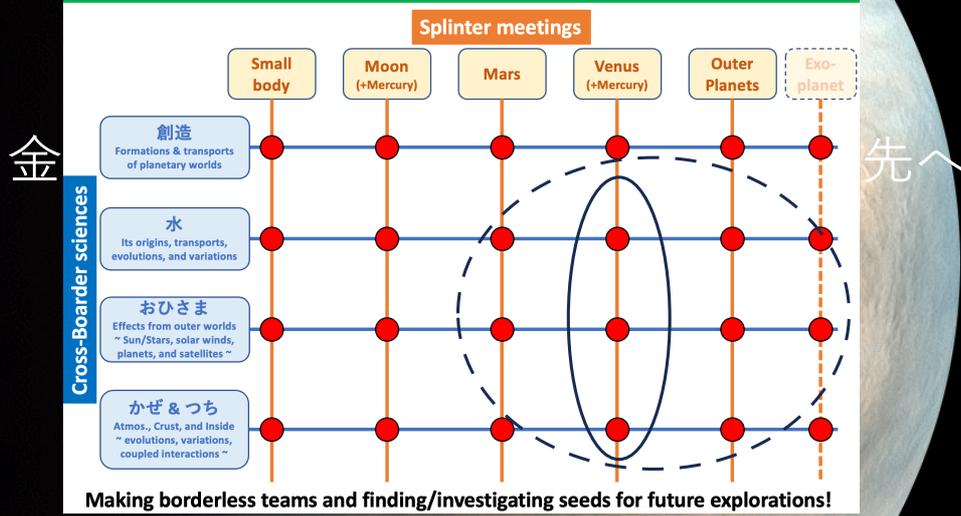
地球気象は空間スケール・時間スケールの双方においてマイクロスケール～メソスケール～総観スケール～惑星スケールの階層構造を持ち、そのような幅広いスケール間の相互作用が本質的である。金星をはじめ他の惑星の気象も同様と想像されるが、体系的な観測がなされているのは惑星スケール～総観スケールにとどまり、メソスケール以下の気象の実態とスケール間相互作用についての理解は限定的である。探査機「あかつき」による金星気象観測は、継続的な雲追跡による運動場解析などによってスーパーローテーションをはじめとする金星特有の大規模運動の理解を進めた。一方で、「あかつき」搭載カメラにより多波長で得られた雲画像や電波掩蔽による大気鉛直構造データには、これまであまり把握されていなかったメソスケールの様々な現象が映し出され、その成因や大気構造形成における役割について新たな問題を投げかけている。これらの大気現象は、地球のメソスケール気象がそうであるように、エネルギー・運動量・化学物質の鉛直輸送をもたらして金星気候形成に関与していることが考えられる。「あかつき」などこれまでの探査で得られたデータの更なる解析と、2030年前後に実施される予定のESAのEnVision、NASAのVERITASとDAVINCI+による新たな観測、高解像度非静力学シミュレーションによる理解増進が期待される。

# 金星のメソ気象：あかつきからその先へ

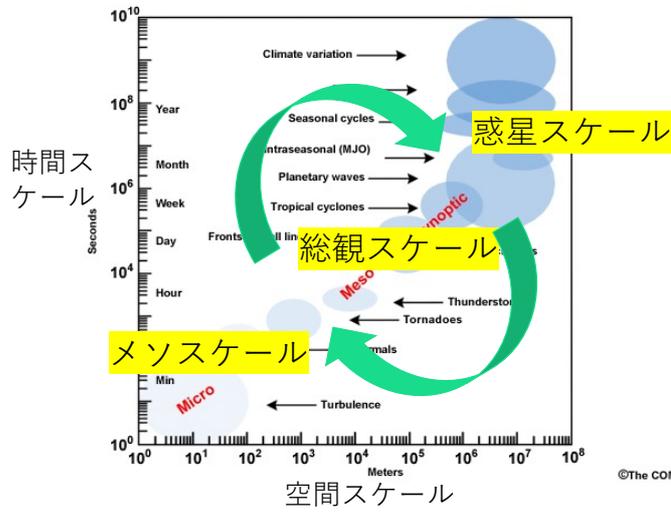
今村 剛 (東京大学)

## Focus points of the Symposium

Multiple Column x Low approach for Science requirement & Mission strategy



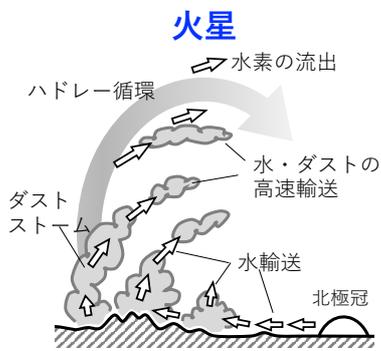
# 地球気象の階層構造



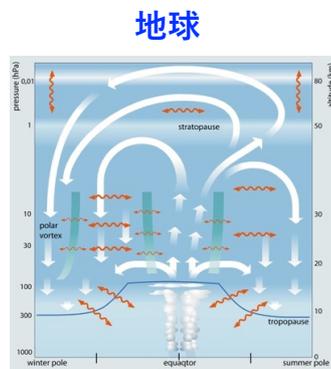
スーパーローテーション：  
惑星スケールの力学で概ね  
説明できそう

©University Corporation for Atmospheric Research

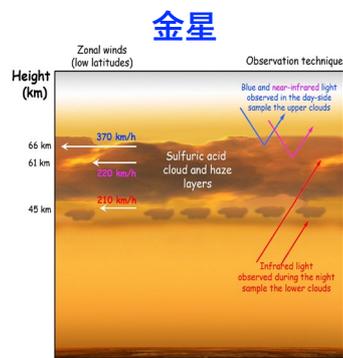
# 地球型惑星大気の上結合



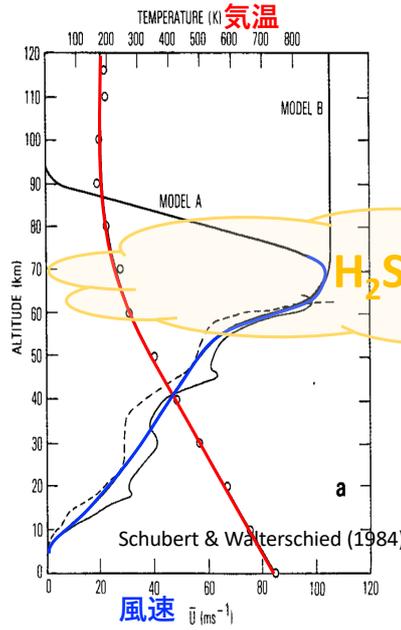
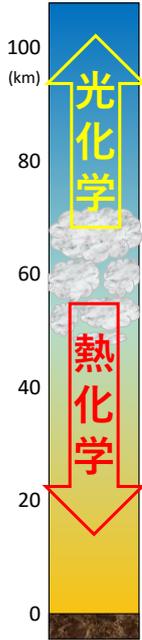
ダスト加熱により地表から高層大気まで短時間で水蒸気が輸送され、水が流出



高層大気に運ばれる空気が熱帯対流圏界面で水を凝結で失い、水の流出を抑制

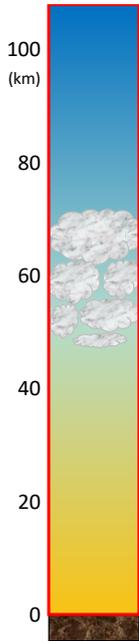
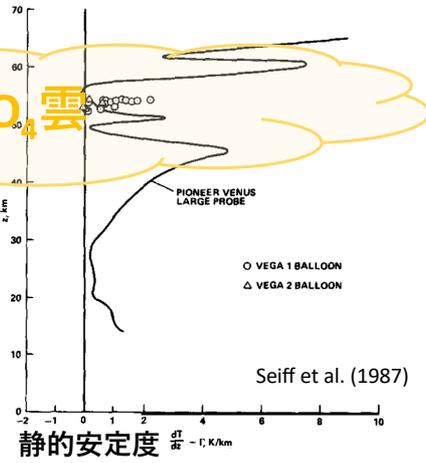


ほぼ不明



## 高度ごとに別世界

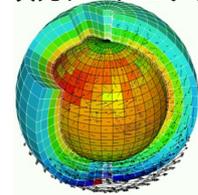
地球にも火星にも無い物理条件の  
実験室



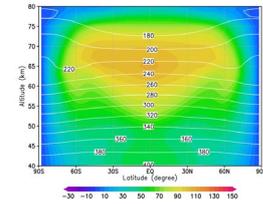
## 大気全層循環の包括的理解を目指す 金星大気データ同化プロジェクト



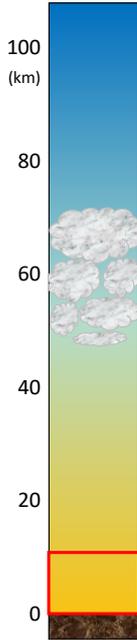
### 4次元データセット



データ同化後の東西風分布  
(Fujisawa et al. 2022)



- 大循環モデルはメソスケール以下を直接的に計算しない。
- パラメタリゼーションの実証・改良・汎用化が必要

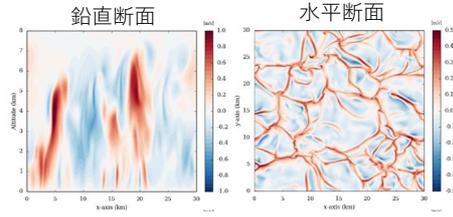


## 境界層

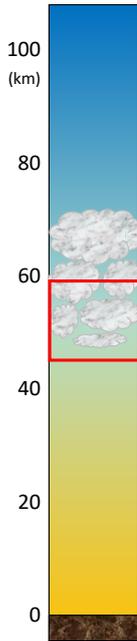
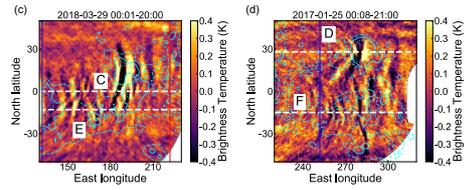
地表に届く太陽光は地球の1/10以下  
地球大気の50倍の密度  
放射時定数~数十年

- 山岳波が専ら午後に発生
- 対流と山岳波の両立？
- あかつきが捉えた山岳波を再現すると山岳トルクのためにスーパーローテーションが維持されない問題

境界層対流シミュレーション  
(Lefevre et al. 2022)

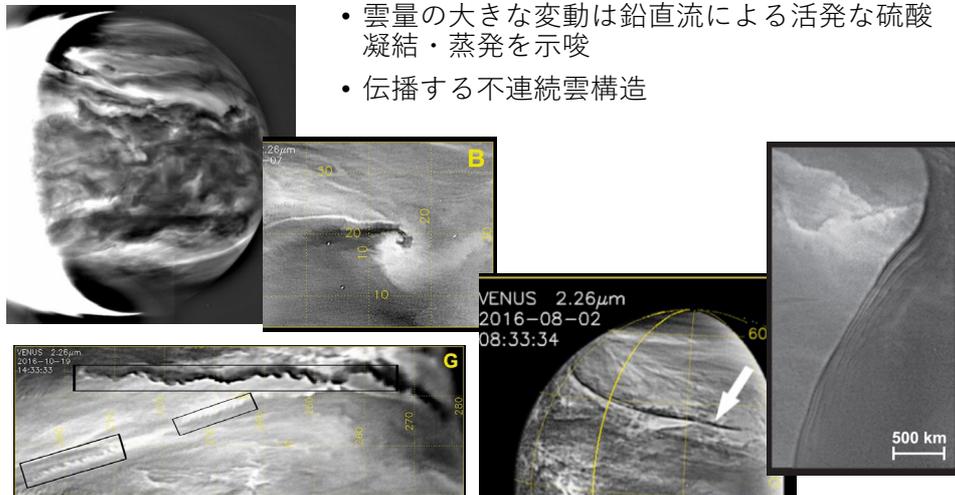


雲頂に見られた山岳波 (Fukuya et al. 2022)

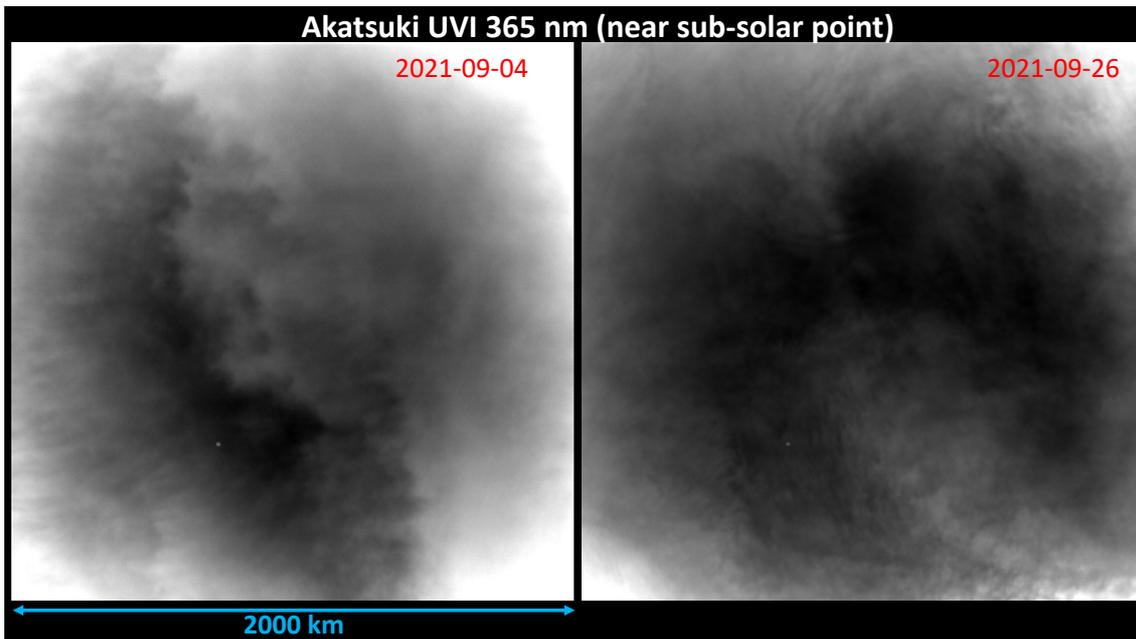
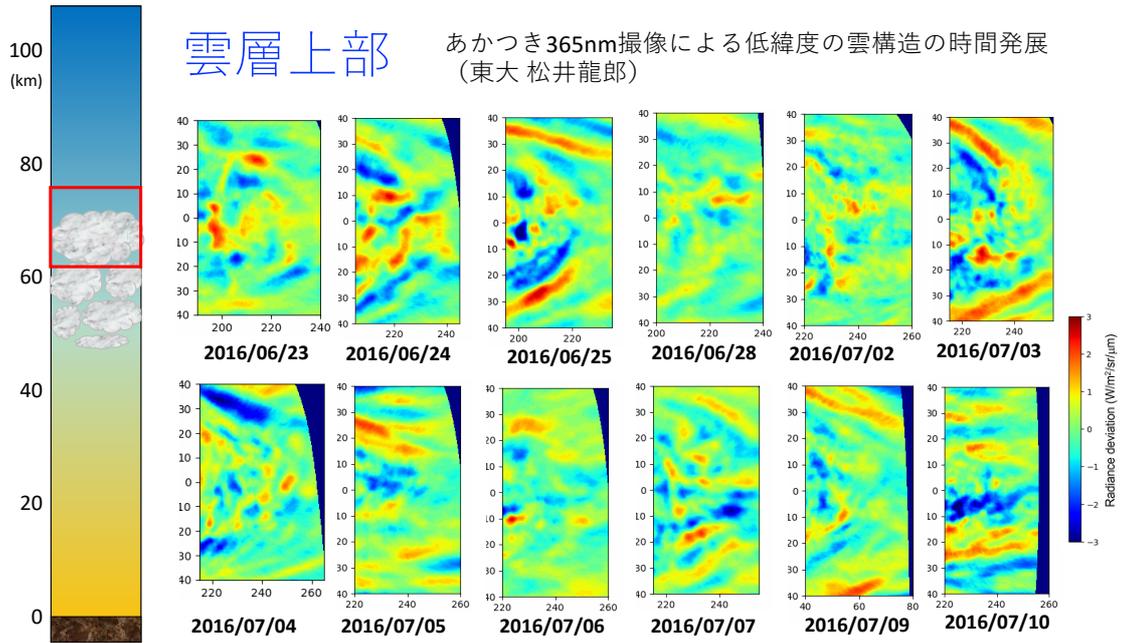


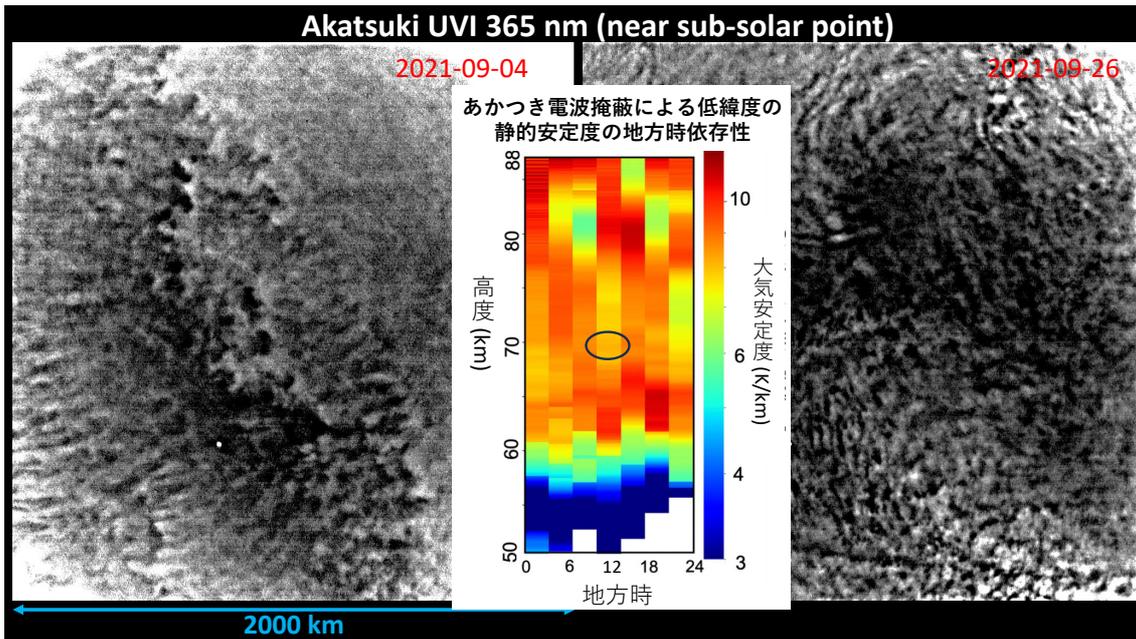
## 雲層下部

- 乱流？波？： 成因はほぼ未解明
- 雲量の大きな変動は鉛直流による活発な硫酸凝結・蒸発を示唆
- 伝播する不連続雲構造

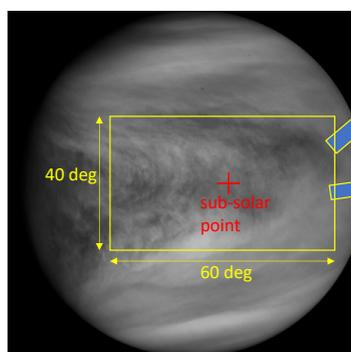


あかつきIR2が波長2.26μmで撮影 (Peralta et al. 2019)





メソスケール紫外コントラストの周期性 (Suda et al., 2023)



365 nm (unknown absorber)

**Standard deviation  $\sigma$**  of the subregion  
bandpass-filtered to retain scales 80-1200 km as  
a proxy for small-scale contrast

**Mean brightness  $I$**  of the subregion as  
a proxy for planetary-scale contrast

The quantities are normalized by their mean  
values ( $\bar{\sigma}$ ,  $\bar{I}$ ) such that  $\sigma/\bar{\sigma}$  and  $I/\bar{I}$

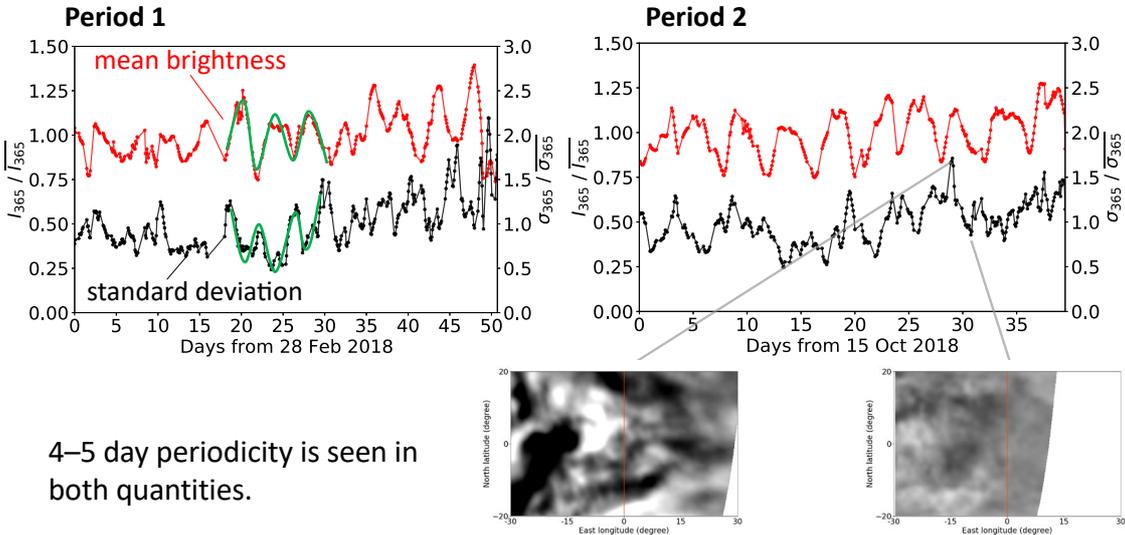
Time series analysis for the two periods:

**Period 1:** Feb 28, 2018 - Apr 19, 2018 (50 days)

**Period 2:** Oct 15, 2018 - Nov 23, 2018 (40 days)

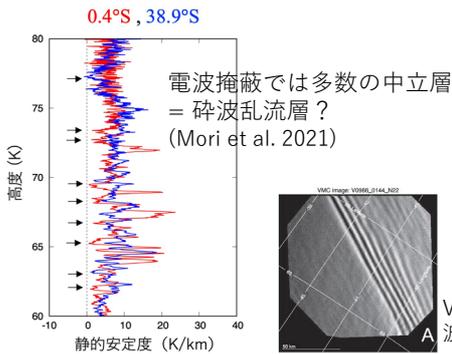
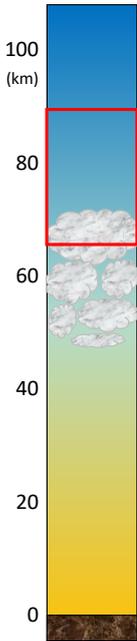
広範囲でアルベドが低下するとメソスケール構造が発達  
 →惑星波とメソ構造のスケール間相互作用か

時系列 (365 nm)

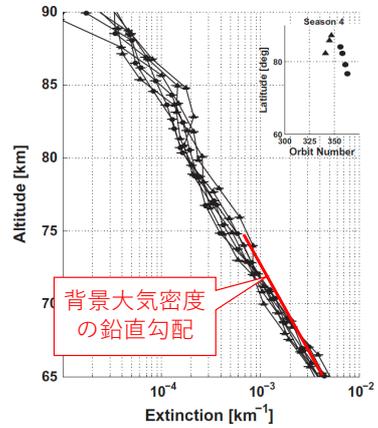


### 成層圏

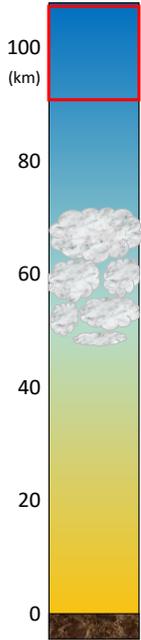
- エアロゾルのスケールハイトが大気のスケールハイトに近い  
 →鉛直方向に速い輸送を示唆
- 乱流混合か大規模循環か



Venus Express SOIRによるエアロゾル高度分布 (Wilquet et al. 2012)

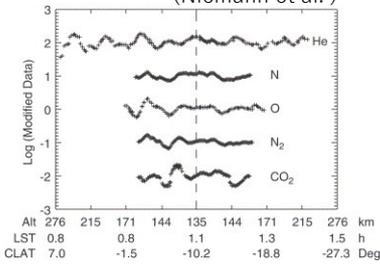


Venus Express VMCがとらえた雲頂の波状構造 (Piccialli et al. 2014)

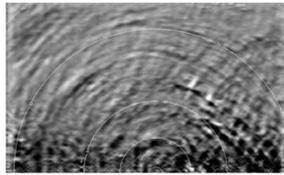


## 熱圏

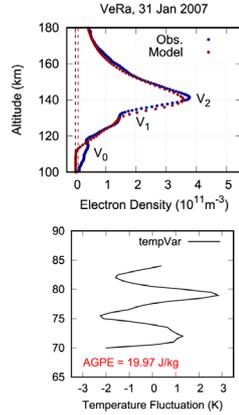
Pioneer Venus Orbiter質量分析器がとらえた熱圏の波状構造 (Niemann et al.)



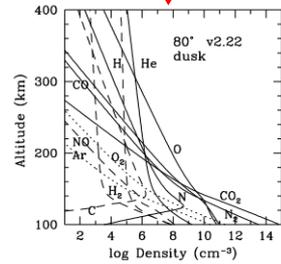
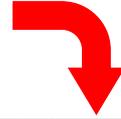
Venus Express VIRTISによる4.3 $\mu$ m大気光の波状構造 (Garcia et al. 2009)



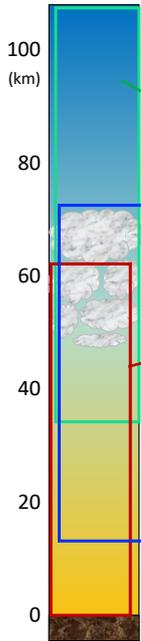
電離圏下部構造( $V_0$ 層)の重力波による摂動 (Tripathi et al. 2023)



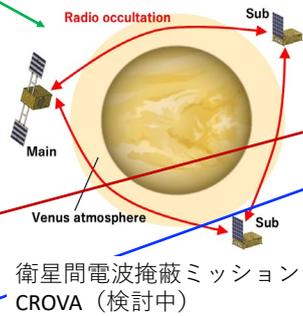
鉛直混合強度が均質圏界面を決める



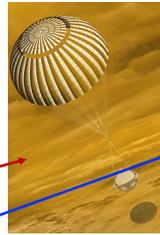
熱圏組成モデル (Fox & Kasprzak, 2007)



## 今後の展開



DAVINCI+ (NASA)



直接観測

微量気体・エアロゾル、大気構造の高鉛直分解能データ

EnVision (ESA)



VERITAS (NASA)



高解像度分光撮像

微量気体、雲微物理パラメータの時空間変動

新たな金星ミッションによる高解像度観測  
+ 衛星間電波掩蔽による高鉛直分解能全球観測  
+ 非静水圧高解像度大気大循環モデル ?