

なぜ、WSO-UV に参加しなければいけないのか？

WSO-UV プロジェクト 亀田真吾

「地球のような惑星は他にあるのか？」という疑問は、多くの方が一度は抱くものでしょう。比較的地球から距離が近い天体である月や火星が、地球のように海を持ち、緑にあふれた惑星ではないことは 100 年以上前にはほぼ明らかになりました。その後、数多くの探査機により太陽系内の観測が進み、生命が全球規模で繁栄している「地球のような惑星」は太陽系内には他にない、ということは既に明白です。

一方、1995 年に最初の太陽系外惑星の発見が報告されてから、その数は飛躍的に増加しており、2021 年には 5000 個程度となっています。系外惑星の観測初期段階では、検出しやすい大型のガス惑星のみが見つかっていましたが、観測技術の進歩により、小型の地球型（岩石型）惑星が数多く見つかるようになりました。それらの惑星の多くは、主星に近すぎるか、遠すぎるために、表面で水が液体として存在できない状況と考えられますが、主星からの輻射が地球と同程度となっていて海洋が存在し得る惑星も複数見つかっています。

現時点では、これらの惑星の半径、質量、主星からの距離が観測によって求められています。これで全体の平均密度、主星から受ける輻射量が推定されますが、それだけで、その惑星の表層環境を制約することは難しく、「地球のような惑星」かどうかは分かりません。今後は大気の観測を行うことになり、このためにトランジット分光という手法が用いられます。大気中の原子や分子は、波長によって光を透過するか、あるいは吸収/散乱を引き起します。観測者から見て、惑星が恒星の前を通過する際に、その透過光を分光観測することで大気成分を検出することができます。

しかし、主星に対して小さい地球型惑星に対し、さらにその周りを薄く覆う大気を検出することは現行の技術では困難です。TRAPPIST-1e という、地球と同程度の大きさで、輻射量もちょうど良い惑星があります。その惑星が地球と同じ組成の大気を持っていたとして、その大気中の酸素分子(O_2)を検出するためには、口径 6.5m の宇宙望遠鏡である JWST を使っても 80 年もかかる、という試算が出ています。太陽系外の地球型惑星の観測はそれだけ難易度が高いのです。このような状況を何とか抜け出すために、多くの研究者が様々な検討を進めています。

それでも、仮に、ある大気分子種、例えば二酸化炭素が検出されたとして、大気成分のほとんどが二酸化炭素となる金星や火星のような大気を持つか、地球のように二酸化炭素が含まれるが他の成分(窒素分子や酸素分子)がずっと多い大気を持つか、それだけでは判別することはできません。大気の温度構造、(雲がある場合には)雲の高度、など、他にも必要な情報があります。実際、金星大気に二酸化炭素が含まれることは地球からの観測で分かっていましたが、ほぼ二酸化炭素で構成される大気をもつことが確定するのは、直接探査を待つ

必要がありました。

これまで、系外惑星の観測は天文分野の研究者を中心として進められてきましたが、このように惑星の表層から大気に至るまでの議論が必要となる状況では惑星科学分野で得られた知見を活用する必要があります。系外惑星を対象として理論研究を進める研究者は少しずつ増えてきているもののまだ少数であり、惑星科学分野(の研究室)から系外惑星の観測に取り組む研究者はほとんどいないと言って良い状況です。

「なぜ惑星科学者が、系外惑星の観測に取り組まなければいけないのか？」

私にとっては、これは問う必要の無い質問であり、太陽系探査計画に関わる傍らで、様々な方にご協力を頂きながら、検討を続けてきました。その活動の中で、紫外線による観測検討があまり進められておらず、大型の研究計画にも含まれていないことに着目しました。太陽系近傍で地球型惑星が見つかっている星の多くは低温度星であり、星自体が小さいために紫外線強度も低く、圧倒的に光子数の多い赤外線でも苦戦している状況では、検討の価値がない、という判断があったようです。

低温度星系では、熱放射が地球と同程度となる領域（ハビタブルゾーン）は、主星に非常に近いところにあります。低温度星は、太陽系型星を含む、より高温の恒星に比べて熱放射も極端紫外線輻射が全体的に弱いのですが、熱放射に対する極端紫外線輻射の比率は、高温の恒星に比べて桁違いに大きくなっています。そのため、低温度星のハビタブルゾーンでは、惑星が受ける熱放射は地球と同程度となっていても、極端紫外線輻射は地球が太陽から受ける量よりもずっと多くなります。この強い極端紫外線輻射によって上層大気が加熱され、密度の高い領域が遠方まで広がるため、上層大気の主成分となる原子種を紫外線トランジット分光によって検出することが可能となります。

最近 Tasker 先生に読みやすい記事([リンク](#))をまとめて頂きましたので、詳細は割愛をさせて頂きます。少なくとも太陽系内の地球型惑星では、上層大気と表層環境は、中間にある大気中の二酸化炭素量を通して結びついています。仮に太陽系外惑星において遠方まで広がった上層大気が検出された場合は、その惑星大気は二酸化炭素(あるいは他の赤外活性分子)をあまり多く含まず、そのような状況は、地球のような表層環境、つまり海洋を持つ温暖湿潤な環境であることを示している可能性があります。

このような観測を十分な精度で実現するためには、大型の宇宙望遠鏡が必要です。WSO-UV は、この観測に最も適した宇宙望遠鏡となります。この検討が進んできたところで、BepiColombo で共同開発を進めたロシアの研究者から、WSO-UVへの参加に関する誘いをタイミング良く頂けたのは非常に幸運でした。事前に PROCYON 搭載機器として、地球上層大気の観測を目的とした紫外線カメラ(Lyman Alpha Imaging Camera, LAICA)の開発を進めていたことや、新型の高効率の検出器の開発を地道に続けていたことも評価され、先方からも受け入れを前向きに検討して頂きました。

様々な方のご協力により、技術開発・理論検討の両面を進めた結果、大口径の WSO-UV

と、日本から提供する高感度紫外線分光器(UV Spectrograph for Exoplanets, UVSPEX)を組み合わせることで、地球と同様の大気組成を持つ惑星の上層大気が検出できる見込みです。このような惑星があるかどうか、それはまだ分かりません。低温度星のハビタブルゾーンは先述の通り極端紫外線輻射が強いために大気が散逸しやすく、大気を長期間維持するために十分な大量の揮発性物質を、その惑星が獲得していなければなりません。TRAPPIST-1 はその可能性がありますが、そうだとしても太陽系の地球とは大きく異なる大気進化過程を経ていることになりそうです。

このような惑星は存在せず、つまり低温度星には地球のような惑星は存在せず、太陽型星系のみに存在する、という可能性は否定できません。現時点では、我々の知る地球のような惑星は太陽型星系の 1 つである我々の太陽系にしか見つかっていません。現在考えられている地球の形成・進化過程は、太陽系のみで起こることであり、低温度星系では起き得ない、という考え方もありそうです。その場合、やはり太陽型星系にある地球のような惑星を集中的に探す方が良い、ということになります。

今年 11 月 4 日に、NASA の将来大型計画についての検討結果が発表されました。そこでは、太陽系外の太陽型星にある地球のような惑星を見つけることが目標項目の 1 番目に掲げられています。この目標が重要であることは多くの研究者が賛同するところでしょう。そのための準備を進めていくことになりますが、観測開始は今から 20 年後の 2040 年前半となる見込みです。それまでに我々は何をしておくべきでしょうか？

20 年先を見据えて技術開発を進め、このような計画に貢献していくことは言うまでもなく重要です。それに集中して、異なる環境にある低温度星系の地球型惑星（地球に似たものではなさそうな？）の調査の手は緩めるべきでしょうか？

太陽系近傍の恒星の 8 割は低温度星です。そのような場所に地球のような惑星があるのかどうか？これは重要な課題であり続けるでしょう。WSO-UV/UVSPEX はその課題解決に迫る数少ない手段の一つとなります。とはいえ、太陽系と異なる環境で地球のような惑星を見つける、そのためには、思い切った決断が必要です。そのような惑星がなかった場合、それでもそれは重要な科学成果となります、個人的には残念です。

このようなことを考えていると、最初の系外惑星の発見のエピソードには大変勇気づけられます。ホットジュピターのような惑星は存在しないと考えられていた中、あると信じて観測を続けた結果が大きな成果に結びつきました。地球型(岩石型)惑星であり、主星からの熱放射も程よい場所にあると分かっている惑星が、地球のような惑星かもしれないと考えて、その場合の検出を狙うことは、最初にホットジュピターを狙うことに比べれば、躊躇するような内容では無さそうです。

以上より、WSO-UV 計画に参加することは必須であると考えております。一方、この他にもまだ良い手はあるかもしれません。既に天文分野の研究者が大きな貢献を成し遂げる中、惑星科学分野の研究者が異なる視点からアイディアを出し、参加していくことが重要である、ということは、わざわざ書くまでもないような状況になることを期待します。

関連リンク：[国際紫外線天文衛星 WSO-UV](#)