

GREX-PLUS : 系外惑星のサイエンス

川島 由依 (理化学研究所)

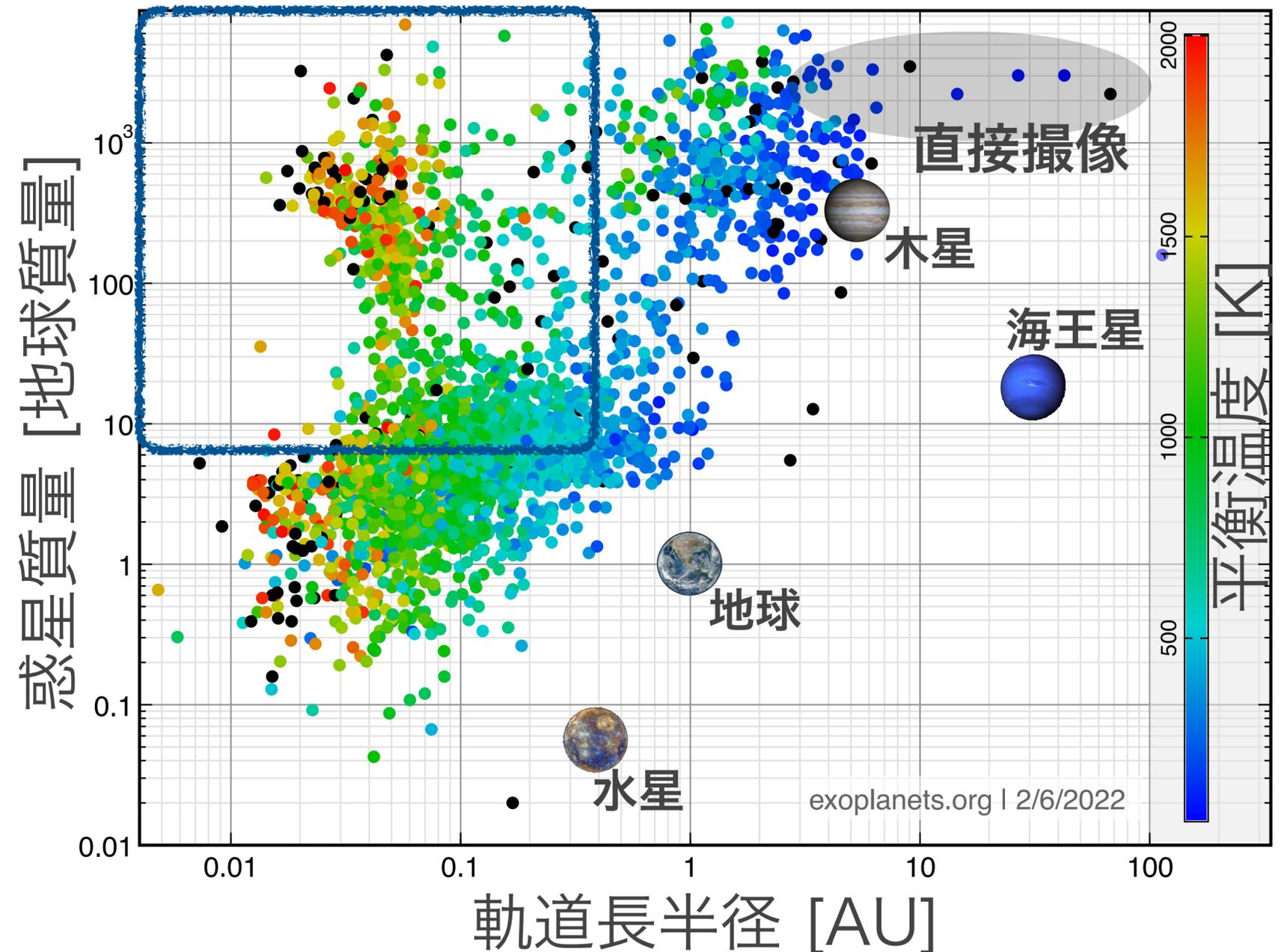
藤井 友香 (国立天文台)、松尾 太郎 (名古屋大学)、大野 和正 (UCSC)

2022.7.12-13 光赤天連シンポジウム

太陽系外惑星

- 1995年の初発見以降、5,000個以上の系外惑星が発見されている
- このうち数十～50個程度の惑星に対して、**大気の観測**が行われている
- 発見された惑星の大気の特徴を明らかにすることは、**その惑星の起源や進化**を理解する第一歩

現在の大気観測の主なターゲット



惑星の検出

系外惑星専有



Ground-based observatories

First discoveries of exoplanets in the 1990s opened up the field of exoplanet research. New innovations and discoveries continue to this day

汎用



Corot (2006): Pioneering stellar seismology and exoplanet hunting mission. Logos: cnes, esa.

Kepler/K2 (2009): A targeted search for terrestrial and larger planets in or near the habitable zone of a wide variety of stars. Logo: NASA.

Tess (2018): First all-sky transit survey satellite. Logo: NASA.

Cheops (2019): First step characterisation of known Earth-to-Neptune size exoplanets. Logo: esa.

Plato (2029): Studying terrestrial planets in orbits up to the habitable zone of Sun-like stars, and characterising these stars. Logo: esa.

Ariel (2029): Performing a chemical census of a large and diverse sample of exoplanets by analysing their atmospheres. Logo: esa.

Hubble (1990): Probing the composition of exoplanet atmospheres. Logos: NASA, esa.

Spitzer (2003): Studying exoplanet signatures in infrared light. Logo: NASA.

Gaia (2013): Revealing exoplanets through its all-sky survey of the position, brightness and motion of over one billion stars. Logo: esa.

Webb (2021): Detailed characterisation of exoplanet atmospheres through transit studies and direct imaging. Logos: NASA, esa, ESA.

大気の観測

1.95-7.8 μm
R ~ 30-200
2029年

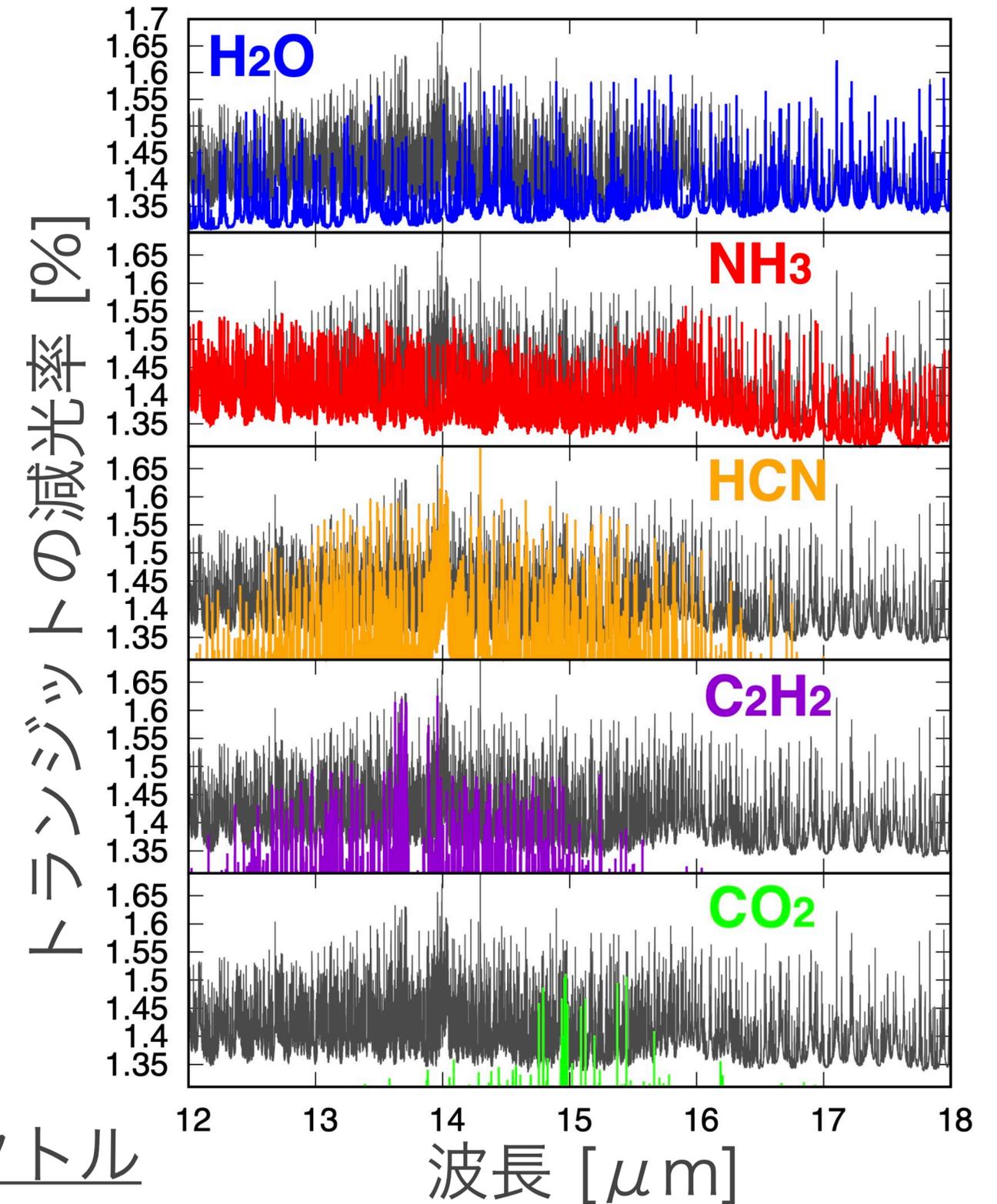
GREX-PLUSのような
中間赤外での高分散は
ユニーク



黒色：全ての化学種の吸収を考慮したスペクトル

中間赤外のメリット①

- 中間赤外線域には、
NH₃や**HCN**、**C₂H₂**、**CO₂**などの
吸収線が豊富に存在
- **NH₃**は低温大気で**窒素を含む主な分子種**
また、**大気の混合度合いに敏感**
- **HCN**、**C₂H₂**、**CO₂**の有無は
大気のC/O比や
中心星からの紫外線照射の強度に敏感

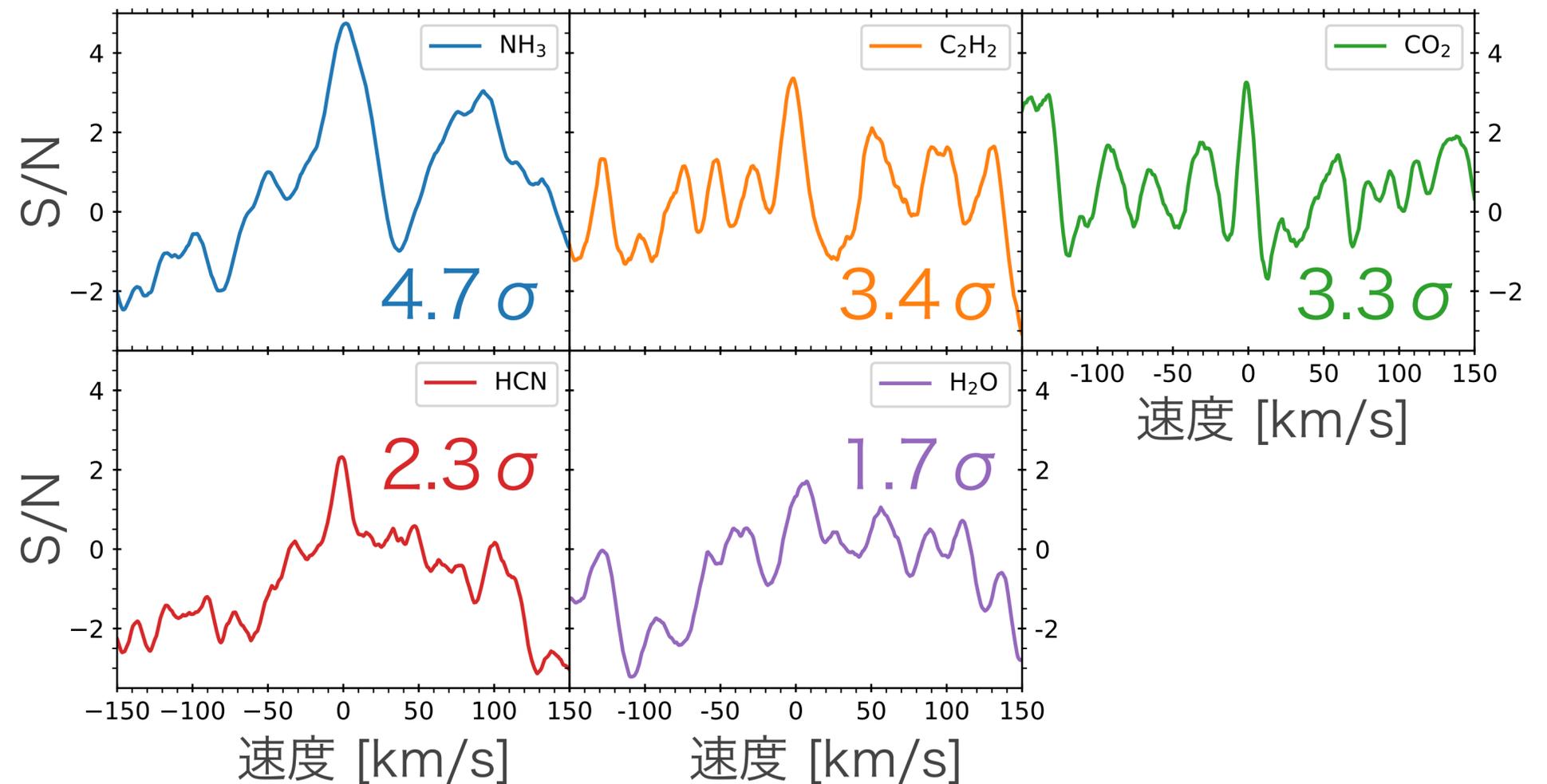


ミニ海王星惑星GJ 1214bのモデルスペクトル

SPICAサイエンス検討会最終報告書より

GREX-PLUSでの検出可能性

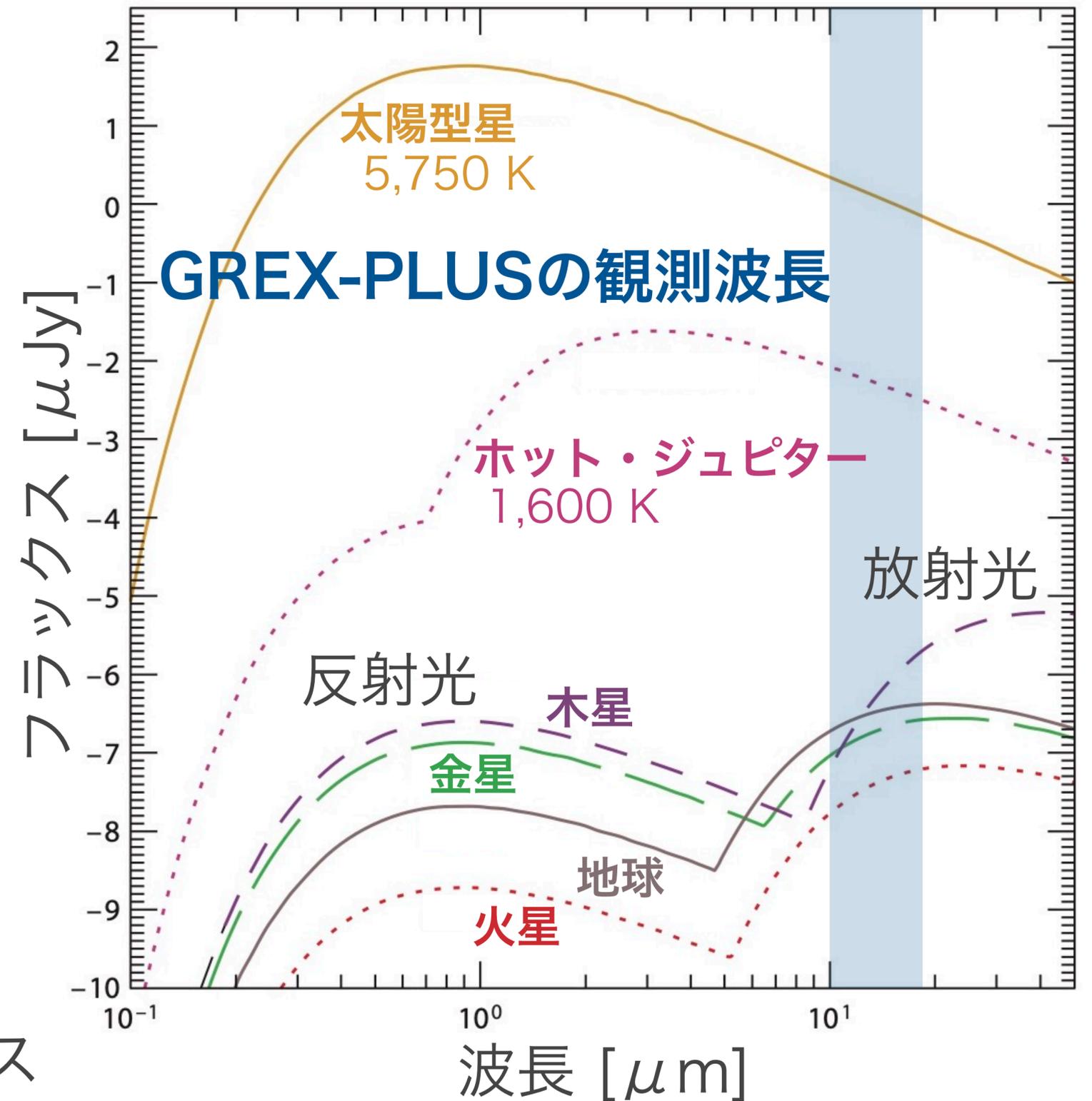
- 14.6 pcにあるM4.5型星周りのミニ海王星惑星GJ 1214bをGREX-PLUSで20回観測した場合のシミュレーション結果
- トランジット継続時間は0.9時間
- 黄道光ノイズも考慮
- NH_3 や光化学的に生成された C_2H_2 や HCN を検出可能



中間赤外のメリット②

- 可視・近赤外域での観測と比べて、**主星と惑星のフラックスのコントラストが低減**
- **太陽**と**木星**の場合、
1 μm での観測と比べて
**~15 μm では
2桁程度小さいコントラスト**に

10 pcから観測した場合の
太陽系惑星の黒体放射フラックス



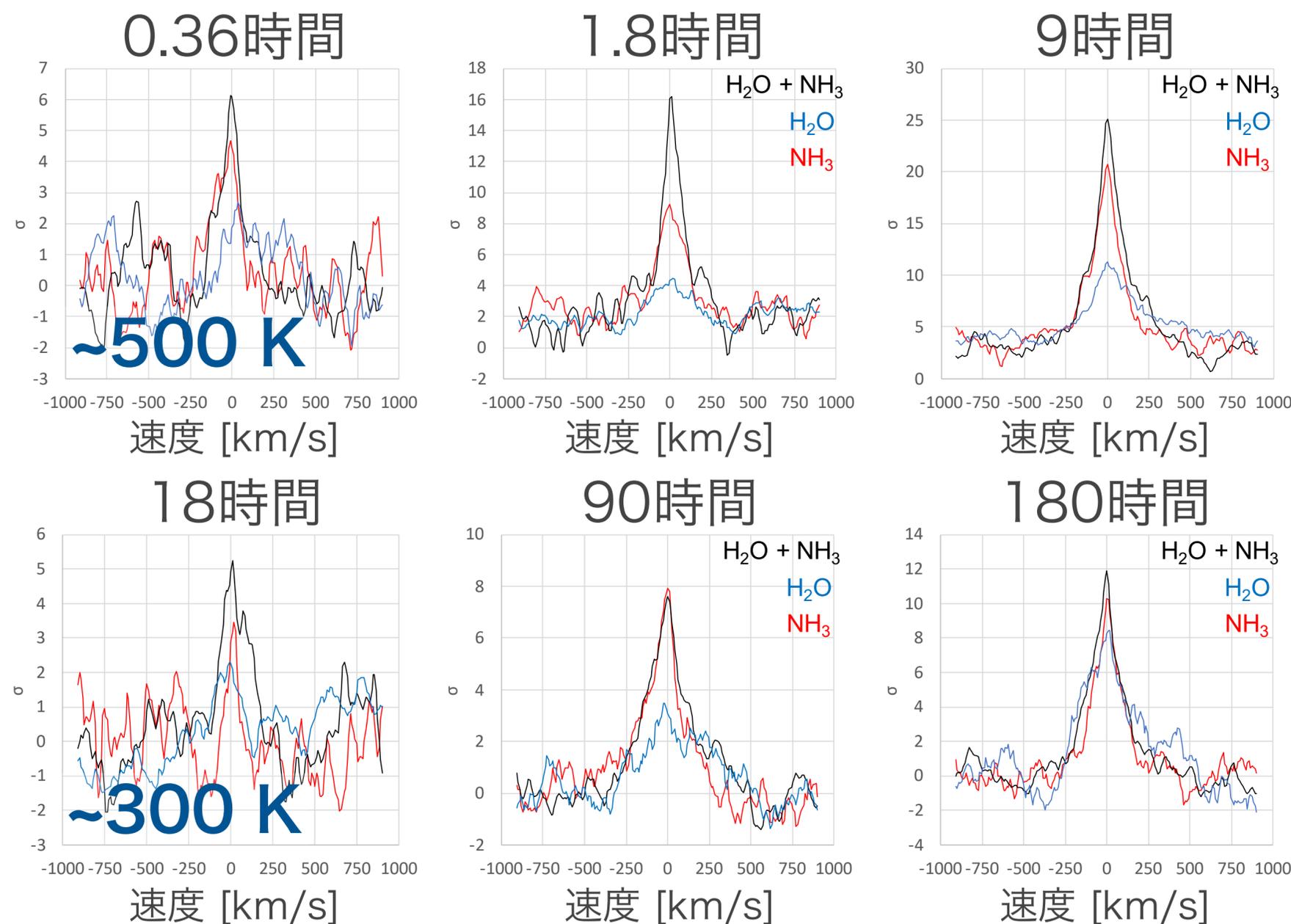
GREX-PLUSでの放射光スペクトルの観測可能性

模擬観測データと理論モデルの相互相関

- SPICAのようなミッションにより、**太陽型星周りの木星サイズの惑星@10 pc**を観測することを想定したシミュレーション結果

- **H₂O**や**NH₃**の検出が可能

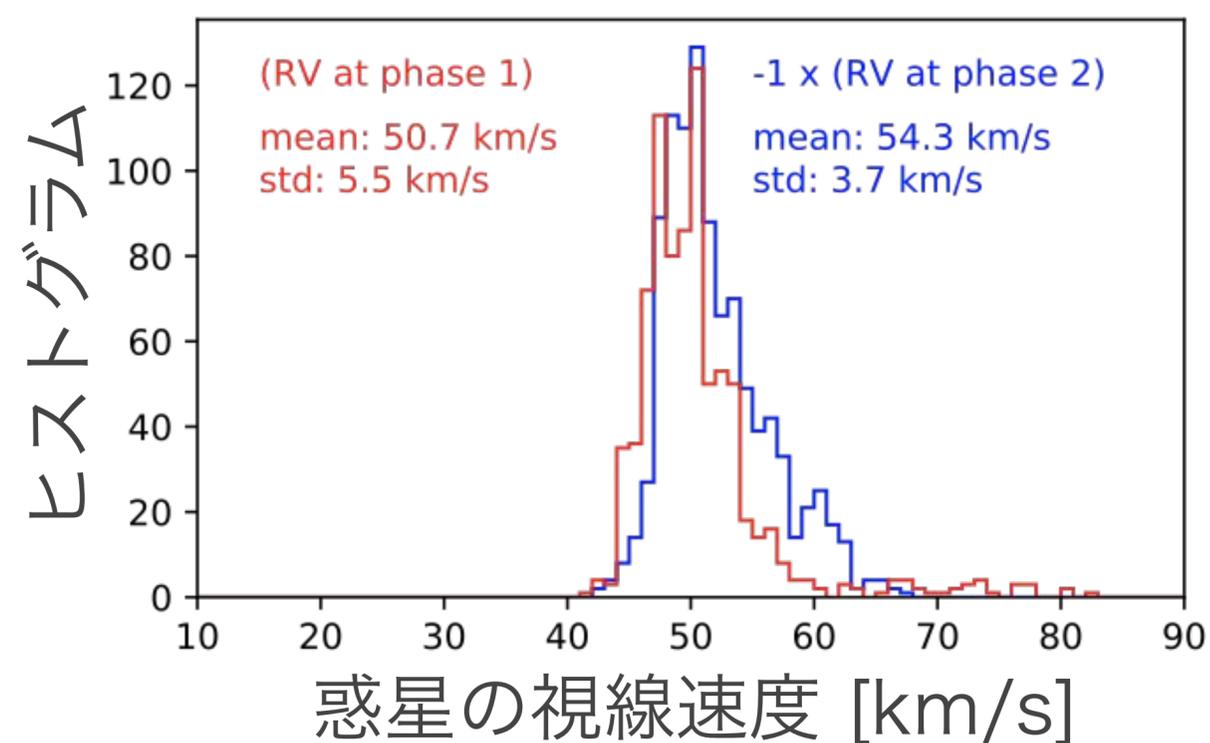
- GREX-PLUSで必要な観測時間は**~1.3倍程度多くなる**と予想される



惑星の視線速度の観測

- 放射光スペクトルの高分散観測により、**惑星自身の視線速度の測定**も可能
- 10 pcにある太陽型星回りの木星サイズの惑星（公転速度50 km/s）を2つの公転フェーズでそれぞれ6時間観測 by GREX-PLUSした場合の視線速度の推定

推定された視線速度のヒストグラム



※非トランジット惑星にも適用が可能

惑星の視線速度の観測

- 放射光スペクトルの高分散観測により、**惑星自身の視線速度の測定**も可能
- 10 pcにある太陽型星回りの木星サイズの惑星（公転速度50 km/s）を2つの公転フェーズでそれぞれ6時間観測 by GREX-PLUSした場合の視線速度の推定
- 惑星の視線速度から、**軌道傾斜角の不定性を含まない、惑星の真の質量**の推定が可能に（e.g., Fujii & Matsuo 2021）
- また、**連惑星や衛星の検出**も期待される
 - 木星の周りのイオの軌道に海王星が公転している場合：~ 900 m/s
 - 木星の周りのイオの軌道に地球が公転している場合：~ 50 m/s

GREX-PLUSで可能な系外惑星サイエンス

中間赤外のメリット

- 低温 (≤ 500 K) の惑星に感度 (放射光、惑星視線速度)
- C/O比や大気中の混合度合い、紫外線環境に感度のある C_2H_2 や HCN 、 NH_3 などの吸収線が豊富に存在

放射光・透過光の観測による大気特性の調査

- 化学種の検出
- 検出された化学種の存在量制約
- 大気中の元素存在度比 (C/O比など)
- 温度構造
- 大気中の混合度合い
- 紫外線環境

主星

二次食前後の差分による放射光の観測

惑星

トランジット中の主星の惑星大気透過光の観測

ドップラーシフトを利用した放射光と惑星の視線速度の観測
※非トランジット惑星にも適用可

惑星の視線速度の検出による物理的特性の調査

- 真の惑星質量
- 軌道傾斜角
- 衛星・連惑星の検出