

# SPICAによる太陽系 惑星・衛星大気の観測

佐川英夫 (京都産業大学) [sagawa@cc.kyoto-su.ac.jp](mailto:sagawa@cc.kyoto-su.ac.jp)

笠羽康正 (東北大学), 前澤裕之 (大阪府立大学),

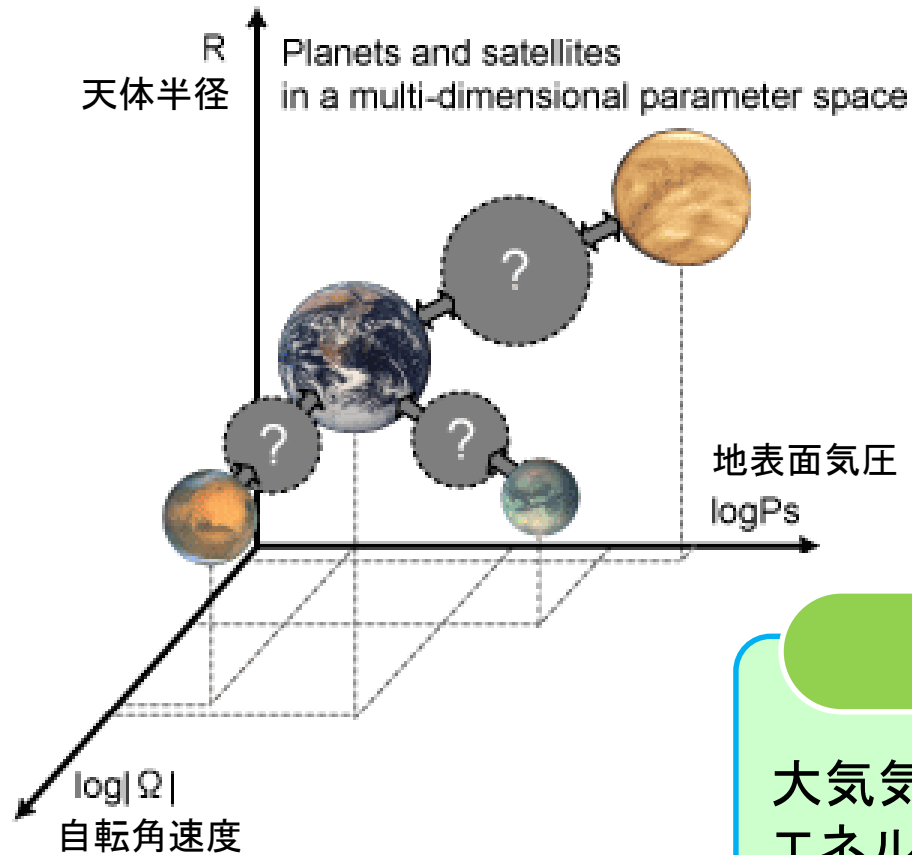
関根康人 (東京工業大学), 臼井寛裕 (JAXA/ISAS),

SPICA太陽系・系外惑星サイエンス検討班

※ SPICAによる太陽系惑星観測に関心がある方/サイエンス検討の議論に参加して頂ける方が  
いらっしゃれば, 上記メンバーにお気軽に声を掛けて頂ければ幸いです.

# 太陽系天体の惑星・衛星大気観測のモチベーション

① 現在の惑星大気を支配する物理・化学プロセスを明らかにしたい(大気科学, 惑星気象学)



- ✓放射(大気の温度構造を決定)
- ✓循環(物質やエネルギーを輸送)
- ✓化学(大気組成と進化)

異なる境界条件(惑星の大きさ, 自転速度, 固有磁場の有無, 電離圏・磁気圏の変動, 太陽からの影響, etc.)における上記プロセスの応答・相互作用を知りたい。

放射

大気気温構造  
エネルギー収支  
雲微物理

循環

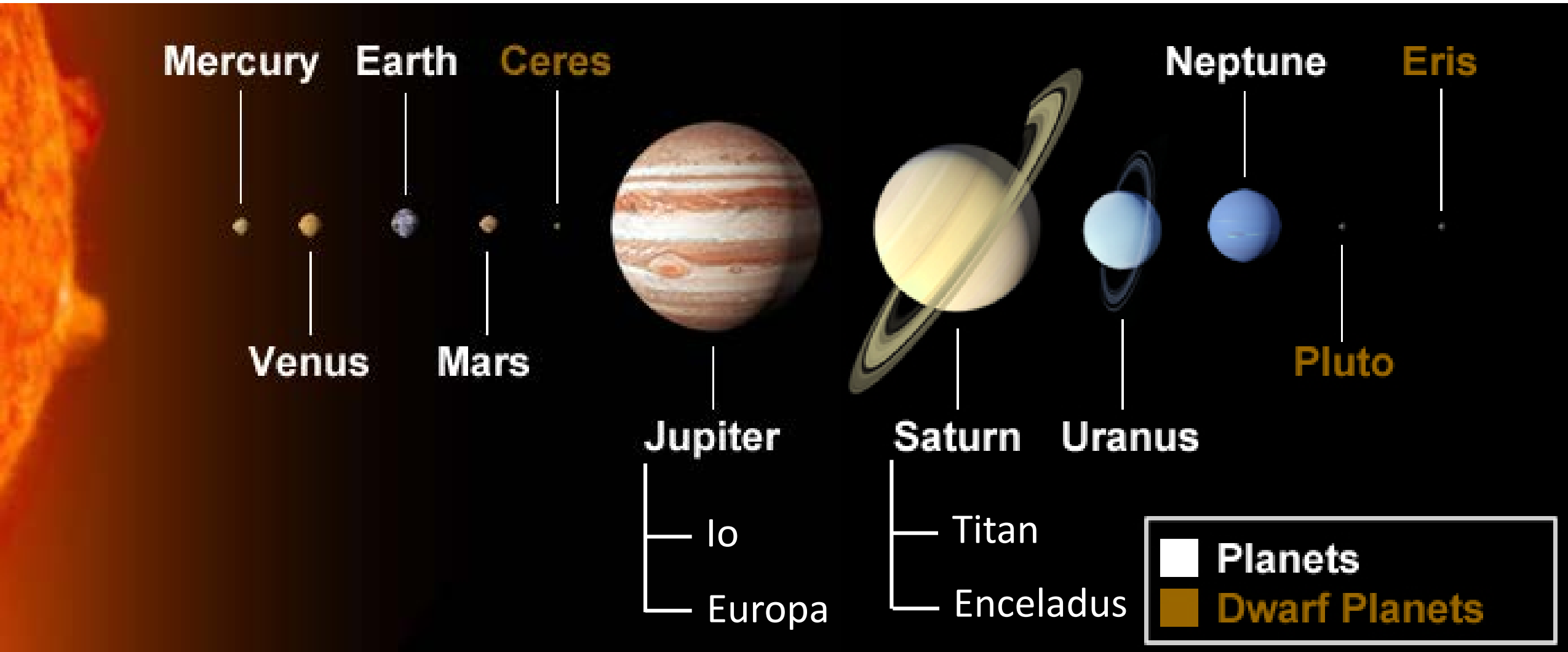
物質・運動量輸送  
大気力学  
大気散逸

化学

大気組成  
大気進化  
雲微物理  
不均一反応

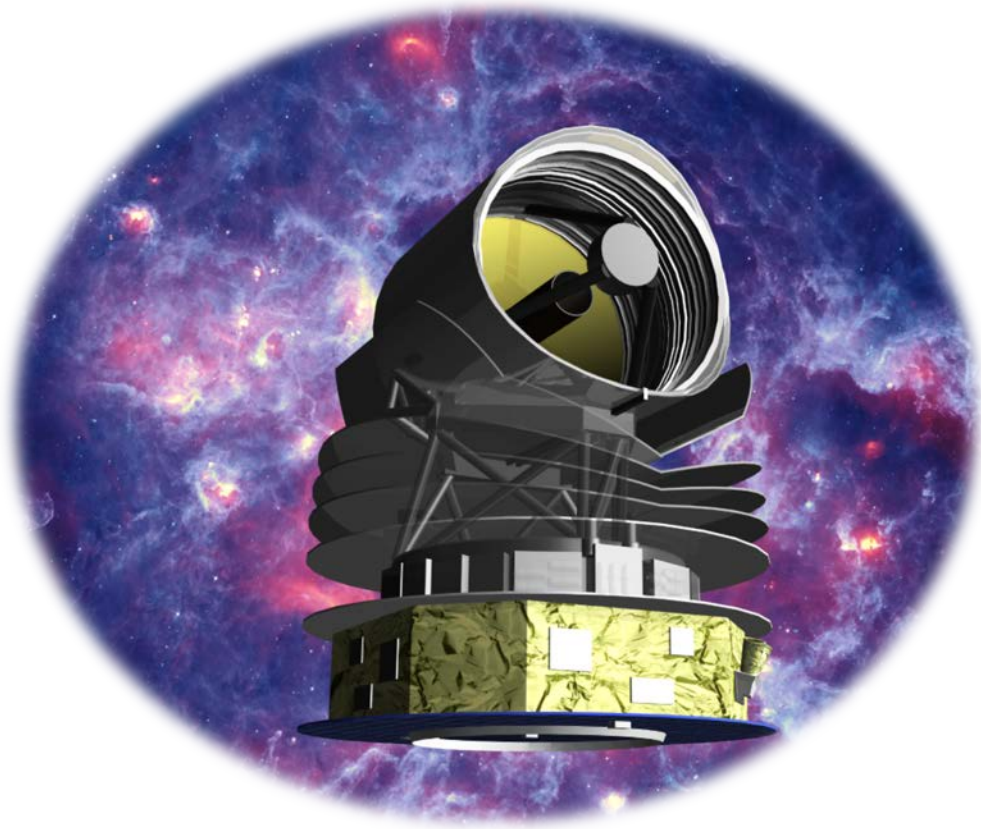
# 太陽系天体の惑星・衛星大気観測のモチベーション

② そもそも惑星の大気表層環境がどのようにして形成され, 進化したのか (惑星科学)



# SPICAの概要 (詳細は Z215r 平野らの講演などを参照のこと)

惑星大気を構成する様々な  
大気分子のラインが存在



- 主鏡の口径 2.5 m の宇宙赤外望遠鏡(L2点).
- 観測波長域: 12 – 36  $\mu\text{m}$ , 34 – 350  $\mu\text{m}$ .
- 全冷却(8K)望遠鏡 = 超高感度を実現.
- 2020年代(末頃?)の打ち上げ. 運用期間3年以上.
- 日欧を中心とする国際共同ミッション(ESA-lead).
- 欧州側は ESA の M5ミッションとして提案中.  
EnVision(金星), Theseus(GRB, X-ray)と競合中.
- 2021/6月頃 ESAでの最終セレクション. 2024にMAR  
(ミッション承認審査).
- JAXA側もESAのMARのタイミングでプロジェクト化.

# SPICA測器

## 焦点面観測機器



中間赤外  
低～高分散分光器

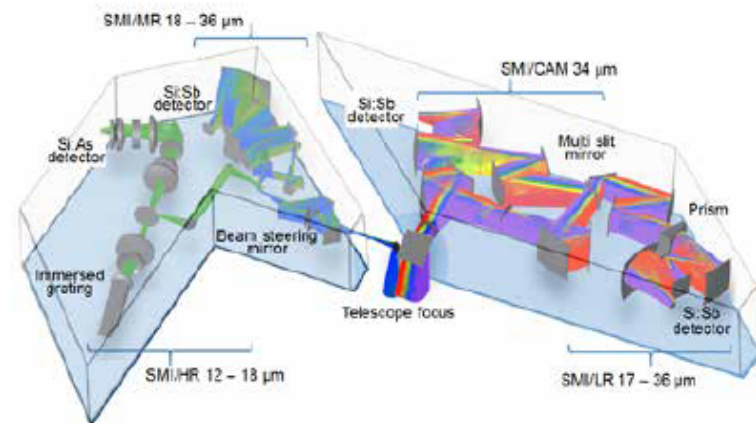
大気微量成分の分光スペクトル → 大気組成・温度場の情報を推定可能.

### SMI

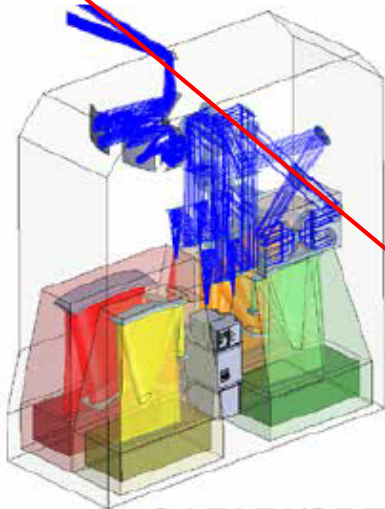
日本

SPICA MIR Instrument

- LR **R=50-120**, Si:Sb 17-36 $\mu$ m
- Camera **10'x12'**, Si:Sb @ 34 $\mu$ m
- MR **R=1300-2300**, Si:Sb 18-36 $\mu$ m
- HR **R=28000** Si:As 12-18 $\mu$ m (w/ Immersion Grating)



遠赤外  
低～高分散分光器

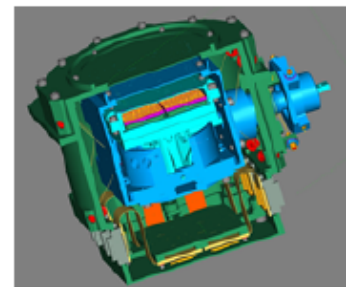


SAFARI/SPEC

### SAFARI/SPEC

SPICA FIR Instrument

- TES Bolometer Arrays operated at 50mK  
NEP of  $2 \times 10^{-19}$  W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- LR **R=300**, 34-230 $\mu$ m, grating
  - HR **R=1500-11000** 34-230 $\mu$ m FTS+grating



B-BOP

欧州

### B-BOP

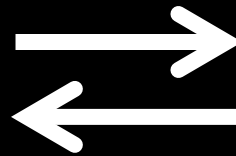
infrared **polarimetry** imager 100-350 $\mu$ m

遠赤外  
偏光撮像カメラ

# SPICA時代の惑星科学 太陽系内の知見に基づく系外惑星の実証的理解

## 太陽系

- 同位体比の包括的な観測  
(e.g., 水の起源)
- C<sub>2</sub>H<sub>x</sub>系ガス, 有機物の探査
- 太陽系天体中の鉱物の検出
- etc...



## 系外惑星

- トランジット透過分光観測による惑星大気の探査
- 放射光観測による惑星大気, 自転の探査
- 解体惑星の鉱物の検出
- etc...

従来の枠組みにとらわれず, 複数のサイエンスを組み合わせることで,  
「惑星系の起源・進化に対する包括的な理解」を目指す。

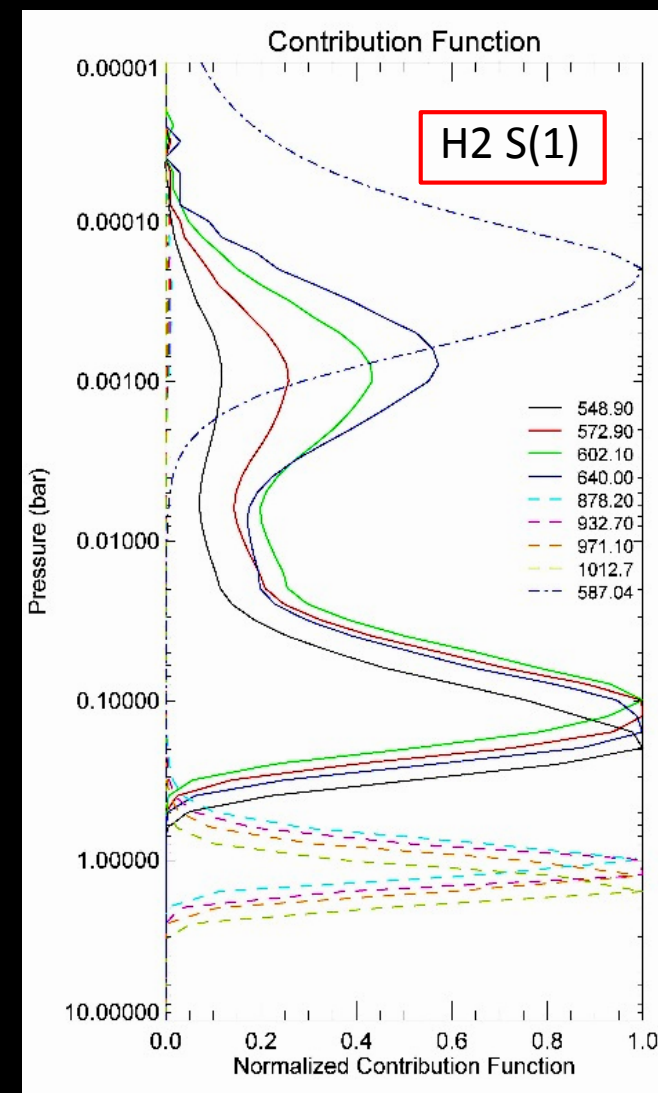
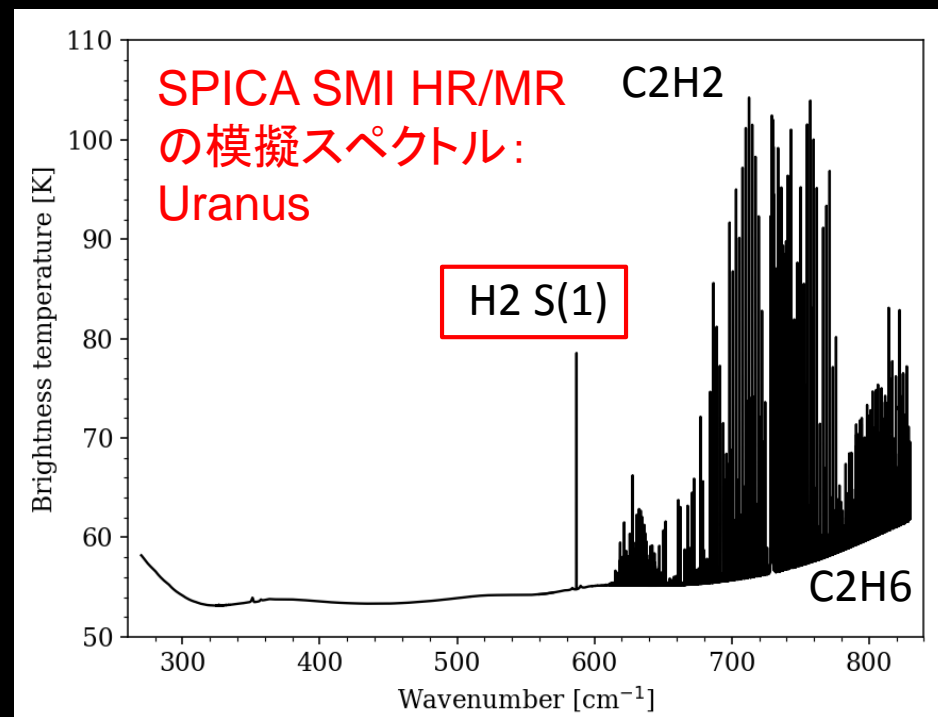
# 外惑星の大気物理量(気温・大気組成)の詳細観測

Orton+ (2014)

大気主成分であるH<sub>2</sub>のquadrupole momentのラインから(ortho-para比を仮定したうえで)気温をリトリバーバル可能。また, H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>の連続吸収(collision induced absorption)からも対流圏上部/成層圏下部の気温が推定可能。

左: SPICAの観測スペクトル(シミュレーション)。

右: 寄与関数(各波長での大気放射が, どの高度からの主に放射されているかを示す)。H<sub>2</sub>のS(1)ラインは気圧1.E-4 bar程度の高度(成層圏上部)を観測可能。

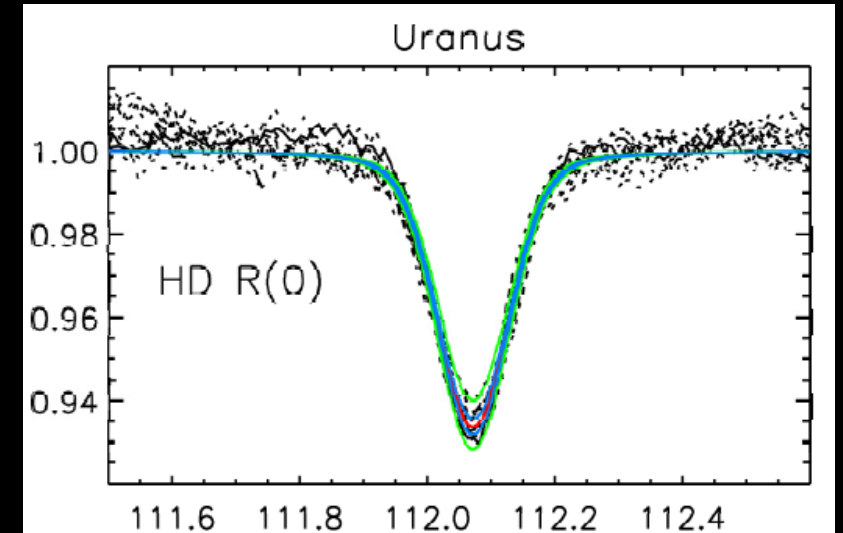
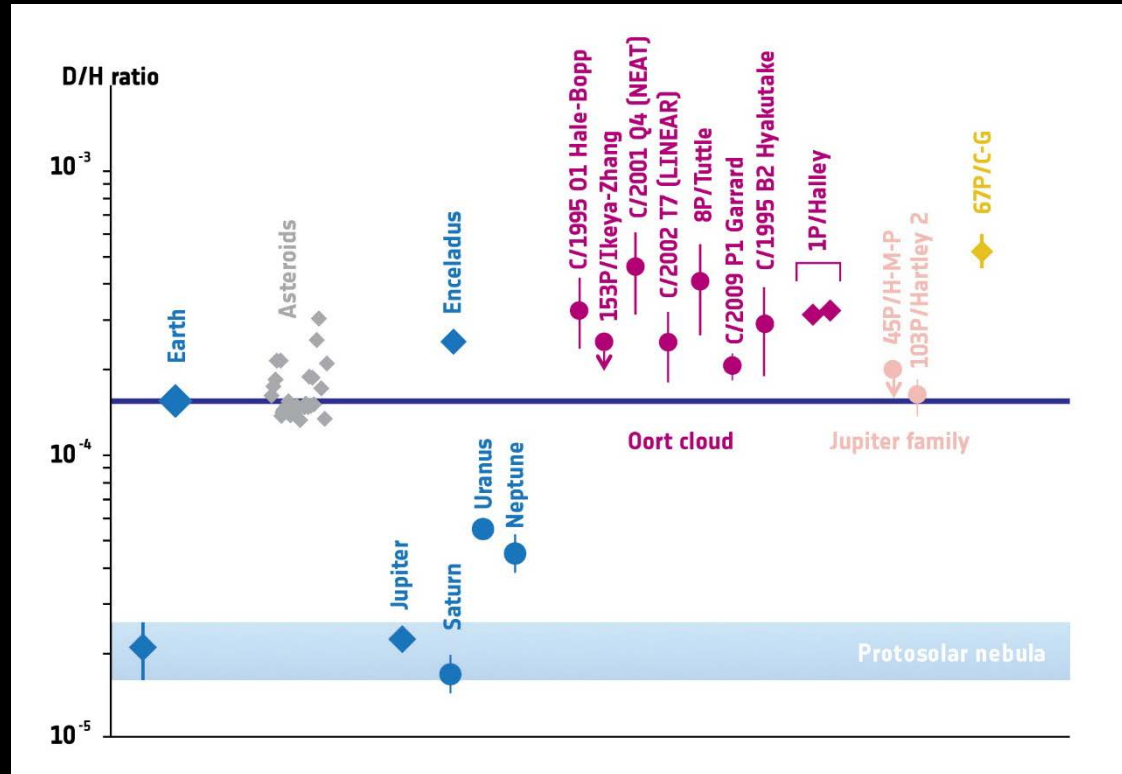


# 太陽系天体の同位体比の包括的観測

太陽系天体における各元素の同位体比 = 太陽系形成時の環境・起源を(少なからず)反映.  
 D/H比: 太陽系の様々な天体に対して高精度に測定することで, 地球の水の起源や太陽系の形成環境に対する包括的な理解を目指す.

観測対象:

- ✓ 惑星大気
- ✓ 衛星大気
- ✓ 彗星
- ✓ トロヤ群



HD @ 112  $\mu$ m. R ~ 1000.  
 (Herschel/PACS, Feuchtgruber+ 2013)

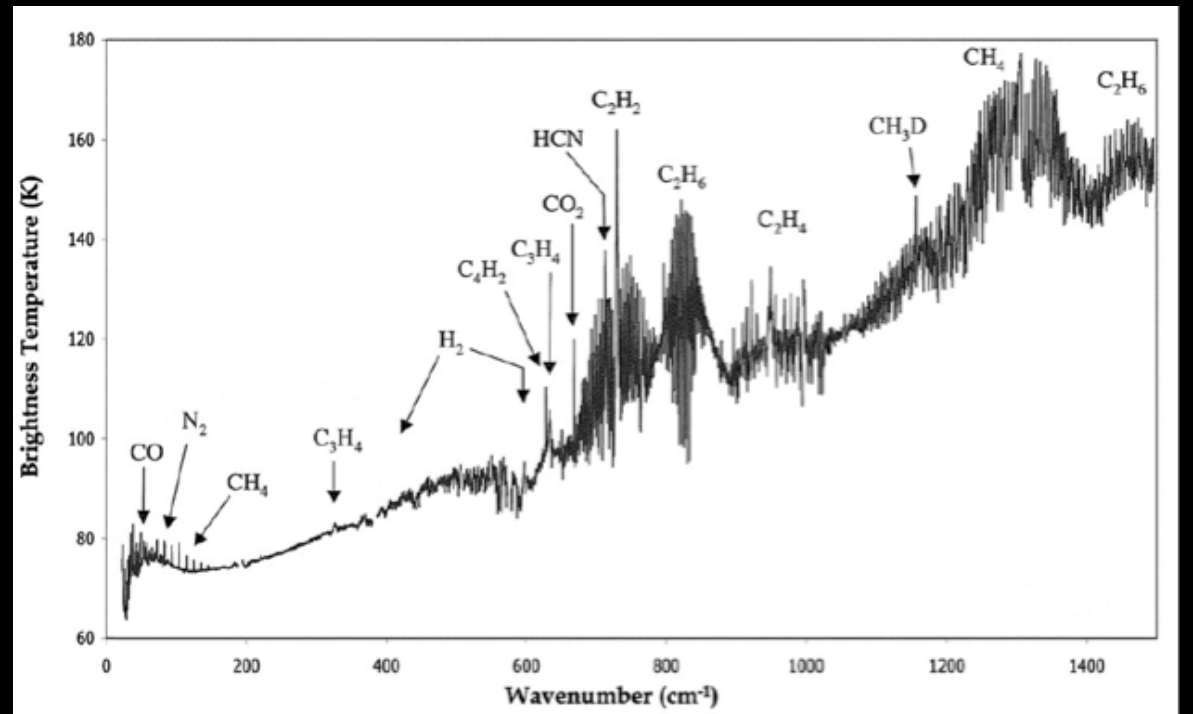
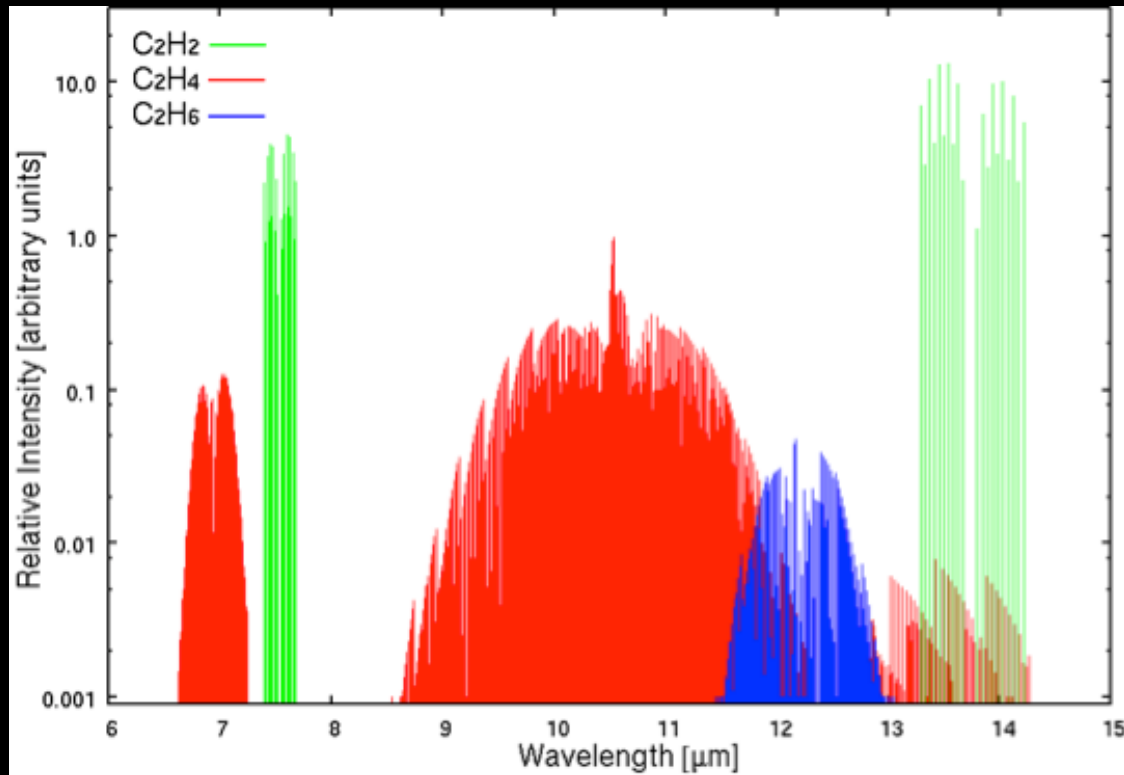


# C<sub>2</sub>H<sub>x</sub>系ガスの探査

太陽系天体におけるC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>やC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等のガス組成比を精密に測定し、分子雲・原始惑星系円盤の化学進化を制約。

SPICA/SMI-HRでカバーされる10 – 20 μm帯に多数の炭化水素のライン。

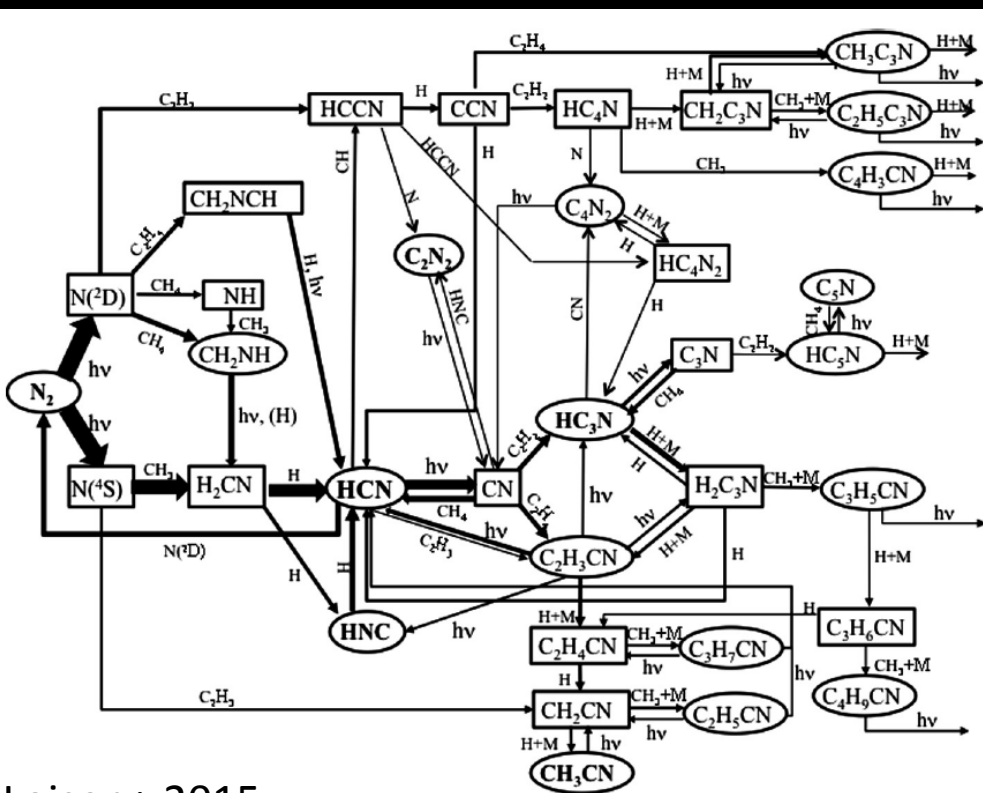
タイタン大気：C<sub>2</sub>H<sub>x</sub>系分子が大気化学+大気力学のトレーサーに(定期的な観測が重要)。



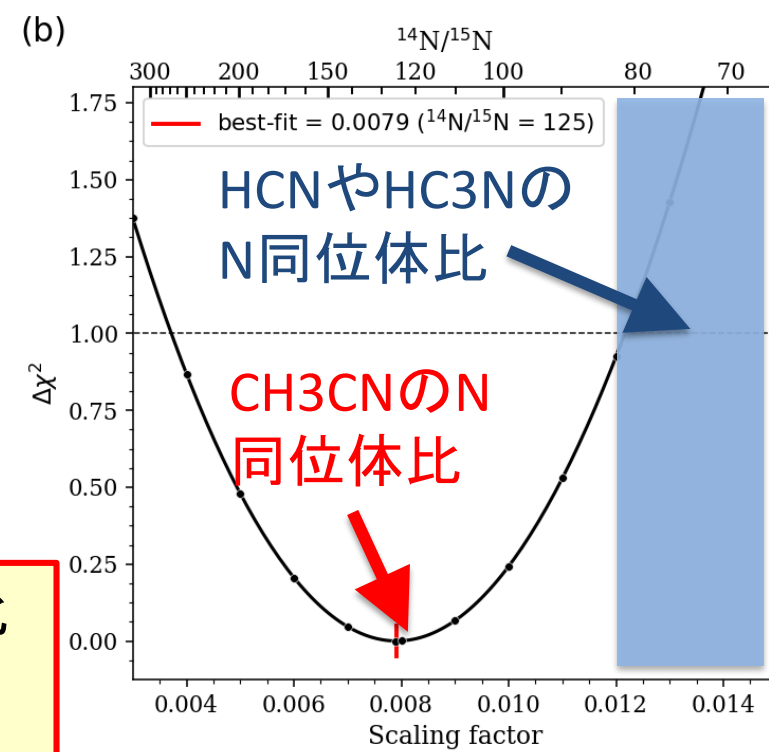
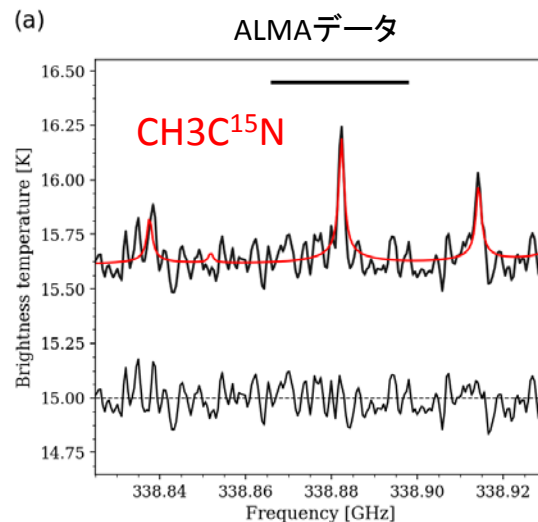
タイタンの赤外線スペクトル(Cassini/CIRS; Coustenis+ 2007)

# タイタン大気：地球大気化学を惑星大気化学へ拡張させる「実験室」

タイタン大気 = 複雑なC・H・Nを含んだ大気化学 × エアロゾル不均質反応。  
 上層大気中では光化学だけではなく、磁気圏電子や銀河宇宙線なども反応を駆動。



Loison+ 2015



分子種によって同位体比  
 分別の程度が異なる。  
 = 反応過程のトレーサー。

lino+ 2020