



文部科学省

令和4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

2022年10月

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

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
- 小型衛星やコンステレーションの利用の増加や、民間アクターの活躍、分析技術の発展など、その構造は大きな転換期を迎えている
- 文部科学省殿は、上述した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観測衛星の研究開発計画を検討する必要がある

目的

- 観測衛星の研究開発計画を立案するためには、衛星に関する政策的・経済的・社会的・技術的な外部環境変化を導出すると共に、わが国観測衛星やそれに関連する分析技術等の強み・弱みを把握し、外部の変化と内部の状況のギャップを把握する必要がある
- これを踏まえ、本業務の目的を、観測衛星にまつわる外部環境変化とそれに伴う国内リソースの強み・弱みを分析し、外部の変化と国内リソースのギャップを埋めるに資する観測衛星の研究開発立案への示唆を得ることとする

本中間報告の全体像

衛星のバリューチェーンに従い論点を整理

衛星観測に求められているニーズ
・広域性(全体把握) ・精度 ・頻度

衛星から地上を観測

データを地上に転送

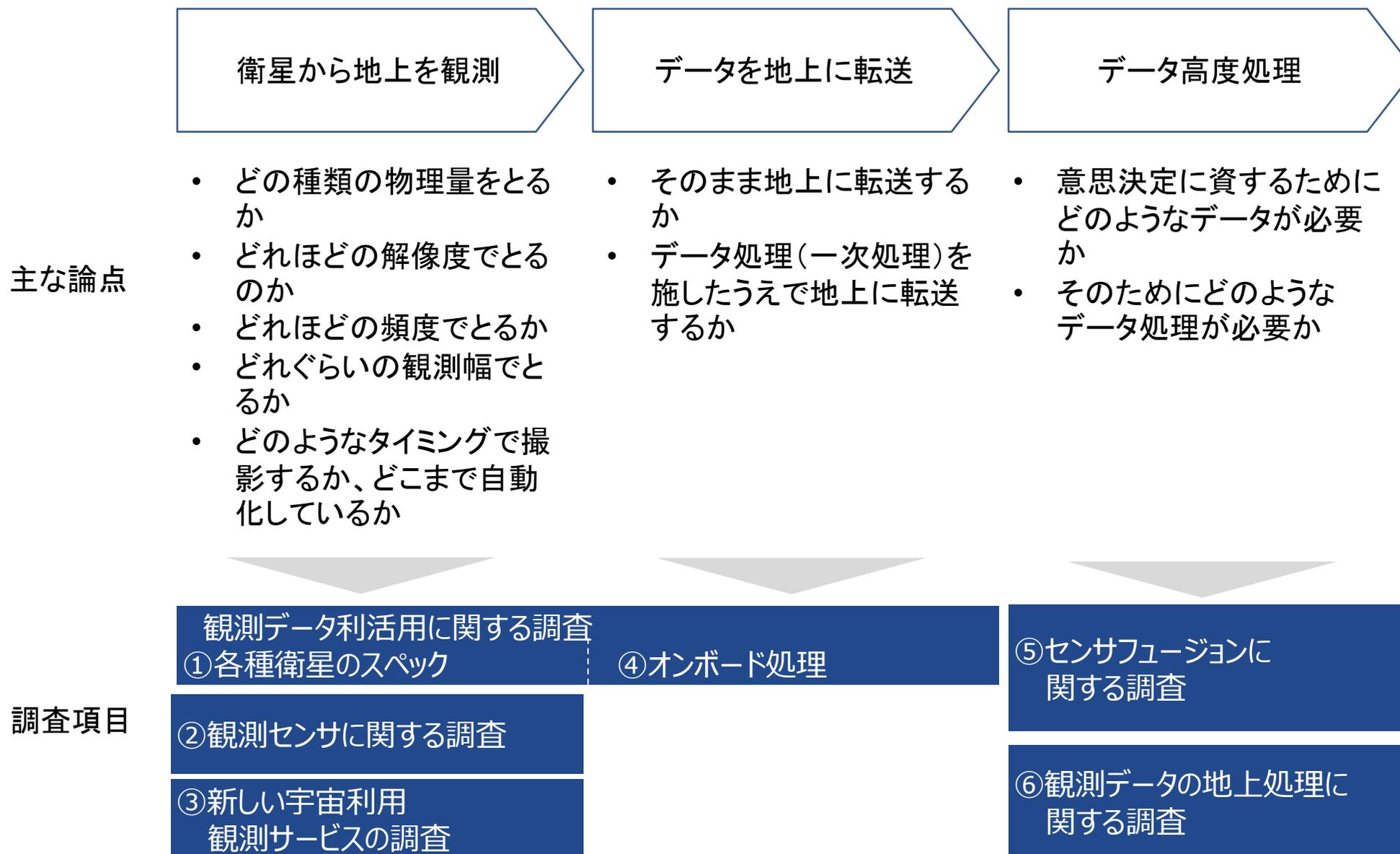
データを高度処理する

主な論点

- どの種類の物理量データを取得するか
 - どれほどの解像度で取得するか
 - どれほどの頻度で取得するか
 - どれほどの観測幅で取得するか
 - どのようなタイミングで撮影するか、どこまで自動化するか
- そのまま地上に転送するか
 - データ処理(一次処理)を施したうえで地上に転送するか
- 意思決定に資するためにどのようなデータが必要か
 - そのためにどのようなデータ処理が必要か

本中間報告の全体像

論点ごとに①～⑥のタスクを実施し、わが国の強み・弱みを考察した



目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

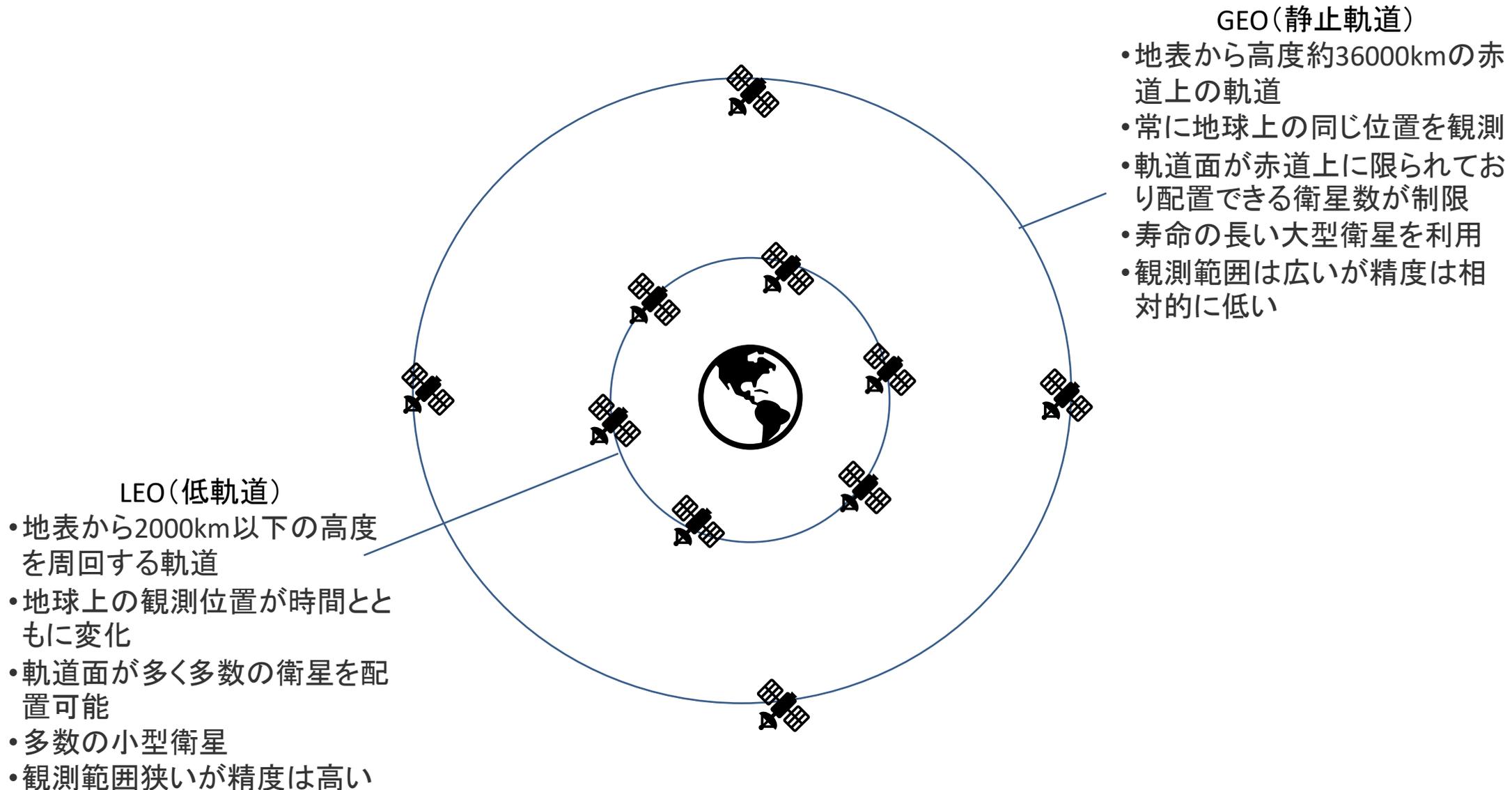
総論

- 米国はNASAを始めとして今後も多くの衛星ミッションを保有している。他方、光学衛星やSAR衛星など民間で開発できるものは積極的に民間に開発を移管。そのため、PlanetやUmbraなど有力企業が育っており、ICEYEといった外資の企業ともコワークを始めている
- ESAはコペルニクスプログラムの強化を今後も実施。一方で、民間ベンチャー向けにビジネスコンテストや中小企業向け支援プログラムなどのキャッシュを提供
- 民間ビジネスでは光学やSARの衛星コンステレーションが主流となっているが、CH4などを観測する環境衛星コンステレーションも出始めてきている
- 我が国も光学・SAR衛星コンステレーションを構築しようとしている民間ベンチャーが複数存在
- また、物理量ベースで見ると、いくつかの分野では世界的にも優位な衛星を保有しており、この分野の死守が求められる

観測衛星のスペックのトレンド - 軌道の違い

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 低軌道(LEO)に高精度・観測範囲小の衛星を大量に打ち上げコンステレーションを構成するのが現在のトレンド



観測衛星のスペックのトレンド – 大型・小型衛星の違い

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 大型衛星・小型衛星でそれぞれメリット・デメリットがある

大型衛星や小型衛星の明確な定義はないが、一例として小型衛星関連企業のNanoAvionicsは衛星の質量によって以下のように分類

ナノ衛星:1~10kg、マイクロ衛星:10~100kg、小型衛星:100~500kg、中型衛星:500~1000kg、大型衛星:>1000kg

(参考:<https://nanoavionics.com/small-satellites-101/>)

	メリット	デメリット
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(なお、LEOに配置されることもある) 	<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短期間での大量生産が可能 一度に多数の衛星を打ち上げることができる 大型に比べ開発時間が短く、機能・性能の更新を短い時間で行うことができる 地球に近い軌道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ち上げなおす必要がある 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。そのため、時間分解能を上げるのに衛星数を増やす必要がある

観測衛星のスペックのトレンド - 海外宇宙機関 1/3

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- NASA が運用・計画する地球観測衛星 : 引き続き新種のセンサーを開発

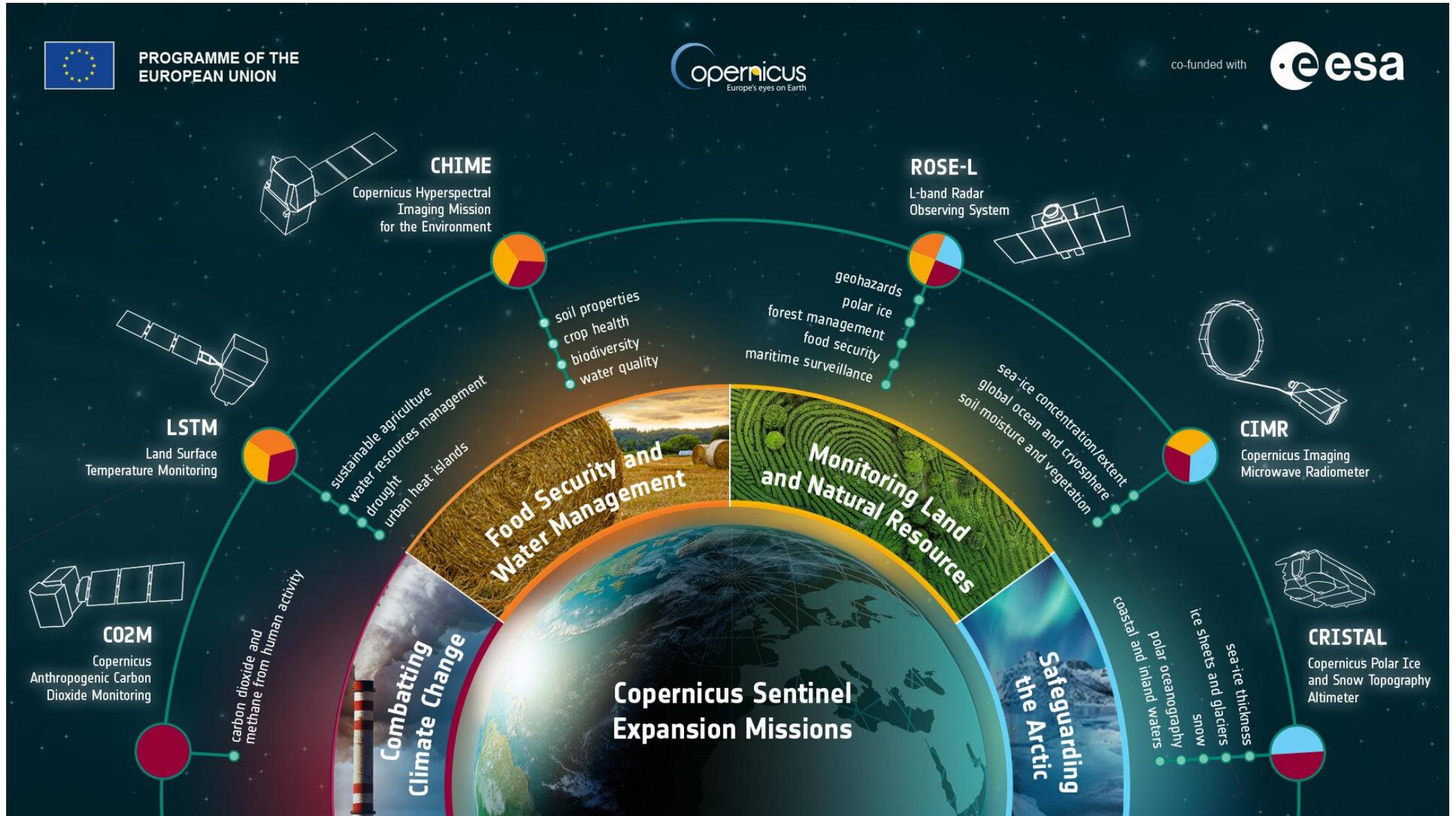


出典: NASAウェブサイトより抜粋

観測衛星のスペックのトレンド - 海外宇宙機関 3/3

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- EC/ESAが運用・計画する地球観測衛星：コペルニクスプログラムをさらに強化予定



出典：ESAウェブサイトより抜粋

観測衛星のスペックのトレンド - 海外民間企業

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 民間衛星コンステレーション会社が様々なセクターにサービスを開始している (例: 米 Planet Lab)

Established Subscription Business Across Many Large Verticals

Representing Annual Revenue of \$110M+, Across 600+ Customers¹

Agriculture	Defense & Intelligence	Civil	Mapping / Internet	Forestry	Energy	Finance	Insurance
 <ul style="list-style-type: none"> Variable Rate Seeding / Fertilizer Crop Yield Directed Scouting Harvest Planning 	 <ul style="list-style-type: none"> Security & Safety Vessel Monitoring Natural Resource Protection Emergency Response 	 <ul style="list-style-type: none"> Permitting & Code Enforcement Environmental Disaster Management 	 <ul style="list-style-type: none"> Topography Road Detection GIS 	 <ul style="list-style-type: none"> Depletion Measurements Supply Chain Sustainability 	 <ul style="list-style-type: none"> Monitoring Spill & Disaster Management 	 <ul style="list-style-type: none"> ESG Metrics Trading Strategies Investment Research 	 <ul style="list-style-type: none"> Imagery and Signals Asset Monitoring Risk Assessment
							

ESG & Sustainability Relevant to All Vertical Markets

12 ¹ As of FY2021A, FYE January 31st. ² Press advisory by National Reconnaissance Office regarding Planet contract. nro.gov

出典: 同社ウェブサイトより抜粋

観測衛星のスペックのトレンド

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 近年では温室効果ガスであるメタンを宇宙から観測するような環境衛星が官民双方で開発されはじめている



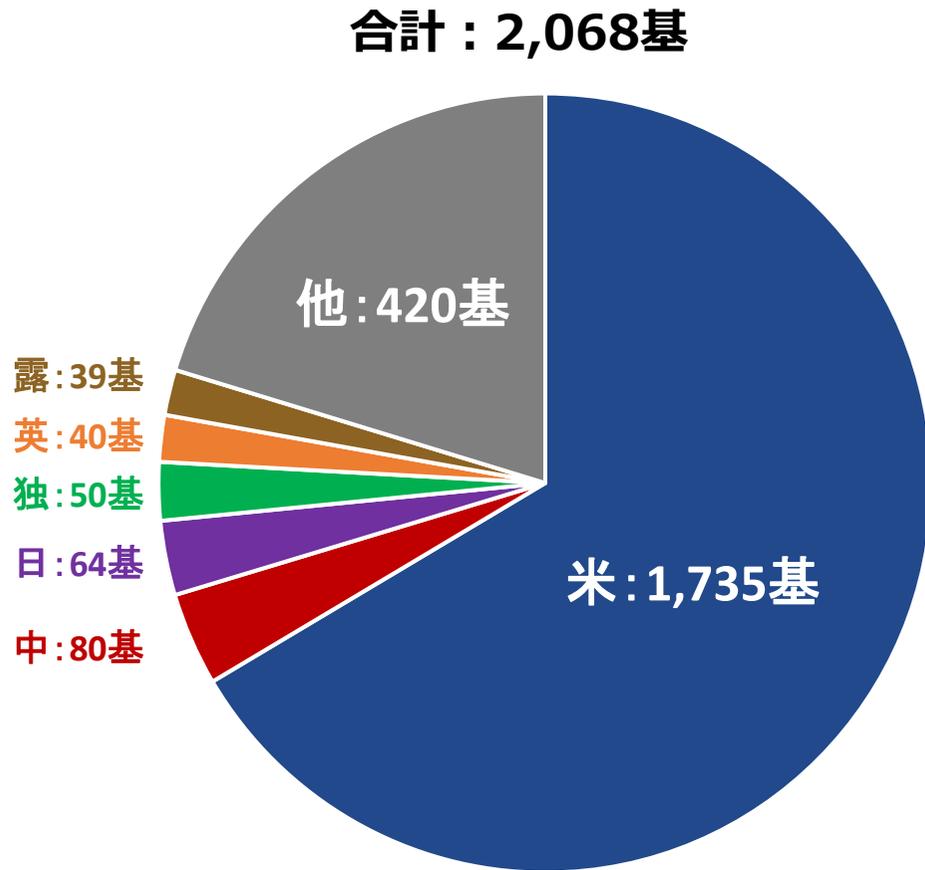
出典: Quantifying methane emissions from the global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane (Daniel J. Jacob, et al)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

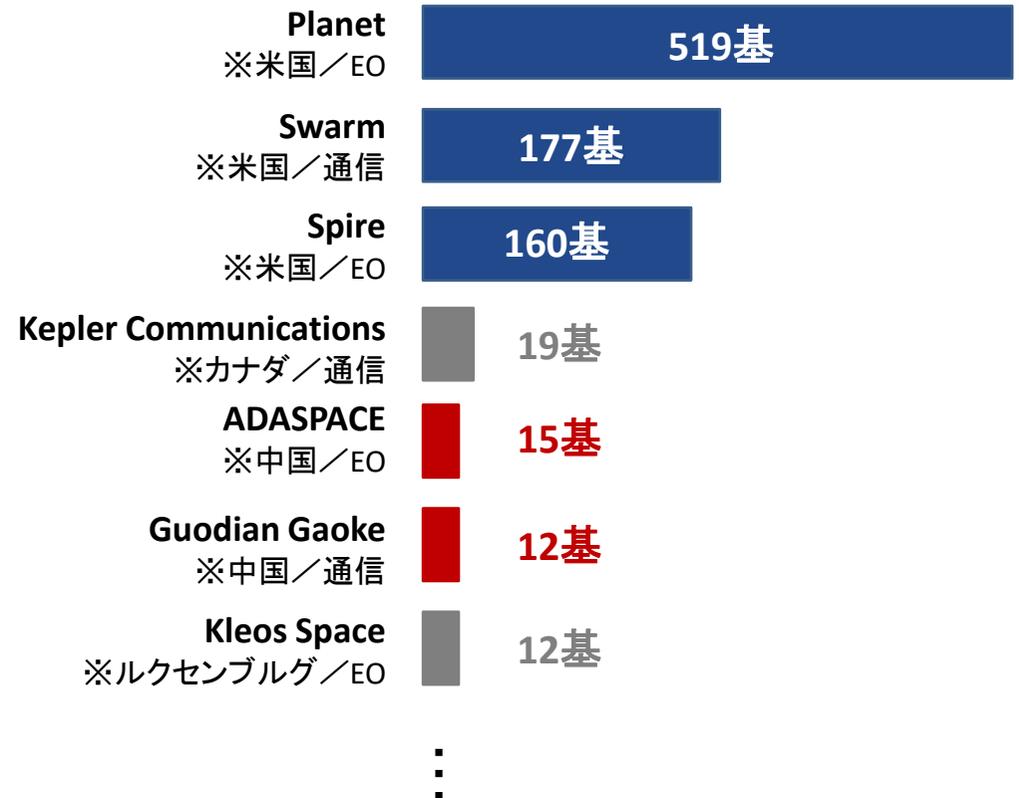
Nanosatelliteの国際的動向

- 近年の商用衛星コンステレーションの発展により、多数のnanosatellite衛星が打ち上げられている。
- 米国が大いに先行し、中国／日本がそれに続いている状況。米国はPlanet／Spire／Swarmの寄与が大きい。

2022年8月時点の打ち上げ済 nanosatellite※1の国別統計



2022年8月時点の打ち上げ済 nanosatellite※1の企業別統計

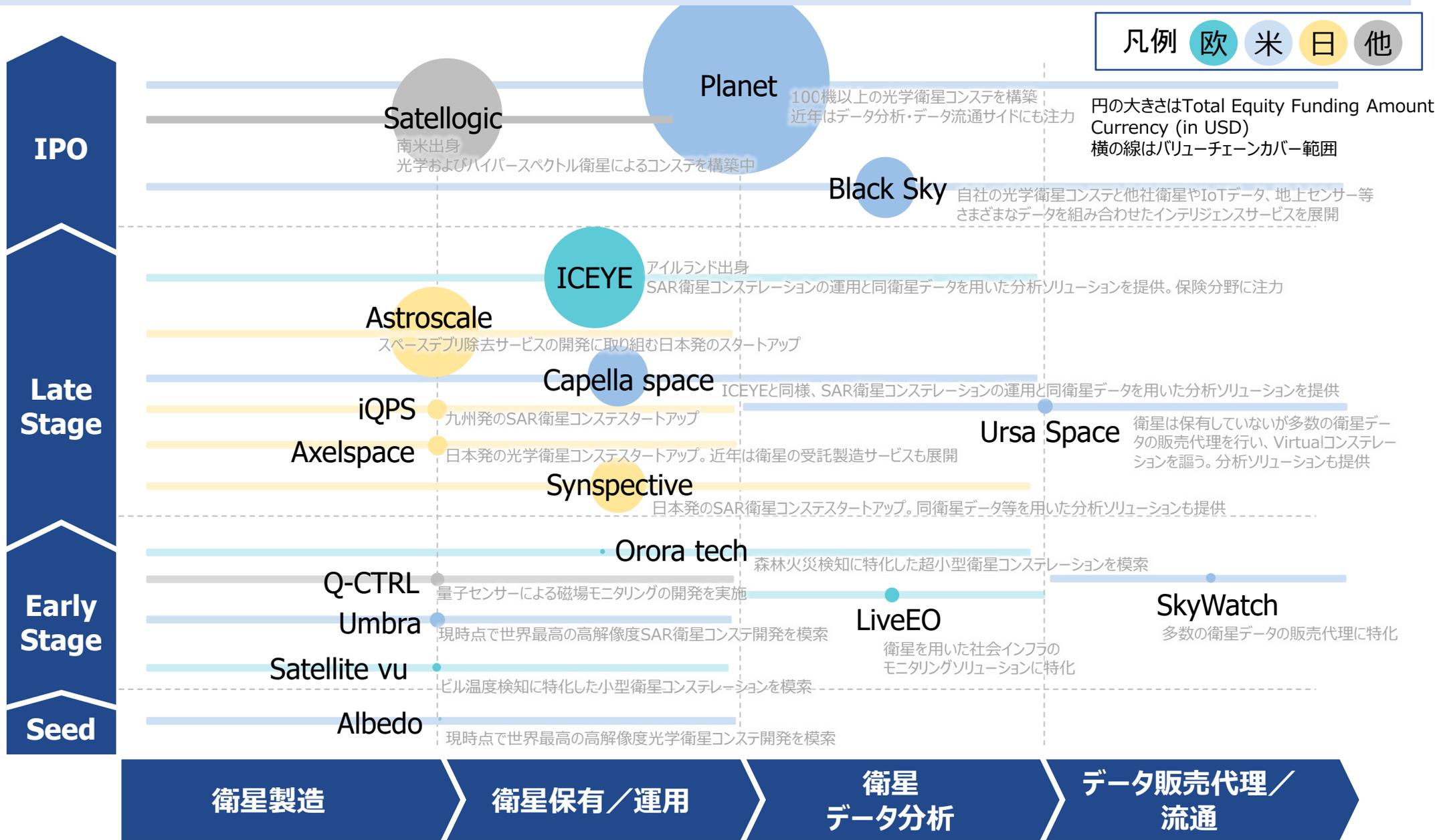


※1 CubeSats (0.25U ~ 27U)、Nanosatellites (1 kg ~ 10 kg)、Picosatellites (100 g to 1 kg)、PocketQubes、TubeSats、ThinSatsの総称と定義する
 出典： SmallSat 2022, Nanosats Database, “Nanosatellite Launch Forecasts – Track Record and Latest Prediction” より弊社作成

観測衛星のスペックのトレンド - 民間宇宙スタートアップ

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

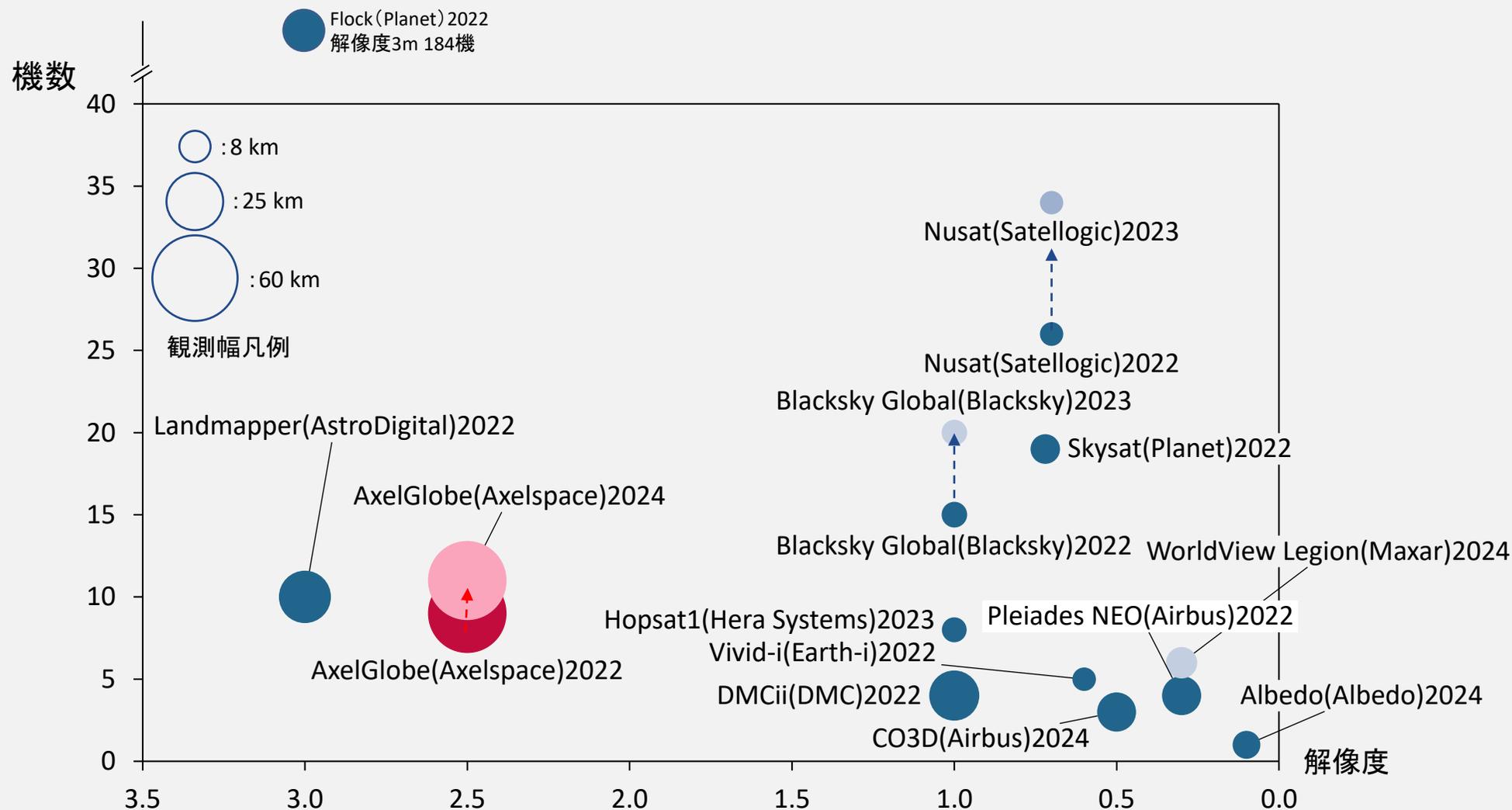
- 米国市場でいくつかの地球観測スタートアップがIPO。日系もいくつかLate Stageの企業がいる



我が国の強み・弱み - 民間衛星コンステ 1/2

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 民間衛星コンステレーション(光学衛星): 解像度が高く機数の多いコンステが海外に多数存在。日系プレイヤーは観測幅で貢献

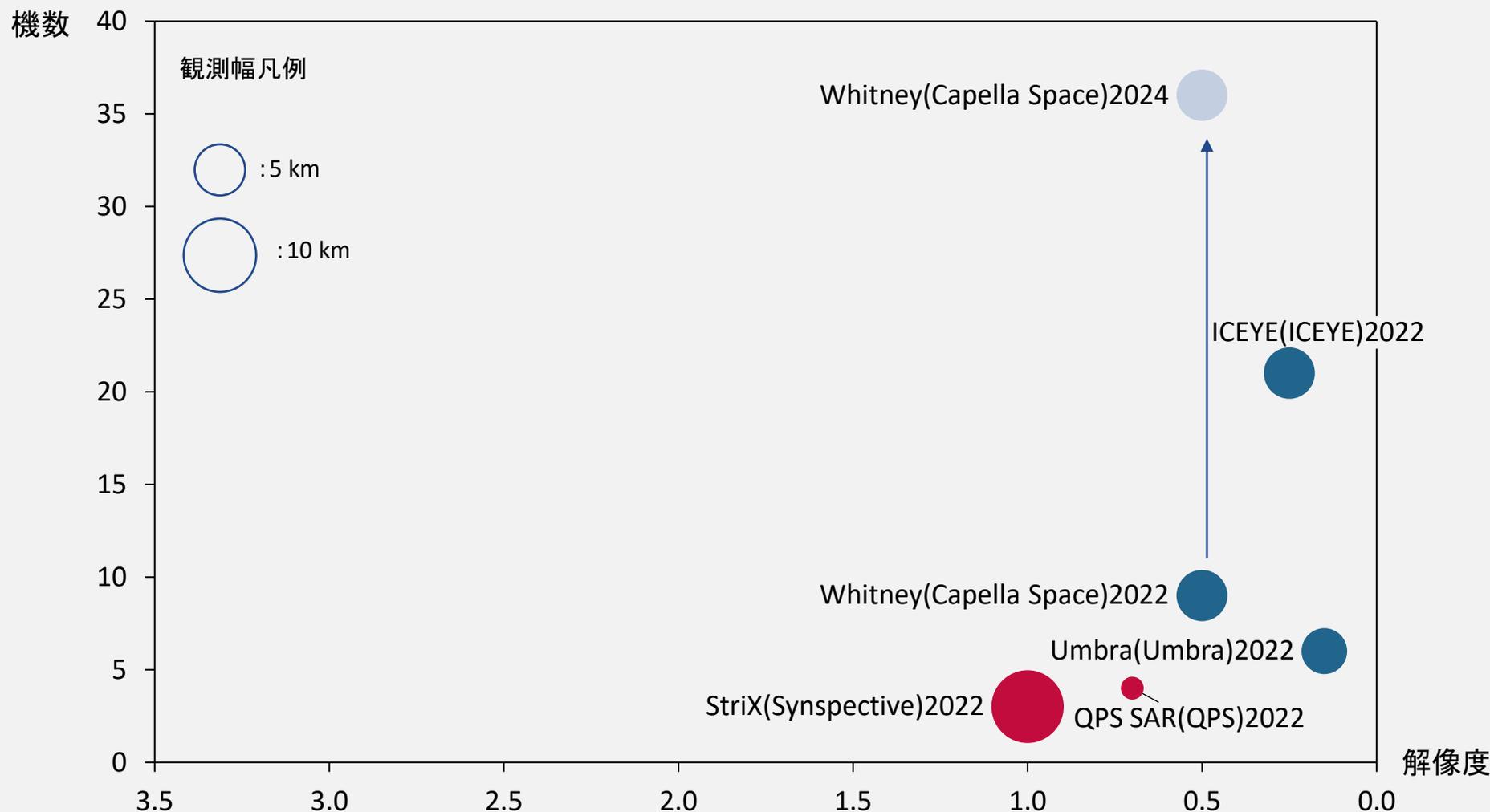


解像度は最も細かくできるVer.での数値を採用。円の大きさは観測幅を示す。矢印はSeradata社のデータベースに記載されていた、相対的に確度の高い計画
 なお、2022年の数値は2022年打上予定のものも含んでいる
 出所) SeraData社データベースおよび各社ホームページよりDB編集

我が国の強み・弱み- 民間衛星コンステ 2/2

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 民間衛星コンステレーション(X-band SAR) : まだプレイヤーは少なく日本の2社が海外を追随している



解像度は最も細かくできるVer.での数値を採用。円の大きさは観測幅を示す
 矢印はSeradata社のデータベースに記載されていた、相対的に確度の高い計画
 なお、2022年の数値は2022年打上予定のものも含んでいる
 QPS SARの観測幅は非公表
 出所) SeraData社データベースおよび各社ホームページよりDB編集

我が国の強み・弱み - サイエンス向けの衛星

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- OSCARが物理量毎に適した衛星種をグループ分けしており、例えば、Biomass計測に適した衛星で日本の衛星が多数ランクインしている

グループ	衛星名	センサー種類	センサ名	保有者	国籍	解像度(m)	観測幅(km)	打上年
1	BIOMASS	Imaging radar (SAR)	SAR-P	ESA	ESA	50-60	50-60	2023
1	ISS GEDI	Space lidar	GEDI Lidar	NASA	米国	25	7	2018
1	ISS MOLI	Space lidar	MOLI lidar	JAXA	日本	25		2022
1	Resurs-O1-1	Imaging radar (SAR)	SAR-Travers	Roscosmos	ロシア	20	80	1985
2	ICESat	Space lidar	GLAS	NASA	米国	170	2.5	2003
2	ICESat-2	Space lidar	ATLAS	NASA	米国	170	2.5	2018
2	Ludi-Tance 1 01A	Imaging radar (SAR)	L band SAR	CNSA	中国	3	400	2022
2	Ludi-Tance 1 01B	Imaging radar (SAR)	L band SAR	CNSA	中国	3	400	2022
2	Tandem-L	Imaging radar (SAR)	L-SAR	DLR	ドイツ	7	350	2024
2	ALOS	Imaging radar (SAR)	PALSAR	JAXA	日本	7-100	40-350	2006
2	ALOS-2	Imaging radar (SAR)	PALSAR-2	JAXA	日本	1-100	24-350	2014
2	ALOS-4	Imaging radar (SAR)	PALSAR-3	JAXA	日本	1-25	35-700	2022
2	ROSE-L	Imaging radar (SAR)	ROSE-L	ESA	ESA	<=5	80-400	2028
2	SeaSat	Imaging radar (SAR)	SAR	NASA	米国	25	100	1978
2	JERS	Imaging radar (SAR)	SAR (JERS)	JAXA	日本	18	75	1992
2	SAOCOM-1A	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2018
2	SAOCOM-1B	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2020
2	SAOCOM-2A	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2021
2	SAOCOM-2B	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2021
2	NI-SAR	Imaging radar (SAR)	SAR-L (NISAR)	NASA	米国	2-7	240	2023
2	NovaSAR-S	Imaging radar (SAR)	S-SAR	UKSA	イギリス	6-30	13-750	2018
2	Kondor-E1	Imaging radar (SAR)	SAR-10	NPOMash	ロシア	1-30	10-150	2014
2	Kondor-E	Imaging radar (SAR)	SAR-10	NPOMash	ロシア	1-30	10-150	2013
2	HJ-1C	Imaging radar (SAR)	SAR-S	CAST	中国	20	100	2012
2	NI-SAR	Imaging radar (SAR)	SAR-S (NISAR)	NASA	米国	2-6	240	2023

出所) OSCAR、開発状況に応じて最新の情報とは異なる場合がある。

我が国の強み・弱み - 日本関与が高い衛星

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- いくつかの物理量は日本の衛星のシェアが高く、この分野は守っていくべき分野と考えられる

LN	評価対象物理量 大分類	評価対象物理量 小分類	優位な 衛星種類数 (グループ1・2)	うち日本保有の 衛星の種類数		グループ1・2 内の日本のシェア
				グループ1	グループ2	
1	Clouds and precipitations	Precipitation Intensity at surface(liquid or solid) 地表の降水量 (液体もしくは固体)	10	1	5	60.0%
2	Land surface	Land surface topography 地表面地形	24	1	4	20.8%
3	Land surface	Biomass バイオマス(植生量)	25	1	4	20.0%
4	Land surface	Ice sheet topography 氷床地形	22	0	4	18.2%
5	Land Surface	Soil moisture(in the roots region) 根の深さレベルの土壌水分量	25	0	4	16.0%
6	Land Surface	Soil moisture at surface 地表面土壌水分量	25	0	4	16.0%
7	Atmospheric chemistry	CO2 二酸化炭素	24	0	3	12.5%
8	Sea Ice	Sea-Ice cover	139	0	12	8.6%
9	Sea Ice	Sea-Ice elevation	12	0	1	8.3%
10	Land Surface	Snow water equivalent	54	0	4	7.4%
11	Land Surface	Land cover	42	0	3	7.1%
12	Atmospheric chemistry	H2O	43	1	2	7.0%
13	Atmospheric chemistry	CH4	29	0	2	6.9%
14	Land surface	Vegetation type	57	1	2	5.3%
15	Land surface	NDVI	21	0	1	4.8%
16	Clouds and precipitations	Cloud cover	74	0	3	4.1%
17	Land surface	Fire fractional cover	30	0	1	3.3%
18	Aerosols and radiation	Aerosol effective radius	67	0	2	3.0%
19	Aerosols and radiation	Aerosol Optical Depth	68	0	2	2.9%
20	Basic atmospheric	Height of the top of PBL	34	0	1	2.9%
21	Land surface	Land surface temperature	40	0	1	2.5%
22	Ocean	Sea surface temperature	40	0	1	2.5%

出所) OSCAR

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

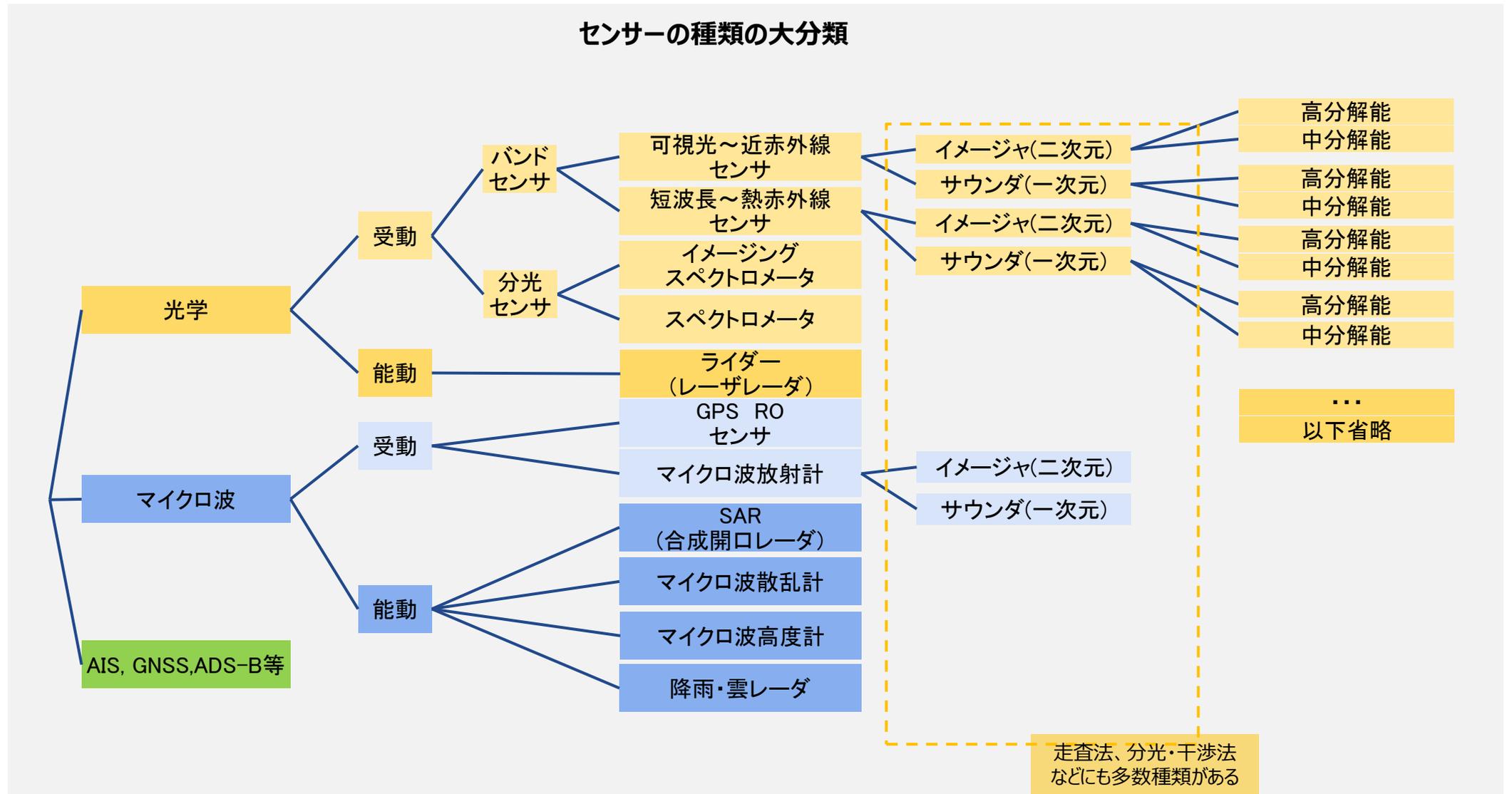
総論

- センサーは光学とマイクロ波を用いたものがメインのセグメントであり、その中でも観測対象とする物理量によって、種類は細分化される。さらにGNSSやAISといった異なる種類の計測方法がある
- このように、センサーの種類は多種多様にあるが、いずれも真新しいものではなく、過去より提唱されてきたものである。いくらか淘汰されそうなものであるが、どの種類のセンサーも未だに改善が進められている
 - イノベーティブな分野としては、センサーの素材が挙げられるが、グラフェンなどの新素材はまだ発展途上
- ①の調査で示した通り、わが国ではいくらか強い分野があり、その分野での強みを守っていくことがまずはファーストステップとなる

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

センサーの大分類

- 光学・マイクロ波がメインのセグメントだが、その中でも多数の細分化された種類がある



出所) 各種資料よりデジタルブラスト作成

近年の開発状況

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- どのセンサー種も新たに開発・改善され打ち上げられている

全世界で近年打ち上げられた、また今後打ち上げられるセンサー種数の推移

No.	分類			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	1960-2029 集計	2016-2029 集計
1	受動	光学	中解像度イメージャ	2	3	3	2	1	3	9	5	4	2	2	0	0	0	126	36
2	受動	光学	高解像度イメージャ	6	5	4	5	6	7	9	3	0	2	0	0	0	2	189	49
3	受動	光学	クロスナディア短波長サウンダー	1	1	4	1	1	0	3	5	3	2	1	0	0	0	36	22
4	受動	光学	クロスナディア赤外サウンダー	0	1	1	1	0	1	0	2	2	2	0	1	0	0	43	11
5	受動	光学	光学イメージャ	0	3	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	9	6
6	受動	光学	広帯域放射収支計	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	16	4
7	受動	光学	太陽放射照度計	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	18	4
8	能動	光学	ライダー	0	0	1	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	15	7
9	受動	マイクロ波	円錐型マイクロ波放射計	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	0	0	1	0	30	8
10	受動	マイクロ波	クロストラック型マイクロ波放射計	1	0	1	0	0	3	0	1	2	0	0	0	0	0	40	8
11	-	-	リムサウンダー	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	35	5
12	能動	マイクロ波	雲/降雨レーダー	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	6	3
13	能動	マイクロ波	マイクロ波散乱計	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	14	5
14	能動	マイクロ波	マイクロ波高度計	2	0	0	1	1	1	2	2	0	0	0	1	0	0	22	10
15	能動	マイクロ波	合成開口レーダー	1	0	3	4	1	2	3	5	0	0	1	0	1	0	42	21
16	-	-	重力センシング	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
17	能動	マイクロ波	GNSS電波掩蔽観測	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	28	10

出所) OSCAR

- 我が国のセンサーで強みがあるのは下記のものと考えられ、まずはここを守ることが先決である

LN	センサー種類	優位な衛星種類数 (グループ1・2)	日本保有衛星の衛星種数		グループ1・2内での日本保有衛星種のシェア[%]
			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	1	1	50.0
2	Synthetic Aperture Radar 合成開口レーダー	19	0	4	21.1
3	Cross-nadir IR spectrometry (for chemistry) from LEO LEOからの赤外線分光計	10	0	1	10.0
4	Ocean colour imagery from LEO LEOからの海色イメージャ	17	1	1	11.8
5	Multi-purpose VIS/IR imagery from GEO	27	2	0	7.4
6	High-resolution imagery for land observation	29	1	1	6.9
7	Multi-purpose VIS/IR imagery from LEO	16	0	1	6.3
8	Instruments covering 1300-3000 nm	17	0	1	5.9
9	MW imagery	70	4	0	5.7
10	Space Weather: Solar activity monitoring	97	1	4	5.2
11	Instruments covering 400-700 nm	99	5	0	5.1
12	Radar altimetry	21	0	1	4.8
13	IR temperature/humidity sounding from LEO	22	1	0	4.5
14	Instruments covering 8.5-15 micrometers	45	2	0	4.4
15	Instruments covering 5.0-8.5 micrometers	45	0	2	4.4
16	Instruments covering 1-300 GHz	105	4	0	3.8
17	Space weather: Energetic particles monitoring	411	10	2	2.9
18	Instruments covering 3.0-5.0 micrometers	35	0	1	2.9
19	Instruments covering 700-1300 nm	41	0	1	2.4
20	Space Weather: Field and wave monitoring	141	2	1	2.1

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

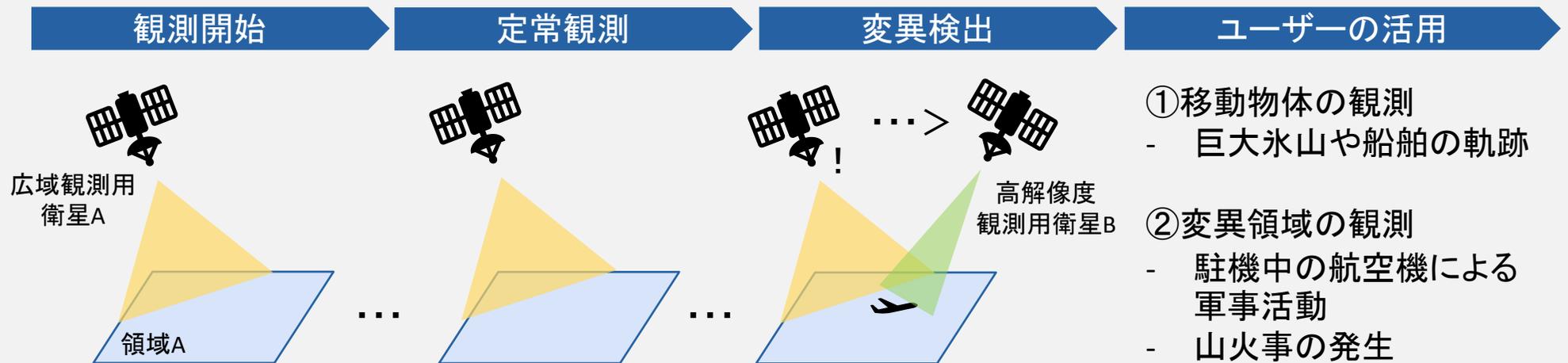
総論

- Tip & Cueとは、撮像された衛星データの解析結果(Tip)を起点として新規の撮像指令(Cue)を出す技術であり、近年様々な企業が自社サービスへの活用を開始している。
- Tip & Cueが生み出す価値は下記の2点であり、特に2点目を重視したサービスが展開されている。
 - 移動する対象物を連続的に観測することで、既存の方法よりも高精度に移動物体の検出および行動予測を行うことができ、巨大氷山や船舶の移動経路の観測に活用されている。
 - 定常観測している領域に変異があった際に高解像度の画像を取得し、迅速かつ効率的に示唆のある高解像度の画像を提供ことができ、船舶や航空機を用いた軍事活動や、山火事のモニタリングに活用されている。
- デスクトップ調査とIGARSS2022の聴講内容を踏まえると、今後はオンボード処理能力と衛星間通信を改善し、地上局を介さないTip & Cueの実現を目指すと考えられる。
- 日本の強み・弱みとしては、現時点で多数の衛星を保有している企業が無い点ことから、すぐにTip & Cueを活用したサービスを日本で立ち上げることは難しいと考える。一方で、今後Tip & Cueへの活用が期待される衛星間通信や宇宙空間でも解析拠点については、WARPSPACE社やSpace compass社が2024年に向けたサービス提供に動き出しており、Tip & Cueのプロセスの一部を担うことでプレゼンスを発揮することができるのではないかと。

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

Tip & Cueの定義と特徴

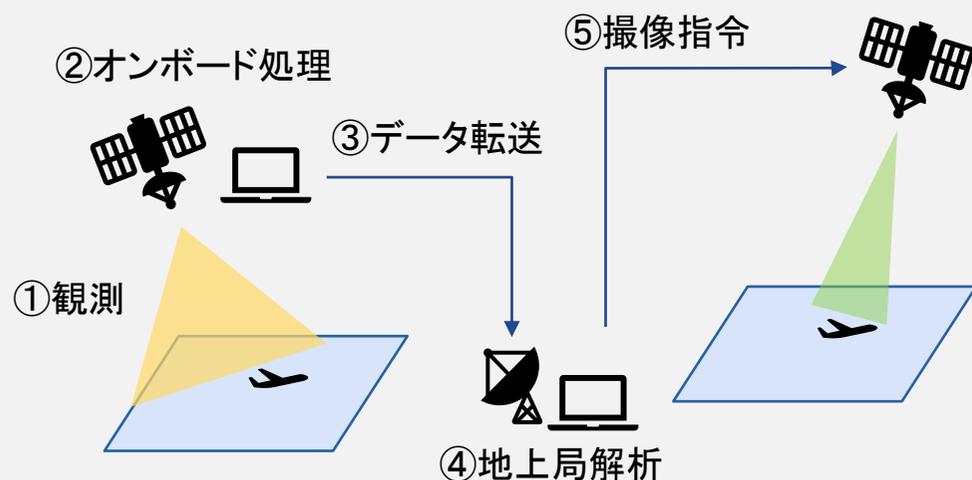
- Tip & Cueは、衛星で特定の領域あるいは物体を監視する際に、その領域の画像の「Cue」を得るために別の相補的なセンサプラットフォームに「Tip」を要求するプロセスである。つまり撮像指示の自動化である
- Tip & Cueの実現により、観測範囲の狭い高解像度観測用衛星から効率的に示唆のある画像を得ることが可能となった。



観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

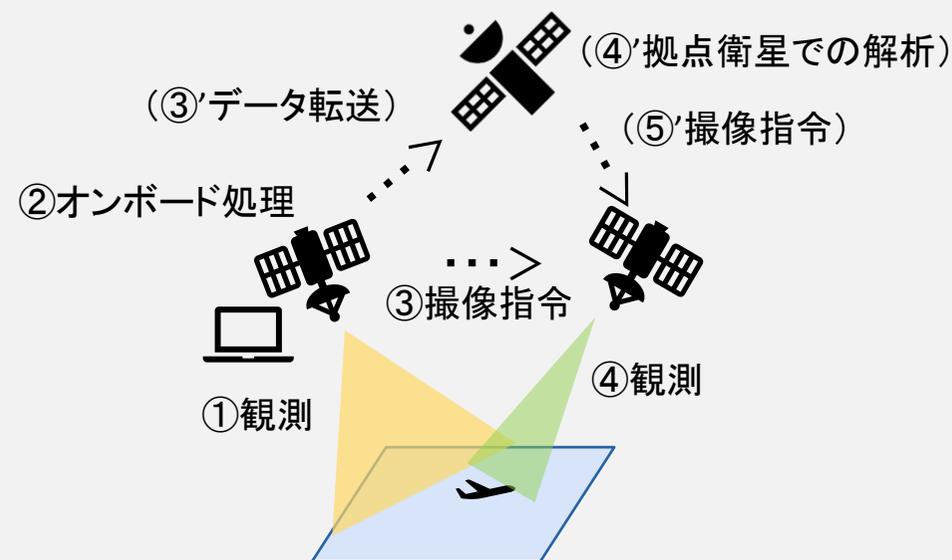
- オンボード処理と衛星間通信が、Tip & Cueをさらに進化させるものと考えられる
- 現在のTip & Cueは、下記の6つのステップにより変異を検出した領域の観測を実現している。
- 今後は地上局を介さないTip & Cueを実現するため、オンボード処理能力を向上させ、衛星間通信のみでTip & Cueを行うよう技術革新が行われている。

既存のTip & Cue



- 地上局を介して撮像指令を行うため、リアルタイム性に限界がある。

将来的なTip & Cue



- オンボード処理能力や解析拠点衛星の出現により宇宙空間でTip & Cueが完結するため、リアルタイム性が向上する。

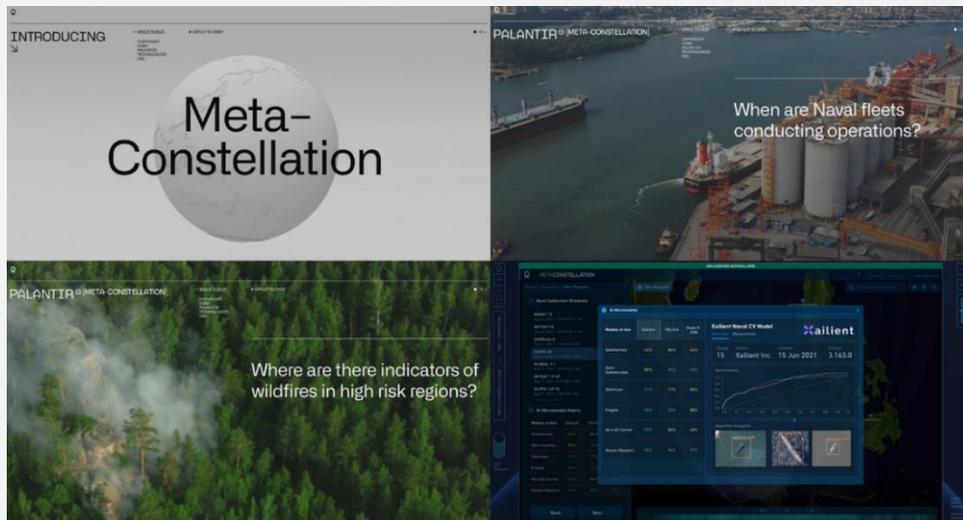
観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- Tip & Cueを駆使しながら、提携企業の衛星データを提供するプラットフォームを構築

概要

- Palantir社は2003年に設立したSaaS系企業であり、AIを用いたビックデータ処理からの示唆の導出に強みを持つ。
- 自社の衛星は保有していないが、提携企業が提供する衛星データを、Tip & Cueを活用しながらユーザーに提供するプラットフォーム「MetaConstellation」を提供している。

MetaConstellationのサービス

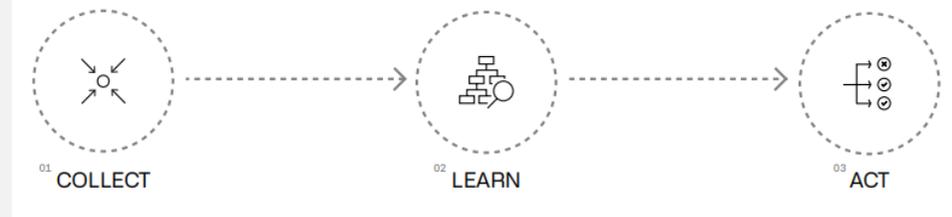


※Palantir社HP資料よりDBにて編集

- MetaConstellationでは、軍事施設の監視や異常船舶の検出、山火事の検知などが行える。
- 各社の衛星に撮像指令が行える点が優れている。

Satellogicの衛星に自社AIを搭載

Palantir Edge AI



※Palantir社資料よりDBにて編集

- 自律学習型AI「Edge AI」をSatellogicの新規衛星に搭載しており、オンボード処理を向上させることでTip & Cueの効率化を目指している。

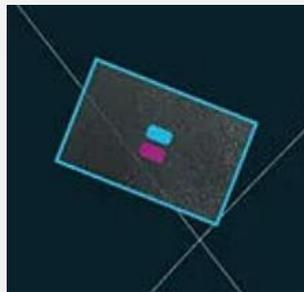
観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- 異なるバンドを持つ衛星会社と提携し、冰山監視をより強化

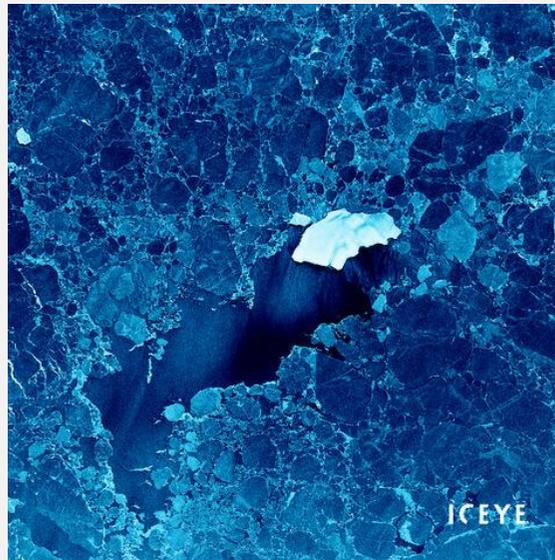
概要

- ICEYE社は2014年にフィンランドで設立されたXバンドSAR衛星に強みを持つリモートセンシング企業であり、2022年6月時点で21機のXバンドSAR衛星を軌道上に保有している。

ICEYEのTip & Cue



- ICEYE衛星が検出した冰山
- Sentinel-1が検出した冰山



※ICEYE社HP資料よりDBIにて編集

- Tip & Cueの実証実験として、Sentinel-1から検出された冰山をICEYE衛星のストリップモードで再観測し、冰山の周辺環境から移動速度を推定した。

MDA社との他企業衛星間でのTip & Cue

ICEYE社XバンドSAR衛星



MDA社CバンドSAR衛星

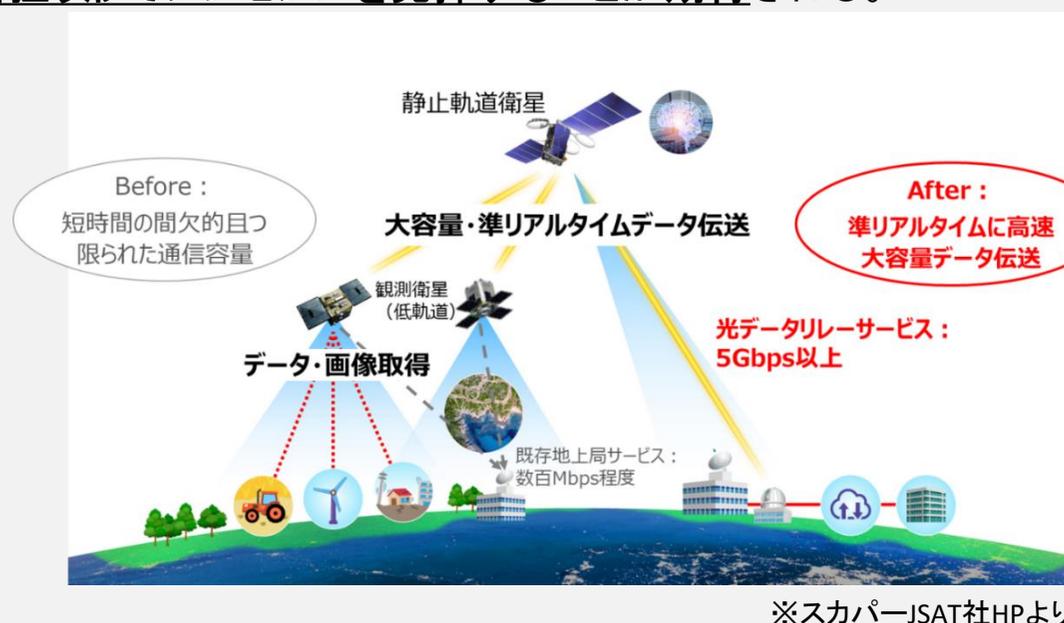


※リモートセンシング技術センターHPより

- ICEYE社は2021年12月にCバンドSAR衛星を保有するMDA社との提携を発表した。
- MDA社衛星が持つ広域的観測能を活用することで、冰山の監視をより強化することを目指す。

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- 欧米が先行している分野であり、どのような参入の仕方が考えうるか検討が必要な領域といえる
- Tip&Cueを提供する企業のほとんどは、10機以上の多数の衛星か、超高解像度衛星を保有している。衛星を保有していない企業(Ursa Space System社等)も存在するが、多数の衛星保有企業との提携の上で成立している。
- 日本企業が今後Tip&Cueサービスに参入していくためには、①多数の衛星を打ち上げる、②超高解像度衛星を開発する、③既存の衛星保有企業との取り引きを介して衛星画像商社のような立場を確立する、のいずれかを達成することが必要になるだろう。
- 一方で、将来的なTip&Cueの形である「宇宙空間で完結するTip&Cue」では、キーとなる技術である衛星間通信技術や解析拠点衛星を開発する企業(Space compass社やWARPSPACE社)が日本から出現しており、将来的にTip&Cueのプロセスの一部を担う形でプレゼンスを発揮することが期待される。



目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

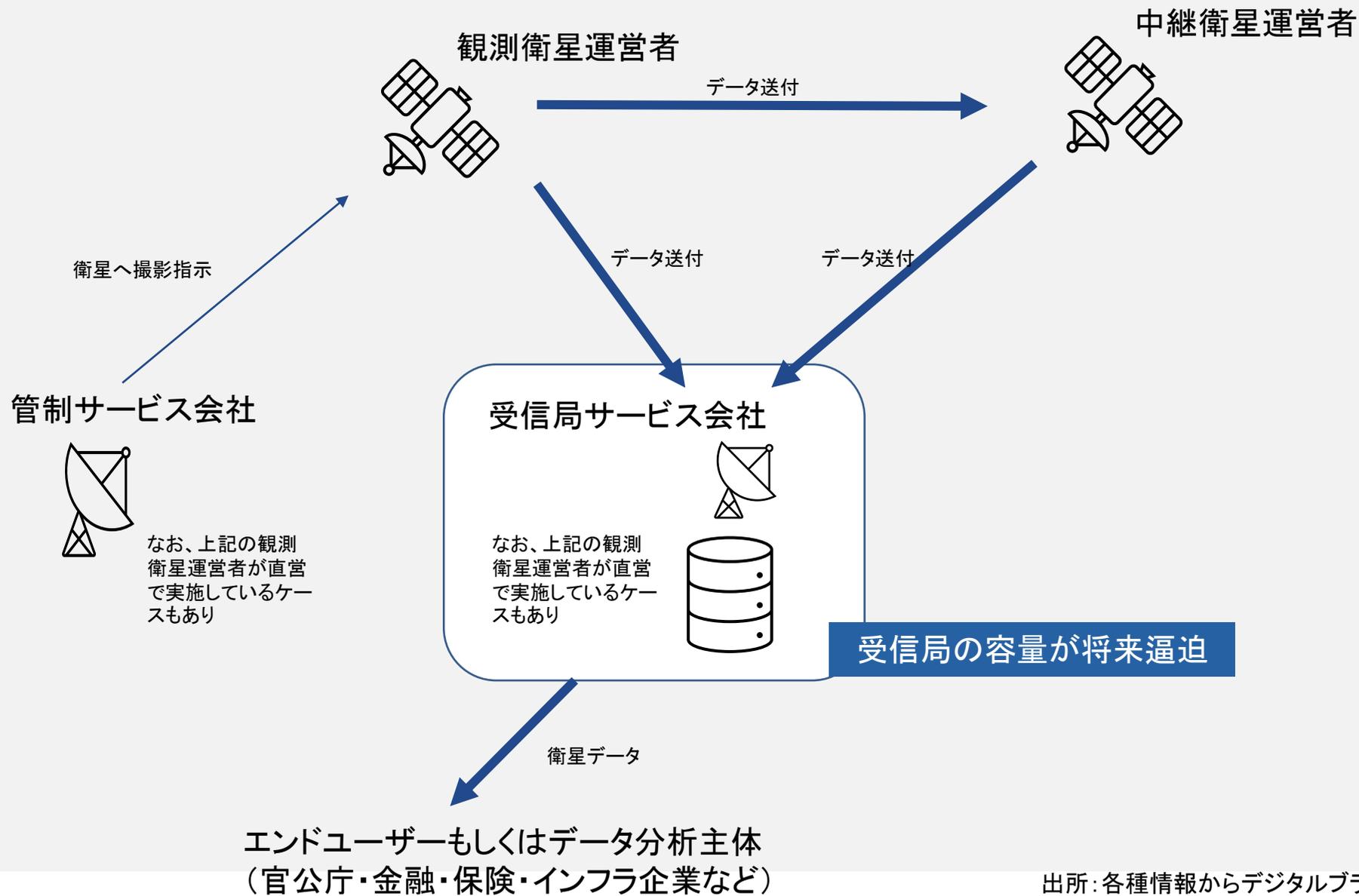
総論

- 従来より、衛星の軌道や姿勢の制御、あるいは地上との通信制御などを行うために、衛星にはコンピュータが搭載され、様々なソフトウェアによる処理(オンボード処理)が行われてきた。
- 地球観測衛星ではこれらの機能に加えて、取得したアナログ画像の処理(A/D変換)、データの圧縮・暗号化処理、地上局への伝送処理などが衛星上(オンボード)で行われる。
- 今後は、衛星が取得するデータ量が増大することが予想され、地上局に伝送するデータの更なる圧縮や、現在、地上局で実施している分析の一部を衛星上で行うことにより多数の衛星(コンステレーション)を効果的に運用するようなことも想定され、これまで以上にオンボード処理技術が開発されると考えられる。
- オンボード処理分野で今後の発展が期待される分野
 - ✓AI処理などのアルゴリズム(ソフトウェア)
 - ✓高速かつ高安定のオンボードコンピュータ(ハードウェア)
- ポイントは、今後、我が国は上記のどちらの分野に注力するか？
 - ✓オンボードプロセッサ市場における海外企業の進出を考慮するとAI処理アルゴリズムなどのソフト処理に進むべきと思料
 - ✓ただし、最近の宇宙におけるEdge Computing Allianceの動向などを踏まえるオンボードとAI処理の分野でも競争が激化することは明白であり、官民一体の早期の取り組みが必要

オンボード処理のニーズ

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- 衛星から地上へのデータ量が今後増加する恐れがあり、衛星上でのデータ処理のニーズが現在顕在化している

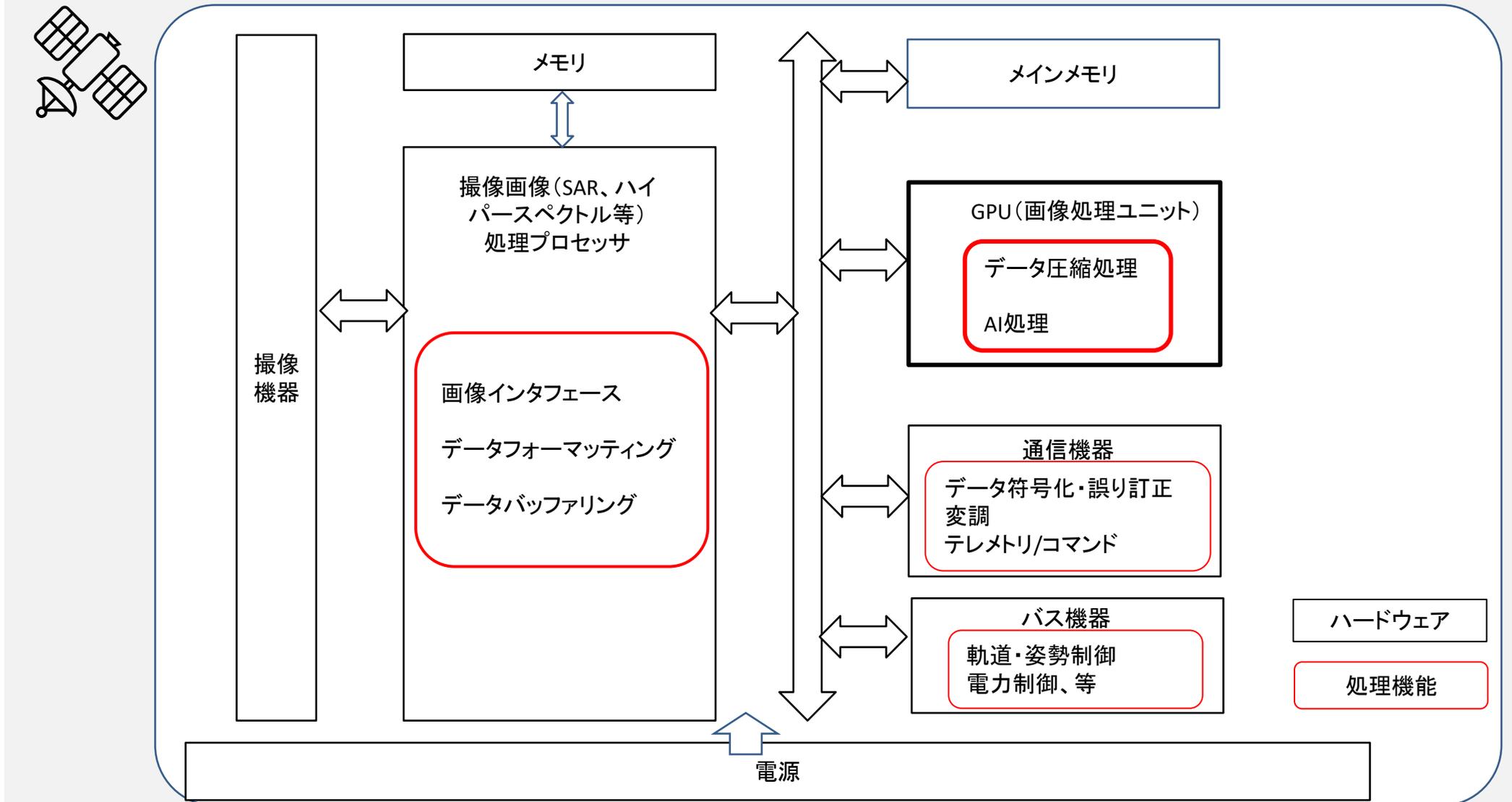


出所: 各種情報からデジタルブラストが作成

オンボード処理の機能ブロック

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- 地球観測衛星に係る一般的なオンボード処理の機能ブロックは下記の通り



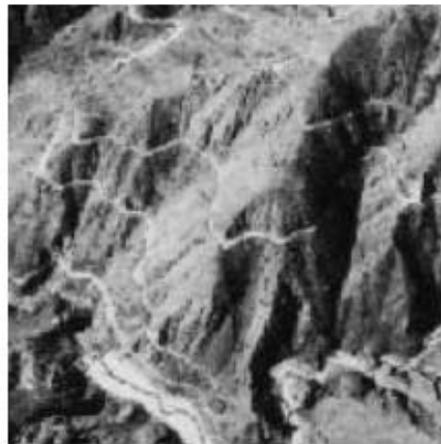
出所: 各種情報からデジタルブラストが作成

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- オンボード処理は画像圧縮という形で過去より実施されている (ALOSの画像圧縮の例)

- 2006年に打ち上げられたALOSには、可視域を観測する光学センサであるパンクロマチック立体視センサ (PRISM) や、可視・近赤外域の波長を用いて、主に陸域、沿岸域を観測する高性能可視近赤外放射計2型 (AVNIR-2) が搭載されている。
- PRISMは3式の放射計から合計960Mbps、AVNIR-2は4バンドの合計で160Mbps、Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) は高分解能モードで240Mbpsの観測データを出力し、総計1.36Gbpsのデータ量となり従来のセンサに比較して高速のデータを発生することになった。
- このため、ALOSでは、PRISM及びAVNIR-2のデータをそれぞれ960Mbpsから240Mbps、160Mbpsから120Mbpsに圧縮した。圧縮データには誤り訂正符号を付加し地上にダウンリンクされる。リアルタイムで地上局に伝送できない場合には衛星上で蓄積される

圧縮画像の例



原画像



圧縮率1/4の圧縮画像

ALOSのデータ圧縮方式

センサー	データ圧縮
PRISM	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮方式: 離散コサイン変換 (DCT)、ハフマン符号化* 圧縮率: 1/4.5、1/9 (非可逆圧縮)
AVNIR-2	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮方式: 差分PCM、ハフマン符号化 圧縮率: (可逆圧縮)

出所: 「ALOS解説資料」 (https://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos_j.pdf)

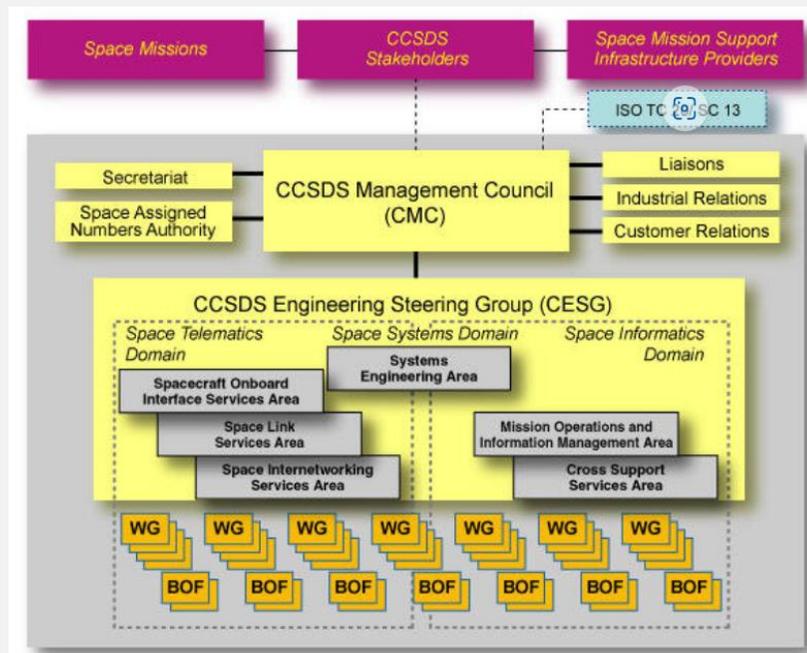
観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- データ圧縮からAI処理によるフィルタリングなどが研究されるようになった

規格

- 1982年、宇宙データ通信システムに関わる国際標準化検討委員会として宇宙データシステム諮問委員会 (CCSDS: Consultative Committee for Space Data System) が設立され、宇宙データシステムの開発と運用における共通の問題を議論するフォーラムとして活動している。現在、NASA、ESA、JAXAなどの11の宇宙機関、中国のCASTや韓国のETRIなどの32のオブザーバー機関、Boeing Defense & Space Systems やNECなど多数の産業関係者および学会や標準化団体などのリエゾン機関から構成される。
 - CCSDSでは宇宙データシステムの運用に関する規格を策定しており、宇宙リンクのデータ圧縮式についても標準化が行われている。
 - DATA COMPRESSION WORKING GROUP (SLS-DC)
- (https://cwe.ccsds.org/sls/default.aspx#_SLS-DC)

CCSDSの構成



研究のトレンド

- CNESが積極的にオンボードデータ圧縮の検討を進めており、ESAと連携してOn-Board Payload Data CompressionをInternational Workshopとして開催している(直近の開催は2020年9月)
- CCSDS規格に対してスペクトルバンドの数やビット深度、ノイズレベルを拡張する研究 や、ハイパースペクトル画像圧縮における圧縮の有利さと複雑さのトレードオフ調査 など、様々な研究が行われている。
- 特に、SAR衛星におけるオンボード処理は、SARデータに対するアプリケーションの需要の増加に伴い、研究分野として成長しているとされており、ダウンリンクの伝送速度や衛星上の蓄積容量の制約に対処するため大きく以下のような研究が行われている。
 - オンボード圧縮アルゴリズム: 主要なアルゴリズムとしてRange-Doppler、OMEGA-K、Chirp Scalingなどが挙げられている。
 - オンボードでのAI処理による、無関係なあるいは低品質のデータのフィルタリングやデータのサブセットのみの送信

- ESAではΦ-SATと呼ばれるAIオンボード処理を搭載した衛星が打ち上げられている

➤ ESAのPhi-satおよびPhi-sat2

プログラム	概要
Phi-sat	<ul style="list-style-type: none"> 土壌水分、地表面温度、陸域の画像を取得を目的とするCubeSat 2020年9月にアリアンロケットで打ち上げ コペルニクスマスターズの受賞者(カタルーニャ工科大学)のAI技術の実証を実施 光学センサーが撮影したデータのうち、雲が映り分析に適さない画像を判別することで、ダウンリンクされるデータ容量の削減と研究者の分析にかかる時間の削減を目指す。雲を取り除くことで、衛星は最大30%の帯域幅を節約 オンボードプロセッサはIntel社が提供したMovidius Myriad 2 Vision Processing Unit (VPU)が搭載されている。Myriad2にインストールされたAIソフトウェアは、Ubotica社が開発 処理を行うニューラルネットワークは、ピサ大学が開発
Phi-sat2	<ul style="list-style-type: none"> データの削減に加え、衛星上での船舶検出などのAIアプリケーションを実証予定。 オンボードプロセッサはIntel社のMovidius Myriad 2 Vision Processing Unit (VPU)が搭載される。Myriad2にインストールされるAIソフトウェアは、引き続きUbotica社によって提供される。 これに加えCGI社がAIプラットフォームを提供する。このプラットフォームに、KP Labs社が雲を検出するAIアプリケーション、GEO-K社がデータを圧縮処理するAIアプリケーション、Cei-A社が船舶を検出するAIアプリケーション、CGI社がSat2Mapアプリケーションをそれぞれ開発し提供。7スペクトルバンドのVNIRセンサーを、Simera社が提供。



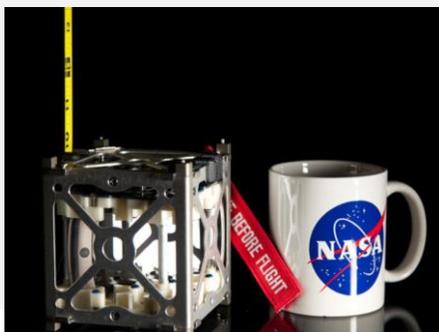
Φ-Sat AIボード
出所: ESA

(https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Ph-sat/FSSCat_F-sat-1_ready_for_launch)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- NASAは、衛星の位置・軌道決定や姿勢制御にもオンボードAI処理を用いている

- NASAのオンボード処理の研究開発は、GN&C (Guidance, Navigation & Control) すなわち、衛星の位置・軌道決定および姿勢制御に注力されている。
 - ✓ 地球近傍の軌道では衛星の位置決定は全地球測位システム (GNSS) で実施できるが、深宇宙での位置決定では、惑星やパルサーなどの天体を利用して位置データを取得する光学技術も開発されている。さらには、月面や火星への着陸、軌道上での自動組み立てなども視野に入れたオンボード処理の研究が進められている。
- 一方、NASAのEarth Science Technology Office (ESTO) はIrvine Sensors Corporationの3D Electronics and Mass Storageに資金を提供し、リモートセンシングデータをより高速にかつ高信頼に処理できるコンピュータ技術を開発している。
 - ✓ この技術はStacked Miniaturized and Radiation Tolerant Intelligent Electronics ((MARTIE) と呼ばれ、300 Gigaflops以上の演算能力と15TOPSのAI性能を備えたfolded-flex moduleに3機の高性能コンピュータを統合している。SMARTIEは放射線による干渉からコンピュータを保護するとともに、消費電力が10ワット未満と小電力である。まだ初期開発段階ではあるが、地球観測機器を始めとして惑星探査機器に至るまでのスペクトルを利用するアプリケーションを高度化させる可能性もある。



SMARTIEのような超小型コンピュータをキューブサットに搭載することでエネルギー量を削減できる

(衛星は NASA Ames Research centerが開発した Phonesat 1.0)

出所: NASA (<https://esto.nasa.gov/smartie-computer-tiles-could-provide-satellites-with-advanced-data-processing-power/>)

市販オンボード・プロセッサ(1/2)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- オンボード・プロセッサは既に市販されている

機関・ベンダー	プロセッサ(衛星)	オンボード処理の機能	性能	出所
JAXA	ミッションデータプロセッサMDP(みお)	電磁場、プラズマ、大気、ダストなどの観測データ処理	<ul style="list-style-type: none"> 100MIPS CPU) 高速アクセス可能なBurst SRAM 大容量FPGA(RTAX2000) 	https://www.isas.jaxa.jp/feature/mio/mio_11.html
ibeos	EDGE GPU-Based Payload Processor	Powerful 1U EDGEは、CubeSat標準のサイズ、重量、電力要件を満たす 拡張型の3U EDGEもあり	<ul style="list-style-type: none"> 重量:150g 動作電力: <15W 入力電圧:5V 最大クロック速度:2GHz 計算スループット:> 300 GFLOPS プロセッサ:192 CUDA GPU cores、quad-core ARM CPU (configurable for low power applications) 動作温度:-40~ 105°C 耐放射線:30krad(Si) 	https://www.ibeos.com/standard-products https://www.ibeos.com/edge-datasheet
UNIBAP	SpaceCloud® iX5100	センサーの読み取りと高速ローカルSSDストレージと組み合わせてペイロードテレメトリダウン/遠隔通信のインターフェイスを提供。SバンドとXバンドを統合 ユースケース: <ul style="list-style-type: none"> Cloud computing Mesh networks communication Earth Observation/ Disaster monitoring Space Domain Awareness SAR Interplanetary exploration Autonomous vehicles operation 	<ul style="list-style-type: none"> Intelligent Processing Core: Unibap Qseven e20xx/e21xx compute modules RAM: 2 GB DDR3 ECC (CPU/GPU), 0.5 GB DDR3 ECC (FPGA)、ECC on Flight Models Storage: Up to 240 GB M.2 Solid State Drive (SSD) SLC type、64 GB eMMC / Micro-SD card サイズ: 96(W)× 9(H) × 50(D) mm 消費電力: 10~30W 動作温度: 0 ~ 70 °C -40 ~ 70 °C、-14~70 °C (TDPIによる) 	https://unibap.com/en/our-offer/space/spacecloud-solutions/ix5100/ https://unibap.com/wp-content/uploads/2020/11/spacecloud-ix5100-datasheet.pdf

市販オンボード・プロセッサ(2/2)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- 多くの海外ベンダーがオンボードプロセッサを市場へ投入

機関・ベンダー	プロセッ(衛星)	オンボード処理の機能	性能	出所
Teledyne e2v	LS1046-Space	衛星画像処理・調整、画像データ圧縮、超低遅延通信、AIによるオンボードでの判断	<ul style="list-style-type: none"> 64ビットのプロセッシングコアArm(R) Cortex(R)-A72を4コア搭載 最大動作周波数1.8GHz Rad-Hard(100rad) 	https://digitalpr.jp/r/43113
KP Labs	Leopard	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙でのAI(Deep Neural Networks)ソリューションに適応できるCubeSat標準のデータプロセッサ 深層学習アルゴリズムの実行を高速化するためFPGAと統合し、最大3 Tera Operations毎秒Secondのスループットを実現。 放射線の影響を防ぐため、HWおよびSW対策を実施 アプリケーション例 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 画像分類とオブジェクト検知 ✓ データ圧縮と暗号化 ✓ Optical navigation ✓ 信号品質改善 ✓ 衛星自律制御 	<ul style="list-style-type: none"> コア: Zynq UltraScale+ MPSoC メモリ: 4-16 GiB DDR4 providing with ECC、4-16 GiB SLC flash-based file system storage (EDAC)、Up to 2x256 GiB SLC flash-based data storage 電圧: 6.5~14 V 消費電力: 7.5~40 W -(負荷による) 処理速度: Neural Networksスループット ~ 3 TOPS 	https://kplabs.space/leopard/ https://kplabs.space/wp-content/uploads/Leopard-technical-sheet.pdf

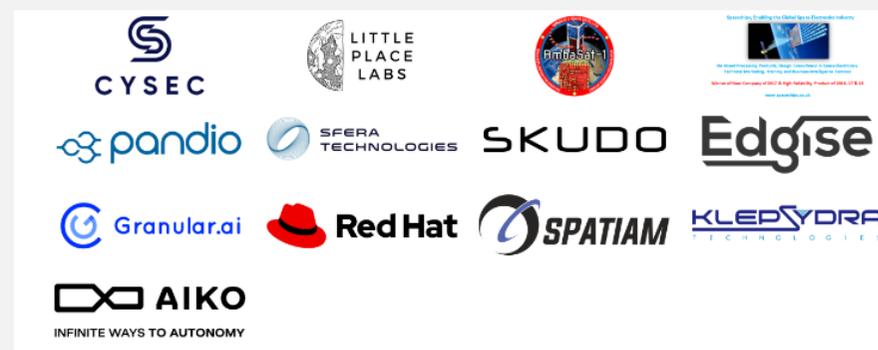
観測	転送	処理
①	④	⑤
②		⑥
③		

- こうした動きが宇宙産業界におけるエッジコンピューティングに現在発展している

Edge Computing Allianceの設立 (<https://ecsa.space/>)

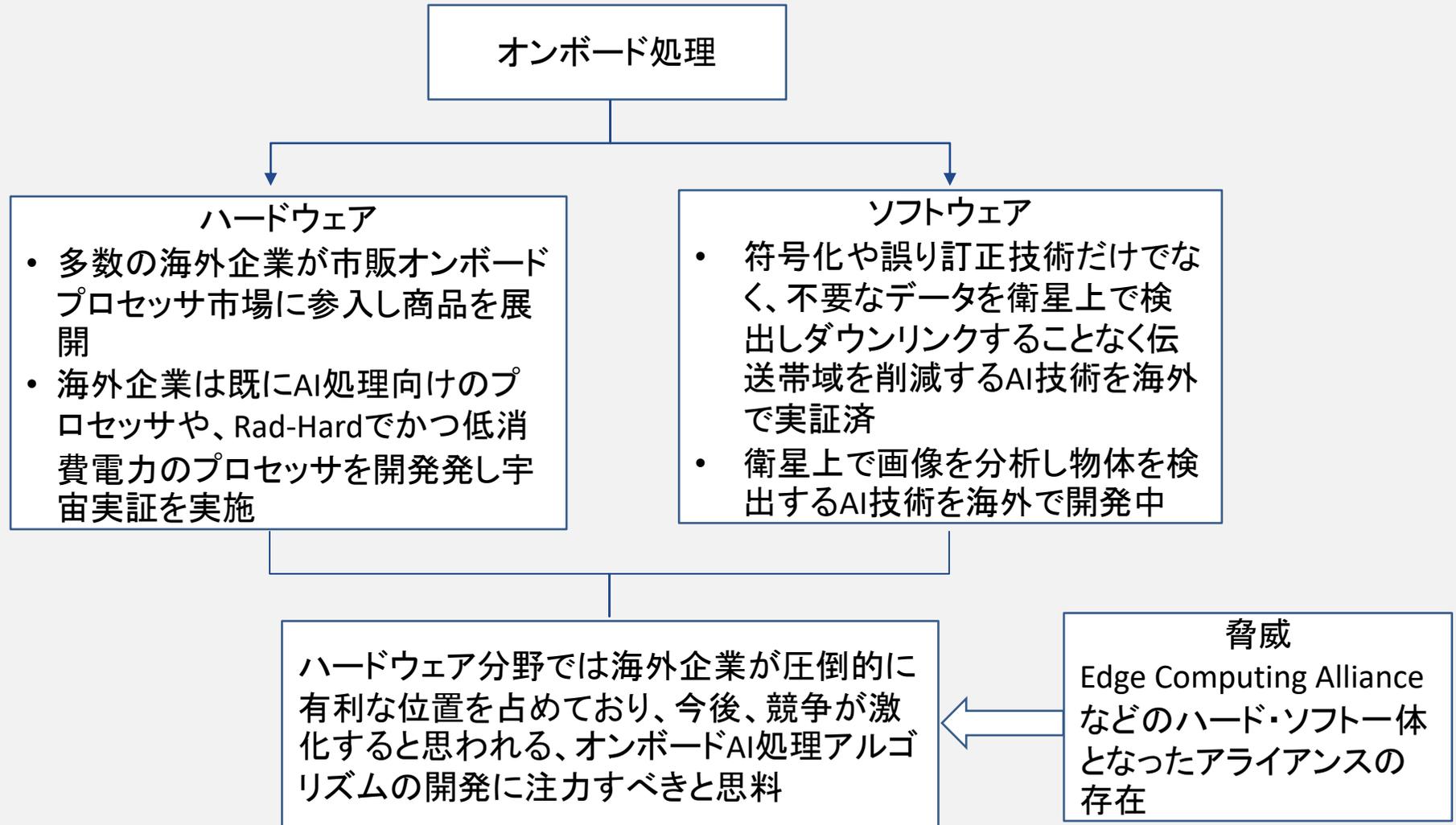
- 宇宙産業界において"Edge computing in space"が新たに出現し、多くの企業が異なったアプリケーションを創出しようとしている。宇宙コンピューティングの異なるパーツを作る企業が“Edge Computing in Space Alliance”を組成している。
- ゴールは以下のとおり
 - 全ての産業分野での宇宙へのアクセスを示唆
 - 共通的な技術標準やプロトコルの開発
 - 共同技術開発プロジェクトを通じた連携
 - 開発したアプリケーション、標準、ツールの実証
 - 現時点(2022年7月)での参加メンバー下図に示す。

参加企業



観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- 我が国はハードウェアで一部の企業が活躍している程度。今後はアルゴリズム開発に注力すべきものと思料



目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

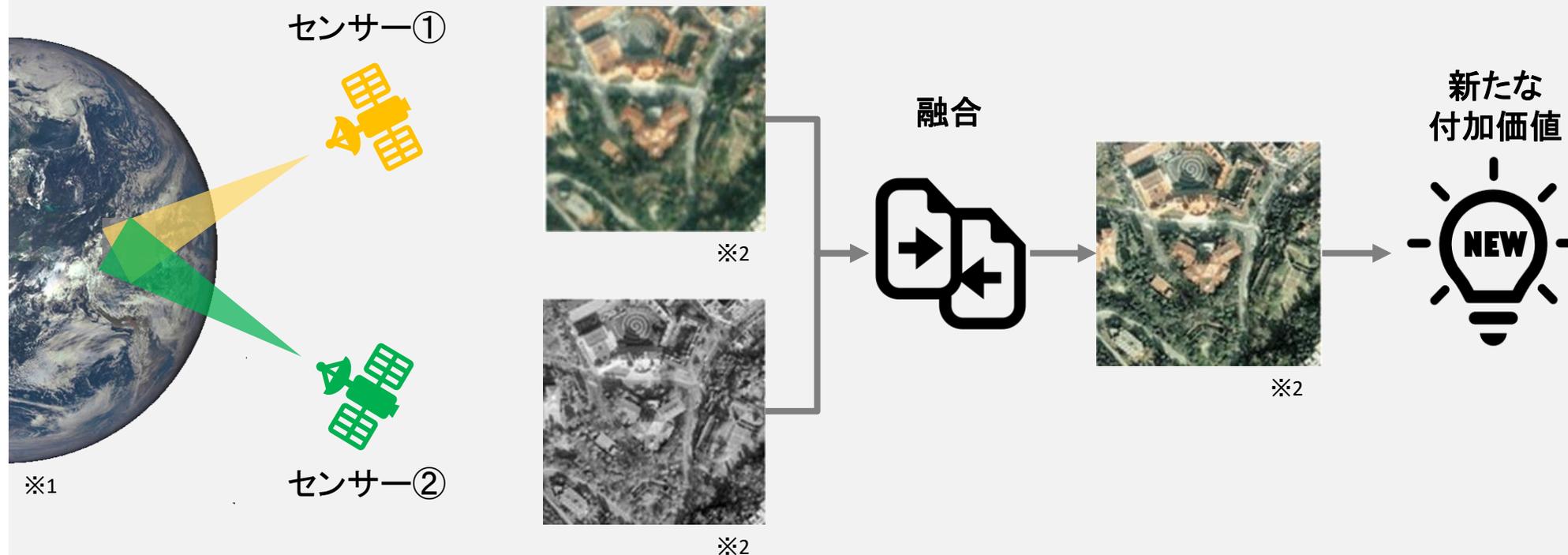
総論

- センサフュージョンは、衛星データの処理レベルの様々な段階で、かつ様々なセンサの組み合わせで行われており、多くの社会的／科学的インパクトに寄与している。
- 技術的には、全体的に機械学習、特にCNNを用いた研究が主流となっており、高空間分解能化／高スペクトル分解能化／分類精度の高度化、および計算コストの削減を目指したモデル／アーキテクチャの研究が活発である。
- 地球観測衛星のセンサフュージョンアルゴリズム研究においては中国が大いに先行している。
- 日本はセンサフュージョンアルゴリズム研究では中国／欧州に大幅な遅れをとっている。一方で、センサフュージョンのための有用な衛星データという観点では、豊富なアーカイブをもち、かつ様々な活用用途が見込まれるALOS-1/2データが強みとなるだろう。

センサフュージョンの定義

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- センサフュージョンとは、異なるセンサ／衛星により撮影された同一地点のデータを融合させ、単一のデータを生成するプロセス。これにより衛星データの付加価値を高めることが可能とされている



出所:

1) NASAより

2) ESRI ArcGIS for Desktop 公式ホームページの情報より

センサフュージョンの種類

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- センサフュージョンは、センサデータの様々な処理レベルで行われ、それぞれ目的や技術課題が異なる。

	Raw Data (L0)	Cal/Val Data (~L2)	物理量 (L3,L4)	AI Ready	特徴検出/予測
Fusion 分類	低次元プロダクトのfusion		Pixel Level fusion		Feature Level fusion Decision Level fusion
目的	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 複数センサの同時点/同地点観測 (主にSAR) ✓ 複数バンドによる相互補完 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 空間/スペクトル/時間分解能向上 ✓ SAR解析やAI処理を含む後続処理の精度向上 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 異なる特徴の融合による予測精度向上
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ オンボード処理などによる同期 ✓ キャリブレーションモデル等の前処理のナレッジ共有 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ パンシャープニング/Unmixingなどによる超解像における機械学習モデル、アーキテクチャ 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 分類の機械学習モデル ✓ 融合そのものの機会学習モデル、アーキテクチャ
事例	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Harmony ✓ BIOMASS/NISAR/GEDI 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 全てのマルチスペクトル衛星/ハイパースペクトル衛星 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Phi-sat FMPL-2 ✓ 高頻度船舶検出サービス (スカパーJSAT)

センサの組み合わせと付加価値

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

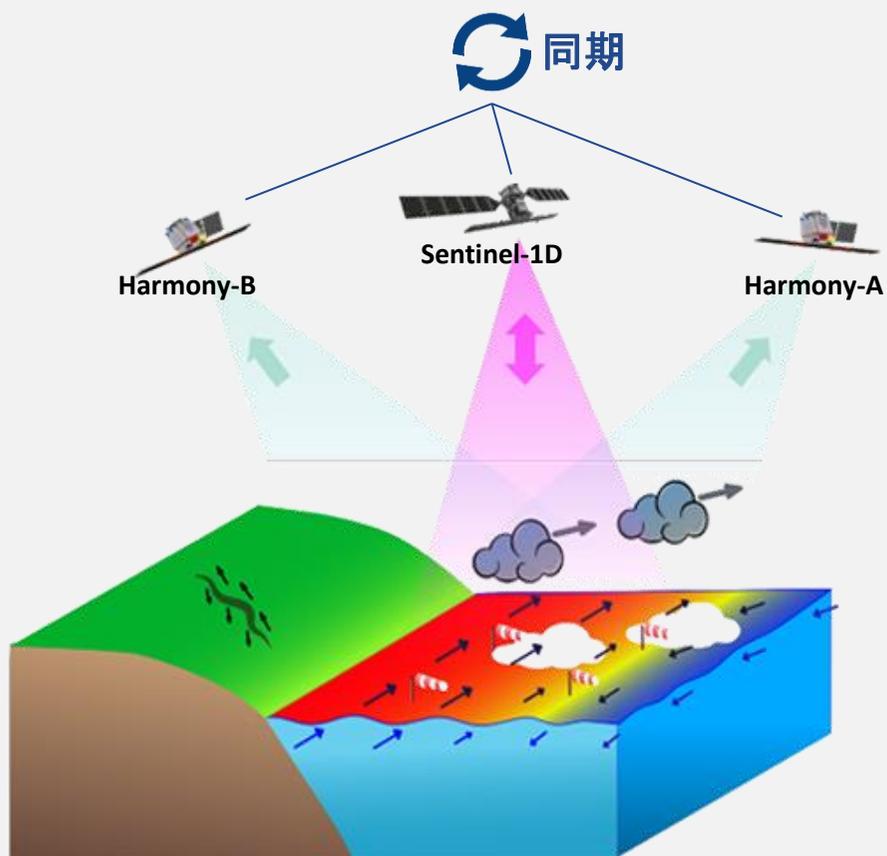
- センサフュージョンの組み合わせは多岐に渡り、様々な社会的／科学的インパクトを与えている

フュージョンの付加価値	組み合わせ例	社会的／科学的インパクトの一例
空間分解能向上 スペクトル分解能向上 時間分解能向上	HS×PAN/MS×PAN/HS×MS/ PAN×Thermal 超解像	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高空間分解能／スペクトル分解能イメージ作成 ✓ SAR解析やAI処理を含む後続処理の精度向上
	光学×光学 超解像	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高空間分解能／時間分解能イメージ作成 ✓ SAR解析やAI処理を含む後続処理の精度向上
	GNSS-R×L-band 超解像	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海氷マップの高解像度化
同地点／同時点観測	SAR×マイクロ波放射計×光学 (NDVI)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 土壌水分量マップ／植生バイオマスマップの高解像度化
	C-band SAR × C-band SAR (Harmony プロジェクト等)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海洋表面速度の推定高度化
天候／昼夜依存性解消	SAR×光学	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 森林バイオマス量の推定高度化 ✓ 土地利用／土地被覆マップ精度向上 ✓ 船舶検知高度化
バンドを跨いだ物理量推定	X-band SAR × C-band SAR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 作物分類の高度化
	P-band SAR × L-band SAR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 森林バイオマス量の推定高度化
高さ情報の活用	L/P-band SAR × LiDAR	
	光学×DSM／DEM	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 土地利用マップ精度向上
異常船舶の識別	光学×LiDAR	
	光学×AIS SAR×AIS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ AISで識別されない異常船舶の検知

低次元プロダクトフュージョンの事例(Harmony)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- Harmony と Sentinel-1D を衛星上オンボード処理にて低次処理レベルで同期することで、複数方向からの同地点／同時点観測を実現。海洋表面速度や風、地形変化等を高精度で測定を可能としている



※TUDelft 公式HPより

Variable	Accuracy 1 σ	Spatial resolution	Temporal sampling	Time span	Coverage
TSCV [m/s]	0.07	4 km			Global vignettes
Relative TSCV [m/s]	0.07	1 km			Selected RoIs, coastal areas.
	0.35	100 m			
Surface wind [m/s]	1.5	1 km			On demand over cyclones, polar lows.
SST [K]	0.1	100 m			
Wavespectra	Derived from Sentinel-1 data				
Surface height [m]	1	30 m	1 DEM/mission		Global
Topography change [m]	0.5	50 m	1/year	5 years	Glaciers, ice caps, ice sheet outlet glaciers
	0.3	50 m	1/year	5 years	Volcanic regions
	1	50 m	1/12 days	1 year	Volcanic and unstable areas
3D surface velocity	1 mm/year	50 m	1/mission	5 year	Glaciers, outlet glaciers
	1 cm displacement	100 m	1/12 days	1 year	Volcanic areas and unstable areas

※ Paco Lopez Dekker, et al., "Stereo Thermo-Optically Enhanced Radar for Earth, Ocean, Ice, and land Dynamics (STEREIOD)"

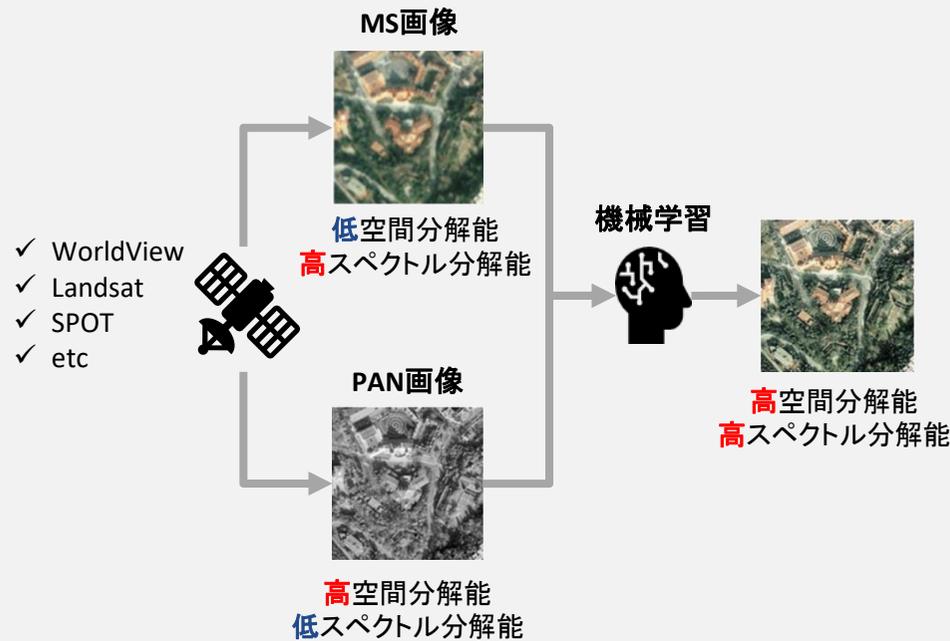
観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

Pixel Level フュージョンの事例

- Pixel Levelフュージョンでは、既に画像化されたデータを機械学習を用いて融合させる

パンシャープニング

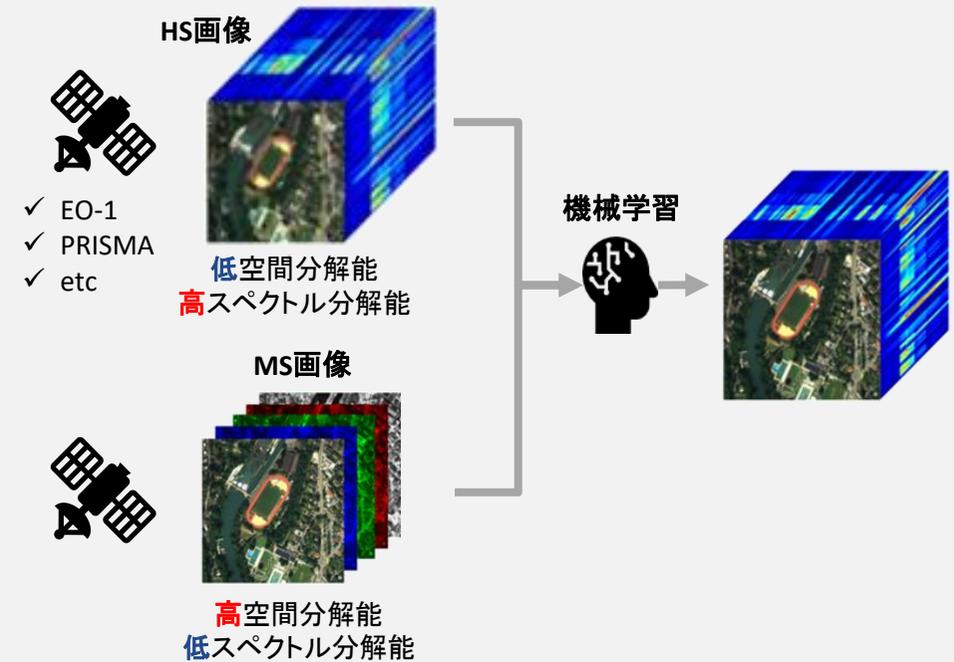
- ✓ マルチスペクトル(MS)画像とパンクロマティック(PAN)画像の融合により、それぞれの長所を活かした**高空間分解能かつ高スペクトル分解能の画像**を生成する手法
- ✓ 同一衛星に光学MSバンドおよびPANバンドの両センサを搭載する衛星データのパンシャープニングが最も一般的
- ✓ 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)に代表されるような**機械学習**を活用した融合手法が多く用いられる



※ESRI ArcGIS for Desktop 公式ホームページの情報よりDBIにて作成

Unmixing

- ✓ **ハイパースペクトル(HS)画像とMS画像の融合により、高空間分解能かつ高スペクトル分解能の画像**を生成する手法
- ✓ 運用期間が比較的長いEO-1やPRISMA等において実データを用いた検証も行われつつある
- ✓ 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)に代表されるような**機械学習**を活用した融合手法が多く用いられる



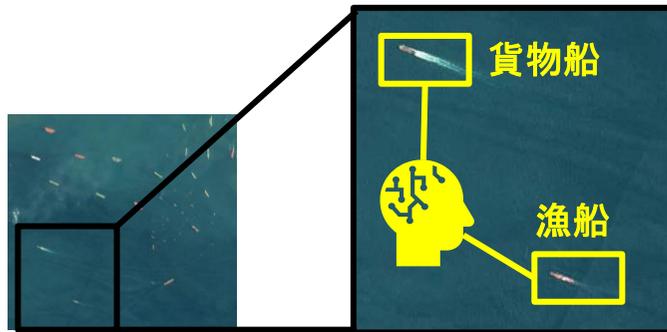
※Charis Lanaras, et al., "Hyperspectral Super-Resolution with Spectral Unmixing Constraints" をもとにDBIにて作成

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

Feature Level フュージョンの事例(スカパーJSAT)

- Feature Levelフュージョンでも特徴の検知において機械学習が用いられている
- 国内ではスカパーJSAT社が「高頻度船舶検出サービス」を提供開始済み。

機械学習を用いた光学衛星画像解析による船舶検知



※Planet社公式ホームページより

AIS データ



※IHI公式ホームページより

- ✓ 位置
- ✓ 船種
- ✓ 航路
- ✓ 積載物
- ✓ etc

出所:

<https://www.planet.com/our-constellations/>

https://www.ihi.co.jp/ihiing/disaster_prevention/20220516-02.html

高頻度船舶検出サービス

※スカパーJSAT社公式HPより

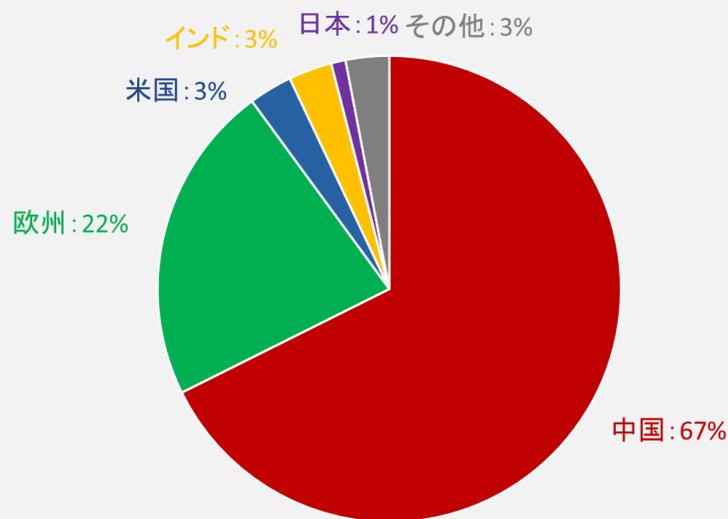
- ✓ 船舶運航管理の効率化
- ✓ AISでは検知できない船舶の検知 (遭難船、密漁船、領海侵犯船等)

- 機械学習を活用したフュージョン技術は中国が大いに先行しており、その他の先進国は後れを取っている状況。一方で、フュージョンにおける国内衛星データの強みは、ALOS-1/2データであると考えられる。

弱み

IGARSS 2022におけるセンサフュージョンアルゴリズム研究の国別発表数

合計：91件



※その他：アルジェリア、サウジアラビア、シンガポール

強み

- ✓ SAR、特にL-band SARのフュージョンにおいては、豊富なアーカイブを持つALOS-1/2のデータは価値が高い
- ✓ バイオマス等ではNASA/ESA衛星とのフュージョンが想定され、ALOS-1/2データの価値が国際的に高まることが予想される

L-band SARのフュージョンによる社会的／科学的インパクト

組み合わせ例	社会的／科学的インパクトの一例
GNSS-R×L-band 超解像	✓ 海氷マップの高解像度化
SAR×光学	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 森林バイオマス量の推定高度化 ✓ 土地利用／土地被覆マップ精度向上 ✓ 船舶検知高度化
P-band SAR × L-band SAR	✓ 森林バイオマス量の推定高度化
L/P-band SAR × LiDAR	
光学×AIS SAR×AIS	✓ AISで識別されない異常船舶の検知

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

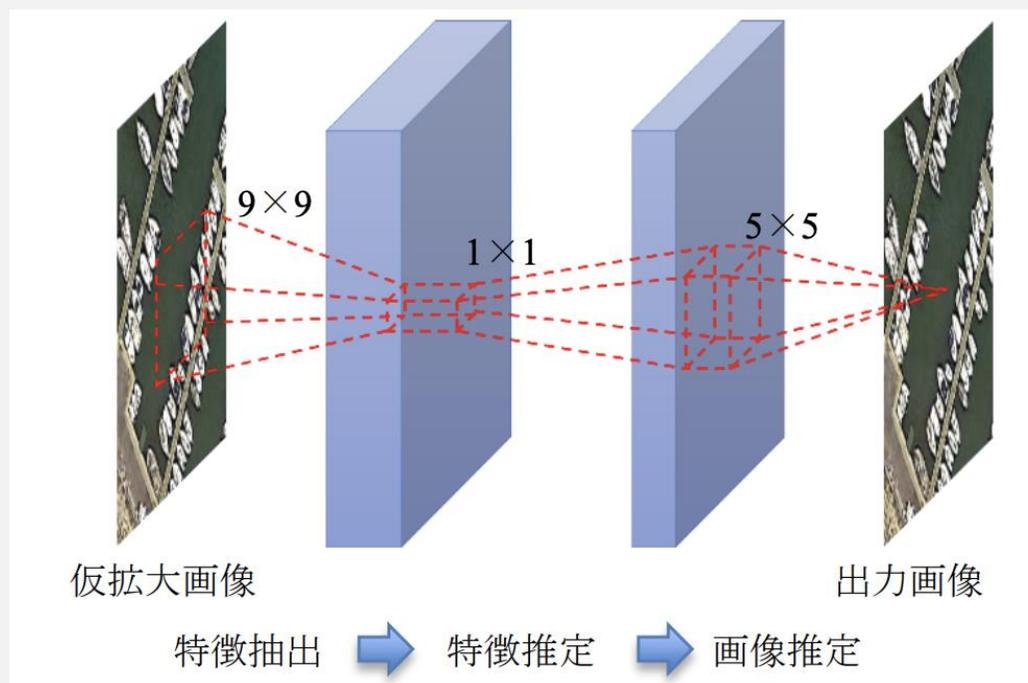
今後の展開(最終報告にむけて)

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

総論

- 地上処理としてはCNN (Convolutional Neural Network)などの深層学習のアルゴリズムが衛星データの高解像度化や3Dデータ構成に利用されている。
- また Explainable AI (説明可能なAI) を利用し、衛星データを分析した結果に対する根拠の説明ができるような研究も活発になっている。
- AIによる衛星データ処理を取り入れている企業は多数存在するが、中でもフランスのUP42社では積極的に超解像を取り入れており、すでにサービスとして展開している。

- 衛星画像の解像度を上げる超解像技術としてSRCNNが利用されている
- 2014年に深層学習のアルゴリズムの1つであるCNNを用いて衛星画像の解像度を上げることができる Super-Resolution Convolutional Neural Network (SRCNN) が発表された。
- 従来までの超解像技術と比べ、計算量を少なく、高い精度を実現できる。



※寺崎ら、「周波数解析に基づくCNNの適応的選択によるリモートセンシング画像の超解像手法」、情報科学技術フォーラム、2020年

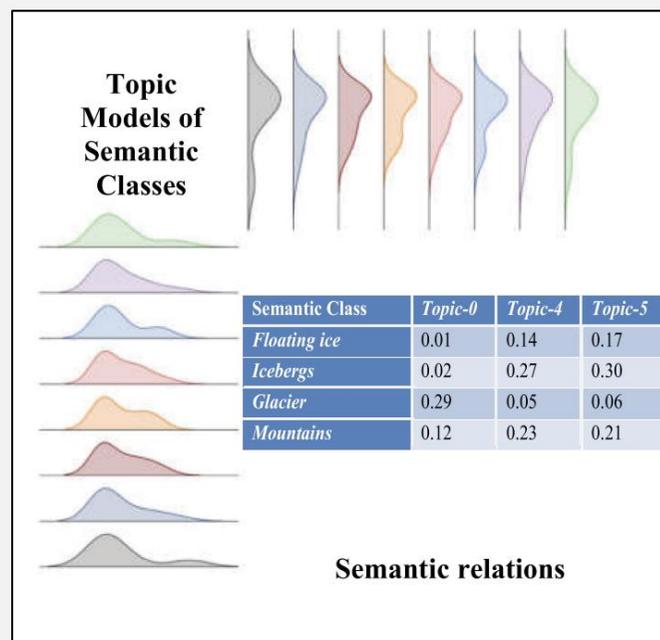
- 超解像以外にも3D再構成やExplainable AIといったアルゴリズムが衛星データの地上処理に利用されている

3D再構成

- 複数のリモセンデータを使い、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model) といった3Dデータを生成する技術。
- 超解像と同じくCNNによって大量の画像を学習することで、従来手法で問題となっていた画像の歪みや、キャリブレーション誤差、遮蔽問題(ビルなどによってその後ろの地表が見えない問題)といった点を解決できる。

Explainable AI(説明可能なAI)

- AIによる学習処理によって計算された結果を説明するための技術。
- 例えば、大量のSARデータを土地被覆によって分類するという問題において Explainable AI の手法を使うことで、分類されたTopicごとに山や水、氷などの要素が含まれている割合を確認できる。



※論文「Feature-Free Explainable Data Mining in SAR Images Using Latent Dirichlet Allocation」より

観測	転送	処理
①	④	⑤
②		
③		⑥

- リモートセンシングという特徴に起因した技術的な課題がいくつか存在する

教師データの不足

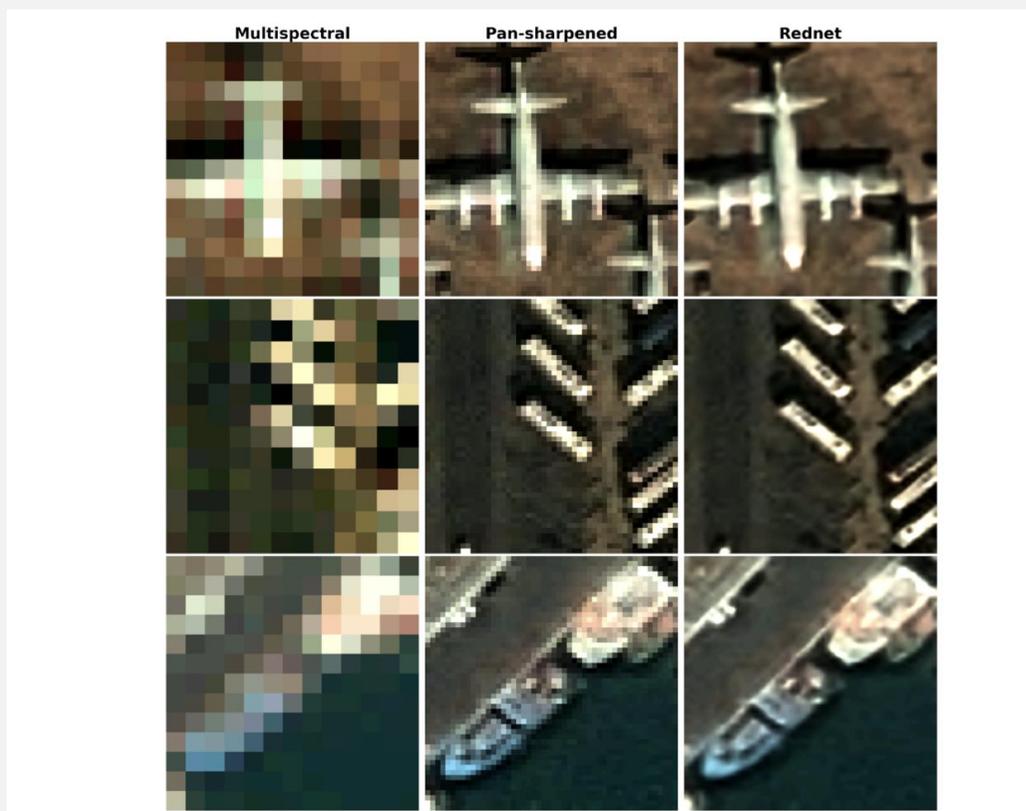
- リモセンデータは多くの場合、教師データが豊富ではないため、限られたサンプルでより深い学習ができるような工夫が必要となっている。
- 例えば超解像の場合、ある衛星画像をより詳細に見る事が目的のため、同じ衛星の高解像画像が無いことが多い。そのため、元画像より高解像の別の衛星画像を教師データにする必要があり、位置合わせなど地理空間情報の処理といった余分な負担がかかっている。

リモートセンシング処理の特殊性

- リモセンデータはセンサで取得した時系列かつ空間的な情報を持ったデータであるため、センサ特性やデータ品質に関する専門知識を理解した上で用いる必要がある。
- 例えば同じ衛星から得られた海面水温でも、「光学センサから得られた海面水温」と「マイクロ波放射計で得られた海面水温」では観測方法や誤差要因、精度が異なるため、正確に特徴と処理方法を理解しておかないと、間違った結果を算出してしまう可能性がある。

UP42による超解像の事例

- UP42は衛星データプラットフォームを提供する企業(Airbusの100%子会社)。
- Pleiadesによって得られたマルチスペクトルデータとパンシャープンしたデータを使い、超解像の学習モデルを構築し、サービスとして展開している。



- RedNet というアルゴリズムを利用して超解像させ、高解像結果(0.125mの解像度)を得ている(右端の画像)。
- 2mの解像度のマルチスペクトル画像と0.5mの解像度のパンシャープン画像のペアを教師データとして学習させている(左2列の画像)。

※UP42のホームページの超解像解説ページより

目次

背景と目的・調査の基本的な考え方

①観測データ利活用に関する調査 衛星

②観測センサに関する調査

③新しい宇宙観測サービスの調査

④観測データ利活用に関する調査 オンボード処理

⑤センサフュージョンに関する調査

⑥観測データの地上処理に関する調査

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

衛星観測に求められているニーズ
・広域性(全体把握) ・精度 ・頻度

衛星から地上を観測

- どの種類の物理量データを取得するか
- どれほどの解像度で取得するか
- どれほどの頻度で取得するか
- どれほどの観測幅で取得するか
- どのようなタイミングで撮影するか、どこまで自動化するか

データを地上に転送

- そのまま地上に転送するか
- データ処理(一次処理)を施したうえで地上に転送するか

データ高度処理

- 意思決定に資するためにどのようなデータが必要か
- そのためにどのようなデータ処理が必要か

主な論点

我が国の今後のアクションへの示唆

- 一部の物理量に対するセンサーといったハード技術で先行している分野あり
- 他方、Tip & Cueに代表されるような仕組みやソフトウェアの分野は他国の取組が進んでいる
- ⇒得意とする物理量の分野を死守しつつ、仕組みやソフトウェアを追従

- 地上局の逼迫が将来予想される中、オンボード処理系の取組は一部の企業で実施されているのみ
- 他方、衛星間通信の取組は先行している個社がいくつかあり
- ⇒衛星間通信を積極的に伸ばし、オンボード処理も追従

- 他国と比べ衛星データの蓄積量は少ないものと思料
- 他方、L-band SARに代表される一部強みを有する独自のアーカイブデータあり
- ⇒独自のアーカイブデータを武器に他国のデータを収集し、機械学習等のノウハウを蓄積

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
- 2022年11月-2023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11月- 2023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
- 2023年3月 最終報告



DigitalBlast