

Line-by-line 放射計算による 水蒸気大気の放射特性

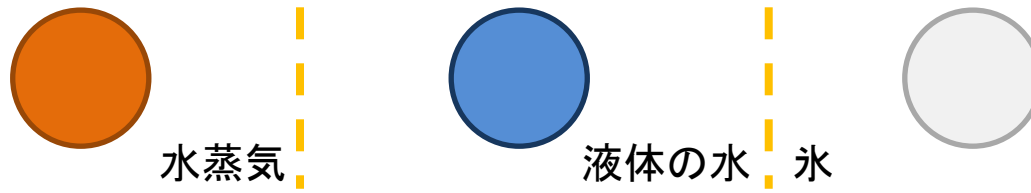
大西将徳¹, はしもとじょーじ², 倉本圭³,
高橋芳幸¹, 高橋康人³, 石渡正樹³, 林祥介¹

1. 神戸大学, 2. 岡山大学, 3. 北海道大学

1. はじめに

ハビタビリティと H₂O

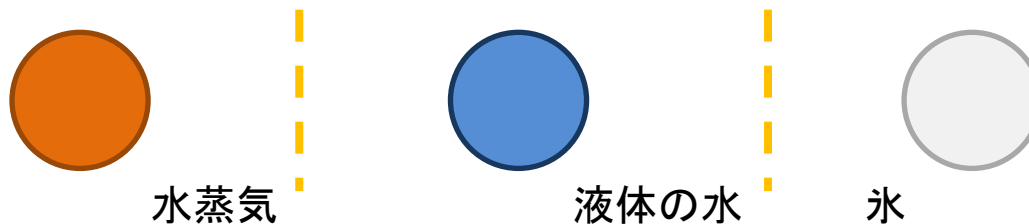
・ハビタブルゾーンの推定



- ・数値計算によるハビタブルゾーンの推定
(Kasting (1993), Abe et al. (2011), Kopparapu et al. (2013))
- ・ハビタブルゾーン近傍の天体の観測(Quintana et al., 2014)
観測によって境界の線引きはできるのか?
- ・惑星表面の H₂O 量はどのように決まるのか?
 - ・地球が現在の水量を持った経緯も明らかでない
 - ・惑星形成の各プロセスによる水獲得量は異なる
(Sasaki (1990), Ikoma & Genda (2006), Genda & Ikoma (2008))
 - ・Fujii et al. (2010, 2011): 惑星の海陸比の観測可能性
観測によって、多数の系外惑星の水量が観測できれば
惑星の水獲得に関する新たな制約条件を得られる?

2. 目的

- ・水蒸気大気をまとった惑星を想定して、地表温度と水蒸気量を変化させて放射計算を行い、
 1. 観測による惑星水量の推定可能性
 2. ハビタブルゾーンの内側境界の観測可能性について議論する。



3. モデル概要

1. 光学特性の計算

吸収断面積の計算

data source:

線吸収: HITEMP2010 (Rothman et al., 2010)

連続吸収: MT_CKD (Mlawer et al., 2012, Clough et al., 1989)

散乱断面積の計算

Rayleigh 散乱 (Goldblatt et al., 2013)

2. 温度の鉛直プロファイルの計算

上空まで対流平衡を仮定(断熱温度プロファイルを仮定)

3. 放射伝達の計算

2方向近似 (Toon et al., 1989)

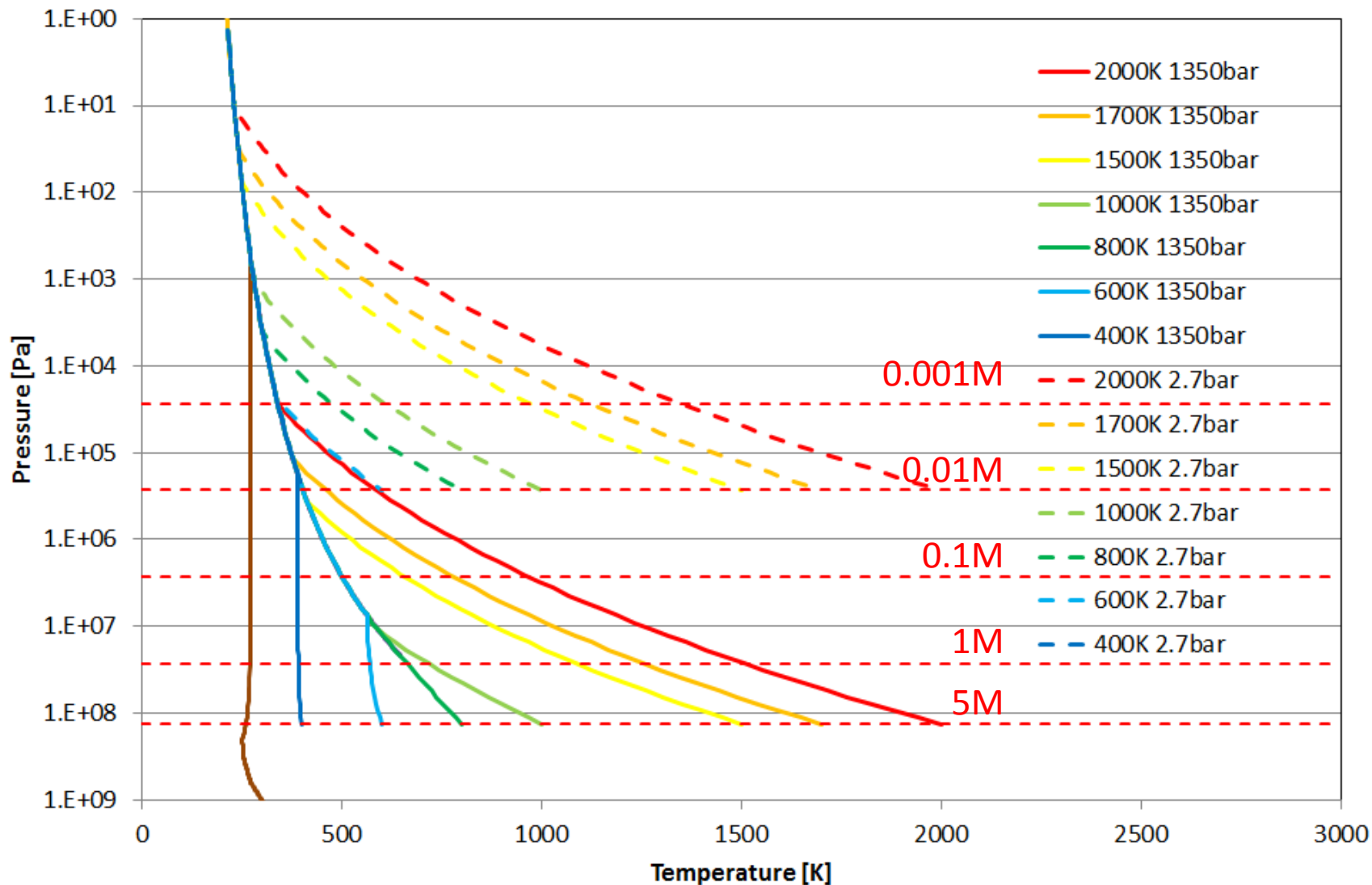
4. 計算設定

計算設定

- ・温度プロファイル
上空まで対流混合している大気を仮定(H₂Oの物性はIAPWS95)
- ・惑星表面のH₂O量
0.001M, 0,01M, 0.1M, 1M, 5M
(M: current ocean mass of Earth = 270[bar])
- ・惑星表面温度
250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200,
1300, 1400, 1500, 1600 ,1700, 1800, 1900, 2000[K]
- ・計算波数領域
range of wavenumber: 0.01 to 20000[cm-1]
(ただし, 1600[K] は22500[cm-1], 1700[K] は25000[cm-1],
1800, 1900[K] は27500[cm-1], 2000[K] は30000[cm-1] まで計算)
resolution of wavenumber: 0.01 [cm-1]

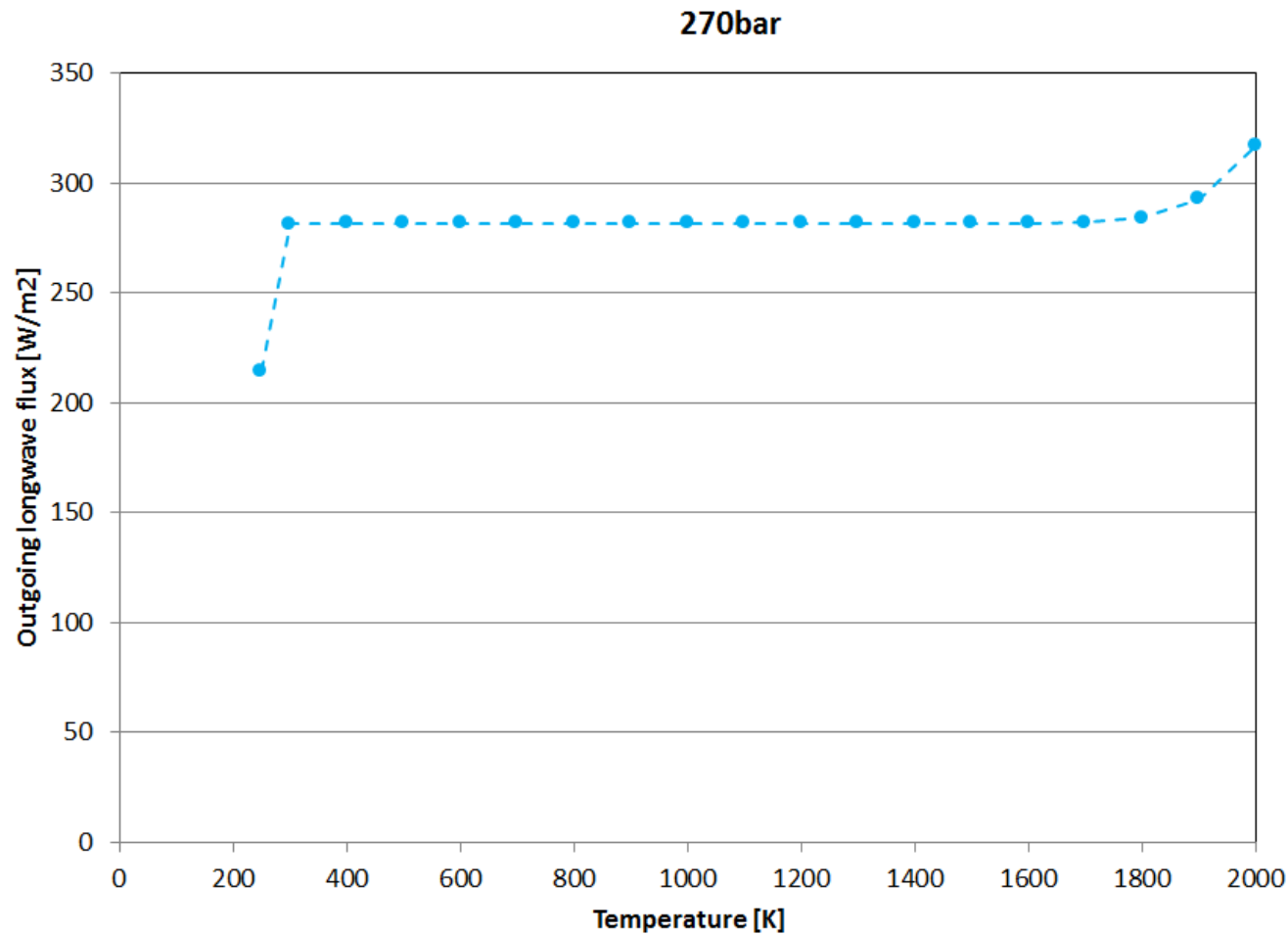
4. 計算設定

鉛直プロファイル



5. 結果

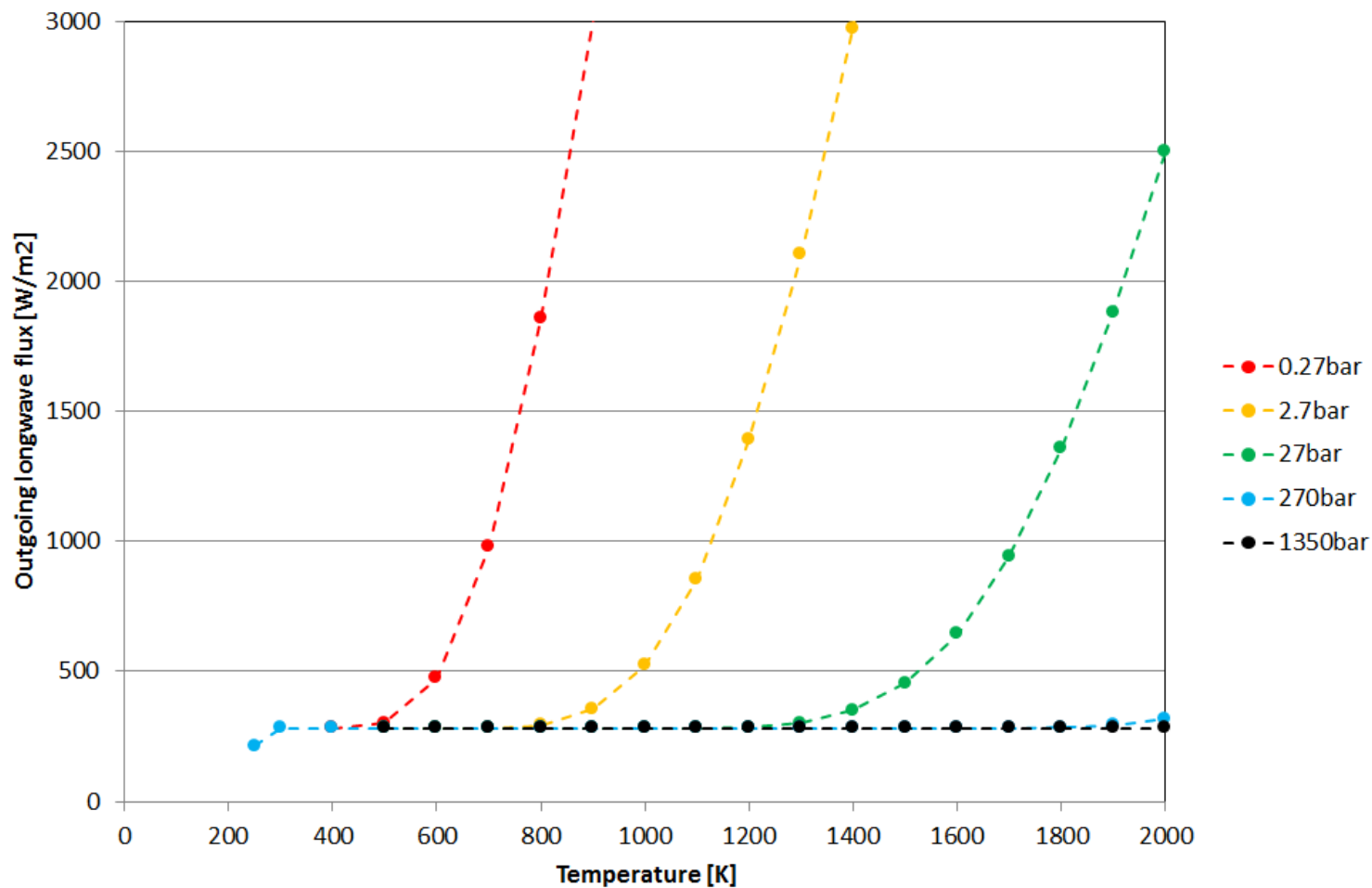
大気上端からのFlux (H_2O 量: 1M)



300 [K] ~ 1700[K] のFlux のスペクトルはほぼ重なっている: 射出限界で抑えられている
射出限界: 282 [W/m^2]

5. 結果

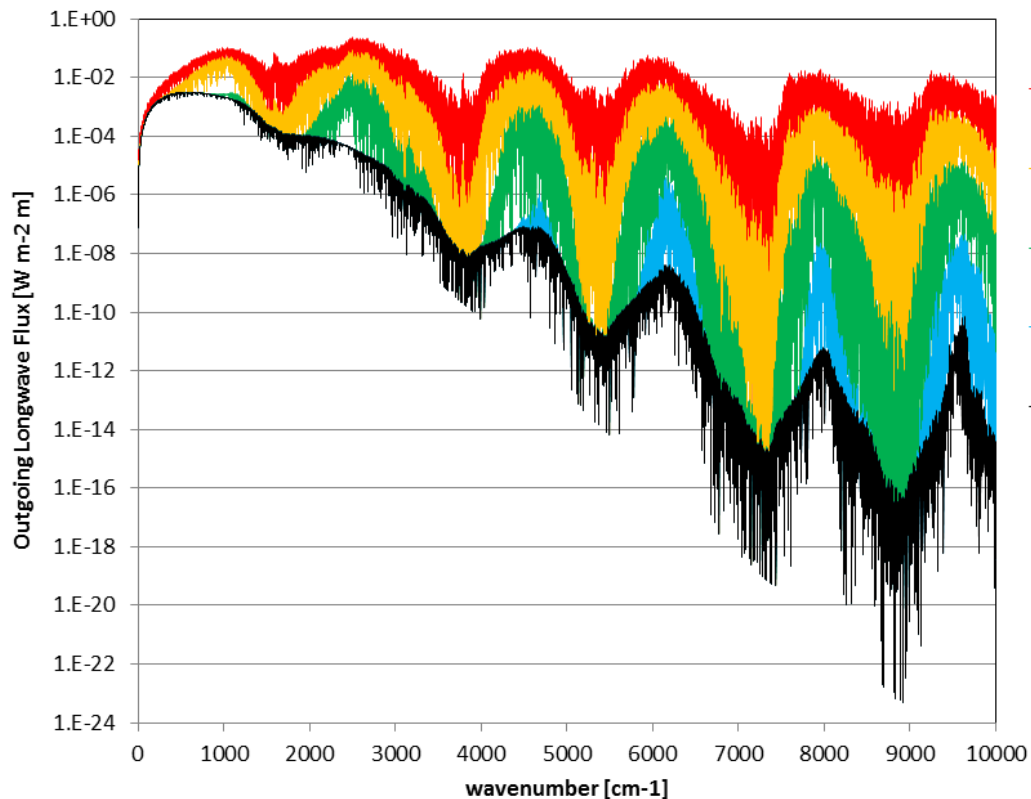
大気上端からのFlux (H_2O 量: 0.001M, 0.01M, 0.1M, 1M, 5M)



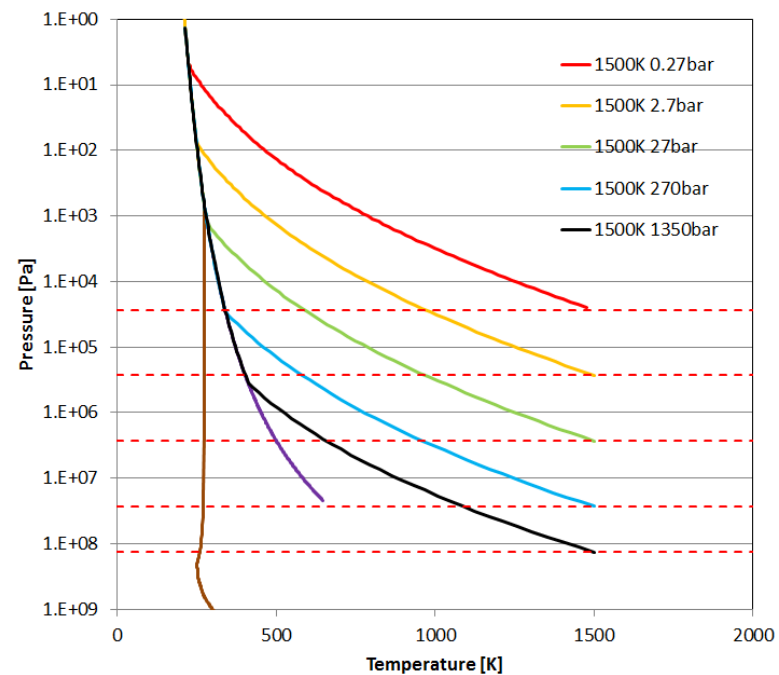
H_2O 量が少ないほど, 低温で射出限界以上のFluxを射出するようになる。

5. 結果

大気上端からのFlux (地表温度: 1500K)



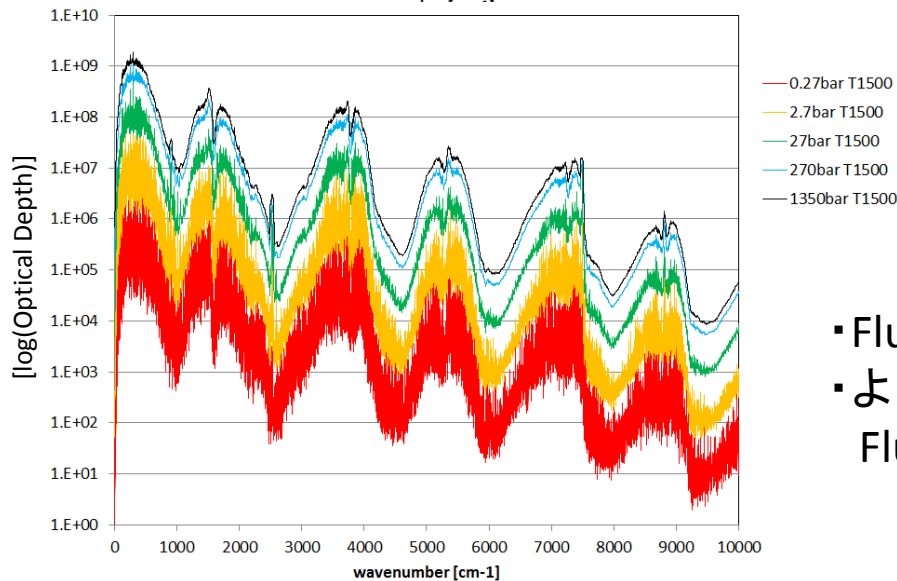
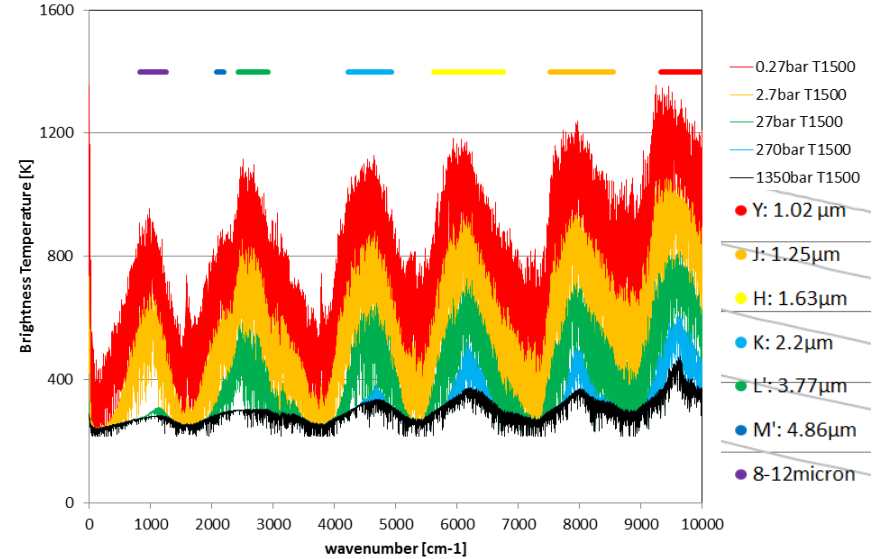
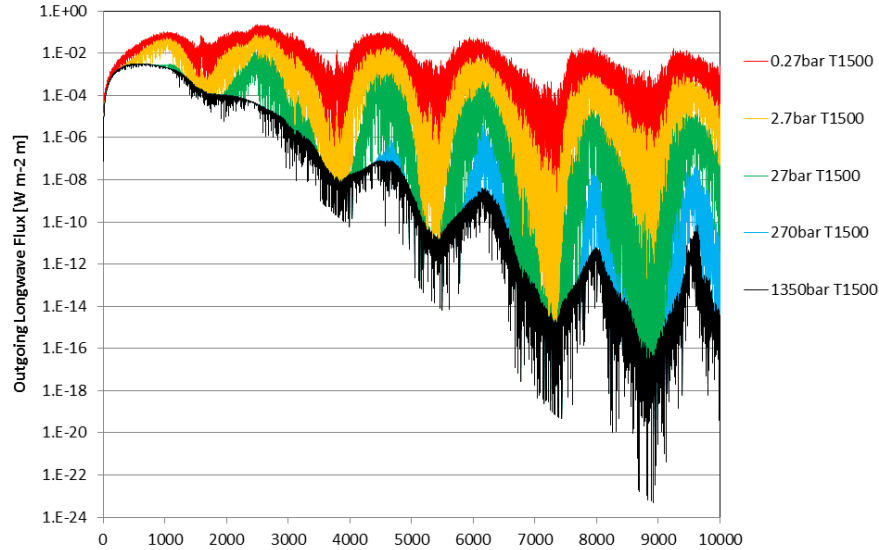
- 0.27bar T1500
- 2.7bar T1500
- 27bar T1500
- 270bar T1500
- 1350bar T1500



H_2O 量が少ないほど, 大きなFlux を射出する.

5. 結果

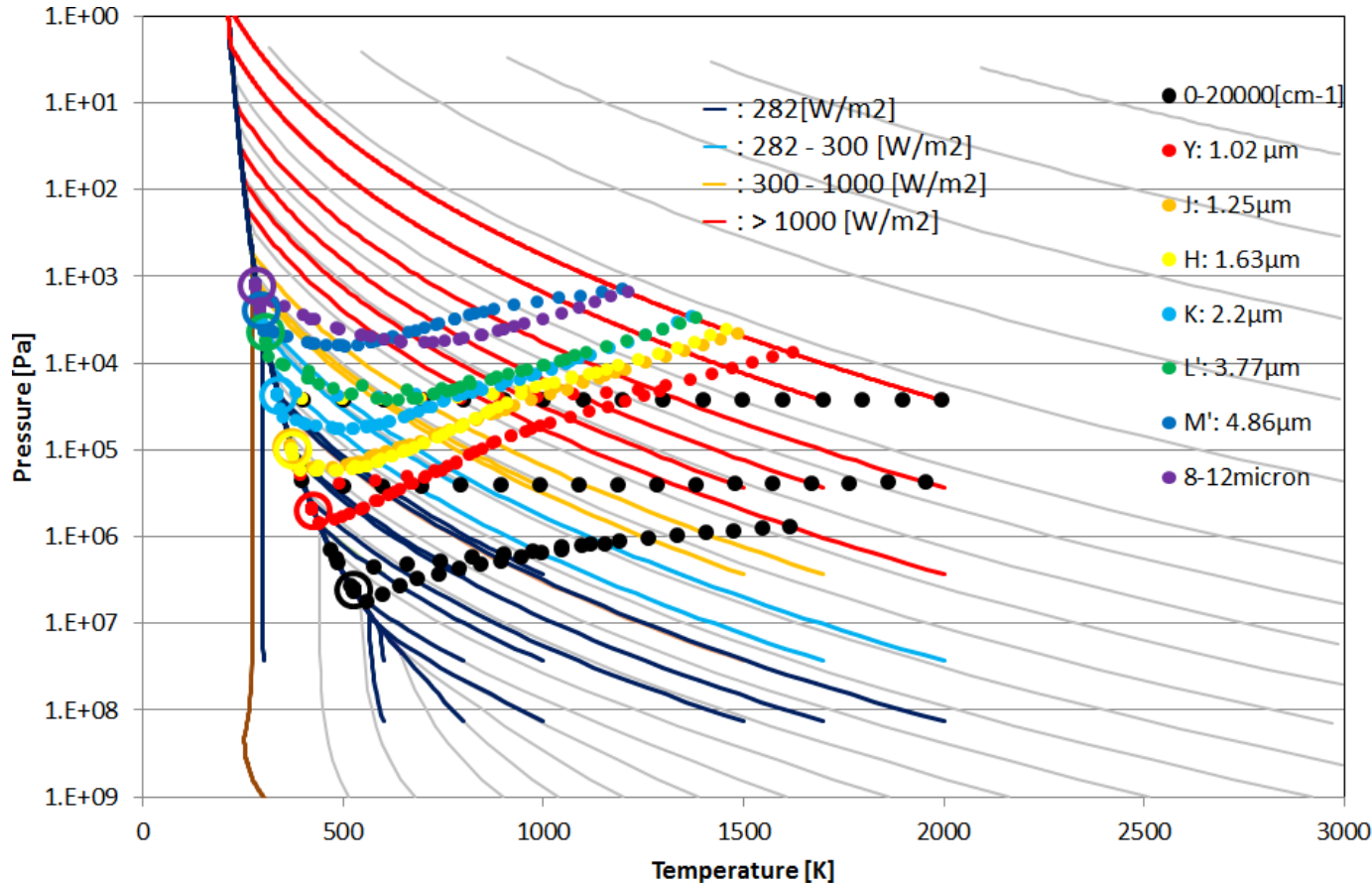
大気上端からのFlux, 光学的厚さ, 輝度温度 (地表温度: 1500K)



- Flux が多く射出しているのは光学的に薄い領域.
- より大気の深い大気(温度の高い大気)から Flux が出ている.

5. 結果

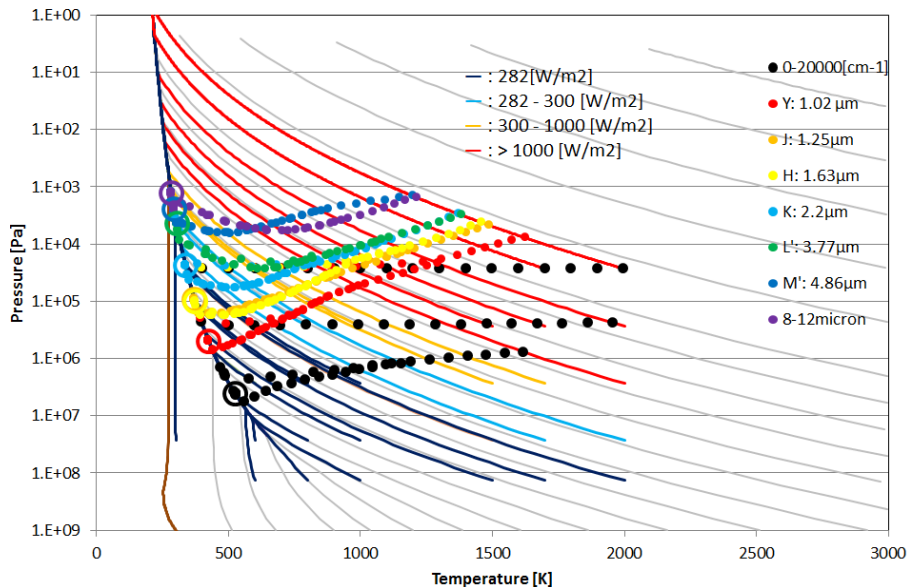
各バンド領域で射出される大気放射と射出された大気の温度圧力



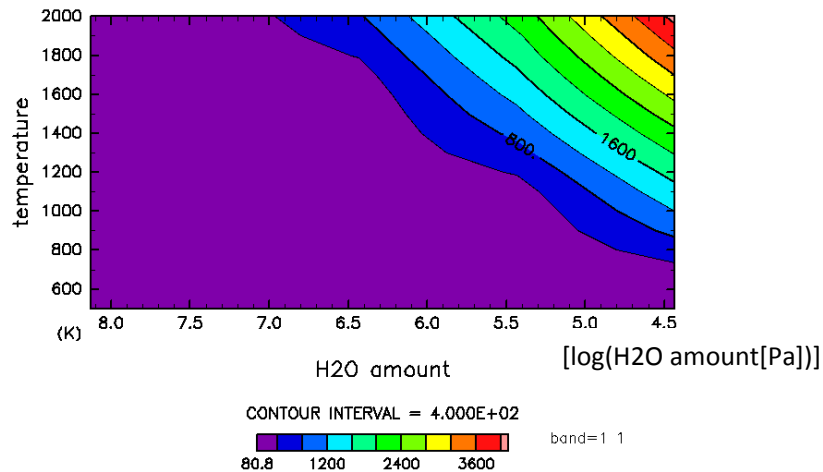
- ・各バンドごとに光学的厚さが1になる深さは異なる.
- ・H₂O量が少ない場合, 地表面からのFluxが射出されている場合がある

5. 結果

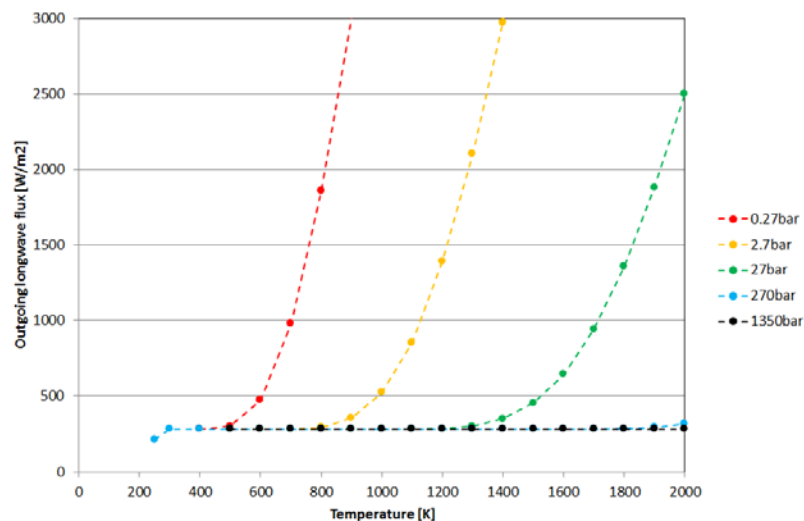
惑星大気の温度プロファイルの推定



8-12μm でのFlux



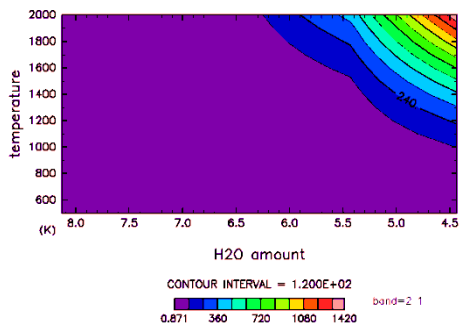
- ・大気上端から出ていく Flux の大小は複数の大小は, それぞれの鉛直profile に対応.
- ・Flux が大きくなるほど, より高温のprofile に対応.



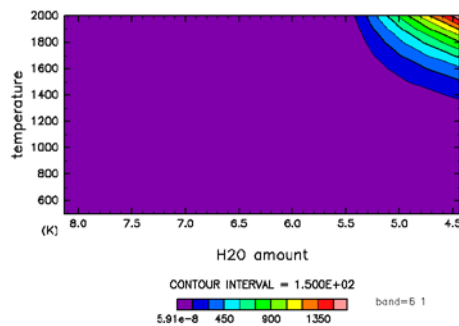
5. 結果

各バンド領域で射出される大気放射

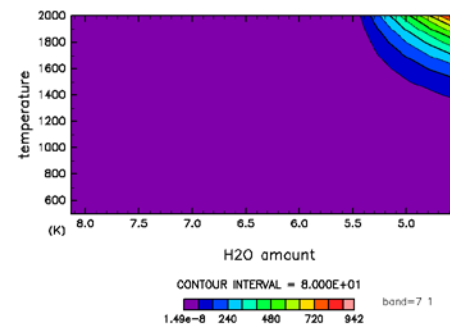
M band(4.86 μ m)



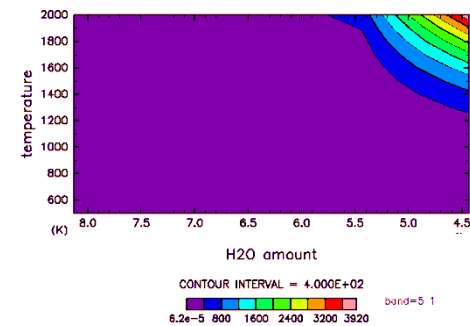
H band(1.63 μ m)



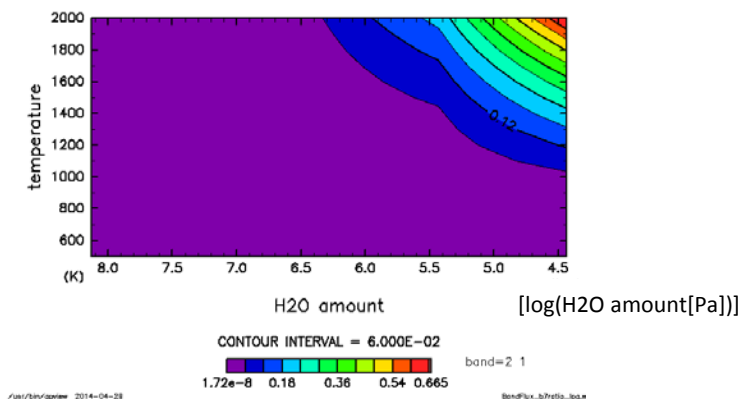
J band(1.25 μ m)



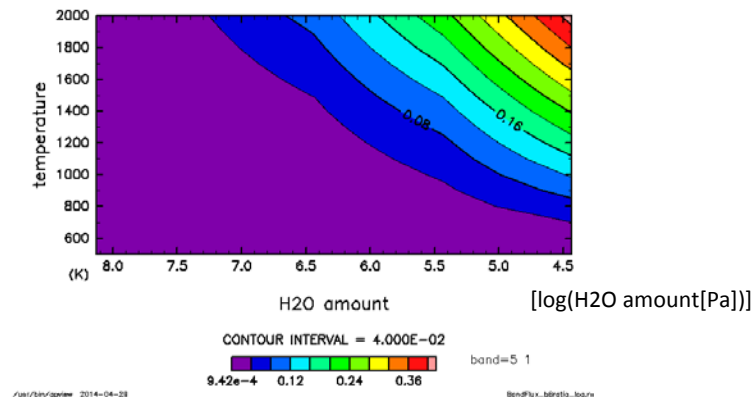
Y band(1.02 μ m)



Y band /M band



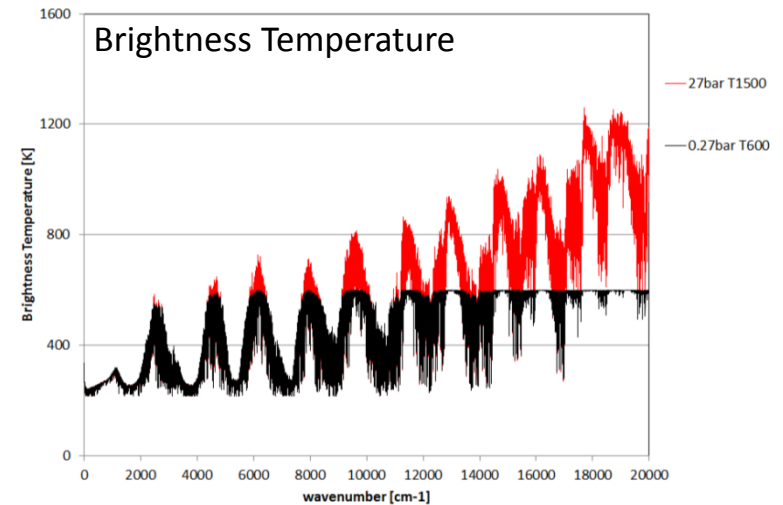
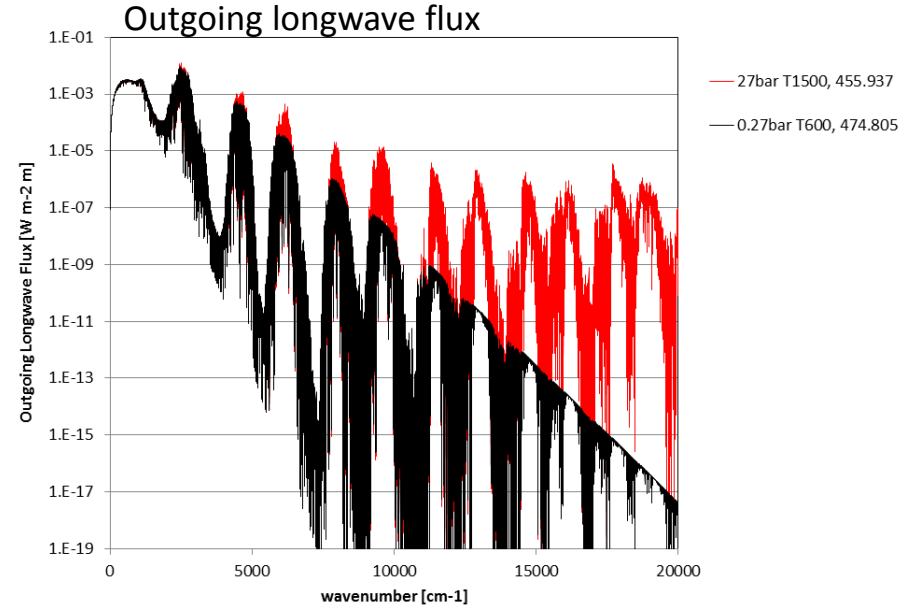
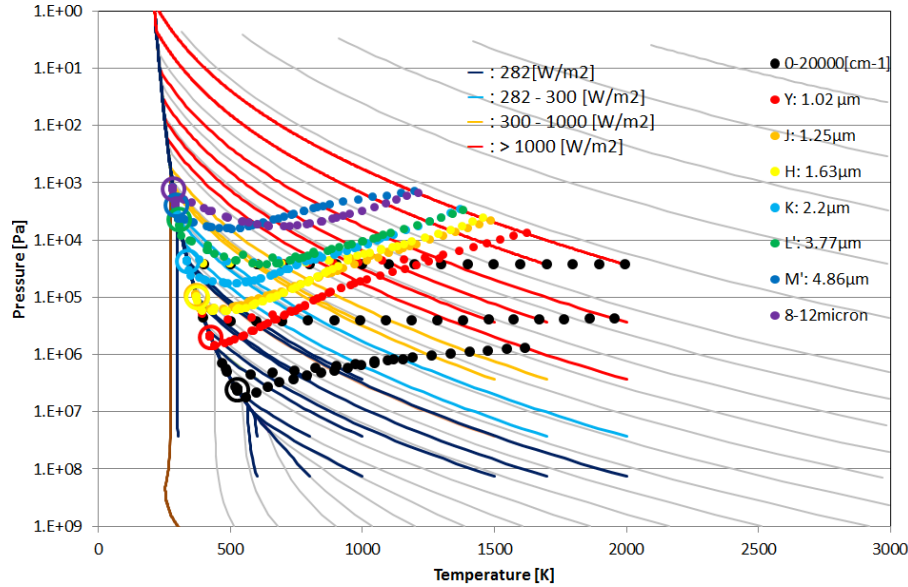
J band /H band



複数のバンドでFluxを観測することでprofileを決定できる

5. 結果

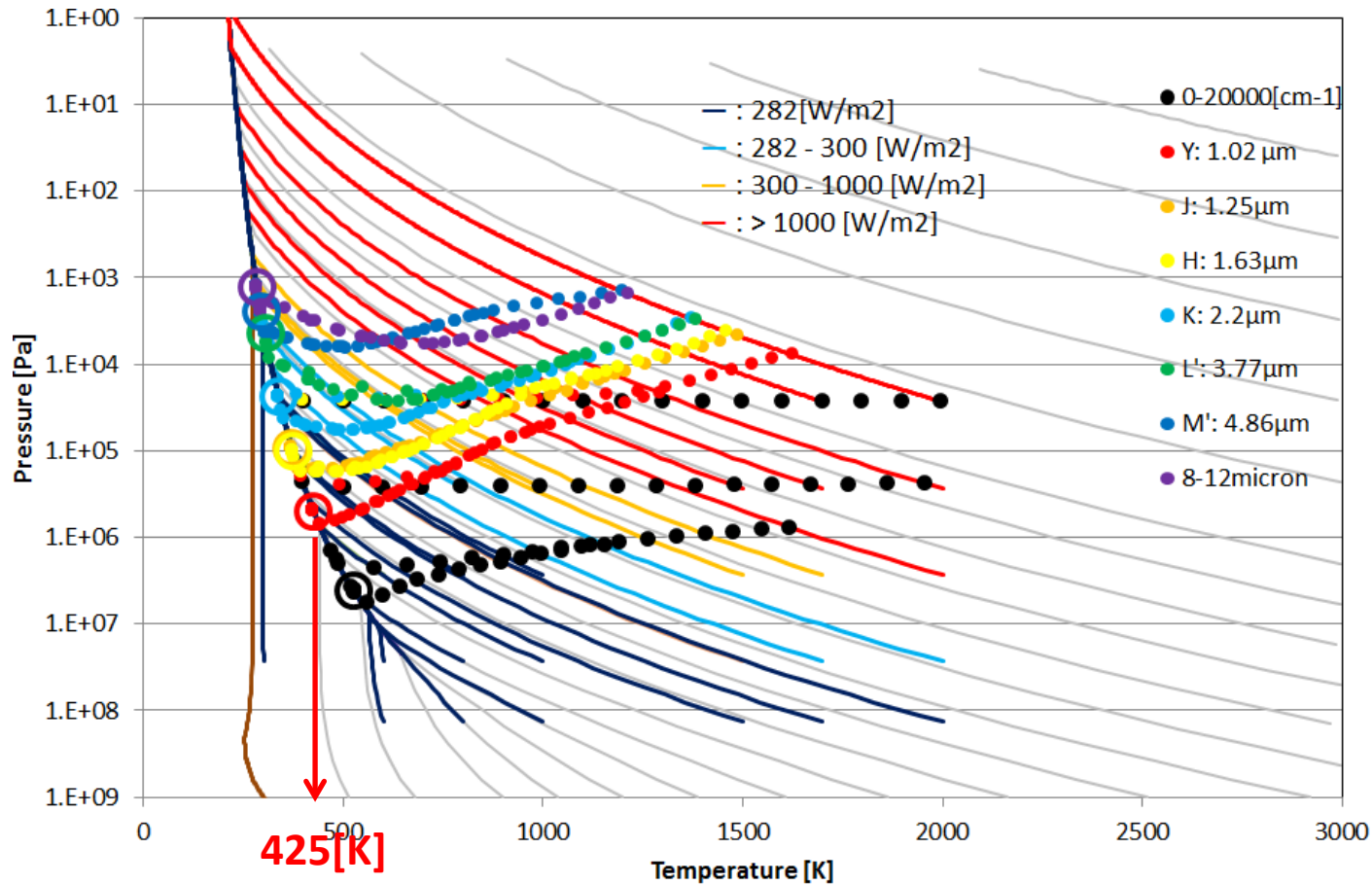
惑星表面の水量の決定



・H₂O量が少ない場合, 地表面からのFluxが射出されている場合がある
→複数のバンドで, 輝度温度が同じであれば, 地表面が見えている. H₂O量を決定できる.

5. 結果

ハビタブルゾーンの内側境界の観測可能性



Y band で放射輝度を観測した場合, 地表面が見えていなければ

$T_s > 425$: 海は蒸発

$T_s < 425$: 海が存在

・特定の輝度温度を境に、海の有る無しが判定できる

6. まとめ

- ・HITEMP2010 とMT_CKD を用いて水蒸気大気の放射特性の計算を行った.
- ・水蒸気大気の射出限界は282 [W/m²].
- ・各バンドごとに光学的厚さが1になる深さは異なり, 短い波長バンドほど, 深い大気が見える.
- ・大気上端から出ていく Flux の大小は複数の大小は, それぞれの鉛直プロファイルに対応し, 複数のバンドで Flux を観測することで, 惑星がどの鉛直プロファイルを持っているか決定できる.
- ・H₂O量が少ない場合, 地表面からの Flux が射出されている場合があり, そのような条件の惑星 Flux を観測することができれば, H₂O量を決定できる.
- ・Y band (1.2 μ m) で見た輝度温度が425[K]よりも低い場合には海があり, 高い場合には海は蒸発している.