

# 日本における宇宙産業の重要性と潜在的な可能性

太田 貫介

## はじめに

宇宙産業の初期は、国家の力を示す目的があり、国主導で単独で発展した。しかし、宇宙産業の予算が大幅に増加し、アポロ計画など莫大な費用に国民の不満が溢れていった。そのため、経費削減を図るため国際協調、官民共同という新たな段階へと転換した。

国際協調、官民共同への転換は、国家予算を減らす中、宇宙産業を停滞させることなく、さらなる発展を遂げることを目的としていた。しかし、スペースシャトルをきっかけに停滞し始めると、民間主導という新たな段階へと転換した。民間主導では、国はサービスを提供する側から、サービスを受ける側になり、民間主導の宇宙産業を支える存在となっている。

ソ連崩壊以降に進められた国際協調はロシアという宇宙大国に依存する環境を作ってしまった。そのため、2022年に起きたロシアのウクライナ侵攻によって、多くの国や企業の宇宙計画は狂わされ、国外に頼らないロケットという新たな大きな課題が宇宙産業に突き付けられた。国外に頼らないロケットの重要性は認知されても、ロケットには様々な制約があり、すべての国が独自に解決できる問題ではない。

本稿では、日本が宇宙産業に取り組むべき恵まれた環境であり、競争力のある産業になる可能性を論じ、日本の中心産業である自動車産業が衰退していく中での宇宙産業の役割を考察していく。

## 第1節 宇宙産業の概要

### 1.1 宇宙産業の分類と規模

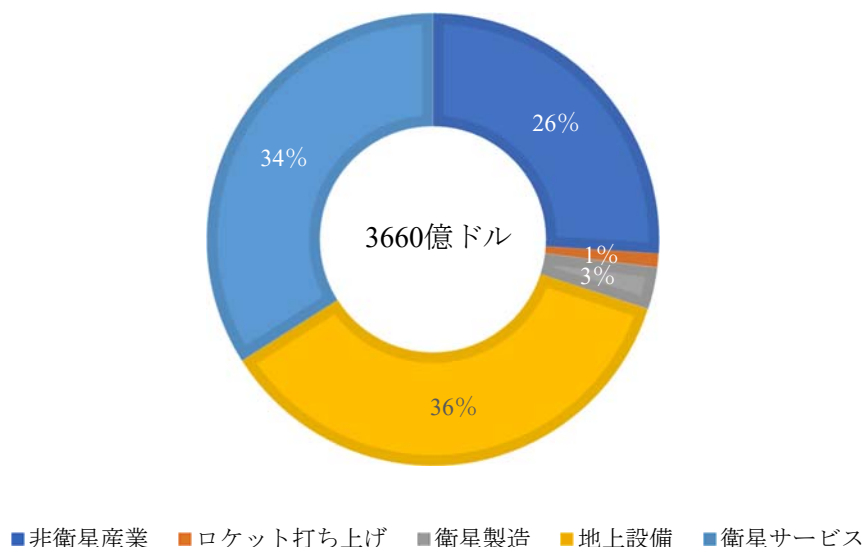
宇宙産業は、(1) 衛星サービス、(2) 地上設備、(3) 衛星製造、(4) ロケット打ち上げから構成される「衛星関連部門」と、政府予算や民間予算による宇宙開発プログラムや商業有人飛行プログラムなどから構成される「非衛星部門」に大きく分類される。

宇宙産業の市場規模は 2019 年時点で 3660 US 億ドルである<sup>1</sup>。そのうち衛星関連部門が全体の約 74%である 2710 US 億ドル、非衛星関連部門が全体の約 26%である 952 US 億ドルを占めている。2005 年にはアメリカの Commercial Crew & Cargo Program (C3PO) (後述)、2008 年には日本の「宇宙基本法」(後述) が、提出され、宇宙開発から宇宙利用へ、国主導から民間主導への転換を示している。特に、衛星関連部門の衛星サービスは宇宙利用の象徴でもあり、宇宙産業の成長の中心的役割を果たす。

---

<sup>1</sup> BRYCE Report (2020) .

図1 国際宇宙市場 (2019年)



(出所) BRYCE Report (2020) .より筆者作成。

## 1.2 衛星サービスが提供するもの

衛星サービスは、「通信サービス」「測位サービス」「地球観測サービス」の3つに分類される。それぞれのサービスが私たちの生活の中でどのような役割を果たしているのかをみていく。

### 通信サービス

衛星サービスにおける通信サービスとは、赤道上空 36000km の静止軌道に打ち上げられている通信衛星に向けて送信局から情報を送信した後、地球の受信局が受信する通信のことである。衛星通信の概念の発案者であるイギリスの SF 作家のアーサー・C・クラークは、赤道上空 36000km に浮かぶ衛星の周期は地球の自転周期と同様の 24 時間であるため、この軌道に衛星を打ち上げることで、地上からは上空の一点で衛星が静止しているように観測することができ、太平洋、大西洋、インド洋の 3 か所に衛星を配置することで世界を結ぶ通信の構築が可能であると考えた。

この衛星通信に早くから着目していたジョン・F・ケネディ大統領は、1961 年に宇宙通信に関する大統領声明で、「すべての国が参加できる単一のグローバルな衛星通信システムを実現させる」と演説し、全世界が平等に利用できる衛星通信の構築を提案した。人工衛星を用いた大陸間通信の実験の始まりである<sup>2</sup>。1962年にはアメリカで、初の民間資金での打ち上げ衛星、テルスター1号が大西洋上に打ち上げられた。同年に太平洋上にリレー1号の打ち上げも行われた。

<sup>2</sup> KDDI トビラ (2021) .

これらは、技術的に静止軌道に到着せず、地球を約 3 時間で周回する低軌道に配置された。しかし、テルスター号によってアメリカ、イギリス、フランス間で世界初の衛星中継によるテレビ中継に成功した<sup>3</sup>。これを契機にアメリカ～ヨーロッパ間で衛星通信実験が本格化し始めた。

日本も衛星通信システム実験への参加を申し入れたが、アメリカから「衛星からの微弱電波を受信できる衛星通信用アンテナを自前で建造すること」が条件として提示された。当時欧米で使用されていたアンテナは大掛かりなもので、予算の少ない日本では、同様の巨大アンテナを建造することは困難であった。そこで日本は独自に新方法のカセグレン・アンテナ（パラボラアンテナの一種）を開発し、実用化に成功する。カセグレン・アンテナとは、衛星からの微弱な電波を確実に捉えるために、凹型の主反射鏡の焦点部に凸型の副反射鏡を置き、アンテナ中心部に電波を集める新たな方法を採用したものである。このカセグレン・アンテナは、主反射鏡の後ろの広い場所に送信機や受信機を設置することを可能とし、性能の高くや操作性がよく、建設費の安く抑えられている<sup>4</sup>。

1963 年 11 月 23 日にアメリカと日本を結んだ初のテレビ衛星中継実験が行われた。カセグレン・アンテナは、通信衛星「リレー1号」を正確に追尾し、電波を受信し続けた。放送内容はケネディ大統領による日本国民への録画メッセージを予定していたが、送られてきた映像は大統領の暗殺を伝える悲報であった<sup>5</sup>。

同年に最初の静止衛星シンコム 2 号が大西洋上に打ち上げられた。その翌年にシンコム 3 号が太平洋上に打ち上げられ、東京オリンピックの全世界への中継を可能とした<sup>6</sup>。

このように通信衛星を介すると、地球上のあらゆる場所で通信ができるようになる。そのため、衛星通信は、通信網が整備されていない海上や砂漠での通信、災害等で通信が切れてしまう非常事態で利用されている<sup>7</sup>。アメリカの SpaceX が提供するスターリンク（後述）は、2022 年に起きたトンガの火山噴火の自然災害や、ロシアによるウクライナ侵攻の際に素早く通信サービスの提供を開始した。災害や戦争の影響を受けにくいことが世界中に示された。これらをきっかけとし、世界中でサービスの開始が期待される。

## 測位サービス

測位サービスの代表例として GPS が挙げられる。GPS は、1973 年アメリカの国防総省がミサイル誘導、航空機や船舶の位置を正確に測るという軍事目的で、空軍と海軍が統合した JPO の下、開発が行われた。GPS 衛星は「Navigation Satellites with Time And Ranging」の頭文字からすべてナブスター衛星と呼ばれる。1978～85 年にかけて実験衛星である「ナブスター・ブロック I」が 11 機打ち上げられ、そのうち 10 機の打ち上げが成功した。ナブスター衛星の開発と展開は予算削減の波と、打ち上げ予定であったスペースシャトルの事故の影響で大きく遅れるこ

<sup>3</sup> 金谷（2001）。

<sup>4</sup> KDDI トビラ（2021）。

<sup>5</sup> 金谷（2001）。

<sup>6</sup> 発見と発明のデジタル博物館『シンコム衛星によるオリンピック・テレビ中継の成功』。

<sup>7</sup> KDDI（2022a）。

とになった。1989～1990年にかけて実用的衛星として「ナブスター・ブロックII」が9機打ち上げられた<sup>8</sup>。1993年に24機目の衛星が打ち上げられ、民生利用のシステムが要求する性能に達したことで初期運用宣言が出された。1995年に実運用衛星である「Block II/IIA」が24機揃ったことで軍事利用のシステムが要求する性能を満たす完全運用宣言が出された。

当初軍事目的で開発が行われていたGPSであったが、1983年大韓航空機がソ連の領空に侵入し、ソ連防空軍の戦闘機によって撃墜される大韓航空機撃墜事件を契機として、民間航空機の安全航路を示すため、民生解放を行うとレーガン大統領が表明した。国際民間航空機関に対して民生利用のGPSを解放し、1996年3月にはアメリカのGPS政策によって「GPSを直接課金することなく全世界に開放する」ことが発表され、受信機を所持しておけば誰でも自由にGPSの民生利用が可能となった。しかし、GPSの悪用を恐れたアメリカはSA (Selective Availability) と呼ばれるGPSの精度を劣化させる処置を行い、測位精度を実際の位置の100メートル以内までの保証とした。これに対抗して、民間企業がSAを無効化する技術の開発を行った結果、2000年のクリントン政権下でSAの解除が行われ、GPSの精度は10倍以上になった<sup>9</sup>。

日本ではみちびき (準天頂衛星システム<sup>10</sup>) を4機打ち上げ、常に日本の上空に3機いる状態を作っている。GPSの正確な測位は、4機以上の衛星で可能となるが、都市部や山間部ではビルや樹木によって電波が遮られてしまう。みちびきは、より高度で安定した衛星測位サービスを実現するために、GPS補完の役割を2018年から果たしている<sup>11</sup>。より精度の高い位置情報の活用は、自動運転やドローンのピンポイント配送、子供や高齢者の位置情報の把握といった新たなサービスにつながる。

## 地球観測サービス

地球観測サービスは、気象衛星が代表例である。気象観測は一般的に静止軌道に大型の人工衛星を打ち上げる。大型衛星では製造や運用に莫大なコストを要するため、国家プロジェクトとして進められていた。しかし、小型衛星を低軌道に大量に打ち上げ、衛星コンステレーション<sup>12</sup>を組む新プロジェクトが、2021年に日本で発足された産学連携のAETHERによって進められている。大型の衛星は1つのプロジェクトで数千億円かかるといわれている。その費用を新プロジェクトでは数十億円に、1衛星当たり数百億円かかる費用を数億円にすることを目標としている<sup>13</sup>。

観測衛星は気象分野だけでなく、様々なセンサーを利用することで、「陸域」、「海域」、「空域」の多様な状況を把握することができる。石油の残量、農作物収穫量を先物取引やファイナンス

<sup>8</sup> 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 (2017) .

<sup>9</sup> QZ-vision 『QZナビ 準天頂衛星システムの歴史』 .

<sup>10</sup> 準天頂軌道衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのことである。

<sup>11</sup> 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 『みちびきとは何か』 .

<sup>12</sup> 中・低軌道に打ち上げら多数の小型非静止衛星を連携させて一体的に運用すること。総務省 (2022) .

<sup>13</sup> JAXA 新規事業促進部 (2022) .

で活用したり、天候指標を利用した保険が生まれたり、海上、航空輸送などのトラッキングに活用されたり、様々な産業で新たなビジネスを創出し始めている<sup>14</sup>。

### 1.3 衛星ブロードバンドを中心に伸びる収益

前述したように、2019年時点での市場規模は3660 US 億ドルである。これが2040年の世界宇宙産業では1兆 US ドル以上になると、金融機関コングロマリット、モルガン・スタンレーが示している<sup>15</sup>。20年間で市場が約3倍拡大すると期待されている。中短期的に最も成長が見込めるのが、衛星ブロードバンドからもたらされる収益である。これは、2022年現在インターネット接続の主流である光ケーブルの代替を衛星ブロードバンドが果たす可能性があるためである。

2022年現在国際通信の99%以上が海底ケーブルを経由したものであるといわれている<sup>16</sup>。海底ケーブルは、高度36000kmにある通信衛星を利用した通信よりも伝送距離が短いため、タイムラグがほぼなく、高品質な映像が提供できるため、広く利用されている。しかし、ケーブル、地上局の整備には、莫大な予算と長い年月を要するため、2022年現在人口の約40%に当たる30億人ほどが、自由にインターネット接続を行うことができない状況に置かれている<sup>17</sup>。衛星ブロードバンドでインターネットを接続するには、地上局の整備だけでよいので、爆発的にインターネットの環境を整備することができる。そのインターネット未開拓な土地にいる大規模なユーザーを衛星ブロードバンドは確保する可能性がある。

更に、衛星ブロードバンドは災害等の非常事態に強いいため、現在インターネットが接続されている地域においても普及が進む可能性がある。東日本大震災には、20地点以上の海底ケーブルが切断されていたため、普及作業に4ヶ月以上要した。これは、海底ケーブルを広げる際の課題でもあるが、海底ケーブルを敷設は、1本数千kmのケーブルをケールシップという船を利用して行われる。ケーブルの積み込みだけで1か月以上かかる場合もあるため、復旧作業に多くの時間を費やすことになる。一方衛星ブロードバンドはアンテナの整備だけでよいため、災害に強いといえる。そのため、日本のような災害大国で安定した通信環境を維持するのは、人命を守るという政府の役目からも非常に重要である。

このように、衛星ブロードバンドによって世界のインターネット接続が大幅に増えることが予想される。そのため、モルガン・スタンレーは、衛星ブロードバンドが2040年までに世界の宇宙市場の成長の約50%、最も強気なシナリオでは約70%を占めることになると予想している<sup>18</sup>。

更に新たな宇宙産業として、宇宙旅行、宇宙ホテル、宇宙エレベーター、火星などのより深

<sup>14</sup> Tellus 『衛星データビジネス』。

<sup>15</sup> Morgan Stanley (2020)。

<sup>16</sup> KDDI トビラ (2022)。

<sup>17</sup> DATAREPORTAL (2022)。

<sup>18</sup> Morgan Stanley (2020)。

い宇宙など様々なビジネスが展開されている。民間の活動だけでなく、2019年12月にトランプ政権によって、アメリカの6番目の軍種として宇宙軍が創設された。アメリカの宇宙関連事業は60を超える省庁に分散された結果、指導力と責任が欠如していた。宇宙領域を集約的に司る組織の創設を提唱し、宇宙軍が誕生した<sup>19</sup>。このように民間部門だけでなく、公共部門においても世界的に関心が高まることで、市場の拡大が進んでいく。

#### 1.4 各国のロケットの打ち上げ回数と費用

各国のロケット打ち上げ実績をみると、2021年に打ち上げられたロケットは世界で145回、世界最多は中国の56回である。続いてアメリカの51回、ロシア、ヨーロッパ、日本、インド、イラン、韓国と続いていく<sup>20</sup>。ロケットの打ち上げを行っている国は8か国と少なく、ロケット事業の参入障壁の高さを伺うことができる。日本のH-IIロケットのシステム設計などに着手した1985年から1999年度までに要した、開発試験費は1781億円、各号機の費用等は2236億円、合計4018億円と多額を要している<sup>21</sup>。韓国が2022年に初めて打ち上げに成功した国産大型ロケット「ヌリ号」は2010年から総事業費が2000億を超えている<sup>22</sup>。このように研究開発費等を含めた総事業費がロケット製造の参入障壁を高めている一つの原因であると考えられる。

次に、ロケット一回当たりの打ち上げ費用は、日本の大型ロケットH-2で約100億、SpaceXのファルコン9で約70億であるといわれている<sup>23</sup>。汎用品の活用が多い小型ロケット「SS-520」は約5億で打ち上げることができる。

衛星の小型化、量産化に伴い、衛星製造にも生産革命が起きている。小型ロケットを中心に、宇宙専用の部品ではない汎用品を活用することで、格段に低価格なロケットの打ち上げが行われている。ロケットが低価格で提供されるようになると、衛星を飛ばしやすくなり、新たなビジネスの登場とともに、宇宙市場のさらなる拡大が期待される。

<sup>19</sup> 防衛相 自衛隊 令和2年版防衛白書『〈解説〉宇宙軍創設』。

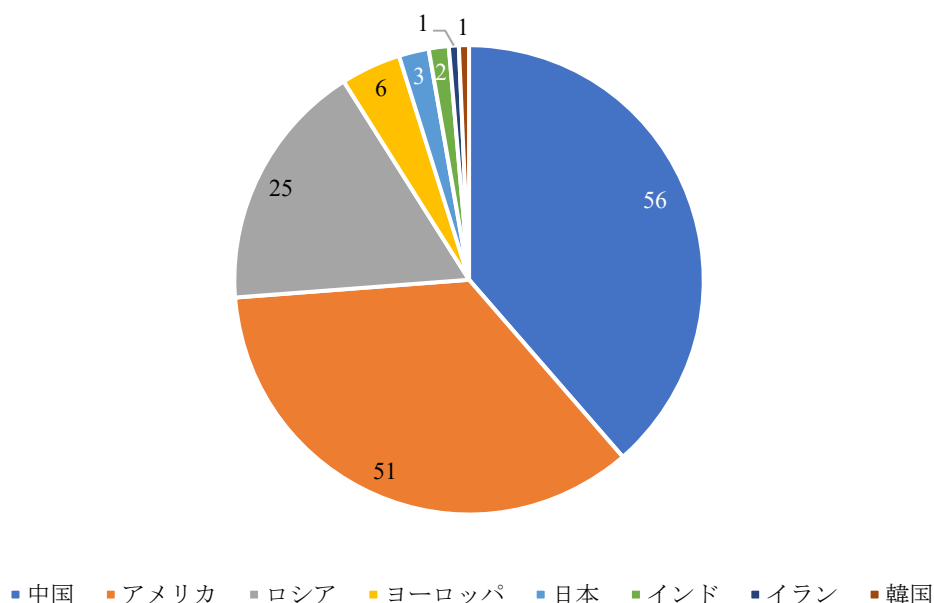
<sup>20</sup> GUNTER'S SPACE PAGE (2022)。

<sup>21</sup> 会計検査院『H-IIロケット及びM-Vロケットの開発について』。

<sup>22</sup> 日本経済新聞 (2022)。

<sup>23</sup> ニュースイッチ (2021)。

図2 ロケットの打ち上げ回数（2021年）



（出所）GUNTER'S SPACE PAGE（2022）より筆者作成。

## 第2節 ロケットの開発から利用

### 2.1 ロケットの仕組み

初めに、ロケットが飛ぶ仕組みを説明する。ロケットが大気のない宇宙で飛ぶ仕組みは風船が飛ぶ仕組みと同じである。風船を膨らませて、手を離すと風船は空気を吐き出しながら飛んでいき、中の空気がなくなると落下する。この時風船を飛ばしているのは、風船から噴出する空気が作り出す反動による力である。この力を推力と呼ぶ。推力とは噴出する空気とは反対方向に働く力のことである。ロケットが空高く飛んでいくのも、推力によってである。ロケットの場合は、機体の中に積み込んだ燃料を燃焼させることによって、推力を得ている。ロケットは主に酸素のない宇宙空間を飛ぶため、酸化剤を持っていく必要がある。燃料と酸化剤を合わせて推進剤と呼ぶのだが、推進剤はロケットの総重量の80%~90%も占めるため、広いスペースを確保することが困難となる<sup>24</sup>。

ロケットに積み込まれている推進剤には固体と液体の2種類の推進剤がある。固体燃料を用いるロケットを固体燃料ロケットと呼び、液体燃料を用いるロケットを液体燃料ロケットと呼ぶ。固体燃料ロケットの特徴は経済性にある。燃料（ブタジエン系の合成ゴムなど）と酸化剤（過塩素酸アンモニウムなど）を均一混ぜ合わせた推進剤を積むので、ロケットの設計が単純で容易となり、部品点数も少なくて済む。そのため、ロケットの信頼性も、打ち上げの成功率

<sup>24</sup> 谷合（2019）pp. 11-12.

も高くなる。同じ大きさのロケットで比較すると固体燃料ロケットは液体燃料ロケットよりも大きな推力を生み出す。更に、固体燃料は長期保存が可能であり、発射作業も容易であるため扱いやすい推進剤である。しかし、デメリットとして、1度着火すると、燃焼を止めることができないため、液体燃料と比較すると、正確な制御誘導に難しさがある。もう一つデメリットとして、ロケットの大半が燃料室になるため、大型化した場合にロケット全体を燃焼時の高温・高圧に耐える頑丈なものとするため、ロケットが重くなってしまう。

そのため、大型ロケットには液体燃料が使われる。液体燃料ロケットは、燃料（液体水素など）と、酸化剤（液体酸素）を推進剤とし、燃料と酸化剤を別々のタンクに詰め、燃焼室で2つを混合して燃焼させるため、燃焼力を調整して推力を加減することが容易であるため、固体燃料ロケットと比べると細やかな制御を行うことができる。着火と消化を繰り返すことができるため、発射前に燃焼実験を重ねることができる。燃料の性能も高く、強力な推力が得られるため、大多数の大型ロケットは液体燃料ロケットとなっている。液体燃料ロケットには推進剤を供給するための混合・燃焼の機器など部品点数が膨大となるため構造が複雑であり、開発期間の長期化や膨大な開発・製作費がかかるなどデメリットも抱えている<sup>25 26</sup>。

最後にロケットの性能を決める4つの指標について説明する。1つ目は、ロケットがどのくらいの重さのものを持ち上げるかを示す推力。推力は、1秒間に噴射される燃焼ガスの量と燃焼ガスの噴射速度を掛け合わせたもので、トン（t）で表される。噴射される燃焼ガスが多く、噴射速度が速いほど強くなる。ロケット自体を軽くすることも推力を大きくするための大きな要素となり、推力は常にロケットの質量を越えたものなければ飛び上がることが出来ない。ロケットをより速く飛ばすためには、燃焼ガスの噴射速度と質量比（下記）の関係が非常に重要となる。

2つ目は、ロケットをより速く飛ばすために重要な、ロケットの軽さを示す質量比。質量比は打ち上げ前の推進剤を満載にした状態のロケットの質量を、推進剤を抜いた状態のロケットの質量で割ったものである。質量比は、その数値が大きいほどロケットに積まれている推進剤が多いことになり、速度が速くなる。

3つ目は、ロケットに積まれた推進剤の割合を示す燃料比。飛行機や船、自動車などは50%も満たないが、ロケットは80%~90%に及ぶ。人工衛星を無重力空間に運ぶためには、膨大な量の推進剤が必要である。ロケットを打ち上げるには、地球の引力に逆らうことによる速度損失や、ロケットが受ける空気抵抗などを考慮しなければならない。地球から抜けだすのに失う速度損失は、ロケットの最終到達速度の20%にもなるため、燃料比や比推力（下記）はこの速度損失を見込んで設計しなければならない。

4つ目は、推進剤の能力を測る指標である比推力。推力を1秒間に消費される推進剤の質量で割った値で、秒で示される。比推力は、その数値が大きいほど推進剤の性能が高いことを示しており、燃焼後のガスの噴射速度が速いことも意味している。固体燃料ロケットの比推力は

<sup>25</sup> ファン！ファン！JAXA！『ロケットの燃料は何でできているのですか？』。

<sup>26</sup> 谷合（2019）pp. 12-14.

250 秒程度で、液体燃料ロケットの比推力は 300 秒程度であるが、液体酸素と液体水素を組み合わせた液体燃料の比推力は 400 秒程度になり最も強力な推進剤である<sup>27</sup>。

## 2.2 ロケットの発展

ロケットは 11 世紀に中国で発明された。麻くず、硫黄、木炭などを混ぜ合わせて竹の筒に詰め、細い竹を安定棒としてつけた「火箭」と呼ばれるものが、「固体燃料ロケット」の原型である。12 世紀に中国を征服したモンゴルは、ロケット兵器の技術を中国から学び、アジアからヨーロッパにまたがる征服戦争に利用したため、ロケットの技術は 13 世紀末には、ヨーロッパにまで知られるようになった。インドに遠征したイギリスのウィリアム・コングレーヴは火箭の威力を知り、厚紙ではなく鉄を利用し、火薬を改良し、飛行を安定させるための棒の位置をケースの脇ではなく中心の軸に一致させることで、1804 年にロケット弾の開発を行った。ロケット弾は、大砲や鉄砲と比較して命中精度が低かった為、次第に兵器としての価値を失っていった。

1930 年代には、宇宙旅行を夢見たドイツ宇宙旅行協会を中心にロケットの開発が進められた。1942 年には、ドイツでウェルナー・フォン・ブラウンを中心に軍の豊富な資金を活用して世界初の誘導ミサイル V-2 を完成させた。世界大戦終戦後ドイツ人技術者はアメリカに降伏し、V-2 ロケットの部品と技術者はアメリカやソ連に持ち込まれ、ロケット開発がすすめられた<sup>28</sup>。

## 2.3 国主導から民間主導への変遷

### 国主導期

第二次世界大戦後、資本主義・自由主義を中心とする西側諸国と、社会主義・共産主義を中心とする東側諸国に二分する東西冷戦が発生した。宇宙開発は自国の優勢の象徴として、西側代表のアメリカと東側代表のソ連が世界をけん引し、発展を遂げていった。1957 年にソ連が世界初の人工衛星「スプートニク 1 号」の打ち上げに成功した。アメリカはソ連より優位に立っていると考えていたため、自国の上空を通過する衛星から無線を通じた信号音はアメリカ国民に恐怖を与えた（スプートニク・ショック）。更に、スプートニク 1 号の打ち上げの同時期に行われていたアメリカの「ヴァンガード 1 号」の打ち上げの失敗は、アメリカ国民の自信を失墜させることとなった。この出来事をきっかけとして、宇宙開発競争が始まった。アメリカ国内では、科学教育や研究の重要性が再認識され、大きな予算と労力が割かれた。こうした危機意識の中、アメリカの軍事・科学・教育が大きく再編された。

翌年には、宇宙技術開発を軍の活動と切り離し、宇宙開発体制の一元化を図るため、宇宙開発の専門組織である NASA が設立された。しかし、1961 年にソ連の一人乗り宇宙船「ボストー

---

<sup>27</sup> 谷合 (2019) pp. 16-17.

<sup>28</sup> 的川 (2019) pp. 10-12.

ク1号」に乗船したユーリ・ガガーリンが人類初の有人宇宙飛行を成し遂げ、またしてもアメリカはソ連に先を越される結果となった。その結果を受け、ケネディ大統領は、アメリカの威信を取り戻すため、1960年代に月面着陸を試みるアポロ計画を表明した。1960年から1973年の間に約260億ドルの予算が投入され、1969年にアポロ11号の月面着陸船「イーグル」に乗ったニール・アームストロング、バズ・オルドリングの2人は有人月面着陸を成功させた<sup>29</sup>。その後5回の有人月探査を成功させたが、回を重ねるごとにアメリカ国民の関心は低下していった。1970年代は、インフレ問題やベトナム戦争がアメリカ政府の優先的な課題として挙げられたため、アポロ計画に投入された莫大な費用が批判の対象となった。そのため、アポロ計画は当初20号まで予定されていたが、1972年の17号の打ち上げをもって終了した。ベトナム戦争やキューバ危機で核戦争の一步手前まで関係が悪化していたアメリカとソ連であるが、両国の予算は逼迫おり、冷戦の緊張緩和に共通の利益を求めた。冷戦の緊張緩和と宇宙開発の予算削減を契機とし、宇宙開発競争もひと段落することとなり、協力関係が築かれるようになった。1975年に「アポロ・ソユーズテスト計画」でアポロ宇宙船とソユーズ19号のドッキングが地球周回軌道で行われ、両船の乗組員の交流が行われた<sup>30 31</sup>。

このように宇宙開発の初期段階では、国家の威信を示す役割であり、莫大な予算が必要であったため、国主導で進められた。

### 国際協調、官民共同期

国家予算の削減により国際協調が推進されただけでなく、宇宙開発の一部を民間企業に委託したり、民間資本を入れたりするなど、官民共同の時代へと変化していった。

#### <国際宇宙ステーション (ISS) >

NASA は設立直後に宇宙ステーションの検討を始めていたが、1961年にケネディ大統領が月面着陸を国家目標として宣言したことにより、月面着陸の達成まで宇宙ステーションの計画は見送られた。

その後、1969年にニクソン大統領がアポロ計画後のアメリカの宇宙開発の計画を進めるため、宇宙タスクグループ (STG) を国家航空宇宙評議会の議長に任命した。同年に NASA 内でも月面着陸の次のステップは、地球周回宇宙ステーションの開発という同意を形成した。1984年によくレーガン大統領が NASA に「常駐の宇宙ステーションを10年以内に」開発するようにと指示を出した。このプロジェクトはアメリカが単独で実施するのではなく、他国を巻き込んだプロジェクトとなることが述べられた。

NASA は、欧州宇宙機関 (ESA) 及び日本の宇宙開発事業団 (NASDA) と独自の研究モジュールを提供する契約を結んだ。1985年4月 NASA はヒューストンのジョンソン宇宙センターに

<sup>29</sup> THE PLANETARY SOCIETY “How much did the Apollo program cost?” .

<sup>30</sup> 宇宙科学研究倶楽部 (2013) pp. 32-39.

<sup>31</sup> 的川 (2019) pp. 14-18.

宇宙ステーション・プログラム・オフィスを設立した。1988年7月にレーガン大統領は軌道施設を宇宙ステーションと呼ぶことを発表した。その2か月後にアメリカ、日本、カナダ、および9つのESA加盟国が宇宙ステーションの構築と利用に関する政府間協定（IGA）に署名した。

その間ソ連は1986年にミール宇宙ステーションを運用した。ソ連の最初の宇宙ステーションは1971年のサリュートであり、ミールは施設の研究と居住能力を高めるために、いくつかの要素が追加された最初の真のモジュール式宇宙ステーションである。1991年、ソ連の崩壊に伴い、ミールとその計画されたミール-2の後継は資金不足により不確実性に直面した。1993年にクリントン大統領は、宇宙ステーションの運用と乗組員を最大1年間軌道に乗せた豊富な経験を活用するために、ロシアを完全なパートナーとしてプログラムに参加するように招待し、基本的にミールのために計画されたモジュールを追加した。新しい前哨基地は、国際宇宙ステーション（ISS）と呼ばれる。ISSの運用準備として、1995年から1998年の間に7人のアメリカの宇宙飛行士がロシアの宇宙飛行士と共にミールに長期滞在し、スペースシャトルが輸送と補給のロジスティクスを提供した。

1998年1月29日、アメリカ、ロシア、日本、カナダ、およびESA参加国（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、イギリス）の代表者が集まり、アメリカの国務省で、宇宙ステーション協力に関する最新の政府間協定に署名した。その10ヶ月後には、ロシアはカザフスタンのバイコヌール宇宙基地から、ISS軌道上セグメントの最初の要素であるザーリャモジュールを打ち上げた。最初のアメリカの要素であるユナイティード1モジュールは、スペースシャトルエンデバーによって3週間後に到着し、最大の国際宇宙プラットフォームを開始した。2000年には初めての乗組員が生まれ、2022年現在では、多国籍乗組員によって働き続けている。ISSは、40回以上に分けて打ち上げられ宇宙空間で組み立て、2011年に完成した。その後は、重力の影響を受けにくい特殊環境だからこそできる科学実験を行ったり、宇宙から地球の自然環境を見守ったりしている<sup>32</sup>。

#### <スペースシャトル>

1969年にリチャード・ニクソン大統領が、現実的な宇宙利用の方法として宇宙ステーションの建設「スカイラブ計画」に着手し、ロケットよりも安く宇宙へいく手段として宇宙往還機を利用する「スペースシャトル計画」を進めた。スペースシャトルの元となるアイデアは1950年代から存在していた。第2次世界大戦後にアメリカが回収したドイツの航空宇宙報告書の中に「ゼンガー計画」というロケット爆撃機の構想があった。このゼンガー計画をもとにして作られたのがロケットエンジンを搭載した実験機で「X-15」である。これがスペースシャトルの原型となる。ロケットエンジンで宇宙へ行き、帰りは飛行機のように水平飛行で着陸するができれば、ロケットを使い捨てにするのではなく、繰り返し利用できるようになり、宇宙までのコストを抑えることができると結論付けられたことで、ニクソン大統領が計画の実行を決定づけ

<sup>32</sup> 宇宙科学研究倶楽部（2013）pp. 62-65.

た<sup>33</sup>。

1977年にスペースシャトルの試験機「エンタープライズ号」が弾道飛行に成功したが、宇宙飛行をする能力はまだなかった。1981年に「コロンビア号」がロケットによる打ち上げで初飛行を行った。スペースシャトルは、多くの顧客に定期的に宇宙へのアクセスを提供すると同時にコストの削減を目指し、再生利用可能な宇宙輸送システムとして開発が進められていた。1986年1月28日にチャレンジャー号が打ち上げ直後に大爆発を起こし、7名の宇宙飛行士が全員死亡した。爆発の原因を突き止め、対策を講じる2年8ヶ月の間スペースシャトルの打ち上げは中断された。1988年9月に飛行が再開されたが、2003年にミッションを終え、大気圏に再突入中のコロンビア号が空中分解し、またしても7名の宇宙飛行士が全員死亡した。こうした2度の大事故が発生したため当初よりもメンテナンス費用などで莫大なコストが必要となった。更に、当初年間約90回フライトを行うことで、1回当たりの費用が2000万ドルと計画されていたが、実際は最高で年間9回の打ち上げで、1回当たりの費用が4億5000万ドル以上となってしまった<sup>34 35</sup>。

1980年代からは欧州を中心として商業化が進み、大型ロケット打ち上げサービスを行うアリアンスペースを初めとして、官民共同出資の企業の設立が行われてきた。1980年代90年代は国主導の宇宙開発だけでなく、国際協調を行い、衛星を利用した商業化や、官民共同による企業設立されるなど新たなステージに宇宙開発が移行した時期でもある。

### 民間主導期

2004年、ジョージ・W・ブッシュ大統領は2010年までに国際宇宙ステーションを完成させ、その後スペースシャトルを引退させることを表明した。スペースシャトルの費用は、当初予定の2倍以上かかっていたため当然であろう。2005年に新しいNASAの管理者になったマイク・グリヒンは、ISSのニーズを満たすことができる貨物と乗員の宇宙輸送能力を開発するようにアメリカの民間企業に求めた。国のやるべきことと、民間に託すことがきめられ、NASAは国際宇宙ステーションへの輸送手段を民間企業から購入する方針が示された。「COTS (商業輸送サービス)」、「CRS (商業補給サービス)」、「商業乗員輸送サービス (CCDev)」というCommercial Crew & Cargo Program (C3PO) が推進され、アメリカは民間宇宙産業への転換が行われた。この取り組みは、アメリカの商用の宇宙輸送産業の拡大と強化を可能にすることで、宇宙における人間の存在を拡大することを目標としており、プログラムの目的として以下の3点あげている。

- ・ 商業宇宙産業を刺激するための投資を伴うアメリカ宇宙探査政策の実施
- ・ 地球低軌道への安全で信頼性が高く、費用対効果の高い輸送手段を達成することを目標に、アメリカの民間産業による貨物及び乗組員の宇宙輸送能力の実証を促進する

<sup>33</sup> 宇宙科学研究倶楽部 (2013) pp. 40-43.

<sup>34</sup> Mike wall (2011) .

<sup>35</sup> NASA (2017a) .

・政府および民間部門の顧客が商用宇宙輸送サービスを利用できる市場環境を創出する  
従来の NASA のアプローチは、政府が所有及び運用するシステムを作成し、政府が請負業者として機能するが、今回の NASA のアプローチは主要な投資家及び輸送サービスの顧客として機能し、民間が所有および宇宙輸送システムを作成するという新たなアプローチを行った。更に、NASA は、業界がそのサービスを開発及び実証をする際に技術支援の提供を行った<sup>36</sup>。

#### < 商業軌道輸送サービス (COTS) >

2004年、ブッシュ大統領によって2010年末までにスペースシャトルの廃止を求めるアメリカの宇宙探査政策が確立された。これに伴い、NASAはアメリカの民間企業に、ISSへ貨物及び乗組員の宇宙輸送機能を要求した。初期段階としてISSへ物資補給をゆだねる商業軌道サービス(COTS)が2005年から始まった。COTSプロジェクトでNASAは、従来の契約を使用する代わりに、商業パートナー(CP)との間で新しい宇宙能力を開発するためのパートナーシップを作成するために、資金提供された宇宙協定(SAA<sup>37</sup>)を利用することを選択した。SAAを利用することで、NASAと各商用パートナーは、プロジェクトの進捗状況や成功基準に応じた金銭の支払いを行うための契約が、かなり柔軟に対応された。それまで、事業計画の評価や投資を行ってこなかったNASAにとっては、まったく新しい出来事であった。競争における事業計画の重要性を強調するために、NASAは参加者評価パネル(PEP)の下に事業委員会を設立した。NASAはベンチャーキャピタリストのサービスを支援請負業者として調達し、商業スペースアドバイザーを特別政府職員として雇用した。NASAと各商用パートナーは、COTS宇宙法協定で示されている進歩を表すマイルストーンの取り決めと、客観的な成功基準を設けることに同意した。これらの基準はプロジェクトが始まる前に書かれたものであるため、成功基準が「完了」の高レベルであり、プロジェクトの進捗に応じて基準が柔軟に変更された。

COTSの実行段階では、商用パートナーがシステム開発に全責任を負うが、NASAとパートナーの間で、ISS近接運用などのサポートをするために資産を交換する必要があった。NASAは専門知識を商用パートナーと共有したいと考えていたが、システム開発の責任は商用パートナーにあり、商用パートナーの商慣習とイノベーションを促進したい、スペースシャトルなどに関わっていたNASA職員の利用を制限していた。しかし、必要に応じて技術情報の提供が行われた<sup>38</sup>。

COTSプログラムは、民間から無人輸送船の開発のための資金を集めてきたメーカーにNASAが補助金を出すというものである。競争の結果3社に5億ドルが提供されたが、1社は民間企業

<sup>36</sup> NASA (2012a) .

<sup>37</sup> SAAとはNASAと企業等の間における柔軟な契約形態を指し、NASAのミッションとプログラム(国際協力を含む)の目標を推進するために、様々な相手方と幅広い協定を締結することができ、マイルストーン、責任の所在、知財のあり方等、柔軟な条件を設定できる。文部科学省宇宙開発利用課 宇宙開発推進室 (2020) p. 12.

<sup>38</sup> NASA (2017b) .

から資金集めに失敗したため、取引は途中で中断された<sup>39</sup>。商用パートナーが民間から COTS 開発コストの 50%以上の資金を集めるため、政府は開発コストを抑えることが出来た。固定価格マイルストーン支払いにより、コストを管理し、スケジュールの遅延を最小限に抑えるためのインセンティブが最大化された。最低限の企業要件とそれに見合った政府の監督は、イノベーションを促進し、ライフサイクル開発コスト削減のカギとなった。

#### < 商業補給サービス (CRS) >

CRS は、NASA のスペースシャトルが退役した後、アメリカの企業に ISS への補給飛行を担わせるためのプログラムである。このプログラムでは、SpaceX と Orbital ATK (現在の Northrop Grumman) の 2 社が選定された。NASA は Orbital ATK に 8 回のフライトで 19 億ドル相当、SpaceX に 12 回のフライトで約 16 億ドル相当を発注した<sup>40</sup>。スペースシャトルプログラムの終了から 2 年後には SpaceX と Orbital ATK は、アメリカから打ち上げられた貨物の宇宙ステーションへの補給を成功させた。両社は、宇宙ステーションと地球低軌道間の安全で信頼性や、費用対効果が高い商業輸送を実現することを目的としている。

ロケットと宇宙船の開発を、官民パートナーシップを通じて行うこのやり方は、NASA のビジネスに変化をもたらし、強力なアメリカの商用宇宙産業の構築を支援し貢献した。これらの官民パートナーシップの主な成果は、ISS 貨物の配達と返却を行うアメリカの能力を回復し、ロシア依存をやめること。商用パートナーによるケネディ宇宙センター及びその他の NASA 飛行施設の再利用を行うこと。バージニア州東海岸にある NASA の宇宙ステーションに打ち上げできるアメリカの最新宇宙港として追加し、商業及び政府ユーザーにさらなる機会を開くこと。より多くの産業界や大学のパートナーによるホストされたペイロード<sup>41</sup>の使用と CubeSat<sup>42</sup>の展開の増加という成果があげられた<sup>43</sup>。

#### < 商業乗員輸送開発 (CCDev) >

商業乗員輸送開発は、安全で信頼性が高く、費用対効果の高い宇宙輸送能力の開発と実装を支援する民間部門内の取り組みを刺激するために、2009 年 12 月には米国復興投資法基金の 5500 万ドルによって資金提供された NASA 投資である。CCDev のフェーズ 1 の下で、NASA は有人宇宙飛行の技術とシステムに取り組んでいるいくつかの企業と資金提供された宇宙法協定を締結した。2010 年には、民間部門における有人宇宙飛行の概念と技術の研究開発を促進することを目的として、米国の 5 社に 5000 万ドルが提供された<sup>44</sup>。このプログラムの目的は、スペース

---

<sup>39</sup> 松浦 (2015) .

<sup>40</sup> NASA (2012b) .

<sup>41</sup> お金を払って乗せてもらう荷物。宙畑 (2018) .

<sup>42</sup> 小型衛星の一種で、10×10×10 とする衛星の規格である。ファン！ファン！JAXA！ (2021) .

<sup>43</sup> NASA (2019) .

<sup>44</sup> NASA (2012b) .

シャトルの引退後に乗員を運ぶための手段を獲得することである。

このようにアメリカの宇宙産業は民間主導で進めるために C3PO という 3 つのプログラムを組んで、開発の各段階に資金提供を行っている。民間の資金調達も利用することで費用を格段に抑えることに成功している。企業側も、プロジェクトごとに支援がもらえるほか、各段階の基準を満たすことで資金提供がなされるため、常に供給を満たす需要が存在するため、取り組みやすい。国は常に需要を作るという新たな形で、民間主導の宇宙産業を支えている。

## 2.4 オールドスペースからニュースペース

オールドスペースとは、政府機関係および伝統的な宇宙産業が従来進めてきた宇宙開発を指し、アメリカの NASA やボーイング、日本の JAXA や三菱重工などが当たる。対してニュースペースは、ベンチャー企業や大手 IT 企業など新興の民間企業があたる。これらは、新たなビジネスモデルとそれを支える技術を持つ優れたベンチャー企業の活力と、それを積極的に支援する投資家、大手航空宇宙産業や宇宙機関の支援の双方があって初めて成立する。2.3 で宇宙開発の歴史でもあったように宇宙の担い手は、オールドスペース群ではなく、ニュースペース群である。

2000 年代には小型衛星の開発や衛星データ解析を行うベンチャー企業が増えてきた。IT 産業のテクノロジーが用いられると、シリコンバレーの宇宙への投資が進み、ヒト、モノ、カネの流入が生まれるようになった<sup>45</sup>。このように民間企業が参加することで、それまでの法律との整合性が合わなくなるため、ニュースペースが活躍をする時代には、環境の整備や、支援を中心にしていくことが宇宙開発で政府機関に最も求められていることである。

## 第 3 節 国産ロケットの強みと日本の課題

### 3.1 国外に頼るロケット

ロケット打ち上げサービスは国際宇宙市場の約 1%しかない。宇宙産業を成立させるためにはロケットを打ち上げることが必要である。つまり、ロケットを打ち上げることができなければ、すべての宇宙関連事業は成り立たない。

2022年2月24日にロシアがウクライナに対して軍事侵攻を行ったことを受け、世界各国がロシアに輸出入制限をはじめ、様々な制裁を行った。この制裁に反発したロシアはそれらの国向けのロケットの打ち上げサービスを中止した。更に、ヨーロッパでは、ロシア製のソユーズロケットを購入し、フランス領ギアナから打ち上げを行っていたがこれも中断された。ロシア技術者と作業者の退去が決まり、支援を受けることが出来なくなったためである。この影響でイギリスの通信社の衛星や、ヨーロッパ版 GPS 衛星「ガリレオ」などの打ち上げ計画などが相次

---

<sup>45</sup> 石田 (2017) pp. 15-20.

いでキャンセルされた。

ロシアの制裁の影響はソユーズロケットだけでない。アメリカのロケットにもロシア製のエンジンが搭載されている機種がある。アメリカのロッキード・マーティン社が開発したアトラス V の一段目ロケットにはロシア製の「RD-180」が搭載されている。アメリカ国防総省の軍事衛星も打ち上げている主要な大型ロケットである。アトラス V を打ち上げる際には、一段目ロケットを開発したロシアのエネルゴマシュ社のスタッフがサポートするのが通例になっていたが、このサポートも販売も停止された。RD-180 は 1990 年代から搭載されているが、2014 年のクリミア併合により、ロシアとの関係の悪化が自国ロケットの打ち上げに支障をきたすと危機感を強めていた。その結果、アトラス V の代替として新型「ヴァルカン」の開発が行われた。ヴァルカンの第一段エンジンは、ブルーオリジン社の「BE-4」が利用される予定であるが、遅延が続いている。

ISS の補給機である「シグナス」を打ち上げるノースロップ・グラマン社の「アンタレス」の第一段、第二段にもロシア製の「RD-181」が使用されている<sup>46</sup>。この補給機の停止は、ISS の乗務員の生命に関する人道的問題になりうる。さらにヨーロッパの小型ロケット「ヴェガ」にはウクライナ製エンジンが採用されており、ウクライナの戦況次第ではエンジンの製造が不可能となる。

ウクライナ侵攻は、世界の宇宙計画がロシアに頼って行われていたことを示す結果となった。自国で完結しているロケットがなければ、宇宙計画は常に中断されるリスクがあることを現実のものとした。宇宙開発においてロケットを打ち上げることの重要性、中でも自国でロケットを製造できることの重要性が認知されたはずである。こうした状況中、世界で中断リスクが少ない、安定したロケット打ち上げサービスを求めていると同時に、ロシアという宇宙大国が抱えていた大きなマーケットが空くことを示している。

### 3.2 自社ロケットをもつ SpaceX

SpaceX とはアメリカの宇宙事業を行う民間企業である。アメリカの宇宙産業もスペースシャトル引退以降、ロシアに依存していたが、SpaceX によって、再び自国で宇宙産業が成立するようになった。SpaceX は、民間企業で宇宙産業を成立させるモデルとなり、更に自社ロケットを持つことでビジネスを多方面に展開している。

#### ファルコン 9

ファルコン 9 は、NASA との契約に基づき開発された商業ロケットである。二段式 (後述) のロケットで、一段目の機体は、海上のドローン船で、回収し、再利用が進められている。2022 年 12 月に打ち上げられた一段目の機体は 11 回目の飛行であり、スペースシャトルとは異

---

<sup>46</sup> 鈴木 (2022) pp. 1-2.

なりコストを抑えることに成功している世界初の軌道クラスの再生可能ロケットである<sup>47</sup>。

2021年には年間で30回以上打ち上げが行われ、ソユーズに続いて世界で2番目に多く打ち上げられているロケットである。一般的なロケットの打ち上げ回数が年1~4回でことから、ファルコン9の打ち上げ回数が圧倒的に多いことがわかる<sup>48</sup>。

SpaceXはISSヘドラゴン補給船やクルードラゴン宇宙船で、物資や人を運ぶこと、国や民間、自社の衛星の打ち上げにファルコン9を利用している。自社でロケットを所有しているため、衛星ブロードバンドの提供や、宇宙旅行、月や火星等のより深い宇宙の開発など様々なビジネスの展開を行っている。その中に、スターリンクやスターシップがある。

### スターリンク

スターリンクは、SpaceXが提供する衛星ブロードバンドである。静止軌道を利用した通信衛星は高度36000kmに位置するため、衛星1機で地球の約3分の1という広範囲をカバーできるが、往復で0.2~0.3秒程度の遅延、音声では0.5秒程度の遅延が発生していた<sup>49</sup>。スターリンクは、340kmから1325kmの低軌道に配置されているため、1機では通信範囲が限られるが、大量の衛星コンステレーションを組むことで、世界中で通信を可能とした。更に、低軌道に大量にある衛星は、遅延の少ない高速通信も可能にした<sup>50</sup>。

スターリンクは、衛星インターネットキットを用意し、15分で可能なセットアップを行うと、直ちにインターネット環境を整備できる。通信衛星は常に地球を周回しているため、各国でアンテナを設置することですぐにサービスを受けることができる。しかし、サービスの提供には各国の電波ライセンスを取得する必要があるため、サービスの提供は電波ライセンスを取得できた国に限られる。2021年9月に日本でも、KDDIがSpaceXと業務提供を行い、2022年12月に静岡県の離島の初島からauのバックホール回線<sup>51</sup>として利用する基地の運用が開始された<sup>52</sup>。日本以外にも世界中で電波ライセンスの取得を進めている。

1.3では、衛星ブロードバンドが莫大な利益を生み出す可能性を示した。そのため、SpaceXはスターリンクによって莫大な利益を獲得すると予想できる。他にも、OneWebという会社が衛星ブロードバンドの提供を目指しているが、ロシアの制裁の影響でソユーズでの打ち上げが中止され、衛星の打ち上げが進めていない。その中で、ライバル企業のSpaceXで打ち上げを行っているが、価格や環境構築といった面で競争力に欠けてしまう。自社ロケットを持つことは、企業の競争力や安定性の確保に繋がる。

---

<sup>47</sup> Sorae (2022) .

<sup>48</sup> GUNTER'S SPACE PAGE (2022) .

<sup>49</sup> Impress Watch (2022) .

<sup>50</sup> 宙畑 (2021) .

<sup>51</sup> バックホールとは電波を送受信する基地局と基幹通信網を接続するネットワーク。Tech Target Japan (2020) .

<sup>52</sup> KDDI (2022b) .

## スターシップ

スターシップ宇宙船とスーパーヘビーロケットをまとめてスターシップと呼び、乗客と貨物の両方を地球軌道、月、火星などに運ぶよう設計されているため、完全に再生可能な輸送システムである。全長が120メートルあり、ファルコン9が全長70メートルであることから、圧倒的に大きいことがわかる<sup>53</sup>。2023年計画されているZOOZOTOWNの前澤友作が月周回に利用する予定のロケットである。スターシップの完成は、宇宙旅行をより身近なものにするほか、衛星をより大量に打ち上げることが可能となるため、より低価格でスターリンクを利用できるようになる。

### 3.3 日本政府の転換による宇宙ビジネスの整備

日本でも政府によって民間主導に転換するために法律の成立などが行われている。2008年に宇宙を利用するための法律である宇宙基本法が成立した<sup>54</sup>。宇宙基本法は、これまで宇宙政策の中心であった、衛星やロケットの研究開発というフェーズから、それらの高い技術力を利用するというフェーズへの転換を目指している。そのために必要な政府の司令塔を2012年に宇宙戦略室、宇宙政策委員会という形で設置した。それまで各省庁が独自に行っていた宇宙政策を、総合的かつ計画的に推進する体制が整えられた。宇宙利用では特に「安全保障・防災」「産業振興」「宇宙科学等のフロンティア」の3つの課題に重点を置いている<sup>55</sup>。

2016年には2つの宇宙法がリリースされた。一つは、「宇宙活動法」である。宇宙開発利用を拡大することを目的としたもので、民間企業が宇宙利用に参入して宇宙ビジネスを促進する法律である。もう一つが「衛星リモートセンシング法」である。これは、衛星リモートセンシング記録の適正な取り扱いを確保することを目的としたもので、衛星で取得した地球データを、ITのテクノロジーを生かし、ビッグデータとしてどんどん活用するための法律である。

2017年には宇宙利用拡大のための「宇宙産業ビジョン2030」が策定され、2030年までに宇宙産業市場を2017年の1.2兆円から倍増の2.4兆円にすることを目標としている。宇宙産業は第四次産業革命を進展させる原動力として、他産業の生産性向上に加えて、新たに成長産業を創出するフロンティアとして位置付けられている。宇宙産業の担い手は国から民間に移り、国は事業環境整備、調査企画能力や技術開発の支援に取り組むことが求められており、日本の企業も宇宙利用の環境が少しずつ整備されている<sup>56</sup>。

<sup>53</sup> SPACEX “STARSHIP” .

<sup>54</sup> 衆議院『宇宙基本法』.

<sup>55</sup> 経済産業省『宇宙基本計画の概要』.

<sup>56</sup> 宇宙政策委員会 (2017) p. 8.

### 3.4 日本の人材と予算

日本の宇宙産業の課題は様々あるが、その中でも人材、予算という新たな産業の形成に必要な2つの要素で日本の課題をみていく。

#### <人材>

日本国内で航空宇宙工学を学ぶ大学・大学院からの卒業生は毎年1000名程度であると推定されているが、宇宙機器産業に従事する職員は1万人を下回っている。卒業生の多くが宇宙産業以外の分野に従事していることが分かる。非宇宙産業から宇宙産業への人材の流入も乏しく、宇宙産業周辺における人材の流動性も低いため、新事業が起りにくいことも課題としてあげられる。新事業が起らない環境では産業が拡大せず、宇宙産業への流入も乏しくなる悪循環に見舞われている。更に、日本では、大手企業やJAXAからベンチャーに移籍する数が限られているため、アメリカで起きた、SpaceXの設立時に、NASA等から人材が多く移籍し、技術開発を支えるという流れができない状況になっている<sup>57</sup>。

#### <予算>

アメリカの宇宙予算は主に2種類ある。NASAの予算と国防総省からの予算である。NASAの2023年度予算は約2600億ドルであり、国防総省の2023年度予算は約2760億ドルであり、単純に合わせると約5360億ドルとなる<sup>58 59</sup>。対して日本の予算は2022年度で5219億円である<sup>60</sup>。アメリカの100分の1以下という予算は、GDPの差からみても非常に少ないことが課題であることがわかる。但し、日本の宇宙予算は2020年度予算までほぼ一定の3000億円台で推移していた予算であることを考えると、2021年度以降毎年予算が拡大していることから、日本政府としても注目し始めていること分かる。

更に、欧米では様々な政府機関が、民間企業が運用するリモートセンシング衛星のデータを購入することを通じて、衛星データビジネスや関連する機器産業の維持や活性化を図っている。日本では政府機関が小規模にしか予算を計上しないため、事業が立ち上がるまでの安定した需要を確保することが出来ないことが課題である<sup>61</sup>。人材と予算という産業形成に重要な問題の解決は日本の競争力を高めるためにも必要となる。

<sup>57</sup> 宇宙政策委員会（2017）pp. 33-34.

<sup>58</sup> NASA “FY2023 PRESIDENT’S BUDGET REQUEST SUMMARY” .

<sup>59</sup> U.S. Department of Defense “The Department of Defense Releases the President’s Fiscal Year 2023 Defense Budget” .

<sup>60</sup> 内閣府『令和5年度予算概算要求における宇宙関連予算』.

<sup>61</sup> 宇宙政策委員会（2017）pp.11-12.

## 第4節 日本のロケット産業の適正

### 4.1 理想的なロケット射場

ロケットは目的によって打ち上げる方向が異なるが、東向きに打ち上げることが最も多い。地球は西から東に向けて自転しているため、東向きに打ち上げることで地球の表面速度を利用することが出来るためである。そのため、西向きに打ち上げることは表面速度に逆らうことになるため、基本的には行われたい。表面速度は射場の緯度によっても異なり、自転の半径の違いから低緯度になるにつれて、表面速度が速くなる。例えば北緯79度のニュー・オルソンでは秒速90m、北緯46度のバイコヌール宇宙基地では秒速325m、北緯30度の種子島宇宙センターでは秒速400m、北緯5度のクールーでは秒速426mのように低緯度の方が地球の表面速度が速くなっている。ニュー・オルソンとクールーでの秒速336mという表面速度の違いを生み出すために、日本のM-Vロケットでは、一段目のロケットの36%を消費する計算になる<sup>62</sup>。地球の引力と大気抵抗を乗り越える一段目のロケットは、多くの燃料を必要とするほか、二段目のロケットより約10倍の推力を持っているため、重要度が高くなっている。

次に南北に打ち上げる場合をみていく。地表をくまなく観察する観測衛星や気象衛星は、極軌道に打ち上げる。南北を巡る極軌道に打ち上げることで、地球全体を効率よく観察することが出来るためである。

2022年現在多段式ロケットが一般的となっている。多段式ロケットとは、燃料が燃え尽きたところでいらなくなったロケットから順に捨てて、身軽になった状態で加速効率を上げていく仕組みのロケットである。完全に再利用可能な飛翔体でない限り燃料を使い終わったロケットは、海に落下していく<sup>63</sup>。ロケットの経路には切り離された部分が落下してくることになるため、ロケットの飛行経路の下に人家があると甚大な危害を与えてしまう恐れがある。そのため、安全を確保するという目的で、飛行経路は広大な海であることが望ましい。日本では、あらかじめ海面上に落下予想区域を設定して、その範囲にはさまざまな船が立ち入らないように航空機や船舶に通知を出してから打ち上げが行われている。加えて海上保安庁の巡視船や地方自治体の監視船が出動する場合もあり、仮にその落下予想区域に船が入ると、人命尊重の観点から、打ち上げは延期される。このため、東および南北が開けている射場が望ましい。

ここで、世界の主要のロケット射場を比較してみる。アメリカでは主に東海岸フロリダ州のケープ・カナベラルと西海岸カリフォルニア州のバンデンハークがある。ケープ・カナベラルは大西洋に面しており東側に開けているが、北は北米大陸、南は南極大陸があるため、極軌道の打ち上げはできない。一方バンデンハークでは、南向きに向かって極軌道の打ち上げはできるが、東側は米国本土となってしまうため、東側に打ち上げを行うことはできない。

次に、欧州が利用している南米のフランス領ギアナ宇宙センターでは東へも南へも打ち上げ

---

<sup>62</sup> 的川 (2019) p. 102.

<sup>63</sup> 的川 (2019) p. 38.

は可能であるが、ロケットを発射させるためには、大西洋を船で横断する必要がある。精密機械であるロケットの輸送は繊細な作業となり、移動中にトラブルが起きた場合も、対応は欧州に送り返すしかなく、大きな課題である。ロシアは旧ソ連時代から利用しているバイコヌール宇宙基地が利用されていたが、カザフスタン領となってしまったため、使用料が発生するようになった。使用料の支払いを抑えるためにも、自立性を高めるためにも、ポストチヌイ宇宙基地の建設し、利用をしているが、ポストチヌイは内陸である。中国も同様に内陸に射場があるが、ロケットの残骸で村が消滅したことがある。中国は他にも、南シナ海に面した海南島射場を建設して運用始めたが、フィリピン、インドネシア、ベトナムなどに周りが囲まれているため、非常に慎重な発射が求められる。インドでは、インド亜大陸東海岸・スリハリコタに立地するサティッシュ・ダワン宇宙センターから打ち上げを行っている。ここでは東にも南にも打ち上げは可能であるが、スリランカなどを避けたルートでの発射が必要となるため、余分なエネルギーが必要である。

中でも韓国、イスラエルは射場として不適地である。韓国の場合では、東側には日本列島が東から南にかけて存在するため、限られた方向にしか打ち上げが行えない。イスラエルは東側が大陸であるため、西側にある地中海に向けてロケットを発射するしかなく、自転に逆らうことになるため、地表の表面速度が抵抗となってしまい大きなエネルギーの無駄が生じてしまう<sup>64</sup>。

日本の射場は鹿児島県の種子島、北海道の大樹町、和歌山県の串本町にあり、いずれも東と南が大きく開けている。世界各地に設けられている射場と比較しても、日本の射場は大きなポテンシャルを持っていることになる。

## 4.2 自動車産業の衰退の代役

2018年10月にトヨタ自動車の豊田社長が自動車業界は「100年に一度の大変革の時代」に入っているといたメッセージを出したように自動車業界は様々な変化が求められている<sup>65</sup>。初めに求められている変化は電動化であり、次に求められているのが自動化である。まず、日本のメーカーは電動化へのシフトが遅いといわれている。様々な理由の一つとして、内燃機関の消滅を避けたいという思惑があると考えられる。内燃機関を開発するという作業の核にあるのは「燃焼に関する知見を積み上げる」ということになる。燃焼は、燃料と酸化剤を混合して点火すると、化学反応で熱が発生する物理現象である。この一連のプロセスには様々な物理現象が関係している。まず空気という気体の中に霧状のガソリンがどのように混ざっていくかは、流体力学にあたる。圧縮では流体力学と熱力学の両方を考えなければならない。そこで爆発が起きると、今度は化学反応論や反応速度論といった分野の知見が必須となる。熱から動力を取り出すプロセスは熱力学の議論であり、余分な廃熱をどうやって逃がすかについては電熱論が

<sup>64</sup> 堀江 (2020) pp. 41-48.

<sup>65</sup> トヨタ自動車 (2018) p. 2.

必要である。このように、燃焼という現象は、物理学と化学の多分野が複雑に絡まりあっているものである<sup>66</sup>。内燃機関にはこれらを積み上げた技術が生かされている。そのため、内燃機関そのものが日本の自動車産業の競争力となっている。

更に、内燃機関は多数のサプライヤーから多くの部品の提供によって作られている。そのため、内燃機関が不要となる EV 化へのシフトは車の部品点数の大幅な減少につながる。車の部品は約 3 万点あるといわれている。そのうち 1 万点が内燃機関に関係する部品である。その内燃機関が消滅するということは、サプライチェーンの体制の崩壊であり、雇用の減少にもつながる。

ここで自動車に不要となる内燃機関の技術者やサプライチェーンの新たな雇用を創出するのが宇宙産業のロケット事業であると考えられる。重力に対抗して上に上がっていかねばならないロケットエンジンには燃焼を利用することが必須である<sup>67</sup>。そのため、ロケット製造には、内燃機関の専門家が必要であり、蓄積されてきた知見が貢献するはずである。更に、ロケットの部品点数は 30 万個といわれており、自動車業界で培われてきたサプライヤーチェーンの仕組みも強みとなると同時に、雇用の減少も抑えることが出来る可能性がある。

#### 4.3 ロケットの輸出制限

ロケットは歴史的に軍事目的として作られたものであるため、取り扱いに注意が必要である。ロケットに弾薬をつけるだけでミサイルへと変化してしまうためである。北朝鮮から発射される飛行物体は弾道ミサイルと呼ばれ、アメリカから発射される飛行物体はロケットと呼ばれる。両者に技術的側面から見ると大きな違いはない。このように国防を考えた際にもロケットの技術や部品が他国に利用されることは避けたい。そこでアメリカは宇宙・衛星分野に関する様々なカテゴリーに輸出規制を設けている。主な輸出規制に、輸出管理規則 (EAR) — 規制品目リスト (CCL) と、国際武器取引規則 (ITAR) — 武器品目リスト (USML) に基づく様々なカテゴリーが関係している。特にアメリカ宇宙分野に影響する規制として **International Traffic in Arms Regulation (ITAR)** が機能している<sup>68</sup>。アメリカの武器関連品目・技術取引を規制する行政機関の一つで、国防省の武器取引管理局が所管している。ITAR は軍事用途に着眼した規制である。域外適用の効力があるため、日本企業であっても、販売代理店契約などによりアメリカ製規制品目を取り扱う場合、ライセンス契約によって国産化する場合、アメリカの技術者からのコンサルティングを引き続き受ける場合など ITAR の適用行為となるため、注意が必要である。ITAR で規制される行為としては、USML 記載の製品、技術などを輸出、再輸出、再移転を規制する<sup>69</sup>。このため、ロケットに必要な製品、技術の国産化が必要である。しかし、ロケットに必要な高度な製品や技術を国内の産業だけで賄うことができる国は限られているため、ロケッ

<sup>66</sup> 東洋経済 ONLINE (2020) .

<sup>67</sup> 堀江 (2020) pp. 149-152.

<sup>68</sup> 一般財団法人安全保障貿易情報センター (2019) p. 7.

<sup>69</sup> Fintech Offices Of Law 『ITAR について』.

ト規制が日本の高度な製品や技術を生かし競争力を生み出すポイントになる。

#### 4.4 日本がロケット事業に取り組むべき理由

宇宙産業の成立に必要なロケットが自国で製造することが出来なければ、他国にロケットの打ち上げを依頼しなければならない。しかし、要望通り実行されるとは限らない上に、常に中断されるリスクも抱えている。尚且つ、ロケットを所有している企業とロケットを所有していない企業のサービスを比較した場合、競争力に大きな差が生まれてしまう。更にロケットは、安全保障の上でも欠かすことのできなくなっているため、衛星サービスを他国に依存することは日本の自立性を損なう危険性がある。反対に他国に安定した打ち上げサービスを提供することは、国際社会で日本の立場を示すことにも繋がると考える。

ロケットを打ち上げることが出来る国は 1.4 で示したが、2021 年時点では世界の中 8 カ国に限られている。その中でも日本の射場は恵まれた位置に存在している。日本は自動車産業が衰退していくことが予想される中、新たな大きな産業を生み出す必要性に迫られている。そこに宇宙産業が適切であると考えられる。自動車産業で積み重ねてきた燃焼技術の知見や人材を活かすことが出来るためである。宇宙産業への人材の流動性が低いという問題も、自動車産業が衰退していく中、必要に迫られることで、自動車業界を中心として、徐々に宇宙事業に流入していき、日本のロケット産業の成長を進めていくと考えられる。実際にホンダは、さまざまな商品開発で培ってきた燃焼技術や制御技術などコア技術を生かして小型ロケットを作りたいという若手の発案から 2021 年からロケット開発に本格的に取り組んでいる<sup>70</sup>。

更に、ロケット製品にかかる輸出制限は日本にプラスの影響を与える。それは、ロケットの製造にかかわる重要な部品等が自国で生産できないことによって、新たな参入することを妨げる状態になる。そのため、日本の技術力を活かしたロケットを安定して飛ばすことで、数少ないロケット打ち上げサービスを行う国となれる。加えて、3.2 でも示したが、民間主導で進めることで、日本の企業が自社ロケットを持つことにより、宇宙産業において、新たなビジネスを競争力のある形で進めることができる。

そのため、日本は、ロケット産業に適している土地であると同時に、ロケット産業に取り組みなければならない状態になっていく。早く取り組むことができるほど、世界においても競争力を示すことができるはずである。

### おわりに

ソ連崩壊以降、宇宙産業は国際協調、官民共同、民間主導へと変遷し、宇宙開発から宇宙利用が進んだことにより、新ビジネスが多く誕生している。こうした流れから、宇宙産業の市場は大きく拡大していくことが予想されている。

---

<sup>70</sup> HONDA (2021) .

こうして注目される中、ロシアのウクライナ侵攻により、世界で宇宙計画が中止され、他国に頼ることの不安定さが露呈した。一方、SpaceXのようにロケットを持つことで、安定して様々なビジネスを展開している企業の強さが示された。

日本は世界の中でもロケットを打ち上げる環境が非常に整っている。恵まれた射場、優秀な人材と技術が揃っているためである。その中で、人材の流動性が欠如しており、課題としてあげたが、自動車業界の衰退と共に変化に迫られ、人材の流動性が高まっていくのではないか。この宇宙産業の取り組みは、安全保障上重要な役割も果たすため、安定した打ち上げサービスの提供は、日本の国際立場を考えても非常に重要である。

日本全体として、日本の宇宙産業の優位性を認識し、日本政府が早くより重点的に宇宙産業に取り組むことで、自動車業界と共に衰退する日本ではなく、宇宙産業と共に成長する日本を作り出すことが出来ると考える。

## 参考文献

- ・ BRYCE Report “2019 Global Space Economy at a Glance,”  
<https://brycetechnology.com/reports>
- ・ Mike wall (2011) “NASA's Shuttle Program Cost \$209 Billion — Was it Worth It?” , Space.com,  
<https://www.space.com/12166-space-shuttle-program-cost-promises-209-billion.html>
- ・ THE PLANETARY SOCIETY “How much did the Apollo program cost?,”  
<https://www.planetary.org/space-policy/cost-of-apollo>
- ・ 石田真康 (2017) 『宇宙ビジネス入門 New Space 革命の全貌』 日経 BP マーケティング.
- ・ 一般財団法人安全保障貿易情報センター (2019) 『EAR 超入門—米国の輸出規制を学ぼう—』,  
[https://www.cistec.or.jp/service/beikoku\\_saiyusyutukisei/ear\\_nyumon.pdf](https://www.cistec.or.jp/service/beikoku_saiyusyutukisei/ear_nyumon.pdf)
- ・ 宇宙科学研究倶楽部 (2013) 『宇宙開発が丸ごとわかる本』 学研パブリッシング.
- ・ 宇宙政策委員会 (2017) 『宇宙産業ビジョン 2030—第4次産業革命化の宇宙利用創造—』,  
<https://www8.cao.go.jp/space/vision/mbrlistsitu.pdf>
- ・ 大貫美鈴 (2018) 『宇宙ビジネスの衝撃—21世紀の黄金をめぐる新時代のゴールドラッシュ—』 ダイヤモンド社.
- ・ 会計検査院 『H-II ロケット及び M-V ロケットの開発について』,  
<https://report.jbaudit.go.jp/org/h11/1999-h11-0607-0.htm>
- ・ 金谷信之 (2001) 『インテルサットとケネディ大統領 (通信)』,  
<http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/episode/intelsat.html>
- ・ 松浦晋也 (2015) 『COTS 計画』 情報・知識&オピニオン imidas,  
<https://imidas.jp/genre/detail/K-105-0189.html>

- ・鈴木喜生（2022）『宇宙の脱ロシア化が急速に進行・・・「ロシア・ロス」から「ロシア・フリー」な時代へ』 SankeiBiz,  
<https://www.iza.ne.jp/article/20220316-UGEVBBSWBBRHSZEWMP4PTBK5LEM/>
- ・宙畑（2021）『SpaceX が世界中にインターネットを届ける Starlink（スターリンク）とは！？ 通信速度や市場規模まで徹底解説』,  
<https://sorabatake.jp/19526/>
- ・宙畑（2018）『衛星の「payload」とロケットの「payload」の違いは？第19回「今週のSPACE ENGLISH」』,  
<https://sorabatake.jp/1205/>
- ・谷合稔（2019）『ロケットの科学改訂版—創世記の仕組みから最新の民間技術まで、宇宙と人類の60年史』SBクリエイティブ社.
- ・東洋経済 ONLINE（2020）『堀江貴文「僕がロケット開発に熱中する理由」ロケットが今後の日本経済を牽引する』,  
<https://toyokeizai.net/articles/-/342651?page=3>
- ・トヨタ自動車（2018）『アニュアルレポート 社長メッセージ』,  
[https://www.toyota.co.jp/pages/contents/jpn/investors/library/annual/pdf/2018/ar2018\\_1.pdf](https://www.toyota.co.jp/pages/contents/jpn/investors/library/annual/pdf/2018/ar2018_1.pdf)
- ・日本経済新聞（2022）『韓国、国産ロケット打ち上げ初成功 宇宙事業の道開く 高度700キロ軌道に人工衛星、北調整が反発の可能性も』,  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGM20AP80Q2A620C2000000/>
- ・ニュースイッチ（2021）『宇宙輸送の主力「再使用ロケット」。日本が国際競争力を高めるためのカギになる理由』,  
<https://newswhitch.jp/p/28135>
- ・発見と発明のデジタル博物館（2010）『シスコム衛星によるオリンピック・テレビ中継の成功』,  
<https://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/899>
- ・堀江貴文（2020）『ゼロから始める力 空想を現実化する僕らの方法』 SB新書.
- ・ファン！ファン！JAXA！（2021）『革新的衛星技術実証 実証テーマ紹介（キューブサット編）』,  
<https://fanfun.jaxa.jp/topics/detail/19227.html>
- ・ファン！ファン！JAXA！『ロケットの燃料は何でできているのですか？』,  
<https://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/294.html>
- ・的川泰宣（2019）『トコトンやさしい宇宙ロケットの本』 日刊工業新聞社.
- ・Fintech Offices Of Law 『ITAR について』,  
<https://www.fintech-offices.com/>
- ・HONDA（2021）『Honda の新事業への取り組みについて～Honda のコア技術を生かした新領域でのチャレンジ～』,

- <https://www.honda.co.jp/news/2021/c210930b.html>
- Impress Watch (2022) 『KDDI、「スターリンク」を日本展開。山小屋や離島にも高速通信』,  
<https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1448937.html>.
  - JAXA 『ファルコン9 ロケット』,  
<https://humans-in-space.jaxa.jp/iss/launch/falcon-9/>
  - KDDI (2022a) 『衛星通信・衛星電話』,  
<https://biz.kddi.com/service/satellite/>
  - KDDI (2022b) 『スペース X の「Starlink」を au 通信網で利用開始』,  
<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2022/12/01/6414.html>
  - KDDI トビラ (2019) 『総延長は地球 30 周分！日本と世界の国際通信をつなぐ【海底ケーブル】のヒミツ』,  
<https://time-space.kddi.com/au-kddi/20191226/2802>
  - KDDI トビラ (2021) 『【国際通信 150 年 (3)】宇宙への挑戦！衛星通信でアポロ映像やオリンピックを伝えた KDDI 山口衛星通信所』,  
<https://time-space.kddi.com/au-kddi/20211029/3201>
  - KDDI トビラ (2022) 『【国際通信 150 年 (4)】インターネットなど国際通信の 99%を担う大容量の光海底ケーブル時代へ』,  
<https://time-space.kddi.com/au-kddi/20220111/3241>
  - QZ-vision 『QZ ナビ 準天頂衛星システムの歴史』,  
[https://www.satnavi.jaxa.jp/files/qz-vision\\_read/read/qz-navi05.html](https://www.satnavi.jaxa.jp/files/qz-vision_read/read/qz-navi05.html)
  - sorae (2022) 『スペース X、スターリンク衛星 54 機の打ち上げ成功 2022 年 60 回目の打ち上げに』,  
<https://sorae.info/space/20221230-starlink5-1.html>
  - Tech Target Japan 『5G の【バックホール】とは？速度が理論値並みか【4G】程度かを分ける要素』,  
<https://techtarger.itmedia.co.jp/tt/news/2005/29/news13.html>
  - Tellus 『衛星データビジネス』,  
[https://www.tellusxdp.com/ja/about/satellite\\_data.html](https://www.tellusxdp.com/ja/about/satellite_data.html)
  - DATAREPORTAL (2022) “DIGITAL2022 : GLOBAL ORVERVIEW REPORT,”  
<https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report>
  - GUNTER’S SPACE PAGE (2022) “Orbital launches of 2021,”  
[https://space.skyrocket.de/doc\\_chr/lau2021.htm](https://space.skyrocket.de/doc_chr/lau2021.htm)
  - Morgan Stanley (2020) “Space: Investing in the Final Frontier,”  
<https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>
  - NASA (2012a) “Commercial Crew & Cargo,”  
[https://www.nasa.gov/offices/c3po/home/c3po\\_goal\\_objectives.html](https://www.nasa.gov/offices/c3po/home/c3po_goal_objectives.html)

- NASA (2012b) “Commercial Crew & Cargo,”  
[https://www.nasa.gov/offices/c3po/partners/ccdev\\_info.html](https://www.nasa.gov/offices/c3po/partners/ccdev_info.html)
- NASA (2019) “Commercial Resupply Services Overview,”  
[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/structure/launch/overview.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/launch/overview.html)
- NASA (2017a) “Space Shuttle and International Space Station,”  
[https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle\\_faq.html#7](https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle_faq.html#7)
- NASA (2017b) “Commercial Orbit Transportation Services(COTS),”  
<https://www.nasa.gov/content/cots-program-approach>
- NASA “FY2023 PRESIDENT’S BUDGET REQUEST SUMMARY,”  
[https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy23\\_nasa\\_budget\\_request\\_full\\_opt.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy23_nasa_budget_request_full_opt.pdf)
- SpaceX “STARSHIP,”  
<https://www.spacex.com/vehicles/starship/>
- U.S. Department of Defense “The Department of Defense Releases the President’s Fiscal Year 2023 Defense Budget,”  
<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2980014/the-department-of-defense-releases-the-presidents-fiscal-year-2023-defense-budg/>
- 経済産業省 『宇宙基本計画の概要』,  
[https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/jaxa/pdf/005\\_s03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/jaxa/pdf/005_s03_00.pdf)
- 総務省 『第 2 部 情報通信分野の現状と課題』,  
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd243430.html>
- 衆議院 『宇宙基本法』,  
[https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_housei.nsf/html/housei/16920080528043.htm](https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/housei/16920080528043.htm)
- 内閣府 『令和 5 年度予算概算要求における宇宙関連予算』,  
<https://www8.cao.go.jp/space/budget/r05/fy05yosan.pdf>
- 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 『みちびきとは何か』,  
[https://qzss.go.jp/overview/services/sv01\\_what.html](https://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html)
- 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 (2017) 『GPS の世代について』,  
[https://qzss.go.jp/overview/column/gps\\_170831.html](https://qzss.go.jp/overview/column/gps_170831.html)
- 防衛相・自衛隊 令和 2 年版防衛白書 『〈解説〉宇宙軍創設』,  
[http://www.clearing.mod.go.jp/hakusho\\_data/2020/html/nc001000.html](http://www.clearing.mod.go.jp/hakusho_data/2020/html/nc001000.html)
- 文部科学省研究開発局 宇宙開発利用課 宇宙利用推進室 (2020) 『国際宇宙探査及び ISS を含む地球低軌道を巡る最近の動向』,  
[https://www.mext.go.jp/kaigisiryoo/content/20201009-mxt\\_uchukai01-000010318\\_1-2.pdf](https://www.mext.go.jp/kaigisiryoo/content/20201009-mxt_uchukai01-000010318_1-2.pdf)
- JAXA 新規事業促進部 (2022) 『超小型衛星利用シンポジウム 2022』,  
[https://aerospacebiz.jaxa.jp/expansion/cubesatlv2022/5-7\\_detail\\_mission.html](https://aerospacebiz.jaxa.jp/expansion/cubesatlv2022/5-7_detail_mission.html)