

衛星同士の衝突はどうすれば防げるのか？ 航空機とは違う難しさあり

昨日の新聞記事は「人工衛星あわや衝突」である。実際に「2009年2月のロシアの軍事衛星「コスモス 2251」とアメリカイリジウム・サテライト社の通信衛星との衝突」という事故もあった。また、スペースデブリが国際宇宙ステーションに接近したため、高度を変更して衝突を回避したこともある。

日本経済新聞 2019.9.5

毎日新聞 2019.9.5

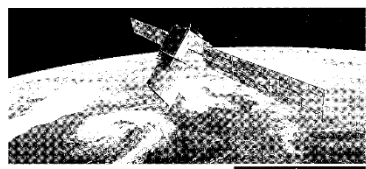
### 人工衛星 あわや衝突

欧州宇宙機関(ESA)は3日、ESAの地球観測衛星が米企業スペースXの通信衛星と衝突する恐れが生じたため、高度を変えて緊急回避させたことを発表した。

### 宇宙混雑、危険性高まる

ESAは8月下旬、9月2日に衝突する可能性を把握。ESAは8月下旬、9月2日に衝突する可能性を把握。ESAは8月下旬、9月2日に衝突する可能性を把握。

### 人工衛星同士 あわや衝突



ESAの地球観測衛星とスペースXの通信衛星の衝突の可能性を予測した図。いずれもESA提供・共同

ESAとスペースX 高度変え回避
必要だとしている。ESAは8月下旬、9月2日に衝突する可能性を把握したが、連絡を受けたスペースXは衝突の確率が低いとして対応しなかった。その後、衝突確率はESAの基準を越える1000分の1まで上昇し、ESAは自地上からの指令で衛星のエンジン噴射して高度を上げ、衝突を回避させた。

航空機ならば、航空管制官の指示を受けながら飛行しているため、システムとして衝突を避けている。同じ高度の航空機が一点で交差する可能性がある場合には、管制官からの指示で飛行高度を変更する。また、それでもニアミスが生じた場合には、衝突を避けるために互いに衝突しない方向に舵を切るという約束事もある。この危険が迫ったときには、空中衝突防止装置が警報を発令し、パイロットが手動で衝突を回避する。日本では、最大離陸重量 5,700 kg または客席数 19 を超える航空機に空中衝突防止装置が取り付けられている。

一方、宇宙に目をやるとルールがあるようで、統一したルールはないようである。コンピュータが衛星の軌道を補足して、シミュレーションにより衝突確率をはじき出す。1000分の1の衝突確率とは大きいのか小さいのか。数百キログラムの衛星は、その大きさからして不確定性原理の範疇にはない。従って、1日先、10日先の存在位置は本当であればピンポイントで示されるはずであるが、太陽風や地磁気など、その他の力に影響され、その位置が一点に確定できないのではないだろうか(と考えている)?

1000 という大きさは、円に直すと半径 18 である。衛星の大きさも考慮しなければならないが、衛星同士がこれくらい近くを通過するということである（いささか不明確な表現となっている）。衛星付属の太陽パネルなどの出っ張りがぶつかり合うことも考えられる。

今回のようなケースにおいては、衛星は衝突をどのように回避するのだろうか？ 記事によると、今回は欧州宇宙機構の衛星が高度を変更して衝突を回避したとある。下にも示すように、欧州衛星機構はフロンを使うコールドガスクラスターでその軌道を変更することができる。これに対して、米国のスペース X 衛星はクリプトンガスを使うイオンエンジンである。緊急に軌道変更を行う場合には、大きな推力が出せる欧州衛星機構の衛星が軌道を変更せざるを得なかったものと考えられる。スペース X のエンジンはあくまでも軌道保持のためのものである。

今後、12000 機もの配備が予定されているスペース X の衛星は、自らは衝突回避行動をとらないのか？ 何時間も前から衝突が予想された場合には、回避行動をとる可能性もあるが、先に理由で緊急の行動はとることができないというのが正直なところか。そうすると、世界の衛星はスペース X の衛星ありきで、この多くの衛星の間を、衝突しないように自ら航行していくということになる可能性が大である。欧州衛星機構の衛星の場合、搭載されている軌道維持用のフロンガスの量にも限りがあるため、高頻度の軌道修正はその衛星寿命を短くすることにつながる。

宇宙における交通ルール（運行ルール）の確立がいよいよ必要となってきたものと感じられる昨日のニュース記事であった。

#### SWARM（欧州宇宙機関の地球観測衛星、Wikipedia）

目的	地球磁気圏の成因解明
観測対象	地球磁気圏
設計寿命	4 年
打上げ日時	2013 年 11 月 22 日 12 時 2 分(GMT)
最大寸法	9.1m x 1.5m x 0.85m
質量	468kg
主な推進器	<u>フロン</u> を使うコールドガスクラスター
高度 (h)	460km(2 基)、530km(1 基)
軌道傾斜角 (i)	87.4 度(2 基)、88.0 度(1 基)

スターリンク (Wikipedia)

アメリカ合衆国の民間企業スペース X社が開発を進めている衛星コンステレーション計画。低コスト・高性能な衛星バスと地上の送受信機により、衛星インターネットアクセスサービスを提供することを目的とする。またスペース X は、衛星を軍用や、科学・探検などの用途に販売することも計画している。

スペース X は、総数約 12,000 基の人工衛星を、2020 年代中頃までに 3 階層に渡って展開することを計画している。一つ目が、高度 550km の約 1,600 基の衛星で、次いで高度 1,150km の Ku/Ka バンドを用いる約 2,800 基の衛星、さらに高度 340km の V バンドを用いる約 7,500 基の衛星である。

2019 年 5 月には、商用サービスに向けた最初の大規模な打ち上げが実施された。商用サービスの開始は 2020 年が予定されている。

Starlink (satellite constellation,Wikipedia)

Satellite hardware

The Internet communication satellites were expected to be in the smallsat-class of 100-to-500 kg (220-to-1,100 lb)-mass, and were intended to be in Low Earth Orbit (LEO) at an altitude of approximately 1,100 kilometers (680 mi), according to early public releases of information in 2015. In the event, the first large deployment of 60 satellites in May 2019 were 227 kilograms (500 lb) and SpaceX decided to place the satellites at a relatively low 550 kilometers (340 mi), due to concerns about the space environment.

Starlink satellites use Hall-effect thrusters with **krypton gas** as the reaction mass for orbit raising and station keeping. Krypton Hall thrusters tend to exhibit significantly higher erosion of the flow channel compared to a similar electric propulsion system operated with xenon, but at a lower propellant cost.

※ A Hall-effect thruster (HET) is a type of ion thruster in which the propellant is accelerated by an electric field.

スペース X が低軌道に小型通信衛星 60 機を 1 度に展開！新時代へ 2019.05.24

<https://www.sed.co.jp/contents/news-list/2019/05/0524-1.html>

日本時間 2019 年 5 月 24 日(金)午前 11 時 30 分にスペース X 社の低軌道高速インターネット通信衛星スターリンク(Starlink)60 機を搭載したファルコン 9 ロケットが、ケープカナベラル空軍基地から打ち上げられました。

今回、スペース X 社が打ち上げるペイロードとして、これまでで最も重い約 13,000kg となっています。打ち上げは順調に進み、第一段ロケットは打ち上げから 2 分 31 秒後に切り離され、打ち上げから 8 分 17 秒後に洋上のドローンシップに無事着陸しました。第二段のエンジンも順調に飛行を続け、スターリンク衛星 60 機は結合したまま打ち上げから 1 時間 2 分 14 秒後に、ロケット本体から分離されました。

※  $13000\text{kg}/60=217\text{kg}/\text{衛星}$

スペース X の衛星群、天文学者の「悩みの種」に

<https://www.afpbb.com/articles/-/3227596>

【5月30日 AFP】米宇宙開発企業スペース X (SpaceX) が打ち上げた人工衛星が、明るく光りながら一列に夜空を上昇していく様子は、まるで大ヒット SF 映画のワンシーンのようだった。オランダの天文学者が捉えた映像に、世界中の天文愛好家が魅了された。

だが、この光景を見た天文学者らからは抗議の声も上がっている。先週末打ち上げられた通信衛星 60 基は、スペース X の 1 万 2000 基の通信衛星で宇宙からブロードバンドインターネットサービスを提供する「スターリンク (Starlink)」計画の一環。天文学者らはこれらの通信衛星が地球からの宇宙観測を脅かし、科学的発見に大打撃を与える可能性があるとして訴えている。

スペース X、通信衛星 3 基との交信途絶える スターリンク計画

<https://jp.sputniknews.com/science/201906306416447/>

テック & サイエンス

2019 年 06 月 30 日 スペース X は、スターリンク計画で地球の軌道上に打ち上げた通信衛星 60 基のうち、3 基との交信が途絶え、機能が停止したと発表した。

(参考) イリジウム衛星 (Wikipedia)

衝突事故 詳細は「2009 年人工衛星衝突事故」を参照

2009 年 2 月 10 日 16 時 55 分 UTC に、北シベリア上空約 790km において運用中であった通信衛星イリジウム 33 号が機能停止中であったロシアの軍事通信衛星コスモス 2251 号と衝突し、500 個以上ものスペースデブリを発生させた。これは、宇宙空間で発生した初めての人工衛星同士の衝突事故である。日本デジコムは同 12 日のプレスリリースで、イリジウム社は 30 日以内に衝突し破壊された衛星の軌道上にスペアとなる衛星を再配置する計画であり、ユーザーに対する影響は軽微と発表した。

2007 年に、イリジウム コミュニケーションズは、イリジウム通信衛星 66 機をすべて更新する総額 30 億ドルの次世代衛星通信ネットワーク計画「Iridium NEXT」を発表。2014 年 3 月に、オービタルサイエンシズ社が生産を開始し、軌道上で運用する 66 機と軌道上予備機 6 機、地上予備機 9 機の計 81 機を 3 年間で製造すると発表した。打ち上げは 2015 年 2 月に開始し、2017 年までに全ての衛星を軌道上に展開する予定。