

「はじめての宇宙工学」第1章 1.1 有人宇宙開発の歴史 6 ページに追記

アポロ計画終了後有人宇宙開発の中心は国際宇宙ステーション (ISS) に移った。本書では第 10 章で ISS について述べているので詳細はそちらに譲りここでは最近再び月をめざすアルテミス計画が動き出したのでこれについて簡単にふれる。

アルテミス計画は米国主導で進められている国際的な月面活動計画で人類を再び月面に送り込むことおよび月の軌道に半永久的に常設する宇宙ステーション (ゲイトウェイ) を建設することを目指している。計画はアルテミス 1、2、3 と段階的に進められ 2025 年にアルテミス 3 で女性初の月面着陸を実現させることを当面の目標としている。

「アルテミス 1」はこの計画の第一段階で新たな大型ロケット (宇宙発射システム SLS) と宇宙船 (オリオン) のテストとして実行されるもので無人のオリオンは月の軌道を周回した後地球に帰還し回収される。SLS は本計画のために新たに開発された 2 段式大型ロケットで全長 98.3m、総質量 2603 t で形状はサターン V に似ているが、全長 54m の巨大な固体ブースター各 1 個が両脇に取り付けられているのが大きな違いである。第 1 段は液体酸素/液体水素を推進薬とする推力約 2280kN の RS-25 エンジンを 4 基使用し、第 2 段は同じく液体酸素/液体水素を推進薬とする推力約 110kN の RL10 エンジンを 1 基使用している。なお「アルテミス 1」は 2022 年 12 月無事その任務を完遂し宇宙船オリオンは太平洋上で回収された。

第 9 章 121 ページ コラム 宇宙環境利用実験は有効か? 書き換え

コラム 宇宙環境の劣化: 宇宙のゴミ問題

地球近傍の宇宙には人工衛星のほかにロケットの最終段およびそれらからの放出部品やデブリ (人工破砕物) が数多く存在している。これらは作動中の人工衛星を除いてすべて無用のものでありいわばゴミである。これらのものは 1957 年旧ソ連のスプートニク 1 号が打ち上げられる以前には存在していなかったものですべて我々人類が持ちこんだものである。これらゴミおよび作動中の人工衛星の数は毎四半期ごとに NASA が発表しているがその総数は 2022 年 3 月現在で約 25500 個である。ただしこれらの個数は地上から追跡可能な 10cm 以上のものだけで、10cm 以下のものは統計的手法により推定せざるを得ない。例えばヨーロッパ宇宙機関 (ESA) が 2022 年 11 月に発表した資料によれば 1 センチ以上 10 センチ以下のものは約 100 万個、1 ミリ以上 1 センチ以下のものは 1 億 3000 万個としている。

これら無数のゴミが高度 200km から国際宇宙ステーション (ISS) が滞在する 400km の低軌道では約 8km/s で飛び交っている。ライフル銃の発射速度が約 1 km/s であることを考えればこれらのゴミが人工衛星や宇宙ステーションに衝突した場合には相当な被害が予想

される。いや、被害はすでに現実となっている。観測可能だった例では、2009年に米国の通信衛星イリジウムに使用済みロシアの衛星が衝突し大破、2013年にエクアドルの小型衛星に旧ソ連のロケット破片が衝突し通信途絶したことなどがある。観測によって特定できない微小デブリの衝突が疑われる例では、2007年にヨーロッパ気象衛星 Meteosat-8 の軌道が突然変化し東西方向の位置制御が不能になったことや 2013年にロシア小型技術実証衛星 BLITS のスピンドールおよび高度が突然変化したことなどがある。宇宙ステーションも決して安全ではない。デブリが接近してきたために軌道を変えたことが何度も起きている。最近では 2022年10月24日スラスター（小型ロケット）を噴射して回避操作を行った。この操作を行わないと宇宙ステーションのおよそ 5 km 圏内にまでデブリが接近する危険があったという。

このような危険なデブリ（ここでは大小に関係なく人工破砕物をデブリと言う）はいかにして発生しているのか？多くは我々の意図することなく起きてしまったことが多い。ロケット上段や人工衛星の爆発、宇宙機（ロケットや人工衛星）表面からの部品、塗料の剥離、固体ロケットモータ燃料の燃えカス、デブリ同士の衝突によるものなどである。当然ロケット、人工衛星を打ち上げる当事者は細心の注意を払って運用しているはずである。しかしデブリを増やさないという国際認識があるにもかかわらず、あえてそれを大量に発生させるような愚挙を行った国々がある。中国は 2007年1月12日自国の使用済み気象衛星「風雲 1号C」に対し地上からミサイルを発射しこれを粉砕した。この実験により 3000個を超えるデブリが産み出され中国は国際的な非難を浴びた。宇宙から自国を常時監視している敵国の監視衛星は邪魔なものであり、これらをいつでも破壊できる能力を誇示するためにおこなう衛星破壊実験は軍事的には重要な意味をもつため米国、印度、ロシアもこれに続いた。これらの実験によるデブリの発生個数は他の理由によるものとは比較出来ない程の多さで、例えばつい最近（2021年11月）行われたロシアの実験では 1500個を超える。デブリによる宇宙環境の悪化が懸念されているときに行われるこのような暴挙は許されるものではない。早急に国際的な禁止条約の成立を目指すべきであると考えます。

宇宙ゴミの回収は簡単ではない。低高度である程度の大きさをもつものは薄いとはいえ少しある空気分子の抵抗により高度を下げ大気に突入し燃えつきてしまうことが期待できる。10cm以上の軌道を確認出来るゴミは回収衛星が近づいて補足できる可能性はあるが、そのゴミに掴みどころがなかったり回転していたりしたら回収は無理である。小さいものは回収しなくてもよいという訳にはいかない。とりあえずぶつかった時の被害を最小にするためのシールド方法は 10.5 節に述べている。

ゴミの回収は非常に難しいのでゴミを出さない運用が各国で研究されている。役目の終わったロケット最終段や衛星を残っている燃料を使用して高い軌道に移動させる等である。宇宙ゴミはある濃度を超えるとゴミ同士が衝突して際限なく増えてしまう可能性がある。今のうちに有効な手段を速やかに実行すべきである。我々は地球温暖化への取り組みが遅れた反省を有効に活かさなければならない。