



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」

中間報告(概要版)

2023年9月

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

今後の展開(最終報告にむけて)

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

本中間報告の全体像

- ・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

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

今後の展開(最終報告にむけて)

総論

- 中型・大型衛星に関する打上げ機数、ミッション、衛星軌道、センサ、衛星所有者、小型衛星との連携の観点から整理
- 日本の中型・大型衛星は、他国の傾向同様に、官による所有となる。衛星打上げ数では中国、ロシア、欧米、インドに劣後するものの、「気候」に関するミッションでは、打上げ数は他国に先行する
- 他国では、センサ性能の補完・データフュージョンを目的とした大型観測衛星と小型観測衛星との連携取組みが開始されている。日本では、異常気象や気候変動に関する調査を実施するNASA主導のAOSプログラムに取り組むが、大型・小型衛星連携かどうかは現時点では不明

【今後の検討内容】

- 中型・大型衛星の傾向を踏まえ、特に日本の強みが仮説として想定される環境・気象分野を中心に、事例、衛星開発、センサ等動向について、引き続き検討予定

- 中・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

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 運用寿命が長いこと、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

- 本検討の調査対象としてSeradata社のSpace Trackを用いて、以下の基準を基に、55機関と、245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(2013~2022年)及び2023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
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 解像度5m未満)Geodesy (測地)Ocean Surveillance (海上監視)Oceanographic / Ocean Monitoring (海洋学/海洋モニタリング)Radar (レーダー)Radar / Optical Calibration (レーダー/光学キャリブレーション)Remote Sensing (>5m res) (リモートセンシング 解像度5m以上)Seismic / Volcano Monitoring (地震/火山監視)

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、2023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
- 日本は打上げ総数、特に2023年以降の計画値において、他国に劣後

順位	衛星所有国	2013～ 2022	2023～	合計
1	中国	58	19	77
2	ロシア	8	18	26
3	ヨーロッパ(EC/EU)	7	18	25
4	インド	11	12	23
5	アメリカ	11	10	21
6	ドイツ	4	11	15
7	国際機関(ESA、NASA・CNES、NASA/ISRO等)	6	5	11
8	日本	7	2	9
8	韓国	5	4	9
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(機関別)

- 機関別では、EU/EC、ISROが上位となるが、上位10機関のうち、中国が3機関・54機となり他国に先行
- 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、2023年以降の計画値が他国に劣後

順位	衛星所有者	国籍	2013~ 2022	2023~	合計	主な中型・大型衛星
1	EU/EC - European Union/European Commission	EU	6	18	24	SENTINELシリーズ
2	ISRO - Indian Space Research Organisation	インド	11	12	23	CARTOSAT, RESOURCESAT, EOS, INSATシリーズ
3	SASTIND - State Administration for Science, Technology and Industry for National Defense	中国	20	0	20	GAOFENシリーズ
4	Chinese Ministry of Natural Resources (MNR)	中国	10	8	18	ZI YUAN, HAI YANGシリーズ
5	China State Meteorological Administration	中国	7	9	16	FENG YUNシリーズ
6	EUMETSAT	ロシア	4	11	15	METOP, MTGシリーズ
7	Roscosmos State Corporation	ドイツ	3	11	14	METEOR, OBZOR, RESURSシリーズ
8	NOAA - National Oceanic & Atmospheric Administration	アメリカ	6	3	9	GOES, JPSSシリーズ
9	Maxar Technologies Inc.	アメリカ	1	6	7	World View Legionシリーズ
9	Roshydromet (Russian Weather Service)	ロシア	3	4	7	ARKTIKA, ELEKTROシリーズ
11	JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency	日本	4	2	6	ALOS, GOSAT シリーズ
11	KARI - Korea Aerospace Research Institute	韓国	3	3	6	CAS500, KOMPSATシリーズ

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 - 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」、「海洋学/海洋モニタリング」の順で大半を占め、その他用途は非常に少ない
- 特に「気象」、「海洋学/海洋モニタリング」のミッションは増加傾向にある
- 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

主なミッション	2013~2022	割合	2023~	割合	合計	割合
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	2	1.5%	1	0.9%	3	1.2%
Climatology 気候	4 (3)	3.0%	2 (1)	1.8%	6 (4)	2.4%
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像 (解像度5m未満)	44	32.8%	37	33.3%	81	33.1%
Geodesy 測地	2	1.5%	0	0.0%	2	0.8%
Meteorological 気象	26 (2)	19.4%	31	27.9%	57 (2)	23.3%
Ocean Surveillance 海上監視	1	0.7%	1	0.9%	2	0.8%
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋学/海洋モニタリング	9	6.7%	12	10.8%	21	8.6%
Radar レーダー	23 (2)	17.2%	19 (1)	17.1%	42 (3)	17.1%
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング (解像度5m以上)	22	16.4%	7	6.3%	29	11.8%
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	1	0.7%	1	0.9%	2	0.8%
合計	134 (7)	100.0%	111 (2)	100.0%	245 (9)	100.0%

※括弧内は日本の値

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 - 主なミッションと衛星軌道(高度)

- 衛星軌道は8割以上をLEO(地球低軌道)が占め、残りの大半がGEO-GSO(静止軌道)
- GEO(静止軌道)は「気象」ミッションがそのほとんどを占める
- 日本の衛星は、全体と同様の傾向

主なミッション	地球低軌道							楕円軌道	ラグランジュ	静止軌道	合計
	≤400km	400-600km	600-800km	800-1000km	1000km ≤	不明	小計				
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	1	0	1	0	0	1	3	0	0	0	3
Climatology 気候	0	(1)	(1)	(1)	0	(1)	(4)	0	0	0	6
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像 (解像度5m未満)	1	17	24	1	0	34	77	0	1	3	81
Geodesy 測地	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Meteorological 気象	0	1	0	8	0	14	23	3	0	31 (2)	57 (2)
Ocean Surveillance 海上監視	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	2
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋学/海洋モニタリング	0	1	1	6	1	12	21	0	0	0	21
Radar レーダー	0	(1)	(1)	0	0	(1)	(3)	0	0	0	42
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング (解像度5m以上)	1	11	8	1	0	7	28	0	0	1	29
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	2
合計	3	44 (2)	51 (2)	17 (1)	2	89 (2)	206 (7)	3	1	35 (2)	245 (9)

※括弧内は日本の値
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 - 主なミッションと衛星軌道(詳細)

- LEOでは8割以上が太陽同期軌道、次いで標準軌道、極軌道
- 日本の衛星は、全体と同様の傾向

主なミッション	地球低軌道				楕円軌道	ラグランジュ	静止軌道	合計
	極軌道	標準軌道	太陽同期軌道	小計	モルニヤ軌道	L1 (太陽-地球間)	GEO	
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	0	1	2	3	0	0	0	3
Climatology 気候	0	1 (1)	5 (3)	6 (4)	0	0	0	6 (4)
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像 (解像度5m未満)	0	12	65	77	0	1	3	81
Geodesy 測地	2	0	0	2	0	0	0	2
Meteorological 気象	1	1	21	23	3	0	31 (2)	57 (2)
Ocean Surveillance 海上監視	0	2	0	2	0	0	0	2
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋学/海洋モニタリング	0	4	17	21	0	0	0	21
Radar レーダー	0	4	38 (3)	42 (3)	0	0	0	42 (3)
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング (解像度5m以上)	1	0	27	28	0	0	1	29
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	0	0	2	2	0	0	0	2
合計	4	25 (1)	177 (6)	206 (7)	3	1	35 (2)	245 (9)

※括弧内は日本の値
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 - 主なミッションと搭載センサ

- 「測地」、「気象」、「海洋監視」等のミッションは、センサが複数種類搭載され、その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	地球観測/画像(解像度5m未満)	測地	気象	海洋監視	海洋学/海洋モニタリング	レーダー	リモートセンシング(解像度5m以上)	地震/火山モニタリング	
機数	3	6 (4)	81	2	57 (2)	2	21	42 (3)	29	2	
機数(搭載センサ:単一用途)	1	2 (1)	47	0	0	0	3	28 (2)	21	0	
機数(搭載センサ:複数用途)	0	3 (2)	8	2	53 (2)	2	14	3 (1)	0	0	
機数(搭載センサ:不明)	2	1 (1)	26	0	4	0	4	11	8	2	
平均搭載センサ数※センサ不明機体を除く	1.0	1.6	1.7	3.0	6.2	5.0	3.1	1.1	2.3	—	
受動	光学	中解像度イメージャ	0	3	9	0	51	0	14	0	0
受動	光学	高解像度イメージャ	0	0	57	0	2	0	0	2	46
受動	光学	クロスナディア短波長サウンダー	0	1	9	0	16	0	0	0	0
受動	光学	クロスナディア赤外サウンダー	0	2	0	0	27	0	0	0	0
受動	光学	光学イメージャ	0	0	0	0	14	0	0	0	0
受動	光学	広域放射収支計	0	0	2	0	7	0	0	0	0
受動	光学	太陽放射照度計	0	0	0	0	6	0	0	0	0
受動	マイクロ波	円錐型マイクロ波放射計	0	1	1	0	13	0	2	1	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	2	0	19	4	11	0	0
-	-	リムサウンダー	0	0	3	0	4	0	0	0	0
能動	光学	ライダー	1	0	1	0	0	0	0	0	1
能動	マイクロ波	雲/降雨レーダー	0	1	1	0	1	0	0	0	0
能動	マイクロ波	マイクロ波散乱計	0	0	0	0	5	0	8	0	0
能動	マイクロ波	マイクロ波高度計	0	0	1	0	0	2	13	0	0
能動	マイクロ波	SAR	0	0	5	0	2	0	2	30	1
能動	マイクロ波	GNSS-RO	0	0	0	2	13	2	0	2	0
-	-	太陽活動モニター	0	0	0	0	39	0	0	0	0
-	-	太陽放射照度モニター	0	0	0	0	6	0	0	0	0
-	-	宇宙放射計/分光計	0	0	0	0	10	0	0	0	0
-	-	高エネルギー粒子分光計	0	0	2	0	70	2	2	0	0
-	-	フィールド/電波センサー	0	0	1	0	24	0	0	0	0
-	-	重力センシング	0	0	0	4	0	0	0	0	0

※括弧内は日本の値
出所) Seradata社データベース・OSCAR基にDB作成

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)



- 主なミッションに関わらず、行政機関、国有企業等の官側による衛星所有が9割以上占める
- 民側による衛星所有は「地球観測/画像」、「レーダー」、「リモートセンシング」
- 日本では、JAXA、JMA等の官側が中心となる

主なミッション	官	官/民	民	合計
Atmospheric/Aeronomy Research 大気/航空研究	3	0	0	3
Climatology 気候	6 (4)	0	0	6 (4)
Earth Observation/Imaging (<5m res) 地球観測/画像 (解像度5m未満)	65	1	15	81
Geodesy 測地	2	0	0	2
Meteorological 気象	57 (2)	0	0	57 (2)
Ocean Surveillance 海上監視	2	0	0	2
Oceanographic/Ocean Monitoring 海洋学/海洋モニタリング	21	0	0	21
Radar レーダー	40 (3)	1	1	42 (3)
Remote Sensing (>5m res) リモートセンシング (解像度5m以上)	25	0	4	29
Seismic/Volcano Monitoring 地震/火山モニタリング	2	0	0	2
合計	223 (9)	2	20	245 (9)

※括弧内は日本の値
出所) Seradata社データベースよりDB編集

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)	民間のデータフュージョン手法
2	Sentinel-2とFLOCK	民	Sentinel-2(官)	FLOCK(民)	民間のデータフュージョン
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
4	Sentinel-3とFLEX	官	Sentinel-3(官)	FLEX(官)	ESAのプログラム
5	CHORUS	民	RADARSAT-2(官)	ICEYE-X(民)	民間企業のコンステレーション連携
6	AOS (Atmosphere Obseving 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		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	Landsat Next	官	Landsat-9(官)	Landsat Next(官)	NASAとUSGSのプログラム
8	Sentinel-5とTango	官	METOP-SG(官)	Tango(官)	ESAのSCOUTプログラム向けに民間が小型衛星を開発
9	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
10	AWS(Arctic Weather Satellite)	官	MetOp-SG(官)	Arctic Weather Satellite(官)	ESAが超小型気象衛星コンステレーションを開発

- 他国と比較し、衛星数、大型・小型衛星連携で劣後
 - 日本が衛星を所有する「気候」を中心とした環境・気象分野での強みが想定されるため、引き続き検討を実施
- 中国、ロシア、欧米、インド等と比較し、打上げ衛星数や大型・小型衛星連携で劣後
 - 「気候」に関するミッションにおいて、衛星打上げ数で他国に先行
 - 「気候」を中心とした環境・気象分野での強みが想定されるが、中型・大型衛星によるグローバルベースの広範囲での観測・分析は、それ単体では商業利用に直結しづらいため、今後の利用拡大に向けては、民間企業の経済活動と連携する必要がある
- 【今後の検討内容】
- 中型・大型衛星の傾向を踏まえ、特に日本の強みが仮説として想定される環境・気象分野を中心に、事例、衛星開発、センサ等動向について、引き続き検討予定

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

今後の展開(最終報告にむけて)

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
- 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
 - ✓ 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の構築が開始された。SLATSの実績を継承し他国との差別化を意識した衛星開発が期待される

- 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量の低減
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	特許取得済みの独自の材料等含んだ衛星構成(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	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

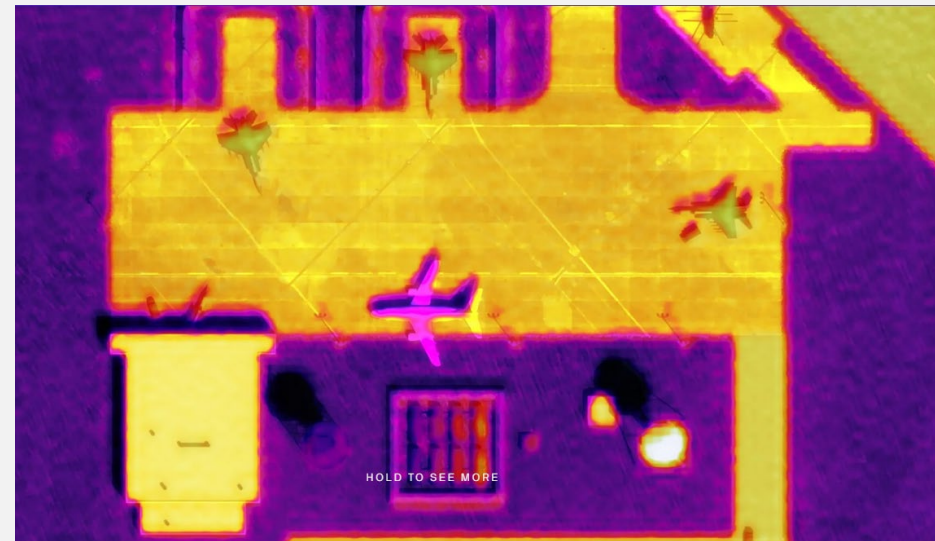
- Albedoは、2020年に設立された衛星製造企業であり、2021年12月にはNOAAから解像度10cmの商用画像販売許可を獲得した
- シードラウンド(10m\$)、シリーズAラウンド(48m\$)にて資金調達を行っており、2025年に1機目を打上げ、2027年には24機のコンステレーションを構築予定
- 他社とは異なる点として、可視光センサ(解像度10cm)だけでなく、熱赤外センサ(解像度2m)を搭載した衛星を計画
- 太陽光発電、農業、都市開発、保険・投資、サプライチェーン、サステナビリティ・ESG、安全保障など様々な分野でのサービス提供が想定される

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)

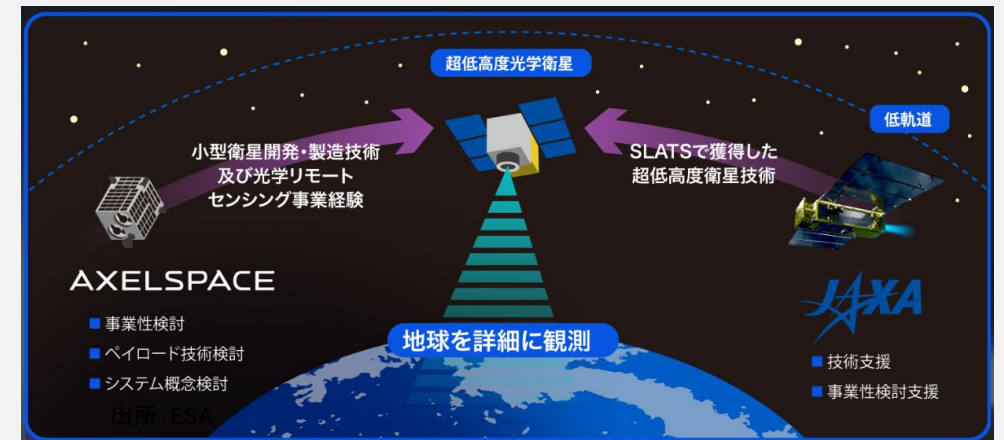
- JAXAは2017年に打ち上げたSLATSにて、他国に先行して実績を保有しており、今後は、SLATS技術を活用したvLEOでの光学リモートセンシング事業モデルの構築を目指す

- 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	Thales Alenia Space UK QinetiQ Space N.V. ESA	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)	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	Kobe University	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	Orbit Fab	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	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	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	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バーに入り、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。

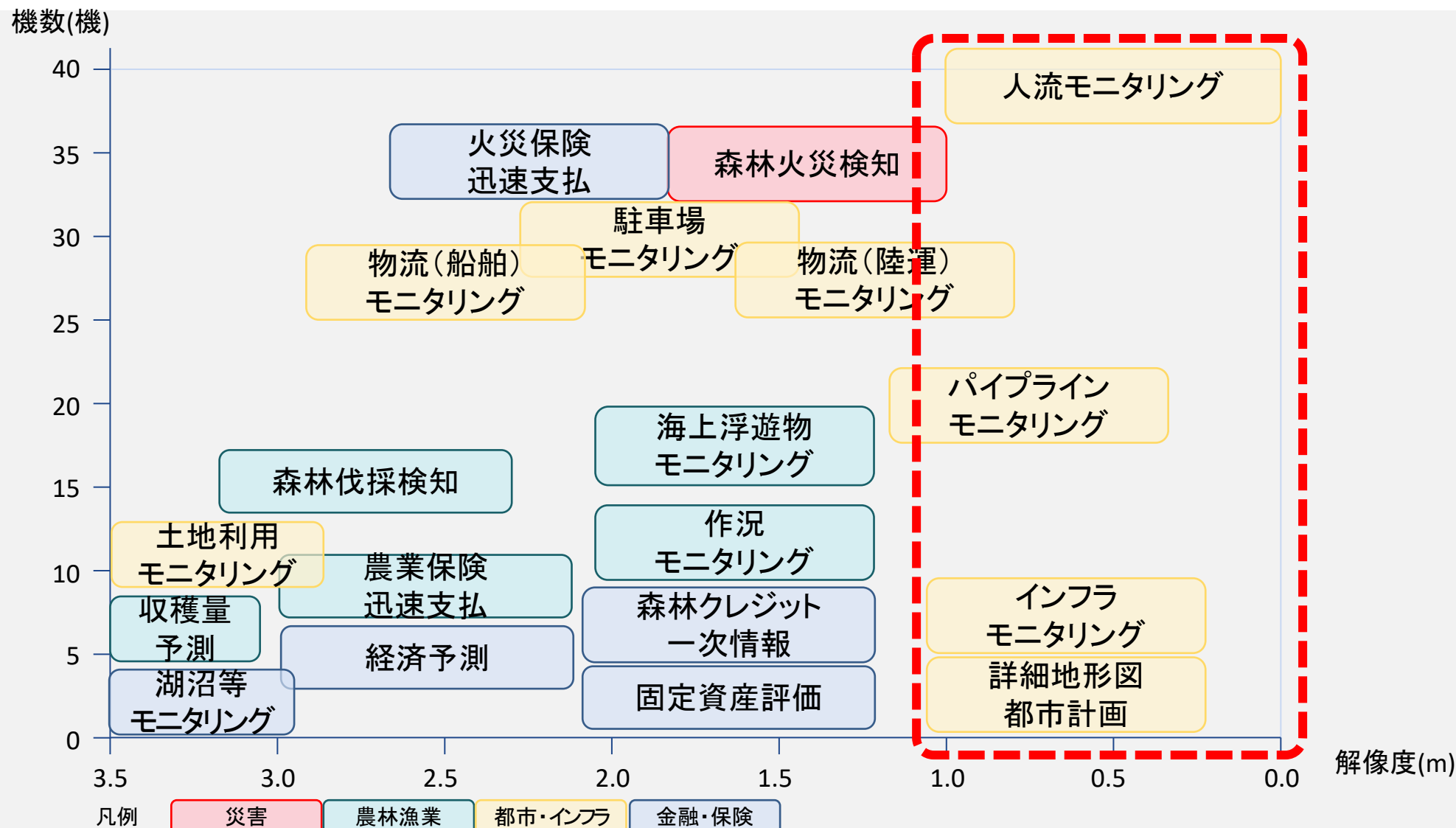
vLEOにおける衛星運用に関する課題・特徴と対応

- 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"> バス部(本体)形状により大気抗力が変わる 	<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
		<ul style="list-style-type: none"> 大気抗力により姿勢・軌道制御が困難 	<ul style="list-style-type: none"> 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"> 大気抗力や重力による減衰を補償できる推進力が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 十分な推進力を持つスラスタの搭載
		<ul style="list-style-type: none"> 運用期間長期化のために十分な量の燃料が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 低軌道による超高解像度を活かした光学センサが主流 超高解像度のため衛星の強みである観測幅の広域性が若干低下する 	—	
外装等材料	<ul style="list-style-type: none"> 原子状酸素(AO)による外装材等材料の劣化 	<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



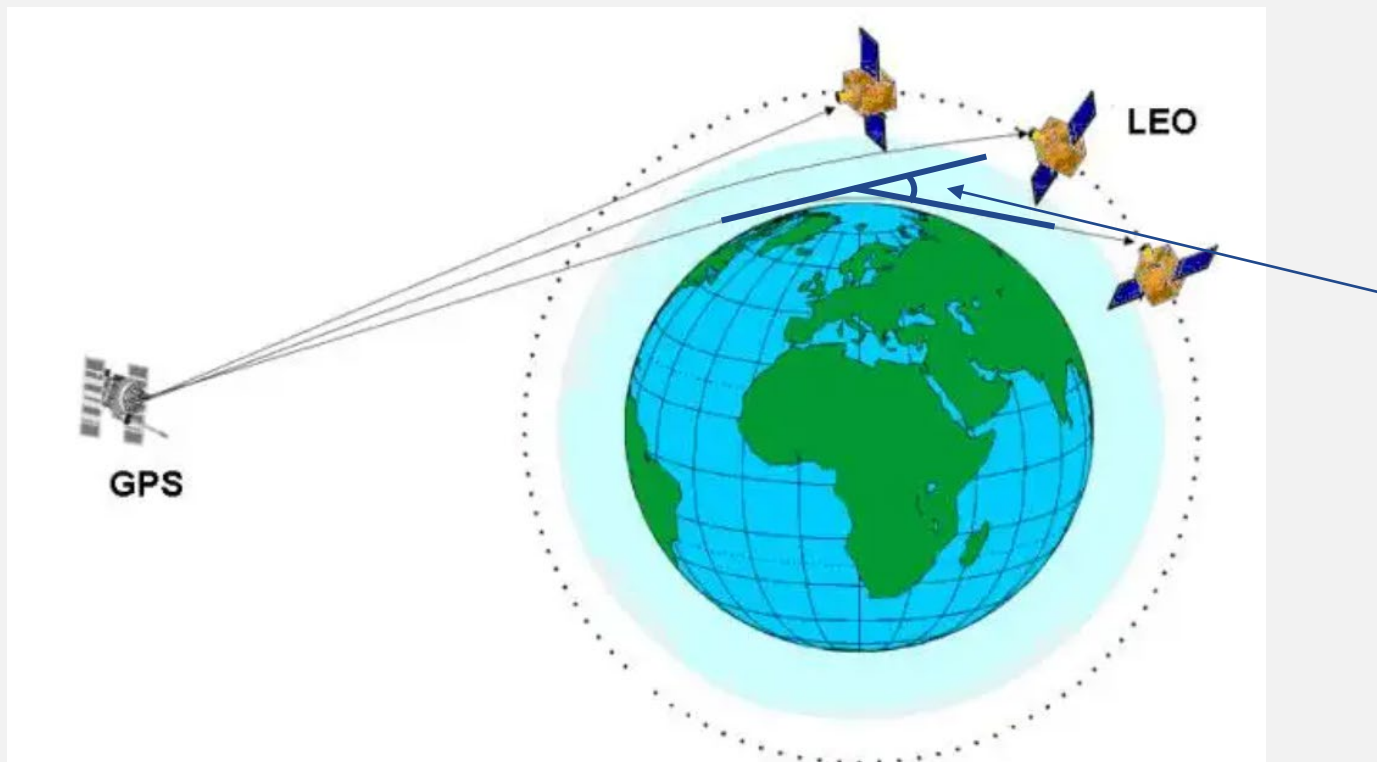
出所: 利用シーンのプロットはSeraData社データベース、各社HP、Satellogic社資料などを参考にDB作成

- 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
- 「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) しており、日本の強みとなっている
- 一方で、今後、vLEOにて運用する衛星の開発については、海外スタートアップを中心に開発が盛んであり、2023年～2025年にかけて打上げが予定されており、欧米・中国に劣後している
- J-SPRACにおいて、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。SLATSの実績を継承し、先行する他国との差別化を意識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

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
- GNSS-ROセンサ搭載衛星の特徴には官民の間で大きな差があり、GNSS-ROデータの取得をメインミッションとするかどうかによるところが大きい
- 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が、日本において類似のソリューションが作成・提供されている事例がある
- 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
- 上記状況も考慮し、GNSS-RO技術について日本がキャッチアップすべきかどうかについては、引き続き検討

- 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12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 Meteor-MP N2	Roscosmos	Radio occultation instrument for Meteor-MP	ARMA-MP	2025	温度・湿度・地表	—	—	—
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 Sentinel-6B	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 -3	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

出所) OSCARを基にその他デスクトップ調査を踏まえDB編集

GNSS-ROセンサを搭載した衛星の特徴

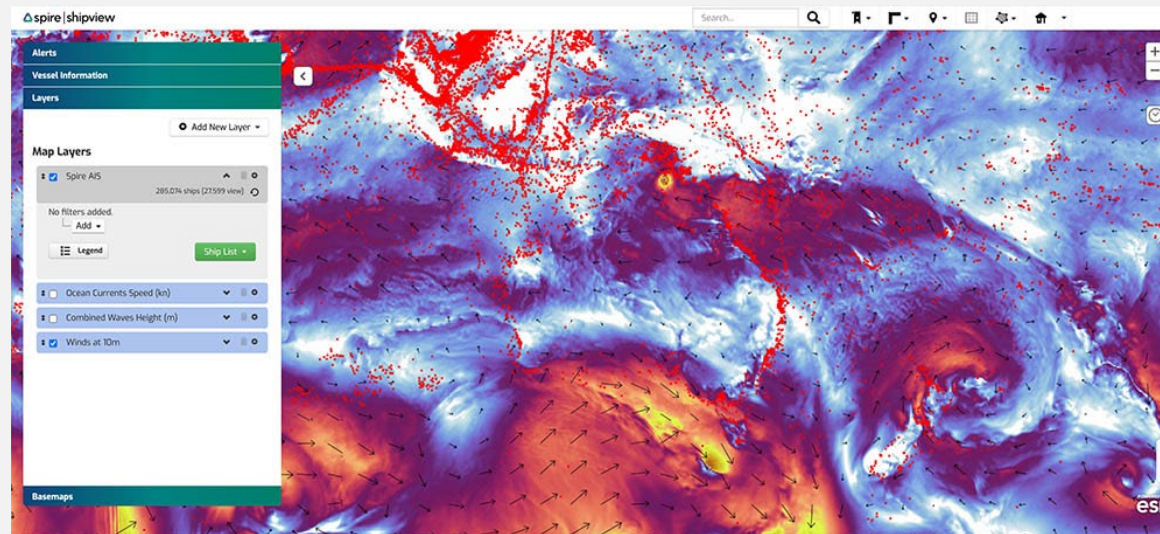
- GNSS-ROセンサ搭載衛星の特徴は官民で大きな差がある
- 米国民間企業を中心に衛星コンステレーション構築によるデータ取得が実施
- 官側の衛星の特徴は以下のとおり。
 - 比較的大型の気象・観測衛星等における複数ミッションのうちの一つが多い
 - GNSS-ROセンサ以外の機器も多く搭載
 - 多くは1機又は2機での運用
- 民側の衛星の特徴は以下のとおり。
 - 小型の衛星における唯一のミッションが多い
 - 衛星はGNSS-ROセンサのみの場合が多い
 - 衛星コンステレーションを構築
 - NASAやNOAAとROデータ提供の契約を締結

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 Meteor-MP N2	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、土壤水分、土壤タイプ、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
CICERO -1, -2	GeoOptics	民	天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング、GNSS-RIによる洪水、土地被覆(雪、氷、植生) 土壤水分、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、土壤水分、多目的画像(陸地)、海水面積、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 Sentinel-6B	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 -3	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

出所) OSCARを基にその他デスクトップ調査を踏まえDB編集

- 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)

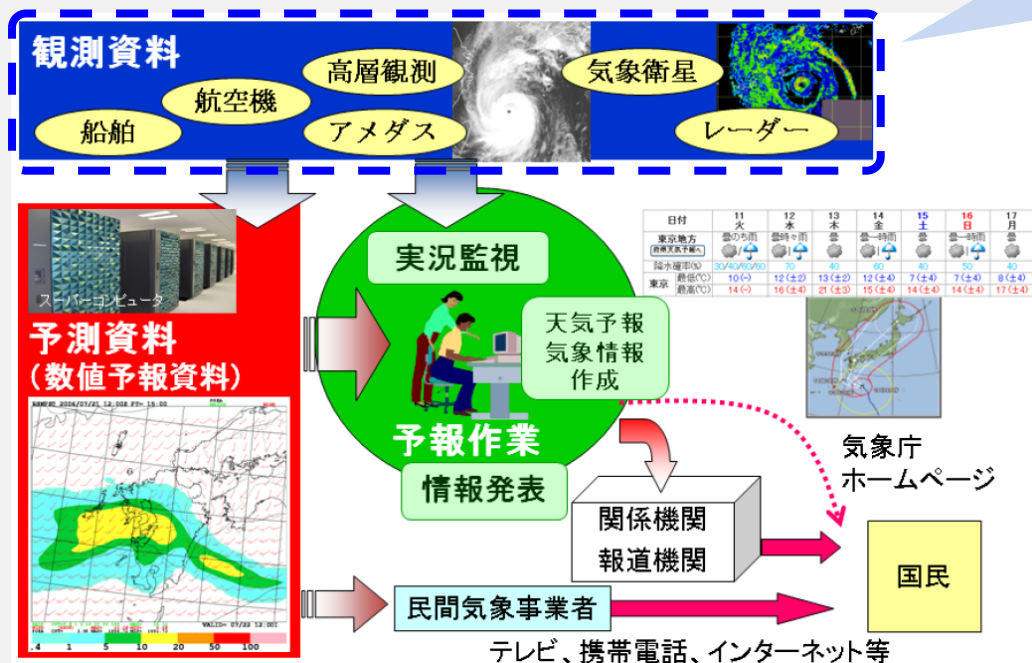
出所: Spire Global社HP

- 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

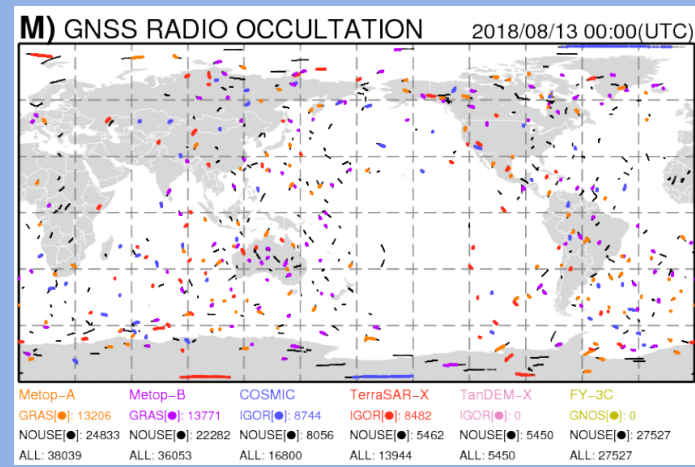


観測から気象情報までの流れ



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いる中、キャッチアップが必要な技術かどうかについては、引き続き検討
- 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
- 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いるが限定的であり、気象庁以外のユーザーは現時点で想定されていない
- 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)
- 日本として、追従する必要がある技術かどうかについては、引き続き検討

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

今後の展開(最終報告にむけて)

- SaaSに関する調査分析
- 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	SaTaaS	LEO-GEO/MEO-地上局通信NW	—	○	—
		GSaaS	大規模地上局NWの構築	—	○
地上局	GSaaS	地上局シェアリング	—	○	—
		SDaaS	クラウド上でのデータ管理/API等によるデータ提供	—	—
衛星運用	SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供	○	—	○
		衛星データサービス	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。

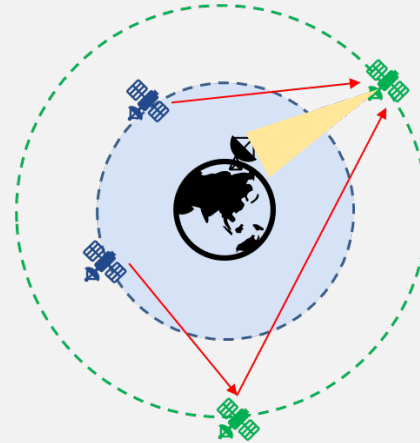
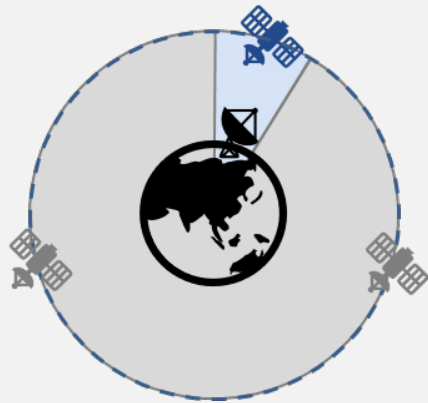
- 衛星間通信によるデータ提供の迅速性向上がホットトピック

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

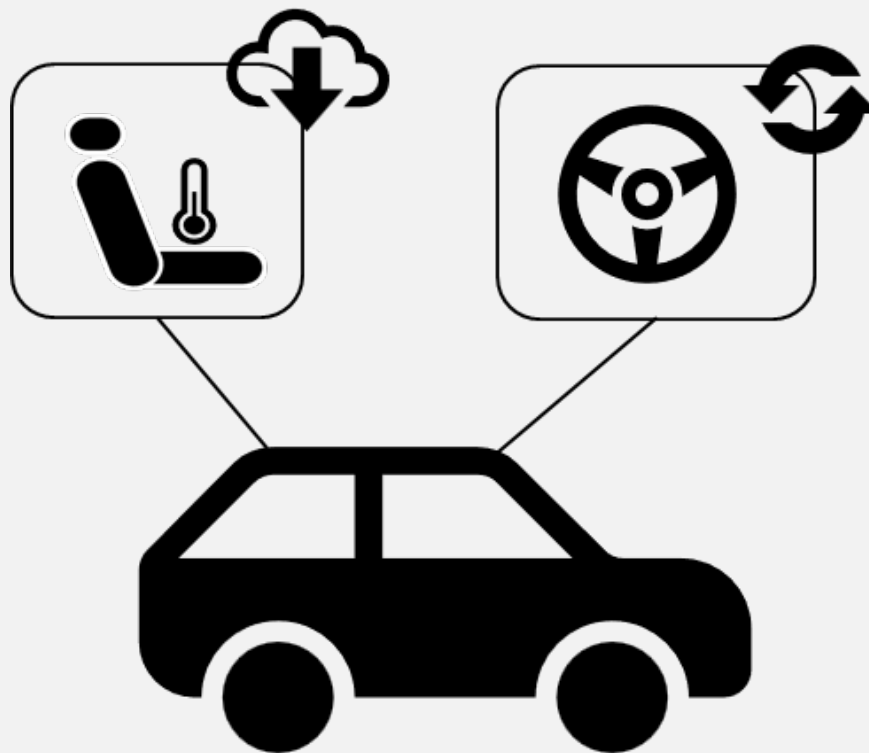
- ✓ GEO/MEO衛星-LEO衛星間通信により24/365での地上局通信が可能
- ✓ 撮影した画像を直ちに地上局に送る(ダウンリンクする)ことが可能に

- ✓ **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

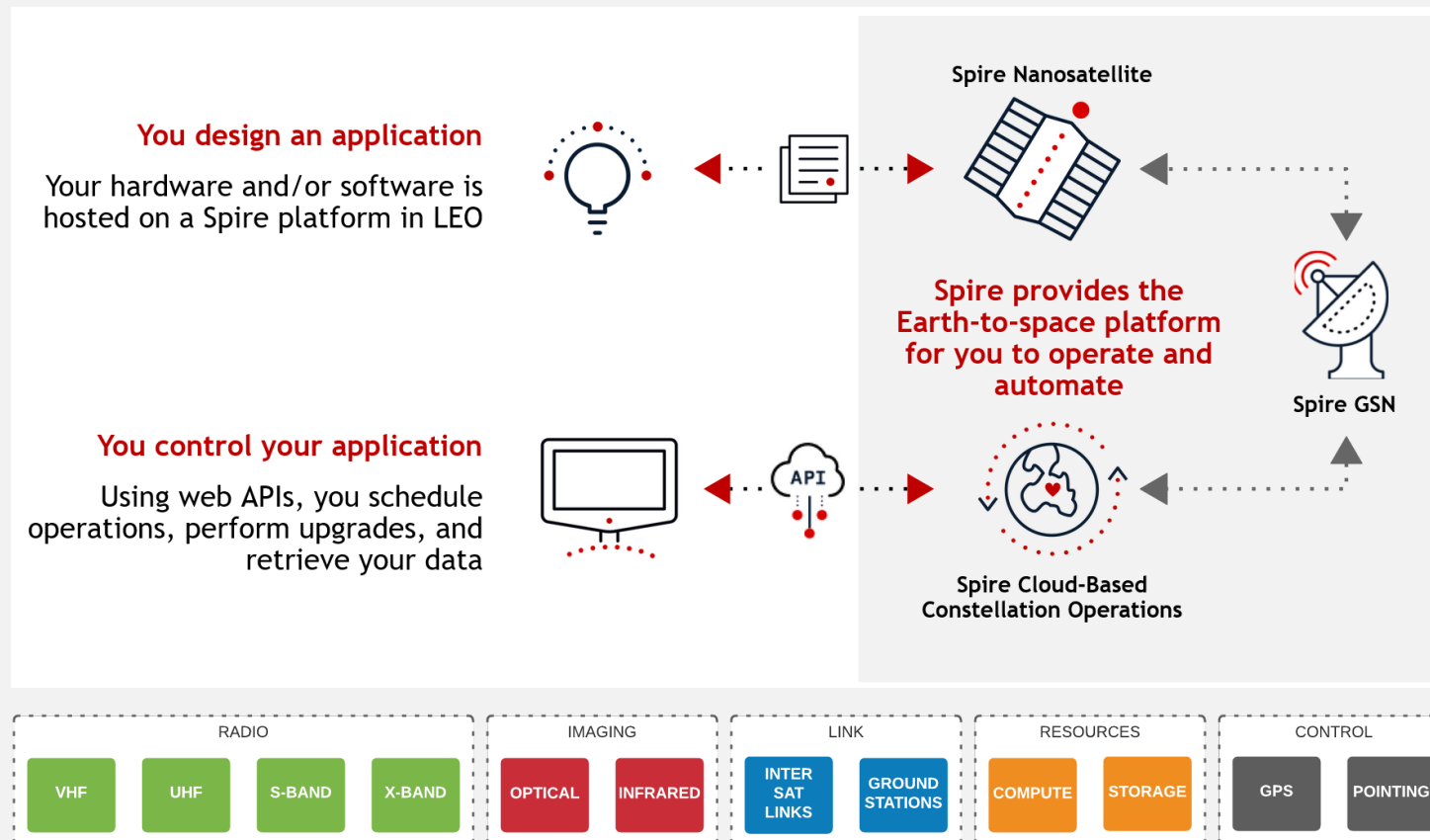


出所: WARPSPACE

- 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

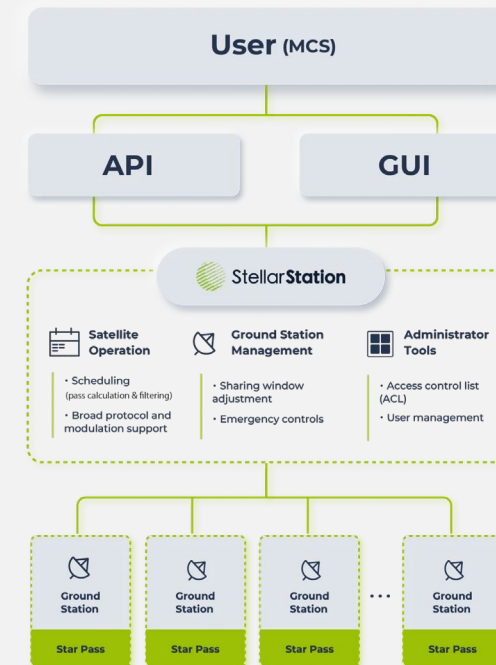
- 世界中に展開している270基以上の地上局アンテナに加え、今後も更に南極や米国本土にアンテナを増築予定
- 既存の地上局を衛星事業者向けに貸し出すサービスを提供



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

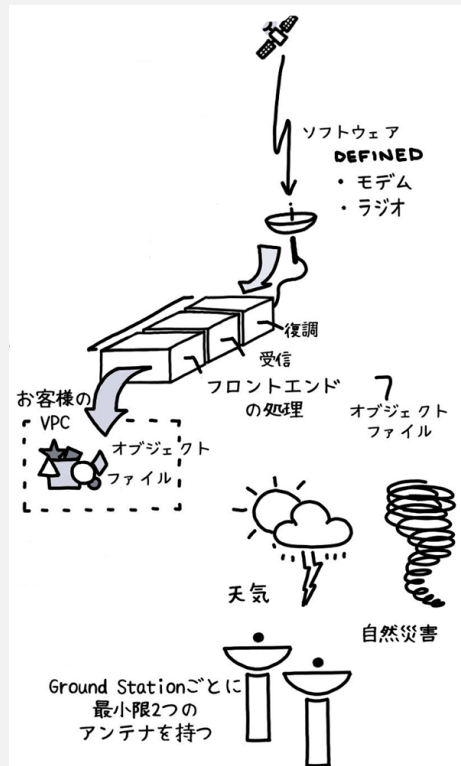


出所: infostellar

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

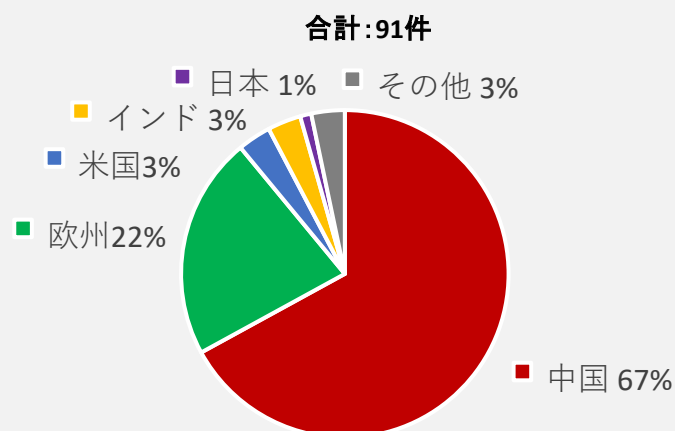


出所: Microsoft

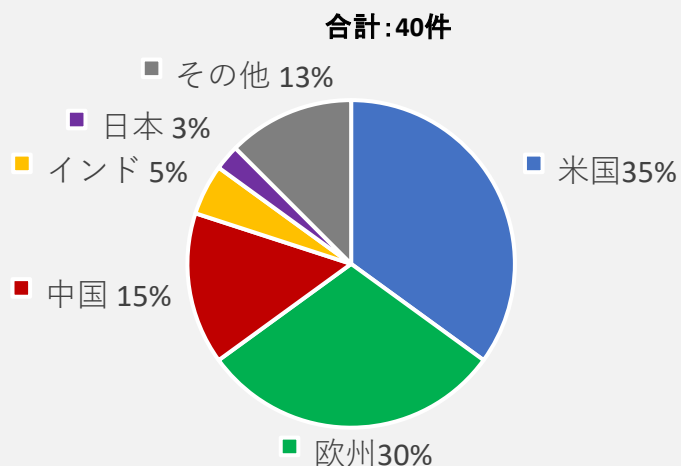
- 衛星データ解析では前提となりつつあるフュージョン技術について我が国は欧米中に大幅に遅れている
- 稀だが、国内では海外企業との協業で国際市場に進出したケースはある

IGARSS センサフュージョンの国別発表数の推移

2022年



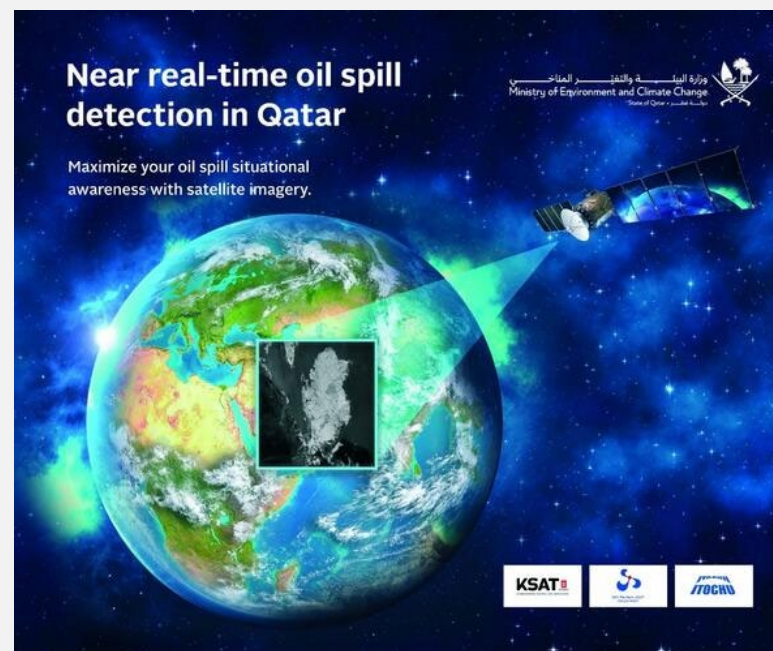
2023年



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

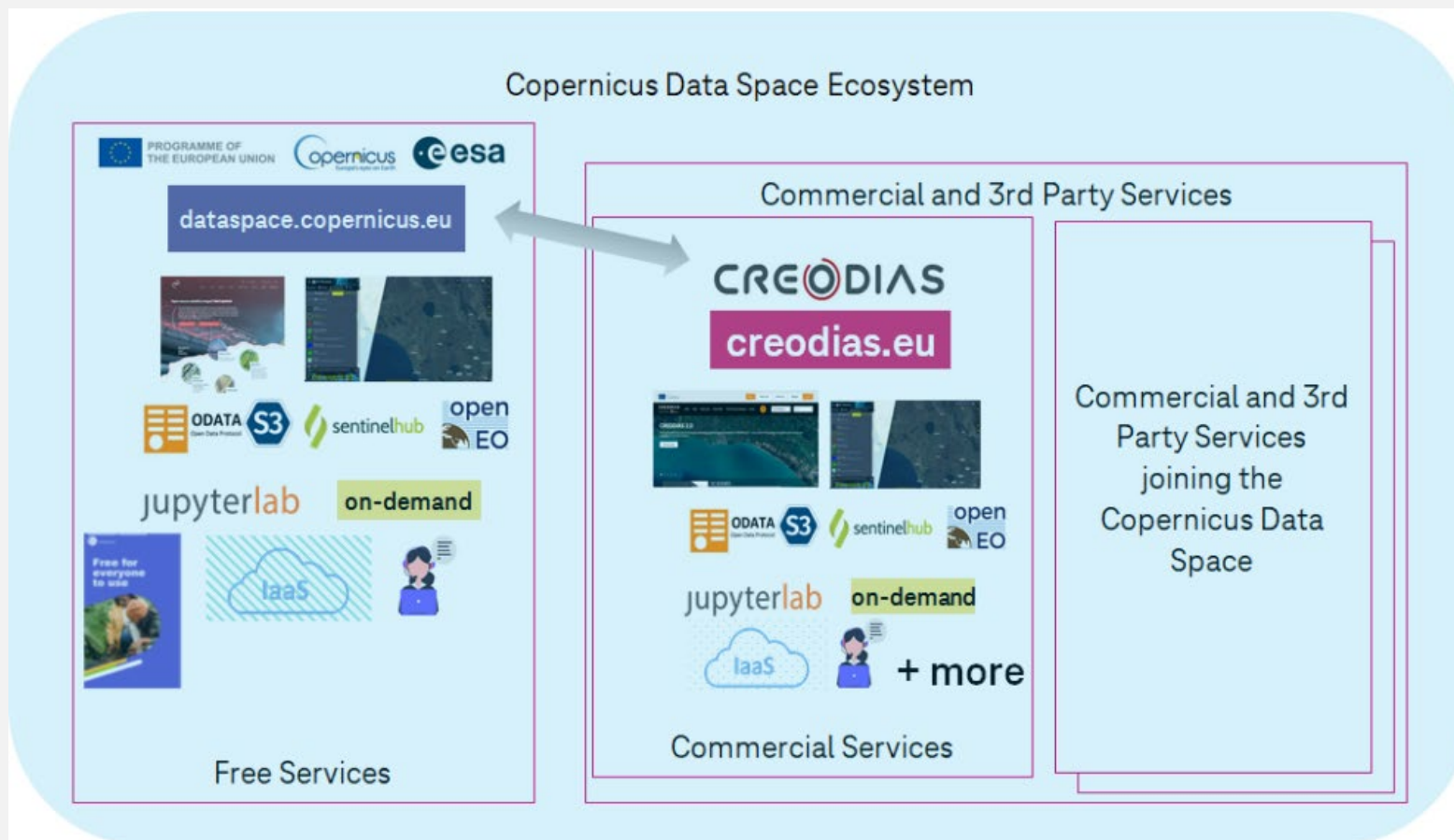
- スカパーJSAT社は2023年6月に伊藤忠商事/KSAT社との協業によりカタール環境省に対し高頻度オイル漏れ検知サービスを提供
- KSAT社が提供する複数SAR衛星データのフュージョンによる高頻度オイル漏れ検知サービスを利用し、自社で保有するAISデータを掛け合わせることで対象船舶の識別を可能としている



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

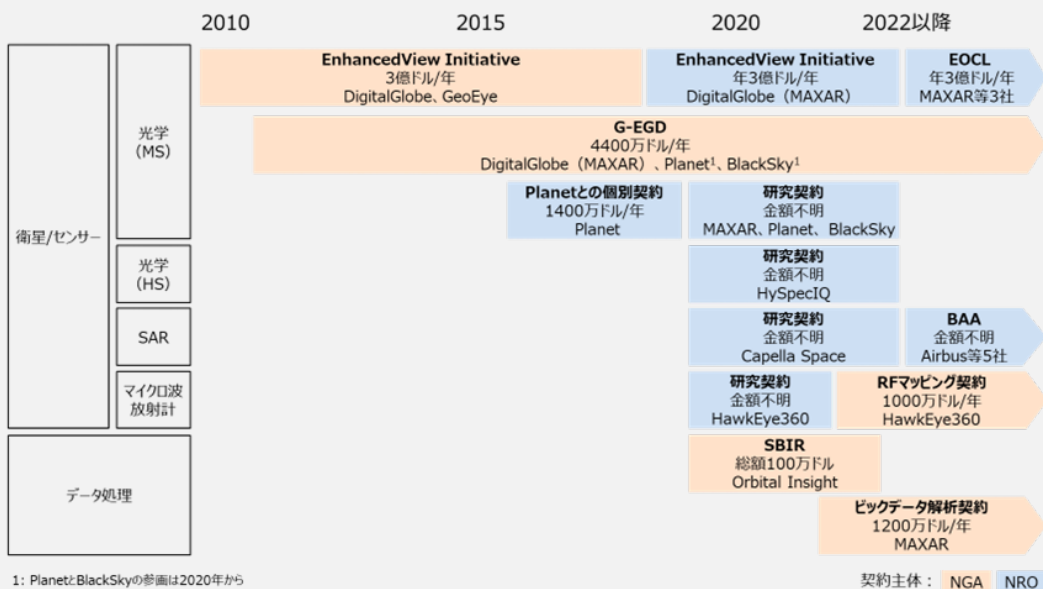
XaaS	トレンド		強み・弱み
SaTaaS	大規模コンステレーション構築／運用		メガコンステレーションはPlanet、Spire等米国の独壇場 SARコンステレーションではsynspective等が国内に存在
	LEO-GEO/MEO-地上局通信NW		Viasat等が先行しているが、国内にもWARPSPACEやSpace Compass等が追随
	「ソフトウェア定義衛星」の開発／運用		Spireは既にサービス化している一方、国内は圧倒的に劣後
GSaaS	大規模地上局NW構築		KSAT、SSCなどの海外企業の独壇場
	既存地上局のシェアリング		ハードはKSAT、SSC等の独壇場 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

取るべき戦略(仮説) ※今後の調査にて深堀予定

- 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

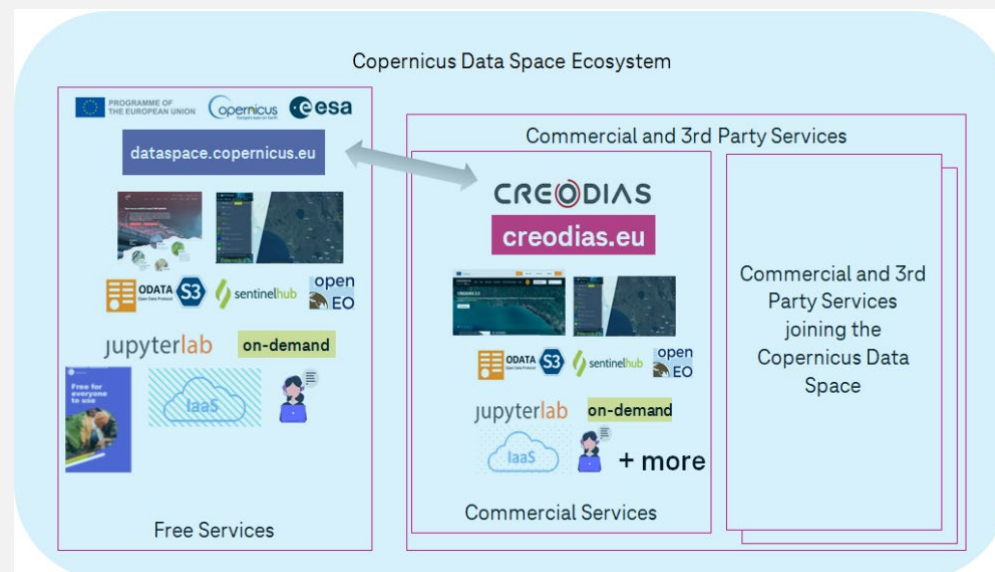
- ✓ 米国地理空間情報局(NGA)や国家偵察局(NRO)により民間企業への資金投資が活発
- ✓ 近年では衛星事業者だけでなく、衛星データ解析事業者への資金投資も開始
- ✓ 金額規模は1000万~3億ドル/年と巨額



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

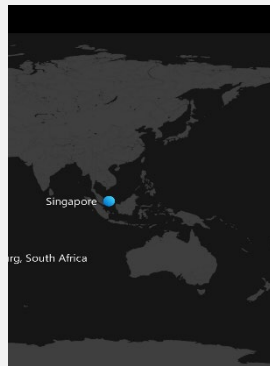
- 【GSaaS】東アジア諸国、または太平洋沖の撮像データ提供の低レイテンシー化を実現するサービス等



出所: KSAT



出所: AWS



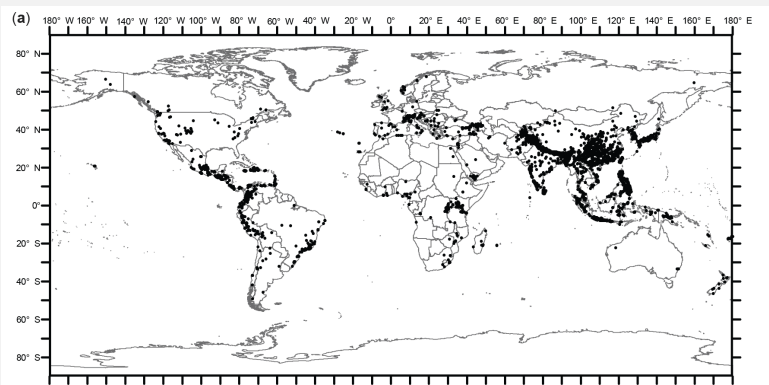
出所: Microsoft



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

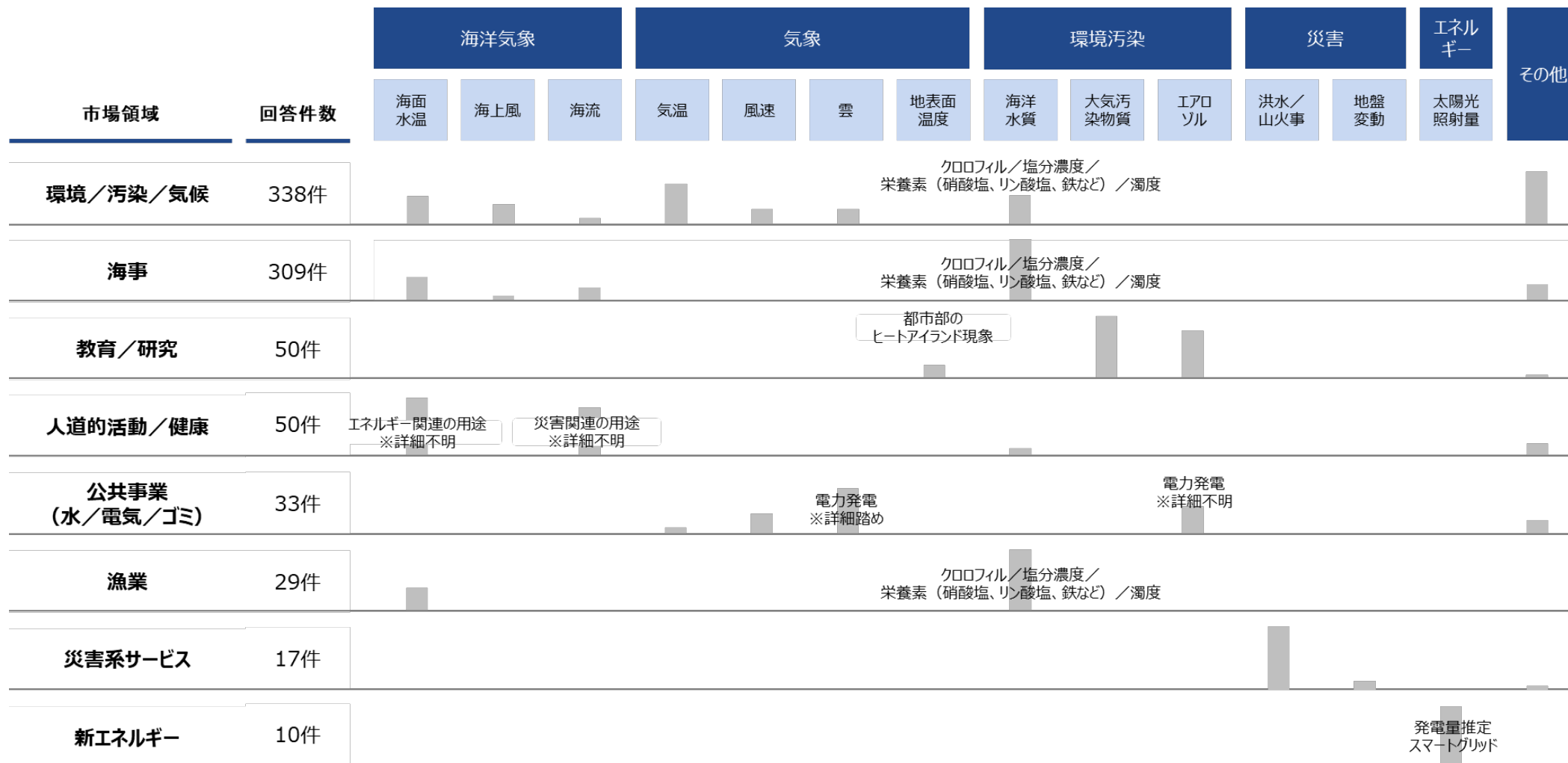
令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

今後の展開(最終報告にむけて)

総論

- 衛星の運用に対する要求として、グローバルには気象／海洋気象／海洋水質／洪水・山火事／太陽光日射量等のデータにNear-Real-Timeへのニーズがあり、国内ではCONSEOにて安全保障や災害対応等にNear-Real-Timeのレイテンシーを要求する議論等がある
- 光学衛星及びSAR衛星について、地上分解能1m以下となる衛星コンステレーションを選出し、3時間のNear-Real-Timeに必要な機数を算出。結果、簡易計算上では、必要な機数は、光学・SAR衛星共に10機前後となる
- 日本のSAR衛星は分解能・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り、今後、他国に引き離されないようにする必要がある
- 機数・分解能の観点からは、光学衛星:「人流モニタリング」、「パイプラインモニタリング」、SAR衛星:「洪水・津波保険金迅速支払い」、「洪水・津波モニタリング」、「パイプラインモニタリング」のユースケースが想定される
- 分解能・機数の観点のみならず、ユーザー側からの運用要求の観点も考慮し、Near-Real-Timeが望ましい用途について、引き続き検討を実施

- 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。

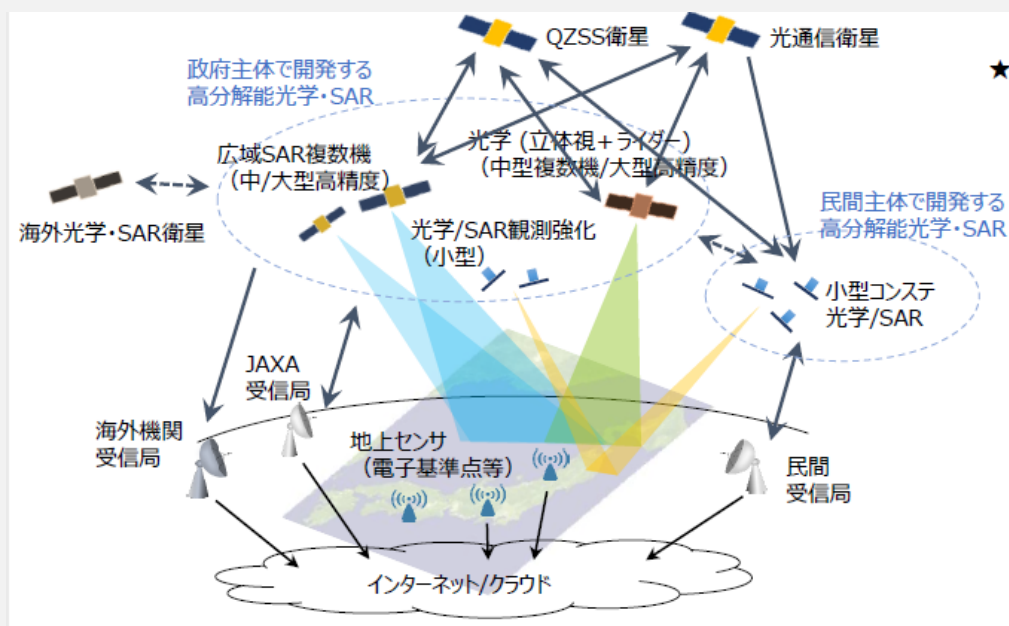


出所) EC Copernicus ProgramよりDB編集

- 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

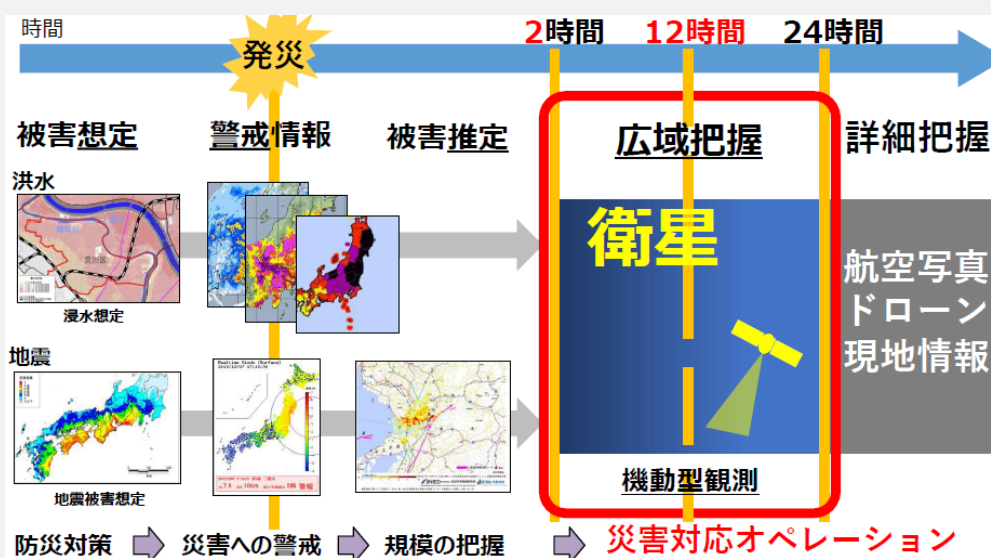
- ✓ 高頻度な特定点監視のための高分解光学・SARコンステレーション
- ✓ 衛星同士のネットワーク化・Tip and Queによる衛星群の協調運用による船舶監視、戦略情報取得などのサービス



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 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-ALPHA, BETA, -1	Synspective Inc.	日本	3	0	3	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

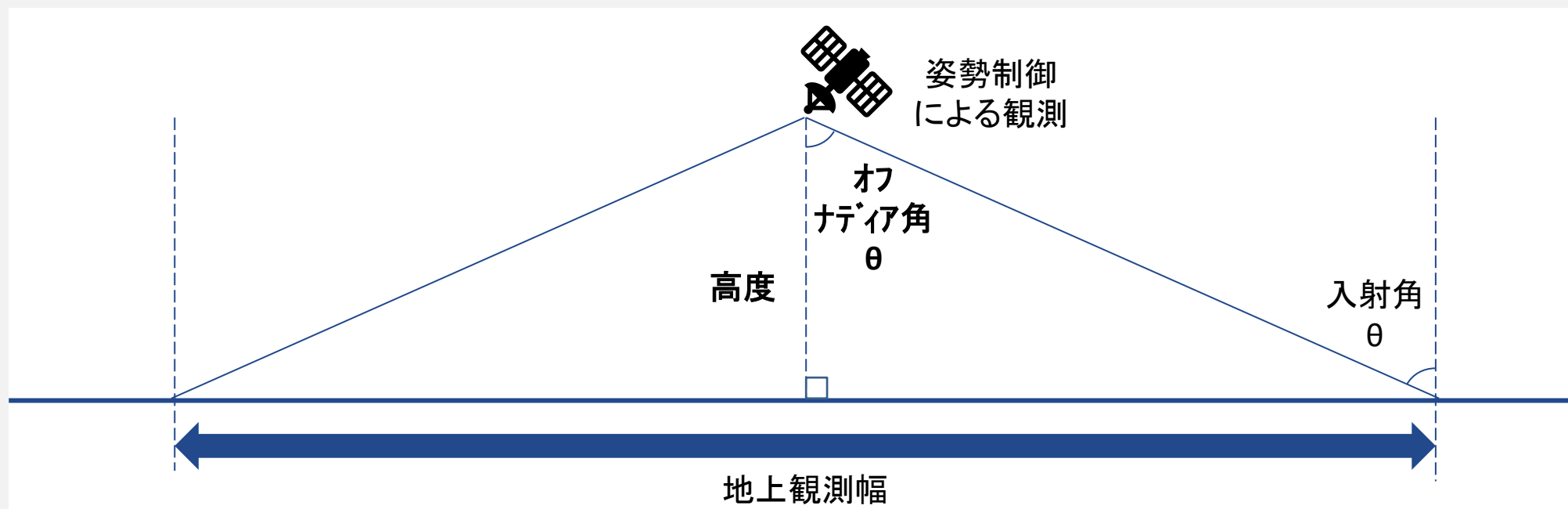
【簡易計算式】

- **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)
= 地球円周(km) ÷ 地上観測幅(km) × 地球1周に必要な時間(h) ÷ 目標とするNear-Real-Time(h)
= 40,000(km) ÷ (2^{※2} × 衛星高度(km) × tan入射角(θ)) ÷ 2^{※3}
× (2 × π × (地球半径 + 衛星高度(km))) ÷ 衛星速度(km/s) ÷ 目標とするNear-Real-Time(h)

※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

※3:地球1周の間に、アセンディングとディセンディングで2回観測可能



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	衛星所有者	国籍	コンステレーション機数(機)	高度(km)	最大入射角(θ)	地上観測幅(km) ※両側想定	衛星速度(km/s)	地球1周にかかる時間(h)	Near-Real-Time(3h)に必要な機数(機)	コンステレーションにより達成可能なNear-Real-Time(h)
1	BLACKSKY	BLACKSKY	アメリカ	57	430	45※	860	7.7	1.54	12	0.7
2	CO3D-1-4	Airbus Defense and Space	フランス	4	502	45※	1000	7.6	1.58	11	7.9
3	DMC3-1-3	DMC International Imaging Limited (DMC ii)	イギリス	3	630	45	1260	7.5	1.63	9	8.7
4	HRSAT 1-3	ISRO - Indian Space Research Organisation	インド	3	660	45	1320	7.5	1.64	9	8.3
5	JILIN 1 HIGH RESOLUTION	Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd (CGSTL)	中国	86	579	45	1160	7.6	1.60	10	0.4
6	NUSAT 1-60	Satellogic SA	アルゼンチン	60	500	25	470	7.6	1.58	23	1.2
7	Pleiades Neo3,4	Airbus Defense and Space	フランス	2	620	46	1280	7.5	1.63	9	12.8
8	skysat	Planet	アメリカ	20	600	45※	1200	7.6	1.60	9	1.4
9	SUPERVIEW-1 01-04 (GAOJING 1-01-04)	Beijing Space View Technology Co Ltd	中国	4	530	45	1060	7.6	1.59	10	7.5
10	vivid-i 1-5	Earth-i	イギリス	5	505	45※	1010	7.6	1.58	11	6.3
11	Worldview legion1-8	Maxar Technologies Inc	アメリカ	8	450	45※	900	7.6	1.57	12	4.4
12	ZHUHAI OVS-2,3	Zhuhai Orbit Aerospace Technology Co Ltd	中国	2	500	45※	1000	7.6	1.58	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
 ※最大入射角が不明なため、他事例踏まえ45°と想定

Near-Real-Timeの必要機数(SAR衛星)

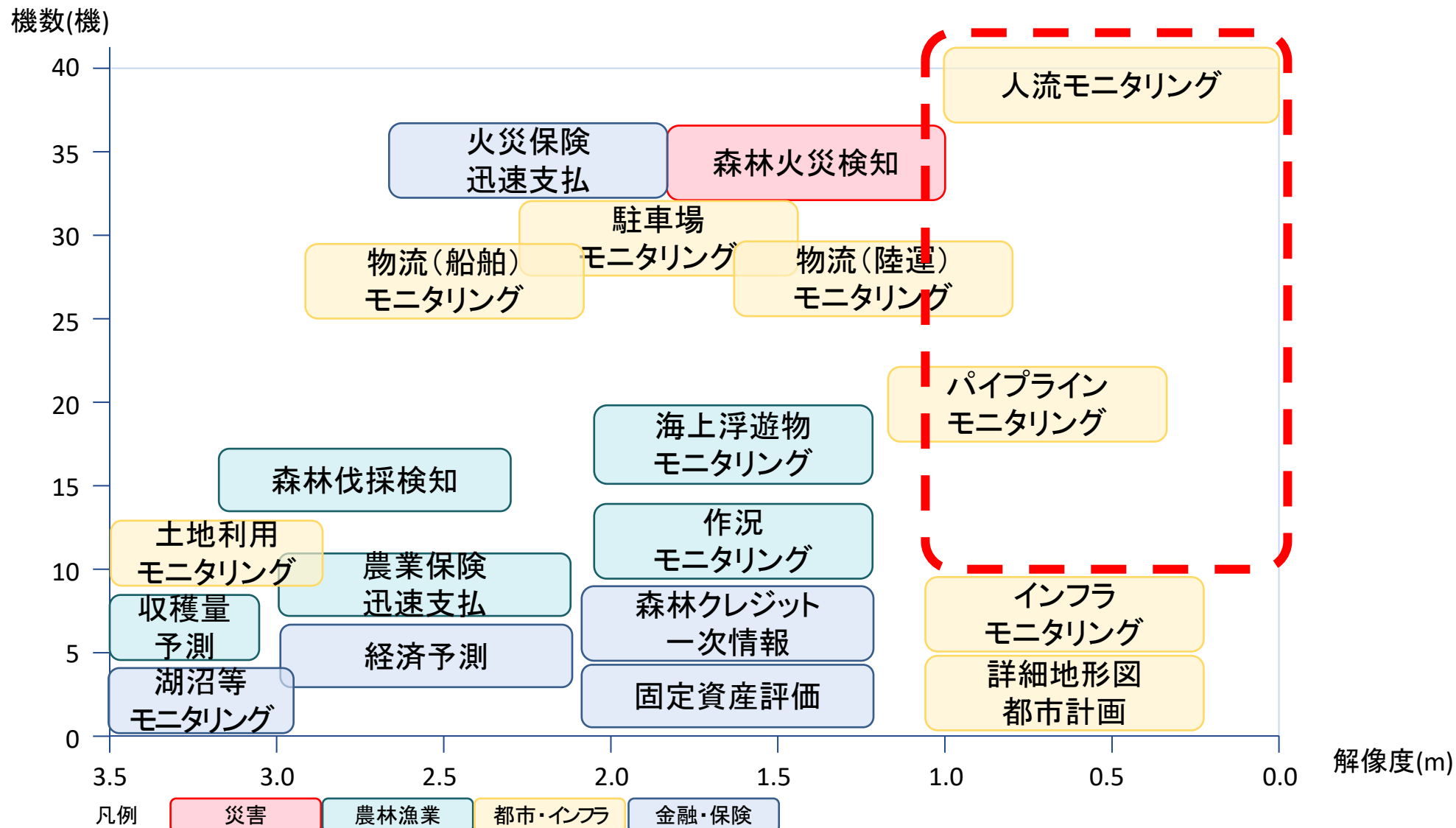
- Near-Real-Timeを3hと想定した場合、おおよそ10機前後のコンステレーション構築が必要
- 日本の民間企業がNear-Real-Timeを狙える位置にいる

No.	衛星名称	衛星所有者	国籍	コンステレーション機数(機)	高度(km)	最大入射角(θ)	地上観測幅(km) ※両側想定	衛星速度(km/s)	地球1周にかかる時間(h)	Near-Real-Time(3h)に必要な機数(機)	コンステレーションにより達成可能なNear-Real-Time(h)
1	CAPELLA-06~36	Capella Space	アメリカ	31	525	50	1300	7.6	1.58	9	0.8
2	COSMO-SKYMED SECOND GENERATION 1,2 (CSG-1,2)	ASI - Agenzia Spaziale Italiana	イタリア	2	620	60	2100	7.5	1.63	6	7.8
3	ICEYE-1-7, X2,X4-7,X17-19	ICEYE	フィンランド	15	580	35	800	7.6	1.60	14	2.7
4	IZANAGI, IZANAMI, QPS-SAR-5, -6	QPS Research Institute Inc (iQPS Inc.)	日本	4	595	50	1400	7.6	1.60	8	5.8
5	STRIX-ALPHA, BETA, -1	Synspective Inc.	日本	3	561	45	1100	7.6	1.59	10	9.7
6	UMBRA-01-06	Umbra	アメリカ	6	600	70	3300	7.6	1.60	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

解像度・機数の観点から望ましいユースケース(光学)

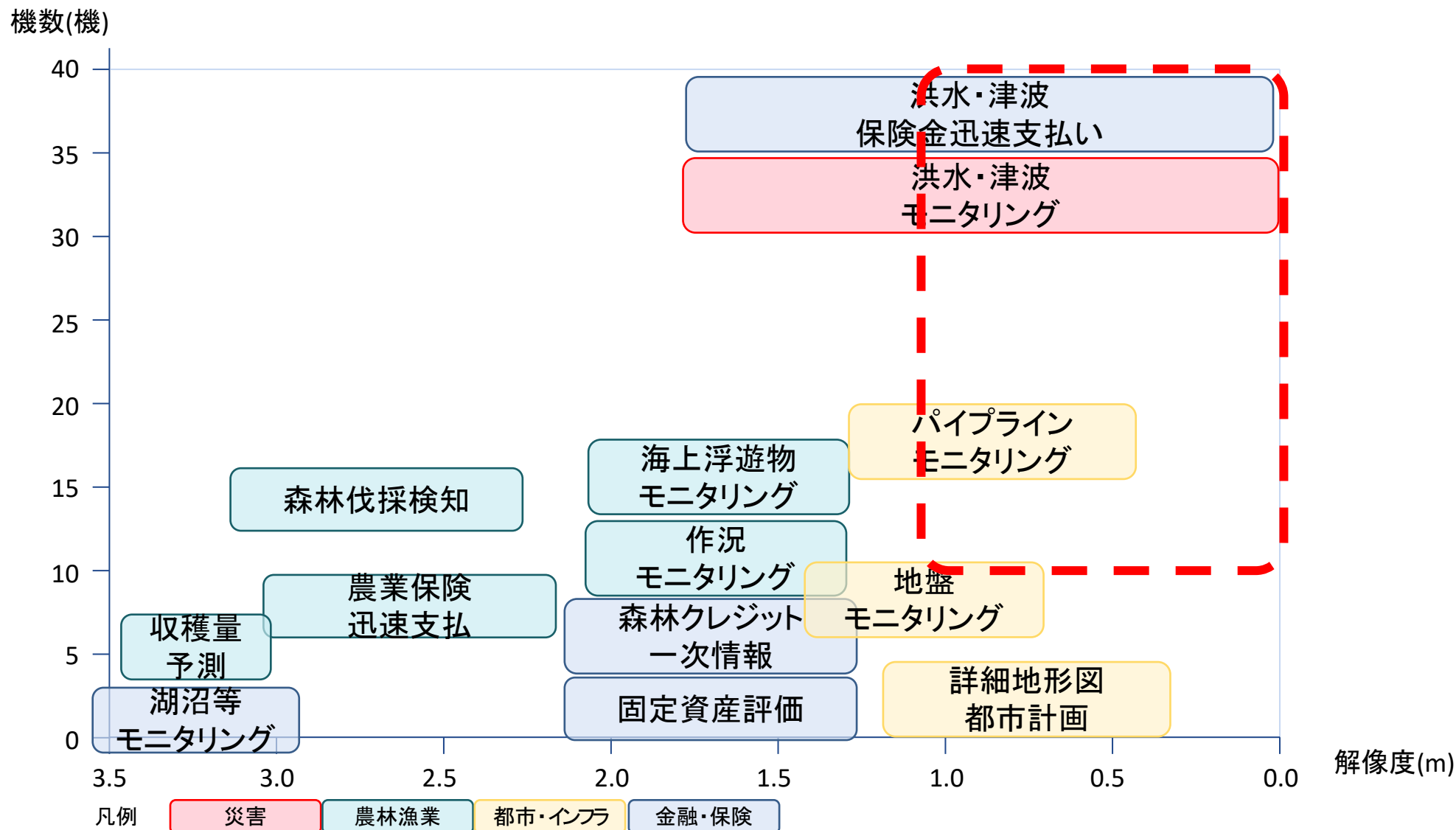
- 光学衛星において、10機以上・分解能1.0m以下でNear-Real-Timeが望ましいユースケースは、「人流モニタリング」、「パイプラインモニタリング」などが想定される



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・機数の観点から望ましいユースケース(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

- 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
- 国内外でのユーザー要求や、機数や分解能からの望ましいユースケースなど、Near-Real-Timeが必要とされるニーズは複数確認される
- 光学衛星では他国に対し大きく劣後する一方で、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り、他国に引き離されないように注力が必要
- 国内外からのニーズ領域を踏まえ、既に世界有数のレベルにあるSAR衛星を中心に、コンステレーション開発や運用等に注力することが想定される。望ましいユースケースについては、引き続き検討が必要。

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

今後の展開(最終報告にむけて)

• 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
- とりわけ静止軌道衛星など大型・中型衛星となると、民間単独で打上げるケースは稀であり、政府による直営、もしくは民間に対する政府の支援が必要
 - ✓ 大型・中型衛星が必要なセグメント、静止軌道衛星が必要となるセグメントに注力すれば政府としての役割が発揮できる領域が導出される可能性が高い
 - ✓ 大型・中型もしくは静止軌道衛星の特徴は、解像度が粗いが時間分解能には優れる、という点であり、気候変動などマネタイズが難しく、また、粗くてもよいので全体を常にモニタリングするようなニーズに対応するものがユースケースとして想定される
- 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。他国では規模の大きいアンカーテナンシーや期間の長いカタパルトに代表されるようなスキームが整備されており、これらは今後日本政府の政策としては参考になりうる。
 - ✓ 内閣府ではアンカーテナンシーに近い制度を既に整備済。期間の長いスキームとしてはJAXAの出資機能や2023年度から始まるSBIRの拡充など新たなスキームがわが国でも創設されはじめているため、この点は既にキャッチアップができてきている可能性がある。
- 他方、英国カタパルトと比較して不足している点としては、案件開発支援やミッシングリンクのつながりの支援、および他産業とのつながり・ワークの形成支援であろう。この点は特に今後検討してもよい領域と考えられる。

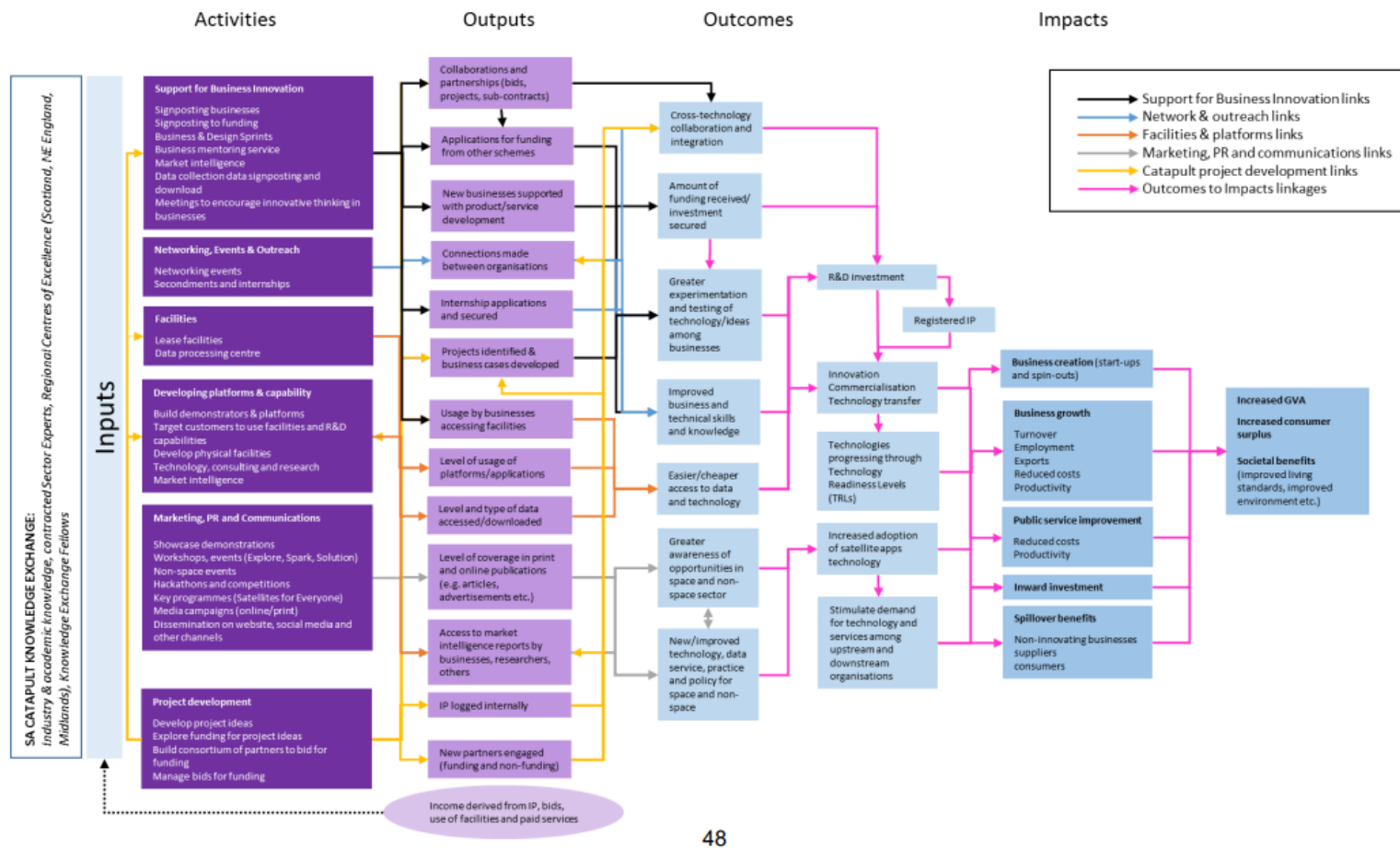
- 欧米では官側の用途のために衛星データを購入するケースが多く見受けられる。
- 結果として衛星ベンチャーの需要保証を官が行っている形となっている。
- 下図表は欧米での衛星ベンチャーが適用しうる、特に資金面での支援に資する制度の一覧である。
- 多くの衛星データ購入プログラムがあることがわかる。これらは、購入者である省庁の実務に利用されると共に、衛星ベンチャーの需要保証となっている。

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	新規センサー等への 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		共同開発	
	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	2021-
	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-
	Strategic Commercial Enhancements for HIS	NRO	衛星データ購入	2023-
中小企業・イノベーション支援 (SBIR/STTR)	NASA・NOAA・NGA等	開発資金提供 (衛星データ分析含む)	2004-	
欧州	InCubed	ESA/Phi-lab	資金支援	2017
	EU Copernicus Contributing Mission	EC	衛星データ購入	2018
	ESA Third Party Mission	ESA	衛星データ購入	—
	カタパルト	Innovate UK	開発支援・ビジネス支援・資金支援	2011
	ARTESプログラム	ESA	開発支援・資金支援	2021
	ESA Business Incubation Centers (ESA BICs)	ESA TTPO	開発支援・ビジネス支援・資金支援	2013
	EU Executive Agency for SMEs	EU	資金支援・開発支援・ビジネス支援 (宇宙分野に限らない)	—
	National Space Innovation Programme	UK Space Agency	資金支援	2020
	Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake	DLR	ビジネス支援・資金支援	2018
	Future EO scout mission	ESA	資金支援	2022

- 他に注目すべきものとして英国カタパルトがある。同取組では、民間企業のみでは生じるビジネスのミッシングリンク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、リンクをつなぐ活動に注力
- 他産業とのリンクなども行っており、例えば、インド向けにEnergy Systems カタパルト、Connected Places カタパルト、Satellite Applications カタパルトで協力し、空気清浄化のための技術開発を実施している

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



出所) Innovation UK

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

今後の展開(最終報告にむけて)

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。
- 「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-band SAR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 —



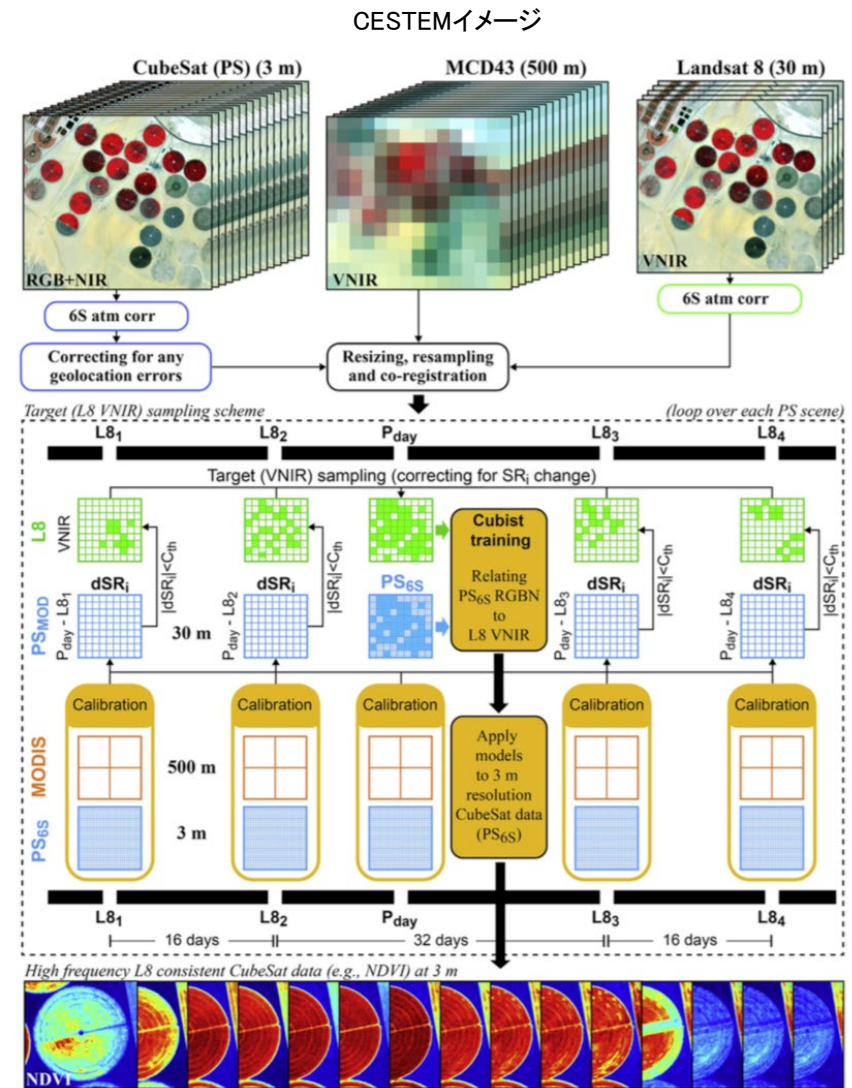
- 時間分解能に優れる大型衛星と空間分解能に優れる小型衛星の連携が模索されている
- 官：大型衛星、民：小型衛星での官民連携も実施され、組合せデータがプロダクトとして公開されているものもある

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)	民間のデータフュージョン手法	プロダクト公開済み
2	Sentinel-2とFLOCK	民	Sentinel-2 (官)	FLOCK (民)	民間のデータフュージョン	衛星開発、アルゴリズム 開発がなされているが、 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	小型衛星コンステレーション が未構築
4	CHORUS	民	RADARSAT-2 (官)	ICEYE-X (民)	民間企業のコンステレーション 連携	衛星開発はなされている が、具体的なアルゴリズム (データフュージョン)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

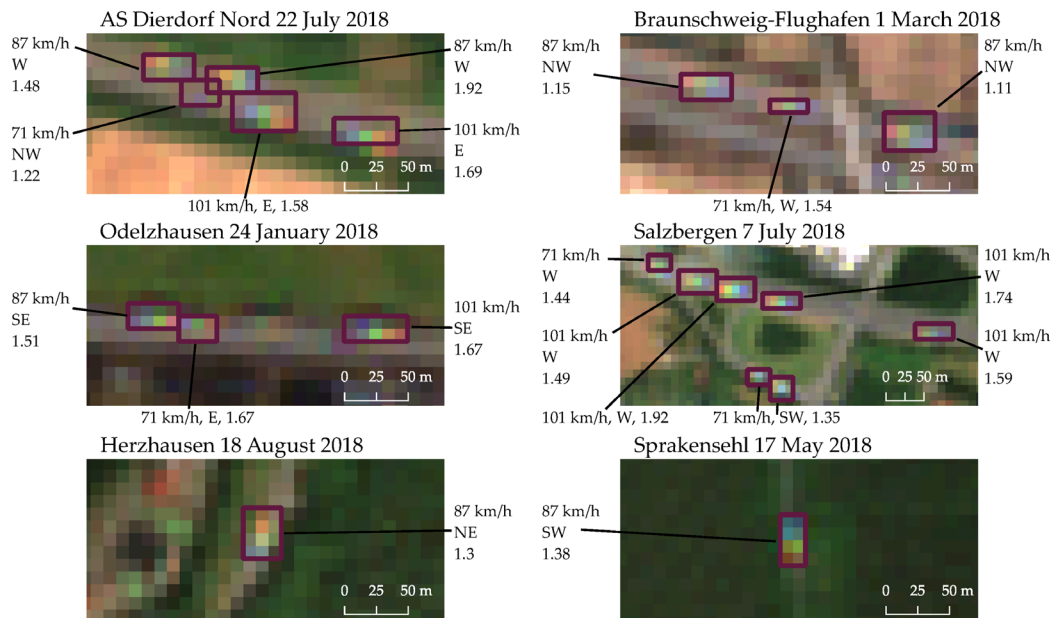
- 大型衛星の観測データを用いて、小型衛星コンステレーション内の衛星データ不一致を校正

- 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。

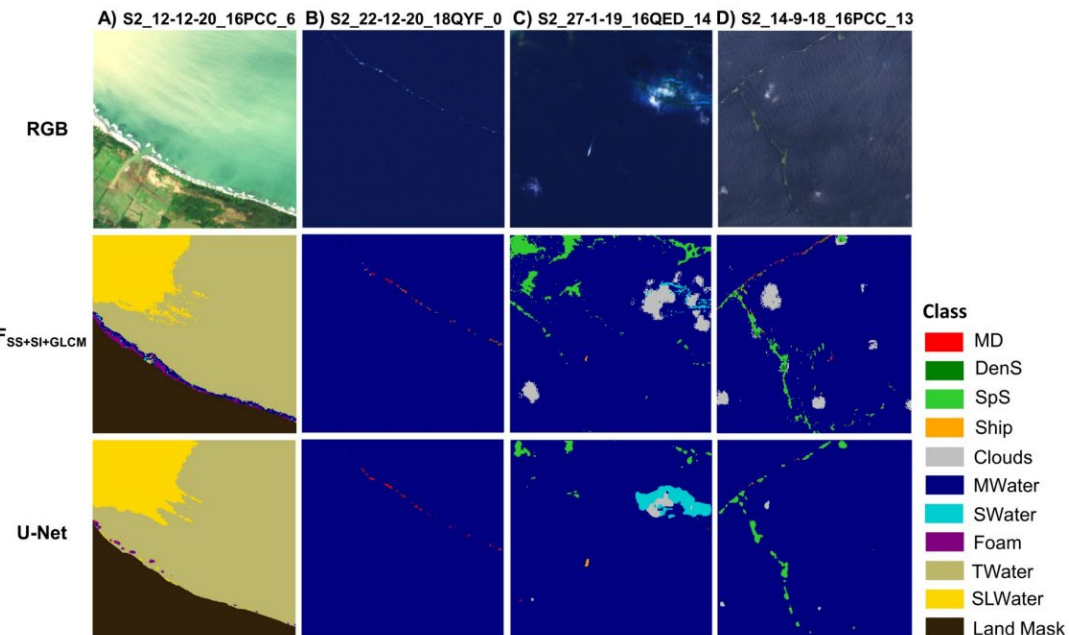


- 最も普及しているSentinel-2画像を用いた検知アルゴリズム開発が盛んとなっている
- 高い解像度の衛星データから物体を検知することも重要だが、解像度はそこまで高くないが入手しやすいSentinel-2画像からの検知が可能となれば、その利活用シーンは一気に広がるものと考えられる。
- このような背景もあり、様々な物体のSentinel-2ベースでの検知アルゴリズムが盛んに開発されている。
- 解像度が粗いとされるSentinel-2画像と地上の実データを組み合わせ、予測モデルを構築する事例が多い。さらに、画像と実データの組み合わせが蓄積されれば、精度は今後も上がり続けるものと考えられる。

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

— GNSS-R —

- 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。

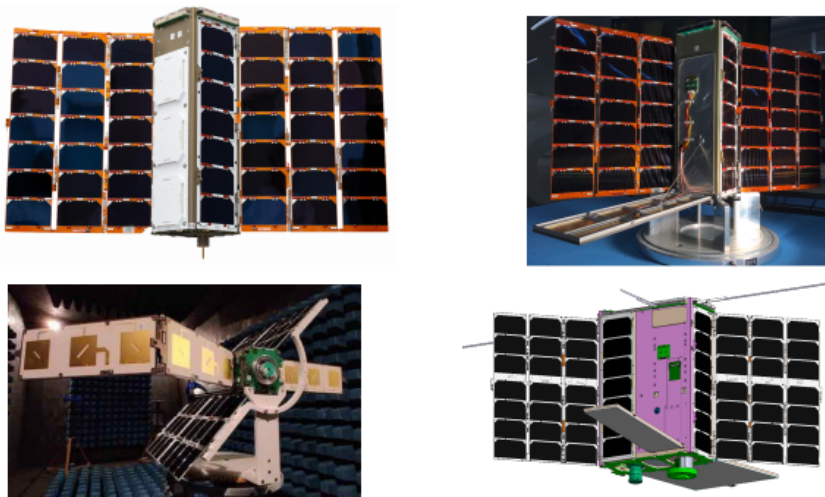


Figure 1. Spire GNSS observation satellites. (Top Left) GNSS-RO that also is used for grazing-angle GNSS-R. (Top Right) Near-nadir (NN-GNSS-R) Batch-1, (Bottom Left) Batch-2 and (Bottom Right) Batch-3.

	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

今後の展開(最終報告にむけて)

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

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



出所: ESA

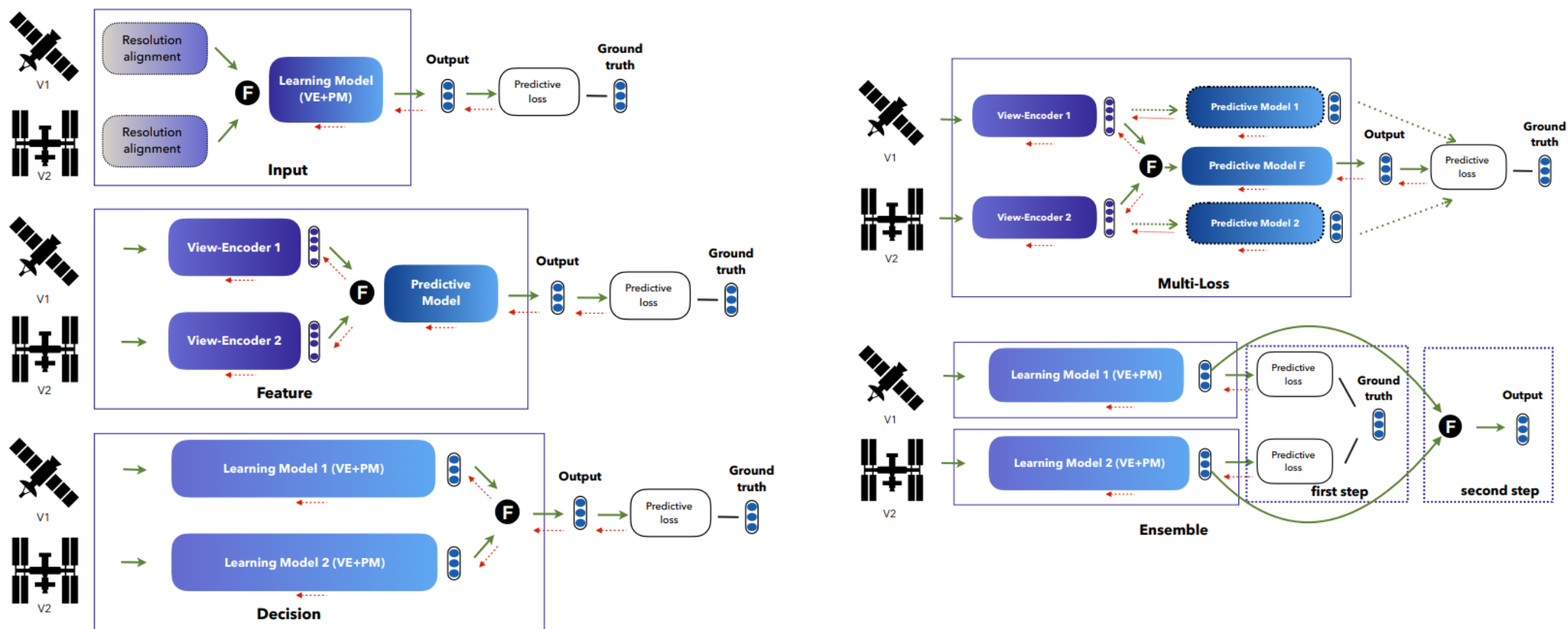
9つのスタートアップ

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

⑦ 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

今後の展開(最終報告にむけて)

最終報告にむけて

- 現時点での今後のアクションプランの仮説は下記の通りである

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"> 欧米、中国、ロシア、インド等に対し打上げ数、大型・小型衛星連携で大きく劣後 気候ミッションを中心とした環境・気象分野にて打上げ数は他国に先行 	<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、海事等領域にも活用 	<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"> マネタイズに時間がかかる観測衛星ビジネスにおいて、欧米ではデータ購入を中心とした需要保証や、ビジネス上のミッショングリックを官主導で埋める取組が実施 	<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"> 打上げ数が他国に先行する環境・気象分野において、事例、開発・センサ動向等踏まえ、日本として注力すべきか引き続き検討 	<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なため、注力すべきか引き続き検討 	<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のSAR衛星開発・運用に引き続き注力 	<ul style="list-style-type: none"> 大型・中型衛星や静止軌道衛星が必要となる領域を中心とした政府支援に注力 国外支援策を参考とした案件開発支援、他産業とのつながり形成等の支援方策の検討に注力 	<ul style="list-style-type: none"> その他調査項目との関連も考慮した上で、日本として注力すべき事項が引き続き検討

最終報告にむけて

- 今後の予定は下記の通り。今後の調査へのご要望があればSli.doにご記入ください
- 2023年10月- 2024年2月 強み・弱みの精査(よりユースケース等に着目した強み・弱みの整理)
- 2022年10月- 2024年2月 文部科学省殿の研究計画立案に資する示唆のとりまとめ
- 2024年3月 最終報告



DigitalBlast