

恒星の活動度が地球型系外惑星からの電離大気散逸へ与える影響

研究代表者：西岡 知輝（東京大学大学院理学系研究科）

研究目的：

惑星のハビタビリティにとって重要な要因のひとつに大気の実在がある。惑星の大気は、恒星からの極端紫外線（XUV）の影響で大気が電離し、散逸すると考えられている。金星のような非磁化惑星では、太陽風プラズマがその上層大気と直接相互作用する。この相互作用では、金星の外気圏に広がる酸素コロナが熱的な酸素原子と同様にイオンの散逸源となる。現在の金星では、このような酸素原子のイオン化による散逸が主要な大気散逸メカニズムと考えられている。そのため、金星型大気を持つ惑星の大気進化を理解するためには、酸素コロナがイオン散逸にどの程度寄与するかを理解することが必要である。

これまで金星の外気圏は、探査機観測や数値シミュレーションに基づいて長年にわたり研究されてきたが、これらの研究は主に現在の金星を対象としている。しかし、惑星の上層大気構造は、主星（太陽）からの XUV 放射によって強く影響を受ける。特に、M 型矮星のハビタブルゾーンに位置する系外惑星は、極端な XUV 放射にさらされると予測されており、酸素コロナが金星型大気を持つ系外惑星のイオン散逸に及ぼす影響は、現在の金星とは異なる可能性がある。本研究では、異なる XUV 環境および恒星風条件下での酸素コロナがイオン散逸に与える影響を調査した。

研究成果：

非熱的な酸素原子の生成と熱圏内輸送を計算するモンテカルロコードと、恒星風-電離圏相互作用を解くグローバル MHD モデルを組み合わせる酸素コロナがイオン散逸率に与える寄与を評価した。熱圏は XUV に依存する金星型大気を仮定した。散逸率の恒星風動圧に対する依存性を調査したところ、動圧と電離圏のプラズマ圧のバランスが重要な寄与をすることがわかった(図 1)。また、高 XUV 環境や低密度の恒星風の条件下では、酸素コロナの寄与が小さくなることがわかった(図 2)。これは、XUV 放射の増加が熱的成分を非熱的成分よりも支配的にすることと、低密度の恒星風が電荷交換や電子衝突電離によるコロナの電離を抑制することが影響している。この結果は、酸素コロ

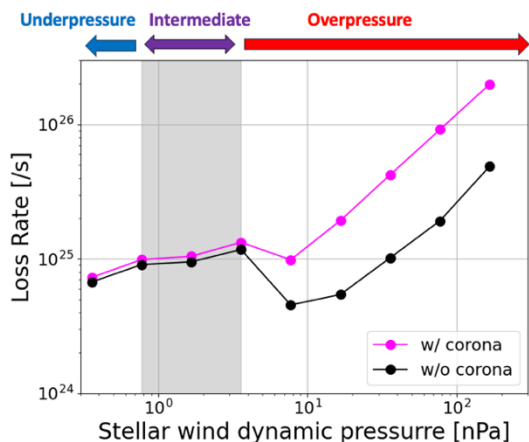


図 1 散逸率の恒星風動圧への依存性。灰色の領域は、昼側電離圏のピークプラズマ圧が恒星風動圧と同程度になる領域。動圧が強い領域(赤)でコロナの寄与が増大していることがわかる。

ナが非活動的な M 型星のハビタブルゾーン内にある主星に近接した系外惑星におけるイオン散逸において重要な役割を果たすことを示唆している。

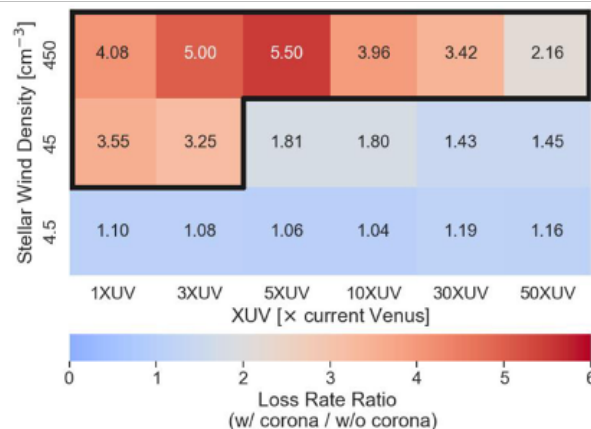


図 2 ある恒星風密度と XUV フラックスにおける酸素コロナの有無による散逸率の比。太い黒線で囲まれた領域は、恒星風動圧が昼側電離圏のピークプラズマ圧を超える領域。この領域ではコロナの寄与

成果発表：

(1) 投稿論文

Journal of Geophysical Research への投稿準備を進めているところである。

(2) 学会発表

1. 西岡 知輝ほか、「Effects of XUV radiation on hot oxygen corona of Venus-like planets」、JpGU 2024、幕張、2024 年 5 月
2. Tomoaki Nishioka, K. Seki, R. Sakata, K. Yamamoto, S. Sakai, N. Terada, H. Shinagawa, and A. Nakayama, “Study of atmospheric ion escape from exoplanet TOI-700 d based on global multi-species MHD simulations”, ISSS-15 & IPELS-16, Garching, 2024 年 8 月
3. 西岡 知輝ほか、「Effects of hot oxygen corona on the ion escape from Venus-like planets」、SGEPSS 2024、立川、2024 年 11 月

4. Tomoaki Nishioka, K. Seki, R. Sakata, S. Sakai, N. Terada, H. Shinagawa, and A. Nakayama, “Effects of hot oxygen corona on the ion escape from Venus-like planets”, AGU Fall Meeting 2024, Washington, D.C., 2024 年 12 月