

東京大学 公共政策大学院

ワーキング・ペーパーシリーズ

GraSPP Working Paper Series

The University of Tokyo

GraSPP-P-15-001

宇宙新輸送システムの官民展望  
ー ロケット・宇宙港・オペレーション ー

坂井伸行 中南翔太 古川ひかる 金井英樹

2015 年12月

**GraSPP**  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

GraSPP Policy Research Paper 15-001

GRADUATE SCHOOL OF PUBLIC POLICY  
THE UNIVERSITY OF TOKYO  
HONGO, BUNKYO-KU, JAPAN

**GraSPP**  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

GraSPP-P-15-001

# 宇宙新輸送システムの官民展望 ー ロケット・宇宙港・オペレーション ー

東京大学 公共政策大学院  
事例研究(テクノロジー・アセスメント)2015年度

東京大学大学院公共政策学教育部公共政策学専攻(国際公共政策コース)専門職学位課程2年 坂井伸行  
東京大学大学院公共政策学教育部公共政策学専攻(国際公共政策コース)専門職学位課程1年 中南翔太  
東京大学大学院 理学系研究科地球惑星科学専攻修士1年 古川ひかる  
東京大学大学院 工学系研究科原子力国際専攻修士1年 金井英樹

GraSPP ポリシーリサーチ・ペーパーシリーズの多くは

以下のサイトから無料で入手可能です。

<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/research/wp/index.htm>

このポリシーリサーチ・ペーパーシリーズは、内部での討論に資するための未定稿の段階にある

論文草稿である。著者の承諾なしに引用・配布することは差し控えられたい。

東京大学 公共政策大学院 代表 TEL 03-5841-1349



Image:SpaceX

## 宇宙新輸送システムの官民展望 ーロケット・宇宙港・オペレーションー

|       |             |                      |
|-------|-------------|----------------------|
| 坂井伸行  | 東京大学公共政策大学院 | 国際公共政策コース修士 2 年      |
| 中南翔太  | 東京大学公共政策大学院 | 国際公共政策コース修士 1 年      |
| 古川ひかる | 東京大学大学院     | 理学系研究科地球惑星科学専攻修士 1 年 |
| 金井英樹  | 東京大学大学院     | 工学研究科原子力国際専攻修士 1 年   |

## 目次

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>1. イントロダクション</b>          | <b>1</b>  |
| 1.1 背景                       | 1         |
| 1.2 問題意識及びTAの目的              | 1         |
| 1.3 想定クライアント                 | 2         |
| 1.4 報告書の構成                   | 2         |
| <b>2. 対象とする技術範囲</b>          | <b>3</b>  |
| 2.1 「宇宙輸送システム」対象技術範囲の定義      | 3         |
| 2.2 ロケット                     | 3         |
| 2.3 射場・地上設備                  | 7         |
| 2.4 オペレーション                  | 10        |
| <b>3. 宇宙開発における社会的ハードル</b>    | <b>10</b> |
| 2.1 宇宙活動法                    | 10        |
| 2.2 ベンチャー支援                  | 11        |
| 2.3 他国との比較における宇宙産業規模         | 15        |
| 2.4 射場                       | 17        |
| <b>4. シナリオによる整理</b>          | <b>20</b> |
| 4.1 各シナリオの説明                 | 21        |
| <b>5. 社会的インパクト</b>           | <b>24</b> |
| 2.1 社会生活                     | 24        |
| 2.2 経済産業                     | 27        |
| 2.3 国際政治                     | 32        |
| 2.4 技術研究                     | 34        |
| <b>6. 全体の整理とステークホルダーへの影響</b> | <b>37</b> |
| <b>7. 提言</b>                 | <b>41</b> |
| <b>謝辞</b>                    | <b>42</b> |

# 1. | イントロダクション

## 1.1. 背景

近年、宇宙の商用化や民間企業による宇宙旅行などのニュースが世間を賑わせているが、これまでの歴史を振り返ると、宇宙技術は主に国家政策として発展してきた。発端は米ソ冷戦時の宇宙開発競争であり、冷戦終結後も、国威発揚・国家のソフトパワー誇示のための宇宙開発という流れは変わらず、今でもその側面が色濃く残っている。アメリカやソ連に次いで、ヨーロッパ諸国・日本・インドや中国などが宇宙開発に参入し、近年ではアジア諸国や南米諸国も勢いを見せている。世界各国において、国家主導で軍民両用技術としてのロケット開発・宇宙技術開発が行われ、民間企業に委託する場合も代表的な企業による独占市場あるいは寡占市場が目立つ構造となっている。

そうした流れの中で、アメリカを中心として民間企業やベンチャー企業による宇宙産業への進出が始まっている。宇宙輸送技術（ロケット）による宇宙観光旅行・物資輸送を始めとして、無重力環境を提供することによって医薬品開発・製薬実験・研究機関による生物実験や物理実験を行う場としてもニーズを生んでいる。また、衛星利用では、気象衛星・測位衛星・地球観測衛星・通信放送衛星によって天気予報やインターネット、リモートセンシングやGPSなどのサービスが私たちの生活を豊かにしている。従来の大型衛星より安価で軽量の小型衛星が次々と打ち上げられることにより、これらのサービスは多様化しており、太陽系内の科学探査の現場でも小型衛星が活躍し、探査現場におけるリスクの軽減に貢献している。こうして軍事目的が主要目的だった宇宙開発が、徐々に私たちの生活を豊かにするサービスを生む場として発展しつつある時代になっている。

## 1.2. 問題意識及びTAの目的

このような歴史を辿ってきた宇宙業界だが、今後のさらなる発展におけるボトルネックとなっているものは何であろうか。これまでの宇宙産業の目的・資金源として、軍事力の確保・国威発揚などの国際政治における外交手段を目的とし、国家予算（中でも軍事予算）や少数の個人投資家からの寄付金などを資金源としていた場合が多い。いつまでも国家プロジェクトに頼り続けていては、軍事とは関係が薄い宇宙事業（科学や商用）が後回しになり、業界全体が発展していかないという問題点がある。

現在の宇宙業界が抱えているボトルネックとして、慢性的な予算不足、資金源の偏りがまず挙げられる。さらに衛星を中心とした宇宙利用サービスの発展を考えると、衛星の運搬方法が極めて高額なロケットに限られており、一度に搭載できる量にも限りがあることも課題である。より安価で小型衛星打ち上げに特化したロケットや、人が宇宙観光旅行に行くことに特化したロケットなど、運搬方法の多様化が求められる。また、技術的制約や政治的制約も挙げられる。莫大な研究開発費用がかかることや、軍民両用技術であるがゆえの難しさも存在している。

本TAでは近年急速な発達を遂げつつある新輸送システム・技術を対象とする事で、宇宙開発のボトルネックである予算不足・運搬問題に着目した。特に超小型衛星の運搬方法は、現状では国家規模の大型ロケットに依存しており、ロケットの小型化・安価化・再利用などの問題を含めた解決を考える必要がある。小型衛星を含む衛星サービスや宇宙探査技術等を十分に活用するためには、手段としての宇宙輸送が必要不可欠である。

本報告書では、これまで日本で大きく議論されてこなかった宇宙輸送システム・技術全体を対象とし、産業構造の観点から現状を打開し今後の宇宙業界を発展させていく上で鍵となる宇宙輸送システム（ロケットや付随する地上システム含む）の社会的影響を整理する。

### 1.3. 想定クライアント

本 TA のクライアントとして経済産業省 製造産業局航空機武器宇宙産業課 宇宙産業室を想定した。本 TA では新たな宇宙輸送システム技術全体を対象としており、それに伴う小型衛星等の発達も一部含んでいる。背景として、ベンチャー企業を基点とした欧米での航空・宇宙産業イノベーションを含んでおり、従来の宇宙行政機関の範囲にとどまらない産業経済の観点からの整理を目指している。

従って、経済産業省の中で「人工衛星及びロケット並びにこれらの部品」「経済産業省の所掌に係る事業の発達、改善及び調整に関する事務のうち宇宙の利用に関するものの総括<sup>1</sup>」を所掌する航空機武器宇宙産業課を想定した。なお、同課は宇宙開発利用の推進に関する関係府省等連絡調整会議の構成員として参加している。

### 1.4. 報告書の構成

本 TA 報告書の構成として、まず 2 章で宇宙新輸送システムとして扱う対象技術を整理し、3 章で宇宙開発に係る主な社会的ハードル・課題点を整理する。4 章はこれらを踏まえて社会環境シナリオを作成し、5 章で項目別に具体的な社会・技術的影響をまとめる。6 章ではシナリオ毎にステークホルダーへの影響を整理し、7 章で報告書全体の提言をまとめた。

---

<sup>1</sup> 「経済産業省組織令 76 条」 e-Gov(電子政府)  
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12SE254.html>



## 2. | 対象技術・扱う範囲

### 2.1. 対象技術



打ち上げ

ロケット技術  
✓ 再利用ロケット  
✓ 空中発射システム



射場、宇宙港

打ち上げ場  
✓ 既存射場  
✓ 宇宙港(スペースポート)



オペレーション

オペレーション  
✓ 管制技術

画像出所) 米国 FAA、[https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/111460.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/111460.pdf)

本報告書では、「宇宙輸送システム」として、ロケットのみならず、宇宙港・地上設備・オペレーションも含めたシステム全体を扱う。長期的な日本の宇宙産業振興を考えていく上で、ロケット技術の発展はもちろん、発射場となる宇宙港や地上設備まで視野に入れ、どの関係機関が主導となって地上設備を建設・運営していくかによって産業構造は大きく異なってくる。日本では現状では種子島の射場を主要発射場とし JAXA が中心となって管理しているが、アメリカを例にとると NASA 管制下の発射場のみならず、民間企業が運営するスペースポートも存在している。射場を運営し他国のロケット打ち上げ等も引き受けることで利潤創出が見込まれるため、輸送技術を取り囲む周辺技術も含め全体のシステムとして考えていくことが求められている。

### 2.2. ロケット

#### ■ ロケットの種類・分類・用途

ロケットの大きさは従来まで大型・中型が主流だったが、最近では小型衛星搭載専用を目標とした小型ロケットや超小型ロケットも考案されている。ペイロードの重さで分類すると大型(50,000kg 以上)、中型(20,000~50,000kg)、小型(2,000~20,000kg)、超小型(2,000kg まで)となっている。

主な用途としては以下のとおりである。

- 物資運搬
  - ◇ ISS への物資補給
  - ◇ 小型衛星打ち上げ
  - ◇ 科学調査
  - ◇ 商用利用
- 人の輸送
  - 有人宇宙飛行
  - 宇宙旅行
- 軍事技術への転用
  - ミサイル

到達距離として低軌道・中軌道・静止軌道などが想定されており、それぞれの用途・高度・ペイロードの重さごとに性能の異なるロケットが開発されている。これらの分類ごとにNASAの助成を受けた主な宇宙輸送企業をまとめると以下の表となる。新型ロケットの運搬方式は多様であり、特に最近では小型衛星や宇宙旅行を目的としたロケット開発が盛んである。（出所：各社HP）

図 NASA 助成を受けた宇宙輸送系企業

|                  | 運搬技術           | 小型衛星 | 宇宙旅行 | 科学研究 | ISS |
|------------------|----------------|------|------|------|-----|
| スペース X           | 再利用ロケット        | ✓    | ✓    |      |     |
| オービタル ATK        | 航空機<br>+小型ロケット |      |      | ✓    |     |
| ブルーオリジン          | 再利用ロケット        |      | ✓    | ✓    | ✓   |
| ボーイング            | 各種方式           |      |      |      | ✓   |
| パラゴン             |                |      |      |      | ✓   |
| ULA              | 再利用ロケット        |      |      |      | ✓   |
| バージン<br>ギャラクティック | 航空機<br>+小型ロケット | ✓    | ✓    | ✓    |     |
| エクスコア            | 再利用ロケット        |      | ✓    | ✓    |     |
| シエラネバダ           |                |      |      |      | ✓   |
| PD エアロスペース       | 再利用ロケット        |      | ✓    |      |     |

現状のロケットにおける課題として、研究開発コスト・製造コスト・打ち上げコストが莫大であることが挙げられる。また性能と市場ニーズのずれもあり、例えば H-II A/B ロケットは小型化するリモートセンシング衛星には大きすぎる一方で大型化する通信・放送衛星など商業静止衛星には小さすぎるという側面がある。

現状として、国家主導で作るロケットは高額であるため、安価に自由に使用する障壁が高い一方、民間主導で開発するロケットが次々と打ち上げに失敗・爆発しており、安全性が担保できていない課題がある。したがって今後のロケットにおいて重要なのが、信頼性を保ちながらいかにコスト削減できるか、という点になってくる。

これらの打開策として今注目されているのが

- ①使い捨て型からの脱却→再利用型にする必要性
- ②小型衛星に特化した打ち上げ手段を確立→空中発射システムの研究開発の二つである。

#### (1)空中発射システム

空中発射システム(Air Launch System Enabling Technology)は、「小型衛星専用」の低コストで即応性の高い打ち上げ手段として注目されている。

小型衛星専用の打ち上げ手段が必要になってきた背景として、衛星の小型、高機能、低コスト化の実現により、2000 年代から実用衛星としての低コスト小型高性能衛星（Nano、



Micro、Mini)の開発が本格的に開始された。小型衛星の需要が伸びていく一方で、小型衛星の打上げは大型衛星の相乗りやピギーバックに依存しており、打上げ時期や打上げ軌道の自由度がない。これが、機動性や実用衛星としての利用促進の大きな制約となっている。

空中発射システムの例として、アメリカは Horizontal Launch Study、Airborne Launch Assist Space Access、Stratolaunch System、日本では Air Launch System Enabling Technology (J-space systems と経済産業省) などがある。

空中発射システムでの小型衛星の投入方法

1. 輸送機の胴体内部にロケットを搭載
2. 射点となる公海上の高高度からロケットを機外へ投下
3. ロケットの姿勢安定を図りロケットに点火
4. 衛星を所定の軌道へ投入

## (2)再利用ロケット

再利用ロケット (RLV) は使い捨て型ロケット (ELV) と対比される。ELV では毎回の打ち上げごとに捨てるため機体の製造費が毎回かかるが、RLV は宇宙に繰り返し打ち上げることが可能である。飛行機のように減価償却が可能になり、低コストで信頼性の高い宇宙へのアクセスにつながる技術として着目されている。

日本での例として、CAMUI (カムイ) 型ハイブリッドロケット (北海道大学、北海道工業大学など) がある<sup>2</sup>。低価格、安全、小型で環境負荷が小さい小型ハイブリッドロケットを開発し、固液ハイブリッド燃焼により機体を再使用可能とし、従来の小型固体ロケットに比較して打上げ単価を 1/10 以下に引き下げるビジネスプランである。

用途としては 3 分間の微小重力実験 (1ton 級)、成層圏全域に渡るオゾン層観測および高層大気サンプリング (400kg 級)、超小型衛星および衛星部品の作動確認試験 (400kg 級、1ton 級) など従来は小型固体ロケットが使用されている市場を想定している。

この事業化計画では、

- |                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. 推力 400kg 級 CAMUI 型ロケット：年間 1 億円の成層圏観測ロケット市場を創出</li><li>2. 推力 1ton 級の CAMUI 型ロケット：分単位の微小重力実験用ロケット市場を創出</li></ol> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

することが期待されており、バイオ関連研究を中心に数年以内に年間 100 億円以上 (国内のみ、宇宙実験を含む) の市場が見込まれる微小重力実験市場の 10%確保を目指している。

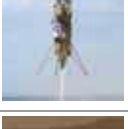
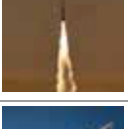
実用化に向けてクリアすべき課題として、基本技術は既に完成しているが、今後は大型化に伴う検証実験を実施する必要がある。燃焼室内径は、推力 400kg 級、1ton 級でそれぞれ 140mm、220mm であり、それぞれのサイズにおいて燃料ブロックの長さおよび個数を最適化する必要がある。

<sup>2</sup> HASTIC, HP <http://www.hastic.jp/about/default.htm>

### (3)米国の主な輸送ベンチャー概要

上述のような新輸送技術の開発については、米国の輸送ベンチャーが牽引役となっている。NASAによる宇宙技術開発の大幅な民間移管を受け、SpaceXのように官需を受注しつつ再利用ロケットの開発を進める企業が存在する一方、商業目的で各種助成金等を受けた上で開発を行うベンチャー企業が存在する。

図 米国の主な宇宙輸送ベンチャー(再利用ロケット)概要

| 企業名              | 代表的な機体                                                                              |               | 方式              | アプローチ                                      | 創業者の出身分野                  | 主な利用射場                    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| スペース X           |    | Grasshopper   | 垂直離陸<br>垂直着陸    | 安価な部品利用、官需の安定受注、製造ラインの徹底的な合理化              | ITベンチャー (Paypal)、ITソフトウェア | Spaceport America         |
| アルマジロ<br>エアロスペース |    | Hyperion      | 垂直離陸<br>垂直着陸    | 短期間での製造と実験サイクルを繰り返し、有人の垂直飛行ノウハウを集積         | ゲームプログラミング・ITソフトウェア       | Spaceport America         |
| ブルーオリジン          |   | New Shepard   | 垂直離陸            | ロケットから随時で有人飛行カプセルの分離が可能                    | ITベンチャー (Amazon)          | West Texas                |
| マステン<br>スペースシステム |  | Xaero         | 垂直離陸<br>垂直着陸    | 入手容易な安価部品を用い、製造コストと期間の圧縮。運用性、短期間製造、飛行実験が強み | ITソフトウェア                  | Mojave Air and Space Port |
| UP エアロスペース       |  | SpaceLoft     | 垂直離陸            | 小型の再利用ロケット(全長 6m)による安価な物資輸送に特化             | 航空宇宙エンジニアリング              | Spaceport America         |
| ヴァージン・ギャラクティック   |  | SpaceShip Two | 2 段式 (航空機+ロケット) | ジェット飛行機にロケットを搭載し、安価な有人飛行(6 人)が可能           | ロックミュージック・航空産業            | Spaceport America         |
| エクスコア            |  | Lynx          | 水平発射<br>水平着陸    | 航空機に近い水平発射による飛行、短期間に複数回運用可能                | 航空産業・ITソフトウェア             | Mojave Air and Space Port |

画像)各社 HP,

データ出所) 米国 FAA、[https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/111460.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/111460.pdf)

宇宙輸送ベンチャーの大きな特徴として、IT・ソフトウェアなどの異業種出身者によるベンチャー起業が多く見られる。AMAZON.com や Paypal 等の著名 IT ベンチャー創業者による起業に見られるように、シリコンバレーで経験を積んだ事業家が宇宙輸送ベンチャーの牽引役となっている。各社の事業アプローチの特徴として、従来の大型ロケットで使用されなかった安価な部品を用いたロケット開発・運用が行われており、製造工程やコスト、実験飛行までのタイムスパンの圧縮を達成している。

また、実験射場は近年新設された商業宇宙港の利用が多く、航空施設と射場が一体化された施設の利用が多く見られる。異業種出身者の非連続的イノベーションとそれを支える実験施設・射場の存在は、米国輸送ベンチャーの特徴の一つと言える。

## 2.3. 射場・地上設備

射場はロケット打ち上げの場を提供するインフラ施設である。世界の主要な射場は約 29 か所存在しており、その多くが政府機関によって設立・保有されている。位置的には赤道直下から真東に発射されたロケットは地球の自転遠心力をもっとも効率よく利用できる。そのため、射場の位置は低緯度が望まれ、出来れば赤道直下が最適である。一方、軍事用ロケットの利用可能性から射場の存在は安全保障上重要な役割を果たしており、緯度に関わらず世界各国に分布している。

射場は搬送、組み立て、実験設備を備えた複合施設として機能しており、ロケットの組立や実験施設を兼ね備えている。日本国内の射場 2 か所はいずれも JAXA によって所有・管理されており、実際の運用については委託を受けた民間企業が行っている。



図 種子島宇宙センターの施設概要

### 種子島宇宙センターの地上設備

- ❑ H-II ロケット用射点(2点)
- ❑ 移動発射台
- ❑ 大型ロケット組立棟
- ❑ 衛星組立棟
- ❑ 衛星フェアリング組立棟

#### (1)施設概要<sup>3</sup>

**フェアリング・組立施設：**衛星の打上げ前の最終的な組立や各種機能確認のために、衛星組立棟および衛星フェアリング組立棟を用意している。衛星フェアリング組立棟では衛星への推進薬の充填を行い、その後、衛星フェアリングへの収納が可能である。

**大型ロケット組立棟：**使用者の衛星を格納したフェアリングを、ロケットに搭載できる。この施設では衛星の搭載に先立ち、ロケットの第1段・第2段・SRB-Aなどの組立と、ロケットの点検・整備が可能である。ロケット組立棟には衛星を搭載したロケットを射点まで運ぶ可動式の発射台（移動発射台）が組み込まれており、その中に衛星の点検設備（GSE：Ground Support Equipment）を設置する部屋（与圧室）を提供する。

**モニタリング施設：**与圧室に設置したお客様の GSE や、射場内のネットワークを介して、ロケットに搭載された後の衛星コントロール、モニターを遠隔にて行うことができる。また同様に、射点に移動した後でも衛星のモニターが可能である。

#### (2)商業用宇宙港(スペースポート)

宇宙開発の民間開放の動きが広がっており、特にアメリカでは純粋な商業利用を目的とする宇宙港開港を目指す動きが活発化している。代表的な例として、アメリカ・ニューメキシコ州で世界発の商業宇宙港として「Space Port America」が建設されている。宇宙ベンチャ

<sup>3</sup>三菱重工業、<http://h2a.mhi.co.jp/service/line/index.html>

ー(ヴァージン等)と長期契約し宇宙商業活動拠点化を進めていると理解できる。

商業宇宙港の特徴として、従来のロケット射場(垂直打上)に加え、航空機用の滑走路が併設されている点があげられる。現在、米国はヴァージン・ギャラクティック社のように航空機に乗せて空中でロケットを発射するシステム(水平打上)の開発・運用が行われつつあり、単なる射場だけでなく、空港設備を備えている点で日本の射場とは大きく異なっている。民間主導の商業宇宙港では、将来的な航空と宇宙産業の融合に応える実験拠点としての機能を併せ持っている指摘できる。

表 Space Port America の設備内容<sup>4</sup>

|                                                                                            |                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Space Port America の概要                                                                     | 垂直打上及び水平打上の両方に対応した商業用宇宙港            |
| 施設の所有者                                                                                     | New Mexico Space Authority(州政府事業体)  |
| 設備概要<br> | ✓ 滑走路(3,000 メートル)                   |
|                                                                                            | ✓ 垂直発射台、発射レール                       |
|                                                                                            | ✓ 標高: 1,401 メートル                    |
|                                                                                            | ✓ 訓練用のメインターミナル、出発ラウンジ、ミッション管制、祝辞エリア |
|                                                                                            | ✓ 天候観測所                             |
|                                                                                            | ✓ ロケットモーター施設、コントロール・トレーラー           |
|                                                                                            | ✓ 管制指揮所、消火施設、メンテナンス施設               |
|                                                                                            | ✓ 燃料貯蔵施設                            |
|                                                                                            | ✓ 牽引車両の組立・統合用施設(予定)                 |

<sup>4</sup> FAA, [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/111460.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/111460.pdf)  
Space Port America, HP. <http://spaceportamerica.com/>

## 2.4. オペレーション

### (1)打上管制

打上管制とは、ロケット打上げまでの全体作業の進捗をつかさどる業務のことで、具体的には、ロケットシステムの健全性の確認、射座へのセット、発射データ設定、組み立て・点検・打上げ作業の監視等を射場の管制室で行う。

打上管制において、最近注目されるのは、イプシロンロケットにおけるモバイル管制システムである。イプシロンでは、ロケットと地上支援系の一部を智能化して点検作業を自律化し、ロケットの管制室を埋め尽くしてきた大量の管制装置や点検装置の機能を、搭載点検装置(ROSE)と地上の管制装置(LSC)に置き換えることに成功した。これまでのロケットを打上げる仕組みは重厚長大で、数十台の装置と 100 人規模の人手を要してきたが、一方、イプシロンではこれを一新し、パソコンたった 2 台からなる管制装置と 8 人による運用を可能にした。これにより、打ち上げに係るコスト・時間等が削減され、よりスマートな打上管制が実現される。

表 管制システムのスペック

|          | 従来      | イプシロン          |
|----------|---------|----------------|
| 管制用パソコン  | 数十台     | 2 台            |
| 人員       | 100 名規模 | 8 名(約 10 分の 1) |
| 射座設置→発射  | 42 日間   | 7 日間           |
| 打上げ直前の点検 | 9 時間前   | 3 時間前          |

表作成元)JAXA、[http://www.jaxa.jp/article/interview/vol58/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/interview/vol58/index_j.html)

### (2)安全監理業務

安全監理業務は、ロケット打上げ等において安全を確保するため、地上・飛行等さまざまな観点からその安全性を確認する業務である。「人工衛星等打上げ基準」に基づきロケット打ち上げごとに安全計画が策定され、この業務は一括して JAXA によって行われている。打上げに関わる国内法令については、火薬類取締法、消防法等様々な法令が存在し、それに対応する必要があるほか、JAXA 自身が定める多様な規程・基準及び要領についてもそれぞれ適用される。大きく分けて、地上安全と飛行安全の 2 つの観点から安全監理が行われる。

地上安全については、打上げ業務について、所要の安全施策を実施することにより、事故及び災害を未然に防止し、また万一事故等が発生した場合においても、人命、財産に対する被害を最小限にとどめ、公共安全を確保することが目的である。その範囲は、①射場における保安物の取扱い及び貯蔵の安全、②ロケット及びペイロードの整備、組立、カウントダウン、後処置作業の安全、③打上げ時の射場及びその周辺、海上警戒区域並びにこれらの上空の安全、④射場における保安及び防御対策、等が挙げられる。

飛行安全については、地上より打ち上げられたロケットの燃え殻、投棄物、故障した機体、もしくはその破片等が落下する際、落下点または落下途中において人命または財産に対し被害を与える可能性を最小限にとどめ、公共安全を確保することを目的としている。その実施範囲については、①設定されたロケットの飛行経路が適当であることを確認すること。②ロケットの打上げ時に飛行安全管制を実施すること。すなわち、ロケットが設定された飛行経路に沿って飛行しているか否かを判定し、その経路を外れて落下予測域が地表に危害を与えるおそれが生じた場合は、災害を最小限に抑えるための措置を講じること。ロケットの燃え殻、及び投棄物の落下予想区域に関連し、必要に応じて国内外に事前通報を行うこと、などがある



### 3. | 宇宙開発における社会的ハードル

本章では、新輸送システム及び宇宙開発の発達に影響を与えうる社会的要素・課題点を整理する。TAを行う上で技術的条件だけでなく社会的条件の整理を行う事で、技術・社会発展の関係に対してより包括的な視点を得る事を目的としている。

#### 3.1. 宇宙活動法

宇宙に関する法律に関しては、大きく分けると、国際宇宙法と国内宇宙法に分類される。国際宇宙法は、宇宙条約をはじめとする、国家が宇宙利用を行うに際して適用されるルールであり、特に多数国間条約については国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)等国連の場で議論され、批准に至る。一方の国内宇宙法は、一つの国家内の宇宙利用に関する法律であり、各国がそれぞれに制定・適用している。

日本の国内法において問題となるのが、宇宙での活動を包括的に規制する「宇宙活動法」が存在していないことである。日本における宇宙に関する法律には、宇宙開発利用に関する施策を推進するための「宇宙基本法」の他、日本の宇宙研究開発を担う独立行政法人である宇宙航空研究開発機構(JAXA)の目的・業務の範囲等に関する事項を定めた「国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構法(JAXA法)」が存在する一方、政府・民間が宇宙活動を行うに当たり、必要な規制を施すための包括的な法律は存在しない。特に、民間の宇宙活動については現状では統一的な規制は及ぼされておらず、「無関与」の状態にあるといえる。このような状況では、民間の宇宙活動において特に以下のような弊害が考えられる。

##### (1)民間参入の困難さ

上記のように、宇宙活動に対する包括的な規制は存在しないため、民間による打上げ活動を行うことは可能である一方で、打ち上げや衛星活用に際して、既存の法律による規制が及ぶ可能性がある。例えば、航空法、消防法、火薬取締法、電波法などが挙げられる。このような複雑な規制構造においては、民間企業もその構造を把握しづらく、行政的規制の予見性が低いため、非常に参入が難しい状況といえる。

##### (2)不十分な安全規制

現状では、上記の通り、航空法等の様々な法令により打上げ等の宇宙活動は規制されうるが、これらはもともと宇宙活動を想定しているとは考えにくく、安全性の確保のために十分とは言い難い。この状況では、民間参入に伴い様々な危険が生じうる可能性が高いため、それを事前に防止するような、宇宙活動に焦点を当てた許認可制度等の規制を設ける必要がある。

##### (3)損害賠償の補償

宇宙活動を行う際には、失敗等により生じる他者(特に第三者)の損害への賠償についても事前に準備しておく必要がある。しかし、宇宙活動により生じた損害賠償は甚大なものとなる可能性が高く、十分な補償制度なしには、民間としてもリスクをとりがたい。また、宇宙活動による他国への損害に対しては、その行為主体が国か民間かを問わず、国家に賠償責任が集中するため、両者の賠償の関係性を整理しておかなければ、民間企業は予期せぬ損害を被る恐れがある。

現在では、宇宙基本法の制定に伴い、数年前から、「宇宙活動法」についても議論が進められてきた。2010年には宇宙活動に関する法制検討ワーキンググループにより、「宇宙活



動に関する法制検討 WG 報告書(中間とりまとめ)がまとめられ、宇宙基本計画では「宇宙活動法案」を平成 28 年度に国会に提出することとされている。平成 27 年度においても、宇宙産業・科学技術基盤部会の宇宙法制小委員会において議論がすすめられている。

宇宙活動の法制化においては、多様な論点が想定されうるが、特に問題となるのが許認可制度と第三者損害賠償制度である。ロケット・衛星打ち上げの他、どのような活動を規制の対象とするのか、その基準はどのようにするのか、といった観点から、宇宙活動の安全性を確保しつつ、民間参入のための道を拓くため、許認可制度は重要となってくる。また、上記と同じく、宇宙活動の国家への責任集中の観点からも、宇宙活動の損害賠償制度を確立することで、賠償の際の国家と民間企業の求償・補償の関係性を明確にする必要がある。

他国の宇宙活動に関する国内法制度については、特に自国で打ち上げを行う国家は十分な法整備が行われている(アメリカ、ロシア、フランス、中国など)。それぞれ、許認可制度及び第三者損害賠償については独自の規定があり、特に、第三者損害賠償に関しては国による補償及び補償額上限が定められる等、宇宙活動特有の損害賠償に対応して国家が補償することで、民間の宇宙活動参入の障壁が低められている。これと比較しても、日本において民間が宇宙活動事業に参入することは非常に困難であるといえる。

上記の通り、平成 28 年度には「宇宙活動法案」の提出が予定されており、近い将来には法規制に関する障壁は低くなるといえる。しかし、法案の内容については現在も協議中であり、民間参入の自由度は法の内容いかんであるので、今後の動向には注目する必要がある。

## 3.2. ベンチャー支援

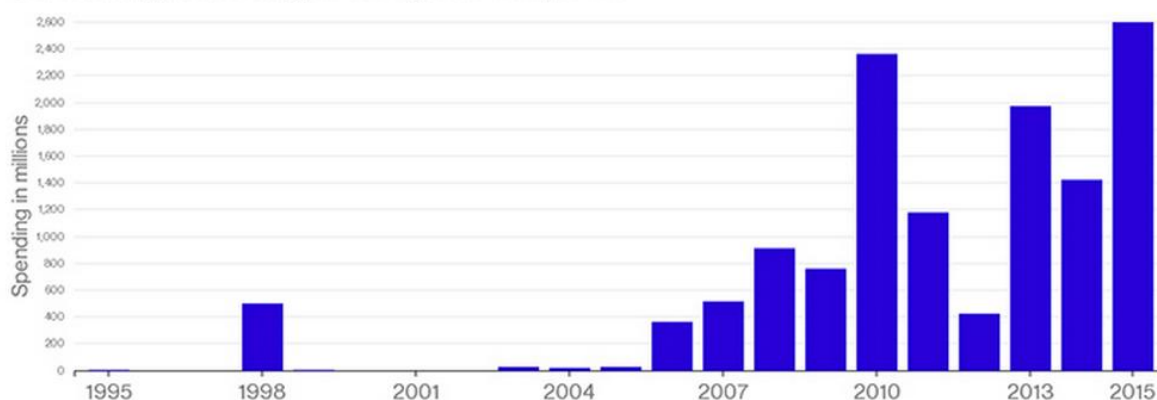
### (1)米国の宇宙ベンチャー支援動向

民間主導の宇宙開発を促進する動きとして、宇宙ベンチャー企業への投資活動があげられる。米国の新宇宙技術ベンチャーへの投資額は 2015 年に 2,600 億円規模となっており、同国での活発な投資環境が伺える。

図 新宇宙企業 100 社への投資額推移

#### Investing in Space

Fundraising for 100 largest closely held companies



SOURCE: NewSpace Global

1995-2002 annual totals were \$2.5 million or less except 1998. 2015 includes projected funding.

Bloomberg

出所) NewSpace Global、Bloomberg

<http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-02-05/galactic-gold-rush-private-spending-on-space-is-headed-for-a-new-record>

宇宙ベンチャー投資については既に専門的な投資を行うベンチャーキャピタルが存在する。シリコンバレーの投資企業である Khosla Ventures は超小型衛星ベンチャーの米 Skybox Imaging に投資しており、Skybox 社は 2014 年に Google に 5 億ドルで買収されている。このほかにも小型衛星・ペイロード特化ロケット製造企業の米 Rocket Lab に投資を行っている。輸送ベンチャーへの投資目的として同社の Khosla 氏は、「打ち上げ機器のコストダウンによって、宇宙へのアクセスが拡大する。技術イノベーションにより宇宙産業の変革が起きる」としている<sup>5</sup>。

図 著名な宇宙ベンチャーキャピタルによる投資動向<sup>6</sup>

|         | Space Angels Network                                                                                                                                                         | Khosla Ventures                                                                                   | DFJ Ventures                                                                                    | Founder's fund                                                                                                         |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 設立経緯・特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>エンジェル投資家と起業家の橋渡しをするネットワーク</li> <li>シード、アーリーステージ中心</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>米 Sun Microsystems の創業者であるビノッド・コースラ氏が 2004 年に創設</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1985 年創設のシリコンバレーの VC</li> <li>アーリー、グロースステージ中心</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>元 PayPal 創業者のピーター・シール氏が 2005 年創設</li> <li>科学的、技術的に難易度の高い問題解決する起業家に投資</li> </ul> |
| 投資分野    | <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙分野のみ</li> </ul>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>ヘルスケア、エンタープライズ、金融、農業、エネルギー、航空宇宙、ロボットなど 150 社以上</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>IT、ソフトウェア、エンタープライズ、エネルギー、航空宇宙など 400 社以上</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>バイオ、ヘルスケア、エネルギー、ロボット、ソフトウェア、人工知能、航空宇宙など</li> </ul>                              |
| 宇宙関連投資  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Planetary Resources</li> <li>Deep space industries</li> <li>Firefly Space Systems</li> <li>Golden Spike</li> <li>Nanoracks</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Skybox imaging</li> <li>Rocket labs</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>SpaceX</li> <li>Planet labs</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>SpaceX</li> <li>Moon Express</li> <li>Planet Labs</li> </ul>                    |

米国での宇宙開発投資が旺盛な背景として、AT カーニー社の石田真康氏は 1980 年代からの法整備や NASA による地球低軌道を中心とした商業化政策の推進、起業家によるリスクテイクとベンチャー創業、IT やロボティクスなどとの技術融合、宇宙ベンチャー投資に関する情報整備(NewSpace Global 等の情報サイト)等を指摘している<sup>7</sup>。

現在のスペースベンチャーの類型として以下図のとおりサービス内容で 3 つに分類できる。宇宙輸送ベンチャーは他の宇宙ベンチャーと比較して、開発費用が多額であり事業モデルが官需に依存しがちである点が特徴的である。宇宙輸送企業の育成には、継続的な官需創出と政府による支援をベースに海外も含めた民需の獲得が必要となる。一方、探査系や小型衛星等のサービス系ベンチャーでは、基本的には民需やクラウドファンディングによる資金集めが機能している。

<sup>5</sup> Rocket Lab Ltd, 2014 年 7 月 29 日プレスリリース <http://www.rocketlabusa.com/rocket-lab-usa-poised-to-change-the-space-industry/>

<sup>6</sup> IT Media, <http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1503/21/news007.html>

<sup>7</sup> 同上。

表 スペースベンチャーの類型化

|          | 輸送                       | 探査                                     | サービス                                                                   |
|----------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 事業モデル    | 官需による基幹輸送収益<br>民需の商業輸送収益 | 宇宙エネルギー資源回収<br>による収益化                  | 幅広に民需サービスを提供<br>し収益                                                    |
| 事業資金源    | 国の支援や委託でスタート、補助金必須。官需で持続 | ・個人投資家やクラウドファンディングによる資金あつめ<br>・NASAの支援 | 民間資本主体で発達をとげている                                                        |
| 初期投資     | 大                        | 中                                      | 小                                                                      |
| 需要主体     | 官需                       | 民需・官需                                  | 民需                                                                     |
| 国による振興政策 | ・補助金による産業保護<br>・継続的な官需創出 | ・チャレンジファンド等                            | ・国は余計な規制を作らず民間投資にまかせるべき<br>・異業種マッチングによるイノベーション創出(英スペース・アプリケーション・カタパルト) |
| 主なプレイヤー  | SpaceX、ヴァージン・ギラクティック等    | Deep Space,<br>プラネタリー・リソース             | Axel Space 等多数                                                         |

図作成元 三菱総合研究所インタビュー

## (2)日本の宇宙ベンチャー支援状況と課題点

日本における宇宙ベンチャー投資は欧米と比較して現段階では進んでいるといえない<sup>8</sup>。注目を浴びている例として、Google Lunar XPRIZE で中間賞を受賞した株式会社 ispace の HAKUTO プロジェクトがあげられる。Google Lunar XPRIZE は民間の月探査を目標としており、ispace は月面を走行するローバーの開発を手掛けている。この HAKUTO プロジェクトに日本の大手宇宙関連企業の IHI 社もスポンサーシップ契約を結ぶなどしており、大企業による出資支援も増えつつある。また、元 IT 企業経営者の堀江貴文氏が積極的に関与しているインタステラテクノロジズ社では超小型衛星を打ち上げるための小型ロケット開発を目指しており、2015 年に初号機の成功を目標としている。

これまでの検討・インタビュー結果から、スペース・ベンチャー創出のパターンとして、以下の 3 パターンが挙げられる。

### 1. 大企業出資によるベンチャー育成

—大企業の支援・共同開発による新技術ベンチャーの育成(エアバス、IHI)

### 2. 大学・JAXA によるインキュベーション

—大学の研究室が基礎となったベンチャー設立や JAXA によるインキュベーション事業によるベンチャー育成(アクセルスペース社等)

### 3. 異業種によるベンチャー企業

—異業種出身者や投資家によるベンチャー育成(米国系宇宙ベンチャー)

<sup>8</sup> ドリームインキュベータ、<http://www.dreamincubator.co.jp/technology/23038.html>

## スペース・ベンチャー創出のパターン

|       | ① 大企業出資によるベンチャー育成             | ② 大学・JAXA等によるインキュベーション                | ③ 異業種によるベンチャー起業                 |
|-------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 国際状況  | ・欧州系(エアバス等)は大企業出資で新企業を支援      | ・アクセルスペース等、欧米だけでなく日韓でも事例              | ・スペースX等、欧米ベンチャーは異業種出身者による非連続的發展 |
| 日本の状況 | ・IHIはチャレンジングな経営気風、新事業投資も行っている | ・JAXAも宇宙インキュベーション取り組んでいるが、目立った成果は出てない | ・通信、気候サービス事業者による事業例があるが、限られている  |

日本のベンチャー支援の課題点としては、以下のとおり指摘できる。

### ・ JAXA によるインキュベーション 出所)JAXA インタビュー

JAXA 法改正により JAXA 業務の一つに民間業務分野の支援が加わっており、「オープンラボ」等でインキュベーション事業を開始している。一方で、ベンチャー支援についてはいくつかの課題点が存在しており、必ずしも劇的な影響を生んでいるわけではない。

#### ①リソース(マンパワー)の制限

- ーリソースが限られており、ベンチャー支援にまで手を回せていない現状がある。
- ー他業務を行いながらベンチャー支援を行う事は困難な状況である。
- ー業務分野の積極推進が定められたが、政府から大きな追加支援があるわけではない。

#### ②マッチングの問題

- ー支援対象の民間企業の中でも、宇宙開発への積極性については温度差がある。
- ーJAXA の持つ専門性やノウハウとベンチャー企業のニーズ・マッチングに困難を感じている。

#### ③政府機関によるベンチャーへの技術移転の困難さ

- ーそもそも JAXA は昔から製造設備を持っておらず、試験・製造・実験等は民間大企業が担ってきた。民間が全く知らない技術というわけではない。
- ー大型ロケットについては、ベンチャーへの技術移転は難しい。これまで民間企業が取得した特許等が存在し、技術の切り分けが難しいため。
- ー特許等を保有する先行企業がベンチャーに技術提供するかというと難しいと予想される。

### ・ 国内異業種からの宇宙ベンチャー組成の少なさ 出所)三菱総合研究所インタビュー

米国では異業種出身者や出資者による宇宙ベンチャー組成が活発に行われており、シリコンバレー出身者によるスペース X 等の出資・設立があげられる。

- ー部品の使い方やサプライチェーンの改良等、従来の大型ロケット開発とは異なる構想でロケットの開発が行われている。

—日本では堀江貴史氏によるインタステラ社の関与等、それに類する例はあるものの、活発な参入や支援が行われているとはいえない。

・日本のベンチャー投資への姿勢 出所)三菱総合研究所インタビュー

—米国と比較すると、日本はリスクを回避する文化が存在するため、まだ新しい宇宙分野の開発には時間がかかる。投資促進のためにはマインドを変えていく必要がある。

—海外を含めた VC を惹きつけ事が重要になる。日本では投資もあるだろうが、確実と思う分野のみ投資する。国内に加えて、海外投資家をいかに惹きつけるかが重要になってくる。

—日本は銀行による投資がメインだが、未だ宇宙ベンチャー投資に乗り出していない。一方、みずほ銀行を含めベンチャー向け投資に取り組み始めた企業も存在。

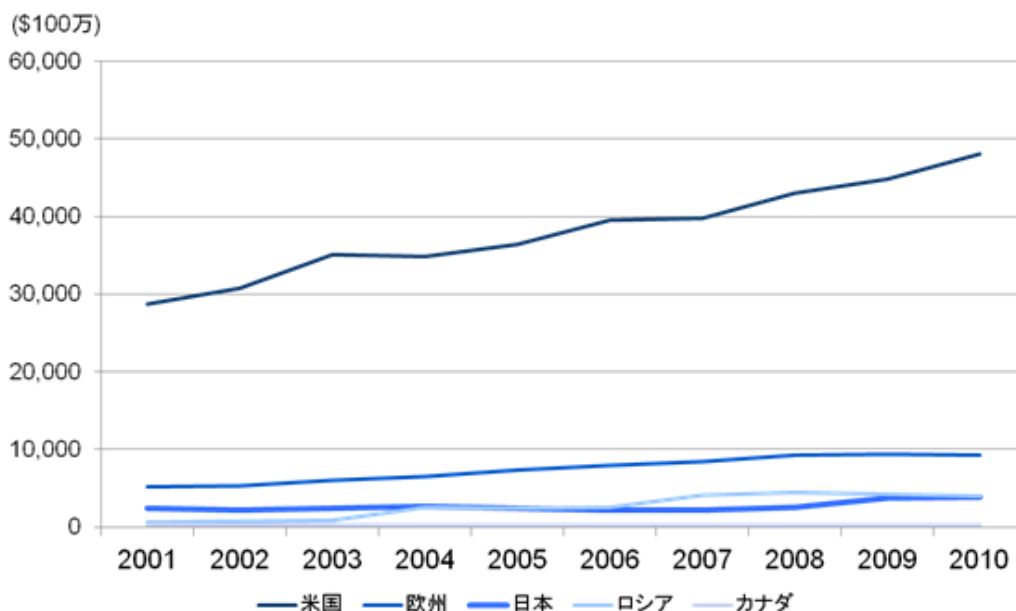
### 3.3. 宇宙産業規模の違い

各国によって宇宙産業・政策規模は大きく異なっている。世界の中でも、特に米国政府の宇宙関連支出は際立って大きい。日本の宇宙予算は世界で3位前後(国別では世界2位)となっており、世界各国の中でも一定の存在感を示している。一方、米国の予算規模と比較すると12分の1ほどになっている。

米国では、NASA 輸送ロケットの積極的な民間移管を行うなどしており、莫大な官需の存在が宇宙航空産業やベンチャー企業の発達の一因となっている。日本においても JAXA による民間移管が進められているものの、単純な米国型のベンチャー育成が通用し辛い状況と言える。

特に、宇宙輸送ではロケット開発に多大な開発投資が必要であり、基本的には官需の継続的な獲得や政府からの支援が必須となっている。圧倒的な予算を持つ米国や各国の統合的な宇宙機関を持つ欧州と、日本の状況は異なっている。

図 先進国の宇宙開発予算の推移





出所) ESPI

宇宙開発に関する助成金について、官民を問わない宇宙関連技術への投資・助成・チャレンジファンドが米国を中心に多数形成されている。こうした助成金の目的と主体は多様であり、従来の NASA からの助成金に加え、軍事利用を見据えた国防総省からの助成、航空産業や IT 企業による技術投資、連邦航空局による宇宙港形成支援まで幅広く存在している。

図 米国の主な再利用ロケット・宇宙港助成(抜粋<sup>9</sup>)

| プログラム名                             | 助成主                 | 目標                        | 年           | 助成額(\$)   |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------|-----------|
| アンサリ X プライズ(後に GoogleX プライズ)       | X プライズ財団(民間)        | 高度 100km 以上で 3 人の有人飛行     | 2004        | \$1,000 万 |
| NASA・ノースロップグラマン・ルナランダーチャレンジ II     | ノースロップグラマン(民間)、NASA | 特定の高度で 3 分間の飛行・着陸         | 2009        | \$150 万   |
| フライト・アポチュニティ・プログラム                 | NASA                | 再利用ロケットで一定のペイロードを達成       | 2011        | \$1,000 万 |
| DARPA SBIR                         | DARPA (国防総省)        | 宇宙航空向けワイヤレス通信とハードウェア技術の評価 | 2009        | \$9.7 万   |
| 商業宇宙輸送・マッチング助成 (Spaceport America) | FAA (連邦航空局)         | 商業宇宙港の開港に向け、連邦が州政府に向けて助成  | 2010 - 2011 | \$29.2 万  |

サブオービタル向け再利用ロケットについて、財団によるアンサリ X プライズ、NASA・ノースロップグラマン社等の賞金が有名であり、民間主体であるにも関わらず大きな助成額規模となっている。マステン社やエクスコア社など、上記の助成金を複数獲得し成長につなげた企業も存在している。また、米国連邦航空局(FAA)によるマッチング助成を受けて開港された Spaceport America や Cape Canaveral 等の宇宙港では、上記のベンチャー企業が長期契約や各種実験を行うに至っており、新技術開発・ベンチャー支援・インフラ整備の間でも関連が見られる。

<sup>9</sup> FAA, [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/111460.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/111460.pdf)

### 3.4. 射場の課題点

日本における射場は現在、種子島宇宙センター及び内之浦宇宙空間観測所の2か所存在している。種子島宇宙センターの主な課題点として、以下のとおり指摘されている<sup>10</sup>。

#### (1)種子島宇宙センターの課題

##### 1. 地理的課題

- ・ 高緯度に位置し静止衛星打上に不利
- ・ 南打ち上げは飛行安全上、迂回経路を取る必要性

##### 2. 施設の老朽化

##### 3. 地形的、位置的課題

- ・ 大型ロケット基地として狭隘  
集落の3kmに近接、爆発、落下事故に対する危険性
- ・ 夏季の風向（海風）
- ・ アクセス性（大型空港設備不在など）

##### 4. 政治的課題

- ・ 事前の漁業交渉（打上時期、種別）と漁業補償(年間12億円)
- ・ “平和の島”イメージの定着
- ・ セキュリティ対応（安全保障、機密保持、テロ対策など）
- ・ バックアップ・システムの欠如

#### (2)射場の見直し

宇宙基本計画では射場の在り方について、安全保障や宇宙ビジネス等の観点から検討が予定されている。射場の見直しに関するJAXAへのインタビュー結果は以下のとおりである。

・ 射場見直しに関する現在のアジェンダは、内之浦宇宙空間観測所の施設更新や安全保障の観点からの整理などが行われている。これらについて、JAXAは技術面からレビューを行う立場にある。

・ 新しい射場の建設については今のところ大きな議論が無い状況だが、バックアップ施設を増設・整備していく事は将来的にありうる。新しい輸送システム(再利用ロケット等)が確立するなど大きな転換が起きる場合には新射場の建設も予想できる。

#### (3)米国・州政府による事業体の形成

米国では、各州政府が主体となって宇宙港の開設を目指している。従来は米連邦政府や米空軍が施設の開設・運用等を行ってきたが、宇宙開発の民間主導が進む中で純商業的な目的のために各州政府が開港を準備している。こうした取組は、ロケットのみならず宇宙輸送システム全体の民間化の流れを示すものとして理解できる。

設備は日本の射場とは大きく異なり、長い滑走路を備えた航空場を併設している場合がある。飛行場間の弾道飛行や有人宇宙飛行を前提としたものであり、また航空機からの空中打上による宇宙輸送も可能となっている。

<sup>10</sup>東京財団、<http://www.tkfd.or.jp/files/doc/2012sakamoto2.pdf>

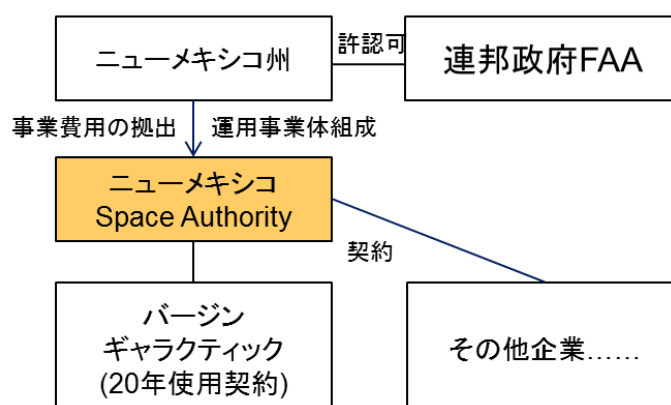
宇宙港の開港にあたっては、連邦航空局による安全性や環境基準等の審査を経て許認可を受ける必要がある。2011 年時点で全米 8 か所が連邦航空局の認可を受けている。

図 連邦航空局(FAA)の認可を受けた各州宇宙港<sup>11</sup>

| 設立州     | 宇宙港                             | 事業体                                           | FAA<br>認可年 | ステータス           |
|---------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------|-----------------|
| ニューメキシコ | Space Port America              | New Mexico Spaceport Authority                | 2008       | 運営中             |
| カリフォルニア | Spaceport Systems International | California Space Authority                    | 1996       | 停止中             |
|         | Mojave Air and Space Port       | East Kern Airport District                    | 2004       | 運営中             |
| フロリダ    | Cecil Field Spaceport           | Jacksonville Aviation Authority               | 2010       | 準備中<br>(環境団体反対) |
|         | Cape Canaveral Spaceport        | Space Florida                                 | 1999       | 運営中             |
| オクラホマ   | Oklahoma Air and Space Port     | Oklahoma Space Industry Development Authority | 2006       | 準備中             |
| アラスカ    | Kodiak Launch Complex           | Alaska Aerospace Development Corporation      | 1998       | 運営中             |
| バージニア   | Mid-Atlantic Regional Spaceport | Virginia Commercial Space Flight Authority    | 1997       | 運営中             |

州政府による宇宙港の事業スキームを簡易的に表すと以下のとおりである。まず、州政府が安全性や環境基準、航空認証を担当する連邦航空局から認可を受ける。SpacePort America の事例では、州政府が自身の予算を拠出し、半官半民の事業体である「New Mexico Space Authority」を組成する。同組織が空港施設の建設を行う他、利用企業との契約や施設自体の所有権を持つ。利用企業は使用料を同組織に支払い、新輸送システムの実験や空港としての利用等を行う。

図 SpacePort America の事業スキーム概要



<sup>11</sup>米国 FAA、 [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/111460.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/111460.pdf)

宇宙港開港のメリットと目的について、各州政府は様々な目標を掲げている。

✓ **宇宙産業クラスターの形成**

フロリダ州やカリフォルニア州では、宇宙港の開港を基点にした宇宙産業クラスターの形成及び州産業振興を目標としている。宇宙港は実験や組み立てを含んだ複合施設であり、地域関連産業の育成に影響を与えられられる。

✓ **空き空港の再利用事業**

オクラホマ州のように、空軍が使用していた空港の商業再利用を目的とする宇宙港が存在する。利用をもてあましていた地域空港の再開発事業として宇宙港の開設が行われうる。

✓ **地元公共事業**

地元へ直接の雇用効果のある公共事業である。

✓ **観光収入**

宇宙港としての観光地化や地域ブランドの形成につながる。フロリダ州にはケネディ・スペース・センターが立地する等しており、宇宙開発に積極的な州としてのイメージ・ブランドを形成している。

現在まで設立が目指されてきた宇宙港について課題点が多く存在している。

✓ **環境影響への懸念**

フロリダ州は宇宙港の開港に積極的であるが、環境団体の反対によって用地選定を変更する事となった。宇宙港の開港にあたっては連邦航空局に対して環境影響評価書を提出する必要がある、また環境団体の間で懸念を生じさせている。

✓ **企業との契約・誘致失敗**

カリフォルニア州は宇宙港開港に積極的に取り組んでいるが、商業利用に関して企業との契約が思うように進んでいない現状がある。低コストでの宇宙有人飛行や小型衛星運搬については、事業として立ち上げが行われたばかりであり、未だにベンチャー企業が主体となっている。各宇宙港は未だに打ち上げ実験の利用が多く、将来的な事業性確保の予測が困難である。

✓ **安全性と地形の違い**

前提として、米国の宇宙港は広大な敷地を利用でき、ニューメキシコ州のように周囲が砂漠である利点を活かす事ができる。住民密集度が希薄な地域であり、日本等と比較して住民の安全性確保が比較的容易である。

## 4. | シナリオによる整理

本 TA では、新輸送技術の発達と影響を明確化するため、シナリオ作成による社会影響の分類を行った。いくつかの条件に基づいたシナリオを作成する事で、将来社会の環境と技術の影響をより際立たせる事が可能になる。作成にあたっては、上述の宇宙開発に対する課題点に加え、米国連邦航空局の調査、宇宙基本計画工程表及び各政府機関、ベンチャー団体の構想等を考慮した。

図 本 TA のシナリオ分岐条件

|         |      | 新規参入の動向                 |                                    |
|---------|------|-------------------------|------------------------------------|
|         |      | 新規参入が「進む」               | 新規参入が「進まない」                        |
| 官民需要の動向 | 民需中心 | ①商業主義シナリオ<br>・新規参入増×民需増 | ②官民連携シナリオ<br>・新規参入非増(大企業)<br>×民需増  |
|         | 官需中心 |                         | ③JAXAシナリオ<br>・新規参入非増(大企業)<br>×民需非増 |

本 TA では、将来の宇宙輸送システムの発展に強い影響を与える要素として、「宇宙開発に新規参入する事業者の動向」及び「輸送対象である宇宙関連需要の官需民需の動向」の 2 軸を設定した。新規参入の増加については、IT 産業等の異業種からの参入も含めた新宇宙輸送ベンチャーや既存大企業によるベンチャー企業育成を想定している。また、官民需要の動向としては、有人飛行や小型衛星ビジネス、宇宙インターネットといった民間主体の宇宙開発による宇宙輸送の民需増を想定した。

新しい宇宙輸送技術の発達要因として、政府機関及び少数企業に加え新規ベンチャー企業の参入は極めて重要である。異業種も含めた宇宙開発におけるベンチャー企業の参入により、スペース X 社の事例のような非連続的な宇宙輸送手段の開発が期待できる。また、従来通りの官需に加え、民需の増加は新たな技術開発を促進する<sup>12</sup>と考えられる。

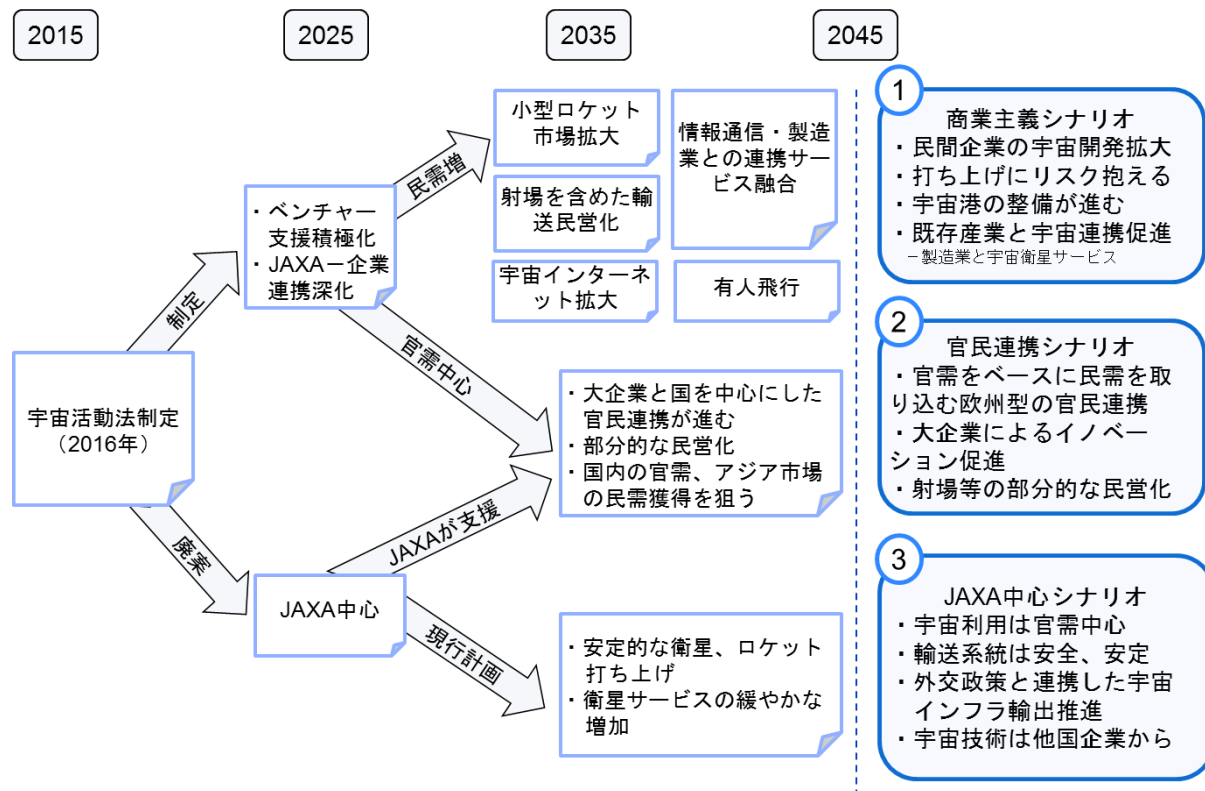
本 TA は米国連邦航空局の調査(後述)を参考にしつつ、再利用ロケットを始めとする新輸送システムにつき、各市場全体での「宇宙開発に新規参入する事業者の動向」及び「輸送対象である宇宙関連需要の官需民需の動向」の 2 軸に基づき整理を行う。日本において 30 年後の 2045 年頃までに想定すべきシナリオとして以下の 3 つを作成した。

1. 商業主義シナリオ (新規参入増×民需増)
2. 官民連携シナリオ (新規参入非増×民需増)
3. JAXA シナリオ (新規参入非増×民需非増)

<sup>12</sup>日本宇宙工業会、[http://www.japanaerospace.jp/files/jp/JIMTOF2014\\_2014.11.3.pdf](http://www.japanaerospace.jp/files/jp/JIMTOF2014_2014.11.3.pdf)



図 各シナリオの分岐フロー図



具体的なシナリオを作成するにあたり、上図のような分岐フローを作成した。まず、宇宙開発に関する官民の責任分担の明確化を目指す宇宙活動法が注目される。宇宙活動法及び民間支援法規の確立により、日本の民間企業による宇宙開発の基盤が設定されると考えられる。次に、ベンチャー支援やJAXAによる大幅な民間移管の進行等による積極的な民営化措置が注目されるかどうか指摘できる。最後に、宇宙開発の民需・官需の動向が注目できる。現行のような官需中心の宇宙開発では民間主体による大幅な宇宙開発は想定し辛く、新輸送技術の発達やそれが社会に及ぼす影響も限定的になると考えられる。

## 4.1 各シナリオの説明

### 1. 商業主義シナリオ (新規参入増×民需増)

異業種やベンチャーによる参入が続き、同時に宇宙開発に関する民需も増加していく。技術開発や輸送システムについて劇的且つ積極的な民間移管や企業支援が行われる。輸送システム全体の自由化環境により、宇宙通信や製造業、都市計画等の分野において多様且つ大小様々な宇宙関連サービスやビジネスモデルの展開がすすむ。一方、輸送や宇宙インフラについて脆弱性やリスクが拡大する。

### 2. 官民連携シナリオ (新規参入非増×民需増)

ベンチャー等による新規参入は小規模且つ低潮のままだが、海外市場も含めた宇宙開発の民需は増加していく。こうした環境では、大企業と政府を中心にした官民連携による宇宙開発が進んでいく。資本力のある大企業は新技術の開発やベンチャー支援を行う事で、新たな技術・サービスを獲得し社会に影響を与える。輸送システムについても部分的な民営化と支援が行われる。

### 3. JAXA シナリオ (新規参入非増×民需非増)

新規参入は行われず、海外も含めた民需は増加せず現状のまま推移する。宇宙技術開発及び利用は引き続き政府を中心として行われ、宇宙基本計画に基づく開発が確実に達成されていく。安定かつ安全な宇宙開発及び利用が確保され、外交政策と連携した宇宙インフラ輸出等が進んでいく。

図 シナリオ毎の宇宙輸送システムに係る官民分担

|            | 商業主義シナリオ | 官民連携シナリオ | JAXAシナリオ |
|------------|----------|----------|----------|
| 基幹ロケット開発   | 半官半民     | 政府(一部民間) | 政府(一部民間) |
| 射場建設・運営    | 半官半民     | 半官半民     | 政府       |
| 再利用・小型ロケット | 民間       | 民間       | 政府       |
| オペレーション    | 民間       | 民間       | 民間       |

上図は、本 TA のシナリオ毎に見た各技術分野の官民分担の在り方である。JAXA シナリオではロケット開発から射場の運営まで政府主導で行われる一方、商業主義シナリオにおいては宇宙輸送システムのほとんどを民間企業が主導する。商業用射場・宇宙港から小型・再利用ロケットまでの官民分担が変化する事で、ビジネスモデルの展開可能性が高まり、宇宙輸送システムの技術発展がもたらす影響も変化していく。

図 シナリオ毎の各技術発展分布

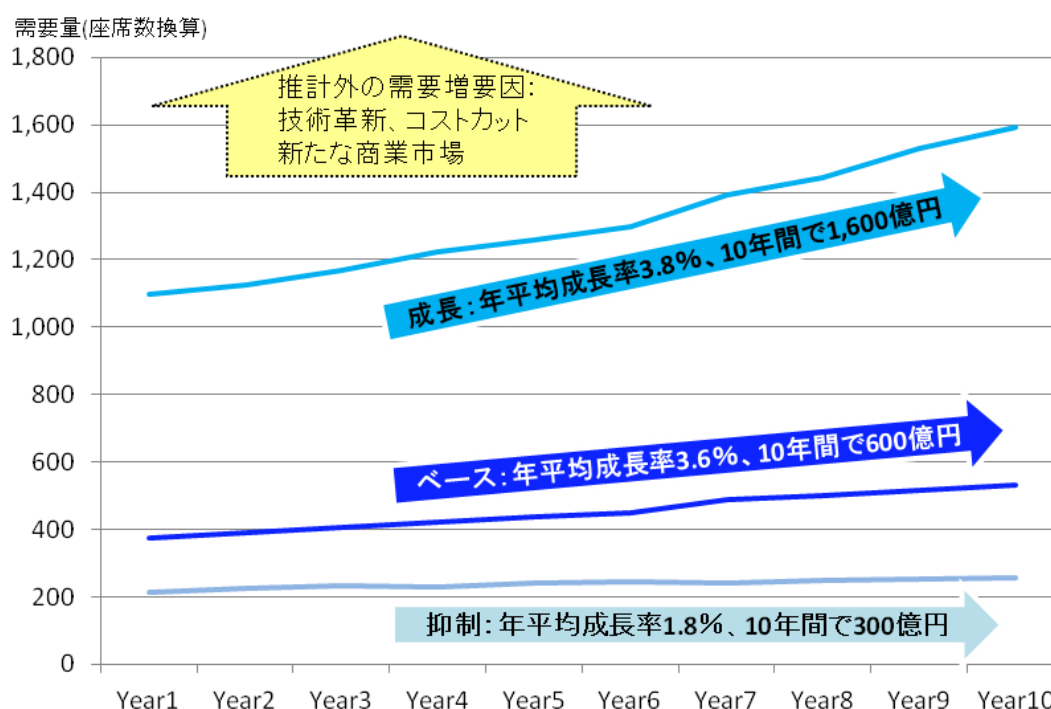
|             | 商業主義シナリオ<br>(ベンチャー主導)                                                              | 官民連携シナリオ<br>(大企業主導)                                                  | JAXA シナリオ<br>(政府主導)                                                     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 打ち上げ        | ・ 空中発射、再利用ロケット(航空機との融合)                                                            | ・ 基幹ロケットに加え、大企業による小型ロケット分野への参入                                       | ・ 基幹ロケット(イプシロン、新型固体)<br>・ 空中発射方式の実証                                     |
| 射場(オペレーション) | ・ 半官半民の「宇宙港」が複数建設                                                                  | ・ 部分的な民営化、新宇宙港建設                                                     | ・ 内之浦と種子島                                                               |
| 小型衛星        | ・ 宇宙インターネット<br>・ 通信サービス<br>・ スマート<br>アグリカルチャー<br>・ 防災サービス<br>・ IoT、製造業融合(自動運転 ITS) | ・ リモートセンシング衛星等の戦略分野に特化した技術開発<br>・ 特に、アジア市場の宇宙インフラ獲得に向けた「パッケージインフラ」輸出 | ・ 有償・無償の相乗り打上(政府ミッションに合わせて打上、機会に限られる。民間商業打ち上げには限界)<br>・ 一部の注力分野で実証実験が進む |
| 全体          | 小型衛星サービス等多様なベンチャーが生まれ、製造業等の他分野との融合サービスが生まれる                                        | 大企業からのスピノフ・ベンチャーが誕生、国外の民需獲得に向けて官民連携で売り込みをかけている                       | 政府による注力分野が確実に発達、ODA 等とも組み合わせた宇宙インフラ輸出                                   |

## 参考) 米国連邦航空局(FAA)調査概要

本 TA は 30 年ほどの中長期シナリオを想定しており、市場規模予測を行っていないため、参考として下図のとおり米国連邦航空局が行った再利用ロケット市場の需要調査を掲載する<sup>13</sup>。同調査では予測期間を 10 年間とおき、再利用ロケットの運用が見込まれる 8 つの市場(有人飛行、衛星輸送、科学調査、技術実証、メディア・PR 活動、教育、リモートセンシング、高速輸送)の需要量について、3 つの予測シナリオを基に推計している。

1. ベースシナリオ：現在の市場・規制・経済環境のまま推移する
2. 成長シナリオ：商業需要が大幅に増加し、プレイヤーの新規参入が進む
3. 抑制シナリオ：経済環境の悪化等で関連支出が大幅減少する

図 再利用ロケットの 10 年間需要予測(市場については 1 ドル=100 円換算)



同調査はベースシナリオで、再利用ロケットの需要規模が 10 年間合計で 600 億円程度になると推計している(毎日 1 回以上の飛行が行われる状況)。成長シナリオでは、現行の技術実証や市場形成が成功した場合を想定しており、1 日に複数回の飛行が行われ 10 年間で 1,600 億円規模に成長すると予測している。抑制シナリオでは、経済悪化や何らかのイベントで需要が大幅に減少するケースを想定しており、10 年間で 300 億円の需要規模になるとしている。このほかに需要に影響を与える要因として、大幅な技術革新やコストカット、推計外の新たな市場創出が挙げられる。

<sup>13</sup>FAA, [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/media/Suborbital\\_Reusable\\_Vehicles\\_Report\\_Full.pdf](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/Suborbital_Reusable_Vehicles_Report_Full.pdf)

## 5. | 社会影響

本章では新たな宇宙輸送技術の発達が社会に与える影響について、①社会生活、②経済産業、③国際政治、④技術開発、の4項目から整理を行う。

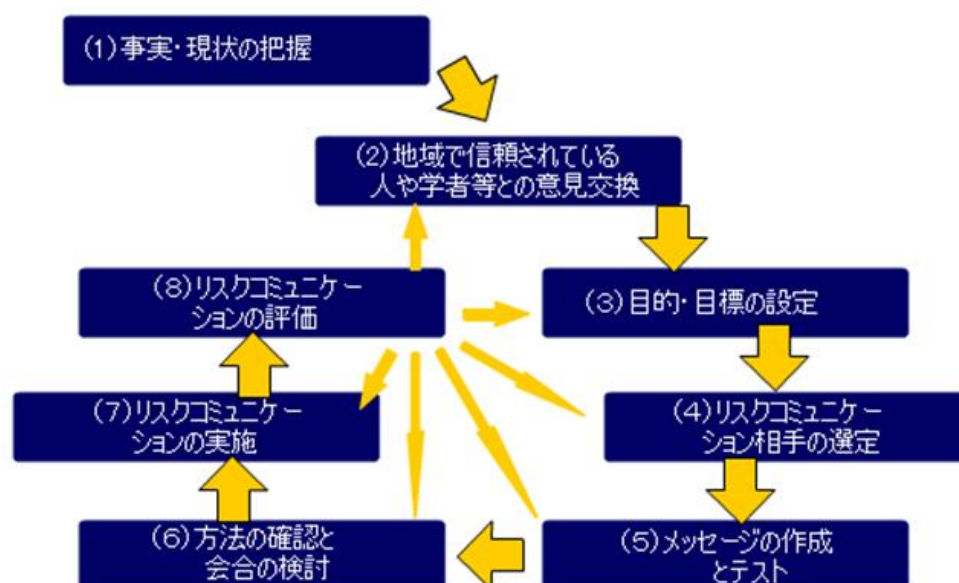
### 5.1 社会生活

#### (1) リスクコミュニケーション

本項では宇宙輸送技術の発達とそれによって新たに生じる社会生活上の安全リスクをリスクコミュニケーションの面から考える。

ステークホルダー：国民、地方自治体、宇宙活動主体(JAXA、民間企業)

※リスクコミュニケーションとは



上図は経済産業省が掲げるリスクコミュニケーションのイメージである。

リスクとは一般に危険性の深度と確率を含む概念であるが、このリスクをいかに扱うかが今日の技術運用を実質的な面で左右している。このリスクを扱う理想的なモデルとして現在ではリスクコミュニケーションの必要性が謳われている。具体的には、ある事業で生じるリスクに関して、このリスクに関して利害関係者、市民社会間で正しいリスクの把握に向けた努力、話し合いによるセーフティーゴールの設定（或は不認可）、双方向からの積極的な情報交換を行う。特に情報交換の透明性や双方向性が重要であり、これにはリスク管理に対する市民からの信頼性が求められる。

#### ■ 宇宙輸送技術の発達が持つ社会生活に対する安全リスク

新しい技術に関して一般に開発によって生じるリスクと運用によって生じるリスクの2通りが考えられる。新技術の開発によって生じるリスクに関しては、後の技術開発の項にて記述する。本項では社会生活に特に影響を与えと考えられる技術の運用に関するリスクとして主に打上げ周辺のリスクを考える。

一般に打上げには一定のリスクが生じ、打上げ本数の増加にしたがって全体のリスクは増加する。したがって、新たな宇宙輸送技術が活発な宇宙活動を可能にした場合、この打上げに関するリスクは問題になってくる。また、そもそもの打上げ本数の増加に関して、新たな射場の建設において地域と運営の間でリスクの扱いが問題になる。

この場合、具体的に予測される危険として以下が想定される。

1. 打上げの失敗による事故
2. ロケット各段の切り離し部分の落下
3. 燃料などの火薬等危険物
4. テロリズム

これらの危険性のうち、既存の航空機飛行場と比較して、特に新たな危険性として考える必要があるのは1及び2の危険である。技術がすでに確立された航空機と比較して、発展途上の宇宙輸送技術の運用は未だに失敗のリスクが高く、被害範囲も事故が発生する高度に比例して広くなる。宇宙輸送技術の運用をする際には特にこれらの点に留意する必要がある。

現状、地上の打上げ施設の所有に加え、打上にかかる安全管理業務についても JAXA が担当している。新たな輸送技術の導入(大企業による機体購入、輸送ベンチャー発達)及び新射場の建設が行われる場合においても、安全管理については国が一定程度関与し続ける事が考えられる。現在、ロケット打上に関する法については JAXA 法のみであり、将来的な許認可・監督についても現行の JAXA 基準は一定の根拠となりうる。他方、企業活動への配慮やスピードを重視する観点から、許認可のあり方として省庁や専門家によって構成される委員会方式の安全審査が選択肢として存在する。

## (1) ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

民間が主導して宇宙開発を行う場合、特にアプリケーション分野の充実が期待される。こうした場合、打上げの需要は増加することが考えられる。民間移管が進んだ JAXA に安全性の管理という役割が与えられるなかで、これらの打上げ需要に向けて、民間のロケット開発や新たな射場・宇宙港の運営などが刺激される。

この状況下で必要になってくるリスクコミュニケーション対象として考えられる。

1. 民間企業と JAXA、政府間
2. 民間企業と地方自治体、住民間

まず、民間企業と JAXA、政府間において、打上げに関して、どこまでのリスクを許容し、民間の権限をどこまで拡大するかが争点となる。ここで扱う主なリスクとして打上げ事故のリスクがあり、主に事故が生じた際の被害の大きさや頻度について、どこまで共通認識を持ち、許容するかが問題となる。このリスクを扱った問題に対して、ルール形成を通じたより良いリスクのマネジメントの構造を作成する必要がある。これは民間が開発製造するロケットの質に関する管理と射場の運営方法の管理の枠組みによってなされる。産業の発達を支える開かれた環境が求められる一方、民間と政府間で利益や政治を超えた信頼関係を築くことが課題となる。

前述のように民間企業と政府間で合意がなされた後に、民間企業と地方自治体、住民間で実質的に安全リスクを負う相手との議論が行われる。これは主に民間主導で新しい射場の建設を行う際に行われ、相互にロケット打上げに内包される危険性に対する正しい認識や知識



を求める姿勢や民間企業と地方自治体、住民間で不満が生じないようなトレードオフの設定、長期的な運営を視野に不安感を残さない信頼関係に裏付けされた透明性のある情報交換が求められる。

## (2) 政府主導(JAXA シナリオ)

射場について現状の JAXA では議論は続いているものの、射場の新規建設は今のところ無い状況であり、新しい輸送システム(再利用ロケット等)ができた時に新射場の建設の可能性があるというにとどまる。今後も爆発的に打上げの需要が高まらない限りはロケットの打ち上げは従来通り、JAXA の管轄において行われると考えられる。この場合にはロケット打上げのリスクもあまり変動がなく、JAXA の実績に応じてスムーズな展開が可能であると考えられる。

## (2) 法規制の動向

社会生活や経済活動における弊害に対しては、国家による法規制によってその弊害を抑えていく必要がある。以下では、シナリオごとの法規制の動向について検討する。

ステークホルダー：立法関係者(国会・政府)、宇宙活動主体(JAXA、民間企業)

### (1)政府主導(JAXA シナリオ)・大企業主導(官民連携シナリオ)の場合

政府主導若しくは大企業主導の場合、現行の JAXA 法及び JAXA 内規等に基づく法規制が継続することが想定される。この場合、打上げ等に掛かる法規制は、現状から大きく変更されることは想定しづらい。ただし、新技術の登場・実用化により、現行法及び宇宙活動法において想定されていないような状況が生じた場合には、新たな法制度が必要となる。新技術の観点については後に記述する。

### (2)ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

日本において宇宙活動法が制定されていることを前提としても、ベンチャー企業による打上げの場合、国家による打上げ以上に様々な弊害が考えられ、それに対する法的対応が必要となる。以下では、現状で想定されている宇宙活動法が制定されたと仮定したうえで、さらに必要となりうる法整備について検討する。

#### ①安全確保

現在は、ロケット打ち上げの安全確保については JAXA がすべて基準に基づき行っている。この安全確保業務に関しては、今後も JAXA が行うことが想定されている。しかし、ベンチャーを含む民間の宇宙活動が活発となった場合に、すべての安全確保を JAXA 若しくは国家による業務とできるのかは疑問が残る。また、特に民間による宇宙港が設置された場合、そこでの打上げ活動と安全確保については民間に委ねられることも十分に考えられる。しかし、一方で、安全確保に関しては、周辺住民の生命・財産に及ぶ重要な問題であり、これを民間の自由に委ねてしまうと最低限度の安全性を確保できない可能性もある。宇宙活動の民間への移行が進む中で、安全監理についてはその性質上、より慎重な判断が必要とされるが、少なくともすべてが民間にゆだねられることはないであろう。

## ②民間支援・産業育成

法令において民間支援の仕組みが形成されれば、民間参入がより活発化すると考えられる。現行の JAXA 法においては、民間への支援が JAXA の業務の一つとして挙げられており、実際に JAXA では民間からの要望に対し、技術供与や情報提供等できる限り柔軟な対応を行っている。しかし、予算や人手不足等、コスト面での問題もあるほか、より大規模な民間支援を行う場合には、宇宙基本法や JAXA 法を含む法令によって制度的基盤や方向性を明確にする必要がある。

## (3)新技術への対応

以下では、シナリオに関わらず問題となる、新技術の登場・実用化により必要となる新たな法規制について述べる。

### ①有人飛行

現在、日本が開発したロケットで有人宇宙飛行を行った例はない。また、有人宇宙飛行の現実的な計画もなく、そのためか、現在協議中の宇宙活動法案においては、有人宇宙飛行に関する規定は置かれたい予定である。しかし、技術的には有人宇宙ロケットの開発もまったく不可能というわけではなく、また、宇宙旅行ビジネスのため、民間による有人宇宙ロケットの開発も考えられる。有人の場合、失敗は許されないため、無人ロケットに求められる信頼性よりはるかに高い信頼性が求められる。今後、官民を問わず有人宇宙飛行が現実的なものとなった場合、無人とは全く別の規制枠組みが必要となる。

### ②弾道飛行

弾道飛行とは、低軌道に達しない部分での短期間の宇宙飛行のことを指し、一般の無重力体験や宇宙旅行などのビジネスに利用しうる。この弾道飛行において問題となるのは、宇宙法と航空法のどちらが適用されるのか、という点である。宇宙空間の定義は国際宇宙法上でも明確にはされておらず、そのため宇宙物体の定義についてもあいまいな部分がある。そのため、低軌道に至らず、地球の周回を想定していない弾道飛行物体は、解釈によっては宇宙物体には当たらず、そうすると宇宙関連法の適用対象外となりうる。日本の宇宙活動法においては、弾道飛行も宇宙活動法の対象に含まれると解釈しうるが、国際宇宙法との整合性の観点から、国家間レベルの議論を十分に反映した枠組みとする必要があるため、今後も継続的な整備が要請される。

## 5.2. 経済産業

経済産業に関しては多様な分野への影響が考えられる。主な影響として特に衛星利用や宇宙輸送利用などが挙げられる。以下、順に検討を加える。

ステークホルダー：経済産業省、衛星研究開発者、宇宙利用サービス産業、ユーザー産業

### 【1】衛星利用

宇宙輸送システムの動向は、衛星利用に大きな影響を与える。以下では、それぞれのシナリオごとの動向を検討する前に、衛星既存市場の主要構成要素たる三つの衛星の種類ごとの特徴を簡単に概説する。

#### ①測位衛星

測位衛星は、地球上の位置と時刻を把握するために利用される衛星である。アメリカのGPSがその代表例で、日本でも準天頂衛星システムの導入が検討され、現在も進行している。米国、ロシア、欧州、中国が全球的な測位衛星システム(GNSS)の構築を進めるなど、打上主体は各国ともに政府であるが、民生利用がさかんにおこなわれている。具体的な利用例は、交通・運転ナビゲーションや個人ナビゲーションの他、測量、危機管理等がある。



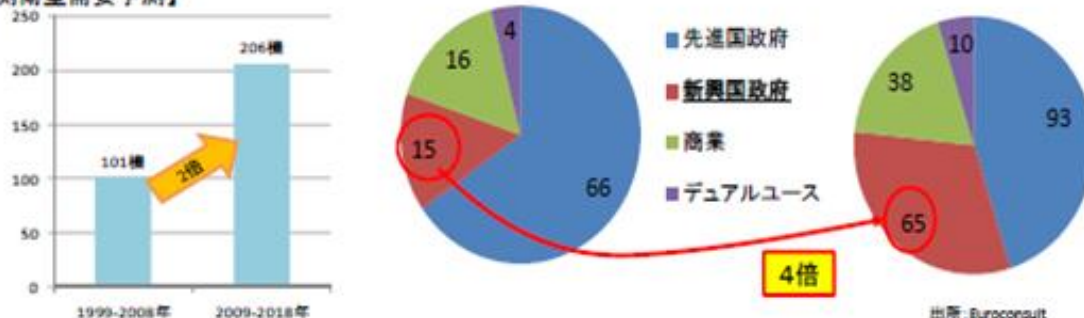
出典：内閣府「我が国宇宙政策の課題と方向性」

#### ②地球観測衛星(リモートセンシング衛星)

地球観測衛星は、気象観測、防災、災害対策、環境監視、資源探査、地図作成、情報収集等の目的毎に開発・利用される衛星である。各国とも公的利用が中心となっているが、欧米では衛星データ利用の拡大と商業化を前提として、アンカーテナンシーや PPP などにより、民間の活力を活用した方策が取られている。日本では、情報収集衛星、陸域観測技術衛星「だいち」、静止気象衛星「ひまわり」、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」などが政府

出資により開発・運用されている。また、高分解能の光学衛星 ASNARO における PPP など、官民連携による取組みも拡大しつつある。

【地球観測衛星需要予測】



### ③通信・放送衛星

通信・放送衛星は静止衛星が主で、約 10~15 年程度の長寿命を志向するため、大型化傾向にある。日本の衛星製造においては、三菱電機が、国内外から数件の受注を受けている。一方、日本の衛星通信事業においては、スカパーJSAT は 16 機、放送衛星システム社は 5 機の衛星を保有している。

衛星通信・放送サービスは世界的に民間事業者が提供する体制となっており、基本的に商用マーケットが確立している状況にある。また、世界的に衛星通信・放送の需要は増加傾向にあり、通信・放送衛星の市場は拡大していくと見込まれている。一方で、JAXA や情報通信研究機構において「きく 8 号 (ETS-Ⅷ)」や「きずな (WINDS)」の技術実証を実施するなど、政府機関からのアプローチも行われている。

#### (1)政府主導(JAXA シナリオ)

##### ■ 官需中心の打上げ

政府主導の打上げとなる場合、官需に基づく基幹ロケットの打上げが中心となることが想定される。安全保障を中心に、測位衛星や地球観測衛星等の公的インフラ整備のための衛星打ち上げを計画的に行うこととなる。国家予算の制限があるため、衛星打ち上げは必要最低限に抑えられる反面、必要な場合には安定して確実に打上げが行われる。打ち上げ回数の制限が想定されるため、宇宙機器製造産業を含めた宇宙関連産業の発展は見込みづらい。

相乗りによる小型衛星の打上げも可能ではあるが、官需打上げの「ついで」の打上げとなることは避けられず、量や回数には限りがある。そのため、リモセン衛星や小型通信衛星等の拡大は実現しづらいといえる。

##### ■ 測位衛星の展開

測位衛星は、政府主導で開発・運用が行われており、現状でも準天頂衛星による公的インフラの拡大が計画されている。準天頂衛星は、GPS 衛星の補完・補強を目的として、日本が独自に開発を進める測位衛星である。例えば、山間部やビル陰などの場所でも GPS 衛星の補完(代替)を行ったり、GPS の測位精度と信頼性を向上させる補強情報を提供したりすることが想定されている。2010 年代後半を目途にまずは 4 機体制を整備し、将来的には、持続測位が可能となる 7 機体制を目指すことが計画されており、現在もその計画は進行中である。

## (2)大企業主導(官民連携シナリオ)

### ■ 商業打上げ事業

現状では、日本の商業打上げはロシアやヨーロッパに大きく後れを取っている。その原因は、打上げコストと打上の信頼性にある。日本のロケットは成功率のみを見れば非常に高く、世界レベルにある反面、打ち上げ回数が非常に少なく、実績が乏しいために、ロシアの打ち上げ回数が豊富なプロトン等と比較すると信頼性は下がる。さらに、コスト面でも競争力が低く、現状では、韓国衛星 1 基、カナダ衛星 1 基の受注にとどまっている。

HII ロケットによる商業打上げは現在三菱重工が担っているが、現在開発中とされる H3 ロケットでは、打上げ能力の向上(ペイロード比約 2 倍)の他、国際的な競争力を持たせるためにコスト減少(H2A の約半額)も目指されている。2020 年に試験機が打ち上げられる予定であり、近未来の商業打上げ事業においては、この H3 ロケットがその成否を担っているといえる。

### ■ 中型~大型の民間衛星打上げ

商業打上げの拡大に伴い、民間衛星による地上サービスの充実が考えられる。特に、大企業主導の場合、基幹ロケット等の比較的大型なロケットによる打上げが可能であるため、中型・大型衛星の打上げが進み、それらによる地上サービスが拡大されると思われる。具体的には、通信・放送衛星や、中型・大型の地球観測衛星が想定される。特に、地球観測衛星は、自国での打上げ能力を持たない新興国において、安全保障の観点から需要が高まっており、地球観測衛星自体の技術移転の他、打上げまでを含めたパッケージでの輸出が可能である。

ただし、これらはロシアやヨーロッパの商業打上げとの代替性があるため、日本の商業打上げ拡大によって、日本の社会生活におけるサービスの向上には必ずしもつながらないと考えられる。

## (3)ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

### ■ 小型衛星

ベンチャー企業による宇宙輸送は、政府や大企業と比べて予算的制約が大きく、ロケットの規模も原則として小型中心となると考えられる。また、ロケットの信頼性を重視する政府や大企業では実用化に時間がかかるような、再使用型ロケットや空中発射システムにも果敢に挑戦でき、宇宙輸送の新たなイノベーションの可能性を担っている。

このような特色を踏まえると、ベンチャー主導の宇宙輸送システムが実現化した場合には、低コストの小型ロケットによる小型衛星の打上げがその中心となると考えられる。小型衛星は、地球観測衛星で特に活発な動きがあり、欧米ではすでに民間の衛星活用が行われている。主な用途としては、陸域・海域観測のほか、農林業観測、災害監視等で幅広く利用される。日本でも超小型の地球観測衛星を製造・運用する計画を進めるベンチャーが存在しており、衛星から得られた多様な画像を利用したビジネスが進展していくであろう。

また、数百・数千の小型衛星を利用し、世界全体にインターネット接続を提供するという衛星インターネット構想も米ベンチャー企業により進められている。これにより、山村部や砂漠など、インフラ整備の難しいような地域でも世界中でインターネット使用が可能となる。多数の小型衛星の打上げが必要となるため、低コストロケットによる複数回打上げができるようなベンチャー企業の宇宙輸送システムが必須となる。



そのほか、超小型衛星は、大学等の教育目的でも作成されている。教育や実験目的の衛星の場合、資源や予算が大幅に限られ、政府等の基幹ロケットのみでは打ち上げ機会も大きく制限されることから、民間による低コストで多数の打ち上げ機会の提供が期待される。

## 【2】宇宙輸送利用

宇宙輸送システムは、衛星等を宇宙空間へ運ぶ「手段」としての役割のほか、宇宙空間へ行くことができることそのものを利用することも考えられる。以下では、シナリオごとの動向を検討する。

### (1)政府主導(JAXA シナリオ)

政府主導の場合、限られた予算の中で、確実な成功を目指していく必要がある。特に、国家技術への信頼性やプレゼンス等の観点からも、簡単に失敗することは許されず、それゆえに、新しい技術の導入には慎重にならざるを得ない。現状では、再使用型ロケット、空中発射、弾道飛行、有人飛行など様々な観点から研究開発が進められているが、見通しが不透明なものが多い。また、これらが民間用として利用されることも想定しづらい。

### (2)大企業主導(官民連携シナリオ)

大企業主導の場合も、信頼性等の観点から簡単に失敗することは許されず、また、政府による開発委託も多いと想定されることから、原則的には政府主導と違いは少ないと考えられる。しかし、大企業による開発が進んだ場合、その成果を民間サービスとして提供しうる可能性が高いことが、その違いとしてあげられる。

たとえば、米企業では、サブオービタル飛行による短時間の宇宙体験旅行のサービスが具体的に進められており、比較的安価(1000 万~数千万円)での無重力体験が可能となっている。また、こちらは比較的高価(数十~数百億円)ではあるが、旅行会社との提携で、国際宇宙ステーション滞在ツアーや月巡回ツアーなども計画されるなど、企業提供の民間宇宙旅行は実現段階にある。民間宇宙ステーションの開発とも合わせれば、さらに幅広い宇宙旅行サービスの提供が可能となる。

また、大企業同士のアライアンスにより、機体開発と旅行サービス提供主体を別々にするなど、企業間の連携・提携によってサービスの多様化も進められる。直接機体の開発を行わずとも、宇宙有人飛行が可能な機体を大企業が購入し、日本の輸送システムに導入する事も想定できる。さらに、大企業からの資本・技術提供によりベンチャーが民間宇宙旅行を計画するなど、企業のかかわり方は様々である。

しかし、機体開発の遅れなどを理由として、宇宙旅行計画が停滞している企業や、試験中の墜落事故等も生じており、順調に民間宇宙旅行計画が進んでいるとはいえない。安全面の確保が重要となるため、今後も計画通りに宇宙旅行が行えるとは考えづらい。

### (3)ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

ベンチャー主導による宇宙輸送が活発化した場合、官需への対応よりむしろ一般サービスに焦点を当てた輸送システムが展開されていくと想定される。その場合、現在にはないような様々な宇宙輸送を使った民間サービスが比較的低価格で提供されることが考えられる。

○サブオービタル飛行による宇宙旅行

上記と同じく、低軌道に至らない宇宙空間において数分間無重力を体験する宇宙旅行であるが、これは、むしろベンチャーからのアプローチが積極的に行われている。日本でもPD エアロスペース社がその構想を打ち出しており、日本国内で行うことも不可能ではない。米では数社が同様の構想を計画しており、現在は1000~2000万円程度であるが、将来的には価格競争による価格低下まで見込まれる。

#### ■ 地上二点間輸送

ロケット技術を活用し、大気圏内を高速で移動する手段の研究開発も進められている。二点間輸送のためには、両者を結ぶ宇宙港が多数建設される必要があるが、米では、民間宇宙港の建設も進められる等、その準備も進められている。

#### ■ 微小重力実験

宇宙空間を利用した実験や研究開発も、サービスの一環として検討されている。上記のサブオービタル飛行において、機体内に実験用のスペースをとる予定の企業もあるなど、宇宙旅行と並行して進められている。これが実現すれば、今までは基幹ロケット打上げの際に付随的に行うしかなかった無重力実験、新薬開発等の科学実験を、低コストかつ頻繁に行うことができるようになり、科学技術の発展に寄与する。

ただし、これらのベンチャーによる宇宙輸送利用は、低コストを追求する分安全性には問題が残る。アメリカのベンチャー企業は近年でも打ち上げ実証の段階で失敗しており、実用化レベルに至るには安全性の問題を解決する必要がある。

## 5.3 国際政治

宇宙開発と国際政治は常に深い関係にあり、各国にとって宇宙開発はハードパワー、ソフトパワー、公共財として様々な側面を持っている<sup>14</sup>。新輸送技術の発達についても、直接的・間接的に宇宙開発の進展と国際政治面は相互に様々な影響を与えうる。

ステークホルダー：立法関係者(国会・政府)、宇宙活動主体(JAXA、民間企業)、外国政府(米国、欧州、中国、インド、東南アジア諸国)、国際機関

### (1)政府主導(JAXA シナリオ)・大企業主導(官民連携シナリオ)

本シナリオでは、政府主導あるいは大企業主導の宇宙開発が継続されるため、特に安全保障や大型宇宙インフラ輸出の観点から宇宙開発が進行すると考えられる。基幹ロケットや射場利用について同盟国間のアライアンスを構築し、緊急時の相互利用やバックアップ体制を構築している。また、宇宙基本計画で述べられた通り、政府は地球観測衛星や情報収集衛星等を継続的に打ち上げる一方、戦略的な観点から総合的宇宙利用や国際連携が進んでいく。

#### ■ 総合的宇宙利用・安全保障

安全保障分野の法的前提として、2008年に施行された宇宙基本法第一条において、我が国の宇宙開発利用は、「日本国憲法の平和主義の基本理念を踏まえ」推進することが明記されている。また、宇宙基本法第十四条において、基本的施策の一つとして「国は、国際

<sup>14</sup> 鈴木一人『宇宙開発と国際政治』（2011年、岩波書店）

社会の平和及び安全の確保並びに我が国の安全保障に資する宇宙開発利用を推進するため、必要な施策を講ずる」と位置づけられた。2012年に施行された改正JAXA法においては、第四条（機構の目的）を宇宙基本法と整合的なものとするために改正され、JAXAが日本国憲法の平和主義の理念、専守防衛の範囲に限って活動を行う事が明確化されている。

一方、近年の安全保障環境の変化を踏まえ、宇宙領域を活用したよりシームレスな安全保障体制の構築がとられるとした場合、同盟国・友好国を基軸とした他国との相互協力・共同開発がすすむと考えられる。

米国及び友好国：日本にとって米国は引続き最大の宇宙協力パートナーであり、軍事・民生両面で密接な協力を行っている。日米安全保障協議委員会（2+2）における協力分野として以下の分野があげられるが、宇宙状況監視や海洋監視の分野ではより統合的な監視体制が構築されている<sup>15</sup>。

- ✓ 宇宙状況監視（space situational awareness（SSA））
- ✓ 測位衛星システム（satellite navigation system）
- ✓ 宇宙を利用した海洋監視（space-based maritime domain awareness（MDA））
- ✓ デュアルユース・センサーの利用（utilization of dual use sensors）

宇宙空間を利用した洋上監視や測位衛星システムにより、日本周辺も含めたシームレスな安全保障体制の構築が想定される。具体的には、衛星による海上監視を組み合わせたMDAでは、同盟国との情報共有により広範囲の監視体制を構築することができる。軍事的緊張の高まる南シナ海や東シナ海、北極海航路の周辺等、日本の安全保障上重要な海域について監視能力の強化が可能となる。

衛星監視や通信、情報収集衛星による安全保障体制の構築は、米国以外の戦略上の友好国へと広がっていく。豪州や東南アジア諸国等の戦略的パートナー国との連携がすすみ、宇宙分野による環アジア・太平洋地域の総合的な安全保障体制が形成されていく。

#### ■ 宇宙輸送の総合安全保障体制

射場について安全保障面での再定義が行われている。同盟国間でのアライアンス構築が行われ、急迫した事態が発生した際には同盟国による射場利用も選択肢として存在している。また、ロケットに関して、同盟国間で基幹ロケットの優先的な利用や衛星の相互乗り合わせ等が行われている。従来は自国の基幹ロケットによる軍事用衛星の打ち上げが行われていたところ、軍事分野の共同研究・開発による同規格の衛星等の輸送については、同盟国のロケット活用も選択肢として存在している。

#### ■ 国際協力、ODAも含めた宇宙インフラ輸出

特に、アジアにおける友好国政府を中心として戦略的な宇宙インフラ構築支援がすすんでいく。すでに500億円規模のODA供与を活用したベトナムとの小型レーダー衛星開発が予定されており、2017年にJV-LotuSat1、2020年にJV-LotuSat2の打上が予定されている<sup>16</sup>。

<sup>15</sup>内閣府、<http://www8.cao.go.jp/space/committee/dai5/siryou5.pdf>

<sup>16</sup> <http://www.unescap.org/sites/default/files/VietNam-EOSProgram-and-Application-DisasterMgt.pdf>

本シナリオでは、政府による ODA やインフラ輸出支援も含め、ASEAN 諸国やインド、豪州等の外交・戦略上関係の深い諸国との宇宙インフラ輸出がすすめられる。製造・打上から衛星のアプリケーションまでをパッケージ化した宇宙インフラ輸出が行われ、日本製の宇宙システムを関係諸国に展開していくことになる。国内の宇宙関連大手企業は政府との官民連携スキームを活用し、アジア諸国を中心としてこうした大型の宇宙インフラ輸出機会を獲得していく。一方、小型ロケットや小型衛星等の新しいコンセプト製品の整備には限界があるため、途上国で一定のニーズがあるとされる安価な宇宙技術の提供の幅は狭まると考えられる。

また、国際ルール形成においては、国内政治に強い影響力を持つまでのスペースベンチャーが一定数以上存在しないため、政府はスペースデブリや民間企業の活動に対する国際的な宇宙活動規制でより強い規制を求めると考えられる。

## (2)ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

本シナリオでは、日本国内に一定数以上の宇宙ベンチャーが活発に活動をはじめており、政府は国際政治面でその活動を支援すると想定する。

### ■ 宇宙経済外交の促進

力強い国内宇宙産業の要請を受け、政府は宇宙産業の成長機会最大化を目指すために海外投資家も含めた宇宙関連投資を増加させるための施策を講じている。日本の宇宙技術に対する投資を呼び込むため、宇宙関連投資に対する優遇税制を設け海外投資を誘致している。また、貿易政策についても、強みのある衛星・ロボティクス技術等の優遇措置を設けている。

新輸送技術の発達により、企業は低コストの小型・再利用ロケットから次期基幹ロケットである H3 ロケットまで幅広くラインナップを揃え、海外の需要にこたえている。従来の政府・大企業主導でリーチし辛かったアジア途上国の低コスト宇宙インフラ需要に応える事ができ、より柔軟かつ総合的な宇宙経済外交の展開が可能になっている。

国際ルール形成においては、政府は宇宙関連企業の利益要請を受け、民間宇宙企業の活動に対するより緩やかな国際規制を求めると考えられる。スペースデブリや航空安全規制等について、政府はより否定的な姿勢を持つようになるため、宇宙空間の安全リスクは担保され辛くなる。

## 5.4 技術開発

本項ではそれぞれのシナリオにおいて、新輸送システム全体の発達が従来の宇宙技術開発にどのような影響を与えているかについて考察する。

ステークホルダー：宇宙活動主体(JAXA、民間企業)

まず、平成 27 年現在の宇宙開発体制は基本的に JAXA が主導している一方、民間移管への動きも存在している。また、JAXA からベンチャーへの技術支援も行われているが人材リソース不足や JAXA と企業間のマッチングミスにより、現状では思うような成果があがっていない。こういった状況から、日本の宇宙開発の中心に立つか、民間が主導する宇宙開発の支援を行っていくかで将来の JAXA 像が揺れているといえる。いずれのシナリオにおいても、JAXA の立ち位置は重要であり、特に安全管理において JAXA は引続き重要な役割を担う。

## (1)ベンチャー主導(商業主義シナリオ)

JAXAによる技術開発は、ロケットエンジン等の Key 技術以外はすべて民間移管が行われている。現状でも新型基幹ロケット「H3 ロケット」の開発は、費用は国が負担しつつ胴体部分の開発は三菱重工が担当するなど民間との共同開発体制がとられている。JAXAはこの動きをさらに加速させ、競争力のある輸送技術を保持する日系民間企業の育成、及び日本の輸送自律性の確保とロケットの競争力の強化を目指している。ロケットの競争力の強化としては、今までも打上げの執行は民間の三菱重工に委託されていた経歴があり、より現場に近い設計を行う事は大きなメリットを生むと認識されている。こうした宇宙開発の民間移管が進行し、民間主導の宇宙開発では輸送手段の多様性とよりマーケット意識したロケット造りが行われていくと考えられる。

### ■ 次期基幹ロケット

「H3 ロケット」以後の次期基幹ロケット開発について、民間企業がコンセプト・技術開発の両面において主導的な役割を果たしており、エンジン等の Key 技術についても共同開発が行われる。小型や再利用型ロケットなど、海外のイノベーションに積極的に反応し技術を取り込んだ民間企業が JAXA に対して新たな提案を行っており、JAXA も基幹ロケットの民間への発注・開発を通じて日本の宇宙輸送産業の基盤強化を達成している。

### ■ JAXA の役割変化

力強い輸送・宇宙ベンチャーの発達を受け、JAXA の主な役割は技術開発からベンチャーのインキュベーション事業と安全管理にシフトしていく。劇的な民間移管による業界全体のボトムアップは技術開発に様々な方向性を持たせることになり、他業種から参入と融合によって更なるイノベーションを創出している。英国 BIS 省のイノベーション・カタパルト等のイノベーション創出枠組みを導入し、JAXA の業務分野の主管庁である経済産業省と連携し、異業種からの人材移転の促進や技術シーズのマッチングが行われている。さらに、国内で新輸送システムの実証地域が設定され、輸送からアプリケーション開発企業まで宇宙コンソーシアムが形成されている。JAXA は技術・安全管理レビューを担当し、省庁及び北海道・愛知県等の宇宙産業クラスターに前向きな地方自治体と共に航空産業と宇宙産業の融合を目指した実証事業が複数立ち上げている。

### ■ 事故リスクのもたらす技術影響と安全基準

本シナリオでは輸送ベンチャーの打上げ機会が増加しており、事故リスクが増加している。現状でも、NASA の次期基幹ロケット開発を受注しているスペース X 社が 2015 年 6 月に再利用ロケット実験の失敗している<sup>17</sup>。ベンチャー主導の技術開発が進んだ場合、国内外のスペースベンチャー事故によって宇宙へのリスク意識が増加しており、国民の落胆と危険意識を増加させている。政府による宇宙開発投資は批判にさらされるようになり、政府主導による技術開発への揺り戻しを繰り返す事になる。

宇宙産業が日本の新たな国際競争力を持つ産業になりつつある一方、イノベーションによって得られた躍進的な新技術の未知のリスクについての監視が後手に回っている。インタビ

<sup>17</sup> 「米スペース X のロケット爆発 無人宇宙船の打ち上げ失敗」日本経済新聞電子版、2015 年 6 月 29 日付記事  
[http://www.nikkei.com/article/DGXLASGM28H63\\_Y5A620C1FF8000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASGM28H63_Y5A620C1FF8000/)



ユー結果から、現状であっても JAXA 保有の安全管理技術とベンチャー企業の技術志向にギャップがあると考えられる。JAXA の蓄えてきた安全基準・技術をベースにした国内規制基準が新たに設けられる一方、その技術審査については文部科学省の下におかれた委員会で審査される。委員会は民間有識者、行政官、JAXA 担当者等で構成され、企業活動の発展可能性に十分留意した運用がなされている。

## (2)政府主導(JAXA シナリオ)

現在、JAXA で民間移管が行われている一方で、この民間移管の限界の存在を示唆する意見もあり、「ロケットエンジンは Key 技術であり、国が開発を担当する」という意見や「射場の地上サービス施設については JAXA の所有物」という根拠が挙げられている。また、JAXA によるベンチャーのインキュベーターも行われているが、これに関しても JAXA で行われてきたのは設計や研究のみであり、試験、フェアリング、実験等はもともと民間で行われてきた点や大型ロケットなどに使われた特許は民間企業も取得しており、技術の切り分けが困難な点が問題として挙げられている。

以上、本シナリオでは民間移管の困難さに加え、現状の構造でも国際競争力を持っている点で今後も JAXA 主導で宇宙開発が行われていくことが予想する。この場合、政府の管理下で開発が進められていくので、リスクを含む技術研究の廃止などを行いやすく、民間主導と比較すると技術開発における未知のリスクは防ぎやすいといえる。また、国家予算によって持続的な技術発展を望める点も強みである。

## 6. | 全体の整理とステークホルダーへの影響

本章では、これまで検討してきたシナリオ毎の技術影響及びそれに伴う各ステークホルダーへの影響について整理する。

### 1、商業主義シナリオ(新規参入増×民需増)

宇宙輸送技術は民間企業・ベンチャーを中心として発展していく。宇宙産業の実証地域・クラスターを中心として、多様で競争力のある宇宙産業群が高度に集積している。小型衛星やアプリケーションを用いた多様なベンチャーが生まれ、製造業等の他分野との融合サービスが進んでいく。

#### ■ 重要なステークホルダー

経済産業省、JAXA、新規参入の宇宙ベンチャー企業、大学、住民、地方自治体

#### ■ ステークホルダーにとってのプラス影響：

##### ・宇宙インターネット等多様なサービスが登場(ベンチャー企業)

輸送ベンチャーの発展を基点に、宇宙関連ベンチャーによる民間サービスが発展しうる。衛星を使ったインターネットや画像提供などのほか、それらを利用し、他産業と連携することで、スマートアグリカルチャーやIoT、自動運転システムなど、様々な地上サービスが提供されうる。また、サブオービタル飛行による宇宙旅行、宇宙空間での科学実験等様々なサービスが比較的安価に利用できる。安全保障を中心的な目的としていた宇宙活用が大きく転換し、宇宙が民間企業やひいては一般人においても身近なものとなる。

##### ・民間市場の形成と宇宙利用の活性化(ベンチャー企業)

地球観測衛星を中心として普及しつつある小型衛星の打ち上げ需要に対し、十分な打上機会が提供されれば、衛星ベンチャー及び打上ベンチャーの両方で市場が成り立ち、官需以外の部分で宇宙関連市場が展開される。今まで国家主体の開発が行われていた宇宙が、安全保障等一部の分野を除き民間で利用され、一般に提供されることとなりうる。

##### ・射場建設を含んだ大幅な民間移管(ベンチャー企業、地方自治体)

米国の経験から、政府から民間への移管は産業育成に明確な貢献要因となる。さらに、宇宙産業育成に前向きな地方自治体による射場・宇宙港の建設は、地域の宇宙産業クラスター形成に貢献する。このほか、経産省による実証地域形成では、新輸送システムや航空宇宙産業の融合に貢献し、知見共有やベンチャー育成に貢献できる。

##### ・ベンチャー間協力により国際サービス提供(経産省、ベンチャー企業)

企業間連携の形として、大企業からのスピンオフや他企業間の国際連携などが考えられ、政治的問題が絡む政府間外交より柔軟な国際協力が進むと予測される。特に宇宙を活用したサービスは全世界的な展開が比較的容易であり、宇宙インターネットや高速二点間移動など国境を越えたサービスが展開されうる。また、政府の宇宙経済外交により海外投資家からの投資が得られる可能性もあり、宇宙関連市場は国境を越えた全世界的な展開をみせていくと考えられる。

■ ステークホルダーにとってのマイナス影響：

・安全性の低下(住民)

国家主体の場合には安全・信頼が重視されるが、民間・ベンチャーの場合にはコストダウンへの注力の必要性から、安全性が軽視される可能性がある。打ち上げ失敗による地上への危険・損害のほか、デブリを含めた宇宙空間上での衝突による損害が生じる確率が高まると予想されるため、できるだけそのリスクを抑える法制度や手続的規制、安全基準の確保、損害賠償の分担制度が、国レベル、国際レベル共に求められる。また、民間宇宙港が整備されれば、空港や花火打ち上げ場等のような周辺住民への事故リスクが及ぶため、設置場所・安全性には慎重な判断が求められる。民間企業の持続的活動と発展を保障するために、政府が安全基準や国際基準等のルール形成戦略を進める必要性が高まると考えられる。

・ベンチャーの失敗により投資が無意味に(JAXA)

ベンチャー企業の事故リスクの高まりを受け、宇宙開発の困難性や世間の安全性への要望から、多くのベンチャーは十分な成果を残せないことも想定される。政府の投資も無意味となってしまう可能性があり、先見性のある投資を行う必要がある。また、ここ1年間でベンチャー企業のロケット打ち上げが複数回失敗しており、宇宙ベンチャー全体の信用問題に発展する可能性も秘めている。

## 2、官民連携シナリオ (新規参入非増×民需増)

輸送系ベンチャーは大企業からのスピノフを中心に成長し、国外の民需獲得に向けて官民連携で売り込みをかけている。新しい宇宙輸送技術を一部取り込んでおり、安定した技術開発とのその成果が部分的に導入されている。

■ 重要なステークホルダー

担当省庁(内閣府、文科省、総務省、経産省等)、JAXA、ロケット等宇宙機器製造企業

■ ステークホルダーにとってのプラス影響：

・公共サービス・民間サービス両方の発展可能性(担当省庁、大企業)

大企業主導の場合、安全保障分野や、その他公的サービスのための衛星など、官需打上げが安定的に見込まれる。それにより、GPSの強化や、地球観測衛星による防災システムの強化、気象予報など、公的な展開が必要なサービスがさらに発展していくと想定される。

一方で、商業打上げにより民間衛星の打ち上げが進めば、民間サービスの提供も期待される。たとえば、通信放送衛星の打ち上げによる衛星放送サービスの展開や民間移転の進んだ地球観測衛星による画像データ提供など、特に大型ロケットによる中型~大型衛星打ち上げとそれによるサービス提供が期待される。

・打上げの経済基盤を確立、安定して打上可(JAXA、大企業)

商業打上げにおいて国際的競争力を確保し、十分な受注を得ることができれば、官需以外の場面でも打ちあげることができ、打ち上げ回数が増える。その結果、ロケットの信頼性を今まで以上に証明し、商業打上げの競争力が強化される。技術的な観点では、一定数の打ち上げによりロケット製造技術を維持することにつながり、継続的・持続的な宇宙開発が可能

となる。これらを通じて、日本の宇宙システムはより自律性を持つこととなり、官民全体を通して宇宙活用の発展に寄与する。

・ **新興国に宇宙市場を拡大(担当省庁、大企業)**

政府による ODA やインフラ輸出支援も含め、ASEAN 諸国やインド、豪州等の外交・戦略上関係の深い諸国との宇宙インフラ輸出がすすめられる。製造・打上から衛星のアプリケーションまでをパッケージ化した宇宙インフラ輸出が行われ、日本製の宇宙システムを関係諸国に展開していく事になる。国内の宇宙関連大手企業は政府との官民連携スキームを活用し、アジア諸国を中心として大型の宇宙インフラ輸出機会を獲得していく。

■ ステークホルダーにとってのマイナス影響：

・ **ベンチャーの発展の可能性が低下(ベンチャー)**

大企業による商業打上げ等の宇宙関連市場の独占が進めば、新規のベンチャー企業等が参入する余地が少なくなる。大企業とは別路線の打ち上げシステム・打ち上げサービスを提供できるかが焦点となる。

・ **商業打上げで後れを取り戻せない可能性(担当省庁、大企業)**

現状では商業打上げにおいて、ロシアや欧米に価格・信頼性等から競争力で劣っている。今後開発予定の H3 ロケットのコストや性能次第ではあるが、挽回できない可能性もある。そうすると、結局官需頼りとなり、日本の宇宙輸送システムが停滞することとなる他、技術維持のために余分なコストがかかる可能性もある。

### 3、JAXA シナリオ (新規参入非増×民需非増)

従来通り政府による注力分野の技術開発が確実に達成されている。安全保障政策や ODA 等と組み合わせた宇宙インフラ輸出がすすんでいる。

■ 重要なステークホルダー

担当省庁(内閣、内閣府、外務省、防衛省等)、JAXA、他国政府、大企業

■ ステークホルダーにとってのプラス影響：

・ **大型衛星による公共サービスの充実(担当省庁)**

政府主導の場合、まずは安全保障の分野での衛星の充実が主な目的となる。そして、その他にも準天頂衛星や大型の地球観測衛星、気象観測衛星、通信衛星などの公的サービスのための衛星が打ち上げられ、衛星測位強化、災害対応などのサービス展開が行われる。政府の自由なタイミングでの打ち上げが可能となるため、計画的かつ柔軟に宇宙活用政策を進めていくことができる。

・ **政府間の国際協力の推進(担当省庁、他国政府)**

将来的に宇宙に関連した安全保障についてより積極的な方針がとられた場合、同盟国・友好国を基軸とした他国との相互協力・共同開発がすすむと考えられる。米国は引続き最大の宇宙協力パートナーであり、衛星測位システムや海洋監視など軍事・民生両面で密接な協力

が引き続き進められる。また、衛星監視や通信、情報収集衛星による安全保障体制の構築は、米国以外の戦略上の友好国へと広がっていく。豪州や東南アジア諸国等の戦略的パートナー国との連携がすすみ、宇宙分野による環アジア・太平洋地域の総合的な安全保障体制が形成されていく。また、官民連携シナリオと同様に、アジアにおける友好国政府を中心として戦略的な宇宙インフラ構築支援がすすんでいく。

■ ステークホルダーにとってのマイナス影響：

・ 国家予算に依存、財政・政治の影響大(担当省庁)

ロケット開発が政府予算からの出資となることに加え、打ち上げ需要も官需中心となるため、その開発や運営等が国家予算に依存することとなる。そのため、宇宙活動の発展は予算の範囲内に制限され、また、国家の財政状況や政治に大きく左右されることから、現状では宇宙輸送を含めた宇宙開発は徐々に縮小していくことが予測される。

・ 宇宙を利用した民間サービスが発展しづらい(ベンチャー、大企業)

国家予算を基幹ロケット開発や官用衛星に費やす分、ベンチャーを含めた民間への支援に予算が回らないと考えられる。そうすると、民間による宇宙開発も他のシナリオと比べて発展しづらく、結果としてサブオービタル飛行や多分野での地球観測衛星の利用、衛星インターネットなど民間独自のサービスが提供されないこととなる。



## 7. 提言

### 1. 現実的な選択肢としての官民連携シナリオ

本報告書では、日本の宇宙輸送ベンチャーの発展を妨げている障壁について考察を加えたが、現状では、法制度の欠陥に加え、ベンチャー支援の薄さが顕著であるなど、ベンチャー発展のために乗り越えるべき課題が非常に多いことが浮き彫りとなった。特に、宇宙ベンチャーが盛んであるアメリカと比較すると、宇宙活動に関する政府予算や市場規模において大きな違いがあり、これらを考慮すると、ベンチャー企業による米国並みの商業インパクトは見込みづらいといえる。財政支出削減の必要性を考えると、今後も多額の予算を用いるようなベンチャー支援政策を取ることは困難であろう。一方で、日本は大企業の新技術開発力と異業種の層が厚く、この点を踏まえるならば、今後の宇宙輸送システムを含んだ宇宙開発・宇宙利用は、やはり官民連携シナリオに近い形で進んでいくことが想定される。日本の大企業と政府が連携を取りつつ、日本国内外での民需の獲得や、新興アジア諸国への需要獲得を目指していくこととなるであろう。また、海外技術とシステムを導入しつつ、政府・JAXA・大企業による戦略的・計画的な技術開発が進んでいくと考えられる。

### 2. 新技術開発の潮流に対応できるベンチャーの育成

官民連携シナリオをたどる場合、革新的な技術開発を行いづらく、宇宙技術のイノベーションが生じづらいと考えられる。アメリカでは、NASAからの援助を受けたベンチャー企業による革新的な技術開発とその実用化が積極的に進められており、長期的な経済・商業競争力や開発力の維持を見据えるならば、日本においても技術革新を担えるベンチャーを育成していくことが今後の鍵となる。宇宙ベンチャーにおいては、海外での例を見ると、ITをはじめとする異業種からの参入が多くみられることから、宇宙関連産業が停滞気味である日本においても、新たなベンチャーを育成していくことは十分に可能である。また、異業種からの参入の場合、地球観測衛星や通信衛星等を利用して新たなビジネスモデルを創出しやすいであろう。このような宇宙ベンチャーを育成し、宇宙産業イノベーションの可能性を広げていくためには、射場の在り方を含めた大幅な民間移管が必要となる。

### 3. 宇宙産業イノベーションを起点にした政策オプション

このような宇宙産業イノベーションを進めていくには、政府による施策が求められる。まずは、宇宙活動法やリモートセンシング法、安全基準等、民間の宇宙活動のための枠組みの整備の他、JAXAのさらなる民間移管を進めていくことが必要となる。そして、より積極的な政策として、政府・企業・投資家・学会等、宇宙に関わる様々なアクターのネットワーク形成により、今芽が出かけている研究開発や産業が、より具体的に実現を目指せるような状況を創出することが重要となる。具体的には、英BISのイノベーション・カタパルトのようなマッチングサービスの導入・改善や、宇宙新技術・システム実証地域の形成、国内外ベンチャーネットワークの形成など、より広範なネットワーク形成などが挙げられる。既存の枠組みに縛られないネットワークを形成し、新たな起点作りとしての役割を政府・JAXAは担っていると見える。

## 謝辞

本報告書の作成に当たっては、宇宙輸送システムに関する専門家である下記の皆様より貴重なご意見を頂戴しました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部 武藤 正紀様

同 田中 奈菜子様

宇宙航空研究開発機構(JAXA) 第一宇宙技術部門事業推進部 大塚 成志様

同 原 利顕様

同 税所 大輔様