

# 干渉SAR時系列解析による 全国変動分布図の公開と その活用

国土交通省 国土地理院 測地部  
宇宙測地課長 小門 研亮



# 干渉SAR 時系列解析による 全国変動分布図の公開とその活用

国土地理院 測地部宇宙測地課  
小門 研亮



## 国土地理院の使命

### 測る

VLBI観測等により位置の基準を決定。国家座標に基づく測量を推進。



### 描く

全ての地図の基礎となる地図を作成。国土管理や防災対策などを推進。



### 守る

迅速に災害に関する情報を提供。災害支援や被災状況の把握に貢献。



## 変動を測るには？

### 水準測量やGNSS測量等の地上での観測を実施

#### 水準測量



- 標尺と水準儀を用いて標高を計測。
- 国や自治体等が設置している水準点で繰り返し測量をすることで、標高の変化を計測することができる。
- 地盤沈下調査などで実施されている。

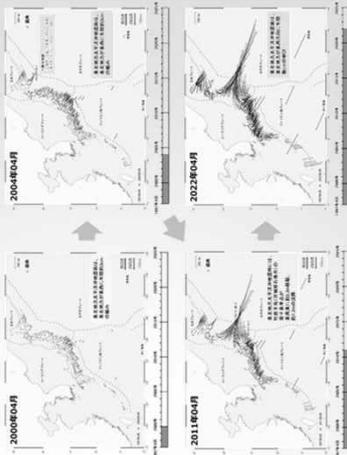
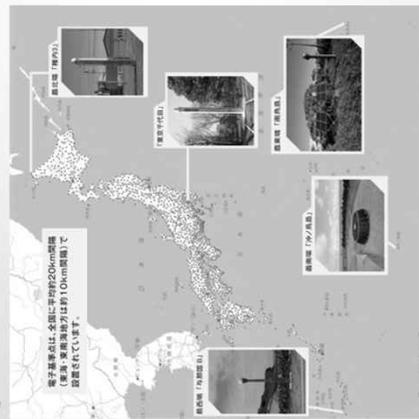
#### GNSS測量



- GPSや準天頂衛星などのGNSSを用いた測量であり、地上にGNSS測量機を設置することで位置座標を計測。
- 繰り返し、同じ点で測量をすることで、水平・上下の変化を計測することができる。
- 火山や地震などによる地殻変動の調査で実施されている。

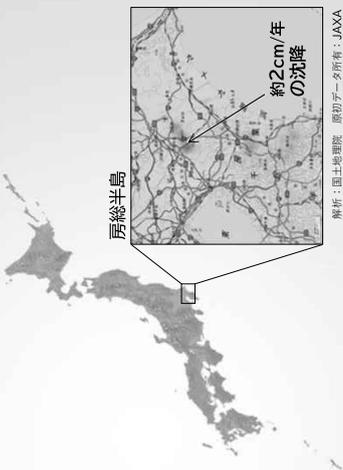
## 地殻変動の常時監視 ～GEONET～

GEONETは、全国約1,300か所に設置された電子基準点とGEONET中央局で構成。各点の位置の変化を見ることが地殻変動を監視。



## 干渉SARによる地殻変動の把握

衛星に搭載された合成開口レーダー(SAR)を用いた解析を実施。



SARは高い空間分解能で面的に地殻変動を把握することが可能。

➡ 地上の観測点がない場所でも、くまなく変動把握ができる

解析：国土地理院 原始データ所有：JAXA

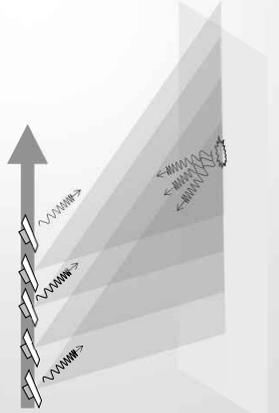


## 干渉SARを用いた 国土地理院の取組

## 干渉SARとは？

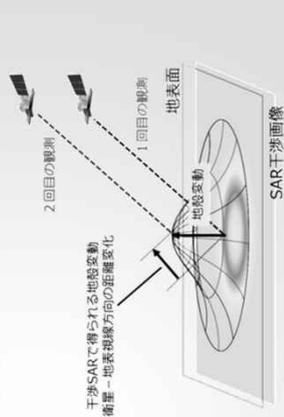
SAR(合成開口レーダー)とは？

衛星などに搭載したアンテナから地表に向けて電波を照射し、地表からの反射波を捉えることで、地形や構造物の形状、性質を画像化する技術



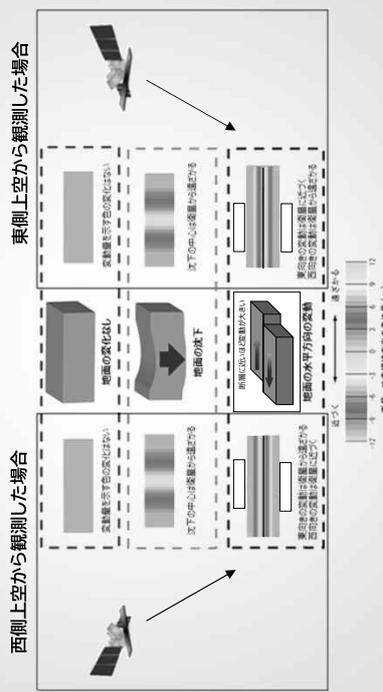
干渉SARとは？

同じ地域をSARで2回観測し、観測の画像に含まれる衛星と地表間の距離の情報を精密に比較することで、この期間に発生した地表の動きを捉える技術

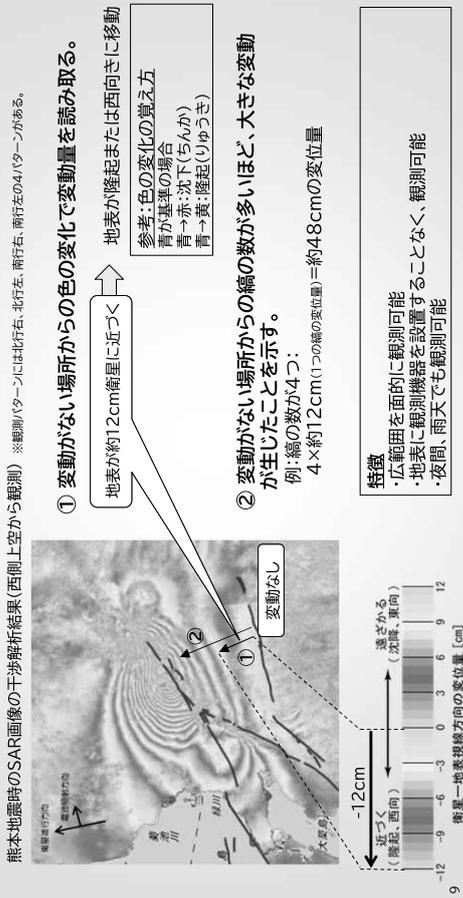


## 干渉SARの見方①

干渉SARが計測しているのは、衛星—地表間の視線方向の長さの変化  
●変動がない場合：色の变化なし。 ●変動がある場合：変動量に応じた色の变化あり。

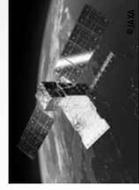


## 干渉SARの見方②



## ALOS-2とは

JAXAによって打ち上げ・運用されているL-band SAR 衛星

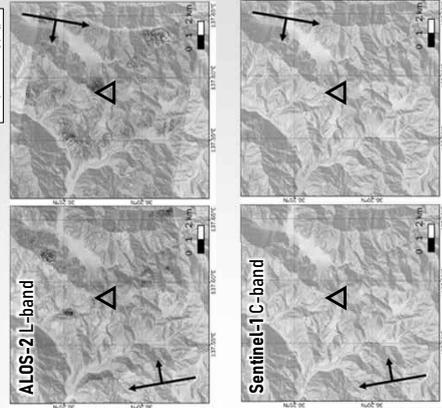
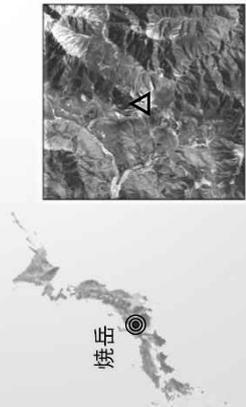


衛星	ALOS-2	ALOS-4	Sentinel-1
運用期間	2014-	2024?-	2014-
周波数帯(波長)	L-band (15~30cm)	L-band (15~30cm)	C-band (3.7~7.5cm)
観測回数(1年当たり)	2-4	約20	15-30
短周期変動	-	検出可能	検出可能

10

## LバンドとCバンドの比較

- 日本の大半は植生に覆われている。
- Lバンドは植生のある地域のモニタリングに効果的。



11

## 国土地理院のALOS-2を利用した事業

### 衛星合成開口レーダー(衛星SAR)地盤変動測量

日々の地殻変動の監視、災害時の状況把握を目的とし、SAR干渉解析を実施

#### 定常解析

- 全国の地殻変動を監視
- ALOS-2の観測が行われる度に解析を実施
- 干渉画像は地理院SARマップを通して関係機関に提供

#### 緊急解析

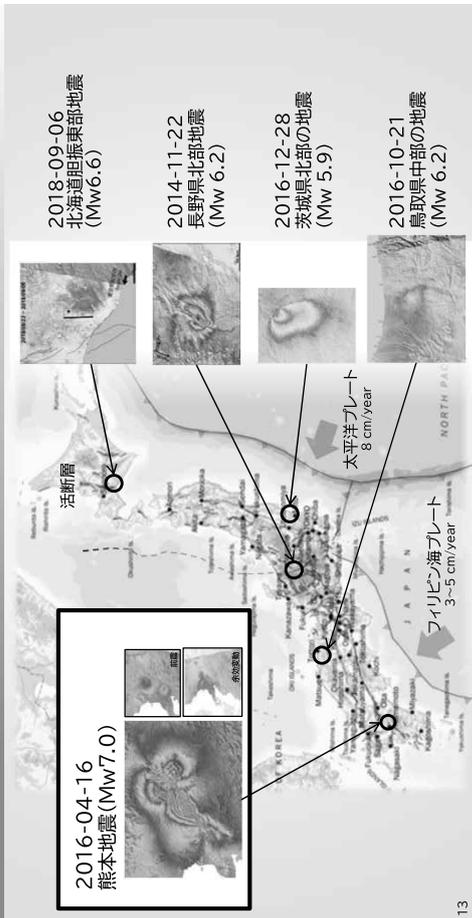
- 地震や噴火等の災害対応
- JAXAに対して緊急観測を要求し、観測が行われたら解析を実施
- 干渉画像は関係機関のほか、地理院地図で一般にも公開

SAR干渉解析には各衛星メーカーについて  
 ・本解析に利用した衛星データの提供はJAXAに依ります。  
 ・GNS5権限には、国土地理院の電子基準点ネットワークの他、気象庁、防災科学技術研究所、海上保安庁、神奈川環境学術研究所、京都大学防災研究所、産業技術総合研究所、東京大学地震研究所、九州電力株式会社データを使用しています。  
 ・対法面運送補正には、気象庁気象予報センターデータを使用しています。

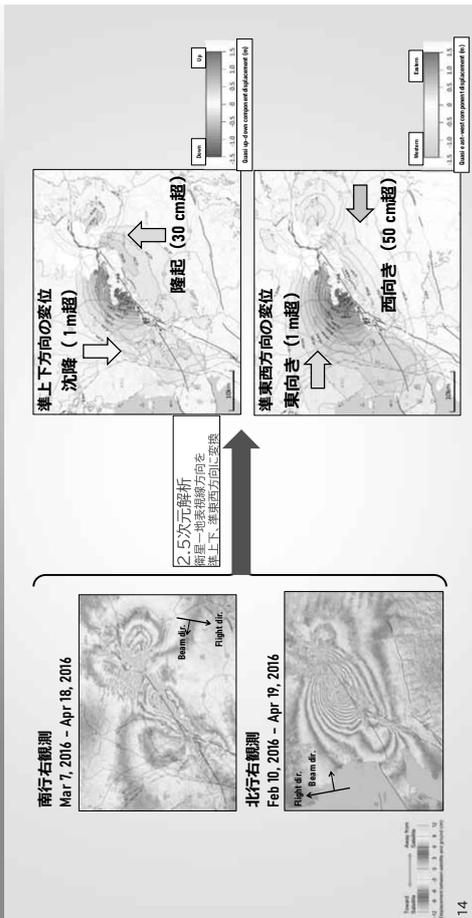
解析: 国土地理院 原初データ所有: JAXA

12

干渉SARにより捉えられた地震時の変動(緊急解析)

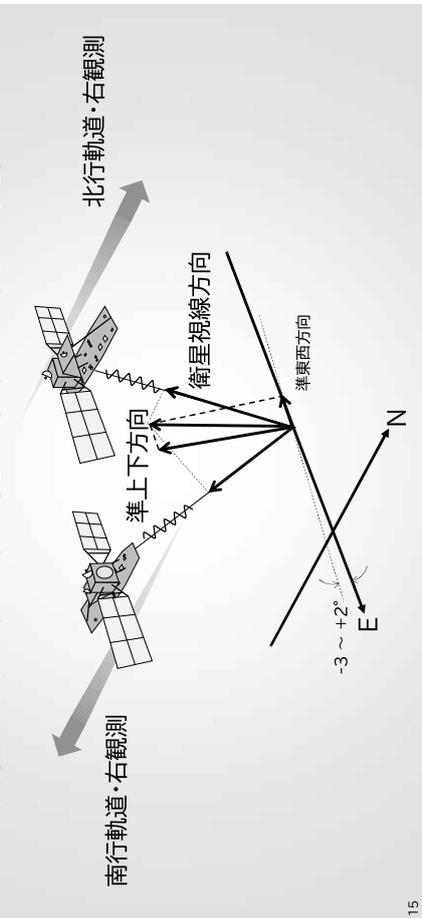


平成28年(2016年)熊本地震



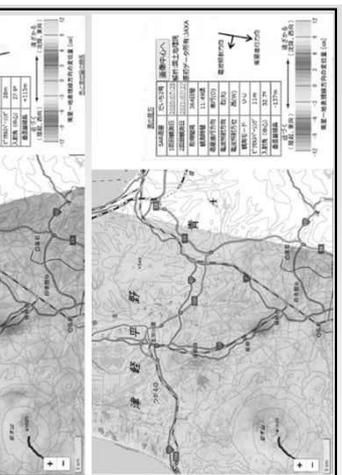
【参考】2.5次元解析

変位速度を準上下方向と準東西方向に分解



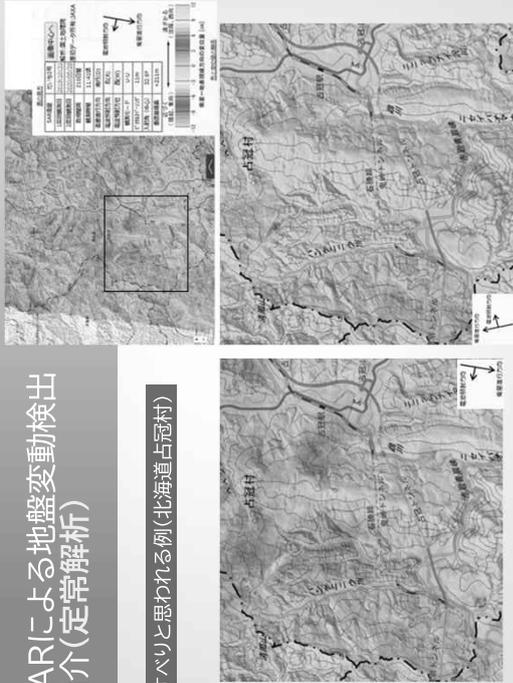
干渉SARによる地盤変動検出  
事例紹介(定常解析)

津軽平野の地盤沈下(2020年7月~2021年7月)



## 干渉SARによる地盤変動検出事例紹介(定常解析)

地すべりと思われる例(北海道占冠村)

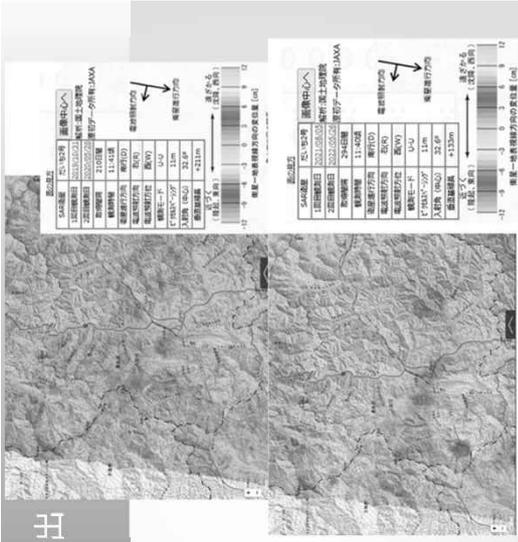


17

## 干渉SARによる地盤変動検出事例紹介(定常解析)

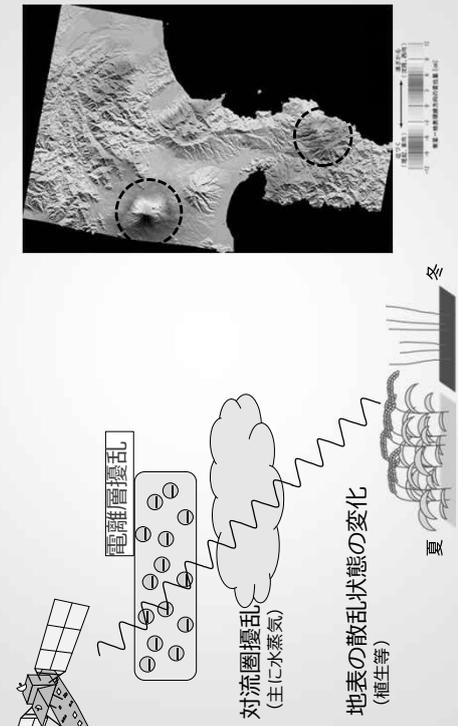
地すべりと思われる例(北海道占冠村)

誤差によって全く見えないこともある。



18

## 干渉SARの誤差要因



19

## 干渉SAR時系列解析 国土地理院の新たな取組

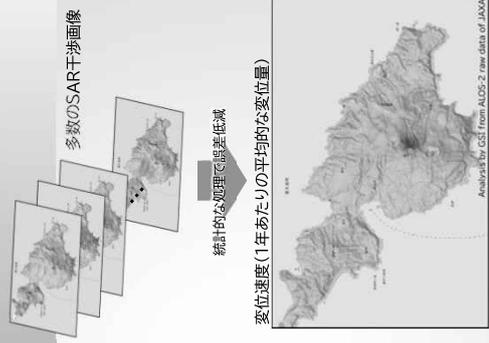
干渉SARは、誤差の影響を受け、変動の検出が困難なことも少なくない。

### 干渉SAR時系列解析

異なる時期の観測データを用いて作成した多数のSAR干渉画像を統計的に処理

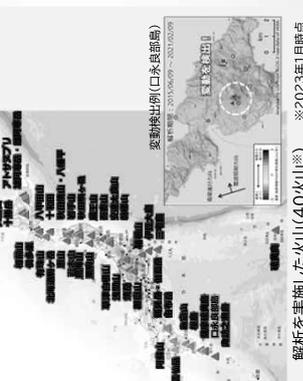
SAR干渉画像に含まれる大気や軌道誤差に起因する誤差を大幅に低減

個別のSAR干渉画像では捉えることが困難な微小な地表の動きを捉えることが可能



20

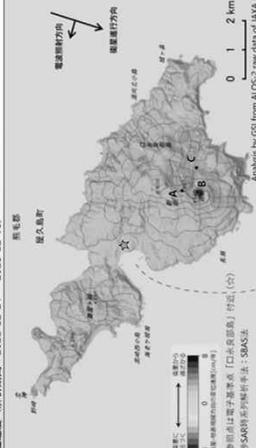
# 干渉SAR時系列解析の導入

<p><b>2020</b></p> <p>システム開発 時系列解析の導入に向け、既存の時系列解析システム(GSITSA(小俣他、2018))を改造</p> <p>時系列解析を開始</p>	<p><b>2021</b></p> <p>火山監視に導入 火山地域の地殻変動監視で活用(2021年～) 干渉解析では検出できなかった微小な変動を検出</p>  <p>変動検出例(口永良部島) 解析期間: 2021/06/09 ~ 2021/02/09</p> <p>解析を実施した火山(40火山※) ※2023年1月時点</p>	<p><b>2022~2023</b></p> <p>全国解析へ 火山から全国の変動の把握へ 時系列解析を基本測量と位置づけ 全国解析を開始</p> <p>2022年6月 北海道の解析結果を公開 2023年1月 東日本の解析結果を公開</p>  <p>2022年6月公開 2023年1月公開</p> <p>2023年3月 全国の解析結果を公開</p>
--	--	--

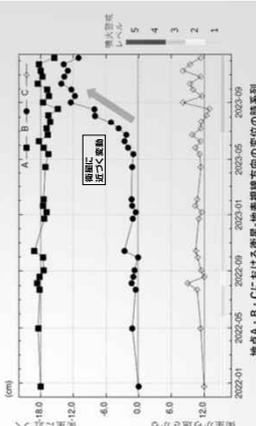
# 干渉SAR時系列解析の事例【口永良部島】

**【口永良部島での火山活動】**

- 2023年6月27日に噴火警戒レベルが3(火山噴動)に引き上げ。
- 「だいち2号」の観測データを用いた干渉SAR時系列解析を実施。
- 古岳山頂付近に2023年5月以降、衛星に近づく変動がみられたが、直近の観測ではノイズレベルを超える変動は見られないことがわかる。

位置速度 (解析期間: 2021-12-24 ~ 2023-12-03)



位置速度 (cm)

2022-01 2022-05 2022-09 2023-01 2023-05 2023-09

地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

# 全国干渉SAR時系列解析結果の公開 (2023/3/28)

2014年以降のデータを解析し、4種類の**変位速度**(1年あたりの平均的な変位量)を公開

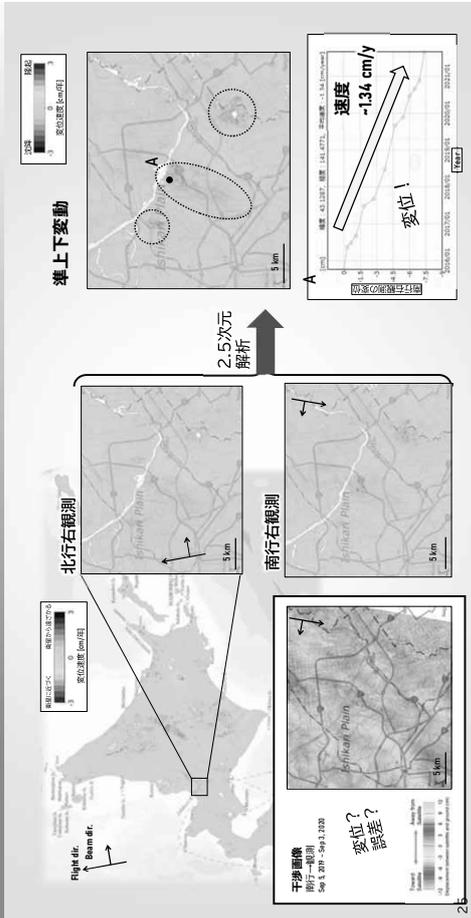


# 検出された変動例

全国の火山活動・地盤沈下・斜面変動を多く検出



# 石狩平野の地盤沈下はどう見える？

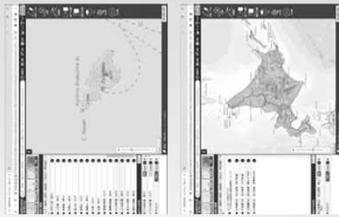


# 解析結果の公開(今後の予定)

- 干渉SAR時系列解析の結果は、地理院地図で公開。
- 全国の解析結果を公開中。
- 年に1度、解析結果を更新。

## 地理院地図

<https://maps.gsi.go.jp>



### 活火山

- 北行軌道 (LOS)
- 南行軌道 (LOS)

### 全国

- 北行軌道 (LOS)
- 南行軌道 (LOS)
- 渠上下
- 準東西



地震や火山に伴う変動把握だけでは不十分な活用を推進

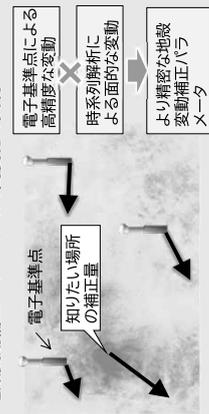
# 干渉SAR時系列解析結果の今後の活用



# 国家座標の維持管理、公共測量への活用

## ① 国家座標の維持管理への活用

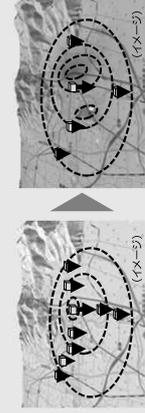
### 地殻変動補正パラメータ※の高度化の実現



※ 地殻変動補正パラメータとは、日本列島の地殻変動によって生じる、GPS等で測定した位置とカーナビなどの地図とのズレを補正するためのパラメータ(補正量)

## ② 公共測量への活用

### 公共測量等で実施されている地盤沈下調査の効率化

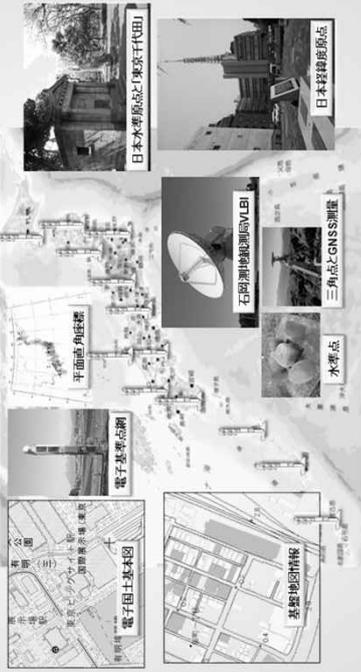


地上測層と干渉SAR時系列解析結果を組み合わせたときの上下変動分布

## 国家座標の維持管理への活用

### 国家座標とは？

国の位置の基準。  
具体的には、その国において緯度、経度、高さやこれに準ずる座標(数値)で位置を表す場合の基準をいう。



## 国家座標の維持管理への活用

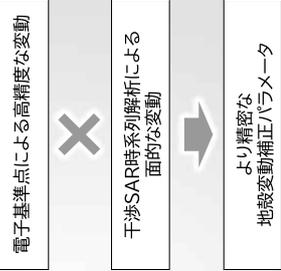
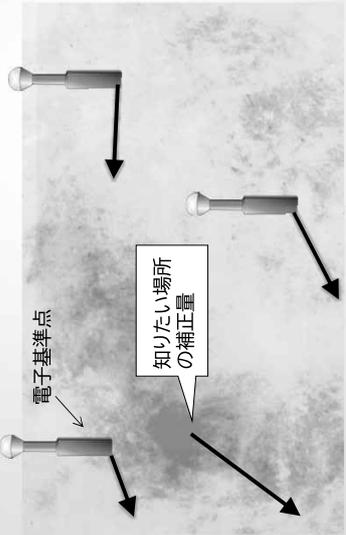
- 準天頂衛星システム「みちびき」やGNSSを用いた高精度な測位サービスが進展(CLASやPPP等)
- 地殻変動の影響により、高精度測位情報と地図(国家座標)などの地理空間情報と間にズレが生じる。
- このずれを「補正」するための、国土地理院では、地殻変動補正パラメータを作成・提供している。



## 国家座標の維持管理への活用

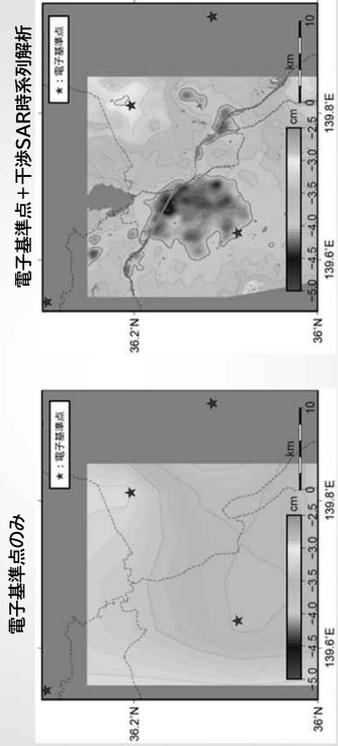
### 干渉SAR時系列解析結果の活用: 地殻変動補正パラメータの高度化の実現

→ 全国約1,300点の電子基準点のみでは捉えられない変動を検出



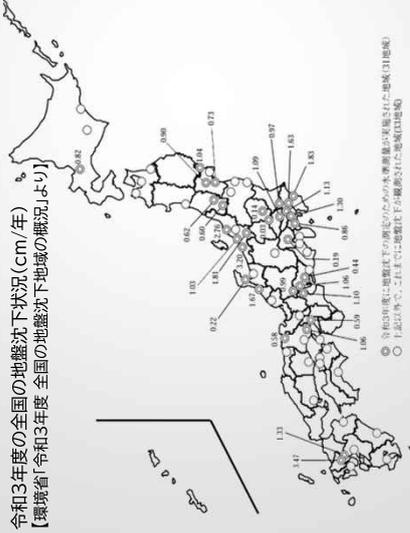
## (例)利根川中流域における地盤沈下

補正パラメータは電子基準点データで作成しており、その配点間隔より小さな変動をとらえない。  
電子基準点データに加え、干渉SAR時系列解析データを活用することで、空間分解能を向上。



## 公共測量への活用(上下変動の測量)

令和3年度の全国の地盤沈下状況(cm/年)  
【環境省(令和3年度 全国の地盤沈下地域の状況より)】



※ 図中の数値は、令和3年度(令和3年)の調査結果に基づき算出された地盤沈下率(cm/年)を示している。また、この調査結果は、令和3年度の調査結果に基づき算出された地盤沈下率(cm/年)を示している。また、この調査結果は、令和3年度の調査結果に基づき算出された地盤沈下率(cm/年)を示している。

地盤沈下調査のため、全国31地域  
で水準測量を実施(令和3年度)

### 課題:

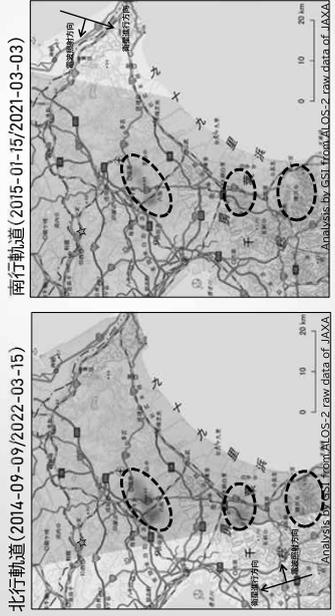
- 地盤沈下の空間分布を把握するには、作業量が膨大
- 人材不足や高コスト等のため、水準測量の継続が困難



地盤沈下調査において、  
干渉SAR時系列解析を活用し、  
調査を効率化できないか。

## 干渉SAR時系列解析による 上下変動の把握(事例)

### 衛星視線方向の変位速度



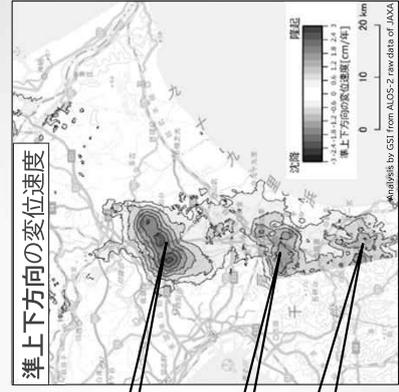
高頻度観測期間のデータ(赤字は基本観測データ)  
 観測  
 2020/12/24  
 2021/12/21, 2/18, 3/18, 4/15, 5/27, 7/8, 8/19, 9/30,  
 11/1, 12/23  
 2022/1/20, 3/3  
 北行  
 2020/12/8  
 2021/1/5, 2/2, 3/2, 3/30, 4/27, 5/25, 6/22, 7/20,  
 9/14, 10/12, 10/26, 12/7  
 2022/1/4, 2/1, 3/15

### 【諸元情報】

パス	18	124
解析期間	2020/12/24	2020/12/08
衛星飛行方向	南行	北行
オフナミア角	32.4(U2-7)	29.1(U2-6)
チャンネル数	13	16
干渉ペア数	49	86

※ Boerp 200m以下、dt 730日以内  
 参照図:二等水準点(2987)付近(次)

## 干渉SAR時系列解析による 上下変動の把握(事例)

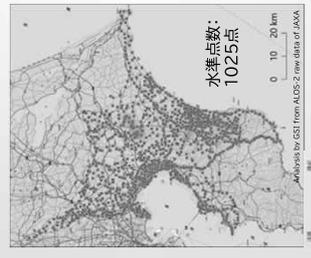
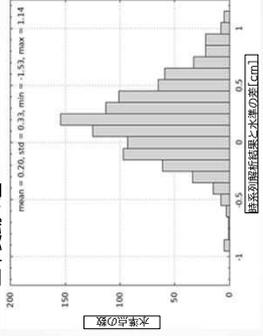


### 準上下方向の変位速度

- 最大約2.1 cm/年 沈降
- 最大約1.5 cm/年 沈降
- 最大約1.5 cm/年 沈降

## 水準測量と時系列解析の比較

干渉SAR時系列解析結果と  
 千葉県水準測量による1年間(2021~2022)の  
 上下変動の差



使用データ  
 千葉県水準測量※:  
 2021年、2022年成果  
 時系列解析結果:  
 準上下方向変位速度

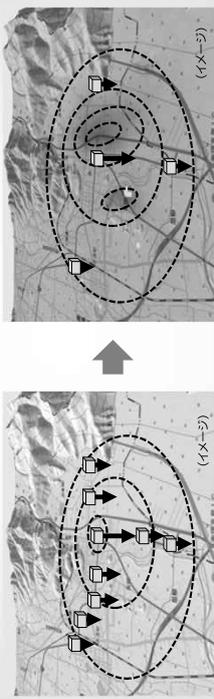
※千葉県的水準点位置情報及び成果値は千葉県HPより取得  
<https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/ibanchinka/torikumi/seikaomote.html>

平均較差:0.20 [cm]、標準偏差:0.33 [cm]

水準測量と時系列解析では系統的な差があるが、標準偏差は0.33cm。  
 従来の水準測量との継続性等から、地上測量により補正しつつ、時系列解析結果を活用できないか。

### 時系列解析結果を用いた測量の効率化(方針)

時系列解析結果と地上測量(水準測量)を併用し、地上測量の作業量の削減、従来よりはるかに稠密な上下変動分布の把握を実現



補正手法や地上測量との併用方法を検討し、公共測量用のマニュアル案を作成中。

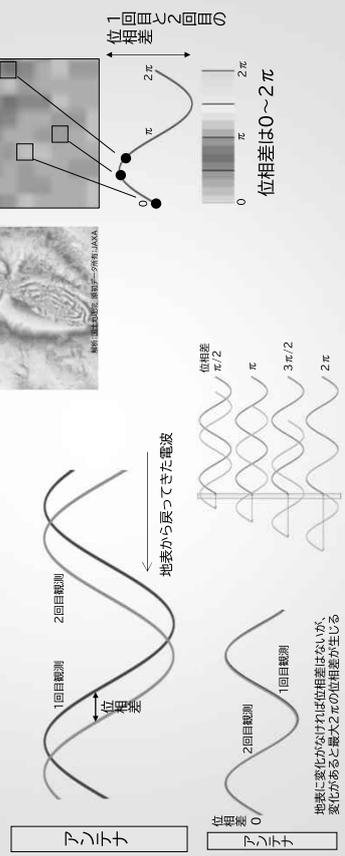
### まとめ

- 干渉SARは地表の変動を高い空間分解能で面的に把握できる技術。
- 国土地理院ではSAR衛星「ALOS-2」を用いて、地殻変動を監視。
- 干渉SARで捉えた地殻変動は、地震・火山活動の評価に活用。
- 干渉SAR時系列解析は、干渉画像の誤差を大幅に低減し、微小な変動の検出を可能にする技術。
- 全国を対象に干渉SAR時系列解析を公開。
- 国家座標の維持管理や公共測量への活用を目指し、検討を進めている。

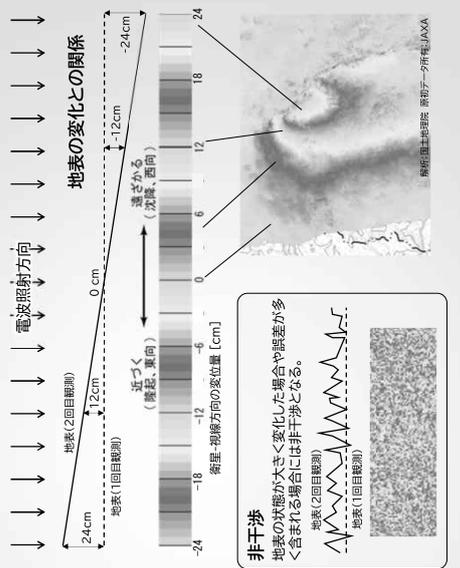
### 以下、参考

#### 【参考】干渉SARとは

対象領域の2回の観測データを比較し、各地点で反射してアンテナに戻ってきた電波の位相の差で、地表の変位を測る。



## 【参考】干渉SARの見方



- 位相差は $0 \sim 2\pi$ なので、 $0 \sim 2\pi$ のカラースケールで干渉画像は表現される。
- $2\pi$ の位相変化は12cmの変位に相当。
- 地表の変化が空間的に連続して生じれば干渉画像ではカラースケールが繰り返し繰り返す縞状の色の変化が見られる。(干渉性が高い)
- 地表の変化が空間的に連続しない場合、変化の様子は捉えられず非干渉となる。

