

CanSat とロケット実験('99~)

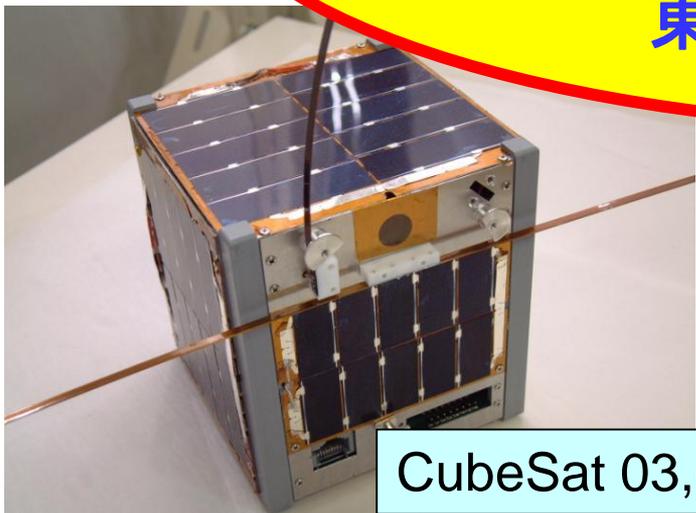


Nano-JASMINE

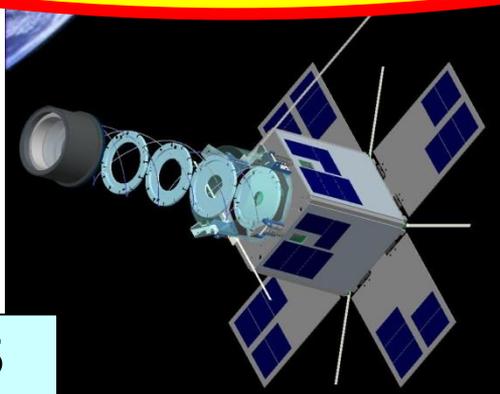


宇宙開発利用とAI応用  
~超小型衛星によるGame Changeも含めて~

東京大学 中須賀真一



CubeSat 03,05



Hodoyoshi-1 '14

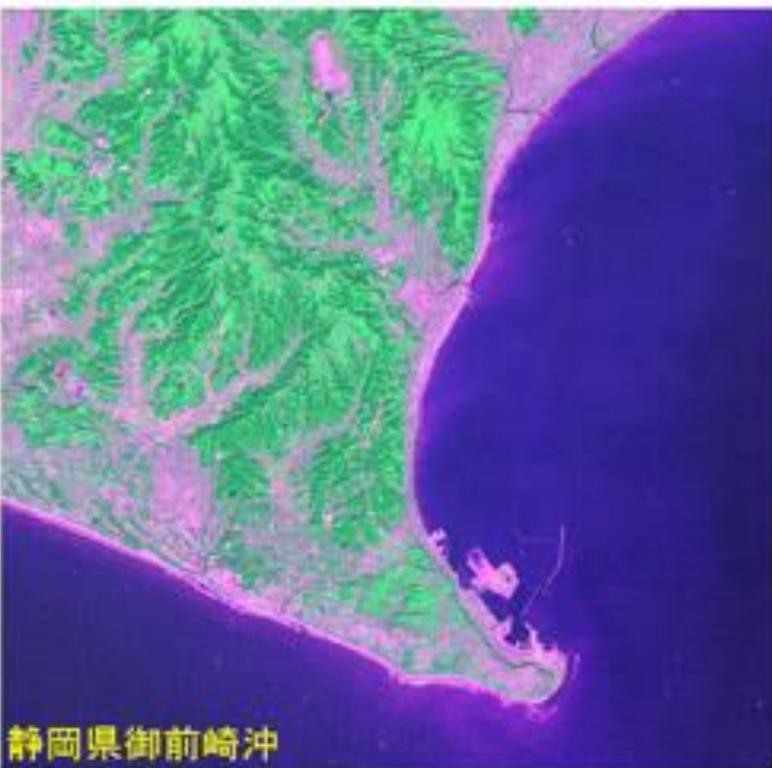
# 内容

---

- 宇宙開発利用の近況とAI応用
  - リモートセンシング分野
  - 測位衛星分野
- 超小型衛星の登場
  - 従来の問題と超小型衛星によるGame Change
  - 東京大学の開発の歴史と産業・ビジネス展開
- 宇宙開発利用における産学連携のビジョン

# 経産省ASTER(センサー)無料データ公開

- ・可視光線領域・近赤外線領域で15 m(3バンド)
- ・短波長赤外線領域で30 m(6バンド)
- ・熱赤外線領域で90 m(5バンド)
- ・標高データ(Digital Elevation Map: DEM)も提供する。  
cf: ランドサット8号の場合、可視光線領域～中間赤外線で30 m、9バンド、  
熱赤外線領域で100 m、2バンド)



# 人工知能発展で何が変わるか？ (1)

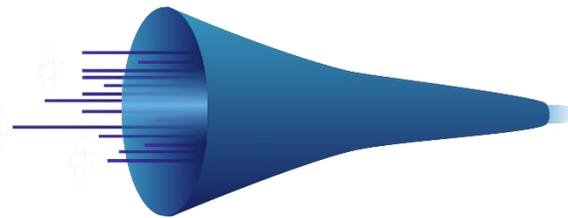
- リモセンの画像と「知りたい地上の状況」(Ground Truth)の関係が学習できる
  - これまでリモセンの経験者・専門家の専売特許だった
  - 自動的な相関関係の抽出が可能に
    - 広域の地形情報・詳細な波長ごとの(ハイパ)情報→鉱脈発見
    - 農地の時系列の観測データ→収穫予測
    - 雲や大気中水蒸気量の空間分布→ゲリラ豪雨予測
  - それらが自国だけでなく、他の国の情報取得も可能!
- **重要になってくるものは何か?**
  - 汎用・専用の学習エンジン(Deep Learningなど)
  - Freeのリモセンデータ、解析ツール→経産省Open Free施策
  - どんな情報がお金になるか、とそれに(多少なりとも)関係したデータはどんなものか。
  - Data Scientistによるデータ処理・試行錯誤が大量に必要

# 人工知能発展で何が変わるか？ (2)

- データからの特定の物体抽出、変化抽出の自動化
  - これまでは手作業で実施していた→もう無理！
  - 車の数、車種、航空機の種類
  - 時系列データから新たな構造物の出現・喪失等
  - 付加価値情報は経営等への戦略情報として利用

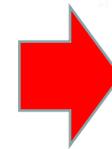
- **ベンチャーの例**

- SpaceKnow
- Orbital Insight
- etc.



## Up until now

Require highly trained Image Analysts with Specialized software to manually derive information.



## Now

Ability to monitor and analyze thousands of locations simultaneously for important changes.

- **重要なこと**

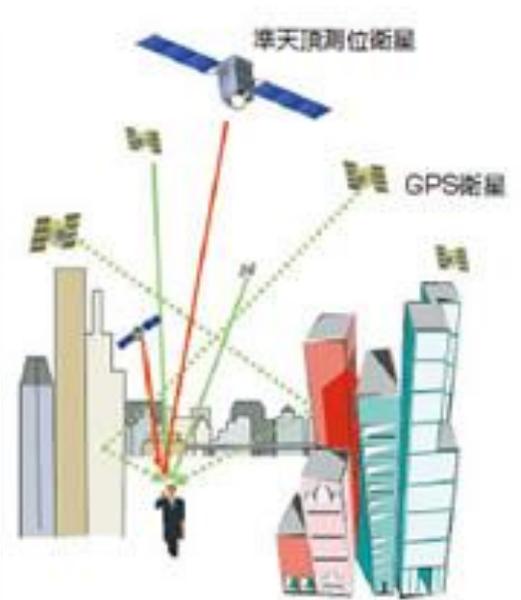
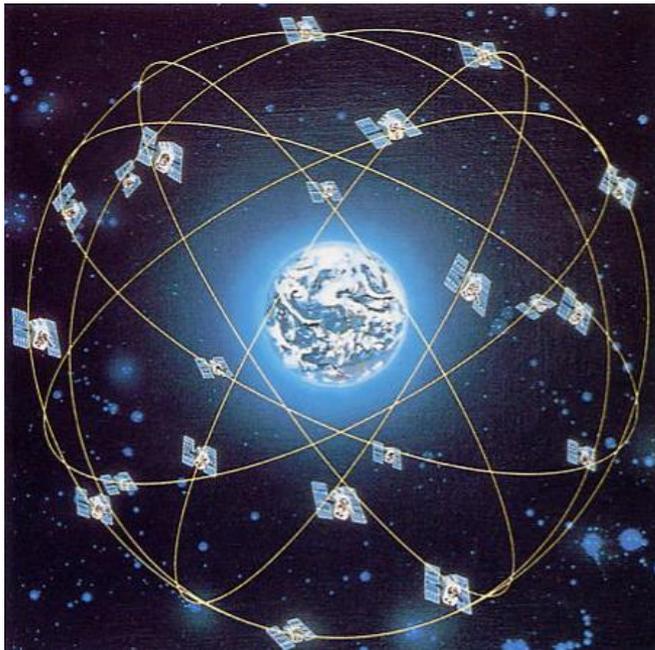
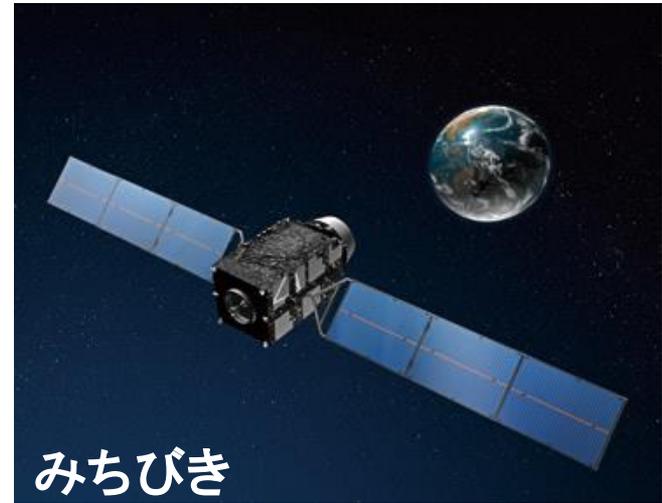
- どんな情報がお金になるかのアイデアと顧客
- データへのアクセス、データ間のキャリブレーション、機械学習、分析力

# 測位衛星 (GPS, 準天頂衛星)



←GPS  
精度: 3~5m  
24機体制  
(現役)

準天頂衛星 →  
精度: 5cm  
90cm  
4機体制  
(2018~)



# 準天頂衛星システムの機能・取組状況(4機体制ベース)

## <機能>

### ①GPSの補完

衛星数増加による測位精度の向上(上空視界の限られた都市部を中心に改善が図られる)



### ②GPSの補強

衛星測位の精度向上(電子基準点を活用してcm級精度を実現)



### ③メッセージ機能

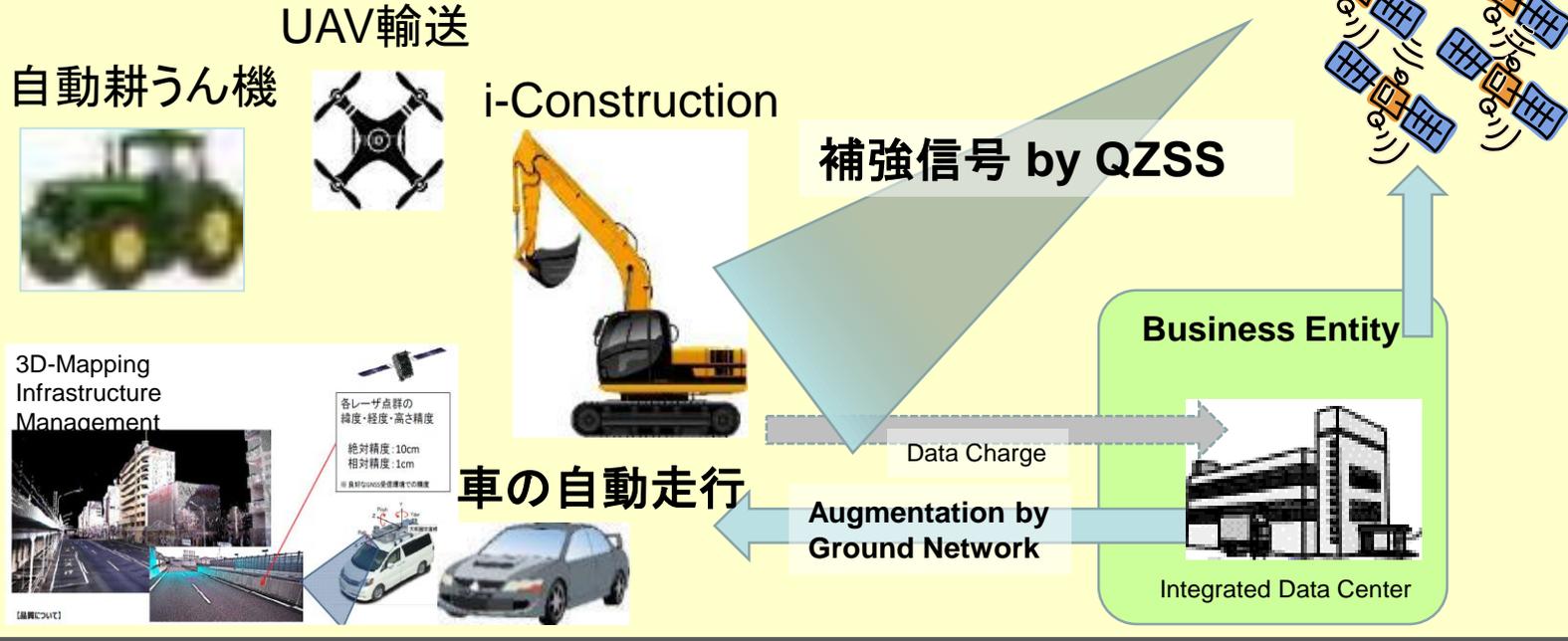
- ・災害・危機管理通報(災危通報)
- ・衛星安否確認サービス



年度	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32~H44 (2020~2032)
準天頂衛星 (2~4号機) 初号機(みちびき)後継機	基本/詳細設計		整備			3機打上げ			2023年度めど7機体制確立
			予備設計	基本/詳細設計	整備				

# cm精度の測位による新しい世界

## 高精度なナビゲーションが必要な作業の自動化

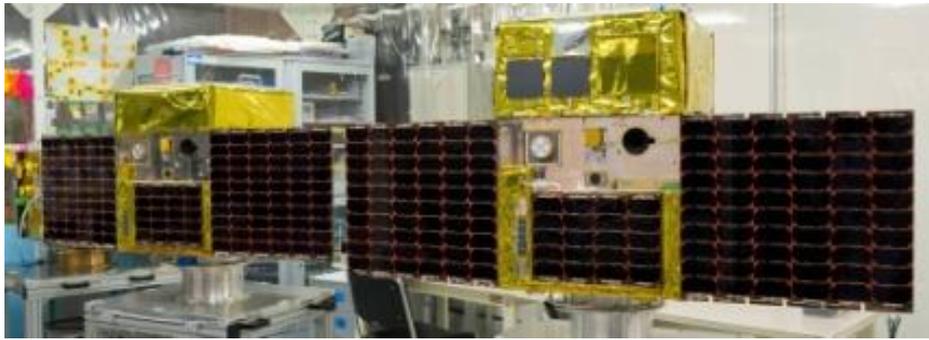


Tire : 30cm

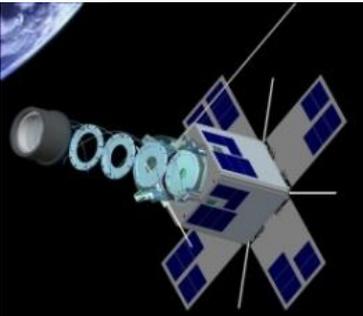


農地での実験【Site】 Australia、Thailand、etc

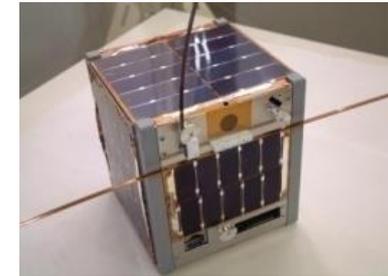
# 超小型衛星ってどんなサイズ？



マイクロサット: 20-100kg



ナノサット: 1-20kg



ピコサット: 1kg以下

通常衛星より2~3桁小さなサイズとコスト

## 日本の政府衛星

### 大型衛星

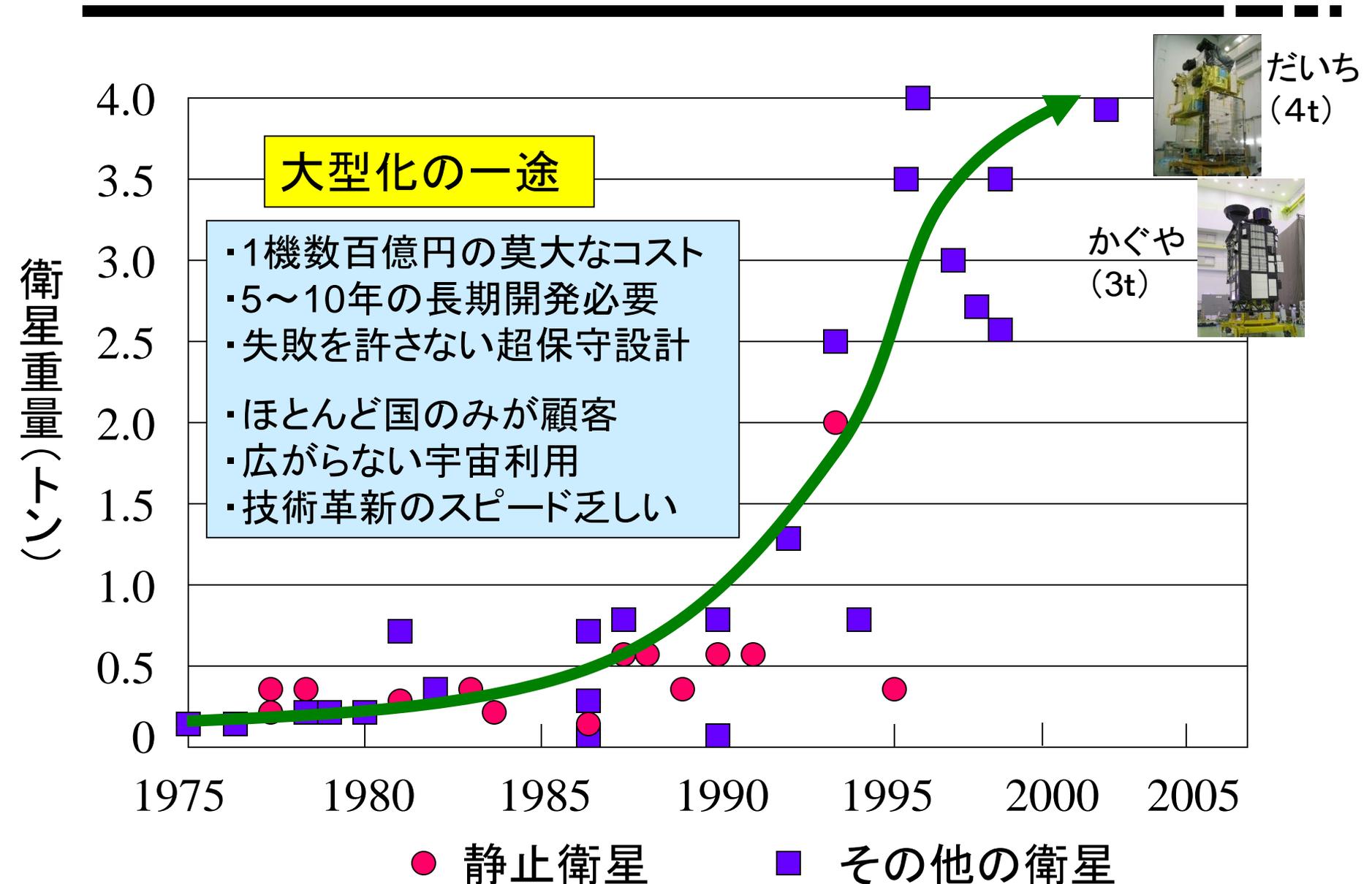
←ALOS-1:4ton      Kaguya:3 ton→

### 小中型衛星

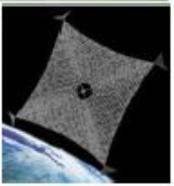
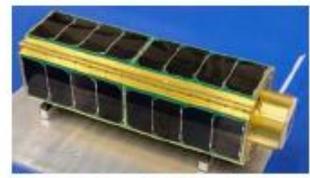
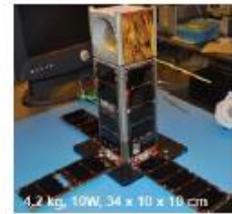
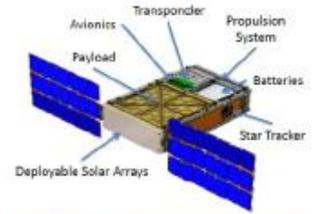
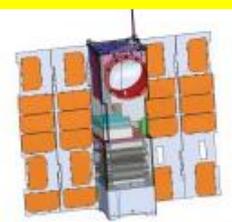
ASNARO: 500kg    Hayabusa: 510 kg



# 動機：中・大型衛星中心の宇宙開発の課題



# 世界で起こった100kg未満の衛星による宇宙開発革命！



**教育衛星(大学・高校)**  
OPUSAT (1U: 1kg)  
XI-IV (1U: 1kg)

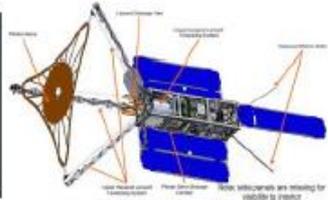
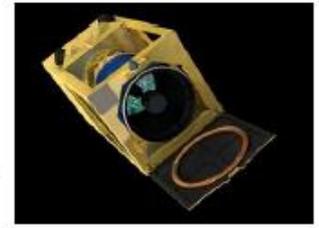
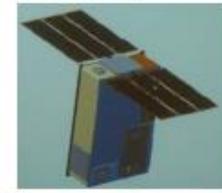
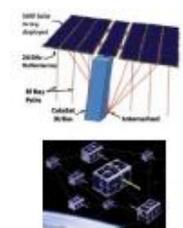
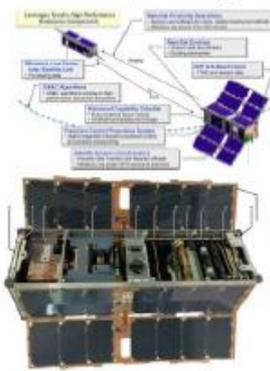
**リモートセンシング**  
AeroCube(1.5U: 2kg)  
Dove, Flock (3U: 4kg)

**宇宙望遠鏡**  
AAReST

**気象観測**  
MiRaTA (3U)  
MicroMAS (3U)

**バイオ実験衛星**  
BioSentinel計画案(6U)  
SPORESAT (3U: 5.5kg)

**Re-entry De-Orbit**  
再突入回収 (3U)  
Sunjammer



**ランデブー**  
**ドッキング衛星**  
INSPIRE (3U)

**通信衛星(低速・高速・戦域)**  
高速通信・ISARA (3U)  
低速通信・AISAT-1 (6kg)

**サイエンス衛星**  
RACE (3U)  
FS-7 (3U)

**大気汚染観測衛星**  
(可視・近赤外)  
NEMO-AM (15kg)

**探査**  
LWaDi (6U)  
CAT (3U)

**高分解能光学**  
SCOUT (50kg)  
Skysat (120kg)

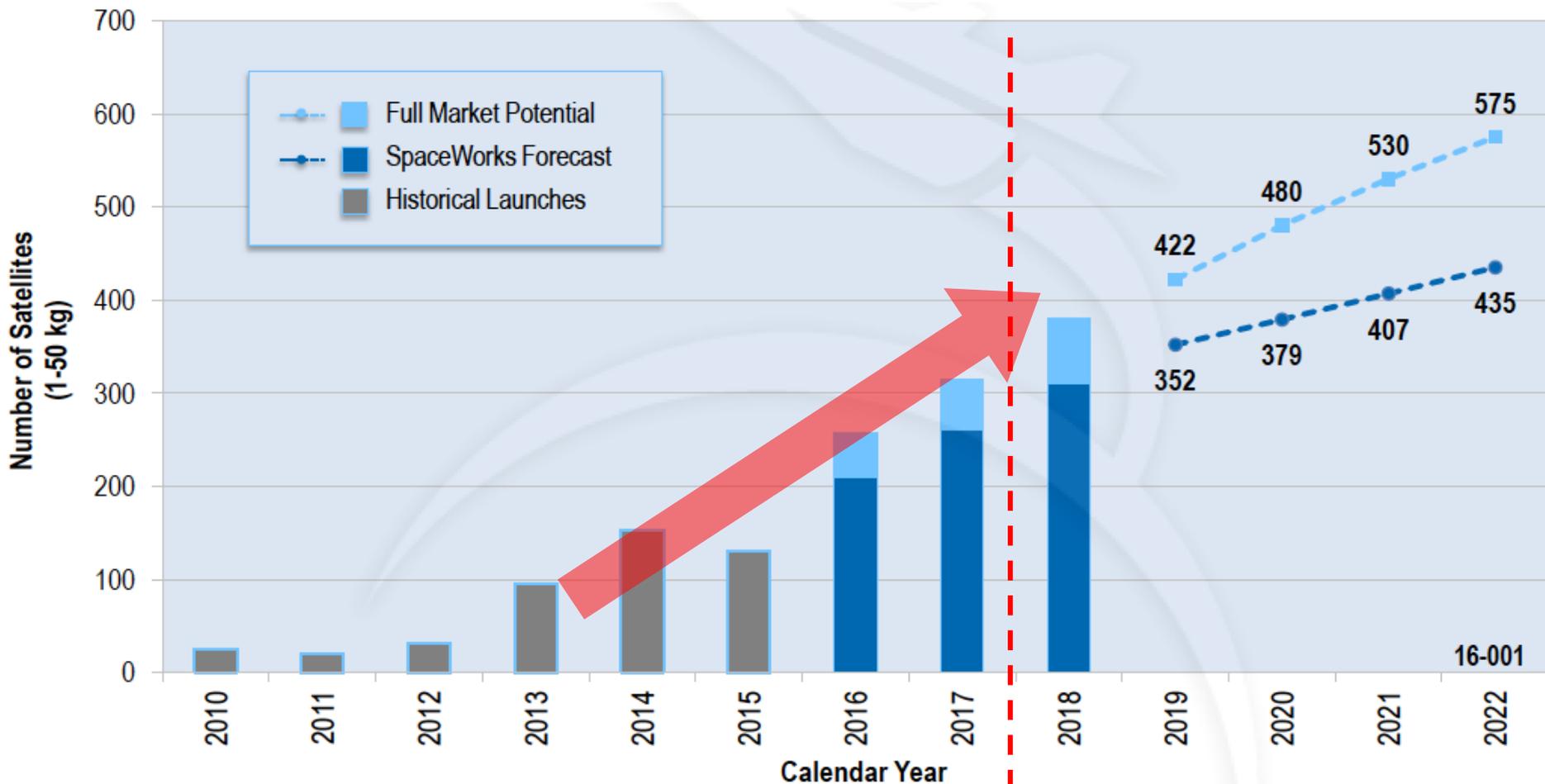
主として大学・ベンチャーがプレーヤー。ビジネス化のため民間ファンドが投資  
アメリカなどは国も大型投資でいっせいに技術開発し、一部は中大型の代替に

# 新潮流：超小型衛星による“Game Change”

---

- 超低コスト (>300M\$ → <5M\$)
  - これまでになかった新しいビジネス・利用法を生む
  - 新規宇宙プレーヤー参入 (企業, 県、研究所、新興国)
  - 教育ツールにも利用できる
  - 挑戦的ミッション・実験可能に (失敗の許容度増える)
- 短期のライフサイクル (5年以上 → 1-2年以下)
  - 大学学生が研究室内で1サイクルを経験できる
  - 繰り返しが可能 (プロジェクトではなくプログラム化可能)
  - 投資回収までの時間が短期化 (ビジネスには有効)
- 衛星システムがシンプルで透明 (部品点数少ない)
  - 設計、運用、トラブルシュートがしやすい
  - 開発メンバーは全体を見ながらサブシステムに集中

# 超小型衛星 (< 50kg) の数の拡大



Now

©SpaceWorks

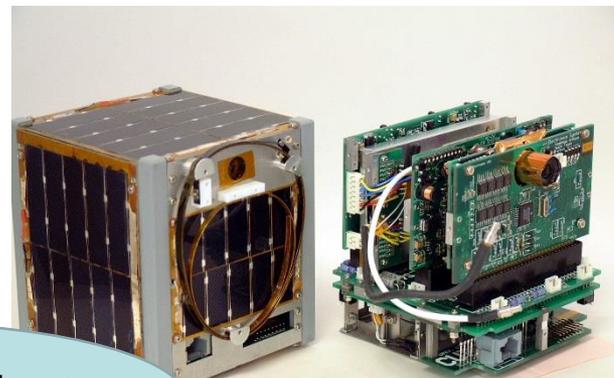
16-001

# 日本では:2003年革命:超小型衛星登場

東大のCubeSat(1kg世界最小衛星)世界に先駆けての成功(2003.6 & 2005.10)

- 大学レベルの予算での開発
- 開発期間:2年
- 民生品でも約14年の寿命
- 地上局(屋上のアンテナ)・打上げ手段、周波数調整など自前で

秋葉原部品で



CubeSat XI-IV & XI-V

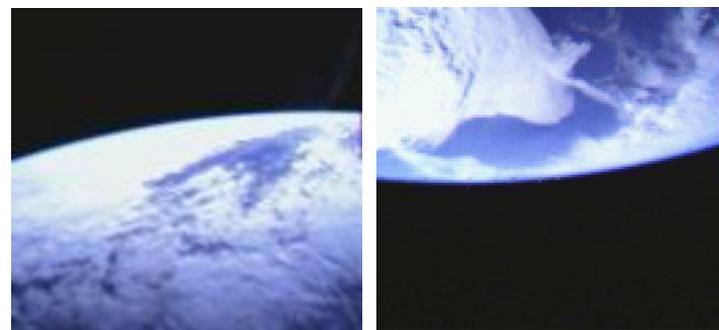


ロシアでの打ち上げ

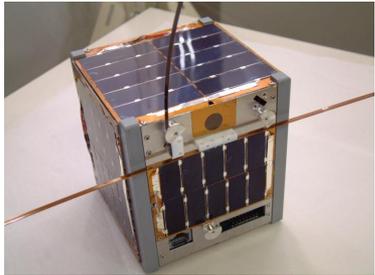
宇宙利用の「しきい」を下げる  
Breakthrough

- 多くの潜在ミッションが顕在化
- 宇宙産業の可能性
- 実践的教育への活用

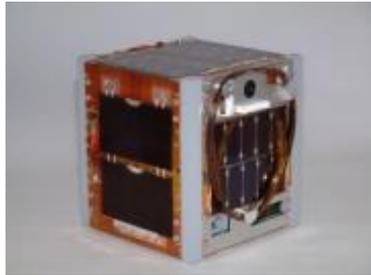
CubeSat による地球画像



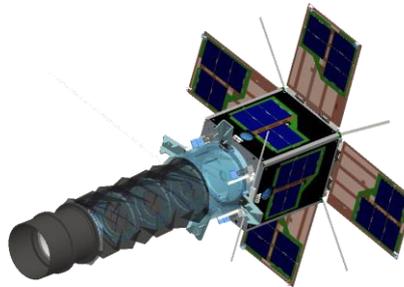
# 東京大学の超小型衛星プログラム(8機開発、7機打ち上げ)



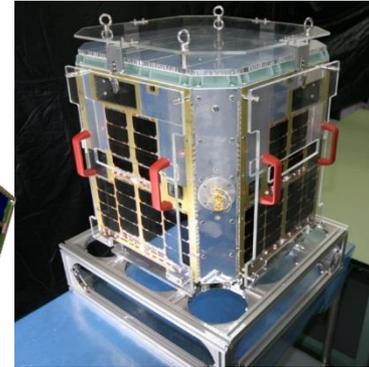
世界初の1kg衛星  
成功 XI-IV(2003)



新規技術の宇宙  
実証 XI-V(2005)



8kgで30m分解能  
PRISM(2009)



最先端の宇宙科学  
Nano-JASMINE  
(打上げ待ち)



世界初の超小型  
深宇宙探査機  
PROCYON(2014)

## 超低コスト・短期開発の超小型衛星

- ・宇宙工学・プロジェクトマネジメント教育題材
- ・従来にない新しい宇宙利用・ユーザの開拓
  - 地球観測・宇宙科学
  - 教育・エンタメ
  - 多数の衛星の連携運用
  - 実験・実証

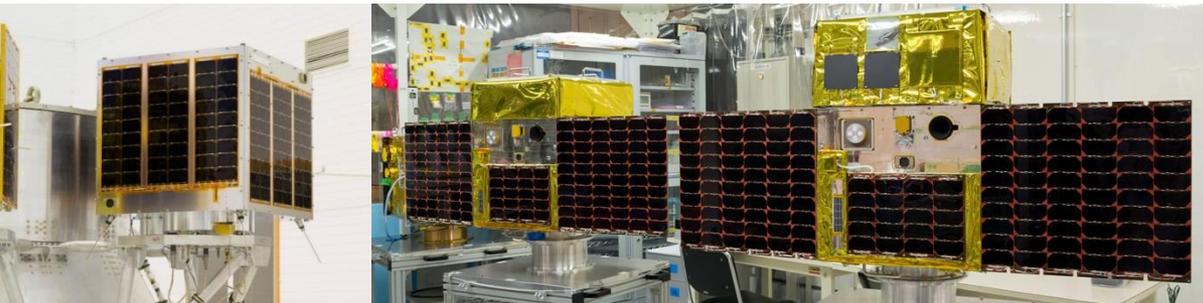


- ・宇宙科学探査の低コスト実現
- ・外国の最初の衛星の教育支援
- ・企業・県・個人等の「マイ衛星」
- ・安全・安心への貢献(インフラ)

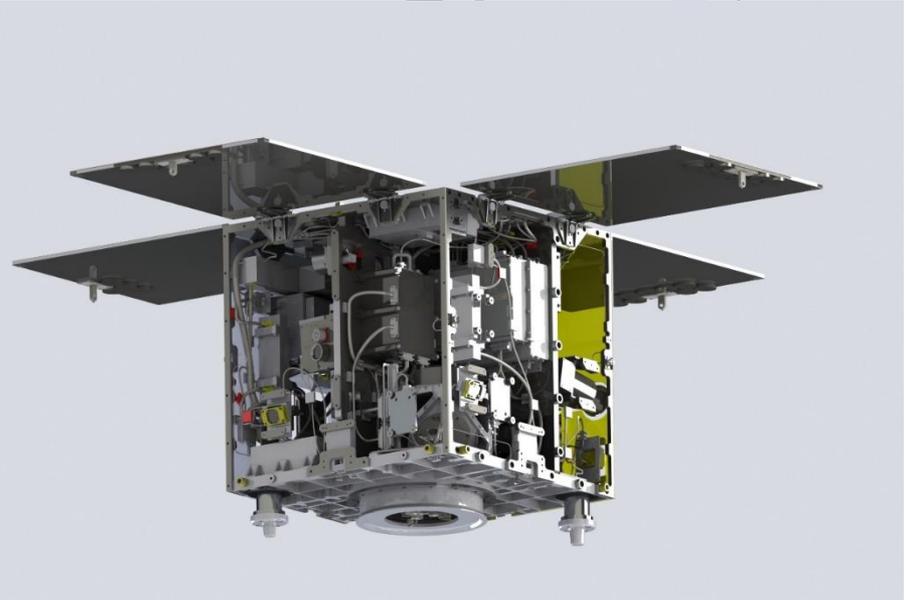
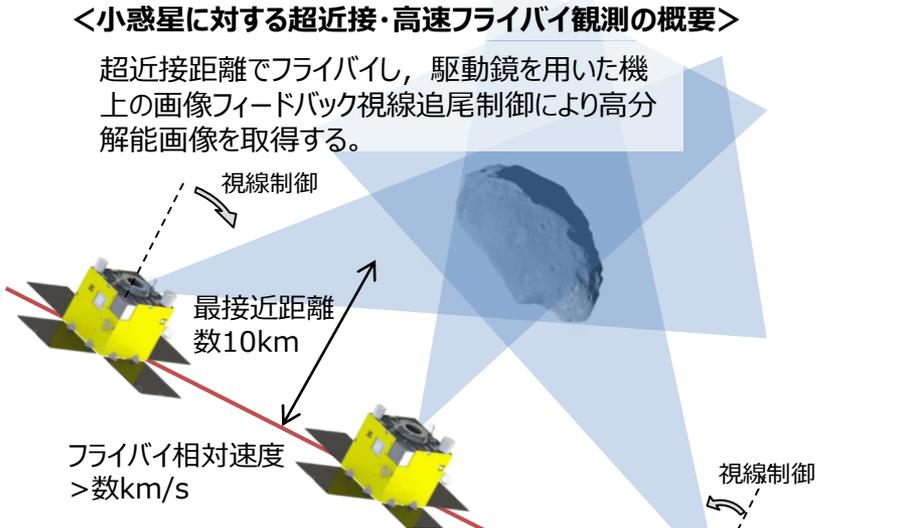
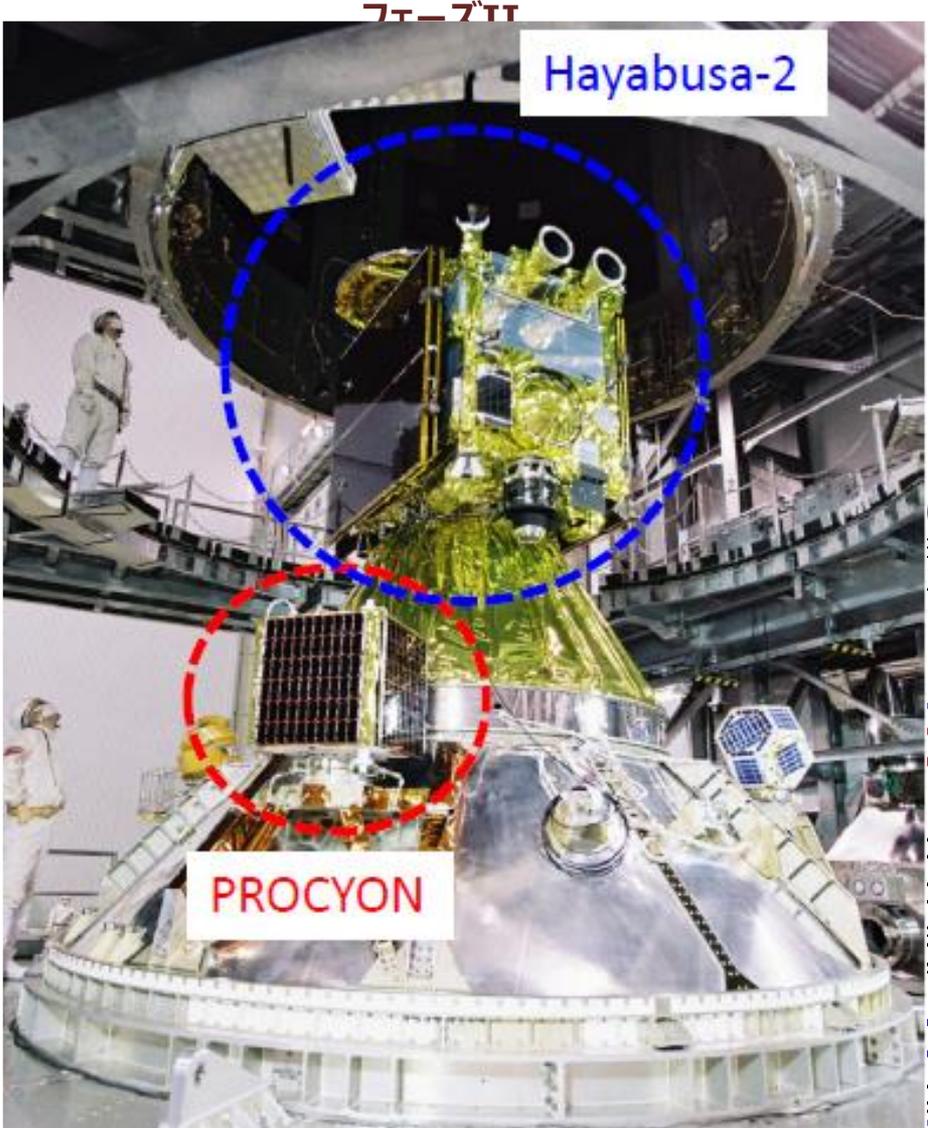
60kg級の6m分解能リモセン衛星(3億円、2年で開発)  
 ほどよし1号      ほどよし3号および4号(2014年打上げ)

6m分解能画像  
(千葉)

広域画像  
(スリランカ)

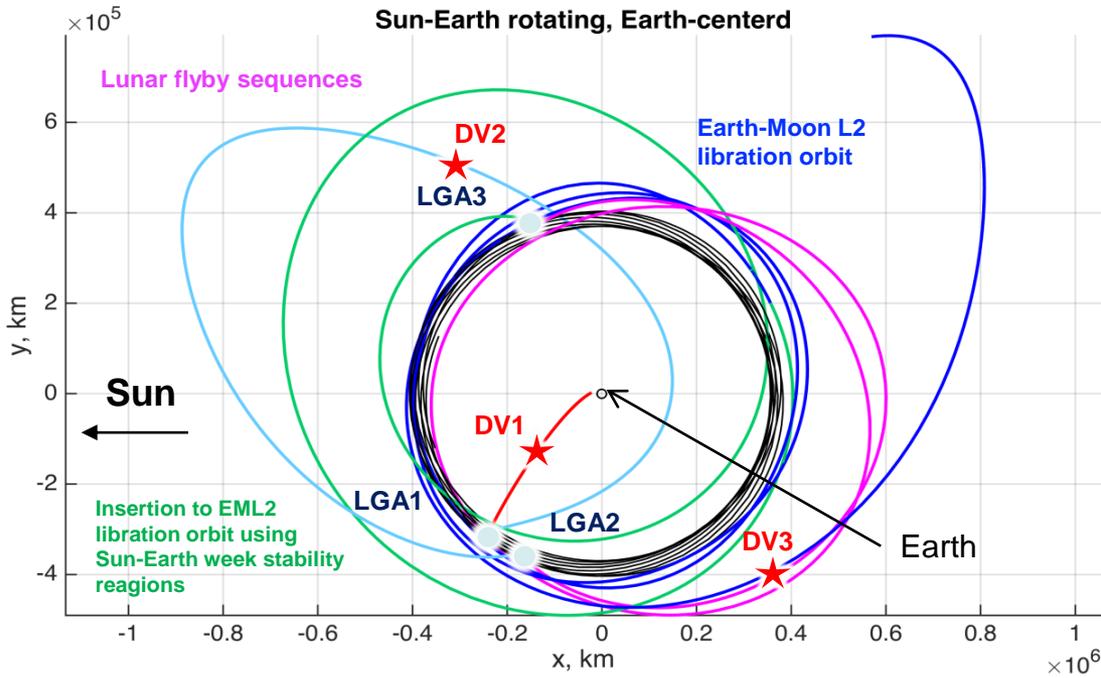


# 世界初の超小型深宇宙探査機「PROCYON」(58kg) (PRoximate Object Close flYby with Optical Navigation) 2014.12 打上げ(H-IIA、はやぶさ2と相乗り)



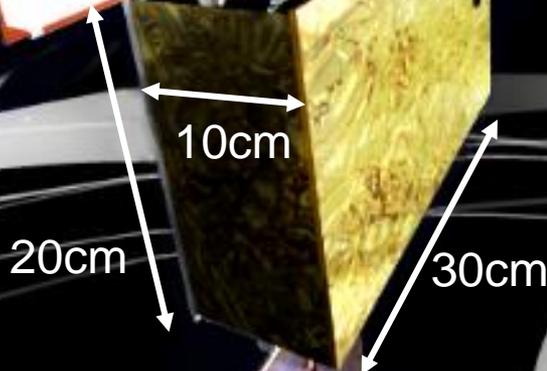
**EQUULI**

**EQUilibriUm Lu**



**Mission to Earth Moon Lagrange Point**

**Intelligent Space Systems Laboratory, 2016/08/01**



# EQUULEUS内部

Solar Array  
Paddles  
with gimbal

Ultra-stable Oscillator

Propellant (water) Tank

Transponder

X-Band MGA

X-Band LGA

20cm

Battery

CDH &  
EPS

30cm

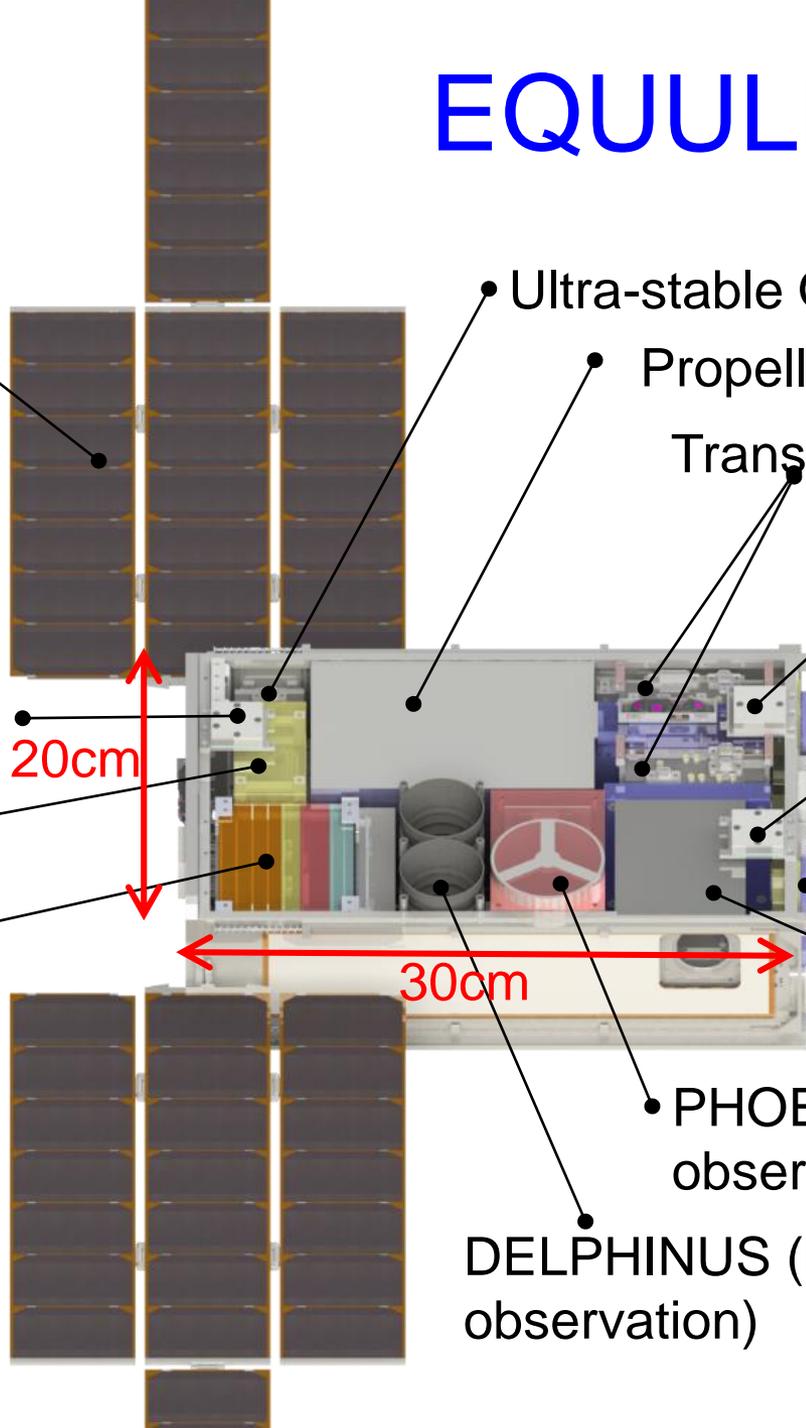
X-Band LGA

Water resistojet  
thrusters

Attitude control unit

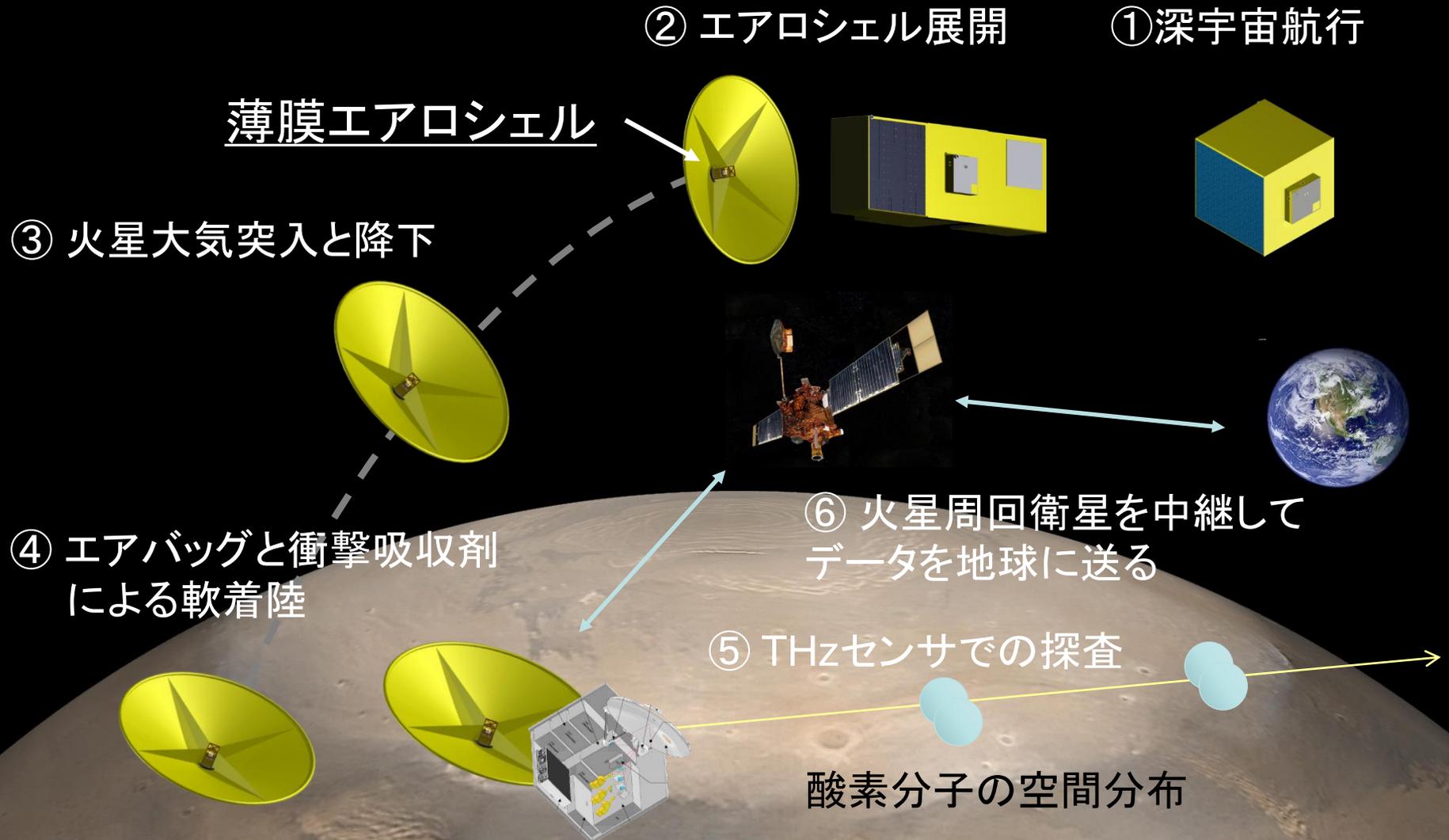
PHOENIX (plasma-sphere  
observation)

DELPHINUS (lunar impact flashes  
observation)



# 超小型衛星による(日本初の)火星着陸計画

総務省NICTとの連携により、70-100kgのランダーを火星に送りこむ検討開始。予算待ち。2022年7月打ち上げ予定

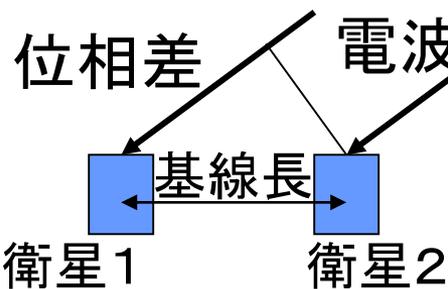


# 超小型衛星で何ができるか？

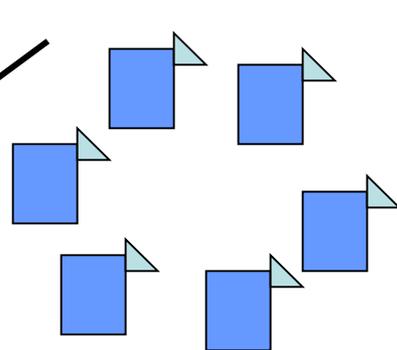
- コスト(<3億)、開発期間(<2年)の爆発的な低下により、「しきい」を根本的に下げる。

- ① 相関を調べるデータの散配置し頻繁に見る大量の蓄積を
- ② による共同ミッション(フォーメーションフライト)
- ③ パーソナル衛星、マイ衛星の概念(パソコンと同様の革命)
- ④ 本格的ミッションの前の試行実験・実証がしやすい
- ⑤ 海外新興国への衛星開発支援に適切なサイズ

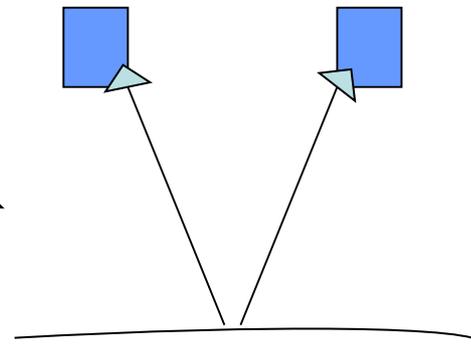
Only oneの「とがった」コンテンツの提供



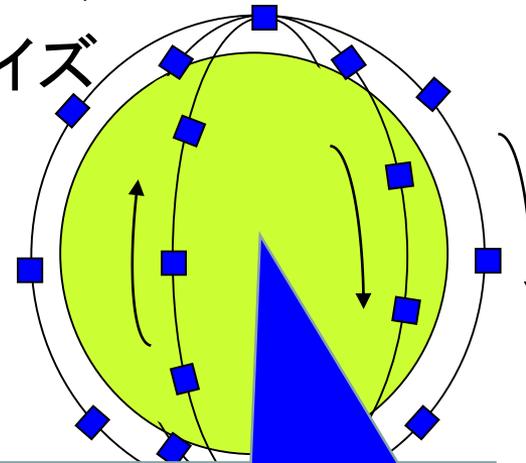
干涉計測



多点同時計測



ステレオ視



Big Data (頻度の高い全地球データの低コストでの提供)

フォーメーションフライト

# 頻繁に地上を見る：農林水産業へ応用

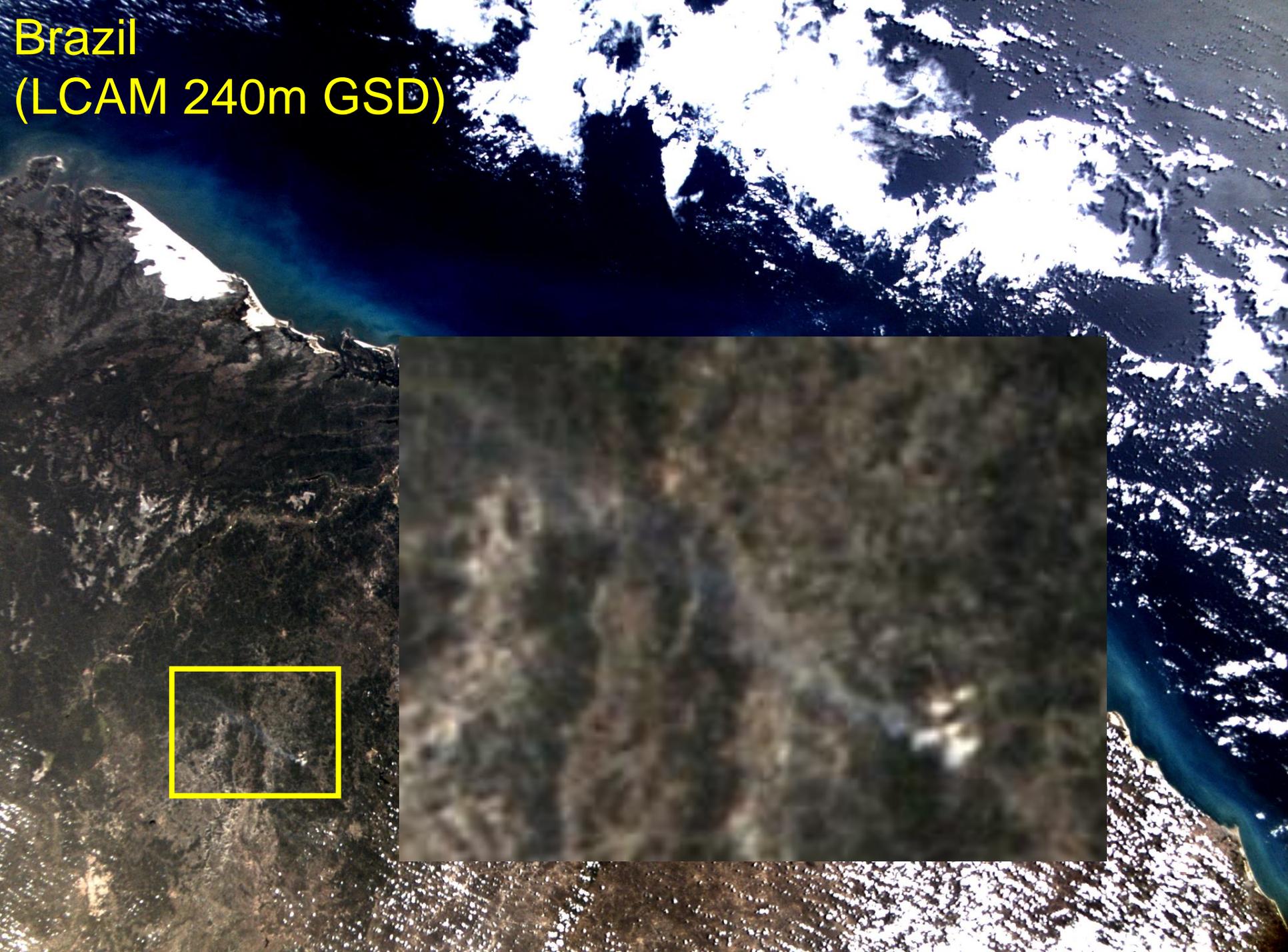
---

- **農作物の日々の変化の把握**
  - 小麦は収穫日の良しあしで20%程度収量変化
  - 施肥、水まき、刈り入れなどのタイミング図る
  - 作物の健康度合いのチェック
- **森林の管理データ(森林簿等)取得**
  - 木の種類をスペクトラムで識別(いい時期で)
  - 災害後の状況の把握、松枯れなどの病気監視
  - 桜前線・紅葉・雪形の変化の把握
- **水産資源の発掘と管理**
  - 水温分布の調査で漁場の探索
  - 早期赤潮警報により養殖漁場の退避



完成したほどよし3号(左)および4号のフライトモデル(FM)

Brazil  
(LCAM 240m GSD)





Chiba  
(6m GSD)

Dubai (6.7mGSD)



# 超小型地球観測衛星コンステレーションの例

## - 実用衛星が数億でできる時代に - ( ) は初打上年



SARLupe  
(2006~, 5機)



RapidEye  
(2008, 5機)



Skybox  
(2013~, 24機)



DMC3  
(2015, 3機)



Planet  
(2013~, >100機)



Spire Global  
(2015~, 70機)



BlackSky  
(2016~, 60機)



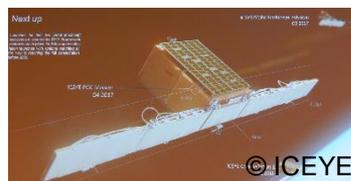
PlanetIQ  
(2017, ~, 12機)



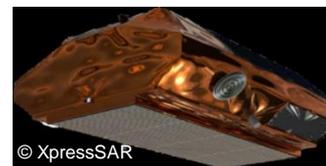
Perseus  
(2017, 8機)



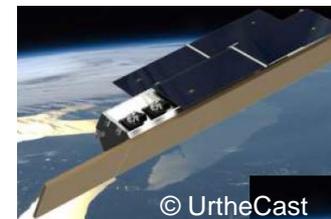
AxelGlobe  
(2017~, 50機)



ICEYE  
(2017~, 18機)



XpressSAR  
(2020~, 4機)



Urthecast  
(2020~, 16機)

# AXELSPACEの近況

- GRUS (2017年3機打上げ、2022年までに50機)

地上分  
解能

パンクロマティック: 2.5m  
マルチスペクトル: 5.0m

バンド

パンクロマティック: 450-900nm  
マルチスペクトル

青: 450-505nm

緑: 515-585nm

赤: 620-685nm

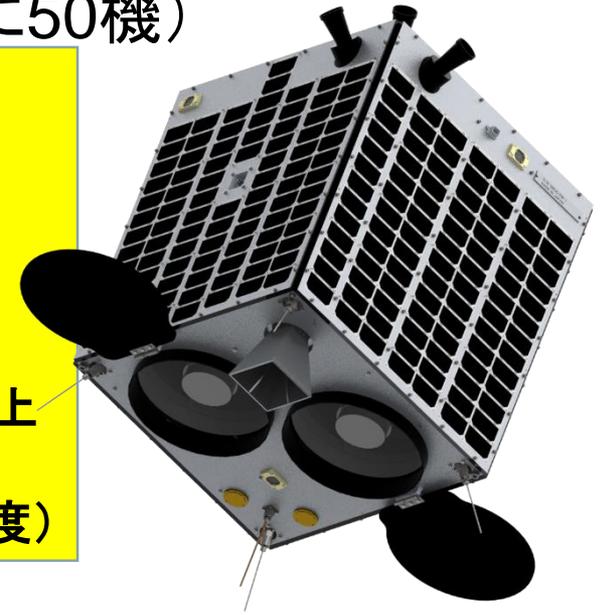
レッドエッジ: 705-745nm

近赤外: 770-900nm

刈り幅 57km以上

再帰日数: 1日

(オフナディア40度)



- WNISAT-1Rの打上げ (2017年7月)



海水光学観測  
GNSS-R基礎実験  
光通信実験

カメラ台数

4台(各バンド独立)

観測波長

パンクロ<sup>1</sup>: 450-650nm

緑: 535-607nm

赤: 620-680nm

近赤外: 695-1005nm

画素数

2048 × 2048

ビット深度

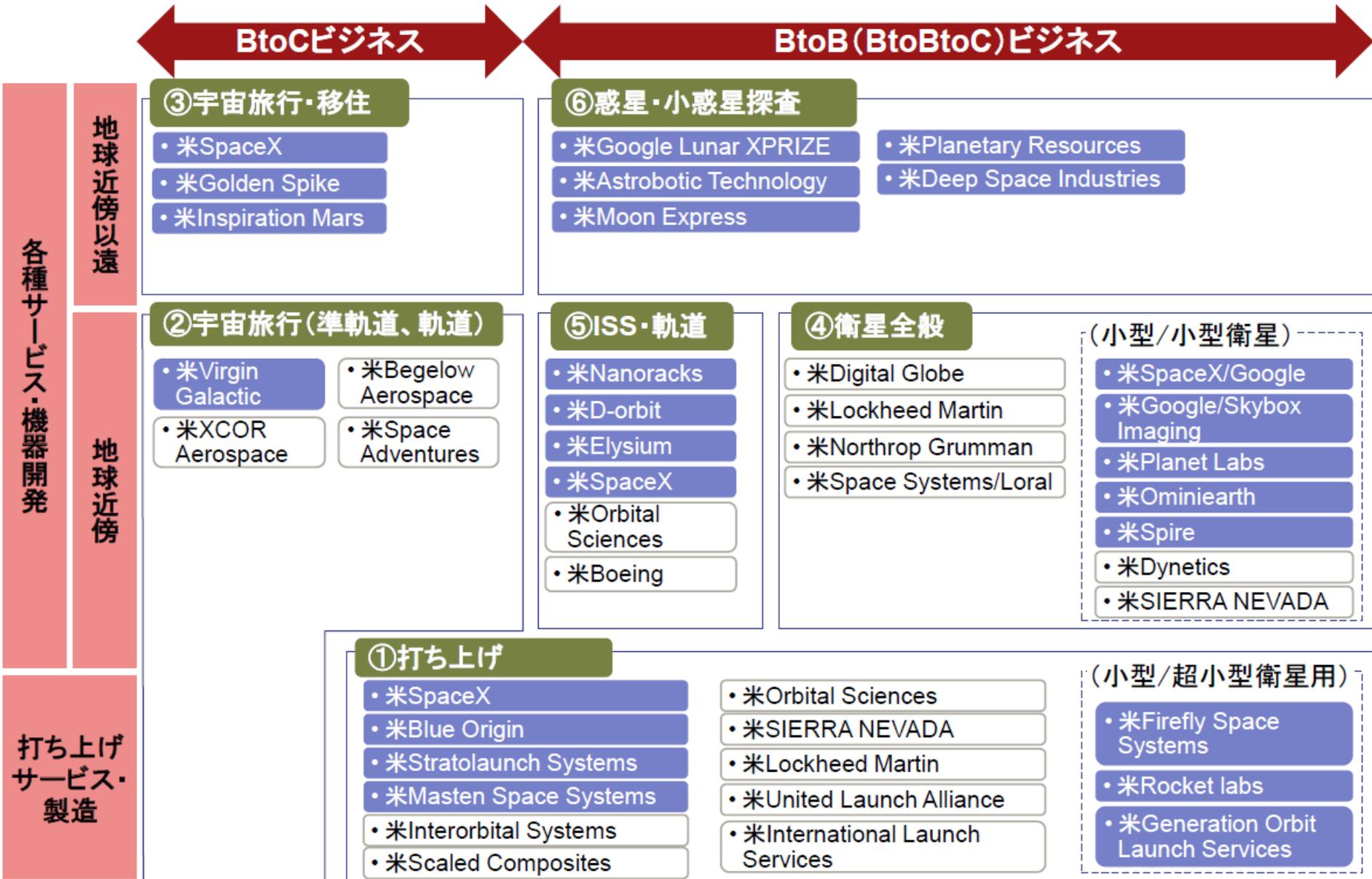
12 bit

地表分解能

400m (近赤外/赤)

200m (緑/パンクロ)

# こうした流れもあり、2000年以降に米国民間宇宙ビジネスは拡大



## リモートセンシング衛星

## ロケット

(株)アクセル  
スペース

東京大学発の衛星ベンチャーとして2008年設立。三井物産やJSAT等が出資。

超小型衛星の宇宙実証を行うため、2016年8月、JAXAとの革新的衛星技術実証プログラムに関する契約を締結。

キヤノン電子  
(株)

2012年に衛星ビジネス参入。  
2017年6月23日、印にて100kg・1m分解能の超小型衛星の打上げに成功。

光学系は、EOS 5D・PowerShot(商用製品)を転用。

(株)ウェザー  
ニュース

2013年11月に露ドニエプルロケットで、アクセルスペース等が開発した小型人工衛星の打上げに成功。

2017年7月14日、自社専用の衛星「WNISAT-1R」の打上げに成功。

北極海航路の運行支援や流氷情報等を海運会社に提供するほか、マラッカ海峡・中東沖における海賊被害防止対策に貢献。

インターステラ  
テクノロジズ  
(株)

2013年、堀江貴文氏が出資。

同年11月に、北海道大樹町で、国内初の民間開発ロケット(江崎グリコのポッキーロケット)の打上げに成功。

(株)カムイ  
スペースワーク  
ス

2006年、北海道大学や植松電機(北海道の宇宙部品メーカー)等の北海道民間企業により設立。

カムイロケット(400kgf級)の打上げに成功。

デブリ除去	小型衛星・部品	月面探査
(株)アストロスケール	有限会社 QPS研究所	(株) ispace
<p>2013年、財務省OB(岡田光信氏・1973生)が設立した宇宙ベンチャー。</p> <p>2017年後半に初号機を打上げ予定。</p>	<p>九州発の小型人工衛星開発ベンチャー。2005年設立。</p> <p>九州大学の学生やOB等を中心として2005年6月に設立。</p> <p>現在は、宇宙用電子基板やデブリセンサを開発。「QPS」は、Q-shu Pioneers of Space。</p>	<p>2010年、月面探査を目的として設立したベンチャー。</p> <p>東北大学等とともに、月面開発を目的とした「HAKUTO」プロジェクトを立上げ。</p> <p>Googleによる国際宇宙開発レース「Google Lunar XPRIZE」に我が国で唯一応募し、2015年1月、中間賞であるマイルストーン賞として賞金50万ドルを獲得。</p>
<p><b>インフォステラ社:</b></p> <p>地上局のネットワークを組み、空いた局を時間貸しするビジネス</p>		<p><b>我々の周りに、エコシステム ができつつある</b></p>

# 日経新聞 今朝の朝刊

地上の弱い  
(20mW) 電波を  
衛星で受信  
→20ヶ国以上と連携

自律的に写真を  
撮像・ダウンリンク

年末~3月の実証  
後、起業を検討

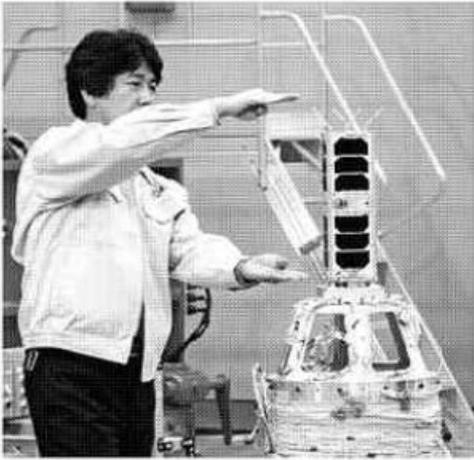
# 超小型衛星、自動で撮影

東京大学と宇宙航空研究開発機構(JAXA)などは、地上を観測する際に飛び方などを自ら判断して撮影する超小型衛星を開発した。指定した観測地点に來ると地上の方向などを見極めて撮影し、管制局の上空に來たときにデータをまとめて転送する。地上から指令を送る手間を減らせるほか、少ない管制局でも運用が可能になる。多数の超小型衛星を連携させながら運用する際の基盤技術になる。

内閣府のプロジェクトで基盤技術を開発した。今年中にも、JAXAのミニロケット「SS-520」5号機で打ち上げ、

機能を実証する。

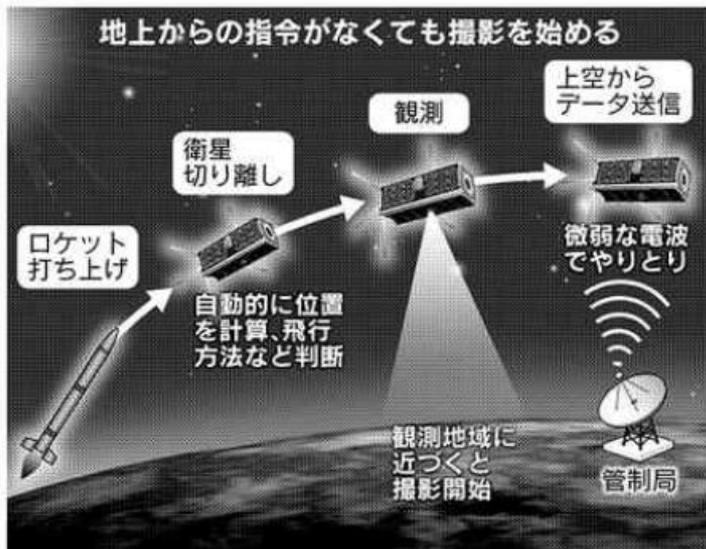
この超小型衛星「TRICOM(トリコム)1R」は縦横約12センチ、長さ約35センチの四角柱状で、重さは約3キログラム。5つの面にカメラを取りつけた。高度200キロ以下、衛星としては低い軌道を一部で周回する。衛星は想定される飛行



「TRICOM-1R」は5つのカメラを持つ(写真は先代)  
—宇宙航空研究開発機構提供

東大など、管制から指令軽減

災害時の地上観測 素早く



地上からの指令がなくても撮影を始める

観測

上空から  
データ送信

衛星  
切り離し

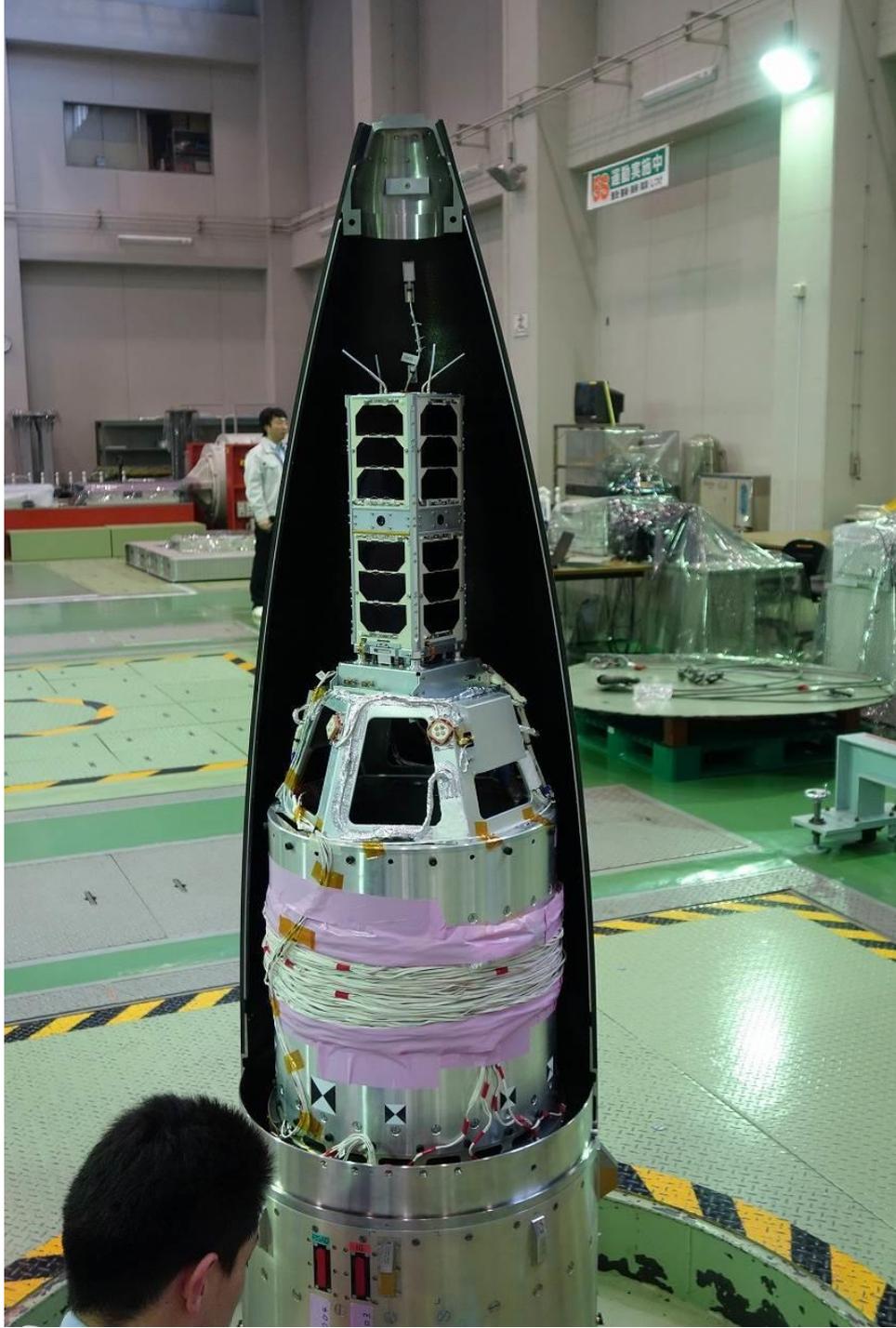
ロケット  
打ち上げ

自動的に位置  
を計算、飛行  
方法など判断

微弱な電波  
でやりとり

観測地域に  
近づくにつれて  
撮影開始

管制局



SS520-4

2017年  
1月15日  
8:33 am



# 超小型衛星成功後、多くの機関・企業が衛星開発の相談に

中・大型衛星ではなくとも、宇宙でやれることはたくさんある

すでに  
開発

高コストの時には現れなかった潜在需要

- -----
- -----
- 教育関連会社(画像等を宇宙の教材に)
- -----
- 地方公共団体(衛星作り自体が青少年の理科教育に。災害時の空からの画像、通信機能欲しい)
- -----
- 機器メーカー(会社製品の宇宙利用で宣伝にしたい)
- アマチュア天文家(自分達で専用に使える宇宙天文台)
- 気象予報会社(独自のコンテンツ欲しい) (→WNI衛星)
- 宇宙機関・企業(技術の早期実証と若手の技術訓練)(→XI-V)
- 宇宙科学者(観測機器の実証、簡易型の宇宙観測に)(→NJ)



コンピュータにおけるダウンサイジング、パソコン化による利用爆発の波を宇宙に!

# 宇宙での新しい産業創出のあり方考察

---

- 国の余剰なお金はほとんどない、お金の付け替えもきわめて厳しい、ついても継続的でない、使いにくい
  - 国に頼らない道を探るべき(国にはインフラ作りを要求)
- 民間のリスクマネー:余っている! 使う先探索中
  - DBJ、INCJ、商社、ベンチャーファンド、外資ファンド-----etc.
- 企業の雇用者のアイデアは事業につながりにくい
  - 認められるまでに何層にも厚い壁がたちはだかる
  - 失敗すると企業名に傷がつく
- **大学を介した、企業+若手ベンチャー会社の連携推奨**
  - ベンチャーに企業が「メンターの支援」→やがて「投資」へ
  - 事業資金は上記リスクマネーから。責任もベンチャー側に
  - 多くの分野の力の統合:大学を拠点として集まる・集める
  - 大学教授から政府への働きかけで、活動しやすい環境づくり