

衛星観測による災害痕跡の読解

地盤は悪夢を知っていた
—地震に誘われる地盤痕跡—

竹内 渉
(環境・災害リモートセンシング)

東京大学生産技術研究所
人間・社会系部門

土木学会 地震工学委員会 地盤と地形に刻まれた
地震・災害痕跡データの公開促進小委員会
2021年10月13日 @zoom

本日の内容

- 宇宙からここまでわかる！最近10年で劇的に変化！
合成開口レーダー-SARを用いた地盤変動探査技術の紹介
- インドネシアの活火山山体変化
- インドネシア・スラバヤ市の地盤沈下
- 日本・高速道路の土構造物計測
- 技術的な課題と今後の展望

Wataru Takeuchi, Ph. D. @ Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan

合成開口レーダ (SAR) について

SARを搭載する衛星：2007年以降ならば高分解能データ作成可能

衛星	分解能*	観測幅*	観測波長	観測回数	価格
ALOS-2 (日本)	1x3m	25x25km	Lバンド	34日	8万円
Sentinel-1 (EU)	5x20m	80x80km	Cバンド	12日	無料
TerraSAR-X (ドイツ)	1x2m	10x10km	Xバンド	11日	48万円

他分野における活用と土構造物への応用

- 地すべりブロック設定 → もらい災害予測
- 水稲作付地の判別 → のり面湧水の判別
- ロックフィルム媒体の長期連続観測 → 盛土へ適用

土構造物に利用する場合の技術的課題

- 草木の影響などの要因により、構造物毎に異なるバンド・衛星を使用
- 道路盛形によっては干渉が得られない可能性あり

欧州宇宙機関が主導したオープンデータ化・日本も追いつく?

衛星名	波長帯	価格/枚	特徴	販売代理店
ALOS-2	L	8万	日本全域カバー、撮影間隔長い	パスコ、RESTEC
TerraSAR-X	X	数十万	高分解能/高解像度、都市域中心	パスコ
TanDEM-X	X	数十万	高分解能/高解像度、都市域中心	パスコ
COSMO-Skymed	X	数十万	高分解能/高解像度、火山監視	日本スペースイメージング
RADARSAT-2	C	数十万	高分解能/高解像度、都市域中心	パスコ
Sentinel-1	C	無料	12日周期	欧州宇宙機関

管理区域を網羅する過去の衛星データを入力 ⇒ イニシャルコスト

新規観測ごとに衛星データを入力 (ALOS-2なら4年4回程度) ⇒ ランニングコスト

「道路防災点検業務に組み込む」などの活用の仕方

SARをスクリーニングに活用

AI, DX, オープンソース, オープンデータがもたらす社会変革

SAR use case tournament

Ursa Space SystemsがSARの3次元化を推進している

5次元画像から地盤変動探査へ

【3次元データ】地盤の変動がわかる

ソリューションコンテストによる情報分野からの人材参入 sorabatake.jp

衛星関連企業の防災情報可視化・インフラヘルス分野への進出

企業	Synspective	QPS研究所	ICEYE	スカパー-JSAT
企業概要	内閣府のプロジェクトを率先する形で創設した。自社で取得したものにこだわらず、広くデータを利用している	九州大学発のベンチャー企業。10分毎の撮影ができるリアルタイム観測の実現を目指している	地上分解能は世界最高レベルだが、商業の小型SAR衛星のコンテナー型構築が最も進んでいる	アジア最大の通信衛星事業者。他社の衛星データを活用した衛星サービスにも注力している
本拠地	日本	日本	フィンランド	日本
衛星機数 [現在/予定(年)]	1機/6機(2026),30機(2020年代後半)	2機/38機*(2025)	10機/18機(2021)	-
分解能	1m	1m(通常), 0.7m(高精度)	0.25m(高精度)	-
ソリューション(一例)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変動モニタリング 経済活動/公共施設のパフォーマンス評価 建設の異常検知 太陽光発電所の設置場所の評価 	-	<ul style="list-style-type: none"> 違法船舶の検出 洪水のモニタリング 全天候型地盤情報提供サービス (NITデータと共同) 	<ul style="list-style-type: none"> 地形、地盤の状況、災害の被害情報等を地図上に表示 (日本公安、ゼンリンと共同)
実証中	<ul style="list-style-type: none"> 道路の維持/管理の応用 	<ul style="list-style-type: none"> ため池のモニタリング (スカパー-JSAT,ほか3社と共同) 電力設備の点検 (データの提供) 	-	<ul style="list-style-type: none"> ため池のモニタリング (QPS研究所,ほか3社と共同)

国内外ベンチャー企業のインフラビジネスへの進出 sorabatake.jp

インドネシアの活火山監視

Mt. Bromo

East Java > 38 million people

- TNBTS Caldera, Eastern Java, Indonesia
- 5 years cycle of the eruption
- Highly active: at least about 50 times eruption since 1775, last eruption in 2004/5, 2011, and 2016
- Contain some of the most mineral soils and Perfect conditions for farming to produce healthy crops, the characteristic is similar to Mt. ASO.

[Arbad, 2020]

噴火の予兆・地盤変動を衛星から捉えられないか?

Physical Changes → Eruption Precursor

Field survey

Volcano Geodesy

the effect of atmospheric propagation delay

GAP of D-InSAR

Temporal Resolution

D-InSAR

Time-Series D-InSAR

Better constraints & multi-disciplinary consistency

1. How does InSAR monitoring the physical properties at a cycle of Mt. Bromo?

2. Do these results affect eruption forecasting or hazard assessment?

The objective of this research is to analyze the cycle of Mt. Bromo-Indonesia eruption by time-series deformation monitoring through the InSAR analysis with.

[Arbad, 2020]

時系列SARインターフェロメトリによる地盤変動解析 (InSAR)

ALOS/PALSAR

ALOS-2/PALSAR-2

2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

24 May 2007 7 4 5 4 2

May 2011 - Feb 2015

11 Mar 2016 2 1 2

3 May 2017

Number of Image

Before After

Eruption Nov 2010

Eruption Dec 2015

Vector

Raster

Population

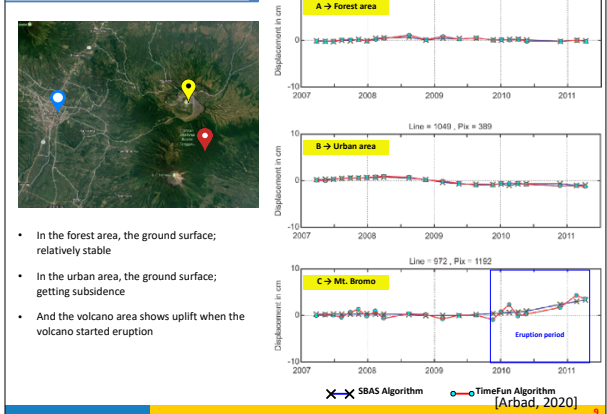
Distance

Land Displacement

Land Cover

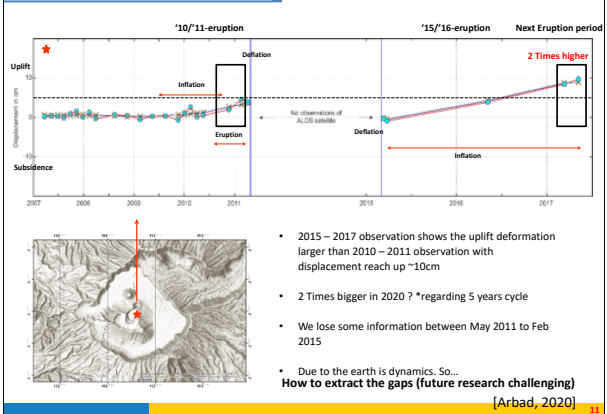
[Arbad, 2020]

地盤変動抽出結果

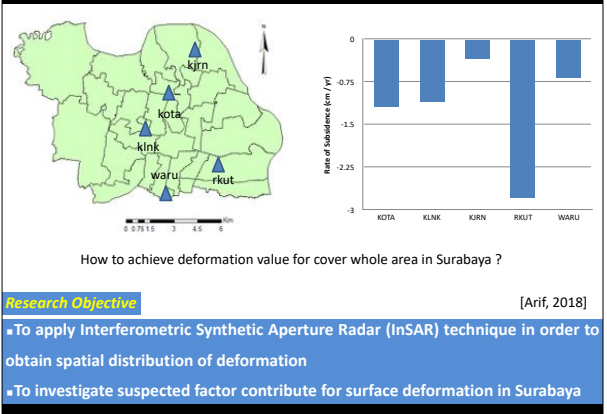


- In the forest area, the ground surface; relatively stable
- In the urban area, the ground surface; getting subsidence
- And the volcano area shows uplift when the volcano started eruption

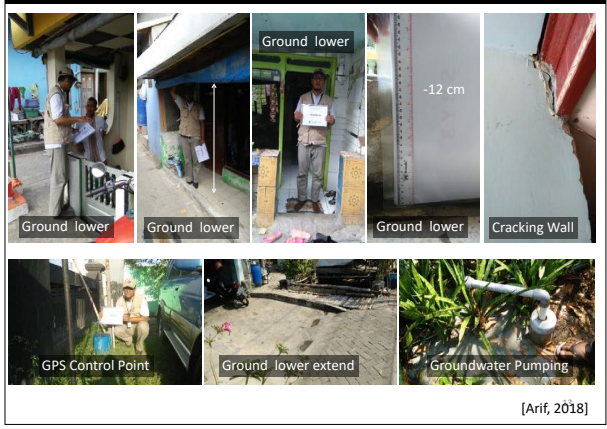
噴火に伴う地盤変動抽出結果



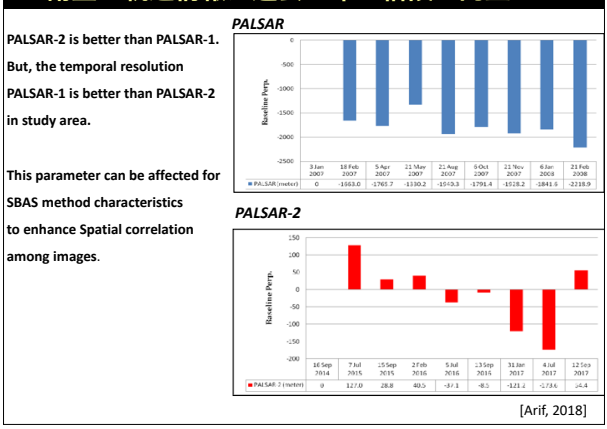
インドネシア・スラバヤ市の地盤沈下計測



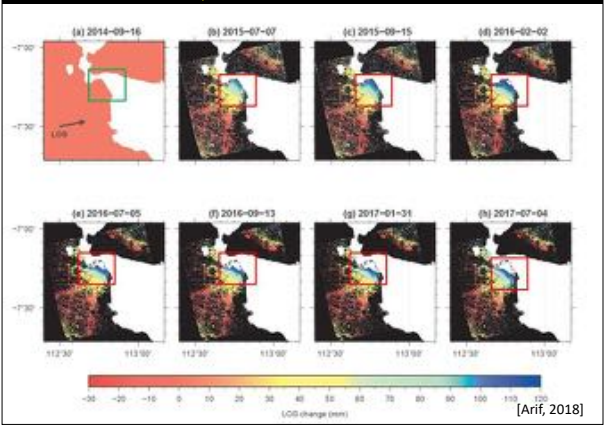
インドネシア国土地理院と共同で地上踏査と基準点測量の実施



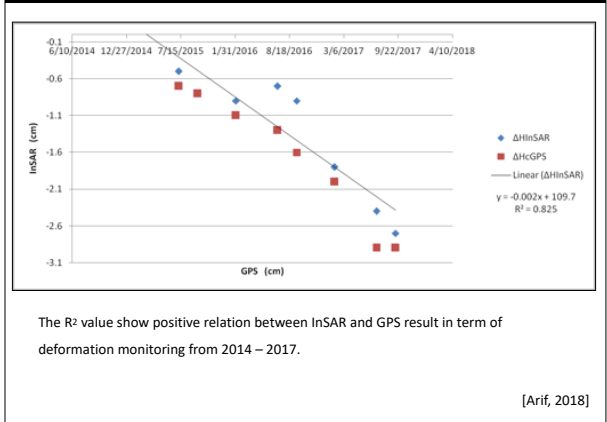
衛星の軌道情報が過去15年で格段に向上した



沿岸部工場地帯, 低所得者住宅での地下水組み上げ



基準点測量との比較により衛星計測の校正が可能



リモートセンシング技術を活用した道路土構造物の維持管理の効率化に関する研究開発

国総研, 本郷・古関先生, 生研・清田先生, 基礎地盤, NEXCOとの共同研究

対象: 広域の道路土構造物の点検・維持管理

技術的課題(背景) 研究開発の内容 成果(目的)

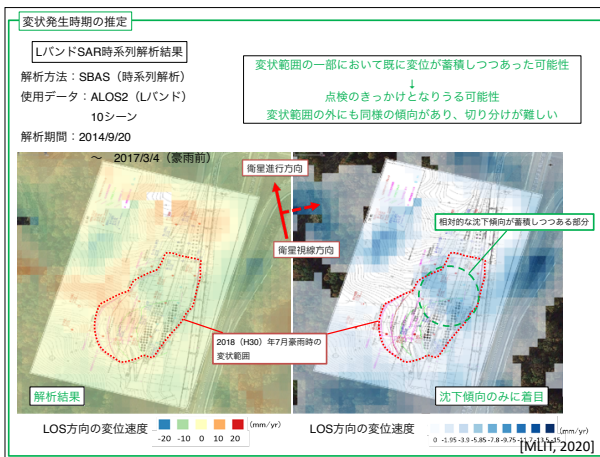
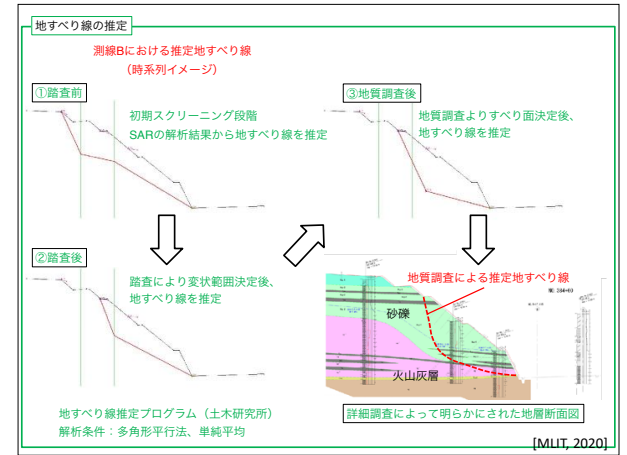
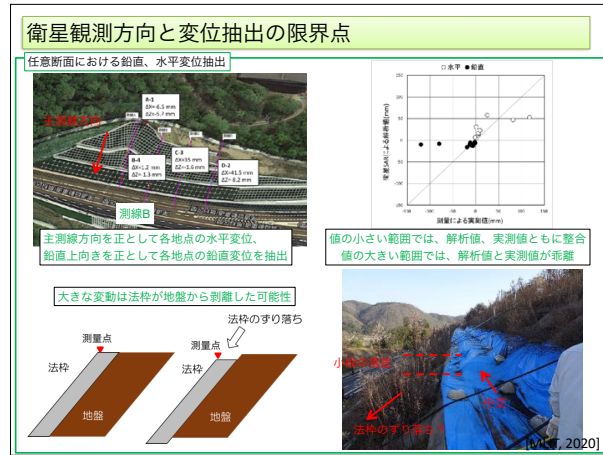
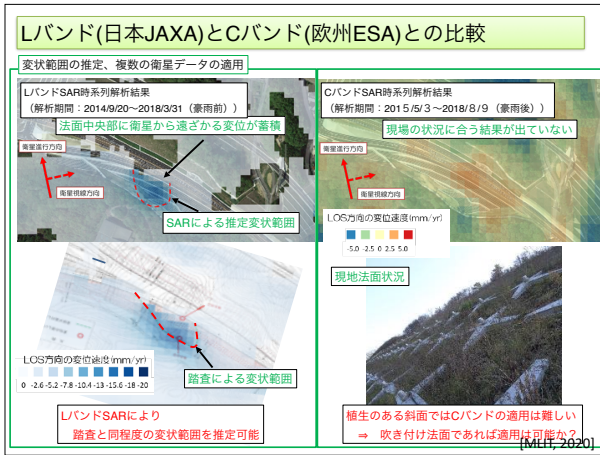
課題1: 築造当時からDBがない
課題2: 目視中心で定量的把握が困難
課題3: 対策優先順位が不明

ノイズ低減フィルターの開発
最適な周波数帯の検出
実変位とのキャリブレーション
地盤工学的要因究明
変位解析のマニュアル作成

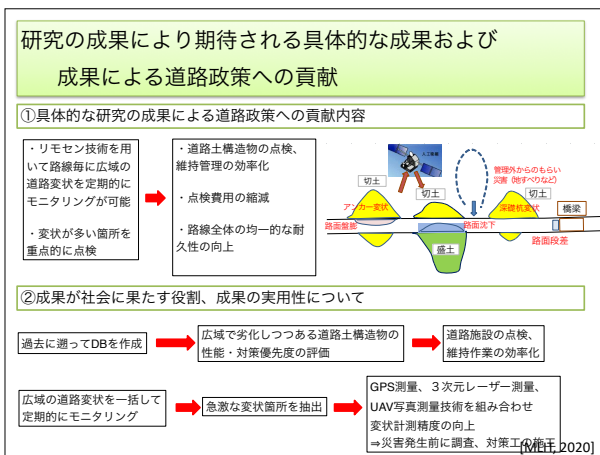
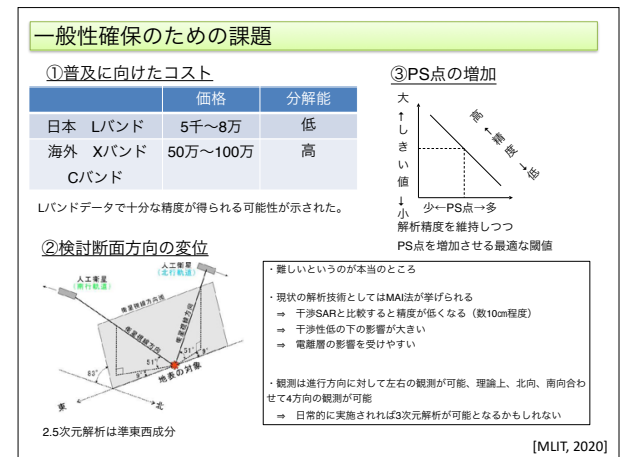
過去に比べて変位箇所のDB構築が可能(課題1)
定量的な管理が可能(課題2)
優先度を考慮した保全計画(課題3)

[MLIT, 2020]





- ### 3. 研究成果—まとめ—
- Lバンドデータを利用した解析により、変状範囲を精度よく推定することができた。
 - ⇒ 変状範囲の推定
 - Cバンドデータによる解析では、植生がノイズとなり変状範囲を精度よく推定することができなかった。
 - ⇒ 衛星データの限界確認
 - 干渉SARの解析結果から任意断面の鉛直変位、水平変位を抽出することができた。
 - ⇒ 土木分野における有効性の確認
 - 任意断面の水平変位をもとに、地すべり線を推定することができた。
 - ⇒ 変状深さの推定
 - 変状範囲と変状深さの推定により、変状規模を推定することができた。
 - ⇒ より具体的な保全計画の立案が可能



- ### 本日のまとめ
- AI, DX, オープンソース、オープンデータがもたらす社会変革が、防災情報可視化・インフラヘルス分野で今起こりつつある
 - ソリューションコンテストによる情報分野からの人材参入
 - 国内外の衛星関連企業の防災情報可視化・インフラヘルス分野への進出
 - インドネシアの活火山山体変化、InSAR解析が噴火の予兆を捉える
 - インドネシア・スラバヤ市の地盤沈下、InSAR解析、計測精度は日本のLバンド衛星が有利だが、欧州のCバンド衛星は無料で利用可能
 - 3次元レーザー測量、UAV SIM計測、GPS計測と組み合わせることで時空間的にシームレスなインフラヘルスマニタリングシステムの構築が可能に
- Wataru Takeuchi, Ph. D. @ Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan

Thank You

感謝の言葉: Dankie, Gracias, Spasibo, Merci, Takk, Köszönjük, Terima kasih, Grazie, Dziękujemy, Dekojame, Ākujeme, Vielen Dank, Paldies, Kiitos, Tänamet teid, 谢谢, Tak, Teşekkür Ederiz, 감사합니다, Bedankt, Děkujeme vám, ありがとうございます, Tack

Wataru Takeuchi, Ph. D.
Institute of Industrial Science
The University of Tokyo, Japan
<http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/wataru/>
wataru@iis.u-tokyo.ac.jp