

干渉SARを用いた 交通インフラ監視の取り組み

Efforts to Transportation Infrastructure Monitoring using SAR Interferometry

一般財団法人リモート・センシング技術センター
研究開発部 社会インフラグループ
グループリーダー
古田 竜一

furuta_ryoichi@restec.or.jp

内容

① 背景・目的

② 技術紹介・取り組み概要

- 交通インフラを中心にリモートセンシング技術の導入検討を支援

③ 事例紹介

④ 技術課題と対応

⑤ まとめ

背景・目的

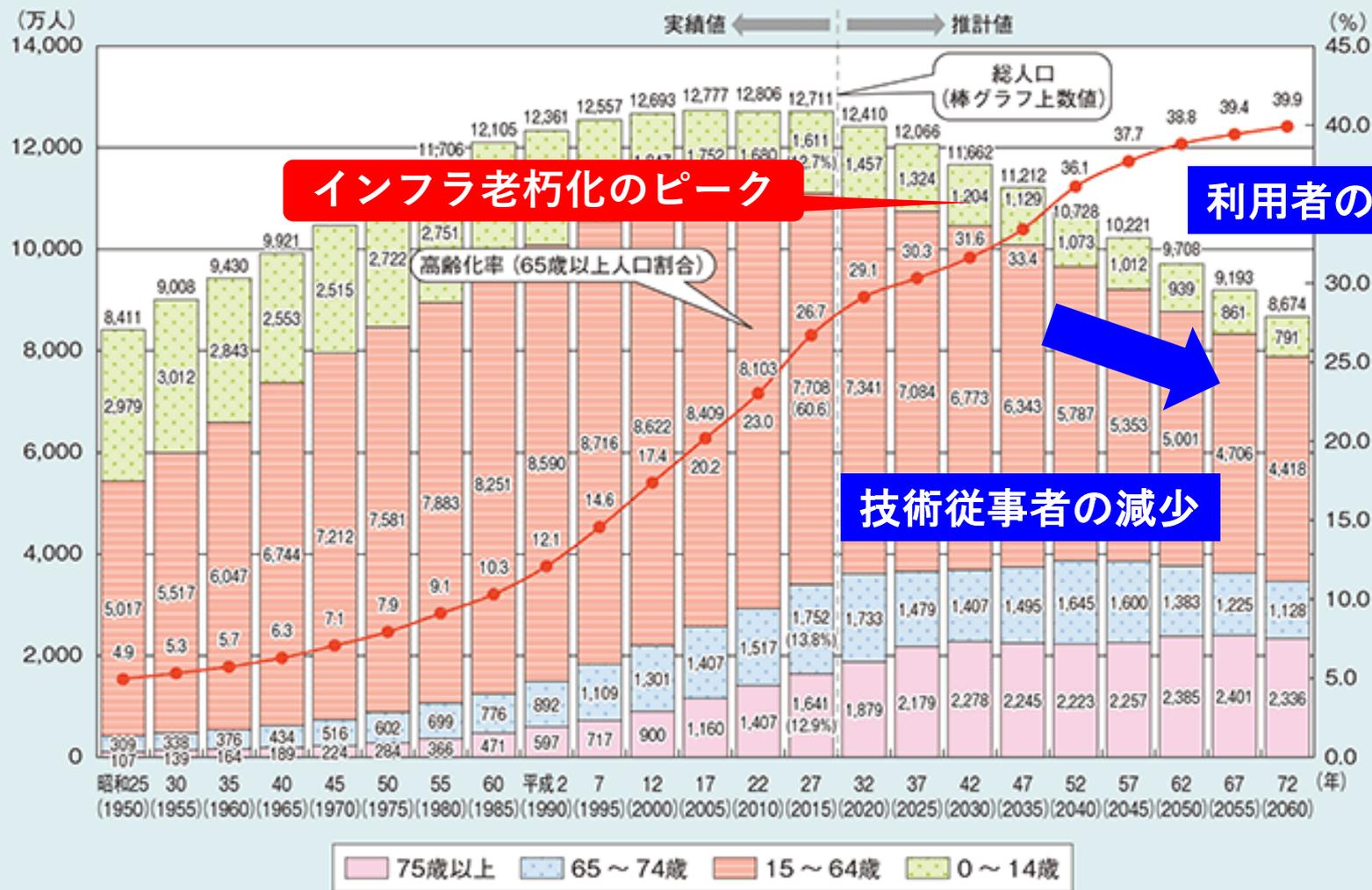
- **社会インフラが抱える課題**

- 2033年が老朽化のピーク → 老朽化対策
- 技術従事者の減少 → 施工、維持管理方法の効率化
- 利用者の確保 → 維持管理費用の維持／削減

- **リモートセンシング技術で上記課題解決に貢献する**

- 合成開口レーダ → 干渉SAR、偏波SAR
- 光学センサ → 超高分解能マルチ、高精細DSM)
- 上記単体／複合利用により、調査・点検、モニタリングを効率化する

※平成28年版高齢社会白書に加筆

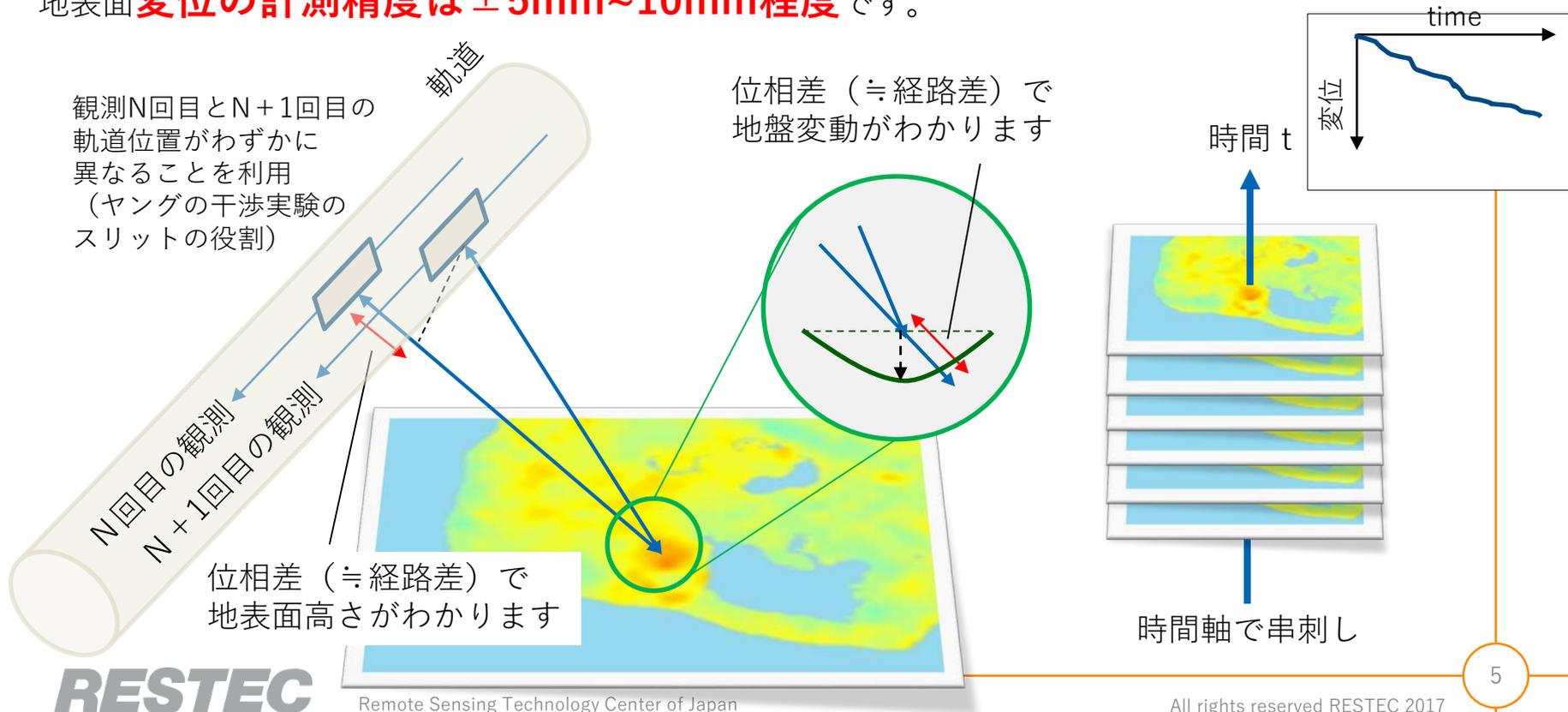


資料：2010年までは総務省「国勢調査」、2015年は総務省「人口推計（平成27年国勢調査人口速報集計による人口を基準とした平成27年10月1日現在確定値）」、2020年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」の出生中位・死亡中位仮定による推計結果

(注) 1950年～2010年の総数は年齢不詳を含む。高齢化率の算出には分母から年齢不詳を除いている。

合成開口レーダー差分干涉解析技術

- SAR解析手法の一つで、マイクロ波の位相を利用した解析です
- 2つのSARデータを利用し、基準日との位相差から地表高さや**地表面変位を計測できます**。これを「干涉解析」や「差分干涉解析」と言います。
- 2つのSARデータから計測された**地表面変位を時間軸で解析する**ことを「時系列差分干涉解析（時系列InSAR）」と言います。幾つか方法がありますが、近年は「PS法（PSInSAR）」が主流です。
- 通常、時系列InSARでは10シーン以上（多い程良い）のSARデータを利用します。
- 地表面**変位の計測精度は±5mm~10mm程度**です。



地表面変位計測精度

Land subsidence measuring techniques

METHOD	Component displacement	Resolution ¹ (millimeters)	Spatial density ² (samples/survey)	Spatial scale (elements)		
Spirit level	vertical	0.1–1	10–100	line-network		
Geodimeter	horizontal	1	10–100	line-network		
Borehole extensometer	vertical	0.01–0.1	1–3		バンド（波長）	計測精度の目安
Horizontal extensometer:					X（約30mm）	2mm
Tape	horizontal	0.3	1–10		C（約60mm）	4mm
Invar wire	horizontal	0.0001	1		L（約240mm）	15mm
Quartz tube	horizontal	0.00001	1			
GPS	vertical horizontal	20 5	10–100	network		
InSAR	range	5–10	100,000– 10,000,000	map pixel ³		

**平成28年度弊社実績
5 - 25mm
(Lバンド)**

¹ Measurement resolution attainable under optimum conditions. Values are given in metric units to conform with standard geodetic guidelines. (One inch is equal to 25.4 millimeters and 1 foot is equal to 304.8 millimeters.)

² Number of measurements generally attainable under good conditions to define the spatial extent of land subsidence at the scale of the survey.

³ A pixel on an InSAR displacement map is typically 30 to 90 square meters on the ground.

干渉SARの位置づけ

交通インフラ利用者の満足度向上



想定顧客業務の最適化・効率化



航空レーザー測量
による地形計測

高精度、低頻度
計測コスト大

SAR干渉解析による
地盤変動・変状計測

水準・GPS測量に近い精度
航空測量より高い頻度
何れよりも低いコスト

+

付加価値

過去に遡って
調査・計測が可能

水準測量、GPS測量
による現場計測

高精度、高頻度
人的コスト大

取り組み概要

2017年～

社会インフラグループを設置し、
交通インフラ以外のインフラにも広くサービスを適用する。
段階的にサービスを提供し、**2019年度には全サービスの運用を開始**予定

2016年

交通インフラ施工・維持管理支援プロジェクトを立ち上げ、
サービス構築と更なる技術高度化などの取り組みを加速

空間基盤情報
プリプロジェクト
チーム

一部の**道路事業者や鉄道事業者**と、
SAR干渉解析技術による地盤変動情報を
鉄道や道路の施工や維持管理に活用するための
共同研究や受託業務を実施。
共同知財の取得申請など技術と実績を蓄積

2013年

研究開発部

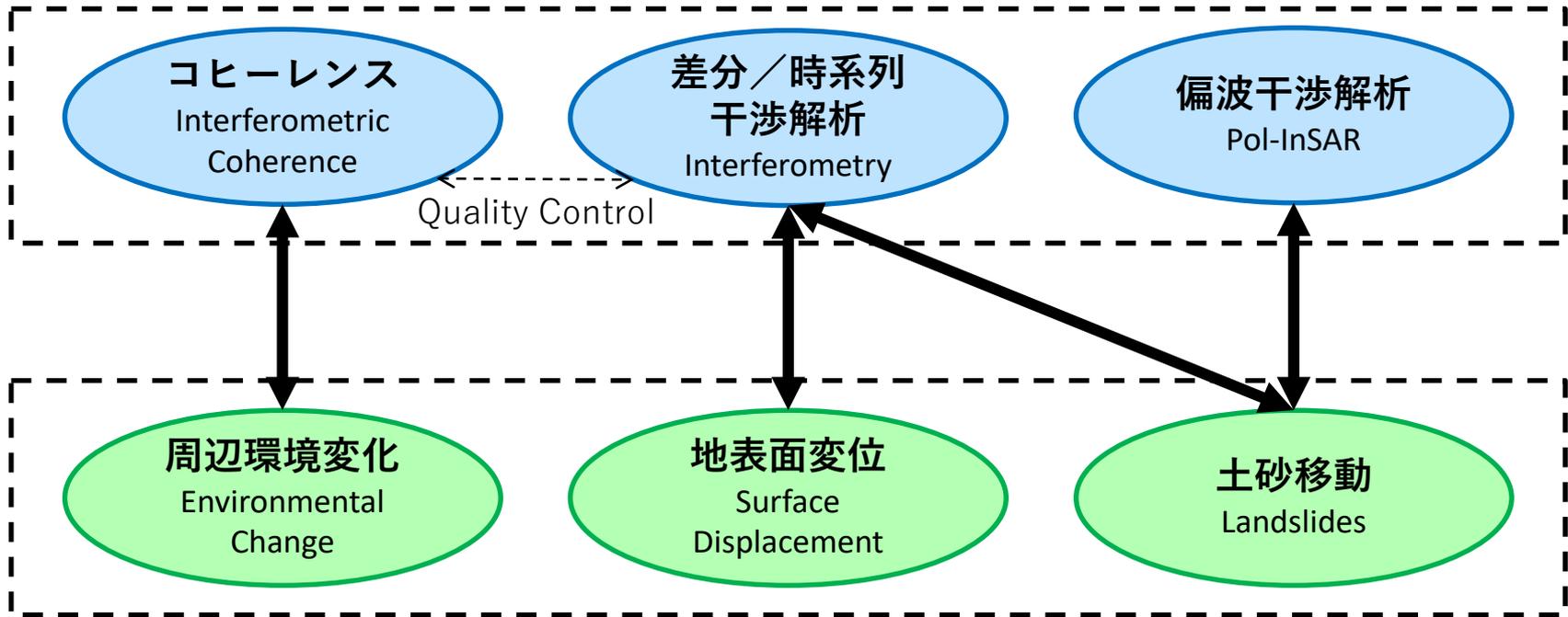
SAR干渉解析技術による
地盤変動解析の技術と実績を蓄積

1990年～

研究部

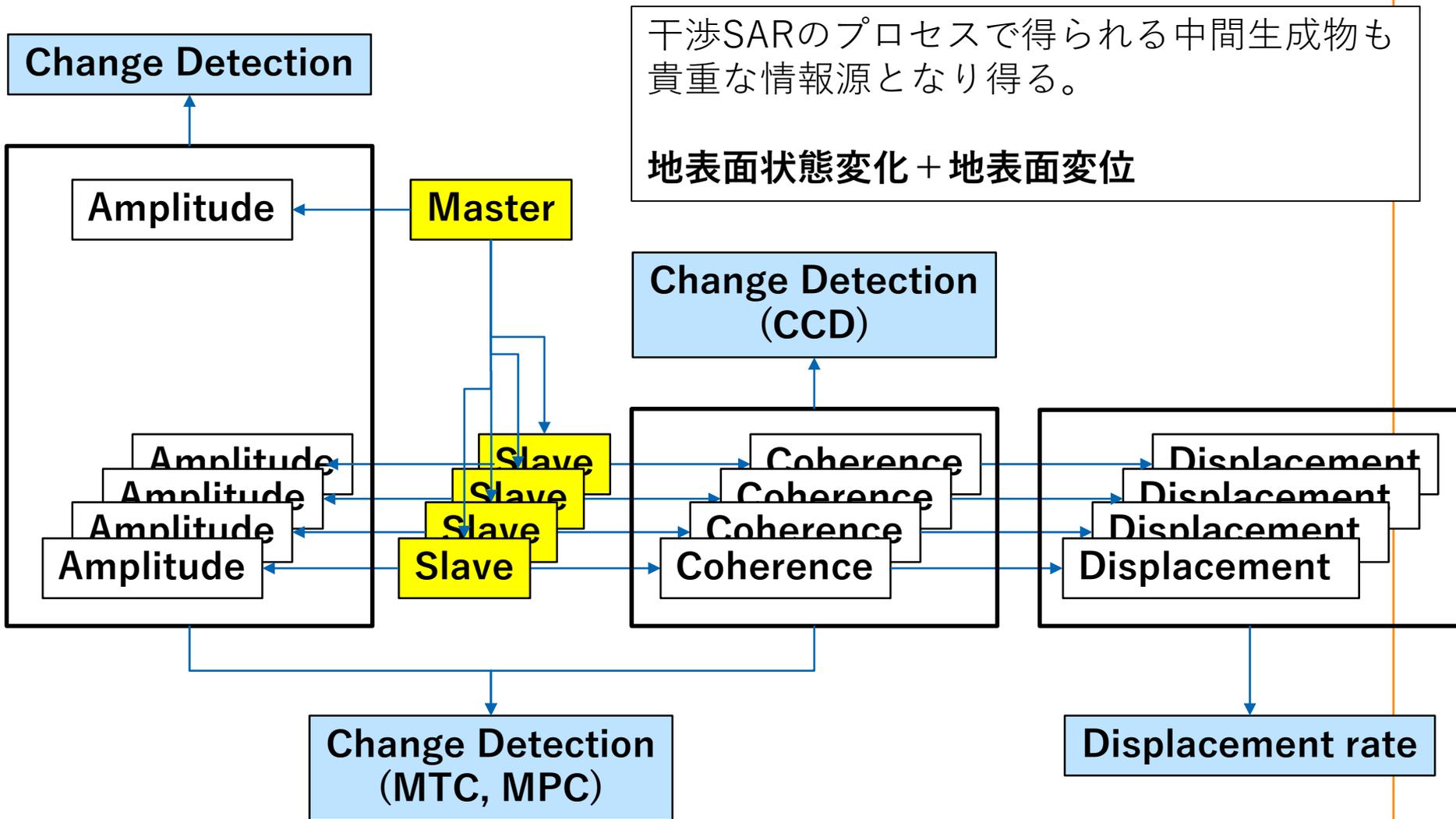
取り組み概要

干渉SAR解析技術 (SEEDS)



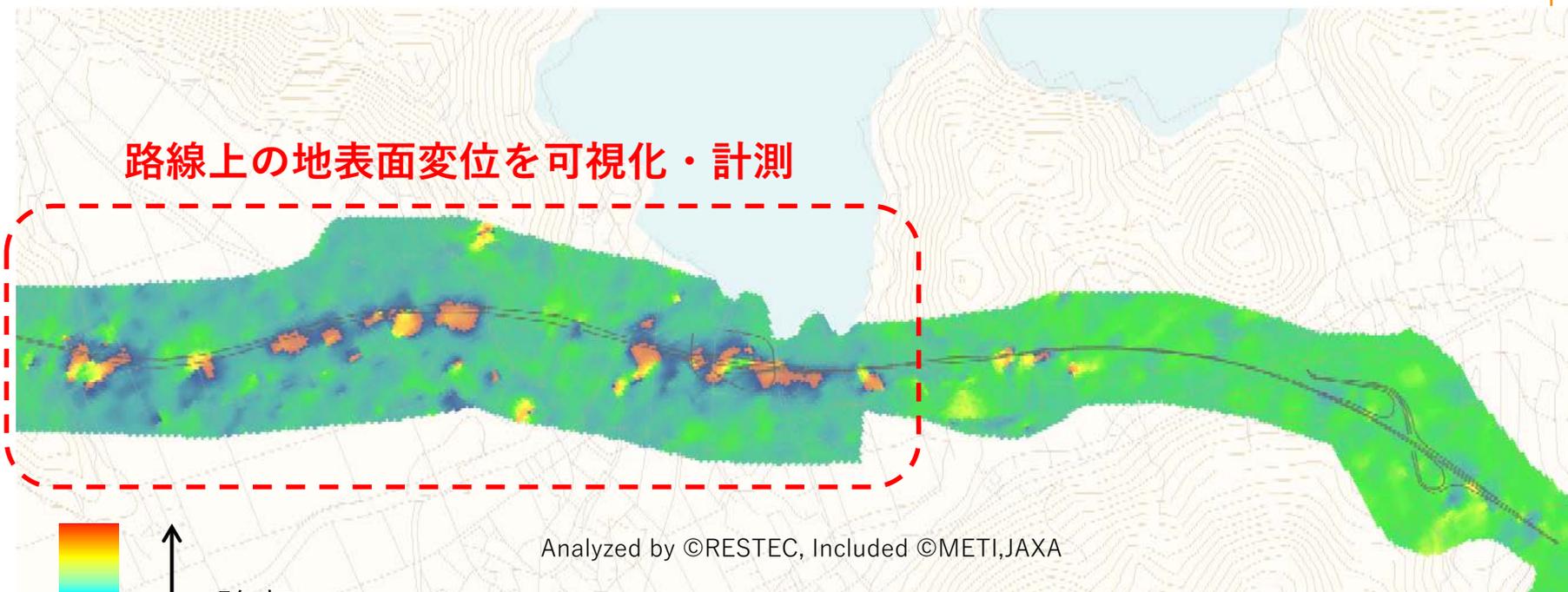
交通インフラにおける監視対象 (NEEDS)

干渉SARの一連のプロセスでニーズに対応

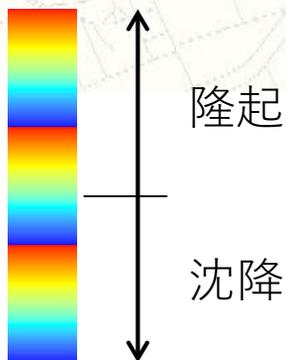


地表面変位の計測

路線上の地表面変位を可視化・計測



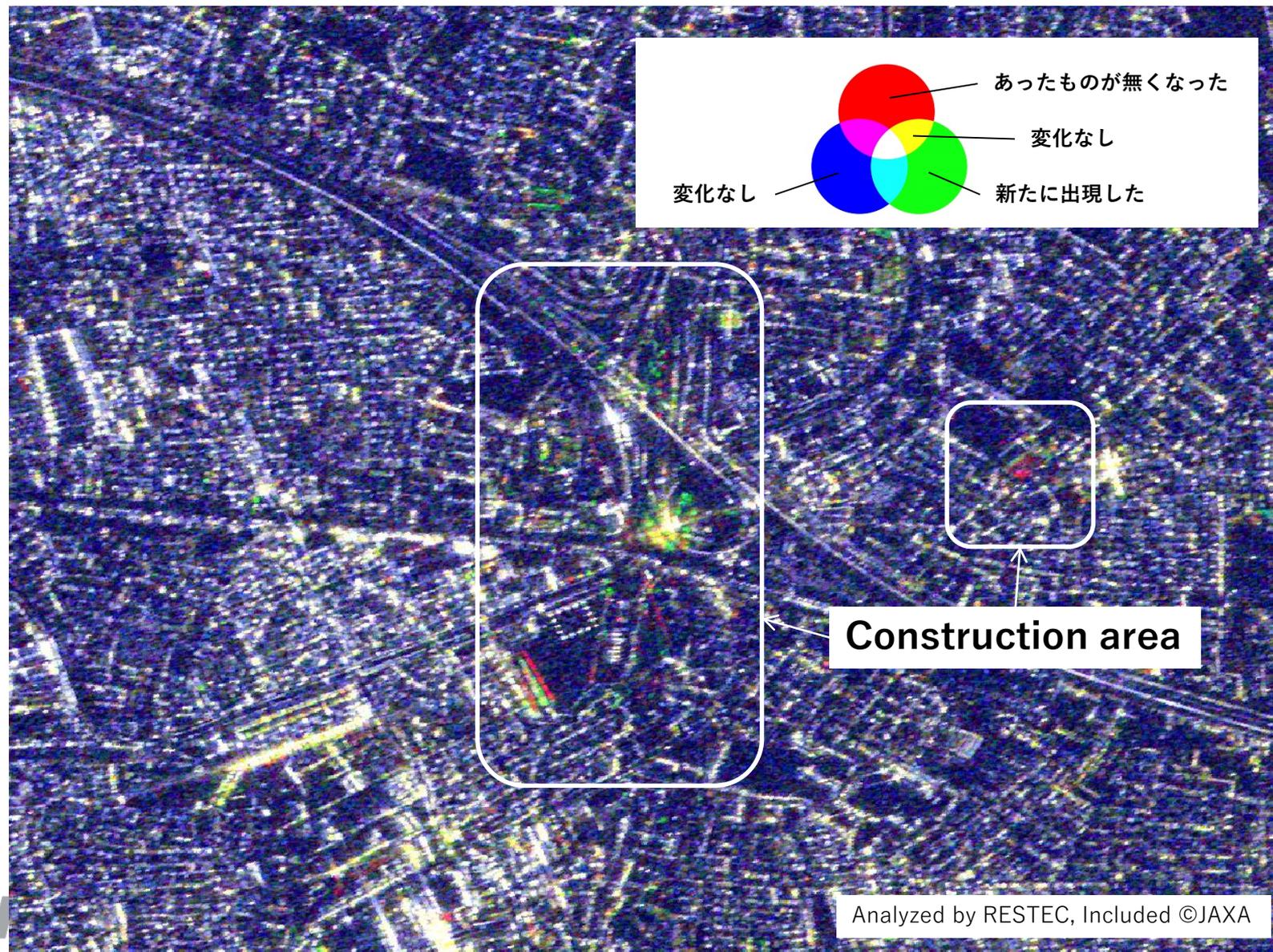
Analyzed by ©RESTEC, Included ©METI,JAXA



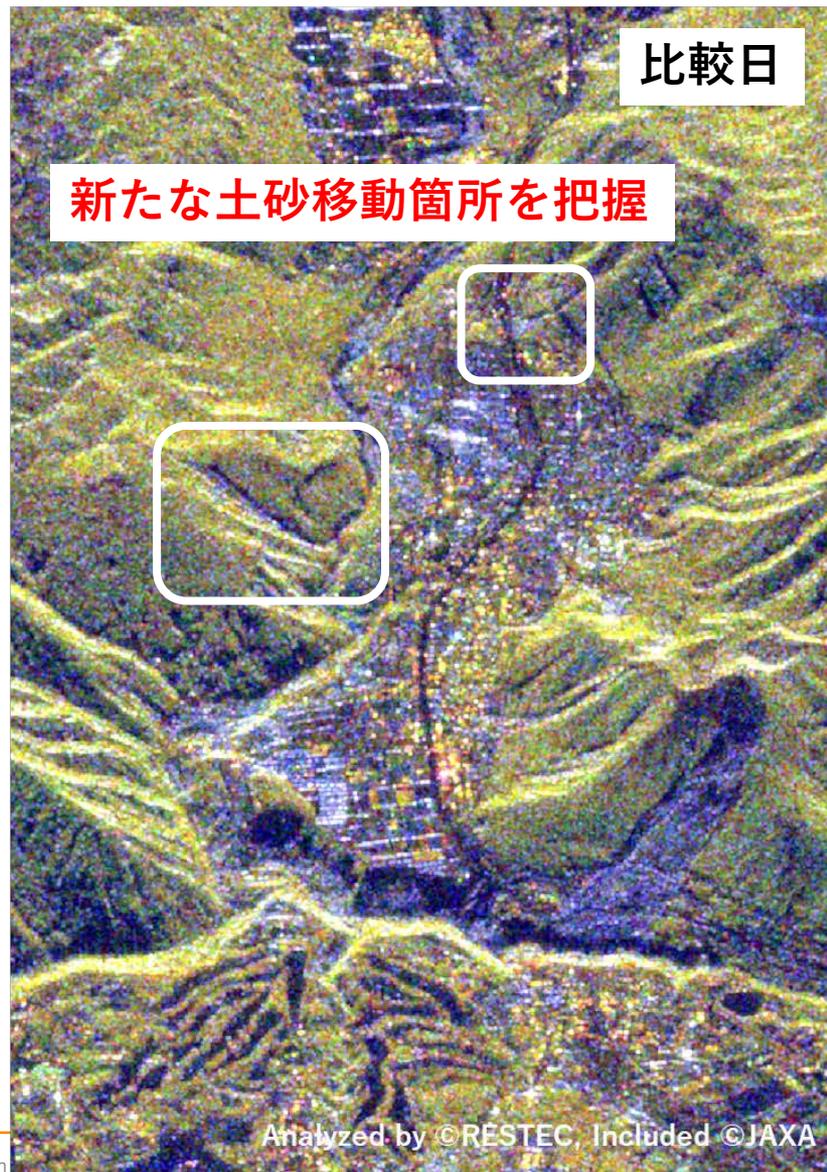
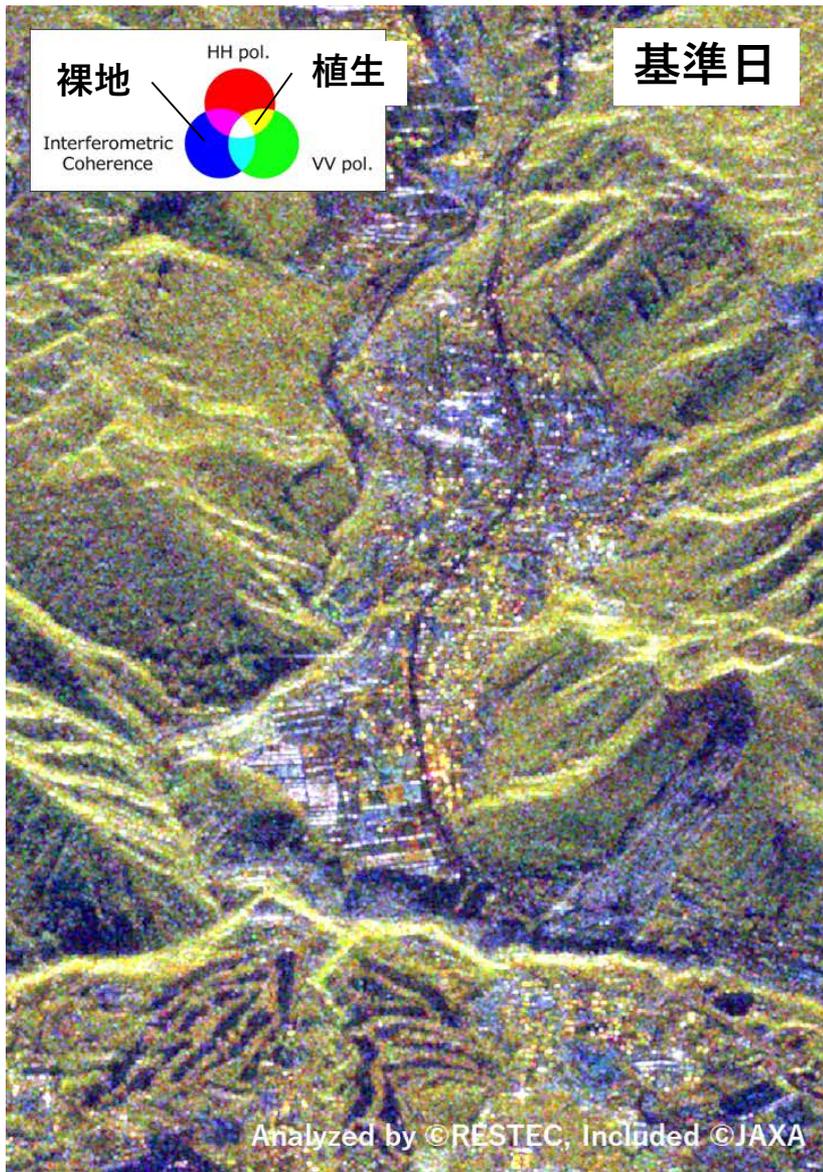
【想定する利用方法】

- ✓ 地表面変位の有無をスクリーニング
- ✓ 地表面変位量を計測
- ✓ 地表面変位量の継続監視・計測（モニタリング）
- ✓ 過去の地表面変位の調査・計測

地表面状態変化の把握

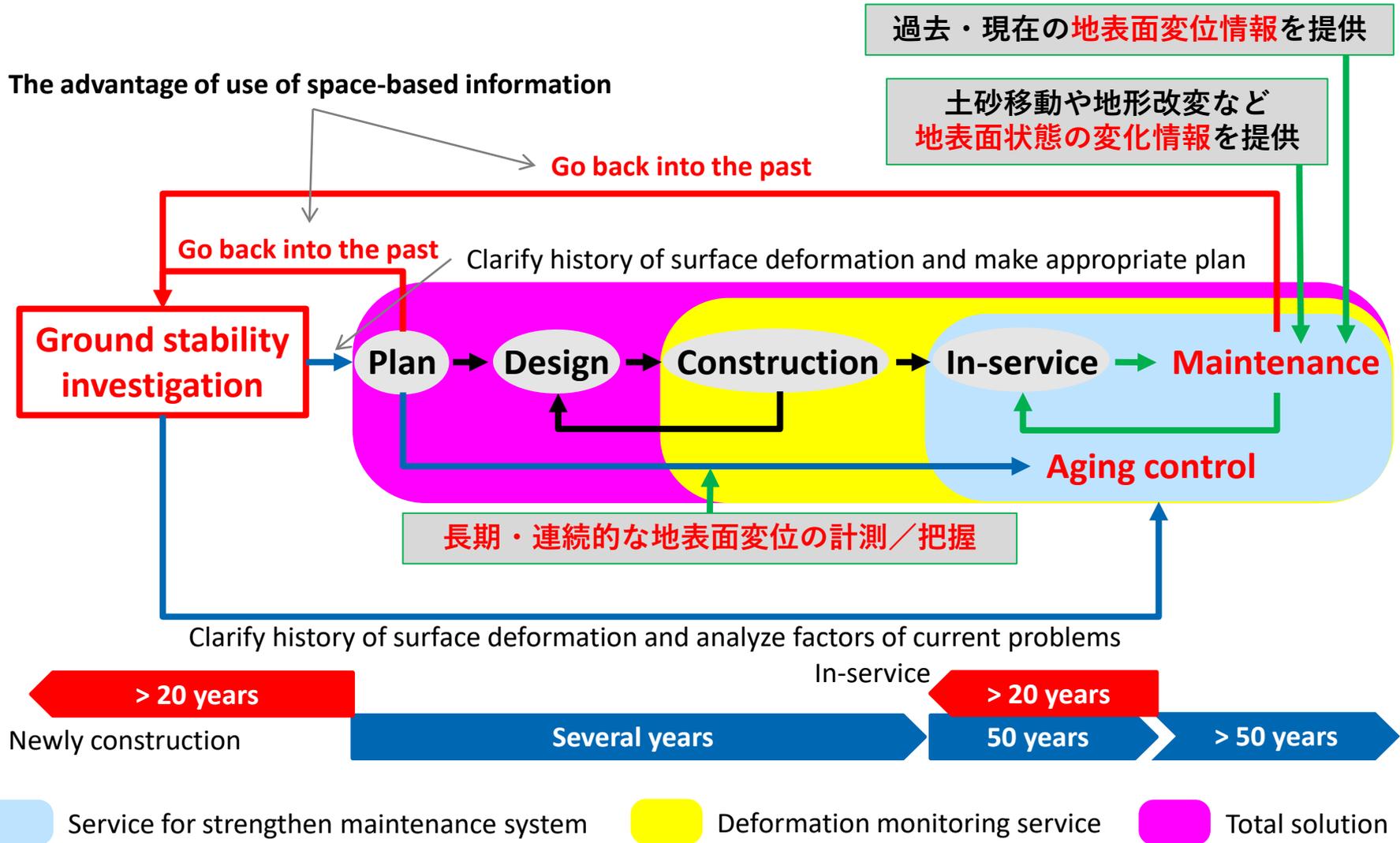


土砂移動箇所への把握

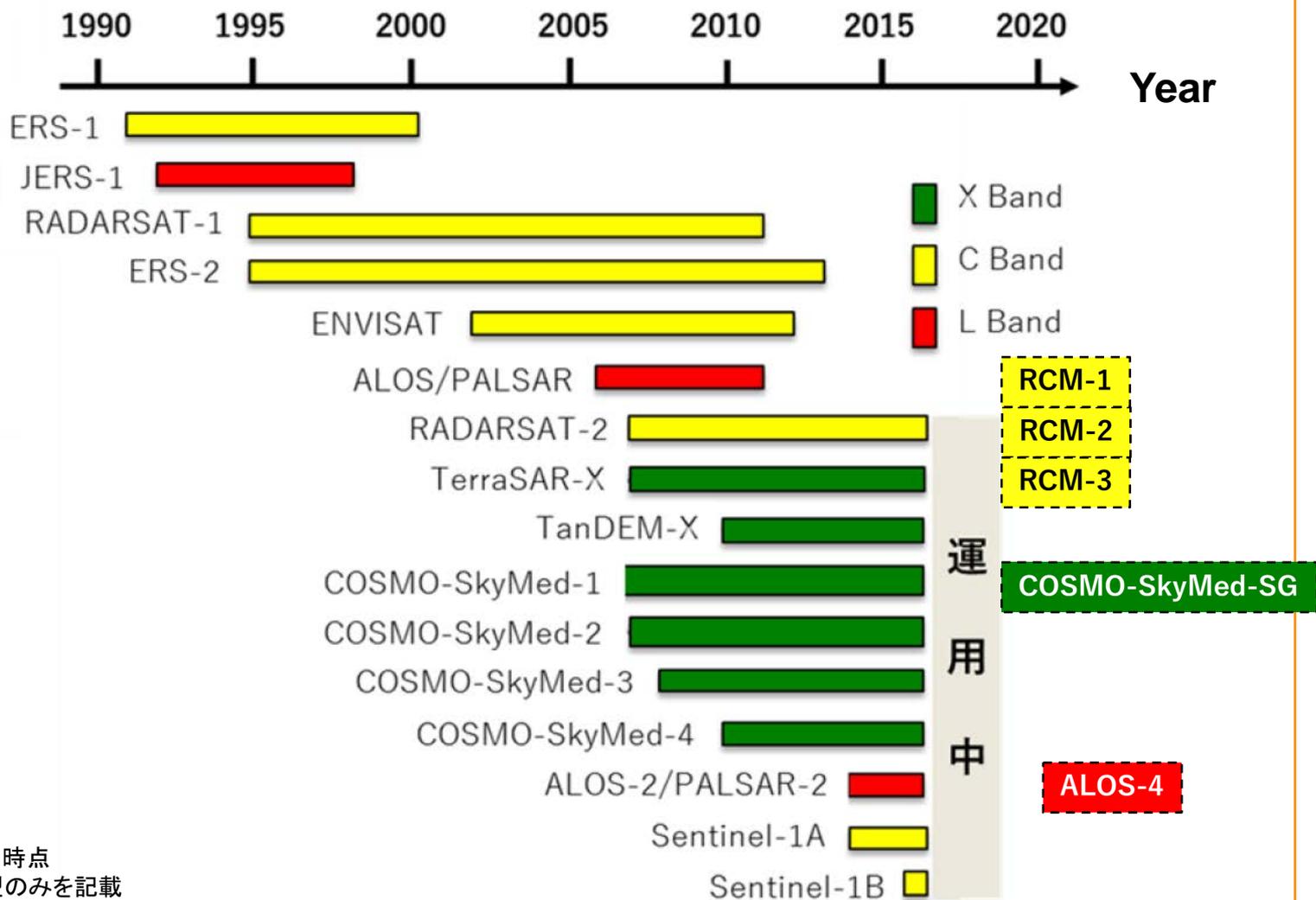


交通インフラのライフサイクルに対応

The advantage of use of space-based information



データ入手可能な合成開口レーダー



※2017年10月1日時点
 ※人工衛星搭載型のみを記載

合成開口レーダーの種類と特徴

	Xバンド SAR	Cバンド SAR	Lバンド SAR
波長	2.5～3.75cm	3.75～7.5cm	15.0～30.0cm
周波数	8.0～12.0GHz	4.0～8.0GHz	1.0～2.0GHz
分解能（解像力）	最高：0.8m 通常：3.0m	最高：1.0m 通常：3.0m	最高：1.0m 通常：3.0m
気象の影響	受けやすい	やや受けやすい	受けにくい
電離層の影響	受けない	やや受ける	受けやすい
植生の透過性	透過しない	やや透過する	透過する※1
観測頻度	非常に高い※2	高い	低い
データ入手の容易さ	手続きが煩雑	比較的容易	容易
データの価格	高い	種類が多い※3	最も安価※3
解析の容易さ	やや難しい	やや難しい	容易

※1：植生密度が高い場合は透過力が低下する。

※2：観測要求（有償）サービスを利用すると1～4日周期で観測可

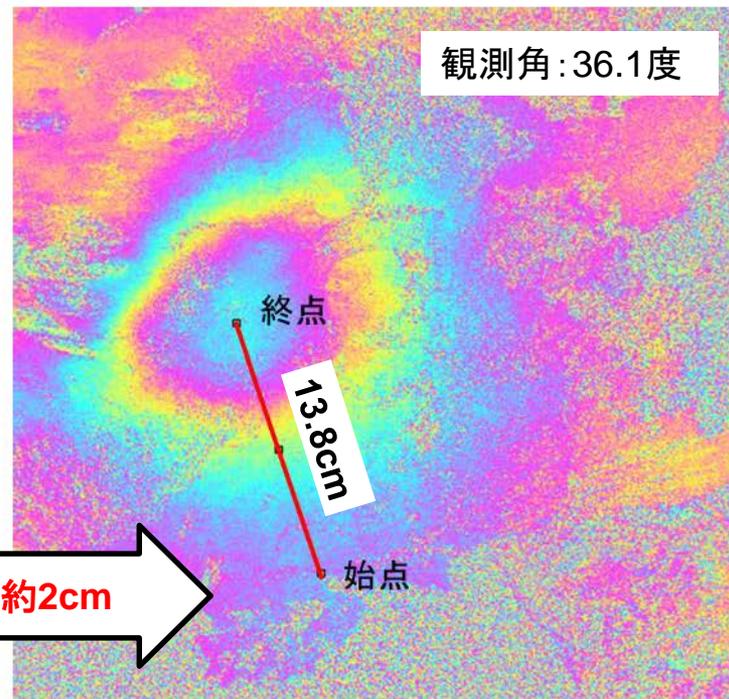
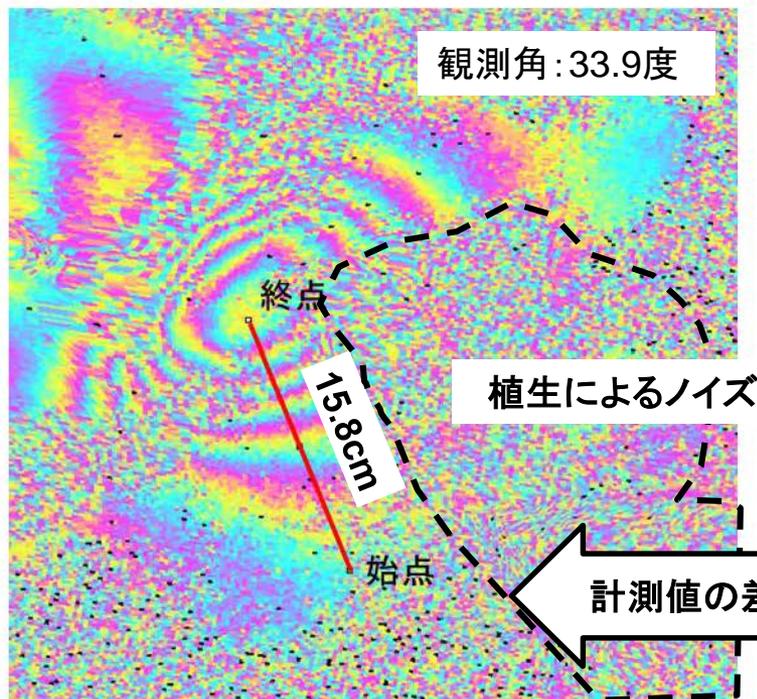
※3：無償配布されているデータもある。

異なる人工衛星による地表面変位解析例

桜島

C-band (Sentinel-1A)
2015/07/31 – 2015/08/24

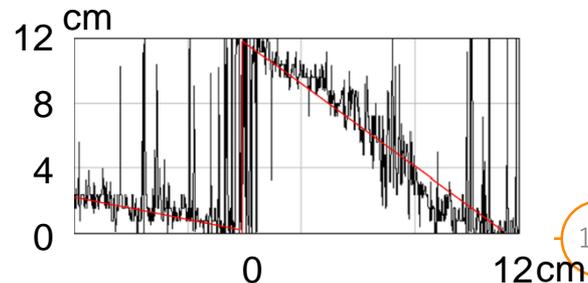
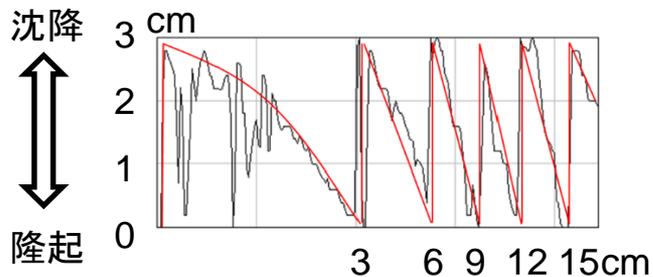
L-band (ALOS-2/PALSAR-2)
2015/08/10 – 2015/08/24



計測値の差異: 約2cm

Analyzed by ©RESTEC, Included ©ESA

Analyzed by ©RESTEC, Included ©JAXA

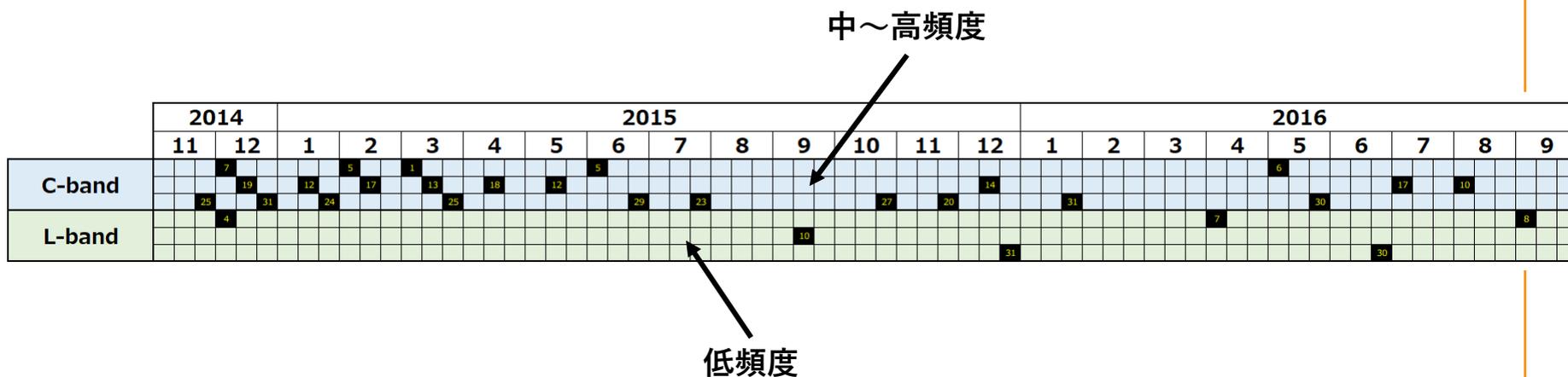


実際の高速道路への適用

解析に使用したデータの観測日（下表、黒塗りセル）

※ C-band : Sentinel-1A, 25 Scene

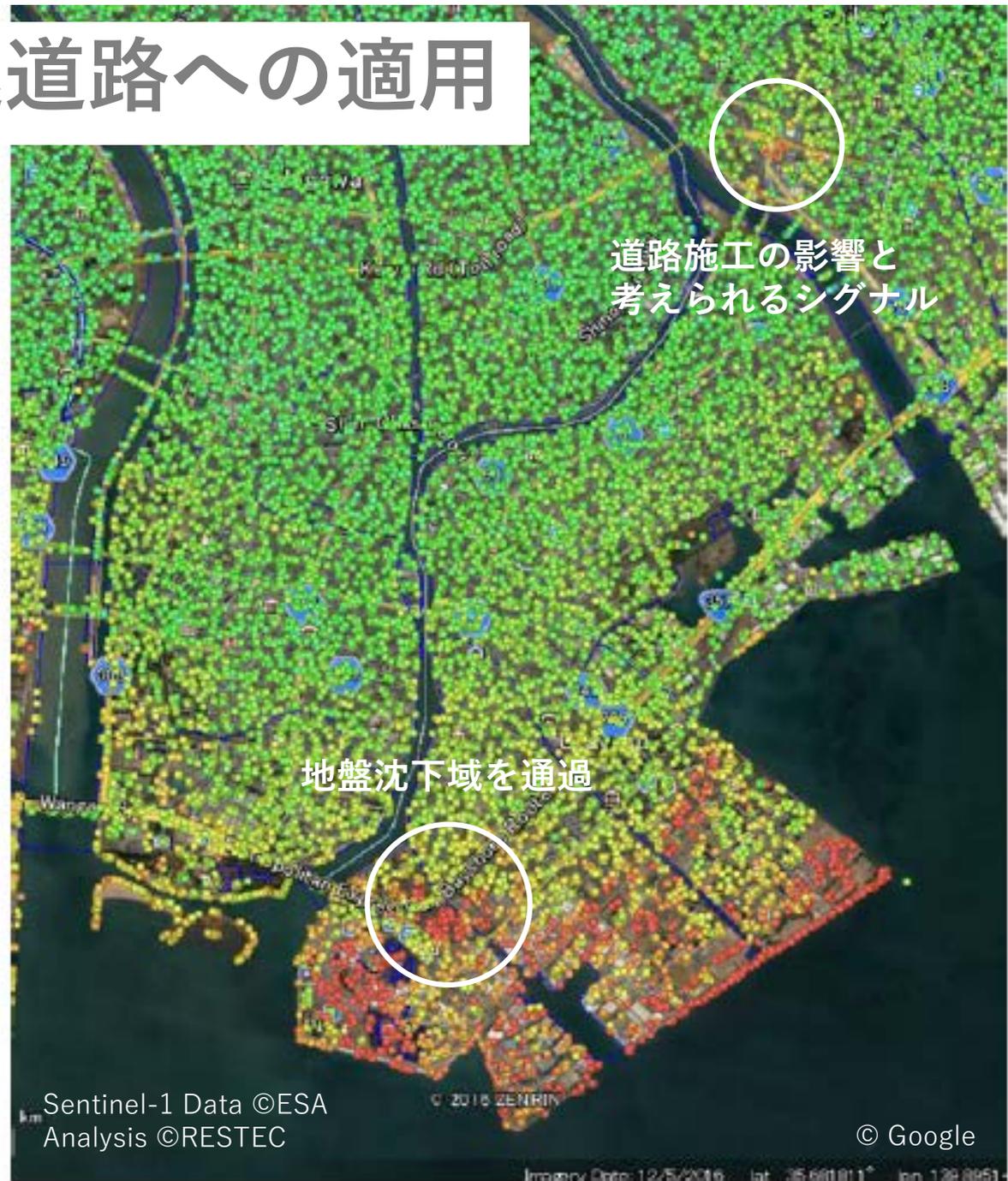
※ L-band : ALOS-2/PALSAR-2, 7 Scene



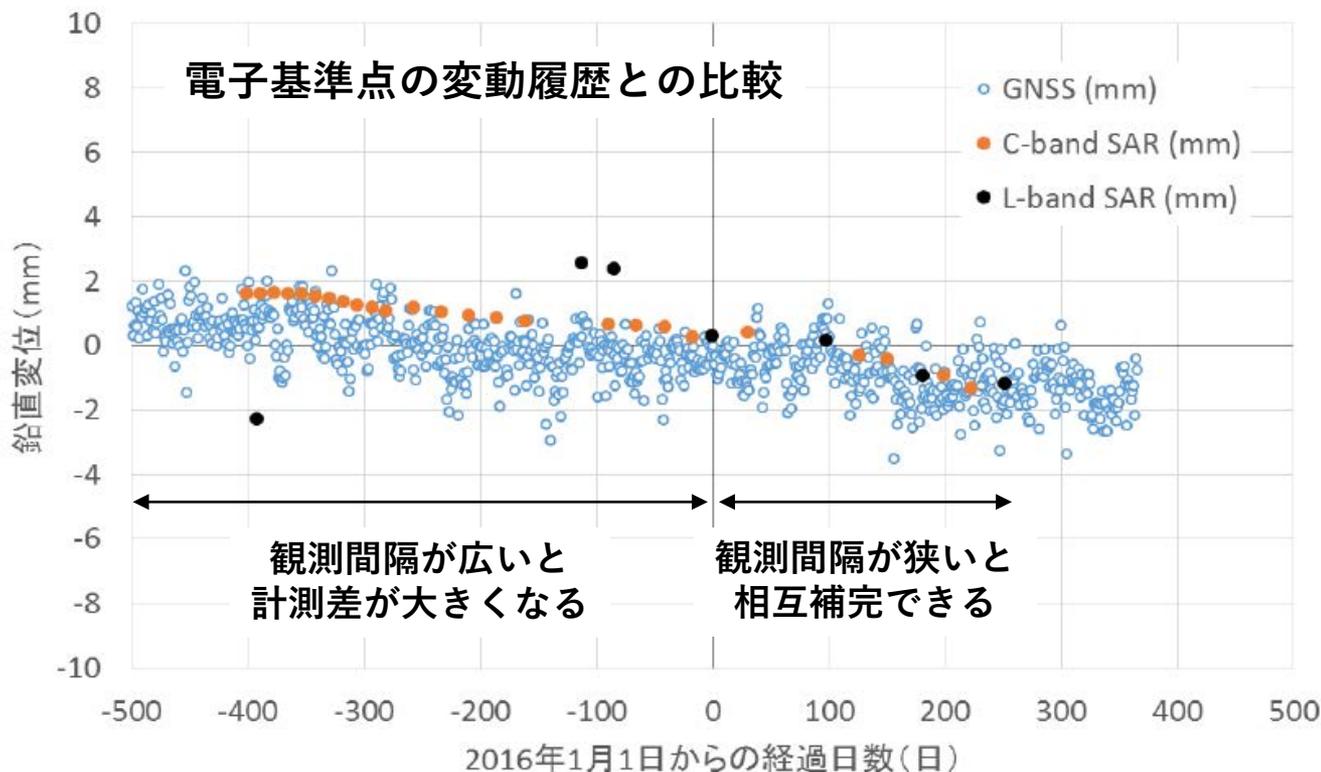
検討のポイント

- ✓ 性能が異なる中～高頻度データと低頻度データとの補間で連続計測可能か？
- ✓ 有償データと無償データとの組み合わせでコスト削減可能か？

実際の高速道路への適用



実際の高速道路への適用



今回結果においては…

- ✓ 高頻度データの利用が望ましい
- ✓ 頻度は**最低2カ月毎**が望ましい
- ✓ 無償データでも十分な計測性能を有する

Cバンド SAR	Lバンド SAR	GNSS
-1.5 mm/年	-0.17 mm/年	-1.0 mm/年

2006年

ALOS
(L-band)

2012年

Cosmo-SkyMed
(X-band)

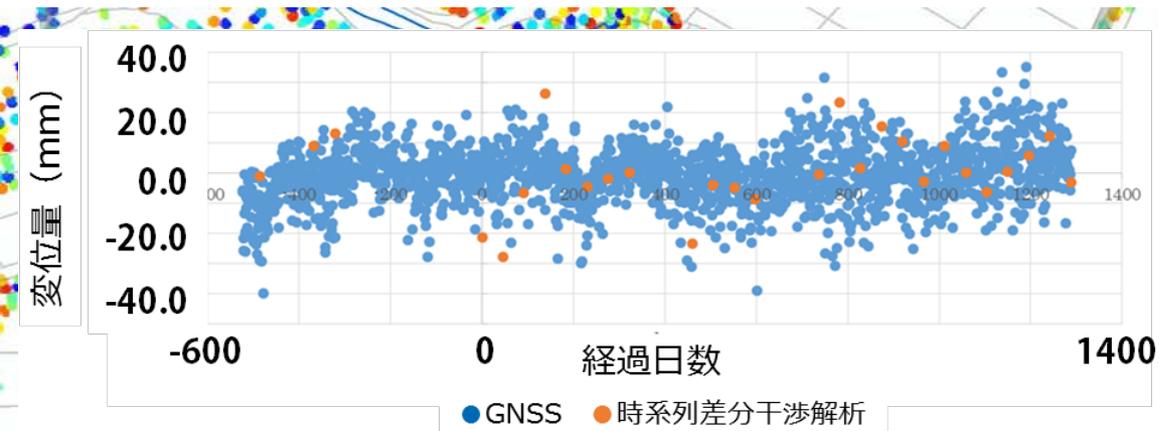
2014年

ALOS-2
(L-band)

時系列差分干渉解析と差分干渉解析とのハイブリッドな手法で
長期的・連続的な地表面変位情報を提供
年間10mmの地盤沈下が継続していることを把握

スクリーン投影のみとさせていただきます。

実際の高速道路への適用



計測方法	変位の傾き (mm/year)
GNSS	+1.132
時系列差分干渉解析	+1.387



Processed by ©RESTEC, Included ©JAXA, METI

国内外に適用できることも魅力



地盤の液状化による影響把握



Differential SAR Interferogram Tokyo - Chiba

Satellite : ALOS
Sensor : PALSAR (L-band)

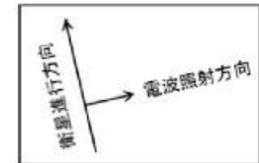
Obs. date (master) : 2011/02/19
Orbit direction : Ascending
Obs. mode : FBS
Offnadir angle : 34.3 deg.

Obs. date (slave) : 2011/04/06
Orbit direction : Ascending
Obs. mode : FBS
Offnadir angle : 34.3 deg.

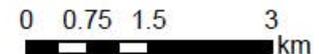
$-\pi$ 衛星に近づく
(隆起 or 西向き変位)



$+\pi$ 衛星から遠ざかる
(沈降 or 東向き変位)



1:75,000



精度向上のための主な技術課題

【課題①】 大気・水蒸気補正

【現状の解決方法】

- 地形データによる補正法
 - 簡易な方法ではあるが、ある程度効果あり
- 気象データによる補正法
 - 詳細な方法ではあるが、空間解像度が足りない

【課題②】 電離層補正

【現状の解決方法】

- スプリットバンド法
 - 有効性は確かめられているが、完全ではない

【課題③】 位相回復（位相アンラッピング）

【現状の解決方法】

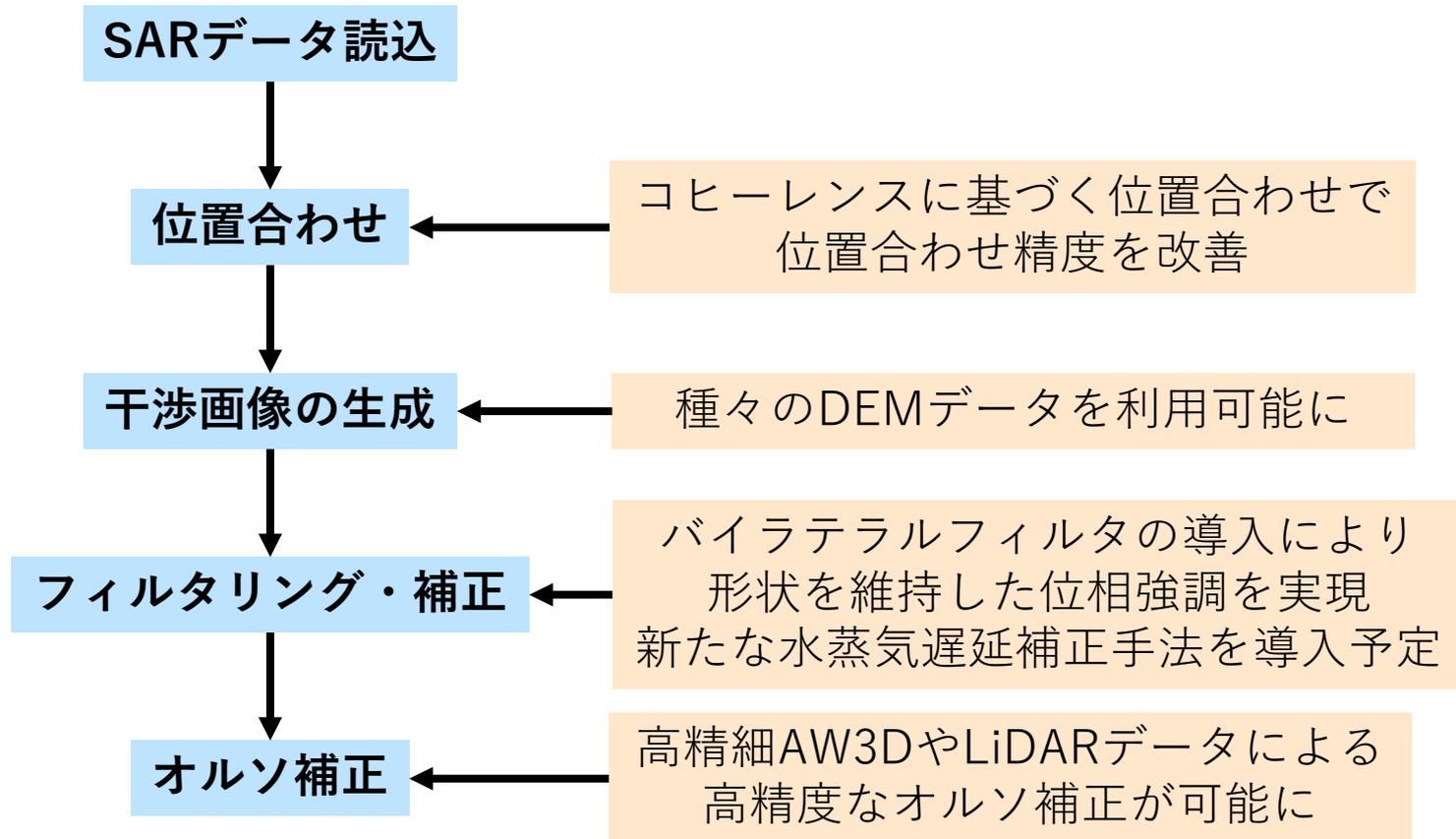
- 種々のアルゴリズムが考案されているが、どれも不完全
- 目視確認して判断

【課題④】 地形データが古いことによる位置精度の低下

【現状の解決方法】

- オルソ補正に利用する地形データを最新化する

RESTEC独自の干渉SARツール



※定量的な評価は平成29年度に実施予定

高精細DSMによりオルソ補正精度を向上



最新の地形データ

最高50cm解像度（1m精度）の地形データが入手可能

<http://www.aw3d.jp/>



FAQ | Sample request | Price list

English



News

About

Technology

Products

Case study

Demo

Contact

Products

AW3D 高精細版地形データ

製品一覧

AW3D 標準版地形データ

AW3D 高精細版地形データ

AW3D オルソ画像

AW3D ビルディング3Dデータ

AW3D高精細3D都市データ

AW3D テレコム3Dデータ

AW3D エアポート3Dデータ

トップ > 製品情報 > AW3D 高精細版地形データ

都市計画や施設管理向けに細かな起伏を表現

民間衛星で世界最高の解像度を誇る米国DigitalGlobe社の衛星画像を活用し、0.5m~2m解像度の高精細標高モデル（DSM/DTM）を提供します。従来の衛星画像から作成する標高データでは再現が難しかった「樹木の1本単位」での細かな起伏の表現、「大縮尺」レベルの高い精度での標高値の算定が可能です。お客様のご要望に応じて、等高線データ等の作成も対応しています。



まとめ

- **交通インフラ監視の支援情報として、干渉SARの一連のプロセスから得られる種々の情報を活用する取り組みをしております**
 - 差分／時系列差分干渉解析 → 地表面変位計測
 - 強度／コヒーレンス解析 → 地表面状態変化の把握
 - 偏波解析 → 土砂移動箇所の確認
- **地表面変位の計測精度は波長依存。目安は以下の通り。**
 - Xバンド：約2mm
 - Cバンド：約4mm
 - Lバンド：約15mm
 - 時系列解析すると何れもGNSS連続計測と同程度の精度
- **計測に使用するデータ数が多い程、高精度な計測が可能**
 - 最低2ヶ月に1回の計測が望ましい
- **無償データでも高精度な計測は可能**
 - 但し、空間解像度が低い（15m<）
- **技術的な課題はまだあり、解決に取り組み中**
 - 大気・水蒸気、電離層、位相回復、位置精度