

2024 年度日本天文学会研究奨励賞

氏 名：Nugroho, Stevanus（ぬぐろほ、すてふぁぬす）

現 職：アストロバイオロジーセンター 特任研究員

受賞対象題目：すばる望遠鏡の高分散分光によるウルトラ・ホットジュピター大気中の
新分子検出と温度逆転層の発見

Detection of new molecules and the discovery of a temperature inversion layer in the
atmosphere of an ultra-hot Jupiter through high-dispersion spectroscopy using the
Subaru Telescope

惑星大気学の目的の一つは、中心星からの輻射エネルギーの吸収とその分配、それによって形成される大気構造や駆動される大気運動を理解することである。そこでは、光化学が重要な役割を果たし、物理と化学が密接に絡み合う非常に興味深い研究対象である。その代表的な現象の一つが「温度逆転」である。地球では、地表から高度が上がるにつれて気温が低下するが、高度約 10 km を超えると逆に温度が上昇する。これは、高度 30–50 km に豊富に存在するオゾンが太陽紫外線を吸収し、それによって大気が加熱されるためである。温度逆転層は、オゾン層を欠く金星や火星の大気では見られないが、木星を含む太陽系の4つの巨大惑星では確認されている。これは、メタンなどの炭化水素が太陽紫外線や赤外線を吸収することが要因である。一方、中心星の近傍を周回する木星型系外惑星（ホットジュピター）では、温度が非常に高いため炭化水素は熱力学的に安定でなく、太陽系の巨大惑星と同様のメカニズムが適用されない。このため、ホットジュピターの大気に温度逆転層が存在するか否かは、系外惑星研究における重要な未解決問題の一つとされていた。

Nugroho 氏は、太陽系には存在しない極端な環境下にある系外惑星の大気特性の理解に向けて、ホットジュピターの大気に温度逆転層が存在するかという問いに取り組み、重要な成果を挙げてきた。温度逆転層が存在する場合、分子による輝線放射の増加に伴い、理論上、系外惑星の輻射スペクトルに emission-like の特徴が現れる。このことを検証するため、Nugroho 氏は、すばる望遠鏡の高分散分光装置（HDS および IRD）を用いた革新的な手法で超高温ホットジュピター WASP-33b を観測し、温度逆転層の存在を実証した。ホットジュピターのように中心星の近傍を周回する惑星では、惑星光が中心星光に埋もれてしまい、直接分離することが困難である。特に温度が高く惑星光が大きい WASP-33b であっても、惑星光は中心星光の約 1/1000 と非常に小さい。この課題を解決するため、Nugroho 氏は、惑星の公転運動に伴うスペクトルの周期的変化に着目し、独自に開発したデータ解析手法を用い、理論スペクトルと観測スペクトルの相互相関を取ることで、惑星光を分離することに成功した。これにより、惑星大気中の分子を特定し、その温度構造を制約するための新しい手法を確立した。

Nugroho 氏は、可視域での観測を通じ、WASP-33b の大気中に温度逆転層の存在を確認するとともに、大気中にガスとして存在する酸化チタン（TiO）を検出した（Nugroho et al. 2017, AJ 154, 221）。TiO は可視光や紫外線をよく吸収する。このことから、大気を加熱する吸収体として TiO が機能している可能性を明確に示した。TiO が温度逆転層を形成する可能性については理論モデルや低分散分光観測でも示唆されていたが、Nugroho 氏の研究は高分散分光観測によって直接的に示した世界初の例である。また、Nugroho 氏は、同じ手法を用いて WASP-33b の大気中に鉄原子（Fe I）の輝線を検出し、温度逆転層における追加の観測的証拠の発見に成功した（Nugroho et al. 2020, ApJL 898, L31）。

Nugroho 氏は、さらに、近赤外域での高分散分光観測により、WASP-33b の大気中に OH 分子を初めて

検出した (Nugroho et al. 2021, ApJL 910, 9)。OH は H_2O の熱解離によって生成されるため、この発見は WASP-33b が形成過程で H_2O を獲得した証拠となる。また、Nugroho 氏らは、OH 線が大気の非局所熱平衡状態 (non-LTE) の診断にも新たな道を拓くものであることを指摘した。実際、Nugroho 氏の指導の下で大学院生が、この天体でこれまでに検出されたシグナルから LTE 診断を行っている (Wright, Nugroho et al. 2023, AJ 166, 41)。シグナルの小さい系外惑星の大気中でこのような大気状態の解析をできることは、非常に重要な発見であり、今後の系外惑星大気研究の発展につながるものである。

Nugroho 氏の一連の研究は、ホットジュピターの大気における温度逆転層の存在とその形成機構の解明に多大な貢献を果たしただけでなく、中心星光から惑星光を分離して分子や原子を検出する観測技術と解析手法においても独創的かつ革新的である。その成果は世界的に高く評価されており、関連する論文はすでに数百回引用されている。さらに、Nugroho 氏の研究は、他の研究者による追試や新たな理論モデルの構築を通じて、系外惑星大気研究の発展を大きく牽引しており、この分野における研究の指針となる存在である。

インドネシア出身の Nugroho 氏は、東北大学大学院で博士号を取得後、英国に渡り、ESO の VLT に搭載された高分散分光器 ESPRESSO を用いた研究などを行った。滞在中、系外惑星大気の観測技術を深化させるとともに、ヨーロッパでの人脈を広げ、国際的な研究ネットワークを構築した。その後、日本に戻り、現在はアストロバイオロジーセンターに所属している。Nugroho 氏は、インドネシアや中国の留学生の指導にも積極的に取り組み、日本と東アジア地域の草の根レベルでの協力関係の強化にも尽力し、日本における研究活動を基盤としてアジア全体の天文学を活性化しているといえる。

以上の理由により、Stevanus Nugroho 氏に 2024 年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。