

ーコ ラ ムー

「宇宙の混雑化」問題を引き起こすデブリ

坂口滉季（中央大学大学院法学研究科博士後期課程）

前回（FPC NEWS Vol.14 急速に進行する「宇宙の混雑化」問題）は、地球軌道上に存在する物体（人工衛星とデブリ）が増加し、狭い領域にそれらが集中することで、衝突のリスクが高まることを「宇宙の混雑化」問題とし、それが人類の宇宙開発に対する脅威となっていることを明らかにした。前回コラム発刊後、会員の方から、広大な宇宙空間においてデブリはどれほどの脅威となるのか、また大量のデブリは具体的にはどのように出現したのか、という点で質問を頂戴した。それらの質問を踏まえて、今回のコラムでは、デブリの脅威の実態、デブリが大量に発生した具体的な事例などを明らかにし、次回以降では「宇宙の混雑化」問題への国家及び国際社会の対応を検討したい。

◎ デブリの脅威の実態

一概にデブリあるいは宇宙ごみと言われるものは、実際にはかなり多様である。人工衛星の打上げに伴って軌道上で切り離されたロケットの一部や、故障などで機能を停止して軌道上に残留した人工衛星など巨大なもの（数十m）から破裂した燃料タンクの破片などの微小な物体（数 μ m）も、全てデブリである。大きさや重さに関わらず、デブリは宇宙開発に対する脅威となる。

地球軌道を周回している物体は、地球の引力と、地球から離れようとする遠心力とが均衡している状態にあり、遠心力を出すために高速で移動している。その速度は低軌道では約7.5km/s、対地静止軌道でも約3km/sに達する。デブリも同様の速度で移動しており、それらが衝突した場合には巨大なエネルギーとなる。衝突によって衛星やデブリが破壊されると、また新たな、より多くのデブリが出現する。

地球静止軌道を除いて宇宙物体が地球を周回する軌道は、速度以外は明確に定まっておらず、様々である。そのため、各物体の軌道が交差寸前になることも多く、そのような場合には衛星などが軌道を変更して対応してきた。軌道の変更には搭載燃料の使用が必要になり、衛星の寿命を縮める。衛星の寿命が短縮することは、宇宙開発のコストを上昇させると同時に、その衛星がデブリになるまでの時間を早める。

◎ デブリの発生

スペースデブリは宇宙開発に伴って不可避に発生する。例えば、ロケットの最上段などは軌道上で切り離される為に、宇宙空間に残存する。大型ロケットの打上げに伴うデブリの発生が問題視されるようになるまで、宇宙開発はデブリの出現をまったく気にせず遂行されてきた。軌道上での衛星の破壊実験、多数の衛星の機能を停止させてデブリ化させた軌道上での核実験（1962年のスターフィッシュ・プライム実験など）などが行われ、また燃料などを使い切った衛星は軌道上に放置された。現在はスペースデブリの問題が国際的に認知されており、様々な措置が取られているが、それでもデブリは出現し続けている。宇宙空間で物体が破砕した場合には、特に大量のデブリが出現する。

このような破砕は人工衛星内部のバッテリーなどの部品の破裂や、人工衛星とデブリとの衝突などの偶発的な事象による場合もあるが、対衛星兵器（ASAT）実験などの

意図的な事象による場合もある。近年にデブリが大量に出現した事例として以下の3例を紹介する。

① 中国によるASAT実験（2007年）

2007年1月11日、中国の気象衛星「風雲1号C」が地上から確認できなくなり、同時に大量のデブリの拡散が確認され、中国による意図的な破壊が疑われた。当初、中国政府はこの事実を認めなかったが、同月23日にASAT実験の実施を認めた。この実験では地上から発射したSC-19ミサイルにより、高度851～869kmで衛星を破壊しており、衛星の破壊を伴うASAT実験としては21世紀初である。これによって拡散した1cm以上のデブリは約16万個、追跡が可能な10cm以上のものに限っても約3400個に及び、単一の事象によって発生したデブリの数としては最多である。

衛星の意図的な破壊、特にこのような衛星の物理的な破壊の事例は多くはないが、後述するロシアのASAT実験も含めて、デブリの大量出現を招いてきた。特にこの中国の実験は、「宇宙の混雑化」問題と宇宙の安全保障問題に諸国の注目を集めることとなった。（図1参照）

② イリジウム＝コスモス衛星衝突事故（2009年）

2009年2月10日、アメリカの衛星通信会社イリジウム社が保有する衛星イリジウム33が地上から観測できなくなり、同時に大量のデブリの出現が確認された。活動停止中であったロシアの軍事通信衛星コスモス2251と高度788kmで衝突したことが後に判明し、史上初の衛星衝突事故となった。両衛星は事前に約600mの近距離ですれ違おうと予測されており、衝突は予期されていなかった。この衛星衝突事故で約2300個の追跡可能な大きさのデブリが出現し、非意図的な単一の事象によって発生したデブリの数として最多である。

偶発的な衛星同士の衝突はこれが史上初であるが、デブリと衛星との衝突はこれ以外にも何度か発生している。このような事故、あるいは衛星やロケットの故障や不具合によるデブリの拡散も多く起こっており、一度のデブリ出現数は少ない事例も繰り返されることで多くのデブリが生み出されてきた。（図1参照）

③ ロシアによるASAT実験（2021年）

2021年11月15日、ロシアは高度約480kmに存在し、活動停止中であった自国の電子諜報衛星コスモス1408を、地上から発射したPL-19ミサイルによって破壊した。この実験で発生した追跡可能なデブリは約1500個と見積もられ、意図的な衛星の破壊によって生じたデブリの数としては前述の中国によるASAT実験に次ぐ。しかもこれらのデブリが出現した高度は国際宇宙ステーション(ISS)に近く、被害が懸念された。

前述の中国によるASAT実験以後の衛星の意図的な破壊（2008年2月21日のアメリカによるUSA-193衛星の破壊、2019年3月27日のインドによるマイクロサット（Microsat）-R衛星の破壊）ではデブリが多数出現したが非常に低高度であり、大部分は短期間で地球大気圏に再突入して消滅した。しかしこの実験で出現したデブリの軌道は比較的高く、長期間にわたって軌道環境を汚染することが懸念される。

このロシアのASAT実験は最近のことであり、図1には反映されていない。

以上のような、一部の事件・事故が大量のデブリを発生させ、軌道環境を一度に悪化させてきた。これ以外にも宇宙開発の拡大に伴って日常的にデブリは出現し続けている。このようなデブリの増加に加えて、人工衛星の増加が「宇宙の混雑化」に貢献している。近年で最大の人工衛星の増加は、スペースX（Space X）社によるスターリンク（Starlink）・コンステレーションの建設による一連の打上げからもたらされている。参考として以下に概説する。

PayPal社の創業者としても知られる実業家、イーロン・マスクが設立したスペースX社は、火星進出や新型ロケット開発など意欲的なプロジェクトを多く進めている。同社は現在、地球軌道上に12000基の小型衛星を配置するスターリンク・コンステレーション（ネットワーク化された多数の衛星によって構成されるシステム）の建設を行っており、軌道上を經由したインターネットサービスの展開を目指している。2018年に2基の試験衛星が打ち上げられた後、2019年から本格的な構築が始まった。1度の打上げで60基の衛星を軌道上に配置しており、既に1500基以上の衛星が打ち上げられている。同コンステレーションの建設開始以前、2017年2月ごろに軌道上に存在した人工衛星は約4400基であり、このペースで衛星の打ち上げが続けば、軌道上の人工衛星の大部分をスターリンク衛星が占めることとなる。

スペースX社以外にも、ワンウェブ（OneWeb）社も648基の衛星によるコンステレーション建設を進めており、既に半数以上の衛星が軌道上に存在する。またアマゾン（Amazon）社が約3200基のコンステレーションを、中国の中国航天科技集団が約13000基のコンステレーションを計画している。

ASAT実験などによる衛星の意図的な破壊も含めて、スペースデブリの出現をいかに防止するか、という問題について各国及び国際社会は議論を重ねてきた。次のコラムでは、スペースデブリ問題を含む「宇宙の混雑化」問題について、どのような対応が取られているのか、を検討する。

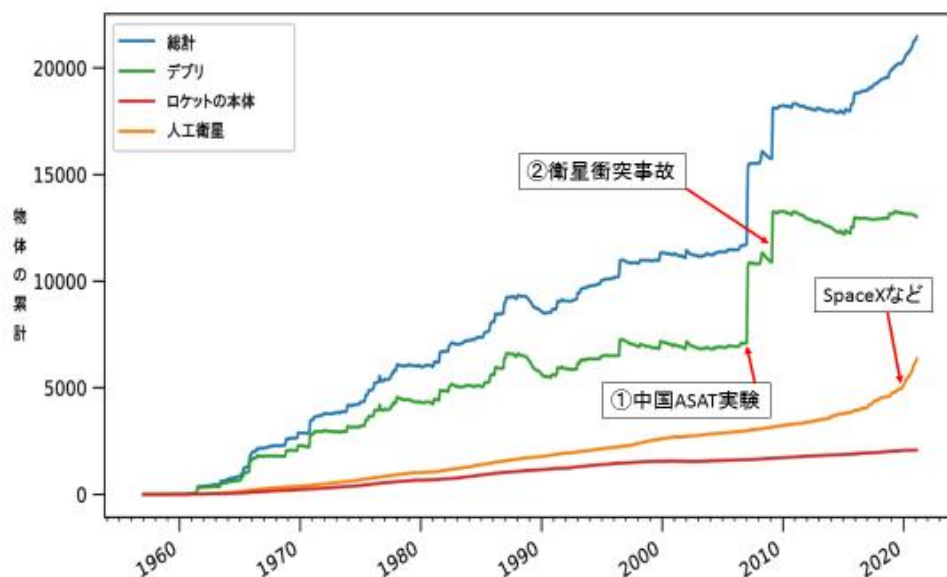


図1：軌道上の物体数の変化

出典：Boley, A.C., Byers, M. “Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth”, Scientific Reports, 11, 10642(2021), <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89909-7>, Accessed on 6 February 2022.

発行：特定非営利活動法人 外交政策センター Foreign Policy Center (FPC)

〒150-0001 東京都渋谷区神宮前2-30-7-502

定価: 100円 Eメール: foreignpolicy617@gmail.com

ホームページ: <http://www.foreign-policy-center.tokyo>

Facebook: <https://www.facebook.com/fpc.gaikoseisaku/>