

# 授賞者の研究業績の紹介

## 2019年度 第12回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙工学分野

菊地 翔太(きくち しょうた)

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 プロジェクト研究員

業績の題目：小天体近傍の強摂動環境における軌道・姿勢力学理論の構築

小惑星や彗星などの小天体近傍では、物体の運動に強い摂動を与える環境が形成されている。特に、太陽光圧と高次重力(重力の非球対称成分)の作用によって、探査機の軌道・姿勢は大きく乱され、小天体探査ミッションに大きな影響を与える。菊地氏は、このような小天体近傍での特異な力学環境における探査機の軌道・姿勢力学に関して、先駆的な力学理論を構築している。また、構築した力学理論をはやぶさ2とリュウグウからなる力学系に適用し、はやぶさ2ミッションの成功に大きく貢献している。顕著な業績を以下にまとめる。

### 1. 小天体近傍における人工的な周期軌道の設計

小天体近傍の比較的高々度の領域では、太陽光圧が卓越し軌道運動は強い摂動を受ける。はやぶさ・はやぶさ2では、この影響を回避するため定期的な $\Delta V$ 操作によって位置を維持し続けるホバリング運用を採用した。ホバリング運用は、実装が簡単であるが、燃料の浪費が欠点である。一方、NASAのOSIRIS-RExでは、ターミネータ軌道と呼ばれる軌道に探査機を投入して運用を行っている。この軌道は太陽光圧下でも安定となる特殊な軌道だが、太陽方向に対して軌道面が垂直でなければならず、軌道設計の自由度が低い。菊地氏は、これら従来小天体近傍での探査機の運用の問題点を解決する軌道として、周期的な $\Delta V$ 操作によって形成される人工的な周回軌道DVAPO(delta-V assisted periodic orbit)を見出した。発見された周回軌道DVAPOは、軌道がハート型と涙滴型に大別され、その軌道設計の自由度が従来軌道より飛躍的に高い。また、必要となる $\Delta V$ も一周で10cm/s程度以下でその実用性は高い。菊地氏の研究成果は、従来にないタイプの小天体周回軌道設計の基礎理論を構築した点で、学術的・実用的価値が高い(論文[1])。

### 2. 小天体近傍における軌道・姿勢連成運動の安定解の導出

小天体近傍の中程度の高度領域では、太陽光圧と高次重力が共に支配的であり、探査機の軌道・姿勢運動は複雑な様相を呈する。加えて、太陽光圧加速度は太陽光に対する探査機姿勢に依存し、重力傾斜トルクは小天体に対する探査機位置に依存する。したがって、小天体近傍では、軌道運動と姿勢運動が互いに強く連成する。菊地氏はこの現象に着目し、Purdue大学のHowell教授らと軌道・姿勢連成運動の研究を行った。この研究の中で、ラ

グランジュの惑星方程式とオイラー方程式とから、太陽同期軌道と太陽追尾姿勢を同時に達成する近似解を解析的に導出した。また、導出した近似解の有効性を数値シミュレーションで示し、スラスタを用いることなく小天体周りで軌道・姿勢運動を長期間安定に保ちうることを明らかにした。菊地氏の研究は、従来はほとんど研究例のなかった小天体近傍での軌道・姿勢連成運動について、基礎的な力学理論を構築するとともに、理論を応用して安定な運動解を導出している点で、アストロダイナミクス分野に大きな貢献をしている(論文[2])。

### 3. 小天体表面付近における軌道運動の解析:はやぶさ2着陸運用への応用

小天体表面付近の低高度域では、高次重力の影響が顕著であるため、着陸運用等の誘導・制御精度を劣化させる。はやぶさ2ミッションでは、リュウグウの岩の量が想定以上だったため着陸地点はわずか半径3mの大きさであり、高精度着陸の実現性が最大の課題であった。菊地氏は、この課題克服のために、リュウグウ表面付近の重力場の解析と、その重力場の影響を考慮した着陸軌道設計を行った。実際に、菊地氏の設計した軌道を用いて、はやぶさ2は2019年2月に1回目の着陸を見事成功させた。さらに菊地氏は、構築した力学モデルと着陸運用時の実データとから、着陸・上昇軌道を事後復元しており、達成された着陸精度が1mであること、着陸時の状態量が事前分散解析の範囲内であることを明らかにしている。当該論文で示されたメートル精度の着陸技術・軌道解析手法は、過去の惑星探査における着陸運用実績の追従を許さない成果である。目標地点に精密着陸するための枠組みは、工学・理学的に高度な探査を行うにあたって不可欠であり、今後の小天体探査の可能性を大きく広げた研究である(論文[3])。

以上の通り、菊地氏は、小天体近傍の強摂動環境における探査機の軌道・姿勢力学という一貫したテーマについて多角的な研究を行い、学術的に重要な力学理論を構築している。研究の実ミッションへの応用の集大成がはやぶさ2の着陸運用であり、菊地氏はそれまでの知識・経験を活かして着陸軌道設計・復元を見事完遂している。菊地氏は、日本が世界をリードする小天体探査の分野を中心に、今後も我国の宇宙工学の発展にリーダーシップを持って貢献していく研究者となることが期待されることから、氏に宇宙科学奨励賞を授与することとなった。

#### 推薦対象論文

[1] S. Kikuchi, Y. Tsuda, and J. Kawaguchi, "Delta-V Assisted Periodic Orbits around Small Bodies,"

Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 40, No. 1, pp. 150-163, 2017.

[2] S. Kikuchi, K. C. Howell, Y. Tsuda, J. Kawaguchi, "Orbit-Attitude Coupled Motion around Small Bodies: Sun-Synchronous Orbits with Sun Tracking Attitude Motion,"

Acta Astronautica, Vol. 140, pp. 34-48, 2017.

[3] S. Kikuchi, F. Terui, N. Ogawa, T. Saiki, G. Ono, K. Yoshikawa, Y. Takei, Y. Mimasu, H. Ikeda, H. Sawada, T. Morota, N. Hirata, N. Hirata, T. Kouyama, S. Kameda, Y. Tsuda,

“Design and Reconstruction of the Hayabusa2 Precision Landing on Ryugu,” AAS/AIAA  
Astrodynamics Specialist Conference, Portland, Maine, August 2019.