

特集

「宇宙開発・利用での
SDGs達成と宇宙ゴミ低減への取組」

技術経営士の会 山浦 雄一



1. はじめに

2015年国連サミットで加盟国（当時193）の全会一致で採択された“持続可能な開発のための2030アジェンダ”、SDGs。

だが今世界は、採択当時には「予測不可能だった事態」に直面している。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）パンデミック（宣言2020年3月）とロシアのウクライナ侵攻（開始2022年2月）だ。加えて、2022年世界各地で起きている「史上最悪」の異常気象と激甚災害。こちらは、「防ぎようのない事態」である。

これら地球規模の「異常な事態」と悪化した諸課題（エネルギー、食糧、水など）に直面して、各国が一層強化すべき取組はSDGs達成に直結する。宇宙開発・利用とSDGsの親和性は高い。だが一方で、人類社会が宇宙利用への依存度を高めた結果、スペースデブリ（宇宙ゴミ）対策が国際間の重要課題となっている。宇宙活動・利用やSDGs達成の阻害要因にもなる。

日本の宇宙開発・利用は、高い技術と開かれた国際貢献により、世界から信頼され期待されている。本稿を通じて、日本のSDGs達成とスペースデブリ低減への取組をご理解いただくと幸いである。



2. 日本の宇宙政策の視点

世界の宇宙開発・利用は、“①安全保障での重要性増大、②社会の宇宙システムへの依存拡大、③宇宙利用を妨げるリスクの深刻化、④諸外国の宇宙活動の活発化、⑤民間活動・新ビジネスの活発化、⑥宇宙活動の範囲拡大、⑦技術革新”という環境変化の中、急速に進化し世界・社会に浸透している〔1〕。

日本政府は、これら状況を踏まえ、2020年6月“宇宙基本計画”を改訂した〔1〕。同計画は政策目標として、“(1)宇宙安全保障、(2)災害対策・国土強靱化・地球規模課題解決、(3)知の創造、(4)経済成長・イノベーション、(5)基盤強化（産業、技術、人材等）”を掲げる。官公産学の総合力をもって日本の「宇宙活動の自立性」を維持し、国力強化と国際貢献を図るのだ。ロケット・衛星・探査機・宇宙基地などの宇宙システム、開発・運用・利用に必要な地上システム、人材等基盤が、「自立性ある宇宙活動」を支える。

同計画には、日本の宇宙開発・利用がSDGs達成とデブリ低減で果たすべき役割が示されている（下記他）。

- 国際社会との協力の下、我が国がリーダーシップを発揮し、深刻化する世界のエネルギー、気候変動、環境、食糧、公衆衛生、大規模自然災害等の地球規模課題の解決に貢献し、SDGsの達成につなげる。
- （SDGs活動での国際協力を通じて）外交力の強化にもつなげ（中略）、我が国の優れた宇宙システムを積極的に活用していく。
- 宇宙空間の持続的かつ安定的な利用を確保するため、スペースデブリ問題が極めて重要かつ喫緊の課題となっていることに鑑み、（中略）、以下の取組（※）をスピード感を持って推進する。

（※筆者注）具体策は後段（4.3及び4.4項）参照。

3. SDGs達成への取組：日本/宇宙機関など

宇宙開発・利用をもって「地球規模課題の解決に貢献し、SDGs達成につなげる」上で、国際ルールの順守、公正で透明性ある事業の遂行は必要不可欠。ゆえに、同じ価値観を持つ日本、米国、欧州の宇宙機関は円滑に連携・協力し、SDGsの国際取組をリードしている。一例が、観測衛星データ開示・交換での開かれた公正な活動だ。

以下に、日本の宇宙機関としてSDGsへの明確な方針を持ち活動を進める、JAXAの取組を中心に紹介する。

3.1 宇宙機関の取組（JAXA）

2022年3月、JAXAがSDGsへの取組の加速と職員の意識向上のため、新たに“SDGsに関する基本的な取組方針”を策定した〔2、3〕。同方針は、「SDGsを社会課題解決のための共通言語・イノベーションの機会として捉え、戦略的に取り組み、貢献を目指します」と宣言。次の4つの視点で重点領域10項目を設定している〔4〕。

- 1 社会・・・持続可能で安全な社会を支える（3項目）
- 2 地球環境・・・豊かで美しい地球環境を守る（3項目）
- 3 宇宙・・・人類の活動領域を持続的に広げる（2項目）
- 4 ガバナンス・・・持続的に社会に役立つ組織をつくる（2項目）

これら4視点/10項目とSDGs/17目標（表1）の対応は、文献〔3〕及び〔4〕にあるとおり幅広い。中でも衛星事業では早くから実績を上げている〔2〕。後段（3.2項）で観測衛星とデータ活用の具体例を述べる。

衛星事業以外では、「人と社会に優しい航空利用社会」を目指す航空機先端技術研究、「健康長寿社会（創薬、医学）」を目指す国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」利用などが、SDGs事例として示されている〔2〕。

表1 SDGsの17目標

No.	目標	No.	目標	No.	目標	No.	目標
1	貧困をなくす	5	ジェンダー平等の実現	9	産業と技術革新の基盤づくり	13	気候変動に具体的な対策を
2	飢餓をゼロに (食料、栄養、農業)	6	安全な水とトイレを世界中に (生態系、衛生)	10	人や国の不平等をなくす	14	海の豊かさを守る
				11	住み続けられるまちづくり	15	陸の豊かさを守る
3	全ての人に健康と福祉を	7	エネルギーを皆に、クリーンに	12	作る責任、使う責任 (天然資源、廃棄物)	16	平和、公正(司法へのアクセス)
4	質の高い教育を皆に	8	働き甲斐も経済成長も			17	グローバル・パートナーシップ

3.2 日本の観測衛星データによるSDGs貢献

国連アジェンダ/SDGs採択の10年ほど前。2006年、JAXAが国際プロジェクト「センチネル(見張り)・アジア」を立ち上げ、関係機関をリードした。JAXA始め多数国の観測衛星などで得た災害関連情報をインターネット上で共有して、アジア太平洋地域における台風、洪水、地震、津波、火山噴火、山火事など自然災害被害の軽減・予防に役立つ国際協力だ。現在、29の国・地域から95機関、及び17の国際機関が参加し着実に実績を上げている。日本の宇宙開発・利用によるSDGs国際貢献の先駆けと言える。

これは一例である。文献〔5〕が、JAXA観測衛星データのSDGs/国際貢献の具体例を簡潔に紹介している。

日本がJAXA観測衛星で進めるSDGs貢献への実績と期待を、表2に示す。国産の各衛星が世界一級の性能を誇る。衛星システム的设计・製造は、三菱電機(株)または日本電気(株)。Lバンド合成開口レーダ(ALOS-2等)、マイクロ波放射計(GCOM-W等)、降水レーダ(GPM)、広域高分解能光学センサ(ALOS-3等)は、シリーズ化した世界最先端の国産観測機器だ。観測機器の実現には、情報通信研究機構(各種レーダ)など研究機関の専門能力が貢献する。日本は、温室効果ガス観測(GOSAT等)でも独自性を発揮し、シリーズ化して積極的に取り組む。

どの衛星/観測機器も、国内外のパワーユーザーから観測の継続性、性能進化、信頼性が評価され期待が大きい。そして、観測データの解析・普及には、日本の多くの研究機関・大学・企業が幅広く貢献し、しかも国際協力が良好に機能している。国際協力機構(JICA)の貢献が一例だ。日本が有する「総合力」の賜物である。

表2 日本がJAXA観測衛星で進めるSDGs達成への貢献(実績、期待) <文献[5]より:筆者、スケジュール等加筆>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
運用中	「だいち2号」(ALOS-2) Liバンド合成開孔レーダ		●								●		●	●	●		
	「いぶき」(GOSAT) 温室効果ガス観測センサ:TANSO/FTS 雲・エアロソルセンサ:TANSO-CAI			●							●		●				
	「いぶき2号」(GOSAT-2) 温室効果ガス観測センサ2型: TANSO-FTS-2 雲・エアロソルセンサ2型:TANSO-CAI-2			●							●		●				
	「しずく」(GCOM-W) 高性能マイクロ波放射計2:AMSR-2		●				●							●	●	●	
	全球降水観測計画GPM 二周波降水レーダ:DPR													●			
	「しきさい」(GCOM-C) 多波長光学放射計:SGLI		●	●			●					●		●	●	●	
開発中	「だいち3号」(ALOS-3) 広域・高分解能センサ FY2022 打上予定		●								●		●	●	●		
	EarthCARE FY2023 打上予定 雲プロファイリングレーダ:CPR			●		●					●		●				
	「だいち4号」(ALOS-4) Liバンド合成開孔レーダ FY2022以降 打上予定		●						●		●		●	●	●		
	GOSAT-GW FY2023 打上予定 高性能マイクロ波放射計3(AMSR3) 温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)		●	●			●				●		●	●	●		

3.3 日本のスタートアップとデータ解析ビジネスへの期待

今、世界各地でスタートアップが小さな観測衛星（数kg～200kg程度）を開発しビジネスを進めている。日本では、(株)アクセルスペース（光学観測）、(株)シンスペクティブ（レーダ観測）を始め何社もが挑む。左記の2社は、事業戦略に多数衛星を編隊飛行させる「衛星コンステレーション」の構築を掲げ、既に独自の小型衛星を開発・運用し、観測データを提供している [6、7]。

世界には無償・有償でアクセスできる膨大な観測衛星データがあり、日々蓄積されている。これらデータに価値を与えるのは、課題解決への顧客ニーズを的確に掴み、地上データと組み合わせた統合解析を行う能力だ。イノベーションと直結する。SDGs貢献にも通じる。市場は世界で広く大きい。ビジネス機会は日々生まれる。

米国にはこの分野で発展するスタートアップが何社もある。筆者が現地で見ただけの強みは、「秀逸な着眼点」。日本の企業なら、世界視野・異業種協働で挑めば出来るはずである。

4. スペースデブリ（宇宙ゴミ）低減への取組：世界と日本

地球周回軌道にある不要な人工物体（宇宙ゴミ）を、スペースデブリ（以下、「デブリ」）と呼ぶ。デブリは、運用を終えた衛星、故障した衛星、打上げロケット上段、ミッション中に放出された部品類、爆発・衝突で発生した破片等である。

米国政府は、地上から追跡可能な大きさ「10cm以上」のデブリの個数を公表している [8]。デブリ発生はソ連衛星「スプートニク1号」打上げ（1957年）で始まった。2021年末のデブリ総数は2万6千個に近い（図1）。

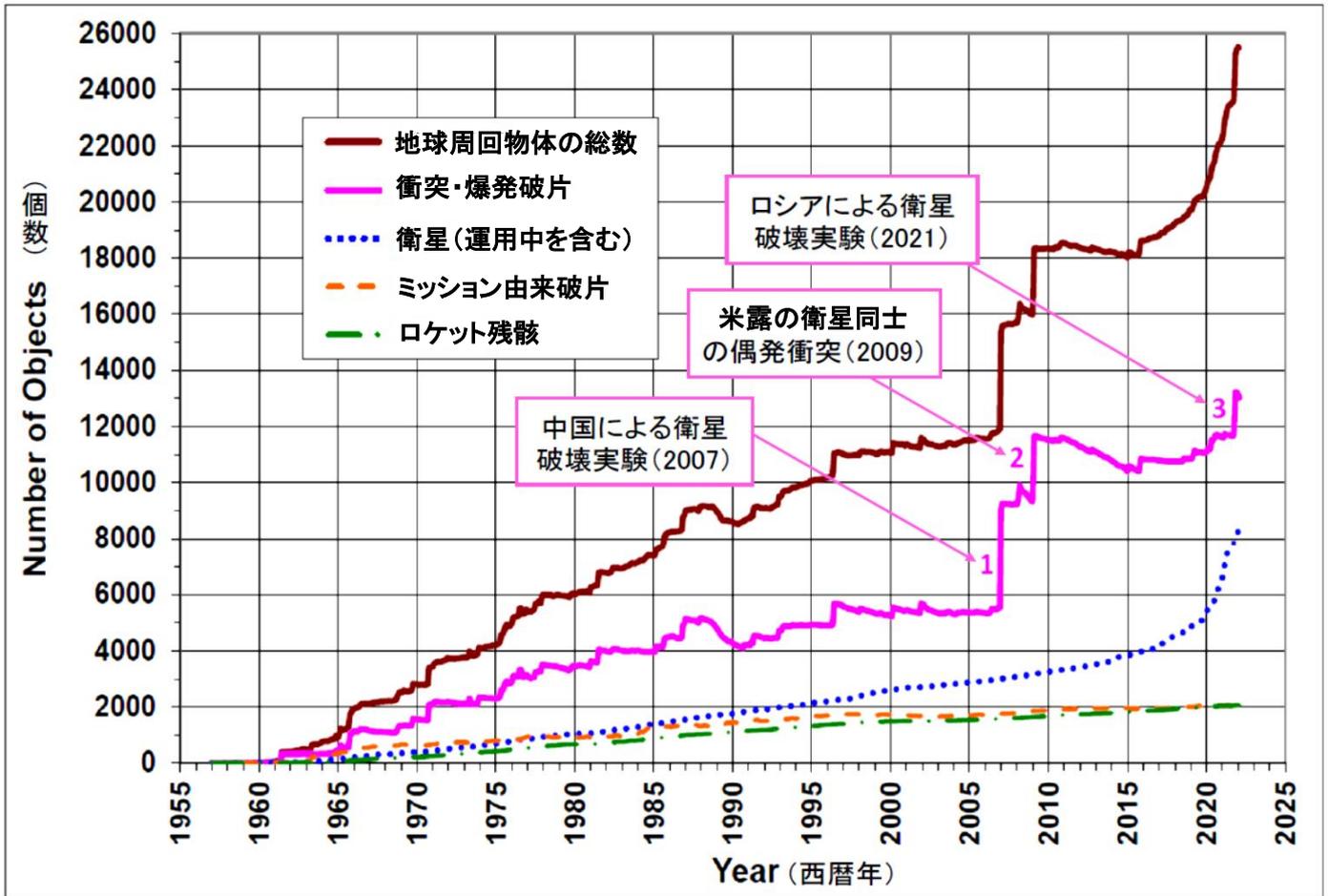
図1の総数と破片のカーブで3箇所に急激な増加（各数千個）がある。中国（2007年）とロシア（2021年）によるASATでの衛星破壊実験と、運用停止で制御不能な米露衛星同士の衝突（2009年）だ。後者は、確率は低くとも「運用停止衛星の衝突は必ず起きる」と警告する偶発事故であった。

欧州宇宙機関（ESA）もデブリの状況把握・対策検討に力を注ぐ。彼らのシミュレーション結果（デブリ数）は次のとおりである。

[2021年予測] 10cm以上 3万6千個超； 10cm～1cm 百万個； 1cm～1mm 1億3千万個

以下に、デブリ増加が生むリスク、デブリ低減ルールとリスク回避策の現状、デブリ除去への取組について述べる。

図1 地球周回物体数の経年変化(大きさ10cm以上) <文献[8]より:筆者、日本語加筆>



4.1 スペースデブリ増加で生まれるリスク

衛星の概念が変わった。技術革新により、多数(数十~数万機)の小さな衛星での「衛星コンステレーション」が実用化された。スタートアップの計画乱立の時代だ。著名な例がスペースX社のスターリンク通信衛星群。数万機体制を目指し、2022年秋時点で既に約3,000機が打ち上げられている。混みあう(人気の高い)軌道に衛星が増えれば、衛星衝突、軌道上残置衛星の増加など、デブリ増加のリスクが拡大する。

軌道上衝突時の相対速度は秒速10~15km。運用中の衛星や宇宙滞在中の人間にとって、小さな物体でも脅威は非常に大きい。デブリも衛星打上げも年々増加の一途をたどる。

NASA研究者が提示したケスラー・シンドロームというシミュレーションモデルがある。デブリが過剰に増えると互いの衝突の連鎖が起き、デブリの自己増殖に陥るという最悪事態だ。こうなると、人類の宇宙空間利用も宇宙進出も不可能になる。

2013年公開の映画「ゼロ・グラビティ」(原題"Gravity")は、ケスラー・シンドロームが発生し、船外活動するNASA飛行士にデブリが降り注ぐという場面設定である。現実には、図1の地球周回物体の全て(大きさ10cm以上の、軌道高度の異なる2万6千個)を地表面に均一に置くと、「四国総面積に1個程度」。危機はまだ身近には無いが、映画は本質を突き、世界に警鐘を鳴らした。

人類社会の活動・安全確保が、通信、測位、気象・環境観測、監視など衛星・宇宙利用への依存度を高める。だが、デブリ対策(発生抑制、除去等)への国際的取組は、国際ルール面でも技術開発面でも課題が多く、進展は緩やかだ。デブリ対策は国際協働が不可欠な本質課題。「宇宙環境破壊」を早期に阻止する行動を進め困難に挑む必要がある。地球環境問題の教訓である。

4.2 デブリ低減の国際ルールと衝突回避策

デブリ対策への取組を、“(1)デブリ低減（発生抑止）の国際ルール、(2)宇宙状況把握・衛星運用での衝突回避、(3)デブリ除去の技術開発”の視点から紹介する。このうち、(1)と(2)を本項で、(3)を4.3項で概説する。

デブリの発生を抑える技術方策を国際間で検討・調整する取組は、1990年代から進められた。

2002年、日米欧露中を含む11カ国（当時）の宇宙機関が参加するスペースデブリ調整委員会（IADC）が、技術面からデブリ低減ガイドライン（以下、「ルール」）を策定した〔9〕。衛星設計・運用に関わる規定が詳細だ。主要事項は、“①運用中のデブリ発生の防止、②軌道上の破砕・爆発事故の防止、③運用終了後の廃棄（保護すべき軌道域からの除去）、④軌道上の衝突防止”である。

2007年、国連・宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）が、IADCルールを踏まえた、より抽象的な“スペースデブリ低減ガイドライン”を策定した。ただしCOPUOSの立場上、同ガイドラインはソフトローで、IADCルールとともに法的拘束力は無い。

日本は、1990年代からデブリ問題に取り組み、IADCや国連COPUOS等の協議で中心的役割を果たしている。

IADCルールでは、静止衛星廃棄について、「運用終了後に軌道高度を300km程度上昇させる」としている。一般的に、静止衛星は大型で燃料搭載に余裕を持てるので懸念は少ない。

だが、低軌道（高度2,000km以下）の衛星廃棄では、「運用終了後25年以内に落下させる」とされ、25年の猶予があるとも言える。そこは、自身の移動燃料に余裕を持たない中小型の衛星が混みあう軌道だ。

2022年9月、米国連邦通信委員会（FCC）が「25年を5年に短縮する」という独自ルールを内部承認し、適用準備に入ったと報道された。衛星の設計と運用に影響が出る。米国内に論争がある。今後の推移を注視したい。

衛星へのデブリ衝突は、世界の衛星運用の重要リスク管理項目となっている。唯一の衝突回避策は衛星の軌道変更だ。衝突回避には軌道情報が必須だが、デブリ軌道の把握は容易でない。

日本の衛星運用事業者は（JAXAも）、2013年の日米協力取決めに基づき、米国・連合宇宙運用センター（CSpOC）から衛星衝突リスクのあるデブリの軌道情報を受けている。CSpOCから情報を受けた運用事業者は、自身のリスク判断により、要すれば衝突回避の衛星運用を行う。JAXAの場合、回避判断会議は年10数回、軌道変更実施は年数回と報告されている。

国際協力では互惠関係が必要。日本は、JAXAの宇宙状況把握（SSA）システム（光学観測、レーダ観測）で得たデブリ情報をCSpOCに提供してしている。JAXAは2023年から、20年ぶりに能力強化した新SSAシステムでの光学観測とレーダ観測に移行する。

政府は日本のSSAの総合力強化を重視し、宇宙基本計画に、防衛省のデブリ観測システム（地上レーダ、監視衛星）と運用体制の整備、民間事業者への情報提供機能強化、国際連携強化などを明記している〔1〕。

4.3 デブリ除去の技術開発と商業化への取組

デブリ除去技術は2010年代前半から日本と欧州を中心に研究され、近年はデブリ除去事業を目指す宇宙実証も行われている。デブリ除去の手法は、“(a)デブリの軌道高度を下げ大気圏突入させる、(b)デブリ軌道を影響のない高高度まで上げる、(c)遠隔から融解する”に大別される。

(a)と(b)では衛星を使う構想、(c)では衛星または地上からビーム放射を行う構想がある。手法(a)でデブリ除去する衛星の研究例が多い。デブリの捕獲や軌道低下の技術に対し、大胆なアイデアも様々検討されている。

デブリ除去衛星の検討ではスタートアップの活動が目立つ。世界でも、日本の(株)アストロスケールが除去サービスの事業化を目指す先駆者だ。自社の技術実証衛星（ELSA-d）にて、2021～'22年、キー技術の宇宙実証を実現した。本格技術実証の後続衛星（ELSA-M）の打上げは、2024年の予定。欧州の資金・協力を獲得し複数ターゲットの捕獲・除去に挑む〔10〕。

2019年、JAXAがデブリ除去の商業実証プロジェクト（CRD2）を開始した〔11〕。狙いは、デブリ対策の事業化を目指す日本企業と連携して市場を創出し、併せて日本の国際競争力を確保することだ。JAXAは、衝突リスクの高いロケットデブリ除去に早くから着眼し、先行して技術開発を積み上げてきた。CRD2ではJAXAが日本企業と組み、デブリ化したH-IIAロケット上段をターゲットに、2022年度にキー技術実証（アストロスケール選定済）、2025年度以降に除去実施（企業選定今後）に挑む計画である。

5. おわりに

宇宙開発・利用でのSDGs達成とデブリ低減への取組を、日本の総合力と国際貢献の視点で論じた。結びとして、今後の課題と期待を以下に述べる。

観測衛星データが生む価値は、政府が掲げる宇宙開発・利用の政策目標（2章）全てとつながる。社会・経済の発展にも寄与する。日本の課題「農林水産業の生産性向上」でも有効だ。海外に実用化例がある。

世界で日々蓄積される各種データを組み合わせ、顧客に価値提供する「データ解析ビジネス」。米国が先行・進出し（3.3項）、日本はまだ途上にある。スタートアップなど日本企業の更なる挑戦・活躍に期待している。

デブリ除去の国際ルールが策定されていない。法的整理・合意に多くの難題が残されている。

現在の宇宙諸条約に「スペースデブリの定義」は存在せず、稼働中の衛星もデブリも等しく「宇宙物体」と定義される。所有者不明のデブリも多数存在する。その上で、ルール策定に際し処理すべき課題は、除去の権限・同意、除去作業の契約（費用負担も）、第三者損害賠償、除去作業へのデブリ側機微情報の開示、除去へのインセンティブ付与の仕組みなど、様々ある。

デブリ低減の国際協議の中心で20数年貢献してきた日本。「除去の国際ルール策定」での日本のリーダーシップ発揮に期待している。

参考文献

- [1] 宇宙開発基本計画（内閣府、令和2(2020)年6月30日 閣議決定）
- [2] JAXA WEBサイト「SDGsへの貢献」（2022年9月アクセス）
- [3] JAXA広報誌“JAXA's” No.088 タブロイド版（2022年7月）
- [4] JAXA資料（記者説明：文献[2]より）「SDGsへのJAXAの取組」（2022年4月）
- [5] JAXA資料（文部科学省・地球観測推進部会報告）「JAXAの地球観測分野におけるSDGs取組み」（2021年9月）
- [6] (株)アクセルスペース WEBサイト（2022年9月アクセス）
- [7] (株)シンスパクティブ WEBサイト（2022年9月アクセス）
- [8] NASA, “Orbital Debris, Quarterly News”, Volume 26, Issue 1（2022年3月）
- [9] 宇宙機関間スペースデブリ調整委員会（IADC）“IADC Space Debris Mitigation Guidelines”, IADC-02-01, Revision 2（2020年3月）
- [10] (株)アストロスケール WEBサイト（2022年9月アクセス）
- [11] JAXA資料（文部科学省・宇宙開発利用部会報告）「商業デブリ除去実証（CRD2）フェーズ I について」（2021年12月）