

太陽活動による大気密度の変化が小型衛星の軌道高度に及ぼす影響に関する研究

片山, 雅之

<https://doi.org/10.15017/4060170>

出版情報：九州大学, 2019, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏 名 : 片 山 雅 之

論 文 名 : 太陽活動による大気密度の変化が小型衛星の軌道高度に及ぼす影響
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、今後さらに利用が活発化すると予想される小型衛星のシステム設計における軌道解析の精度を向上させる目的で、小型衛星の軌道の挙動に対する軌道環境の影響を調査し、衛星の軌道上寿命に影響を与える大気密度と太陽活動の関係をモデル化し、その有効性を検証したものである。

まず第1章において、研究の必要性の背景を述べ、軌道解析ツール開発の目的を明確にした。小型衛星のシステム設計に使用できる汎用の軌道解析ツールは多く存在するが、このような外乱加速度のモデルを修正変更する自由度に欠けるため、将来の拡張性、高精度化が可能なツールが必要であった。

第2章において、軌道力学に基づく小型衛星の軌道運動方程式を軌道6要素（軌道半長軸、離心率、軌道傾斜角、昇交点赤経、近心点引数、真近点離角）及び状態変数（衛星位置座標及び速度）に基づく定式化を行った。さらに軌道運動に影響する外乱加速度である地球の扁平度による重力ポテンシャルの変動、大気密度による空気抵抗、太陽輻射圧力、月及び太陽の引力の影響を定式化して、運動方程式に取り込んだ。

次に第3章において、上記のツールの検証のため、小型衛星の実軌道データとの対応シミュレーションを実施した。その結果、軌道6要素に外乱加速度の項を加えた方程式による方法と状態変数の運動方程式による方法のいずれも、実軌道データとの一致は良好であった。

そして第4章では、上記ツールにより小型衛星の軌道高度の実軌道データとの対応シミュレーションを実施した結果、よく用いられる大気密度モデルUSSA76では、実軌道データの挙動をうまく再現できないことが分かった。これは、大気密度モデルUSSA76が太陽活動の影響を含んでいないためであり、太陽活動の影響を考慮した大気密度モデルの導入が必要であった。そこで、太陽活動と大気密度の関係をモデル化したWertzのモデルを用いて、軌道高度解析を試みた。太陽活動の強さを示す指標のひとつである太陽黒点数と波長10.7cmの電波フラックス（F10.7値）との関係により、観測された太陽黒点数からF10.7値を求め、F10.7値と大気密度を関係付けるWertzのモデルを用いて大気密度を計算することで、軌道高度シミュレーションに太陽活動の影響を考慮することとした。その結果、適切な修正係数を設定することで、50kg級の小型衛星の軌道高度の変化を精度よく再現することができた。この修正係数は、太陽黒点数とF10.7値の関係には変動幅があるため、この変動幅を修正するものである。ただし、太陽活動が弱い時期（太陽黒点数が60以下）では、太陽黒点数とF10.7値の変動幅を超える修正が必要であり、F10.7値と大気密度モデルの関係の精度を高める必要がある。これには、更なる軌道データによるコリレーションが必要であると考えられる。

さらに、本手法のデオービットセイルを装備する衛星への適用を試みた。ほぼ同一の諸元を有する 50kg 級の小型衛星の軌道高度の変化の様子が異なることに注目し、この衛星が装備するデオービットセイルが展開している可能性について調査した。まず、デオービットセイルを装備する衛星の空力特性を立方体と平板でモデル化し、さらに、これまでに適用した修正係数を用いた場合、デオービットセイルが 30%程度展開していると仮定すれば、軌道高度の変化が実データとよく整合する結果が得られた。

また、この衛星のデオービットセイルが 100%展開した場合の上記モデルによるシミュレーション結果は、打上げ前に実施した汎用解析ツール DEMIST (JAXA 開発のデブリ抑制シミュレーションツール) による解析結果に対して、太陽黒点数と F10.7 値の変動幅の範囲内で整合することが分かった。

以上の内容を第 5 章でまとめた。本研究で提案する Wertz のモデルは、適切な修正係数を適用すれば、小型衛星の軌道高度の変化を精度よく推定できることが分かった。ただし、太陽活動が弱い場合のモデルには改善の余地があり、実軌道データによる改善が望まれる。