

恒星風からはかる生命の存在可能性

もし天2022 Vento Stellare班：

松尾 恭加（高2）【大阪府立富田林高等学校】、神崎 洸緒（高2）【四天王寺東高等学校】、
大野 智輝（高1）【麻布高等学校】、吉川 梨音（高1）【田園調布雙葉高等学校】

要旨

恒星が周辺環境に影響を与える手段には放射以外にも様々なものが考えられる。その中で、私たちは恒星風に着目し、地球と火星それぞれの重力と磁場の観点から、生命の存在可能性について議論した。

1. 背景

生命が存在する可能性を示す従来の指標である「古典的」なハビタブルゾーンは、恒星の光度だけで決定される。しかし、太陽系のハビタブルゾーンに存在する地球と火星を見ても、その表面環境には多くの違いがある。最も大きな違いは、生命が存在するために不可欠な液体の水の有無である。液体の水が存在するには十分な大気が必要であり、惑星が十分な大気を保持するにはどのような要素が必要なのかに私たちは興味を持った。

2. 目的

惑星の大気の保持能力には、惑星の磁場、重力、そして主星の恒星風の3つの要素が関係していると私たちは考えた。そこで、主系列星のハビタブルゾーンでの恒星風の動圧を求め、仮にそこに地球/火星があった場合、大気を保持可能か、すなわち生命が存在可能かを調べる。

3. 研究方法

地球と火星の重力加速度比 ($1:0.37$)、磁束密度比 ($1:10^{-4}$) を用いて、重力と磁場の2つの観点から大気が保持可能な恒星風の動圧の値の範囲 (太陽比) を求める。P-Cygniプロファイルが見られる恒星を分光観測し、ドップラー効果から恒星風の速さを求め、太陽と比較することで恒星の表面温度と恒星風の速さの相関 (以降T-v相関) を求める。恒星の光度から恒星風の密度と速さの積が求まる ($\rho v = (1 - M_{final}/M)L_{\odot}/4\pi c^2$) ので、T-v相関を用いると、恒星の光度と表面温度から恒星風の動圧 ρv^2 が求められる。

4. 観測結果

P-Cygniプロファイルが検出可能だと思われるP Cyg、V1676 Cygの2天体のほか、本当にP-Cygniプロファイルが検出できないのかを確かめる目的で κ Cet、 γ Ori、 α Ori、 β Gem を分光観測した。結果、P-Cygniプロファイルを検出できたのはP Cygのみだった (図1) ため、アーカイブデータからHD152249、HD123008の分光観測データを用いて恒星風の速さを計算し、T-v相関を求めた。

5. 考察

得られたT-v相関から、恒星の表面温度[K]を横軸に、恒星風の動圧 (太陽比) を縦軸に取り実際の主系列星をプロットした (図2)。重力の観点では、ハビタブルゾーンでの恒星風の動圧が太陽風の動圧の2.7倍以上になるとハビタブルゾーン内に存在する地球と同じ重力を持つ惑星は大気を保持できないため、たとえばA型以上の主系列星では、地球が存在したとしても生命が存在できないと考えられる。また、本研究において、磁場の観点では、火星に生命が存在できるような恒星は見つからなかった。

6. 今後の展望

今回、重力の観点におけるハビタブルゾーンでの恒星風の動圧の上限については考察できたが、火星でも大気を保持できる値 (太陽風の動圧の0.37倍以下) が得られることが期待される赤色矮星について、Initial-Final Mass Relationが定まっていないため、今回の研究方法では正しい恒星風の動圧が求められなかった。そのほか、恒星自体の変動を考慮していないこと、青色超巨星と太陽で求めたT-v相関が主系列星に適用可能か、など、考慮すべき点は多々ある。

7. 参考文献

シリーズ〈宇宙物理学の基礎〉『輻射輸送と輻射流体力学』梅村 雅之 福江 純 野村 英子 日本評論社
NASA / Goddard Space Flight Center (2010)
Goddard Space Flight Center (2010) : New Map Provides More Evidence Mars Once Like Earth
Stevenson, D. J., 2010, Space Sci. Rev., 152, 651-664
Jack Connerney (2010) : Mars Magnetic Map

8. 謝辞

仙台市天文台の皆様、もし天2022のスタッフの皆様にご心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

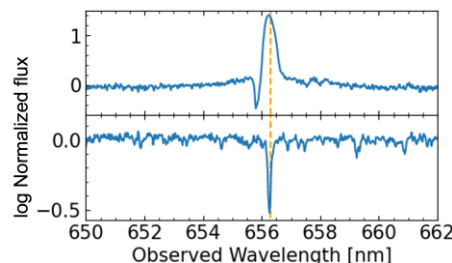


図1. 観測によって得られたスペクトルの例。上図がP Cyg、下図が β Gemで、どちらもHaの中心波長656.3 nmを中心としている。

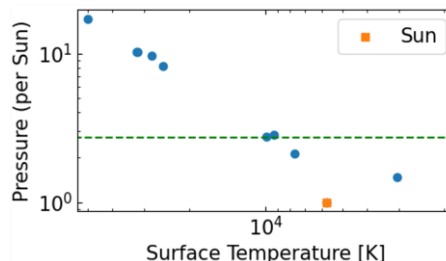


図2. 恒星の表面温度と恒星風の動圧の関係。四角で示したのが太陽で、動圧は太陽の値で規格化している。点線は動圧が太陽の2.7倍となる位置を示している。