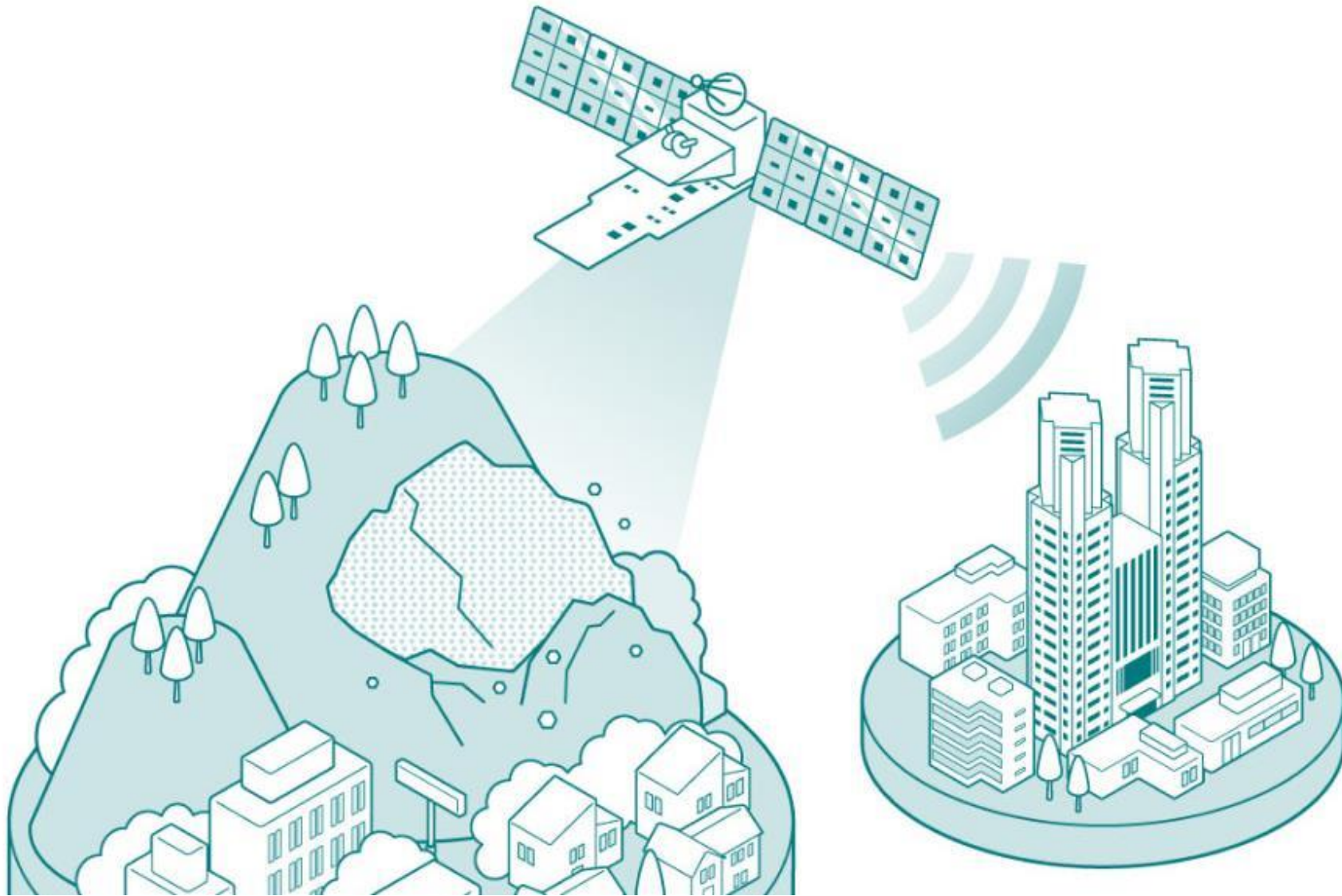




東京都 デジタルツイン実現プロジェクト
衛星データを活用した予兆検知高度化検証 報告書

2023年3月

目次

1. 検証概要
2. 検証の手順
3. 衛星データの調達
4. 衛星データの解析
5. ユースケース毎の検証作業
6. 成果と課題
7. 今後の方向性

1. 検証概要

検証の背景

災害リスクに対し、衛星データの活用可能性を検証

- 東京都内に災害の危険があるエリアが存在しており継続的な監視が必要
- 発災時の迅速な対応のため、早期に被害状況を把握が必要
- 異常気象に伴い多発する災害に対し、防災業務の省人化・効率化が必要

衛星データ利用による
今後の災害対応の高度化・迅速化の可能性を検証

衛星データの広域性を活かし、
発災前のリスク把握や、発災後の被害状況把握に繋げ、
都民の安心安全な暮らしを実現

検証概要

平常時・災害時の衛星データ活用の可能性を検証

検証目的

都防災業務における衛星データ等の
利用可能性の検証



©JAXA

出所：JAXA陸域観測技術
衛星2号「だいち2号」
(ALOS-2)
<https://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/>
(2022/11/10参照)



Photo: ESA

(出所) SA Sentinel-2 operations
https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinel-2_operations (2022/11/10参照)

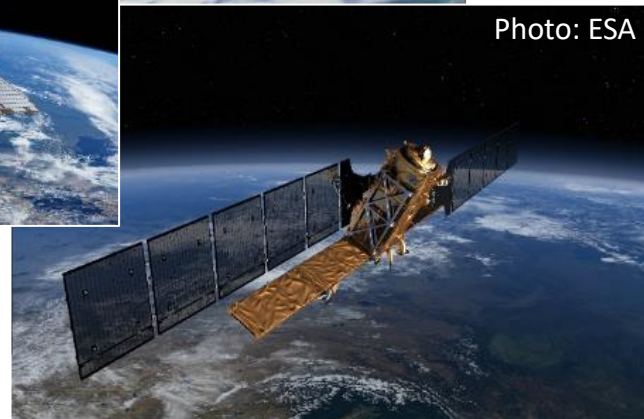


Photo: ESA

(出所) ESA Sentinel-1
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/05/Sentinel-1 (2022/11/10参照)

検証内容

- ① 衛星による不適正盛土の監視可能性の検証
- ② 山岳道路斜面の変状把握可能性の検証
- ③ 離島港湾の台風等による被害状況把握



土石流災害による変化箇所の解析事例
ピンク：SAR画像を用いた変化箇所解析
青：実際の変化箇所

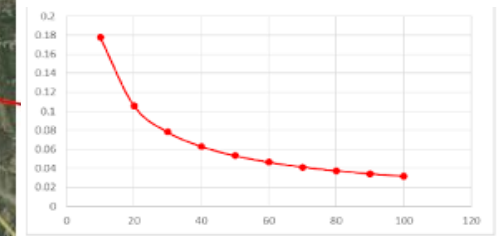
(出所) Synspective,
<https://synspective.com/jp/usecase/2021/ldm1/>

斜面の変状把握イメージ



©Synspective

任意位置の変動量
(変位量 - 時間)



検証の目的・内容

目的

- 都防災業務における衛星データ等の利用可能性の検証
- 実際のユースケースを想定し、各局事業の効率化・高度化の観点から検証

検証内容

- ヒアリング等を通じて、都市整備局、建設局、港湾局と連携し、3つのユースケースを採用
 - ユースケース①盛土 … 衛星による不適正盛土の監視可能性の検証（都市整備局）
 - ユースケース②山岳道路 … 山岳道路斜面の変状把握可能性の検証（建設局）
 - ユースケース③離島港湾 … 離島港湾の台風等による被害状況把握（港湾局）
- 各ユースケースに対して、過去の災害事例を想定し、衛星データを調達
- 衛星データに対して、各ユースケース毎に最適な衛星データ解析手法を採用
- 解析結果を用いて、将来を含めた防災業務への活用を検討
- 衛星データの基本情報について整理を実施

実施内容と目指す姿

実施内容

①盛土

- 不適正盛土の監視への衛星データの活用可能性を確認

②山岳道路

- 斜面崩壊等の予兆把握可能性の検証

③離島港湾

- 台風等による被害状況の把握可能性の検証

基本情報の整理

- 衛星の基本情報を整理

検証の狙い

不適正盛土の早期検知の効率化

- 不適正盛土の実施状況を広域監視
- 将来含めた衛星データの活用検討

斜面の変状把握の早期発見・効率化

- 山岳道路周辺の斜面の広域監視
- 将来含めた衛星データの活用検討

港湾施設の変位の早期発見・効率化

- 離島の港湾施設の発災後に早期に把握
- 将来含めた衛星データの活用検討

衛星に関する情報をわかりやすく整理

- 衛星に関する基礎知識の全体像の整理
- 防災業務に役立つ衛星に係る情報を整理

目指す姿

早期把握

業務効率化

広域監視

検証結果概要（①盛土）

切盛土以外の変化除去のため、ノイズ除去が必要

盛土の監視可能性の検証



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

成果

- 現地調査、ドローンおよび光学衛星の結果と合わせた衛星データの活用可能性を確認
- 特に不適正盛土の初期段階である森林伐採における有用性を確認

留意点

- 降雨によるSAR衛星のデータ品質の低下が確認され、衛星データ調達時に天候等による選別が必要
- SAR衛星データは盛土以外の変化も検出してしまうため、ノイズ除去が必要
- 光学衛星やドローンの利用した監視性能の向上が必要

検証結果概要（②山岳道路）

変状要因や土地被覆変化への対応の為、 短い時間間隔での衛星観測が必要

山岳道路斜面の変状把握可能性の検証



Source: ©Mapbox, ©Synspective Inc., original data provided by JAXA

成 果

- 今回対象としたユースケースでは、衛星データによる斜面崩壊の予兆把握は不明瞭

留 意 点

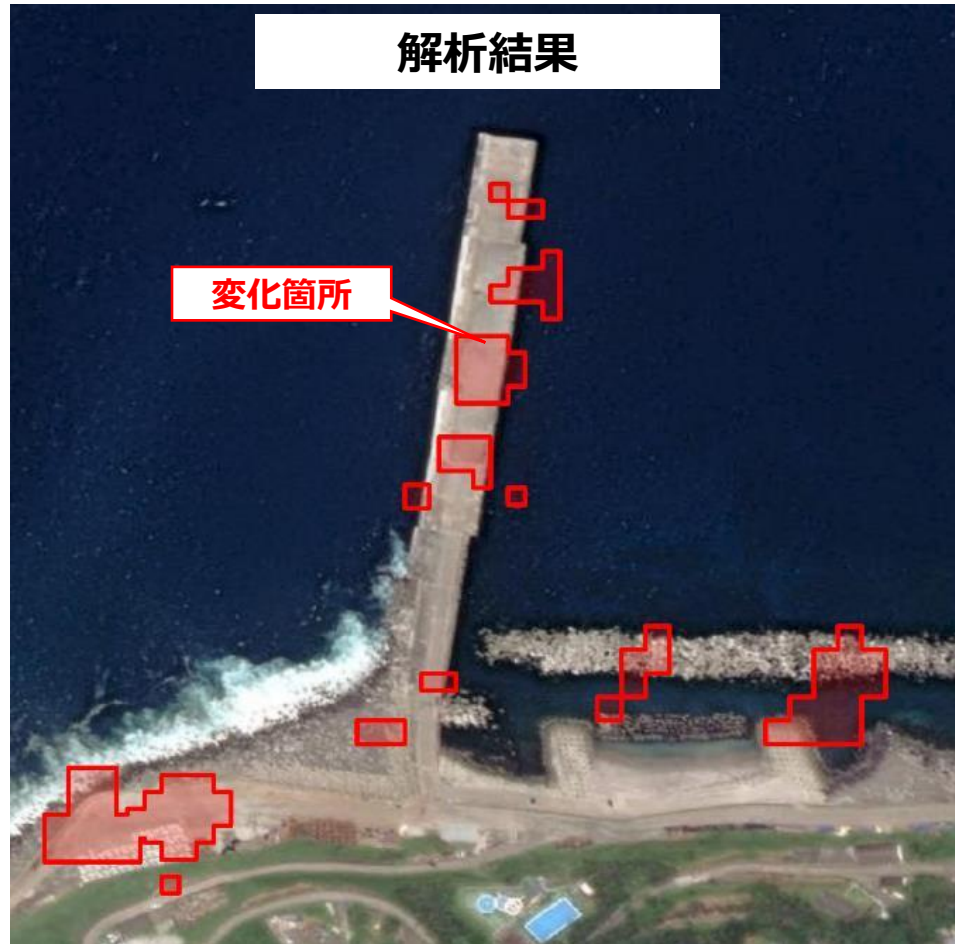
- 短い時間間隔で発生した現象を、現在のSAR衛星の観測間隔（ALOS-2の場合、年4回）では捉えることが困難
- 樹木による土地被覆等、地表面の状態変化が年間を通じて激しいエリアを対象とする場合、より短い時間間隔で観測しなければ解析が困難

検証結果概要（③離島港湾）

対象外の変化除去のため、監視対象の優先順位付けが必要

離島港湾の台風等による被害状況把握の検証

解析結果



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

成果

- SAR衛星の解析結果からケーソン等の構造物の変状を確認
- 台風等による被害状況把握に活用できる可能性を確認

留意点

- ケーソン以外の変化も検出しており、監視対象の優先順位付けが必要
- ケーソンの移動方向や移動距離を計測するのは現状の解析手法では困難
- 発災時には迅速な解析結果の取得が必要
- 観測のリクエストから解析結果の入手までの具体的な運用体制の構築が必要

検証結果概要（まとめ）

衛星データを庁内業務に活用するため方向性を整理

庁内業務に適用するための留意点

技術面・運用面・品質面に関して 様々な留意点を整理

技術面	■ 現状の衛星の観測頻度では、短時間に発生した現象を衛星で捉えることが困難
運用面	■ 発災時のみの使用は費用面・体制面から現実的ではない ■ 発災時には迅速な解析結果の取得が必要 ■ 発生時等、観測依頼から解析結果の入手までの具体的な運用体制の構築が必要
品質面	■ 解りやすい解析結果の提供が必要 ■ 衛星データは検知対象以外の変化も検出してしまうため、ノイズ除去や優先順位付けが必要

今後の方向性

今後の衛星観測の状況変化を見据え 活用に向けた検討が必要

衛星観測の 状況変化	■ 今後、数年程度で衛星の観測頻度が向上（解析結果の性能やデータ品質が向上） ■ 衛星データ取得/解析処理時間の短縮 ■ 衛星データへのアクセス性向上
活用に向けた 要検討事項	■ 衛星データの平時からの活用 ■ 組織横断での衛星データ/解析結果の共有（データライセンス等） ■ 衛星データの特性を踏まえた用途の検討 ■ 持続的な運用体制

2. 検証の手順

ユースケース検討手順

庁内のニーズ等から検証すべきユースケースを選定

ユースケース検討は下図のプロセスで実施

- 公開情報・既存知見に基づく仮説に基づき、庁内ユーザヒアリングも踏まえユースケースを選定
- 検証で生成したプロダクトについて、ユーザ要求に合致し想定ユースケースを実現しうるか評価（ギャップを特定した場合はその改善を図る）

ユースケース検討のステップ

STEP1

机上検討

- ユースケース具体化
- 先行ユースケースの分析

STEP2

ユーザ検証

- 都防災担当者のニーズヒアリング
- ユースケース検証・見直し

STEP3

ユースケース
選定

- 検証対象とするユースケースの決定

STEP4

検証

- 選定したユースケースに基づき検証評価

インプット

公開情報・既存知見

- 国内外の先行ユースケース
- （国際災害チャータ、JAXA防災実証等）
- 東京都防災ニーズ
- 過去災害履歴 等

ヒアリング情報

- 東京都防災担当者へのヒアリング結果（ニーズ、検証成果への評価）

検証プロダクト

- 衛星データ、解析結果

アンケート・ヒアリングの実施

庁内関係部署等に対してアンケート及びヒアリング調査を実施

<主な質問項目>

衛星データの活用可能性が高いと思われるユースケースについて

- 地盤変動の予兆把握へのニーズ
- 災害発生時に必要な情報
- 現状の平時からの安全管理・防災・災害時対応の職員オペレーション
- 衛星データ・デジタルツイン導入効果の期待
- 分析対象として妥当な（衛星の効果が期待できる）過去災害事例

ユースケースの候補の選定

ヒアリング等からユースケースを選定

- ヒアリング結果で得たユースケース候補から、本年度実施するユースケースを選定
- 下表赤字部分の3つのユースケースを選定

ヒアリング対象	監視対象等	ユースケース案
都市整備局	盛土	■ 不適正盛土の監視
		■ 特定盛土規制区域指定での活用
港湾局	離島港湾	■ 台風等による被害状況把握
	海岸浸食・堆積	■ 海岸浸食・堆積状況の把握
総務局	情報収集	■ 災害時の情報収集
		■ 災害対策本部での対応判断
建設局	山岳道路	■ 山岳道路斜面の変状把握
	中小河川	■ 中小河川の監視
	盛土	■ 不適正盛土の監視
	降灰	■ 火山噴火時の降灰範囲への活用
	宅地開発	■ 土砂災害防止法に基づく区域見直し時の新たな宅地開発等の把握
	土地利用	■ 土地利用状況変化把握への活用
	山間部の変状	■ 台風等の多量降雨時の山腹崩壊や土砂移動の把握への活用
	海岸浸食	■ 島しょ部の海岸浸食の観測への活用

対象ユースケースの決定

①盛土の監視可能性の検証において対象とする事象

- 以下の理由から本ユースケースを選定
 - 法改正（盛土規制法）があり、監視業務の効率化が急務
 - 検証結果次第では来年度本格的トライアルを実施
- 対象エリアは下表のエリアを選定

対象とする事象	エリア選定理由
不適正盛土エリア	■ 実際に不適正盛土が行われたエリアであり、実務上の監視対象を検知可能かを確認する性能検証場所として最適
区画整理実施エリア	■ 切盛土の時期等の詳細データが入手しやすく、検知結果の分析により衛星データの能力評価が可能である性能検証場所として最適

対象ユースケースの決定

②山岳道路斜面の変状把握可能性の検証において対象とする事象

- 以下の理由から本ユースケースを選定
 - 斜面崩壊監視エリアが東京都内に多数あり、業務の効率化が急務
 - 検証結果次第では横展開できる可能性
- 対象エリアは下表のエリアを選定

対象とする事象	対象エリア	エリア選定理由
岩盤崩落	奥多摩町	■ 岩盤崩落前に予兆は把握できておらず、崩壊に向けてどの程度時間をかけて地盤が変化したか不明であったが、衛星で捉えられる緩やかな変化によって発生した可能性があり、検証を実施 ■ 周囲に類似箇所があり、同様の変化があれば評価を行うことに期待 ■ 東京都の管轄エリア内で経過観察が必要な箇所は多数あり、将来的な横展開に期待大
盛土擁壁変状	あきる野市	■ 盛土擁壁の変状が緩やかに進行していることが予め判明していたが、どの時点で変状・移動が発生していたのは不明 ■ 衛星で捉えられる緩やかな変化によって発生した可能性があり、検証を実施

対象ユースケースの決定

③離島港湾の台風等による被害状況把握において対象とする事象

- 以下の理由から本ユースケースを選定
 - 近年、台風等の自然災害が多発
 - 限られた人員で台風時の離島港湾施設の被害状況の早期把握が必要
- 対象エリアは下表のエリアを選定

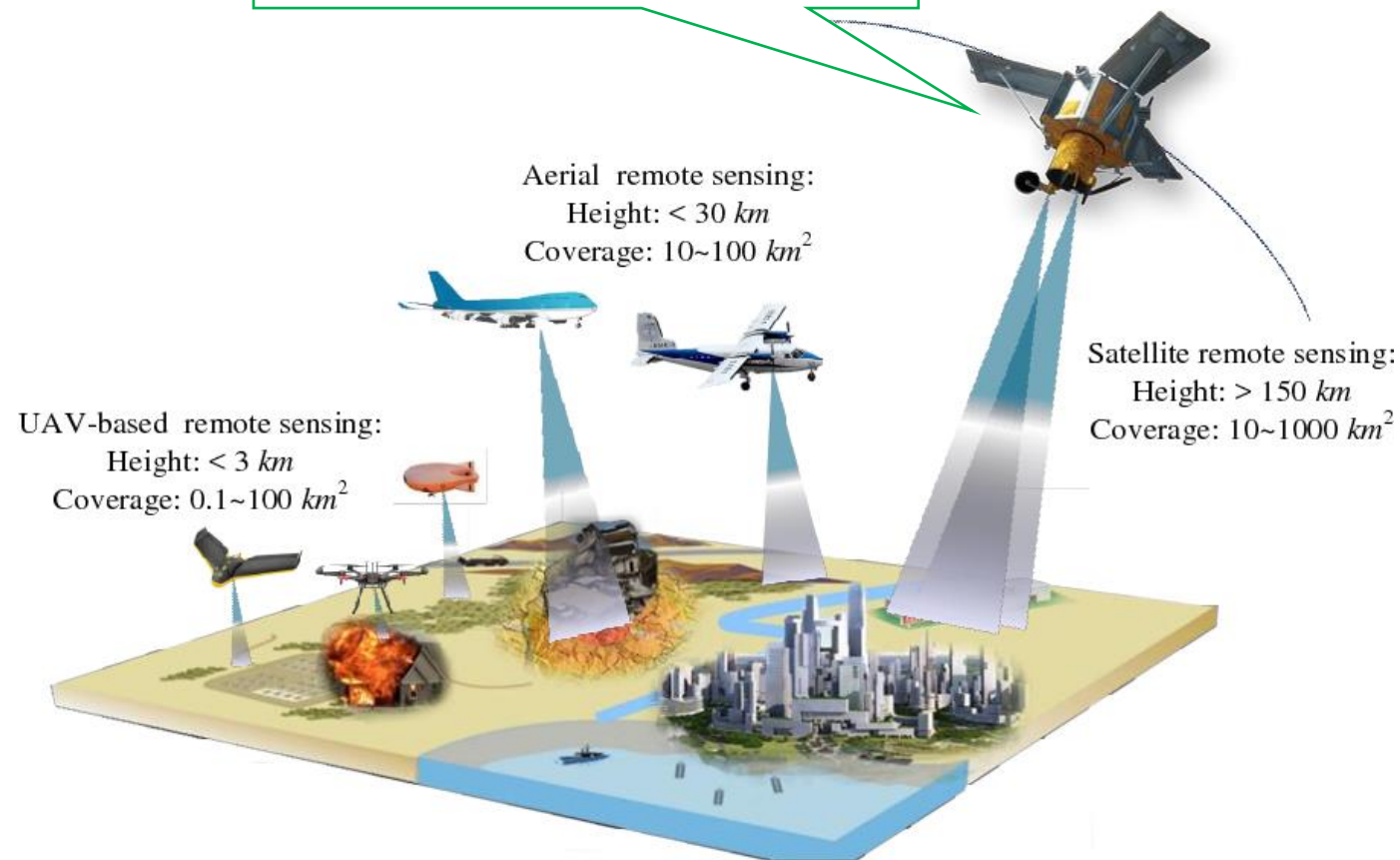
対象とする事象	対象エリア	エリア選定理由
2018年台風被害	利島村	■ 2018年に発生した台風24号により利島港の港湾施設に被害が発生 ■ ケーソンの大きな変状が確認されており、衛星で捉えられる可能性があったため、検証を実施

3. 衛星データの調達

衛星リモートセンシングの概要

対象物に直接触れることなく、観測する技術

衛星リモートセンシング

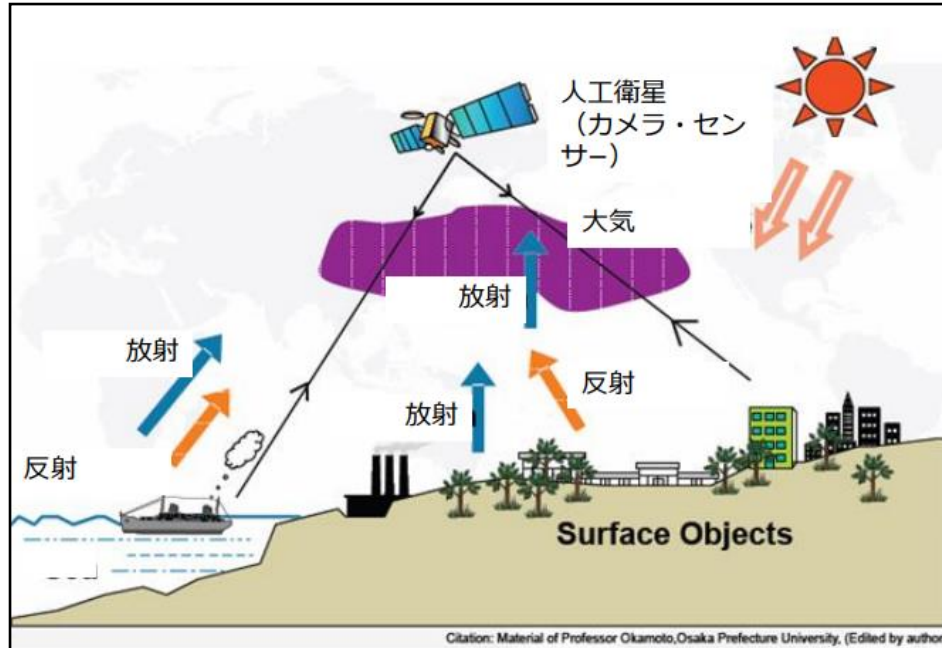


出所) <https://www.semanticscholar.org/paper/Mini-Unmanned-Aerial-Vehicle-Based-Remote-Sensing%3A-Xiang-Xia/cf65f7bf07e800d26a629982ffa5cc7b182498f7/figure/0>

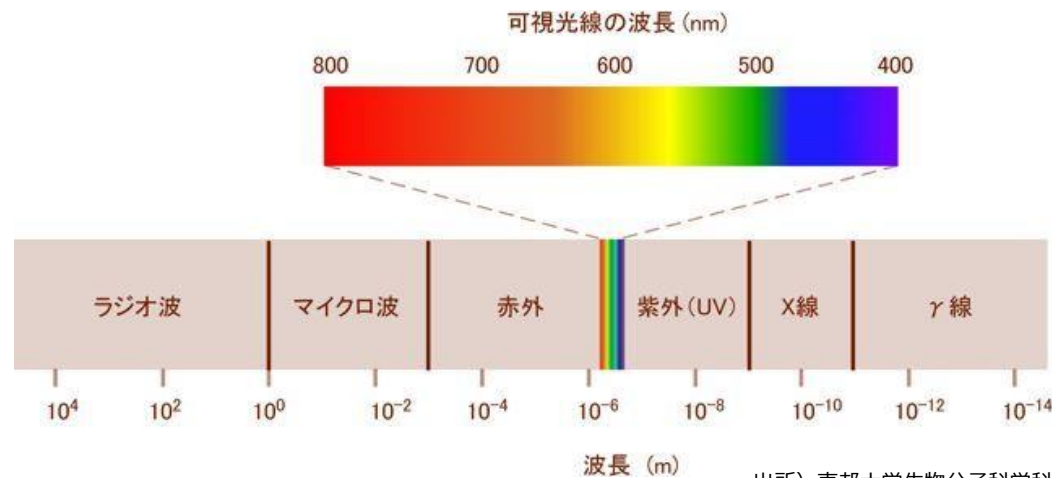
- リモートセンシングとは、対象物に触れることなく観測する技術の総称のこと
- 人工衛星に専用のセンサを搭載して行うものを「衛星リモートセンシング」という
- 航空機やドローン等に専用のセンサを搭載する場合もある
- 衛星リモートセンシングを行うセンサは、地表面や海面から放射・反射している**電磁波を観測**している

衛星リモートセンシングセンサが観測する電磁波

地表面・海面から放射・反射している電磁波を観測



出典) JAXA「衛星データの利活用」資料



出所) 東邦大学生物分子科学科

- 衛星リモートセンシングを行うセンサは、地表面や海面から放射・反射している**電磁波を観測**する
 - 地表面・海面から熱等によって**放射**された電磁波を観測する
 - 太陽の光や衛星から放射される電磁波の地表面・海面からの**反射**を観測する
- 電磁波は**様々な種類（バンド）があり、センサ毎に観測出来る電磁波が異なる**
 - 電磁波は種類毎に名前がある場合がある
 - 例えば、可視光線（肉眼で見える電磁波領域）・紫外線・赤外線等がある

衛星リモートセンシングセンサの種別

衛星リモートセンシングセンサは大きく4種類

- 衛星リモートセンシングを行うセンサは大きく4種類あり、対象とする電磁波が異なるため観測する電磁波の種類や得られる情報が異なる
- 災害の検知等が比較的行いやすく官民でデータ取得の選択肢が多いため、**光学センサ**と**SARセンサ**は災害・防災分野での活用が進んでいる

種類	主な観測する電磁波の種類	得られる情報
光学センサ	可視/近赤外線	地表面の画像
熱赤外センサ	赤外線	地表の熱分布
マイクロ波放射計	マイクロ波	海面水温や水蒸気量等
SARセンサ (合成開口レーダー)	マイクロ波	地表面の画像

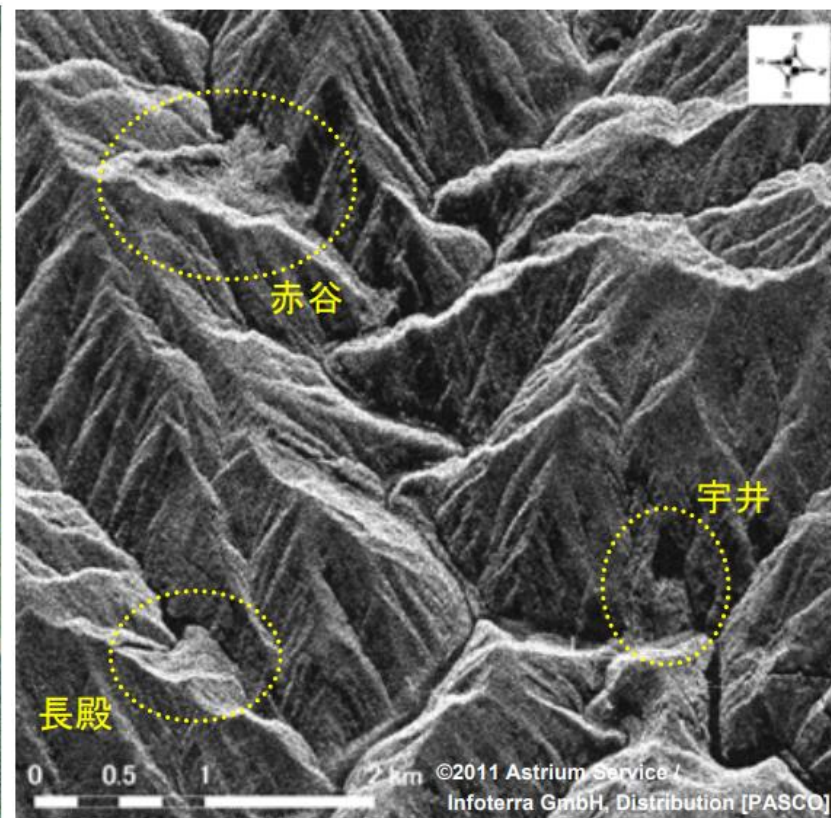
光学衛星とSAR衛星の違い

用いる手段が異なるため、得られるデータの特徴が異なる

- 光学センサとSARセンサは「地表面の画像」を取得する意味では似ているが、**観測原理や特徴が異なる**
- 下の図は同じエリアを観測した例だが、**SAR衛星と光学衛星で見え方が全く異なる**

光学衛星画像の例

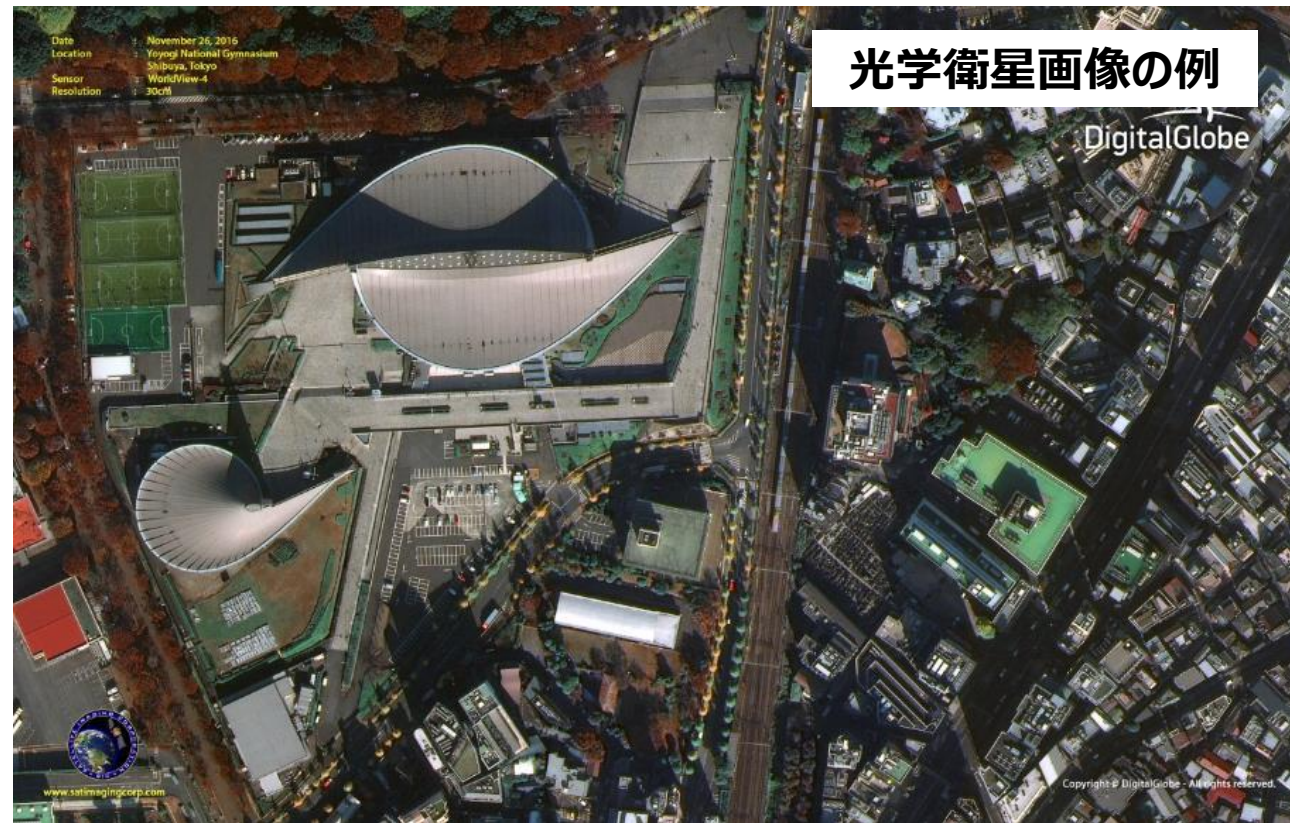
SAR衛星画像の例



種類	電磁波の観測原理	得られる情報の特徴
光学センサ	太陽からの電磁波の反射・放射を観測	■ 航空写真のような画像で理解しやすい ■ 雲の下や夜間は観測できない
SARセンサ	衛星から電磁波を放射し、地表面で反射した電磁波を観測	■ 特徴的な画像で理解しにくい ■ 天候・昼夜によらず観測できる

光学衛星とは

得られる画像が写真に近く、分かりやすい観測が可能



- 光学衛星とは光学センサを搭載した衛星のことで、可視光線領域の電磁波を主に観測する
- 得られる画像は写真に近く、前提知識がなくても航空写真のように扱うことが出来る
- 観測機会が太陽のある日中に限られるほか、雲があると地表面を観測できない
- 米Maxar社のWorldViewシリーズが有名
- より空間分解能の高い（解像度の高い）衛星ほど高価な傾向がある

出所)
<https://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/WorldView-4-Satellite-Image-30cm-Gymnasium-Tokyo.jpg>

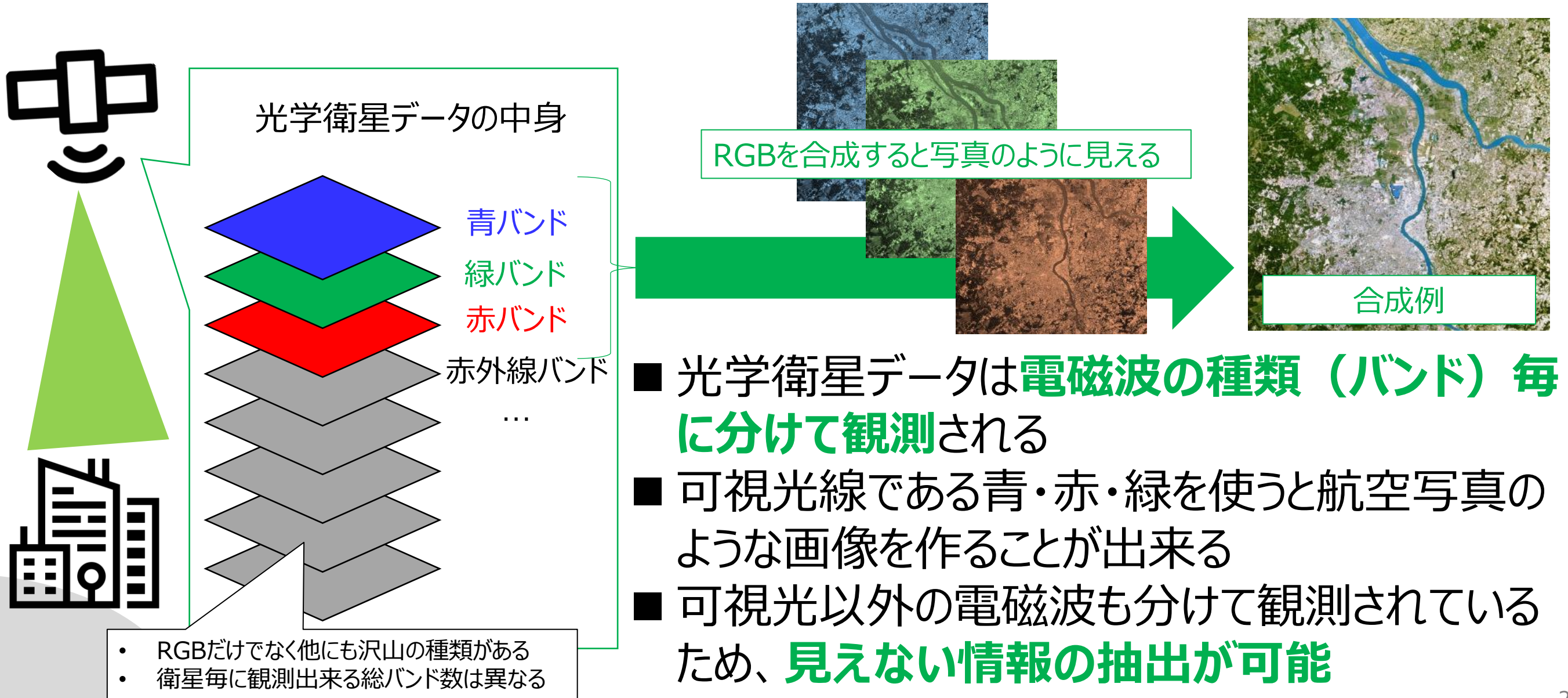
WorldView-3衛星



出所) <https://www.restec.or.jp/satellite/worldview-3.html>

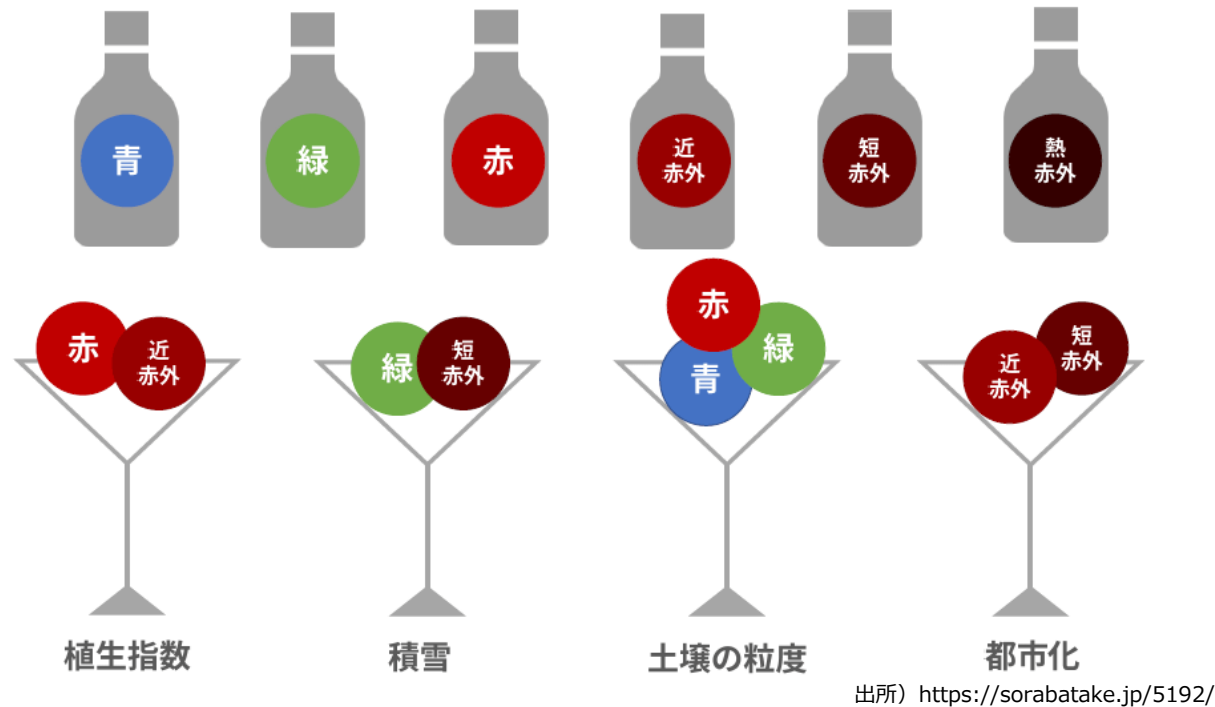
光学衛星データの構成

光学衛星データは電磁波（バンド）毎に分けて観測



光学衛星データのバンドを用いた解析

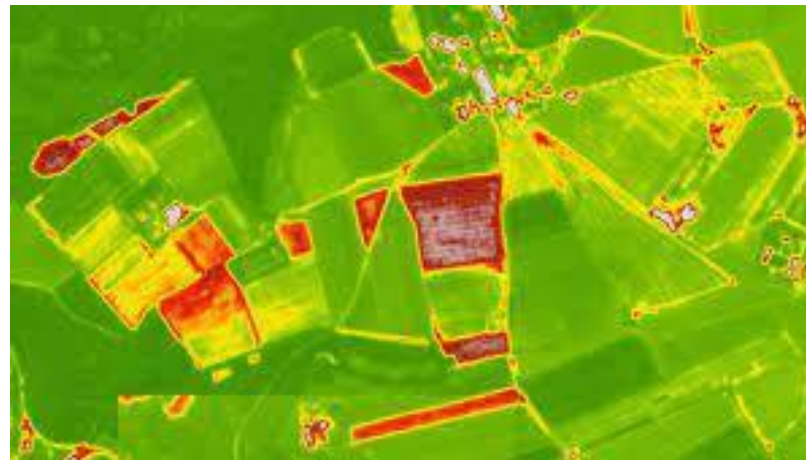
バンドを組み合わせることで、より高度な情報抽出が可能



■ 光学衛星データによって観測された電磁波の種類（バンド）を混ぜて**合成することで更に色々な情報の抽出が可能**

■ 例えば左図は赤バンドと近赤外バンドを使って植生指標（NDVI）として画像化し、植生を強調した例である

赤バンドと近赤外バンドを組み合わせることで植生を強調



SAR衛星とは

天候によらず夜間でも観測が可能



SAR衛星画像の例

- SAR衛星とはレーダーを搭載した衛星のこと
- マイクロ波領域の電磁波を地表面に照射し、その**反射波を観測する衛星**である
- **得られる画像はモノクロ画像**の样になり、航空写真とは違う印象の画像が得られる
解析には専門知識と技術が必要
- マイクロ波は大気の影響を受けにくい電磁波であるため、**夜間や雲がある状況でも地表面を観測できる**
- JAXAのALOS-2が有名

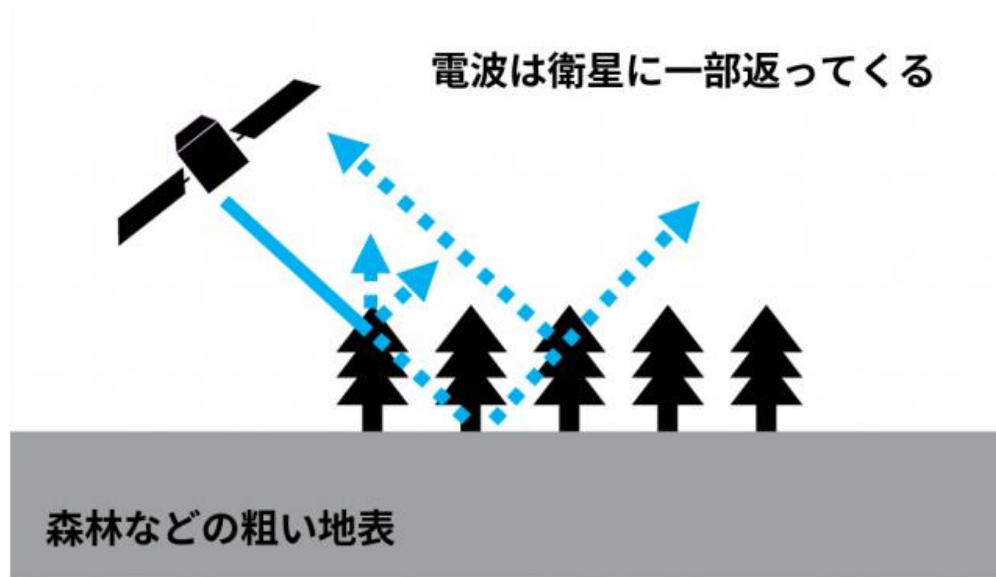
出所) <https://sorabatake.jp/3364/>

ALOS-2衛星

出所) <https://global.jaxa.jp/projects/sat/alos2/>

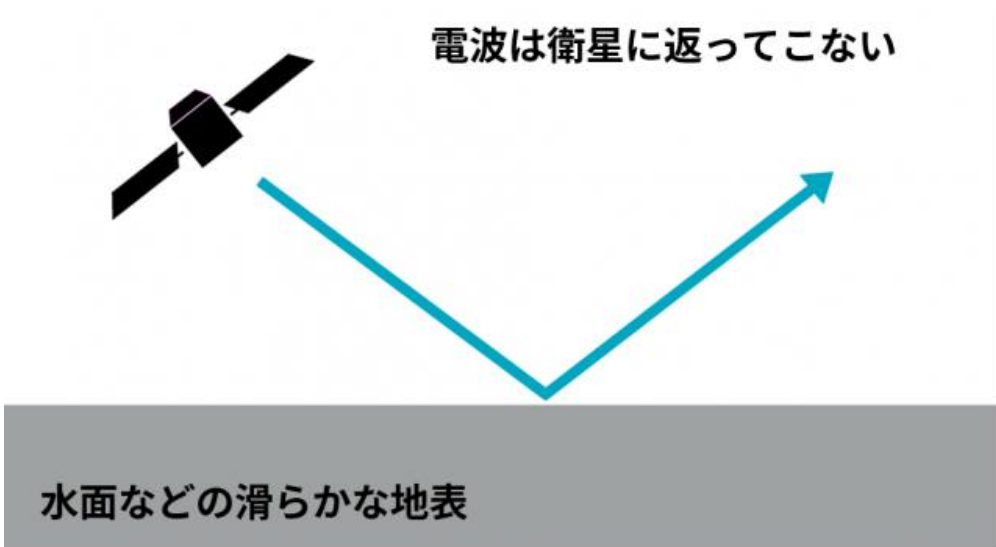
SAR衛星データの構成

SAR衛星は電磁波の反射に関する情報を観測



- SAR衛星は観測時に電磁波を地表面に対して照射し、電磁波がどのように反射したかという**反射に関する情報を観測**する

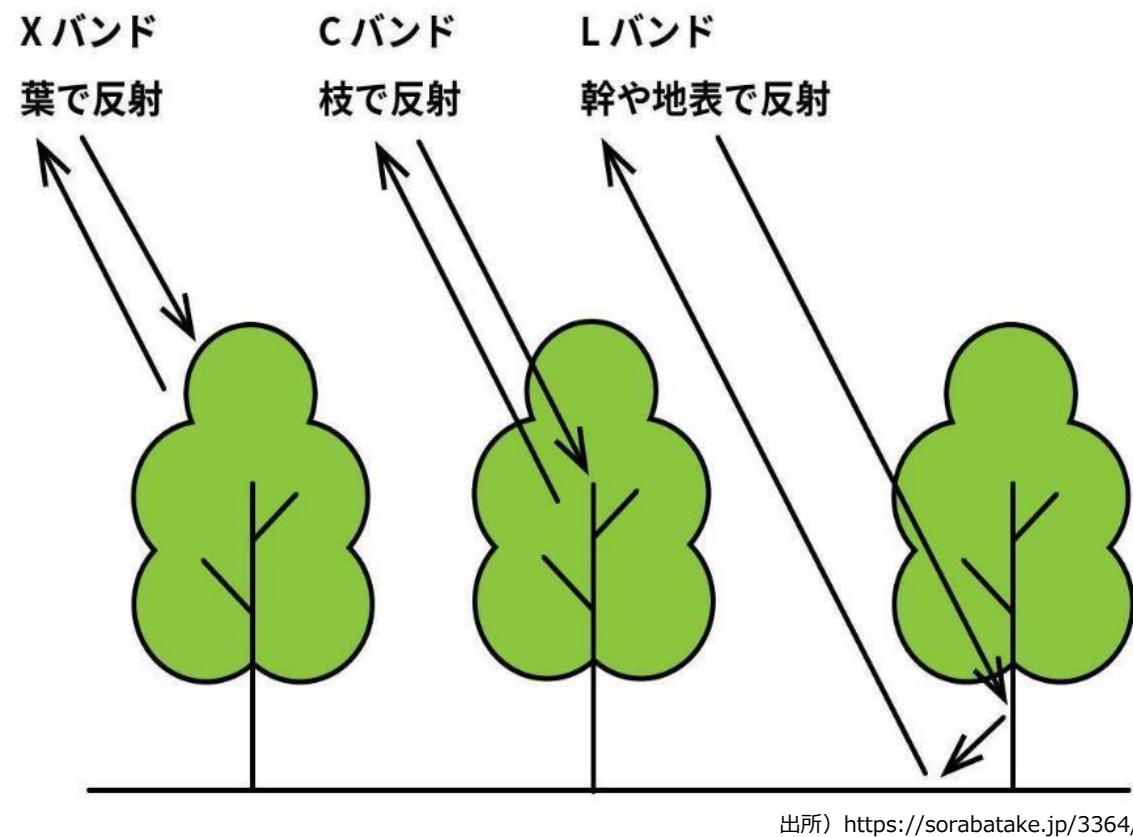
- **反射の強さ（強度）を観測**する
 - 森林等があると照射した電磁波の一部が衛星に返ってくる（強い反射が得られる）
 - 水面などの滑らかな斜面では衛星に返ってこない（弱い反射が得られる）



- この他**照射した電波の波長の変化や、照射した電波が反射する前と後でどの程度同じ形を保っているかの度合い（コヒーレンス）も観測**している

SAR衛星に用いられる電磁波の種類

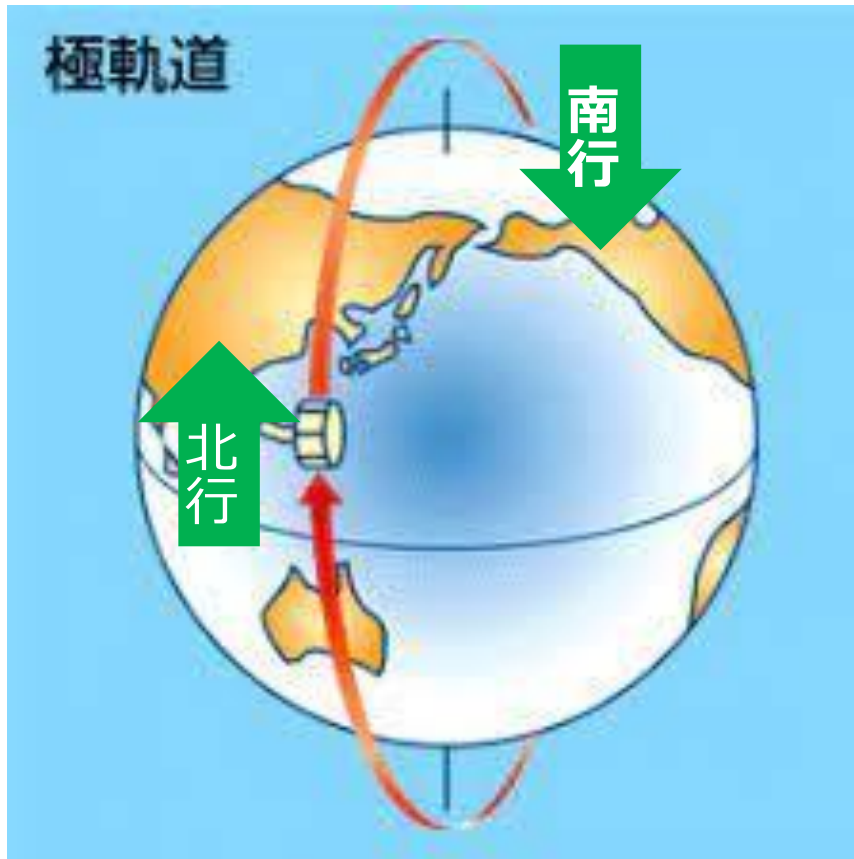
主にX/C/Lバンドの3種類の電磁波を利用



- SAR衛星に使われる**マイクロ波は主に3種類（バンド）**毎に**反射特性が異なる**
- 反射特性の例：**木に対する反射特性**
 - **Xバンド**：葉で反射
 - **Cバンド**：枝で反射
 - **Lバンド**：幹や地表で反射
- Xバンドは細かいものを見たい時に使う、Lバンドは地表面を見たい時に使う等の**バンドの使い分けが必要**

衛星データの軌道

北行軌道と南行軌道



出所) <https://sorabatake.jp/802/>

- 今回主に使用するALOS-2は衛星は極軌道で地球を周回
 - 電力効率等の観点からSAR衛星は極軌道が多い
- 地球表面に対する衛星の進行方向の種類
 - 北向きの場合：北行軌道
 - 南向きの場合：南行軌道
- 地球上の各地点に対して、北行・南行軌道それぞれで観測可能なタイミングが存在
- 特にSAR衛星の場合、マイクロ波の照射方向も北行・南行軌道で異なるため、留意する必要
 - 南北に斜面がある場合、斜面の観測が難しい場合あり
 - マイクロ波照射方向次第で東西方向の斜面の観測が困難な場合あり

衛星の災害への適用可能性

適切な衛星を選定することが必要

- 緊急時・平時の災害等で活用する上では、光学衛星/SAR衛星データの特徴理解が肝要
- 下表はユースケース例毎に光学衛星とSAR衛星の活用可能性を簡易的に評価したものである

災害	ユースケース例		光学衛星の活用	SAR衛星の活用
緊急時	地表面変化検出 (土砂崩れ等)	植生なし（裸地、都市域等）	△	○
		植生あり（山間部等）	○	○
	人工物変化検出（台風による施設破壊等）		○	△
	河川氾濫域検出		△	△
平時	地表面変位検出 (不適正盛土等)	植生なし（裸地、都市域等）	×	○
		植生あり（山間部等）	△	△
	海岸線検出（汀線モニタリング等）		△	△

※○：活用可能、△：観測条件次第等で活用可能、×：活用不可または高度な解析が必要

用いる衛星データの検討

ユースケースに適した衛星データを選定

- 各ユースケースの特性を踏まえ、用いる衛星データの検討を実施
- 定常的に観測可能なSAR衛星を選定し、日本のLバンドALOS-2を中心に検討
 - SAR衛星を用いることで天候によらず観測可能（光学衛星の場合は天候次第で観測出来ない可能性あり）
 - LバンドSAR衛星は植生の影響を低減可能

ユースケース	使用する衛星データ	選定理由
盛土の監視可能性の検証	ALOS-2	■ 植生の影響を低減するため
山岳道路斜面の変状把握可能性の検証	ALOS-2	■ 植生の影響を低減するため
台風による離島港湾の被害状況把握	Sentinel-1	■ 高分解能衛星はリクエストベースでの撮像となるため、離島の過去の災害を対象にデータを入手することが過去の災害に対しては困難 ■ 一定間隔で観測が行われており発災前後にも撮像実績が存在 ■ ALOS-2は、Sentinel-1よりも観測間隔が空いていたためSentinel-1を優先

4. 衛星データの解析

SAR衛星データの主な解析手法

変化を検出するために、異なる時期のデータ間の差を利用

- SAR衛星画像の解析では、より高度な情報抽出を行うために異なる時期に観測されたデータ間の差を用いる。差をとる情報次第で以下の方法がある
- これらを時系列に組み合わせて解析することもある

解析手法	用いる マイクロ波の情報	処理概要	用途例
反射強度差分	反射強度	反射したマイクロ波の強度の差分を用いて変化検出を行う	地表面変化エリアの抽出
コヒーレンス差分	波長	波長の相関値（コヒーレンス）の差分を用いて変化検出を行う	
差分干渉 (InSAR)	波長	マイクロ波の反射タイミングの差分を用いて変化抽出を行う	地盤変動の空間的な把握

衛星データの解析手法

ユースケースに合わせて衛星データに適用する解析手法を検討

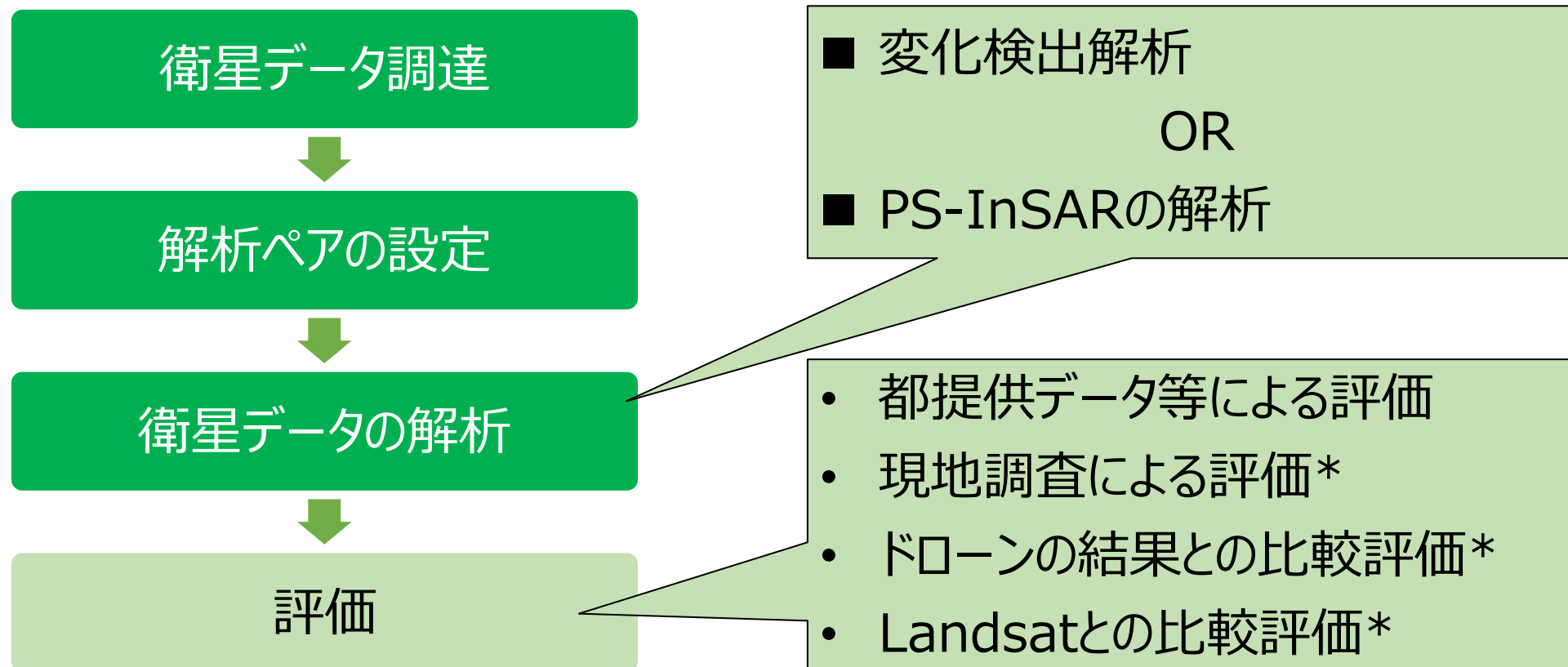
- 今回適用した衛星データ解析手法は以下
 - 異なる2時期の変化を検出可能な解析手法を選定
 - 各ユースケースで注目している経時的な変状の検出可能な解析手法を選定

解析手法名	利用した解析サービス	手法概要	適用したユースケース
変化検出	Disaster Damage Assessment (DDA)	• 2つの異なる時期に撮影されたSARデータの差分を検出する手法 • 変化したエリアを出力 • 何故変化したのか等の詳細は出力結果からは断定できず、考察する必要がある	■ 盛土の監視可能性の検証 ■ 台風による離島港湾の被害状況把握
PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometry SAR)	Land Displacement Monitoring (LDM)	• 時系列に同一エリアを同一条件（マイクロ波入射角等）でSARによって撮像し、差分から地盤変位を推定する手法 • 解析対象期間での解析点（PS点）における変位量を出力 • 急激な変化があった場合は検出できない	■ 山岳道路斜面の変状把握可能性の検証

変化検出の検証フロー

衛星データの解析結果のほか、現場データ等を利用して検証

- 検証は以下の手順で実施
- 盛土の監視可能性の検証（区画整理実施エリア）は以下についても実施
 - 衛星データ解析結果とドローン、Landsat（光学衛星）との比較
 - 現地調査結果も考慮して評価



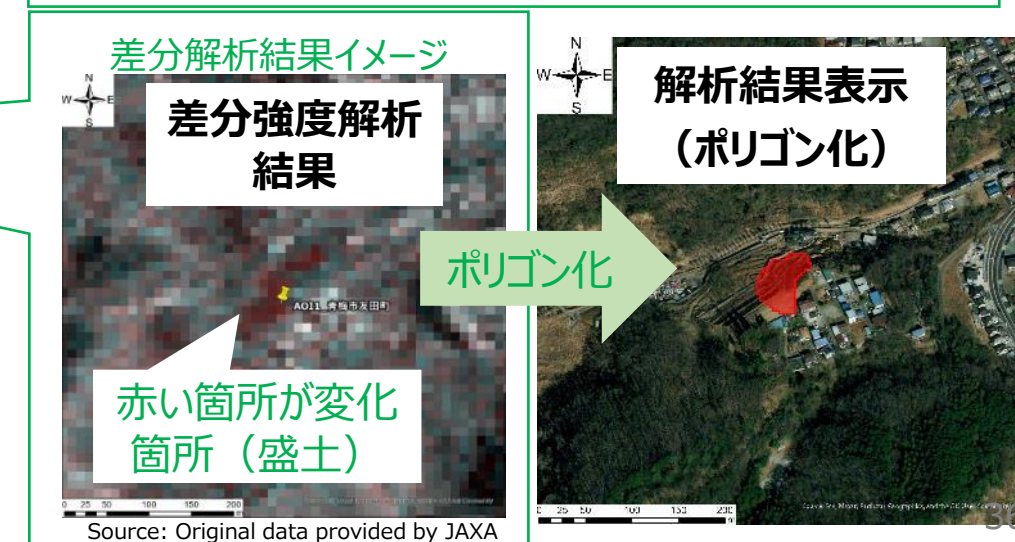
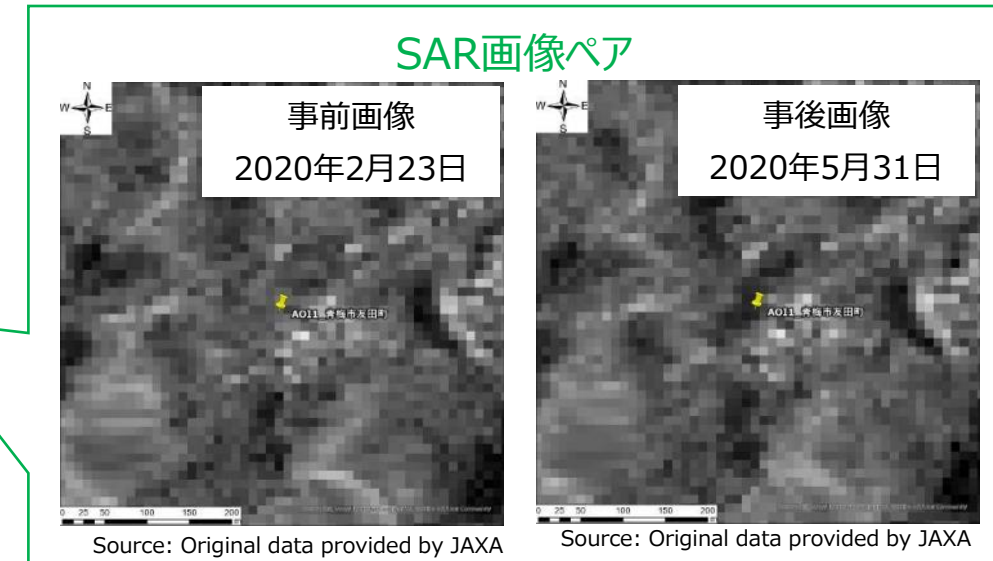
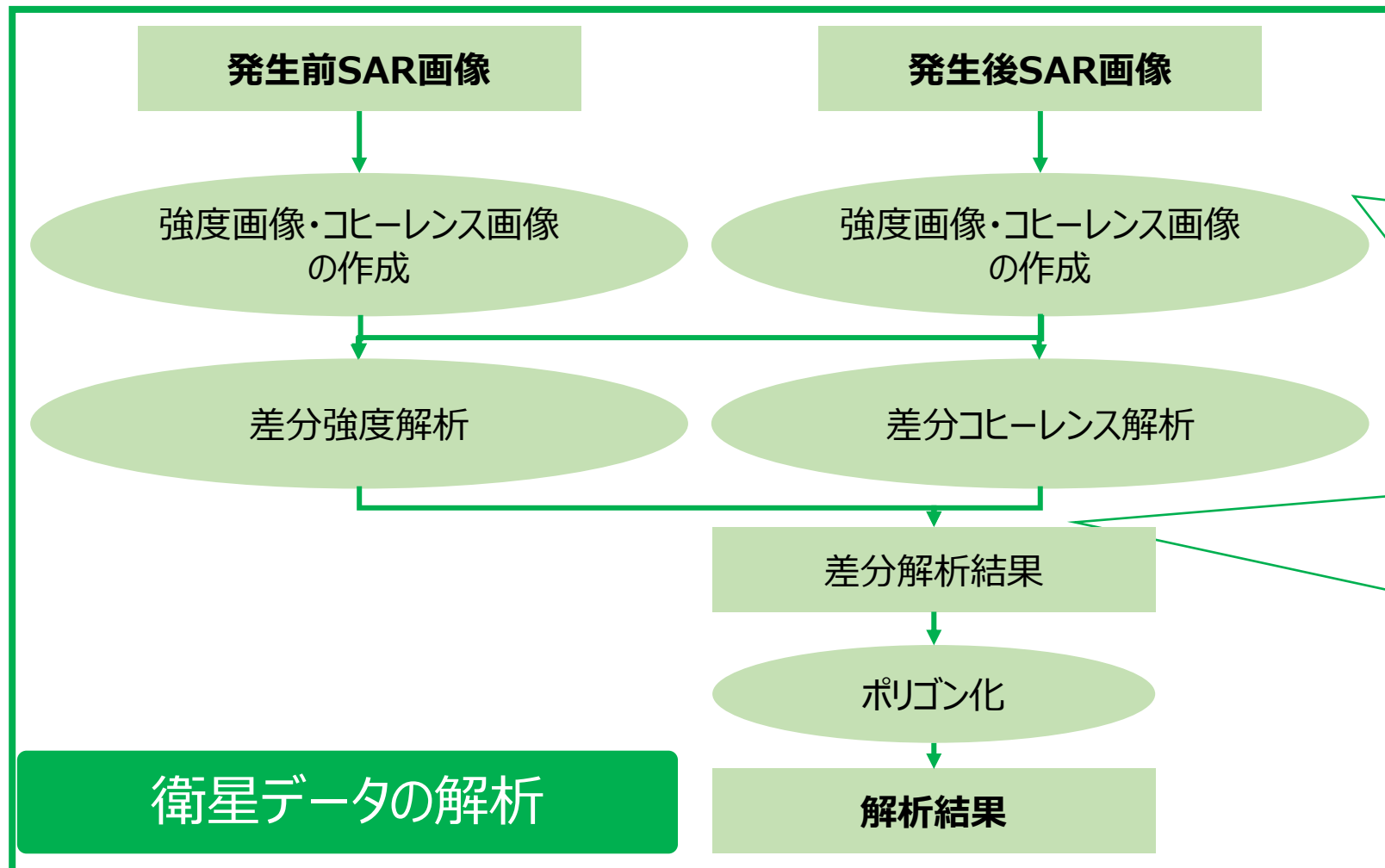
*盛土の監視可能性の検証（区画整理実施エリア）のみ

変化検出解析の解析フロー

事象の発生前後のデータから差分解析を実施

- 衛星データの変化検出は以下の流れで実施
- 差分強度解析および差分コヒーレンス解析を用いて、変化のあった場所を抽出

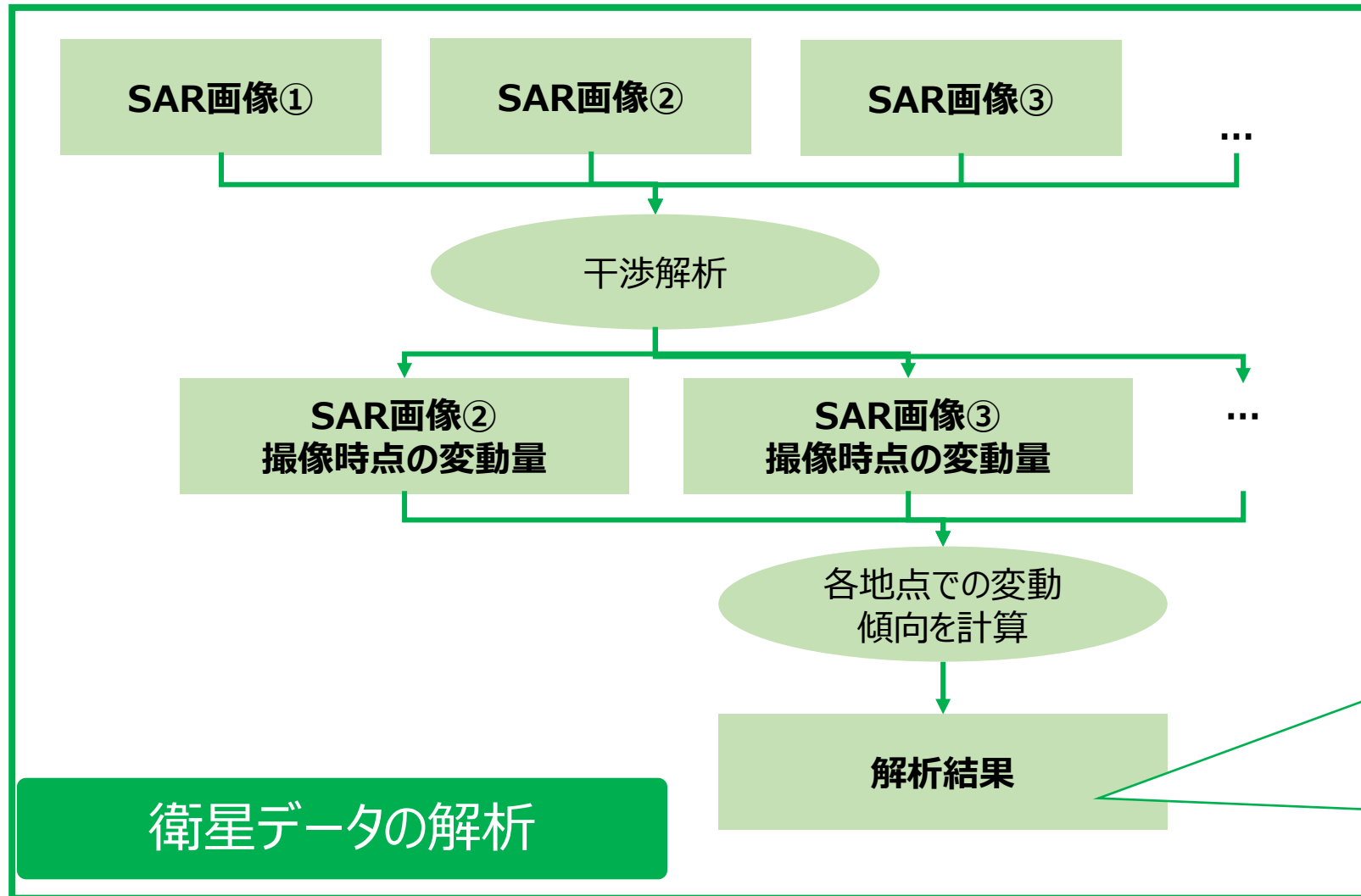
※コヒーレンス…電波が反射する前と後でどの程度同じ形を保っているかの度合い



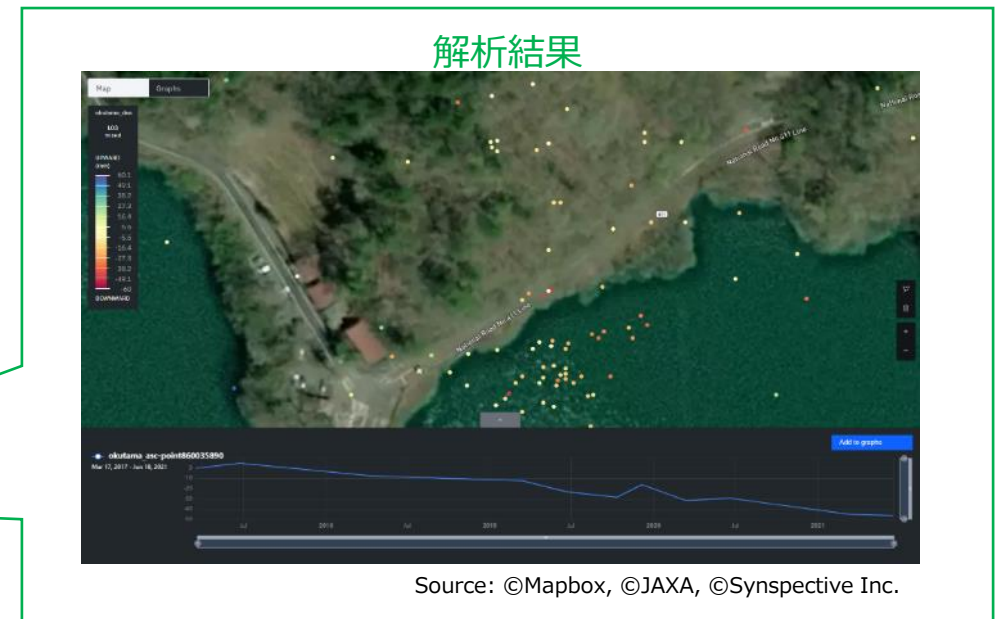
PS-InSARの解析フロー

事象の発生前後のデータから変動傾向を算出

- 経時的な変動量を算出するため、調達した全ての画像ペアから各地点の変動量を計算
- 変動量を用いて変動傾向を計算し、地盤変動トレンドを推定



- 変動量は「地すべりの解析と防止対策 藤原明敏, 1979」を参照
- 月間累積変動量0.5mm
(解析対象期間では24mm)
を危険度が高いものとして抽出



5. ユースケース毎の検証作業

5. 1. ユースケース①不適正盛土の監視

検証実施概要

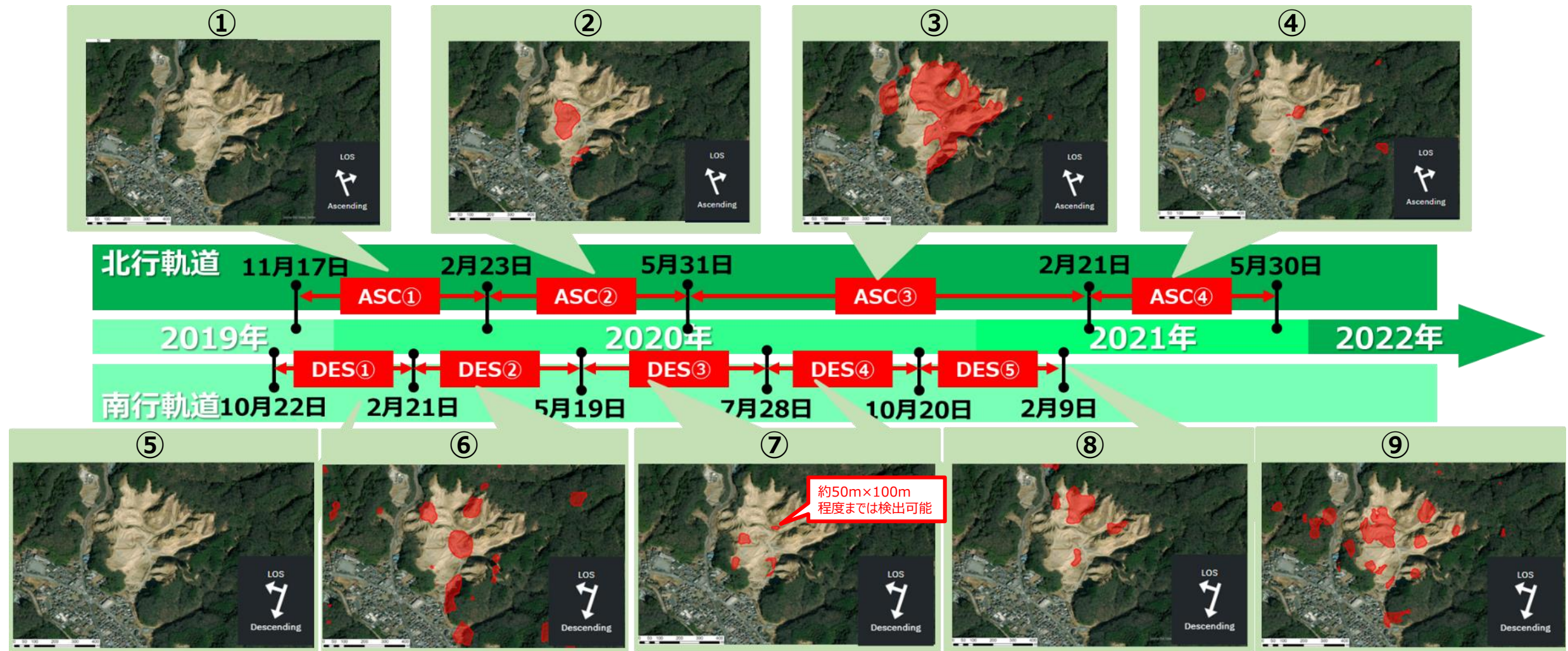
実施目的：衛星による不適正盛土の監視可能性を評価

検証エリア	不適正盛土エリア	区画整理実施エリア
選定理由	■ 実際の不適正盛土事例として採用 ■ 盛土開始と中断のおおよその時期は判明	■ 衛星データの能力評価が可能なエリアとして採用 ■ 2018年4月から大規模な切盛土を実施 ■ 施工が適切に管理されており、正確なデータが入手可能
実施結果	■ 不適正盛土位置と衛星データの解析結果が整合することを確認	■ 北行軌道：現地データやドローン、Landsatの結果と解析結果が概ね整合 ■ 南行軌道：主に気象条件（降雨）の差異とみられるノイズが多く、現地データと一部不整合を確認
検証を通じて判明した課題	■ 降雨によるSAR衛星のデータ品質の低下が確認され、衛星データ調達時に天候等による選別が必要 ■ SAR衛星データは盛土以外の変化も検出してしまうため、ノイズ除去が必要 ■ より監視性能を向上させるためには、光学衛星やドローンの利用が必要 ■ 今回検証できたのは主に盛土造成工程の初期段階である森林伐採で、切盛土作業の検出性能については更なる検証が必要 ■ 南行軌道の結果が不安定であったのは、観測日の気象条件によるものと推測、調達時に衛星データの選別が必要	

検証結果詳細（区画整理実施エリア）

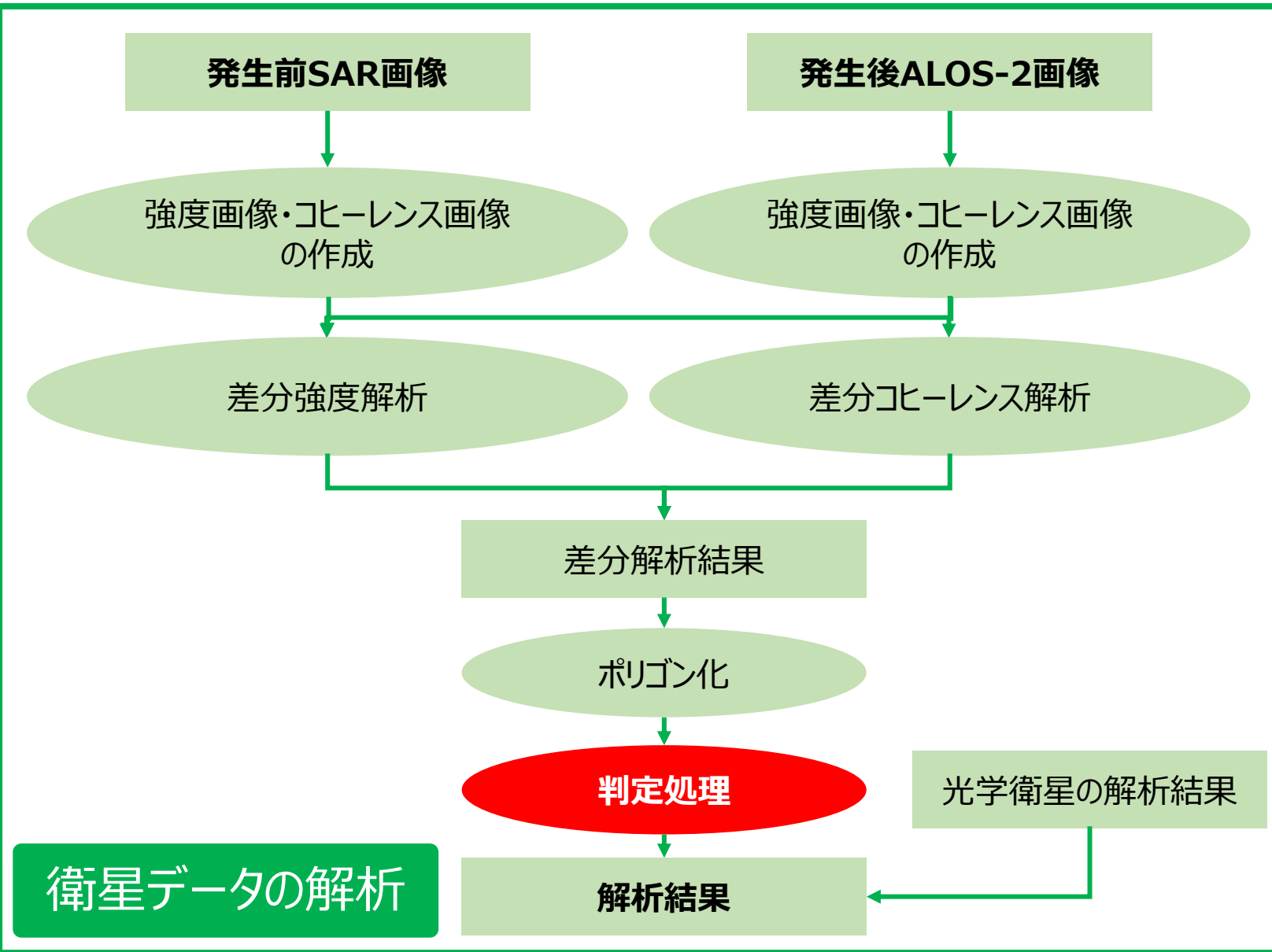
現地データ等と比較した結果、衛星データ解析結果と整合

- Landsat（光学衛星）、現地データ（ドローン、施工記録等）と衛星データ解析結果を比較した結果、変化位置が概ね整合していることを確認（①～⑨）



衛星を用いた不適正盛土監視の実用に向けて

継続評価・データの選定・光学衛星の活用・ノイズ除去が必要



今後の検討事項

- 切盛土作業の検出性能を継続評価
- 衛星データ調達時に気象条件等によるデータの選別
- 解像度の高い光学衛星の活用検証
- ノイズ除去手法の確立
- 衛星データは盛土以外の変化も検出
- 不適正盛土の確度が高いものの抽出が必要
- 現状の解析フローに「判定処理」を追加
- 「判定処理」の元データとしては開発や宅地造成の許可情報等が有用

5. 2. ユースケース②山岳道路斜面の変状把握 検証エリアの選定

検証実施概要

実施目的：衛星データを用いた斜面崩壊等の予兆把握可能性の検証

岩盤崩落・奥多摩町

- 2021年に山岳道路斜面に岩盤崩落が発生
- 降雨など直接的なきっかけとなる誘因なし
- 事前調査でも特に崩落の兆候は認められず



盛土擁壁変状・あきる野市

- 2002年以降、盛土擁壁に変状が進行
- 2020年9月～2021年9月まで、ひずみ計観測・地下水位観測を実施したが、大きな変化なし



検証結果①（岩盤崩落・奥多摩町）

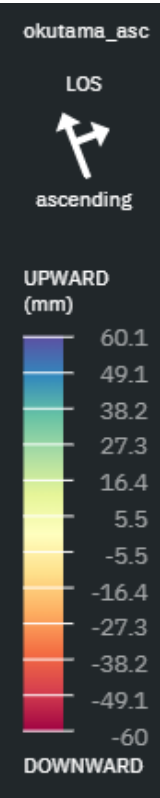
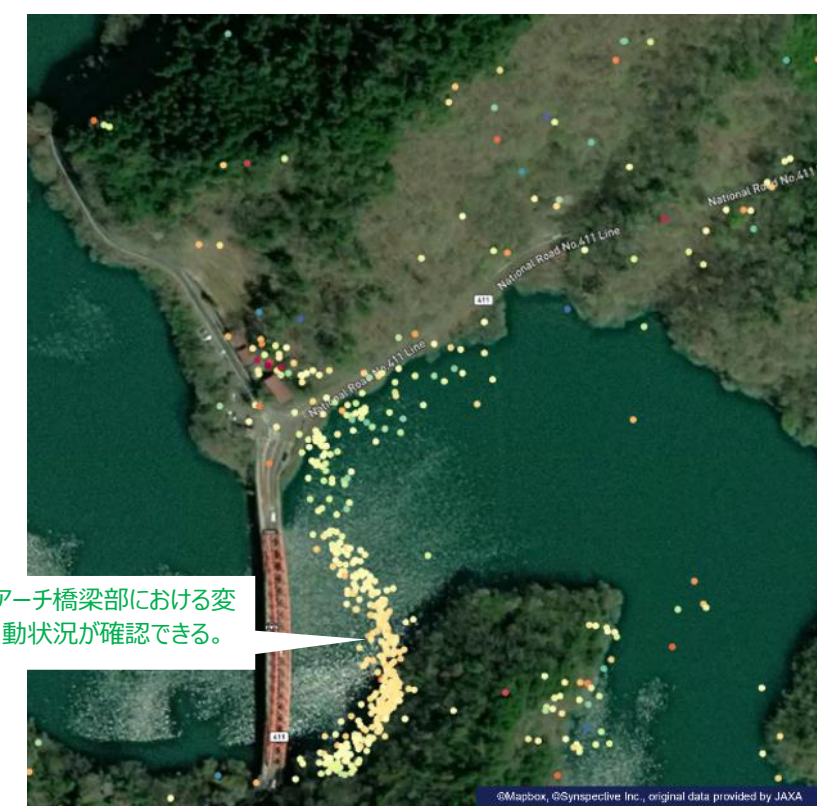
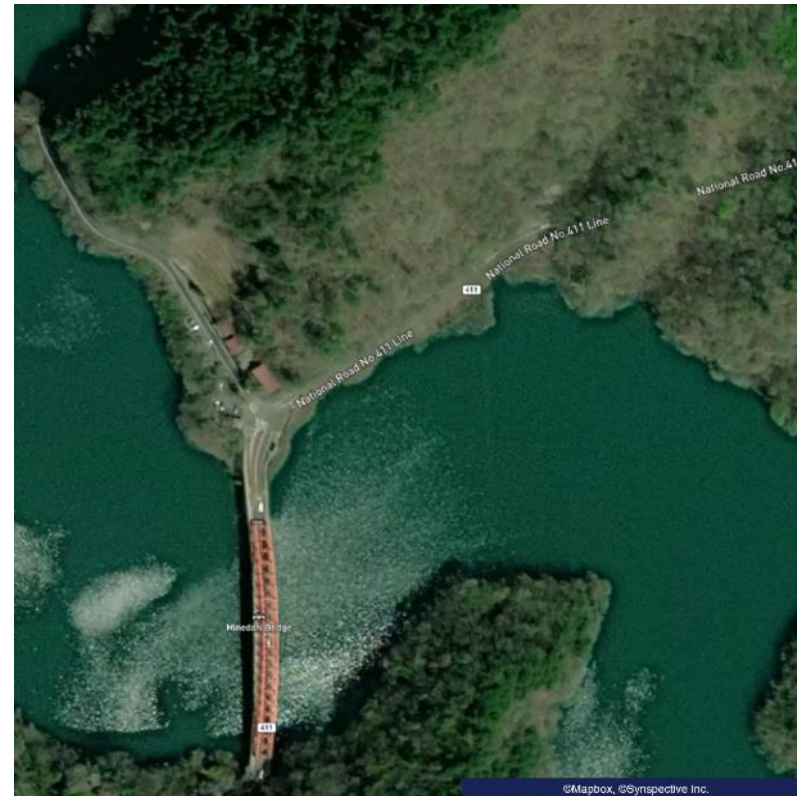
衛星データ解析結果から累積変動量を確認

- その他要注意箇所においてはポイント数が少ない
- 全体期間（2017年～2021年の4年間）を対象に累積変動量を確認
- 崩落場所は周辺に比べて特に顕著な変動があるとは言えない

北行軌道

衛星写真

南行軌道



検証結果②（盛土擁壁変状・あきる野市）

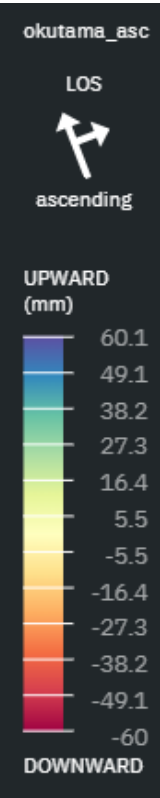
衛星データ解析結果から累積変動量を確認

- 全体期間（2017年～2021年の4年間）を対象に累積変動量を確認
- 周辺に対して変状エリアには特に顕著な変動なし
- 垂直擁壁という形状の制約から観測エリアが狭く、解析可能なポイント数が少ない

衛星写真



南行軌道



検証結果まとめ

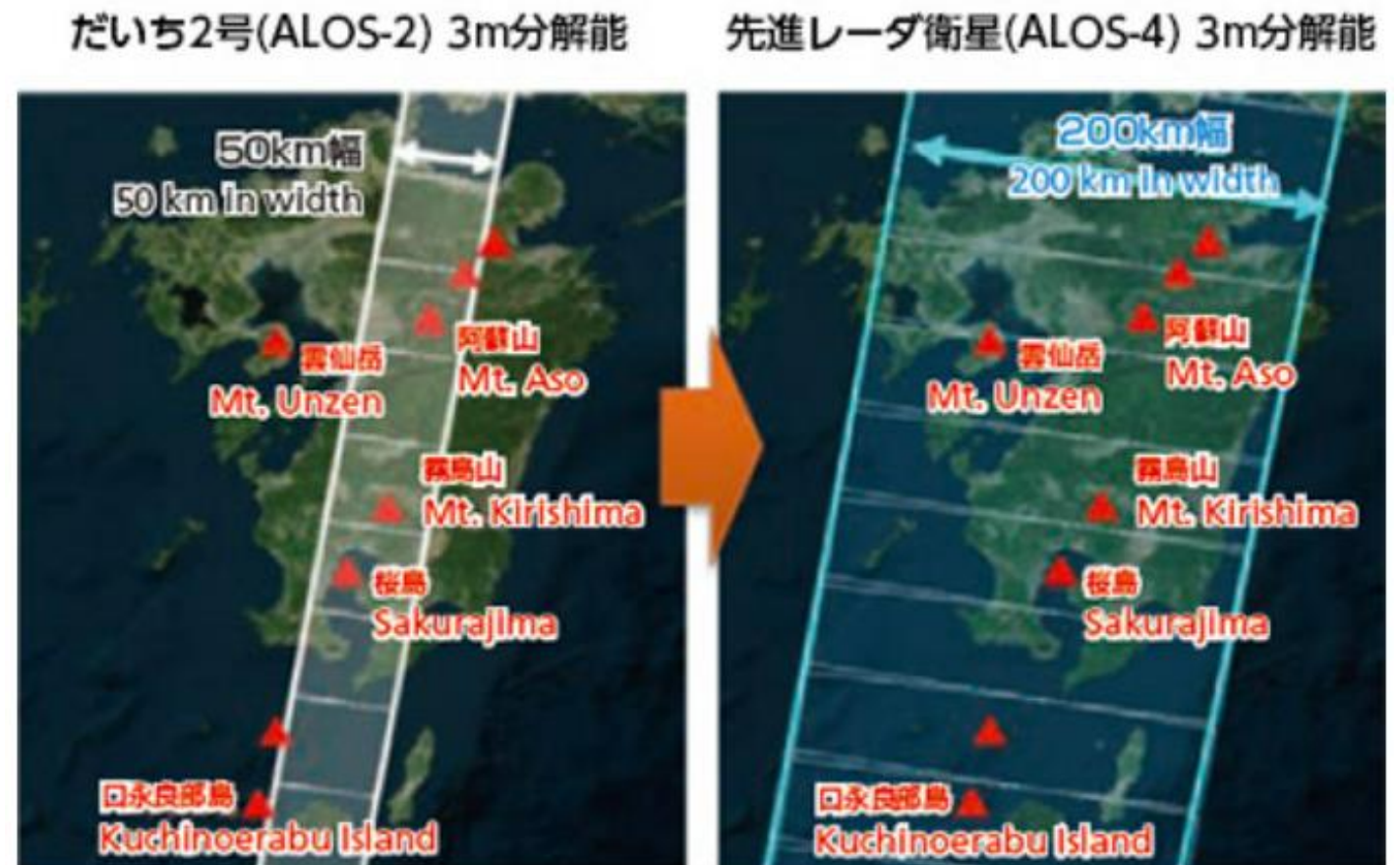
山岳道路斜面の変状把握には、より短い時間間隔での観測が必要

検証エリア	検証結果	検証を通じて判明した課題
全般	■ 今回対象としたユースケースでは、衛星データによる斜面崩壊の予兆把握は不明瞭	■ 短い時間間隔で発生した現象を、現在のSAR衛星の観測間隔では捉えることが困難 ■ 樹木等の土地被覆変化が年間を通じて激しいエリアを対象とする場合、より短い時間間隔で観測しなければ解析が困難
奥多摩	■ 事前に予兆は確認されていなかったが、衛星であれば捉えられることを期待して実施 ■ 崩落場所は周辺に比べて特に顕著な変動があるとは言えない ■ その他要注意箇所においてはポイント数が少ない	■ 衛星で捉えられるよりも短い時間で変化するような突発的な要因による崩落であった可能性 ■ 積雪等の土地被覆の変化により解析可能なポイントが少ない
あきる野	■ 盛土擁壁の変状・移動が比較的緩やかに進行していることが予め判明しており、衛星で捉えられる可能性を期待して実施 ■ 周辺に対して変状エリアには特に顕著な変動なし ■ エリアが狭く、解析出来たポイント数が少ない	■ 対象エリアは狭く、また垂直な擁壁であったため、解析できたポイントが少なく判定不能

衛星を用いた山岳道路斜面監視の実用に向けて

衛星の観測頻度向上が必要

- 短い時間間隔で発生する現象の監視や、土地被覆変化の影響の低減には、衛星の観測頻度向上が最も効果的
- JAXAにて今回使用したALOS-2の後継機であるALOS-4の打上げを計画
 - ALOS-2の高い空間分解能を維持しつつ、観測幅が4倍に性能向上
 - 観測頻度の向上に期待
(ALOS-2：年4回→ALOS-4：年20回)



5. 3. ユースケース②

離島港湾の台風等による被害状況把握

検証実施概要

実施目的：衛星データを活用した台風等による 被害状況の把握可能性の検証

利島港

- 2018年10月1日に発生した台風24号により、
港湾施設に被害発生
- ケーソンの移動・破損が発生



ケーソンの移動の様子

出所) 東京都



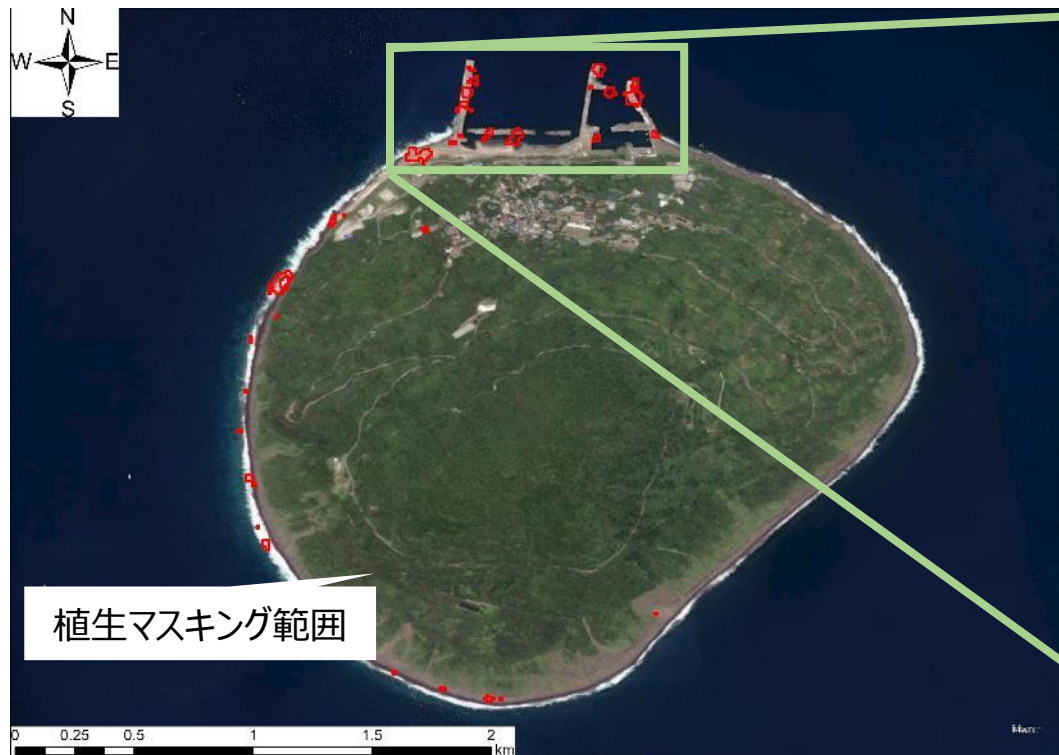
被災箇所

出所) 東京都

検証結果（港湾施設変状・利島村）

既知の被害状況の把握が行える可能性を確認

- 既知の被害状況の把握が行える可能性を確認
 - 北側港湾部“西側”の被災箇所を複数検知（右下黄色枠部分）
- 未知の被害状況の把握可能性を確認 → 真の変化箇所かどうかや変化の程度は不明
 - 北側港湾部“東側”においても変化を検出
 - 海岸線付近においても変化を検出



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

検証結果まとめ

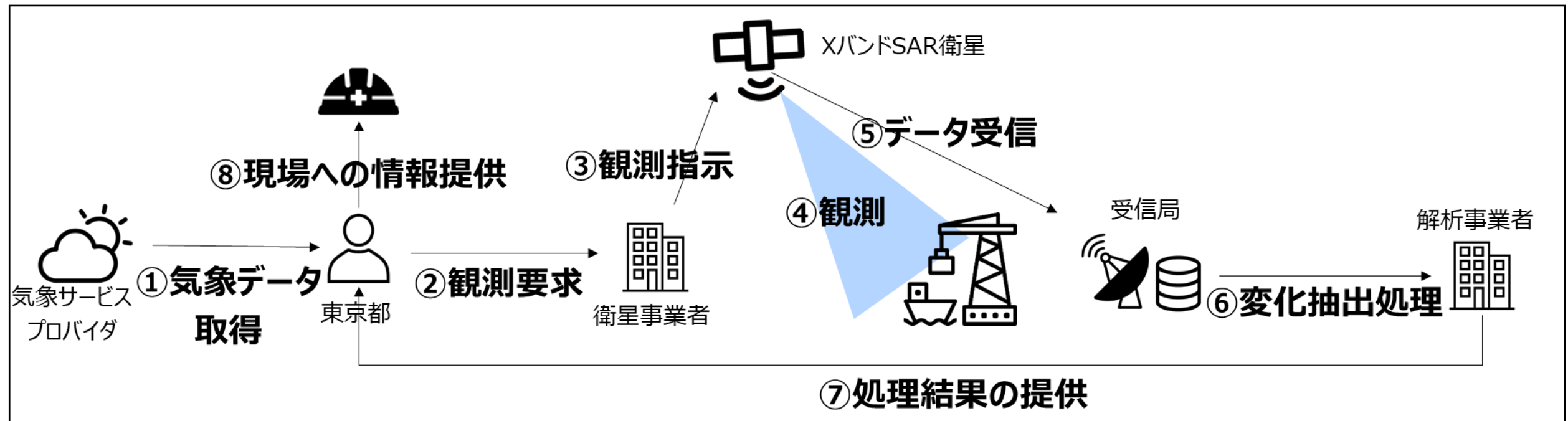
離島港湾の被害状況把握には 監視対象の優先順位付けが必要

検証エリア	検証結果	検証を通じて判明した課題
利島港	■ SAR衛星の解析結果からケーソンやテトラポット等の構造物の変状を確認 ■ 離島港湾の被害状況把握に活用できる可能性を確認	■ 対象外の変化も検出しており、監視対象の優先順位付けが必要 ■ ケーソンの移動方向や移動距離を計測するのは現状の解析手法では困難 ■ 発災時には迅速な解析結果の取得が必要 ■ 観測のリクエストから解析結果の入手までの具体的な運用体制の構築が必要

衛星を用いた離島港湾監視の実用に向けて

迅速に衛星データ（または解析結果）を取得できる運用体制が必要

- 現場への情報提供を考えると発災後数時間以内に実施できることが理想的
（下図「②観測要求」から「⑦処理結果の提供」まで）
- 現状は衛星データの取得にタイムラグが存在
 - 「③観測指示」から「④観測」までのタイムラグ：衛星や費用によるが数時間～数日前に観測指示が必要
 - 「④観測」から「⑤データ受信」までのタイムラグ：衛星によるが数時間程度かかる場合もある
- これらの課題は、政府系・民間事業者ともに改善傾向
- 優先順位付けなど、情報提供のあり方についても検討が必要



6. 成果と課題

成果と今後の対応

衛星データの活用可能性を確認し、対応を検討

成果	内容	必要な対応
不適正盛土の監視に衛星データを活用する可能性を確認	■ SAR衛星を用いて盛土による変化検出解析を実施し、現地調査およびドローン、光学衛星による取得データと合わせて、評価を実施 ■ SAR衛星の解析結果から対象エリアの地表面変化を検出は可能	■ 切盛土作業の検出可能性についての更なる検証 ■ 調達時における衛星データの選別 ■ 光学衛星の活用による検知頻度の向上 ■ 盛土以外の変化検出に対するノイズ除去
山岳道路斜面の変状把握に衛星データを活用する可能性を確認	■ SAR衛星を用いて山岳道路周辺の地盤変動解析を実施し、評価を実施 ■ 地すべりなどの緩やかな変動は確認できたが、突発的な斜面崩壊の予兆は不明瞭	■ 短い時間間隔で発生した現象を、現在のSAR衛星の観測間隔では捉えることが困難 ■ 土地被覆変化が年間を通じて激しいエリアを対象とする場合、より短い時間間隔で観測しなければ解析できないポイントが増加 →観測頻度の向上が必要 (ALOS-4への期待)

成果と今後の対応

衛星データの活用可能性を確認し、対応を検討

成果	内容	必要な対応
離島港湾の台風等による被害状況把握に衛星データを活用する可能性を確認	■ SAR衛星を用いて過去に発生した離島港湾施設の被災事例を対象に変化検出解析を実施し、評価を実施 ■ SAR衛星の解析結果から特にケーソン等の変化を検出は可能であるが、変位量の把握はできない	■ 対象としたケーソン以外の変化も検出しているため、監視対象の優先順位付けが必要 ■ ケーソンの移動方向や移動距離を計測するためには現状の解析手法では困難（コーナリフレクタの設置などが有効だが、設置方法等に課題） ■ 発災時には迅速な解析結果の取得が必要 ■ 観測のリクエストから解析結果の入手までの具体的な運用体制の構築が必要
衛星に関する基本情報の整理	■ 衛星リモートセンシングに関する基本的な情報を整理 ■ 日本語版および英語版で資料を作成し、その公開を実施	■ 今後、小型衛星を中心とした衛星群が多数打ち上がるため、継続的な最新動向の把握が必要

7. 今後の方向性

今後の方向性

技術面・運用面の課題に対応し、持続的な仕組みの構築を推進

- 今年度の検証を通して衛星データの活用可能性を確認
- 衛星データの広域性を活かし、デジタルツインのデータの一つとして活用

技術面

- 衛星の観測頻度向上
- 重要箇所に絞った情報提供
- 衛星による迅速な観測とデータ処理
- 衛星データ表示ツール等の簡単に確認できる環境の整備

運用面

- 衛星データの平時からの活用
- 組織横断での衛星データおよび解析結果の共有（データライセンス等の整理）
- 関係機関の役割分担、持続的な運用体制の構築

衛星データの活用により都民の安全安心な暮らしを実現