

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

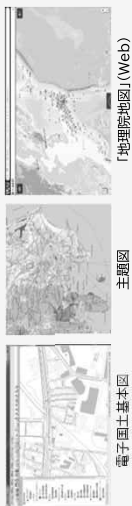
測る

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。



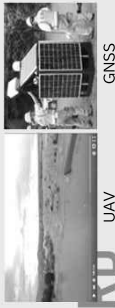
描く

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。



2

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。

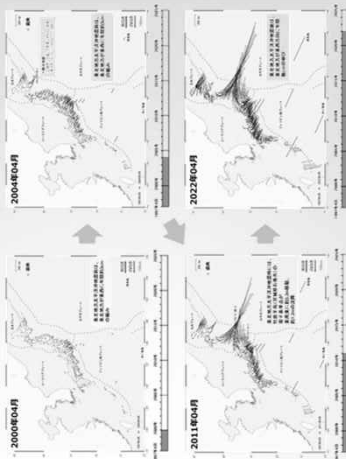
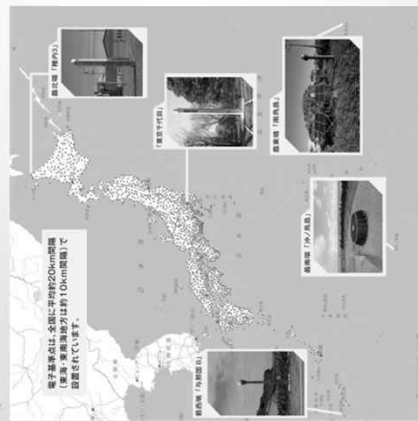
GNSS測量



- 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。

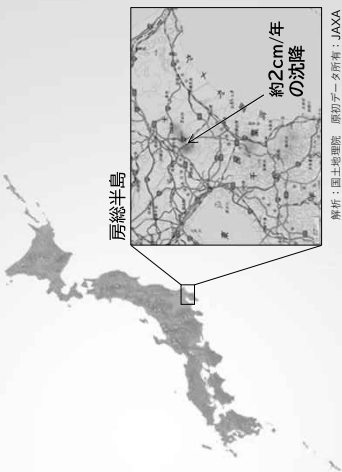


4

3

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

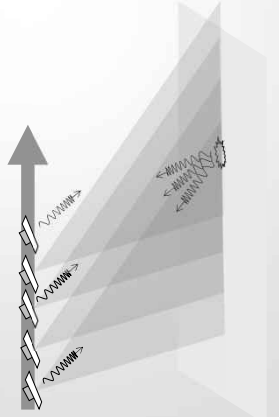


干渉SARを用いた 国土地理院の取組

干渉SARとは？

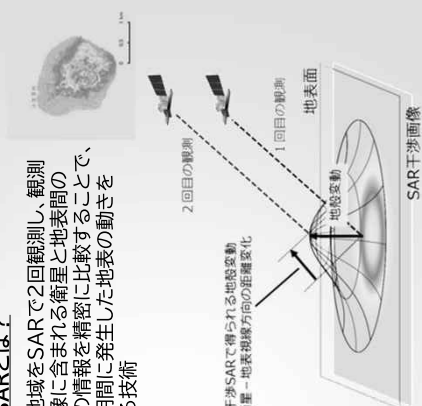
SAR(合成開口レーダー)とは？

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



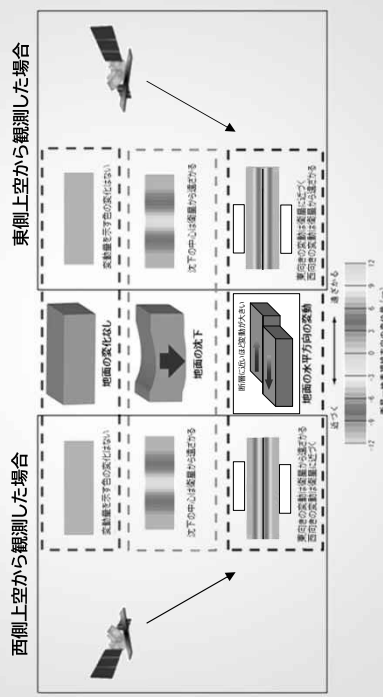
干渉SARとは？

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

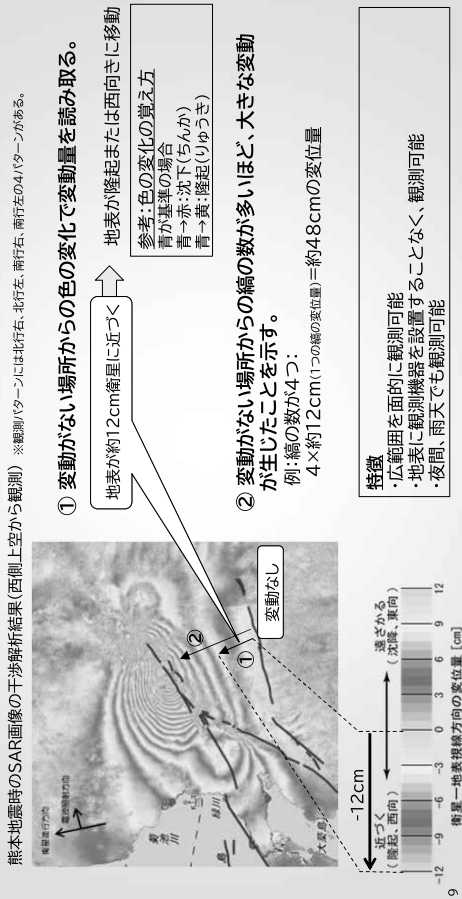


干渉SARの見方①

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。

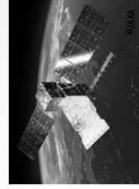


干渉SARの見方②



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

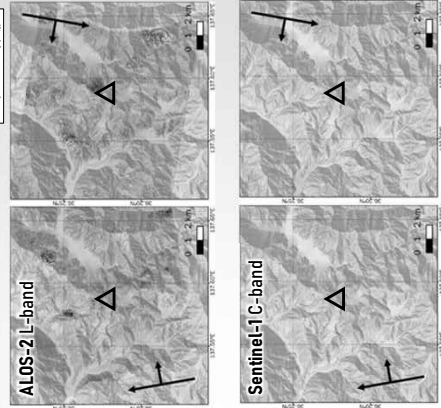
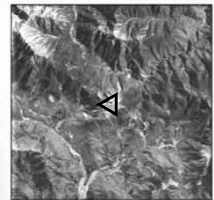


衛星	ALOS-2	ALOS-4	Sentinel-1
運用期間	2014-	2024?-	2014-
周波数帯 (波長)	L-band (15~30cm)	L-band (15~30cm)	C-band (3.7~7.5cm)
観測回数(1年当たり)	2-4	約20	15-30
短周期変動	-	検出可能	検出可能

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

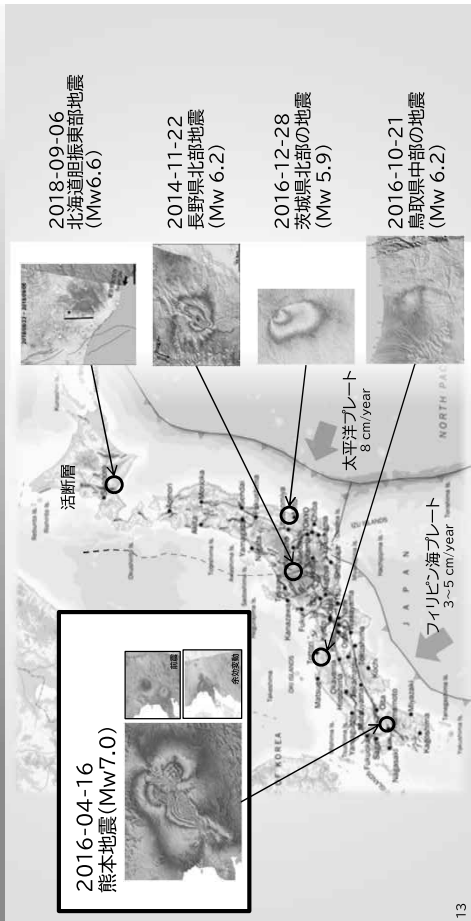
- 地震や噴火等の災害対応
- JAXAに対して緊急観測を要求し、観測が行われたら解析を実施
- 干渉画像は関係機関のほか、地理院地図で一般にも公開

SAR干渉解析には衛星画像データについて
本解析に利用した15ヶ所の観測データは、神奈川防災科学技術研究所、海上保安庁、神奈川防災科学技術研究所、GNSC横浜には、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、九州電力株式会社から提供されています。
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、九州電力株式会社から提供されています。
防災衛星測位システムには、気象庁衛星予報センターデータを使用しています。

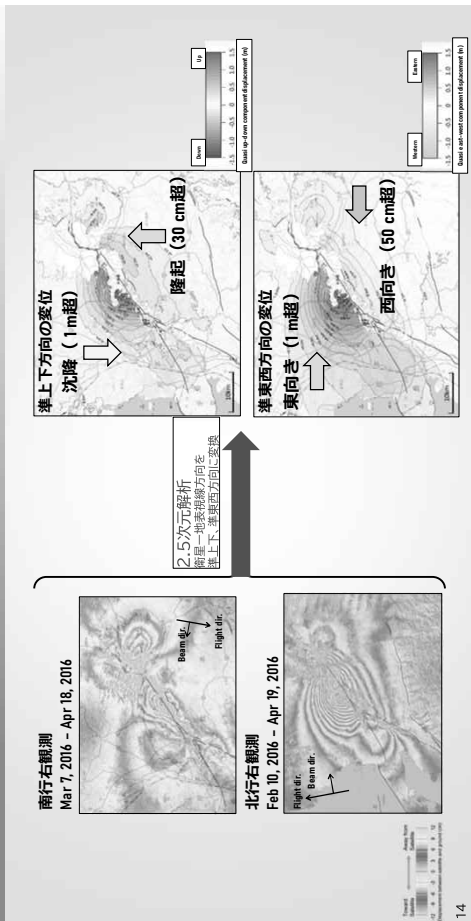
解析: 国土地理院 原初データ提供: JAXA

12

干渉SARにより捉えられた地震時の変動(緊急解析)

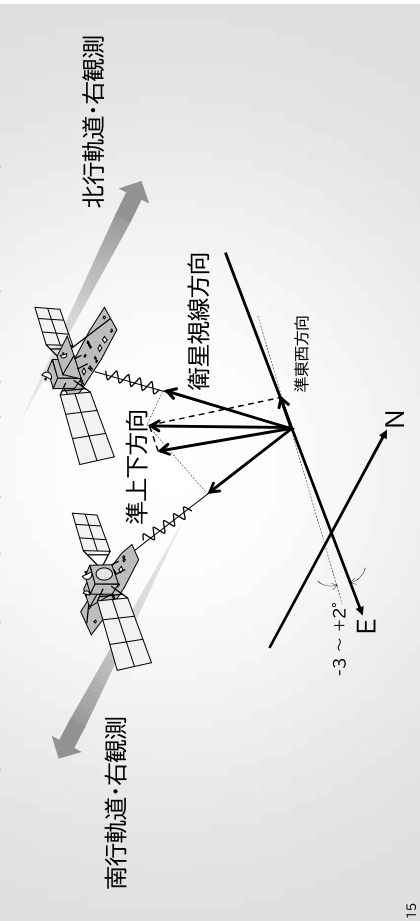


平成28年(2016年)熊本地震



【参考】2.5次元解析

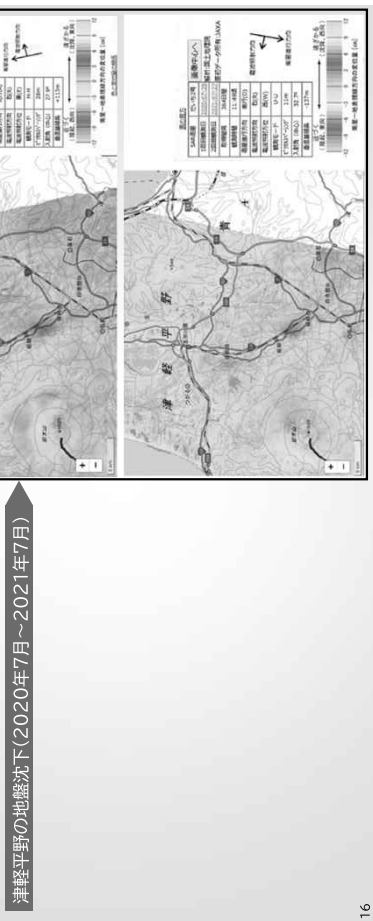
変位速度を準上下方向と準東西方向に分解



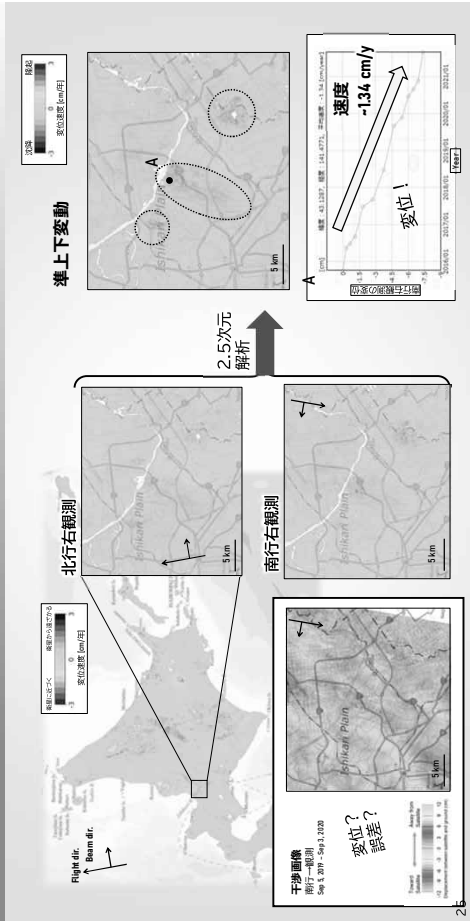
干渉SARによる地盤変動検出

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)



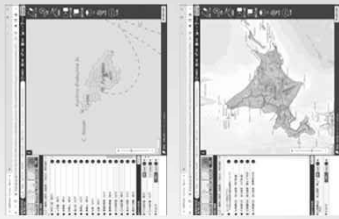
石狩平野の地盤沈下はどう見える？



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



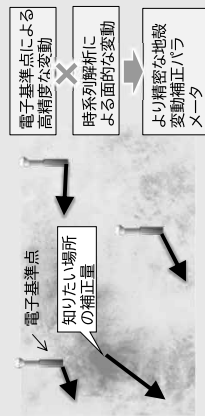
地震や火山に伴う変動把握だけでは
さらなる活用を推進



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

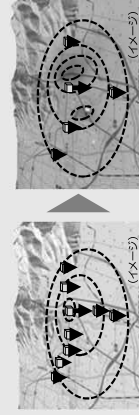
地殻変動補正パラメータ※の高度化の実現



※ 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



地上測屋と干渉SAR時系列解析結果を組み合わせたときの上下変動分布

基準点等で行う地上測屋のみの上下変動分布

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

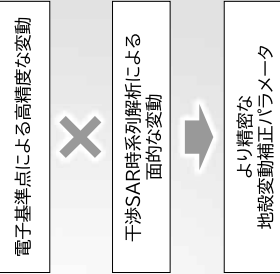
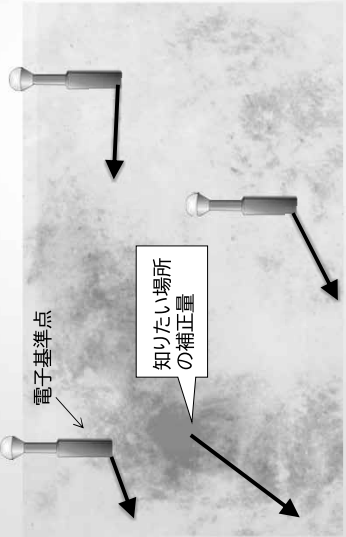
- ・ 準天頂衛星システム「みちびき」やGNSSを用いた高精度な測位サービスが進展(CLASやPPP等)
- ・ 地殻変動の影響により、高精度測位情報と地図(国家座標)などの地理空間情報と間にズレが生じる。
- ・ このずれを「補正」するための、国土地理院では、地殻変動補正パラメータを作成・提供している。



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

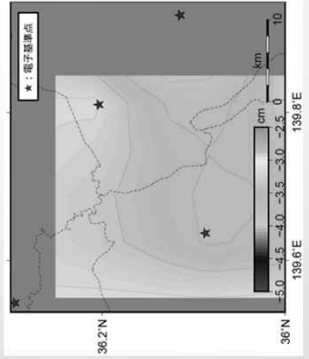
→ 全国約1,300点の電子基準点のみでは捉えられない変動を検出



(例)利根川中流域における地盤沈下

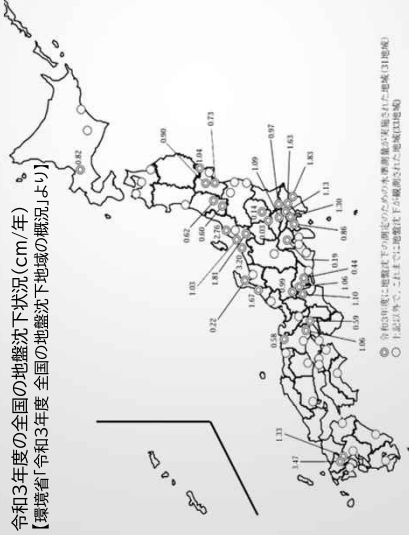
補正パラメータは電子基準点データで作成しており、その配点間隔より小さな変動をとらえない。電子基準点データに加え、干渉SAR時系列解析データを活用することで、空間分解能を向上。

電子基準点のみ



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)】



※ 図中の数字は、令和3年度に地盤沈下の測定を行った自治体の本年測量が実施された地域(31地域)と、それ以外で、これまでの調査による地盤沈下の継続した地域(13地域)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:

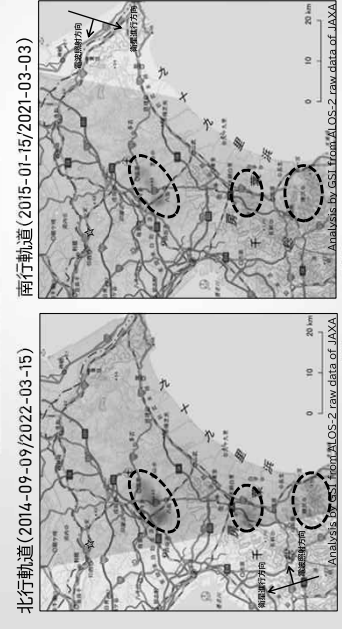
- 地盤沈下の空間分布を把握するには、作業量が膨大
- 人材不足や高コスト等のため、水準測量の継続が困難



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)

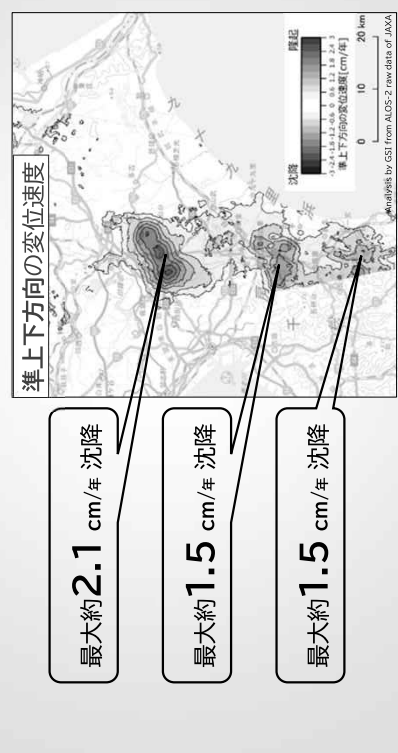
観測	2020/12/24	2021/01/21	2021/02/18	2021/03/18	2021/04/15	2021/05/27	2021/07/08	2021/08/09	2021/09/30
観測	11/11	12/23	2022/01/20	2022/02/03	2022/03/15	2022/04/14	2022/05/12	2022/06/12	2022/07/20
観測	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行
観測	2021/05/21	2021/06/18	2021/07/15	2021/08/12	2021/09/09	2021/10/07	2021/11/04	2021/12/02	2022/01/01
観測	2022/01/29	2022/02/26	2022/03/26	2022/04/23	2022/05/21	2022/06/19	2022/07/17	2022/08/15	2022/09/12
観測	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行	北行

【諸元情報】

パス	18	124
観測期間	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

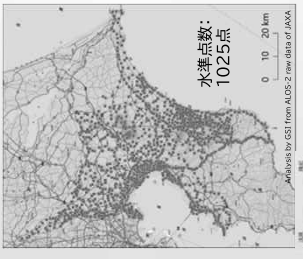
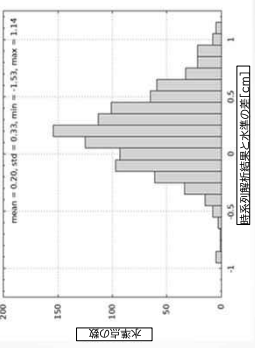
※ Boerp 200m以下、dt 730日以内
参照図:二等水準点(2987)付近(次)

干渉SAR時系列解析による上下変動の把握(事例)



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

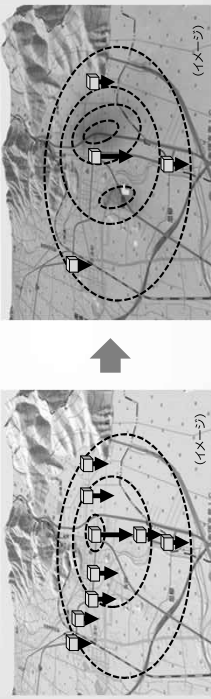
※千葉県の水準点位置情報及び成果値は千葉県HPより取得
https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/ibanchinka/torikumi/seikaomote.html

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

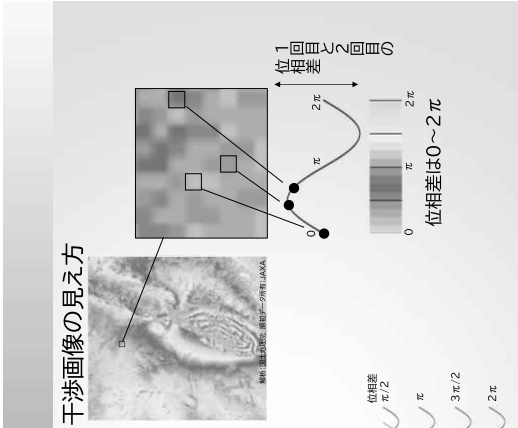
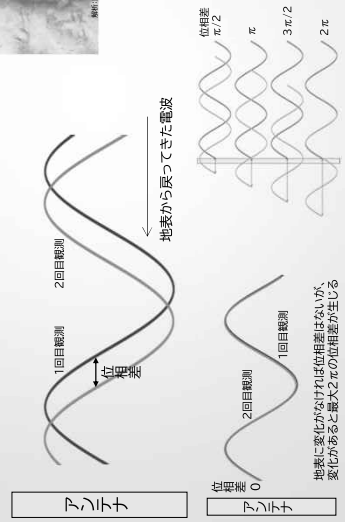
- 干渉SARは地表の変動を高い空間分解能で面的に把握できる技術。
- 国土地理院ではSAR衛星「ALOS-2」を用いて、地殻変動を監視。
- 干渉SARで捉えた地殻変動は、地震・火山活動の評価に活用。
- 干渉SAR時系列解析は、干渉画像の誤差を大幅に低減し、微小な変動の検出を可能にする技術。
- 全国を対象に干渉SAR時系列解析を公開。
- 国家座標の維持管理や公共測量への活用を目指し、検討を進めている。



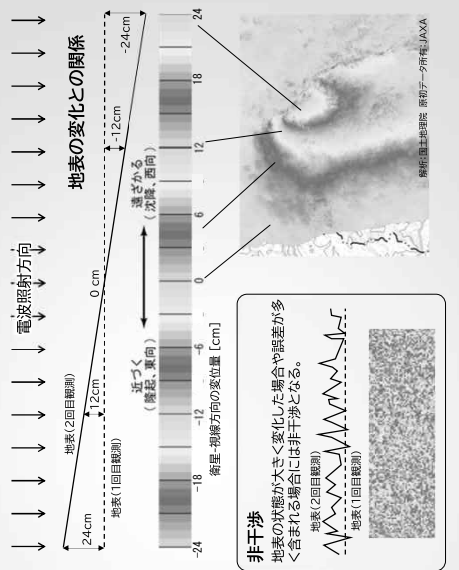
以下、参考

【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。
- 2π 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。

