

SPICAによる系外惑星の熱放射の検出・キャラクタリゼーション

藤井友香*(東京工業大学ELSI), 松尾太郎(名古屋大学),
奥谷彩香, 平野照幸(東京工業大学),
門野創一(大阪大学), 空華智子(国立天文台)
+ SPICA サイエンス検討会太陽系・系外惑星班

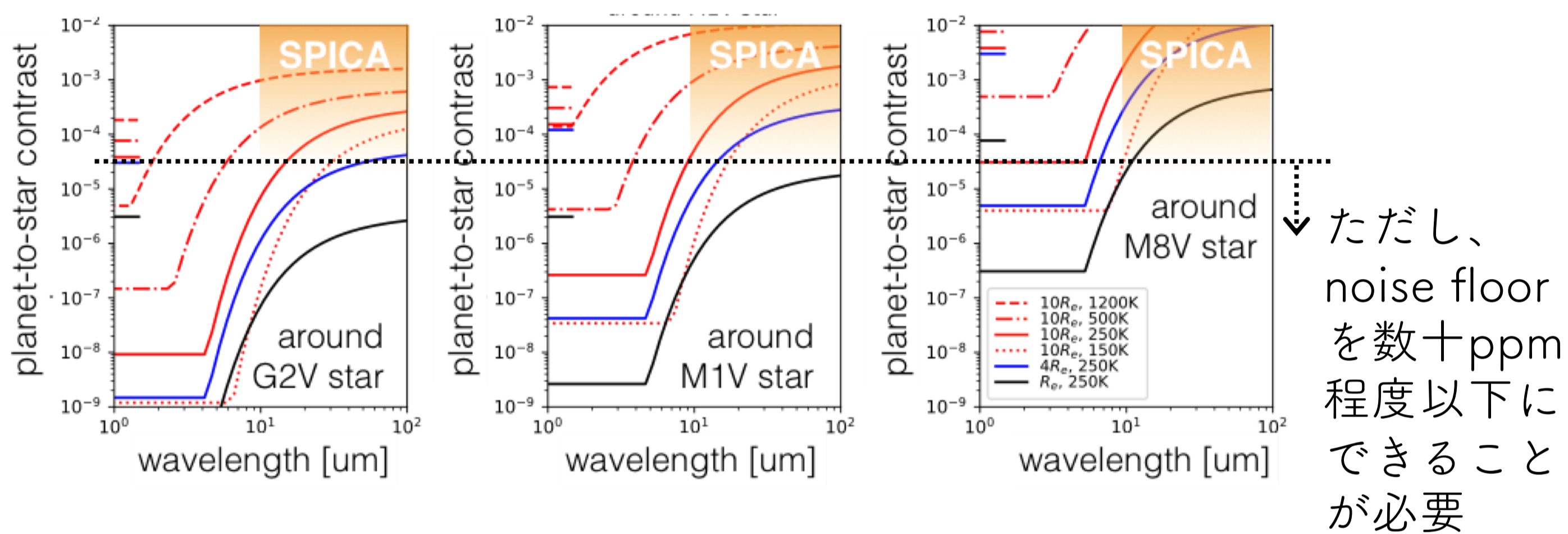
*yuka.fujii@elsi.jp

系外惑星観測におけるSPICAの可能性

初めての中間赤外における高分散分光(HRS) & $>28\mu\text{m}$ における感度

⇒この波長帯で $>300\text{K}$ 程度以上の惑星は主星とのコントラストが大幅に改善(下図)するので、高分散分光により主星光+惑星光の混ざったものの中から惑星大気由来のフィーチャーを検出できる可能性

※HRが可能な波長帯でターゲットとなりうる分子： H_2O , NH_3 , HCN , C_2H_2 , CO_2 など



実現可能性の検討

主星光+惑星光の合わさったものをHRSで観測し、その中の惑星光由来のフィーチャーをモデルとの相互相関により検出できるか考える。

観測ターゲット

Case 1) G型星周りの温暖な木星型惑星

Case 2) 最近傍のM型星のハビタブルゾーン付近の地球型惑星

模擬観測

惑星のスペクトル：それぞれのCaseで想定される大気鉛直構造を仮定し、水平方向には一様として、disk-integratedなスペクトルを計算。

主星のスペクトル：BT-Settl model (Allard+ 2013)

装置：SPICA (口径2.5m), SMI/HR (12-18μm, R=33,000)

ノイズ源：主星光+惑星光+黄道光 (15MJy/sr) のフォトンノイズ

解析手法

(自転によるbroadeningを無視した)理論スペクトルとの相互相関関数(CCF)を計算し、ピーク外のCCFの標準偏差に対するピークの強さの比としてS/Nを見積もる。また、その標準偏差で見積もられたCCFの不定性に基づいてCCFのピーク位置=惑星の視線速度の決定精度を見積もる。

- SPICAの波長12-18μmにおける高分散分光(SMI/HR)は、これまで観測が難しかった比較的低温の惑星の大気組成の同定・力学的キャラクタリゼーションにおいてユニークな貢献が期待できる。
- 我々は、(1)比較的低温(300K-500K程度)の木星型惑星と、(2)M型星のハビタブルゾーン付近の岩石惑星について大気組成の検出と視線速度測定の実現可能性を調べるため、観測シミュレーションを行なった。
- 300-500Kの木星型惑星のこの波長帯における熱放射スペクトルには NH_3 や H_2O (+場合によっては光化学反応由来の HCN など)のフィーチャーが期待される。10 pcの距離にあるG型星回りの500/300Kの木星型惑星の大気中の NH_3 や H_2O は、それぞれ1/40時間程度以上の積分時間で検出可能。
- M型星のハビタブルゾーン付近の地球型惑星に関しては、地球から最も近いProxima Centauri bに地球と同じ大気があった場合、 CO_2 の検出には1-2週間程度の積分時間が必要なお見込み。

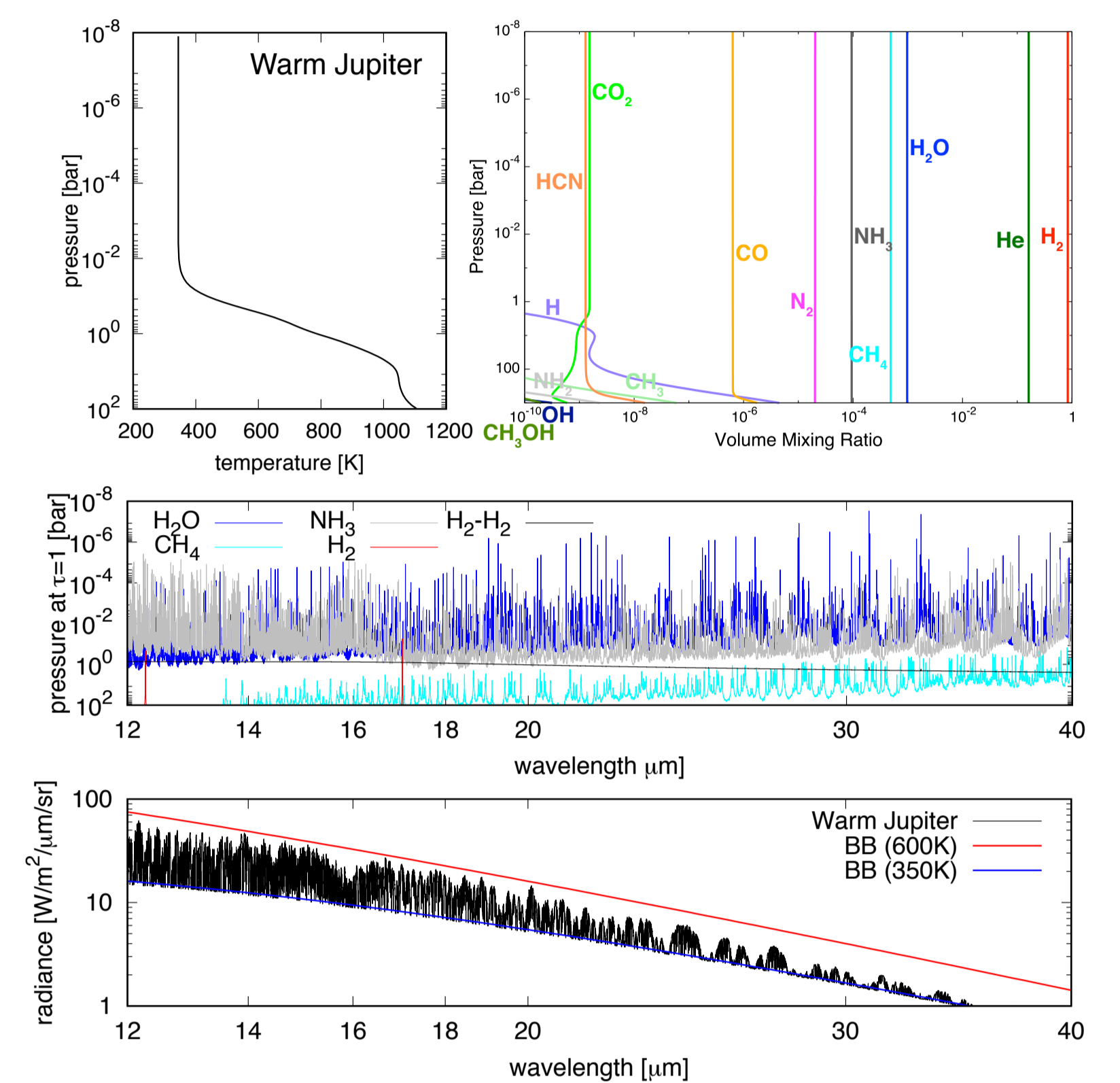
Case 1) G型星周りの温暖な木星型惑星

大気モデルの例→
(500K木星型惑星)

温度構造：Parmentier & Guillot (2014)

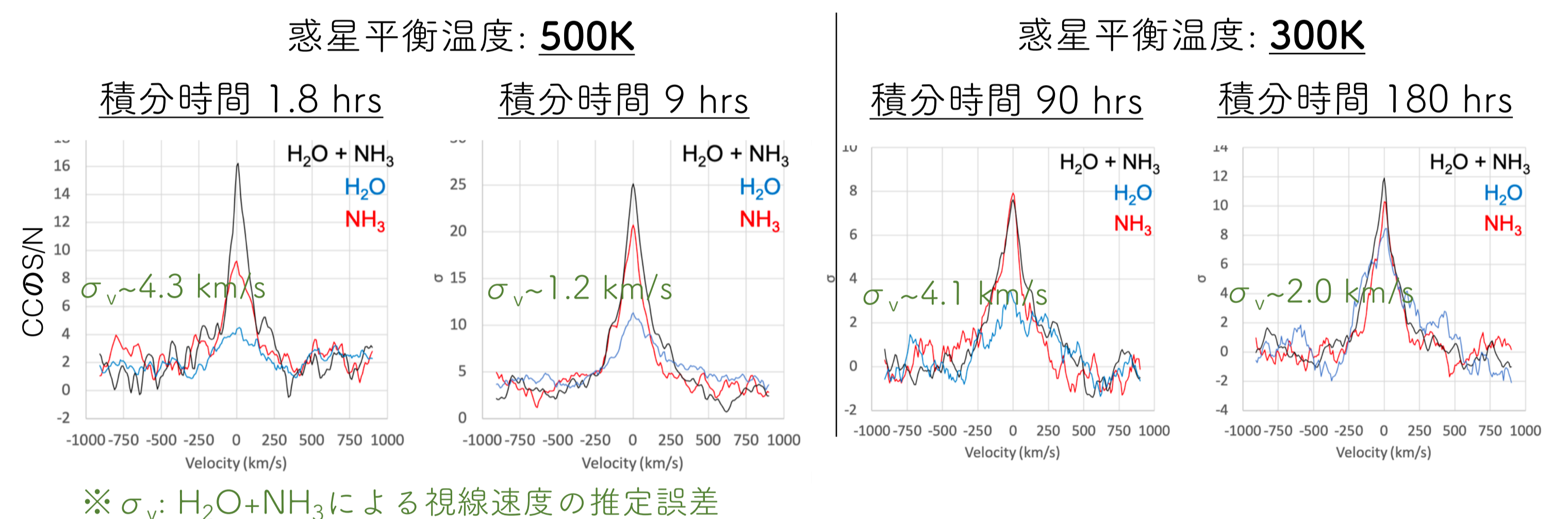
分子の混合比：Kawashima & Ikoma (2018)より、ただしこの例では簡単のため光化学反応は無視した

分子の光学的厚み：HITRAN2016, HITEMP2010 (Gordon+ 2017)をHAPI (Kochanov+ 2016)を用いてVoigt profileでAir-broadening



解析結果

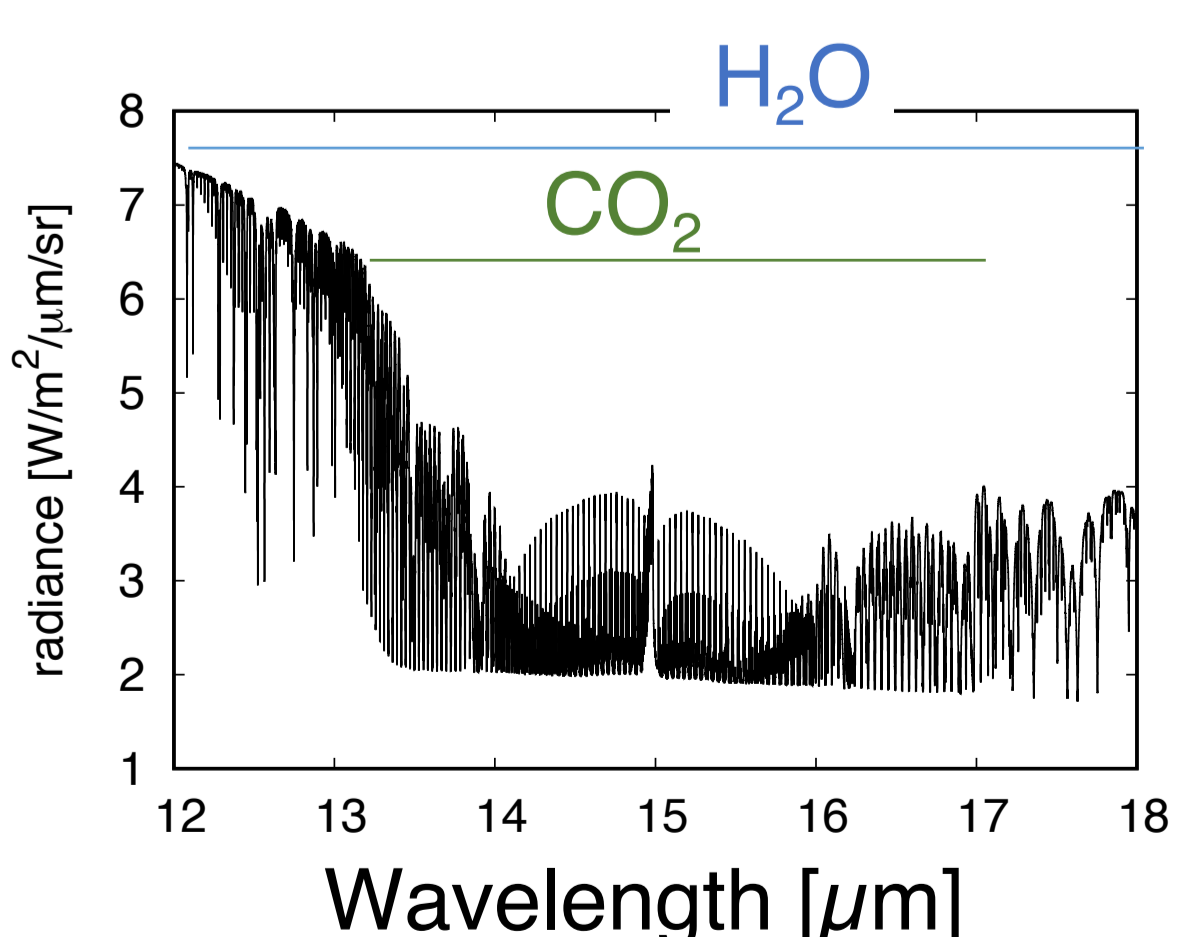
自転速度10 hrs、距離10 pcを仮定



意義・議論

- ・G型星周りの500K/300Kの木星型惑星の公転速度は30-60km/s程度 => 軌道傾斜角はよく制限できる (RVデータと合わせて真の質量を推定)
- ・主星から離れた場所にあるこれらの温暖な木星型惑星は衛星を持つ可能性が比較的高い。木星の周りのイオの軌道に地球サイズ/海王星サイズの衛星が回っていた場合、それらによる木星の視線速度のその振幅は0.05/0.9 km/s程度 => 海王星程度以上の巨大な衛星or連惑星なら検出可能性が出てくるか
- ・木星型惑星の(潮汐力の影響を無視した)自転速度は、10-40 km/s程度と考えられ、自転に依存して吸収線のbroadeningが起こる。これを利用した自転速度の決定精度については今後検討する。

Case 2) M型星のHZ付近の岩石惑星



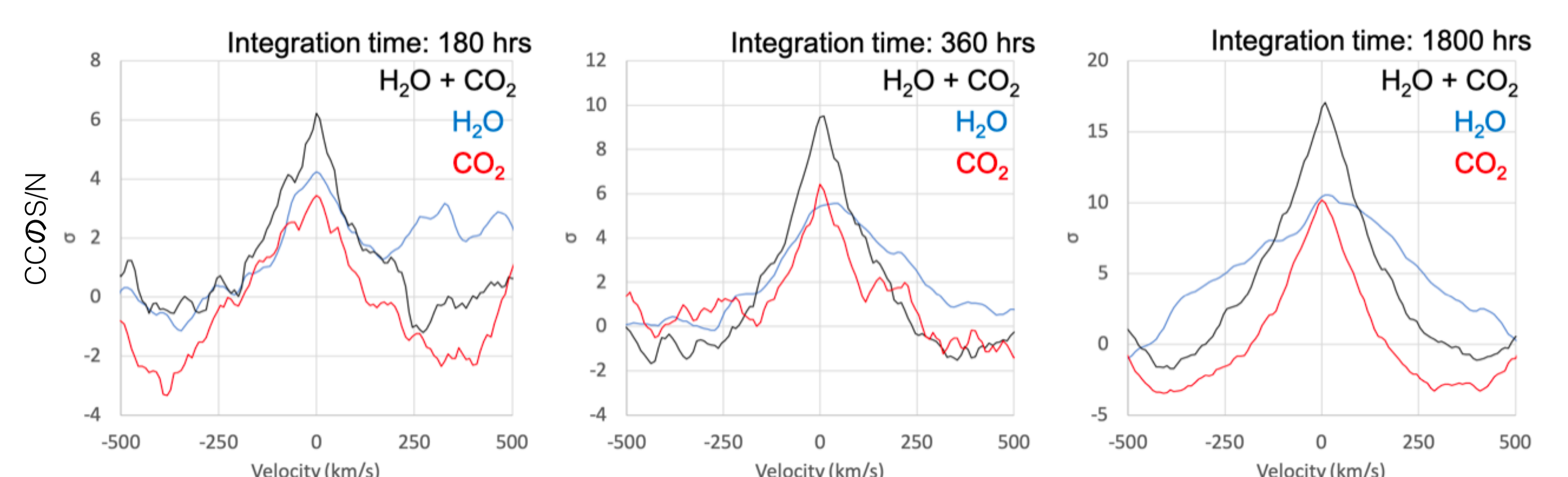
←地球大気 (US standard) の高分散放射スペクトル (R~33,000)

意義・議論

Proxima Centauri bに地球と同様の大気があった場合、2週間積分できれば、 CO_2 や H_2O をそれぞれ検出することが可能になる。

解析結果

簡単のため、Proxima Centauri bが地球大気と同一の大気を持つと仮定して模擬観測を行なった。



Reference: Allard et al., (2013) Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 24, 128
Gordon, et al., (2017) J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 203, 3-69
Kochanov et al., (2016) J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 177, 15-30
Parmentier & Guillot (2014) A&A, 562, A133