

持続可能な宇宙産業への挑戦

◆天然資源としての宇宙とスペースデブリによる脅威

宇宙には広大なイメージがあるが、人工衛星を運用できる地球軌道は限られた天然資源である。天気予報、気候研究、通信、位置情報サービスのための軌道領域を保護することが、今後の経済成長において、ますます重要になりつつある。その天然資源を脅かす存在が、「スペースデブリ」（宇宙ごみ）だ。

スペースデブリとは、機能停止、または、制御不能となった人工衛星やロケットの本体、部品、破片など、地球の衛星軌道上を周回する人工物のことである。現在、10cm以上のデブリは2万個を超え、地球の低軌道上には7,600トンを超える物体が飛び交っている。毎日、約10個が大気圏に再突入しているが、宇宙の産業利用の拡大に伴って、その数は年々増え続けている。

この状況を踏まえ、2020年12月の国連総会で「責任ある行動の規範、規則及び原則を通じた宇宙における脅威の低減」の決議が採択された。デブリは衛星や宇宙船との衝突リスクや誤用の可能性を高め、長期的な持続可能性を脅かすものであり、各国は国際法に基づいて宇宙利用を実施すべきことが強調されている。



史上初の人工衛星「Sputnik号」（1957年）の打ち上げ以降、地球周回軌道に残されたスペースデブリの数は増え続けている（各種資料より引用）

◆「長征5号B」の2度の落下と宇宙利用の安全保障に対する懸念

2021年5月9日、中国の大型ロケット「長征5号B」のコアステージが、アラビア半島上空で大気圏に再突入した。全長約30m、質量21.6トンと推定される建造物である。20年5月にも、同じ型式の長征5号Bが大西洋上で落下し、約10mの大きさの破片がコートジボワールで発見された。

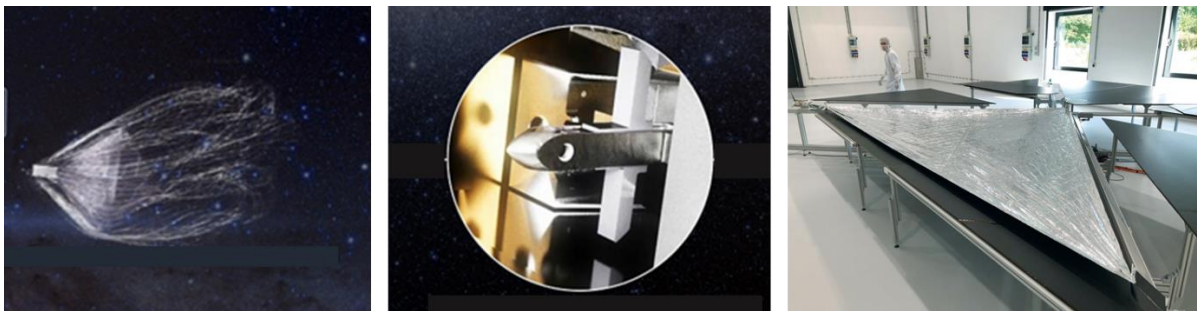
長征5号Bは、第1段コアステージと補助ブースターのみで構成され、第2段を持たない。そのため、巨大なコアステージのままで地球の周回軌道にリフトアップされる。また、投棄後の制御機能を持たないため、その後は、成り行きで地上に落下する。長征5号Bは宇宙ステーション「天和」の建設や低軌道衛星の投入のために設計された汎用型のロケットであり、今後も打上げの都度に、制御されない落下の懸念が続く。13年にロシアに隕石が落下した際、多くの負傷者を出したが、その大きさは17mであった。米国航空宇宙局は、中国はスペースデブリに関して責任ある基準を満たしていない、との声明を2度の再突入直後に発表した。

◆民間企業の主体で推進する、スペースデブリ除去の技術開発

スペースデブリ除去は未だ黎明期であるが、様々な企業が挑戦を始めている。

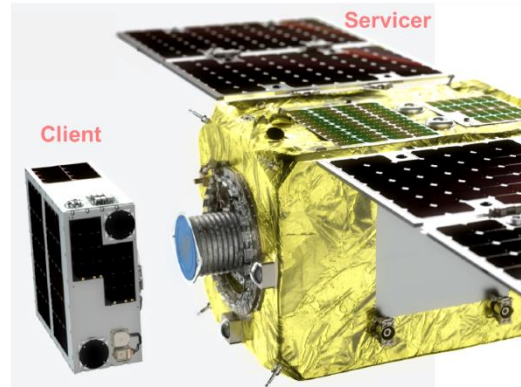
欧州のエアバスと、そのコンソーシアムは、宇宙を飛び交うデブリを追跡・捕獲するための技術を開発し、18年9月から19年2月にかけて軌道上での試験を実施した。「2Dカメラ」と「3D LiDAR」（光検出・測距）によって宇宙船から捕獲目標の位置を追跡し、「ネット」を用いて直径2m、質量2トンまでのデブリを捕獲する。さらに、「鉈」を秒速20mで発射し、目標に衝突・貫通させて捕獲する。

捕獲されたデブリは、「ドラッグセイル」（帆）を用いて本来の軌道から離脱させる。ドイツの企業HPSと欧州宇宙機関は、アルミニウムを被覆した、厚さが7.5ミクロンのポリイミドフィルムを共同開発した。デブリに取り付けたフィルムを広げ、ごく希薄な大気でブレーキを掛けて減速させる仕組みだ。21年6月には、米国企業のSpaceXのFalcon9で軌道上に打ち上げられ、3.5m²のセイルを広げて、探査機の軌道離脱をテストする。



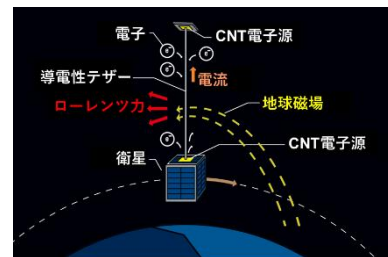
エアバスはスペースデブリ捕捉用の「ネット」（左）と「鉈」（中）を実証した。
HPSの「ドラッグセイル」は厚さが7.5ミクロンのフィルムを3.5m²に展開できる。
（各社HPと公開資料から引用）

21年3月22日、日本の民間企業である、アストロスケールホールディングスが、複数の手段で多目的にデブリ除去のサービスを提供できる衛星を開発し、カザフスタンの宇宙基地から軌道への投入に成功した。アストロスケールは単独でデブリ除去のビジネス化に取り組む世界初の民間企業だ。13年の創業以来、1.9億ドル以上の資金を調達し、日本を含む5カ国に拠点を持つ。各国から125名以上の技術者を招集し、既存のデブリの除去、運用中の人工衛星の延命、新規に打ち上げる衛星の寿命・故障後の除去の簡易化などの技術開発とサービスを行っている。



アストロスケールのスペースデブリ除去の実証衛星「ELDA-d」。「Servicer」から「Client」を切り離し、位置を探索し、再結合し、軌道離脱による再突入で廃棄する（同社プレスキットより引用）。

また、日本のベンチャー企業のALEは、カーボンナノチューブによる軽量の電子源で導電性のひも状の「テザー」（手綱）に電流を流し、地球磁場から受けるローレンツ力を利用して人工衛星を降下させる技術をJAXAと共同開発した。宇宙利用のサービス商社を目指す、日本のSpace DBとの販売代理契約を20年8月に締結し、国内外の宇宙利用市場に展開する。



導電性テザーによる軌道降下（ALEのHPより引用）

◆宇宙産業の発展と持続可能性の達成への挑戦

内閣府での報告によれば、世界の宇宙利用産業の市場規模は、現在の約40兆円から40年には160兆円に成長する。特に、情報通信、自動化、遠隔操作に関する用途が多くを占め、多数個の人工衛星から構成されるメガコンステレーション（衛星網）の配備が加速する。

世界経済フォーラムは、人工衛星の製造、宇宙船の運用、ロケットの打ち上げの事業者に対して、デブリ軽減に関する国際的なガイドラインとの整合性を示す評価法「スペース・サステナビリティ・レーティング」の展開を始めた。事業者が評価スコアを自主的に公開することで透明性を高め、ミッションの機密情報や専有情報を開示することなく、デブリ軽減のアプローチを強調できる、という。

宇宙産業への投資が過熱するなか、デブリ除去の技術開発やルール作りなど、持続可能性の達成に挑戦する人々の先見性に敬意を表したい。 【酒向謙太郎】