

地球観測センサの 国内外技術動向

宇宙航空研究開発機構

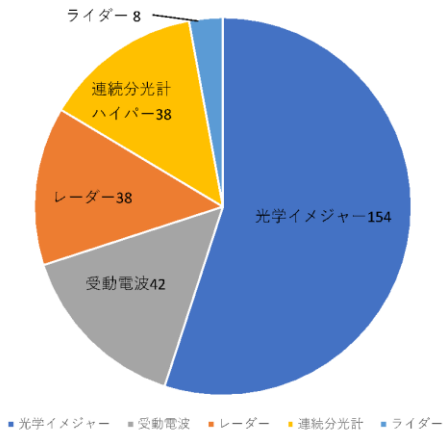
研究開発部門 センサ研究グループ長

木村 俊義

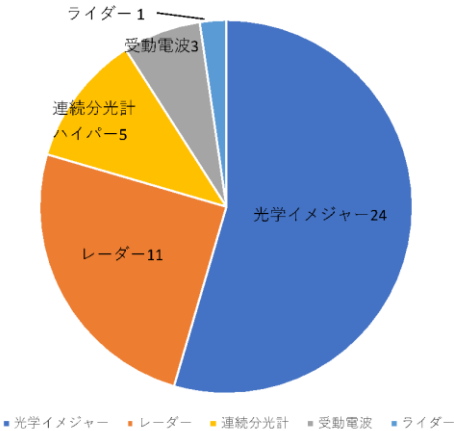
地球観測センサの現状

各国宇宙機関による地球観測センサ開発において、運用中・開発中の総数は280, 提案中・開発準備中の総数は44(CEOSデータベース 20210116時点、軍用/商用は含んでいない)

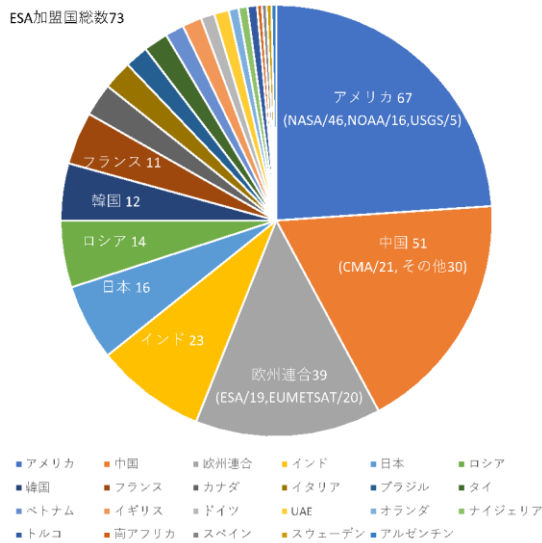
運用中・開発中 総数280



提案中・開発準備中 総数44



運用中・開発中(総数280)の国別割合



国別センサ数：

- ・ 米国、中国、欧州、インドの次に日本
- ・ ただし、欧州は各国独自のものを追加すると73となり、アメリカを凌ぐ
- ・ 日本は既に量的に大きく中国に離されている。
- ・ 欧米中においては総数の内1/2~1/3が実利用機関のものとなっている。日本は2機のみで非常に少ない→R&D機会の喪失

現用センサ種類割合：

- ・ 光学（ほぼマルチバンドイメージャ）が半数
- ・ >LEOハイレゾは軍用/商用へ

将来センサ種類割合：

- ・ 光学観測の重要性は変わらず(ベースライン観測として重要)
- ・ レーダーが発展 (SARの発展)
- ・ 連続分光計はサウンダー、ガス検知などで一定の割合
- ・ ライダーは萌芽的に発生中 (Decadal Survey等で多数提案)

実用衛星システム（継続観測）とR&D衛星との開発バランス

USA: NASA, NSA(Decadal Survey)-> 先端観測、総合観測(A-Train),

NASA/ESTO, JPL小型衛星技術実証

DoD/NOAA->JPSS[LEO], GOES[GEO]（実用気象海洋観測）

USGS->Landsat（ベースマップ陸域観測）

Europe: ESA-> EarthExplorer(先端観測), EarthWatch(現業向デモ)

EUMETSAT -> MetOP[LEO], MTG[GEO]（実用気象海洋観測）

EU -> Sentinel（実用環境観測）

インド中国: まだシステムティックなR&Dプログラム化は見えない。 →
技術獲得のため急速で大量な開発を実施中。ただし、気象衛星については、
中国（GEO,LEO）、インド(GEO)を自国技術で実用化

日本: JAXA, NiCT-> 先端観測,（実用観測,GOSAT等）

気象庁->ひまわり[GEO] (実用気象観測[海外センサ])

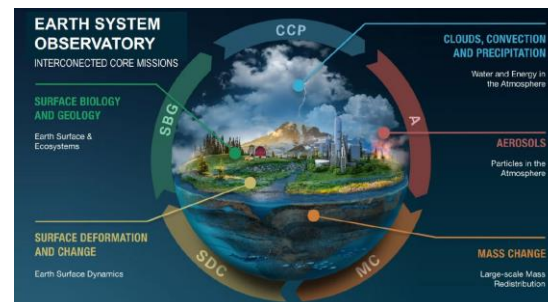
日本は、実用用途が多くR&D衛星に賦課されている実情にあり、新規先端観測R&D活動を圧迫している。実利用機関で維持される衛星割合を増やし、新規観測技術の萌芽・育成実用化に対してサイクルをもった仕組みができず、引き離されている

地球観測データプラットフォーム

大量に吐き出される地球観測データは統合的に整理・収納しないと、効率的に社会利益情報に変換できないことからデータプラットフォームが昨今の喫緊課題とされ、各国においても新たな技術項目となっている→今後標準化の国際競争になるのでは？

米国: Earth Observatory(科学)

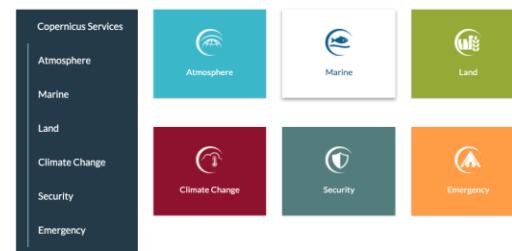
Decadal Surveyの重点分野を基に1) Aerosols, 2) Cloud, Convection, and Precipitation, 3) Mass Change, 4) Surface Biology and Geology, 5) Surface Deformation and Changeの5分野別のデータを集積



欧州: Copernicus(社会利用)

Atmosphere/Marine/Land/Climate Change/Security/Emergencyというメニュー構成で、統合された観測データブラウザはTellusなどと同様のシステムではあるが、社会利用別分類から入る考え方

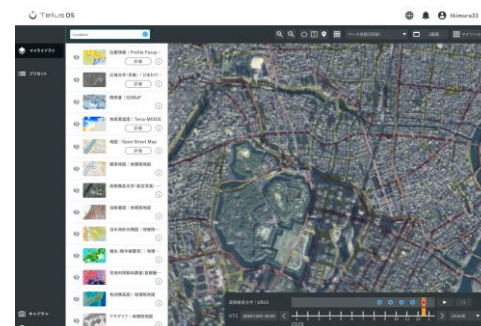
Copernicus Services



日本: Tellus/DIAS, JAXA/G-Portal, JASMIN, GSMaP等

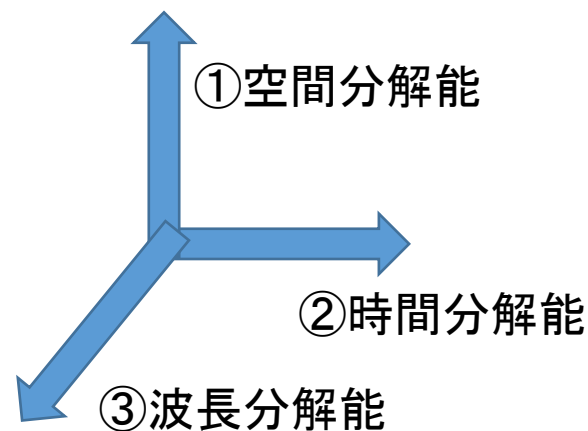
統合された観測データブラウザを軸としており、やや、社会用途別というより多く物理量ベース。

科学目的・社会目的など用途別に物理量の関係整理が更にされていくと情報化しやすい

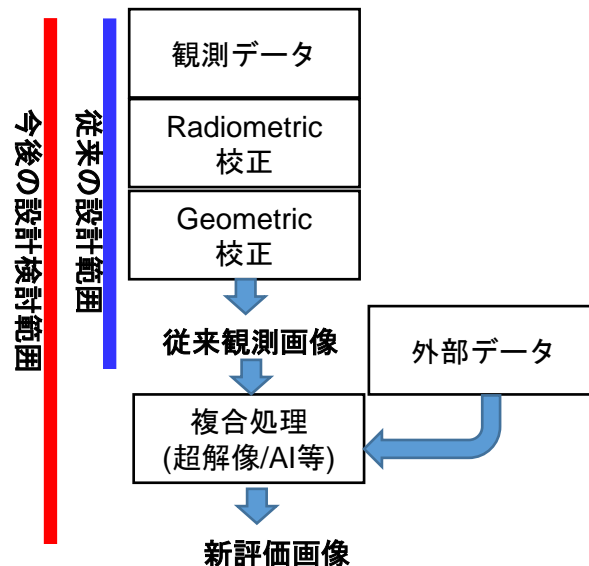


特徴的な技術動向（観測センサ）

1. 時間分解能高度化を目指した進展→②
 - ・ 静止軌道利用による完全常時化（赤外サウンダーMTG-IRS、GHGセンサGeoCarb、JAXA静止光学衛星）
 - ・ LEOでの大型センサと小型フォーメーション商業衛星の統合化（高分解能/高頻度両立,例:Maxar/Planet)
2. 3次元観測（ライダー等）の進展→①(鉛直方向)
 - ・ （全球3Dマップ高度化、3次元風分布） Aeolous, MOLI, GEDI, ICESat-2
3. 連続分光計の進展（可視～赤外, 小型衛星） →①③
 - ・ HISUI, GOSAT-GW, GHGSat等
4. SAR周波数の多様化、複数周波数利用、小型→①③
 - ・ NISAR, ROSE-L, Biomass等(P, L, S, C, X, Ka)、小型衛星 ICEYE, Capella等
5. 地上処理を含めた観測システム設計の進展（超解像処理等） Albedo（GSD10cm?）



地球観測センサの性能分類 (SNR等の維持のためトレードオフ特性)



デジタル化に伴う新地上処理

- ・ 大型集光鏡[分割]/アンテナ[展開]技術（含波面制御技術）
- ・ 機能性能を絞り込んだ小型実用ミッションの出現とLEO領域での高性能/高頻度の統合化の動き
- ・ 新たなライダー技術による高鉛直分解能計測
- ・ 地上技術発展による性能向上（感度、大フォーマット、高効率、軽量材料、メタマテリアル等）
- ・ AI, 超解像、3D-mapなど外部を含む複数データを用いた高次プロダクト技術の勃興→圧縮センシング

分野別の例（静止・ライダー）

静止光学衛星(JAXA)

静止軌道イメージャ

光学分解能:直下7m

FOV:100km四方

バンド : VNIR6ch+IR

緊急観測要求からデータ配布まで30分以内

日本陸域全土に対し複数回/日の観測が可能

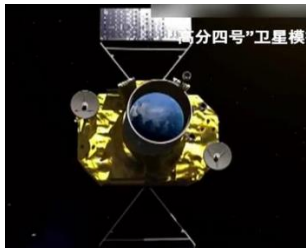
静止軌道/全電化衛星重量4ton/分割型主鏡直径

3.6m

概念設計完了・開発移行調整中



高分13号(China)



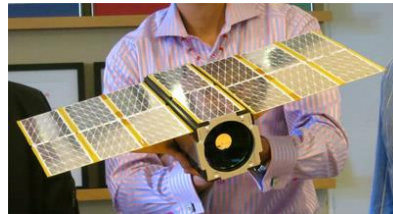
静止軌道イメージャ

分解能:直下15m(推定)

2020打ち上げ済

運用中

Planet(US)



LEO:475km LST9:30-10:30

分解能:直下3.4m

FOV:24x16km

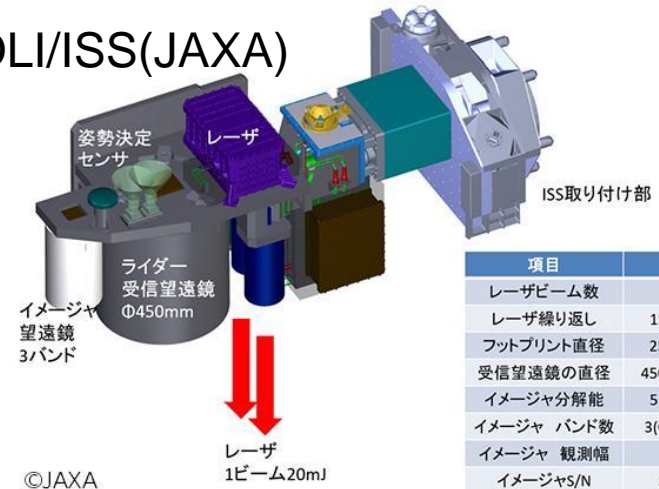
観測頻度 : 24時間

RGB/NIR

(Super Dove仕様)

コンステ運用中

MOLI/ISS(JAXA)



| 項目 | 値 |
|------------|--------------|
| レーザービーム数 | 2 |
| レーザー繰り返し | 150±1Hz |
| フットプリント直径 | 25m±3m |
| 受信望遠鏡の直径 | 450mm以上 |
| イメージャ分解能 | 5.0m以下 |
| イメージャ バンド数 | 3(G, R, NIR) |
| イメージャ 観測幅 | 1km |
| イメージャS/N | 50以上 |

樹冠/地表面対象、プリプロジェクトにて開発中

Aeolus(ESA)

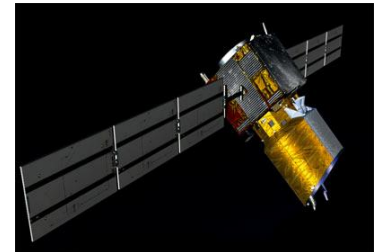
LEO-400km Dawndusk

Aladin (Doppler LIDAR)

レーザー出力 : 60 mJ

pulses @355 nm

レーザー繰返し ; 100 Hz



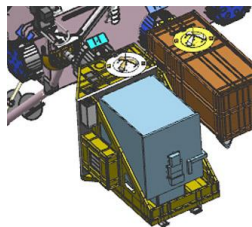
大気分子/エアロゾル対象、水平風導出

2018年打ち上げ済、運用中

Figures From "Gunter's Space Page" <https://space.skyrocket.de>

分野別の例 (連続分光・SAR)

HISUI/ISS(METI)



空間分解能:20-31m
 観測幅:20km
 バンド数:185
 波長帯0.4-2.5 μ m
 回折格子による分光
 2019打ち上げ済

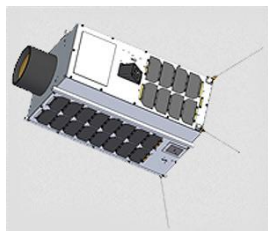
TANSO3(JAXA)



LEO 666km 13:30
 観測対象ガス: CO₂, CH₄, NO₂
 回折格子による分光(SWIR)
 広域モード: Swath 911km /
 GSD 10km
 詳細モード: Swath 90km /
 GSD 3km (Target 1km)
 開発中2023打ち上げ予定

GHGSat-D (CAN)

観測対象ガス: CH₄
 観測波長範囲[nm] 1630-1675
 波長分解能[nm] ~0.1
 地表面分解能[m²] 50x50
 視野 [km] 12
 分光器 ファブリペロー
 2016打ち上げ済(LST 9:30, Alt 514km 太陽同期)
 (Dylan Jervis et. al., 2021)



NISAR(NASA)



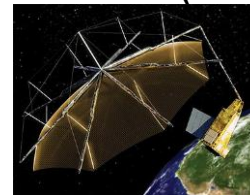
展開式アンテナ(ϕ 12m)
 L-SAR:12beams
 Resolution:3-10m
 POL:HH and VV, HH/HV
 and VV/VH, QP, QQP
 S-SAR:
 Resolution:6m
 POL:HH, HV, VV, VH,
 HH+HV+VV+VH

ICEYE(Finland)



展開式アンテナ(3.2mx0.4m)
 SPT:1m(AZ)x0.46m(RNG)
 STR:2.5~3m(AZ)x0.4~1.7 m(RNG)
 画像サイズ:
 5km (SPT), 30km(STR)
 NESZ:
 -17dB (SPT,STR))
 周波数: Xバンド VV
 コンステ打ち上げ済 運用中

BIOMASS(ESA)



2022
 打上予定

展開式アンテナ(ϕ 12m)
 P-SAR:
 Resolution:CT200m
 POL:HH, VV, HV & VH
 Tomography and PolInSAR
 LEO 660km DawnDusk
 (K.Kellogg, 2020
 M.Sedehi et,al. 2021)

Capella(US)



展開式アンテナ(ϕ 3.2m)
 SPT:0.5~0.7m(CT)x0.5 m(AT)
 STR:1.6~2.4m(CT)x1.7 m(AT)
 画像サイズ:
 5x5km (SPT), 5x20km(STR)
 NESZ:
 -14~-10dB (SPT), -20~-16dB (STR)
 周波数: Xバンド single and dual pol
 コンステ打ち上げ済 運用中

- 日本は、数として中印に抜かれ、世界で5番目に落ちている
- 欧米においては、適切に実用機への移行がなされており、先端的な研究開発において日本は更に引き離される体制に留まっている
- 新しいセンサとして、SARの発展、LIDARの萌芽が見える
- 衛星別のミッションから目的別に複数衛星データを有機的統合的に使うフェーズに進んでおり、社会利用においてはCopernicus、科学利用においてはEarth Observatoryのような統合プログラム化とプラットフォーム整備が必要
- 注目される将来センサ技術（再掲）

- 大型集光鏡[分割]/アンテナ[展開]技術（含波面制御技術）
- 機能性能を絞り込んだ小型実用ミッションの出現とLEO領域での高性能/高頻度の統合化の動き
- 新たなライダー技術による高鉛直分解能計測
- 地上技術発展による性能向上（感度、大フォーマット、高効率、軽量材料、メタマテリアル等）
- AI, 超解像、3D-mapなど外部を含む複数データを用いた高次プロダクト技術の勃興→圧縮センシング