



Title	Analysis of Periodic and Quasi-Periodic Orbits in the Restricted Three-Body Problem
Author(s)	浅野, 雄太
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92941
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (浅野雄太)	
論文題名	Analysis of Periodic and Quasi-Periodic Orbits in the Restricted Three-Body Problem (制限 3 体問題における周期および準周期軌道の解析)
In this study, periodic and quasi-periodic orbits in the restricted three-body problem were examined, primarily focusing on halo orbits and DROs (Distant Retrograde Orbits) which are of significant interest for scientific missions. Additionally, the research evaluated the stability of spacecraft in the vicinity of a secondary celestial body, like natural satellites, which offers considerable advantages for exploration and observation missions. Chapter 1 outlined why humans venture into space and detailed the most recent missions associated with these endeavors. Afterward, it gave a brief overview of previous research and discoveries concerning periodic and quasi-periodic orbits in the restricted three-body problem. This section ultimately aimed to clarify the objective of the present study. Chapter 2 introduced the dynamics of spacecraft within the restricted three-body problem, providing the foundation for the analysis in this paper. In Chapter 3, the study proposed a method to precisely approximate the position, velocity, and period of the halo orbit within the elliptically restricted three-body problem. Starting with a linear analysis of the circular restricted three-body problem (CR3BP), a linear analytical solution near the colinear equilibrium point was derived. The nonlinear elements and eccentricity of the dynamics were regarded as disturbances. Using the method of constant variation, the perturbation equation was formulated and subsequently expanded. The ensuing analytical solution, tested against the numerical solution, showed good agreement, thus validating its effectiveness. The period of the elliptical halo orbit was expressed as a function of the primary bodies' mass ratio, eccentricity, and spacecraft's out-of-plane amplitude. Chapter 4 examined the stability of the Quasi-Satellite Orbit (QSO) in the elliptically restricted three-body problem. The study initially analyzed the stable region in parameter space numerically, leading to a classification of the unstable region into three parts. The goal was to elucidate the mechanism of instability within these regions, achieved by transforming the TH3BP (Tschauner-Hempel three-body problem) into osculating elements. Various approximations were applied to show how the unstable region changes, ultimately providing insights into the mechanism of instability in the original dynamics. Chapter 5 evaluated the period-multiplying bifurcation of the Distant Retrograde Orbit (DRO) in the Hill three-body problem. Simple planar DROs were approximated as elliptical motion using Fourier expansion. The motion around the approximate analytical solution of the DRO was segregated into in-plane and out-of-plane motions. By approximating the monodromy matrix for each motion, the characteristics of the period-multiplying bifurcation were analyzed. This analysis revealed the link between the direction of bifurcation and the rate of period change. The results demonstrated that the eigenvalues of the monodromy matrix could be accurately approximated, thereby enabling the generation of various families of periodic orbits that bifurcate from the base DRO family. Chapter 6 offered a summary of the findings and discussed future directions for the field.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (浅 野 雄 太)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	佐藤 訓志
	副 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	石川 将人
論文審査の結果の要旨 本論文は、制限 3 体問題における周期軌道と準周期軌道を解析したものである。周期軌道に関しては、科学的なミッションで注目されているハロー軌道や DR0 (Distant Retrograde Orbit) に焦点をあてている。また、準周期軌道については、観測／探査ミッションに役立つ自然衛星などの第 2 天体近傍での QSO (Quasi Satellite Orbit) の安定性を解析している。 第 1 章では、人類が宇宙を目指す理由とそれらに紐付いた直近で計画されているミッションについて述べる。そして、制限 3 体問題における周期・準周期軌道の解析に関する先行研究・知見を整理し、本論文の目的を明確にしている。 第 2 章では、制限 3 体問題における宇宙機のダイナミクスを示す。これらの方程式は、本論文の解析の基礎となる。 第 3 章では、楕円制限 3 体問題におけるハロー軌道の位置、速度、周期を精度良く近似する方法が示されている。楕円ハロー軌道の近似は下記の手順で行われる。まず、円制限 3 体問題の直線平衡点近傍の線形解析解を導出する。ダイナミクスの非線形項および離心率を摂動とみなして定数変化法により摂動方程式を導く。そして、摂動展開を施し 2 次項までの逐次近似を行っている。得られた解析解は数値解と精度良く一致しており、その妥当性が示されている。また、楕円ハロー軌道の周期は主天体の質量比、離心率および宇宙機の面外振幅の関数として表現されるため、系が定まれば存在可能な共鳴比のハロー軌道を予測することが可能になる。 第 4 章では、楕円制限 3 体問題における QSO の安定性を解析する。離心率が十分に小さいという条件のもとで、宇宙機の初期面内振幅と面外振幅を 2 つのパラメータとして、軌道の安定性解析が行われる。まず、数値的にパラメータ空間における安定領域を計算し、不安定な領域を 3 つの領域に分類する。つぎに、各領域がどのようなメカニズムで不安定になっているのかを解明するために、Tschauner-Hempel 方程式を接触軌道要素の方程式へと変換する。そして、線形化、面内角速度と面外角速度の共通化、平均化等の近似を順番に施す過程で不安定領域が変化することを示し、もとのダイナミクスの不安定領域のメカニズムを解析している。 第 5 章では、Hill3 体問題における DR0 の周期 M 倍分岐を解析する。単純な平面 DR0 は Fourier 展開により楕円運動として正確に近似でき、DR0 の近似解析解まわりの運動を記述する線形化方程式は、面内運動と面外運動に分離することができる。各運動におけるモノドロミー行列を近似することにより、周期 M 倍分岐の特性を解析する。また、分岐の方向と周期の変化率の関係性についても言及している。これらの結果から、モノドロミー行列の固有値を精度良く近似でき、DR0 族から分岐する様々な周期軌道族を生成できることを示す。 第 6 章では、本研究の成果をまとめ、今後の展望を述べている。 以上のように、本論文は制限 3 体問題における周期軌道および準周期軌道を解析し、幅広い系で適用可能な軌道に関する近似解析解と、安定性や分岐に関する多くの知見を得ている。本論文の成果は、複雑な非線形ダイナミクスにおける周期軌道および準周期軌道に関する有用な解析手法を提供しており、軌道選択の自由度の拡大や軌道間遷移の効率化に寄与することで今後の様々な宇宙探査ミッションにおける軌道設計にも貢献するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。			