

赤色矮星周りの系外惑星の外圏大気における酸素原子のエネルギー状態とトランジット観測による検出可能性

村岡 徹 [1]; 亀田 真吾 [1]
[1] 立教大

Energy state of oxygen atoms in the exosphere of exoplanets around red dwarfs and detectability by transit observation

Toru Muraoka[1]; Shingo Kameda[1]
[1] Rikkyo Univ.

An exoplanet is a planet that orbits a star other than the sun. Since the widespread recognition of their existence in the 20th century, approximately 4,000 exoplanets have been found. Current work features the detection of these exoplanets and their environments, such as their atmospheres.

Transit observation is an exoplanet detection method based on the light absorbed by a planet as it passes in front of its host star; it is expected that the atmospheric components of exoplanets can be detected by applying spectroscopy to this observation. The discovery of a planet where life activities can be expected is one of the most featured themes in this field of research. In recent years, seven planets the size of the Earth have been discovered around the M-type red dwarf TRAPPIST-1 using the transit method. Furthermore, it is thought that three of them exist in the habitable zone of their host star; the habitable zone is the area where liquid water can exist on the surface of the planet. However, it is difficult to determine whether life activity can be expected on these planets simply because they were detected.

Previous research has predicted that the Earth's atmosphere will spread to very high altitudes as the Earth receives 10 to 100 times the amount of extreme ultraviolet (EUV) radiation that it receives at present, which is comparable to the amounts emitted when the sun was younger. This is mainly because high EUV radiation heats and expands the thermosphere, where locates Earth's upper atmosphere. In contrast, because the atmospheres of Mars and Venus contain carbon dioxide at high mixing ratios, a cooling effect impedes atmospheric spreading.

Exoplanets in the habitable zones around red dwarfs such as TRAPPIST-1 receive EUV radiation from their host stars that is significantly stronger than the radiation that the Earth currently receives from the sun. By modeling the atmosphere expansion of th Earth under conditions such as those in the habitable zone of TRAPPIST-1, it is expected to detect oxygen levels on TRAPPIST-1 exoplanets via transit observation using telescopes equipped for ultraviolet spectroscopy.

However, ground state atomic oxygen is believed to be useless in detecting such absorption, as the absorption of interstellar ground state atomic oxygen is much larger than that of the modeled planetary atmosphere. Therefore, our research investigates what the energy state of the atomic oxygen distributed in the upper atmosphere of the Earth would be if the latter was placed in a high EUV environment and reexamines the possibility of detecting atomic oxygen in exoplanet atmospheres.

太陽以外の恒星の周りを回る惑星を系外惑星という。20世紀にその存在が広く認められるようになってから現在に至るまで約4000もの数が見つかってきており、現在では惑星の検出にとどまらず、惑星大気などの諸環境への興味が開拓されつつある。

系外惑星の検出方法の1つに、惑星が恒星前面を通過する際の減光を利用するトランジット観測がある。このトランジット観測を分光観測に応用することで、系外惑星の大気成分などを検出できることが期待されている。

系外惑星の環境への興味という点で代表的なものとして、生命活動が期待できる惑星の発見が挙げられる。近年ではトランジット観測により、TRAPPIST-1という木星ほどの大きさを持つM型赤色矮星の周りに地球程度の大きさをもつ惑星が次々に発見された。さらにそのうち3つがハビタブルゾーン（惑星表面に液体の水が存在できる範囲）に存在すると考えられている。しかしながら、それらの惑星が地球のような、生命活動が期待できる惑星なのか、そうではなく金星や火星のような惑星なのかを検出のみによって判別することは困難である。

先行研究では、太陽系ができて間もない頃のように、地球が現在の10~100倍の極端紫外線(EUV)放射を受けた場合、地球の高層大気に位置する熱圏が加熱され膨張することなどによって、地球の大気は非常に高高度まで広がるだろうと予測されている。一方、火星や金星では混合比の高い二酸化炭素による冷却が主に効果的に働き、大気はあまり広がらないと考えられている。

TRAPPIST-1のような赤色矮星のハビタブルゾーンでは、主星から受けるEUV放射は、現在地球が太陽から受けている放射の数10倍強いと考えられており、太陽系の初期の姿に似ていると考えられている。

これらの議論により、TRAPPIST-1のような恒星のハビタブルゾーンに地球があった場合を仮定しその大気の広がりを見積もった上で、大気に含まれる酸素原子を、紫外線分光宇宙望遠鏡を用いたトランジット観測によって検出する計画が検討されている。

しかしながら、基底状態の酸素原子については、輝線の吸収量は惑星大気のトランジットによるものよりも星間空間の酸素原子によるものの方がはるかに大きいと観測できないと考えられている。そのため本研究では、高EUV環境においた地球の高層大気における酸素原子がどのようなエネルギー状態の分布をもつかを検討し、改めて酸素原子検出の可能性について議論する。