

干渉SAR時系列解析による 国土の地盤変動の 時間的推移の面的検出に関する研究

【研究期間】

平成26年4月～平成31年3月（5年間）

【予算】

特別研究経費 68,929 千円（5年間の総額）

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室

小林 知勝

 国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

本研究の背景1 ～干渉SAR解析とは～

 国土地理院

国内観測はLバンド*の
マイクロ波を用いる
ALOS-2衛星が主流

SAR 衛星



マイクロ波

1回目の観測

2回目の観測

干渉SARとは
衛星等から地上に電波を照射して得られた反射画像について、異なる2時期の画像の差をとることにより、その間に生じた地表の変動を面的に計測する測地技術。

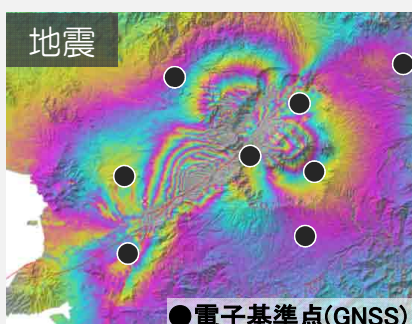
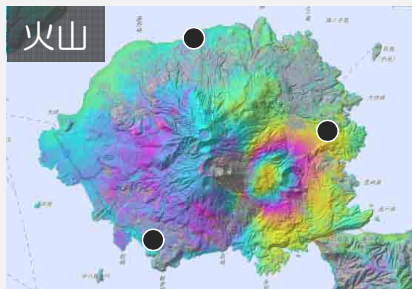
位相（波の山・谷）の差を用いて、地表までの距離変化（= 地盤の変動量）を測る

変動後の地盤

地表

※ 波長：約24cm

国土地理院では干渉SARによる国土の地盤変動の監視を実施している。



● 電子基準点(GNSS)

国の各専門機関（地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等）等に提出

■既存の測量技術の長所と短所

	水準測量	GNSS	干渉SAR
計測精度	○ (mm)	○ (数mm～約1cm)	× (数cm)
空間スケール	× 点 (主に道路沿い)	× 点 (要上空視界)	○ 面 (空間分解能：数m～数十m)

問題点

従来の測量技術だけでは、国土で進行する
微小な地盤変動を網羅的に検知するのは困難



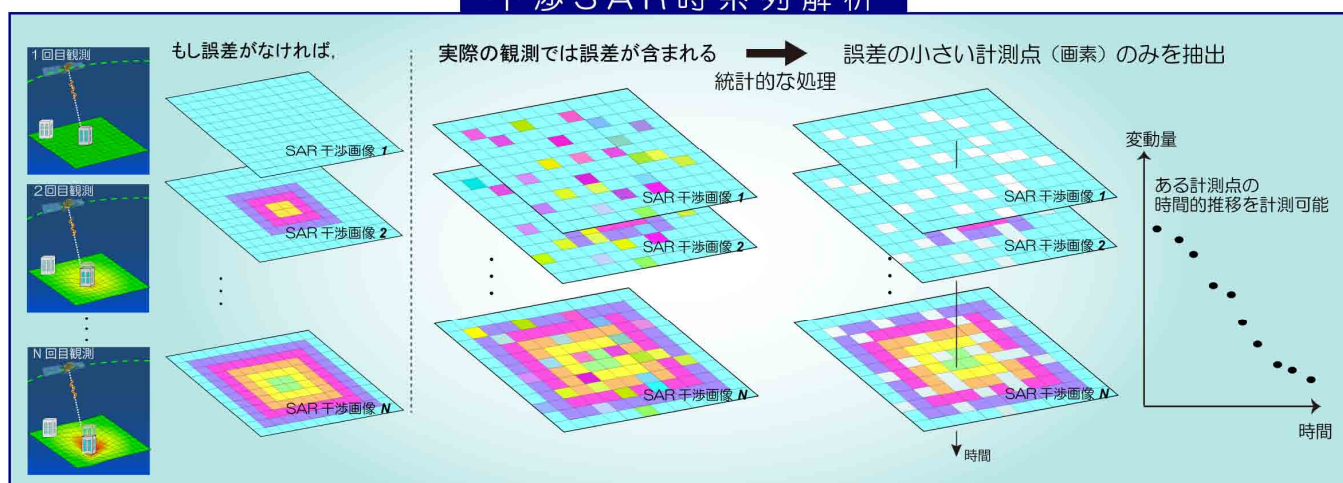
面的な観測を維持しつつ、年間数mm～数cm程度の微小な規模で進行
する変動を把握できる高い計測精度を持つ新しい測地技術が必要

Slide 3

本研究の背景3 ～干渉SAR時系列解析とは～

干渉SAR時系列解析とは：多数枚のSAR画像を統計的に処理することにより干渉SAR画像に含まれる誤差を低減させ、変動の検出精度を向上させる干渉SARの応用技術。

干渉SAR時系列解析



良質の計測点（画素）だけを用いて計測

多数枚の干渉SAR画像を利用

精度の高い計測を可能に

変動の時間推移の把握を可能に

Slide 4

干渉SAR時系列解析がもつ課題

○山間部における計測点数の低下※1

▼日本は植生の発達した国土

○大気・電離層の影響による計測精度の低下※2

▼日本は大気擾乱が激しい

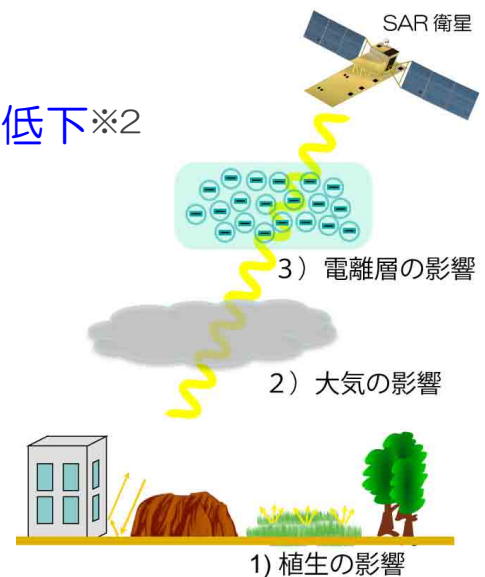
▼国内の観測は電離層の影響を受けやすい
LバンドSAR観測が主体（現在：ALOS-2）

国土監視に適した干渉SAR 時系列解析に
発展させることが必要

○複雑な処理・操作が多数

大量の画像データを効率的に処理可能な
解析環境の構築が必要

計測点数や計測精度を
低下させる主な要因



※1 従来の手法は、植生の影響を強く受けるため、都市部以外で良質な計測点の取得が困難。

※2 大気や電離層擾乱に伴う誤差を適切に低減する処理が未確立。従来の手法は、フィルタの種類や係数の設定に主観性が残るという問題がある。

Slide 5

本研究の目的・概要

■目的：

年間数mmから数cm程度の微小な規模で進行する地盤変動の時間的推移を、面的に監視可能とすることで、噴火等の危険度予測に貢献することを目的とする。

■概要：

(1) 国土の監視に適した干渉SAR時系列解析のための技術開発

1-1) 植生の影響を低減し、計測点数を向上させるための技術開発

1-2) 大気、電離層の影響を低減し、計測の精度を向上させるための技術開発

(2) 干渉SAR時系列解析作業の効率化のための解析システムの開発

Slide 6

（１）植生，大気，電離層の影響

を低減するための技術開発

Slide 7

各開発の内容と適用効果の概要

■ 植生対策

【開発】 **位相最適化処理**による計測点抽出技術

従来の手法では使われない画素(計測点)に特殊な統計処理を施すことで、
植生の影響を抑えて計測精度を上げ、良質な計測点を増加させる。

計測点数が約**100倍向上**

(参照：Slide 9)

【効果】 山間部の計測点が向上 → **局所変動の検出力向上**

■ 大気対策

【開発】 **数値気象モデル**を用いた誤差低減技術

特別研究（H20-22）「正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉
画像の高度利用に関する研究」で開発した技術を干渉SAR時系列解析に適用

大気誤差を約**50%減**

(参照：Slide 25)

【効果】 標高相関誤差を有意に低減 → **山間部の計測精度が向上**

■ 電離層対策

【開発】 **周波数分割法**を用いた誤差低減技術

SARデータの周波数差を利用した誤差低減のための新規技術。電離層を
通過する際の**電波の位相の遅延量を推定可能**。

電離層誤差を約**96%減**

(参照：Slide 29)

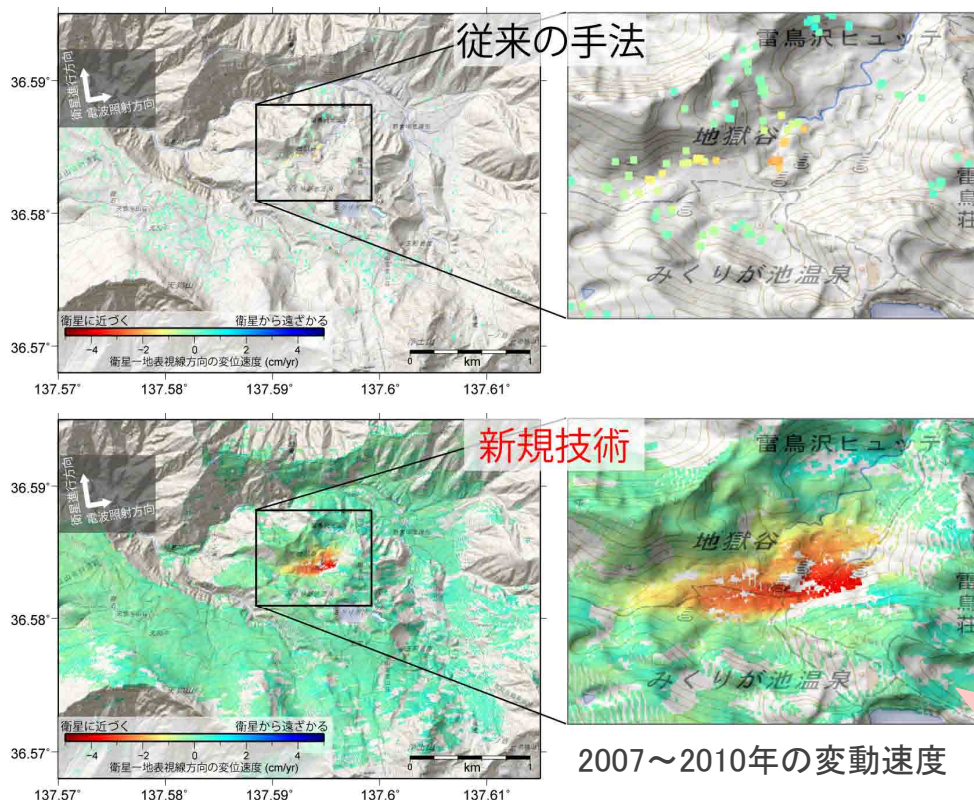
【効果】 電離層の誤差を有意に低減

→ **LバンドSAR衛星**（だいち2号）において**不可欠な技術**
広域変動の検出力向上

Slide 8

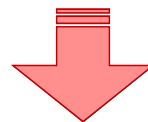
成果例：植生の影響を低減する技術 ～適用効果～ 国土地理院

新規開発した位相最適化処理の適用により山間部の計測点数が向上



【解析事例】
弥陀ヶ原火山
(立山)

従来の標準的手法(PSI法)
計測点数：2,034



新規技術
(位相最適化処理)

計測点数：216,356

約100倍に向上

局所的な変動の
検出・計測に有効

Slide 9

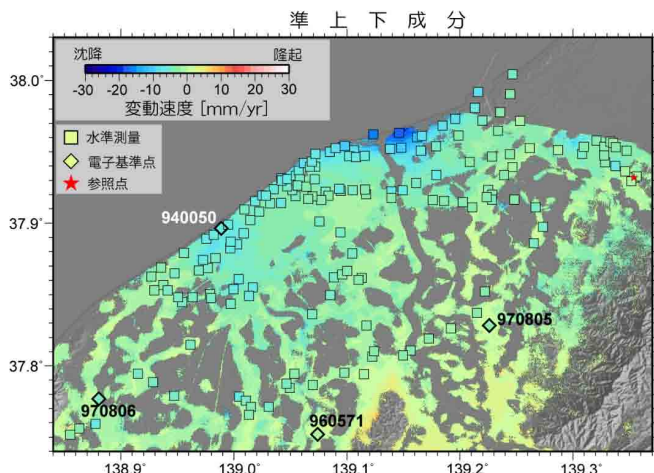
計測精度の検証 ～水準測量との比較～ 国土地理院

年間数mmから1cm程度の速度で進行する変動を検出可能

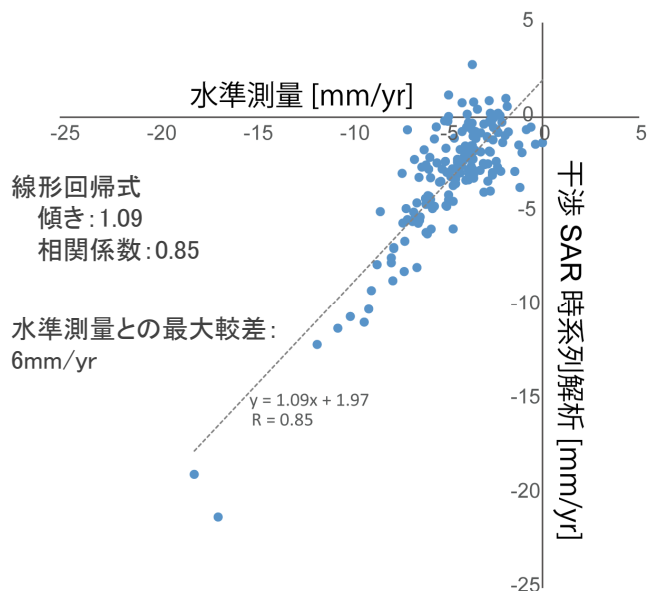
新潟平野の地盤沈下(2007～2010年)での検証例
水準測量 及び 電子基準点 との比較

干渉SAR時系列解析から得られた変動速度分布図と水準測量及びGNSSの観測値との比較

水準点における干渉SAR時系列解析結果と
水準測量の観測値の比較



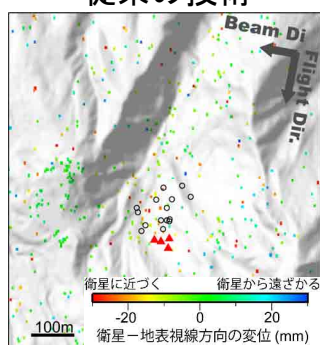
□や◇内の色は、水準測量及びGNSSの上下成分の変動速度を示す。



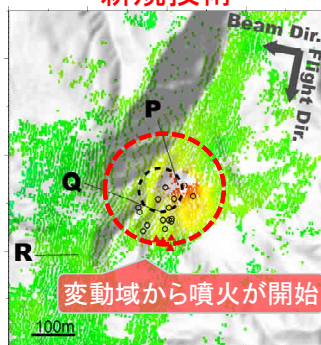
Slide 10

噴火前に前駆する局所変動の空間分布とその時間発展の検出に成功

従来の技術



新規技術

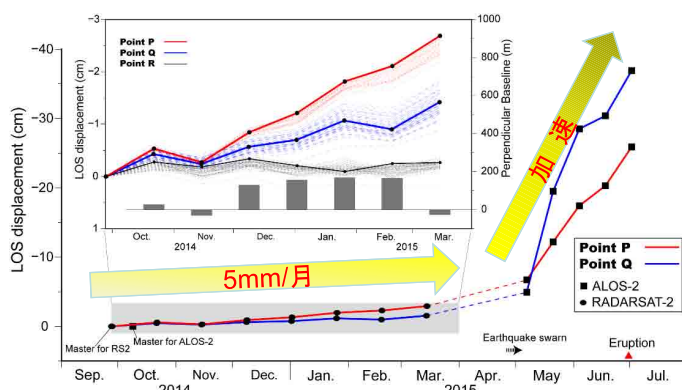


① 噴火に先行して進行する地盤の膨張を検出

微小な規模の変動の面的な検出により達成

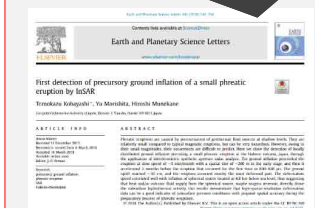
② 噴火に向けて地盤の膨張が加速する現象を発見

微小な規模で進行する変動の時間推移の検出により達成



Kobayashi et al. (2018)

First detection of precursory ground inflation of a small phreatic eruption... と題して論文を執筆



米国物理学協会誌「Physics Today」に論文が紹介される。

PHYSICS TODAY

DOI:10.1063/PTP.1.201504208

Forecasting steam-burst eruptions

Satellite data can pinpoint the locations of potentially life-threatening geothermal events.

model overview

COMMENTS 0 SHARE 0



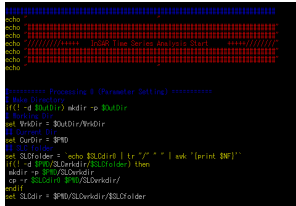
When fluid in a shallow aquifer near a volcano becomes heated and pressurized, the result can be an explosion of steam, water, ash, and rock called a phreatic eruption. Such eruptions, which are difficult to predict, are extremely hazardous. Over the past century in Japan, 10 eruptions each have killed at least 10 people, including the 2014 eruption of Mount Oosaka, which claimed the lives of

(2) 統合解析システムの開発

干渉SAR時系列解析システムの開発

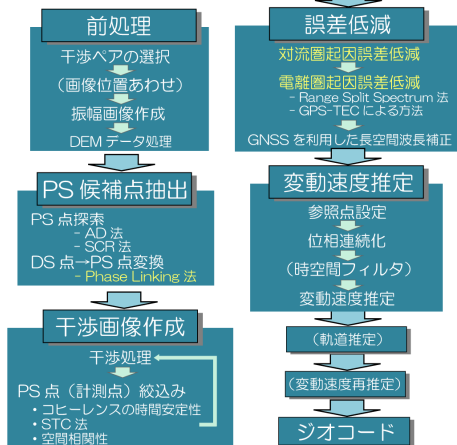
GUI操作による干渉SAR時系列解析ソフトウェアを開発

CUI操作

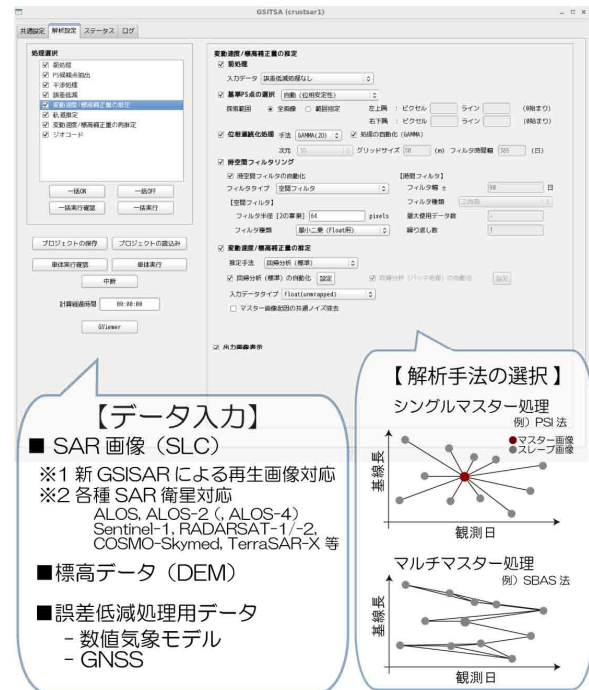


200 個以上の計算プログラムと各処理を制御するスクリプトで構成

多くの専門的な中間処理群



GUIで各処理を簡便な操作で制御
解析作業の効率性を向上



Slide 13

干渉SAR時系列解析専用 画像表示・操作機能の開発

GUIによる画像表示・操作で分析作業の効率性を向上

GUI解析システムから起動可能

表示カラー
表示範囲の設定

マウス位置の画像機能 (crustsar1)

ピクセル番号 (1ルック)	732
ライン番号 (1ルック)	612
経度 (deg)	137.555291
緯度 (deg)	36.584179
標高 (m)	2359
傾度	1.475925
データ/pdef	0.034317
PS点番号	151505
干渉ペア画像番号	1

GEOTIFF出力
地理院地図・GISソフトでの表示

種々の操作機能
選択可能

- PS点表示ON/OFF
- PS点表示カラー変更
- PS点サイズ変更
- PS点表示の範囲指定
- 参照点の設定
- 参照点表示ON/OFF
- マスクファイル指定
- 指定直線の時系列表示
- カラーバー表示
- カラー設定
- pngファイルに保存
- geotiffファイルに保存
- 半透明表示
- 操作一覧
- exit

透明度設定
表示画素サイズの変更
位相連続化用マスク処理機能
画像出力 等々

計測点の位置・変動速度等の
情報表示

複数画像の同期表示
連動した操作が可能

指定計測点の変動時系列表示

動画再生機能

Slide 14

■ 国土地理院が実施するALOS-2衛星を用いた地盤変動監視・研究での利活用

- 測地部の高精度地盤変動測量事業での利活用
- 火山や地震活動に伴う地殻変動監視での利活用
- 各専門機関（地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会等）への情報提供
- 次期特別研究「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための高精度な地殻活動把握手法の研究開発（H31－35年度）」等の地殻変動研究での利活用

■ 様々なSAR衛星への適用

- 次期国産LバンドSAR衛星「先進レーダ衛星（ALOS-4）」*による地盤変動監視
- 他の海外SAR衛星、Lバンド以外（C, Xバンド）のSAR衛星を用いた解析にも適用可能

※ ALOS-2より高頻度で観測する予定（2週間に1回）。干渉SAR時系列解析に必要な多数枚の画像データが整うことになる。

Slide 15

ま と め

1. 国土監視に適した干渉SAR時系列解析技術を開発

- 1) 植生の影響を低減する位相最適化処理技術の開発
✓ 山間部における計測点数の向上を実現
- 2) 大気の影響を低減する数値気象モデルを用いた処理技術の実装
- 3) 電離層の影響を低減する周波数分割手法による処理技術の開発
✓ 大気・電離層の誤差を低減し、計測精度の向上を実現

➡ 年間数mmから数cm程度の微小な規模で進行する地盤変動の時間的推移を面的に検出可能に

2. 干渉SAR時系列解析のための解析システムを開発

GUI操作による統合処理システム、画像表示・操作機能の開発

- ✓ 各処理を簡便な操作で制御し、解析作業の効率性の向上を実現
- ✓ 解析結果の分析作業の効率性の向上を実現

Slide 16