



資料47-4

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第47回) 平成31. 4. 18

衛星を活用したインフラ点検作業の効率化について

平成31年4月18日

宇宙航空研究開発機構
理事補佐 舘 和夫

本資料の構成

最初の2ページ：

- 合成開口レーダ (SAR) の概要と特徴
- だいち2号 (ALOS-2)の概要

以降、衛星を活用したインフラ点検作業の効率化について

1. 全体概要
2. 技術の概要
3. 衛星SAR解析ツールの概要
4. 衛星SAR解析ツールを用いた利用実証
5. 技術比較とコスト試算例
6. 政策文書関連と事業展開等
7. 今後の展望 予防保全からの一貫した取組み
8. まとめ

合成開口レーダ (SAR) 衛星の概要と特徴

- ◆電波を照射する能動型の観測センサ
- ◆昼夜、天候に関わらず地表面を観測
- ◆移動しながらアンテナ開口長を拡張させ受信電波を合成することで高分解能画像を得る技術 (合成開口)

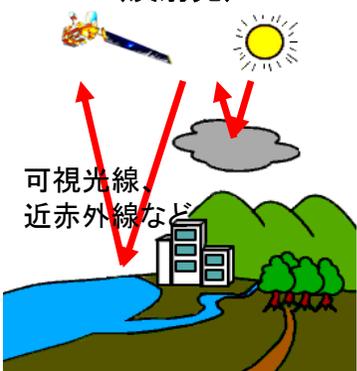
観測センサの主な種類

- ◆受動型センサ
太陽の反射光や自然の放射光を観測

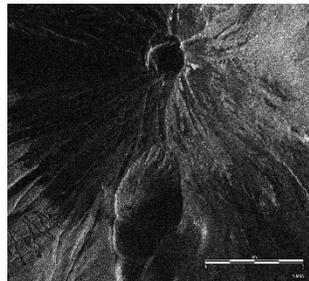
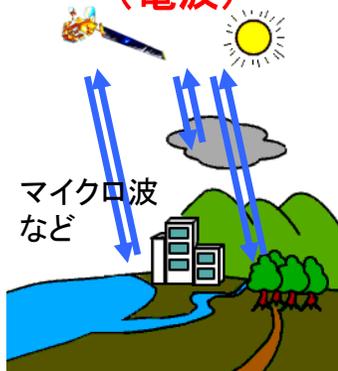
◆能動型センサ

自らが電波などを出し、その反射波を観測

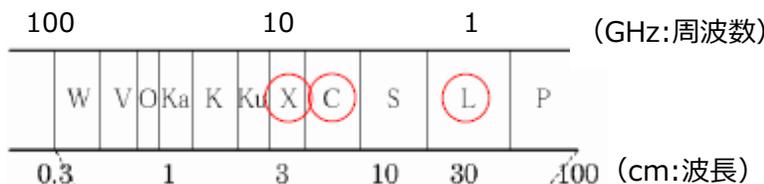
受動型センサ (反射光)



能動型センサ (電波)

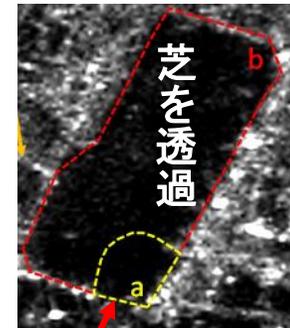
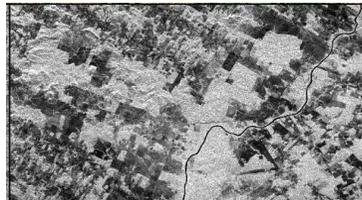


合成開口レーダに利用される主な周波数と特徴



| バンド | 波長 | 周波数 | 衛星 |
|-----|-------|--------|---|
| L | 約24cm | 約1GHz | ALOS、ALOS-2 (日本) |
| C | 約5 cm | 約6GHz | Sentinel1 (欧州)、Radarsat-2 (カナダ) |
| X | 約3cm | 約10GHz | TerraSAR-X (ドイツ) Cosmo-SkyMed (イタリア) |

波長が長いLバンド
Xバンドと比較し、雲・雨・葉の透過性が高く、幹・地表面で反射

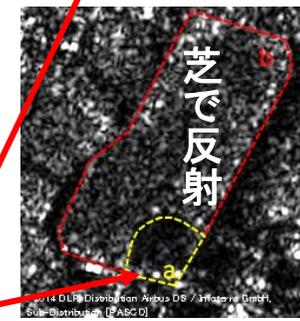


芝と土で同じ傾向

波長が短いXバンド
Lバンドと比較し、雲・雨で減衰し、葉で反射



ブラジル熱帯雨林 (米ジェット推進研究所 (JPL)ホームページより) 土



だいち2号 (ALOS-2) の概要



宇宙を活用した安心・安全で豊かな社会の実現のため、公共の安全確保、国土保全・管理、資源・エネルギーの確保、地球規模の環境問題（低炭素社会の実現）の解決等のニーズに応えた陸域・海域観測を行う。

ALOS-2の概観

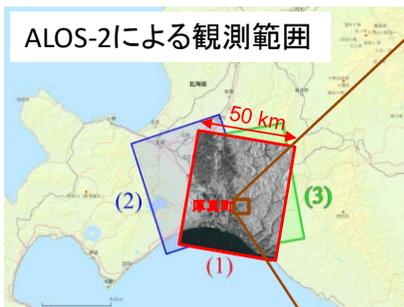


バンド合成開口レーダ
(PALSAR-2)

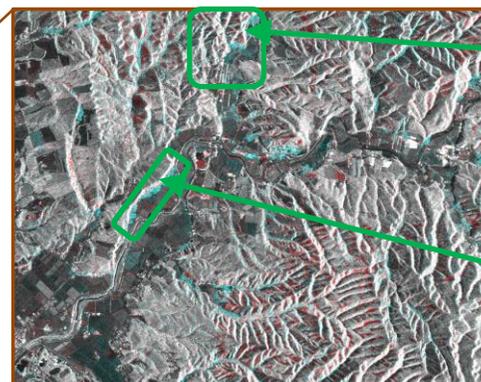
ALOS-2 主要諸元

| | | |
|--------|------------|------------------------------|
| 打上げ日 | 2014年5月24日 | |
| 運用期間 | 5年（目標7年） | |
| 頻度 | 災害時 | 日本付近：12時間以内 アジア域：24時間以内 |
| | 定期 | 年4回程度 |
| 主な観測性能 | 高分解能 | 分解能：3m 観測幅：50km |
| | 広域観測 | 分解能：100/60m 観測幅：350/490km |

公共の安全確保



| | 緊急観測日時 |
|-----|------------|
| (1) | 9月6日 11:40 |
| (2) | 9月6日 22:37 |
| (3) | 9月8日 23:18 |



赤色/水色：災害前後の画像比較で土地被覆に変化が見られた箇所（土砂移動の可能性箇所）

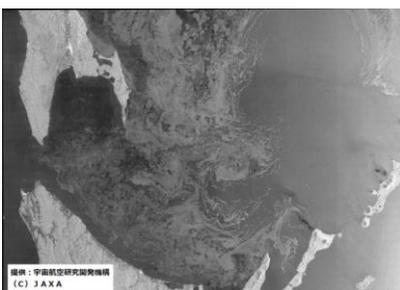
厚真町周辺の土砂移動判読結果の拡大図

災害現場写真
(厚真町 高丘)

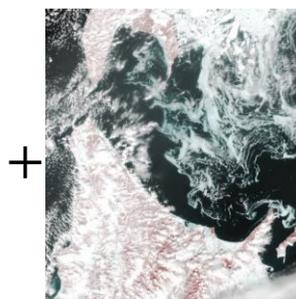
災害現場写真
(厚真町 吉野)

(提供:国土交通省)

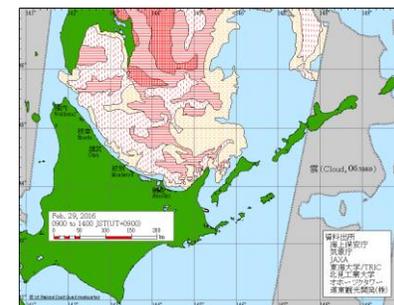
国土保全・管理



ALOS-2観測画像



米国地球観測衛星Aqua (MODIS) 観測画像 (JAXA提供)



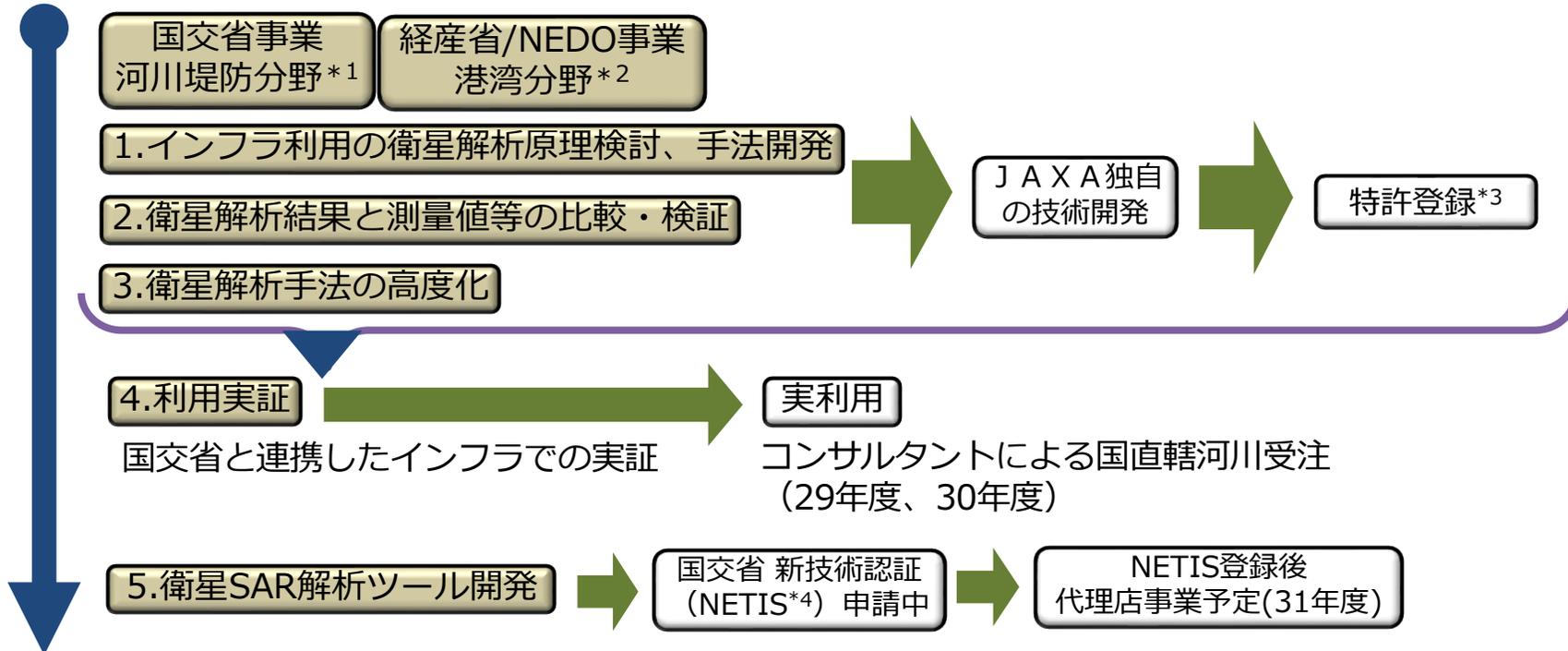
海水速報図※

※海上保安庁第一管区海上保安本部海水情報センターHPから転載

1. 全体概要

- ◆ 我が国のインフラの老朽化が進む中、重大な事故リスクの顕在化、維持管理コストの急激な高まりや点検技術者減少が社会課題。
- ◆ 予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現することを目的に内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）事業（26年度から30年度）の下で、JAXAはコンサルタントと連携して衛星SARによるインフラ変位監視技術の開発を実施。

<技術開発の流れ>



※1:国土交通省「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」

※2:新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「点検・モニタリング・診断技術の研究開発 モニタリングシステムの現場実証」

※3:変状度判定方法及び変状度判定システム(特許6179911号)

※4:新技術情報提供システム(NETIS)、公共事業での利活用促進

2. 技術の概要

(1) 計測原理

- ◆ 衛星と対象インフラ構造物の距離の変化を2回以上の観測の位相差から求める技術
- ◆ 水蒸気遅延などの誤差要因を複数データによる統計解析により低減し、高精度化を図る技術（干渉SAR時系列解析）

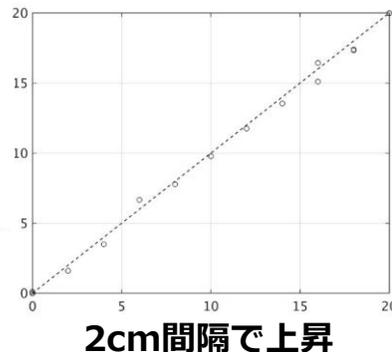
(2) 精度評価 (NEDO事業)

a. 立体構造物 (五洋建設と共同実施)

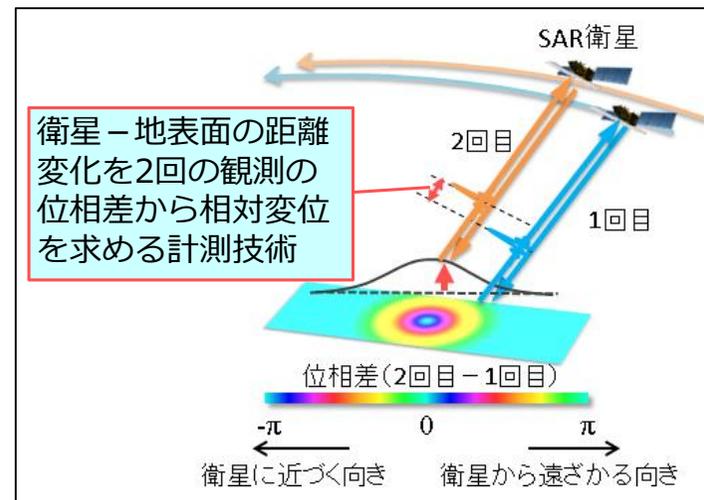
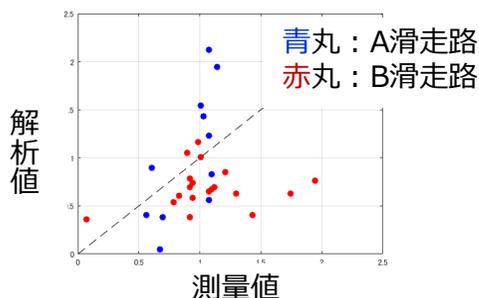
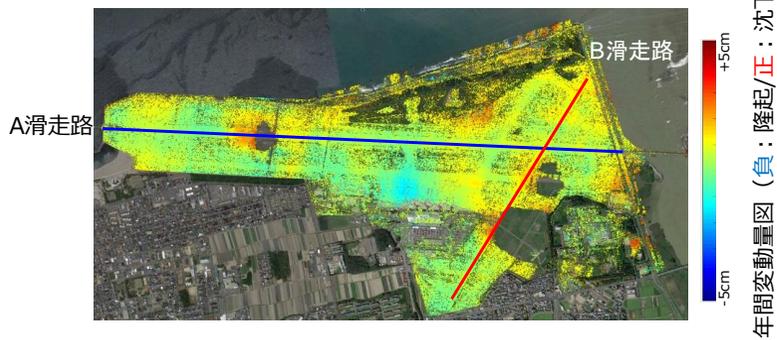
地上検証外観写真



検証結果



b. 平面構造物



13回のALOS-2計測解析結果で精度は **0.23cm** (平均二乗誤差RMSE)。

11回のALOS-2解析結果と測量値との比較評価結果で精度は、RMSEで A滑走路で **0.4cm/年**、 B滑走路で **0.47cm/年**。

測量時期と衛星観測時期が同一でない為、複数時期の測量値と複数時期の衛星解析値との傾きで評価。

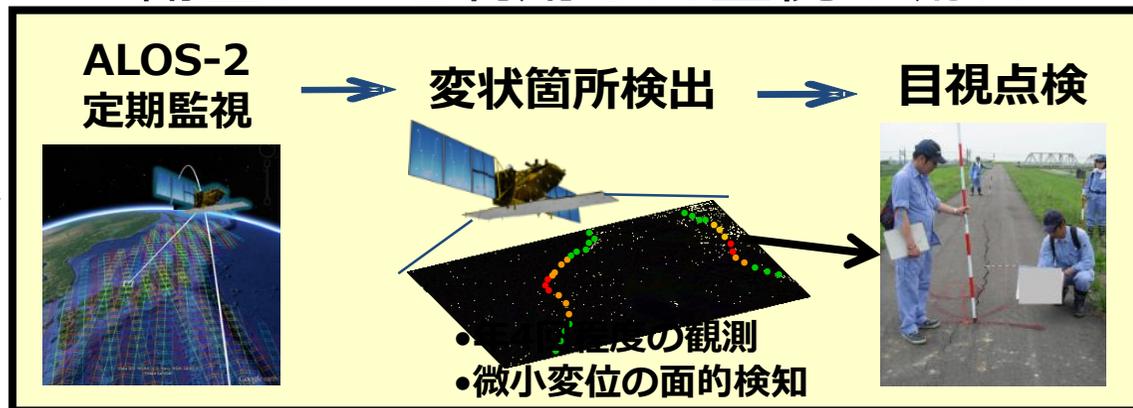
2. 技術の概要

(3) 監視の流れ (河川堤防例)

現状



衛星SARを利用した監視の流れ



(4) 効果 (河川堤防例)

現状 (Before)

衛星SARを利用 (After)

定期
点検

- ◆ 年2回、目視点検
- ◆ 沈下等目視把握困難
- ◆ 技量・経験依存

- ◆ 点検前一次スクリーニング結果を反映した目視点検
- ◆ 目視把握困難な沈下、隆起(はらみ出し)等検知
- ◆ ツールによる解析で技量・経験に依存しない

定期
測量

- ◆ 現場作業・機材設置
- ◆ 点、200m間隔
- ◆ 5年に1回

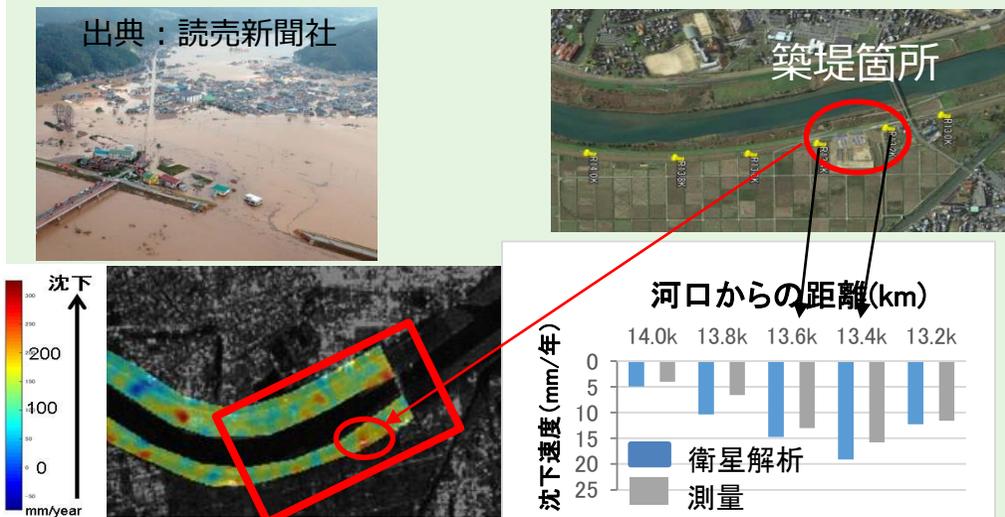
- ◆ 現場作業や機材設置なし
- ◆ 面 (50km四方)、3mメッシュ
- ◆ 頻度 年4回程度、将来年20回程度(ALOS-4)

2. 技術の概要

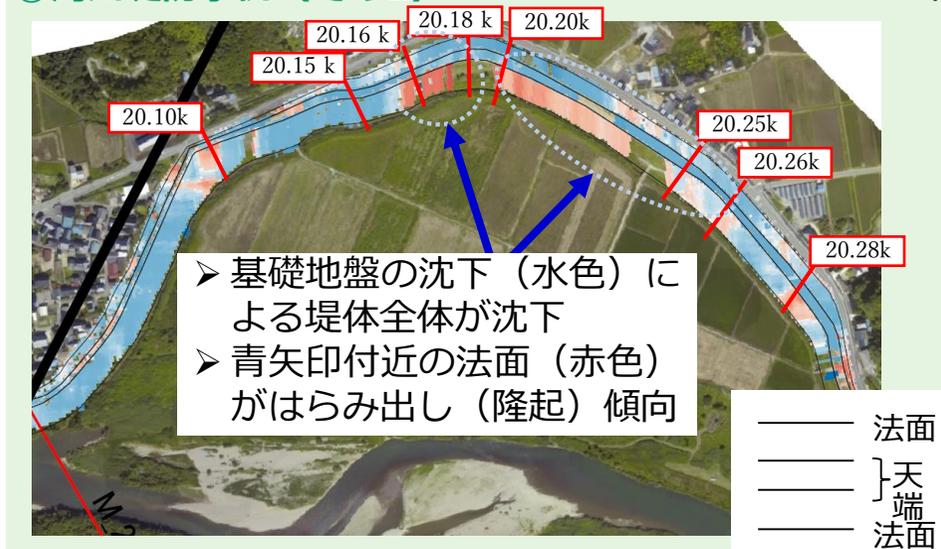


(5) 解析事例

① 河川堤防事例 (その1) (日本工営と共同実施。国交省事業)



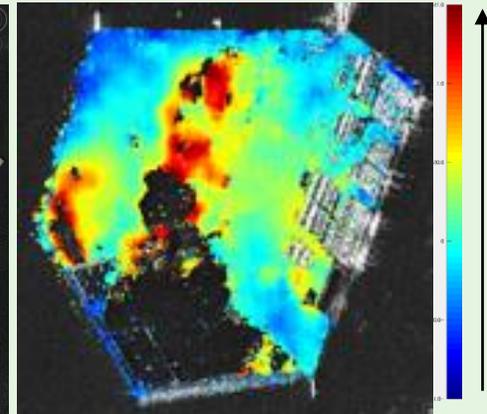
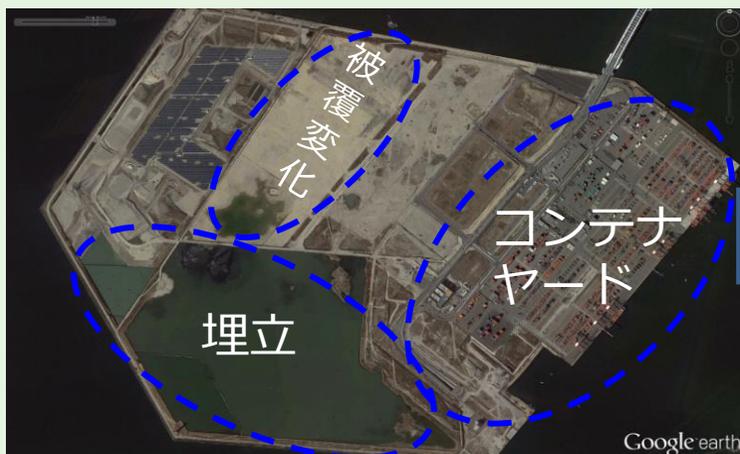
② 河川堤防事例 (その2) (日本工営と共同実施。国交省事業)



③ 港湾事例 (NEDO事業)

本技術の対象は、観測期間中、極端に地表面状態が変化していないエリア
点線範囲内エリア (解析結果の着色箇所以外) は計測困難

沈下大



Google Earth ©Google 観測当初：2014/3/11

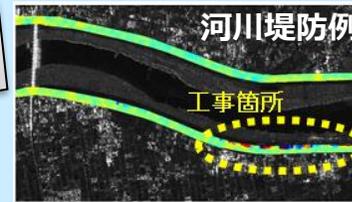
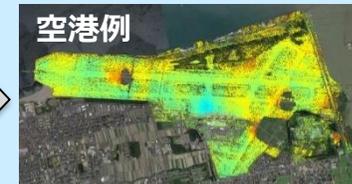
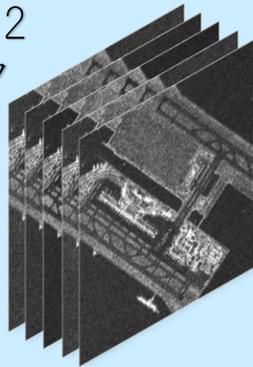
観測終盤：2017/2/22

3. 衛星SAR解析ツールの概要

コンサルや調査・測量会社等からのニーズを踏まえ、衛星SARデータを利用したことがないユーザでも容易に利用できるよう設計。

- ALOS-2データと衛星SAR解析ツールで自動処理解析
- mmオーダーの計測精度、最小3mメッシュ
- Windows OS (©Microsoft) 仕様
- 解析時間は5時間程度以内 (PC性能、処理データ数などによる)
- CSV形式の出力で地理空間情報と重畳可能

ALOS-2
データ



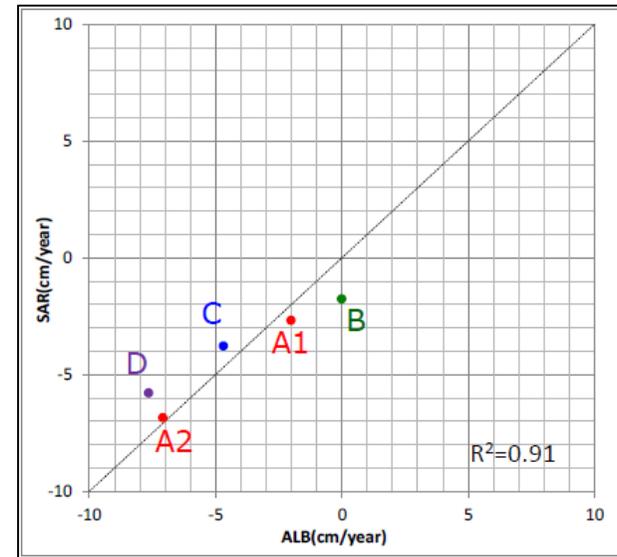
4. 衛星SAR解析ツールを用いた利用実証 (NEDO事業)



◆ アジア航測(株)による解析事例



沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所 管内
中城湾港 土砂処分場と検証エリア
(A-1,-2,B,C,D)



ALOS-2 : 2014年9月～2018年4月の12データの年変動
ALB:2016年12月～2017年9月の2時期の差の年変動
ALB: Airborne Laser Bathymetric (航空レーザ測深機)

◆ 検証結果

- ALBで年間～7cm程度の沈下変動を、SAR解析で捉えていることを確認した。
- SAR解析はmmオーダーで変動を検出できるのに対して、ALBはcmオーダーの測量精度であり、SAR解析に対する厳密な精度評価はできないものの、同様な傾向であることを確認した。

5. 技術比較とコスト試算例

(1) 測量技術との比較

| | 衛星SAR解析 | 航空レーザ測量 | 水準測量 |
|-------|---|----------------------------------|---------------------------------|
| 機器準備 | ○ (不要) | × (必要) | × (必要) |
| 現地作業 | ○ (不要) | × (必要) | × (必要) |
| 計測の広さ | ○ (ALOS-2 : 50km四方) | △ | × |
| 変位計測 | ○ | × | × |
| 標高値 | △ 標高値は計測不可だが、他の標高データを利用することで算出可 | ○ | ○ |
| 計測精度 | ○ 高さ相対精度 : mmオーダー (消波ブロック検証結果) 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 測量の等級や基準点からの距離による |

(2) コスト試算例 国直轄河川の点検対象堤防延長 (9,155km) によるコスト試算

| 手法 | 調査範囲 | 費用(億円) | 摘要 |
|---------|--|--------|---|
| 水準測量 | 点検対象堤防延長 9,155kmを対象 | 5.7 | 3級水準測量 人件費単価:H27設計業務委託等技術者単価による 人件費数量:H27標準積算基準書による |
| 航空レーザ測量 | 直轄河川の河川堤防(ダムを除く) 3,678km ² | 7.1 | 0.5m間隔 |
| 衛星SAR解析 | 直轄河川を網羅するALOS-2画像数:133。 | 1.9 | データ購入費(同一箇所15データ)と解析費 データ費用:80,000円/シーン |

6. 政策文書関連と事業展開等

(1) 政策文書への位置づけ

国土交通省技術基本計画 (H29.3)

〔1-3戦略的なメンテナンス(2)メンテナンス技術の向上とメンテナンス産業の競争力の強化〕

- ◆ 衛星 SAR 等の先端的技術適用性を、インフラでの実証等により検証し、現場へ導入を促進すること。

(2) 貢献可能な政策

インフラ長寿命化基本計画 (H25.11)

(1) 安全で強靱なインフラシステムの構築

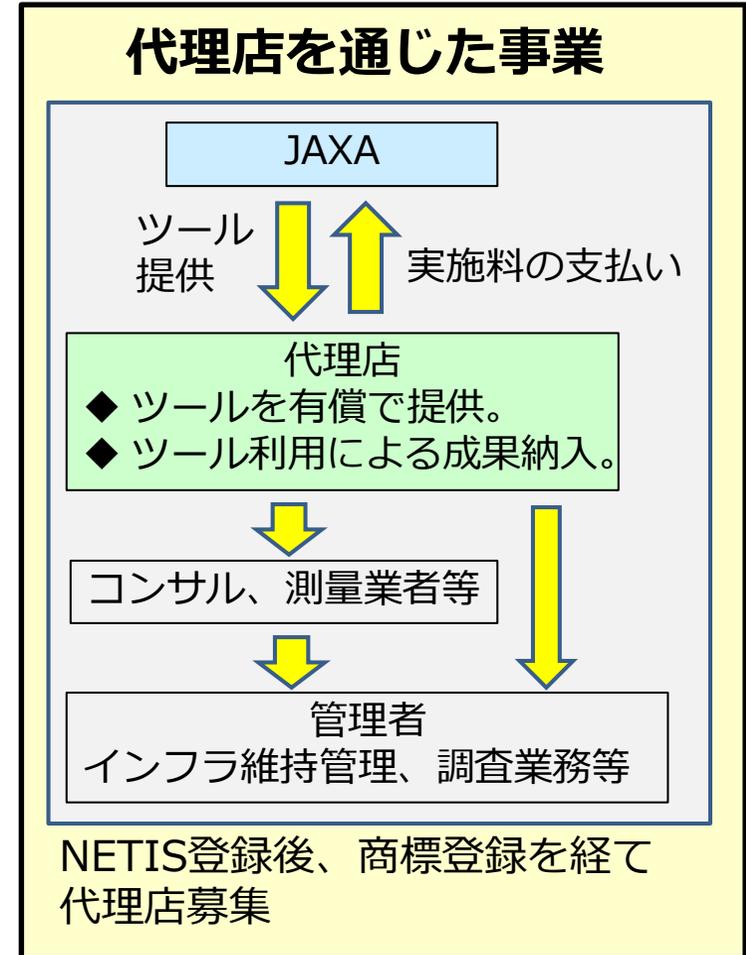
[目標]国内の老朽インフラの20%でセンサ等の活用による点検の高度化 (2020 年頃)

(3) メンテナンス産業によるインフラビジネスの競争力強化

[目標]点検等でセンサ等により世界市場の3 割を獲得 (2030年)

➡ 衛星SARによる貢献可能な政策課題の一例

(3) 事業展開

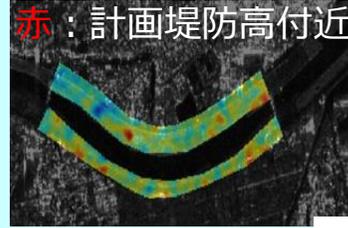


7. 今後の展望 予防保全からの一貫した取組み

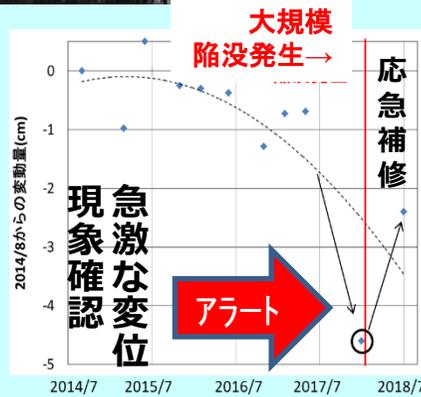


防災・減災

✓ 計画堤防高
の下限確認
→ 越水破堤を防ぐ



✓ 予兆や弱部把握
→ 堤体機能の劣化を防ぐ



定期測量

定期測量の補完 縦横断測量
(5年以内に1回、200m間隔)

定期点検

点検前の一次スクリーニング



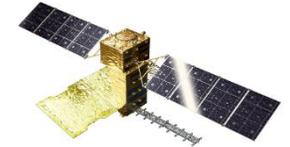
- ◆ JAXAはこれまで災害発生後、衛星観測による災害状況把握、防災関連機関への情報提供を実施
- ◆ 防災・減災につながる予防保全のための衛星観測、データ解析研究を更なる推進

ALOS-2
現在運用中



観測頻度
年4回程度

ALOS-4
2020年度打上げ予定



観測頻度
年20回程度

- ◆ 干渉SAR時系列解析の必要画像数に達するためALOS-2では約3年要す
- ◆ ALOS-4では1年以内で必要画像数に

8. まとめ

(1) 技術

- ◆ インフラの変位をmmオーダーで捉える革新的技術（新規性）
特に欧米において、河川堤防の実利用例は皆無
- ◆ 一括スクリーニングによる変位傾向把握、定期測量の時空間補完に伴う予防保全（広域性、定期性）
- ◆ 現場作業（機材設置含む）なし、現場通常稼働、衛星SARデータとツールによる自動変位解析（安全性、容易性、客観性、現場運用性）
- ◆ 測量に比べ1/3程度のコスト（経済性）

(2) 市場

- ◆ 国内のみならず欧米などの先進国でもインフラの老朽化が課題。先進国でのインフラ調査・点検は発展市場

(3) 今後の展開

- ◆ 国土交通省の新技术認証（NETIS）を経て代理店による事業展開
- ◆ 国土交通省の受託事業、河川砂防技術研究開発（31年度から3か年）で電子基準点を活用した計測技術の更なる高度化を図る
- ◆ 国土交通省等が規定するインフラ維持管理／調査・点検要領等への位置づけを目指す

参考：維持管理に関する国の基準、指針、要領等



河川堤防の現状の点検と測量の概要

| 規模 | 対象 | 点検時期 | 点検法 | 測量 | 管理者 |
|--|--|--|------|-------------------|-------|
| 一級水系109 一級河川13,989km 点検対象堤防延長 9,155km | 堤防(天端、法面、堤防護岸など) | ・年2回(出水期前、台風期)が基本 ・出水があった場合には、その出水後に点検を実施 | 目視点検 | 5年以内に1回 200m間隔 | 国土交通省 |
| 指針・マニュアル等 | 河川砂防技術基準 維持管理編(河川編)(H27.3 国土交通省水管理・国土保全局) 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領(H28.3 同局 河川環境課) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(H29.3 同局 同課) | | | | |

港湾の現状の点検と測量の概要

| 規模 | 対象 | 点検時期 | 点検法 | 測量 | 管理者 |
|--|---|--------------------------------|----------------|------|----------------|
| 港湾数 994か所 防波堤延長 524.7km 岸壁延長 886.5km | 堤防、護岸、消波ブロック、荷捌き施設、臨港施設など | ・通常点検 5年以内に1回 ・重点点検 3年以内に1回 | 陸上或いは海上からの外観目視 | 特に無し | 国土交通省、自治体、民間企業 |
| 指針・マニュアル等 | 港湾の施設の技術上の基準・同解説(H19.7 国交省港湾局監修) 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン(H27.4 国交省) 港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き(H19.10 港湾空港建設技術サービスセンター) 港湾の施設の維持管理技術マニュアル(H19.10 沿岸技術研究センター) | | | | |

空港の現状の点検と測量の概要

| 規模 | 対象 | 点検時期・頻度 | 点検法 | 管理者 |
|---|-------------------------------|--|---|------------|
| 国内空港数 97か所 滑走路長2,000m以上 66か所 敷地面積:最大1,522ha(東京国際空港) | 空港土木施設全域 | ①巡回点検:年1回～年9回(施設により異なる) ②定期点検:年1回～5年1回(同上) ③緊急点検:自然災害、航空機事故等後 ④詳細点検:①～③の詳細点検。例:不同沈下調査、変動調査等 | ①目視観察 ②目視・打音・測量等 ③目視観察 ④対象により異なる | 国、自治体、民間企業 |
| 指針 | 空港内の施設の維持管理指針(H26.4 国土交通省航空局) | | | |