

氏 名 梅 原 広 明

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第316号

学位授与の日付 平成10年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 The Free-Fall Three-Body Problem:Escape  
and Collision

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 中野 武宣  
教 授 木下 宙  
助 教 授 谷川 清隆  
助 教 授 吉澤 正則  
教 授 吉田 淳三（京都産業大学）

## 論文内容の要旨

The escape phenomena in the three-body problem with zero initial velocities and equal masses are studied both numerically and analytically. In particular, the effects of triple and binary collisions are considered in detail. Here, escape means that two particles form a binary and the third particle recedes from the binary to infinity. Collision is defined as the event when the distance between particles vanishes.

First, escape orbits are searched by a numerical survey of the initial-value space and compared with collision orbits obtained by Tanikawa et al. (*Cele. Mech. Dyna. Astr.*, **62** (1995) 335-362). Most escape phenomena occur after the triple encounter which is of the slingshot type. A particle passes through between the other particles which are receding from each other. It is found that escape orbits due to slingshot distribute around a particular family of binary-collision orbits which maintains nearly isosceles configuration. The configuration and the velocity vectors are almost symmetric. Moreover, if orbits approach sufficiently close to triple collision, all escape orbits distribute around the binary-collision orbits. Furthermore, orbits without escape during the first triple encounter are also found sufficiently close to the triple-collision orbit. Therefore, it becomes clear that explaining the distribution of escape orbits only by triple-collision orbits is impossible. The particular family of binary collisions has a central role in escape phenomena as well as triple collision does.

Discovery of escape orbits due to exchange encounter is also one of the results. Two close approaches between two particles successively occur. The dynamical features of the slingshot and the exchange are compared with each other. Escape probabilities and increments of binding energies are evaluated statistically for the respective encounter-types. It is shown that some of slingshot encounters result in more energetic evolution than all of exchange encounters. So the restrictive and the favorable conditions of slingshot configurations leading to escape are searched for. Using the slingshot conditions, it is answered why slingshot-escape orbits distribute around the particular binary-collision orbits showing nearly symmetrical motion.

Finally, it is proved analytically that both escape and non-escape orbits after the first triple encounter exist arbitrarily close to the particular triple-collision orbit. The homothetic-equilateral triple-collision orbit is considered. This orbit maintains the equilateral-triangle configuration. It is proved that in the initial-value space escape orbits distribute around three kinds of isosceles orbits where different particles escape and non-escape orbits are distributed in between. In order to show this, it is proved that the homothetic-equilateral orbit is isolated from other triple-collision orbits so far as the collision during the first triple encounter concerns. Moreover, the escape criterion is formulated in the planar isosceles problem and translated into the words of regularizing variables. The results explain the orbital structure numerically obtained in the beginning of the present thesis. With the aid of numerical integrations, it is shown that the distribution of escape orbits around another triple-collision orbit are topologically similar to the one around the homothetic-equilateral orbit. Here, it is found that the isosceles motion has an important role in determining the dynamical evolution.

本論文は、等質量自由落下三体問題<初速度0の三体問題>において、三体衝突軌道のみならず二体衝突軌道に着目し、系統的な数値計算および理論解析によって脱出現象<三体系の崩壊>の機構を明らかにし、その結果をまとめたものである。本論文は、五つの章と補遺とから構成されている。

第一章では、脱出現象、三体衝突、二体衝突等に関するこれまでの研究の概観が与えられ、さらに問題点が指摘されて自由落下三体問題を研究することの重要性が論じられている。第二章では、数値計算によって脱出に至る軌道の初期値分布が求められ、ほとんどの脱出軌道が、特定の二体衝突軌道の周りに分布していること、特に、三体衝突軌道の周りに限れば、脱出軌道はいずれも二体衝突軌道の周りに分布していること、および、脱出しない軌道も存在することが指摘されている。第三章では、脱出現象の統計解析から、脱出確率、三体系内のエネルギー遷移量が計算され、脱出に至る三体近接遭遇の条件が数値的に算出されている。第四章では、第二章で数値的に観測した三体衝突近傍の軌道分布が平行相似三体衝突軌道の任意に小さな近傍でも成り立っていることの解析的証明が与えられている。また、同様のことが他の三体衝突軌道の近傍でも成り立つことが数値的に確認されている。第五章では、得られた結果の普遍性についての議論がなされ、自由落下三体問題と三体散乱問題との間の、解構造の相似点が明らかにされている。

三体問題の最終運動< $t \rightarrow \infty$ における解のふるまい>の初期値依存性を決定することは天文学における基本問題の一つであり、長年の懸案である。系のエネルギーが負の場合、最終運動は脱出運動、有界運動、および振動運動の三種類に分類され、前二者が解の大部分を占めると考えられている。したがって、脱出運動の範囲を決定することは極めて重要な意味を持つ。

本出願者は等質量自由落下三体問題へと問題を制限し、さらに最初の三体大接近の直後の脱出運動の機構解明にテーマを絞ったことにより、系統的な結果を導くことに成功した。すなわち、脱出現象を決める重要な要因の一つに二体衝突があることを定量的かつ定性的に示し、脱出現象の範囲を定量的に決定することができた。この結果は、二回目以降の三体大接近後の脱出運動の機構にも当てはまるものであり、また初速度が0でない場合の、あるいは角運動量が0でない場合の三体問題における二体衝突の重要性を示唆するものである。特に、角運動量が0でない場合には三体衝突は起こり得ないので、軌道分類に二体衝突の果たす役割がいっそう重要になることを示した点において本研究は重要である。脱出運動は連星形成の簡潔な機構の一つとして考えられているから、この研究が契機となり、今後、多体系における連星形成の解析において、衝突の果たす役割に関する研究が本格的に行なわれるものと期待できる。

本論文における研究成果は、幾つかの共同研究に基づいているが、問題点の発掘および研究の推進は出願者が中心となって行なってきたものである。なお、第四章の研究内容については、出願者を筆頭著者とする論文として *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* 誌に投稿されている。また、第二章および第三章の研究内容については、現在、学術専門誌への論文投稿を準備中である。