

令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業
「将来地球観測衛星にかかる技術調査分析」

中間報告書
2024年10月

一般財団法人衛星システム技術推進機構
Advanced Satellite Systems Technology Center
(ASTEC)

1. はじめに
2. 調査報告
 - 2.1 衛星地球観測データの利活用に関する動向の調査分析
 - 2.1.1 市場の調査分析
 - 2.1.2 トータルアナリシス技術の調査分析
 - 2.1.3 プラットフォーム事業の調査分析
 - 2.2 地球観測センサの技術開発動向に関する調査分析
 - 2.2.1 調査状況まとめ
 - 2.3 衛星地球観測データの政府調達(アンカーテナント)政策に関する動向の調査分析
 - 2.3.1 調査状況まとめ

- 本文書は文部科学省 令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業「将来地球観測衛星にかかる技術調査分析」に関する、中間報告書である。
- 中間報告書では、以下の3項目に関する技術調査分析のうち、主に調査部分に焦点を当てて報告を行う。
 - 2.1 衛星地球観測データの利活用に関する動向の調査分析
 - 2.2 地球観測センサの技術開発動向に関する調査分析
 - 2.3 衛星地球観測データの政府調達(アンカーテナント)政策に関する動向の調査分析

1. はじめに
2. 調査報告

2.1 衛星地球観測データの利活用に関する動向の調査分析

2.1.1 市場の調査分析

2.1.2 トータルアナリシス技術の調査分析

2.1.3 プラットフォーム事業の調査分析

2.2 地球観測センサの技術開発動向に関する調査分析

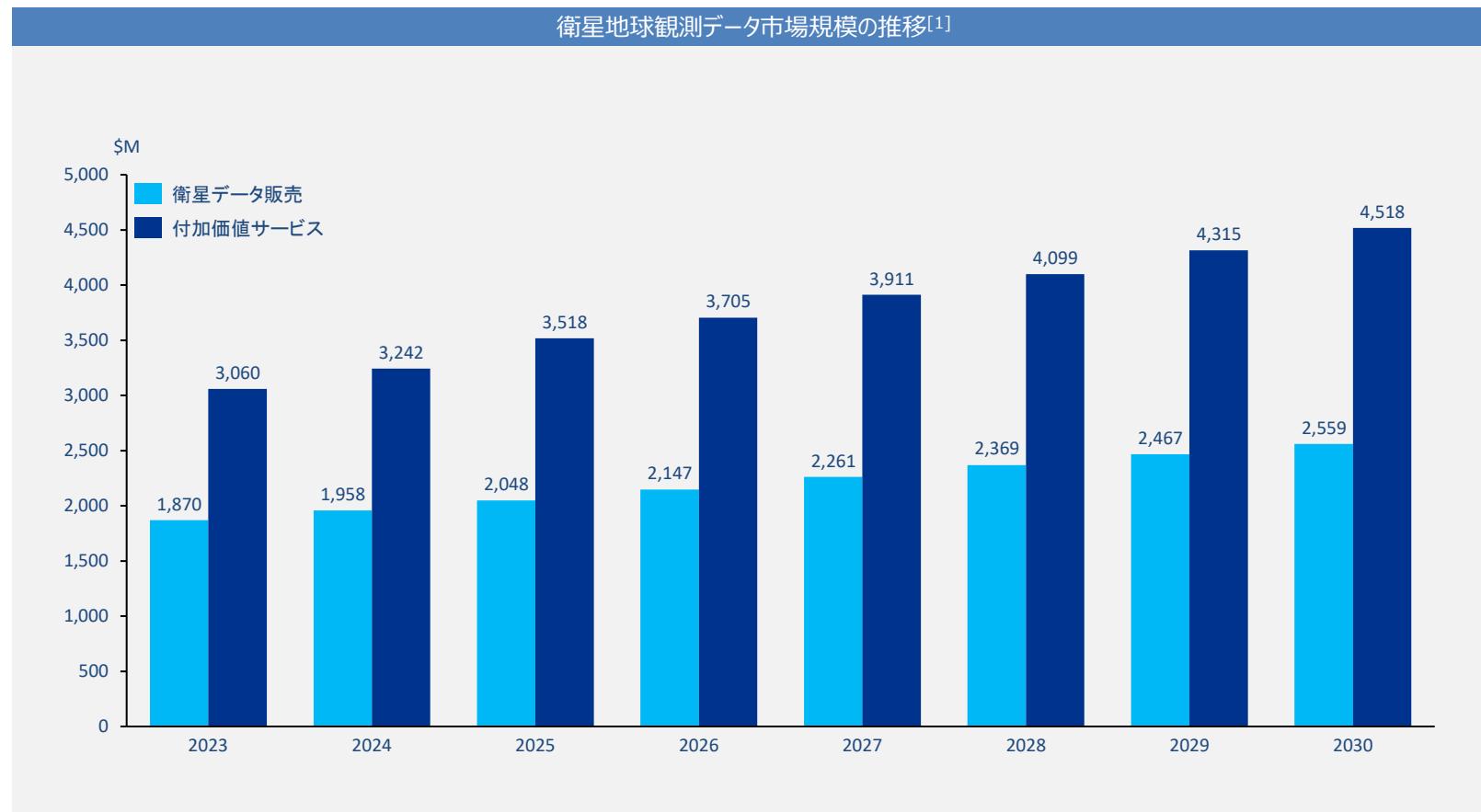
2.2.1 調査状況まとめ

2.3 衛星地球観測データの政府調達(アンカーテナント)政策に関する動向の調査分析

2.3.1 調査状況まとめ

グローバル市場規模

総論として市場は成長傾向にある。2030年までのCAGRは地球観測衛星データ市場で4.6%、付加価値サービスで5.7%が見込まれる。



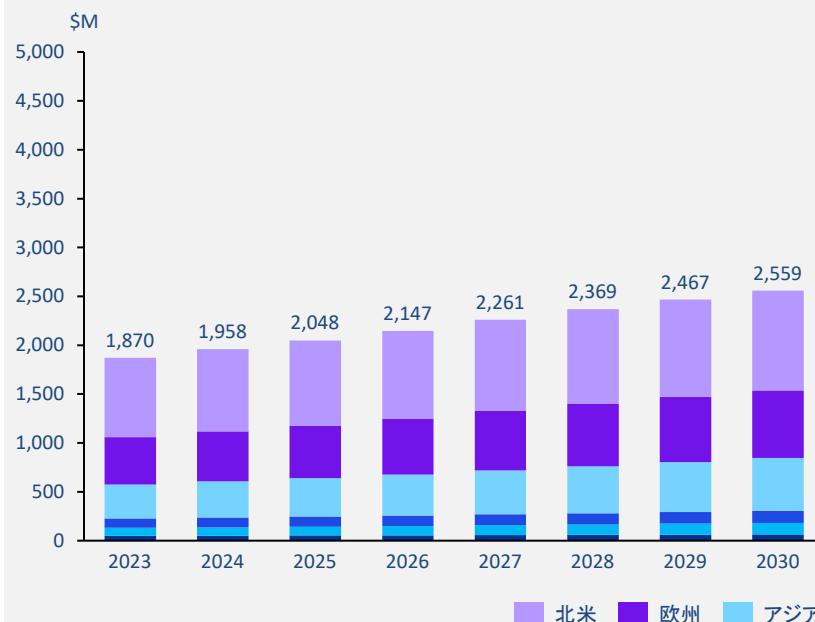
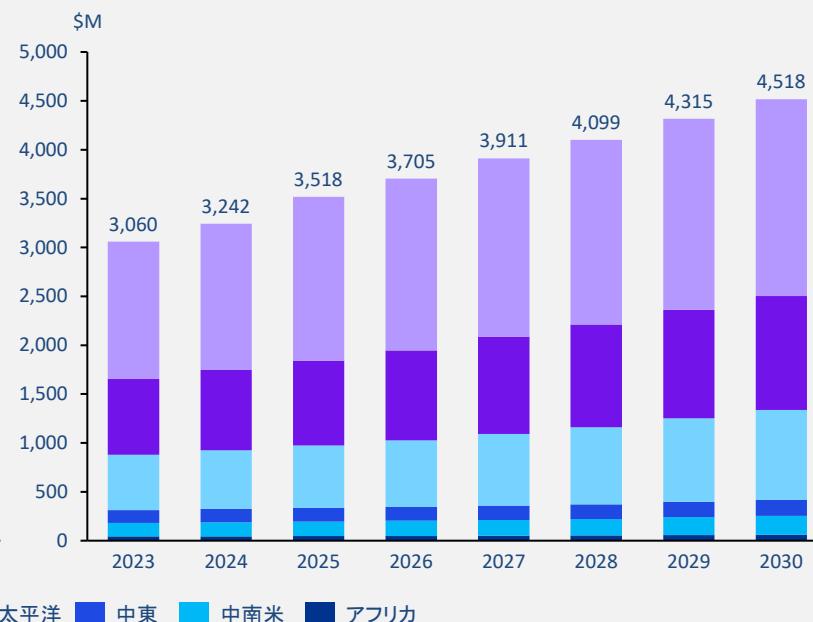
Source: [1] Euroconsult, Earth Observation Data & Services Market, 2023

地域別市場動向

北米市場と欧州市場でグローバル市場のおよそ60%を占めグローバル市場をけん引している。一方で、CAGRとしてはアジア太平洋地域が最も大きく、今後シェアは増加見込み。

地域別市場規模及び動向（総論）

- 防衛領域での需要が大きい北米地域がグローバル市場の約40%を占め、Copernicusプログラムを推進する欧州地域が次いで約20%を占める
- 市場の伸びとしてはアジア太平洋地域が最も大きく、2023年から2030年でCAGR7.1%と予測される

衛星データ販売市場規模推移^[1]付加価値サービス市場規模推移^[1]

Source: [1] Euroconsult, Earth Observation Data & Services Market, 2023

利用先分野の識別

衛星データ活用先の領域を大きく9分野にカテゴライズし、うち、「都市開発・インフラ」、「森林保全・農業」、「環境」、「防災」、「海洋」の5分野を注力分野として識別。

分野・テーマ	概要	注力分野 ¹
1 都市開発・インフラ	都市計画や都市環境モニタリングに有益な情報として衛星データが活用され、都市の成長、インフラ、環境の持続可能性の管理の能率的な実施を可能とする。また、衛星データを用いた地盤変形評価等を通じた、インフラ整備における対象の土地・場所の選択支援や、モニタリングによるメンテナンス作業の最適化等に役立てられている。	✓
2 森林保全・農業	炭素モニタリングから森林減少・劣化への対処まで、世界中の森林保全に浸透し貢献しており、森林の持続可能性をモニタし、維持していく上で価値のある標準的な手段になりつつある。さらに、農業分野における栄養管理、土壌の健全性、生物多様性等のモニタリング・保全のために衛星データに依存するところは大きい。	✓
3 環境	衛星データによる種々の環境モニタリングや気候データ取得による天候関連サービスへの寄与等に活用されている。地球のダイナミクスを監視しそのメカニズムを把握することでさらに高度なサービスや予測分析に繋がるなど、地球観測衛星データの重要性が増してきている。	✓
4 防災	防災観点でのインフラ老朽化検知や山体の数センチ単位の膨張の検知による火山活動監視等並びに発災後の地震・津波・洪水・土砂崩落・噴火等の状況把握等に活用され、広範囲に対し情報収集・分析できる手段として活用されている。	✓
5 海洋	混雑した港湾環境での船舶のより安全で効率的な運用、海上での違法漁業活動検知・把握、海洋環境モニタリングや適切な漁場の探索・把握等による漁業・養殖業セグメントの生産量向上寄与など、業務効率化・利便性向上に大きく貢献している。	✓
6 LBS	動体の監視をベースとし、GNSSから得られるリアルタイムの位置情報やその他のソースからのタイムリーなデータ・情報を組み合わせることで、VR/AR関連アプリケーション、先進運転支援システム(ADAS)をはじめとする新たなアプリケーション開発に繋がる。	-
7 エネルギー	再生可能エネルギーの年間生産量推定、エネルギー資産リスク評価、電力網のバランスをとるための短期的なエネルギー生産量予測等に適用され、また環境への影響の監視、鉱物資源の可能性が高い地域の特定、違法な採掘活動の検出、鉱山ピットや尾鉱の斜面の安定性の監視による安全性の向上等にも活用されつつある。	-
8 安全保障	国防、諜報、国家安全保障(テロ対策含む)等をニーズとするのもので、衛星データ利活用市場のうち最も大部分を占める。昨今の地政学的な不安定さを背景に衛星データや関連サービスの需要はなおも増加傾向にあり、安全保障分野において衛星データは不可欠なものとなっている。	-
9 金融・保険	金融・保険領域では、パラメトリック保険のインデックスの作成、投資のためのスクリーニング、投資戦略策定のための需要供給予測に必要な生産・出荷モニタリング等に活用されており、商品の価格設定等に貢献しているほか、発災から支払いまでのリードタイムの短縮等にも役立っている。	-

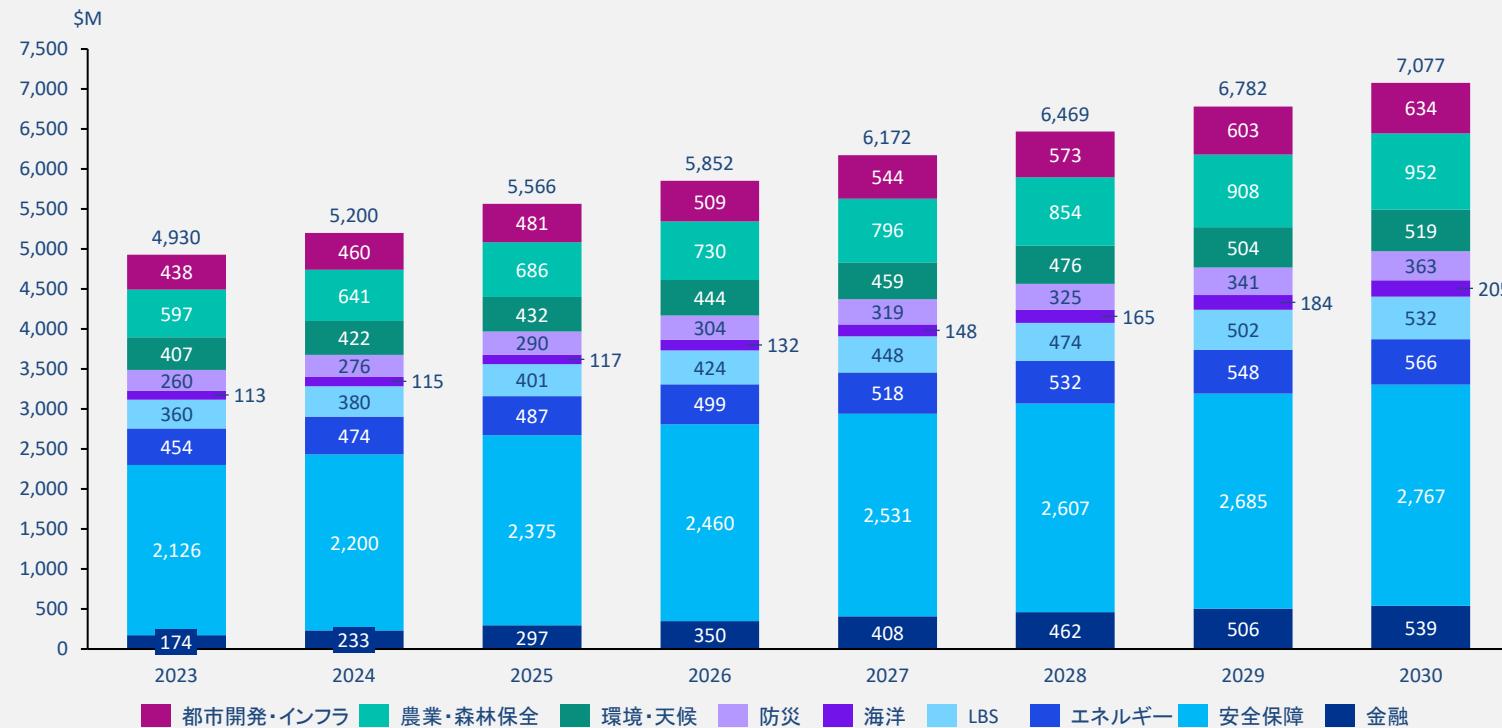
1. CONSEO提言(<https://earth.jaxa.jp/conseo/news/20240319-1/document02.pdf>)において強化すべき重要な取り組みとして識別された「カーボンクレジット」、「防災」、「海洋」、「スマートシティ」に準拠して、上記の「都市開発・インフラ」「農業・森林保全」「環境」「防災」「海洋」の5テーマを注力分野と識別した

分野別市場動向（総論）

利用先分野としては安全保障分野が市場の約40%を占め引き続き市場をけん引する中、今後は農業・森林保全分野における利活用市場もCAGR約7%で成長すると予測されている。

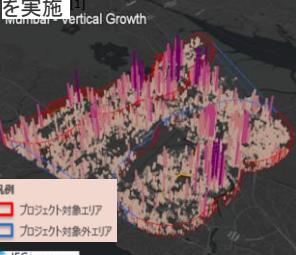
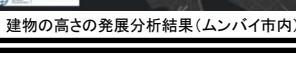
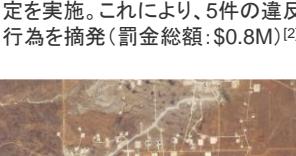
分野別市場規模及び動向（総論）[1]

- 安全保障分野が占める割合が最も高く、CAGRは2-3%程度ではあるものの堅調に成長する見込み
- 安全保障以外では都市開発・インフラ分野や森林保全・農業分野の市場が比較的大きく、安全保障と比較して成長率は高いと予測される



Source: [1] Euroconsult, Earth Observation Data & Services Market, 2023

環境やインフラのモニタリングのような“データ”により生み出される市場に加え、都市計画やGNSSとの組み合わせた正確な地図・空間情報作成のような“サービス”市場が台頭している。

ユースケース例		ユースケース概要		実例
都市開発・インフラ 	都市計画等	都市計画	スプロール化(都市が急速に発展し、都心部から外方向に無秩序に市街地開発が不規則に広がる現象)の変化測定等による、持続可能で回復力のある都市開発のためのモニタリング	 <p>世界銀行がNTTデータとRESTECで運営している"AW3D"の3D地形データを利用して、モザンビークとインドの道路整備プロジェクトが都市空間に与えた影響の分析・評価を実施</p>
		非公式住居	計画外の違法な構造物や敷地境界線の違反検出	
		不動産	土地・資産評価のサポート、不動産プロジェクトの進展の監視、危険が発生しやすい場所の分析とリスク評価の開発等による、不動産関係者の状況認識の向上のためのデータ取得	
		都市部測量・マッピング	GNSSと組み合わせた包括的な地理データの収集・分析による、都市計画、インフラ開発、文化遺産の監視と管理、都市の資源管理のための正確な地図と空間情報の作成	
		都市モデリング/3Dモデリング/デジタルツイン	都市計画、インフラ管理、リアルタイムシミュレーションの促進や都市開発・管理における意思決定の改善に資する都市環境の包括的なデジタル表現のためのデジタル情報としての活用	
	環境モニタリング	都市環境における大気質モニタリング	モニタリング対象の大気汚染物質の起源・由来、移動、予想される健康リスク等の検出、収集、解釈を可能とする現場での測定に組み合わせた利用	 <p>建物の高さの発展分析結果(ムンバイ市内)^[1]</p>
		光害	人間活動、都市化・都市の電化の指標、光害による健康への影響の測定・分析に資する夜間の"光"の観測及びモニタリング	
		熱監査	熱監査(建物の熱性能を測定するために使用する評価手法:熱が失われている領域、断熱不良、空気漏れ、または故障等を検知する)による建築中または既存の建物の欠陥検出	
	インフラ建設・監視	インフラの環境影響評価	建設中または既存のインフラが周囲環境や生態系に及ぼす影響の分析のためのモニタリング ※自然や地質学的变化に焦点を当てた気候・環境・生物多様性モニタリングとは異なるインフラ自体に焦点を当てたモニタリング	 <p>米国ニューメキシコ州土地がPlanetの衛星データを活用し、稼働中及び休止中の鉱山の採掘施設への不法侵入や物質流出の特定を実施。これにより、5件の違反行為を摘発(罰金総額:\$0.8M)^[2]</p>
		建設モニタリング	表面の変化を検出できる特徴を活かした、建設現場付近の地盤変形のモニタリングや建設作業の進捗状況のリアルタイムのモニタリング	
		インフラへの人間活動の影響モニタリング	都市部における帯水層(地下水による飽和透水層)の過剰開発をはじめとする人間活動によって引き起こされる地盤沈下等の現象の建物およびインフラ設備への影響のモニタリング	
		パイプライン監視	パイプラインネットワーク全体での地盤変形情報の提供、植生侵食、第三者干渉等のモニタリングによるパイプライン監視への貢献	
		建設後の監視	地表変形の影響により損傷の可能性のあるダム、橋、橋梁等の既設インフラに対する、土地の変形の精密な監視と微小変化(建物地盤沈下等)の検出による安定性監視と状況把握・認識	 <p>PlanetScopeによって撮影された鉱山採掘施設の様子^[2]</p>

Source:[1]<https://www.aw3d.jp/casestudy/%e4%b8%96%e7%95%8c%e9%8a%80%e8%a1%8c%e3%81%ab%e3%82%88%e3%82%8b%e6%b0%91%e5%8a%9b/> [2]<https://www.planet.com/pulse/state-and-local-government-continue-to-leverage-planet-data-in-2020/>

注力分野における主なユースケース 2/4

24-002-R-011

農業・森林保全分野においては、植生モニタリングのように食料サプライチェーン維持やモニタリングを推進する政府やエコノミスト等、幅広いステークホルダに恩恵のあるユースケースも多い。

	ユースケース例	ユースケース概要	実例
森林保全 ・農業 	環境モニタリング	炭素捕捉と含有量評価	異なる地形における炭素吸収能力測定や炭素隔離 ¹ に関連する農業慣行維持の監視等を目的とした農業植生と草原被覆のモニタリング
		環境影響監視	
		森林バイオマスモニタリング	
		森林減少/劣化モニタリング	
		違法伐採監視	
	天然資源モニタリング	バイオマス監視	レーダー測定現場センサーを含む様々な光学測定等と組み合わせたバイオマス監視による、特定の生態系のCO ₂ 吸収能力やバイオマスエネルギー生産の可能性評価
		作物収穫量予測	
		土壤状態モニタリング	
		植生モニタリング	
	運用管理	圃場の定義	圃場の境界の正確な測定と領域定義
		放牧地管理	
		森林の認証	

Source:[1] <https://www.euspaceimaging.com/satellite-imagery-for-the-new-cap/> [2] <https://www.planet.com/pulse/advancing-regenerative-agriculture-with-skytecs-ranger-and-limestone-valley-rcd/>

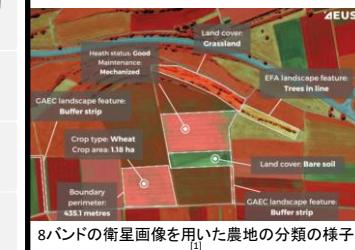
1. <https://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=2791> を参照

2. Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数

3. Common agricultural policy

4. Euro Space Imaging

EUがEU圏内の農業補助金を管理するプログラムであるEU共通農業政策(CAP³)にて、EUSI⁴の衛星データ由来の分析を用いて、農地の管理を実施^[1]



ライムストーンバレー資源保全開発(RC&D)協議会がPlanet社のSkysatとPlanetScopeの衛星データを利用した土壤のタイプを分析するSkytec社のソリューションを用いて再生農業における土壤の管理を実施^[2]



PlanetScopeの衛星画像を用いた土壤の分析の様子^[2]

注力分野における主なユースケース 3/4

24-002-R-011

気候変動やそれに起因する異常気象の増加を背景として、天候・環境監視による状況把握や災害発生予測、発災後の早期検知や減災・免災のために幅広く利用されている。

ユースケース例		ユースケース概要		実例
 森林保全 ・農業	天候サービス	農業のための気候状況把握	衛星データを用いた農業に関連する気候変数の長期予測とモニタリングによる、将来の収穫量と気候との関係性導出や直近の状況(大気汚染や地表温度等)把握	 フィンランドの森林所有者協会の本部(MHYP)が衛星データとBitcompのAIに基づく森林分析ツールを用いてフィンランド全土の森林の健全性の把握に利用 ^[1]
		農家向け天気予報	農家の灌漑や肥料のスケジューリング等の作業計画の源泉となる、短期間の天気予報、大気汚染、地表温度、および雲量の情報提供のためのピンポイント天気予報	
	森林資源モニタリング	森林インベントリモニタリング	現場のセンサ等の組合せによる木材資源インベントリのモニタリング	 モバイルアプリケーション上で分析ツールを利用するイメージ ^[1]
		森林植生の健全性監視	NDVI ^[2] 等の指標を通した森林植生強度を測定による樹木等の健全性の推定及び管理や、GNSSと組み合わせることによる森林被覆や樹高測定のマッピング	
	気候サービス	気候のモニタリングと予測	大気の質、陸地の温度、雲量等のモニタリングをモデルに組み込むことによる高度な気候モニタリングと予測	 トルコの災害緊急事態当局EFDI ^[1] はAirbusのPléiades Neoの衛星画像をトルコ地震の被害状況の把握及び救助活動の判断に利用 ^[2]
		気候モデリング	領域を切り取ると短時間の観測であり長期的にみると離散的なデータであるものの、全球レベルでの挙動を動的に予測・シミュレートするモデルに対し非常に有効な入力データとしての活用	
 天候・環境	生態系モニタリング	生物多様性・生態系・自然資本モニタリング	沿岸の地形学、水の光学特性、水域の栄養塩(クロロフィルa)等の観測による沿岸の生態系、雪氷被覆(マルチスペクトル、熱、およびマイクロ波)、氷河薄層化マッピング、氷床の測定等による雪氷の生態系、太陽光や人工光に対する反応、電磁スペクトル反射特性等の観測による陸上の生態系、水深、海の色、海面水温等の観測による水系の生態系、等の状況把握や予測	 トルコの災害緊急事態当局EFDI ^[1] はAirbusのPléiades Neoの衛星画像をトルコ地震の被害状況の把握及び救助活動の判断に利用 ^[2]
		環境影響評価・環境資源管理	大気質や温室効果ガス排出有無等の大気条件、海水温/透明度/濁度/潮汐、植生やバイオマス、廃棄物、インフラ等の監視による人間活動の環境への影響予測への貢献	
	環境モニタリング			
 防災	防災・災害対応等	影響分析と予防的軽減措置	洪水、山火事、地震、ハリケーン等の自然災害を特定・監視し、災害対応計画で特に注意を要する高リスク地域をハザードマップとして可視化することや潜在的な災害への備えへの貢献	 衛星画像による被害把握及び災害対応に使用される様子 ^[2]
		早期警戒緊急アプリケーション	GNSSとの組み合わせて、干ばつ、森林火災、地滑り・地形変形、地震・津波、洪水、高潮、火山活動等を監視することによる、リアルタイムのデータ収集、分析、アラートのタイムリーナ配信の実現と、自然災害や緊急事態の影響を軽減するための早期検出、準備、効果的な対応の能力の向上	

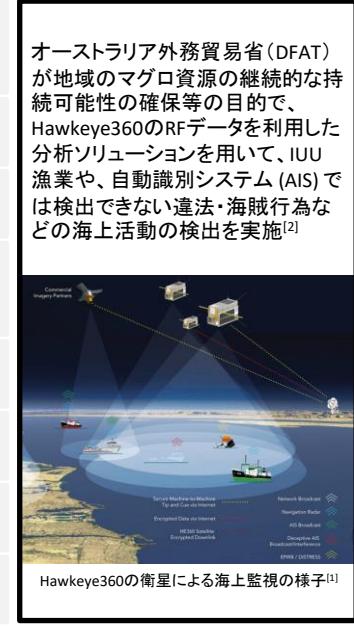
1. Turkish Disaster and Emergency authority

Source:[1] <https://business.esa.int/news/satellites-and-ai-new-generation-forest-management> [2] <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-09-disasters-how-earth-observation-satellites-help-guide-emergency-workers>

注力分野における主なユースケース 4/4

24-002-R-011

- 違法漁業対策における活用を筆頭に、世界的な食糧需要増を背景とした養殖業への期待の高まりに応え得るアプリケーションが台頭してきている。

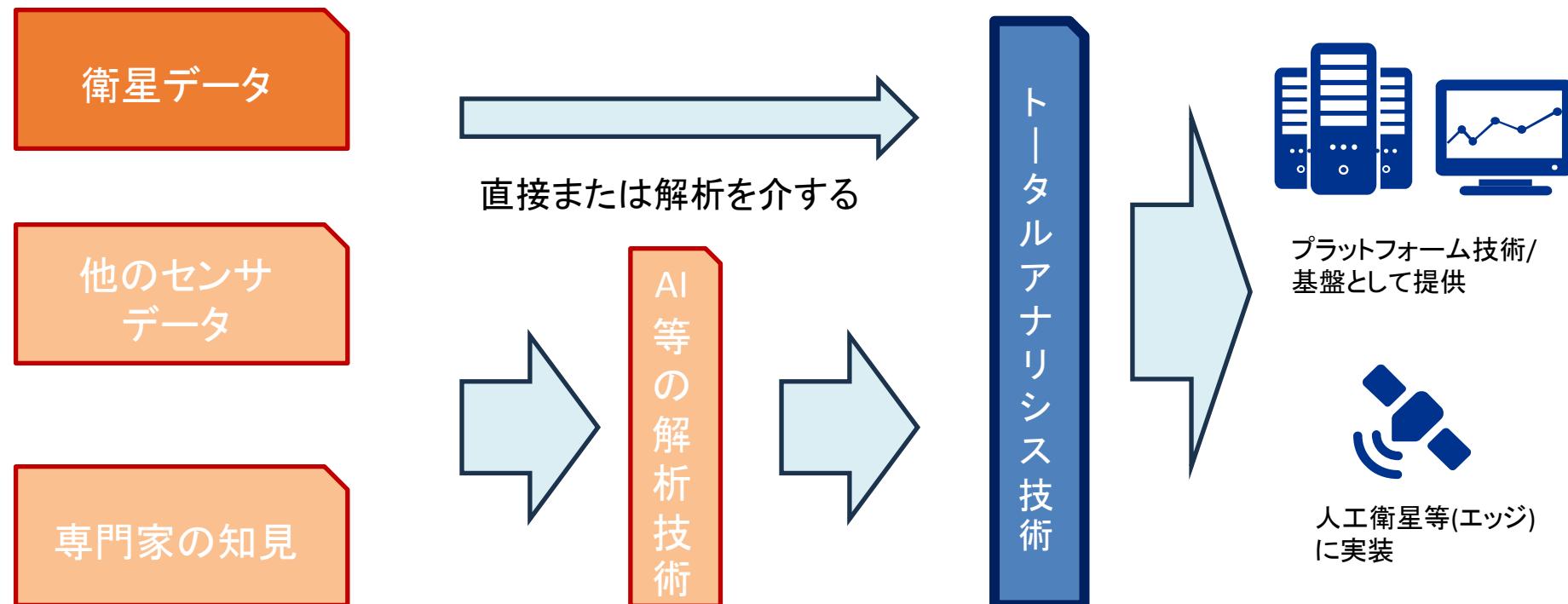
	ユースケース例	ユースケース概要	実例
海洋 	港湾管理	港湾安全	<p>オーストラリア外務貿易省(DFAT)が地域のマグロ資源の継続的な持続可能性の確保等の目的で、Hawkeye360のRFデータを利用した分析ソリューションを用いて、IUU漁業や、自動識別システム(AIS)では検出できない違法・海賊行為などの海上活動の検出を実施^[2]</p>  <p>Hawkeye360の衛星による海上監視の様子^[1]</p>
		港湾セキュリティ	
	環境モニタリング	海洋汚染モニタリング	
		漁獲量の最適化	
		魚類資源の検出とモデリング	
	漁業	違法・無報告・無規制漁業管理	
		養殖操業の最適化	
	養殖場所の選択	水質モニタリング、特に有害藻類ブルーム(HAB)のモニタリング、養殖環境への影響の評価、種の侵入のモデリングによる魚群の推定や健全性の推定	

1. Illegal, Unreported and Unregulated:違法・無報告・無規制漁業

Source:[1] <https://www.skyperfectsat.space/jsat/case/detail/hawkeye360.html> [2] <https://spacenews.com/hawkeye-360-working-with-the-pacific-islands-forum-fisheries-agency-for-greater-maritime-visibility-in-the-pacific-islands/>

トータルアナリシス技術の定義

ここで調査対象としているトータルアナリシス技術とは、事前に利活用のユースケースや整備目的などを明確に定め、その上で衛星データを含めた各種センサデータや各業界ごとの専門的な知見を取り入れたAIモデルなどを取り込み、1つのアプリケーションまたは1つの基盤を作り出すものとしている。特定の衛星データの流通を目的としているわけではないため、トータルアナリシス技術の事例としては研究機関が中心となった事例が主となっている。



トータルアナリシス技術の事例①Edge SpAIce

24-002-R-011

Edge SpAIceでは、ユースケースを海洋プラスチックごみの監視・検出に絞り、軌道上エッジにおけるDNNの最適化及びFPGA搭載と、軌道上実証までをスコープとしている。

02 Unleashing AI potential to foster space accessibility and novel Earth Observation services creation (Edge SpAIce) [1] 宇宙へのアクセスと地球観測サービスの創出を促進するEdge-AIの実証

対象プログラム	Horizon Europe
公的資金額及び対象期間	2023年12月から2026年11月の3年間、€2.5M
構成組織	AGENIUM Space（主幹組織）、CERN(European Organization for Nuclear Research), EnduroSat, Athen工科大
研究内容及び実施事項	<ul style="list-style-type: none"> • 背景及び目的 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 衛星による地球観測データが劇的に増加したが、付加価値最大化のためのデータ管理インフラが十分に整備されていない ➢ データ取得と後段処理の間で継続的なデータフローを必要とする新しい地球観測アプリケーションにさらに訴求できる効率的なデータ管理の実現のために、自律的で信頼性の高いデータペイロードとレインジの削減を可能にする有効な手段として「エッジ」でのディープニューラルネットワーク (DNN) が考案された ➢ 正確なDNNモデルの展開の主な制限は高い計算能力と扱いにくいアーキテクチャであるとされる ➢ 当該プロジェクトでは、EdgeSpAIce が、衛星搭載ハードウェアの互換性要件を満たしつつ複雑なDNNのサイズを変更する効率的な手法の開発と、その中で、軌道上衛星から海洋プラスチックごみを遠隔監視するためのDNNの設計と展開によって、Edge-AIの可能性をさらに実証することを目的とする • 実施事項 <ul style="list-style-type: none"> ➢ DNNアーキテクチャの削減効率向上による精度劣化防止 ➢ 難易度の高いユースケースシナリオ（海洋プラスチックごみ検出）での実証 ➢ 上記によりエッジコンピューティング用に最適化されたDNNの、宇宙用FPGA（NanoXplore製、Xilinx製）への展開 ➢ 衛星へのインテグレーションと軌道上実証デモ（海洋監視）
取り組む課題	<ul style="list-style-type: none"> • データ取得と、後段のアプリケーション向け処理との間における非効率・非連続なデータフローの改善 • 上記の一策である軌道上「エッジ」でのDNNにおいて、ダウンサイ징（従来の50倍削減）と精度（検出精度90%超）の維持の両立 • エッジAI FPGAアプリケーションによる成熟度の向上（TRL6達成を目指す）
対応する要素技術	データフュージョン、システム自動化
サービスの普及主体	Edge SpAIceコンソーシアム
進捗状況	衛星搭載ハードウェアの互換性要件を満たしながら、複雑なDNNをサイズ変更するための非常に効率的なアプローチ開発を実施している。
想定ユースケース	海洋環境におけるプラスチックごみの遠隔監視・検出

Edge SpAIceの取り組み概要^[1]Source: [1] <https://edgespacie.eu/>

トータルアナリシス技術の事例③PHENET 1/2

24-002-R-011

PHENETでは、欧州研究基盤（RI）が協調して農業生態系の研究の高度化に資するツールや方法論の開発を目指してデータフュージョンやモデル高度化等に取り組んでいる。

# 03	Tools and methods for extended plant PHENotyping and EnviroTyping services of European Research Infrastructures (PHENET) [1] 植物表現型解析および環境型解析サービスのためのツール/手法の開発	1/2
対象プログラム	Horizon Europe	
公的資金額及び対象期間	2023年1月から2027年12月の5年間、€10.0M	
構成組織	仏国立農業・食料・環境研究所（主幹組織）、Louvainカトリック大学、Wallon de Rechrcches農業センター、Bonn大学、Wageningen大学 等	
研究内容及び実施事項	<p>欧州における、食糧安全保障、気候変動への耐性、生物多様性、土壤炭素貯蔵量回復に向けた、農業生態系に関する意識の高まりを背景とし、植物表現型¹解析、生態系実験、長期観測、データ管理およびバイオインフォマティクス²に関するRI³が協調し、欧州全土で発生しうる気候シナリオを前提とした将来を見据えた種、遺伝子型、管理方法の組み合わせを特定するための新しいRIサービスに貢献するための新たなツールと手法を開発する</p> <ul style="list-style-type: none"> Working Package（以下WP）1：ユースケース調整 WP2：適応型表現型解析デバイスの開発 <ul style="list-style-type: none"> 特性を直接抽出できるコンピュータビジョンモデルベースのAIを組み込んだ適応型表現型解析デバイスの開発 WP3：表現型データの入手性向上 <ul style="list-style-type: none"> ①表現型分析の統計的な検出精度を向上させるためにフィールドプロットの環境条件の空間的・時間的変動を考慮し、②観測衛星、UAV、およびフィールドセンサからのクロススケールのデータ融合方法を開発し、③衛星データに基づく植物特性推定アルゴリズムを開発することによる、衛星データを使用した表現型データの利便性向上のため、圃場等の条件の空間的・時間的変動をより適切に表現するデジタルソリューションの開発 WP4：データの統合と標準化 <ul style="list-style-type: none"> データ取得（WP2及び3）からモデリング（WP5）および公開までのデータフローを実現するためのデータの標準化および統合 WP5：GxExM⁴におけるモデル高度化 <ul style="list-style-type: none"> 個々の植物、実験圃場や実際の農場の高解像度のカスタマイズされた物を展開するためのデジタルツインの開発及びユースケースでの実証等を実現するために、実験設備とモデル改善の間のギャップを埋め、AI技術とドメイン専門知識を活用してGxExMの一連の実験の効果を向上 WP6：アウトリーチ <ul style="list-style-type: none"> 他のWPや各ユースケースに横断的に実施される、コミュニケーション、普及、活用、トレーニングに係る活動 WP7：プロジェクト推進・管理 	<p>The diagram illustrates the PHENET Project Work Package (WP) structure. It shows a central vertical flow from 'WP1 - USE CASES TO ADVANCE...' at the top to 'WP7 COORDINATION & MANAGEMENT' at the bottom. To the left of this flow are several horizontal boxes representing different work packages: 'WP2 - ADAPTABLE PHENOTYPING DEVICES WITH AI EMBEDDED', 'WP3 - EO SERVICES & PROXY DETECTION FOR RIs', 'WP4 - OPEN SCIENCE DIGITAL SERVICES', and 'WP5 - SIMULATION INTELLIGENCE SERVICES'. To the right of the central flow are several vertical boxes representing specific research areas: 'LANDSCAPES', 'INTERCROPPING', 'SOIL PHENOLOGY', 'FARMS TO PLATFORMS', 'GxE ORCHARD', 'GxE CEREALS', 'SOIL HEALTH', 'PLANT HEALTH', and 'WP6 - OUTREACH & TRAINING'. Arrows indicate the flow of data and collaboration between these components. A large green arrow on the right points towards 'RI SERVICES TOWARDS AGROECOLOGY'. On the far right, there is a box labeled 'New / upgraded services in RI' containing logos for 'EMPHASIS', 'AnaEE', 'eLTER', and 'efair'.</p>

- 遺伝子型と環境との相互作用により、遺伝子型の一部が目に見える形で現れる生物組織の特質のこと
- 生命現象をコンピュータを使用して研究する、生命科学と情報科学の融合分野であり、生物情報科学や情報生命科学とも呼ばれる
- 欧州研究基盤(the European Research Infrastructures)
- Genotype x Environment x Management

Source: [1] <https://www.phenet.eu/en>

トータルアナリシス技術の事例③PHENET 2/2

24-002-R-011

AIベースのマルチセンサデバイスの開発や、衛星データと地上センサデータの統合及び可用性向上等の取り組みを通じ、現行のRIの難点である時間的・空間的制約を受けない新たなRIへの貢献を目指す。

03

Tools and methods for extended plant PHENotyping and EnviroTyping services of European Research Infrastructures (PHENET) [1]

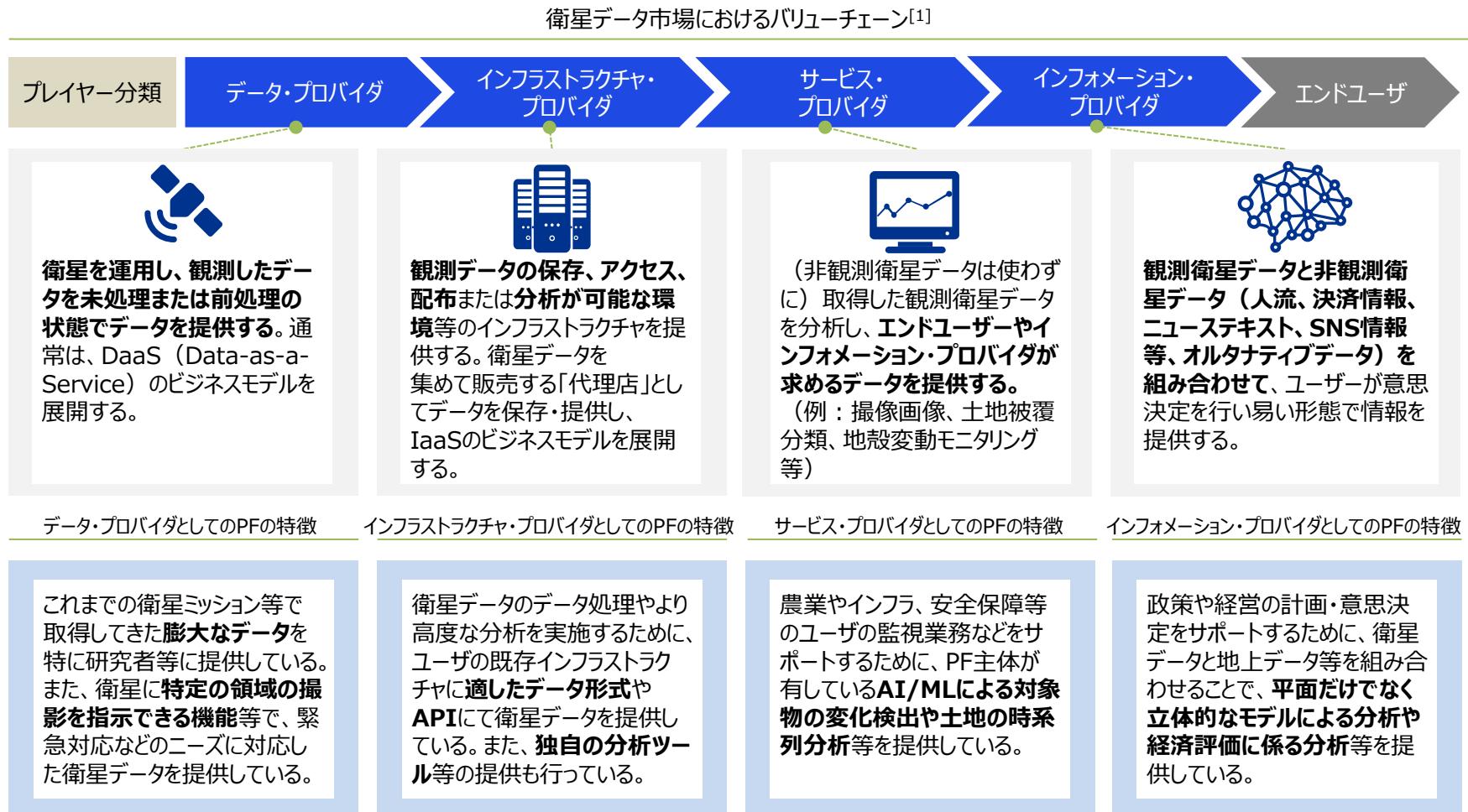
2/2

取り組む課題	<ul style="list-style-type: none"> 新しいAIベースのマルチ(農業生態学関連)特性マルチセンサデバイスの開発 地上ベースのデータに接続された高解像度の衛星データへの可用性・利便性の改善 FAIRデータとの接続のサポートの強化 AIとデジタルツインを包含する新たな予測モデリングソリューションの開発
対応する要素技術	データフュージョン、標準化、数値モデル・データ同化
対象とするサービス	欧州農業生態系に関する新たな欧州研究基盤RIサービスに貢献するツールと手法
サービスの普及主体	PHENETコンソーシアム
想定ユーザ	農業及び農業生態系の研究者等
進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> 多様な表現型、環境変数等を取得するセンサセットを収集する低成本のデバイスの仕様確立に向け、科学者、エンジニア、エンドユーザにより議論を実施 小麦の生物的ストレスに適用可能な検証済みセンサーと方法論 <ul style="list-style-type: none"> 小麦の赤カビ病等の定量化手法の開発。多変量解析や疾患指数の組合せに基づくモデリング等により、精密農業などの疾患の出現をリアルタイムで予測するプラットフォームとモデル間のインターフェースを確立するとともに、多様な規模の多様な疾患の特定に必要なスペクトル、空間、および時間の解像度に対応し、標準化のためのベンチマークとして活用する 土壤の健康と根の表現型 <ul style="list-style-type: none"> 地下の主要なパラメータをリアルタイムで判定する自動化可能な土壤イメージング技術の開発。農業や生態学の用途では見逃されがちな土壤の物理化学特性や根の特性を現場で定量化する手法を考案し、土壤有機炭素などの主要な土壤パラメータを現場で迅速かつ自動化して調査した地上検証データに基づく校正、ex-situスペクトルライブラリの開発。 GxE (Genotype x Environment) シリアル <ul style="list-style-type: none"> モデルによる小麦の表現型解析により、遺伝子型のパフォーマンスと将来の環境条件への適応を予測する仕組みの構築。小麦栽培品種のGxE x Mの相互作用に関する知見獲得のために、高スループット表現型解析プラットフォーム、IoT、VHR衛星プラットフォームを組み合わせ、RIと圃場における表現型解析データ取得フレームワークを構築。マルチセンサ及びマルチスケールの観測結果をデータ同化し遺伝子型の機能特性を特定する。 GxE (Genotype x Environment) 果樹園 <ul style="list-style-type: none"> 非生物的ストレスと生物的ストレスの対照的な環境におけるリンゴの木の発育、生理、健康状態をモニタ・評価し果実の品質を最適に管理することを目的として、専用のセンサセットを使用して、リンゴの木と果実の品質、成長、健康状態を定量評価する。2016年に同じ目的・設計で整備され534の遺伝子型が含まれる実験圃場「Apple REFPOP」を使用する。
想定ユースケース	<p>The diagram illustrates the High-Throughput Phenotyping Network (HTPN) architecture. It shows a flow from various data sources (HTTP Controlled, HTTP API, Satellite imagery, Smart IoT on-Farm) through a central HTPN hub containing Phenotyping, Genotyping, Algorithms, and Databases modules, leading to Modelling (Crop growth model, Crop yield model, Crop stress model) and Applications (yield history prediction, Cultural practices, Crop management).</p>

Source: [1] <https://www.phenet.eu/en> [2] https://www.phenet.eu/en/about-phenet/use_cases/uc3

プラットフォーム事業の分類

衛星データを扱うデータプラットフォームは4つのバリューチェーンに分類され、各々のバリューチェーンにおけるユーザのニーズに対応した機能や分析等を提供している。



Source: [1] <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/eu-space-market-and-users/gnss-and-eo-market-report> を参考にKPMGで作成

欧米の主要なデータプラットフォーム一覧

24-002-R-011

政府支援やアンカーテナントを受ける欧米の主要プラットフォーム（PF）は、アクセスしやすい環境や衛星データを活用したソリューション等の提供によりエンドユーザのニーズに応えている。

商用
PF 主幹組織が営利目的で衛星データ等を提供しているPF

* 前ページで分類したバリューチェーン上のポジション： 1.データプロバイダ 2.インフラストラクチャ・プロバイダ 3.サービス・プロバイダ 4.インフォメーション・プロバイダ

#	PF及び企業 ¹ 名称	バリューチェーン上の分類*	主体組織等	PF概要
1	Axim Geospatial	商用 PF	2,3,4	Axim Geospatial 防衛やインフラ等に係る組織等に対して地理空間サービスとソリューションを提供するPF
2	BlackSky Spectra	商用 PF	1,2,3	BlackSky レイテンシの小さい画像提供やAI分析機能により戦略的・意思決定のための洞察を提供するPF
3	Cloudeo	商用 PF	2,3,4	Cloudeo 衛星画像や航空画像、地理空間データとニーズに合わせて、サービスを組み合わせることでカスタムソリューションを提供するPF
4	CDSE ²		1,2,3,4	Copernicus Copernicusが保有している衛星データを簡単に検索、視覚化、ダウンロード可能な環境で提供するPF
5	Data Terra		1,2,3,4	CNES等 FAIR ³ データ、製品、サービス科学コミュニティ、公共政策、イノベーションの利害関係者等に提供するPF
6	EODH ⁴	商用 PF	2,3,4	UK Space Agency等 英国におけるEOコミュニティに衛星データ利用のハブとして長期的なデータ等へのアクセスを提供するPF
7	e-GEOS	商用 PF	1,2,3,4	Telespazio、ASI EOデータおよび非EOデータとの融合により地理空間サービスにおける業種別アプリケーションを提供するPF
8	EOWEB GeoPortal		1,2	DLR 地球観測データに双方向的にアクセスすることを目的とし、DLRが有している衛星データを提供するPF
9	EUSI ⁵	商用 PF	2,3,4	EUSI VHR ⁶ 衛星画像等の衛星データとそれらを活用した3Dモデル等を提供するPF
10	G-EGD ⁷		1,2	Maxar 米国政府機関の安全保障や緊急管理などのために衛星データや地理空間情報を提供するPF
11	NASA Earthdata		1,2	NASA NASAの無料かつオープンな地球科学データと相互運用可能なアクセスを提供するPF
12	Planet Insight Platform	商用 PF	1,2,3	Planet Labs 日々の地球データや分析ツールを組み合わせて多次元の洞察を既存のシステムにシームレスに提供するPF
13	Royce Geo	商用 PF	2,3,4	Royce Geo 地理空間情報、AI/ML分析、およびビジネスパフォーマンスを最適化するための最新テクノロジーを統合したソリューションを提供するPF
14	SkyWatch	商用 PF	2	SkyWatch 商用の衛星データへの簡単かつ手頃な価格でのアクセスを提供しているPF
15	Terrabyte		1,2	DLR、LRZ ⁸ DLRおよびドイツの研究者が地球全体の観測データを分析するためのPF
16	Terrascope	商用 PF	3,4	Orbital Insight 地上データと衛星データを融合し、経済指標に関する宇宙ベースの分析等を提供する地理分析PF
17	Ursa Space Platform	商用 PF	2	URSA 仮想コンステレーションのデータパートナーが収集した世界中のSAR画像を提供するPF
18	Vito Remote Sensing	商用 PF	2,3,4	Vito Remote Sensing 包括的なデータに加え、衛星画像や地理情報の専門知識を持った専門家の洞察により分析や課題解決を提供するPF

1.PF製品を有していないが、企業として衛星データ利用におけるPFの役割を担っている事業者 2.Copernicus Data Space Ecosystem 3.Findable Accessible Interoperable Reusable 4. Earth Observation Data Hub 5.Euro Space Imagingの略称 6.超高解像度 7.Global-GEOINT Enhanced Delivery 8.ライブビッツ・スーパー・コンピューティング・センター

プラットフォーム事例 (CDSE)

Sentinel衛星やCopernicus Contributing Missionsの衛星データをオープンかつフリーで提供することに加え、レベル処理やデータの標準化ソリューションによりダウンストリームの活性化を行っている。

太字 : PFの特徴

PF名称	主幹組織	運営組織	開始時期	バリューチェーン上のポジション ¹
Copernicus Data Space Ecosystem ^[1]	EU	EU, ESA	2023年-	データ > インフラ > サービス > インフォメーション
主要機能	提供・購入方法		パートナー組織	
<ul style="list-style-type: none"> マップで範囲を選択しデータを検索できる機能 APIの提供機能 DL機能 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星データやソリューションの無料利用 <ul style="list-style-type: none"> 衛星データはCSDE内のマップにてエリア範囲を選択し、ダウンロード可能 ソリューションは利用の見積もりを提出し利用可能 ソリューション開発等や広範囲の監視などのための大規模なデータの利用（アカウント登録後有償で利用） 			<ul style="list-style-type: none"> Tsystem (データやソリューションの品質管理) CloudFerro (データやソリューションの品質管理) Sinergise (データやソリューションの品質管理) 等
実施事項		サービス提供領域		
<ul style="list-style-type: none"> 気候変動などの世界的な課題解決や持続的な社会を形成においてCopernicusのオープンな衛星データをFAIRアプローチ（検索可能、アクセス可能、相互利用可能、再使用可能）にて提供することで衛星データ利用のエコシステムを構築 Sentinelの衛星データ（処理レベル0-2）及びSentinel衛星のデータを補完し、Copernicusユーザーに衛星データを提供するプログラムであるCopernicus Contributing Missions^[2]から取得された超高解像度(VHR)光学画像データをダウンロード及びAPIを通して提供 衛星データのレベル処理やデータ形式の標準化を実行するソリューションを提供 センサのバンド値の平均、標準偏差やヒストグラムを出力する衛星データに基づく統計分析ソリューションを提供 EUのCAP（共通農業政策）の農家への補助金支払いの管理をサポートするために、農地と作物の種類、耕作痕跡を可視化するソリューションを提供 クラウド上でユーザがCDSEのデータを利用し、ソリューションを開発できるソリューションを提供(有償) 作物、土地被覆や火災等の農業や環境分野における衛星データ由来の分析及び監視ソリューションを提供(有償)^[3] 			<ul style="list-style-type: none"> Copernicusユーザ <ul style="list-style-type: none"> 商用利用可能 	
BF/KBFに対する訴求点（差別化要素）		CSDEの概略図		
<ul style="list-style-type: none"> 商用利用可能なデータ <ul style="list-style-type: none"> 政府等が運営するPFのデータは非営利の研究・開発活動以外の利用が難しい中、Copernicusが提供するSentinelなどの衛星データを商用利用可能な形で提供 データ利用容易な環境 <ul style="list-style-type: none"> 無償ソリューションとして、衛星データのレベル処理やデータ形式を標準化を提供することで、ユーザが衛星データ利用しやすい環境を提供 		 <p>* Copernicus Contributing Missionsから提供される衛星データは限定的</p>		
政府支援内容・背景		SentinelやCCMから提供された衛星データを研究や商用ソリューション開発等に利用		
<ul style="list-style-type: none"> CopernicusはCopernicus関連の衛星データへの利活用をさらに向上させるためにデータセットの追加に注力^[4] <ul style="list-style-type: none"> Sentinel衛星のデータを補完し、Copernicusユーザに衛星データを提供するプログラムであるCopernicus Contributing Missionsを通して超高解像度(VHR)光学画像データをCSDEを提供 				

1. 無償利用の場合における衛星データ利用に係るバリューチェーン上のポジションは衛星データ・インフラまでとなる

Source: [1] <https://dataspace.copernicus.eu/about> [2] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_Contributing_Missions [3] <https://mundiwebservices.com/> [4] <https://spacedata.copernicus.eu/ja/web/guest/home>

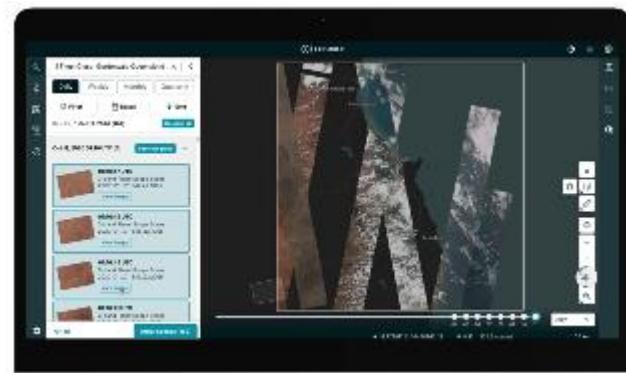
プラットフォーム事例 (Planet Insight Platform) 1/2^{24-002-R-011}

Planet Labsが運用する200機を超える衛星から取得される衛星データとAIを活用した分析により、多様な領域の意思決定や計画をサポートしている。

太字 : PFの特徴

商用PF	PF名称	主幹組織	運営組織	開始時期	バリューチェーン上のポジション										
					衛星データ	インフラ	サービス	インフォメーション							
主要機能		サービス提供領域		パートナー組織											
• AI分析機能（移動標的や土地等の変化自動検出）	• 防衛・諜報	• NASA（共同ミッション実施）	• 時系列分析機能	• 教育・研究	• Esri（空閑地情報システム提供）	• 公共事業	• SynMax（AI分析機能提供）等（200組織以上）	• API提供機能	• 農業・林業	• エネルギー・インフラ・不動産	• 保険	• 海運	• ESG関連	• 提供・購入方法	
• アーカイブ画像へのアクセス機能	• 防衛・諜報	• NASA（共同ミッション実施）	• 他の宇宙機関・民間事業者の衛星データへのアクセス機能	• 教育・研究	• Esri（空閑地情報システム提供）	• 公共事業	• SynMax（AI分析機能提供）等（200組織以上）	• API提供機能	• 農業・林業	• エネルギー・インフラ・不動産	• 保険	• 海運	• ESG関連	• 提供・購入方法	
• 他の宇宙機関・民間事業者の衛星データへのアクセス機能	• 教育・研究	• NASA（共同ミッション実施）	• 衛星データをデータサイエンスやAI/MLモデルにも適用できるデータ形式（GeoJSONおよびGeoTIFF形式）に変換機能	• 公共事業	• Esri（空閑地情報システム提供）	• SynMax（AI分析機能提供）等（200組織以上）	• 提供・購入方法	• API提供機能	• 農業・林業	• エネルギー・インフラ・不動産	• 保険	• 海運	• ESG関連	• 提供・購入方法	
• 衛星データをデータサイエンスやAI/MLモデルにも適用できるデータ形式（GeoJSONおよびGeoTIFF形式）に変換機能	• 農業・林業	• NASA（共同ミッション実施）	• 他の宇宙機関・民間事業者の衛星データへのアクセス機能	• エネルギー・インフラ・不動産	• Esri（空閑地情報システム提供）	• 公共事業	• SynMax（AI分析機能提供）等（200組織以上）	• 提供・購入方法	• エネルギー・インフラ・不動産	• 保険	• 海運	• ESG関連	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	
• 特定領域のスポット画像撮影指示機能	• 保険	• NASA（共同ミッション実施）	• マップでエリア範囲を選択し、衛星データを検索・購入できる機能	• 海運	• Esri（空閑地情報システム提供）	• SynMax（AI分析機能提供）等（200組織以上）	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• ESG関連	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	
• マップでエリア範囲を選択し、衛星データを検索・購入できる機能	• ESG関連	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	• 提供・購入方法	
実施事項									Planet Insight Platformのエリア範囲選択画面 ^[4]						
● 以下の衛星データ及び衛星画像と地形図を重ね合わせた地図をラスタ（ドットで表示）画像化した衛星データ由来のマップを提供	● 高度なアルゴリズムによりユーザが大規模なデータクリーニングや処理を必要とせずに使用可能な水、温度、炭素、植生に関するデータ	● 200機のDove衛星を利用し、4つのマルチスペクトルバンド（RGBと遠赤外線）の3.7m解像度画像	● 18機のSkysat衛星を利用し、特定の観測地点にて1日あたり5-7回の0.5m解像度の衛星画像や分析結果を提供	● ユーザが分析を行うための大気の影響を最小限に抑えた表面反射率をラスタ画像化したマップ（最大8つのスペクトルバンドでの分析が可能）	● 日々更新される衛星データ、分析、ツールを組み合わせて、Planetが取得した衛星データや分析をユーザが保有しているシステムに対応する形で提供	● Planetが10年かけて取得した約50PBのアーカイブにアクセス可能	● ヨーロッパのユーザが利用してきたSentinel Hubを買収・統合することで、元々 Sentinel Hubを利用していたユーザに対してPlanetの衛星データや分析を提供 ^[3]	● 以下の衛星データ及び衛星画像と地形図を重ね合わせた地図をラスタ（ドットで表示）画像化した衛星データ由来のマップを提供	● 高度なアルゴリズムによりユーザが大規模なデータクリーニングや処理を必要とせずに使用可能な水、温度、炭素、植生に関するデータ	● 200機のDove衛星を利用し、4つのマルチスペクトルバンド（RGBと遠赤外線）の3.7m解像度画像	● 18機のSkysat衛星を利用し、特定の観測地点にて1日あたり5-7回の0.5m解像度の衛星画像や分析結果を提供	● ユーザが分析を行うための大気の影響を最小限に抑えた表面反射率をラスタ画像化したマップ（最大8つのスペクトルバンドでの分析が可能）	● 日々更新される衛星データ、分析、ツールを組み合わせて、Planetが取得した衛星データや分析をユーザが保有しているシステムに対応する形で提供	● Planetが10年かけて取得した約50PBのアーカイブにアクセス可能	● ヨーロッパのユーザが利用してきたSentinel Hubを買収・統合することで、元々 Sentinel Hubを利用していたユーザに対してPlanetの衛星データや分析を提供 ^[3]

Source: [1] <https://www.planet.com/products/planet-insights-platform/> [2] <https://www.planet.com/nonprofit/> [3] <https://investors.planet.com/news/news-details/2024/Planet-Announces-Planet-Insights-Platform-with-Powerful-Tooling-for-Unlocking-Earth-Observation-Data/default.aspx> [4] <https://www.planet.com/products/satellite-monitoring/>



1. はじめに
2. 調査報告
 - 2.1 衛星地球観測データの利活用に関する動向の調査分析
 - 2.1.1 市場の調査分析
 - 2.1.2 トータルアナリシス技術の調査分析
 - 2.1.3 プラットフォーム事業の調査分析
 - 2.2 地球観測センサの技術開発動向に関する調査分析
 - 2.2.1 調査状況まとめ
 - 2.3 衛星地球観測データの政府調達(アンカーテナント)政策に関する動向の調査分析
 - 2.3.1 調査状況まとめ

調査まとめ

24-002-R-011

調査共通方針 :

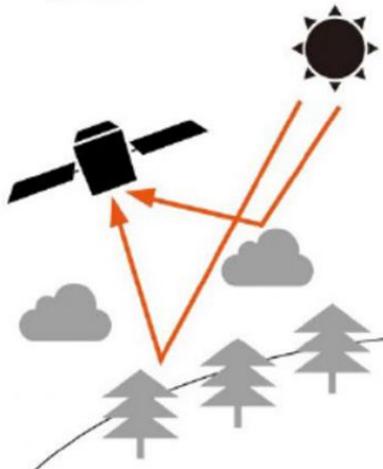
- ・公平な評価となるよう、衛星サイズ、事業国、事業主体種別などの観点で、可能な限り多種多様な情報収集に努めた
- ・衛星コンステレーションへの期待の高まりを受け、機数、再訪性、全球観測頻度について調査した

センサ種別	調査方針・初期結果
光学センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光学衛星は観測波長により大きく分類を分けた上で、各分類について国内事例を筆頭として代表的な事例について調査を行った。 ・ 初期結果として民間企業が参入するセンサ種別の広がりと共に、環境観測衛星を中心に政府衛星では観測波長等の高性能化が進んでいる傾向がある
SARセンサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ X-band, L-band, 及び、その他の波長域SARセンサに分類して調査を行った。 ・ X-bandは民生事業者が台頭、L/C-bandは官主導のものが支配的であるが、一部、民生の動きもあり。
雲・降水レーダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在運用中あるいは開発中の雲・降水レーダー衛星について調査を行った。 ・ 初期結果として、気象予測精度向上や気候変動把握等を目的に、各国宇宙機関が（適宜連携を行いつつ）大型の衛星開発を進めているが、一部民間小型衛星群による動きが確認された。
Lidar	<ul style="list-style-type: none"> ・ LiDAR衛星は衛星の種類が多くないためあまり情報がないものも含め、調査対象とした。ただしあまりに古いものは対象外としている。 ・ 初期調査結果として、これまでの環境観測に特化した利用用途から、航空機LiDARの代替/補完を目指した新しい用途への適用の取り組みが見られた。
マイクロ波放射計・ハイパー	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンテナの大型化が必要となる数GHz程度の低周波域や高空間分解能なイメージは大型衛星、高周波域や低空間分解能なサウンダ等は小型衛星と住み分けが進んでいる。
AIS/VDES	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型コンステ商用プレイヤー、官需中大型の副センサ双方を調査 ・ 信号の帯域が狭く、受信のみでよいことから、VHFのアンテナさえ対応できれば、センサの小型化は比較的容易であり、小型衛星への搭載、もしくは、副センサとしての搭載が進んでいる。
GNSS-R/RO	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型コンステ商用プレイヤー、官需中大型の副センサ双方を調査 ・ 両センサとも、信号の帯域が狭く、受信のみでよいことから、センサの小型化は比較的容易であり、小型衛星への搭載、もしくは、副センサとしての搭載が進む。
量子センサ等の新しいセンサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 量子センサとしては特にCold Atom, Rydberg Atoms, NV Centres in Diamond の3種類の量子センサに関して、要素技術開発だけでなく、PathFinderミッション・軌道上実証等の取組が進んでいる。

①センサ概要

➤ 光学センサとは

光学衛星のイメージ



観測に適しているもの

- 対象物の色／大きさ／数／形状など
- 土地被覆（森か畑か町かなど）
- 植物の活性度

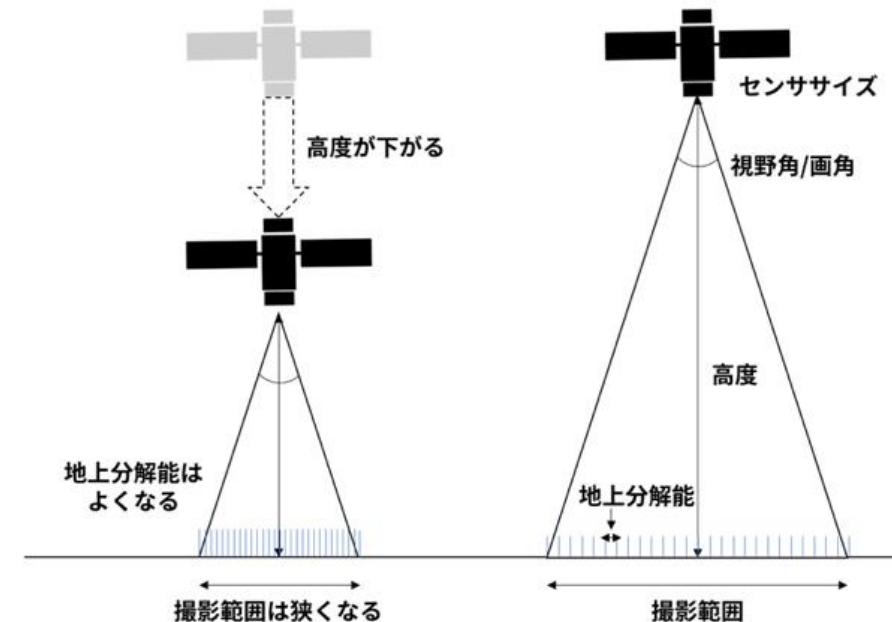
仕組み

- 太陽光の反射を見る受動型センサ
- 観測波長は可視光と近赤外線（NIR）

長所／短所

- 直感的に分かりやすい画像
- 撮影している衛星が多い
- ×雲や夜では地表面を観測できない
- ×太陽光の当たり方で見え方が大きく変わる

光学センサは太陽光の反射波を衛星に搭載されているセンサにより観測する。可視光領域においてはスマートフォンなどに搭載されているカメラと基本的には同様のもの。観測波長は想定する観測対象やセンサ性能により搭載できる波長の数が決まっている。



光学センサの代表的な性能である地上分解能*と撮影幅は望遠鏡の口径・軌道高度・センサ性能(画素ピッチ)により決まり、特に分解能と撮影幅はトレードオフの関係にある。また小型衛星の発展により、機数を増やすことで再訪頻度を増やすことも可能となっている。

②光学センサの開発動向

24-002-R-011

小型・大型衛星とも高分解能化及び搭載波長数も増えていく傾向にあり、特に大型の政府衛星プロジェクトにおいても複数機によるコンステレーション化が進んでいる。

		Axelspace (日)	Planet (米)		Maxar (米)	米国地質調査所 (米)	コペルニクス (欧)
実施主体概要	機体名称	GRUS	Flock	Pelican	WorldView Legion	Landsat Next	Sentinel-2
	事業フェーズ	運用中	運用中	実証中	運用中	開発中	運用中
	打上げ年	初号機: 2019年 2~5号機: 2021年	初号機: 2013年4月 最新機: 2024年8月	実証機: 2023年11月	1-2号機: 2024年5月 3-4号機: 2024年8月	N/A	A: 2015年6月 B: 2017年3月 C: 2024年9月
センサ諸元	波長数	6	8	非公表	9	26	13
	分解能	2.5m/5.0m (Pan/MS)	3.7~4.2m	30cm	29cm/1.16m(Pan/MS)	10m~60m	10m~60m
	撮影幅	55km	32.5km x 19.6km	非公表	9km	164km x 168km	290km
	推定口径(開口径)	20~30cm	8cm前後	40cm前後	2m弱	衛星イメージ非公開のためN/A	150mm
運用条件	機数	5機(計画: 12機)	100機以上	非公表	4機(計画: 6機)	3機	3機(計画: 4機)
	軌道高度	585km (SSO)	500km (SSO)	475km (SSO/傾斜軌道)	450km (SSO/傾斜軌道)	653km (SSO)	785km (SSO)
	再訪頻度	2~3日	1日	1日最大30回	1日最大15回	6日	5日
	全球観測日数(推定値を含む)	50日	1日	~1年	~30日	6日	5日
想定ユーザー(利用分野、観測対象等)		農林業、国土管理など	農林業、行政、エネルギー産業など	政府関係、都市開発、エネルギー産業など	安全保障、都市開発、エネルギー産業など	研究者(全世界の画像の継続的な撮影)、衛星データ事業者	研究者(全世界の画像の継続的な撮影)、衛星データ事業者

③センサ毎の開発状況：Planet/Pelican

24-002-R-011

- Planet社による高分解能衛星Skysatの後継機として開発されている衛星で2023年11月に試験機が打ち上げられている(※ファーストライトなど試験機の稼働状況については非公表)※¹
- 2024年8月に打上げられたCarbonMapper向けの温室効果ガス観測衛星Tanagerとバス部を共通化していると発表されている※²。
- 2019年の発表時には32機打上げるとの報道がなされていた※³が、直近のIRの発表などでは最大30機となっている他、配備時期についての見通しは発表されていない※⁴。
- 観測波長についても非公表だが、通信速度などバス性能についてはKa帯の搭載や1TBを超えるストレージなど、高性能化が進んでいる。



※1: <https://investors.planet.com/news/news-details/2023/Planet-Launches-First-Pelican-Tech-Demonstration-and-36-SuperDoves-with-SpaceX/default.aspx>

※2: <https://www.planet.com/pulse/modular-extensible-smallsat-platform/>

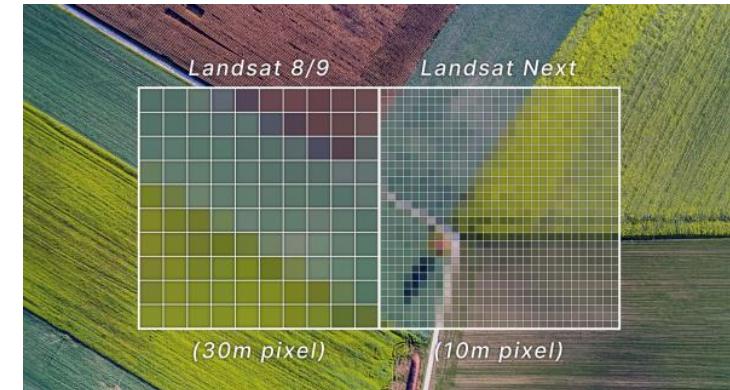
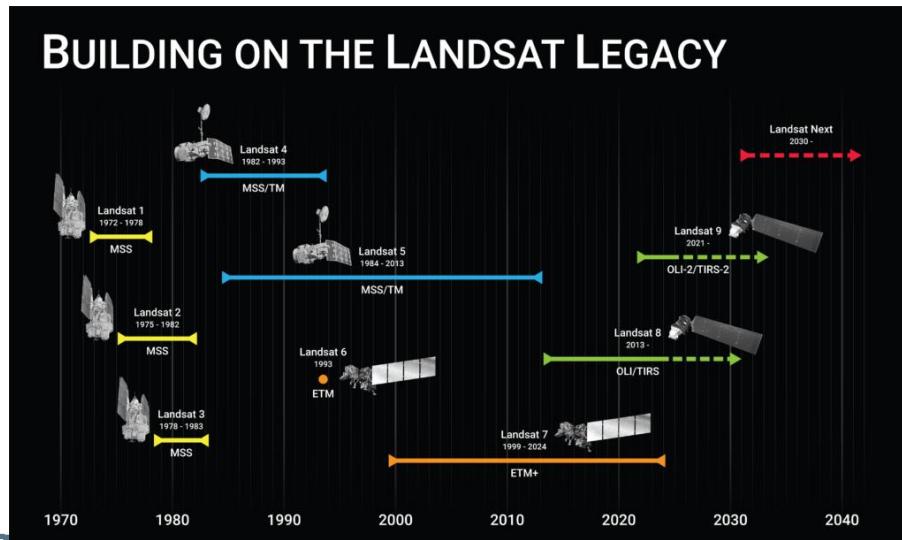
※3: <https://www.planet.com/pulse/next-generation-satellite-pelican/>

※4: <https://www.planet.com/pulse/next-generation-satellite-pelican/>

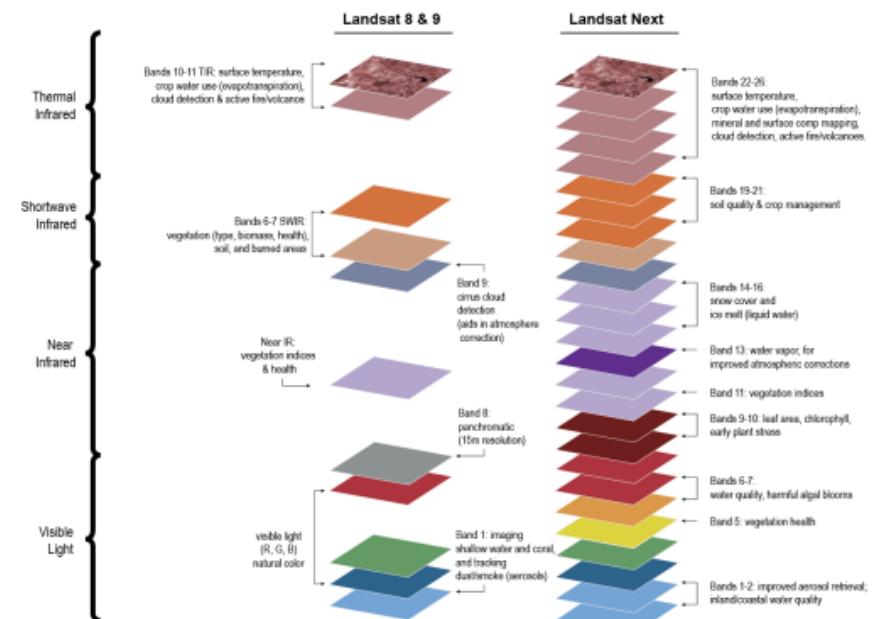
③センサ毎の開発状況：USGS/Landsat Next

24-002-R-011

- 米国地質調査所が60年以上にわたって継続しているLandsatプログラムの次世代機。
- Landsatシリーズとしては初めて複数機(3機)によるコンステレーション化することとなる他、これまで30m分解能を維持してきたところから10mへの高分解能化を果たすこととなり、欧州のコペルニクスプログラムのSentinel-2への対抗意識が伺える。
- また観測波長もLandsat-8/9が可視～熱赤外にかけて合計11波長だったところ、26波長と大幅に増強されている。

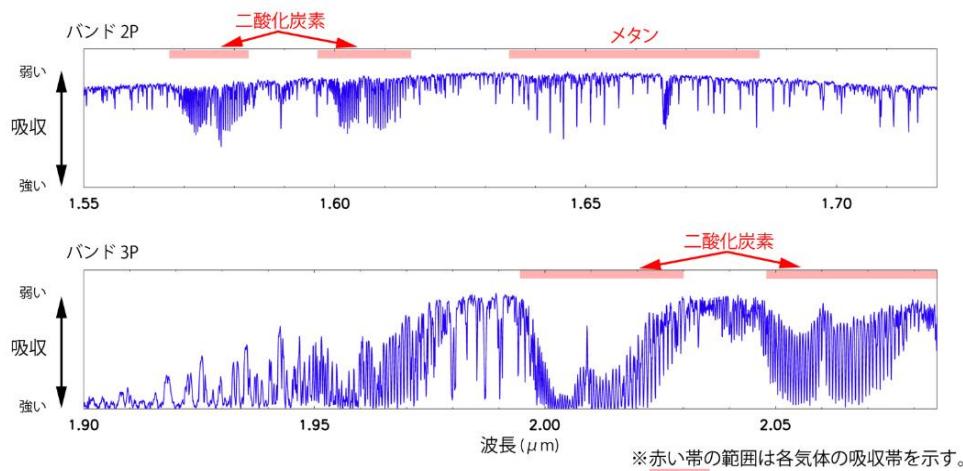
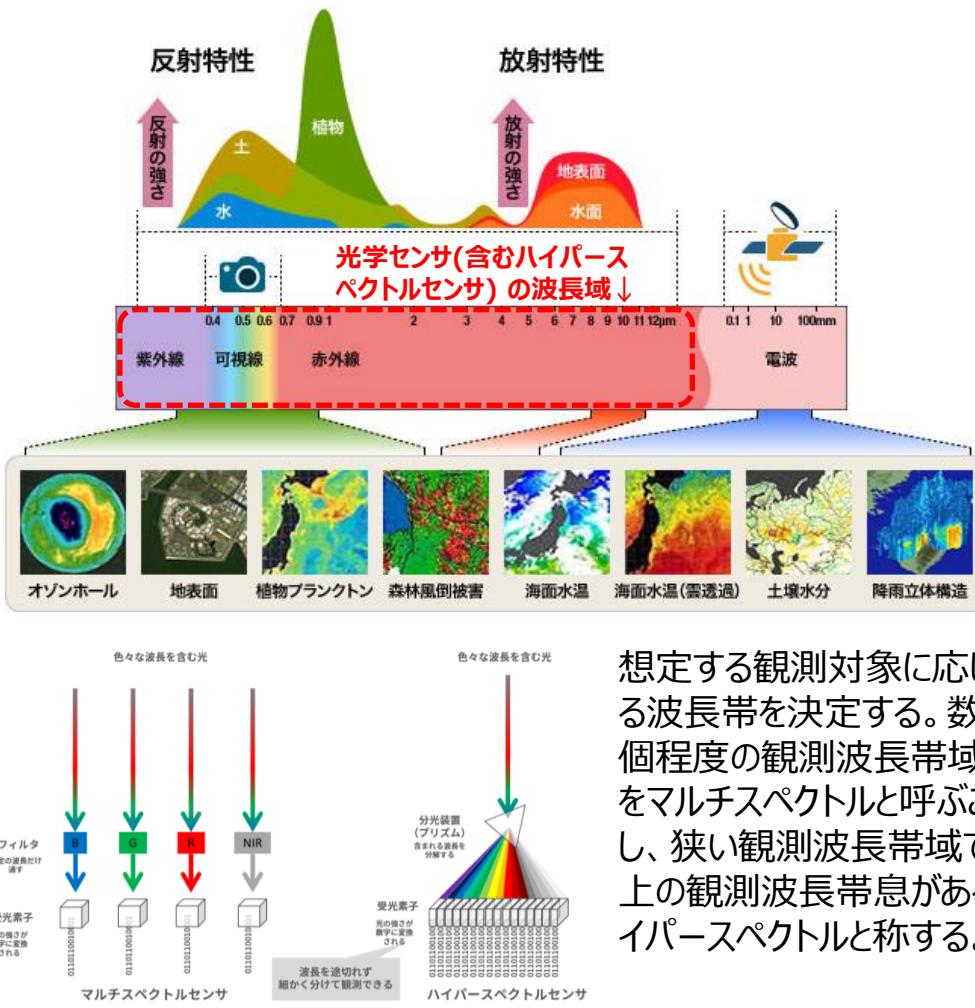


Spectral Comparison: Landsat 8/9, and Landsat Next
Increased spectral coverage with Landsat Next will enable new applications



①ハイパースペクトル概要

▶ ハイパースペクトルとは



ハイパースペクトルセンサは、撮影幅や地上分解能、機数といった一般的なパラメータに加え、バンド数、各バンドの波長幅、バンド間の波長間隔(波長分解能)が非常に重要な性能指標となる。

また観測対象として地表面の物体を対象とした可視光域や短波長赤外までを対象としたものと、温室効果ガスなど大気観測を目的とし、冷却器が必要な長波長赤外までを対象としたものに大別される。

②ハイパースペクトル(可視～短波長赤外)の開発動向 24-002-R-011

これまで大型衛星で進められていたところ、小型衛星も参入しつつある。また大型衛星においてはバンド数・撮影幅などにおいて性能向上の傾向にある。

		宇宙システム 開発 利用推進機構(日)	ESA (欧)	Carbon Mapper (米)	GHGSat (米)	Pixxel (印/米)	DLR (欧)
実施主体概要	衛星名	HISUI	CHIME	Tanager	GHGSAT	Firefly	EnMap
	事業フェーズ	運用中	開発中	実証中	運用中	開発中	運用中
	打上げ年	2020年9月	2029年以降	2024年8月	初号機:	2024年(予定)	2022年4月
センサ 諸元	バンド数/波長帯	186 (0.4~2.5μm)	200以上 (0.4~2.5μm)	非公表 (0.4~2.5μm)	非公表(1.6-1.7μm)	160 (0.47~0.9μm)	232 (0.42-2.45μm)
	分解能	20-31m	20-30m	30-43m	25m	5m	30m
	撮影幅	20km	130km	18.6km	15km	40km	30km
	波長幅(代表値)	11nm(VNR)/16nm(SWIR)	<10nm	5.5nm	~0.1nm	2nm-11nm	8.1nm(VNR)/12.5nm(SWIR)
	サンプリング間隔(nm)	10nm(VNR)/12.5nm(SWIR)	<10nm	5nm	0.0001~0.1nm	非公開	6.5nm(VNR)/10nm(SWIR)
	分光方式	グレーディング方式	グレーディング方式	グレーディング方式	ファブリペロー干渉計	非公開	プリズム方式
運用 条件	機数	1 (ISS搭載)	2機	1機 (計画: 2機以上)	12機 (2024年中に 計16機)	18機	1機
	軌道(高度km)	350~400km	632km	400-410km	496~550km	565km	643km
	再訪日数	不定期(ISSに準ずる)	11日	7日(1機)	1-2日	1-4日	4日
	全球観測時間 (推定値を含む)	3年で観測可能域の 80%	11日	N/A	N/A	N/A	4日
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		農業、資源探査関係 の研究者または事業 者	食糧生産、サプライ チェーン、生物多様 性等に関する研究 者など	気候変動・温室効果 ガスに関する研究者	気候変動・温室効果 ガスに関する研究者 及び事業者	農業、資源探査、 エネルギー関係事 業者など	水利用管理、土地 利用変化、天然資 源、生物多様性に 関する研究者

②その他光学センサの開発動向まとめ

24-002-R-011

温室効果ガス観測やエアロゾル観測衛星について、各国で取り組みが進められている。

		JAXA(日)	JAXA(日)	ESA(欧)	ESA(欧)	NASA(米)	JAXA(日)
実施主体概要	機体名称 (センサ名称)	GOSAT-2 (FTS-2)	GOSAT-GW (TANSO-3)	Co2M (CO2I)	LSTM	PACE(OCI)	GCOM-C (SGLI)
	事業フェーズ	運用中	開発中	開発中	開発中	運用中	運用中
	打上げ年	2018年10月	2024年度(予定)	2026年度(予定)	2028年(予定)	2024年2月	2017年12月
センサ 諸元	バンド数	0.76um帯 1.6um帯 2.0um帯 2.3um帯 5.5.-14.3um帯	0.45um帯 0.7um帯 1.6um帯	0.405-0.495um 0.75-0.77um 1.590-1.675um 1.990-2.095um	0.49um, 0.665um, 0.865um, 0.945um, 1.38um, 1.61um, 8.6um, 8.9um, 9.2um, 10.9um, 12.0um (他セカンダリーとして13のTIR/バンド)	VNIR: 342.5~887.5nm SWIR: 940nm~2260nm (5nm単位でのバンドを有する)	0.38um, 0.412um, 0.443um, 0.49um, 0.53um, 0.565um, 0.6735um, 0.763um, 0.8685um (0.6735um, 0.8685umは偏光チャネル有)
	分解能	9.7km(瞬時視野)	1~3km/10km	4km x 4km	30-50m	1km	250m/1000m(偏光チャネル)
	撮影幅	160km(5点の観測による)	90km/911km	250km	600-700km	2663km	1150km
	分光方式	フーリエ変換分光計	回折格子	回折格子	フィルタ	回折格子	フィルタ
	主たるセンサの特徴	非常に高い波長分解能によるO ₂ , CO ₂ , CH ₄ , CO, O ₃ の観測	GOSAT-2と比較し、点ではなく2次元センサによる面的な観測の実現	CO ₂ , CH ₄ に加えNO ₂ の観測も可能な観測波長となっている。	Senetinel-2と-3を補完するような空間分解能及び波長特性を持つ	非常に広い波長分解能及び観測幅を有する	偏光チャネルで陸上エアロゾルの精密観測が可能
運用 条件	機数	1機	1機	3機	2機	1機	1機
	軌道(高度km)	613km	666km	735km	TBD	676.5km	798km
	再訪日数	6日	3日	5日	1-3日	1日	34日
	全球観測日数 (推定値を含む)	6日	3日	5日	3日	1日	3日
主たる用途と特長		非常に高い波長分解能を有し、大気・気候変動に対する観測に用いられる。	2次元的な観測が可能となり、大気・気候変動に対する観測に用いられる。	3機によるコンステレーションにより、高解像度かつ広域を短期間に観測できる	広域において海色の観測等、比較的高い分解能で可能	海洋プランクトンからエアロゾルまで、大気海洋域の幅広いアプリケーションに対応	偏光チャネルを有し、陸上エアロゾルの観測も可能

③センサ毎の開発状況：GHGSat

24-002-R-011

- ・カナダのGHGSat社が運用する温室効果ガス観測衛星。GHGSat社はシェブロンやロイヤルダッチシェルなどエネルギー大手企業などと提携し、メタンの観測を商用事業として行っている。
- ・衛星製造はSpace Flight Laboratoryが担当し、分光方式としてプリズムやグレーティングではなくファブリペロー干渉計を利用しておおり、カタログ値の上では非常に高い波長分解能をキューブサットで実現している。
- ・観測波長帯域としてはメタンに特化する形で、ハイパスペクトル衛星としては例外的に非常に狭く $45\mu\text{m}$ 程度しかなく、観測可能な波長数については非公開となっている。
- ・既に複数機の打上げを行っており、コンステレーションの構築を行っている。

<https://www.ghgsat.com/en/scientific-publications/the-ghgsat-d-imaging-spectrometer/>

<https://www.ghgsat.com/en/markets/oil-gas/>

<https://amt.copernicus.org/articles/14/2127/2021/amt-14-2127-2021.pdf>

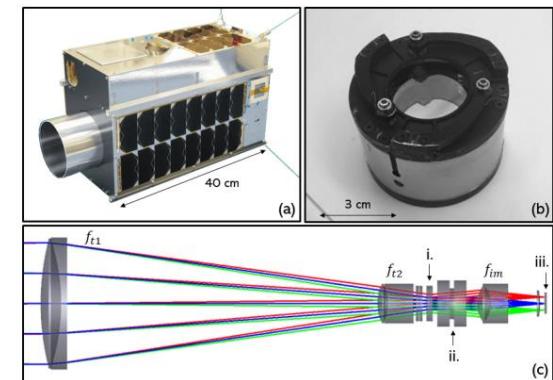
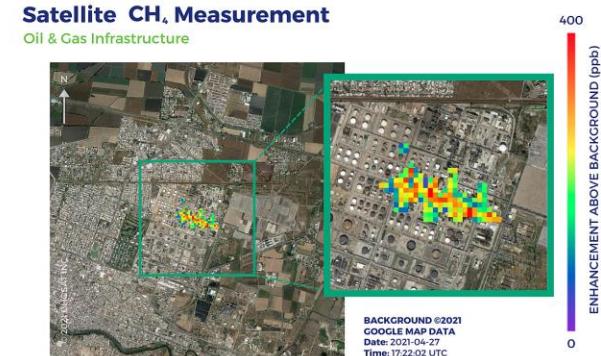
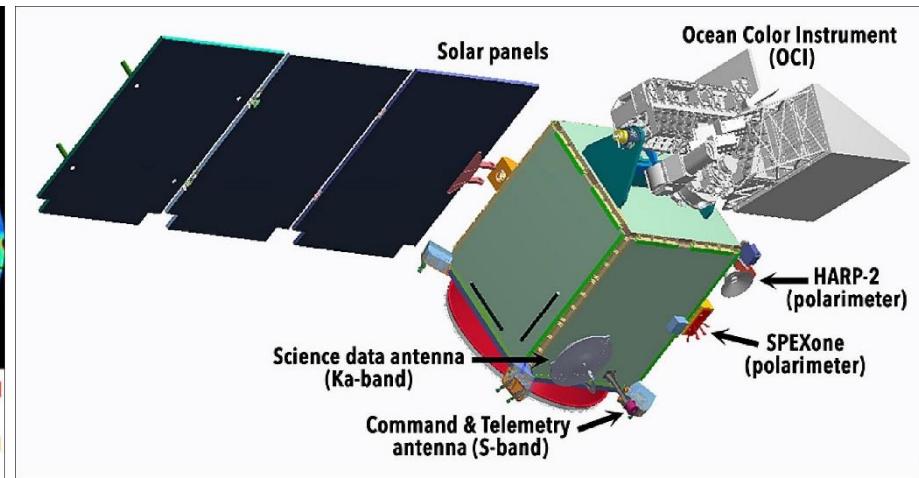
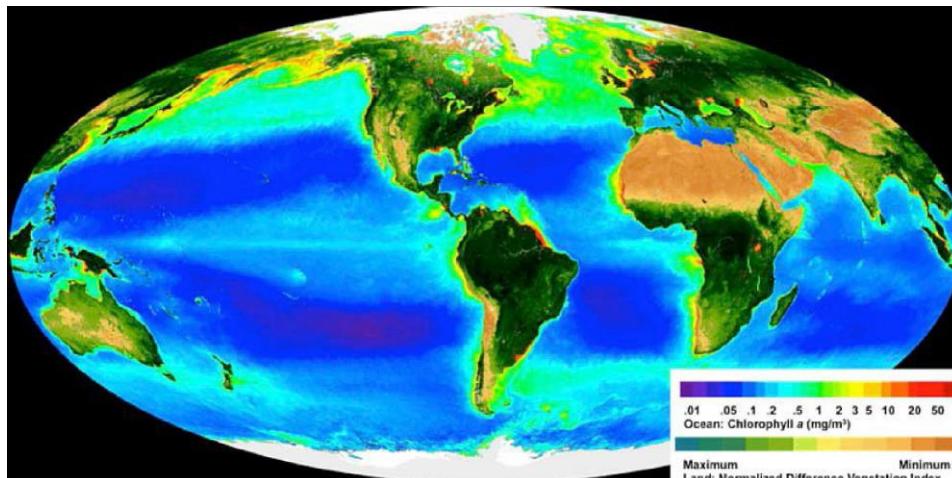


Figure 2. (a) The GHGSat-D spacecraft with the imaging spectrometer on board. (b) The mounted Fabry-Pérot interferometer. (c) Schematic of the unfolded optical system with the (i) OSF, (ii) F-P, and (iii) detector identified. The red, blue, and green rays originate from different ground locations.

③センサ毎の開発状況：NASA/PACE

24-002-R-011

- PACE衛星はプランクトンやエアロゾル、雲といった海洋から大気までを観測するNASAによる多目的な環境観測衛星である。PACEという名前は観測対象であるPlankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystemから来ている。
- 2024年2月に打上げられ、現在機器のチェックアウトやプロダクト生成を進めている。
- 搭載機器としてOCI (Ocean Color Instrument)、偏光を目的としたSPEXone、HARP2という3つの観測機器を搭載している。



<https://www.eoportal.org/satellite-missions/pace-mission#spacecraft>

①センサ概要 | SARセンサ

24-002-R-011

SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダ) センサとは自らマイクロ波を照射し、地表からの反射波をとらえることで地表の状態を観測する全天候型のセンサ。利用する波長 (X/L等) によって反射特性が異なり、それぞれ観測できる対象が異なる。

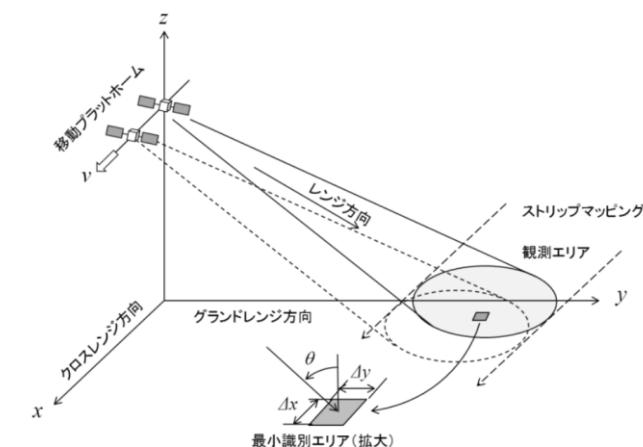
SAR衛星の測定イメージ^[1]周波数(波長)による反射特性の違い^[2]

	P	L	S	C	X
周波数	0.25-0.5Hz	1-2GHz	2-4GHz	4-8GHz	8-12GHz
分解能	粗い				細かい
透過性	大きい				小さい
対象物	自然物				人工物
電力	大きい				小さい
小型化	難しい				易しい

* 宙畠(<https://sorabatake.jp/3364/>)を基にASTEC作成

- 能動型センサのため太陽光不要
- マイクロ波は雲を透過するので天候の影響を受けない

- 波長の長いP・Lバンドは葉や枝を透過するため自然物の観測に適している
- 波長の短いC・Xバンドはより細かなものや人工物の観測に適している

SARセンサの分解能^{[3][4]}

- レーダ照射方向 (Rg方向) の分解能は信号の帯域幅が広いほど良くなる
- 衛星進行方向 (Az方向) の分解能はアンテナサイズが小さいほど、またはレーダの照射時間が長くするほど良くなる

[1] <https://sorabatake.jp/662/>

[2] <https://sorabatake.jp/3364/>

[3] https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1110pdf/ks1110_05.pdf

[4] <https://sorabatake.jp/13534/>

②開発動向まとめ | SARセンサ Xバンド

24-002-R-011

XバンドSARセンサは民間事業者が台頭しており、各社30機以上の衛星群の配備を計画している。

		Synspective (日)	ICEYE (芬)	iQPS (日)	Capella (米)	Umbra (米)
実施主体概要	機体名称	StriX	ICEYE	QPS-SAR	Capella/Acadia	Umbra
	事業フェーズ	運用中	運用中	運用中	運用中	運用中
	打上げ年	2020年~2024年	2018年~2024年	2019年~2024年	2018年~2024年	2021年~2024年
センサ諸元	衛星サイズ	小型	小型	小型	小型	小型
	アンテナサイズ	5m×0.8m(平面)	3.2m×0.4m(平面)	直径3.6m(パラボラ)	直径3.5m(パラボラ)	10m以上(パラボラ)
	波長	Xバンド	Xバンド	Xバンド	Xバンド	Xバンド
	帯域幅	~300MHz	~1,200MHz	~600Mhz	~700Mhz	~1,200MHz
	分解能	0.9m-3.6m ※アジマス方向のみ0.5m	0.25m-15m	0.46m-1.8m	0.4m-1.2m ※アジマス方向のみ0.25m	0.25m-1m
	最大観測幅	30km×70km ※Stripmap	100km×100km ※Scan	14kmx7km ※Stripmap	10km×100km ※Stripmap	5km×5km ※Spot
運用条件	機数 ^{*1}	計画：30機 現在：5機	計画：48機 現在：38機	計画：36機 現在：6機	計画：36機 現在：14機	計画：32機 現在：10機
	軌道高度	561km	560~580 km	525~575km	~640km	450~600km
	再訪頻度	準リアルタイム ※コンステレーション完成時	6時間以下 ※現時点	平均10分間隔 ※コンステレーション完成時	2-5時間 ※8機体制時点	5時間以下 ※現時点
	全球観測日数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		安全保障、災害対応、 インフラ監視等	安全保障、災害対応、 インフラ監視等	安全保障、災害対応、 インフラ監視等	安全保障、災害対応、 インフラ監視等	安全保障、災害対応、 インフラ監視等
出所		https://synspective.com/jp/	https://www.iceye.com/sar-data https://www.eoportal.org/satellite-missions/iceye-constellation	https://i-qps.net/	https://www.capellaspace.com/ https://www.eoportal.org/satellite-missions/capella-x-sar	https://umbra.space/ https://help.umbra.space/product-guide/umbra-satellites/constellation-and-revisit

*1 現在の機数は2024年8月末時点、運用終了した衛星も含む

②開発動向まとめ | SARセンサ Lバンド

24-002-R-011

LバンドSARセンサは宇宙機関による大型衛星の運用が主流だが、静止軌道の利用や異種バンドの同時搭載や機能補完、小型化など単純な機能向上に留まらない新たな動きも見え始めている。

		JAXA(日)	CONAE/ASI(亜/伊)	CNSA(中)	NASA/ISRO(米/印)	ESA(欧)	iQPS(日)
実施主体概要	機体名称	ALOS-4	SAOCOM-1	Ludi Tance 4-01A	NISAR	ROSE-L	不明
	事業フェーズ	運用中	運用中	運用中	開発中	開発中	開発中
	打上げ年	2024年	2018年/2020年	2023年	2024年(予定)	2028年(予定)	N/A
センサ諸元	衛星サイズ	大型	大型	大型	大型	大型	小型
	アンテナサイズ	10m×3.6m	10m×3.5m	N/A	12m(反射鏡直径)	11m×3.6m	N/A
	波長	Lバンド	Lバンド	Lバンド	Lバンド Sバンド	Lバンド	N/A
	帯域幅	≤84MHz	≤50MHz	N/A	≤80Mhz	≤75Mhz	≤65MHz
	分解能	1m-25m	5m-100m	20m	3m-48m	3m-24m	5m-10m
	最大観測幅	700km	352km	N/A	240km	240km	260km~
運用条件	機数	1機	2機	1機	1機	2機	N/A
	軌道高度	628km	620km	36,000km (傾斜静止軌道)	747km	693km	N/A
	再訪頻度	14日	6日(2機)	APAC地域を常時	12日	6日(2機)	N/A
	全球観測日数 ^{*1}	N/A	N/A	APAC地域のみ	N/A	N/A	N/A
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		災害対応、海洋状況把握、森林資源把握、食料資源把握等	農業、鉱業、災害対応、海洋監視、土壤水分マップ作成等	防災・減災、地震監視、土地・資源調査、海洋、水利、気象、農業、環境保護、林業等	Lバンド：地殻変動や地表変化の観測 Sバンド：軽度植生の観測、極地での利用	災害対応、土地利用、農業、林業、土壤水分データの提供、北極圏と雪氷圏の監視 ※Sentinel-1の補完	N/A
出所		https://www.mitsubishielectric.co.jp/business/biz-t/contents/synergy/alos4.html https://www.mext.go.jp/content/20240423-mxt_uchukai01-000035589_4.pdf	https://earth.esa.int/eogateway/missions/saocom	https://sputnikglobe.com/20230816/china-launches-luditance-4-first-geosynchronous-radar-satellite-able-to-map-one-third-of-earth-1112654286.html	https://www.isro.gov.in/NISARsatellite.html https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/s-sar	https://www.eoportal.org/satellite-missions/rose-l https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/rose_l_a https://fringe2023.esa.int/frame-agenda/files/presentation-534.pdf	https://i-qps.net/news/897/

*1 大型衛星の場合、再訪頻度 = 全球観測日数とした

②開発動向まとめ | SARセンサ その他の波長

24-002-R-011

Cバンド衛星では大型衛星の他、新たに民間小型衛星群やXバンドとの協調などの動向が見られる。その他、船舶検知向けにAIS受信機を搭載したものやバイオマス測定向けのものなど用途特化の衛星も現れている。

	ESA(欧)	CRESDA(中)	Spacety(中)	MDA(加)	SSTL/AIRBUS(英)	ESA(欧)
実施主体概要	機体名称	Sentinel-1	Gaofen-3	TY-MiniSAR(HISEA-1)	CHORUS(C/X)	NovaSAR-S Biomass
	事業フェーズ	運用中	運用中	運用中	開発中	実証中 開発中
	打上げ年	2014年/2016年/ 2024年(予定)/ 2025年(予定)	2016年/2021年/ 2022年	2020年/2022年	2025年	2018年 2025年(予定)
センサ諸元	衛星サイズ	大型	大型	小型	CHORUS-C: 大型 CHORUS-X: 小型	小型 ※AIS受信機搭載
	アンテナサイズ	12.3m × 0.821m	15m × 1.5m	4m × 0.64m	CHORUS-C: 18.5m ² CHORUS-X: 1.3m ²	3m × 1m 12m(直径)
	波長	Cバンド	Cバンド	Cバンド ※Xも打上げ予定	Cバンド Xバンド	Sバンド Pバンド
	帯域幅	≤100MHz	≤240Mhz	N/A	N/A N/A	≤100MHz ≤6MHz
	分解能	5-40m	1-500m	1-20m	1-100m 0.25-3m	6-50m 50-60m
	最大観測幅	410km	650km	100km	700km 30km	195km 50km
運用条件	機数	3機 ※1Bは2022年運用終了 ※1Cは2024年打上げ予定	3機	計画: 56機 現在: 2機	2機	1機
	軌道高度	693km	755km	512km (HISEA-1)	588-602km	583km 666km
	再訪頻度	12日	5時間 (3機体制)	N/A	9.85日	16日 N/A
	全球観測日数 ^{*1}	12日	5時間 (3機体制)	N/A	N/A	N/A
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)	土地/海上モニタリング、災害対応等	国家海洋局、中国気象局、民政部、水資源部	災害管理、農業、インフラ監視等	海洋監視、災害対応、環境監視、都市計画等	海洋監視、災害対応、農業、土地分類、森林	バイオマスマニタリング
出所	https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-applications	https://www.eoportal.org/satellite-missions/gaofen-3 https://en.spacewillinfo.com/Satellite/SAR/	https://en.spacety.com/ https://www.eoportal.org/satellite-missions/spacety https://raurus.ru/ers-data/radar-data/chaohu-1/	https://fringe2023.esa.int/iframe-agenda/files/presentation-140.pdf	https://earth.esa.int/eogateway/missions/novasar-1 https://research.csiro.au/cceo/novasar/	https://www.eoportal.org/satellite-missions/biomass

*1 大型衛星の場合、再訪頻度 = 全球観測日数とした

Ludi Tance 4-01A (CNSA)

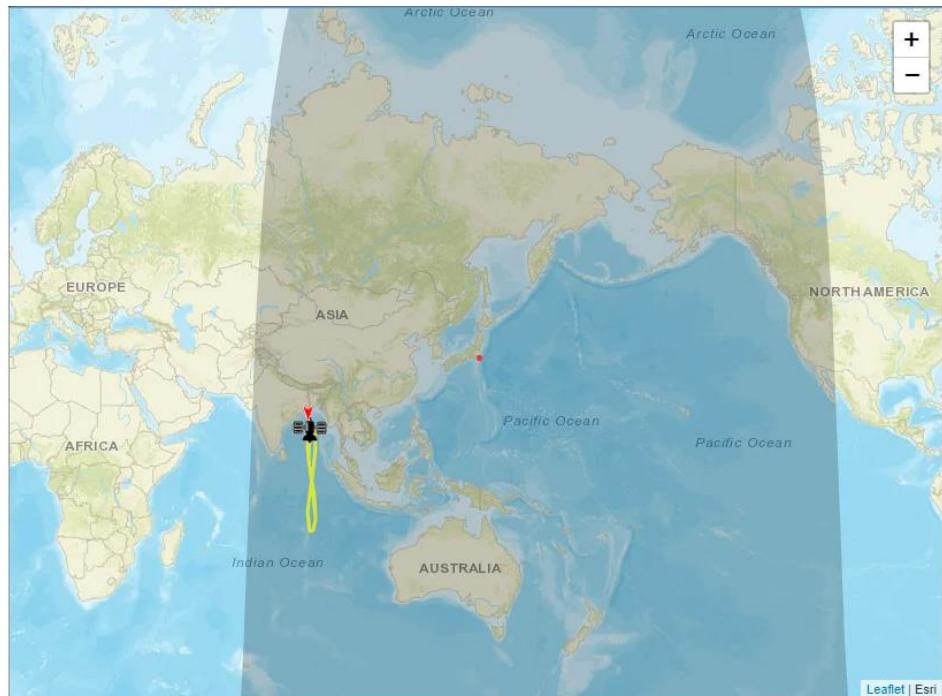
24-002-R-011

Ludi Tance 4-01Aは傾斜静止軌道に打ち上げられた世界初のSAR衛星（Lバンド）。インド洋上空で八の字を描く軌道となっている。

Ludi Tance 4-01Aの外観^[1]



Ludi Tance 4-01Aの軌道^[2]



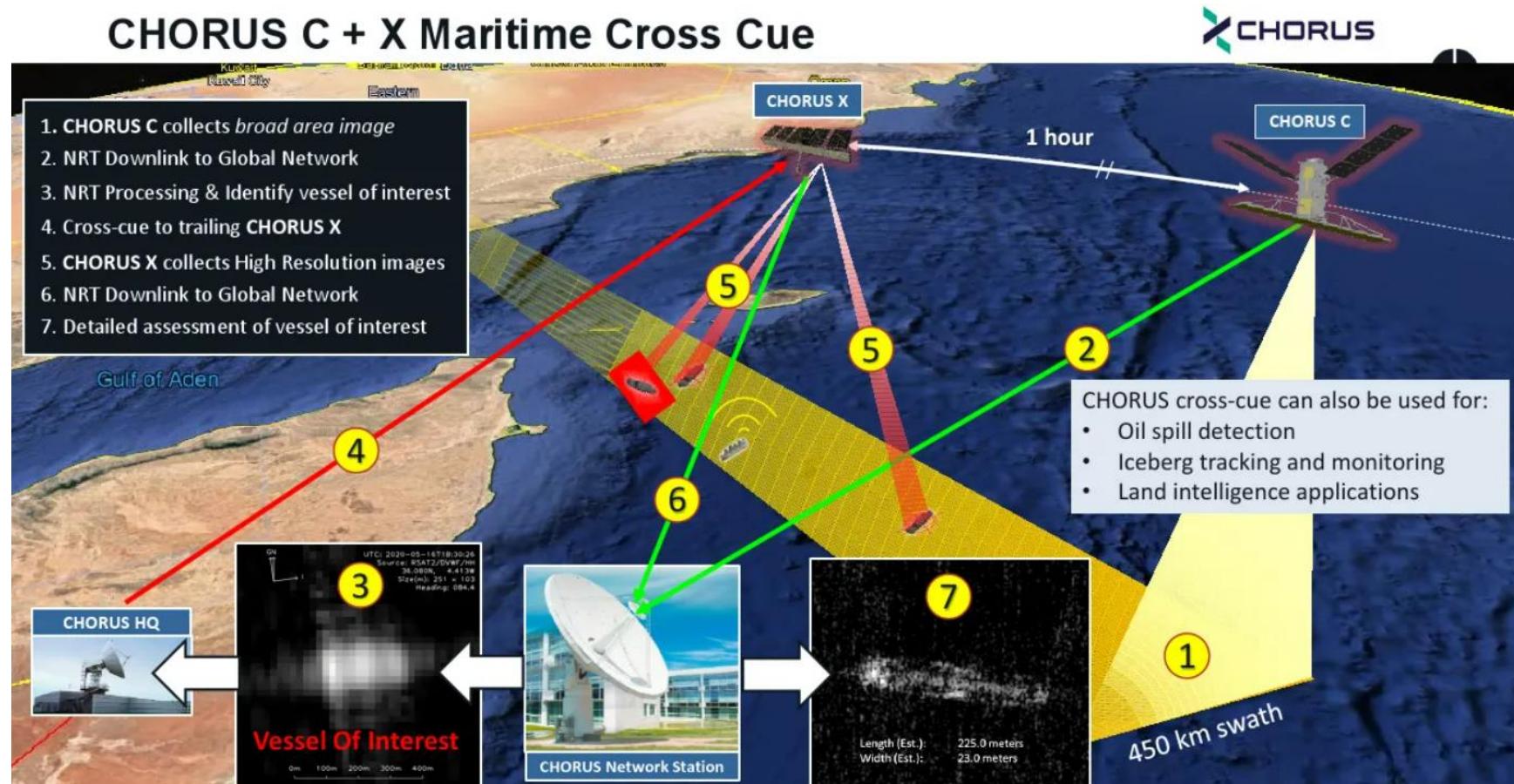
[1] https://space.skyrocket.de/doc_sdat/ludi-tance-4-01.htm

[2] <https://www.n2yo.com/?s=57624&live=1>

CHORUS (MDA)

24-002-R-011

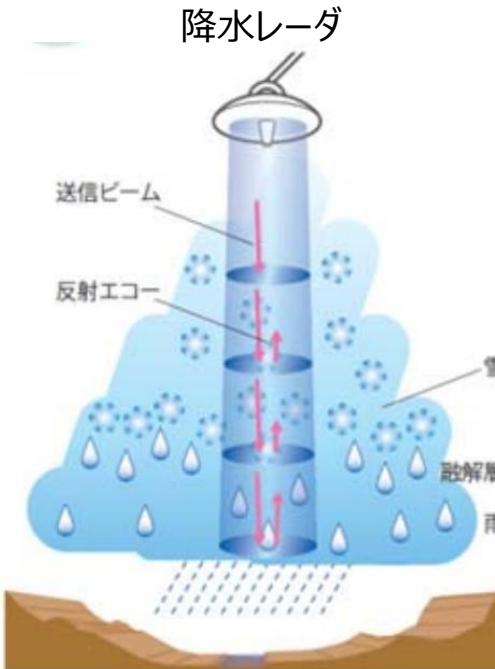
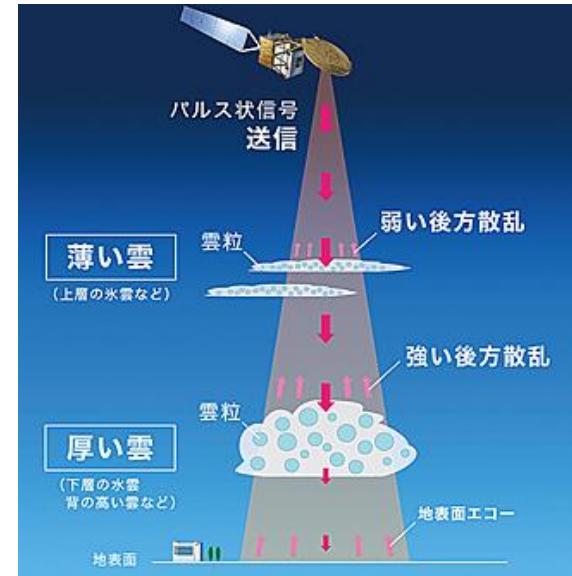
MDAが開発中のCHORUSコンステレーションには、CバンドとXバンド（ICEYEが提供）のSAR衛星が含まれ、同じ中緯度軌道で運用される。両衛星を活用したTip&Cueなどのアプリケーションが想定されている。

CHORUSコンステレーションによるTip&Cue実施イメージ^[2][1] <https://mda.space/chorus>[2] https://earth.esa.int/living-planet-symposium-2022-presentations/25.05.Wednesday/Bangkok/1540-1720/06_Caves.pdf

①センサ概要 | 雲・降水レーダ

24-002-R-011

雲・降水レーダは、地球上の降水や雲・エアロゾルの様子を観測するためのセンサであり、雨などの降水粒子に照射された電波の反射波をとらえることでその存在や距離を測ることができる。

雲・降水レーダの観測イメージ^{[1][2]}雲プロファイリングレーダ
(JAXA/NICT開発)(参考) 周波数帯一覧^[3]

周波数帯域 (GHz)	名称
0.2 - 0.25 GHz	G バンド
0.25 - 0.5 GHz	P バンド
0.5 - 2.0 GHz	L バンド
2 - 4 GHz	S バンド
4 - 8 GHz	C バンド
8 - 12 GHz	X バンド
12 - 18 GHz	Ku バンド
18 - 26 GHz	K バンド
26 - 40 GHz	Ka バンド
33 - 50 GHz	Q バンド
40 - 75 GHz	V バンド
75 - 111 GHz	W バンド

- レーダーから発射された電波が降水粒子により反射されてレーダーに返ってくる。それに要した時間からレーダーからの距離、ビームの方向からその水平位置、エコーの強さから降水の強度がわかる
- 降水レーダ衛星ではKa/Kuバンドの電波が用いられている

- 地球に向かって電波を発射し、雲から散乱されて戻って来る電波（後方散乱）の強さや時間を測定することで、雲の垂直構造を観測
- Wバンドという、一般的な降雨レーダと比較して10分の1程度の短い波長の電波を用いる

雲・降水レーダ衛星で使われる周波数帯

[1] <https://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2014/11/Oki.pdf>

[2] https://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/about/cpr_tech_j.html

[3] <https://www.nict.go.jp/press/2024/06/27-1.html>

②開発動向まとめ | 雲・降水レーダ

24-002-R-011

気象予測精度向上や気候変動把握等を目的に、各国宇宙機関が（適宜連携を行いつつ）大型の衛星開発を進めているが、一部民間小型衛星群による動きが新たに見られ始めている。

		JAXA/NASA (日/米)	JAXA/NASA/CNES (日/米/仏)	CMA (中)	Tomorrow.io (米)	JAXA/ESA (日/欧)	トリノ工科大学 (伊)
実施主体概要	機体名称	GPM	PMM	風雲3号G星	Tomorrow R1/R2	EarthCARE	Wivern
	事業フェーズ	運用中	開発中	運用中	運用中	運用中	開発中
	打上げ年	2014年	2028年 (予定)	2023年	2023年	2024年	2032年 (予定)
センサ諸元	衛星サイズ	大型	大型	大型	小型	大型	N/A
	レーダセンサ	二周波降水レーダ (DPR)	Ku帯ドッpler降水 レーダ (KuDPR)	降水観測レーダ (PMR)	Tomorrow.io radar	雲プロファイリングレー ダ (CPR)	W-band Doppler radar
	波長	Ku/Kaバンド	Kuバンド	Ku/Kaバンド	Kaバンド	Wバンド	Wバンド
	空間分解能	5km	5km	5km	5km	750m(フットプリント 径)	<1km
	垂直分解能	250-500m	250-500m	250m	250m	500m	600m
	その他 ミッション機器	NASA マイクロ波放 射計 (GMI)	CNESマイクロ波放 射計	MWRI-RM, MERSI-RM, GNOS-II, HAOC, PMAI (個別ページ参照)	マイクロ波サウンダ衛 星を打上げ予定	大気ライダ、多波長イ メージャ、広帯域放射収 支計	無し
運用条件	軌道高度	407km	407km	407km	550km	393km	500-535 km
	回帰日数	N/A	N/A	N/A	N/A	25日	1.5日(再訪頻度)
	全球観測日数	3時間	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		気象予測精度向上、 気候変動把握等	気象予測精度向上、 気候変動把握等	災害級の降水の観測	気象観測・気象予測	気象予測精度向上	気象予測精度向上
出所		https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gpm/	https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/pmm/	https://www.nsmc.org.cn/nsmc/cn/satellite/FY3G.htm	https://www.eoportal.org/satellite-missions/tomorrow-r1-r2	https://www.satnavi.jaxa.jp/files/document/pdf/EarthCARE_CPR_overview.pdf	https://wivern.polito.it/ https://meetingorganizer.conferenceopencrus.org/EGU24/EGU24-16304.html

③センサ毎の開発状況 | Tomorrow R1/R2 (Tomorrow.io) 24-002-R-011

Tomorrow R1/R2は、Tomorrow.ioが実証中の小型のKaバンド降水レーダ衛星。同社は今後2026年までに6-8機の降水レーダ衛星、14機のマイクロ波サウンダ衛星を打ち上げ予定。

Tomorrow.ioコンステレーションの概要^[1]

Instrument Details

SmallSat Radar:

- Ka-band (35.5-36 GHz)
- Wide swath (400 km)
- High sensitivity ($\leq 12 \text{ dBZ}$)
- High resolution (5 x 5 x .25 km)
- Adaptive, reconfigurable software-defined radar

CubeSat Sounder:

- Variant of TROPICS MWS
- 12 channels from 92-205 GHz
- 118 GHz O₂ temp. sounding
- 183 GHz H₂O sounding

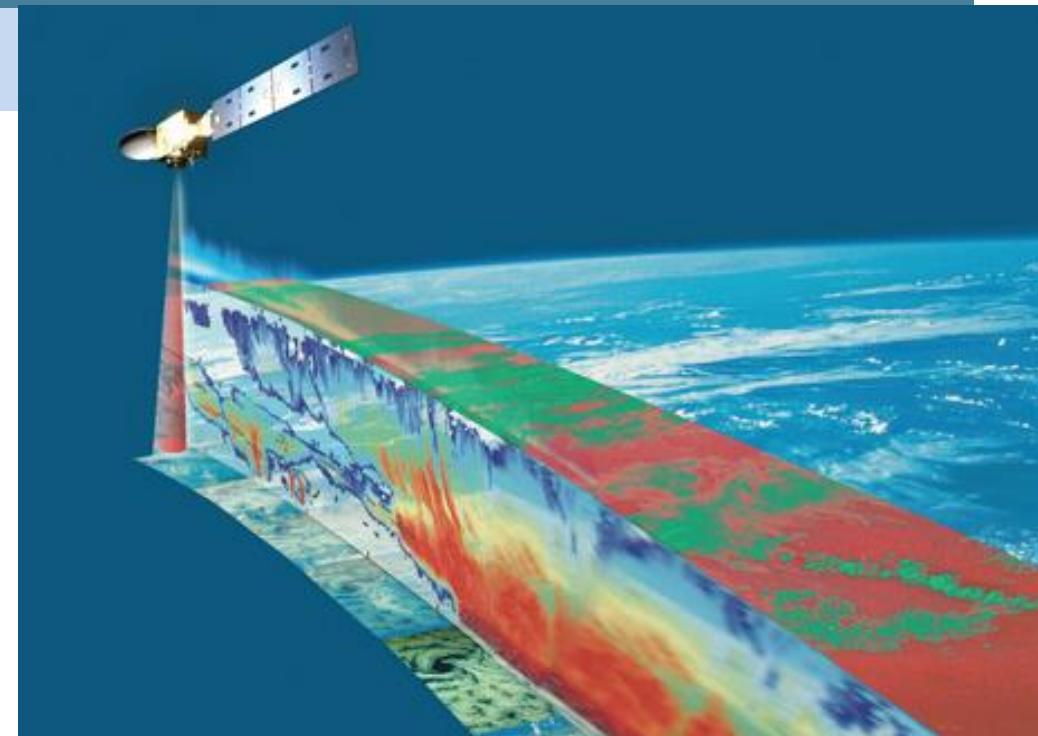
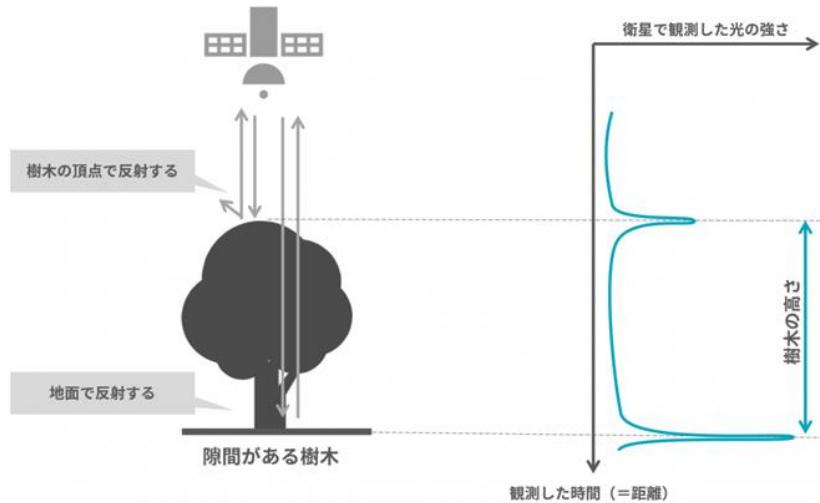


Constellation Capabilities

- Heterogeneity: 10 radars + 18 sounders planned
- ~hourly mean revisit over majority of globe
- 15 minute downlink latency
- Real-time precipitation, temperature, and humidity profiling
- Surface characterization from NRCS (radar) & clear-sky T_b (radiometer)

① LiDAR概要

➤ LiDARとは



LiDARはLaser Imaging Detection and Rangingの略であり、英語名の通りレーザーを地上に照射し、その反射光が届くまでの時間を観測することで反射物の高さを計測するセンサである。SAR衛星が電波で行っている観測を光で行っているものと言え、光学の能動センサの一種である。

地球観測衛星におけるLiDARは主に大気中の雲の粒子やエアロゾルを観測する目的のものが中心であったが、航空機LiDARを衛星で行うこと目的としたものも出てきている。主要な性能として、使用する光の波長、高さ方向の分解能があげられる。光を照射する形で観測するため直接的な撮影幅(フットプリント)は非常に狭い。

② LiDAR開発動向まとめ

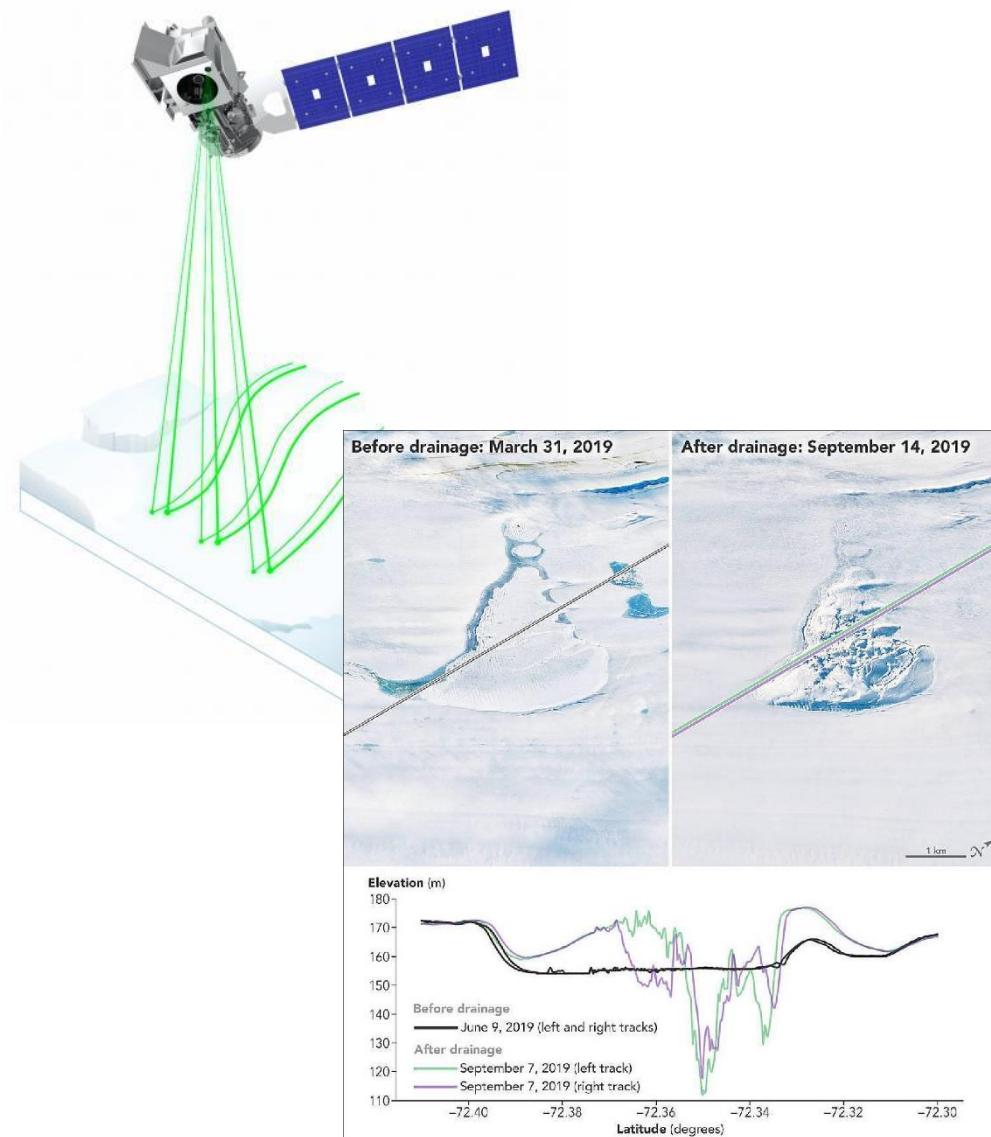
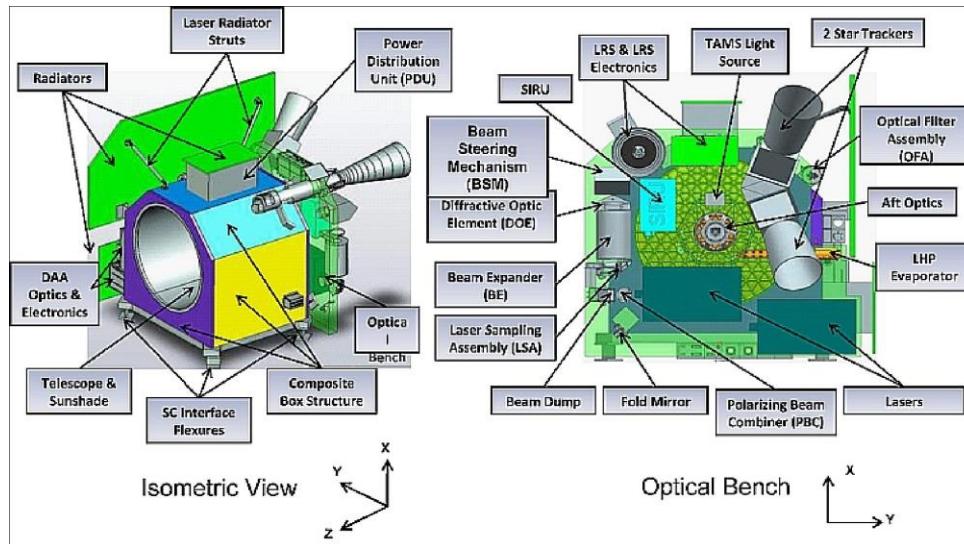
これまで環境観測が中心であったところから、民間の小型衛星でのLiDAR衛星プロジェクトが誕生するなど、航空機LiDARが対象とするような都市域のアプリケーションについても衛星利用が検討され始めている。

	JAXA/ESA(日)	ESA(欧)	NASA(米)	NuView(米)	航空機LiDAR(参考値)
実施主体概要	機体名称	EarthCare (ATLID)	Aelous	ICESAT-2	Mr.Spoc(実証機) N/A
	事業フェーズ	実証中	運用終了	運用中	開発中 運用中
	打上げ年	2024年5月	2018年8月	2018年	非公表 N/A
センサ諸元	波長	355nm	355nm	532nm	~1μm 1,064nm(陸上部) 532nm(水中部)
	高さ分解能	100m	250m	4mm	<1m 15cm
	フットプリント	32m		17m	~1.5m
	探知範囲	地上~40km	地上~30km	地表面のみ	地表面のみ
	推定撮影幅(観測点あたり)	非公開	87km	非公開	2m
運用条件	機数	1機	1機	1機	20機 N/A
	軌道(高度km)	SSO(393km)	SSO(320km)	92deg(500km)	400km 1,500ft~12,100ft
	全球観測時間(又は回帰日数)	25日	1か月	3か月	1年 N/A
想定ユーザー(利用分野、観測対象等)	大気・雲の研究者	大気・雲の研究者	雪氷圏の研究者	森林関係の研究者事業者、都市開発事業者など	建築分野、農業分野などの事業者など

③センサ毎の開発状況：ICESAT-2

24-002-R-011

- NASAが開発した氷床や森林の高さ、地形の変動などを高精度に観測する衛星。2010年に運用を終了したICESat-1の後継機として2018年に打上げられた。
- ATLAS (Advanced Topographic Laser Altimeter System)というライダーシステムにより、地表面の高度変化を非常に高精度に測定する。高度測定時の高さ分解能は4ミリメートルとなる。



③センサ毎の開発状況：NuView

24-002-R-011

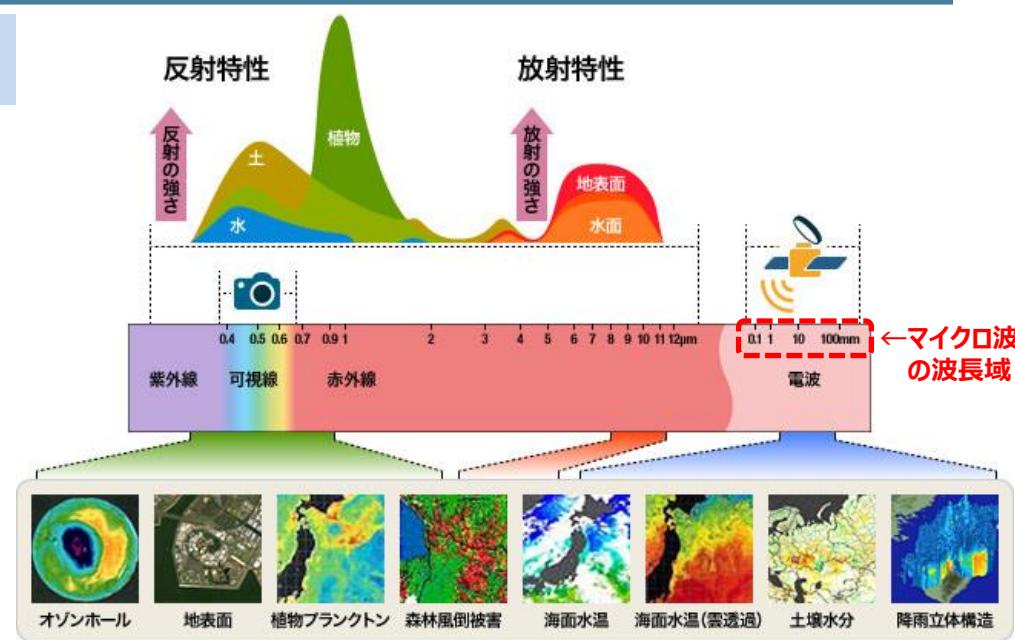
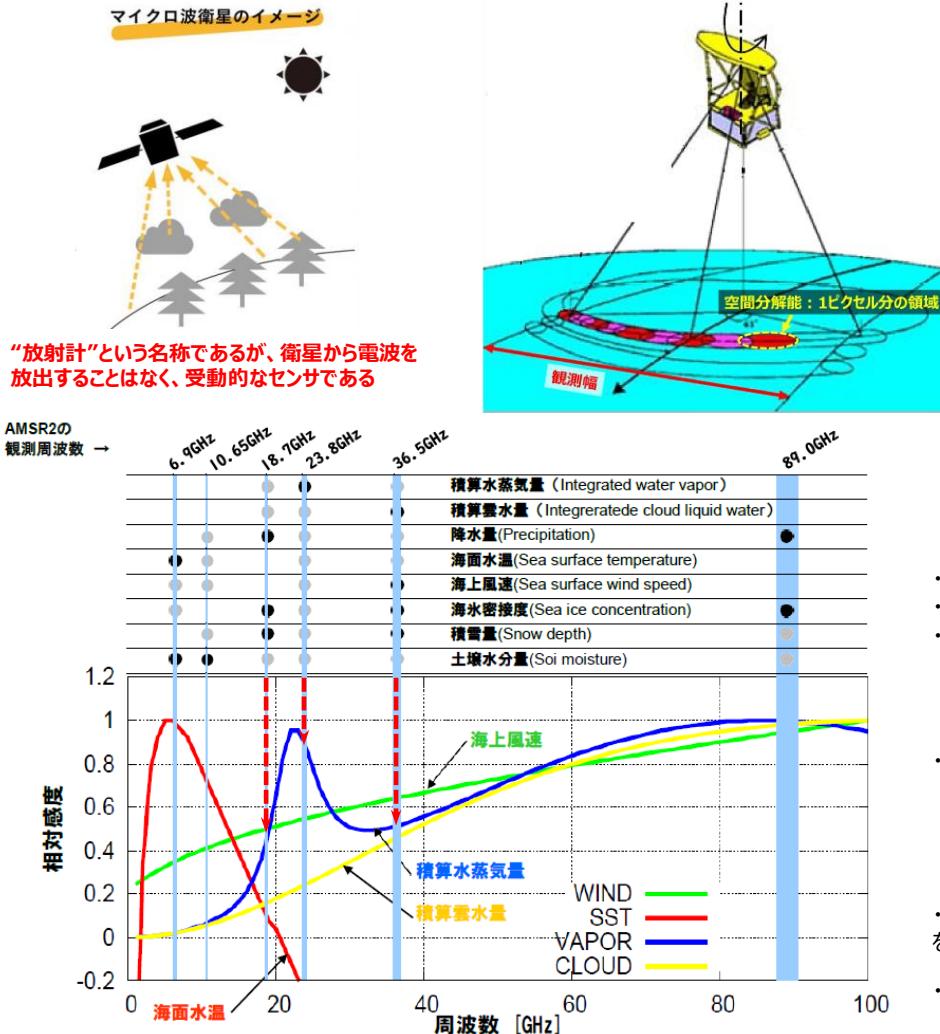
- 民間企業であるNuView社が開発をしている世界で初めての民間小型衛星によるLiDAR衛星。2023年までステルスで活動していたが、2023年6月に\$15Mの資金調達を発表、俳優のレオナルドディカプリオが投資家として含まれていることでも話題となった。
- アプリケーションとしては森林・カーボンの管理、都市計画、洪水のリスク管理、再生可能エネルギー、海岸線の管理など、幅広いアプリケーションが挙げられている。コンステレーションを構築し、1年で世界中のデータを更新するとしている。公式HPでは技術的な詳細は明らかになっていないが、ニュース※1によれば高さ分解能は1m以下(数十cm)、観測のフットプリントは1.7mと航空機LiDARの補完・拡張的な役割を目指していると思われる。
- 2024年9月に衛星の発注をカナダ・Space Flight Laboratoryに行う旨が発表された。



※1: <https://www.forbes.com/sites/sabbirrangwala/2023/07/31/nuview-aims-to-map-earth-in-3d-using-satellite-based-lidar/?sh=ee9d16f7d84a>
画像: <https://www.satellitetoday.com/manufacturing/2024/09/04/nuview-selects-space-flight-laboratory-to-develop-pathfinder-bus/>

①センサ概要

➤ マイクロ波放射計、マイクロ波ハイパーとは



- 地表面や大気は（外的要因がなくとも）自然に**微弱なマイクロ波を放射している**
 - その性質や状態によって、放射するマイクロ波の強度、周波数が異なる
 - それらのマイクロ波を、衛星に搭載したマイクロ波放射計によって観測することで、様々な物理量を測定することが可能
- 例) 積算水蒸気量 : 18.7, 23.8, 36.5 GHzの波長帯の強度から導出（左図参照）
- 左図に、GCOM-W（日本）搭載のAMSR2の観測波長が示されているが、各国、各組織において、必要な観測データを得るために波長帯を凡そ**1～200 GHz**の波長域から選定し、センサ開発を行っている
- 例) 低周波数帯 : 雲を透過して地表面を観ることが可能
高周波数帯 : 雲や降水
- NEAT** : どこまで細かく観測データ（輝度温度）の違いを識別できるかを表す。値が**小さいほど高精度**であることを示す
- 超小型衛星用のマイクロ波放射計の開発も進んでおり、コンステレーション化による再訪性向上が期待されるが、低周波域はセンサが大型化するため、主な観測対象は高周波域となる
- 数CH～数十CHの波長帯を観測する通常のマルチバンドのマイクロ波放射計に対して、高性能LNAや高速デジタルデータ処理技術などの発展によって、**数百CH**の測定を可能とする**マイクロ波ハイパー**が注目を集めている

②開発動向まとめ：マイクロ波放射計

低周波域の観測や、高い空間分解能を要するイメージヤーは、システムが大型化するため、国の予算を投じた開発が行われている。また、国際協力を前提として、相互補完されるように各国が開発計画を立てている

	JAXA (日)	JAXA, MOE, NIES (日)				ESA, COM (欧)				USSF (米)						
実施主体概要	機体名称	GCOM-W				GOSAT-GW				Sentinel CIMR-A, B						
	事業フェーズ	運用中				開発中				開発中						
	打上げ年	2012年 打上				2024年度 予定				CIMR-A : 2029年 予定 CIMR-B : 2031年 予定						
衛星諸元	質量	1991 kg (wet)				2900 kg				調査中						
センサ諸元	センサ名	AMSR2				AMSR3				CIMR						
	波長 GHz 偏波 空間分解能 km NEΔT (精度の指標)	6.9 7.3 10.7 18.7 23.8 36.5 89.0 A/B	V/H V/H V/H V/H V/H V/H V/H	35x62 34x58 24x42 14x22 15x26 7x12 3x5	0.34 0.43 0.70 0.70 0.60 0.70 1.20	6.9 7.3 10.3 10.7 18.7 23.8 36.4 89.0 A/B 165.5 183.3 (2CH)	V/H V/H V/H V/H V/H V/H V/H V/H V	33x57 33x57 22x38 22x38 12x21 14x24 6x11 3x5 4x9 4x8	0.34 0.43 0.33 0.7 0.6 0.7 0.7 1.2 1.5 1.5	1.4 6.9 10.7 18.7 36.5	調査中	55 15 15 5 5	0.3 0.2 0.3 0.3 0.7	10.9 18.9 23.8 36.8 37.3 89	V/H/3rd/4th V/H/3rd/4th V V/H/3rd/4th V/H V/H	38x23 23x15 21x13 15x10 15x10 15x10
	観測幅	1450 km				1535 km				1900 km						
運用条件	機数	1				1				3 (CIMR-A,B, MetOp-SG-B)						
	高度 (種類), 傾斜角	700 km (SSO), 98.2°				666 km (SSO), 98.1°				830 km (SSO), 98.7°						
	再訪性	調査中				調査中				調査中						
	全球観測	2日で全球の 99%以上を昼夜 1 回観測				調査中				全球の 95%以上を1日以下で観測						
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		気象庁, JAFIC, 他多数 (オープンアクセス) (積算水蒸気量, 積算雲水量, 降水量, 海面温度, 海上風速, 海水密度, 積雪深, 土壤水分量)				気象庁, JAFIC, 他多数 (オープンアクセス) (積算水蒸気量, 積算雲水量, 降水量, 海面温度, 海上風速, 海水密度, 積雪深, 土壤水分量)				調査中 (オープンアクセス) (海面温度, 海洋塩分濃度, 海水密度・種類・厚さ)				米空軍第 557 気象団, 海軍気象 海洋センター (海上風速, 熱帯低気圧強度, 土壌水分量, 積雪深, 海氷特性)		

②開発動向まとめ：マイクロ波放射計

NOAAやROSKOSMOSの衛星は、ミッションの継続性と開発費低減のため、同じセンサを継続的に搭載。MIT LLは、小型化可能な高周波域に特化した3U衛星や、収納率の高い平面展開アンテナなどを開発

		NASA, NOAA (米), EUMETSAT (欧)				ROSKOSMOS, ROSHYDROMET (露)				MIT LL (米)				MIT LL (米)		
実施主体概要	機体名称	NOAA-21				Meteor-M N2				TROPICS				CREWSR		
	事業フェーズ	運用中				運用中				運用中				プロトタイプ開発中		
	打上げ年	2022年 打上				2019年 打上				2023年 打上				調査中		
衛星諸元	質量	2540 kg				2900 kg (wet)				6 kg				センサ質量 25 kg		
センサ諸元	センサ名	ATMS				MTVZA-GY				TMS				PT-CREWSR (1/6アンテナ)		
	波長 GHz 偏波 空間分解能 km NEΔT (精度の指標)	23.8 31.4 50.3 51.76 52.8 53.596±0.115 54.4 54.94 55.5 57.29 (6CH) 88.2 165.5 183.31 (5CH)	QV QH QH QH QH QH QH QH QH QH QH QH *	75 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 16 16	0.9 1.2 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.5 0.6 0.8~0.9	10.6 18.7 23.8 31.5 36.7 42 48 52.8 53.3 53.8 54.64 55.63 57.29 (5CH) 91.655 183.31 (3CH)	V/H V/H V/H V/H V/H V/H V/H V V V V V H V/H V	89x198 52x116 42x94 35x76 30x67 26x60 24x43 21x48 21x48 21x48 21x48 21x48 21x48 14x30 9x21	0.5 0.4 0.3 0.3 0.3 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4~1.7 0.6 0.5~0.8	91.655 ± 1.4 114.5 115.95 116.65 117.25 117.8 118.24 118.58 184.41 186.51 190.31 204.8	調査中	17 27 27 27 27 27 27 27 17 17 17 17 17 17	0.95 0.55 0.6 0.7 0.7 0.75 0.85 1 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6	23.8 31.4 50-58	単一 直線 偏波	調査中
観測幅	2300 km				1500 km				2200 km				調査中			
運用条件	機数	3 (SNPP, NOAA-20, NOAA-21)				2 (Meteor-M N2-2, N2-3)				3 (TROPICS-03, 05, 06)				調査中		
	高度 (種類), 傾斜角	824 km (SSO), 98.7°				832km (SSO), 98.8°				550 km, 30°				調査中		
	再訪性	(20日)				調査中				45分 (7基運用の場合)				調査中		
	全球観測	1日2回				調査中				非該当				調査中		
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		調査中 (オープンアクセス) (積算水蒸気量, 積算雲水量, 降水量, 大気温度, 地表温度, 海上風速, 海氷密接度・厚さ)				調査中 (アクセス制限有) (積算水蒸気量, 積算雲水量, 雲の種類, 対流圏界面高さ, 降水量, 大気温度, 地表温度, 海面温度, 海上風速, 海氷領域)				調査中 (積算水蒸気量, 降水量, 大気温度)				調査中		

* QV, QH : 準垂直偏波、準水平偏波。直下視における観測面が基準

②開発動向まとめ：マイクロ波ハイパー

24-002-R-011

国内外で、既存のマイクロ波放射計では実現できない有益なユースケースを検討しながら、実証機の開発が進められている

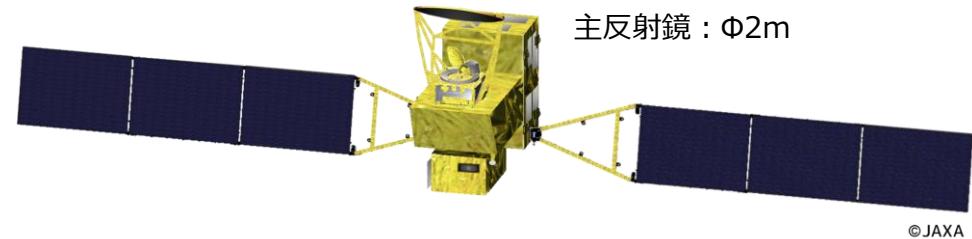
		JAXA (日)					NOAA, Spire (米)				
実施主体概要	機体名称	SAMRAI衛星					HYMS Nano Satellite				
	事業フェーズ	開発中					開発中				
	打上げ年	実証機：2026年度 予定 コンステレーション構築：2030年度以降 予定					実証機：2022～2024年 予定 コンステレーション構築：2025～2028年 予定				
衛星諸元	質量	200 kg					(サイズ：16U)				
センサ諸元	センサ名	SAMRAI					HYMS IOD				
	CH数	最大 1536 CH					> 1000 CH				
	波長 GHz 偏波 空間分解能 km ΔT (精度の指標) スペクトル分解能 MHz	1~40	V/H	7 @10GHz 2 @35GHz	調査中	27	54 89 183	調査中	24 調査中 17	0.28~1 0.14 0.35	10 調査中 400
	観測幅	1000 km					調査中				
	運用条件	調査中					>120				
運用条件	高度 (種類), 傾斜角	500 km					500 km				
	再訪性	3時間					30分				
	全球観測	調査中					調査中				
	想定ユーザー (利用分野、観測対象等)	定点観測、建設・土木、行政、一次産業、気象、通信、防衛 (海面塩分、水蒸気量、海上風速、海面水温、降水量)					調査中 (高度方向に高精細な積算水蒸気量・温度)				

③センサ毎の開発状況

➤ GOSAT-GW (AMSR3)

➤ センサ概要、特徴

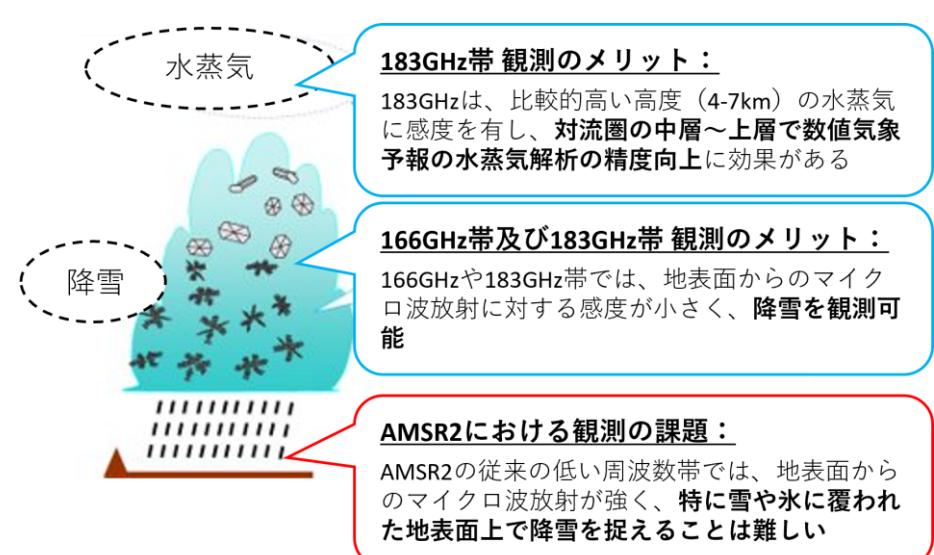
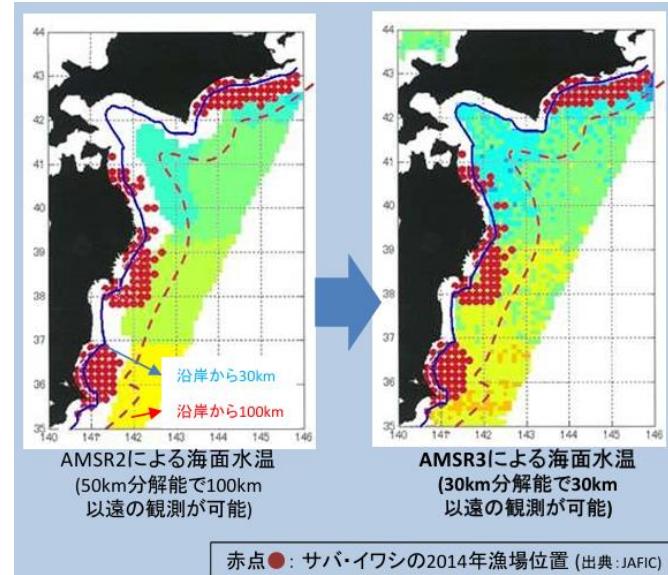
- ・総開発費：321億円
- ・AMSR2の観測周波数に加え、新たに166、183GHz帯を追加し、高高度や陸上の水蒸気、降雪を観測可能に
- ・即時性の向上を目指し、日本周辺の土壤水分量、海上風速を0.5時間以内に配信する
- ・10.25GHz帯を追加することで、海面水温の空間分解能の向上、沿岸部からより近い領域の観測が可能に
- ・主反射鏡：Φ2m



©JAXA

➤ 開発状況

- ・2021年 CDR完了
- ・2024年度 打上予定

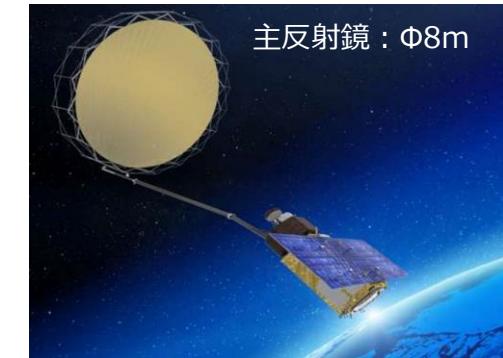


③ センサ毎の開発状況

➤ Sentinel CIMR-A, B (CIMR)

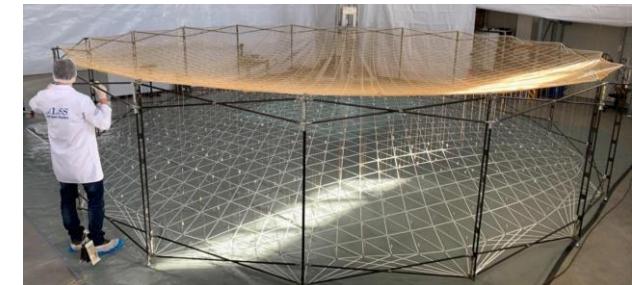
➤ コペルニクス センチネル拡張ミッションの概要

- ・CIMR-A、Bは、EUの地球観測プログラムであり、コペルニクスプログラムのセンチネル拡張ミッションの6衛星のうちの一つである
- ・CIMRの他に、可視～短波長赤外のハイパースペクトルセンサを搭載するCHIME、可視～熱赤外の周波数で地表温度を観測するLSTM、人類の活動由来の二酸化炭素を観測するCO2M、海氷厚や積雪深さを観測するCRISTAL、LバンドSARを搭載したROSE-Lがある。
- ・各ミッション2機ずつ打上予定であり、初号機打上後、1～3年で2号機目を打上げる計画となっている

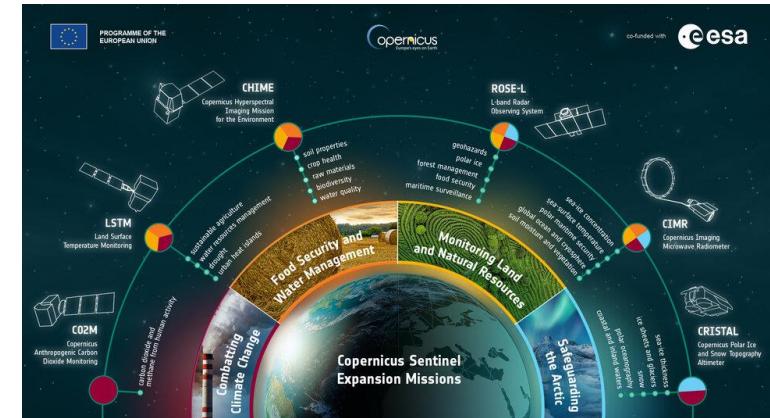


➤ センサ概要

- ・CIMR-A、BにMetOp-SG-Bを加えた3機の衛星で、緩やかな衛星コンステレーションを構築し、昼夜観測を行う
- ・直径8mの大型メッシュアンテナにより、1.414、6.925、10.65、18.7、36.5 GHz帯の観測を行う。メッシュアンテナであることから、高周波の観測には不向きと思われ、低～中周波数帯に特化した設計となっている
- ・北極域の航行に使用される海水密接度、海氷縁、流水、海面風速の北極域のデータは1時間以内のデータ提供を目指す



ミッション	センチネル シリーズNo.	ミッション内容	契約額 M€	初号機 打上予定	主契約者
CO2M	Sentinel-7	CO2観測	445	2026年	OHB (独)
LSTM	Sentinel-8	陸地観測（表面温度等）	380	2029年	エアバスDS (西)
CRISTAL	Sentinel-9	極圏冰雪地形図	300	2028年	エアバスDS (独)
CHIME	Sentinel-10	陸地マッピング	455	2029年	TAS (仏)
CIMR	Sentinel-11	海洋観測（海面温度、氷山分布等）	495	2029年	TAS (伊)
ROSE-L	Sentinel-12	地球全域LバンドSAR観測	482	2030年	TAS (伊)
合計	-	-	2557	-	-

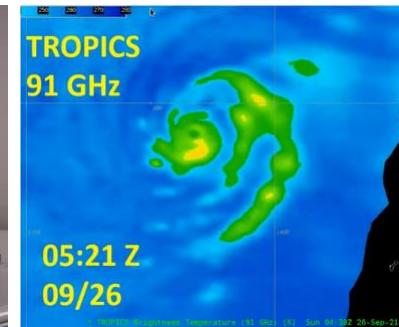


③ センサ毎の開発状況

➤ TROPICS (TMS)

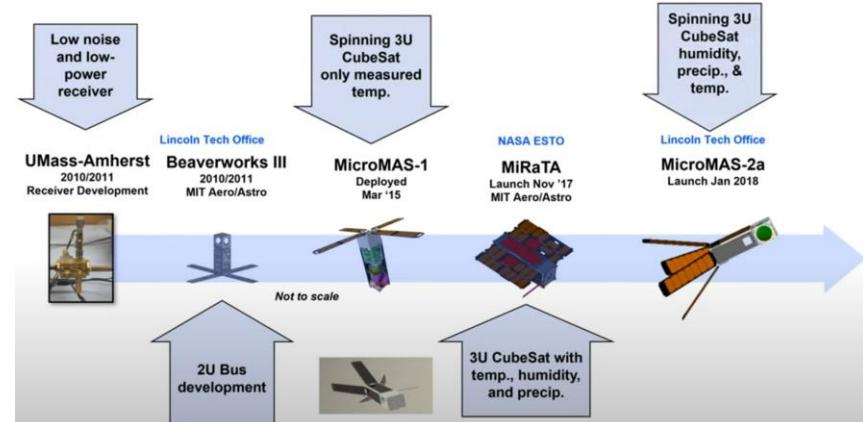
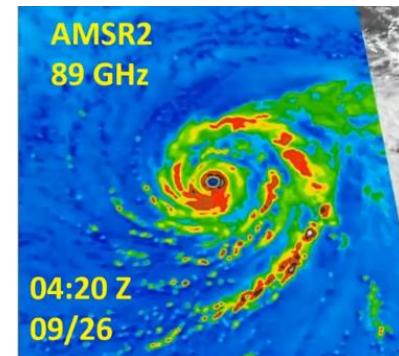
➤ 技術開発から実用化への流れ

- ・MIT LL (Lincoln Laboratory) が開発した3U衛星
- ・小型化技術は、2010年代から研究が行われている（下図）
- ・TROPICSシリーズは、初号機のPathfinderの後、6機のコンステレーションを計画
- ・打上失敗で2機喪失、軌道上不具合により1機喪失し、現在3機で運用中
- ・レーダー衛星コンステレーション構築を目指すTomorrow.ioがライセンス取得し、同社の超小型衛星コンステレーションに、マイクロ波放射計を搭載する
- ・同社はマイクロ波放射計を搭載した衛星を2024年8月に2機打上げた
- ・さらに、DoD向けにも2025年5月までに2機納入予定である
- ・政府機関からの投資を受けた研究機関が技術開発し、それをスタートアップが産業化し、政府需要も満たす、という好循環が生まれている



➤ 超小型衛星の制約と可能性

- ・90 GHz帯（降水量）の性能を比較すると、空間分解能はAMSR2の方が高精細である（右図）
 - ・一方、アンテナ径は88mmと、劇的に小型化が進んでいる（AMSR2 : Φ2.0m）
 - ・低周波数帯を観測するには、システムを大型化するが、展開式平面アンテナによる革新も進んでいる
- ※TROPICS: 91~205 GHz, AMSR2 : 7~89 GHz



①センサ概要

AIS/VDESの衛星による観測とは

- AIS(Automatic Identification System)は、船舶の位置情報や針路、船速などの航海情報、船名や貨物の情報を定期的に放送し、他船から放送されたこれら情報を常時受信し表示するシステムである。
- 基本的にAISは船舶⇒船舶、もしくは、地上局を想定したVHF帯(161.975MHzと162.025MHzの2CH)を用いた放送となり、放送範囲は見通し範囲内に限られるため、アンテナの高さにもよるが~55km程度以下に制限される。そこで、人工衛星を用いてこれらのAIS信号を収集することで、より広域の信号収集が可能となる。(AISの衛星受信用にWRC-12で156.775MHz、156.825MHzも分配されたが、AIS機器の改修が必要でありあまり広まっていない)
- AISの衛星センサの主要な技術トレンドは以下のとおり
【混信の分離】

AISでは、1分間に2250スロット/chに分割し、見通し範囲内の通信相手とのスロットを利用するか相互に伝え、空きスロットを把握することで信号の衝突を防ぐ、時分割多元接続(TDMA:Time Division Multiple Access)方式を用いることで、多数船舶の放送を実現している。人工衛星で広域のAIS信号を収集した場合、見通し範囲外の船舶間ではスロットの調停が行えないため、多数の船舶が存在する海域では同一スロットを利用した混信が発生する。

これら混信を分離するため、アンテナを多素子化した複数ビーム化(DBF等含む)や、ドップラー等を活用した信号処理によって、船舶毎の信号分離を行う開発が進んでいる。またこれらを実現するためにSDR(Software Defined Radio)の導入も進んでいる。

【他センサとの組み合わせ】

AIS信号をOFFしたり、欺瞞したりする船舶を含めて船舶検出を行うため、SARや他の電波探知等の他センサとの組み合わせが進んでいる。

【コンステレーションによるカバレッジ、時間分解能の向上】

広大な海洋でのAIS信号を確実に補足するため、コンステレーション化が進んでいる。

- VDES(VHF Data Exchange System) = AIS+ASM+地上VDE+衛星VDE

AIS: 従来のAISもVDESの一部

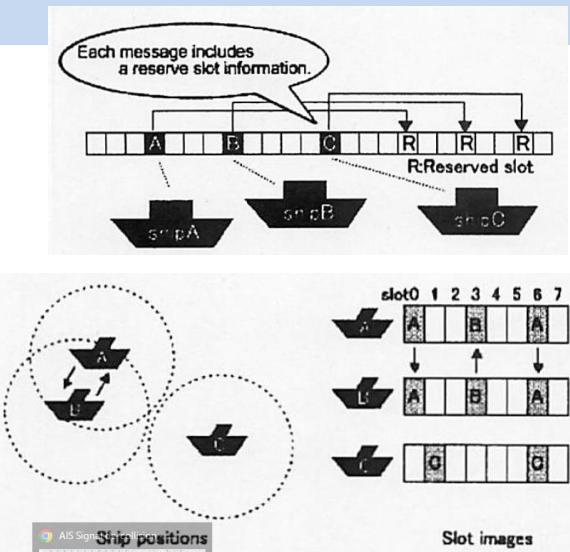
ASM(VDES-ASM): AISの内部で行われていたASM(Application Specific Message)交換を新たに割り当てられた周波数帯域(ASM1/ASM2のチャネル)で実施するもの。従来のAIS機器では受送信できない(AISのCHで実施されるASMは従来通り実施でき、VDES対応機器でも対応可)

地上VDE:船-船間、及び、船-陸間のデータ通信

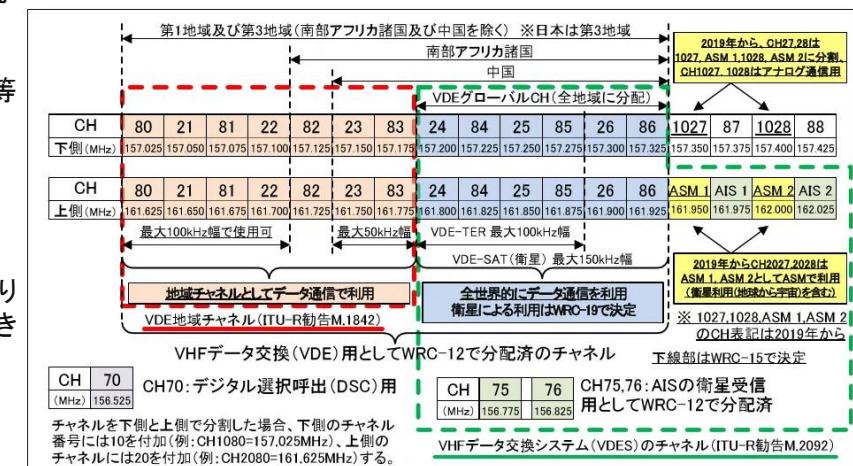
衛星VDE:船-LEO衛星間のデータ通信

それぞれの帯域はAIS:9.6kbps, ASM:19.2kbps, VDE:最大307.2kbps

衛星VDEは通信衛星としての機能となるため、観測の観点としては従来のAISと大きな差異なし。



AISの時分割多重通信概念図^[1]



VDES使用周波数一覧^[2]

[1] <http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~hase/cv/papers/kaisetu28.pdf>

[2] https://www.soumu.go.jp/main_content/000726352.pdf

② 開発動向まとめ

- 民間小型衛星コンステレーションにて準リアルタイムで、地球規模のカバレッジのAIS信号受信が進む。
- 民間においても、電波探知と組み合わせたDark Vesselの検出への取組も進んでいる。

		Spire Global(米)	ORBCOMM(米)	HawkEYE 360(米)	Unseenlabs(仏)	IHI(日)
実施主体概要	機体名称	Lumer-2	ORBCOMM OG2	Hawk Pathfinder Hawk 2~9	BRO(Breizh Reconnaissance Orbitar)	IHI-SAT
	事業フェーズ	運用中(2015~)	運用中 初号機：2012(失敗) 2ndバッチ：2014 3rdバッチ：2015 打上	運用中 Pathfinder:2018 2 nd ~9 th Cluster:2021~2024 打上	運用中 BRO-1:2019/8 BRO-2~15: 2020/11~2024/8	2022/2 打上 2022/3 ISSより放 出 2022/11 大気圏再 突入より運用終了
衛星諸元	質量 [kg]	~4.6kg	172kg	15kg	調査中(6U)	調査中(3U)
センサ諸元	AIS/VDES	AIS	AIS	AIS	AIS	AIS
	アンテナ	VHF Dipoleアンテナ(推定)	調査中	VHF Dipoleアンテナ×1	VHF Dipoleアンテナ×2 (推定)	VHF Dipoleアンテナ (推定)
	組み合わせセンサ	GNSS-RO/ADS-B等	通信機器	電波収集	電波収集	なし
運用条件	機数	150機以上	12機 (18機打上、初号機機失 敗、5機運用停止)	27機 (3機毎の編隊飛行で 9クラスター)	計画20機 2024/8時点 15機	1
	高度(種類), 傾斜角	400-650km	750km LEO(45°)	500~600km SSO 500~600km LEO(40~46°)	500~550km SSO/LEO(45°)	400km ISS軌道
	再訪性	不明	調査中	10クラスター時 20分	コンステ完成時 30分	実証機よりNA
	全球観測	数十分以内	調査中	1時間以内	コンステ完成時 30分	実証機よりNA
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		<p>政府機関: 海上の安全保障や違法活動の監視を行うために利用。例えば、違法漁業、密輸、海賊行為の検出など。</p> <p>環境保護団体: 海洋環境の保護を目的として、船舶の活動を監視し、環境に対する影響を評価。</p> <p>海運業者: 自社の船舶の位置情報を把握し、効率的な運航管理を行うために利用。</p> <p>保険会社: 船舶の動向を監視し、リスク評価や保険金請求の審査に活用。</p> <p>研究機関: 海洋研究やデータ分析を行うために、船舶の動向データを収集・解析。</p>				

② 開発動向まとめ

- 官需SAR衛星において、AISと組み合わせたDark Vesselの検出を志向
- VDES衛星の実証が進みつつある。

		JAXA(日)	CSA(カナダ)	NOSA	ESA	ArkEdgeSpace
実施主体概要	機体名称	ALOS-4 (SPAISE3)	RADARSAT Constellation Mission	NorSat-2	ESAIL	VDES衛星
	事業フェーズ	運用中 2024年打上	運用中 2019年打上	運用中 2017打上	運用中 2020年打上	開発中 (2025年以降打上)
衛星諸元	質量 [kg]	~3000	1400	15	110	不明(6U)
センサ諸元	AIS/VDES	AIS	AIS	VDES	VDES	VDES
	アンテナ	8素子のDBFアンテナ	two orthogonal monopole pairs	展開型八木アンテナ	調査中	展開式八木アンテナ
	組み合わせセンサ	PALSAR-3(L band SAR)	C-band SAR	衛星AISセンサ	なし	不明
運用条件	機数	1	3	1	1	不明
	高度 (種類), 傾斜角	628 km SSO	592.7km SSO	600km SSO	515km SSO	550km 低傾斜～中継車
	再訪性 (回帰日数)	14日	12日	不明	不明	不明
	全球観測	12時間以下	不明	不明	不明	不明
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		政府機関: 海上の安全保障や違法活動の監視を行うために利用。例えば、違法漁業、密輸、海賊行為の検出など。 環境保護団体: 海洋環境の保護を目的として、船舶の活動を監視し、環境に対する影響を評価。 海運業者: 自社の船舶の位置情報を把握し、効率的な運航管理を行うために利用。 保険会社: 船舶の動向を監視し、リスク評価や保険金請求の審査に活用。 研究機関: 海洋研究やデータ分析を行うために、船舶の動向データを収集・解析。				

③センサ毎の開発状況

➤ Spire Global:Lumer-2(AIS)

- Lumer-2はSpire Globalが構築を進める3Uの地球観測コンステレーション。
- AIS受信機となるSENSE以外には、GNSS-R/GNSS-RO/GNSS-PRO/ADS-B等のペイロードが搭載され、これまでに200機近くの衛星が打ち上げられている^[1]。
- 多数の衛星コンステレーションにより、地球上のどの地域においても、数十分以内でのAIS信号の受信が可能であり、船舶の継続的な追跡が可能となっている^[1]。
- なお、Spire Globalは2021年に同様に衛星AISを含む船舶追跡、海洋状況認識サービスを提供していたexactEarth社を買収。exactEarthはLEO通信コンステレーションであるIridium NEXTにホステッドペイロードとしてAIS受信機を搭載しており^[2]、これにより、従来の数10分以内から、1分以内でのデータ配信が可能なReal-time AISのサービス提供が可能となった^[3]。



Spire GlobalのAIS信号による船舶追跡結果 ©Spire Global^[1]

[1] <https://www.eoportal.org/satellite-missions/spire-global#spire-lemur-2-spacecraft>

[2] <https://www.newsplace.im/constellations/exactearth>

[3] <https://spire.com/maritime/solutions/real-time-ais/>

[4] <https://spacenews.com/harris-exactearth-to-place-ais-gear-on-iridium-craft/>



Lemur-2 外観図 ©Spire Global^[1]

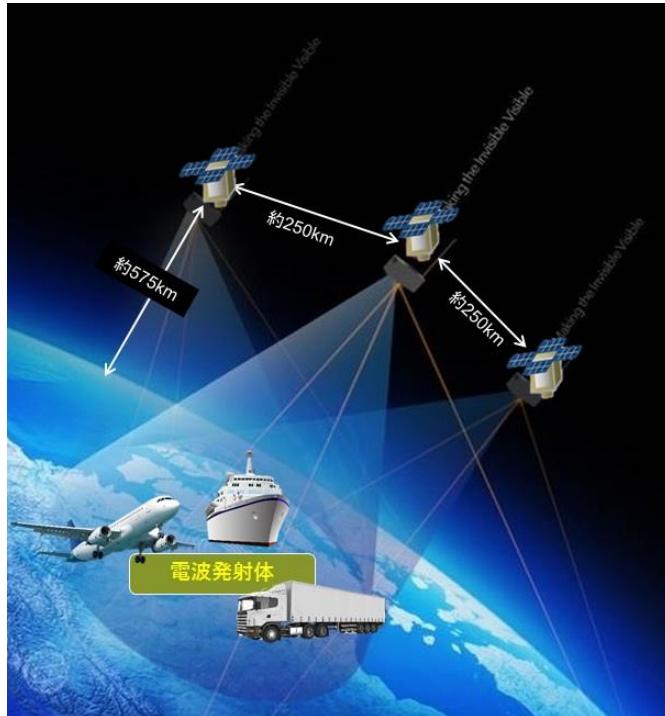
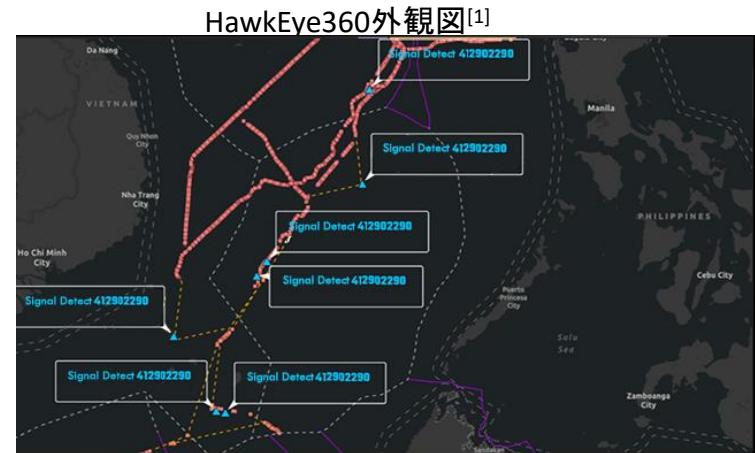
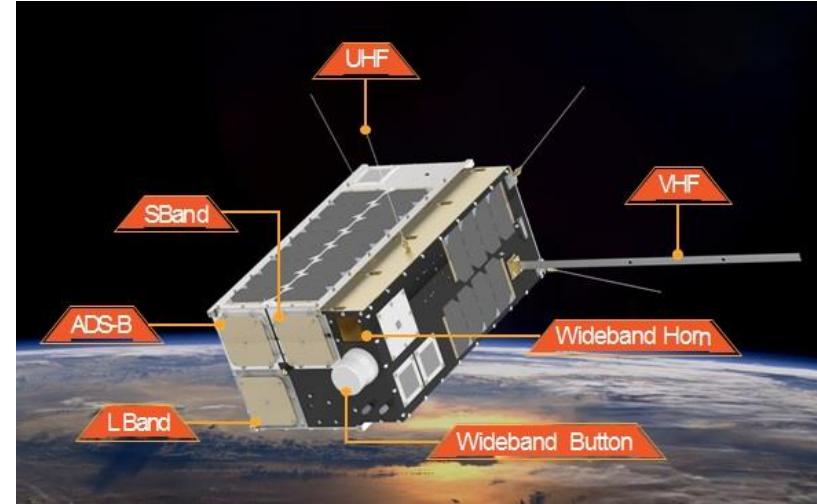


Iridium NEXT外観図^[4]

③センサ毎の開発状況

➤ HawkEye 360

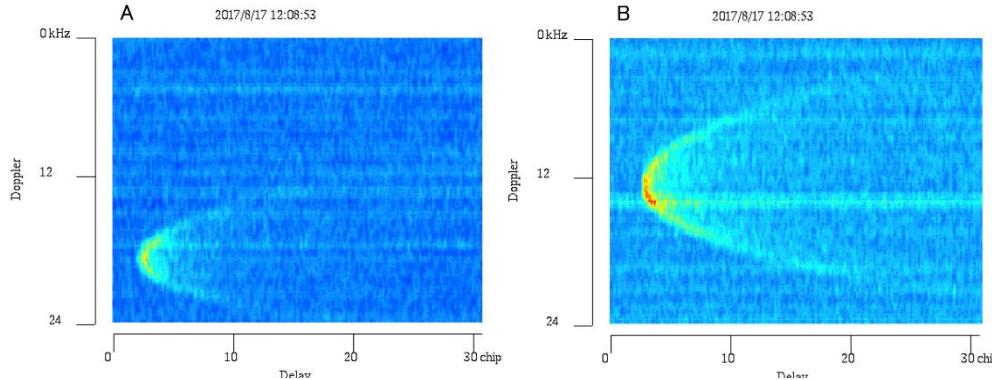
- HawkEye 360は電波収集衛星であり、VHF/UHF/Lバンド/Sバンド/Xバンド/Kuバンド等の多様な周波数の電波情報の観測を行っており、その中でVHF帯のAISデータも含まれる。
- 3機を1クラスターとする編隊飛行を組んでおり、3機での電波到来時間差により電波の発生位置を特定することができる。
- AISと電波探知を組み合わせて、AISを出力していないDark Shipを追跡する等のサービスプラットフォームをSEAkerとして提供している。

HawkEye 360の編隊飛行概念図^[1]SEAker のサービス提供例^[1]^[1] <https://www.skypowerjtsat.space/jsat/case/detail/hawkeye360.html>^[2] <https://www.he360.com/products/seaker-improve-maritime-domain-awareness/>

①センサ概要

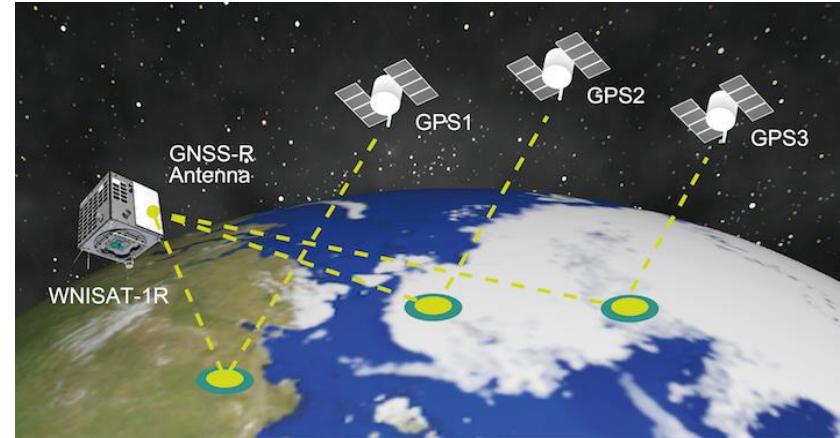
GNSS-Rとは

- GNSS-R(Global Navigation Satellite System - Reflectometry)は地球表面で反射した測位衛星(GNSS衛星)の電波を受信し、解析することで地球表面の状態を観測する方法。
- 測位衛星からの電波を利用するため、自ら電波を発する必要がなく、大きな電源を持たない小型衛星に向いている。また、雲の有無や明暗に左右されずに観測できることや、複数の測位衛星からの電波を用いることで広域のデータを取得できるなどのメリットがある。
- GNSS-Rの基本測定データはDDM(Delay Doppler Map)と呼ばれ、測位反射信号の遅延量とドップラーシフト量を二次元上にマッピングしたもの。滑らかな反射面では、一点からの鏡面反射が強くなるため、DDM上のばらつきは小さいが、荒い反射面では、広い範囲からの反射波が入射されるため、DDM上のばらつきが大きくなるという特性がある。
- 上記DDMの値や、直接入射する測位信号とのSN差等から、反射面の反射特性をモデル化し、主に海上風速(海面の粗さを風速に変換)、土壤水分量、陸域/水域の分類(浸水含む)、水域の分類等の地球表面の状態を取得する。
- 測位信号の反射面の物理量を測定する都合上、GNSS-R衛星としては、一度に補足できる測位衛星数が多いほど、観測面積が向上するため、処理CH数の増加、複数測位衛星への対応が主要な性能指標となる。
- 基本的に測位信号から出力される右旋信号の反射波を測定するため、従来は左遷信号のみを測定するが、両偏波の測定や、多周波測定による反射モデルの精緻化や、Digital Beam Formingを用いたアンテナゲイン向上によるS/N向上等の性能向上が進んでいる。

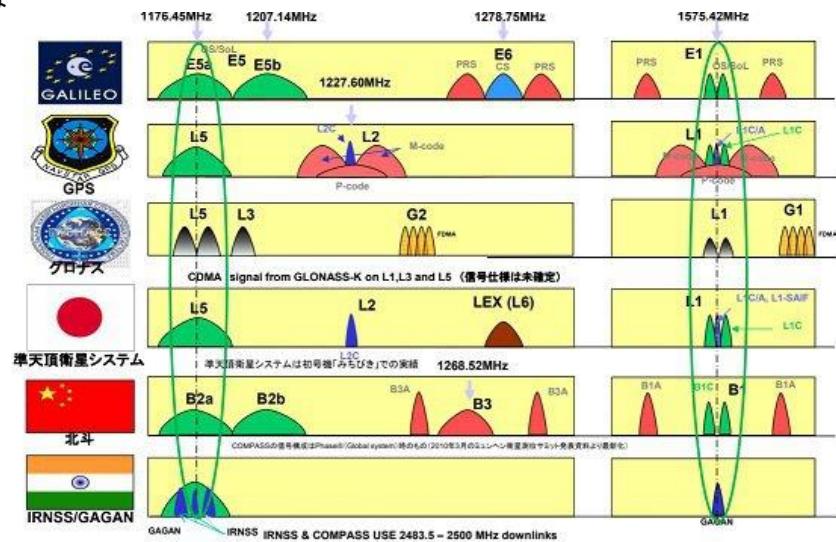


(左)比較的穏やかな海面からの反射波、(右)荒い海面からの反射波

[1] <https://jp.weathernews.com/news/20598> [2] <https://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai4/siryou3-6.pdf>



GNSS-Rの概念図^[1]



各衛星測位システムの使用周波数^[2]

② 開発動向まとめ

- 自身で電波を放出する必要がないため、センサの小型化が比較的容易であり、小型衛星への搭載や中大型気象観測衛星の副センサとしての搭載が進む。また、対応GNSS種類を増やすことで、観測機会の向上が進んでいる。

		NASA(米)	Weather News(日)	Spire Global (米)	China Meteorological Administration (中)
実施主体概要	機体名称	CYGNSS	WNISAT-1R	Lemur-2 (NN-GNSS-R)	風雲3号E~J
	事業フェーズ	運用中 (2016年打上)	実証中(2017年打上)	運用中 2019年、2020年 2023年 打上	運用中 3 E:2021、3F:2023 3 G:2023 打上 3H~3J : 2025~2027打上予定
衛星諸元	質量 [kg]	28.9	43	~5	2300(WET)
センサ諸元	使用測位衛星	GPS	不明	GPS、Galileo Beidou、QZSS	GPS, Beidou, Galileo
	使用周波数帯	L1	不明	L1	L1
	最大追尾衛星数	4	不明	32	8
	サンプリング周期[sps]	1	不明	海上 1 陸上 2	1
	対応偏波	左遷	不明	左遷	調査中
運用条件	機数	8	1	5	計画 6機 (うち3機打上済み)
	高度 (種類), 傾斜角	520 km (LEO), 35°	600km(SSO)	400-600km (LEO,SSO)	E/F: 836km SSO, 98.5° G: 407km LEO 50°
	再訪性 (回帰日数)	平均7時間	不明	不明	不明
	全球観測	緯度±35° の範囲で平均7時間	不明	不明	不明
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		NOAA, 農業ユーザ, 他多数 (オープンアクセス) (海上風速、土壤水分量、 陸域/水域分類)	GNSS-R実証	NOAA, 農業ユーザ等 (海上風速、土壤水分量)	気象、農業ユーザー、 他多数(オープンアクセス) (海上風速、土壤水分、海上氷)

② 開発動向まとめ

- ▶直近での打上・開発衛星に関しては、複数周波数への対応や両偏波への対応によって、測定値より推定する物理量の種類の増加、精度の向上を狙ったものが多い。

		Taiwan Space Agency(台湾)	SSTL(英)/ESA(欧)	Muon Space(米)
実施主体概要	機体名称	TRIRON	HYDROGNSS	MuSat-2,3,4
	事業フェーズ	実証中(2023年打上)	開発中(2025年打上予定)	運用中 MuSat2 (2024年打上) Musat3,4(2025年打上予定)
衛星諸元	質量 [kg]	250	70	67
センサ諸元	使用測位衛星	GPS、Galileo、QZSS	GPS、Galileo	GPS、Galileo、Beidou、QZSS
	使用周波数帯	L1	L1/L5	L1/L5
	最大追尾衛星数	8	16chのDDM + coherent CH + Cal用のBlack Body	32
	サンプリング周期[sps]	4~8	1	1
	対応偏波	調査中	右旋・左旋	右旋・左旋
運用条件	機数	1	計画 2機	計画3機 (うち1機打上済み)
	高度(種類)、傾斜角	601km SSO	550 km SSO	500~600km SSO
	再訪性(回帰日数)	不明	15日	不明
	全球観測	不明	15日	不明
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		現時点ではDDMの軌道上実証まで完了。 実利用に向けたプロダクト生成を実施中。 将来的に気象予報に活用する計画。	気候変数として以下の測定 ・永久凍土 ・バイオマス ・土壤水分 ・浸水	気象、農業ユーザー、 他多数(オープンアクセス) (海上風速、土壤水分、海上氷)

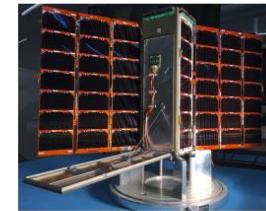
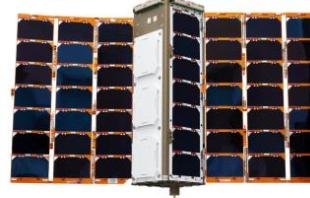
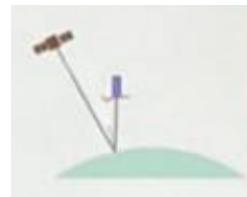
③センサ毎の開発状況

➤ Spire Global: Lemur-2 (NN-GNSS-R)

- Spire Globalの地球観測小型衛星コンステレーションLemur-2の中で、2023年7月時点で5機がNN-GNSS-R(Near-Nadir GNSS-R)衛星。^[1]
- Spire Globalは、GNSS-RO衛星を用いて、低仰角の測位衛星の反射波の観測(GA-GNSS-R(Grazing Angle GNSS-R)、極域の氷の分類、高度計等に使用)も行っており、一般的なGNSS-RはNN-GNSS-Rと区別している。^[2]
- 5機の衛星は3種類のBatch(2019,2020,2023打上)からなり、その中でも各種設計の更新がされていることが確認できる。^[2]
- Spire GlobalのNN-GNSS-Rは、GPS、Galileo、Beidou、QZSSと多様な測位衛星信号を最大32ch同時に処理できることから、1機あたりの広い観測面積が特徴^[2]
- 従来のGNSS-R衛星は、アンテナのゲインとビーム幅のトレードオフ(S/Nを上げるためにアンテナゲインを高めるとビーム幅が狭まり、広い範囲の測位衛星反射波を補足できない)が必要であった。Spire Globalでは、デジタルビームフォーミングにより、測位信号の反射波到来方向のアンテナゲインを高めることにより、広い観測面積とS/Nを両立させている。^[2]
- CYGNSSやSMAP等のデータを参照して、6kmという高分解能の土壌水分プロダクトを生成・販売している。^[1]
- Spire Globalは2023年9月20日、NOAAと1年間のGNSS-Rデータ提供(主に海上風速向け)に関して、280万ドルの契約を締結(CWDPの一環)^[3]

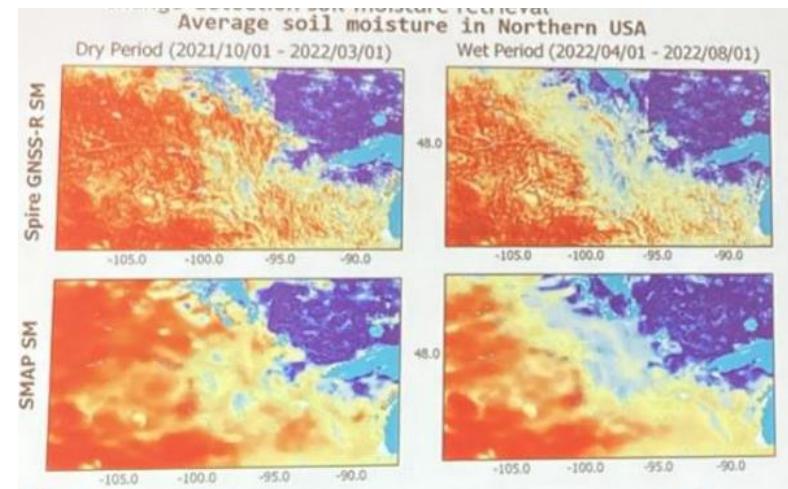


GA-GNSS-R/NN-GNSS-Rの差異^[1]
(左) GA-GNSS-R (右) NN-GNSS-R



Spire のGNSS-R/RO衛星^[2]

(左上) GNSS-RO衛星 (右上) NN-GNSS-R 1st Batch
(左下) NN-GNSS-R 2nd batch(右下) NN-GNSS-R 3rd Batch



Spire の土壌水分プロダクト例^[1]

SMAPと比較して地表分解能が高い事が確認できる。

[1] Philip Jales et al., "SPIRE GLOBAL'S OPERATIONAL GNSS-REFLECTOMETRY CONSTELLATION FOR EARTH SURFACE OBSERVATIONS", IGARSS 2023発表スライドより

[2] Philip Jales et al., "SPIRE GLOBAL'S OPERATIONAL GNSS-REFLECTOMETRY CONSTELLATION FOR EARTH SURFACE OBSERVATIONS", IGARSS 2023

[3] <https://ir.spire.com/news-events/press-releases/detail/194/spire-global-awarded-2-8-million-contract-by-the-national>

③センサ毎の開発状況

➤ SSTL/ESA: HydroGNSS

- HydroGNSSはESAの小型地球観測ミッションSCOUT(予算 30M€以下、選定から打上まで3年以下)の2件目に選定されたプログラムであり、SSTL(Surrey Satellite Technology Ltd,)が開発を進める。2025年打上予定。
- GPS/GalileoのL1 左旋反射波のDDM測定のみならず、L1 右旋反射波、L5 右旋/左旋反射波のDDM測定、直接波とのCoherent測定、恒温源の黒体測定により、以下の測定を可能としている。
 - ・永久凍土
 - ・バイオマス
 - ・土壤水分
 - ・浸水
 - ・海上風速
- 2機構成のコンステレーションにより、15日間にて全球の観測が可能。
- HydroGNSSのデータはESAが所有権を持ち、L1-3プロダクトはフリーで公開される予定。

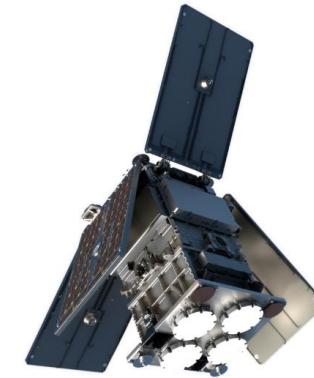


HydroGNSSの2機 15日間でのカバレッジ^[1]

[1]<https://www.hydrognss.org/>

[2]Martin Unwin et al, "HYDROGNSS LAND VARIABLES FROM GNSS-R, MISSION PROGRESS", IGARSS 2023 発表資料

[3]Martin Unwin et al, "ESA HYDROGNSS SCOUT GNSS-R LAND SENSING MISSION PREPARATION", IGARSS 2024 発表資料



HydroGNSS外観図^[1]

Level 2 / Level 3 Product Summary

L2 Processor	Outputs	Grid	L3 Temporal Average	Units / Uncertainty Mission Goal	Nominal validation
L2OP-SSM Soil Moisture	L2G, L3	25 km	1 day	m ³ /m ³ 0.04 m ³ /m ³	SMAP, SMOS, San Luis Valley, Chad
L2OP-FT Freeze Thaw	L2G, L3	25 km	5 days (rolling daily)	Binary flag 90% classification accuracy	SMAP, SMOS, Sodankylä
L2OP-SI Surface Inundation	L2 (1 Hz) L2 (25 Hz)	Ungridded	-	Binary flag 90% classification accuracy	JRC GSW
L2OP-FB Forest Biomass	L2 (1 Hz), L3	25 km => 1 km	6 months	T/Ha 20% accuracy	GEOCARBON, Gabon Forest, Sodankylä
L2OP-SWS Ocean wind & Ice	L2 (1 Hz)	Ungridded	-	m/s (Wind speed) 2 m/s, Binary (Ice), 90% class. acc.	ASCAT, ERA-5

HydroGNSS L2,3 プロダクト一覧^[1]

① センサ概要

GNSS-ROとは

- GNSS-RO(Global Navigation Satellite System – Radio occultation)は測位衛星(GNSS衛星)からの電波を用いた地球大気の掩蔽観測である。
 - GNSS-RO の原理は右図に示す通り、測位衛星からの無線信号が大気を通過する際に、大気中の分子や電子は、電波の経路を曲げて進行を遅らせる。この極めて小さい電波屈折角から大気・電離層の電波屈折率を求め、大気が球面对称であると仮定して電子密度、大気密度（気温）、湿度の高度プロファイルを算出するものである。
 - GNSS-ROデータの主なメリットは以下の通り
 - 高精度な気象データ：特に高さ方向に関して、大気の温度、湿度、圧力のプロファイルを高精度に取得できる。これは気象予報高精度化につながる。
 - 全天候対応：GNSS-ROは天候に左右されず取得することができる。
 - グローバルカバレッジ：地球全体をカバーすることが容易なため、海洋上等、他の方法ではデータ取得が難しい領域のデータも取得できる。
 - 長期的なデータの一貫性：長期にわたって一貫したデータを取得できるため、気候変動の研究等に役立つ。
 - 低コスト：測位信号の受信ができればよいため、大型の望遠鏡や、高出力なレーダー等が不要であり、低成本な衛星で実現が可能。
 - GNSS-ROセンサ技術

GNSS-ROはGNSS信号の高精度な受信をベースとしており、基本的には測位用受信機にて開発が進んでいる以下の技術の流用となる。

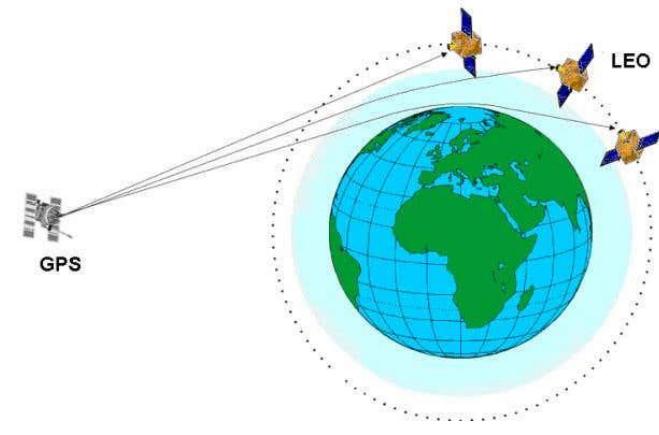
- ・複数衛星種類への対応(GPSのみだけでなく、Galileo, GLONASS, Beidou等)
 - ・電離層補正等のためのL1/L5 複数周波数への対応
 - ・低雑音なLNA/フィルタ等
 - ・Close/Open Loop Tracking(ROではOpen Loopが効果的)

併せて、GNSS-RO特有の技術としては以下が挙げられる。

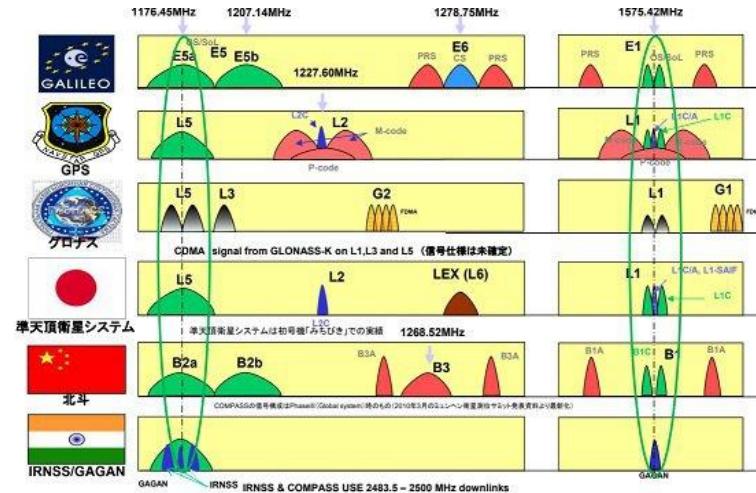
- ・掩蔽イベントに焦点を当てた指向性アンテナ
 - ・偏波の測定による大気モデリングの高度化
 - ・小型コンステレーションや、メインセンサを補完する相乗りペイロード等にて、軌道上センサを増やし、カバッジ、時間分解能の向上。

[1] <https://www.newscientist.com/article/dn13329-gps-thermometer-could-flag-up-climate-change/>

[2] <https://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai4/siryou3-6.pdf>



GNSS-ROの原理^[1]



各衛星測位システムの使用周波数^[2]

② 開発動向まとめ

- 自身で電波を放出する必要がないため、センサの小型化が比較的容易であり、小型衛星への搭載や中大型気象観測衛星の副センサとしての搭載が進む。また、対応GNSS種類を増やすことで、観測機会の向上が進んでいる。

		EUMETSAT/ESA(欧)	China Meteorological Administration (中)	Taiwan Space Agency(台)/NOAA(米)
実施主体概要	機体名称	MeOp-SG-A/B	風雲3号 E~J	Cosmic-2
	事業フェーズ	開発中(2025より打上予定)	運用中 3E:2021、3F:2023 3G:2023 打上 3H~3J : 2025~2027打上予定	運用中 24°の6機：2019打上 72°の6機は2017中止が決定
衛星諸元	質量 [kg]	3800~4100kg	2300(WET)	215kg
センサ諸元	使用測位衛星	GPS/Galileo/GLONASS/Beidou	GPS/Galileo/Beidou	GPS/Galileo/GLONASS/Beidou
	使用周波数帯	L1/L5	不明	L1/L5/L2
	センサ位置づけ	副センサ	副センサ	主センサ(副センサに宇宙天気用センサ)
	対応偏波	右旋のみ	右旋のみ	右旋のみ
運用条件	機数	6	計画 6機 (うち3機打上済み)	6機 (元12機、6機中止)
	高度(種類), 傾斜角	823-848km(SSO)	E/F: 836km SSO, 98.5° G: 407km LEO 50°	6機：高度520~550km、24° 中止6機：高度720km、72°
	観測イベント数	~1300 event/day/機 (GPS, Galileo) ~2600 event/day/機 (GPS/Galileo/GLONASS/Beidou)	~2340 event/day/機	~4000 event/day/6機
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		GNSS-ROより入手できる大気の温度、圧力、水蒸気量、電子密度の高さ方向の情報より、以下のユーザーに活用される		
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 日々の天気予報の精度向上 ➤ より長いリードタイムでより正確なハリケーン予報 ➤ 大雨の予測精度の向上 ➤ 気候監視と研究の改善 ➤ 海洋上のデータ収集の増加 ➤ 宇宙天気予報の改善 		

② 開発動向まとめ

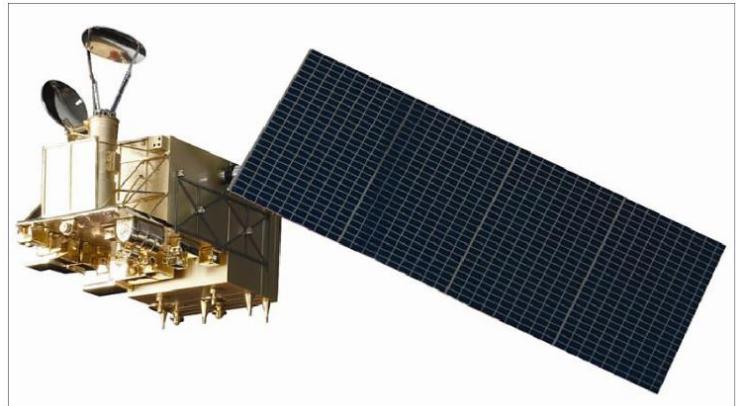
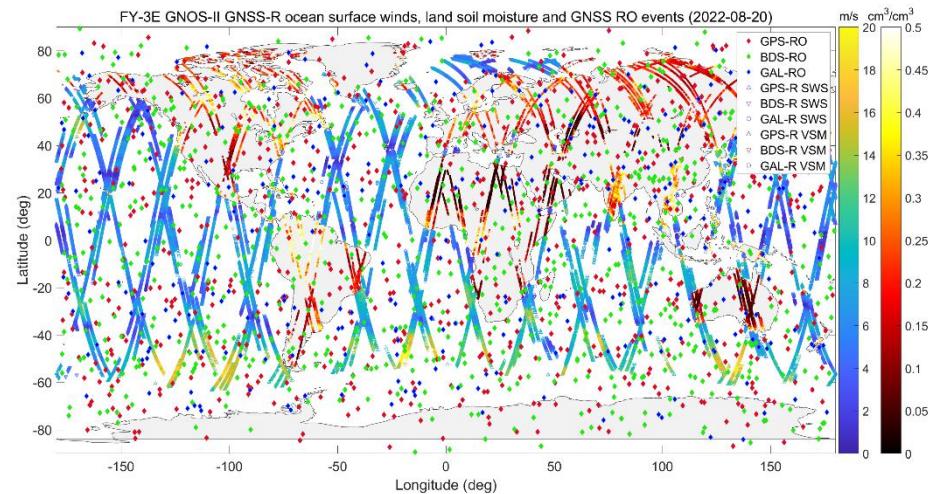
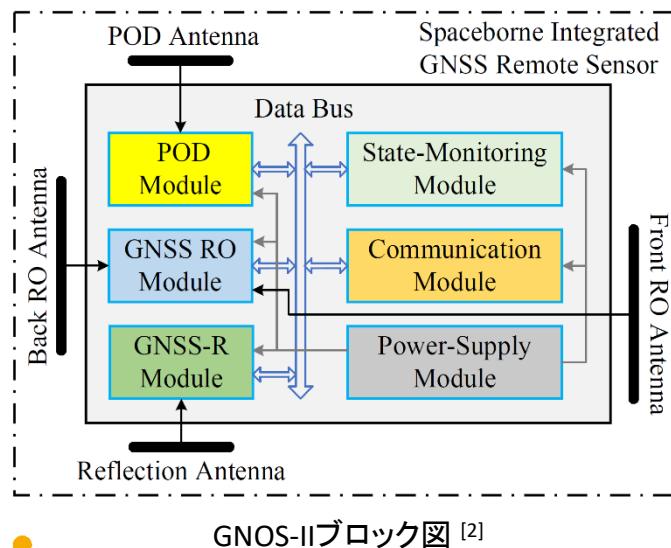
- 自身で電波を放出する必要がないため、センサの小型化が比較的容易であり、小型衛星への搭載や中大型気象観測衛星の副センサとしての搭載が進む。また、対応GNSS種類を増やすことで、観測機会の向上が進んでいる。

		Spire Global (米)	PlanetiQ	GeoOptics
実施主体概要	機体名称	Lemur-2 (GNSS-RO/GNSS-PRO)	GNOMES	CICERO
	事業フェーズ	RO: 運用中 2018~打上 PRO: 運用中 2023打上	運用中 GNOMES1 2020 GNOMES2~5 2021~2024打上	運用中 第一世代：2017~ 第二世代：2022~
衛星諸元	質量 [kg]	~5 (3U)	41	10kg (6U)
センサ諸元	使用測位衛星	GPS、Galileo Beidou、QZSS	GPS/Galileo/ GLONASS/Beidou	GPS/Galileo/GLONASS/Beidou
	使用周波数帯	L1/L2/L5	L1/L2/E5(各衛星2周波数)	L1/L5/L2
	センサ位置づけ	メインセンサ	メインセンサ	メインセンサ
	対応偏波	RO:右旋、PRO:V/H	右旋	右旋
運用条件	機数	RO 25+、PRO 3	計画20機(うち5機打上済み)	計画 第一世代 5機 第二世代 2機
	高度 (種類), 傾斜角	400-600km (LEO,SSO)	600km程度 SSO	500km SSO
	観測イベント数	RO:~20,000 event/day/25+機 PRO:2000 event/day	50,000 event/day/20機(計画)	不明
想定ユーザー (利用分野、観測対象等)		GNSS-ROより入手できる大気の温度、圧力、水蒸気量、電子密度の高さ方向の情報より、以下のユーザーに活用される ▷ 日々の天気予報の精度向上 ▷ より長いリードタイムにより正確なハリケーン予報 ▷ 大雨の予測精度の向上 ▷ 気候監視と研究の改善 ▷ 海洋上のデータ収集の増加 ▷ 宇宙天気予報の改善		

③センサ毎の開発状況

➤ CMA(China Meteorological Administration) : 風雲3号 E~J

- FengYun 3シリーズはCMAの開発するLEO/SSO周回の気象衛星
- 2トン越えの大型衛星であり、赤外サウンダやマイクロ波放射計等の様々なセンサと併せて、3E~3Jの6機にはGNSS-R/GNSS-RO統合センサとしてGNOS-II(GNSS Occultation Sounder)センサが搭載される。
- 現時点では3E/3F(高度 836km, SSO)、3G(高度407km、傾斜角50°)の3機が軌道に投入されており、3機での一日のカバレッジは下図の通り(3Gを傾斜軌道に投入することで中国領域の観測頻度を上げている)。今後2025-2027の間に残りの3機が打ち上げられ、カバレッジは向上する見込み。
- GNSS-R/ROセンサを統合していることにより、風雲3Eでは一日に、洋上風 45368サンプル、土壤水分90234サンプル、掩蔽イベント 2340サンプルを取得でき、これらを組み合わせることで、各種モデリング精度の向上が期待されている。

FengYun3シリーズ外観図 ©CMA/NSMC^[1]風雲3EでのGNSS-R/ROデータ取得マップ^[2]

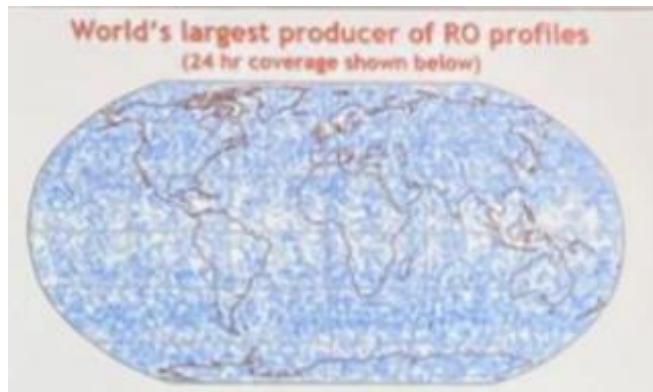
[1] <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#spacecraft>

[2] <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/24/5756>

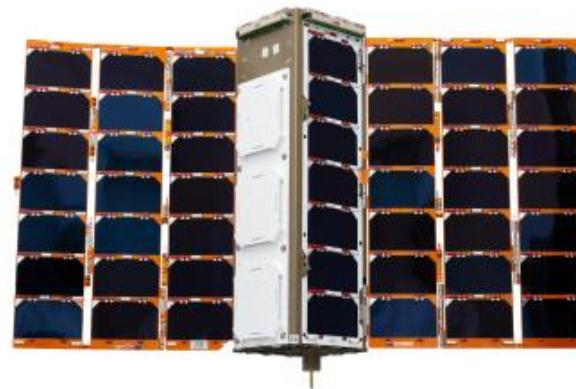
③センサ毎の開発状況

➤ Spire Global: Lemur-2 (GNSS-R/GNSS-PRO)

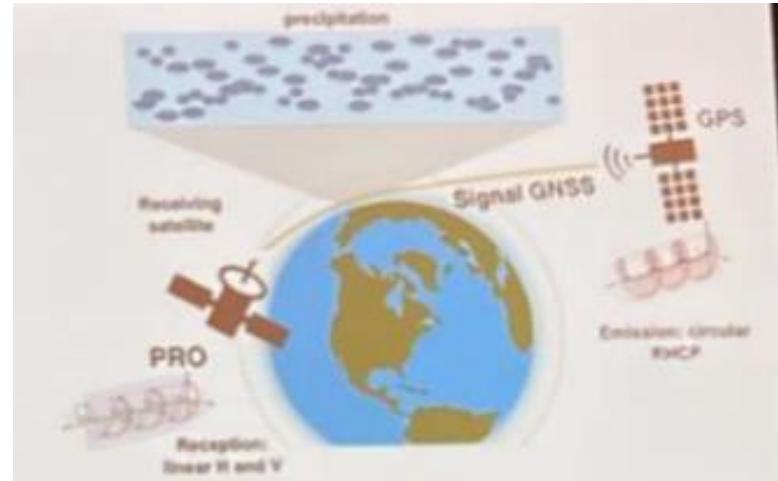
- Spire Globalの地球観測小型衛星コンステレーションLemur-2の中で、現在GNSS-Rは25+機運用中(2023年7月時点)。1日あたり、20,000イベントを超えるROデータを測定。
- ESA資金にて、ROの偏波成分を測定する (RPO) 実証ミッションで3機を運用中。偏波成分の測定により、大気中の降雨、氷等のより詳細なモデリングが可能となる。
- NOAAは、2023年3月23日、PlanetiQとSpire Globalの子会社にRODB-2 (Radio Occultation Data Buy II) -IDIQ(Indefinite Delivery/Indefinite Quantity)契約として最大\$60M、5年間の契約を実施。本契約に基づき、2024年9月4日に、Spire Globalの子会社は1年間の間、800 GNSS-RO profiles/day で \$3.8Mの契約を受注(PlanetiQも1年間、2200 GNSS-RO profiles/day で \$6.5M)。NOAA、USAF、および米国海軍は、これらのデータを利用して数値天気予報モデルに取り込む予定。さらに、さまざまな米国政府および国際政府機関が、これらのデータを運用および研究目的で利用する計画[3]。



Spire Globalの一日でのRO event取得力バレッジ^[2]



Spire のGNSS-R 衛星外観^[1]



Spire のPRO概念図^[2]

[1] Philip Jales et al., "SPIRE GLOBAL'S OPERATIONAL GNSS-REFLECTOMETRY CONSTELLATION FOR EARTH SURFACE OBSERVATIONS", IGARSS 2023

[2] Philip Jales et al., "SPIRE GLOBAL'S OPERATIONAL GNSS-REFLECTOMETRY CONSTELLATION FOR EARTH SURFACE OBSERVATIONS", IGARSS 2023 発表資料

[3] <https://www.space.commerce.gov/noaa-awards-4th-delivery-order-under-radio-occultation-data-buy-ii/>

量子センサ

24-002-R-011

- ✓ 特にCold Atom, Rydberg Atoms, NV Centres in Diamond の3種類の量子センサに関して、要素技術開発だけでなく、PathFinderミッション・軌道上実証等の取組が進んでいる状況。必要な要素技術もレーザーの低雑音化等、多岐に渡るため、日本としてもキャッチアップの検討が必要か。

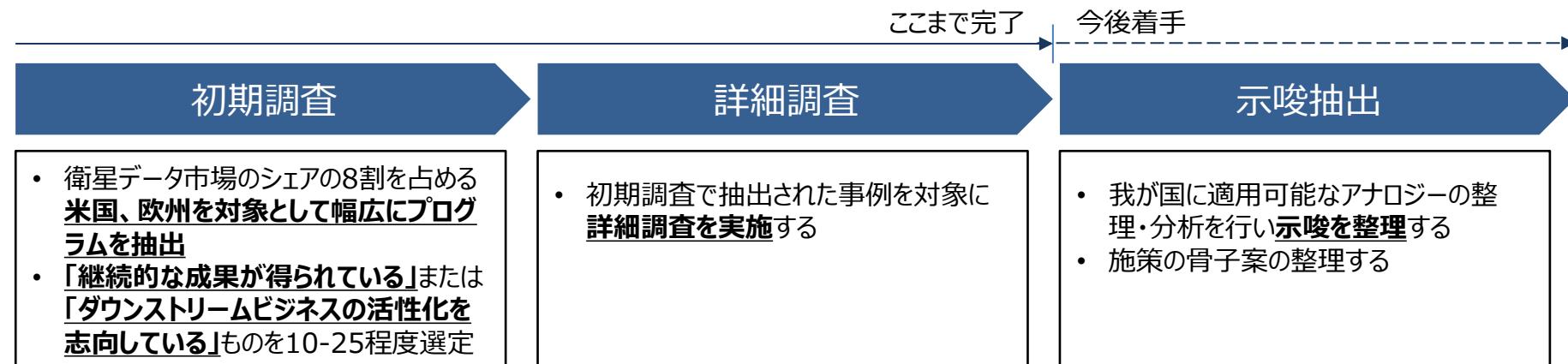
センサ	原理	想定アプリケーション	主な取り組み
Cold Atom	絶対零度付近にまで冷却した原子の波動を干渉させることにより、原子に作用する力を正確に測定する。	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gravity ▪ Atmospheric Drag ▪ Earth's Energy Imbalance 	<p>【ESA】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 以下の4つのPJによりシステム構想設計、及び、要素技術のTRL4/5を目指す <ul style="list-style-type: none"> ▪ QSG4EMT ▪ Raman Combiner ▪ Frequency Reference ▪ BEC 3D-Hybrid Study <p>【NASA JPL】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantum Gravity Gradiometer Pathfinder Mission(重力傾斜の測定)を進行中。 ▪ 使用するのレーザーはOEwaves社が開発中。非常に低雑音のレーザーが必要になる。
Rydberg Atoms	原子をレーザー等で高励起状態(Rydberg状態)にすると、近傍の準位への遷移によって、外部の電場、磁場が高感度に測定できることを利用する。	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 超広帯域レーダー ~THz ▪ 超広帯域放射計~THz 	<p>【ESA】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Radiometer Architecture Study ▪ Breadboard Development TRL3
NV Centres in Diamond	ダイヤモンドの結晶格子中に窒素原子とそれに隣接する空孔構造を作り、その電子スピンの状態をレーザー光で測定する。スピン状態は外部の磁場、温度を高感度に反応することを利用する。	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 小型/高感度の磁場センサ 	<p>【ESA】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ NV System Study ▪ Miniturization Study <p>【OSCAR社】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ISSでの実証ミッションを2021年より実施中。地球磁場モデルであるCHAOS-7と相関したデータを取得できている。課題は温度安定性。

1. はじめに
2. 調査報告
 - 2.1 衛星地球観測データの利活用に関する動向の調査分析
 - 2.1.1 市場の調査分析
 - 2.1.2 トータルアナリシス技術の調査分析
 - 2.1.3 プラットフォーム事業の調査分析
 - 2.2 地球観測センサの技術開発動向に関する調査分析
 - 2.2.1 調査状況まとめ
 - 2.3 衛星地球観測データの政府調達(アンカーテナント)政策に関する動向の調査分析
 - 2.3.1 調査状況まとめ

調查方針

24-002-R-011

主要な衛星地球観測データの政府調達プログラムについて、その概要及び背景にある政策や政府の狙い、我が国に適用可能なアナロジーの分析を行い示唆を整理し、我が国に対する実効的な「学び」を整理する。



3.3衛星地球観測データの収集調査(アーカイバ)実施に関する衛星データの調査分析-3.3.1 地球調査プログラムの調査分析 政府プログラムの調査分析の対象・内容(米国) 1/3				関係者外席
				24-002-T-002
NASA ESDS Programにおいて多様な衛星データに関するプログラムがあるが、CSDAのアーカイバとして有効性を確認したために調査を行っている。				
実施機関	プログラム名	期間	予算(米ドル)	調査分析の対象
NASA	Earth Science Data Systems (ESDS) Program	2013-2017	350M	データ収集
	Earth System Evolution (ESE)			
	Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)			
	Commercial Satellite Data System (CSDS)			
	Earth Science Data Working Groups (ESDWG)	2013-	350M	データ収集
	Visualization, Exploration, and Data Analysis (VEDA) Project			
Earth Information System (EIS)				
The Multi-Hazard Algorithm and Analysis Platform (MHAP)				
The Earth Unification Project				

II. 地域地理観測データの政府調査政策に関する調査の調査分析		
政府プログラムの調査分析のまとめ X/X		
欧米のプログラム調査において、抽出されたXXXやYYYYという学びは、日本として衛星データを活用するプログラムを実施する際に、ZZZできる。		
以下の政府のプログラム調査において日本が参考にできるポイントの類型化及び学びの抽出		
構成	日本が参考にできるポイント	日本における取り扱い
プログラム組成(組成)	<p>安全保障、灾害対応</p> <p>安全確保、災害対応</p> <p>安全確保、災害対応以外</p>	<p>安心して生活するための「底線」—衛星データを活用して、防災・減災・復興のための知識を理解するための環境で、地域活性化の実現。</p>
プログラムスキーム	<p>基盤技術方法</p> <p>データ収集</p> <p>基盤技術ノン公開</p> <p>競争免許・選択・委託</p> <p>政府契約の仕組み</p> <p>ダウントークニクスの活用化</p>	<p>プログラム全体がハブプログラムを実施するにあたって、効率的なデータを収集。民間企業等データ収集のための制度を確立する。必要な情報データマッピング・リソーシュの利用方法を確立して、異次的情報の統合。</p> <p>日本において、衛星データの利用による効率的かつ効果的な資源利用や資源的有效な活用。開拓を明確化し、迅速に進捗して、既存の衛星データを活用する技術の確立により効率的な資源利用のためデータの活用化を実現。</p> <p>衛星データリソースによる資源利用技術を確立し、プログラム主体が競争免許・選択・委託する形で、ハブプログラムの実現と民間企業等との連携を確立。必要な情報データマッピングを実現するための制度を確立。</p>

有識者の知見・意見の反映

有識者會議

調査状況まとめ | 初期調査

24-002-R-011

米国、欧州を対象として幅広にプログラムを抽出。「継続的な成果が得られているか」または「ダウンストリームビジネスの活性化を志向しているか」という観点で詳細調査の対象とするプログラムを選定した。

米国の政府調達プログラム

国・地域	実施組織	プログラム名称
米国	NASA	Earth Science Data Systems (ESDS) Program ↗ Data System Evolution (DSE) Program ↗ Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) ↗ Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program ↗ Earth Science Data System Working Groups (ESDSWG) ↗ Visualization, Exploration, and Data Analysis (VEDA) Project ↗ Earth Information System (EIS) ↗ The Multi-Mission Algorithm and Analysis Platform (MAAP) ↳ The Web Unification Project
	NRO	Strategic Commercial Enhancements (SCE) ↗ Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) Program ↗ Contracts for commercial radar ↗ Commercial Radio Frequency Study Contract ↗ Commercial hyperspectral Capabilities Study Contract ↳ Commercial Electro-Optical Capabilities Contract EnhancedView Follow-on
	NGA	EnhancedView Program Global Enhanced Geoint Delivery (G-EGD) Program Commercial Solutions Opening (CSO) (Project Aegir) Economic Indicator Monitoring (EIM) Program Luno Program
	NOAA	Commercial Data Program (CDP) ↗ Commercial Weather Data Pilot (CWDP) Program ↳ Commercial Data Purchase Program (CDPP)
	USGS	National Land Imaging Program (NLIP)
	USDA	Cropland Data Layer (CDL) Program

欧州の政府調達プログラム

国・地域	実施組織	プログラム名称
欧州	EU	Copernicus Programme ↳ Copernicus Services ↗ Copernicus Land Monitoring Service ↗ Copernicus Climate Change Service ↗ Copernicus Atmosphere Service ↗ Copernicus Marine Service ↗ Copernicus Security Service ↗ Copernicus Emergency Management Service Copernicus Contributing Missions ↗ Copernicus Startup Programme (CSP) ↳ Data and Information Access Service (DIAS)
	ESA	ESA Commercialization Gateway ↗ ESA Grand Challenge ↗ Call for Opportunities ↗ ESA Space Solutions ↳ ESA Business Incubation Centers (BIC) ESA Earthnet Programme ↗ Heritage Mission ↗ Earth Explore Mission ↗ Earth Watch ↳ Third Party Missions

詳細調査対象

調査状況まとめ | 詳細調査 米国

24-002-R-011

初期調査にて選定した以下のプログラムについて詳細調査を実施。

実施組織	プログラム名称	期間	予算規模	種別	プログラム概要
NASA	Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program	2017-	\$476M (5年間)	データ調達	NASAが商用の衛星データを調達し、NASAや米国政府が支援している研究者へ取得した衛星データを提供するプログラム。2023年には5年間で476Mドルの契約を発表した。
NRO	Strategic Commercial Enhancements (SCE)、Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) Program	2022-	\$4.4B (10年間)	データ調達	SCEは諜報、防衛、連邦機関ユーザーの取り組みをサポートするためにスタートアップを含む民間事業者の衛星データを継続的に調達するプログラム。 その中で、EOCLはNRO史上最大の商業光学衛星画像契約を実施したプログラム。2022年にMaxar、Backsky、Planetと5年間の基本契約（最長10年間までの延長オプション）を締結した。
	EnhancedView Follow-On (EVFO)	2018-2022	\$4.1B (12年間)	データ調達	NGAのEnhancedView Programの後継プログラムとしてNROが引き継いだプログラム。 2018年にMaxarのEnhancedView契約がEVFOに移行され、2022年にEOCLに契約が移行した。
NGA	Global Enhanced Geoint Delivery (G-EGD) Program	2011-	\$176M (3年間)	システム調達	米国や海外の政府機関が商用データに継続的にアクセスできるようなデータプラットフォーム「G-EGD」を提供するプログラム。2011年にMaxarがG-EGDシステムを提供開始。現在Maxar、Planet、ICEYE、BlackSky、Capella SpaceのSARデータが利用可能。
	Commercial Solutions Opening (CSO) (Project Aegir)	2024-	\$2M (5か月)	ソリューション調達	IUU漁業などの違法行為に対する海上領域認識のために、米国海軍へ衛星データを用いた分析ソリューションを調達し、分析結果を提供するパイロットプログラム。CSOパイロットプログラムでは、82社の応募があり、最終的にOrbital Insightが選定された。同社には最大200万ドルの資金が提供され、5か月にわたりパイロットテストが実施される。その結果によって長期契約やより大きな契約につながるとされている。
	Economic Indicator Monitoring (EIM) Program	2021-2023	\$60M (5年間)	データ・ソリューション調達	世界中の市場および軍事動向に関する米国政府の洞察力を強化するために衛星データ・分析ソリューションを調達するプログラム。当初予算は2.9千万ドルであったがニーズの高まりを受けて6千万ドルに増額。 2024年からは後継のLuno-A/Bプロジェクトが開始予定で、Luno-Aプロジェクトとして5年間で2.9億ドルの契約に基づき10社が選定された。Luno-Bプロジェクトは5年間で2億ドルの予算となる予定。
NOAA	Commercial Data Purchase Program (CDPP)	2020-	\$82M (7年間)	データ調達	NOAAの予報を改善し、宇宙ベースの気象データの商業市場を強化するための衛星データを調達プログラム。パイロットプログラムであるCommercial Weather Data Pilot (CWDP)によってデータを評価された衛星データを調達する。
USGS	National Land Imaging Program (NLIP)	2007-	\$159M (年間)	データ調達	地球上の土地の変化を記録、研究、理解するために、衛星画像や地理空間データを継続的に政府機関等が利用できるようにするプログラム。Landsat及び民間の商用衛星データを利用している。
USDA	Cropland Data Layer (CDL) Program	1997-	\$145M (年間)	データ調達	米国全土の農業に関する正確かつ有用な統計を提供するために衛星データを使って、栽培されている作物の作物固有の土地被覆図を提供するプログラム

初期調査にて選定した以下のプログラムについて詳細調査を実施。

実施組織	プログラム名称	期間	予算規模	種別	プログラム概要
EU	Copernicus Services	2012-	N/A	データ調達、ソリューション調達、開発、実証委託	環境と資源を管理・保護し、EUの安全を確保するために、陸地(CLMS)・気候変動(C3S)・大気(CAMS)・海洋(CMS)・安全保障・緊急対応(CSS)の6つの分野でサービスを提供するプログラム
	Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)	2012-	€135M (12年間)		都市計画、森林管理、水管理、食糧安全保障、自然保護等の分野をサポートするために、土地被覆などの地理空間情報を提供するプログラム
	Copernicus Climate Change Service (C3S)	2018-	N/A		将来予測される気候変動の影響による被害を回避・軽減させる「適応」および温室効果ガスの排出量を減らす「緩和」政策を支援するために、気候変動に関する一貫した信頼できる情報を提供するプログラム
	Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)	2015-	N/A		大気に関連する課題に取り組む企業、政策立案者、科学者をサポートするために、大気中のガスや粒子に係るデータとソリューションを提供するプログラム
	Copernicus Marine Service (CMS)	2015-	€114M (7年間)		EU及び国際の主要な海洋政策の実施や海洋・海事部門全体の持続可能な成長を支援する長期戦略と科学的革新をサポートするために、海洋に係る情報を提供するプログラム
	Copernicus Security Service (CSS)	2015-	€48M		欧州における安全保障活動をサポートするために、ヨーロッパの安全保障上の課題に対応するデータやソリューションを提供するプログラム
	Copernicus Emergency Management Service (CEMS)	2012-	N/A		世界規模の自然災害や人為的災害に対する意思決定をサポートするために、迅速な被害状況のマッピング等を提供するプログラム
	Copernicus Contributing Missions (CCM)	不明	€45M (5年間)	データ調達	Sentinel Missionのデータを補完するために衛星プロバイダから衛星データを調達し、Copernicus ServicesやEU機関等のユーザに衛星データを提供するプログラム CCMには、約30の既存または計画中のミッションがある
ESA	ESA Space Solutions (ESS)	2003-	€250M (20年間)	開発・実証支援	宇宙を利用して地球上の課題を解決するというアイデアの実現のために、民間事業者の開発や実証に資金補助と技術的専門知識、ビジネス実現サポート、ESAのビジネスネットワークの提供を行うプログラム
	Third Party Missions (TPM)	1976-	N/A	データ調達	ESAのSentinel等で取得した衛星データに加え、他の宇宙機関や民間事業者の60を超える衛星から調達した衛星データを研究者に無償提供することで世界中の研究開発を支援するプログラム

代表例① NASA : Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA)

24-002-R-011

CSDAは、NASAが商用の衛星データを調達し、NASAや米国政府が支援している研究者へ取得した衛星データを提供するプログラム。2023年には5年間で476Mドルの契約を発表した。

Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program ^[1]							
プログラム名称							
主幹組織	NASA 	プログラム種別	衛星データ調達	調達形態	数量未確定契約方式 (IDIQ ¹)	実施時期	
目的	NASAの地球科学研究および応用活動をサポートするリモートセンシング画像とデータの識予算規模別、評価、取得を行うこと						
実施事項		<ul style="list-style-type: none"> NASAの衛星データの補完となる新しい商用衛星データを継続的に調達 NASAの地球科学研究および応用活動を推進するためのデータの可能性評価 購入データの継続的利用による、NASA科学コミュニティでの広範な利用と普及 購入したデータの迅速な評価、アクセス、配布、および科学的再現性のための長期的なデータ保存機能の確保 商業データの評価と科学的利用に関する米国内他政府機関および国際パートナーとの調整 					
取り組みの背景・狙い		 <p>プログラム概要図</p> <p>衛星データ</p> <p>NASA・政府 → 研究者等 → CSDA アーカイブ → 衛星事業者等</p> <p>資金援助</p> <p>利用可能！</p> <p>データ調達</p> <p>データ</p>					
調達先企業		<ul style="list-style-type: none"> ESDSの活動の一環として1994年より無償公開されている衛星データプラットフォーム「NASA Earthdata」活用による一元的に管理された衛星データを利用した研究の促進及び衛星データの再利用や相互運用の動きが背景 上位プログラムESDS²の目標である「NASAのミッションと実験から得られる科学的成果を最大化すること」に基づいたNASA外の衛星データの収集・利用によるNASA自身の研究成果向上 特に高解像度、レイテンシの高さまたはその他の新しい機能でNASAの地球観測データを補完する手段を提供する民間衛星群によって取得されたデータの管理^[4] <ul style="list-style-type: none"> パイロット（2017年）：Planet、旧Digital Globe（現Maxar Technologies）、Spire Global^[5] 本プログラム（2020年）：Maxar、Planet、Spire、Teledyne Brown Engineeringの4社各社と\$数Mの契約^[6] 追加契約①（2023年9月）：Planet^[7]と\$18.5Mの契約 追加契約②（2023年10月）：Airbus、Capella Space、GHGSat、Maxar、PlanetiQ、Spire Global、Umbra^[8]7社合計で最大\$476Mの契約 					

1. Indefinite-Delivery Indefinite-Quantity 2. Earth Science Data Systems

Source:[1] <https://www.earthdata.nasa.gov/esds/csda> [2] <https://www.eoportal.org/satellite-missions/csda#csda-program-updates> [3] <https://www.earthdata.nasa.gov/esds>[4] <https://spacenews.com/nasa-expands-purchase-of-commercial-data-with-latest-award/> [5] <https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/imported/CSDAReport0420.pdf> [6] <https://spacenews.com/nasa-bolsters-smallsat-science-programs/> [7] <https://www.businesswire.com/news/home/20230929359250/en/NASA-Extends-CSDA-Agreement-with-Planet> [8] <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-selects-commercial-smallsat-data-acquisition-contractors/>

代表例② NRO : Strategic Commercial Enhancements (SCE)

24-002-R-011

SCEは、諜報、防衛、連邦機関ユーザーの取り組みをサポートするためにスタートアップを含む民間事業者の衛星データを継続的に調達するプログラム。その中で、EOCLはNRO史上最大の商業光学衛星画像契約を実施したプログラム。2022年にMaxar、Backsky、Planetと5年間の基本契約（最長10年間までの延長オプション）を締結した。

Strategic Commercial Enhancements (SCE)、Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) Program ^[1]						
プログラム名称						
主幹組織	NRO 	プログラム種別	衛星データ調達	調達形態	サブスクリプション契約 ¹	実施時期
目的	政府機関の取り組みに係るニーズを満たす衛星データの評価、利用を実現するために、ベンチャーやスタートアップを含む民間事業者が提供する非機密の衛星データを評価・調達すること					
実施事項		<ul style="list-style-type: none"> NROが商用リモートセンシングの有効性を把握するために作成されたStrategic Commercial Enhancements (SCE) のBroad Agency Announcement (BAA) 枠組みに基づくサブスクリプション契約を実施 SCEのBAAに基づき、NROにおける最大の商業衛星画像契約であるEOCL（電気光学）に加え、他の電気光学、SAR、無線周波数リモートセンシング、ハイパースペクトル衛星データ調達契約を締結^[2] EOCLにて3社と10年間総額\$4.4Bの電気光学衛星データの調達契約を実施（2022年） <ul style="list-style-type: none"> EOCLの検証として、MaxarとBlackSky、Planetに対して、商用衛星電気光学画像の評価を実施する研究契約を締結（2020年）^[3] NROが有する商業衛星データプロバイダから衛星データをAPIを通して注文・取得できるシステムへの統合の成功によって、BlackSkyと1年間の延長契約を締結（2024年）^[4] 2年間でSAR、電気光学、無線周波数リモートセンシング、ハイパースペクトルの4種類の衛星データの契約を25件締結 <ul style="list-style-type: none"> BAAに基づく契約は、従来5年から10年かかるNROの衛星データ取得プロセスを3年に短縮³ 米国に支店がある外国企業とも積極的に契約を締結^[5] 				
取り組みの背景・狙い		<ul style="list-style-type: none"> NROの『貢えるものは貢い、必要なものは作る』という戦略から生まれる商用衛星データを活用したNROのソリューションによる国が直面する脅威への対応および米国のレジリエンス向上 情報機関、防衛機関、政府機関ユーザーの取り組みの要件を満たす次世代の商用衛星データの提供 継続的かつ多様な衛星データ調達により民間事業者の衛星データの機能や活用方法、課題点の理解^[6] 				
調達先企業		<ul style="list-style-type: none"> 2022年：SAR (Airbus、Capella Space、ICEYE、PredaSAR、Umbra)^[7] 2022年：電気光学(EOCL) (Maxar、BlackSky、Planetで10年間総額\$4.4Bの契約)^{[8][9][10]}, BlackSkyと1年間の延長契約を締結（2024年）^[3] 2022年：無線周波数リモートセンシング (Aurora Insight、HawkEye 360、Kleos Space、PredaSAR、Spire Global、Umbra)^[11] 2023年：ハイパースペクトル(BlackSky、HyperSat、Orbital Sidekick、Pixed、Planet、Xplore)^[12] 2023年：電気光学 (Airbus、Albedo Space、Hydrosat、Muon Space、Turion Space)^[8] <p>※NROはニーズに応えるために新しい機能を持った民間事業者からの衛星データの調達に意欲的^[13]</p>				

1. 契約期間において、毎日取得される衛星データとこれまで取得されたアーカイブへのアクセスを通して、NROが要するタイミング・データ量で衛星データを取得する契約形態 2. 2022年に締結されたEOCL Programの3社契約の合算値 3. NROの所長であるChristopher Scolese氏の発言^[14]

Source: [1] [https://spacenews.com/nro-signs-agreements-with-commercial-providers-of-hyperspectral-imagery/](https://www.nro.gov>Innovate/ [2] <a href=) [3] <https://spacenews.com/nro-study-contracts/> [4]

<https://www.blacksky.com/blacksky-awarded-electro-optical-commercial-layer-contract-extension-from-national-reconnaissance-office/> [5] <https://spacenews.com/nro-awards-five-contracts-for-commercial-radar-capabilities-on-a-rapid-procurement-timeline/> [6] <https://insidedefense.com/insider/nro-awards-five-contracts-assess-and-leverage-electro-optical-capabilities/> [7]

https://www.nro.gov/Portals/65/documents/news/press/2022/BAA_Award_Press_Release_CSPO_20220119.pdf [8]

https://www.nro.gov/Portals/135/Documents/news/press/2023/SCE_EO_Contracts_Press_Release_FINAL.pdf?ver=tWUvMZEkh_72zOTTrRzqQ%3D%3D [9] <https://spacenews.com/planet-2023-q1-earnings/> [10]

<https://www.satellitetoday.com/government-military/2022/05/25/nro-awards-imagery-contracts-to-maxar-BlackSky-and-planet-worth-billions/> [11]

https://www.nro.gov/Portals/65/documents/news/press/2022/BAA%20Commercial%20RF%20Awards%20Press%20Release_Sept.%202028.docx.pdf?ver=kk6AZ76_Cbnz9tOOe-4Ecg%3D%3D [12]

https://www.nro.gov/Portals/135/documents/news/press/2023/HSI_Study_Contracts_Press_Release_FINAL.pdf?ver=SK9FqMYjMRwl8crSlgMWaA%3D%3D [13] <https://spacenews.com/nro-signs-agreements-with-five-commercial-suppliers-of-electro-optical-imagery/> [14] <https://www.satellitetoday.com/government-military/2021/10/07/nro-to-start-new-procurement-effort-to-take-advantage-of-commercial-capabilities/>

代表例③ Economic Indicator Monitoring (EIM) Program ※Lunoの先代 24-002-R-011

EIMは、世界中の市場及び軍事動向に関する米国政府の洞察力を強化するために衛星データ・分析ソリューションを調達するプログラム。2024年からは後継のLuno-A/Bプロジェクトが開始予定で、Luno-Aプロジェクトとして5年間で2.9億ドルの契約に基づき10社が選定された。Luno-Bプロジェクトは5年間で2億ドルの予算となる予定。

Economic Indicator Monitoring (EIM) Program ^[1]						
プログラム名称	主幹組織	プログラム種別	衛星データ・ソリューション調達	調達形態	数量未確定契約方式 (IDIQ)	実施時期
	NGA 					2021年-2023年 ※2024年以降はLunoに引き継ぎ
目的		非機密の商用地理空間データと分析サービスを調達して、原材料、農産物、燃料、車両の流れなど、世界中の市場や軍事動向に関する米国政府の洞察を向上させること			予算規模	\$60M (5年間)
実施事項		<ul style="list-style-type: none"> ● 単一の衛星画像調達だけでなく、商用の分析サービスを調達 ● 民間事業者の世界中の航空機、船舶、車両などの物体の検出や収集および分析結果を調達 ● データと分析結果は、既存のGEOINT(地理空間情報)ツールに統合され、迅速な分析結果の利用が可能^[2] ● NGAが空間地理情報を政府機関ユーザに共有するG-EGDシステム参照に分析データを提供することで機能を拡張^[3] 				
取り組みの背景・狙い		<ul style="list-style-type: none"> ● NGAの研究者が衛星画像を取得した後に分析を行う作業を簡略化するための民間事業者の分析サービスの統合が狙い^[2] ● 衛星データを基づく市場や軍事動向の分析によるNROが保有している衛星データの補完及びNSG1機能の拡張が狙い 				
調達先企業		<ul style="list-style-type: none"> ● 2021年：5つの民間事業者と契約 <ul style="list-style-type: none"> ➢ BAE Systems, Ball Aerospace, BlackSky, Continental Mapping Consultants, Royce Geoが納品注文を競争する5年間\$29Mの契約を締結^[2] ➢ その内、BlackSkyが\$13.8M獲得^[4] ● その後、2022年に\$29Mだった予算は23年度に商用GEOINT2取得に対する予算の増加とEIMプログラムのニーズの高まりにより\$60Mに増加 				
関連するプログラム及び政策等		<ul style="list-style-type: none"> ● 後継プログラム：Luno Program <ul style="list-style-type: none"> ➢ 民間のデータとソリューションをNGAの分析やサービスに統合することで NSG (National System for Geospatial Intelligence) のサービスへのアクセスを拡大することを目指すプログラム ➢ Luno-Aプロジェクトとして5年間で2.9億ドルの契約に基づき10社が選定された。Luno-Bプロジェクトは5年間で2億ドルの予算となる予定 ● G-EGD Program <ul style="list-style-type: none"> ➢ NGAがMaxarのG-EGDシステムを用いて空間地理情報を政府機関のユーザに共有するプログラム ➢ EIMで調達した市場や軍事動向に関するデータをG-EGDシステムに統合することによる安全保障にかかる分析の簡略化及び意思決定者や緊急対応要員の判断の迅速化の実現が目的 		<p style="text-align: center;">EIMプログラム関連図</p>  <pre> graph TD EIM[Economic Indicator Monitoring (EIM)] --> Luno[Luno Program] EIM --> GEGD[Global Enhanced Geoint Delivery (G-EGD) Program] Luno --> GEGD </pre> <p>The diagram illustrates the relationship between the EIM program and its successor, the Luno Program. It also shows how the EIM program integrates with the G-EGD system. The EIM program is shown at the top left, with arrows pointing down to both the Luno Program box below it and the G-EGD Program box to its right. An arrow also points from the Luno Program box to the G-EGD Program box, indicating a functional integration.</p>		

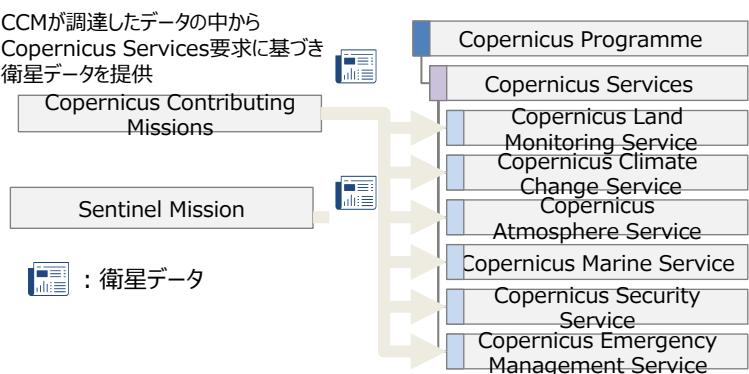
1. National System for Geospatial Intelligence 2.地理空間情報

Source:[1] https://www.nga.mil/news/Beyond_Pixels_How_NGA_is_Integrating_Commercial_An.html [2] https://www.nga.mil/news/NGA_Awards_Contract_to_Solve_Economic-Related_GEOI.html [3] <https://spacenews.com/nga-to-increase-use-of-commercial-analytic-services/> [4] <https://intelligencecommunitynews.com/nga-doubles-eim-contract-BlackSky-reports/>

代表例④ Copernicus Contributing Missions (CCM)

24-002-R-011

CCMは、Sentinel Missionのデータを補完するために衛星プロバイダから衛星データを調達し、Copernicus ServicesやEU機関等のユーザに衛星データを提供するプログラム。CCMには、約30の既存または計画中のミッションがある。

Copernicus Contributing Missions (CCM)[1]						
Programme Name	Lead Organisation	ESA 	Programme Type	Sentinel Data Distribution	Distribution Form	N/A
Purpose	Sentinel Missionのデータを補完し、Copernicus ServicesやEU機関等のユーザに衛星データを提供すること ^[2]					Implementation Period
Implementation Details	<ul style="list-style-type: none"> Sentinel Missionのデータを補完として、Copernicus ServicesやEU機関のユーザに民間事業者から調達したデータを提供 <ul style="list-style-type: none"> これまで光学画像等の商用衛星データの調達を実施（2014-2021年：総額€320M）[5] 調達されたデータは、①政府機関や国際機関 ②EUから資金を受けている研究機関 ③その他ユーザー に無償で提供 EUもしくはCopernicus参加国への登録が15年末満の新興民間事業者による新たな衛星データによってSentinel Missionのデータを補完 <ul style="list-style-type: none"> 2023年に新しくCopernicusに参加した9つの欧州民間事業者がESAと総額€45Mの契約を結び、マルチスペクトルおよびハイパースペクトル画像、熱赤外線、大気組成データを調達[3] 2024年3月にCopernicusユーザーに衛星データを提供するプラットフォームであるCopernicus Space Data Ecosystemを通じて超高解像度 (VHR) 光学データセットを公開 					€45M (5年間) [3][4]
Background and Motivation	<ul style="list-style-type: none"> Copernicusに関連する活動において、EU圏外や単一の民間事業者の衛星データに依存しないESAの方針が背景[6] 気候変動に対処するだけでなく持続可能性な社会の実現を高める取り組みにおいてビジネス慣行を最適化し、その過程におけるビジネスの収益性の向上 Sentinel Missionで補完が必要な衛星データを調達することで、変化するユーザーの需要に対応したデータ提供による衛星データ利用の促進 Copernicus Space Data Ecosystemに調達データを提供することによるオープンかつフリーな衛星データ利用基盤の形成 					
Data Suppliers	<ul style="list-style-type: none"> 2021年：ICEYE(フィンランド)とSARデータに関する契約[7] <ul style="list-style-type: none"> CCMにおける初の商用SARデータの調達 2023年：各社と衛星データを調達する5年間500万ユーロの契約を締結[3] <ul style="list-style-type: none"> マルチスペクトル画像：AerospaceLab、Prométhée、EnduroSat ハイパースペクトル画像：Kuva Space 熱赤外線データ：constellr、OroraTech、Aistech 大気組成データ：SATLANTIS、Absolut Sensing 					CCM Program Overview Diagram
Related Programs and Policies	<ul style="list-style-type: none"> Copernicus Services[3] 陸地、海洋、大気、気候変動、安全保障、緊急対応の6つの分野における意思決定や評価、研究開発の支援を実施するサービスをCopernicusユーザに無償で提供するプログラム Copernicus Servicesにおけるニーズに対して衛星データをCCMやSentinel Missionからの衛星データを利用 					 <pre> graph TD subgraph CPM [Copernicus Programme] direction TB CS[Copernicus Services] CLMS[Copernicus Land Monitoring Service] CCS[Copernicus Climate Change Service] CAS[Copernicus Atmosphere Service] CMS[Copernicus Marine Service] CSS[Copernicus Security Service] CEMS[Copernicus Emergency Management Service] end subgraph CCM [Copernicus Contributing Missions] direction TB CCM_Satellite[Sentinel Mission] end subgraph SM [Sentinel Mission] direction TB SM_Satellite[Sentinel Mission] end CPM --> CS CPM --> CLMS CPM --> CCS CPM --> CAS CPM --> CMS CPM --> CSS CPM --> CEMS CS --> CCM_Satellite CLMS --> CCM_Satellite CCS --> CCM_Satellite CAS --> CCM_Satellite CMS --> CCM_Satellite CSS --> CCM_Satellite CEMS --> CCM_Satellite CCM_Satellite --> SM_Satellite SM_Satellite --> SM_Satellite </pre> <p>:衛星データ</p>

Source:[1] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_Contributing_Missions [2]

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/New_Space_companies_join_Copernicus [3] <https://www.satlantis.com/satlantis-joins-copernicus-as-a-contributing-mission/> [4]

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/programme-performance-statements/eu-space-programme-performance_en [5]

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-11/November_17_CCM_activity_part1.pdf [6] <https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2022/06/ESPI-Insights-Issue-November-2021.pdf> [7]

<https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-named-as-a-contributing-mission-to-europe-s-copernicus-satellite-imaging-programme> [8] <https://spacedata.copernicus.eu/web/guest/w/how-european-earth-observation-companies-can-apply-to-join-copernicus>



(財)衛星システム技術推進機構