

第1部

「宇宙」

執筆担当

第1章「宇宙利用の歴史と学説」	1等空佐	山下 愛仁
第2章「宇宙領域とは」	2等空佐	上高原 賢志
第3章「宇宙利用の課題」	2等空佐	篠原 秀俊
第4章「日本の宇宙開発と宇宙機能の全体像」	2等空佐	上高原 賢志
第5章「主要国の取り組みの現状」	2等空佐	卜部 泰三
第6章「国際宇宙法（宇宙に関する国際法）」	3等空佐	山本 哲史
付録1「衛星軌道」	2等空佐	上高原 賢志
付録2「宇宙天気」	3等空佐	土持 太郎
付録3「宇宙に係る国際法条文」	3等空佐	山本 哲史

本研究に示された見解は、航空自衛隊幹部学校航空研究センターにおける研究の一環として発表する執筆者個人のものであり、防衛省または航空自衛隊の見解を示すものではありません。

(Intentionally Blank)

目次

1	宇宙利用の歴史と学説	1
(1)	宇宙利用の安全保障上の位置づけの変化	1
(2)	冷戦期の宇宙利用	1
(3)	冷戦後の米国の宇宙利用	2
	ア 砂漠の嵐作戦	
	イ ユーゴ空爆	
	ウ アフガン、イラク作戦	
(4)	今後の展開	3
(5)	ラプトンによる学説分類	3
	ア 聖域学派	
	イ 残存性・脆弱性学派	
	ウ 高地学派	
	エ コントロール学派	
(6)	福島康仁による学説分類	4
	ア 情報学派	
	イ 抗たん性・コントロール学派	
(7)	まとめ	5
2	宇宙領域とは	7
(1)	宇宙領域の特徴	7
	ア 宇宙領域の力学的特性	
	イ 宇宙空間の定義及び軌道の分類	
	ウ 宇宙領域における安全保障	
	エ 宇宙システムの構成	
(2)	機能保証	11
3	宇宙利用の課題	13
(1)	宇宙アセットに対する攻撃手段とその使用事例	13
	ア 運動エネルギーを用いる対宇宙兵器 (ASAT)	
	イ 宇宙アセットに対するサイバー攻撃	

ウ	電子妨害	
エ	指向性エネルギー兵器	
オ	電磁パルス兵器	
カ	その他の妨害手段	
(2)	デブリ	26
ア	デブリの概要	
イ	デブリ発生事例	
ウ	主なデブリ対策	
(3)	これからの宇宙利用	30
4	日本の宇宙開発と宇宙機能の全体像	33
(1)	日本の宇宙開発の歩み	33
ア	黎明期（昭和20年代～40年代）	
イ	自主開発から技術導入時代（昭和40年代後半～50年代前半）	
ウ	科学技術庁主導の宇宙開発と導入技術から脱却した国産ロケット開発へ（昭和50年代～平成10年代前半）	
エ	省庁再編、JAXA設立そして官民連携による宇宙事業の展開（平成10年代前半～20年代前半）	
オ	宇宙基本法の成立に向けた動き（平成20年）	
(2)	日本の宇宙システム	37
ア	高度帯による分類	
イ	利用目的による分類	
(3)	近年の日本の取り組み	41
5	主要国の取り組みの現状	45
(1)	全般	45
ア	概要	
イ	衛星の打ち上げ	
ウ	有人打ち上げ	
エ	衛星保有状況	
オ	世界のロケット打ち上げ射場	
カ	諸外国の宇宙関連予算	

(2) 米国	52
ア 宇宙関係機関	
イ 宇宙政策	
ウ 宇宙利用の動向	
エ 軍事関連	
(3) 中国	62
ア 宇宙関係機関	
イ 宇宙政策	
ウ 宇宙利用の動向	
エ 軍事関連	
(4) ロシア	73
ア 宇宙関係機関	
イ 宇宙政策	
ウ 宇宙利用の動向	
エ 軍事関連	
(5) 欧州	79
ア 宇宙関係機関	
イ 宇宙政策	
ウ 宇宙利用の動向	
エ 安全保障	
(6) インド	83
ア 宇宙関係機関	
イ 宇宙政策	
ウ 宇宙利用の動向	
6 国際宇宙法（宇宙に関する国際法）	89
(1) 国際法の理解	89
(2) 国際宇宙法の概要	91
ア 主要5条約	
イ 慣習法	
ウ 宇宙活動に関するソフト・ロー	
エ 軍事利用に対するその他の制限	

(3) 武力行使法及び武力紛争法の宇宙空間への適用	109
(4) まとめ	111

付録

1 衛星軌道	113
2 宇宙天気	135
3 宇宙に係る国際法条文	141

1 宇宙利用の歴史と学説¹

本章は、これまで宇宙利用をリードしてきた米国の動向や学説を概観し、次章以下の理解を助けることを目的とするものである。

(1) 宇宙利用の安全保障上の位置づけの変化

冷戦下の宇宙利用は、核抑止や軍備管理といった安全保障の戦略レベルにおける活動の一環として発展していった。

しかし現在は、安全保障分野だけでなく、民間レベルの宇宙利用が急激に進展している。安全保障分野においても、宇宙利用は戦略レベルから作戦・戦術レベルにまで拡大しており、必要不可欠な要素となっている。

なお、冷戦期における宇宙利用は、相互抑止という核戦略を技術面でサポートするものであったことから、米ソ両国は、戦略的安定性を損なうことにつながる宇宙アセットに対する直接攻撃を控えていた。他方、昨今の情勢は、冷戦期とは異なる様相を見せていることに注視する必要がある、特に、宇宙領域そのものが戦場になるかという課題に留意しなくてはならない。

そこで本章では、米国の取り組みを中心に宇宙利用の発展を概観し、安全保障における宇宙領域の重要性を浮き彫りにする。

(2) 冷戦期の宇宙利用

米国における宇宙利用は、安全保障分野から始まった。特に、核戦略を遂行する観点から、宇宙利用は、戦略レベルにおいて発展した。冷戦期、ソ連が核兵器を保有した後、米国にとっての安全保障上の最重要課題は、ソ連による奇襲、とりわけ核兵器によるそれを如何に防止するかにあった。そのため米国は、航空機による偵察活動を実施していたが、これは、ソ連の領空を侵犯するという国際法上の問題と、ソ連の要撃による撃墜のおそれが常につきまとうものであった。

他方、人工衛星（以下「衛星」という。）による偵察は、国際法違反である領空侵犯を行うことなく且つ搭乗員を危険にさらすことなく実施できることから、航空機による偵察活動が抱える課題を克服するものであった。実際、1960年には米国偵察機がソ連戦闘機に撃墜される事例が発生しており、搭乗員を危険にさらすことを避けることが、宇宙利用を後押しする動機に

¹ 本章全体の記述については、福島康仁『宇宙利用をめぐる安全保障秩序：変容する宇宙の軍事利用と宇宙ガバナンス』慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科博士論文（2015年）を参照した。

もなった。

冷戦期の宇宙利用の基本的コンセプトは次のとおりであり、端的に言えば、宇宙利用は、核戦略の遂行（後に核の軍備管理履行を含む）という、運用ニーズに応じて展開したのである。

米国における宇宙利用の当初の主眼は、核戦力の適切な運用にあった。そのため、まず、核戦力の中核を担っていた戦略爆撃機を適切に運用する観点から、ソ連の防空網を把握するための電波収集を目的とする偵察衛星を整備することとした。

また、ソ連のミサイル・サイトなどの位置を把握し、ターゲティングの精度を高めるための画像偵察衛星及び発射兆候を探知するための早期警戒衛星を整備した。なお、当時の画像偵察衛星のセンサーは光学であり、雲の影響が不可避であった。そのため、画像偵察衛星を適切な運用に必要な気象衛星を整備した。

さらに、核抑止の鍵を握る第 2 撃能力（相手の先制核攻撃に対して報復攻撃を加える能力）の重要な役割を担う戦略原潜による SLBM の発射を正確に実施するための測位衛星及び戦略原潜を適切に指揮統制するための通信衛星を整備した。

このようにして整備された画像偵察衛星等は、米ソが行った核兵器に係る各種の軍備管理における履行状況を検証する手段としても使われていくこととなる。

以上のように、冷戦期においては、核戦略及び軍備管理を目的とした宇宙利用が米ソを主体として進展し、電波収集偵察、画像偵察、気象、早期警戒、測位、通信の各機能を有する衛星が整備されていった。

（3）冷戦後の米国の宇宙利用

上述のとおり、冷戦期における安全保障上の宇宙利用は、主として核戦略や軍備管理という戦略レベルのニーズに基づくものであった。

冷戦後、戦略レベルの宇宙利用、即ち、核の運用に伴う宇宙利用が引き続き行われている一方で、作戦レベルの宇宙利用が拡大し、宇宙空間における情報ネットワークが重要な地位を占めるようになった。宇宙利用によって、C4ISR 機能の強化が図られるようになったのである。作戦レベルの宇宙利用の拡大に関する細部は次のとおりである。

ア 砂漠の嵐作戦

1991 年の砂漠の嵐作戦では、宇宙のアセットが ISR、通信、測位の面

で活用され、地上における作戦の遂行を支えた。

ISR では、冷戦期ソ連の核兵器の位置情報を得るために活用されていた画像偵察衛星がイラクのスカッドの位置情報を得るために利用されるとともに、戦果の評価にも活用された。

通信では、10 機以上の通信衛星が作戦レベルで使用され、通信所要の約 80 パーセントを通信衛星が担ったとの指摘もある。

測位衛星についても、巡航ミサイル・トマホークの発射座標の特定に用いられたほか、部隊の移動、火砲の運用などにも用いられた。

このような衛星所要を満たすため、開戦までの 5 か月間に、6 機の衛星が打ち上げられたとされる。

イ ユーゴ空爆

1999 年のユーゴ空爆においては、ISR、通信、測位の面で、50 機以上の衛星が活用された。特に偵察衛星は、ターゲティングの分野で最も重要な情報源となった。

ウ アフガン、イラク作戦

2001 年のアフガン作戦においては、100 機以上の衛星が活用され、2003 年のイラク作戦においても 50 機以上の衛星が活用されたと言われている。

(4) 今後の展開

以上のように、米国は冷戦後、冷戦期の戦略レベルから作戦レベルへと宇宙利用を拡大させ、現在は宇宙利用なくして作戦が成立しない状況にある。

(5) ラプトンによる学説分類

米軍の例で見たような宇宙への依存度の高さの変化は、宇宙利用の位置づけを変化させる可能性を秘めている。そこで、宇宙利用の考え方に関する諸学説を整理しておく。ここで言う学説は、自然科学的な意味での実証可能な学説というより、宇宙空間のあり方、あるいは宇宙空間の価値を巡る区分である。

特に有名なものとしては、退役米空軍中佐、デイビッド・ラプトン(David Lupton)による分類がある。ラプトンは、その著 *On Space Warfare* において、宇宙空間の軍事的価値を巡る考え方について、次のように区分した。

- ① 聖域学派 (the sanctuary school)
- ② 残存性・脆弱性学派 (the survivability/vulnerability school)
- ③ 高地学派 (the high ground school)
- ④ コントロール学派 (the control school)

ア 聖域学派

聖域学派とは、核の戦略的安定性を図るために宇宙利用が必要であり、そのため、宇宙空間を戦場にせず、聖域にすべきである、と説く考え方である。冷戦期の米ソは、概ねこの考え方を是としていたと言える。

イ 残存性・脆弱性学派

残存性・脆弱性学派とは、宇宙におけるアセットは、陸海空におけるアセットに比して脆弱であり、かつ残存性が低いことから、宇宙空間の安全保障上の役割を疑問視する考え方である。

ウ 高地学派

高地学派とは、文字通り高地の軍事的価値を重視するため、宇宙空間を最も高い高地と位置づけ、宇宙空間の重要性を強調する考え方である。

高地学派は、聖域学派が核の戦略的安定性を重視するのは異なり、宇宙配備型の弾道ミサイル防衛システムを肯定する。

レーガン政権下において、SDI (Strategic Defense Initiative) という高地学派に沿った戦略が打ち出されたが、現在、このような戦略に基づく宇宙利用はなされていない。

エ コントロール学派

宇宙空間をコントロールすることが重要である、という考え方である。これは、制空、制海という概念を宇宙に適用するものである。宇宙コントロールの役割は、あくまでも陸海空ドメインの支援として位置づけられるが、コントロールの手段として、ASAT (Anti-satellite weapon : 衛星攻撃兵器) の必要性を認めている。

(6) 福島康仁による学説分類

ラプトンの議論を踏まえ、宇宙空間の価値についてより現実に即した分類を行ったのが、福島康仁である。福島の分類は次のとおりである。

- ① 聖域学派
- ② 情報学派 (the information school)

- ③ 抗たん性・コントロール学派
(the survivability/resilience and control school)
- ④ 高地学派

①と④はラプトンの分類と同様であるが、福島は新たに、②情報学派と③抗たん性・コントロール学派という分類を行った。それぞれの分類の概要は、次のとおりである。

ア 情報学派

情報学派とは、陸海空の戦闘に対し、宇宙を情報の観点から支援する空間と位置づける考え方である。

情報の収集・経由・配布の起点として宇宙空間を位置づけているのが、この学派の特徴である。

イ 抗たん性・コントロール学派

抗たん性・コントロール学派とは、宇宙利用を否定することがもはやできない状況に鑑み、脆弱である宇宙アセット自体の残存性を強化するとともに、宇宙機能のレジリエンスを強化し、宇宙空間をコントロールしようとする考え方である。これは、対宇宙兵器の発展に伴う考え方であり、対宇宙兵器を次のように分類することが可能であるとしている。

- ① 運動エネルギーによる ASAT 兵器
- ② 指向性エネルギー兵器
- ③ 電磁パルス
- ④ 電子妨害

対宇宙兵器の内容の詳細については、3章を参照されたいが、ここでは、対宇宙兵器の登場が、抗たん性・コントロール学派の到来を促すようになってきたことを理解する必要がある。

即ち、宇宙利用の安定化を図るため、脆弱である宇宙アセット自体の残存性を強化するとともに、宇宙機能のレジリエンスを強化し、宇宙空間をコントロールしようとする考え方である。

(7) まとめ

以上、宇宙利用を巡る歴史的変遷と学説について概観した。さしあたり理

解すべき事項は、次のとおりである。

第1に、現状においては、好むと好まざるとにかかわらず、宇宙利用なくして、戦略レベルはもとより作戦レベルにおいても、エア・パワーは機能しない。

第2に、宇宙アセットが脆弱であることに留意しなくてはならない。

第3に、したがって、脆弱なアセットをどのように保全し、あるいは補完するかが、重要な課題となる（この帰結として、そもそも今後かかる脆弱なアセットの利用について拡大深化させるのか、検討の余地がある）。

第4に、仮に、例えば高地学派に基づき宇宙空間を捉えた場合、いわゆる戦略的安定性がどのようになるのか、という視点からも評価する必要がある。宇宙利用については、現状がどのようになり、今後どのようにあるべきか、という双方の視点から、常に主体性を持って考え続ける必要がある。

2 宇宙領域とは

前章では、宇宙利用の経緯及び宇宙利用の考え方について述べた。この章では、軍事活動（軍事作戦）における宇宙領域について述べていきたい。

戦争は、人類学的な定義に従うと、「武力（武器）を伴った集団間の戦い」である。敵対する大規模な集団が、互いの戦力を徹底的に破壊しようとする行為を戦争としてとらえると、組織的な戦争の起源は紀元前 12 世紀ごろのカデイシュの戦いやトロイア戦争となる。地上戦から始まった最初の戦争から、時代を下ること三千数百年、宇宙領域は、1957 年にソ連がスプートニクを打ち上げて以降利用が始まった。領域を「戦う（戦闘する）ための物理的 2 次元、3 次元、または仮想的な空間」とすると、宇宙領域は、まさにこの時から始まったと言える。

新領域と呼ばれている宇宙は、従前領域である陸海空あるいはサイバーとは物理的、軍事的には異なった特徴を有する。それらを以下に述べていきたい。

（1）宇宙領域の特徴

飛翔物体に働く力は航空領域と宇宙領域で大きく異なるが、この差異は、安全保障における両領域の扱いの差異に直結することになる。そこで、宇宙領域の力学的特性を概観し、そこから生じる宇宙領域の種々の特徴を整理する。

ア 宇宙領域の力学的特性

航空機に働く力は、推力、重力に加えて空気力（揚力、抵抗）があるが、衛星等の宇宙物体に働く力は、宇宙空間に空気がほとんどないため、推力と重力の 2 つのみを考えればよい。

地球周回軌道上の衛星は、地球の重力に引っ張られながらも、空気抵抗がほぼない環境で減速せずに高速で飛翔し続けることから、一定の軌道を定常的に周回している。

この軌道を変更するためには、大気中を飛行する航空機のように翼周りの空気力を利用した旋回や減速ができないため、専ら推力に頼らざるを得ない。しかし、打ち上げには重量の制約が非常に大きく、衛星に搭載できる推進薬の量は限られる。また、頻繁に軌道変更を行うことは推進薬を早期に消費することにつながり、衛星の寿命を縮めることにもなる。

このような力学的な特性と軌道変更に関する制約から、ほとんどの衛

星は、一度目的の軌道に投入された以降、大きな軌道変更を行うことなく一定の軌道を周回しながら機能を発揮する。

イ 宇宙空間の定義及び軌道の分類

国際航空連盟（Federation Aeronautique International : FAI）は、高度 100km から上を宇宙と定義している。したがって、宇宙領域を利用するという事は、これまでの陸海空領域と比較するとはるかに広大な物理的空間を扱うことを意味する。

宇宙領域の利用は、地球表面からの高度帯により、①低軌道（地球表面からの高度 2,000km 以下（Low Earth Orbit : LEO））、②中軌道（高度 2,000km から 36,000km 未満（Medium Earth Orbit : MEO））、③地球同期軌道（高度 36,000km の軌道であり、静止軌道を含む。（Geostationary Orbit : GEO））、④地球同期軌道外（高軌道も含み、36,000km 以上（High Earth Orbit : HEO））の 4 つに大きく分類される。細部は付録 1 「衛星軌道」を参照。

一般的に、地球を周回する衛星は静止軌道までの高度帯に打ち上げられる。各軌道高度帯における衛星の特徴を表 2-1 に示す。地球同期軌道外は月探査や地球外惑星等の調査目的で打ち上げられる宇宙船が主に活動する領域であるが、この領域での宇宙開発（探査）は近年再び活発になっている。特に、米国が 2019 年 3 月に発表したアルテミス計画では、2024 年に有人月飛行を予定している。この領域での軍事的価値はまだ不明であるが、米国がアルテミス計画で建設を計画している、「月軌道プラットフォーム・ゲートウェイ」が完成すると、軍事的価値が発生する可能性がある。

衛星から見た静止軌道までの高度帯（LEO、MEO 及び GEO）の特徴は次のとおり。最近、米国は低軌道における衛星コンステレーション（特定の方式に基づく多数個の衛星群で、協調した動作を行わせることで目的を果たしている。）を強く推し進めている。詳細は他の章で述べる。

表 2-1 各軌道高度帯における衛星の特徴

	低高度 (LEO)	中軌道 (MEO)	地球同期軌道 (GEO)
衛星投入エネルギー	小	中	大
衛星小型化	容易	やや難しい	困難
衛星燃料	一般的に少ない(衛星寿命に比例)	中程度	多い
衛星寿命	短い	中程度	長い
衛星打ち上げ費用	安価	中程度	高額
備考	地球からの距離が短いため、センシングに適している。	広範囲をカバーできるため、測位に適している。	広範囲をカバーできるため通信等に適している。

ウ 宇宙領域における安全保障

宇宙物体が一定の軌道を描いて地球を周回するという宇宙領域における力学的特性は、安全保障における宇宙領域の扱いと陸海空領域の扱いとの間に先天的で決定的な差異をもたらす。即ち、宇宙領域における活動は、地上の地理的な境界の鉛直線で囲まれる領域内に収まらないため、領有(領土・領海・領空)や国境の概念が成立しない。また、必然的にグローバルな活動が必要となる。

国境がない宇宙は国際共用空間であり、いずれの国家も特定の空間を支配し、その空間に主権(管轄権)を行使することはできない。このため、侵入してくる他者を排除するという伝統的な防衛の概念は成立せず、安全保障における活動の目的は、航空領域が「主権の擁護」であるのに対して、宇宙領域は「利用の確保」が主となる。また、活動範囲も、航空領域が領空を中心とした我が国近傍での活動であるのに対して、宇宙領域はグローバル空間(超広大な空間)での活動となり、宇宙領域は、航空領域以上に多方面との協力・共同なしでは活動(利用)できない。したがって、宇宙における優勢の確保とは、利用する宇宙能力の質・量において脅威国に対して相対的な優位を確保することを意味する。航空領域と宇宙領域の安全保障面での比較は表 2-2 のとおり。

表 2-2 航空領域と宇宙領域の比較（安全保障面）

	航空	宇宙
空間の特性	物理的空間	物理的空間
国境の概念	有	無（国際共用空間：Shared Space）
任務	領空としての主権の擁護（AC&W）	宇宙利用の確保（国際共用空間）
我が国の安全保障における活動範囲	我が国近傍	全球的
領域内での人間活動	輸送手段等として日常的に広く利用	極めて限定的
天象・気象の影響	大	有（太陽風等の宇宙気象）
見通し距離	小（陸海よりはる大）	大
利用に係る国際的枠組み	多数	少数
地上施設依存度	大（飛行場等）	大（打ち上げ施設等）
利用コスト	大	極めて大
属性特定 ²	容易	困難（ただし、脅威の種類によっては容易な場合あり。）

エ 宇宙システムの構成

宇宙システムとは、宇宙領域に係る機能を発揮するためのシステムのこと、4つのセグメントから構成される。

- ・地上管制局（グラウンド・セグメント）
- ・衛星（スペース・セグメント）
- ・使用者端末（ユーザー・セグメント）
- ・無線区間（リンク・セグメント）

これらのセグメントには、宇宙状況監視・把握のためのシステム、衛星通信システムなどの各種衛星システムや宇宙領域に係る指揮統制システ

² ここでは、発信源や攻撃元を特定することを言う。英語では「attribution（アトリビューション）」であるが、定訳は未確定である。

ムなどが含まれる。例えば衛星システムの場合、衛星とその運用に必要な地上設備・端末装置及びそれらをつなぐ通信リンクといった機能発揮上必要なシステム全体を指す。

(2) 機能保証

宇宙領域には、宇宙システムに対する様々なリスクや脅威が存在する。このような中で、任務遂行上、利用している各種の宇宙システム群の機能について保証することを機能保証という。この概念は米国において明確に定義されている³。

機能保証を達成するためにはリスクの低減や代替・補完手段も含めて、平素からの中長期的な取り組みと事態対応時の措置の両方が必要となる。

機能保証は、宇宙領域での手段による「宇宙領域機能保証」、宇宙以外の手段（航空機等）による「代替領域機能保証」、これらの組み合わせにより代替・補完する「領域横断的機能保証」に分類される。

「宇宙領域機能保証」には、①防勢的作戦（敵の対宇宙キルチェーンを妨害等により脅威を低減）、②再構築（民間衛星の緊急契約等により作戦上所要の能力を回復）、③抗たん性（強靱性を高めた宇宙システムの構成等）の3つの要素がある。このうち「抗たん化」については、防衛力整備から運用段階に至るまで、次の幅広い措置等がある。細部は第3章を参照。

ア 分担

エスカレーション防止等の観点から任務目的ごとに能力を明確に弁別

イ 分散

宇宙システム構成上の複数ノードを活用

ウ 多様化

手段、軌道、官民、国際、多様な構成により宇宙機能を構築

エ 防護

宇宙システム設計段階における防護機能の付加及び対処

オ 多重化

宇宙システムの構成上のノード数を努めて多数保持

カ 欺瞞

我宇宙システムの機能・性能や運用状態等を誤認させる

³ 米軍では、「mission assurance」と言われており、直訳すれば「任務保証」となるが、その意味するところに鑑み、日本語では「機能保証」と訳されることが多い。“Space Domain Mission Assurance: A Resilience Taxonomy,” Office of the Assistant Secretary of Defense for Homeland Defense & Global Security, September 2015.

(Intentionally Blank)

3 宇宙利用の課題

本章では、宇宙利用が拡大し、宇宙アセットに対する依存度が深化する中で、宇宙アセットの脆弱性がもたらす宇宙利用の課題を明らかにする。具体的には、近年の宇宙アセットに対する攻撃手段及びそれを使用した実例と、もう一つの脅威であるスペース・デブリ（宇宙ゴミ、以下「デブリ」という。）の実態を示す。

冷戦期、衛星による監視や偵察から始まった宇宙利用は、その後軍民両面での活用が広がり、今日では重要な社会インフラの一部となった。それに伴い、宇宙アセットは社会的、経済的、そして軍事的な重心となり、潜在的な敵対者からの攻撃対象となりやすくなった。福島は、このような時代を抗たん性・コントロール学派の時代と分類し、宇宙利用の妨害を目的とした対宇宙兵器の類型と拡散問題について考察している。本章では、福島論文を参考にしながら、宇宙アセットに対する攻撃手段のうち、特に注目すべき手段について使用事例とともに紹介する。また、宇宙アセットに対するもう一つの脅威であるデブリについて、その概要と対策について紹介する。最後に、これからの宇宙利用についてまとめる。

(1) 宇宙アセットに対する攻撃手段とその使用事例

福島は、対宇宙兵器として、4つの類型が存在するとした⁴。その4類型とは、①運動エネルギー（kinetic energy）、②指向性エネルギー（directed energy）、③電磁パルス（electromagnetic pulse : EMP）、④電子妨害（electronic interference）である。米国の政略国際問題研究所（Center for Strategic and International Studies : CSIS）も、概ね同様の類型を示しているが⁵、同研究所は宇宙アセットに対するサイバー攻撃手段を対宇宙兵器として含めている点で、福島の類型とは異なる。本章では、これらの類型を参考にしながら、特に今後注目すべき攻撃手段について紹介する。

ア 運動エネルギーを用いる対宇宙兵器（ASAT）

一般的に ASAT というときには、運動エネルギーを用いた兵器を指すことが多い⁶。攻撃方式としては、直接上昇（direct-ascent）方式と同軌

⁴ 福島康仁『宇宙利用をめぐる安全保障秩序：変容する宇宙の軍事利用と宇宙ガバナンス』慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科博士論文、2015年、95-117頁。

⁵ Todd Harrison, Kaitlyn Johnson, etc., “Space Threat Assessment 2020,” CSIS, March 2020.

⁶ 指向性エネルギー兵器や EMP 兵器、電子妨害、サイバー攻撃などを含めて ASAT 兵器と定義している

道 (co-orbital) 方式の二つがある。直接上昇方式は、運動エネルギー迎撃体 (kinetic kill vehicle : KKV) を搭載したロケットを弾道軌道に打ち上げ、KKV の直撃で目標衛星を破壊する。一方、同軌道方式は、KKV をロケットで軌道投入した後、KKV 自体が機動し、衝突もしくは金属片の散布により目標衛星を破壊する。

ASAT の利点は、他の攻撃手段と比較すると天候の影響を受けにくいほか、攻撃の効果を評価することができる点にある。また、直接上昇方式であれば低軌道に KKV を数分で到達させることができるため、攻撃目標衛星に回避機動を行う余裕をほとんど与えることなく攻撃できる⁷。他方で、衛星の破壊によって大量のデブリを発生させるため、類似の軌道を周回する (自国を含めた) 衛星の運用まで妨げるおそれがある。

ASAT の配備を試みた又は試みている国としては、米露 (ソ) 中及びインドの 4 か国が挙げられる。米国は、1970 年代後半から 1980 年代末にかけて、直接上昇方式の ASM-135 の開発を行った。これは F-15 戦闘機から発射する 2 段式ミサイルに搭載した KKV の直撃により、低軌道上の衛星を破壊するものであった。この兵器の利点は、航空機を用いるため発射のタイミングを柔軟に選択でき、また直接上昇方式であるため発射から目標破壊までの時間が短いことである。米国は 1984 年から 1986 年にかけて 5 回ほど発射試験を実施し、1985 年の試験では衛星破壊に成功している。しかし同年末に米議会が衛星破壊を伴う試験を禁止し、1988 年には開発そのものが中止された。ただし、2008 年 2 月に大陸間弾道弾迎撃ミサイルである SM-3 を用いて衛星破壊を行っている。これは、制御不能により地上への落下が懸念されていた自国の偵察衛星を破壊したものである。この破壊の理由について米国は、衛星に搭載された毒性が強いヒドラジンのタンクを大気圏突入前に破壊して、地上に落下する危険を回避するためであったと発表している。

ソ連は、1960 年代半ばから同軌道方式の ASAT 開発を進め、世界で唯一このシステムを実戦配備した国である。弾道ミサイルによって打ち上げられた迎撃体から、破片が爆薬によって散布される方式を採用してい

文献もあるが、米軍統合ドクトリンでは、宇宙作戦に対する意図的な脅威の例として、「ジャミング、レーザー、サイバー攻撃、そして ASAT 兵器」と記して ASAT 兵器とその他の攻撃手段を分別している。Join Chief of Staff, *JP 3-14: Space Operation*, 10 April 2018, p.I-6.

⁷ ただし、発射元を特定しやすいため静止軌道であれば到達までの時間を利用して、衛星がマヌーバーによって攻撃を回避する可能性がある。

た。1968年には衛星の迎撃実験に成功し、その後も試験を継続して1979年に実戦配備した。その後は改修によって、より高高度（静止軌道を含む）に位置する衛星や回避機動をとる衛星にも対応可能なASATを開発したと言われている。また、1984年からは、MiG-31D戦闘機を用いた空中発射型直接上昇方式のASAT開発を試みた。この開発は冷戦終結時に一度開発が中止されたが、2018年12月には新たにPL-19 Nudol（ヌードリ）と呼ばれるASATの破壊を伴わない実験に成功した。ヌードリは、低軌道上の通信や画像衛星を標的として開発されたASATと言われている。

中国は、移動式準中距離弾道ミサイルの派生型と言われる直接上昇方式のASATの開発を進め、2007年1月11日に低軌道上を周回していた自国衛星の破壊実験に成功した。冷戦後、世界で初めて行われたこの実験は、10cm以上のデブリを3,378個発生させ、大量のデブリが低軌道全体に拡散した。その結果、中国自身の衛星も含め多くの衛星が回避行動を余儀なくされ、国際社会から厳しく非難された。その後も、中国は標的の破壊を伴わない実験を数回繰り返したと見られている。また、長射程の直接上昇方式による衛星破壊兵器も開発中と見られ、2013年5月に実施された衛星破壊を伴わない発射試験では、その最高到達点が3万kmを越えた。中国当局は、この実験を気象観測ロケットの発射と説明しているが、米国防総省は従来の打ち上げとは異なる特性であったとし、この兵器が静止軌道上の衛星を射程に収める可能性を指摘している。この兵器の運用が開始された場合、史上初の静止軌道を射程に収めるASAT兵器となる。

インドは、2019年3月27日に、ミサイルを用いた自国衛星破壊実験に成功した。ミサイル発射から破壊までの時間は、わずか3分であったとされる。米空軍は、この実験によって400個以上のデブリの発生が見込まれると発表している。一方、インドは300kmの低軌道で実験を行ったため、デブリは数週間のうちには大気圏に突入して消滅するとしていた。インドは、2012年に行ったAgni-5弾道ミサイルの発射実験の際に、当時の国防研究開発機構長官が、同ミサイルはASATに応用可能であると発言して、ASATへの関心を示していた。

イ 宇宙アセットに対するサイバー攻撃

サイバー攻撃は、宇宙アセットの中で使用されている電子データ、もしくはこの電子データを介して作動する宇宙システムの機能不全を目的と

したサイバー空間を利用した攻撃である。冷戦後、宇宙アセットに対する新たな攻撃手段として注目され始めた。

サイバー攻撃の特性は、宇宙アセット以外に対するサイバー攻撃と同様、攻撃側の特定が難しくかつ攻撃を受けていることをすぐに認知できない場合が多い。また、特殊な装備を整備する必要はなく、特定の知識を有すれば個人や非国家主体であっても世界中のあらゆる場所で攻撃を仕掛けることができる。対宇宙兵器という視点で考えると、物理的な破壊をもたらすことなく宇宙システムに対して妨害を行ったり機能低下をもたらしたりすることができるため、デブリを発生させずことなく目的を達成できる。また、サイバー攻撃によって単に相手の衛星を機能不全にさせるだけではなく乗っ取ることも可能であり、それにより相手の衛星を墜落させたり他の衛星に衝突させたりするといった攻撃方法も考えられる。

宇宙システムに対するサイバー攻撃の実例としては、2007年から2008年にかけて、米国の民間の地球観測衛星が相次いでサイバー攻撃を受けたと言われている。2007年10月20日及び2008年7月23日には、米国海洋大気庁（NOAA）と米国地質調査所（USGS）が共同管理する地球観測衛星ランドサット7の通信機器（TT&C）制御が12分以上奪われた。TT&Cは、衛星を地上から運用するのに必要な通信機器で、テレメトリ、トラッキング及びコマンドの3つの機能から構成される。NOAAの衛星に対する攻撃は、2014年にも発生しており、このときには情報気象衛星が2日間作動停止に追い込まれた。また、2008年6月20日及び2008年10月22日には、米国航空宇宙局（National Aeronautics and Space Administration: NASA）の地球観測衛星テラ AM-1の通信機器（TT&C）制御が9分間奪われた。これらの事例における攻撃実施国は公表されていないが、CSISは2018年のレポートで全て中国によるサイバー攻撃であったとしている⁸。

ウ 電子妨害

電子妨害とは、衛星と地球局を結ぶ通信リンクに対して、ジャミングもしくはスプーフィングという手法を使って攻撃するものである。ジャミングとは、相手の周波数に強力な信号（ノイズ）を被せることによって通信等を妨害することである。他方、スプーフィングとは、意味のないノイ

⁸ Todd Harrison, Kaitlyn Johnson and Thomas G. Roberts, “Space Threat Assessment 2018,” CSIS, April 2018, p. 11.

ズを送信するジャミングとは異なり、本来の信号を模倣した信号を送ることにより、同信号を利用する相手をおぼろしくすることである。偽りの場所やタイミングを受信者に誤認させることによって、意思決定や行動を左右できる可能性がある。

電子妨害には、ダウンリンク（衛星から地上局やユーザーへの信号）に対して行う場合と、アップリンク（地上局やユーザーから衛星への信号）に対して行う場合の二種類があり、一般的にダウンリンクに対する妨害の方が容易とされる。その理由は、衛星から発せられる信号は距離による減衰が生じる一方で、妨害装置は受信者の近傍にあるため、出力面で衛星からの信号を上回ることが比較的容易となるからである。アップリンクへの妨害は、信号の受け手である衛星が宇宙空間にあるため、地上局等からの信号と電子妨害の信号はほぼ同様に距離の減衰の影響を受けることになり難易度が増す。

電子妨害の利点としては、他の妨害手段に比して発信源が特定されにくいこと及び攻撃によってデブリを発生させるおそれがないことが挙げられる⁹。また、全地球測位システム（Global Positioning System : GPS）に対するダウンリンクへの妨害の場合、市販されているジャミング装置で比較的容易に妨害することができ、個人で入手することも可能である（写真 3-1）¹⁰。スプーフィングにはジャミングよりも高度な技術が必要になるが、関連装置は発売されている。一方で不利点としては、攻撃の効果を評価しにくいこと及び低軌道上からダウンリンクへ電子妨害を行う場合、多数の衛星を配置しなければ特定の地点を妨害し続けることができないことが挙げられる。また、アップリンクへの妨害には目標とするトランスポンダー（再送信機）の向きと受信周波数を知る



写真 3-1 市販されている GPS ジャミング装置

⁹ 発信源や攻撃元を特定することを、英語では attribution というが、定訳は未確定である。

¹⁰ 写真は、Harrison, Johnson and Roberts, “Space Threat Assessment 2018,” p.5.より引用。

必要があるほか、妨害を効果的に行うためには目標衛星下方の放送・受信エリア（フットプリント）に入る必要がある。その場合、地球周回速度が高度によって異なるため継続的な機動を行わなければならない。

電子妨害装置は比較的入手が簡単なため、米露以外の国や組織、個人にも拡散が進んでおり、実戦で使用されている。ロシアは米ソ冷戦期から開発を行っている。米国は、有事の際に敵対者による GPS 利用を防ぐため、当該地域において民生用シグナルへの電子妨害を自ら行うことを公に認めている。また、米軍は 2005 年から中央軍の作戦区域において、衛星通信への電子妨害を探知し発信源を特定する「静かな見張り作戦（Operation SILENT SENTRY）」を実施している。2003 年のイラク戦争では、イラクが GPS へのジャミング装置を使用し、これに対して米軍は空爆で対抗した。米軍が戦闘作戦中に GPS 妨害を受けたのも、敵対者の対宇宙兵器を無効化する作戦を実施したのも、これが初めてであった。米軍はこのとき初めて「防勢的宇宙コントロール」の一種である対宇宙兵器制圧作戦（suppression of adversary counterspace capabilities : SACC）を実施した。また、米国本土では、市販の GPS 妨害装置を購入した個人によって、ニューアーク国際空港の航空機 GPS 誘導に障害が発生するという事件も起きている。さらに、米軍は GPS が機能しない環境下における作戦を想定した訓練を 2018 年 1 月に実施している。この訓練は、米統合軍のほかオーストラリアや英国の空軍も参加した演習（レッド・フラッグ）の一環で実施され、GPS 衛星が機能しなくなり、演習地であるラスベガスとその周辺の州一帯において GPS が全面的にブラックアウトになったという想定で実施された。

近年、ロシアも積極的にこの電子妨害を使用しているものと思われる。2018 年にはシリアの反体制派が使用していた無人機（UAV）を着陸させたり、NATO



写真 3-2 ロシアの車載型ジャミング・システム
Krashukha-4

による大規模演習「トライデント・ジャンクチャー」に対して GPS へのジャミングを実施したり、欧州安全保障協力機構（OECD）のウクライナ特別監視団が使用していた UAV にジャミングをかけて行方不明にさせたりした疑いが持たれている（写真 3-2）¹¹。

中国も電子妨害装置搭載車両を保有していると思われるほか、中国版 GNSS である航法衛星「北斗」の利用が妨害される事態を視野に入れ、北斗システムの対ジャミング能力の強化に取り組んでいる。

その他の国においても衛星通信・放送に対する電子妨害は、これらの利用拡大に伴い急増するとともに日常化してきている。北朝鮮は、2010 年から 2012 年にかけて、韓国に対する GPS へのジャミングを複数回実施し、南北境界線付近の航空機や船舶、車両の測位・航法に影響を与えたと言われる。日本は、この電子妨害について、2015 年度、防衛省技術研究本部（現 防衛装備庁）において研究を開始した。

エ 指向性エネルギー兵器

指向性エネルギーを用いた対宇宙兵器とは、レーザーやマイクロ波を用いて軌道上の衛星を攻撃する兵器で、エネルギー出力によって一時的な機能麻痺から恒久的な損傷まで多様な影響を衛星に与えることができるとされている。その方法は、レーザー照射によるセンサーの一時的麻痺や機能喪失、マイクロ波による電子機器の恒久的な機能喪失などが考えられている。

指向性エネルギーを用いる兵器の利点は、ASAT に比してデブリを発生させる可能性が少なく、攻撃の発進源を特定されにくいことである。他方、不利点は、天候の影響を受けやすいことや、リレーミラーを用いなければ見通し線内の目標しか攻撃できないことが挙げられる。指向性エネルギー兵器は、より高高度に配備することによって、大気によるビームの減衰や拡散を低減できるという利点があるものの、これまでのところ実用化には至っていない。

指向性エネルギーを用いる兵器の研究・開発を行った国としては、米ソ（露）中がある。米国は、1960 年代初頭から衛星の赤外線センサーなどにマイクロ波を照射して無力化する研究を進め、1980 年代の SDI 構想では宇宙配備レーザーによる衛星攻撃も検討された。これらの研究・開発は

¹¹ 写真は、Harrison, Johnson and Roberts, “Space Threat Assessment 2018,” p.14.より引用。

冷戦後も継続され、1997年には地上配備型レーザー兵器 MIRACL (Mid-Infrared Advanced Chemical) を用いて自国衛星のセンサーに対する実験を行っている。また、航空機搭載型レーザー (Airborne Laser : ABL) の開発も進められており、現代では滞空型 UAV 搭載型 ABL が検討されている。

ソ連も 1960 年代から宇宙空間への配備を視野にいたした研究・開発を進めていたと言われ、地上配備レーザー兵器に至っては衛星に対する照射能力を有していたと見られている。1990 年代からは、航空機搭載型レーザーの開発を行っており、2009 年には高度 1,500km の低軌道上の衛星に対してレーザー照射を実施している。このレーザーは、衛星を破壊する能力はないが、センサー機能を一時的に喪失させる能力は有している可能性がある。

中国についても、指向性エネルギー兵器の研究・開発を進めているものと思われる。2006 年には、米国の偵察衛星に対する「目くらまし」を目的にしたと思われる攻撃が、中国の地上発射型レーザーによって実施されたとの報道が流れた。米国の偵察衛星による中国領土の撮影を阻止するために、定期的に軌道を移動する衛星が中国上空を通過するときを狙って、複数回レーザー照射が行われたとされている。

オ 電磁パルス兵器

電磁パルス (Electromagnetic Pulse : EMP) 兵器というのは、意図的に発生させた電磁パルスによって衛星の電子機器を破壊するものである。EMP は、熱核兵器を高高度で爆破させることによって発生させることができる。広島級の核兵器を高度 125~300km で爆破させた場合、数週間から数か月以内に、特別な防護が施されていない全ての低軌道上の衛星が機能不全に陥る可能性があると言われている。

したがって、EMP 兵器を使用する場合には、ASAT のような高度な誘導技術を必要とはせず、核兵器とそれを搭載可能な弾道ミサイルを保有していれば、EMP 兵器を保有しているのと同等の意味を持つことになる。EMP 兵器の場合、攻撃によるデブリの発生を懸念する必要はないが、攻撃の効果が無差別に及ぶため、攻撃対象の衛星と類似軌道上にある自国や第三者の衛星にも被害を及ぼす可能性が高い。また、攻撃の効果が長期間持続するため、その間は衛星の打ち上げが難しくなる。さらに、核爆発

を利用する EMP 兵器を宇宙空間に配備することは、宇宙空間への大量破壊兵器の配置を禁止した宇宙条約第 4 条に違反することにもなる。

EMP 兵器の実験は、冷戦期から米ソ（露）で実施されてきた。米国は、1959 年に核弾頭を搭載することができる空中発射型弾道ミサイルを用いて、衛星近くに核弾頭を運搬することが可能であることを試験で確認した。さらに 1962 年には、弾道ミサイルを使用して高高度核実験を実施し EMP を発生させ、低軌道上を周回していた 6～7 機の衛星を故障させた。そして、その翌年から 1975 年までの間、太平洋のクェゼリン環礁に弾道ミサイルや核弾頭搭載型弾道弾迎撃ミサイルシステムを改修したものを対宇宙兵器として配備していた。

ソ連は、1960 年代から 1990 年代にかけて、弾道ミサイル迎撃 (ABM) システムとしてモスクワ近郊に配備されていた核弾頭搭載型ミサイルが、潜在的には低軌道上の衛星に対する EMP 兵器としての能力を有していたと思われる。このミサイルについて米情報機関は、高度 900km 程度の衛星まで攻撃可能であると評価していた。

今日、EMP 兵器を保有している国を特定することはできないが、弾道ミサイルとそれに搭載可能な核兵器を保有していれば EMP 兵器の能力を保有していると言える。その意味では、米露に加えて、英国やフランス、中国、イスラエル、インド、そしてパキスタンがこうした能力を保有していると考えられる。また、北朝鮮も EMP 攻撃能力を保有しているもしくは、近い将来保有する可能性がある国と言える。

カ その他の妨害手段

現在、各国の宇宙機関や企業が、能動的デブリ除去 (active debris removal : ADR) や衛星への給油や修理を行う軌道上サービス (on-orbit servicing : OOS) 技術の研究・開発を進めている。これらの技術は、ランデブー・近接運用 (rendezvous and proximity operation : RPO) に関する技術を基盤としており、運用中の衛星に対する対宇宙兵器 (キラー衛星) として使用することも可能である。RPO 能力は、米露日欧中が軌道上で実証済みである。

中国は 2010 年から衛星同士を接近させる実験を実施し、2013 年に打ち上げた衛星は、他の衛星を修理するために精密機動エンジンと操作アームを備え、実際に他の衛星に接近したことが観測されている。また、ロシアが 2017 年に打ち上げた衛星は、通常の衛星とは異なる不自然な動き

をしたことで注目された。米国の国務次官補は、2018年8月のジュネーブ軍縮会議において、ロシアが他の衛星を攻撃するための衛星を展開していると非難すると、ロシアは、その衛星は他の衛星に接近し、その衛星が持つ問題をチェック、さらに可能なら修正さえできるよう設計された「インスペクター衛星」だと主張した。ロシアが「インスペクター衛星」だと主張する衛星は、軌道上の衛星の近くで長期間にわたって静止したかと思うと突然機動を開始したり、サブ衛星を放出したりと特異な動きをされると言われる。

また、宇宙システムの機能を奪う目的であれば、宇宙兵器を使用しなくても達成することはできる。デブリや民生目的と偽った衛星を操作して敵対国の衛星に衝突させることで目的を達成することも可能である。

表 3-1 手段別宇宙攻撃の実験・使用事例

運動エネルギー (ASAT) 兵器			
時期	被害国	攻撃国	概要
1960～	—	ソ連	同軌道方式の ASAT で、迎撃体は爆薬による破片を散布。改修が進められ、高度 4 万 km まで到達可能であった。
1984～1986 (5 回)	—	米国	F-15 戦闘機に 2 段式ミサイルの ASM-135 を搭載し直接上昇方式で低軌道衛星を破壊する実験を実施。しかし米議会が破壊を伴う実験を禁止したため 1988 年開発中止
1984～1989	—	ソ連	Mig-31D 戦闘機に直接上昇式ミサイルを搭載する空中発射型ミサイルを開発するも 1989 年に開発中止
2005～	—	中国	中距離弾道ミサイルの派生型を使用した直接上昇方式ミサイルで自国気象衛星の破壊実験に成功。以降、実験を継続させ現在は静止軌道衛星を射程に収めた可能性がある。
2009	—	米国	大陸弾道弾迎撃ミサイル SM-3 を用いて制御不能となり落下中であった自国偵察衛星を破壊。デブリは 1 年以内に全て大気圏に突入して削減
2018.12	—	ロシア	PL-19 Nudol (ヌードリ) と呼ばれる破壊を伴わない ASAT 実験を実施。地上運搬式発射台から宇宙に打ち上げる直接上昇方式で、低軌道上の通信や画像衛星を標的として開発されている。
2019.3	—	インド	高度 300km の低軌道を周回する自国の衛星を標的にミサイルを打ち上げ、これを破壊する実験に成功した。インド外務省は、「発生する残骸は崩壊して数週間以内に地球に落下する。」と説明した。
2020.4	—	ロシア	PL-19 Nudol を地上運搬式発射台から発射し、破壊を伴わない ASAT 実験を実施。未だに実戦配備には至っていない。

サイバー			
2007.10.20 2008.7.23	米国	中国	米国海洋大気庁(NOAA)と米国地質調査所(USGS)が共同管理する LANDSAT-7 の通信機器(TT&C)制御が 12 分以上奪われた。
2008.6.20 2008.10.22	米国	中国	NASA の地球観測衛星テラ AM-1 の通信機器(TT&C)制御が 9 分間奪われた。
2014.9	米国	中国	米国海洋大気庁(NOAA)の情報気象衛星が攻撃され 2 日間機能が停止した。
時期不明	ロシア	ウクライナ	通信衛星の軌道変更(ロシア主張)

電子妨害 (ジャミング)			
2003	米国	イラク	イラク戦争中、対 GPS ジャミングを実施
2009	米国	個人	意図的ではないが、使用していた携帯型妨害措置によってニューアーク国際空港の航空機 GPS 誘導に障害を発生させた。
2010	韓国	北朝鮮	西海岸の一部で数時間 GPS に対するジャミングが発生、北朝鮮が 50~100km の GPS 受信妨害能力がある車載型装置をロシアから購入した可能性あり
2018.1.5	シリア 反体制派	ロシア	攻撃作戦中のシリア反体制派 UAV にジャミングを仕掛け、6 機を地上に着陸させた。
2018.10.16 2018.11.7	NATO	ロシア	演習「トライデント・ジャンクチャー」に対し GPS へのジャミングを実施
2018.10	欧州安保 協力機構	ロシア	OECD ウクライナ特別監視団の UAV が行方不明になり、OECD はロシアによるジャミングと評価
2018 2019.7	—	中国	2018 年、中国は対 GNSS 妨害を行うと見られる装置をミスチーフ礁及びスプラトリー諸島に配備 2019 年、上海港付近において、数週間にわたる GNSS 信号の妨害やなりすましを観測

レーザー・マイクロ波			
1960～	—	米国	「Blackeye」計画と名づけられ、衛星の赤外線センサーなどにマイクロ波を照射して無力化を試みた。冷戦後期には、SDI 構想として宇宙配備レーザーによる弾頭ミサイル及び衛星攻撃を計画
1960～	—	ソ連	宇宙空間への配備を視野に入れた研究開発を実施、地上配備レーザー兵器は衛星に対する照射能力を有していたと見られる。
1990～	—	米国	地上配備型レーザー兵器「MIRACL」を開発、実験によって高度 420km の自国周回衛星に対するセンサー機能の一時喪失に成功した。
1990～	—	ロシア	航空機搭載型レーザー兵器開発、高度 1,500km の低軌道衛星に対する照射実験を実施。衛星破壊はできないが、センサー機能の一時喪失は可能と思われる。
2006	米国	中国	中国上空を通過する米国偵察衛星に対し、センサーの目くらましを狙っていた地上からのレーザー照射を複数回実施した。

EMP			
1962	—	米国	弾道ミサイルで打ち上げた熱核兵器を高度 400km で爆破、発生した EMP によって低軌道を周回していた 6～7 機の衛星を故障させた。

(2) デブリ

宇宙システムに対する脅威は、潜在的敵対国による作為的な攻撃だけではない。特に近年では、年々増加し続けるデブリも宇宙システムに対する脅威となっている。ここではこのデブリについて、その概要を述べた後に、大量にデブリが発生した事例を紹介するとともに、これまで議論されてきた主なデブリ対策について説明する。

ア デブリの概要

デブリとは、地球の周回軌道上にある不要な人工物体のことで、使用済みあるいは故障した衛星、打ち上げたロケットの上段、ミッション遂行中に放出した部品、爆発・衝突に伴い発生した破片等のことを言う。NASAの発表によると、2018年2月4日現在、地球の軌道上には18,835個の物体が存在しており、その95%がデブリとされている。低軌道上のデブリは、地球の重力によって徐々に地球に落下し、最後はほとんどが大気圏で消滅するが、そのための時間は長期的な年月を要する。世界的な宇宙利用の増加に伴い、デブリ化する衛星やロケットの破片、ミッション中に浮遊した部品デブリなどは、今日に至るまで年々増加している。

デブリは、軌道上にある衛星や国際宇宙ステーション (International Space Station : ISS) などの構造物と衝突するおそれがあり、宇宙システムを社会インフラとして利用している全ての国や組織の脅威となっている。

イ デブリ発生事例

デブリは、人類の宇宙進出と共に発生してきたが、初めて大量のデブリが発生したのは、1961年6月の衛星爆発であった。このときには、爆発によって294個のデブリが発生したとされている。その後は、冷戦期における米ソの積極的な宇宙利用と破壊を伴うASAT実験の実施によってデブリは年々増加していく。米ソは1986年以降、自主的に物理的破壊を伴うASAT実験は停止したが、顕著なデブリの減少には至らなかった。

そして、冷戦後の2007年1月11日に中国が行った衛星破壊を伴うASAT実験は、地表300~4,000kmの軌道上に3,378個のデブリを発生させた。レーダーで確認することができない1cm以上のデブリは、10万個近く発生したとも言われている。この実験の1年後に、米国は制御不能に陥って大気圏に再突入しそうな自国の偵察衛星を大陸弾道弾迎撃ミサイル (SM-3) で破壊して、大量のデブリを発生させた。このとき発生

したデブリについては全て 1 年以内に大気圏に再突入して消滅したとされる。

また、2009 年 2 月 10 日には、シベリア上空の低軌道上で米国の商業通信衛星（イリジウム 33）とロシアの退役した衛星（コスモス 2251）による衛星同士の衝突が世界で初めて発生し、2,201 個のデブリが発生した。この事故の原因は、すでにコントロールできない状態にあったロシアのコスモス衛星を誰も監視していなかったために、イリジウム衛星との衝突コースにあることを認識できず、結果両者が互いに回避行動をとることができなかったためである。

2019 年 3 月には、インドが自国の衛星を目標に衛星破壊の実験を行い、400 個以上のデブリを発生させたとされる。

低軌道におけるデブリの散乱状況を図 3-1 に¹²、地球軌道におけるデブリの発生状況及び大量のデブリを発生させた事例を図 3-2 にそれぞれ示す¹³。図 3-2 で示されている総物体数（total objects）は、宇宙物体の総数であり運用中の衛星などもこの総数の中に含まれている。地球軌道上で周回しているデブリの数は、宇宙物体総数のおよそ 95%とされている。

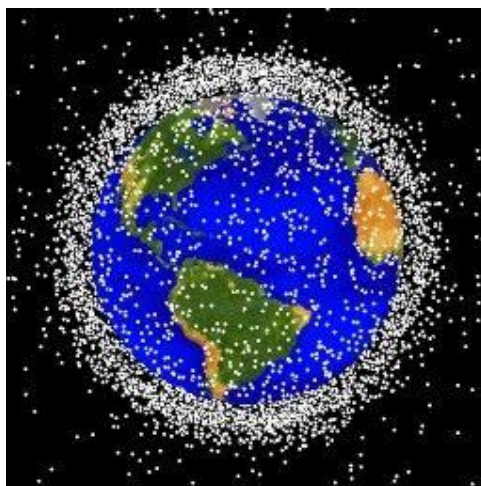


図 3-1 低軌道デブリのイメージ

¹² Orbital Debris Program Office, *Orbital Debris Graphics*, NASA.
<<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/photo-gallery.html>>

¹³ *Orbital Debris Quarterly News*, Vol. 22, Issue 1, NASA, February 2018, p.10 に筆者が一部追記。

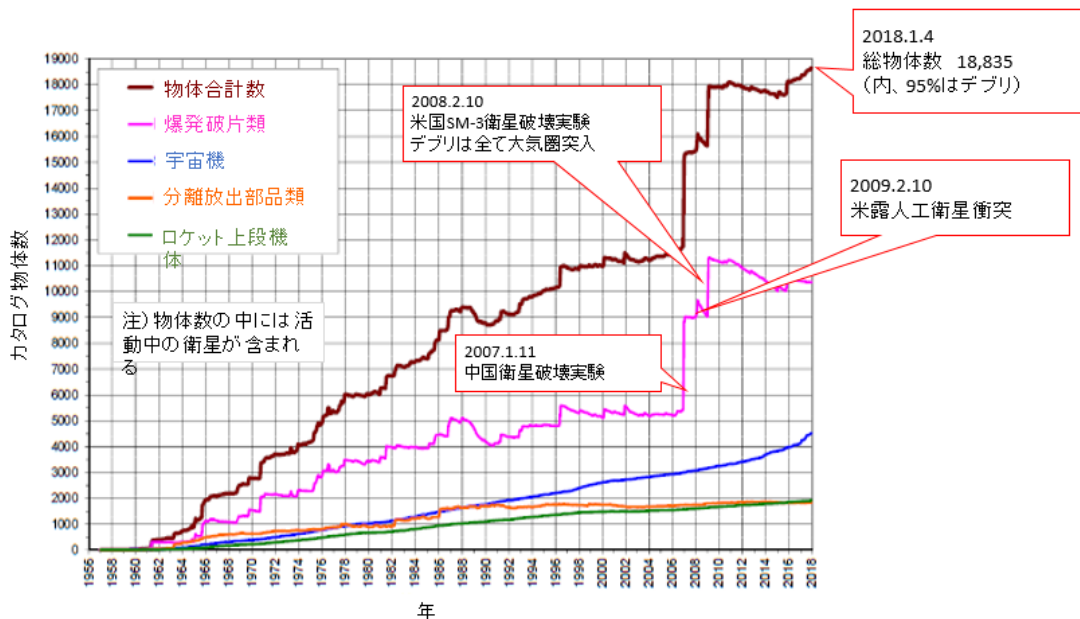


図 3-2 地球軌道上の宇宙物体発生状況

ウ 主なデブリ対策

宇宙システムに対するデブリのリスクを低減するための対策として、議論されている争点は三つある。一つ目は、デブリの発生を抑えこれ以上増加させないこと。二つ目は、すでに地球軌道上に存在するデブリを除去すること。そして三つ目が、既存のデブリを監視して、衛星などと衝突する前に回避動作をとることである。これら三つの対策を紹介する。

まずデブリが年々増加していくことに対する脅威というのは、中国による衛星破壊実験が行われる前から考えられていることであった。寿命を迎える前に、低軌道の衛星については大気圏に突入させて焼却させる処置、静止軌道の衛星は他の衛星の障害にならない軌道に変更させるといった処置がとられることもあった。そして、デブリが宇宙システムに与えるリスクに対する認識の高まりとともに、国際社会の中でも議論が活発化し、2003年に宇宙機関間スペース・デブリ調整委員会 (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee : IADC) がデブリを低減させるための策を提案した。そしてこの策をベースに国連総会補助機関である宇宙空間平和利用委員会 (Committee On the Peaceful Uses of Outer Space : COPUOS) が2007年に出したのが「宇宙デブリ低減ガイドライ

ン (Space Debris Mitigation Guidelines)」である。国際社会は、デブリがもたらすリスクについては合意していたが、宇宙システムというものが国家の安全保障に関わるものであったため拘束力のあるルール作りは避けられ、拘束力のないガイドラインという形になった。これまでも、より安全に宇宙を利用するために「宇宙航行管制 (Space Traffic Management : STM)」などの仕組みづくりも試みられてきたが、衛星軌道の開示は国の安全保障に直結する問題であるために進展していないのが実情である。

もう一つの策が、すでに地球軌道に存在するデブリを取り除くという策であるが、これも実情は難しい状態にある。デブリを取り除くための策として考えられるのが、デブリを直接回収又は大気圏に突入させて焼却する方法である。しかしながら、宇宙空間のデブリを直接回収するのは費用対効果が低いという問題があるだけでなく、デブリ発生の責任の所在も明確にはなっておらず、誰が高額なコストを負担するのかといった問題もある。デブリを取り除く策としてはこの他にも、レーザー光線でデブリを無害な場所に移動させる、網のようなものでデブリを回収する等の案もあるがいずれも実現されていない。米国の軍事研究機関である国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency : DARPA) などで研究が進められているという話もあるが、デブリの回収・除去能力は、同時に他国の衛星を破壊し、無力化する能力に転用することもできる。このため、DARPA の研究には二面性があるとも言われている。

そして、取り除くことができないデブリに対する策として進められているのがデブリからの回避処置である。宇宙状況監視 (Space Situational Awareness : SSA) によって宇宙空間の人工物の追跡を行い、宇宙空間の状況を監視し、必要な際には衛星にデブリとの衝突を回避する動作をとらせるのである。SSA には、デブリの状況を知るだけでなく、軌道上に存在している自国以外の衛星が持っている能力を把握し、その運用者の意図や目的を察知するという目的もある。これによって、自国の宇宙システムに対するリスクを把握するとともに、そのリスクを回避するための手段を検討することができる。宇宙システムへの依存度が高い米軍は、軍事宇宙システムを保護することを目的に、世界各地にレーダーや光学の監視局を配置するとともにデブリ監視用衛星も打ち上げて、全天球を監視する宇宙監視ネットワーク (Space Surveillance Network : SSN) の

構築を目指している。ただし、その能力には限界があるため、欧州やオーストラリアなどと協定を結び、国際協力による監視体制の強化を進めている。現在では、10cm程度の大きさのデブリまで監視する能力を有しており、把握したデブリはカタログ化して一般公開されている。ただ、一般公開されているデブリ情報は精度が低く誤差もある。その上、米軍の北米航空宇宙防衛司令部（North American Aerospace Defense Command：NORAD）は、より正確なカタログを保有して国際宇宙ステーションや軍事衛星システムなどに接近するデブリの軌道計算をしておりその一部は関係国に提供されているが、あくまでもそれは自発行為である。そのため、欧州において米国に依存しない独自の SSA 能力構築が進められている。また、民間 SSA という話も出てきており、民間企業同士のネットワークの中で民間組織が運用する衛星の軌道データを集約し、衝突予測分析が行われている。

（3）これからの宇宙利用

脆弱な宇宙アセットを攻撃する手段は、単にミサイルのような運動エネルギーを利用して地球軌道にある衛星を攻撃する兵器だけではなく、サイバー攻撃や電子妨害など、地上にある宇宙アセットに対する攻撃であっても大きな脅威になることがわかる。そしてこれからの宇宙利用において懸念されるのは、これらの兵器が実際に使用される脅威が高まってきた（一部の兵器はすでに使用されている）ということである。

冷戦期には、米ソ双方が偵察衛星の相互核抑止や戦略的安定に果たす役割を重視していたため、相互の宇宙利用を妨害しないという暗黙の了解が存在していた。しかし、宇宙システムへの依存が軍民両面で世界的に深化する中、攻撃対象としての宇宙システムの価値が増大してきた。とりわけ、湾岸戦争以降、宇宙システムの作戦・戦術利用が広がっていることが、対宇宙兵器使用の大きな誘因となっている。また、新たに宇宙利用を妨害する能力を獲得し始めたアクターの中には、宇宙利用への依存度が低いアクターも存在しており、対宇宙兵器を使用することで発生する副次的被害を恐れる必要がほとんどなく、対宇宙兵器を使用する敷居が低い可能性もある。

このような状況の中で、これからの宇宙利用において考慮していかねばならないのが、「機能保証」という考え方である。米国では、2007年1月の中国による衛星破壊実験以降、「個々の宇宙システムを攻撃から守ることは困難である」との認識から、個々の宇宙装備を守るという考え方から宇

宙システム全体としての機能を保持するという考え方に方針を変更している。米軍の宇宙作戦に関する統合ドクトリンには、宇宙作戦に対する脅威への対処として「宇宙機能保証 (space mission assurance)」という方法を記している¹⁴。宇宙機能保証は、防衛的行動 (defensive operations)、抗たん性 (resilience)、そして再構成 (reconstitution) の三つに分類される。

防衛的行動とは、米国、同盟国及び友好国の宇宙システムに対する脅威行動の効果を無力化もしくは阻止するための行動で、事案が発生する前にとられる対策である。具体的には、宇宙軌道上の装備を使用して、敵の攻撃システムを欺いたり、墜落させたり、破壊したりして混乱もしくは機能不全に陥らせることが考えられている。そしてこれらを実行するために、SSA も防衛的行動の中に含まれている。

抗たん性は、妨害や攻撃を受けても損失期間を最小限にとどめ、任務を達成するために必要な機能を提供する構成物 (アーキテクチャ) の能力のことを言う。抗たん性は、システム構築時の対策であり、構成物に対する対策である。抗たん性は、分担 (Disaggregation)、分散 (Distribution)、多様化 (Diversification)、防護 (Protection)、多重化 (Proliferation)、欺瞞 (Deception) といった手法のいずれか、もしくはこれらの組み合わせで構築される。各手法については、「表 3-2 宇宙機能保証における抗たん性構築手法」に記す。

そして再構成は、事案発生後の対策で、妨害された時の代替手段の投入、早期修復を行うものである。具体的には、代替衛星の打ち上げ、既存機能活用による機能維持、他国の類似システムの活用、そして民間商用システムの利用などが挙げられる。

宇宙システムへの依存が軍民両面で世界的に深化し、潜在的脅威にわたる攻撃対象としての宇宙システムの価値が増大してきた今日において、この宇宙システムの機能を保障する体制の整備が求められている。

¹⁴ Joint Chiefs of Staff, *Joint Publication 3-14: Space Operations*, 10 April 2018, pp.I-7-9.

表 3-2 宇宙機能保証における抗たん性構築手法

手法	内容
分担 (Disaggregation)	一つの衛星に異なる機能をまとめて搭載するのではなく、分けて搭載する。例えば、通信衛星を戦略用と戦術用に分けるなど。
分散 (Distribution)	同じ機能を持つ複数の結節を連動させることで、同じ任務や機能を一つの結節で果たしているかのように実行する。複数の衛星によって測位の精度を高めている GPS 衛星がその実例で、GPS 衛星 1 機の損失は機能の低下をもたらすが、機能全体を損失させるわけではない。
多様化 (Diversification)	異なる軌道、民間商用、友好国などの衛星を使用して、一つの任務を実行するのに複数の方法を確保する。また、様々な任務をこなすことができる柔軟性や適応性をもったシステムや装備もその一例である。
防護 (Protection)	いかなる任務環境もしくは状況にあっても求められる能力を保障するため、積極的な手段と受動的な手段の両方を提供できる宇宙システムを構築する。EMI 防御や対核強化、機動力や対 ASAT など。
多重化 (Proliferation)	同じ任務をこなす同じタイプの衛星を大量に配置したり、同じ機能を果たす地上局を複数個所に設置したりする。
欺瞞 (Deception)	自国が保有する宇宙システムの位置や能力、活動状況、任務内容などに対する潜在的脅威の認識を、混乱させたり欺いたりするための策を講ずる。

4 日本の宇宙開発と宇宙機能の全体像

日本の宇宙開発は歴史的な転換局面にある。黎明期には米国及び旧ソ連の主に軍事利用を目的とした宇宙開発競争によって、宇宙技術は驚異的なスピードで進歩した。一方、日本の宇宙開発利用は、昭和 27 年にいわゆる「航空禁止」が解除されて以来、諸外国とは異なり、軍事・安全保障を排除した平和利用（非軍事利用）を前提に、科学技術の研究開発主導で進められてきた。

本章では、日本における宇宙開発の歴史を概観しながら、現在の日本における宇宙機能の全体像を述べた後に、現在の日本の取り組みについて述べる。

(1) 日本の宇宙開発の歩み

日本の宇宙開発は 1952 年（昭和 27 年）から宇宙基本法が 2008 年（平成 20 年）成立するまで大きく五つの段階を経てきた。日本の宇宙開発は諸外国とは大きく異なり、「宇宙を利用するための開発」ではなく、「宇宙技術の開発」に偏って進められた。

1969 年（昭和 44 年）、内閣が宇宙開発事業団（National Space Agency of Japan : NASDA）の設置に向け、その設置法となる宇宙開発事業団法を国会に提出すると、国会審議において「平和利用」に関する規定がないことを強く懸念する声が挙がった。自由民主党、日本社会党（当時）、民主社会党（当時）、公明党の 4 党は、NASDA 設立の目的に「平和利用の目的に限り」を加えた修正案を提案し、これを反映した「宇宙開発事業団法」が昭和 44 年に成立した。併せて衆議院本会議で「わが国における宇宙の開発及び利用の基本に関する決議案」が成立した。このいわゆる宇宙平和利用決議により、安全保障分野はおろか、民間の産業利用も遅れた。1969 年（昭和 44 年）から宇宙基本法が成立する 2008 年（平成 20 年）までの約 40 年間、日本の安全保障面での宇宙開発は、無差別公平原則と一般化原則に基づく極めて限定的なものであった。軍事利用を中心として技術開発が進んだ米国、ロシアとは 40 年遅れているとも言える。以下、日本における宇宙開発をそれぞれの段階毎に述べていくとともに、日本の宇宙開発の歩みを図 4-1 に示す。

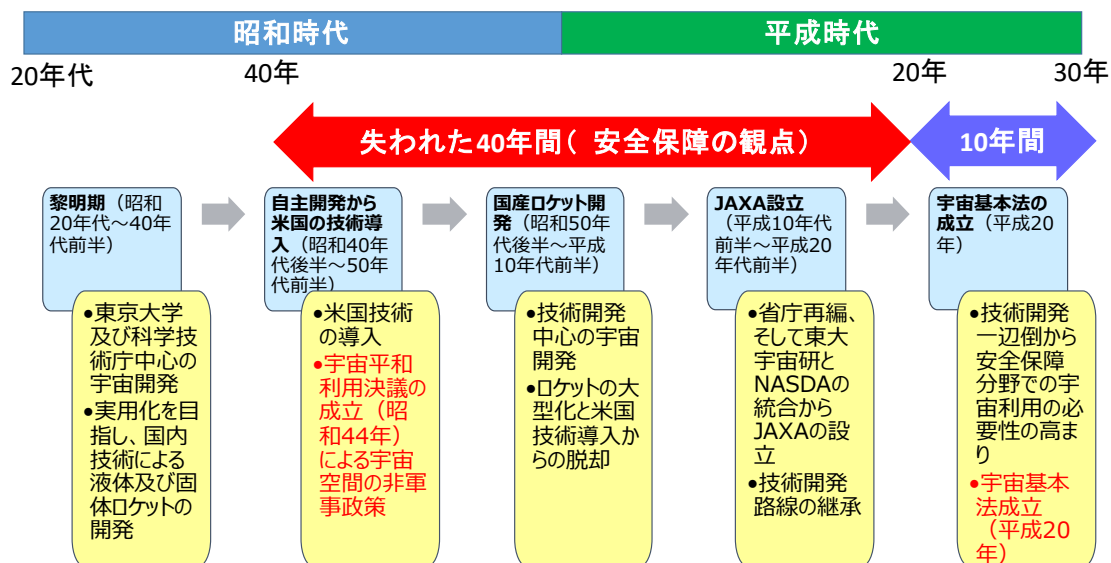


図 4-1 日本の宇宙開発の歩み

ア 黎明期 (昭和 20 年代～40 年代)

第 2 次世界大戦後、GHQ により航空関連の全ての研究や事業が禁止された (いわゆる「航空禁止」)。1951 年 (昭和 26 年) 9 月サンフランシスコ平和条約が調印、これに伴い、1952 年 (昭和 27 年) 約 6 年半ぶりに航空禁止が解除された。このような状況下で戦後のロケット研究が幾つかの組織で開始された。

1955 年 (昭和 30 年)、東京大学の糸川教授が「ペンシルロケット」の水平発射に成功。翌 31 年、科学技術庁が創設され、1965 年 (昭和 40 年) から実用ロケットを目指した「液体ロケット」開発に向けた研究が開始された。昭和 45 年には東京大学宇宙航空研究所が試験衛星「おおすみ」の打ち上げに成功し、日本はソ連、米国、フランスに次いで世界 4 番目の衛星打ち上げ国になった。

この時代に LS-C (液体ロケット) は昭和 43 年から 49 年までの間に 8 機打ち上げ (その内 3 機失敗)、JCR (固体ロケット) は昭和 44 年から 49 年までの間に 10 機打ち上げた。

イ 自主開発から技術導入時代へ (昭和 40 年代後半～50 年代前半)

日本は航空禁止が解除されてから自主開発を進めてきたが、佐藤栄作総理大臣時代に自主開発から技術導入への政策の大転換を行った。また同時に国の安全保障とは隔絶した宇宙開発路線を選択した。

佐藤総理が米国訪問の際、巨大なサターンロケットを視察し彼我の技

術力の差に驚愕した。この時に国産ロケット開発から米国からの技術導入に政策転換したと言われている。1969年（昭和44年）7月、「宇宙開発に関する日本国とアメリカ合衆国との間の協力に関する交換公文」が発効され、これと同時期にNASDAが発足した。この交換公文には、米国から次の条件が課せられていた。

- ・日本に導入された機器及び技術は平和目的のみに利用されること。
- ・それを無断で第三国に輸出しないこと。
- ・米国の協力によって開発され、打ち上げられた通信衛星は、現行のインテルサット取り決めの目的と競合しないこと。
- ・米国の技術援助を受けて開発したロケットを用いて米国に無断で他国の衛星を打ち上げないこと。
- ・供与される技術は「ソー・デルタロケットシステムの技術水準（1969年技術）まで」とする。

これに伴い同年、「宇宙平和利用決議」が成立した。世界でも例を見ない「非軍事」の解釈が平成20年に成立した宇宙基本法成立までの約40年間貫徹された。

ウ 科学技術庁主導の宇宙開発と導入技術から脱却した国産ロケット開発へ（昭和50年代～平成10年代前半）

米国からの技術導入により、その後日本のロケット開発は、昭和50年（1975年）のN-Iロケットから衛星の打ち上げ能力も高まり順調な実績を積重ねた。この間に総理大臣への諮問機関として、「宇宙開発委員会」が設置され、国全体の宇宙開発方針が策定されてきた。しかしながら、時期を経るにしたがって次の事項が顕在化してきた。

（ア）技術開発中心の宇宙開発の傾向が顕著に

科学技術庁は庁のメインプログラムとして、「原子力」と「宇宙」を掲げた。当時の省庁の縦割りの壁は非常に厚く、通産省（現経産省）等を中心とした実用化・産業化を含む利用官庁の排除姿勢には強いものがあつた。当時の委員会では、通産省系あるいは中立系委員と事務局（科技厅）との間で政策方針を巡る議論が頻発した。委員会提言に合意できない等しばしば紛糾したが、結果が変わることはなかった。

(イ) 衛星の大型化の趨勢に呼応してロケットの大型化に邁進

技術導入による N-I 及び N-II の打ち上げ成功により自信を深め、米国依存技術からの脱却を目指した。その結果、衛星の一層の大型化に呼応し、独自技術によるロケット開発への道を歩むことになった。この背景には技術導入に伴う高額の技術使用料の支払いを免れたいという思いもあったが、基本的には日米の戦略的協力や安全保障に伴う外交戦略の議論もないままに、科学技術庁を中心とした技術開発論理が主導された。

(ウ) 日米衛星調達合意による衛星商用化の遅れ

1980 年代の日米貿易摩擦に起因し、当時優勢であった半導体産業を死守すべく、実用的な通信衛星や放送衛星等の国際調達に政策合意したことで我が国の宇宙産業の商業化路線に与えたインパクトは大きかった。世界的に競争力が未熟であった衛星の商用化の遅れは致命的となった。

エ 省庁再編、JAXA 設立そして官民連携による宇宙事業の展開（平成 10 年代前半～20 年代前半）

平成 13 年、省庁の再編が行われ科学技術庁と文部省は一体化され文部科学省に改組された。これに伴い日本の宇宙開発は「技術開発路線の継承」を決定づけた。宇宙開発委員会も文部科学省傘下となった。当時産業界からは宇宙産業進展のためにも経産省の主管あるいは共管の要望もあったが、これも省庁の厚い壁に阻まれ実現しなかった。

その後、政府外郭団体の統廃合が加速し、2003 年（平成 15 年）に JAXA（Japan Aerospace Exploration Agency：宇宙航空研究開発機構）が発足した。しかし、名称に見るとおり「宇宙開発事業」の文字は完全に消え、文科省の傘下でますます日本の宇宙開発は研究開発に偏重していった。技術開発中心の宇宙開発のみに依存する宇宙政策に懸念する民間企業や NASDA 幹部の尽力で宇宙産業を推進する新たな動きが起きたが、結局は頓挫した。

オ 宇宙基本法の成立に向けた動き（平成 20 年）

1990 年代後半より、日本の宇宙開発に係る国家体制の不備を指摘する声が関係者の間で持ち上がった。具体的には次のとおり。

- ・日本の宇宙開発が長く先端技術の研究開発に偏重し、産業としての利用の遅れがますます顕著になった。

- ・日本を取り巻く国際環境が大きく変化する中で安全保障分野の宇宙利用が封印されてきたため、その弊害が顕在化した。
- ・国家戦略としての宇宙政策を企画立案するとともに、これを推進する国家体制の整備が喫緊の課題となった。

こうした中、河村建夫衆議院議員、今津寛衆議院議員を中心に「国家宇宙戦略立案懇話会」が設立され、2005年（平成17年）宇宙基本法の必要性等を説いた懇話会報告書がまとめられた。その後、議員立法として着手され約3年半後の2008年（平成20年）5月、宇宙基本法が成立した。

（2）日本の宇宙システム

宇宙空間をドメインとして考えると、空間中に飛翔させる物体は大きく、①飛翔高度帯による分類と②利用目的による分類がある。

ア 高度帯による分類

宇宙空間に衛星等の物体を飛翔させる高度は、三つの高度帯に分類されている。また、低軌道より更に低い高度（高度約20km～2,000km）を飛翔するHAPS（High Altitude Platform Station：高高度疑似衛星プラットフォーム）と呼ばれる成層圏プラットフォームや高高度無人機等もロケットによる打ち上げが不要で低コストであることから昨今注目されている。日本における軌道別衛星の保有状況を図4-2に示す。

（ア）低軌道（2,000km以下）

国際宇宙ステーション（高度約400km～500km）、リモートセンシングを行う地球観測衛星等はこの軌道に存在する。

（イ）中軌道（2,000km～36,000km）

GPS等の測位衛星はこの軌道に存在する。

（ウ）地球同期軌道（36,000km）

通信衛星、放送衛星、気象衛星等はこの軌道に存在する。

（エ）高軌道（36,000km以上）

静止軌道（36,000km）より外の地球周回軌道。ソ連の通信衛星（モルニヤ）や米国の核（X線・ガンマ線）監視衛星（ヴェラ）等はこの軌道に存在する。

イ 利用目的による分類

宇宙空間に飛翔させる物体を利用目的で分類すると、大きく次の四つに分類できる。

- ・観測地点としての宇宙
- ・中継地点としての宇宙
- ・安全保障としての宇宙
- ・その他（新たな産業としての宇宙）

これらの中で宇宙利用が進んでいるのは、測位、通信・放送、リモートセンシングによる利用（観測地点、中継地点としての宇宙利用）である。今後大きく伸びる可能性が高いものは、輸送手段の応用としての宇宙旅行、宇宙太陽光発電、宇宙資源探査、海洋利用（新たな産業としての宇宙利用）である。なお、現時点で宇宙利用が比較的進んでいない分野が安全保障である。

ア項の高度帯における分類と利用目的による分類を整理すると宇宙利用は表 4-1 のとおり分類できる。

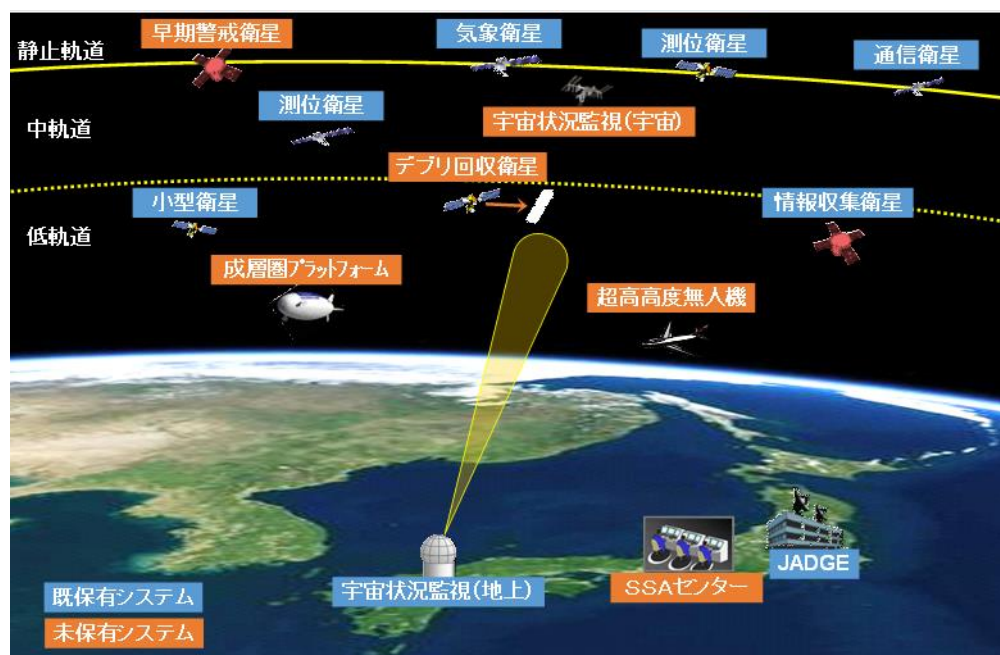


図 4-2 日本の軌道別衛星の保有状況

表 4-1 宇宙利用における飛翔高度及び利用目的との関係

	観測地点	中継地点	安全保障	その他
低高度 (2,000km 以下)	地球観測、画像 利用	軌道上利用	情報収集、ミサ イル監視、早期 警戒等の防衛 利用、防災利用	宇宙太陽光発 電、宇宙旅行
中高度 (2,000~36,000km)	GPS 等の測位	軌道上利用、デ ブリ回収	GPS 等の測位	
静止軌道 (36,000km)	気象、宇宙天 気、天文観測	通信、放送、デ ブリ回収		
高高度 (36,000km 以上)		通信、核監視		宇宙探査

(ア) 観測地点としての宇宙

観測地点としての宇宙利用では、様々なセンサー（光学、赤外、電波（SAR））を搭載した衛星が、撮像する画像に合わせて最適な高度帯を飛翔している（リモートセンシング）。また、GPS 等の電波送信装置を搭載した衛星による利用が行われている（測位）。

a 画像利用（光学、赤外、電波（SAR））

民間分野における地球観測を目的としている。洪水、津波、地震等の災害時の監視及び観測、農作物管理、水産資源の探索、搜索救難、電子地図情報サービス等

b 気象予報

地上気象、高高度気象の監視及び観測、宇宙天気予報（太陽フレア観測）等

c 衛星測位

測量、配車管理（タクシー、バス等）、GPS タグによる盗難探知、GPS 地図情報、時刻同期等

d 天文

天文観測、物体観測、オゾン層観測等

(イ) 中継地点としての宇宙

a 通信・放送

通信衛星や放送衛星による島しょ部、光通信未開通地域、航空、船

舶等へのデータ配信。データ中継衛星による衛星間のデータ中継。

b 軌道上利用

ロボット技術による衛星への燃料補給、衛星修理、宇宙建造物の組立て等。米国及び中国が実験に成功している。

c デブリ回収

中軌道及び静止軌道上に浮遊するデブリの回収。現在ロボット技術による直接回収の他、地上からのレーザー光による除去の研究が各国で進められている。

(ウ) 安全保障としての宇宙

主要な利用目的は外交・防衛等の安全保障及び大規模災害への対応等の危機管理への利用に資する画像及び電波情報の収集である。その他、民間で利用されている分野でも、より高セキュリティー、高精度な衛星が求められる。

a 防衛利用

防衛利用の大きな特徴は、民間利用よりも高い性能が求められることである。情報収集、ミサイル監視、早期警戒、海洋状況監視等の高精細な画像による偵察監視業務や、高セキュリティー情報通信、高精度衛星測位等、民間利用よりも高いセキュリティーによる情報通信や高精度測位が挙げられる。また、特殊な目的として、電波情報収集等の情報収集、デブリ等を監視するための SSA 等もある。

b 防災利用

地球観測衛星からの画像（光学、赤外、SAR）による災害監視及び環境監視がある。環境監視では、森林違法伐採、赤潮等の海上監視、二酸化炭素量監視等が挙げられる。

(エ) その他（新たな産業としての宇宙）

a エネルギー利用

宇宙太陽光発電、月・惑星資源探査等がある。宇宙太陽光発電については宇宙からの送電方式について JAXA が研究を行っている。

b 宇宙旅行（輸送技術の応用）

有人宇宙技術を活用した軌道上宇宙旅行等が挙げられる。

c 宇宙探査

サイエンスの観点での宇宙探査として、太陽系内惑星探査、小惑星探査等が挙げられる。

(3) 近年の日本の取り組み

ア 宇宙基本法の概要

2008年（平成20年）、日本における宇宙開発利用の基本法となる宇宙基本法案が国会に提出され、可決された。

宇宙基本法では、宇宙開発利用に関する基本理念として、①宇宙の平和的利用、②国民生活の向上等、③産業の振興、④人類社会の発展、⑤国際協力等の推進、⑥環境への配慮が謳われている。宇宙基本法の特色として、宇宙開発利用に関する施策の総合的・計画的な推進を図るため、「宇宙開発戦略本部」¹⁵が設置された。宇宙基本法における基本的施策は次のとおり。

- ・ 国民生活の向上等に資する人工衛星の利用
- ・ 国際社会の平和・安全の確保、我が国の安全保障に資する宇宙開発利用の推進
- ・ 人工衛星等の自立的な打ち上げ等
- ・ 民間事業者による宇宙開発利用の促進
- ・ 宇宙開発利用に関する技術の信頼性の維持及び向上
- ・ 宇宙の探査等の先端的な宇宙開発利用、宇宙科学に関する学術研究等の推進
- ・ 宇宙開発利用の分野における国際協力の推進等
- ・ 環境と調和した宇宙開発利用の推進及び宇宙の環境保全のための国際的な連携の確保
- ・ 宇宙開発利用に係る人材の確保、養成及び資質の向上
- ・ 宇宙開発利用に関する教育・学習の振興等
- ・ 宇宙開発利用に関する情報の管理

イ 宇宙基本計画について

宇宙基本法に基づき、これまでに第1～4次の宇宙基本計画が策定されている。同計画は、日本の宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために策定されるものであり、日本の宇宙開発利用の最も基礎となる計画として位置づけられている。宇宙基本計画は、10年程度を見通して策定されており、5年間の基本方針とその方針を実現するための施策を示したものとなっている。

¹⁵ 内閣に設置されており、内閣総理大臣が本部長、内閣官房長官と宇宙開発担当大臣が副本部長、全ての国務大臣が本部員となっている。

第1次宇宙基本計画（平成21年6月決定）では、宇宙開発利用を「研究開発主導」から「利用ニーズ主導」に転換することを示した。

第2次宇宙基本計画（平成25年1月決定）では、第1次宇宙基本計画と同じく「従来の研究開発に重きを置いた施策から、利用を重視し、出口戦略を明確にしたものへ」として、厳しい財政事情の中で重点的に開発利用を行うべき分野を絞り、最大限の成果を上げるという方向性を示した。

第3次宇宙基本計画（平成28年4月閣議決定）では、第1次及び第2次宇宙基本計画と異なり、計画策定の前に安倍晋三内閣総理大臣から安全保障と産業振興を2本柱とする旨の指示が出された。同指示を踏まえ、第3次宇宙基本計画には、「国家安全保障戦略」（平成25年12月17日閣議決定）に示された新たな安全保障政策が反映されるとともに、産業界における投資の「予見可能性」を高め、産業基盤を強化するため、「今後20年程度を見据えた10年間の長期整備計画」と位置づけられている。

しかし、それから4年後の令和2年6月、安全保障における宇宙空間の重要性や経済社会の宇宙システムへの依存度の高まり、リスクの深刻化、諸外国や民間の宇宙活動の活発化といった宇宙を巡る環境変化を踏まえて見直され、第4次宇宙基本計画が策定された。新たな基本計画では、引き続き「宇宙安全保障の確保」が第1の宇宙政策目標として掲げられる一方で、「地球規模課題への貢献」、「宇宙科学・探査による新たな知の創造」及び「宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現」等が政策目標として示され、国の総力を挙げて「自立した宇宙利用大国となることを目指す」としている。

なお、令和元年12月に改訂された宇宙基本計画工程表については、一部内容が修正された。本行程表は、環境変化に応じて個々のプロジェクトの達成すべき政策目標を柔軟に見直し、また新たに実施すべき宇宙プロジェクトを追加している。令和元年度の改訂では最近の情勢変化としてとして、①宇宙安全保障の確保、②宇宙利用の一層の拡大、③宇宙産業・科学技術基盤の強化を挙げている。これらを踏まえた令和元年度の工程表の主な改訂ポイントは次のとおり。

	情勢の変化	主な改訂ポイント
1	宇宙安全保障の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年度に宇宙領域専門部隊を新編 ・宇宙状況把握(SSA)システムの実運用開始(2023年度)に加え、SSA衛星について2026年度頃の打ち上げを目標に整備を開始。
2	宇宙利用の一層の拡大	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年度までに災害時の被災状況の迅速な把握等を可能とする衛星データの提供を実現・

【主要参考文献】

- ・新・宇宙戦略概論 坂本規博 著 科学情報出版株式会社
- ・アメリカの宇宙戦略 明石和康 著 岩波新書
- ・科学技術に関する調査プロジェクト2016 報告書「宇宙政策の動向」 著 国立国会図書館調査及び立法考査局
- ・宇宙基本計画及び宇宙基本計画工程表

(Intentionally Blank)

5 主要国の取り組みの現状

(1) 全般

ア 概要

1957年のソ連による衛星打ち上げ以降、宇宙空間は、人類が利用できる領域となった。2020年4月現在、約2,666機の衛星が地球を周回している¹⁶。宇宙利用の進展に伴い、デブリが増加し、ソフトボール以上の大きさのデブリは約17,000個に達すると言われており、今後その管理と除去が大きな課題となってくる。冷戦期の宇宙開発は、米ソ間の激しい競争を中心に進展し、有人宇宙飛行や月面着陸等が行われた。欧州や日本では、米ソ依存からの自立を目指した宇宙開発が行われてきた。冷戦後の宇宙開発は、ISS等において米国、ロシア等の国際協力が進展するとともに、中国やインド等の新たなプレーヤーの存在感が増してきている。

イ 衛星の打ち上げ

気象、通信及び軍事などの分野における宇宙利用は、衛星によって可能となる。そのため、衛星を打ち上げるロケットなどの手段を確保しているかどうか、宇宙利用において重要な事項の一つである。表5-1に示す11か国は自国のロケットにより自国の衛星を打ち上げた国である。ソ連による1957年のスプートニク打ち上げに始まり、米国、フランスと続き、日本は第4の衛星打ち上げ国となった。このほか、衛星は自国で開発するが打ち上げは他国のロケットに依存する国と、衛星の製造と打ち上げの両方を他国に依存し、衛星の利用だけを行っている国がある。

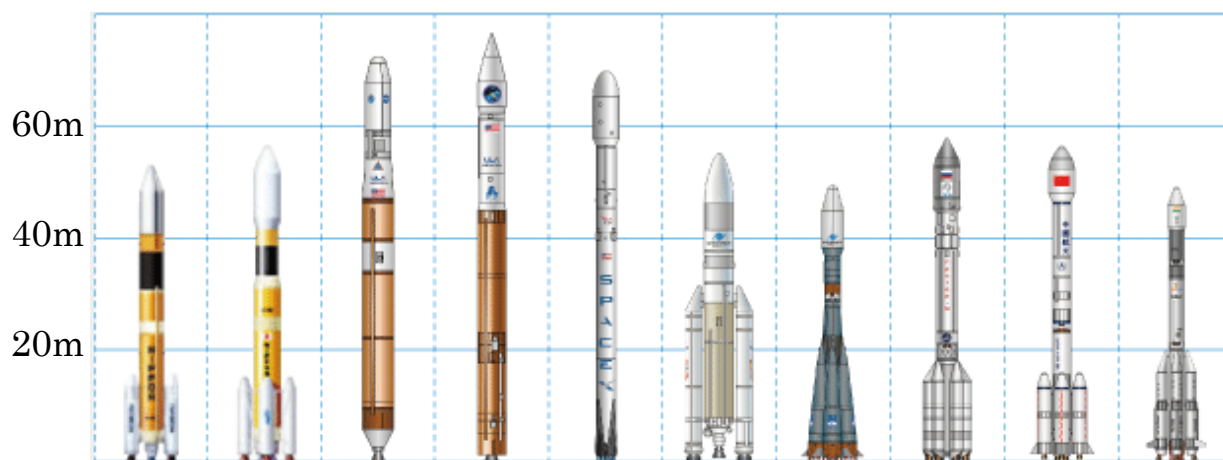
なお、日本、米国、欧州、ロシア、中国及びインドのロケットの諸元は図5-1のとおり。

¹⁶ “UCS Satellite Database,” Union of Concerned Scientists website, <<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database#XE6Pd1X7RaQ>>

表 5-1 衛星を自国ロケットで打ち上げた国及びその初回打ち上げの概要¹⁷

	国名	時期	ロケット	衛星名称	衛星重量 [kg]
1	ソ連 (当時)	1957. 10. 4	スプートニク-PS	スプートニク 1 号	83. 6
2	米国	1958. 2. 1	ジュノー I (ジュピターC)	エクスポローラ 1 号	13. 7
3	フランス	1965. 11. 26	ディアマン	アステリックス	42
4	日本	1970. 2. 11	ラムダ 4S(L-4S)	おおすみ	23. 8
5	中国	1970. 4. 24	長征 1 号	東方紅 1 号	173
6	英国	1971. 10. 28	ブラック・アロー	プロスペロ	65. 8
7	インド	1980. 7. 18	SLV	ロヒニ 1 号	35
8	イスラエル	1988. 9. 19	シャヴィト	オフェク 1 号	155
9	イラン	2009. 2. 2	サフィール-2	オミド	27
10	北朝鮮	2012. 12. 12	銀河 3 号 (テポドン 3 号)	光明星 3 号 2 号機	100 (推定)
11	韓国	2013. 1. 30	ナロ(羅老)	ナロ(羅老)科学衛星	100

¹⁷ 「宇宙開発の歴史」 JAXA 宇宙情報センターウェブサイト、
<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/cosmic_history.html>



ロケット名	H-II A	H-II B	デルタIV	アトラス V	ファルコン 9	アリアン V	ソユーズ ¹⁸	プロトン M	長征 3	GSLV
国名	日本		米国			欧州	ロシア		中国	インド ¹⁹
全長[m]	53	56.6	63 ~72	61 ~76	70	54.8	44~ 49.5	58	52.5 ~56.3	43.4~ 49
全備重量[t]	289 ~443	531	250 ~733	334 ~569	549	780	157 ~305	705	241 ~459	415 ~640
静止トランスファ 軌道 ¹⁸ 打ち 上げ能力[t]	4~ 5.95	N/A	4.2~ 14.2	2.7 ~8.9	8.3	10.5	3.3	6.3	2.6 ~5.5	2.5 ~4

図 5-1 各国のロケットの諸元¹⁹

ウ 有人打ち上げ

有人打ち上げは、人類の活動の場を広げるだけでなく、宇宙技術先進国としての地位を誇示できる意義がある。宇宙飛行士を自国ロケットにより打ち上げた実績のある国は、ソ連（当時）、米国及び中国の 3 か国である（表 5-2）。

¹⁸ 静止軌道に遷移するための中間的な軌道でロケットが静止衛星を打ち上げる際に投入する軌道。

¹⁹ 「ロケットの基礎知識」 JAXA 宇宙輸送技術部門ウェブサイト、
<<http://www.rocket.jaxa.jp/column/knowledge/compare.html>>

表 5-2 自国ロケットによる有人打ち上げ国²⁰

国名	時期	ロケット	
ソ連（当時）	1961. 4. 12	ボストーク	ボストーク 1 号
米国	1962. 2. 20	アトラス LV-3B	マーキュリー・アトラス 6 号
中国	2003. 10. 15	長征 2 号 F	神舟 5 号

エ 衛星保有状況

表 5-3 のように、稼働中の衛星の国別保有数は米国が突出し、中国、ロシアの順となっている。その他は 602 機であるが、この中に米国、欧州等が打ち上げた他国の所有する多数の衛星が含まれている。このことは全世界的に見ても宇宙への依存度が高いということを意味しており、運用上の脆弱性となる可能性もある。

また、日本、米国、中国、ロシア、欧州及びインドの保有する衛星の種類は表 5-4 のとおりである。

表 5-3 衛星保有状況²¹（2019.12 現在）

国名	運用中の衛星数	割合（％）
米国	1,007	45
中国	323	15
ロシア	164	7
日本	79	4
その他	645	29
合計	2,218	100

²⁰ 「宇宙開発の歴史」 JAXA 宇宙情報センターウェブサイト、
<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/cosmic_history.html>

²¹ “UCS Satellite Database (includes launches through 9/30/19).” Union of Concerned Scientists website, <<http://www.ucsusa.org/resources/satellite-database#XE6Pd1X7RaQ>>

表 5-4 各国保有の衛星の種類²² (2018.12 現在)

衛星の種類		日本	米国	中国	ロシア	欧州	インド
情報 収集	電波収集	—	○	○	○	—	—
	画像	○	○	○	○	○	—
気象		○	○	○	○	○	○
早期警戒		—	○	△	○	—	—
測位		○	○	○	○	○	○
通信		○	○	○	○	○	○

凡例 ○：保有、△：不明、—：未保有

オ 世界のロケット打ち上げ射場

ロケット打ち上げ射場は宇宙利用における重要なインフラであるが、固定されているため、安全保障上の脆弱点でもある。世界の主要なロケット打ち上げ射場（ミサイル射場等を除く。）の位置及びリストは図 5-2 及び表 5-5 のとおりである。日本に 2 か所、米国に 2 か所、中国に 4 か所及びロシアに 3 か所などである。最近では、ロシアの航空会社が移動式のロケット発射台を赤道（海上）に移動させ、打ち上げを行っているシー・ローンチ（Sea Launch）社のような例もある（細部は、5（3）ウ（ウ）項のとおり。）。



※番号は表 5-5 に対応する。

図 5-2 世界の主要なロケット打ち上げ射場²³

²² “UCS satellite database,” Union of Concerned Scientists website, <<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database#XE6Pd1X7RaQ>>

²³ 「世界のロケット打ち上げ射場」 JAXA宇宙情報センターウェブサイト、

表 5-5 世界の主要なロケット打ち上げ射場²⁴

番号	国名	射場名	打ち上げ対象
①	日本	種子島宇宙センター	液体燃料ロケットの打ち上げ
②		内之浦宇宙空間観測所	固体燃料ロケットの打ち上げ
③	米国	ケネディ宇宙センター	有人宇宙飛行の打ち上げも実施
④		ヴァンデンバーグ空軍基地	主に軍事用の打ち上げ
⑤	フランス(仏領ギアナ)	クールー射場(ギアナ宇宙センター)	アリアン-5 ロケット又はロシア製のソユーズロケットの打ち上げ
⑥	中国	酒泉衛星発射センター	有人宇宙飛行、科学衛星(低軌道)、返回式衛星(大気圏再突入可能な衛星)の打ち上げ
⑦		西昌衛星発射センター	静止衛星、中軌道衛星、宇宙探査機の打ち上げ
⑧		太原衛星発射センター	太陽同期軌道、極軌道の科学衛星、技術試験衛星の打ち上げ
⑨		文昌衛星発射センター	次世代ロケットの打ち上げ、静止衛星、大型低軌道衛星、宇宙ステーション、貨物宇宙船、大型宇宙探査機の打ち上げ
⑩	ロシア	プレセツク射場	主として極軌道の軍事衛星等の打ち上げ(軍が管理)
⑪		バイコヌール射場(カザフスタン共和国)	静止衛星、有人宇宙船等の打ち上げ
⑫		ヴォストーチヌイ射場	新射場(2016年4月に最初の打ち上げ)、2020年代以降に有人打ち上げも実施予定
⑬	インド	サティシュ・ダワン宇宙センター	PSLV(Polar Satellite Launch Vehicle、極軌道打ち上げロケット)等の打ち上げ(主力射場)
⑭		ツンバ射場	観測ロケットの打ち上げ
⑮	イスラエル	パルマチン空軍基地	偵察衛星、通信衛星等の打ち上げ
⑯	韓国	ナロ(羅老)宇宙センター	韓国初のロケットであるナロ(羅老)ロケットの打ち上げ

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/launching_sites.html>

²⁴ 「世界のロケット打ち上げ射場」 JAXA宇宙情報センターウェブサイト、

<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/launching_sites.html>

カ 諸外国の宇宙関係予算

諸外国の宇宙関係予算は表 5-6 のとおり。推計であるものの、米国が突出している。

表 5-6 諸外国・地域における宇宙関係予算²⁵

国・地域	宇宙関係予算
米国	<ul style="list-style-type: none"> ・総額は非公表 ・米国宇宙財団による宇宙予算の推計 2015 年予算:446 億ドル(約 5 兆 4,000 億円)うち、国防総省(DOD):236 億ドル(約 2 兆 8,600 億円)、NASA:180 億ドル(約 1 兆 2,500 億円)
中国	非公表
ロシア	<ul style="list-style-type: none"> ・ロスコスモス 2017 年度予算:1,305 億ルーブル(約 2,600 億円) <ul style="list-style-type: none"> ・国防省の軍事宇宙計画に関する予算は非公表
欧州	欧州宇宙機関(ESA : European Space Agency) 2015 年度予算:52 億ユーロ(約 7,000 億円)
インド	インド宇宙庁(DOS : Department Of Space) 2016 年度予算:751 億ルピー(約 1,420 億円)
日本	平成 28 年度当初予算 2,899 億円、補正 522 億円(安全保障分野含む。)

²⁵ 科学技術に関する調査プロジェクト 2016 報告書「宇宙政策の動向」2017 年 3 月。

(2) 米国

ア 宇宙関係機関²⁶

米国の宇宙政策は、大統領のリーダーシップの下、大統領府に設置された国家安全保障会議（National Security Council : NSC）、科学技術政策局（Office of Science and Technology Policy : OSTP）、及び歴代政権がそれぞれ設置した機関により立案される。またこれらの機関は、米国の宇宙開発利用の黎明期から深く関わる国防総省（Department of Defense : DOD）や NASA を始め、商務省、内務省、運輸省等の宇宙政策の各分野（民生、軍事、情報、商業など）を担当する連邦行政機関の調整を行う。以下では、宇宙関係機関とその役割について説明する。

(ア) 大統領府

NSC は、国家安全保障・外交政策について大統領に助言する立場から宇宙政策の形成に関与しており、米国の最初の宇宙開発計画である 1955 年の「米国の科学衛星計画」の時から関わっている。OSTP は科学技術政策について大統領に助言する立場にある。

米国では、1958 年の国家航空宇宙法において航空宇宙諮問グループの設置が義務付けられている。ブッシュ（父）大統領は、民・軍・商の全ての分野について議論するための国家宇宙会議（National Space Council : NSpC）を立ち上げた。NSpC はその後の政権には引き継がれなかったが、2017 年 6 月 30 日、トランプ大統領は NSpC の再開に関する大統領令に署名した。

(イ) DOD

DOD は軍事・安全保障上の宇宙活動として、兵器システムの開発や軍事作戦等に関わる活動を担い、GPS のほか、軍事衛星（軍事通信衛星、早期警戒衛星等）の研究開発・運用を担っている。

(ウ) 情報コミュニティ（Intelligence Community : IC）

国家情報長官室（Office of the Director National Intelligence : ODNI）の傘下にある国家偵察局（National Reconnaissance Office : NRO）は、主として偵察衛星の開発、打ち上げ、運用を行っている。NRO は、通信、電磁波、信号等を傍受する情報収集活動（Signals Intelligence : SIGINT）を行う国家安全保障局（National Security Agency : NSA）

²⁶ 同上。

や、地理空間情報の収集分析（Geospatial Intelligence : GEOINT）を行う国家地理空間情報局（National Geospatial-Intelligence Agency : NGA）にデータを提供している。

（エ）航空宇宙局

NASA は、他の関係国とともに ISS の運用を担っている。ISS への物資輸送では、COTS²⁷や CRS²⁸などを通じて民間企業と連携している。宇宙探査においては、多目的有人宇宙船であるオリオン宇宙船（Orion Multi-purpose Crew Vehicle : MPCV）と、スペースシャトルに代わる大型ロケットであるスペース・ローンチ・システム（Space Launch System : SLS）の開発を進めている。火星探査については、火星探査機「メイブン（MAVEN）」による火星観測のほか、火星に着陸し地下構造等を調査する探査機「インサイト（InSight）」の打ち上げを予定している。また、小惑星からの試料採取・回収（サンプルリターン）を目的とする探査機「オシリス・レックス（OSIRIS-REx）」による小惑星探査や、赤外線観測用の宇宙望遠鏡であるジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の開発なども行っている。

（オ）海洋大気庁

海洋大気庁（National Ocean and Atmosphere Administration : NOAA）では主に気象観測・地球環境観測を行っている。観測に当たっては、静止軌道と極軌道を周回する気象衛星を組み合わせて運用している。また、NOAA の環境衛星データ情報局（National Environmental Satellite, Data, and Information Service : NESDIS）において気象・海洋関連データが管理されている。

（カ）その他

内務省（Department Of the Interior : DOI）傘下の米国地質調査所（United States Geological Survey : USGS）では衛星による陸域観測を行っており、ランドサットデータの管理を行っている。また、政府利用のために民間の衛星データを大量購入している。DOT 傘下の連邦航空局（Federal Aviation Administration : FAA）は、衛星やロケット等の商業打ち上げの許可を行っている。国務省（United States

²⁷ Commercial Orbital Transportation Services : 資材や人員を輸送するロケットの開発と運用を民間企業に委託し、輸送サービスを購入する計画。

²⁸ 商業物資輸送サービス。

Department of State : USDS) は国際武器取引規則 (International Traffic in Arms Regulations : ITAR, 22 CFR Parts 120-130)、商務省 (Department of Commerce : DOC) は輸出管理規則 (Export Administration Regulations : EAR, 15 CFR Parts 730-774) に基づき、それぞれ宇宙機器等の輸出管理を行っている。

国土安全保障省 (Department of Homeland Security : DHS) では災害対応とテロ対策において、エネルギー省 (Department of Energy : DOE) では核不拡散監視において、農務省 (US Department of Agriculture : USDA) では農業統計等において、それぞれ衛星情報を利用している。

イ 宇宙政策

トランプ大統領は、宇宙に関する戦略文書として、2017年12月に『国家安全保障戦略 (National Security Strategy : NSS2017)』、2018年1月に『国家防衛戦略サマリー (Summary of the 2018 National Defense Strategy : NDS2018)』及び同年3月に『国家宇宙戦略 (National Space Strategy : NSpS)』を策定した。また、2020年6月17日、『防衛宇宙戦略 (Defense Space Strategy)』を策定した。

NSS2017では、「様々な分野で宇宙に依存しているが、幾つかの国はASATのような非対称的な能力を開発し平和的な宇宙利用を妨げようとしており、米国は宇宙へのアクセスを保持するための方策を採らなければならない」と述べている。NDS2018はサマリーのための公表であり、宇宙にどう取り組んでいくか不明である。NSpSでは、NSS2017で掲げられた「米国の国益第一」及び「力を通じた平和」を宇宙で達成するために、民間も含め強く競争力があり、偉大な米国にしていこうという戦略である。同戦略では、四つの柱として、①宇宙アーキテクチャーの強靱化、②抑止と戦闘オプションの強化、③基本的な能力・機構・プロセスの改善、④米国のためになる国内・国際環境の醸成を挙げている²⁹。公開された防衛宇宙戦略では、「宇宙優勢の維持」、「国家、統合及び同盟国等が行う活動・作戦に対する宇宙支援の提供」、「宇宙の安定性の確保」という3つの目標を掲げ、そのための戦略環境の形成や、同盟国等、産業及び他省庁との協力を進める方針を提示した。これに対し、ロシアは同戦略発表の2日

²⁹ 坂田靖弘「最近の米国における宇宙政策の動向」エア・パワー5月号。

後、宇宙を戦場と記述した同戦略を「攻撃的」、「宇宙における軍拡競争を引き起こすもの」と非難するとともに、「ロシアは、宇宙を平和的な目的のためだけに利用している」と強調し、中国やロシアを脅威と見なした米国に反論した³⁰。

さらに、2018年6月18日、トランプ大統領は宇宙における絶対優勢を獲得するため、第6の軍種として宇宙軍を創設するよう国防省に命じ、2019年8月29日、統合宇宙軍（United States Space Command：USSPACECOM）が発足した。また、同年12月20日、空軍省内の独立軍種として、空軍宇宙コマンド（Air Force Space Command：AFSPC）が格上げ改編される形で、宇宙軍（United States Space Force：USSF）が発足した。統合宇宙軍（USSPACECOM）及び宇宙軍（USSF）の位置づけを図5-3に示す。

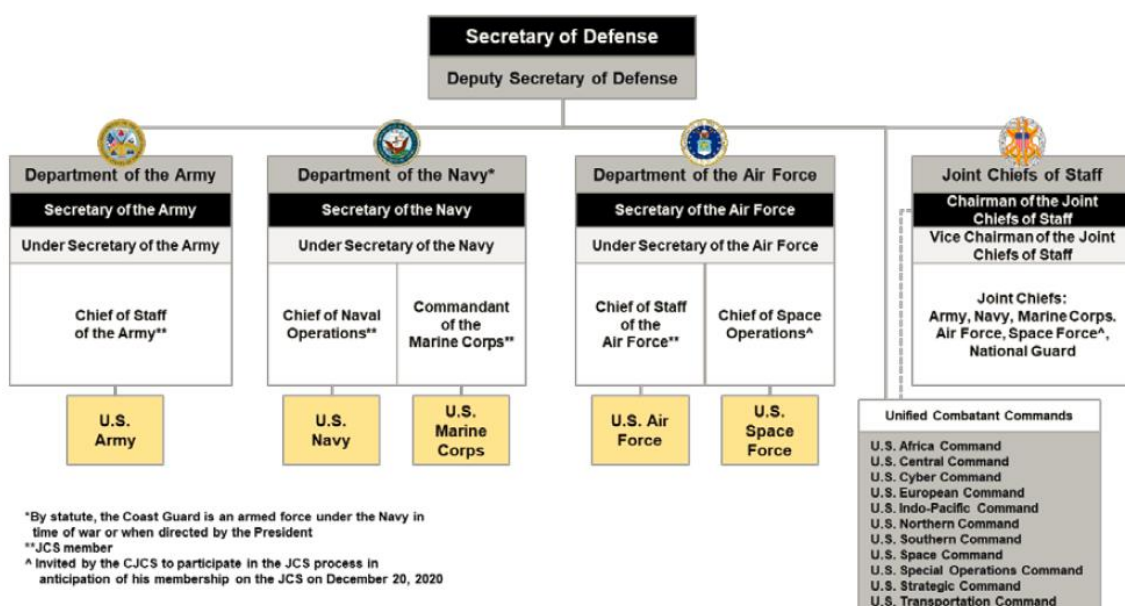


図 5-3 統合宇宙軍及び宇宙軍の位置づけ³¹

³⁰ “Russia accuses U.S. of aggressive course in space,” July 20, 2020, <<http://interfax.com/newsroom/top-stories/69086/>>

³¹ “Comprehensive Plan for the Organizational Structure of the U.S. Space Force,” Department of the Air Force, February, 2020.

ウ 宇宙利用の動向

(ア) ロケット開発

米国はこれまでに様々なロケットを開発してきた。1958年、米国最初の衛星となるエクスプローラ1号(Explorer-1)をジュピターC(Jupiter-C)ロケットで打ち上げた³²。更に米国は月面着陸を目指して大型のサターンV型ロケットを開発し、1969年に有人月面着陸を達成した。1970年代に入り、NASAはコストダウンを目指して、再使用可能な有人の宇宙往還機であるスペースシャトルを開発し、1981年から打ち上げを開始した。しかし、整備費用が予想以上にかかったことや、1986年及び2003年の人命損失を伴う事故³³を起こしたことにより、安全対策等の費用がかさんだ。その結果、スペースシャトルは、2011年で運用を終えた。スペースシャトルの退役以降、米国は宇宙への有人輸送手段を失い、ISSへの有人輸送はロシアに依存してきた。しかし、2020年5月、Space X社が2名の宇宙飛行士をISSに輸送し、米国は自前の有人輸送手段を再び獲得した。無人輸送においては、20トン以上の大型ペイロードから100キログラム以下の小型ペイロードに至るまで、各種の輸送手段を保有している。

(イ) 宇宙探査

NASAは大型ロケットであるSLSの開発を進めるなど小惑星探査、火星探査に向けて取り組んでいる。NASAの小惑星探査は、2030年代に人類を火星に送るための前段階と位置づけられ、新技術の開発等を行っている。ロボット探査機を小惑星に送り、採集した石を月軌道まで運び、これを別途SLSによって月軌道に打ち上げたオリオン宇宙船に乗せて地上に持ち帰るといった探査計画(Asteroid Redirect Mission: ARM)を進めており、2020年代中の実現を目指している³⁴。

2019年3月には、ペンス副大統領が第5回米国国家宇宙会議において、5年以内に米国のロケットで米国宇宙飛行士による月面着陸の実現を目指すことを表明した。当該有人月面探査計画はアルテミス計画と呼ばれ、第1段階として2024年までの月南極への有人着陸を実現し、第2段

³² “A Moment in Time: Explorer 1,” NASA website, <https://www.nasa.gov/exploration/whyweexplore/Why_We_28.html?iframe=true>

³³ 「STS-51-L」 JAXA 宇宙情報センターウェブサイト、<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/sts_51_1.html>

³⁴ “Asteroid Redirect Mission,” NASA website, <https://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/initiative/index.html>

階として 2028 年までに持続的な月面探査を実現することを目指している³⁵。そのため、NASA は産業界との連携により、「月軌道プラットフォーム・ゲートウェイ (LOP-G³⁶)」を構築すべく、2022 年に推進系モジュールの打ち上げ等、月探査における短期的目標の実現³⁷を目指している。また、2019 年 9 月、NASA 長官と JAXA 理事長の間で、火星探査を見据えた月近傍及び月面における持続的な探査活動の実現に向けて、科学的・技術的な協力を拡大していくという決意を表明し、共同声明に署名した³⁸。

民間における宇宙探査の動向としては、ディープ・スペース・インダストリー (Deep Space Industries : DSI) 社が小型探査機プロスペクター1 (Prospector-1) による宇宙探査及び小惑星での資源採集を計画している³⁹。また、スペース X 社 CEO のイーロン・マスク (Elon Musk) 氏が 2024 年に人類を火星に送る計画を発表している⁴⁰。更に、2011 年に設立されたマース・ワン (Mars One) 社は、火星に居住施設 (コロニー) を建設して移住する計画を発表している。既に宇宙飛行士を募集しており、2017 年から訓練を開始し、2031 年に打ち上げ、2032 年に最初の有人火星着陸を目指している⁴¹。

(ウ) 衛星の維持管理

NASA はカナダ宇宙庁 (Canadian Space Agency : CSA) と共同で、衛星の寿命を延ばすため、静止軌道上で衛星の修理・燃料補給を行うロボットの開発 (Robotic Refueling Mission : RRM) を行っている。ISS において 2013 年からフェーズ 1 の実証試験を開始し、2014 年からフェーズ 2 に入っている。フェーズ 1 では個別の機能 (ロックを外す、ガスの接続を外す、燃料を補給する、コネクタを外す、ネジを外す、熱防護テープを切って張り付ける。) を実証した。フェーズ 2 では機器交換、ケーブル接続など、更に複雑な機能の実証実験を進めている⁴²。

³⁵ 文部科学省「国際協力による月探査計画への参画に向けて」。

³⁶ 多国間で月周回軌道上に建設することが提案されている有人の宇宙ステーションであり、乗員数は 4 名程度の計画。

³⁷ 文部科学省「国際宇宙ステーション・国際宇宙探査を巡る米国の動向について」平成 30 年 3 月。

³⁸ JAXA ホームページ、<https://www.jaxa.jp/press/2019/09/20190924a_j.html>

³⁹ “Deep Space Missions,” DSI website, <<https://deepspaceindustries.com/missions/>>

⁴⁰ Jeff Foust, “Musk plans human Mars missions as soon as 2024,” June 2, 2016. SpaceNews website, <<http://spacenews.com/musk-plans-human-mars-missions-as-soon-as-2024/>>

⁴¹ “Mars One Roadmap,” Mars-One website, <<http://www.mars-one.com/mission/roadmap>>

⁴² “Robotic Refueling Mission,” NASA Satellite Servicing Projects Division website, <https://sspd.gsfc.nasa.gov/robotic_refueling_mission.html>

エ 軍事関連

(ア) 宇宙軍

a 再編

宇宙領域に係る作戦運用は、フォース・ユーザーである統合宇宙軍 (USSPACECOM) が行う。統合宇宙軍 (USSPACECOM) 隷下には連合軍宇宙構成部隊 (Combined Force Space Component Command : CFSCC) と宇宙防衛統合任務部隊 (Joint Task Force - Space Defense : JTF-SD) が常設されている。連合軍宇宙構成部隊は、他の統合地域軍が行う戦闘を宇宙から支援する役割を担っており、連合宇宙作戦センター (Combined Space Operations Center : CSpOC) が指揮活動を支援する。他方、宇宙防衛統合任務部隊は、宇宙領域の防衛を担っており、国家宇宙防衛センター (National Space Defense Center : NSDC) が指揮活動を支援する。

フォース・プロバイダーである宇宙軍 (USSF) は、2019年12月に発足したものの、その編制については、同年2月に発表された「米宇宙軍の組織構成に係る包括計画」に則り検討が進められている⁴³。2020年7月時点で明らかになっていることは、組織階層が、コマンド、空軍の団から群に相当するデルタ及びギャリソン、そして編制単位部隊の3階層で構成されること並びに各階層における幾つかの部隊の隷属替え又は新編が決定されたことにとどまる。

2020年7月24日に宇宙軍の発表によると、コマンド階層は、宇宙作戦コマンド (Space Operations Command)、宇宙システム・コマンド (Space Systems Command)、宇宙訓練即応コマンド (Space Training and Readiness Command : STARCOM) の三つのコマンドで構成される。また、宇宙作戦に係る機能ごとに八つのデルタが新編されている。この8部隊について、表5-7に概要を示す。STARCOMは、宇宙軍の教育訓練、ドクトリンや手順書の開発等を担っており、空軍が

⁴³ 編成指針として同計画に示された主要な原則的事項は、次のとおり。

- ・無駄がなく、迅速で、任務に集中する組織とする。
- ・コストと官僚主義を最小限に抑えるとともに、宇宙ドクトリン、訓練及び戦闘能力に最大の焦点を当て、承認と説明責任の明快な系統を確立する。
- ・戦闘を支援する統合部隊を効果的に編組できるような組織でなければならない。
- ・組織階層は、階層を最小限にし、戦闘ニーズを満足し、既存の法律に準拠して陸海軍及び他の DOD 組織の移管できるものとする。

“Comprehensive Plan for the Organizational Structure of the U.S. Space Force.”

ら隷属替えされた五つの部隊及び機関を含む部隊等で構成される見込みである。

なお、ギャリソンは整備、補給、医療等を含む任務支援機能を有する部隊であるが、編制についての詳細はまだ不明である。

表 5-7 宇宙作戦に係るデルタの機能等⁴⁴

新編部隊	機能	再編前の部隊
Delta 2	宇宙領域把握 (Space Domain Awareness)	第 21 作戦群
Delta 3	宇宙電子戦 (Space Electronic Warfare)	第 721 作戦群
Delta 4	ミサイル警戒 (Missile Warning)	第 460 作戦群
Delta 5	指揮統制 (Command and Control)	第 614 AOC
Delta 6	サイバー作戦 (Cyber Operations)	第 50 ネットワーク作戦群
Delta 7	諜報・監視・偵察 (ISR)	—
Delta 8	衛星通信・航法 (Satellite Communications/Navigation Warfare)	第 50 作戦群
Delta 9	軌道戦 (Orbital Warfare)	第 750 作戦群

b SDA (Space Domain Awareness) ⁴⁵

米軍は、地球上及び軌道上に配備されたセンサーを用いた探知・追跡並びに情報コミュニティ及び同盟国等と連携により、SDA 任務を遂行している。なお、宇宙関連部隊は、統合宇宙軍 (USSPACECOM) 隷下の CFSCC 及び JTF-SD 司令官の指揮の下、CSpOC 及び NADC が作成する任務命令 (tasking order) に基づいて行動している。

SDA については、米軍の宇宙関連部隊及び機関、国家偵察局 (National Reconnaissance Office : NRO) 等の情報コミュニティが、センサーで観測したデータを宇宙物体情報に照合しながら行っている。これまで行ってきた SSA は、旧第 21 宇宙団 (21st Space Wing : 21SW)

⁴⁴ 宇宙軍ホームページ、<<https://www.spaceforce.mil/News/Article/2287005/space-force-begins-transition-into-field-organize>>

⁴⁵ 以前使われていた SSA (Space Situation Awareness) は、「軌道上の全ての宇宙物体の検出、追跡及び識別」を意味していたが、SDA は、SSA の概念に加えて「特性評価」を含んでおり、宇宙作戦に影響を及ぼす可能性がある宇宙領域における全ての要因を把握することを目的としている。
”SPACEPOWER,” United States Space Force, August 10, 2020, p.34; Sandra Erwin, “Air Force: SSA is no more; it’s ‘Space Domain Awareness,’” *SPACENEWS*, November 14, 2019, <<https://spacenews.com/air-force-ssa-is-no-more-its-space-domain-awareness/>>

隷下の第 18 宇宙管制隊（18th Space Control Squadron : 18SPCS）が中心となって行ってきたが、今後は Delta 2 が Delta 4, 7, 9 等と連携しながら行う。

地球上の SDA センサーは、専用のレーダー及び光学システム並びにそれを補助する弾道ミサイル防衛用警戒管制レーダーから構成される。2020 年 3 月に運用を開始したスペース・フェンス用の S-band レーダー（マーシャル諸島）は、ビー玉大の宇宙物体を補足できる⁴⁶。軌道上のセンサーは、低軌道上の宇宙配備型宇宙監視システム（Space Based Space Surveillance System : SBSS）及び準静止軌道⁴⁷上の SSA 計画（Geosynchronous Space Situational Awareness Program : GSSAP）衛星から構成されている。GSSAP 衛星は、静止軌道帯の近傍で RPO を行うことができ、軌道上の衛星の特性把握と正確な追跡に必要な JTF-SD の SDA の獲得を支援する。2017 年現在の各種センサーの配備状況を図 5-4 に示す。

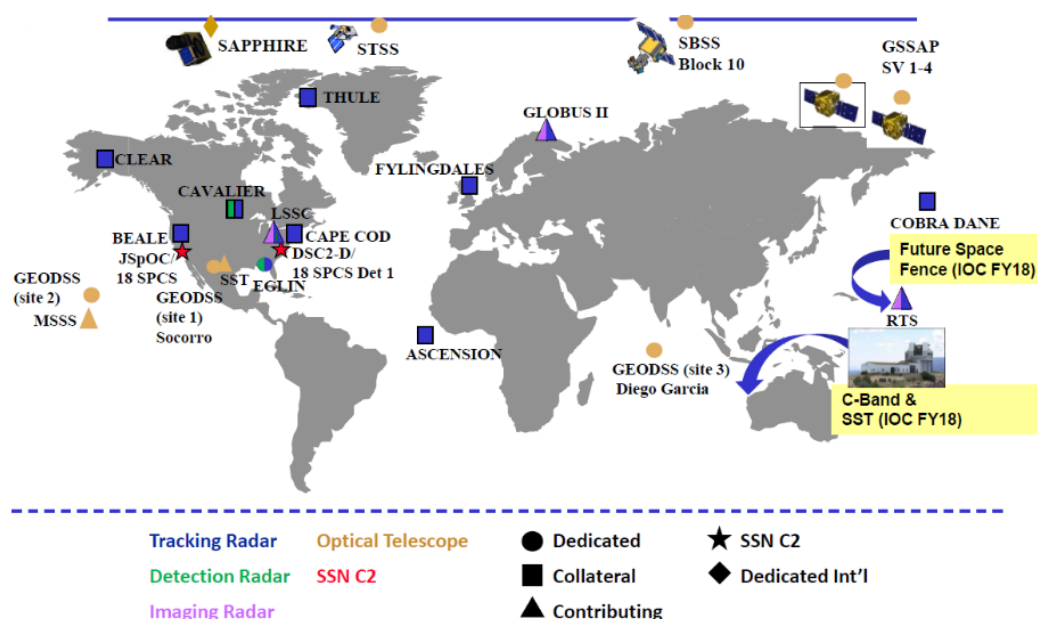


図 5-4 宇宙観測ネットワーク⁴⁸

⁴⁶ Sandra Erwin, “Space Fence surveillance radar site declared operational,” *SPACENEWS*, March 28, 2020, <<https://spacenews.com/space-fence-surveillance-radar-site-declared-operational/>>

⁴⁷ 静止軌道から軌道傾斜角と離心率を僅かにずらした軌道

⁴⁸ Diana McKissock, “18th Space Control Squadron Mission Brief,” April 2017.

(イ) 宇宙開発庁 (Space Development Agency : SDA)

宇宙開発庁は、宇宙における米国の技術的及び軍事的な優位性を確保することを目的として国防総省の下に 2019 年 3 月に設立され、将来の宇宙装備品の開発と配備を推進している。具体的には、現在、極超音速兵器を含むミサイル脅威を探知・追尾するための低軌道における衛星コンステレーション・システムである国防宇宙体系 (National Defense Space Architecture : NDSA) の開発を行っている。

なお、低軌道小型衛星コンステレーションは、商業ベースでも多くの民間企業が開発を進めている。衛星の軌道投入方法についても、地上発射型や航空機を母機とする空中発射型の小型ロケットの開発が世界的な広がりを見せている。

日本は、新たなミサイル防衛構想を担う米国の衛星コンステレーション計画への参加を検討している⁴⁹。

⁴⁹ 産経新聞ウェブサイト「米の小型衛星群構想へ参加検討 ミサイル防衛強化 来年度予算に調査費」
2020 年 8 月 30 日、<<https://www.sankei.com/politics/news/200830/plt2008300025-n1.html>>

(3) 中国

ア 宇宙関係機関⁵⁰

中国の宇宙政策及び開発には、様々な組織が関わっている。以下では主な組織とその役割について説明する。なお、組織図は、図 5-5 のとおり。

(ア) 国家国防科学技術工業局

国家国防科学技術工業局（State Administration for Science, Technology and Industry for National Defence : SASTIND）は、工業情報化部（Ministry of Industry and Information Technology : MIIT）の管理下であり、防衛産業全般の管理・監督をしており、主に核兵器、宇宙、航空兵器、船舶、電子工業にかかわる行政指導を担当している。

(イ) 国家航天局

国家航天局（China National Space Administration : CNSA）は、1993年4月に設立され、現在は工業情報化部の管理下であり、有人宇宙プログラムを除く民生用・商用分野の宇宙活動全般を統括し、対外的には宇宙活動全般について中国政府を代表する機関である。同局には、月探査計画を進める「月探査・宇宙工学センター」、地球観測衛星「高分」によるデータを扱う「地球観測データ工学センター」等の研究機関が所在している。また、同局は、「アジア太平洋宇宙協力機構（Asia-Pacific Space Cooperation Organization : APSCO）」に対する監督指導も実施している。

(ウ) 中国有人宇宙プログラム室

中国有人宇宙プログラム室（China Manned Space Engineering Office : CMSEO）は、中国人民解放軍装備発展部（以前は「総装備部」と呼ばれた。）傘下にある有人宇宙プログラム（宇宙船の開発や宇宙飛行士の活動を含む。）を管轄する組織であり、有人宇宙プログラムの総責任者（総指揮）及び開発責任者（総設計師）の事務局でもある。

(エ) 中国科学院

中国科学院（Chinese Academy of Sciences : CAS）は、1949年に設立された自然科学及び科学技術分野の最高学術研究機関である。中国科学院傘下の主な宇宙関連研究機関には、宇宙科学の研究を行う国家

⁵⁰ 科学技術に関する調査プロジェクト 2016 報告書「宇宙政策の動向」2017年3月。

宇宙科学センター (National Space Science Center : NSSC)、地球観測の研究を行うリモートセンシング・デジタルアース研究所 (Institute of Remote Sensing and Digital Earth : RAD)、有人宇宙プログラム関係の研究を行う宇宙応用工程・技術センター (Technology and Engineering Center for Space Utilization : CSU) がある。

(オ) 人民解放軍装備発展部、戦略支援部隊

軍事宇宙活動は従来中国人民解放軍総装備部が担い、有人宇宙プログラムの管轄、衛星追跡管制施設の運用及びロケット打ち上げ射場の運用を行っていたが、2016年1月の人民解放軍の体制改革により、その任務は総装備部を改組した装備発展部及び2015年12月31日に創設された戦略支援部隊が担っていると見られる。より具体的には、有人宇宙プログラムは装備発展部が、衛星追跡管制施設及びロケット打ち上げ射場の運用は戦略支援部隊が実施していると見られる。

(カ) 中国航天科技集团公司

中国航天科技集团公司 (China Aerospace Science and Technology Corporation : CASC) は、液体燃料ロケット、衛星、有人宇宙船等を開発・製造している国有企業であり、1999年に設立された。傘下にロケットの開発を行う中国運載火箭技術研究院 (China Academy of Launch Vehicle Technology : CALT)、衛星や宇宙船の開発を担う中国宇宙技術研究院 (China Academy of Space Technology : CAST)、商業打ち上げを担う中国長城工業集团有限公司 (China Great Wall Industry Corporation : CGWIC) 等、8つの研究院と11の企業を有する。

(キ) 中国航天科工集团公司

中国航天科工集团公司 (China Aerospace Science and Industry Corporation : CASIC) は、ミサイル、固体燃料ロケット、宇宙技術関連の民生品を中心に開発している国有企業である。

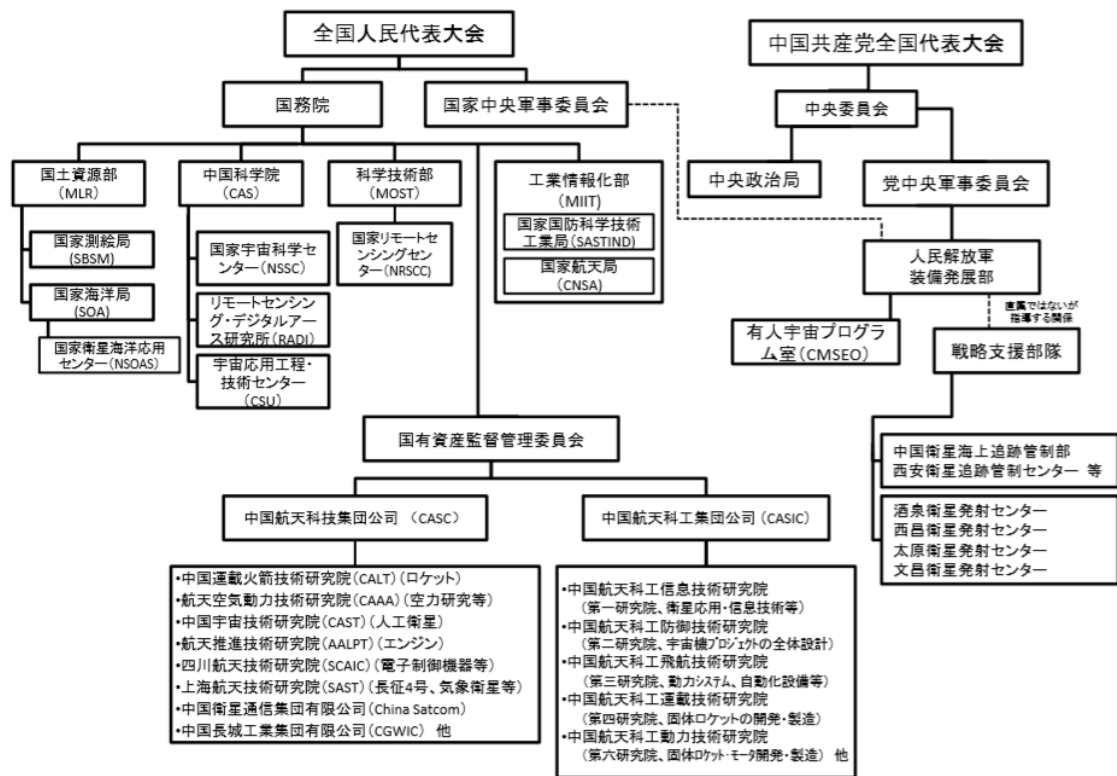


図 5-5 中国の宇宙関係機関組織図⁵¹

イ 宇宙政策

(ア) 宇宙政策体系

中国の宇宙政策は、10～15年スパンの長期計画及び5か年計画に基づいて進められている。長期計画としては、中国の科学技術政策の最上位に位置づけられる「国家中長期科学技術発展計画（2006～2020年）」のほか、宇宙インフラ建設に関する「国家民生用宇宙インフラ中長期発展計画（2015～2025年）」⁵²及び測位システムの産業化に関する2020年までの計画である「国家衛星測位産業中長期発展計画」⁵³がある。また、製造業における2015年以降10年間のロードマップを示した「中国製造2025」⁵⁴の一環として策定された、「ハイエンド設備革新プロジェクト実施ガイ

⁵¹ 内閣府宇宙戦略室「海外主要国の宇宙政策及び宇宙開発利用の動向」2013年3月、14頁、
<<http://www8.cao.go.jp/space/committee/tyousa-dai1/siryou4.pdf>>

⁵² 「国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015-2025年）」2015.10.26, 中华人民共和国国家发展和改革委员会ウェブサイト、

<<http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201510/W020151029394688578326.pdf>>

⁵³ 「国家卫星导航产业中长期发展规划」2013.9.26, 中华人民共和国中央人民政府ウェブサイト、

<http://www.gov.cn/zwggk/2013-10/09/content_2502356.htm>

⁵⁴ 「中国製造2025」2015.5.8, 中华人民共和国工业和信息化部ウェブサイト、

<<http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293877/n16553775/n16553792/16594486.html>>

ドライン（2016～2020年）」⁵⁵において、2020年までの宇宙民生利用計画が示されている。5か年計画としては、経済・社会における全体の方向性を示した「国民経済と社会発展5か年計画」があり、これを分野別にブレイクダウンした計画の一つである「第13次5か年計画国家科学技術イノベーション計画」において、高解像度地球観測システム、有人宇宙飛行、月探査のプロジェクトの方向性を示すほか、国家安全と戦略的利益を保障する技術として、宇宙探査技術、宇宙開発利用技術を挙げている。上記の各計画で示された宇宙開発の基本的な政策の方向や取り組みの動向を体系的に示したものが「宇宙白書」であり、2000年以来、2006年、2011年とほぼ5年ごとに発表されている。第4版となる「宇宙白書」⁵⁶は2016年12月27日に発表された。

(イ) 「宇宙白書」からみる宇宙政策

国家航天局の呉艷華（吴艳华）副局長は「宇宙白書」（第4版）発表と同日の記者会見で改めて中国の宇宙開発の全体目標を「2030年頃に世界の宇宙強国の仲間入りをすること」であると述べた⁵⁷。また呉副局長は同会見で、「宇宙白書」（第4版）における今後5年間の重要任務として以下の5点を挙げた。

- ・重要プロジェクトの実施を通じた中国の自主技術開発能力の大幅な向上
- ・宇宙インフラ建設による宇宙技術応用の促進
- ・宇宙科学研究における一定の成果の獲得
- ・宇宙開発利用における制度的環境の整備
- ・国際交流及び協力の深化

(ウ) 国際協力

2008年、中国が主導し、APSCOが設立された。APSCOは、加盟国間の宇宙科学、宇宙技術及びその応用領域の多角的な協力を推進し、各加盟国の宇宙能力を向上させ、各国の持続可能な発展を促進することを目指

⁵⁵ 「高端装备创新工程实施指南（2016-2020年）」2016.4.12, 中华人民共和国工业和信息化部ウェブサイト,
<<http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057267/n3057273/c5214972/part/5214992.pdf>>

⁵⁶ 「2016中国的航天」2016.12.27, 中华人民共和国国务院新闻办公室ウェブサイト,
<<http://www.scio.gov.cn/ztk/dtzt/34102/35723/35726/Document/1537141/1537141.htm>>

⁵⁷ 「国新办举行《2016 中国的航天》白皮书发布会」中华人民共和国国务院新闻办公室ウェブサイト,
<<http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/33978/35700/>>

している。加盟国は中国のほか、バングラデシュ、イラン、モンゴル、パキスタン、ペルー、タイ、トルコ（インドネシアは活動に参加しているものの、批准はしていない。）である。その他、準加盟国としてエジプト及びウクライナが名を連ねている。APSCO の枠組みを通じ、国連とも密接な連携を図っている。

また、中国は、途上国の衛星の打ち上げ及び運用に関して委任を受けると同時に、当該途上国に衛星地上局を建設し、SSA ネットワークを構築しつつあるほか、ヨーロッパ諸国とも通信、測位等について協力関係を築いている⁵⁸。

ウ 宇宙利用の動向

（ア）宇宙輸送

中国では、液体燃料ロケットである長征ロケットを中心としたロケット開発が行われている。長征ロケットのほかには、「快舟 (Kuaizhou: KZ)」と呼ばれる固体燃料ロケットがあり、商業打ち上げに利用される予定である。

（イ）有人宇宙飛行

中国の有人宇宙プログラムは 1992 年に開始され、宇宙船「神舟号」及び宇宙実験室「天宮」の開発を中心に進められている。

2003 年には中国最初の有人宇宙船となる「神舟 5 号」の打ち上げに成功した。

2011 年には宇宙船「神舟 8 号」と宇宙実験室「天宮 1 号」による無人のドッキングが実現した。2012 年には 3 人が搭乗した「神舟 9 号」を打ち上げ、「天宮 1 号」との手動操作によるドッキングに成功した。

宇宙ステーション建設は 2022 年前後の完成を予定しており、2018 年前後には宇宙ステーションのコアモジュール(本体)を、2020 年及び 2021 年前後には実験モジュール 1 及び実験モジュール 2 をそれぞれ打ち上げ予定である。

（ウ）衛星

a 地球観測衛星（リモートセンシング衛星）

地球観測衛星としては、気象観測衛星「風雲」、資源探査衛星「資源」、海洋観測衛星「海洋」、陸域観測衛星（高解像度）「高分」、複数の光学

⁵⁸ 「シリーズ・21 世紀のスプートニク・ショック」青木節子著、
<<https://www.nippon.com/ja/series/c65/>>

衛星と合成開口レーダー（SAR）衛星から構成される「環境」、測量用衛星「天絵」のほか、軍民両用衛星「揺感」がある。また、2016年12月末には、分解能がモノクロ画像で0.5メートル、カラー画像で2メートルの商業用の地球観測衛星「高景1号」2機を打ち上げている。地球観測における国際協力については、ブラジルと共同で資源探査を行う中国・ブラジル地球資源衛星（CBERS）を共同開発し、1999年に初打ち上げを行っている。また、2004年から科学技術部（MOST）と欧州宇宙機関（Europe Space Agency : ESA）との間で環境観測における科学研究、データ共有、技術トレーニング、学術交流等の国際協力プログラム「ドラゴン計画」が実施され、2016年7月からは第4期に入っている。

b 測位衛星

中国では1994年より、中国独自の測位システム「北斗」の研究開発を進めてきた。2000年に最初の衛星打ち上げに成功した後、2012年から中国と太平洋諸島地域を対象に位置情報の提供を始めた。2018年末から対象を全世界に拡大し、2020年6月、最終的なシステムの完成が発表された。「北斗」は、55基の衛星の中から35基を選んで運用する仕組みであり、10cm単位の精度で計測が可能とされている。⁵⁹

c 通信放送衛星

中国では1984年に中国初の通信衛星となる試験通信衛星「東方紅2号」を打ち上げ、さらに1986年にはこれを改良した実用静止通信衛星の打ち上げに成功した。「東方紅」はその後も改良が続けられ、ブロードバンド化に伴う通信容量の大容量化、多チャンネル化（多数の中継器の搭載）に伴う消費電力の増加に対応できるように大型化が進んでいる。

d 科学衛星

科学衛星としては、中国がESAと共同で進める「双星計画（Double Star mission）」の下で、地球周辺環境で発生する磁気嵐や高エネルギー粒子など衛星の運用に障害を引き起こすとされる地磁気に関するデータを収集する地球圏の磁場観測衛星「探測」のほか、主に中国宇宙技術研究院が開発・打ち上げを行う技術試験衛星「実践」により、太陽電

⁵⁹ 日本経済新聞ウェブサイト、
<<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO60686020T20C20A6910M00/>>

池技術等の技術試験のほか、宇宙空間における磁場、X線といった宇宙環境データを測定するなどの科学探査を行っている。

また、2016年8月には世界初の量子科学実験衛星「墨子号」を打ち上げ、2017年1月に約1,200km離れた青海省と雲南省の2か所間の量子暗号通信に成功したとされている。量子暗号通信は、物理世界で分割不可能な単位である量子の特性を利用した通信である。量子は分割できず、複製できないことから、暗号を解除することができないため⁶⁰、非常に秘匿度の高い通信が可能となる。

e 地上局

中国は、公表の目的を衛星管制、宇宙探査等とする地上局を海外に積極的に設置しているが、中には、民生用と称しながら実態として人民解放軍によって運営されていると見られるものがある。例えば、2019年4月にアルゼンチンで稼働を開始した地上局は、アルゼンチンが経済的に苦境にあった2009年に中国との間で締結した協定に基づいて建設されたものであるが、締結後に追記された「利用目的を民生用に限る」との条件を中国が遵守しているか確認する術がない。同地上局は、戦略支援部隊傘下の中国衛星発射測控系统部（China Satellite Launch and Tracking Control General : CLTC）が運営していると思われる⁶¹。

(工) 月探査及び宇宙探査

a 月探査

中国は、2007年10月に最初の月探査衛星「嫦娥1号」を打ち上げ、月周回軌道への投入に成功した。2013年12月に「玉兔」というローバー（月面走行車）を搭載した「嫦娥3号」を打ち上げ、月面着陸に成功した。これにより中国は、ロシア、米国に次ぐ世界で3番目の月面着陸国となった。

2019年1月3日には、「嫦娥4号」を打ち上げ、月の裏側への軟着陸に世界で初めて成功したとされている。月の裏側に着陸するためには、衛星が月の裏側に進出したときの地球との通信途絶を克服する必要があるが、中国は2018年5月に「鵲橋」と呼ばれる衛星を打ち上げ、地球と月の裏側との通信を確保した（イメージ図を図5-6に示す。）。月

⁶⁰ 「世界初の量子衛星の秘密に迫る」 Science Portal China、2016年8月17日、
<https://spc.jst.go.jp/news/160803/topic_3_01.html>

⁶¹ ロイター通信ウェブサイト「アルゼンチンの中国軍『宇宙基地』、民事利用は本当か」2019年2月4日、<<https://jp.reuters.com/article/china-space-station-idJPKCN1PT0AL>>

の裏側では、2020年3月時点において、着陸船及び月面車が15回の「昼の活動」を行ったと報告されている。また、中国科学院国家天文台が、月面車に搭載されたレーダーで取得した地下40メートルまでの月の裏側の地層構造図を発表した⁶²。

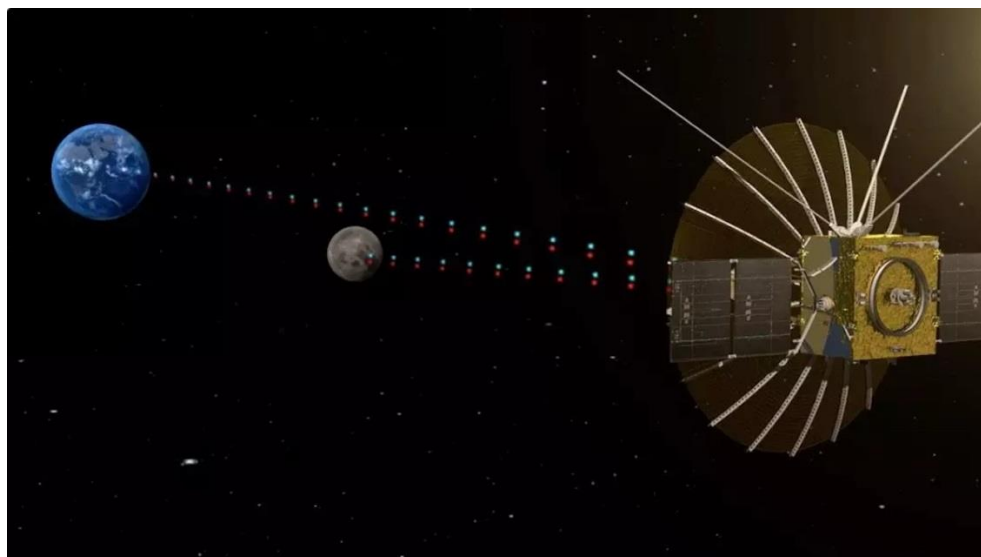


図 5-6 鵲橋による地球と月の裏側との通信イメージ図⁶³

b 宇宙探査

火星探査について、2030年までに火星に着陸しサンプルを回収するとともに、2050年の有人火星探査の実現を目標に掲げている。その他の惑星探査については、2020年までに小惑星、木星等の探査計画を策定するとしている。

中国は宇宙での活動領域をますます広げている。

エ 軍事関連

(ア) 宇宙軍事戦略の方向性

2015年の国防白書「中国の軍事戦略」では、軍民融合の推進を掲げるとともに、「空天一体、攻防兼備の強大な戦略的要求に沿って国土防空型から攻防兼備型の転換を実現」すると謳い⁶⁴、「空天一体」と「攻防兼備」

⁶² 『旬刊 中国内外動向』第44巻、第7号、ラヂオプレス、2020年3月10日。

⁶³ 「ただの着陸ではないー中国の『月の裏側』探査が世界を震撼させたワケ」ビジネス・インサイダー、2019年1月9日、<<https://www.businessinsider.jp/post-182719>>

⁶⁴ 中华人民共和国国务院新闻办公室『中国的军事战略』人民出版社、2015、中华人民共和国国防部ウェブサイト、<http://www.mod.gov.cn/auth/2015-05/26/content_4586723.htm>

の空軍建設を目指している。「空天一体」とは宇宙の衛星システムと空軍の統合を進め、衛星による作戦支援により軍事作戦の展開の範囲をより遠方に拡大することを指す⁶⁵。また、人民解放軍は、「情報化条件下での局地戦勝利」（情報化を進め短期的な地域軍事作戦に勝利すること）に向け、軍事情報システムの能力強化を図っており、その中で各種の衛星の打ち上げを積極的に進めている⁶⁶。

なお、2019年、中国は32機のロケットを打ち上げたが、これは米国の21機、ロシアの25機を上回り、世界で最も多い数であった⁶⁷。中国航天科技集団は2020年、長征11号を海上から3回、地上から2回打ち上げると表明した。中国は2020年、計40回のロケット打ち上げを予定している。

(イ) 軍事衛星の保有状況

現在中国は軍用あるいは軍民両用の通信衛星「中星」、地球観測衛星「揺惑」、測位衛星「北斗」をそれぞれ有している。早期警戒衛星については、保有していると見られているものの、細部については不明である。

(ウ) 宇宙領域における攻勢的能力の開発状況

a ASAT

中国は対衛星兵器の開発を継続しており、2007年1月、地上から発射したミサイルで自国の衛星を破壊するASAT実験を行った。また、2014年7月には、衛星の破壊を伴わない対衛星ミサイルの実験を行った。

b RPO能力

中国は、低軌道及び静止軌道において、衛星の接近や会合（RPO）の技術に関する試験を継続的に実施している。ただし、現在のところ、実際に目標の破壊に至ったという公開情報ベースの証拠はない。

中国は2010年、2個の小型衛星SJ-06FとSJ-12（Shi Jian「実践」）を低速で衝突させる試験を実施し、RPO技術を実証した⁶⁸。SJ-06Fの表向き用途は「宇宙環境観測と宇宙実験」とされているが、この衛星を用いた科学的な研究成果が公表されていないことから、真の用途は

⁶⁵ 防衛省防衛研究所編『中国安全保障レポート2016』防衛省防衛研究所、2016年、20頁、http://www.nids.mod.go.jp/publication/chinareport/pdf/china_report_JP_web_2016_A01.pdf

⁶⁶ 同上。

⁶⁷ 宙畑ホームページ（Tellus）「宇宙強国なるか？中国の宇宙開発の今」<<https://sorabatake.jp/9536/>>

⁶⁸ 両衛星は、中国航天科技集団との契約の下で上海航天技術研究院が製造した。

ELINT や軍関係の目的と考えられている。両衛星の会合は、地上実験局による監視及び制御の下、SJ-12 の軌道を変更することにより行われ、最終的に、衛星の損傷もデブリの発生もなく、秒速数 m の相対速度で接触させることに成功した。この会合事例は、2005 年に米国が実施した NASA の衛星と海軍の衛星の会合と類似している。

2013 年 8 月には、SJ-15、CX-3 (Chuang Xin 「創新 (イノベーションの意)」)、SY-7 (Shi Yan 「試験」) の 3 基の衛星を用いて会合等の試験を実施した。CX-3 は静止軌道及び低軌道の宇宙物体を光学監視する機能を備えていた。また、SY-7 は、ロボットアームを備えており、他の衛星等に損害を与えるキラー衛星としての能力が追加されていた模様である⁶⁹。

2016 年 11 月、中国は、環境にやさしい推進薬や光学監視センサーの試験を表向きの目的とした SJ-17 を打ち上げ、静止軌道帯に投入した。これ以降、中国は静止軌道帯において SJ-17 を複数の自国衛星に会合させている。特に、2018 年には、軌道上で異常が発生したと見られる通信衛星 CHINASAT-1C に接近し、同衛星を修復したと思われる事例も見られた。

なお、SJ-17 は 2020 年 4 月下旬、ロシアの通信衛星 YAMAL202 及び日本のきらめき 1 号 / スーパーバード 8 の近傍 (東経 163 度付近) に移動し、同年 8 月に再度軌道変更を開始するまでの間、図 5-7 に示すような位置に止まっていた⁷⁰。

⁶⁹ US-China Economic and Security Review Commission, “The PLA’s Interest in Space Dominance,” February 18, 2015.

⁷⁰ Satellite Tracker 3D ウェブサイトより。

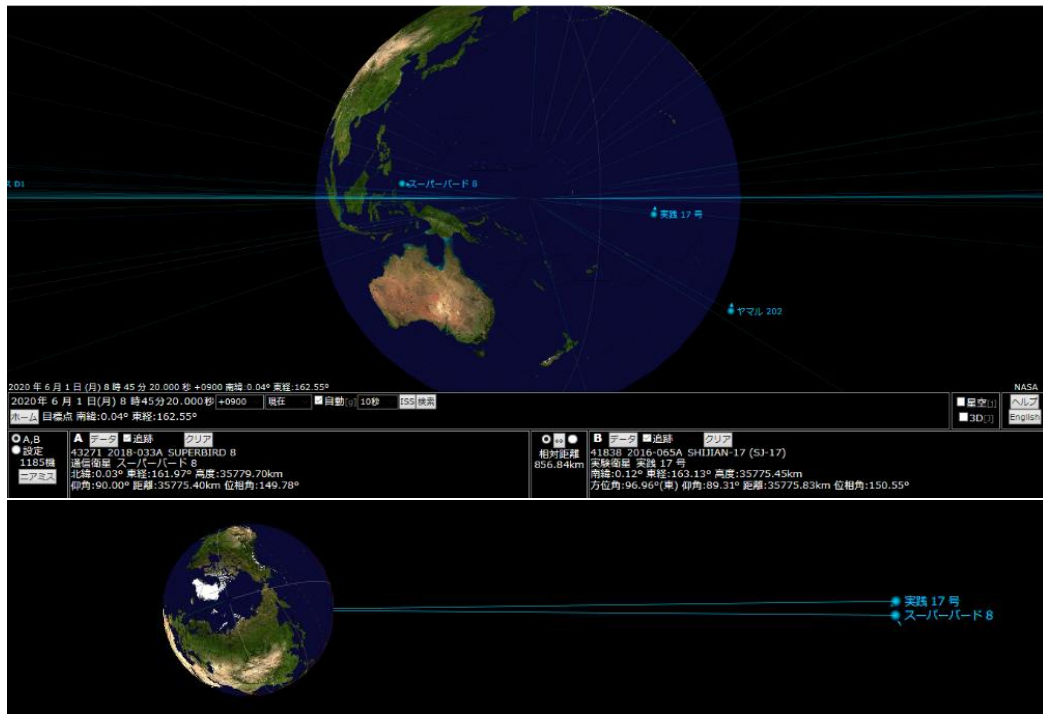


図 5-7 SJ-17 の停留位置 (2020 年 6 月現在)

c 対宇宙妨害機能

2018 年、中国は GNSS に対する妨害を行うと見られる装置をミスター礁及びスプラトリー諸島に配備した。2019 年には、上海港付近において、数週間にわたる GNSS 信号の妨害やなりすましの現象が見られた。

他にも、宇宙アセットに対する電波妨害装置やレーザー光線等の指向性エネルギー兵器を開発しているとの指摘があり、地上配備レーザー兵器を 2020 年内に実戦配備する見込み⁷¹。

d その他の能力開発

2016 年、中国はロボットアームを備えたデブリ除去衛星 AL-1 (Ao Long 「遊龍」) 及び燃料補給衛星 TY-1 (Tian Yuan 「天源」) を軌道の上に投入したが、具体的な活動の形跡はない。

⁷¹ Security World Foundation, “Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment,” April 2020, p.1-20.

(4) ロシア

ア 宇宙関係機関

図 5-8 は、ロシアの宇宙関係機関組織図を表す。宇宙関係機関は、大統領直轄の国防省、連邦政府直轄のロシア連邦宇宙局等が存在し、ロシア連邦宇宙局内のロスコスモスが中心的な役割を担っている。ロスコスモスは行政面及び産業面の機能を兼備するとされており、民生目的の宇宙利用、政府機関による宇宙活動、さらには長距離弾道ミサイルの開発・製造など、宇宙開発や宇宙技術に関連する幅広い分野を担当している。

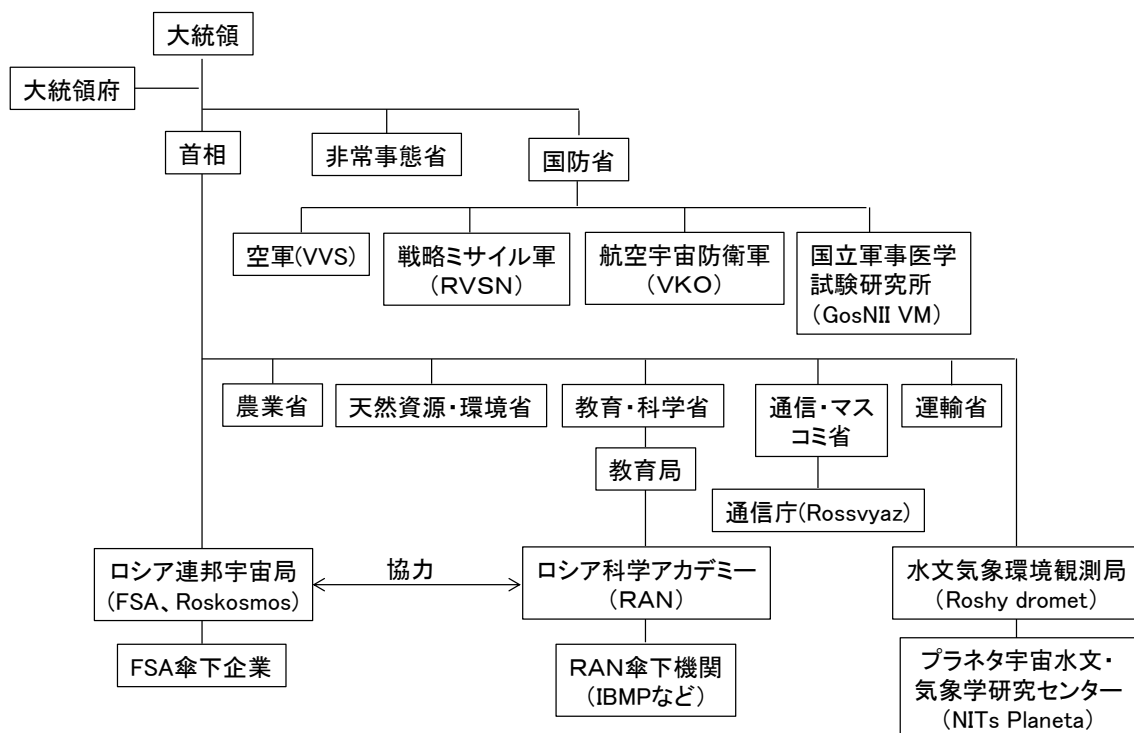


図 5-8 ロシアの宇宙関係機関組織図⁷²

イ 宇宙政策⁷³

(ア) 2013～2020 年のロシアの宇宙活動

ロシアの宇宙政策を規定する基本法としては、1993 年 8 月 20 日連邦法「宇宙活動について」が存在するが、同法は宇宙開発に関する原則を定めたものであり、具体的な宇宙活動は個別の計画によって定めら

⁷² JAXA 調査国際部「ロシア等の宇宙政策の概要」『第 6 回調査分析部会』2013 年 9 月 10 日、
<<https://www8.cao.go.jp/space/comittee/tyousa-dai6/siryuu1.pdf>>

⁷³ 科学技術に関する調査プロジェクト 2016 報告書「宇宙政策の動向」2017 年 3 月。

れている。そのうち最も包括的なものは、2012年に承認され、2013年から開始された国家プログラム「2013～2020年のロシアの宇宙活動」（以下「宇宙活動プログラム」）である。国家プログラムとは、経済、住宅、社会保障など政策分野別に作成される中期計画であり、詳細な使途や目標達成時期を規定することによって予算の効率的かつ確実な執行を目指すものである。

（イ）2016～2025年の連邦宇宙プログラム

宇宙活動プログラムを構成する個別計画のうち、「2016～2025年の連邦宇宙プログラム（FKP-2025）」は科学及び社会経済的目的に関する中期計画であり、ロシア軍が実施する軍事宇宙プログラムやGLONASS（Global Navigation Satellite System、ロシアの測位システム）を除く大部分の宇宙活動に関して主要な方向性及び達成目標などを示したものである。FKP-2025は2段階で実施される。第1段階（2016～2020年）では、これまでに打ち上げられた科学及び社会・経済的用途の衛星群を代替するために最低限必要な衛星を打ち上げるとともに、世界水準のロケット・宇宙技術を維持するために重要技術を用いた構成部品及び機器を最低限必要なだけ製造としている。第2段階は2021～2025年を実施期間としており、軌道上にある一部の衛星を、世界水準を上回る性能の最新型衛星に更新するとともに、2025年以降に出現が予想される次世代技術の開発を行うとしている。

（ウ）軍事政策

国防省が主管する軍事宇宙プログラムについては統一的な政策文書は存在しない。ただし、「国家安全保障戦略」及び「軍事ドクトリン」では宇宙空間への兵器配備が戦略的安定性を損ない、軍事的脅威に発展し得るとの懸念が示されている。軍事ドクトリンの第3章「ロシア連邦の軍事政策」には、戦争の抑止に関して次の記述が見られる。

- ・戦略ミサイル防衛システムの展開、宇宙空間への兵器配備及び精密攻撃兵器を用いた非核戦略攻撃システムの配備によって軍事的優位を獲得しようとする個別の国（国家グループ）の試みに対する対抗策
- ・宇宙空間にあらゆる兵器を配備することを防止するための国際条約の締結
- ・共通の技術的理解に基づいた宇宙空間での安全な活動を含む宇宙活動の安全規制に関する国連での規範的合意

(エ) 宇宙基地に関する政策

ロシアは、現在バイコヌール宇宙基地が担っている有人宇宙飛行及び静止衛星の打ち上げ等の機能を最終的にヴォストークヌィに移転する計画である。バイコヌール宇宙基地はロシアの全打ち上げの 75%を担う主力基地であるが、ソ連崩壊によってカザフスタン政府の管轄下となったため、ロシアは基地使用を継続するために高額の租借料（2016年時点では年間1億1500万ドル）を支払う必要が生じている。また、カザフスタンは旧ソ連諸国の中でもロシアとの関係が良好な国ではあるが、カザフスタン政府の意向によって打ち上げが許可されず、宇宙活動の自在性が損なわれる事態も生じている。これらの宇宙基地の維持、運営及び建設等については、主として連邦特定目的プログラム「2006～2015年におけるロシアの宇宙基地の発展」が定めているが、詳細は公表されていない。ロシア連邦政府が開設している連邦特定目的プログラムのポータルサイトによれば、同計画の目的は次のとおりである。

- ・全ての国産将来型宇宙ロケット及び国防用途の衛星を打ち上げることが可能な地上インフラをロシアの領土内に建設すること。
- ・確実に独立した宇宙アクセス及び宇宙における継続的なプレゼンスを確保すること並びにロシアが独立して宇宙政策を実行するための前提条件を整備すること。

ウ 宇宙利用の動向

(ア) GLONASS

GLONASS は 24 機の測位衛星から構成されるグローバル衛星測位システムである。システムの開発はソ連時代に開始され、1982年に最初のGLONASS用衛星が打ち上げられた。しかし、ソ連崩壊後は予算不足によって必要な数の衛星を打ち上げることができず、実用化の目途が立たない状態であった。一方、プーチン政権下ではGLONASSの実用化が国家的な優先課題として位置づけられ、重点的な資金投下が行われた結果、2011年までに地球全体をカバーするために必要な24機の測位衛星を配備することができた。その後、2012年には民生用測位サービスが開始され、2015年12月には軍事用測位サービスのシステム開発も完了したことが発表された。現行のGLONASS用衛星は初期型に比べて寿命や測位精度を向上させたGLONASS-M衛星であり、GLONASS利用計画では、

今後も GLONASS-M 衛星の運用を継続するとともに更新のための新規打ち上げ（計 13 機）を実施するとしている。

（イ）唯一の有人輸送手段（2011～2020 年）

2011 年にスペースシャトルが退役して以降、2020 年 5 月に米 SpaceX 社がファルコン 9 ロケットで 2 名の宇宙飛行士を ISS に送り届けるまでの間、ロシアの宇宙船ソユーズが宇宙飛行士を ISS に往還させる唯一の手段となった。この宇宙飛行士の ISS 往復に関しては、ロシア連邦宇宙庁（当時）と米国 NASA との間で交わされた新協定において、米国はロシアに対して、2014 年からの 2 年間に総額 7 億 5,300 万ドルを支払うこととされている。なお、日本、欧州、カナダ等は米国の傘下でロシアと協力しており、日本人宇宙飛行士も米ロ協定の枠組みの中で打ち上げられることとなっている。

（ウ）シー・ローンチ

1993 年、ロシアのエネルギア社が米国ボーイング社に提案したことがきっかけで、ノルウェーやウクライナの民間会社も参加して実現した国際プロジェクトが「シー・ローンチ (Sea Launch)」であり、可動式海上システムでロケットの打ち上げを行うものである（写真は図 5-9 のとおり）。2009 年の経営破綻を経て、エネルギア社がシー・ローンチ社の 95% の株式を保有していたが、2016 年にロシアの S7 グループによって買収された。ロケット打ち上げ施設「オデッセイ」は、長さ 137m、幅 67m、最大排水トン 5 万 600 トンの構造物であり、約 12 ノットで司令船に曳航される。同時に 3 つのロケットを搭載可能である。赤道付近まで航行した後、ロケットを打ち上げることができ、ロシアの有するバイコヌール宇宙基地やプレセツク宇宙基地と比し、より地球の自転による推進力をロケットに与えることができることや、傾斜角を修正する必要がなくなることにより、燃料消費量の観点から有利である。

最初の打ち上げは 1999 年で、ゼニット 3SL ロケットにより 4.5t の実物大の衛星模型が打ち上げられた。年に 6～8 回程度打ち上げられ、ロシアに限定すると、2012 年はゼニットが 3 回打ち上げられ、欧米の通信衛星などを軌道に乗せている。打ち上げの成功率は 95% に上る。ただし、2013 年 2 月にインテルサットの打ち上げに失敗した後、打ち上げは行わ

れていない⁷⁴。



図 5-9 シー・ローンチ

エ 軍事関連

(ア) 航空宇宙軍の任務

航空宇宙軍は空軍と航空宇宙防衛部隊が統合して創設され、2015年8月に任務を開始したとされる。航空宇宙軍の任務は①航空兵力の集中的な戦闘指揮、②防空・ミサイル防衛、③衛星の発射及び制御、④ミサイル攻撃警戒、⑤宇宙空間の監視などである⁷⁵。

(イ) 航空宇宙軍の作戦能力⁷⁶

軍事面の宇宙活動は、航空宇宙軍（VKS）の宇宙部隊（KV）が担当する。宇宙部隊はプレセツク宇宙基地等の軍事用宇宙インフラを運用しており、偵察衛星など主要な軍事衛星の打ち上げ及び運用を独自に実施する能力を有する。2000年以降のプーチン政権下では国防費の増額に伴って軍事衛星の打ち上げが活発に行われるようになってきた。2015年に開始されたシリアへの軍事介入においては、軍が運用する偵察衛星とロスコスモスが運用する民生用衛星合わせて10機の衛星が目標情報の取得や通信中継のために投入されたほか、GLONASSによって誘導される巡航ミサイルや衛星誘導爆弾も実戦使用された。また、2015年には、既に機能を喪失していたソ連時代の弾道ミサイル警戒衛星を代替する「統一宇

⁷⁴ 科学技術振興機構「ロシアの宇宙開発」2017年3月。

⁷⁵ 防衛省「日本の防衛—防衛白書〈平成30年版〉」2018年9月。

⁷⁶ 国立国会図書館調査及び立法考査局「宇宙政策の動向：科学技術に関する調査プロジェクト2016報告書」国立国会図書館、2017年3月。

宙システム（EKS）」を構築するため、新型ミサイル警戒衛星ツンドラの1号機が打ち上げられた。

（ウ）衛星の不審な活動

ロシアは、低軌道及び静止軌道において、RPO活動を継続的に実施している。

2014年9月28日にロシアが打ち上げて静止軌道帯に投入した軍事衛星 Luch が、打ち上げから7か月後、米国の通信衛星 Intelsat7 と Intelsat901 の間に位置し、10kmまで近づいた。Intelsat Generalの社長は、「ロシアの軍事衛星は正常な動作ではないため、心配である。」とコメントしている⁷⁷。

また、2018年9月7日、フランスのパリル国防相は、ロシアの衛星が2017年にフランスとイタリアが共同運用する軍事衛星「アテネ・フィドス」に異常に近づき、通信を傍受しようとしていたと明らかにした。米国政府も同年8月、ロシアの衛星に不審な動きがあると語るなど欧米でロシアの宇宙空間での動きに警戒感が高まっている⁷⁸。通信衛星が傍受されれば、我々の作戦が相手に暴露されてしまう。不審な衛星の把握及びその対処が今後の課題の一つである。

2019年12月には、低軌道に投入された衛星から切り離された小型衛星が、米国家偵察局の衛星の観測に適した軌道に軌道変更を行った。

2020年7月23日、米統合宇宙軍は、ロシアが自国の衛星 Cosmos2543 から新たな物体を軌道上に投入したと発表し、これはロシアが対衛星兵器の開発の一環として行った「破壊を伴わない宇宙配備型の対衛星兵器の試験である」とした⁷⁹。これに対し、ロシアの外務省は、「自国の衛星に対する検査を至近距離から行った」ものであり、「国際法の原則に違反するような事は何もしていない」と反論している⁸⁰。

⁷⁷ Mike Gruss, “Russian Satellite Maneuvers, Silence Worry Intelsat,” *SPACENEWS*, October 9, 2015, <<https://spacenews.com/russian-satellite-maneuvers-silence-worry-intelsat/>>

⁷⁸ 日本経済新聞ウェブサイト「ロシアが仏伊の軍事衛星傍受試みる、仏国防相」2018年9月8日、<<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO35142290Y8A900C1NNE000/>>

⁷⁹ “Russia conducts space-based anti-satellite weapons test,” U.S. Space Command, July 23, 2020, <<https://www.spacecom.mil/MEDIA/NEWS-ARTICLES/Article/2285098/russia-conducts-space-based-anti-satellite-weapons-test/>>

⁸⁰ “Russia satellite: Kremlin accuses US and UK of ‘distorting’ truth,” BBC NEWS, July 24, 2020, <<https://www.bbc.com/news/world-europe-53529659>>

(5) 欧州

ア 宇宙関係機関⁸¹

欧州における宇宙計画は、1964年に欧州の10か国で結成された欧州宇宙研究機関（European Space Research Organization : ESRO）と、同年に欧州独自のロケット開発を目指して欧州の7か国によって設立された欧州ロケット開発機関（European Space Launcher Development Organization : ELDO）によって始まった。ELDOにおいて、ロケット打ち上げ試験に成功することはなく、打ち上げは米国に依存していた。1960年代、欧州初の通信衛星「シンフォニー」の打ち上げを米国に依頼したが、衛星通信市場の独占維持を目指す米国に断られ、欧州独自の衛星通信サービスを実施することができなくなった。独自の衛星打ち上げ手段の必要性を痛感した欧州諸国は、打ち上げ手段の開発を進めるため、1975年ESROとELDOを合併してESAを設立した。

1975年の設立当時、ESAの加盟国は10か国であったが、その後、加盟国は徐々に増加し、冷戦終結後には旧社会主義諸国も加盟するようになった。この結果、現在の加盟国は22か国となっている⁸²。その他にカナダも特別協力国として1979年から参加している。ESAの本部はフランスに置かれており、組織全体の運営や意思決定を担っている。ESAにおいては、2004年5月、EUとの「枠組み協定」により、連携した宇宙開発を推進することや定期的な閣僚級理事会を開くことなどを規定し、2007年5月、EU・ESA合同閣僚級理事会において、「欧州宇宙政策」を承認している。

イ 宇宙政策⁸³

(ア) 欧州宇宙政策

欧州宇宙政策では、民生目的及び防衛目的の宇宙活動の相乗効果の向上や、加盟国の調整のとれた宇宙活動、国際競争力のある宇宙産業の確保などの重要性が示され、安全保障が優先分野の一つとして位置づけられている。

⁸¹ 国立国会図書館「宇宙政策の動向」2017年3月。

⁸² オーストリア、ベルギー、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス。

⁸³ 国立国会図書館「宇宙政策の動向」2017年3月。

(イ) 2016年版欧州宇宙戦略

2016年10月、欧州委員会は欧州宇宙政策を発展させた「欧州宇宙戦略」を公表し、次に示す戦略的目標を掲げた。

- ① 欧州の公的な政策目標及び欧州の企業・市民のニーズ（環境、開発及び地球規模の気候変動の分野を含む。）に対応した宇宙の利用方法を開発し、活用する。
- ② 宇宙に関する欧州の安全保障・防衛ニーズを満たす。
- ③ イノベーション、成長及び開発を促進する強固で競争力の高い宇宙産業を保持し、持続可能、高品質かつ費用対効果の高いサービスを提供する。
- ④ 宇宙科学に強力に投資し、国際的な探査事業において重要な役割を果たすことによって、知識基盤社会に貢献する。
- ⑤ 独立した欧州の宇宙利用を確実にするために、新規かつ重要な技術、システム及び能力への無制限のアクセスを確保する。

(ウ) 2019年版フランス宇宙防衛戦略

2019年、フランスは「宇宙防衛戦略」を発表し、「宇宙は軍にとって必須の領域であるが、宇宙利用については革命的な変化が進行しており、宇宙へのアクセスの競争は増大している」という認識の下、次の4つの指針を示した。

- ① フランスの宇宙防衛ドクトリンを強化する。
- ② 宇宙に係る軍の体制をフランスの野心的な政策に適合させる。
- ③ フランスの野心的な政策に応じた宇宙能力を開発する。
- ④ 宇宙防衛の専門知識を高める。

ウ 宇宙利用の動向⁸⁴

(ア) ガリレオ計画及び欧州静止衛星測位サービス (EGNOS)

ガリレオ計画は1990年代からドイツ、フランス、イタリアが個別に計画していた衛星による測位システムの計画を統合したものであり、米国の全地球測位システム (GPS) による高精度な信号が有事に利用できなくなった場合でも利用可能な民生用衛星測位システムとして構想された。ガリレオ計画は、30機の測位衛星を高度約24,000kmの中軌道に展開し、地球全体において信号を受信可能とする計画であり、2020年までに全て

⁸⁴ 国立国会図書館「宇宙政策の動向」2017年3月。

の測位衛星が打ち上げられる見込みである。また、前述の欧州宇宙戦略においては、ガリレオ計画と欧州静止衛星測位サービス（European Geostationary Navigation Overlay Service : EGNOS）を統合する方針が掲げられている。EGNOS とは、ESA、欧州委員会、欧州航空航法安全機構（Eurocontrol）による合同プロジェクトである。3機の静止衛星と地上局を使用してGPSの測位精度を示す信号を発信することでGPSを補強し、航空機や狭い水路を航行する船舶の管制をより高い精度で実施することを目的とする。

（イ）コペルニクス計画

コペルニクス計画は衛星による地球全体に対する観測能力の構築を目指すものであり、従来は、グローバル環境・安全保障モニタリング（Global Monitoring for Environment and Security : GMES）計画と呼ばれていた。コペルニクス計画は、陸域観測、海洋環境観測、大気観測、危機管理、安全保障及び気候変動の6分野を主要な対象分野としており、6種類の地球観測衛星（センチネル衛星）各2～4機によって構成される。現在はレーダー及び光学衛星の配備が進められている段階であり、2020年以降は現行の気象衛星を代替するため、センチネル-4～センチネル-6の配備が本格化する見込みである。

エ 安全保障⁸⁵

（ア）衛星情報の共有を巡る協力体制

欧州における安全保障面の宇宙協力の具体的な形態としては、各国が保有する衛星の光学及びレーダー情報の共有が挙げられる。欧州の軍用（又は軍民共用）衛星としては、フランスが主として光学衛星、ドイツ及びイタリアがSAR衛星を保有しており、各国が個別に協力協定を結ぶことで衛星情報の共有がなされた。また、衛星情報の共有をさらに拡大するため、2006年から監視・偵察・観測用多国間宇宙配備画像システム（Multinational Space-based Imaging System for Surveillance, Reconnaissance and Observation : MUSIS）の構築が始まった。これは、ドイツ、フランス及びイタリアが新たに開発する光学衛星及びSAR衛星の情報をMUSIS参加諸国に提供するというものである。MUSISには上記の3か国のほかベルギー、スペイン、ギリシャが参加している。各国が

⁸⁵ 国立国会図書館「宇宙政策の動向」2017年3月。

保有する軍用（又は軍民共用）衛星も EU の安全保障に寄与し得るものとして、EU の地球観測衛星計画であるコペルニクス計画に対しても衛星情報を提供する。

（イ）宇宙状況監視

ESA による SSA 計画は、2008 年 11 月の ESA 理事会で決定され、2009 年から選択参加制プログラムとして開始された。現在 3 分野（宇宙物体の追跡及びカタログ化、宇宙気象、地球近傍物体）が ESA の SSA 計画の対象分野となっている。

EU は 2000 年代半ばからデブリや衛星に対する攻撃といった脅威に注目しており、2007 年の中国による衛星破壊実験後は宇宙の安定利用について関心をさらに強めた。欧州議会は 2008 年の「宇宙と安全保障に関する決議」において欧州共通の SSA システムを整備する方針を打ち出している。

EU における SSA では、宇宙物体の監視及び追跡（SST）が重視されており、2014 年には、欧州議会と EU 理事会が SST 活動の支援に関する枠組みの創設を定める決議を採択した。同枠組みは、制御できない衛星の大気圏再突入の監視、宇宙デブリの拡散防止、打ち上げ時及び軌道上における衝突の危険を軽減するため、欧州の SST サービスを提供することを目的としている。

(6) インド

ア 宇宙関係機関

インドの宇宙関係機関組織図について図 5-10 に示す。このうち、中心的な役割を果たすのは、1969年に設立されたインド宇宙研究機関(Indian Space Research Organization : ISRO)である。ISRO はインド最大の宇宙機関としてロケットや衛星に関する研究・開発・製造・運用能力を持つ(ロケットは液体推進システム・センター、衛星は ISRO 人工衛星センターが開発・製造を担当)。ISRO のように宇宙機関自身がロケットや衛星の製造まで実施している例は世界的に見ても珍しい。1972年には、宇宙庁(Department of Space : DOS)が設置された。宇宙庁は宇宙政策や予算を策定する宇宙政策の監督官庁であり、前述の ISRO のほか、商業宇宙サービスを担う国有企業であるアントリックス(Antrix)社や各種の宇宙研究機関などに対しても監督権限を有する。

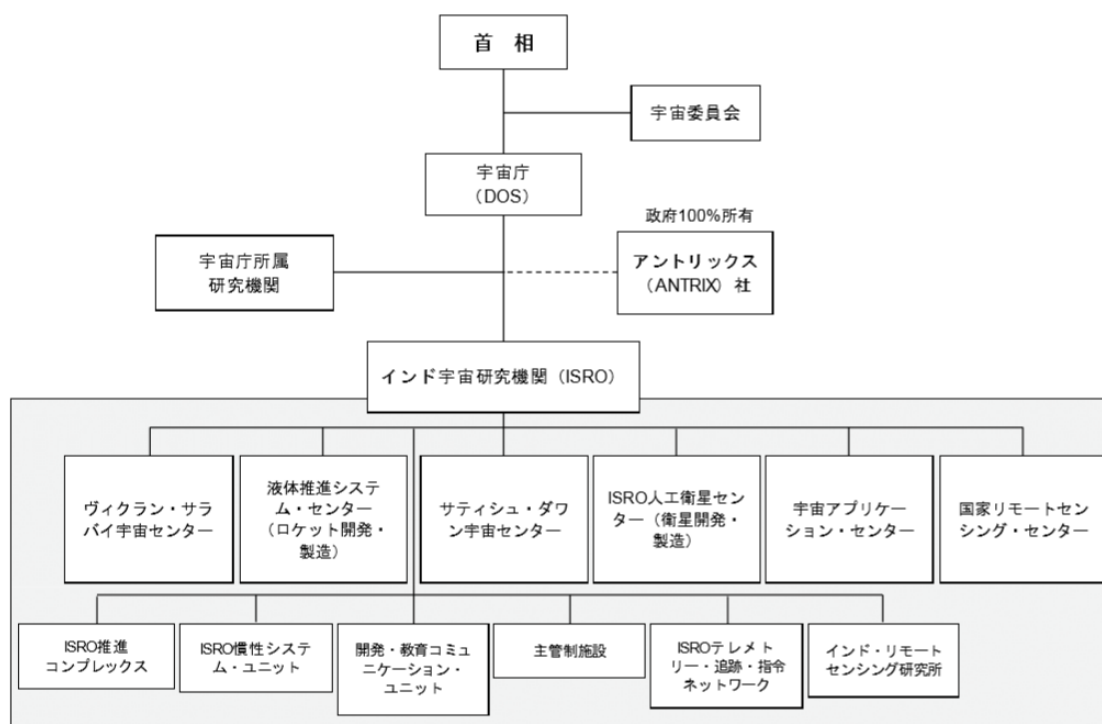


図 5-10 インドの宇宙関係機関組織図⁸⁶

⁸⁶ "Organization Structure," Indian Space Research Organization website, <<http://www.isro.gov.in/about-isro/organisation-structure>>

イ 宇宙政策

(ア) 全般

現在、インドの宇宙計画を規定しているのは、インド全体の国家計画である第12次5か年計画（2012～2017年）⁸⁷であるが、同計画における宇宙計画は、2025年を達成目標としてその一部を規定するものと位置づけられている。2025年までの宇宙活動の主要な方向性は以下のとおりである。

- ・ 通信及び航法サービスの強化及び拡大
- ・ 天然資源管理、気象及び気候変動研究のための先進的な画像取得能力の開発
- ・ 太陽系及び宇宙をより深く理解するための宇宙科学ミッション
- ・ 惑星探査ミッション
- ・ 大型ロケット及び再使用型ロケットの開発
- ・ 有人宇宙飛行プログラム

(イ) 各種施策

インドの宇宙開発における特徴は、米国やソ連のように軍事技術の開発や国際的な威信の獲得ではなく、社会インフラとしての宇宙利用を念頭に置いて進められてきたことである。

インド政府は ISRO を事務局とする省庁間制度として国家天然資源管理システム (National Natural Resource Management System : NNRMS) を設置し、地球観測衛星による土地利用・水資源利用の管理や地図の作成といった実利用目的での宇宙データ提供を行ってきた⁸⁸。NNRMS に観測データを提供するのは ISRO のインド地球観測 (Indian Remote Sensing : IRS) システムと呼ばれる衛星群であり、政府が運用する地球観測網としては世界有数の規模である⁸⁹。また、インド政府は現在、軍事通信衛星を含めて13機の通信衛星を運用しており、医療施設の不足している農村部での遠隔医療や、広大な国土の全域での通信教育を提供する

⁸⁷ Planning Commission (Government of India), *Twelfth Five Year Plan (2012-17): Faster, More Inclusive and Sustainable Growth*, Volume 1, 2013, pp.264-268, <http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/12thplan/pdf/12fyp_vol1.pdf>

⁸⁸ 鈴木一人『宇宙開発と国際政治』岩波書店、2011年、156-157頁。

⁸⁹ “NNRMS Remote Sensing: Provide Leadership and Continuity in Earth Observations through an Operational Earth Observation Infrastructure,” NNRMS website, <<http://www.nnrms.gov.in/greennnrms/Page.jsp?option=RemoteSens>>

ために使用している⁹⁰。このほか、インドは独自の衛星測位システムであるインド地域測位衛星システム（Indian Regional Navigation Satellite System : IRNSS）を運用している。IRNSS は、静止衛星 3 機を含む 7 機の衛星によってインド全土及び周辺地域において測位及び計時機能を提供するシステムであり、運用は ISRO が担当する。

ウ 宇宙利用の動向

（ア）宇宙利用の商業化

インドの宇宙開発には、従来と異なる動向も見られるようになってきた。第 1 が、宇宙利用の商業化である。インド政府は 1992 年、DOS の下に政府が株式を 100% 所有するアントリックス社を設立し、ISRO による技術開発の成果を国際的に売り込むための取り組みを開始した。アントリックス社の業務内容は以下のとおりである⁹¹。

- ・衛星通信サービスの提供
- ・衛星打ち上げサービスの提供
- ・インド及び外国の地球観測衛星から取得したデータの販売
- ・衛星及び衛星用システムの販売
- ・宇宙利用用地上施設の設置
- ・衛星の運用支援サービス

衛星打ち上げサービスの中心的な役割を果たしているのは PSLV ロケットである。同ロケットは 2016 年 12 月までの打ち上げ回数 38 回のうち 37 回が成功するなど高い信頼性を有し（成功率 97.4%）⁹²、打ち上げ費用も比較的安価なことから、衛星打ち上げ市場において高い競争力を有している。また、近年ではインターネットの普及などによって通信衛星の需要が増加し、大きな商業機会となっている。このため、ISRO では、従来はコンポーネントの製造までしか実施していなかった民間企業にも、最終組立てまで含めた衛星の製造に参入するよう求めている⁹³。

（イ）安全保障への宇宙利用

インドの宇宙開発に関する第 2 の新たな動向としては、安全保障領域

⁹⁰ 人工衛星の保有数は以下の資料による。“UCS Satellite Database,” Union of Concerned Scientists website, <<http://www.ucsusa.org/resources/satellite-database#XE6Pd1X7RaQ>>

⁹¹ “About us,” Antrix Corporation Limited website, <<http://www.antrix.gov.in/about-us>>

⁹² “Polar Satellite Launch Vehicle,” Indian Space Research Organization website, <<http://www.isro.gov.in/launchers/pslv>>

⁹³ Pallava Bagla, “ISRO Throws Satellite Making Open To Private Sector,” 2016.6.24. NDTV website, <<http://www.ndtv.com/india-news/isro-throws-satellite-making-open-to-private-sector-1423043>>

における宇宙利用の増大が挙げられる。2010年以降は、インド国防省が統合参謀本部（Integrated Defense Staff：IDS）内にDOS及びISROとの合同機関として設置した統合宇宙室（Integrated Space Cell：ISC）が窓口機関となり、IRSシステムを構成する衛星群が取得した情報を陸海空軍に提供する体制が構築されている⁹⁴。また、近年ではインド軍が独自に衛星を運用し、宇宙作戦を実施するための宇宙コマンド（司令部）を設置すべきであるとの議論も見られる。中でも2016年10月に、アルプ・ラハ（Arup Raha）空軍参謀長（当時）が、ISCを基盤として三軍合同の防衛宇宙庁（Defense Space Agency：DSA）を設置し、将来的には宇宙作戦を統一的に指揮する宇宙コマンド（司令部）に発展させるとの構想を述べたことが注目される⁹⁵。

（ウ）宇宙探査

第3の新たな動向は、これまで重視されてこなかった宇宙科学研究、特に月・惑星探査に対して積極的な姿勢が見られるようになったことである。実際にインドの宇宙探査は大きな成果を挙げている。月探査に関しては、2008年に初の月探査機チャンドラヤーン1号を月軌道に投入することに成功し、月に水が存在することを明らかにした⁹⁶。2019年にはチャンドラヤーン2号を打ち上げ、月への着陸を目指したが、月周回軌道への投入は成功したものの、月への着陸は失敗した⁹⁷。インドは火星探査にも取り組んでおり、2014年にはアジアで初めて火星探査機マンガルヤーン1号を火星軌道に投入することに成功した。このほか、第12次5か年計画の枠内においてはインド初の多波長宇宙観測衛星「アストロサット-1（Astrosat-1）」が2015年に打ち上げられたほか、第13次5か年計画以降においてインド初の太陽観測衛星「アディーティヤ-1（Aditya-1）」等の宇宙研究用衛星の打ち上げも計画されている⁹⁸。

⁹⁴ GD Sharma, “Space Superiority: Integrated Space Cell needs to be upgraded to an aerospace command,” April 2016. Force website, <<http://www.forceindia.net/SpaceSuperiority.aspx>>

⁹⁵ Ashish Singh, “Additional type of Fighter aircraft may be made in India: Arup Raha,” 2016.10.9. Sunday Guardian Live website, <<http://www.sundayguardianlive.com/news/6872-additional-type-fighter-aircraft-may-be-made-india-arup-raha>>

⁹⁶ “Chandrayaan-1,” 2008.10.22. Indian Space Research Organization website, <<http://www.isro.gov.in/Spacecraft/chandrayaan-1>>

⁹⁷ 寺門和夫「宇宙開発の未来年表」イースト・プレス、2020年、113-116頁。

⁹⁸ “Aditya: L1 First Indian mission to study the Sun,” Indian Space Research Organization website, <<http://www.isro.gov.in/aditya-l1-first-indian-mission-to-study-sun>>

(エ) 宇宙開発の将来

ロケットについて言えば、当面の課題は大型打ち上げロケット GSLV Mk.III の実用化である。これにより、現在は欧州のアリアンロケットに依存している静止衛星の打ち上げをインドが独自に実施することが可能となる見込みである。また、第12次5か年計画には、宇宙輸送に関する課題として有人宇宙飛行プログラムに関する重要技術及び構成システムの開発が盛り込まれている⁹⁹。ISRO は2006年から3人乗りのカプセル型宇宙船の開発を進めており、2007年には宇宙カプセルの大気圏への再突入実験も実施されているほか、2014年には有人宇宙飛行を想定した乗員搭乗設備を GSLV Mk.III ロケットを使用して無人で打ち上げ、回収する実験にも成功した¹⁰⁰。2018年8月、モディ首相は英領からの独立75周年を迎える2022年までに、有人宇宙飛行を実施すると表明した。2019年6月には ISRO のシヴァン議長が、将来はインド独自の宇宙ステーションを構築する計画であると発表した。インドの有人飛行計画は、「ガガンヤーン」と呼ばれる。¹⁰¹

⁹⁹ Planning Commission (Government of India), *op.cit.*(6), p.267.

¹⁰⁰ Binoy Valsan, “Isro successfully test-fires GSLV Mark III carrying unmanned crew module,” 2014.12.18. The Times of India website, <<http://timesofindia.indiatimes.com/india/Isro-successfully-test-fires-GSLV-Mark-III-carrying-unmanned-crewmodule/articleshow/45557579.cms>>

¹⁰¹ 秋山文野「インド、独自の宇宙ステーション構築を表明」、<<https://news.yahoo.co.jp/byline/akiyamaayano/20190614-00130036/>>

(Intentionally Blank)

6 国際宇宙法（宇宙に関する国際法）

NATO を始め、諸国は宇宙を重要なドメインとして強く意識し活動を強化している。我が国の自衛隊も宇宙における活動を活発化させようとするなか、宇宙には、第2章で述べたとおり、「必然的に（国境を越えた）全球的な活動が必要となる」という固有の特質があることから、国際法の知識は戦略上必須である。本章では、その概要と考え方の枠組みを提示する。

（1）国際法の理解

国際法は国家間の関係調整を円滑に行う上で重要な役割を果たしてきた規範であり、これを軽視した活動は厳に慎まなければならない。国際社会における法の支配の確立は我が国の名誉ある行動指針である。また、国際社会においては、力を背景にした強引な行動は、結果的に深刻な不利益を招くことが往々にしてある¹⁰²。

人類は活動範囲を陸から海、さらには空へと拡大し、今や宇宙においても活発に展開している。活動範囲の拡大は、国際法の適用対象も拡大（発展）させてきた。国際法の中でも、宇宙での活動との兼ね合いで発生する現象を規律するもの（法的拘束力を有するもの）を包括して、ここでは国際宇宙法と呼ぶことにする。その趣旨は、宇宙空間、即ち、月その他の天体を包含する物理的空間において適用のある国際法に限定せず、例えば宇宙空間からの落下物など地球内ののものであっても、宇宙との兼ね合いで捉えうる事物を適用対象とする国際法をも含めて、国際宇宙法として体系的に把握することにある。

国際宇宙法が国際法の一部である以上、国際法の一般的性質の理解なくして適切に把握することも議論することもできず、宇宙の安全保障に関わる国際法の文言の理解だけでは戦略思考の助けにはならない。国際法には、その適用場面が陸であるか海であるかといった種別によらず一般的に想定される性質があり、そのことを十分に踏まえた上で、宇宙の特殊な状況を更

¹⁰² なぜ諸国は国際法を守るのか。この古典的な問いへの答えは、国際社会をどう見るかを巡って分かれる。リアリズム (realism)、リベラリズム (liberalism)、社会構成主義 (constructivism) のそれぞれに特徴的な回答があり、例えばオフエンシブ・リアリストとされるミアシャイマー (Mearsheimer) は、国際法を遵守する動機は、それがひとえに国家の利益に合致するからであるとする。John Mearsheimer, "The False Promise of International Institutions," *International Security*, vol.19 no.3, 1994, pp.5-49. こうした点をまとめたものとして次を参照。Heath Pickering, "Why Do States Mostly Obey International Law?" *E-International Relations*, 4 February 2014.

に上乘せして把握することで、国際宇宙法に固有の性質は初めて体系的に理解可能となるのである。

国際法は、主として条約と慣習法からなる法体系である。これは、主体間の契約自由の原則を前提としつつも一定の公序の制約を受けるという、我が国を始めとする諸国の民法に類似の法体系であり、現在までの国際社会が、複数の主権国家が併存するシステムとなっていることの帰結である。主権国家は自身の行動を他から制約されない自由を有しており、このことは、国力の大小によらず、米国のような超大国であろうと、太平洋に浮かぶ島からなる小国であろうと、国際法上は平等に扱われることを意味している（主権国家間の平等。無論、法以外の面では国の大小や経済格差は当然に存在する）。したがって、主権国家を拘束することができるのは自らの意思のみである、という考えが現代の国際法の基礎をなす根本規範「合意は拘束する（ラテン語で *pacta sunt servanda*）」の趣旨である。合意は書面である必要はなく、実体としての約束があれば良い¹⁰³。ただし、便宜上合意は書かれたものであることが一般的であり、それが条約群をなしている（実質的な合意の意義。強要された合意は無効となる）。

他方、諸国が長年の慣行を通じて国際法としての存在を示す場合があり、それが慣習法（*customary international law*）と呼ばれる。慣習法は、一定の国家慣行（*customs*）と、その前提となる法的意識（ラテン語で *opinio juris*）の二つが確認できるような場合に、国際法として認められてきた。例えば海というドメインについては、関係国は比較的古くから活発に活動しており、公海自由の原則をはじめ、領域確定や海上での管轄権を巡る規範の多くは、慣習法として形成されてきたと言われる。一方、慣習法は不文律であって理解の共有が困難であるため、これを成文法とすべく国連の国際法委員会は国連海洋法条約の起草のための会議開催を斡旋してきた（慣習法の法典化作業）。その背景には、慣習法の成立が間に合っていなかった分野（例えば大陸棚の管轄権を巡る規範）において、関係国間の主張が対立し、紛争が絶えなかったという現実があった。したがって、国際法委員会は慣習法の明文化だけでなく、新しい規範を提案するという意味での法典化作業を進めることもある。1982年に起草され採択された国連海洋法条約は、こうし

¹⁰³ 条約法に関するウィーン条約(*Vienna Convention on the Law of Treaties*, UNTS 1555, signed at 23 May 1969)2条1(a)『条約』とは、国の間において文書の形式により締結され、国際法によって規律される国際的な合意（単一の文書によるものであるか関連する二以上の文書によるものであるかを問わず、また、名称の如何を問わない）を言う。

た作業が統合されたものである¹⁰⁴。

同じことは宇宙についても言える。海や空と比較すると、人類が宇宙で活動を始めたのは 20 世紀に入ってからのものであり、人類の活動領域としての日はまだ浅い。したがって、慣習法を形成するには時間が不十分であることが多く、条約に期待するところが大きい¹⁰⁵。しかし、宇宙に関する諸条約のうち最も基本的な内容を規定したとされる宇宙条約でさえ、その起草と採択が米ソ冷戦の先鋭化の時期と重なったこともあり、条約の前提となる考え方や、その規律対象は、必ずしも十分なものとはならなかった。採択された宇宙条約は 17 か条のみで構成されるにとどまり、発展著しい宇宙活動の全てをカバーするものにはもちろんなり得なかった。

こうしたことを踏まえると、国際宇宙法については、未だその規律対象の範囲や規律内容の中立性などを巡る課題を多く残した法体系であると言わなければならない。科学技術の進展や社会状況の変化に応じた規範の発展の余地がまだまだ大きく残されていることが、国際宇宙法の特徴であるとも言える。

(2) 国際宇宙法の概要

本項では、安全保障に関連する内容を中心に、国際宇宙法について概説する。

国際宇宙法も国際法の一部である以上、その法源は、既にみたように条約群と慣習法群からなる。後者以上に前者が重要であることについても既に述べた。いずれも、明確な法的拘束力を有する意味で、いわゆるハード・ローとして注目されるものである。

他方、人類の宇宙に関連する活動の活発化に伴い、範が求められている。宇宙については、このような実質的に諸国の行動を規律する機能を発揮し得る規範（いわゆるソフト・ロー）にも目配せしなければならない¹⁰⁶。国際

¹⁰⁴ *United Nations Convention on the Law of the Sea*, UNTS 1834, signed at 10 January 1982.

¹⁰⁵ 比較的短期で成立するものとされる、いわゆるインスタント慣習法等の、「慣習法の短期的な成立や消滅・変更等の現象」を踏まえた慣習法の形成過程の分析につき、和文で参照可能な優れた論考として、篠原梓「現代国際社会における慣習国際法の形成—国際連合の活動を中心として—」『社会科学ジャーナル (国際基督教大学)』24 巻 2 号、1986 年、28 頁。同じくより広い文脈から国際立法の問題を捉えたものとして、村瀬信也「現代国際法における法源論の動揺—国際立法論の前提的考察として—」『立教法学』25 号、1985 年。

¹⁰⁶ 宇宙におけるソフト・ローの機能と法源論をはじめとする法理論上の整理につき、次を参照。Irmgard Marboe ed. *Soft Law in Outer Space: The Function of Non-binding Norms in International Law*, Bohlau Verlag GmbH U Co Kg, 2012.

宇宙法がハード・ローの体系であることは明確にすべきであるが、関連するソフト・ローを無視したのでは、急速に進化する宇宙領域の活動を規定する国際宇宙法に対する動態的理解が不十分となり、ひいては我が国の戦略的判断や諸国に先駆ける進取の取り組みを鈍らせかねないからである。

以下に、法的拘束力のあるハード・ローを軸に、それを補完するソフト・ローも含めた国際宇宙法の全体像を概説する。

ア 主要 5 条約

国際宇宙法を構成する条約群のうち、とりわけ主要なものは、宇宙条約、宇宙救助返還条約、宇宙損害責任条約、宇宙物体登録条約、月協定の 5 つである。いずれも、1959 年に設置された国連の宇宙空間平和利用委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space : COPUOS）と、その下部組織である法律小委員会に諸国が主導される形で、順次起草され採択されたものである¹⁰⁷。日本も含めた主要国は、これら 5 条約のうち、月協定を除く 4 条約の加入国となっている。

(ア) 宇宙条約

宇宙条約は、その採択に先立つ 1963 年 12 月の「宇宙法原則宣言」（国連総会決議 A/RES/1962）に従った内容のものとなっている。その原則的な内容故に、「宇宙活動の憲法」としても知られている。

宇宙条約は、宇宙空間の探査及び利用は「全ての人類のため」に行われるものであるとした上で、全ての国がいかなる種類の差別もなく、平等の基礎に立ち、かつ、国際法に従って、自由に探査し及び利用することを認めている（1 条。宇宙活動自由の原則）。そして、「月その他の天体を含む宇宙空間」の取得を否定する（2 条。宇宙空間領有禁止原則）。

また、宇宙空間の軍事利用は原則として禁止されている（4 条。宇宙平和利用原則）。ただし、これには例外があり、領有禁止の場合とは異なり、軍事利用が禁止される範囲は宇宙空間のうち月及び天体に過ぎない。つまり、月及び天体以外の宇宙空間の軍事利用は禁止されていないのである。

他方で、月及び天体以外の宇宙空間のうち、地球の衛星軌道（地球を周回する軌道）上については、特別な制約があり、衛星軌道に大量破壊兵器を乗せてはならないことになっている。したがって、例えば核ミサ

¹⁰⁷ United Nations, “International Co-operation in the Peaceful Uses of Outer Space,” UNGA Res.1472 (XIV), 12 December 1959.

イルなどの大量破壊兵器を宇宙に向かって射出すること自体は禁止されないため、宇宙空間を通過して地球上に落下する大陸間弾道ミサイルなどは、宇宙条約上は制約を受けない。同様に、地球の衛星軌道上であっても、例えば大量破壊兵器に該当しないレーザー兵器を装備した衛星を周回軌道に投入することは、宇宙条約の禁止するものではないのである。

また、宇宙条約は、国際法における国家責任について、一般的な過失責任主義ではなく、無過失責任主義を採用している¹⁰⁸。したがって、国家は自身（政府機関）の行為のみならず、自身によらない行為に対しても国際責任を有することになっている（6条。国家への責任集中原則）。ただし、「自国の領域若しくは施設から物体が発射される場合」の責任は、「条約の他の当事国又はその自然人若しくは法人に与える損害」に限定されている。即ち、宇宙条約の非当事国に対する責任については沈黙している（7条）。細部は、d項において後述する。

加えて、宇宙条約は、宇宙においても一般的な国際法の適用があること、即ち一般法としての国際法に対し、宇宙に特化した特別法としての宇宙条約、という関係性を明示規定している（3条。国際法準拠条項）。国際法においては、「特別法は一般法を破る」という一般原則がある。これは、「一般に広く適用される効力を持つ『一般法』における考え方が、効力が特定の範囲に限定される『特別法』における考え方と競合する場合、特別法の考え方が優先して適用される」というものである。宇宙条約に規定された5つの原則について以下に詳述するが、この一般法と特別法の関係性についても触れながら解説する¹⁰⁹。

¹⁰⁸ 過失責任主義とは、国家に帰属する行為に関し「相当の注意（due diligence）」を怠った結果他国に損害を生じさせた場合に、国家責任（state responsibility）が生じる、というものである。この考え方は、当初は注意の基準として扱われた「相当の注意」が、「相当の注意義務（obligation of due diligence）」へと発展し、すなわち「国際社会によって一般的な国家に期待される、義務履行に必要な手続措置」を履行する義務として捉えられるようになっている。比較的古くは仲裁裁判において、後に国際司法裁判所（ICJ）や国際海洋法裁判所（ITLOS）の判決においても、典型的には領域使用の管理責任原則（領域における排他的管轄権の帰結として、他国の権利を領域内において侵害しないための注意を怠った場合には国家責任が生じる）に関連して発展してきたが、後に領域外においても、国際公域の環境損害や、属人管轄下の活動（e.g. 国連海洋法条約 194 条 2 項）にも拡大適用されてきた。パルマス島事件仲裁事件判決（1928 年）、トレイル溶鋼所事件仲裁判決（1942 年）、コルフ海峡事件 ICJ 判決（1949 年）等参照。

¹⁰⁹ この「特別法は一般法を破る」（ラテン語で *Lex specialis derogate legi generali*）に加えて、「後法は前法を破る」（ラテン語で *Lex posterior derogate priori*）、「上位法は下位法を破る」（ラテン語で *Lex superior derogate legi inferiori*）の3つの法格言は、いずれも3世紀頃にローマ法の一般原則として定着し、現代国際法（modern public international law）もその影響を受けて成立しているため、その適用があるとされる。実定法上の整理については、皆川誠「条約法における特別法優先原則の位置」『早稲田法学』84 巻 1 号、381-410 頁。

なお、以上の内容は、宇宙条約の起草・採択時には新たに立法されたものと意識されていたが、今や、その多くが慣習国際法としても成立していると通説的に考えられている。

a 宇宙活動自由の原則

宇宙条約は、「月その他の天体を含む宇宙空間は、全ての国がいかなる種類の差別もなく、平等の基礎に立ち、かつ、国際法に従って、自由に探査し及び利用することができるものとし、また、天体の全ての地域への立入りは、自由である」と規定している（1条）。「宇宙活動」には、アクセスの自由（月その他の天体を含む宇宙空間に赴き、地球へ帰還する自由）、探査の自由及び利用の自由という三種の自由が含まれている。

これらのうち、アクセスの自由については、現実的には他国の領空を通過して宇宙へ到達する必要がある場合や、逆に宇宙から地球へ帰還する際に他国の領空を通過する必要がある場合が現実的には想定されるどころ、海洋法における通過通行権や無害通航権のような例外的な他国領域通過の自由として通説的に認められるまでには未だ至っていない¹¹⁰。

b 宇宙空間領有禁止原則

宇宙条約は、「月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用若しくは占拠又はその他のいかなる手段によっても国家による取得の対象とはならない」旨規定している（2条）。この規定によって、一般的に国際法において認められる領域取得の一切は宇宙空間においては認められないことになる。

もっとも、取得が禁止されるのは月その他の天体を含めた宇宙空間という物理的空間であり、即ち領有を禁止しているものである。したがって、地球から射出された宇宙物体（宇宙船や衛星など）の所有を禁止するものではない。

¹¹⁰ 通過通行権とは、継続的かつ迅速な通過を条件として、特定の海峡（日本では「特定海峡」と呼ばれ、宗谷、津軽、対馬（北、南）、大隅の5つ）を自由航行及びその上空飛行をする権利であり、軍民を問わず全ての船舶・航空機に与えられる。潜水艦の場合は浮上航行や国旗掲揚義務も課されない。積載物や搭載物に関する制約もなく、したがって核兵器さえも規制を受けない。これとの対比で無害通航権は制約が大きい。沿岸国の平和、秩序、安全を害さないことを条件に、無通告で沿岸国の領海を通行する権利（1958年領海条約14条4項）。たとえば潜水艦は浮上航行の上、国旗掲揚を義務付けられている（1982年国連海洋法条約20条）。宇宙物体の領空通過につき、山口達也「宇宙物体の領空通過権に関する法的論考—海洋法の類推を手掛かりとして—」『立命館国際研究』30巻2号、2017年、145-165頁を参照。

解釈の余地が残る問題として、宇宙における資源開発の扱いがある。月その他の天体という場合に、隕石や、天体の一部を削り取った岩や石などの天体構成物をどう扱うべきかが問題となる。無論、この2条によって禁止されるのは領有を意味するような所有に過ぎず、資源をはじめとする各種物質の扱いにまで規律は及ばないとする考えが有力である一方で、規模の次第によってはグレーゾーンが認められるとする立場もあり（結局のところ空間の所有禁止という場合に、空間に存在するものも空間の構成物であることまでを一意には否定できない）、対立が続いている。

諸国の中には、米国やルクセンブルクのように私人や私企業による宇宙空間における資源取得に関する国内法を整備する国が出てきている一方で、そうした動きを牽制するロシアやベルギーのような国もあり、COPUOS 法律小委員会において 2017 年以降議論が継続している。国は「条約の不履行を正当化する根拠として自国の国内法を援用することができない」（ウィーン条約法条約 27 条）とされていることから、諸国による国内法整備自体は国際法の内容とは別次元のものと言うべきであるが、いずれにせよ諸国に宇宙空間領有禁止原則を巡る法解釈上の争いがあることは意識すべきである¹¹¹。

c. 宇宙平和利用原則

宇宙条約は、「月その他の天体は、もっぱら平和的目的のために、条約の全ての当事国によって利用されるものとする。天体上においては、軍事基地、軍事施設及び防備施設の設置、あらゆる型の兵器の実験並びに軍事演習の実施は、禁止する。科学的研究その他の平和的目的のために軍の要員を使用することは、禁止しない」と規定する（4条）。

ここで「平和的目的」という構成要件については、主観的な要素を排しえないものであり、一意的な概念定義もなされていないため、4条において何が禁止されないのかを巡って見解が対立することは避

¹¹¹ 天体の土地販売は、「国家が私人の行為を追認し、自国の領域に編入することなしには、仮に私人が長くある島を占拠していたとしても、それは単なる『事実行為』としての占拠にすぎず法的な所有権とはならない」ため、私人による天体の土地販売は詐欺行為であるとするものとして、青木節子・佐藤雅彦「解説宇宙法とはなにか」『日本航空宇宙学会誌』53巻617号、2005年、176頁。なお、こうした議論は国際法上の領域以外を売買する国内法の有効性とは論点がずれている（この点に関する法的問題の本質は国際法と国内法の関係であって国内法上の国際法の効力ではない）ことに注意を要す。

け難い。法的には、「平和的目的」のような解釈の余地の大きな主観要件を排し、何らかの客観要件を用いた規定を整備することが望ましいと言える。この点、既に見たように、例えば地球の衛星軌道上における大量破壊兵器配備の禁止という規定については、「平和的目的」などの要件はなく、単純明快である。その目的とは無関係に、客観的な機能属性として大量破壊兵器については地球の衛星軌道上に配備することを禁止する形になっているのである。同様に、月その他の天体においては「軍事基地、軍事施設及び防備施設の設置、あらゆる型の兵器の実験並びに軍事演習の実施は、禁止」についても、「平和的目的」の是非とは別次元の客観的制約となっており、解釈の争いの余地が小さい規定ぶりになっている。

それでもなお、こうした客観的制約にさえも法解釈の問題は付きまとう。客観的に「軍事基地」と言えるか否かといった問題とは別に、それが軍事基地としての機能も持ち得る一方で、平和利用の機能も兼ね備えている（dual-use ないし multi-use）場合、この規定の制約するところは不明となる¹¹²。あるいは、ミサイルや攻撃機のように直接的な軍事利用に特化しておらず、軍事転用可能な機能（例えば C4ISR 機能）を備えた施設や設備の場合、その目的が軍事利用だけとまでは言えず、それをどう扱うべきかの問題は残る。さらに言えば、同じ 4 条の中の、「月その他の天体の平和的探査のために必要な全ての装備又は施設を使用することも、また、禁止しない」とする規定の趣旨は、規範としては存在してはならないはずの軍事基地が天体上に仮に事実として存在する場合さえも想定しているからこそ、「全ての装備又は施設」に言及のうえ、それでもなお平和利用のためであればその使用は禁止されない、としていると考えられるのである。

こうしたことから、結局のところ、「平和的目的」の規定がある限り、その逃げ道は完全には塞げないのであり、究極的には、地球の衛星軌道上の大量破壊兵器の規制のような客観規定による厳格な法整備が必要と言わなければならないであろう。

¹¹² このような問題に加えて、当初は民生のものとして開発運用されたとしても、容易に軍事転用可能なアセットに法的規制を及ぼすことの本質的な困難を指摘したものとして、次を参照。Taro Sato, "Japan's Space Security Policy: Japan's Role in the Era of Strategic Competition," in Yuki Tatsumi and Pamela Kennedy eds. *Key Challenges in Japan's Defense Policy: From the Views from the Next Generation Series*, the Stimson Center, 2020, p.51.

このように、規定に一意的な解釈を定めることができていないことが宇宙平和利用原則の本質的な課題である一方で、実務上は、一定の共通認識が形成されてきている。大枠について言えば、「平和的目的」が一切の軍事的活動を排除すると解するべきか否かをめぐり米ソ両国間に異論が存在した時期を経て、今や、自衛目的等の軍事活動（つまり国際法で禁止されている侵略に該当しない軍事活動）については一般的に容認されている。例えば宇宙空間を利用した情報収集、ミサイルの早期警戒、通信信号及びナビゲーション信号の伝送等を行うことは、今日までに当然かつ一般的に認められている。既に見たように、大陸間弾道ミサイルについても、その弾頭の種別によらず、実務上一般的に容認されているのである¹¹³。

d 国家への責任集中原則

国際法上、一般的には、国家は自身に直接帰属しない主体による行為については、それが仮に自国領域内において発生した事案であろうとも、それが結果的に他国に損害を負わせたからといって必ず賠償責任を負うわけではなく、その管理や監督に過失があった場合のみ、損害賠償（原状回復）の義務があるとされている（領域管理における過失責任主義）。これに対し、宇宙については、宇宙条約においては私人の行為については国の過失責任主義を排して無過失責任主義が採用されている。これは、前述の「特別法は一般法を破る」という国際法の一般原則に則ったものである。

過失責任主義の趣旨は、個人の行動の自由を最大限確保しようとする考え方であるのに対し、無過失責任主義の場合は個人の行動の自由よりも結果的に他者に迷惑をかけないことを重視する、という根本的な価値観の違いがある。何か問題が発生したとしても、できる限りの注意（相当の注意。due diligence）を払ったのであれば、不可抗力についてまで責任を負わないとする考え方（過失責任主義）によって、人や国は想定外のことまでを気にすることなく、物事に積極的に取り組むことができる。これに対し、相当の注意を払った上でも予

¹¹³ なお、核弾頭を搭載した ICBM が宇宙を通過すること自体は違法と考えられていない一方で、核実験を禁止するのが部分的核実験禁止条約（1963 The Partial Test Ban Treaty: PTBT）1条1項である。「この条約の各締約国は、その管轄又は管理の下にあるいかなる場所においても、次の環境における核兵器の実験的爆発及び他の核爆発を禁止すること、防止すること及び実施しないことを約束する。（a）大気圏内、宇宙空間を含む大気圏外並びに領水及び公開を含む水中」

期せぬ問題が発生することはあり、そうした場合についてまで責任が問われることになれば、人や国は活動を躊躇し、消極に陥ることになる。このように幅広く厳しく結果責任を問うべきとする考え方（無過失責任主義）を宇宙条約が採用したことの趣旨は、宇宙活動に関しては、自由よりも安全を図ろうとしたものであると言える¹¹⁴。例えば宇宙物体が地球へ落下する場合に、大気圏で燃え尽きることなく地表に被害をもたらすような場面では、打ち上げ国から被害国への損害賠償を実現しやすくなっているのもあって、つまりは被害国を適切に保護することに一層寄与することになる。

この基本的な考え方は、宇宙条約の中では 6 条で国家の監督責任が規定され、7 条で監督責任の根拠として打ち上げ国への責任帰属が定められている。その細目については、宇宙損害責任条約が規定している。

e 国際法準拠条項

宇宙条約の当事国は、「国連憲章を含む国際法に従って、国際の平和及び安全の維持並びに国際間の協力及び理解の促進のために、月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における活動を行なわなければならない」とされている（3 条）。

この条文自体は、宇宙でのあらゆる状況において、国際法が一般的に適用されるとまで言及する内容には必ずしもなっておらず、あくまでも宇宙条約の規律対象とする活動において、一般的な国際法の適用があるとしているに過ぎない。したがって、例えば宇宙で戦争が勃発した場合（その意味付けによらず、客観的に武力衝突が発生した場合など）については、そもそも宇宙条約の想定外の状況であるため、その場合においてまで一般的な国際法の適用があることを積極的に規定しているとまでは言い難い。即ち、宇宙条約と、一般的な国際法の適用上の優先関係については、国際法における「特別法は一般法を破る」という考え方が適用されるとしても、それは論理的には宇宙条約以外の条約との関係にまで及ぶとは限らないことに注意が必要で

¹¹⁴ 日本の国内法においても、過失責任主義を原則としながらも、大規模な環境破壊などの公益に関わる場合や、そうした活動によって莫大な利益を得ている場合には、無過失責任主義が例外的に採用されてきた。要するに結果責任であり、どのような事情があってもどのような想定を行い、可能な限りの事故防止に努めていたとしても免責されない事項である。例えば大気汚染に対する事業者の賠償責任（大気汚染防止法 25 条）、水質汚濁に対する事業者の賠償責任（水質汚濁防止法 19 条）が典型である。

ある。

いずれにせよ、宇宙空間においても一般的な国際法が適用されることは諸国の国家実行においては強く意識されており、宇宙条約をはじめとする主要 5 条約に関連規定が見当たらないような事象が発生したとしても、そのこと自体で直ちに法の欠缺（けんけつ）となるものではない¹¹⁵。つまり、宇宙に特化した国際法が見当たらない場合、国際法がないという安易な判断をするのではなく、宇宙に特化していない一般的な国際法の解釈適用を追求することを忘れてはならないのである。具体的には、例えば武力行使法や武力紛争法については、宇宙空間においても原則的には適用があることは言うまでもない。このことは、国連の国際法委員会（ILC : the International Law Commission）も認めるところである¹¹⁶。

（イ）宇宙条約以外の主要条約（細目条約）

COPUOS 法律小委員会は、宇宙条約に規定された内容を具体化すべく、宇宙救助返還協定、宇宙損害責任条約、宇宙物体登録条約、月協定を個別に起草している。以下、それらを順次概観する。

宇宙救助返還協定は、宇宙飛行士に対する援助（宇宙条約 5 条）および発射物体に対する管理権、所有権及び物体の返還（宇宙条約 8 条）の内容を具体化するものである。宇宙飛行士が遭難した場合の国際的な救助、宇宙で事故が発生した場合の回収物体の打ち上げ国への返還などについて規定された。

宇宙損害責任条約は、国家責任（宇宙条約 6 条）及び損害に対する当事国の責任（宇宙条約 7 条）の内容を具体化し、併せてその手続きについても定めるものである。

宇宙物体登録条約は、発射物体に対する管理権、所有権及び物体の返還（宇宙条約 8 条）を具体化し、宇宙物体の管轄権及び管理権限を規定するものであり、併せてその手続及び基準を定めるものである。宇宙に

¹¹⁵ この点、平時における国際法の適用は当然あり得るとしても、武力紛争時における（in a time of armed conflict）宇宙法の適用（具体的には宇宙条約 3 条の解釈適用問題を通じた、特に国際人道法の適用）については別途考察が必要とする考え方を基本とする立場につき、たとえば次を参照。Dale Stephens, “The International Legal Implications of Military Space Operations: Examining the Interplay between International Humanitarian Law and the Outer Space Legal Regime,” *International Law Studies* (U.S. Naval War College) Vol.94, 2018, p.81.

¹¹⁶ Stephens (2018) op.cit; Jack Mawdsley, “Applying Core Principles of International Humanitarian Law to Military Operations in Space,” *Journal of Conflict and Security Law*, 4 April 2020, available at <https://doi.org/10.1093/jcsl/kraa005>.

において損害を発生させた物体を識別し、その責任の帰属主体となる国を明確化するための登録制度の整備を中心とする内容になっている。

月協定は、月及び地球以外の太陽系の天体に関する条約である。探査利用の自由（宇宙条約 1 条）及び領有権の否定（宇宙条約 2 条）を具体化するものである。宇宙条約においては大量破壊兵器の配備の禁止は地球の衛星軌道上に限られていたが（宇宙条約 4 条）、この月協定においては「核兵器及び他の種類の大量破壊兵器を運ぶ物体を、月を周回する軌道、月又は月の周回軌道に到達する飛行経路に乗せない」（3 条 3 項）とすることで、月の衛星軌道についても配備禁止とされた。加えて、月だけでなく、地球以外の太陽系の他の天体についても規律対象とし（1 条 1 項及び 2 項）、それら天体に対する主権の主張を禁じ（11 条 2 項）、その天然資源についても所有を厳しく否定（11 条 3 項）し、「天然資源の開発が実行可能となったときには適当な手続を含め、月の天然資源の開発を律する国際レジームを設立する」（11 条 5 項）とした一方で、資源開発にまで踏み込まない「探査及び利用の権利」については、締約国間に差別なく保障する旨定められた（11 条 4 項）。

こうした制約が足かせとなっているためか、この月協定については日本を含む主要な宇宙活動国の多くは未だ当事国となっていない¹¹⁷。

イ 慣習法

前ア項で見た宇宙条約をはじめとする主要 5 条約は多数国間条約として国際宇宙法の中核をなすものである。他方、ここでは慣習法のうち宇宙の安全保障においても主要な規定とされる 3 原則を以下に確認しておく。この主要 3 原則は、ハーグ陸戦条約の関連諸条項等にも規定されてきたものが、ジュネーブ諸条約第一追加議定書において一層明確に規定されたものである。

第一に、「いかなる武力紛争においても、紛争当事者が戦闘の方法及び手段を選ぶ権利は、無制限ではない」（第一追加議定書 35 条 1 項）という原則がある。武力紛争法の大前提とも言えるこの第一原則から派生する形で、第二に、「過度の傷害又は無用の苦痛を与える兵器、投射物及び

¹¹⁷ 2020 年 7 月現在の当事国は、アルメニア、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、チリ、カザフスタン、クウェート、レバノン、メキシコ、モロッコ、オランダ、パキスタン、ペルー、フィリピン、サウジアラビア、トルコ、ウルグアイ、ベネズエラの 18 か国であり、宇宙活動の主要国はほとんど含まれていない。United Nations Treaty Collection Website, as of 2 July 2020, available at (URL: <https://treaties.un.org>) .

物質並びに戦闘の方法を用いることは、禁止する」(同 35 条 2 項) という原則がある。同じく第三に、「自然環境に対して広範、長期的かつ深刻な損害を与えることを目的とする又は与えることが予測される戦闘の方法及び手段を用いることは、禁止する」(自然環境への配慮原則。同 35 条 3 項) という原則がある。これらは成文法の形で存在するのみならず、今日までに慣習法としても成立し、全ての国家に適用があることが繰り返し確認されてきている。

これら主要 3 原則から派生する関連諸原則として、兵器や装備品の使用そのものを規制する 2 つの原則がある。不必要な苦痛を加える兵器の禁止原則及び無差別の影響を及ぼす兵器の禁止原則(同 35 条 2 項及び特定通常兵器使用禁止制限条約)である。他方、兵器の使用そのものが認められる場合においてもなお、その使用の形態や方法を規制する 3 つの原則として、区別原則(同 48 条。軍事目標主義。the indiscriminate weapons rule)、比例原則(同 35 条 2 項、51 条及び 57 条。軍事目的と害敵手段の均衡を図る義務。the proportionality rule)及び予防原則(同 51 条及び 57 条等。軍事目標への攻撃時に、文民たる住民、個々の文民及び民用物に対し最大限配慮する一般的義務)がある。これら諸原則を始めとする各種慣習法の解釈適用は、あらゆる局面のあらゆる兵器や装備品の配備や使用の合法性を判断する上で欠かせない。

また、兵器がこうした法的義務の要請に適うものであるかにつき、国は、「新たな兵器又は戦闘の手段若しくは方法の研究、開発、取得又は採用に当たり、その使用がこの議定書又は当該締約国に適用される他の国際法の諸規則により一定の場合又は全ての場合に禁止されているか否かを決定する義務を負う」(同 36 条) ことになっている。即ち、自国の兵器や装備品を予め審査 (review) する義務である。

以下では、宇宙での安全保障に関わる代表的な兵器や装備品を例に、これら慣習法の解釈適用における基本的な考え方を概説する。

(ア) ASAT (エーサット)

ここでは、物理的な破壊を手段とする ASAT (Kinetic Anti-Satellite) 兵器を想定する。ASAT 兵器に関連して大きな問題となるのが、ミサイル等による衛星破壊の結果、衛星軌道上に無数に散乱することになる

デブリ (debris clouds) である¹¹⁸。

まず、破壊対象となる衛星そのものや、デブリによって広範かつ深刻な影響を受けることになる各種宇宙物体（交戦国以外の中立国も含めたあらゆる対象）についても、それらは軍事目標であるかが問われる（区別原則）。そして、そのことは、破壊行為に先立ち、軍事目標以外への不要な危害を回避すること（比例原則）も含め、十分に対策が講じられたかについても予め問われなければならない（予防原則）。一般論ではあるが、デブリの危害が無差別的に拡散する性質のものである以上、これら原則への抵触を免れることは現実的に難しいと言わなければならない。

他方、自然環境への配慮原則（第一追加議定書 35 条 3 項）の側面からは、これに関してより具体的に規定した環境改変技術の軍事的使用その他の敵対的使用の禁止に関する条約（**Environmental Modification Convention : ENMOD**）に、当該条約の当事国は「破壊、損害又は傷害を引き起こす手段として広範な、長期的な又は深刻な効果をもたらすような環境改変技術の軍事的使用その他の敵対的使用を他の締約国に対して行わない」義務を負うため、この面からもデブリを結果的に生じさせる破壊行為には、厳しい制約があると言わなければならない¹¹⁹。

（イ）ミサイル防衛システム

ミサイル防衛システムは、標的となる攻撃ミサイルの探知 (detection)、追尾 (tracking) 及び迎撃 (intercept) から構成される。宇宙空間には、このうち探知及び追尾を担当するアセットが配備される一方で、標的となる弾道ミサイルの破壊を実施する迎撃ミサイルやレーザーの射出は、地表や海上から行われるシステムとなっていることが一般的である。

この場合、弾道ミサイルの物理的破壊については、上記 ASAT の場合と同様の法的義務が意識されなければならない一方で、ASAT の場

¹¹⁸ Peter Stubbe, *State Accountability for Space Debris: A Legal Study of Responsibility for Polluting the Space Environment and Liability for Damage Caused by Space Debris (Studies in Space Law)*, Brill, 2017.

¹¹⁹ *The Convention on the Prohibition of military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques*, opened for signature May 18, 1977, 31 U.S.T. 333..1108 U.N.T.S. 151. この ENMOD 条約の適用可能性につき、大沼和弘「ENMOD 条約の宇宙空間への適用可能性に関する考察」岩沢雄司・中谷和弘（編）『国際法研究』8号、信山社、2020年3月、73-98頁。

合と異なり、破壊されることになる弾道ミサイルの破片がデブリとして衛星軌道上に大量拡散することは、その迎撃のタイミング的に稀であると想定されているため、その点の法的配慮は実質的に不要と行ってよい。

他方、探知及び追尾を担うことになる衛星等の宇宙アセットに対する攻撃については、比例原則の解釈適用がある。これら衛星は、軍用以外にも民生を支える機能を兼ねている場合が少なくなく、そうした場合に軍事目標の破壊以外の影響は最小限にとどめなければならない、その配慮の在り方が具体的に問われる。特に、それが有人宇宙船への攻撃である場合には、強く意識されなければならない。

(ウ) ジャミング

上記(イ)のミサイル防衛システムのための衛星のようなアセットに対しては、妨害電波を照射することで機能不全を導くことが行われること(Jamming)が考えられる。探知及び追尾機能に対するこのような攻撃は、個別のアセットの機能不全だけでなく、当該システム全体の機能不全に関わるという意味で、その影響範囲の裾野は大きいという特徴がある(far-reaching)。

この点、仮にジャミングの影響の範囲や程度が甚大かつ深刻であろうとも、厄介なことにこれを直接規制することは実のところ困難である、という法的課題がある。というのも、ジュネーブ条約第一追加議定書によると、「攻撃」とは「攻勢としてであるか防御としてであるかを問わず、敵に対する暴力行為(acts of violence)をいう」(49条1項)と定義され、そこでの「暴力行為」については、「いわゆる障害または損傷であって、暴力的な結果を伴うもの(involving violent consequences, namely injury or damage)」と解されてきている¹²⁰。即

¹²⁰ 例えば航空管制の麻痺を狙ったサイバー攻撃については、「攻撃(attack)」とはみなされない(HPCR Manual and Commentary 2010: Commentary to Rule 21)。他方、サイバー諜報活動(cyber espionage)は「攻撃(attack)」に相当するとみなされている(Tallinn Manual 2012: Commentary to Rule 30)。サイバー諜報活動(cyber espionage/spying)はサイバー・インテリジェンスやサイバー・スパイなどとも呼ばれ、サイバー空間における諜報活動を指すとされる。David Lumb, “North Korean hackers allegedly stole South Korean and US war plans (They acquired 235 GB of data, 80 percent of which hasn’t been identified),” *engadget*, 10 October 2017. 具体的には、2016年の米国大統領選挙におけるロシアによる干渉や、2017年の韓国における北朝鮮による大量の軍事文書の窃盗(235GBに及ぶと言われる)などがこれにあたる。国家を対象とするものだけでなく、産業スパイの主軸もサイバー諜報活動に移ってきている。例えば日本企業の機密情報を窃盗すべく中国のサイバー諜報集団がゼロデイ攻撃を仕掛けるなど暗躍しているとされる。Secureworks, “BRONE BUTLER Targets Japanese Enterprises,” 2017, available at URL(<https://www.secureworks.com/research/bronze-butler-targets-japanese-businesses>)

ち、関連する被害が大きくとも、それが例えば何らかの一時的な機能不全によるに過ぎず、何らかの物理的な変化や破壊を伴わないものである場合には、「暴力的な結果」を導くに至らない攻撃とみなされ、厳密に言えば第一追加議定書の規制は及ばないのである。

他方で、このことは、「新たな兵器又は戦闘の手段若しくは方法の研究、開発、取得又は採用に当たり、その使用がこの議定書又は当該締約国に適用される他の国際法の諸規則により一定の場合又は全ての場合に禁止されているか否かを決定する義務を負う」（同 36 条）という場合の「戦闘の手段（method of warfare）」であることは疑いないため、このような審査の義務まで免れることはない。その場合に、ジャミングに用いられる電磁波等の放射線が人体に及ぼす影響が、軍事目的と手段の均衡を満たすか（比例原則）などの検討が、既に見た例と同様に必要になることは言うまでもない。

（エ）衛星

既に見たミサイル防衛システムを構成する要素以外にも、各種の衛星は通信（communications）をはじめ、地表の様子を観察や海洋における船舶の位置などの監視を含め、重要な機能を担っている。

こうした衛星に期待される役割とそのための機能については、それが直接的な攻撃能力を有しないものである限りは、上記のような諸原則に基本的には抵触しないものであるばかりか、むしろ区別原則の遵守に貢献するような、正確かつ適時の状況把握を可能とするものであることが一般的に想定される。したがって、これらの衛星を運用する側から見れば、国際宇宙法の面から懸念すべき点は少ないと言うべきであろう。逆に、これらの衛星に対する攻撃や、運用の妨害ないし阻止を試みる側から見れば、その軍事転用ないし兼用の可能性をどう踏まえるべきかを巡っては、とりわけ区別原則との関係でのグレーゾーンが問題となる。ただし、区別原則や比例原則の適用については解釈適用に争いがあるとしても、予防原則については、事前審査の内容的妥当性は別に、少なくとも事前に法解釈に関する立場を明らかにしておくことが求められるのであり、その意味で諸国の行動を抑制する上で重要な役割が期待されると言うべきである。

（オ）核兵器

核兵器開発と宇宙開発は、ロケットの打ち上げ等の技術においてル

ーツを同じくし、今日においても強く関連し続けている。ここでは、国際法における核兵器の一般的理解について概観しておく。

今日までの国際法には、核兵器による威嚇や行使そのものを違法とする条約も慣習法も存在しない（2017年に採択された核兵器禁止条約は未発効¹²¹）。このことが、核兵器を巡る国際法の現状を把握する上での出発点である。したがって、核兵器による威嚇又はその行使については、国際人道法をはじめとする各種条約や慣習法との整合性からその合法又は違法を判断することになる。

こうしたことを国際司法裁判所（International Court of Justice : ICJ）は「核兵器の威嚇または使用の合法性勧告的意見」（1996年）の中で次のように示している。「核兵器による威嚇又はその行使は、なんらかの状況において国際法の下に許されることがあるか」という諮問に対し、ICJの判事は全会一致で「核兵器による威嚇又はその行使に特化して合法（specific authorization）とする国際慣習法や条約法は存在しない」としつつ、3名の反対を受けながらも「核兵器の威嚇又はその使用を包括的かつ普遍的に禁止する国際慣習法や条約法も存在しない」とした。その上で、「国連憲章2条4項に違反又は同51条の要件を満たさない、核兵器を用いた武力による威嚇又はその行使は違法である」ことを全会一致で認めた。そして、同じく全会一致で、「核兵器による威嚇又はその使用は武力紛争に適用される国際法の要請、中でも国際人道法上の原則及び規則や、明示的に核兵器を取り扱う条約、その他の国際条約の下での義務に従うものでなければならない」とし、その点については、7名の反対意見がありながらも、「核兵器による威嚇又はその使用は武力紛争に適用される国際法の規則、特に国際人道法上の原則及び規則に一般的には違反するであろう。ただし、国際法の現状や裁判所が確認した事実を照らすと、国家の存亡そのものが危険にさらされるような、自衛にとって極限的な局面（extreme circumstance of self-defense）における、核兵器による威嚇又はその使用が合法であるか違法であるかについて、裁判所は最終的な結論を下すことができない」との見解を示した。

この勧告的意見を巡っては、ICJは実質的に回答を回避した（裁判所

¹²¹ Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons, signed at 20 September 2017. この条約は当事国数が50となってから90日後に発効（15条1項）することになっており、現在の当事国数は38である。

が自身に期待される司法解決の機能を自ら投げ出す裁判不能の宣言。*non liquet*) とする厳しい批判が少なくない。他方、実のところその論理構成は明確であって、そこには国際法を遵守して国が滅びたのでは主客転倒であるとするシンプルなテーゼが示されている。結局のところ、この問題は、「自衛にとって極限的な局面」を如何に確定するかによるのであって、核兵器に固有の問いでもなければ、宇宙空間において特段問われるものではない。

ただし、既に見た通り地球の衛星軌道上に核兵器を配備してはならないことは、宇宙条約の当事国には一律求められるところである。この規範からの逸脱を、ICJの「自衛にとって極限的な局面」の論理が導きうるかについては、議論が求められるところである。

その他の論点については、国際宇宙法と核兵器の関係は、上記(ア)～(エ)において示したのと同様の思考枠組に基づくものである。

ウ 宇宙活動に関するソフト・ロー

以上、国際宇宙法の主たる論点を概観してきたが、冒頭で述べたとおり、法的拘束力がないとしても、実質的に各種の法的効力を何らかの形で有する各種ソフト・ローにも目配せする必要がある。以下では、宇宙に関する国際会議の宣言、行動綱領及び行動指針、モデル規則、紳士協定等のうち、主要なものを概観する。

国連総会で採択された原則には、宇宙条約の基礎となった「宇宙法原則宣言」(1963年)、情報発信の自由と受信国の情報主権の調整について国際協力による問題解決を目指した「直接放送衛星原則」(1982年)、商業的な地球観測データ提供事業に法的根拠を与えることに繋がった「リモートセンシング原則」(1986年)、原子力電源を宇宙で利用する際の注意義務等を規定する「宇宙空間における原子力電源利用に関する原則」(1992年)、宇宙の探査及び利用を行う際、「スペース・ベネフィット宣言」(1996年)がある。なお、リモートセンシング原則では、軍事的な偵察衛星による撮像の問題は一切触れられず、天然資源の管理と土地利用に限った民生の地球観測衛星による活動に関する原則がまとめられている。

また、関係する重要な国連総会決議として、宇宙空間の平和利用についての若干の法原則を示すとともに、軌道又はそれを超える空間に打ち上げた物体の登録等について言及した「宇宙空間平和利用のための国際協

力」(1961年)、ペーパー衛星防止等を目的とした「宇宙空間の平和利用に関する国際協力(第4段落及び法律小委員会第39会期付属文書第3)」(2000年)、非政府団体による宇宙活動に対する許可及び継続的監督を行うための国内法の制定及び実施等を勧告する「『打ち上げ国』概念の適用」(2004年)、国及び政府間国際組織に対して宇宙物体の登録の徹底及び情報提供を勧告する「国及び政府間国際組織の宇宙物体登録条約における実行向上に関する勧告」(2007年)、非政府団体による宇宙活動への参加が増加していることに鑑みて勧告された「宇宙活動に関する国内法制への推奨事項」(2013年)がある。

そして、国連総会が支持表明を決議した関係文書として、従来の紳士協定を明文化し ASAT 実験を含む意図的破壊活動等の回避を求める規定を含む「COPUOS スペース・デブリ低減ガイドライン」(2007年)、宇宙空間における透明性・信頼醸成措置の基準等を示して、各国にその履行を勧告する「宇宙活動における透明性及び信頼醸成措置に関する政府専門家会合報告書」(2013年)がある。これらの関係文書については、宇宙の軍事利用も射程に入っている点を留意する必要がある。

なお、2010年以降、COPUOS は、科学技術小委員会に作業部会を設置し、2018年6月までを期限として「宇宙活動の長期的持続性ガイドライン」を策定するため、持続的な宇宙利用、デブリ、宇宙状況監視、宇宙気象等のトピックについて議論を行わせてきた。作業部会は、2018年までに21のガイドラインについて合意したものの、デブリ除去に関するガイドラインを含め、7つのガイドラインについては合意に達することができなかった。その後、合意を見た21のガイドラインについては、我が国を含む有志国の働きかけもあり、2019年6月、COPUOS 本委員会において全会一致(92か国)で採択された。また、合意に達しなかった7つを含めた新たなガイドラインについて、日米加仏の共同提案により、2020年2月に科学技術小委員会内にワーキング・グループが設置され、議論が継続されている。「宇宙活動の長期的持続性ガイドライン」は現時点では国連総会決議に付されていないが、同委員会は各国に対し、自国の必要、条件、能力及び関係国際法の既存の義務に従って合意されたガイドラインを実施し、事例と経験を共有し改善していくことを既に推奨しているため、各国の動向が注目される。

デブリ除去に関して言えば、地球周回軌道上のデブリは増加し続けて

いることから、従来からその必要性が叫ばれてはいる。それでも合意を成立させることが困難な理由について、ある国際宇宙法学者は、以下の3つの法的な問題が解決していないことを指摘している。第一に、一般的に受け入れられたデブリの定義がないことである。COPUOS スペース・デブリ低減ガイドラインは、「地球周回軌道や大気圏再突入途上にある非機能的なあらゆる人工物体であり、破片やそれらの要素も含む」とデブリを定義しているが、この定義に法的拘束力はない。また、この定義を採用するとしても、機能しなくなった宇宙物体を特定することにも困難が伴う。というのも、国及び政府間国際組織の宇宙物体登録条約における実行向上に関する勧告において、登録国は、機能しなくなった宇宙物体については、国連事務総長に報告するよう勧告されているものの、実際には、一般的に報告が行われているとは言い難いからである。第二に、デブリを特定できたとしても、登録国の同意なしに他国が自由にデブリを特定できたとしても、登録国の同意なしに他国が自由にデブリを除去することができないことである。宇宙条約8条は、宇宙物体が宇宙空間又は天体上にある間、登録国が管轄権及び管理の権限を有すると規定している。したがって、除去するためには、国際的な枠組が必要であると考えられている。第三に、宇宙条約の責任の制度が各国のデブリ除去の意欲を阻害する可能性が高いことが挙げられる。その原因は、多くの場合、デブリの除去のためには、軌道を横断する飛行や衛星の大気圏再突入が必要であるが、除去することにより他の宇宙物体又は地上若しくは空中の人若しくは財産に損害が発生した場合には、デブリ除去を行った国が責任を迫及されることになりかねないことにある。

最後に、有志の諸国家による国際行動規範作成の動きとして、「弾道ミサイルの拡散に立ち向かうためのハーグ行動規範」(2002年)及び「宇宙活動に関する国際行動規範案」がある。弾道ミサイルの拡散に立ち向かうためのハーグ行動規範は、弾道ミサイルシステムの拡散防止、弾道ミサイルの実験、開発、配備等の自制等の原則並びに信頼醸成のための措置等について規定した国際的政治合意であり、日本も参加国となっている。宇宙活動に関する国際行動規範案は、民生のみならず軍事的宇宙活動までカバーすることを意図した文書であり、2008年にEUによって提唱され、各国との協議を踏まえた改定を経て国際的な議論に付されたものである。これには、日本も支持を表明していた。この国際行動規範には、宇宙物体

同士の事故等の干渉可能性を最小化すること、宇宙物体の破壊を差し控えること、宇宙物体への危険な接近をもたらす可能性のある運用予定・軌道変更・再突入等のリスクを通報すること、他国による違反の可能性がある場合には協議を要請すること等が規定されている。EU は、2012 年から 2015 年にかけて、多国間会合、3 回のオープンエンド協議、多国間交渉会合を開催し、「宇宙活動に関する行動規範（International Code of Conduct for Outer Space Activities : ICOC）」案を採択し、2010 年、2012 年、2014 年にそれぞれ改訂を重ねている。この中で、例えば宇宙監視能力を持つ国家が、影響を受ける可能性のある主体に対し情報を通知することを確保する制度構築が提案されている。

エ 軍事利用に対するその他の制限

条約の中には、宇宙の軍事利用を制限する規定を置いているものが幾つかある。まず、明確に宇宙に言及しているものとして、「部分的核実験禁止条約」（1963 年）及び「環境改変技術敵対的使用禁止条約」（1976 年）がある。前者は、宇宙空間を含む大気圏外における核兵器の実験的爆発及び他の核爆発を禁止しており、後者は、自然の作用を意図的に操作することにより、宇宙空間の構造、組成又は運動に対して、広範、長期的又は深刻な効果をもたらすような技術の敵対的使用を禁止している。なお、環境改変技術敵対的使用禁止条約は、武力紛争法の条約の一つでもある。

また、「国際電気通信連合憲章」（1992 年）は、明確に宇宙空間に言及しているわけではなく、軍事通信を規定する目的はないと思われるものの、実質的に宇宙空間の軍事利用を制限するような規定を有していると考えられている。同憲章 45 条は、有害な混信を生じないように運用すべきことを義務付けており、そのような事態を防止するために実行可能な措置をとることを求めている。

（3）武力行使法及び武力紛争法の宇宙空間への適用

武力行使に関する国際法の規則は、国連憲章に定められている。具体的には、原則として武力による威嚇又は武力の行使が禁止されており（国連憲章 2 条 4 項）、その例外として、武力攻撃発生時の個別的又は集団的自衛権の行使（国連憲章 51 条）が認められるとともに、国連憲章 7 章に基づく強制措置が規定されている。

これらの規則は、前述の宇宙条約 3 条が、国連憲章を含む国際法の諸規

則が宇宙活動にも適用されると規定しているため、宇宙空間にも適用されることとなる。なお、自衛権については、非侵略的であり、宇宙条約4条にも違反しないと考えられている。このため、宇宙空間においても、武力による威嚇又は武力の行使は禁止されているものの、武力攻撃を受けた場合には、自衛権を行使することが可能であるとの解釈が一般的である。ただし、宇宙空間、宇宙活動の特殊性も加わって、武力の行使もしくは武力による威嚇、武力攻撃の概念並びに自衛権の均衡性の基準等、法の具体的な内容には未だ不明確な部分が多い。

なお、国連軍縮会議において、2002年以降、中国及びロシアにより共同で「宇宙空間における兵器配備防止条約案」が提案されてきた。この条約案の第2次案（2008年）及び第3次案（2014年）においては、宇宙空間兵器、宇宙空間における武力の行使及び武力による威嚇を定義することも提案されたが、米国が優勢な宇宙配備型ミサイル防衛システムを中ロが配備できるようになるまでの時間を稼ぐ思惑が容易に推察できる定義となっている¹²²。このような各国の政治的な思惑から、また、ソフト・ローが宇宙の国際的な規範形成の中心となっている傾向から、条約策定の試みは成功していない。

次に、武力紛争法については、マルテンス条項があるため、特別の条約がなくとも、宇宙における武力紛争についても規律していると考えられることができる。ただし、宇宙空間や宇宙活動の特殊性を踏まえた場合に、宇宙作戦に適用される武力紛争法が具体的にどのような規則となるのかということは十分に明らかにはなっていないのが現状である。例えば、国際宇宙法と武力紛争法の関係においてどのような場合にどちらが優先されるのかといった問題、区別原則の具体的適用の問題、過度の付随的損害の判断の問題等について、議論は未だ深まっていない。

武力行使法及び武力紛争法ともに具体的な内容が不明確であるという問題に取り組むため、国際法専門家の間では、現在、軍による宇宙空間の利用及び軍の宇宙作戦に適用される国際法の規則を開発するマニュアル作成プロジェクトが進められている。一つは、MILAMOS プロジェクト (Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer Space Project) であり、もう一つは、Woomera Manual プロジェクトである。MILAMOS

¹²² 青木節子「宇宙ガバナンスの現在－課題と可能性」『国際問題』684号、2019年9月、17-18頁。

プロジェクトは、2016年5月にカナダのマギル大学を中心として組織されたプロジェクトであり、三年間をかけてマニュアルを作成することを目指している。Woomera Manual プロジェクトは、2018年8月にオーストラリアのアデレード大学及びニューサウス・ウェールズ大学、英国のエクセター大学、米国のネブラスカ大学を中心に組織されたプロジェクトであり、2020年末までに関係諸国からのコメントを得て完成することを目指している。Woomera Manual プロジェクトは、関連する国際法の解釈理論を示す以上に、諸国が実際にどのように国際法の解釈適用を実施しているかという国家実行に基づく取り組みであり、実践的な目的意識を特徴としている。

両プロジェクトともに、参加者の中には軍人の国際法専門家が何人も見受けられ、主要な宇宙活動国軍隊の関心の高さが伝わってくる。予定通りにプロジェクトが進めば、2020年には軍隊の宇宙活動に関する二つの国際法マニュアルが完成することになるが、その暁には、宇宙空間に適用される武力行使法及び武力紛争法について、論点を絞った形で、議論がさらに活発になることが予想される。

(4) まとめ

国際宇宙法は、宇宙での活動との兼ね合いで発生する現象を規律する国際法のことである。国際法の法源は一般的に条約と慣習法である。したがって国際宇宙法の法源は、宇宙条約をはじめとする主要5条約を含めた各種条約と、宇宙にも適用のある各種慣習法である。

本章では、「宇宙活動の憲法」として知られる宇宙条約をはじめとする主要5条約を中心に、まずはその基本的な考え方を概観した。次いで、慣習法のうち、宇宙の安全保障にとりわけ重要となる3つの原則を軸に、さらに関連する5つの原則をそれぞれ概観した。そしてそれら諸原則を中心とする規範を、ASAT やミサイル防衛システム等の宇宙の安全保障に関わる各種の代表的アセットに解釈適用する場合の、基本的な思考枠組を提示した。

これらの法的拘束力あるハード・ローとしての国際宇宙法とは別に、国際宇宙法の実質的機能を補完するものとしてのソフト・ローについても幅広く言及した。人類の宇宙活動は益々活発化しており、新たな問題について国際法の法整備に不十分なこともあれば、解釈適用に争いのある問題も少なくない。このような状況に取り組むため、諸国は宇宙に関する国際会議の宣言、行動綱領及び行動指針、モデル規則、紳士協定などの策定のための協議

を進めている。

以上のように、国際宇宙法については、法学の基本に忠実に、原則を軸にした体系の構造把握が重要である。加えて、その法体系は未だ発展途上のため、その発展動向を継続的に注視してゆくこともまた重要である。複雑化と先行きの不透明さを増す今日の安全保障環境においては、規範を所与のものとして妄信的に遵守するといった受け身の姿勢ではなく、規範の性質や特徴を十分に理解したうえで、誠実な遵守に努めながらも、各種規範の長所短所に応じた戦略を立てて行動することが必須である。そのためにも、法は形式的に把握したのでは足りず、常に批判的な構造理解を目指すことが重要である。

衛星軌道

本項では、地球周回の衛星軌道について、次の事項を説明する。

- ・ 軌道運動
- ・ ケプラーの 3 法則
- ・ 軌道の種類と分類
- ・ 軌道の表し方（要素）（行軌道要素の見方を含む）
- ・ 軌道制御
- ・ 安全保障ミッションに対応した軌道

1 軌道運動

地球はほぼ球体に近い形状であるため、水平に物体を投げる（発射する）と、初速度が大きいほど地表の遠い地点に達する。同時に、初速度に関係なく毎秒約 4.9m の割合で落下していく。これは、物体に重力が働くためである。しかし、初速度をさらに大きくしていくと、地表に落下するまでの距離が長くなる。そして、やがて物体は、地球の周りを周回し始め、地球の衛星になる。この物体の軌跡を軌道という。

地球表面の空気抵抗を無視し、物体と地球の重力だけを考えた場合、物体が衛星になるための速度は約 7.9km/sec で、この速度を「第 1 宇宙速度」という。さらに初速度を大きくしていくと、軌道は円軌道から楕円軌道になり、約 10.2km/sec まで上げると静止軌道と同じ高さの約 36,000km に達する。月へ飛行しようとする場合は、約 10.9km/sec まで速度を速めなければならない。

この速度が約 11.1km/sec に達すると、地球周辺に戻ってこなくなり、衛星ではなく惑星になる。この時の速度（約 11.1km/sec）を「地球脱出速度」もしくは「第 2 宇宙速度」という。

昨年、NASA の惑星探査機ボイジャーが、太陽圏から脱出したが、それは、16.7km/sec を超えた速度で飛行したため、この速度を「第 3 宇宙速度」という。なお、本項では、惑星ではなく衛星の軌道について説明する。

衛星の軌道は、一つの決まった平面の中で動いており、この平面を、軌道面という。軌道面には必ず地球の中心が含まれる。つまり、円軌道の中心や楕円軌道の焦点が地球の中心になっているということである。

2 ケプラーの3法則

1600年代初期(1609年から1619年)、ヨハネス・ケプラーは、太陽の周りを回る地球や火星等は、太陽の中心を一つの焦点に持つ楕円軌道(運動)をしていることを発表した。衛星にも同様のことが当てはまり、これを「ケプラーの3法則」という。

(1) 「第1法則」楕円軌道の法則

衛星は地球の中心を一つの焦点とする楕円軌道を動く。

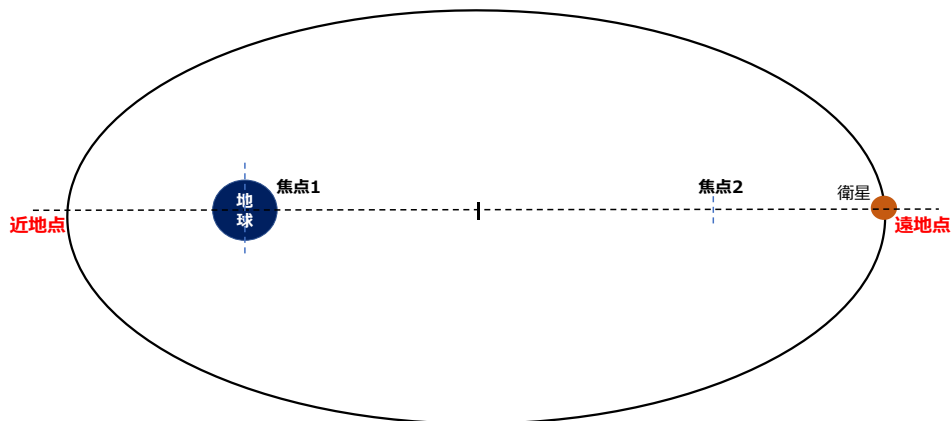


図1 楕円軌道の法則

(2) 「第2法則」面積速度一定の法則

衛星と地球と結ぶ線分が一定時間に描く面積(面積速度)は一定である。これは、地球に近いところほど衛星の速度は速いことを表している。

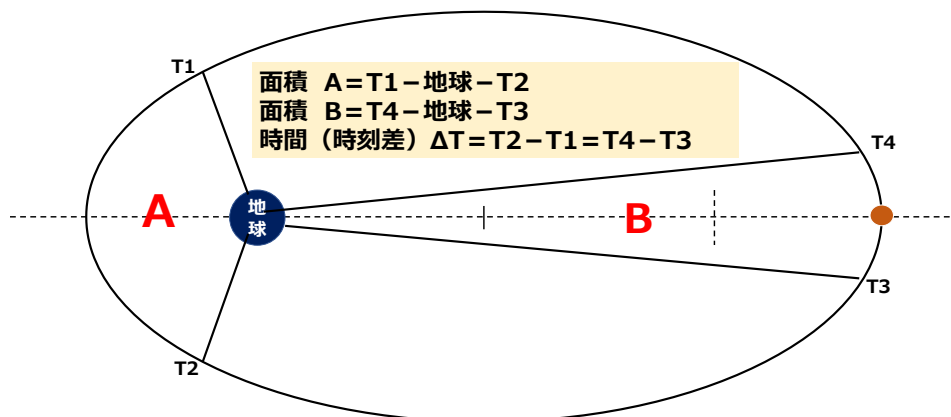


図2 面積速度一定の法則

(3) 「第3法則」調和の法則

衛星の公転周期（時間）の2乗は、軌道長半径の3乗に比例する。これは、地球から遠くを周回する衛星ほど、地球を1周回する時間が長いということと、軌道長半径が同じであれば、楕円軌道も円軌道も周期は同じであるということを表している。これらの法則に基づく、円軌道衛星の高度、速度、周期の関係を表1に整理する。

表1 円軌道衛星の高度・速度・周期の関係

円軌道高度 (km)	速度(km/sec)	周期 (日-時-分-秒)	備考
0	7.91	1時間24分30秒	第1宇宙速度
400	7.67	1時間32分30秒	
800	7.45	1時間40分50秒	
1,000	7.35	1時間45分10秒	
5,000	5.92	3時間21分20秒	
10,000	4.93	5時間47分40秒	
20,182	3.87	11時間58分00秒	GPS衛星
35,786	3.07	23時間56分04秒	静止軌道
378,021	1.02	27日10時間50分	月の軌道

3 軌道の種類と分類

軌道を表現する場合、どのような視点から分類するかにより、その種類が異なる。形状、高度、周期性、軌道傾斜角の視点から分類した軌道表現について説明する。

(1) 形状による分類

これは、軌道の形が円軌道か楕円軌道かの視点から分類したものである。

ア 円軌道

地表面からの高度が一定。離心率がゼロ。円周回軌道

イ 楕円軌道

地表からの高度が軌道上の位置によって変わる軌道で、離心率がゼロより大きく、1より小さい。特殊なものとして次の軌道がある。

(ア) 静止トランスファ軌道 (Geostationary Transfer Orbit : GTO)

近地点が低軌道上、遠地点が静止軌道上に位置する軌道で、打ち上げられた衛星を静止軌道に移行させる前段階の軌道

(イ) モルニア軌道

軌道傾斜角が 63.4° 、周期が地球自転周期の半分 (約 12 時間) の軌道で、高緯度地方の通信や観測・情報収集ミッションの衛星の軌道として活用されている。ロシアの通信衛星モルニアの軌道から名づけられた。

(ウ) ツンドラ軌道

軌道傾斜角が 63.4° 、周期が地球自転周期と同様。近地点 24,000km、遠地点 47,000km の衛星。シリウス通信衛星の軌道。モルニア軌道の場合に 4 基必要となるのに対してツンドラ軌道では 3 基で賄えるとして採用された。

(エ) 準天頂軌道

離心率約 0.1、軌道傾斜角 45° 、周期は地球自転周期と同様。日本の測位衛星「みちびき」の軌道に採用されている。

(2) 軌道の高さによる分類

衛星軌道の高度により分類したものである。

ア 低軌道 Low Earth Orbit (LEO)

高度 2,000km 以下の地球周回軌道

イ 中軌道 Medium Earth Orbit (MEO)

高度 2,000km から地球同期軌道高度 (約 36,000km) の地球周回軌道

ウ 高軌道 High Earth Orbit (HEO)

地球同期軌道より外の地球周回軌道

(3) 周期性による分類

地球との相関関係によって分類したものである。

ア 回帰軌道

1 日当たりの周回数が整数 N になる軌道のこと。地球が 1 回転 (自転) する間に、地球の周りを N 回回り、次の日の同時刻、同地点の上空に再び飛来する。特定の地域を繰り返し観測することができる。この分類から、モルニア軌道は、 $N=2$ の回帰軌道であり、ツンドラ軌道も毎日 1 周回する回帰軌道とみることができる。

・同期軌道：回帰軌道の中で、衛星が一日に 1 回周回する軌道

- ・静止軌道：同期軌道の中で軌道傾斜角と離心率がゼロ。つまり、地上から見ると止まっているように見える軌道である。

イ 準回帰軌道

衛星が1日のうちに何回か地球を周回し、数日後に地表の上空に飛来する軌道のこと。全地球をくまなく数日から数10日毎に観測することが期待される地球観測衛星の軌道として採用されることが多い。

ウ 太陽同期軌道 (図3)

地球が太陽の周りを1回転(公転)する間に衛星の軌道面も1回転する軌道のこと。軌道面に入射する太陽光の角度が同じになるという特徴と赤道を常に同じ時刻通過するという特徴を有する。

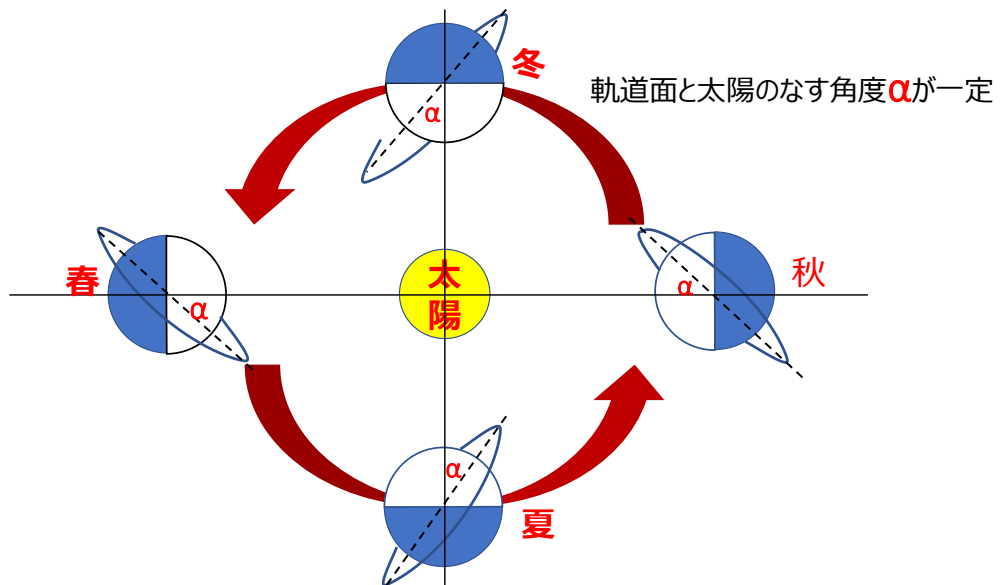


図3 太陽同期軌道

エ 太陽同期準回帰軌道

太陽同期で、かつ準回帰特性を有する軌道のこと。例として、米国の地球観測衛星 LANDSAT がある。LANDSAT は、近地点約 680km、遠地点約 700km、周期 98.5 分で1日に地球周回数 15 周、16 日後に元の地表上空に戻ってくる衛星である(回帰日数 16 日の準回帰軌道)。この軌道の特徴は、繰り返し観測する時刻を一定の時刻に決めることができる。北極側から南極側へ飛行する時のその地方を通過する時刻(ローカルタイム)が一定であるということ(降交点通過時刻という)。その時刻を表すトワイライト軌道

(夜明けと夕暮れ)、ドーンダスク軌道 (夕方) という名称もある。

オ 軌道傾斜角による分類

軌道傾斜角とは、地球の赤道面と軌道面とのなす角であるが、その軌道傾斜角によって軌道を分類する。

(ア) 傾斜軌道

衛星の軌道傾斜角が地球の赤道に対して傾いている軌道

- ・極軌道：軌道傾斜角が 90° 近くで、南極、北極の近傍を通過する軌道
- ・極太陽同期軌道：極軌道に近いが、赤道を常に同じ現地時間で通過する軌道。影が常に同じ場所にでき、画像の撮影に適している。

(イ) 順行軌道

軌道傾斜角が 90° 以下の軌道。地球の自転と同方向に周回する。

(ウ) 逆行軌道

軌道傾斜角が 90° 以上の軌道。地球の自転と逆方向に周回する。太陽同期軌道は逆行軌道の一つである。

4 軌道の表し方 (軌道の要素)

ある時刻に衛星はどこにいるのかを知るためには、衛星の軌道がどのような形状をしているか、そしてその時刻に軌道上の位置を求めなければならない。そのためには、ある時刻とケプラーの法則に基づく次の 6 つの軌道パラメータ (要素) を用いて指定する。

- ・ a : 軌道長半径 Semi-Major-Axis (又は m : 平均運動 Mean Motion)
- ・ e : 離心率 Eccentricity
- ・ I : 軌道傾斜角 Inclination
- ・ Ω : 昇交点赤経 Right Ascension of the Ascending Node
- ・ ω : 近地点引数 Argument of Perigee
- ・ M : 平均近点離角 Mean Anomaly

ただし、実際には、ケプラーの要素以外に、太陽や月の引力、太陽光圧力、地球重力分布などの影響 (摂動) を補正して計算する必要がある。これらのパラメータの関係と定義は図 4 のとおり。

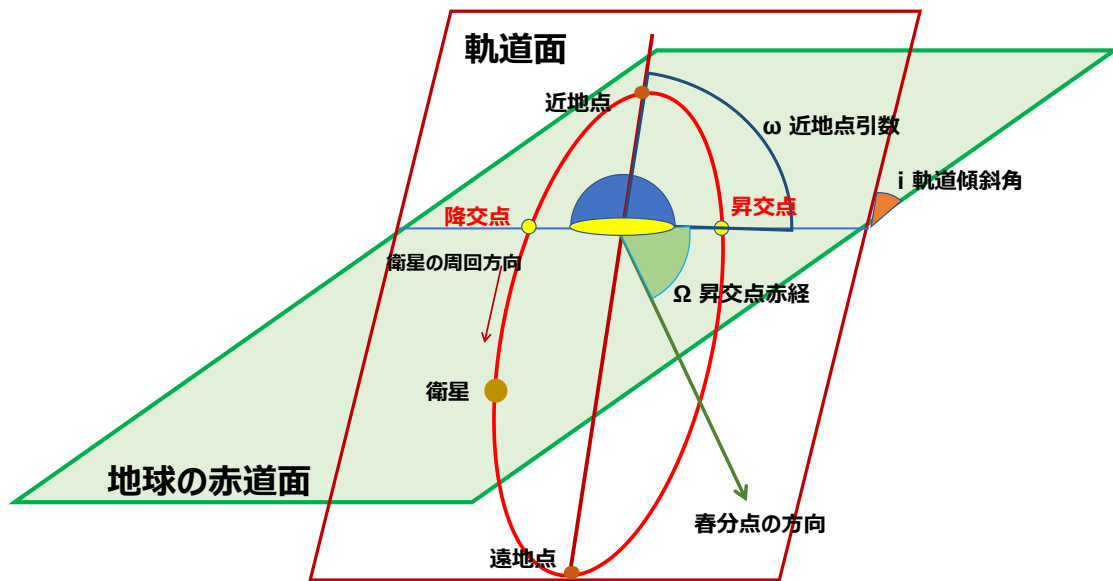


図4 軌道要素とその定義

・元期 Epoch

求めようとする衛星の位置の時刻で、協定世界時（UTC）で表す。

・軌道長半径 Semi-Major-Axis

軌道の大きさを表すパラメータで、楕円軌道の長手方向の半径を示す。図表に示す近地点距離 R_p と遠地点距離 R_a から、次のように計算する。

$$A = (R_p + R_a) / 2 \quad \text{円軌道の場合は、円の半径とする。}$$

・平均運動 Mean Motion

楕円軌道の大きさを知るためのパラメータで、当該時刻に衛星は地球からどれだけ離れているかということを知ることができる。楕円軌道の衛星は、地球に近い時は速く、遠い時は遅く飛ぶため、速度の平均として算出する。軌道長半径 a が判明している場合は、次の式から求めることができる。

$$m = \sqrt{GM/a^3} \times 86400 / (2\pi) \quad \text{[周回/日]}$$

ここで、 GM : 地球の重力定数 $3.98600441E+14 \quad [m^3/s^2]$

a : 軌道長半径

・離心率 Eccentricity

楕円軌道の形状を表すパラメータで、近地点距離 R_p と遠地点距離 R_a を使用して、次のように求める。

$$e = (R_a - R_p) / (R_a + R_p)$$

円軌道は楕円軌道の $R_a = R_p$ の特別な形態であり、 $e = 0$ となる。

・軌道傾斜角 **Inclination**

基準面（赤道面）に対する軌道面の傾きを示すパラメータである。軌道面は必ず地球の中心を通るため、赤道を通る面（赤道面）と軌道面とのなす角度で、 0° から 180° で表す。なお、軌道傾斜角 0° は赤道軌道、 90° は極軌道を表す。

・昇交点赤経 **Right Ascension of the Ascending Node**

軌道面の向く方向を示すパラメータである。軌道傾斜角を決めても、同じ軌道傾斜角の軌道面は無数に存在するため、赤道面と軌道面が交差するポイントを決める必要がある。その交点を示すのが昇交点赤経である。そのため、地球座標（緯度/経度）における赤道面と交差する点を衛星が南から北へ赤道を横切る点（昇交点という）と天文学的座標（赤緯/赤経）における太陽が赤道を横切って昇ってくる点（天文学座標で春分点という）を定義し、昇交点と地球中心と春分点とのなす角度を昇交点赤経とした。

・近地点引数 **Argument of Perigee**

軌道面内の近地点の方向を示すパラメータで、近地点と昇交点とのなす角度で表す。近地点が北半球にある場合は、近地点引数は 0° から 180° の範囲内の値を示し、南半球にある場合は、 180° から 360° の範囲内の値を示す。

・平均近点離角 **Mean Anomaly**

与えられた時刻（元期 **Epoch**）における衛星の軌道上の位置を近地点を基準として示すパラメータで、近地点を 0 にとし、遠地点を 180° として表す。

2行軌道要素

これまで述べてきたケプラーの法則に基づく軌道パラメータと等価で、よく使用される軌道表現に **TLE 2行軌道要素 Two Line Elements** がある。これは、2行でその衛星（飛翔物体）の軌道を表したものである。以下、国際宇宙ステーションの TLE を例として、記載事項を説明する。

例：国際宇宙ステーション

ISS (ZARYA)								
1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040	
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189	33209

一般名（**Common Name**）として、衛星の名前をしめす。末尾に **R/B** とある場合はロケットボディを、**DEB** とある場合はデブリを示す。

ISS (ZARYA)

1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

行番号 (Line Number) を示す。

ISS (ZARYA)

1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

衛星カタログ番号 (Satellite Number) で、カタログに記載された物体の通し番号で打ち上げ順ではなく、発見されたものはその都度登録される。

ISS (ZARYA)

1	25544 U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

軍事機密種別 (Classification) で、機密かどうかを示す符号で、U は Unclassified、機密ならば、ここは S となる。

ISS (ZARYA)

1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

国際識別符号 (International Designator) で、この番号はカタログ番号ではなく、打ち上げられた順番に付与される。98067A は、1998 年の 67 番目に打ち上げられた物体 A という意味を表す。

ISS (ZARYA)

1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

元期 (Epoch) で、軌道要素の基準となる日付で、最初の 2 文字が年の下 2 桁、残りの数字は、その年の協定世界時の 1 月 1 日からの経過日数を示す。

「13128.50723059」とは、2013 年 158.50723059 日目、つまり、2013 年 6 月 7 日 12 時 10 分 24 秒 (日本時間 21 時 10 分 24 秒) を示している。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、平均運動の1次/2次微分値 (First/Second Time Derivative of the Mean Motion) で、空気抵抗を示す数字である。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、BSTAR (B*) 抗力項 (BSTAR Drag Term) で空気抵抗を示す。頭の小数点が省略されていて、さらに「-3」が「×が「のマイナス3乗」ということを表している。そのため、実際の値は「0.00010270」となる。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、軌道モデル (Ephemeris Type) の符号で、軌道要素の計算方法、アルゴリズムの種類を表す。ただ、現在この符号は使用されておらず、常に「0」、不明である。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、通番 (Element Set Number) で、軌道要素の発行番号を示す。「904」は最初に発行されてから 904 回更新されたという情報で、計算に使用するものではない。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、一行目の最後を示すチェックサム (Checksum) の数値である (2行目の最後も同様)。計算方法は、数字を全部加算して 10 で割った余りである。この際、「-」を 1 と読み替え、後のスペースやピリオドや+の記号は無視する。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、軌道傾斜角 (Inclination) を示す数値で、単位は「度」である。国際宇宙ステーションは赤道に対して 51.6453° 傾いているということを示す。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、昇交点赤経を示す数値で、単位は「度」である。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、軌道の離心率 (Eccentricity) を示す数値で、「0010707」は「0.0010707」を表す。ISS は真円に近い軌道であると言える。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、近地点引数 (Argument of perigee) を示す数値で、単位は「度」である。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、平均近点離角 (Mean Anomaly) を示す数値で、単位は「度」である。

ISS (ZARYA)

```
1 25544U 98067A 13158.50723059 .00016717 00000-0 10270-3 0 9040
2 25544 51.6453 156.3482 0010707 41.5842 318.6122 15.50690189 33209
```

これは、平均運動 (Mean Motion) を示す数値で。単位は「周回/日」である。

この数値によって、エポック（元期）から現在までに衛星がどれくらい動いたか、つまり現在位置がわかる。ISS は一日に 15.5 周することを表している。

ISS (ZARYA)

1	25544U	98067A	13158.50723059	.00016717	00000-0	10270-3 0	9040
2	25544	51.6453	156.3482	0010707	41.5842	318.6122	15.50690189 33209

これは通算周回数（Revolution Number at Epoch）を示す数値で、打ち上げから元期（エポック）までに軌道を何周したかを表す。打ち上げから最初に昇交点を通過するまでがゼロ、そこからの積算値である。ただ、ISS は 1 日 15-16 周するにかかわらず、3320 周というのは少なすぎる。（実は頭に 8 が省略されているようである。）

5 軌道制御

軌道を周回している衛星は、時間とともに太陽や月の重力、空気抵抗などの外乱によって、軌道が変化する。そのため、常に最適な軌道を維持するため、また、最終的な軌道に乗せたり、ランデブー・ドッキングなどのミッション遂行のために軌道変更や修正が必要になる。軌道を変更することを軌道制御という。

軌道制御には、大別して 2 つの方法がある。一つは、軌道面内で軌道の大きさや形を変える面内制御であり、もう一つは、軌道面そのものを変える軌道面制御である。

(1) 面内制御

衛星の軌道面内で、エンジンによる加速や減速を行うと、軌道の大きさと形を変えることができる。即ち、衛星の遠地点、近地点、軌道の形（離心率）、や周期が変わる。この制御は図 5 のとおり。近地点で加速すると、遠地点が大きくなり、遠地点で加速すると、近地点が大きな軌道に変更することができる。このように、面内制御はロケットにより所定の軌道傾斜角の軌道に投入された衛星が、ターゲットとする最終軌道へ移行するために必要な制御である。

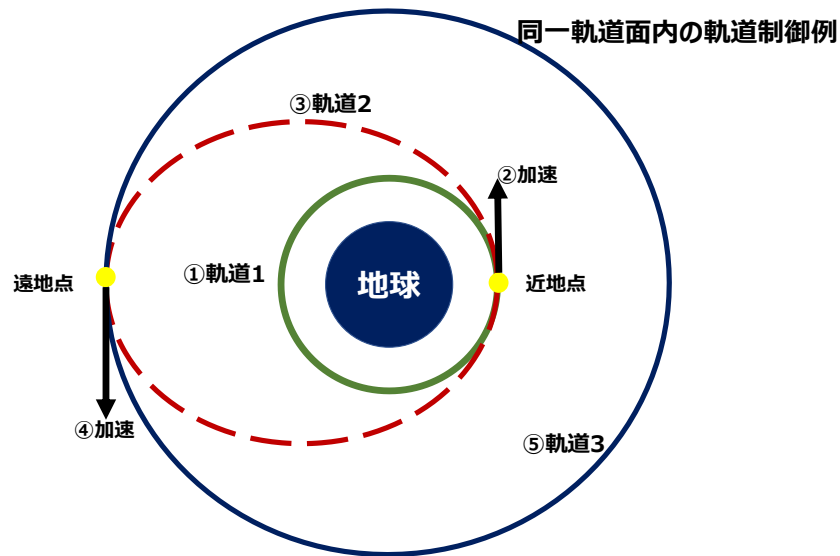


図5 面内制御

(2) 軌道面制御 (図6)

軌道面制御は、軌道傾斜角を変えるための制御である。衛星の軌道面に対して垂直に力を加える（エンジン噴射）ことによって行われる。例えば、静止軌道に衛星を移行させる場合を考える。

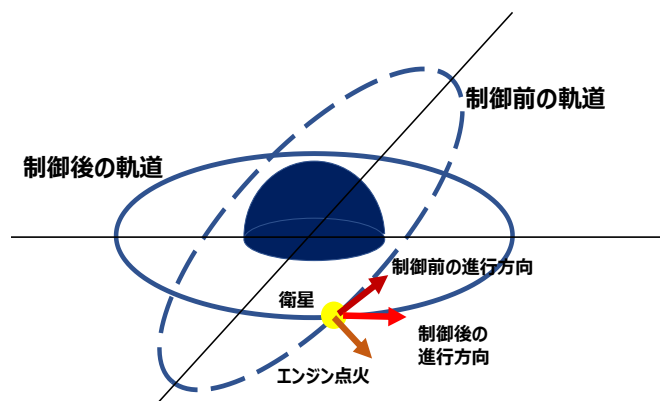


図6 軌道面制御

種子島宇宙センターから打ち上げられる静止衛星は、通常軌道傾斜角約 28° 、近地点約 250km、遠地点約 36,000km のトランスファ軌道へ投入される。しかし、静止軌道は、軌道傾斜角 0° 、高度約 36,000km の円軌道であるため、まず、遠地点でアポジモーターを点火して約 36,000km の円軌道（ドリフト軌道）に修正する（面内制御）と同時に、軌道面制御によって軌道傾斜角 0° の円に制御する。ドリフト軌道への移行は数回の制御によっ

て行われるが、ドリフト軌道も完全な静止軌道ではないため、その後更に時間をかけて衛星搭載のアポジモーター（液体燃料使用）で微調整を繰り返し、完全な静止軌道と目標高度に静止させる。

6 安全保障ミッションに対応する軌道

我が国の安全保障上、ミッション衛星として、次の衛星が想定される。

- ・画像情報収集（IMINT）
- ・電波情報収集（SIGINT）
- ・早期警戒
- ・通信・データ中継
- ・即応型小型
- ・気象
- ・衛星測位
- ・SSA

これらの衛星のうち、衛星測位と気象ミッションは、現在すでにシステム化されて、安全保障用途にも一部活用されていることから、本検討から除く。また、即応型小型衛星は、そのミッションによる最適な軌道が設計されると考えられる。したがって、本項では、衛星測位、気象、即応型小型以外のほかのミッションの衛星について、求められる運用概念とそれに対応する軌道について検討する。

（1）画像情報収集（IMINT）

画像情報収集については、高頻度もしくは常時監視、高分解能要求が必須である。また、収集カバレッジとしては、冷戦構造が崩れ、世界的に不安定、流動化が進む中で、グローバルに全地球範囲に要求される。また、戦略的な情報収集（1日ベースの定期的な収集）と戦術的な情報収集（1時間ベースの集中的な収集）に対応する必要がある。情報収集運用としては、戦略ベースとしての定期的（毎日）観測、戦術ベースとして、高頻度もしくは常時観測が求められる。情報分解能は高分解能（数 m 以下）が要求される。情報収集センサーとしては、全天候型（光学、電波センサーの組み合わせでも可）が必須となる。これらの要求から想定される軌道としては、次の軌道となる。

- ・高分解能で且つ高頻度観測

太陽同期準回帰軌道での複数機によるコンステレーションもしくは、多様なセンサーによるフォーメーションフライト（高度は分解能とのトレー

ドオフ)

- ・ 常時監視

静止軌道からの情報収集（ただし、分解能と天候による制約はトレードオフ)

- ・ 戦術ベース

関心地域の集中的な情報収集のための専用軌道への打ち上げ（軌道変換機能も衛星に要求される)

(2) 電波情報収集 (SIGINT)

電波情報収集は、現在の我が国においては欠落機能であるが、今後画像と相互に補完し合うための情報収集機能として必須となると予想される。電波情報の目的は、電波発射施設の位置や稼働状況、通信内容の把握であり、その運用は、画像情報収集運用と同レベルになるものと想定される。即ち、画像情報収集衛星とのフォーメーションフライトが効果的な運用形態と考える。また、大型展開アンテナによる常時収集も戦術ベースの用途としては想定される。その場合、静止軌道もしくは、関心地域をカバーする長楕円軌道（モルニア軌道のような）が適当である。

(3) 早期警戒

早期警戒は弾道ミサイルの発射探知と追跡がミッションである。日本及びその同盟国を中心としたミサイル到達距離の範囲内をカバーする必要があることから、静止軌道への配備が有力となる。また、日米協力の一環として、米国の SBIRS (Space-Based Infrared System : 宇宙配備赤外線システム) に組み込まれるコンステレーションとなる可能性も想定される。その場合は、長楕円軌道に投入されると予想される。

(4) 通信・データ中継

通信衛星の用途としては、我が国の自衛隊が活動するエリアをリアルタイムでネットワーク化して接続する必要があることから、静止軌道への複数配備が基本となる。また、PKO による人道支援地域をカバーする観点から、静止軌道上の通信衛星間の通信中継機能、及び画像情報や電波情報のリアルタイム収集エリアを拡大し、ターンアラウンド時間（収集指定から収集情報の受信までの時間）の短縮を図るべく、データ中継衛星を静止軌道上に配備することもミッション上有効である。

(5) SSA

SSA ミッションの宇宙セグメントは、我が国や同盟国が保有する宇宙ア

セットの脅威を探知し事前に回避するとともに、今後は積極的に脅威となる物体を除去することも考える必要がある。そのためには、SSA 衛星を宇宙アセットの配備されている領域（低高度衛星軌道や静止軌道）の軌道に打ち上げて、積極的に軌道変換や制御を行って脅威となる物体の排除や宇宙アセットの保護を行うことが有効である。検討結果は表 2 のとおり。最後にこれまで説明してきた衛星軌道の種類と特徴を表 3 に、市ヶ谷基地における衛星が上空に存在する時間の説明図を図 7 に載せる。


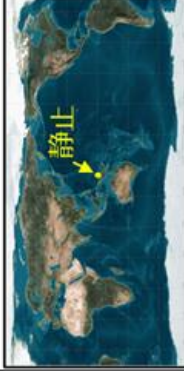
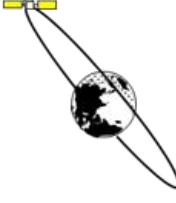
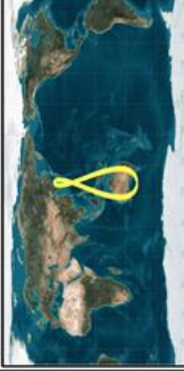
【主要参考文献】

- 1 川瀬成一郎『人工衛星の軌道概論』コロナ社、2015 年
- 2 Two Line Element (TLE) の説明-JAXA G-Portal
https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-W/TLE.pdf
- 3 軌道要素の秘密
http://www.lizard-tail.com/isana/tle/misc/what_is_tle.html
- 4 軌道要素（ウィキペディア）
<https://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 5 JAXA 宇宙情報センター 人工衛星の代表的な軌道
http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/typical_satellite_orbits2.html

表2 安全保障ミッションに対応した軌道

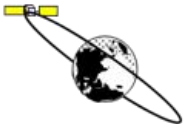



No	ミッション	運用要求	軌道	備考
1	画像情報収集	高頻度・高分解能 グローバルカバレッジ	太陽同期準回帰	コンステレーション &画像情報収集 とのフォーメーション フライト
		常時・集中情報収集	静止 専用軌道	
2	電波情報収集	高頻度 グローバルカバレッジ	太陽同期準回帰	コンステレーション &画像情報収集 とのフォーメーション フライト
		常時・集中情報収集	静止 長楕円 (関心地域中心)	
3	早期警戒	常時監視	静止 長楕円 (関心地域中心)	米国SBIRSとの協 調あり
4	通信・ データ中継	固定ネットワーク	静止	
5	宇宙状況監視 (SSA)	軌道変換・制御	静止軌道近傍 低軌道近傍	

表3-1 人工衛星軌道の種類と特徴

軌道	説明	適用例	メリット	デメリット	地上航跡
静止軌道 (GEO) 	<ul style="list-style-type: none"> 高度36,000km 公転周期1日 (帰軌道) 長半径約42,000km 円軌道(離心率0) 傾斜角0度 	<ul style="list-style-type: none"> 通信衛星 監視偵察衛星 早期警戒衛星 気象衛星 	<ul style="list-style-type: none"> 常に地球から見えて同じ位置に存在するため継続した通信や特定地域の常統的な監視が可能 赤道上に存在するためアクセス範囲が広い(原理上、3機で全球をカバー可能) 	<ul style="list-style-type: none"> 高度が高いため電波の減衰と遅延が大きくなり、センサの解像度が低くなる 赤道上に存在するため高緯度域とのアクセスに難あり 	 <p>ひまわり8号(1日間)</p>
準天頂軌道 (QZO) 	[例：準天頂衛星] <ul style="list-style-type: none"> 遠地点高度 約40,000km 公転周期1日 (帰軌道) 長半径約42,000km 離心率約0.075 傾斜角約40度 	<ul style="list-style-type: none"> 測位衛星 	<ul style="list-style-type: none"> 中緯度(準天頂衛星では日本)上空に長く存在するため、長時間にわたり利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 継続的に利用するためには複数衛星を同一軌道面に存在させることが必要 高度が高いため電波は減衰と遅延が大きくなる 	 <p>みちびき4号機(1日間)</p>

GEO: Geosynchronous Earth Orbit, QZO: quasi-zenith orbits

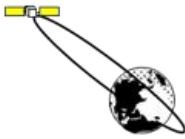
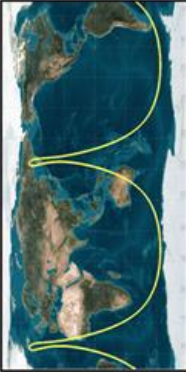
表 3-2 人工衛星軌道の種類と特徴

軌道	説明	適用例	メリット	デメリット	地上航跡
中軌道 (MEO) 	<ul style="list-style-type: none"> 高度2,000km ~36,000kmの軌道 公転周期 約2時間~約1日 [例:GPS衛星] -高度約20,000km -公転周期0.5日 (回帰軌道) -長半径約27,000km -円軌道(離心率0) -傾斜角約55度 	<ul style="list-style-type: none"> 通信衛星 測位衛星 	<ul style="list-style-type: none"> 静止軌道や準天頂軌道より電波の減衰と遅延が小さくなる 低軌道よりアクセスできる時間を長く確保できる 	<ul style="list-style-type: none"> 中軌道領域には放射線レベルの高いヴァンアレン帯が存在するため、高度の選択には留意することが必要 継続的に利用するためには複数衛星を存在させることが必要 	 <p>GPS衛星 Block IIF 1号機 (1日間)</p>
低軌道 (LEO) 	<ul style="list-style-type: none"> 高度2,000km以下の軌道 公転周期 約1.5~2時間 [例:だいち2号] -高度約630km -公転周期約1.6時間 -長半径約27,000km -円軌道(離心率0) -傾斜角約98度 	<ul style="list-style-type: none"> 監視偵察衛星 地球観測衛星 通信衛星 宇宙ステーション 科学衛星 	<ul style="list-style-type: none"> 高度が低いため電波の減衰と遅延が小さくなり、センサの解像度を高くすることができ 高度が低いため、衛星の打ち上げコストが低い 	<ul style="list-style-type: none"> アクセス範囲(例:センサの覆域)が小さい 地球局等の一定地点からの可視時間が短い 	 <p>地球局の可視範囲例※ だいち2号 (1日間)</p>

GEO: Geosynchronous Earth Orbit, QZO: quasi-zenith orbits

※市ヶ谷基地を基準に仰角5度以上の上空範囲

表3-3 人工衛星軌道の種類と特徴

軌道	説明	適用例	メリット	デメリット	地上航跡
長楕円軌道 (HEO) 	離心率が高い楕円軌道 [例: SBIRS HEO衛星] -遠地点高度 約39,000km -公転周期0.5日 (回帰軌道) -長半径約27,000km -離心率約0.7 -傾斜角63.4度	<ul style="list-style-type: none"> ・通信衛星 ・測位衛星 	高緯度において、上空に長く存在するため長時間にわたり利用可能	継続的に利用するためには複数衛星を存在させる必要がある	 Trumpet 7※(1ヶ月間)

HEO: Highly Elliptical Orbit

※ホステッドペイロードとしてSBIRS HEO-4を搭載する衛星。軌道はN2YO.comによる。

表3-4 人工衛星軌道の種類と特徴

軌道	説明	適用例	特徴	地上航跡
太陽同期 準回帰軌道	下記の太陽同期で、かつ準回帰性を有する軌道。	<ul style="list-style-type: none"> 地球観測衛星 (全球対象) 	<p>太陽同期軌道の特徴と準回帰軌道の特徴を併せ持つ。</p> <p>【回帰軌道】1/n日周期で特定の地上航跡上を通過。地上に対するアクセシビリティが限定される。</p> <p>【準回帰軌道】数日～数10日周期で、地上の広い範囲に対しアクセス可能。</p> <ul style="list-style-type: none"> 衛星軌道面に対し太陽の方向が一定となり、常に直下地点の時刻(現地時刻)が同一となる。また、日射に対して常に同一条件で地球観測が可能。 極軌道に近いため、高緯度から低緯度まで観測可能。 	<p>だいち2号(10日間)</p>
準回帰軌道	数日～数10日周期で同一地点上空を通過する軌道。 1/n日(n=1以上の整数)の周期で通過する軌道を「回帰軌道」という。			
太陽同期軌道 (SSO)	衛星の軌道面が1年で1回転する軌道。極軌道に近い(傾斜角≒90度)。	<ul style="list-style-type: none"> 気象衛星 国際宇宙ステーション(ISS) 地球観測衛星 (中低緯度向け) 	<ul style="list-style-type: none"> 中低緯度の関心域に合わせた軌道傾斜角とすることで、衛星から関心域に対するアクセス頻度を増加させることが可能。 太陽非同期軌道とすることで、時刻に対する変化を観測可能。 	<p>国際宇宙ステーション(10日間)</p>
傾斜軌道	軌道傾斜角が0度(赤道周回)～90度(極軌道)の間をとる軌道。			

SSO: Sun-Synchronous Orbit

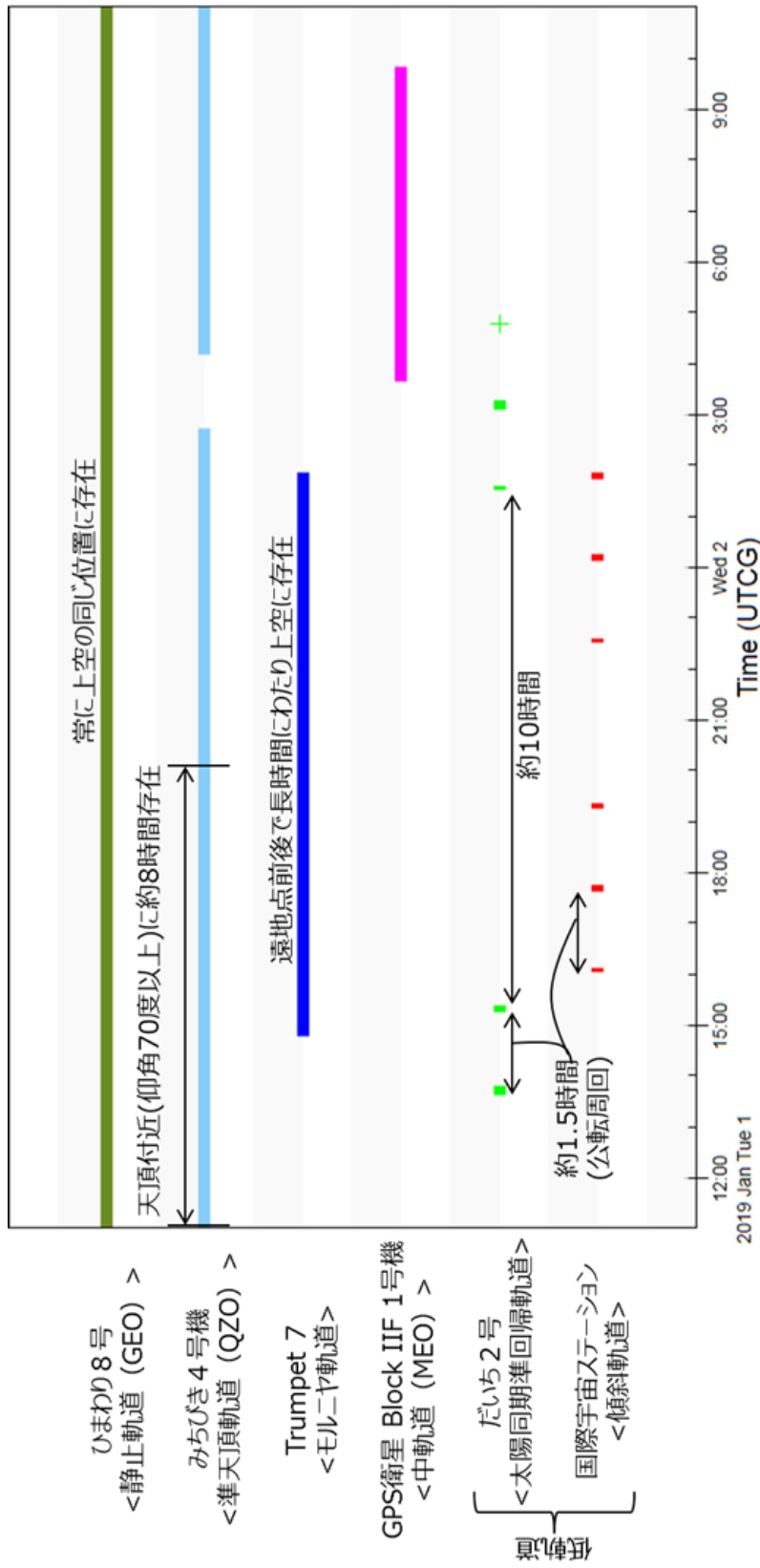


図7 市ヶ谷基地における衛星が上空※に存在する時間

※仰角5度以上

宇宙天気

1 宇宙天気とは

太陽活動に起因する地球近傍の宇宙環境条件の変化をいう。これらの現象は社会インフラ等に影響を及ぼすことがある。宇宙天気は各種状態を引き起こす現象によって変化する。宇宙天気とそれに伴う社会への影響の概念図を図 1 に、これまでに宇宙天気が原因で発生した社会インフラ等の障害の例は表 1 のとおり。

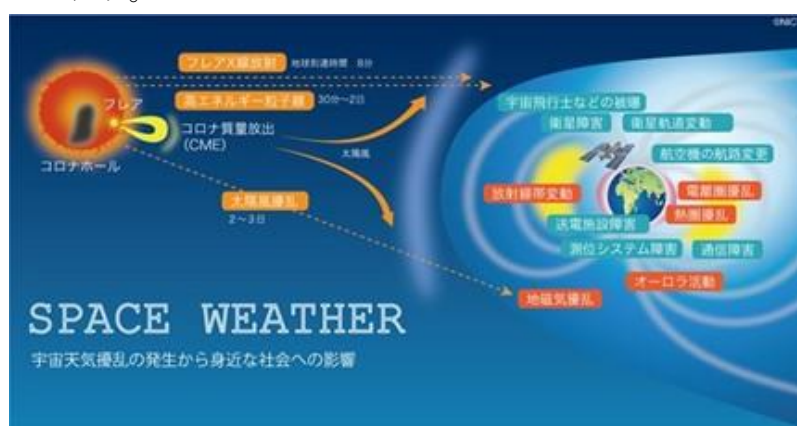


図 1 宇宙天気とそれに伴う社会への影響の概念図（NICT ホームページより抜粋）

表 1 宇宙天気の原因で発生した社会インフラ等の障害の例

発生時期	障害の内容
1989年12月	大きな地磁気嵐のため、カナダで送電システムの障害による大規模停電が発生
1994年2月	日本の通信衛星 BS-3a に不具合が生じ、衛星放送中断
2002年4月	太陽からの高エネルギー粒子の影響を受け、火星探査機「のぞみ」の通信系と電源系に不具合発生
2003年10月	太陽フレアの影響を受け、データ中継技術衛星「こだま」のセンサーに異常発生
2003年10月	太陽からの宇宙プラズマの影響を受け、地球観測衛星「みどり2」の太陽電池に不具合発生

2003年10月	大きな地磁気嵐のため、スウェーデンで送電システムの障害による停電が発生
2003年11月	太陽フレアの影響を受け、日本の小惑星探査機「はやぶさ」の太陽電池に不具合が生じ、発電量低下
2006年4月	宇宙放射線の影響を受け、気象観測衛星「ひまわり6号」の姿勢制御装置に不具合発生
2006年12月	太陽からの大量の電波照射により、GPSが中断

2 人間の活動に影響を与える主な宇宙天気現象等

(1) 太陽フレア

太陽の黒点付近において発生する爆発現象で、太陽大気的气体（プラズマ）、高エネルギーの粒子、大量の放射線等が発生する現象を太陽フレアという。太陽フレアは、黒点がないと発生しないため、黒点の数は太陽活動の指標とされるが、太陽フレアが発生するメカニズムはわかっていない。

また、太陽フレアに伴って、太陽コロナ（100万℃を超える太陽の外層大気）中のプラズマが大量に放出されることがある。この現象をコロナ質量放出（CME：Coronal Mass Ejection）という。CMEは、太陽フレアに伴わず観測されることもある。

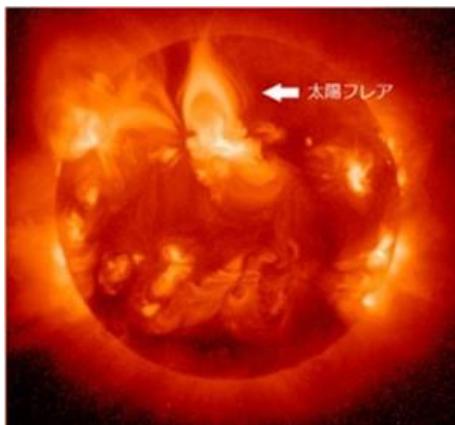


図2 2000年6月7日に観測された太陽フレア

(2) プロトン現象

太陽フレア又はCMEに伴い、高エネルギーの陽子が発生する現象をプロトン現象という。

(3) 地磁気嵐

高速の太陽風（コロナから吹き出すプラズマ流）及び惑星間空間磁場（太

陽風により引き起こされる磁場) の方向により太陽からのプラズマが地球磁気圏で引き起こされる擾乱を磁気嵐 (地磁気嵐) という。

(4) 放射線帯

地球や磁場を持つ惑星の周囲に分布する高エネルギーの電子やイオンの帯状の構造を放射線帯という。地球の放射線帯は、赤道上空約 3,000km を中心として分布する内帯と約 20,000km を中心に分布する外帯の 2 重構造となっているが、宇宙環境の変動で大きく変化する。

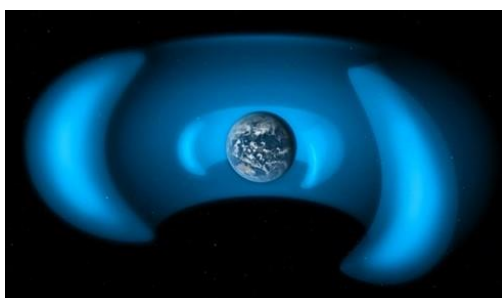


図3 地球を取り囲む放射線帯のイメージ

(5) 電離圏嵐

電離圏 (地球大気の上層において、太陽放射や宇宙線などにより大気が電離 (イオンと電子に分離) している領域) の中で電子が多く含まれる領域 (F 領域) において、通常より顕著に電子密度が増加又は減少する現象を電離圏嵐という。

(6) デリンジャー現象

太陽フレアの発生に伴う X 線や紫外線の急増により、電離圏の D 領域 (高度 60~90km) の電子密度が高くなり、短波帯の電波 (3~30MHz) が吸収されてしまう現象をデリンジャー現象という。

(7) スポラディック E 層

高度約 100km の高さに突発的に発生する電子密度の高い層をスポラディック E 層という。強いスポラディック E 層が発生すると、通常は電離圏で反射されない VHF 帯の電波が反射されて異常伝搬することがある。



図4 電波伝播と電離圏効果のイメージ(NICT ホームページより抜粋)

3 宇宙天気が与える社会システム等への影響について

先述のとおり、宇宙天気の現象は社会インフラ等に様々な影響を与える。特に影響のあるものとして、①短波通信の障害、②航空機の運用に対する障害、③衛星の障害、④測位 (GPS) の誤差、⑤宇宙飛行士の被ばく、⑥送電施設のトラブルが挙げられる。それぞれの障害等の原因となる宇宙天気の現象は、表2のとおり。

表2 社会インフラ等の障害の原因となる宇宙天気現象

番号	障害等	原因となる宇宙天気現象
①	短波通信の障害	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽フレア ・ プロトン現象 ・ 電離圏嵐 ・ デリンジャー現象 ・ スポラディック E 層
②	航空機の運用に対する障害	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽フレア ・ プロトン現象 ・ 電離圏嵐 ・ デリンジャー現象 ・ スポラディック E 層

③	衛星の障害	<ul style="list-style-type: none"> ・プロトン現象 ・地磁気嵐 ・放射線帯の変化
④	測位（GPS）の誤差	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽フレア ・電離圏嵐
⑤	宇宙飛行士の被ばく	<ul style="list-style-type: none"> ・プロトン現象 ・放射線帯の変化
⑥	送電施設のトラブル	<ul style="list-style-type: none"> ・地磁気嵐

4 宇宙天気予報について

国立研究開発法人 情報通信研究機構 電磁波研究所 宇宙環境研究室により、地球周辺の宇宙環境の変動によって影響を受ける可能性のある通信・放送インフラや宇宙システム等の運用や利用などに活用することを目的として、宇宙天気予報が毎日実施されている（インターネット上において、1500～1600の間更新）。

(Intentionally Blank)

宇宙に係る国際法条文

【宇宙条約】

第1条（探査利用の自由）

- (1) 月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用は、全ての国の利益のために、その経済的又は科学的発展の程度にかかわらず行われるものであり、全人類に認められる活動分野である。
- (2) 月その他の天体を含む宇宙空間は、全ての国がいかなる種類の差別もなく、平等の基礎に立ち、かつ、国際法に従って、自由に探査し及び利用することができるものとし、また、天体の全ての地域への立入りは、自由である。
- (3) 月その他の天体を含む宇宙空間における科学的調査は、自由であり、また、諸国は、この調査における国際協力を容易にし、かつ、奨励するものとする。

第2条（領有権の否定）

月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用若しくは占拠又はその他のいかなる手段によっても国家の取得の対象とはならない。

第3条（探査利用の国際法準拠）

条約の当事国は、国際連合憲章を含む国際法に従って、国際の平和及び安全の維持並びに国際間の協力及び理解の促進のために、月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における活動を行わなければならない。

第4条（大量破壊兵器の打ち上げ禁止）

- (1) 条約の当事国は、核兵器及び他の種類の大量破壊兵器を運ぶ物体を地球を回る軌道に乗せないこと、これらの兵器を天体に設置しないこと並びに他のいかなる方法によってもこれらの兵器を宇宙空間に配置しないことを約束する。
- (2) 月その他の天体は、もっぱら平和目的のために、条約の全ての当事国によって利用されるものとする。天体上においては、軍事基地、軍事施設及び防備施設の設置、あらゆる型の兵器の実験並びに軍事演習の実施は、禁

止する。科学的研究その他の平和的目的のために軍の要員を使用することは、禁止しない。月その他の天体の平和的探査のために必要な全ての装備又は施設を使用することも、また、禁止しない。

第5条（宇宙飛行士に対する援助）

- (1) 条約の当事国は、宇宙飛行士を宇宙空間への人類の使節とみなし、事故、遭難又は他の当事国の領域若しくは公海における緊急着陸の場合には、その宇宙飛行士に全ての可能な援助を与えるものとする。宇宙飛行士は、そのような着陸を行ったときは、その宇宙飛行機の登録国へ安全かつ迅速に送還されるものとする。
- (2) いずれかの当事国の宇宙飛行士は、宇宙空間及び天体上において活動を行うときは、他の当事国の宇宙飛行士に全ての可能な援助を与えるものとする。
- (3) 条約の当事国は、宇宙飛行士の生命又は健康に危険となるおそれのある現象を月その他の天体を含む宇宙空間に発見したときは、直ちに、これを条約の他の当事国又は国際連合事務総長に通報するものとする。

第6条（国家の責任）

条約の当事国は、月その他の天体を含む宇宙空間における自国の活動について、それが政府機関によって行われるか非政府団体によって行われるかを問わず、国際的責任を有し、自国の活動がこの条約の規定に従って行われることを確保する国際的責任を有する。月その他の天体を含む宇宙空間における非政府団体の活動は、条約の関係当事国の許可及び継続的監督を必要とするものとする。国際機関が月その他の天体を含む宇宙空間において活動を行う場合には、その国際機関及びこれに参加する条約の当事国の双方がこの条約を遵守する責任を有する。

第7条（損害に対する当事国の責任）

条約の当事国は、月その他の天体を含む宇宙空間に物体を発射し若しくは発射させる場合又はその領域若しくは施設から物体が発射される場合には、その物体又はその構成部分が地球上、大気空間又は月その他の天体を含む宇宙空間において条約の他の当事国又はその自然人若しくは法人に与える損害について国際的に責任を有する。

第 8 条（発射物体に対する管理権、所有権と物体の返還）

宇宙空間に発射された物体が登録されている条約の当事国は、その物体及びその乗員に対し、それらが宇宙空間又は天体上にある間、その物体及び乗員に対し、それらが宇宙空間又は天体上にある間、管轄権及び管理の権限を保持する。宇宙空間に発射された物体（天体上に着陸させられ又は建造された物体を含む。）及びその構成部分の所有権は、それらが宇宙空間若しくは天体上にあること又は地球に帰還することによって影響を受けない。これらの物体又は構成部分は、物体が登録されている条約の当事国の領域外で発見されたときは、その当事国に返還されるものとする。その当事国は、要請されたときは、それらの物体又は構成部分の返還に先だち、識別のための資料を提供する者とする。

【部分的核実験禁止条約】

第 1 条（核爆発の禁止）

- (1) この条約の各締約国は、その管轄又は管理の下にあるいかなる場所においても、次の環境における核兵器の実験的爆発及び他の核爆発を禁止すること、防止すること及び実施しないことを約束する。
 - a 大気圏内、宇宙空間を含む大気圏外並びに領水及び公海を含む水中
 - b そのような爆発がその管轄又は管理の下でその爆発が行われる国の領域外において放射性残渣が存在するという結果をもたらすときは、その環境。この点に関して、締約国がこの条約の前文で述べたように締結を達成しようとしている条約、即ち、地下における実験的核爆発を含む全ての実験的核爆発を永久に禁止することとなる条約の締結がこの b の規定により妨げられるものではないことが了解される。
- (2) この条約の各締約国は、さらに、いかなる場所においても、(1) に掲げるいずれかの環境の中で行われ、又は、(1) に規定する結果をもたらす核兵器の実験的爆発又は他の核爆発の実施を実現させ、奨励し、又はいかなる態様によるかを問わずこれに参加することを差し控えることを約束する。

【環境改変技術敵対的使用禁止条約】

第 1 条（敵対的使用の禁止）

- (1) 締約国は、破壊、損害又は傷害を引き起こすような手段として広範な、

長期的な又は深刻な効果をもたらすような環境改変技術の軍事的使用その他の敵対的使用を他の締約国に対して行わないことを約束する。

(2) 締約国は、(1)の規定に違反する行為につき、いかなる国、国の集団又は国際機関に対しても、援助、奨励又は勧誘を行わないことを約束する。

第2条 (定義)

前条にいう「環境改変技術」とは、自然の作用を意図的に操作することにより地球(生物相、岩石圏、水圏及び気圏を含む。)又は宇宙空間の構造、組成又は運動に変更を加える技術をいう。

【国際電気通信連合憲章】

第45条 (有害な混信)

- (1) 全ての局は、その目的のいかんを問わず、他の構成国、認められた事業体その他正当に許可を得て、かつ、無線通信規則に従って無線通信業務を行う事業体の無線通信又は無線業務に有害な混信を生じさせないように設置し及び運用しなければならない。
- (2) 各構成国は、認められた事業体その他正当に許可を得て無線通信業務を行う事業体に第197号の規定を遵守させることを約束する。
- (3) 構成国は、また、全ての種類の電気機器及び電気設備の運用が第197号の無線通信又は無線業務に有害な混信を生じさせることを防ぐため、実行可能な措置をとることの必要性を認める。

【宇宙活動の長期的持続性ガイドライン】 (2019年6月21日採択)

A 宇宙活動に関する方針及び規制体系

- A1 宇宙活動に関する国内規制体系の必要に応じた策定、改正及び修正
- A2 宇宙活動に関する国内規制体系に関し、必要に応じた策定、改正または修正を行う際の複数要素の考慮
- A3 国内宇宙活動の監督
- A4 無線周波数スペクトルの衡平、合理的かつ効率的な使用及び衛星によって利用される様々な軌道領域の確保
- A5 宇宙物体登録の実行強化

B 宇宙運用の安全性

- B1 更新された連絡先情報の提供及び宇宙物体と軌道上事象に関する情報の

共有

- B2 宇宙物体の軌道データの精度向上並びに軌道情報の共有の実行及び実用性の強化
- B3 スペース・デブリ監視情報の収集、共有及び普及の促進
- B4 制御飛行中の全軌道フェーズにおける接近解析の実行
- B5 打ち上げ前接近解析に向けた実用的な取り組みの確立
- B6 有効な宇宙気象に関するデータ及び予報の共有
- B7 宇宙天気モデル及びツールの開発並びに宇宙天気による影響の低減のための確立した実行の収集
- B8 物理的及び運用面の特徴に関わらない宇宙物体の設計及び運用
- B9 宇宙物体の非制御再突入に伴うリスクを取り扱う対策
- B10 宇宙空間を通過するレーザービーム源を使用する際の予防策の遵守

C 国際協力、能力構築及び認知

- C1 宇宙活動の長期的持続可能性を支える国際協力の促進
- C2 宇宙活動の長期的持続可能性に関する経験の共有及び情報交換のための適切な新たな手続きの作成
- C3 能力構築の促進及び支援
- C4 宇宙活動の認知向上

D 科学的・技術的な研究開発

- D1 宇宙空間の持続可能な探査及び利用を支える方法の研究及び開発の促進及び支援
- D2 長期的なスペース・デブリの数を管理するための新たな手法の探査及び検討

(Intentionally Blank)