

2017 年 7 月 12 日, 惑星大気研究会オンラインセミナー

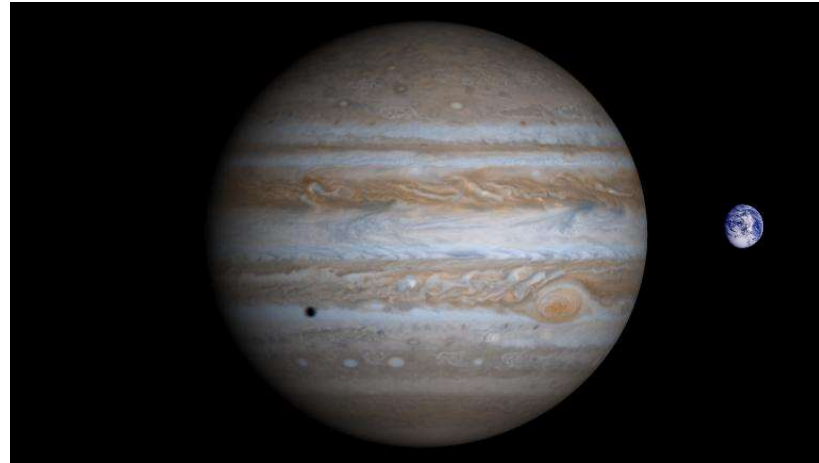
Juno による木星大気観測結果 概観

高橋芳幸

内容

- 下の論文の内容を掻い摘んで紹介
 - Bolton et al. (2017), Science, 356, 821.
 - Grassi et al. (2017), GRL, 44, doi:10.1002/2017GL072841.
 - Li et al. (2017), GRL, 44, doi:10.1002/2017GL073159.
 - Orton et al. (2017), GRL, 44, doi:10.1002/2016GL072443.
 - Orton et al. (2017), GRL, 44, doi:10.1002/2017GL073019.
- 目次
 - 木星
 - Juno
 - 最新観測結果概観

木星（と地球）

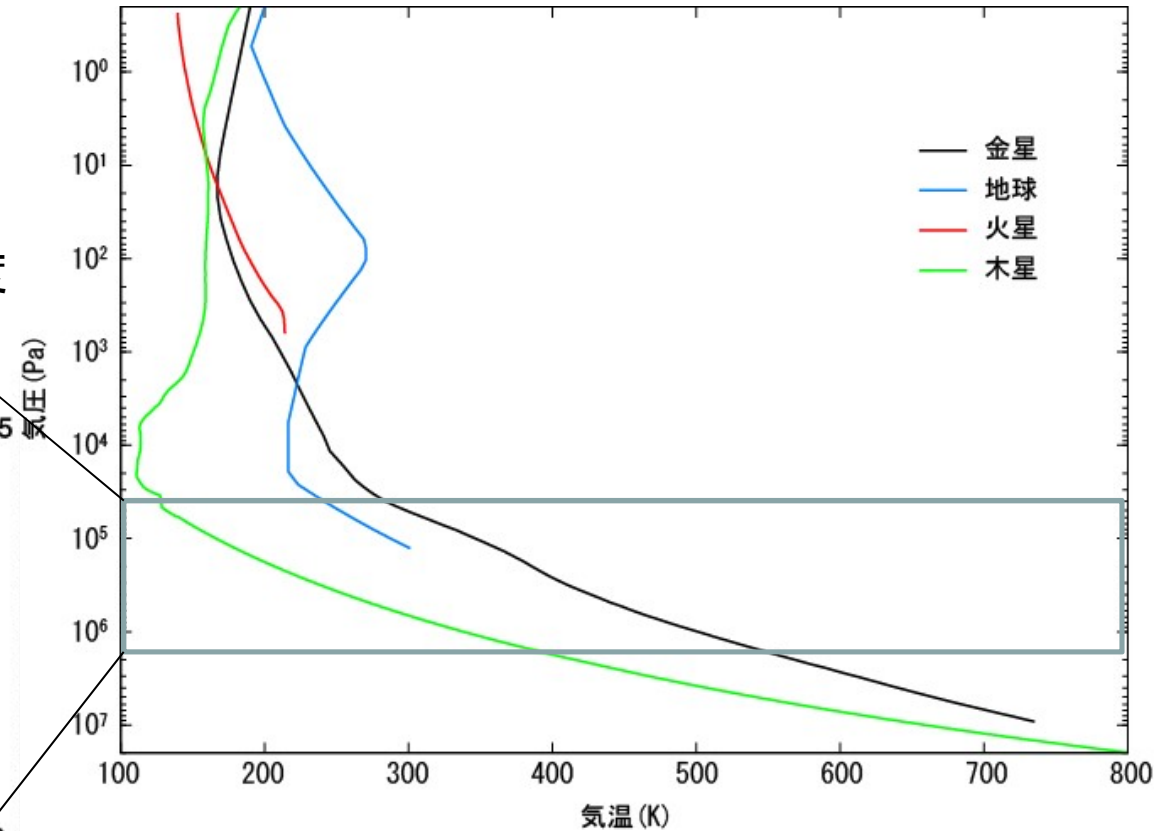
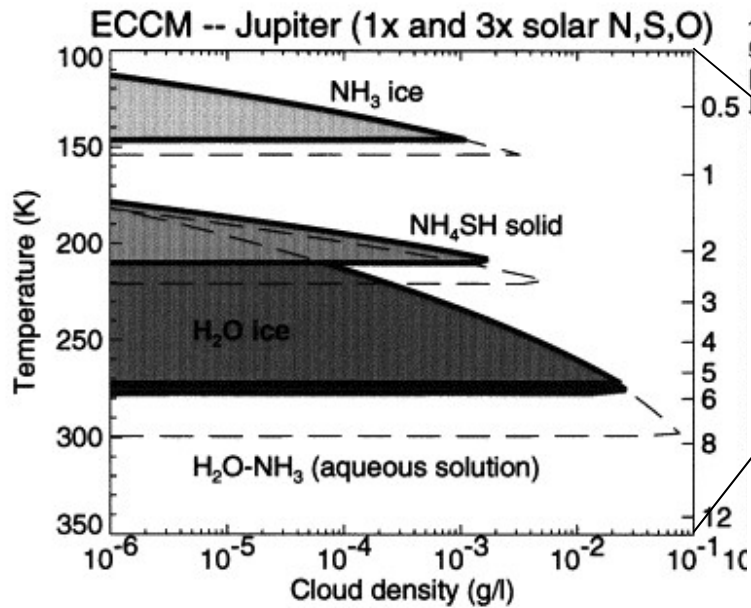


| | 木星 | 地球 |
|--------------------------|--------------------------------|--|
| 軌道長半径 (AU) | 5.2 | 1.0 |
| 赤道半径 (km) | 71492 | 6378 |
| 自転周期 (hour) | 9.93 | 23.9 |
| 自転軸傾斜角 (°) | 3.08 | 23.4 |
| 赤道重力 (ms ⁻²) | 23.2 | 9.8 |
| 大気組成 (%) | H ₂ (89.8), He (10) | N ₂ (78), O ₂ (21), Ar (0.9) |

木星大気鉛直分布

観測やモデル化された温度

熱化学平衡計算で求めた雲密度



(Atreya et al., 1999)

Juno

- Juno Overview
 - **Unlocking Jupiter's Secrets**
 - Juno will improve our understanding of the solar system's beginnings by revealing the origin and evolution of Jupiter.

Specifically, Juno will...

- Determine how much water is in Jupiter's atmosphere, which helps determine which planet formation theory is correct (or if new theories are needed)
- Look deep into Jupiter's atmosphere to measure composition, temperature, cloud motions and other properties
- Map Jupiter's magnetic and gravity fields, revealing the planet's deep structure
- Explore and study Jupiter's magnetosphere near the planet's poles, especially the auroras – Jupiter's northern and southern lights – providing new insights about how the planet's enormous magnetic force field affects its atmosphere.

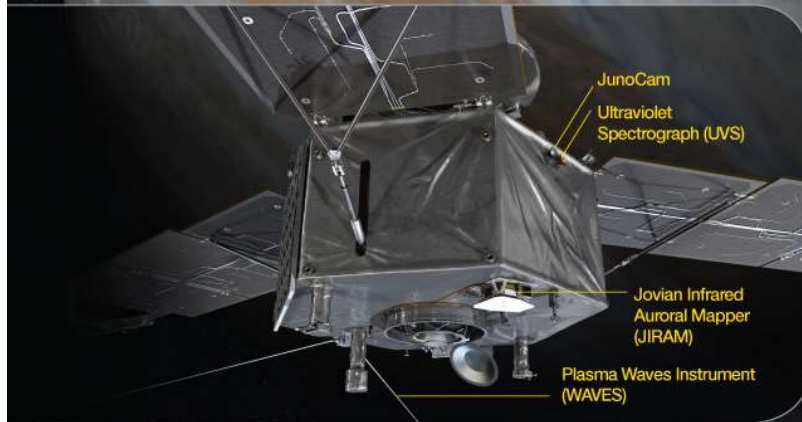
(https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/overview/index.html)

- 2011年4月5日 打ち上げ
- 2016年7月4日 木星到着
- 53日周期の長楕円極軌道を周回





Juno Spacecraft

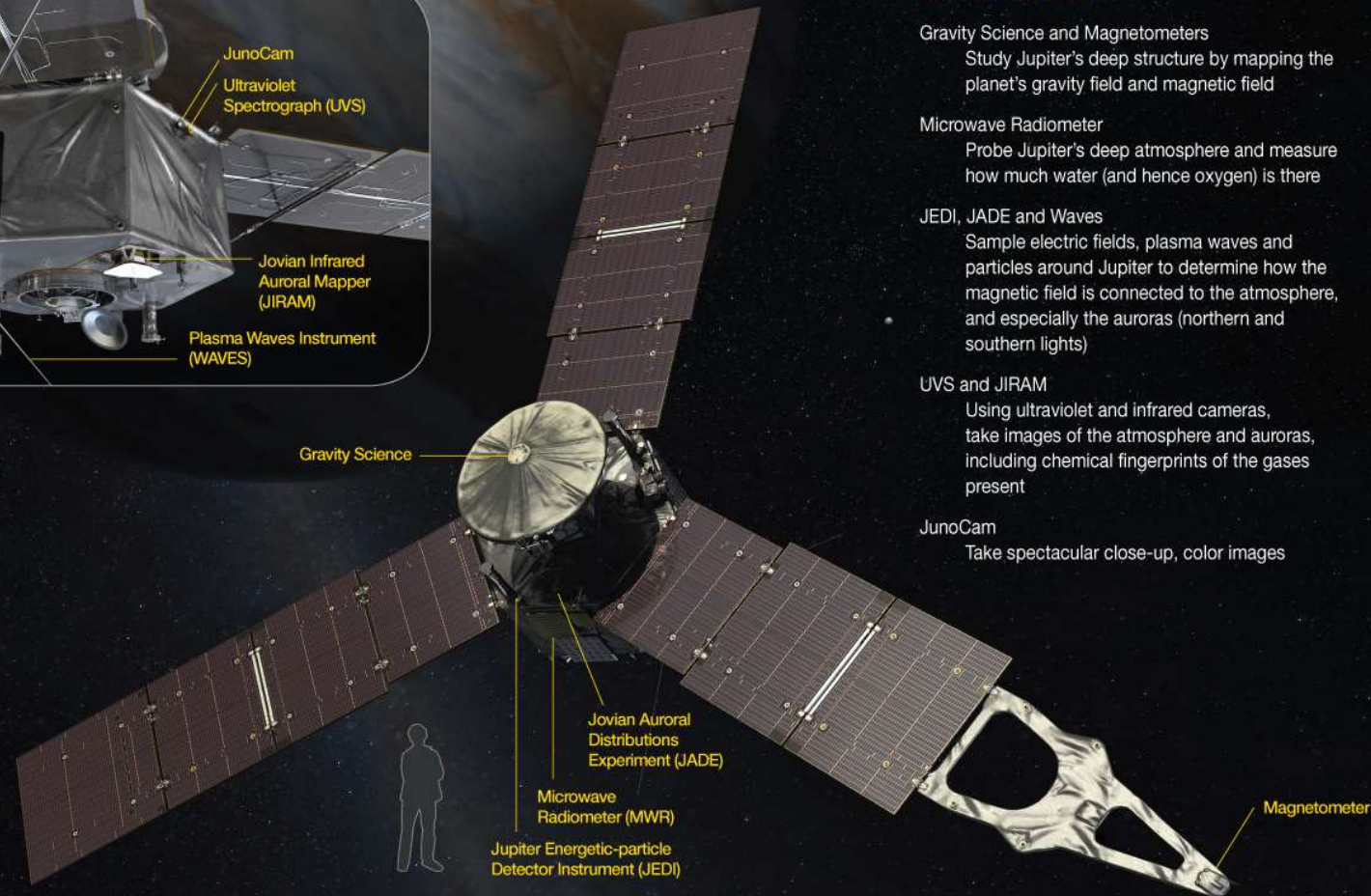


SPACECRAFT DIMENSIONS

Diameter: 66 feet (20 meters)
Height: 15 feet (4.5 meters)

For more information:
missionjuno.swri.edu &
www.nasa.gov/juno

National Aeronautics and Space Administration
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology
Pasadena, California
www.nasa.gov



Juno's Instruments

Gravity Science and Magnetometers
Study Jupiter's deep structure by mapping the planet's gravity field and magnetic field

Microwave Radiometer
Probe Jupiter's deep atmosphere and measure how much water (and hence oxygen) is there

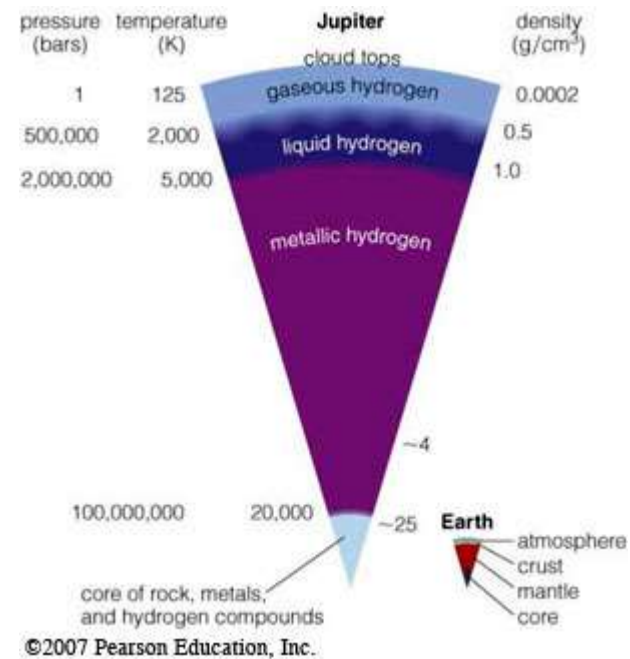
JEDI, JADE and Waves
Sample electric fields, plasma waves and particles around Jupiter to determine how the magnetic field is connected to the atmosphere, and especially the auroras (northern and southern lights)

UVS and JIRAM
Using ultraviolet and infrared cameras, take images of the atmosphere and auroras, including chemical fingerprints of the gases present

JunoCam
Take spectacular close-up, color images

過去の木星大気観測 と Juno による観測

- 過去の観測
 - おおむね雲層高度 ~0.5 bar or less に限定
 - 例外は Galileo probe
 - ~22 bar まで観測
 - しかし一点のみ
 - あまり極域は観測していない... ? (本当に?)
- Juno による観測
 - > 100 bar までを広い水平領域にわたって観測
 - 極軌道を周回

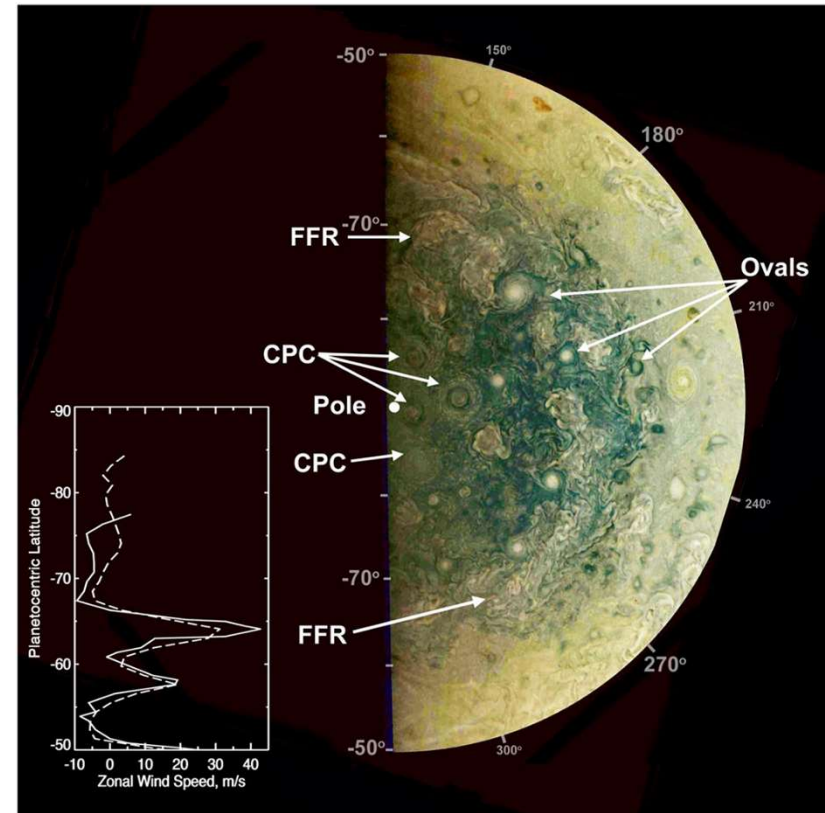
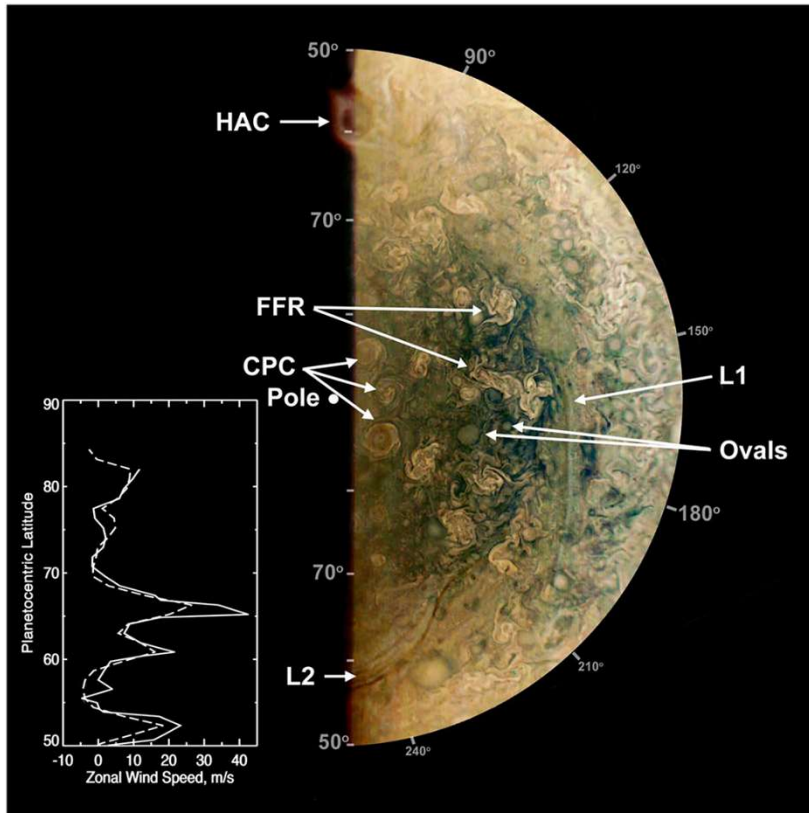


(http://lasp.colorado.edu/education/outerplanets/giantplanets_interiors.php)



(<https://www.missionjuno.swri.edu/news/first-results-from-juno-mission>)

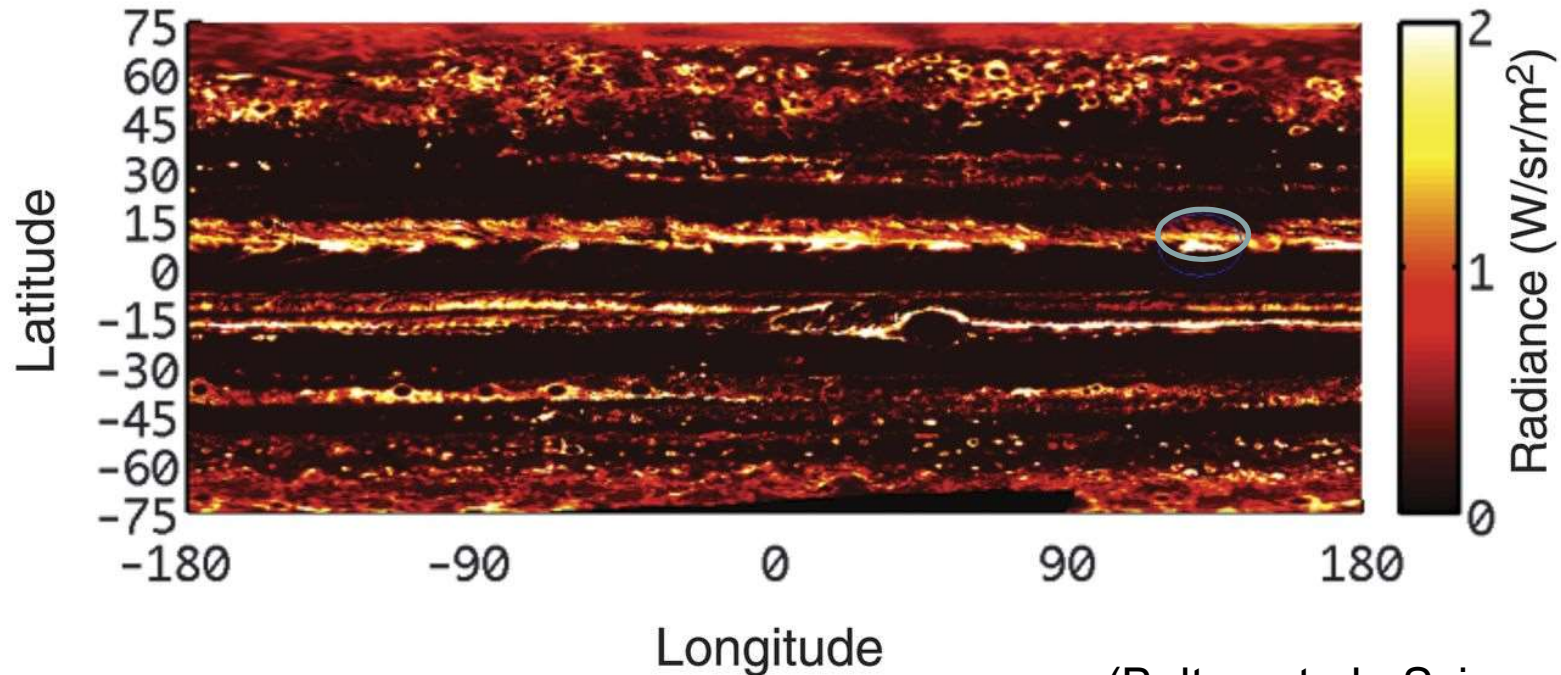
極域可視画像 (JunoCam)



- 低緯度にみられる帯状構造の高緯度での消失
- “discrete features” は CH₄ バンドでも明るく、暗い背景よりも高高度にあることが示唆される。
- “CPC” = circumpolar cyclone
- “HAC” = high altitude cloud
- “FFR” = folded filamentary regions

- “oval” (Orton et al., GRL, 2017)
 - 低気圧性回転
 - diameter ~1400 km から 50 km (resolution) 以下まで
- 土星との違い
 - 「六角形」は見られない
 - 極に存在する渦 (~2500 km radius) がない

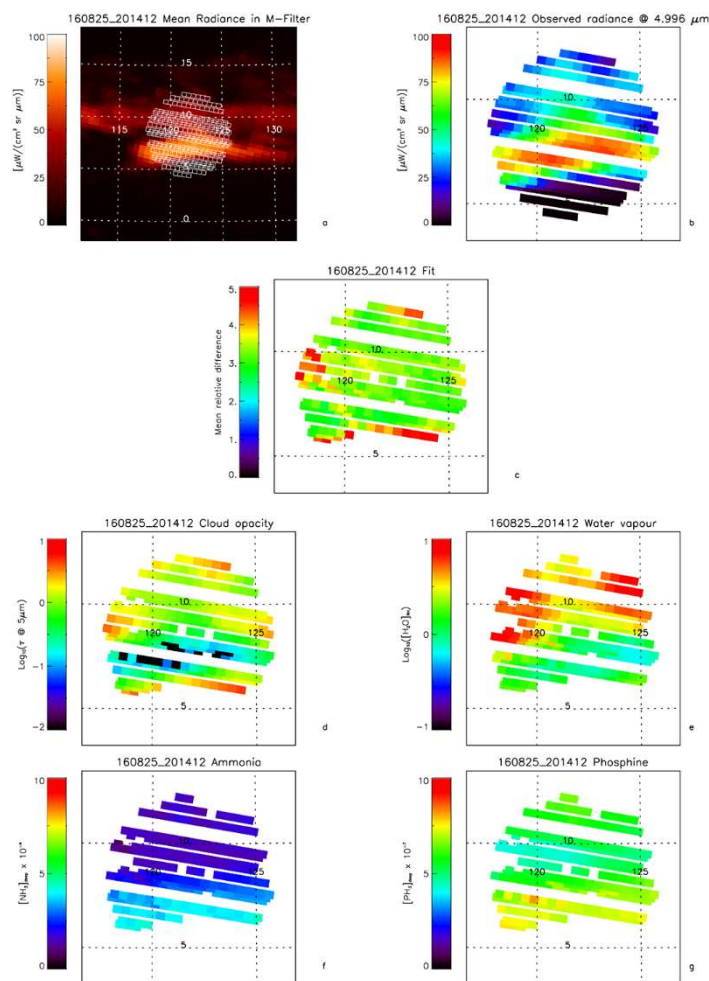
熱放射分布 (JIRAM)



(Bolton et al., Science, 2017)

- 4.5 – 5.0 micron 放射強度分布
 - 微量成分がない場合, ~5.5 bar 付近で光学的厚さ 1 となる by H₂ CIA
 - 放射強度は雲の光学的厚さを反映
 - NH₄SH @1-2 bar に相関があるらしい
- 強度の大きいところは下降流で乾燥していると考えられる(ホットスポット)

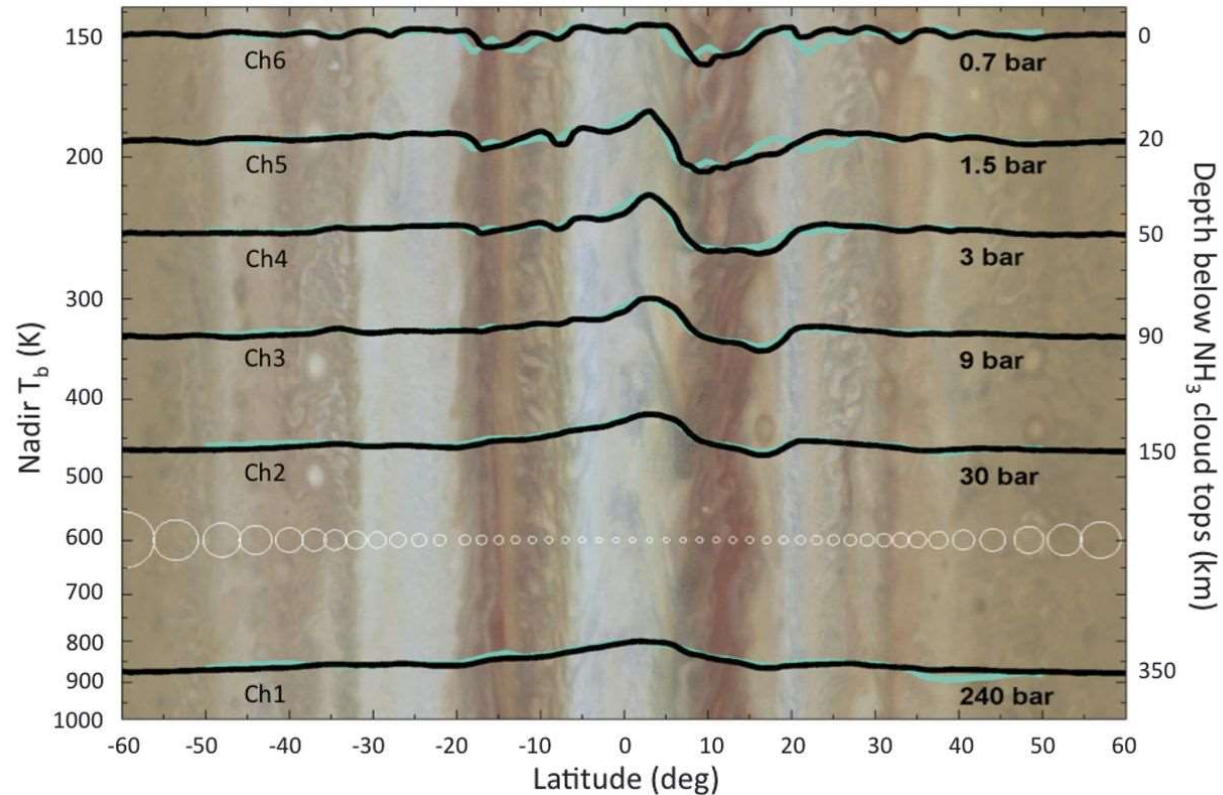
ホットスポットの熱放射の解析



- ホットスポットの微量成分
 - 相対湿度 <10%
 - PH3 $4\text{e-}7 - 8\text{e-}7$
 - NH3 200-400 ppmv
 - 赤道向きに上昇
- 水蒸気, PH3 が少ないことは, 下降流があることと整合的.

(Grassi et al., GRL, 2017)

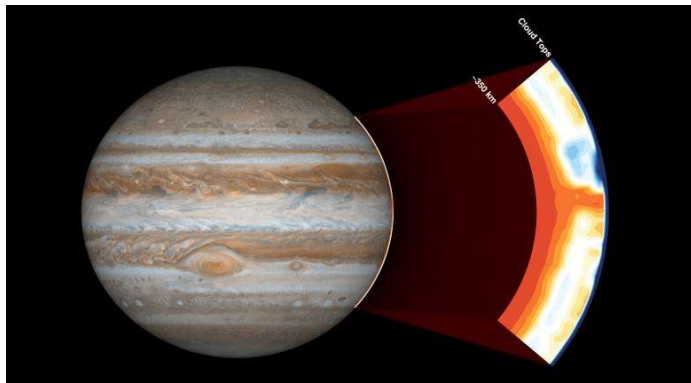
輝度温度分布 (MWR)



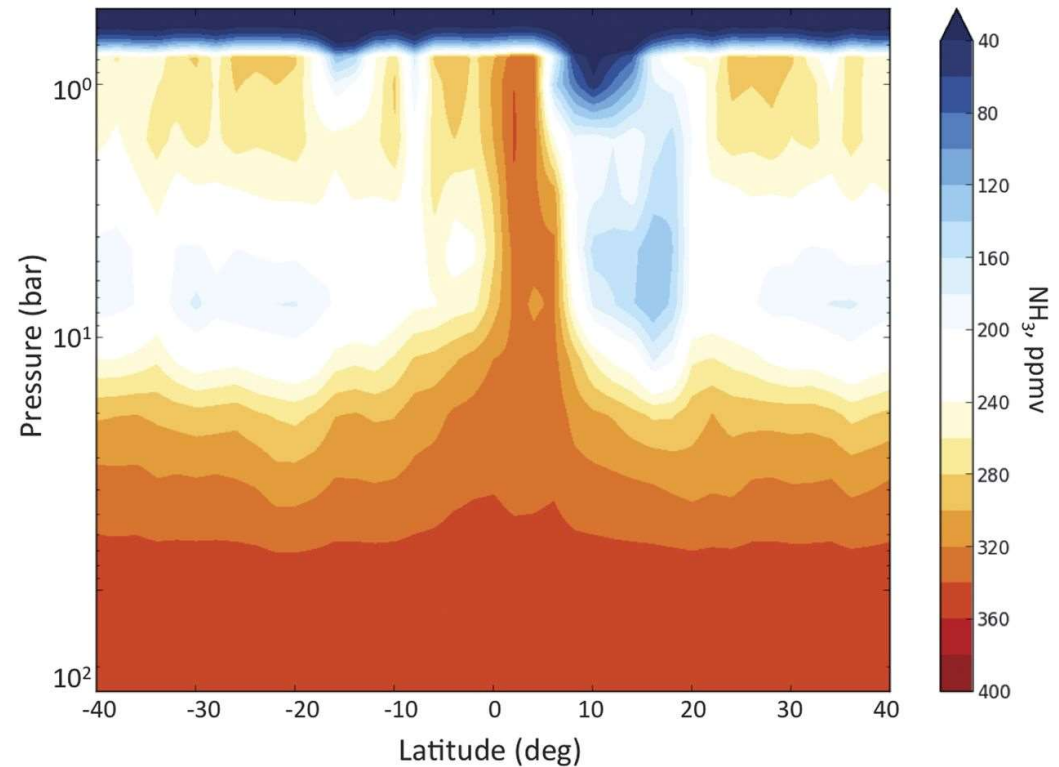
(Bolton et al., Science, 2017)

- 経度による温度差は“weather layer” (< ~9 bar) のみ
- 鉛直方向には構造に相関がある
 - 深くなるほど温度変動が小さくはなっているけど
- この温度分布は、同じ圧力面での温度差を表しているわけではない。
 - マイクロ波の光学的厚さ(アンモニア)の差が大きい
 - ~50 K の差を温度差のみとすると、それとバランスする風速は 2 桁大きくなる

NH3 分布 (MWR)



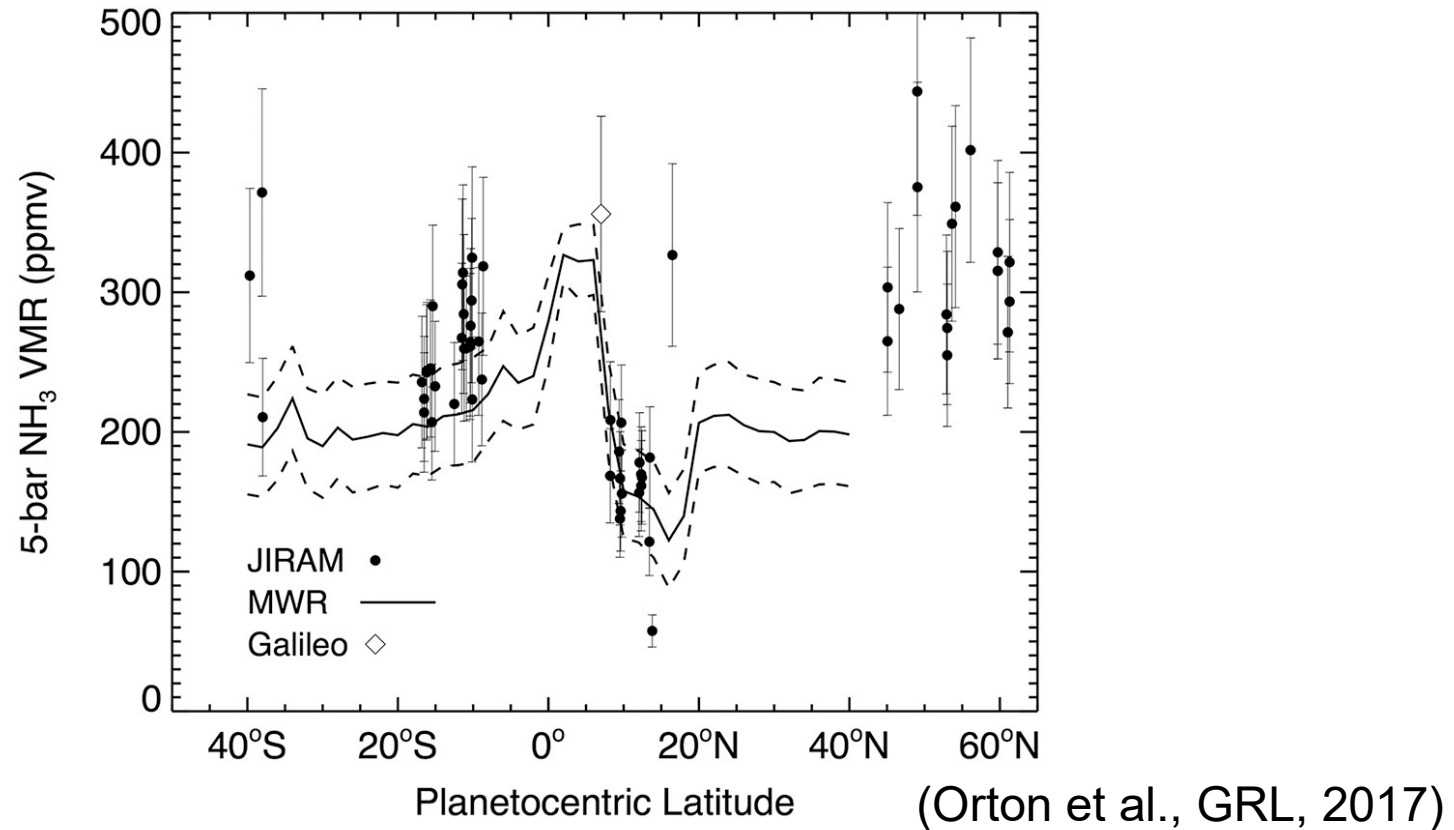
(<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA21642>)



(Bolton et al., Science, 2017)

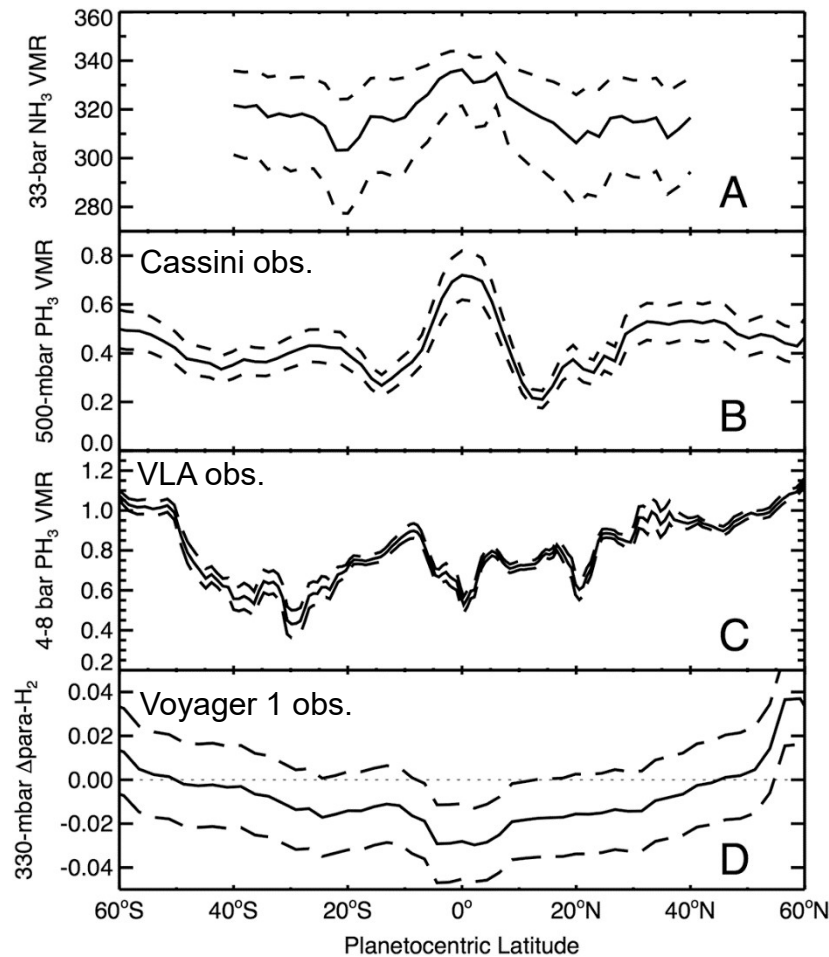
- 雲の中は湿潤断熱減率, その下は乾燥断熱減率を仮定し, NH₃ 分布を導出
- 導出に伴う誤差は ~30 ppmv 程度
- 深部(下端)の NH₃ 量は, Galileo probe 観測結果より小さい
- 非一様な分布
 - 熱化学平衡計算では, ~0.7 bar 付近までは一様に混合している状態が想定されていたが (e.g., Sugiyama et al. (2014) Fig. 10, 11), そうなっていない
 - 循環, 「降水」の再蒸発の効果

NH₃ 量比較 @~5 bar



- JIRAM, MWR 観測の結果はおおよそ整合的
- Galileo probe 観測の不確定性の下限と対応

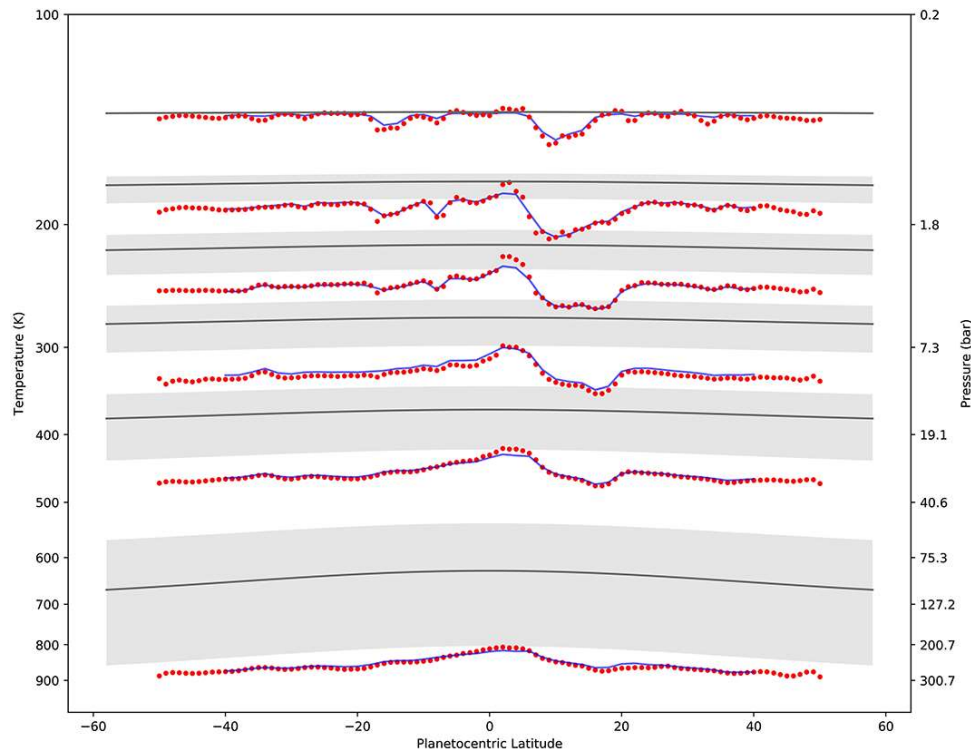
物質の緯度分布



(Orton et al., GRL, 2017)

- Juno obs. (NH₃ @33 bar)
 - 赤道で NH₃ が多い
 - 高緯度に向かうほど多くなる?
- PH₃ @500 mbar (Cassini obs.)
 - NH₃ @33 bar と整合的
- PH₃ @5 bar (VLA obs.)
 - 赤道の極大がない
 - 気体と雲を分離できてない?
- Δpara-H₂ @330 mbar (Voyager 1 obs.)
 - 赤道では NH₃ @33 bar と整合的
 - 高温ほど負
 - 高緯度では不整合

NH₃ 分布導出までの第一歩



(Li et al., GRL, 2017)

- 赤点は観測された輝度温度
- 灰色ハッチは, 理想的な(湿潤)断熱減率を仮定した場合の温度範囲
 - ガリレオプローブ観測による NH₃, H₂O 量を仮定
- 赤道以外は温度が高い
 - つまり, 赤道以外は光学的に薄い(NH₃ が少ない)

NH₃ 分布導出の仮定

- 赤道
 - NH₃, H₂O 両方に対して「理想的な断熱減率」を仮定
- それ以外の緯度
 - 温度分布は赤道と同じ
 - 深部の NH₃ 混合比は赤道と同じ
 - H₂O の量は, 今回は適当に仮定して求める
 - 二種類試して感度を見る
 - 結果として, 結論には影響なし

まとめ

- Juno によって、極域の雲・流れの分布や、~100 bar 付近までの物質分布が示されるようになった。
- 木星の極域には土星とは異なる特徴がみられる。
 - 導出された NH₃ 分布は、0(10) bar 高度で不均一であった。
 - 物質の量の導出には様々な仮定が必要で、詳細は確認・検討の余地がありそうだが、他の観測結果とも概ね整合的？