

A satellite in space is shown with a yellow body and blue solar panels. A beam of light from the satellite illuminates a portion of the Earth's surface, which is overlaid with a colorful heatmap representing ground deformation. The background is a starry night sky with a prominent red star.

# だいち2号による全国地盤変動監視に向けて

国土地理院 測地部  
宇宙測地課 和田 弘人

第13回北海道測量技術講演会  
2016.1.28 札幌第1合同庁舎

# 国土地理院の任務と防災

## 測量

国土の位置の基準を定め、地殻変動を監視



## 地理空間情報

国土の地図や空中写真を整備し、領土を明示



### 基本測量に関する長期計画 (2014.4)

- 重点戦略：  
防災分野を足掛かりとして、地理空間情報の整備力・活用力の向上の全国レベルでの推進
- 取り組み：  
現状における国土の危険性の把握；関係機関及び国民に提供



# 地上の観測による変動監視の課題

長野県北部の地震(11月22日 M6.7(暫定値))前後の観測データ (1) 暫定

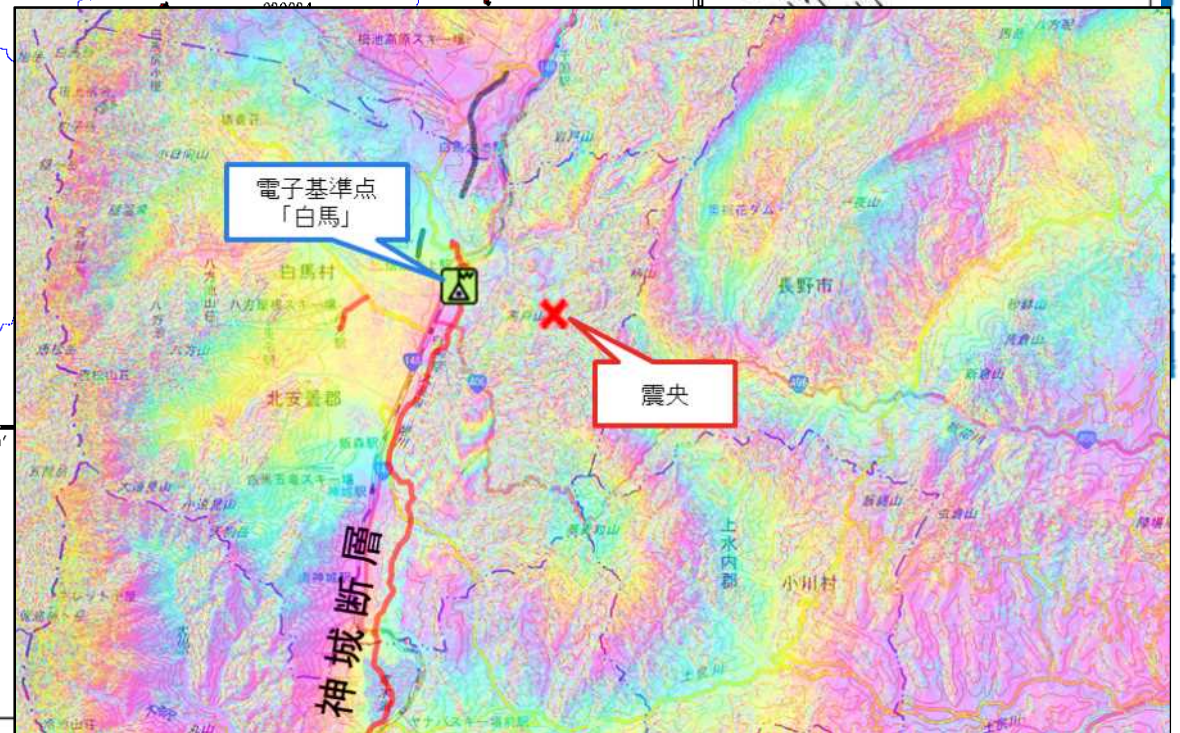
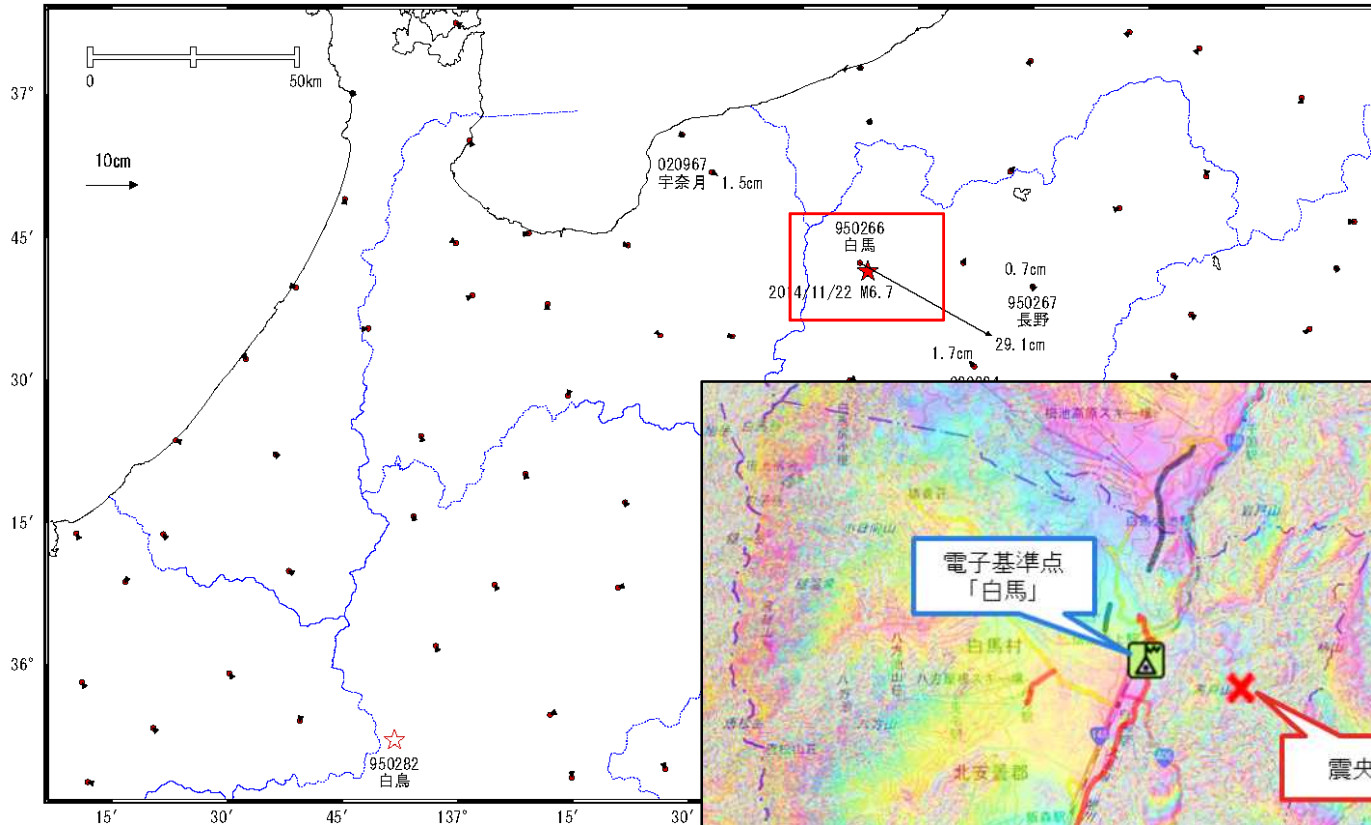
この地震に伴い大きな地殻変動が観測された。

基準期間: 2014/11/15 00:00~2014/11/21 23:59 [R3:速報解]  
比較期間: 2014/11/23 03:00~2014/11/24 02:59 [Q3:迅速解]

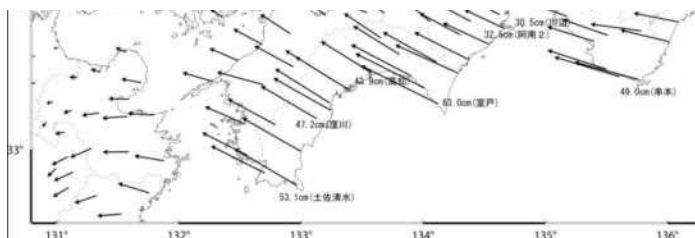
地殻変動 (水平)



電子基準点を配置

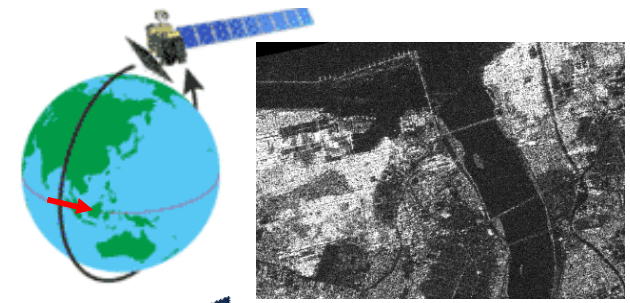


☆ 固定局: 白鳥 (950282)



## 干渉SARのしくみ

- **異なる時期の2回以上の観測の差**から、その間に発生した衛星と地表の間の距離の変化を計測
- 距離の変化を色に対応させた画像を作成



SAR干渉解析により得られる地殻変動成分  
衛星⇔地表間の距離変化

2回目の観測

1回目の観測

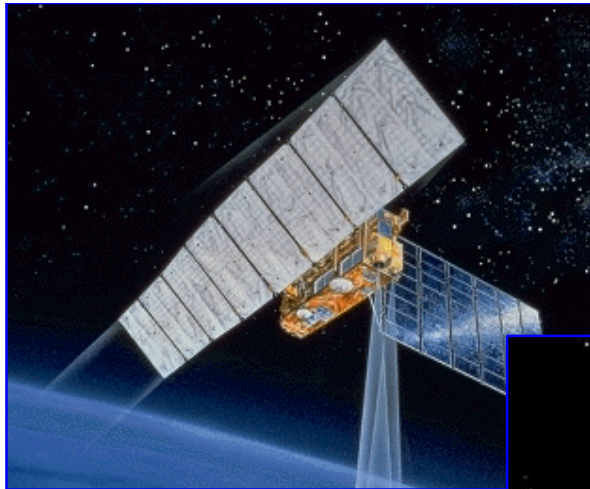
地表

地殻変動(隆起)



SAR干渉画像





ふよう1号  
(JERS-1)  
1992年2月～1998年  
10月  
研究開発開始

## 変動監視事業開始

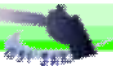
だいち (ALOS)  
2006年1月～2011年5月



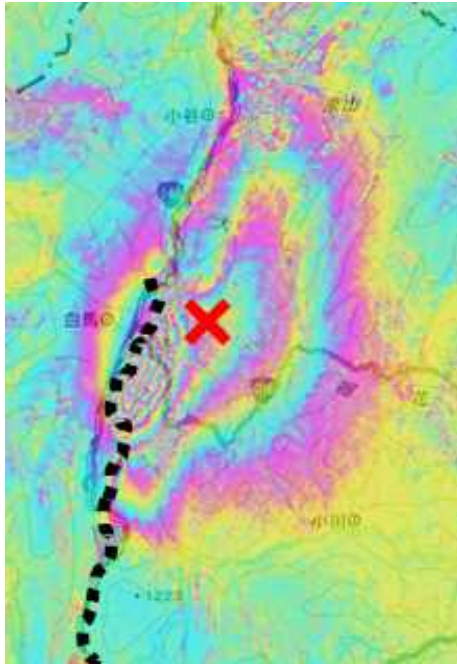
## 新たな変動監視事業

だいち2号  
(ALOS-2)  
2014年5月～



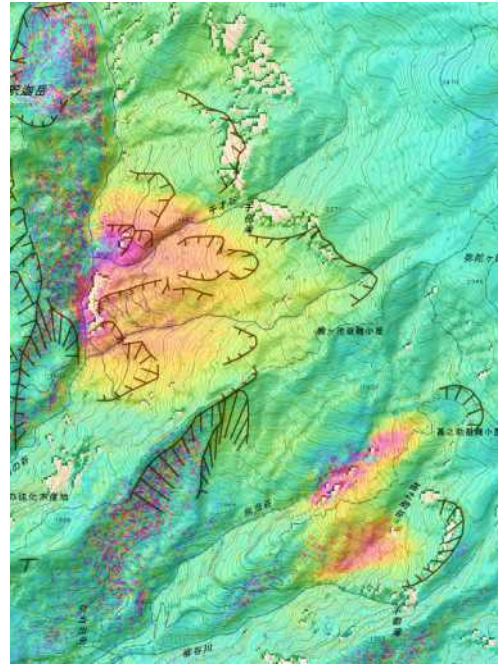


## 地震



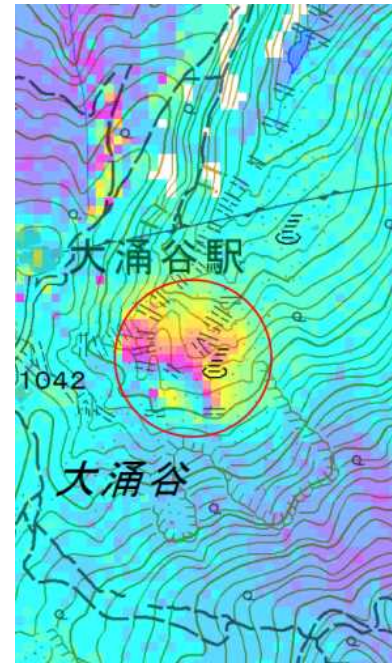
平成26年(2014年)  
長野県北部を震源とする地震

## 地すべり



石川県・手取川上流

## 火山



箱根山・大涌谷

## 地盤沈下



山形県・山形盆地



発生場所不特定  
災害発生時に緊急に解析

発生場所予め特定  
定常的な監視・解析

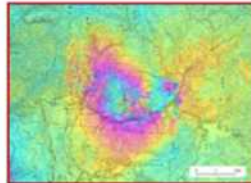


# 先代「だいち」による国内地震の観測

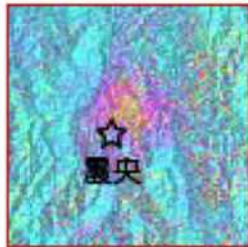


運用:  
2006年1月～2011年5月

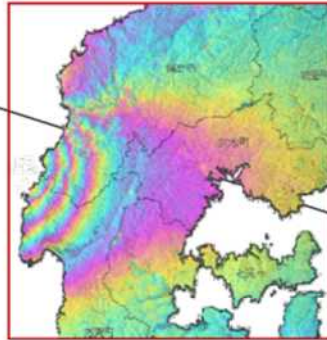
2010/9/29 M5.7  
福島県中通り



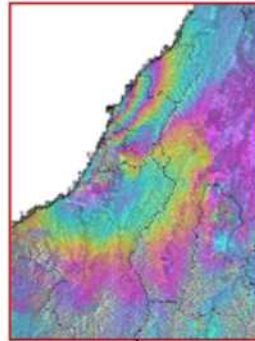
2009/10/12 M4.9  
福島県会津



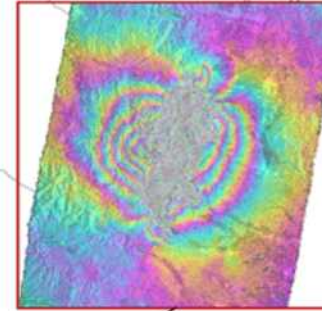
2007/3/25 M6.9  
能登半島



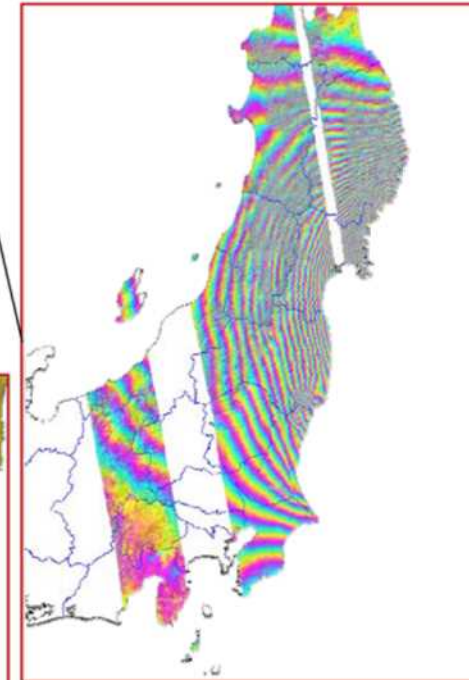
2007/7/16 M6.8  
新潟県中越沖



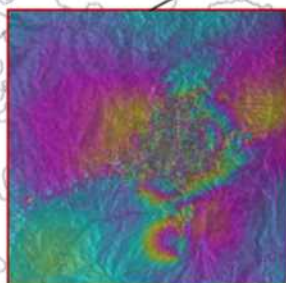
2008/6/14 M7.2  
岩手・宮城 内陸



2011/3/11 M9.0  
東北地方太平洋沖

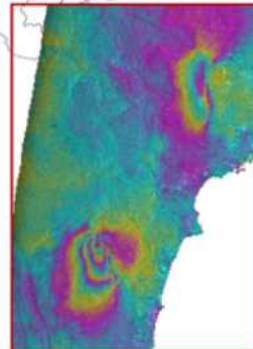


2011/3/12 M6.7  
長野県北部

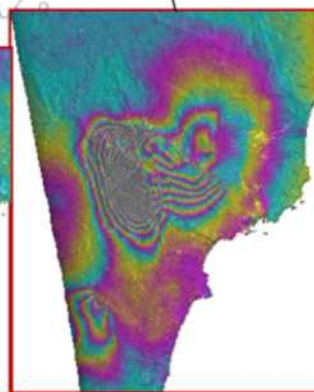


2011/3/19 M6.1  
2011/3/23 M6.0

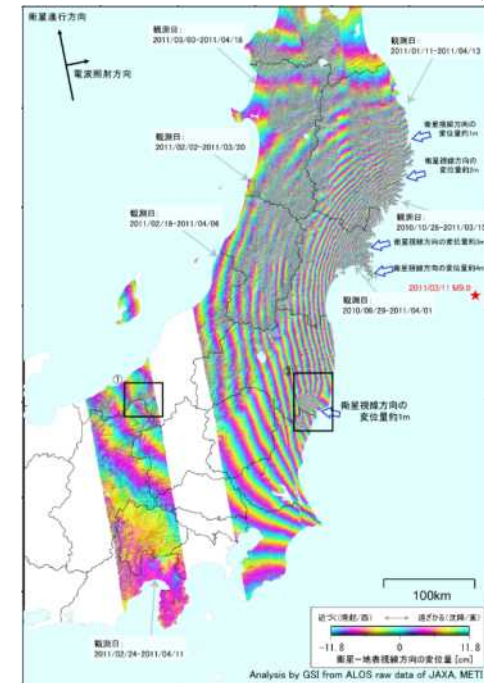
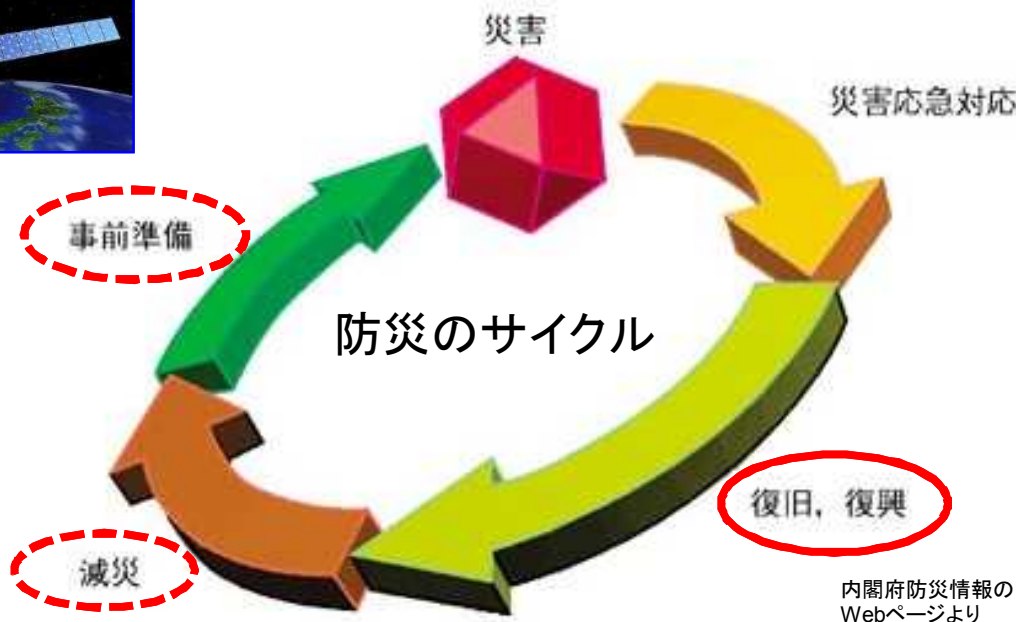
福島県浜通り



2011/4/11 M7.0



# 先代「だいち」による変動監視の課題



地震後の観測  
3.15~4.18



## 課題1: 応急対応での利用・緊急解析

干渉解析を行える観測まで, 平均1~2週間の待ち  
一度に観測でカバーできる範囲が必ずしも十分でない

✓ 即応性・広域災害への対応に課題

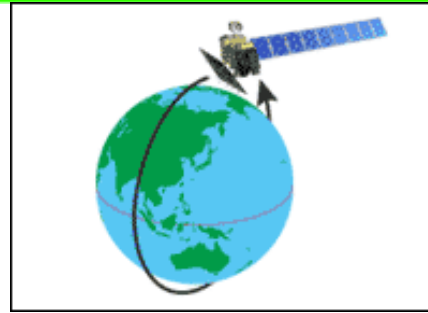
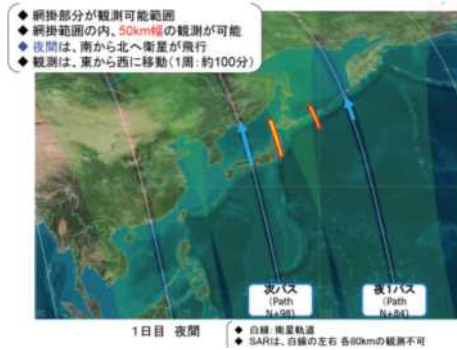
## 課題2: 減災・事前準備での利用・全国解析

安定的に良好な解析結果が得られない  
広範囲を同時解析できない

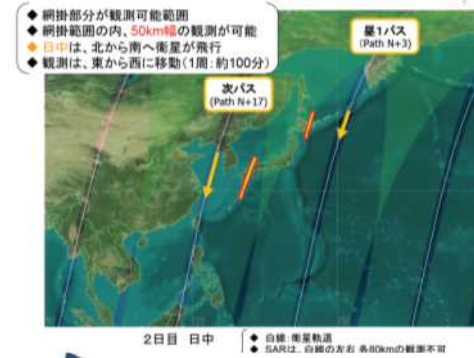
✓ 対象地域以外の変動を見逃してしまう



# 課題1: 応急対応での利用・・・迅速化



ほぼ南北方向に1周約100分  
現地を昼12時、夜0時前後の2回観測



回帰日数46日



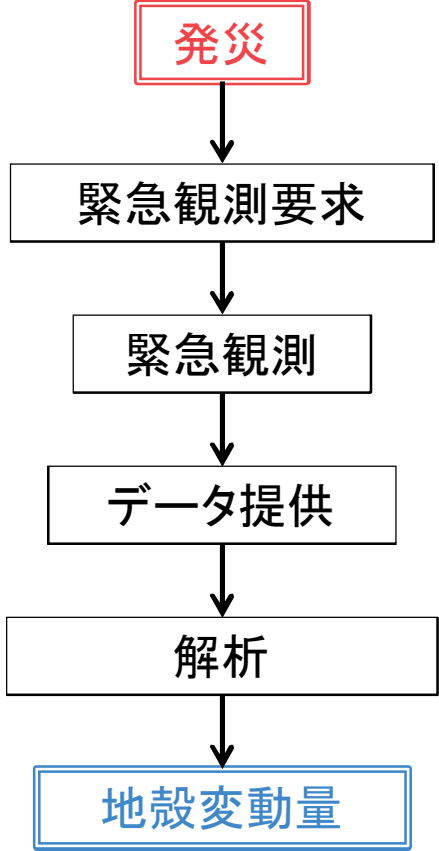
だいち



だいち2号

回帰日数14日

観測の5時間前まで受付  
干渉解析可能な観測まで  
平均1~2週間程度  
観測から最長3時間後  
計算に長時間かかる



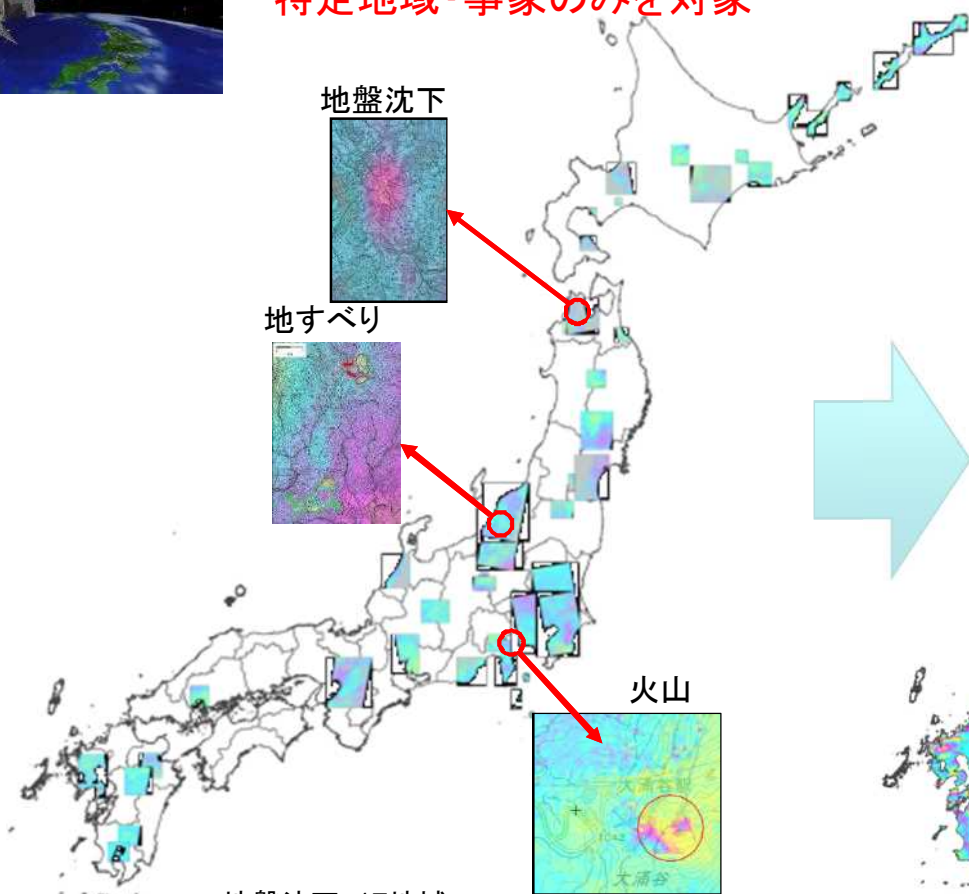
観測の1時間前まで受付  
干渉解析可能な観測まで  
平均65時間、最長74時間  
左右観測可能、回帰日数短縮  
観測から約1時間後  
データ伝送能力強化  
計算時間短縮  
解析機器&ソフト性能向上

巨大地震も対応可能  
広域観測モードの繰り返し観測  
干渉解析向けの観測調整を実施

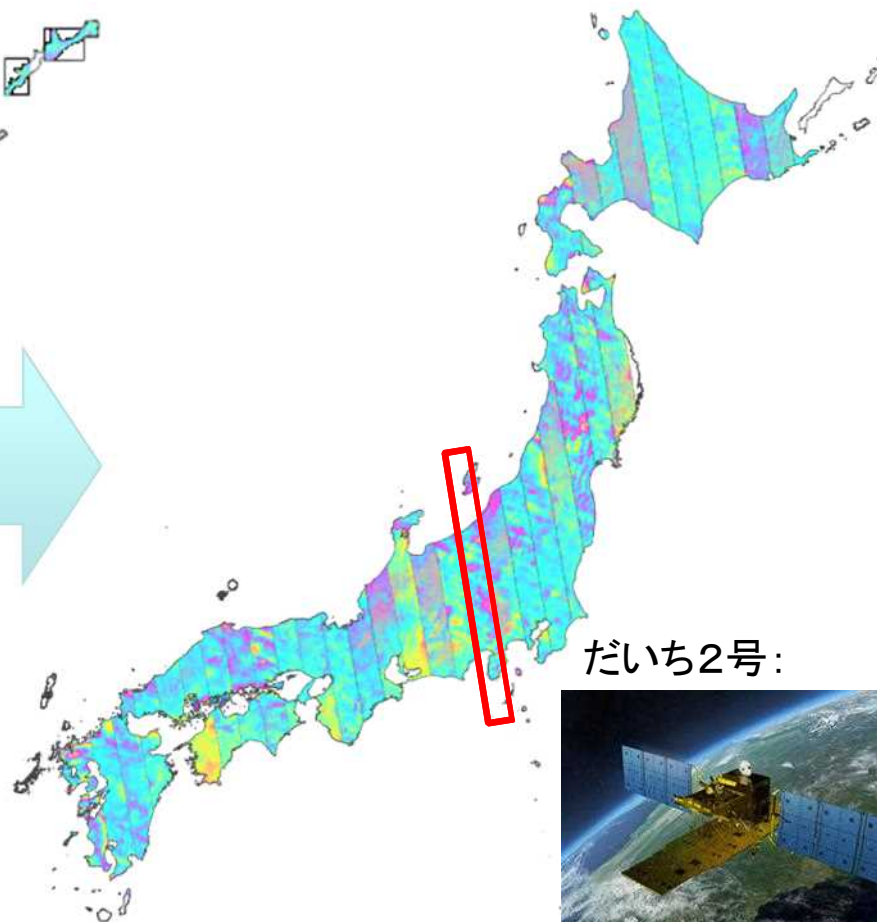


だいち:

特定地域・事象のみを対象



地盤沈下: 17地域  
火山: 46地域  
地すべり: 3地域 (月山、東成瀬、赤崩)



だいち2号:



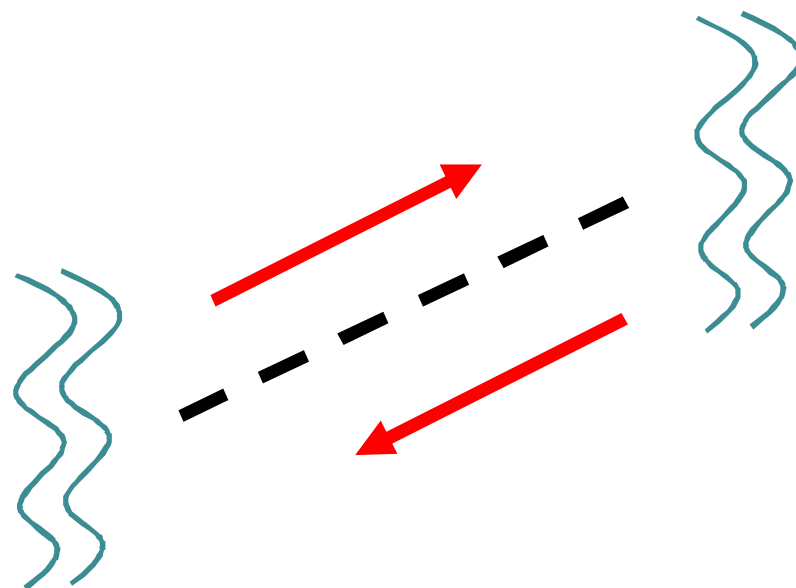
だいち2号: 干渉SARにより国土全域の変動を面的に把握



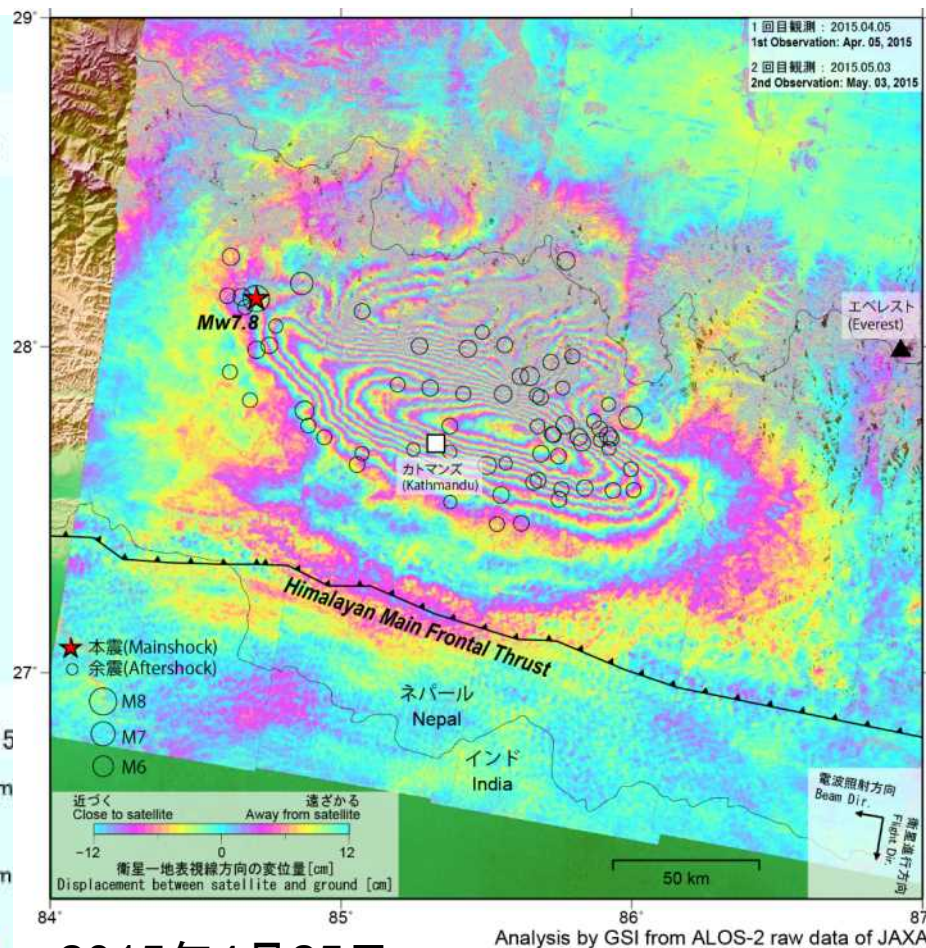
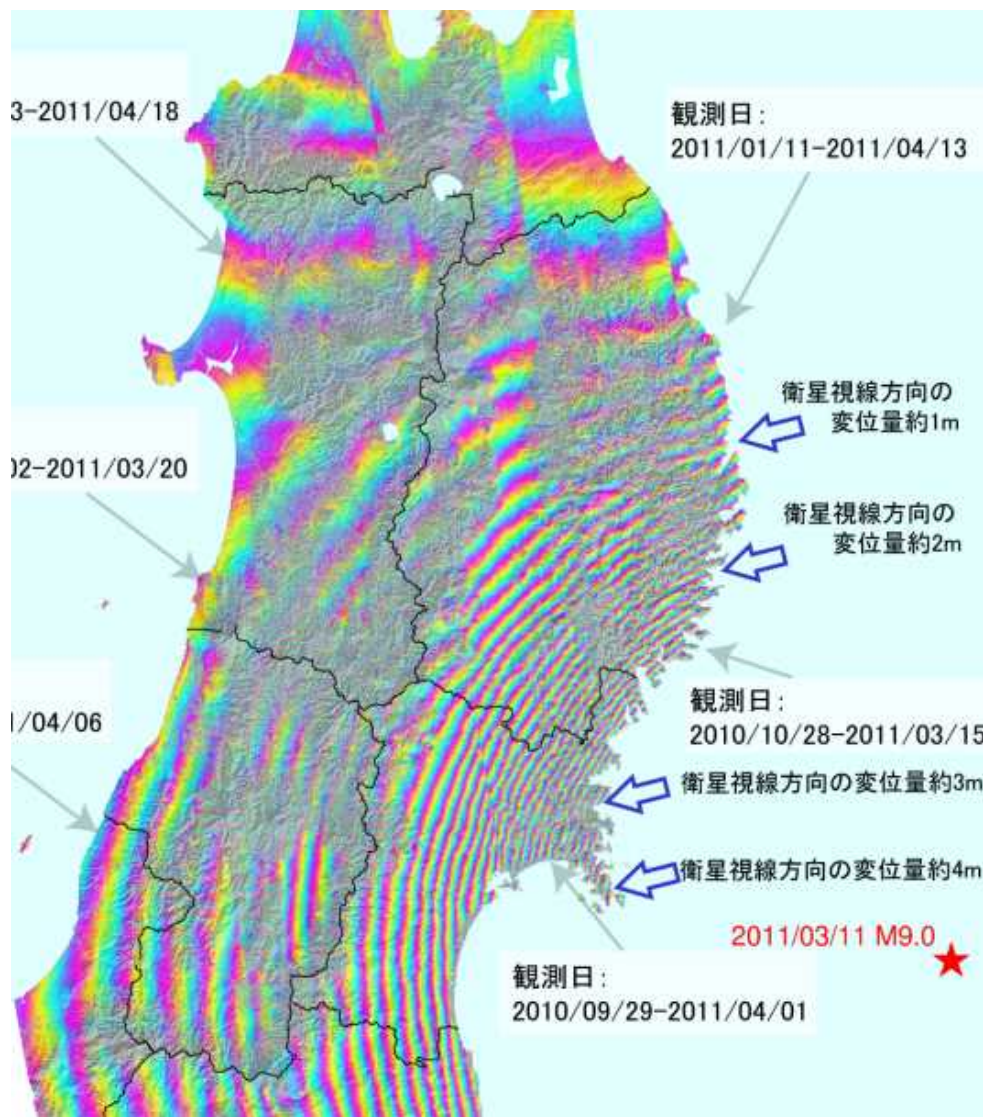


# 地震

## 被害集中域の把握・メカニズムの解明



## 3. 11後, 7回の観測(3. 15~4. 18)を要した



2015年4月25日  
ネパールで発生したMw7.8(USGS)の地震

想定される広域災害への, 即応性を備えた対応が可能



# 北海道地方で想定される最大の地震



## 地震調査研究推進本部

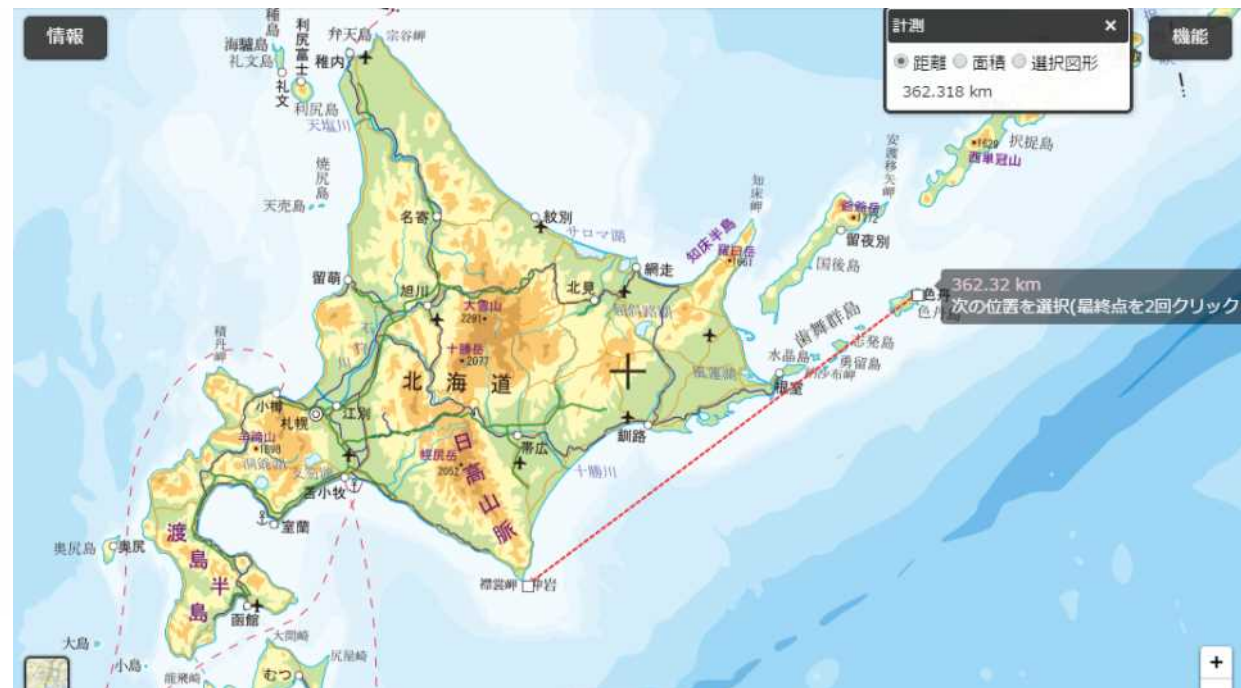
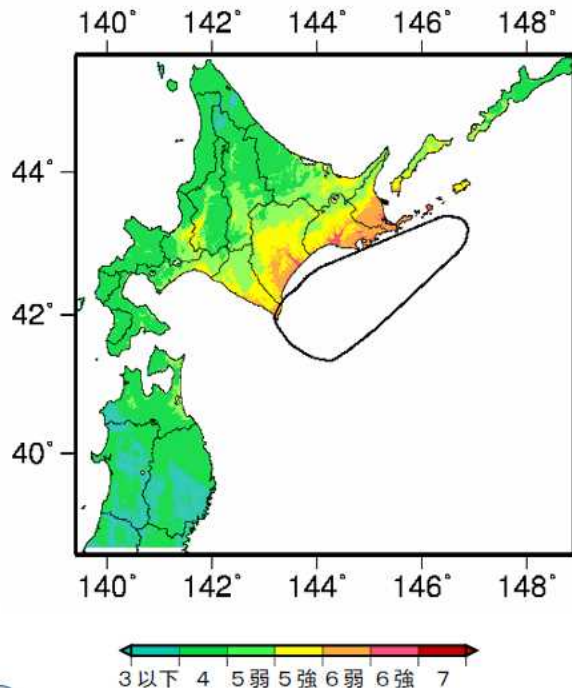
トップ>北海道地方>十勝沖

### 十勝沖

この領域で発生した規模の大きい地震は、1843年の地震(M8.0)、1952年の地震(M8.2)、2003年の「平成15年(2003年)十勝沖地震」(M8.0)の3つが知られています。十勝沖・根室沖・色丹島沖・択捉島沖では、M8程度のプレート間地震が、それぞれの海域において約72年に1回の間隔で発生すると推定されています。2003年に地震が起きていることから、今後30年以内にこの海域で地震が発生する確率を求めると0.06%~0.9%と予想されます。過去の事例から、次の地震の規模はM8.1前後と推定されています。

なお、根室沖と十勝沖の海域では、400~500年程度の間隔で、2つの海域の地震が連動して発生していることが知られており、最新の発生時期は17世紀とされています。しかし、2003年に十勝沖の領域で「平成15年(2003年)十勝沖地震」(M8.0)が発生していることから、近い将来の連動の可能性は低いと考えられています。連動した場合の地震の規模はM8.3程度と推定されています。

《十勝沖と根室沖の地震が連動した場合》

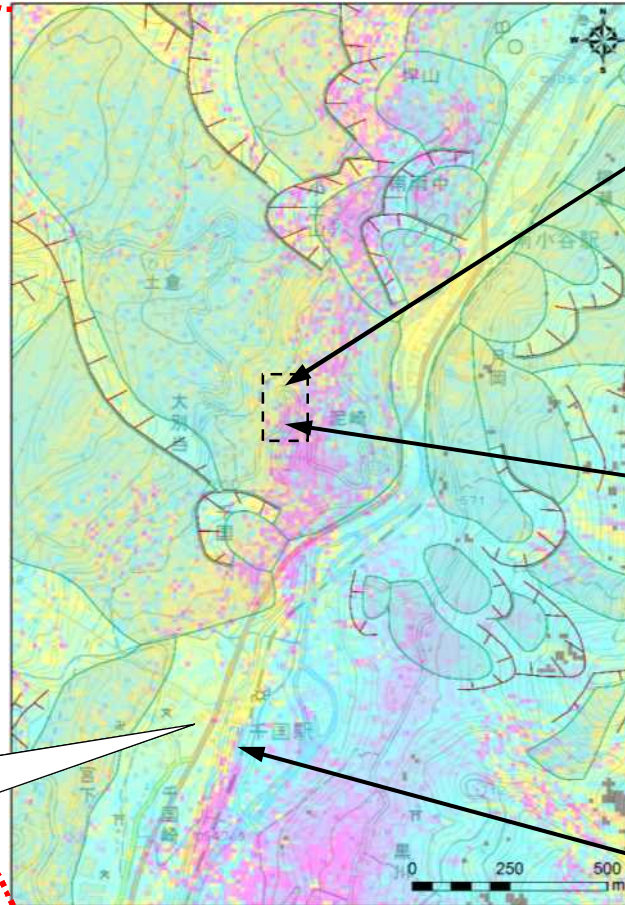
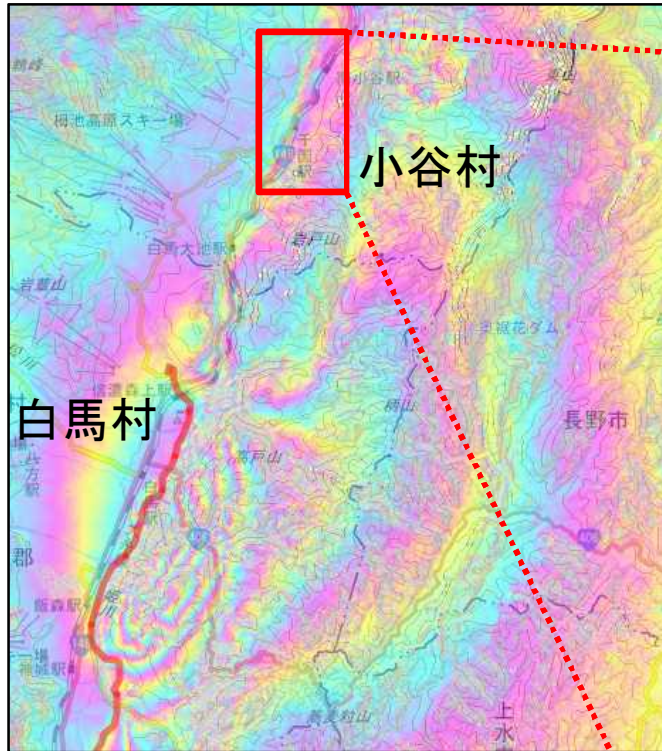




# 災害応急対応の場面での利用・・高分解能

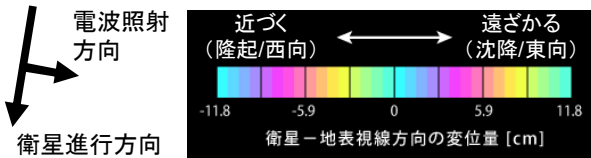
## 小谷村

20141002-20141127 (南行軌道)



地形図で表現される構造物に対応したスケールでの変動情報

発災直後に得る変動情報  
道路や建物等のインフラ被害が発生している可能性の高い範囲を推定するための情報



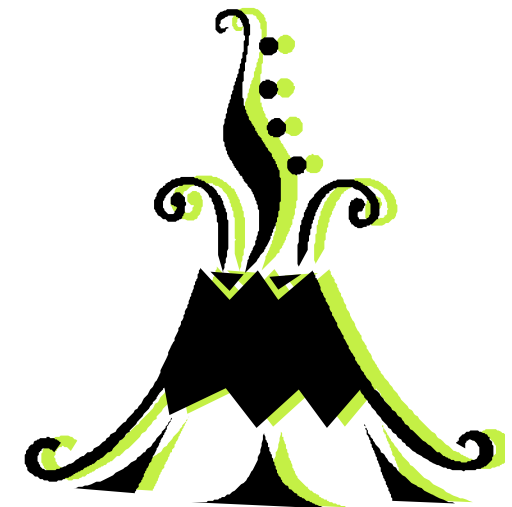
だいち2号のSAR干渉画像を参考にした現地調査により数mm~10cmの地表変形を発見。小谷村まで震源断層が延びていることを示す。





# 火山

## 火山活動の推移の予測



# 御嶽山噴火（2014年9月27日）

2014年8月18日～2014年9月29日

1km

衛星進行方向

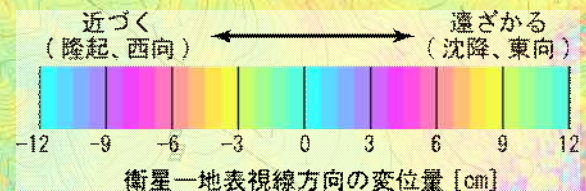
電波照射方向

噴出物の堆積による非干渉

推定火口

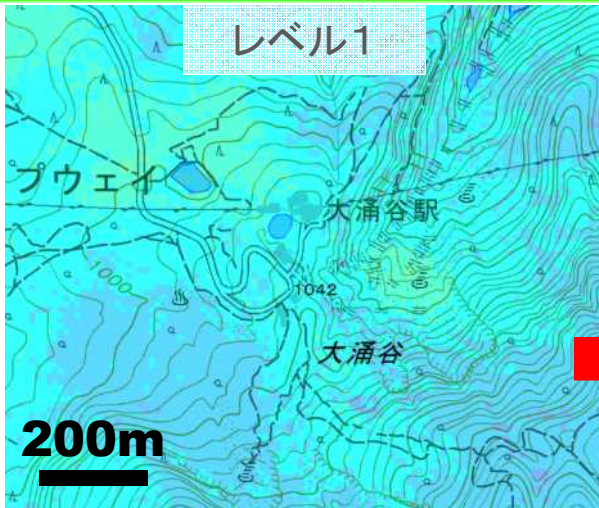
膨張性の地殻変動

- 噴煙に遮られ**空中写真では見えなかった**山頂付近の地表面に関する情報が得られた

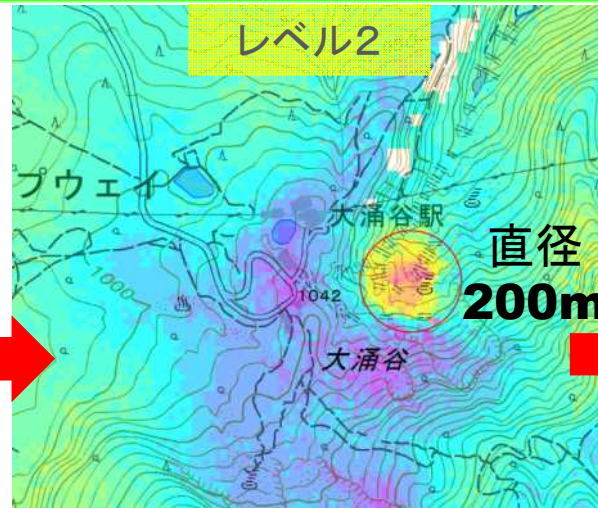




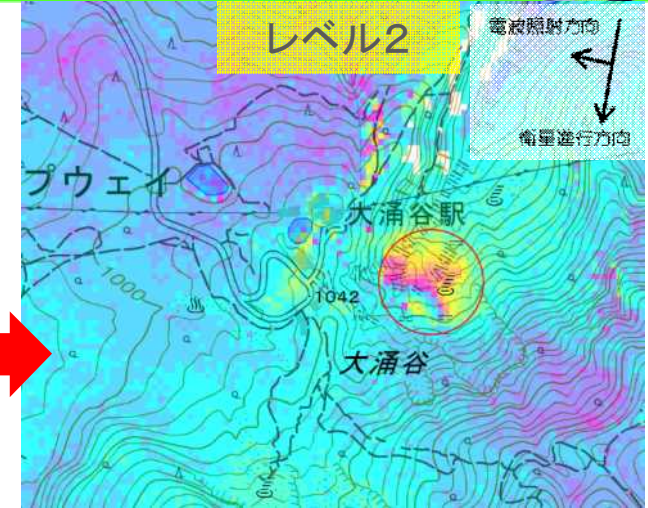
# 箱根山の活動（活発時の集中的な監視）



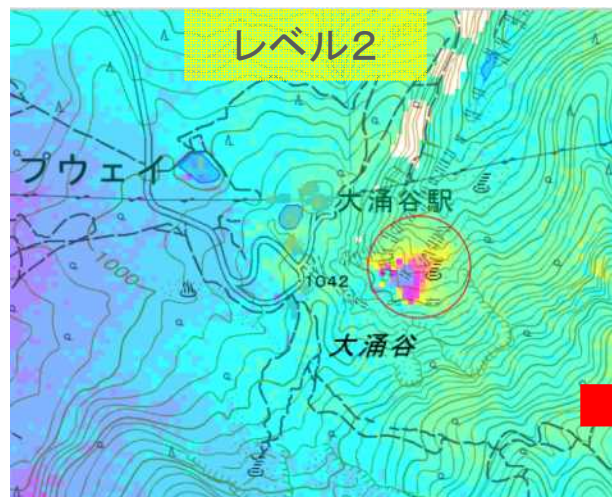
2014年12月12日～2015年4月17日



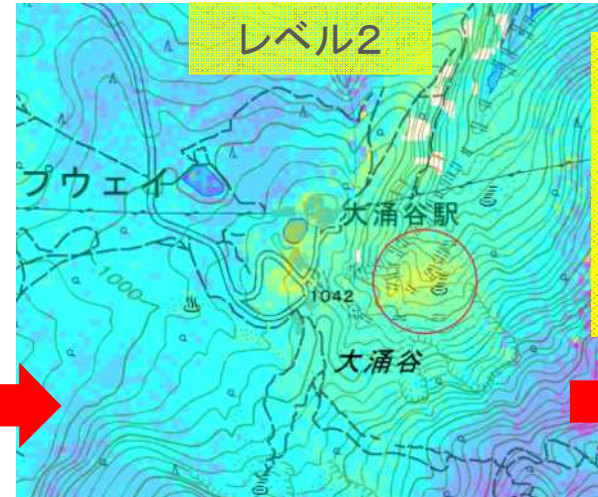
2014年10月9日～2015年5月7日



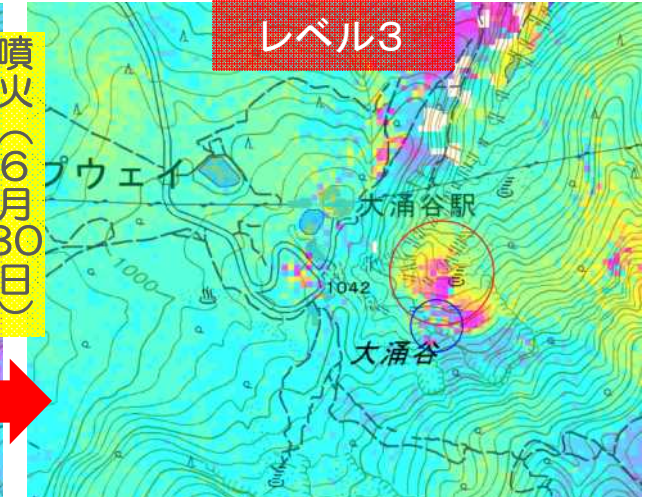
2015年5月7日～2015年5月21日



2015年5月21日～2015年6月4日

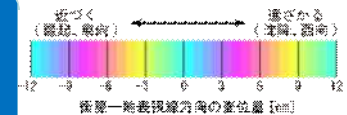


2015年6月4日～2015年6月18日



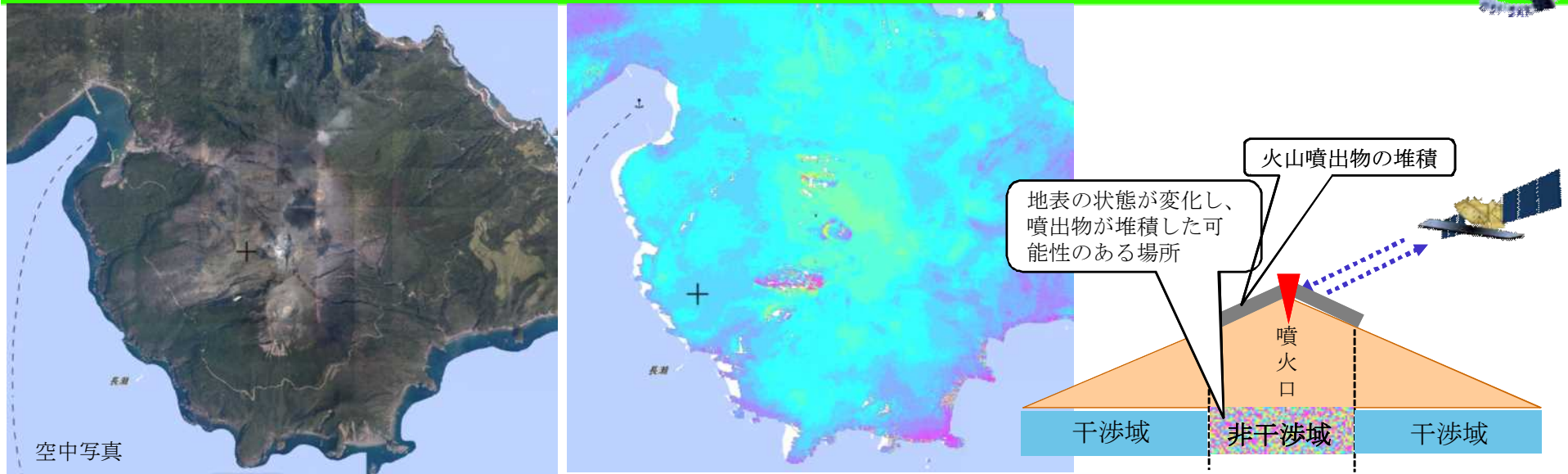
2015年6月18日～2015年7月2日

- 差し迫った危険範囲を知り、人命への直接的な影響を考慮した規制範囲を設定
- 規制範囲を最小限に抑えることで、周辺地域の経済的な損失リスクを低減

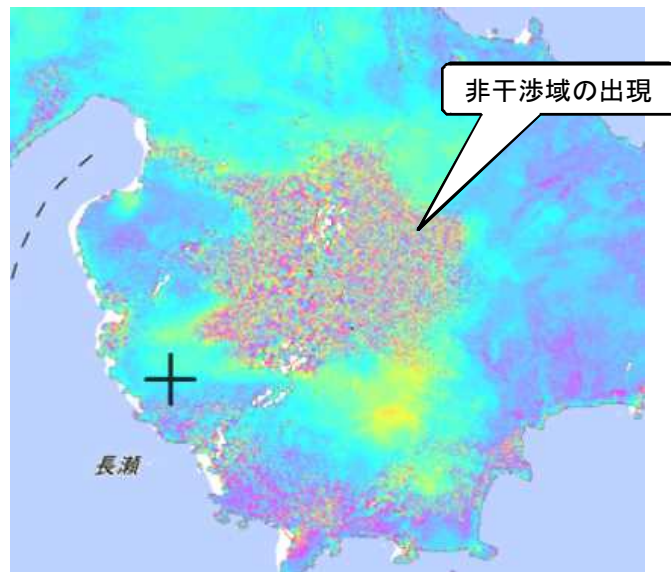




# 口永良部島の活動（噴火直後の監視）



5月29日の噴火前後のSAR干渉画像



写真判読による火砕流泥流域

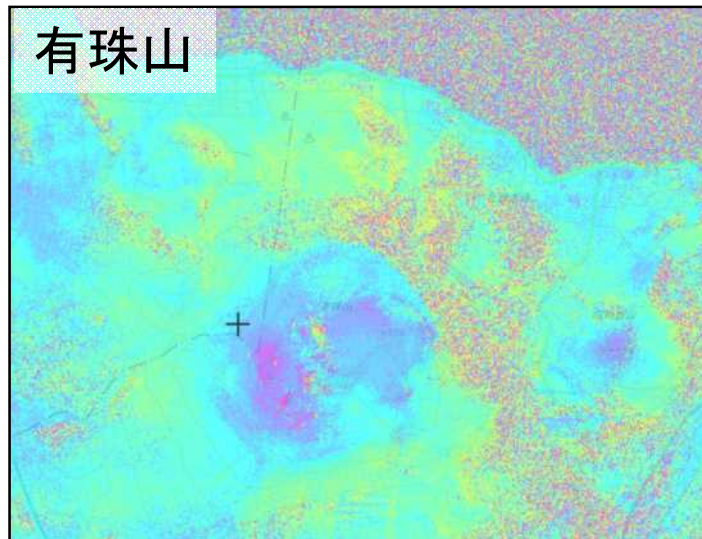


空域を含めた立入り制限が厳しい状況下での二次災害の発生源の分布状況の把握

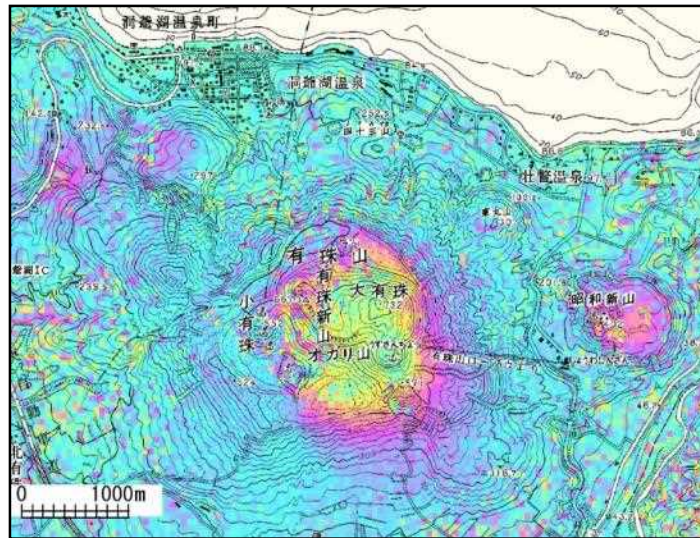


# 有珠山、十勝岳の活動(中長期的な監視)

噴火後の長期的な収縮性の変動の継続



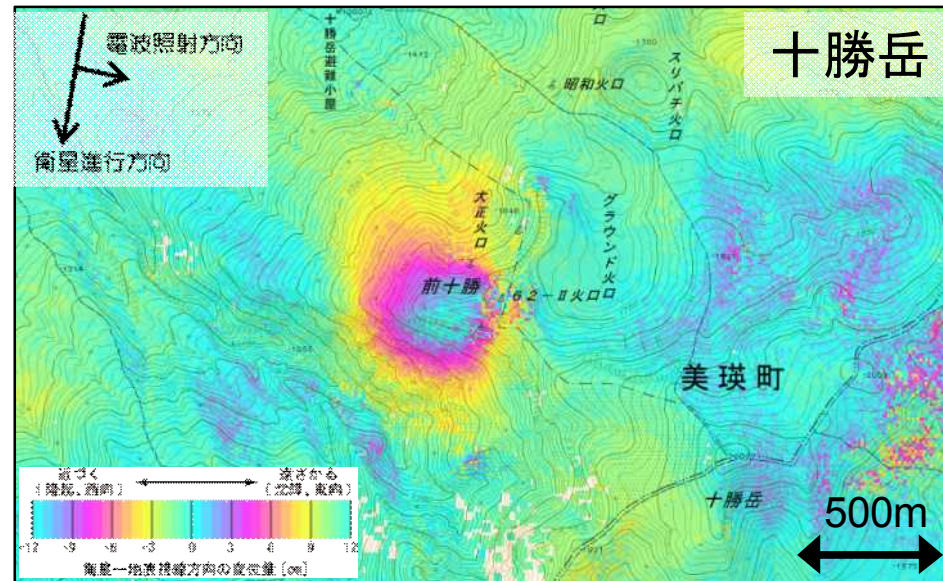
2014/10/07~2015/4/21の干渉画像 4cm/196日



2008/05/02 ~ 2010/11/08(だいち)の干渉画像

【レベル1(平常)】: 状況に応じて火口内への立入規制等

山頂付近の局所的(~1km)の範囲で膨張性の変動



2014年8月30日~2015年8月15日の干渉画像

【レベル2(火口周辺規制)】: 火口周辺への立入規制等  
→ 【レベル1(平常)】: 状況に応じて火口内への立入規制等

火山名 十勝岳 噴火予報: 警報解除 平成27年2月24日18時00分 札幌管区気象台

<中略> 十勝岳では、火口近傍の観測点で、山体浅部の膨張によるとみられる地殻変動の変化率が2014年7月頃から大きくなりましたが、その後12月頃から横ばいで推移しています。<中略>

長期的に

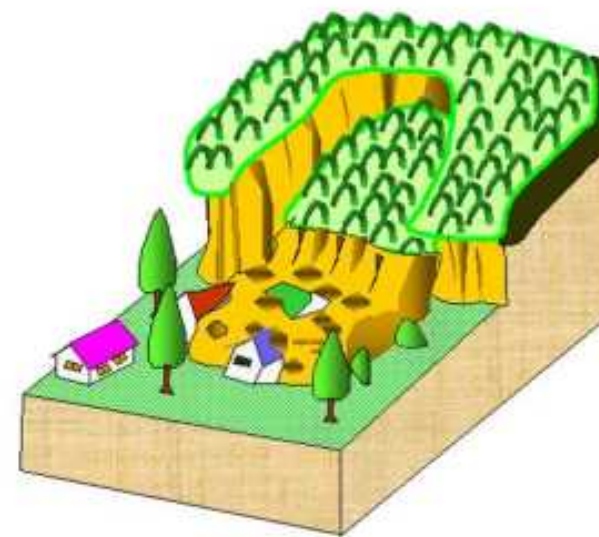
現在の地殻変動現象の広がりを、噴火警戒レベルの規制範囲や火山防災マップと視覚的に対比可能

噴火警戒レベルに対する理解、防災教育での活用



# 斜面変動（地すべり）

## 前兆的な変動の監視





# 石川県・白山

表示中の情報

全表示 全非表示 全削除

平瀬SAR>だいち2号(ALOS-2)>全国表示 表示 削除

2014/10/08~2015/07/15\_AR

透過率:0%

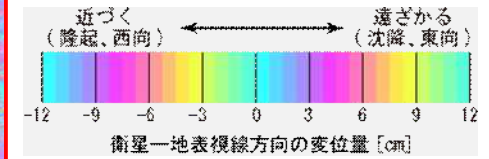
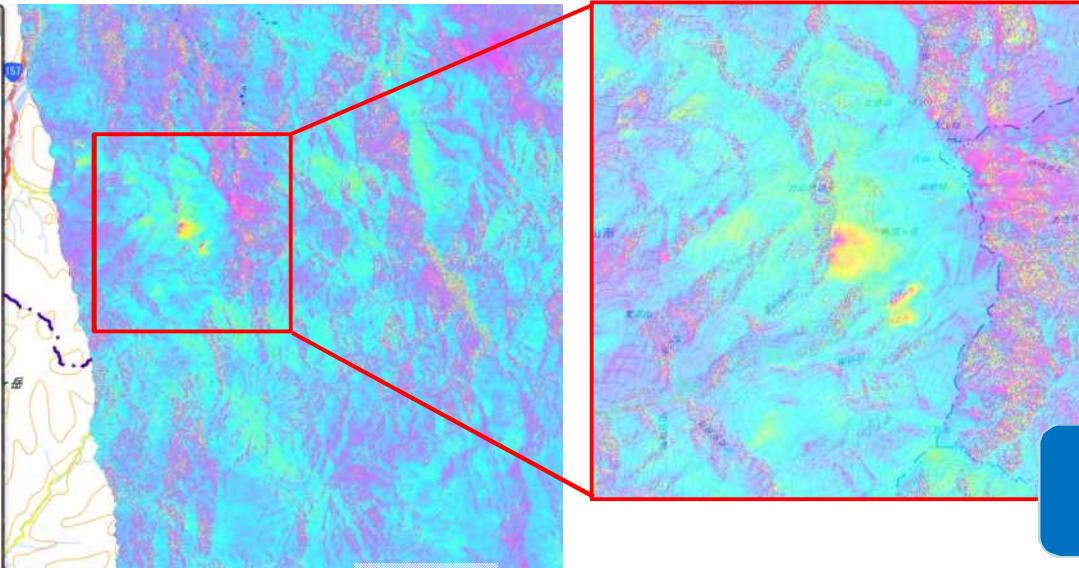
表の見方

SAR衛星	だいち2号	画像中心へ
1回目観測日	2014/10/08	解析:国土地理院
2回目観測日	2015/07/15	原始データ所有:JAXA
取得期間	260日間	
観測時間	23:51頃	
衛星進行方向	北行(A)	衛星進行方向
電波照射方向	右(R)	電波照射方向
電波照射方位	東(E)	
観測モード	U-U	
E°対地傾斜角	11m	
入射角(中心)	43.3°	
垂直基線長	+36m	

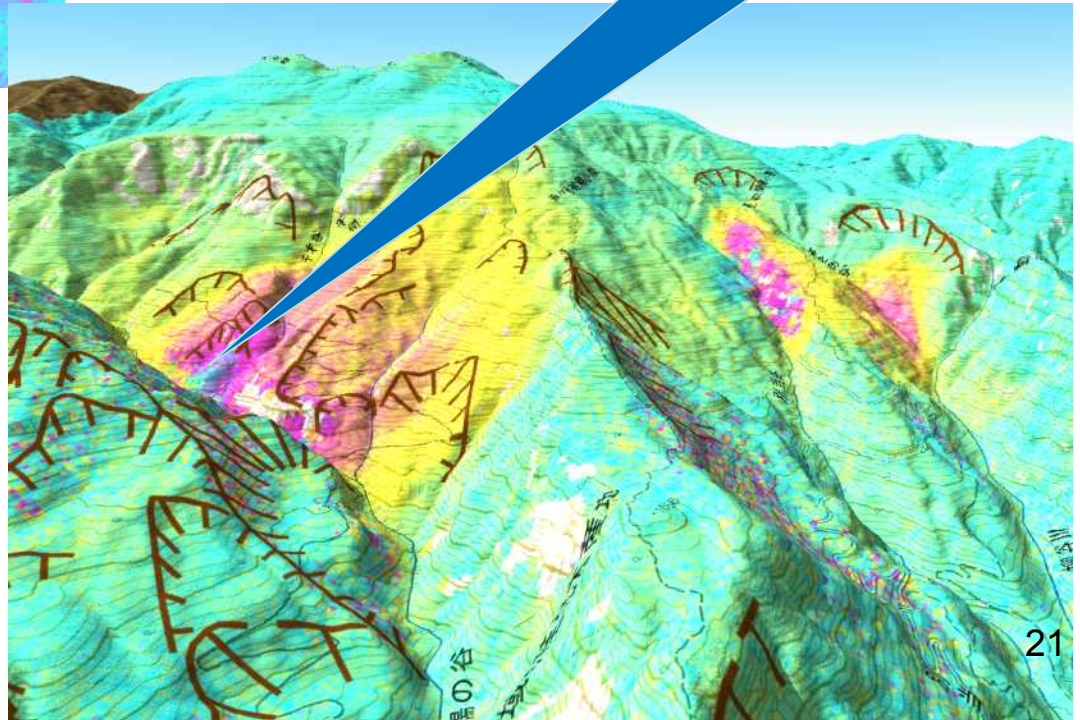
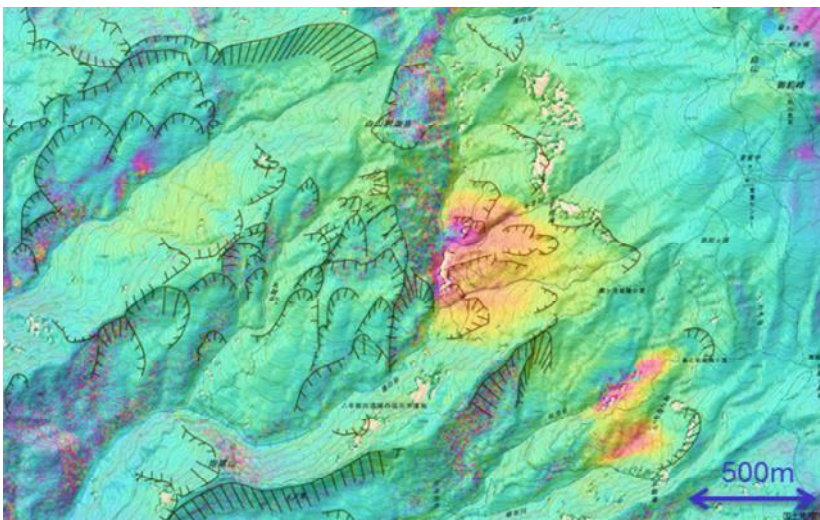
近づく (隆起、西向) ← → 遠ざかる (沈降、東向)

衛星—地表視線方向の変位量 [cm]

色と変位量の関係

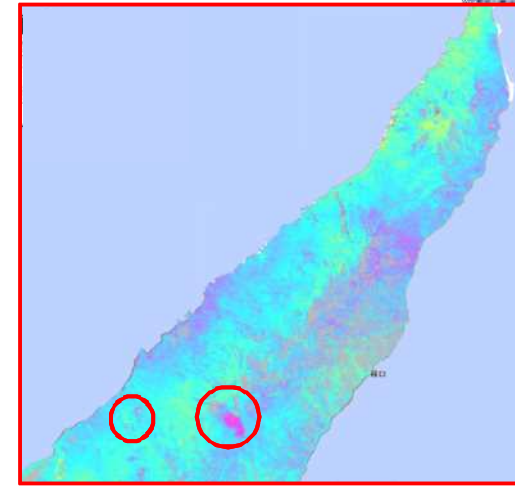
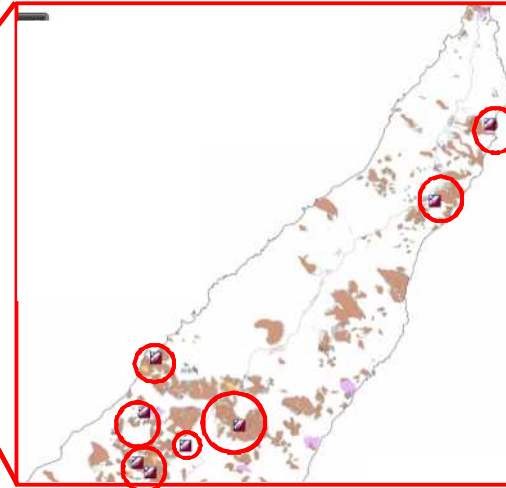
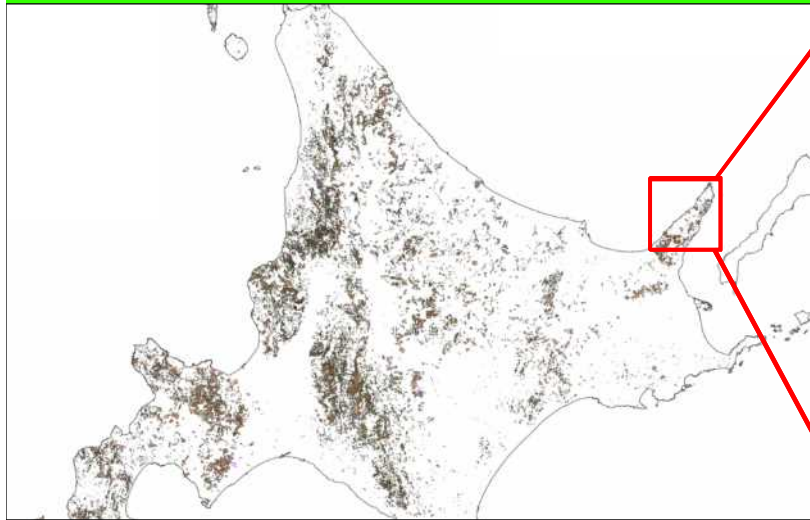


最大 約7cmの地すべり  
前兆的なすべりを監視

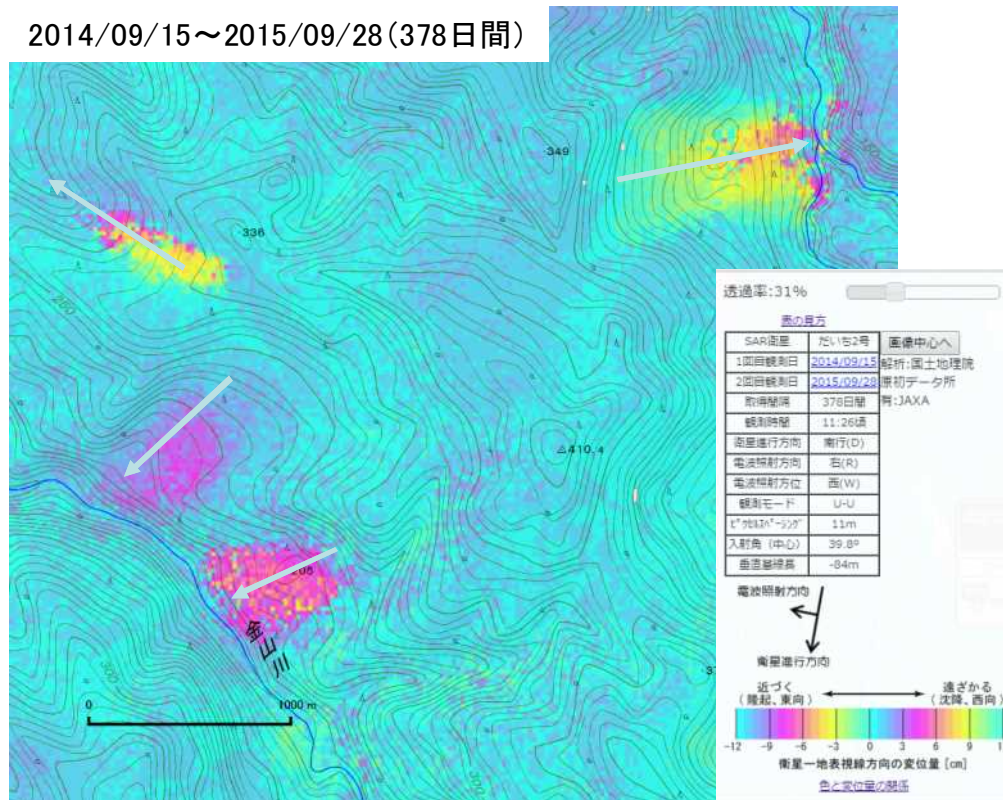




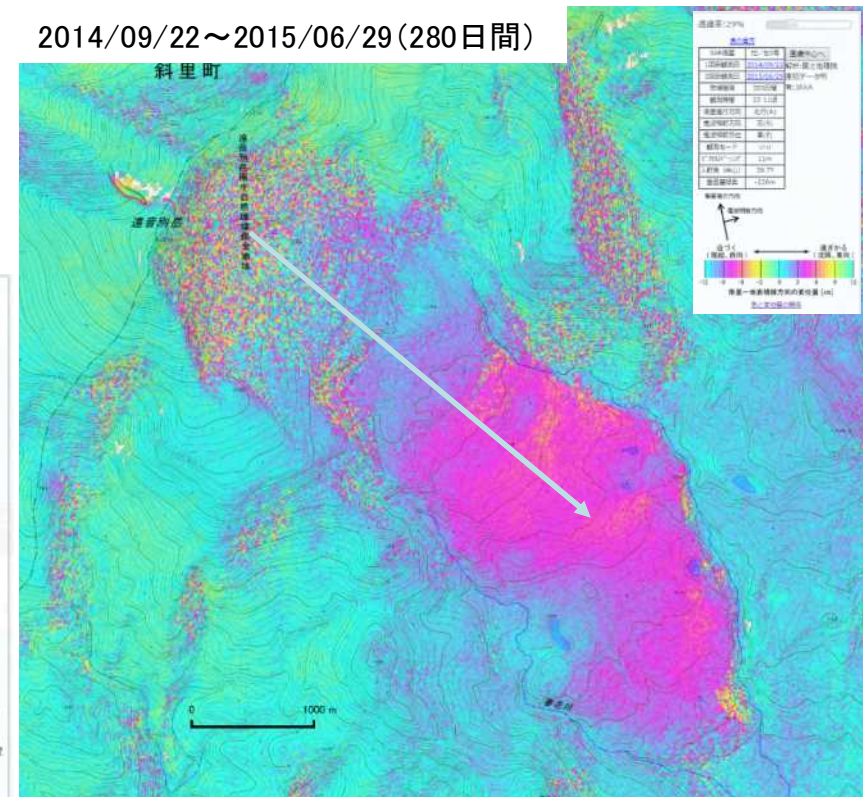
# 北海道地方の地すべり 知床半島



2014/09/15~2015/09/28 (378日間)



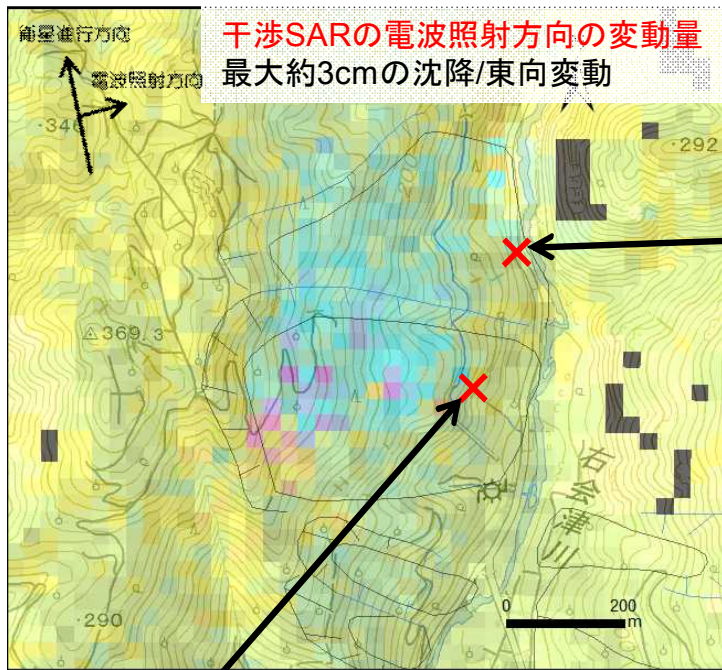
2014/09/22~2015/06/29 (280日間)





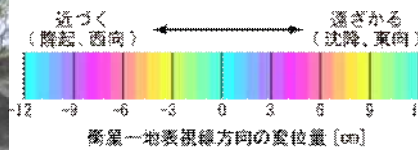
# 斜面変動の範囲の末端部付近で見られる変状例

2010/5/5~9/20



2014/12現地調査

擁壁の開口亀裂と  
はらみ出し



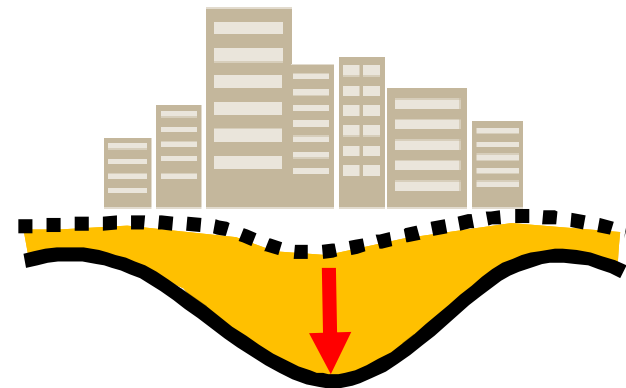
干渉縞下部(地すべり末端部)のモルタル被覆に幅数センチの新しい開口亀裂とはらみ出し

	調査対象物	主な変状例	変位量レベル
地すべり滑落崖付近	アスファルト／コンクリート道路	・開口亀裂 ・段差を伴う亀裂	・開口幅数cm ・段差変位量数cm～10数cm
	道路側溝	・開口亀裂(主につなぎ目) ・つなぎ目の段差	・開口幅数cm ・段差変位量数cm～10数cm
	用水路	・開口亀裂(主につなぎ目) ・つなぎ目の段差	・開口幅数cm ・段差変位量数cm～10数cm
地すべり末端部付近	アスファルト／コンクリート道路	・短縮亀裂(乗り上げ等含む) ・網状亀裂	・短縮量数cm ・1～数mの幅で網状亀裂
	道路側溝	・短縮亀裂(主につなぎ目の圧壊)	・短縮量数cm
	用水路	・短縮亀裂(主につなぎ目の圧壊)	・短縮量数cm
	コンクリート擁壁(干渉縞縁と直交等)	・短縮亀裂(つなぎ目の圧壊等)	・短縮量数cm
	コンクリート擁壁(干渉縞縁と平行)	・はらみ出し及びそれに伴うつなぎ目の開口等	・はらみ出し量or開口幅数cm



# 地盤沈下・造成地の沈降

水・地下資源の利用  
インフラへの影響





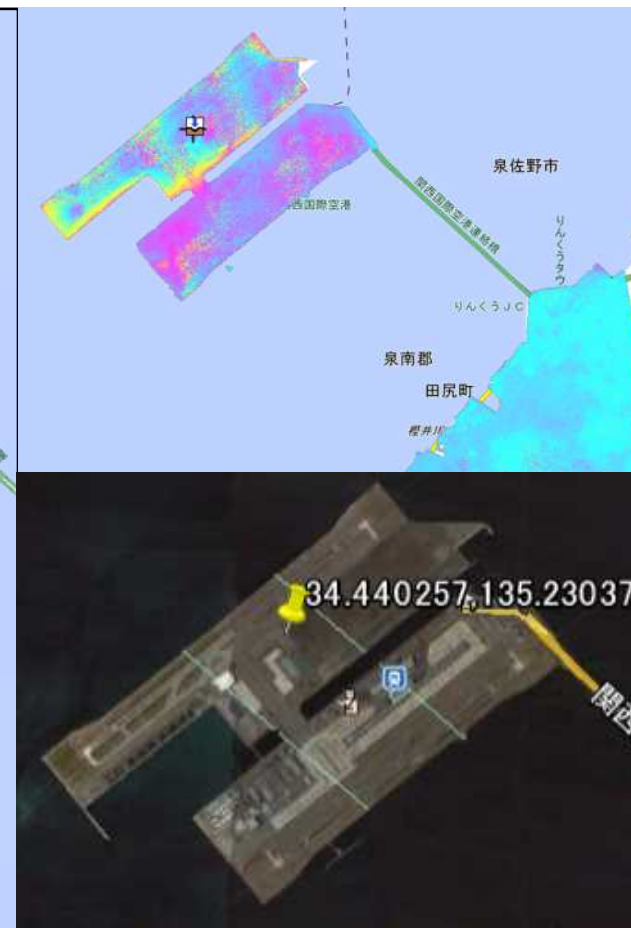
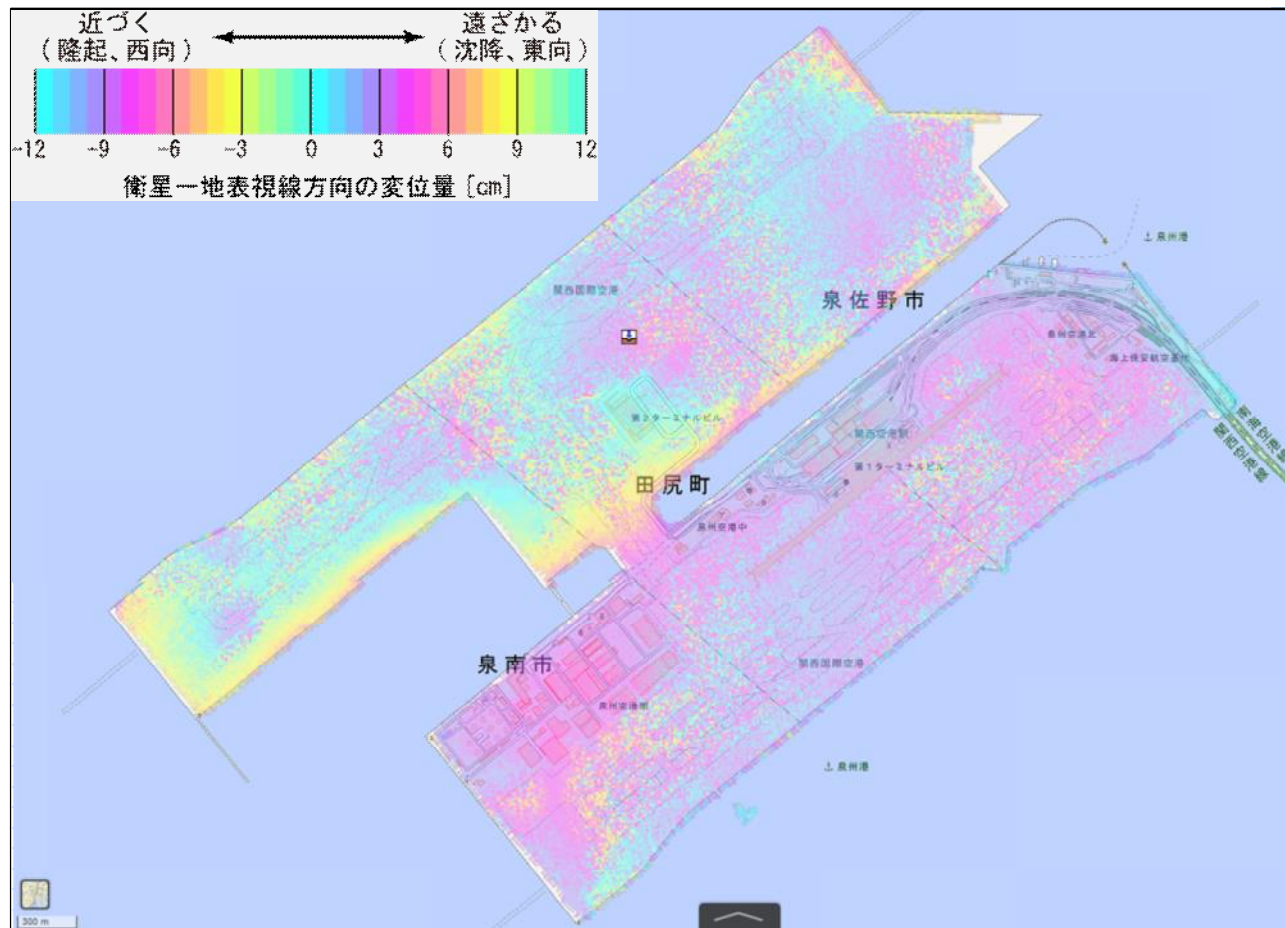
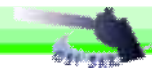
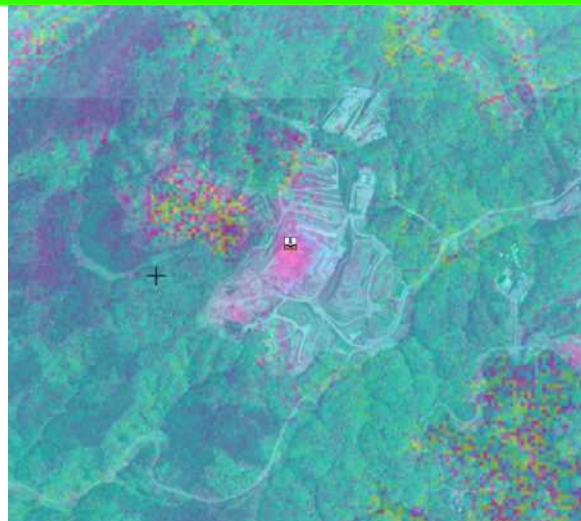


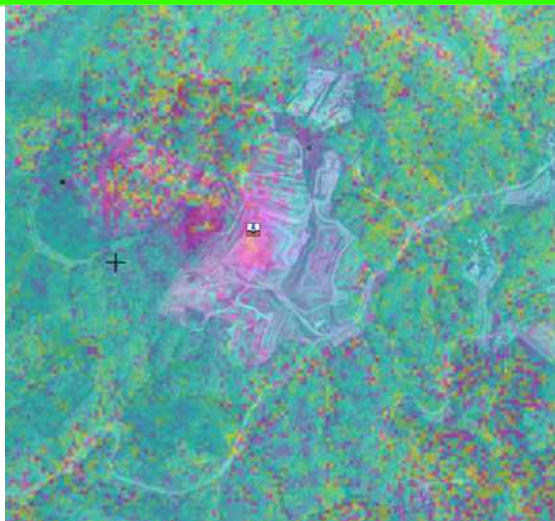
写真 (google) 2014/3撮影

2014/9/15～2015/2/16(154日間)  
 ・第二ターミナルビル側の敷地: 第一ターミナルビル側の敷地から相対的に, 7cm

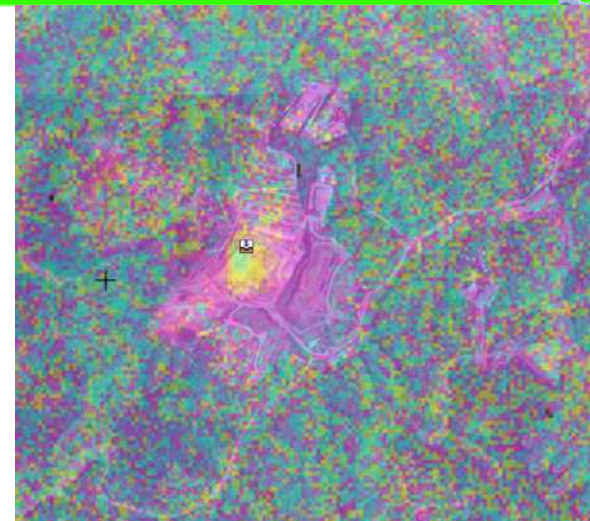
# 山間地域での造成地の沈降事例(富山県)



2014/10/8～2015/4/22  
干渉画像(3cm/196日)



2014/8/22～2015/3/6  
干渉画像(3cm/196日)



2014/8/8～2015/2/20  
干渉画像(5cm/196日)



土地管理者にとって

造成地を管理する上で地表面の沈下状況の継続性を見て適切な施設管理としての活用

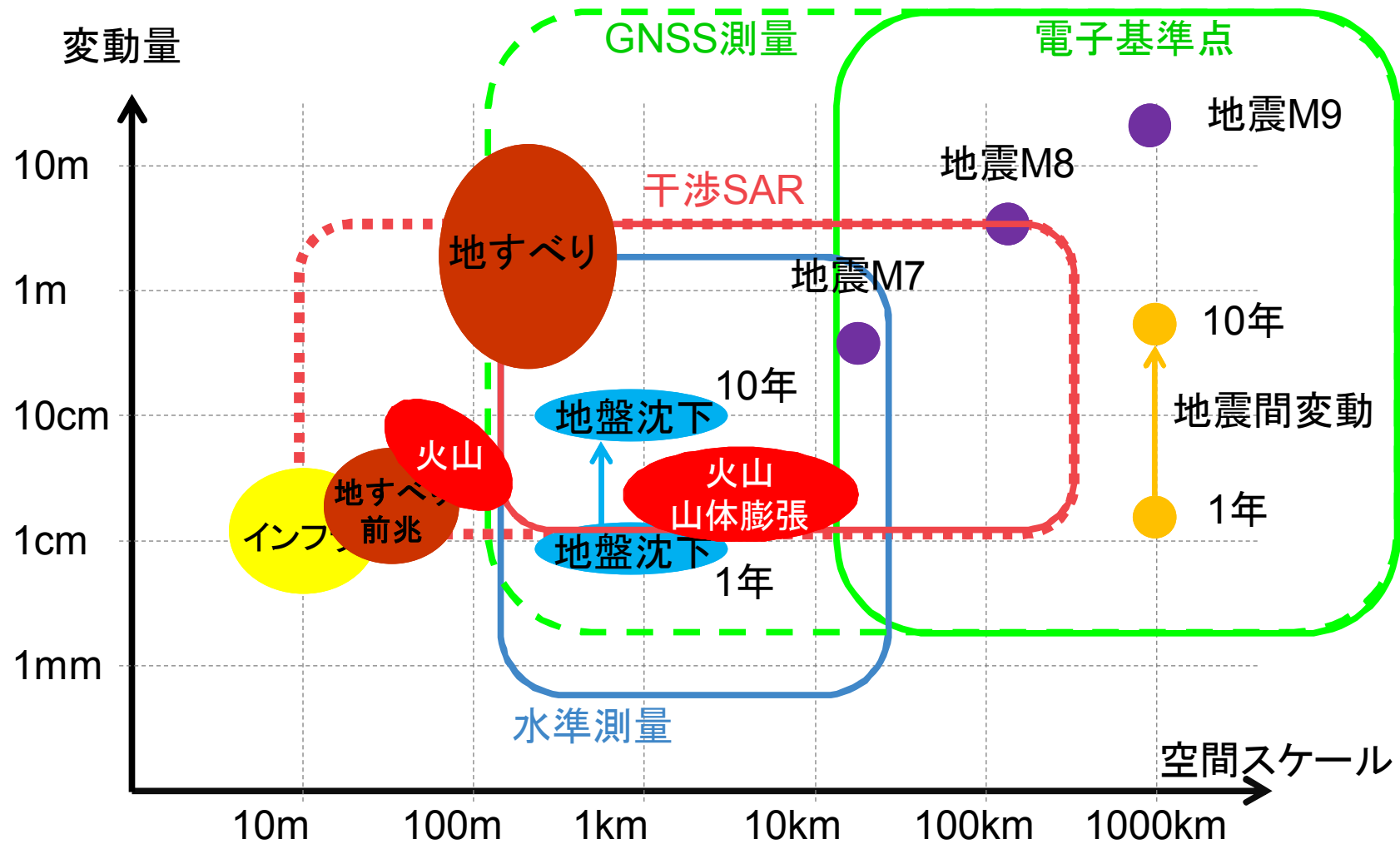




# 干渉SARによる全国監視

## 位置づけと課題

# 変動監視における干渉SARの位置づけ



地上監視との相互補完により高度な監視・より身近なスケールの変動現象の把握



# 地表の変動情報の活用の拡大



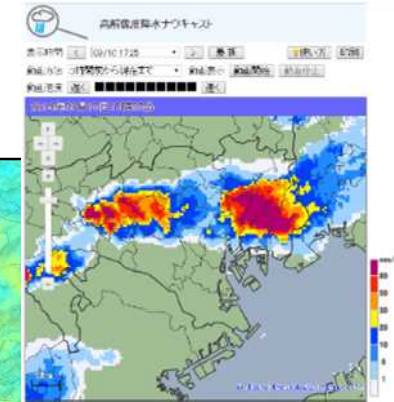
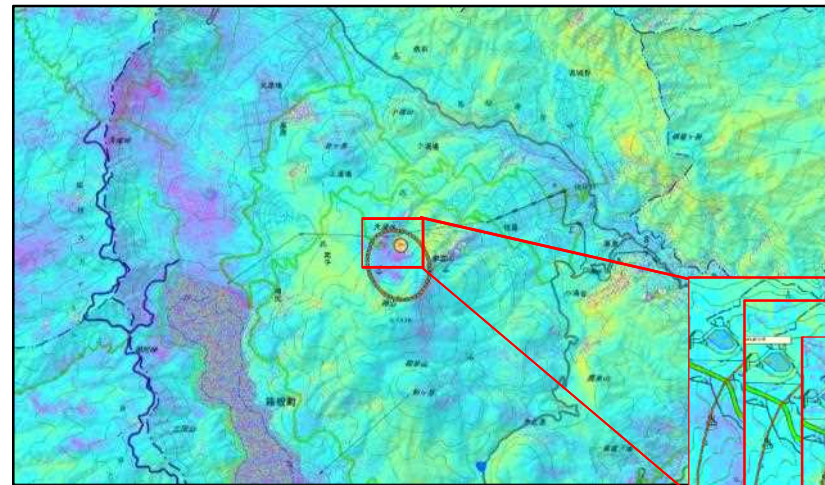
GEONET・GNSS連続観測システム

- ✓ 地上に約1300点の電子基準点を配置
- ✓ 全国約20km間隔
- ✓ 24時間稼働

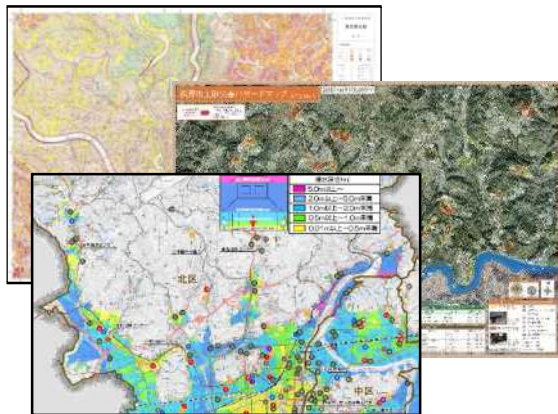
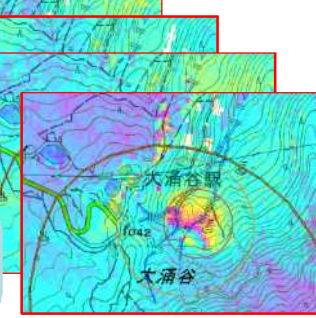
1cm

## GEONETによる:地殻変動の監視

- ✓ 解像度:15~20km(に1点)
- ✓ 情報更新頻度:1秒~日



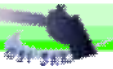
ハザードマップとの直接対比が可能な変動情報



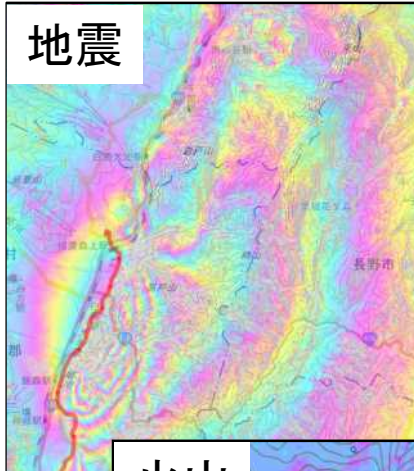
## ハザードマップ・主題図:地域の災害リスクを提示

- ✓ 解像度:数十cm~m単位
- ✓ 情報更新頻度:無し(静的),年・数年に一度?

干渉SAR=(準)リアルタイムハザードマップ?



## 地震

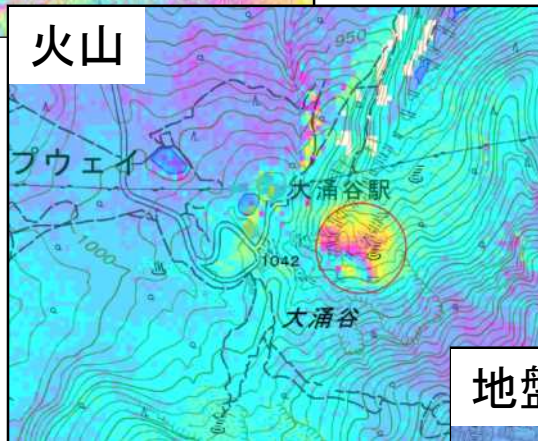


現在進行中の地表変動 = ハザード情報

- リスク: 地震による人的・建物被害  
(発災直後): どこでインフラ(道路・建物)被害が集中していそうか  
(復旧): どの範囲で再測量を行う必要があるそうか  
(事前準備): 震源(活断層)はどこに分布しているか

災害対応部隊・地震調査委員会

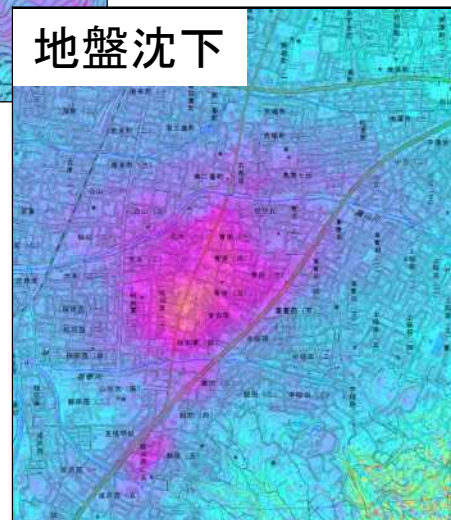
## 火山



- リスク: 噴火による人的・経済的被害  
(事前) 噴火の可能性が高い箇所の特定・立入規制の決定  
(事後) 火山噴出物等の堆積範囲(土石流等の危険)

火山噴火予知連絡会・火山防災協議会

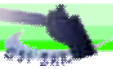
## 地盤沈下



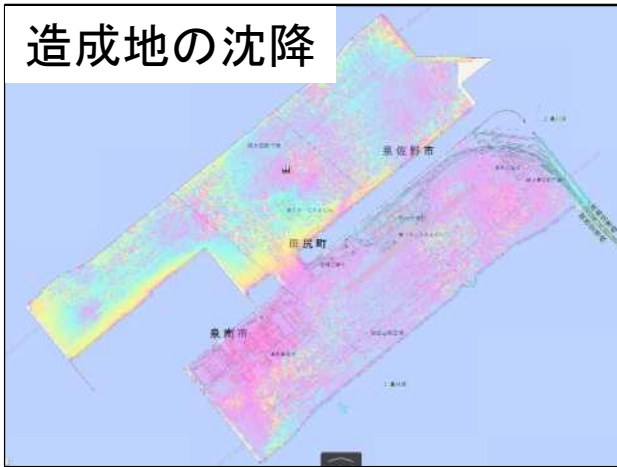
- リスク: 建物被害・地下水の枯渇  
地上での監視強化地域の計画策定

国・地盤沈下協議会

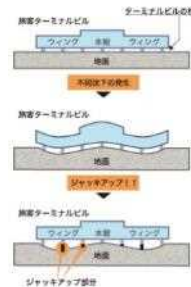




## 造成地の沈降

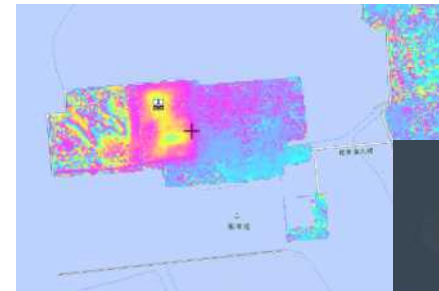


リスク: 不同沈下の発生による建物被害  
施工後の沈降の継続性の把握



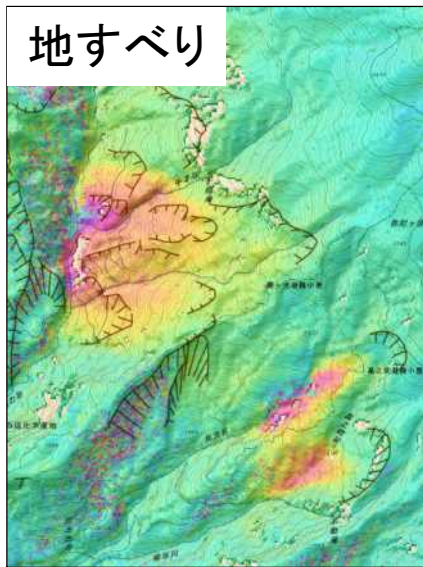
<http://www.nkiac.co.jp/tech/sink/hudou.html>

## 港湾管理者・地方公共団体



リスク？  
何に活用できるか？

## 地すべり

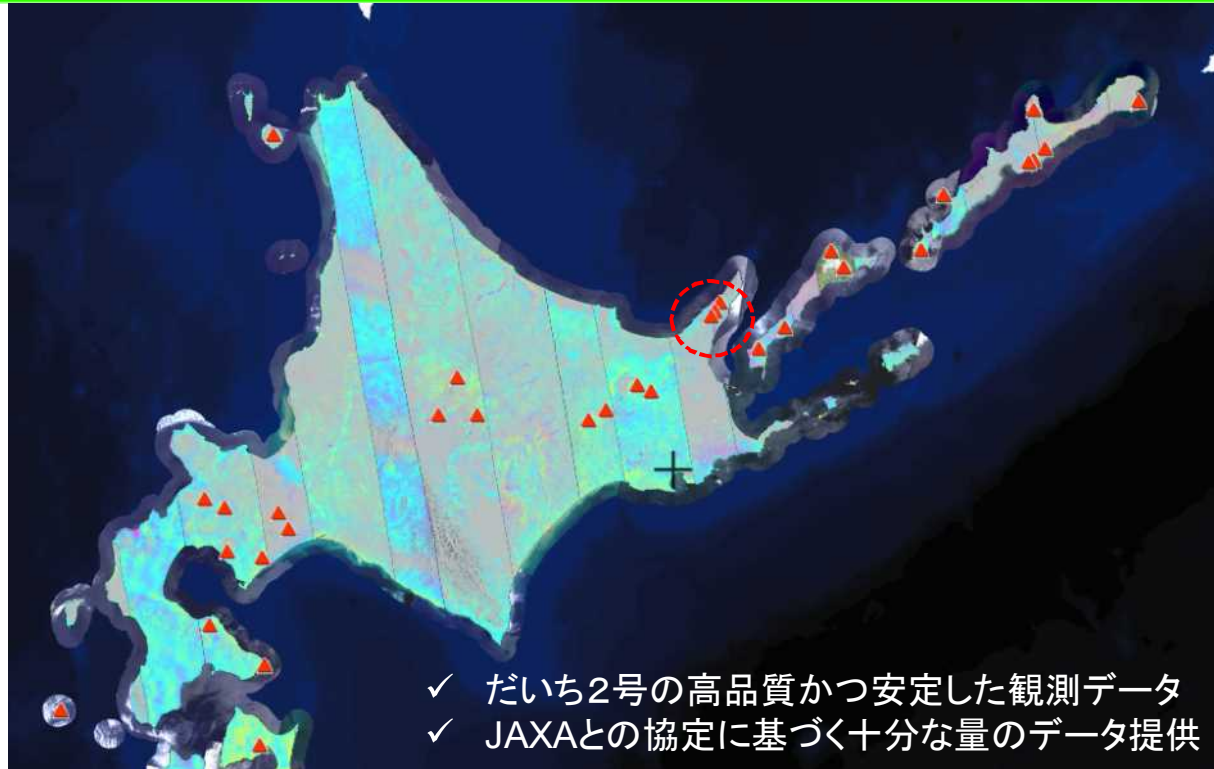


## 国・都道府県

リスク: 流域下への土石流・土砂ダムによる河道閉塞  
変動だけからは切迫性を判断できない  
変動(ハザード)と被害(リスク)の場所が離れている  
→変動は必ずしもリスクと結びつかないかもしれない

リスクとの関係が明確ではないもの、リスクに結びつかない変動情報をどう取り扱うべきか？

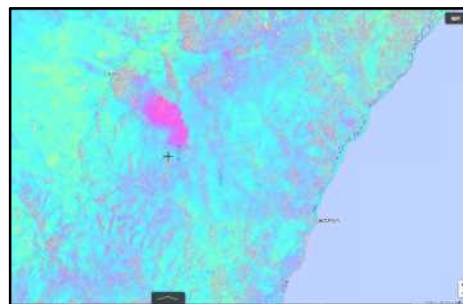
# SARによる地盤変動情報の役割



土砂災害（特別）警戒区域  
地方公共団体

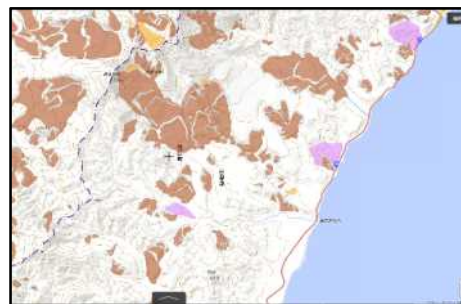


国有林・民有林・保安林  
国・地方公共団体



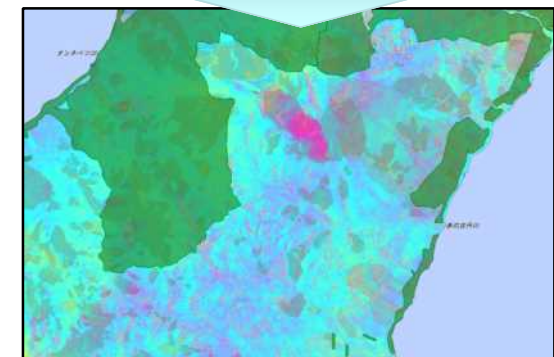
SAR解析結果

地理院



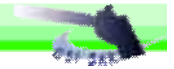
地すべり地形分布図

研究機関



地方公共団体が作成する火山防災や土砂災害警戒区域等のハザードマップをより活用(=これまでの情報に相対的な危険性の違いを与える)・更新するための情報源





- 地上観測機器が不要、天気や昼夜を問わない  
**地下で進行する現象を捉え、監視する有効な技術**
- 性能向上に加え、様々な観測条件の発災前画像が取得済み  
**発災後、迅速に観測可能 数時間～最大3日以内**
- 平時からの定常監視に加え、噴火や活動の活発化の際には  
緊急観測を行い、解析結果を提供、公表  
**地盤沈下・噴火活動・地震活動等の評価に活用**
- 監視結果を「地理院地図」に掲載  
**既存のハザードマップと組み合わせる変動情報として  
利用者・利用方法の拡大(特に 地すべり・造成地の監視)**