

防災・インフラ維持管理を目的とした SAR画像の活用と精度検証

目次

自己紹介

1. はじめに
2. 使用する衛星データと解析ソフトウェア
3. 衛星SARデータの解析方法
4. 事例紹介
5. SAR画像解析結果と比較・組み合わせるデータ
6. SAR解析結果の検証・活用に関するマニュアル等
7. おわりに

応用地質株式会社
防災・インフラ事業部
防災リスクコンサルティング部
平田 諒次

自己紹介



- 氏名：平田 諒次
- 現職：応用地質株式会社 防災・インフラ事業部 防災リスクコンサルティング部 課長
- 出身地：愛媛県西条市
- 所属学会：日本測地学会、JpGU、物理探査学会、地盤工学会
- 簡単な業務経歴と専門分野

学生時：GPS速度場を用いた地震に関する研究

入社以降：トンネル調査・点検、ボーリング調査

鉄道・道路沿線斜面調査（落石検査、岩盤斜面調査）、

航空機放射線計測、空中物理探査（斜面、資源）、

車両搭載型レーダを用いた路面下空洞探査、車両ビッグデータによる舗装点検、

衛星画像解析（斜面、地盤沈下）

物理探査やリモートセンシングの技術を防災、インフラ維持管理に活用している技術者

1. はじめに

背景

- ・ 広域に分布するインフラを効率よく点検したい
- ・ 災害リスクを有する山間部や立入り困難箇所にも適用したい

SARの利点

- ・ 昼夜・全天候観測
- ・ 数十km～数百kmを一度に監視
- ・ 地盤変動解析が可能
- ・ 過去データまで遡ることができる



理想: SARを使って効率よく、漏れなく調査・点検を行う

問題: SARは、現地調査・計測に比べて精度や信頼性が分かりにくいと評価されがち

対策: SARの解析結果を他の調査・計測データと比較・統合し、精度と適用性を確認する

2. 使用する衛星データと解析ソフトウェア

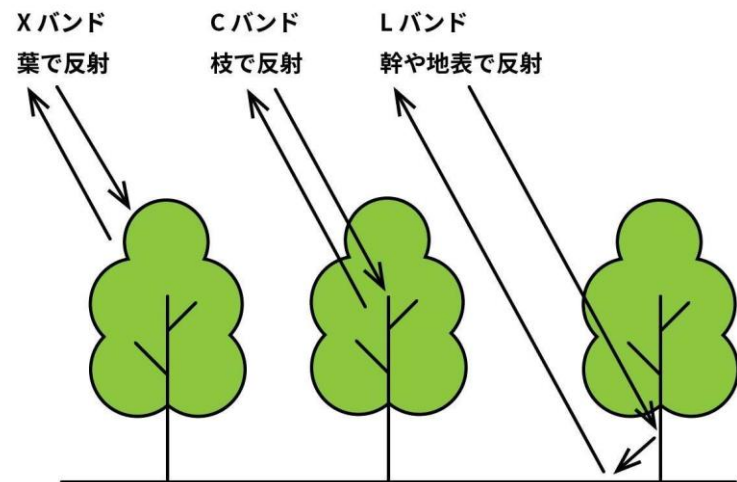
よく使用する衛星と観測データの特徴

衛星名	運用期間	回帰日数	バンド数(波長)	主な観測幅	主な分解能	備考
ALOS-2	2014～現在	14日※	Lバンド(約24cm)	50km	3×3m	※観測モードが多いため実際には年に3～4回の撮影頻度
ALOS-4	2025～現在	14日	Lバンド(約24cm)	200km	3×3m	
Sentinel-1	2014～現在	12日	Cバンド(約6cm)	250km	5×20m	無償。日本域においては、2022年2025年夏頃まで北行軌道のデータが無い。
TerraSAR-X	2007～現在	11日	Xバンド(約3cm)	30km	3×3m	
COSMO-SkyMed	2007～現在	8日	Xバンド(約3cm)	40km	3×3m	

使用する解析ソフトウェア



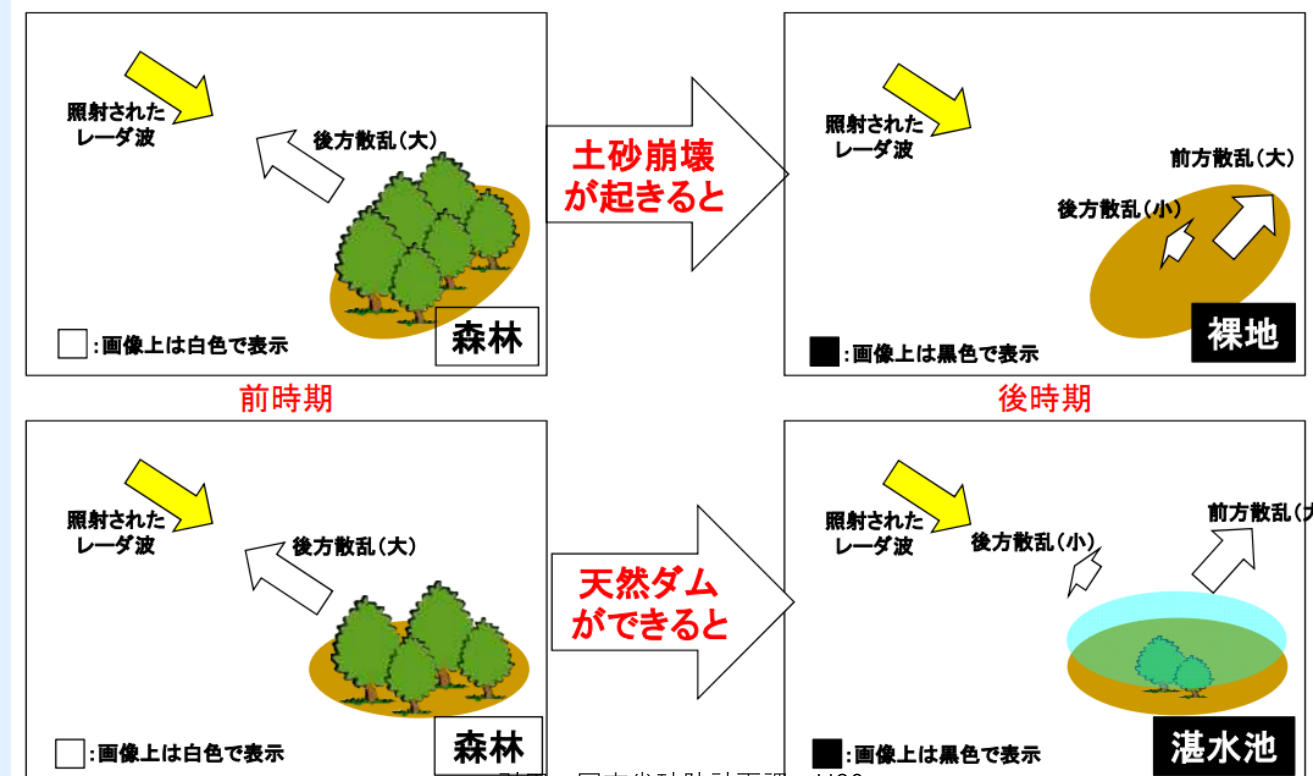
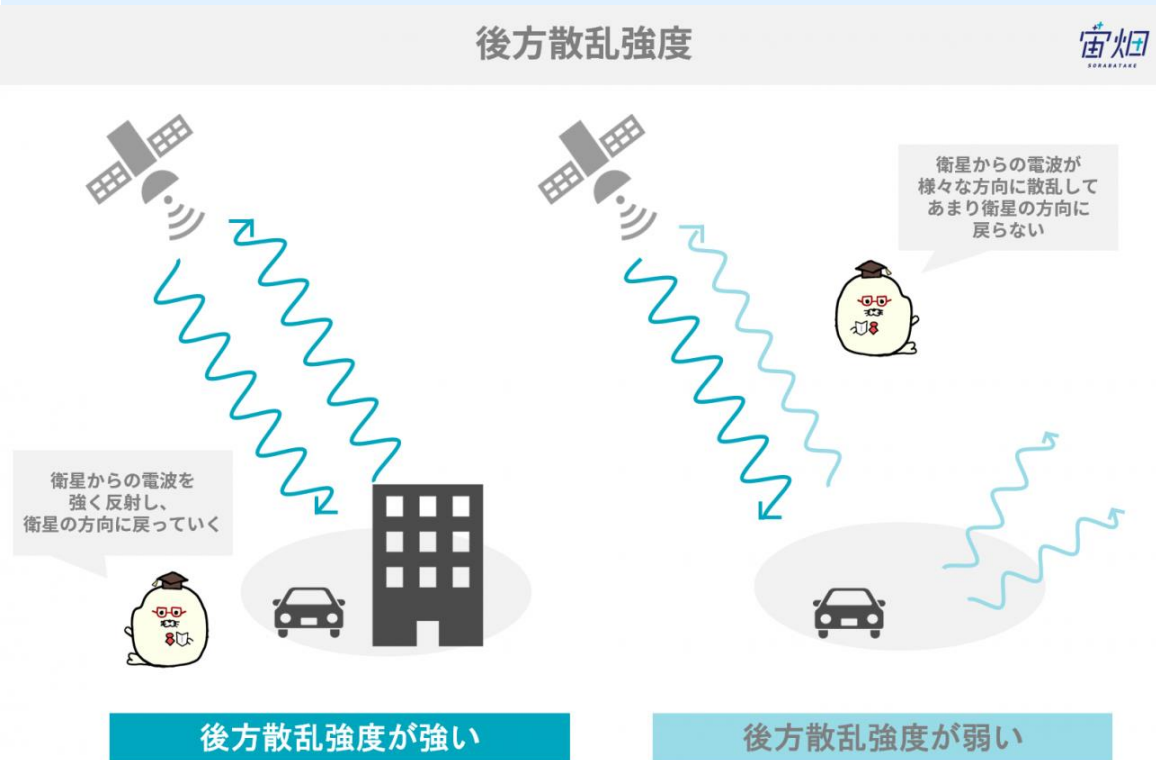
SAR 周波数と見えるもの



3. 衛星SARデータの解析方法

①強度（差分）解析

- 地表面の状態によって変化する後方散乱強度を利用した解析手法
- 災害後の崩壊箇所、浸水域、建物被害範囲等を広域的に把握できる
- 造成等による人工改変箇所の抽出にも活用できる

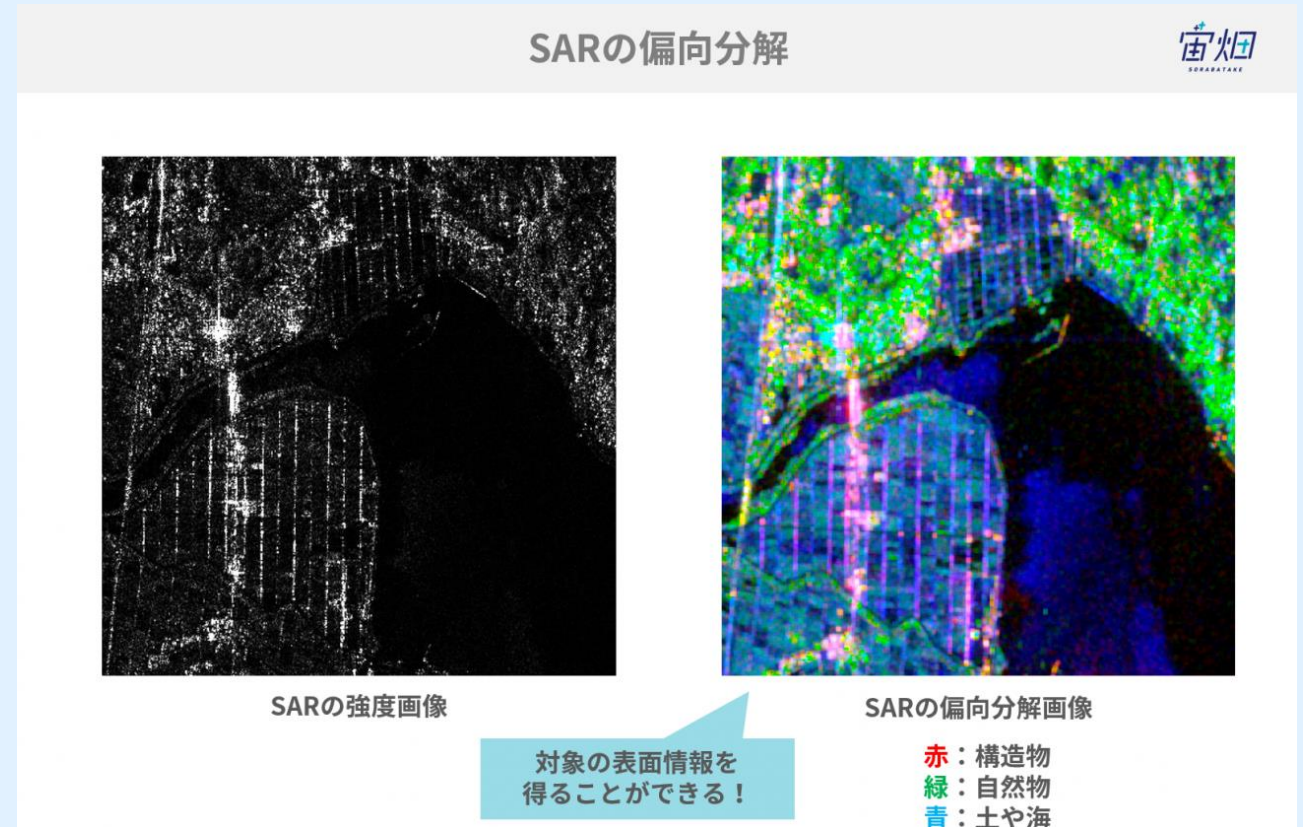
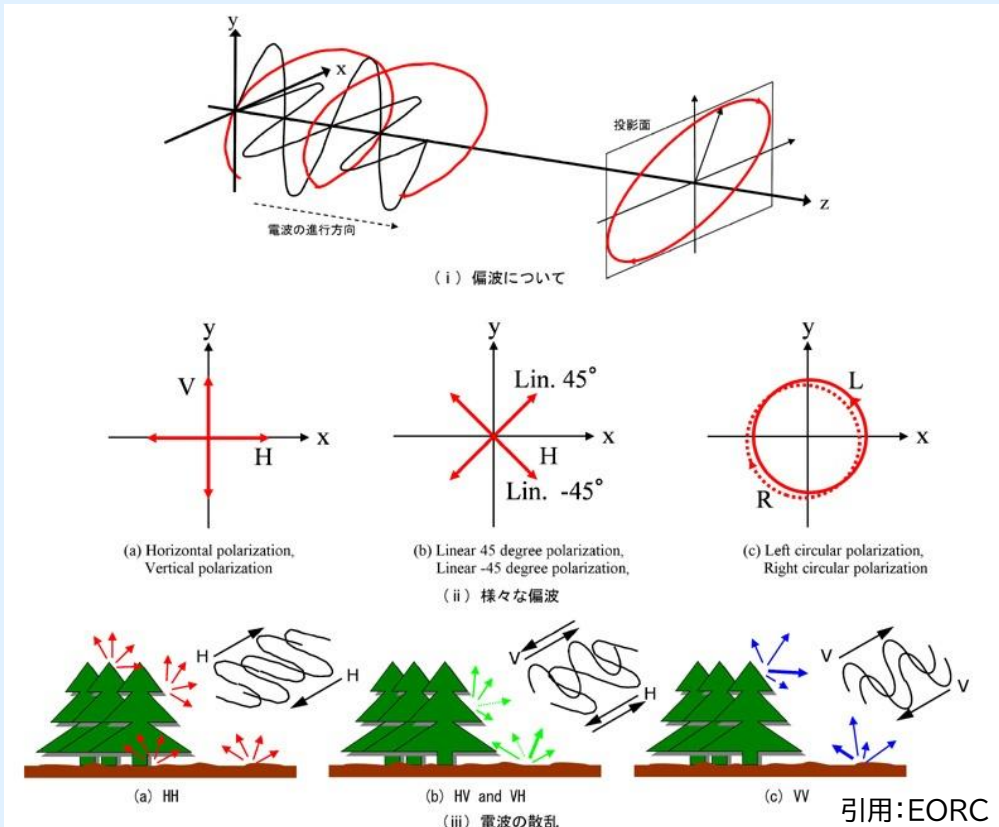


引用：国交省砂防計画課、H30

3. 衛星SARデータの解析方法

② 偏波解析

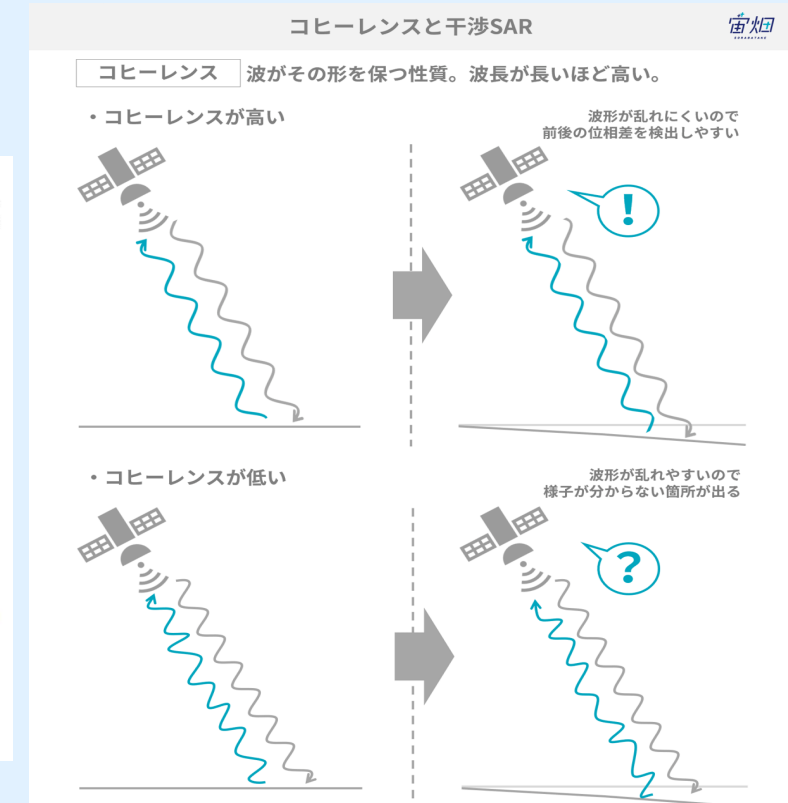
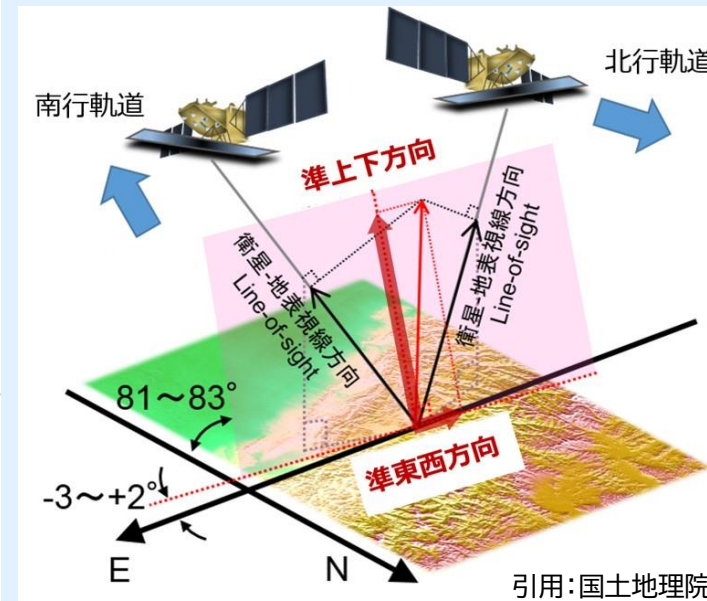
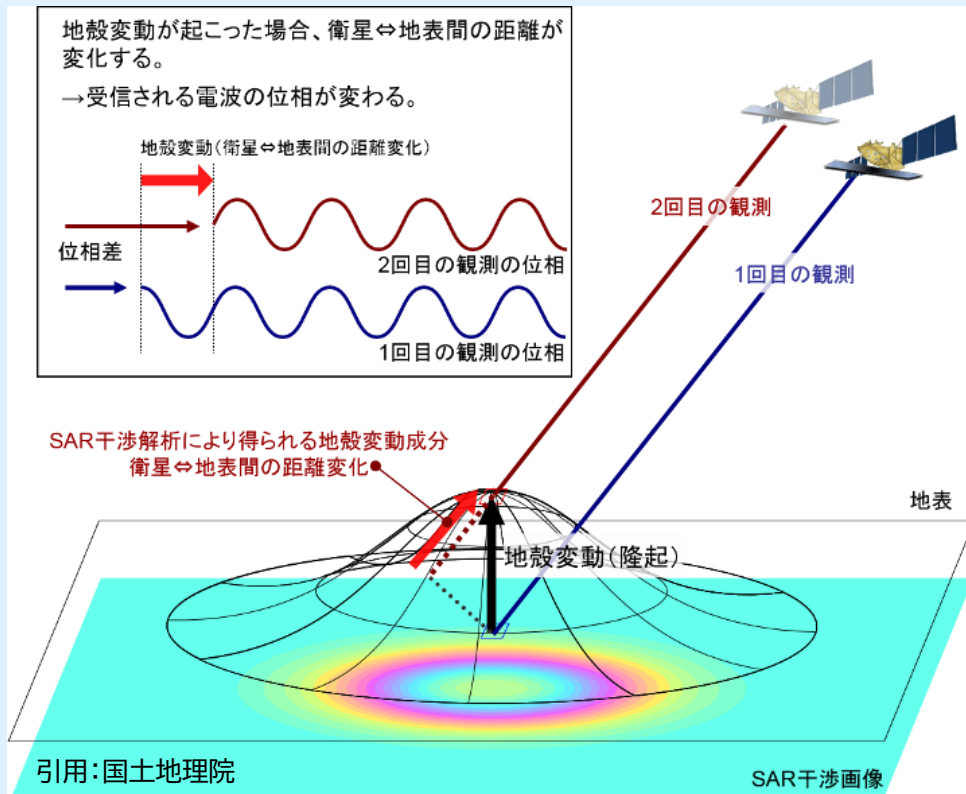
- 水平(H)・垂直(V)方向の異なる波を送受信し、**HH・HV・VH・VV**の応答の違いを利用する解析手法
- 偏波ごとの散乱特性から、表面散乱・二回反射・体積散乱等の散乱メカニズムを把握
- **森林・農地・市街地・水域**等の識別や土地被覆分類に活用可能



3. 衛星SARデータの解析方法

③ 干渉解析

- 異なる時期に観測した位相差から、**地殻変動**、**斜面変動**、**地盤沈下**等に伴う地表変動を**面**で把握する
- 2軌道の解析結果を組み合わせ、変位を準上下方向と準東西方向に分解する **(2.5次元解析)**
- 複数時期の波の類似度を示すコヒーレンスの低下から、**崩壊・伐採・冠水**等による**地表の変化**を把握する



3. 衛星SARデータの解析方法(干渉解析)

解析
手法

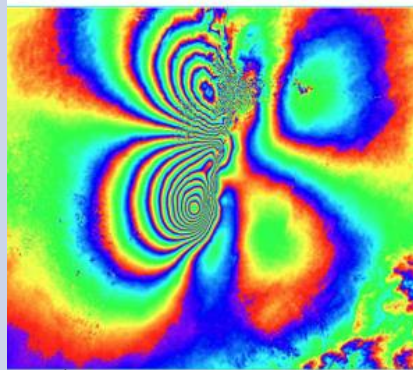
DInSAR

SBAS

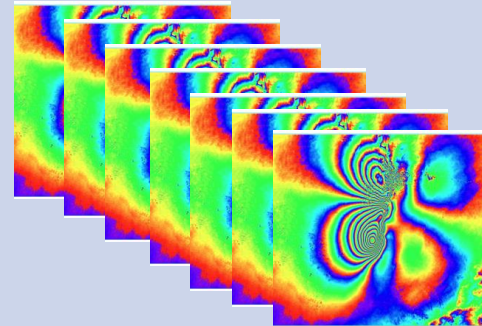
PSInSAR

SqueeSAR®, E-PS

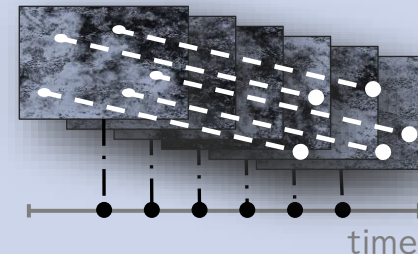
解析
方法
概要



引用: NV5 SARscape 6.1 入門用トレーニングマニュアル
単純に2シーンを干渉させる。



引用: NV5 SARscape 6.1 入門用トレーニングマニュアル
DInSAR結果のスタッキングにより変動検出精度を向上させる。



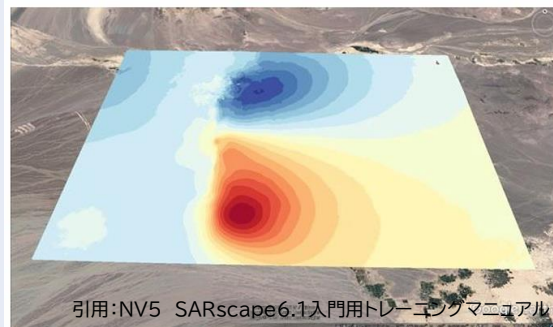
SAR画像を集積し、画像中の構造物などの安定したデータ得られる解析点(PS点)を特定し、PS点ごとの変位時系列を算出する

パワーアップ



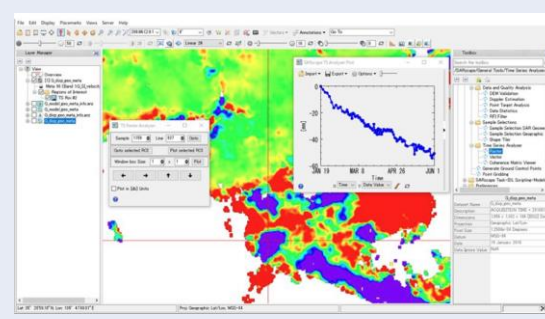
引用(一部加筆): <https://site.tre-altamira.com/insar/>
PS点に加え、空間的に均質な分布散乱体からDS点を抽出し、観測点を高密度化する

成果



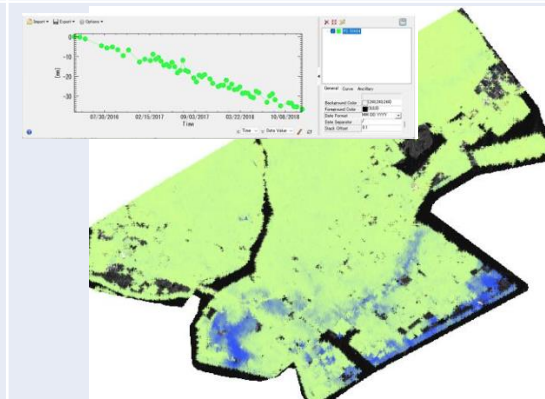
引用: NV5 SARscape 6.1 入門用トレーニングマニュアル

変動範囲を把握



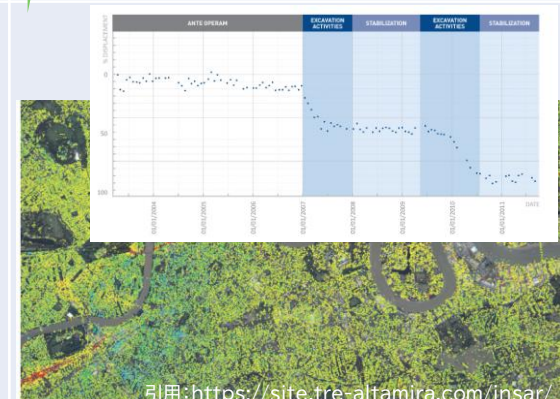
引用: NV5 チュートリアル: SBAS法

面での変動と時系列を把握



引用: NV5 チュートリアル: PS法

点での変動を時系列で把握



引用: <https://site.tre-altamira.com/insar/>

点での変動を時系列で把握

3. 衛星SARデータの解析方法(まとめ)

①強度（差分）解析

- ・後方散乱の強度を用いる。被災範囲の把握や人工改変箇所の抽出に活用

②偏波解析

- ・水平・垂直方向の波を送受信し、森林・農地・市街地・水域等を識別する

③干渉解析

- ・マイクロ波の位相差から地表変動を把握。コヒーレンスの低下から、崩壊や冠水等による地表状態の変化を把握

防災・インフラ維持管理においてSARは広域で活用可能

一方、間接的な計測であるため、解析精度や適用限界の確認が必要

解析結果は他マッピングデータとの空間的な比較が可能

地上での調査・計測との原位置での比較も可能

4. 事例紹介(1:林野火災における延焼範囲の推定)

■引用:岩佐・平田(2025)

- ✓ 2025年3月に発生した愛媛県今治市の林野火災を対象
- ✓ Sentinel-1による火災前後のSAR画像を解析コヒーレンス差分と後方散乱強度差分から延焼範囲を推定
- ✓ 衛星観測結果を、愛媛県が公表した延焼範囲と比較

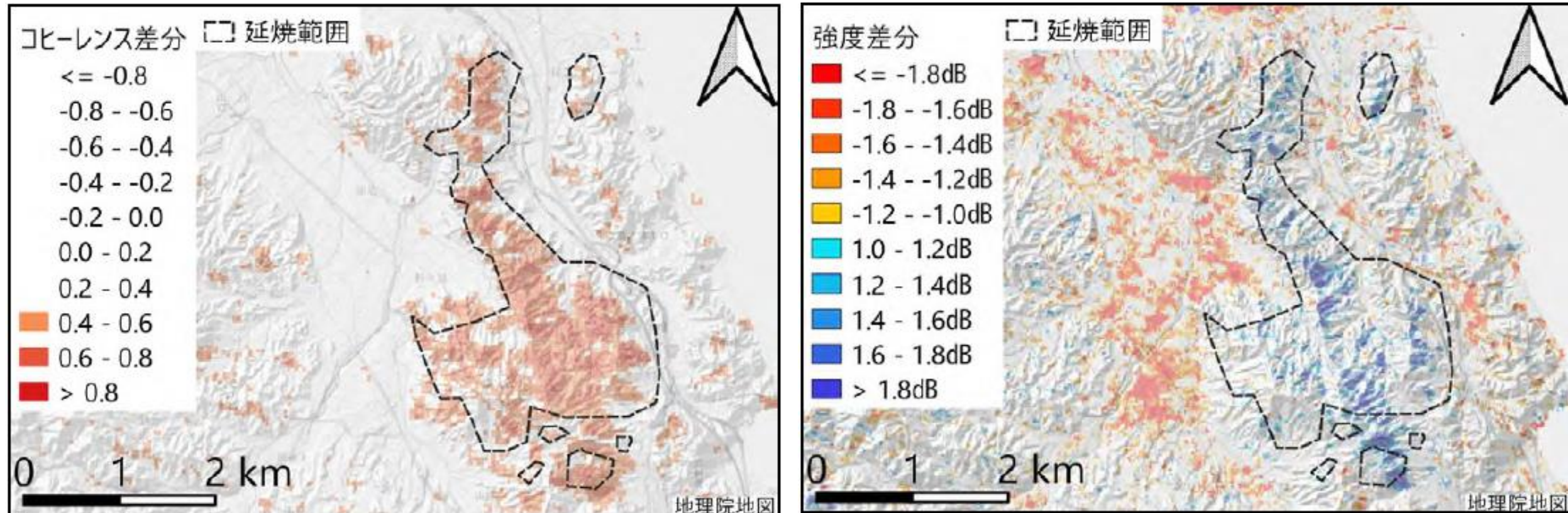


図1-1 林野火災範囲におけるコヒーレンス差分析結果(左)と強度差分析結果(右)

4. 事例紹介(2:地すべり観測における精度検証とコスト削減)

■引用:Hirata *et al.* (2025)

- ✓ 定常的な動きを示す地すべりを対象として解析
- ✓ ALOS-2のデータを用いた2軌道でのDInSARと2.5次元解析を実施
- ✓ 排水トンネル、集水井による対策効果範囲を確認(図2-1の赤枠)
- ✓ 未着目だった斜面変動の検出し、LP地形図から斜面崩壊を推定(図2-1の黄枠)
- ✓ GNSSとDInSAR解析の相関係数、準東西0.86、準上下0.95(図2-2)
- ✓ ALOS-2が稼働した2014年以降、GNSS観測点(コスト)を削減(表2-1)

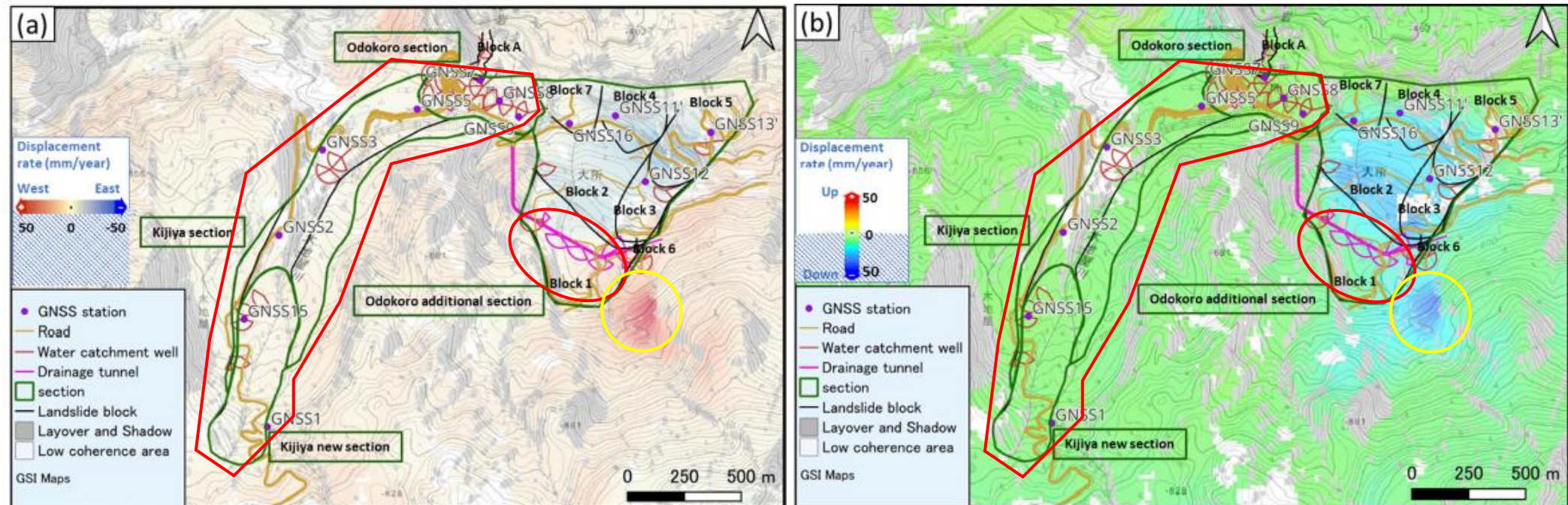


図2-1 DInSAR2.5次元解析による変位速度分布

4. 事例紹介(2:地すべり観測における精度検証とコスト削減)

■引用:Hirata *et al.* (2025)

- ✓ 定常的な動きを示す地すべりを対象として解析
- ✓ ALOS-2のデータを用いた2軌道でのDInSARと2.5次元解析を実施
- ✓ 排水トンネル、集水井による対策効果範囲を確認(図2-1の赤枠)
- ✓ 未着目だった斜面変動の検出し、LP地形図から斜面崩壊を推定(図2-1の黄枠)
- ✓ GNSSとDInSAR解析の相関係数、準東西0.86、準上下0.95(図2-2)
- ✓ ALOS-2が稼働した2014年以降、GNSS観測点(コスト)を削減(表2-1)

表2-1 GNSS観測点設置・撤去の年表

section	station name	year																								
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Kijiya new section	base station	■○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	GNSS14								□※2○	○	○	○	○※3	○	○	○										
	GNSS15								□※2○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※6					
Kijiya section	GNSS1	■○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●○	○	○	○	○	○※6					
	GNSS2	■○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※7	
	GNSS3	■○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※6					
	GNSS4	■○	○	○																						
	GNSS4-2			□※1○	○	○	○	○	○																	
	GNSS5	■○	○	●	●	●○	●	●○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※6				
Odokoro section	GNSS6	■○	○	○	○	○	○	○	○																	
	GNSS7	■○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※6					
	GNSS8	■○	○	●	●	●○	●	●○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※6					
	GNSS9	■○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※3	○※3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○※7	
	GNSS10	■○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										
Odokoro addituional section	GNSS11		■○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○※3											
	GNSS12		■○	●	●	●	●	●	●○	●	●	●	●○	○※3	○※3											
	GNSS13		■○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○※3												
	GNSS11'														□※4○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	GNSS13'														□※4○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	GNSS16																□○※5	○	○	○	○	○	○	○	○	○

■New installation □Relocation ●Automatic ○Semi-automatic

※1:Relocate GNSS-4 to GNSS-4-2 in 2002 ※2:Relocate GNSS-4-2 to GNSS-14 and GNSS-6 to GNSS-15 in 2007 ※3:Missing due to equipment failure

※4:Relocate GNSS-10 to GNSS-11' and GNSS-14 to GNSS-13' in 2014 ※5:New installation in 2015(GNSS16) ※6:Observations ended in June 2019 ※7:Observations ended in November 2023

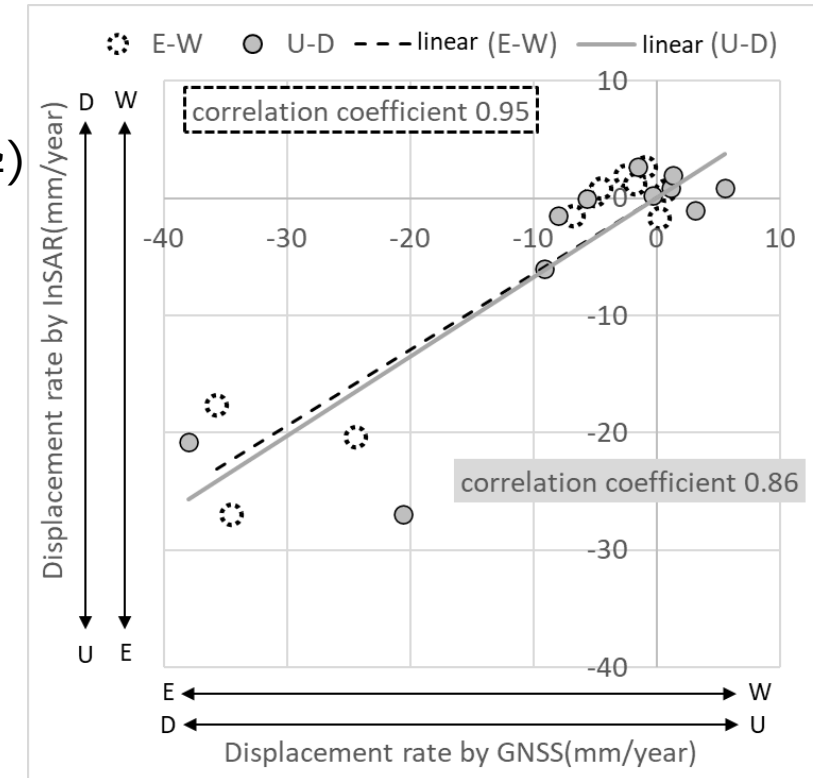


図2-2 GNSS観測とDInSAR解析の変位速度の相関

4. 事例紹介(3:地盤沈下監視における精度検証と効率化)

■SBAS-水準測量の例

(引用:平田ほか, 2024)

- ✓ 地盤沈下が懸念される静岡県中部地域が対象
- ✓ 北行・南行の2軌道のALOS-2データを用いて、2.5次元解析を実施(図3-1)
- ✓ 調査範囲では、地下水利用による顕著な地盤沈下は確認されなかった
- ✓ SARを用いた広域での地盤沈下監視が期待される
- ✓ 水準測量との比較でRMSEが0.69 mm/年となり、環境省の精度基準である5.0 mm/年以内を満たした(図3-2)

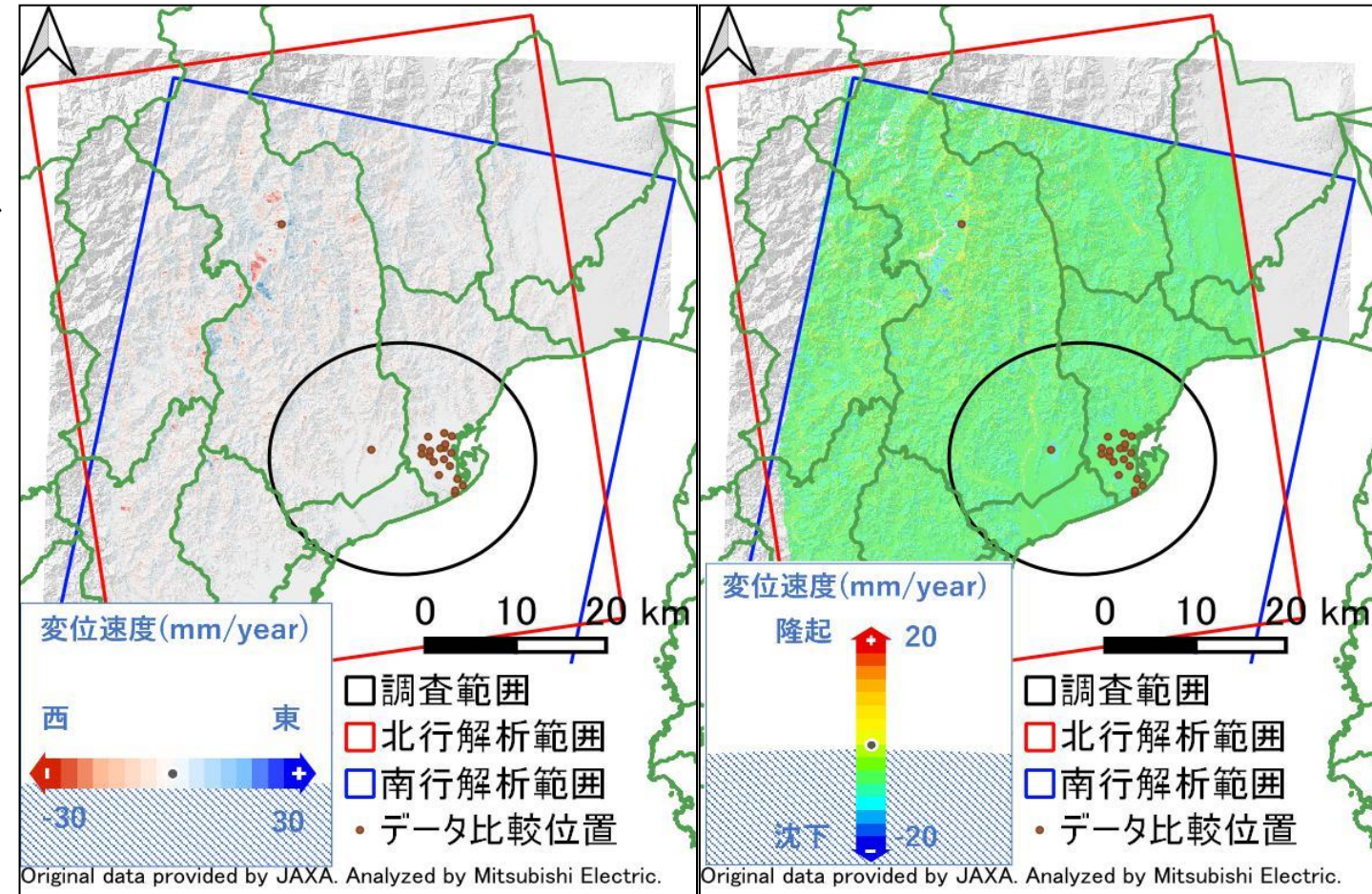


図3-1 SBAS2.5次元解析結果による変位速度分布
(左:準東西方向、右:準上下方向)

4. 事例紹介(3:地盤沈下監視における精度検証と効率化)

■SBAS-水準測量の例 (引用:平田ほか, 2024)

- ✓ 地盤沈下が懸念される静岡県中部地域が対象
- ✓ 北行・南行の2軌道のALOS-2データを用いて、2.5次元解析を実施(図3-1)
- ✓ 調査範囲では、地下水利用による顕著な地盤沈下は確認されなかった
- ✓ SARを用いた広域での地盤沈下監視が期待される
- ✓ 水準測量との比較でRMSEが0.69 mm/年となり、環境省の精度基準である5.0 mm/年以内を満たした(図3-2)

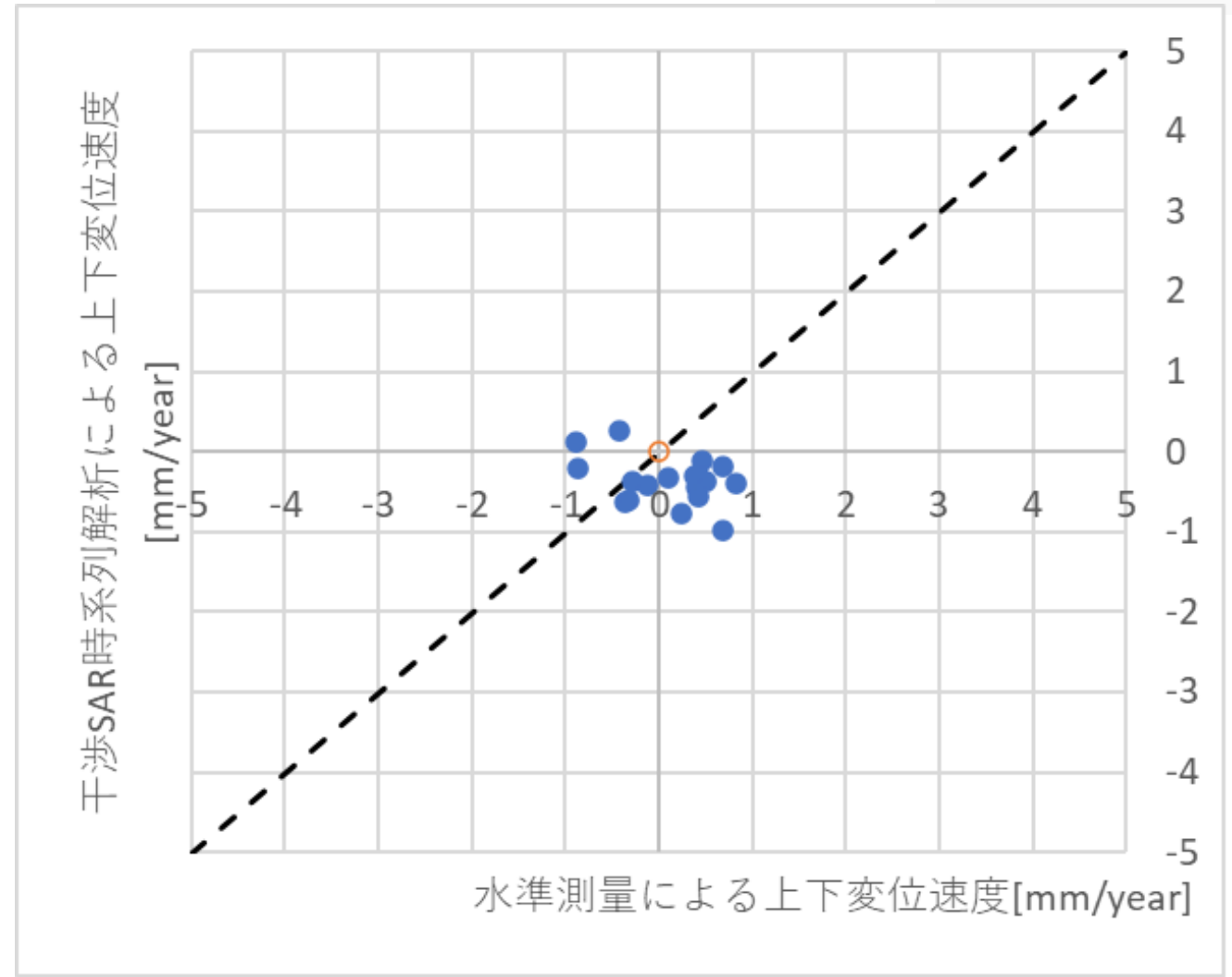


図3-2 水準測量と干渉SAR時系列解析の上下変位速度の散布図

4. 事例紹介

(4:地すべり観測における精度検証とCR設置による精度向上)

■引用:木下ほか(2024)

- ✓ ALOS-2データを用いたSBASとSentinel-1データを用いたSqueeSAR®を地すべりに適用(図4-1)
- ✓ コーナーリフレクター(CR、写真4-1)設置後はCR周辺の地表変位時系列のばらつきが減少した(表4-1、図4-2)
- ✓ GNSSとの比較において、SBASで0.85、SqueeSAR®で0.92の相関係数を得た(図4-2)

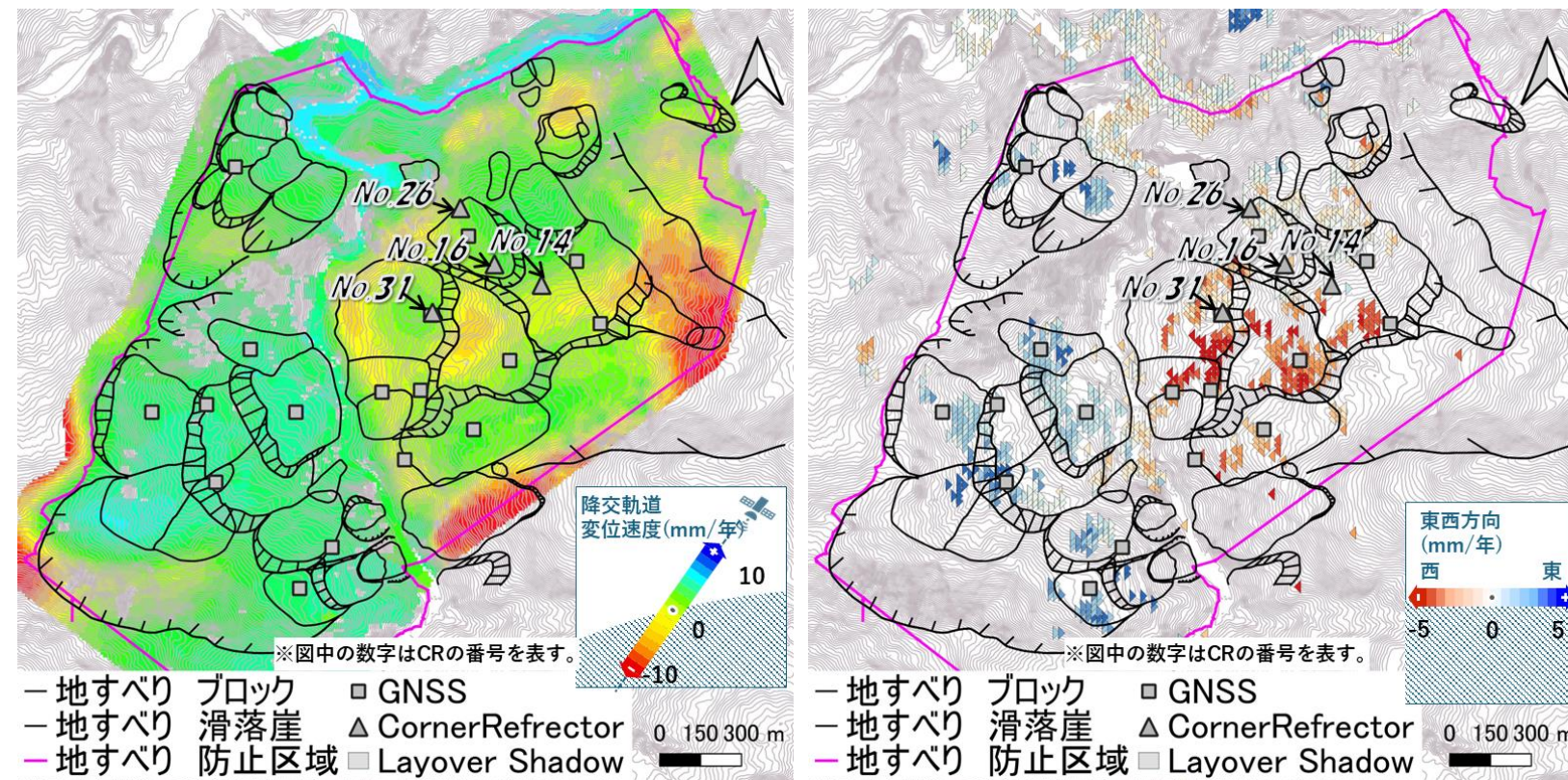


写真4-1 コーナーリフレクター設置状況の例

図4-1 SBASによる変位速度分布図(左)とSqueeSAR®による東西変位速度分布図(右)

4. 事例紹介

(4:地すべり観測における精度検証とCR設置による精度向上)

■引用:木下ほか(2024)

- ✓ ALOS-2データを用いたSBASとSentinel-1データを用いたSqueeSAR®を地すべりに適用(図4-1)
- ✓ コーナーリフレクター(CR、写真4-1)設置後はCR周辺の地表変位時系列のばらつきが減少した(表4-1、図4-2)
- ✓ GNSSとの比較において、SBASで0.85、SqueeSAR®で0.92の相関係数を得た(図4-2)

CR No.	解析手法	地表変位時系列(mm)の標準偏差	
		CR設置前※ SqueeSAR® 2014/11/16~2022/11/1 SBAS 2017/03/24~2022/11/1	CR設置後※ SqueeSAR® 2022/11/02~2023/12/11 SBAS 2022/11/02~2023/11/24
14	SBAS	6.22	2.99
	SqueeSAR®	5.13	1.27
16	SBAS	5.20	2.32
	SqueeSAR®	5.08	1.56
26	SBAS	5.34	2.62
	SqueeSAR®	6.57	2.55
31	SBAS	7.20	1.45
	SqueeSAR®	3.20	1.54

表4-1 CR設置前後での地表変位時系列の標準偏差

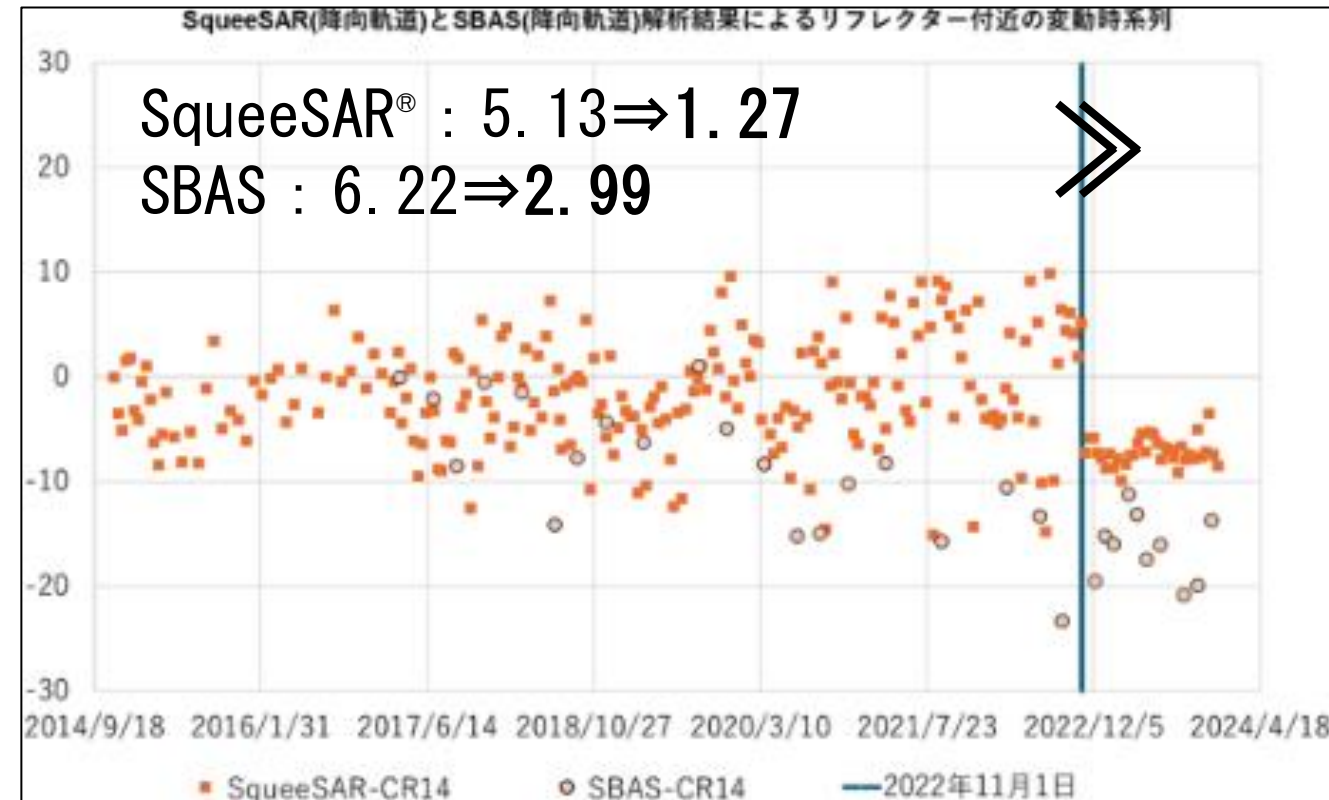


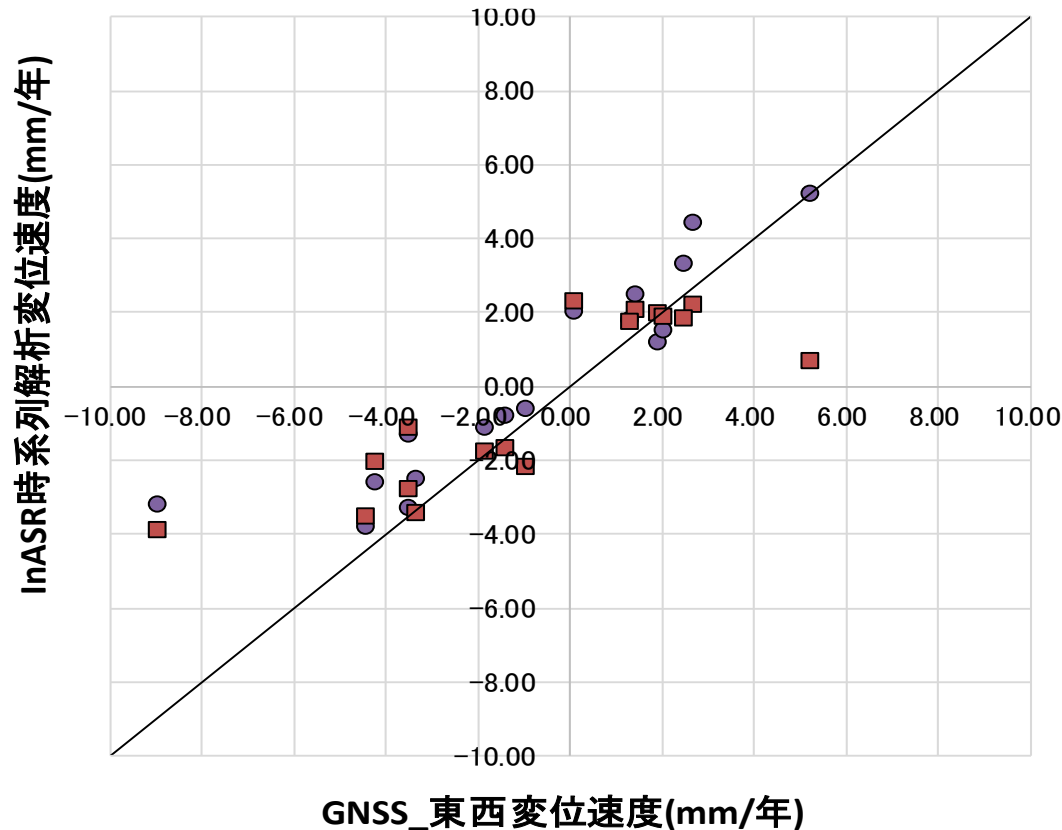
図4-2 CR No.14付近における地表変位時系列

4. 事例紹介

(4:地すべり観測における精度検証とCR設置による精度向上)

■引用:木下ほか(2024)

- ✓ ALOS-2データを用いたSBASとSentinel-1データを用いたSqueeSAR®を地すべりに適用(図4-1)
- ✓ コーナーリフレクター(CR、写真4-1)設置後はCR周辺の地表変位時系列のばらつきが減少した(表4-1、図4-2)
- ✓ GNSSとの比較において、SBASで0.85、SqueeSAR®で0.92の相関係数を得た(図4-2)



- SBAS衛星視線方向変位速度
相関係数0.85
- SqueeSAR®東西変位速度
相関係数0.92
- 線形 ($y=x$)

図4-2 GNSSとInSAR時系列解析による変位速度の散布図

4. 事例紹介(5:鉄道沿いの斜面リスク評価の確度向上)

■引用:米山ほか(2026)

- ✓ 鉄道設備の工事区間における斜面リスク評価を目的として、2軌道のALOS-2データでSBAS を実施(図5-1)
- ✓ 地形判読(例 図5-2)により、幅約700 mの地すべり地形の存在が懸念された
- ✓ 現地踏査(例 写真5-1)から施設背後の尾根で河床から連続した岩盤を確認
- ✓ SBASにて有意な変動が見られず、幅700mの地すべりの調査(深度100m級のボーリング)を不要と判断した。

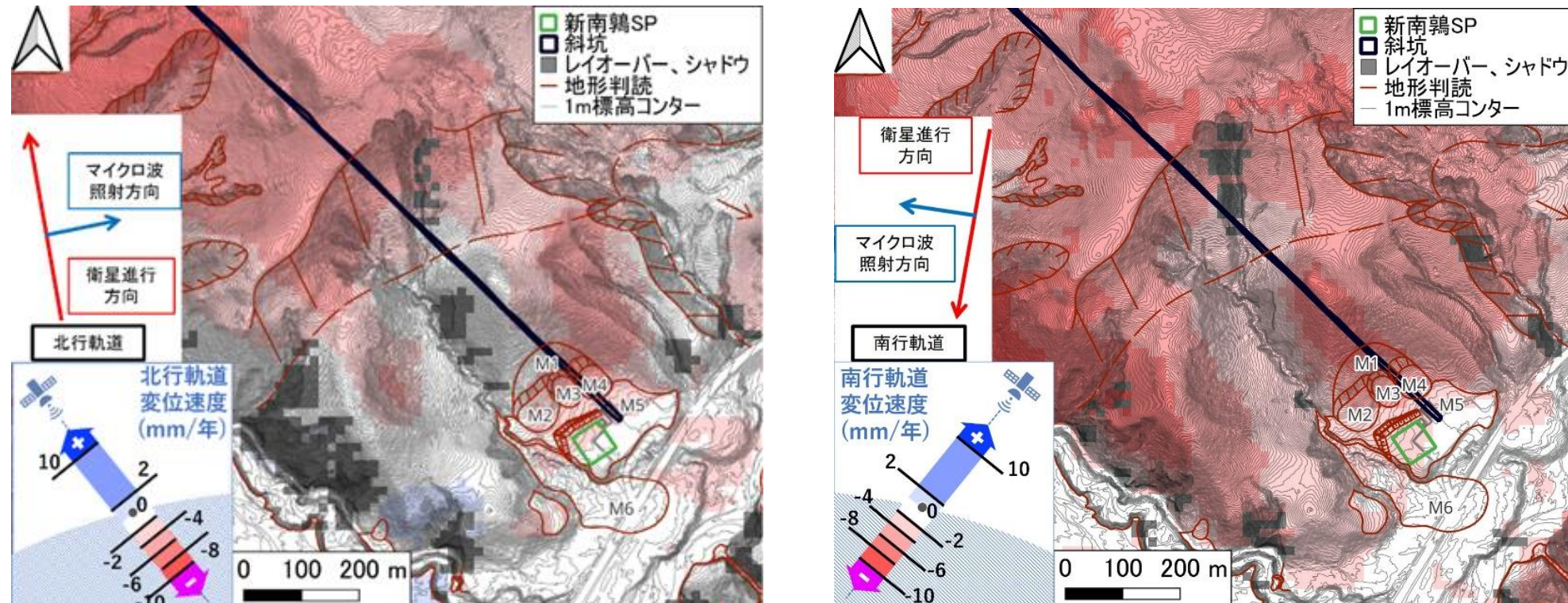


図5-1 2軌道のSBASによる地表面変位速度分布

4. 事例紹介(4:鉄道沿いの斜面リスク評価における確度の向上)

■SBAS(引用:米山ほか, 2026)

- ✓ 鉄道設備の工事区間における斜面リスク評価を目的として、2軌道のALOS-2データでSBAS を実施(図5-1)
- ✓ 地形判読(例 図5-2)により、幅約700 mの地すべり地形の存在が懸念された
- ✓ 現地踏査(例 写真5-1)から施設背後の尾根で河床から連続した岩盤を確認
- ✓ SBASにて有意な変動が見られず、幅700mの地すべりの調査(深度100m級のボーリング)を不要と判断した。

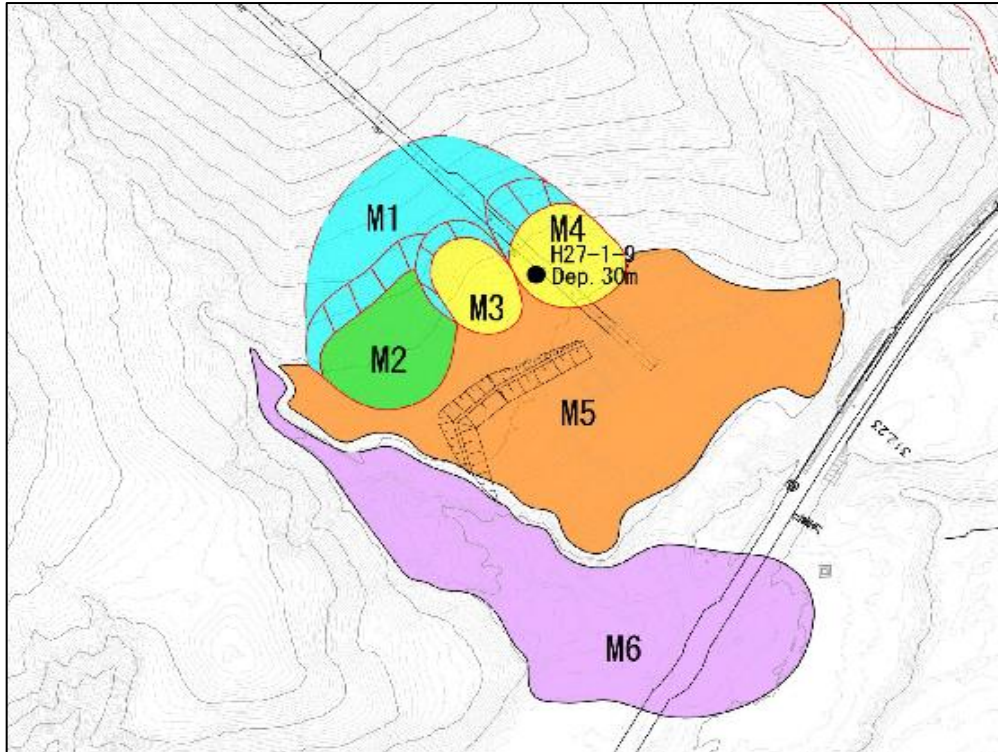


図5-2 地形判読の例



写真5-1 現地踏査のイメージ写真
(実際の現地の写真ではありません。)

引用:<https://www.oyo.co.jp/corporate-profile/earth-consultant/>

5. SAR画像解析結果と比較・組み合わせるデータ

現地計測データ

- GNSS
- 水準測量
- 移動杭測量
- 傾斜計、伸縮計 など



GNSS観測



移動杭

現地調査・点検情報

- 現地踏査
- ボーリング調査
- 構造物点検 など



現地踏査



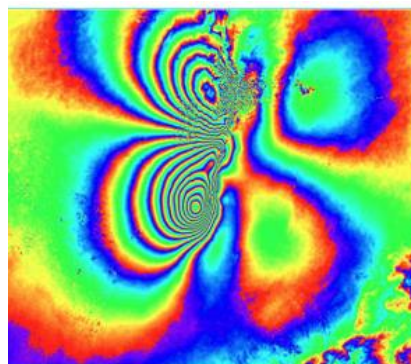
地質確認

原位置
で比較

現象を
確認

SAR画像解析

- 強度(差分)解析
- 偏波解析
- 干渉解析



引用: NV5 SARscape6.1 入門用トレーニングマニュアル

空間で
比較

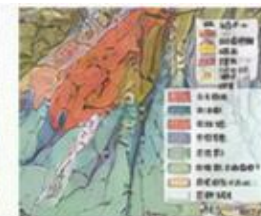
情報を
補完

地形・地質データ

- DEM、LP地形図
- 地形判読結果
- 地質図 など



LP地形図



地質図

他のリモセンデータ

- 光学画像
- UAV
- 気象データ
- 地表面温度



光学衛星画像



UAV画像

SAR画像を用いて調査・点検を効率化するためには、他の調査・計測データとの比較・検証を重ね、適用方法を体系化することが重要である。

6. SAR解析結果の検証・活用に関するマニュアル等

SAR画像を実務で活用する際には、目的に応じた公的マニュアルやガイドブックを参照することが有効である。

発行年	発行機関	名称	主な内容
2026年改訂 (初版:2017年)	環境省	地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル(改訂版)	地盤沈下監視、InSARと水準測量の組合せ、自治体向け運用方法
2025年改訂版 (制定:2024年)	国土地理院 (国土交通省)	衛星SARによる上下変動測量マニュアル	公共測量、品質評価、水準測量との統合、精度管理
2021年	国土交通省・東京大学・基礎地盤コンサルタンツ	合成開口レーダー(SAR)の道路土構造物の維持管理への活用マニュアル(案)	道路法面、盛土、地すべり、インフラ維持管理への適用
2018年	国土交通省砂防部・JAXA	災害時の人工衛星活用ガイドブック(土砂災害版)	土砂災害対応、強度差分、偏波解析、干渉解析活用事例

7. おわりに

まとめ

- 防災・インフラ維持管理分野では、衛星SARを活用した**広域的な調査・点検の効率化**が期待される。
- SAR解析結果は、**GNSS、地形・地質情報、現地調査等との比較・統合**により、精度や信頼性を検証・補完できる。
- 精度や適用限界の確認は必要であるが、公的マニュアルや実務事例が整備され、実務への導入環境が整いつつある。

防災・インフラ維持管理分野におけるSAR画像活用の展望

- 広域LバンドSARと小型XバンドSAR衛星群の連携による広域・高頻度監視
- 3次元地盤変動計測による斜面・地盤・インフラ監視の高度化
- 光学衛星、ライダー、地上計測、AIを組み合わせた統合解析
- 精度検証・情報共有・運用方法の体系化による継続的な社会実装