

宇宙ゴミ問題と宇宙状況把握



特定非営利活動法人日本スペースガード協会 **二村 徳宏** (にむら とくひろ)

1. はじめに

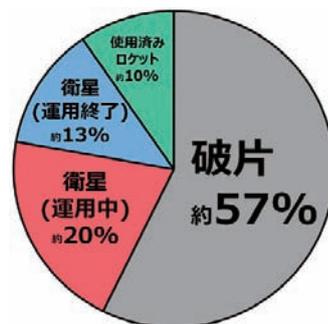
人類史上はじめて宇宙空間に人工衛星が投入されたのは1957年の旧ソ連によるスプートニク1号である。そして現在、私たちは日常的に衛星のデータを利用して生活をしている。例えば、天気予報は気象衛星のデータを基にしている。旅行などに行く際、カーナビゲーションやスマートフォンの地図アプリを利用する機会も増えたが、このようなアプリで現在地などを確認することができるのは測地衛星があるためであり、BS・CS放送を見ることができるのは放送衛星があるからである。そのほか、産業分野、災害対策、安全保障を目的とした衛星、さらには科学を目的とした衛星もある。このように、スプートニク1号からわずかに約65年の間に宇宙開発は私たちの生活になくてはならないものになってきた。一方、このわずかな間に私たちは宇宙ゴミという新たな問題も抱えるようになった。

衛星は、運用が終了すると宇宙空間を漂うゴミになる。また、衛星を打ち上げるために使用したロケットの一部なども同様にゴミになる。このような宇宙に漂うゴミを「宇宙ゴミ」という。これらは、年々増加傾向にある。この宇宙ゴミ問題は、近い将来、人類に甚大な被害を及ぼすため、私たちは現時点で基礎的な研究を進め、対策を進める必要がある。実際に近年、宇宙ゴミの除去方法について議論・研究が活発に行われている (Ohkawa et al., 2012, Ebisuzaki et al., 2015など)。そして、どのような対策を遂行するためにも必須であるのが、望遠鏡による宇宙ゴミの状況を把握することである。本稿では、この宇宙ゴミ問題について概観し、加えて、日本唯一の宇宙ゴミ観測専用施設である美星スペースガードセンター (岡山県井原市) における衛星及び宇宙ゴミの観測・監視 (宇宙状況把握) について記述する。

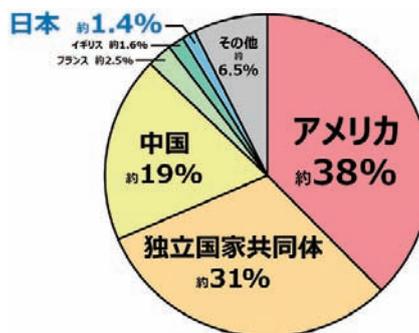
2. 宇宙ゴミ問題の現状

2021年10月中旬までに11,000機以上の衛星が打ち上げられ、約7,800機が現在軌道上にある。これは、宇宙空間の人工物の割合で約32%を占める。そのうち運用を終了したものは約38%であり、これは宇宙空間の人工物全体の約13%である (Celes Track)。そのほか、ロケットの一部 (約10%) そして、破片 (約57%) などがあり (図1)、現在確認

されている地球の周りにある10cm以上の人工物は2万個を超えている。ちなみに、この中で日本由来のものは全体の約1.4%で300個程度である (Space-Track.org) (図2)。



■ 図1. 宇宙の人工物の種類別個数割合 (Space-Track.org及びCeles Track (2021年10月))

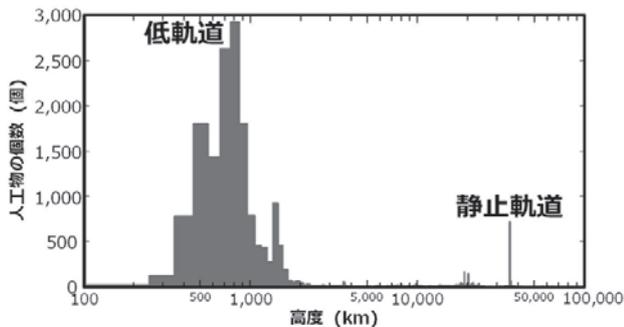


■ 図2. 国別の宇宙の人工物の個数割合 (Space-Track.org (2021年10月))

次にこれらが宇宙のどこに分布しているかを見るために図3に宇宙の人工物の高度分布を示す。約36,000kmあたりに人工物の集中している場所があり静止軌道という。ここに投入された衛星は、衛星の公転周期と地球の自転周期が等しいため、常に地球上の同じ地点の上空に位置し、その速度は約3km/sである。身近なものでは、気象衛星がこの静止軌道で運用されている。また、高度約2,000km以下に約800kmをピークにした分布がある。ここは低軌道と呼ばれ、地球観測衛星などに利用されている。この地点における人工物の速度は約7~8km/sであり、これらが衝突すると衝突速度は10km/sを超えることがある。つまり、宇宙空間には弾丸以上の速さの物体がランダムに飛び回っていることになる。運用中の衛星に衝突すれば、故障の原因に



もなる。実際に人工衛星、スペースシャトル、国際宇宙ステーションには、宇宙ゴミの衝突跡が見つかった。これは宇宙飛行士にとっても命を脅かす大変危険なものである。

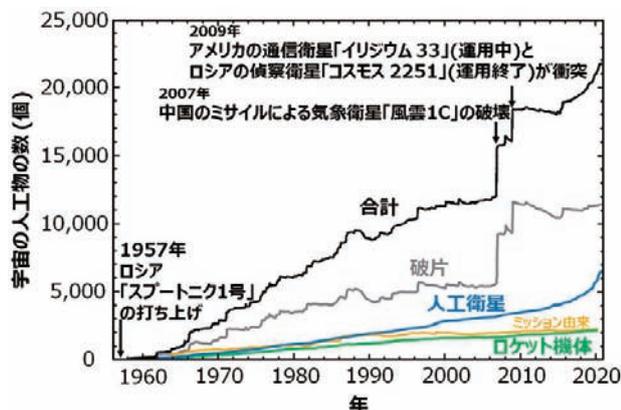


■ 図3. 宇宙の人工物の分布 (Space-Track.org (2021年10月))

3. 将来の宇宙ゴミ問題

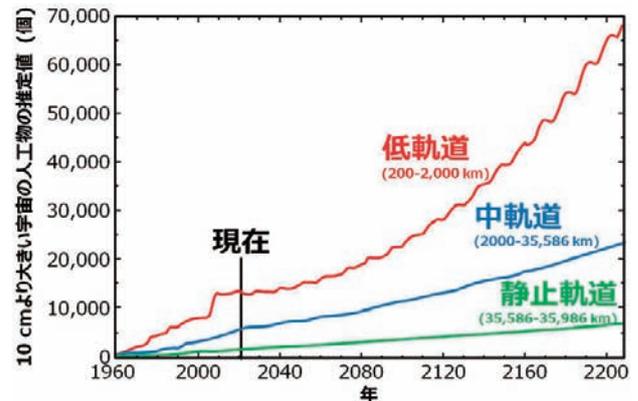
宇宙ゴミは、低軌道のものには地球大気の影響により自然落下し除去されるが、大局的に見て増加傾向にある (<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>) (図4)。私たちが毎年衛星を宇宙に投入するたびに増えていく。さらに、宇宙ゴミ同士の衝突も宇宙ゴミ増加の原因である。また、宇宙機同士の事故によって大量の宇宙ゴミが発生した事例もある。2009年に運用中の米国の通信衛星「イリジウム33」と運用を終了したロシアの偵察衛星「コスモス2251」が衝突した影響により、多くの宇宙ゴミが発生した。ほかには、意図的な破壊により宇宙ゴミが増加した事例もある。2007年に中国がミサイルで自国の気象衛星「風雲1C」を破壊したため、大量の宇宙ゴミが放出された。図4を見てもこれら2つの出来事により宇宙の人工物(破片)が数千個増加したことがわかる。

宇宙ゴミは対策を行わなければ、10cm以上のものでは100年後に現在の倍以上になるという推定もある (Liou,



■ 図4. 現在までの宇宙の人工物の増加 (<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>)

2011) (図5)。そして、10cm程度もしくはそれ以下の大きさの宇宙ゴミの数はそれらを超えて存在すると予想される。近年では、一度に多数の衛星群を打ち上げる機会 (メガコンステレーション計画) も増えてきており、さらに深刻な宇宙ゴミ問題に直面することになる。私たちは、早急に対策を講じなければいけない。



■ 図5. 将来の宇宙の人工物の増加 (Liou, 2011)

宇宙ゴミの対策として、新たなゴミの発生を防ぐことが基本でありもっとも大切なことである。そのために衛星やロケットは部品が飛び散らないように設計が行われている。また、衛星は特定の軌道で運用されることが多いため、運用停止後はその軌道から退避させる。大気圏に突入させ処理することが難しい静止軌道の衛星については、さらに高い軌道 (墓場軌道) へと移動させる。そして、意図的な破壊を行わないことは当然である。一方、既に漂う宇宙ゴミについて除去する研究も精力的に行われている。例えば、大型の宇宙ゴミをテザーにより除去する研究 (Ohkawa et al., 2012など) やセンチメートル程度の宇宙ゴミをレーザーで除去する研究 (Ebisuzaki et al., 2015など) などがある。

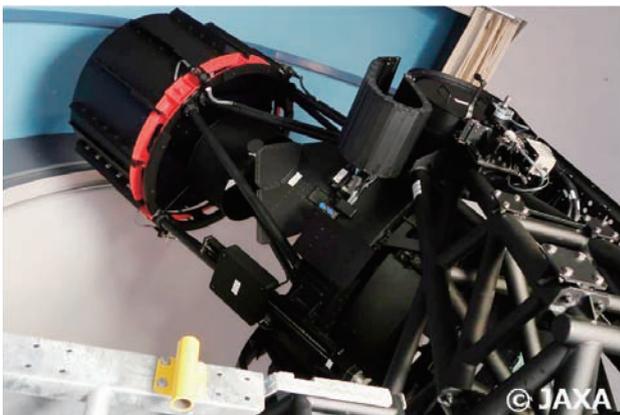
4. 美星スペースガードセンターにおける宇宙状況把握

現在の宇宙ゴミの状況を知ることは、これによる被害を防ぐこと、さらに将来の宇宙ゴミ問題を解決する上で大変重要である。これは、軌道が決まれば、あらかじめ運用中の衛星を動かすなどの衝突回避処置を講ずることができたり、将来の除去についての研究計画を行うための基礎データにもなる。また、実際に除去を行う際の位置予測などにも有益である。美星スペースガードセンター (岡山県井原市美星町) (図6) は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の宇宙状況把握 (SSA: Space Situational Awareness) 関連

施設の一つで、宇宙ゴミの観測・監視を行っている光学観測施設である。私たち日本スペースガード協会は、JAXAと日本宇宙フォーラムからの業務委託により美星スペースガードセンターで宇宙ゴミの観測・解析を行っている。そのほか、SSA関連観測設備として、レーダー観測を行う上斎原スペースガードセンター（岡山県苫田郡鏡野町）などがある。



■ 図6. 美星スペースガードセンター



■ 図7. 美星スペースガードセンター 1.0m望遠鏡

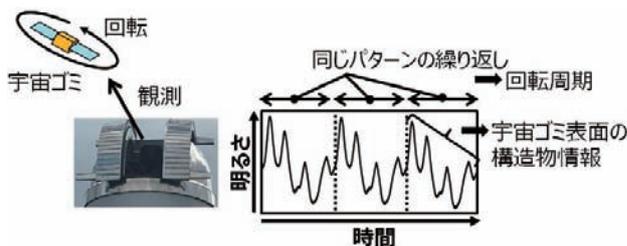
「晴れの国おかやま」というキャッチコピーがある岡山県は、瀬戸内海気候で晴天率の高い地域である。さらに、井原市美星町の夜空は街明かりの影響が少なく、この地域では全国に先駆けて光の害から夜空を守る「光害防止条例」が制定されている。このような晴天率の高さや夜の暗さは、光学観測に大変適している。また、この観測所は東アジア上空の観測・監視という意味でも重要な場所である。

施設内には国内唯一の宇宙ゴミ観測専用の望遠鏡がいくつかある。その中で1.0m望遠鏡は、新しく改修して今年度から運用が開始されている（図7）。理論的には静止軌道の1m以上の物体が観測可能である。また、1.0m望遠鏡は視野が広いので、広範囲の宇宙の監視に適し、物体の追視

も速く、高速の宇宙ゴミの観測にも適している。観測を行うと、宇宙ゴミの位置がわかる（図8）。時間を変えて何回か観測を行い、さらに過去のデータと組み合わせることにより、正確にそれらの軌道を求めることができる。これにより、「今後、宇宙ゴミがどこを通るのか？」つまり、軌道を推定することができるので、このような情報は運用中の衛星への衝突回避に役立つ。さらに、観測からは太陽光の反射の明るさの変化を測定することができる（図9）。これも時間を変えて観測を行うことにより、宇宙ゴミの大きさ、回転周期及び構造物などの情報が得られ、将来の宇宙ゴミ除去へ役立つ。そのほか、太陽の反射光を波長帯ごとに観測して宇宙ゴミの情報を明らかにする試みも行っている。また、将来的には10cm以下の微小宇宙ゴミの検出を目指し準備を進めている。これはコンピュータの画像処理技術を利用して宇宙ゴミからのわずかな光をとらえるものであり、実現すれば、未来の宇宙利用において大きな貢献ができると考えている。



■ 図8. 1.0m望遠鏡で撮影した宇宙ゴミの例



■ 図9. 宇宙ゴミの状態解析

5. おわりに

私たちは人工衛星によって、より良い快適な生活を送っている。一方、宇宙環境には宇宙ゴミが増え問題になっている。今後は、この宇宙ゴミを増やさない努力とともに除去をすることも必要である。観測・監視による宇宙ゴミの状況把握は、現在の宇宙ゴミの被害を防ぐだけでなく、将来の宇宙ゴミ対策の必須項目であり、私たちは、これを通して安心・安全な宇宙利用に貢献できればと考えている。