

# 宇宙が社会に貢献する未来を見据えて ～超小型衛星の新しい潮流と 宇宙ビジネスの今後～

東京大学 中須賀真一

## 講演の内容

- 世界の宇宙開発利用の新しい流れ
  - 超小型衛星による安い・早い宇宙開発への転換
- 「小型コンステレーション」への加速
- ベンチャーの隆盛と多分野との連携による新しい産業創生
- 未来に向けて: 地球規模課題・社会問題解決に宇宙が貢献する

## 世界の宇宙開発利用の新しい流れ ～官から民へ、大から小へ、少数から多数へ～

## 日本の宇宙開発利用の全体像

- 輸送系(基幹ロケット: H-IIA, Epsilon→H3が2021年度)
  - 測位衛星(日本版GPS: 準天頂衛星)
  - 地球観測衛星(光学、レーダー: ALOSシリーズ)
    - 温室効果ガス観測: GOSAT, 気象衛星: ひまわり
    - 水蒸気、大気中の粒子等観測: GCOMシリーズ
  - 通信放送衛星(実証衛星: ETS-9計画)
  - 宇宙科学衛星(X線: XRISM, 赤外: SOLAR-C, LightBird)
  - 宇宙探査衛星(はやぶさ、月SLIM、火星MMX2024年)
  - 国際宇宙ステーションISS→月のGatewayへ
    - アルテミス計画参加、HTV-X、月面上与圧ローバ
  - 安全保障ニーズ: SSA(デブリ等)、早期警戒、通信
- 政府の宇宙予算は5200億円。宇宙産業の官需率92%

cm測位 利用拡大への取組分野

自動運転（自動車）



ドローン



MaaS



(\*) MaaS : Mobility as a Service

農業



cm精度で位置がわかったら、  
何ができるだろうか？

港湾クレーン



除雪



AGV



船舶



## トピックス1:通信メガコンステの登場



### Starlink (SpaceX社)

高度550km、1150km、340kmに合計12000機(42000とも)  
すでに3000機以上打ち上げ済み(60機同時打ち上げ)

## トピックス2: Crew DragonによるISS有人輸送



2020年5月30日2名の宇宙飛行士をISSに輸送成功  
将来は7人乗りに。野口・星出宇宙飛行士も搭乗

## 世界の宇宙開発における 2つの大きなゲームチェンジ

### 宇宙開発利用の現場で起きている2つの大きなゲームチェンジ

- ▶ **小型衛星コンステレーション**（衛星群）による低価格化、データ量の飛躍的増大による新しい価値創造(通信、地球観測分野中心)：**超小型衛星技術の進展**
- ▶ 国家機関主導による研究開発に加え、**ベンチャー等民主導による研究開発成果を国が利用**（SpaceX社による有人宇宙船打ち上げ、CLSPなど）

#### <戦略面でのTrend>

- ・民生利用と防衛ニーズの連携による横通しの戦略と技術開発(米)
- ・拡大する通信ニーズへの官民一体となった戦略的な技術開発と実証(欧州)

#### <技術面でのTrend>

- ・Digitalization, Digital Transformation、ソフトウェアベースでの柔軟性確保
- ・技術進化のスピード加速、多品種少量生産への対応のためAgile開発
- ・大量生産技術(OneWeb:800、Starlink:12000、Planet:200、Spire:50など)

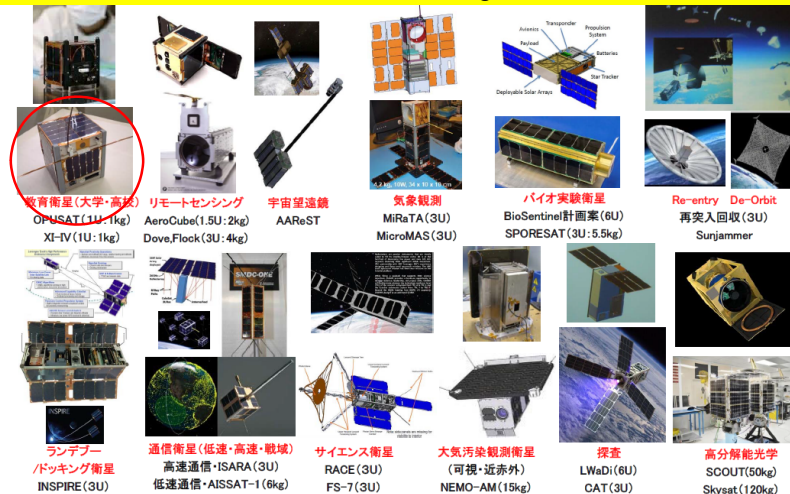
# 米政府は民間のサービスを購入

- 政府は**アンカーテナント**(継続的に購入する顧客)としてサービスを調達。
- 安全保障や気候変動対策などにおける宇宙の利用を拡大しつつ、民間企業の新しいチャレンジや投資を促進。宇宙産業の競争力強化につながる同時に、政府はより高度で安価なサービスを利用できる。

## 米国は積極的にベンチャー企業と契約

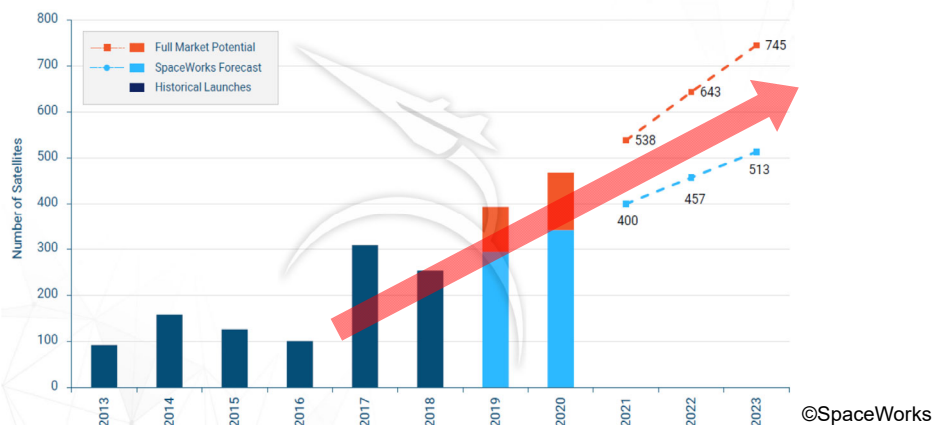
- ✓ 宇宙開発庁は、ミサイル防衛等に用いる通信衛星システムの整備のうち、42機をYork Space System社に\$382M(約450億円)で発注。
- ✓ 国家偵察局(NRO)は、安全保障における衛星画像利用の研究について、スタートアップ2社(BlackSky Global社, Planet社)と契約(2019年)
- ✓ 空軍研究所は、衛星を利用した電波分析について、HawkEye360社と\$15.5M(約18億円)の契約を締結(2022年)
- ✓ 米国空軍は、Tomorrow.io社に気象衛星の開発を\$19.3M(約23億円)で契約(2021年)。約30機の衛星で、1時間ごとに全世界の気象データを取得。
- ✓ ウクライナ紛争を受け、政府がリモセン3社(Maxar, BlackSky, Planet)と10年で数千億円の契約

# 大きな変革の起爆剤: 世界で起こっている100kg以下の衛星による宇宙開発革命!

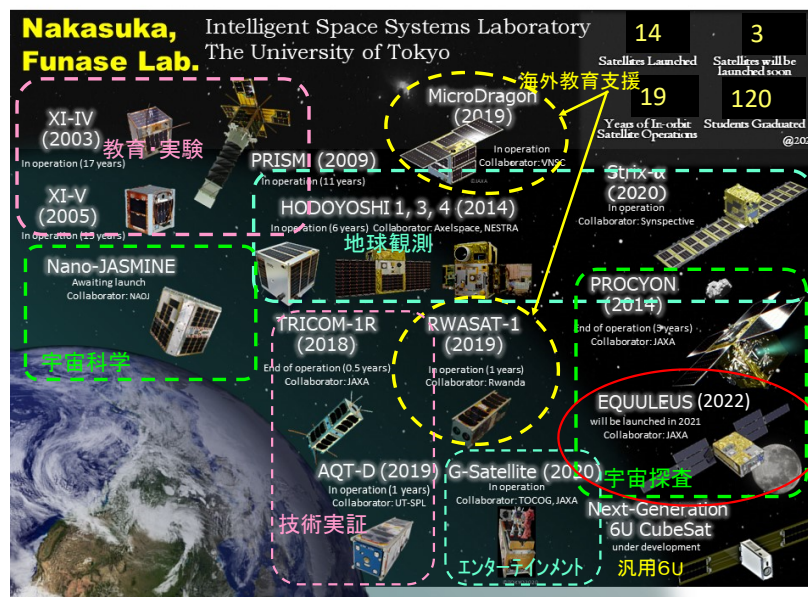


開発費: 数百億円→数千万から数億円、開発期間: 5年以上→1, 2年へ、「安い・早い」が新ビジネスを生む大学・ベンチャーが中心。民間投資も集中。→ 国もその重要性に気づき中大型の代替に使い始めた

# 超小型衛星 (< 50kg) の打ち上げ数の拡大

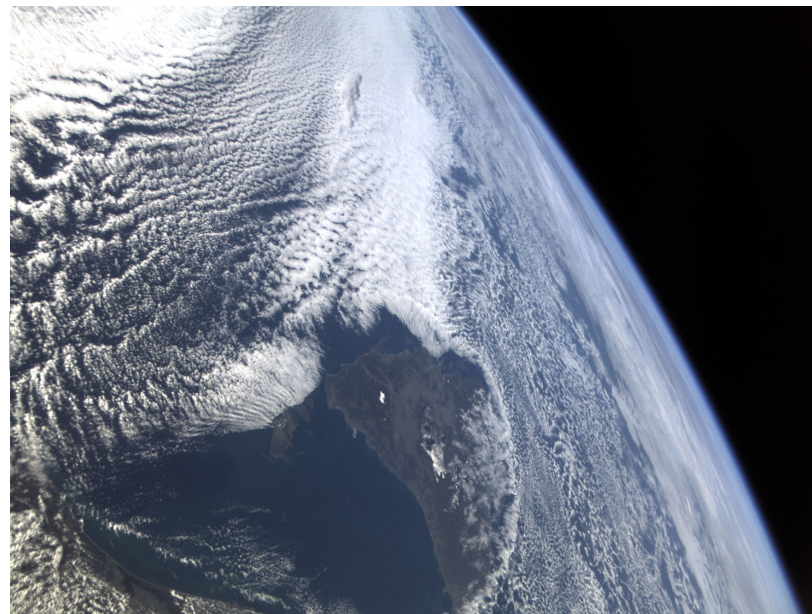
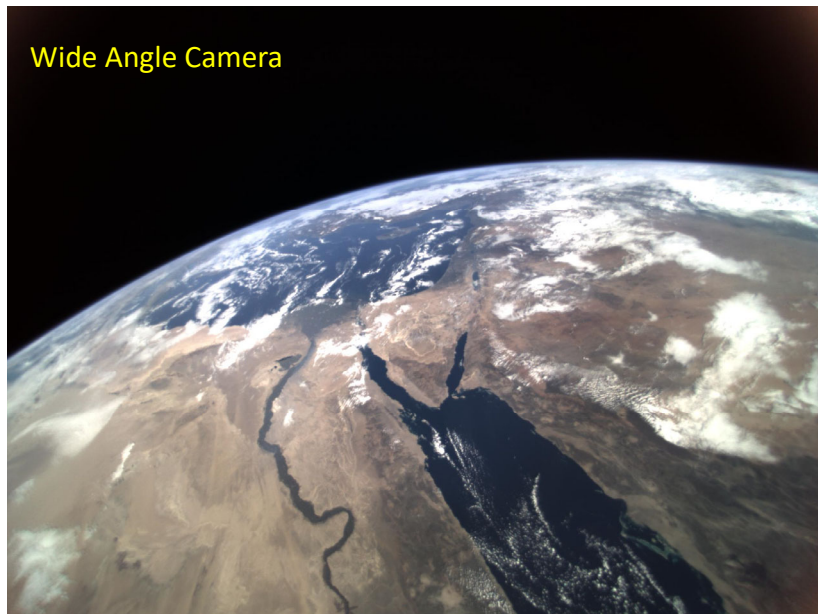


EUROCONSULTの調査では2019-28年の間に500kg以下衛星が9935機打ち上げ予定(3900トン)

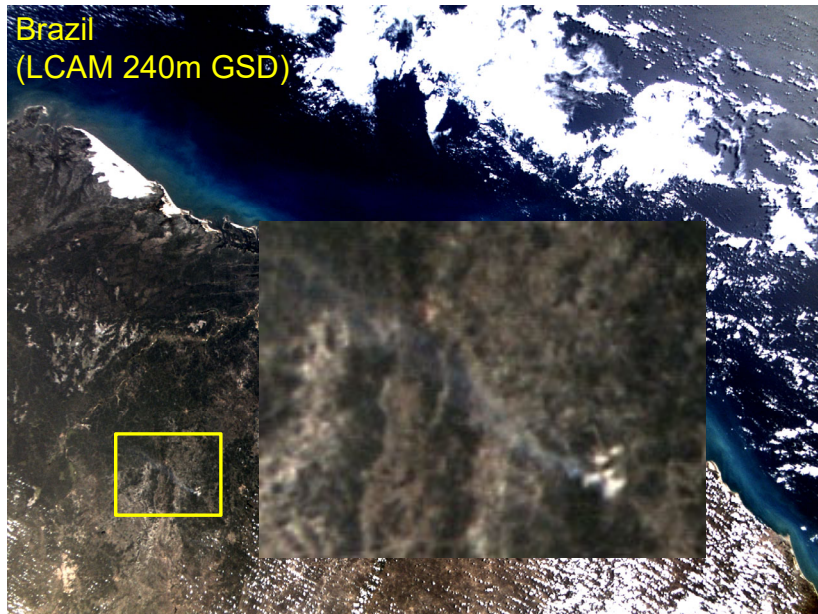




Wide Angle Camera

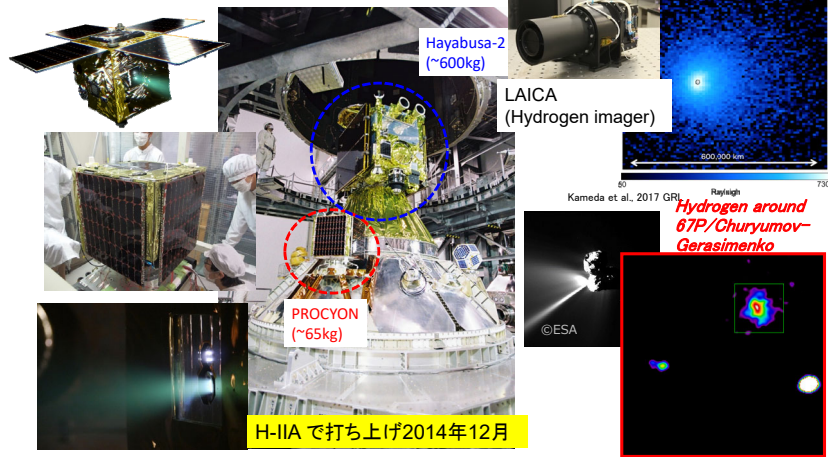


Brazil  
(LCAM 240m GSD)



## PROCYON (2014年打上げ: 世界初の50kg級深宇宙探査機)

- JAXAとの共同プロジェクト



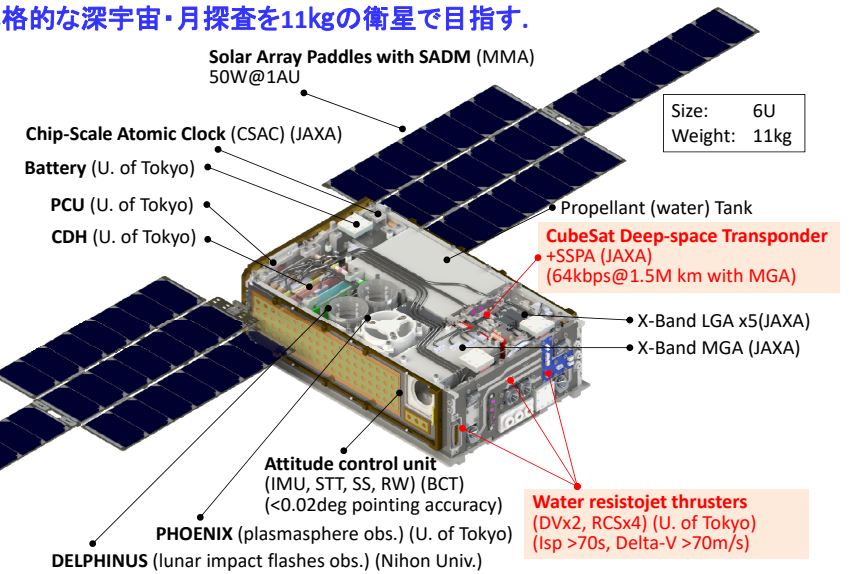
H-IIA で打上げ2014年12月

ほどよしPJの成果を生かし14ヶ月で開発

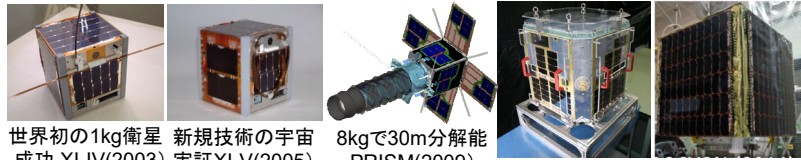
## EQUULEUS 本格的な深宇宙・月探査を11kgの衛星で目指す。詰め込む工夫!



11月16日打上げ成功! 月に向かって飛行中。



## 東京大学の超小型衛星プログラム(14機打上げ+3機打上げ待ち)

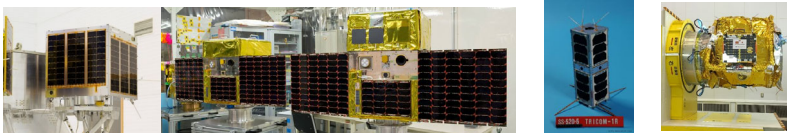


世界初の1kg衛星 新規技術の宇宙成功 XI-IV(2003) 実証XI-V(2005) 8kgで30m分解能 PRISM(2009) 最先端の宇宙科学 Nano-JASMINE 世界初の超小型深宇宙探査機 (打上げ待ち) PROCYON(2014)

宇宙・工学の教育目的からスタート  
実験をしながら、だんだん高機能に  
2010年「ほどよしプロジェクト」で  
実用化、ビジネス化に挑戦、起業も

- ベンチャー会社 エコシステム
- Axelspace (光学衛星)
- Synspective (SAR衛星)
- Arkedge Space (3U, 6U)
- Infostellar (地上局)

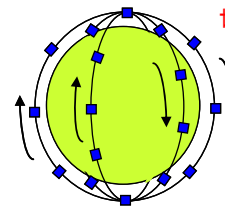
60kg級の6m分解能リモセン衛星(3億円、2年で開発) ほどよし1号 ほどよし3号および4号(2014年打上げ)



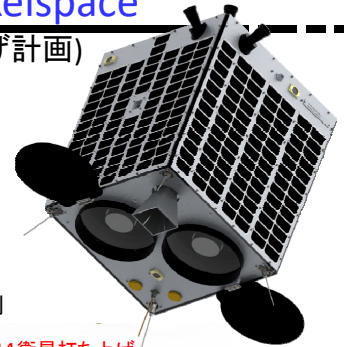
## 光学衛星スタートアップ “Axelspace”

- GRUS (10-20 衛星を202Xまでに打上げ計画)

世界中の陸地を1日一回観測



2.5m 分解能の GRUS



“AXELGLOBE” 多数衛星による頻繁な観測



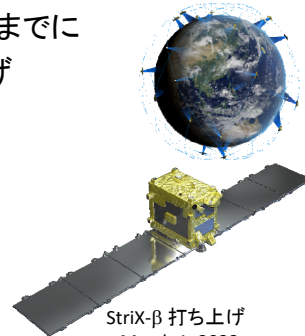
GRUS-1A (2018)



追加4衛星打上げ 3月22日, 2021年

## SAR 衛星スタートアップ “Synspective”

- 20-30衛星のコンステレーションを 2025-26年までに
- 初号機 “StriX-α” が2020年12月15日打ち上げ
  - 3m 分解能
  - 140kg, 70cm立方の衛星サイズ
- **衛星バスは東大が開発**
  - ほどよしプロジェクトの成果を最大利用



StriX-β 打ち上げ  
March 1, 2022  
StriX-1 (実用初号機)  
打ち上げ  
September 16, 2022



初号機 StriX-αの最初の画像  
2021/2/8 Noon (JST)  
南フロリダの空港

ルワンダとの連携によりアフリカに衛星開発を！  
(Transform Africa Summit 2018/5)

Transform Africa Summit 2018  
ACCELERATING AFRICA'S SCALE DIGITAL MARKET  
7-9 May | Kigali-RWANDA

Arkedge Space との共同開発

打上げ後記者会見 (IT大臣) 2019.9

RwaSat-1

H-IIB での打ち上げ  
2019年 9/25

2019/11/20  
ISS放出

## 超小型衛星の教育的意義

- **宇宙開発プロセスの実践的教育・工学教育:**
  - 学生が衛星プロジェクトのすべて(ミッションの構想、シナリオ、設計、製作、試験、打ち上げ、運用)を経験する
    - その過程で、何が重要かを肌で知る！
  - 何もないところから、アイデアを起こし、システムおよびその利用につなげるプロセスの重要性
  - 作ったものの現実世界からのフィードバックを得る(宇宙ではこれまで難しかった！)
- **学生によるマネジメント:**
  - プロジェクトマネージャー、実験主任は学生が行いマネジメントやチームワーク等の経験を得る
  - 4つの管理: 時間、人間、コスト、そしてもう一つは？
  - 効果的な会議、ドキュメンテーションの試行錯誤的習得

## 2000年のCanSatにおける失敗

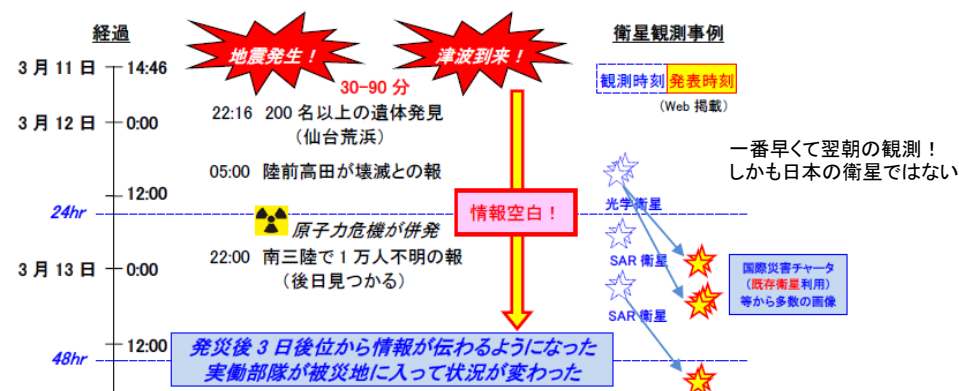
パラシュートとCanSat本体がパラシュート展開時の衝撃で分離、本体は自由落下で地面に激突！



- 失敗は大事。そこからは多くのことが学べる。緊急対応の鍛錬にも！
- 失敗はプロジェクト規模が小さい時に経験しておくべし。

## 小型コンステレーションへの加速

## 東日本大震災後の状況と衛星観測



中村太一「衛星による災害観測能力の総合的評価について(第一報) 日本航空宇宙学会論文誌、第63巻、第4号 より

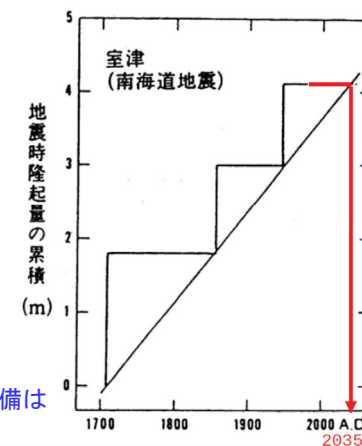
### 防災分野として衛星に求める諸元

- 家枠がはっきり認識できる 1 m程度の解像度が必要
- 地震については、M7以下が全体の99.3%。M7前後の揺れの場合、被害が大きい震度6強以上は東西10km~20kmの規模感
  - 南海トラフ地震の場合は津波を含めて数百kmの規模感を想定する必要がある
- 洪水については、東西10km~30kmの規模感
  - 東日本台風のように時間差で浸水が各地で多発することを想定する必要がある
- 衛星が優位なのは発災から24時間以内と考えるべき。
- いつ起きるかわからないため、できるだけ短い間隔 (3~6時間間隔) で日本域をカバーする観測データの活用がポイント

空間分解能と観測幅だけを強調してきた従来の日本の地球観測衛星だけでなく、即応性・時間分解能(6時間以内に観測など)を重視した計画⇒サイズの異なる複数機の防災衛星コンステレーションを目指す必要

### 次の南海トラフ地震の発生予測 (防災科研からの報告より)

- 次の発生時期を予測する
- 室津港の累積隆起 (島崎・中田, 1980)
- 時間予測モデルがfit
  - 地震規模から次の地震の発生時期が予測可能



2035±10

防災に向けての観測衛星の整備は喫緊の課題



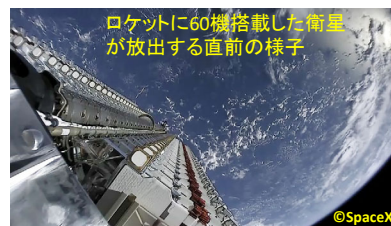
## 日本の防災にはコンステレーションが必要

- 防災に必要な衛星の性能(防災科研ヒアリング等から)
  - 発災後、12時間程度以内で最初の情報が欲しい
    - どこに注目し人を入れるべきかを「探索」する画像
  - その後、継続的に数時間間隔での情報が必要
    - 特定の地域のその後を高分解能で「監視」する画像
  - 雲や夜でも撮像可能な全天候型・昼夜観測必要



- ALOS-4の幅200km観測は魅力的だが、1機だけでは12~36時間間隔が精一杯(場所によっては36時間かかる)。
  - 「探索」で12時間で観測するには数機以上必要。大型衛星ではコストが見合わない
- 官民の衛星のコンステレーションで頻繁な観測をする必要。例として、
  - 「探索」は国の複数の中大型衛星+民間小型コンステ
  - 「監視」は民間の小型コンステの画像を政府が購入・利用

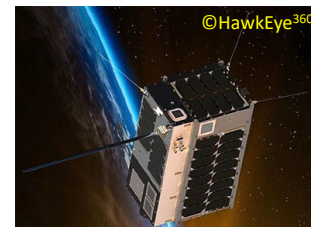
## 小型衛星コンステレーションによる各種の新しいサービス



SpaceXのStarlinkは12000機の小型コンステで宇宙のインターネット網構築目指す



Planet社は170機以上の4kg衛星により、3m中分解能の地球画像の撮像を高頻度で実施



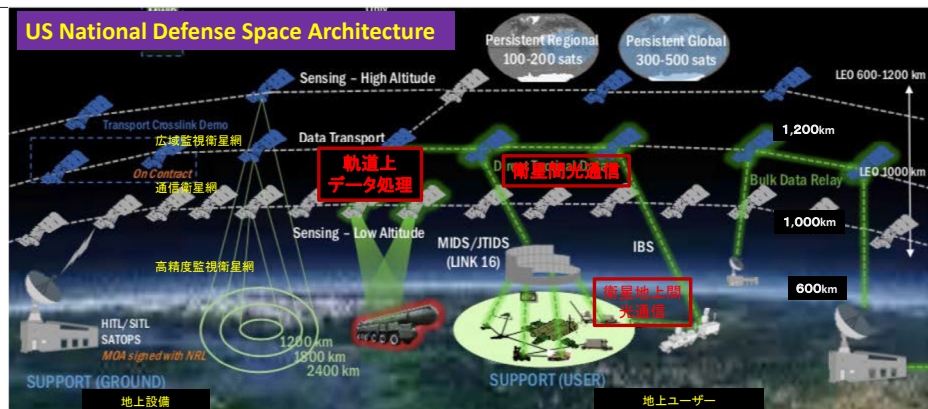
3から4機の超小型衛星(20kgクラス)により電波の到来方向を検知。MDAに利用



Spire Global社は100機以上のGPS掩蔽観測で局地気象情報をNOAAに販売,AIS,ADS-Bも

## 安全保障への最新技術の活用(NDSA)

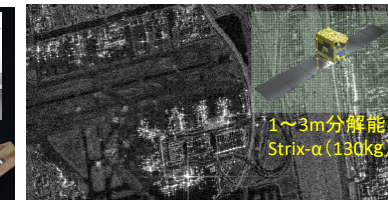
- 高速で滑空するミサイルの迎撃には、複数の衛星が連携して追尾し、分析結果をリアルタイムに地上と共有する小型衛星コンステレーション技術が必要。米国のN D S Aでは、小型衛星コンステレーションを活用した対応を構想。
- 我が国でも、赤外観測衛星を多数配置した衛星コンステレーションにより、極超音速滑空弾 (HGV) 等を宇宙から探知・追尾するシステムの実現に必要な技術実証を行うための実証機について、概念検討を実施



## 日本でも小型コンステ・ベンチャー登場



Axelspace社は5機の光学衛星コンステ運用中。小型コンステで世界中1日1回の撮像目指す



Synspective社はSAR衛星による数時間以内の一回の観測を目指す(現在1機運用中)

### ○課題はスピード

- アメリカは政府が一定額購入(アンカーテナンシー)により特定企業の成長を後押し。それを目指して米に小型コンステ・ベンチャーが集結中
  - 数十機~100機レベルのコンステに5年以内に成長
  - 多数機の生産・運用により、技術の革新・進歩が極めて速い(安全保障でも必要)
- 民間の小型コンステ企業の成長を支援し、防災・安保などの利用で政府がアンカーテナンシーをしないと世界に取り残される
  - 政府が利用を確約することで、民間企業の投資が進む。そのエコシステムを
  - コンステ・ベンチャーの技術・人材育成を支える大学衛星への戦略投資必要

## 通信メガコンステが多数登場

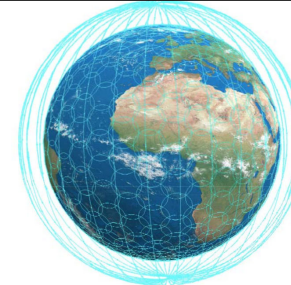
Operator	Country	Band/orbit	Size**	Capacity	Lifetime	Target markets	Status
SES <sup>A</sup> O3b mPOWER	U.K.	Ka MEO	7-22	200+ Gbps per satellite	> 10 years	Trunking, backhaul, Enterprise, Civil Govt., Military, Mobility (primarily maritime)	Development (contracted)
SPACEX STARLINK	U.S.A.	Ku LEO	Up to 4000	20 Gbps per satellite	~5 years	Consumer broadband, Enterprise, Backhaul, Military, Commercial Aviation	Deployment
TELESAT	Canada	Ka LEO	292	40-50 Gbps per satellite	10 years	Backhaul, Enterprise, Civil Govt., Mobility, Military	Development (uncontracted)
amazon	U.S.A.	Ka LEO	3236	NA	7 years	Consumer, Enterprise, Backhaul, Civil Govt., Mobility	Development
OneWeb	U.K.	Ku LEO	648	7.5 Gbps per satellite	7 years	Enterprise, backhaul, Civil Govt., Aero, Maritime, Military	Deployment
Viasat <sup>▲</sup>	U.S.A./ NED	Ka LEO	288	100 Gbps per satellite	N/A	Consumer, Enterprise, Civil Govt., Aero, Military	Planning (uncontracted)
AST	U.S.A./ PNG	LTE- LEO	243	N/A	N/A	Consumer/Enterprise (Mobile Network Operators)	Development (in-house)
MANGATA	U.S.A.	Ka/V- MED-HEG	Up to 800	75-100 Gbps per satellite	N/A	Backhaul, mobility, enterprise, IoT	Planning
Hongyun (CASIC)	China	Ka LEO	156	5 Gbps per satellite	N/A	Consumer, enterprise, backhaul, mobility, satnav, EO	Development
Hongyan (CASIC)	China	Ka/L- LEO	320-864	10 Gbps per satellite	N/A	Consumer, backhaul, enterprise, IoT	Development
Galaxy Space	China	Q/V- LEO	144-650	10 Gbps per satellite	N/A	Consumer, backhaul, enterprise, civil gov.	Planning

<sup>A</sup>User links    <sup>\*\*</sup>Current generation only    2029までの機数    Ref. Euroconsult, Satellites to be built & launched by 2029

“Big GEO satellites” vs. “LEO constellation” の戦い or 住み分け

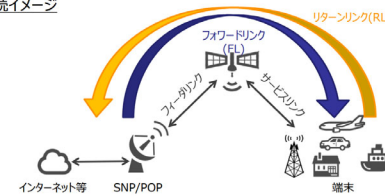
PNT (Position, Navigation, Time) 位置・時刻情報の提供を通信衛星から

## Softbank: One Web社への出資で衛星経由の通信サービス目指す



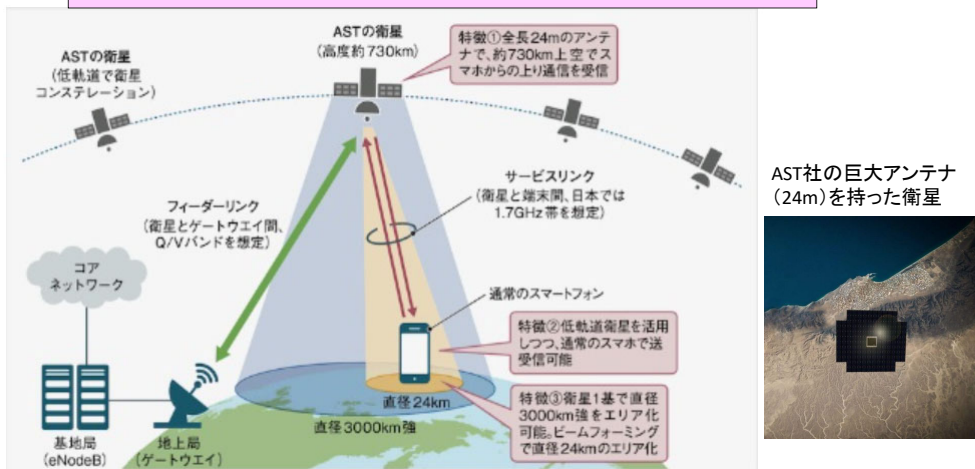
会社設立：2012年  
 Founder：Greg Wyler  
 CEO：Eric Beranger  
 打上げ開始：2018-19年  
 サービス開始：2020年（部分的）  
 衛星総数：882機（Full）  
 軌道高度：1,200km

接続イメージ



2022年にはPNT(Position, Navigation, Time)の中の「時刻(t)」提供のサービス開始、2025年にはPNTすべて提供（2021年の計画では）

## 楽天: AST & Science社の通信衛星ビジネスへの出資で衛星経由の携帯網めざす(スペースモバイル)



技術・資金だけでなく、どうやって顧客を囲い込み、特定分野の市場を開拓できるか、が鍵

## 低軌道小型コンステレーションの重要性

- **地球観測**
  - 時間分解能を高める(頻繁な観測)⇒防災・安保ニーズ
  - 1機破壊されても全損しない「機能保障」
  - 撮った画像を衛星間の通信経路で迅速に地上に(今後への発展性)
- **通信衛星**
  - 衛星間のバケツリレーで世界中と通信可能
  - 電波強度、低遅延などの重要な特徴
  - 光通信とあわせて量子暗号通信を長距離で行える
- **測位衛星**
  - 強い電波が提供できる→室内でも受けられる、などのメリット
  - CLASのような高精度測位は、多くの衛星が見えた方が精度は高まり、収束も早い

# コンステレーションのメリット: 開発スピードの加速ができる

- 技術の迅速な向上のためには、技術実証と結果のフィードバックを、早いサイクルで繰り返していくことが必要。

$$\text{技術の向上度} = (1 + a)^N$$

1回の実証の技術向上度 (a)      実証の頻度 (N)  
 Nの向上がスピードアップのカギ (指数関数的な向上)

- スペースXが、創業から20年弱で有人ロケットまで到達した理由の一つに、失敗をおそれず、実際に造って試すことを重視したことが挙げられる。

## <ギャレット・リースマン氏のインタビュー (スペースX顧問、元NASA宇宙飛行士)>

- スペースXでは、机上で何年も考え込んで素晴らしい設計図を描くことよりも、実際に造って試してみて、描いた設計図が本当に機能するかどうかを試すことを優先。
- 設計の問題点をすべて修正し、また実際に試してみると、今度は別の問題が見える。これをスピーディーに繰り返すことで、どんどん成功に近づいていく。失敗を早く重ねることが、短期間で高い技術力を身につけられた一番の要因。
- コストも、実際にやってみて失敗したほうが安くつく場合が多い。失敗を恐れて実験をしなれば、もっと長い年月がかかる。高給で優秀な技術者を長期間、雇い続けなければならない。

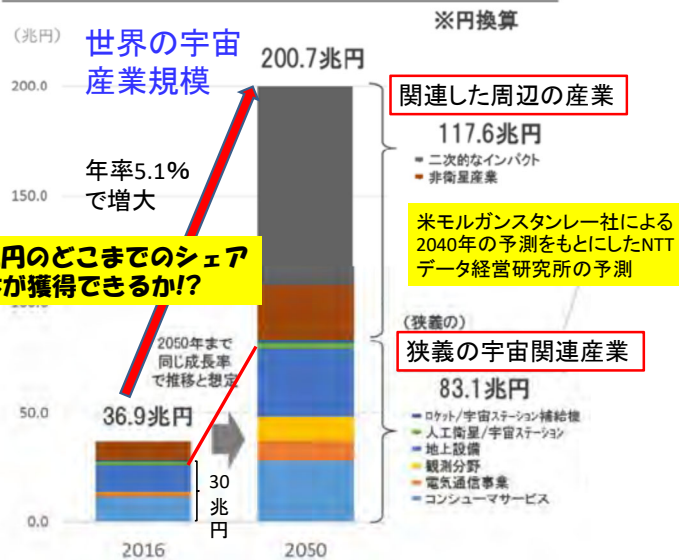


2020.12.9の試験で爆発するスターシップ (ロケット)

日経新聞のインタビュー記事 (2020.12.29) を要約  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQFK248FP0U0A221C2000000/>

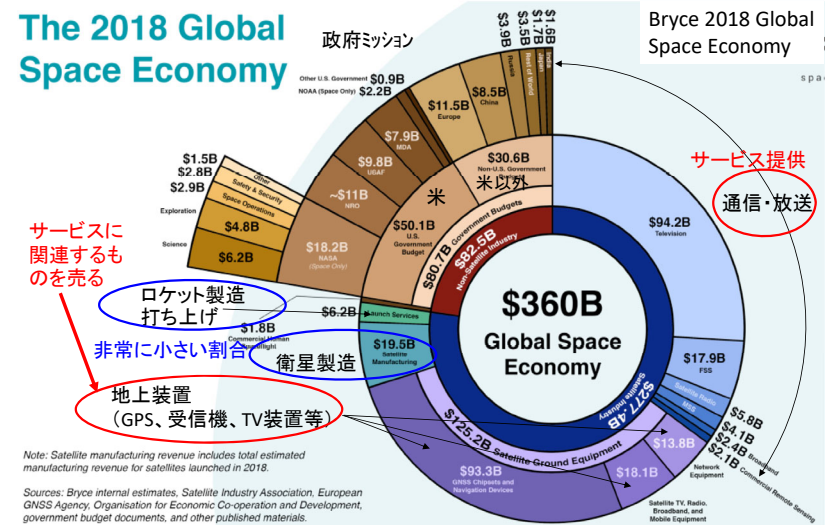
**"If things are not failing, you are not innovating enough"**  
**「失敗していないとすれば、イノベーションを起こしていないということだ」** (イーロン・マスク)

## 2050年における宇宙産業の市場規模予測(世界)



# ベンチャーの隆盛と多分野との連携による新しい産業創生

## 世界の宇宙産業規模 40兆円 (2018年当時)

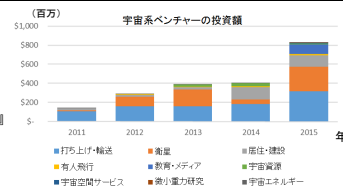


## 宇宙関連産業でのベンチャーに向けた新たな動き（世界）

- ▶ 近年、世界各国において数多くの企業が宇宙関連事業に新規参入。
- ▶ 世界の宇宙系ベンチャー企業による投資額は年間8億ドルを超え(2015年)、急激な増加傾向。

サービス	企業名	創業年	国	売上等
通信	SpaceX	2002	米国	-
	LuxSpace	2004	ルクセンブルク	-
	Agriize Satellite	2004	米国	-
	Innovative Data Services	2006	米国	-
	Gem Space	2007	デンマーク	-
	03b Networks	2007	オランダ	-
	exactEarth	2009	カナダ	約10M カナダ売上上
	Kymeta	2012	米国	-
	OneWeb	2012	英国	-
	Skybox Imaging	2009	米国	-
リモセン	Planet Labs	2010	米国	-
	Dauria Aerospace	2011	ロシア	-
	Spina	2012	米国	-
	Omni Earth	2014	米国	-
打上げサービス	Blue Origin	2000	米国	-
	Garvey Spacecraft	2001	米国	-
	SpaceX (再掲)	2002	米国	約800M\$
	Masten Space Svstems	2004	米国	約3M\$
	Rocket Lab	2007	NZ/米	-
	Stratolaunch Systems	2011	米国	-
	Generation Orbit	2011	米国	約2M\$
	Swiss Space Systems	2012	スイス/米	-
	Firefly Space Systems	2014	米国	-
	XCOR Aerospace	2000	米国	-
宇宙旅行 (軌道輸送・サブオービタル等)	Virgin Galactic	2004	米国	約150M\$以上
	Booster Space Industries	2006	ベルギー	-
	SHIPinSPACE	2013	英国	-

サービス	企業名	創業年	国	売上等
惑星探査 (火星・月面・小惑星資源)	Shackleton Energy	2008	米国	-
	Astrobotic Technologies	2008	米国	-
	Moon Express	2010	米国	-
	Golden Spikes	2010	米国	-
	Planetary Resources	2010	米国	-
	Mars One	2011	オランダ	-
	Deep Space Industries	2013	米国	-
	Inspiration Mars	2013	米国	-
	Geo Optics	2005	米国	-
	Geo Met Watch	2008	米国	-
気象	PlanetIQ	2012	米国	-
	Nano Racks	2009	米国	約3M\$
	Urthe Cast	2011	カナダ	-
	Zero Gravities Solutions	2013	米国	-
ISS利用	Orbital Outfitter	2006	米国	-
	Final Frontier Design	2010	米国	-
	Earth 2 Orbit	2008	インド	-
	Nova Nano	2009	フランス	-
宇宙服	Space Flight	2010	米国	約0.2M\$
	ECM Space Technologies	2010	ドイツ	-
打上げ仲介				

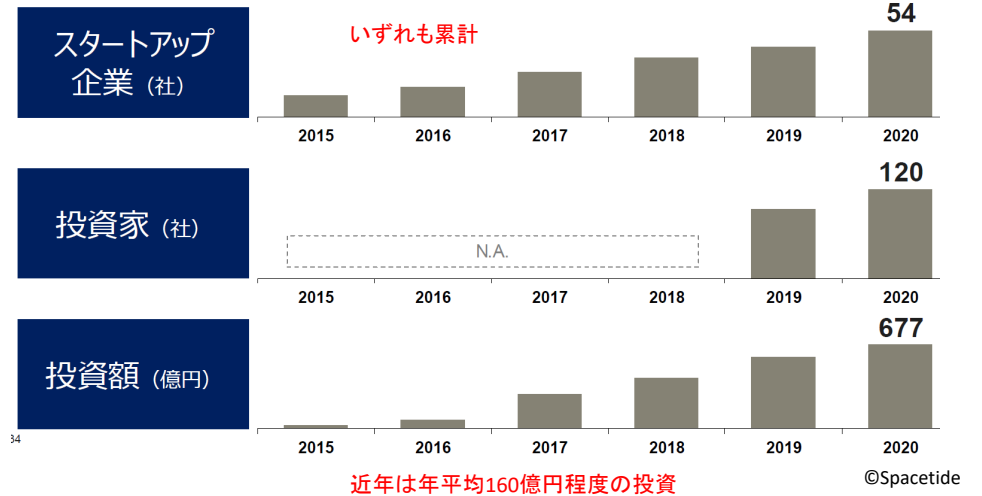


表は、内閣府「宇宙ベンチャー企業による宇宙利用拡大に関する動向調査 報告書」(2015年3月)のデータを元に編集したもの。売上げについては、2013年又は2014年のもの。数字はウェブサイト等公開情報による。

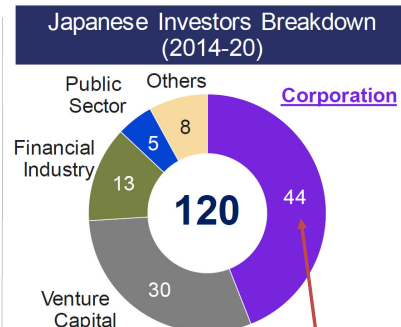
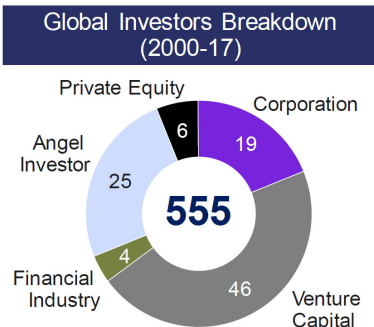
グラフ出典: Space Angels Networkウェブサイト

宇宙×ICT懇談会資料より(2017年)

## 日本におけるスタートアップ企業数と投資の増大



## 世界と日本のベンチャーへの投資元の違い



日本では、異業種の大企業からの投資が大きい(IT、航空、車、通信、建設、食品など)

Bryce Start-Up Space Report 2020より

## 米国での世界を席巻するベンチャー企業群

- ▶ 小型衛星、ロケット開発、衛星データ利用の他、資源探査や宇宙旅行など、様々な分野において、民間の宇宙ビジネスが拡大。



※画像は各種企業HPより

## 2021年は「宇宙旅行元年」

- 2021年に米国で2社がサブオービタル飛行による商業宇宙旅行事業を開始。
- SpaceX社は民間人だけで地球周回軌道の宇宙旅行ミッションを実施。

事業者名	Virgin Galactic	Blue Origin	Space X
到達高度	86km	107km	575km
滞在期間	数分間 無重力状態を体験	数分間 無重力状態を体験	3日間 地球を周回
打上げ形態	水平発射 (航空機から空中で分離)	垂直発射	垂直発射
飛行形態	サブオービタル飛行 (上昇後、滑空して着陸)	サブオービタル飛行 (上昇後、パラシュートで着陸)	地球周回軌道 (周回後、大気圏に再突入)
搭乗人数	6名：民間人4名 パイロット2名	4～6名：民間人のみ (オートパイロット)	4名：民間人のみ (オートパイロット)
実施日	21年7月11日 22年末商業運航開始を目標	21年7月20日 21年に有人飛行を3回実施	21年9月16日 22年にも宇宙旅行ミッションを計画



Source: Virgin Galactic



Source: Blue Origin



Source: SpaceX

## 国内にも宇宙ベンチャーが増えつつある(1)

### 小型SAR衛星開発・画像販売



#### QPS研究所

九州大学での技術を中心に、九州に宇宙産業を根幹する2005年設立。現在約20社が衛星開発に協力。合成開口レーダー(SAR)を搭載した小型衛星の開発、製造、観測データの販売を行う。2019年に初号機打上げ成功。36機の衛星コンステレーションの整備を目指す。



#### シンスペクティブ

2018年設立。合成開口レーダー(SAR)を搭載した小型衛星の開発、製造、観測データの販売、ソリューションの提供を目指す。2021年2月、日本の民間初の小型SAR画像の取得に成功。

### 小型光学衛星開発・画像販売



#### アクセルスペース

2008年設立。低コスト・短期に超小型衛星の開発、製造から運用まで行う。2023年までに10機の光学衛星を打ち上げ、毎日地球全体を観測し、データを解析して提供するプラットフォームサービスを構築。2019年5月末よりサービス開始。2021年3月に新たに4機打上、6月より5機体制のサービスを開始。

### スペースデブリ除去



#### アストロスケール

2013年設立。スペースデブリを除去し、宇宙機の安全航行確保を目指す。2021年3月に世界初のデブリ除去技術実証衛星打上げ。

### 小型衛星用ロケット



#### インターステラテクノロジズ

2013年設立。低コストで打上げ可能な小型の液体燃料ロケットの開発中。2019年5月に観測ロケットの打上げに成功。民間企業単独で開発・製造したロケットの宇宙空間到達は国内初。2021年7月にもMOMO6号機、7号機の打上げに成功。



#### スペースワン

キャン電子やPHIエアロスペース等により2018年に発足した小型ロケット開発会社。和歌山県串本町に民間企業が建設する日本初の小型ロケット打上げ射場を建設し、2022年末までの運用開始を目指す。

## 国内にも宇宙ベンチャーが増えつつある(2)

### 宇宙旅行

次の2社が、高度100km程度の宇宙空間まで飛行できる、航空機型の再利用可能な有人宇宙輸送機を開発中。

#### PD1701A-1



2007年設立。2026年に降に有人宇宙飛行を目指す

#### SPACE WALKER



2017年設立。2027年に小型人工衛星の打上げ、2030年に有人宇宙飛行を目指す。

### 宇宙資源開発



#### ispace

2013年設立。「Google Lunar XPRIZE」(月面無人探査レース)に参加していた日本の民間開発の月面探査チーム「HAKUTO」を運営。

2022年に月面探査ミッション実施を目指す。

### 宇宙ロボット



#### GITAI Japan

2016年設立。安価で安全な労働力を提供するため宇宙ロボットを開発。2021年ISS船内でロボットアームによる汎用作業遂行技術実証を実施。

### 衛星通信



#### インフォステラ

2016年設立。衛星と通信する地上局の稼働時間がごく短時間であることから、地上局アンテナをシェアリングするサービスを提供している。

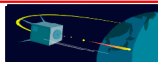
### 宇宙商社



2017年設立の宇宙商社。衛星打上げサービス、宇宙空間での実験サービス、宇宙飛行士訓練方法を活用した教育事業等、幅広い事業を国内外で展開。

2019年12月には、H3ロケットの相乗り打上げサービス提供事業者として選定されている。

### 人工流れ星・気象



#### ALE

2011年設立。世界初の人工衛星による人工流れ星の実現を目指し、技術実証中(2019年に2機の衛星を打上げるも未達)。また、人工衛星のデブリ化防止装置も開発中。



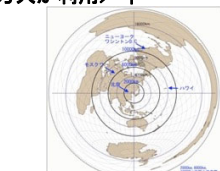
日本初の民間射場:「スペースポート紀伊」  
2022年度に初号機打ち上げ

## 将来の宇宙輸送系低コスト化(官)+大量輸送のP2Pの計画(民)が連携

### ・ P2P大陸間高速輸送(地球上の2地点間を2時間以内に結ぶ)

10時間以上の航路の航空旅客数=1.5億人/年  
この内1~10%の旅客が高速輸送を選択=百万から千万人が利用/年  
切符一枚ファーストクラス並み=1~200万円  
年間売り上げ=1兆~20兆円規模の市場

<http://www.thespacereview.com/article/3680/1>



主要大都市間を1~2時間以内で飛行

- ・ 一般大衆の宇宙旅行にも適用(国内1.3兆円/年)
- ・ 安価になった輸送系で政府の宇宙輸送を実施

日本の輸送コミュニティでの2年間の検討会を経て、P2Pビジネスを生むための機運醸成などを旨とする「一般社団法人宇宙旅客輸送推進協議会」設立  
- 日本の(航空機に代わる)基幹産業を目指す  
- 民間からの莫大な資金調達必要性



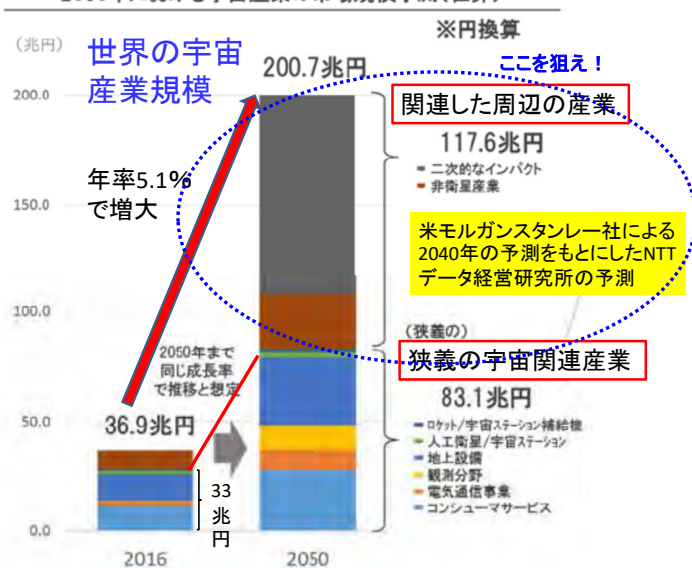
日本ロケット協会「宇宙旅行」のスタディ

輸送費の1/10以上の低コスト化により、太陽発電衛星などの新しい動きも誘発できる

## それ以外の新しいビジネスの動き

- ・ Space Foodsphere(宇宙での食、閉鎖系の食等)
- ・ Space Port Japan(大分、大樹町、下地島、和歌山...)
- ・ 宇宙ホテル、有人旅行(サブオービタル、軌道上、月)
- ・ 地上での輸送を含めた宇宙の将来輸送系
- ・ 軌道上サービス(デブリ除去、衛星延命サービス、軌道上修理、ASAT対策、等)
- ・ 軌道上衛星製造、組み立て(3Dプリンターによる軌道上衛星等製造)
- ・ アルテミス計画に関連した月探査関連(測位・通信、輸送、月での建設、エネルギー、越夜、ローバー...)
- ・ 惑星上などの現地のものを使って作る技術(燃料、エネルギー、建造物、機械、人間環境インフラ等)
- ・ 安全保障ニーズ(SSA、警戒・監視、海洋監視等)
- ・ など

2050年における宇宙産業の市場規模予測(世界)



## 「宇宙×〇〇」の可能性

- ・ 宇宙機器製造産業(ロケット・衛星)は割合は小さい
    - 世界的に寡占が進むと予測(数が勝負、Winner takes all)
  - ・ 宇宙技術を利用してサービスするか、サービスする際に提供する機器が売れる
    - 画像+付加価値を販売、通信、高精度測位、広告
    - 気象関連、エンターテインメント、教育、宇宙旅行アレンジ
  - ・ 宇宙との関連で、〇〇が「より売れる」ことをビジネス
    - GPSを入れることで携帯電話が売れる、ような組み合わせ
    - 精密農業の情報提供で、農機具・肥料などを売る
    - 宇宙と絡めることで食品・化粧品・衣料・宝石などを売る
    - 国内外旅行のコンサルティングを高精度測位を利用して
- 「ストーリーをどう作るか、どのコミュニティにリーチするか？」のアイデア

## 未来に向けて: 地球規模課題・社会問題解決に宇宙が貢献する

## 気候変動と宇宙技術の貢献

どのような社会を作るのか、から演繹しての宇宙開発があるべきだが、それが日本としてないので、先読みも含めて検討中

### 気象の観測



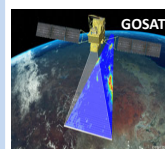
静止気象衛星「ひまわり」により、日々の天気予報に不可欠な気象観測を実施  
線状降水帯の予測精度向上目指し、ひまわり10、11号を検討中。ローカル気象現象予測も

### 防災・災害監視

衛星データにより震災や洪水などの災害発生時に一刻も早く被災地の状況を把握  
観測の頻度と即応性が鍵



### 気候変動の監視



温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)による全球の温室効果ガス濃度の測定により、地球温暖化対策の推進に貢献

GOSATシリーズは国際的に高い評価。検査法の標準化などを日本主導で進めたい

### 宇宙太陽光



宇宙空間において太陽エネルギーで発電した電力をマイクロ波などに変換の上、地上へ伝送し、地上で電力に変換して利用する将来の新しいエネルギーシステム

米・中が大金の投資始める。軽量化のシステム検討と輸送系の低コスト化が鍵

## ポストコロナ時代の社会像(私見)

### 1. ポストコロナ時代の社会のキーコンセプト

- 自律分散的な地域の中で人が高いQOLを維持できる社会
- 地域間の人の移動をできるだけなくし「情報」と「物」が地域間で動くことで、新しい価値が創造される社会

### 2. その中で生まれる新しい動き

- 地域の中で楽しみ地域を大事にする個性あふれた生活
- 自然に恵まれ、狭い土地に制約されない、高いQOLを
- テレワークによる全国規模に分散した社員による企業の運営
- 在宅勤務等による出生率向上へのモチベーション
- 地産地消+地域を超えた物の移動による特産品等の流通
- 遠隔教育、遠隔医療、遠隔エンターテインメント



セルに分かれた自律分散的社会

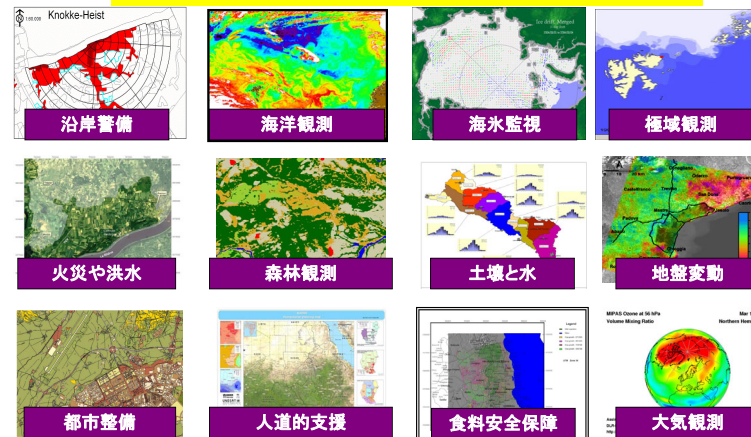
そこに宇宙がどう貢献するか？

### 3. その実現に向けての重要な社会インフラ

- 安全かつ高速・大容量で、どこでもつながる情報通信技術 (災害にも強い)
- 人が介さない自動・自律的な「物」の移動技術
- 遠隔での活動を支援する各種リモート技術、遠隔での観測技術

## esa 欧州が考える地球観測プログラム

COPERNICUS: 地球観測のオープンデータ提供で産業化を目指す



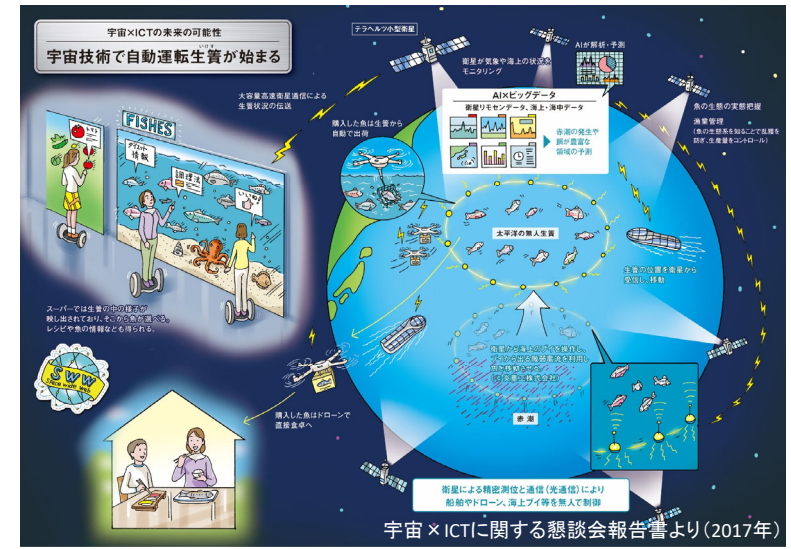
Green施策につなげ、どうマネタイズするか  
の提案が多数。試行錯誤の中で強いものが残る

総務省の検討（宇宙×ICT）"宇宙×ICT"がもたらす2030年の社会像

◆ 宇宙×ICTの社会的効果について、「私たちの生活がどのように変わるか」をイラストにより表現。



宇宙技術で始まる「大洋全部を使った養殖漁業」

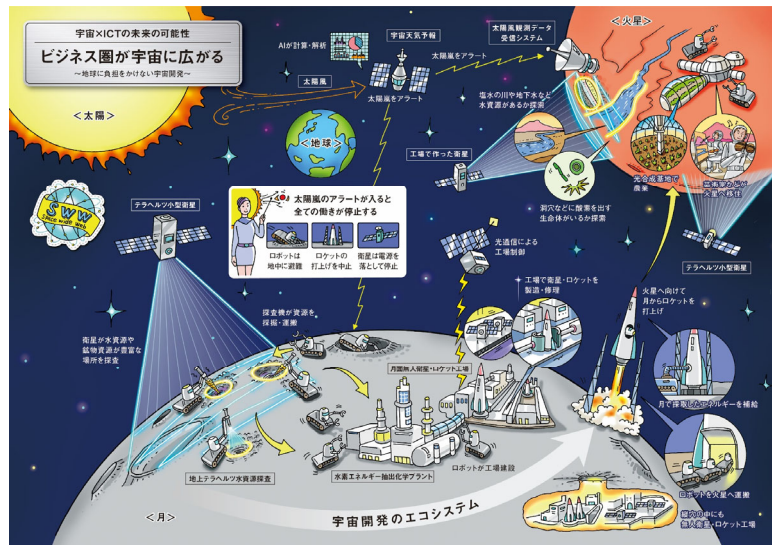


宇宙技術で広がるマイ農園



図3-3 将来像②: 自然災害や事故を恐れない快適な社会  
総務省「宙を拓く」報告書より(2019年)





文部科学省資料より(2019)

## 様々な「顔」を持った宇宙に乗り出そう!

- **大学発の超小型衛星が世界の宇宙開発を変えた!**
  - 安い・早い・「そこそこの機能」を実現、小型コンステレーションを可能に
  - 学生のものづくり、システムズエンジニアリング等の人材育成の絶好の場
  - 失敗から学ぶ
- 世界は官から民、大型から小型、少数から多数へ
  - 小型コンステレーションビジネスが目白押し。時間分解能、大量生産の効果大
- **ベンチャーの登場**により活性化する宇宙産業
  - 様々なビジネス試行錯誤の真っ最中。宇宙の周辺産業への狙いも重要
- **未来へ：地球規模課題の解決の手段としての宇宙**
  - 地球上のすべてがつながることによる効果：安全安心、農林水産業、QOL向上等