

宇宙天気科学・教育との連携による スペースデブリの光学と軌道上計測

花田俊也, 吉川顕正, 山岡均 (九州大),
北澤幸人 (IHI),
柳沢俊史, 松本晴久 (JAXA)

Optical and In-situ Debris Measurements in Collaboration with Space Weather Science and Education

Toshiya Hanada, Akimasa Yoshikawa, Hitoshi Yamaoka (Kyushu Univ.),

Yukihito Kitazawa (IHI Corporation),

Toshifumi Yanagisawa, Haruhisa Matsumoto (JAXA)

Key Words: Spacecraft, Space Environment, Orbital Debris

Abstract

Kyushu University established International Centre for Space Weather Science and Education, shortly ICSWSE, in April 2012. The ICSWSE is leading two major research areas: 1) magnetized environment of the Earth, and 2) space debris environment. To contribute to the protection of space environment and space situational awareness the ICSWSE fuses these two major research areas into one new project through a technical and human network established under the MAGnetic Data Acquisition System / Circum pan Pacific Magnetometer Array (MAGDAS/CPMN) project at the ICSWSE. Now, the ICSWSE is willing to establish a measurement network for space debris using small-aperture optical telescopes and a small satellite constellation, being named DEBris Data Acquisition System (DEBDAS). The telescopes are well organized to be robotically and remotely controlled, including sophisticated image processing techniques and orbit estimation software. The satellites are conducting in-situ measurements of micron-size debris using an easy-to-operate new sensor developed at JAXA. Data acquired from the systems will be analyzed and modeled in a manner coupled with space weather science to provide a better understanding of the present and future space debris environment. The ICSWSE also aims at education for practical astronomy and space engineering at Kyushu University, collaborative measurements in combination between robotic telescopes and small satellites, space environmental awareness and space science, including debris generation and resulting environment. Practical astronomy provides you with planning and observation, processing and detection, and origin identification. Space engineering provides you with small satellite design, production, and operation.

1. はじめに

平成23年4月に九州大学に設置された国際宇宙天気科学・教育センター (International Centre for Space Weather Science and Education, ICSWSE) は, 世界に72個の磁力計を配置する, 地磁気データ収集システム (MAGnetic Data Acquisition System, MAGDAS) および環太平洋地磁気ネットワーク (Circum-pan Pacific Magnetometer Network, CPMN) を構築している. ICSWSEは, このMAGDAS/CPMNにより, 宙空領域の宇宙電磁大気環境予測技術の確立を目指し, 宇宙環境予測研究を先導すると共に, その成果を国際的な若手研究者のキャパシティ・ビルディングに活用することによって, 宇宙環境観測網の長期的維持・発展と, 我が国研究者の国際教育能力の向上, 国際的視野を持つ人材育成に資する事業を展開している.

ICSWSEは, このMAGDAS/CPMNを通して構築し

てきた学術的, 技術的, そして国際的ネットワークを利用して, 宇宙天気科学・教育を融合する新しい観点によるスペースデブリ環境の予測技術の確立を目指し, 地上に配備される光学望遠鏡網と軌道上に配備される小型衛星群から構成される, スペースデブリデータ収集システム (DEBris Data Acquisition System, DEBDAS) を構築する. DEBDASは, 地球を周回する軌道上で, その存在と挙動が不明確なサイズ域のスペースデブリの分布を正確に把握する計測システムである. ICSWSEは, これまでに開発した, スペースデブリ分布と分布の推移を記述する力学モデルとDEBDASにより取得する実観測データとを組み合わせることで, 現在の状況を逐次更新することが可能な「動的スペースデブリ環境モデル」を世界に先駆けて開発することを目指している.

2. 地上に配備される光学望遠鏡網

地球の周りには、23,000個にも及ぶ人工物が地上から追跡されているが、その起源物体が特定されている人工物（Correlated Targets）は17,000個程度に留まる。人工物の軌道が決定できれば、軌道逆伝播によりその起源物体をある程度推定することは可能であるが、実際には軌道摂動の不確定性と軌道伝播誤差により、精度よく軌道を逆伝播できても、位置については十分な精度を担保できず、軌道の逆伝播が長期に及ぶほど起源物体の推定は難しくなる。また、起源物体と考えられる人工物の破砕事象も多数に及び、この中から正しい起源物体を特定するのは難しい。

九州大では、破砕によって発生する破片の大きさ、面積質量比、質量および放出速度を記述する数学モデル（破砕モデル）と人工物の軌道を計算する数学モデル（軌道伝播モデル）を組合せ、任意観測領域を任意時刻に通過する破片群の存在確率および移動量を推定することにより、未知スペースデブリ探索の効率化を図る手法を静止軌道において研究開発している。この手法は、ある特定の破砕事象あるいは軌道異常（破片の放出は確認されていないが、軌道が異常に変化している現象）を対象とすることにより、その破砕事象・軌道異常を起源とする人工物を効率的に検出できるだけでなく、検出した人工物の起源物体を確実に特定できる。

九州大は、宇宙航空研究開発機構ほかと連携し、上記の手法により、1992年2月に爆発した米国Titan IIIC Transtage（国際標識68081E）を起源とする人工物の検出に成功している。この人工物は、検出後に公表された国際標識68081Rであった。また、1981年3月に軌道異常を経験している米国Titan IIIC Transtage（国際標識73040B）と1987年3月に軌道異常を経験した米国Titan IIIC Transtage（国際標識75118C）を起源とする人工物の検出に成功している。

スペースデブリ環境の評価精度を向上させて、衛星システムや測位の安全・安心に資するため、広域でのスペースデブリ観測網と研究設備に対する社会的ニーズが顕在化している。特にアジア域ではスペースデブリの観測網が構築されておらず、また観測点も不足している。

ICSWSEが配備を検討している観測点は、光学望遠鏡、CCDカメラ、画像・データ解析サブシステム、とこれらの制御システムから構成され、主要機能として以下を有する：1）九州大学及び国内外の研究室／教室からの遠隔観測機能、2）天候、望遠鏡の状態等を検知し、観測可否を分析する安全機能、3）破砕理論に基づく、宇宙デブリの存在頻度予測機能、4）観測から物体の検出、位置同定を実施するため

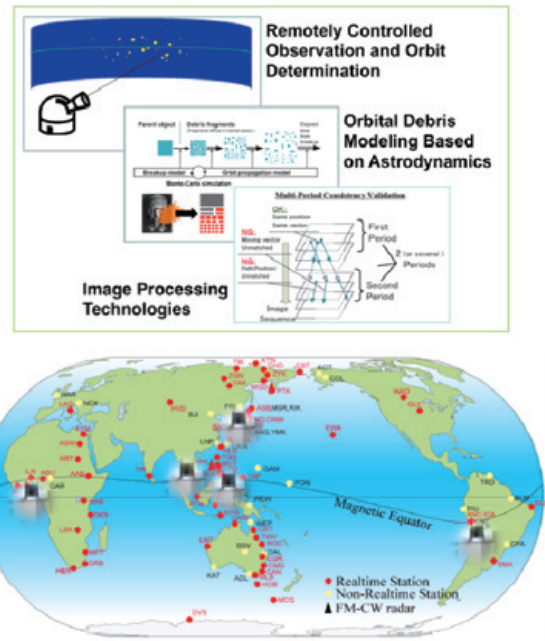


図2：地上に配備される光学望遠鏡網

の画像解析機能、5）画像処理技術により光学限界等級を2～3等級増感可能な画像処理機能、および6）物体の軌道を算出するための軌道決定機能。

今後、アジアを軸に世界各地と交流・連携する拠点として、九州大学に基幹観測拠点を構築し、基幹観測拠点の運用を通して、今後構築する3次元観測ネットワークの最適化（観測効率、観測点配置検討、ビッグ・データ処理等）の研究や、MAGDAS/CPMNとの連携観測により、スペースデブリ軌道変化から演繹される宙空大気密度変動モデルの構築研究等を行う予定である。

3. 軌道上に配備される小型衛星群

NASA/ORDEMとESA/MASTERは、いずれも宇宙開発利用に広く利用される、スペースデブリの環境モデルであるが、全く異なるアプローチで構築されている。NASA/ORDEMは、既存の宇宙機、ロケット上段機体およびミッション関連物体から、サイズに応じた一定の割合で放出された微小デブリの中で、実環境に寄与した微小デブリのみを抽出し、実環境としての期待値が最大となるように構築されている。一方、ESA/MASTERは、過去の史実に基づき、微小デブリの発生起源ひとつひとつを記述する詳細モデルに基づいて構築され、また実環境と比較・検証して信頼性を高めている。

微小デブリの実環境として参照している回収表面の衝突痕分布は、サイズ・空間領域の限られた、時刻情報のない過去の積分情報であるため、回収後に発生した大規模な破砕（2007年1月の中国衛星破壊兵

器実験や2009年2月の米ロ通信衛星衝突事故)により、劇的に変化したスペースデブリ環境を正確に記述できていない。また、地上から認識できない衝突や衛星表面の劣化で新たに放出される微小デブリにより、恒常的に変動しているスペースデブリ環境を正確に記述できていない。恒常的に変動するスペースデブリ環境を正確に記述するためには、実環境をすばやく正確に認識する観測手法の確立が不可欠である。

JAXAは、大型実用衛星のリスク評価・健全性確認に資するインパクトセンサを開発した。このセンサは、薄膜に等間隔で配置された導線の断線を検出することで、インパクト情報（衝突時刻と微小デブリのサイズ）を計測できるものである。このセンサを小型衛星に搭載し、軌道上に配備することで、回収表面の衝突痕解析では限られていた、サイズ・空間領域の拡充を実現し、スペースデブリ環境をすばやく正確に認識することができる。このアイデアが、九州大の学生により「デブリ環境の“その場”認識」を意味する英語の頭文字を並べたアイデア（In-situ Debris Environmental Awareness, IDEA）計画として具体化されている。

また、九州大は、過去の史実に基づく、宇宙機、ロケット上段機体、ミッション関連物および破片の初期軌道を現在まで計算して得られるスペースデブリ環境に、新たな衛星の打上げ、運用終了後の軌道外投棄・大気圏再突入促進、不用人工物の除去などが与える影響・効果を100年以上の長期に亘って評価するスペースデブリ環境の推移モデルを開発している。ICSWSEでは、この開発で蓄積されたモデリング技術を応用し、スペースデブリ環境をすばやく正確に認識できるような軌道上センサ配置、衛星上センサ配置面、センサ面積とミッション期間を最適化し、さらに、時々刻々と送信されるインパクト情報を動的に反映するモデルを構築する予定である。

5. まとめ

近年、スペースデブリによる宇宙環境汚染および宇宙活動へのリスクが増大している。比較的大きなスペースデブリ（10cm以上）は地上から追跡できるので、衝突を回避できる。しかし、地上から追跡で

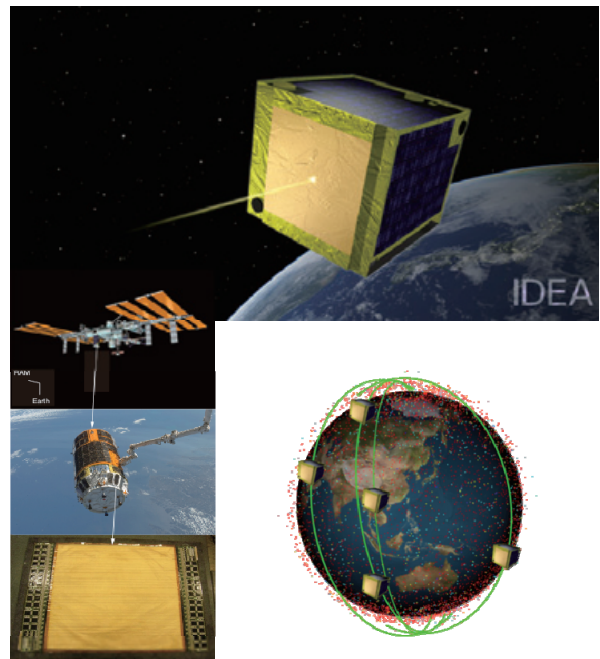


図3：軌道上に配備される小型衛星群

きないスペースデブリ（10cm以下）に対しては、衝突による被害を最小化する対策が必要である。適切な対策を検討するために、機能喪失に至るような被害を与え得るスペースデブリ（100um以上）の環境（分布と衝突頻度）を正確に認識しなければならない。

一方で、衝突による被害を最小化する対策が有効なスペースデブリ（1cm以下）と衝突を回避できる、つまり地上から追跡できるスペースデブリ（10cm以上）とのギャップが残る。衝突による被害を最小化する対策が無効な、未知のスペースデブリ（10cm以下）の環境（位置と速度）も正確に認識しなければならない。

ICSWSEは、「宇宙環境保全」及び「安心・安全な宇宙活動」に資するため、地上に配備される光学望遠鏡網と軌道上に配備される小型衛星群から構成される、スペースデブリデータ収集システムDEBDASを構築し、宇宙天気科学・教育を融合する新しい観点によるスペースデブリ環境の予測技術の確立を目指す。