

氏 名 仙 石 新

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大乙第24号

学位授与の日付 平成8年9月30日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 New surface force modelings on artificial
satellites and their application to analysis
of eight-year satellite laser ranging data
of Ajisai

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 笹尾 哲夫
教 授 木下 宙
教 授 観山 正見
制御部長 村田 正秋（科学技術庁航空宇宙技術研究所）

論文内容の要旨

人工衛星は比較的大きな面積／質量比をもつため、重力以外の力が軌道に及ぼす効果（非重力効果）が無視できない。測地衛星あじさいに働く非重力効果のうち、非等方な太陽光の輻射圧、地球の赤外輻射による加熱の効果、太陽輻射による加熱の効果について、衛星に働く力のモデルを新たに作り、その摂動理論を構築した。

太陽光の輻射圧は、測地衛星あじさいに働く重力以外の力の中で最も大きく支配的である。あじさいは、人工衛星レーザー測距（SLR）観測のために球形につくられているが、表面の光学的特性が球対称でないため、太陽光の輻射圧は太陽－衛星方向以外の成分を持つ。この非等方な太陽光の輻射圧を、筆者が新たに開発した微視的アプローチによって初めてモデル化した。本モデルを用いることによって、1993年のあじさいの軌道解析の精度を17%向上させることができた。人工衛星の精密軌道解析では、軌道計算に用いられる力学的モデルの誤差に起因する衛星の進行方向の誤差を補正するために、一般に大気抵抗係数を推定するが、本モデルを用いると、推定された大気抵抗係数が太陽活動が低く大気密度が小さい時期に急激に変化する現象を説明することができた。

人工衛星は地球の赤外輻射を再度輻射するため、その反動によって加速度を生じる。この地球の赤外輻射による加熱の効果によって、衛星の進行方向に一定の加速度が生まれ、軌道傾斜角と昇交点経度に永年摂動を生じる。あじさいの自転軸が地球の自転軸と一致する場合、長周期摂動は起こらない。この地球の赤外輻射に起因する摂動のため、あじさいの軌道半径は毎年1.7mの割合で減少する。これは、太陽活動が低い時期の大気抵抗による軌道半径の減少の50%にあたる。軌道傾斜角は毎年19ミリ秒ずつ減少するが、離心率と近日点引数には永年摂動は現れない。また、これまで軌道解析から推定された大気抵抗係数は、太陽活動が低い時期に大きくなる傾向があったが、これは本モデルによって低減させることができる。

太陽輻射も、同様のメカニズムによって人工衛星に加速度を生じさせる。衛星が地球の影に入らない場合は、太陽輻射による加熱に起因する加速度は一定で、軌道にあまり大きな影響を及ぼさない。しかし、衛星が地球の影に入ると、太陽輻射が変化し、軌道に長周期摂動が現れる。この効果により、軌道長半径は増加する。太陽活動が活発でない時期には、太陽輻射による加熱に起因する加速度は無視できない大きさとなるが、その効果は軌道解析で推定されるパラメータの中にほとんど吸収されている。

非重力効果のモデリングでは、衛星の自転軸方向を知ることが重要である。あじさいは、自転軸の方向が良くわかっている初めての測地衛星であり、衛星の非重力効果の研究に適している。今後、あじさいの写真観測などによりあじさいの自転軸が精密に決定できれば、非重力効果のモデル精度をさらに向上させることができるであろう。

近年、地球重力場のモデル精度が向上しており、人工衛星の軌道を精密に決定する上で非重力効果の研究がこれからはますます重要になるものと考えられる。

非等方な太陽光の輻射圧モデルをテキサス大学の軌道解析ソフトウェアに導入し、あじさいの打ち上げ後8年間のSLRデータを解析した。あじさいの1年分のデータ解析

による地球基準座標系の決定精度は、地心でほぼ1cm、方向で1ミリ秒、スケールで 6×10^{-9} であった。

あじさいによる1年毎の地球基準座標系の推定結果を球面上に投影し、球面上の弧の長さの変化を見積もることによって観測局間の基線長の変化を評価した。地球基準座標系の原点を調整することにより、基線長の見積もり精度を向上させることができた。あじさいによる基線長の変化の割合は、ラジオスの解析によるテキサス大学の解、SLR・VLBI・GPSによる解ITRF93と良い一致をみた。地質学的モデルとの比較では、プレート境界から遠い観測局間についてはNUVEL-1A (DeMets et al., 1994) と最もよく一致するものの、プレート境界域では地質学的モデルと有意に異なることが示された。

基線長の変化率から、SLR観測局の動きを推定した。ユーラシアプレート上にあると考えられている下里の動きは、近傍のフィリピン海プレートの動きに引きずられて、ユーラシアプレートに対して西北西に毎年3.2cmずつ動いており、プレート境界における強いカップリングを示唆している。アフリカプレートとユーラシアプレートの境界にあるマテラの動きは、両プレートの地質学的予測値の中間となるが、これは両プレート間の相互作用の結果と考えられる。アフリカプレートとアラブプレートの境界付近にあるヘルワンとバー＝ギヨラの動きは、プレート間の相互作用では説明できない。北アメリカ西海岸の観測局の動きは、北アメリカプレートと太平洋プレート間の相互作用が、場所によって異なることを示している。

海上保安庁水路部の移動SLR観測点の位置が、非等方な太陽光の輻射圧モデルを用いて精密に決定された。

本研究から明らかのように、測地衛星の観測から正確な測地学的・地球物理学的成果を得るためには、非重力効果の見積もり誤差を最小限に押さえる必要がある。このために有益な、将来の測地衛星の仕様に関して提言を行った。

論文の審査結果の要旨

本論文は、人工衛星に働く非重力効果のうち、非等方的な太陽放射圧、地球の赤外放射による加熱、並びに太陽放射による加熱の効果について、人工衛星の形状及び姿勢情報を取り入れた衛星に働く力の新しいモデルを作り、その作用の下での衛星運動に関する摂動理論を構築して、わが国の測地衛星「あじさい」の軌道解析に応用したものである。

申請者は、形状が正確に知られ、軌道上の姿勢（自転軸方向）も測定されているわが国の測地衛星「あじさい」を対象に、形状、姿勢及び物性の情報を詳細に考慮して、太陽放射圧並びに地球と太陽の放射加熱が衛星に及ぼす力を計算し、摂動理論に組み込んで軌道解析を行った。これにより、軌道解析の精度を20%近く改善し、従来理論では説明できなかった大きな系統誤差の原因を解明することができた。さらに、改善された軌道情報に基づいて「あじさい」の人工衛星レーザー測距データの測地解析を行い、ユーラシアプレート上にあると考えられている下里局の運動が、実際にはフィリピン海プレートの動きに強く影響されていることをはじめ、プレート境界部におけるいくつかの観測局の特徴的な運動を明らかにした。

これは、人工衛星の運動理論に新たな重要な知見を加えたものであり、また、今後の高精度測地衛星の設計及び解析に対して重要な指針となる内容を含んでいる。

論文は、良く練られた構成で記述されており、博士論文として妥当な形式を備えている。

学位論文審査会は、約1時間にわたる論文主要部分の公開発表並びに質疑応答を行い、その後、審査委員による非公開質疑を約1時間行った。申請者は、問題の重要性、方法の独創性、成果並びに今後の課題について明瞭に説明し、質問にも適切に対応した。非公開の質疑では、研究の背景を含めた専門的事項について詳しい質問がなされたが、これらに対しても的確に回答し、基礎学力および当該専門分野における学識は充分であると判断された。また、論文はわかりやすい英文で書かれ、表現も適切であり、語学の力量は十分に備えていると判断された。

以上を総合して、申請者の学位論文の審査に関して、審査委員全員が合格と判定した。