

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau National Diet Library

論題 Title	宇宙輸送システム
他言語論題 Title in other language	Space Transportation System
著者 / 所属 Author(s)	小笠原宏 (OGASAWARA Ko) / 東京理科大学創域理工学部 機械航空宇宙工学科教授
書名 Title of Book	日本の宇宙政策を考える—今後10年のために何をすべきか— —科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Considering Japan's Space Policy: What Should Be Done in the Next Ten Years?)
シリーズ Series	調査資料 2023-4 (Research Materials 2023-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2024-2-29
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-922-5
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	—

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

日本の宇宙政策を考える—今後10年のために何をすべきか—
宇宙輸送システム



2023年9月22日（金）
於：令和5年度「科学技術に関する調査プロジェクト」シンポジウム

東京理科大学
創域理工学部 機械航空宇宙工学科
教授 小笠原 宏

スライド 1

東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

目次

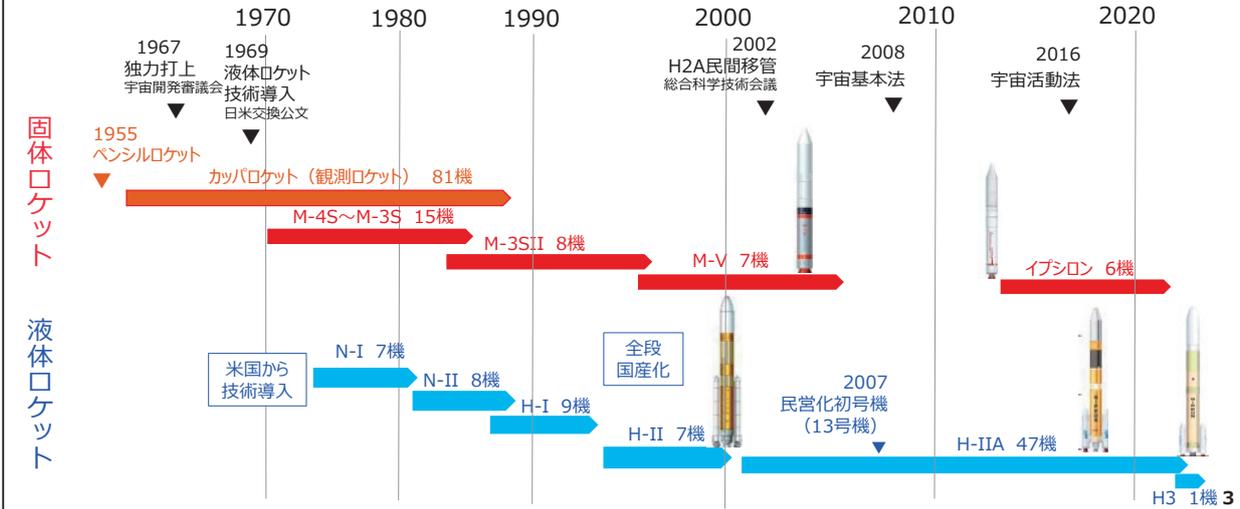
1. 日本の宇宙輸送の系譜
2. 世界の宇宙輸送状況
3. 輸送需要の動向
4. 宇宙輸送政策を考える視点

2

スライド 2

独自技術の固体ロケット、技術導入由来の液体ロケット

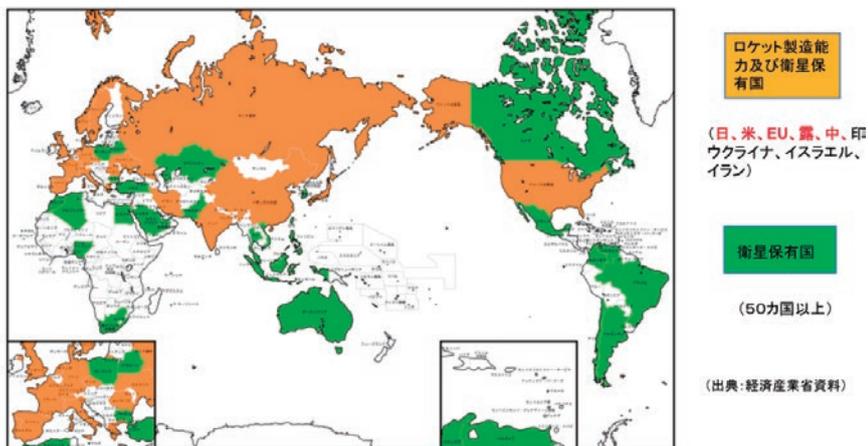
- ✓ 日本はペンシルロケットを始祖に宇宙輸送技術を持ち、世界で4番目の打上げ国。
- ✓ 1967年、日本は独力で打上を目指す政策を表明、継続的に実用/科学ロケットを開発・維持・運用中。
- ✓ 国内技術由来の固体ロケットは科学・観測に、実用衛星用大型液体ロケットは米国からの技術導入由来。



スライド 3

世界の宇宙輸送能力保有状況

- ✓ 宇宙輸送能力をもつ国は世界で9か国にとどまる。一方、小型衛星の増加もあり衛星保有国は激増。
- ✓ 輸送システムの開発ハードルは高く、宇宙アクセス手段保有には戦略的意義。



ロケット製造能力及び衛星を保有する国

Ref) "宇宙開発利用の現状及び課題", 平成24年8月, 内閣府宇宙戦略室, 宇宙政策委員会 第3回会合資料

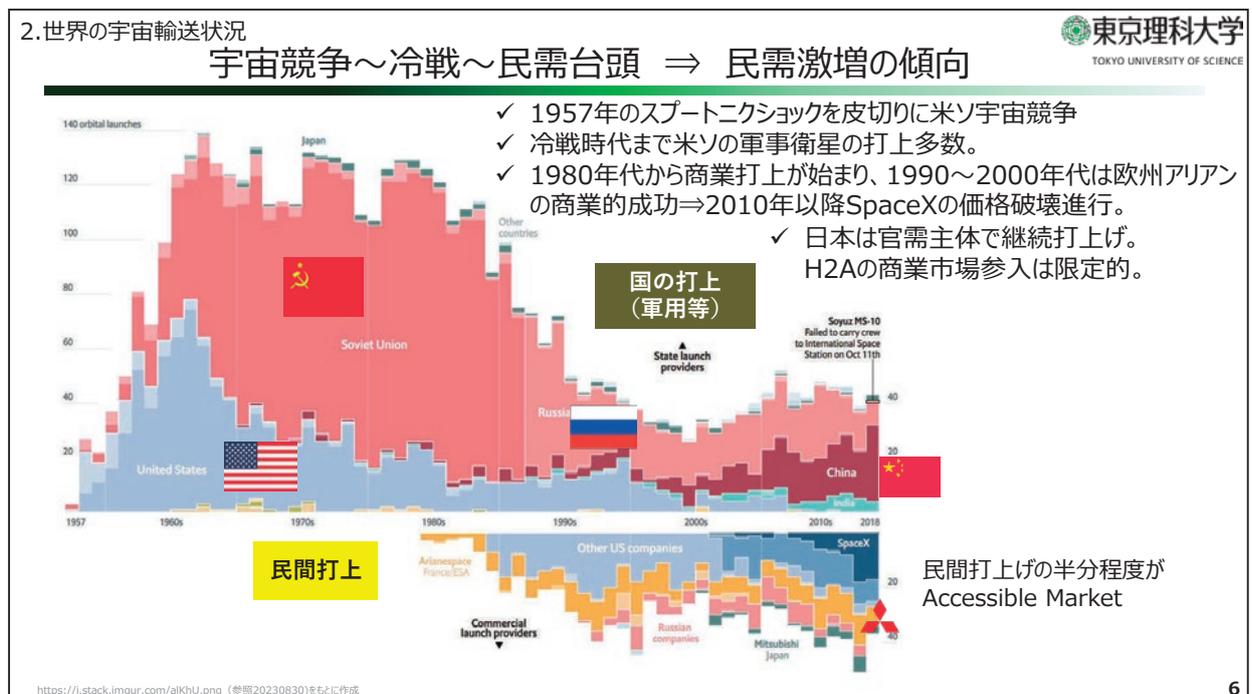
スライド 4

目次

1. 日本の宇宙輸送の系譜
2. 世界の宇宙輸送状況
3. 輸送需要の動向
4. 宇宙輸送政策を考える視点

5

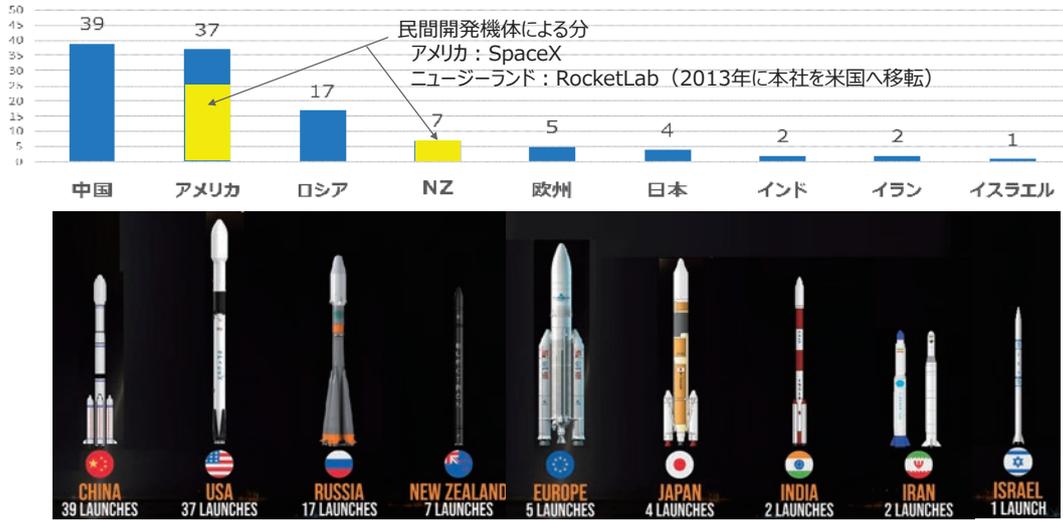
スライド 5



スライド 6

2020年 国別打上げ機数

- 中国、アメリカの打上げ機数が突出。アメリカの打上げ数のうち25機（約7割）はSpaceXのファルコン9。



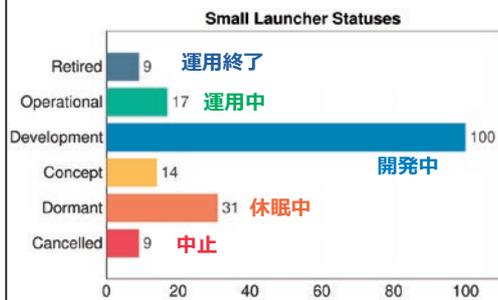
<https://www.facebook.com/106904007496879/photos/pcb.240047580851187/240047477517864/?type=3&theater> (参照20230815) 転載に同意

7

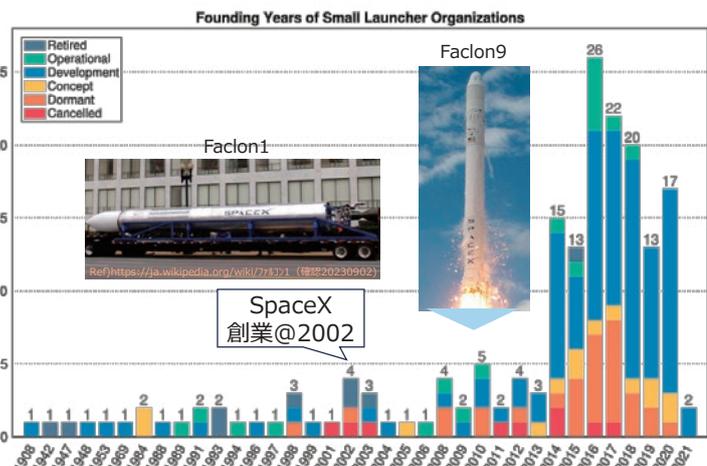
スライド 7

世界で進む小型ロケット開発

- ✓ 2002年に創業したSpaceXは初度開発の小型ロケットFalcon1では1～3号機失敗、4,5号機が成功。
- ✓ その後大型ロケットFalcon 9 開発と段階的発展を続け、商業的に成功。
- ✓ SpaceXの成功を受け、小型ロケットを狙う事業者が激増。2016年以降で180社。（2021年時点）
(打上能力2t以下)
- ✓ 開発玉成し事業化につなげている例は限られる



Ref)E. Kulu, Small Launchers - 2021 Industry Survey and Market Analysis, IAC-21-D2.9-D6.2.3, 2021
https://space.skyrocket.de/doc_lau_det/falcon-9_v1-0.htm (参照20230902)



8

スライド 8

目次

1. 日本の宇宙輸送の系譜
2. 世界の宇宙輸送状況
3. 輸送需要の動向
4. 宇宙輸送政策を考える視点

9

スライド 9

3. 輸送需要の動向

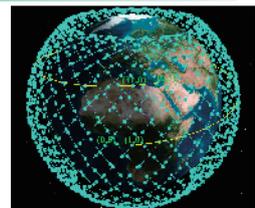
人工衛星の打上げ需要

【打上衛星のトレンド】

- ✓ グローバルカバーを謳う通信衛星コンステレーションが現実化。衛星数は莫大。
 - ・Starlink (SpaceX) (4500機@2023.8) 4万機以上になる可能性。
 - ・Oneweb (600機@2023.8) 6000機になる可能性。
 - ・Kuiper (Amazon) 3200機 (計画)
- ✓ コンステレーション衛星に比べ、従来型衛星 (通信・地球観測等) は横ばい。

【輸送需要】

- ✓ 今後の輸送需要はコンステの進展、維持、更新次第で規模が変動。
- ✓ 大型コンステ (Starlink、Kuiper) は SpaceX、BlueOriginなど自前の Launcherで囲い込み？
- ✓ 技術進歩で大型通信衛星も軽量化の方向へ (Reconfigurable、Flexible)



File photo of a stack of Starlink satellites before a previous launch. Credit: SpaceX

"SpaceX satellite Internet project status update", <http://cis471.blogspot.com/2017/08/spacex-satellite-internet-project-status.html> (参照2023.08.23)
https://www.researchgate.net/figure/The-spiral-shape-in-Starlink-constellation_fig1_347273912 (参照2023.09.14)
 * Next SpaceX launch to deploy fewer Starlink satellites into higher orbit", Next SpaceX launch to deploy fewer Starlink satellites into higher orbit - Spaceflight Now (参照2023.08.23)
 OneSat - new generation fully reconfigurable satellite - YouTube (参照2023.09.13)

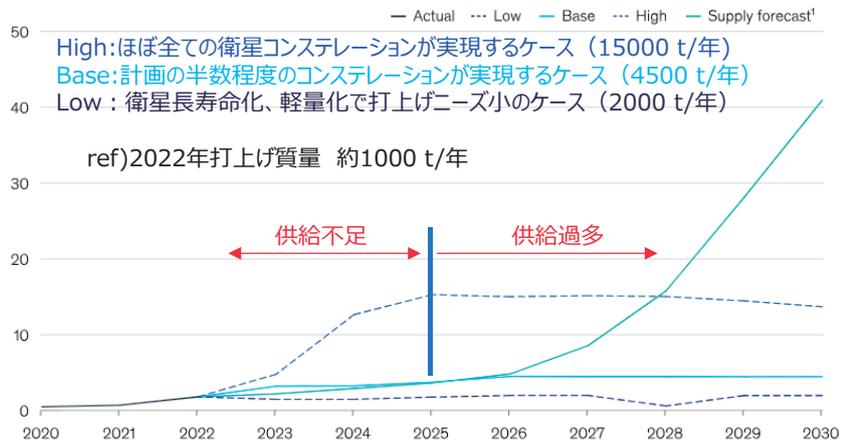
10

スライド 10

打上げ需給予測

- ✓ 衛星コンステレーションの実現数により、打上げ需給見通しは振られる
- ✓ コンステレーション完成までは輸送能力供給不足、その後は供給過多と予測

Launch demand and supply (illustrative), kilotons to LEO, 2020–30



*Numbers exclude Russia and China; Supply forecast includes Starship.
 Source: Radar-Space by McKinsey

"Space launch: Are we heading for oversupply or a shortfall?", <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-launch-are-we-heading-for-oversupply-or-a-shortfall/> (参照: 20230823)

スライド 11

目次

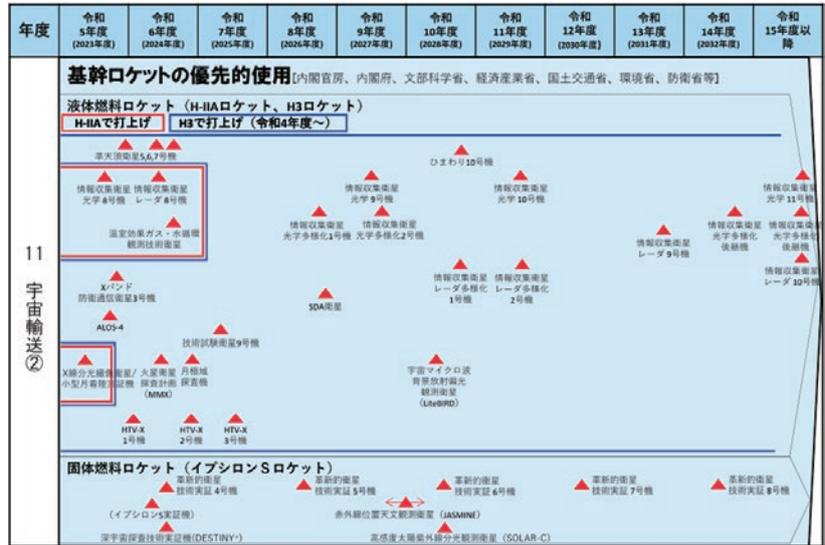
1. 日本の宇宙輸送の系譜
2. 世界の宇宙輸送状況
3. 輸送需要の動向
4. 宇宙輸送政策を考える視点

スライド 12

4. 宇宙輸送政策を考える視点

日本の打上ニーズ (2023年宇宙基本計画工程表より)

- ✓ 基本計画で打上げ予見性は向上。
⇒官需機数横ばい (3~4機年)
官需市場見通しは明確
- ✓ SpaceXは2022年に初めて黒字。
2010年からFalcon9を260機以上、年間30機近く打上げ。
- ✓ 中長期的には輸送能力供給過多の見通し
- ✓ 宇宙輸送産業の自立には**打上げ市場創出が必須**

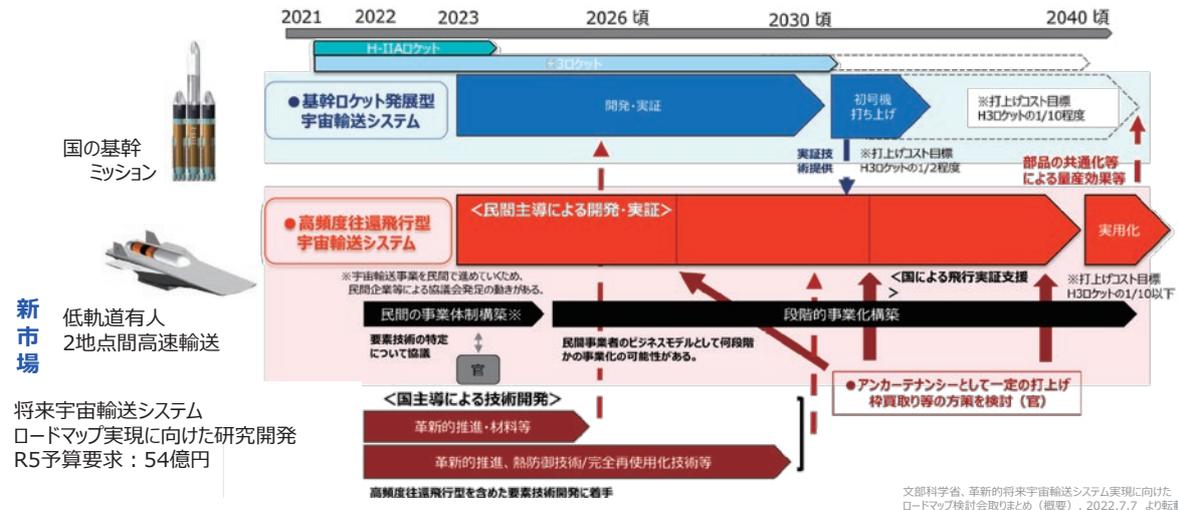


スライド 13

4. 宇宙輸送政策を考える視点

革新的将来宇宙輸送ロードマップ

- ✓ 宇宙輸送市場創出を目指す施策が望まれる。R5基本計画の革新輸送の動きはその方向。
- ✓ 国が主体的に行う基幹ロケットと民間が主体となる高頻度往還型輸送の2本立て。



スライド 14

まとめ：今後10年何をすべきか

- ✓ 日本は1960年代から国策として宇宙輸送能力を涵養・維持してきた。
- ✓ 宇宙輸送能力を持つ国家は限定的で戦略的重要性は高い。基幹ロケット保有は自律的宇宙アクセスのため重要。
- ✓ 衛星コンステレーションの実現で宇宙輸送需要は当面拡大するが長期的には輸送能力過多。
- ✓ 官需衛星需要は限定的。宇宙輸送産業維持・発展・本格化には市場が必要。
- ✓ 市場創出には民需ニーズ拡大が必然。Post ISS民間ステーション向けの民間輸送市場を取り込める輸送産業本格実現へ重層的促進策を望む。
- ✓ 基幹ロケット + 民間高頻度輸送システムの双方向を狙う宇宙基本計画の方向性は適切。輸送産業本格化まで息の長い政策継続が重要。
- ✓ 官需ミッション衛星は基幹ロケット、民間高頻度輸送システムの双方で輸送可能な仕様に变化していくべきだろう。

民間宇宙ステーション構想の例



Credits: Nanoracks/Lockheed Martin/Voyager Space

"NASA Selects Companies to Develop Commercial Destinations in Space", NASA Selects Companies to Develop Commercial Destinations in Space | NASA(参照 : 20230824)

15

スライド 15

報告 (2) 宇宙輸送システム

東京理科大学創域理工学部機械航空宇宙工学科教授
小笠原 宏

本日は、まず、日本の宇宙輸送の系譜を振り返り、世界の宇宙輸送の状況、輸送需要の動向を踏まえて、最後に宇宙輸送政策を考える視点についてコメントします。

はじめに、日本の宇宙輸送は長い歴史を持っています（スライド 3）。日本は現在、種子島から液体 H-IIA ロケットを、鹿児島からイプシロンを打ち上げていますが、固体ロケットに関しては 1955 年の糸川英夫先生のペンシルロケットを始祖として独自の宇宙輸送技術を持ち、世界で 4 番目に打ち上げを成功させた国です。ペンシルロケットの打ち上げから十数年たった 1967 年に宇宙開発審議会で、日本は独力で打ち上げを目指すと表明して以来、継続的に実用／科学ロケットの開発・維持・運用を続けています。これは非常に大事なことです。

国内技術由来の固体ロケットは、主に科学・観測目的で、500kg や 1t といった、若干軽めの衛星などを打ち上げています。一方、液体ロケットは 1969 年に米国から技術導入して以来、現在主流になっている実用衛星大型液体ロケット H-IIA、開発中の H3 へと技術がつながっており、主に実用衛星ひまわり、通信衛星を打ち上げています。日本の宇宙輸送は、この 2 本体制で進んでいます。とにかく、日本は独力で打ち上げを目指すと言明し、それを続けているところが一番大事なことです。

日本は宇宙輸送能力を持つと 1960 年代から表明していましたが、宇宙輸送能力を有する国・地域は、現在でも世界で 9 か国にとどまっています（スライド 4）。小型衛星は世界中で数多く上がっており、個人用のキットまで売られている状況ですが、宇宙輸送能力保有国・地域は今でも 9 か国ないし 10 か国であり、やはり宇宙に行く能力は戦略的にも大変意義のある技術だという状況は、いまだに変わってないと理解する必要があります。

次に、世界の宇宙輸送状況をお話しします。先ほど橋本先生からお話があったように、1957 年のスプートニクショックを皮切りに米ソによる宇宙競争が始まります（スライド 6）。1960 年代から 1970 年代までは、米ソが軍事衛星を頻繁に打ち上げていました。そして 1980 年代から民間による打ち上げが始まり、うまく商業ベースに乗ってきたのが欧州のアリアンロケットです。これは商業的にかなり成功しました。1990 年頃になると、中国がどんどん増えていきます。そして商業、民間の打ち上げで面白いのは、正直あまり面白くないのですが、2010 年頃からスペース X 社が相当増えたことです。

日本も何とか頑張っています。H-IIA は商業市場に参入しており、スライド 6 では三菱のシェアが若干あります。ただし、まだまだ限定的で、数が取れている状態ではありません。

衛星は、もともとは年間 100 機から 120 機ほど打ち上げられていましたが、2022 年には 500 機や 1,000 機といった莫大（ばくだい）な数になりつつあります。打ち上げ機数は 100 機とか 120 機ほどです。2020 年に実際打たれたロケット数はスライド 7 のようになり、中国とアメリカが約 40 機と突出しています。この中で黄色に示したアメリカのほぼ 7 割の 25 機は民間の開発機体、スペース X 社が打ち上げています。ニュージーランドは、ロケットラボ社が打てるようになったので、国として打ち上げ能力を持つようになりました。ある意味で順番が逆に

なっています。それ以外の国は、冷戦時代の技術を基に国が開発してきました。ある意味で末裔（まつえい）が飛んでいる状態です。これが国別の打ち上げ数の状況です。

スペース X社は2002年に創業し、2010年に大型ロケットのファルコン9の打ち上げに成功してから段階的に発展を遂げ、商業的に成功しつつあります（スライド8）。これを受け、小型ロケットを作りたいという人が世界中に増加して、2016年以降、2021年時点で小型ロケット打ち上げを目指す事業者は180社に達しています。ただし、その中で実際に運用できているのは10社から15社、開発中が100社、中止したのが何十社かあるのが実態です。チャレンジャーがたくさんいますが、それほど簡単な世界ではないことも事実です。これが世界で進む小型ロケットの開発状況です。

続いて、輸送需要についてお話します。打ち上げ衛星のトレンドとして変わってきているのは、気象衛星ひまわりや放送衛星など一つの大きな衛星を静止軌道に上げることをサービスする時代から、衛星コンステレーションが実現化し、多数の小型衛星（小型といっても200kg、300kgほど）を、群を成して打ち上げる時代になってきているということです。（スライド10）。スターリンクは現時点で4,500機ありますが、4万機以上にする可能性に言及しています。また、ワンウェブは6,000機、アマゾンのカイパーは3,200機を計画しており、衛星数は莫大に増えていく傾向にあります。これに対し、従来の大型の静止衛星の数はあまり多くはありません。50機から100機に届かない程度です。

今後の輸送需要は、結局、コンステレーションの進展から維持へと変わっていきます。衛星はだんだん落ちてきますから、更新次第で規模が変動します。また、コンステレーションについて、例えばスペース X社は、自前で立派な打ち上げ機体を保持しているので、輸送を囲い込むことが想定されます。このことが大事です。

もう一つ、小型衛星の話ばかりしましたが、大型通信衛星も技術が進んで軽量化の方向に向かっていきます。具体的には、リコンフィギュラブルといって、軌道上でサービスの形態を切り替えることがだんだん当たり前になってきています。また、ソフトウェアで電波のパターンを変えることが可能になってきていることもあって、軽量化の方向に向かっていくのが実態です。

そこで、打ち上げ需給予測を整理するとスライド11のようになります。いろいろなシナリオがありますが、2020年から2030年までの供給に対する需要パターンが3種類、予測されています。これらの中でHighのパターンは、ほぼ全ての衛星コンステレーションが実現するケースです（15,000t/年）。Baseが、計画のほぼ半数程度のコンステレーションが実現するケース（4,500t/年）、Lowは、衛星の長寿命化、軽量化で打ち上げニーズがそれほど増えないケースです（2,000t/年）。2022年の打ち上げ質量は、年間約1,000tでした。Highのパターンだと、これが2025年には15倍になります。

コンステレーションがどんどん増えていくと、当面はコンステレーションを作るための打ち上げ能力が必要となり、供給が不足する状況が続きますが、コンステレーションができてしまうと、後は維持又は若干の打ち替えだけで良いので、供給過多になることが現段階から予想されているということが重要であり、なかなか難しいところでもあります。

輸送政策を考える視点という、今日の本題に入ります。

日本の打ち上げニーズは、2023年宇宙基本計画工程表によるとスライド13のように、10年先まで見通されています。基本計画によって予見性が向上したのはありがたいのですが、官

需機数の見通しは明確で、横ばいです。一方で、コンステレーションは莫大に増加していきます。それと比較すると、果たしてどうなのか。スペース X 社は 2010 年から合計して 260 機以上、毎年約 30 機のロケットを打ち上げて 2020 年に初めて黒字になりました。年に 3 機、4 機では、宇宙輸送の世界では正直厳しいのが実態だと思います。中長期的には供給過多であるため、宇宙輸送産業が自立していくために、市場を開発し、そこにどんどんアクセスできるような仕組みにしなければ、このままでは立ち消えになるのではないかというのが本音です。

つい最近の宇宙基本計画で輸送系について議論された際には、革新的将来宇宙輸送系を二つのシナリオで伸ばすという話になっています(スライド 14)。一つは、従来の国の基幹ミッションで、基幹ロケット発展型による宇宙輸送システムです。もう一つは、民間主導による高頻度往還飛行型宇宙輸送システムです。新市場として、低軌道有人輸送や 2 地点間高速輸送が例示されています。2 地点間高速輸送とは、例えば、日本とアメリカの間を 1 時間で結ぶというものです。こうしたことを可能とする民間ベースの輸送系を開発するために、国がサポートをしていくのです。このような双方向のアプローチが提言され、具体的にロードマップの作成と 54 億円の予算要求がなされ、それなりの額がついてきたところです。

最後にまとめです(スライド 15)。日本が 1960 年代から国策として宇宙輸送能力を涵養(かんよう)・維持してきたことは、事実としてとても大事なことです。宇宙輸送能力を持つ国家は限定的で、戦略的重要性はいまだ高く、基幹ロケットを保有することは自律的宇宙アクセスの上で重要です。それに対して、衛星コンステレーションの実現で宇宙輸送需要は当面拡大するものの、長期的には輸送能力が過多になるという逆風があります。その結果、基幹ロケットの使い道がなくなってしまうのか、産業的に成立できるのかが本当の問題になります。つまり、官需衛星需要は限定的であり、維持だけでは駄目で、宇宙輸送産業を発展させ本格化させるための市場が必要です。

では、市場として何が考えられるのか。

市場創出には民需ニーズの拡大が必然です。今一番期待されているのは、ポスト ISS(国際宇宙ステーション)民間ステーション向けの民間輸送市場を取り込める輸送産業の本格的実現へ向けた重層的促進策です。現在の宇宙ステーションは建設から 30 年たち、寿命になってきています。したがって、NASA(アメリカ航空宇宙局)を中心に、その後の民間ステーションの話が様々に出てきています。一般の人が宇宙ステーションへ、宇宙旅行にどんどん行くようになると、やはり莫大な市場が形成されるのではないかと大変期待されています。そのような市場ができれば、輸送産業を本格的に実現できる土壌ができます。この市場を取り込めるような、輸送産業を実現するための技術、法制、インフラなどを含む重層的な促進策が望まれます。

また、基幹ロケットと民間高頻度輸送システムの双方を目指す宇宙基本計画の方向性は適切だと、個人的には思います。国として自律性のあるロケットを保有することと、市場を大きくする側面が必要です。ただし、ある瞬間の短期間の政策では、宇宙輸送系は実現しません。H-II ロケット、H3 ロケットは、構想段階から数えれば、開発には 20 年以上がかかっています。息の長い政策継続が重要です。

最後に少し変わったことを言います。先ほど、アメリカが打ち上げている 37 機のうち、25 機をスペース X 社が打ち上げていると言いました。軍の衛星もスペース X 社で打ち上げる時代になりました。かつてスペース X 社は軍の衛星を打ち上げることができませんでしたが、多くの実績が蓄積されたので軍の衛星を打ち上げられるようになったのです。そうすると、日

本も民間の高頻度輸送システムができたとき、基幹ロケットで打ち上げる衛星を、高頻度輸送システムでも打ち上げられるようにした方が、レジリエンスという意味でも選択肢という意味でも良いのです。そうであるならば、官需ミッションないしは国のミッションも、両方で打ち上げられる方向で考えていくアプローチが必要になります。今すぐではなく、今後10年ほどで必要になるアプローチであろうと考えているところです。以上です。

(おがさわら こう)