

2.5 新たな衛星データ提供環境の分析

サマリー

- 衛星の運用に対する要求として、グローバルには気象／海洋気象／海洋水質／洪水・山火事／太陽光日射量等のデータに Near-Real-Time へのニーズがあり、国内では CONSEO にて安全保障や災害対応等に Near-Real-Time のレイテンシーを要求する議論等がある。
- 光学衛星及び SAR 衛星について、地上分解能 1m 以下となる衛星コンステレーションを選出し、3 時間の Near-Real-Time に必要な機数を算出。結果、簡易計算上では、必要な機数は、光学・SAR 衛星共に 10 機前後となる。
- 日本では、地上分解能 1m 以下での Near-Real-Time への対応については、光学衛星では他国に対し劣後する一方で、SAR 衛星では、分解能・機数の点で欧米に対し多少劣後するものの、世界有数のレベルにある。
- Near-Real-Time に向けては、撮像間隔の観点からは「オフナディア角」「姿勢制御」「高度」の順に影響ある項目であることが判明したが、このような技術的要素はセンサ、衛星の目的等により決定するため、実際に NRT に与える影響は小さい可能性が高く、衛星の機数増加は確実に NRT に近づくこととなる。
- また、実運用においては、「撮像指示→対象地点到着→撮像→ダウンリンク→データ処理→配布」といった画像提供フロー全体の中で、Near-Real-Time に向けて改善可能であり、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設等の対策も考えられる。
- NRT が求められるユースケースについては、機数・分解能の観点からは、光学衛星：「人流モニタリング」、「パイプラインモニタリング」、SAR 衛星：「洪水・津波保険金迅速支払い」、「洪水・津波モニタリング」、「パイプラインモニタリング」が想定される。また、国際会議等における発言も踏まえると、既に災害を中心とした分野にて Near-Real-Time に対するニーズがあり、また、今後、様々な分野で Near-Real-Time に対するニーズが増大していくことが予想される。
- 今後は、日本の強みである SAR 衛星を中心に、早期のコンステレーション構築に向けた衛星開発の推進と共に、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設といった、画像提供フロー全体での Near-Real-Time に向けた改善に注力することで、他国に引き離されないようにすることが必要である。

1) 運用要求

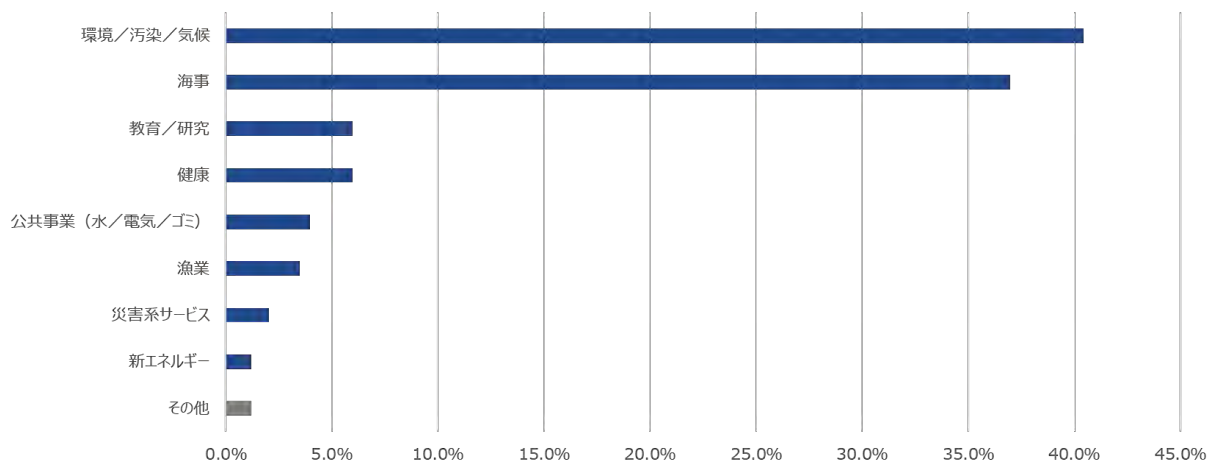
A) 海外ニーズ

• 概要

- ◇ Near Real Time (NRT)のニーズがある市場領域および観測対象について、European Commission (EC) により 2015 年～2019 年に実施された Copernicus プログラムに対するユーザニーズ調査を解析した結果を下図にまとめる。
- ◇ 上述したユーザニーズ調査は 15,530 件の回答が得られている。同回答には、研究者や民間企業からどのような衛星データがどのようなレイテンシー・時間分解能などで必要か、といった回答が得られている。ただし、多くの回答が N/A で埋まっているなど信頼性が必ずしも高くない回答で占められている。
- ◇ 本調査では 3 時間以内のレイテンシーを Near Real Time (NRT) と定義し、NRT のニーズについて回答のある計 846 件のうち、上位 8 つの市場領域の回答 836 件を対象にどのような観測に対してどの程度のレイテンシーが要求されているかを解析した。
- ◇ 市場領域毎の回答数は下図の通り。以降に記載する解析結果では、回答数の多い環境／汚染／気候および海事領域のバイアスがあることに留意すること。

図表 172 NRT のニーズがある領域

全体回答数：846件、解析対象：836件



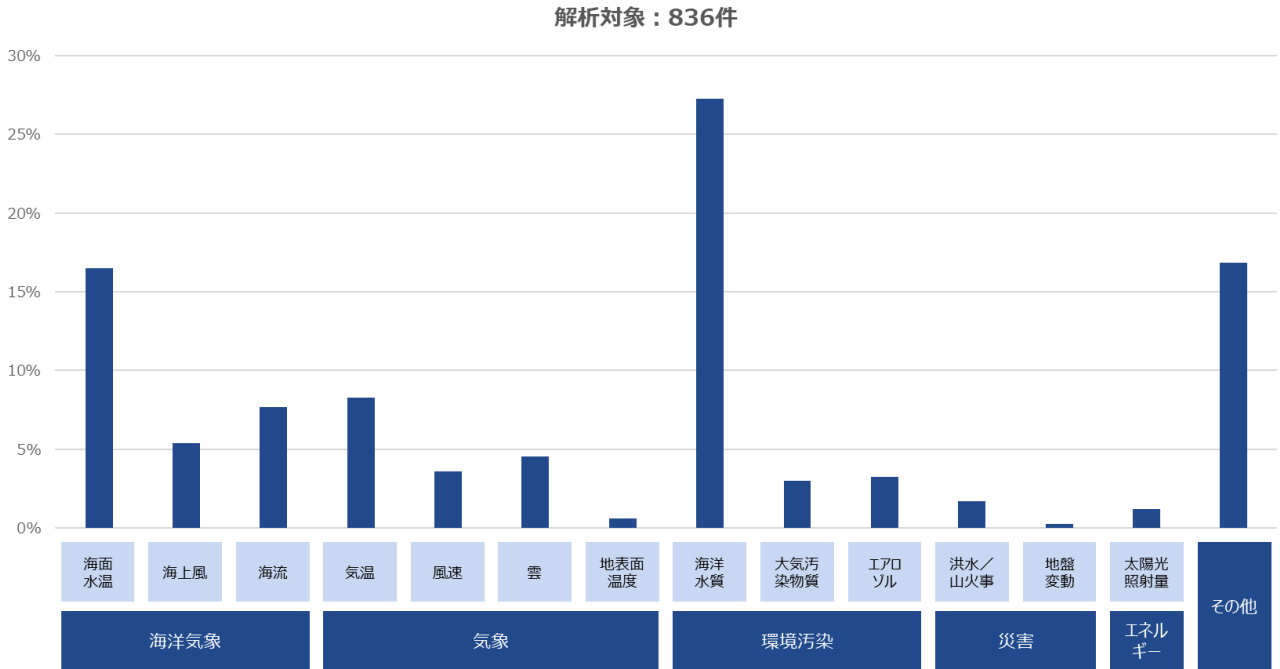
出所：Copernicus user requirement より DB 編集

• 解析結果

- ◇ 市場横断的な NRT ニーズの全体像と市場領域毎の NRT ニーズを下の 2 つの図に示す。
- ◇ 最もニーズが高いのは海事や漁業にからのニーズが多いクロロフィル濃度／塩分濃度／溶存物質／濁度等の水質に関する観測である。ただし、NRT 回答数全体の 75%以上が環境／汚染／気候および海事領域のユーザからの回答で占められていることに留意。
- ◇ また、気温／風速／雲および海面水温／海上風／海流などの気象／海洋気象予報に関するパラメータにもニーズが高い。
- ◇ 災害関連では、および洪水や山火事の被害状況把握に関するニーズが高い。

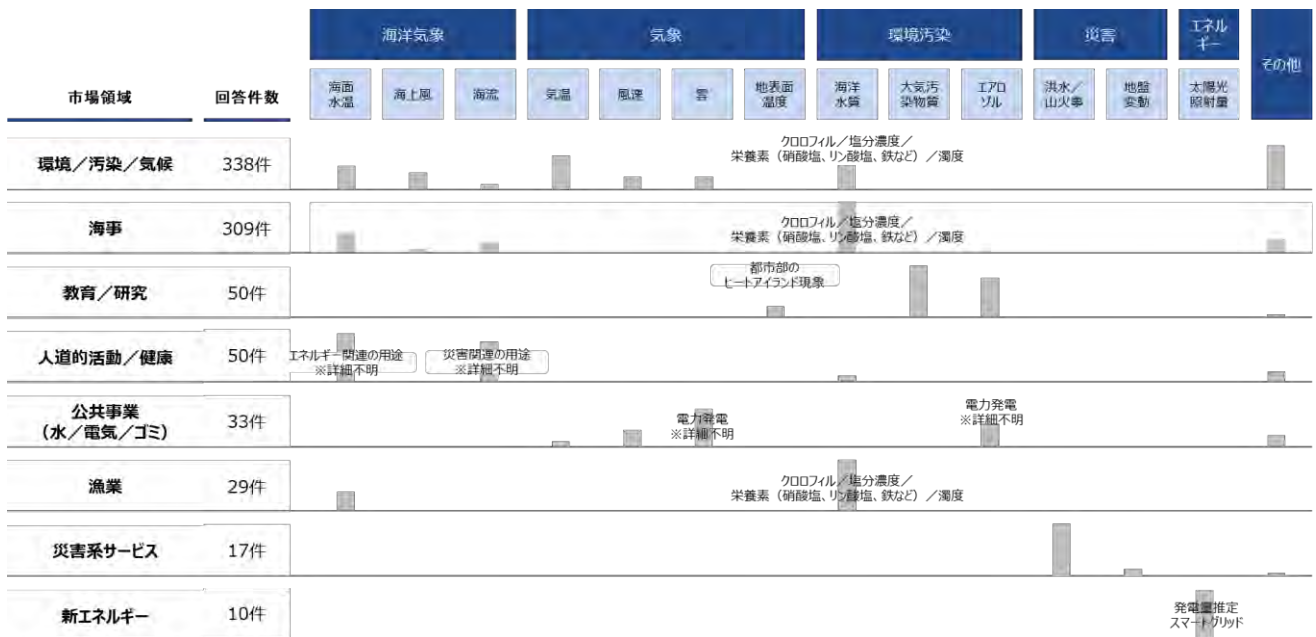
- ◇ エネルギー関連ではスマートグリッドへの活用などを目的とした太陽光照射量の NRT 観測ニーズが見られる。

図表 173 観測対象ごとの NRT ニーズ



出所：Copernicus user requirement より DB 編集

図表 174 市場領域毎の NRT ニーズ



出所：Copernicus user requirement より DB 編集

B) 国内ニーズ

- 衛星地球観測コンソーシアム（CONSEO）の光学・SAR 観測 WG では、将来地球観測衛星ミッションの検討の中で我が国の光学・SAR 観測利用における重点領域を安全保証／災害対応／GST・カーボンニュートラル／都市観測ビジネス／スマート農林水産業と整理している。
- 本 WG 資料を基に、国内ニーズの把握を実施した。

i. 安全保障

- 船舶監視では Tip&Cue による迅速な観測が求められており、レイテンシーについても非常に高い要求があることが想定される。特に天候や昼夜に依存しない SAR 観測について、上記の事項が求められている（下図参照）。

我が国の光学・SAR観測のあり方：①安保ニーズ

■ 安全保障分野の有識者・関係者のヒアリング結果、公開情報から推察されるニーズ

- 民生衛星(デュアルユース衛星)に対するニーズ：
 - ✓ 検証・反証等に示せ、同盟国への提供が可能な、オープンな情報であること。
 - ✓ 観測リソースを日本のニーズに基づき自由に活用できること(自律性)。※現在ユーザが調達している商用衛星の代替可能性
 - ✓ IGSの観測を補完する情報の収集ができ、多様なデータによって情報の時間解像度が向上すること。
 - 安全保障上重要な、意思決定・行動の“直前の状態”の把握と、各種予測や計画の策定にかかる“シミュレート”に関するニーズ。
 - ➔ “直前の状態”の把握に必要な、夜間でも船舶等を広域に観測できるレーダ観測能力や、コンステによる特定の高頻度観測
 - ➔ シミュレートに必要な、環境や対象のモデル化の基盤となる3次元情報等の把握ができること
- ※各国独自に3次元情報を得る衛星観測の取組(Dual-use)がある(下記参照)

各国独自に3次元情報を得る取組(いずれもDual-use)

(仏) CO3D



(独) TerraSAR-X, TanDEM-X



(米) MAXER社 FORM-10K*より (*米証券取引委員会が要求する財務実績)
 (「事業概要」より抜粋) 3D data for defense and intelligence markets, with software and products that enhance 3D mapping, Earth intelligence data, military simulation and training and precision-guided munitions.

(日) AW3D 30 (ALOS World 3D 30mメッシュ)
 ユーザ数61,504名、182ヶ国(国連加盟国193カ国)が登録
 (各国政府機関が登録)

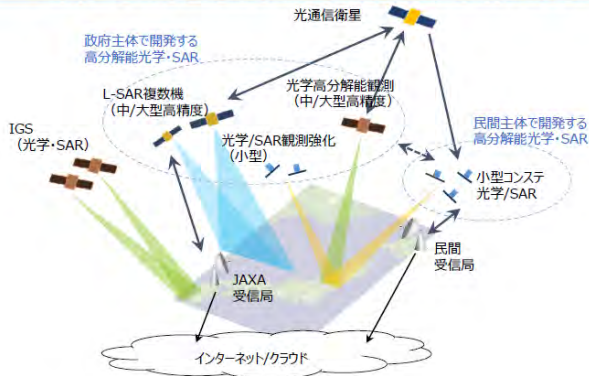
3次元情報に基づく安全保障における“シミュレート”(イメージ)



我が国の光学・SAR観測のあり方：オプション案① a)「安全保障(Dual-use)優先型：自立性重視」

【コンセプト】 認知戦・情報戦等における自立的なDual-use光学・SAR観測の重要性の高まりを踏まえ、**海外商用衛星に依存しない自立的な安全保障ユーザ向けのDual-use光学・SAR観測能力の構築を重視。**

- ねらい・期待される効果
 - ・ IGSに加え、安全保障ユーザが観測リソースを自立的・自在的に活用可能なDual-useの高分解能光学・SAR衛星群により観測能力を強化。
 - ・ Dual-useな観測システムにより、各種部隊、国内社会や同盟国等との共有しやすい高分解能光学・SAR観測データを取得。
 - ・ 民間事業者が安全保障ユーザに対してサービス提供する形とし、安全保障ユーザの簡便性を高めるとともに、我が国の観測衛星事業者を育成。
 - ・ 余剰リソースでの海外事業展開も促進。防災等、国内の安全保障以外の用途については安全保障ユーザとの議論による。
- 構築するソリューション
 - ・ 安全保障ユーザが調達している海外商用衛星(WorldVIEWやCapella等)に代替しうる高解像度光学・SAR衛星群を用いたソリューション
 - ・ 商用サービスが存在しない、広域海洋状況把握などに有効なSAR + AIS衛星群(実利用に対応するため複数機化)によるソリューション



★ (例) 海外商用衛星に匹敵するor独自性のありエーズの高い安全保障ユーザ向けDual-use光学・SARイメージング情報・ソリューション

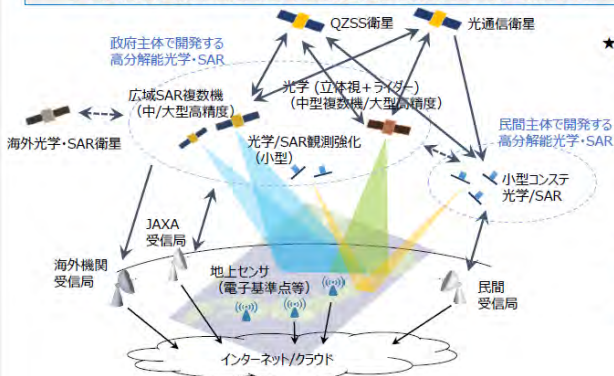
- 30cm級解像度、高スリッパな中・大型光学衛星群(WorldVIEW代替)
- 広域毎半伏冠円産観測に有効な中・大型SAR + AIS衛星群
- 高頻度な特定点監視のための高解像度光学・SARコンステ
- 上記システムを組み合わせた、衛星同士のネットワーク化・Tip and Cueによる協調運用による船舶監視、戦術的情報取得などの高度な監視サービス

出所：CONSEO 資料より

我が国の光学・SAR観測のあり方：オプション案① b)「安全保障(Dual-use)優先型：多国間連携重視」

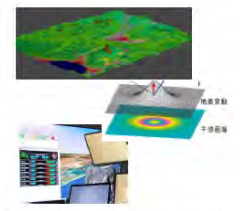
【コンセプト】 認知戦・情報戦等における自立的なDual-use光学・SAR観測の重要性の高まりを踏まえ、**海外商用衛星の活用を前提**として、海外衛星とインターオペラブルで、海外安保ユーザからも必要とされる**日本独自の観測能力(高精度3次元計測等)を持った安全保障ユーザ向けのDual-use光学・SAR観測能力の構築を重視。自立的な観測能力を高めつつ、同盟国等との連携を強化。**

- ねらい・期待される効果
 - ・ IGSに加え、安全保障ユーザが観測リソースを自立的・自在的に活用可能なDual-useの光学・SAR衛星群により観測能力を強化。海外商用衛星と互換的な利用が可能なシステムとして、同盟国との連携を強化。
 - ・ Dual-useな観測システムにより、各種部隊、国内社会や同盟国等との共有しやすい高分解能光学・SAR観測データを取得。
 - ・ 日本独自の付加価値の高い観測能力を提供し、IGSの情報を補完するとともに、安全保障分野における情報の質・多様性を向上。
 - ・ 民間事業者が安全保障ユーザに対してサービス提供する形とし、安全保障ユーザの簡便性を高めるとともに、我が国の観測衛星事業者を育成。
 - ・ 余剰リソースでの海外事業展開も促進。防災等、国内の安全保障以外の用途については安全保障ユーザとの議論による。
- 構築するソリューション
 - ・ 海外と差別化した情報を収集・提供し得る光学・SAR衛星群によるソリューション(例：海外のリファレンスとなる衛星3次元地理空間情報を把握する光学・SAR観測衛星群や、広域海洋状況把握に有効なSAR衛星群によるソリューション)



★ (例) 商用海外衛星能力の補完+海外のリファレンスとなる衛星3次元地理空間情報取得

- 基本能力として、サブメータ級解像度、高スリッパな中・大型光学衛星群(WorldVIEW補完)、広域毎半伏冠円産に有効な中・大型SAR衛星群、高頻度な特定点監視のための高解像度光学・SARコンステ
- 付加価値として、光学・SAR観測衛星とQZSS連携等により、信頼性の高い位置情報を提供し得る3次元地理空間情報を創出。衛星3次元情報は、日本がこれまで強み(ALOS DSM/AV3D、ASTER DSMなど)、安全保障上不可欠な基礎情報。
- 光学：マルチユー(面対抗)×アペチャ高度計測(高さ方向束値)の融合
- SAR：時系列・多方位干渉(微小変化)、L/X連携による広域かつ詳細な観測
- 衛星同士のネットワーク化・Tip and Cueによる衛星群の協調運用による船舶監視、戦術的情報取得などの高度な監視サービスや3次元情報サービス



3次元情報に基づく分析・シミュレーション
(上図：ALOS 3D×土地被覆分類
中図：干渉SAR地形変動(国土地理院)
下図：https://www.rtrvisimulation.com)

出所：CONSEO 資料より

ii. 災害対応

- 大規模地震や大雨による洪水等の自然災害への迅速な被害状況把握における衛星データ活用に高いレイテンシーが求められている。具体的には発災から2時間~12時間以内で、主に下記を把握可能なプロダクト提供が求められている。
 - 被害建物：重点支援すべき自治体の検討、被害認定調査
 - 浸水域：排水ポンプ車/医療リソースの派遣場所/規模検討
 - 地滑り：土砂方による緊急調査
 - 災害廃棄物量：外部支援必要性、処理戦略検討
- 特に SAR 衛星観測に対するニーズが高い。これは、天候に依存せず大雨による洪水被害や地滑り被害の状況を把握できるためである。

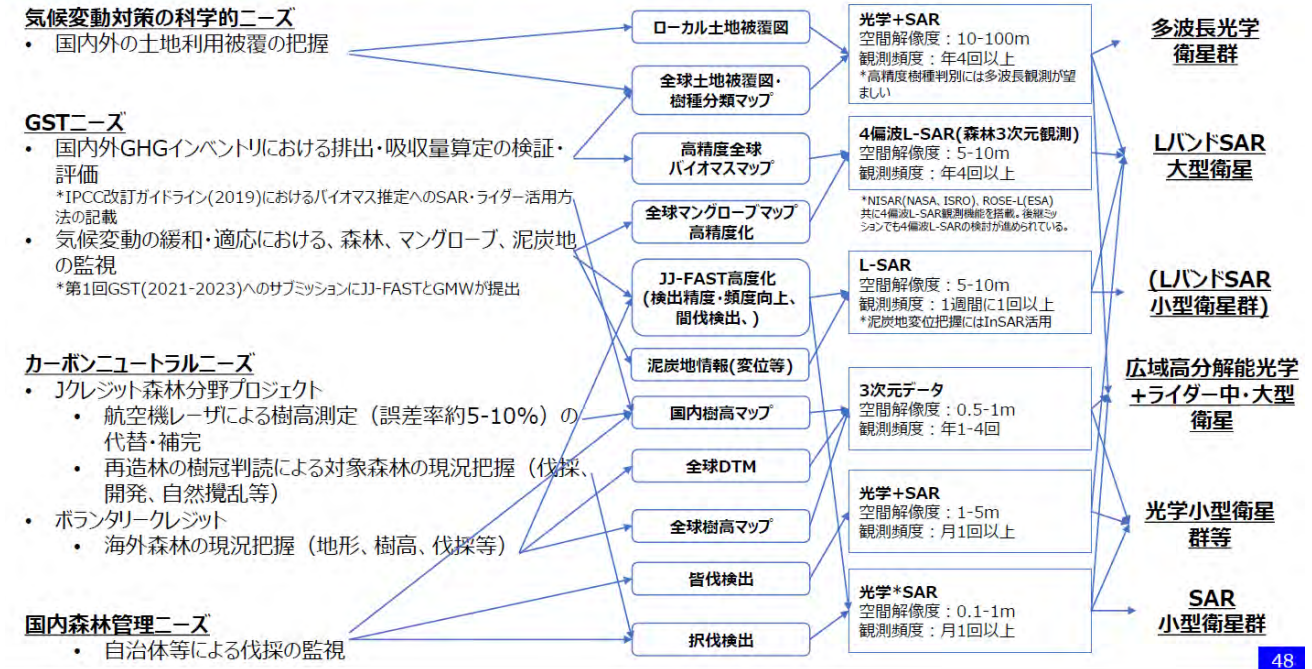


出所：CONSEO 資料より

iii. GST・カーボンニュートラル

- GST やカーボンクレジットにおける温室効果ガス排出量・吸収量算定等では年 4 回程度の定期監視のため、NRT レベルのレイテンシーは求められていない。

我が国の光学・SAR観測のあり方：③GST・カーボンニュートラルのニーズ



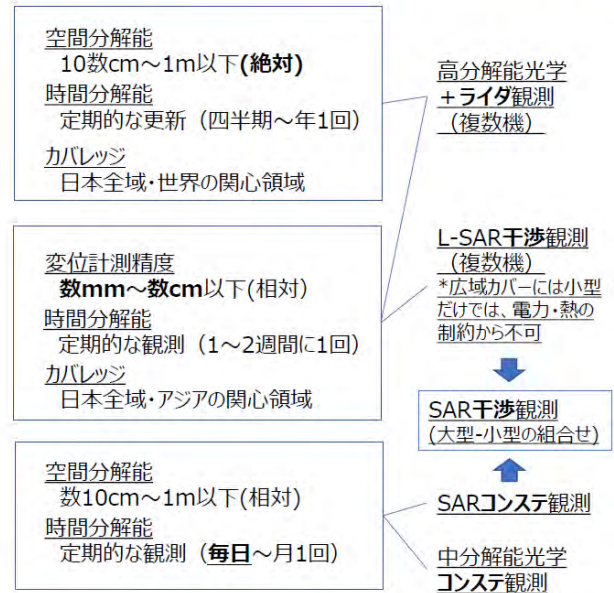
出所：CONSEO 資料より

iv. 都市観測ビジネス

- 都市計画時の活用が想定される 3D 地図や、水道／道路／港湾等のインフラ監視では高解像度化や高時間分解能化は求められているものの、NRT レベルのレイテンシーは求められていない。
- 一方で港コンテナや船の監視による金融機関向け経済動向把握情報の取得等では一定の NRT ニーズがあるものと想定される。

我が国の光学・SAR観測のあり方：④都市観測ビジネスニーズ

- 3D/2Dデジタル地図ニーズ**
 - デジタル3D地図 (AW3D、PLATEAU等、都市利用計画)
 - シミュレーション (5G基地局電波伝搬、洪水、風況等)
 - 自動運転用
 - デジタル2D地図 (国内外地図等、土地利用計画)
 - 縮尺2500分の1 (公共測量規定)
 - 新興国等の地図作成基盤インフラ、スマートシティ計画策定
 - 都市計画基礎調査における土地利用現況調査
- インフラ監視ニーズ** (老朽化する各種インフラ監視の抜本的効率化)
 - 水道管漏水検知 (UTILIS社)
 - 地盤沈下監視 (水準測量と衛星データ併用)
 - 道路構造物(切土、盛土、斜面等)監視
 - 河川堤防の管理・点検や河道における樹木の把握等
 - 砂防基礎調査実施個所の選定
 - 港湾 (港湾・堤防の沈下や隆起の監視、藻場面積の測定)
 - 不法投棄・違法建築の監視
 - 道路安全走行 (段差検出)
- 特定点監視ニーズ**
 - 金融機関向けオルタナティブデータ
 - 経済動向把握、固定資産・地物検出等を目的とした台数カウント・種類判読 (車、港コンテナ、船、飛行機、駐車場)



【参考】第2回RSデータ利用TF大臣会合 衛星データの更なる利用拡大に向けた環境整備について <https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/rs/dai2/siryou2.pdf>

50

出所：CONSEO 資料より

v. スマート農林水産業

- 農業についてはスマート農業（収穫・施肥・農薬散布等のDX）などへの活用において高時間分解能化が求められているものの、NRTレベルのレイテンシーは求められていない。
- 林業についてはカーボンニュートラルのニーズと同様。
- 水産業については沿岸域の漁海況情報として光学衛星データ利用が見込まれ、日次レベルの時間分解能が求められている。また、赤潮に代表されるような水質変化監視や台風時の海況把握等ではその緊急性からある程度高いレイテンシーが求められると思われる。

我が国の光学・SAR観測のあり方：⑤スマート農林水産業ニーズ



2) 地上分解能 1m 以上の全球観測を Near Real Time に行うために必要な衛星機能・機数等の推定

A) 基本的な考え方

- 現在、運用されている地上分解能 1m 以上の観測衛星（光学、SAR）を抽出し、衛星仕様等を整理する。
- 整理した仕様を基に、全球観測を Near Real Time に行うために必要な機数を簡易推計する。簡易推計の際の基本的な数式は以下の通りである。
 - ◇ 1機の場合の全球観測時間 (T) = 地球円周 ÷ (観測幅 × 地球 1 周にかかる時間)
 - ◇ 仮に Near Real Time を 3 時間と設定した場合、必要な機数 = T(hour) / 3 hour
- 上記を踏まえた上、Near Real Time を標榜する企業の衛星スペック・機数などを勘案した上で、どのような衛星機能・機数が必要かを考察する。また、Near Real Time に関する用途も本節 1) の検討を踏まえた上で整理する。

B) 必要な衛星機能・機数等の推定

i. 衛星抽出条件の整理

- 調査対象とする地球観測衛星は、seradata 社の Space Trak を用いて、下記基準にて抽出した。
 - ◇ 打上げ時期：直近 10 年間（2013～2022 年）及び 2023 年以降
 - ◇ 衛星状況：計画中、製造中、運用中の機体とし、計画キャンセルや運用終了機体は除く
 - ◇ 衛星種類：軍事衛星以外の衛星（民間、商用等）
 - ◇ 地上分解能：1m 以下
 - ◇ その他：コンステレーションを構成していること

ii. 衛星抽出結果

【光学衛星】

- 光学衛星の抽出結果は下図表のとおり。
- 12種の光学衛星コンステレーションが確認された。欧米中を中心に高分解能なコンステレーションは構築されており、インド、南米でも確認されるが、日本企業は含まれていない。
- 光学衛星では、インドを除き民間企業によるコンステレーションとなっており、民を主体として高分解能・高頻度の撮像を目指していることがうかがえる。
- 全てのコンステレーションがLEO軌道となる。
- 分解能1m未満のセンサはパンクロが中心となる。

図表 175 地上分解能1m未満の光学衛星コンステレーション

No.	衛星名称	衛星所有者	国籍	打上げ日 2013~22 (機)	打上げ日 2023~ (機)	コンステ レーション 機数 (機)	軌道	センサ 種別 1	分解能 -1 (m)	観測幅 -1 (km)	センサ種別 2	分解能 -2 (m)	観測幅 -2 (km)
1	BLACKSKY	BLACKSKY	アメリカ	14	43	57	LEO	Multispectral	1.0	—	Panchromatic	1.0	—
2	CO3D-1-4	Airbus Defense and Space	フランス	0	4	4	LEO	—	0.5	—	—	—	—
3	DMC3-1-3	DMC International Imaging Limited (DMC ii)	イギリス	3	0	3	LEO	Panchromatic	1.0	23	—	—	—
4	HRSAT 1-3	ISRO - Indian Space Research Organisation	インド	0	3	3	LEO	Panchromatic	1.0	15	—	—	—
5	JILIN 1 HIGH RESOLUTION	Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd (CGSTL)	中国	86	0	86	LEO	Multispectral	1.0	17	—	—	—
6	NUSAT 1-60	Satelloic SA	アルゼンチン	43	17	60	LEO	Multispectral	1.0	5	Panchromatic	1.0	5
7	Pleiades Neo3,4	Airbus Defense and Space	フランス	2	0	2	LEO	Panchromatic	0.3	14	—	—	—
8	skysat	Planet	アメリカ	20	0	20	LEO	Panchromatic	0.9	8	—	—	—
9	SUPERVIEW-1 01-04 (GAOJING 1-01-04)	Beijing Space View Technology Co Ltd	中国	4	0	4	LEO	Panchromatic	0.5	12	—	—	—
10	vivid-i 1-5	Earth-i	イギリス	0	5	5	LEO	—	0.6	5	—	—	—
11	Worldview legion 1-8	Maxar Technologies Inc	アメリカ	0	8	8	LEO	Panchromatic	0.3	—	—	—	—
12	ZHUHAI OVS-2,3	Zhuhai Orbit Aerospace Technology Co Ltd	中国	2	0	2	LEO	Multispectral	0.9	22.5	—	—	—

出所) SeraData 社 Space Trak、OSCAR 及び各社 HP より DB 編集

【SAR 衛星】

- SAR 衛星の抽出結果は下図表のとおり。
- 6 種の SAR 衛星コンステレーションが確認された。欧米日の民間企業で高分解能なコンステレーションは構築されており、民を主体として高分解能・高頻度の撮像を目指していることがうかがえる。
- 全てのコンステレーションが LEO 軌道となる。
- 海外企業の衛星では、複数の観測モードにて分解能 1m 未満となっており、解像度の観点で日本企業に先行している。

図表 176 地上分解能 1m 未満の SAR 衛星コンステレーション

No.	衛星名称	衛星所有者	国籍	打上げ日 2013 ~22 (機)	打上げ日 2023 ~ (機)	コンステレーション 機数 (機)	軌道	分解能 -1 (m) Az x Ra	観測幅 -1 (km) Az x Ra	分解能 -2 (m) Az x Ra	観測幅 -2 (km) Az x Ra	分解能 -3 (m) Az x Ra	観測幅 -3 (km) Az x Ra	分解能 -4 (m) Az x Ra	観測幅 -4 (km) Az x Ra
1	CAPELLA-06~36	Capella Space	アメリカ	3	28	31	LEO	0.5	5X5	0.8	5X10	—	—	—	—
2	COSMO-SKYMED SECOND GENERATION 1,2 (CSG-1,2)	ASI - Agenzia Spaziale Italiana	イタリア	2	0	2	LEO	0.3X0.5	3.5X7	0.6X0.6	10X10	0.8X0.8	5X10	—	—
3	ICEYE-1-7, X2,X4-7,X17-19	ICEYE	フィンランド	15	0	15	LEO	1.0X1.0	5X5	1.0X1.0	15X15	—	—	—	—
4	IZANAGI, IZANAMI, QPS-SAR-5, -6	QPS Research Institute Inc (iQPS Inc.)	日本	2	2	4	LEO	0.46X0.46	7X7	—	—	—	—	—	—
5	STRIX-BETA, -1	Synspective Inc.	日本	2	0	2	LEO	1.0X1.0	10X10	—	—	—	—	—	—
6	UMBRA-01-06	Umbra	アメリカ	3	3	6	LEO	0.25	4X4	0.35	4X4	0.5	4X4	1	4X4

出所) SeraData 社 Space Trak、OSCAR 及び各社 HP より DB 編集

iii. 簡易計算による必要機数の推定

- 上記にて整理した衛星仕様に基づき、地上分解能 1m 以下の全球観測を Near-Real-Time にて実施するための簡易計算を行う。
- 簡易計算は以下の条件に基づき実施する。

● 必要機数^{*1} = 1機の場合の全球観測時間(h) ÷ 目標とする Near-Real-Time(h)

■ 1機の場合の全球観測時間(h) = 地球円周(km) ÷ {地上観測幅(km) × 地球1周における観測回数} × 地球1周に必要な時間(h)

➤ 地球円周(km)の考え方

① 地球円周 (光学※熱赤外除く) = 20,000km (昼間部のみ)

※光学衛星は夜間に撮影できないため

② 地球円周 (SAR、熱赤外) = 40,000km (昼間・夜間共)

➤ 地上観測幅(km)の考え方

地上観測幅(km) = 2^{*2} × 衛星高度(km) × tan 入射角(θ)

➤ 地球1周における観測回数の考え方

① 地球1周における観測回数 (光学※熱赤外除く) = 1回※昼1回(Ds)

② 地球1周における観測回数 (SAR、熱赤外) = 2回※昼1回(Ds)、夜1回(As)

➤ 地球1周に必要な時間(h)の考え方

地球1周に必要な時間(h) = {2 × (地球半径 + 衛星高度(km)) × π} ÷ 衛星速度(km/s) ÷ 3600

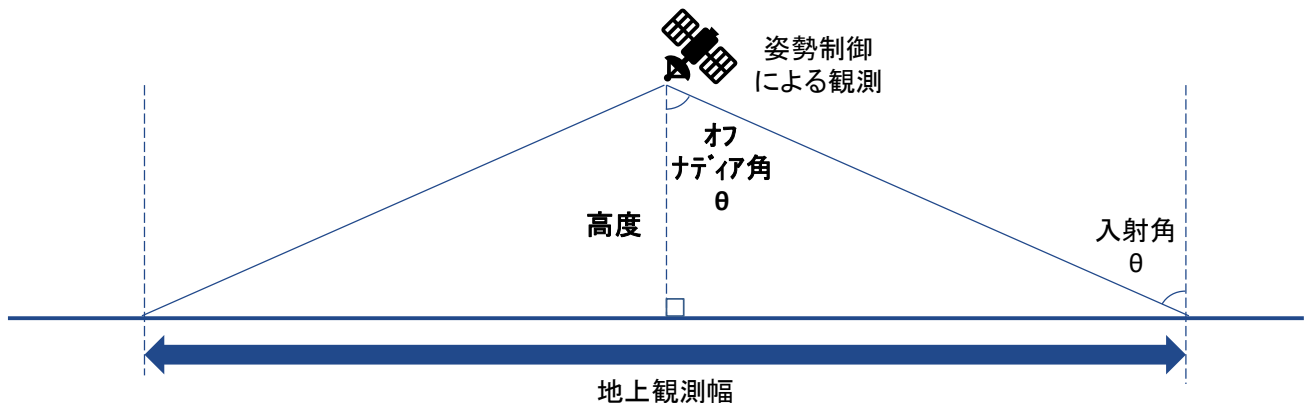
➤ その他

必要機数の算出には関係ないが、光学衛星の場合には、観測対象地点が昼になるまでの時間(α=0~12h)を加味する必要がある

※1: あくまで簡易計算式による結果であり、実態とは異なる

※2: 衛星が姿勢制御を行い、進行方向に対して東西両側を確認できると仮定

図表 177 簡易計算式概要



【光学衛星】

- 1機の場合の全球観測時間は24~70時間程度であり、Near-Real-Timeを3時間と想定した場合には、概ね10機前後のコンステレーション構築が必要となる。

図表 178 簡易計算結果 (光学衛星)

No.	衛星名称	国籍	コンステレーション機数 (機)	高度 (km)	オフナディア角 (θ)	地上観測幅 (km) ※両側想定	地球1周における観測回数 (回)	衛星速度 (km/s)	地球1周に必要な時間 (h)	1機の場合の全球観測時間 (h)	Near-Real-Time(3h)に必要な機数 (機)	コンステレーション構築時の全球観測時間 (h)
1	BLACKSKY	アメリカ	57	430	45※	860	1	7.7	1.54	35.87	12	0.7
2	CO3D-1-4	フランス	4	502	45※	1000	1	7.6	1.58	31.58	11	7.9
3	DMC3-1-3	イギリス	3	630	45	1260	1	7.5	1.63	25.87	9	8.7
4	HRSAT 1-3	インド	3	660	45	1320	1	7.5	1.64	24.80	9	8.3
5	JILIN 1 HIGH RESOLUTION	中国	86	579	45	1160	1	7.6	1.60	27.53	10	0.4
6	NUSAT 1-60	アルゼンチン	60	500	25	470	1	7.6	1.58	67.18	23	1.2
7	Pleiades Neo3,4	フランス	2	620	46	1280	1	7.5	1.63	25.43	9	12.8
8	skysat	アメリカ	20	600	45※	1200	1	7.6	1.60	26.69	9	1.4
9	SUPERVIEW-1 01-04 (GAOJING 1-01-04)	中国	4	530	45	1060	1	7.6	1.59	29.92	10	7.5
10	vivid-i 1-5	イギリス	5	505	45※	1010	1	7.6	1.58	31.28	11	6.3
11	Worldview legion1-8	アメリカ	8	450	45※	900	1	7.6	1.57	34.83	12	4.4
12	ZHUHAI OVS-2,3	中国	2	500	45※	1000	1	7.6	1.58	31.57	11	15.8

※オフナディア角が不明なため、他事例踏まえ 45° と想定
出所) SeraData 社 Space Trak、OSCAR 及び各社 HP より DB 編集

【SAR 衛星】

- 1 機の場合の全球観測時間は 10~40 時間程度であり、Near-Real-Time を 3 時間と想定した場合には、概ね 10 機前後のコンステレーション構築が必要となる。

図表 179 簡易計算結果 (SAR 衛星)

No.	衛星名称	国籍	コンステレーション機数 (機)	高度 (km)	オフナディア角 (θ)	地上観測幅 (km) ※両側想定	地球1周における観測回数 (回)	衛星速度 (km/s)	地球1周に必要な時間 (h)	1機の場合の全球観測時間 (h)	Near-Real-Time(3h)に必要な機数 (機)	コンステレーション構築時の全球観測時間 (h)
1	CAPELLA-06~36	アメリカ	31	525	50	1300	2	7.6	1.58	25.35	9	0.9
2	COSMO-SKYMED SECOND GENERATION 1,2 (CSG-1,2)	イタリア	2	620	60	2100	2	7.5	1.63	15.14	6	7.6
3	ICEYE-1-7, X2,X4-7,X17-19	フィンランド	15	580	35	800	2	7.6	1.60	39.43	14	2.7
4	IZANAGI, IZANAMI, QPS-SAR-5, -6	日本	4	595	50	1400	2	7.6	1.60	22.54	8	5.7
5	STRIX-BETA, -1	日本	2	561	45	1100	2	7.6	1.59	28.44	10	14.3
6	UMBRA-01-06	アメリカ	6	600	70	3300	2	7.6	1.60	9.71	4	1.7

出所) SeraData 社 Space Trak、OSCAR 及び各社 HP より DB 編集

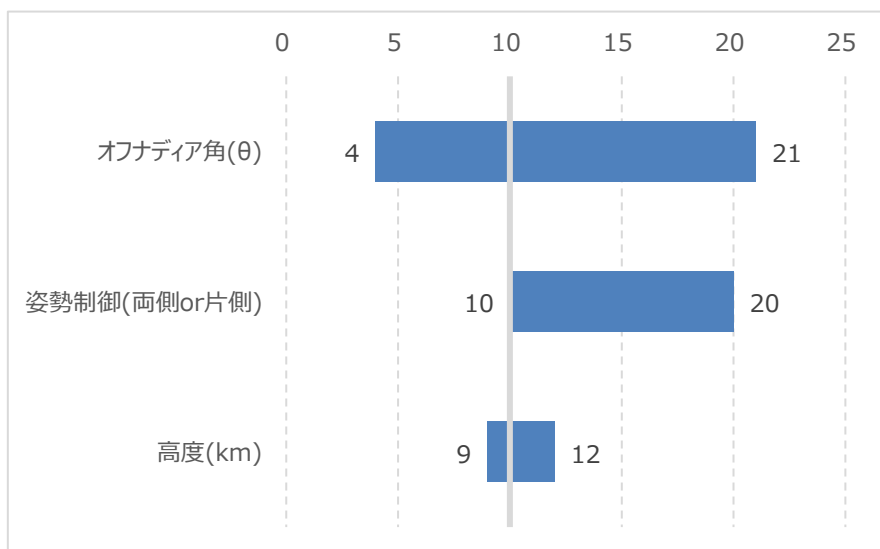
iv. 感度分析による確認

- 光学衛星と SAR 衛星において、地上分解能 1m 未満の解像度で 3 時間の Near-Real-Time に必要な機数は概ね 10 機前後と差はなかったが、衛星個別に確認すると、光学衛星では 9~23 機、SAR 衛星では 4~14 機と、SAR 衛星の方が、必要機数が少ないことが分かる。
- この差は、衛星間で大きな差がある「地上観測幅」が寄与することが想定されるため、「地上観測幅」の算出に関連する「高度」「オフナディア角」及び簡易計算時には両側観測可能と想定した「姿勢制御（片側 or 両側）」の要素について、感度分析を実施した。
- 感度分析では、上記にて抽出した光学衛星と SAR 衛星の仕様を参考として、おおよその平均値を標準シナリオとして、最小値・最大値を基に最悪シナリオ及び最善シナリオを下図表のとおり作成した。
- 作成したシナリオを基に感度分析を実施した。感度分析の結果から、NRT へ与える影響が大きい順に「オフナディア角」「姿勢制御」「高度」であることが判明した。但し、地上分解能 1m 未満とするためには「オフナディア角」及び「高度」は、あまり広く・高くすることができない可能性がある。また、「高度」「オフナディア角」「姿勢制御」といった技術的要素はセンサ、衛星の目的等により決定するため、これら要素が NRT へ影響を与える程変更できない可能性が高い。
- 感度分析として、上記検討を実施したが、衛星機数を増加する方が確実に NRT に貢献可能であることが想定される。

図表 180 各シナリオにおける要素の値

要素	最悪シナリオ	標準シナリオ	最善シナリオ
高度(km)	430	550	660
オフナディア角(θ)	25	45	70
姿勢制御※片側：1 両側：2	1	2	2

図表 181 各シナリオにおける感度分析結果（トルネードチャート）



C) ユースケースの想定

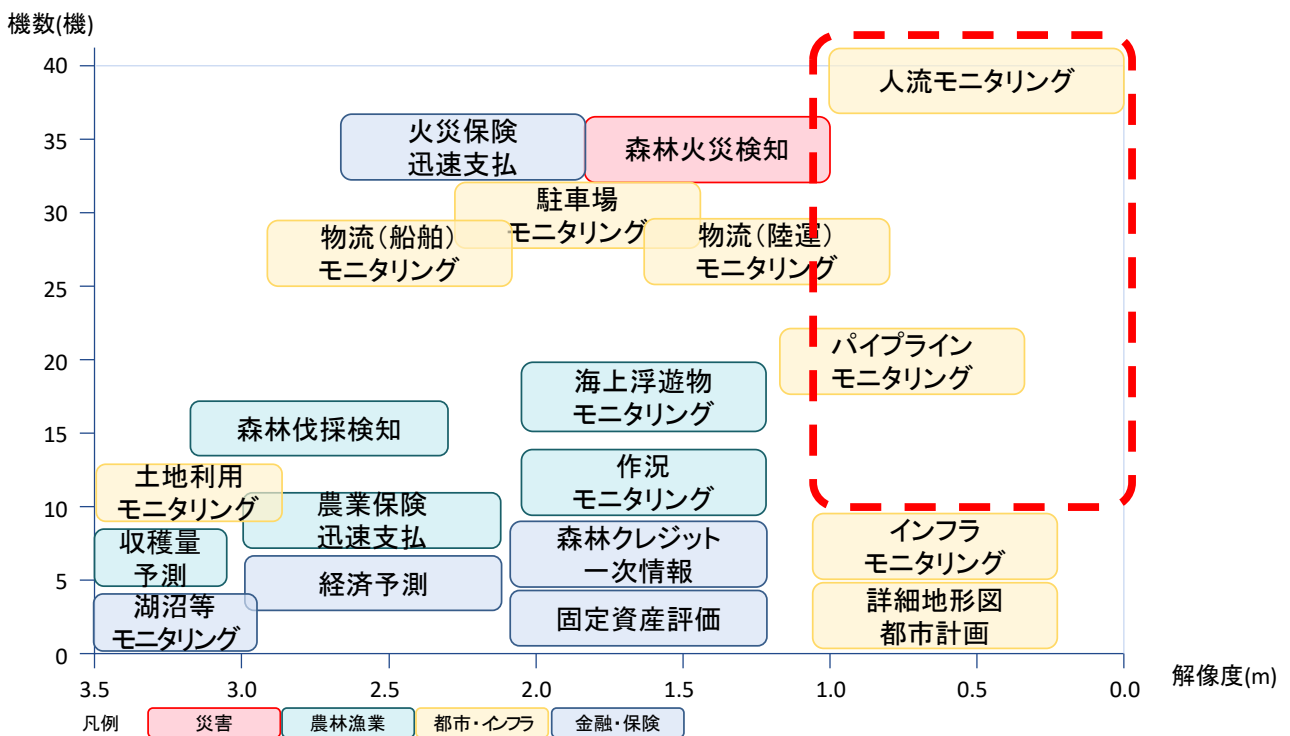
i. 運用要求からの整理

- 海外のユーザニーズ調査では、具体のユースケースの記載はないものの、以下のパラメータにてニーズがあった。
 - ◇ 海洋気象：海面水温
 - ◇ 気象：気温
 - ◇ 環境汚染：海洋水質、大気汚染物質、エアロゾル
 - ◇ 災害：洪水/山火事
 - ◇ エネルギー：太陽光照射量
- 一方、国内では、以下の分野にてニーズがあった。
 - ◇ 安全保障
 - ◇ 災害対応

ii. 機数、分解能からの整理

- 下図表は、光学衛星及び SAR 衛星について、機数（観測頻度）と分解能の事例を踏まえ主なユースケースをプロットしたものである。
- 光学衛星では、以下のユースケースが想定される。
 - ◇ 人流モニタリング
 - ◇ パイプラインモニタリング

図表 182 機数・分解能の観点から想定されるユースケース【光学衛星】

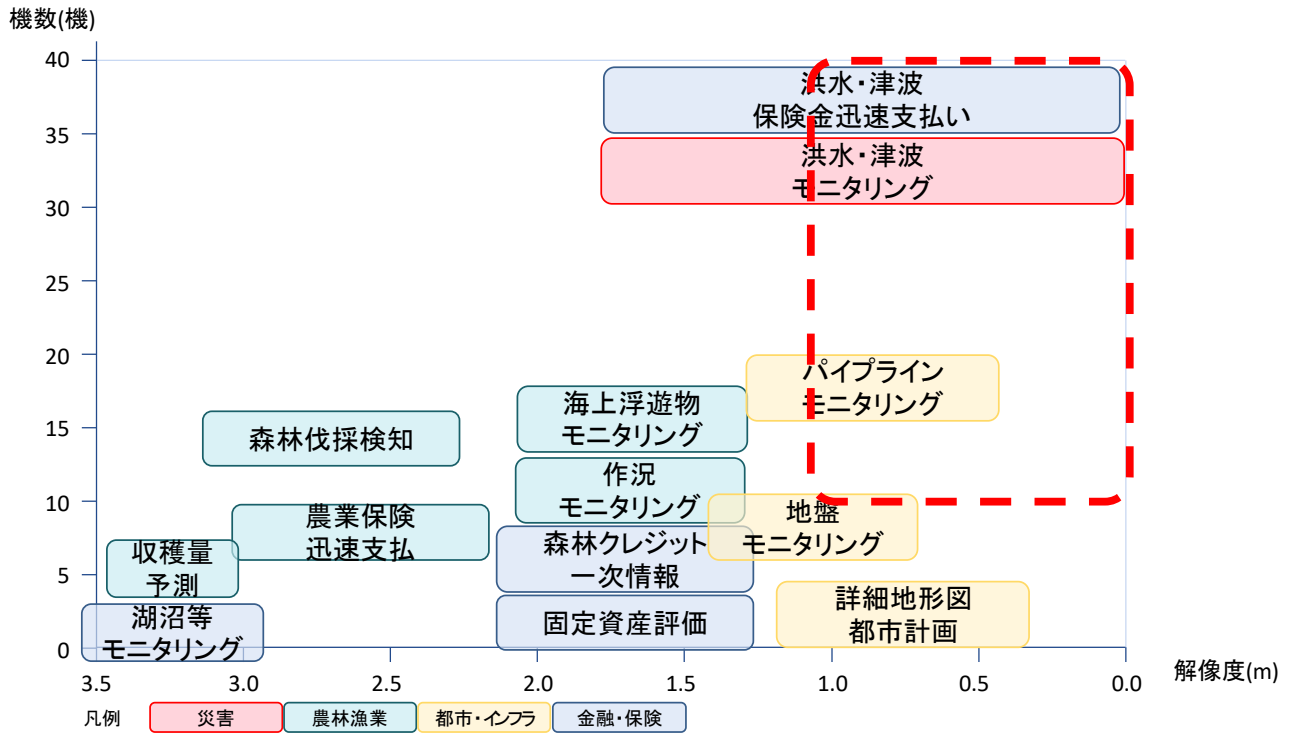


出所：利用シーンのプロットは SeraData 社データベース、各社 HP、Satellogic 社資料などを参考に DB 作成

• SAR 衛星では、以下のユースケースが想定される。

- ◇ 洪水・津波保険金迅速支払い
- ◇ 洪水・津波モニタリング
- ◇ パイプラインモニタリング

図表 183 機数・分解能の観点から想定されるユースケース【SAR 衛星】



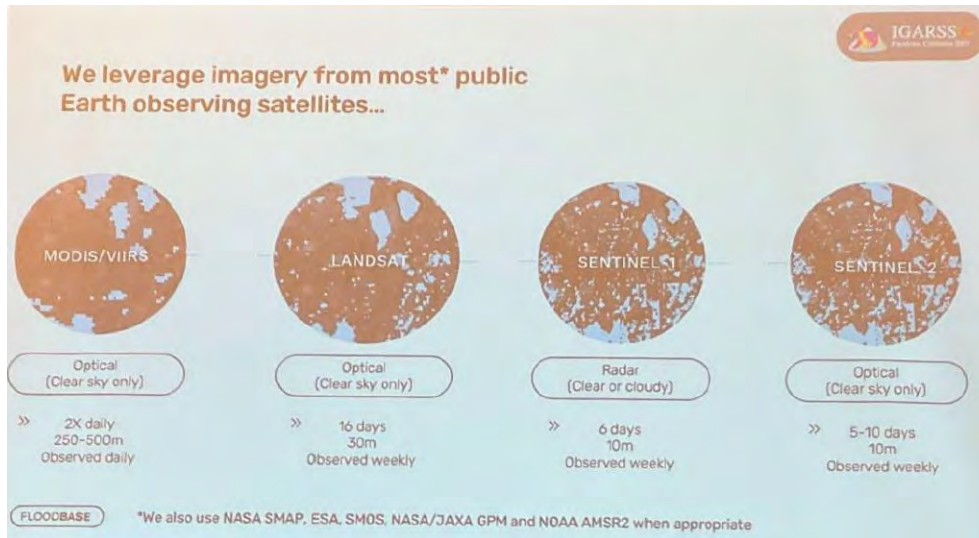
出所：利用シーンのプロットは SeraData 社データベース、各社 HP、Satellogic 社資料などを参考に DB 作成

iii. 国際会議における Near-Real-Time に関する意見

【IGARSS】

- イタリアでは火山が多く、Near-Real-Time での把握のため、高度 500km に 40 機の体制を作り、AI を活用して災害の影響を軽減することを目的とする。
- 洪水被害におけるパラメトリック保険のトリガーが素早く適切にひけるよう、光学や SAR を含む 4 種類の衛星の情報をフュージョンさせる研究を実施。

図表 184 パラメトリック保険での活用を検討する 4 種類の衛星



出所：IGARSS2023

【WSBW2023】

- 衛星画像プラットフォーム及び観測衛星製造企業は、Near-Real-Time について以下の通りコメントしている。
 - ◇ 急ぎの場合は割高になる。我々は、非常に短時間でタスキングを行うことはできない。しかし、実際には、非常に特殊なアプリケーションやタスク（例えば、嵐の前後の画像）を除いて、リアルタイムに近いタスクの需要はない。（プラットフォーム・UP42）
 - ◇ リアルタイムとボリューム、タスクの実行からダウンロード、そして顧客へのサービス配信までの短い時間のループの必要性はますます増大している。（製造企業・Airbus）
- 「Near-Real-Time に近いタスクの需要はない」との意見があるが、「割高」な価格であることが理由と考えられるため、価格の低廉化が進めば、ニーズは広がるものと予想される。また、「割高」なコストにおいても嵐などの災害分野では、ニーズが確認された。
- また、衛星製造企業からはユースケースについては触れていないものの、Near-Real-Time の必要性が増大していることが指摘されている。

【AGU】

- NRT に対する需要として、ユースケースとして山火事検知と農業生産者用の水管理が確認された。これまでも災害等の非常時については NRT に対する需要が確認されていたが、農業生産における水管理の用途といった平常時における NRT に対する需要も新たに確認された。但し、非常時、平常時共に、NRT に対して求められる時間の精度に関する言及はなかった。

D) 日本の強み・弱みの分析

- 国内外のユーザからの運用要求、機数・分解能から想定されるユースケース、また国際会議での発言など、既に災害を中心とした分野にて Near-Real-Time に対するニーズがあり、また、今後、様々な分野で Near-Real-Time に対するニーズが増大していくことが予想される。
- 日本では、地上分解能 1m 以下での Near-Real-Time への対応については、光学衛星では他国に対し劣後する一方で、SAR 衛星では、分解能・機数の点で欧米に対し多少劣後するものの、世界有数のレベルにある。
- Near-Real-Time に向けては、撮像間隔の観点からは「オフナディア角」「姿勢制御」「高度」の順に影響ある項目であることが判明したが、このような技術的要素はセンサ、衛星の目的等により決定するため、実際に NRT に与える影響は小さい可能性が高い。衛星の機数増加は確実に NRT に近づくこととなる。
- 一方で、実運用においては、「撮像指示→対象地点到着→撮像→ダウンリンク→データ処理→配布」といった画像提供フロー全体の中で、Near-Real-Time に向けて改善可能である。例えば、iQPS 社では、JAXA が開発した SAR 衛星用のオンボード画像化装置を搭載して、衛星データを圧縮しダウンリンクにかかる時間を短縮することで、ユーザへのデータ配布に要する時間を大幅に短縮可能となった⁵¹⁷。また、2.43) SaTaaS に記載するような衛星間通信を構築することにより、撮像指示から撮像までの間隔や、ダウンリンクまでの時間を低減させることが可能である。
- 今後は、日本の強みである SAR 衛星を中心に、早期のコンステレーション構築に向けた衛星開発の推進と共に、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設といった、画像提供フロー全体での Near-Real-Time に向けた改善に注力することで、他国に引き離されないようにすることが必要である。

⁵¹⁷ <https://i-qps.net/news/1236/>

2.6 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

サマリー

- 基本的に観測衛星に関わるビジネスは、衛星打上げやデータ分析需要開拓など、マネタイズまでに時間がかかることが多く、民間単独でビジネス展開するには難易度が高い。
- 観測衛星を用いた小型衛星コンステレーションやデータ分析系ソリューションもマネタイズにまだ時間がかかるビジネスであり、政府の支援を必要とする。特にアメリカでは情報機関による規模の大きいアンカーテナンシーが存在している。我が国でも導入可能な類似の制度としては、政府が買い上げたデータを科学者や企業に配布する NASA の CSDA や EU の Copernicus がある。
- 我が国の支援制度は研究開発・実証への支援が中心で、他国と比較すると特に創業期への支援制度が不足している。支援の手段としては、投資などの資金面での支援の他に、資金面以外のソフトな支援も求められる。
- 国外の支援プログラムの中で注目すべきものとしては、英国のカタパルトと欧州の CASSINI があげられる。英国のカタパルトは、プロジェクト立案支援や学术界と産業界をつなぐ支援、および他産業とのつながりの形成支援を行っている。欧州の CASSINI は、創業期の企業への支援を多面的に実施しており、創業支援のワンストップ窓口として機能している。これらの支援プログラムによる新たな支援方法は、今後検討してもよいものと考えられる。

1) 基本的な考え方

- 近年、官が運用する衛星の観測センサ開発や官が実施する衛星データ分析のために民間企業と協力した枠組みが数多くなされている。
- 本検討では、そのような制度を棚卸しし、期間・資金・実績などをとりまとめ、成功・失敗要因などを整理し、わが国制度改善に示唆を得るものとする。
- 本章では上記の背景を受け、以下の制度・契約等を調査した。宇宙ビジネスにおける官と民の連携は各国で行われており、その領域はアップストリームからダウンストリーム、その後のアプリケーションにまで及ぶ。

図表 185 今回調査した制度・スキーム

	国名	プログラム名	提供機関	種別	期間
A.	米国	Earth Science Decadal Survey 2017	NASEM	全体論	2017-2027
B.		Earth Science Technology Office (ESTO) プログラム	NASA	新規センサ等への開発資金提供	1998-
C.		Earth Science Data Systems (ESDS) Program Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program	NASA	衛星データ購入 共同開発	2017-
D.		Commercial Data Purchase (CDP)	NOAA	衛星データ購入	2020-
E.		Commercial Data Purchases (CDP)	USGS	衛星データ購入	2008-
F.		EnhancedView Program	NGA	衛星データ購入	2010-
G.		G-EGD	NGA	衛星データ購入	2011-
H.		Contract for RF mapping	NGA	衛星データ購入	2021-
I.		Big Data Analysis Program	NGA	衛星データ分析ソリューション購入	2021-
J.		Boosting Innovative GEOINT Research Broad Agency Announcement (BIG-R BAA)	NGA	衛星データ購入	2020-
K.		Luno Program	NGA	衛星データ購入	2024-
L.		Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) contracts	NRO	衛星データ購入	2022-
M.		The BAA for commercial radar	NRO	衛星データ購入	2022-
N.		Strategic Commercial Enhancements for RF monitoring	NRO	衛星データ購入	2022-
O.		中小企業・イノベーション支援 (SBIR/STTR)	NASA・NOAA・NGA等	開発資金提供 (衛星データ分析含む)	2004-
P.		Innovation Corps (I-Corps)	NSF	アクセラレーションプログラム	2011-
Q.		Technology Transfer (T2)	NASA	技術移転	1994-

R.		Entrepreneur's Challenge	NASA	コンテスト	2020-2021
S.		Space App Challenge	NASA	コンテスト	2012-
T.		Tech Leap PRIZE	NASA	コンテスト	2021-
U.		NSPIRES	NASA	資金支援・共同研究	-
V.	欧州	InCubed	ESA/Phi-lab	資金支援	2017
W.		EU Copernicus Contributing Mission (CCM)	EC	衛星データ購入	2018
X.		ESA Third Party Mission	ESA	衛星データ購入	-
Y.		ESA Business Incubation Centers (ESA BICs)	ESA TTPO	開発支援・ビジネス支援・資金支援	2013
Z.		EU Executive Agency for SMEs	EU	資金支援・開発支援・ビジネス支援	-
AA.		Future EO scout mission	ESA	資金支援	2022
BB.		CASSINI Space Entrepreneurship Initiative	EUSPA	投資・創業支援・アクセラレーションプログラム・コンテスト	2021-2027
CC.	英国	カタパルト	Innovate UK	開発支援・ビジネス支援・資金支援	2011
DD.		National Space Innovation Programme	UKSA	資金支援	2020
EE.		Space-Enabled and Geospatial Services	CCS	公共調達	2021-
FF.		Space Cluster Funding	UKSA	資金支援 (地域振興)	2022-
GG.		Space for Smarter Government Programme	UKSA	公共調達開発支援・コンテスト	2014-2018
HH.		Seraphim Space Investment Trust	Seraphim Capital/BBB	投資	2016-
II.		Centre for Earth Observation Instrumentation (CEOI) Call	CEOI	開発支援	2008-
JJ.	ドイツ	Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake	DLR	ビジネス支援・資金支援	2018
KK.		DLR Startup Factory	DLR	投資・創業支援・アクセラレーションプログラム	2023-
LL.	フランス	Connect by CNES	CNES	投資・創業支援・アクセラレーションプログラム・コンテスト・インキュベーション施設	2018-
MM.	カナダ	Space Technology Development Program (STDP)	CSA	資金支援	2008-
NN.		smartEarth	CSA	資金支援	2020-
OO.	インド	IN-SPACe Seed Fund Scheme	IN-SPACe	投資	2023-

- 基本的には観測衛星にかかわるビジネスは、衛星打ち上げやデータ分析需要開拓などマネタイズまでに時間がかかることが多く、また時間をかけて研究開発を行っても製品化できないリスクも存在する。民間ビジネス単独でこれらのリスクを背負いながら長期間の投資を実施していく難易度は高い。観測衛星にかかわるベンチャー企業も増えているが、更なる成長を実現するためには公的部門による支援が必要である。
- 観測衛星の研究開発に対して、政府が支援策を行う意義は2つある。第一に観測衛星が取得したデータは公共財の性格を有しており、政府が調達を行う必要があるサービスであるからだ。

地球観測データは、気象予報から災害監視まであらゆるユーザが同時に利用することができる非競合性と呼ばれる性格を有している。NASA の CSDA や ESA の Copernicus は、これらの理由から宇宙機関が一括して、衛星データの調達を行い、あらゆる分野の研究者にデータを提供している。民間企業が自前の営業のみでサービスを展開しても全ての潜在的なユーザにデータを届けることはできないため、限られた投資しか行われませんが、政府が一括調達を行うことで民間の投資が最大化される⁵¹⁸。第二に宇宙産業に対する投資が過小であるため、公的部門が積極的に投資を行うことで経済効果が見込まれるためである。ESA の Future EO の効果に関するレポート⁵¹⁹では1ユーロの投下によって3.8ユーロの波及効果があったとされている。また、宇宙政策の効果に関するレポートのレビュー⁵²⁰では、地球観測に関しては、投入額に対して、平均で5.0倍、最大で31.0倍の波及効果が見られた。

- 政府による支援は、資金面での公的支援はハードな支援と呼ばれ、公的機関が提供する資金面以外の支援はソフトな支援 (soft support) の2つ種類に大別される。ハードな支援としては、政府系金融機関による投資や研究開発に対する補助金の支給がある。ソフトな支援としては、アドバイス、パートナーシップの奨励や支援、インキュベーション、アクセラレーション、クラスター政策があげられる。

⁵¹⁸ https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64afdb40c033c1001080623b/the_case_for_space.pdf

⁵¹⁹ https://esamultimedia.esa.int/docs/business_with_esa/ESA_EO_activites_Impact_Assessment_Executive_Summary.pdf

⁵²⁰

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6256e3408fa8f54a8e856f4c>Returns_and_Benefits_from_Public_Space_Investments_2021.pdf

2) 制度・契約の詳細

A) Earth Science Decadal Survey (米国)

- Decadal Survey とは、National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM) が作成する、戦略提言文書である。これまで地球観測の分野では、2007年と2017年の2版が作成されている。
- 2017年版の Earth Science Decadal Survey (以下、Decadal Survey 2017) より、当該文書における商業サービス活用の考え方が示されている。

図表 186 Decadal Survey2017 における商業サービス活用の考え方

内容
• 「特に NOAA に対し、政府機関による商業データの利活用をリードする立ち位置を確立するよう求める」 (勧告 4.11) (p. 14)
• 「技術、他の機関との調整、プライベートセクターのケイパビリティを向上させることは、予算が限られる中で、観測のキャパシティを高めることにつながる。」 (p. 52)
• 「観測と分析のケイパビリティを提供するオルタナティブが、特に商業セクターで急成長している。これらは伝統的にそれらを担ってきた機関のケイパビリティを強化する。」 (p. 53)
• 「戦略 4 外部のリソースおよびパートナーシップの活用：(中略) NASA、NOAA、USGS はこれまで長期にわたって米国の非宇宙組織とパートナーシップを持ってきた。これらは宇宙ミッションに対し追加の資源を提供するものであり、非常に有益であることが分かっている。(中略) 今日、こうした既存のパートナーシップを立ち上げ、深化すること、また商業データの提供者などとの革新的なパートナーシップを立ち上げることが強く必要とされている。特に(1) 国際パートナーシップを深化・強化すること、(2) 従来政府が供給してきたリソースを提供できる商業アクターの存在を活用することが必要である。」 (p. 63、太字強調は筆者によるもの)
• 「戦略 6 技術とユーザーニーズにおける外部トレンドの活用：(中略) (NASA、NOAA、USGS らは) 外部のケイパビリティを活用するのが遅く、自身のケイパビリティを増強するチャンスを逃してきた。NASA、NOAA、USGS が外部のトレンドを成功裏に活用するには、少なくとも以下の項目に関する調査が必要である：(1) 外部機関における科学的方法論の進歩、(2) データの利用法やデータから得た情報の最終利用法を多様にする商業的手法、(3) 商業セクターでの観測技術の進歩、(4) 新しいデータ解析アプローチを可能にするコンピューティングとデータの方法論とツール、(5) 宇宙からの観測を補強する可能性のある、クラウドソーシングや分散観測などのコミュニティ・サイエンス、(6) フィランソロビストや非営利団体などとの非伝統的なパートナーシップ、(7) 官民パートナーシップや、データバイ、衛星の標準化、システム・ブロック・パイなどの調達手段の革新、(8) 労働力の生産性の向上を目指した、人材育成・教育方法(ソフトウェアエンジニアを短期間で育成するための『ブートキャンプ』のような)。」 (p. 63-4、太字強調は筆者によるもの)

B) Earth Science Technology Office (ESTO) プログラム (米国)

- ESTO とは、NASA Earth Science Technology Office のことであり、センサ開発等に関し様々な資金提供を行っている。主要なプログラムは下記のとおりである。
 - ◇ Instrument Incubator Program (IIP)
 - ◇ Advanced Component Technology (ACT)
 - ◇ Advanced Information Systems Technology (AIST)
 - ◇ In-Space Validation of Earth Science Technologies (InVEST)
 - ◇ Sustainable Land Imaging Technology (SLI-T)
 - ◇ Decadal Survey Incubation
 - ◇ FireSense Technology

C) Earth Science Data Systems (ESDS) Program /Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program (米国)

- ESDE、CSDA は NASA が実施している衛星データ調達制度である。調達したデータは、研究者に配布される。
- AGU2023 では、NASA の担当者からプログラムについての紹介があり、特に調達する衛星データの評価制度について強調していた。専門的なノウハウを有する NASA が衛星データの品質や提供体制について、ベンダーごとに評価することで、他の省庁が調達を実施する場合の参考になる。
- 詳細について以下の表に示す。

図表 187 ESDS / CSDA Program の概要

項目	内容
事業内容 ⁵²¹	<ul style="list-style-type: none"> • 2017 年に Private-Sector Small Constellation Satellite Data Product Pilot Project として開始、2019 年に名称変更 • NASA の地球科学研究と応用に資する、民間衛星による地球観測画像およびデータの特定・評価・収集を行うプログラム <ul style="list-style-type: none"> • 購入契約は長期的なデータへのアクセスが可能になるよう、ベンダーごとに様々な形態 • NASA は他の米政府機関とのエンドユーザライセンス契約の締結を進める • 12~18 か月ごとに RFI を行い有用な商業データを特定し、最低要件を満たしたベンダーは RFP を提出、NASA は 12-18 か月間の blanket purchase agreement (BPA) を締結しデータの評価を行う。 • 次の RFI は 2022 年第一四半期を予定 • 2022 年に Web ベースのプラットフォーム Smallsat Data Explorer (SDX) を開始 • 1 年度当たりの予算総額は 9500 万米ドル
目的 ⁵²²	<ul style="list-style-type: none"> • NASA や他の国家機関が取得した地球観測データを低コストで補強・補完 • 商用データの特定・評価・収集・利用の普及、長期保存のための管理プロセスの確立 • 商用データの評価と科学利用について、他の政府機関や国際的なパートナーと調整
背景 ⁵²³	<ul style="list-style-type: none"> • NASA 地球科学部門 (ESD) の管轄 • Earth Science Data Systems (ESDS) Program の一部 <ul style="list-style-type: none"> • 地球科学データの収集~処理~配布までを俯瞰し、科学的効用の最大化を狙う • Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) を運営
事例 ⁵²⁴	<ul style="list-style-type: none"> • NASA が購入した商用データ (利用可能なアクター) : <ul style="list-style-type: none"> • Planet 社 : 米連邦政府の非軍事系機関、NSF の資金援助を受けた研究者 • Maxar 社 : NASA の資金援助を受けた研究者 • Spire Global 社 : 米政府の資金援助を受けた研究者 • NASA が ISS での協力を通じて取得した商用データ : <ul style="list-style-type: none"> • Teledyne Brown Engineering 社 : 米政府の資金援助を受けた研究者
その他 ⁵²⁵	<ul style="list-style-type: none"> • 2018 年に Spire, Planet, Maxar がテストデータ提供の契約を獲得 • 2019 年 4 月、NASA は Planet 社に対し、気候研究のための衛星画像を 670 万米ドルで購入する契約を締結⁵²⁶ • 2020 年に Spire は年間 700 万米ドルで R0 データの提供を契約

⁵²¹ <https://earthdata.nasa.gov/esds/csdap>

⁵²² <https://earthdata.nasa.gov/esds/csdap>

⁵²³ <https://earthdata.nasa.gov/esds>

⁵²⁴ <https://earthdata.nasa.gov/esds/csdap/commercial-datasets>

⁵²⁵ <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/06/25/spire-satellites-weather-forecasting/>

⁵²⁶ <https://spacenews.com/nasa-awards-planet-6-7-million-for-climate-campaign/>; <https://www.planet.com/pulse/planet-signs-multi-million-dollar-agreement-with-nasa/>

- 2023年にPlanet社との契約を延長し、2024年までに総額1850万米ドルの発注が行われる予定⁵²⁷。

D) NOAA Commercial Data Purchase (CDP) (米国)

図表 188 NOAA Commercial Data Purchase (CDP)の概要

項目	内容
事業内容 ⁵²⁸	<ul style="list-style-type: none"> • 2020年にCommercial Weather Data Pilot (CWDP)として開始、後に名称変更 • 2020年度に500万米ドル、2021年に1,500万米ドルをR0データバイに予定⁵²⁹ • 現在は気象予測モデルへの商業R0データの取込を目的に実施
目的 ⁵³⁰	<ul style="list-style-type: none"> • 商業環境データや製品を活用した、NOAAの地球観測要件の達成 • 将来的に商業データを取り込み、評価し、活用するためのNOAAのプロセスの確立
背景	<ul style="list-style-type: none"> • NOAAは、2016年のCommercial Space Policyにおいて、NOAAのOffice of Space Policyを商業事業者向けの単一の窓口として確立し、手続きを合理化すること⁵³¹、およびデータバイ・ホステッドペイロード・ライドシェア・打ち上げサービスを通じて商業セクターと連携していくことを掲げた⁵³² • Commercial Remote Sensing Act of 2015 (H.R. 2261)により、NOAAに対し2016年から20年にかけて、3億ドルの予算供与が可能となった • Decadal SurveyにおいてNOAAは、政府機関による商業データの利活用をリードする立ち位置を確立するよう求められている⁵³³ • Weather Research and Forecasting Innovation Act of 2017 (P.L. 115-25)によりNOAAは商業気象データの入手を命じられている⁵³⁴
事例 ⁵³⁵	<ul style="list-style-type: none"> • CWDP : <ul style="list-style-type: none"> • 第1回: GeoOptics社とSpire Global社 • 第2回: GeoOptics社、Spire Global社、Space Sciences and Engineering社 • CDP R0データ購入: 2年間で2,300万米ドルをプールするIndefinite Delivery Indefinite Quantity (IDIQ)契約を、GeoOptics社とSpire Global社と締結(2020年11月)⁵³⁶ <ul style="list-style-type: none"> • 第1回注文: <ul style="list-style-type: none"> • GeoOptics社とSpire Global社(500プロファイル/日、2020年11月~1か月間) • 第2回注文: GeoOptics社(1,300プロファイル/日、2021年3月~6か月間) • 第3回注文: Spire Federal社 <ul style="list-style-type: none"> • 1日に3000のR0プロファイルを購入(2021年9月~6か月間)⁵³⁷ • 米国政府系機関、および連携している各国の気象・水系機関、世界気象機関指摘の気象センター、気象衛星調整グループへの参加機関が、ほぼリアルタイムのR0データを利用可能に。データは24時間後に他のユーザに公開される • この注文に対応しても、Spire社は7000プロファイル/日のキャパシティを残す • CDP R0データ購入2:5年間で5,931万米ドルをプールするIndefinite Delivery

⁵²⁷ <https://www.satellitetoday.com/imagery-and-sensing/2023/09/29/nasa-extends-commercial-data-agreement-with-planet-with-18-5m-in-orders/>

⁵²⁸ Commercial Weather Data Pilot (CWDP) and Commercial Data Purchase (CDP) – Office of Space Commerce (noaa.gov)

⁵²⁹ Spire Global inks weather data deal using tiny satellites with NASA, European agencies - The Washington Post

⁵³⁰ Spire Global inks weather data deal using tiny satellites with NASA, European agencies - The Washington Post

⁵³¹ <https://www.space.commerce.gov/policy/noaa-commercial-space-policy/>

⁵³² NAO 217-109: NOAA Commercial Space Policy | National Oceanic and Atmospheric Administration

⁵³³ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2018. *Thriving on Our Changing Planet: A Decadal Strategy for Earth Observation from Space*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24938>, p.14.

⁵³⁴ Commercial Weather Data Pilot (CWDP) and Commercial Data Purchase (CDP) – Office of Space Commerce

⁵³⁵ Commercial Weather Data Pilot (CWDP) and Commercial Data Purchase (CDP) – Office of Space Commerce

⁵³⁶ <https://sam.gov/opp/a4334c799fdf4e7c858db1c8bd04620b/view>

⁵³⁷ <https://sam.gov/opp/a4334c799fdf4e7c858db1c8bd04620b/view>

	<p>Indefinite Quantity (IDIQ) 契約を、PlanetIQ 社と Spire Global 社と締結 (2023 年 3 月)⁵³⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 1 回注文: PlanetIQ 社と Spire Global 社 (500 プロファイル/日、2023 年 3 月～1 か月間) 第 2 回注文: PlanetIQ 社 (3,100 プロファイル/日、2023 年 4 月～6 か月間) 第 3 回注文: Spire Global 社 (6,000 プロファイル/日、2024 年 1 月～8 か月間、940 万ドル)
<p>その他⁵³⁹</p>	<ul style="list-style-type: none"> 論評「NOAA には気象情報を提供する義務があり、NOAA にとって民間衛星にアウトソースすることは、NOAA がコントロールできないサプライチェーンリスクの上昇を意味する」

⁵³⁸ <https://www.space.commerce.gov/noaa-awards-radio-occultation-data-buy-ii-contracts/>

⁵³⁹ Spire Global inks weather data deal using tiny satellites with NASA, European agencies - The Washington Post

E) USGS Commercial Data Purchases (米国)

図表 189 USGS Commercial Data Purchases の概要

項目	内容
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> 複数の商業ベンダーからデータを購入 購入したデータは USGS Earth Resources Observation & Science (EROS) Center にてアーカイブされる
目的	<ul style="list-style-type: none"> 連邦政府機関に無償でデータを提供
背景	<ul style="list-style-type: none"> 2003 年ブッシュ政権の Commercial Remote Sensing Space Policy に対応 2008 年より, Landsat7 のデータを無償公開
事例	<ul style="list-style-type: none"> これまでに、GeoEye-1, IKONOS, QuickBird, WorldView-1, WorldView-2, WorldView-3 のデータを購入
その他	<ul style="list-style-type: none"> プラットフォーム 「Earth Explorer」 から検索、ダウンロード可能

F) NGA Enhanced View Program (米国)

図表 190 NGA Enhanced View Program の概要

項目	内容
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> ブッシュ政権期のプログラムを継承する形で、オバマ政権で実施 2010 年から 10 年にわたり、0.3m 分解能の衛星画像を民間衛星から購入する契約 画像の購入に加え、衛星建設のための投資も行う
目的	<ul style="list-style-type: none"> 安全保障分野への利用
背景	<ul style="list-style-type: none"> 2003 年に Commercial Remote Sensing Space Policy が発された直後、2003 年に ClearView 計画、2004 年に Next View 計画が開始 旧 DigitalGlobe 社の WorldView-1 や旧 GeoEye 社の GeoEye-1 といった解像度 50 センチメートル級の高性能商業リモートセンシング衛星が開発される NGA から年間 2.14 億ドルを 1 社に支払。米国政府のアンカーテナントと言える⁵⁴⁰
事例 ⁵⁴¹	<ul style="list-style-type: none"> 10 年間で、旧 Digital Globe 社に 35 億ドル、旧 GeoEye に 38 億ドルを用意 しかし NGA は予算削減を受け、GeoEye 社との 2 年目の契約について、予定した金額での更新が不可能であると通知し、2 社に合併を薦めた⁵⁴² 両社は 2013 年に合併、2017 年に改名し Maxar 社へ 2018 年、Maxar 社は NGA との Enhanced Views Service Level Agreement の継続締結を発表。継続して Enhanced View の予算を獲得している⁵⁴³

- 近年では、商業小型衛星のデータ購入に意欲的で、Commercial GEOINT Strategy を掲げ（2015 年策定、2018 年改訂）、商業小型衛星データの購入方針を示している。2020 年公表の 2035 GEOINT CONOPS でも同様の主旨を述べている。

⁵⁴⁰ <http://www.defenseindustrydaily.com/NGA-Awards-2142M-to-GeoEye-for-Commercial-Satellite-Imagery-05782/>

⁵⁴¹ Commercial Weather Data Pilot (CWDP) and Commercial Data Purchase (CDP) – Office of Space Commerce

⁵⁴² <https://spacenews.com/nga-letters-cast-cloud-over-geoeyes-enhancedview-funding/>

⁵⁴³ <https://www.maxar.com/press-releases/maxar-technologies-digitalglobe-announces-enhancedview-contract-option-year>

G) NGA G-EGD (米国)

- 政府関係者や民間産業向けの衛星画像ポータル。2011年から Maxar が NGA との契約を請け、提供。現在は 2020 年から 2023 年までの契約を締結。年間の調達額は 4400 万ドル。
- 2020 年に Planet と Blacksky の画像を提供し、Capella Space、Iceye、Umbra、PredaSAR などの画像も提供予定としている⁵⁴⁴。

H) NGA Contract for RF mapping (米国)

- 2021 年 Hawkeye 社と RF マッピングについて契約締結。1000 万ドルの単年契約であり、オプションで 4 年間延長が可能となっている⁵⁴⁵。

I) NGA Big Data Analysis Program (米国)

- 2021 年に Maxar Technologies 社とビッグデータ分析に関する 5 年契約を締結。5 年間で 6000 万ドルの契約額⁵⁴⁶。

J) NGA Boosting Innovative GEOINT Research Broad Agency Announcement (BIG-R BAA) (米国)

- 地理空間情報に関する革新的なプロダクトの調達を行うプログラム。10 個のトピックでそれぞれ募集を行っており、各トピックの予算総額は 300 万ドル程度で、2~3 社が採用される⁵⁴⁷。
- 2024 年 1 月に Maxar は同プログラムで分析ツールの提供を行う調達を 180 万ドルで受注したと発表した。また、これとは別に同時に、インド太平洋地域の 3D 地図を提供する契約を 780 万ドルで受注している⁵⁴⁸。

K) NGA Luno Program (米国)

- 2024 年 1 月に NGA が開始した商用衛星地球観測データ調達プログラム⁵⁴⁹。2021 年に開始された Economic Indicator Monitoring (EIM) を発展させたもので、これまでは 5 つのベンダーに 5 年間で、計 2900 万ドルの発注を行っていたが、2024 年からは 10 倍の 5 年間で 2 億 9000 万ドルの調達を行う予定である⁵⁵⁰。これまでは、極秘施設の中で機密データ分析を行う請負業者を雇っていたが、サービスとして分析サービス自体を調達するようになり、調達としてより効率的になるといわれている。

L) NRO Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) contracts (米国)

- 2022 年 5 月に Maxar、Planet、Blacksky 社と締結。5 年間の基本契約で最長 10 年のオプションがついており、数十億ドル規模の契約となっている⁵⁵¹。

⁵⁴⁴ <https://www.satellitetoday.com/government-military/2022/09/20/nga-renews-maxars-g-egd-imagery-contract-for-third-option-year/>

⁵⁴⁵ <https://www.gpsworld.com/nga-awards-hawkeye-360-contract-for-rf-mapping/>

⁵⁴⁶ <https://www.maxar.com/press-releases/maxar-awarded-big-data-analytics-contract-from-nga>

⁵⁴⁷ <https://sam.gov/opp/276edb753064437aa94a6e79e63264a2/view>

⁵⁴⁸ <https://spacenews.com/maxar-wins-contract-to-provide-3d-imagery-of-indo-pacific-region/>

⁵⁴⁹ <https://spacenews.com/nga-to-tap-commercial-satellite-data-under-luno-program/>

⁵⁵⁰ <https://spacenews.com/nga-goes-big-on-commercial-satellite-data-with-290-million-luno-program/>

⁵⁵¹ https://www.nro.gov/Portals/65/documents/news/press/2022/press_release_05-22.pdf

- 本プログラムは通常の可視光画像のみを対象としているが、本プログラムの発展形として、それ以外の夜間光やマルチスペクトル、赤外線などの画像を調達するプログラムが進行している。Airbus US Space and Defense、Albedo Space、Hydrosat、Muon Space、Turion Space 社の5社が候補として選定されており、現在は審査を受けている⁵⁵²。

M) NRO The BAA for commercial radar (米国)

- 2022年1月に Airbus, U.S.、Capella Space、ICEYE, U.S.、PredaSAR、Umbra 社と締結。

N) NRO Strategic Commercial Enhancements for RF monitoring (米国)

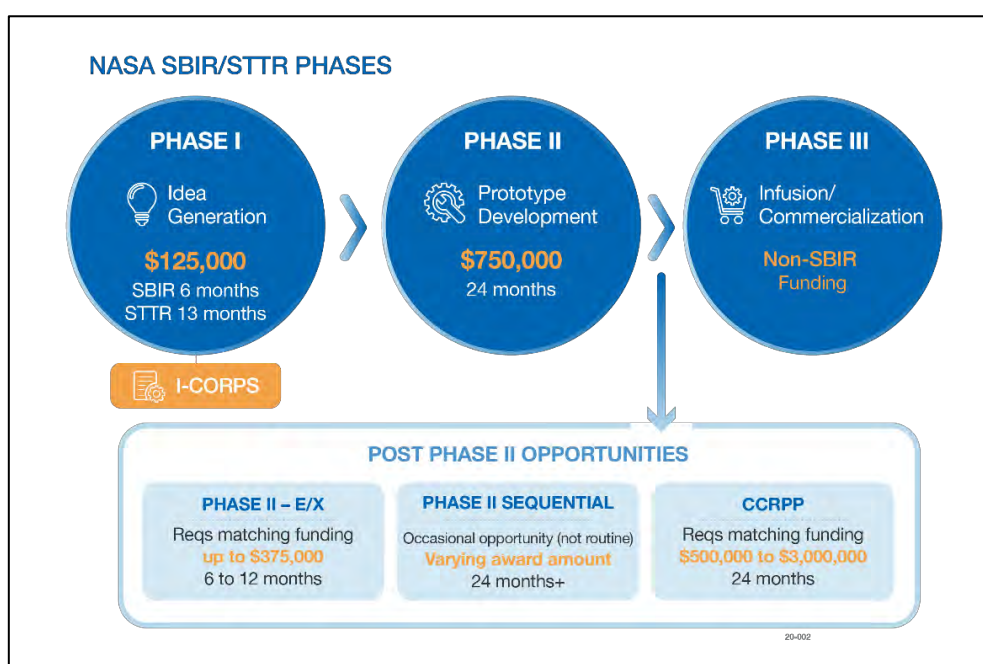
- 2022年9月に Aurora Insight, HawkEye 360, Kleos Space, PredaSAR, Spire Global, Umbra Lab 社と締結。

⁵⁵² <https://spacenews.com/nro-signs-agreements-with-five-commercial-suppliers-of-electro-optical-imagery/>

O) 中小企業・イノベーション支援 (SBIR/STTR) (米国)

- 米国では中小企業・イノベーション支援策として SBIR と STTR という制度をもっている。スタートアップの段階ごとに支援内容をわけており、補助金額も下図表のように分類している。最初のアイデア創発の部分では少額の支援を行い、中段のプロトタイプ開発やさらなる深堀においてアイデア創発の際よりも大きな補助金を提供するスキームとなっている。商業化の段階では政府からの補助が不要とのことで補助金自体は提供していない。
- 売上がまだ乏しい段階でのアイデア創発からスケール化までの間を支援するためのスキームといえる。
- NASA としての年間予算は 2.2 億ドルである。

図表 191 SBIR/STTR



P) Innovation Corps (I-Corps) (米国)

- National Science Foundation (NSF) がイノベーションエコシステムを形成するために 2011 年から開始した。NASA を含めた複数の政府機関が資金を提供している。SBIR/STTR を推進するためのプログラムであり、本プログラムを通じて、仮説構築や顧客の特定を行っている。プログラムは 3 人で 1 チームを作る。チームの内訳は、大学教員の研究主任、アントプレナーとしてその教員の研究室の院生、メンターとして過去に同プログラムで創業した経験者である。プログラム期間は 7 週間で、その間に起業家育成プログラムの受講や顧客へのインタビュー、NASA の研究員との週次会を行う。また、その期間の補助金として、1 万ドルを受け取ることができる。観測衛星に関する参加者は、2021 年では SBIR と STTR で 1 件ずつ見られる⁵⁵³。

⁵⁵³ <https://sbir.nasa.gov/content/I-Corps#alumni>

Q) Technology Transfer (T2) (米国)

図表 192 Technology Transfer(T2)の概要

項目	内容
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> • NASA の保有する特許の有償利用 (ライセンス契約) • NASA の保有する特許を活用した共同研究 (パートナーシップ契約) • NASA で開発されたソフトウェアの有償配布 • 年間予算は 1950 万ドル
目的	<ul style="list-style-type: none"> • 民間部門への技術の拡散 • 特許権収入を研究開発費に充当
背景	<ul style="list-style-type: none"> • 1992 年にクリントン政権は特許権収入により、研究開発費の 10-20%を賄うべきとする勧告を出す。 • 1993 年に Commercial Technology program として開始されるが、2005 年により、民間への技術の拡散を重視した Technology Transfer に発展した。
事例 ⁵⁵⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Esri 社が Landsat 衛星のデータや NASA で開発された気候モデルを用いて、干ばつや洪水に関するデータを提供するサービスを行っている。

- 1994 年に Commercial Technology として開始された技術移転プログラム⁵⁵⁵。NASA はビジネスに利用可能な特許を約 1200 個公開しており、これらについて企業はライセンス契約を結ぶことで利用できる。リモートセンシング分野ではソフトウェアカタログやツールキットが用意されており、ツールキットで必要なデータを検索し、カタログから解析手法を見つけることができる⁵⁵⁶。
- ライセンス契約には 3 種類が用意されており、特に注目すべきものとして、Startup License がある。ベンチャー企業は、この枠組みを利用することで、売上が発生するまでの最大 3 年間は非独占的に無料で特許を利用することができる⁵⁵⁷。実際に、この枠組みを利用して、ボストンのベンチャー企業 TellusLabs が衛星データによる収穫予測モデルを開発した⁵⁵⁸。
- Technology Transfer Expansion (T2X) program も実施している。大学などと連携して、ベンチャー企業の創出を目的としている。主に創業前のベンチャー企業候補に対して、立ち上げやプロトタイプ開発の支援を実施している⁵⁵⁹。また、Tech Center Research Park Accelerator Network pilot Program (TCRP ANP) という大学生を対象としてアクセラレータープログラムも開催している⁵⁶⁰。さらに、Startup NASA Feature Series として、T2 program の事例を紹介する WEB セミナーを定期的で開催している。

⁵⁵⁴ <https://spinoff.nasa.gov/A-High-Tech-Farmer%E2%80%99s-Almanac-for-Everyone>

⁵⁵⁵ https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2013/06/605221main_graham_8_2_11_tagged.pdf

⁵⁵⁶ https://technology.nasa.gov/NASA_Software_Catalog_Offers_Free_Programs_for_Earth_Science_More

⁵⁵⁷ <https://technology.nasa.gov/Everything%20You%20Need%20to%20Know%20About%20NASA%27s%20Startup%20License>

⁵⁵⁸ https://www.wipo.int/wipo_magazine/ja/2022/02/article_0005.html

⁵⁵⁹ <https://technology.nasa.gov/t2x>

⁵⁶⁰ <https://technology.nasa.gov/tech-center-research-park-accelerator-network-pilot-program>

R) Entrepreneur's Challenge (米国)

- 政府の科学ミッションを推進できるようなアイデアに対して、賞金を与えるコンテスト。選考は2段階からなり、第一段階の通過者は20社以下で1万ドルの賞金を受け取り、第二段階での通過者は10社以下で、追加で8万ドルの賞金を受け取る。賞金総額は100万ドル。2021年の最終通過者にはオンボード処理の衛星用コンピュータを製造する Zephyr Computing がノミネートされている⁵⁶¹。

S) Space App Challenge (米国)

- 地球観測データを用いたアプリを開発するハッカソンイベント。2012年に初回が行われ、2022年時点での累計参加者数は約22万人を数えるイベントである⁵⁶²。参加者はアメリカだけでなく、各国からの参加が可能で、インド、ブラジル、エジプトの順に参加者が多い。各国のローカルイベントの通過者が世界大会に進出でき、世界大会では10チームの優勝者が選抜される。優勝チームらには米国への優勝旅行に招待される。

T) Tech Leap PRIZE (米国)

- NASAの現在の技術ニーズテーマに対して、ベンチャー企業や大学が研究を行い賞金や打ち上げ機会を競うコンテスト⁵⁶³。テーマごとに募集が行われており、例えば2021-2022年で、自立型の観測装置をテーマとする募集が行われた。アイデア審査で、勝者は20万ドルの資金を受け取り、観測装置の製造を始める。製造中に2回の審査があり、それぞれ通過すると20万ドルと10万ドルの資金が与えられる。最終の勝者として、オンボードで山火事を検知する装置やオンボード処理でデータを圧縮して地上に送信する装置が選ばれている⁵⁶⁴。

U) NSPIRES (米国)

- NASAが研究テーマを公表し、研究計画を募集するためのポータルサイト。組織に所属する研究者及び企業が応募でき、研究計画のコンペで選ばれると研究資金が提供され、NASAと共同で研究を行うことができる⁵⁶⁵。

⁵⁶¹ <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-awards-challenge-prizes-to-startup-companies/>

⁵⁶² <https://www.spaceappschallenge.org/>

⁵⁶³ <https://www.nasa.gov/stmd-flight-opportunities/access-flight-tests/nasa-techleap-prize-information/>

⁵⁶⁴ <https://www.autonomousobservation1.nasatechleap.org/winners.html>

⁵⁶⁵ <https://nspires.nasaprs.com/external/>

V) Incubed (欧州)

- ESA Investing in Industrial Innovation のことであり、ESA の Phi-lab が運営する、官民共同の共同資金プログラムである。地球観測画像やデータセットを活用した、革新的な製品やサービスの開発を支援し、その実行に必要な資金を提供する。年間予算総額は 875 万ユーロである⁵⁶⁶。
- 民間から提案を受け付けており、3 段階の審査プロセスがある。衛星開発～地上システムの開発～データプラットフォームの開発まで広く支援対象とする。
- 採択者は、専門家知見へのアクセス権や商業サポートを享受できる。The De-risking Cycle と The Product Development Cycle の 2 つの開発サイクルが存在し、それぞれの目標準備レベル（技術準備レベル：TRL/アプリケーション準備レベル：ASRL）に応じて提供される資金が異なる（図表 193、図表 194）。

図表 193 各 Cycle における活動内容と目標⁵⁶⁷

Cycle	Main activities	Objectives
De-risking	Technical study, technical riskmitigation excluding any qualification or industrialization	for all segments: system analysis, Business analysis, EM, breadboard of prototype of full to partial end-to-end integrated system Space: (E)QM or similar
Product development	Development, qualification, verification, industrialization and validation	Ground/Data: verified product in a (pre)operational environment OPTIONAL: Validation of all segments in a (pre)operational environment

図表 194 InCubed プログラムにおける支援額の上限值⁵⁶⁸

Cycle	TRL	ASRL	Funding Level up to % [of total allowable cost]		Funding level for Universities or Research Institutes with no commercial Interest in the Product
			Large Companies	SME	
De-risking	Up to 4-6 ⁽¹⁾	Up to 3	Up to 75%	Up to 80%	Up to 100% of maximum 30% of the cycle costs
Product development	Up to 7 (8 for IOV)	4 Up to 8	Up to 50%	Up to 80%	Up to 100% of maximum 30% of the cycle costs

⁽¹⁾ Depending on the technological or market risks as assessed by the Agency

⁵⁶⁶ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Investing_in_industrial_innovation

⁵⁶⁷ <https://incubed.phi.esa.int/additional-application-information/>

⁵⁶⁸ <https://incubed.phi.esa.int/additional-application-information/>

W) EU Copernicus Contributing Mission (CCM) (欧州)

- ECによるコペルニクスプログラムで、Sentinel シリーズのデータがオープンフリーで公開されているが、CCMはコペルニクスプログラムを補填すべく、ESA や ESA 参加国、第三国の官民衛星データを入手し、特定のユーザに提供しているプログラムである。
- Copernicus との直接契約による売上は、欧州における衛星データ市場の総売上上の7%を占めており、アンカーテナンシーとして欧州の衛星データ市場の下支えをしている⁵⁶⁹。

図表 195 Copernicus Contributing Mission の概要

項目	内容
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> • コペルニクス計画に属さない官民の衛星データを契約購入、協力協定などにより入手し、特定のユーザに提供 • 年間予算総額は 4000 万ユーロ
目的	<ul style="list-style-type: none"> • コペルニクス計画のデータ補完、ユーザへの提供
背景	<ul style="list-style-type: none"> • 近年、米産の衛星画像からの脱依存を目的に、欧州民間からのデータバイを模索⁵⁷⁰
事例	<ul style="list-style-type: none"> • 2014-2021 年までの商業データの購入に、総額 3 億 2,200 万ユーロが費やされている⁵⁷¹。 • 2021 年 10 月、欧州初の小型 SAR 衛星事業者である ICEYE 社が追加されることが発表された⁵⁷²。 • 2023 年 6 月に、ヨーロッパのスタートアップ 9 社と、5 年間で 500 万ユーロ相当の観測画像提供に関する契約を締結したことを発表した。新たに提供される画像には、マルチスペクトルやハイパースペクトル、熱赤外データ、大気組成関連データが含まれる。
その他	<ul style="list-style-type: none"> • Copernicus データにアクセスできるユーザは、EC によって定義されている。ユーザカテゴリには、「Climate Change (気候変動) を除く、コペルニクスのデータサービス (「Atmosphere (大気観測)」、「Marine (海域観測)」、「Land (陸域観測)」、「Security (安全保障)」、「Emergency Response (危機管理)」、EU 関連機関、EU が資金提供する宇宙・非宇宙の研究プログラムへの参加者 (コペルニクスマスターズへの参加者も認められる場合あり)、コペルニクス計画に参画する国の公的機関 (コペルニクスプログラムに参加する国家の政府や公的機関の職員、EU 政策に関する公的サービスの提供者、研究・学術機関の職員、以上機関との提携者)、国際機関および人道開発や環境活動に関わる国際 NGO、その他一般、が含まれる⁵⁷³。ユーザカテゴリごとに、異なるデータアクセス権が定義されている。 • EU にはオープンフリー政策があるが、CCM に参加したデータは上記の通りアクセス権限に条件があり、そのまま全ての人にオープンフリーに公開されるのではない。コペルニクスの 6 データサービスを通じて、付加価値のついた情報に加工されたうえで公開される⁵⁷⁴。間接的にダウンストリームにも CCM に参加したデータの恩恵がもたらされる。 • 収集されたデータは、SAR、光学、環境などミッションの種類、さらに光学ミッションにおける解像度ごとに、5 つのミッショングループに分類されている。 • データにはシステムチック (旧コア・データ。コペルニクスの陸域、海域、大気観測サービスのニーズに合わせてシステムチックに確保される画像) とオンデマンド (旧アディショナル・データ。コペルニクス危機管理と安全保障サービスのニーズに合わせて確保される画像) がある。

⁵⁶⁹ <https://earsc.org/3d-flip-book/earsc-industry-survey-2023/>

⁵⁷⁰ ESPI (2021) *ESPI Insights: Space Sector Watch*, Issue 22 (November 2021).

⁵⁷¹ EC Copernicus, "The Copernicus Contributing Missions Activity (CCM) -Day2" (Workshop: Copernicus Commercial Satellite Data and European New Space における、ESA Peggy Fischer 氏、EC DG-DEFIS Catharina Bamps 氏によるプレゼンテーション) (2021 年 11 月 17 日) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-11/November_17_CCM_activity_part1.pdf

⁵⁷² <https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-named-as-a-contributing-mission-to-europes-copernicus-satellite-imaging-programme>
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/ICEYE_commercial_satellites_join_the_EU_Copernicus_programme

⁵⁷³ <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/copernicus-users/user-categories>

⁵⁷⁴ EC Copernicus, "Copernicus Commercial Satellite Data Needs" (Workshop: Copernicus Commercial Satellite Data and European New Space における、DG DEFIS Jean-Christophe Gros 氏、Catharina Bamps 氏によるプレゼンテーション) (2021 年 11 月 16 日) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-11/November_16_14.20_Catharina%20Bamps%20%26%20Jean-Christophe%20Gros.pdf

- CCM は今後も購入するデータを RFI などを通じて探している⁵⁷⁵。特に超高分解能データの確保に特に注力している。コペルニクスでは 2-4m 分解能の光学データの需要が増加しており、危機管理と安全保障サービスでは 1m 以下分解能の光学データの需要が依然として高いが、より迅速な撮影が要求されている。SAR 高分解能データについては、1m 以下分解能の需要が依然として高く、4m 以下分解能についても需要が増加している⁵⁷⁶。
- 購入するデータには分解能などに要件が課されている⁵⁷⁷。

図表 196 CCM で利用されている衛星群⁵⁷⁸



⁵⁷⁵

<https://ideas.esa.int/servlet/hype/IMT?documentTableId=45087648410027592&userAction=Browse&templateName=&documentId=463263a5b8a5d3516af83ea8ecee4cc5>

⁵⁷⁶ EC Copernicus, “Copernicus Commercial Satellite Data Needs” (Workshop: Copernicus Commercial Satellite Data and European New Space における、DG DEFIS Jean-Christophe Gros 氏, Catharina Bamps 氏によるプレゼンテーション) (2021 年 11 月 16 日) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-11/November_16_14.20_Catharina%20Bamps%20%26%20Jean-Christophe%20Gros.pdf

⁵⁷⁷ EC Copernicus, “Copernicus Commercial Satellite Data Needs” (Workshop: Copernicus Commercial Satellite Data and European New Space における、DG DEFIS Jean-Christophe Gros 氏, Catharina Bamps 氏によるプレゼンテーション) (2021 年 11 月 16 日) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-11/November_16_14.20_Catharina%20Bamps%20%26%20Jean-Christophe%20Gros.pdf

⁵⁷⁸ https://spacedata.copernicus.eu/web/guest/contributing_missions

X) ESA Third Party Mission (欧州)

- ESA 主導の衛星データ利活用プログラムであり、ESA 以外の衛星データが利用可能となっている。主に ESA 自身のプロジェクトへの活用と研究者・開発者による活用を見込んでいる。
- 近年では、ICEYE など民間企業の衛星が採用されている。

図表 197 ESA Third Party Mission 概要

項目	内容
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> • ESA 自身が所有および運用していない衛星により取得したデータを Third Party Mission (TPM) として取得し、研究者や開発者にデータを無償提供するほか、自らのプロジェクトに活用。
目的	<ul style="list-style-type: none"> • 研究に利用できるデータの拡充
背景	<ul style="list-style-type: none"> • TPM は ESA の Earthnet プログラム下で構築され、すでに 40 年以上の歴史を持ち、地球観測アクター間の連携を確立し、地球観測コミュニティに貢献⁵⁷⁹。
事例	<ul style="list-style-type: none"> • 2021 年 6 月、ICEYE 社のデータが Third Party Mission に正式に統合されることが決定した旨報道があった⁵⁸⁰。Earthnet Data Assessment Framework の審査を経て、今回の採用となった。ICEYE 社は民間商業衛星企業として初めて、すべての撮影モードのデータを提供する。ユーザはアーカイブ画像の取得や、新規撮影を依頼することが可能である。
その他	<ul style="list-style-type: none"> • TPM のデータコレクションは、各ミッションの所有者または運営者との契約に基づき、各 TPM 運営者のデータポリシーを尊重しつつ、調和のとれた TPM ライセンスの下で欧州のユーザコミュニティにデータを供給している。

図表 198 Third Party Mission の衛星群⁵⁸¹

✕ ALOS-1 ✕ Aura ✕ COSMO-SkyMed ✕ OceanSat-2 ✕ ODIN ✕ PAZ ✕ PlanetScope
 ✕ COSMO-SkyMed Second Generation ✕ GeoEye-1 ✕ Pleiades ✕ PROBA-1 ✕ QuickBird-2
 ✕ GEOSAT ✕ GEOSAT-1 ✕ GEOSAT-2 ✕ GHGSat ✕ RADARSAT-1 ✕ RADARSAT-2 ✕ RapidEye
 ✕ GOSAT ✕ GOSAT-1 ✕ GOSAT-2 ✕ GRACE ✕ SAOCOM ✕ SCISAT-1 ✕ Seasat ✕ SkySat
 ✕ ICEYE ✕ IKONOS-2 ✕ IRS-1C ✕ IRS-1D ✕ Spire ✕ SPOT ✕ SPOT 1 ✕ SPOT 2
 ✕ IRS-P5 ✕ IRS-P6 ✕ IRS-R2 ✕ JERS-1 ✕ SPOT 3 ✕ SPOT 4 ✕ SPOT 5 ✕ SPOT 6
 ✕ KOMPSAT-2 ✕ Landsat ✕ Landsat-1 ✕ SPOT 7 ✕ TanDEM-X ✕ TerraSAR-X
 ✕ Landsat-2 ✕ Landsat-3 ✕ Landsat-4 ✕ WorldView ✕ WorldView-1 ✕ WorldView-2
 ✕ Landsat-5 ✕ Landsat-7 ✕ Landsat-8 ✕ WorldView-3 ✕ WorldView-4

⁵⁷⁹ <https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-approved-as-full-esa-earthnet-third-party-mission-the-programme-opens-access-to-iceye-sar-data-for-researchers-and-developers>

⁵⁸⁰ <https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-approved-as-full-esa-earthnet-third-party-mission-the-programme-opens-access-to-iceye-sar-data-for-researchers-and-developers>

⁵⁸¹ https://spacedata.copernicus.eu/web/guest/contributing_missions

Y) ESA Business Incubation Centers (ESA BICs) (欧州)

- ESA Technology Transfer and Business Incubation Office (TTPO) が2013年に設立したヨーロッパ最大の宇宙インキュベーターネットワーク。宇宙技術の商業化やイノベーションの創出、宇宙分野以外への応用を通じ、新規雇用を生み出すことを目的とする。19か国、25か所に拠点を持つ。
- 提供するものは、ESAからの技術支援、ビジネスパートナーへのアクセスの提供、製品および知財開発のための5万ユーロの資金調達などである。
- 支援を受けた企業やインキュベーターなど、関連企業数は826(地球観測分野で203)に上る。

Z) EU Executive Agency for SMEs (欧州)

- 欧州委員会が設立した中小企業振興庁。中小企業やイノベーションの支援以外にも、環境・気候変動・エネルギーや海洋など幅広いプログラムをEUに代わって実施してきた。2021年4月で活動を停止し、現在中小企業支援は the European Innovation Council and Small and Medium-sized Enterprises Executive Agency (EISMEA) に引き継がれている。
- 主に、「Horizon 2020・Horizon Europe」「European Regional Development Fund」「Single Market Programme」の3つのプログラムを行っている。
- 【Horizon 2020、Horizon Europe】ともに、公募による研究費支援の取組で、科学技術振興政策の一環である。Horizon EuropeはHorizon 2020の後継プログラム。Horizon Europeの予算は955億ユーロ。そのうち、デジタル・宇宙分野には7年で153億ドルが投入される予定である⁵⁸²。Horizon2020によって、2030年までに6000億ユーロ規模の社会経済的影響と1万7,900人の雇用を生み出すとの予測もある。⁵⁸³
- 【European Regional Development Fund】欧州の地域開発基金。最初のプログラムとして、1億5,300万ユーロを超える資金を割り当てた。2022年10月締め切りの公募が行われており、応募者はデジタル、環境、製造の3つのテーマに応募できる。
- 【Single Market Programme】欧州の多くの中小企業が単一市場の利点を活用できることを目指したプログラム。消費者に適切な情報を提供したり、企業マッチングプラットフォームの刷新、マッチングイベントの実施、技術支援などを行ったりしている。

AA) Future EO mission (欧州)

- Future EOはESAの地球研究開発プログラムの名称である。Future EO内のプログラムであるScout missionでは、技術実証を行う地球観測小型衛星に対し、資金を提供する。資金提供額は最大20万ユーロである。
- Scout missionは①革新的な科学技術を提供する ②キックオフから打ち上げまでの期間が3年以内である ③予算が3000万ユーロ以内である の3つが条件である。短期間で低コストの衛星開発を行うことを重視する。3つの衛星ミッションが開発中である⁵⁸⁴。

⁵⁸² <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f107d76-ache-11eb-9767-01aa75ed71a1>

⁵⁸³ [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2018\)2&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2018)2&lang=en)

⁵⁸⁴ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Scouts_ESA_s_agile_research_missions

BB) CASSINI Space Entrepreneurship Initiative (欧州)

- 2021年から2027年まで実施予定のEU域内での宇宙関連の起業をサポートするプログラム。シード期から、中規模のベンチャー企業を対象としている。2022年から2027年までに10億ユーロを事業費・投資資金として投入する予定⁵⁸⁵。起業家、投資家、顧客、企業パートナーをマッチングするイベントやハッカソン、観測・測位データを用いたプロダクトのコンテスト、アクセラレーションプログラムを開催している。
- ハッカソンは、衛星データ、測位データ、サイバーセキュリティをテーマとして年2回のペースで開催されている⁵⁸⁶。欧州各国で同時に1つのテーマで開催される。国ごとの優勝者を決定後、全体の優勝者が決められる。全体の優勝者には、ビジネス化に向けたメンタリングサービスが提供される。また、各国の大会の開催者が賞金を用意する場合もある。
- コンテストは、テーマごとに開催されている。2023年5月に締め切られたコンテストは、CopernicusやGalileoのデータを用いて、海洋のプラスチックごみ問題に対処するソリューションを募集していた。賞金総額は285万ユーロで、受賞者にはさらに民間資金が投入されることを目指している⁵⁸⁷。
- アクセラレーションプログラムは、2023年から開始され、6ヵ月間にわたって行われる。プログラムを完了したチームには75,000ユーロの賞金が与えられる⁵⁸⁸。プログラム中は、メンターとの面談やeラーニング、イベントへの参加などを通じて、事業開発を行う。
- 資金調達に対する支援としては、EUによる投資保証が行われている。2022年のこの枠組みであるInvestEUが設立され、4つのVCファンドが投資保証を受けている⁵⁸⁹。これらのファンドからは100万から5000万ユーロの投資を得られる。
- ECは、ESAや欧州投資銀行(EIB)と連携して、資金調達支援を実施する協定を2024年1月に締結した⁵⁹⁰。EIBはこれまでに戦略的欧州安全保障イニシアチブ(SESII)を通じて、投資を実行しており、宇宙分野への投資を広げる予定である。

⁵⁸⁵ <https://www.cassini.eu/cassini-initiative>

⁵⁸⁶ <https://www.cassini.eu/hackathons/>

⁵⁸⁷ <https://www.euspa.europa.eu/opportunities/horizon-europe/horizon-europe-prizes>

⁵⁸⁸ <https://www.cassini.eu/accelerator/>

⁵⁸⁹ https://defence-industry-space.ec.europa.eu/cassini-space-entrepreneurship-initiative-access-finance_en

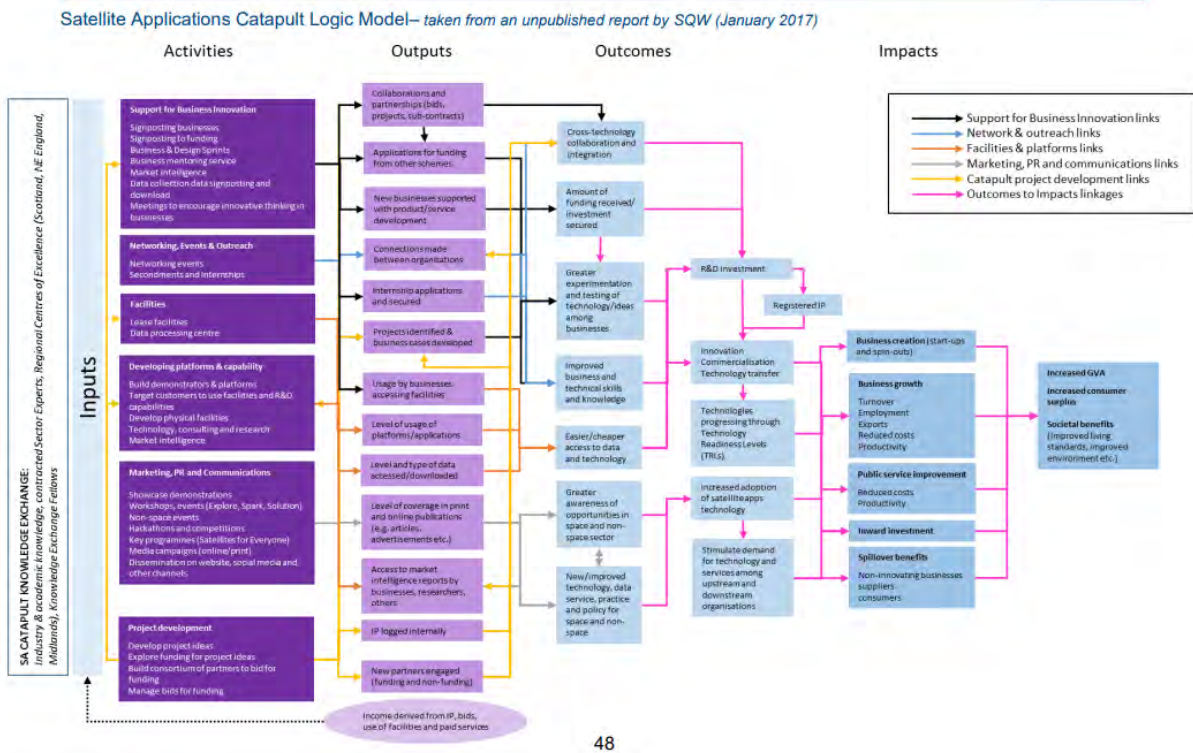
⁵⁹⁰ <https://spacenews.com/europe-sets-up-space-finance-taskforce/>

CC) カタパルト (英国)

- カタパルトはイギリス国内に 40 箇所の拠点を持つ、ハブ・研究所・試験用環境・工場・オフィスなどを備えた最先端の R&D 基盤である。研究と産業のギャップを埋め、ビジネスの成長促進を目指すプログラムとされている。
- イギリスの国家イノベーション機関である Innovate UK の主導で 2011 年に設立された。9 つの領域で構成され、その 1 つに satellite applications (2013 年設立) が存在する。Satellite applications カタパルトは、宇宙および衛星アプリケーションのスタートアップエコシステムと開発において大きな役割を果たしている。投資家や、民間、政府とのつながりもあり、ビジネスサポートも行う。Satellite applications カタパルトの年間予算は 1366 万ポンドである⁵⁹¹。
- Satellite applications カタパルトは 2021 年より Space Commercialisation Engine というビジネス支援サービスを開始している。地球観測技術やビジネス、学術業界の専門家が所属しており、ビジネス戦略、設計と技術開発、商業化計画までサポートする。革新的で、かつ商業的に実行可能な地球観測のアイデアを市場に投入することが目的である。
- 特徴的な点としては、①民間のみでは難しい企業間連携や官民連携の不足を官主導の取組で埋め、エコシステムを形成しようとしていること (下図表参照)、②他産業向け支援プログラムとのセットでの取組なので、他産業のイノベティブな動きと連動した動きがとれること、などが挙げられる。
- ②に関しては、例えば、インド向けに Energy Systems カタパルト、Connected Places カタパルト、Satellite Applications カタパルトで協力し、空気清浄化のための技術開発を実施している。インドのパートナーと協力し、パートナーシップからの資金援助を受けている。

⁵⁹¹ <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6065a7a9d3bf7f0c8d06b811/catapult-network-review-april-2021.pdf>

図表 199 衛星アプリケーションカタパルトのロジックモデル⁵⁹²



DD) National Space Innovation Programme (NSIP) (英国)

- UK Space Agency が実施する、イノベティブな技術開発プロジェクトを支援する共同出資プログラム。2020年に開始され、パイロット年度である2020-2021年度には、英国内の産業界およびアカデミア主導のプロジェクトチームに対して27件の助成金が授与された。2021-2022年度には、パイロット年度のプロジェクトのうち11件に追加助成金を提供した。本件には熱感知の衛星コンステレーションを企図し、2023年6月に初の衛星を打ち上げたSatVuが含まれている。
- 2023年度からは100万ポンド以下の補助金となくキックスタートプログラムと100万ポンド以上で最大500万ポンドまでのメジャープログラムの2段階からなるプログラムになった⁵⁹³。予算総額は65000万ポンド。

⁵⁹² https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/662319/catapult-programme-evaluation-framework.docx.pdf

⁵⁹³ <https://www.gov.uk/government/publications/national-space-innovation-programme-major-projects-call-one-open-call>

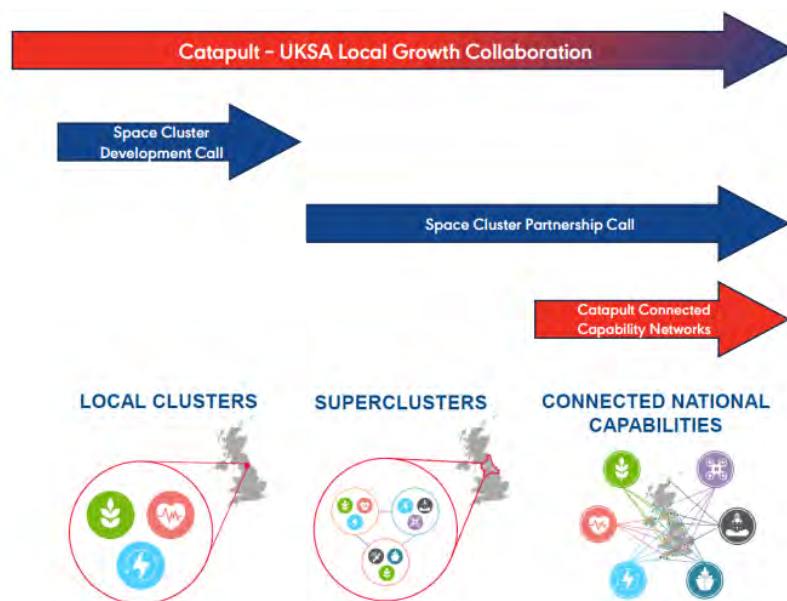
EE) Space-Enabled and Geospatial Services (英国)

- 2021年に開始した衛星データの動的購入制度。内閣府が所管する公共調達専門の組織である Crown Commercial Service が実施している。従来は初期の段階でパートナー企業に選定されないと入札に参加できなかったが、本制度ではベンチャー企業などは随時、入札資格企業リストに参加することができる。従来よりも柔軟な衛星データの調達が可能であり、調達側・供給側ともにより多くの参加が見込める⁵⁹⁴。

FF) Space Cluster Funding (英国)

- 英国内での宇宙開発に特化した地域を育成するための資金提供プログラム。2022年から開始されており、第一段階として、「Space Cluster Development Funding」で小規模の支援を行っており、補助額は最大50万ポンドである⁵⁹⁵。第二段階は、2023年に開始され、「Space Cluster Partnership funding」として複数の地域にまたがるようなプロジェクトに対して、追加で10万ポンドの資金を提供する⁵⁹⁶。「Match Funding」を採用しており、民間部門からの投資額と同額の補助を受け取る。年間予算総額は5000万ポンド。地球観測分野では Open Cosmos 社が Harwell に観測衛星コンステレーションのための研究開発設備と衛星製造設備のために500万ポンドを獲得している⁵⁹⁷。

図表 200 Space Cluster の成長イメージ⁵⁹⁸



⁵⁹⁴ <https://www.crowncommercial.gov.uk/agreements/RM6235>

⁵⁹⁵ <https://www.gov.uk/government/publications/announcement-of-opportunity-space-cluster-development-funding-call>

⁵⁹⁶ <https://www.gov.uk/government/publications/space-cluster-partnership-funding-call-2023>

⁵⁹⁷ <https://www.gov.uk/government/news/47-million-investment-to-supercharge-space-infrastructure-across-the-uk>

⁵⁹⁸ https://assets.publishing.service.gov.uk/media/651d24966a6955000d78b273/Annex_2_Space_Cluster_Partnership_Pre-Launch_Webinar_-_External.pdf

GG) Space for Smarter Government Programme (SSGP) (英国)

- 公的機関で利用できる宇宙技術を活用したサービスの研究開発に対して、支援を行うプログラム⁵⁹⁹。将来的な発注元であるスポンサー（地方自治体・保険機構など公的機関）を企業が見つけて、応募する。支援対象に選ばれた衛星データ分析会社は UKSA が調達した衛星データを無料で利用することができる。コンテストも開催されており、最大で 20 万ポンドの補助を受け取ることができる。2014 年に開始し、2018 年に終了した。年間予算総額は 150 万ポンド。

HH) Seraphim Space Investment Trust (英国)

- 宇宙関連企業専門の VC ファンド。Google Earth の創設者である Michael Jones をマネージングパートナーとし、Seraphim Capital が、2016 年に非公開の投資信託として組成した。国営の英国ビジネス銀行 (BBB) が出資を行っている⁶⁰⁰。その後、2021 年に英国証券取引所に上場される⁶⁰¹。ファンド規模は 22 億ポンドにのぼる。

II) Centre for Earth Observation Instrumentation (CEOI) Call (英国)

- Centre for Earth Observation Instrumentation (CEOI) は UKSA 内の組織で、地球観測プログラムを統括している。CEOI Call は、民間企業や研究機関が地球観測技術研究の提案を CEOI に行う機会である。年に 1 回の募集で、2023 年 9 月が締め切りのコンペは第 16 回目である。提案は技術レベルにより、3 段階の中から選択して、入札を行うことができ、最大で 300 万ポンドの資金が提供される⁶⁰²。年間予算総額は 1500 万ポンド。

JJ) Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake (SPACUU) (ドイツ)

- 2018 年にドイツ航空宇宙センター (DLR) 主導で開始された。コペルニクスのデータのユーザとアプリケーションの増加を目指すプログラム。イベントやワークショップによる普及活動や、アプリケーション開発への資金援助などを行う。
- 毎年コンソーシアムパートナーからアクションの提案がされる。EU から作業計画に承認されると、特定助成契約が結ばれ、契約に対し最大 85% の資金が提供される。現在 175 のアクションが実行されている。

⁵⁹⁹ <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20200701120905/http://spaceforsmartergovernment.uk/about-us/>

⁶⁰⁰ <https://www.british-business-bank.co.uk/press-release/british-business-bank-partner-seraphim-capital-launches-50m-pioneering-space-tech-fund/>

⁶⁰¹ <https://spacenews.com/seraphims-investment-trust-gets-firepower-for-bigger-space-deals/>

⁶⁰² <https://ceoi.ac.uk/opportunities/current-calls/ceoi-16th-call-for-eo-technology-and-instrument-development-proposals/>

KK) DLR Startup Factory (ドイツ)

- 2023年から開始したドイツ宇宙機関 (DLR) からのスピノフを目指すプログラム。創業前のベンチャーに対して、技術の特定、アクセラレーションプログラムの提供、実証試験の支援、資金調達の支援まで総合的に行うワンストップ窓口である⁶⁰³。
- 過去に DLR からスピノフした観測衛星にかかわるスタートアップ企業としては EOMAP 社があり、水資源に関する解析技術を得意としている⁶⁰⁴。

LL) Connect by CNES (フランス)

- 各種スタートアップ支援のプログラムのワンストップ窓口。アイデアソン、ハッカソン、インキュベーション施設、アクセラレータープログラム、衛星データ提供、特許提供、資金提供といった企業支援プログラムにベンチャー企業を誘導している⁶⁰⁵。
- 資金提供としては、ベンチャー企業向けの基金として、4億ユーロ規模の Space Ticket Funding とシード期の企業向けの CosmiCapital が用意されている。各社は、最大で 25 万ユーロの投資を受けられる。
- フランス国家投資計画 2030 では、5年間で宇宙産業に 15 億ユーロを投資する予定である⁶⁰⁶。

MM) Space Technology Development Program (STDP) (カナダ)

- カナダ宇宙庁 (CSA) が民間企業における宇宙技術の研究開発に対して資金支援を行う制度。2008年以降、累計で約 2 億カナダドルの支援を行った⁶⁰⁷。直近では 2023 年 3 月に地球観測技術に関する契約が公開されており、総額 680 万ドルで 1 社当たり、23 万ドルから 150 万ドルの契約が締結された⁶⁰⁸。

NN) smartEarth (カナダ)

- カナダ宇宙庁 (CSA) が民間企業及び学術機関の革新的な衛星データソリューションの開発に対して資金支援を制度。地上での課題の解決策となりうるようなソリューションを CSA が募集し、複数採択され、開発資金の支援が行われる⁶⁰⁹。2023 年 11 月に募集中のものを含めて、5 つのテーマで募集が行われており、1 つの提案に対して、最大で 100 万カナダドル程度の支援が行われている⁶¹⁰。予算は年間で 400 万カナダドルである。

⁶⁰³ https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/innovation-and-transfer/dlr_startup-factory

⁶⁰⁴ https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/innovation-and-transfer/dlr_startup-factory/shortprofile

⁶⁰⁵ <https://www.connectbycn.es.fr/en>

⁶⁰⁶ <https://spacenews.com/france-to-establish-new-space-hubs-in-denver-and-houston/>

⁶⁰⁷ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/stdp/about.asp>

⁶⁰⁸ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/stdp/contracts-development-enabling-technologies-ee-service-continuity-initiative.asp>

⁶⁰⁹ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/smartearth/about.asp>

⁶¹⁰ <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/funding-programs/programs/smartearth/contributions-grants-contracts-awarded.asp>

OO) IN-SPACE Seed Fund Scheme (インド)

- インド発のベンチャー企業の研究開発について、マイルストーン型で補助金を支給する制度である。分野ごとに募集されるテーマに沿った研究開発を提案し、採択されると補助金を受け取ることができる。補助金は、マイルストーン達成ごとに 1000 万ルピー⁶¹¹を累計 3 回以上与えられる。2023 年 11 月に第 1 回目の募集として、都市開発及び災害マネジメントに関するリモートセンシング分野での募集が行われた⁶¹²。

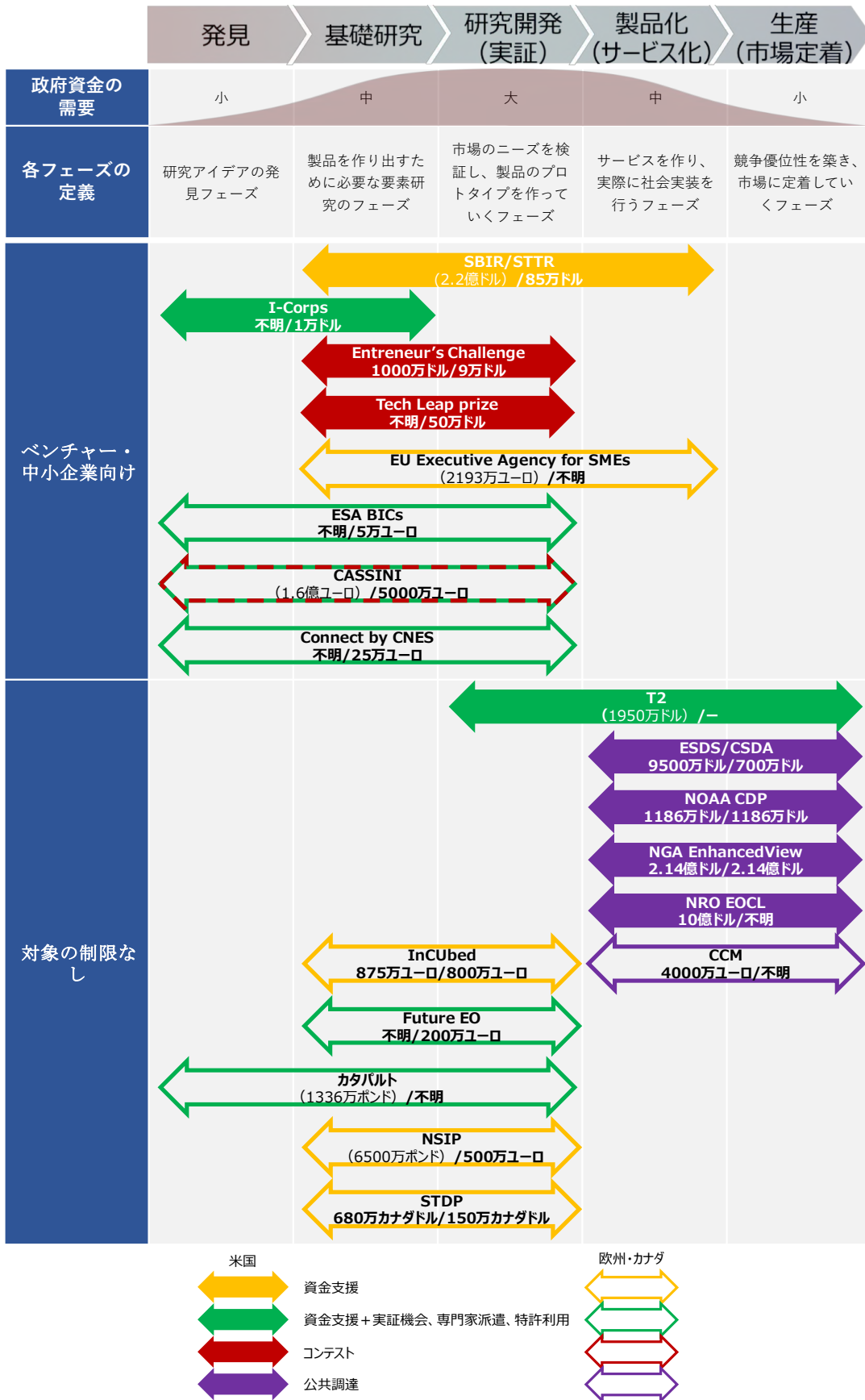
⁶¹¹ 1 ルピーは 2022 年平均の仲値（売値と買値の平均）で 1.68 円。1000 万ルピーはこのレートで換算すると、1680 万円である。（相場情報の出典：http://www.murc-kawasesouba.jp/fx/year_average.php）

⁶¹² https://www.inspace.gov.in/inspace?id=inspace_disaster_urban_page&sys_id=0e8a8d7987463150cc8310aabbbb3587

3) 支援プログラムの傾向とまとめ

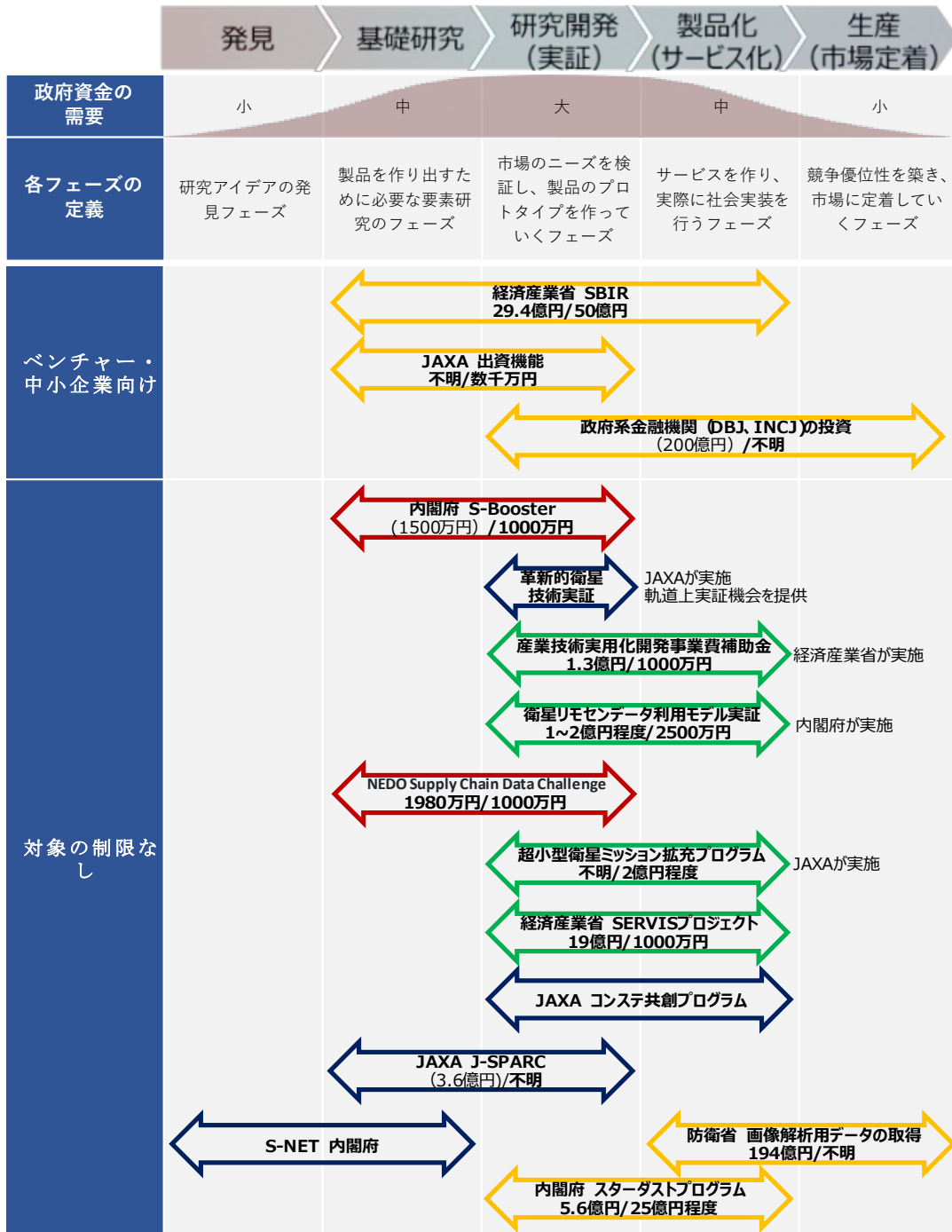
- 諸外国でのビジネス支援プログラムを比較すると、内容に差異が見られた。前節で紹介した制度について、主なものを下表にまとめた。1つのプログラムが観測衛星分野だけではなく宇宙産業全体を対象としている場合もあるため、予算について後者の場合は括弧で囲っている。また、参考として我が国で既に行われているプログラムについても図表 158 にまとめた。
- 本節では、各国の支援プログラム動向について、支援の手段、対象ステージ、予算の観点から比較を行いまとめる。

図表 201 欧米の主な支援策とその予算



※下段、1年当たりの予算総額/1社当たりの最大支援額
 ※かつこ内は地球観測衛星を含む宇宙産業全体を対象としたプログラムの全体予算

図表 202 日本の支援策⁶¹³



資金支援・調達機会

資金支援 + 実証機会、専門家派遣、特許利用

コンテスト

ネットワーキング・情報共有

※下段、1年当たりの予算総額/1社当たりの最大支援額

※かっこ内は地球観測衛星を含む宇宙産業全体を対象としたプログラムの全体予算

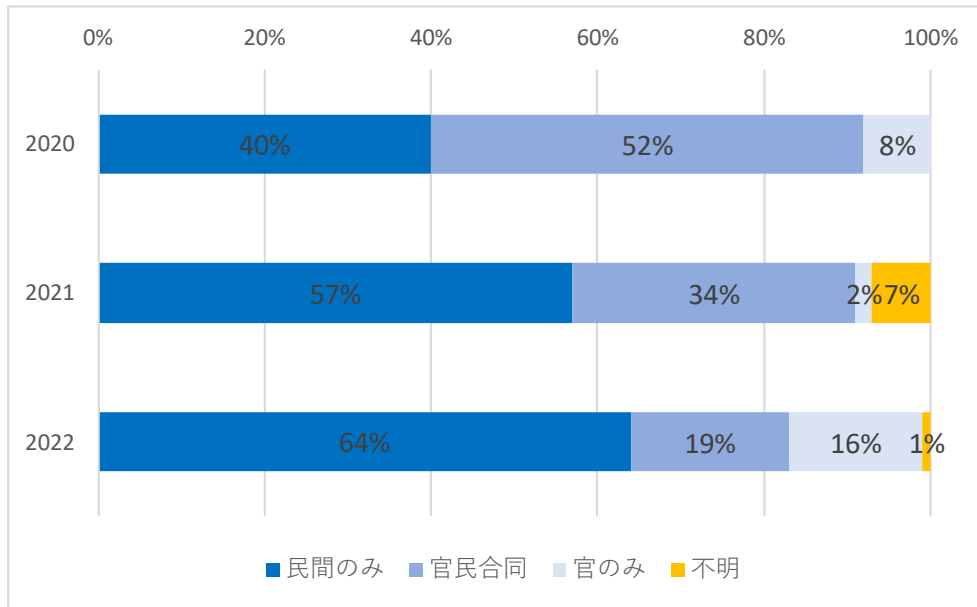
⁶¹³ https://www.mext.go.jp/kaigisiryoo/content/230209-mxt_uchukai01-000027470_5.pdf を基に DB 作成

A) 支援の手段についての各国の傾向

- 米国の支援としては、国防総省の情報機関が行うデータ購入制度に関するものが多い。2003年にブッシュ大統領が、商用リモートセンシング政策指令⁶¹⁴を出しており、その中で商用リモートセンシングを最大限利用することを定めている。それ以来、民間リモートセンシング分野の拡大と共に、国防省傘下の情報機関を中心として、衛星データをサービスとして調達するプログラムが拡張し続けている。公共調達については、支援プログラムとしての側面だけでなく、民間のサービスを導入することで公的部門の効率的な運営を目指している側面もあると考えられる。米国の宇宙分野でのサービス調達は1980年代から始まっており、近年では地球観測衛星分野を含めたあらゆる領域でサービス調達が行われている。CSDAは、企業が取得したデータをNASAが一括して買い取り、研究者に配布しており、公共財として衛星データを調達している。研究開発への助成としては、SBIR/STTRがあり、Tech Leap Prizeなどのコンテストも行われている。また、資金面以外のソフトな支援としては、SBIRの支援先候補を広げるために行われているI-Corpsがあり、アクセラレーションプログラムを実施している。
- 欧州については、投資資金としての資金提供とソフトな支援を一括して提供しているケースが多い。欧州全体向けでは、ESAがインキュベーション施設と投資を同時に行っており、EUもCASSINIプログラムでハッカソンやアクセラレーションプログラム、投資を行っている。また各国でも英国はカタパルト、フランスはConnect by CNES、ドイツはDLR Space Factoryがワンストップ窓口となり、投資とソフトな支援を並行して実施している。
- 実際に欧州では、官による資金供給が全体の半分程度を占めていた。下図は、2020年から2022年の欧州の宇宙ベンチャー企業の資金調達の供給元の推移である。2020年においては民間のみでの資金提供は40%であったが、2022年には64%を占めるようになっている。

⁶¹⁴ <https://www.space.commerce.gov/policy/u-s-commercial-remote-sensing-space-policy/>

図表 203 欧州の宇宙ベンチャーへの資金供給源の推移⁶¹⁵



- 日本では、研究開発成果を社会実装するにあたり、実証研究を行う場面での助成が多くみられる。経済産業省の産業技術実用化開発事業費補助金や内閣府の衛星リモセンデータ利用モデル実証などの制度で、補助金を提供し、支援を行っている。投資についても政府系金融機関を中心と実行しており、例外として JAXA の出資機能があるが実績が少ないという課題がある。データ購入については、経済産業省が実施している **SERVIS** プロジェクトのうち衛星データ利用環境整備・ソリューション開発支援事業において、衛星データソリューションを開発・実証する事業者に対して、経済産業省が調達したデータを提供している事例や防衛省が民間光学衛星や小型衛星コンステレーションによる画像データを取得している事例⁶¹⁶が見られた。

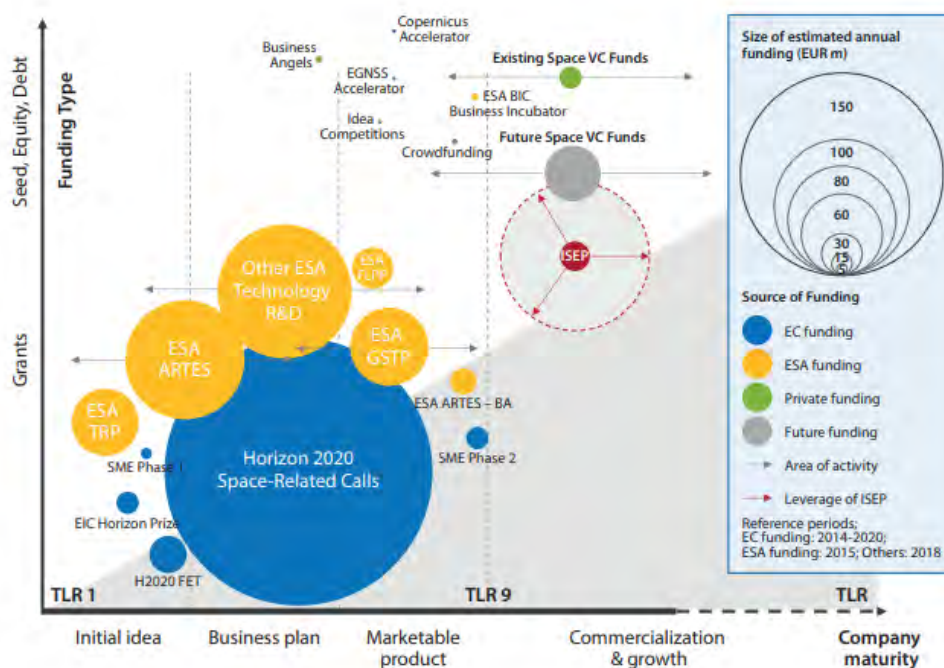
⁶¹⁵ <https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2022/06/ESPI-Report-83-Space-Venture-Europe-2021.pdf>
https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2023/07/ESPI-Report-85-Space-Venture-Europe_Updated.pdf

⁶¹⁶ https://www8.cao.go.jp/space/committee/dai102/siryou1_4.pdf

B) 対象ステージの傾向について

- 米国では公共調達を中心として実施していることから、主にプロダクト完成後の市場定着段階への支援を重視している。政府が確実な大口顧客となることによって、民間での資金調達は容易になることが指摘されている⁶¹⁷。多数のエンジェル投資家の存在やスタートアップに投資を実行する大学基金など、アントプレナーのためのエコシステムが民間で成立している。そのため、創業期の支援よりも市場定着段階を重視していると考えられる。一方で、資金調達を行う創業前の支援策として、I-Corps を実施しており、研究成果を起業につなげる取り組みとなっている。また、技術移転策である T2 では、有償での特許利用を行っているが、スタートアップは支払いを猶予することで製品化前の利用を促している。
- 欧州では創業期及び実証研究を対象としている。創業期に対しては、アクセラレーションプログラムや投資を中心として実施している。実証研究に関しては、FutureEO や Horizon を通じて、テーマに沿った研究開発に対して、助成を行っている。また、英国の Seraphim Space Investment Trust は、民間との共同で実証から製品定着段階の企業に対しても投資を実施している。一方で、公共調達に関しては Copernicus Contributing Mission のみである。英国の Space for Smarter Government Program は、将来の公的部門への納入を目標としたサービスの開発を目指していたが 2018 年で終了している。
- 下図は、2018 年時点での欧州における宇宙ベンチャーへの支援策の対象段階・資金提供法と支援額を示している。創業期に対して、補助金による支援を中心として行っていることが分かる。

図表 204 2018 年時点での欧州の宇宙産業支援策の対象段階・資金提供法と支援額⁶¹⁸

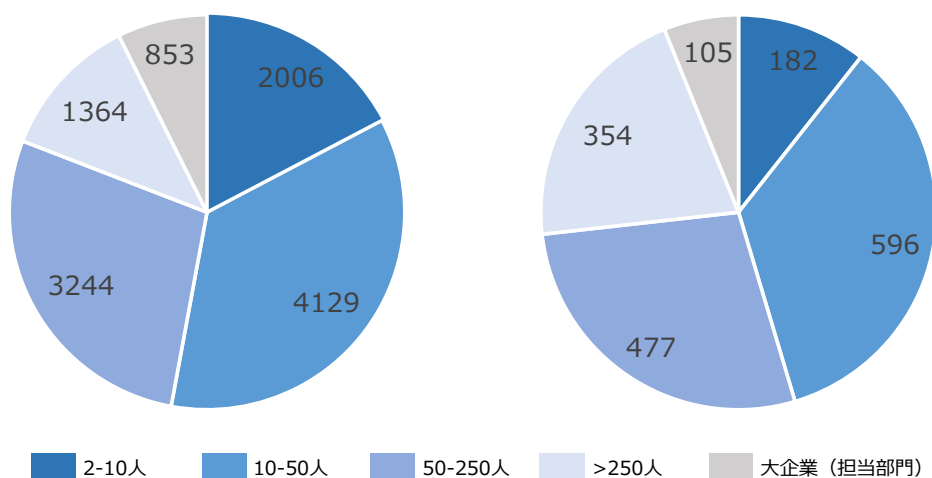


⁶¹⁷ <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/b4eea6d7-en.pdf?expires=1700113901&id=id&acname=guest&checksum=3A243B8D2B52516C54E61925261316E8>

⁶¹⁸ https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_summary_en.pdf

- また、欧州では **ESA** を中心として、公的部門がインキュベーション施設を運営しており、これらによってベンチャー企業の創業を支援する体制を充実化している。その効果は着実に表れており、**ESA BIC** でイギリスでは 2011 年以来支援した企業の生存率は 92% で、ドイツでは累計で支援した企業の売上高は 1.5 億ユーロ以上に上っている⁶¹⁹。実際に、欧州の地球観測衛星関連企業については、中小規模の企業が多いというデータもある。地球観測サービスを対象とした 2020 年の調査では、従業員数 50 人以下の企業が、労働者ベースでは半数以上、売り上げベースでは半数弱を占めている⁶²⁰。

図表 205 欧州の地球観測サービス産業の企業規模（左図：労働者数、右図：売り上げ(€m)）⁶²¹



- 日本では、**SBIR** を中心として、実証研究段階に対する支援が多い。製品定着期に対しては政府系金融機関による出資、創業期に対してはネットワーキング機会の提供を行っている。製品定着期については、そもそもこの段階にある国内ベンチャー企業が少ないという課題もあるだろう。

⁶¹⁹ <https://www.oecd.org/sti/inno/space-forum/space-economy-for-people-planet-and-prosperity.pdf>

⁶²⁰ <https://earsc.org/wp-content/uploads/2021/10/EARSC-Industry-survey-2021.pdf>

⁶²¹ <https://earsc.org/wp-content/uploads/2021/10/EARSC-Industry-survey-2021.pdf>

C) 予算規模

- 米国においては、SBIR 制度の中で NASA だけで 2.2 億ドルを支出している。また、公共調達については規模が大きく、NGA の EnhancedView では 2.14 億ドル、NRO の EOCL では 10 億ドルである。しかし、これらのプログラム導入以前は国防総省や気象機関が自前の衛星を打ち上げて観測データを入手していたため、その分を民間に切り替えることによる財政上の影響は少ないと考えられる。
- 欧州においては 1.6 億ユーロを投じている CASSINI 及びデジタル・宇宙分野で 2193 万ユーロを投じている EU Executive Agency for SMEs の Horizon の予算規模が大きい。プロダクトが完成する前を対象としているため、1 社当たりの金額は少ないが、多数のスタートアップを対象として支援を行っている。また、英国の National Space Innovation Programme は実証研究に対して、6500 万ポンドを支給している。また、公共調達としては、Copernicus Contributing Mission が 4000 万ユーロを投じて、学術関係者向けにデータを提供している。
- 国内では、2023 年から開始した SBIR フェーズ 3 や内閣府の宇宙開発利用加速化戦略プログラムが予算規模の大きな支援策となっている。その他、実証研究に対する支援は 1 社当たりでは数千万程度である。政府系金融機関による投資については 5 年総額 1000 億円⁶²²で、これは国内の資金調達額が 345 億円⁶²³であるため、宇宙ベンチャーに対するリスクマネーの供給のうち政府系金融機関が多くを占めていることが分かる。

⁶²² <https://www.sankei.com/article/20180320-C7F43OTVFJLSNKAQDXEIZI55FQ/>

⁶²³ <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000016.000057321.html>

4) 政府の役割に関する考察

- 前節での分析結果から、我が国の支援プログラムの傾向について整理する。実証研究に関するサポートや JAXA の共創活動による官民連携、政府系金融機関による投資活動が支援プログラムとしては充実している。一方で、創業期に対する支援で特にインキュベーションやアクセラレータープログラムなどの資金面以外のソフトな支援が不足している。また、データ購入については、米国で多く見られ、国内ではほとんど見られなかった。
- 本節では、海外において先行事例が存在し、我が国においても採用しうる政策を示す。既存の支援策の拡充と新規の支援策の導入の観点から考察する。「宇宙産業ビジョン 2030⁶²⁴」では、新たな宇宙ビジネスを見据えた環境整備が求められており、創業期に対する支援を中心として、あらゆるステージの企業に対して隙間のない支援を実施していく必要がある。

【既存の支援策の拡充】

- 政府による投資活動について、政府系金融機関が実証研究期以降の企業に対して投資を行っている。拡充策として、欧州の CASSINI、フランスの Connect by CNES を先行事例とし、創業期に対する投資に政府系金融機関が参入することが考えられる。創業期を対象として、政府が投資を行うことで、投資を受けた企業はその後民間の資金調達を行いやすくなることが期待される。創業期への投資は、シード企業の生存率が低く難易度は高いが、これまで宇宙産業への投資を実行してきた政府系金融機関に蓄積されたナレッジを活用し、創業期への投資に応用できるだろう。
- 研究開発に対する支援は、打ち上げ機会の提供や SBIR 等による補助金など既に実施されているところである。新たな要素技術に対する支援としては、本調査結果から、SaaS や NRT を実現し、低レイテンシーが求められることから、地上局の整備への支援が考えられる。これまでは、センサ開発やソリューションの開発に対する支援が多かったため、地上基地局の整備、特に Ground Station as a Service (GSaaS) に対応した地上局整備に対して支援できるだろう。

⁶²⁴ <https://www8.cao.go.jp/space/vision/mbrlistsitu.pdf>

【新規の支援策の導入】

- 新規の支援策の導入により、創業支援とベンチャー企業の成長を促進する。資金面以外のソフトな支援及び政府によるデータ調達制度の導入が考えられる。
- ソフトな支援としては、英国で実施されているクラスター政策、欧州で行われているインキュベーション施設の設置や、欧州及び米国で行われているアクセラレーションプログラムの実施がある。英国のカタパルトは、R&D 拠点を英国各地に整備し、研究と産業のギャップや産業界内でのギャップを埋めるためにプロジェクトやコンソーシアムの設立を行っている。また、創業期から継続的にビジネスの成長促進を行うため、事業計画についてアドバイスや商業化計画の立案などのコンサルティングも行っている。さらに、官による資金提供プログラムをカタパルトが仲介する役割も果たしている。ESA では ESA BIC の枠組みのもと、各国にインキュベーション施設が設置されている。アクセラレーションプログラムとしては、EU の CASSINI や NASA の I-Corps がある。I-Corps については、大学等の研究室からの創業を支援するプログラムであり、研究開発成果を創業に繋げる施策として参考になる。
- データ購入については、米国の CSDA や欧州の CCM といったプログラムが参考になる。これらのプログラムは、研究者に無償で衛星データを提供することを目的として、NASA や ESA が衛星データの一括調達を行っている。これまで国内に観測衛星を保有する企業は少なく、国内の衛星データ利用者は、海外企業の衛星データを購入するケースが多かった。現在では、国内の民間企業による衛星コンステレーションが整備されつつある。これらの衛星で取得したデータの利用事例を増やすために、我が国でも研究者に無償で配布することで、利用ハードルを下げることができる。
- 現在、我が国の観測衛星やそのソリューションに対する支援は、複数の関係省庁がそれぞれ多様な支援プログラムを実施している。これらの各種支援プログラム間での連携も求められるだろう。創業期したばかりのスタートアップが、政府のイノベーション支援政策の全貌を把握することは難しい。彼らが全方面から継続的な支援を受けるための窓口が必要だろう。英国のカタパルトやフランスの Connect by CNES、ドイツの DLR Startup Factory は、国内の他の支援プログラムをスタートアップに紹介する機能を有している。特にカタパルトは、官民の複数の機関から資金を集めてプロジェクトやコンソーシアムを設置することを得意としている。これによって、スタートアップ支援で断絶しやすい支援制度、設備、情報、他産業と協業を長期間にわたって継続することに成功している。これら欧州で実施されているような各省庁が実施する支援プログラムの仲介窓口の設置が今後、最も求められるだろう。

2.7 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

サマリー

- 10～20年後の、日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術として、「大型衛星と小型衛星の連携」、「検知アルゴリズム」、「GNSS-R」を整理した。
- 「大型衛星と小型衛星の連携」では、時間分解能に優れる大型衛星と、空間分解能に優れる小型衛星のデマケーションを明確にした連携が検討されており、自動化された Tip&Cue などの技術が想定される。大型衛星のミッションは官主導となることから、連携ミッションも官主導となる傾向があり、官民連携の成功には、民側のミッションを念頭に置いた官側ミッションの検討が必要となる。
- 特に日本では、中型・大型衛星の打上げ予定機数が他国に比べ劣後しており、官主導の中型・大型衛星のみでは他国との差がより広がってしまう恐れがある。民間を中心とした小型衛星との官民連携ミッションを構築し、機数の少なさをカバーし、解像度・頻度における性能補完やセンサフュージョンによる解析向上を行うことで、衛星による提供サービスの質を向上することが一案。
- 「検知アルゴリズム」の技術は、解像度は高くないが無料で入手しやすい Sentinel-2 データと地上データとを組み合わせ、予測モデルを構築することで、低解像度の画像でも細かな物体が検知可能である。トラックや海洋デブリ等様々な物体の検知が実施されており、今後、データが蓄積され、予測モデルが洗練されるにつれ、その精度が向上することが想定される。
- 「GNSS-R」の技術は、測位衛星から放たれる信号 (L-band) を捉えることで、地表面や水面状況を把握することが可能である。L-bandSAR が大型であり、コンステレーションを構築できるほど多く打ちあがっていないため、Spire 社は約 30 機の GNSS-R 衛星でのコンステレーション構築を企図している。

- 本節では、10～20 年度の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術として「大型衛星と小型衛星の連携」、「検知アルゴリズム」、「GNSS-R」を整理した。

1) 大型衛星と小型衛星の連携

A) 基本的な考え方

- 10～20 年後には、小型衛星の開発・製造が進み、コンステレーションの構築がかなり流行しているものと考えられる。また、衛星間通信についても研究開発から社会実装の段階へと移り、活用されている状況と想定される。
- このような未来においては、例えば時間分解能や空間幅に優れる GEO 衛星で特徴的なイベントを検知し、解像度に優れる LEO 衛星が詳細な分析をする、さらにそれが Tip&Cue などによって自動化されている、などの状況が想定される。これら技術はわが国の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術と考えられる。
- このように大型衛星と小型衛星のデマケーションを明確にし、連携の仕方を模索することは有用である。既にいくつかの萌芽事例も見受けられるため、各国の大型・小型衛星連携事例について整理する。

B) 調査対象衛星群の整理

- 各国における大型衛星と小型衛星の連携事例の調査を実施する。
- 調査対象とする衛星群の基準は以下のとおりとする。
 - ✧ 調査対象ミッションは、組合せのいずれか一方に、行政の宇宙機関を含むものとする。
 - ✧ 2 つ以上の衛星群のデータを組み合わせたものとする。(同一衛星群のコンステレーションは対象外)
 - ✧ 各々が独立した観測センサを搭載している衛星とする。
 - ✧ 組合せ目的として、以下の 2 点を掲げているものとする。
 - 同センサでの性能補完 (大型：高解像度/低頻度、小型：低解像度/高頻度 など)
 - センサフュージョン (光学+SAR)
- 上記に該当する組合せとして、調査対象となるプログラムを下図表に抽出した。抽出したプログラムについて、衛星スペック等概要を整理する。

図表 206 大型衛星と小型衛星との連携事例

No.	システム名 /プログラム名 /衛星組合せ内容	プログラム 主体	大型衛星	小型衛星	概要
1	CESTEM (CubeSat Enabled Spatio Temporal Enhancement Method)	民	Landsat-8(官)	FLOCK(民)	Landsat 8/Terra/aqua(MODIS) の観測データを用いて、コンス テレーション内の衛星間データ 不整合(ラジオメトリック不 一致)を補正
2	Sentinel-2 と FLOCK	民	Sentinel-2(官)	FLOCK(民)	Sentinel-2 データを用いてコン ステレーション内の衛星間デ ータ不整合(ラジオメトリック不 一致)を補正
3	MSCM (Multispectral Companion Mission)	官	Sentinel-2(官)	Aerospacelab 社衛 星群(民)	ESA の Incubed における民間開 発ミッションであり、Sentinel- 2 のマルチスペクトル画像の撮 像時期を補完しデータの価値を 向上
4	Sentinel-3 と FLEX	官	Sentinel-3(官)	FLEX(官)	ESA の第 8 次地球探査ミッ ションで選定されたプログラ ムであり、Sentinel-3 と組み合 わせて植物活動の情報を取得
5	CHORUS	民	不明(官) ※RADARSAT を踏ま え開発	不明(民) 第 3 世代 ICEYE-X を踏まえ開発	民間企業のコンステレーション 連携。X と C-SAR の連携であ り、Tip&Cue や AI/ML を活用 した NRT データ活用を実施
6	AOS (Atmosphere Observing System)	官	AOS-P (米・加)、HAWCsat (加)、AOS- I (米・仏)、PMM(官・大型・JAXA・ CNES) ※PMM 以外の衛星諸元不明なため小型衛 星が含まれない可能性あり		NASA のプログラム、JAXA も 参加。異常気象や気候変動に関 連するエアロゾル、雲等の観測 を実施
7	Sentinel-5 と Tango	官	MetOp-SG (官)	Tango(官)	ESA の SCOUT ミッションに提 案された小型衛星であり MetOp-SG との共同観測を行い GHG を計測・監視
8	MANTIS (Mission and Agile Nanosatellite for Terrestrial Imagery Services)	官	※Copernicus programme にて提供 されている各種デー タセット	MANTIS(民)	ESA の Incubed プログラムの中 で民間が超小型衛星プラットフ ォームを開発し Copernicus デ ータとフュージョン
9	AWS (Arctic Weather Satellite)	官	MetOp-SG(官)	Arctic Weather Satellite(官)	ESA が開発する超小型気象衛星 コンステレーションであり、 MetOp や MetOp SG と共同観 測し、北極地域でのノウキャス ティングを提供

- なお、上記基準に該当しない大型衛星+小型衛星のプログラム/組み合わせ事例としては、データ中継（小型 LEO から大型 MEO、GEO 経由でダウンリンク）も存在する。具体の組合せとしては、データ中継衛星 + ユーザ衛星、WARPSPACE 社の衛星 + ユーザ衛星などが存在し、具体例としては、ESA Harmony、HRWS 衛星 + MirrorSAR 衛星、GNSS-R、SNOOPI などが挙げられる。
- 本報告書においては、参考情報として、ESA Harmony(Sentinel-1 と Harmony 衛星)の事例についても整理する。

C) 調査結果

- 以下の事例について、概要等を整理した。
 - i. CESTEM (CubeSat Enabled Spatio-Temporal Enhancement Method) ⁶²⁵
 - 官民連携プログラムではなく Planet が開発した手法。
 - CESTEM(CubeSat Enabled Spatio-Temporal Enhancement Method)は、Landsat 8 および Terra/aqua(MODIS)の観測データを用いて、Cube sat コンステレーション内の衛星間データ不整合(ラジOMETリック不一致)を補正する手法である。
 - Landsat 8 の青、緑、赤、および NIR バンドの大気補正された表面反射率を、CubeSat の観測の空間スケールと時間周波数で生成する。
 - サウジアラビアの農業乾燥地で CESTEM を適用した結果、Landsat 8 と CubeSat(Planet 社の FLOCK)の取得が 32 日以上時間的にずれていても、FLOCK ベースで Landsat 8 と整合性のある VNIR データを再現(全体の相対平均絶対偏差 1.6%以上)した。この精度は、MODIS と整合的な表面反射率時系列を使用して一連のシーンから Landsat 8 基準データを抽出し、Landsat- FLOCK 取得時間帯における Landsat スケール反射率の相対変化を定量化するマルチスケール目標サンプリング方式を使用して達成されたものである。

⁶²⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425718300786>

図表 207 CESTEM(CubeSat Enabled Spatio-Temporal Enhancement Method)

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：Landsat 8 サイズ⁶²⁶： 寸法：3.00 m × 3.00 m × 4.80 m 重量：2782 kg 軌道情報⁶²⁷： 軌道：太陽同期軌道 高度：705 km 軌道傾斜角：98.20 度 回帰日数：16 日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：FLOCK 150 機 サイズ⁶²⁸： 寸法：0.10 m × 0.10 m × 0.34 m (3U) 重量：4.7kg 軌道情報⁶²⁹： 軌道：太陽同期軌道 高度：475-525km 軌道傾斜角：98.00 度 回帰日数：1 日
	センサ仕様	<p>【光学衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 組合せ対象センサ⁶³⁰ ・OLI (Operational Land Imager) / イメージングマルチスペクトル放射計⁶³¹ <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：9 観測幅：185 km 空間分解能：15-30 m ■ その他センサ <ul style="list-style-type: none"> ・ TIRS (Thermal Infrared Sensor) / イメージングマルチスペクトル放射計 	<p>【光学衛星】⁶³²</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：4 観測幅：24 km 空間分解能：3.7m
システムの目的		<ul style="list-style-type: none"> 地球全体の中分解能マルチスペクトル画像ならびに熱赤外画像の取得と保存 	<ul style="list-style-type: none"> 広域災害被災状況の連続監視、農作物の生育管理、森林管理、全世界の港湾・空港・島嶼などや船舶の高頻度モニタリング、国内外開発・工事の進捗管理⁶³³ 衛星画像のサブスクリプションビジネスで収益をあげる⁶³⁴
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> 時間分解能・空間分解能に優れた FLOCK 衛星データを校正することにより、実際の Landsat 8 の観測と同じ放射品質で、一貫した VNIR 画像を、空間分解能を 10 倍向上させ、毎日作成する。 	

⁶²⁶ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶²⁷ <https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-8.html>

⁶²⁸ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶²⁹ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>

⁶³⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425718300786>

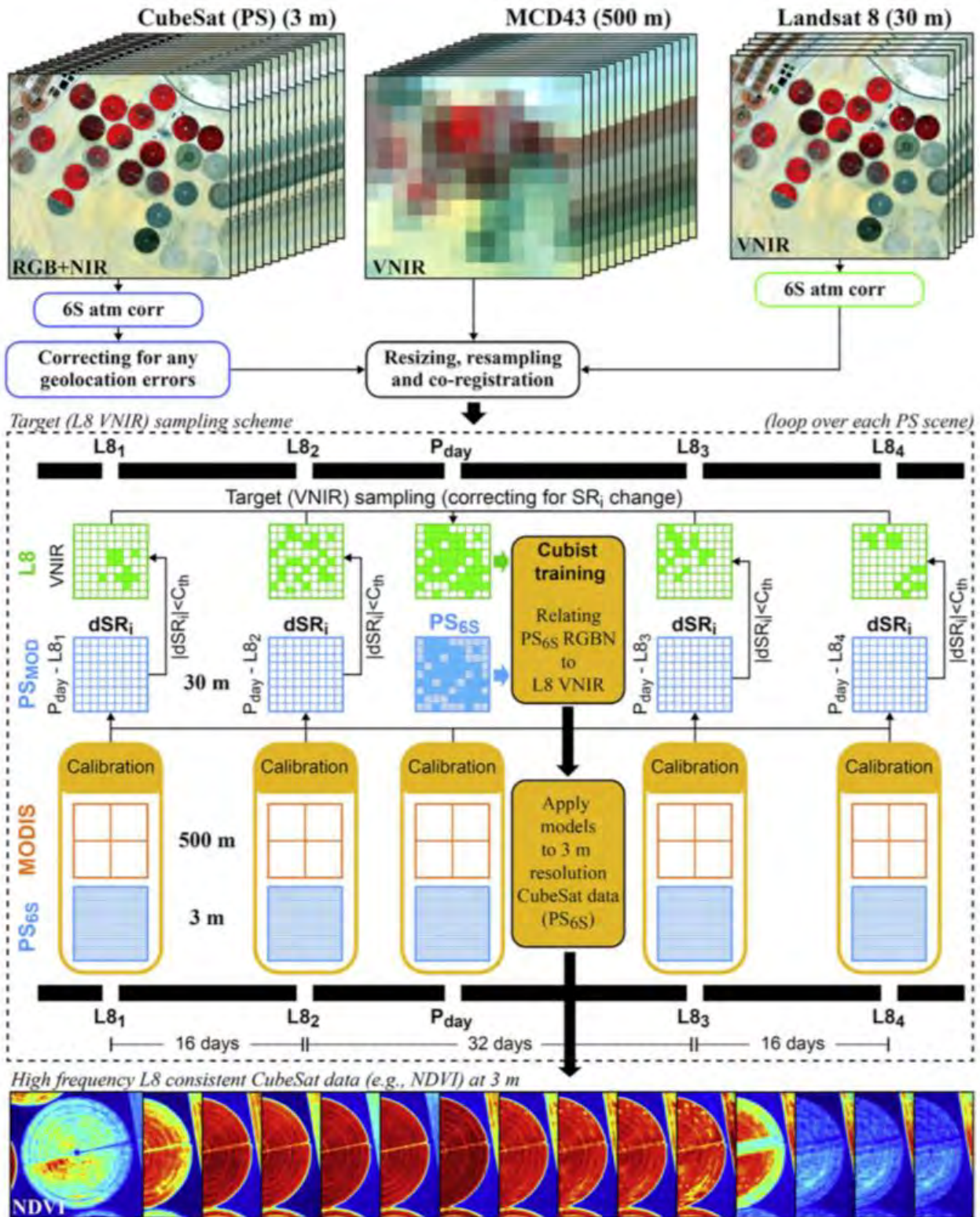
⁶³¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-8.html>

⁶³² <https://www.restec.or.jp/solution/product/planetscope.html>

⁶³³ <https://www.snet.co.jp/planet/service/>

⁶³⁴ <https://www.planet.com/investors/presentations/2021/investor-presentation-20210707.pdf>

図表 208 CESTEM イメージ⁶³⁵



⁶³⁵ <https://www.planet.com/pulse/publications/sensor-fusion-of-planet-landsat-and-modis-data-for-unprecedented-land-surface-monitoring/>

ii. Sentinel-2 と FLOCK⁶³⁶

- 官民連携プログラムではなく Planet が開発した手法。
- 単位地上面積あたりの片側葉面積の比率として定義される Leaf Area Index(LAI)は、幅広い応用が可能である。しかし、広い面積での広範な現場サンプリングによる作物 LAI のモニタリングは、費用と時間がかかり、非現実的であるため、人工衛星で取得したデータを基に LAI 推定を行う方法が開発されてきた。
- 推定手法については大きく以下の 2 つに分けられる。(i)は、より一般的に適用可能だが、キャノピー構造の性質により制限されることが多い。(ii)は、VI と LAI の関係性がキャリブレーションに使用した現場の事前調査にて評価されたものであることから、類似の地域にてのみ使用可能であり、複数の植生タイプに適用すると信頼性は低下する。
 - (i) 放射伝達モデル (RTM) に基づき、LAI がこれらのモデルのインバージョンに基づいて推定される場合の物理ベースの検索方法
 - (ii) 独立変数として植生指標 (VI) を用いた線形または非線形回帰のいずれかを用いる経験的アプローチ
- LAI 算出に必要な物理量を観測する方法として、比較的安価に高い空間・時間分解能で大きな画像コレクションを取得できるようになる Cubesat 衛星群での観測が増加している。
- Cubesat 衛星群での観測の問題点として、相互校正の課題や低 S/N 比に起因する、コンステレーション内の衛星間データ不整合(ラジオメトリック不一致)がある。
- データ不整合を解決する手法として、大型衛星の高スペクトル分解能画像をリファレンスとしてデータ校正を行うことで、大型衛星に準拠した LAI データを作成する試みが行われているが、調査地域に特有の地上ベースの学習データが必要となるものが多い。
- 実用的で堅牢な LAI 推定法はシンプルで効果的、かつ再現可能で普遍的であるべきとのモチベーションから、Sentinel-2 と FLOCK のデータ組合せを利用して新たな推定法を確立した。
- 新たな推定法を、地上での測定結果があるデータに適用し評価した結果、補正しない場合の Green LAI 推定値を上回ることが期待される。

⁶³⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

図表 209 Sentinel-2 と FLOCK ⁶³⁷

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：Sentinel2(A/B) 2機 サイズ⁶³⁸： 寸法：3.0 m × 1.7 m × 2.2 m 重量：1100 kg 軌道情報⁶³⁹： 軌道：太陽同期軌道 高度：786 km 軌道傾斜角：98.5度 回帰日数：10日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：FLOCK 150機 サイズ⁶⁴⁰： 寸法：0.10 m × 0.10 m × 0.34 m (3U) 重量：4.7kg 軌道情報⁶⁴¹： 軌道：太陽同期軌道 高度：475-525km 軌道傾斜角：98.00度 回帰日数：1日
	センサ仕様	<p>【光学衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：13バンド⁶⁴² 10mの空間分解能：4バンド 20mの空間分解能：6バンド 60mの空間分解能：3バンド 観測幅：290 km⁶⁴³ 空間分解能：10m/20m/60m⁶⁴⁴ 	<p>【光学衛星】⁶⁴⁵</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：4 観測幅：24 km 空間分解能：3.7m <p>スペクトル比較：図表 210 参照</p>
システムの目的		<ul style="list-style-type: none"> 陸域観測を主目的とした光学ミッション 植生、土地利用、農地状況等、陸域の詳細観測 	<ul style="list-style-type: none"> 広域災害被災状況の連続監視、農作物の生育管理、森林管理、全世界の港湾・空港・島嶼などや船舶の高頻度モニタリング、国内外開発・工事の進捗管理⁶⁴⁶ 衛星画像のサブスクリプションビジネスで収益をあげる⁶⁴⁷
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> 宇宙から観測した画像を基に算出できる Leaf Area Index (LAI) の動態に関して、CubeSat 衛星群と中型衛星群それぞれで供給された時系列画像データにより空間分解能と時間分解能の間のトレードオフ制約を解決する。 データフュージョンの実績としては、それぞれの画像情報から 3m 分解能の日次表面反射率画像、植生指標、LAI マップに変換し評価(図表 211)。 	

⁶³⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

⁶³⁸ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

⁶³⁹ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

⁶⁴⁰ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶⁴¹ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>

⁶⁴² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

⁶⁴³ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

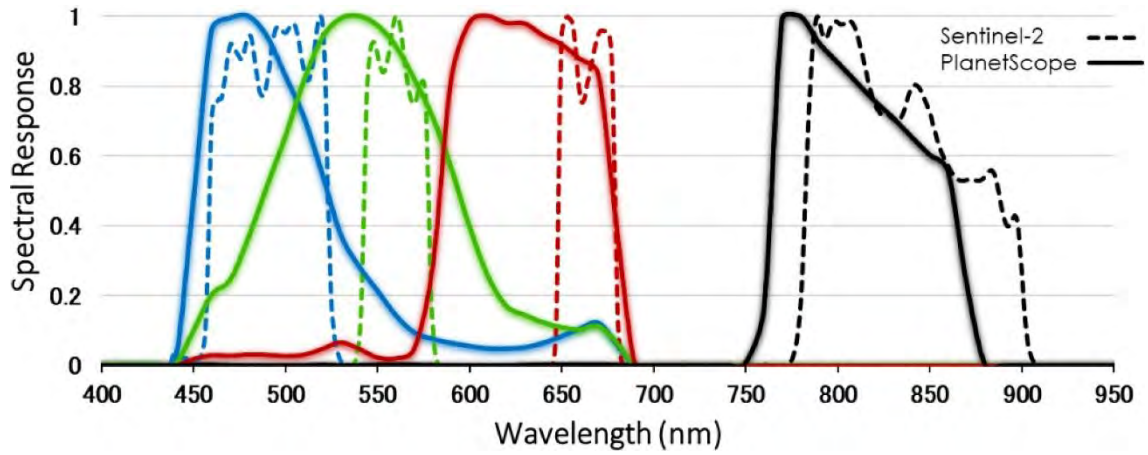
⁶⁴⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

⁶⁴⁵ <https://www.restec.or.jp/solution/product/planetscope.html>

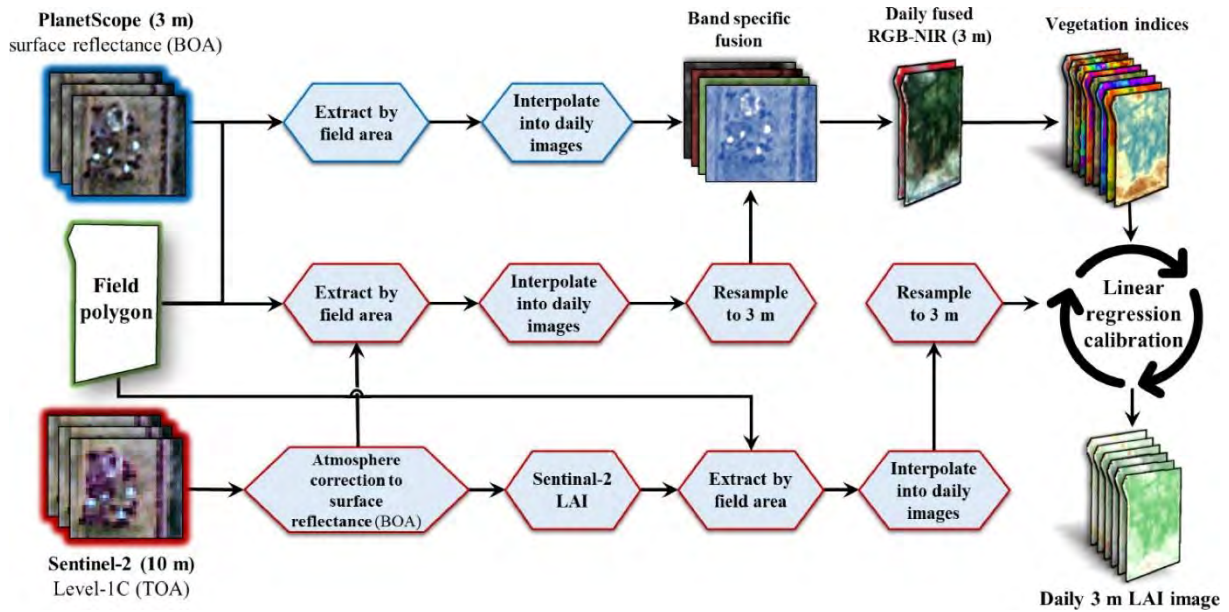
⁶⁴⁶ <https://www.snet.co.jp/planet/service/>

⁶⁴⁷ <https://www.planet.com/investors/presentations/2021/investor-presentation-20210707.pdf>

図表 210 Sentinel-2 と FLOCK のスペクトル応答比較(青、緑、赤、赤外線)⁶⁴⁸



図表 211 Sentinel-2 と FLOCK のデータフュージョンワークフロー⁶⁴⁹



⁶⁴⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

⁶⁴⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

iii. MSCM (Multispectral Companion Mission)

- ESA の Incubed プログラム (Investing in Industrial Innovation : 革新的で商業的に実行可能な製品とサービスの開発に重点を置いた、官民パートナーシップの共同出資プログラム) における民間開発ミッション。
- ベルギーの Aerospacelab 社が構築する 2 つの衛星コンステレーションのうちの 1 つであり、Sentinel-2 のマルチスペクトル画像を小型のマルチスペクトル衛星で補完することでデータの価値を向上することを目的としたプログラム。
- ESA が主導する Incubed プログラムで、本ミッションのプロトタイプの開発、打上げ、実証に関する契約が締結されている。⁶⁵⁰
- Sentinel-2 のデータは、幅広いユースケースに対応できるものの、軌道周期的に同地点の再訪問期間が長いことが深刻なボトルネックとなっていた。特に農業においては、5 日後に再訪問できたとしても天候の関係で、数週間データが得られない可能性もある。MSCM は比較可能なマルチスペクトルの高品質データを提供し、その空白の期間を埋めるのが目的の一つである。

⁶⁵⁰ <https://incubed.phi.esa.int/incubed-co-funds-belgian-aerospacelab-to-develop-multispectral-companion-mission/>

図表 212 MSCM(Multispectral Companion Mission)⁶⁵¹

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：Sentinel2(A/B) 2機 サイズ⁶⁵²： 寸法：3.0 m × 1.7 m × 2.2 m 重量：1100 kg 軌道情報⁶⁵³： 軌道：太陽同期軌道 高度：786 km 軌道傾斜角：98.5度 回帰日数：10日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：不明⁶⁵⁴ (Authur：プロトタイプ) サイズ⁶⁵⁵： 寸法：0.2 m × 0.2 m × 0.3 m(12U) 重量：20kg 軌道情報⁶⁵⁶： 軌道：太陽同期軌道 高度：550 km 軌道傾斜角：97.6度 回帰日数：不明
	センサ仕様	<p>【光学衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：13⁶⁵⁷ 10mの空間分解能：4バンド 20mの空間分解能：6バンド 60mの空間分解能：3バンド 観測幅：290 km⁶⁵⁸ 空間分解能：10m/20m/60m⁶⁵⁹ 	<p>【光学衛星】⁶⁶⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：不明 観測幅：不明 空間分解能：不明
システムの目的		<ul style="list-style-type: none"> 陸域観測を主目的とした光学ミッション 植生、土地利用、農地状況等、陸域の詳細観測 	— (Sentinel-2との協調を前提としたミッション)
協調の目的 ⁶⁶¹		<ul style="list-style-type: none"> 小型のマルチスペクトル衛星のコンステレーションによって Copernicus EO データを補完し、課題として挙げられている空間分解能と再帰性(図表 7 参照)を向上し、セクター全体の効率を高め、地理空間情報を実用的かつ手頃な価格で提供することを目的とする。 	

⁶⁵¹ <https://incubed.phi.esa.int/portfolio/multispectral-companion-mission-iod-mscm/>

⁶⁵² <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

⁶⁵³ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

⁶⁵⁴ <https://www.newspace.im/constellations/aerospacelab>

⁶⁵⁵ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶⁵⁶ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶⁵⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

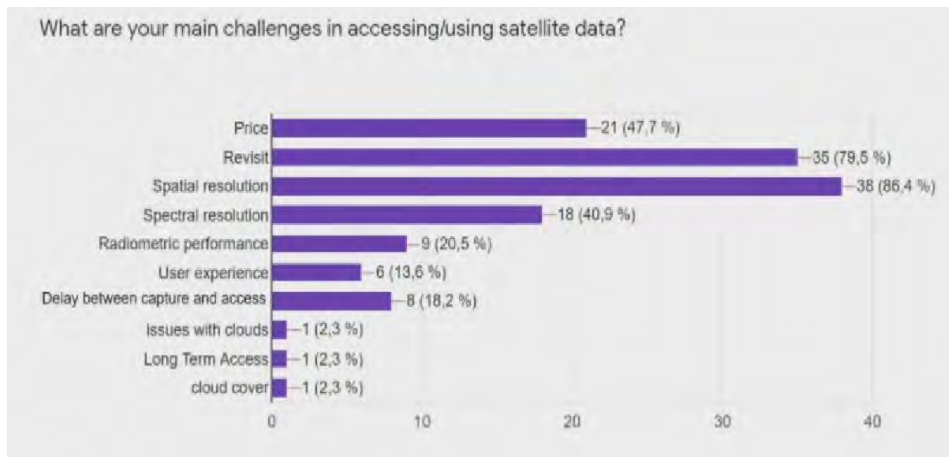
⁶⁵⁸ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

⁶⁵⁹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324342030903X>

⁶⁶⁰ <https://www.newspace.im/constellations/aerospacelab>

⁶⁶¹ <https://incubed.phi.esa.int/portfolio/multispectral-companion-mission-iod-mscm/>

図表 213 Sentinel-2 衛星データを利用するにあたっての課題⁶⁶²



⁶⁶² ESA Φ-Week2021 New Space enabling technologies セッション AerospaceLab 発表資料抜粋

iv. Sentinel-3 と FLEX

- ESA による第 8 次地球探査ミッションとして選定されたプログラム。
- FLuorescence EXplorer (FLEX) ミッションは、光合成活動や植物の健康状態やストレスを反映する植生蛍光の全球マップを提供する。この情報は、地球規模の炭素循環についての理解に寄与するだけでなく、農業経営や食料安全保障の観点からも重要である。
- FLEX に搭載された FLORIS (FluORescene Imaging Spectrometer) と名付けられたイメージング分光器にて 光合成時に植物が発する”植物蛍光”を観測するデータと、ほぼ同軌道の Sentinel-3 の OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) / SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) から得られた大気情報や蛍光信号の解釈に役立つ植生情報 (LAI、クロロフィル) のデータを組み合わせることで、植物の活動に関するより詳細な情報を得ることができるタンデムミッションである。
- FLEX は、太陽光反射でなく「蛍光」そのものに焦点が当てられた最初のミッションである。
- FLEX と Sentinel-3 は、スペクトル的な重なりもある(図表 10 参照)。更には Sentinel-3 の前を飛んでいる FLEX の刈幅は、Sentinel-3 の OLCI ・ SLSTR 両センサの刈幅と重なり、これらのデータを組み合わせることで様々な利用が可能になる。
- FLEX は光合成を観測する植物のミッションであるが、空間スケールで全体像を観測することができなかった。Sentinel-3 を用いることで、必要な大気情報だけでなく、蛍光信号の解釈に役立つ植生情報 (LAI、クロロフィル) の取得も併せて行うことができる。
- FLORIS、OLCI、SLSTR を組み合わせることで、Blue (青) から熱赤外線までのスペクトル測定 of 完全なセットが取得でき、レベル 2 の光合成速度と植生ストレス条件に関するデータが導き出される。
- レベル 3-4 のプロダクトは、空間モザイクと時間合成によって得られ、時間プロダクトとして光合成の活性化/不活性化および生育期間の長さを与える。データの時系列と補助情報のデータ同化によって、GPP(Gross Primary Productivity : 生物が一定の時間内に作り出す化学エネルギーの量)などのより高いレベルの製品も得られる。
- 全計測器のキャリブレーションは、OLCI の同等のバンドとのクロスキャリブレーションと、専用のオンボードキャリブレーションデバイスの両方に依存している。
- FLEX の打上げは今後であるが、将来のタンデム運用のシミュレート等を目的として、2018 年に FLEXSense2018 と PhotoProxy、2019 年に FLEXSense2019 キャンペーンを実施した。そのデータセットは 2024 年 1 月にリリースされている。⁶⁶³

⁶⁶³ <https://earth.esa.int/eogateway/news/new-flex-related-campaign-datasets-released>

図表 214 ESA Sentinel-3 と FLEX

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名： Sentinel-3A/3B(うち 1 機) サイズ⁶⁶⁴： <ul style="list-style-type: none"> 寸法： 2.17 m × 2.20 m × 3.90 m 重量： 1244 kg 軌道情報⁶⁶⁵： <ul style="list-style-type: none"> 軌道： 太陽同期軌道 高度： 814.5km 軌道傾斜角： 98.6° 回帰日数： 27 日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名： FLEX (Earth Explorer 8) ⁶⁶⁶ 1 機 サイズ⁶⁶⁷： <ul style="list-style-type: none"> 寸法： 1.5 m × 1.2 m × 1.2 m 重量： 約 460 kg 軌道情報⁶⁶⁸： <ul style="list-style-type: none"> 軌道： 太陽同期軌道 高度： 814km 軌道傾斜角： 98.64° 回帰日数： 27 日
	衛星アーキテクチャ	<p>【光学衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 組合せ対象センサ⁶⁶⁹ ・OLCI(Ocean and Land Color Imager) 中分解能イメージングスペクトロメータ⁶⁷⁰ <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数： 21 観測幅： 1270km 空間分解能： 300 m ・SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) 可視赤外イメージングマルチスペクトル放射計⁶⁷¹ <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数： 11 0.5km の空間分解能： 5 バンド 1.0km の空間分解能： 6 バンド 観測幅： 1400km 空間分解能： 500m/1000m ■ その他センサ ・SRAL (SAR Radar Altimeter) 2 周波 (C バンド、Ku バンド) 直下観測高度計 ・MWR(Micro-Wave Radiometer) マイクロ波放射計 	<p>【光学衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・FLORIS(FLuORescence Imaging Spectrometer) 蛍光イメージングスペクトロメータ⁶⁷² <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数： 9 観測幅： 150km 空間分解能： 300m <p>観測波長帯比較： 図表 215 参照</p>
	センサ仕様	<p>観測波長帯比較： 図表 215 参照</p>	<p>観測波長帯比較： 図表 215 参照</p>
	システムの目的	<ul style="list-style-type: none"> ・海面温度、地表面温度、海面高度の計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・植物と大気の間で炭素がどのように移動するか、また光合成が炭素と水の循環にどのように影響するかについての知識を与える ・蛍光イメージング分光計により、光合成の指標となる微弱な光を観測
	協調の目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 移動する雲の影響を軽減するため、お互いに 6 ～ 15 秒以内に補完的な測定を行う。⁶⁷³ 	

⁶⁶⁴ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶⁶⁵ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-3-a-3-b.html>

⁶⁶⁶ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/flex/description>

⁶⁶⁷ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/flex/description>

⁶⁶⁸ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/flex/description>

⁶⁶⁹ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/flex>

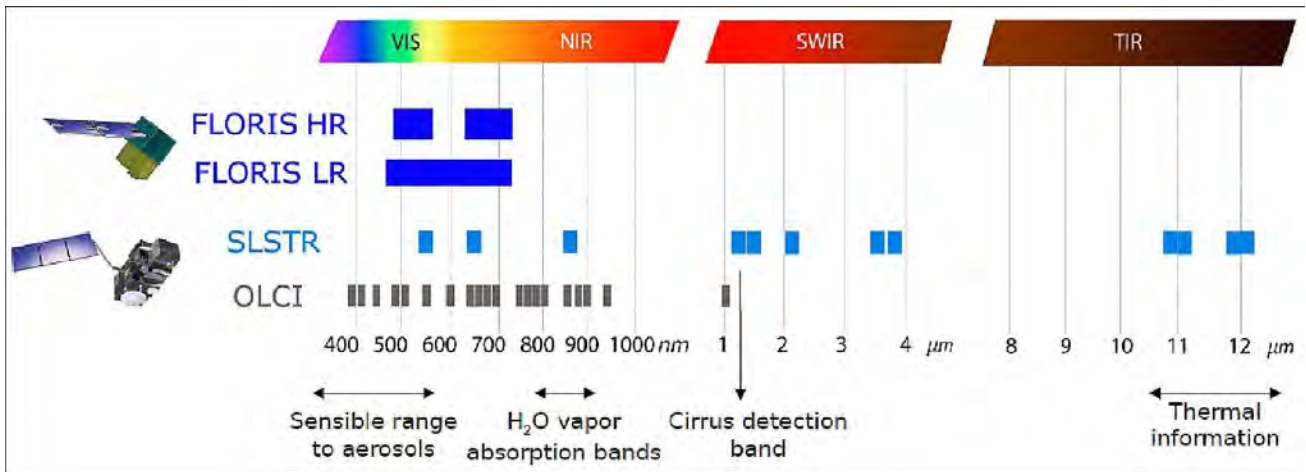
⁶⁷⁰ <https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/olci>

⁶⁷¹ <https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/slstr>

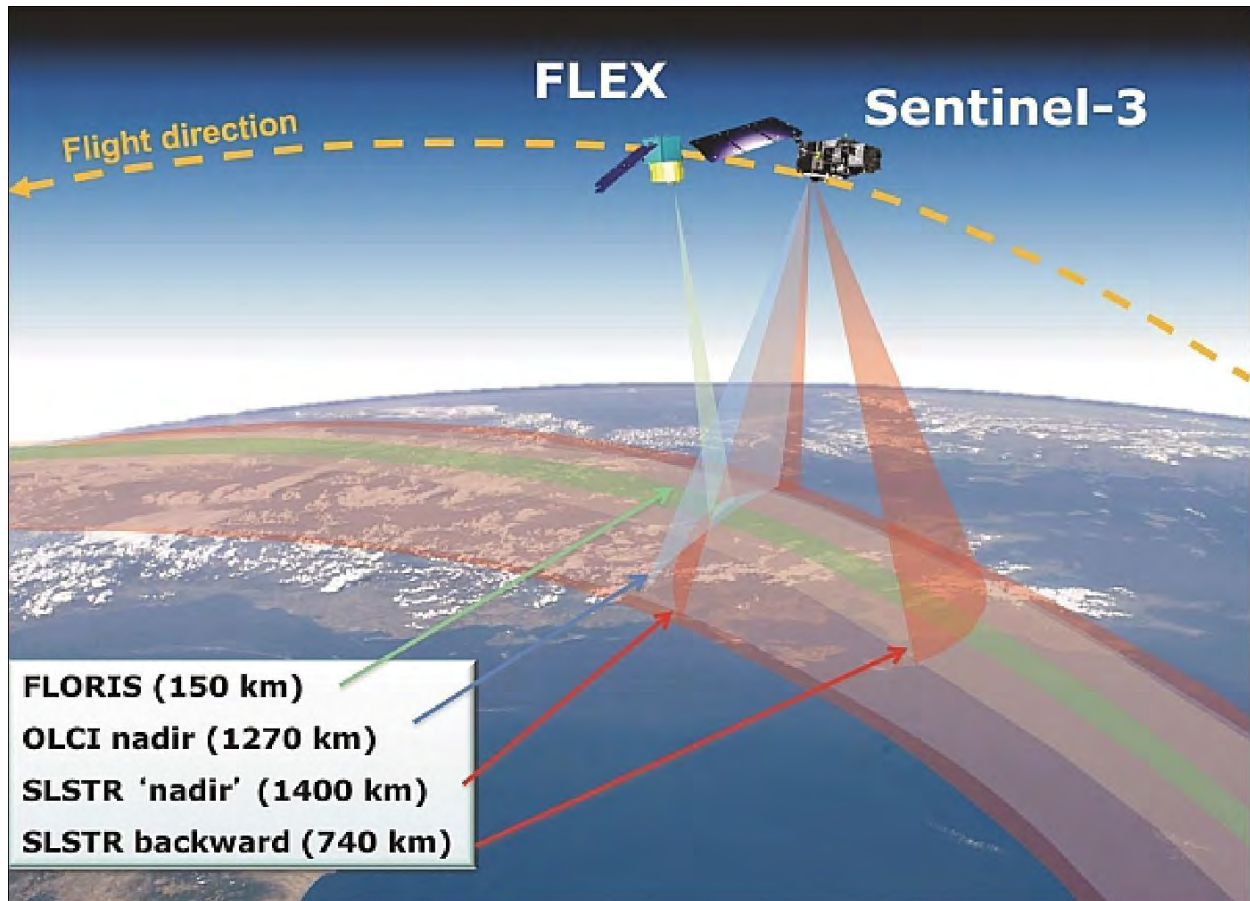
⁶⁷² <https://earth.esa.int/eogateway/missions/flex>

⁶⁷³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/flex#floris-fluorescence-imaging-spectrometer>

図表 215 FLEX(Earth Explorer 8)と Sentinel-3 のセンサ波長帯比較⁶⁷⁴



図表 216 FLEX(Earth Explorer 8) 衛星と Sentinel-3 との協調イメージ⁶⁷⁵



⁶⁷⁴ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/flex#tandem-mission-with-sentinel-3>

⁶⁷⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/flex#tandem-mission-with-sentinel-3>

v. CHORUS

- 2021年、カナダのMDAがWorld Satellite Business Weekにおいて発表した、次世代商業地球観測（EO）ミッションであり、民間企業（MDA・ICEYE）におけるSARコンステレーションの連携。C-bandSARを搭載したCHORUS CとX-bandSARを搭載したCHORUS Xとで構成され、CHORUS CはMDA社がRADARSATを踏まえ開発し、CHORUS XはICEYE社が第3世代ICEYE-Xを基に開発する。
- CHORUS Cによる低解像度データをリアルタイムで地上局へダウンリンクし、AI/MLにより分析され、関心のあるオブジェクトを特定し、CHORUS Xに対象物の座標をアップリンクし、高解像度の撮像を実施する。
- Tip & Cueの技術に加え、機械学習と人工知能を活用したNear-Real-Timeでのデータ活用を利用してプロダクトを提供する。
- サービスの提供先には、安全保障分野（船舶検知）や農業、環境保護、災害対策などが想定されている。
- 2025年第4四半期にSpaceX社のFarcon-9で打上げを予定している。⁶⁷⁶

図表 217 CHORUS

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様 ⁶⁷⁷	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：不明 サイズ：2,200kg 軌道情報： <ul style="list-style-type: none"> 軌道：非太陽同期軌道 高度：約600km 軌道傾斜角：53.5° 回帰日数：9.85日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：不明 サイズ：115kg 軌道情報： <ul style="list-style-type: none"> 軌道：非太陽同期軌道 高度：約600km 軌道傾斜角：53.5° 回帰日数：9.85日
	センサ仕様 ⁶⁷⁸	<p>【SAR衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測波長帯：Cバンド 観測幅：最大700km 空間分解能：不明 	<p>【SAR衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測波長帯：Xバンド 観測幅：最大100km 空間分解能：最大0.25m
システムの目的		・不明	・不明
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> 高解像度かつ準リアルタイムのデータ収集を行う。 CHORUSは、船舶検知専用の撮像モードがあり、世界の排他的経済水域（EEZ）の40%に相当する5500万平方キロメートル以上のエリアを毎日観測することが可能となる。 	

⁶⁷⁶ <https://www.satellitetoday.com/launch/2023/10/25/mda-selects-spacex-for-chorus-constellation-launch/>

⁶⁷⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/chorus#h.yarrs7f6mp1v>

⁶⁷⁸ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/chorus#h.yarrs7f6mp1v>

vi. AOS (Atmosphere Observing System)

- NASAのプログラムであり、当初はACCP(Aerosol and Cloud, Convection and Precipitation)というプログラム名でエアロゾル、雲、対流、降水の指定観測システムの科学目標と、科学目標を達成するための観測システムのアプローチとアーキテクチャを明確にすることを目的とした研究であった。2021年からAOSに改称された。
- AOSでは、極軌道を走行するAOS-SkyとHAWCsatと傾斜軌道(傾斜角 55°)を走行するAOS-StormとPMMの4つの衛星が連携してこれらのデータを提供する。AOS-StormとPMMは2029年の打上げを、AOS-SkyとHAWCsatは2031年の打上げを予定している。
- このうち、PMMはJAXAが主導しCNESと組んで開発する衛星であり、傾斜軌道内で唯一のレーダーをJAXAが担当する。
- 4つの衛星を通じて時空間的に同時観測を実施し、取得したデータを基に気象予測及び気候予測を改善するとともに、数時間から数十年におけるタイムスケールでの政策決定に資する。
- 現時点では衛星に関する情報が少なく、小型衛星と中型・大型衛星との連携かどうかは不明。

図表 218 AOS

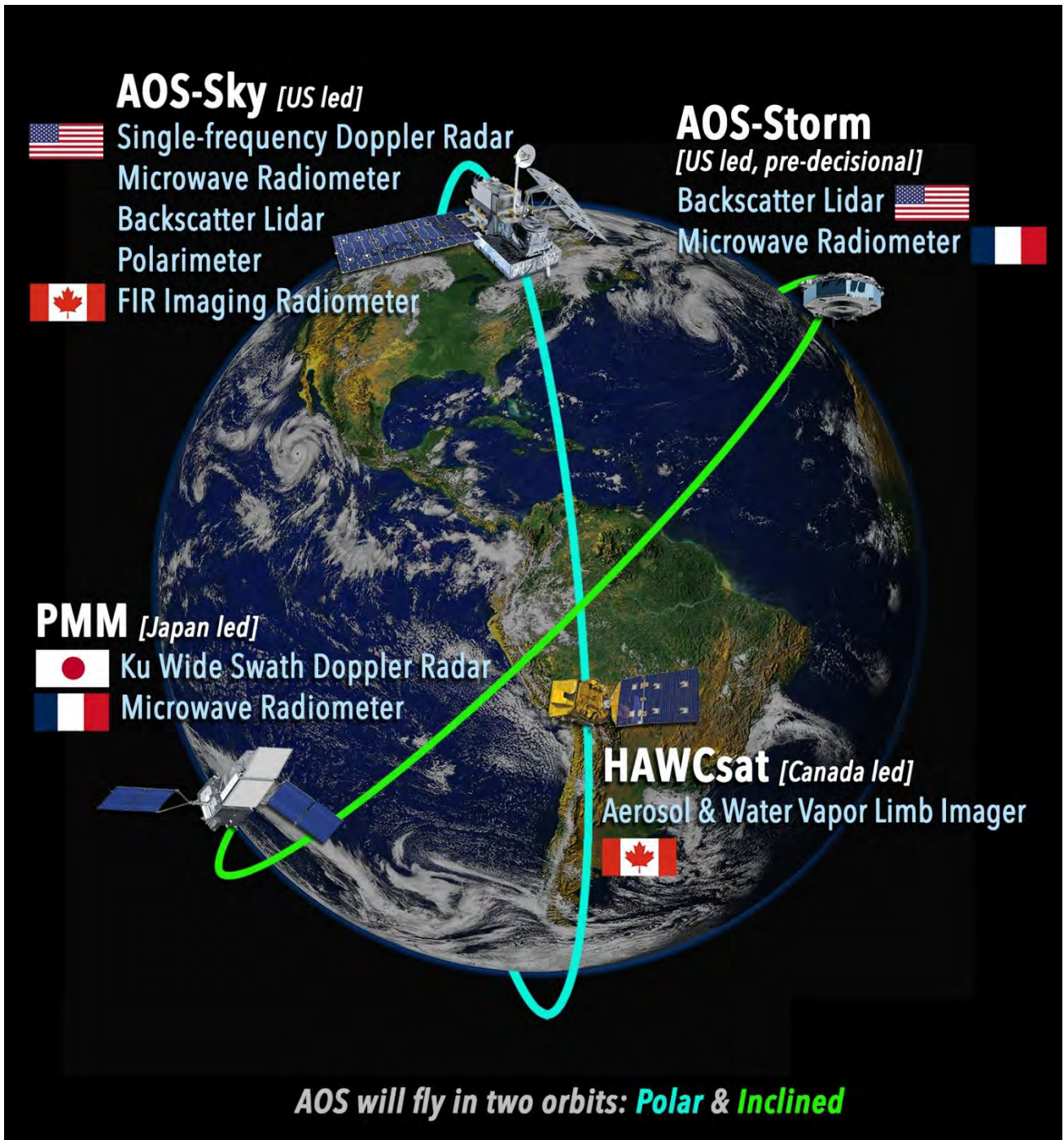
項目		衛星			
衛星 アーキ テクチャ	衛星 バス 仕様 679	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：AOS-Sky サイズ：不明 軌道情報： 軌道：太陽同期極軌道 高度：不明 軌道傾斜角：97° 回帰日数：不明 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：HAWCsat サイズ：不明 軌道情報： 軌道：太陽同期極軌道 高度：不明 軌道傾斜角：97° 回帰日数：不明 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：AOS-Storm サイズ：不明 軌道情報： 軌道：傾斜軌道 高度：不明 軌道傾斜角：55° 回帰日数：不明 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：PMM サイズ：2,700kg 軌道情報： 軌道：傾斜軌道 高度：407km 軌道傾斜角：55° 回帰日数不明
	センサ 仕様 680	<ul style="list-style-type: none"> 【NASA】 ・単一周波数ドップラーレーダー ・マイクロ波放射計 ・後方散乱ライダー ・マルチアングル偏光計 【CSA】 ・遠赤外線イメージング放射計 	<ul style="list-style-type: none"> 【CSA】 ・エアロゾルリモイメージャ ・水蒸気リモイメージャ 	<ul style="list-style-type: none"> 【NASA】 ・マイクロ波放射計 【CNES】 ・後方散乱ライダー 	<ul style="list-style-type: none"> 【JAXA】 ・Ku帯ドップラー降水レーダー 【CNES】 ・マイクロ波放射計
システムの目的 681		<ul style="list-style-type: none"> ・エアロゾル、雲、降水の相互作用 ・嵐のダイナミクス ・エネルギーと水循環の研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・火山噴火、山火事、豪雨などの災害の異常気象予測 ・気候モデリング、監視 	<ul style="list-style-type: none"> ・PMMと連動したエアロゾル、薄氷雲のプロファイル 	<ul style="list-style-type: none"> ・降水量観測 ・対流鉛直大気運動の推定 ・AOS-Stormと連動した氷の生成と鉛直質量フラックスに関する時間変化率情報
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> • 世界で初めてエアロゾル、雲、降水、大気鉛直流及び放射を統合的に、かつ時間空間的に同時観測を実施。 • 雲解像スケールにおけるプロセスの不確定性を低減し、気象予測及び気候予測を改善。 • 傾斜軌道と極軌道に投入する衛星コンステレーションにより、数時間～数十年におけるタイムスケールでの政策決定に資する 			

⁶⁷⁹ https://www.mext.go.jp/kaigisiryoyou/content/20230724-mxt_uchukai01-000031073_1.pdf

⁶⁸⁰ <https://aos.gsfc.nasa.gov/spaceborne.htm>

⁶⁸¹ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/aos_sky

図表 219 AOS イメージ⁶⁸²



⁶⁸² <https://aos.gsfc.nasa.gov/spaceborne.htm>

vii. Sentinel-5(METOP-SG)と Tango

- ESA の Copernicus Sentinel mission を補完する FutureEO プログラムの新しい構成要素として Scout ミッションがある。このミッションの 1 つに、オランダの SRON などが Tango を提案⁶⁸³、2024 年 2 月に開発許可なされた。⁶⁸⁴
- TANGO(Twin Anthropogenic Greenhouse Gas Observers)ミッションにより、Sentinel-5(P) や CO2M などの Copernicus ミッションを補完し、パリ協定とグローバルストック把握の検証を行う。産業界や政策立案者は、電力やエネルギーなどの主要セクターにおいて、世界の排出量の 40%を占める発生源の CH₄、CO₂、NO₂ の 3 つの GHG を測定・監視し、緩和戦略の有効性を評価することができるようになる。
- Tango は 25kg の小型衛星 2 機がタンデムで軌道上を周回する。それぞれ一つの分光計を搭載し、初号機は太陽スペクトルの短波長赤外線分光放射を測定し、CH₄ と CO₂ の輩出を観測、二号機は可視スペクトル領域による NO₂ 観測を行う。また、MetOp-SG に搭載される 8 種の観測機器のうちの一つである Sentinel-5 (機器名称：UVNS) と共同観測を行う事で、Tango に搭載される分光計の放射精度を高めると共に、将来的な小型衛星の大規模コンステレーションによる分散型監視システムの実証を行う。⁶⁸⁵

⁶⁸³ <https://www.sron.nl/missions-earth/tango>

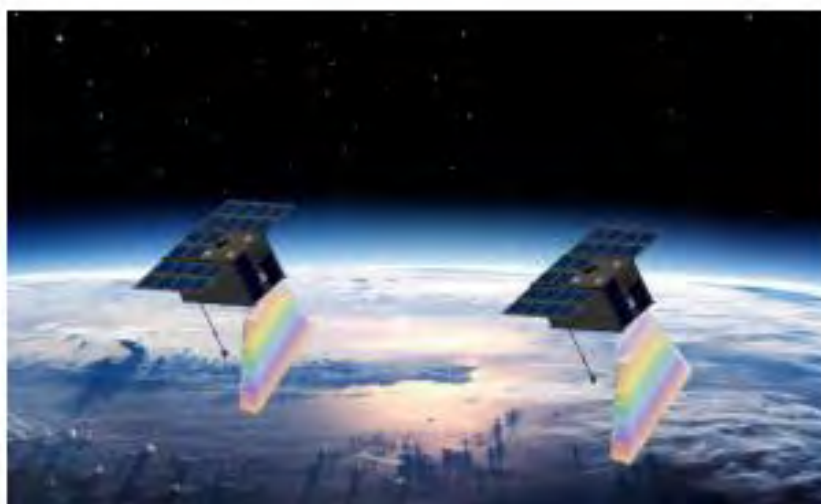
⁶⁸⁴ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/NanoMagSat_and_Tango_Scout_missions_get_go-ahead

⁶⁸⁵ <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020EGUGA..2219643L/abstract>

図表 220 Sentinel-5(MetOp-SG)と Tango

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名 : MetOp-SG サイズ⁶⁸⁶ : 寸法 : 不明 重量 : 4400 kg 軌道情報⁶⁸⁷ : 軌道 : 太陽同期軌道 高度 : 817km 軌道傾斜角 : 98.5° 回帰日数 : 29 日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名 : Tango(2 機) サイズ⁶⁸⁸ : 寸法 : 0.2 m × 0.2 m × 0.4 m (16U) 重量 : 25 kg 軌道情報 : 軌道 : 不明 高度 : 不明 軌道傾斜角 : 不明 回帰日数 : 不明
	センサ仕様	<ul style="list-style-type: none"> 【光学衛星】⁶⁸⁹ Sentinel-5 UVNS 観測バンド数 : 7 観測幅 : 2715 km 空間分解能 : 7 km/28km 	<ul style="list-style-type: none"> 【光学衛星】⁶⁹⁰ Spectrolite 観測バンド数 : 不明 観測幅 : 不明 空間分解能 : 0.3km
システムの目的		<ul style="list-style-type: none"> 対流圏の大気化学と気候アプリケーションのため、大気混合および大気質を監視する オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素、メタン、ホルムアルデヒド、エアロゾル特性を正確に測定する。⁶⁹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> CH4 (≥ 10 kt/yr)と CO2 (≥ 5 Mt/yr)の中～強程度の排出を、個々の産業施設 (300m×300m) を監視できるほど小さな空間分解能で、単一の観測に基づいて排出を決定できる精度で測定・監視する。
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> 人為的 (人工) 温室効果ガスの主要な排出源を世界規模で独立的に監視する。 	

図表 221 Tango 運用シナリオイメージ⁶⁹²



⁶⁸⁶ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁶⁸⁷ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-5-metop-sg-a.html>

⁶⁸⁸ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

⁶⁸⁹ https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/sentinel_5

⁶⁹⁰ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

⁶⁹¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-5-metop-sg-a.html>

⁶⁹² <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

viii. MANTIS (Mission and Agile Nanosatellite for Terrestrial Imagery Services)

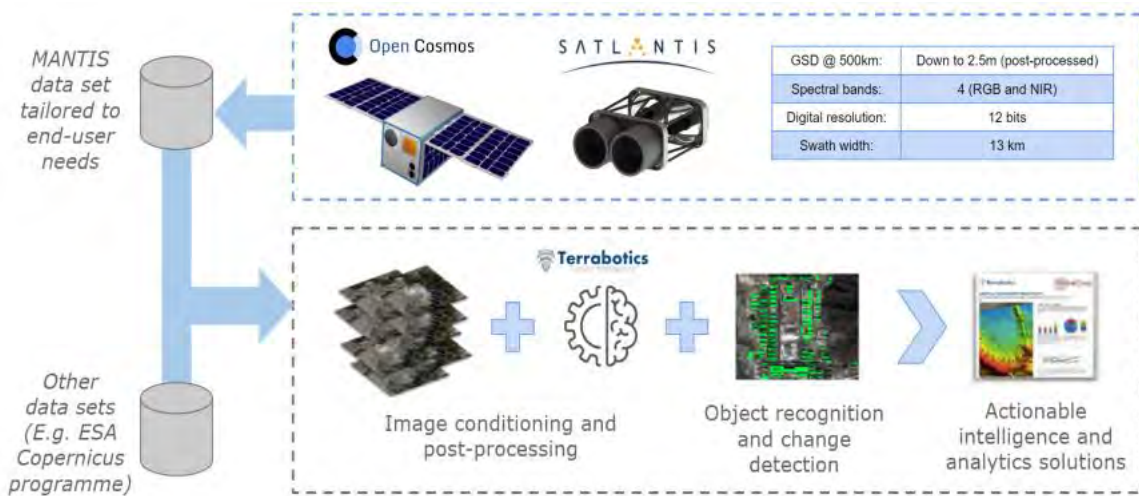
- MANTIS プログラムは、ESA InCubed プログラムへの英国宇宙局の出資により、3社の宇宙企業が協業して行われる。英国の Open Cosmos 社が、新世代の 12U プラットフォームをベースにしたミッション設計、製造、試験、打ち上げ、運用を提供し、スペインの Satlantis 社が高空間分解能カメラを製造し、英国の Terrabotics 社がエネルギーと鉱業の顧客のニーズを満たすための新しいデータ分析を提供する。⁶⁹³2023年11月に Falcon-9 で打ち上げられた。
- MANTIS 衛星は、EC/ESA Copernicus プログラムなどのデータセットに最新のデータ処理と機械学習技術を加えて計算された、対象地域の活動に関する定期的な統計レポートの算出に利用される。全体像は下図表に示す。
- MANTIS は特定の中型・大型衛星と連携するのではなく、既に提供済みの中解像度の Copernicus データとフュージョンを行う。
- MANTIS 初号機は、特にエネルギーや鉱業分野での応用に適している。コンパクトで機敏な超小型衛星 (12U CubeSat システム) を使って、天然資源分野におけるリモートセンシングのニーズ (データの品質、観測範囲、観測時間に対する市場要求) に対応する。
- 搭載される iSIM-12U センサには、「可視・近赤外域の2眼回折限界光学系」、「高精度で堅牢かつ軽量の構造」、「2次元 CMOS センサによる革新的な COTS 検出器」、「超解像アルゴリズムを搭載した高性能かつ再構成可能な処理ユニット」という4つのキーテクノロジーが統合されている。

⁶⁹³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/mantis#eop-quick-facts-section>

図表 222 MANTIS (Mission and Agile Nanosatellite for Terrestrial Imagery Services)

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	※特定の衛星データとの組合せではなく、Copernicus programme などにて提供されている各種データセットに最新のデータ処理と機械学習技術を加えて計算された新たな統計レポートを算出する。	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：MANTIS 衛星 サイズ⁶⁹⁴： <ul style="list-style-type: none"> 寸法：0.2 m × 0.2 m × 0.3 m (12U) 重量：不明 軌道情報： <ul style="list-style-type: none"> 軌道：不明 高度：不明 軌道傾斜角：不明 回帰日数：不明
	センサ仕様		【光学衛星】 ⁶⁹⁵ 2D CMOS センサ <ul style="list-style-type: none"> 観測バンド数：不明 観測幅：13km 空間分解能：2.5m
システムの目的			<ul style="list-style-type: none"> 特定の関心領域に対して最適化された再訪問パターンで、MANTIS データ処理アルゴリズムに供給する画像を取得する。
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> コペルニクスプログラムから既に利用可能な低解像度データを、MANTIS 衛星で取得した高解像度データにて補完する。 	

図表 223 MANTIS 全体インフラ⁶⁹⁶



⁶⁹⁴ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

⁶⁹⁵ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

⁶⁹⁶ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4729&context=smallsat>

ix. AWS (Arctic Weather Satellite)

- 北極圏の天気予報を迅速に更新するために、衛星データをより頻繁に受信する必要があるというニーズから立ち上がった北極圏気象衛星ミッション。
- 北極圏における超短距離天気予報（ナウキャスト）を可能とするためのプロトタイプの超小型衛星であり、MetOp や MetOp SG などの既存の北極観測衛星と併せて、北極地域の正確で短期的な天気予報を提供することを目的とする。将来的には、地球上のあらゆる場所からほぼ一定の温度と湿度のデータを提供する衛星コンステレーションを構築予定。3つの軌道面と各軌道面に2つの衛星で構成する予定。2024年6月に Falcon-9 での打上げを予定する。⁶⁹⁷⁶⁹⁸
- 19チャンネルのクロストラック走査型マイクロ波放射計を搭載し、あらゆる気象条件下で大気の高解像度湿度・温度観測を行う。
- ESA がスウェーデン OHB 社とプロトタイプ衛星の製造契約を締結。OHB スウェーデンが産業コンソーシアムを率い、マイクロ波放射計の主契約者としてオムニシススウェーデン、地上セグメントの主契約者としてタレス・アレーニアスペースが参加している。産業チームには、ESA 加盟国 12 カ国の中小企業 14 社を含む 31 社が参加している。

⁶⁹⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/aws#overview>

⁶⁹⁸ https://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=986&utm_source=eoportal&utm_content=aws

図表 224 AWS(Arctic Weather Satellite)⁶⁹⁹

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：MetOp-SG サイズ⁷⁰⁰： <ul style="list-style-type: none"> 寸法：不明 重量：4400 kg 軌道情報⁷⁰¹： <ul style="list-style-type: none"> 軌道：太陽同期軌道 高度：817km 軌道傾斜角：98.5° 回帰日数：29 日 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星名：AWS 衛星 サイズ⁷⁰²： <ul style="list-style-type: none"> 寸法：1.05 m × 0.68 m × 0.80 m 重量：120 kg 軌道情報⁷⁰³： <ul style="list-style-type: none"> 軌道：太陽同期軌道 高度：～600km 軌道傾斜角：不明 回帰日数：不明
	センサ仕様	<ul style="list-style-type: none"> 【光学衛星】⁷⁰⁴ Sentinel-5 UVNS 観測バンド数：7 観測幅：2715 km 空間分解能：7 km/28km 	<ul style="list-style-type: none"> 【光学衛星】⁷⁰⁵ Cross track scanning microwave radiometer 観測バンド数：19 観測幅：10km/20km/40km 空間分解能：不明
システムの目的		<ul style="list-style-type: none"> 対流圏の大気化学と気候アプリケーションのため、大気混合および大気質を監視する オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素、メタン、ホルムアルデヒド、エアロゾル特性を正確に測定する。⁷⁰⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> 気象条件に関わらず、高分解能で大気の温度と気温をサウンディングする。 高頻度で地球を観測することで、北極圏の短期気象予報や数値気象予測を改善することを目的とする
協調の目的		AWS ミッションで MetOp、MetOpSG と米国 NOAA が連携する極衛星システムを補完する (MetOp 衛星は、地球全体をカバーするのに最大 24 時間を要する)	

図表 225 AWS 衛星コンステレーションイメージ⁷⁰⁷



⁶⁹⁹ <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/213/>

⁷⁰⁰ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁷⁰¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-5-metop-sg-a.html>

⁷⁰² <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?filename=0&article=5087&context=smallsat&type=additional>

⁷⁰³ <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/213/>

⁷⁰⁴ https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/sentinel_5

⁷⁰⁵ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?filename=0&article=5087&context=smallsat&type=additional>

⁷⁰⁶ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-5-metop-sg-a.html>

⁷⁰⁷ <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/213/>

x. ESA Harmony(Sentinel-1 と Harmony 衛星)

- ESA の Sentinel-1 と 2 台の Harmony 衛星が隊列を組んで飛行し、Sentinel-1 からの C-band の反射波を Harmony 衛星が搭載する受信専用の SAR を通じてデータを取得する。また、Harmony にはマルチビュー熱赤外機器も搭載する。⁷⁰⁸
- 風、波、潮流を同時に測定することにより、大気と海洋表面の相互作用の理解を深めるためのデータを提供する最初のミッションとなる。
- 2029 年の打上げを予定している。

図表 226 ESA Harmony

項目		大型/中型衛星	小型/超小型衛星
衛星アーキテクチャ	衛星バス仕様	<ul style="list-style-type: none"> •衛星名：Sentinel-1 •サイズ⁷⁰⁹： 寸法：1.20 m × 1.30 m × 3.40 m 重量：2157 kg •軌道情報⁷¹⁰： 軌道：太陽同期準回帰ドーナズク軌道 高度：693km 軌道傾斜角：98.19° 回帰日数：12 日 	<ul style="list-style-type: none"> •衛星名：Harmony •サイズ： 寸法：不明 重量：不明 •軌道情報： 軌道：不明 高度：不明 軌道傾斜角：不明 回帰日数：不明
	センサ仕様	<ul style="list-style-type: none"> 【SAR 衛星】⁷¹¹ • 観測波長帯：C バンド • 観測幅：80km-400km • 空間分解能：4m-80m 	<ul style="list-style-type: none"> 【SAR 衛星】 • 観測波長帯：C バンド(受信専用) • 観測幅：不明 • 空間分解能：不明 <p>各衛星には、マルチビュー熱赤外放射計が搭載されており、雲の動きを高さ方向に分解して測定できる。雲がない場合、マルチビュー熱赤外線装置は海面温度差を測定。</p>
システムの目的		－(Harmony 衛星は協調を前提とした衛星群)	
協調の目的		<ul style="list-style-type: none"> • 2 機の Harmony 衛星が Copernicus Sentinel-1 衛星と連携し、海、氷、陸の活動に関する重要な科学的課題に取り組む • Sentinel-1 から約 350km 離れた場所に Harmony 衛星を前後に配置すること、Sentinel-1 から 350km 離れた場所に Harmony 衛星をお互いに近づけて（約 200～500m）飛行するパターンがある。ハーモニーの各衛星には、受信専用の合成開口レーダー（SAR）が搭載されており、Sentinel-1 が地球に向けて送信した反射信号を取得する（図表 1） • Harmony と Sentinel-1 を組み合わせることで得られる角度の多様性により、これまでにない精度で海や地表の変形測定値を取得できる 	

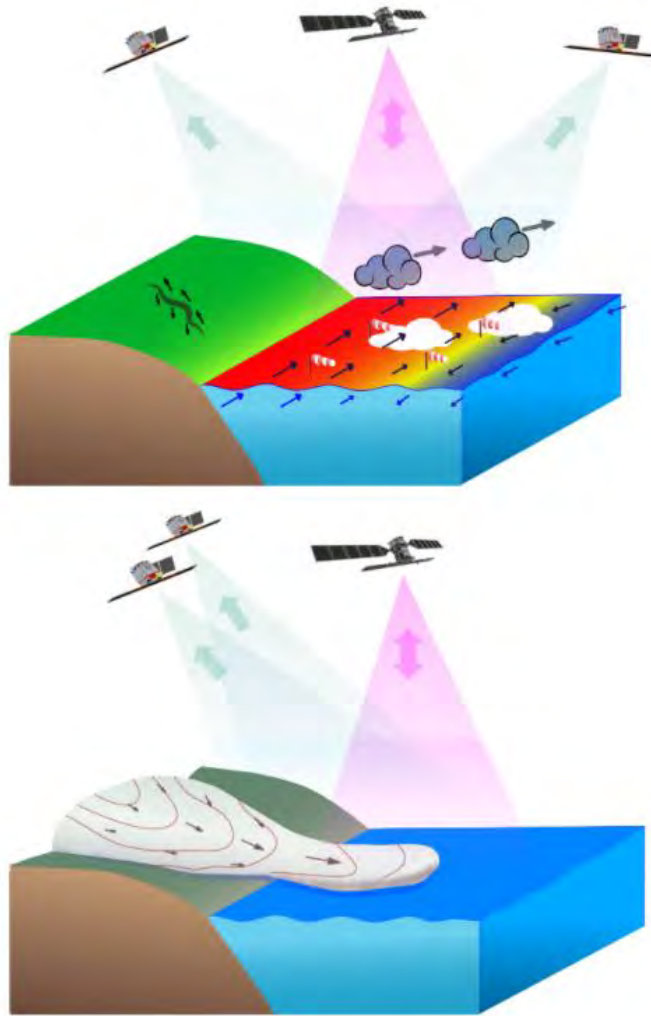
⁷⁰⁸ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Preparing_for_tomorrow/ESA_moves_forward_with_Harmony

⁷⁰⁹ Seradata 社 SpaceTrack データより

⁷¹⁰ <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-1-a-1-b.html>

⁷¹¹ https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/sar_c_sentinel_1

図表 227 Harmony と Sentinel-1 の連携イメージ⁷¹²



⁷¹² <https://comet.nerc.ac.uk/harmony-mission-candidate-for-the-earth-explorer-10/>

D) 衛星開発の傾向

- 上記組合せ事例において、官：大型/中型衛星開発、民：小型/超小型衛星開発という形でシナジーを生む連携ミッションが 5 例確認された。各々のステータス及び連携ミッションにおける基本的なフローを以下の通り定義する。

◇ ①衛星開発：

軌道投入が完了し、ユーザからのデータ取得要求を受け付けられる状態を”済”とする。

◇ ②アルゴリズム開発：

①で取得したデータ同士を組み合わせる方式の確立とその評価が完了した状態を”済”とする。

◇ ③プロダクト公開：

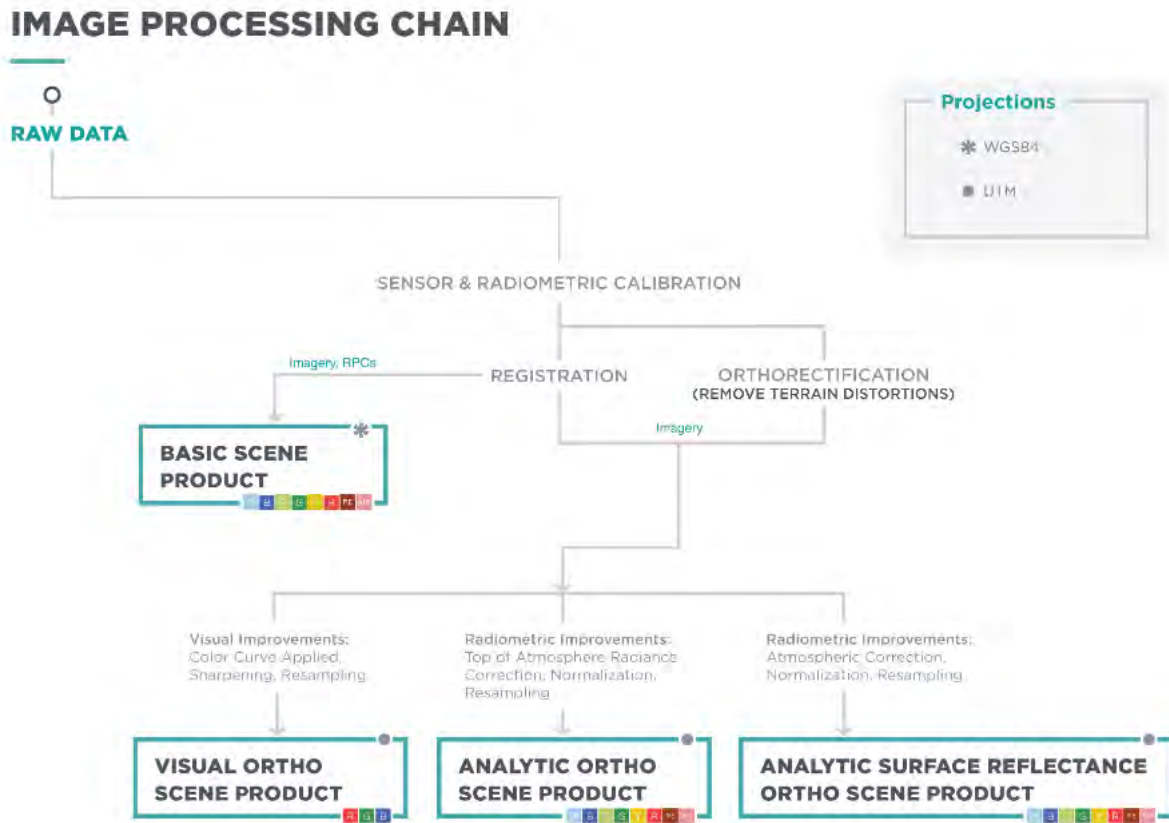
②完了後、マーケット向けにプロダクトが公開された状態を”済”とする。(有償/無償は問わない。)

図表 228 官民連携型ミッション一覧

LN	システム名/プログラム名/組合せ	①衛星開発	②アルゴリズム開発	③プロダクト公開	備考
1	CESTEM	済	済	済	Planet 社公開の画像処理プロセスより運用されていると推定
2	Sentinel-2 と FLOCK	済	済	未	プロダクト提供情報なし
3	MSCM	未	未	未	Aerospacelab 社の小型衛星が開発段階であり、コンステレーションは未構築
4	CHORUS	未	未	未	衛星の詳細情報や、具体的なデータフュージョンに関する情報なし
5	MANTIS	未	未	未	小型衛星コンステレーションが未構築

- 前述の図表より、③まで実施されている、すなわち連携ミッションのうち実際の利活用が行われているのは、CESTEM(LANDSAT-8 と FLOCK の組合せ)のみである。
- Planet 社が公開しているデータの処理フローを下図に示す。提供されているデータのうち、Surface Reflectance Basemaps については、LANDSAT および Sentinel-2 のデータを用いた正規化が行われていることが示されており、このうち LANDSAT データとの正規化については、空間およびラジオメトリックの一貫性を向上させることが目的とされていることから、CESTEM システムを適用していると考えられる。
- なお、Sentinel-2 のデータ利活用として挙げた LAI 推定値については、Planet 社で公開しているデータを用いて実施することが可能であると考えられるが、Planet 社では LAI データ提供は行っていない。

図表 229 画像処理プロセス⁷¹³



図表 230 画像製品概要⁷¹⁴

Source Imagery	Download (GeoTIFF) Bands	Streaming (WMTS) Bands	Monitoring Frequency	Zoom Level	Normalization
PlanetScope analytic_sr assets	BGRN	RBG, NRG	Quarterly, monthly, biweekly, weekly	15, 16	Landsat, Sentinel-2, none (non-normalized)

⁷¹³ <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/>

⁷¹⁴ <https://developers.planet.com/docs/data/sr-basemaps/>

E) 官民連携ミッションにおける官の役割

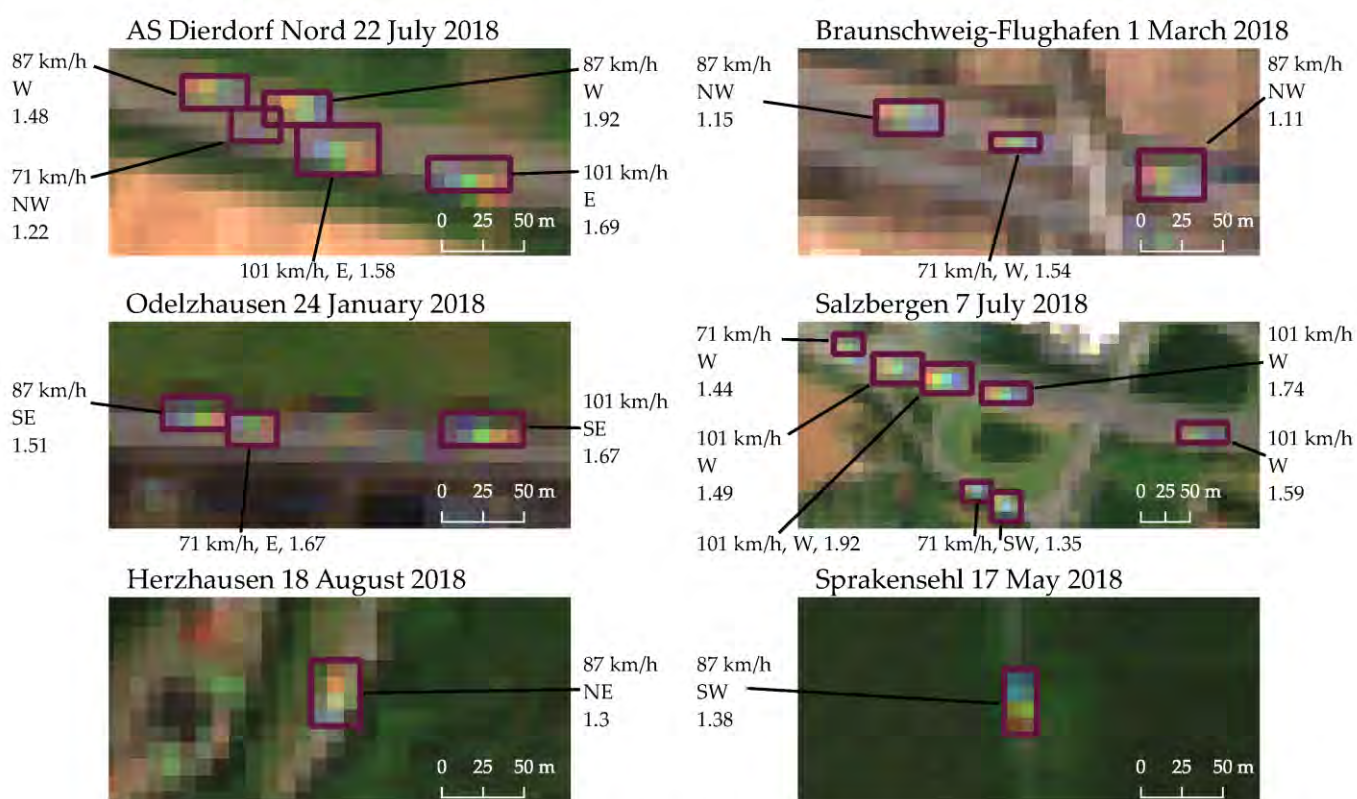
- 上記の通り、大型・小型衛星による連携ミッションは官民・官官のいずれのケースも存在する。また、官：大型/中型衛星開発、民：小型/超小型衛星開発の組合せは全体 10 例のうちの 5 例であり、組合せデータをプロダクトとして公開するに至っているのはうち 1 例である。
- 民間スタートアップ等では大型/中型衛星の開発は難しく、大型/中型衛星側のミッションをコントロールすることができない。その結果、連携ミッションについても大型衛星の開発方針による部分が多く、官主導となる傾向がある。従って官民連携ミッションの成功には、官側が民間で実施する小型ミッションを念頭に置いたミッション計画を行う必要がある。
- また、特に日本では、中型・大型衛星の打上げ予定機数が他国に比べ劣後していることから、民間を中心とした小型衛星との官民連携ミッションを構築し、機数の少なさをカバーし、解像度・頻度における性能補完やセンサフュージョンによる解析向上を行うことで、衛星による提供サービスの質を向上することが考えられる。

2) 検知アルゴリズム

A) 基本的な考え方

- 近年ダウンストリームサイドで AI を用いたセンサフュージョンなどイノベーションが生じていることは前述したが、その中の取組の一つに低解像度の画像でもそれ以上に細かいものを検出するアルゴリズムが開発されている。
- 下図表は空間解像度 10m程度の Sentinel-2 から判別できるはずのないトラックを、アルゴリズムを用いて抽出した事例である。日本の地理的及び環境的なリスクの低減のためには、検知技術は必須であり、10~20 年後であっても最適なタイミングで望んでいる解像度が入手できるとは限らないため、本技術の調査は有用なものと考えられる。

図表 231 Sentinel-2 画像からのトラック検出事例



Annotations: Speed, heading (N=North, E=East, S=South, W=West), detection score
Data: Sentinel-2 L2A | Stretch: 0-0.2 | CRS: WGS 84 / UTM

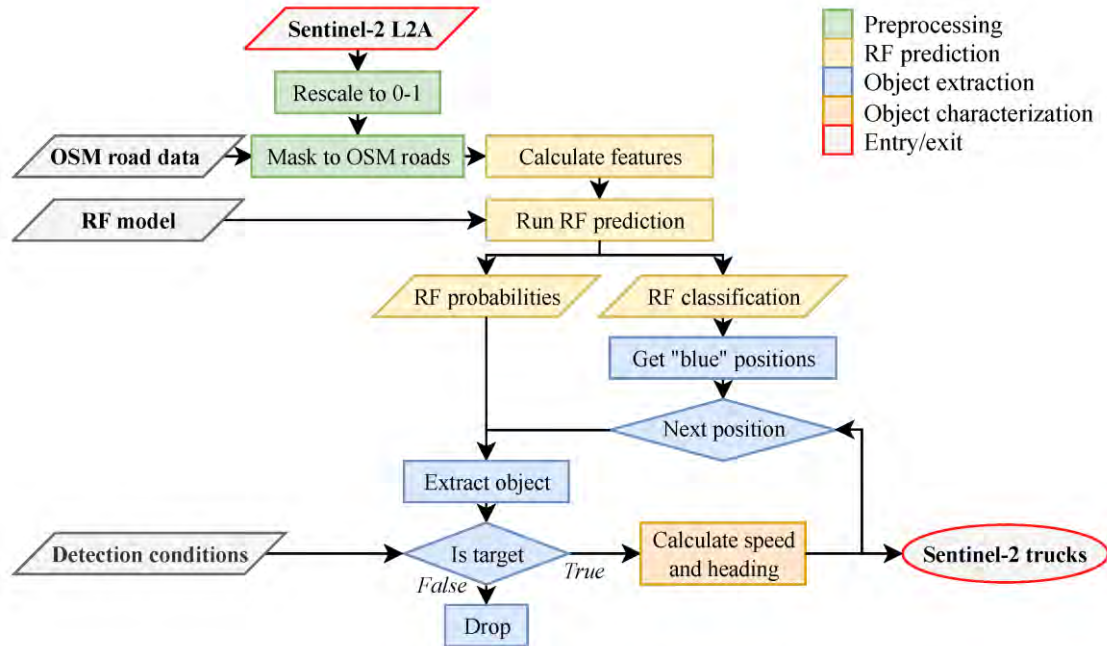
出所) H. Fisser, et al 「Detecting Moving Trucks on Roads Using Sentinel-2 Data」 2022

- ここでは Sentinel-2 画像による 2 つの取組 (車体検出・海洋プラスチック) を紹介する。高解像度画像を用いればもっと細かいものの検知が近年可能となっているが、ここでは特に定期的にはほぼ全球を把握できる Sentinel-2 画像を題材としてもものにフォーカスする。

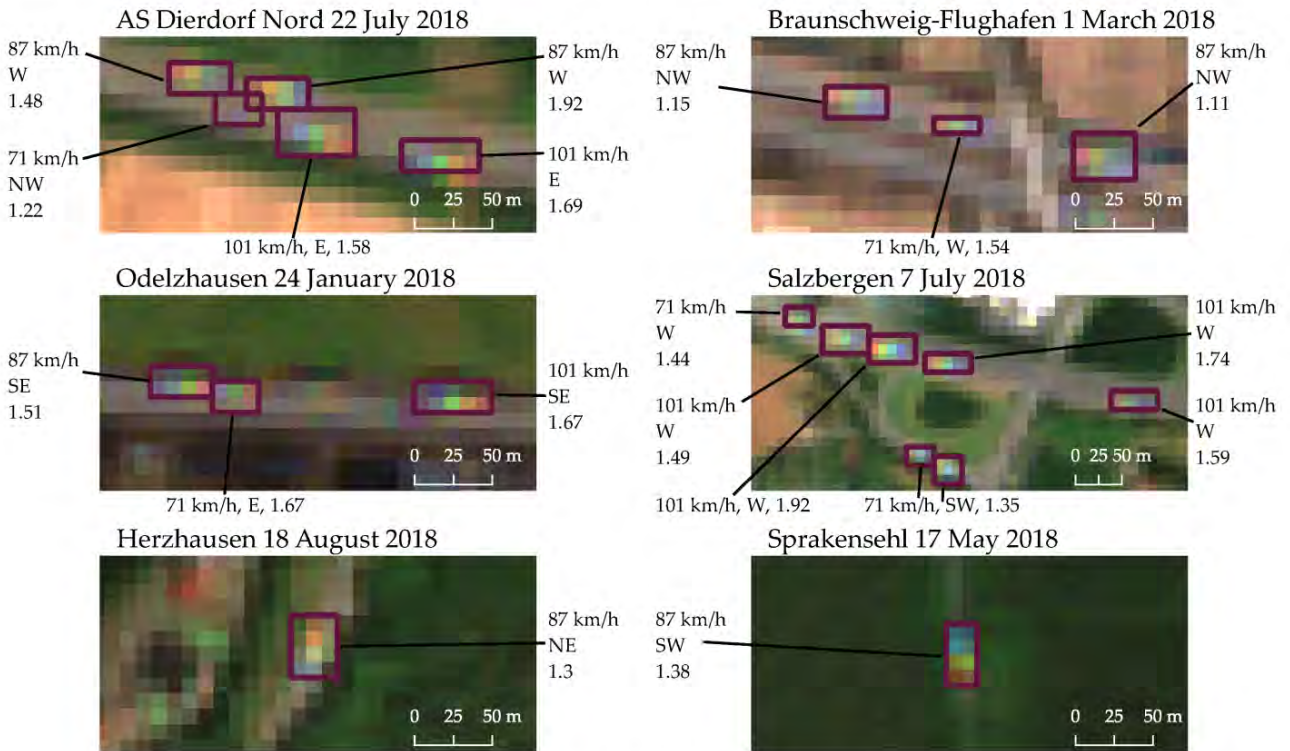
B) Sentinel-2 画像による車体検知

- H. Fisser, et al (2022) では、Sentinel-2 画像からのトラック検出を行っている。もちろん解像度の高い画像のほうが抽出しやすいが、空間分解能が多少粗かろうと一定頻度でほぼ全球を観測している Sentinel-2 の画像で車体検出ができるようになる意義は大きい、としている。
- 抽出フローは下記の通りであり、道路データやランダムフォレストモデルが入力値として組み込まれている。

図表 232 Sentinel-2 画像からのトラック検出の流れ



図表 233 Sentinel-2 画像からのトラック検出事例



Annotations: Speed, heading (N=North, E=East, S=South, W=West), detection score
 Data: Sentinel-2 L2A | Stretch: 0-0.2 | CRS: WGS 84 / UTM

H. Fisser, et al 「Detecting Moving Trucks on Roads Using Sentinel-2 Data」 2022

C) Sentinel-2 画像による海洋プラスチック検知

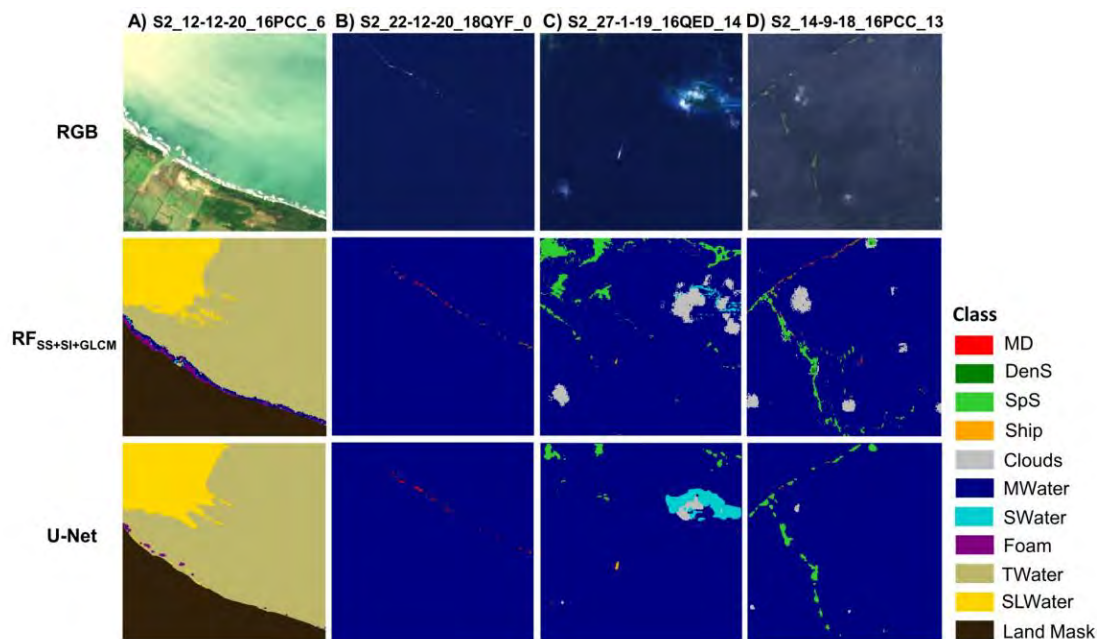
- Katerina Kikaki, et al⁷¹⁵では、海洋デブリ情報とそれにマッチする Sentinel-2 画像のデータベース MARIDA の開発について言及されている。下図表は MARIDA におさめられている Sentinel-2 画像ピクセルの分布である。これが教師データとなって検知アルゴリズムが精錬されていく仕組みとなっている。

図表 234 MARIDA 内のピクセルの分布

S2 Tile	MD	DenS	SpS	NatM	Ship	Cloud	MWater	SLWater	Foam	TWater	SWater	Waves	CloudS	Wakes	MixWater	# of pixels	# of S2 scenes
16PCC	1496	2048	574	78	3322	62082	60169	285886	712	99501	3960	3417	3585	5929	191	532950	19
16PDC	143	49	226	78	96	13507	15258	85449	334	24923	2251	0	883	253	75	143525	6
16PEC	129	222	645	193	485	11678	19341	11	86	27080	3782	108	1733	1115	51	66659	6
16QED	0	474	691	0	90	4098	1719	0	0	0	5910	0	1841	221	0	15044	2
18QWF	0	0	0	0	0	0	324	0	0	0	0	1461	0	0	0	1785	1
18QYF	1112	4	200	154	408	7977	1360	0	0	0	1038	0	314	48	58	12673	13
18QYG	90	0	0	7	0	373	222	0	0	831	277	0	106	0	15	1921	1
19QDA	0	0	21	3	11	0	110	0	0	5	40	0	0	0	0	190	1
30VWH	27	0	0	0	36	3505	24393	0	0	0	0	0	1975	0	0	29936	1
36JUN	46	0	0	0	625	3500	600	0	0	300	0	0	0	18	0	5089	1
48MXU	208	0	0	0	71	5807	194	0	0	382	45	0	489	15	12	7223	2
48MYU	24	0	0	0	223	0	291	0	0	10	48	0	0	611	0	1207	2
48PZC	24	0	0	0	298	4108	2079	0	48	4129	0	0	765	171	1	11623	3
50LLR	41	0	0	3	27	402	485	0	41	0	18	841	0	72	5	1935	1
51PTS	38	0	0	20	17	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	110	2
51RVQ	17	0	0	0	0	363	163	0	0	0	0	0	37	0	0	580	1
52SDD	4	0	0	328	94	0	2416	1591	4	451	0	0	0	37	2	4927	1
Total pixels	3399	2797	2357	864	5803	117400	129159	372937	1225	157612	17369	5827	11728	8490	410	837377	63
Perc. %	0,41	0,33	0,28	0,1	0,69	14,02	15,42	44,54	0,15	18,82	2,07	0,70	1,40	1,01	0,05	100	

- MARIDA を用いて検知実験結果は下記の通りである。様々な海洋デブリ・構造物等が抽出されているのがわかる。

図表 235 MARIDA を用いた分析の実験結果



⁷¹⁵ Katerina Kikaki, et al 「MARIDA : A benchmark for Marine Debris detection from Sentinel-2 remote sensing data」 2022

D) まとめ

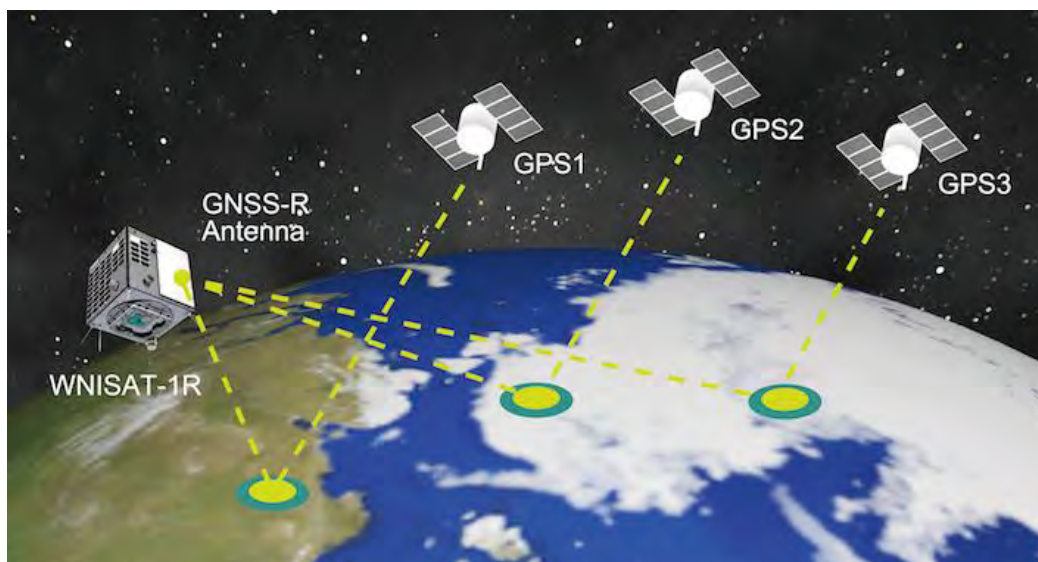
- 2例とも、定期的にはほぼ全球を把握している Sentinel-2 画像と地上データをマッチングさせ、予測モデルを構築している。物体を検知するには解像度が粗いとされる Sentinel-2 画像であるが、今後 MARIDA のようにデータが蓄積され、予測モデルが精練化されることで、動画像でも様々な物体の検知が可能となる可能性がある。

3) GNSS-R・熱赤外線観測などの他のセンサ最新技術

A) 基本的な考え方

- 近年、光学（ハイパースペクトル含む）や SAR の小型衛星コンステレーションの計画が数多く公表されているが、GNSS-R や熱赤外線観測衛星（ハイパースペクトルの一部とも解釈できる）に関するコンステレーションの計画も公表されている。
- 本報告書では GNSS-RO がトピックとして挙げられているが、GNSS-R なども地球観測技術として近年多くのレポートが出されている。熱観測衛星に関しても、ミサイル検知や赤外を用いた small target detection (IRSTD)などの研究が進められている。
- 地表面等から発射される無線信号の検知と位置特定を行う、衛星による無線周波数発生源マッピング（radio frequency emissions mapping：衛星による RF マッピング）システムにおける情報伝達手段についても近年多くのレポートが挙がっており、これらもキャッチアップしておくべき事項と考えられる。

図表 236 GNSS-R の概念図



出所) Weather News

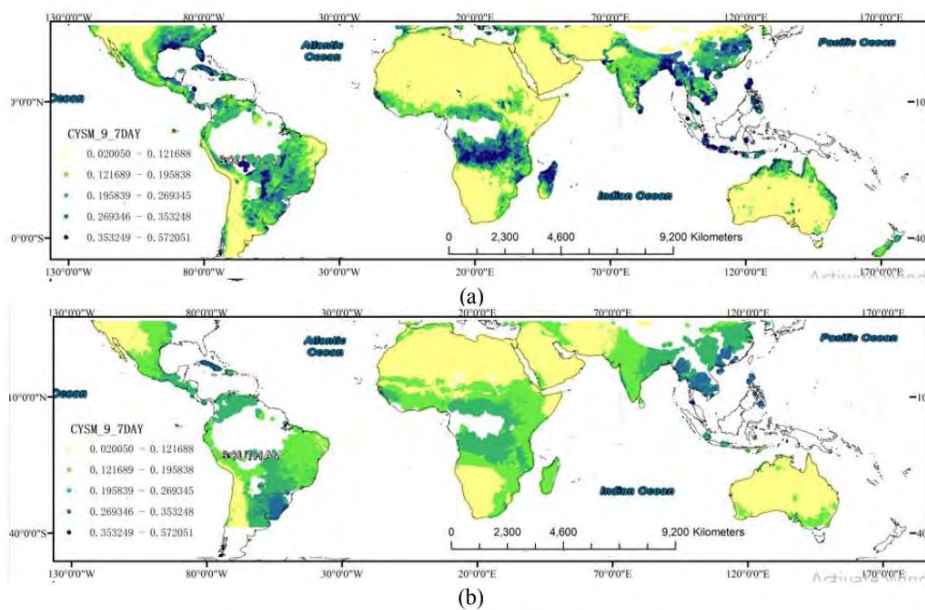
B) GNSS-R の動向

- GNSS-R を用いた研究が盛んにおこなわれており、IGARSS でも多数の報告がなされている。
- 特徴としては既に軌道上にある測位衛星から放たれる L-band 電波の跳ね返りをとらえるもので、C-band など植生を通らない SAR 衛星と異なり、地表面や水面の状況がわかるものとされている。L-band SAR 衛星はまだコンステレーションと呼べるほど多く打ちあがっているわけではないため、この GNSS-R でのコンステレーションを企図するものもある。
- なお、米国ではすでに CYGNSS という 8 機の小型コンステレーションが打ち上げられている。
- 国際会議や民間企業における GNSS-R の動向について確認・整理した。

i. IGARSS での発表内容

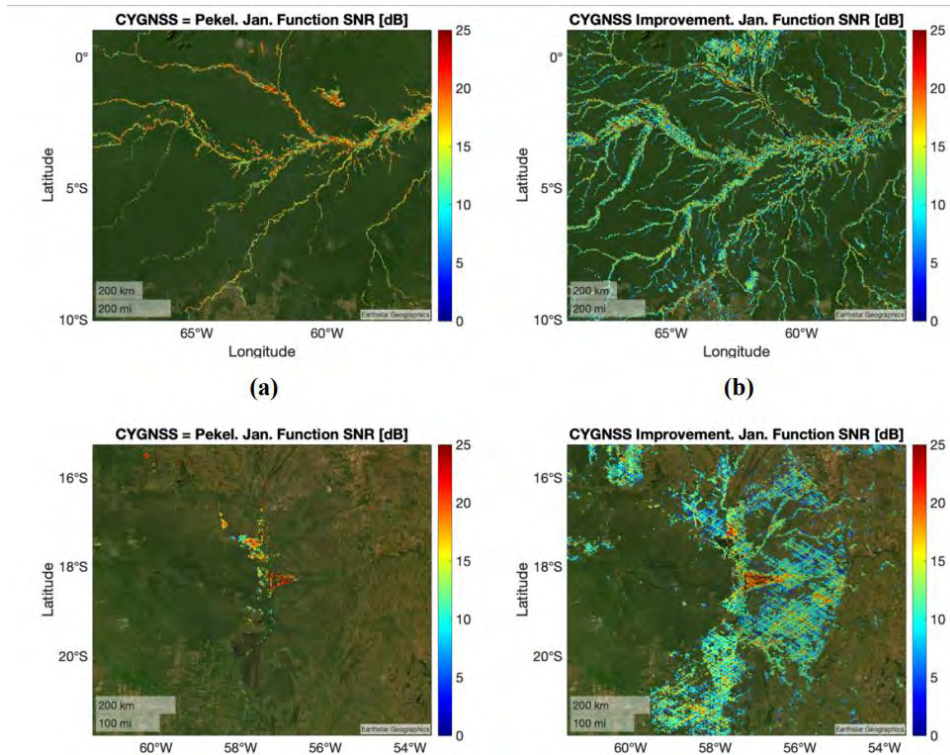
- IGARSS では GNSS-R を補足する CYGNSS のデータを用いた発表がほとんどであった。
- 以下、各発表における観測アウトプットを記載する。

図表 237 GNSS-R による土壌水分量のアウトプット例



Source) Y. Jia et al 「A GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION-BASED SOIL MOISTURE PRODUCT USING CYGNSS GNSS-R DATA」 2023

図表 238 GNSS-R による植生下内水観測のアウトプット例



※右図と左図はアルゴリズムの違い

Source) H. Carreno-Luengo 「AN IMPROVED INLAND WATER DETECTOR USING STANDARD L1 DATA: APPLICATION TO CYGNSS」 2023

図表 239 GNSS-R による藻類観測のアウトプット例とデータ比較例

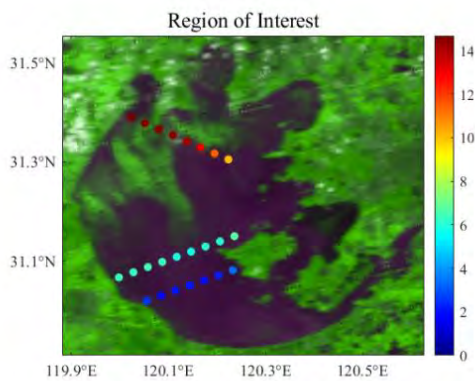


Fig. 1. Cyanobacteria bloom extent and the response of CYGNSS SNR data (will be introduced in sec. 3.1) in Taihu Lake. This image consists of MODIS band1 and band2 data by R=band 1, G=band 2 and B=band 1.

Table 1. Test Results of Different Feature Combinations

#	Combination	Class	Results	OA	AUC
A	GNSS-R	TNR TPR	70.1% 65.0%	0.70	0.74
B	GNSS-R+WS	TNR TPR	70.0% 65.0%	0.70	0.80
C	GNSS-R+T	TNR TPR	78.6% 77.5%	0.79	0.84
D	GNSS-R+P	TNR TPR	73.3% 70.0%	0.74	0.73
E	GNSS-R+ToP	TNR TPR	76.9% 65.0%	0.77	0.80
F	GNSS-R+WD	TNR TPR	70.7% 75.0%	0.71	0.82
G	GNSS-R+SRD	TNR TPR	77.2% 80.0%	0.77	0.85
H	All Features	TNR TPR	84.3% 80.0%	0.84	0.90

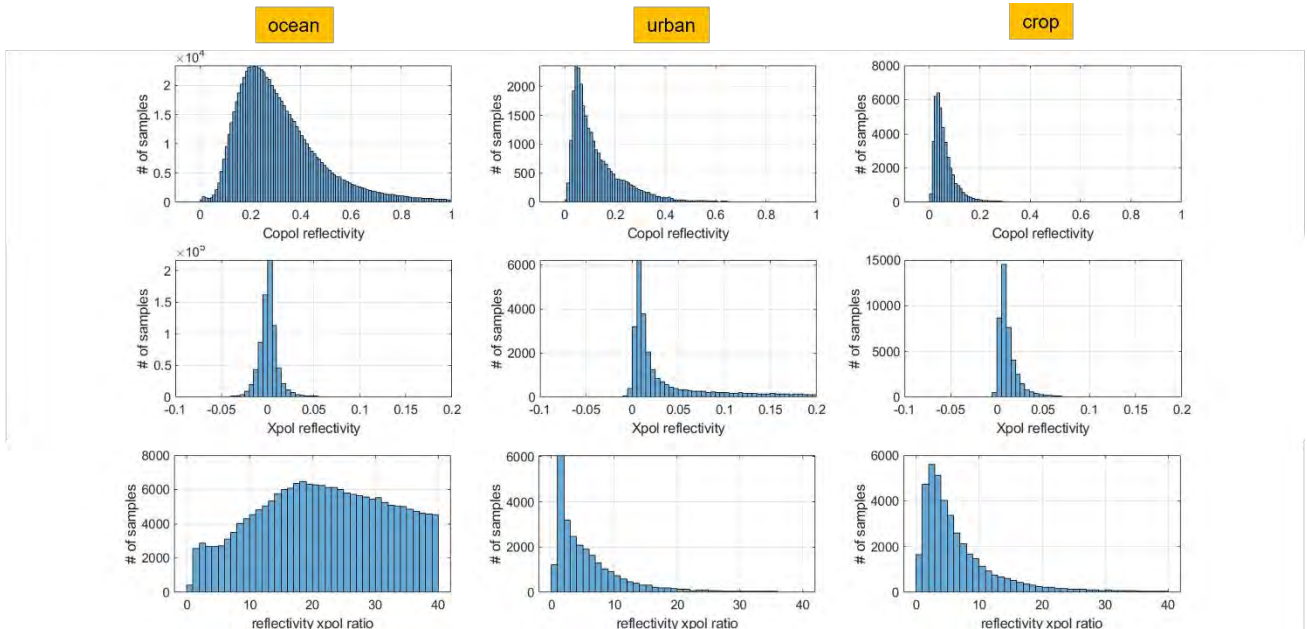
右図は ECMWF の WS : 風速、WD : 風光、T : 温度、P : 気圧、ToP : 降水量、SRD : 太陽放射量と組み合わせた場合の正確性を示している

Source) Y. Zhen. 「DETECTING ALGAL BLOOM USING CYGNSS AND ERA-5 DATA」 2023

ii. AGU での発表内容

- AGU では CYGNSS コンステレーションを用いた観測に関する発表や、GNSS-R データに関する課題、次世代の GNSS-R 受信機である NGRx についての発表があった。
- NGRx に関する発表内容について記載する。
- GNSS-R の能力を向上させるために、2022 年に「Rongowai」と呼ばれる空中プロジェクトを開始した。具体的には、新たに開発された次世代 GNSS-R 受信機 (NGRx) をニュージーランド国内線の航空機に搭載し、データを収集する。従来の GNSS-R システムと比較して、NGRx はより多くの GNSS 衛星信号を同時に処理する能力を持ち、散乱信号の Co-pol (左手円偏波) と Cross-pol (右手円偏波) の両方の偏波成分を測定することが可能である
- NGRx を用いて、海洋、都市、農作物の 3 つの特定の表面に関して、Co-pol、Cross-pol、Cross-pol 比 (Co-pol/Cross-pol) の反射率ヒストグラムを示した。
- 海洋表面では、Co-pol 反射率の広範囲に広がる分布が観察される一方、Cross-pol 反射率は、コヒーレント反射理論で予測されるように、ゼロ付近を中心として対称的に広がっている。都市環境では、大きな Cross-pol 反射率が観測されるが、これは都市に見られる複雑な角度の建物構造に起因すると考えられる。これらの表面タイプは、両偏波チャンネルとその比について、異なる反射率分布の特徴を示していることが判明した。
- 今後は、これらの異なる反射率分布の特徴を基に、特に土壌水分測定の校正・改善が可能かを調査していく。

図表 240 NGRx による海洋・都市・農作物の反射率ヒストグラム



出所 : A12B-02 Measurement of Surface Reflectivity with the Polarimetric GNSS-R Sensor in the Rongowai Mission

iii. Spire の GNSS-R コンステレーション

- Spire 社は GNSS-RO データを取得可能な自社衛星の Lemur-2 コンステレーションの一部において、GNSS-R データも取得可能としている。
- 下記のとおり、Grazing-angle GNSS-R および Near-nadir GNSS-R の 2 種類を用意しており、前者は 25 機、後者は 4 機。Grazing-angle GNSS-R は GNSS-RO 観測も可能としている。

図表 241 SPIRE 社による GNSS-R コンステレーション

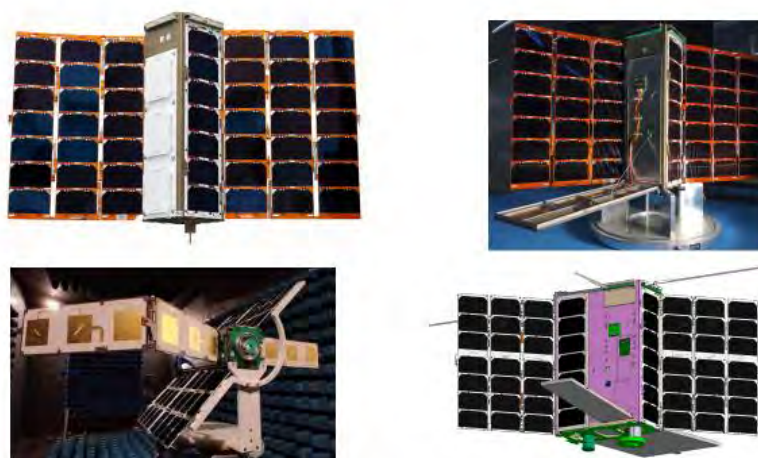


Figure 1. Spire GNSS observation satellites. (Top Left) GNSS-RO that also is used for grazing-angle GNSS-R. (Top Right) Near-nadir (NN-GNSS-R) Batch-1, (Bottom Left) Batch-2 and (Bottom Right) Batch-3.

	Grazing-angle GNSS-R	Near-nadir GNSS-R
Data Products	Lev1: Reflectivity and phase Lev2: Altimetry Lev2: Ice extent & classification	Lev1: Reflectivity Lev2: Soil Moisture Lev2: Ocean wind and MSS
Operational satellites	Up-to 25	Up-to 4
Antennas	RHCP fore and aft sets of 3x1 panels. Frequencies: L1 & L2 / E5	LHCP nadir: 2 or 3 sets of 3x1 panels with digital beamforming. Frequency: L1
GNSS	GPS, Galileo, Beidou, QZSS, GLONASS	GPS, Galileo, Beidou, QZSS
Lev1 Outputs	SNR and phase: 50 Hz	DDMs: 1 Hz ocean, 2 Hz land
Elevation angle	5 to 30 degrees	20 to 90 degrees
Simultaneous observations	6 channels (ampl. & phase) Dual frequency. Simultaneous to RO	32 channels (DDM) Single frequency
Coverage	SSO orbits. Enabled at >50 degrees latitude and selected ROIs	SSO and 37 inclination orbits Global

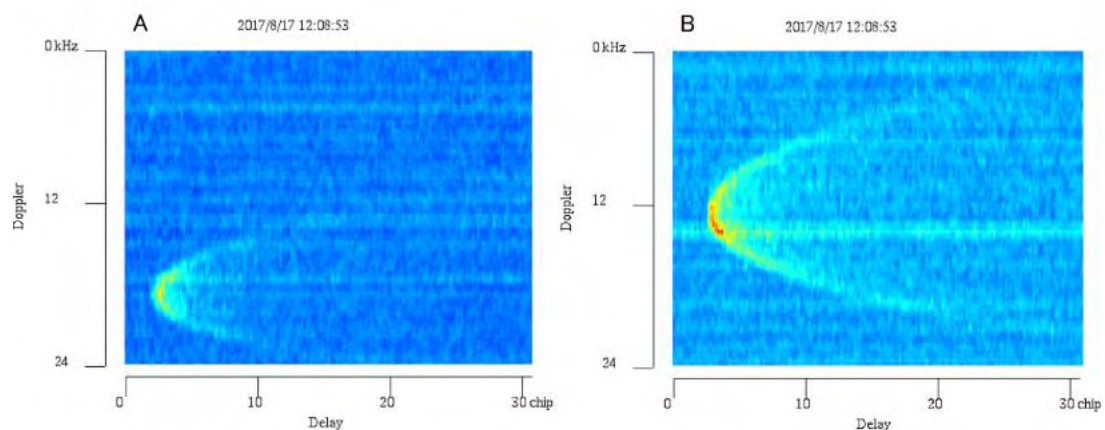
iv. ESA の HydroGNSS

- HydroGNSS は 2021 年の 3 月に、ESA の偵察ミッションの中で 2 番目に開発許可が得たミッションである。⁷¹⁶
- GNSS-R の技術を活用して、土壌水分、永久凍土の凍結痛快状態、内水氾濫、湿地、地上のバイオマスといった主要な水文学的気候変数の測定を提供する。また、ESA の SMOS、BIOMASS、Sentinel-1、SMAP ミッションなどの補完となる。
- 2024 年に打上げ予定である。

v. 日本における GNSS-R 衛星 (WNISAT-1R)

- 日本では、Axelspace 社が株式会社ウェザーニューズと共同で開発した WNISAT-1R が GNSS-R 衛星として運用されている。WNISAT-1R は 2017 年 7 月に打上げられ、GNSS-R 観測により、海面の波や風の強さ、海氷の情報などを取得することを目的としている。
- 受信した GNSS-R からは DDM (Delay Doppler Map) を生成し、反射点の海面の乱れを推測。海面の乱れについては、風の強さと波の相関関係から、海上風についても推測可能である。

図表 242 WNISAT-1R による DDM⁷¹⁷



⁷¹⁶ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Second_Scout_gets_the_go-ahead

⁷¹⁷ <https://jp.weathernews.com/news/20598/>

C) まとめ

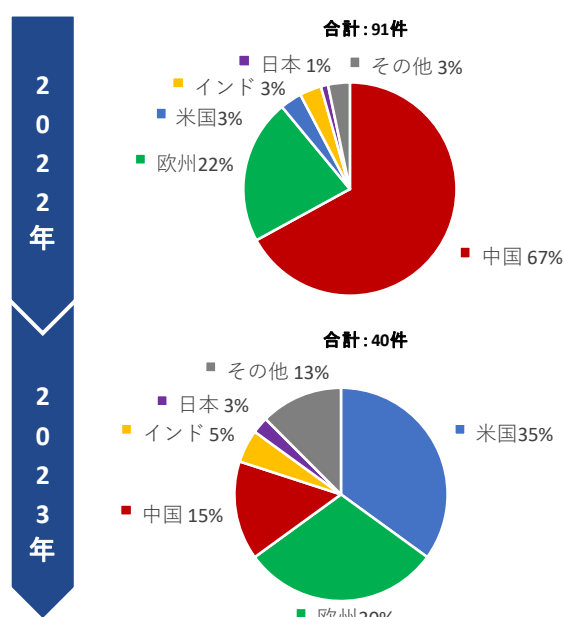
- 他国では先進的な次世代センサの検証の実施や、CYGNSS や Lemur-2 のような GNSS-R コンステレーションが構築済みであり、大量のデータ取得が可能である。GNSS-R データにより、土壌水分、内水氾濫、土壌や永久凍土の凍結融解、バイオマス、海面風速といった、気候変動等にも関連する様々な情報を入手することが可能であり、今後、そのデータの需要は伸びていくことが想定される。

2.8 定常調査・動向分析

1) IGARSS

- AIに関するセッションは非常に多くあり、分類、ラベル付け、検出、データ分析・解析、マッピング、評価など、各検討段階におけるAI（ML/DL、NNなど）の活用方法に関する研究が進められている。幾つか事例を挙げると以下のとおりである。
 - ① リモートセンシング画像分類のための説明可能な人工知能手法の一次属性の定量的分析
 - ② 説明可能なAI4EOに向けて：衛星画像時系列を使用した作物タイプマッピングのための説明可能な深層学習アプローチ
 - ③ SEISLABEL: 地震データのラベル付けのためのAI支援アノテーションツール
- GNSS-Rを用いた研究が盛んにおこなわれており、IGARSSでも多数の報告がなされている。特徴としては既に軌道上にある測位衛星から放たれるL-band電波の跳ね返りをとらえるもので、C-bandなど植生を通らないSAR衛星と異なり、地表面や水面の状況がわかるものとされている。L-band SAR衛星はまだコンステレーションと呼べるほど多く打ちあがっているわけではないため、このGNSS-Rでのコンステレーションを企図するものもいる。なお、米国ではすでにCYGNSSという8機の小型コンステレーションが打ち上げられている。IGARSSではGNSS-Rを補足するCYGNSSのデータを用いた発表がほとんどであった。
- 衛星データ解析では前提になりつつあるデータフュージョン技術について、IGARSSでの国別発表数の推移を整理した。2022年度に比べ、発表総数が減っているが、日本は相変わらず海外に劣後する状況である。

図表 243 IGARSSにおけるデータフュージョンに関する発表数（再掲）



2) WBSW (World Business Satellite Week)

- 中型・大型観測衛星については、近い将来における衛星市場の発展は小型衛星コンステレーションによるものであり、そのペイロードは多様化（SAR、マルチスペクトル、ハイパースペクトル）しており、衛星製造側もコンステレーション構築に向けた大量生産の用意を実施している。このような小型衛星の特徴を適切に考慮した上で、中型・大型衛星としてあるべきユースケース、ペイロードを検討する必要がある。
- ◇ 衛星市場の発展は小型衛星コンステレーションによるものであり、今後 10 年間、市場は小型衛星のペイロードの多様化（SAR、マルチスペクトル、ハイパースペクトル）に沿って発展していくと想定されている。
- ◇ 実際に、衛星製造業者は、バス部の標準化（Kongsberg）、完全にデジタル化・自律化された最終組み立てラインの確保（Airbus）、デジタルツインを活用した設計による効率性向上とコスト削減、大量生産可能な中小企業との提携（Axelspace）など、小型衛星の大量生産が可能な体制を構築している。
- ◇ スターリンク・プロジェクトの進行は、SpaceX の競合他社が、様々なペイロードを搭載した衛星の多様な種類を提供しなければならなくなり、それはまた、何らかの形で多様なボリュームということを意味する。特定の用途のために大きな衛星が必要な場合もある。

- GSaaS の現状と今後の課題について、通信の観点からは、現状は Ka バンドでの高速通信に注力しつつ、低レイテンシー化の実現に向けて高振動数帯域の電波通信（Q/V）や光通信、データリレーネットワークなどをネクストステップとして見据えている。特に光通信やデータリレーネットワーク等については事業者がリスクを取ることが難しく、実現には政府機関による圧力が必要となる。
- また、ソフトウェアの観点からは、既存の地上局システム運用の際に人手に頼っている作業の自動化や、ユーザビリティ向上のための標準化されたインターフェース等が今後の GSaaS 成長の最重要事項として認識されている。

- Near-Real-Time に関する意見は、ニーズ側とシーズ側とで異なるものの、製造者側は将来的なリアルタイム性のニーズを見据え、オンボード処理をはじめとした様々な点から対応を検討している。
- ◇ 衛星画像プラットフォームからは、割高となる Near-Real-Time でのユーザニーズは、非常に特殊なアプリケーションや災害等タスクを除き需要がない、という意見があがった。
- ◇ 一方で、次世代観測衛星の製造の観点からは、リアルタイム性の必要性は増大しているとの指摘があり、低レイテンシーについては、オンボード処理のみならず、通信（特に、データ量を管理できる K-band）、衛星間連携、地上局などの点からも課題があると認識されている。
- ◇ また、データを地上へ送信するのではなく、宇宙空間での保存という可能性も示された。

3) AGU2023

- AI/MLについては、衛星画像解析にMLが用いられている事例がいくつか報告されているが、衛星画像解析はまだ十分なラベリングの確保や、用途によっては大規模なデータセットの確保が難しいものがあり、その点を工夫している研究も確認された。
 - ◇ 山火事検知の分野にてMLが活用されており、80~90%の精度を達成している。但し、MLの有効性は“真実”のラベリングに大きく依存しており、精度向上のためには大規模なデータセットが必要である。山火事のような比較的頻度が低い事象では、大規模なデータセットの用意が困難であるため、Human Protocol Networkのクラウドソーシングによるラベリングを初めて導入し、多くのラベリングを生成した。
 - ◇ 他に、国勢調査のサンプリング地区よりも細かな分解能での化学物質汚染リスク評価、建物検知による自動地図化、土地利用把握、植生指数からの出店検知などに機械学習が使用されている。
 - ◇ MLモデルのランダムフォレストを用いて、飼料生産量の変動傾向の主要因として、長期平均年間降水量と長期平均最低気温を特定した。リモセンデータでは76%の精度であった。

- L-bandSAR衛星であるNISARは2024年に打上げとなるが、土壌水分、時系列変位、浸水範囲、植物量推定、積雪水相当量測定など、様々な用途でのニーズが確認される。日本の強みであるL-bandSARについては、ALOSシリーズによる長期のアーカイブデータ量と、NISARと同等の性能を有するALOS-4の早期打上げによるL-bandSAR 2機体制を構築することで、NISARとの差別化を図り、強みの更なる強化が望ましいと考えられる。
 - ◇ Sentinel-1のC-bandに加えNISARのL,S-bandにより、複数周波数での全球モニタリングが可能となる。SARデータ入手後に短いレイテンシーで解析ができることが重要であり、データ取得後、数時間以内にInSAR時系列解析結果を効率的に提供するアルゴリズムを発表した。
 - ◇ NISARミッションでは、打上げ前に研究者WSを実施し、土壌水分、時系列変位、浸水範囲にニーズがあることが確認された。また、WSではレイテンシーに関する質疑が多く、研究者からのレイテンシーニーズには対応できるものの、本当のボトルネックはGPSから軌道歴を受信することである。
 - ◇ 米国の作付けの阻害要因としては、88%が土壌水分、降水量の過剰が原因である。NISARにより200m分解能で土壌水分量を計測することができるので、農業に非常に役に立つ。
 - ◇ 森林湿地帯の植物量推定のため、12日周期で10m以下の分解能のNISARによるDP(HH、HV)計測が期待されている。
 - ◇ SWE(積雪水相当量)測定のためL-bandのInSARが期待されているが、LiDARによる測定値との比較ではかなりの差異が確認されており、SARだけでなく光学衛星から得られる正確な積雪情報との組み合わせが重要であることが判明した。

- GNSS については、GNSS により電離層における電子量を測定することで、自然災害含む地球天気や宇宙天気の前報が可能である。他の衛星データに比べ、リアルタイム性が高いことが特徴であり、それを活かしたサービス提供が検討されている。
 - ◇ GNSS を用いて NRT で電離層における電子量を計測することで、潜在的な自然災害の特徴を捉え、自然災害早期警戒システムを補完する。既存警報システムでは地震計や海洋部位などカバレッジが限定的であったが、地上 GNSS 局からのデータを取得することで、広範囲にカバー可能。
 - ◇ GNSS を用いて NRT で電離層における電子量を計測することで、新たな宇宙天気サービスを作りだすことが可能である。
 - ◇ GNSS が測定する電離層電子量は、強烈な磁気嵐下では枯渇する可能性がある。
 - ◇ 複数の衛星からの GNSS データを統合し、電離層電子密度を捉える電離層モデルを構築。
 - ◇ E-GVAP (GNSS 水蒸気サービス) では、時間分解能 5 分、レイテンシー 10 分で、悪天候の前報も可能なリアルタイムの水蒸気データを提供する。

- GNSS-R について、GNSS は L-band を使用しているため、GNSS-R では、L-band SAR と同様に土壌水分量などの計測が可能である。また、L-band SAR と異なり、受信機のみがあればよいいため、衛星を小型化できコンステレーションを構築し、高い再訪性が可能である。日本の強みである L-band SAR に競合する衛星であり、特に再訪性の観点からは脅威となる存在である。
 - ◇ NGRx (次世代 GNSS-R 受信機) では、散乱信号の Co-pol (左手円偏波) と Cross-pol (右手円偏波) の両方の偏波成分を測定することが可能である。この特徴を用いて、海洋、都市、農作物の 3 つの特定の表面について Co-pol、Cross-pol、Cross-pol 比 (Co-pol/Cross-pol) の反射率ヒストグラムを作成したところ、表面タイプによって異なる反射率分布の特徴を示した。今後は、この特徴を基に、土壌水分量測定の校正・改善方法を検討していく。
 - ◇ GNSS-R は氷で覆われた極地や穏やかな赤道直下の海上ではコヒーレントが高く、高分解能で使用可能であるが、時系列的な不連続面の修復、低コスト機器は変動しやすい、GNSS-R データと他データを組み合わせないと測定値を導出できないなどの課題がある。
 - ◇ CYGNSS コンステレーションでは、L-band を用いており、海面風速 (全天候)、地表土壌水分 (植生下)、内水浸水状況 (昼夜、雲・崖下、植生下)、土地の凍結/融解状態の把握が、高い再訪性で取得可能である。

- GNSS-RO データは天気予報、宇宙天気予報などにおいて重要なデータとして実際に使用されている。但し、気象条件や高度によっては、その誤差も大きく、そのままでは使用できない。品質管理やエラーモデルの見直しなどが研究されている段階である。
 - ◇ AR (大気河川) に対する GNSS-RO データの同化を実施した。データの同化を実施しない場合に比べ、COSMIC-2 の RO データを同化したほうが、IVT 等が向上したが、Spire のデータを追加すると IVT と降水量が減少した。RO データ同化のためには、衛星毎に異なる品質管理手順を適用し、誤差モデルを採用するなどの検討が今後も必要。
 - ◇ GNSS-RO データの BAs (曲げ角度) を TC (熱帯低気圧) モデルに同化する研究を実施した。RO データを同化しない場合に比べ、軌道予測は向上し、特にリードタイムが長くなるにつれ改善が増加。最大風速では改善も劣化も確認。また上陸地点の予測もタイミングは異なるものの、観測とほぼ同一箇所であった。同化の最適化に向けては、品質管理の設定の見直しや新たなエラーモデルの実装が必要。
 - ◇ GNSS-RO は、高い鉛直分解能、全球カバー率、全天候観測が可能であるが、亜熱帯の東海洋上では品質が低下する。これは、PBL (惑星境界層) 上層となる高度 1.5km 付近にて発生するダクトと呼ばれる強い逆転 (温度の急激な上昇、湿度の急激な低下) に起因する。
 - ◇ GNSS-RO は気象学においても重要なデータではあるが、豪雨や悪天候 (=高密度の雲) 時には、そのヒドロメテオ (大気水象: 雲、雨、雪、あられ等) により曲げ角度に大きな影響が生じる。特に、高度 8~14 km でその影響が大きく、5km 以下では観測誤差と区別できない程度である。

- NRT に対する需要として、ユースケースとして山火事検知と農業生産者用の水管理が確認された。これまでも災害等の非常時については NRT に対する需要が確認されていたが、農業生産における水管理の用途といった平常時における NRT に対する需要も新たに確認された。但し、非常時、平常時共に、NRT に対して求められる時間の精度に関する言及はなかった。
 - ◇ 衛星画像と地上データを組み合わせることで推奨灌漑方法を生産者に提供することができ、これにより農業生産者は自らの農地について、リアルタイム評価、水利用予測、塩分管理などが実施可能となる。
 - ◇ 将来的に山火事の発生頻度が増加することが予想されており、火災の規模と進行をリアルタイムで監視することが重要である。従来は SWIR (短波赤外線) 帯域での NBR (正規化焼失指数) や dNBR (差分正規化焼失指数) が用いられていたが、雲や煙で確認ができないこともあり、SAR 衛星画像を用いた InSAR 解析による検知を実施し、mIoU 値は 0.85~0.97 程度と十分な精度を確保できている。

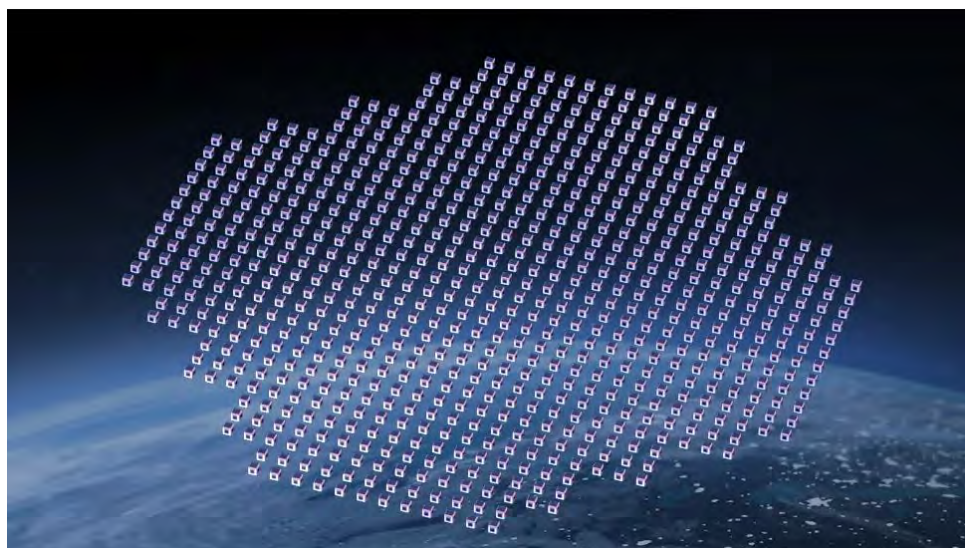
- 国外における官需の観測衛星プログラムについては、民間の商用小型衛星が取得した地球観測データを NASA が調達し、研究者に配布する CSDA プログラムは、2017 年に開始され、その内容はアップデートされながら現在も運用されている。将来的に、日本政府が衛星データ調達の導入を検討する際には、ベンダーの評価の実施、評価基準、価格・購入データ種類決定方法など、様々な点から非常に参考となる事例と考えられる。
- ◇ NASA は CSDA プログラムとして、継続的・反復的に商用小型衛星が取得したデータを調達し、米国内の公的機関やそれらの機関の補助を受けた研究者に配布することで、新たな衛星データ利用例の創出に貢献している。
- ◇ プログラム内では、調達するデータの品質やベンダーの提供体制について NASA が評価を行っており、ベンダーにとって、貴重なフィードバックの機会となっている。評価基準は以下の 5 点である。
 - ① データのアクセス性
 - ② メタデータの完全性
 - ③ ユーザサポートの品質
 - ④ データの有用性
 - ⑤ データの品質
- ◇ データ調達価格の決定方法、入手データ種類の決定方法など、詳細については、NASA 内部にて検討中。

2.9 適時調査・事実確認

1) 編隊飛行の技術開発動向（2024年1月26日）

- 編隊飛行技術の概要：「編隊飛行（フォーメーションフライト）技術」とは、複数機の小型衛星がお互いの相対位置・姿勢を制御して編隊することで、単一の衛星で実現不可能な巨大なアンテナや望遠鏡を発現させ、大容量通信や多地点同時観測などを可能とする技術である。類似した技術として、多数の衛星を同じ軌道上に配置し一体的に運用することで時間分解能を向上させる「衛星コンステレーション」がある。
- 傾向：編隊飛行技術は現状、観測（地球及び地球以外を含む）・通信の用途ともに、単一の衛星による機能・性能よりも大幅に向上させることを目的としており、主にキューブサット・小型衛星数機で運用される例が多いように見受けられる。
- 国内の実証事例
 - ◇ インターステラテクノロジズ：ピンポン玉サイズの超超小型衛星「ナノサット」を大量に打ち上げて、軌道上で編隊を組み衛星全体を単一の巨大な仮想アンテナを作り出す技術を研究中。巨大な仮想アンテナを作り出すことで、Starlinkのように地上に特別なアンテナを設置しなくてもスマートフォンなどのデバイスと直接通信が可能となるほか、高速大容量通信も可能となる。また、大量の衛星で編隊を構成することで、1機や2機が壊れても機能は失われなため、冗長性も確保される。将来的な事業化を目指し2023年10月にNICTと共同研究契約を締結。⁷¹⁸

図表 244 「ナノサット」によるフォーメーションフライトのイメージ⁷¹⁹



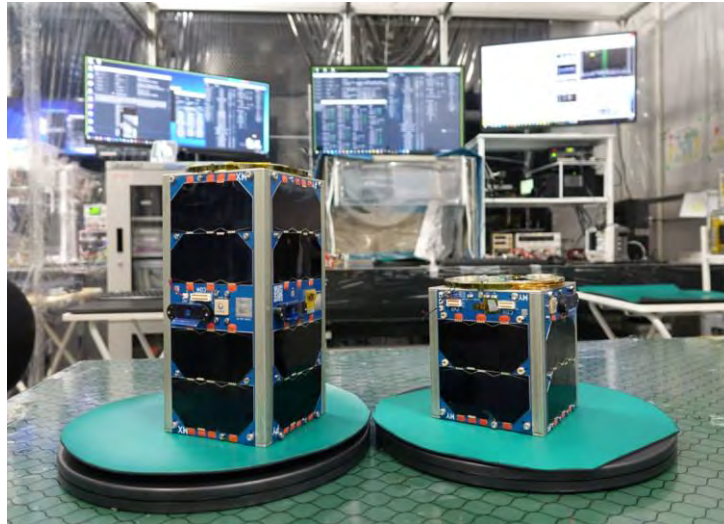
- ◇ 名古屋大学：結合されたキューブサットサイズの2機の衛星「MAGNARO (MAGnetically separating NAno-satellite with Rotation for Orbit control)」を、軌道上で軌道制御用のスラスタ（推進機）を用いず、軌道上で衛星が受ける磁気力などを利用して回転分離させ編

⁷¹⁸ <https://www.istellartech.com/news/press/8321>

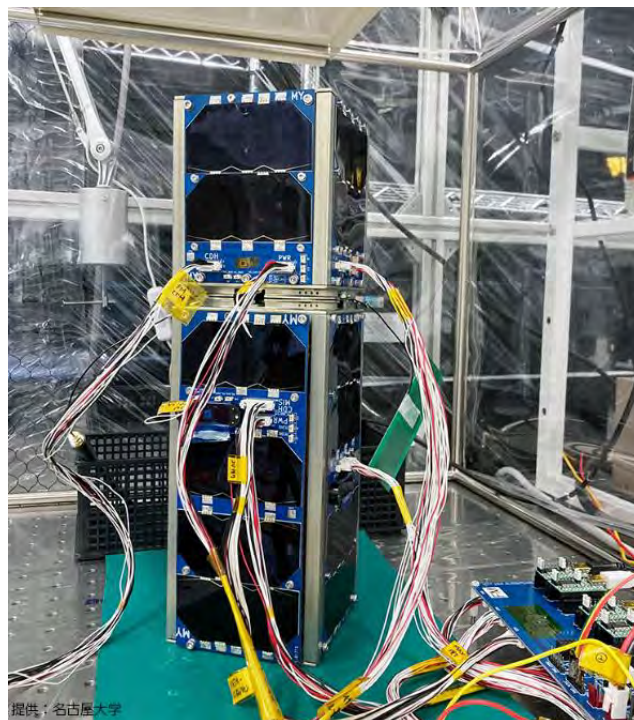
⁷¹⁹ <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000049.000043667.html>

隊を形成（衛星間距離は約 500m から 2km）する技術を研究。JAXA の革新的衛星技術実証 3 号機の実証テーマに採択され、2022 年 10 月にイプシロンロケット 6 号機により打ち上げ予定だったが、打ち上げ失敗。⁷²⁰2023 年 5 月、「MAGNARO」プロジェクトは終了し、次期衛星の「MAGNARO-II」を開発中。⁷²¹

図表 245 「MAGNARO」の分離時の様子⁷²²



図表 246 「MAGNARO」の結合時の様子⁷²³



⁷²⁰ <https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin03.html#about>

⁷²¹ https://nanosat.nuae.nagoya-u.ac.jp/MAGNARO_web/MAGNARO_index.html

⁷²² https://nanosat.nuae.nagoya-u.ac.jp/MAGNARO_web/MAGNARO_index.html

⁷²³ https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/interview/03/interview03_13.html

- 国外の実証事例
 - ◇ NASA : 2023年7月-2024年1月の期間で、キューブサット4機で編隊を組み（衛星間距離は約40マイル（≒64km）⁷²⁴）、地上からの制御を最低限に抑え、衛星同士が軌道上で自律しながら多地点データ観測を可能にする技術を実証する「Starling」ミッションを実施。地上からの指示信号なしで衛星同士が自律して互いの相対位置を把握、編隊の維持を行うことに成功した。⁷²⁵

図表 247 「Starling」ミッションの実証イメージ⁷²⁶



- ◇ ESA : 2014年7月から、太陽コロナを観測する「PROBA-3」ミッションを実施中。2機の小型人工衛星で編隊を組む（衛星間距離は144m⁷²⁷）。片方の衛星が遮光器の役割を果たし、他方の衛星で太陽コロナを観測する。太陽コロナは日食の際に観測できるが、太陽が完全に隠れる皆既日食の持続時間は数分間しかなく、長時間にわたって太陽の微細現象を観測することはできない。「PROBA-3」は編隊を組み人為的な日食状態を作り出すことで、長時間の観測を可能とする。2023年3月、2機の衛星が完成、2024年インドより打ち上げ予定。⁷²⁸

⁷²⁴ <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/nasas-starling-mission-sending-swarm-of-satellites-into-orbit/>

⁷²⁵ <https://blogs.nasa.gov/smallsatellites/2024/01/17/nasas-starling-cubesats-succeed-in-early-space-navigation-test/>

⁷²⁶ <https://scitechdaily.com/autonomous-invasion-nasas-starling-mission-sending-swarm-of-satellites-into-orbit/>

⁷²⁷ <https://sorae.info/space/20230503-esaproba3.html>

⁷²⁸ https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Proba_Missions/Proba-3_complete_Formation-flying_satellites_fully_integrated

図表 248 2機の小型人工衛星で太陽コロナを観測する「PROBA-3」の想像図



2.10 研究開発に関する戦略のとりまとめ

1) 日本の強み・弱み及び研究開発の方向性のとりまとめ

- 本調査の中で導出した日本の強み・弱みを評価し、それを踏まえた研究開発の方向性を一覧にて整理する。
- 本調査における大半の分野・領域では他国に劣後するものの、幾つかの分野・領域ではプレゼンス発揮の可能性があり、当該分野をいかに守り、いかに伸ばすかが重要である。
- ここでは各分野・領域に対して、○、△、×での評価を実施した。評価基準は以下のとおり。
 - ◇ ○：現状の官による支援を継続して実施する等により将来的に世界レベルでのプレゼンスを発揮できる可能性あり
 - ◇ △：海外勢に劣後する分野・領域であり、将来的にプレゼンスを発揮するためには、これまでの延長線上には無い積極的かつ大胆で新たな官による支援・介入等が必要
 - ◇ ×：海外勢に大きく劣後する分野・領域であり、キャッチアップするには相当な労力が必要、又は、他の分野・領域に注力すべき
- 本調査において「○」と評価されるのは、以下のとおり。
 - ◇ 中型・大型衛星開発：「気候」「気象」「レーダー」のミッションにおいて、衛星機数、センサ、観測物理量等で他国に先行
 - ◇ vLEO：日本のみが光学センサを搭載した衛星運用実績を保有、活用が期待
 - ◇ Near-Real-Time：日本の SAR 衛星の仕様は世界有数レベルであり、今後のコンステレーション構築により、高品質な Near-Real-Time を狙える位置にある
- また、「△」と評価する項目は、「大規模コンステレーション構築/運用」「LEO-GEO/MEO-地上局通信 NW」「既存地上局のシェアリング」「創業支援/研究開発支援/アンカーテナンシー」といった特定の分野・領域にて日本が強みを発揮できているものである。

図表 249 日本の強み・弱みと研究開発の方向性

領域		強み・弱み		研究開発の方向性	
中型・大型観測衛星	中型・大型衛星開発	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 打上げ計画数が他国に劣後するものの、「気候」「気象」「レーダー」の分野において衛星機数、センサ、観測物理量等で他国に先行 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強みとなる分野にて他国に抜かれないことが先決 ・ 民間小型衛星との官民連携で性能補完や解析向上を行うことで提供サービスの質の向上を図る ・ マネタイズ困難・リスク高ミッションなど民間とのデマコを実施 	
新たな観測センサ・観測技術	vLEO	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ vLEO衛星開発は、海外スタートアップを中心に進み、日本は劣後 ・ 日本のみがvLEOでの衛星運用実績を保有しており、その活用が強み 	<ul style="list-style-type: none"> ・ vLEOでは、SLATSの実績を継承・活用しつつ、衛星連携や光学以外のセンサ搭載など他国との差別化を意識した開発 ・ GNSS-ROデータは用途・ユーザーが限定的であり、天気予報では無償でデータ入手も可能なためキャッチアップの優先度は劣後 	
	オカルテーション	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ GNSS-ROセンサを搭載した衛星を保有しておらず他国に対し圧倒的劣後 		
Saas	SaTaaS	大規模コンステレーション構築/運用	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ マゴコンステレーションはPlanet、Spire等米国の独壇場 ・ SARコンステレーションではSynspective等が国内に存在 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 官の資金力の観点では欧米とは大きな差がある現状を踏まえ、ニッチな領域で日本の自然環境の特性や地理的特性を活かしたサービス展開が望ましい ➢ 自然環境の特性 (SDaaS) : 国内及び国際的にもニーズが想定される地殻変動/気候変動/火山/津波の展開 ➢ 地理的特性 (GSaaS) : ロシアや東アジア諸国の隣国自太平洋を眺む位置にある日本にて、多数の地上局を配備し、ダウンリンクされたデータや解析結果を低レイテンシーで提供
		LEO-GEO/MEO-地上局通信NW	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ Viasat等が先行しているが、国内にもWARPSpaceやSpace Compass等が追随 	
		「ソフトウェア定義衛星」の開発/運用	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ Spireは既にサービス化している一方、国内は大きく劣後 	
	GSaaS	大規模地上局NW構築	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ KSAT、SSCなどの海外企業の独壇場 	
		既存地上局のシェアリング	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハードはKSAT、SSC等の独壇場 ・ シェアリングのためのソフトウェア/ミドルウェアではinfostellar等の国内企業が先進的 	
		クラウドPF上でのデータ管理/API等によるデータ提供	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ AWS、Microsoft等の海外メガプラットフォームの独壇場 	
SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術は圧倒的に欧米中に劣後 ・ 国内企業が海外企業と協業でグローバル市場に参入した例はあるが、稀 		
	解析PF提供	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 官民の多様なデータ整備で圧倒的な差がある 		
新たな衛星データ提供環境	Near-Real-Time	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光学衛星は他国に対し劣後するが、SAR衛星の仕様は世界有数レベルであり、Near-Real-Timeを担える位置にある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本の強みであるSAR衛星を中心に、災害等の日本固有の特性や領域に絞ったうえで、早期のコンステレーション構築や画像提供/ロー全体でのNRTに向けた改善を実施 	
国外における官需の観測衛星プログラム	創業支援/研究開発支援/アンカーテナンシー	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発支援制度はSBIRを中心として、既に整備済み ・ 創業支援・アンカーテナンシーについては、大きく劣後 ・ 支援策同士の連携についても不十分 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 創業支援の導入で研究開発を行う企業数を増やし、アンカーテナンシー制度の導入で、スタートアップの成長を促進。 	
地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術	大型・小型衛星連携	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 他国を中心に大型衛星と小型衛星のデマケーションを明確にした連携が検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 官主導の中型・大型衛星と民主導の小型衛星との官民連携ミッションを構築し、打上げ予定機数の少なさをカバーし、性能補完や解析向上を行う事で提供サービスの質の向上を図る ・ タウンストリーム側における衛星データ・解析の質向上につながる検知アルゴリズムについて、日本の状況も踏まえ注力が必要 ・ 日本の強みであるL-bandSARと同様の情報が取得可能なGNSS-Rについては他国の動向に注視が必要 	
	検知アルゴリズム	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 他国を中心にSentinel-2のような解像度が粗いが無料の衛星画像を基に、画像精度以上に細かいものを検知するアルゴリズム構築が開発される 		
	GNSS-R	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ NASAによるCYGNSSやSpireなど他国を中心にコンステレーションが構築されており、大きく劣後 		
令和4年度調査項目	観測データ利活用・観測センサ	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ NGRxやMS/HS/IR等のセンサは海外民間企業でも開発されており大きく劣後 ・ 衛星製造能力の点においても大きく劣後 	<ul style="list-style-type: none"> ・ アップストリーム側では多額の費用が必要となるため、選択と集中により投資する分野を明確化する必要がある ・ 衛星製造能力についても今後キャッチアップが必要 ・ データフュージョンは、衛星データの質向上、示唆導出において重要な項目であり、早急なキャッチアップが必要 	
	センサフュージョン	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ データフュージョンについては各国試行錯誤の段階であるものの、国際会議等発表数では他国に大きく劣後 		

2) 戦略マップ

- 本業務における調査・分析を踏まえ検討した戦略マップは以下のとおり。

【目標】

- 今後、文部科学省が観測衛星に関する研究開発を実施していくにあたり目標とすべき状況は、日本の衛星関連ビジネスが産業として持続可能な状態となっていることである。

【財務】

- 上記目標達成に向けて、財務の視点からは、日本の衛星関連ビジネスの収支・便益がプラスとなることが必要であり、そのような状況に至るためには、売上拡大と低コスト化が考えられる。

【顧客】

- 日本の衛星関連ビジネスの売上拡大に向けて、顧客に対してどのような価値を提供するかという視点からは、日本の衛星データを用いた分析が十分な数の顧客産業の意思決定やビジネス実行に貢献し、十分な対価を得る必要がある。なお、その際には、地上データや他国衛星データとのデータフュージョンによる示唆でも問題は無い。
- そのような状況に至るためには、地上データのみによる分析や、海外衛星データのみによる分析と比較し、日本の衛星データを加えたほうが、顧客の意思決定やビジネス実行に貢献し、且つ、ユーザにとって入手しやすい状況でなければならない。

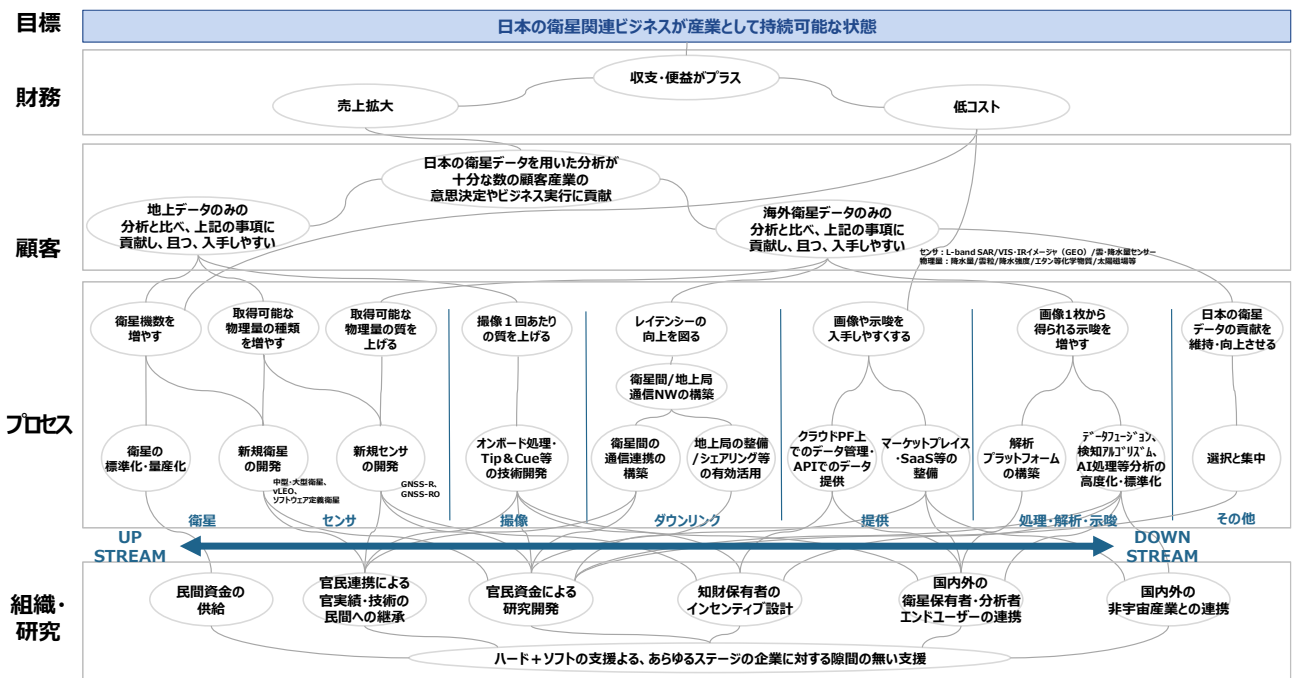
【プロセス】

- 上記の顧客の便益を実現させるため、衛星バリューチェーンのアップストリームからダウンストリームにおいて、どのような業務プロセスにおいて秀でるべきか、という視点から整理した。
 - ◇ 「衛星・センサ」において、衛星データの優位性は、広域性、定期性、単位面積当たりのコストの低さであり、他方、弱みとしては時間分解能などが挙げられる。これを直接的に解決するためには、衛星の機数を増やす必要があり、そのためには、衛星の標準化や量産化、新規衛星の開発が必要である。また、衛星で取得可能な物理量の種類を増加したり、質を向上させるためには、新規衛星及びセンサの開発が必要である。
 - ◇ 「撮像」において、限られた衛星機数において効率的に衛星運用を実施するためには、撮像1回あたりの質を上げることも重要である。「質」の定義には、衛星データの正確性、分析可能部分の多さ、新鮮さなどが挙げられるが、それらの向上に資するオンボード処理、Tip&Cueなどの技術開発が必要となる。
 - ◇ 「ダウンリンク」において、「質」の1つにはNear-Real-Timeがあり、レイテンシーの向上を図ることも重要である。特にダウンリンクにおけるレイテンシー向上のためには、衛星間や、衛星と地上局との通信ネットワークを構築する必要がある。衛星間の通信連携の構築、地上局の新規整備、シェアリング等による地上局の有効活用などの対策が必要となる。
 - ◇ 「提供」においては、なるべく多くの人々に衛星データを活用してもらうことが必要となる。多数のユーザが画像や示唆を入手しやすくするため、クラウドプラットフォーム上でのデータ管理、API連携によるデータ提供、マーケットプレイスの整備及び各社によるSatellite as a Serviceの実施が考えられる。
 - ◇ 「処理・解析・示唆」の点からは、画像1枚から得ることが可能な示唆を増やすため、解析プラットフォームの構築や、データフュージョン、検知アルゴリズム、AI処理といった分析の高度化・標準化に取り組む必要がある。
 - ◇ 最後に、日本の限られたリソースの中で、日本の衛星データの貢献を維持・向上させるためには、日本の強み・弱みを踏まえた上での選択と集中が必須となる。

【組織・研究】

- 上記の業務プロセスを達成するためには、組織的な取組みや研究開発が必要となる。
 - ◇ 衛星の標準化・量産化にあたっては、民間資金によるリスクマネーの供給が期待される。
 - ◇ また、新規衛星・センサの開発に加え、オンボード処理・Tip&Cue、衛星間通信連携、地上局整備・シェアリング活用、データフュージョン、検知アルゴリズム、AI処理等の高度化、標準化といった各種要素技術の研究開発には、官民連携による推進や、それを通じた官実績・技術の民間への継承に加え、官民双方からの資金を原資とする必要がある。
 - ◇ 新たな機器・技術の開発を促進するためにはある程度オープンデータやオープンソースなどの取組が必要であり、特にオープンソースなどは知財保有者が同取組みに参画するインセンティブ設計が必要となる。
 - ◇ 撮像、データ提供、処理・解析・示唆の段階において、衛星データと組合せるべきデータの量や種類を増加し、教師データを充実させ、データや分析結果を入手しやすくするような仕組みを構築するためには、国内外の宇宙/非宇宙産業との垣根を超えた取組みが必要と考えられる。
 - ◇ また、これら個別の取組みをまとめ上げ、ハード（資金）+ソフトの支援による、あらゆるステージの企業に対する隙間の無い支援を実施していくことが重要である。

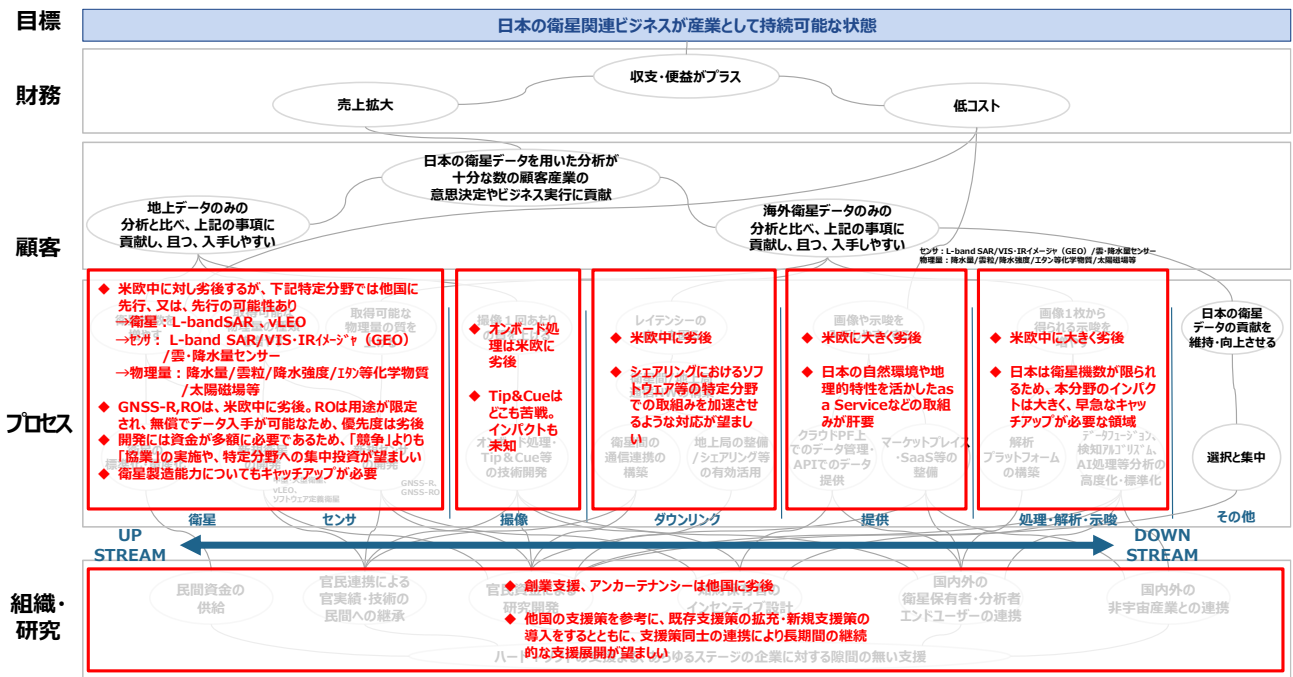
図表 250 戦略マップ



3) アクションプランの基本的な考え方

- 戦略マップを踏まえた上でアクションプランを策定するにあたり、基本的な考え方は以下のとおりである。
 - ◇ アップストリームの部分の衛星の標準化・量産化や新規センサ開発では、他国に対し劣後するものの、L-bandSAR、vLEO、雲・降水量センサなどの特定の分野では他国に先行する。一方、アップストリーム側での改善に向けては量的な側面があり、多額の先行投資が必要となる。政府資金や民間市場からの資金供給が欧米中に比べ劣後する日本では、「競争」よりも「協業」の実施や、特定分野への集中投資が望ましい。また、衛星製造能力についてもキャッチアップする必要がある。
 - ◇ 「撮像」の質向上となるオンボード処理や Tip&Cue などの技術も欧米に比べ劣後している。ただし、Tip&Cue については、昨年度に引き続き、欧米勢もまだ手探り状態であり、インパクトが未知である。他国の進捗状況をより慎重に調査する必要がある。
 - ◇ 「ダウンリンク」「提供」「処理・解析・示唆」においても、日本は欧米中に劣後する。既に日本企業が取り組んでいる特定分野、日本の自然環境や地理的特性などを踏まえた取組みが肝要である。また、特に、衛星の機数が限られるわが国では、画像1枚から得られる示唆を増やす取り組みは非常に重要であり、早急なキャッチアップが必要な分野といえるだろう。
 - ◇ 「組織・研究」の点では、他国の支援策を参考に、既存支援策の拡充や新規支援策の導入を検討する必要がある。また、単に支援策を拡充・導入するのではなく、支援策同士の連携により、ユーザ側が長期間にわたり継続的に支援を受けられるような状況が望ましい。

図表 251 戦略マップを基にしたアクションプランの基本的な考え方



4) アクションプランとレコメンデーション

- 上記基本的な考え方の下、本調査を踏まえた今後の文部科学省のアクションプランを下図表に示す。また、アクションプランに関するレコメンデーションは以下のとおりである。
 - ◇ まずは本調査にて抽出した日本の強みを踏まえ、L-bandSAR、vLEO、雲・降水量センサなどの優位性を保持するなどの選択と集中の方針を策定すべきである。なお、次期計画立案に向けて、日本や他国の動向調査を引き続き実施する必要がある。
 - ◇ 衛星データの「量」の向上に向けては、衛星の標準化・量産化や新規衛星・センサの開発が必須であり、国際的な協業が重要となるため、標準化領域を選定するとともに、アライアンス先国の選定・協議を実施する必要がある。また、新規開発に向けては、初年度に開発方針を策定し、設計・実証・開発などのフェーズに移っていく必要がある。
 - ◇ 衛星データの「質」の向上に向けては、①他国との差別化を図る新規衛星開発、②センサの質向上・新規開発、③画像提供フロー全体における向上、④データフュージョン、検知アルゴリズム、AI処理等による示唆導出の高度化、などの様々な方向が存在する。
 - ◇ 下図表はその全体像を示したものであるが、特にオレンジ部が技術開発の点で特に重要な部分であり、文部科学省が主として担当すべき領域と考えられる。

図表 252 アクションプランに関するレコメンデーション

	2024	2025	2026	2027	2028	
	技術開発の点で特に重要					
選択と集中の方針策定	方針案の策定	実行とモニタリング及び次期計画立案のための調査				
衛星の標準化・量産化	標準化領域の選定	実証・規格設定			量産	
	アライアンス先国の選定・協議+国際的標準化活動					
新規衛星の開発 (中型・大型衛星 /vLEO)	官民連携を見据えた方針策定	設計・開発 (中型・大型衛星)				
	方針案の策定 (vLEO)	設計・開発・打上げ (vLEO)			量産	
	アライアンス先国の選定・協議+国際的標準化活動					
新規センサ開発	L-band SAR/VIS/IRイメージャ/雲・降水量センサなど我が国の強みのあるセンサーのニーズ・競合動向把握					
	新規開発方針の策定	設計・実証・企画設定			新規開発方針の策定	
	アライアンス先国の選定・協議+国際的標準化活動					
オンボード処理	ハード開発実証支援		規格設定		量産	
	アルゴリズム開発実証支援		規格設定		量産	
Tip & Cue	海外動向把握継続	方針検討	実証支援		実装	
衛星間通信連携	衛星間通信戦略構築	実証支援		実装		
地上局の整備・有効活用	地上局増設					
クラウドPF上でのデータ管理 /APIでのデータ提供	アライアンス先国の選定・協議/データ融通の枠組み等の整備					
	衛星データプラットフォーム・API等の継続的整備・改善					
マーケットプレイス /SaaS等の整備	マーケットプレイスの継続的整備・改善					
	SaaS開発実証支援			実装		
データフュージョン、 検知アルゴリズム、 AI処理技術の高度化	注力領域の選定	フュージョン・検知・AI処理実証支援		実装		
	AI開発プラットフォーム構築支援		海外動向継続把握			
	アライアンス先国の選定・協議+国際的標準化活動					

3. 調査結果のとりまとめ

- 本業務では、令和4年度の調査に引き続き、地球観測衛星にまつわる外部環境変化を調査し国内リソースと比較することで、観測衛星の研究開発立案への示唆を得ることを目的とした。
- 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析においては、衛星・センサの観点からは将来に重要なコンステレーションとなりうる NGRx や CCM の状況を把握した。また、データフュージョン・AI の観点からは、データフュージョンに関する研究状況を確認した。両項目とも欧米中に比べ日本は劣後しており、プレゼンスは高くない状況であった。
- 中型・大型観測衛星の調査分析では、日本は衛星打上げ計画数や小型衛星との連携で他国に劣後するものの、「気象」「気候」「レーダー」において、衛星機数、優位センサの保有、L-band SAR 搭載衛星の保有の点から他国に先行している状況が把握できた。
- 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析では、直近は海外のスタートアップが打上げを計画するが、日本のみが SLATS による vLEO での光学センサ搭載衛星運用実績を保有し、さらに民間企業との連携の中で技術継承・新規衛星開発するなど、他国に先行する状況が把握できた。GNSS-RO については、日本では受信センサ搭載の衛星を保有していないが、数値天気予報の作成など用途が限定されており、また、無償でデータ入手できる状況が把握できた。
- SaaS に関する調査分析では、SaTaas、GSaaS、SDaaS の3つのビジネスモデルに分けて確認し、SaTaas、GSaaS において個社レベルでは先進的な取り組みを行っている国内事業者が存在するが、総じて欧米中に大幅に劣後する状況が判明した。
- 新たな衛星データ環境の調査分析では、海外（Copernicus）、国内（CONSEO）、国際会議（IGARSS、WSBW、AGU）から、非常時や平常時における NRT のニーズやそのニーズが増大していることが判明した。また日本の SAR 衛星が NRT の達成を狙えるレベルにあり、そのためには、機数の増加や提供フロー全体における改善が影響を与えることが判明した。
- 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析では、欧米等の官による支援プログラムの内容を確認した。ヨーロッパ、アメリカ、日本それぞれに主に実施する支援プログラムの特徴があり、他国の事例を参考とした支援策拡充・導入・連携などが想定されることが確認された。
- 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術では、大型・小型衛星連携、検知アルゴリズム、GNSS-R について確認し、他国を中心に各種研究・検討が実施されていることが把握できた。
- 上記の調査結果を踏まえた上で、戦略マップおよびアクションプランに関するレコメンデーションを以下のようにとりまとめた。
 - ◇ まずは日本の強みを踏まえ、優位性を保持する等の選択と集中の方針策定が必要。
 - ◇ 「量」の観点から向上するためには、衛星機数の増加が必須であり、標準化や量産化を視野にいれた国際協業が重要と考えられる。
 - ◇ 「質」の観点から向上するためには、他国との差別化を意識した衛星・センサ開発、センサの質向上・新規開発、画像提供フロー全体での向上、データフュージョン、検知アルゴリズム、AI 処理等による示唆導出の高度化が重要と考えられる。衛星の機数が限られる日本においては、ダウンストリーム側の本分野の早急なキャッチアップに資する研究開発や実証事業がアクションプランの重要なステップとなる。