

宇宙に関する基本情報

【要 旨】

宇宙空間は1957年のソ連による人工衛星打上げ以降、人類が利用できる領域となった。2015年7月現在、人工衛星は約1,400機が地球を周回し、そのうち低軌道には約700機、静止軌道には約500機と、低軌道と静止軌道の利用が多くなっている。宇宙利用の進展に伴い、宇宙デブリが増加し、ソフトボール以上の大きさのデブリは約17,000個に達するとされている。今後はその管理と除去が大きな課題となるであろう。

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た。有人宇宙飛行や月着陸等が行われたほか、通信衛星、気象衛星といった地上での人間活動のために宇宙が利用されている。欧州や日本では米ソへのキャッチアップ、米ソ依存からの自立を求めた宇宙開発が行われてきた。冷戦後の宇宙開発は、国際宇宙ステーション等において米国、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おり、宇宙協力を通じた途上国との外交など新たな動きが見られる。

はじめに

宇宙は、我々の住む地球を取り巻く太陽、月から、太陽系を構成する惑星、太陽系を含む銀河系へと広がり、さらには銀河系の外へと果てなく広がっている。宇宙空間では地球上に比べて重力の影響が極めて弱く（微小重力）、空間中の物質の密度も極めて低い（高真空）。したがって、物体に地球の重力と釣り合うだけの推進力を与えて宇宙空間へ打ち出すと、地球周囲の軌道を周回し続けることができる。これが人工衛星であり、人間を乗せれば宇宙船や宇宙ステーションとなる。

人工衛星やロケットの残骸である宇宙デブリ（スペースデブリ、宇宙ゴミ）⁽ⁱ⁾も同じように長期間にわたり軌道を周回し続ける。近年は宇宙利用の活発化により軌道上の人工衛星と同様に宇宙デブリも大幅に増加しているため、衝突事故が懸念されるようになってきた。既に人工衛星と宇宙デブリの衝突事故は発生しており、対策が急務となっている。

こうした宇宙空間を利用する場合、国際宇宙法は、全ての国に対して宇宙の利用及び探査並びに宇宙へのアクセスの権利を認める一方で、国が宇宙空間や天体を領有することを禁じている。したがって、人工衛星が他国上空の宇宙空間を通過しても領空侵犯とはならない。このように、宇宙空間の利用に係るルールは様々な点で地上と大きく異なっている。以下では人類が宇宙空間をどのように利用しているかについて基本的な事項を説明する。

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2017年1月31日である。

(i) 宇宙デブリとは、何らかの有用な機能を喪失した後も地球軌道上に留まっている人工物体であり、多くは使用済みとなった人工衛星、ロケットの一部、それらの破片等である。“Space Debris and Human Spacecraft,” 2016.7.28. NASA website <http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html>「II 3 宇宙デブリの状況」も参照。

I 基本情報

1 人工衛星打上げの手段

ある物体を地球の人工衛星とするためには、その物体を最低でも秒速 7.9 キロメートル（時速約 28,000 キロメートル）まで加速する必要がある、この最低速度を第 1 宇宙速度と呼ぶ。さらに秒速 11.2 キロメートルを超えると地球の引力を振り切り、火星など太陽系内の他の天体へと飛行することも可能となる。この速度を第 2 宇宙速度と呼ぶ。第 3 宇宙速度（秒速 16.7 キロメートル）を超えると、太陽系外に出ることができる。

こうした速度まで物体を加速する方法がロケット推進である。ロケット推進は推進剤（燃料）の燃焼ガスを噴射し、その反作用によって推進力を得る仕組みである。ロケットには液体燃料方式、固体燃料方式の 2 種類がある⁽²⁾。

液体燃料ロケットでは、一般的に燃料（液体水素など）と酸化剤（液体酸素など）が別々のタンクからパイプを通して燃焼室に送られる。送り込む方法としては、ガス式、タービン式などがある⁽³⁾。推力を調節することができ、精密な軌道投入が可能であるが、構造がやや複雑なため、開発期間が長く開発コストも大きい⁽⁴⁾。

固体燃料ロケットは、一般的に燃料（ポリブタジエン系の液体合成ゴムなど）と酸化剤（過塩素酸アンモニウムなど）を均一に混ぜ合わせて固めたものを使用する。部品数が少なく構造は簡単なので信頼性の高いロケットを製造することができ、開発・製作・取扱いが容易でコストが小さい。また、同じ大きさの液体燃料ロケットに比べ、より大きな力（推力）を出すことができるが燃料効率は悪い。また燃焼途中での停止ができないので精密な軌道投入がしにくい。⁽⁵⁾

ロケット推進以外の宇宙空間の推進方法としては、電気推進⁽⁶⁾が人工衛星や小惑星探査機において実用化されている。電気推進は、推力自体は小さいものの同じ推力を出すのに必要な推進剤の量が少なく、固体燃料や液体燃料を使うよりも効率が良い。また、将来に向けては、惑星間移動用に原子力推進などの新たな推進手段を使うことも検討されている⁽⁷⁾。

2 人工衛星の軌道

人工衛星の軌道には、高度による分類（低軌道、中軌道、高軌道）や、軌道傾斜角（赤道面に対して軌道面のなす角度）などによる分類（極軌道、太陽同期軌道、静止軌道、円軌道、楕円軌道、準天頂軌道）などの分類方法がある⁽⁸⁾。高度により分類した軌道と静止軌道の定義を表 1 に示す。

(2) このほかにハイブリッド方式（燃料を固体で、酸化剤を液体で搭載）のロケットがあるが、日本では研究段階である。嶋田徹「宇宙科学の最前線：次世代の宇宙輸送はハイブリッドロケットで！」JAXA 宇宙科学研究所ウェブサイト <<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2012/shimada/03.shtml>>

(3) ガス式はガスの圧力により燃料、酸化剤を燃焼室に送り出す方式。タービン式はタービンを回し、それにより燃料、酸化剤を燃焼室に送り出す方式。「固体ロケットと液体ロケット」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid_liquid_rockets.html>

(4) 「固体ロケットと液体ロケット」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid_liquid_rockets.html>

(5) 同上

(6) 電気エネルギーを使って推進剤を加速・噴射して推進力を得る推進方法である。「未来のロケットの種類」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/chemical_rockets.html>

(7) 同上

(8) 「軌道の種類」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/types_orbits.html>

表1 衛星軌道の定義（高度による衛星軌道と静止軌道）

区分	定義
低高度軌道（低軌道） (Low Earth Orbits: LEO)	高度 2,000 キロメートル以下* の地球周回軌道
中高度軌道（中軌道） (Medium (Mid) Earth Orbits: MEO)	高度 2,000 キロメートルから地球同期軌道**（高度約 36,000 キロメートル）までの地球周回軌道
高高度軌道（高軌道） (High Earth Orbits: HEO)	地球同期軌道（高度約 36,000 キロメートル）より外の地球周回軌道
静止軌道*** (Geostationary (Geosynchronous) Earth Orbits: GEO)	高度約 36,000 キロメートルで軌道傾斜角（赤道面に対して軌道面のなす角度）がゼロであり赤道上空を 23 時間 56 分で周回する地球同期軌道

* 実際には高度約 200 キロメートル以上でなければ人工衛星として長期間周回することができない。

** 人工衛星が約 1 日で地球を 1 周する軌道。静止軌道はその一形態である。

*** 静止衛星を静止軌道に投入する際に一時的に使用される軌道を静止トランスファ軌道（Geostationary Transfer Orbit: GTO）という。楕円軌道の一種であり、近地点は高度 200 キロメートル程度（低軌道）、遠地点は高度約 36,000 キロメートル（静止軌道）となる。

（出典）「軌道の種類」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/types_orbits.html>; “Satellite Orbits.” NASA Students’ Cloud Observations On-line website <<http://scool.larc.nasa.gov/orbits.html>> を基に筆者作成。

衛星軌道と月軌道（月が地球を周回する軌道）の相対的な関係を図 1 に示す。地球から月までの距離約 38 万キロメートルに対し、静止軌道はその約 1/10 の高度約 36,000 キロメートルである。数百キロメートルの高度を周回する低軌道の人工衛星は、月軌道と比べれば地球の表面近くを回っているに過ぎない。

高度 2,000 キロメートル以下の低軌道には国際宇宙ステーション（International Space Station: ISS）⁽⁹⁾、ハッブル宇宙望遠鏡、地球観測衛星、偵察衛星等が周回しており、その多くは高度 400 ～ 800 キロメートル程度に集中している。人工衛星の周回する方向は、主に地球の自転と同じ東向きの方角と、北極と南極の上を南北に通過する方向（極軌道）とがあり、極軌道には太陽同期（赤道を常に同じ現地時刻で通過する軌道）の地球観測衛星、偵察衛星等が周回している。高度約 36,000 キロメートルの赤道上を周回する人工衛星は地球の自転速度と同じになり、地上からは一点に静止して見えることから静止衛星と呼ばれている。静止軌道上には通信衛星、放送衛星、気象衛星等多数の人工衛星が並んでいる。なお、日本の準天頂衛星は長楕円軌道⁽¹⁰⁾を周回している。衛星軌道の代表的な例を図 2 で示す。

(9) ISS は、高度 350 キロメートルの地球周回軌道を回る多目的の有人宇宙施設で、長期間の滞在が可能である。1984 年に米国レーガン大統領の提唱により、米国、日本、EU、カナダの参加で開発が進められ 1993 年にロシアも加わった。ISS の参加国は、米国、ロシア、カナダ、日本に、欧州 11 か国（ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、スイス、英国）を加えた計 15 か国である。「国際宇宙ステーション」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/iss.html>>; 「宇宙飛行士」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/contents_astronauts.html>; 「ISS 計画は何カ国が参加しているのですか？」ファン！ファン！JAXA! ウェブサイト <<http://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/45.html>>

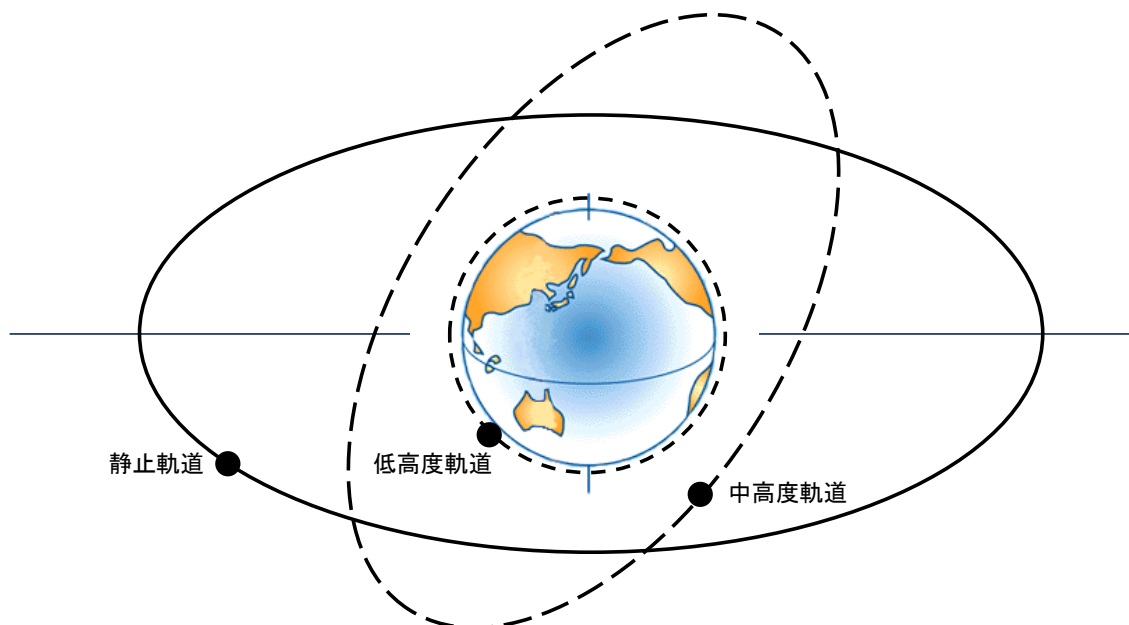
(10) 楕円軌道とは、軌道の形状が楕円形で、地表からの高度が軌道上の位置によって変化する軌道（「軌道の種類」JAXA 宇宙情報センターウェブサイト <http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/types_orbits.html>）。「長楕円軌道」の定義は必ずしも明確でないが楕円の形状が細長い軌道。

図1 衛星軌道と月軌道の比較



(出典) “Catalog of Earth Satellite Orbits.” NASA Earth Observatory website <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/>> を基に筆者作成。

図2 代表的な衛星軌道

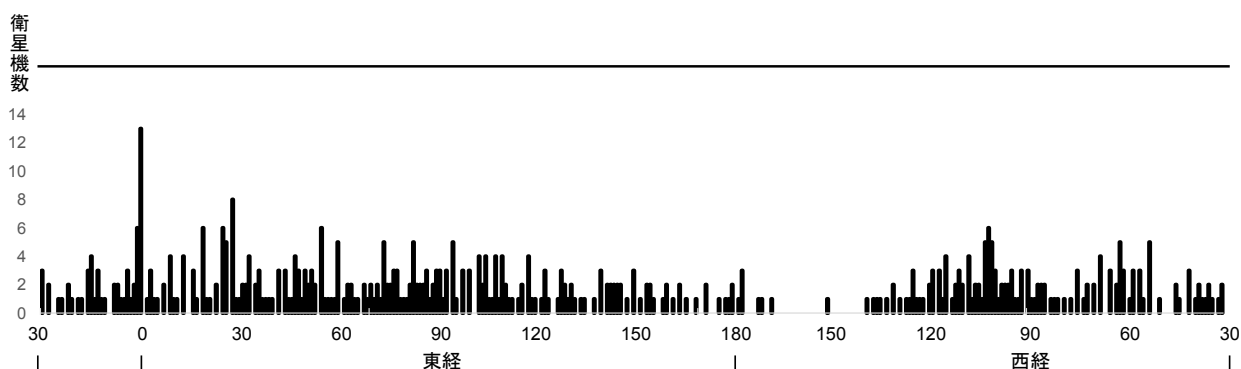


(出典) 筆者作成。

軌道上には多数の人工衛星が周回している。例えば高度約 20,000 キロメートルの軌道を周回する測位衛星では、2016 年 11 月現在、米国の GPS (Global Positioning System) 衛星が計 24 機 (予備機を除く。以下同様) 周回しているほか、ロシアのグロナス (GLONASS) 衛星が計 24 機、欧州のガリレオ (Galileo) 衛星が計 18 機、中国の北斗 (英語名は Compass) 衛星が計 22 機など各国の測位衛星が周回している。

低軌道で周回している人工衛星の数が最も多く、米国の非政府団体「憂慮する科学者同盟 (Union of Concerned Scientists: UCS)」のデータベース⁽¹¹⁾によると 2016 年 6 月現在、780 機である⁽¹²⁾。また、赤道上空約 36,000 キロメートルの静止軌道上を周回する静止衛星は、約 500 機運用されている。このデータベースを基に静止衛星の配置状況を地図上に示すと、太平洋上空の一部を除き、赤道上空に多数の人工衛星が周回していることが分かる。特に経度が 0 度のところには 13 機の人工衛星が集中している (図 3)。静止軌道上に配置できる人工衛星数には限界があり、各国の国益とも関連することから、その配置については国際機関 (国際通信連合 International Telecommunication Union: ITU)⁽¹³⁾ で調整が行われている。

図 3 静止衛星の経度別配置状況



(注) 人工衛星の機数を経度 1 度毎に示した。

(出典) “UCS Satellite Database (includes launches through 6/30/16).” Union of Concerned Scientists website <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>> を基に筆者作成。

(11) UCS, “UCS Satellite Database (includes launches through 6/30/16).” <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>>

(12) 本稿脱稿後の 2017 年 2 月 15 日、インドの PSLV ロケットにより、一度に 104 機の超小型人工衛星が打ち上げられたことで、2017 年 2 月末現在、約 900 機の人工衛星が低軌道を周回している。Loren Grush, “Record-breaking 104 satellites launched into space by a single rocket For Valentine’s Day, Earth gave space a whole bunch of satellites,” Feb 15, 2017. The Verge website <<http://www.theverge.com/2017/2/14/14601938/india-pslv-rocket-launch-satellites-planet-doves>>

(13) 国連の専門機関の一つで、無線通信に関する周波数の割当てなどを調整する。

3 人工衛星の打上げ

2016年12月までに、多国籍の人工衛星及び欧州宇宙機関（European Space Agency: ESA）⁽¹⁴⁾の人工衛星を含め、56か国が人工衛星を打ち上げている⁽¹⁵⁾。表2に示す11か国は自国のロケットにより自国の人工衛星を打ち上げた国である。旧ソビエト連邦（以下「ソ連」という。）による1957年のスプートニク打上げに始まり、米国、フランスと続き、日本は第4の人工衛星打上国となった。なお、北朝鮮に関しては何らかの物体を軌道上に打ち上げたため人工衛星打上国に含めているが、人工衛星の機能を果たさなかったと見られている⁽¹⁶⁾。

このほか、人工衛星は自国で開発するが打上げは他国のロケットに依存する国と、人工衛星の製造と打上げの両方を他国に依存し、人工衛星の利用だけを行っている国がある。

表2 自国開発の人工衛星を自国ロケットで打ち上げた国及びその初回打上げの概要

	国名	年月日	ロケット	人工衛星	衛星質量 (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	シャヴィット	オフエク 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

* 光明星 3 号には 1 号機（打上失敗）と 2 号機があるとされる。

（出典）「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>;

“Timeline: 50 Years of Spaceflight,” September 28, 2012. Space.com website <<http://www.space.com/4422-timeline-50-years-spaceflight.html>> 等を基に筆者作成。

4 有人打上げ

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、3か国である（表3）。また、2016年11月現在、38か国に宇宙飛行士がおり⁽¹⁷⁾、多くの国は米国あるいはロシア（ソ連を含む。）の宇宙船により宇宙飛行を経験している⁽¹⁸⁾。日本はISSに参加することで宇宙飛行士を養成し、宇宙に送り込んでいる。

(14) 欧州各国が共同で設立した宇宙開発・研究機関。

(15) UCS, *op.cit.*(11)

(16) “North Korea satellite in stable orbit but not seen transmitting: U.S. sources,” Feb 10, 2016. Reuters website <<http://www.reuters.com/article/us-northkorea-satellite-orbit-idUSKCN0V11XN>>

(17) 「宇宙飛行士に関する Q&A」JAXA 宇宙ステーション・きぼう広報・情報センターウェブサイト <http://iss.jaxa.jp/iss_faq/astronaut/astronaut_010.html>

(18) “Astronaut Homepage.” NASA website <<https://www.nasa.gov/astronauts>>; “International Astronauts.” NASA website <<https://www.nasa.gov/astronauts/biographies/astronauts/international>>

表3 自国ロケットによる有人打上国及びその初回打上げの概要

	国名	年月日	ロケット	宇宙船	地球周回数	宇宙飛行士
1	ソ連（当時）	1961.4.12	ボストーク	ボストーク 1 号	1 周 （約 90 分）	ユーリ・A・ガガーリン
2	米国	1962.2.20	アトラス LV-3B	マーキュリー・アトラス 6 号	3 周 （約 270 分）	ジョン・グレン
3	中国	2003.10.15	長征 2 号 F	神舟 5 号	14 周 （約 21 時間）	楊利偉

（出典）「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>;
 “Timeline: 50 Years of Spaceflight,” September 28, 2012. Space.com website <<http://www.space.com/4422-timeline-50-years-spaceflight.html>> 等を基に筆者作成。

II 様々な宇宙利用と最近の宇宙環境

1 人工衛星等による宇宙利用

宇宙利用は、地上の人間活動を支援する手段として行われる。最も一般的な利用方法は、人工衛星を打ち上げて、宇宙空間から何らかの情報を地上に配信する、あるいは通信を中継するものである。

地球観測衛星（センサを使用して宇宙空間から地球表面を観測する衛星）は、地球上の土地利用、資源の分布、気象状況などを観測するために用いられる。地球観測衛星の中でも軍用途のものには偵察衛星と呼ばれ、諸外国の軍事施設や部隊の移動等を把握するために使用される。近年では海洋状況監視（Maritime Domain Awareness: MDA）や災害状況の把握など、広い意味での安全保障にも人工衛星が使用されるようになってきた。一方、ハッブル宇宙望遠鏡に代表される科学衛星（天文衛星）のように、軌道上から宇宙空間を観測し、データを地球に配信する人工衛星も存在する。近年では他の人工衛星や宇宙デブリを監視するための宇宙監視衛星も登場している。

GPS 等の測位衛星は、地球上の情報を取得するのではなく、自らが発する信号によって測位・航法・計時（Position, Navigation, Time: PNT）情報を提供する。こうしたシステムはカーナビゲーションや携帯電話などの個人ナビゲーションシステム、さらには航空機や船舶の航法機材、ミサイルの誘導など幅広い分野で利用されている。準天頂衛星は日本が打ち上げた測位衛星で、日本の真上（準天頂）に約 8 時間とどまることができる。既に 1 機が周回しているが、さらに衛星数を増やし、3 機以上にすることにより、現在 8 時間に限定されている利用時間が 24 時間利用可能となる⁽¹⁹⁾。

通信衛星は、地上や他の人工衛星から発せられた電波を中継したり、地上に向けて広く放送したりするために用いられる人工衛星であり、世界的な通信ネットワークの構築において欠かせない存在となっている。

情報配信や通信中継以外の人工衛星の用途としては、実験場としての宇宙空間利用が挙げられる。例えば ISS では、前述した微小重力や高真空の環境を利用した各種の科学実験が実施さ

(19) 「準天頂衛星システムの必要性」準天頂衛星システムウェブサイト <http://qzss.go.jp/overview/services/sv02_why.html>

れてきた⁽²⁰⁾。また、人工衛星の区分から外れるが、月、惑星、小惑星、彗星などを調査する目的で各種の探査機も多数打ち上げられている。

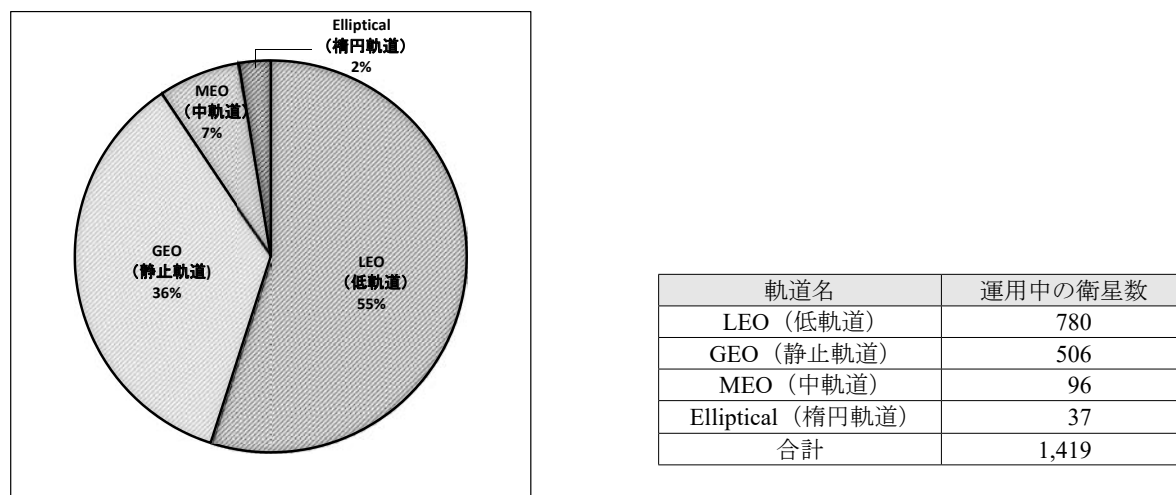
今後については、弾道飛行や宇宙ホテル⁽²¹⁾による宇宙観光や、小惑星から希少資源を採掘するなど、商業的な宇宙利用の可能性が見込まれる。宇宙太陽光発電システム（Space Solar Power Systems: SPSS）等の巨大建造物を軌道上に建設することも検討されているが、その実現には安価な大量宇宙輸送システムや遠隔送電技術などの実用化が不可欠であり、長期的な課題として研究が続けられている⁽²²⁾。

2 人工衛星の利用状況

(1) 軌道別利用状況

UCS のデータベースによれば 2016 年 12 月現在、稼働中⁽²³⁾の人工衛星は 1,419 機⁽²⁴⁾であり、軌道別では低軌道が半数以上の 55%、静止軌道が 36% を占めている（図 4）。ベンチャー企業などは低軌道に多数の小型衛星によるコンステレーション⁽²⁵⁾の計画を立てており、今後、低軌道の人工衛星数が爆発的に伸びると、それにより衛星同士の衝突や宇宙デブリとの衝突が起きるリスクが高まる恐れがある。

図 4 人工衛星の軌道別利用状況



（出典）“UCS Satellite Database (includes launches through 6/30/16).” Union of Concerned Scientists website <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>> を基に筆者作成。

(20) 日本が打ち上げた ISS の実験棟「きぼう」での実験の実施状況は次のサイトで閲覧できる。「きぼう」での実験 JAXA 宇宙ステーション・きぼう広報・情報センターウェブサイト <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/index_3.html>

(21) 米国のビゲロー・エアロスペース（Bigelow Aerospace）社が開発した膨張式宇宙居住区を宇宙観光のホテルとして利用する構想。Dinah Eng, “Robert Bigelow Is Building Hotels in Space (No, Really),” May 20, 2016. Fortune website <<http://fortune.com/2016/05/19/robert-bigelow-hotels-space/>>; Jacob Aron, “Inflatable space hotel to be tested by space station crew,” 4 April 2016. New Scientist website <<https://www.newscientist.com/article/2083006-inflatable-space-hotel-to-be-tested-by-space-station-crew/>>

(22) 日本における検討状況については次のサイトを参照。「SSPS 総合システム検討」JAXA 研究開発部門ウェブサイト <<http://www.ard.jaxa.jp/research/ssps/ssps-sys.html>>

(23) UCS における「稼働中（Active）」の定義は「軌道を飛行中であり通信が確立している人工衛星」である。

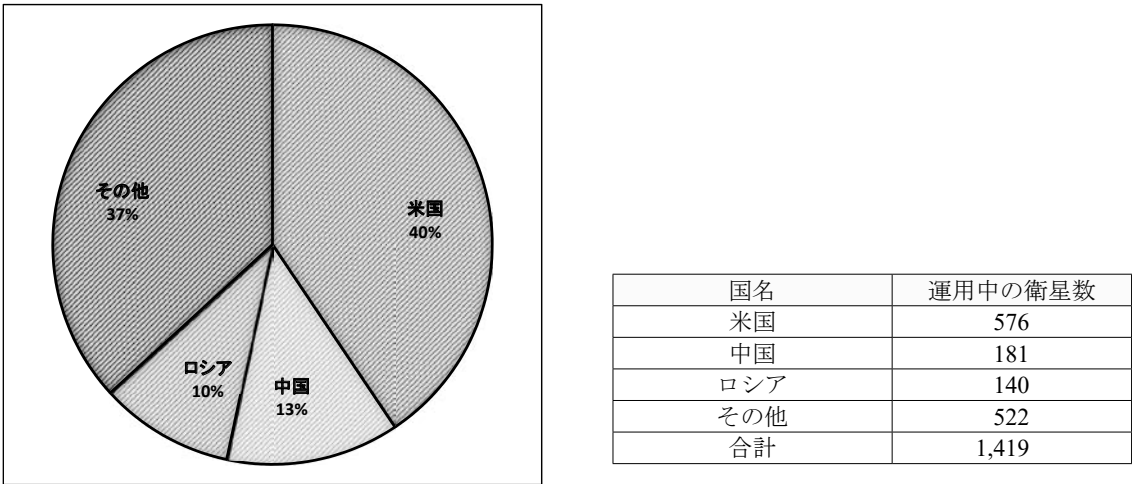
(24) UCS, *op.cit.*(11) なお、別のデータベース（SATCAT Boxscore）によれば 2017 年 1 月 15 日現在、1,599 機が稼働中（Active）である。“SATCAT Boxscore (Current as of 2017 January 15).” Celestrak website <<https://celestrak.com/satcat/boxscore.asp>>

(25) 衛星コンステレーションとは、多数個の人工衛星を軌道上に配置し、一体的に運用すること。

(2) 国別保有状況

稼働中の人工衛星の国別保有数は米国が 576 機（40%）、次は中国が 181 機（13%）、ロシアが 140 機（10%）となっている。その他は 522 機（37%）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人工衛星が含まれている⁽²⁶⁾ ほか、日本が打ち上げた 59 機も含まれている（図 5）。この数字からも米国の宇宙開発利用が突出していることが分かる。このことは宇宙への依存度が高いということを意味しており、運用上の脆弱性として現れる可能性もある。

図 5 人工衛星の国別保有状況



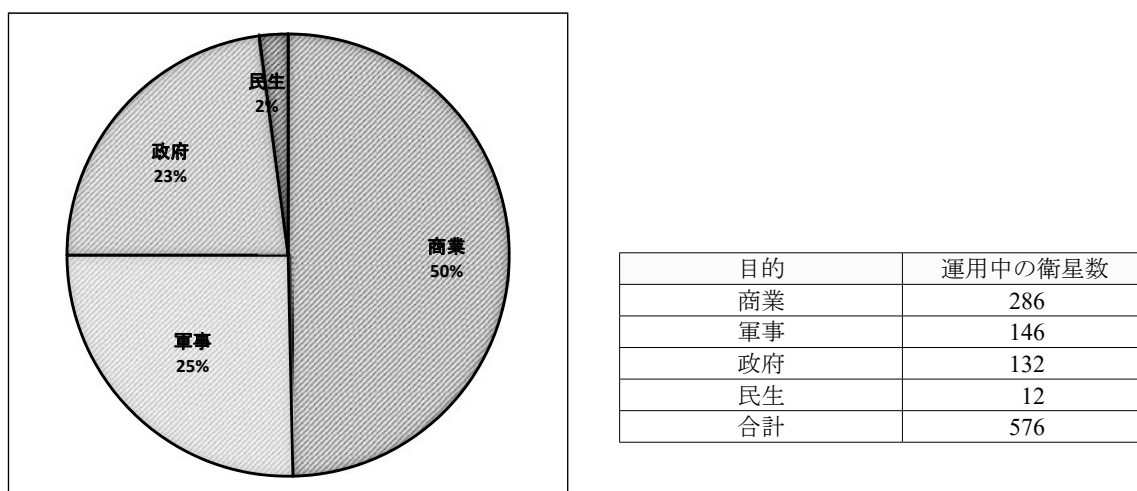
（出典）“UCS Satellite Database (includes launches through 6/30/16).” Union of Concerned Scientists website <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>> を基に筆者作成。

(3) 目的別利用状況（米国）

宇宙利用の多い米国における目的別の利用状況は、商業利用が 50%、軍事利用が 25%、政府利用と民生利用（大学、アマチュアなど）が合わせて 25% となっている（図 6）。

(26) UCS, *op.cit.*(11) では、米国、欧州等が打ち上げた人工衛星が所有国の名前で登録されている。

図6 人工衛星の目的別利用状況（米国）



（出典）“UCS Satellite Database (includes launches through 6/30/16).” Union of Concerned Scientists website <<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>> を基に筆者作成。

3 宇宙デブリの状況

1957年10月に初の人工衛星としてソ連のスプートニクが打ち上げられるまで、宇宙空間には人工的な物体は存在しなかったが、宇宙利用が進むにつれ宇宙空間には多数の人工物体が存在するようになってきた。稼働中の人工衛星に加え、打上ロケットの残骸、爆発したロケットの残骸、機能を停止した人工衛星、破壊された人工衛星などが軌道上を回っている。

2007年に中国が寿命が尽きた自国の人工衛星に対衛星兵器（Anti Satellite: ASAT）による破壊実験を行った結果、3,000個以上の宇宙デブリが発生し、その後、2009年にロシアと米国の人工衛星が衝突し、2,000個の宇宙デブリが発生したとされる⁽²⁷⁾。

2016年1月時点で、人工衛星を含め軌道上に存在する物体の数は、米国航空宇宙局（National Aeronautics and Space Administration: NASA）によるとソフトボール大（10センチメートル）以上のもので17,255個と言われている（図7）。これらの物体は、宇宙状況監視（Space Situation Awareness: SSA）を実施している米国国防総省の戦略軍統合宇宙運用センター（Joint Space Operations Center: JSPOC）により追跡⁽²⁸⁾されている。また、1センチメートル以上の物体については、ESAが60万個に達すると推定している⁽²⁹⁾。

宇宙デブリ同士が衝突すると宇宙デブリの数が増え、これがさらに衝突することによって宇宙デブリの数が連鎖的に増加する「自己増殖」が既に始まっていると考えられている⁽³⁰⁾。低軌

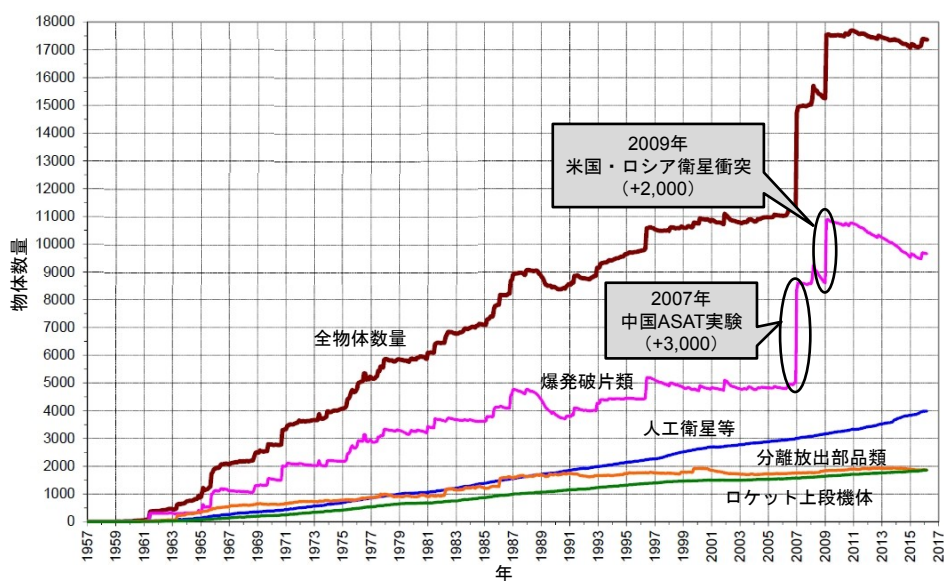
(27) “2007 Chinese Anti-Satellite Test: Fact Sheet,” November 23, 2010. Secure World Foundation website <https://swfound.org/media/9550/chinese_asat_fact_sheet_updated_2012.pdf>; “2009 Iridium-Cosmos Collision: Fact Sheet,” November 10, 2010. Secure World Foundation website <https://swfound.org/media/6575/swf_iridium_cosmos_collision_fact_sheet_updated_2012.pdf> なお、これらは観測できた宇宙デブリの数であり、10センチメートル以下の宇宙デブリは数万個に達すると考えられている。

(28) “Space Environment.” Orbital Debris Program Office website <https://ares.jsc.nasa.gov/orbital_debris/hvit/space-environment/>; 内閣府宇宙戦略室「宇宙状況監視（Space Situational Awareness: SSA）について」（宇宙開発利用の推進に関する関係府省等連絡調整会議第3回会合資料2）2013.8, p.1. 内閣府ウェブサイト <<http://www8.cao.go.jp/space/kaigi/kankeisyoutyou/dai3/siryou2.pdf>>

(29) “About Space Debris.” ESA website <http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris/About_space_debris>

(30) 「デブリ除去システム」JAXA 研究開発部門ウェブサイト <http://www.ard.jaxa.jp/research_fy27/mitou/mit-removal.html>

図7 地球周回軌道上の物体数



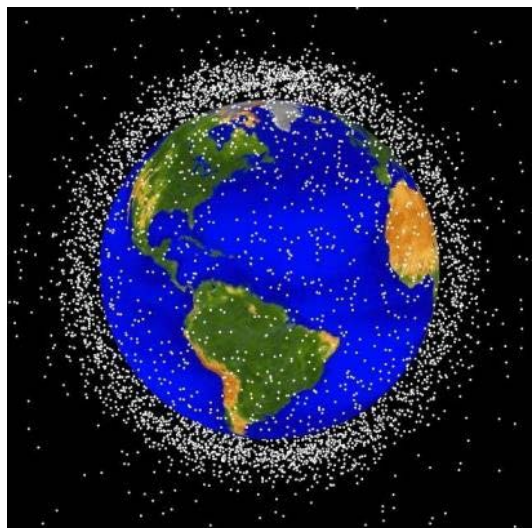
(注) 「人工衛星等」には機能を停止した人工衛星も含まれる。

(出典) “Recent NOAA-16 Satellite Breakup,” Orbital Debris Quarterly News, Volume 20, Issues 1&2, April 2016, p.14.

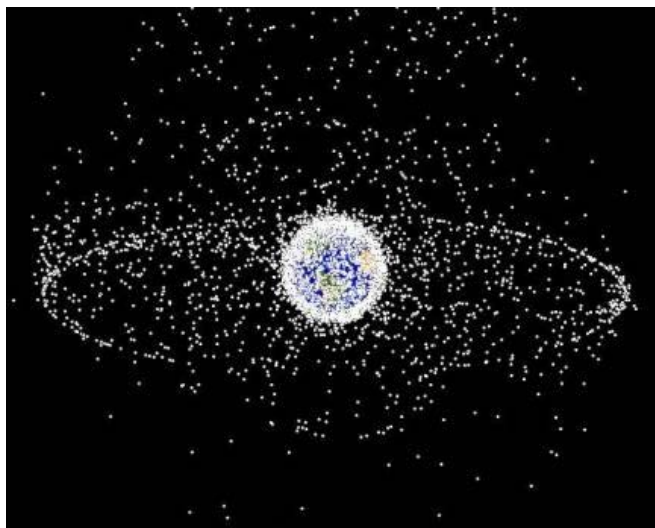
NASA website <<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv20i1-2.pdf>> を基に筆者作成。

図8 低軌道及び静止軌道における宇宙デブリのイメージ

低軌道



中高度・高高度軌道及び静止軌道



(注) 稼働中の人工衛星も含まれているが、約 95% は宇宙デブリである。

(出典) “Photo Gallery.” NASA Orbital Debris Program Office website <<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/photo-gallery.html>>

道における宇宙デブリは、秒速約7～8キロメートル（時速約25,000～29,000キロメートル）の猛スピードで周回しており、衝突時の破壊エネルギーは非常に大きなものとなる。デブリ同士の衝突はデブリの数を増やし、稼働中の人工衛星や宇宙ステーションに衝突し、被害を及ぼす恐れがある。この対策として宇宙デブリを増やさないようにするため、国連の宇宙空間平和利用委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS）⁽³¹⁾は2007年に「宇宙デブリ低減ガイドライン」⁽³²⁾を取りまとめている。

ISSでは、大きな宇宙デブリに対してはISSを移動させて退避し、小さなものに対しては防護壁によって対応している。宇宙デブリは米英合作映画「ゼロ・グラビティ」（原題：Gravity）にも取り上げられるほど、身近な問題になっている。今後は、宇宙デブリの発生を抑制する対策と同時に宇宙デブリの除去が大きな課題となると見られる。

地球軌道上の宇宙デブリの状況については、NASAがイメージ画像を公開している（図8）。各軌道上では、多数の宇宙デブリが人工衛星とともに帯状に周回している。

III 世界のロケット打上射場

世界の主要なロケット打上射場（ミサイル射場等を除く。）の位置及びリストを示す（図9及び表4）⁽³³⁾。日本に2か所、米国に2か所、中国に4か所、ロシアに3か所などである。

また、移動式のロケット発射台を赤道（海上）に移動させ、打上げを行っているシー・ローンチ（Sea Launch）社⁽³⁴⁾のような例もある。

(31) 1959年、第14回国連総会は「宇宙空間の平和利用に関する国際協力」の決議を採択し、COPUOSを常設委員会として設置した。宇宙空間の研究に対する援助、情報の交換、宇宙空間の平和利用のための実際的方法及び法律問題の検討を行い、国連総会に報告する。現時点の構成国は日本を含む84か国である。「国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）の概要」外務省ウェブサイト<<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/universe/copuos.html>>

(32) “Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space,” United Nations, *Report of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, General Assembly Official Records, Sixty-second session, Supplement No.20 (A/62/20), 2007, pp.47-50. <http://www.unoosa.org/pdf/gadocs/A_62_20E.pdf>; 「宇宙ごみ（スペースデブリ）低減対策への取り組み状況」『NEDO海外レポート』No.972, 2006.2.8. <<http://www.nedo.go.jp/content/100106586.pdf>>; 「わかる！国際情勢：宇宙ゴミを減らせ！—国際的な宇宙空間の利用とルール作り—」2012.3.21. 外務省ウェブサイト<<http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol85/>>

(33) JAXAはミサイル射場等も含め、26か所の打上射場を示している。「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>

(34) 1995年に米国、ロシア、ウクライナ、ノルウェーの国際合弁会社として設立。2016年よりS7グループ（ロシア）の傘下企業となった。“About Sea Launch.”<<http://www.sea-launch.com/about/11398>>

図9 世界の主要なロケット打上射場



(注) 番号は表4に対応する。

(出典)「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> 等を基に筆者作成。

表4 世界の主要なロケット打上射場

番号	国名	射場名	打上対象
1	日本	種子島宇宙センター	液体燃料ロケットの打上げ
2		内之浦宇宙空間観測所	固体燃料ロケットの打上げ
3	米国	ケネディ宇宙センター	有人宇宙飛行の打上げも実施
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人工衛星）の打上げ
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、技術試験衛星の打上げ
9		文昌衛星発射センター	次世代ロケットの打上げ、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、有人宇宙船等の打上げ
12		ヴォストークヌイ射場	新射場（2016年4月に最初の打上げ）、2020年代以降に有人打上げも実施予定
13	インド	サティシュ・ダワン宇宙センター	PSLV（Polar Satellite Launch Vehicle、極軌道打上ロケット）等の打上げ（主力射場）
14		ツンバ射場	観測ロケットの打上げ
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）ロケットの打上げ

(注) 番号は図9に対応する。

(出典)「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> 等を基に筆者作成。

IV 宇宙開発に関する国際情勢

宇宙開発の歴史を遡れば、宇宙開発は常に国際政治のダイナミクスとともに発展してきた⁽³⁵⁾。以下では、冷戦期及び冷戦後における、宇宙開発に係る国際情勢を概観する。

1 冷戦期（1990 年頃まで）

冷戦期の宇宙開発は、1957 年のスプートニク・ショック後の米ソ間の激しい宇宙開発競争（有人宇宙飛行に加え、軍事面と民生面での宇宙開発）を中心に進展してきた。ただし、1960 年代末からソ連のアフガニスタン侵攻（1979 年）までのデタント（緊張緩和）の時期は、米国のアポロ宇宙船とソ連のソユーズ宇宙船のドッキング（1975 年）が行われる等、米ソ間で協力の動きも見られた。また、その他の国・地域（欧州、日本等）では、米ソにキャッチアップするとともに米ソ依存からの自立も目的とした宇宙開発が行われた。

(1) 冷戦下の米ソの宇宙開発競争

1957 年 10 月 4 日のソ連によるスプートニク打上げ及び同年 11 月 3 日のスプートニク第 2 号打上げによる「スプートニク・ショック」、1961 年 4 月にソ連のユーリ・A・ガガーリン（Yuri A. Gagarin）が人類初の有人宇宙飛行を成功させたことによる「ガガーリン・ショック」の後、米国は、ソ連に追い付き、政権への信頼と支持を回復するために有人宇宙事業に乗り出すこととなり、「米ソ宇宙競争」へと駆り立てられていった。1961 年 5 月、米国のジョン・F・ケネディ（John F. Kennedy）大統領は、1960 年代のうちに月に人類を送るという挑戦的な目標を発表した⁽³⁶⁾。アポロ計画を推進中の 1966 年には、米国連邦予算の 4.4% が NASA に投入されるなど、宇宙開発のために多額の政府資金が投じられた⁽³⁷⁾。

また、有人宇宙事業に加え、様々な人工衛星（通信衛星、地球観測衛星、測位衛星）の開発が行われた。これらの人工衛星の開発には軍が大きな役割を果たした⁽³⁸⁾。

(2) 欧州、日本の米ソへのキャッチアップと自立性を求める動き

米国は、商業的・軍事的に利用可能性の高い衛星通信技術を独占する戦略を展開した。通信衛星は米国にとって国際的な競争力を持つ商品であり、衛星通信ネットワークは世界的な影響力を持つインフラであると考えた米国連邦政府は欧州、日本への介入を続けた⁽³⁹⁾。こうした中、

(35) 鈴木一人『宇宙開発と国際政治』岩波書店、2011、p.2.

(36) 同上、p.33; “The Decision to Go to the Moon: President John F. Kennedy’s May 25, 1961 Speech before a Joint Session of Congress.” NASA website <<http://history.nasa.gov/moondec.html>>

(37) 鈴木 同上、p.43; “Table 4.2—Percentage Distribution of Outlays by Agency: 1962–2021,” Office of Management and Budget, *Historical tables: Budget of the U.S. Government. Fiscal Year 2017*, 2016. govinfo website <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/BUDGET-2017-TAB/pdf/BUDGET-2017-TAB.pdf>>

(38) 鈴木 同上、pp.33-34, 108-110. ソ連では有人宇宙事業、人工衛星開発ともに軍が実施した。

(39) 1967 年にフランスとドイツの協力により通信衛星「シンフォニー」が開発された。打上手段は米国ロケットに依存していたが、米国は自国の商業的利益保護の観点から、欧州の通信衛星の打上げは技術実証目的の場合のみ認めるとの判断を下した。その結果、欧州は欧州大陸をカバーする商業通信衛星事業に失敗した。米国政府は、日本に対しては、1980 年代の日米貿易摩擦を背景に、日本の人工衛星の政府調達に圧力をかけ、1990 年に日本政府とその関連機関（電電公社、NHK を含む。）が「非研究開発衛星」を調達する際には全て一般競争入札とすることで日米政府は合意した。その結果、「非研究開発衛星」は 2 機を除き全て米国から調達することとなった。鈴木 同上、pp.34-35, 70-71, 187-188.

欧州は1975年にESAを設立し、1977年には欧州地域の通信衛星機構として「ユーテルサット (Eutelsat)」⁽⁴⁰⁾を設立した。⁽⁴¹⁾

また、日本では宇宙開発事業団 (National Space Development Agency of Japan: NASDA) の発足以来、米国が供与する技術に依存してロケットの開発を行ってきたが、1980年代半ばにH-IIロケットの国産化を決定した⁽⁴²⁾。

このように、欧州と日本では、宇宙開発で先行する米ソにキャッチアップするとともに、米国への依存から脱却し、自立することも目的とした宇宙開発が進められた。

2 冷戦後（1990年頃から現在まで）

冷戦後の宇宙開発は、巨額の宇宙開発予算を正当化する理由がなくなる中で、ISS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おり、宇宙協力を通じた途上国との外交など新たな動きが見られる。

(1) 宇宙関係予算の削減と国際的協力の進展

冷戦後の1990年代前半、米国では「平和の配当 (peace dividend)」⁽⁴³⁾という言説の下で、米ソ冷戦の枠組みの中で多額の資金が投入されてきた事業を中止していく動きが趨勢となり、米国主導で1984年に開始されたISS計画も中止の検討対象となった。こうした中、ビル・クリントン (William J. Clinton) 政権は、有人宇宙飛行に豊富な経験を持つロシアをISS計画に引き込んだ。その狙いは、ソ連時代からの高い技術力を持つ宇宙技術者が国外に流出し、イラン、イラク、リビア、シリア、北朝鮮といった国々の宇宙開発に関わるようになることを防止するというものであった⁽⁴⁴⁾。

(2) アジアにおける宇宙協力

日本政府の提案を契機として⁽⁴⁵⁾、1993年にアジア太平洋地域における宇宙利用の促進を目的とする「アジア・太平洋地域宇宙機関会議」(Asia-Pacific Regional Space Agency Forum: APRSAF)⁽⁴⁶⁾が設立された。文部科学省、宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA) 及び会議開催国の宇宙担当機関の共催により年次会合が開かれている。各国の行政機関や宇宙開発を担当する機関のみならず、国際機関や大学・研究所、民間企業など様々な組織が参加している。

(40) 当初、ユーテルサットは政府間機関として設置されたが、2001年に民営化された。メンバー国はオーストリア、ベルギー、デンマーク、西ドイツ、フィンランド、フランス、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スイス、トルコ、英国であった。Francis Lyall and Paul B. Larsen, *Space Law: A Treatise*, New York: Routledge, 2016, p.357.

(41) 鈴木 前掲注 (35), pp.34-35.

(42) 同上, p.185.

(43) 冷戦が終結し、大きな軍事的脅威がなくなったため、国防費の大幅削減と財政赤字の削減が可能であるとする米国連邦議会における政治的主張。防衛庁「第1部第1章第2節2 米国の軍事態勢」『防衛白書 平成2年度』防衛省情報検索サービスウェブサイト <http://www.clearing.mod.go.jp/hakusho_data/1990/w1990_01.html> を参照。

(44) 鈴木 前掲注 (35), pp.51-52; 小塚荘一郎・佐藤雅彦編著『宇宙ビジネスのための宇宙法入門』有斐閣, 2015, p.139.

(45) APRSAF は、1992年に開催されたアジア太平洋国際宇宙年会議 (Asia-Pacific International Space Year Conference: APIC) の閉会宣言における日本からの開催提案を契機として1993年に発足した。「APRSAFについて」APRSAF ウェブサイト <<http://www.aprsaf.org/jp/about/>>

(46) 2015年12月現在、45か国・地域の612機関と、28の国際機関が参加している。“Countries and regions.” APRSAF website <<http://www.aprsaf.org/participants/>>

第21回年次会合（2014年12月開催）から、4つの分科会（宇宙利用・宇宙技術・宇宙環境利用・宇宙教育）が設置され、各分野における情報交換や、災害・環境など地域共有の課題解決に向けた協力活動が行われている⁽⁴⁷⁾。

他方、2003年に有人宇宙飛行を成功させた中国は、2008年に「アジア太平洋宇宙協力機構（Asia-Pacific Space Cooperation Organization: APSCO）」を立ち上げた。APRSAFはメンバー国や地域を拘束しない柔軟な協力体制を特徴とし、国際会議体（フォーラム）であるのに対して、APSCOはバングラデシュ、中国、イラン、モンゴル、パキスタン、ペルー、タイ、トルコの8か国を加盟国とする地域国際機関である⁽⁴⁸⁾。中国は、APSCOを通じて中国の宇宙技術とロケット打上げの機会を加盟国に提供し、リーダーシップを確立しようとしているとされる⁽⁴⁹⁾。

（3）米中関係

上述のように、近年中国は宇宙開発で大きなプレゼンスを示すようになってきた。米国は安全保障上の懸念から、「国際武器取引規制（International Traffic in Arms Regulations: ITAR）」⁽⁵⁰⁾によって、米国製の衛星部品を中国に輸出することを禁じる⁽⁵¹⁾など、警戒感を示している。

（4）「宇宙空間のガバナンス」の構築のための国際協調

宇宙デブリを始めとする宇宙開発の主要国が協力して解決に取り組むべき課題が生じていることや、新たに宇宙開発・利用に参加するようになった国や企業が増加していることから、国連などでは宇宙空間のガバナンス（宇宙空間を統治するための制度等）について検討が行われている。COPUOSでは、「宇宙デブリ低減ガイドライン」（2007年）が採択され⁽⁵²⁾、「宇宙活動の長期的持続可能性ガイドライン」（2016年に一部策定）⁽⁵³⁾については議論が継続している。欧州連合（EU）は「宇宙活動に関する国際行動規範案」（2014年）⁽⁵⁴⁾を公表し、国際的ルールとするため域外国との調整を継続している。

（5）途上国との関係

多くの途上国が宇宙開発・利用に参加するようになっている。これらの国に対して、日本はAPRSAFでアジア・太平洋地域の防災への貢献を目的としたセンチネルアジア（Sentinel Asia）

(47) 「アジア・太平洋地域宇宙機関会議」APRSAF事務局, pp.1-2. APRSAF website <https://www.aprsaf.org/about/leaflet/APRSAF_leaflet_jp.pdf>

(48) “APSCO Member States.” APSCO website <http://www.apsco.int/AboutApsco.asp?LinkNameW1=APSCO_Member_States&LinkCodeN=11>; 星山隆『日本外交からみた宇宙—地球の平和をいざなう宇宙開発—』作品社, 2016, p.209.

(49) 鈴木 前掲注(35), p.20.

(50) “ITAR,” 22 CFR Parts 120-130. 武器輸出管理法（22 U.S.C. 2778 of the Arms Export Control Act）の実施規則である。“The International Traffic in Arms Regulations (ITAR).” Directorate of Defense Trade Controls website <https://www.pmddtc.state.gov/regulations_laws/itar.html>

(51) Peter B. de Selding, “U.S. ITAR satellite export regime’s effects still strong in Europe,” April 14, 2016. Space News website <<http://spacenews.com/u-s-itar-satellite-export-regimes-effects-still-strong-in-europe/>>

(52) 「II 3 宇宙デブリの状況」を参照。

(53) “Guidelines for the long-term sustainability of outer space activities: first set,” United Nations, *Report of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Fifty-ninth session (8-17 June 2016)*, General Assembly Official Records, Seventy-first Session, Supplement No.20 (A/71/20), pp.56-67. <<https://cms.unov.org/dcpms2/api/finaldocuments?Language=en&Symbol=A/71/20>>

(54) “DRAFT International Code of Conduct for Outer Space Activities,” 31 March 2014. European Union External Action website <https://eeas.europa.eu/sites/eeas/files/space_code_conduct_draft_vers_31-march-2014_en.pdf>

などの活動に取り組んでいる⁽⁵⁵⁾。

中国は前述のように APSCO を設立し、アジア太平洋地域の途上国との協力強化を図っているほか、宇宙開発協力を通じてアフリカ諸国（ナイジェリア等）との関係強化を進めるなど、宇宙開発を対外政策に利用していることが伺える。欧州では ESA による新興国との協力関係強化が図られている⁽⁵⁶⁾。

執筆：公益財団法人未来工学研究所	研究参与	にしやま 西山 こいずみ 小泉 よだ 依田	じゅんいち 淳一 ゆう 悠 たつろう 達郎	(I ～ III)
同 上	研究員			(I ～ III)
同 上	主任研究員			(IV)

(55) 「アジア・太平洋地域宇宙機関会議」 前掲注 (47), p.7.

(56) European Space Agency, “The European Space Agency as mechanism and actor of international cooperation,” A/AC.105/C.2/2014/CRP.28, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Legal Subcommittee, Fifty-third session, 24 March-4 April 2014, p.14. <http://www.unoosa.org/pdf/limited/c2/AC105_C2_2014_CRP28E.pdf>

コラム①：宇宙科学技術をめぐる動向について

京都大学生存圏研究所教授 山川宏

1. 宇宙関連技術の研究開発動向に関する見解

米国スペース X 社のファルコン-9R ロケット（再利用可能なファルコン9 ロケット）は、第1段ロケットを海に捨てずに回収して再使用するというものであり、技術的には面白い試みである。再整備の時間、コスト、再使用回数が鍵となるであろう。しかし、重要なフライトコントロール機器を積んでいるのは2段目なので、再使用で重要なのは1段目よりも2段目かもしれない。この意味ではファルコン9 ロケットが各段にどのくらいのコストを配分しているかも問題となる。再使用型ロケットによって宇宙輸送のコストは半分くらいにはなるかもしれないが、1/100 とするのは人件費が出ないので不可能であろう。

今後の宇宙輸送では小型ロケットも重要である。小型衛星需要は伸びているが、従来のような大型衛星のピギーバック⁽⁵⁷⁾では望んだ時期や軌道に打ち上げられない。そこで柔軟な小型衛星の打上げを目指す小型ロケット企業が既に出現している。小型ロケットに関する技術は成熟しており、あとはコストをどこまで下げられるかの問題である。日本でもインターステラテクノロジズ社⁽⁵⁸⁾などがこうした事業を行おうとしているし、外国では100キログラム級人工衛星の打上げを目指す会社もある。人工衛星はどんどん小型軽量化されており、従来よりずっと小さな衛星で同じことができるようになった。ただし大型衛星の需要は変わらないであろう。特に通信衛星はなるべく多くのトランスポンダ⁽⁵⁹⁾と燃料を積むためにどうしても大きくなる。

現在のトレンドはオール電化衛星である。最近では静止軌道等への大きな軌道変更にも電気推進を使うようになってきた。化学燃料に比べて1/10 くらいの燃料消費で済むので、その分ペイロード⁽⁶⁰⁾を増加させることができる。ただし、非力なので静止トランスファ軌道から静止軌道に行くまで数か月程度かかる。この間に機会損失が生じる上、放射線帯（ヴァン・アレン帯）⁽⁶¹⁾を長時間通るため故障リスクも高くなる。

2. 宇宙の安全な利用に向けた取組

宇宙デブリの除去については、JAXA やアストロスケール（Astrocale）社⁽⁶²⁾などが様々なアイデアを出しており、技術的にも可能性はある。最大の問題はコストである。また、人工衛星は打ち上げた国の政府が責任を持つので、自国以外の人工衛星に由来する宇宙デブリは勝手に除去できない。大規模なコンステレーションの中で機能を失った人工衛星を除

(57) 大型ロケットの打上能力の余剰分を利用して大型衛星と相乗りで打ち上げること。

(58) 2003年に設立。超小型衛星を打ち上げるための小型ロケットを開発している。“Our Mission.” Interstellar Technologies website <<http://www.istellartech.com/>>

(59) 受信した電波などの電気信号を中継送信する、あるいは何らかの応答を返す装置。

(60) ロケット等により運搬される搭載物。

(61) 地球を360度ドーナツ状に取り巻く放射線の強い層。内帯（高度2,000～5,000キロメートル）と外帯（高度10,000～20,000キロメートル）の二層構造になっている。内帯には陽子が多く、外帯には電子が多い。

(62) 2013年に日本人がシンガポールで設立し、日本に研究拠点を有する。小型宇宙機を宇宙デブリに接着させ、大気圏に落下、消滅させる研究を進めている。

去するビジネスはあり得るかもしれない。

ISSは年間5～6回の回避行動を強いられている。一度大きな人工衛星がぶつかると3,000～5,000個の宇宙デブリが発生する。まずはSSAによる発見・観測・追跡によって宇宙デブリのカタログを更新していく必要がある。日米間では2014年からデータを共有している。問題は膨大なデータの処理技術である。例えば、今日観測した宇宙デブリが昨日見たものと同じかどうかを判別する技術が必要になる。

宇宙デブリに関する情報提供はこれまで米軍が主導してきたが、今後はSSAの管轄が連邦航空局（Federal Aviation Administration: FAA）に移ることになっている。これはSSAから宇宙交通管制（Space Traffic Management）への移行と言える。ただし、安全保障上の重要な部分は軍が握り続けるであろう。

3. 日本の宇宙開発に関する見解

日本の宇宙開発では基礎科学研究が重視され、防衛・安全保障面での利用が除外された時期が長かった。しかし、宇宙基本法の成立及び宇宙基本計画の策定以降、防衛・安全保障政策との密接な連携が可能となった。最近では宇宙科学において国際協力への貢献が重視されるようになった。

ISSについては費用対効果の観点から批判的に見ている。総額9千億円を費やしたにもかかわらず、国民には宇宙飛行士のイメージしか伝わっていない。成果をもっとアピールすべきである。宇宙貨物船（H-II Transfer Vehicle: HTV）の開発のほか、政治・外交面では政治的対立を越えた協力の中での意義もある。

2024年以降、ISSの活動は未定である。NASAでは低軌道は民間に任せて高軌道を目指すという議論があり、宇宙ステーションは民間から間借りすることになるかもしれない。日本も低軌道での宇宙利用のあり方を考えておかねばならない。ただし、米国の宇宙予算に代わる資金を民間から調達できるとは考えにくく、実際には商業化は難しいであろう。一方、2020年に中国の宇宙実験室「天宮2号」が完成するほか、ロシアも独自のステーションを持つと言っている。

再使用型の宇宙輸送については、日本は長期的視野で取り組むべきである。3,000度の高熱に耐える新材料等の実用化を考えて、単段式宇宙往還機（Single-stage-to-orbit: SSO）の開発も視野に入れるべきである。

（注）本コラムはヒアリング内容をまとめたものである（2016年10月6日実施）。