

Line-by-line 放射計算による水蒸気大気の放射特性 Line-by-line calculations of radiation properties for exoplanets with steam atmosphere

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
ONISHI, Masanori^{1*}; HASHIMOTO, George²; KURAMOTO, Kiyoshi³; TAKAHASHI, Yoshiyuki O.¹; TAKAHASHI,
Yasuto³; ISHIWATARI, Masaki³; HAYASHI, Yoshi-yuki¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 岡山大学大学院自然科学研究科, ³ 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe University, ²Department of Earth Sciences, Okayama University, ³Department
of CosmoSciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

水蒸気を多く含む大気では、地表面温度と無関係に大気上端からの放射フラックスが一定になってしまう射出限界を持つことが知られており (Simpson 1927, Nakajima et al., 1992)、惑星大気の進化と深い関わりを持っている。Hamano et al., 2013 では中心星からの放射が射出限界よりも大きい場合と小さい場合で、地球型惑星の進化形態が異なることが報告された。一方、最近では系外惑星の直接撮像観測の例も報告されており、地球型惑星の放射スペクトルの観測も期待されている。水蒸気を多く含む地球型惑星の放射スペクトルを得ることができれば、そのスペクトルから惑星の大気や表層環境、また進化の段階を推定できる可能性がある。そのためには、水蒸気大気を持つ惑星の放射スペクトルがどのようなものになるのかを数値シミュレーションにより計算する必要がある。放射スペクトルを正しく計算するためには line-by-line 計算が有効であり、水蒸気大気を line-by-line 法で計算した研究として Goldblatt et al., 2013 がある。しかしこの研究は地表の水の量を地球の海洋質量 (270bar) 分与えて計算しており、異なる地表水量を持つ惑星の計算例はない。そこで本研究では、水蒸気大気を持つ多様な系外惑星の放射特性を計算するために、地表水量と地表温度をパラメタとして水蒸気大気を持つ惑星からの放射を line-by-line 法で計算した。

H₂O の吸収断面積は HITEMP2010 (Rothman et al., 2010) と MT_CKD 連続吸収モデル (Mlawer et al., 2012) を用いた。大気は水蒸気のみ対流平衡の温度分布を与え、地表面温度は 250~2000[K]、地表面の H₂O 量は 0.01~5 地球海洋質量まで変化させた。H₂O の吸収断面積の計算を効率的に行うために、温度と圧力ごとの吸収断面積をあらかじめ計算し、そのテーブルをもとに cubic spline 補間をして必要な吸収断面積を計算した。放射伝達計算は 2 方向近似を用い、波数分解能は 0.01[cm⁻¹] で line-by-line 法により計算を行った。

本研究で計算された射出限界は 282[W/m²] であった。射出限界の値は Goldblatt et al., 2013 とよく一致しているが、1 海洋質量を与えた場合、放射の立ち上がりは Goldblatt et al., 2013 よりも高温で立ち上がるという結果を得た。地表水量が少なくなるほど、低い地表面温度で放射は立ち上がり、0.01 海洋質量の場合には、1000[K] 以下で放射が増大する。この時 10 μm、4 μm 付近の大気の窓領域から多くの放射が出ている。また 1500[K] 以上では、大気がとても厚くなるため、0.01 海洋質量をもつ惑星の場合でも地表面からの赤外放射は直接観測できないことが明らかとなった。

キーワード: 水蒸気大気, 放射過程, 射出限界

Keywords: steam atmosphere, radiative property, radiation limit