

[別紙 2]

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 歌島昌由

工学修士 歌島昌由 提出の論文は「作用圏境界を飛行する軌道の力学的性質と小衛星探査への応用」と題し、本文4章と、付録4項よりなる。

太陽系の探査対象は、その創世、生命の起源などの研究にとって必要不可欠なものとして認識されるようになり、近年、小惑星、彗星や惑星周回の小衛星などの小天体の探査に比重が置かれるようになってきた。これまでの小天体探査は、大きな相対速度を持つフライバイ観測が中心であり、次のステップとしては、それら小天体の周回軌道からの観測が望まれている。しかるに、惑星周回の小衛星の多くでは、自身のまわりの二体問題が支配する空間、すなわち作用圏の大きさが、自身と同程度またはそれ以下であり、そのような天体回りに単純な周回軌道を実現するのは、当該天体の重力の寄与が小さいゆえに困難である。本論文で扱っているのは三体問題であり、そのなかでも作用圏境界付近を飛行する、従来の解析が及ばない領域の問題で、大きく二種類の軌道群である。一つは惑星周回の小衛星の全球を観測するのに適した高高度の周回軌道であり、もう一つはごく近傍を探査するための低高度の軌道群である。前者の軌道は当該天体の作用圏外に存在するが、あたかも周回するように飛行するため「擬周回軌道」と呼ばれている。観測上有意義であるのは、極域を観測するための大きな傾斜角を持つ軌道であり、主たる観点は、その安定性が当該天体の重力の影響で不安定となりうる点にある。後者においては、作用圏自体が天体の内部に埋没してしまう場合が多く、低高度の周回軌道では容易に当該天体との衝突が生じ得るため、衝突を回避して飛行する特殊な軌道が求められる点に、その主論点がある。

高高度の軌道である擬周回軌道では、傾斜角に応じて不安定性が生じうるが、これまでの解析では、この不安定化をもたらす機構、および安定化条件は未解明であった。本論文は、その機構が周期係数を有する微分方程式、マシューの方程式で記述されることを数学的に初めて明らかにしている。また、きわめて離散的かつ特異的に安定様相を示しうる高傾斜角の軌道の存在を、解析的かつ理論的な論拠で明らかにし、その実探査計画への応用性を議論することにも成功している。低高度の探査軌道においては、非弾道軌道である定高度移動と、作用圏の境界を飛行し、ラグランジュ点  $L_1$ 、 $L_2$  点間を結ぶ螺旋状の弾道軌道とを、はじめて系統的に考察している。

本論文が扱っている主題は、高高度、低高度に関わらず、三体問題の特徴が

顕在化する、作用圏の境界を飛行する場合の軌道運動の解析である。

第1章は序論で、本研究の背景を概観し、従来考察が困難で機構の理解が十分でなかった、作用圏境界における軌道運動の特徴について述べ、想定される応用例とそのための要求条件をまとめている。

第2章は擬周回軌道の安定性と、その惑星周回の小衛星探査への利用法を検討している。まず、惑星-小衛星系に限らず、太陽-惑星系なども含む一般的な制限三体問題の形で、擬周回軌道の安定性についての力学的な考察を行なっている。擬周回軌道の離心率には下限が存在すること、擬周回軌道が高傾斜角の下では不安定であり、安定性を確保できる傾斜角には上限が存在することを数学的に示している。続いて、この擬周回軌道の安定性の判別が、周期係数を有する微分方程式、マシューの方程式に帰着できることを数学的にはじめて証明している。この結果、離散のかつ特異的に安定となる、高い傾斜角の特殊な軌道条件を導き、その議論を火星-フォボス系及び太陽-地球系を例に数値的に実証して、それを実現する上での具体的な課題と概念設計法について述べている。

第3章は惑星周回の小衛星まわりの低高度の探査軌道群を検討している。非弾道軌道としてはホバリングおよび定高度移動軌道が、弾道軌道としてはラグランジュ点L1、L2点間を結ぶ螺旋状の軌道を検討している。前者のホバリングに対しては、所要速度増分量と火星の潮汐力の影響を評価し、定高度移動に対しては所要速度増分量最小となる最適移動速度を系統的に議論することに成功している。後者については、ヤコビポテンシャル面の近似手法を導入することによって、見通しのよい線形解を導き、その結果が数値解と比較的良好一致を示すことを述べている。数値例では、火星-フォボス系に対して、L1、L2点間を移動する4つの移行経路について、所要時間と必要速度増分量を比較、検討している。

第4章は結論で、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、擬周回軌道の安定性に関する数学的な議論を初めて行い、それを積極的に利用し、高傾斜角の探査軌道について独自の安定化手法を提案するとともに、低高度の移行軌道を解析し、系統だてた方策間の検討を行っており、得られた成果は惑星周回の小衛星探査ならびに広く惑星探査計画の立案、設計作業を効率化するもので、航空宇宙工学上寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。