



文部科学省

令和5年度地球観測技術等調査研究委託事業
「将来観測衛星にかかると技術調査」

最終報告(概要版)

2024年3月

Sli.doで質問を受け付けております。お気軽にご記入ください。

Join at
slido.com
#mext0301



目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

背景と目的

転換期を迎えている地球観測衛星に関し、研究開発計画立案に資する基礎情報を収集する

背景

- 地球観測衛星は、防災・農業・気候変動など、様々な地上の社会課題に対し、ソリューションを提供し始めている
- 衛星製造・打上げなどのアップストリームから、得られた観測データを分析・加工し流通させるダウンストリームまで様々な領域でイノベーションが盛んである
- 文部科学省殿は、地球観測衛星に関わる産業の転換期を踏まえながら今後の宇宙開発利用の在り方および今後の観測衛星の研究開発計画を検討する必要がある

目的

- 令和4年度の検討では、衛星スペックやデータフュージョンなどアップストリームからダウンストリームまでの動向を包括的に調査し、エンドユーザーのニーズとシーズ・他国の動きからわが国の技術・企業の本産業の振興に貢献しうる領域の特定や、今後の研究開発戦略のあり方などを議論している
- これを踏まえ、令和5年度の検討では、今後の研究開発計画策定に資するデータ・情報をさらに収集し示唆を得ることで、ブラッシュアップを図っていく

最終報告の全体像

- ・本調査では、下記の独立する個別の論点毎に調査・整理を実施
- ・加えて、令和4年度の技術調査項目について最新動向の調査を実施

調査項目	① 中型・大型観測衛星の調査分析	② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析	③ SaaSに関する調査分析	④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析	⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析	⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術の調査
主な論点	<ul style="list-style-type: none"> ・小型コンステが流行する中、どのような目的・背景で中型・大型衛星が準備されているか ・それらを踏まえた上で我が国の中型・大型衛星はどのような開発を行うべきか 	<ul style="list-style-type: none"> ・vLEOやGNSS-ROが実現できている技術的背景はどのようなものか ・それらを踏まえた上で我が国もこの領域の研究を実施するべきか 	<ul style="list-style-type: none"> ・地球観測技術を用いたサービスにはどのような種類があり、それぞれどのような付加価値を提供しているか ・それらを踏まえた上で我が国はどの領域の研究を実施するべきか 	<ul style="list-style-type: none"> ・ニアリアルタイム情報の活用用途およびそれらを実現する衛星コンステレーションのための伝送システムはどのようなものか ・それらを踏まえた上で我が国はどの領域の研究を実施するべきか 	<ul style="list-style-type: none"> ・官需の観測衛星のためのセンサー高度化のためにどのような取り組みがなされているか ・それらを踏まえた上で我が国はどのような取り組みを実施すべきか 	<ul style="list-style-type: none"> ・時間分解能向上や低レイテンシーを実現するための衛星間連携とはどのようなものか ・安全保障用途の検知アルゴリズム/GNSS-R/熱赤外線衛星/ハイパースペクトル衛星の最新動向はどのようなものか

+

調査項目

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①中型・大型観測衛星の調査分析

②新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③SaaSに関する調査分析

④新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

総論

- 中型・大型衛星は、民間が開発・所有の中心となる小型衛星に対し、その開発が特定の国（中国、ロシア、ヨーロッパ、アメリカ、日本等）や特定の機関に集中し、行政や研究機関等の官側による所有が9割近くを占めるため、官側の意向が反映されやすい。
- 商用利用に結び付きにくい科学研究用ミッション（大気/航空研究、気候、測地、気象、海洋、地震、火山等）が中心となり、搭載センサ数も複数種類が多い。
- 物理量の観点からも小型衛星に比べ優位なセンサを搭載。

- 日本の弱みとしては、衛星打上げの計画値が他国に比べ少ないことや、他国に比べ大型・小型衛星連携ができていないこと

- 日本の強みとしては、以下が挙げられる
 - 「気候」: 機数の大半を日本が占める
 - 「気候」「気象」: 雲、降水量、エアロゾル、水蒸気、地表・海面温度等の観点で優位なセンサ保有
降水量、雲粒の有効半径、降水強度、GHG等の物理量の観点で優位なセンサ保有
 - 「レーダー」: 機器の小型化が難しく、官側の打上げのみとなるL-SAR搭載の衛星保有

- 今後は、日本の強みが発揮できる上記分野にて他国に追い越されないように死守することが先決であり、優位性の強化に向けては、官民連携ミッションを構築することで、打上げ機数の少なさをカバーし、解像度・頻度・解析向上による提供サービスの質の向上が考えられる。
- また、官側による開発・所有が中心であることから、マネタイズしにくく、民間企業が負うことが難しいリスクの高い活動・ミッションを中心に開発していくことが望ましいと考えられる。

- 中型・大型衛星と小型衛星のメリット・デメリットは以下のとおり想定される

項目	メリット	デメリット
中・大型衛星	<ul style="list-style-type: none"> • 多種類のミッションを搭載可能 • 運用寿命が長い • GEOに配置された場合、広範囲を常時観測可能(※LEOに配置されることもあり) 	<ul style="list-style-type: none"> • 開発や試験に時間を要する • 運用寿命が長いため、軌道上での機能・性能アップが困難 • GEOに配置された場合、伝送時間がLEOに比べて長い
小型衛星	<ul style="list-style-type: none"> • ラインによる製造も可能であり、短期間での大量生産が可能 • 一度に多数の衛星を打上げ可能 • 大型衛星に比べ、開発時間が短く、機能・性能の更新を短い期間で行うことが可能 • LEOに配置されることが多く、観測精度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> • 搭載できるミッション数は少ない • 運用寿命が短く、衛星を頻繁に打上げ直す必要がある • LEOに配置されることがほとんどであり、観測できる地球上の位置が変化するため、時間分解能を向上させるのに衛星数を増やす必要がある

衛星サイズの明確な定義はないが、衛星通信企業(Viasat)や小型衛星関連企業(Nano Avionics)等によると、重量により以下のように分類

- ◆ ナノ衛星 : 1~10kg
- ◆ マイクロ衛星 : 10~100kg
- ◆ 小型衛星 : 100~500kg
- ◆ 中型衛星 : 500~1,000kg

- 調査対象としてSeradata社のSpace Trakにより、以下の基準にて54機関・236機の中型・大型観測衛星を抽出した

項目	抽出基準
打上げ時期	<ul style="list-style-type: none">直近10年間(2014～2023年)及び2024年以降
衛星状況	<ul style="list-style-type: none">計画中、製造中、運用中の機体※運用終了機体は除く
打上げ時荷重	<ul style="list-style-type: none">500.01kg以上(中型・大型衛星)
衛星種類	<ul style="list-style-type: none">民間用、商用※軍事衛星は除く
主なミッション	<ul style="list-style-type: none">Atmospheric / Aeronomy Research (大気・航空研究)Climatology (気候)Disaster Monitoring / Observation (災害モニタリング/観測)Earth Observation / Imaging (<5m res) (地球観測/画像 高解像度)Geodesy (測地)Ocean Surveillance (船舶監視)Oceanographic / Ocean Monitoring (海洋/海洋モニタリング)Radar (レーダー)Remote Sensing (>5m res) (リモートセンシング 低解像度)Seismic / Volcano Monitoring (地震/火山モニタリング)

- 調査対象期間における中型・大型衛星の開発は小型衛星の1/4程度であり、日本を含む特定の国・機関に集中
- 民間中心の小型衛星に比べ、中型・大型衛星は官側の開発が中心であり、官側の意向が反映されやすい
- 官主導による中型・大型衛星では、商用利用に結び付きにくい科学研究用ミッションが中心
- 衛星搭載センサ数は基本的に複数種であり、様々な研究向けの多目的な用途と想定

項目	中型・大型衛星の傾向
打上げ機数(国)	<ul style="list-style-type: none"> 実績値は中国が圧倒的、計画値は中国、ロシア、ヨーロッパが多い 上位10カ国で全体の約9割を占め、衛星開発が特定の国に集中 日本は実績・計画値で8位だが、計画値が他国と比較し少ない
打上げ機数(機関・企業)	<ul style="list-style-type: none"> 中国が10位以内に3機関・企業含まれ、全体の2割以上を占める 上位10機関・企業で全体の6割以上、衛星開発が特定の機関・企業に集中 上位10機関・企業にて民間企業は1機関のみであり、官側の開発が中心 日本はJAXAが11位となるが、計画値が他国と比較し少ない
主なミッションと打上げ機数	<ul style="list-style-type: none"> 「地球観測/画像」「気象」「レーダー」「リモートセンシング」「海洋/海洋モニタリング」の順で多く、全体の9割以上を占める 「気象」「海洋/海洋モニタリング」は、増加傾向 日本は世界的には機数の少ない「気候」が多い
主なミッションと衛星軌道	<ul style="list-style-type: none"> 8割以上がLEO、残りのほぼすべてがGEO LEOの8割以上が太陽同期軌道 GEOの9割近くが「気象」 日本は全体と同じ傾向
主なミッションと搭載センサ	<ul style="list-style-type: none"> 「大気/航空研究」「気候」「地球観測/画像」「レーダー」は、平均搭載センサが1に近く単一用途に絞った開発 「測地」「船舶監視」「リモートセンシング」は、平均搭載センサは2.3～5.0となるが、センサの組合せが比較的固定、用途を絞った開発 「気象」「海洋/海洋モニタリング」など科学的研究ミッションは、センサが複数搭載、組合せも複数あり、様々な研究向けの多目的な用途 日本は全体と同じ傾向
主なミッションと衛星所有者	<ul style="list-style-type: none"> 官による衛星所有が9割近くを占める 「地球観測/画像」「レーダー」「リモートセンシング」などの商用利用しやすいものは、民側所有もあり 官民連携による衛星所有は極少数 日本は全体と同じ傾向

中型・大型観測衛星の傾向 - 打上げ機数(国別)

- 国別では、中国が他国に大きな差をつけて先行しているが、2024年以降の計画値としては、中国、ロシア、ヨーロッパが同数程度、次いで、インド、アメリカ、ドイツが並ぶ
- 上位10カ国で212機と全体の約9割を占め、開発が特定の国に集中
- 日本は8位となるが、打上げ総数、特に2024年以降の計画値において、他国に劣後

順位	衛星所有国	2014~ 2023	2024~	合計
1	中国	58	15	73
2	ヨーロッパ (EC/EU)	7	18	25
3	ロシア	10	14	24
4	アメリカ	10	12	22
5	インド	10	11	21
6	ドイツ	4	11	15
7	国際機関 (ESA、NASA/CNES、NASA/ISRO等)	5	5	10
8	日本	7	2	9
9	韓国	4	4	8
10	イタリア	3	2	5

出所) Seradata社データベースよりDB編集

中型・大型観測衛星の傾向 - 打上げ機数(機関・企業別)

- 機関・企業別では、EU/EC、ISROが上位となるが、上位10機関のうち、中国が3機関・52機となり他国に先行
- 上位10機関で149機と全体の6割以上を占め、開発が特定の機関に集中
- 衛星所有者の多くが行政機関、国営企業、国家機構であり、中型・大型観測衛星では官側の開発・打上げが中心
- 日本ではJAXAが上位10機関に次いだ位置であるが、2024年以降の計画値が他国に劣後

順位	衛星所有者	国籍	2014~ 2023	2024~	合計	主な中型・大型衛星
1	EU/EC - European Union/European Commission	EU	6	18	24	COPERNICUS, SENTINELシリーズ
2	ISRO - Indian Space Research Organisation	インド	10	11	21	CARTOSAT, RESOURCESAT, EOS, INSATシリーズ
3	SASTIND - State Administration for Science, Technology and Industry for National Defense	中国	19	0	19	GAOFENシリーズ
4	Chinese Ministry of Natural Resources (MNR)	中国	11	7	18	ZI YUAN, HAI YANGシリーズ
5	China State Meteorological Administration	中国	8	7	15	FENG YUNシリーズ
6	EUMETSAT	-	3	11	14	METOP, MTGシリーズ
7	Roscosmos State Corporation	ロシア	3	10	13	METEOR, OBZOR, RESURSシリーズ
8	Maxar Inc.	アメリカ	1	8	9	World View Legionシリーズ
9	NOAA - National Oceanic & Atmospheric Administration	アメリカ	6	3	9	GOES, JPSSシリーズ
9	Roshydromet (Russian Weather Service)	ロシア	5	2	7	ARKTIKA, ELEKTROシリーズ
11	JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency	日本	4	2	6	ALOS, GOSATシリーズ

中型・大型観測衛星の傾向 - 主なミッション

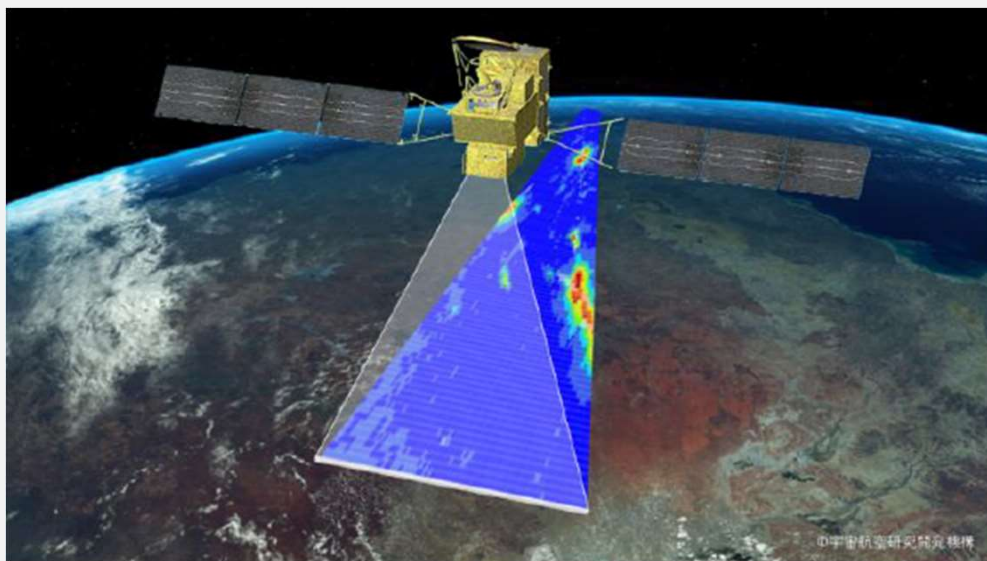
- 主なミッション別では、「地球観測/画像」、「気象」、「レーダー」、「リモートセンシング」、「海洋/海洋モニタリング」の順で9割以上を占め、その他用途は非常に少ない
- 「海洋/海洋モニタリング」のミッションは増加。「地球観測/画像」、「気象」、「レーダー」も増加傾向。
- 日本は、総数では劣後するものの、世界的に数の少ない「気候」の分野などで他国に先行。また、「レーダー」の内、2機は、機器サイズが大きいL-band SAR衛星 (ALOS-2、ALOS-4)

主なミッション	2014~ 2023	割合	2024~	割合	合計	割合
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	1	0.7%	0	0.0%	1	0.4%
Climatology 気候	4 (3)	3.0%	2 (1)	2.0%	6 (4)	2.5%
Disaster Monitoring/Observation 災害監視/観測	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像	44	32.8%	37	36.3%	81	34.3%
Geodesy 測地	2	1.5%	0	0.0%	2	0.8%
Meteorological 気象	29 (2)	21.6%	26	25.5%	55 (2)	23.3%
Ocean Surveillance 船舶監視	1	0.7%	1	1.0%	2	0.8%
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋/海洋モニタリング	10	7.5%	11	10.8%	21	8.9%
Radar レーダー	24 (2)	17.9%	17 (1)	16.7%	41 (3)	17.4%
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング	18	13.4%	7	6.9%	25	10.6%
合計	134 (7)	100.0%	102 (2)	100.0%	236 (9)	100.0%

- 「気候」を主なミッションとするGOSATシリーズの衛星を中心に、CO₂やメタン濃度に関する全球規模の情報を提供
- GHGを計測したデータは小型/中型・大型や官/民に限らずオープンフリーで提供されており、世界的な気候変動対策に資する信頼性のある情報として衛星が活用されつつある

【日本】

GOSAT-GW TANSO-3(広域観測モード)の観測イメージ



出所: JAXA

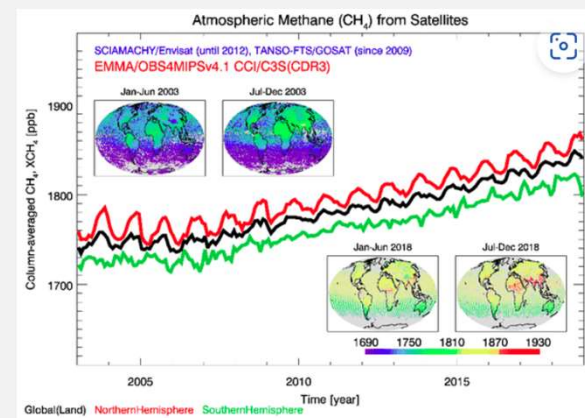
- 「気候」ミッションに該当する日本の衛星としては、GOSATシリーズ(2009: GOSAT、2018: GOSAT-2、2024: GOSAT-GW)が挙げられる
- CO₂やメタン濃度を全球規模にて観測し、国別排出量推計技術支援を実施
- IPCCにもGOSAT関係論文が掲載されている
- ビジネス利用におけるデータの信頼性向上に寄与

【アメリカ】

- COP28の一環としてGHGに関する官民パートナーシップのハブ機能となるGHGセンターをNASA、NOAA等主導で立ち上げ
- ISSに設置のEMITやGOSAT等によるデータ、分析ツール等をオープンフリーで提供

【ヨーロッパ】

- 排出量取引制度の規制に対しCAMS(Copernicus Atmosphere Monitoring Service)にて、GOSAT-2、Envisat、OCO-2などの衛星から収集したデータを基に排出量等情報を提供



出所: コペルニクス

中型・大型観測衛星の傾向 - 主なミッションと衛星軌道

- 全体の8割以上をLEOが占め、残りのほぼすべてがGEO
- 日本の衛星は、全体と同様の傾向

主なミッション	LEO				MEO	GEO)	楕円軌道			ラグランジュ	合計
	極軌道	標準軌道	太陽同期軌道	小計			離心軌道	モルニヤ軌道	小計	太陽地球間	
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Climatology 気候	0	1 (1)	5 (3)	6 (4)	0	0	0	0	0	0	6 (4)
Disaster Monitoring/Observation 災害監視/観測	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像	0	14	63	77	0	3	0	0	0	1	81
Geodesy 測地	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Meteorological 気象	1	1	20	22	0	30 (2)	0	3	3	0	55 (2)
Ocean Surveillance 船舶監視	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋/海洋モニタリング	0	4	17	21	0	0	0	0	0	0	21
Radar レーダー	0	4	37 (3)	41 (3)	0	0	0	0	0	0	41 (3)
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング	1	0	23	24	0	1	0	0	0	0	25
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2
合計	4	26 (1)	168 (6)	198 (7)	0	34 (2)	0	3	3	1	236 (9)

中型・大型観測衛星の傾向 - 主なミッションと搭載センサ

- 「測地」「気象」「船舶監視」「海洋/海洋モニタリング」では平均搭載センサ数が多く、特に「気象」「海洋/海洋モニタリング」ではセンサ組合せも複数あるなど、研究向けに多目的な用途で開発されることが想定される
- 日本の衛星は、全体と同様の傾向

分類	主なミッション										
	大気/ 航空研究	気候	災害監視/ 観測	地球観測 /画像	測地	気象	船舶監視	海洋 /海洋モニタ リング	レーダー	リモートセンシ ング	地震 /火山モニタ リング
機数	2	6 (4)	0	81	2	55 (2)	2	21	41 (3)	25	2
機数 (搭載センサ: 単一/単一用途)	0	2 (1)	0	50	0	0	0	3	31 (2)	18	0
機数 (搭載センサ: 複数用途)	0	4 (3)	0	9	2	53 (2)	2	14	2 (1)	0	0
機数 (搭載センサ: 不明)	2	0	0	22	0	2	0	4	8	7	2
平均搭載センサ数※センサ不明機体を除く	—	1.3	—	1.6	5.0	7.2	8.0	4.6	1.2	2.7	—
受動	光学	中解像度イメージャ	0	9	0	51	0	14	0	0	0
受動	光学	高解像度イメージャ	0	57	0	2	0	0	2	43	0
受動	光学	クロスナディア短波長サウンダー	0	9	0	16	0	0	0	0	0
受動	光学	クロスナディア赤外サウンダー	0	0	0	27	0	0	0	0	0
受動	光学	光学イメージャ	0	0	0	14	0	0	0	0	0
受動	光学	広域放射計	0	2	0	7	0	0	0	0	0
受動	光学	太陽放射照度計	0	0	0	6	0	0	0	0	0
受動	マイクロ波	円錐型マイクロ波放射計	0	1	0	13	0	2	1	0	0
受動	マイクロ波	クロストラック型マイクロ波放射計	0	0	0	19	4	11	0	0	0
-	-	リムサウンダー	0	0	0	3	0	0	0	0	0
能動	光学	ライダー	0	0	0	1	0	0	0	1	0
能動	マイクロ波	雲/降雨レーダー	0	1	0	1	0	0	0	0	0
能動	マイクロ波	マイクロ波散乱計	0	0	0	0	0	5	0	8	0
能動	マイクロ波	マイクロ波高度計	0	0	0	1	0	0	2	13	0
能動	マイクロ波	SAR	0	0	0	5	0	2	0	30	1
能動	マイクロ波	GNSS-RO	0	0	0	0	2	13	2	0	0
-	-	太陽活動モニター	0	0	0	0	0	39	0	0	0
-	-	太陽放射照度モニター	0	0	0	0	0	6	0	0	0
-	-	宇宙放射計/分光計	0	0	0	0	0	10	0	0	0
-	-	高エネルギー粒子分光計	0	0	0	2	0	70	2	2	0
-	-	フィールド/電波センサー	0	0	0	1	0	24	0	0	0
-	-	重力センシング	0	0	0	0	4	0	0	0	0
その他	-	ポジショニングシステム	0	0	0	2	4	0	6	26	2
-	-	データ収集システム	0	0	0	0	0	36	0	1	3
-	-	捜索救難システム	0	0	0	0	0	16	0	0	0

中型・大型観測衛星の傾向 - 主なミッションと衛星所有者(官・民)

- 行政機関、国有企業等の官側による衛星所有が9割近くを占める
- 「地球観測/画像」、「レーダー」、「リモートセンシング」といった商用利用しやすいミッションは民間所有も確認
- 日本の衛星は、全体と同様の傾向

主なミッション	官	民	官/民	合計
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	1	0	0	1
Climatology 気候	6 (4)	0	0	6 (4)
Disaster Monitoring/Observation 災害監視/観測	0	0	0	0
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像	59	21	1	81
Geodesy 測地	2	0	0	2
Meteorological 気象	55 (2)	0	0	55 (2)
Ocean Surveillance 船舶監視	2	0	0	2
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋/海洋モニタリング	21	0	0	21
Radar レーダー	37 (2)	3 (1)	1	41 (3)
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング	21	4	0	25
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	2	0	0	2
合計	206 87.3%	28 11.9%	2 0.8%	236 (9)

※「官」は民間企業以外と定義しており、大学、研究所等も含むことに留意

大型衛星と小型衛星の連携事例

- 各国では大型・小型衛星それぞれの特徴を活かし、センサ性能補完やデータフュージョンのための衛星連携に取り組み始めている
- 日本は、気候変動等に関するNASA主導のAOSプログラムに参加するが、大型・小型連携かは不明

No.	システム名 プログラム名 /衛星組合せ内容	プログラム 主体	大型衛星	小型衛星	概要
1	CESTEM (CubeSat Enabled Spatio Temporal Enhancement Method)	民	Landsat-8(官)	FLOCK(民)	Landsat 8/Terra/aqua(MODIS)の観測データを用いて、コンステレーション内の衛星間データ不整合(ラジオメトリック不一致)を補正
2	Sentinel-2とFLOCK	民	Sentinel-2(官)	FLOCK(民)	Sentinel-2データを用いてコンステレーション内の衛星間データ不整合(ラジオメトリック不一致)を補正
3	MSCM (Multispectral Companion Mission)	官	Sentinel-2(官)	Aerospacelab社衛星群(民)	ESAのIncubedにおける民間開発ミッションであり、Sentinel-2のマルチスペクトル画像の撮像時期を補完しデータの価値を向上
4	Sentinel-3とFLEX	官	Sentinel-3(官)	FLEX(官)	ESAの第8次地球探査ミッションで選定されたプログラムであり、Sentinel-3と組み合わせて植物活動の情報を取得
5	CHORUS	民	不明(官) ※RADARSATを踏まえ開発	不明(民) 第3世代ICEYE-Xを踏まえ 開発	民間企業のコンステレーション連携。XとC-SARの連携であり、Tip&CueやAI/MLを活用したNRTデータ活用を実施
6	AOS (Atmosphere Observing System)	官	AOS-P(米・加)、HAWCsat(加)、AOS-I(米・ 仏)、PMM(官・大型・JAXA・CNES) ※PMM以外の衛星諸元不明なため 小型衛星が含まれない可能性あり		NASAのプログラム、JAXAも参加。異常気象や気候変動に 関連するエアロゾル、雲等の観測を実施
7	Sentinel-5とTango	官	MetOp-SG(官)	Tango(官)	ESAのSCOUTミッションに提案された小型衛星でありMetOp-SGとの共同観測を行いGHGを計測・監視
8	MANTIS (Mission and Agile Nanosatellite for Terrestrial Imagery Services)	官	※Copernicus programmeにて提供されて いる各種データセット	MANTIS(民)	ESAのIncubedプログラムの中で民間が超小型衛星プラットフォームを開発しCopernicusデータとフュージョン
9	AWS (Arctic Weather Satellite)	官	MetOp-SG(官)	Arctic Weather Satellite(官)	ESAが開発する超小型気象衛星コンステレーションであり、MetOpやMetOp SGと共同観測し、北極地域でのナウキャストを提供
10	CESTEM (CubeSat Enabled Spatio Temporal Enhancement Method)	民	Landsat-8(官)	FLOCK(民)	Landsat 8/Terra/aqua(MODIS)の観測データを用いて、コンステレーション内の衛星間データ不整合(ラジオメトリック不一致)を補正

センサ種類の観点から見た中型・大型観測衛星の特徴

- 全40センサの内半数にて、優位な(=グループ1,2)センサを搭載している中型・大型衛星のシェアが50%以上
- 日本の中型・大型衛星に強みのあるセンサとして「レーダーによる雲・降水量把握」「合成開口レーダー」「GEOからの多目的VIS/IRイメージャ」が挙げられる

No.	センサ種類	優位な (グループ1・2) 衛星数	中型・大型衛星の 衛星種類数		グループ1・2 での中型・ 大型衛星の シェア (%)	日本保有の 中型・大型衛星の 衛星種類数		グループ1・2 での日本保有の 中型・大型衛星 のシェア (%)
			グループ1	グループ2		グループ1	グループ2	
1	Cloud and precipitation profiling by radar (レーダーによる雲・降水量把握)	4	3	1	100.0%	1	1	50.0%
2	Synthetic Aperture Radar (合成開口レーダー)	12	1	11	25.0%	0	2	16.7%
3	Data Collection Systems and Search-and-Rescue	21	0	21	14.3%	0	3	14.3%
4	Multi-purpose VIS/IR imagery from GEO (GEOからの多目的VIS/IRイメージャ)	26	26	0	100.0%	3	0	11.5%
5	Ocean colour imagery from LEO	11	10	1	90.9%	0	1	9.1%
6	IR temperature/humidity sounding from GEO	12	12	0	100.0%	1	0	8.3%
7	Cross-nadir IR spectrometry (for chemistry) from GEO	12	12	0	100.0%	1	0	8.3%
8	Instruments covering 5.0-8.5 micrometers	38	12	26	36.8%	1	2	7.9%
9	Instruments covering 8.5-15 micrometers	38	26	12	71.1%	2	1	7.9%
10	Radar altimetry	15	8	7	60.0%	0	1	6.7%
11	MW imagery	50	2	48	6.0%	2	1	6.0%
12	Instruments covering 1-300 GHz	62	25	37	27.4%	2	1	4.8%
13	Instruments covering 400-700 nm	71	55	16	77.5%	3	0	4.2%
14	Instruments covering 3.0-5.0 micrometers	30	12	18	40.0%	1	0	3.3%
15	Space Weather: Solar activity monitoring	35	1	34	2.9%	0	1	2.9%
16	Multi-purpose VIS/IR imagery from LEO	15	2	13	13.3%	0	0	0.0%
17	IR temperature/humidity sounding from LEO	19	18	1	94.7%	0	0	0.0%
18	MW temperature/humidity sounding from LEO	16	9	7	56.3%	0	0	0.0%
19	Radio occultation sounding	7	6	1	0.0%	0	0	0.0%
20	Earth radiation budget from LEO	8	0	8	0.0%	0	0	0.0%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

※グループ1,2において中型・大型衛星のシェアが50%以上のものを赤字
 ※日本の中型・大型衛星に強みがあるセンサをオレンジ色セルにて表示
 (出所) OSCARを基にDBにて作成

物理量の観点から見た中型・大型観測衛星の特徴

- 全168物理量の内9割以上の項目で、優位な(=グループ1,2)センサを搭載する中型・大型衛星のシェアが50%以上。特に「基礎的な大気情報」「雲・降水量」「エアロゾル」「海」「海氷」の大分類ではすべての物理量で中型・大型衛星の方が優位なセンサを搭載
- 日本の中型・大型衛星に強みのある物理量として「累積降水量」「降水強度」「臭化メチル」「雲粒の有効半径」「降水量」「アセチレン」「エタン」「トリクロロフルオロメタン」等の大気化学物質が挙げられる

No.	物理量 (大分類)	物理量 (小分類)	優位な (グループ1・2) 衛星数	中型・大型衛星の 衛星種類数		グループ1・2 での中型・ 大型衛星の シェア (%)	日本保有の 中型・大型衛星の 衛星種類数		グループ1・2 での日本保有の 中型・大型衛星 のシェア (%)
				グループ1	グループ2		グループ1	グループ2	
1	Basic atmospheric	Accumulated precipitation (over 24 h)	3	0	3	100.0%	0	3	100.0%
2	Clouds and precipitations	Precipitation intensity at surface (liquid or solid)	7	3	4	100.0%	1	4	71.4%
3	Atmospheric chemistry	CH3Br	5	5	0	100.0%	2	0	40.0%
4	Basic atmospheric	Cloud drop effective radius	6	6	0	100.0%	2	0	33.3%
5	Clouds and precipitations	Precipitation (liquid or solid)	3	3	0	100.0%	1	0	33.3%
6	Atmospheric chemistry	C2H2	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
7	Atmospheric chemistry	C2H6	9	0	9	100.0%	0	2	22.2%
8	Atmospheric chemistry	CFC-11	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
9	Atmospheric chemistry	CFC-12	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
10	Atmospheric chemistry	HNO3	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
11	Atmospheric chemistry	N2O5	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
12	Atmospheric chemistry	PAN	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
13	Atmospheric chemistry	SF6	9	3	6	100.0%	0	2	22.2%
14	Clouds and precipitations	Freezing level height in clouds	11	6	5	100.0%	2	0	18.2%
15	Clouds and precipitations	Melting layer depth in clouds	11	6	5	100.0%	2	0	18.2%
16	Atmospheric chemistry	CO2	20	5	9	70.0%	1	2	15.0%
17	Land surface	Glacier motion	14	0	13	92.9%	0	2	14.3%
18	Land surface	Ice sheet topography	15	1	13	93.3%	0	2	13.3%
19	Land surface	Snow status (wet/dry)	23	5	17	95.7%	3	0	13.0%
20	Land surface	Snow water equivalent	23	5	17	95.7%	3	0	13.0%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

※グループ1,2において中型・大型衛星のシェアが50%以上のものを赤字

※日本の中型・大型衛星に強みがあるセンサをオレンジ色セルにて表示

出所) OSCARを基にDBIにて作成

- 他国と比較し、衛星打上げ計画数や大型・小型衛星連携で劣後
 - 「気候」「気象」「レーダー」分野の機数・センサ・物理量の観点では他国に先行しており、死守することが先決
 - 優位性強化には、官民連携ミッションによる機数のカバーと、解析向上による提供サービスの質向上が必要
-
- 日本の弱みとしては、衛星打上げの計画値が他国に比べ少なく、将来的に他国との差が広がることや、他国に比べ大型・小型衛星連携ができていないこと
 - 日本の強みとしては、以下が挙げられる
 - 「気候」: 機数の大半を日本が占める
 - 「気候」「気象」: 雲、降水量、エアロゾル、水蒸気、地表・海面温度等の観点で優位なセンサ保有
降水量、雲粒の有効半径、降水強度、GHG等の物理量の観点で優位なセンサ保有
 - 「レーダー」: 機器の小型化が難しく、官側の打上げのみとなるL-SAR搭載の衛星保有
 - 今後は、日本の強みが発揮できる上記分野にて他国に追い越されないように死守することが先決
 - 優位性の強化に向けては、民間小型衛星と中型・大型衛星との官民連携ミッションを構築することで、打上げ機数の少なさをカバーするとともに、解像度・頻度における性能補完、センサフュージョンによる解析向上を行う事での提供サービスの質の向上が考えられる。
 - また、官側による開発・所有が中心であることから、マネタイズしにくく、民間企業が負うことが難しいリスクの高い活動・ミッションを中心に開発していくことが望ましいと考えられる。

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

総論

- vLEOにて衛星を運用することには、安定飛行の困難、AOによる劣化等のデメリットがあるものの、特にセンサ分解能の点で大きなメリットがある
- 日本では他国に先行しSLATSでの観測衛星運用実績があるものの、今後の衛星開発においては、海外スタートアップが先行し、ここ数年で打上げが開始される状況となっており、海外に劣後する
- vLEOにおける衛星運用では、大気抗力(姿勢制御含む)、スラスタ(特に燃料補給)、AOによる劣化の大きく3つの技術的課題が存在し、各企業が対応策を検討・開発している。特に、ABEP (Atmosphere-Breathing Electric Propulsion) やABIE (Air-Breathing ion engine) など、周辺空気を推進材として活用する画期的なスラスタが検討・開発されつつある
- 機数・解像度の観点からvLEOにおいて光学衛星画像の活用が想定される分野は以下のとおり。ただし、解像度の点では、空中写真やドローン等が競合となるため、定期性や広域性等の観点から差別化できるユースケースの発掘や、センサでの差別化等によるユースケースの拡大が必要となる。
 - ✓ 人流モニタリング、パイプラインモニタリング、インフラモニタリング、詳細地形図、都市計画
- JAXAと民間企業との官民連携によるSLATS技術を活用したvLEOでの光学リモートセンシング事業モデルは、SLATSの実績を継承し他国との差別化を意識した衛星開発の点で期待される。但し、日本はコンステレーション構築のスピードの点からも海外勢に劣後することが予想されるため、衛星開発に向けては、他衛星との連携、熱赤外センサ等の光学以外のセンサの搭載など、他国との差別化を意識した開発が望ましい

- 高度300km以下となる超低軌道(vLEO)にて衛星を運用することには様々なデメリットがあるものの、特にセンサ分解能などの点で大きなメリットがある。

項目	内容
特徴	<ul style="list-style-type: none">多くの地球観測衛星が高度保持する600～800kmの軌道に比べ、大気が濃く、原子状酸素の密度が高く、重力の影響も大きい
メリット	<ul style="list-style-type: none">光学センサの分解能の大幅な向上(分解能は高度に比例)アクティブセンサ(SAR・Lidar)の送信電力の大幅な低減 (SARの送信電力は高度の3乗に比例、Lidarの送信電力は高度の2乗に比例)上記に伴う、センサ機器の小型化衛星高度低下による打ち上げコストの低減運用終了後の大気圏突入によるデブリ発生の低減
デメリット	<ul style="list-style-type: none">LEOと比較し、高度が下がることにより大気密度が約1000倍に増加し、大気抵抗も約1000倍に増加。主に以下の要因となる<ul style="list-style-type: none">原子状酸素(AO)の密度が高く、外装等材料が劣化しやすい大気抵抗が大きく、安定飛行が困難大気抵抗が大きく、その補償が可能な推進力を有するスラスターの搭載と、長期間飛行が可能な燃料搭載が必要高度が下がることにより、地上局との通信時間が減少し、データ転送容量が減少

vLEO運用済・打上げ予定衛星について

- vLEOにおける光学センサ搭載の観測衛星としてはJAXAのSLATSがその先駆け
- 近年は、海外企業にて光学センサ搭載の衛星コンステレーションを構築することがトレンド
- 用途・目的、センサには大きな差はないが、本体・バスやスラスタへの技術的対応に差がみられる

No.	企業名	官民区分	衛星名	国名	打上げ時期	用途・目的	目標機数	センサペイロード	本体・バス	スラスタ
1	Albedo Space Corp	民	不明	アメリカ	2025年	高解像度撮像、画像取得の低コスト化	1→24	光学 熱赤外	不明	不明
2	EOI space	民	Stingray	アメリカ	2024年	解像度向上、コスト削減、デブリとの衝突リスクの低下、コンステレーションによる高解像度とNear Real-Timeとの両立	1→6→60	光学	大気抵抗を抑えるため小断面面積、内部構成配置、自のホール効果型イオンエンジンスラスタで特許取得済み	特許取得済みの独断面面積、自のホール効果型イオンエンジンスラスタ(EP燃料と新燃料)
3	MIT Lincoln Laboratory	民	AMS	アメリカ	2022年5月	技術実証(自動操縦、迅速な撮像、追跡用レーザーポインティング)	1	光学 ビーコン	6U-XL	FEEP型イオンエンジンスラスタ(インジウム燃料)
4	Skeyeon	民	The Skeyeon NEO™	アメリカ	不明	スケーラブルコンステレーションの基礎、高解像度撮像	不明 ※コンステレーション構築予定	光学	大気抵抗を抑えるため小断面面積。耐AO・低抵抗コーティング等特許取得済み。	不明
5	Aerospace	民	Disksat	アメリカ	2024年	Cubesatの利点を活かした代替品開発	4 ※将来目標機数不明	不明	円盤型、大気抵抗が小さい	電気推進スラスタ ※詳細不明
6	Thales Alenia Space QinetiQ Space	民	Skimsat	フランス ベルギー	不明	費用対効果の高い高分解能撮像・画像処理	不明	不明	不明	電気推進スラスタ ※詳細不明
7	CASIC	官	不明	中国	2023年12月	技術実証(飛行、高分解能撮像インテリジェント処理、データ転送)	1→192→300	不明	不明	不明
8	ESA	官	GOCE	EU	2009年3月～ 2013年10月	重力場・磁場測定	1	重力場、磁場、GPS受信機等	完全な対称性、大気抵抗を抑えるため小断面面積(1.1m ²)	イオンエンジンスラスタ(キセノン燃料)
9	JAXA	官	SLATS	日本	2017年12月～ 2019年10月	技術実証(大気密度データ取得 原子状酸素データ取得、高分解能撮像)	1	光学	耐AOコーティング	イオンエンジンスラスタ (キセノン燃料)
10	インターステラテクノロジズ	民	不明	日本	不明	不明	不明	光学	不明	不明
11	University of Manchester	民	SOAR	イギリス	2021年6月～ 2022年3月	技術実証(材料の空力性能評価、大気特性評価、軌道及び姿勢制御操作、材料)	1	フィン INMS(イオン及び中性質量分析計)	3U CubeSat	—

vLEO打上げ予定衛星について 事例① (Albedo)

- Albedoは、vLEOにてコンステレーションを構築し、世界最高レベルの解像度となる10cm/pixelの画像を撮像する

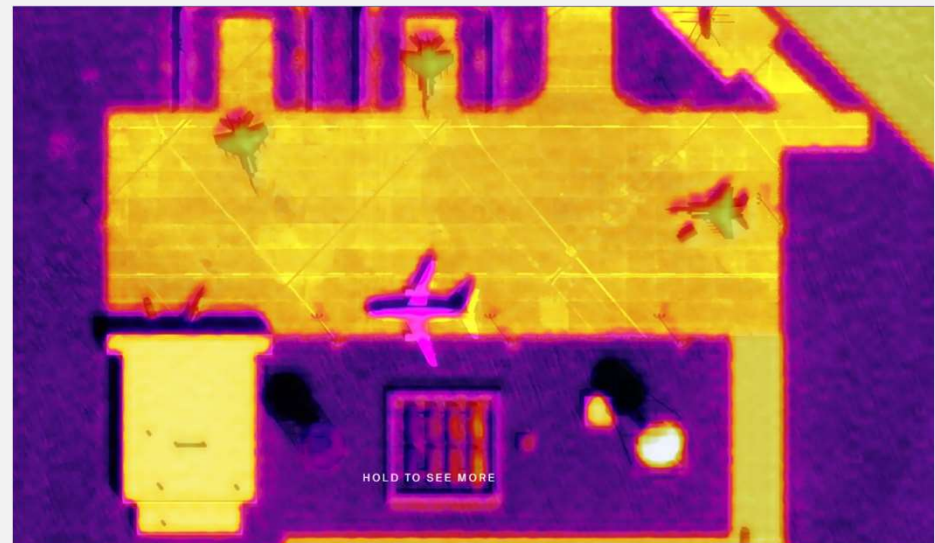
- Albedoは、2020年に設立された衛星製造企業であり、2021年12月にはNOAAから解像度10cmの商用画像販売許可を獲得した
- シードラウンド(10m\$)、シリーズAラウンド(48m\$)、シリーズA-1ラウンド(35m\$)にて資金調達を行っており、2025年に1機目を打上げ、2027年には24機のコンステレーションを構築予定
- 他社とは異なる点として、可視光センサ(解像度10cm)だけでなく、熱赤外センサ(解像度2m)を搭載した衛星を計画
- 太陽光発電、農業、都市開発、保険・投資、サプライチェーン、サステナビリティ・ESG、安全保障など様々な分野でのサービス提供が想定される

解像度10cmの画像イメージ



出所: Albedo

熱赤外センサの画像イメージ



出所: Albedo

vLEO運用済衛星について 事例② (JAXA SLATS)

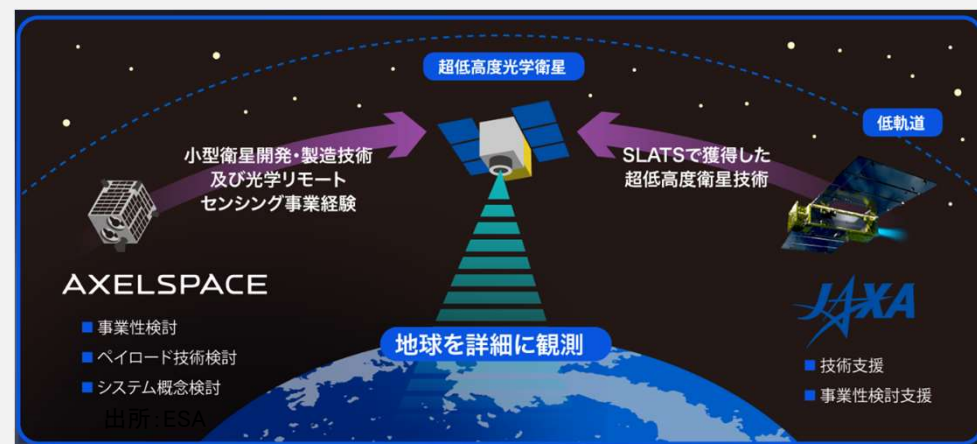
- JAXAは2017年に打ち上げたSLATSにて、他国に先行して実績を保有しており、今後は、SLATS技術を活用したvLEOでの光学リモートセンシング事業モデルの構築を目指す

- JAXAは、超低高度軌道における地球観測衛星運用を目的として、2017年12月にSLATS(Super Low Altitude Test Satellite)を打ち上げ、2019年10月まで運用した
- SLATSのミッションは、「超低高度衛星技術の実証」、「大気密度に関するデータの取得」、「原子状酸素に関するデータの取得」、「小型高分解能光学センサによる高分解能撮像」であった
- 打上げ後は、高度271.5kmにて軌道を保持後、段階的に高度を下げ、最終的には167.4kmにて7日間の軌道保持を行い、ギネス世界記録として認定された
- その実績は「世界初 イオンエンジンを用いた超低高度からの光学画像観測運用」、「世界初 超低高度での長期間の原子状酸素データ取得」など、他国に先行するものである
- SLATS実証以降、J-SPARCにて、AxelSpace社と連携し、SLATS技術を活用したvLEOでの光学リモートセンシング事業モデルの構築を目指す



出所: JAXA

Axelspace社との光学リモートセンシング事業(超低高度光学衛星)



出所: J-SPARC

- 2021年に開催されたvLEOに関する国際シンポジウム(1st International Symposium on vLEO Missions and Technologies)や各種論文において、耐AO素材、推進スラスタなどの技術的対応について発表
- ABEP、ASEPなど周囲の空気を推進材として活用する新たなスラスタの開発が検討されている

セッション	論文名	著者所属	課題・対応策等
Session 1: Mission Designs and Concepts	In-Orbit-Demonstrator of the Skimsat VLEO Platform	<ul style="list-style-type: none"> • Thales Alenia Space UK • QinetiQ Space N.V. • ESA 	<ul style="list-style-type: none"> • 大気抗力を最小限に抑え、空気安定性を高めるため、衛星の後部に太陽電池アレイの「翼」を備えた細い本体で構成される。
Session 1: Mission Designs and Concepts	Development and analysis of novel mission scenarios based on Atmosphere-Breathing Electric Propulsion (ABEP)	<ul style="list-style-type: none"> • University of Pisa and the DISCOVERER team 	<ul style="list-style-type: none"> • 従来の推進システムを使用する場合、推進剤の貯蔵量によりミッション寿命が制限されるが、残留大気粒子を収集し、電気スラスタの推進剤とする大気呼吸電気推進シ (ABEP: Atmosphere-Breathing Electric Propulsion) システムを採用することで回避可能。 • シュトゥットガルト大学の宇宙システム研究所 (IRS) では、Horizons 2020 の資金提供を受けた DISCOVERER プロジェクト内で、ABEP システム用のスラスタを開発中
Poster Session	Accelerated AO-induced polyimide erosion in VLEO by simultaneous collisions of hyperthermal N2 molecules: ground-based experiments	<ul style="list-style-type: none"> • Kobe University 	<ul style="list-style-type: none"> • vLEOにおける材料の侵食はN2による CID によって加速されるため、VLEO 環境で使用される材料の寿命評価ではこの影響を考慮する必要がある。
Poster Session	Refueling Architectures for VLEO Missions	<ul style="list-style-type: none"> • Orbit Fab 	<ul style="list-style-type: none"> • vLEOの高レベルの抗力に対抗するため、Orbit Fab社の軌道上燃料補給機実を使用したアーキテクチャを検討し、考慮すべき事項はあるが実現可能である。
Session 3: Materials and Ground Testing	On the Utility of Coated POSS-Polyimides for Vehicles in Very Low Earth Orbit	<ul style="list-style-type: none"> • University of Colorado • University of Minnesota • Skeyeon, Inc 	<ul style="list-style-type: none"> • 耐原子状酸素(AO)材料として、原子層体積(ALD)によって成長させた原始的に滑らかなAl₂O₃の耐AOコーティングを有するポリイミドPOSS含有フィルムを研究。 • Al₂O₃ALDコーティング膜のAO侵食収率は本質的に0であり、vLEO化における使用が期待される。
Session 4: Propulsion	Design of an intake and a thruster for an atmosphere-breathing electric propulsion system	<ul style="list-style-type: none"> • Institute of Space Systems (IRS) • University of Stuttgart • The DISCOVERER team 	<ul style="list-style-type: none"> • ミッション寿命を延長する方法として、大気呼吸電気推進システム(ABEP: Atmosphere-Breathing Electric Propulsion)がある。 • このシステムでは、推進剤を搭載する必要がなく、大気のあるあらゆる惑星帯にも適用可能である。
Session 4: Propulsion	Performance evaluation of a plasma generator and ion optics for air-breathing ion engine	<ul style="list-style-type: none"> • The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI • JAXA 	<ul style="list-style-type: none"> • ABEPのコンセプトである、Air-Breathing ion engine (ABIE) の実現が期待される。 • ABIEは空気が放電チャンパーに入り、ECR放電によりイオン化され、生成されたイオンはイオン光学系により抽出される。

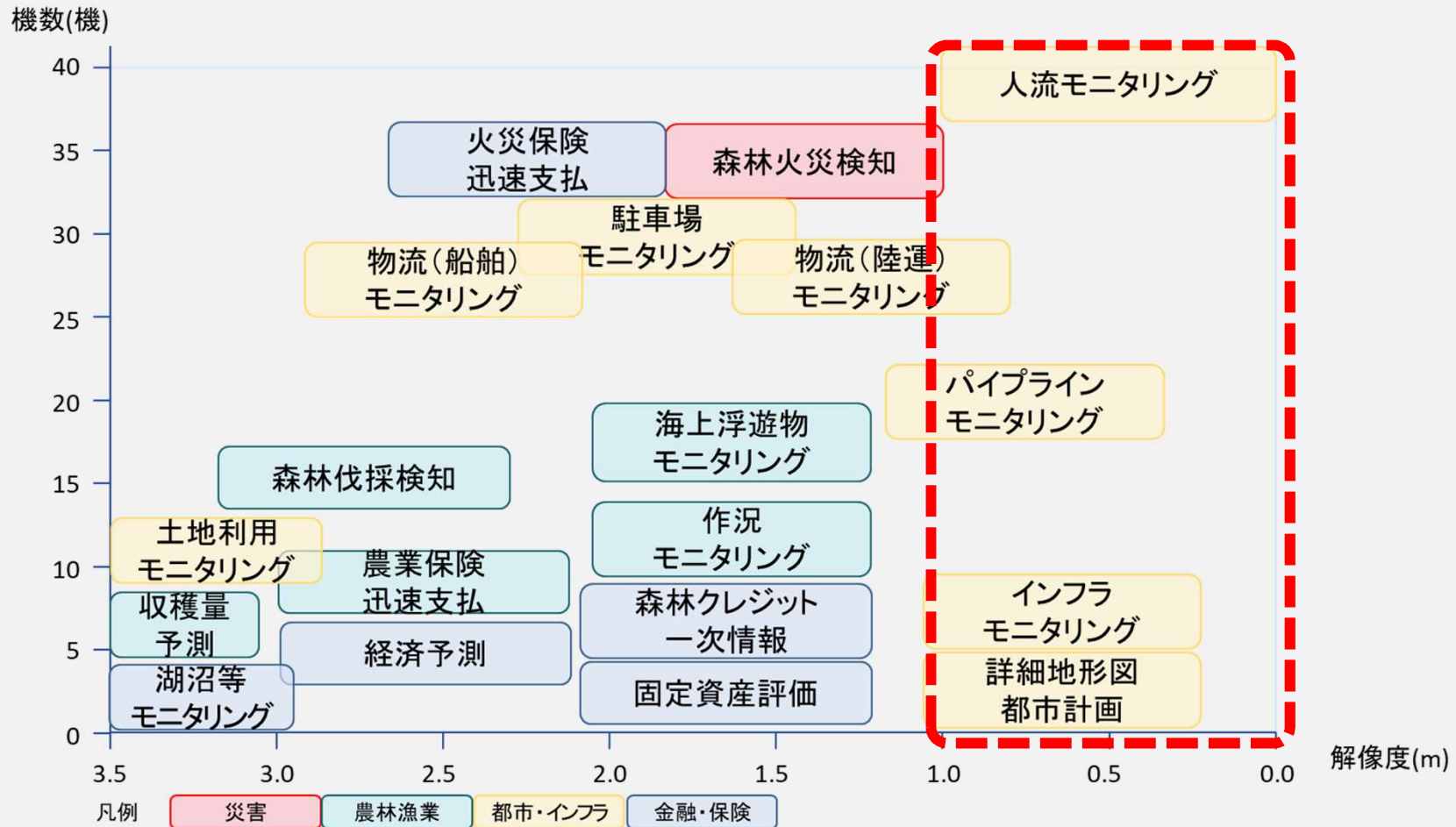
vLEOにおける衛星運用に関する課題・特徴と対応

- 大気抗力(姿勢制御含む)、スラスタ(特に燃料補給)、AOによる劣化の3点が、主な課題であり、各社が様々な対応策を実施している

項目	課題・特徴	対応
用途	<ul style="list-style-type: none"> 主として高解像度撮像 当面は各種実証のための試験飛行もメイン 	—
衛星	バス	<ul style="list-style-type: none"> 大気抗力が小さくなるよう小断面積形状等を検討 十分な能力を有する姿勢・軌道制御装置の設置
	スラスタ	<ul style="list-style-type: none"> 十分な推進力を持つスラスタの搭載 燃料効率が良く燃料タンクが小さいスラスタ 周辺大気を推進剤として使用するABEP、ASEPの開発 燃料補給システムによる補給方法の確立
	センサ	—
	外装等材料	<ul style="list-style-type: none"> 耐AO素材の活用 新たな耐AO素材の開発
通信	<ul style="list-style-type: none"> 低軌道による通信電力低減 アンテナサイズ縮小 	—
離脱	<ul style="list-style-type: none"> 運用終了後に大気抗力による自動的な大気圏再突入 	—
打上げ	<ul style="list-style-type: none"> 衛星サイズの小規模化による一度の大量打上げ(Disksat) 	—
コスト	<ul style="list-style-type: none"> 小規模、低軌道による、開発・製造コスト、打上げコストの低廉化 	—

想定されるユースケース

- 解像度とコンステレーション機数の関係より、ユースケースとしては「人流モニタリング」、「パイプラインモニタリング」、「インフラモニタリング」、「詳細地形図、都市計画」が想定される
- 競合となる航空写真やドローンに対し、定期的・広域的の点で優位性が確保されるようなユースケースが望ましく、ユースケースの幅を広げるためには、SARや熱赤外等のセンサにおける差別化が必要



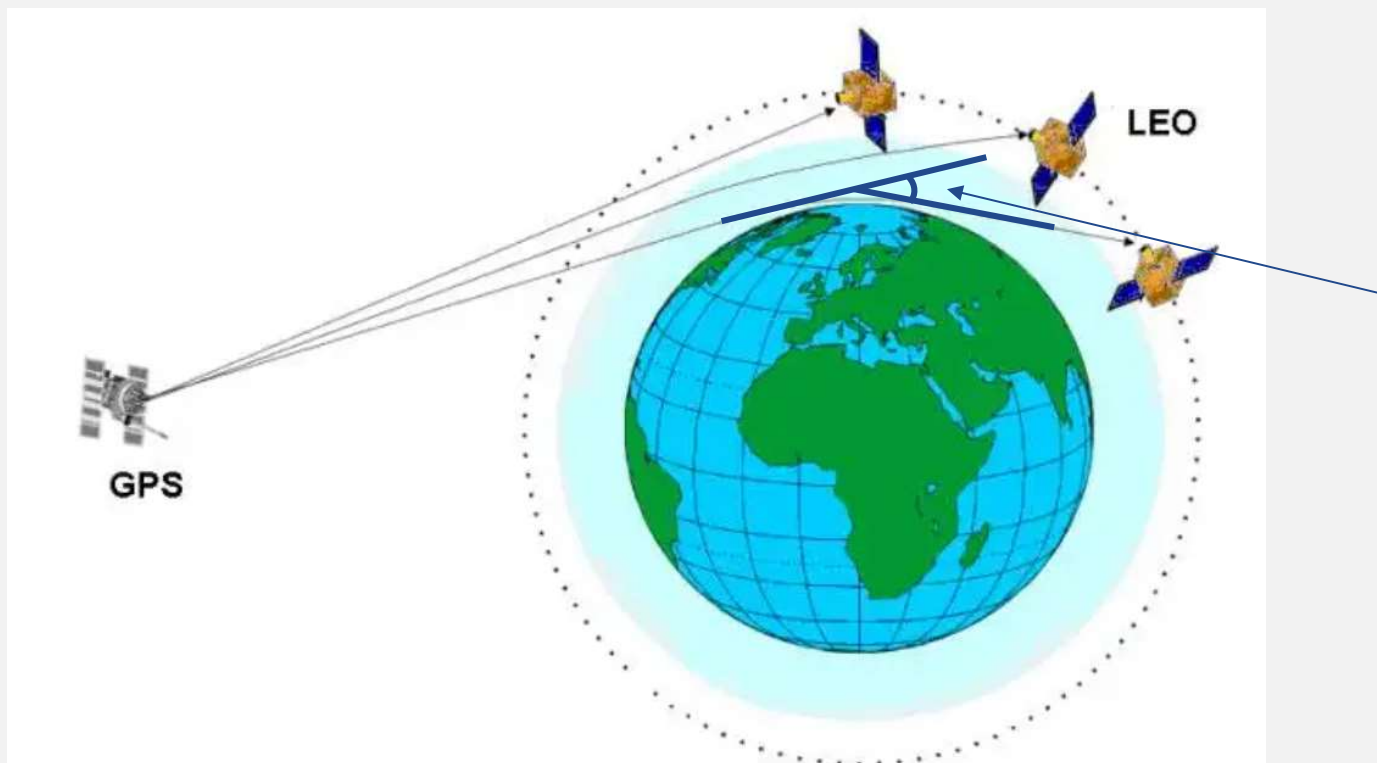
出所: 利用シーンのプロットはSeraData社データベース、各社HP、Satellogic社資料などを参考にDB作成

- 日本が実績を保有し他国に先行している分野であるが、今後の衛星開発では他国に劣後
- SLATS実績を活用し、他国との差別化を意識した衛星開発が必要な領域
- vLEOにて運用する衛星については、海外スタートアップを中心に開発が進み、2023年～2025年にかけて打上げが予定されている。衛星開発状況が欧米・中国に対して遅れていることは日本の弱みである。
- 一方で、「世界初 イオンエンジンを用いた超低高度からの光学画像観測運用」、「世界初 超低高度での長期間の原子状酸素データ取得」など、vLEOにおける光学センサ搭載の衛星運用経験については、現状、日本のみが実績を保有(Agile MicroSatの動向は不明)している。また、J-SPRACにて、JAXAとAxelSpace社との官民連携によるSLATS技術を活用したvLEOでの光学リモートセンシング事業モデルの構築が開始された。このように、SLATSの実績・経験を継承・活用した衛星開発を実施してプレゼンスを発揮することが期待されることが日本の強みである。
- 但し、日本はコンステレーション構築のスピードの点からも海外勢に対し劣後することが予想されるため、vLEOにて運用する衛星の開発に向けては、他衛星との連携、熱赤外センサ等の光学以外のセンサの搭載など、他国との差別化を意識した開発が望ましいと考える。

総論

- GNSS-ROデータは天気予報の基となる数値天気予報作成等に使用されるが、日本では受信センサを搭載した衛星は打上げられていない
- 官民におけるGNSS-ROセンサ搭載衛星の特徴には、搭載センサ数、衛星機数、GNSS-ROデータの取得がメインミッションかどうかという点に大きな差がある。
- Spire社等の米国民間企業を中心にGNSS-ROデータ取得のための衛星コンステレーションが構築されており、GNSS-ROデータを基にした海事産業向けソリューションなどを提供している
- 日本におけるGNSS-ROデータの使用事例は、気象庁による数値天気予報作成程度であり限定的である。また、そのためのデータは、世界的な枠組みによって無償で取得可能である。
- 上記状況を踏まえると、本分野の観測サービスを日本で立ち上げることは困難であり、本分野へのキャッチアップは優先度が低く、他分野への投資の方が望ましい。

- GNSS-ROとは、GPS衛星などのGNSS衛星の電波を用いた地球大気の掩蔽観測であり、その観測原理から地球上どこでも均質な精度のデータを得ることができ、数値天気予報モデル作成において重要なデータとされている
- 現在、日本国内では、GNSS-ROセンサを搭載した・搭載予定の衛星は打上げがなされていない



- GNSS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により、電波は屈折し、進行を遅らせる
- 電波屈折角から大気・電離層の電波屈折率を求め、電子密度、大気密度(気温)、湿度の高度プロファイルを算出
- 以下の特徴を有する
 - 衛星からの信号の物理的特性に基づくため高精度
 - 全球的なカバレッジを提供可能
 - 複数のGNSS衛星を用いた精度向上

出所: <https://www.newscientist.com/article/dn13329-gps-thermometer-could-flag-up-climate-change/>をもとにDB社にて作成

GNSS-ROセンサを搭載した衛星一覧

- 2013年以降運用開始、主観測物理量が地球観測に該当(電離層・宇宙天気のみは該当しないとする)するGNSS-ROセンサを搭載した衛星13種を抽出

搭載衛星名	保有者	センサ名	センサ名略称	運用開始	主観測物理量	解像度	重量	消費電力
Metop-SG-A1 -3 Metop-SG-B1 -3	ESA	Radio Occultation sounder	RO	2025	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	22kg	30W
Meteor-MP N1,2	Roscosmos	Radio occultation instrument for Meteor-MP	ARMA-MP	2025	温度・湿度・地表	—	—	—
Tianmu-1	CASIC	Tianmu - Receiver	Tianmu - Receiver	2023	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
CICERO-2	GeoOptics	CICERO-2 Instrument for GNSS-RO	CION-2	2022	温度・湿度・海上風・降水・ 土地被覆・土壌水分	水平：300km 垂直：0.5km	10kg	—
FY-3E,F,G,H,I,J	CMA	GNSS Radio Occultation Sounder - 2	GNOS-2	2021	温度・湿度・海上風速	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
Sentinel-6A,B,C	NOAA	Global Navigation Satellite System - Radio Occultation	GNSS-RO	2021	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	6kg	50W
GNOMES-1 -4	PlanetIQ	Pyxis-RO	Pyxis-RO	2020	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
GRACE-FO (2 sats)	NASA	Triple G (GPS, Galileo, GLONASS)	Tri-G	2019	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	6kg	50W
SEOSAR/Paz	CDTI	Radio Occultations and Heavy Precipitation with PAZ	ROHPP	2018	温度・湿度・降雨	水平：300km 垂直：0.5km	4.6kg	16W
CICERO	GeoOptics	CICERO Instrument for GNSS-RO	CION	2017	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	1.2kg	8W
Lemur-2	SPIRE	STRATOS	STRATOS	2016	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
FY-3C,D	CMA	GNSS Radio Occultation Sounder	GNOS	2014	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
KOMPSAT-5	KARI	Atmosphere Occultation and Precision Orbit Determination	AOPOD	2013	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	5kg	22W

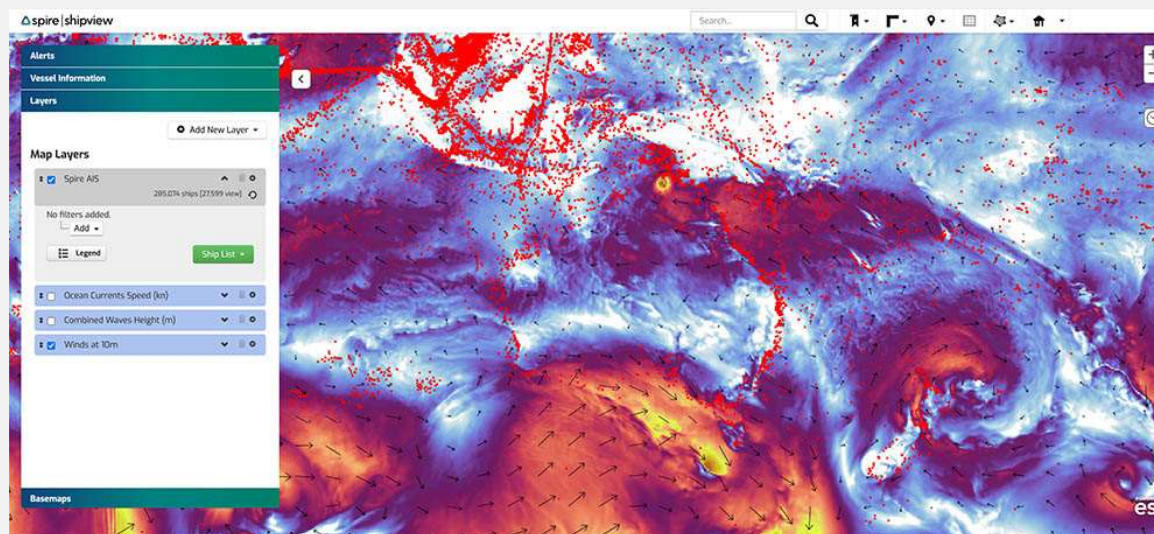
GNSS-ROセンサを搭載した衛星の特徴

- GNSS-ROセンサ搭載衛星の特徴は官民で大きな差がある
- 米国民間企業を中心に衛星コンステレーション構築によるデータ取得が実施
- 官側の衛星の特徴は以下のとおり。
 - 比較的大型の気象・観測衛星等における複数ミッションのうちの一つが多い
 - GNSS-ROセンサ以外の機器も多く搭載
 - 多くは1機又は2機での運用
- 民側の衛星の特徴は以下のとおり。
 - 小型の衛星における唯一のミッションが多い
 - 衛星はGNSS-ROセンサのみの場合が多い
 - 衛星コンステレーションを構築
 - NASAやNOAAとROデータ提供の契約を締結

搭載衛星名	保有者	官民区分	用途・ミッション	機器	機数
Metop-SG-A1 -3 Metop-SG-B1 -3	ESA	官	数値天気予報、ナウキャストアプリケーション、海面風・海面温度・海氷被覆等運用海洋学、大気化学、水文学、水管理、陸地と大気の相互作用、大規模地表分析、気候モニタリングサポート	SG-A : GNSS-RO以外に7種 SG-B : GNSS-RO以外に6種	6
Meteor-MP N1,2	Roscosmos	官	運用気象学、バイオマス、雲量、雲の光学深度、雲頂部の高さ、雲頂温度、統合水蒸気、葉面積指数、正規化植生指数、海面水温、海氷被覆、気温、対流圏界面の高さ、比湿度、対流圏界面の温度、降水強度、風速（地表付近）、植生地の割合、氷河の動き、氷河地形、土地被覆、地表地形、土壌水分、土壌タイプ、植生タイプ、大気化学、アルファ粒子微分方向磁束、エネルギー中世原子、重イオンフラックスエネルギーとマススペクトル、プロトン差動指向性磁束、短波放射照度、電子微分指向性磁束、プロトン積分指向性磁束、PBL上部の高さ	GNSS-RO以外に11種	2
Tianmu-1	Xiyong Microelectronics Park	民	大気密度、気温、電子密度、対流圏界面の高さ、電離層垂直全電子量(VTEC)、比湿度	GNSS-ROのみ	18
CICERO -1, -2	GeoOptics	民	天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング、GNSS-Rによる洪水、土地被覆（雪、氷、植生）、土壌水分、地形監視	GNSS-ROのみ ※GNSS-Rも可能	24
FY-3C, D,E,F,G,H,I,J	CMA	官	大気風、植生、放射収支、アルベドと反射率、大気湿度フィールド、雲の種類、量と雲頂温度、大気温度フィールド、表面温度(海洋)、液体水と降水量、雲の粒子の性質とプロファイル、表面温度(陸地)、オゾン、海洋の色/生物学、微量ガス(オゾンを除く)、積雪、端と深さ、海面風、重力、磁気および地球力学的測定、土壌水分、多目的画像(陸地)、海氷面積、エッジと厚さ	GNSS-RO以外に4~12種 ※衛星により異なる	8
Sentinel-6A,B,C	NOAA	官	海面高度、波高度、風速、気温・湿度	GNSS-RO以外に5種	2
GNOMES-1 -4	PlanetIQ	民	天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング	GNSS-ROのみ	20
GRACE-FO (2 sats)	NASA	官	水の動き、表面質量変化、重力場、貯水、氷床・氷河監視、海面、温度・湿度	GNSS-RO以外に4種	2
SEOSAR/Paz	CDTI	官	海洋観測、陸地観測、船舶追跡、気象検知	GNSS-RO以外に2種 SAR,LRR	1
Lemur -1, -2	SPIRE	民	船舶追跡、気象検知	GNSS-RO以外に1種 SENSEAIS (船舶追跡)	100以上
KOMPSAT-5	KARI	官	GIS、海洋・土地管理・監視、災害監視、環境モニタリング、気象検知	GNSS-RO以外に2種 SAR,LRR	1

- 100機以上のコンステレーションにより取得したGNSS-ROを基に海事産業向けソリューションを提供
- Spire社が有する100機以上の超小型衛星コンステレーションは、最先端技術を使用し、毎日20,000件を超えるGNSS-ROデータ(=大気測定値)を収集
- 取得データを基に、独自の気象モデルを用いて、あらゆる地点における正確な15日間の天気予報を生成・提供
- AISデータと組合せ、航海ルート最適化、燃料消費量削減による炭素排出量の削減などのデータを提供
- 類似ソリューション(日本気象協会:POLARIS)は存在

Spire社による海事産業向け気象インサイトプラットフォーム



凡例 ●: AIS船舶追跡データ → 背景色: 海洋風データ(風向・風力)

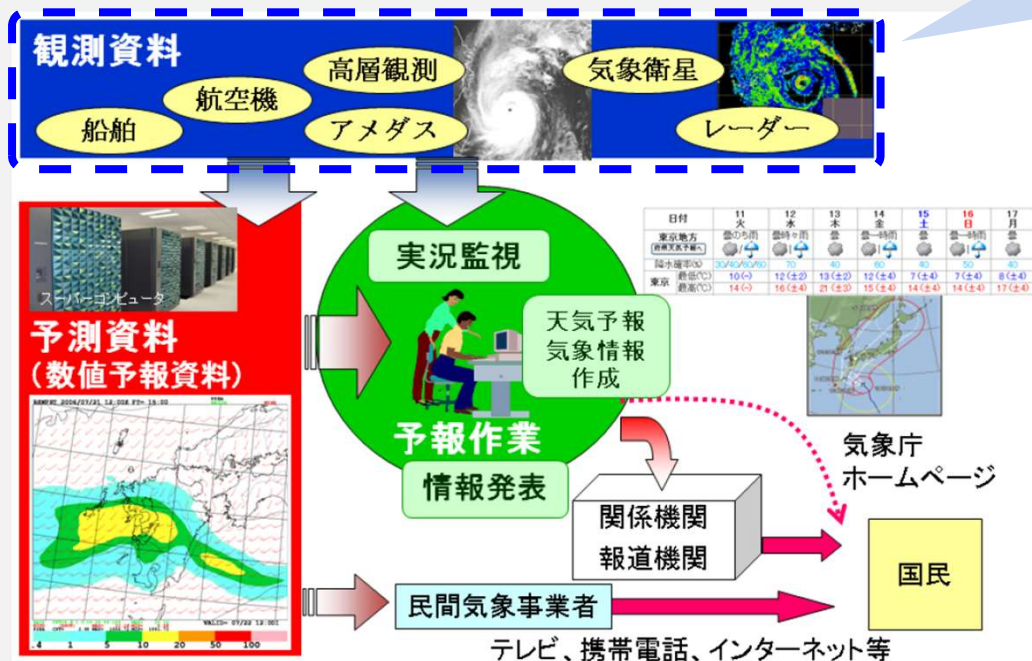
出所: Spire Global社HP

• 気象庁では数値予報のデータ同化にてGNSS-ROデータを使用し、数値予報モデルを作成

- 気象庁が天気予報を国民に提供するフローにおいて、GNSS-ROデータを含む各種観測資料から数値予報資料を作成する
- GNSS-ROデータはまばらではあるものの、全球に比較的均質にデータが分布していることが特徴である

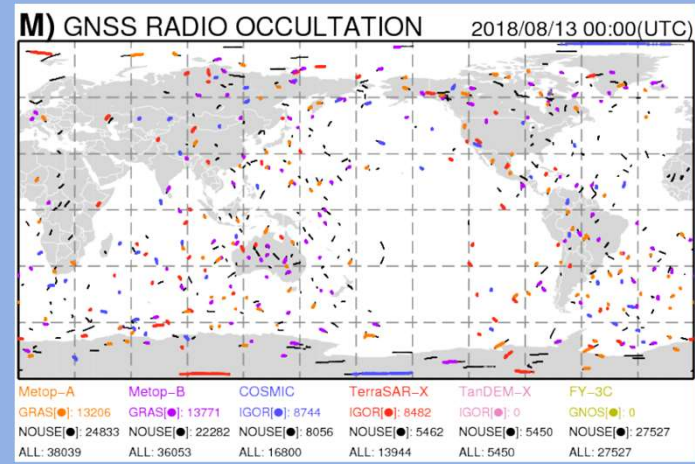


観測から気象情報までの流れ



GNSS-RO

観測データの水平分布



出所: 気象庁資料

- 日本におけるGNSS-ROデータの活用事例は非常に限られており、また無償でのデータ取得も可能であるため、キャッチアップの優先度は低く、他分野への投資の方が望ましい
- 日本はGNSS-ROセンサを搭載した衛星を保有しておらず、他国よりGNSS-ROデータを入手する必要があるとともに、本分野での観測サービスを日本で立ち上げることは困難と考える。
- 一方で、現状、GNSS-ROデータは、気象庁が作成する天気予報の基礎となる数値天気予報モデルの作成に活用されており、気象庁以外のユーザーは見受けられない。気象庁は、国際的なデータ交換の枠組みにより、他国から、無償でデータ取得をしている。
- Spire社が展開するようなGNSS-ROデータを活用した海事産業向けソリューションなどについても、類似ソリューションが展開されている。(日本気象協会等)
- GNSS-ROデータを活用するためには、全球をカバーするような大量のデータが望ましく、GNSS-ROデータを取得できる衛星を1,2機運用するところでは、海外勢へ追いつくことも困難である。
- 以上を踏まえ、日本としては、本分野に対するキャッチアップの優先度は低く、他分野への投資の方が望ましいと考える。

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

- SaaSに関する調査分析
- SaaSについて、主に(1)SaTaaS (Satellite as a Service)、(2)GSaaS (Ground Station as a Service)、(3)SDaaS (Space Data as a Service)の三つのビジネスモデルに分けて検討
- SaTaaSやGSaaSにおいて、個社レベルでは先進的な取り組みを行っている国内事業者は存在するが、総じて欧米中に大幅に劣後している状況
- 政府機関からの支出においても欧米中に対しディスアドバンテージがある
- これら踏まえ、海外追随よりも日本固有の特性を活かしたニッチな領域にてソリューション／解析プラットフォームを開発することが肝要か

- 大きくSaTellite as a Service (SaTaaS)、Ground Segment as a Service (GSaaS)、Space Data as a Service (SDaaS)に分類され、各サービス事業者が再訪性、迅速性、情報の質の向上に取り組んでいる

市場	XaaS	トレンド	再訪性※1	迅速性※2	情報の質※3
製造	SaTaaS	大規模コンステレーション構築/運用	○	—	—
		「ソフトウェア定義衛星」の構築/運用	—	—	○
打ち上げ		LEO-GEO/MEO-地上局通信NW	—	○	—
		地上局	大規模地上局NWの構築	—	○
衛星運用			地上局シェアリング	—	○
		衛星データサービス	クラウド上でのデータ管理/API等によるデータ提供	—	—
SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供		○	—	○
	解析PF/マーケットプレイス提供		—	—	○

※1 再訪性: いかに短い時間間隔で撮像できるかという観点。時間分解能とも呼ばれる。

※2 迅速性: 撮像したデータをいかに早くユーザーに届けられるかという観点。レイテンシーとも呼ばれる。

※3 情報の質: 再訪性、迅速性以外の観点。例えば解像度、データへのアクセシビリティ、データ解析によって得られる予測の精度などが挙げられる。

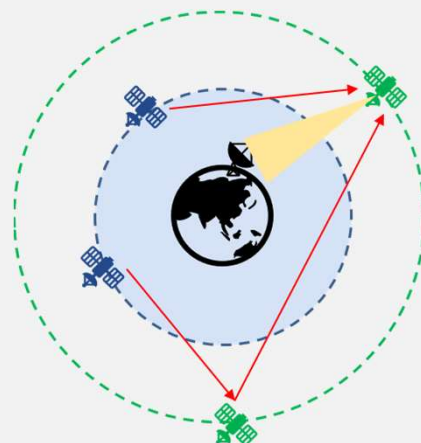
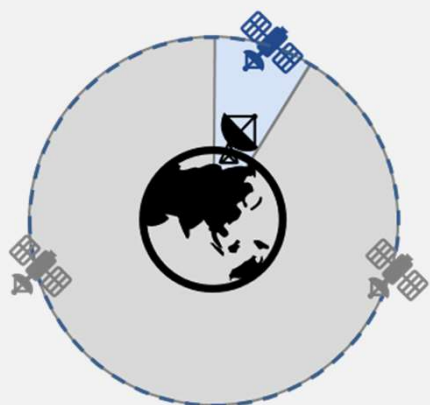
- 衛星間通信によるデータ提供の迅速性向上がホットトピック

概要

事例

As-Is

To-Be



- ✓ LEOでは1周(90分)につき約10分間のみ特定地上局と通信可能
- ✓ 大規模コンステレーションによって多くの画像が撮れても、すぐに地上におろすことが難しい

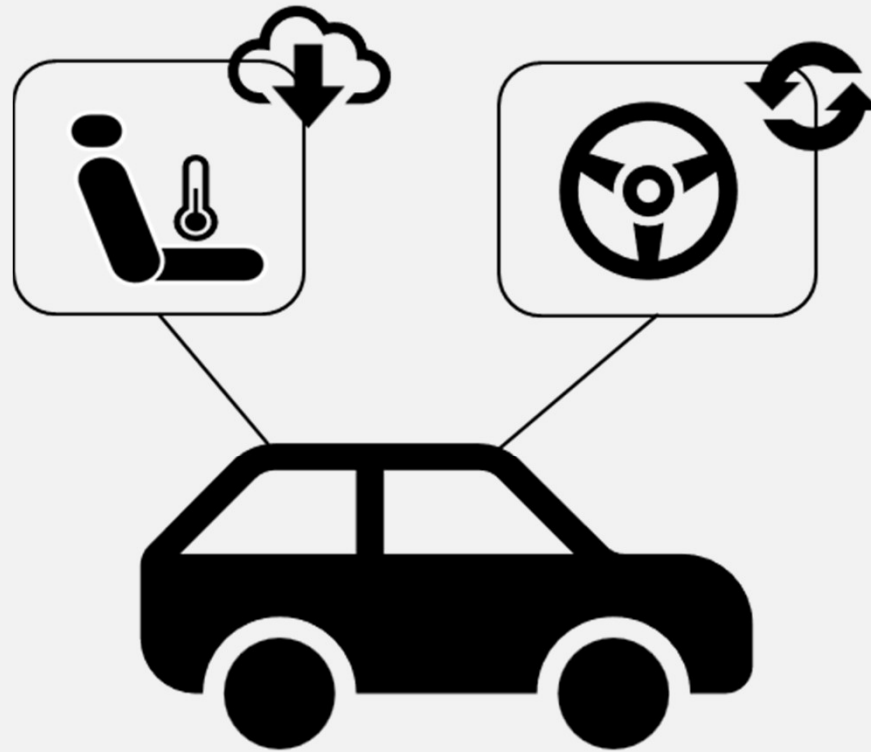
- ✓ GEO/MEO衛星-LEO衛星間通信により24/365での地上局通信が可能
- ✓ 撮影した画像を直ちに地上局に送る(ダウンリンクする)ことが可能に

- ✓ **Viasat社**
ViaSat-3と呼ばれる3基のGEO通信衛星ネットワークを構築中
データ中継により、リアルタイム性の高いダウンリンクを実現予定
- ✓ **WARPSPACE社**
光通信機器を搭載した3基のMEO通信衛星ネットワークを構築中
撮像後～ダウンリンクを常時30分以内に実現可能



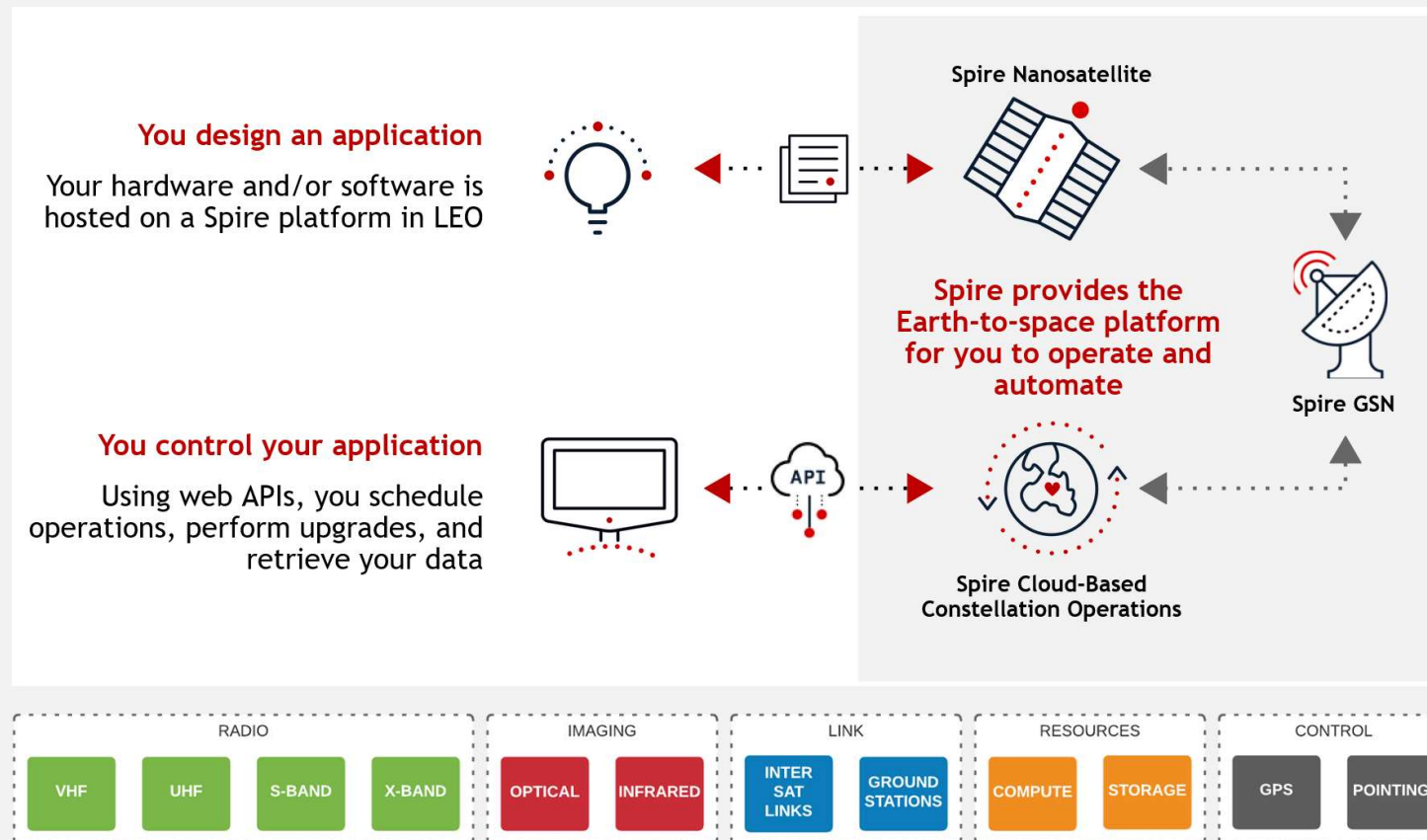
出所: WARPSPACE

- ソフトウェア定義の考え方により、ユーザー最適化されたスペックカスタマイズ、継続的な機能更新・拡張が可能
- ソフトウェア定義 (Software Defined X) とは、Teslaの自動車のように、様々な機能をソフトウェアダウンロードによって新規追加したり、ソフトウェアアップデートによって更新したりすることが出来るように制御すること
- ユーザーニーズに応じてスペックをカスタマイズしたり、新たな機能追加や機能アップデートを継続的に実施することが可能



- ソフトウェア定義衛星が実装されつつある

- Spire社は自社が保有する百機以上の多目的衛星コンステレーションをソフトウェア定義衛星により構築
- 顧客が作成したソフトウェアをSpire社の衛星プラットフォームに搭載することで、ニーズに応じたスペックで衛星コンステレーションを運用することが可能。



出所: spire

- 大規模地上局NWの構築や既存の地上局シェアリングが進む

事例① KSAT

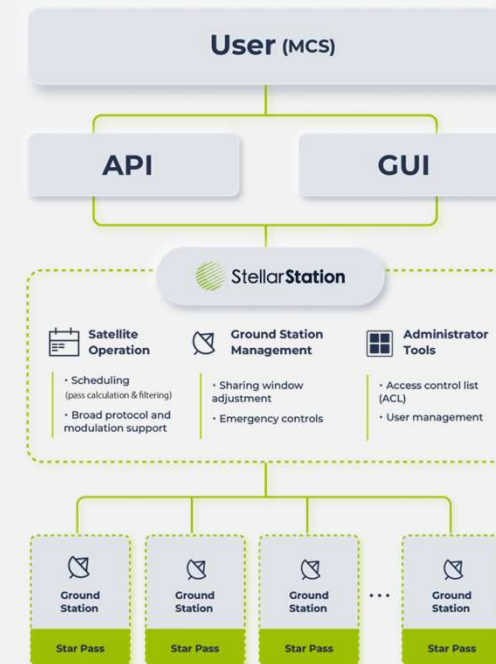
- 世界中に展開している270基以上の地上局アンテナに加え、今後も更に南極や米国本土にアンテナを増築予定
- 既存の地上局を衛星事業者向けに貸し出すサービスを提供



出所: KSAT

事例② infostellar

- オペレーターが様々な地上局事業者の設備に統一してアクセスできるプラットフォーム「Stellar Station」を提供

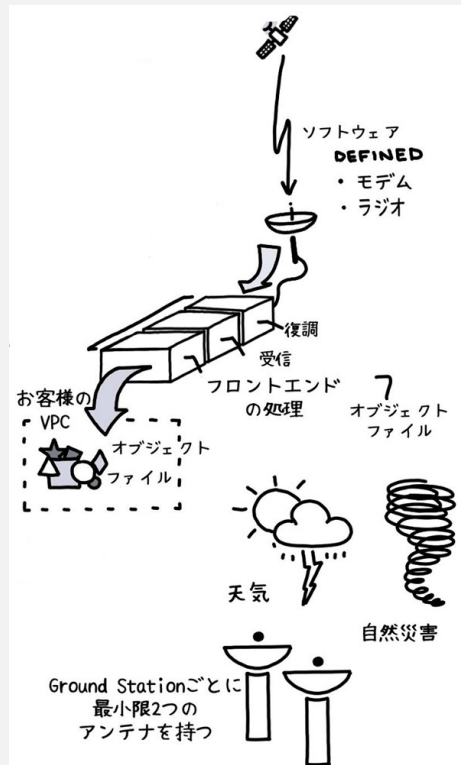


出所: infostellar

Ground Station as a Service (GSaaS) の動向②

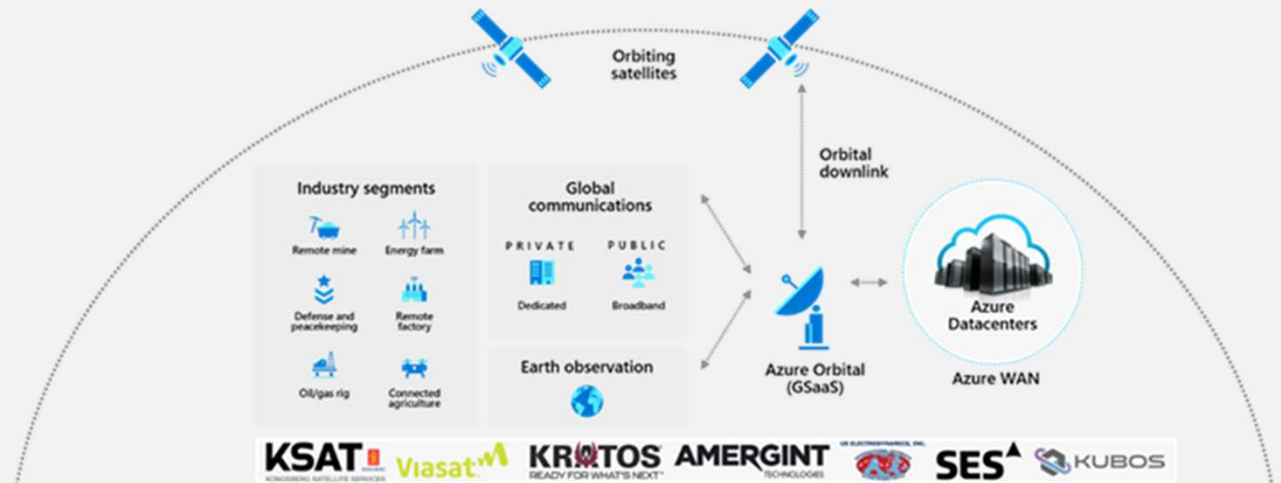
- 後続バリューチェーンであるデータ解析の利便性から、AWSやMicrosoft Azure等のプラットフォームマーが参画

AWS Ground Station



出所: Amazon Web Service

Azure Orbital Ground Station as a Service

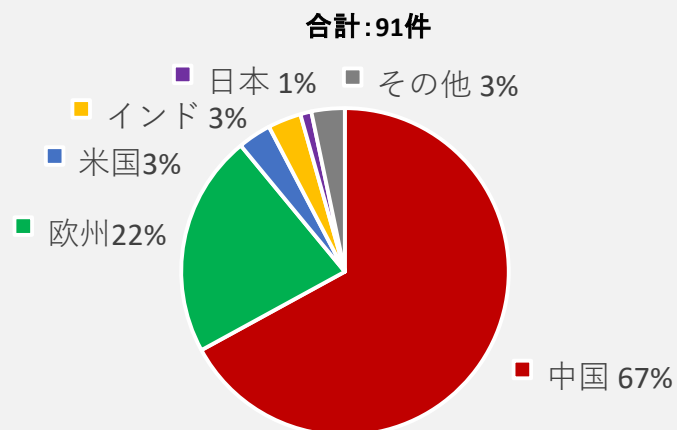


出所: Microsoft

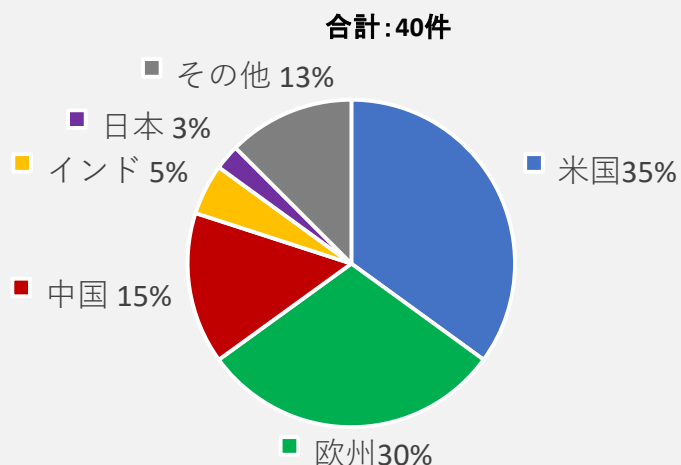
- 衛星データ解析では前提となりつつあるフュージョン技術について我が国は欧米中に大幅に遅れている
- 稀だが、国内では海外企業との協業で国際市場に進出したケースはある

IGARSS センサフュージョンの国別発表数の推移

2022年



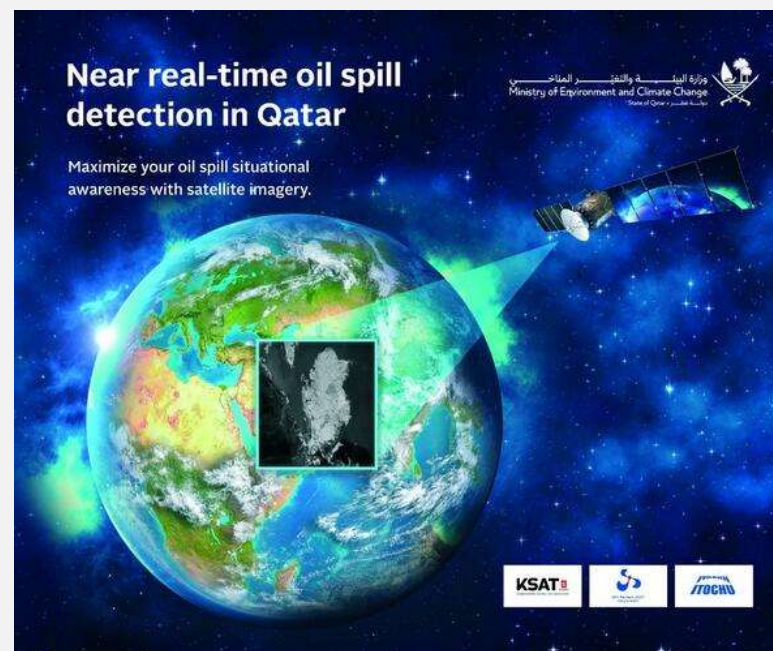
2023年



出所: IGARSS2022, 2023よりDBにて集計

国内で海外市場に進出した事例

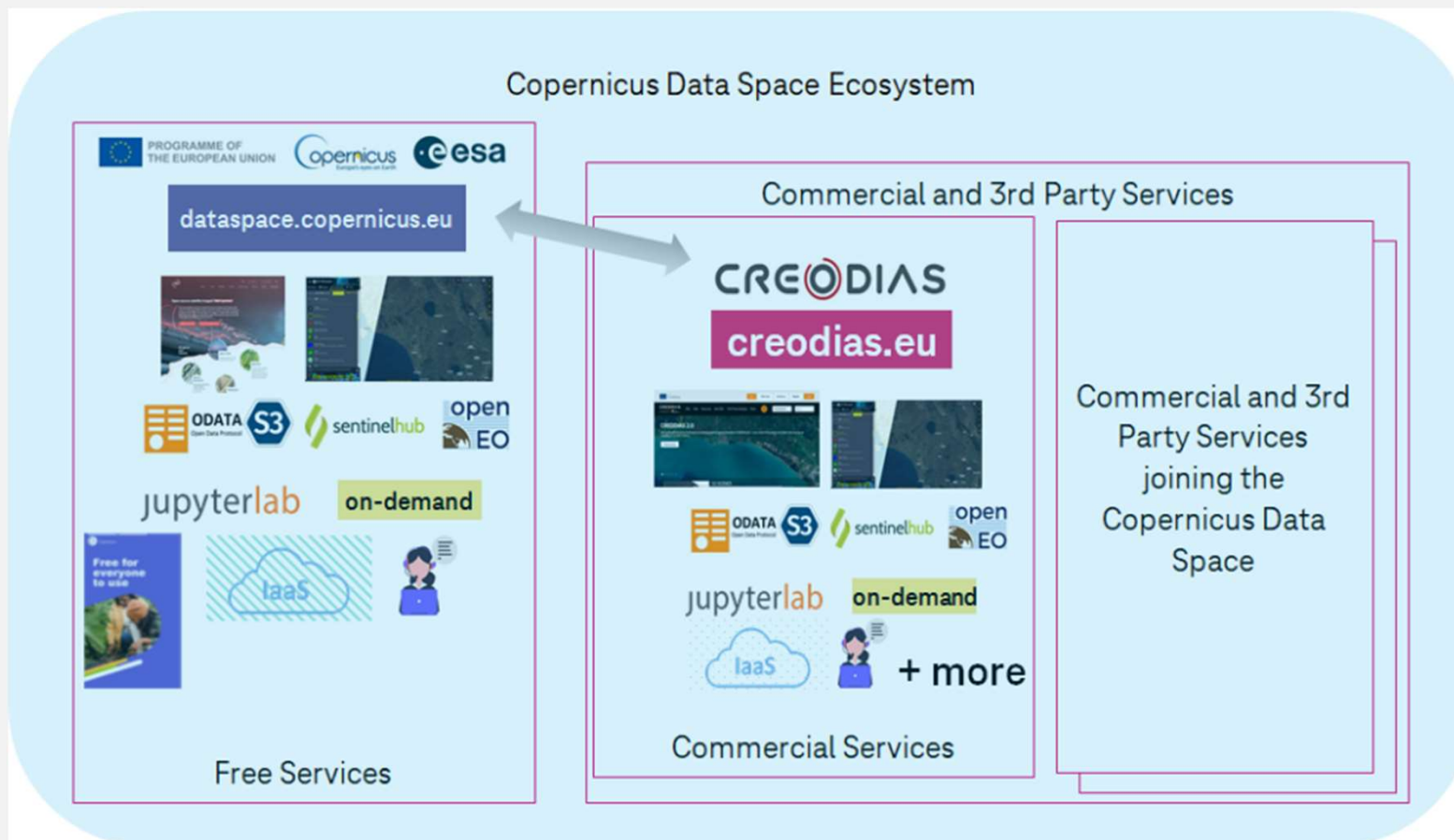
- ✓ スカパーJSAT社は2023年6月に伊藤忠商事/KSAT社との協業によりカタール環境省に対し高頻度オイル漏れ検知サービスを提供
- ✓ KSAT社が提供する複数SAR衛星データのフュージョンによる高頻度オイル漏れ検知サービスを利用し、自社で保有するAISデータを掛け合わせることで対象船舶の識別を可能としている



出所: スカパーJSAT


Satellite Data as a Service (SDaaS) の動向②

- 欧州では官主導で多様な衛星データと解析環境を具備するプラットフォームサービス提供を促進
- EUおよびESAは2023年1月より、新たなプラットフォーム「Copernicus Data Space Ecosystem」の提供を開始
- 既存の無料サービスであるSentinel HubやOpenEOプラットフォームに加え、商用データ統合・解析システム(DIAS)であるCREODIASが保持するデータ・解析環境を併せて提供
- 2023年6月には新たにヨーロッパのスタートアップ9社と5年で500万ユーロの契約を締結し、衛星データを追加



出所: EU Copernicusプログラム

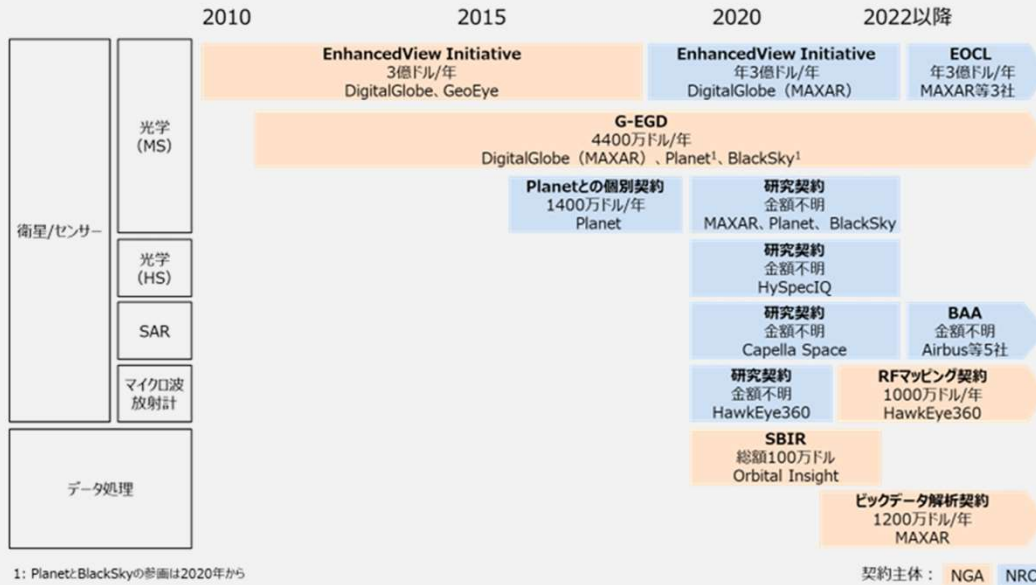
- 我が国は、Space as a Service において欧米中に大きく劣後している状況

XaaS	トレンド		強み・弱み
SaTaaS	大規模コンステレーション 構築／運用		メガコンステレーションはPlanet、Spire等米国の独壇場 SARコンステレーションではsynspective等が国内に存在
	LEO-GEO/MEO-地上局 通信NW		Viasat等が先行しているが、国内にもWARPSPACEやSpace Compass等が追随
	「ソフトウェア定義衛星」の 開発／運用		Spireは既にサービス化している一方、国内は圧倒的に劣後
GSaaS	大規模地上局NW構築		KSAT、SSCなどの海外企業の独壇場
	既存地上局の シェアリング		ハードはKSAT、SSC等の独壇場 シェアリングのためのソフトウェア／ミドルウェアではinfostellar等の国内企業が先進的
	クラウドPF上でのデータ管理／ API等によるデータ提供		AWS、Microsoft等の海外メガプラットフォーマーの独壇場
SDaaS	フュージョン・AI/ML による高付加価値データ提供		技術は圧倒的に欧米中に劣後 国内企業が海外企業と協業でグローバル市場に参入した例はあるが、稀
	解析PF提供		官民の多様なデータ整備で圧倒的な差がある

- 前提として、地球観測衛星の分野への民間企業への資金投資について、我が国は欧米に劣後している状況

米国

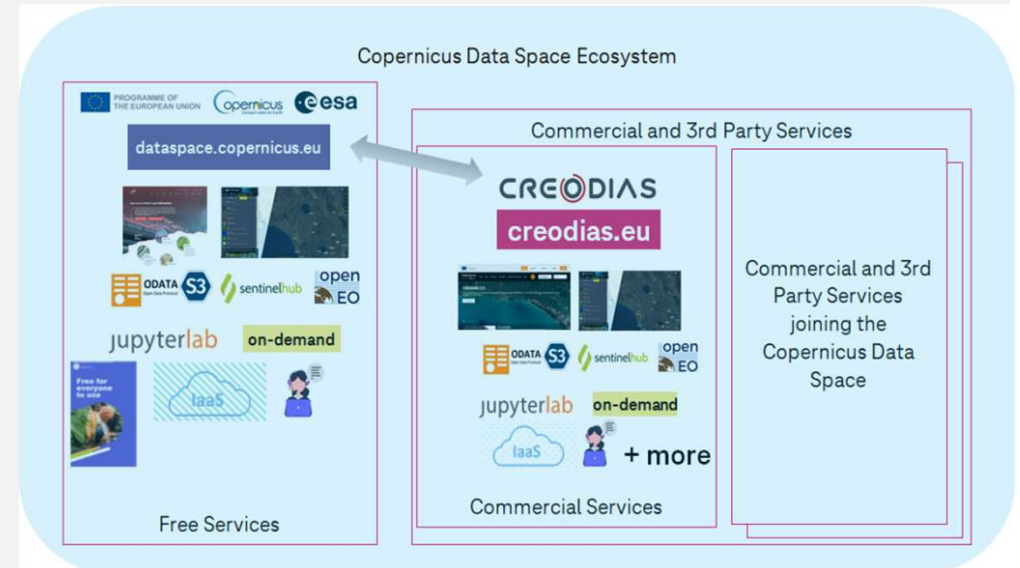
- ✓ 米国地理空間情報局 (NGA) や国家偵察局 (NRO) により民間企業への資金投資が活発
- ✓ 近年では衛星事業者だけでなく、衛星データ解析事業者への資金投資も開始
- ✓ 金額規模は1000万～3億ドル／年と巨額



出所: 各種公開資料をもとにDBIにて作成

欧州

- ✓ EU Copernicus プログラムにて、Copernicus Data Space Ecosystemを構築
- ✓ 2023年6月には新たにヨーロッパのスタートアップ9社とそれぞれ5年で500万ユーロの契約を締結し、衛星データを追加



※再掲

- 日本の状況と資金的ディスアドバンテージから、他国追随よりも我が国固有の特徴を活かしたサービス開発が肝要ではないか。

• 地理的特性を活かしたサービス

- 【GSaaS】東アジア諸国、または太平洋沖の撮像データ提供の低レイテンシー化を実現するサービス等



出所: KSAT



出所: AWS



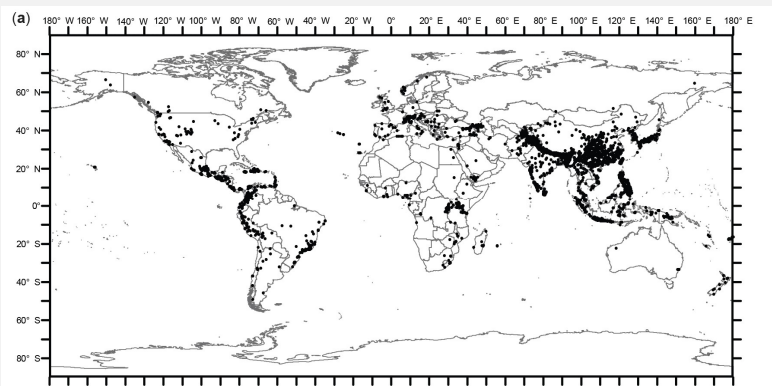
出所: Microsoft



出所: Viasat

• 自然環境の特性を活かしたサービス

- 【SDaaS】降水や地震などによる土砂崩れ予測／被害状況把握等



出所: Melanie J. Froude and David N. Petley, "Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016"

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

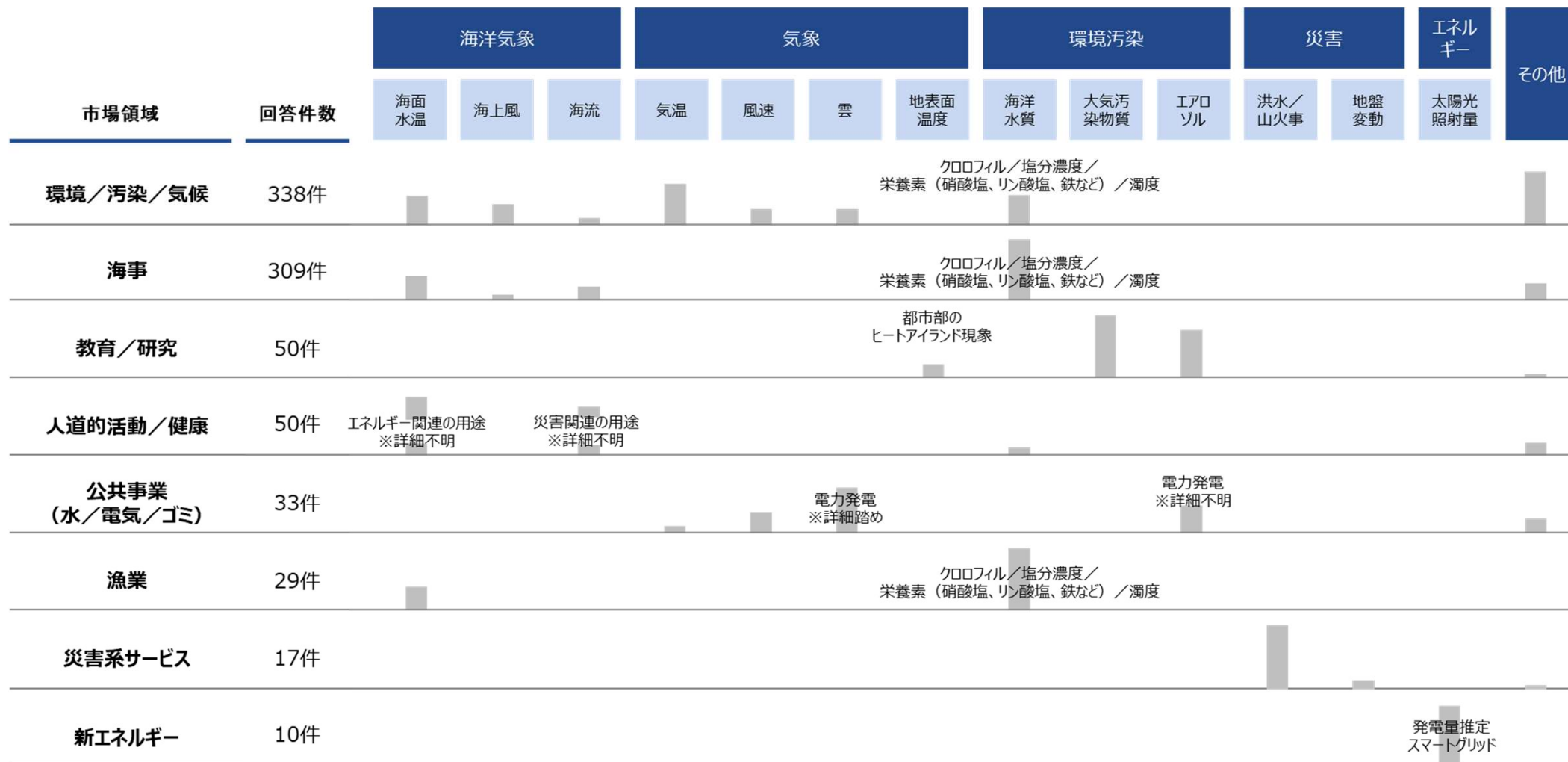
令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

総論

- 衛星の運用要求では、グローバルには気象／海洋気象／海洋水質／洪水・山火事／太陽光日射量等にNRTへのニーズがあり、国内ではCONSEOにて安全保障や災害対応等にNRTのレイテンシーを要求する議論等がある
- 簡易計算上では、3時間のNRTに必要な機数は、光学・SAR衛星共に10機前後。日本のSAR衛星は分解能・機数の点で欧米に対し多少劣後するが世界有数のレベルにあり、今後、他国に引き離されないようにする必要がある。
- 簡易計算では、NRTの達成に向けて、撮像間隔の観点からは「オフナディア角」「姿勢制御」「高度」の順に影響ある項目であることが判明したが、このような技術的要素はセンサ、衛星の目的等により決定するため、実際にNRTに与える影響は小さい可能性が高く、衛星の機数増加は確実にNRTに近づくこととなる。
- また、実運用では、「撮像指示→対象地点到着→撮像→ダウンリンク→データ処理→配布」といった画像提供フローの中でNRTに向けた改善が可能であり、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設等の対策も考えられる。
- NRTが求められるユースケースについては、国際会議等を踏まえると、既に災害を中心とした分野においてニーズがあり、今後、様々な分野でNRTに対するニーズが増大していくことが予想される。
- 今後は、日本の強みであるSAR衛星を中心に、早期のコンステレーション構築に向けた衛星開発の推進と共に、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設といった、画像提供フロー全体でのNRTに向けた改善に注力することで、他国に引き離されないようにすることが必要である。

- 国際的には、気象／海洋気象／海洋水質／洪水・山火事／太陽光日射量等にリアルタイムニーズがある。

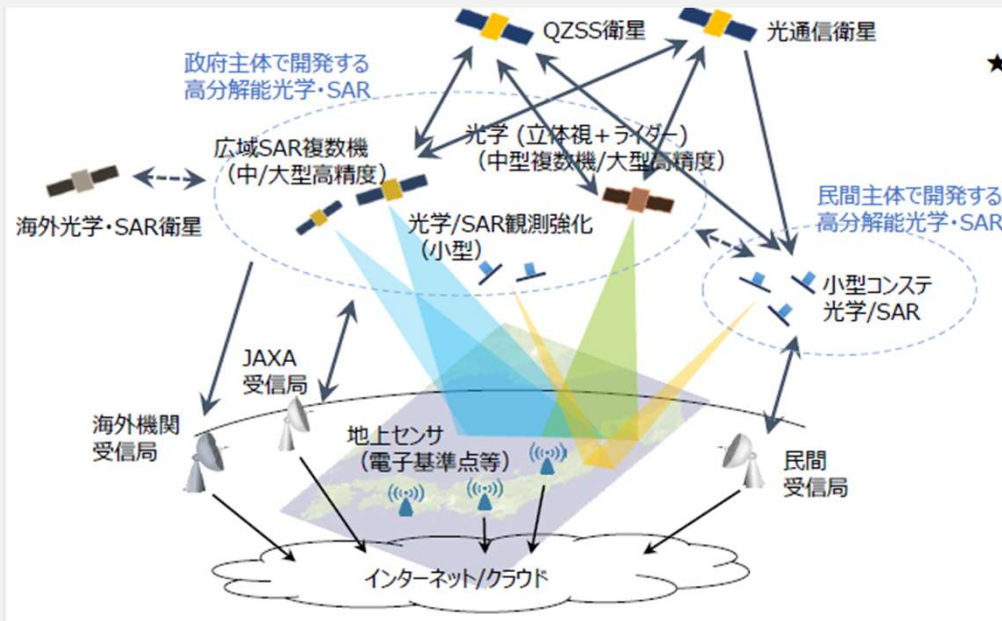


出所) EC Copernicus ProgramよりDB編集

- 国内ではCONSEOにて安全保障や災害対応等にNear-Real-Timeのレイテンシーを要求する議論等がある。

安全保障におけるニーズ

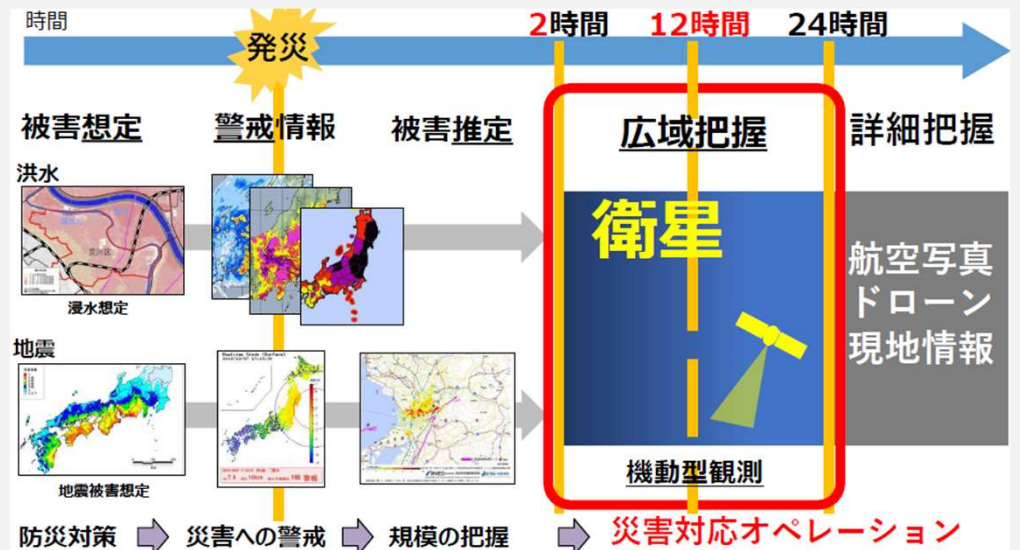
- ✓ 高頻度な特定点監視のための高分解光学・SARコンステレーション
- ✓ 衛星同士のネットワーク化・Tip and Queによる衛星群の協調運用による船舶監視、戦略情報取得などのサービス



出所: CONSEO資料より抜粋

災害対応におけるニーズ

- ✓ 発災後2時間程度での、災害対応の指針となる実被害把握に関する広域情報提供
- ✓ 発災後最短かつ最適観測シナリオで機動的な緊急観測の実施および2時間~12時間以内でのプロダクト提供



出所: CONSEO資料より抜粋

- Near-Real-Timeの全球観測に必要な衛星機能・機数を推定するため、下記の基準により衛星を抽出

衛星抽出条件

項目	抽出条件
データベース	• Seradata社のSpace Trak
打上げ時期	• 直近10年間(2013年～2022年)及び2023年以降
衛星状況	• 計画中、製造中、運用中の機体とし、計画キャンセル機体や運用終了機体は除く
衛星種類	• 軍事衛星以外の衛星(民間、商用等)
センサ種類	• 光学 • SAR
地上分解能	• 1m以下
その他	• コンステレーションを構成していること

地上分解能1m以下の光学衛星コンステレーション

- 地上分解能1m以下の光学衛星コンステレーションは欧米の民間企業に加え、中国・インドが官主体で構築
- 日本企業は含まれておらず、他国対し大きく劣後

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

出所) Seradata社データベース、各社HPを基にDB編集

地上分解能1m以下のSAR衛星コンステレーション

- 地上分解能1m以下のSAR衛星コンステレーションはイタリアを除き、民間企業を中心に構築されている
- 日本企業も2社含まれており他国に先行しているものの、分解能、機数の点において欧米企業に劣後

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

出所) Seradata社データベース、各社HPを基にDB編集

- Near-Real-Timeに必要な機数を以下の簡易計算式にて算出する

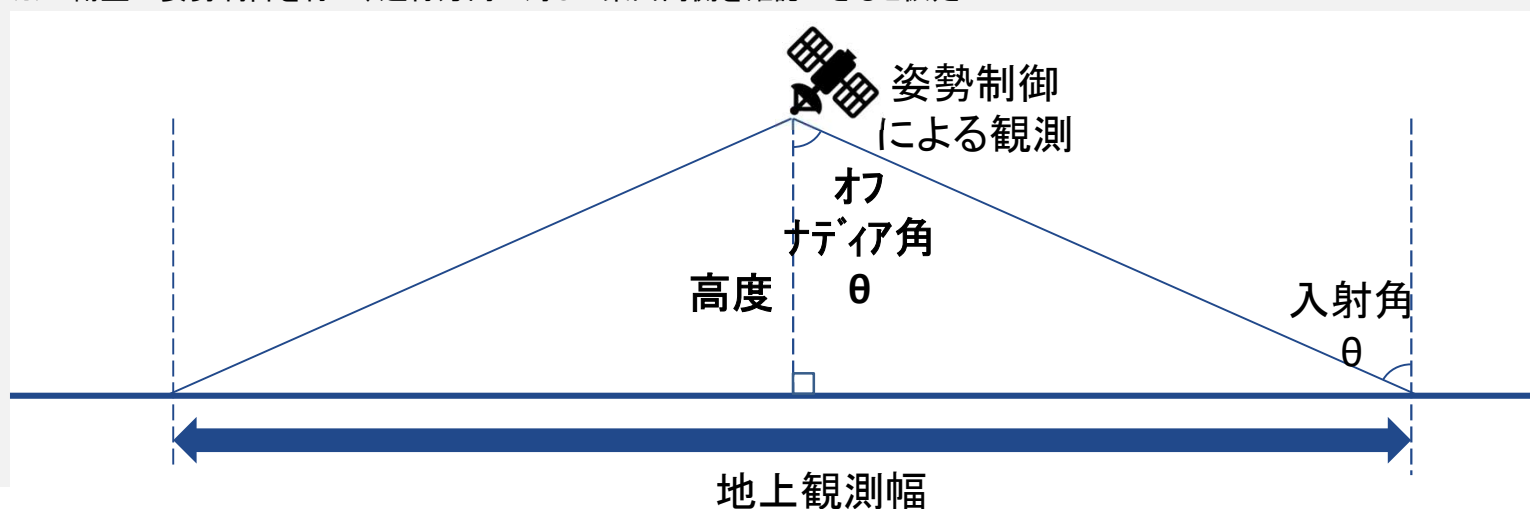
【簡易計算式】

- **必要機数^{※1}** = 1機の場合の全球観測時間(h) ÷ 目標とするNear-Real-Time(h)
- **1機の場合の全球観測時間(h)** = 地球円周(km) ÷ {地上観測幅(km) × 地球1周における観測回数} × 地球1周に必要な時間(h)
 - **地球円周(km)の考え方**
 - ① 地球円周(光学※熱赤外除く) = 20,000km(昼間部のみ) ※光学衛星は夜間に撮影できないため
 - ② 地球円周(SAR、熱赤外) = 40,000km(昼間・夜間共)
 - **地上観測幅(km)の考え方**
地上観測幅(km) = $2^{\times 2}$ × 衛星高度(km) × tan入射角(θ)
 - **地球1周における観測回数の考え方**
 - ① 地球1周における観測回数(光学※熱赤外除く) = 1回 ※昼1回(Ds)
 - ② 地球1周における観測回数(SAR、熱赤外) = 2回 ※昼1回(Ds)、夜1回(As)
 - **地球1周に必要な時間(h)の考え方**
地球1周に必要な時間(h) = $\{2 \times (\text{地球半径} + \text{衛星高度(km)}) \times \pi\} \div \text{衛星速度(km/s)} \div 3600$
 - **その他**

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

※1: あくまで簡易計算式による結果であり、実態とは異なる

※2: 衛星が姿勢制御を行い、進行方向に対して東西両側を確認できると仮定



Near-Real-Timeの必要機数(光学衛星)

- Near-Real-Timeを3hと想定した場合、おおよそ10機前後のコンステレーション構築が必要

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

※簡易計算式による算定結果であり、実態とは異なる可能性あり
 ※オフナディア角が不明なため、他事例踏まえ45°と想定

Near-Real-Timeの必要機数(SAR衛星)

- Near-Real-Timeを3hと想定した場合、おおよそ10機前後のコンステレーション構築が必要
- 日本の民間企業がNear-Real-Timeを狙える位置にいる

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

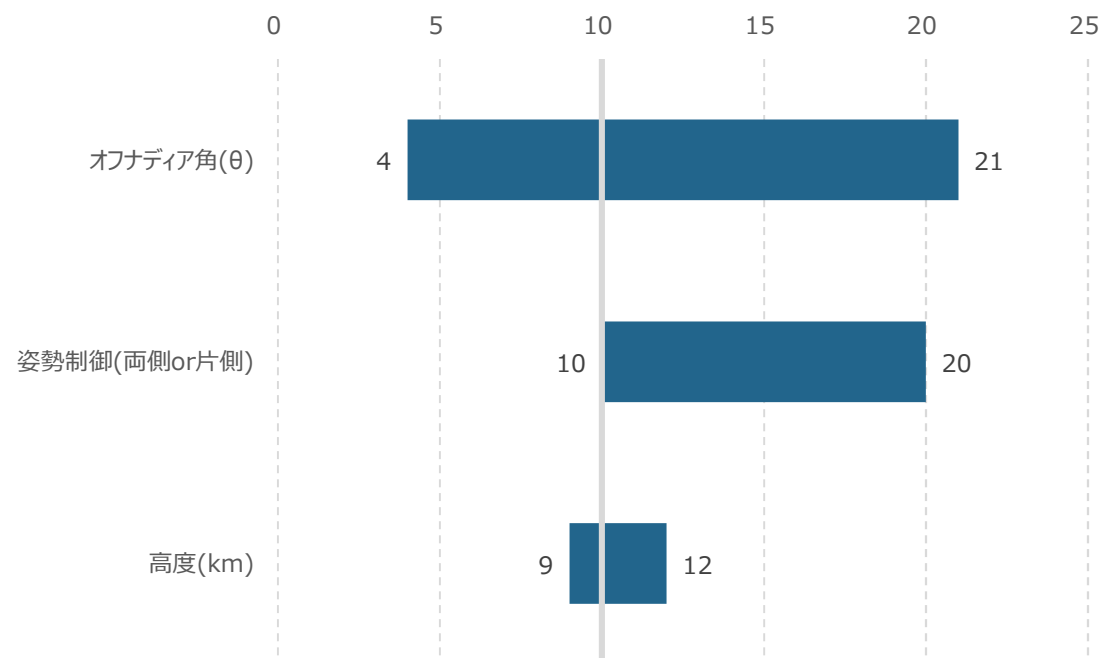
※簡易計算式による算定結果であり、実態とは異なる可能性あり

- 感度分析の結果からはNRTへ与える影響が大きい順に「オフナディア角」「姿勢制御」「高度」であることが判明
- 但し、これら技術的要素はセンサ、衛星の目的等により決定するためNRTに与える影響は小さく、衛星機数の増加の方が確実にNRTに貢献することが可能

各シナリオにおける要素の値

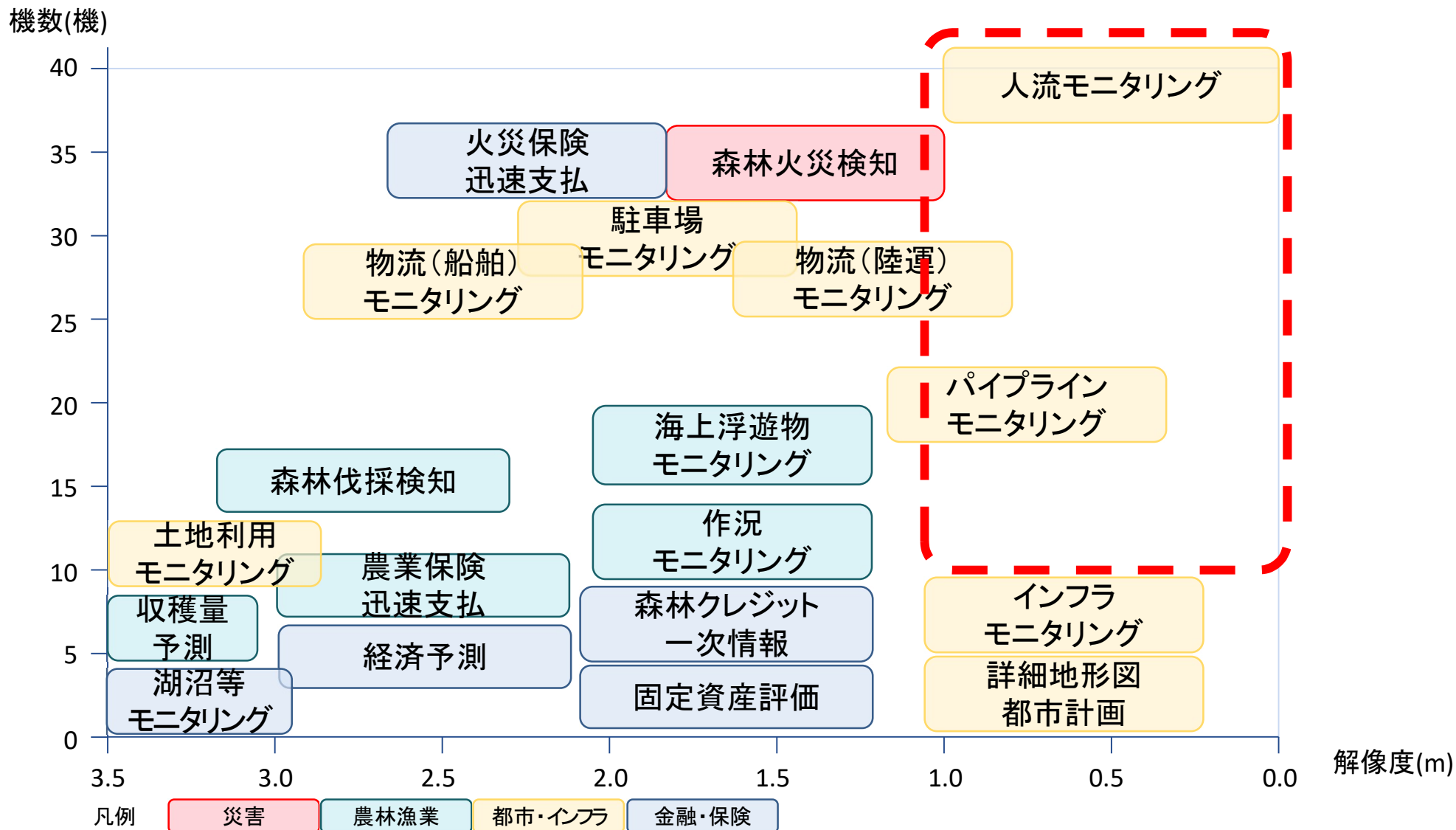
要素	最悪シナリオ	標準シナリオ	最善シナリオ
高度(km)	430	550	660
オフナディア角(θ)	25	45	70
姿勢制御※片側：1 両側：2	1	2	2

各シナリオにおける感度分析結果（トルネードチャート）



解像度・機数の観点から想定されるユースケース(光学)

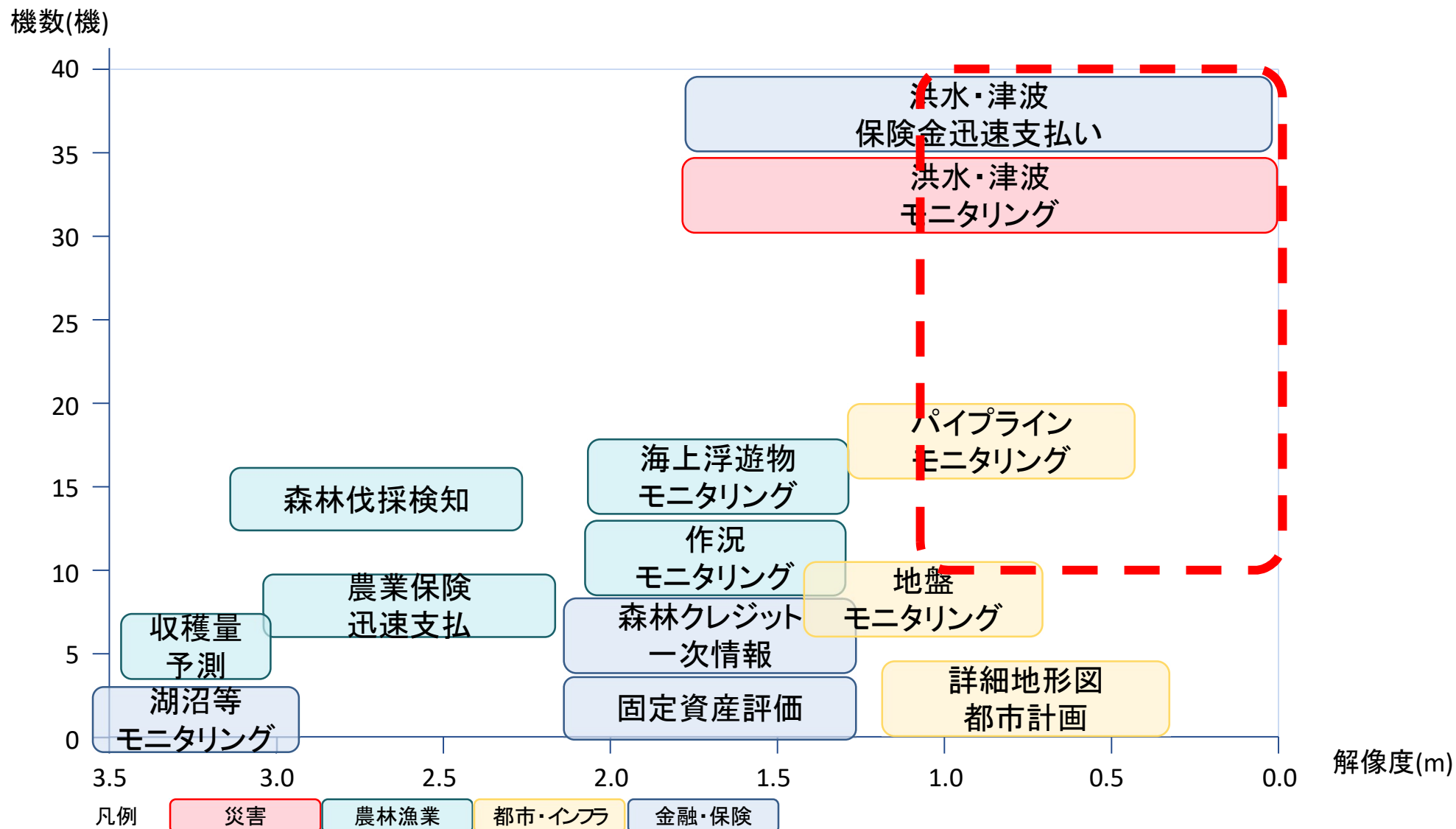
- 光学衛星において、10機以上・分解能1.0m以下でNear-Real-Timeが望ましいユースケースは、「人流モニタリング」、「パイプラインモニタリング」などが想定される



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

解像度・機数の観点から想定されるユースケース(SAR)

- SAR衛星において、10機以上・分解能1.0m以下でNear-Real-Timeが望ましいユースケースは、「洪水・津波保険金迅速支払い」、「洪水・津波モニタリング」、「パイプラインモニタリング」などが想定される

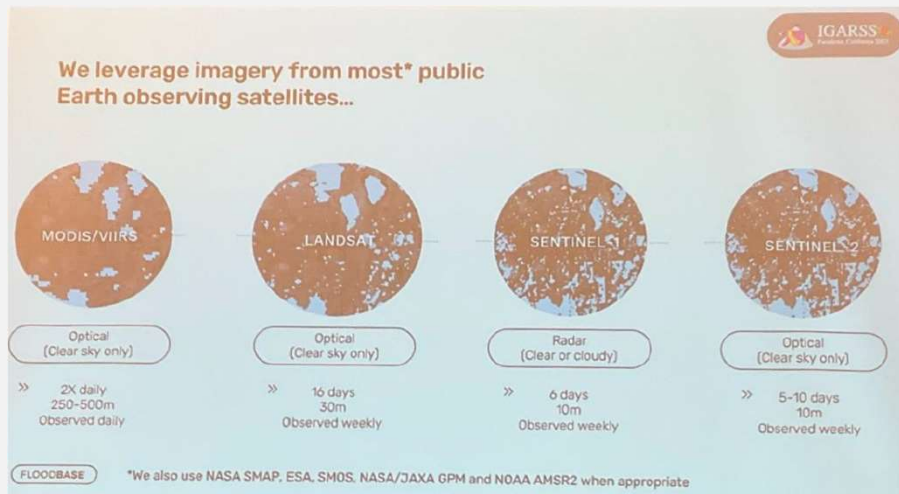


出所: 利用シーンのプロットはSeraData社データベース、各社HP、Satellogic社資料などを参考にDB作成

- 国際会議における発言でも、解像度と機数の観点から想定されるユースケースと同様の事例が挙げられる
- 非常時のみならず、平常時のニーズ(農業生産における水管理)も述べられてはいたが、具体的なNear-Real-Timeの数値等についは触れられていない

IGARSS

- ✓ 火山監視においてNear-Real-Timeでの把握のため、40機体制のコンステレーションを検討
- ✓ 洪水被害におけるパラメトリック保険のトリガーが素早く適切にひけるように、光学やSARを含む4種類の衛星の情報をフュージョンさせる研究を実施



出所:IGARSS2023

WSBW

- ✓ 衛星プラットフォームは、「割高」な価格のため「Near-Real-Timeに近いタスクの需要はない」としつつも、例外として、嵐などの災害分野はニーズがあると述べている。
- ✓ 衛星製造企業は、具体的なユースケースに言及はないが、Near-Real-Timeの必要性が増大している、と述べている。

AGU

- ✓ 非常時のユースケースとして山火事検知のニーズが述べられた。
- ✓ 平常時のユースケースとして農業生産における水管理が述べられた。

- SAR衛星では、分解能・機数の点で多少劣後するものの、世界有数のレベルを確保
 - 国内外からのニーズ領域を踏まえたSAR衛星開発・運用に引き続き注力
 - その際には、衛星機数の増加や、画像提供フロー全体における改善によりNRT向上を目指すべきである
-
- 国内外のユーザーからの運用要求、機数・分解能から想定されるユースケース、また国際会議での発言など、既に災害を中心とした分野にてNRTに対するニーズがあり、また、今後、様々な分野でNRTに対するニーズが増大していくことが予想される。
 - 日本では、光学衛星では他国に対し劣後する一方で、SAR衛星では、分解能・機数の点で欧米に対し多少劣後するものの、世界有数のレベルにある。
 - 今後は、日本の強みであるSAR衛星を中心に、早期のコンステレーション構築に向けた衛星開発の推進と共に、オンボード処理、衛星間通信、地上局増設といった、画像提供フロー全体でのNRTに向けた改善に注力し、様々なニーズに対応できるようにすることで、他国に引き離されないようにすることが必要である。

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

• 総論

- 基本的に観測衛星に関わるビジネスは、衛星打上げやデータ分析需要開拓など、マネタイズまでに時間がかかることが多く、民間単独でビジネス展開するには難易度が高い。
- 観測衛星を用いた小型衛星コンステレーションやデータ分析系ソリューションもマネタイズにまだ時間がかかるビジネスであり、政府の支援を必要とする。特にアメリカでは情報機関による規模の大きいアンカーテナンシーが存在している。我が国でも導入可能な類似の制度としては、政府が買い上げたデータを科学者や企業に配布するNASAのCSDAやEUのCopernicusがある。
 - ✓ 欧州においては、Copernicusとの直接契約による売上が衛星データ市場の総売上の7%を占めている。
- 我が国の支援制度は研究開発・実証への支援が中心で、他国と比較すると特に創業期への支援制度が不足している。支援の手段としては、投資などの資金面での支援の他に、資金面以外のソフトな支援も求められる。
- 国外の支援プログラムの中で注目すべきものとしては、英国のカタパルトと欧州のCASSINIがあげられる。英国のカタパルトは、プロジェクト立案支援や学术界と産業界をつなぐ支援、および他産業とのつながりの形成支援を行っている。欧州のCASSINIは、創業期の企業への支援を多面的に実施しており、創業支援のワンストップ窓口として機能している。これらの支援プログラムによる新たな支援方法は、今後検討してもよいものと考えられる。

国外における官需の観測衛星プログラム一覧(米国)

- 米国では、主に情報機関が衛星データを調達するケースが多く見受けられる。
- 結果として衛星ベンチャーの需要保証を官が行っている形となっている。
- 下図表は米国の衛星ベンチャーが対象となりうる支援プログラムの一覧である。
- 主な購入者である情報機関は、衛星を自前で保有する必要がなくなるコスト削減効果を期待しつつ、衛星ベンチャー企業への需要保証を行っている。

国名	プログラム名	提供機関	種別	期間
米国	Decadal Survey 2017	NASEM	全体論	2017-2027
	Earth Science Technology Office (ESTO)プログラム	NASA	開発資金提供	1998-
	Earth Science Data Systems (ESDS) Program	NASA	衛星データ購入	2017-
	Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA) Program			
	Commercial Data Purchase (CDP)	NOAA	衛星データ購入	2020-
	Commercial Data Purchases (CDP)	USGS	衛星データ購入	2008-
	EnhancedView Program	NGA	衛星データ購入	2010-
	G-EGD	NGA	衛星データ購入	2011-
	Contract for RF mapping	NGA	衛星データ購入	2021-
	Big Data Analysis Program	NGA	衛星データ分析ソリューション購入	2021-
	Boosting Innovative GEOINT Research Broad Agency Announcement (BIG-R BAA)	NGA	衛星データ購入	2020-
	Luno Program	NGA	衛星データ購入	2024-
	Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) contracts	NRO	衛星データ購入	2022-
	The BAA for commercial radar	NRO	衛星データ購入	2022-
	Strategic Commercial Enhancements for RF monitoring	NRO	衛星データ購入	2022-
	中小企業・イノベーション支援 (SBIR/STTR)	NASA・NOAA・NGA等	開発資金提供	2004-
	Innovation Corps (I-Corps)	NSF	アクセラレーションプログラム	2011-
	Technology Transfer (T2)	NASA	技術移転	1994-
	Entrepreneur's Challenge	NASA	コンテスト	2020-2021
	Space App Challenge	NASA	コンテスト	2012-
Tech Leap PRIZE	NASA	コンテスト	2021-	
NSPIRES	NASA	資金支援・共同研究	-	

国外における官需の観測衛星プログラム一覧(欧州・その他)

- 欧州では、研究開発への資金提供や資金面以外のソフトな支援が中心である。
- 複数の支援策を組み合わせたプログラムも増えている。
- 下図表は欧州・その他地域の衛星ベンチャーが対象となりうる支援プログラムの一覧である。
- 欧州では、資金提供と共に、アクセラレーションプログラム等のビジネス支援やインキュベーション施設の提供など資金面以外のソフトな支援を行っている。

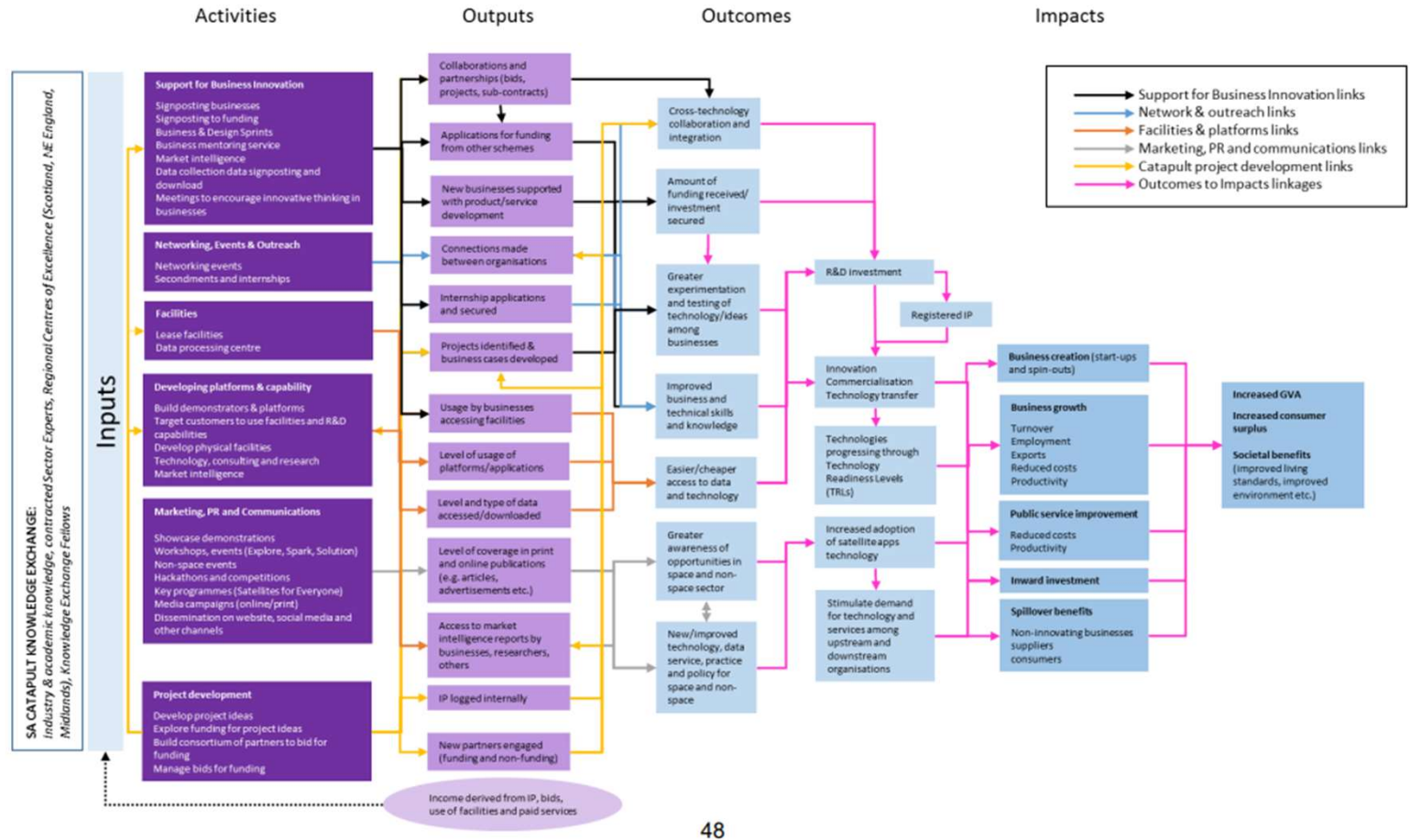
国名	プログラム名	提供機関	種別	期間
欧州	InCubed	ESA/Phi-lab	資金支援	2017
	EU Copernicus Contributing Mission (CCM)	EC	衛星データ購入	2018
	ESA Third Party Mission	ESA	衛星データ購入	—
	ESA Business Incubation Centers (ESA BICs)	ESA TTPO	開発支援・ビジネス支援・インキュベーション施設	2013
	EU Executive Agency for SMEs	EU	資金支援・開発支援・ビジネス支援	—
	Future EO scout mission	ESA	資金支援	2022
	CASSINI Space Entrepreneurship Initiative	EUSPA	シード投資・創業支援・アクセラレーションプログラム・コンテスト	2021-2027
英国	カタパルト	Innovate UK	開発支援・ビジネス支援・資金支援	2011
	National Space Innovation Programme	UK Space Agrncy	資金支援	2020
	Space-Enabled and Geospatial Services	CCS	公共調達	2021-
	Space Cluster Funding	UKSA	資金支援 (地域振興)	2022-
	Space for Smarter Government Programme	UKSA	公共調達開発支援・コンテスト	2014-2018
	Seraphim Space Investment Trust	Seraphim Capital/BBB	投資	2016-
	Centre for Earth Observation Instrumentation (CEOI) Call	CEOI	開発支援	2008-
ドイツ	Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake	DLR	ビジネス支援・資金支援	2018
	DLR Startup Factory	DLR	シード投資・創業支援・アクセラレーションプログラム	2023-
フランス	Connect by CNES	CNES	シード投資・創業支援・アクセラレーションプログラム・インキュベーション施設	2018-
カナダ	Space Technology Development Program (STDP)	CSA	資金支援	2008-
	smartEarth	CSA	資金支援	2020-
インド	IN-SPACe Seed Fund Scheme	IN-SPACe	投資	2023-

国外における官需の観測衛星プログラム事例(カタパルト)

- 英国は、独自の取組としてカタパルトを実施している。同取組では、民間企業のみでは難しい企業間連携や産学官の連携不足を官主導の取組で埋めようとしている

- Innovate UKの主導で2011年に設立
- 注力すべき9つの分野で構成され、そのうちの1つにSatellite Applicationがある
- 民間宇宙ベンチャーに対し、様々な支援を行っており、右図の通り、複数の取組を通じて、産学官の連携を主導している
- 他分野のカタパルトとも連携しており、例えばエネルギー・通信分野のカタパルトと連携し、空気清浄機を開発した

Satellite Applications Catapult Logic Model- taken from an unpublished report by SQW (January 2017)



- 他に注目すべきものとして欧州のCASSINIがある。同取組では、コンテスト、アクセラレーションプログラム、VCファンドへの投資保証などで創業期のスタートアップをワンパッケージで支援している。

- 2021年にEU域内での宇宙関連の企業をサポートするプログラムとして開始した。2027年まで実施予定
- 支援の対象はシード期から、中規模のベンチャー企業
- 2022年から2027年までに10億ユーロを事業費及び投資資金として投じる予定
- 右記のプログラム以外にも起業家、投資家、顧客、企業パートナーをマッチングするイベントや宇宙関連のIT技術に関するハッカソンなども開催している

CASSINIの主なプログラム

CASSINI Challenges



賞金コンテストで賞金総額は100万ユーロ。測位データやCopernicusの観測データを利用して、3つのテーマに沿ったソリューションを提案したチームに対して、賞金が与えられる。アイデア段階、試作段階、製品段階のそれぞれで受賞の可能性はある。

Business Accelerator



6か月にわたって行われるアクセラレーションプログラム。1タームにつき20社が選ばれ、ウェビナーの受講やビジネスモデルについてメンタリング、投資家とのマッチングを受けることができる。プログラムを修了すると75,000ユーロの資金も提供される。

Access to Finance

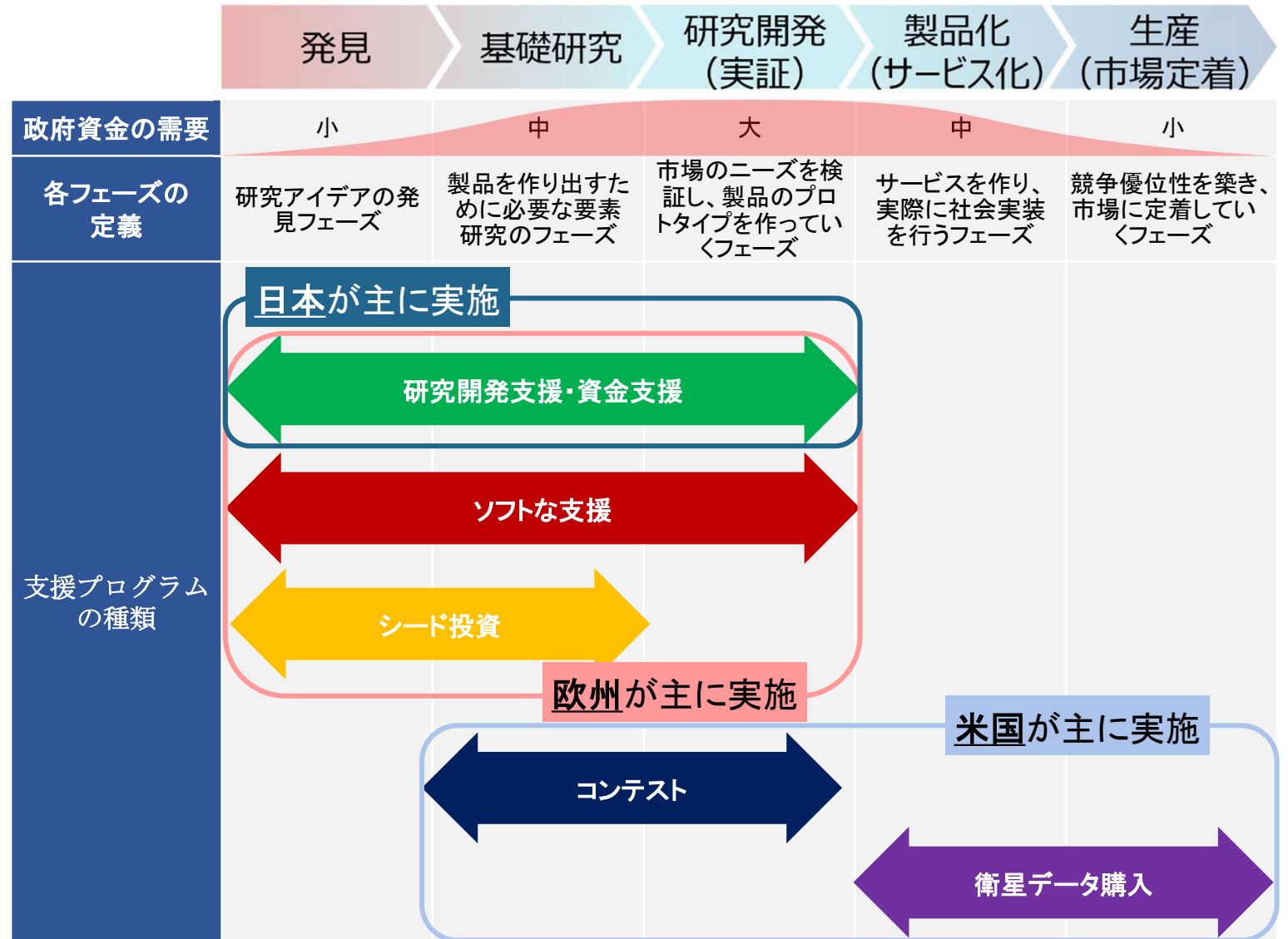


投資保証プログラム。投資保証を受けているVCファンドの枠組みとして、InvestEUが設立され、4つのVCが投資保証を受けている。スタートアップはこれらのファンドからは100万から5000万ユーロの投資を得られる。

出所) CASSINI

- 支援の手段・対象ステージについて、米国と欧州の傾向を比較する。
- 欧州は研究開発段階への支援が多く、米国は衛星データ購入など製品化段階への支援が多い。

- 各支援プログラムについて、支援の手段から分類すると5つに大別される
- 欧州では主に研究開発段階の企業を対象に研究開発に対する資金提供とアクセラレーションプログラムなどのソフトな支援を行っている。
- 米国は製品化段階の企業を対象に衛星データ購入制度等で支援を実施している
- 日本では研究開発への助成が中心である



・ 我が国でも導入しうる政策について考察

【既存の支援策の拡充】

- 政府による投資活動について、政府系金融機関が実証研究期以降の企業に対して投資を行っている。創業期に対する投資に政府系金融機関が参入することが考えられる。
- 新たな要素技術に対する支援としては、本調査結果から、SaaSやNRTを実現し、低レイテンシが求められることから、地上局の整備への支援が考えられる。

【新規の支援策の導入】

- ソフトな支援としては、英国で実施されているビジネス支援、欧州で行われているインキュベーション施設の設置や、欧州及び米国で行われているアクセラレーションプログラムの実施を我が国でも導入していくことも考えられる。
- データ購入について、米国のCSDAや欧州のCCMの様に研究者に無償で衛星データを提供してくことは我が国でも実施可能であると推察する。
- また、欧州のCASSINIや英国のカタパルトの様にワンストップでスタートアップに支援を行う制度や各種支援プログラム間での連携も求められる。

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

総論

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

10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

— 大型衛星と小型衛星の連携事例 —



- 時間分解能に優れる大型衛星と空間分解能に優れる小型衛星の連携が模索されている
- 官：大型衛星、民：小型衛星での官民連携も実施され、組合せデータがプロダクトとして公開されているものもある

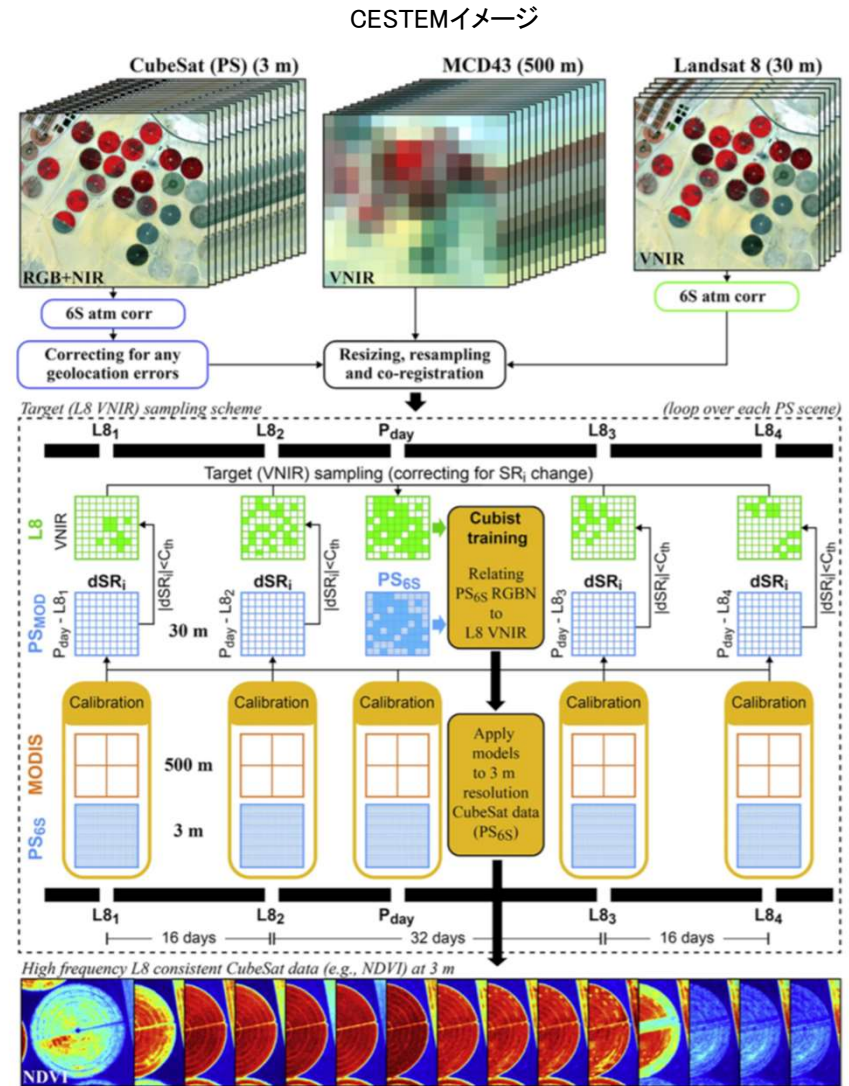
官：大型衛星、民：小型衛星での官民連携事例

No.	システム名 /プログラム名 /衛星組合せ内容	プログラム 主体	大型衛星	小型衛星	概要	ミッション状況
1	CESTEM (CubeSat Enabled Spatio Temporal Enhancement Method)	民	Landsat-8 (官)	FLOCK (民)	Landsat8/Terra/aqua(MODIS) の観測データを用いて、コンス テレーション内の衛星間データ 不整合を補正	Planet社公開の画像処 理プロセスより運用され ていると推定
2	Sentinel-2とFLOCK	民	Sentinel-2 (官)	FLOCK (民)	Sentinel-2データを用いてコン ステレーション内の衛星間デー タ不整合を補正	プロダクト提供情報なし
3	MSCM (Multispectral Companion Mission)	官	Sentinel-2 (官)	Aerospacelab社 衛星群(民)	ESAのIncubedにおける民間開 発ミッションであり、Sentinel-2 のマルチスペクトル画像の撮像 時期を補完しデータの価値を 向上	Aerospacelab社の小型 衛星が開発段階であり、 コンステレーションは未構 築
4	CHORUS	民	不明(官) ※RADARSATを 踏まえ開発	不明(民) 第3世代ICEYE-X を踏まえ開発	民間企業のコンステレーション 連携。XとC-SARの連携であり、 Tip&CueやAI/MLを活用した NRTデータ活用を実施	衛星の詳細情報や、具体 的なデータフュージョンに 関する情報なし
5	MANTIS (Mission and Agile Nanosatellite for Terrestrial Imagery Services)	官	※Copernicus programme にて提供されてい る各種データセット	MANTIS (民)	ESAのIncubedプログラムの中 で民間が超小型衛星プラット フォームを開発しCopernicus データとフュージョン	小型衛星コンステレー ションが未構築

— 大型衛星と小型衛星の連携事例 CESTEM —

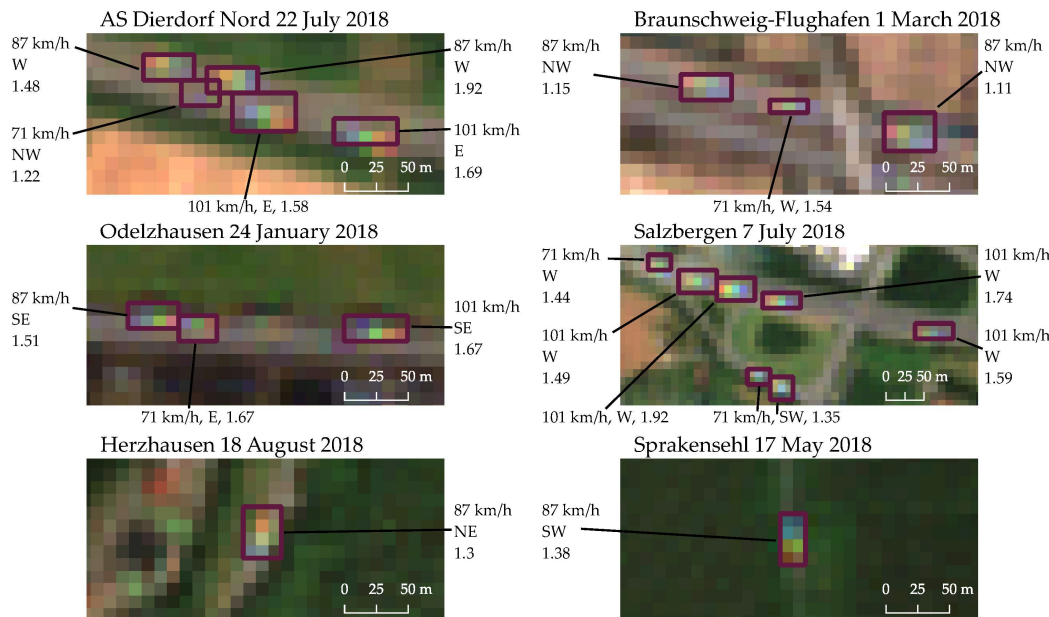
- 大型衛星の観測データを用いて、小型衛星コンステレーション内の衛星データ不一致を校正

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

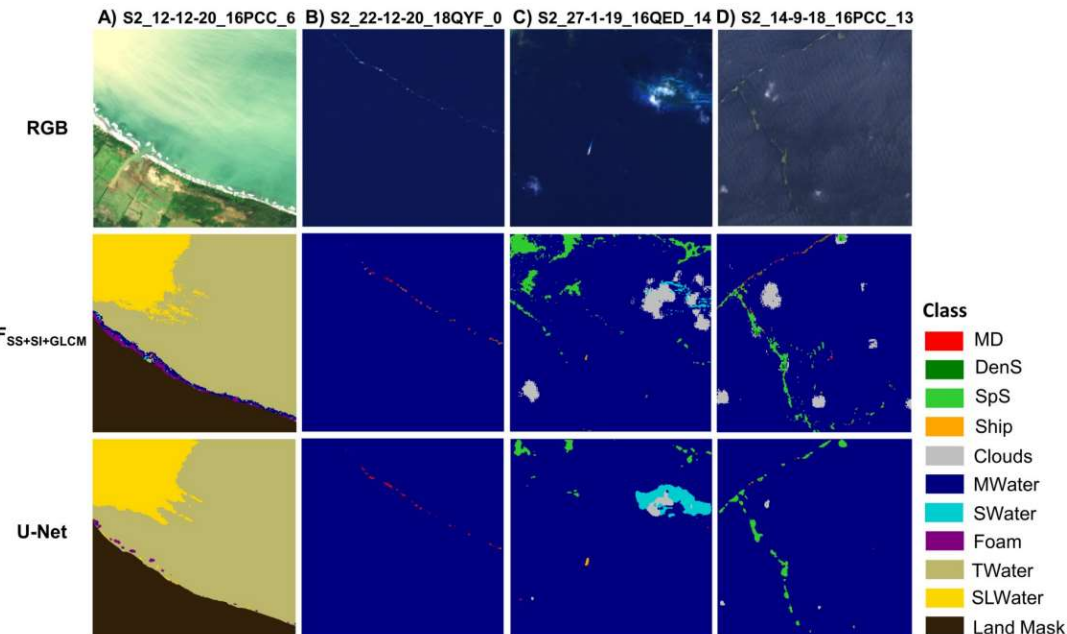


- 最も普及しているSentinel-2画像を用いた検知アルゴリズム開発が盛んとなっている
- 高い解像度の衛星データから物体を検知することも重要だが、解像度はそこまで高くないが入手しやすいSentinel-2画像からの検知が可能となれば、その利活用シーンは一気に広がるものと考えられる。
- このような背景もあり、様々な物体のSentinel-2ベースでの検知アルゴリズムが盛んに開発されている。
- 解像度が粗いとされるSentinel-2画像と地上の実データを組み合わせ、予測モデルを構築する事例が多い。さらに、画像と実データの組み合わせが蓄積されれば、精度は今後も上がり続けるものと考えられる。

トラック検出事例



海洋デブリ・構造物検出事例



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

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

- Spire社がGNSS-Rコンステレーションを企図している。このコンステレーションはGNSS-RO観測も可能としている。
- 測位衛星から放たれる信号の地面からの反射をキャッチするGNSS-R技術に関し、Spire社がコンステレーションと計画している。2種類のコンステレーションであり、片方は25機、もう片方は4機体制を企図している。
- Grazing-angle GNSS-RのほうはGNSS-RO観測も可能としている。

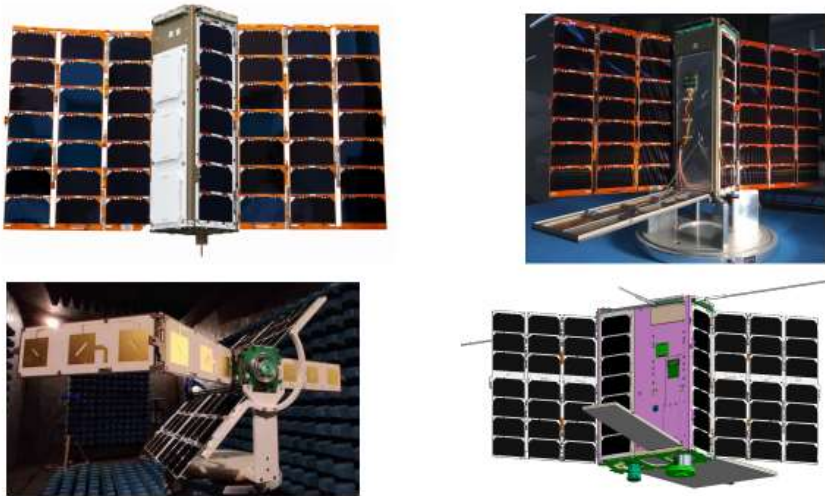


Figure 1. Spire GNSS observation satellites. (Top Left) GNSS-RO that also is used for grazing-angle GNSS-R. (Top Right) Near-nadir (NN-GNSS-R) Batch-1, (Bottom Left) Batch-2 and (Bottom Right) Batch-3.

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

出所：Spire

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

総論

- 小型衛星コンステレーションとセンサ
 - R4年度は、既に実績のあるコンステレーションやセンサを中心に網羅的に調査
 - R5年度は、試験段階ではあるが、将来重要なコンステレーションになりそうなもの(Mu-Sat, Copernicus Contributing Mission)を中心に調査
 - 以下の傾向があり、各社の違いは主にセンサ部となる
 - ✓ バス部はCubesatをはじめとする標準化されたプラットフォームを使用し、量産化が可能な体制
 - ✓ 多くの衛星でオンボードAI搭載
 - 今後は、分析能力に加え、小型衛星の製造能力についてもキャッチアップする必要あり
- データフュージョン・AI
 - IGARSS2023の発表件数を見るに、日本のプレゼンスは高くなく、引き続きキャッチアップが必要な分野
 - データフュージョンの課題として、どの処理段階におけるデータをフュージョンさせるべきか、という論点があったが、いまだ結論には至ってない模様

No	R4年度の調査項目	本報告のトピック
①	観測データ利活用に関する調査	○(衛星・センサ)
②	観測センサに関する調査	
③	センサフュージョンに関する調査	○(データフュージョン・AI)
④	新しい宇宙利用観測サービスの調査	
⑤	観測データの地上処理に関する調査	

- ESTOが支援していた次世代バイスタティックレーザーを搭載した衛星が2023年6月に打ち上げ
- ESTOが資金支援していた次世代バイスタティックレーダーレーザー(NGRx)を搭載した衛星Mu-Sat1が、Muon Space社により、2023年6月に打ち上げられた
- 同センサは、co-polar and cross-polar scattering signals(同極散乱信号と異極間散乱信号)の双方向を受信できる、初めてのセンサとされており、GNSS-Rの上位版と考えることができる。L-bandで取得できる植生下の土壌水分量などが取得できるため、気候変動分野での活躍が期待されている
- 今年度末にはMuSat2/3が予定されており、MuSat-2に関しては、宇宙天気情報を米軍に提供する予定



出所: Muon Space

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

— 衛星・センサ —

- Copernicus Contributing Missionで新たに衛星スタートアップ9社のデータが追加
- コペルニクスプログラムは、Sentinelシリーズの衛星データをオープン＆フリーで提供するプログラムであるが、この衛星データを補強するため、EC/ESA外の衛星データもContributing Missionという形で過去提供されてきた
- 民間衛星ベンチャーだとICEYE社が唯一同ミッションに組み込まれていたが、2023年に9社のベンチャーの衛星データが組み込まれることが発表された

Contributing Mission 参画衛星



出所: ESA

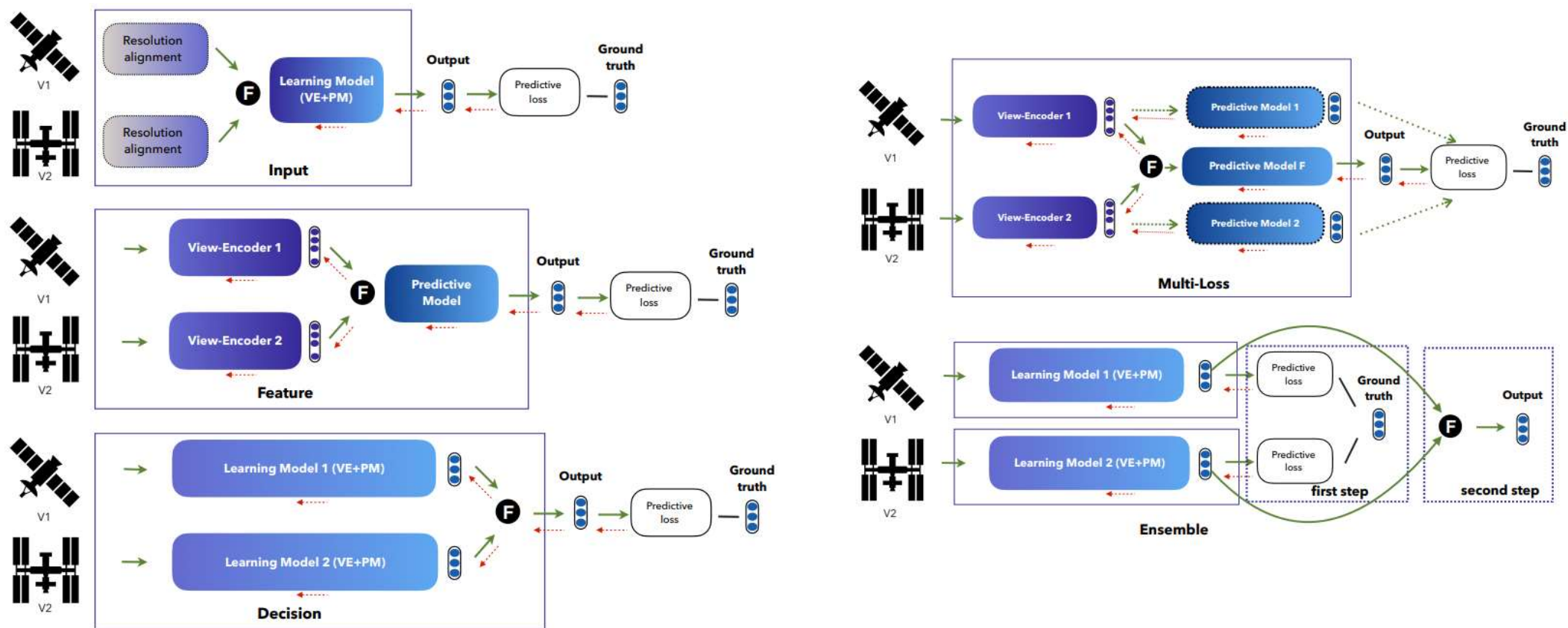
9つのスタートアップ

会社名	国	センサー・観測対象
AerospaceLab	ベルギー	マルチスペクトル
EnduroSat	ブルガリア	マルチスペクトル
KuvaSpace	フィンランド	ハイパースペクトル
Constellr	ドイツ	熱赤外線(農地・水)
OroraTech	ドイツ	熱赤外線(森林火災)
AisTech	スペイン	熱赤外線
Satlantis	スペイン	大気(メタン)
Prométhée	フランス	マルチスペクトル
Absolut Sensing	フランス	大気(メタン等)

令和 4 年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

— データフュージョン・AI —

- どの処理段階におけるデータフュージョンが望ましいか、という点は依然試行錯誤の状態
- 衛星データ処理には一次処理・二次処理・高次処理といった多数の処理段階があり、どの段階で2つの衛星データをフュージョンするか、といった論点がある。
- 下記は、Francisco Mena et alによる5種類のフュージョン方法であるが、どのフュージョンが望ましいかは結論がでていない。



出所：Francisco Mena et al 「A COMPARATIVE ASSESSMENT OF MULTIVIEW FUSION LEARNING FOR CROP CLASSIFICATION」 (2023)

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

① 中型・大型観測衛星の調査分析

② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析

③ SaaSに関する調査分析

④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析

⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析

⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術

令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

研究開発に関する戦略(案)のとりまとめ

調査結果総論と今後のアクションへの示唆

- 各調査項目における調査結果総論を踏まえ、今後のアクションへの示唆を整理した

調査項目	① 中型・大型観測衛星の調査分析	② 新たな観測センサ・観測技術に関する調査分析	③ SaaSに関する調査分析	④ 新たな衛星データ提供環境の調査分析	⑤ 国外における官需の観測衛星プログラムの調査分析	⑥ 10～20年後の日本の地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術の調査
主な論点	<ul style="list-style-type: none"> 小型コンステが流行する中、どのような目的・背景で中型・大型衛星が準備されているか それらを踏まえた上で我が国の中型・大型衛星はどのような開発を行うべきか 	<ul style="list-style-type: none"> vLEOやGNSS-ROが実現できている技術的な背景はどのようなものか それらを踏まえた上で我が国もこの領域の研究を実施すべきか 	<ul style="list-style-type: none"> 地球観測技術を用いたサービスにはどのような種類があり、それぞれどのような付加価値を提供しているか それらを踏まえた上で我が国はどの領域の研究を実施すべきか 	<ul style="list-style-type: none"> Near-Real-Time情報の活用用途およびそれらを実現する衛星コンステレーションのための伝送システムはどのようなものか それらを踏まえた上で我が国はどの領域の研究を実施すべきか 	<ul style="list-style-type: none"> 官需の観測衛星のためにどのような取り組みがなされているか それらを踏まえた上で我が国はどのような取り組みを実施すべきか 	<ul style="list-style-type: none"> 時間分解能向上や低レイテンシー実現するための衛星間連携とはどのようなものか 検知アルゴリズム/GNSS-R/熱赤外線衛星/ハイパースペクトル衛星の最新動向はどのようなものか
調査結果総論	<ul style="list-style-type: none"> 中型・大型衛星は官所有、官主導の研究用ミッションが多い。搭載センサも多く、物理量の観点からは小型衛星よりも優位なセンサを搭載。 日本は他国に対し打上げ計画数で劣後するが、「気候」「気象」「レーダー」にて強みあり。 	<ul style="list-style-type: none"> vLEO衛星開発では海外スタートアップ勢が先行するものの、日本は運用実績を保有 米国民間企業によるコンステレーションを中心にGNSS-ROデータが取得されているが、日本では利用が限定的で、数値予報作成には無償で入手可能 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星/地上局/衛星データ等の領域毎にas a service化が進んでいる 国内では個社単位で先進的な取り組みを行っているものの、全体的には欧米中に大きく劣後 	<ul style="list-style-type: none"> グローバルには気象関連/海洋水質/太陽光日射量等にNRTニーズあり 国内でも安全保障や災害対応等にニーズあり 日本のSAR衛星コンステは分解能・機数で欧米に対し多少劣後するが、世界有数レベル 	<ul style="list-style-type: none"> 我が国でも行われている研究開発支援制度の他に、欧米ではデータ購入を中心としたアンカーテナンシーや、創業期に対する資金面以外のソフトな支援策を整備。 	<ul style="list-style-type: none"> 大型・小型衛星の役割分担を明確にした連携が各国で検討中 低解像度・フリーなデータと地上データ等による検知アルゴリズムの開発が実施 L-bandと同等の観測が可能なGNSS-Rによるコンステレーション構築が企図
今後のアクションへの示唆	<ul style="list-style-type: none"> 日本の強みである分野に引き続き注力するとともに、小型衛星との官民連携により機数の不足を補いつつ、性能補完や解析向上を行い、提供サービスの質の向上が必要 マネタイズ困難、民側のリスクが高いミッション中心 	<ul style="list-style-type: none"> 他国に先行するvLEO実績を活用・継承し、差別化を意識した官民連携による光学衛星開発に注力 GNSS-ROは重要ではあるがデータ利用が限定的で無償で入手可能なため優先度は劣後 	<ul style="list-style-type: none"> 資金的なディスアドバンテージも踏まえ、日本の地理的特性を活かしたas a serviceの開発が肝要 	<ul style="list-style-type: none"> 災害等の日本固有の特性やニーズ領域に絞った上で、日本の強みであるSAR衛星の開発・運用し、画像提供フロー全体でのNear-Real-Timeの達成に注力 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星データ調達制度の導入やソフトな支援策の導入について検討 国外支援策を参考として、複雑化する支援策同士の連携体制の構築が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 大型衛星と小型衛星との連携の推進が必要 衛星解析の質向上につながる検知アルゴリズムの開発への注力が必要 L-bandSARと同等の状況把握が可能なGNSS-Rの動向に注視が必要

日本の強み・弱み

- 大半の分野・領域では他国に劣後するものの、幾つかの分野・領域ではプレゼンス発揮の可能性があり、当該分野をいかに守り、いかに伸ばすかが重要である

領域		強み・弱み		研究開発の方向性	
中型・大型観測衛星	中型・大型衛星開発	○	<ul style="list-style-type: none"> 打上げ計画数が他国に劣後するものの、「気候」「気象」「レーダー」の分野において衛星機数、センサ、観測物理量等で他国に先行 	<ul style="list-style-type: none"> 強みとなる分野にて他国に抜かされないことが先決 民間小型衛星との官民連携で性能補完や解析向上を行うことで提供サービスの質の向上を図る マネタイズ困難・リスク高ミッションなど民側とのデマケを実施 	
	新たな観測センサ・観測技術	○	<ul style="list-style-type: none"> vLEO衛星開発は、海外スタートアップを中心に進み、日本は劣後 日本のみがvLEOでの衛星運用実績を保有しており、その活用が強み 		
SaaS	オカルテーション	×	<ul style="list-style-type: none"> GNSS-ROセンサを搭載した衛星を保有しておらず他国に対し圧倒的劣後 	<ul style="list-style-type: none"> vLEOでは、SLATSの実績を継承・活用しつつ、衛星連携や光学以外のセンサ搭載など他国との差別化を意識した開発 GNSS-ROデータは用途・ユーザーが限定的であり、天気予報では無償でデータ入手も可能なためキャッチアップの優先度は劣後 	
	SaTaaS	大規模コンステレーション構築/運用	△		<ul style="list-style-type: none"> メガコンステレーションはPlanet、Spire等米国の独壇場 SARコンステレーションではSynspective等が国内に存在
		LEO-GEO/MEO-地上局通信NW	△		<ul style="list-style-type: none"> Viasat等が先行しているが、国内にもWARPSpaceやSpace Compass等が追随
		「ソフトウェア定義衛星」の開発/運用	×		<ul style="list-style-type: none"> Spireは既にサービス化している一方、国内は大きく劣後
	GSaaS	大規模地上局NW構築	×		<ul style="list-style-type: none"> KSAT、SSCなどの海外企業の独壇場
		既存地上局のシェアリング	△		<ul style="list-style-type: none"> ハードはKSAT、SSC等の独壇場 シェアリングのためのソフトウェア/ミドルウェアではinfostellar等の国内企業が先進的
		クラウドPF上でのデータ管理/API等によるデータ提供	×		<ul style="list-style-type: none"> AWS、Microsoft等の海外メガプラットフォームの独壇場
	SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供	×		<ul style="list-style-type: none"> 技術は圧倒的に欧米中に劣後 国内企業が海外企業と協業でグローバル市場に参入した例はあるが、稀
		解析PF提供	×		<ul style="list-style-type: none"> 官民の多様なデータ整備で圧倒的な差がある

【凡例】

- ：現状の官による支援を継続して実施する等により将来的に世界レベルでのプレゼンスを発揮できる可能性あり
 - △：海外勢に劣後する分野・領域であり、将来的にプレゼンスを発揮するためには、これまでの延長線上には無い積極的かつ大胆で新たな官による支援・介入等が必要
 - ×
- ×：海外勢に大きく劣後する分野・領域であり、キャッチアップするには相当な労力が必要、又は、他の分野・領域に注力すべき

日本の強み・弱み

- 大半の分野・領域では他国に劣後するものの、幾つかの分野・領域ではプレゼンス発揮の可能性があり、当該分野をいかに守り、いかに伸ばすかが重要である

領域		強み・弱み		研究開発の方向性
新たな衛星データ提供環境	Near-Real-Time	○	<ul style="list-style-type: none"> 光学衛星は他国に対し劣後するが、SAR衛星の仕様は世界有数レベルであり、Near-Real-Timeを狙える位置にある 	<ul style="list-style-type: none"> 日本の強みであるSAR衛星を中心に、災害等の日本固有の特性や領域に絞ったうえで、早期のコンステレーション構築や画像提供フロー全体でのNRTに向けた改善を実施
	創業支援/研究開発支援/アンカーテナンシー	△	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発支援制度はSBIRを中心として、既に整備済み 創業支援・アンカーテナンシーについては、大きく劣後 支援策同士の連携についても不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 創業支援の導入で研究開発を行う企業数を増やし、アンカーテナンシー制度の導入で、スタートアップの成長を促進。
地理的及び環境的なリスクの低減に資する技術	大型・小型衛星連携	×	<ul style="list-style-type: none"> 他国を中心に大型衛星と小型衛星のデマケーションを明確にした連携が検討 	<ul style="list-style-type: none"> 官主導の中型・大型衛星と民主導の小型衛星との官民連携ミッションを構築し、打上げ予定機数の少なさをカバーし、性能補完や解析向上を行う事で提供サービスの質の向上を図る ダウンストリーム側における衛星データ・解析の質向上につながる検知アルゴリズムについて、日本の状況も踏まえ注力が必要 日本の強みであるL-bandSARと同様の情報が取得可能なGNSS-Rについては他国の動向に注視が必要
	検知アルゴリズム	×	<ul style="list-style-type: none"> 他国を中心にSentinel-2のような解像度が粗いが無料の衛星画像を基に、画像精度以上に細かいものを検知するアルゴリズム構築が開発される 	
	GNSS-R	×	<ul style="list-style-type: none"> NASAによるCYGNSSやSpireなど他国を中心にコンステレーションが構築されており、大きく劣後 	
令和4年度調査項目	観測データ利活用・観測センサ	×	<ul style="list-style-type: none"> NGRxやMS/HS/IR等のセンサは海外民間企業でも開発されており大きく劣後 衛星製造能力の点においても大きく劣後 	<ul style="list-style-type: none"> アップストリーム側では多額の費用が必要となるため、選択と集中により投資する分野を明確化する必要がある 衛星製造能力についても今後キャッチアップが必要 データフュージョンは、衛星データの質向上、示唆導出において重要な項目であり、早急なキャッチアップが必要
	センサフュージョン	×	<ul style="list-style-type: none"> データフュージョンについては各国試行錯誤の段階であるものの、国際会議等発表数では他国に大きく劣後 	

【凡例】

- ：現状の官による支援を継続して実施する等により将来的に世界レベルでのプレゼンスを発揮できる可能性あり
 - △：海外勢に劣後する分野・領域であり、将来的にプレゼンスを発揮するためには、これまでの延長線上には無い積極的かつ大胆で新たな官による支援・介入等が必要
 - ×
- ×：海外勢に大きく劣後する分野・領域であり、キャッチアップするには相当な労力が必要、又は、他の分野・領域に注力すべき

戦略マップ(案)

- 日本の衛星関連ビジネスが産業として持続可能な状態となるためには、アップストリームからダウンストリームにかけて、衛星から取得可能な情報の量・質の双方で改善が必要

目標

日本の衛星関連ビジネスが産業として持続可能な状態

財務

売上拡大
収支・便益がプラス
低コスト

顧客

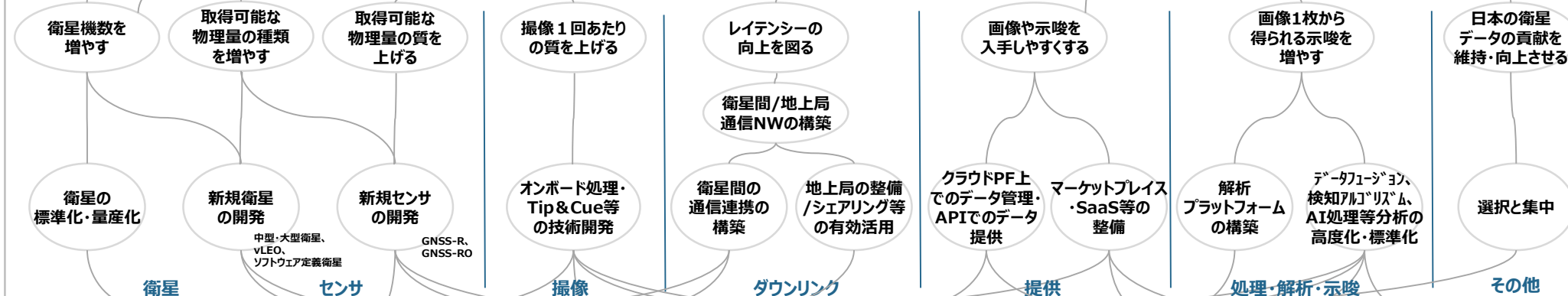
日本の衛星データを用いた分析が十分な数の顧客産業の意思決定やビジネス実行に貢献

地上データのみ
分析と比べ、上記の事項に貢献し、且つ、入手しやすい

海外衛星データのみ
分析と比べ、上記の事項に貢献し、且つ、入手しやすい

センサ：L-band SAR/VIS-IRイメージャ (GEO) /雲・降水量センサ
物理量：降水量/雲粒/降水強度/エタン等化学物質/太陽磁場等

プロセス



組織・研究

民間資金の供給
官民連携による官実績・技術の民間への継承
官民資金による研究開発
知財保有者のインセンティブ設計
国内外の衛星保有者・分析者エンドユーザーの連携
国内外の非宇宙産業との連携

ハード+ソフトの支援による、あらゆるステージの企業に対する隙間の無い支援

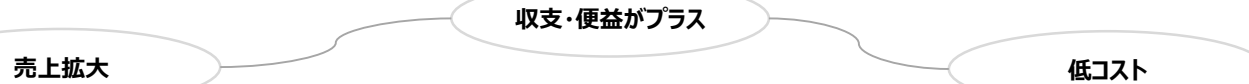
アクションプラン(案)の基本的な考え方

- 量: 元手となる資金が必要であり、国際的な協業や、官民連携による「協業」の実施が望ましい
- 質: 日本の強みとなる分野やダウンストリーム側を中心に早急なキャッチアップが必要
- 「量」を急速に増やすことができない日本が、「質」まで他国に劣後すると、取り返しのつかない状態となる

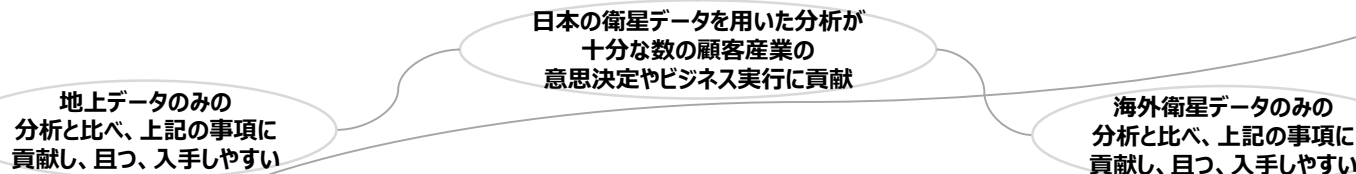
目標

日本の衛星関連ビジネスが産業として持続可能な状態

財務

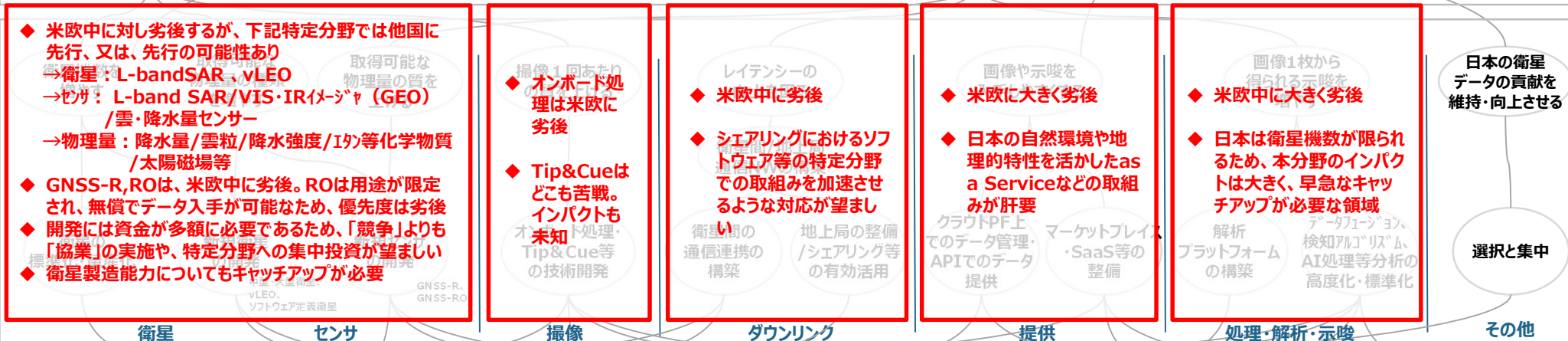


顧客

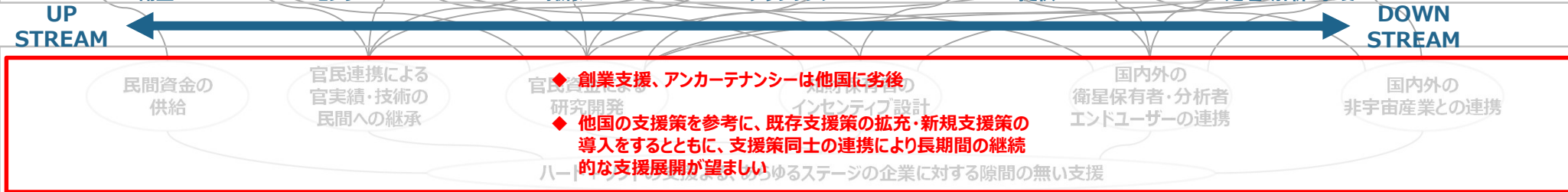


センサ: L-band SAR/VIS-IRイメージャ (GEO) / 雲・降水量センサー
物理量: 降水量/雲粒/降水強度/エタン等化学物質/太陽磁場等

プロセス



組織・研究



アクションプラン(案)に関するレコメンデーション

- まずは本検討にて抽出した日本の強みを踏まえ、優位性を保持するなどの選択と集中の方針策定が必要
- 「量」の向上に向けては、衛星の標準化・量産化が必要であり、国際協業が重要
- 「質」の向上に向けては、①他国との差別化を図る新規衛星開発、②センサの質向上・新規開発、③画像提供フロー全体の向上、④データフュージョン、検知アルゴリズム、AI処理等による示唆導出の高度化、などの様々な方向が存在

技術開発の点で特に重要

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

