

授賞者の研究業績の紹介

2022年度 第15回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙工学分野

高尾 勇輝 (たかお ゆうき)

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 JSPS特別研究員PD

業績の題目：ソーラー電力セイルによる深宇宙探査の軌道設計と超小型宇宙機への応用研究

ソーラーセイルに多数の薄膜太陽電池を貼付することにより大電力発電の機能を持たせたソーラー電力セイルは、光子加速に加えて、電気推進を併用するため、燃費と機動性の両面で優れている。高尾氏はソーラー電力セイルの研究開発に大きな貢献をしてきた。その中でも特に顕著な業績を以下にまとめる。

(1)超小型ソーラー電力セイルによる外惑星探査の提案

高尾氏は、木星トロヤ群探査をめざす中型規模の探査機OKEANOSの研究開発をとおしてソーラー電力セイルの研究開発に従事してきた。その過程で、従来困難とされていた、50kgクラスの超小型探査機による木星以遠の外惑星探査ミッションが、ソーラー電力セイルの適用により実現することを見出し、ケンタウルス族へのランデブーの実現性を示した。ケンタウルス族は理学的に高い関心を集めていて、高尾氏の研究成果は、超小型宇宙機の到達可能領域を拡大することにより、理工学の両面にブレークスルーをもたらすと期待される（論文[1]）。

(2)ハイブリッド推進を用いた地球スイングバイ軌道の最適制御理論の構築

天体の重力を利用して大きな増速を得るスイングバイの中でも、地球との同期軌道を利用した方式をDelta-V Earth Gravity Assist(ΔV -EGA)と呼ぶ。 ΔV -EGAは、金星や火星などの他の天体を経由しないため、打ち上げウィンドウの制約が緩いという大きなメリットがある。高尾氏はハイブリッド推進を用いた新しい ΔV -EGAの枠組みを提案し、飛躍的に優れた増速効率を得る軌道を見出した。ハイブリッド推進とは、電気推進と光子加速を併用する方式であり、各々が連続低推力として無限の自由度を持つため、高難度な大規模問題を形成する。高尾氏は、最適制御理論を用いて、 ΔV -EGAによる増速を最大化する最適制御則を準解析的に導出することに成功した。この理論は、ハイブリッド推進に限らず、連続推力を用いるミッション全般に適用可能なもの

である。高尾氏の研究は、従来は数値解法に頼っていた最適化問題の解を解析的に導出している点で、軌道力学と制御工学の発展に大きな貢献を果たしている（論文[2]）。

(3)ハイブリッド推進軌道の最適化とGateway放出ミッションへの応用

Artemis計画などの進展に伴い、月近傍領域における超小型宇宙機の活用検討が世界的に進んでいる。JAXAにおいても、Artemisの相乗りペイロードの活用が進められ、国内のチームにより、超小型ソーラー電力セイルによる深宇宙探査のミッション検討が行われている。高尾氏は、当チームの中核メンバーの一人として活躍し、研究開発の現場を牽引している。その一環としてCubeSatクラスの超小型ソーラー電力セイルにより、Gatewayから惑星間領域に脱出し、小惑星探査を行うミッションを提案している。探査機が太陽・地球・月の重力を受ける4体問題では、未解明の領域が多く、連続低推力を用いた軌道設計は困難を極める。高尾氏は、生物進化を模したメタヒューリスティクスに基づく大域的最適化手法を導入し、膨大な解空間を効率的に探索する方策を確立した。（論文[3]）。

以上の通り、高尾氏は、ハイブリッド推進の検討に国内で初めて着手し、ソーラー電力セイルを用いた超小型宇宙機により、外惑星領域の探査が可能なことを明らかにした。同氏は、理論に基づく基礎研究から探査機システム設計までを手掛け、学術と実利用を結びつけることのできる卓越した人材である。高尾氏は、日本が世界に誇るソーラー電力セイルの技術的優位性を一層強固にし、今後の宇宙工学の発展に貢献していくことが期待される。

推薦対象論文

- [1] Takao, Y., Mori, O., Matsushita, M., and Sugihara, A. K., “Solar Electric Propulsion by a Solar Power Sail for Small Spacecraft Missions to the Outer Solar System,” *Acta Astronautica*, Vol.181, 2021, pp.362-376
- [2] Takao, Y. and Chujo, T., “Delta-V Earth-Gravity-Assist Trajectories with Hybrid Solar Electric-Photonic Propulsion,” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol.45, No.1, 2022, pp.162-170.
- [3] Takao, Y. and Chujo, T., “Deep Space Exploration Missions by a Micro Solar Sail Using Hybrid Propulsion,” 33rd International Symposium on Space Technology and Science, Online, 2022-d-37, Mar. 2022.