

ALOS-2

だいち2号
SARデータの
利用提案

SOLUTION BOOK



3rd edition



Japan Aerospace Exploration Agency





大地にも、 精密検査が必要だ。

宇宙からしか見えない、地球の変化がある。

日本が世界に誇るLバンド地表可視化レーダーが、
地殻変動や環境破壊で、

日々変わり続けるこの星の、
わずかな異常も見逃さない。

はじめに

陸域観測技術衛星2号『だいち2号』(ALOS-2:^{エイロス}The Advanced Land Observing Satellite-2)は、『だいち』(ALOS)の後継機として、2014年5月に打ち上げられ、災害状況把握、農林漁業、海洋観測、資源探査等で利用されている衛星です。

特に、ALOS-2に搭載されたLバンド合成開口レーダー(Lバンド^{サー}SAR)は、日本が世界に先駆けて技術を蓄積してきた分野であり、様々な分野における課題解決で貢献しております。

本書は、産業・大学・行政等に携わる皆様に、ALOS-2によって可能となるソリューションを軸に衛星データの利用法について紹介し、データを分析、加工するアプリケーションの新規開発や新しい衛星データの利用方法を発見して頂くことを目的に制作しました。

したがって本書では、ALOS-2の特徴をはじめ、SARデータの解析や最新の研究成果、実際の利用例をご紹介します。さらに、今後想定される利用法を「ソリューション提案」としてまとめました。

ALOS-2のデータは、ALOSが収集したデータのアーカイブとあわせた利用が可能です。また、他の衛星データや地上データ等との組み合わせによって新たな情報を発見できる可能性もあり、衛星データの可能性は無限大です。

本書を手にとって頂いた皆様に、ALOS-2の利用の可能性を感じて頂くことができましたら幸いです。

また、皆様の課題解決にむけ、衛星データの利用アイデアを着想されましたら、ぜひ巻末のJAXA連絡先までお気軽にご連絡ください。

Contents

はじめに

» ALOS-2でできること

ALOS-2とPALSAR-2について知る(基礎編)

4

ALOS-2の概要
SAR画像と光学画像の違い
SARの画像の見方
LバンドSARの特徴

昼夜天候を問わず、情報を入手できる

6

ALOS-2の3つの特徴
観測モードにより分解能／観測幅が変わる
スポットライトモードでの観測イメージ
高分解能モードでの観測イメージ
広域観測モードでの観測イメージ

ALOS-2最新観測事例と、これからの可能性

8

2017.12.1観測 インドネシア・アグン火山の観測結果
2017.9.8-9.12観測 カリブ海沿岸ハリケーン被害の観測結果
2016.5.9観測 カナダの森林火災の観測結果
2015.9.10観測 茨城県・台風18号による豪雨の観測結果

後継機ALOS-4

11

» ソリューション事例 災害

状況把握が災害対策を迅速にする

12

火山噴火直前の変位をつかみ、安全対策の判断材料に活用

ユーザーインタビュー ALOS-2の干渉解析により火山の変動を捉える

地盤変動から地震の被害を想定
伊豆大島の土砂崩れ
国際協力を通じた世界の災害情報の提供
自治体の防災計画にも衛星画像が使える

» ソリューション事例 土木

都市を地殻変動から守る

16

地盤沈下監視業務をより正確に、低コストに

ユーザーインタビュー ALOS-2のSAR画像で水準測量の手間、コストを削減

河川の維持管理コストをSAR 画像・解析により軽減

ユーザーインタビュー 120,000km以上の日本の河川。堤防の維持管理システムを構築する

長期的な地殻変動を捉え地震予知研究に貢献
道路や線路の保守点検・管理に利用
橋の管理に利用
巨大建造物の管理

» ソリューション事例 森林

森林の監視こそ、人類の未来責任

22

森林を観測して、間伐事業に活かす
ALOS-2を使った新しい森林監視システム「JJ-FAST」の可能性

»» ソリューション事例 海洋

広すぎる海だから宇宙から見る

24

ALOS-2により観測頻度向上。海水を監視し、海難事故を防ぐ

ユーザーインタビュー ALOS-2であれば、天候に左右されず海水を観測できる

海上風の観測から、風力発電所の立地場所を探す
安全安心な漁業や航行サービスを提供
海洋汚染の状況の把握と対策

»» ソリューション事例 エネルギー

眠るエネルギーを探し出せ

28

地下に眠る資源の兆候を探し当てる

»» ソリューション事例 農業

未来の食料を支える

29

水稲作付面積を高精度に把握する

»» 画像解析プロダクトについて

画像解析について知る(上級編)

30

偏波とは?

PoISAR(ポラリメトリ成分分解)

D-InSAR(差分干渉SAR)

SBAS-InSAR(短基線長解析による干渉SAR)

PS-InSAR(永久散乱体を用いた干渉SAR)

PollnSAR(多偏波干渉SAR)

新しい解析手法とプロダクトについて

32

モノクロからカラーへ、甦る地面の表情

ALOSで蓄積したアーカイブ画像で、過去と現在を比較できる

PALSAR-2標準プロダクト処理レベル定義

プロダクト毎のデータサイズ一覧(GByte)

»» データを処理するためのソフトウェア

SAR画像を見たい! 使いたい!

34

JAXA Let's SAR

ALOS2 Viewer

PoISAR-Pro

MultiSpec

NEST(Next ESA SAR Toolbox)

ASF MapReady

»» 地上システムと観測運用

»» FAQ

»» ソリューション事例 デザイン・アート

こんなステキな商品に、実は衛星画像が使われている!

40

デザイン

SARデータを利用したアート

表紙画像

左上:カナダの森林火災(P.9参照)

左下:オホーツク海の海氷(P.24参照)

右上:茨城県の豪雨(P.10参照)

右下:インドネシア・バリ島の火山噴火(P.8参照)

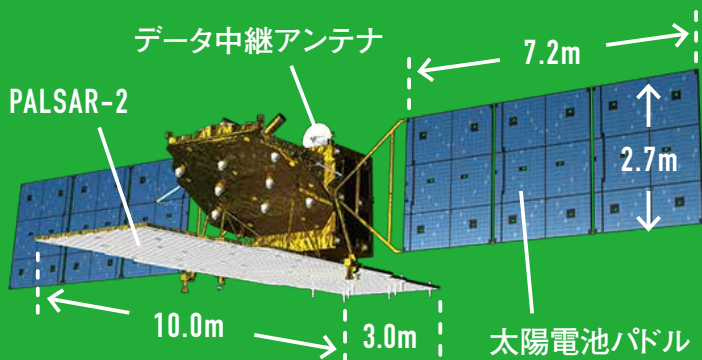
ALOS-2とPALSAR-2について知る(基礎編)

ALOS-2の概要

『ALOS-2』は、『ALOS』の後継機として開発された地球観測衛星です。

ALOSが光学センサー2つと合成開口レーダー(SAR: Synthetic Aperture Radar)を持っていたのに対し、ALOS-2はSARのみに特化しています。ALOS-2に搭載されているSARは、高性能マイクロ波センサー「フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー(PALSAR-2)」です。

分解能や観測可能領域が高性能化し、より正確で迅速な情報提供を可能としています。



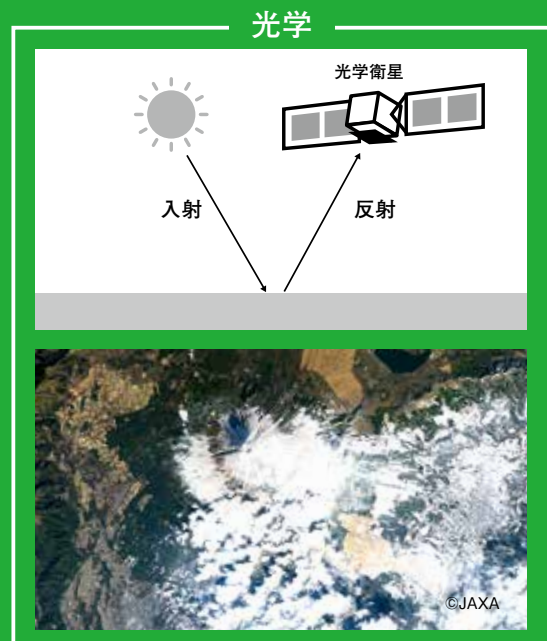
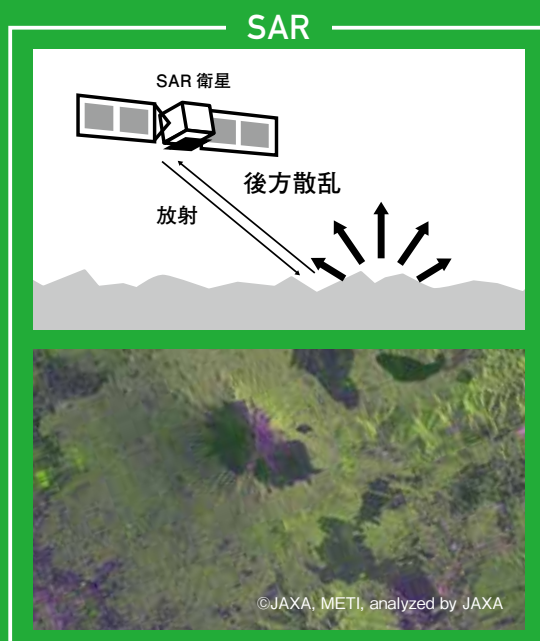
| | |
|---------------|--------------------------|
| 設計寿命 | 5年(目標7年) |
| 打上げ日 | 2014年5月24日 |
| 打上げロケット | H-II A 24号機 |
| 射場 | 種子島宇宙センター |
| 軌道(高度) | 628 km(赤道上) |
| 周回時間 | 約100分 |
| 回帰日数 | 14日 |
| 衛星質量 | 約2100 kg |
| 衛星サイズ(軌道上) | 約10.0 m × 16.5 m × 3.7 m |
| ミッションデータ伝送 | 直接伝送およびデータ中継衛星経由 |
| PALSAR-2(周波数) | Lバンド(1.2 GHz帯) |

技術実証ミッションとして船舶自動識別装置(AIS)信号受信機(SPAISE2)、小型赤外カメラ(CIRC)も搭載している。

SAR画像と光学画像の違い

ALOSシリーズに搭載されている主なセンサー(観測装置)には、光学とSAR(Synthetic Aperture Radar、合成開口レーダー)の2種類があります。光学センサーは、人間の目に見える光(可視光)で観測を行うのに対し、SARは衛星に搭載しているレーダーから電波を

送受信して観測を行います。SARの大きな特徴は、昼夜天候の影響を受けず観測できることです。このため、光学画像では雲に覆われている場所も、SAR画像では雲を突き抜け地表面の様子を捉えることができます。



(左上) SAR衛星概念図
(左下) SAR画像
(右上) 光学衛星概念図
(右下) 光学画像

» SARの画像の見方

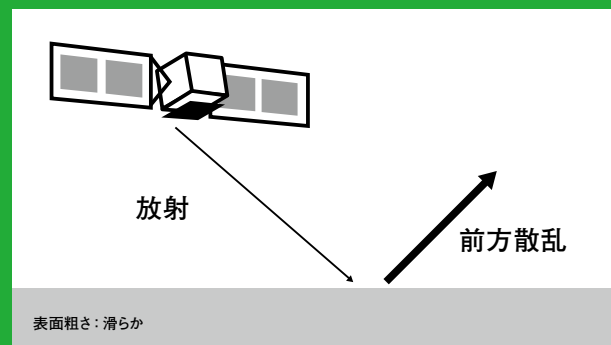
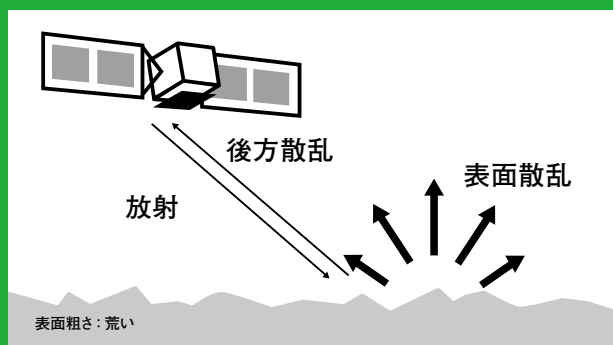
SARは観測対象に対して電波を放射し、その反射波の強さで表面の状態を知ることができます。この反射成分を後方散乱と言います。

後方散乱が強いほどSARの画像上では明るく見えます。

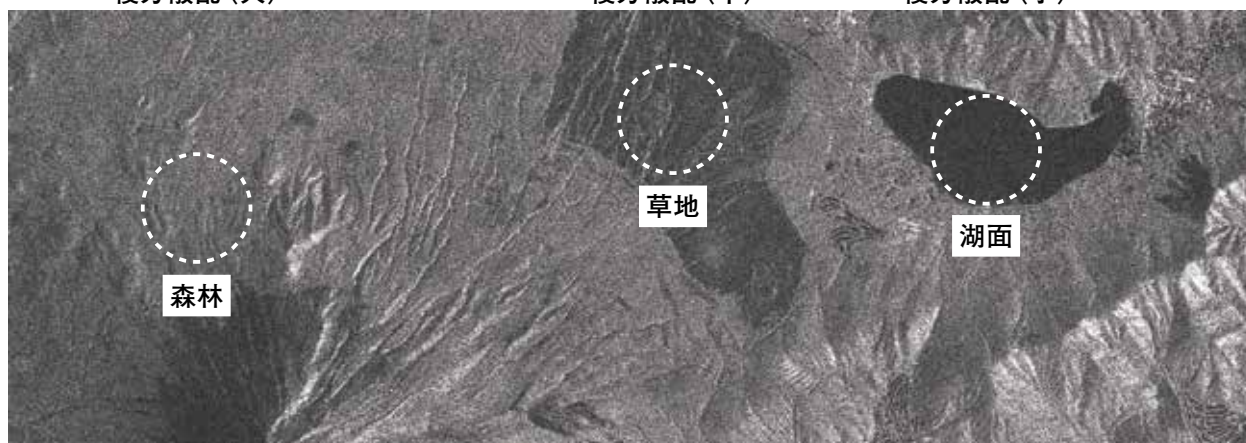
図のように、粗い地表面に電波が照射された場合、表面で散乱が起き

るため後方散乱が強くなり、画像上では明るく見えます。

一方で、水面のように滑らかな面では、ほとんど前方に反射してしまうため後方散乱の強さは弱く、暗く見えます。



後方散乱 (大)



©JAXA, METI, analyzed by JAXA

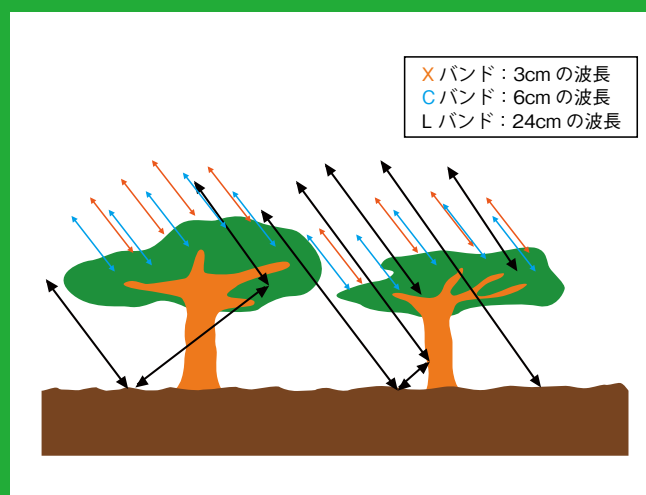
» LバンドSARの特徴

現在SAR衛星で観測に用いられる電波の波長は、大きく分けてX、C、Lバンドの3種類があります。

波長が短いXバンドやCバンドの電波は、細かい構造を見るのに適しています。例えば、地表の僅かな凹凸を検知できたり、水面のさざ波や森林の枝葉などの細かい構造で反射する特徴があります。

一方で、波長の長いLバンドの電波は細かい構造を一部透過します。例えば、木の枝葉を透過しやすいため、地表面の形状を捉えることができます。

LバンドSARは日本独自の技術です。日本のように植生や険しい地形が多い地域において、地表の観測をするにはLバンドがとても有効です。



昼夜天候を問わず、情報を入手できる

» ALOS-2の3つの特徴

☑ 地球上の広範囲な地域を観測できる

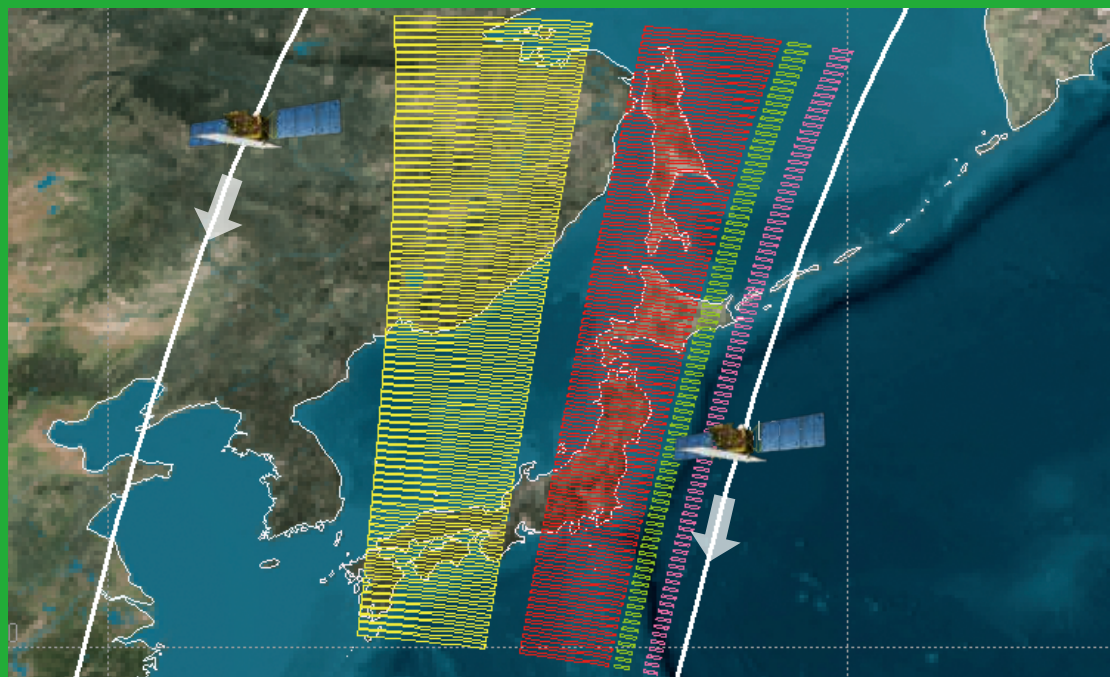
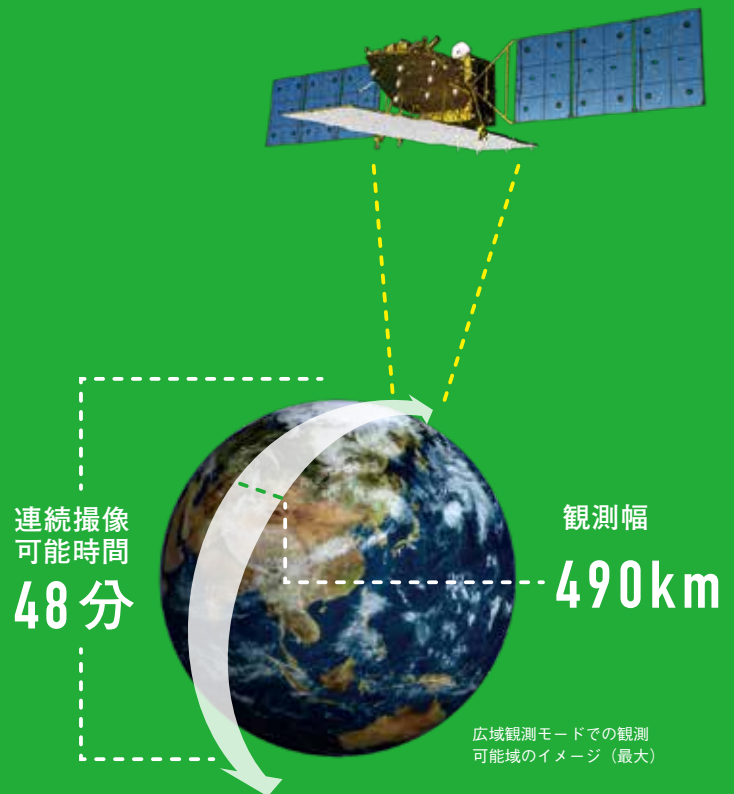
PALSAR-2のアンテナ面は衛星直下であり、観測時に衛星の姿勢を左右に傾げることで衛星の左右どちらの側も観測できるため、観測可能領域がALOSの約3倍である2,320kmになります。「広域モード」では、ALOS/PALSARの350kmより広い490kmの観測幅を実現できました。地球を一周する約100分の間に48分の観測時間が取れるのもALOS-2の強みです。

☑ 昼夜天候を問わず、詳細な観測ができる

SAR (合成開口レーダー) は、昼夜や天候によらず、地表面の観測ができることが最大の特徴です。また、PALSAR-2は、「スポットライトモード」で1m×3mの分解能を有しており、ALOSに比べてより高解像度な観測ができます。また、分解能1m×3mでも観測幅25km、分解能3mでも50kmといった、高分解能でありながらも十分な観測幅が確保されていることも特徴の1つです。

☑ 災害時の迅速な観測に対応できる

災害発生時には、迅速な対応が求められます。ALOS-2では、衛星が左右両側を観測できること、回帰日数が大幅に短くなったこと(観測すべき場所にすぐに行ける)、データ伝送能力を強化したことにより、迅速な観測が可能となっています。国内で災害が起きて緊急観測の要求があった場合、最短で2時間、最長でも12時間程度で被災地の画像が得られます。

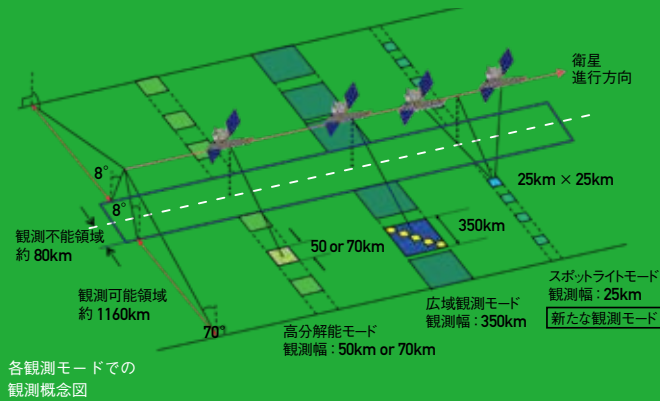


黄色帯：広域観測モード (観測幅：490km)
 赤色帯：広域観測モード (観測幅：350km)
 緑色帯：高分解能[10m]モード (観測幅：50km)
 桃色帯：高分解能[3m/6m]モード (観測幅：50km)

観測モードにより分解能／観測幅が変わる

ALOS-2では、大きく3パターンの観測モードが選べます。

最も詳細な観測を実現する分解能1m×3mの「スポットライトモード」(観測幅25km)のほか、分解能3～10mの「高分解能モード」(観測幅50～70km)、広範囲を一度に観測できる「広域観測モード」(分解能60～100m、観測幅350～490km)を備えています。これらの中から目的に応じて適切な観測モードを選択することで、最適な観測を行います。



| 観測モード | 分解能 | 観測幅 |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|
| スポットライト (Spotlight) | 1m (Az) × 3m (Rg) | 25km (Az) × 25km (Rg) |
| 高分解能 (Stripmap) | 3m | 50km |
| | 6m | 50km |
| | 10m | 70km |
| 広域観測 (ScanSAR) | 100m | 350km |
| | 60m | 490km |

※ Az × Rg は、衛星進行方向 (アジマス方向) の分解能が Az であり、電波照射方向 (レンジ方向) の分解能が Rg であることを意味します。

スポットライトモードでの観測イメージ

ALOSになかった機能として、「スポットライトモード」を追加したことで、1m×3mの高分解能で高画質の画像を得ることができるようになりました。スポットライトモードでは、衛星が飛びながら進行方向に沿って観測域を注視することで、見たい場所を長時間観測し続けることが可能です。その結果、より詳細な地表の様子を捉えられます。

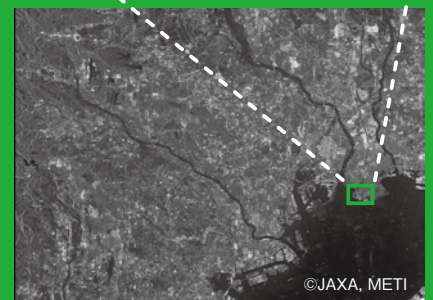
スポットライトモードでの観測イメージ(舞浜駅周辺)
(ALOS-2/PALSAR-2により観測)



高分解能モードでの観測イメージ

デュアルビーム方式をPALSAR-2に採用したことで、「高分解能モード」では高分解能かつ広い観測幅を保つことが可能になりました。3～10mの分解能を実現しつつ、50～70kmにわたる広い観測幅を確保できます。

高分解能モードでの観測イメージ(東京・千葉エリア)
(ALOS/PALSARにより観測)

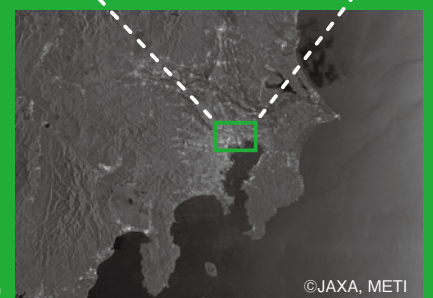


広域観測モードでの観測イメージ

ALOS-2は、最大490kmの観測幅で観測が可能です。他の地球観測衛星と比較しても極めて広範囲な観測が可能となっています。

また、連続観測時間は最大48分と、地球のおよそ半周もの距離を一度に観測することができます。機器の向上により、格段に連続観測時間の長時間化および撮像範囲が拡大しています。

広域観測モードでの観測イメージ(関東)
(ALOS/PALSARにより観測)



ALOS-2最新観測事例と、これからの可能性

2014年5月に打ち上げられたALOS-2は、前号機ALOSに続き、日本国内及び世界各国の災害監視などに伴う緊急観測・データ提供を行っています。そして、2020年には後継機ALOS-4の打ち上げも予定されています。ここではALOS-2の最新観測（2017年11月現在）のうち、特徴的な事例をご紹介します。Lバンド合成開口レーダ（PALSAR-2）だから可能となる観測結果の一端を知っていただき、皆様の課題解決や事業展開のヒントにしてください。

» 2017.12.1 観測 インドネシア・アグン火山の観測結果

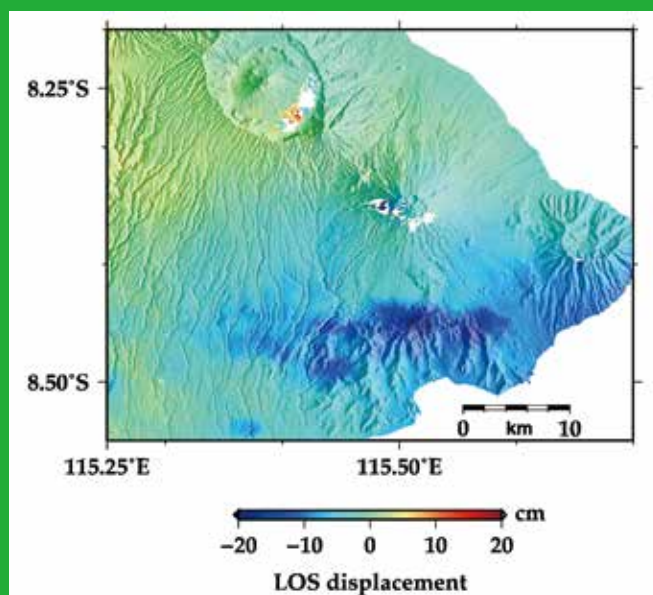
2017年11月21日、インドネシアのバリ島にあるアグン山が54年ぶりに噴火しました。JAXAは12月1日午前1時38分（日本時間）にALOS-2搭載のLバンド合成開口レーダ（PALSAR-2）による観測を行い、噴火口内の溶岩が出現した様子を捉えました。

そして、干渉SAR（インターフェロメトリ）解析により、アグン山周

辺での地殻変動は観測されなかったものの、火口の南側で降灰や火山噴出物の堆積などの地表変状が起こったことを把握。センチネルアジアを通じて現地関係機関へ情報を提供しました。夜間あるいは雲や噴煙の下でも地表を観測可能なALOS-2の特性を活かした事例です。



上記図は、2017年12月1日のPALSAR-2観測領域（右上図・赤色の三角：アグン山の位置、黒色の枠：観測範囲）。ALOS-2高分解能10mモード（2偏波）で観測されたデータのHH偏波を赤、HV偏波を緑、HH偏波/HV偏波比を青に割り当ててカラー合成。青や黒が水面や裸地、緑色が植生、局所的に明るい緑や紫は市街地を表す。

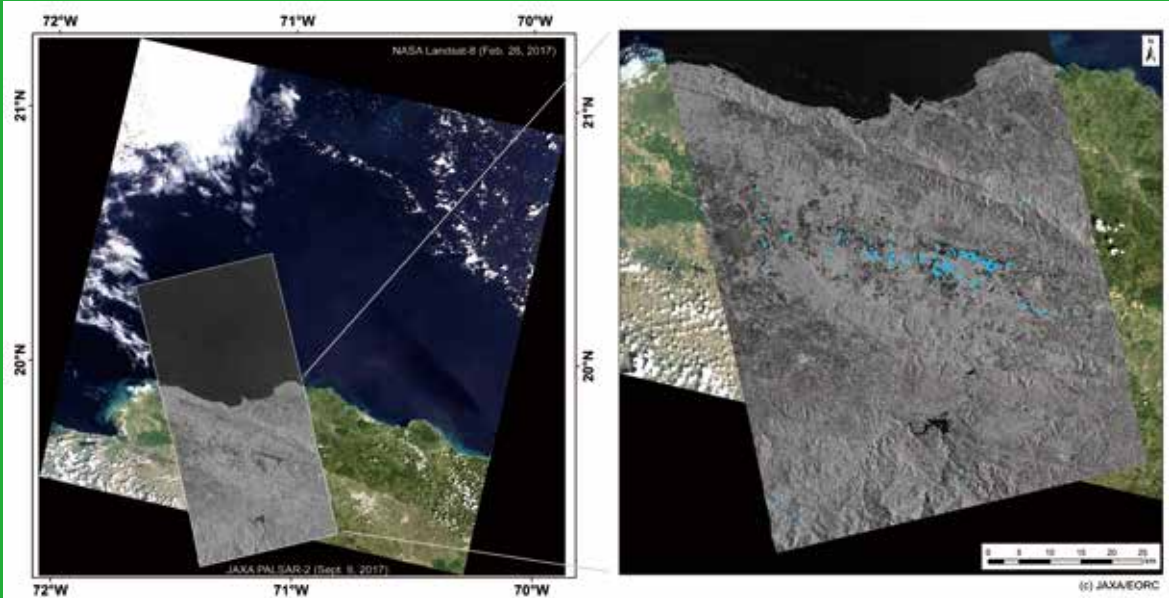


上記図は、アグン山噴火前後の2時期のALOS-2画像データを干渉処理（インターフェロメトリ）した差分干渉画像。干渉処理によって、噴火に伴う地殻変動（隆起や沈降など）があった場合にはその変動量を求めることができる。今回の観測では干渉処理の検出限界を超える有意な変動は見られず、大きな災害にはならなかった。

» 2017.9.8-9.12観測 カリブ海沿岸ハリケーン被害の観測結果

2017年8月下旬からカリブ海沿岸を複数のハリケーンが通過、甚大な被害をもたらしました。ALOS-2は緊急観測を実施し、データを関係機関に提供。9月8日の観測画像からはドミニカ共和国内に浸

水している可能性の高い場所を検出。12日の観測画像からは米国フロリダ州西海岸に浸水している可能性の高い場所を検出しました。



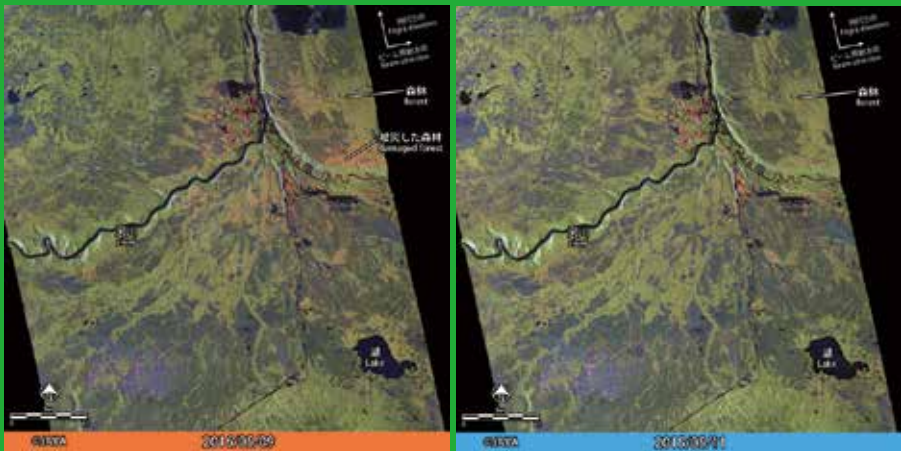
上記図は2017年9月8日にドミニカ共和国北部を高分解能モード(分解能10m、観測幅70km)で観測したデータ。青い部分は画像

処理によって推定された浸水域。この観測によって沿岸域ではなく内陸沿いに水害被害が多いことが見てとれる。

» 2016.5.9観測 カナダの森林火災の観測結果

2016年5月1日、カナダ・アルバータ州フォートマクマレー付近で発生した森林火災について、国際災害チャータからの要請があり、JAXAは2016年5月9日にALOS-2により観測を実施しました。地

表の状況の変化を解析できる4偏波モード(フルポラリメトリ)を使用し、被災範囲の大半を把握しました。



出典：EORC ALOS解析研究プロジェクト、JAXAサイト

森林は通常緑色で示されるが、今回の森林火災の被害域ではやや赤色やオレンジ色に変化しており、これにより火災で枝葉が消失して幹が残ったことがわかる。枝葉による反射(緑色)から、幹による反

射(赤色)が優勢になったためと推察できる。
 なお、川、湖、滑走路などの滑らかな地面(水面)は黒、市街地は明るいピンクや黄緑色で示されている。

» 2015.9.10 観測 茨城県・台風18号による豪雨の観測結果

2015年9月9日から10日にかけて、台風18号の影響により豪雨が発生し、栃木県、茨城県などを中心に各地で河川の氾濫や土砂災害が発生しました。

JAXAでは国土交通省からの要請に基づき、9月10日午前11時

43分頃にALOS-2搭載のPALSAR-2による緊急観測を実施し、国土交通省など防災関係機関にデータを提供しました。この結果、浸水域と見られる領域が複数把握できました。

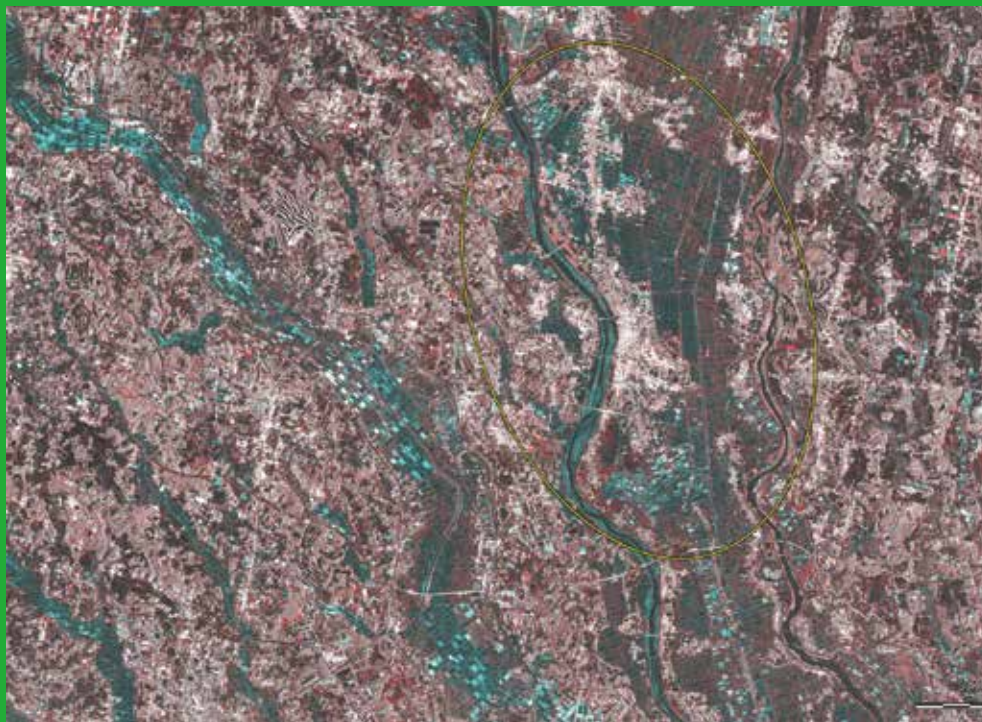


図1 常総市付近の観測画像

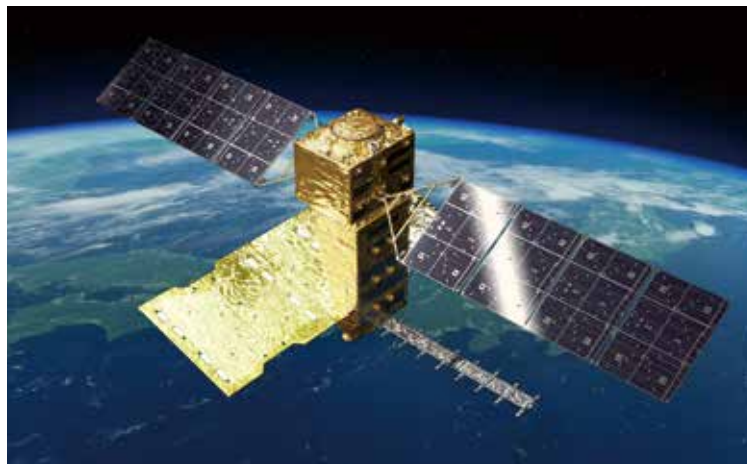


図2 筑西市付近の観測画像

図1は常総市付近の観測画像。画像中央付近を流れるのが鬼怒川で、川幅が増大した部分が川沿いに暗い水色で示され、川の東側のさらに暗い水色の領域は浸水している可能性が高い（図中の黄色の円内の領域）。図2は筑西市付近の画像。黄色の枠箇所にある「暗い水色の領域」は浸水域の可能性あり。

図1、2ともに、災害発生時にALOS-2による高分解能モード（分解能3m）で取得した画像と、洪水前の同年8月13日に同じ条件で取得された画像を重ね合わせて色合成し解析している（これらの変化の中には、稲が刈り取られたことなどによる農地の変化も含まれており、全てが災害に関係するものではないことに留意する必要がある）。

後継機ALOS-4



» 事後把握から異変の早期発見へ

2020年度に、ALOS-2の後継機に位置づけられるALOS-4の打ち上げが予定されています(※)。ALOS-2同様にLバンド合成開口レーダを搭載しており、軌道高度(628km)や回帰日数(14日)もALOS-2を引き継ぐことでデータの継続性を保ちつつ、利用者にとってより便利な衛星にすべく開発が進められています。

ALOS-2からの最大の変更点は、観測幅の大幅な拡大です。

たとえば高分解能モードにおいては、分解能3mの観測が、ALOS-2の50km観測幅からALOS-4では200kmに拡大します。ALOS-2では同モードで日本の全陸地を観測することは、これまで年4回程度しかできなかったのですが、ALOS-4では年20回程度観測できるようになります。この観測頻度の大幅な向上により、地殻変動などの長期的な観測がより精密にできるようになるとともに、異変の早期発見・対策にも貢献することが期待されます。

観測幅拡大を実現させるため、ALOS-4では、デジタル・ビーム・フォーミング(DBF)という技術が導入されることになりました。この技術が、感度を落とさずに観測幅を広げることを可能にします。携帯電話の通信などですでに使われている技術ですが、観測衛星においては世界に先駆けての採用です。

他、船舶自動識別装置(AIS)受信機もALOS-2搭載のものより高性能になり、船舶過密海域における船舶検出率が向上するといった点も期待されます。合成開口レーダと協調観測することで、海洋監視への更なる貢献も期待されます。

いまま順調に観測を続けるALOS-2は、これからも大きな役割を果たしていくことでしょう。その実績と能力を受け継ぎつつ、さらに頼もしい衛星としてALOS-4は飛び立ちます。

※ 光学センサ搭載の観測衛星がALOS-3として2020年度に打ち上げ予定。

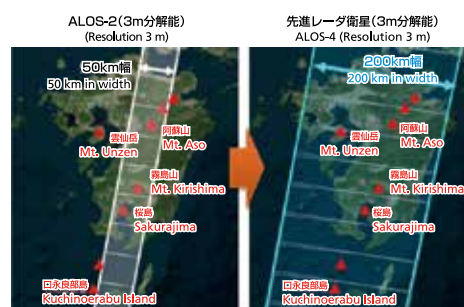
観測幅の比較 Comparing observation swath

| | ALOS-2 | 先進レーダ衛星 ALOS-4 |
|--|--------------|----------------|
| 高分解能モード(分解能3m, 6m, 10m) Stripmap mode (Resolution 3 m, 6 m, 10 m) | 50km, 70km | 100km-200km |
| 広域観測モード(分解能25m) ScanSAR mode (Resolution 25 m) | 350km, 490km | 700km |
| スポットライトモード(分解能1m×3m) Spotlight mode (Resolution 1 m × 3 m) | 25km×25km | 35km×35km |

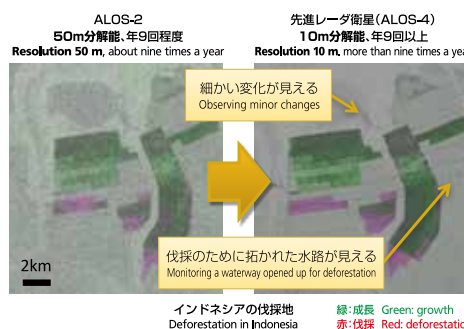
日本の観測頻度の比較 Comparison of observation frequency in Japan

| | ALOS-2 | 先進レーダ衛星 ALOS-4 |
|--|--------------------------|--|
| 高分解能モード(分解能3m) Stripmap mode (Resolution 3 m) | 年4回 Four times a year | 年20回(2週に1回) 20 times a year (once every two weeks) |

ALOS-2とALOS-4の観測幅の比較。4倍近く伸長する。



高分解能モードの1回の観測による範囲が大きく広がる。



森林監視能力の向上イメージ。細かい変化がより把握できる。

SOLUTION >>> 災害

状況把握が災害対策を迅速にする

全体を俯瞰した観測が可能な地球観測衛星は、
 広い地域で発生した災害の状況を迅速に把握するために真価を発揮します。
 雨天時や夜間にも観測できるALOS-2は、災害発生時の状況把握の手段として利用できます。

>>> 火山噴火直前の変位をつかみ、安全対策の判断材料に活用

2015年6月、神奈川県箱根山で観測史上初めての噴火が起きました。兆候は同年4月ごろ、山体がわずかに膨張し始めるという現象によって認められ、5月に入ると噴気活動が高まり、多くの観光客が訪れる大涌谷園地の一部が閉鎖されることになりました。5月15日をピークに地震活動は減衰していったものの、地殻変動はその後も継続。そして6月29日に、ごく小規模ながら水蒸気噴火が発生するに至りました。箱根山は約3000年前のマグマ噴火以降、12～13世紀頃に水蒸気噴火をした痕跡が地質調査から明らかとなっているのみで、近年に噴火したという記録は一切ありませんでした。

この噴火に至る状況を把握するにあたって、ALOS-2のSAR画像が活用されました。5月6日に気象庁が箱根山に噴火警戒レベル2の発表を行ったことを受けて、翌5月7日にALOS-2による緊急観測を

実施。その観測で得たSAR画像と、2014年10月、つまり今回の異常が起きる以前の観測で得られたSAR画像を用いて干渉解析 (p31参照) が行われると、大涌谷を中心とした直径200メートルほどの範囲で隆起が起きていることがわかりました。そしてその場所は、緊急観測の4日前から噴気異常が確認された温泉供給施設のある位置とびつたり一致したのです。その結果をもとに、5月8日の午後以降、関係者を含め大涌谷への完全立入禁止が決定されます。6月末には、ALOS-2が捉えた隆起域のごく近傍で水蒸気噴火が発生しました。

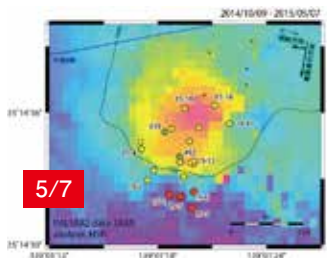
水蒸気噴火が起きた場所の直前の変位を、衛星の観測によって捉えたのは世界初の例と考えられています。ALOS-2は、火山監視においてSAR画像の果たせる役割の大きさを示すことになりました。

ALOS-2/PALSAR-2により観測された大涌谷の変動 (南行軌道・右観測)

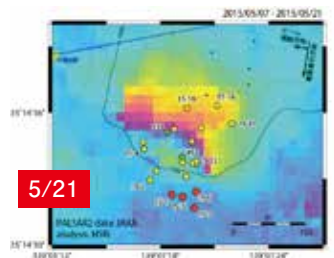
※防災科学技術研究所が開発した干渉SAR解析ツール (RINC) を使った解析結果

2014/10/09

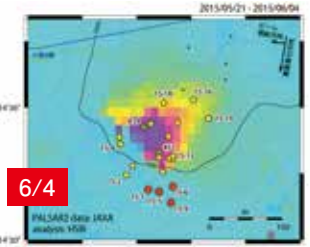
7ヶ月



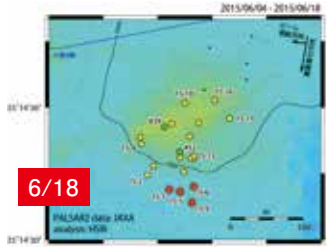
2週間



2週間



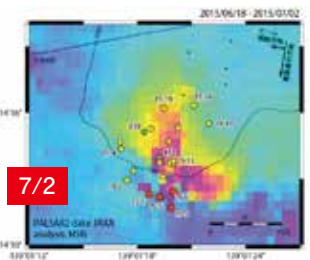
2週間



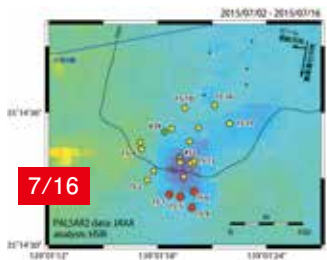
2週間

水蒸気噴火の発生

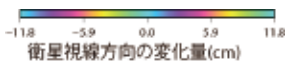
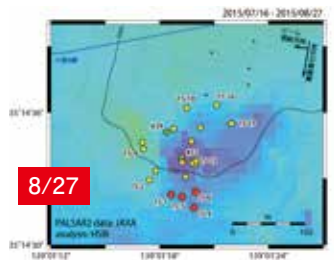
2週間



2週間



6週間



大涌谷付近における入射角：42.8°
 39号井付近からN60E方向に200mの地点を不動とし変化量を算出

2014年10月9日以降の、ALOS-2 / PALSAR-2による干渉解析。最大6cm程度、隆起したことが確認された。

ALOS-2の 干渉解析により 火山の変動を捉える

USER
INTERVIEW

2015年6月に発生した神奈川県箱根山の噴火の際、ALOS-2のSAR画像は異変を事前に捉えることに成功しました。いったいそれはどのようになされ、ALOS-2のどのような可能性を示したのか。実際にデータ解析を行った研究者に伺いました。

神奈川県温泉地学研究所 技師
道家涼介さん

— 神奈川県温泉地学研究所の概要を教えてください。

当研究所は、温泉、地下水、地質、地震、火山といった分野を研究する県立の研究機関です。温泉や地下水の研究は主に資源の保全・保護を、地震や火山の研究は主に県民の安心安全を目的としており、そうした観点からも、箱根山は当研究所にとって重要な研究対象の一つとなっています。

— 箱根山の観測は、普段、どのような方法で行われているのですか。

箱根山とその周囲にはGPSの測定点が複数あります。地下で何らかの異変が起きると地面が動くため、その位置情報の変化によって地殻の変位がわかります。ただし、観測点の分布の都合、GPSでわかるのは深さ7～10キロ程度の比較的深いところの変化であるため、浅いところの変化を知るために傾斜計も利用します。傾斜計で地面の傾きを計測することで、地表近くの地面が膨んだり、亀裂が入ったりする変化がわかります。

2014年にALOS-2が打ち上がった後から、これらに加えてSAR画像も利用するようになりました。すると偶然にもその翌年に噴火が起これ、SAR画像が大きな役割を果たすことになったのです。

— 今回の噴火に際し、噴火直前にALOS-2による緊急観測が行われました。そこに至る流れを教えてください。

4月の初め頃から、火山を挟むGPS観測点同士の距離が伸びていくことが観測されました。これは、地下深くのマグマだまりが膨張していた可能性を示しています。ただし、GPSの観測誤差から、それが確実だと言える段階になったのは、地震が活発化した4月下旬でした。その後、5月3日には大涌谷の温泉供給施設の一つで噴気異常が発生しました。そして同月6日に気象庁が噴火警戒レベル2の発表を行ったことを受けて、翌7日にALOS-2による緊急観測が実施されるに至りました。それから2週間に1回、同じ条件での観測が続けられることになりました。

— ALOS-2による観測は、どのように活かされたのでしょうか。

5月7日の観測によるSAR画像が得られると、噴火前の2014年



10月のSAR画像を用いてすぐに干渉解析が行われました。すると、大涌谷を中心とした200メートルほどの範囲で隆起が起きていることが確認され、その中心が、5月3日に噴気異常を起こした温泉供給施設のある場所と合致することもわかりました。

その結果によって、噴気異常と地表の変位が関連していると判断でき、5月8日の午後以降、関係者を含め、大涌谷への全面立入禁止が決定されました。また5月11日に行われた会議で、全面立入禁止から制限付きで立入可能へと戻すことになったのですが、その際には、5月10日に西側上空から行われた観測（東側上空から行われた5月7日の緊急観測とは異なる観測）の解析結果も検討材料となりました。

— SAR画像ならではの強みが明らかになった形ですね。

今回、SAR画像の干渉解析で得られる情報が地面の動きを捉える上で非常に有効であることがわかりました。噴気異常など、実際に観察できる現象はあっても、それだけでは地下でどのような変化が起きているのかはわかりません。SAR画像だけが、大涌谷の地面の動きを定量的に示しました。5月8日の時点で立入を制限するという判断も、ALOS-2のSAR画像がなければなされていなかっただろうと思います。

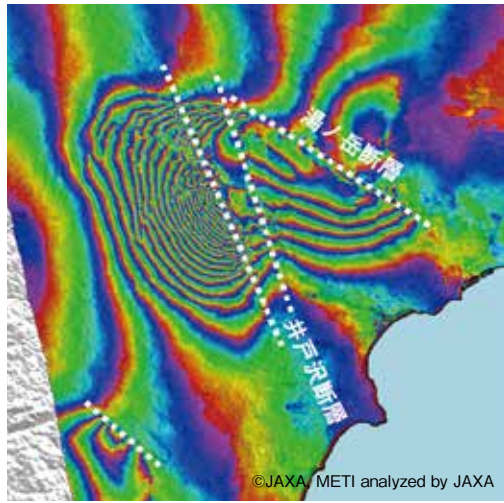
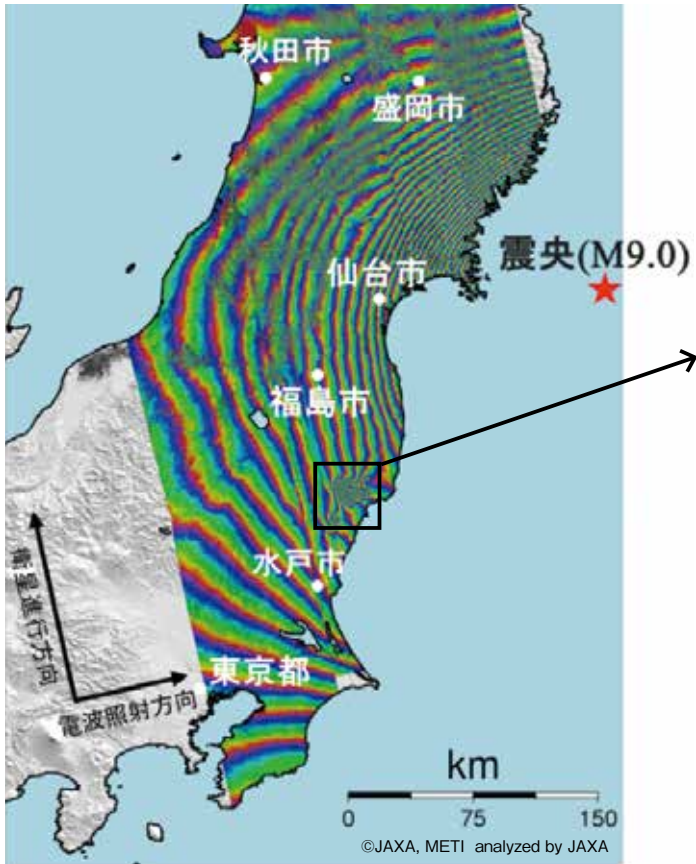
— 噴火がない時でもSAR画像は火山監視に活かされるでしょうか。

ALOS-2による箱根山の観測データは、数カ月に一度の頻度でいまま蓄積され続けています。そうして得られた多数のデータを用いて「時系列解析」を行うと、この地域が長期間でどのように変化してきたかを知ることができます。今後、観測頻度が向上する後継機が打ち上がる予定と伺っています。データの蓄積を続けることで、これからは、火山でいったい何が起きているかを精緻に理解し、監視していきたいと考えています。

神奈川県温泉地学研究所

<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/>

» 地盤変動から地震の被害を想定



同じ場所を観測した2つのSAR画像を干渉させることで、高度や地表面の変動情報を得る手法を「インターフェロメトリ(干渉法)」と言います。図は、東日本大震災に伴う地殻変動を、地震前(2011年3月3日)と地震後(2011年4月18日)のALOS搭載PALSARを用いて検出した画像です。虹色の縞は、衛星と地表間の距離変化を表しています。青→緑→黄→赤→青の1周期の色の変化は、11.8cm分 地面が衛星に近づいている(隆起している)ことを表しています。また、右図の局所的な干渉縞は、2011年4月11日に発生したM7.0福島沖仲濱通り地震による地殻変動を表していると考えられます。

ALOS-2では世界中どこで地震が起きても2日以内にデータが得られます。また干渉SARのペアは最長でも14日で取得できます。地震発生から早い段階で地殻変動の様子が把握できれば、被害規模を想定し、復旧・復興計画の立案などに利用できます。

地面が衛星に近づく (隆起もしくは西向き) 地面が衛星から遠ざかる (沈降もしくは東向き)
-11.8cm 0 +11.8cm
(縮む) 衛星-地面間の距離変化 (伸びる)

東日本大震災での地殻変動 (ALOS/PALSAR により 2011年観測)

» 伊豆大島の土砂崩れ

左図は、伊豆大島のALOS-2搭載PALSAR-2によるSAR画像です。右図は、左図と同じ画像をALOSのPRISMによって得られた標高データを用いて鳥瞰図表示したものです。2013年10月に発生した台風26号の大雨による大規模な土砂崩れの跡は、約8ヶ月経過した現在

でも明確に見ることができ、まだ植生が回復していないと考えられます。偏波の情報を用いた疑似カラー化により、大まかに緑色が植生、明るい紫色や黄緑色が市街地、暗い紫色は裸地を表します。



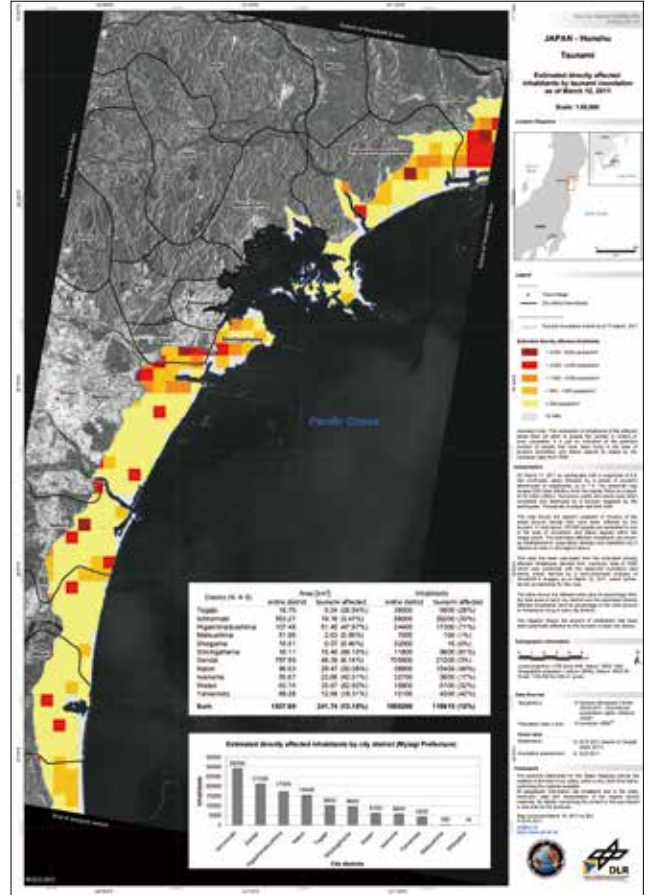
ALOS-2搭載PALSAR-2 (3m分解能) による伊豆大島の観測画像 (2014年6月19日)
※赤、緑、青にHH, HV, HH/HV偏波の各画像をそれぞれ割り当てた偏波カラー合成画像

国際協力を通じた世界の災害情報の提供

災害発生時には、できるだけ迅速に被災地の観測画像を得ることが重要になります。しかし自国の観測衛星が必ずしも必要なタイミングで上空を飛んでいるとは限りません。そこで、災害時に各国が互いに協力して衛星からの観測データを提供しあう国際協力の枠組みがあります。その最大のが「国際災害チャーター」です。地震や洪水、台風などによる緊急を要する大規模災害は世界で毎年300前後発生していますが、そのうち例えば2012年には40の事例で国際災害チャーターが活動しています。欧米、中国、韓国、ロシアなど20を超える国や機関が参加しており、日本もALOSの打ち上げ後から参加しています。

また、このアジア版とも言えるのが「センチネルアジア」です。これは日本が主導して、インド、タイ、台湾といった国々が参加しています。さらに、イタリア、カナダとは災害時のデータ交換などで個別に協力しあう協定を結んでいます。日本は、ALOS-2の打ち上げ後、多くのデータを提供しています。

国際災害チャーターを通じてDLR(ドイツ航空宇宙センター)より提供された東日本大震災における津波の被害地域図。画像は、SAR画像(TerraSAR-X)に人口密度のデータを重ね合わせたもの。



自治体の防災計画にも衛星画像が使える

地震・津波、火山噴火、土砂崩れ、洪水などの偶発的な災害の発生可能性について想定し、避難計画などを事前に策定しておけば、実際に発生してしまった際においても、対応がスムーズになるだけでなく、救える命が一人でも増えるかもしれません。

JAXAはこれまでも、「だいち防災マップ」を防災関係省庁や地方自治体に提供してきました。これは、ALOSで蓄積した詳細な光学画像デ

ータに、道路の情報などを重ね合わせた地形図です。現在は、ALOS-2で得られる災害速報データと併せて活用し、これまで以上に国や地方自治体等の防災計画へ貢献しています。

このように、災害の予防や対策において、衛星データはとても大きな可能性を秘めています。



だいち防災マップ

SOLUTION >>> 土木

都市を地殻変動から守る

ALOS-2では、数センチの精度で地表の動きを捉えることが可能です。

目に見えない大地の動きを捉え、地盤沈下の対策やインフラ保全のための基礎資料として利用できます。

>>> 地盤沈下監視業務をより正確に、低コストに

日本では大正時代頃から、工業用水として利用するために地下水が汲み上げられてきました。その結果、都市圏を中心に長年にわたって地盤沈下が進みました。地下水の採取が規制されたこともあり、近年は沈静化傾向にありますが、いまま地盤沈下が進行している地域があり、その監視観測と対策は行政の重要な仕事であり続いています。

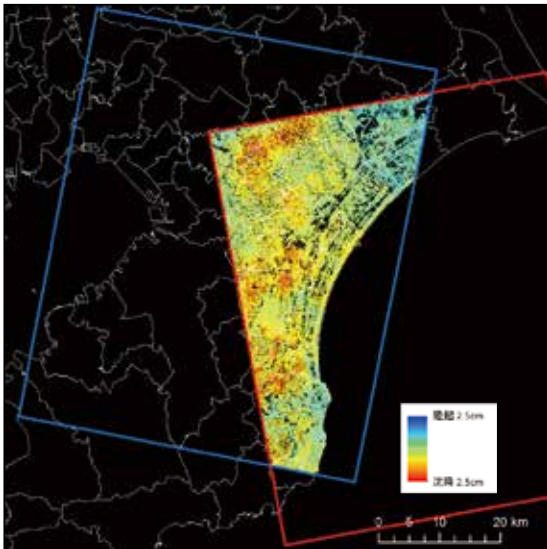
環境省では、地盤沈下監視の技術的な指針や方法を示した『地盤沈下監視ガイドライン』を2005年に公表しました。同ガイドラインでは、水準測量や地下水位観測等の技術を基本としています。近年、航空機や人工衛星を利用した新しい計測技術が登場し、ALOS /ALOS-2のSAR画像による干涉解析(インターフェロメトリ*)が地盤沈下計測に有用な技術となっています。その活用方法や実際の解

析事例を、地方公共団体の実務担当者向けに取りまとめ、2017年5月に『地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル』として公表しました。

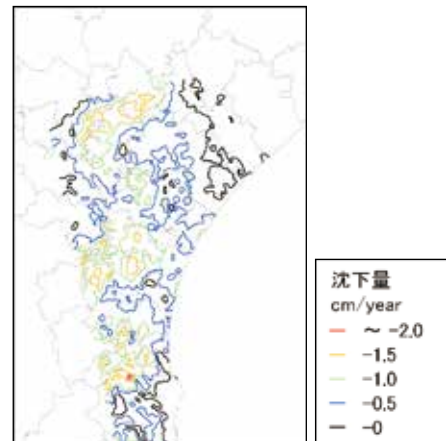
これまでは水準点のある場所しか地盤沈下の観測ができませんでしたが、SAR画像を利用すれば、広い範囲を面的に観測することが可能です。SAR画像を利用することで水準測量の数が抑えられ、その結果、環境省の試算によれば、条件によっては3～4割のコスト削減が可能になることもあります。

今後、このマニュアルが広く周知されることで、各地域における地盤沈下監視の業務がより正確に、かつ低コストで行われるようになることが期待されています。

※ 人工衛星から地表面までの距離を測り、同じ場所で撮った日時異なる2つのデータを比較すること。



地盤沈下観測等における衛星活用マニュアルより作成。画像は時系列解析を行った結果。計測誤差を低減でき、隆起・沈降も色合いで判断することができる。



Original Data ©JAXA

九十九里平野におけるALOS-2による地盤沈下量分布図

出典：地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル

ALOS-2のSAR画像で 水準測量の手間、 コストを削減

「地盤沈下の観測に、ALOS-2のデータが有用だ」。その活用法や利点をまとめたマニュアルを環境省が作成しました。その狙いや展望について、担当者に伺いました。

環境省 水・大気環境局 土壤環境課 地下水・地盤環境室
室長補佐

伊藤和彦さん(右)

環境省 水・大気環境局 土壤環境課 地下水・地盤環境室
環境専門調査員

山口正敏さん(左)

—2017年5月に、環境省は『地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル』を公表しました。その背景を教えてください。

地下水をくみ上げて工業用水として利用してきたことで、東京、大阪、名古屋といった都市圏を中心に各地で長年、著しい地盤沈下が進みました。現在は沈静化の傾向にあるものの、天然ガスの採掘時に地下水と一緒に汲み上げられたり、融雪のために地下水が使われたりすることで、地域によってはいまま地盤沈下が進行しています。

2005年に環境省は、水準測量や地下水位観測等の技術による地盤沈下監視の指針や方法を示した『地盤沈下監視ガイドライン』を公表しました。その後、新しい計測技術の利用可能性を検討する中で、SAR画像による干渉解析(p31参照)が地盤沈下計測に有用であることがわかりました。その活用方法や解析事例をまとめたのが今回の『地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル』です。各地方自治体で地盤沈下監視を行う実務担当者に、SAR画像の有用性を理解してもらい、利用を促すことを目的としています。

—ALOS-2のSAR画像の具体的な利用方法を教えてください。

同じ場所を異なる日に観測した2枚のSAR画像を重ね合わせ、差を取って適切な処理を施すと、その期間にどれだけ土地が動いたかという変位量が得られます。これが干渉解析です。それに補正を加えることで鉛直方向に動いた長さ、すなわち地盤沈下の大きさがわかるのです。水準測量による計測では、水準点がある場所の変位しかわかりませんが、この方法は、広い範囲の変位情報が面として得られるのが強みです。

—ALOS-2のSAR画像があれば、水準測量は不要になりますか？

現状、そうではありません。SAR画像によって得られる変位はあくまでも相対的な値なので、実際の地盤の高さを知るためには、やはり水準測量が必要です。ただ、SAR画像からの変位データがあれば、



USER
INTERVIEW

これまでよりも少ない数の水準測量で、全体の動向をより正確に知ることができるようになるため、測量の手間、すなわちコストを削減することが可能になります。

—コストは実際にどれくらい削減できるのですか？

SAR画像の利用には、データ購入と業者への解析依頼の費用が掛かることとなりますが、水準測量の作業を減らすことができるため、条件によっては、現状の水準測量だけの場合に比べて3~4割ほど削減できると試算しています。

—導入の際のポイントはありますか？

最初は、購入しなければならない画像が多いこともあり、少し初期費用がかかります。しかし、長い目で見ればコスト削減につながるでしょう。しかも面的に、より正確に地盤沈下の状況を把握できるため、今後、広く利用してもらえるようになればと思っています。

—今後、ALOS-2の後継機の打ち上げも予定されています。期待することなどありましたら教えてください。

一回でより広域の観測が可能になると聞いています。結果として、購入が必要な画像の数も減り、さらにコストが削減されるのではないかと期待しています。また、同じ場所が観測される頻度も増えるため、ほしい画像がより手に入りやすくなるかと思います。このマニュアルの公表をきっかけに、地盤沈下観測においてSAR画像が有用であることをより広く知ってもらうとともに、後継機がさまざまな分野で活用されることを期待しています。

環境省

<http://www.env.go.jp/>

地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル

<http://www.env.go.jp/press/104084.html>

» 河川の維持管理コストをSAR画像・解析により軽減

台風などを原因とする水害が多い日本では毎年、河川が増水しやすい時期の前後に、堤防や樋管(河川から農業用水などを取水・排水する目的で設けられる暗渠のこと)といった河川周りの構造物の点検が全国的に行われます。現在は、あらゆる河川に沿って人が歩き、目視してその状態を調べるという方法が取られていますが、その実施には多大な費用と労力がかかります。その省力化を第一の目的として、ALOS-2のSAR画像を使ってより効率的に行える点検システムの構築が、日本工営株式会社とJAXAによって進められています。

基本的な方法としては、河川を観測したSAR画像を干渉解析(p31参照)することで堤防に変動がないかを確認します。変動が検出されたら、その付近の堤防に何らかの変形が起きている可能性が推測できます。そうした箇所だけを人が直接確認に行くという点検

方法の確立が目指されています。

ただ堤防は、人や車が行き来する箇所とそこから下方に延びる斜面とでは地面の状態が異なったり、斜面上に生える植物がノイズとなるため、正確な解析には工夫が必要となります。たとえば干渉解析も、ノイズを少なくするために15シーンものSAR画像を重ね合わせた「時系列解析」を用い、最適な解析方法の探求が進んでいます。

また、河川内部に生える樹木の状態を知るという用途にもSAR画像が利用できる可能性が探られており、いずれは堤防のみならず、河川全体の維持管理がSAR画像で行えないかも検討されています。

現状、コスト面で河川の維持管理が地方自治体にとっても大きな負担となっています。その解決策にALOS-2が力を発揮することが期待されます。

ALOS-2データでの堤防変形量解析結果

【干渉SAR時系列解析による地形変化量の推定】

●ALOS-2の観測データを用いて、強度解析、差分干渉SAR解析を実施し、LPデータと比較した。

●観測結果は、下図に示す通り、左岸11.5km以下を除くと隆起・沈降の傾向は80%以上の正答率であった。また、誤差は、1.5cm以下と目標の5cm程度の誤差に収まっている。

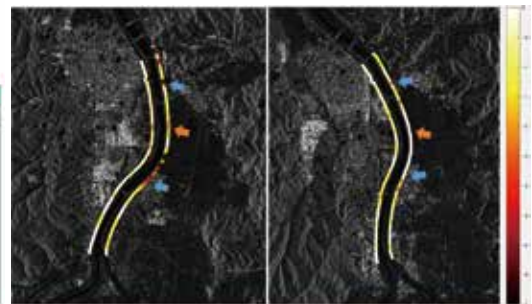
衛星による計測機器の諸元

| | |
|----------|---------------|
| 観測周波数 | Lバンド(1.2GHz帯) |
| 空間分解能(m) | 3(ALOS-2) |
| 観測幅(km) | 50(ALOS-2) |

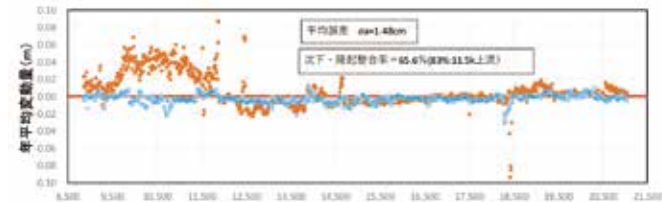
衛星による計測機器の諸元

| | | |
|------|---|---|
| 軌道 | 21 | 128 |
| 観測方向 | 東南東から西北西 | 西南西から東北東 |
| 観測日 | 2015年2月13日 2015年8月14日 2015年9月25日 2015年12月4日 2016年3月11日 2016年6月17日 2016年7月29日 2016年8月26日 2016年11月18日 | 2014年9月15日 2015年2月16日 2015年6月22日 2015年10月12日 2015年12月7日 2016年3月14日 2016年5月9日 2016年6月20日 2016年11月21日 |

干渉SAR時系列解析結果例：沈下量の推定結果
(左：アセンディング、右：ディセンディング)

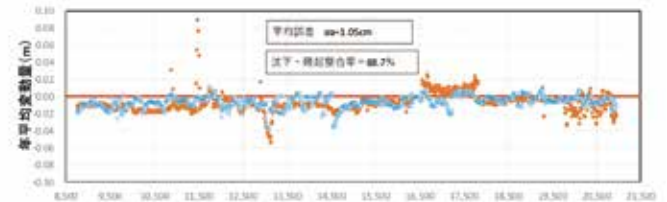


円山川左岸堤防変形量比較 (LPとALOS-2)



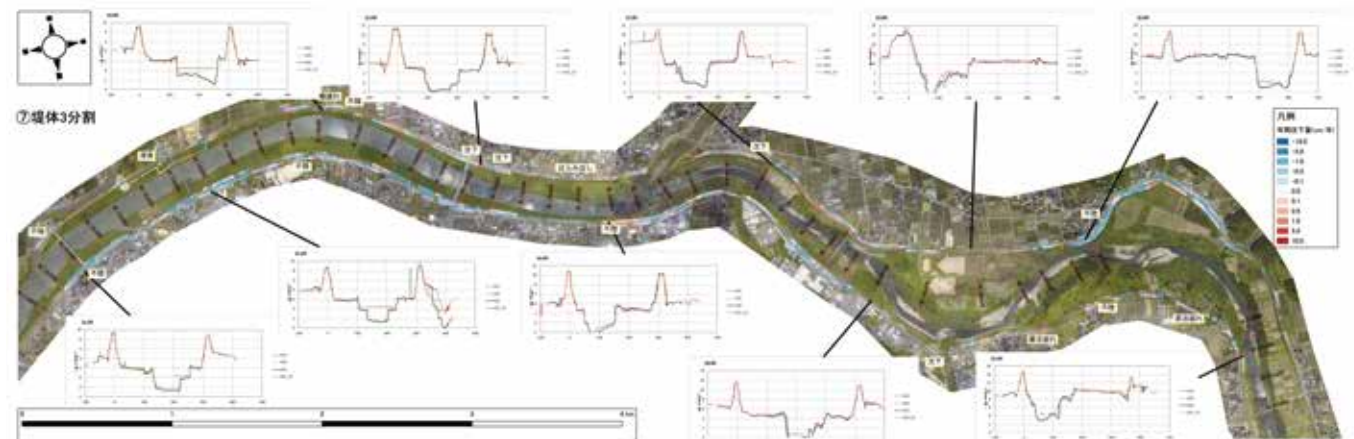
●観測期間平均変動量 ●ALOS-2変動量

円山川右岸堤防変形量比較 (LPとALOS-2)



●観測期間平均変動量 ●ALOS-2変動量

ALOS-2の観測データを用いて差分干渉解析などを行い航空レーザ測量と比較した結果、80%以上の正答率で、誤差は1.5cm以下。



解析した堤防変形。赤く染まった箇所は沈下箇所、青色は隆起を示す。

出典：国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所

120,000km以上の日本の河川。(73,000km以上の日本の河川堤防(国)が管理する堤防延長は13,400km) 堤防の維持管理システムを構築する

台風や豪雨による水害を防ぐために、河川の監視は欠かせません。その中心的な部分となる堤防の維持管理に、ALOS-2が活かされようとしています。システム構築を担う会社の担当者に伺いました。

日本工営株式会社 流域・都市事業部
河川・水工部 次長

陰山建太郎さん

——日本工営株式会社の事業と、陰山さんのお仕事の概要について教えてください。

1946年に創業した弊社は、主に国内外のインフラにかかわるコンサルタント業を行っています。国内でいえば、国土交通省や地方自治体が行うインフラ建設の設計計画段階における基礎調査や、既存の構造物の状態評価といった業務を行っています。私は河川構造物を担当しているため、インフラの中でも堤防の設計や維持管理に関わっています。最近の日本では、台風や豪雨などによって河川が増水、氾濫することによる被害が数多く起きています。そうした意味でも堤防の状態を監視して、適切な維持管理を行っていくことはとても重要です。

——堤防の維持管理においてALOS-2が活用されることになったことですが、どのような背景があったのでしょうか。

日本の河川は、国が管理している分だけでも長さにして8,700km(堤防延長13,000km)近くあります。現状では、技術者が定期的に現地を歩いて目視で点検することで堤防の維持管理を行っていますが、その費用は莫大です。また、技術者の減少や、技術者個人の力量に依存するという問題もあり、衛星データなどを活用することでより効率的で正確な維持管理ができないかと検討が進められてきました。その中で、SAR画像の干渉解析によって堤防の変形を捉えるという方法が有効であることがわかり、ALOS-2によるSAR画像を利用した堤防の維持管理システムを構築することが決まりました。

——SAR画像の具体的な利用方法を教えてください。

基本的には、撮影時期の異なる複数のデータを使った干渉解析(p31参照)を行うことで、堤防に変動がないかを確認します。変動が検出されたら、その付近で堤防に亀裂が入っているなど、何らかの変状が起きている可能性が考えられます。そうして、全国の堤防の中から、問題がありそうな部分のあたりをつけ、その場所だけ実際に技術者が行って確認を行うというようにできれば、すべての堤防を目視



USER
INTERVIEW

で確認している現状に比べてかなり省力化できるはずですが。このようなシステムの構築を目指して開発を行っているところです。

——システムの完成は平成30年ごろになるとのことですが、何か課題はありますか。

堤防は台形状になっていて、一番高い水平面の部分(天端)とそこから下方に延びる斜面(法面)とでは状態が異なります。また、堤防法面は一般に植生で覆われているため、それがノイズの原因となることもあり、SAR画像を用いて正確に解析することは簡単ではありません。干渉解析は通常、2枚のSAR画像で行われますが、堤防の観測の場合、それでは十分な精度が得られないために、私たちは15枚の画像を使い、「時系列解析」という方法を用います。そのように様々な工夫をすることで、実際の状況と衛星からの観測が十分な精度で一致するようなアルゴリズムの構築を目指していますが、まだこれから数々の検討が必要な状況です。

——まだ開発中とはいえ、システムが動き出したらかなりの省コストが実現できそうですね。

システムが完成してもしほらくは現状の方法も続けられるため、すぐにコストが劇的に下がるということはないかもしれませんが、長い目で見たときに、こうしたシステムは確実に必要であるため、大きな意味を持つと考えています。

また堤防とは別に、河川に生える樹木も、水の流れる断面積(河積)を狭める原因になるため、状況の把握や管理が必要です。それをSAR画像によって評価する方法も現在検討されています。そのようにゆくゆくは、このシステムによって堤防のみならず河川全体の維持管理ができるようになることを目指しています。

後継機のALOS-4は観測頻度が上がると聞いています。そうなれば、災害などがあつたときも河川の状況をより迅速に捉えることができますし、私たちも期待しています。

日本工営株式会社

<https://www.n-koei.co.jp/>

» 長期的な地殻変動を捉え地震予知研究に貢献

地殻変動は、長期間にわたり地殻の位置が年間数ミリから数センチ程度移動する現象で、地震や火山などと関連した現象として地表に影響が現れます。日本周辺は4つのプレートで覆われており、地下深くにあるプレートや断層の運動は火山、地震と密接に関係していると考えられています。そのため、長期間にわたって地殻変動の動きを捉えることは地震や火山のメカニズム解明にも貢献すると考えられています。

地殻変動の挙動は国土地理院により、水準測量、三角測量、GPS等によって長期間にわたり観測が試みられていますが、宇宙からの目とその新たな手法として加わろうとしています。

この画像は、東京～千葉周辺をALOSのPALSARでとらえ、インターフェロメトリ処理したものです。赤色部分が、地面が衛星から遠ざかる方向に沈降している箇所です。特に九十九里平野の大部分において地盤の沈下の様子が捉えられています。

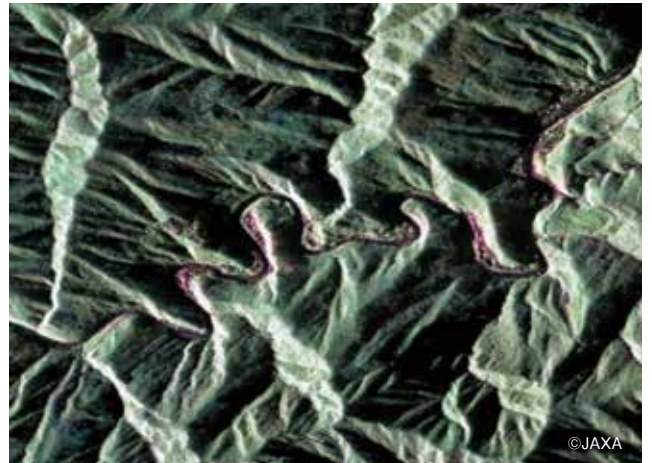
道路や線路の保守点検・管理に利用

日本では深い山に囲まれた道路や線路も珍しくありません。

右図は、Pi-SAR-L2で撮影した奈良県吉野郡天川村のSAR画像です。山間部を流れる川が画像上で暗く見えます。ALOS-2の3m分解能程度であれば、このように川を判別することができます。

このような地上から容易に監視できない箇所において、定期的に撮像したSAR画像を比較することで、川の氾濫や崖崩れの様子が分かり、周囲を走る道路や線路の点検や補修工事の優先順位を正しく設定することができます。

奈良県吉野郡天川村の道路の様子。
(航空機搭載SARにより
2012年6月18日観測)



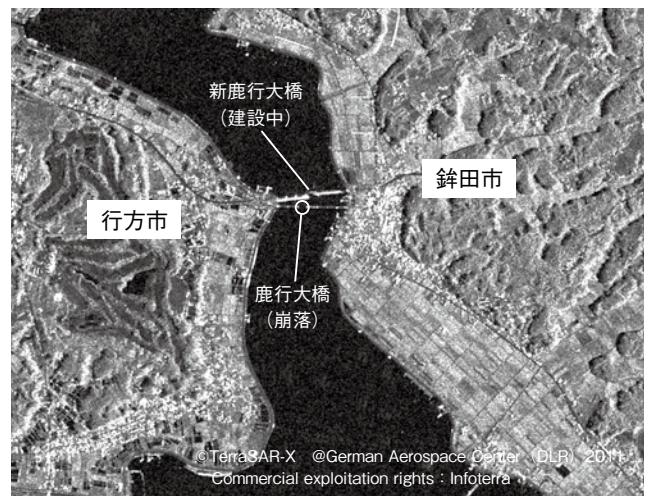
橋の管理に利用

広大な川に架かる橋の様子もSARでは捉えることができます。

図は、茨城県行方市と銚田市を結ぶ、鹿行大橋とその周辺のTerra SAR-X画像です。東日本大震災で鹿行大橋の一部が崩落したため、画像上では線が途切れてみえます。その北側に架かる大型の新鹿行大橋も不完全な形状で見えていますが、これは橋が建設中であるためです。この画像は震災時に内閣府をはじめとする防災関係省庁、地方自治体等に提供された物です。

ALOS-2では定期的に観測を行うことで、道路や橋などの状況を把握することができます。

東日本大震災で崩壊した鹿行大橋の様子。
国際災害チャーターより提供を受けた。
(TerraSAR-Xにより2011年3月13日観測)



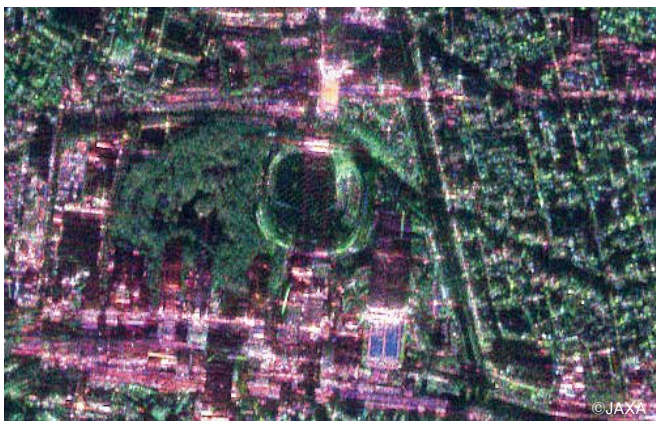
巨大構造物の管理

巨大構造物はそれ自体の重さで、地盤沈下を起こす場合があります。これは倒壊などの危険につながるため、定期的な点検が必要です。

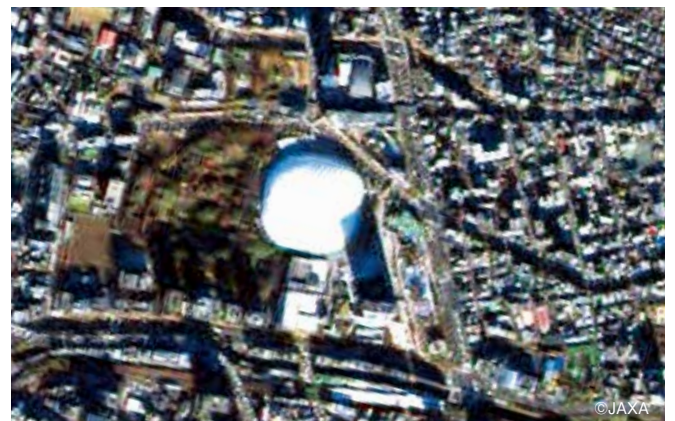
下の2枚の図は、東京ドームとその周辺の画像です。右図は光学画

像、左図がSAR画像(航空機搭載SARより観測)です。

ALOS-2のPALSAR-2では高分解能の画像が取得できるため、東京ドームのような巨大構造物を定期的にSARで観測することで、光学画像では分からない地盤の動きまで見ることができます。



SAR画像(航空機搭載SARにより2012年4月18日観測)
赤色はHH偏波、緑色はHV偏波を示す。



光学画像(ALOS/AVNIR-2,PRISMにより観測)

SOLUTION >>> 森林

森林の監視こそ、 人類の未来責任

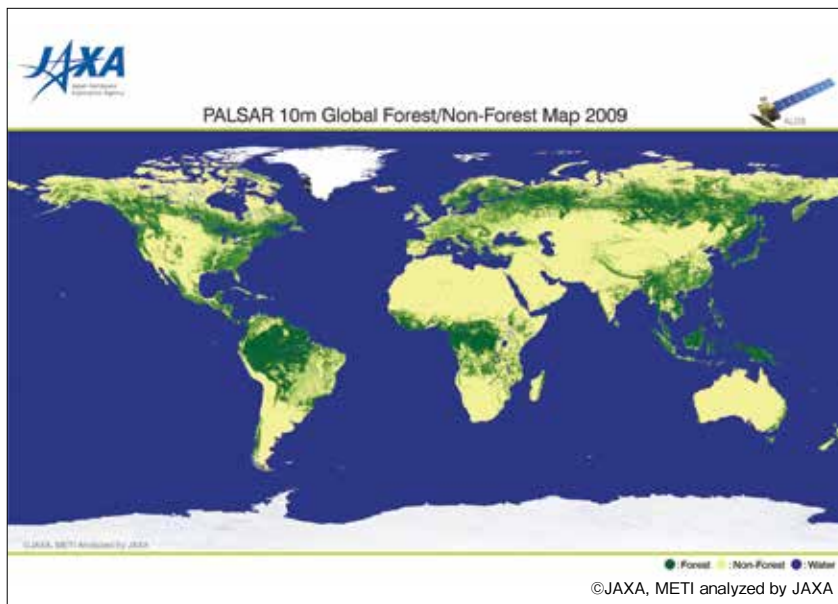
森林の違法伐採、干ばつ、砂漠化のような広大な土地にわたる変化を地上から把握することは困難です。雲に覆われる山岳部や赤道直下地域でもSAR衛星なら天候や昼夜の影響を全く受けません。

>>> 森林を観測して、間伐事業に活かす

LバンドSARは、雲の影響を受けにくい上、植生を透過する特性があります。そのため、雲に覆われることの多い熱帯雨林の観測にも有効です。日本はこれまで、LバンドSARによる継続的な森林観測を行ってきました。1992年に打ち上げられたJERS-1(ふよう1号)から2011年に運用を終了したALOSまで、途中の空白期間はあるものの11年以上の長期間にわたって観測したデータが得られています。

また、2014年に打ち上げられたALOS-2では観測に使える電波の種

類が増え、より多くの情報が得られるようになりました(P.30参照)。例えば、木の種類や高さが一部判別できる可能性があり、植林・間伐事業において樹種の分類や分布情報まで把握できることが期待されています。また、地球上の炭素量や森林のCO₂吸収量がより高い精度で推定できると考えられており、世界中の森林伐採の監視や地球温暖化を防ぐための国や国際機関などによる政策決定に役立てられることが期待されます。



(上) 全世界森林マップ (ALOS/PALSARにより2009年観測)

(下) ブラジルロンドニア州の森林伐採 (上: JERS-1/SARにより1996年観測、下: ALOS/PALSARにより2009年観測)



》》 ALOS-2を使った新しい森林監視システム「JJ-FAST」の可能性

日本はこれまで、LバンドSARを用いた継続的な森林観測を行ってきました。1992年に打ち上げられたJERS-1(ふよう1号)から始まり、ALOS、ALOS-2へと発展して引き継がれ、その歴史は25年にも及びます。長期間に得てきたデータは、各国や国際機関の政策にも活かされており、例えば、ブラジルの森林違法伐採を監視するプロジェクトにおいては、2010年から2011年の間に1000カ所の森林消失と150カ所の違法伐採を発見することに貢献しました。

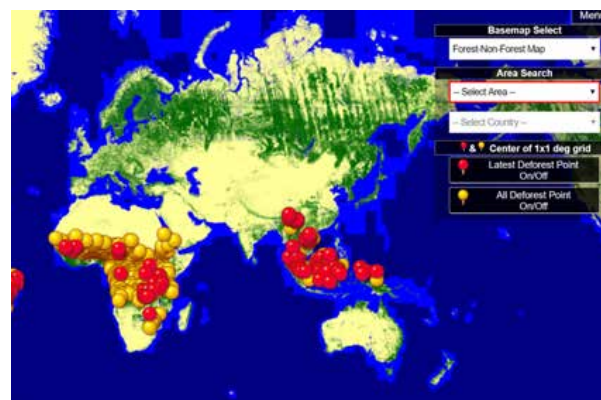
そうした蓄積を基に2016年、ALOS-2を使った新しい森林監視システムが、国際協力機構(JICA)とJAXAによって立ち上げられました。それがJJ-FAST(JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics/JICA-JAXA熱帯林早期警戒システム)です。世界の熱帯林のほぼ全域にあたる77の国・地域の森林を1.5カ月ごとに観測(広域観測モード、分解能50m)し、世界のどこからでも自由にアクセスできるようにしたシステムです。

JJ-FASTのサイトでは、世界の熱帯林における2016年4月から現在に至る森林減少の様子を世界地図上で確認することができます。森林減少地をクリックして拡大すると、その場所の地域名や面積、位置などを知ることができ、さらには現地からの詳しいフィードバックも書き込めるようになっています。伐採検出域を示すGISデータもダウンロード可能です。

SARでは樹木が多いところは明るく、少ないところは暗く映し出されます。その性質を利用し、明るかったところが暗くなれば森林伐採が行われたと推測するという基本的な原理としています。今後さらに検出精度を上げること、小面積の伐採地も判別できるようにすること(現状では5ha以上で判別可能)、システムの全自動化といったことを目指し、改良が続けられています。森林監視が喫緊の問題である各国や地域にとって大きな力となることが期待されます。



JJ-FASTは2016年11月に行われた気候変動枠組条約第22回締約国会議(COP22)の際、世界に公開された。



JJ-FASTの使用画面。発展途上国などで通信速度が十分に確保できていない地域でも閲覧できるように、できるだけデータ量を軽くする工夫をしている。

SOLUTION PROPOSAL

ソリューション提案

- 林業での森林モニタリングの活用
生育の状況を定期的にモニタリングし、植林、間伐と伐採の計画を作成する。
- 森林モニタリングによる砂漠化の防止
砂漠地域等の植生の実態を把握し、砂漠化を食い止める政策決定に役立てる。

SOLUTION >>> 海洋

広すぎる海だから宇宙から見る

海洋国家である日本にとって、海上輸送の安全を確保することは極めて重要です。

航路上の安全の確認や新エネルギー開発における海洋利用の観点からも

SAR データが活用されることが期待されています。

>>> ALOS-2により観測頻度向上。海水を監視し、海難事故を防ぐ

オホーツク海は、漁業資源の宝庫であるとともに、日本近海で唯一海水が存在する海域として知られています。

海水は、見る上では美しい冬の風物詩である一方、船舶の航行においては障害であり、時に事故の原因となります。そうした海難を防ぐことを主な目的に、海上保安庁第一管区海上保安本部海水情報センターは、海水の分布状況などを「航行警報」や「海水速報」として配信しています。複数の機関からの情報をもとに作られ、「海水速報」は海水が現れる時期(12月下旬から5月初旬頃まで)に毎日更新されています。同センターの「海水速報」がインターネット上で利用されるようになった2003年以降、海難は減少しています。

この「海水速報」に、ALOS-2の広域観測モードで撮影したデータ

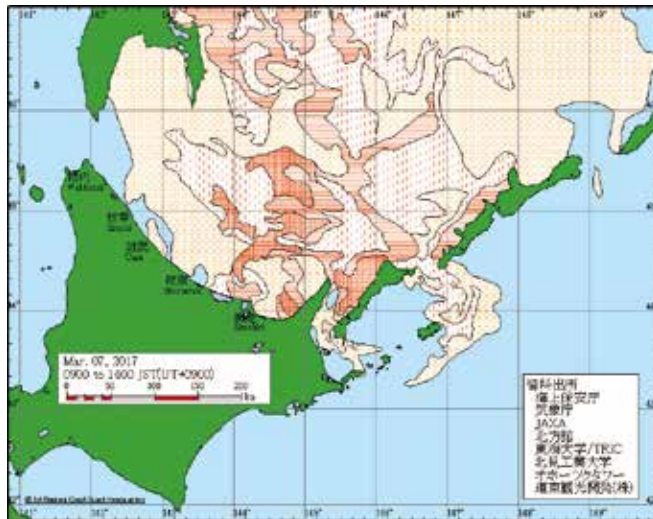
が活かされています。冬季のオホーツク海は荒天の日が多く、上空が雲に覆われるため、雲の影響を受けないALOS-2のSAR画像は貴重な情報源となります。それらの貢献によりJAXAは、2017年9月に海上保安庁長官より表彰も受けています。

先代のALOSからALOS-2に代わって、回帰日数が大幅に短くなったこと、そして観測幅が広がったことによって、観測頻度は上がりました。それでも、観測条件などの影響もあり、海水速報への活用は現状、3、4日に一回程度となっています。

開発中であるALOS-2の後継機では、さらに観測幅を広げることにより観測頻度の向上を目指します。そのため、SAR画像が現状以上に海水観測に役立てられることが期待されています。



ALOS-2が撮影したオホーツク海の海水画像。
観測日時2017年2月13日午前11時25分(JST)。昼夜・天候に影響を受けず観測できる。



複数の情報を解析し作成した海水速報(2017年3月7日)。
海水シーズンにおいて海水がオホーツク海で最も広がった日。

ALOS-2 であれば、 天候に左右されず 海氷を観測できる

海氷による船舶の事故を防ぐため、海上保安庁の海氷情報センターは海氷を監視し情報提供をしています。その際 ALOS-2 のデータがどう活用されているのか。海氷監視の最前線で、お話を伺いました。

海上保安庁第一管区海上保安本部
海洋情報部長
古田 明さん



—海氷情報センターの役割、お仕事を教えてください。

海上保安庁に設置された当センターは、海氷による海難事故を防ぐために、海氷の分布や動向を把握し、周知するのが主な役割です。具体的には、航空機や巡視船艇、沿岸の海上保安部署などからの観測、さらに、他の協力機関による海氷観測情報や人工衛星からのデータを分析・整理して、海氷の分布状況についての情報を「海氷速報」として毎日提供し、また、航行安全上緊急性の高い海氷の情報は、船舶に対し「航行警報」として随時提供しています。

—どのような方法、頻度で海氷速報を作成しているのですか？

収集した観測情報をGIS(地理情報システム)のソフトを使って重ねて表示させ、担当者がそれを目で見確認しながら、海氷の分布状況とその密接度(海面のうち氷に覆われている割合を示す値)、そして雲の分布を、図に描いて速報を作ります。海氷が北海道周辺に現れる12月20日ごろから翌年の5月初旬ごろにかけて連日この作業を行い、毎日午後5時ごろに更新します。この海氷速報は、当センターのホームページでどなたでも見ることができます。

—毎日、人が手で作っていくというのは大変そうですね。作るにあたって特に注意している点はありますか。

実際なかなか大変です(笑)。海氷速報の作成は長期間に亘る休日も含めた作業となるため、当部職員による当番制で作成しており、品質に個人差が生じるが、なるべく均一になるように留意しています。だいたい午後1時ぐらいからデータが集まり出し、それらすべてを当番が分析、検討して図を作るのに、午後5時前までかかります。その後、みなで確認し、必要に応じて修正を加えて完成させます。注意している点はやはり正確さですが、特に重要なのは、普段は海氷がないような場所に海氷がある場合や、海氷域の端にあたる部分です。そうした場所では事故が起こりやすいからです。

—複数の観測情報を使って海氷速報を作る中で、ALOS-2によって得られる画像はどのような役割を果たしていますか。

速報を作る上で最も重視するのは航空機などからの目視情報です

が、航空機が飛べるのは週に一度ぐらいであるため、衛星からのデータは貴重です。晴れていれば光学衛星で撮った画像により鮮明に海氷が見えますが、曇が多いときは、天候に左右されずに広範囲の海氷を観測できるALOS-2の画像がとても有用です。また、曇天が続くような時に航空機で海氷観測をする際には、できるだけ効率的に情報が得られるよう、ALOS-2の画像を参考に飛んで観測するようにしています。そうした意味から、飛行コースを決めるのにもALOS-2の画像が活かされています。ちなみに、平成28年～29年にかけての冬季はALOS-2の画像を43枚使用し、平成29年～30年の冬季は78枚利用する予定になっています。

—2017年9月にJAXAは、長年にわたる海氷観測データの提供によって海上保安庁長官より表彰を受けました。どういった点を評価されたのでしょうか？

JAXAには、ALOS-2などの衛星から得られた画像を当センターが速やかに活用できるよう、データエリアの調整及び独自のデータ処理を行ってもらっています。そうした積み重ねが、海氷海難防止へ大きく貢献しており、私たちは高く評価しています。

—ALOS-2の後継機の打ち上げが今後予定されています。海氷監視の観点から、期待することはどのような点でしょうか？

後継機は、観測幅が広がることでより頻繁に画像が得られるようになるかと聞いています。また空間分解能が向上することで、薄氷域や小規模な海氷の判別も可能になりそうなので、私たちも期待しています。一方、画像の容量が大幅に増加し、その伝送にいま以上に時間がかかることが想定されます。海氷速報の作成は時間との勝負でもあるので、その点の対策もお願いできればと思っています。

海上保安庁

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/>

海氷速報サイト

<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/1center.html>

海上風の観測から、風力発電所の立地場所を探す

風力発電が再生可能エネルギーの1つとして今、特に重要な存在となっています。その発電所の設置場所として、海上が注目されています。海上は陸上に比べて風が強いため、エネルギー供給源として安定しており、また騒音や景観などの問題も少ないためです。

海上に風力発電所を建てるためには、まず海上において風が強い場所を探し、またどのくらいの強さなのかを知る必要があります。その際に力を発揮するのがSARデータです。

海面は、風によって摩擦を受けることで波が起きます。まずは小さな波（さざ波）が立ち、風が強まるとそれが発達して大きな波となっていきます。つまり、風が吹いて波が生じると水面が滑らかではなくなるため、水面の「粗さ」を見ることで風の強さが推測できます。

SAR画像では、波のない静かな水面は暗く、波があって粗い水面は明るく見えます。ALOS-2はALOSに比べて感度が上がっているため、より暗いところまで見ることができ、より高い精度で風の強さを推測することが可能になります。

ALOS-2は「だいち2号」というだけあり、主な観測対象は陸地なのですが、沿岸から200kmまでの海域は観測計画に入っているため、世界中の沿岸海域については海上風の強さを推測できることとなります。

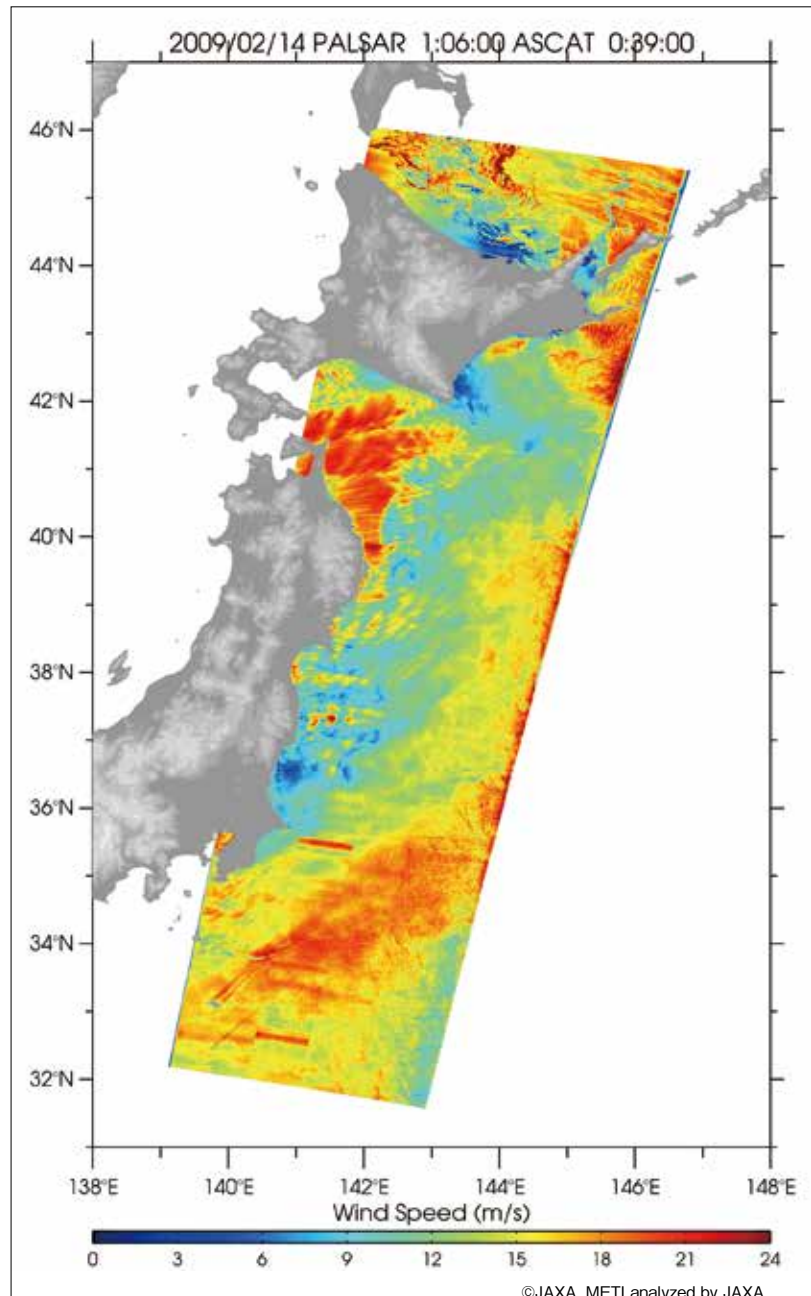
現在、世界各国では未来の電源やエネルギー計画について議論が巻き起こっています。世界各地の海上風の強さを測れるということは、ビジネスとしても非常に価値があると考えられます。



© 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

(左) 北九州市沖洋上風力発電設備
(右) 東日本近海における海上風の解析
(ALOS/PALSARにより2009年2月14日 観測)

右図は2009年2月14日に北海道から東日本沿岸を観測したPALSARの広域観測モード(350km幅)により算出した海上風速分布を示しています。暖色系が強風域を表わしています。観測時には低気圧が北海道上に位置しており、北海道の南側で西風、北側で東風の風系となっています。沿岸風は陸上地形の影響を強く受けますが、津軽海峡から三陸沖の沿岸では西風に対して沿岸付近から沖に向けて強風域が確認できます。さらに、山岳波の影響と思われる波動状の強風域のパターンが確認できます。沿岸域の海上風は大気の成層状態によっても影響を受けますが、SARではそれらの海上風分布を高解像度で把握することが可能となります。

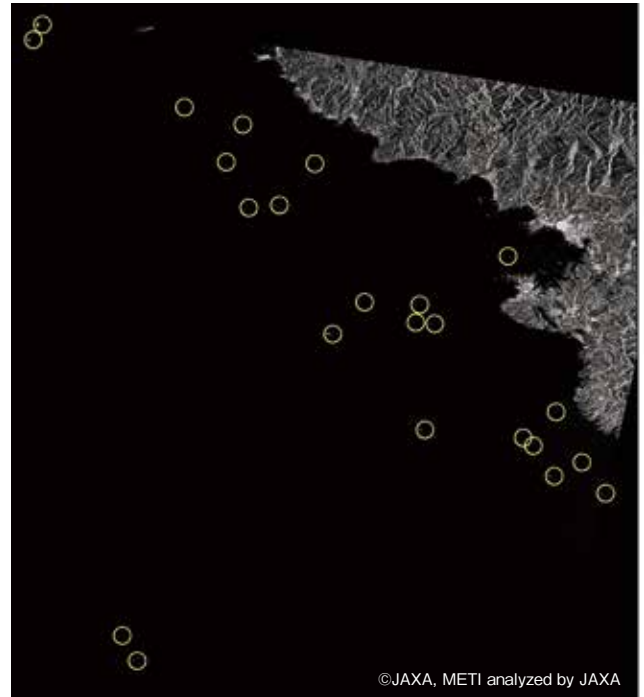


安全安心な漁業や航行サービスを提供

船舶の安全な航行、違法操業の漁船や不審船などの発見のために、船舶の動静をモニタリングすることができます。

右図はALOS搭載PALSARで観測した近畿沖の画像です。同時期に取得した沿岸局のAIS(船舶自動識別装置)データを併せてプロットしています。PALSARでは、分解能の2~3倍程度の大きさの船舶を見ることができました。ALOS-2はSARとAIS受信機を同時搭載している世界で初めての衛星です。SAR画像により船舶の分布状況が分かり、さらにAISデータを組み合わせることで、船舶の詳細情報が分かるようになります。

このようにSAR画像とAISデータを組み合わせることで、違法漁業対策や油の流出経路に沿って運行している船舶の調査に役立てられたり、沖合の海上プラントなど海上施設周辺の船舶の状況把握に利用できます。また、船舶運航会社は、通航予定経路の船舶分布状況や小型船舶の存在の有無を予め確認することができます。

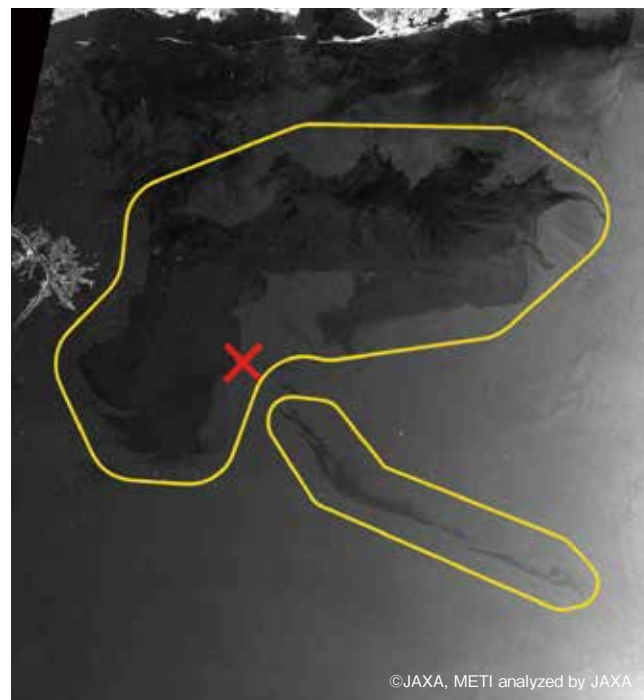


近畿沖の船舶検出状況。SAR画像にAISデータ(AIS沿岸局)を重ねている。(ALOS/PALSARにより2010年観測)

海洋汚染の状況の把握と対策

2010年4月20日にメキシコ湾の海底石油掘削施設で爆発が起き、大量の原油が流出しました。数か月にわたって流出は続き、百キロ規模の油の帯が生じました。右図は、この際にALOS搭載PALSARで撮像したSAR画像です。海上に油が流出すると、海面にオイルスリック(油膜)が生じます。オイルスリックは普通の水面に比べて滑らかなため、SAR画像ではより暗く写り、水面との違いがはっきりと分かります。

これは海底に眠る資源探査にも活かれます。上記のような事故ではオイルスリックが一時的に発生するのに対し、海底油田から油が滲み出てくる場合は常時見られます。



メキシコ湾での油流出の様子(黄色の枠内が流出箇所)(ALOS/PALSARにより2010年観測)

SOLUTION PROPOSAL

ソリューション提案

- 船舶の安全を確保
漁業関係者や海運会社などが、航海中の船の安全を確認する。
- 再生可能エネルギーの立地選定
国内外での風力発電所の立地資料として役立つ。

SOLUTION >>> エネルギー

眠るエネルギーを探し出せ

SARデータから分かることは、地表面にあるモノや人間の目で見えるものだけではありません。

化石燃料や鉱物など地下に眠る様々なエネルギー資源の探査においてもSARデータが利用されています。

>>> 地下に眠る資源の兆候を探し当てる

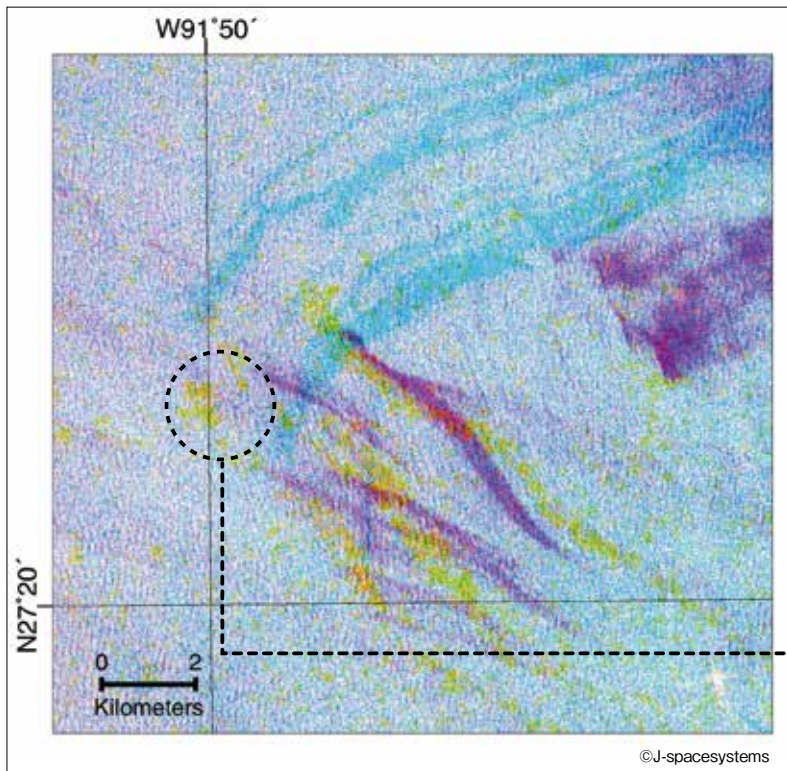
海底油田がある場所では、^{しんしゅつ}滲出した油が海面に浮かび、その後海流や海上風によって帯状のオイルスリック(油膜)を作ることがあります。

オイルスリックをSAR画像で見ると水面よりも暗く見えるため、異なる時間のSAR画像で常にオイルスリックが確認できる場所では、海底から石油が滲み出していることが示唆されます。

左図は、米国ルイジアナ沖のメキシコ湾におけるALOSのPALSARによって観測された3時期のデータをカラー合成したものです。3時期のオイルスリックの帯が一カ所から流れ出ているように見えるの

を手がかりに、海底からの石油の滲出点を推定することが可能です。

また、陸域で鉱物資源を探査する際にもSARが利用できます。基本的に鉱物は、地下の熱水に溶け込んでいた化学成分が地中の割れ目や断層に沿って上昇し、地表近くで冷えて固まることで形成されます。このような鉱物が多く存在する可能性のある露頭(地表に露出している鉱床)を、SARでは見つけることができると考えられています。特に、LバンドSARでは森林を透過して地表面を観測できるため、植生が多い地域における鉱物資源の探査にも適しています。



左: 3時期のPALSAR画像によるオイルスリックの合成画像

黄: 2006年6月25日

赤: 2006年6月13日

青: 2006年5月20日

右: 海面に浮上した直後のオイルスリック(光学カメラで撮影)

海底からの油滲出点である可能性が高い

SOLUTION
PROPOSAL

ソリューション提案

□ 海底油田の探査

オイルスリックを探することで、海底油田を探す。

□ 鉱物資源の探査

地表面に露出する鉱床を探することで、鉱物資源を探す。

SOLUTION >>>

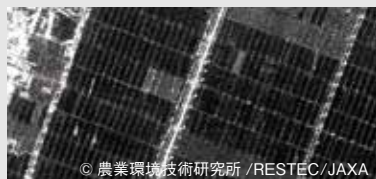
農業

未来の食料を支える

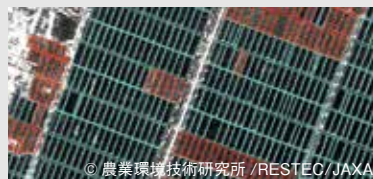
地球の人口爆発によって引き起こされる諸問題といかに向き合っていくかということは非常に重要な関心事です。食料問題においても、需要と供給の不均衡が予想されるため、農業の状況を正確に把握することが必要です。

>>> 水稲作付面積を高精度に把握する

【田植期】



田植期の水田画像を取得
(航空機搭載SARより2013年6月10日 観測)

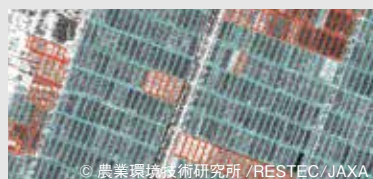


左の画像から、水面を抽出する。
青ポリゴン内が水面、赤ポリゴン内は水面以外。

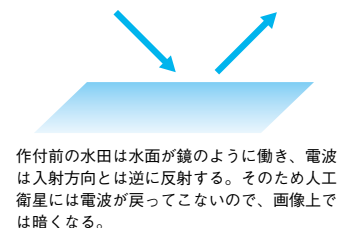
【生育期】



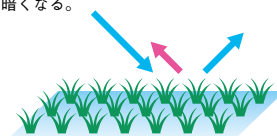
生育期の水田画像を取得
(航空機搭載SARより2013年8月8日 観測)



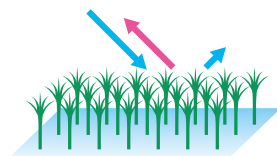
左の画像から、水田を抽出。田植期に抽出した水田(青ポリゴン内)の生育状況を把握して水稲が作付されたことを判断する。



作付前の水田は水面が鏡のように働き、電波は入射方向とは逆に反射する。そのため人工衛星には電波が戻ってこないで、画像上では暗くなる。



同様に、田植後、しばらくは電波の戻りが弱く、画像上では薄暗くなる。



やがて稲の生育とともに電波の戻りが強くなり、画像上では明るくなる。

食料問題に対応していくためには、まずは農作物の作付状況を正確に把握することが重要です。特に、多くのアジアの国々で主食として利用されている水稲の生産については、各国が正確で詳細なデータを必要としています。しかし実際に行われている調査はあまり信頼性が高いとは言えないのが現状です。そこでLバンドSARの出番となります。

水稲は作付する際に水を張るため、最初はSAR画像上では暗く見えます。稲が育ち水面が隠れるにつれて徐々に明るく見えるようになっていきます。つまり、観測時期の異なるSAR画像を比較することで、明るさが変化した土地が水稲の作付域だと判断できます。

タイではすでにALOSのPALSARのデータを使ったこの利用の検証が終わり、現在、実用化に向けALOS-2のデータを活用した研究

を行なっています。ALOSでは狭い範囲の地域にしか使われていませんでしたが、広域でも詳細なデータが得られるALOS-2では、県全体などより広い範囲で食料安全保障上の基礎データとして使われることが期待されています。タイ以外では、ベトナム、インドネシアなどでの利用も予定しています。

また、水稲以外にもトウモロコシやサトウキビといった比較的大きな作物もLバンドSARによって見分けられる可能性があり、応用利用が検討されています。

通常、水田や畑では休耕や転作がしばしば行われるため、作付状況の把握が必要となります。SARで広範囲にわたる作付状況を一度に把握できれば、より効率的な管理ができるようになります。

SOLUTION
PROPOSAL

ソリューション提案

□ 様々な食料の作付状況を把握

国内外で局地的に食料が不足することがないか、投資や政策決定の資料として利用する。

□ 事業展開の基礎資料として使用

国内外の作付状況と農産物の生育状況を把握し、事業展開や投資の基礎資料として利用する。

画像解析について知る(上級編)

SARセンサーの特徴を活かすと何ができるのかをここまで説明してきました。
その原理と代表的な解析手法について簡単に紹介します。

» 偏波とは？

同じ周波数の電波でも、地面に水平に振動するか(H)、垂直に振動するか(V)の2種類があります。これを偏波と言います。SARが送信する電波にもH、Vの2種類あり、またそれが対象物に反射して返ってくる受信波にも同様に2種類あるため、送信・受信の組み合わせで考えると、HH、HV、VH、VVの4種類の波(4偏波)があることになります。

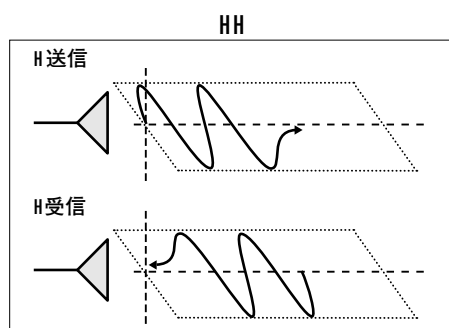
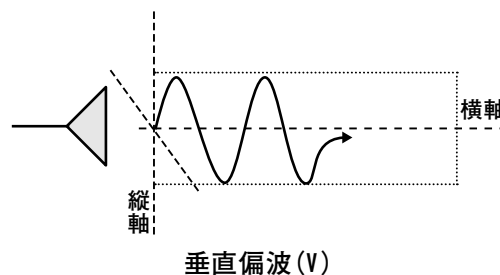
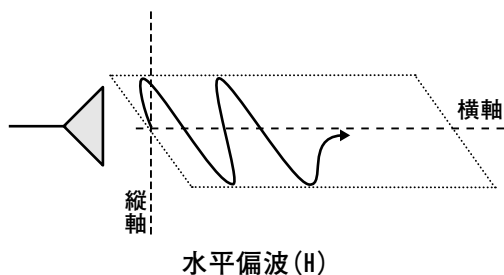
各偏波は異なる特性や情報を持っています。例えば、HHは透過性がよく、森林に覆われているような場所でもある程度地面まで届きます。その性質を利用すると、地震や地盤沈下などに伴う地面の動きを捉えることができます。一方、VVやHVでは、例えば森林を観測したときに、その場所が木々に覆われているのか裸地なのかを知ることができます。なお、HVとVHではほぼ同じような見え方になります。

す。

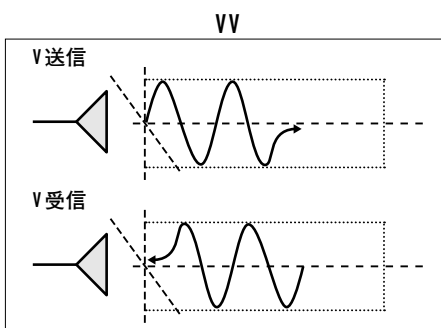
SARの強みの一つは、各偏波から得られた特性の異なる画像をさまざまな手法で合成させることによって、多様な解析ができることです。

ただ、常に4偏波すべての画像が得られるわけではありません。取得できる偏波の数は観測モードによって異なります。最も分解能が高いモードでは単偏波(HHまたはVVまたはHV)しか取れないものの、少し分解能を下げた、より広域が見られるモードにおいては2偏波、または4偏波すべての画像を得ることができます。

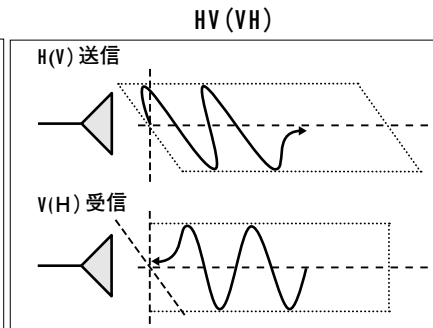
ALOS-2では、複数の偏波を観測できるモードが増えたため、解析の幅が広がりました。では具体的にどのような解析ができるのか、代表的な解析手法を紹介します。



森林をつきぬけ
地面の反射を見たいとき



樹木の幹からの反射を見たいとき



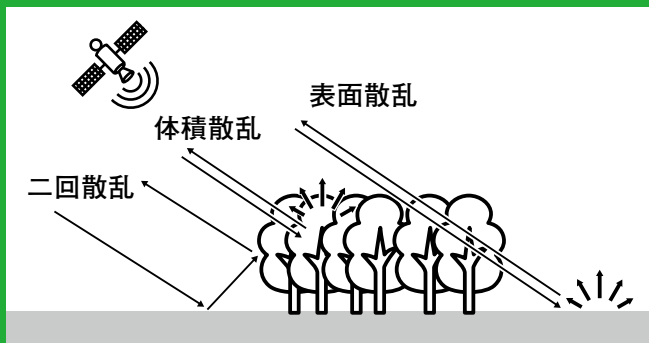
枝や葉からの反射を見たいとき

PolSAR (ポラリメトリ成分分解)

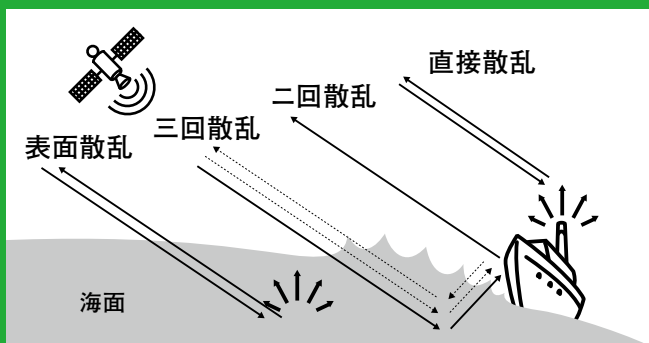
これは、4つの偏波から得たデータを合成してさまざまな方法で再分解することで、単偏波では分からない情報を引き出す解析手法です。4つの偏波を解析すると、電波が対象物に1回だけ反射したのか(一回散乱)、2回反射したのか(二回散乱)、それとももっと複雑に反射したのか(体積散乱、表面散乱)などの成分に分けることができます。戻ってきた電波の中に、どのような反射をしたものがどのくらいの割合を占めているかを調べることで観測対象の状態を探ることができます。

複数の偏波を使うとエントロピーという量を計算することもできます。エントロピーは「乱雑さ」を表す物理量です(一般に、乱雑なほどエントロピーが大きい)。例えば海水を見分けるときにも、エントロピーを計算することで、より高い精度で氷の状態が分かります(ALOSでは、海水観測の際によく使われる「広域観測モード」のときは単偏波しか取れなかったため、エントロピー計算はできませんでしたが、ALOS-2ではそれが可能になりました)。また土砂災害が発生し山が割れて地面が露出するとエントロピーが下がるため、そのような土地を見分けることにも利用できます。

≫ 利用例: 森林の密度、海上風や海水の情報を得る



森林地域での電波散乱の様子



海域での電波散乱の様子

D-InSAR (差分干渉SAR)

2枚の画像を比べて差分を取る干渉SAR (InSAR) に対して、差分から地形の変化に相当する情報を出すのがD-InSARです。この手法も地盤沈下や隆起といった地殻変動の観測に使われます。

≫ 利用例: 地殻変動、火山噴火予知、地盤沈下を見る

SBAS-InSAR (短基線長解析による干渉SAR)

これは干渉SAR時系列解析と呼ばれる手法の一つで、インターフェロメトリの拡張版とも言えます。インターフェロメトリでは、同じ場所で取った日時異なる2回のデータを比べますが、SBAS-InSARでは、同じ場所で多数回取ったデータを、一度に処理して比べます。

地盤がゆっくりと沈下している場合は、2時期のデータだけでは正確な動きは分かりません。しかし時系列を追って多数のデータを比べると微小な動きも分かります。

≫ 利用例: 火山活動、地滑り、建物の老朽化など、年間数ミリレベルの動きを見る

PS-InSAR (永久散乱体を用いた干渉SAR)

画像の中の多くの点の明るさは時々刻々変化します。しかしその中には、変動せずに常に明るい点(PS点)もあります。大きな人工構造物などがPS点に該当しやすいのですが、そうした点だけを選んで干渉させるのがこの手法です。安定して明るい点だけを選ぶのは、暗い点に比べて信頼性が高いからです。これらの点だけを見ていくと、広い範囲における非常に微細な地殻の変動などを捉えることができます。

Lバンドは、CバンドやXバンドよりも多くPS点があることが分かっているため、この解析手法の利用に適しているといえます。

≫ 利用例: 都市域の地盤沈下を見る

PolInSAR (多偏波干渉SAR)

ポラリメトリ成分分解とインターフェロメトリ(同じ場所を2回以上観測してデータの変化を見る方法。干渉SAR、InSARとも言う)を組み合わせたものです。同じ場所で4偏波のデータを2度に分けて取り、この2時期のデータを干渉させて解析します。

≫ 利用例: 森林の高さやバイオマス量など植生の情報をより詳細に得たり、土地被覆をより高精度で得る

新しい解析手法とプロダクトについて

衛星画像の解析には様々な手法がありますが、研究によって新たな手法も開発されています。一例として SAR の「カラー化技術」をご紹介します。また、プロダクトについてをご紹介します。

» モノクロからカラーへ、甦る地面の表情

SAR画像は白黒で、初めてのSAR画像利用者にとって分かりにくい印象を与えてしまうことがあります。この問題を解決するべく、SAR画像を疑似カラー化する技術を一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC) が開発しました。

SARについて簡単に言えば、観測する対象の表面の状態(滑らかかザラザラか)や形状の違いを、明るさの違いとして表現しています。表面や形状の違いによって、電波の反射の仕方が異なるからです。その結果、水面は暗く、植生は薄暗く、都市部は明るく写ることになります。

この疑似カラー化技術では、そのような観測対象の特徴(ザラザラさ、滑らかさ、周辺との類似度、色のばらつき具合など)をピクセルごとに解析します。そしてそれぞれの特徴がどのくらいの程度なのかを数値で表し、その値をRGBの色の値として置き換えることを行います。その結果、光学画像に近い画像が得られます。

表面状態が同じものの色を区別することはできない(例えば、周辺の状況や表面の状態が同一の、緑色の車と赤色の車があるとすると、その両者の色を見分けることはできない)など、光学画像とすべて同じにはなりませんが、下図の通り、一見したときには写真のイメージに近づいているといえるでしょう。

これまで分かりにくいと思われがちだったSAR画像が、この技術によって直感的にも理解しやすいものになることで、より多くの人に、SARを使いやすいものとして認識されることを目指しています。また、この技術の期待される利用法の一つ挙げると、これまで光学画像を使って作られていた土地被覆分類図(土地がどのように使われているか示す図)が、SAR画像によっても作ることができるようになりました。

疑似カラー化技術によってSARのユーザーや利用法がさらに拡大することが期待されます。



©JAXA



筑波宇宙センター周辺
(上) 航空機SAR (Pi-SAR-L2) 画像
(下) 航空機SAR (Pi-SAR-L2) 画像をもとにカラー化した画像

©RESTEC included ©JAXA
(RESTEC 特許申請中)

» ALOSで蓄積したアーカイブ画像で、過去と現在を比較できる

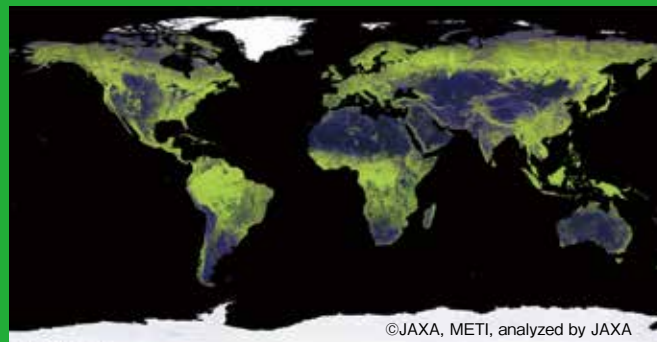
JAXAは、ALOS/PALSAR画像を使用し、全球をカバーする10m、または25m解像度のPALSARモザイクデータセットを整備しました。このデータは、オルソ補正、勾配補正、モザイク処理を施しているため、地図に重ねて容易に使うことができます。またこのモザイクデータにより森林・非森林分類画像も整備しました。

これらの画像は、PALSARが天候に左右されないレーダー画像であることを活かしたもので、森林や国土の経年変化を読み取ることができます。国内外の森林管理、国土管理事業に使用できます。

全世界をほぼ同時期(6~10月)に同一観測条件で撮影しており、ALOS-2でも同様の観測によるデータセットが更新されています。このようにALOS-2による継続した観測により、森林土地利用の時間的な変化を把握し、陸域起源の地球温暖化の要因の特定や、REDD+

(Reducing the Emission from Deforestation and forest Degradation plus) 活動を推進します。

10m解像度でのPALSAR全球オルソモザイクデータセット
(カラー合成処理を施しています)



©JAXA, METI, analyzed by JAXA

» PALSAR-2標準プロダクト処理レベル定義

| レベル | 定義 | フォーマット |
|---------|--|------------------|
| レベル 1.1 | レンジ圧縮及びアジマス圧縮を行った後の、スラントレンジ上の複素数データである。1ルックのデータであり、位相情報を含んでいるため、この後の処理のベースとなる。広域観測モードでは、スキャン単位でイメージファイルが作成される。 | CEOS SAR/GeoTIFF |
| レベル 1.5 | レンジ圧縮及びアジマス圧縮を行い、さらに地図投影した振幅データでマルチルックされたグラントレンジ上のデータである。 | CEOS SAR/GeoTIFF |
| レベル 2.1 | レベル 1.1 データに数値標高データを用いて幾何補正 (オルソ補正) を行ったデータである。 | CEOS SAR/GeoTIFF |
| レベル 3.1 | レベル 1.5 データに画質補正 (雑音除去処理、ダイナミックレンジ圧縮処理) を行ったデータである。 | CEOS SAR/GeoTIFF |

※レベル……P.36 Q6参照

» プロダクト毎のデータサイズ一覧 (GByte)

| 観測モード | スポット ライト | 高分解能 | | | フルポラリメトリ | | 広域観測 | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 3m | 6m | 10m | 6m | 10m | 350Km | | 490Km | | | |
| | | | | | | | 方式① | 方式② | 方式① | 方式② | | |
| 周波数帯域 | 84MHz | 84MHz | 42MHz | 28MHz | 42MHz | 28MHz | 14MHz | 28MHz | 14MHz | 28MHz | 14MHz | 14MHz |
| ピクセルスペーシング | 0.625m | 2.5m | 3.125m | 6.25m | 3.125 | 6.25m | 25m | | | | | |
| L1.1 (ジオリファレンス) * 1 | 4.3 | 5.2 | 2.4 | 1.0 | 5.5 | 2.1 | 3.5 | 6.9 | 27.1 | 54.1 | 6.0 | 46.8 |
| L1.5/L2.1/L3.1 (ジオリファレンス) | 3.1 | 1.2 | 0.8 | 0.2 | 0.7 | 0.1 | 0.4 | | 0.5 | | | |
| L2.1 (ジオコーデッド) * 2 | 6.1 | 2.4 | 1.5 | 0.5 | 5.7 | 0.9 | 0.7 | | 1.1 | | | |

・ジオリファレンス：衛星進行方向を基準に地図投影したもの
・ジオコーデッド：地図上での方向を基準に投影したもの

*：フルポラリメトリ以外、単偏波のサイズであり2偏波の場合は2倍

* 1: 代表的なオフナディア / スキャン番号のデータサイズ

* 2: 想定される最大のデータサイズ

・方式①(バースト方式)

バーストごとにレンジ圧縮及び1ルックアジマス圧縮を行う。シグナルデータはバーストごとに作成されるが、同一スキャンかつ同一偏波に属するデータは同じイメージファイルに時系列順に格納。

・方式②(フルアパーチャ方式)

バースト間のゼロ埋めを行い、レンジ圧縮及び1ルックアジマス圧縮を行う(処理はスキャンごと、かつ、偏波ごと)。

SAR画像を見たい! 使いたい!

無償、有償で様々なソフトウェアがありますが、本書ではALOS搭載PALSARデータの標準プロダクトを取り扱うことのできる無償のソフトウェアを紹介します。ALOS-2データは、GeoTIFFデータも利用できるため、ALOSデータより簡易に表示可能となりました。

» JAXA Let's SAR

PALSAR モザイク画像等地理情報を持つ画像を取り扱え、森林分類、森林減少把握等を行うソフトウェア群です。

- ・ JAXA Let's SARはJAXA/EORCのサイトより無償でダウンロード (Windows64-bit版) できます。
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/doc/jpal2_tool.htm
- ・ 現状は以下で紹介する2つのソフトウェアにおいて、森林関連の処理機能が付随しています。
 - 土地被覆分類 (Land Use/clover Classification)
オブジェクト指向分類エンジンを搭載した土地被覆分類ソフトウェアです。位置情報を付加した現地調査データを教師データとした分類が可能です。
 - 後方散乱係数変化 (Gamma-zero change)
2時期のPALSARモザイクデータにおける γ_0 の変化量を抽出し、森林減少・劣化を抽出できます。

» ALOS2 Viewer

ALOS-2に搭載されている合成開口レーダ画像 (PALSAR-2) の加工や表示ができる多機能プログラムです。

- ・ 一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC) が開発しました。
- ・ RESTECのサイトより無償でダウンロードできます。
<https://www.restec.or.jp/knowledge/alos2-viewer-software>
- ・ 氏名、所属、E-mail等の情報を入力する必要があります。
- ・ システム要件 OS : Windows7 以降 (32bit, 64bit)、CPU : 2.2GHz以上、メモリ : 2GB 以上、ディスプレイ解像度 : 1024×768 以上
- ・ ALOS-2/PALSAR-2の大きな画像ファイルを表示に適したタイル化処理。
- ・ ALOS-2/PALSAR-2偏波合成のカラー表示用タイル自動生成と表示。
- ・ 2時期のALOS-2/PALSAR-2画像の重ね合わせと表示用タイル自動生成と表示。
- ・ 2時期の複素ALOS-2/PALSAR-2によるインターフェロメトリ処理の実行と表示。
- ・ すべてのタイル画像のオルソ化処理と出力並びにこれを含むKML形式テキストファイルの生成 (Google Earthで表示可能)。
- ・ 差分インターフェログラムの生成とコヒーレンス画像の生成ならびにKML出力。
- ・ 画像の中に手で作成した複数ポリゴン内のレーダ反射係数の統計処理とCSV形式ファイルでの出力。ポリゴンはKML形式で出力されます。



» PolSAR-Pro

SAR 画像のボラリメトリ解析 (P.31 参照) を行うことができるソフトウェアです。

- ・ 欧州宇宙機関 (ESA:European Space Agency) が開発しました。
- ・ ESA の WEB サイトよりダウンロードできます。
<http://earth.eo.esa.int/polsarpro/install.html>
- ・ ダウンロード時に、e-mail 等の情報を入力する必要があります。
- ・ Windows版とMac OS版、Linux版、Unix-Solaris版があります。
- ・ ボラリメトリ解析のために ALOS 標準プロダクトでは、レベル 1.1 のデータを扱うことができます。



MultiSpec

衛星データの分類処理を行うソフトウェアです。

- ・ A Freeware Multispectral Image Data Analysis SystemのWEBサイトよりダウンロードできます。
<https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>
- ・ ダウンロード時に、e-mail等の情報を入力する必要があります。
- ・ Windows版とMacintosh版があります。
- ・ 最新バージョンとして、Windows版はversion3.3の入手が可能です。
- ・ ALOS標準プロダクトを直接読みこむことはできませんが、GeoTIFFなどのファイル形式にすることで読み込むことが可能です。

NEST (Next ESA SAR Toolbox)

SAR画像を解析するためのソフトウェアです。

- ・ 欧州宇宙機関 (ESA:European Space Agency) が開発しました。
- ・ ESAのWEBサイトよりダウンロードできます。
<https://earth.esa.int/web/nest/home>
- ・ ALOS標準プロダクトでは、レベル1.1と1.5のジオリファレンスデータを扱うことができます。



ASF MapReady

SAR画像の幾何補正（地図などに合わせられるよう、基準点を用いて正確な地理座標を与える）を行うソフトウェアです。

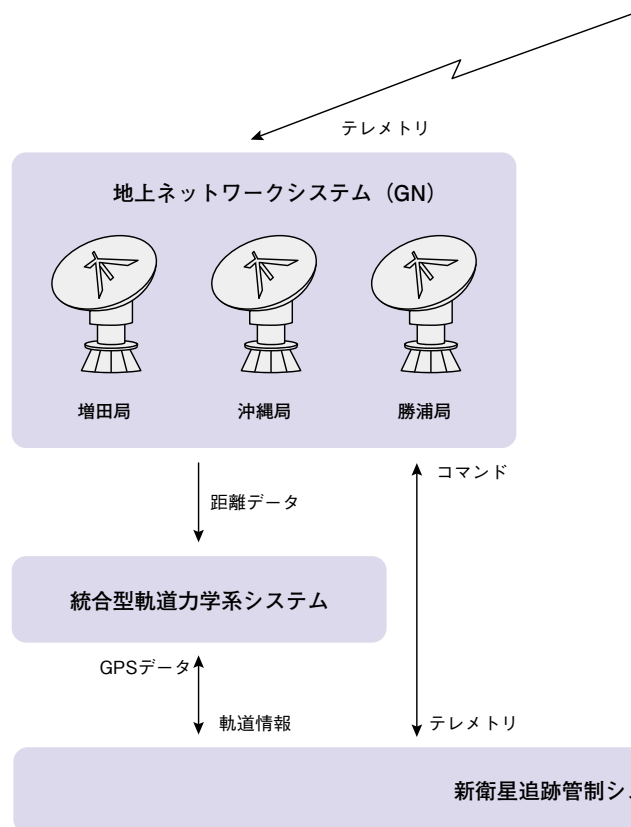
- ・ Alaska Satellite FacilityのWEBサイトよりダウンロードできます。
<https://www.asf.alaska.edu/data-tools/mapready/>
- ・ 事前にユーザ登録が必要です。
- ・ Windows版とLinux版があります。
- ・ 最新バージョンとして、version3.2.1 (beta)の入手が可能です。
- ・ ALOS標準プロダクトでは、レベル1.1と1.5のジオリファレンスデータを扱うことができます。



地上システムと観測運用

ALOS-2の地上システムは、大きく分けて「衛星管制・ミッション運用システム」、「利用・情報システム」、「追跡ネットワークシステム」、「解析研究システム」から構成され、筑波宇宙センターに設置されています。

- 1 要求受付、観測要求作成
- 2 運用計画立案
- 3 衛星管制・追跡ネットワーク運用
- 4 観測
- 5 観測データ受信伝送
- 6 観測データ処理
- 7 観測データ配信



衛星管制・ミッション運用システム

観測計画立案、コマンド作成、衛星状態監視・制御、ミッション機器の観測データ伝送・レベル0処理、緊急観測データのレベル1処理を行うシステム。

追跡ネットワークシステム

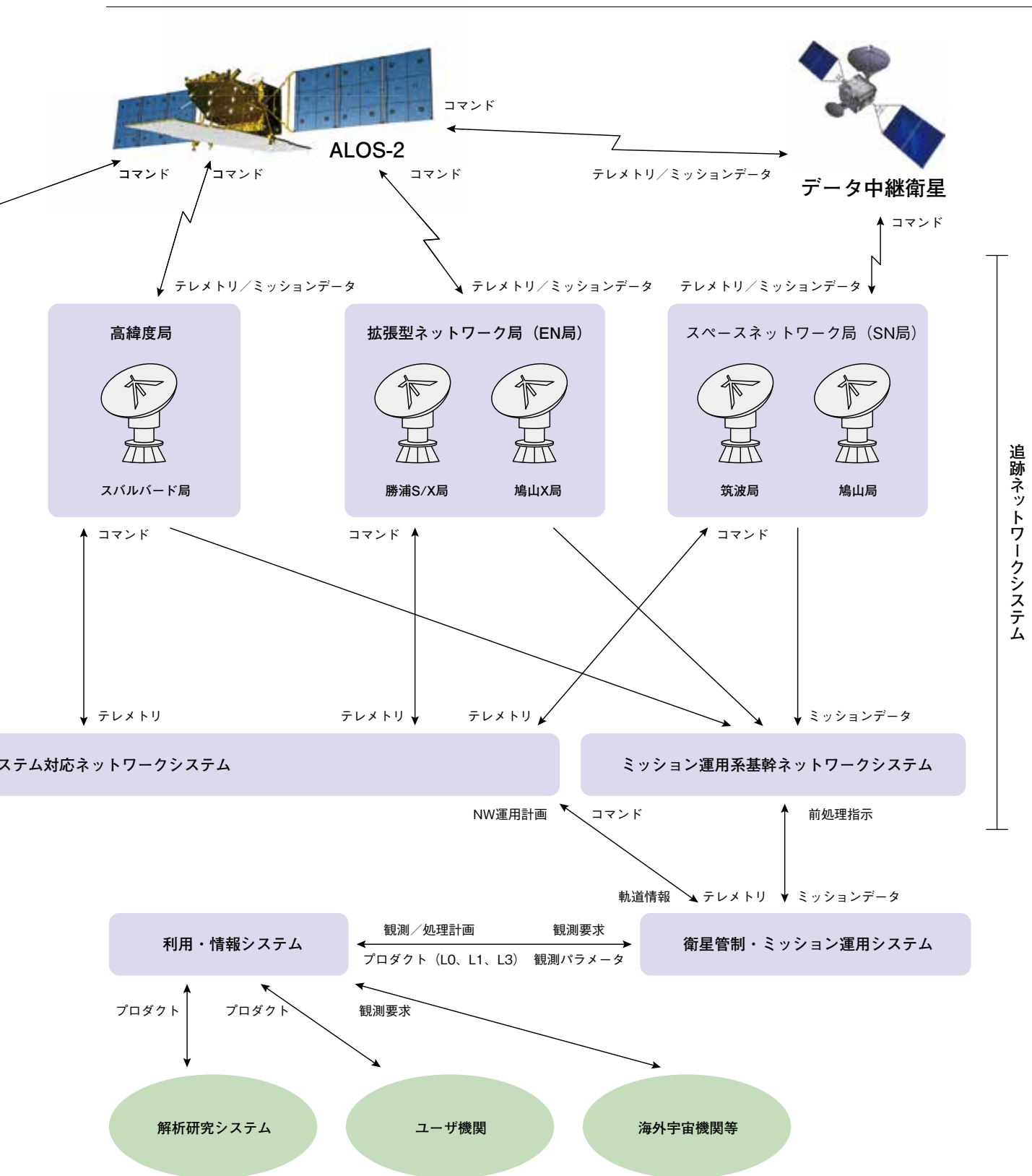
衛星管制運用を行うためのネットワーク運用計画立案、軌道決定、地上局の監視、制御、観測データ受信運用のための地上局の監視、制御を行うシステム。

利用・情報システム

ユーザが観測データを利用する際に使用する、観測要求やプロダクトの注文・検索・提供に係るユーザインタフェース、観測データの保存・管理、プロダクト作成に係る各種処理を行うシステム。

解析研究システム

SAR観測データの校正・検証、センサモデルの構築・評価、高次処理ソフトウェアの開発・評価等を行うシステム。



※ALOS-2データの販売に関しては、配布事業者が窓口となります。
 まずはJAXA衛星利用運用センターにお問い合わせ下さい。

FAQ

Q1.地球観測衛星にはどんなセンサーがあるの？

地球観測衛星のセンサー（観測装置）には主に以下のものがあります。

- ① 光学センサー……太陽の光の反射や放射を測ります。デジタルカメラのように地表面をカラー画像で捉えることができます。
- ② 能動型マイクロ波センサー……センサーから発射するマイクロ波を使って、対象物が反射するマイクロ波を測ります。いわゆるレーダーです。ALOS-2はこのタイプになります。天候や昼夜を問わず地表面を捉えることができます。
- ③ 受動型マイクロ波センサー……対象物が放射するマイクロ波を測ります。

Q2.衛星画像はどこから検索・入手できるの？

JAXAの衛星画像は、以下のサイトで検索・入手することができます。ALOS-2データの提供サイトについては、以下を参考にしてください。

- AUIG2 (ALOS-2/ALOS User Interface Gateway) ALOS-2データの検索ができます。
<https://auig2.jaxa.jp/ips/home>
- G-Portal (地球観測衛星データ提供システム) : JAXAの衛星およびセンサーで取得された画像や情報を配布しています。
<https://www.gportal.jaxa.jp/gp/top.html>
- E-Search (地球観測衛星データサイト検索システム) : 各種データを提供するJAXAの各Webを横断的に検索できます。
<http://www.sapc.jaxa.jp/e-search/>
- だいち画像ギャラリー : ALOSの各センサーで観測された画像と解析事例を公開しています。
<http://www.sapc.jaxa.jp/gallery/>
- JAXAデジタルアーカイブス : JAXAが取り組んでいる様々なプロジェクトの画像、映像を検索できます。
<http://jda.jaxa.jp/>

※JAXAのホームページに掲載されている画像を使いたい場合は、JAXAデジタルアーカイブス窓口へ申請下さい。申請は上記URLで行えます。詳しくはサイト内の「ご使用条件」をお読み下さい。

Q3.衛星画像はどんな形で提供されるの？

衛星毎に決められている「シーン(観測幅に相当)」と呼ばれる画像の大きさの単位で、電子データとして提供されます。

大きくわけて2種類の製品があり、シーンで提供するデジタル製品と、複数枚の画像をつなぎ合わせたり(モザイク処理)、カラー合成などを行った付加価値製品があります。

Q4. ALOS-2データを利用したい場合、どこに問い合わせればよいのでしょうか？

利用用途によりJAXA、もしくはデータの配布業者からデータを手に入れます。まずはJAXA衛星利用運用センターにお問い合わせください。

Q5. ALOS-2の画像の処理レベルとは？

観測データにレンジ圧縮及びアジマス圧縮を施し、レベル1.1、レベル1.5のプロダクトを作成して提供します。詳しくは、P.31をご覧ください。

衛星で観測したデータはそのままでは解析などに使用できないので、それぞれの用途に適した標準的な処理を行っています。処理レベル毎にデータの保持している情報が異なります。

例えば、レベル1.1は地殻変動などの干渉解析をする際に必要な情報を含んでいますが、画像になっていないので、高度な技術が必要です。

レベル1.5は画像化(再生処理)されているので、画像として見たり、画像の持っている数値を解析することに使用できますが、標高データによる補正をしていないので、地図とは重なりません。

Q6. ALOS-2の画像の階調は？

16ビットです。

Q7. ALOS-2の画像の精度は？

ラジオメトリック精度（オフナディア角共通）

| | | |
|-------------------|----------------------------|---|
| 絶対精度 | 1dB(1σ) : Corner reflector | |
| 雑音等価後方散乱係数 | -29dB 以下 | |
| 水平・垂直偏波間振幅比 (PLR) | 5%以内 | |
| 水平・垂直偏波間位相差 (PLR) | 5度以内 | |
| クロストーク (PLR) | -30dB以下 | |
| 分解能 | アジマス方向 1ルック時 | 3m/5m |
| | レンジ方向 | 1.8m(84MHz) 3.6m(42MHz) 5.4m(28MHz) 10.8m(14MHz) |
| サイドローブ | アジマス方向 | -14dB以下 |
| | レンジ方向 | -14dB以下 |

使用データ：コーナーリフレクタ（校正サイト）やアマゾンの一様森林を観測したPALSAR-2画像。

評価方法：GRS80楕円体に投影したコーナーリフレクタ（Corner Reflector (CR)、校正サイト）の位置（GPS計測）とSAR画像から計測した位置の二乗平均平方根誤差（RMSE）であり、全世界に配置した572点のCRを使用して求めたもの。

アンビギュイティ

| | |
|--------|--------|
| レンジ方向 | 22dB以上 |
| アジマス方向 | 35dB以上 |

幾何学精度（オフナディア角共通）

| | |
|------|---------------------|
| 20 m | Spotlight, Stripmap |
| 70 m | ScanSAR |

Q8.物理量への変換はどのようにするんですか？

標準成品は地表の反射係数（正確には、後方散乱係数と言います）を表しています。データに入っている数値をDN（デジタルナンバーと言います）を用いると、 $\text{Sigma-zero} = 10 \times \log_{10} \langle \text{DN}^2 \rangle + \text{CF}$ で変換できます。

Q9. オルソ補正とは何ですか？

衛星や航空機による画像は、斜め観測や高さのある地形や建物などにより歪みが生じ、そのままの画像では地図に重ねられません。そこで、地図上に重ね合わせるために正射投影で歪みを補正することを、オルソ補正と言います。

Q10. 「ジオリファレンス (Geo-reference)」と「ジオコーデッド (Geo-coded)」の違いは？

■ ジオリファレンス (Geo-reference)

処理パラメータで設定した地図投影法に、画像を投影したデータ。衛星の軌道方向が、画像の上下となる。

■ ジオコーデッド (Geo-coded)

ジオリファレンス画像を回転させ、画像の北方向を画像の上に配置したもの。

- ・ Map North : 処理パラメータで設定した地図投影法の北
- ・ True North : 真の北 (北極点基準)

Q11. PALSAR-2データの、各モードにおけるピクセルスペーシングは？

スポットライトモード : 0.625 m

高分解能モード (分解能 3 m) : 2.5 m

高分解能モード (分解能 6 m) : 3.125 m

高分解能モード (分解能 10 m) : 6.25 m

広域観測モード (観測幅 350 km) : 25 m

広域観測モード (観測幅 490 km) : 25 m

SOLUTION >>> デザイン・アート

こんなステキな商品に、 実は衛星画像が使われている!

衛星画像はデザインやアート、教育などでもご利用頂けます。

光学画像だけでなくSARで観測した画像やデータも様々な用途でのご利用が可能です。

>>> デザイン



1 ファッション

ALOSで捉えた「ガラパゴス諸島」の、緑と青のコントラストに富んだ画像を生かしたダウンジャケットや、Tシャツなどのプロダクトが制作され販売されています。



© 有限会社 ファント

2 天体望遠鏡

株式会社ビクセンが販売する人気の天体望遠鏡を衛星画像でラッピングしました。
©RESTEC



3 Tシャツ、iphone ケース

お気に入りの場所の衛星画像を自由にカスタマイズし、全面プリントTシャツやスマートフォンケースが作成・購入できます。

©WEAR YOU ARE



4 iPad 用アプリケーション

「Coasting」各地の音楽を楽しみながら画像で海岸を巡ることのできるアプリケーションが販売されています。

©株式会社Qosmo



5 高精細 CG 友禅

高精細CG友禅の技術との融合により、ALOSの高精細なデータが着物上に忠実かつ芸術的に表現されました。

©川邊祐之亮 <http://jss-kyoto.jp>



» SARデータを利用したアート

SAR画像を美術表現に利用したアート『Microcosm』が製作されました。背景は、本作の映像のシーンを切り取ったものです。黒い背景に無数の白い点が表示されており、星空のように見えます。

これは、2007年から2010年にかけてALOSのPALSARによって観測された金沢の地形データから地表の変化を抽出し、差分が星空のように見えているものです。

普段の生活や季節が移り変わる際の町の何気ない変化を抽出して小さな宇宙を描くことで、地球外の視点による地球観と社会認識の共有を目指しました。

Microcosm / November 29th, 2010 at 10:18p.m. in Kanazawa
PALSAR Level 4.1: Processed by ERSDAC, Observed raw data: Belong to METI and JAXA, Changed from the original color by Hiroshi Suzuki.

制作：鈴木浩之、大木真人
制作年：2013年



金沢市近郊の牧場での実験
(2010年10月14日)

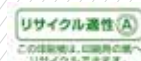
あとがき

数々のALOS-2によるソリューションの案をご説明してきました。SARは少し難しいなあ、と感じられた方もいるかもしれません。しかし、SARの基本的な特徴や性質が分かれば、多くの場面や分野で利用できる可能性があると感じ取って頂けた方もいらっしゃると思います。

災害時などには“宇宙のインフラ”としての役割を担うだけでなく、災害時以外にはALOS-2の特徴を活かしてビジネスや社会生活、国際貢献に活用して頂ければ幸いです。ALOS-2を使い倒すことで、SARの分野で日本の技術が世界を先導し、お役に立つことができれば望外の喜びです。
(編集一同)

ALOS-2を利用したいと思ったら、まずJAXA衛星利用運用センター（東京事務所）メール: sapc-info@ml.jaxa.jp までご連絡ください。

本書に使用されているALOS画像は、宇宙航空研究開発機構および経済産業省が、航空機搭載SAR (Pi-SAR-L2) 画像は宇宙航空研究開発機構が著作権を有しています。ただし、画像提供/©、出典などの但し書きがある場合はその限りにありません。
編集協力：一般財団法人リモート・センシング技術センター/クロスメディア・マーケティング 発行：2018年1月 第3版





□ 発行

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 (SAOC) <http://www.sapc.jaxa.jp/>

地球観測研究センター (EORC) <http://www.eorc.jaxa.jp/>

□ ALOS-2利用に関するお問い合わせ

JAXA 第一宇宙技術部門

衛星利用運用センター (東京事務所)

〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソランティ

mail: sapc-info@ml.jaxa.jp