

### 3) オンボード処理の動向

#### A) オンボード処理の調査概要

- 衛星におけるオンボード処理 (On-board Processing) は搭載ソフトウェアにより衛星の姿勢制御を司る ADCS (Attitude Determination and Control Subsystem) や、マルチビーム衛星通信システムにおいて、通信信号を目的のビームに衛星上で振り分けるスイッチング制御などのために、オンボードコンピュータの宇宙線対策や温度環境対策を含めて開発・実用化が行われてきた。地球観測衛星でも ADCS などのバス制御のためのオンボードプロセッサが利用されるが、これまでのオンボード画像処理では、スマートフォンに搭載されるプロセッサ (動作クロック 2GHz~3GHz) と比較すると処理能力は小さい (動作クロック数百 MHz~1GHz) ものであった<sup>844</sup>。
- 観測衛星が取得した画像やデータを衛星上で処理するためのプロセッサには高速な処理が必要とされるが、これまでの衛星搭載用画像処理プロセッサは JPEG 処理やパケット化を行うもので、市販の SPACE MICRO 社の IPC-8000 では 647MHz となっている<sup>846</sup>。近年の地球観測衛星の高分解能化や環境観測衛星の感度向上に伴いプロセッサが生成するデータ量が増加する一方、データを地上へダウンリンクするまでの期間衛星上で蓄積するための容量必要となることや、ダウンリンク伝送容量が周波数帯域の制約から飛躍的な向上が見込めないことから、衛星上での画像圧縮 (Data Compression) や、衛星上でのデータ処理 (Data Processing) 技術の開発が進められている。
- 地球観測衛星に求められるオンボード処理技術として、以下の分類で調査を行い、利用ユーザ、効果、技術開発の状況、今後の計画等について調査した。
  - ・ 画像データ処理：光学・レーダ等画像の圧縮技術
  - ・ オンボード AI 処理：衛星上での AI 処理によるダウンリンク伝送の効率化や、Tip & Cue 前処理を行うためのソフトウェア処理技術
  - ・ オンボードプロセッサ：画像圧縮や AI 処理を行うためのプロセッサ (ハードウェア)
- なお、AGU や IGARSS などの国際会議によって情報の追加も実施している。

#### B) オンボード処理技術

##### i. 画像データ処理の例

- 高性能可視近赤外放射計 (AVNIR) の画像圧縮
  - ・ 1996 年に打ち上げられた ADEOS に搭載された陸域及び沿岸域から反射される 可視から近赤外域の太陽光を観測する高分解能の光学センサー であり、検出器として CCD を採用。CCD で光電変換されたアナログ信号を A/D 変換後、データ圧縮などのフォーマット化を行い、通信リンクを介してダウンリンクする。
  - ・ AVNIR の画像圧縮方式は、パンクロマティックバンドでは最下位の 1 ビットを切り捨てるものであった。マルチスペクトルバンドでは、3 種類の圧縮方式を採用し i) ハフマン符号化により可変長符号化、ii) (2) 差分圧縮による固定長符号化、iii) 最下位ビット切り捨てによる 7 ビッ

<sup>844</sup> <https://www.ati-space.com/ATI.files/utyuu.htm>

<sup>845</sup> <https://pcfreebook.com/article/smartfone-cpu-list.html>

<sup>846</sup> <https://www.spacemicro.com/products/digital-systems.html>

トスルー方式を採用し、3種類の圧縮方式からユーザの要望に合わせて選択できるようにしていたが、圧縮率は伝送レートで10%程度の低減であった<sup>847</sup>。

- ALOSの画像圧縮
  - 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<sup>848</sup>。
  - データ圧縮の概要を図表161に示す。

図表 161 ALOSのデータ圧縮方式諸元

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

- \* ハフマン符号：対象データ列に出現するパターンの頻度により、高頻度で現れるパターンには短い符号（ビット列）を、低頻度のパターンには長い符号を割り当てることでデータを圧縮する<sup>849</sup>

## ii. 地球観測衛星で得られる画像データの圧縮技術の標準化と開発状況

- CCSDSにおけるデータ圧縮規格
  - 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を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<sup>850</sup>。
  - 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方式についても標準化が行われている。関連する規格文書は以下のものである<sup>851</sup>。

<sup>847</sup> 地球観測衛星データの解析技術 ([https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej1997/55/12/55\\_12\\_1593/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej1997/55/12/55_12_1593/_pdf))

<sup>848</sup> ALOS 解説資料 ([https://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos\\_j.pdf](https://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos_j.pdf))

<sup>849</sup> <https://e-words.jp/w/%E3%83%8F%E3%83%95%E3%83%9E%E3%83%B3%E7%AC%A6%E5%8F%B7.html>

<sup>850</sup> CCSDS (<https://public.ccsds.org/default.aspx>)

<sup>851</sup> JAXA([https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/doc\\_blue.html](https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/doc_blue.html))

a) Lossless Data Compression 「データの可逆圧縮」 (CCSDS 121.0-B-3)

デジタルデータを可逆圧縮する際のソースコーディングの圧縮アルゴリズム及び解凍（復元）方式を定義<sup>852</sup>。

b) Image Data Compression 「画像データ圧縮」 (CCSDS 122.0-B-2)

宇宙機搭載ペイロードから得られるデジタル画像データ（2次元空間データ）に適用するデータ圧縮アルゴリズムを定義し、圧縮データをどのようなフォーマットでセグメント符号化するかを規定<sup>853</sup>。

c) Spectral Preprocessing Transform for Multispectral and Hyperspectral Image

Compression 「マルチスペクトル&ハイパースペクトル画像（3次元）圧縮のスペクトル前処理変換」 (CCSDS 122.1-B-1)

上記 b) の「Image Data Compression」で定義された2次元の画像データの圧縮方式を利用したマルチスペクトルおよびハイパースペクトル画像（3次元）の圧縮方式を定義<sup>854</sup>

d) Low-Complexity Lossless and Near-Lossless Multispectral and Hyperspectral Image

Compression 「低複雑度可逆圧縮及び準可逆圧縮とマルチスペクトル&ハイパースペクトル画像圧縮」 (CCSDS 123.0-B-2 Cor.3)

3次元デジタル画像の圧縮アルゴリズムを規定するもので、宇宙機のペイロードで取得した3D画像データ（マルチスペクトル画像、ハイパースペクトル画像）の可逆圧縮／解凍方式、圧縮データフォーマットの推奨規格<sup>855</sup>

- オンボードデータ圧縮の研究開発等状況

【CCSDS の採用状況】

前述の a)~d) の標準規格の採用状況は以下のとおりである。

a): 米国の NASA、NASA 以外の機関、国防省が現在使用中、b) CNES（フランス国立宇宙センター）で採用を検討中、c) 各国の状況は不明、d) ESA（欧州宇宙機関）/CNE で採用を計画中

【研究状況】

オンボードデータ圧縮については 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<sup>856</sup>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<sup>857</sup>など、様々な研究が行われている。

<sup>852</sup> LOSSLESS DATA COMPRESSION ([https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/121\\_0\\_b\\_3.pdf](https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/121_0_b_3.pdf))

<sup>853</sup> IMAGE DATA COMPRESSION ([https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/122\\_0\\_b\\_2.pdf](https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/122_0_b_2.pdf))

<sup>854</sup> SPECTRAL PREPROCESSING TRANSFORM FOR MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION ([https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/122\\_1\\_b\\_1.pdf](https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/122_1_b_1.pdf))

<sup>855</sup> LOW-COMPLEXITY LOSSLESS AND NEAR-LOSSLESS MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL IMAGE COMPRESSION ([https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/123\\_0\\_b\\_2.pdf](https://stage.tksc.jaxa.jp/ccsds/docs/files/bluebook/sls/123_0_b_2.pdf))

<sup>856</sup> Performance Impact of Parameter Tuning on the CCSDS-123.0-B-2 Low-Complexity Lossless and Near-Lossless Multispectral and Hyperspectral Image Compression Standard (<https://www.mdpi.com/2072-4292/11/11/1390>)

<sup>857</sup> High-Performance Lossless Compression of Hyperspectral Remote Sensing Scenes Based on Spectral Decorrelation (<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/18/2955>)

- 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<sup>858</sup>。

i) 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<sup>859</sup>。

ii) 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

C) オンボード AI 処理

- オンボード AI 処理の分野としては、i)オブジェクト検知、ii) 画像分類、iii) 画像選択、iv) 雑音や artefact (異物) の除去、v) 変化検知が挙げられる<sup>860</sup>。オンボード AI の研究開発については ESA の Phi-sat や NASA の研究などが行われており、これを中心に報告する。

i. ESA におけるオンボード AI 処理の研究

① Phi-sat<sup>861, 862</sup>

- Phi-sat は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) のアイデアを ESA Phi-lab の協力で実証に進めたもので、世界初の AI 搭載を謳う小型衛星である。2020 年 9 月にアリアンロケットで打ち上げられた。ESA Third Party Mission に参加しており、得られたデータは Open&Free に公開されている。
- 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要す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%の帯域幅節約ができる。
- Phi-sat は、ESA のコーディネーションで多くのステークホルダーが参画したプロジェクトである。参加企業の中には、ESA の InCubed などのイノベーション支援を受けた企業もある。カタルーニャ工科大学が、L バンドマイクロ波放射計と GNSS-R センサーを組み合わせた Flexible Microwave Payload - version 2 (FMPL-2)と、無線衛星通信技術、および地上局を、Golbriak Space 社が光衛星間通信技術を、cosine 社が可視光・赤外線ハイパースペクトルと遠赤外線マルチスペクトルのイメージャである Hyper-scout-2 を、deimos 社が地理空間情報を、Tyvak International 社がプラットフォームや組み立て、射出機などを提供した。
- オンボード AI に注目すると、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。この VPU は多くの地上民生機器に使わ

<sup>858</sup> Klepsydra Technologies (dra.com/energy-saving-on-board-processing-for-sar-satellites/)

<sup>859</sup> “The Challenge of Onboard SAR Processing: A GPU Opportunity ”

([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50420-5\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50420-5_4))

<sup>860</sup> Tharindu Fernando, Clinton Fookes, Harshala Gammulle, Simon Denman and Sridha Sridharan, JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 14, NO. 8, AUGUST 2015 “Towards On-Board Panoptic Segmentation of Multispectral Satellite Images”

<sup>861</sup> Φ-SATS PROGRAMME (<https://philab.phi.esa.int/explore/the-phi-lab-explore-office/phi-sats-programme/>)

<sup>862</sup> eoPortal (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/phisat-1>)

れているが、宇宙環境での耐久試験を実施した後、宇宙へ打ち上げられた。Myriad2 にインストールされた AI ソフトウェアは、新興企業 Ubotica 社によって開発された。

なお、Ubotica については次章で記載する。

- 処理を行うニューラルネットワークは、ピサ大学により開発された。ニューラルネットワークは 85%以上の精度と、1.2%以下のエラー処理と、5MB 以下の容量といった条件が課された。ニューラルネットワークの開発には、Sentinel-2 など Hyper-scout-2 と類似のデータセットを用いた。ニューラルネットワークの開発ツールとして、Movidius Neural Compute Stick(NCS) が用いられた。結果として、ニューラルネットワークは 95.99%の精度に達し、25%の帯域幅を節約できた。

## ② Phi-sat2

- Phi-sat の 2 号機の開発が進んでいる。引き続き、6U CubeSat 上でのオンボード AI 処理を検証する。ここではデータの削減だけでなく、船舶検出などが、AI アプリケーションの形で実証される予定である。AI アプリケーションは、ゆくゆくはユーザによって開発可能となることが目指されている。
- Phi-sat2 は Open Cosmos 社が先導する企業コンソーシアムにより製造される。2021 年 10 月に、ミッションのコンセプトを決める Phase1 が終わり、1 年弱の開発期間である Phase2 に入っている。
- オンボードプロセッサは引き続き Intel 社が提供した 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、今回は 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（次章参照）が雲を検出する AI アプリケーションを、GEO-K 社がデータを圧縮処理する AI アプリケーションを、Ceii-A 社が船舶を検出する AI アプリケーションを、CGI 社が Sat2Map アプリケーションを開発し提供する。7 スペクトルバンドの VNIR センサーを、Simera 社が提供する。

## ③QlevEr Sat<sup>863864</sup>

- 2021 年 11 月の Space Tech Expo で、Teledyne e2v 社と仏 Grenoble 大学宇宙センター (The Centre Spatial Universitaire de Grenoble : CSUG) は共同のオンボード AI 計画を発表した。地球観測のための 6U CubeSat に対して適用される画像分析システムで、オンボード AI で処理を行うことでダウンリンクの帯域幅を削減する。高性能なイメージャの画像を、小さな体積と消費電力でデータ解析できるようにする。2022 年に打上予定とされていたが、遅れている模様。
- 2U のキューブサットである QlevEr Sat を使ってデモが行われる。利用されるハードウェアは Teledyne e2v 社の quad-core 1.8GHz Qormino QLS1046-Space processing module で、

<sup>863</sup> Teledyne e2v (<https://www.teledyne-e2v.com/en/news/newsroom/csug-teledyne-e2v-unveil-ai-enabled-smart-nanosatellite-with-on-board-imaging-processing-at-space-tech-expo-2021/>)

<sup>864</sup> QlevEr Sat (<https://www.csug.fr/projects/qlever-sat-project/qlever-sat-973362.kjsp>)、



64bit の Arm Cortex A72 プロセッサコアと 4GB の内蔵 DDR4 メモリが搭載されている。Qormino は市場で入手可能な最も強力な宇宙仕様のプロセッサで、宇宙環境にも耐えうる旨検証されている。処理する画像は、Teledyne e2v が提供する 16Mpixel Emerald CMOS イメージセンサーによるものである。AI アルゴリズムは、Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence (MIAI) によって開発されたものである。光学センサーからプロセッサまで、すべての制御とミッションの先導は CSUG が担当する。

- Teledyne e2v 社は 2016 年から CSUG の活動を支援しており、2020 年 3 月に CSUG を支援する UGA 財団と新たなスポンサー契約を締結し、今回のプロジェクトにも大きく貢献することとなった。
- CSUG は、森林減少の観測や自然災害の管理といった社会的な課題に対して、宇宙からのデータを処理する能力を持つことを目指しプロジェクトを実施する。また本プロジェクトは、MIAI 研究所の、特に「AI と環境」プログラムと CSUG との密接な協力のもとで行われる。Teledyne e2v 社のプレスリリースでは、災害の監視・被害観測、都市や氷河の活動分析、海洋調査、軍事関連などを利用の視野に入れている。

## ii. NASA の動向

- Landsat-7 の後継衛星の実証ミッションとして 2000 年に打ち上げられた EO-1 に WARP (Wideband Advanced Recorder Processor) が搭載されている。WARP は、多数の高密度電子基板のパッケージング技術の実証であったが、陸域画像の軌道上での収集、圧縮、処理を実行する Mongoose V プロセッサが含まれていた。WARP は、X バンド変調機能を備えた 840Mbps の高速伝送、48Gbit の容量を持ちながら重量は 20 kg 以下で X バンドでの変調機能を有し、その時点では NASA における最高性能のものであった<sup>865</sup>。
- 現在、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<sup>866</sup>。
- 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 (SMARTIE) 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最終的に時代遅れのもの

<sup>865</sup> <https://www.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/eo-1>

<sup>866</sup> OBDP2019 “Future Needs and Requirements for On-Board Data Processing”  
(<https://indico.esa.int/event/225/timetable/?print=1>)

のとする (disrupt) 可能性がある<sup>867868</sup>。

### iii. Palantir の動向

- Palantir 社は 2021 年にオペレータとの通信を介さずに自律的な意思決定を行う AI として、Edge AI を開発した。Edge AI はセンサ、無線、音響、地理情報などを活用しての意思決定を行うプログラムであり、航空機や船舶、衛星といった、周辺環境をセンサによって検知するハードウェアに搭載されている。<sup>869</sup>
- Palantir 社は 2021 年に Satellogic 社と提携を結び、2022 年 4 月から打ち上げる衛星に Edge AI を搭載している。搭載される衛星は NewSat で、ペイロードの重量は 1.1 kg であり、最大消費電力は 20 W である。<sup>870</sup>
- 衛星に搭載される Edge AI の特徴は、以下の三点がある。
  - ① レイテンシーの短縮：Phi-Sat と同様に、雲など画像の中の不要な領域や、地上での解析に適さない画像の削除を行う。
  - ② 他のベンダーが提供するアルゴリズムを API 経由で連結可能：現在の Edge AI には Xailient の船舶検出モデル、MindFoundry のセグメンテーションモデル、Pilot.ai の船舶および航空機の分類モデルが搭載されている。この結果、様々な企業の最先端技術を使用してオンボード上での衛星画像解析が行える。
  - ③ ソフトウェアをオンボードでアップデート可能：この特徴により Palantier は今後も常にニーズに合った解析方法を衛星に届けることができる。
- Edge AI は低電力で効率的に解析を行うために、Xailient 社の Detectum Technology を活用している。また、低電力での解析が可能になったことで、熱放出量も減少した。真空に近い空間では、継続的な熱放出がハードウェアに影響を及ぼすこともあり、既存のオンボード処理では定期的に解析を停止する必要があった。一方で、Xailient 社の低電力処理を導入した Edge AI では熱放射量も減少しており、停止することなく解析することが可能になった。
- Palantir 社は今後も Edge AI のによりオンボード処理の性能を向上させていく予定である。直近の対応として、オンボードでの高い精度の地点登録や、衛星間通信に焦点を当ててアップデートを行っていく予定だ。(詳細は 3.4 新しい宇宙観測サービスの調査にて後述)

### D) オンボードプロセッサ

- Phi-sat に代表されるオンボード AI 処理を実現するためには高機能のコンピュータを衛星に搭載する必要がある。このようなオンボードコンピュータ開発企業の動向について、前述の主要な企業を含め最近の状況について報告する。

<sup>867</sup> Irvine Sensors Corporation (<https://www.irvine-sensors.com/products/3d-electronics-mass-storage>)

<sup>868</sup> ESTO (<https://esto.nasa.gov/smartie-computer-tiles-could-provide-satellites-with-advanced-data-processing-power/>)

<sup>869</sup> <https://www.palantir.com/edge-ai/>

<sup>870</sup> <https://blog.palantir.com/edge-ai-in-space-93d793433a1e>

i. Ubotica<sup>871</sup>（アイルランド、スペイン、カナダ）

- オンボード AI のためのオンボードコンピュータを開発するスペインの企業で、Phi-sat にも参画している。同社のハードウェアおよびソフトウェアプラットフォームである CogniSat™ で、新たな衛星データサービス分野を築こうとしている。
- CogniSat™ の CubeSat ボードは、Intel の Movidius Myriad 2 Vision Processing を利用して、オンボードでのコンピュータビジョンと AI アプリケーションの実装を可能にし、地球観測に使用される多彩なスペクトルバンドを含む画像を衛星上で分析し、画像自体ではなくイベントを地球にダウンリンクでしようとしている。
- また、現在地球にダウンリンクされている光学画像のうち、雲に隠れた部分は地上で破棄される。この、破棄すべき画像をオンボードコンピュータビジョンと人工知能アルゴリズムで実現しようとしている。
- 欧州宇宙機関(ESA)が、2020年9月初旬に打ち上げた AI 衛星 Phiat-1 に、Intel が Myriad 2 と Ubotica が Computer Vision (CV) and Artificial Intelligence (AI)を提供している。
- Ubotica は Intel のディープ・ニューラル・ネットワーク推論の専用ハードウェア・アクセラレーターである Movidius™ Myriad™ X ビジョン・プロセッシング・ユニットと COTS プロセッサである Qualcomm Snapdragon をを用いて、深層学習モデルや地球および火星の画像でトレーニングされた種々のアルゴリズムに関するベンチマークを実施しており、IGARSS 2022 で JPL などと連名で報告している。<sup>872</sup>

ii. KP Labs<sup>873</sup>（ポーランド）

- ESA の Phi-sat2 ミッションに参画し、ミッションコンセプトに基づき、AI 技術とオンボード AI アクセラレータプロセッサをベースによる新しいオンボードアーキテクチャやセンサーを実現しようとしている。オンボード処理としては、Convolutional Neural Networks をベースにした Cloud Detection アプリを開発し実装する
- Intuition-1 は、ハイパースペクトルセンサーと、軌道上のニューラルネットワークを用いてデータを処理するオンボードコンピュータを用いて、地球観測を行う The National Center for Research and Development of Poland が進める衛星ミッション。ハイパースペクトル画像を軌道上でセグメンテーションすなわち類似パターンを検索する処理能力を備えた世界初の衛星。このパターンには、例えば、作物の病気や干ばつのような異常気象が挙げられる。
- Intuition-1 は、既に軌道上にあるハイパースペクトル画像を AI を用いて処理することが、リモートセンシング処理の効率向上につながり、KP Labs の光学機器がこれまでのパンクロマティック、マルチスペクトルおよびレーダー衛星で検出できなかった現象を観測できることを実証しようとしている。

<sup>871</sup> <https://ubotica.com/>

<https://ubotica.com/satellite-successfully-applies-ai-to-process-earth-observation-imagery-in-flight-in-historic-first-for-space/>

<sup>872</sup> JPL, Ubotica, Hewlett Packard Enterprise "BENCHMARKING DEEP LEARNING INFERENCE OF REMOTE SENSING IMAGERY ON THE QUALCOMM SNAPDRAGON AND INTEL MOVIDIUS MYRIAD X PROCESSORS ONBOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION"

<sup>873</sup> <https://kplabs.space/ai-algorithms-for-earth-observation-the-herd/>



- 衛星の質量は最大 12kg、大きさは 6U (0×20×10 cm) 以下の nano satellite。
- iii. アルウェットテクノロジー株式会社 (日本)
- アルウェットテクノロジー社は、SAR データを軌道上で画像化する装置を JAXA と共同開発したことを 2020 年に発表した。この装置により、従来地上の計算機で行っていたデータ処理を、オンボードで行うことが可能となる<sup>874</sup>。
  - 高速処理が可能な FPGA に適したアルゴリズムに書き換えてファームウェア化することにより、世界で初めて衛星搭載用の装置として実現。これにより、SAR 観測データを軌道上の衛星内で準リアルタイム処理することで衛星からのダウンリンク量の大幅な圧縮が可能となり、現在ニーズが高まっている海域観測や船舶の動静把握への活用が期待される。
  - 具体的には、例えば陸域に加え海域観測を行う場合、現在よりさらに多くのデータを地上に伝送することが必要となり、衛星のデータレコーダの容量とデータ送信速度の限界のため観測域を拡大することが難しい点が課題となっていた。本装置の活用により、SAR 衛星による海洋観測データが安定的に利用可能になれば、船舶等の人工物検出といった AI 技術と組み合わせることによる新たなミッションの実現など、小型の SAR 衛星の需要増も期待される。
- iv. その他市販オンボード・プロセッサ
- 衛星搭載用のオンボードプロセッサとしては、宇宙線対策を講じた耐放射線 (Rad-Hard) プロセッサの開発が進められてきた。近年では、AI プロセッサの低消費電力化に関する研究も進められている。
  - 上記ベンダーも含め、画像処理向けの市販オンボード・プロセッサの例を図表 162 に示す。

図表 162 主な市販オンボード・プロセッサの例

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"> <li>100MIPS CPU)</li> <li>高速アクセス可能な Burst SRAM</li> <li>大容量 FPGA (RTAX2000)</li> </ul>	<a href="https://www.isas.jaxa.jp/feature/mio/mio_11.html">https://www.isas.jaxa.jp/feature/mio/mio_11.html</a>
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"> <li>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</li> <li>最大動作周波数 1.8GHz</li> <li>Rad-Hard (100rad)</li> </ul>	<a href="https://digitalpr.jp/r/43113">https://digitalpr.jp/r/43113</a>
ibeos	EDGE GPU-Based Payload Processor	1U EDGE は、CubeSat 標準のサイズ、重量、電力要件を満たす 拡張型の 3 U EDGE もあり	<ul style="list-style-type: none"> <li>重量:150g</li> <li>動作電力: &lt;15W</li> <li>入力電圧: 5V</li> <li>最大クロック速度: 2GHz</li> <li>計算スループット: &gt; 300 GFLOPS</li> <li>プロセッサ: 192 CUDA GPU cores, quad-core ARM CPU (configurable for</li> </ul>	<a href="https://www.ibeos.com/standard-products">https://www.ibeos.com/standard-products</a>  <a href="https://www.ibeos.com/edge-datasheet">https://www.ibeos.com/edge-datasheet</a>

<sup>874</sup> [https://www.jaxa.jp/press/2020/02/20200226-1\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2020/02/20200226-1_j.html)

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
			low power applications) ・動作温度：-40～ 105℃ ・耐放射線：30 k rad (Si) *	
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/遠隔通信用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： ・ Cloud computing ・ Mesh networks communication ・ Earth Observation/ Disaster monitoring ・ Space Domain Awareness ・ SAR ・ Interplanetary exploration ・ Autonomous vehicles operation	・ 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 (TDP による)	<a href="https://unibap.com/en/offer/space/spacecloud-solutions/ix5100/">https://unibap.com/en/offer/space/spacecloud-solutions/ix5100/</a>  <a href="https://unibap.com/wp-content/uploads/2020/11/spacecloud-ix5100-datasheet.pdf">https://unibap.com/wp-content/uploads/2020/11/spacecloud-ix5100-datasheet.pdf</a>
KP Labs	Leopard	・ 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 ✓ 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	・ 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	<a href="https://kplabs.space/leopard/">https://kplabs.space/leopard/</a>  <a href="https://kplabs.space/wp-content/uploads/Leopard-technical-sheet.pdf">https://kplabs.space/wp-content/uploads/Leopard-technical-sheet.pdf</a>

\* k rad(Si) : シリコン(Si)に対する放射線の吸収線量

#### v. Edge Computing Alliance<sup>875</sup>

- 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。

<sup>875</sup> <https://ecsa.space/>

- 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）での参加メンバーを図表 163 に示す。

図表 163 Edge Computing Alliance のメンバー企業

企業名 (国)	分野・活動内容	URL 等
Exodus Orbital (カナダ)	ユーザが希望するアプリケーションを搭載した衛星の開発	<a href="https://www.exodusorbitals.com/index.htm">https://www.exodusorbitals.com/index.htm</a>
Orbital Transports, INC. (米)	小型衛星ソリューションの提供	<a href="http://www.orbitaltransports.com/">http://www.orbitaltransports.com/</a>
Modularity Space (米)	衛星プラットフォームのレンタル、再利用 宇宙システムの開発	<a href="https://www.modularityspace.com/">https://www.modularityspace.com/</a>
LEOcloud, Inc. (米)	宇宙および地上のクラウドシステムの実現	<a href="https://www.linkedin.com/company/leocloud/">https://www.linkedin.com/company/leocloud/</a>
Copernic Space (米)	MAAP Lunar Rover (MOBILE AUTONOMOUS PROSPECTING PLATFORM) のペイロード所有権の販売	<a href="https://copernicspace.com/">https://copernicspace.com/</a>
<u>EXO-SPACE</u> (米)	宇宙アプリケーションのためのデータ処理向け SW、HW の提供 軌道上での画像分析用の FeatherBox を開発 ・ 大きさ： 96mm x 96mm x 50mm ・ 重量： 1.4 kg ・ 消費電力： 9 W (typ.) 22 W peak (数十マイクロ秒)	<a href="https://www.exo-space.com/">https://www.exo-space.com/</a>
OrbitsEdge (米)	宇宙のエッジにある軌道上の仮想化データインフラストラクチャを提供	<a href="https://orbitedge.com/">https://orbitedge.com/</a>
SKYWATCH (米)	地理空間データを簡単かつ迅速に購入できよう、開発者と GIS マネージャを、衛星画像プロバイダに接続する	<a href="https://www.skywatch.com/">https://www.skywatch.com/</a>
<u>Spiral Blue</u> (オーストラリア)	NVIDIA Jetson シリーズを利用した衛星搭載用 Space Edge Computers の開発。リソース管理、セキュリティ確保のためのオンボードインフラストラクチャソフトウェア	<a href="https://www.spiralblue.space/">https://www.spiralblue.space/</a>

企業名 (国)	分野・活動内容	URL 等
	アと、前処理、GPU ベースの圧縮、雲検出、などのオンボードアプリを提供。また、船舶検出やなどの物体検出とセグメンテーションのための AI ベースのアプリを提供	
DEPLOY SOLUTIONS (カナダ)	地球観測データを組織や企業のニーズと結びつけるためのアプリケーションを開発	<a href="https://www.deploy.solutions/">https://www.deploy.solutions/</a>
RAMON.SPACE (米)	ML/AI/DSP 処理技術を応用したレジリエントな宇宙コンピューティングシステムの構築	<a href="https://ramon.space">https://ramon.space</a>
KP LABS (ポーランド)	AI コンピュータと SW の開発、提供	<a href="https://kplabs.space/">https://kplabs.space/</a>
Ibeos (米)	EDGE GPU-Based Payload Processor の開発	<a href="https://www.ibeos.com/">https://www.ibeos.com/</a>
3K Space Tech Inc.	ソーラシステムを活用した電源供給ステーションネットワークの構築	<a href="https://www.3kspacetech.com/">https://www.3kspacetech.com/</a>
SPACELINK (米)	HAPS、LEO、MEO、GEO、CISLUNAR SPACE にサービスを提供する 10Terabit/s の軌道上 光クラウドを構築	<a href="https://www.eosspacelink.com/">https://www.eosspacelink.com/</a>
Zephyr Computing Systems (米)	宇宙アプリケーション向けの高性能コンピューティングプラットフォームを構築	<a href="https://www.zephyrcomputing.space/">https://www.zephyrcomputing.space/</a>
Cysec (スイス)	クラウドとエッジ間での様々なデータの安全を確保。	<a href="https://www.cysec.com/">https://www.cysec.com/</a>
Little Place Labs (英)	リモートセンシング衛星向けの高度な機械学習技術を活用したソフトウェアアプリケーションを構築し、軌道上でインサイトを得られるよう生データを取得した直後に処理	<a href="https://www.littleplace.com/">https://www.littleplace.com/</a>
AmbaSat (英)	小型衛星キットと打ち上げオプションをパッケージ販売	<a href="https://ambasat.com/">https://ambasat.com/</a>
Spacechips (英)	電気通信、地球観測、インターネット、M2M/IoT 衛星向けの、L バンドから Ku バンドまでのオンボードプロセッサおよびトランスポンダを設計・構築。	<a href="http://spacechips.co.uk/">http://spacechips.co.uk/</a>
Pandio (米)	AI によりデータパイプラインを簡素化	<a href="https://pandio.com/">https://pandio.com/</a>

企業名 (国)	分野・活動内容	URL 等
Sfera Technologies HOMEPORT (ブルガリア)	仮想化地上セグメントのインフラストラクチャとして、LEO のダウンリンクを合理化し、地上局の収益化を改善。宇宙インフラは、複数の資源が有機的にプールされている場合にのみ効率的に拡張できると考え、地上セグメントサービスの設計に分散型アプローチを採用。	<a href="https://homeport.network/">https://homeport.network/</a>
SKUDO (エストニア)	単一の FPGA チップ上で動作するハードウェアセキュリティモジュール(HSM)を最新のプロトコルスタック(CCSDS SDLS、MAVlink など)と組み合わせ、100%のセキュリティを確保	<a href="https://skudo.tech/">https://skudo.tech/</a>
Edgise (ベルギー)	エッジコンピューティングにおける HW と SF の最適化。宇宙システムでは、サイズ、重量、消費電力、および限られた処理能力のリソース制約のために、現在の最先端の AI アルゴリズムを処理するには設計されていないため、エッジで実行できる AI を使用した最適な意思決定システムの構築を支援	<a href="https://www.edgise.com/">https://www.edgise.com/</a>

vi. 国際会議におけるオンボード処理の発表内容

- いくつかのオンボード処理関連の国際会議での発表をここでは記載する。特に技術面では IGARSS および Small Sat Conference で多くの発表がなされていた。

<p>IGARSS  7月21日(木) 20:50~21:20  <b>TH5.V21.1 : ON-BOARD RADIO FREQUENCY INTERFERENCE PROCESSOR FOR THE COPERNICUS IMAGING MICROWAVE RADIOMETER</b></p> <p>Steen Savstrup Kristensen, Jan E. Balling, Sten Schmidl Søjbjerg, Niels Skou, Technical University of Denmark, Denmark</p> <p>【ポイント】  優先度の高いコペルニクスミッション衛星 CIMR (Copernicus Imaging Microwave Radiometer) 用の RFI プロセッサを紹介する。五つの異なる周波数帯で 25 の放射計チャンネルを持つ。</p>
--



【概要】

● CIMR の RFI

- ・ 25 のフル Polarimetric チャンネル

L : 1 アンテナホーン

C、X : 4 dual frequency アンテナ

K、Ka : 8 dual frequency アンテナホーン

Band	Center Frequency (GHz)	Bandwidth (MHz)	Channels	Spatial Resolution (km)
L	1.4135	25	1	<60
C	6.925	400	4	≤15
X	10.65	100	4	≤15
K	18.7	200	8	≤5.5
Ka	36.5	300	8	≤4

ル

ナホーン

- ・ RFI は全ての周波数帯で観測されている

● RFI の除去方法

- ・ ① 地上処理(SMOS のような古い衛星での選択し)を行うかあるいは、② SMAP のように RFI を除去する地上処理能力を向上させるため高出力を生成する
- ・ 空間分解能や放射計能力の向上に伴い、①では不十分であり、②では大量のデータをダウンロードする必要がある。

● MetOp-SG (Meteorological Operational Satellite Program of Europ の第二世代) (M 設計中にオンボード RFI 検出が可能であることがわかり、将来の放射計に向けたオンボード処理の検討が進んだ。

● 主な処理

➢ Analogue stacking

25 フルポラ放射計チャンネルすなわち、50 アナログ入力に対する ADC が可能 channels requires sampling of 50 analogue

➢ Spectral sub-banding

FFT によりサブバンド化

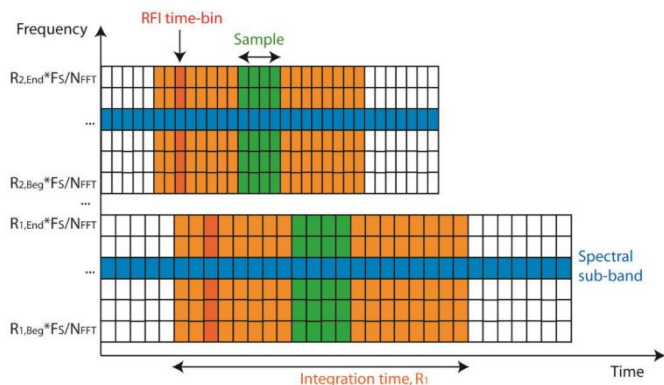
➢ Accumulation into sub-pixels (サブピクセルへの累積)

2 放射計バンド入力の場合の CIMR サブピクセル (右図)

➢ 高入力サンプリングレートと高入力帯域幅の ADC と放射計バンドのアナログ累積を組み合わせる ADC 数を削減。

➢ Detection (検出) : 複数の放射計帯域入力を扱う FPGA アーキテクチャを設計

Band	Center Freq. (GHz)	Spectral Sub-bands	Radiometric Resolution [K]
L	1.4135	18	0.3
C	6.925	215	0.2
X	10.65	72	0.3
K	18.7	143	0.4
Ka	36.5	215	0.7



- プロトタイプは 2022 年 3 月に実装また、最終バージョンは 2023 年 3 月の予定

IGARSS

7 月 21 日 (木) 21 : 35 ~ 21 : 50

TH5.V21.3 : RADIO FREQUENCY INTERFERENCE MITIGATION IN L-BAND RADIOMETER OF MICROWAVE IMAGER COMBINED ACTIVE AND PASSIVE (MICAP)

Donghao Han, Tianshu Guo, Lijie Niu, Hao Liu, Ji Wu, Chinese Academy of Sciences, China; Xi Guo, Tsinghua University, China

【ポイント】

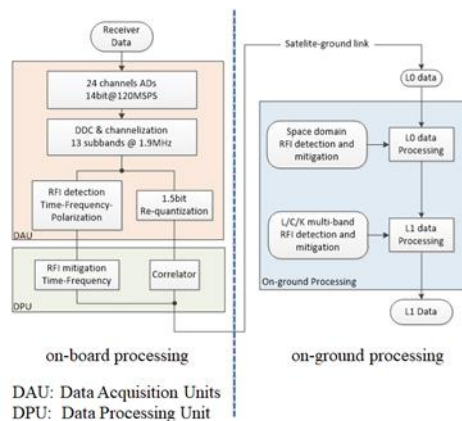
L/C/K バンドマイクロ波干渉放射計(Microwave Interferometric Radiometer : MIR)と L バンド散乱計を含む能動および受動マイクロ波機器パッケージである Microwave Imager Combined Active and Passive(MICAP) は、中国の海洋塩分ミッションへの搭載が承認された

Microwave Imager Combined Active and Passive (MICAP)アクティブとパッシブを組み合わせた L/C/K-band のマイクロ波イメージャ中国の Ocean Salinity Mission への搭載が承認された。特に L バンド MIR にとって深刻な脅威である MICAP の RFI についての報告。

【概要】

- MICAP におけるオンボード処理と地上処理を組み合わせた RFI 軽減策の提案。
  - MICAP の仕様 (右表)
    - L/C/K マルチバンド受動・L バンド能動放射計
  - MICAP 構造に基づく RFI 緩和のための信号ストリーム (下左図)
    - オンボード処理と地上処理を組み合わせ (下右図)

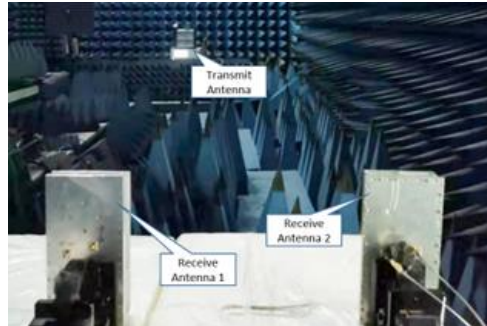
SSS accuracy	1psu @one pass 0.1psu @30days,200km
swath	950km
ground resolution	50km
revisit period	<3 days



- RFI サイドローブブランピング基準を提案しさらに、検出感度と誤警報率の間のトレードオフを提示しオンボード RFI 検出能力に対する要件を導出
  - MIR では、強力な RFI によって全ての Field Of View (FOV)データが無効になる可能性があります
  - RFI が非常に強力で完全な FOV データが無効な場合 RFI をオンボードで除去、それ以外の場合、RFI は非常に弱いため地上で処理される

MICAP L バンド MIR では、RFI の EIRP が 5dBmW を超える場合、オンボードで削除し、完全な FOV データの汚染を回避する。それ以外の場合、RFI の誤アラームを回避できるように、オンボード処理はせず地上で削除することができる。
- オンボード RFI 検出のための RFI 軽減法策の検証実験

➤ 打上げ前の実証風景（右図）



## IGARSS

7月21日 0:00~0:15

TH7.V15.1 : BENCHMARKING DEEP LEARNING INFERENCE OF REMOTE SENSING IMAGERY ON THE QUALCOMM SNAPDRAGON AND INTEL MOVIDIUS MYRIAD X PROCESSORS ONBOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Emily Dunkel, Jason Swope, Zaid Towfic, Steve Chien, Damon Russell, Joseph Sauvageau, Douglas Sheldon, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, United States; Juan Romero-Cañás, Jose Luis Espinosa-Aranda, Léonie Buckley, Elena Hervas-Martin, Ubotica, Spain; Mark Fernandez, Carrie Knox, Hewlett Packard Enterprise, United States

### 【ポイント】

- 次世代衛星用プロセッサ Snapdragon 855 と Movidius Myriad X が高い性能を持つことを表した発表。

### 【概要】

- 観測衛星でのオンボード処理を行う次世代のプロセッサである Qualcomm 社の Snapdragon 855 と Intel 社の Movidius Myriad X を使って、様々な解析ソフトのベンチマークを行った。
- これらのプロセッサは地上でのベンチマークは行われていたため、今後衛星に搭載する前段階として、ISS でのベンチマークを行った。
- 火星のセグメンテーション、洪水検知、高解像度化といった処理について、新規のプロセッサはどれも十分に早いスピード、低いエラー率とエネルギー消費量で解析を行うことができた。

Table 1: Mars HiRISE Classifier Benchmarks

	Errors	Inference Time	Energy
Linux Reference	-	56.9 ms	2.3 J*
Snapdragon CPU	0	87.8 ms	0.5 J
Snapdragon GPU	1 (0.1%)	16.3 ms	0.051 J
Snapdragon DSP	15 (0.8%)	7.6 ms	0.016 J
Snapdragon NPU	15 (0.8%)	7.6 ms	0.014 J
Myriad X	2 (0.1%)	16.2 ms	0.032 J

- 今後これらのプロセッサが Tip&Cue などの技術に活用されることを期待している。

## Small Sat Conference 2022

### Bronco Ember An Edge Computing Acceleration Platform with Computer Vision

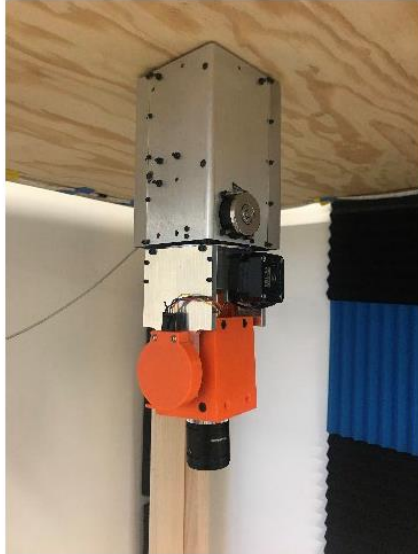
Zachary Gaines, Bronco Space (※筆頭)

#### 【ポイント】

衛星データの撮像から解析完了までをオンボードで完結する衛星を開発するための実証実験。山火事検知とその広がり方を予測するシステムとして、SWIR と機械学習用の GPU、CPU、ソフトウェアを搭載したシステムを作成し、高高度バルーンを使って実験を行った。その結果、85%の精度で 50 m 径の山火事の検出とその広がり方の予測を、地上局を介さずに成功した。

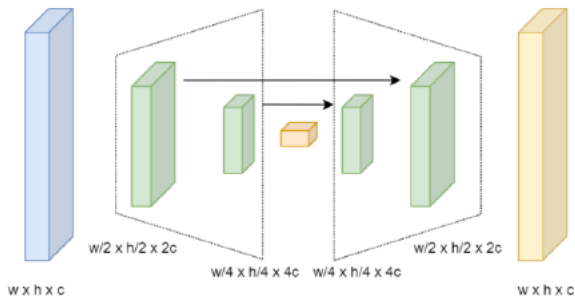
#### 【概要】

- NASA のサポート (NASA TechLeap Autonomous Observation Challenge No. 1) を受けた米国のベンチャー企業 Bronco Space 社が行った研究。
- 既存の小型衛星はそのスペースとエネルギーの制限 (SWaP-C) から、撮像した画像を処理することが難しい。ただ、すべてのデータをダウンリンクしてから解析する方法は、撮像から解析完了までの時間が長く理想的ではない。
- そこで、edge-computing を活用して、撮像した画像をその場で解析し、撮像から解析完了までの時間を短縮するシステムが求められる。
- ただ、一つの衛星にさまざまな用途を要求した上で edge-computing を実現しようとする、SWaP-C に適合せず理想論に終わってしまう。そのため、本研究では山火事の検知に絞った単一目的で、onboard で解析を完了させる衛星の開発を目的に実験を行った。
- 本研究で使用した山火事検出システム (Bronco Ember) は、下図の要素を搭載しており、二軸モーターで視野を決定できる SWIR カメラと機械学習用の GPU、CPU、ソフトウェアを搭載した。

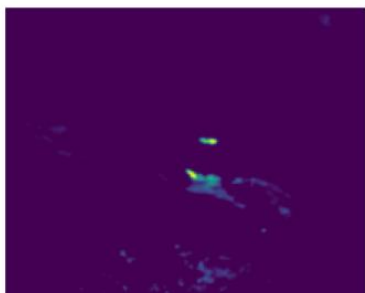


AI Performance	1.33 TOPS
GPU	NVIDIA Pascal™ Architecture GPU with 256 CUDA cores
CPU	Dual-core NVIDIA Denver 2 64-bit CPU and quad Core ARM A57
Memory	4GB 128-bit LPDDR4, 1600Mz-51.2 GBs
Storage	16 GB eMMC 5.1 Flash storage
Power	7.5W   15W
Mechanical	69.6 mm x 45 mm

- 山火事検知の機械学習システムとしては、CNNを基盤とするU-Netを用いた。

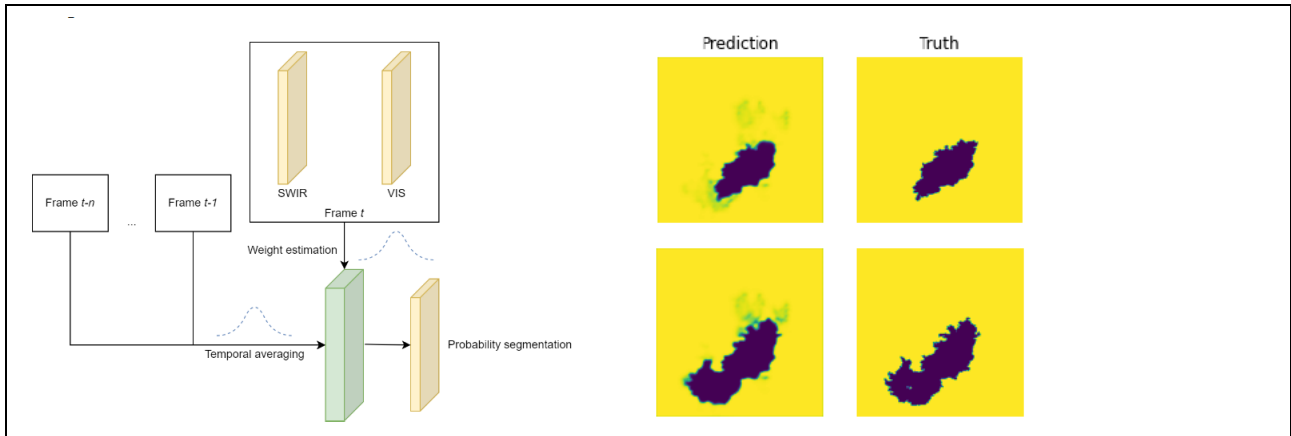


- 本研究では本システムの実証実験として、高高度バルーンに本システムを搭載して山火事の検知ができるかを確認した。
- その結果、85%の精度で50 m以上の直径の山火事を検出することができた。



- また、山火事発生後の広がり方の予測についても、高い精度で予測することができた。





Small Sat Conference 2022

## HOP Queue: Hyperspectral Onboard Processing Queue Demonstration

Kelly Gresham Davis, Northrop Grumman Systems Corporation (※筆頭)

### 【ポイント】

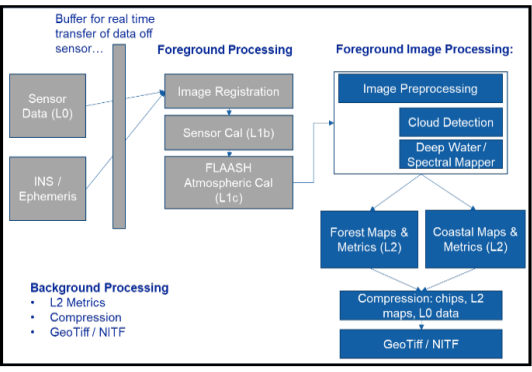
ハイパースペクトル画像（HSI）の処理を効率的に行うオンボードシステムの開発。HSI データは多様な情報を含んでいる一方で、データ量が大きくダウンリンクに制限があることが課題となっていた。

本研究では HOP Queue というセンサー・プロセッサ・機械学習用アルゴリズムのセットを開発し、地上観測のテストを行った。その結果、HOP Queue では既存の手法にくらべてダウンリンクに必要な時間が有意に短縮できた。

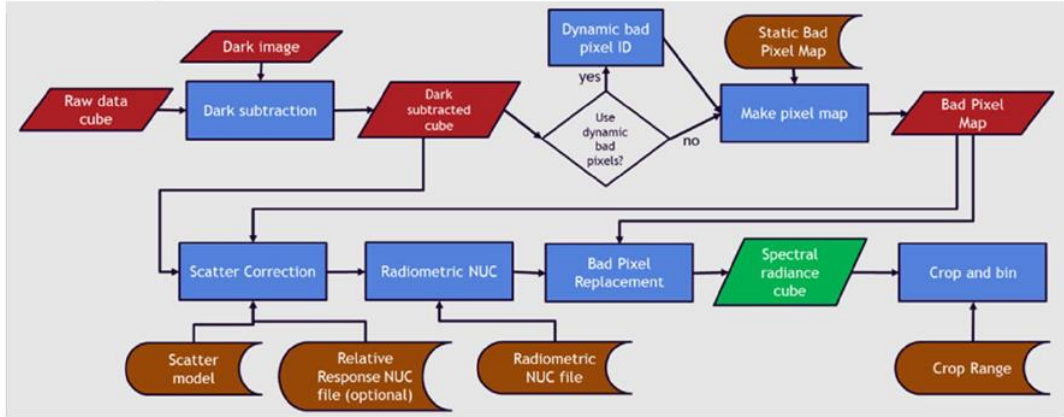
### 【概要】

- ハイパースペクトルイメージ（HSI）は水の特性や植生、山火事の検知など様々な事象の検出に活用されている。これらの検知は、環境保全にも大きな意味を持つ。
- 一方で、HSI はデータ量が大きすぎることから、既存の帯域でデータ転送を行うことが難しい。
- 本研究では、Northrop Grumman Systems Corporation と Spectral Science Incorporated が共同で新たに開発した HOP Queue (Hyperspectral Onboard Processing Queue) という HSI 用センサー・プロセッサ・機械学習アルゴリズムのセットを紹介しており、このシステムにより効率的に HSI データを処理することを可能にした。
- センサーの要件、オンボードでの処理プロセスは下図。

MicroHSI™ 425	Values	UNIT
MCT FPA		
pixel width (spatial)	15	[um]
pixel width (spectral)	15	[um]
Spatial pixels	640	[px]
Spectral pixels	446	[px]
Spectral		
λ max	2450	[nm]
λ min	385	[nm]
Δλ	2065	[nm]
Slit length	9.6	[mm]
dispersion	4.6	[nm/px]
dispersion	300	[nm/mm]
spectrum width	6.8	[mm]



- また、このオンボード処理の中ではピクセルごとの散乱補正や放射線の影響を補正するために、下図の L1 処理も行っている。



- このシステムでのデータ処理方法 (NGSC) と既存の手法 (CCSDS) でダウンリンクにかかる時間の違いを計測したところ、NGSCの方が有意にダウンリンクにかかる時間が短縮できた。

Margin	CCSDS 123.0-B-1	NGSC DPCM
Runtime	2.8 ± 0.9 s	0.60 ± 0.03 s
Compression Ratio	1.14 ± 0.08	1.68 ± 0.6

- 今後は HOP Queue で取得したデータを NASA の他衛星のデータや地上データと組み合わせて、環境保全での衛星データ活用を推進していこうとしている。

## OPS-SAT LEOP and Commissioning: Running a Nanosatellite Project in a Space Agency Context

David Evans, European Space Agency (※筆頭)

### 【ポイント】

ESA が指揮／運用するオンボード処理や光通信等を活用した衛星ソフトウェアを検証するための衛星 OPS-SAT の概要紹介。

ヨーロッパの事業者／研究機関がコストフリーで実験可能であり、機械学習のオンボード処理による森林火災検知ソフトウェアの実証なども行われる予定。

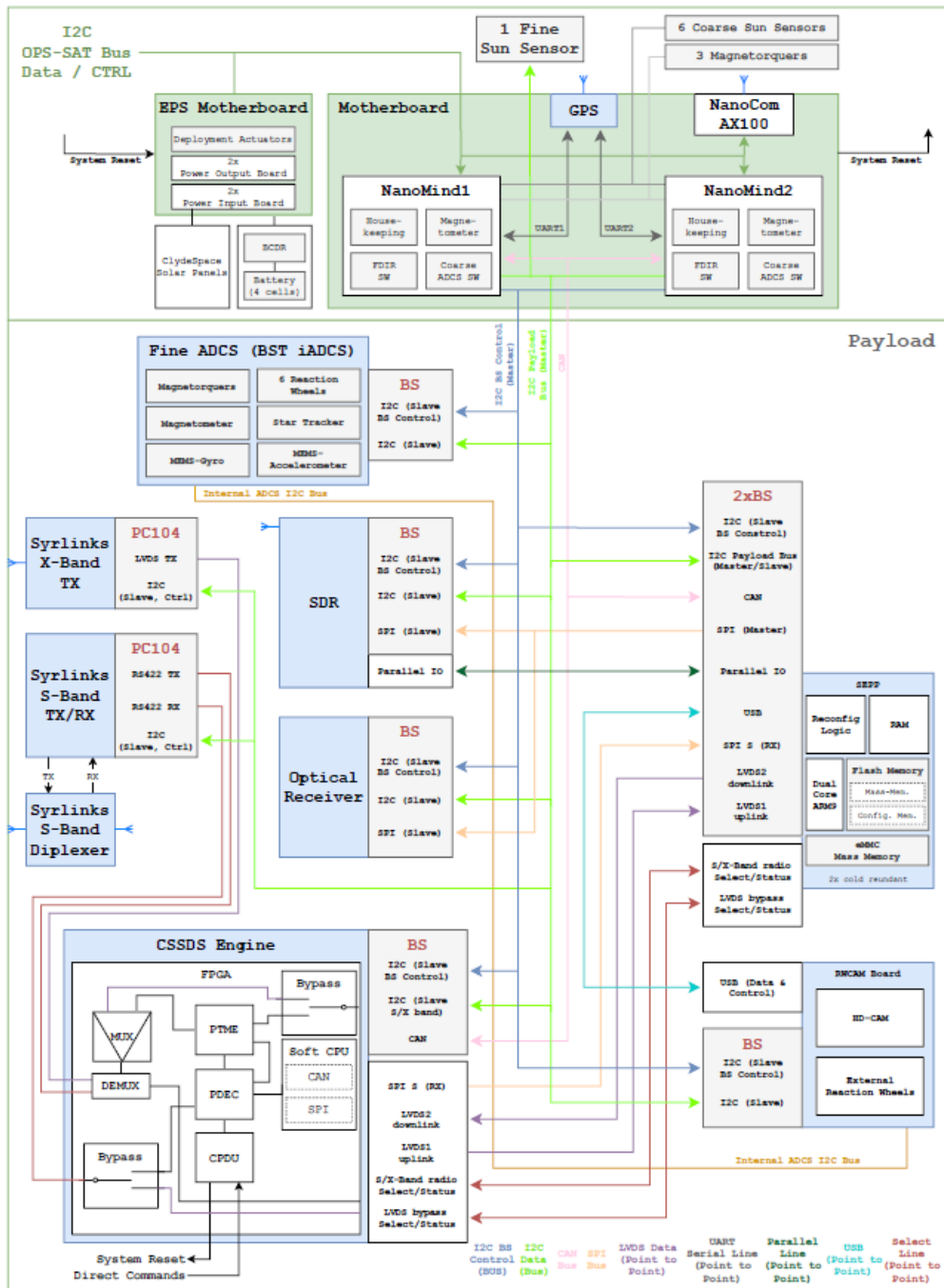
### 【概要】

- ESA が指揮／運用する初のナノ衛星 OPS-SAT は 2019 に打ち上げられた。産業／研究機関／個人が容易にアクセスでき、費用負担なく迅速に衛星ソフトウェアのプロトタイピング／検証／評価を宇宙空間上で行える環境を提供することのみを目的としている。
- OPS-SAT は OPS-SAT バスとペイロードの 2 つの主要部分から構成される。
  - OPS-SAT バス
    - ◇ NanoMind と呼ばれるオンボード コンピューター、電源サブシステム、UHF 通信サブシステム、および基本的な Attitude Determination and Control Subsystem (ADCS) で構成されており (coarse ADCS)、ペイロードを操作するために必要なインフラストラクチャを提供。ペイロードにも ADCS (iADCS) が搭載されており、一度ペイロードが実行されると、バスは監視を行い、いつでも衛星全体の制御を引き継ぐことが可能な状態でスタンバイする。
  - ペイロード
    - ◇ 主要部である Satellite Experimental Processing Platform (SEPP) は、高度なソフトウェア／ハードウェア実験に十分なオンボードメモリを具備した強力な ALTERA Cyclone V system-on-chip (SoC) モジュールで、800MHz の CPU clock と 1GB DDR3 RAM の処理能力を提供。SEPP 上で画像処理が可能。
    - ◇ すべての ALTERA Soc SX デバイスは Hard Processing System (HPS) と Field-Programmable Gate Array (FPGA) で構成されているため、ハードウェア構成の再構築が可能。
    - ◇ 高速な S-band (up: 256kbps, down: 1Mbps) と X-band (50 Mbps) の通信に加えて、地上からコマンドを受信できる光受信機能も具備。2kbps の光アップリンクデータを受信し、オンボードの実験用ソフトウェアで処理可能。
- 試運転／本格運用フェーズで UHF/S-band の通信不具合や実験用プロセッサの起動不全などを経験しつつも、2021 年 3 月以降は正常に運用中。ヨーロッパ中のスタートアップや主要な宇宙関

連事業者から 100 以上の実験が登録されており、現在計画されている実験は下記876：

- 機械学習を用いたオンボード画像処理による森林火災の検出とリアルタイム監視
- ロバーと地球の通信中継
- 人工知能を使用した宇宙ミッション完全自動化
- 無線受信機を使用した電波干渉測定
- レーザー光によるセキュアなデータ伝送

### OPS-SAT の宇宙セグメントのアーキテクチャ



4) 地球観測衛星のデュアルユース

- 軍が所有する軍事偵察用の地球観測衛星を民間が利用する、あるいは軍の資金補助を得て民間が保有・運用する地球観測衛星を軍事・民生両分野で活用するなどの、地球観測衛星におけるデュアルユースについて COSMO-SkyMed をはじめとして調査した。

A) COSMO-SkyMed (イタリア)

i. 概要

- ASI (イタリア宇宙庁: AGENZIA SPAZIALE ITALIANA)、国防省、教育省、大学・研究機関などの資金援助を受けて、イタリアの宇宙産業界によって開発
- 現在、民間と軍事の両方で使用されている地球観測衛星レーダー。
- 2007 年の最初の衛星の打ち上げ以来、気象条件や可視条件に左右されず常時地球を調査し、世界中の 100 万以上の画像を撮影し、安全や地球の監視と資源の持続可能な管理、自然災害や緊急事態の管理、気候変動との戦いのための情報を供給提供している。
- 開発に参加したイタリアの宇宙産業界としては、Leonardo とそのジョイントベンチャーである Thales Alenia Space と Telespazio が参加している。
- COSMO-SkyMed の諸元を図表 164 に示す。

図表 164 COSMO-SkyMed の諸元<sup>877</sup>

項目		諸元				
衛星	主契約	Thales Alenia Space				
	運用	ASI (Italian Space Agency) が e-GEOS に委託				
	衛星重量	600 kg				
	SAR アンテナ サイズ	5.7m×1.4m				
	発生電力	11kW				
	打上げ (1~4号機)	2007/6/8、2007/12/9、2008/10/25、2010/11/6				
	軌道高度 傾斜角	619.6km×619 km、 97.86°、太陽同期ドーナズク軌道				
	設計寿命	5 年				
	周期	97.1 分				
	リピート 時間 再訪時間	16 日  各衛星の再訪時間は 5 日、コンステレーションで数時間				
ミ ツ	観測モード <sup>878</sup>	超広域	広域	高分解能 連続撮影	連続撮影 ピンポン	スポットライト  2

<sup>877</sup> ESA (<https://earth.esa.int/eogateway/missions/cosmo-skymed>)

<sup>878</sup> SED ([https://www.sed.co.jp/sug/contents/satellite/satellite\\_cosmoskymed.html](https://www.sed.co.jp/sug/contents/satellite/satellite_cosmoskymed.html))



項目		諸元				
	周波数	9.6GHz (X-band)				
	偏波	HH、HV、VV、VH から 1 種類			HH、HV VV、 VH から 2 種類	
	撮影方式	SCANSAR		STRIPMAP		SPOTLIGHT2
	地上分解能	30m	16m	3m	15m	1m
	観測幅	200km	100km	40km	30km	10km

- 図表 164 の衛星を第 2 世代となる CSG (COSMO-SkyMed Second Generation) 段階的に置き換えていく計画であり、性能を始め寿命を 5 年から 7 年に向上させる。
- CSG の諸元を図表 165 に示す。

図表 165 CSG の諸元

項目		諸元	
衛星	主契約	Thales Alenia Space	
	運用	ASI (Italian Space Agency)	
	衛星重量	810 kg	
	SAR アンテナ サイズ	5.7m×1.4m	
	発生電力	17kW	
	打上げ (1、2号機)	2019/12/18、31.01.2022/1/31 3号機～：2024年以降の予定	
	軌道高度 傾斜角	619.6km×619 km、 97.86°、太陽同期ドーンダスク軌道	
	設計寿命	7年	
	周期	97.1分	
	再訪時間	2機の衛星 4偏波・Discrete Stepped Strip (DI2S)：平均9.6時間、最大85時間 その他のモード：平均4.5時間、最大37時間 <sup>879</sup>	
通信性能	X-band ダウンリンク (データ転送)：2 x ×260Mbps S-band T&C：コマンド8kbps、テレメトリ～2048kbps		
ミッシン	観測モード	広域	狭域
	周波数	9.6GHz (X-band)	

<sup>879</sup> COSMO-SkyMed Second Generation :System and Products Description  
(<https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/COSMO-SkyMed-Second-Generation-Mission-Products-Description.pdf>)

項目		諸元								
	偏波	Double		Quad.	Burst double	Doubl e	Doubl e	Single		
	撮影方式	ScanSAR		Stripmap			Spotlight			
	地上分解能 (rg.×az.)	6 ×	4 ×	3 ×	5 ×	3 ×	1 ×	0.8 ×		
	単位:m	20	20	3	20	3	1	0.8		
観測幅 (km)	20 0	100	15	30	40	10	10			
用途	民生用・軍所用								軍所用	

## ii. e-GEOS

- COSMO-SkyMed のデータは、e-GEOS により世界中で販売されている<sup>880</sup>。
- e-GEOS は、Italian Space Agency (ASI) (20%) と Leonard (Finmeccanica) と Thales の社出資の合弁会社である Telespazio (80%) により構成される企業である。データ取得から前処理、防衛、緊急事態および安全保障、農業および林業、環境保護、石油およびガス、公益事業および産業を含む主要な垂直市場のためのアプリケーションソリューションまで、地球観測におけるあらゆる製品と活動を提供しており、リモートセンシング情報処理チェーンのあらゆるレベルに関与している。
- e-GEOS は、Matera Space Centre の運用と衛星データの取得と前処理・配信を行っており、ASI のために、COSMO - SkyMed の Italian Civil Ground Segment (I-CUGS) を運用している。具体的には、X バンド SAR 衛星である COSMO-SkyMed の画像データの取得・配信や、ESA のために、ERS-1・2、ENVISAT、ALOS、MODIS、JERS、MOS-1、Landsat-5、Landsat-7、2013 年からは Landsat-8 といった様々な国際衛星ミッションのデータを取得、作成、保管、配布を行い、また、EU のために、Copernicus の Sentinel-1A と Sentinel-1B のレーダーセンサー、Sentinel-2A と Sentinel-2B のマルチスペクトルセンサー、陸・海・大気の監視、緊急事態管理に関するサービスをほぼリアルタイムで提供するとともに、EMSA (European Maritime Safety Agency) のために、Sentinel-1、Radarsat 及び COSMO-SkyMed のデータ取得及び作成並びに海上監視サービス (油流出・船舶検知) を実施している<sup>881</sup>。

e-GEOS が運用する Matera Space Centre の地上設備を

<sup>880</sup> Telespazio ホームページ (<https://www.telespazio.com/en/press-release-detail/-/detail/091818-earth-observation-new-business-success-for-e-geos-telespazio-asi-in-indonesia-and-japan>)

<sup>881</sup> <https://www.e-geos.it/#/matera>

- 図表 166 に示す。

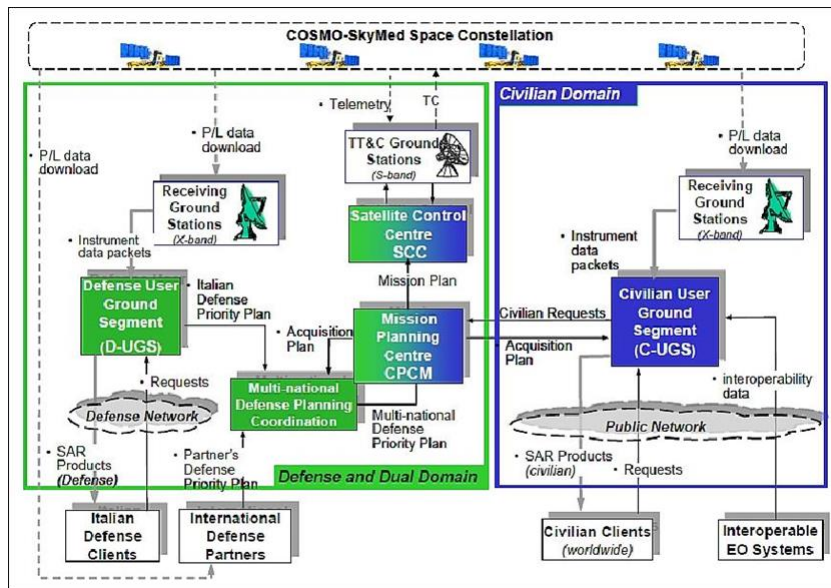
図表 166 e-GEOS が管理する地上設備 (Matera Space Center)



出所 : <https://www.e-geos.it/en/matera-space-center/>

- COSMO-SkyMed の地上設備を図表 167 に示す。Defense and Dual Domain と Civilian Domain の地上設備が構築されている。
- 軍事用ニーズを処理するための軍事支援施設として UGS (User Ground Segment) をイタリアの Pratica di Mare に設置。

図表 167 COSMO-SkyMed の地上設備



出所 : <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed#@gHgE1148Herb>

リソース配分およびユーザー分類は以下のとおりである。商業利用ユーザーは e-GEOS を介してデータを利用することになる。Cosmo SkyMed のユーザー分類のイメージを図表 168 に示す。

■ リソース配分

軍事ユーザー : 25% 非軍事ユーザー : 75%

■ 非軍事ユーザークラス

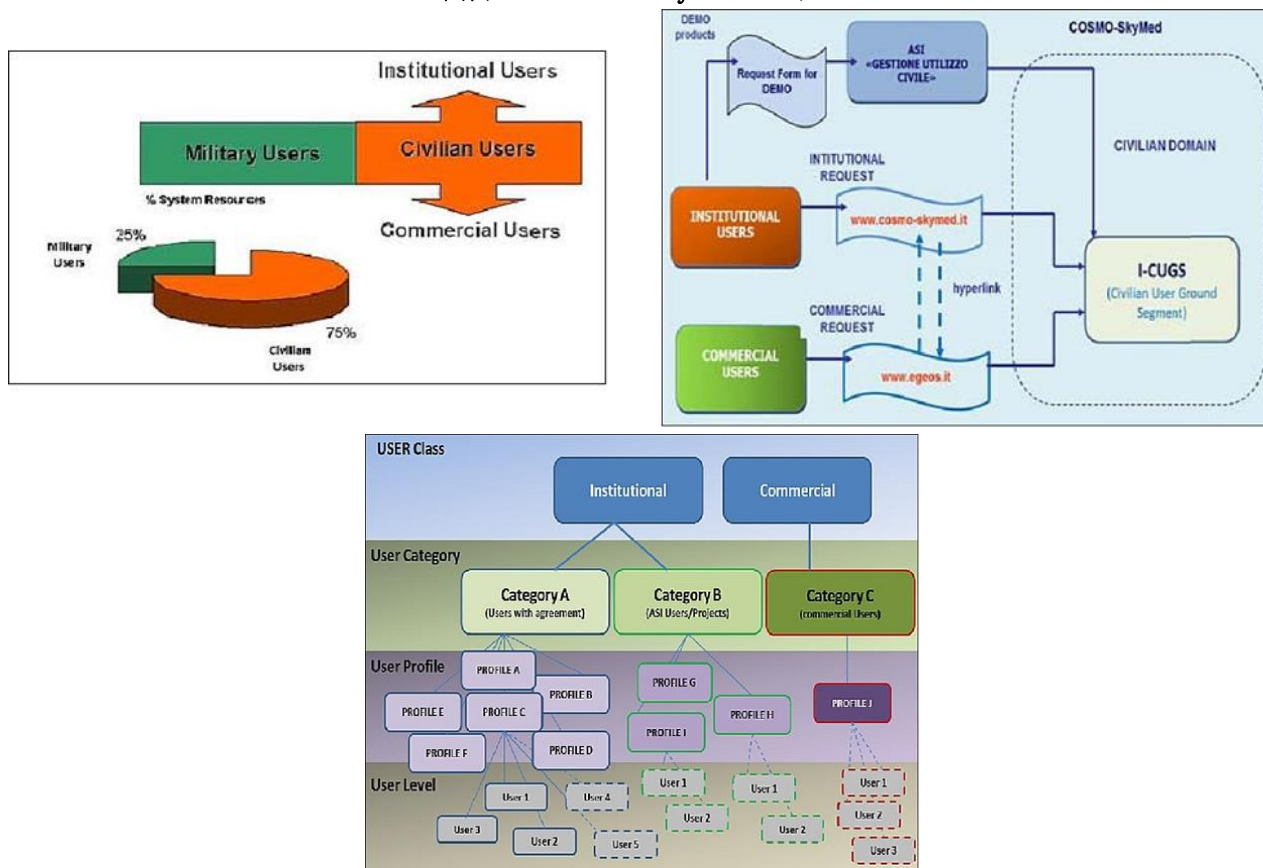
原則的なユーザー（組織の法律部門、非営利の科学者、公共目的）と商業利用ユーザー

■ ユーザーカテゴリー

研究等の機関：Agreementに基づくユーザー、ASIが認めるプロジェクト等

商業利用ユーザー：e-GEOSを介して利用

図表 168 Cosmo SkyMed ユーザー



出所：<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed#@gHgE1148Herb>

- 2017年、e-GEOSは米国の地理空間データの分析企業 Ursa Space Systems との間でレベニューシェア契約を締結した。これは、COSMO-SkyMedのSARコンステレーションを利用した全天候下でのデータ取得機能と、Ursaの分析機能を組み合わせることで、より多くのユーザーと市場に信頼性の高いグローバルなインテリジェンスをもたらすためであると発表されている<sup>882</sup>。

iii. e-GEOSとISIとの連携

- 2021年、e-GEOSはイスラエルの宇宙ベースのインテリジェンス構築のために大規模な高再訪率コンステレーション向けの管制局の設計や運用を行うISI (ImageSat International) と

<sup>882</sup> <https://spacenews.com/ursa-space-systems-and-e-geos-forge-revenue-sharing-partnership/>



の光学および SAR による地球観測コンステレーションパートナーを発表<sup>883884</sup>。ISI は EROS-B の後継光学衛星 EROS-C と SAR 衛星 EROSAR の打ち上げを計画。

【ISI の衛星概要】

- ISI の既存衛星 EROS-B と計画中の衛星 EROS-C および EROSAR の諸元を図表 169 に示す。なお、EROS-B は軍仕様の衛星とされており、契約者は EROS-C や EROSAR と同様、イスラエルの防衛やセキュリティシステムの製造企業である Israel Aerospace Industries (IAI)である<sup>885</sup>。

図表 169 ISI 衛星の諸元

衛星	項目	諸元
EROS-B <sup>886</sup>	衛星サイズ	高さ：2.3m、幅：4m、奥行き：0.8m
	衛星重量	285 kg
	打上げ	2000/12/5
	軌道	503km×512km、97.32°
	分解能	PAN：50cm
	寿命（運用寿命）	>2025年
	観測幅	7km
	画像プロダクト	Spot、Strip、Stereo、Triplet
	周波数帯（波長）	450～900 nm
センサータイプ	CCD TDI (Time Delay Integration)	
EROS-C <sup>887</sup>	衛星サイズ	高さ：4.58m、幅：4.6m、奥行：1m
	衛星重量	400 kg
	軌道	510km
	分解能	PAN：38cm、Multi Spectral：76cm
	観測幅	11.5km
	画像プロダクト	Panchromatic、Multi spectral、Pan-sharpened.
	周波数帯（波長）	450-900 nm
	センサータイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dual Redundant PAN cameras：CCD TDI</li> <li>• Dual redundant MS (R,G,B,NIR) camera：CMOS TDI</li> </ul>
EROSAR <sup>888</sup>	衛星重量	400 kg
	分解能	50 cm
	周波数帯	Xバンド (SAR)

<sup>883</sup> <https://www.geospatialworld.net/news/e-geos-and-isi-partner-to-create-the-worlds-most-capable-commercial-sar-electro-optical-satellite-constellation-eos/>

<sup>884</sup> <https://www.imagesatintl.com/e-geos-isi-partner-to-creat-the-worlds-most-capable-satellite-constellation/>

<sup>885</sup> IAI (<https://www.iai.co.il/iai-boosting-its-observation-satellites-activity>)

<sup>886</sup> EROS-B ([https://www.imagesatintl.com/wp-content/brochure/EROS-B\\_Satellite\\_Brochure.pdf](https://www.imagesatintl.com/wp-content/brochure/EROS-B_Satellite_Brochure.pdf))

<sup>887</sup> EROS-C ([https://www.imagesatintl.com/wp-content/brochure/EROS-C\\_Satellite\\_Brochure.pdf](https://www.imagesatintl.com/wp-content/brochure/EROS-C_Satellite_Brochure.pdf))

<sup>888</sup> ISI (<https://www.imagesatintl.com/home/eros-ng/erosar/>)

B) PAZ (SEOSAR/PAZ) <sup>889</sup>

- TerraSAR-X プラットフォームを使用した X バンド SAR 衛星で、スペイン地球観測プログラムをなす PAZ と Ingenio の 2 機のうちの 1 つ。防衛省と Hisdesat 社（通信会社）の軍民両用衛星。ちなみに、Ingenio は光学衛星。
- TerraSAR-X および TanDEM-X と同じ軌道で DLR SAR 衛星コンステレーションとして観測機会向上を図る
- スペインの地球観測プログラムは、PNOTS(Programa Nacional de Observación de la Tierra por Satélite)と呼ばれ、PAZ と Ingenio 2 機の衛星から構成される。
- ✓ PAZ は Spanish Space Strategic Plan 2007-2011 のフラッグシップミッション。TerraSAR-X プラットフォームをベースにした X バンド SAR 衛星で、セキュリティと防衛のニーズに対応する。PAZ ミッションは Dual Use であり、国防省 (Ministry of Defense) が資金を提供・所有し、2001 年から国防省にもサービスを提供しているスペインの民間通信会社である Hisdesat(Hisdesat Servicios Estratégicos, S.A.)が運用している。22. 02. 2018 年 2 月 22 日、打上げ。
- ✓ Ingenio<sup>890</sup> (SEOSat) は ESA の CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) が主導する宇宙セグメントで、光ペイロードにより民間ユーザにサービスを提供。2020 年 11 月 17 日、打上げ。
- Dual Use 利用の PAZ の諸元を図表 170 に示す。

図表 170 PAZ の諸元

項目		諸元
衛星	重量	1341kg (wet)、1282kg (dry)
	サイズ	長さ：5m、直径：2.4m
	消費電力	
	軌道	高度：514 km、軌道傾斜角：97.44° 太陽同期ドーナスク軌道
	設計寿命	7 年（目標 10 年）
	回帰日数	11 日
	RF 通信伝送速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uplink (S-band encrypted) : 4 kbps</li> <li>• Downlink (S-band) : 32 kbps 又は 1Mbps</li> <li>• X-band downlink of SAR data 300 Mbit/s</li> <li>• Onboard data storage capacity : &gt; 256 Gbit (EOL)</li> </ul>
SAR アンテナ	形式	Active phased array
	周波数	9.65GHz (波長：3.1cm)
	開口径	4.8m × 0.8m × 0.15m

<sup>889</sup> <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/paz>

<sup>890</sup> <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/seosat>

項目		諸元	
	最大放射電力	2260W	
ミッション（観測性能） <sup>891</sup>			
モード	偏波	シーンサイズ（az、ra）	解像度（az、ra）
Stripmap	単偏波	30～2000km、30km	3m×3m
	2 偏波	15～2000km、15km	6m×6m
ScanSAR	単偏波	100～2000km、100km	16m×6m
Spotlight	単偏波	10km×10km	1m×1m
	2 偏波	10km×10km	2m×2m
HR Spotlight	単偏波	5km×5km	<(1m×1m)
	2 偏波	5km×5km	<(2m×2m)

### C) SSOT/FASat Charlie<sup>892</sup>

- SSOT は EADS Astrium (Airbus Defence and Space) がチリの ACE(Chilean Space Agency : チリ宇宙機関)とチリ空軍(Chilean Air Force/FACH : Fuerza Aerea de Chile)との契約に基づき製造した軍民両用の高解像度の光学地球観測衛星であり、2011年12月に打ち上げられた。
- SSOT プログラムには、チリ当局が自国から衛星を制御できるように地上管制セグメントと画像処理施設の開発と設置も含まれている。
- 運用はチリ空軍が行っているが、地図作成、農業、林業、水・鉱物・石油資源、作物保護、自然災害対、都市計画等の民事利用も行われている。
- SSOT の諸元を図表 171 に示す。

図表 171 SSOT の諸元

項目		諸元
衛星	サイズ	60cm×60cm×100cm (AstroSat-100 プラットフォーム)
	重量	117 kg
	発生電力	180W (EOL)
	打上げ	2011/12/17
	設計寿命	5 年
	通信リンク	X-band ダウンリンク : 60 Mbps. TT&C : 2×S-band (コマンド 20 kbps、テレメトリ 25～384 kbps)
	搭載メモリ	64～79Gbit (BOL)
	軌道	太陽同期軌道 高度 : 620km、傾斜角 : 97.9°、周期 : 97.2 分
	再訪周期	・ 衛星ロール±3° : 3 日

<sup>891</sup> RESTEC (<https://www.restec.or.jp/satellite/paz.html>)

<sup>892</sup> <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/ssot>

項目		諸元
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衛星ロール±7° : 21 日</li> <li>・ 衛星ロール±27° : 5 日</li> </ul>
ミッション	センサー	プッシュブルームイメージャ
	光学系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Korsch telescope</li> <li>・ 開口径 : 200 mm</li> <li>・ 焦点距離 : 5131m</li> </ul>
	パングロ波長	0.45-0.9 μm
	マルチ波長	0.45~0.52μm (青) 0.53~060μm (緑) 0.62~0.69μm (赤) 0.76~0.89μm (近赤外)
	分解能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1.45m (Pan at nadir)</li> <li>・ 5.8m (MS at nadir)</li> </ul>
	観測幅	10.15km at nadir、 FOV : 0.94°

## 5) 海外防衛機関による財務的支援の動向

### A) 海外防衛機関による財務的支援の動向のサマリー

- 防衛機関のリモートセンシング企業および衛星データ分析企業への資金提供について、米国と欧州に焦点を当てて調査を行った。
- 米国での商用衛星の軍事利用は 2003 年に発出された大統領令「Commercial Remote Sensing Space Policy」にて初めて明言された。<sup>893</sup>

この大統領令は、商用利用されている衛星画像や地理空間情報を軍事、外交、安全保障等に活用するよう政府機関に要請するものである。この大統領令をもとに地理空間情報局（National Geospatial-Intelligence Agency、NGA）は商用衛星企業と契約を結び、アンカーテナンシーやサービス提供の対価として衛星開発費の負担などを行うようになった。現在は NGA と国家偵察局（National Reconnaissance Office、NRO）の両機関がリモートセンシング企業および衛星データ分析企業のサービス利用の対価として、アンカーテナンシー的な資金提供を行っている。

- 一方で、欧州ではそもそもアンカーテナントの利用が比較的少ないとされ、欧州の宇宙産業では、資金獲得の手段は伝統的な公共調達と研究開発助成プログラムが一般的だった。<sup>894</sup>近年 EU は、イノベーションの促進を目的として、新しい公共調達の手法として Public Procurement of Innovative solution（PPI）や Pre-Commercial Procurement（PCP）といった形で資金提供を行うようになったが、観測衛星に対しては防衛機関から一般的なデータ購入以外でどのように資金提供が行われているかについては公表されている情報がなく、そういった取り組みは行っていないと考えられる

今回は、特に防衛機関から観測衛星に対して費用を投じている米国の状況について下記に記載する。

### B) 米国の状況

- 米国での商用衛星の軍事利用は前述のとおり 2003 年に発出された大統領令「Commercial Remote Sensing Space Policy」に初めて明言された。
- その後は DigitalGlobe 社（現 MAXAR 社）が米国のインテリジェンス向けの衛星画像の提供の大半を担っていたが、2015 年に NGA は Commercial Geoint Strategy を発表し、増加する小型コンステレーション衛星商用衛星のインテリジェンス向けのさらなる利用拡大を推進した。<sup>895</sup>
- 一方で、インテリジェンス向けの衛星データ提供にはそのセキュリティ要件が非常に厳しく、そのため新たな企業が参入するための技術的、資金的ハードルが高かった。そのため、2018 年に NGA と NRO は共同で商用衛星データのインテリジェンス向けの活用を目指すプロジェクト

<sup>893</sup> <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2003/05/20030513-8.html#:~:text=The%20fundamental%20goal%20of%20U.S.,the%20U.S.%20remote%20sensing%20industry.>

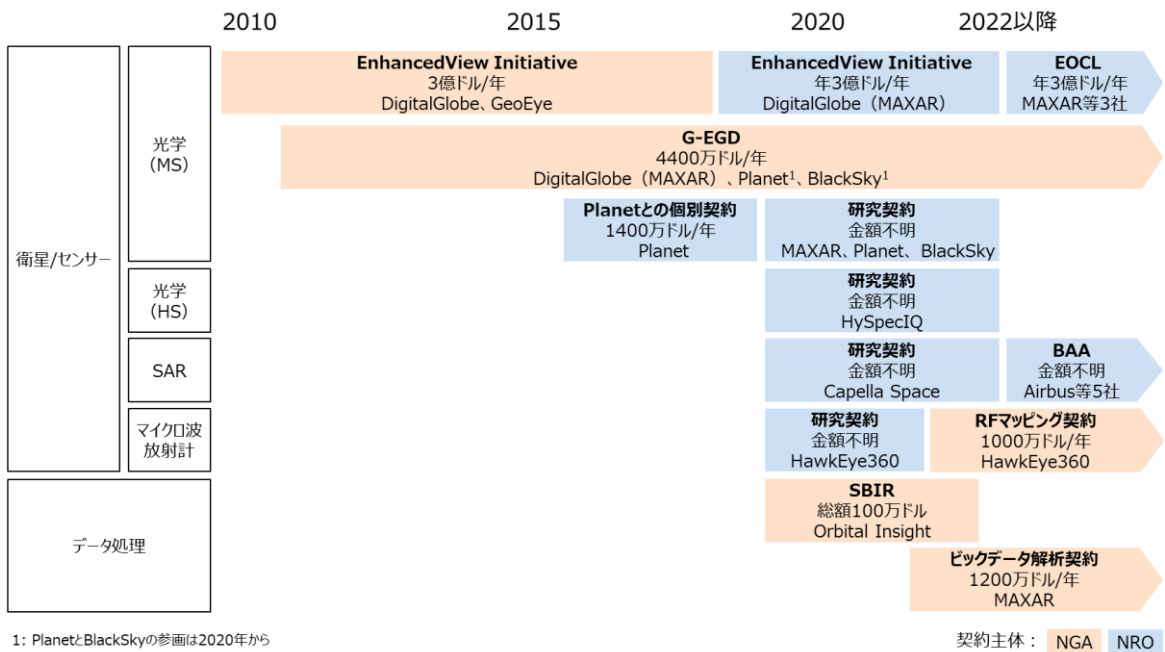
<sup>894</sup> [https://www.eib.org/attachments/thematic/future\\_of\\_european\\_space\\_sector\\_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf) p.102.

<sup>895</sup> <https://spacenews.com/exclusive-nga-to-weigh-smallsat-options-under-new-commercial-strategy/>

ト Commercial Geoint Activity (CGA) を立ち上げ、商用データの軍事利用をさらに加速させようとしている。<sup>896</sup>

- また、近年は光学画像以外にも SAR 画像や RF マッピングといったことなる衛星データや、衛星データの分析手法についても資金提供を行うようになってきている。
- 近年の米国の特徴的な動向としては、これまでの契約では長期間の契約は見込んでいるものの、単年度ずつ更新を行っていたのに対し、2023 年に発表された光学画像のデータバイ契約 EOCL では 5 年間の最低契約期間を持ち、最長 10 年間の更新期間を持つなど、長期的に企業をサポートする契約が始まった。

図表 172 米国におけるインテリジェンス機関からの資金提供



出所) DBにて作成

以降、米国のインテリジェンス向けの衛星データ調達の主要組織である NGA と NRO の各企業との契約動向を記載する。

i. NGA

- 大統領令が発出された 2003 年に、NGA は商用画像の最低購入を継続的に保証する契約「ClearView Initiative」を DigitalGlobe 社、SpaceImaging 社、OrbImage 社（三社とも統合し、現在は MAXAR 社として活動）と締結し、追加の購入オプションも含めて年間最大 5 億ドルの契約を結んだ。<sup>897</sup>
- 2004 年には ClearView Initiative の後継の契約として「NextView Initiative」を DigitalGlobe 社および GeoEye 社（旧 OrbImage 社）と締結し、各社の衛星開発費用の融資も含めた年間最

<sup>896</sup> <https://www.c4isrnet.com/intel-geoint/2016/08/12/nga-nro-stand-up-joint-commercial-geoint-activity/>

<sup>897</sup> <https://www.space.commerce.gov/clearview-arrangements-awarded-to-three-remote-sensing-firms/>



大 5 億ドル規模の支援を行った。<sup>898</sup>

- その後も継続的に NGA は両社とデータバイ契約を結び、2010 年から「EnhancedView initiative」という名前に代わったものの、その規模は大きく変わらず各社に対して年間約 3.5 億ドルの契約となっている。(2018 年より契約主体は NRO に移行)<sup>899</sup>
- また、米国の同盟国に向けた GEOINT の提供のため、NGA は 2011 年に DigitalGlobe 社と新たに Global Enhanced GEOINT Delivery システム (G-EGD システム) を提供するための契約を締結しており、こちらも 2022 年現在まで継続して契約が続いている。2020 年には Planet 社と Blacksky 社の商用画像も同システムから提供されることが表明された。
- 契約の規模としては、2021 年の MAXAR 社との契約では年間 4400 万ドルの資金を提供している。<sup>900</sup>
- 2016 年からは新たに Planet 社とも同様のデータバイ契約を締結しており、2016 年から 2019 年にかけて年間 1400 万ドルの資金提供を行っている。<sup>901</sup>
- 2018 年に NGA は商用画像の取得機能を NRO に移管していくことを発表しており、近年は衛星画像そのものよりもその分析プラットフォームに対する利用契約を多く結んでいる。<sup>902</sup>
- 分析プラットフォームとの契約でも、NGA と MAXAR 社は 2021 年にはビックデータ解析に関する契約を 5 年間で 6000 万ドルの契約を締結するなど、継続的な支援が見られる。<sup>903</sup>
- さらに、NGA は中小企業向けの研究開発投資 (Small Business Innovation Research, SBIR) も行っており、Orbital Insight 社は 2019 年から 2021 年にかけて機械学習によるオブジェクト検知にかかる分析技術に対する 100 万ドルの投資を獲得している。<sup>904</sup>
- また、光学衛星保有企業以外に RF マッピングを行う企業とも契約を結んでおり、2021 年より HawkEye360 と最大 4 年間で年間 1000 万ドルのデータバイ契約を結んでいる。<sup>905</sup>

## ii. NRO

- NRO は 2018 年に NGA が保有していた MAXAR 社との EnhancedView Initiative を引き継ぎ、米国のインテリジェンス向けの商用画像の収集を開始した。
- 2019 年には Planet 社、BlackSky 社に対して安全保障分野で民間の衛星が使用できるかを研究する研究契約を締結した。<sup>906</sup>
- この研究契約の成果を基に、NRO は 2022 年に EnhancedView Initiative の後継契約として Electro-Optical Commercial Layer (EOCL) を MAXAR 社、Planet 社、BlackSky 社と締結し、今後最大 10 年間で MAXAR 社へは 32 億ドル、Planet 社へは 14 億ドル、BlackSky 社へ

<sup>898</sup> <https://www.space.commerce.gov/nga-awards-nextview-remote-sensing-data-buys/>

<sup>899</sup> <https://spacenews.com/enhancedview-contract-awards-carefully-structured-nga-says/>

<sup>900</sup> <https://www.maxar.com/press-releases/maxar-awarded-g-egd-contract-renewal-for-mission-ready-satellite-imagery-by-u-s-government>

<sup>901</sup> [https://www.nga.mil/news/NGA\\_awards\\_new\\_Planet\\_contract\\_leverages\\_high-revi.html](https://www.nga.mil/news/NGA_awards_new_Planet_contract_leverages_high-revi.html)

<sup>902</sup> <https://spacenews.com/nro-study-contracts/>

<sup>903</sup> <https://www.maxar.com/press-releases/maxar-awarded-big-data-analytics-contract-from-nga>

<sup>904</sup> <https://www.sbir.gov/node/1154217>

<sup>905</sup> <https://www.defensenews.com/intel-geoint/2021/09/30/hawkeye-360-wins-radiofrequency-mapping-contract-with-intelligence-agency/>

<sup>906</sup> <https://sorabatake.jp/5974/>

は10億ドルの資金提供を行う予定である。<sup>907</sup>

本契約は5年間の基本契約期間を持つことが特徴である。これまでのデータバイ契約は単年度ごとの契約更新が必要であったが、本契約により各企業はより高い確度で収益の見通しを持つことができ、積極的な投資を行うことが可能になる。

- 2019年の研究契約では、従来のマルチスペクトルの光学画像を扱う企業以外にも、ハイパースペクトル画像を提供する HySpecIQ 社、SAR 画像を提供する Capella Space 社、RF マッピングを提供する HawkEye360 社とそれぞれ安全保障分野への今後の活用を評価する契約を結んでいる。<sup>908,909</sup>
- 2022年にはハイパースペクトル画像や SAR 画像といった新たな領域の衛星画像を安全保障への活用するためのプログラム Broad Agency Announcement (BAA) を発表し、その最初の契約として、SAR 衛星画像提供企業5社 (Airbus US 社、Capella Space 社、ICEYE US 社、PredaSAR 社、Umbra 社) と契約を結んだ。<sup>910</sup>  
本契約では米国の安全保障機関として初めて Airbus や ICEYE といった海外企業との契約を結んでいる。
- また、NRO はこれらの新しい領域でも EOCL のようなデータバイ契約を計画していることを明言しており、今後安全保障への活用が可能ということがわかれば、新たなデータバイ契約が生まれることが予想される。<sup>911</sup>

---

<sup>907</sup> <https://spacenews.com/blacksky-maxar-planet-win-10-year-nro-contracts-for-satellite-imagery/>

<sup>908</sup> <https://spacenews.com/nro-awards-first-commercial-contract-for-hyperspectral-imaging-from-space/>

<sup>909</sup> <https://spacenews.com/national-reconnaissance-office-awards-imagery-contracts-to-capella-space-hawkeye-360/>

<sup>910</sup> <https://spacenews.com/national-reconnaissance-office-signs-agreements-with-five-commercial-radar-satellite-operators/>

<sup>911</sup> <https://spacenews.com/nro-to-sign-deals-with-commercial-providers-of-satellite-radar-imagery/>

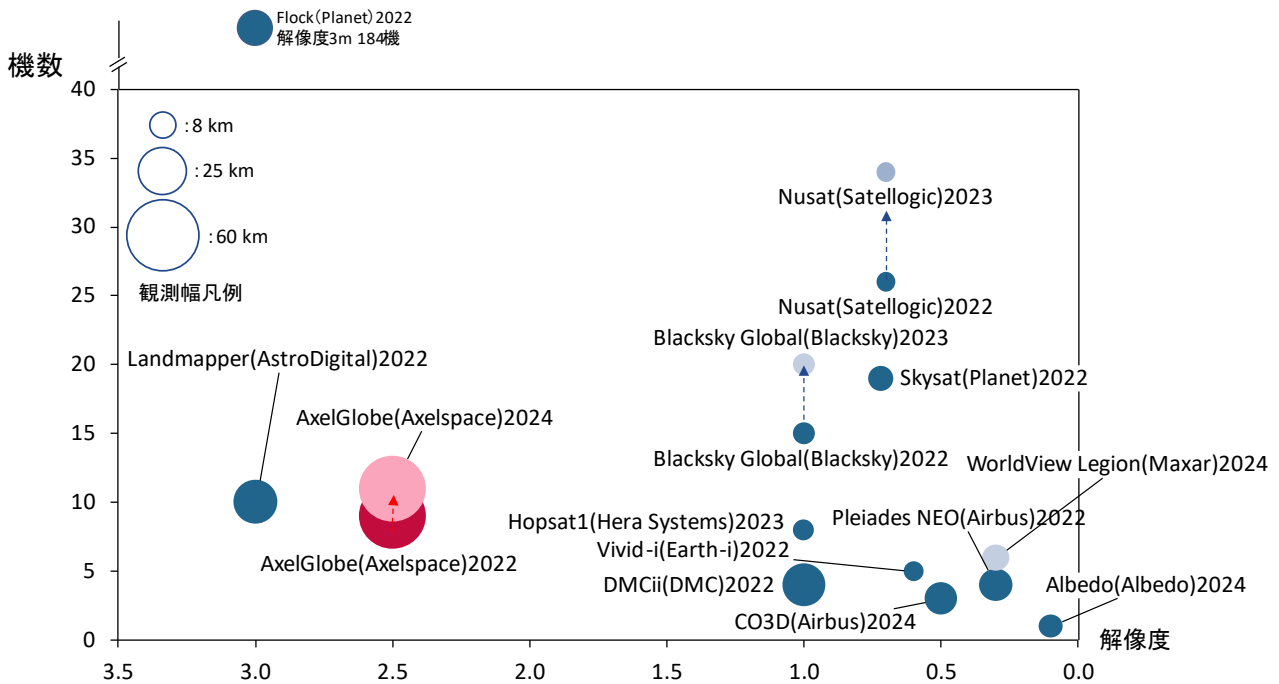
6) 日本の強み・弱みの分析

- 本節では、様々な視点から日本の強み・弱みを分析する。

A) 民間光学（可視光）コンステレーション

- 下図表は、主な民間衛星光学（可視光）コンステレーションの解像度と機数によるプロットである。円の大きさは観測幅を示す。矢印がついている衛星は、SeraData社のデータベースに数年後の打上計画まで記載されている、確度の相対的に高い衛星である。なお、一部の企業の数値は不具合となった衛星数も含んでいる。
- 横軸の解像度では、現在 Albedo Space 社の衛星がまだ打ち上げられてはいないが最も高い解像度となっている。縦軸の機数では Planet 社の Flock が群を抜いて最大の機数となっている。
- 日本の AxelGlobe 社の解像度と機数はいずれもそれらの企業と比べ、少ない数値となっているが、観測幅は相対的に大きなものとなっている。

図表 173 民間光学（可視光）コンステレーションのポジション



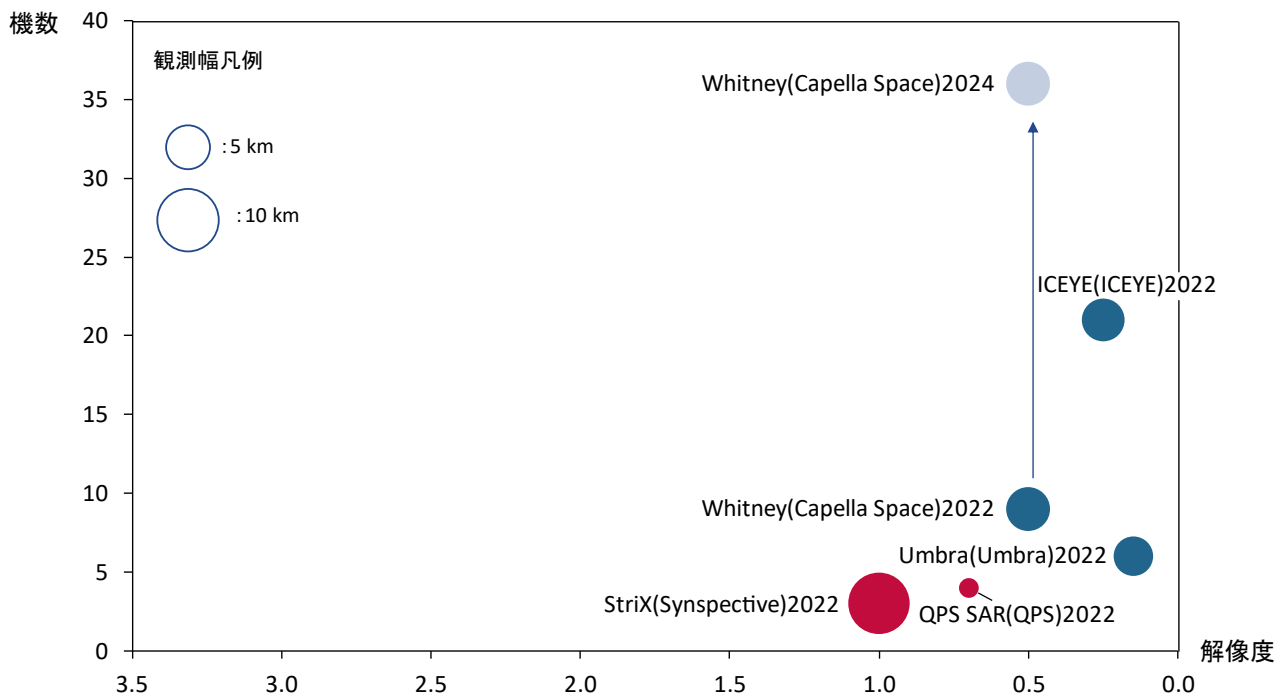
解像度は最も細かくできる Ver.での数値を採用。円の大きさは観測幅を示す  
矢印は Seradata 社のデータベースに記載されていた、相対的に確度の高い計画  
なお、2022 年の数値は 2022 年打上予定のものも含んでいる  
また左記の Monthly、Weekly などは機数などを目安に設定しているものであり、実態と乖離しているケースがある  
出所) SeraData 社データベースおよび各社ホームページより DB 編集



## B) 民間 SAR 衛星コンステレーション

- 下図表は、主な民間 SAR 衛星コンステレーションの解像度と機数によるプロットである。円の大きさは観測幅を示す。矢印がついている衛星は、SeraData 社のデータベースに数年後の打上計画まで記載されている、確度の相対的に高い衛星である。なお、一部の企業の数値は不具合となった衛星数も含んでいる。
  - 横軸の解像度では、現在 Umbra 社の衛星が 15cm の撮像が可能とされている。縦軸の機数では現在 ICEYE 社がトップである。CapellaSpace 社が 2024 年までに 36 機体制とされているが、ICEYE 社もさらに機数を増加させるものと考えられる。ICEYE 社は既に日本に進出しており、ICEYE 社に出資している日系企業も存在する。
  - 日本の QPS 社・Synspective 社はこれらの企業の数値を比べるとまだ劣っているが、そもそも世界で数社しかない民間 SAR 衛星コンステレーションで日系企業が 2 社いること自体、本分野は日本の強みの 1 つといえるだろう。
- ◇ なお、PredaSAR 社（2022 年に 2 機打上予定）など今後 SAR 衛星コンステレーションの構築を計画している企業は数多くいるため、日本の強みを維持していく必要がある。

図表 175 民間 SAR コンステレーションのポジション



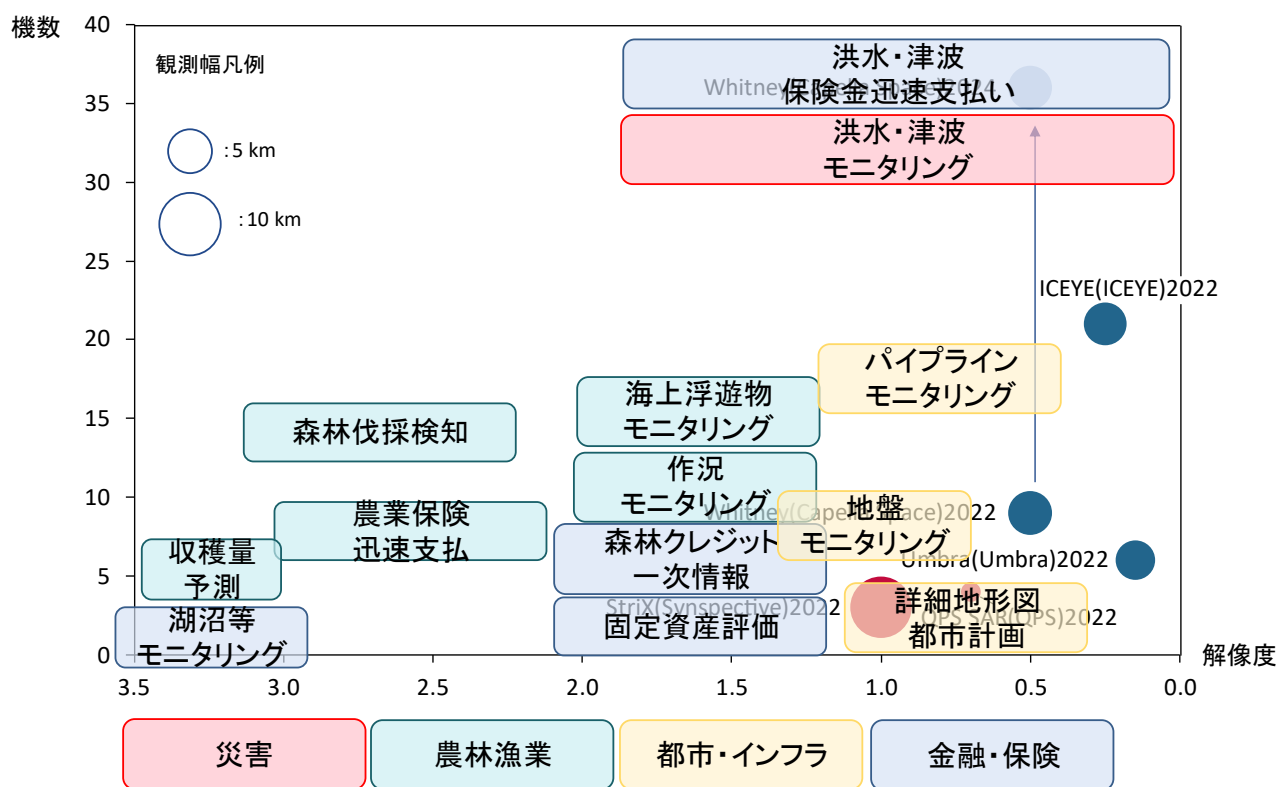
解像度は最も細かくできる Ver.での数値を採用。円の大きさは観測幅を示す  
 矢印は Seradata 社のデータベースに記載されていた、相対的に確度の高い計画  
 なお、2022 年の数値は 2022 年打上予定のものも含んでいる

※QPS の観測幅は非公開

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

- 下図表は、主な民間 SAR 衛星コンステレーションの解像度と機数に対しての利用用途をプロットしたものである。
- 最も有望な用途とされているのは、洪水時・津波時の浸水深を計測すること（正確には浸水高さとも DEM に格納されている地形データとの差分）で保険金の迅速支払いを可能とする用途である。最大浸水高さの計測が必要であるため、ある程度の機数が必要となる。
- 日本の 2 社はまだこの機数までには至っていないため、まずは頻度としては緩い地盤やインフラのモニタリング、金融×森林系商品などのための一次情報提供などが最初に強みを発揮できる分野と考えられる。

図表 176 民間 SAR コンステレーションのポジションと主な利用用途の関係



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 の観測幅は非公開  
 利用シーンのプロットは Satellogic 社資料などを参考にプロットしている  
 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

C) 光学（可視光）・SAR 以外の民間コンステレーション

- 海外では、GHGSat、SatelliteVu、OroraTech など気候変動やカーボンニュートラルに資する衛星コンステレーションの計画が民間企業から発表されているが、日本にはそのような計画を謳ったスタートアップはまだ多くは現れていない。我が国の弱みの 1 つといえるだろう。



D) サイエンス分野の衛星

- ここまでは主に民間コンステレーション（主に可視光と X-band SAR 衛星）で分析を行ったが、ここでは物理量を起点とした分析を実施する。ユースケース別に強み・弱みをみるためには観測する物理量が重要だからである。
  - 世界気象機関（WMO）の OSCAR データベースでは物理量毎に優位な衛星種を 5 段階で評価している。そのうち、上位 2 グループに入った衛星種の中で日本保有の衛星のシェア率が高い物理量をまとめると下記図表の通りとなる。
- ◇ なお、OSCAR では民間コンステを 1 衛星種とみなして集計している。

図表 177 日本の衛星のプレゼンスが高い物理量（濃黄は日本のシェアが 20%以上、薄黄は 10%～20%）

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（液体もしくは個体）	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 より DB 編集

i. Biomass（バイオマス）

- OSCAR のデータベースによると、Biomass を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。

◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの

- P-band SAR
- マルチビームライダー
- L-band SAR および S-band SAR の双方を搭載

◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの

- ライダ高度計
- L-band SAR もしくは S-band SAR を搭載

- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、ALOS シリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。衛星データ分析では、解像度や機数も重要だが、時系列分析のためのアーカイブデータも非常に重要であり、この観点からもバイオマス計測は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 178 Biomass 計測に優れた衛星

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	2023-
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 より DB 編集

- ii. Precipitation Intensity at surface(liquid or solid) (地表での降水強度(個体/液体))
- OSCAR のデータベースによると、Precipitation Intensity at surface(liquid or solid)を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
    - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
      - Ku-band および Ka-band を観測可能な降水レーダ
      - 54 GHz および 183 GHz を観測可能な静止軌道マイクロ波放射計
    - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
      - Ku-band を観測可能な降水レーダ
      - 90GHz を含むウィンドウチャネルと、サウンディングチャネルの両方を備えた低軌道高分解能マイクロ波放射計
  - これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、観測に適した軌道上センサ機数が少ないため、地表での降水強度(個体/液体)計測は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 179 Precipitation Intensity at surface(liquid or solid)計測に優位な衛星

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	GPM Core Observatory	Cloud and precipitation radar	DPR	JAXA	日本	5000	125	2014
1	FY-3G	Cloud and precipitation radar	PRM	CMA	中国	5000		2023
1	FY-3I	Cloud and precipitation radar	PRM	CMA	中国	5000		2026
2	TRMM	Cloud and precipitation radar	PR	JAXA	日本	4300		1997
2	ADEOS-2	Microwave conical scanning radiometer	AMS-R	JAXA	日本	3100 - 40000	1600	2002
2	GOSAT-GW	Microwave conical scanning radiometer	AMS-R-3	JAXA	日本	4000 - 34000	1450	2023
2	Aqua	Microwave conical scanning radiometer	AMS-R-E	JAXA	日本	4000 - 43000	1450	2002
2	GCOM-W	Microwave conical scanning radiometer	AMS-R2	JAXA	日本	3000 - 35000	1450	2012
2	GPM Core Observatory	Microwave conical scanning radiometer	GMI (core)	NASA	米国	4400 - 19000	850	2014
2	TRMM	Microwave conical scanning radiometer	TMI	NASA	米国	5000 - 37000	760	1997

出所) OSCAR より DB 編集

iii. Land surface topography（地表の地形）

- OSCAR のデータベースによると、Land surface topography を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第 1 グループ：以下の条件を満たすもの
    - ライダー高度計
  - ◇ 第 2 グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - L-band SAR および S-band SAR の双方を搭載
    - L-band SAR もしくは S-band SAR を搭載
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、ALOS シリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。衛星データ分析では、解像度や機数も重要だが、時系列分析のためのアーカイブデータも非常に重要であり、この観点からも地表の地形計測は日本の衛星の強みの 1 つと考えられる。

図表 180 Land surface topography 計測に優位な衛星

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	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	ICESat	Space lidar	GLAS	NASA	米国	170	2.5	2003
1	ICESat-2	Space lidar	ATLAS	NASA	米国	170	2.5	2018
2	Resurs-O1-1	Imaging radar (SAR)	SAR-Travers	Rescosmos	ロシア	20	80	1985
2	Ludi-Tance 1 01A	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	CNSA	中国	3	400	2022
2	Ludi-Tance 1 01B	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	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	2023-
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		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 より DB 編集

iv. Sea-Ice cover（海水被覆）

- OSCAR のデータベースによると、Sea-Ice cover を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 合成開口レーダ(SAR)
    - 7～90GHz を観測可能な高分解能マイクロ波放射計
    - 可視+近赤外+短波赤外+中波赤外+熱赤外放射計
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 7～37GHz または 10～90GHz のいずれかを観測可能な高分解能マイクロ波放射計
    - 可視+短波赤外+熱赤外を観測可能、かつ近赤外または中波赤外のいずれかを観測可能な放射計
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、ALOS シリーズ・AMSR シリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。他国の衛星も数多くランクインしており、日本は今後さらなる差別化を図る必要がある。

図表 181 Sea-Ice cover 計測に優位な衛星

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	Meteor-MP N1	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2025
1	Meteor-MP N2	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2026
1	Obzor-R N1	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2023
1	Obzor-R N2	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2024
1	Obzor-R N3	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2025
1	Obzor-R N4	Imaging radar (SAR)	BRLK “Briz”	Roscosmos	ロシア	500/1000	130/600/750	2027
1	Capella	Imaging radar (SAR)	Capella SAR	Capella	米国	0.3	10-50	2018
1	KOMPSAT-5	Imaging radar (SAR)	COSI	KARI	韓国	1-20	1-100	2013
1	KOMPSAT-6	Imaging radar (SAR)	COSI	KARI	韓国	1-20	1-100	2022
1	CSG-1	Imaging radar (SAR)	CSG-SAR	ASI	イタリア	0.35-40	7.3-200	2019
1	CSG-2	Imaging radar (SAR)	CSG-SAR	ASI	イタリア	0.35-40	7.3-200	2022
1	CSG-3	Imaging radar (SAR)	CSG-SAR	ASI	イタリア	0.35-40	7.3-200	2024
1	CSG-4	Imaging radar (SAR)	CSG-SAR	ASI	イタリア	0.35-40	7.3-200	2027
1	HRWS-SAR	Imaging radar (SAR)	HRWS-SAR	DLR	ドイツ	0.25-25	10-800	2026
1	ICEYE	Imaging radar (SAR)	ICEYE SAR	ICEYE	フィンランド	1-15	5-100	2018
1	Meteor-M N2-3	Imaging radar (SAR)	MeteoSAR	Roscosmos	ロシア	1-500	10-750	2022
1	Meteor-M N2-4	Imaging radar (SAR)	MeteoSAR	Roscosmos	ロシア	1-500	10-750	2023
1	Meteor-M N2-5	Imaging radar (SAR)	MeteoSAR	Roscosmos	ロシア	1-500	10-750	2024
1	Meteor-M N2-6	Imaging radar (SAR)	MeteoSAR	Roscosmos	ロシア	1-500	10-750	2025
1	Okean-O-1	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1999
1	Okean-O1-1	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1986
1	Okean-O1-2	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1987

1	Okean-O1-3	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1988
1	Okean-O1-4	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1989
1	Okean-O1-5	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1990
1	Okean-O1-6	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1991
1	Okean-O1-7	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1994
1	SICH-1	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	1995
1	SICH-1M	Imaging radar (SAR)	RLSBO	Roscosmos	ロシア	1800	700	2004
1	SuperView Neo-2 01	Imaging radar (SAR)	SAR (Superview)	CAST	中国	0.5		2022
1	SuperView Neo-2 02	Imaging radar (SAR)	SAR (Superview)	CAST	中国	0.5		2022
1	CSK-1	Imaging radar (SAR)	SAR-2000	ASI	イタリア	1-100	10-200	2007
1	CSK-2	Imaging radar (SAR)	SAR-2000	ASI	イタリア	1-100	10-200	2007
1	CSK-3	Imaging radar (SAR)	SAR-2000	ASI	イタリア	1-100	10-200	2008
1	CSK-4	Imaging radar (SAR)	SAR-2000	ASI	イタリア	1-100	10-200	2010
1	TanDEM-X	Imaging radar (SAR)	SAR-X	DLR	ドイツ	1-16	10-100	2010
1	TerraSAR-X	Imaging radar (SAR)	SAR-X	DLR	ドイツ	1-16	10-100	2007
1	SEOSAR/Paz	Imaging radar (SAR)	SAR-X (Paz (SEOSAR))	CDTI	EU(スペイン)	1-15	5-100	2018
1	Meteor-M N2	Imaging radar (SAR)	Severjanin-M	RosHydroMet	ロシア	400-1000	600	2014
1	Meteor-M N2-1	Imaging radar (SAR)	Severjanin-M	RosHydroMet	ロシア	400-1000	600	2017
1	Meteor-M N2-2	Imaging radar (SAR)	Severjanin-M	RosHydroMet	ロシア	400-1000	600	2019
1	Meteor-M N1	Imaging radar (SAR)	Severjanin-M	RosHydroMet	ロシア	400-1000	600	2009
1	UMBRA	Imaging radar (SAR)	UMBRA-SAR	UMBRA	米国	0.25	4-100	2021
1	HY-3A	Imaging radar (SAR)	W-SAR	CAST	中国	1-10	40-150	2022
1	HY-3B	Imaging radar (SAR)	W-SAR	CAST	中国	1-10	40-150	2022
1	StriX-α	Imaging radar (SAR)	X-SAR	Synspective	日本	1-3	10-30	2020
1	StriX-β	Imaging radar (SAR)	X-SAR	Synspective	日本	1-3	10-30	2022
1	ASNARO-2	Imaging radar (SAR)	XSAR	NEC	日本	1-16	10-50	2018
1	ERS-1	Imaging radar (SAR)	AMI-SAR	ESA	ESA	30	100	1991
1	ERS-2	Imaging radar (SAR)	AMI-SAR	ESA	ESA	30	100	1995
1	Envisat	Imaging radar (SAR)	ASAR	ESA	ESA	30-1000	100-405	2002
1	RadarSat-1	Imaging radar (SAR)	SAR (RadarSat-1)	CSA	カナダ	10-100	20-500	1995
1	RadarSat-2	Imaging radar (SAR)	SAR (RadarSat-1)	CSA	カナダ	10-100	20-500	2007
1	RCM-1	Imaging radar (SAR)	SAR RCM	CSA	カナダ	3-100	20-500	2019
1	RCM-2	Imaging radar (SAR)	SAR RCM	CSA	カナダ	3-100	20-500	2019
1	RCM-3	Imaging radar (SAR)	SAR RCM	CSA	カナダ	3-100	20-500	2019
1	GF-3	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2016
1	GF-12	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2019
1	GF-12-02	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2021
1	GF-3-02	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2021
1	GF-3-03	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2022
1	GF-12-03	Imaging radar (SAR)	SAR-C (GF-3)	CNSA	中国	<1	10	2022



1	RISAT-1	Imaging radar (SAR)	SAR-C (RISAT)	ISRO	インド	1-50	10-220	2012
1	EOS-04	Imaging radar (SAR)	SAR-C (RISAT)	ISRO	インド	1-50	10-220	2022
1	Sentinel-1A	Imaging radar (SAR)	SAR-C (Sentinel-1)	ESA	ESA	4-80	80-400	2014
1	Sentinel-1B	Imaging radar (SAR)	SAR-C (Sentinel-1)	ESA	ESA	4-80	80-400	2016
1	Sentinel-1C	Imaging radar (SAR)	SAR-C (Sentinel-1)	ESA	ESA	4-80	80-400	2022
1	Sentinel-1D	Imaging radar (SAR)	SAR-C (Sentinel-1)	ESA	ESA	4-80	80-400	2023
1	Resurs-O1-1	Imaging radar (SAR)	SAR-Travers	Roscosmos	ロシア	20	80	1985
1	NovaSAR-S	Imaging radar (SAR)	S-SAR	UKSA	イギリス	6-30	13-750	2018
1	Kondor-E1	Imaging radar (SAR)	SAR-10	NPOMash	ロシア	1-30	10-150	2014
1	Kondor-E	Imaging radar (SAR)	SAR-10	NPOMash	ロシア	1-30	10-150	2013
1	HJ-1C	Imaging radar (SAR)	SAR-S	CAST	中国	20	100	2012
1	NI-SAR	Imaging radar (SAR)	SAR-S (NISAR)	NASA	米国	2-6	240	2023
1	Ludi-Tance 1 01A	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	CNSA	中国	3	400	2022
1	Ludi-Tance 1 01B	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	CNSA	中国	3	400	2022
1	Tandem-L	Imaging radar (SAR)	L-SAR	DLR	ドイツ	7	350	2024
1	ALOS	Imaging radar (SAR)	PALSAR	JAXA	日本	7-100	40-350	2006
1	ALOS-2	Imaging radar (SAR)	PALSAR-2	JAXA	日本	1-100	24-350	2014
1	ALOS-4	Imaging radar (SAR)	PALSAR-3	JAXA	日本	1-25	35-700	2023-
1	ROSE-L	Imaging radar (SAR)	ROSE-L	ESA	ESA	<=5	80-400	2028
1	SeaSat	Imaging radar (SAR)	SAR	NASA	米国	25	100	1978
1	JERS	Imaging radar (SAR)	SAR (JERS)	JAXA	日本	18	75	1992
1	SAOCOM-1A	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2018
1	SAOCOM-1B	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2020
1	SAOCOM-2A	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2021
1	SAOCOM-2B	Imaging radar (SAR)	SAR-L	CONAE	アルゼンチン	10-100	30-320	2021
1	NI-SAR	Imaging radar (SAR)	SAR-L (NISAR)	NASA	米国	2-7	240	2023
1	ADEOS-2	Microwave conical scanning radiometer	AMSR	JAXA	日本	5000-50000	1600	2002
1	GOSAT-GW	Microwave conical scanning radiometer	AMSR-3	JAXA	日本	5000-10000	1450	2023
1	Aqua	Microwave conical scanning radiometer	AMSR-E	JAXA	日本	5000-10000	1450	2002
1	GCOM-W	Microwave conical scanning radiometer	AMSR2	JAXA	日本	5000-10000	1450	2012
1	Envisat	Moderate-resolution optical imager	AATSR	UKSA	イギリス	1000	500	2002
1	ERS-2	Moderate-resolution optical imager	ATSR-2	UKSA	イギリス	1000	500	1995
1	Metop-A	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2006
1	Metop-B	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2012
1	Metop-C	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2018

1	NOAA-15	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	1998
1	NOAA-16	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2000
1	NOAA-17	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2002
1	NOAA-18	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2005
1	NOAA-19	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2009
1	ADEOS-2	Moderate-resolution optical imager	GLI	JAXA	日本	250/1000	1600	2002
1	FY-3D	Moderate-resolution optical imager	MERSI-2	CMA	中国	250/1000	2900	2017
1	FY-3F	Moderate-resolution optical imager	MERSI-3	CMA	中国	250/1000	2900	2022
1	FY-3H	Moderate-resolution optical imager	MERSI-3	CMA	中国	250/1000	2900	2023
1	Metop-SG-A2	Moderate-resolution optical imager	METimage	DLR	ドイツ	500	2670	2031
1	Metop-SG-A3	Moderate-resolution optical imager	METimage	DLR	ドイツ	500	2670	2038
1	Metop-SG-A1	Moderate-resolution optical imager	METimage	DLR	ドイツ	500	2670	2024
1	Aqua	Moderate-resolution optical imager	MODIS	NASA	米国	250-1000	2230	2002
1	Terra	Moderate-resolution optical imager	MODIS	NASA	米国	250-1000	2230	1999
1	Meteor-M N2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2014
1	Meteor-M N2-1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2017
1	Meteor-M N2-2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2019
1	Meteor-M N2-3	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2022
1	Meteor-M N2-4	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2023
1	Meteor-M N2-5	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2024
1	Meteor-M N2-6	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2025
1	Meteor-M N1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2009
1	Meteor-MP N1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR-MP	Roscosmos	ロシア	250-500	3000	2025
1	Meteor-MP N2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR-MP	Roscosmos	ロシア	250-500	3000	2026
1	FY-1A	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	1100	2800	1988
1	FY-1B	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	1100	2800	1990
1	FY-1C	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	1100	2800	1999
1	FY-1D	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	1100	2800	2002

1	FY-3G	Moderate-resolution optical imager	RMOI	CMA	中国	500	2900	2023
1	FY-3I	Moderate-resolution optical imager	RMOI	CMA	中国	500	2900	2026
1	Sentinel-3A	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500/1000	740	2016
1	Sentinel-3B	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500/1000	740	2018
1	Sentinel-3C	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500/1000	740	2024
1	Sentinel-3D	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500/1000	740	2028
1	NOAA-20	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	375/750	3000	2017
1	JPSS-2	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	375/750	3000	2022
1	SNPP	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	375/750	3000	2011
1	JPSS-3	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	375/750	3000	2027
1	JPSS-4	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	375/750	3000	2032
1	FY-3A	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	1100	2800	2008
1	FY-3B	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	1100	2800	2010
1	FY-3C	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	1100	2800	2013

出所) OSCAR より DB 編集

v. Sea-Ice elevation（海水密接度）

- OSCAR のデータベースによると、Sea-Ice elevation を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - マルチビームライダー
    - ナディア専用ライダー
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - AT 方向 SAR 機能をもつレーダ高度計
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。観測に有効なセンサが少ない中、日本のセンサがランクインしており、日本を除いて本物理量の観測に適したセンサの運用実績を持つのは米国のみである。この観点からも、海水密接度は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 182 Sea-Ice elevation 計測に優位な衛星

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	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	ICESat	Space lidar	GLAS	NASA	米国	66	0.17	2003
1	ICESat-2	Space lidar	ATLAS	NASA	米国	66		2018
2	Sentinel-6A	Radar altimeter	Poseidon-4	ESA	ESA	300	30	2020
2	Sentinel-6B	Radar altimeter	Poseidon-4	ESA	ESA	300	30	2025
2	Sentinel-3A	Radar altimeter	SRAL	ESA	ESA	300	30	2016
2	Sentinel-3B	Radar altimeter	SRAL	ESA	ESA	300	30	2018
2	Sentinel-3C	Radar altimeter	SRAL	ESA	ESA	300	30	2024
2	Sentinel-3D	Radar altimeter	SRAL	ESA	ESA	300	30	2028
2	CryoSat	Radar altimeter	SIRAL	ESA	ESA	250		2005
2	CryoSat-2	Radar altimeter	SIRAL	ESA	ESA	250		2010

出所) OSCAR より DB 編集

vi. Snow water equivalent (積雪水当量)

- OSCAR のデータベースによると、Snow water equivalent を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。

◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの

- ~19GHz, ~37GHz, ~90GHz を観測可能な高分解能マイクロ波放射計

◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの

- ~19GHz, ~37GHz, ~90GHz を観測可能なマイクロ波放射計

- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がグループ1として数多くランクインしており、かつ、AMSR シリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。衛星データ分析では、解像度や機数も重要だが、時系列分析のためのアーカイブデータも非常に重要であり、この観点からも積雪水当量は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 183 Snow water equivalent 計測に優位な衛星

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	ADEOS-2	Microwave conical scanning radiometer	AMSR	JAXA	日本	5000-50000	1600	2002
1	GOSAT-GW	Microwave conical scanning radiometer	AMSR-3	JAXA	日本	5000-10000	1450	2023
1	Aqua	Microwave conical scanning radiometer	AMSR-E	JAXA	日本	5000-10000	1450	2002
1	GCOM-W	Microwave conical scanning radiometer	AMSR2	JAXA	日本	5000-10000	1450	2012
1	GPM Core Observatory	Microwave conical scanning radiometer	GMI (core)	NASA	米国	3000-12000	850	2014
1	TRMM	Microwave conical scanning radiometer	TMI	NASA	米国	4600/9200	760	1997
1	CIMR	Microwave conical scanning radiometer	CIMR	ESA	ESA	2500-30000	1900	2028
1	Coriolis	Microwave conical scanning radiometer	WindSat	DoD	米国	6250-25000	1000	2003
2	Megha-Tropiques	Microwave conical scanning radiometer	MADRAS	ISRO	インド	6000-40000	1700	2011
2	Meteor-3M	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2001
2	Meteor-M N1	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2009
2	Meteor-M N2	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2014
2	Meteor-M N2-1	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2017
2	Meteor-M N2-2	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2019
2	Meteor-M N2-3	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2022
2	Meteor-M N2-4	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2023
2	Meteor-M N2-5	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2024

2	Meteor-M N2-6	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY	Roscosmos	ロシア	16000-48000	1500	2025
2	Meteor-MP N1	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY-MP	Roscosmos	ロシア	16000-48000	2200	2025
2	Meteor-MP N2	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-GY-MP	Roscosmos	ロシア	16000-48000	2200	2026
2	SICH-1M	Microwave conical scanning radiometer	MTVZA-OK (MW)	NSAU	その他(ウクライナ)	19000-57000	2000	2004
2	Metop-SG-B1	Microwave conical scanning radiometer	MWI (MetOp-SG)	ESA	ESA		1700	2025
2	Metop-SG-B2	Microwave conical scanning radiometer	MWI (MetOp-SG)	ESA	ESA		1700	2032
2	Metop-SG-B3	Microwave conical scanning radiometer	MWI (MetOp-SG)	ESA	ESA		1700	2039
2	WSF-M1	Microwave conical scanning radiometer	MWI (WSF-M)	DoD	米国	15000-38000		2024
2	FY-3A	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2008
2	FY-3B	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2010
2	FY-3C	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2013
2	FY-3D	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2017
2	FY-3H	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2023
2	FY-3F	Microwave conical scanning radiometer	MWRI	CMA	中国	10000-40000	1400	2022
2	FY-3G	Microwave conical scanning radiometer	MWRI-RM	CMA	中国		800	2023
2	FY-3I	Microwave conical scanning radiometer	MWRI-RM	CMA	中国		800	2026
2	DMSP-F08	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1987
2	DMSP-F10	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1990
2	DMSP-F11	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1991
2	DMSP-F12	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1994
2	DMSP-F13	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1995
2	DMSP-F14	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1997
2	DMSP-F15	Microwave conical scanning radiometer	SSM/I	DoD	米国	12500-25000	1400	1999
2	DMSP-F16	Microwave conical scanning radiometer	SSMIS	DoD	米国	12500-75000	1700	2003
2	DMSP-F17	Microwave conical scanning radiometer	SSMIS	DoD	米国	12500-75000	1700	2006
2	DMSP-F18	Microwave conical scanning radiometer	SSMIS	DoD	米国	12500-75000	1700	2009
2	DMSP-F19	Microwave conical scanning radiometer	SSMIS	DoD	米国	12500-75000	1700	2014
2	ISS COWVR	Microwave conical scanning radiometer	COWVR	NASA	米国	30000	1000	2021



2	Okean-O-1	Microwave conical scanning radiometer	Delta-2D	Roscosmos	ロシア	10000-40000	1130	1999
2	HY-2A	Microwave conical scanning radiometer	MWRI (HY-2)	NSOAS	中国		1600	2011
2	HY-2B	Microwave conical scanning radiometer	MWRI (HY-2)	NSOAS	中国		1600	2018
2	Meteor-P1	Microwave conical scanning radiometer	SHF	Roscosmos	ロシア	20000-100000	900	1974
2	Meteor-P2	Microwave conical scanning radiometer	SHF	Roscosmos	ロシア	20000-100000	900	1976
2	Meteor-P3	Microwave conical scanning radiometer	SHF	Roscosmos	ロシア	20000-100000	900	1977
2	Meteor-P6	Microwave conical scanning radiometer	SHF	Roscosmos	ロシア	20000-100000	900	1981
2	Nimbus-7	Microwave conical scanning radiometer	SMMR	NASA	米国	10000-40000	780	1978
2	SeaSat	Microwave conical scanning radiometer	SMMR	NASA	米国	10000-40000	780	1978

出所) OSCAR より DB 編集

vii. Land cover（土地被覆）

- OSCAR のデータベースによると、Land cover を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 可視+近赤外+短波赤外を含む高分解能ハイパースペクトルセンサ
    - 可視+近赤外+短波赤外を含む高分解能放射計
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 可視+近赤外を含む高分解能ハイパースペクトルセンサ
    - 可視+近赤外を含む高分解能放射計
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、土地被覆は日本の衛星の強みになりうる物理量の1つと考えられる。なお、グループ1に属するセンサが多数存在し、かつグループ1/2に属するセンサの2023年以降の観測計画がないことから、今後本分野で日本がプレゼンスを出すためには新たなセンサ開発計画の策定が必要と考えられる。

図表 184 Land cover 計測に優位な衛星

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	CHIME	High-resolution optical imager	CHIME	ESA	ESA	20-30	290	2029
1	ISS HISUI	High-resolution optical imager	HISUI	METI	日本	20	20	2019
1	EnMAP	High-resolution optical imager	HSI (EnMAP)	DLR	ドイツ	30		2022
1	PRISMA	High-resolution optical imager	HYC	ASI	イタリア	30		2019
1	NMP-EO-1	High-resolution optical imager	Hyperion	NASA	米国	30	7.5	2000
1	HySIS	High-resolution optical imager	HySIS	ISRO	インド	30	30	2018
1	NMP-EO-1	High-resolution optical imager	ALI	NASA	米国	30	185	2000
1	ResourceSat-3	High-resolution optical imager	ALISS-3	ISRO	インド	10/20	280/925	2023
1	ResourceSat-3A	High-resolution optical imager	ALISS-3	ISRO	インド	10/20	280/925	2024
1	Terra	High-resolution optical imager	ASTER	METI	日本	15-90	60	1999
1	Amazônia-2	High-resolution optical imager	AWFI-2	INPE	その他(ブラジル)	20	360	2023
1	ResourceSat-1 (IRS-P6)	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2003
1	ResourceSat-2	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2011
1	ResourceSat-2A	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2016
1	Göktürk-2	High-resolution optical imager	EOS-C	TÜBITAK-UZAY	その他(トルコ)	2.5-20	20-1000	2012
1	Landsat-7	High-resolution optical imager	ETM+	NASA	米国	15-60	185	1999

1	SPOT-5	High-resolution optical imager	HRG	CNES	フランス	2.5-20	60	2002
1	SPOT-4	High-resolution optical imager	HRVIR	CNES	フランス	10/20	60	1998
1	IRS-1C	High-resolution optical imager	LISS-3 (IRS-1)	ISRO	インド	23.5/70.5	142/148	1995
1	IRS-1D	High-resolution optical imager	LISS-3 (IRS-1)	ISRO	インド	23.5/70.5	142/148	1997
1	ResourceSat-1 (IRS-P6)	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2003
1	ResourceSat-2	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2011
1	ResourceSat-2A	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2016
1	LSTM	High-resolution optical imager	LSTM	ESA	ESA	30-50	600-700	2029
1	SAC-C	High-resolution optical imager	MMRS	CONAE	アルゼンチン	175	360	2000
1	EgyptSat-2	High-resolution optical imager	MSI (EgyptSat)	NARSS	その他(エジプト)	1/4		2014
1	EgyptSat-A	High-resolution optical imager	MSI (EgyptSat)	NARSS	その他(エジプト)	1/4		2019
1	Sentinel-2A	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2015
1	Sentinel-2B	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2017
1	Sentinel-2C	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2024
1	Sentinel-2D	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2025
1	Meteor-P5	High-resolution optical imager	MSS Fragment	Roscosmos	ロシア	80-480	85	1980
1	Okean-O-1	High-resolution optical imager	MSU-V	Roscosmos	ロシア	50-300	195	1999
1	Landsat-8	High-resolution optical imager	OLI	NASA	米国	15/30	185	2013
1	Landsat-9	High-resolution optical imager	OLI	NASA	米国	15/30	185	2021
1	JERS	High-resolution optical imager	OPS (JERS)	JAXA	日本	18	75	1992
1	Landsat-4	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1982
1	Landsat-5	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1984
1	TRISHNA	High-resolution optical imager	TRISHNA	ISRO	インド	50	932	2025
1	CBERS-4	High-resolution optical imager	WFI-2	CAST	中国	73	866	2014
1	CBERS-4B	High-resolution optical imager	WFI-2	CAST	中国	73	866	2019
1	IRS-P3	High-resolution optical imager	WiFS (IRS-P3)	ISRO	インド	190	770	1996

出所) OSCAR より DB 編集

viii. H2O（水観測）

- OSCAR のデータベースによると、H2O を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 高分解能熱赤外センサ
    - 熱赤外+遠赤外センサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 熱赤外センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がグループ1にランクインしており、他に観測実績のあるセンサを持つ国は米国のみである(ESA/CNES 衛星はいずれも計画段階)。この観点でも、水観測は今後のセンサ開発により日本の衛星の強みの1つとすることが可能と考えられる。

図表 185 H2O 計測に優位な衛星

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	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2031
1	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2038
1	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2024
1	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530	885	2004
1	ADEOS	Cross-nadir infrared sounder	IMG	METI	日本	8000		1996
1	FORUM	Cross-nadir infrared sounder	FSI	ESA	ESA	15000, 750		2027
2	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2006
2	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2012
2	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2018
2	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2026
2	GOSAT	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS	JAXA	日本	10500	790	2009
2	GOSAT-2	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS/2	JAXA	日本	10500	790	2018
2	FY-4A	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2016
2	FY-4B	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2021
2	FY-4C	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2024
2	FY-4D	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2026

2	FY-4E	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2027
2	FY-4F	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2030
2	FY-4G	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600, 1200		2033
2	Electro-M N1	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2025
2	Electro-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2026
2	Electro-M N3	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2029
2	MTG-S1	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2034
2	Meteor-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2014
2	Meteor-M N2-1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2017
2	Meteor-M N2-2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2019
2	Meteor-M N2-3	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2022
2	Meteor-M N2-4	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2023
2	Meteor-M N2-5	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	35000	1000 - 2500	2024
2	Meteor-M N2-6	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-2	Roscosmos	ロシア	13500, 2300	1650	2025
2	Aqua	Cross-nadir infrared sounder	AIRS	NASA	米国	3000		2002
2	NOAA-20	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	3000		2017
2	JPSS-2	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	3000		2022
2	SNPP	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	3000		2011
2	JPSS-3	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	3000		2027
2	JPSS-4	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	3000		2032
2	FY-3D	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS	CMA	中国		2400	2017
2	FY-3E	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国		2260	2021
2	FY-3H	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国		2260	2023
2	FY-3F	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国		2260	2022
2	FY-3J	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国		2260	2027

出所) OSCAR より DB 編集

ix. Vegetation type (植生の種類)

- OSCAR のデータベースによると、Vegetation type を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 可視+近赤外+短波赤外を含む高分解能ハイパースペクトルセンサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 近赤外+短波赤外を含む高分解能ハイパースペクトルセンサ
    - 可視+近赤外+短波赤外を含む高分解能センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本保有のセンサがグループ1にランクインしており、軌道上運用実績があること、およびセンサ解像度が最も高いセンサであることから、植生の種類は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 186 Vegetation type 計測に優位な衛星

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	CHIME	High-resolution optical imager	CHIME	ESA	ESA	20-30	290	2029
1	ISS HISUI	High-resolution optical imager	HISUI	METI	日本	20	20	2019
1	EnMAP	High-resolution optical imager	HSI (EnMAP)	DLR	ドイツ	30	0	2022
1	PRISMA	High-resolution optical imager	HYC	ASI	イタリア	30	0	2019
1	NMP-EO-1	High-resolution optical imager	Hyperion	NASA	米国	30	7.5	2000
1	HySIS	High-resolution optical imager	HySIS	ISRO	インド	30	30	2018
2	PROBA-1	High-resolution optical imager	CHRIS	UKSA	イギリス	18/36	14	2001
2	STSat-3	High-resolution optical imager	COMIS	KARI	その他(韓国)	30/60	15/30	2013
2	ISS DESIS	High-resolution optical imager	DESI	DLR	ドイツ	90		2018
2	Resurs-P1	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	950	2013
2	Resurs-P2	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	950	2014
2	Resurs-P3	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	950	2016
2	Resurs-P4	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	950	2022
2	Resurs-P5	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	950	2023
2	ISS HICO	High-resolution optical imager	HICO	NASA	米国	100		2009
2	HJ-1A	High-resolution optical imager	HIS	CAST	中国	100	50	2008
2	HJ-2A	High-resolution optical imager	HSI-2	CAST	中国	48	50	2020



2	HJ-2B	High-resolution optical imager	HSI-2	CAST	中国	48	50	2020
2	GISAT-2	High-resolution optical imager	HyS-VNIR	ISRO	インド	500		2022
2	IMS-1	High-resolution optical imager	HySI-T	ISRO	インド	500	130	2008
2	ÑuSat	High-resolution optical imager	ÑuSat-Imager	Satellopic	アルゼンチン	1-90	5-150	2016
2	NMP-EO-1	High-resolution optical imager	ALI	NASA	米国	30	185	2000
2	ResourceSat-3	High-resolution optical imager	ALISS-3	ISRO	インド	10/20	280/925	2023
2	ResourceSat-3A	High-resolution optical imager	ALISS-3	ISRO	インド	10/20	280/925	2024
2	Terra	High-resolution optical imager	ASTER	METI	日本	15-90	60	1999
2	Amazônia-2	High-resolution optical imager	AWFI-2	INPE	その他(ブラジル)	20	360	2023
2	ResourceSat-1 (IRS-P6)	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2003
2	ResourceSat-2	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2011
2	ResourceSat-2A	High-resolution optical imager	AWiFS	ISRO	インド	56	740	2016
2	Göktürk-2	High-resolution optical imager	EOS-C	TÜBITAK-UZAY	その他(トルコ)	2.5-20	20-1000	2012
2	Landsat-7	High-resolution optical imager	ETM+	NASA	米国	15-60	185	1999
2	SPOT-5	High-resolution optical imager	HRG	CNES	フランス	2.5-20	60	2002
2	SPOT-4	High-resolution optical imager	HRVIR	CNES	フランス	10/20	60	1998
2	IRS-1C	High-resolution optical imager	LISS-3 (IRS-1)	ISRO	インド	23.5/70.5	142/148	1995
2	IRS-1D	High-resolution optical imager	LISS-3 (IRS-1)	ISRO	インド	23.5/70.5	142/148	1997
2	ResourceSat-1 (IRS-P6)	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2003
2	ResourceSat-2	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2011
2	ResourceSat-2A	High-resolution optical imager	LISS-3 (ResourceSat)	ISRO	インド	23.5	141	2016
2	LSTM	High-resolution optical imager	LSTM	ESA	ESA	30-50	600-700	2029
2	SAC-C	High-resolution optical imager	MMRS	CONAE	アルゼンチン	175	360	2000
2	EgyptSat-2	High-resolution optical imager	MSI (EgyptSat)	NARSS	その他(エジプト)	1/4	0	2014
2	EgyptSat-A	High-resolution optical imager	MSI (EgyptSat)	NARSS	その他(エジプト)	1/4	0	2019
2	Sentinel-2A	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2015
2	Sentinel-2B	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2017
2	Sentinel-2C	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2024

2	Sentinel-2D	High-resolution optical imager	MSI (Sentinel-2A)	ESA	ESA	10-60	290	2025
2	Meteor-P5	High-resolution optical imager	MSS Fragment	Roscosmos	ロシア	80-480	85	1980
2	Okean-O-1	High-resolution optical imager	MSU-V	Roscosmos	ロシア	50-300	195	1999
2	Landsat-8	High-resolution optical imager	OLI	NASA	米国	15/30	185	2013
2	Landsat-9	High-resolution optical imager	OLI	NASA	米国	15/30	185	2021
2	JERS	High-resolution optical imager	OPS (JERS)	JAXA	日本	18	75	1992
2	Landsat-4	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1982
2	Landsat-5	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1984
2	TRISHNA	High-resolution optical imager	TRISHNA	ISRO	インド	50	932	2025
2	CBERS-4	High-resolution optical imager	WFI-2	CAST	中国	73	866	2014
2	CBERS-4B	High-resolution optical imager	WFI-2	CAST	中国	73	866	2019
2	IRS-P3	High-resolution optical imager	WiFS (IRS-P3)	ISRO	インド	190	770	1996

出所) OSCAR より DB 編集

x. NDVI（正規化植生指標）

- OSCAR のデータベースによると、NDVI を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 高分解能可視+近赤外ハイパースペクトルセンサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 高分解能可視+近赤外センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本保有のセンサがグループ1にランクインしており、本物理量を観測するのに適したセンサの開発実績があるという点で、正規化植生指標は日本の衛星の強みの1つとすることが可能と考えられる。なお、グループ1に属するセンサを様々な国が保有していること、データ保有期間としては他国と比較して必ずしも多くはないことから、今後日本が本物理量の観測においてプレゼンスを発揮するためには、他国センサに対する優位性の構築が必要になると考えられる。

図表 187 NDVI 計測に優位な衛星

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	CHIME	High-resolution optical imager	CHIME	ESA	ESA	20-30	290	2029
1	PROBA-1	High-resolution optical imager	CHRIS	UKSA	イギリス	36	14	2001
1	STSat-3	High-resolution optical imager	COMIS	KARI	その他(韓国)	30 or 60	15 or 30	2013
1	ISS DESIS	High-resolution optical imager	DEGIS	DLR	ドイツ	90		2018
1	Resurs-P1	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	30	2013
1	Resurs-P2	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	30	2014
1	Resurs-P3	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	30	2016
1	Resurs-P4	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	30	2022
1	Resurs-P5	High-resolution optical imager	GSA	Roscosmos	ロシア	25	30	2023
1	ISS HICO	High-resolution optical imager	HICO	NASA	米国	100	50*200	2009
1	ISS HISUI	High-resolution optical imager	HISUI	METI	日本	20	20	2019
1	HJ-1A	High-resolution optical imager	HSI	CAST	中国	100	50	2008
1	EnMAP	High-resolution optical imager	HSI (EnMAP)	DLR	ドイツ	30	30	2022
1	HJ-2A	High-resolution optical imager	HSI-2	CAST	中国	48	50	2020
1	HJ-2B	High-resolution optical imager	HSI-2	CAST	中国	48	50	2020
1	PRISMA	High-resolution optical imager	HYC	ASI	イタリア	30	30	2019

1	NMP-EO-1	High-resolution optical imager	Hyperion	NASA	米国	30	7.5	2001
1	GISAT-2	High-resolution optical imager	HyS-VNIR	ISRO	インド	500		2021
1	IMS-1	High-resolution optical imager	HySI-T	ISRO	インド	500	130	2008
1	HySIS	High-resolution optical imager	HySIS	ISRO	インド	30	30	2019
1	ÑuSat	High-resolution optical imager	ÑuSat-Imager	Satellologic	アルゼンチン	1-90	5-150	2016
1	CHIME	High-resolution optical imager	CHIME	ESA	ESA	20-30	290	2029

出所) OSCAR より DB 編集

xi. Cloud cover (雲被覆)

- OSCARのデータベースによると、Cloud coverを計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 可視+近赤外+短波赤外+中波赤外+熱赤外の5バンドを含むセンサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 可視+(近赤外または短波赤外)+中波赤外+熱赤外の4バンドを含むセンサ
    - 可視+近赤外+短波赤外+熱赤外の4バンドを含むセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がグループ1に数多くランクインしており、今後数年は観測運用を行うことが可能な見込みであることから、雲被覆は日本の衛星の強みの1つとすることが可能と考えられる。なお、グループ1に属するセンサ数が合計74と多く、様々な国が保有していること、今後の打上計画において日本保有のセンサと同程度の解像度を持つ衛星の運用が計画されていることから、今後日本が本物理量の観測においてプレゼンスを発揮するためには、さらなる解像度の向上など他国センサに対する優位性の維持が必要になると考えられる。

図表 188 Cloud cover 計測に優位な衛星

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	Envisat	Moderate-resolution optical imager	AATSR	UKSA	イギリス	1000	500	2002
1	GOES-16	Moderate-resolution optical imager	ABI	NOAA	米国	3000000, 1000000		2016
1	GOES-17	Moderate-resolution optical imager	ABI	NOAA	米国	3000000, 1000000		2018
1	GOES-18	Moderate-resolution optical imager	ABI	NOAA	米国	3000000, 1000000		2022
1	GOES-U	Moderate-resolution optical imager	ABI	NOAA	米国	3000000, 1000000		2024
1	FY-4A	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2016
1	FY-4B	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2021
1	FY-4C	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2024
1	FY-4D	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2026
1	FY-4E	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2027
1	FY-4F	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2030
1	FY-4G	Moderate-resolution optical imager	AGRI	CMA	中国	500 - 4000		2033
1	Himawari-8	Moderate-resolution optical imager	AHI	JMA	日本	500 - 2000		2014
1	Himawari-9	Moderate-resolution optical imager	AHI	JMA	日本	500 - 2000		2016

1	GEO-KOMPSAT-2A	Moderate-resolution optical imager	AMI	KMA	その他(韓国)	500 - 2000		2018
1	ERS-2	Moderate-resolution optical imager	ATSR-2	UKSA	イギリス	1000	500	1995
1	Metop-A	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2006
1	Metop-B	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2012
1	Metop-C	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2018
1	NOAA-15	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	1998
1	NOAA-16	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2000
1	NOAA-17	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2002
1	NOAA-18	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2005
1	NOAA-19	Moderate-resolution optical imager	AVHRR/3	NOAA	米国	1100	2900	2009
1	MTG-I1	Moderate-resolution optical imager	FCI	ESA	ESA	500 - 2000		2022
1	MTG-I2	Moderate-resolution optical imager	FCI	ESA	ESA	500 - 2000		2025
1	MTG-I3	Moderate-resolution optical imager	FCI	ESA	ESA	500 - 2000		2032
1	MTG-I4	Moderate-resolution optical imager	FCI	ESA	ESA	500 - 2000		2036
1	ADEOS-2	Moderate-resolution optical imager	GLI	JAXA	日本	250	1600	2002
1	FY-3D	Moderate-resolution optical imager	MERSI-2	CMA	中国	250, 1000	2900	2017
1	FY-3F	Moderate-resolution optical imager	MERSI-3	CMA	中国	250, 1000	2900	2022
1	FY-3H	Moderate-resolution optical imager	MERSI-3	CMA	中国	250, 1000	2900	2023
1	Metop-SG-A2	Moderate-resolution optical imager	METImage	DLR	ドイツ	500	2670	2031
1	Metop-SG-A3	Moderate-resolution optical imager	METImage	DLR	ドイツ	500	2670	2038
1	Metop-SG-A1	Moderate-resolution optical imager	METImage	DLR	ドイツ	500	2670	2024
1	Aqua	Moderate-resolution optical imager	MODIS	NASA	米国	250, 500, 1000	2230	2002
1	Terra	Moderate-resolution optical imager	MODIS	NASA	米国	250, 500, 1000	2230	1999
1	Electro-M N1	Moderate-resolution optical imager	MSU-GSM	Roscosmos	ロシア	500, 2000, 4000		2025
1	Electro-M N2	Moderate-resolution optical imager	MSU-GSM	Roscosmos	ロシア	500, 2000, 4000		2026
1	Electro-M N3	Moderate-resolution optical imager	MSU-GSM	Roscosmos	ロシア	500, 2000, 4000		2029
1	Meteor-M N2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2014
1	Meteor-M N2-1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2017

1	Meteor-M N2-2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2019
1	Meteor-M N2-3	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2022
1	Meteor-M N2-4	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2023
1	Meteor-M N1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2009
1	Meteor-M N2-5	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2024
1	Meteor-M N2-6	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR	Roscosmos	ロシア	1000	2800	2025
1	Meteor-MP N1	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR-MP	Roscosmos	ロシア	250 - 500	3000	2025
1	Meteor-MP N2	Moderate-resolution optical imager	MSU-MR-MP	Roscosmos	ロシア	250 - 500	3000	2026
1	FY-1A	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	800	2800	1988
1	FY-1B	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	800	2800	1990
1	FY-1C	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	800	2800	1999
1	FY-1D	Moderate-resolution optical imager	MVISR	CMA	中国	800	2800	2002
1	FY-3G	Moderate-resolution optical imager	RMOI	CMA	中国	500	2900	2023
1	FY-3I	Moderate-resolution optical imager	RMOI	CMA	中国	500	2900	2026
1	Meteosat-8	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2002
1	Meteosat-9	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2005
1	Meteosat-10	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2012
1	Meteosat-11	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2015
1	Meteosat-8 (IODC)	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2016
1	Meteosat-9 (IODC)	Moderate-resolution optical imager	SEVIRI	EUMETSAT	EU	4800, 3000 1600, 1000		2022
1	Sentinel-3A	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500, 1000	1400, 740	2016
1	Sentinel-3B	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500, 1000	1400, 740	2018
1	Sentinel-3C	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500, 1000	1400, 740	2024
1	Sentinel-3D	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	500, 1000	1400, 740	2028
1	NOAA-20	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	370, 750	3000	2017
1	JPSS-2	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	370, 750	3000	2022
1	SNPP	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	370, 750	3000	2011
1	JPSS-3	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	370, 750	3000	2027



1	JPSS-4	Moderate-resolution optical imager	VIIRS	NASA	米国	370, 750	3000	2032
1	FY-3A	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	800	2800	2008
1	FY-3B	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	800	2800	2010
1	FY-3C	Moderate-resolution optical imager	VIRR (FY-3)	CMA	中国	800	2800	2013

出所) OSCAR より DB 編集

xii. Fire fractional cover (火災被覆率)

- OSCAR のデータベースによると、Fire fractional cover を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 高分解能可視+熱赤外センサ
    - 高分解能中波赤外+熱赤外センサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 高分解能可視/中波赤外/熱赤外/パングロマチックセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がグループ1にランクインしており、センサ開発実績を有すること、米国を除き観測期間に優位性を持つことから、火災被覆率は日本に優位のある物理量の1つと考えられる。他方、グループ1に所属している衛星は他国のものも多く、かつ、OSCAR には登録されていない欧州系の民間衛星 (Orora Tech、Satellite Vu など) があるため、現在のポジションを維持していくための計画が必要と考えられる。

図表 189 Fire fractional cover 計測に優位な衛星

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	Terra	High-resolution optical imager	ASTER	METI	日本	15-90	60	1999
1	Landsat-7	High-resolution optical imager	ETM+	NASA	米国	15-60	185	1999
1	CBERS-4	High-resolution optical imager	IRMSS-2	CAST	中国	40,80	120	2014
1	CBERS-4B	High-resolution optical imager	IRMSS-2	CAST	中国	40,80	120	2019
1	LSTM	High-resolution optical imager	LSTM	ESA	ESA	30-50	600-700	2029
1	Okean-O-1	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1999
1	Okean-O1-1	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1986
1	Okean-O1-2	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1987
1	Okean-O1-3	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1988
1	Okean-O1-4	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1989
1	Okean-O1-5	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1990
1	Okean-O1-6	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1991
1	Okean-O1-7	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1994
1	SICH-1	High-resolution optical imager	MSU-SK (Okean)	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1995
1	Resurs-O1-1	High-resolution optical imager	MSU-SK (Resurs)	Roscosmos	ロシア	170/600	600	1985

1	Resurs-O1-2	High-resolution optical imager	MSU-SK (Resurs)	Roscosmos	ロシア	170/600	600	1988
1	Resurs-O1-3	High-resolution optical imager	MSU-SK (Resurs)	Roscosmos	ロシア	170/600	600	1994
1	Meteor-P5	High-resolution optical imager	MSU-SK (Resurs)	Roscosmos	ロシア	170/600	600	1980
1	Resurs-O1-4	High-resolution optical imager	MSU-SK1	Roscosmos	ロシア	200/700	600	1998
1	Okean-O-1	High-resolution optical imager	MSU-V	Roscosmos	ロシア	50-300	195	1999
1	ÑuSat	High-resolution optical imager	ÑuSat-Imager	Satelogic	アルゼンチン	1-90	5-150	2016
1	Landsat-4	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1982
1	Landsat-5	High-resolution optical imager	TM	NASA	米国	30/120	185	1984
1	TRISHNA	High-resolution optical imager	TRISHNA	ISRO	インド	50	932	2025
1	BIRD	High-resolution optical imager	HSRS	DLR	ドイツ	372	190	2001
1	HJ-1B	High-resolution optical imager	IRMSS (HJ)	CAST	中国	150/300	720	2008
1	HJ-2A	High-resolution optical imager	IRMSS-2 (HJ)	CAST	中国	48	720	2020
1	HJ-2B	High-resolution optical imager	IRMSS-2 (HJ)	CAST	中国	48	720	2020
1	KANOPUS-V- IK-1	High-resolution optical imager	MSU-IK-SR	Roscosmos	ロシア	200	2000	2017
1	SAC-D	High-resolution optical imager	NIRST	CONAE	アルゼンチン	350	182	2011

出所) OSCAR より DB 編集

xiii. Sea surface temperature（海表面温度）

- OSCAR のデータベースによると、Sea surface temperature を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 高分解能可視+熱赤外センサ
    - 高分解能中波赤外+熱赤外センサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 高分解能可視/中波赤外/熱赤外/パンクロマチックセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がグループ1にランクインしており、観測実績を有していることから、海表面温度は日本の衛星の強みの1つとすることが可能と考えられる。なお、グループ1にランクインしている ADEOS は 1997 年に運用を終了しており、以降にグループ1に該当する観測センサ開発計画はないこと、および他国にて観測衛星の運用期間が長期間存在することから、今後日本の衛星の強みとするためには、他国と差別化したセンサ開発が必要と考えられる。

図表 190 Sea surface temperature 計測に優位な衛星

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	Envisat	Moderate-resolution optical imager	AATSR	UKSA	イギリス	1000	500	2002
1	ERS-1	Moderate-resolution optical imager	ATSR	UKSA	イギリス	1000	500	1991
1	ERS-2	Moderate-resolution optical imager	ATSR-2	UKSA	イギリス	1000	500	1995
1	Sentinel-3A	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2016
1	Sentinel-3B	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2018
1	Sentinel-3C	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2024
1	Sentinel-3D	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2028
1	Aqua	Cross-nadir infrared sounder	AIRS	NASA	米国	2300	1650	2002
1	NOAA-20	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2017
1	JPSS-2	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2022
1	SNPP	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2011
1	JPSS-3	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2027
1	JPSS-4	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2032
1	FY-4A	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2016
1	FY-4B	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2021

1	FY-4C	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2024
1	FY-4D	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2026
1	FY-4E	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2027
1	FY-4F	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2030
1	FY-4G	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2033
1	FY-3D	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS	CMA	中国	16000	2400	2017
1	FY-3E	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2021
1	FY-3H	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2023
1	FY-3F	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2022
1	FY-3J	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2027
1	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2006
1	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2012
1	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2018
1	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2031
1	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2038
1	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2024
1	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2025
1	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2026
1	Electro-M N1	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2025
1	Electro-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2026
1	Electro-M N3	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2029
1	MTG-S1	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2024
1	MTG-S2	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2034
1	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530		2004
1	ADEOS	Cross-nadir infrared sounder	IMG	METI	日本	8000		1996

出所) OSCAR より DB 編集

xiv. Ice sheet topography (氷床地形)

- OSCAR のデータベースによると、Ice sheet topography を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 高分解能可視+熱赤外センサ
    - 高分解能中波赤外+熱赤外センサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 高分解能可視/中波赤外/熱赤外/パンクロマチックセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、ALOS シリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。衛星データ分析では、解像度や機数も重要だが、時系列分析のためのアーカイブデータも非常に重要であり、この観点からも氷床地形は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 191 Ice sheet topography 計測に優位な衛星

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	ICESat	Space lidar	GLAS	NASA	米国	170		2003
1	ICESat-2	Space lidar	ATLAS	NASA	米国	170		2018
2	Resurs-O1-1	Imaging radar (SAR)	SAR-Travers	Rescosmos	ロシア	20	80	1985
2	Ludi-Tance 1 01A	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	CNSA	中国	3	400	2022
2	Ludi-Tance 1 01B	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	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	2023-
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 より DB 編集

xv. Soil moisture (土壌水分)

- OSCAR のデータベースによると、Soil moisture を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - Lバンドマイクロ波放射計
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - PバンドSAR
    - LバンドまたはSバンドSAR
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数多くランクインしており、かつ、ALOSシリーズのように解像度が高くアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。衛星データ分析では、解像度や機数も重要だが、時系列分析のためのアーカイブデータも非常に重要であり、この観点からも土壌水分は日本の衛星の強みの1つと考えられる。

図表 192 Soil moisture 計測に優位な衛星

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	CIMR	Microwave conical scanning radiometer	CIMR	ESA	ESA	4000, 50000	1900	2028
1	SMAP	Microwave conical scanning radiometer	SMAP	NASA	米国	4000, 30000, 3000	1000	2015
1	SAC-D	Microwave cross-track scanning radiometer	Aquarius	NASA	米国	100	390	2011
1	SMOS	Microwave cross-track scanning radiometer	MIRAS	ESA	ESA	500	1000	2009
2	BIOMASS	Imaging radar (SAR)	SAR-P	ESA	ESA	50-60	50-60	2023
2	Resurs-O1-1	Imaging radar (SAR)	SAR-Travers	Roscosmos	ロシア	20	80	1985
2	Ludi-Tance 1 01A	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	CNSA	中国	3	400	2022
2	Ludi-Tance 1 01B	Imaging radar (SAR)	L band SAR (Ludi-Tance)	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	2023-
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 より DB 編集

xvi. CO2（二酸化炭素）

- OSCAR のデータベースによると、CO2 を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 差分吸収ライダー(DIAL)
    - 短波赤外+中波赤外を観測可能な超狭帯域高分解能センサ
    - 短波赤外を観測可能な超狭帯域高分解能センサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 短波赤外+中波赤外センサ
    - 中波赤外+熱赤外センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が第2グループに数多くランクインしており、かつ、GOSAT シリーズのようにアーカイブデータを長年保有しているものが存在する。カーボンニュートラルに向けて極めて重要な物理量であり、グループ1の衛星を保有していないことから今後強化すべき領域と考えられる。

図表 193 CO2 計測に優位な衛星

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	DQ-1	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) , 100 (海)	3.5	2022
1	DQ-2	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) , 100 (海)	3.5	2025
1	GeoCarb	Cross-nadir scanning SW sounder	GeoCarb	NASA	米国	3000		2024
1	TANSAT	Cross-nadir scanning SW sounder	ACGS	MOST	中国	3000		2016
1	GHGSat	Cross-nadir scanning SW sounder	GHGSat-Spectrometer	GHGSat	カナダ	50 (水面)	15	2016
1	GF-5	Cross-nadir scanning SW sounder	GMI (GF-5)	CNSA	中国	13000	800	2018
1	GF-5-02	Cross-nadir scanning SW sounder	GMI (GF-5)	CNSA	中国	13000	800	2021
1	MicroCarb	Cross-nadir scanning SW sounder	MicroCarb	CNES	フランス	4500	13.5	2023
1	OCO-2	Cross-nadir scanning SW sounder	OCO	NASA	米国	2250		2014
1	ISS OCO-3	Cross-nadir scanning SW sounder	OCO (ISS)	NASA	米国			2019
2	GOSAT	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS	JAXA	日本	10500	790	2009
2	GOSAT-2	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS/2	JAXA	日本	10500	790	2018
2	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2024

2	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530	885	2004
2	Envisat	Limb sounder	MIPAS	ESA	ESA	-300000		2002
2	Aura	Limb sounder	TES-limb	NASA	米国	-300000		2004
2	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2006
2	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2012
2	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2018
2	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2026
2	ADEOS	Cross-nadir infrared sounder	IMG	METI	日本	8000		1996

出所) OSCAR より DB 編集

xvii. CH4 (メタン)

- OSCAR のデータベースによると、CH4 を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 差分吸収ライダー(DIAL)
    - 短波赤外+中波赤外を観測可能な超狭帯域高分解能センサ
    - 短波赤外を観測可能な超狭帯域高分解能センサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 短波赤外+中波赤外センサ
    - 中波赤外+熱赤外センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が複数機いくらかランクインしており、軌道上運用実績があることから、メタンは日本の衛星の強みの1つとすることが可能と考えられる。なお、他国にてグループ1にランクインしている衛星が複数機存在することから、今後メタン観測を日本の衛星の強みとする場合は、より観測に適した衛星センサの開発計画を策定する必要があると考えられる。

図表 194 CH4 計測に優位な衛星

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	MERLIN	Space lidar	IPDA lidar	DLR	ドイツ	50000		2026
1	Terra	Cross-nadir infrared sounder	MOPIIT	NASA	米国	22000	640	1999
1	GeoCarb	Cross-nadir scanning SW sounder	GeoCarb	NASA	米国	3000		2024
1	GHGSat	Cross-nadir scanning SW sounder	GHGSat-Spectrometer	GHGSat	カナダ	50 (水面)	15	2016
1	GF-5	Cross-nadir scanning SW sounder	GMI (GF-5)	CNSA	中国	13000	800	2018
1	GF-5-02	Cross-nadir scanning SW sounder	GMI (GF-5)	CNSA	中国	13000	800	2021
2	GOSAT-2	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS/2	JAXA	日本	10500	790	2018
2	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	100000	2000	2024
2	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530	885	2004
2	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2006
2	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2012
2	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	4000	2130	2018
2	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2025

2	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2026
2	ADEOS	Cross-nadir infrared sounder	IMG	METI	日本	8000		1996
2	FY-4A	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2016
2	FY-4B	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2021
2	FY-4C	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2024
2	FY-4D	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2026
2	FY-4E	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2027
2	FY-4F	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2030
2	FY-4G	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	1600 , 1200		2033
2	Electro-M N1	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2025
2	Electro-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2026
2	Electro-M N3	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2029
2	MTG-S1	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2034

出所) OSCAR より DB 編集

xviii. Aerosol effective radius (エアロゾル有効半径)

- OSCAR のデータベースによると、Aerosol effective radius を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 多チャンネル・多視点・多偏波短波センサ
    - 多チャンネル・多視点短波センサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 後方散乱ライダ
    - 短波スペクトルセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が複数機ランクインしており、軌道上運用実績も日本にはある。他方、欧州の衛星がグループ1に名を連ねており、知見を有していることから、エアロゾル有効半径の観測を日本の衛星の強みとしていく場合、エアロゾル有効半径の観測に適し、かつ欧州のグループ1衛星と差別化が可能な観測センサの開発が必要と考えられる。

図表 195 Aerosol effective radius 計測に優位な衛星

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	Metop-SG-A2	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2031
1	Metop-SG-A3	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2038
1	Metop-SG-A1	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2024
1	PACE	Moderate-resolution optical imager	Polarimeters	CNES	フランス	4000	2.4	2023
1	ADEOS	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	1996
1	ADEOS-2	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	2002
1	PARASOL	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	2004
2	ISS CATS	Space lidar	CATS	NASA	米国	350	3.5	2015
2	DQ-1	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) , 100 (海)	3.5	2022
2	DQ-2	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) , 100 (海)	3.5	2025
2	CALIPSO	Space lidar	CALIOP	NASA	米国	333		2006
2	EarthCARE	Space lidar	ATLID	ESA	ESA	100		2023

2	Meteor-MP N1	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000 -14000	1000	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000 -14000	1000	2026
2	Envisat	Cross-nadir scanning SW sounder	SCIAMACHY-nadir	ESA	ESA	3000	960	2002
2	Metop-SG-A2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000(270-300nm:28000)	2715	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000(270-300nm:28000)	2715	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000(270-300nm:28000)	2715	2024
2	Sentinel-5P	Cross-nadir scanning SW sounder	TROPOMI	ESA	ESA	7000	2600	2017
2	ERS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME	ESA	ESA	4000 , 4000	120, 960	1995
2	Metop-A	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2006
2	Metop-B	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2012
2	Metop-C	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2018
2	MTG-S1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2034
2	GF-5	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2018
2	GF-5-02	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2021
2	DQ-1	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2022
2	DQ-2	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2025
2	GEO-KOMPSAT-2B	Cross-nadir scanning SW sounder	GEMS	ME	その他(韓国)	5000 (韓国上空)		2020
2	NACHOS-1	Cross-nadir scanning SW sounder	NACHOS-Imager	LANL	米国	400	140	2022



2	NACHOS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	NACHOS-Imager	LANL	米国	400		2022
2	Aura	Cross-nadir scanning SW sounder	OMI	NIVR	EU(オランダ)	13000, 36000, 13000	2600, 752	2004
2	FY-3F	Cross-nadir scanning SW sounder	OMS-nadir	CMA	中国	21000, 7000	2900	2022
2	TEMPO	Cross-nadir scanning SW sounder	TEMPO	NASA	米国	2000		2023
2	NOAA-20	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2017
2	JPSS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2022
2	SNPP	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2011
2	JPSS-3	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2027
2	JPSS-4	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2032
2	Zond-M	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-3	Roscosmos	ロシア			2025
2	Ionosphaera-M N1 & N2	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-TM	Roscosmos	ロシア			2022
2	Ionosphaera-M N3 & N4	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-TM	Roscosmos	ロシア			2023
2	ADEOS	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1996
2	Meteor-3-5	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1991
2	Nimbus-7	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1978
2	TOMS Earth Probe	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1996
2	FY-3A	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2008
2	FY-3B	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2010
2	FY-3C	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2013

2	Nimbus-4	Cross-nadir scanning SW sounder	BUV	NASA	米国	220000		1970
2	ISS CLARREO-PF	Cross-nadir scanning SW sounder	HySICS	NASA	米国	50000		2023
2	FY-3A	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2008
2	FY-3B	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2010
2	FY-3C	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2013
2	Nimbus-7	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV	NASA	米国	200000		1978
2	NOAA-9	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1984
2	NOAA-10	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1986
2	NOAA-11	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1988
2	NOAA-13	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1993
2	NOAA-14	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1994
2	NOAA-16	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2000
2	NOAA-17	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2002
2	NOAA-18	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2005
2	NOAA-19	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2009
2	GOSAT	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS	JAXA	日本	10500	790	2009
2	GOSAT-2	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS/2	JAXA	日本	10500	790	2018

出所) OSCAR より DB 編集

xix. Aerosol Optical Depth (エアロゾル光学深度)

- OSCAR のデータベースによると、Aerosol Optical Depth を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 多チャンネル・多視点・多偏波短波センサ
    - 多チャンネル・多視点短波センサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 後方散乱ライダーまたはドップラーライダー
    - 短波スペクトルセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が数機ランクインしており、軌道上運用実績もある。他方、欧州の衛星がグループ1に名を連ねており、知見を有していることから、エアロゾル光学深度の観測を日本の衛星の強みとしていく場合、エアロゾル光学深度の観測に適し、かつ欧州のグループ1衛星と差別化が可能な観測センサの開発が必要と考えられる。

図表 196 Aerosol Optical Depth 計測に優位な衛星

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	Metop-SG-A2	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2031
1	Metop-SG-A3	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2038
1	Metop-SG-A1	Moderate-resolution optical imager	3MI	ESA	ESA	4000	2.2	2024
1	PACE	Moderate-resolution optical imager	Polarimeters	CNES	フランス	4000	2.4	2023
1	ADEOS	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	1996
1	ADEOS-2	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	2002
1	PARASOL	Moderate-resolution optical imager	POLDER	CNES	フランス	6500	2.4	2004
2	ISS CATS	Space lidar	CATS	NASA	米国	350	3.5	2015
2	DQ-1	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) , 100 (海)	3.5	2022
2	DQ-2	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50 (陸) ,100 (海)	3.5	2025
2	CALIPSO	Space lidar	CALIOP	NASA	米国	333		2006
2	EarthCARE	Space lidar	ATLID	ESA	ESA	100		2023
2	Aeolus	Space lidar	ALADIN	ESA	ESA	87,000		2018

2	Meteor-MP N1	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000 -14000	1000	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000 -14000	1000	2026
2	Envisat	Cross-nadir scanning SW sounder	SCIAMACHY-nadir	ESA	ESA	3000	960	2002
2	Metop-SG-A2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2024
2	Sentinel-5P	Cross-nadir scanning SW sounder	TROPOMI	ESA	ESA	7000	2600	2017
2	ERS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME	ESA	ESA	4000 , 4000	120, 960	1995
2	Metop-A	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2006
2	Metop-B	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2012
2	Metop-C	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2018
2	MTG-S1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2034
2	GF-5	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2018
2	GF-5-02	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2021
2	DQ-1	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2022
2	DQ-2	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2025
2	GEO-KOMPSAT-2B	Cross-nadir scanning SW sounder	GEMS	ME	その他 (韓国)	5000 (韓国 上空)		2020
2	NACHOS-1	Cross-nadir scanning SW sounder	NACHOS-Imager	LANL	米国	400	140	2022

2	NACHOS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	NACHOS-Imager	LANL	米国	400		2022
2	Aura	Cross-nadir scanning SW sounder	OMI	NIVR	EU (オランダ)	13000, 36000, 13000	2600, 752	2004
2	FY-3F	Cross-nadir scanning SW sounder	OMS-nadir	CMA	中国	21000, 7000	2900	2022
2	TEMPO	Cross-nadir scanning SW sounder	TEMPO	NASA	米国	2000		2023
2	NOAA-20	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2017
2	JPSS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2022
2	SNPP	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2011
2	JPSS-3	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2027
2	JPSS-4	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2032
2	Zond-M	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-3	Roscosmos	ロシア			2025
2	Ionosphaera-M N1 & N2	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-TM	Roscosmos	ロシア			2022
2	Ionosphaera-M N3 & N4	Cross-nadir scanning SW sounder	Ozonometer-TM	Roscosmos	ロシア			2023
2	ADEOS	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1996
2	Meteor-3-5	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1991
2	Nimbus-7	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1978
2	TOMS Earth Probe	Cross-nadir scanning SW sounder	TOMS	NASA	米国	50000	3000	1996
2	FY-3A	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2008
2	FY-3B	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2010
2	FY-3C	Cross-nadir scanning SW sounder	TOU	CMA	中国	50000	3000	2013

2	ISS CLARREO-PF	Cross-nadir scanning SW sounder	HySICS	NASA	米国	50000		2023
2	Nimbus-4	Cross-nadir scanning SW sounder	BUV	NASA	米国	220000		1970
2	FY-3A	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2008
2	FY-3B	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2010
2	FY-3C	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUS	CMA	中国	200000		2013
2	Nimbus-7	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV	NASA	米国	200000		1978
2	NOAA-9	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1984
2	NOAA-10	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1986
2	NOAA-11	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1988
2	NOAA-13	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1993
2	NOAA-14	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		1994
2	NOAA-16	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2000
2	NOAA-17	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2002
2	NOAA-18	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2005
2	NOAA-19	Cross-nadir scanning SW sounder	SBUV/2	NOAA	米国	170000		2009
2	GOSAT	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS	JAXA	日本	10500	790	2009
2	GOSAT-2	Cross-nadir infrared sounder	TANSO-FTS/2	JAXA	日本	10500	790	2018

出所) OSCAR より DB 編集

xx. Height of the top of PBL（惑星境界層の最高点の高さ）

- OSCAR のデータベースによると、Height of the top of PBL を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - マルチビーム後方散乱ライダー
    - 集合型電波掩蔽サウンダ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - ナディアポインティング後方散乱ライダー
    - GNSS システムを1つ以上追跡可能な電波掩蔽サウンダ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星が1つランクインしており、軌道上運用実績もある。他方、米国を中心とした他国の衛星がグループ1に名を連ねており、開発知見を有していることから、惑星境界層の最高点の高さの観測を日本の衛星の強みとしていく場合、惑星境界層の最高点の高さの観測に適し、かつ欧州のグループ1衛星と差別化が可能な観測センサの開発が必要と考えられる。

図表 197 Height of the top of PBL 計測に優位な衛星

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	ISS CATS	Space lidar	CATS	NASA	米国	350		2015
1	CICERO	GNSS radio-occultation sounder	CION	GeoOptics	米国	300000	500	2017
1	CICERO-2	GNSS radio-occultation sounder	CION-2	GeoOptics	米国	300000	500	2022
1	GNOMES-1	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000	600	2020
1	GNOMES-2	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000	600	2021
1	GNOMES-3	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000	600	2022
1	Lemur-2	GNSS radio-occultation sounder	STRATOS	SPIRE	米国	300000	400	2015
1	COSMIC-1	GNSS radio-occultation sounder	IGOR (COSMIC)	NSPO	その他(台湾)	300000		2006
1	COSMIC-2	GNSS radio-occultation sounder	TGRS (COSMIC-2)	NASA	米国	300000	800	2019
1	DQ-1	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50,100		2022
2	DQ-2	Space lidar	ACDL	CNSA	中国	50,100		2025
2	CALIPSO	Space lidar	CALIOP	NASA	米国	70	100	2006
2	EarthCARE	Space lidar	ATLID	ESA	ESA	30	100	2023
2	ISS GEDI	Space lidar	GEDI Lidar	NASA	米国	25	7	2018
2	ISS MOLII	Space lidar	MOLII lidar	JAXA	日本	25		2022
2	Meteor-MP N1	GNSS radio-occultation sounder	ARMA-MP	Roscosmos	ロシア			2025
2	Meteor-MP N2	GNSS radio-occultation sounder	ARMA-MP	Roscosmos	ロシア			2026
2	Sentinel-6A	GNSS radio-occultation sounder	GNSS-RO (Sentinel-6)	NOAA	米国	300000	1300	2020



2	Sentinel-6B	GNSS radio-occultation sounder	GNSS-RO (Sentinel-6)	NOAA	米国	300000	1300	2025
2	KOMPSAT-5	GNSS radio-occultation sounder	AOPD	KARI	その他(韓国)	300000		2013
2	FY-3C	GNSS radio-occultation sounder	GNOS	CMA	中国	300000		2013
2	FY-3D	GNSS radio-occultation sounder	GNOS	CMA	中国	300000		2017
2	FY-3E	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2021
2	FY-3H	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2023
2	FY-3F	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2022
2	FY-3J	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2027
2	FY-3G	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2023
2	FY-3I	GNSS radio-occultation sounder	GNOS-2	CMA	中国	300000		2026
2	Metop-SG-A2	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2031
2	Metop-SG-A3	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2038
2	Metop-SG-B1	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2025
2	Metop-SG-B2	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2032
2	Metop-SG-B3	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2039
2	Metop-SG-A1	GNSS radio-occultation sounder	RO	ESA	ESA	300000		2024

出所) OSCAR より DB 編集

xxi. Land surface temperature（地表面温度）

- OSCAR のデータベースによると、Land surface temperature を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 多可視観測能力を持つ中波赤外+熱赤外センサ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 中波赤外+熱赤外センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がランクインしており、観測実績も有している。他方、ADEOSは1997年に運用を終了しており、以降に海面温度観測に適したセンサ開発計画はないこと、および他国にて観測衛星の運用期間が長期間存在することから、今後日本の衛星の強みとするためには、当該物理量の観測に適し、かつ他国と差別化したセンサ開発が必要と考えられる。

図表 198 Land surface temperature 計測に優位な衛星

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	Envisat	Moderate-resolution optical imager	AATSR	UKSA	イギリス	1000	500	2002
1	ERS-1	Moderate-resolution optical imager	ATSR	UKSA	イギリス	1000	500	1991
1	ERS-2	Moderate-resolution optical imager	ATSR-2	UKSA	イギリス	1000	500	1995
1	Sentinel-3A	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2016
1	Sentinel-3B	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2018
1	Sentinel-3C	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2024
1	Sentinel-3D	Moderate-resolution optical imager	SLSTR	ESA	ESA	1000	1400	2028
2	Aqua	Cross-nadir infrared sounder	AIRS	NASA	米国	2300	1650	2002
2	NOAA-20	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2017
2	JPSS-2	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2022
2	SNPP	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2011
2	JPSS-3	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2027
2	JPSS-4	Cross-nadir infrared sounder	CrIS	NASA	米国	14000	2200	2032
2	FY-4A	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2016
2	FY-4B	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2021
2	FY-4C	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2024
2	FY-4D	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2026

2	FY-4E	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2027
2	FY-4F	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2030
2	FY-4G	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	16000	5000*5000	2033
2	FY-3D	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS	CMA	中国	16000	2400	2017
2	FY-3E	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2021
2	FY-3H	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2023
2	FY-3F	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2022
2	FY-3J	Cross-nadir infrared sounder	HIRAS-2	CMA	中国	14000	2260	2027
2	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2006
2	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2012
2	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2018
2	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2024
2	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000	2200	2026
2	Electro-M N1	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2025
2	Electro-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2026
2	Electro-M N3	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2029
2	MTG-S1	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2034
2	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530		2004
2	ADEOS	Cross-nadir infrared sounder	IMG	METI	日本	8000		1996

出所) OSCAR より DB 編集

xxii. O3 (オゾン)

- OSCAR のデータベースによると、O3 を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - 差分吸収ライダ
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - 紫外および可視域を観測可能なセンサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。日本の衛星がランクインしておらず、かつ、グループ2に属する衛星が多数存在することから、この観点からもオゾン観測は日本の衛星の弱みの1つと考えられる。なお、整理の結果としてグループ1に属する衛星センサがないことから、オゾン観測に特化したセンサを開発することで今後の参入も可能な領域であると考ええる。

図表 199 O3 計測に優位な衛星

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
2	GEO-KOMPSAT-2B	Cross-nadir scanning SW sounder	GEMS	ME	その他(韓国)	5000 (韓国上空)		2020
2	MTG-S1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2024
2	MTG-S2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-4	ESA	ESA	8000		2034
2	TEMPO	Cross-nadir scanning SW sounder	TEMPO	NASA	米国			2023
2	Meteor-MP N1	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000-14000	1000	2025
2	Meteor-MP N2	Cross-nadir scanning SW sounder	ACS-nadir	Roscosmos	ロシア	8000-14000	1000	2026
2	GF-5	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2018
2	GF-5-02	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI	CNSA	中国	130000	2500	2021
2	DQ-1	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2022
2	DQ-2	Cross-nadir scanning SW sounder	EMI-2	CNSA	中国	130000	2500	2025
2	ERS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME	ESA	ESA	4000, 4000	120, 960	1995
2	Metop-A	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2006
2	Metop-B	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2012
2	Metop-C	Cross-nadir scanning SW sounder	GOME-2	ESA	ESA	40000	960, 1920	2018
2	Aura	Cross-nadir scanning SW sounder	OMI	NIVR	オランダ	13000, 36000, 13000	2600, 752	2004
2	FY-3F	Cross-nadir scanning SW sounder	OMS-nadir	CMA	中国	21000, 7000	2900	2022
2	Envisat	Cross-nadir scanning SW sounder	SCIAMACHY-nadir	ESA	ESA	3000	960	2002

2	Metop-SG-A2	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2031
2	Metop-SG-A3	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2038
2	Metop-SG-A1	Cross-nadir scanning SW sounder	Sentinel-5	ESA	ESA	7000 (270-300nm: 28000)	2715	2024
2	Sentinel-5P	Cross-nadir scanning SW sounder	TROPOMI	ESA	ESA	7000	2600	2017
2	NOAA-20	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2017
2	JPSS-2	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2022
2	SNPP	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2011
2	JPSS-3	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2027
2	JPSS-4	Cross-nadir scanning SW sounder	OMPS-nadir	NASA	米国	50000, 250000		2032

出所) OSCAR より DB 編集

xxiii. Wind vector (near surface) (地表付近の風向)

- OSCAR のデータベースによると、Wind vector (near surface)を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下の条件を満たすもの
    - Cバンド+Kuバンドレーダ散乱計
  - ◇ 第2グループ：以下の条件を満たすもの
    - CバンドまたはKuバンドレーダ散乱計
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。計測に優位な衛星として日本の衛星は含まれておらず、グループ1にランクインした衛星は少ないものの、中国を中心に、ESA/米国など複数の国が開発・開発実績を積み上げている。従い、地表付近の風向観測については、日本の衛星の弱みの1つと考えられる。なお、グループ1に属する衛星センサを保有しているのは中国のみであり、かつ打上年が2021年と最近であるため、観測に有効なセンサでのデータ蓄積量については限定的であることから、地表付近の風向に特化したセンサの開発を行いデータの蓄積に早急に着手することで参入可能な領域であると考えられる。

図表 200 Wind vector (near surface)計測に優位な衛星

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	FY-3E	Radar scatterometer	WindRAD	CMA	中国		1200	2021
1	FY-3J	Radar scatterometer	WindRAD	CMA	中国		1200	2027
2	ERS-1	Radar scatterometer	AMI-SCAT	ESA	ESA		500	1991
2	ERS-2	Radar scatterometer	AMI-SCAT	ESA	ESA		500	1995
2	Metop-A	Radar scatterometer	ASCAT	ESA	ESA		550	2006
2	Metop-B	Radar scatterometer	ASCAT	ESA	ESA		550	2012
2	Metop-C	Radar scatterometer	ASCAT	ESA	ESA		550	2018
2	Metop-SG-B1	Radar scatterometer	SCA (Scatterometer)	ESA	ESA		660	2025
2	Metop-SG-B2	Radar scatterometer	SCA (Scatterometer)	ESA	ESA		660	2032
2	Metop-SG-B3	Radar scatterometer	SCA (Scatterometer)	ESA	ESA		660	2039
2	ADEOS	Radar scatterometer	NSCAT	NASA	米国		600	1996
2	OceanSat-2	Radar scatterometer	OSCAT	ISRO	インド		1440	2009
2	ScatSat-1	Radar scatterometer	OSCAT	ISRO	インド		1440	2016
2	OceanSat-3	Radar scatterometer	OSCAT-3	ISRO	インド		1440	2022
2	OceanSat-3A	Radar scatterometer	OSCAT-3	ISRO	インド		1440	2023
2	ISS RapidScat	Radar scatterometer	RapidScat	NASA	米国		900	2014
2	SeaSat	Radar scatterometer	SASS	NASA	米国		500	1978
2	CFOSAT	Radar scatterometer	SCAT (CFOSAT)	CNSA	中国		1000	2018
2	CFOSAT follow-on	Radar scatterometer	SCAT (CFOSAT)	CNSA	中国		1000	2022
2	HY-2C	Radar scatterometer	SCAT (incl)	NSOAS	中国		1300	2020
2	HY-2F	Radar scatterometer	SCAT (incl)	NSOAS	中国		1300	2024

2	HY-2G	Radar scatterometer	SCAT (incl)	NSOAS	中国		1300	2025
2	HY-2A	Radar scatterometer	SCAT (sso)	NSOAS	中国		1300	2011
2	HY-2B	Radar scatterometer	SCAT (sso)	NSOAS	中国		1300	2018
2	HY-2E	Radar scatterometer	SCAT (sso)	NSOAS	中国		1300	2023
2	HY-2D	Radar scatterometer	SCAT (sso)	NSOAS	中国		1300	2021
2	ADEOS-2	Radar scatterometer	SeaWinds	NASA	米国		1800	2002
2	QuikSCAT	Radar scatterometer	SeaWinds	NASA	米国		1800	1999

出所) OSCAR より DB 編集



xxiv. Atmospheric temperature (大気温度)

- OSCAR のデータベースによると、Atmospheric temperature を計測するにあたって有利なセンサの序列は、以下の通りとされている。
  - ◇ 第1グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 中波赤外・熱赤外を観測可能な低軌道高分解能センサ
    - 中波赤外・熱赤外を観測可能な静止軌道中分解能センサ
    - 集合型電波掩蔽サウンダ
    - 54GHz を含み 10 チャンネル以上観測可能な低軌道中波センサ
  - ◇ 第2グループ：以下のいずれかの条件を満たすもの
    - 中波赤外・熱赤外を観測可能な低軌道低/中分解能センサ
    - 中波赤外・熱赤外を観測可能な静止軌道中分解能センサ
    - GNSS システムを 2 つ以上追跡可能な電波掩蔽サウンダ
    - 54GHz または 118GHz を含み 10 チャンネル以下が観測可能な低軌道中波センサ
- これらのセンサを搭載した衛星は下図表に示したとおりである。グループ 1 に該当する衛星は多数存在するが、日本の衛星はランクインしておらず、大気温度計測は日本の衛星の弱みの 1 つと考えられる。すでに各国が今後 20 年の観測計画を立案していること、過去の観測実績についても積上げがあることから、日本がプレゼンスを発揮するための参入障壁は非常に高い。

図表 201 Atmospheric temperature 計測に優位な衛星

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	Metop-A	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2006
1	Metop-B	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2012
1	Metop-C	Cross-nadir infrared sounder	IASI	CNES	フランス	24000	2130	2018
1	Metop-SG-A2	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2031
1	Metop-SG-A3	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2038
1	Metop-SG-A1	Cross-nadir infrared sounder	IASI-NG	CNES	フランス	24000	2000	2024
1	Meteor-MP N1	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000		2025
1	Meteor-MP N2	Cross-nadir infrared sounder	IKFS-3	Roscosmos	ロシア	14000		2026
1	Aura	Cross-nadir infrared sounder	TES-nadir	NASA	米国	530	885	2004
1	FY-4A	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2016
1	FY-4B	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2021
1	FY-4C	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2024
1	FY-4D	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2026

1	FY-4E	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2027
1	FY-4F	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2030
1	FY-4G	Cross-nadir infrared sounder	GIIRS	CMA	中国	12000		2033
1	Electro-M N1	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2025
1	Electro-M N2	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2026
1	Electro-M N3	Cross-nadir infrared sounder	IRFS-GS	Roscosmos	ロシア	4000		2029
1	MTG-S1	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2024
1	MTG-S2	Cross-nadir infrared sounder	IRS	ESA	ESA	4000		2034
1	CICERO	GNSS radio-occultation sounder	CION	GeoOptics	米国	300000		2017
1	CICERO-2	GNSS radio-occultation sounder	CION-2	GeoOptics	米国	300000		2022
1	GNOMES-1	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000		2020
1	GNOMES-2	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000		2021
1	GNOMES-3	GNSS radio-occultation sounder	Pyxis-RO	PlanetIQ	米国	300000		2022
1	Lemur-2	GNSS radio-occultation sounder	STRATOS	SPIRE	米国	300000		2015
1	COSMIC-1	GNSS radio-occultation sounder	IGOR (COSMIC)	NSPO	その他(台湾)	300000		2006
1	COSMIC-2	GNSS radio-occultation sounder	TGRS (COSMIC-2)	NASA	米国	300000		2019
1	Aqua	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2002
1	Metop-A	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2006
1	Metop-B	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2012
1	Metop-C	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2018
1	NOAA-15	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	1998
1	NOAA-16	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2000
1	NOAA-17	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2002
1	NOAA-18	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2005
1	NOAA-19	Microwave cross-track scanning radiometer	AMSU-A	NOAA	米国	48000	2250	2009
1	NOAA-20	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2017
1	JPSS-2	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2022

1	SNPP	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2011
1	JPSS-3	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2027
1	JPSS-4	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2032
1	QuickSounder	Microwave cross-track scanning radiometer	ATMS	NASA	米国	16000 & 32000 & 75000	2200	2025
1	Metop-SG-A2	Microwave cross-track scanning radiometer	MWS	ESA	ESA	17000 & 20000 & 40000	2300	2031
1	Metop-SG-A3	Microwave cross-track scanning radiometer	MWS	ESA	ESA	17000 & 20000 & 40000	2300	2038
1	Metop-SG-A1	Microwave cross-track scanning radiometer	MWS	ESA	ESA	17000 & 20000 & 40000	2300	2024
1	FY-3C	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-2	CMA	中国	32000	2250	2013
1	FY-3D	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-2	CMA	中国	32000	2250	2017
1	FY-3H	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-3	CMA	中国	16000	2700	2023
1	FY-3F	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-3	CMA	中国	16000	2700	2022
1	FY-3J	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-3	CMA	中国	16000	2700	2027
1	FY-3E	Microwave cross-track scanning radiometer	MWTS-3	CMA	中国	16000	2700	2021

出所) OSCAR より DB 編集

#### E) 強み・弱みの背景要因に関する考察

- 民間コンステレーションにおいても、サイエンス分野の衛星の物理量ベースでの比較についても、わが国衛星では一部の分野で強みがあることが把握できた。ただし、その分野は広いとはいえない。
- サイエンス分野で強みとなっているのは、L-bandSAR 衛星やマイクロ波放射計などであり、これは欧米等と比べ少ない予算の中で、わが国が選択と集中を行ってきた結果といえるだろう（政策的および技術的要因）。
- 民間コンステレーションのほうでも SAR 衛星のほうではまだ全世界的に着手している企業が少ないこともあって、日系スタートアップのプレゼンスがある程度みられる（技術的要因）。ただし、資金調達環境で我が国の宇宙分野での資金調達は大きいわけではないため、今後このプレゼンスをキープしていくためにはさらなる民間資金へのアクセスが必要である（経済的要因）。
- 他方、欧米と比べ、民間事業者が衛星データを利活用するシーンが少ないといわれている。例えば、欧米での最大の利用者の一つであるオイルのパイプライン会社や鉱山会社が日本には大きなものは存在しない。このように民間サイドで持続可能なビジネスモデルとなっていない点も衛星分野の強みが一部に限られてしまう要因の1つといえるだろう。