九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

軌道上観測による微小デブリ環境推定手法の構築

古本，政博

https://hdl.handle.net/2324/1959134

出版情報：九州大学，2018，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：

（様式２）

氏　　名　：古本政博

論 文 名　：軌道上観測による微小デブリ環境推定手法の構築

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は，地上から観測できない微小なスペースデブリの環境を軌道上観測データを用いて推定する手法である，動的環境推定モデルの提案および検証を行うものである．

軌道上には，地上からの観測が不可能な微小なスペースデブリが存在している．そのような微小デブリは宇宙機に対して致命的な損傷を与え得るにも関わらず，各国の提供する環境モデルの推定結果は一致していない．モデルごとの手法の違いだけでなく，観測の困難さによるデータの不足がこのことに影響していると考えられる．また，破砕事象によって大量に生成される微小デブリの継続的な環境把握は，日々変動する宇宙環境の変化を捉える上で重要である．そのため微小デブリを軌道上で観測する計画が各国で進められており，九州大学で 2011 年に発足された IDEA Project もその一例である．そこで本論文では，リアルタイムにデータ取得が可能である衛星による軌道上観測の利点を活かし，常に正確かつ迅速に微小デブリ環境を把握するため，観測データを得られる度にモデルを逐次更新可能である動的な環境推定モデルの構築を行った．

本論文ではまず，動的環境推定モデルを構築するため，観測衛星により検出され得る微小デブリの軌道の特徴に関する２つの新たな手法を提案した．１つ目の拘束方程式は観測衛星に衝突し得るデブリの軌道面について単純な方程式で拘束条件を与えるものであり，衝突データの解析で対象とすべき軌道を絞り込むことを可能とする．もう１つのトーラスモデルは２つの軌道間の衝突フラックスを近似的に計算するものである．いずれの手法も衝突位置と軌道要素のみから計算が可能であり，軌道を分割して逐次的に計算を行う必要のある既存の手法と比較して計算の効率化とアルゴリズムの単純化が可能となった．さらに，既存の数値シミュレーションとの比較を行うことで提案した手法の妥当性を示した．

次に，動的環境推定モデルの理論的基礎として，データ同化を導入した．データ同化は観測データを用いて推定結果を逐次更新する一般的な手法を与えるものであり，本論文で目指す動的環境推定モデルと良く適合する概念である．データ同化の具体的手法には様々なものがあるが，本論文では逐次モンテカルロフィルタ（SMC フィルタ）を採用した．これは，非線形性が強く，観測データがシミュレーション上で確率的に得られるという微小デブリの衝突および環境推定に対して SMC フィルタの特徴が適しているためである．また，SMC フィルタの適用のために必要なシステムモデルと観測モデルの定義を，拘束方程式およびトーラスモデルを利用することで実現した．

続いて，構築された動的環境推定モデルの検証を行った．本論文の手法が軌道環境を十分に推定できることを確かめるため，既存の環境モデルである MASTER-2009 を真値とした観測と推定のシミュレーションを行った．その結果，妥当な初期分布を与えることで観測データから微小デブリの分布を推定することが可能であることが示された．特に，設計上重要となる衝突方位角と衝突フラックスの関係の推定が正しく行えていることで，本論文で構築した動的環境推定モデルが実際の

宇宙機の安全に貢献できることが確認できた．また，複数回のシミュレーションを行うことで，本論文で提案する手法による軌道環境の推定には最低半年間の観測が必要であることが明らかとなった．さらに，衝突個数の揺らぎによる影響の評価も行い，衝突フラックスの過小評価のおそれが小さいことも示した．

以上のように，軌道上観測による微小デブリの環境推定という課題に対し，本論文では動的環境推定モデルを新たに構築し，シミュレーションにより検証することでモデルの有用性と特性を明らかにした．実際の軌道上観測と，本論文で構築された動的環境推定モデルを用いて微小デブリ環境をより正確かつ迅速に把握することで，宇宙機の微小デブリに対する適切な防護設計や，危険が予測された際の回避運用が可能となり，宇宙活動の安全および持続可能性への貢献が期待される．