

2021 年度  
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	坂東 麻衣
研究機関名	九州大学
所属部署名	大学院工学研究院
役職名	准教授
研究課題名	宇宙ミッション創出へ向けたデータ駆動型サイエンスと軌道工学の融合
研究実施期間	2021 年 4 月 1 日～2022 年 3 月 31 日

### 研究成果の概要

宇宙機の軌道設計における大域的な非線形現象の理解に基づく設計、制御、最適化を目指す第一ステップとして、研究項目 1 の多体力学系のデータから生成されるデータ駆動力学系の構築と解析を行い、研究項目 2 のデータ駆動型サイエンスと最適制御理論の融合による低推力軌道設計理論の構築についても着手した。以下に、それぞれの内容について述べる。

#### 研究項目 1：多体力学系のデータから生成されるデータ駆動力学系の構築と解析

##### [1-1] 平衡点近傍のデータ駆動力学系解析

多体力学系の平衡点近傍の力学系解析にデータ駆動型アプローチを適用し、データ駆動解析により力学系に存在する特徴的な振る舞いを抽出する手法を構築した。データ駆動解析の方法として、RBF 基底関数を用いた EDMD による方法を適用した。データ駆動解析では、非線形性が高いダイナミクス下では低次の固有モードに加え高次の DMD モードが出現することが明らかとなった。

##### [1-2] 地球一月遷移カオス軌道のデータ駆動力学系解析

円制限三体問題において、地球まわりの領域から月領域に遷移し月に一時的に捕捉されるカオス的な軌道のデータを作成し、軌道の時系列データに対してデータ駆動解析を行った。カオス的な挙動の解析には DMD や EDMD のような線形作用素モデルでは不十分であり、線形モデルで近似できない高次の項を外部入力項としてモデリングする HAVOK 解析により解析を行った。外部入力としてモデリングされた項を解析することによりカオス軌道の遷移メカニズムとして、共鳴軌道の不変多様体のローブダイナミクスという非線形力学系の輸送構造が働いていることが明らかとなった。

#### 研究項目 2：データ駆動型サイエンスと最適制御理論の融合による低推力軌道設計理論の構築

##### [2-1] データを直接利用した大域的最適制御理論の構築

[1-1] で行った平衡点近傍のデータ駆動力学系解析の結果得られたデータ駆動力学系に対して線形二次レギュレータ理論を適用し、最適制御系を構築した。得られた最適制御則の価値関数の様子を位相平面に表示する方法を考案し、非線形最適制御のハミルトンヤコビ方程式を解くことにより得られる解と

の誤差を評価した。その結果、データ駆動力学系では高次元状態量に対して最適制御則が線形理論により簡単に構築できるだけでなく、得られた最適制御則は非線形性の高い解となり、非線形最適制御の近似になっていることが明らかとなった。