A satellite in orbit over Earth, with a green data beam being transmitted to the ground.

衛星データ利用事例集

JAXA (CONSEO事務局)

2022年9月

引用する場合は、出典（JAXA「衛星データ利用事例集」、ページ数等）を記載してください。また、原著物を引用する場合には、当該原著物の著作権を確認の上、適切な出所表示をお願いします。また、本事例集を社内で共有いただくことは可能ですが、公開Webサイトへの転載や本事例集そのものを社外へ配布する等の際は、事前にJAXAへご一報をお願いいたします。

概要・目次

- 概要 -

本資料は、衛星地球観測がどのような用途やシチュエーションで利用・活用されているか事例を用いてご紹介する資料です。CONSEO会員の皆様が今後、CONSEOでの議論にご参加する際や新たなデータ利用の検討をされる際の参考資料として活用頂くことを目指して作成しました。

- 目次 -

1.防災

(予防) 天気予報に役立つ、水災害を予測する	4
(状況把握) 浸水や土砂崩落の状況がわかる	6

2.土地利用・インフラ管理

地図の作成に役立つ	9
地盤沈下がわかる	11

3. エネルギー・資源

発電設備に適した場所がわかる	14
----------------	----

4.農林・水産業

(農業) 降水量、土壌水分量、日射量などがわかる	16
(水産業) 海面水温や植物プランクトンなどがわかる	18

5.森林

森林分布やバイオマスがわかる	21
伐採検知ができる	23

6.気候変動

温室効果ガスがわかる	26
地表面温度がわかる	28
海氷の変化がわかる	30

1. 災害対策

(予防) 天気予報に役立つ、水災害を予測する

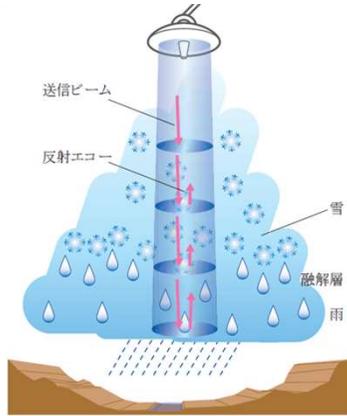
仕組み/元となる科学的知見

■ マイクロ波の観測による水情報の把握

地球上の水物質によるマイクロ波の反射や放射・散乱を人工衛星に搭載するセンサから観測することで、地球上の水情報を取得している。センサは主に以下の二種がある。

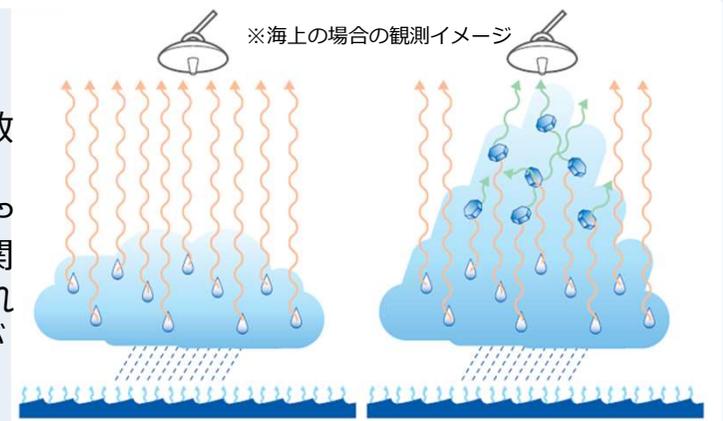
能動型センサー (レーダ等)

電波を照射し雨粒や氷粒からの反射光を観測。反射光の強度から対象物の性質が、受信するまでの時間から対象物までの距離がわかる。正確な3D観測が特徴。



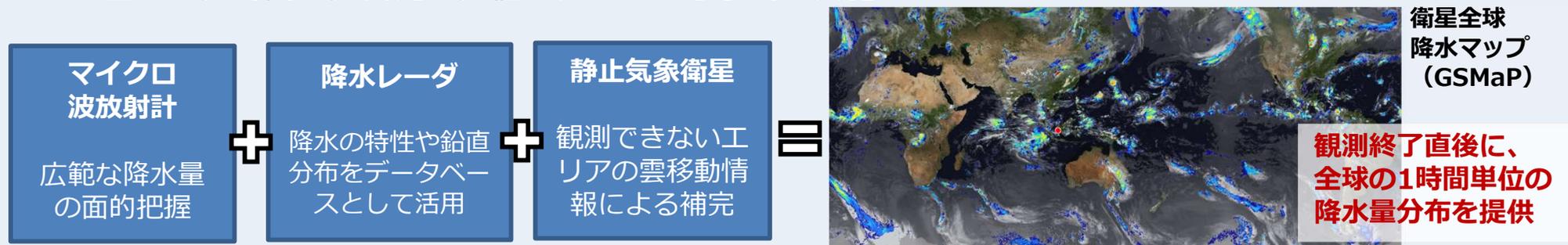
受動型センサー (マイクロ波放射計等)

雨粒や氷粒から放射・散乱される電磁波を受け取って観測。水蒸気量や土壌水分量など、水に関する様々な情報が得られる。広範囲な2D観測が特徴。



■ 1時間毎に更新される全球降水量マップの作成、リアルタイム提供

上記二種のセンサを搭載する衛星からの降水量データと、静止気象衛星（ひまわりなど）からの雲の情報を収集し、それぞれの特徴を活かしつつ複合的に用いることで、全球の降水量のリアルタイム監視が可能に。これに基づく数時間～数日先の数値モデルによる予測も実施。



よく利用されるセンサ (衛星)

- 降水レーダ (衛星: GPM主衛星、1機)
- マイクロ波放射計 (衛星: GPM主衛星、GCOM-W、など複数)

(予防) 天気予報に役立つ、水災害を予測する

公共利用

■ 太平洋島嶼国での降水のリアルタイム監視



ソロモン気象局

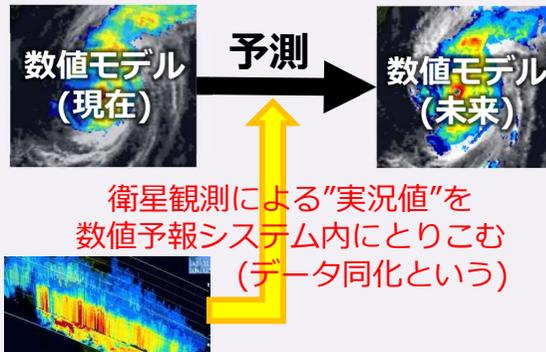
GSMaPウェブサイトにて島の周辺海上のサイクロン等に伴う雨量をリアルタイムに監視。

アウトカム

・豪雨に関わる災害の発災前からの監視や予測に貢献。

■ 衛星観測による気象予報の改良

衛星データを気象庁の数値予報システムに取り込むことで、予測精度が向上。



■ 陸域シミュレーションによる洪水予測

高度化した気象予報データやその他衛星観測データを用いた陸面シミュレーションにより洪水予測が可能に。地方自治体での利用実証や民間企業との共同研究も開始。



2019年台風19号の堤防決壊142地点の内130地点で危険の高まりを事前予測。(NHKスペシャル『“最強”台風接近 どう守る 命と暮らしに』より抜粋・加筆)

ビジネス利用

■ 国内一般向け、海外の降水予測情報の提供

日本気象協会天気予報専門メディア「tenki.jp」
[tenki.jp x JAXA世界の雨雲の動き]ウェブサイト
から国内一般向け世界の気象情報として、
GSMaPを利用した3時間先までの降水予測を提供中。

■ 農家が干ばつに備える天候インデックス保険 →詳細はp19参照

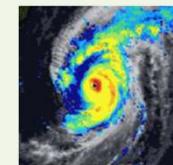
アウトカム

・世界の雨に関わるサービスの提供が可能に。
・長期降水量データから、干ばつなどの情報としてビジネスに活用。



サイエンス利用

地球温暖化の進行とともに、台風に伴う強風と降水が激甚化することが予測されており、防災の観点からも早期に台風の“進路”だけでなく“強度”を正確に予測する必要があるが、“強度”の予測は未だ難しく研究開発・改良段階にある。



台風は発達段階によって構造が変わる

↓
GSMaPから構造をとらえる

GSMaPデータに基づく台風の内部構造（降水域比率・最大降水半径など）に関わる指標を新たに考慮することで、台風強度予測の精度改善が確認されている (Shimada et al. 2018)

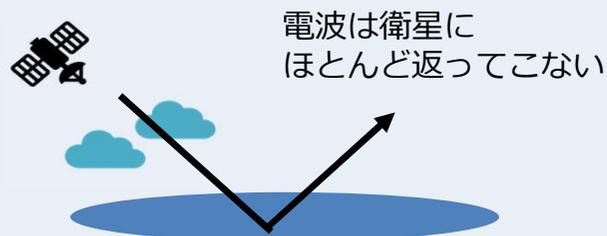
(状況把握) 浸水や土砂崩落の状況がわかる

仕組み

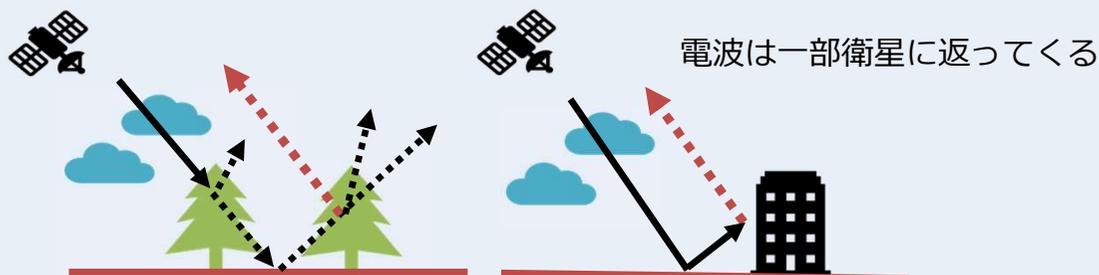
■ 浸水域の見つけ方

水害の際は雨雲に覆われていることが多いため、雲があっても地上の様子が見えるSAR（合成開口レーダ）がよく利用される。浸水箇所はSARの信号値が低下するという仕組みを利用して、浸水箇所を把握できる。

水面等の滑らかな地表



森林・都市域などの粗い地表



■ 土砂崩落の見つけ方

【SARの利用】土砂崩落では、地滑りで地表面が滑らかになる箇所がある一方、崩れた土砂等の堆積で地表面が粗くなる箇所がある、という特徴的なパターンを検出する。（ただし目視ではかなり難しい）

【光学センサの利用】雲がなければ、目視でも直感的に土砂崩落箇所がわかる。また、正規化植生指数（NDVI）を利用して植物の有無を際立たせることもできる。

また、森林伐採等の人工的な土地改変と区別するために、発災直前の光学画像を利用することで検出精度を向上させることもある。



発災前



発災後



©EO browser, Sinergise Ltd.

よく利用されるセンサ（衛星）

- 合成開口レーダ（SAR）（衛星：だいち2号、Sentinel-1など）
- 光学センサ（衛星：Sentinel-2、SPOT、WorldViewなど）

(状況把握) 浸水や土砂崩落の状況がわかる

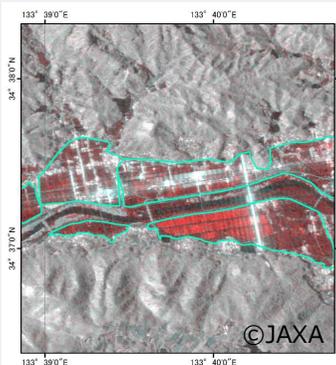
公共利用

■ 国内の防災機関に提供し、初動対応に活用
JAXAでは、衛星画像から浸水域や土砂崩落域の情報を抽出し、国交省などの防災機関に提供している。衛星は、ヘリやドローン等より広域を観測でき、また特にSARは夜間・悪天候時でも観測可能であるため、特に初動対応に活用されている。

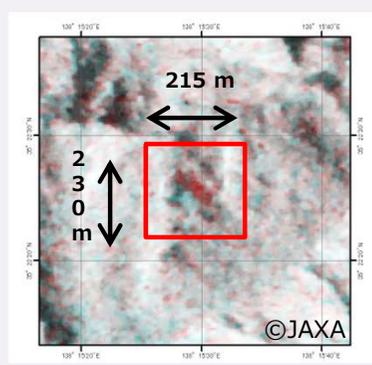
浸水域 (SAR)

土砂崩落 (SAR)

発災前画像を赤、発災後画像を青と緑に割り当ててRGBカラー合成したもの

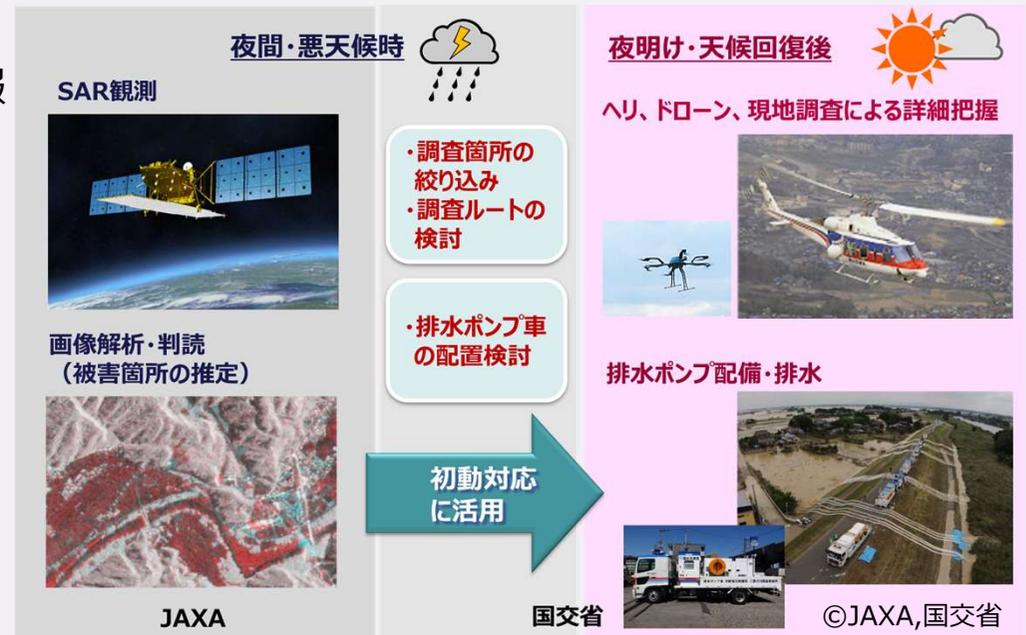


浸水が疑われる箇所



土砂崩落が疑われる箇所

JAXAと国土交通省との連携



センチネルアジアの緊急観測支援衛星



国際協力

JAXAは「センチネルアジア」・「国際災害チャータ」という、災害発生時に衛星画像を提供し合う国際的な防災枠組みに加盟しており、主に「だいち2号」(ALOS-2)の衛星データと解析結果の提供を行っている。

アウトカム

- ・災害対応の初動対応に利用 (排水ポンプ車の配置など)
- ・復興計画の策定に利用

ビジネス利用

■ 損害保険金の支払い迅速化：迅速に浸水範囲や浸水深を把握し、迅速な保険金支払いに繋げる



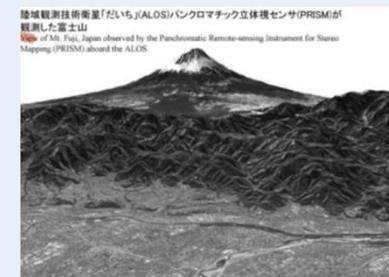
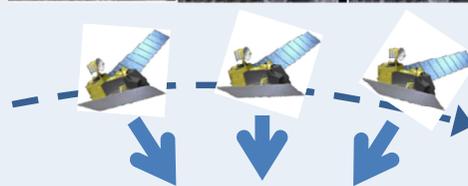
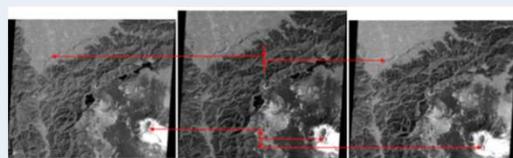
2. 土地利用・インフラ管理

地図の作成に役立つ

仕組み

■ 光学衛星のステレオ視（立体視）による3次元地図の作成

異なる方向から観測することによって、観測データに地上の高さ（標高、地形）によって位置のずれ（視差）が生じる。これを合成することで3次元データを作成可能。



■ ライダ衛星データによる3次元地図の作成

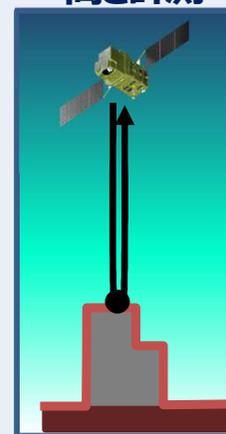
ライダーとは、レーザー光を使ったレーダであり、衛星から発したレーザー光について地表から跳ね返ってきた光を衛星で観測します。このレーザー光が返ってくる時間を測ることで対象までの距離が分かります。

また、レーザーの波長により見えるものが異なり、1064nmの波長では固い構造物（地面、人工物、樹木）が、532nmでは水中（浅瀬）の構造物や雲・エアロゾル、355nmでは大気やオゾン層等の、様々な鉛直方向の情報を収集できるのがライダーの特徴です。

ライダーによる観測情報は、レーザーが当たったスポット（点）の情報に限られますが、光学衛星のステレオ視では難しい森林下の地形の把握などが可能となります。

(<http://www.wanpug.com/illustration/illustration4931.png>)

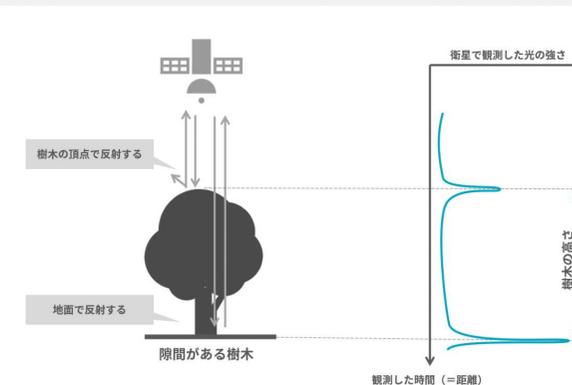
ライダーによる高さ計測



ライダーによる森林の樹高の計測

ライダーを使って樹木の高さを測定する

雷畑



衛星搭載ライダーのキホン～事例、分かること、仕組み、種類、衛星～ | 雷畑 (sorabatake.jp)

よく利用されるセンサ（衛星）

- 合成開口レーダ（SAR）（衛星：だいち2号、Sentinel-1など）
- 光学センサ（衛星：Sentinel-2、SPOT、WorldViewなど）
- ライダ（衛星：Icesat、Icesat2、GEDIなど）

地図の作成に役立つ

公共利用

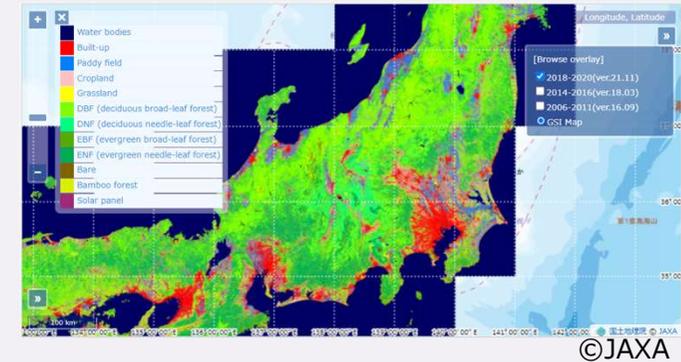
■ 離島・海外の地図作成

国土地理院は、だいち(ALOS)の光学センサデータを活用して離島の位置を調査し、地形図の更新を実施。これにより硫黄島は約25年ぶりに地形図が更新された。

■ 土地被覆図の作成

JAXAでは、光学画像(ALOS, Sentinel-2, Landsat-8)やSAR(ALOS,ALOS-2)を元に、高解像度な土地利用土地被覆図を作成。SDGs指標(土地利用率の比率、山地植生指数等)の計算や、防災分野などで広く活用されている。

高解像度土地利用土地被覆図



ビジネス利用

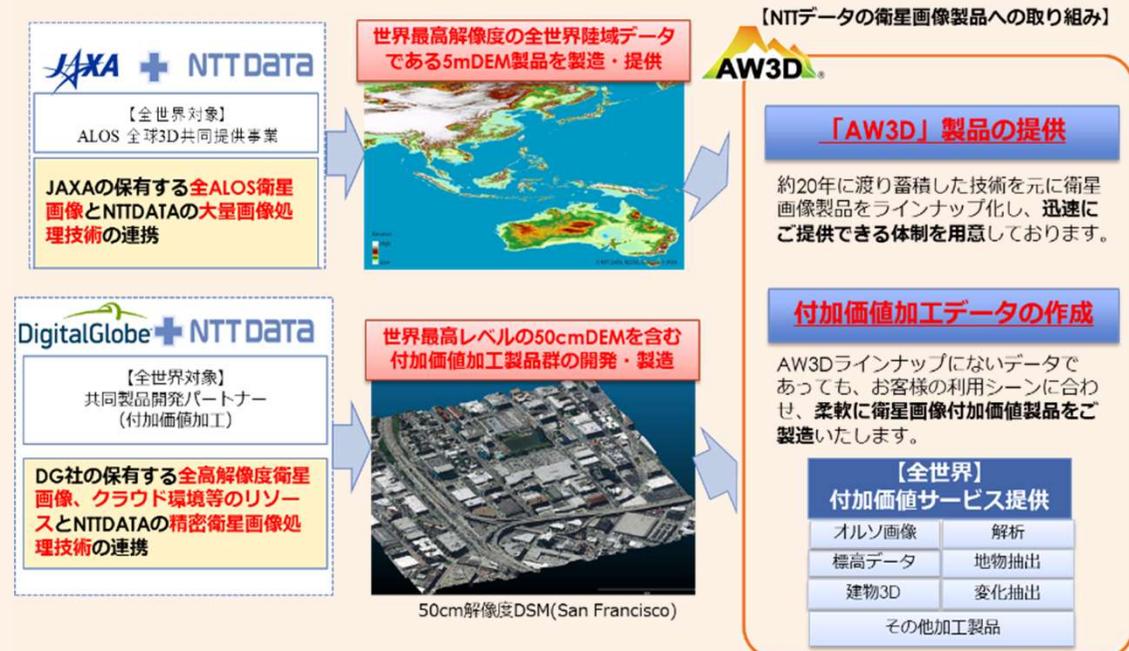
■ 3次元地形図の作成

第3回宇宙開発利用大賞 総理大臣賞 受賞

全世界デジタル3D地図サービス「AW3D」 (NTTデータ・RESTEC)

2.5m解像度で世界中の陸地の起伏を表現したデジタル3D地図サービス。「だいち」(ALOS)と、Maxar社の衛星画像を活用。

【主な利用先】特にアジアやアフリカなどの新興国において、地図整備、防災対策、電力分野の発電計画、資源分野の鉱区探査、衛生分野における疫病の感染拡大の対策、都市計画や設備計画に活用されている



地盤沈下がわかる

仕組み

■ 地盤の変動の見つけ方

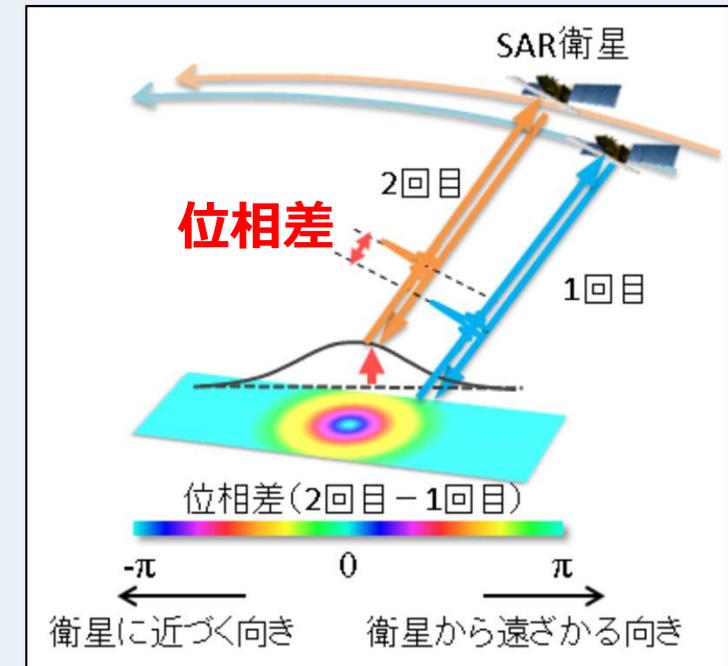
合成開口レーダ衛星が発する電波により、衛星と地表面の距離変化を、時期の異なる2枚の画像の位相差から計算することで、地盤面の沈降や隆起を見つけることができる。

時系列に十数枚以上データを重ね合わせる解析（時系列干渉SAR解析）により**各種ノイズを低減**させ、**年間数mmオーダー**の変動も検出可能。

■ モニタリング手法の比較

衛星データは、時間分解能が粗く、解析・解釈に専門性が必要だが、**機材設置、現地作業不要**で計測が可能であることが特徴。

	衛星SAR解析		航空レーザ測量		水準/GPS測量	
機器準備	不要	○	必要	×	必要	×
現地作業	不要	○	必要	×	必要	×
計測範囲	ALOS-2：50km四方	○	面	△	点	×
空間分解能	数m	△		○		-
時間分解能	年4回程度	×		×		○
値	相対値	△	相対値	△	絶対値	○
計測精度	高さ相対精度： 0.23cm (消波ブロック) 位置精度：数m (1画素3m四方)	△	高さ精度：±15cm 位置精度：1m程度	△	mm～cm 測定の等級や 基準点からの 距離による	○



■ ここに注意！

- 観測期間中の対象物の表面形状・凸凹具合は同一である必要がある。
- 広域・連続的な変化は捉えやすいが、狭範囲・不連続・急峻な変化は捉えるのが困難。
- 得られる位相差(地表面変動)は、絶対的な変動値ではなく、解析画像範囲内における相対的な変動値である。

よく利用されるセンサ（衛星）

- 合成開口レーダ（SAR）（衛星：だいち2号、Sentinel-1など）

地盤沈下がわかる

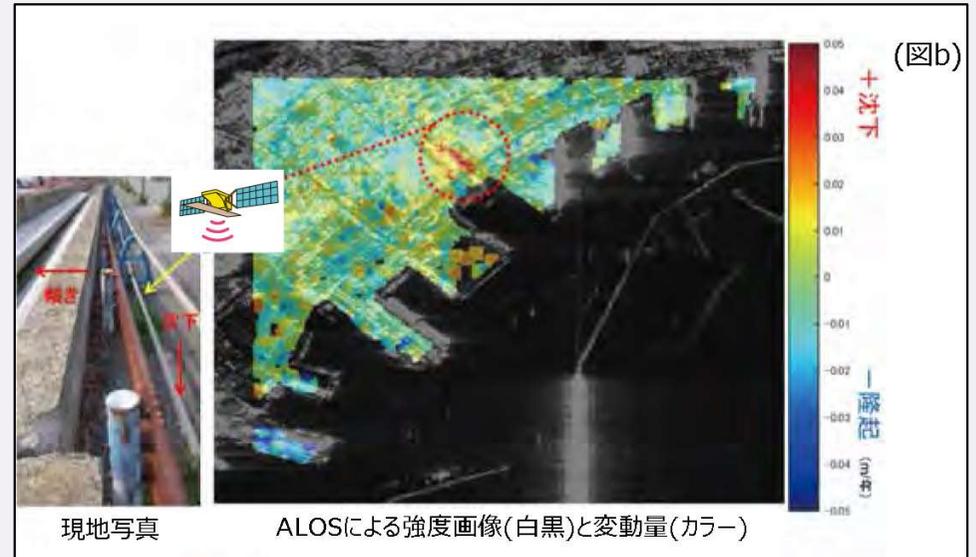
公共利用

■ 港湾施設の変状把握

右図にある通り、画像の赤丸が、経年微小変化の大きい箇所を抽出したもので、施設管理者より変状の可能性が指摘されていた箇所と一致。

■ 河川堤防の変状把握

衛星による干渉SAR時系列解析で沈下傾向を定期的に把握し、管理者に情報提供することで補修計画や点検計画の立案等の意思決定に役立ちます。



アウトカム ・インフラの補修計画や典型計画の立案

ビジネス利用

■ インフラモニタツール (ANATIS)

- ・コンサルや調査・測量会社等からのニーズを踏まえ、合成開口レーダ衛星データを利用したことがないユーザでも容易に利用（可能な限り自動化）できるように設計。
- ・ツールによる解析には衛星画像とメモリが32GB以上の市販PCを用意するのみで操作可能
- ・解析対象としたいエリアをGoogleEarth（©Google）上や言語検索で指定することで、その後の画像選定や結果出力を自動で実施
- ・解析結果を画像やcsvで保存したりGoogleEarth上に重畳して確認したりすることも可能

詳細はコチラ:

<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2019/08/30/2938/index.html>



3. エネルギー・資源

発電設備に適した場所がわかる

仕組み

■ 再生可能エネルギーにつかる物理量の観測

- 再生可能エネルギーとして、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存在する熱、バイオマスが想定される。
- これらのエネルギーが獲得できるのか、自然の力を利用するために適地の選定が必要となる。
- そのため、3次元計測可能な高分解能系光学衛星による地形把握による風力や水力の推定、ハイパースペクトルセンサによる樹種分類、土壌評価、土地被覆や環境の評価、熱赤外センサによる地熱の把握や合成開口レーダによる沿岸海上風や海流等による海上風力を把握する仕組み。

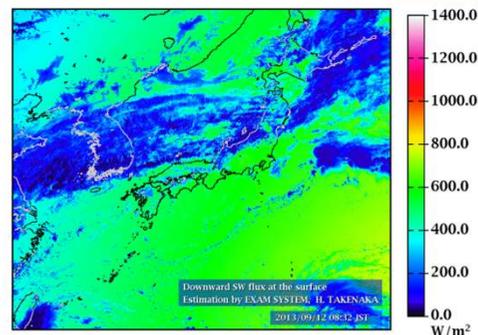
よく利用されるセンサ（衛星）

- 気象衛星（ひまわり）
- 降水レーダ（衛星：GPM主衛星、1機）
- マイクロ波放射計（衛星：GPM主衛星、GCOM-W、など複数）
- 合成開口レーダ（衛星：ALOS-2）

ビジネス利用

■ ひまわりによる太陽光発電量の推定（第4回宇宙開発利用大賞受賞）

静止気象衛星「ひまわり」により準リアルタイムの日射量推定システムを利用することで、太陽光発電システムの発電量の推定と故障検出などが可能。



日本領域の太陽放射

詳細はコチラ: [太陽放射コンソーシアム \(amaterass.org\)](http://amaterass.org)



4. 農業・水産業

(農業) 降水量、土壌水分量、日射量などがわかる

仕組み/元となる科学的知見

- 様々な衛星から観測された農業気象情報を農作物の生育状況把握に利用
 - ・ 光学、マイクロ波放射計、降水レーダなどのセンサから降水量、温度、日射量、土壌水分量などを観測することが可能
 - ・ 作物生育に重要なこれらの農業気象情報を複合的に利用することで、作物の生育状況の把握に貢献



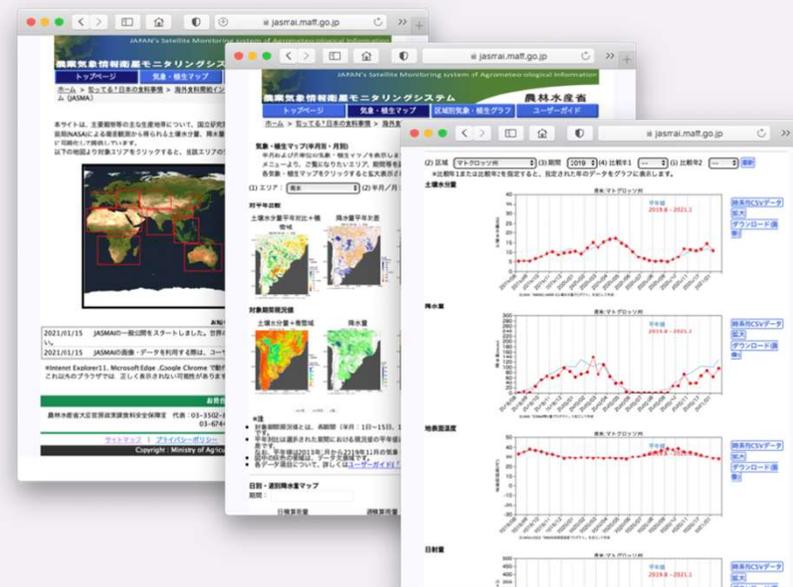
よく利用されるセンサ (衛星)

- 光学センサ (GCOM-C, ひまわり) ■ 降水レーダ (衛星: GPM主衛星)
- マイクロ波放射計 (衛星: GPM主衛星、GCOM-W、など複数)

公共利用

- 作物の収量見通し等に重要な農業気象をグローバルに把握
 - ・ JAXAが公開している降水量、土壌水分量、日射量、地表面温度などの衛星プロダクトを利用して、農水省が海外の主要耕作地の気象情報等を地図上やグラフ形式で可視化して提供
 - ・ 主要耕作地が干ばつや熱波、多雨などによって、どのような状況となっているかグローバルに把握することが可能

農水省 農業気象情報衛星モニタリングシステム (JASMAI)
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/jasmai/index.html>



アウトカム

・ 国内外の食料安全保障関連の情報収集や政策立案に貢献

ビジネス利用

■ 衛星データを活用した「宇宙ビッグデータ米 宇宙と美水」の開発 (第5回宇宙開発利用大賞受賞農林水産大臣賞)

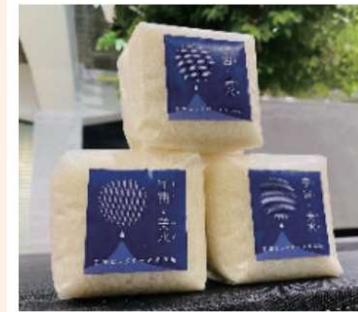
株式会社天地人 櫻庭 康人氏

株式会社神明 米穀事業本部 古満 考雄氏

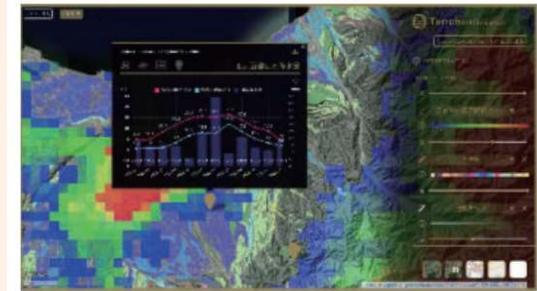
株式会社笑農和 下村 豪徳氏

農業現場では地球温暖化による予期せぬ高温障害の発生や、生産者減少に伴う労働力の不足が課題となっており、農家の勘だけに頼らない米の生産技術の確立や、労力削減につながるソリューションが求められている。そこで宇宙ビッグデータを活用し、栽培場所と栽培品種の最適なマッチングと、衛星データとIoT水門を連携させた自動水温管理による米の生産に成功した。またその米をブランド化し広く販売した。

[宇宙開発利用大賞 受賞事例集 P14 \(space-award.jp\)](http://space-award.jp)



宇宙ビッグデータ米



天地人コンパス

■ 地球観測衛星データを活用した天候インデックス保険の開発 (第2回宇宙開発利用大賞受賞内閣府特命担当大臣(宇宙政策)賞)

損害保険ジャパン日本興亜株式会社、損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント株式会社

日本などの地球観測衛星から推定された雨量(GSMaP)を活用し、ミャンマーの小規模農家を対象にした『天候インデックス保険』を一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC) と共同で開発した。

その結果、地上気象観測データに関するインフラが整備されていない途上国においても、『天候インデックス保険』を開発できることを実証した。『天候インデックス保険』は、気候変動に対する適応策として注目されているものであり、今後は、本技術も活用して、ミャンマーだけでなく、気象災害に脆弱な東南アジアの多くの小規模農家に対して、『天候インデックス保険』を積極的に展開していく。

■ ミャンマー専用の天候インデックス保険

対象地域	ミャンマーの中央乾燥地帯 (マゲウェ管区、ザガイン管区など)
保険対象者	対象地域の農家
対象作物	米、ゴマ
対象リスク	干ばつ(雨季の少雨リスク)
補償内容	GSMaPの雨量が事前に定めた値を下回った場合に、事前に定めた金額を保険金としてお支払いします。



(引用元: <http://en.wikipedia.org/wiki/Burma>)

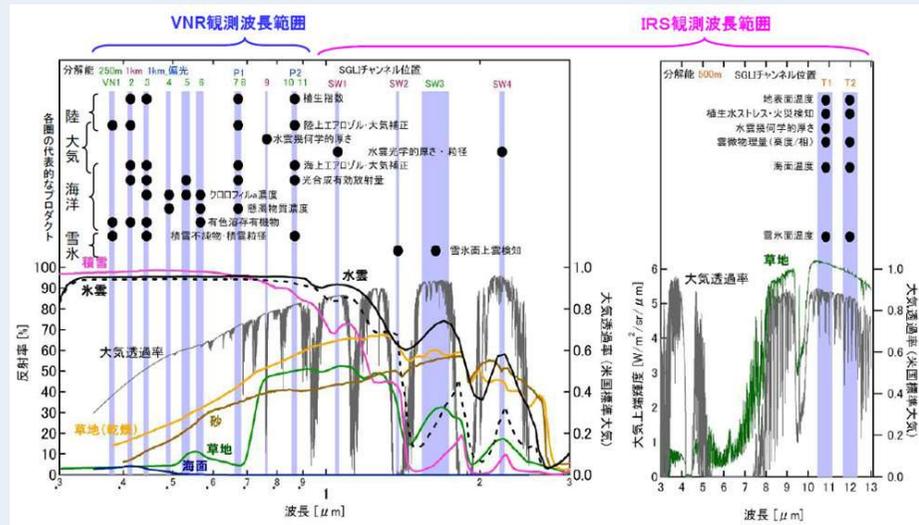
アウトカム

- ・ 農作物の労働力削減、作物のブランド化
- ・ 農林水産業における新たなビジネス創出

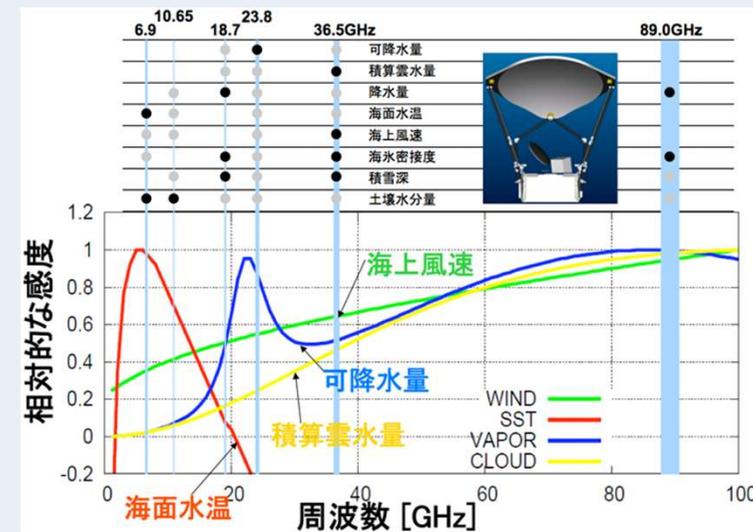
(水産業) 海面水温や植物プランクトンなどがわかる

仕組み/元となる科学的知見

- マルチチャンネルで広範囲かつ高精度で観測することができる光学センサにより、地上から放射される近紫外から熱赤外域波長の光の強度を測定。
- マイクロ波放射計により、地表面や海面、大気などから自然に放射される微弱なマイクロ波帯の電波を測定し、地球物理量を推定。



気候変動要因となる物理量と光学センサ (SGLI) 観測波長の関係



マイクロ波放射計 (AMSR2) の観測周波数と物理量の関係

よく利用されるセンサ (衛星)

- 多波長光学放射計 (SGLI) (気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C))
- 高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) (水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W))

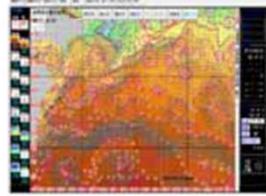
(水産業) 海面水温や植物プランクトンなどがわかる

公共利用

■ 水産業における宇宙分野の活用状況

沖合・遠洋漁船への漁海況情報の提供

人工衛星データを基にした海水温の広域分布図や各種海洋データを集約して、水塊、黒潮などの海流の方向流速等の情報を見える化し、漁業者に提供している。

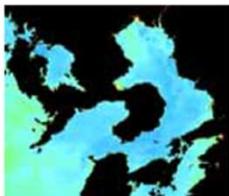


水温分布図に漁船から聞き取った漁場の情報を組み合わせ、日本周辺の漁海況情報を作成し提供。

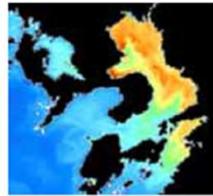


赤潮の発生状況の情報提供

人工衛星のクロロフィル画像から珪藻赤潮を判別する技術を用いて、漁業者等に対し、ノリの色落ち対策等に対応するため、養殖施設の移動やノリの早期収穫等の対策の実施を促す情報提供を一部海域で実施。



赤潮発生時の水温画像



赤潮発生時のクロロフィル濃度分布画像

(宇宙政策委員会基本政策部会第3回会合資料「農林水産業における宇宙分野の利用拡大について」(令和元年11月農林水産省)より)

ビジネス利用

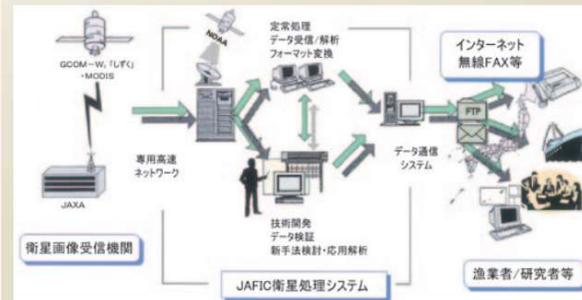
■ 海況情報を漁業者へ提供する情報サービスへの衛星利用 (平成25年度宇宙開発利用大賞)

一般財団法人漁業情報サービスセンター

1985年以来、衛星情報を利用した漁場の探索技術を確認し、衛星利用海況情報を広く漁場者へ提供することにより、科学と縁遠い「勘と経験の漁業」と「先端技術の宇宙開発」とを結びつけ、漁場の近代化をもたらした。この結果、①高騰する燃油が16.1%節約できた。②衛星情報を得るためにパソコンを搭載する漁船が増加した。③漁業の近代化により若い船頭が増加し、漁業の最大の課題である後継者の育成の寄与した。



漁船における衛星情報利用



漁業情報サービスセンター (JAFIC) の衛星データ処理解析提供システム

<http://www.uchuriyo.space/taishou/pdf/3-3-1.pdf>

5. 森林

森林分布やバイオマスがわかる

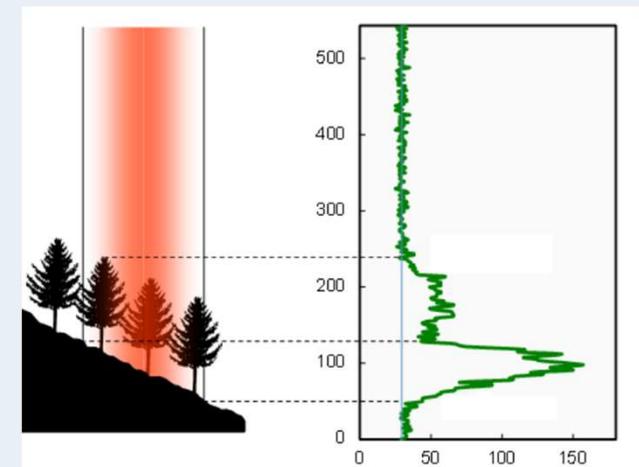
仕組み/元となる科学的知見

■ 森林地図の作成

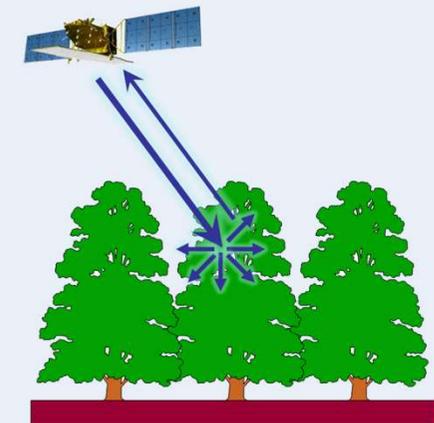
光学センサや合成開口レーダ（SAR）などの画像データを入力とした画像分類により、森林・非森林を区分した分布地図が作成される。

■ 森林バイオマスの推定

衛星ライダーはレーザー光の反射波形を観測しており、波形には森林の鉛直構造が反映されるため、樹高や森林バイオマスの推定に利用される。ただし、衛星ライダーは離散的な点位置での情報のため、光学センサや合成開口レーダ（SAR）などの画像データから森林バイオマス地図を作成する際、推定モデル構築の教師データとして利用されることが多い。また、SARは森林での体積散乱を後方散乱信号として観測しており森林バイオマスと相関が高く、バイオマス地図作成によく利用される。



衛星ライダーの観測概念図



合成開口レーダの観測概念図

よく利用されるセンサ（衛星）

- 合成開口レーダ（SAR）（衛星：だいち2号、Sentinel-1など）
- 光学センサ（衛星：Landsat、Sentinel-2、SPOTなど）
- ライダ（衛星：Icesat、Icesat-2、GEDIなど）

森林分布やバイオマスがわかる

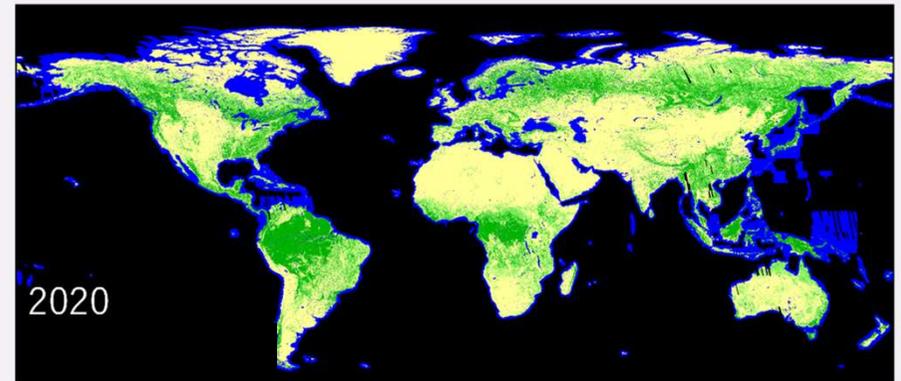
公共利用

■ 森林資源の把握

JAXAが無償公開している全球森林・非森林マップをはじめとして、全球スケールの森林地図や森林バイオマス地図は複数存在しており、国レベルなど広域での森林資源の把握に利用できる。

■ 気候変動対策での利用

森林バイオマスの約半分は炭素重量であり、気候変動対策において必要となる排出係数（単位面積当たりの炭素蓄積量）の推定に利用できる。また、パリ協定のグローバル・ストックテイクで求められる森林の炭素吸収量算定にも貢献でき、地球観測衛星委員会（CEOS）では信頼性の高い全球森林バイオマス地図を検討するなど、関係機関が対応を進めている。



アウトカム

・ 国レベルでの森林分布や森林炭素蓄積量の把握

JAXAの全球森林・非森林マップ

ビジネス利用

■ 炭素クレジットの算出

森林の炭素吸収量にもとづいて得られる炭素クレジットについて、森林バイオマス地図を利用することで効率的な算出が期待される。

■ 林業における森林蓄積把握

林業で必要とされる材積は、森林バイオマスを木材の容積密度で割り算すること換算できる。材積の分布情報は、森林所有者や森林組合などが森林管理をおこなううえで必要とされる。

アウトカム

・ 効率的な炭素クレジット算出、森林資源把握

サイエンス利用

■ 炭素循環研究

全球炭素循環において森林など陸域生態系の炭素収支の不確実性が最も大きい。森林バイオマス分布情報をモデル計算と併用することで、その不確実性の低減が期待される。

アウトカム

・ 炭素収支の解明

伐採検知ができる

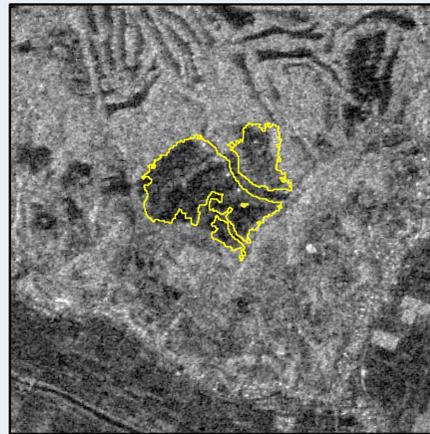
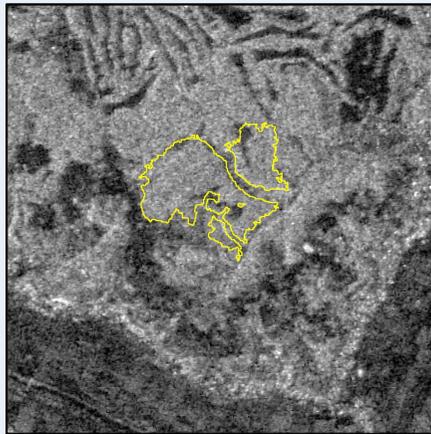
仕組み/元となる科学的知見

■ 合成開口レーダ (SAR) を利用した伐採検知

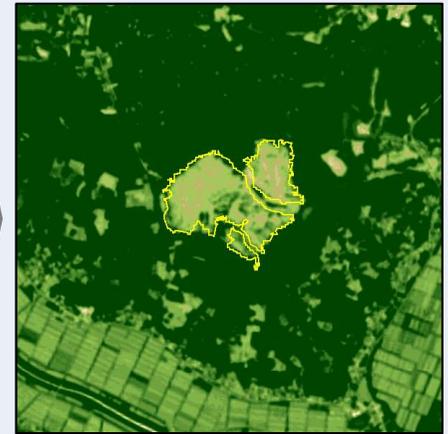
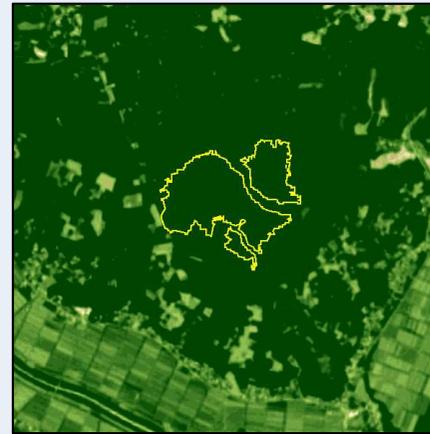
2時期またはそれ以上の多時期の画像の変化から伐採地を検出できる。なかでも、HV偏波で観測された画像上で暗く変化する領域を抽出する手法などがよく用いられる。

■ 光学センサを利用した伐採検知

同様に、2時期またはそれ以上の多時期の画像変化を利用する。正規化植生指標NDVIが低下した領域を抽出する手法や、近年では深層学習 (AI) による手法などが利用されている。



伐採にともなう合成開口レーダPALSAR-2画像の変化



伐採にともなう光学衛星Sentinel-2のNDVI画像の変化

(図引用 : <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>)

よく利用されるセンサ (衛星)

- 合成開口レーダ (SAR) (衛星 : だいち2号、Sentinel-1など)
- 光学センサ (衛星 : Landsat、Sentinel-2、SPOTなど)

伐採検知ができる

公共利用

■ 違法伐採の監視

JICA-JAXAが運用するJJ-FASTや、米国メリーランド大学が運用するGLAD Alertなど、熱帯地域を対象に伐採地情報を定期的に無償提供するシステムが稼働しており、違法伐採の取締りに活用されている。

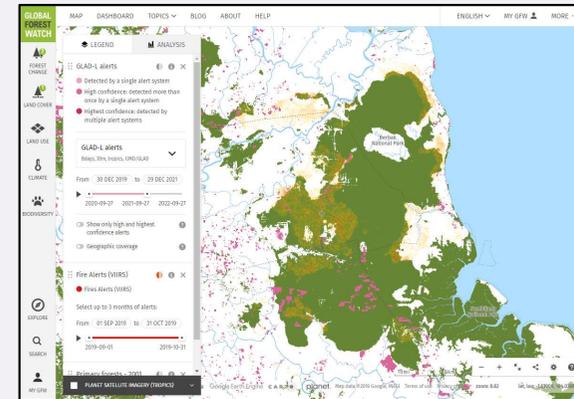
■ 森林管理の効率化

伐採検知情報と伐採届とを比較することで不適切な伐採がおこなれていないか把握し、効率的に現地確認ができるため、近年、国内自治体で普及している森林クラウド上で利用されつつある。



JJ-FAST

(図引用 : <https://www.eorc.jaxa.jp/jjfast/>)



GLAD Alert

(図引用 : <https://www.globalforestwatch.org/map/>)

アウトカム

- ・ 違法伐採の抑制（主に熱帯地域）
- ・ 伐採届の確認業務の効率化（国内）

ビジネス利用

■ 伐採検知情報の提供事業

地方自治体や森林組合などに向けて定期的に伐採検知情報を提供するビジネスが、国内企業によって事業化されている。

アウトカム

- ・ 森林管理の効率化

6. 気候変動

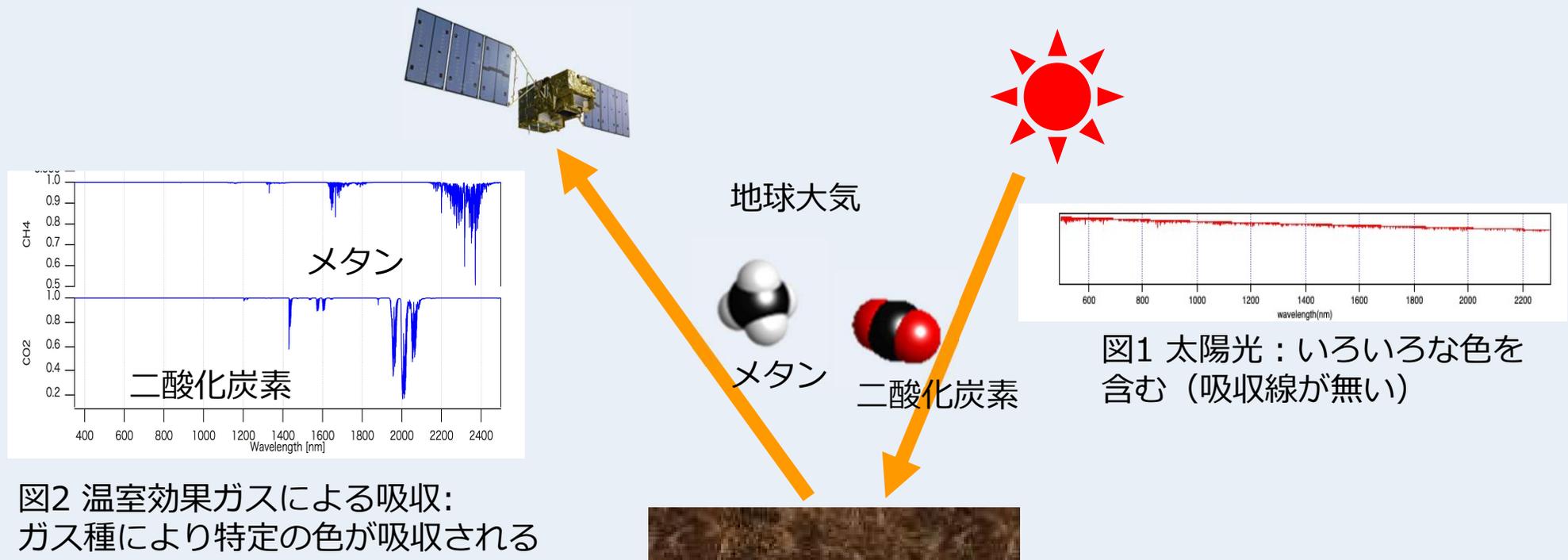
温室効果ガスがわかる

仕組み

■ 温室効果ガスの見つけ方

温室効果ガス(二酸化炭素やメタンなど)は、それぞれのガス種が固有にもつ特性(特定の色を吸収する)を利用し、色の違い、吸収の深さでガス種とその濃度を測定する。

地球大気の上端において、太陽光はいろいろな色を含む(図1)。この光が大気を通り、地球表面に降り注ぎ、地球表面で反射された光を人工衛星がキャッチする。その際、地球大気に存在する温室効果ガスにより一部の色(波長)が吸収される(図2)。人工衛星では、色毎の光の強さを観測し、そのデータを解析し、地上で温室効果ガス濃度を求める。



よく利用されるセンサ(衛星)

■ 大気分光センサ(衛星：いぶき、いぶき2号、OCO-2、Sentinel-5P/TROPOMI など)

温室効果ガスがわかる

サイエンス利用

公共利用

■ 炭素循環解明に向けて

いぶきは、衛星からの温室効果ガス観測を12年以上の長期にわたり継続し、地球上の温室効果ガス濃度の変化を捉えている（図1）。これらのデータは国際的なサイエンスコミュニティに提供され、炭素循環解明に向け活用されている。

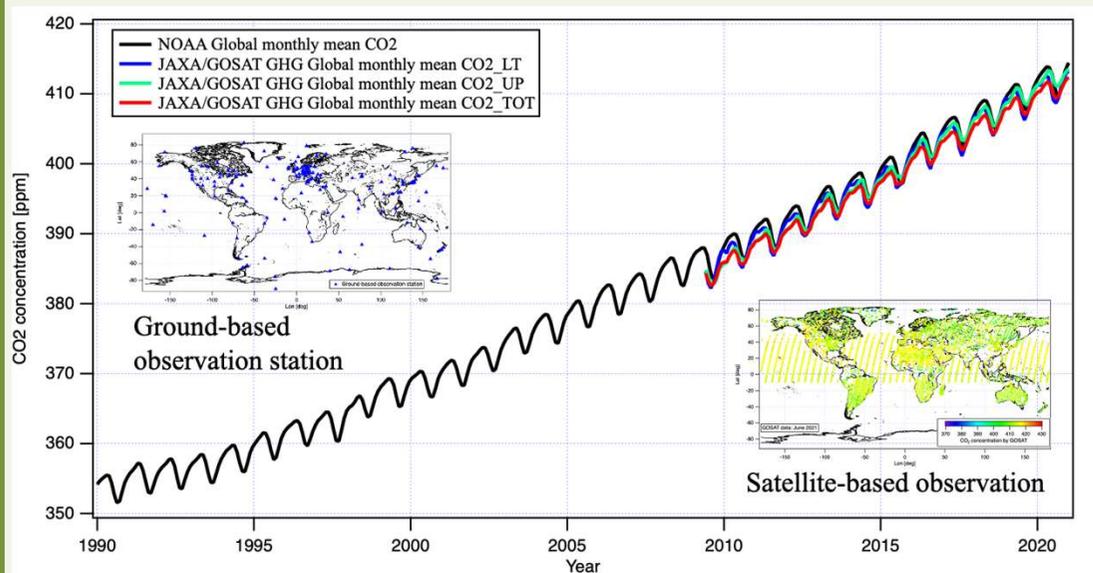


図1 いぶきが捉えた地球上における温室効果ガス濃度の長期変化

■ **カーボンニュートラルを目指して**
気候変動に関する政府間パネル（IPCC）ではインベントリ（ある年のGHG排出・吸収量をまとめた目録）ガイドラインを作成しており、2019年の改訂において大気観測結果との比較において、いぶきを含む衛星観測の利用について言及されている。

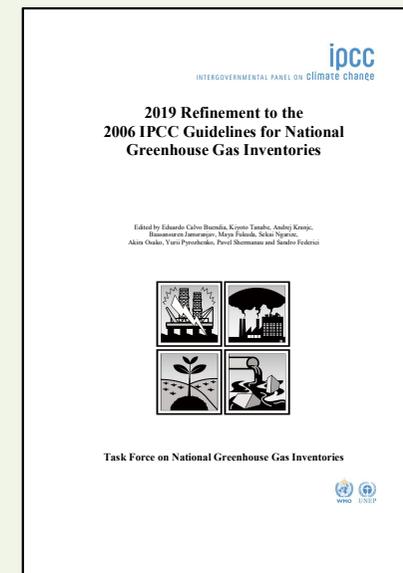


図2 IPCCインベントリガイドライン

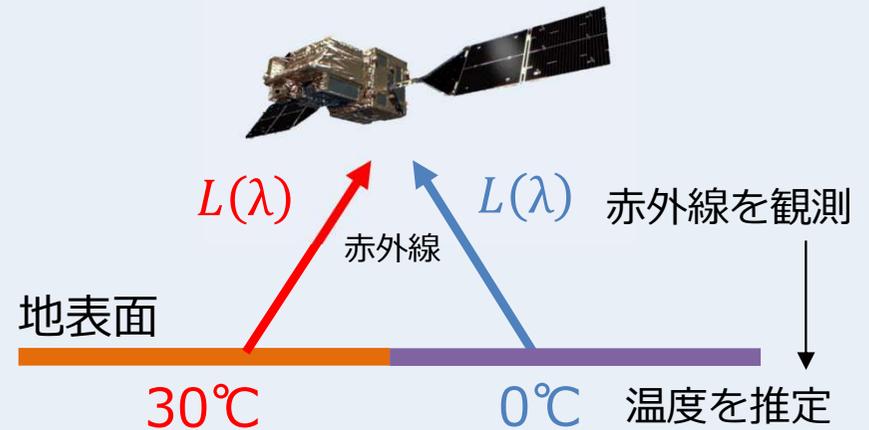
地表面温度がわかる

仕組み

■ 地表面の温度の求め方

全ての物体は、その温度に応じて電磁波を出している。
人工衛星では地球の表面から放射される赤外線強度を
観測することによって地表面温度を推定している。

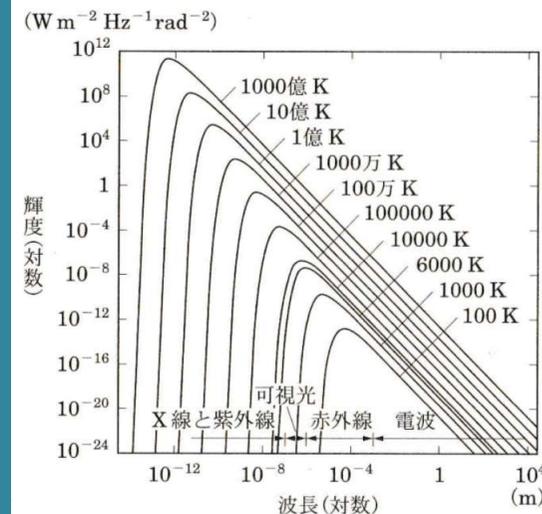
実際には地表面から放射された赤外線は、人工衛星に
届くまでの間に存在する大気の影響によって散乱・吸収
されるため、その影響を補正して温度を算出している。



プランクの法則

地表面の温度 T_b は、プランクの法則を用いると
観測された光の波長 λ と、輝度 $L(\lambda)$ から次のように
求めることができる (c_1, c_2 は定数)。

$$T_b(\lambda, L) = \frac{c_2}{\lambda \ln \left(\frac{c_1}{L(\lambda)\lambda^5} + 1 \right)}$$



地球の気温程度 (300K)
では赤外線が主だが、
温度が高くなると
紫外線やX線となる。

参考: 天文学辞典
(<https://astro-dic.jp/plancks-law/planck-law-1/>)

よく利用されるセンサ (衛星)

- 赤外線センサ (衛星: しきさい、ひまわり8号、Terra、Aqua、Landsat8など)

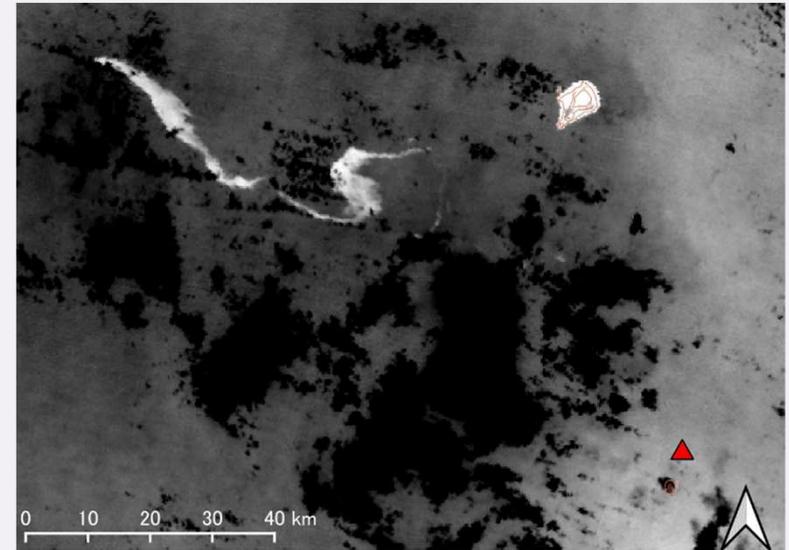
地表面温度がわかる

公共利用

■ 軽石の分布に関する情報を提供

2021年8月に発生した福徳岡ノ場噴火による影響で、大量の軽石が日本近海に漂流していた。軽石は海水と比較して比熱容量が小さく、日中は海面水温より高い温度となるため、衛星画像から軽石の分布を推定することができる。
(実際には可視、近赤外の波長も使用して情報を提供)

アウトカム ・ 災害時における温度に関連する情報を臨機応変に提供



「しきさい」の熱赤外画像。軽石は海面より温度が高いため白く見えている。黒く見えているのは雲。

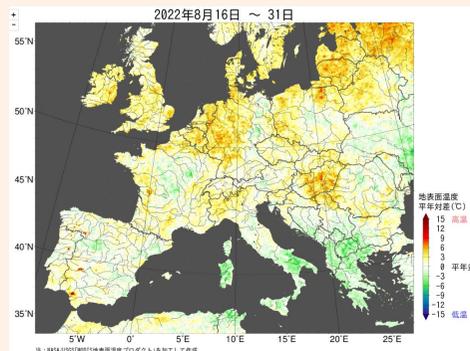
ビジネス利用

■ 農作物の収穫量予測に資する情報を提供

農林水産省と連携の元、世界の食料・農産物の需給動向、見通しに資する衛星観測データ（地表面温度等）を提供。

アウトカム

- ・ 世界のあらゆる場所における農業及び、食料需給の把握を支援



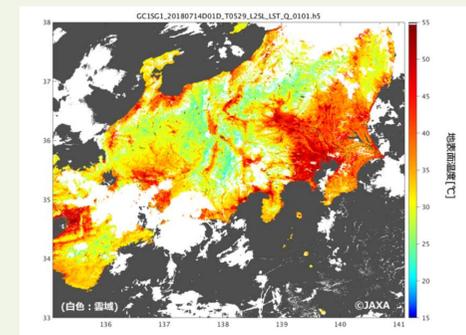
ヨーロッパの地表面温度偏差
(平年値との差分)

参考：JASMAI (<https://jasmai.maff.go.jp/>)

サイエンス利用

■ 気候変動に伴う熱波を観測

地球温暖化に伴う酷暑や熱波の影響を広範囲かつリアルタイムに捉えることができる人工衛星によって可視化。



「しきさい」が捉えた地表面温度(2018/7/14)。関東地方で高くなっていることが分かる。

海氷の変化がわかる

仕組み

■ 海氷の分布を宇宙から測る

地表面は常に微弱な電磁波を宇宙に向かって放出している。特に波長が1 mm~1 m程度の電磁波をマイクロ波と呼び、「しずく」などに搭載されている受動型マイクロ波放射計で地表面が放出する電磁波を観測している(図1)。このマイクロ波を利用して、海水と海氷の電磁波の強さ(輝度温度)の関係から、衛星が観測する視野(フットプリント)内に占める海氷の割合(海氷密接度)を知ることができる(図2)。

「だいち」などの衛星に搭載された合成開口レーダからマイクロ波を照射し、地表面種別に応じた反射強度から海氷の情報を得ることもできる(図1)。地表面から放出されるマイクロ波を捉える受動型マイクロ波放射計は広範囲・高頻度に観測可能であることに比べ、観測頻度や一度に観測できる範囲は劣るものの、高空間分解能の詳細な海氷分布を得ることができる。

マイクロ波観測は太陽光を必要としないこと、また周波数によっては雲や大気を透過する特徴を持つこと(図3)から、昼夜・天候を問わず地表面を観測することが可能である。

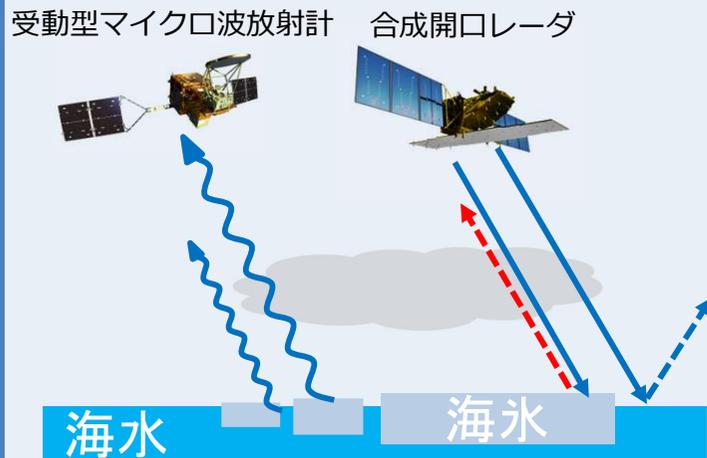


図1 マイクロ波を用いた海氷観測の模式図



図2 海氷密接度の概念図。フットプリント内に占める海氷の割合をパーセントで表現する。

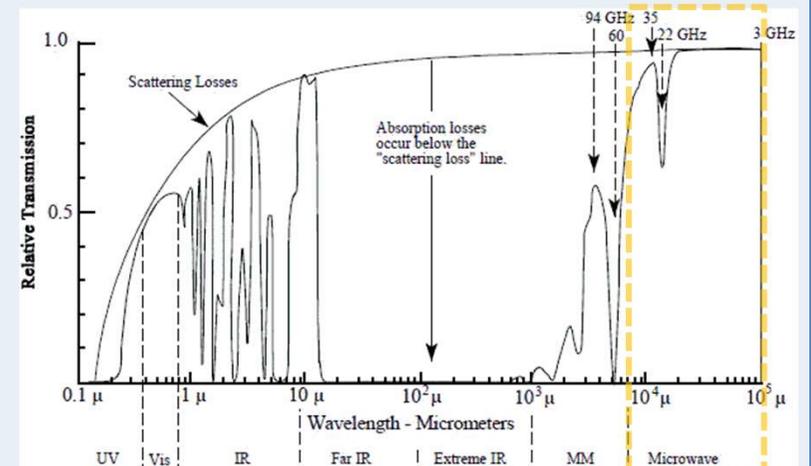


図3 波長別の大気に対する相対的な透過率(O'Neill, 2012)

よく利用されるセンサ (衛星)

- 受動型マイクロ波放射計 (衛星: しずく、AQUA、DMSPなど)
- 合成開口レーダ (衛星: だいち、Sentinel-1など)

海氷の変化がわかる

サイエンス利用

■ 気候変動の理解に向けて

1970年代から40年以上に渡って北極や南極の海氷面積が人工衛星から継続的に観測されている。2012年には北極海を覆う海氷面積が観測史上最小となるなど、地球温暖化の影響が明確に表れている。

北極や南極の海を覆う海氷や雪は白く、日射を効率的に反射するため、太陽からのエネルギーを宇宙へ跳ね返す地球の冷却装置として働いている。海氷が減って暗い海面が出てくると、地球はますます暖められやすくなるため、雪や氷の融解がさらに加速すると考えられる。今後温暖化が進行すると、このような変化に歯止めがかからなくなる臨界点

(ティッピングポイント) を迎える可能性が指摘されている。そのため、海氷面積を継続的にモニタリングすることは非常に重要である。

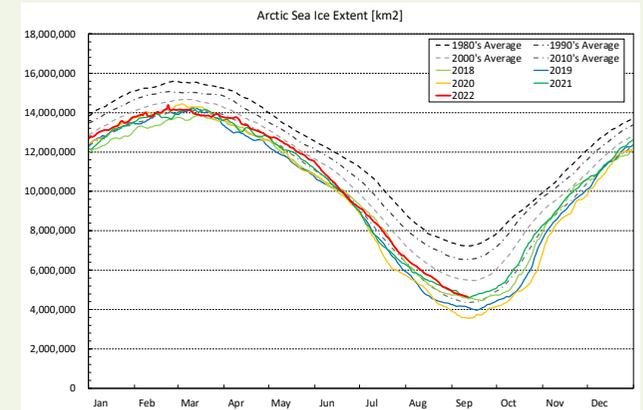


図1 近年の北極海氷の面積変化

ビジネス利用

■ 北極海における安全かつ最適な航路選択を目指して

北極海氷面積が減少傾向にある中で、新たな航路選択ができる可能性が出てきた。特に北極海を經由してアジアとヨーロッパをつなぐ北極海航路は、従来の南回り航路と比較して航行距離が約3割短いため、利用が拡大しつつある。

船舶が北極海のような氷海を航行する場合には、海氷のない航路選択が必要である。さらに、氷海を航行する船舶には、氷との衝突に耐える耐氷能力と、航路上の氷を砕く砕氷能力が求められている。安全で、かつ船舶の性能に応じた最適な航路選択をする上で、海氷の分布を広域かつ準リアルタイムで知ることは非常に重要である。そこで、雲があっても海面を観測することができるマイクロ波による観測データをはじめとした衛星データが、北極海航路における航路選択に利用されはじめています。

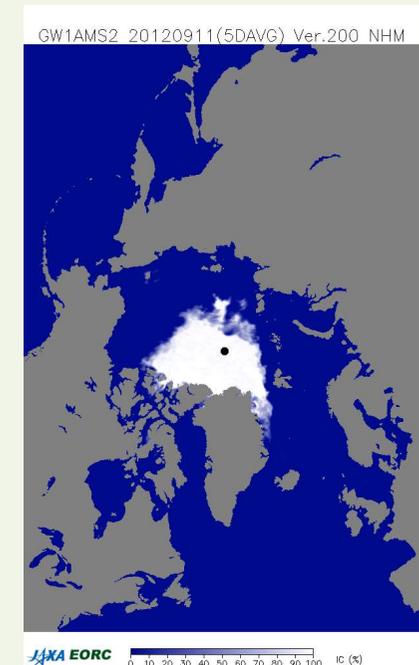


図2 観測史上最小を記録した2012年9月11日の北極海氷の分布