

宇宙ベンチャーの時代 ～経営の視点で読む宇宙開発～

2023/3/15刊
(光文社新書 1246)

小松伸多佳(著), 後藤大亮(著)

<後藤大亮 自己紹介>

1976年京都生まれ
2001年から宇宙開発事業団(のちの宇宙航空研究
開発機構: JAXA)にて推進系の研究, および衛星,
探査機, ロケットの開発・運用に従事
月周回衛星「かぐや」
超低高度衛星「つばめ」
小惑星探査機「はやぶさ2」
H3ロケット/イプシロンロケット 等
姿勢制御用小型エンジンの研究開発
JAXA-SSPS(宇宙太陽光発電)研究開発ロードマッ
プとりまとめ
日本航空宇宙学会宇宙ビジョン2050有人宇宙輸送
分野とりまとめ
2023年に「宇宙ベンチャーの時代」を小松氏と出版
(共著)



この本で伝えたいこと

時代認識：今は宇宙開発に関わる歴史的な転換点

- 最初期の宇宙開発は同好の士／民間主体の取り組み
 - 例① コンスタンティン・ツィオルコフスキー ロケット方程式の導出(1903)
 - 例② ロバート・ゴダードによる世界初の液体燃料ロケット(1926)
- その後、ロケット技術&宇宙技術の開発は国家主導・軍事主導へ
 - 例① フォンブラウン／ナチスドイツ V2ロケット(ミサイル) (1940s)
宇宙空間(高度100km以上)にペイロード(貨物)を投入可能な大型ロケットの基礎技術(エンジン技術, 誘導制御技術)
 - 例② 米ソ冷戦期の大陸間弾道ミサイル開発競争 (1950s～)
軌道速度(秒速7.8km/s)に到達可能な大型ロケットの技術確立
 - 例③ ミサイル基地撮影のためのスパイ衛星技術 (1950s～)
 - 例④ 再突入技術(核弾頭の熱防護技術, 落下地点の制御技術) (1950s～)

民生技術と隔絶し、民間の市場での収益確保が困難な技術体系となる

- 民間技術の進歩により、「宇宙で商売できる」時代が本格到来 (2010s～)
 - 例① GPS等の測位技術の普及(カーナビ, スマートフォン)
 - 例② 通信ニーズの飛躍的拡大, 「世界中どこでもつながること」の価値拡大
 - 例③ 軌道上からの地球モニタ(地球観測)の低廉化とニーズ拡大

この本で伝えたいこと

宇宙産業の一般産業化＝民間投資によるドライブ、経営手腕と収益性がキモに

<意図>

- 宇宙産業の急速な官→民への変化(世の中に周知したい.)
- 人,モノ,カネが宇宙産業に集まる世の中になってほしい



しかし...

- 一般的には,まだまだ,「宇宙は特別な分野」のイメージが強い
- 投資が集まりづらく,転職先の(心理的)ハードルが高い
- スタートアップ起業家,経営者の興味関心を惹きたい

<ねらい>

- ① これまでの宇宙開発の歴史を総括し,そのうえで民間主導の宇宙開発に向けた昨今の世の中の動きを,ストーリーとして理解しやすく記述.
- ② 様々な分野の宇宙ビジネスを紹介し,より広い視点から,より多くの人に興味を持ってもらう.
- ③ 新産業が興る際の巨大リスクについて,先行する米国を題材に,リスクをとる主体,リスクの取り方,を整理して示す.そのために具体例をもとに分析する.
- ④ 日本の動きと日本の宇宙ベンチャーを紹介し,未来への展望と期待感を示す.

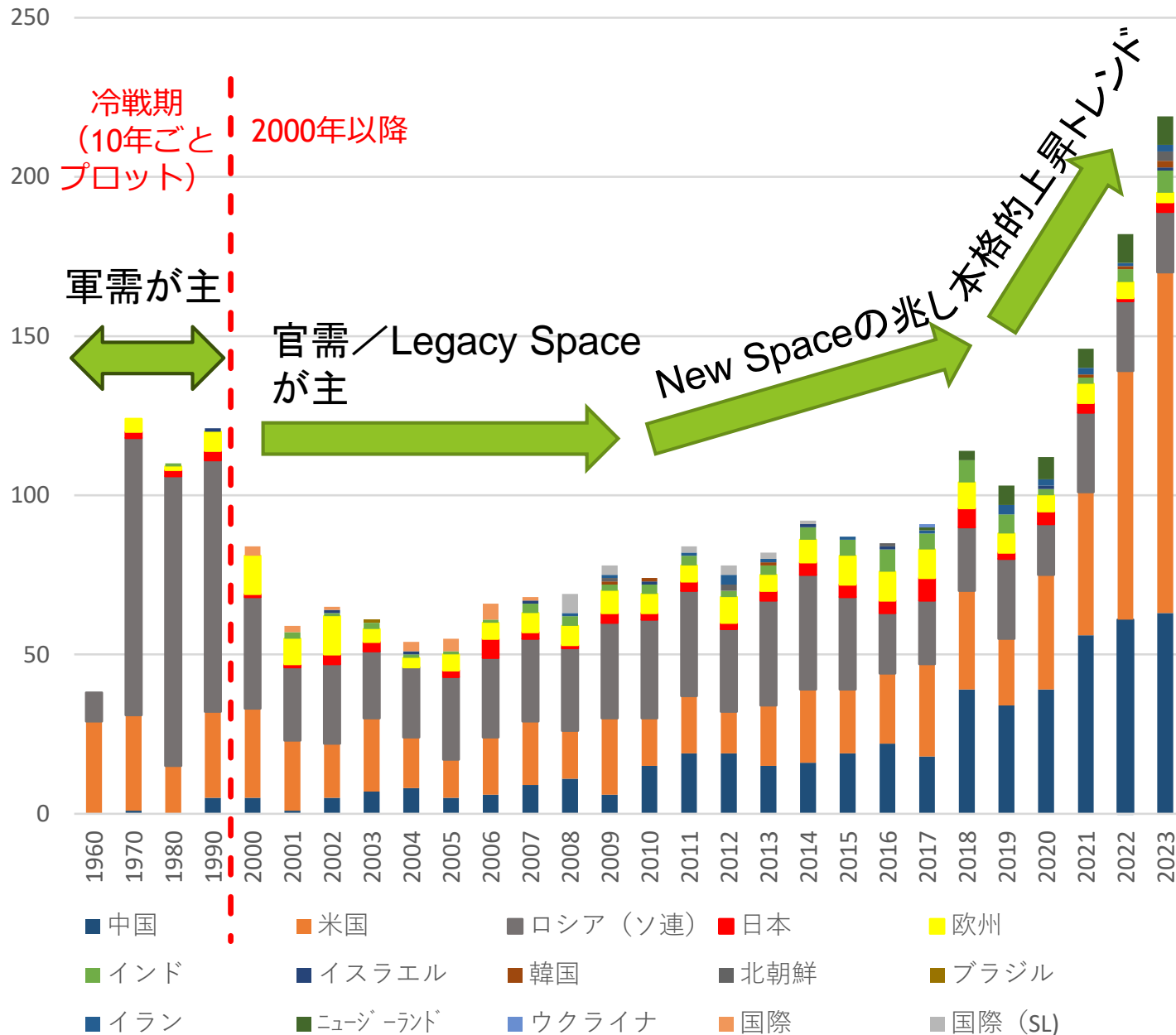
目次

	①歴史記述	②ビジネスの紹介	③リスクをとる主体について	④将来展望
はじめに				
第一章 宇宙ビジネス概観	●	●		
第二章 3つの導線	●	●	●	
第三章 3つの革新	●	●	●	
第四章 宇宙ビジネスの注目8分野		●	●	
第五章 政府事業から民間商業へ	●		●	
第六章 スペースXが「宇宙ベンチャーの雄」となりえた理由	●	●	●	●
第七章 高い株価			●	●
第八章 動く日本		●	●	●
第九章 リスクとどう向き合うか			●	●
おわりに				

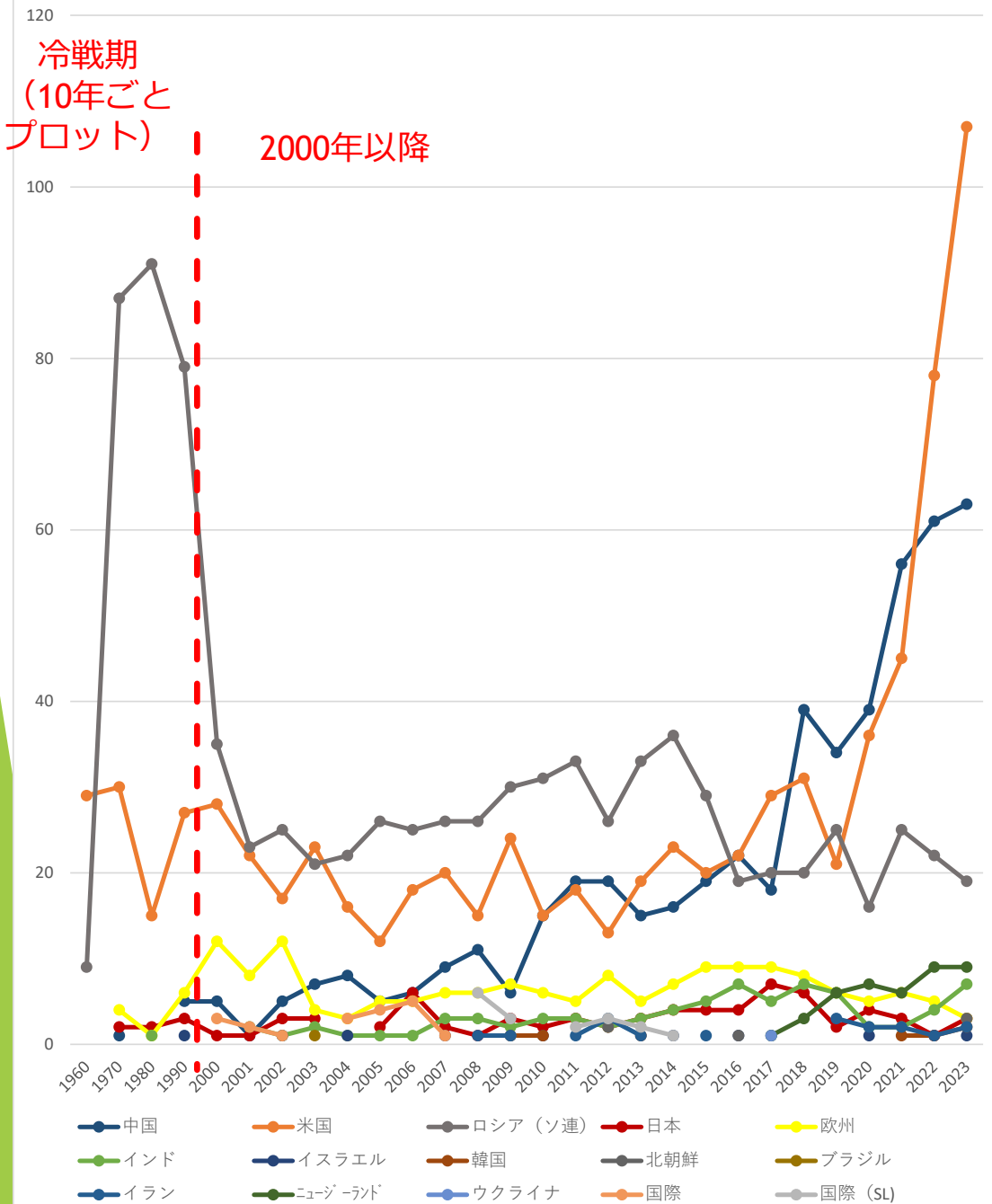
第四章 宇宙ビジネスの注目8分野

- 1 ロケット打ち上げビジネス
- 2 民間宇宙旅行
- 3 通信コンステレーション
- 4 リモート・センシング
- 5 民間宇宙ステーション
- 6 軌道上サービス
- 7 宇宙資源開発
- 8 安全保障ビジネス

各国によるロケット打上実績の歴史的推移



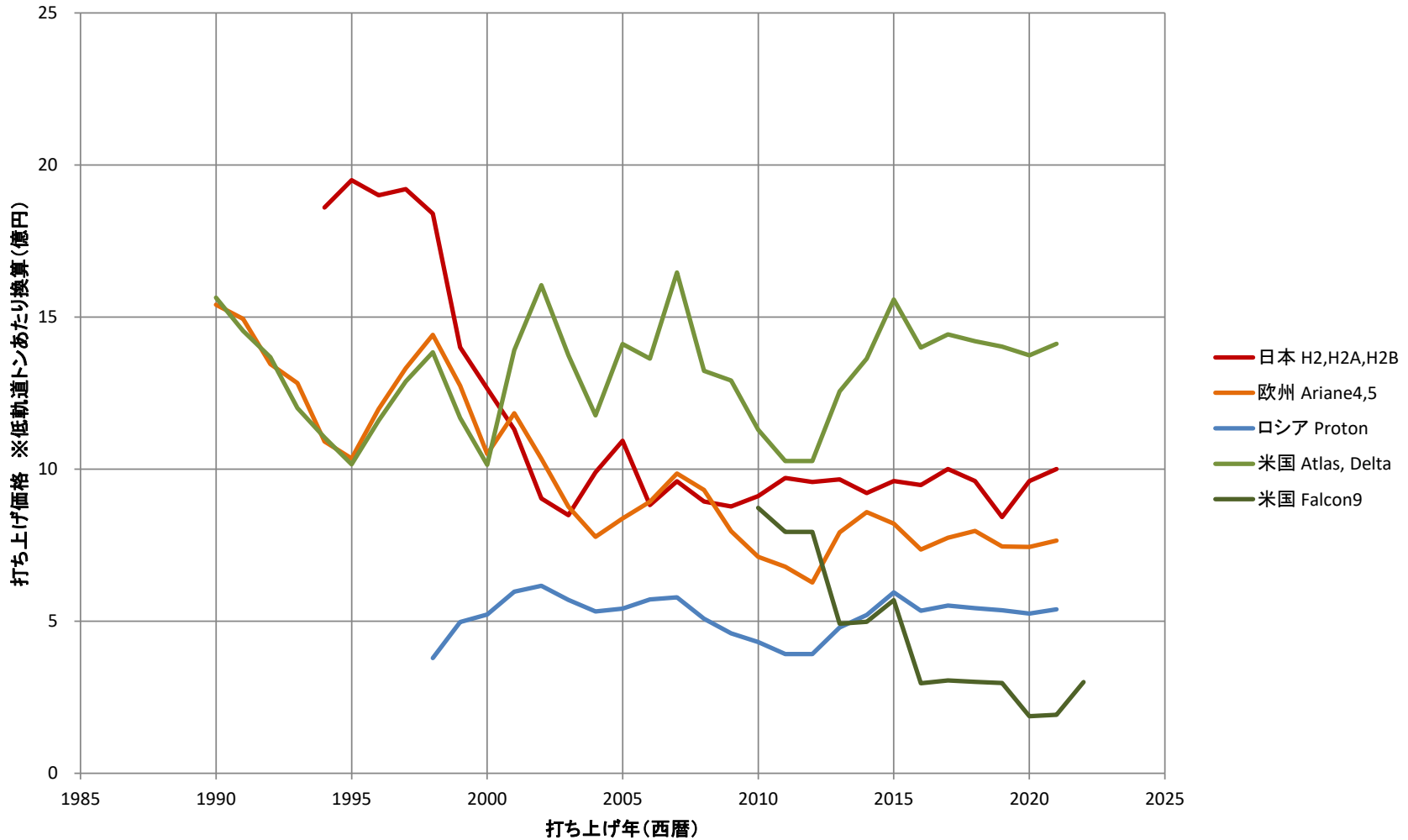
各国によるロケット打上実績の歴史的推移



- ①米国
2000年代低調
2010年代から拡大傾向
2020年代に急拡大
- ②中国
2000年からコンスタントに拡大傾向
- ③ロシア
2010年代半ばまで好調
2015年以降低迷
- ④欧州・日本
大きな変化なし
- ⑤ニュージーランド
Rocket Lab社／Electronの打ち上げ

ロケット打上価格推移(貨物1トンを低軌道へ投入する金額:億円)

各国主力ロケット打ち上げ価格推移



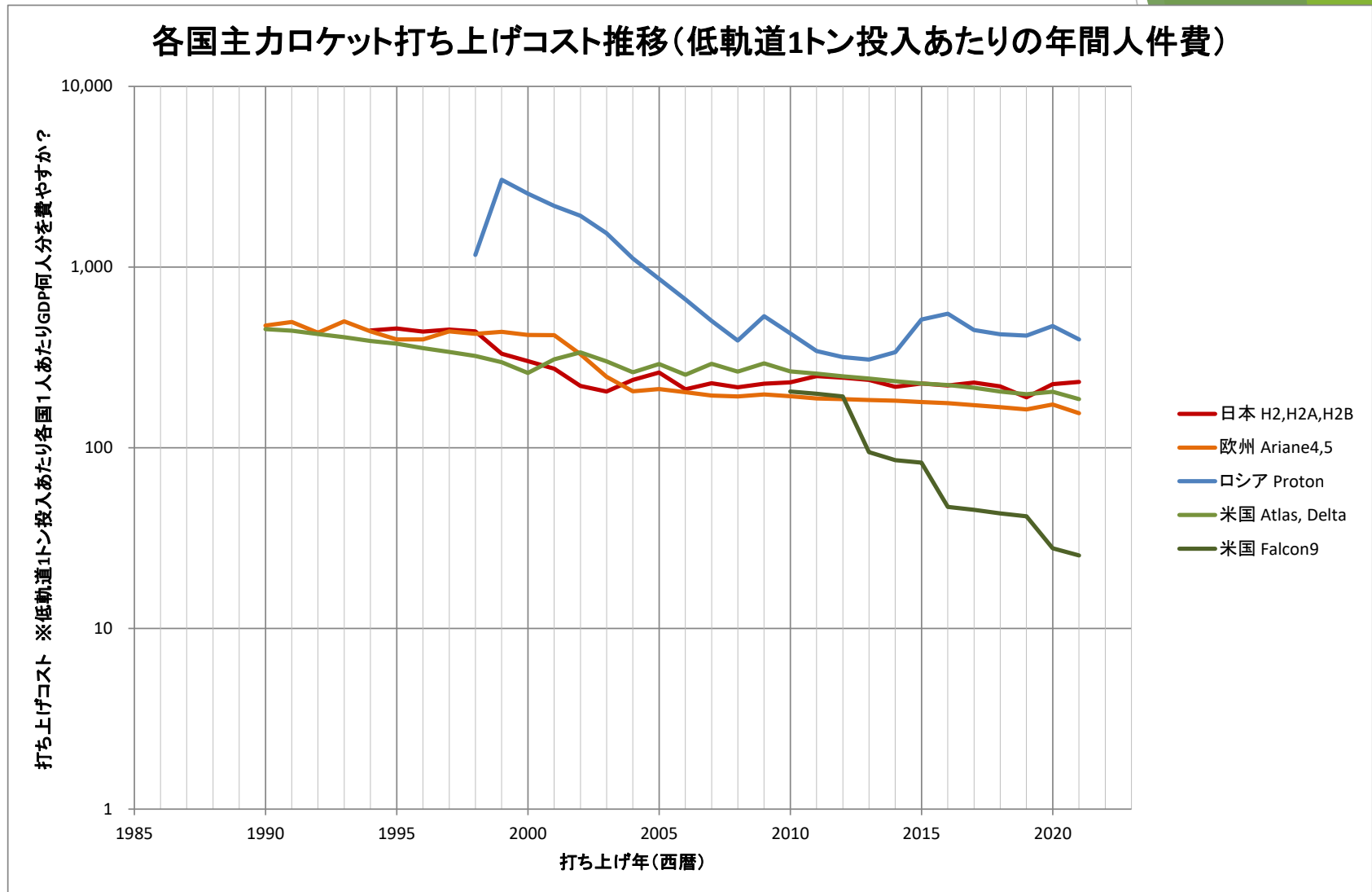
(注1) 公的機関の発表価格、輸送事業者の公表価格、報道等による価格情報を集約し、入手できない年はその前後年の価格情報から補間し、作成している。

(注2) 各ロケットの低軌道打ち上げ能力で除算することで、低軌道1t当たりの打ち上げ価格を求め、各年の為替レートで換算し単位億円としている。

(出所) 各種資料から後藤大亮作成。

ロケット打上人件費推移

(貨物1トンを低軌道へ投入する金額:一人当たりGDPで正規化)



(注1) 公的機関の発表価格、輸送事業者の公表価格、報道等による価格情報を集約し、入手できない年はその前後年の価格情報から補間し、作成している。

(注2) 各ロケットの低軌道打ち上げ能力で除算することで、低軌道1t当たりの打ち上げ価格を求め、各年の為替レートで換算し単位億円としている。

(出所) 各種資料から後藤大亮作成。

ロケットの規模による分類

超大型ロケット

SpaceX社 Starship
Blue Origin社 New Glenn

- 低軌道打ち上げ能力
50ton~100ton超
- メガコンステレーション衛星
の大量打ち上げ

大型ロケット

SpaceX社 Falcon9
ロケットラボ社 ニュートロン
レラティビティスペース社 テランR

- 低軌道打ち上げ能力
10ton~20ton
- コンステレーション衛星の
複数機同時打ち上げ
- 静止衛星(数ton)

中小型ロケット

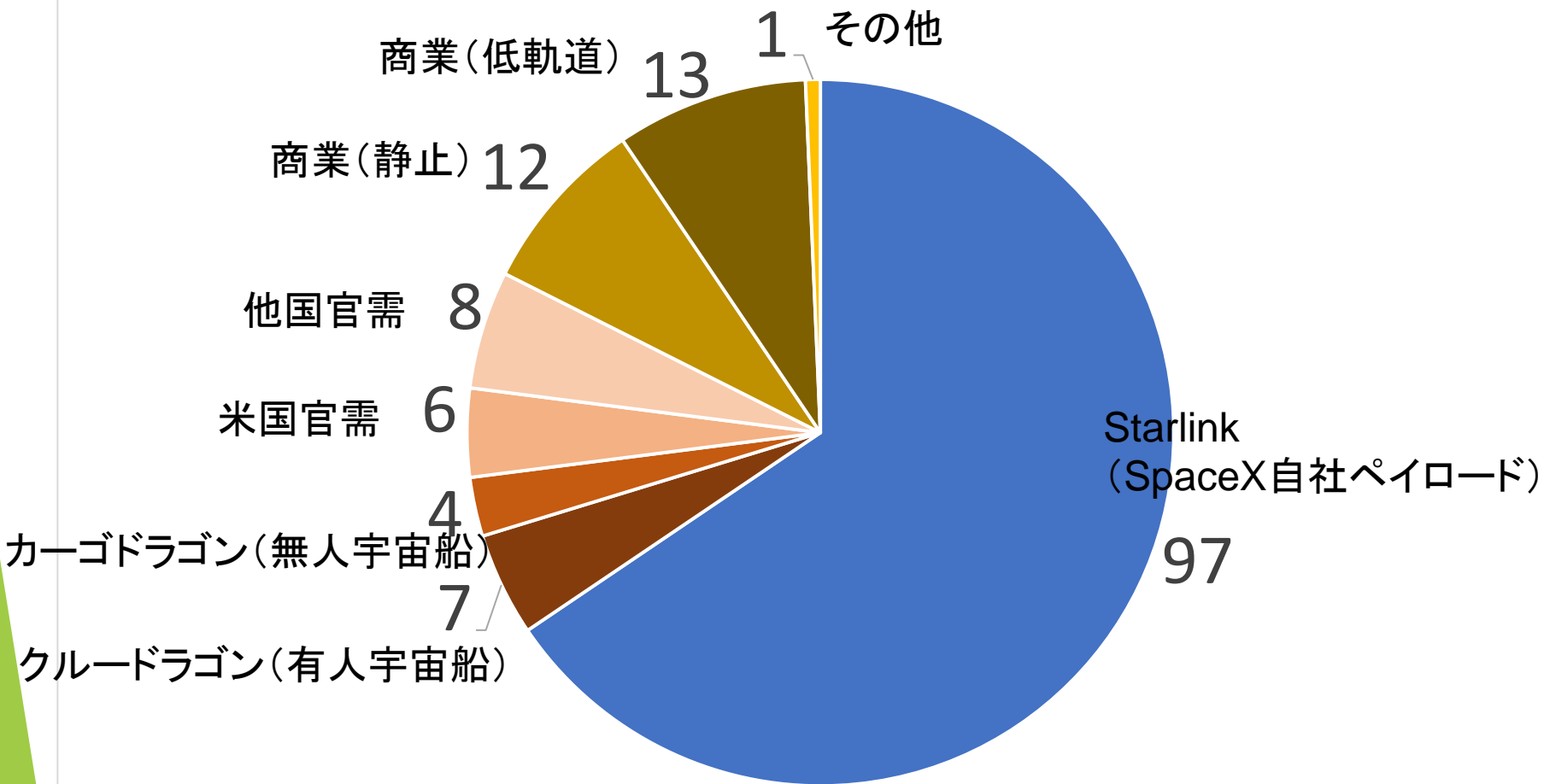
バージンオービット社 ロンチャーワン
ロケットラボ社 エレクトロン
レラティビティスペース社 テラン
アストラ社 ロケット
インターステラー社(日) ゼロ

- 低軌道打ち上げ能力
~1ton
- 小型衛星(コンステレーショ
ン)単独打ち上げ

※ 「New Space」企業に限る
赤字は運用を開始しているロケット

Falcon9ロケット 2022-2023 打ち上げ機数 計148機

打ち上げ機数を主ペイロードで分類



■ Starlink

■ Crew Dragon

■ Cargo Dragon

■ US Gov

■ Other Gov

■ Commercial GEO

■ Commercial LEO

■ Commercial others

2 民間宇宙旅行

3 通信コンステレーション

コンステレーションの強み

- ① コストの低減(大量生産)
- ② 技術的陳腐化を防ぎやすい(⇔短寿命)
- ③ 地上をまんべんなくカバーできる
- ④ サービス対象地域を柔軟に選択できる
- ⑤ 通信遅延が少ない
- ⑥ 安全保障上の耐性が高い

コンステレーションの弱み

- ① 高コスト(衛星費用、打ち上げ費用)
- ② 打ち上げた衛星のかなりの割合は、ほぼ無人の領域(海上など)をカバーするのに使われる。人口密集地は通信容量不足する上に地上インフラと競合。
- ③ 打ち上げ回数が多くなる→インフラ整備期間が長い。

通信コンステレーションの歴史

1990年代～2000年代

- Iridium（通信領域：全球 衛星数：77機）
- GlobalStar（通信領域：北極&南極はカバーしない 衛星数：48機）
- Orbcomm（通信領域：北極&南極はカバーしない 衛星数：48機）

上記3社はすべて経営破綻(チャプター11)、官需／軍需等で運用継続

2010年代

- O3b（通信領域：低緯度領域 衛星数：8機）

旧世代衛星の更新(通信速度向上)

- Orbcomm Second Generation
- GlobalStar2
- Iridium Next

2020年代

- OneWeb（通信領域：全球 衛星数：648(計画)→544(打ち上げ済)）
- Starlink（通信領域：全球 衛星数：12000(計画)→3000以上(打ち上げ済)）
- Amazon Kuiper（通信領域：全球 衛星数：3236(計画)）

4 リモート・センシング

7 宇宙資源開発

第六章

スペースXが「宇宙ベンチャーの雄」 となりえた理由

- 1 どのようにして宇宙ベンチャーの基礎を作ったか
- 2 COTSを通じて技術力を高め評価を確立するまで
- 3 事業領域の拡大
- 4 民間主導の火星移住に向けて

スペースX社

設立	2002年
創設者&CEO	イーロン・マスク氏
社長&COO	グウィン・ショットウェル氏
主要事業	宇宙輸送サービス、Starlink衛星通信サービス
主要宇宙機	Falcon1ロケット（2008年に初飛行成功，退役済み） Falcon9ロケット（2010年に初飛行成功，運用中） FalconHeavyロケット（2018年に初飛行成功，運用中） Starshipロケット（開発中） Dragon貨物船／ISS補給船（2012年にISS補給に成功，運用中） Dragon有人宇宙船（2020年にISSへの有人輸送に成功，運用中） Starlinkコンステレーションシステム（運用中，システム構築中）



SpaceX Company Overview

SpaceX designs, manufactures, and launches the world's most advanced rockets and spacecraft. The company was founded in 2002 by Elon Musk to revolutionize space transportation, with the ultimate goal of enabling people to live on other planets.

- SpaceXは、最も先進的なロケットと宇宙船を設計、製造し打ち上げる
- 2002年にイーロン・マスクにより創立された
- 宇宙輸送に革新を起こすことを目的
- 最終ゴールは人類を他惑星に居住可能にすること

スペースX社のビジョン (三段ピラミッド)

中心的意義・価値
(コト)

Enabling People to live on
other planets
(人類を他惑星に移住可能に
すること)

社会、人類に貢献

意義・価値を実現す
る手段 (モノ)

SpaceX designs, manufactures and
launches advanced rocket and
spacecraft
(最も先進的なロケットと宇宙船)

ピラミッド頂上(意義・価値)を実現
するための最適な手段であること

手段を実現するた
めに必要な技術要素

Revolutionize space Transportation
(革新的な宇宙輸送技術)

ピラミッド二層目を実現す
るために必要な技術

スペースX社の経営

- **世間があっと驚くような花火**
 - 実績ゼロの段階でも、パフォーマンス／宣伝
大言壮語
 - 守れない目標でも声高に宣言(ただし期限を過ぎても、最終的にあっと驚く
技術を実現させることで、期待感を途切れさせない)
- **熱狂的な信者を集める(同時に批判者も)**
 - 人材確保
 - 投資を惹きつける。受注へつなげる。
- **社員のモチベーション**
 - ハードに働くことを求める
 - 世界のだれも成し遂げていない成果を生み出すという高揚感を共有
 - 経験豊富な優秀人材をヘッドハンティング(NASAや他の宇宙企業から)
- **自由自在な方針転換**
 - 目標や手段を「変えること」を恐れない
 - ベンチャーならではのフットワークの軽さ(国家機関宇宙開発やレガシースペースに対する決定的な強み)
- **ケンカを厭わない**
 - 政府機関や大手宇宙企業相手に訴訟
 - X(旧Twitter)や会見などで歯に衣着せぬコメント(イーロン・マスク)

スペースX社の技術

- **過去の宇宙開発のレガシーを活用 & 発展**
 - 米国／ロシア(ソ連)の過去のロケットの実績や設計を徹底的に分析
 - 米軍やNASAの研究開発成果の取り込み
 - 21世紀の技術進歩を取り込んで再構成
 - IT技術、コンピューティング技術の活用
- **ソフトウェア的开发手法／検討 & 解析を尽くしてリスクをとる**
 - ハードウェアはなるべくシンプルに。ソフトウェアで価値を出す
 - モデルベース開発、シミュレーション確認／実機確認の範囲をみきわめ。
- **技術革新と企業経営の相乗効果**
 - 部品の内製化
 - 「数量」の価値
 - コスト削減手法

まとめ

- ・「宇宙ベンチャーの時代」 ねらいと各章の概観
- ・宇宙ビジネスの8つの注目分野
- ・スペースX社の歩み & 強み

ご清聴ありがとうございました