

港湾・空港を対象とした 干渉SAR時系列解析技術による インフラモニタ技術

佐々木 善信

JAXA 地球観測研究センター

平成30年12月10日@第8回 技術交流会

1. 背景
2. 研究概要
3. 研究開発内容
4. SAR衛星解析ツールの概要
5. SAR時系列干渉解析技術の特徴
6. 社会実装への流れ
7. 今後の予定
8. まとめ

1. 背景

平成24年12月2日

笹子トンネル崩落事故



平成25年11月

インフラ長寿命化基本計画

**インフラ老朽化対策の推進に関する
関連省庁連絡会議**

平成26年4月

戦略的創造イノベーションプログラム（SIP）
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

内閣府科学技術・イノベーション会議

1. 背景

戦略的イノベーション創造プログラム「SIP」の概要

- ◆ 社会的に不可欠、日本の経済・産業競争力にとって重要な11課題を総合科学技術会議が選定。
- ◆ 各課題に内閣府がプログラムディレクター (PD)を設置し、PD主導の下でプログラム推進。
- ◆ 実用化・事業化までを見据えて一気通貫で研究開発を推進。
- ◆ 総合科学技術・イノベーション会議が府省・分野の枠を超えて予算配分。
- ◆ 平成26年度から30年度までの5か年事業。

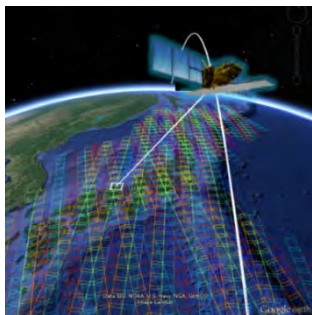
1. 革新的燃焼技術、2. 次世代パワーエレクトロニクス、3. 革新的構造材料、4. エネルギーキャリア、5. 次世代海洋資源調査技術、6. 自動走行システム、7. インフラ維持管理・更新・マネジメント技術、8. レジリエントな防災・減災機能の強化、9. 次世代農林水産業創造技術、10. 革新的設計生産技術、11. 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保

2. 研究概要：2段階スクリーニング

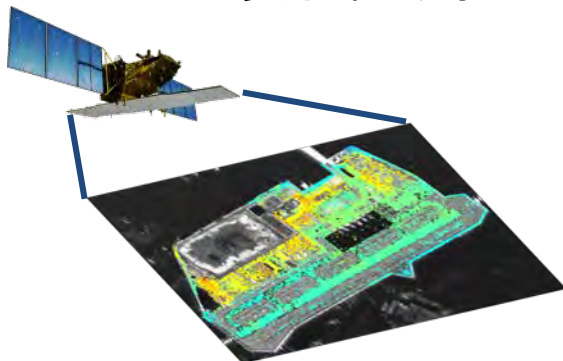
第一段階

SAR衛星による一次スクリーニング

SAR衛星による
定期監視



変状箇所抽出



第二段階

詳細調査

水中ソナーや目視などによる
詳細点検



Before

定期
点検

- ◆ 港湾 3-5年1回 くまなく実施
- ◆ 目視による沈下等把握困難
- ◆ 調査者の経験・技量に左右

測量

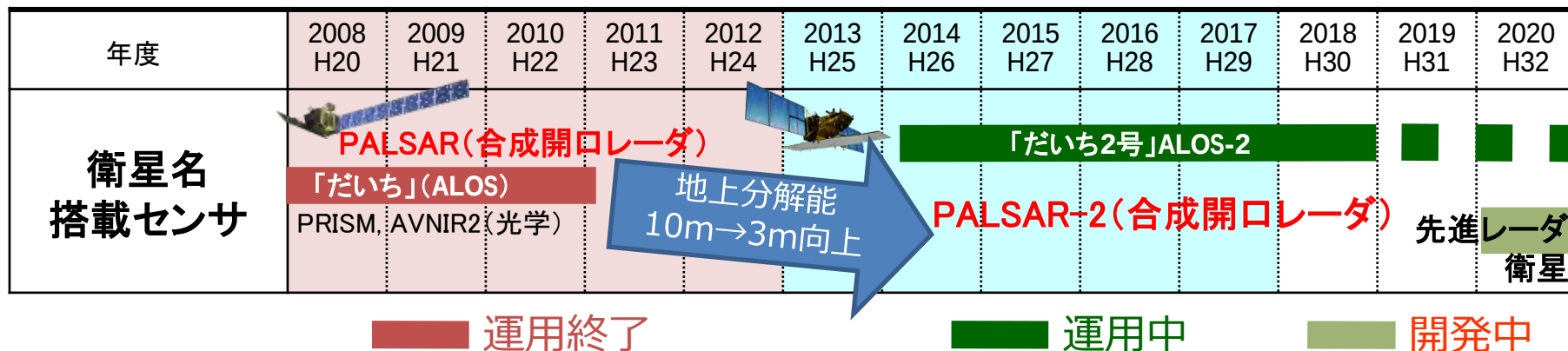
- ◆ 現場での作業や測量機材設置
- ◆ 点
- ◆ 年1回程度(空港による)

After

- ◆ 点検前の一括スクリーニングで変状箇所を抽出、メリハリ点検可能
- ◆ 経年的・広範囲の変位傾向把握が可能
- ◆ 客観的に実施可能

- ◆ 現場に行かず観測データ解析可能
- ◆ 面(ALOS-2:50km四方)変位抽出可能
- ◆ 年4回程度(ALOS-2)、(先進レーダ衛星では年20回)

2. 研究概要：「だいち2号」（ALOS-2）の概要



ALOS-2主要諸元

運用 軌道	種類	太陽同期準回帰軌道（14日回帰）
	高度	628km（赤道上）
	通過時刻	12：00（正午）@赤道上（降交軌道）
設計寿命		5年（目標7年）
合成開口レーダ （SAR）周波数		Lバンド（1.2GHz帯）
主な 観測 性能	高分解能	分解能：3/10m 観測幅：50/70km
	広域観測	分解能：100/60m 観測幅：350/490km

➤ 特徴

夜間観測可能、雲を透過するため天候に左右されず観測可能、50km四方を定期的に観測可能

➤ 災害観測

- 日本付近：12時間程度以内
- アジア域：24時間程度以内

➤ 定期モニタリング観測

年間4回程度日本の各地域を観測

（観測仕様を同じにする為）

先進レーダ衛星（ALOS-4）では、**年間20回程度日本の各地域を観測**

2. 研究概要：観測画像例

SAR観測情報：反射強度
に対応した振幅と距離に
対応した位相の2つ。

- SAR干渉解析とは、同じ地域を観測した2つ以上のSARデータの位相値から、高度や地表面変動量を得る技術

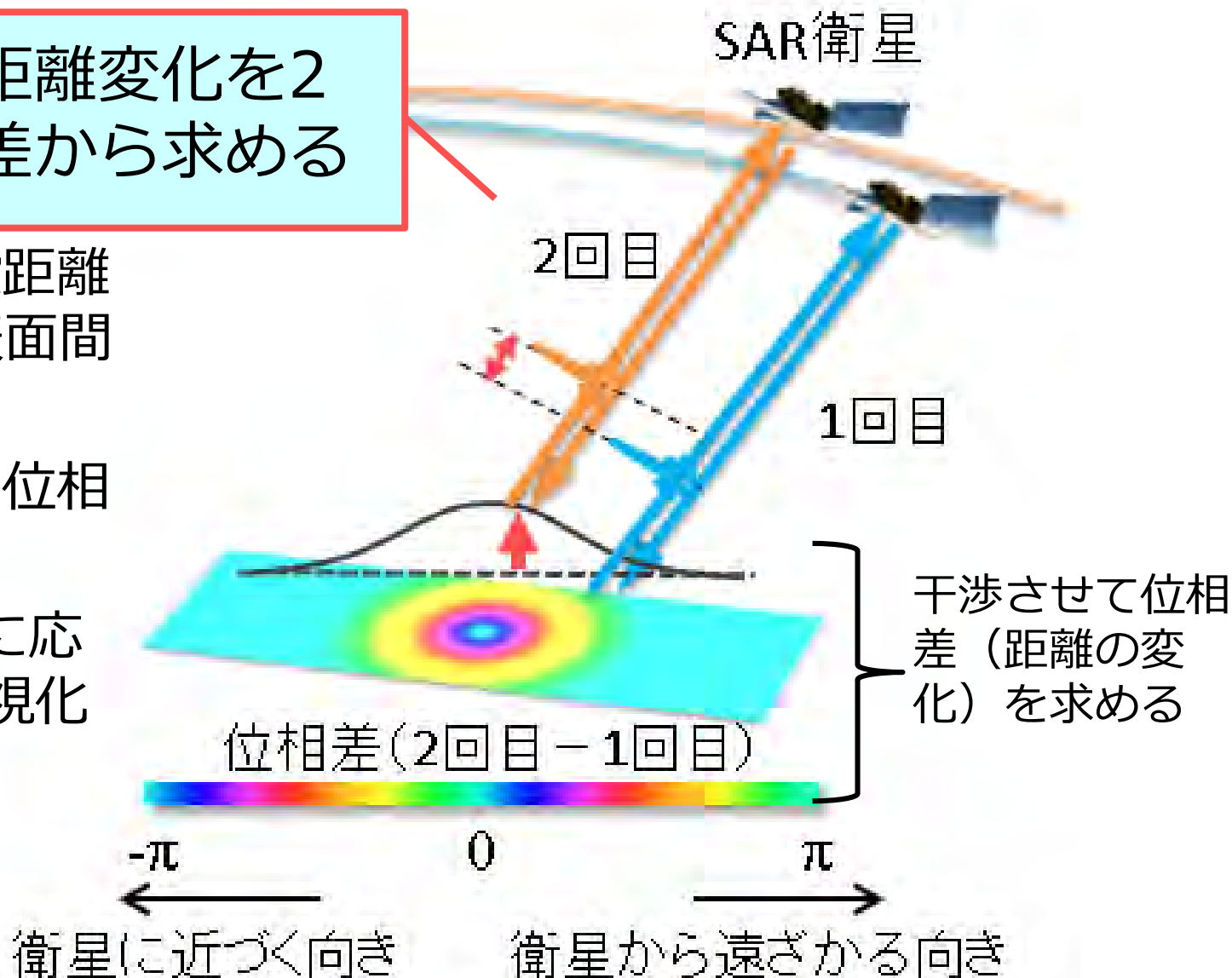


PALSAR-2/ALOS-2 (3m分解能) 画像
東京ディズニーランド周辺

2. 研究概要：観測・解析原理(InSAR)

衛星－地表面の距離変化を2回の観測の位相差から求める

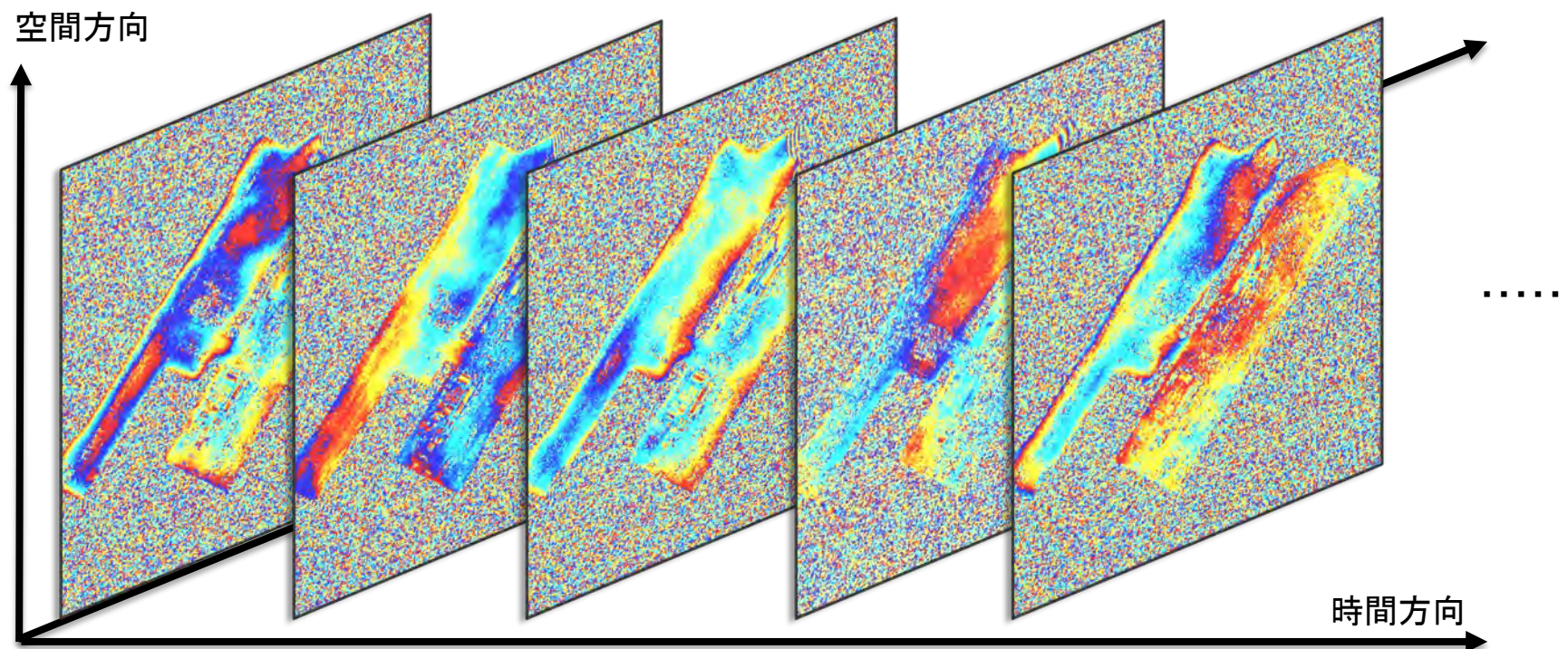
- ◆二時期の電波伝搬距離の差から衛星-地表面間の距離を求める
- ◆地表面の変動量を位相差として検知
- ◆ $-\pi \sim +\pi$ の位相差に応じた色を配分し可視化



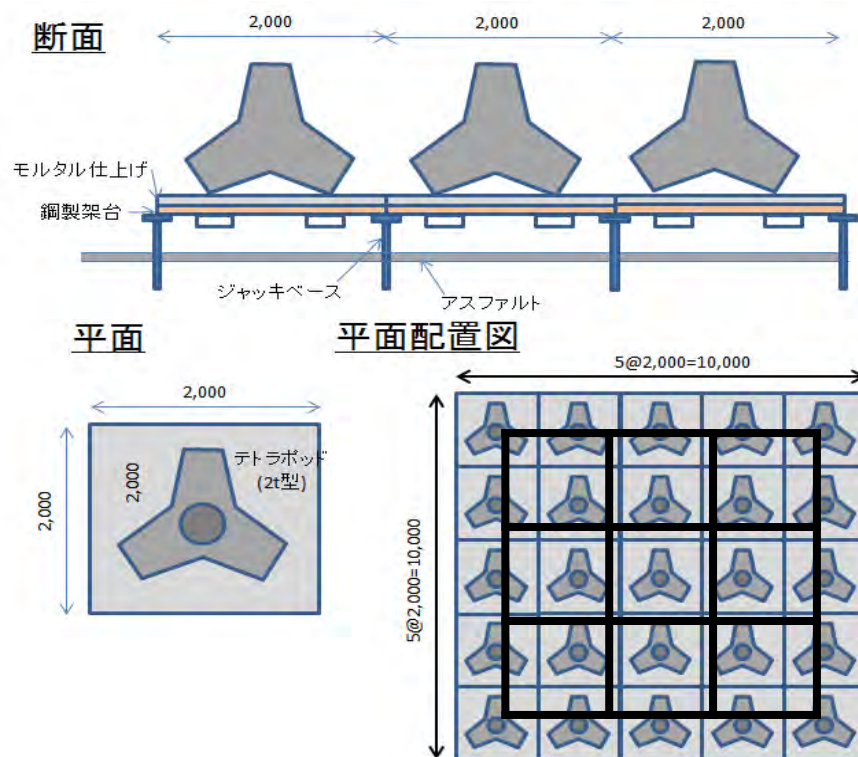
誤差（水蒸気遅延、参照標高データ、衛星軌道）要因の低減のため時系列解析により高精度化を図る

■ 解析手法とその特徴

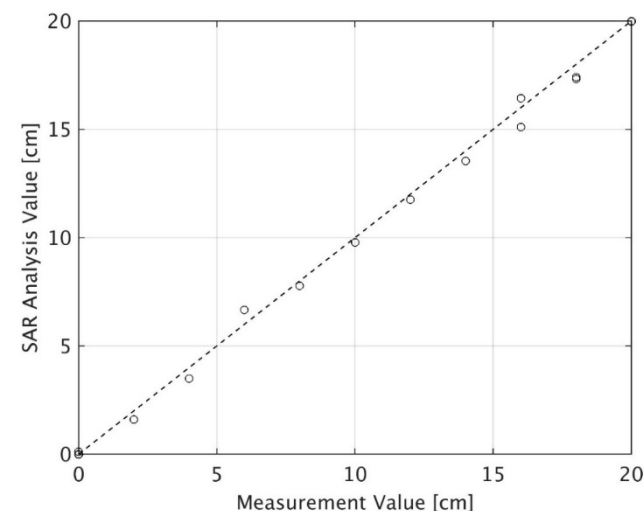
- 時系列干渉SAR解析は、観測画像を時系列方向に十数枚以上重ね合わせ、差分干渉SAR解析では除去が困難である各種ノイズ(電波が大気中で屈折することで生じる誤差、その他熱雑音や不要波等)を低減させ、年間数mmオーダーの変動も検出可能な解析技術
- いくつかの代表的な時系列解析技術の内、PSInSAR(Permanent Scatter Interferometry)をベースにJAXAで改良したアルゴリズムを用いる



地上検証外観写真

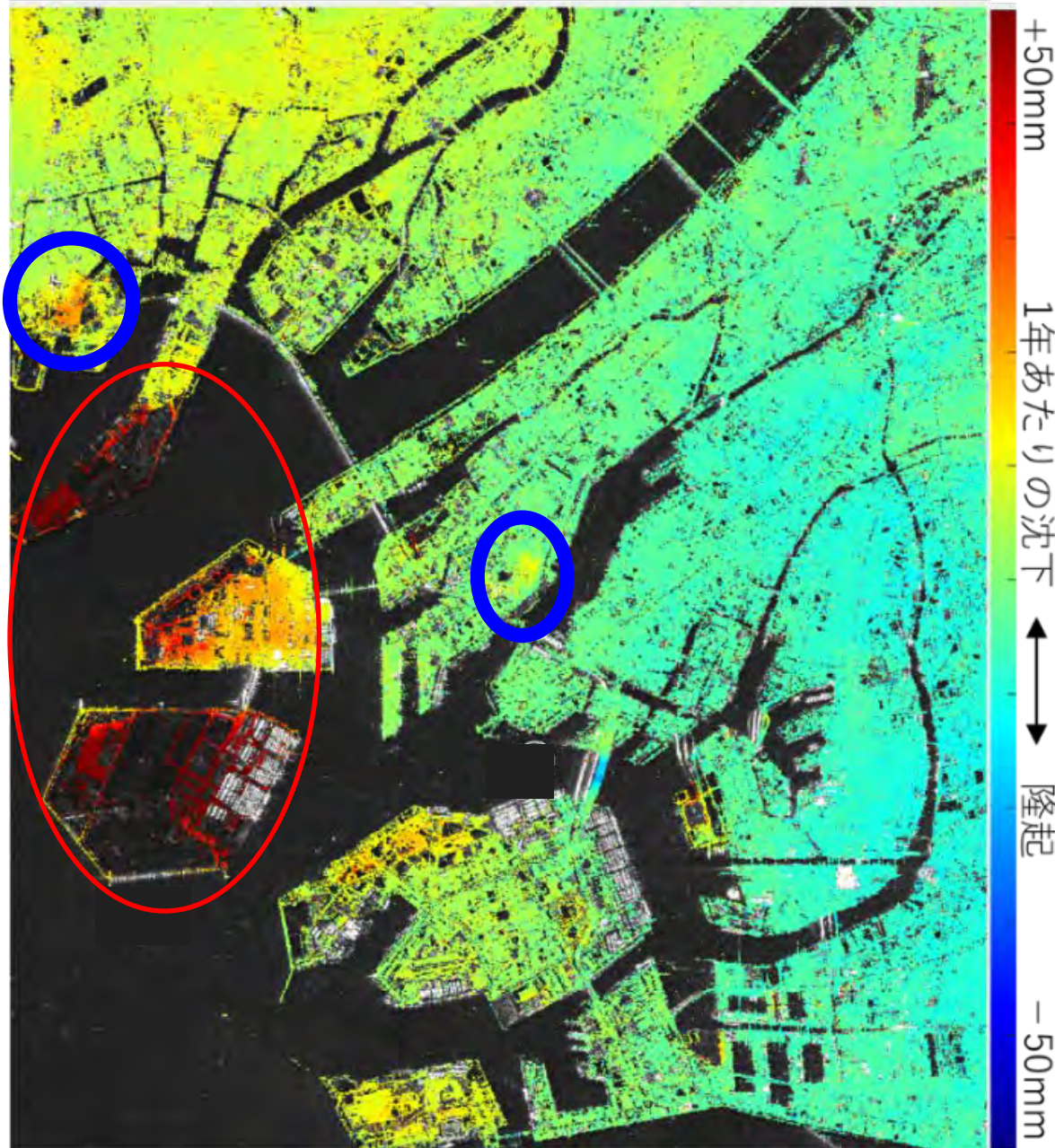


検証結果



- ◆ 消波ブロック群10m四方を鉛直に2cm間隔で上昇させたものをALOS-2で計測。
- ◆ SAR解析結果は3×3の平均値（左図の黒メッシュがSAR観測イメージ）との比較検証結果。
- ◆ 13回のALOS-2観測解析結果で **0.23cm** (RMSE) の精度となっている。

2. 研究概要：大阪湾周辺地域の広域変位図

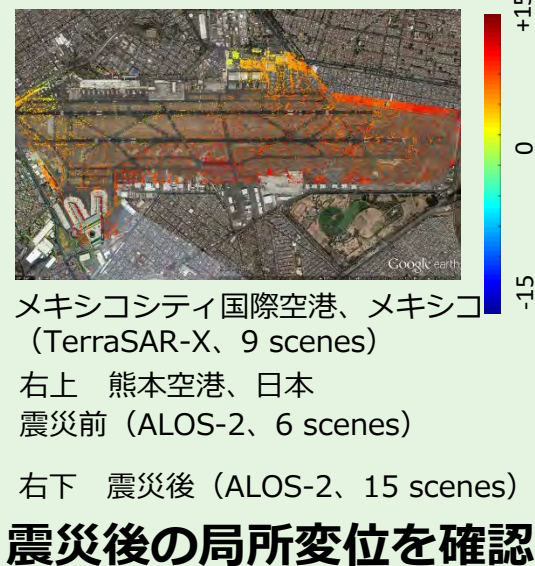
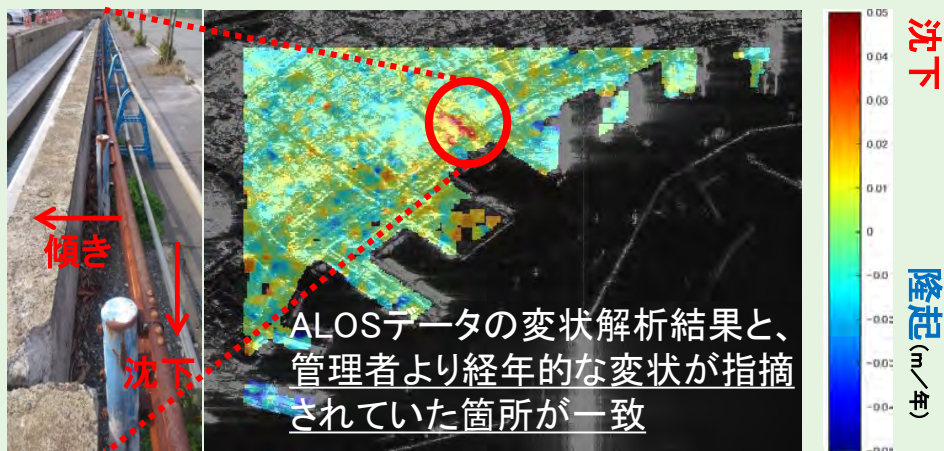


衛星の特徴を活かした 広域解析結果

- ◆暖色系（赤色）になるほど沈下傾向が大きい。
- ◆海上の埋立地（赤丸）が内陸に比べ沈下傾向が大きいことが分かる。
- ◆陸地でも沈下傾向が異なる（青丸）ことが分かる。

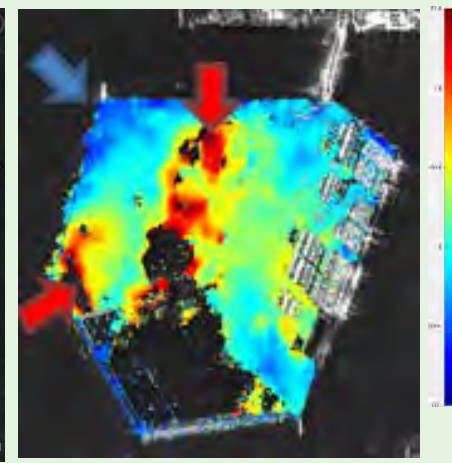
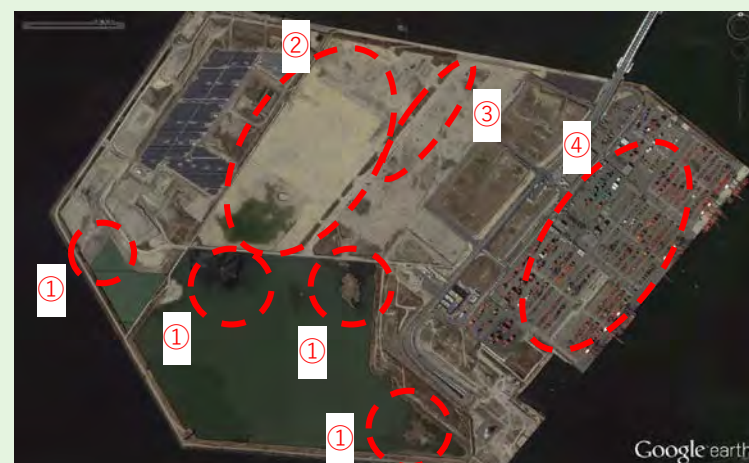
3. 研究開発内容：解析事例

① 港湾事例（その1）



③ 港湾事例（その2）

埋め立てや工事、もしくは水位の変化により地表面の状態が観測期間中に
変化している ① 埋立地 ② 地表面変化 ③ 道路の新設 ④ コンテナ



Google Earth ©Google 2014/3/11 (観測期間前)

2017/2/22(観測期間終盤)

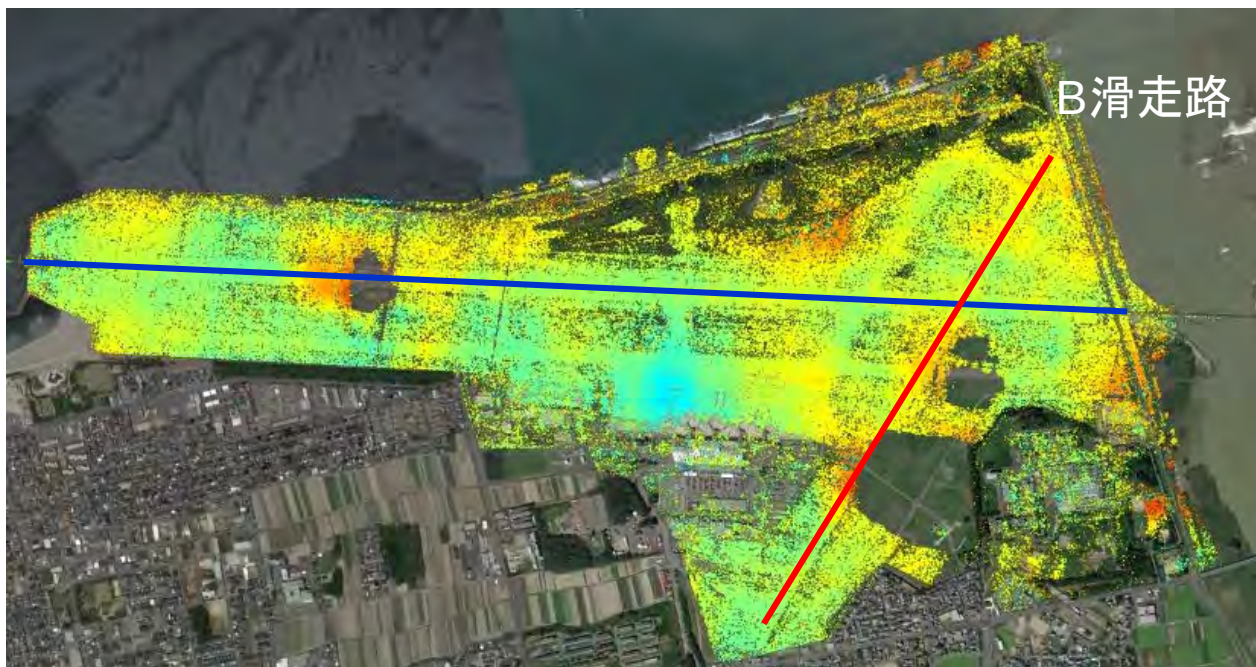


表面形状が観測期間中に損なわれるものは計測不可

3. 研究開発内容：空港測量値での精度検証

ALOS-2 Descending 11scenes使用

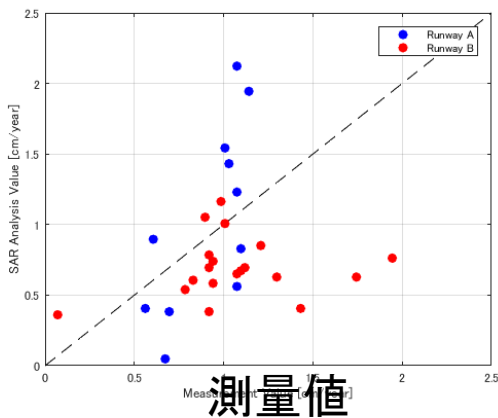
A滑走路



+5cm
-5cm

年間変動量図 (負：隆起/正：沈下)

解析値



青丸：A滑走路

赤丸：B滑走路

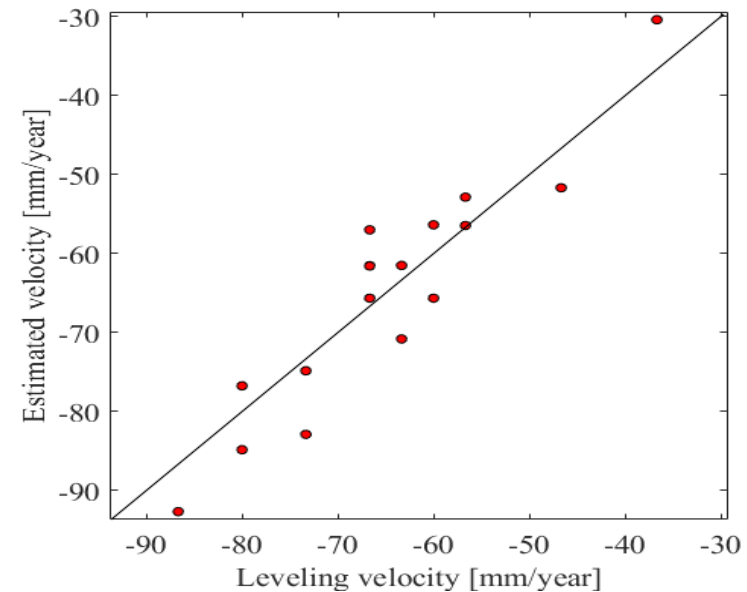
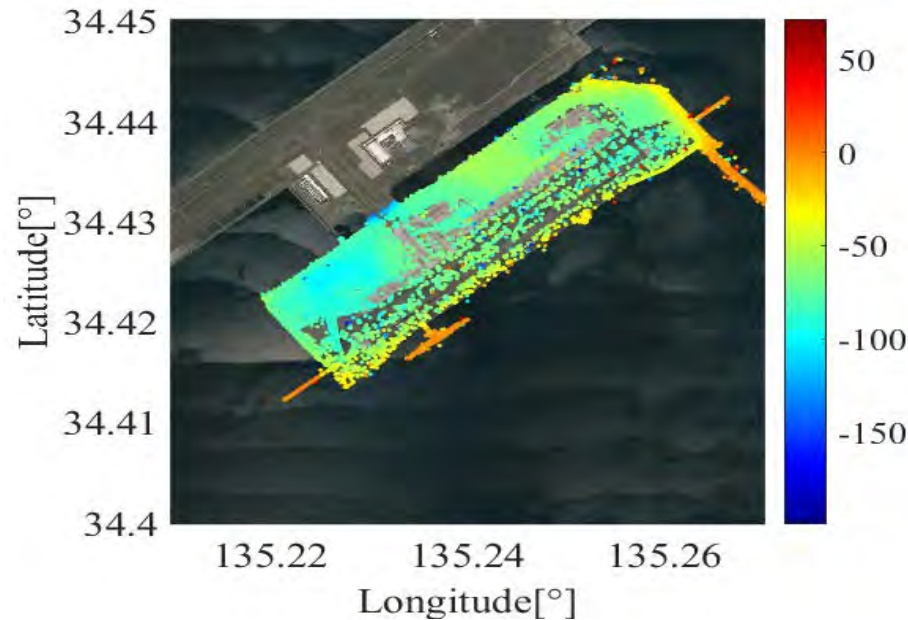
A・B滑走路の測量値と解析結果との比較評価結果、
RMSEがA滑走路で0.4cm/年、
B滑走路で0.47cm/年。



解説

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。

3. 研究開発内容：空港測量値での精度検証



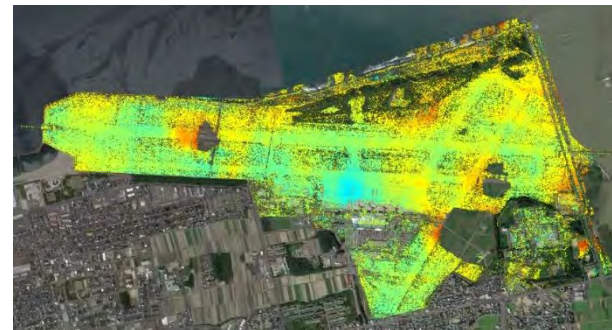
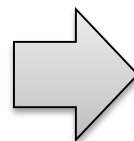
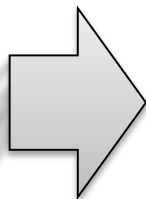
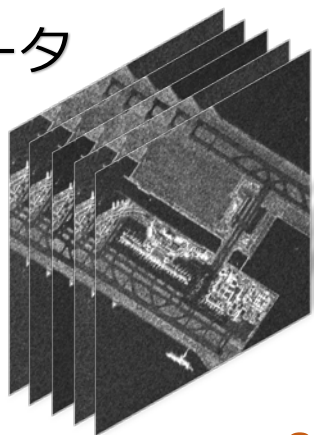
◆ 測量値（公表値）と解析値の比較評価結果、RMSEが
5.4mm/yearとなることを確認。

4. SAR衛星解析ツールの概要

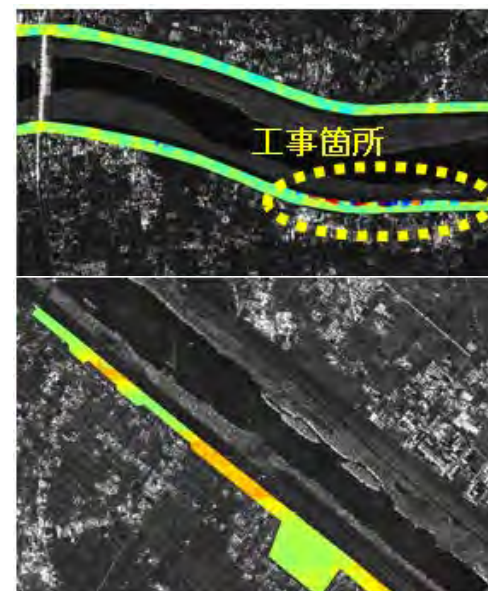
- ◆ コンサルや調査・測量会社等からのニーズを踏まえ、**SARを利用したことがないユーザでも容易に利用できる**ように設計している。
- ◆ JAXA干涉SAR解析技術を調査・点検、維持管理等での普及を目指す。

名称：ANATIS(Automated
Nationwide Application of
Timeseries InSar) (仮称)

購入データ



空港・港湾例



河川堤防例

出力までの3ステップ

- ① 購入SARデータを準備
- ② 対象を言語検索またはkml・csv入力
- ③ 「実行」

- 衛星SAR購入データと本ツールで変動量の解析結果まで自動出力
- 購入SAR衛星データの最も古い観測日から変動量を可視化
- 初期解析には、衛星SARデータが15データ程度以上必要
- 解析時間はPC性能、処理画像数、広さにもよるが3-5時間程度
- Windows OS (©Microsoft) で利用可能

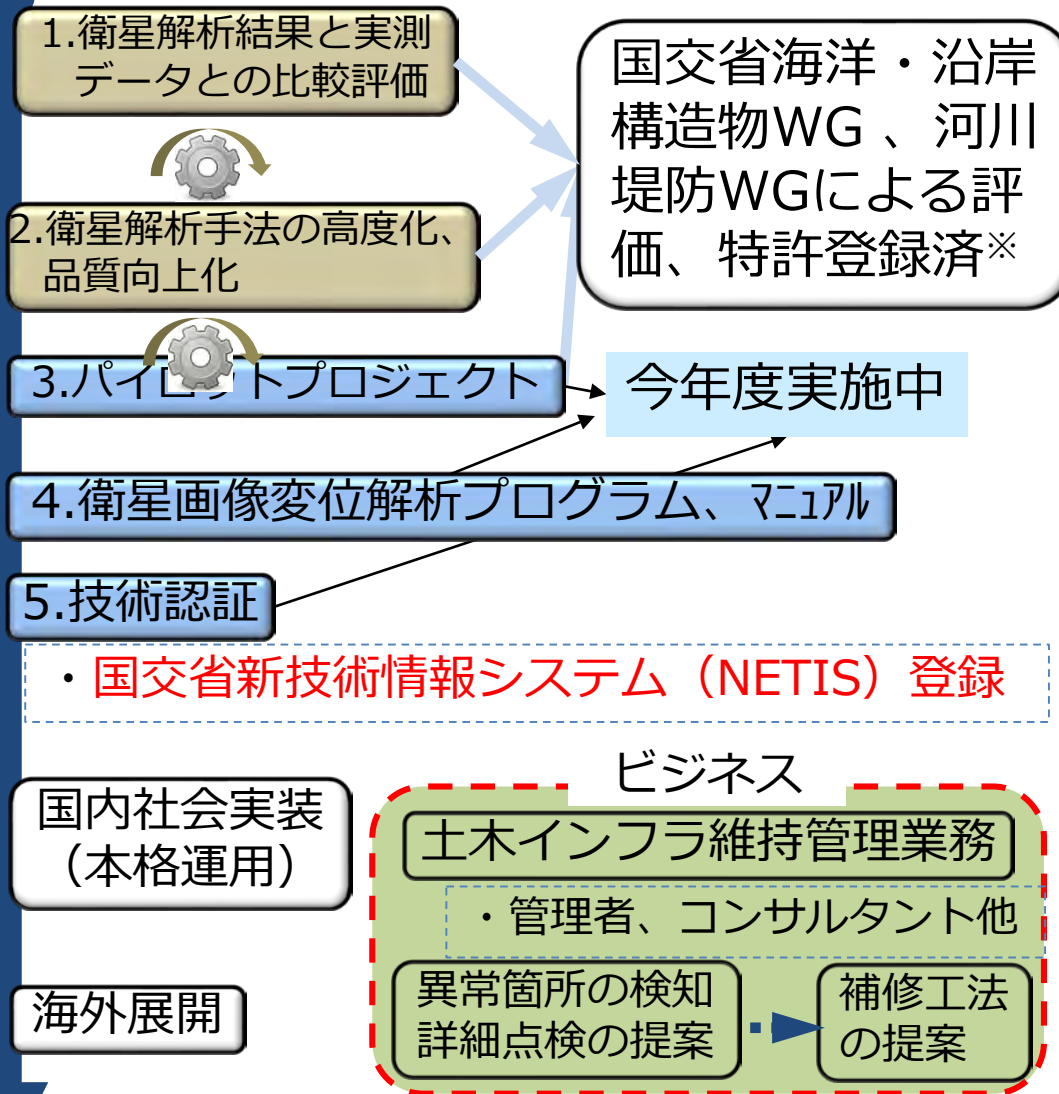
5. SAR時系列干渉解析技術の特徴

		SAR時系列干渉解析	航空レーザ測量	測量
1	計測概要	2時期以上のSARデータから 変位量計測	標高計測	同左
2	機器の準備	不 要	必要	必要
3	計測の広さ	面 ALOS-2の場合は50km四方	線 飛行高度2000m、スキャン角度20度計測で700m	点
4	計測精度	高さ相対変位精度：0.23cm (消波ブロックでの13回分のデータ) 位置精度：数m（1画素3m×3m）	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
5	連続計測	不可	不可	可能
6	標高値	相対値（相対変位：cm/年） 既知の絶対標高値に合わせて算出可	可能	可能
7	その他	計測の意思は必要なし ALOS-2では年間4回程度、先進レーダ衛星（ALOS-4）では年間20回程度。	計測意思必要 変位量計測には2回以上の測量が必要	計測意思必要 変位量計測には2回以上の計測が必要

航空レーザ測量については、国土地理院 http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html を参照し作成。

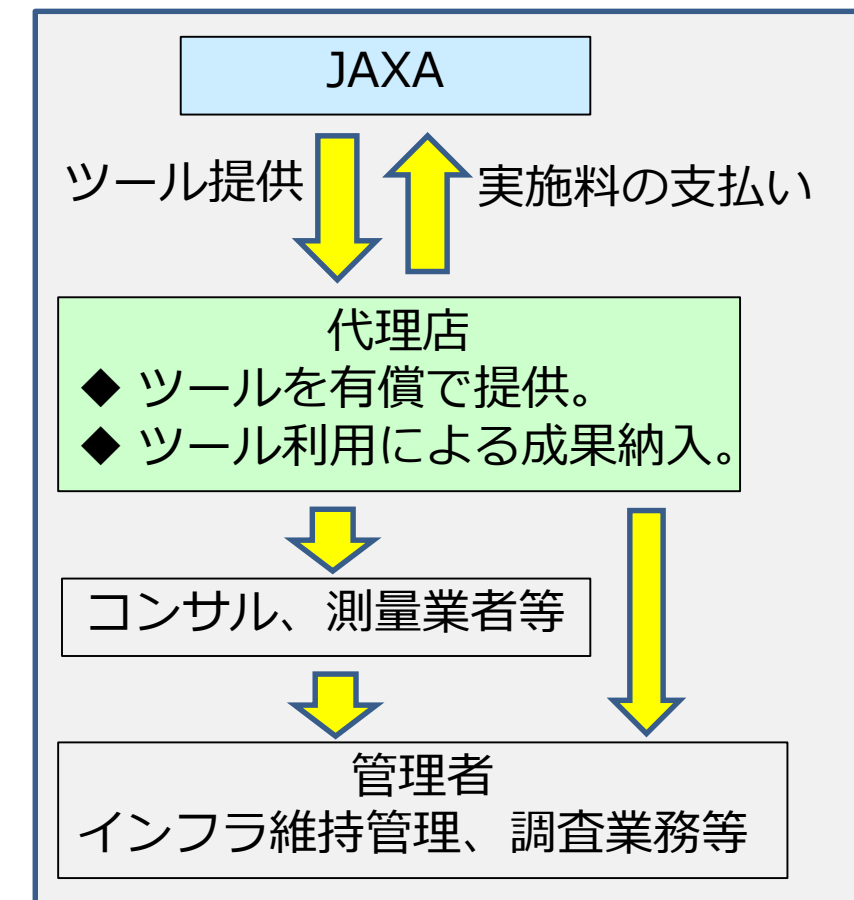
 干渉SAR時系列解析技術は、測量や航空レーザ測量と違い、1回の計測で水平と高さの測量ができないこと、標高値が計測できないことから測量とは異なる。

6. 社会実装への流れ



※発明の名称：変状度判定方法及び変状度判定システム
登録番号：特願2016-110297

代理店を通じた事業



ALOS-2データは、パスコ(株)等で販売中。

**NETIS登録後に
代理店募集予定**

7. 今後の予定

1. JAXA開発ツールの実利用状況

- 電力会社、測量業者等複数の民間業者で実利用中
ALOS-2衛星データ購入等の条件付きで、利用申請により提供中

2. 今後の予定

- NETIS申請中。
- 12/18いばらぎ宇宙ビジネスサミット2018（主催茨城県、共催内閣府、経産省）で登壇予定。
- 第3回インフラメンテナンス国民大賞（〆切12/14）へ応募。
- NETIS登録を踏まえ次年度早々、JAXA開発ツールの代理店募集予定

8. まとめ

◆新規性

宇宙より高精度に変位を捉える革新的技術

◆広域性・定期性

衛星観測の定期性・広域性を活かした
インフラの一括スクリーニング

◆安全性、容易性

現場作業（機材設置含め）なし、
現場に迷惑をかけない衛星データによるインフラ変位診断

◆コスト低減

測量に比べ約1/4のコスト、解析もツールが代行



◆ GPSのように時刻、緯度、経度、高度の4つの変数が地理情報の重畳で、カーナビ、スマホ等で新市場創出・拡大

◆ 緯度、経度、相対変位の3つの変数と管理に適用可能な地理情報の重畳で調査点検での市場創出の可能性を秘めている。