

## 海洋 × 宇宙

### 人工衛星の海洋分野への利用（観測、測位）

宇宙航空研究開発機構（JAXA）

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター

石澤 淳一郎

海洋(陸上と比べ):

- 広域、遠方(日本のEEZは世界第6位)
- 観測の制約(航空機、船舶による常時観測が困難)
- 通信手段も制約

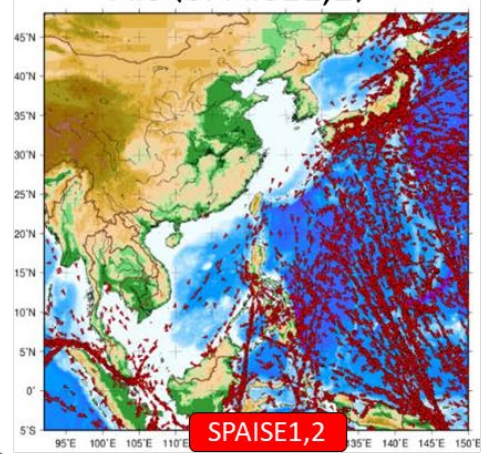
→ 人工衛星の利用が有用

本日、地球観測衛星と測位衛星についてご紹介。

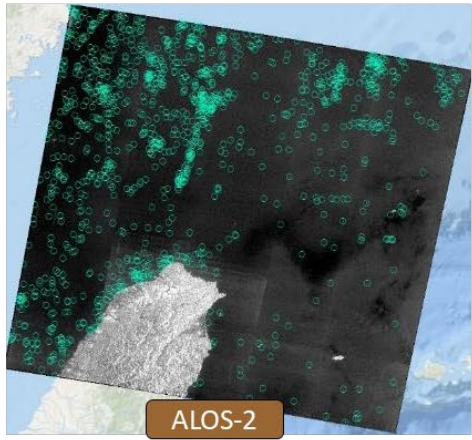
観測情報 + 測位(位置)情報 + 衛星VDES(通信)  
による相乗効果に期待

## 船舶動静

AIS (SPAISE1,2)

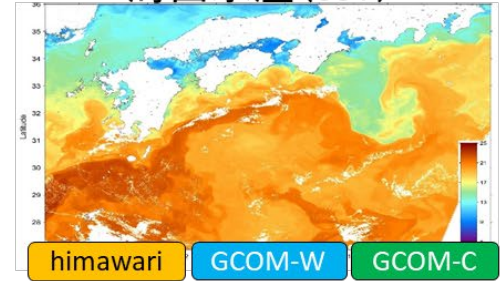


合成開口レーダ (SAR)



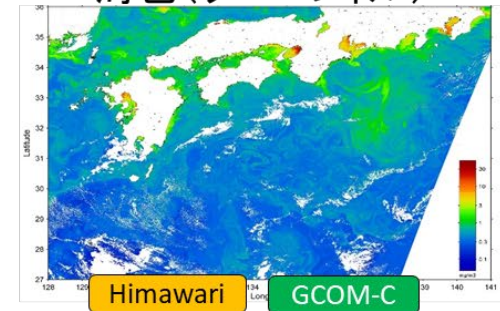
## 海象

海面水温 (SST)



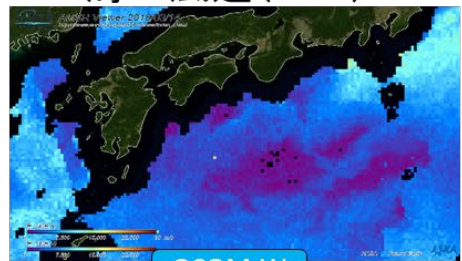
himawari GCOM-W GCOM-C

海色 (クロロフィル)



Himawari GCOM-C

海上風速 (SSW)



GCOM-W

## 気象

雲 (RGB+IR)



Himawari GCOM-C

降水量 (GSMaP NOW)

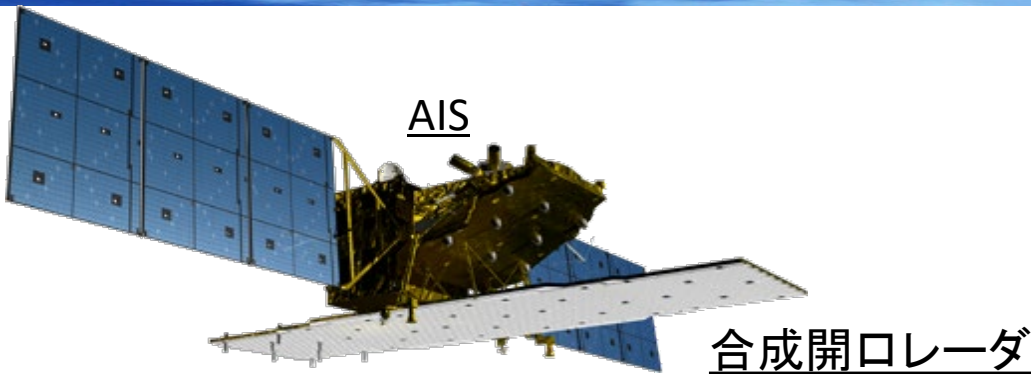


GPM GCOM-W

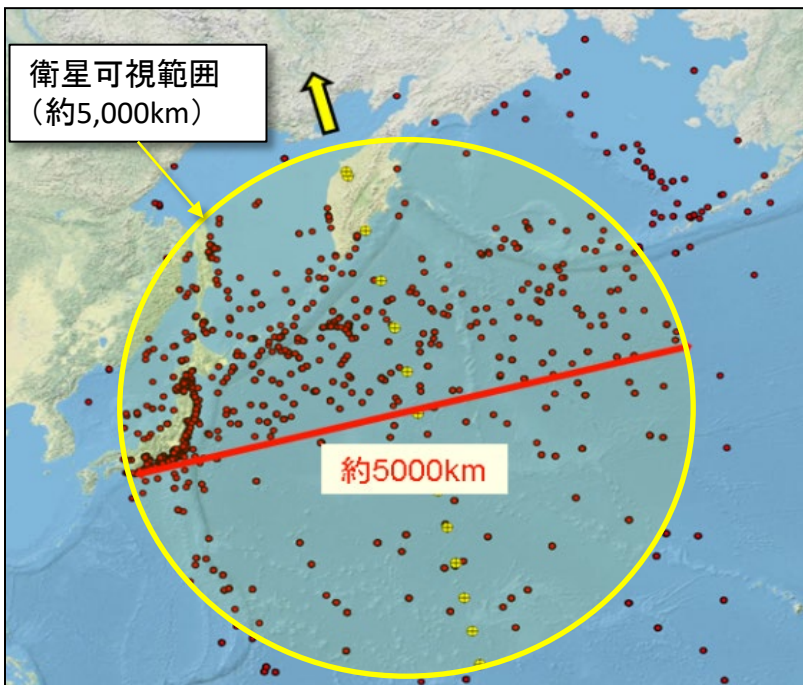
- 船舶以外のデータについて、一般に無償で公開すると同時に、国のMDAシステム(海しる)にデータ提供を行っています。



# 陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)



合成開口レーダ(SAR)、AIS受信機を世界で初めて同時搭載した人工衛星。



●: AIS信号測定位置  
⊕: 衛星位置 (昇交軌道)

軌道	
太陽同期軌道、高度628km、14日周期	
地方太陽時	12:00 (noon) (*)
SAR観測モード(分解能/観測幅)	
Strip map	3m~10m / 50km or 70km
Scan SAR	100m / 350km or 490km
Spotlight	1~3m / 25km

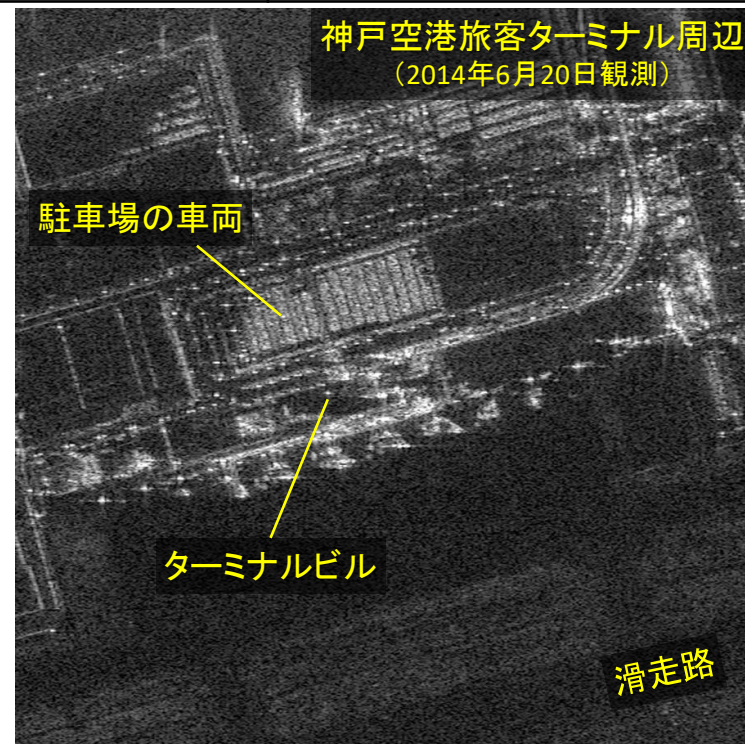


図 だいち2号の画像例  
(分解能:1m×3mモード)



# レーダ衛星からの船舶観測について

人工衛星から、電波(マイクロ波)を地表に向かって照射し、反射した電波を人工衛星で受信することで、地表の観測が可能。

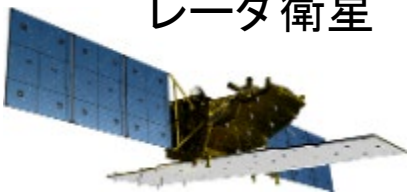
光学衛星と異なり、曇っていても(雲を電波が透過)、夜間でも観測できる。

海面よりも、船からの電波反射が大きい

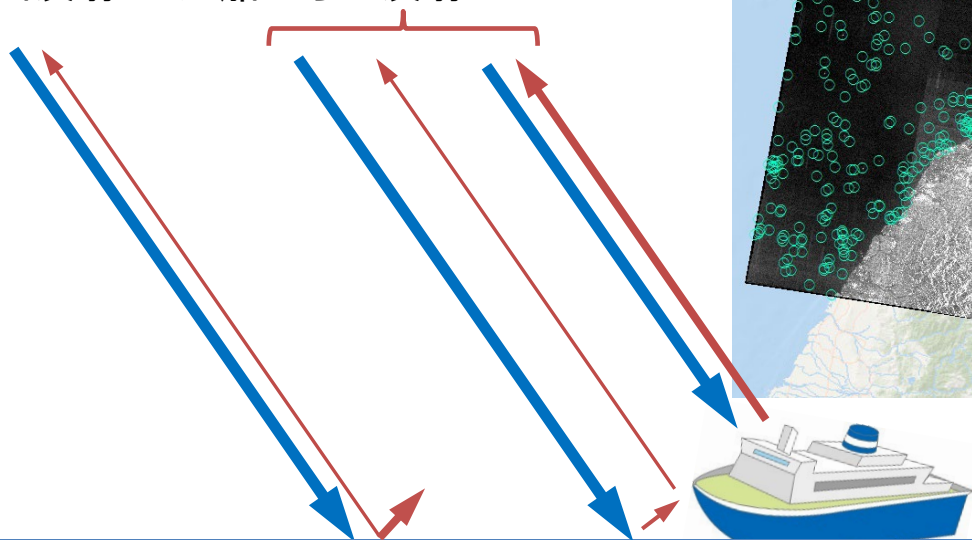


レーダ衛星で洋上の船舶観測が可能

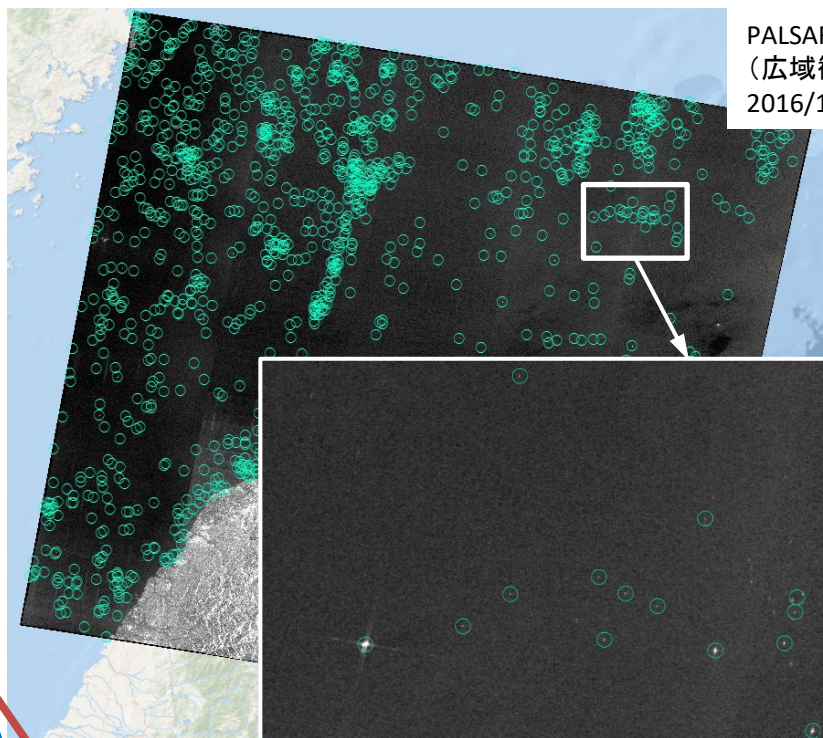
レーダ衛星



海面反射 < 船からの反射



海



PALSAR2  
(広域観測モード(350km幅))  
2016/12/04 12:48(日本時間)

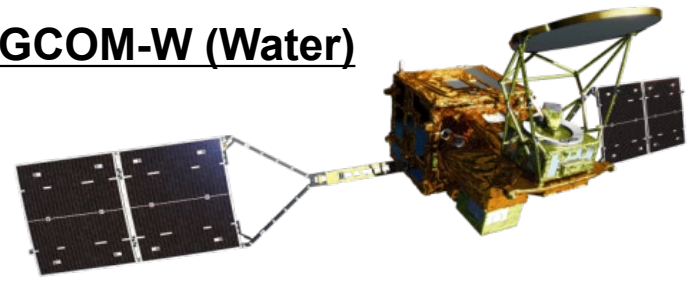


○:レーダ衛星で観測された船舶 5

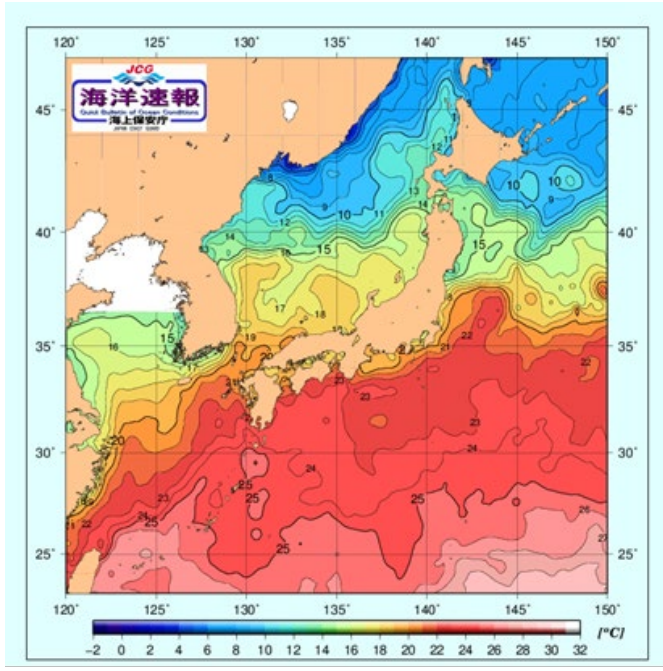
海面水温、海上風速、海氷などを観測

- 1. 夜間や天候に左右されない(海は雲が多い)
- 2. 長期継続観測(20年以上)
- 3. 極域の高頻度観測、日本周辺域(中緯度)であれば1日に2回程度観測可能

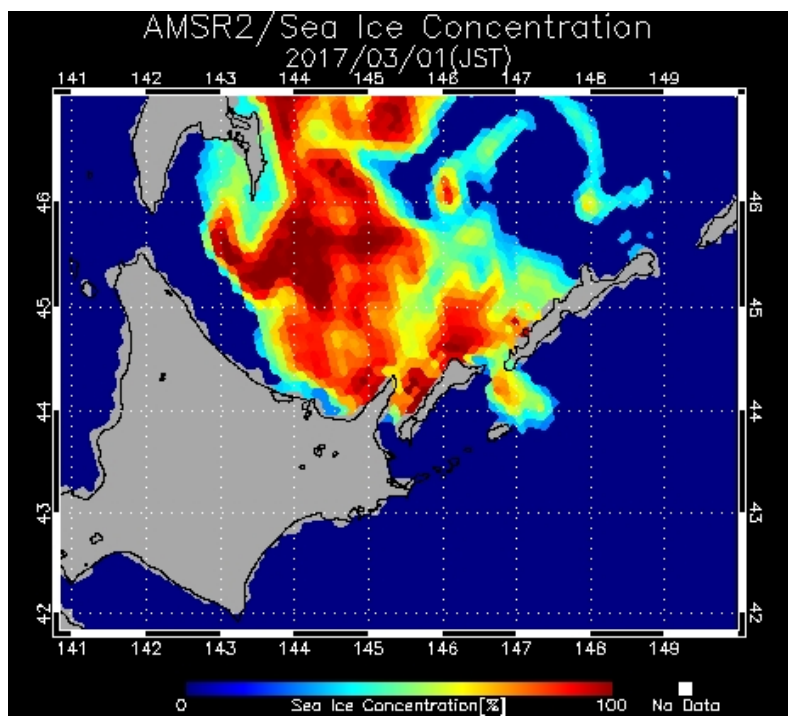
**GCOM-W (Water)**



打上げ:2012年5月18日



海面水温データ → 海流にも  
海上保安庁「海洋速報」「海氷速報」で活用

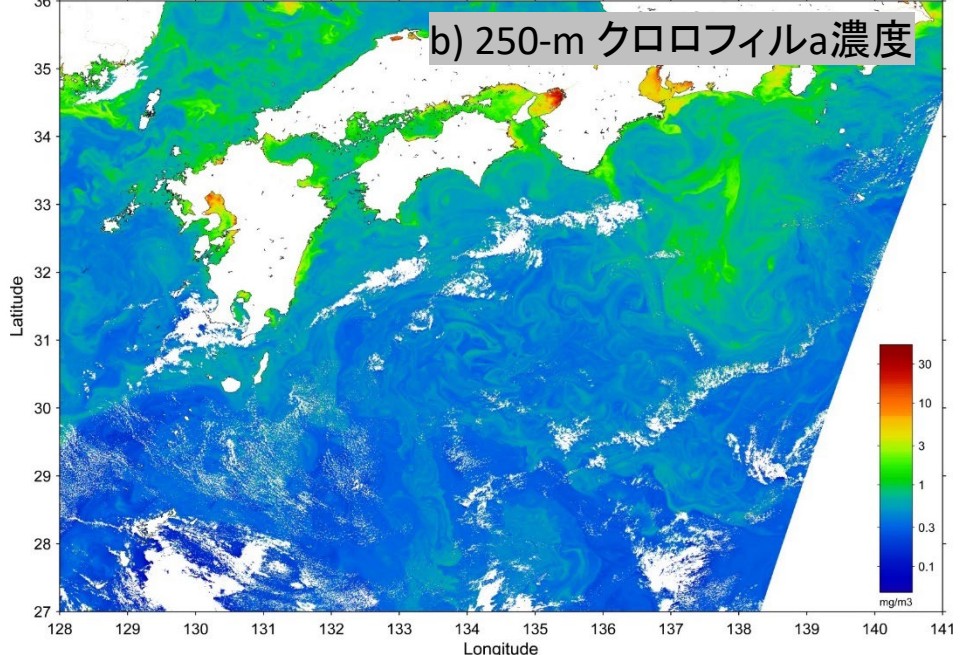
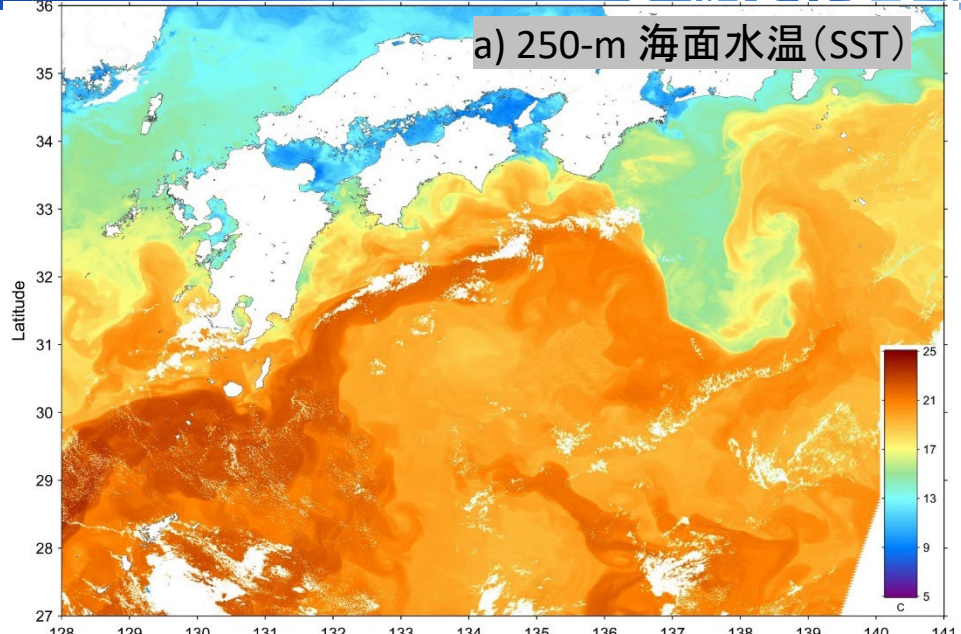


オホーツク海の海氷分布

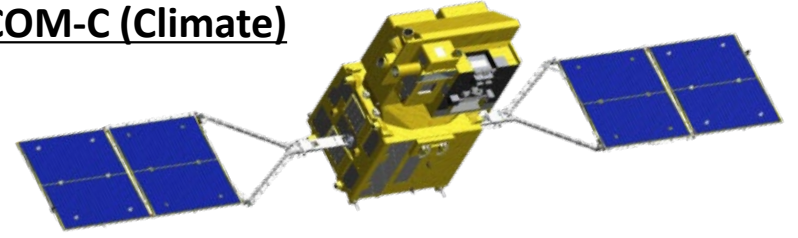


# 気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C) 多波長光学放射計 (SGLI)

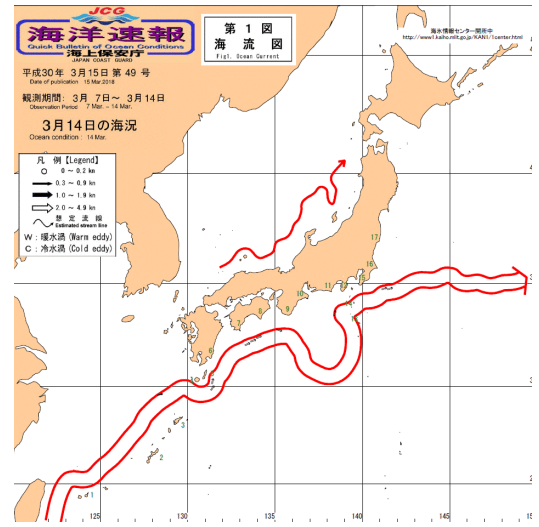
2017年12月23日打上げ



## GCOM-C (Climate)



海面水温、クロロフィル濃度(赤潮など)を観測 (250 m分解能、海洋も高感度)



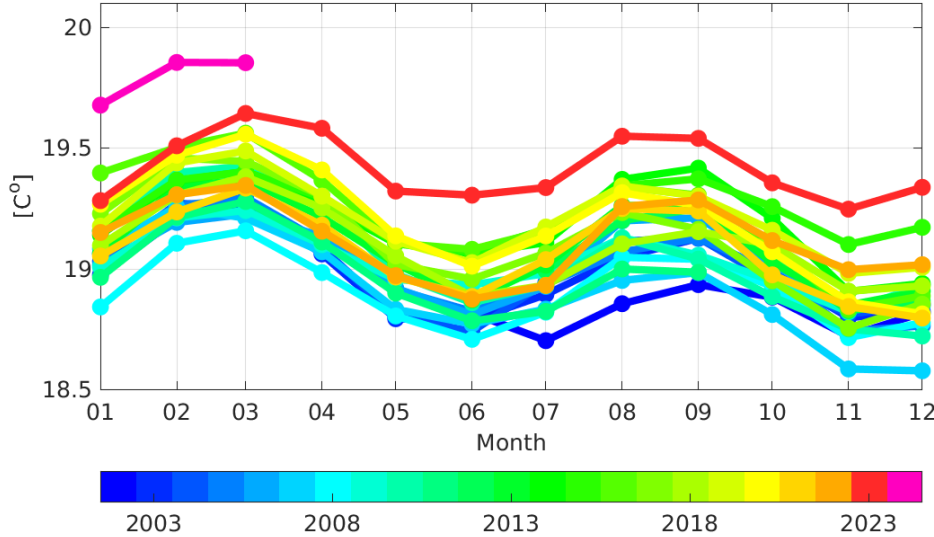
2018年3月14日に「しきさい」で観測された日本周辺の a)海面水温と b)クロロフィルa濃度 (白い領域は陸と雲域による欠損域)

紀伊半島沖~伊豆半島にかけて黒潮が大きく蛇行している様子がわかる。



# 衛星長期観測：海面水温

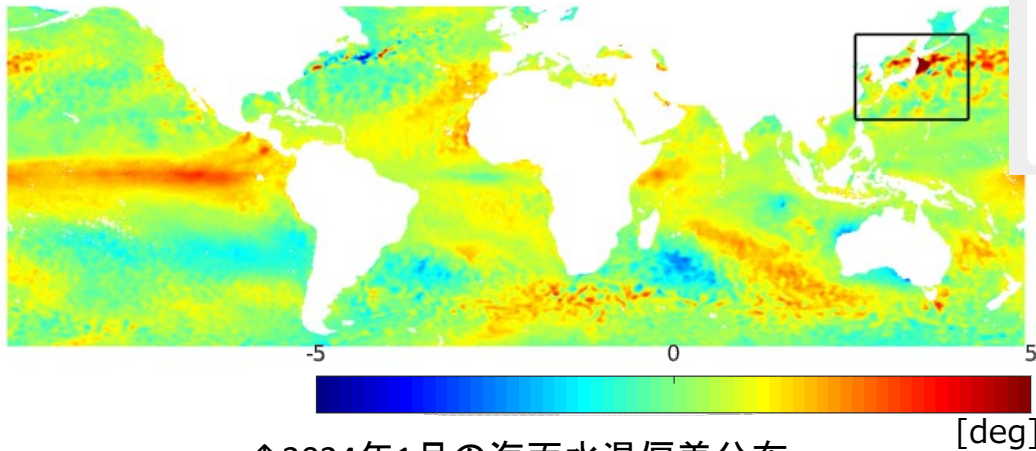
Monthly SST (Ascending&Descending): 60S-60N



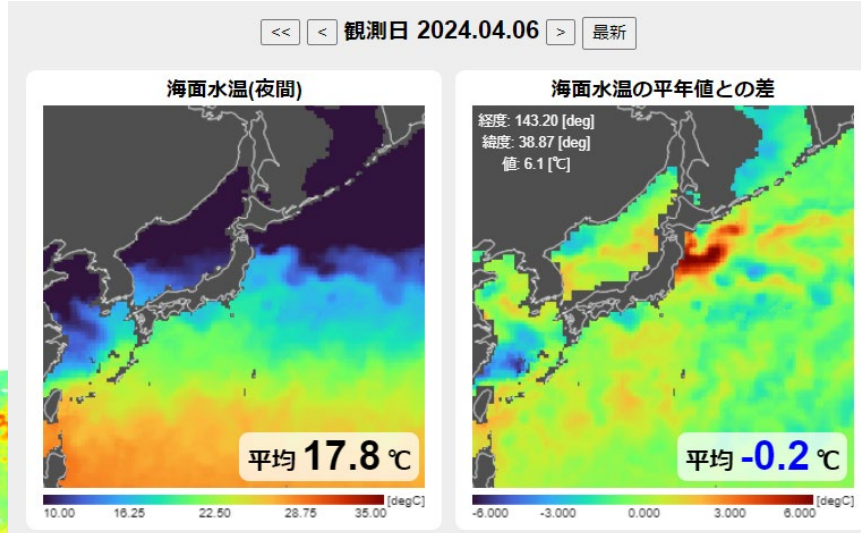
AMSR(しずく衛星等)：観測期間における最高値を更新中(月平均)。

特に、エルニーニョ現象が継続している熱帯太平洋東部、日本近海、インド洋で高温傾向がみられる。

↑ 全球(南緯60度—北緯60度)海面水温の季節変動(月平均)



↑ 2024年1月の海面水温偏差分布  
※ 平年値はAMSRシリーズデータのみで計算。



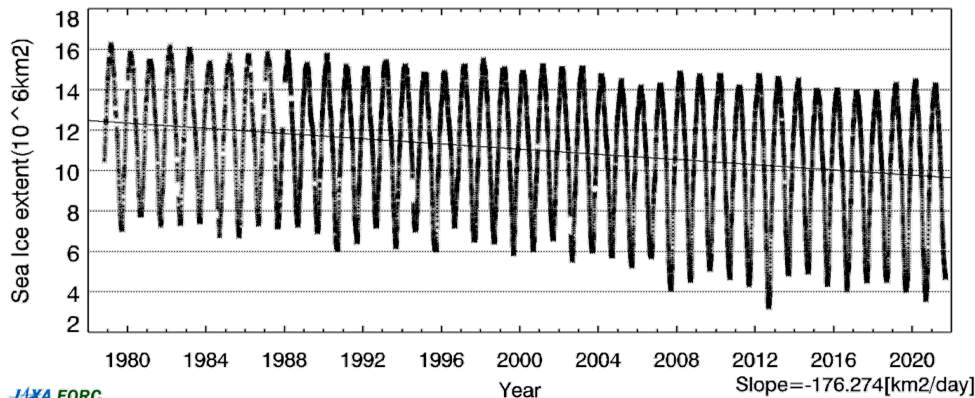
↑ 日本周辺の海面水温と平年値との差  
※ 平均は画像内全体の平均値。

**黒潮の北上で三陸沖は顕著な高温に**

JAXA気候変動2023サイト  
<https://earth.jaxa.jp/climate2023/>

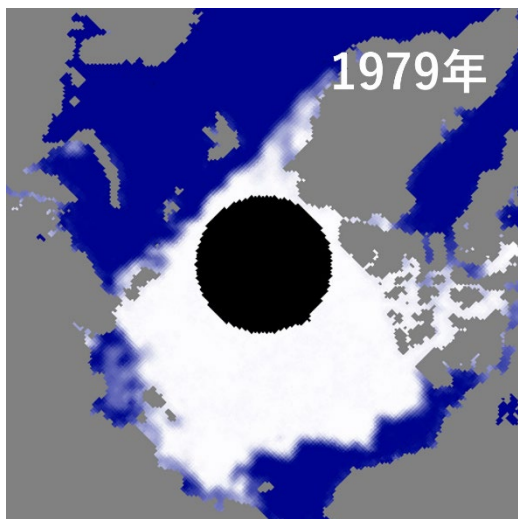
# 北極海の海水状況と北極海航路

Daily Sea Ice Extent Trends (Northern Hemisphere) (1978/11/01-2021/09/17)

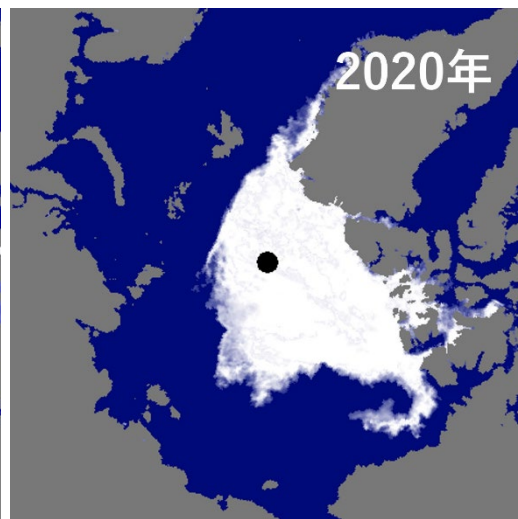


JAXA EORC

- 北極海の海水面積は年々減少しており、2012年に面積が最小となった。その後も全体としては減少傾向は続いている。
- 一方で海水面積の減少による外洋域の拡大により、「北極海航路」と呼ばれる北極海を航行する航路が利用できるようになりつつある。



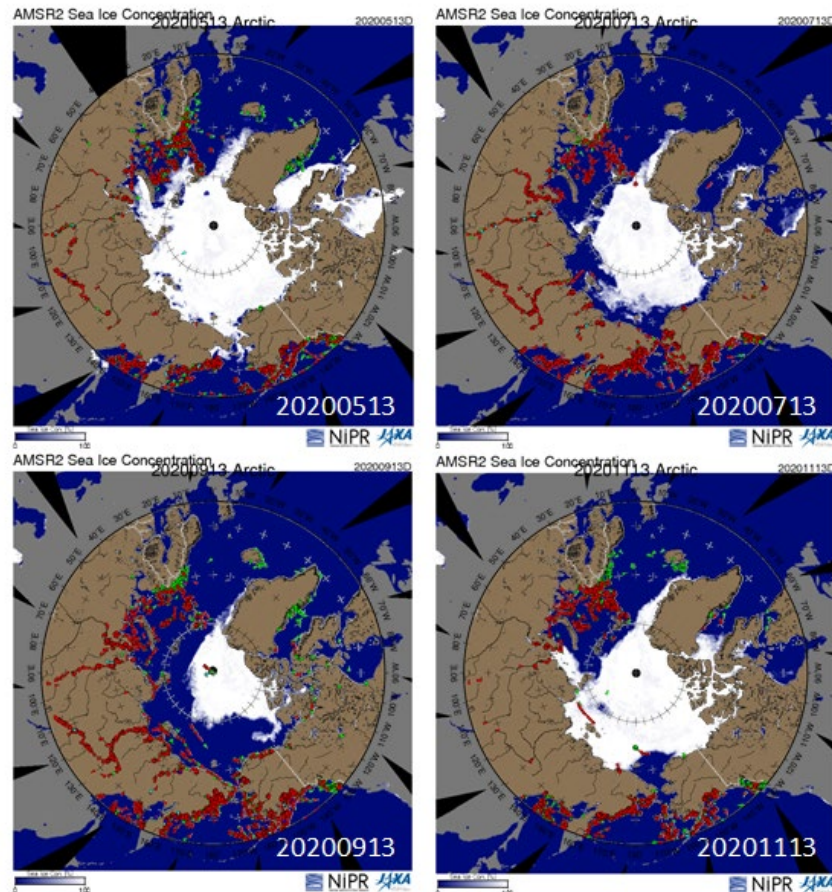
1979年



2020年

マイクロ波放射計による海水分布変動  
(1979年、2020年の最少時)

1980年代に比べて2012年9月の海水面積は半分以下となっている。



▶ SPAISE1    ▶ SPAISE2 (CH. #1,2)  
▶ SPAISE2 (CH. #3,4)

海水分布変動と船舶航行(2020年)

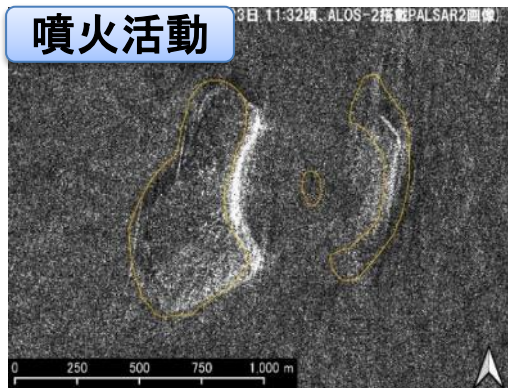


# 複数衛星による海域火山観測

## 2021年福徳岡ノ場噴火に関する観測

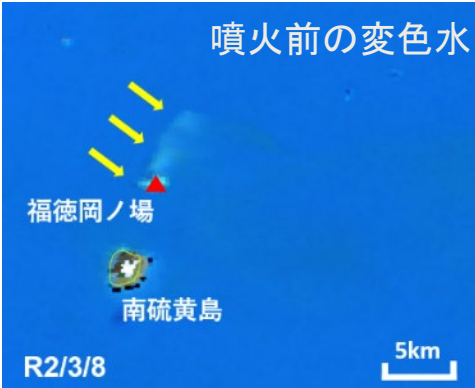
噴火前活動の把握、新島の状況、軽石漂流位置の把握

### 噴火活動



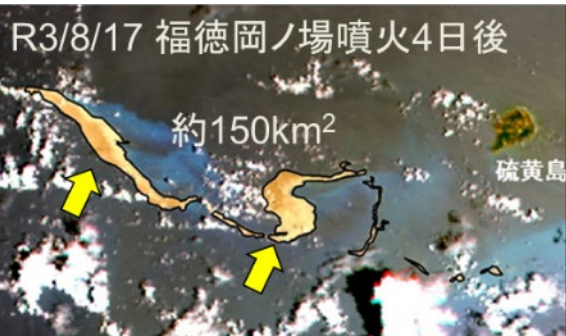
**ALOS-2**により、新島の状況を観測。  
(噴火後2つの新島形成、その後縮小・海面下となった)

### 噴火前の変色水

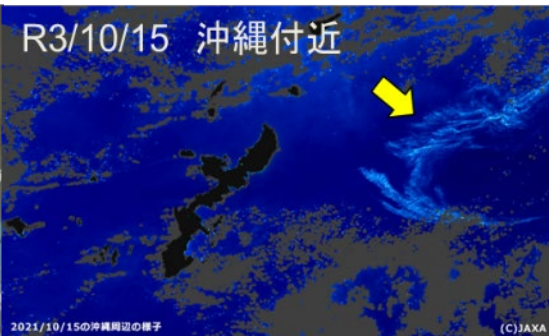


**GCOM-C**により、火山活動に伴う変色水発生を発見(噴火前に活動活発化を発見していた)

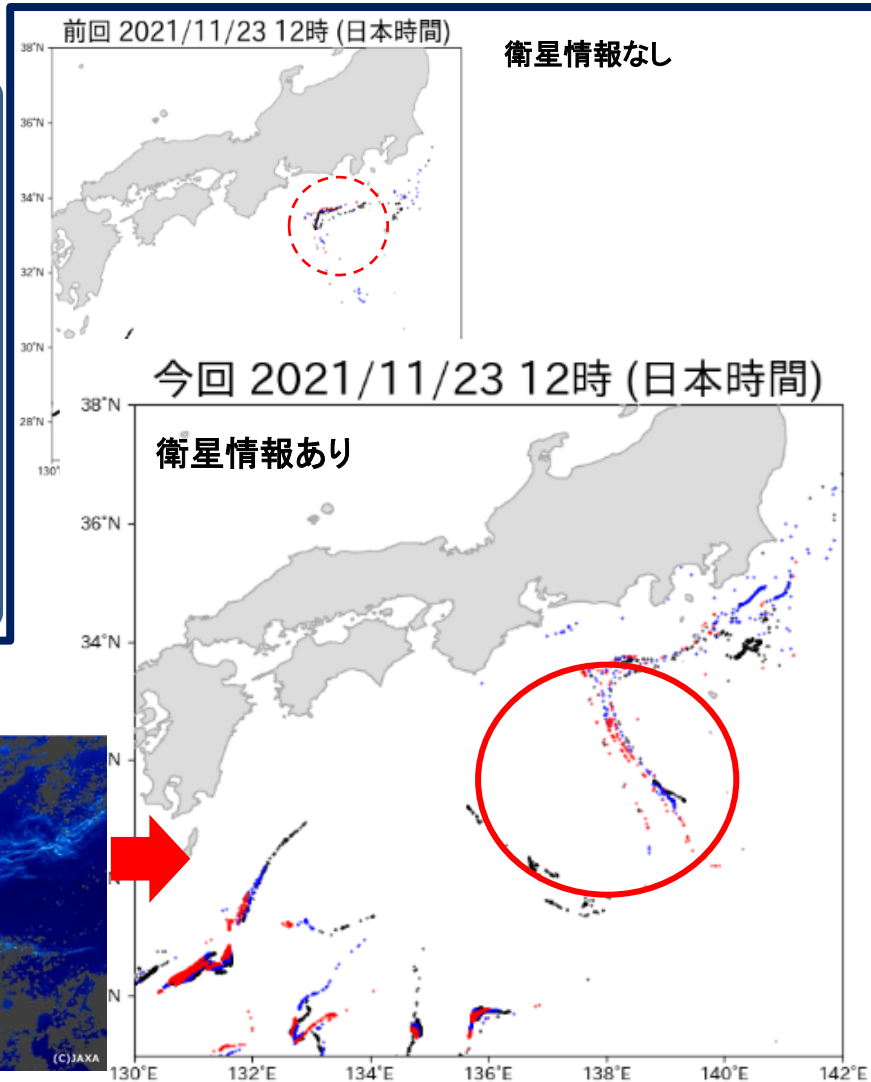
### 軽石漂流



山手線面積2.5倍の軽石漂流を観測



沖縄周辺の軽石分布を観測(水色部分)



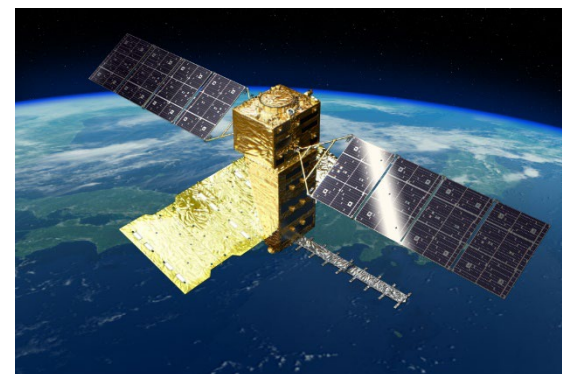
軽石の漂流シミュレーション(JAMSTEC)に提供し関東沖(赤枠)の精度向上に寄与。



## 「先進レーダ衛星」のポイント

- ALOS-2 PALSAR-2の**高い分解能や画質を維持しつつ観測幅を飛躍的に拡大し**、観測頻度の向上等のミッションに必要な性能を実現する。
- 次世代衛星搭載船舶自動識別システム(SPAISE3)を搭載し、東シナ海や日本海など、衛星AISでは受信が難しい船舶過密域でのAIS信号受信を行う。

## ■ ALOS-4イメージ図



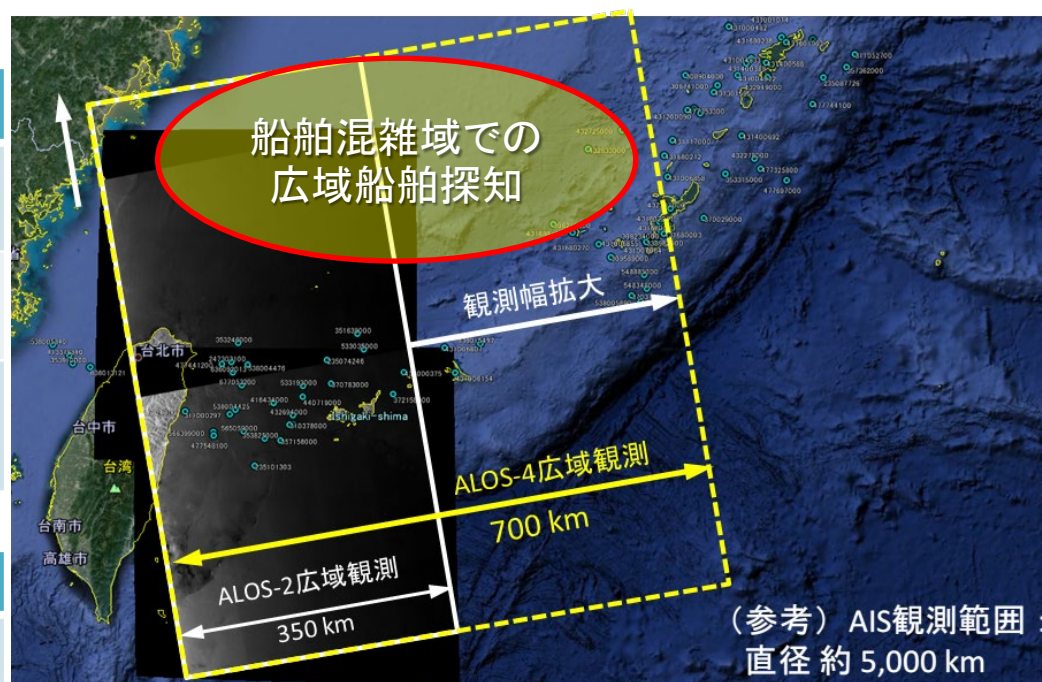
## ■ 観測幅の比較

	ALOS-2	ALOS-4
高分解能モード (分解能 3m, 6m, 10m)	50 km, 70 km	➔ 200 km
広域観測モード (分解能 100m)	350 km, 490 km	➔ 700 km
スポットライト モード (分解能 1m × 3m)	25 km × 25 km	➔ 35 km × 35 km

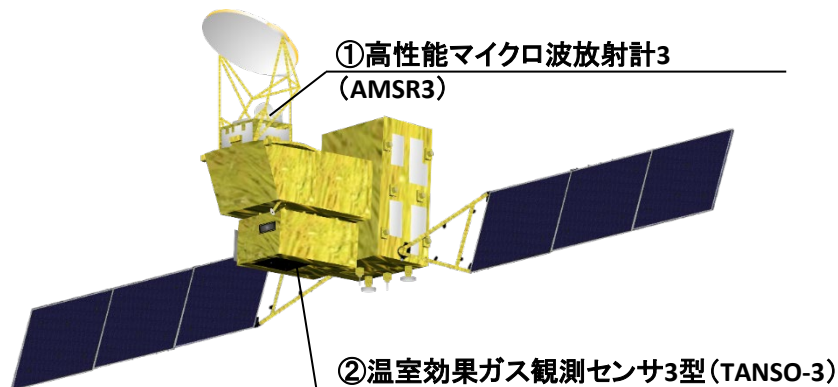
## ■ 日本の観測頻度\*の比較

	ALOS-2	ALOS-4
高分解能モード (分解能 3m)	年4回	➔ 年20回 (2週に1回)

\*日本域の 初度のベースマップが揃った後の、定常的な観測頻度を指す。



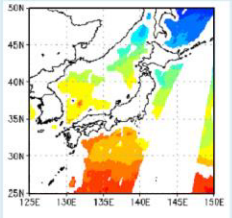
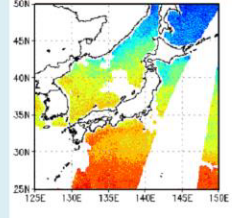
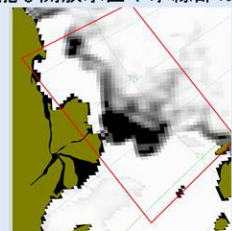
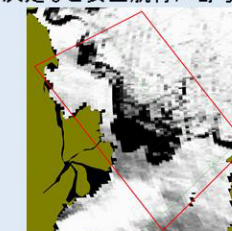
## 広域観測モードによる観測範囲の変化



運用軌道	種類	太陽同期準回帰軌道
	高度	666km、回帰3日(GOSATと同様)
	昇交点通過地方太陽時	13:30±15分(GCOM-Wと同様)
	設計寿命	7年以上
打上げ	H-IIAロケット	
観測運用	TANSO-3: 地表日照域観測 AMSR3 : 常時観測	
ミッションデータ伝送	直接伝送(X) : 400 Mbps 直接伝送(S) : 1 Mbps (AMSR3のみ)	
搭載ミッション機器	TANSO-3 AMSR3	

### ■ 高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)

- ・マイクロ波放射計は、地表面や海面、雲の中の水に関する物理量を、天候や昼夜を問わず観測することが可能。
- ・新たに高周波数帯(166GHz帯、183GHz帯)を搭載し、解析精度向上、降雪や陸上での水蒸気観測の実現を目指す。

利用分野	Before(AMSR2)	After(次期マイクロ波放射計)
海洋速報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解能50kmで沿岸から100km以遠の海面水温の算出が可能</li> <li>・沿岸から100km以内の黒潮流路が把握できない。</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解能30kmで沿岸から30km以遠の海面水温の算出が可能</li> <li>・沿岸から30km以遠の黒潮流路の把握に寄与、経済運航や漁業操業に貢献可能</li> </ul> 
海水速報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解能15kmで海域全体の海水分布の判別可能</li> <li>・航行可能な開放水面や氷縁部の判別が困難</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解能5kmで航行可能な開放水面や氷縁部の判別が可能</li> <li>・航行ルート決定など安全航行に寄与</li> </ul> 



## 一覧を見る



### Earth-graphy データ提供サービス

JAXAの地球観測衛星のデータに関するポータルサイト。さまざまなデータ提供ウェブサイトの紹介・プロダクト一覧・利用の手引きや相談窓口などの情報を一覧可能。  
<https://earth.jaxa.jp/ja/data/index.html>



### G-Portal

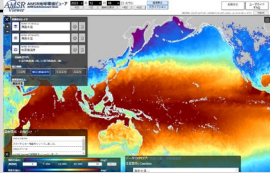
JAXAの地球観測衛星によって得られたデータの検索(衛星/センサ検索、物理量検索)と提供を行うシステム。  
<https://gportal.jaxa.jp/gpr/>

## 目的別に見る



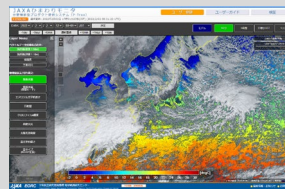
### 世界の雨分布速報 (GSMaP\_NRT)・世界の雨分布リアルタイム (GSMaP\_NOW)

GPM主衛星などを利用して観測された世界中の雨の状況を配信しているサイト。GSMaP\_NRTは4時間前の順リアルタイム画像、GSMaP\_NOWでは実況画像を公開。  
[https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index\\_j.htm](https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm)



### AMSR地球環境ビューワ

AMSRシリーズによる水循環に関する物理量を可視化するサイト。時系列の表示・取得も可能。2023年8月から期間平均・偏差の表示機能を追加。  
<https://www.eorc.jaxa.jp/AMSR/viewer/>



### JAXAひまわりモニタ (P-Tree)

気象庁提供の静止気象衛星ひまわり標準データ、及び、JAXAが作成する物理量データと、衛星データを同化した海洋モデルやエアロゾルモデル出力を公開。  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index\\_j.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html)



### JAXA Earth API

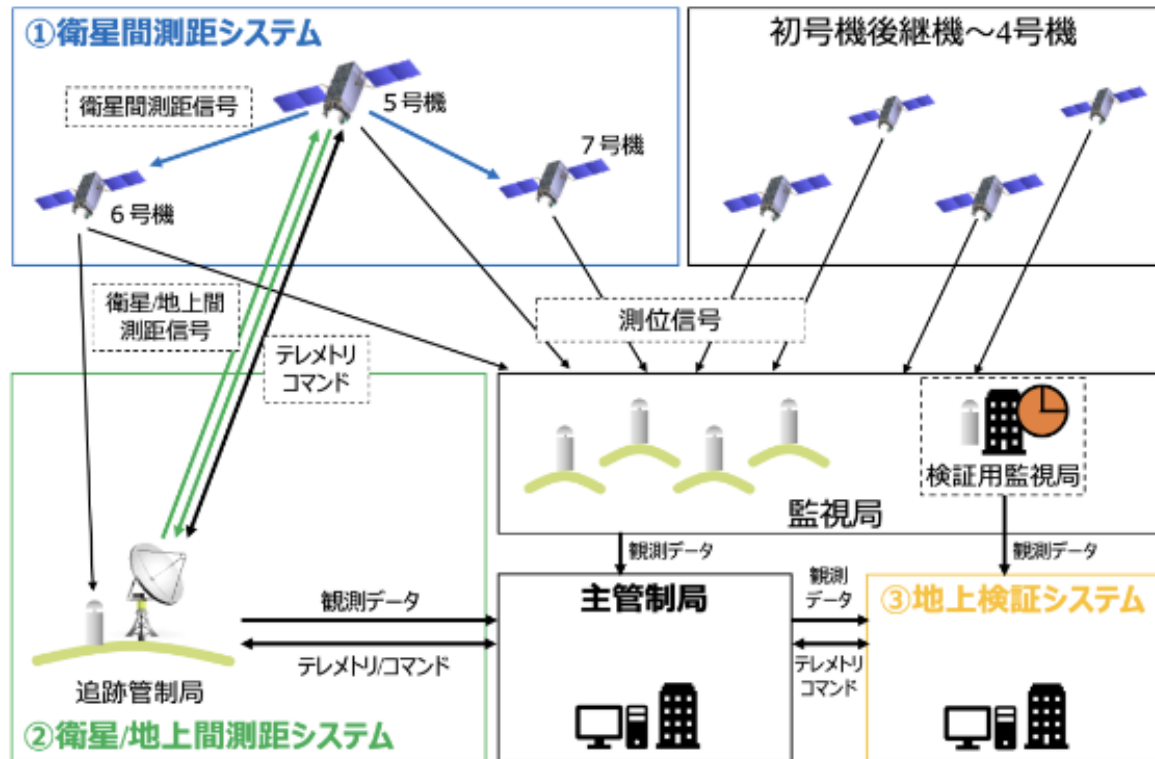
Python及びJavaScriptに対応したAPIモジュールを使ってデータを取得できるサービス。JAXAが公開している主要なデータに対応しており、日々更新中。  
<https://data.earth.jaxa.jp/>



## 準天頂衛星5、6、7号機

内閣府からの受託事業として、JAXAは7機体制構築（現在4機）に向けて、高精度測位システムの開発と実証を行います。

機数増による測性能の向上、安定化に加え、高精度測位補強サービス（MADOCA-PPP）、センチメートル級測位補強サービス（CLAS）、サブメートル級測位補強サービス（SLAS）などの測位サービスを提供します。



JAXAは準天頂衛星5号機、6号機、7号機に搭載される衛星間測距システム、衛星/地上間測距システム搭載系および測位信号を生成する測位ペイロードを開発します。また、地上設備として衛星/地上間測距システム地上系、検証用監視局、地上検証システムを開発します。

# AXA 準天頂衛星(みちびき)が提供する測位サービス



センチメートル級測位補強サービス



サブメートル級測位補強サービス



災害・危機管理通報サービス



高精度測位補強サービス「MADCOCA-PPP」

詳しくは、みちびきウェブサイト(以下)を参照のこと  
<https://qzss.go.jp/technical/dod/index.html>

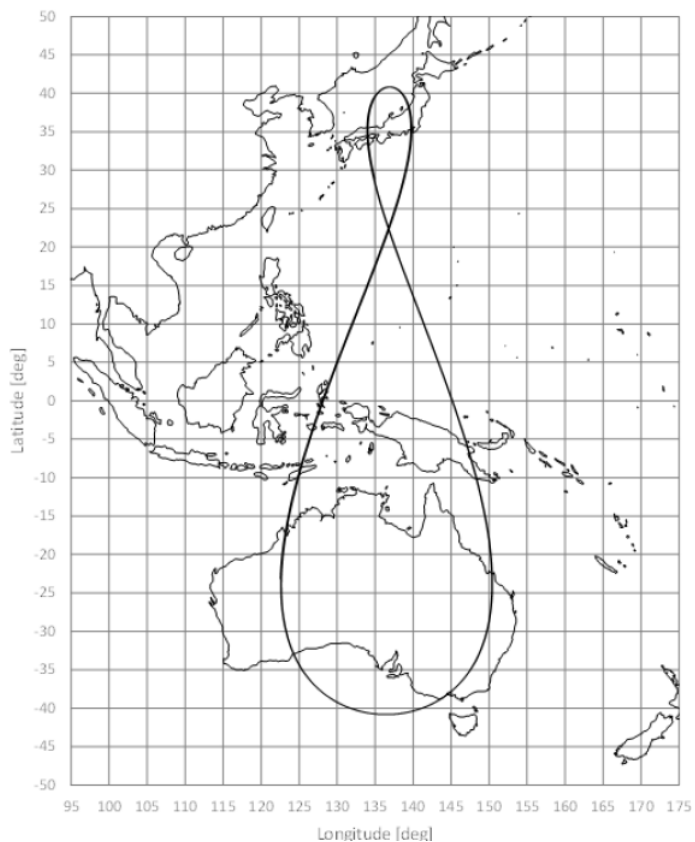
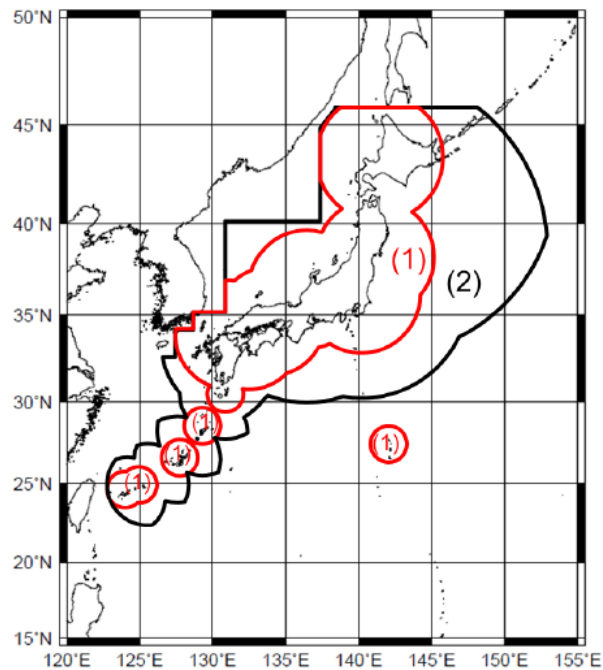


図 みちびきの軌道および  
少なくとも1機が見える範囲 (図全体)



Zone	Positioning Error		Remark
	Horizontal	Vertical	
Zone (1)	≤ 1.0m(95%) (0.58m(RMS))	≤ 2.0m(95%) (1.02m(RMS))	(*)
Zone (2)	≤ 2.0m(95%) (1.16m(RMS))	≤ 3.0m(95%) (1.53m(RMS))	(*)

図 サブメータ級測位補強サービス範囲

図表の出典：みちびきウェブサイト ([https://qzss.go.jp/en/technical/ps-is-qzss/ps\\_qzss\\_003\\_agree.html](https://qzss.go.jp/en/technical/ps-is-qzss/ps_qzss_003_agree.html))



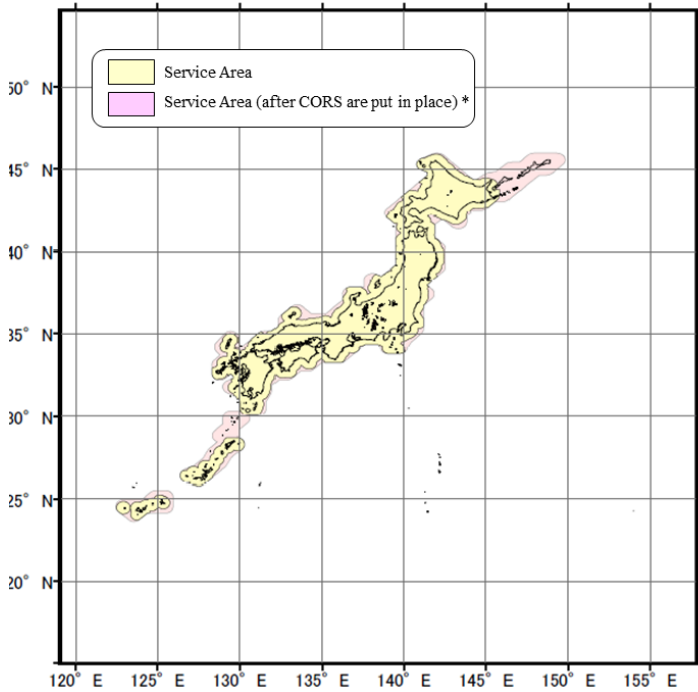


図 センチメートル級測位補強サービス範囲

Positioning Type	Positioning Error		Remark
	Horizontal	Vertical	
Static	≤ 6cm(95%) (3.47cm(RMS))	≤ 12cm(95%) (6.13cm(RMS))	(*)(**)
Kinematic	≤ 12cm(95%) (6.94cm(RMS))	≤ 24cm(95%) (12.25cm(RMS))	(*)(**)

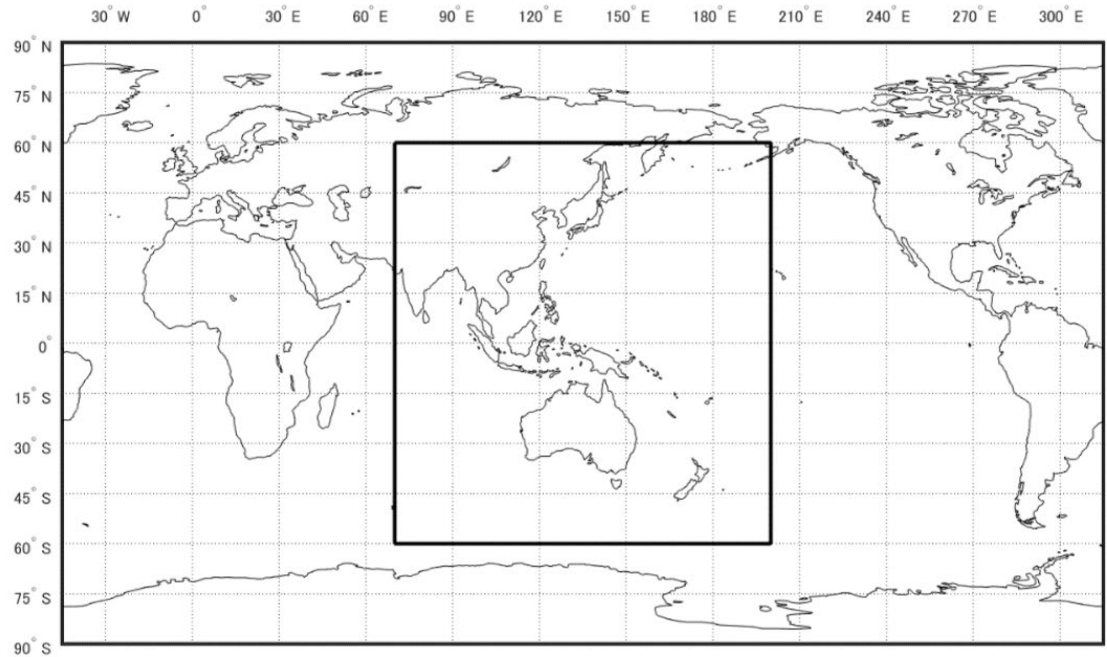


図 高精度測位補強サービス (MADOCA-PPP)サービス範囲

中央の四角のエリア：少なくとも1機以上のみちびき衛星から、20衛星以上に対する補正情報を直接受信（無償）が可能



- ・製品名：GP-170
- ・メーカー：古野電気株式会社
- ・発売年月：2014年6月（2019年4月にL1S、2020年6月  
 災害通報に対応）
- ・製品概要：みちびきのSLAS（サブメータ級測位補強サービス）、災害通報（災害・危機管理通報サービス）に対応した商船向けGNSS航法装置。耐マルチパス機能を搭載した高感度のGNSS受信機とアンテナを採用し、安心・安全な航海に寄与する信頼性の高い測位を実現しました。ディスプレイは5.7型（640×480ピクセル）カラー液晶を搭載し、カーソルパッドによるメニュー操作やメニューアイテムに割り当てた番号ボタンを押すことで簡単に操作できます。本機の受信演算部を2台組み合わせるデュアル仕様にも対応しています。

なお、みちびき対応製品リストは次のURLで公開されています  
<https://qzss.go.jp/usage/products/list.html>



## 後のせ自動運転システム YADOCAR-iドライブ

- 新たな発想の宇宙関連事業の創出を目指す「JAXA宇宙イノベーションパートナーシップ（以下、J-SPARC）」の枠組みのもと、2023年6月より「後のせ自動運転システム YADOCAR-i（ヤドカリ）ドライブ」に関する共創活動を開始しました。
- 本共創では、東海クラリオンとATIが地域限定で自動運転レベル4の実現をめざし開発をすすめている“YADOCAR-iドライブ”に、**JAXAのセンチメートル級測位補強信号を活用した高精度単独測位「MADOCA-PPP」を適用**することで、測位の精度向上と高速化を実証します。
- YADOCAR-iドライブとMADOCA-PPPの組み合わせにより、過疎化の町における日常の足として、また、観光地におけるラストワンマイル（移動を必要している人が目的地に到着するための最後の区間）の移動手段として**レベル4の自動運転を市場最安値で実装**することを目指します。

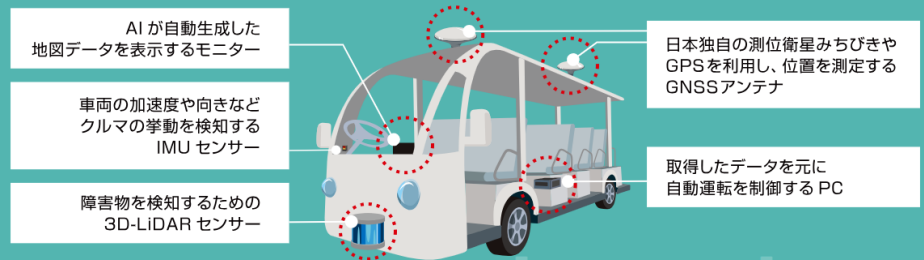
<JAXAプレスリリースURL>

[https://www.jaxa.jp/press/2023/08/20230808-1\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2023/08/20230808-1_j.html)



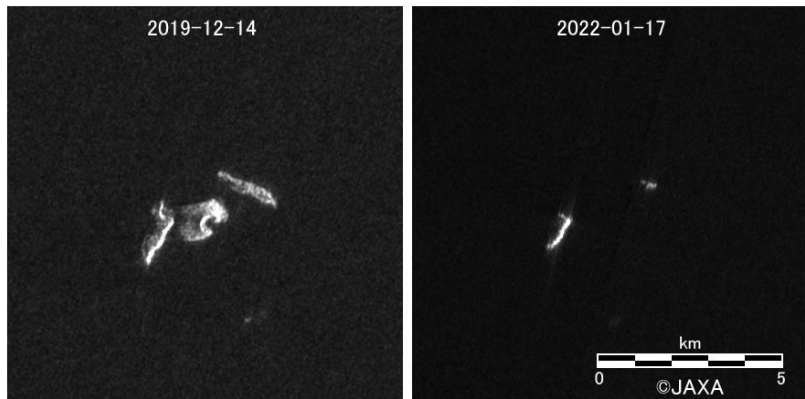
## スマートシティを実現する最新技術

2人乗りのマイクロEVから8人乗りのマイクロバスなど、手軽に自動運転へと変えられる「後のせ自動運転システム」  
既存車に簡単に組み込めるように設計されています。

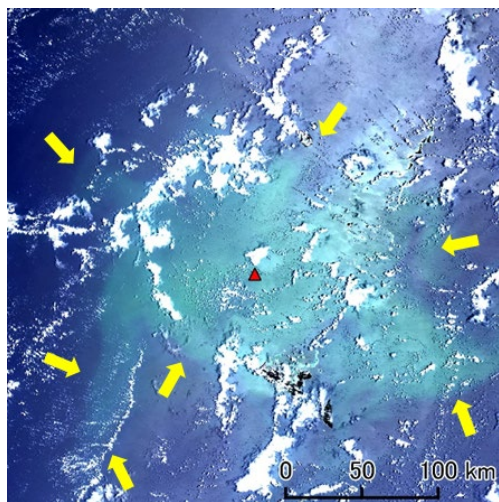


2022年1月15日に発生した、トンガ王国のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火とそれに伴う津波などの災害について、JAXAでは陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)などの衛星を用いたデータの解析、関係機関へデータを提供。  
 衛星情報特設サイト <https://earth.jaxa.jp/tonga-volcano/>

## 火山島噴火・火山活動現象

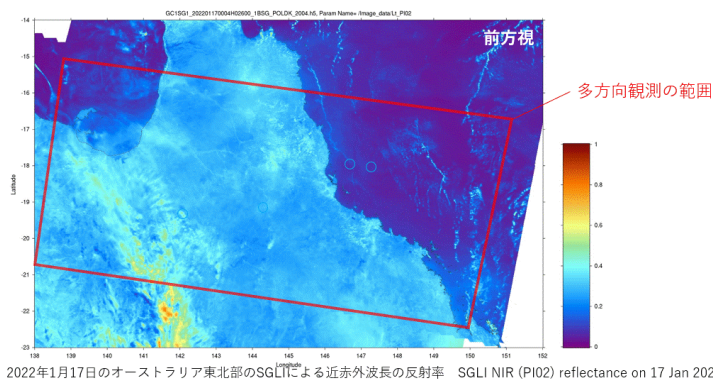


噴火による火山島の消失を「だいち2号」で観測



火山島の周囲に発生する変色水を「しきさい」で観測することにより、火山の活動状況を把握。

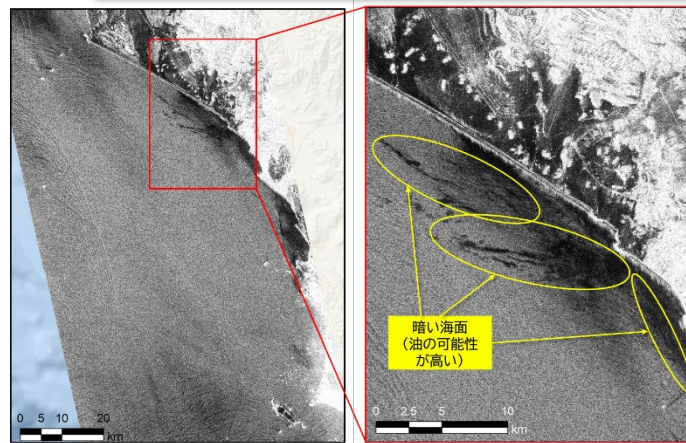
## 噴煙等の地球環境に関する観測



「しきさい」の多方向視により、噴火に伴って広がったエアロゾルが28km程度の高度(成層圏)にまで達していると推定。

2022年1月17日のオーストラリア東北部のSGLTによる近赤外波長の反射率 SGLI NIR (PI02) reflectance on 17 Jan 2022

## 津波によるペルー沖での油流出把握



「だいち2号」により、トンガ火山に起因する津波により発生したペルー沖の油流出事故の状況を把握。



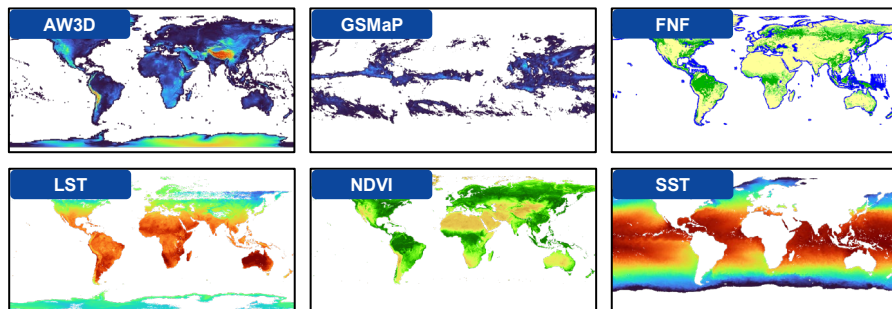


```
import * as je from "../jaxa.earth.esm.js";

const data = await je.getData({
  collection: "https://.../AW3D30.v3.2_global/collection.json",
  catalog: "2021-02/catalog.json",
  band: "DSM",
  width: 1000,
  height: 500,
  bbox: [-180, -90, 180, 90],
});

const cmap = new je.image.ColorMap(0,6000,"jet");
document.body.appendChild(je.image.createImage(data,cmap).getCanvas());
```

ブラウザ上に全球地形データを表示する  
JavaScript版APIの例



...など、約70種のデータセットに対応中

- 2022/6に新規公開、無料で利用可能
- PythonとJavaScriptに対応した衛星データ取得用API (Application Programming Interface)
- Cloud Optimized GeoTIFF (COG)と SpatioTemporal Asset Catalogs (STAC)を利用
- モジュールを読み込んで、メソッドにプロダクト、緯度経度範囲、サイズを指定するだけでデータを入手可能
- 画像では無く、工学値変換後の数値配列として入手可能
- 数値データで入手できるため、任意の可視化処理、統計処理が可能



[data.earth.jaxa.jp](https://data.earth.jaxa.jp)