

# SARによる地盤変動観測・研究の これまで、そしてこれから

～国土地理院のSAR解析～

国土地理院  
小林 知勝

謝辞:本研究で用いたPALSARデータは「衛星データを用いた地震・地盤変動データ流通及び解析グループ(地震WG)」及び国土地理院とJAXAの「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定書」を通じて提供を受けています。PALSARデータの所有権は経済産業省及び宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあります。データの使用にあたってここに感謝いたします。

## 我が国における地球観測の実施方針(H26) (地球観測推進部会)

### 第1章 課題解決型の地球観測

#### 第1節 気候変動に伴う影響の把握

##### ◆森林の保全と炭素モニタリング

地球規模での森林の適切な管理・保全の実現に向け、(中略) ブラジル・アマゾンにおける伐採現場の早期発見・監視による違法行為の抑制に貢献した「だいち」のLバンド合成開口レーダを高度化し搭載したALOS-2、(中略) の取組が必要となる。

##### ◆農業生産環境及び精算状況の把握

このため、我が国における食料の安定確保、気候変動及び異常気象による農業への影響の把握、(中略) 特にすでに運用を終了した「だいち」では、国内の水稻作付け状況の把握や洪水・津波による農業被害状況の把握のための観測を行っており、また、アジア地域においても農地と作付面積の把握や農業被害状況の把握のために「だいち」は広く活用されてきたことから、ALOS-2によるレーダ観測の継続実施、広域を高分解能に光学観測する広域・高分解能観測技術衛星の開発推進が必要である。

#### 第2節 気候変動メカニズムの解明

##### ◆温室効果ガスに係る物質循環の解明

また、生態系による吸収・放出量の寄与を明らかにするためには、(中略) また、世界の森林を広範囲にかつ高精度・高頻度に観測してきた「だいち」の後継機であるALOS-2によるレーダ観測を継続するとともに、広域を高分解能に光学観測する広域・高分解能観測技術衛星の開発を推進することが必要である。

## 我が国における地球観測の実施方針(H26) (地球観測推進部会)

### 第3節 地震・津波・火山による被害の軽減

(中略) また、今般の震災発生後、「**だいち**」による広域且つ高精度という特色を生かして被災地の緊急観測を行い、効率的な被害状況の把握を行った。(中略) さらに、岩手県沖での海底圧力記録や電子基準点測量により得られた地殻変動観測データ、「**だいち**」の**合成開口レーダ**により観測した震災及び余震に伴う地殻変動の面的分布など、地震発生時から地震後まで様々な観測データが得られており、地震・津波発生メカニズム解明や予測精度向上に資する研究、災害発生に至る諸過程の把握のため活用されている。

#### ◆災害情報の正確かつ迅速な把握及び国際連携の推進による災害対応への貢献

地震大国と呼ばれる我が国のみならず、アジア及び環太平洋諸国は地震や津波に度々見舞われる地域であり、(中略) 特に、東日本大震災のみならず、世界各国で発生した地震、津波、火山、洪水、地すべり等の災害において、広域俯瞰的な被害状況の把握に貢献し、センチネル・アジアや国際災害チャーターの枠組みで数多くの有効な衛星画像を提供してきた「**だいち**」の運用が終了したことを踏まえ、「**だいち**」による**レーダ観測**を継続・高度化する**ALOS-2**を打ち上げるとともに、広域を高分解能に光学観測する広域・高分解能観測技術衛星の開発を推進することが必要である。

日本の地球観測において重要な役割を担っている

## 地理空間情報活用推進基本計画（地理空間情報活用推進基本法）

### 1. 地理情報システム（GIS）に関する施策

#### （1）社会の基盤となる地理空間情報の整備・更新

前基本計画においては、**陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)**等の観測データが地図作成や防災、国土管理などの様々な目的に活用されてきた。**引き続き**このような画像情報について、重要な地理空間情報のひとつとして、整備・提供することが必要である。（中略）さらに、夜間や荒天時においても情報取得が可能な**合成開口レーダ**について、防災等の観点から必要な情報について円滑に画像情報の整備を行うための研究開発等を実施する。

### 5. 震災復興・災害に強く持続可能な国土づくりに関する施策

#### （2）今後の災害に備えた防災・減災に役立つ地理空間情報の整備・流通・活用

また、高精度で安定した波浪及び津波の観測を可能にするための実用準天頂衛星システムを活用したGPS波浪計の改良の検討や、測量用航空機や地球観測衛星を用いた災害時における画像情報の取得や**合成開口レーダ**による状況の把握等を可能とするための体制の整備及び技術の開発、ヘリコプター等から送られた映像等の撮影位置や広域緊急援助隊の位置の把握などへの衛星測位の活用等、大規模災害時における迅速な状況把握を可能とする環境の整備に努める。

地理空間情報の活用の基本ツールとなっている。

## なくてはならないSAR

# 科学技術・学術審議会建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」におけるSAR(抜粋)

### 1 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

#### (1)地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

##### ア. 日本列島域

○火山活動が活発化した場合には、火山周辺での機動的観測、航空機や無人測量船等による観測、**衛星搭載SAR(合成開口レーダー)**などの人工衛星によるリモートセンシング技術を活用し、陸域、海域での火山観測体制の強化を図る。

##### イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

○日本海溝・千島海溝沿いの地域や糸魚川－静岡構造線北部において、GPS及び**SAR**による観測を実施し、地殻変動分布を明らかにする。

○活動的な火山を優先して**地球観測衛星**、航空機による**SAR**等を利用して高精度な地殻変動の測量を実施する。

##### ウ. 東海・東南海・南海地域

○**SAR**及びGPSを用いて、定常的な地殻変動とその揺らぎを面的にモニターする。

#### (2)地震・火山噴火に至る準備過程

○地震、**SAR**,GPS, 海底地殻変動, 重力等の観測を充実させてプレート境界の滑りと固着の状態の把握に努める。

○GPS, 水準測量, 光波測距, **干渉SAR**等の地殻変動解析から、マグマ供給系を含む火山体の構造や状態及びそれらの時間的変化を明らかにし、マグマの上昇や蓄積を把握する

## なくてはならないSAR

# 科学技術・学術審議会建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」におけるSAR (抜粋)

### (3)地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程 (3-1)地震発生先行過程

#### イ. 先行現象の発生機構の解明

○兵庫県南部地震前後の地殻変動や地震活動の変化の原因を理解するために、地震活動やGPS, SAR等の測地データを新たな手法により再解析する。

### 3 新たな観測技術の開発

#### (2)宇宙技術等の利用の高度化

○GPSや衛星搭載SAR等の宇宙技術は、地震及び火山活動を深く理解するとともにそれらの活動を的確に把握するための観測手段として重要な役割を果たしている。それらのデータを利用した解析技術の高度化を図ることにより、より高精度な測地手法の実現や様々な地震や火山活動をより高い精度で把握するリモートセンシング手法の実現を目指す。特に、「だいち」などによる衛星観測は、国内国外の地震・火山現象の解明に有用なデータを提供しており、地球観測衛星が継続して打ち上げられることが極めて重要である。

○「だいち」等による衛星SAR干渉解析による地殻変動把握技術の高度化のため、永続散乱体干渉手法、GPS等との統合解析手法、大気伝播誤差補正手法及び干渉データの位相連続化手法の拡張や改良を進める。

地震・火山活動を把握するための基本ツールとなっている。

# 国土地理院のSAR解析

## 1. 1 SARの実利用

### 高精度地盤変動測量事業

## 1. 2 研究・開発

### 1. 2. 1 技術開発

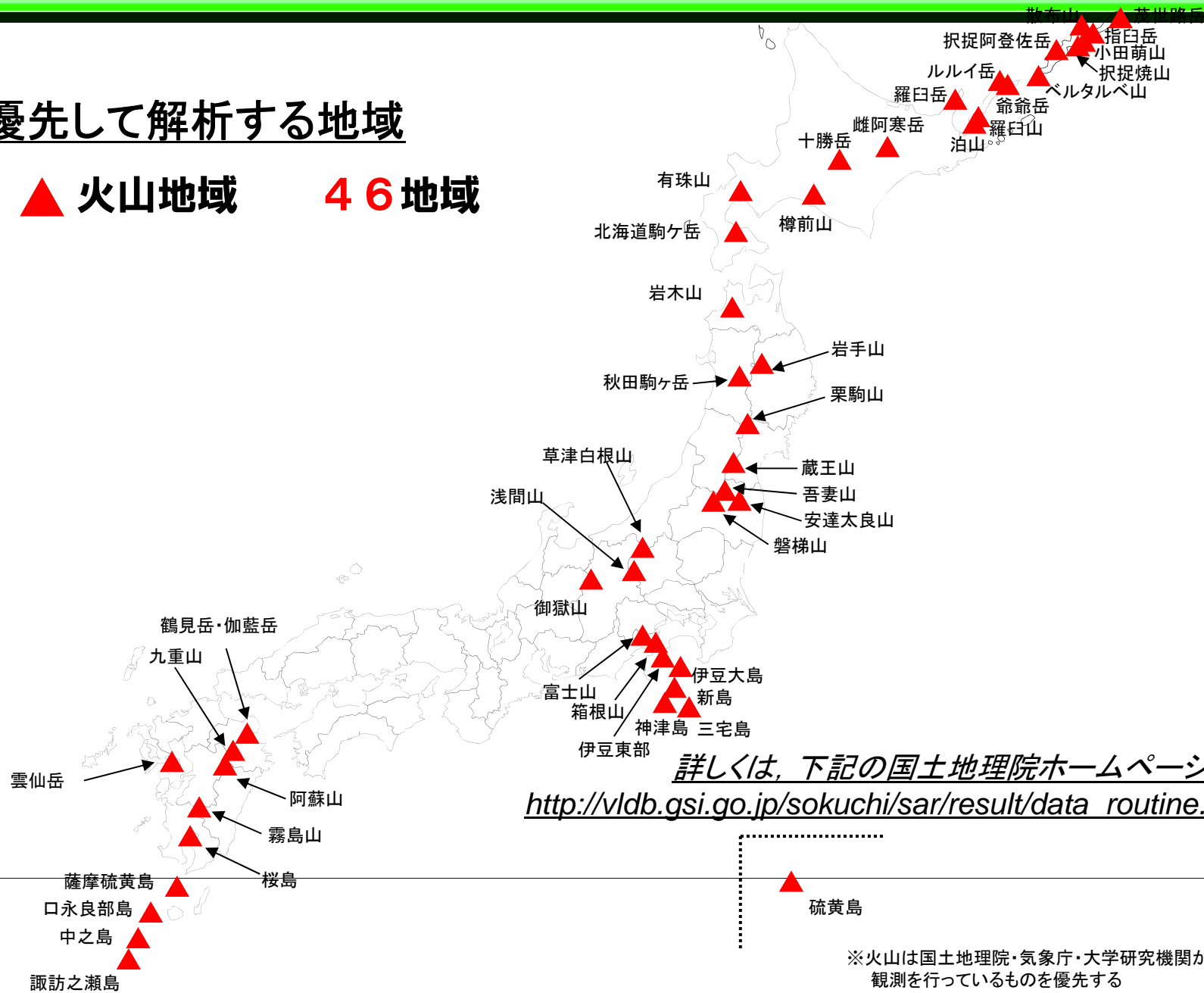
### 1. 2. 2 利活用研究

（地震，火山，地盤沈下，地すべり，液状化）

### 1. 2. 3 解析結果の提供方法

## 優先して解析する地域

▲ 火山地域 46地域

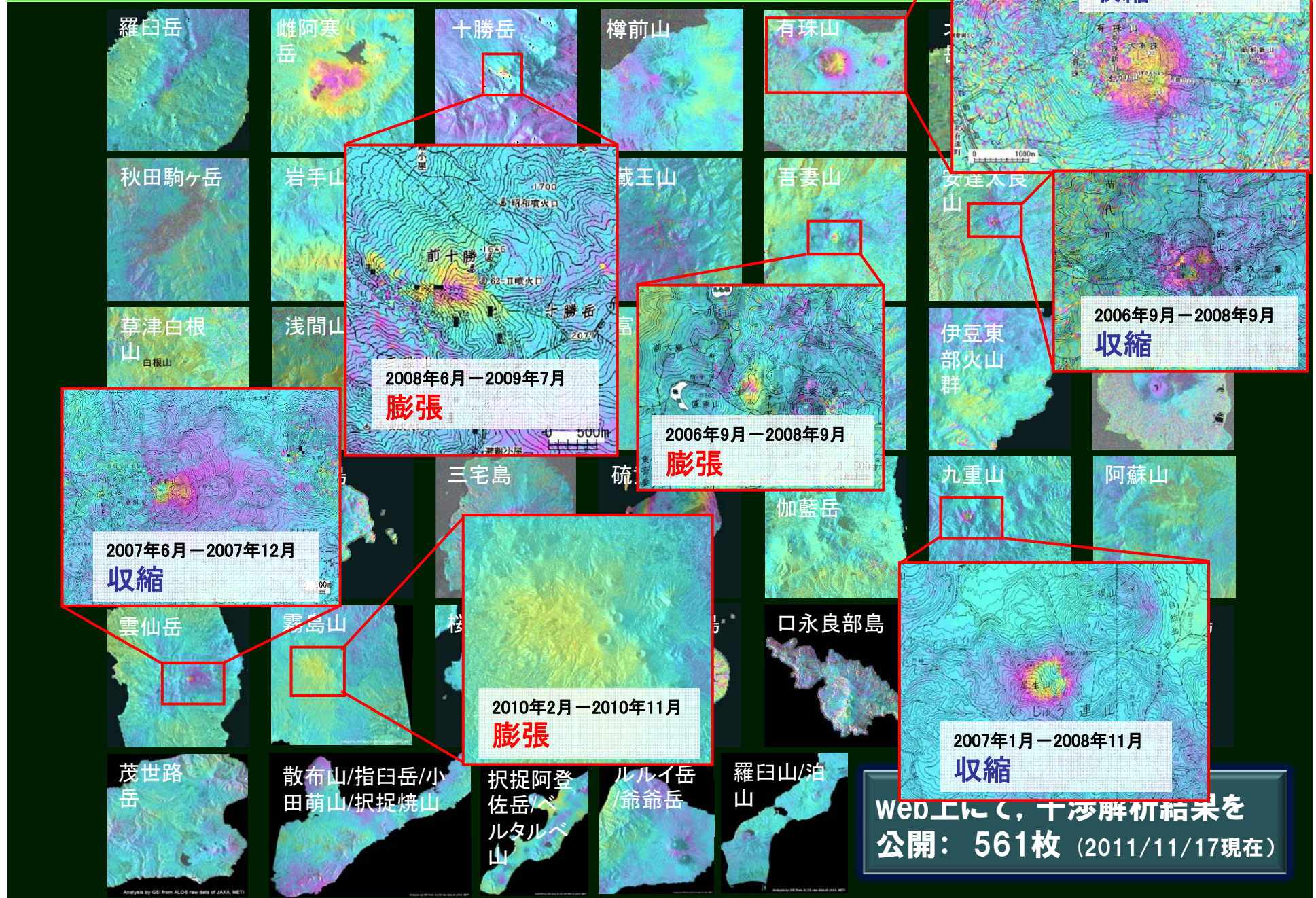


詳しくは、下記の国土地理院ホームページにて  
[http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/data\\_routine.html](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/data_routine.html)

※火山は国土地理院・気象庁・大学研究機関が重点的に観測を行っているものを優先する

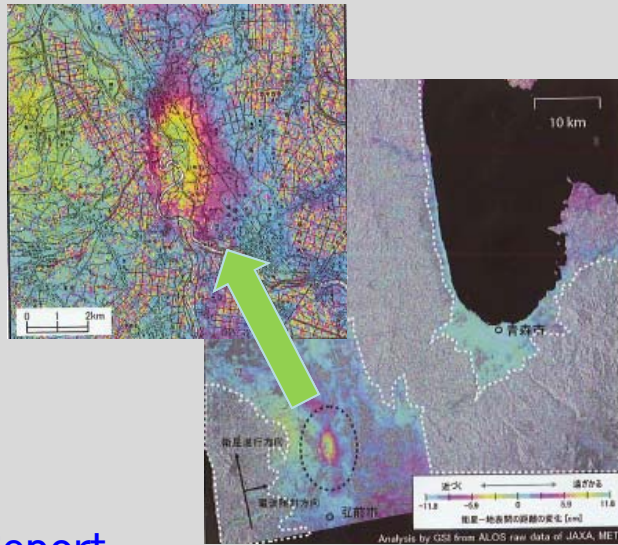


# ALOS/PALSARによる火山の定常監視 [2006-2011]

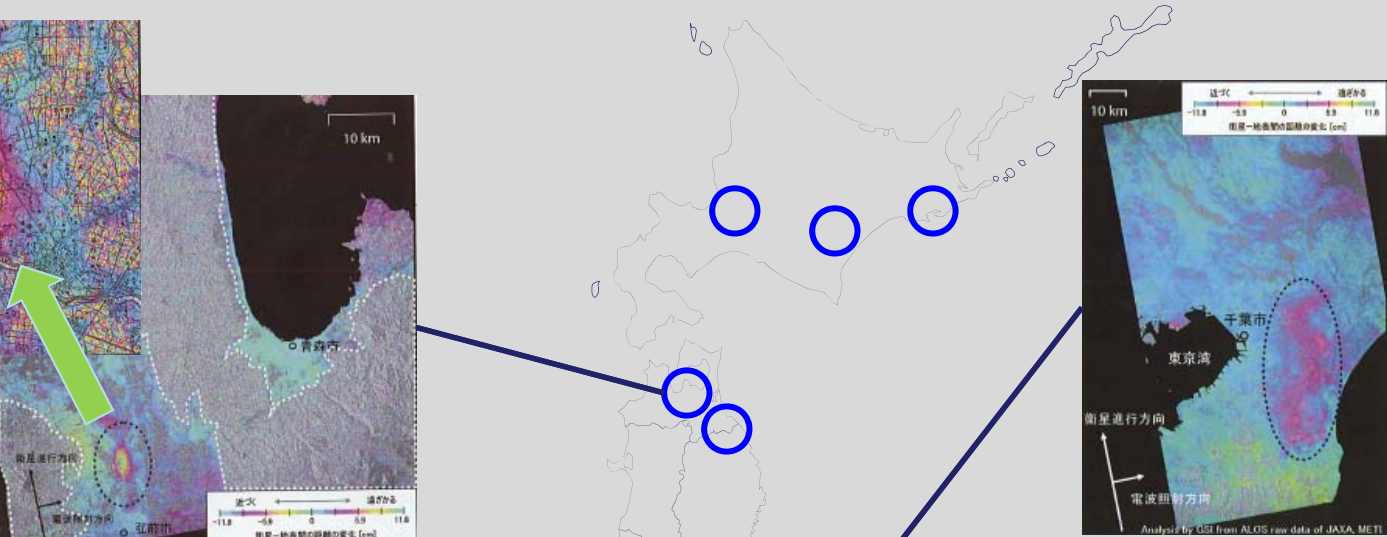


Web上に、十ヶ所解析結果を  
公開: 561枚 (2011/11/17現在)

# 地盤沈下の定常監視 by ALOS [2006-2011]



Annual Report



国土地理院技術資料 B-1-16-03



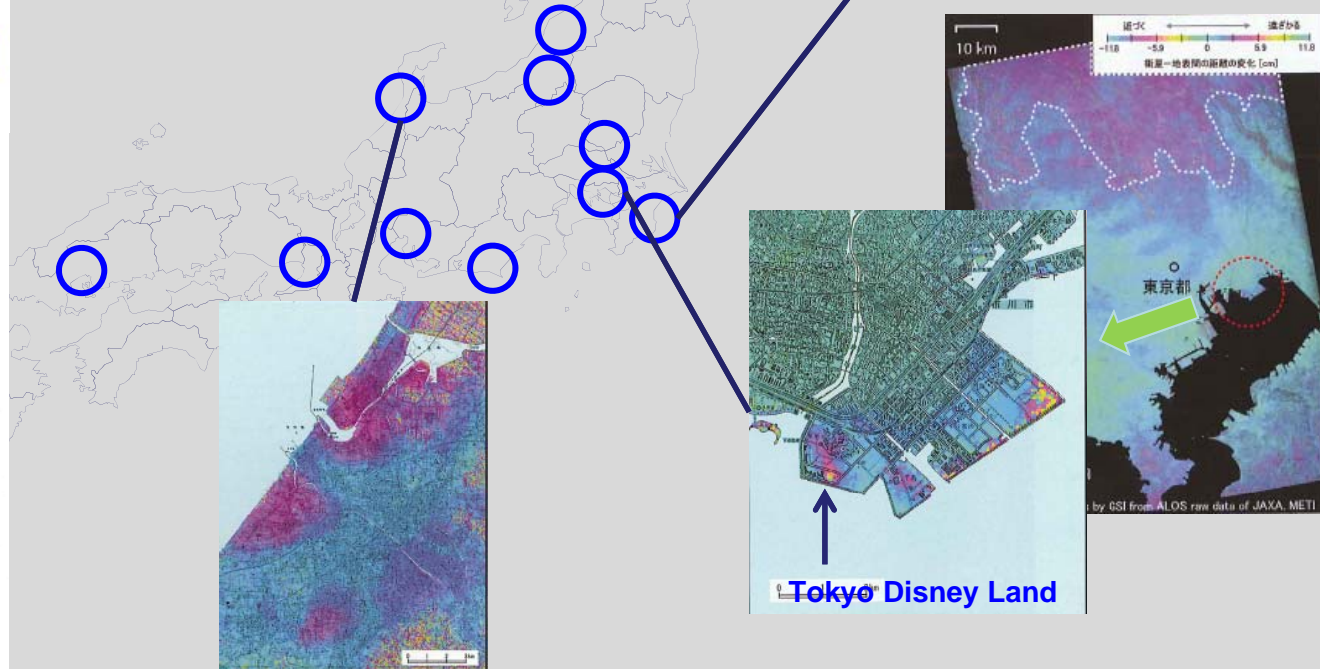
平成23年 高精度地盤変動測量(干渉SAR)

監視年報

平成24年3月

国土地理院

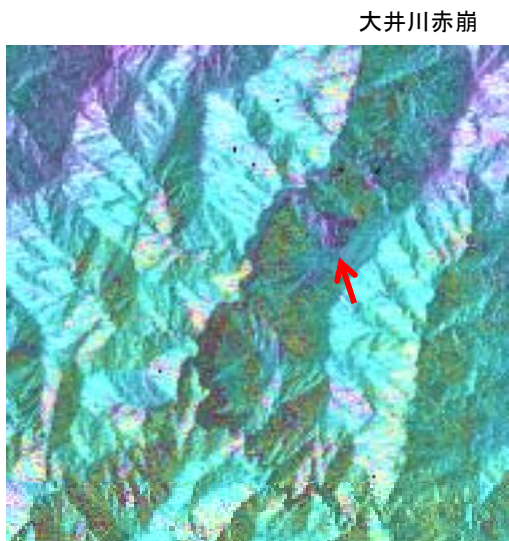
Geospatial Information Authority of Japan  
(GSI)



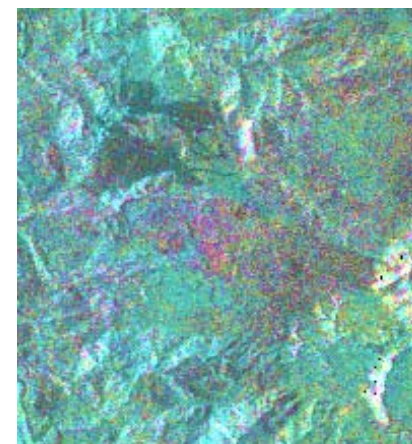
Tokyo Disney Land

## 優先して解析する地域

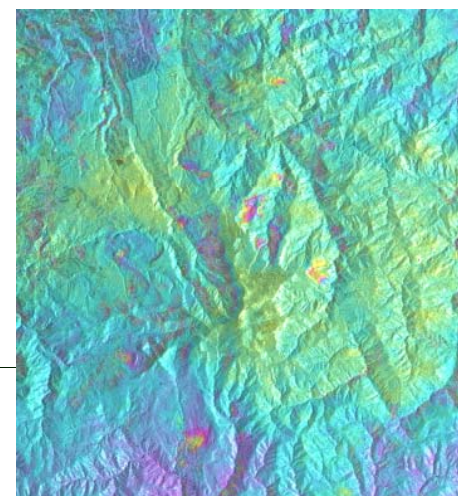
□ 地すべり地域      3地域



秋田県東成瀬

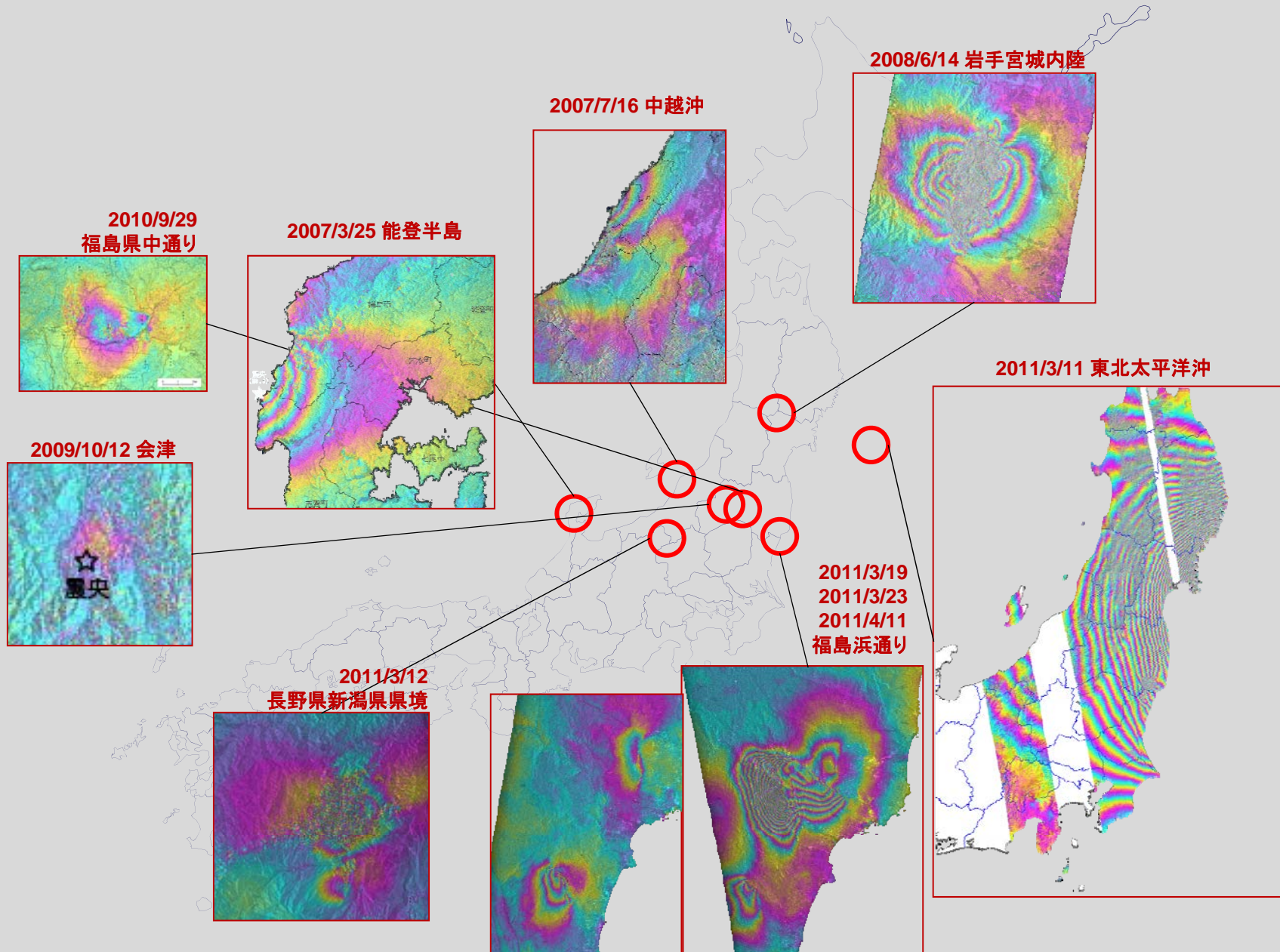


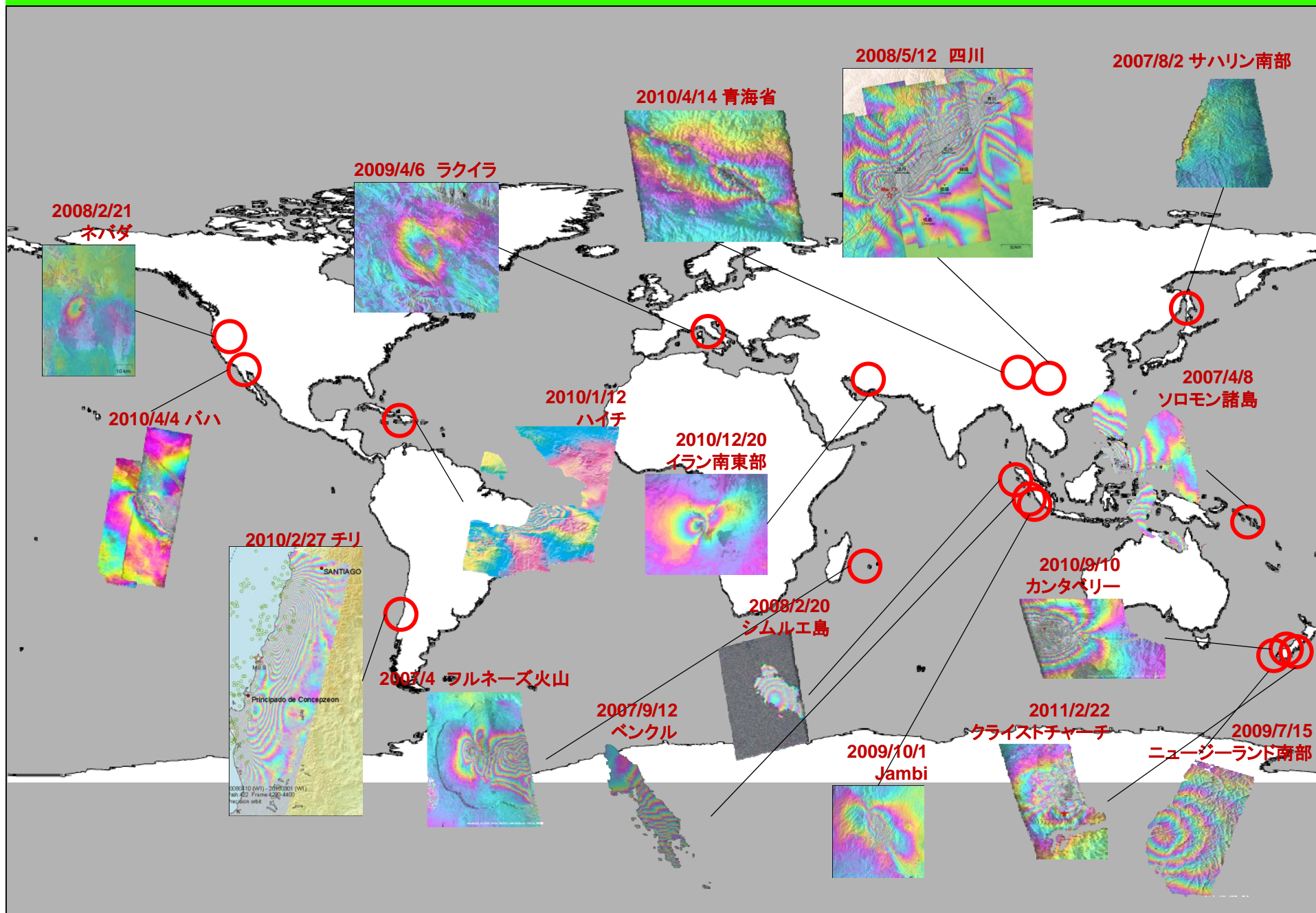
山形県月山(七五三掛地区)



詳しくは、下記の国土地理院ホームページにて  
[http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/data\\_routine.html](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/data_routine.html)

# ALOS/PALSARによる地震時地殻変動観測 [2006-2011]





# SAR干渉解析結果の公表

国土地理院干渉SARホームページトップ  
<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/>

地殻変動研究室  
<http://www.gsi.go.jp/cais/crust-index.html>

Googleで“干渉SAR”を検索



干渉SAR成果\_定常解析\_硫黄島 - Windows Internet Explorer

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/sar\_data/volcano/iwo.html

宇宙から、地球の変動を見る。  
 国土地理院の干渉SAR | 干渉SAR成果 | 干渉SARを知る | 干渉SAR Q&A

目次 | **定常解析** | 緊急解析

ホーム > 干渉SAR成果 > 定常解析 > 硫黄島

注1) ここで公開されているSAR干渉画像は、国土地理院が解析したものであり、ALOS/PALSARデータの所有権は、経済産業省(METI)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあります。PALSARデータの干渉画像を引用する際には、その旨を明記し、干渉画像には、Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA,METIとクレジットを明記してください。

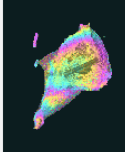
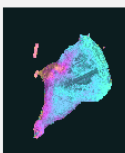
注2) 画像ファイルをダウンロードする場合は、取得する画像のリンクを選択し、表示された画像上で「右クリック」→「対象をファイルに保存」を実行してください。

注3) 各画像の電子国土表示は、電子国土Webシステムプラグインを利用する必要があります。電子国土に関する詳細は、こちらをご覧ください。

電子国土サイト

硫黄島

SAR干渉画像の見方

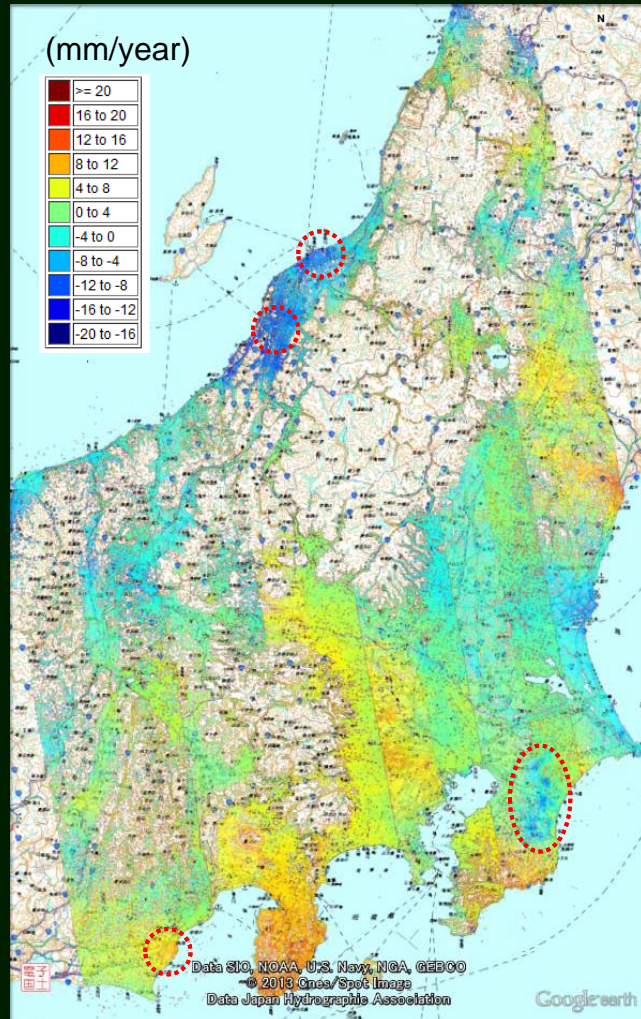
No.	干渉画像	諸元情報	コメント	ダウンロード
1		観測日 2006/11/01 2007/02/01 運用モード FBS/HH /偏波 FBS/HH 衛星飛行方向 Ascending (北行) オフナディア角(度) 41.5 基準長[m] (Bperp) -608 範囲 (緯度/経度) 24.73/24.83/ 141.26/141.36	・硫黄島東部の元山付近では、隆起と思われる実位が見られる。	画像 (png)
2		観測日 2007/02/16 2007/04/03 運用モード FBS/HH /偏波 FBS/HH 衛星飛行方向 Descending (南行) オフナディア角(度) 34.3 基準長[m] (Bperp) +350 範囲 (緯度/経度) 24.73/24.83/ 141.26/141.36	・硫黄島西部の阿蘇台断層に沿った、ステップ状の実位が見られる。 ・硫黄島東部の元山付近では、隆起と思われる実位が見られる。	画像 (png)

国土地理院ホーム Copyright:2004.Geographical Survey Institute.All Rights Reserved. リンク 著作権について

インターネット 100%



## 干渉SARによる全国地盤変動マップの作成に向けて

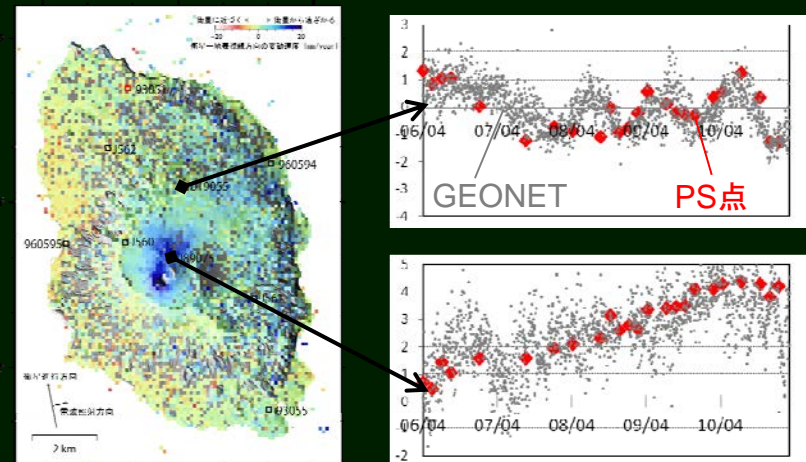


- 関東広域の時系列変動マップを試験的に作成
  - 数多くの変動を検出
  - 大量のデータが必要
  - 大気等ノイズの影響が残る
  - 山岳部では変動検出困難

有効性・  
課題の抽出

- 非定常な変動の検出の試み

### 解析事例: 伊豆大島





# 国土地理院のSAR解析

## 1. 1 SARの実利用

### 高精度地盤変動測量事業

## 1. 2 研究・開発

### 1. 2. 1 技術開発

### 1. 2. 2 利活用研究

（地震, 火山, 地盤沈下, 地すべり, 液状化）

### 1. 2. 3 解析結果の提供方法

# 計測精度向上への取り組み

地殻変動  
ユーザーの要求

地盤沈下や地震・噴火の準備過程に伴う地殻変動

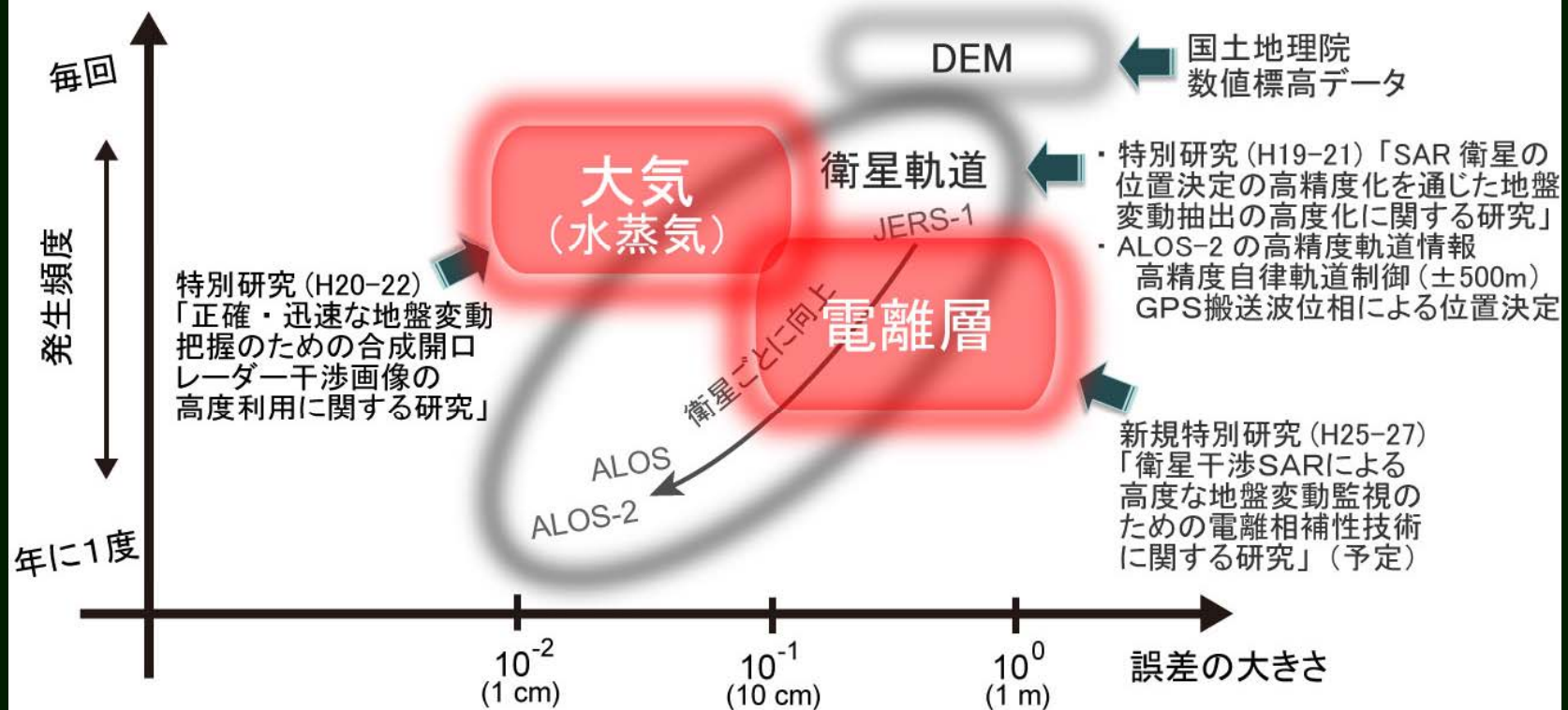
→ mm~cm精度でのモニタリングが必要

(宇宙基本計画: 今後10年程度の目標として「地殻変動を1センチメートル程度の精度」で監視)

現状

大気(水蒸気), 電離層などの影響による誤差が, 正確な地盤変動把握の妨げに

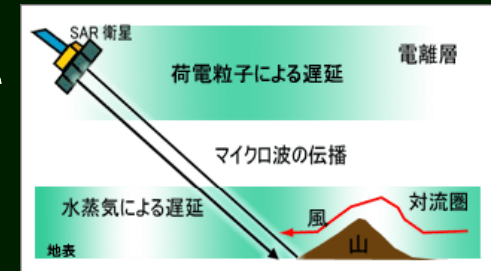
SARデータによる地殻変動観測の誤差原因とその特徴 (概念図)



# 数値気象モデルを利用した大気遅延誤差の低減

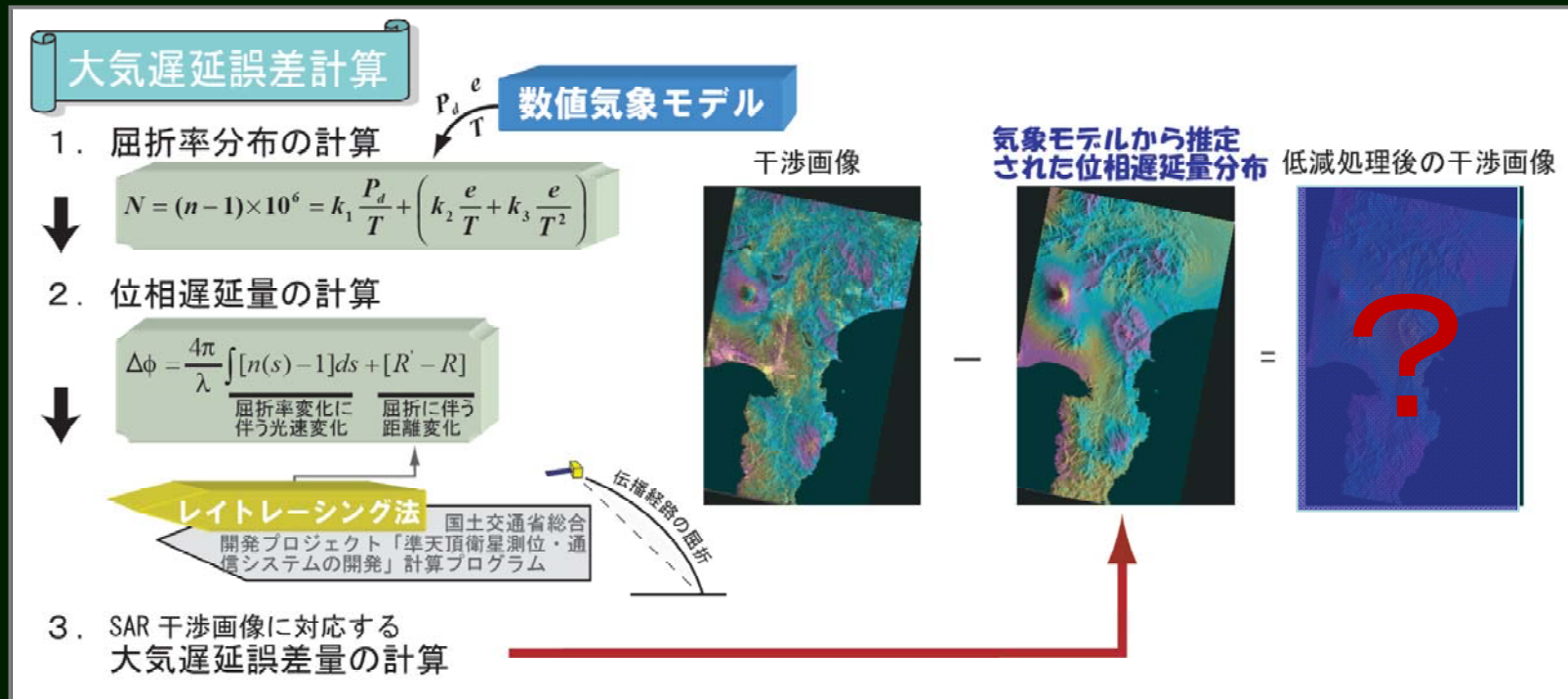
## 背景

- ・水蒸気分布は時空間的に不均質 ⇒ 誤差低減は容易ではない
- ・大気状態を詳細に反映したデータを基にした遅延量計算が必要



## 【研究】

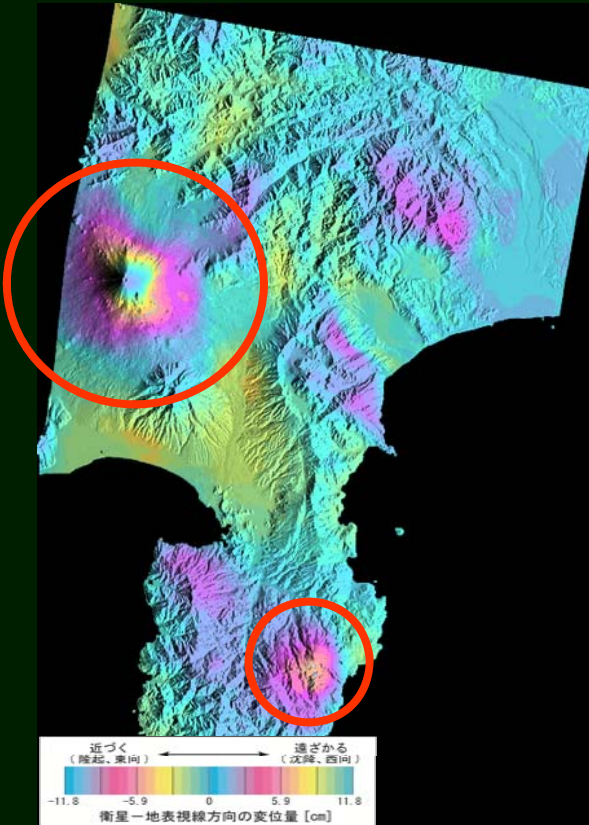
- ・数値気象モデルを利用した誤差低減処理
- ・レイトレーシング法による、屈折を考慮した高度な遅延量計算



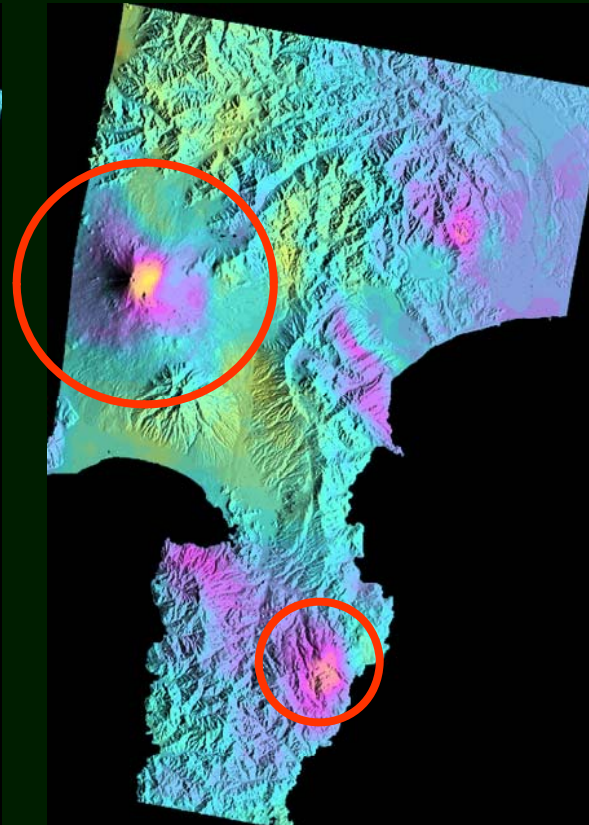
# 大気(水蒸気)起因の誤差に関する研究

## 数値気象モデルを利用した位相遅延誤差の低減処理技術の開発

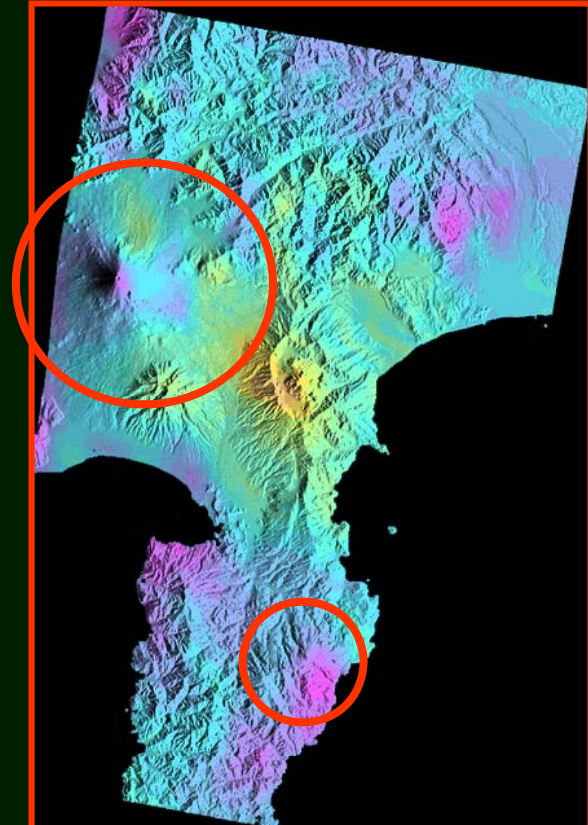
低減処理なし



従来手法(大気-標高補正)



数値気象モデル



国土地理院所有の数値気象モデル(GSI-MSM)を利用した大気起因誤差の低減処理プログラム AtmDeRay を開発

## GEONETを利用した誤差低減処理技術の開発の試み

= 課題名 =

衛星干渉SARによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究

(H25-27年度)

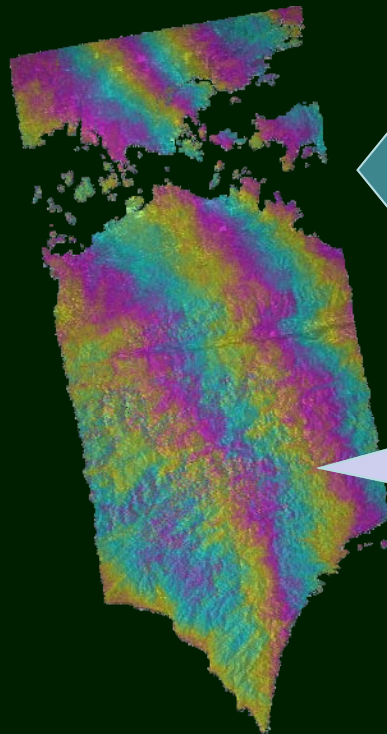
問題点

電離層擾乱( $\Delta$ TEC)のLバンドSARへの影響大 [Cバンドの約20倍の影響]

電離層擾乱が生む見掛けの位相変化 ~理論計算値(1TECUの場合)~

L-band (1.27GHz)  $\rightarrow$  50 cm / C-band (5.3GHz)  $\rightarrow$  2.8 cm

四国東部の観測例

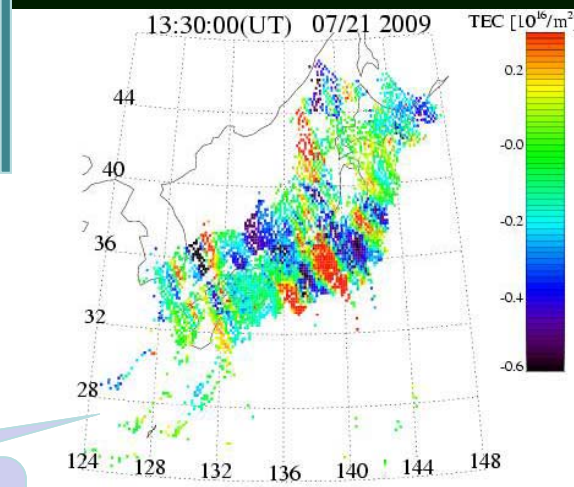


GEONETによる電離層  
電子密度(TEC)情報を  
利用した誤差低減

地殻変動とは異なる見かけの位  
相変化(30cm以上)

SAR干渉画像で見られる縞  
状のパターンと類似

GEONETで観測されたTEC擾乱

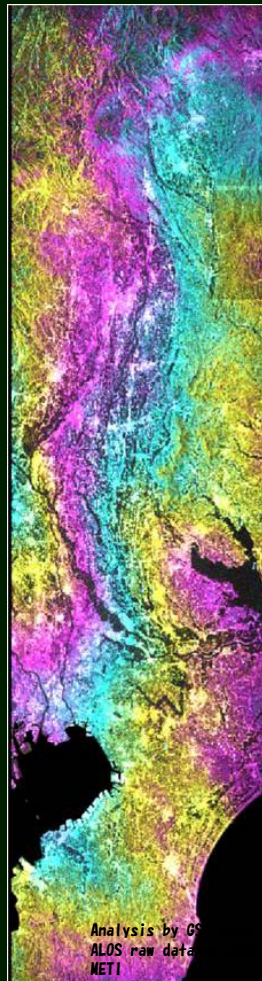


(<http://stegps.kugi.kyoto-u.ac.jp/> より)

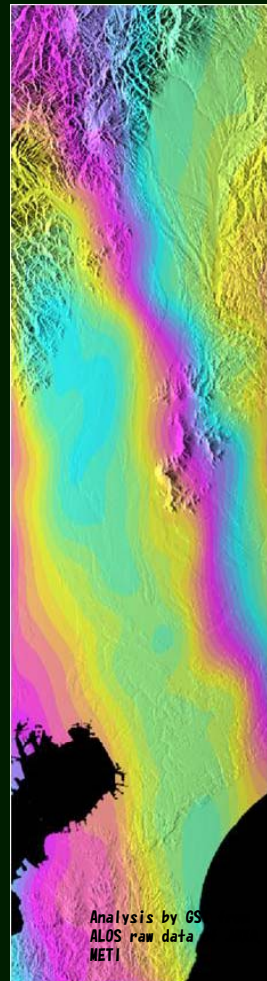
※TEC(Total Electron Content): 全電子数

\*Path 405/Frame 700, 710, 720 (関東地方)

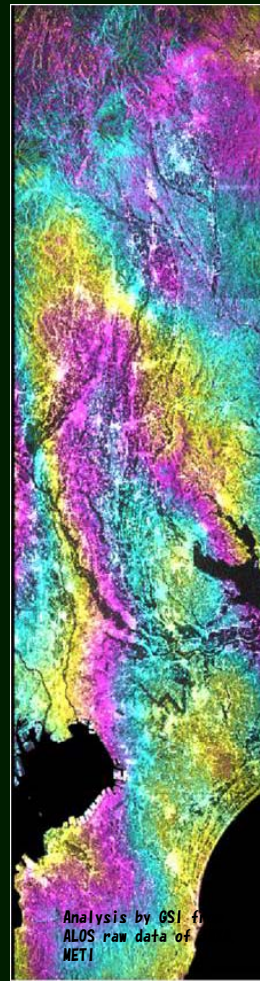
元干渉画像



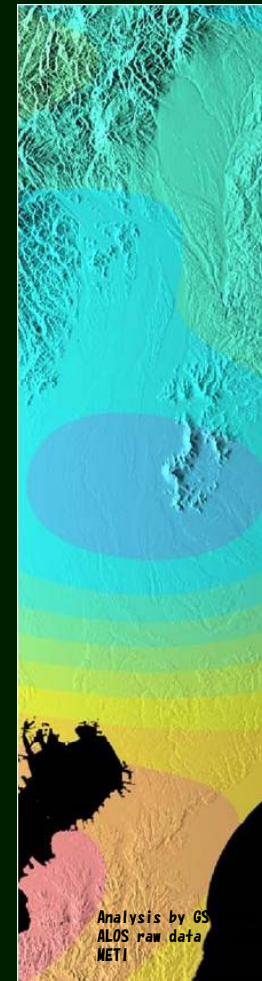
電離層補正画像  
(直接法)



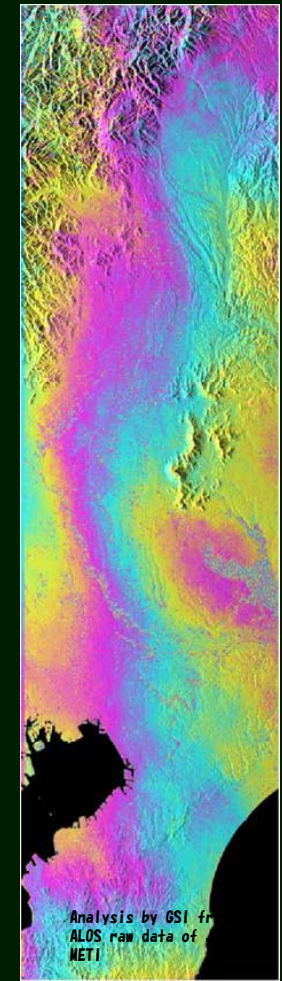
補正後画像



電離層補正画像  
(薄層投影法)



補正後画像



## 国土監視に適した干渉SAR時系列解析技術の開発（予定）

= 課題名 =

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

### 技術開発

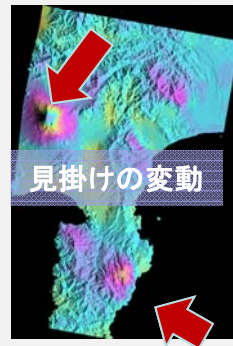
従来の標準的な干渉SAR時系列解析の課題

- 都市部以外では、計測点密度が大きく低下  
⇒ 植生の発達した国土の監視に不向き
- 大気や電離層の影響による計測精度の劣化  
⇒ ・大気擾乱の激しい日本の観測に不利  
・電離層の影響を受けやすいバンドSAR観測が主体の日本の観測に不利

#### ■ 植生の影響



#### ■ 大気の影響



#### ■ 電離層の影響



= 国土監視に有効な技術を確立 =

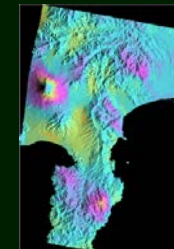
- <<植生に強い計測のために>> <<大気・電離層に強い計測のために>>  
 ①計測点密度向上のための新手法 ②大気の影響低減 ③電離層の影響低減



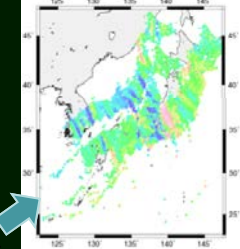
安定した計測が可能な画素 (PS点)



時空間的に共通の散乱特性を持った画素



「正確・迅速な地盤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 (H20-22)」  
 数値気象モデル 利用



「衛星干渉SARICによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究 (H25-27)」  
 GPS電離層モデル 利用

ALOS-2への適用



国土の地盤変動を網羅的に監視

- 噴火や地震の発生危険度の評価
- 地盤沈下、地滑りの監視 等

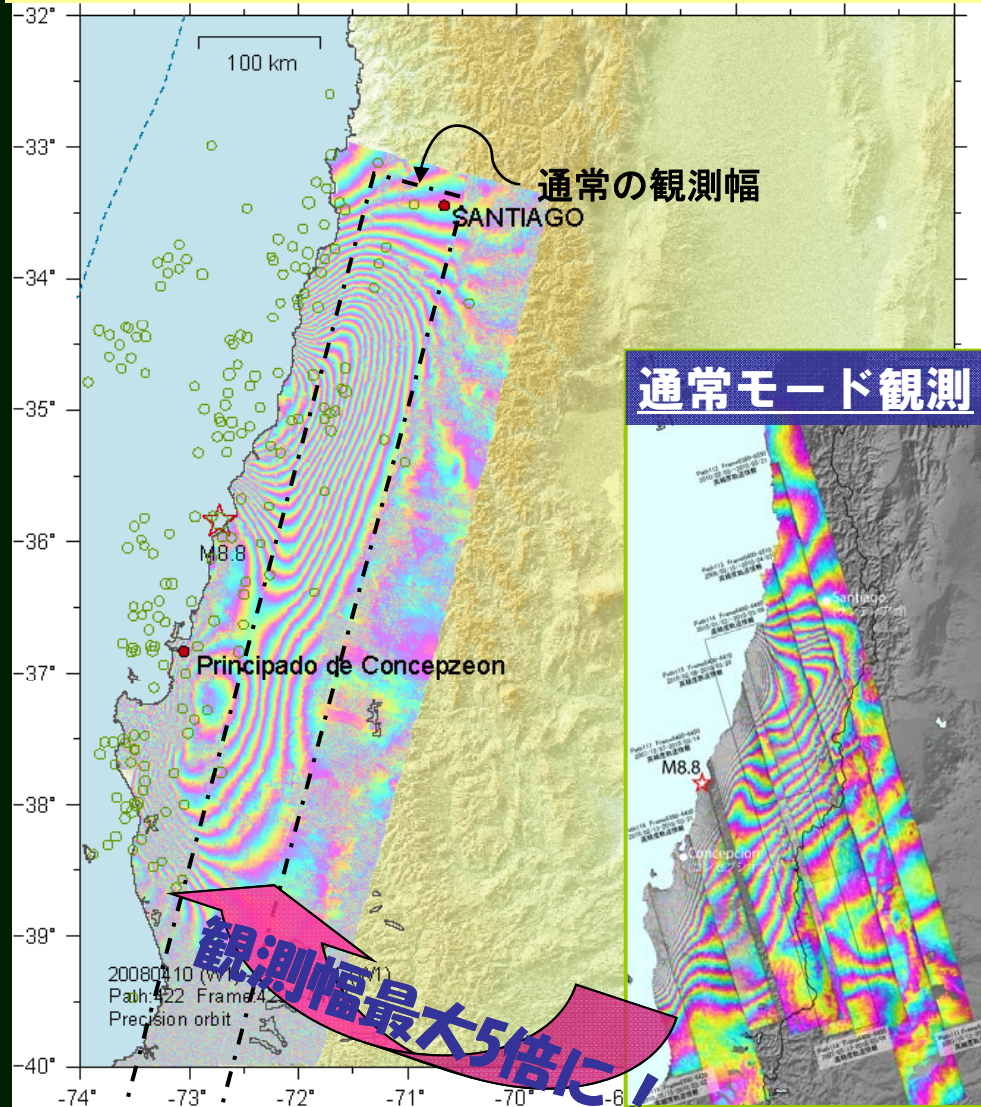


# 広域地殻変動把握のための技術開発

ScanSAR – ScanSAR  
&  
ScanSAR – Stripmap 干渉

# ScanSARによる広域地殻変動の即時把握

## 2010年南米チリ地震への適用例



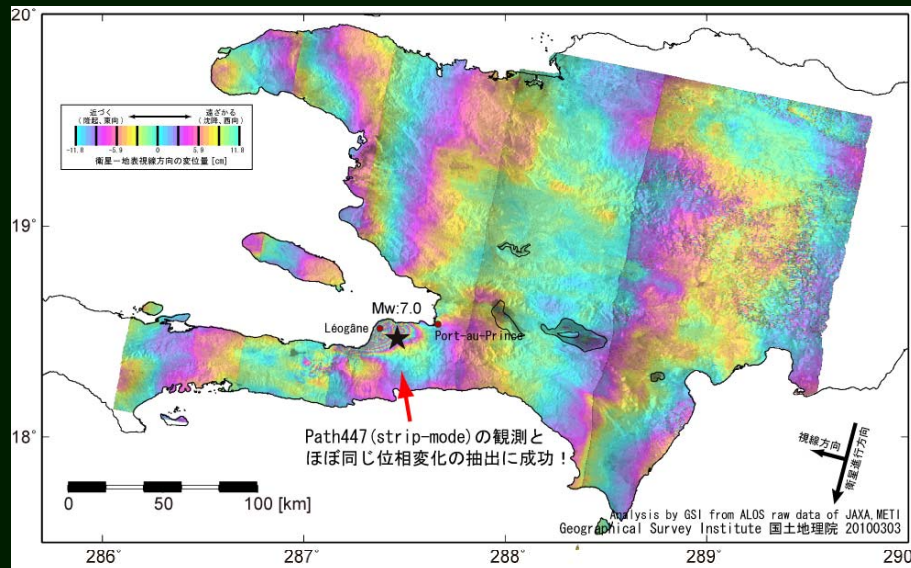
※観測条件がよければ、さらに100km超の幅を観測可能

広い領域を一度に観測可能な ScanSARモードを用いたSAR干渉解析技術の開発に成功。

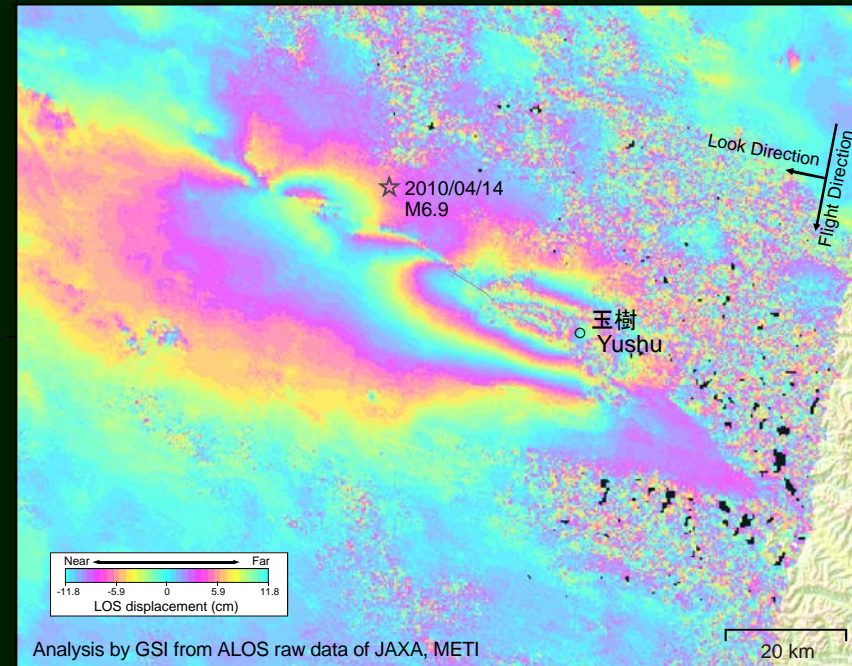
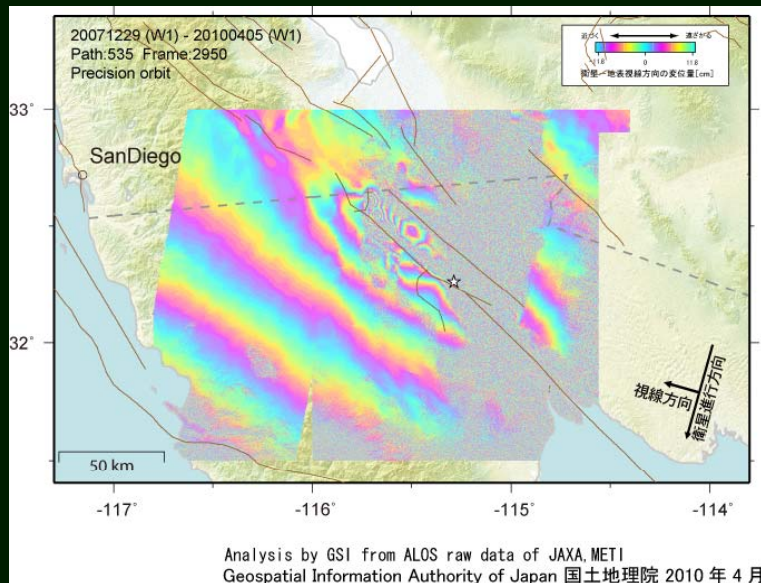
東西350kmを1回の観測で把握可能

より迅速な地殻変動の全容把握に貢献することが可能に。

※ 従来解析に用いてきた、通常運用モード(観測幅70km)のデータ解析では、沿岸部を網羅するのに44日も要した。



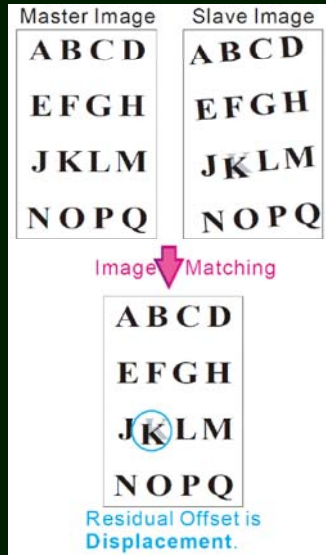
ハイチ地震,  
バハ地震,  
中国青海省地震  
でも成功!



# 局所的大変位を伴う地殻変動計測技術

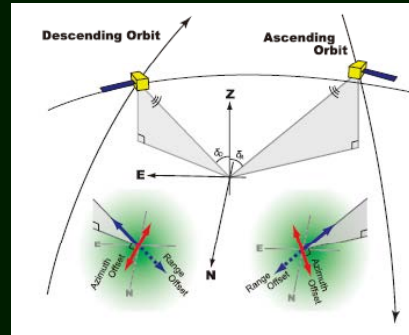
## ピクセルオフセット法

## Pixel offset (ピクセルオフセット)

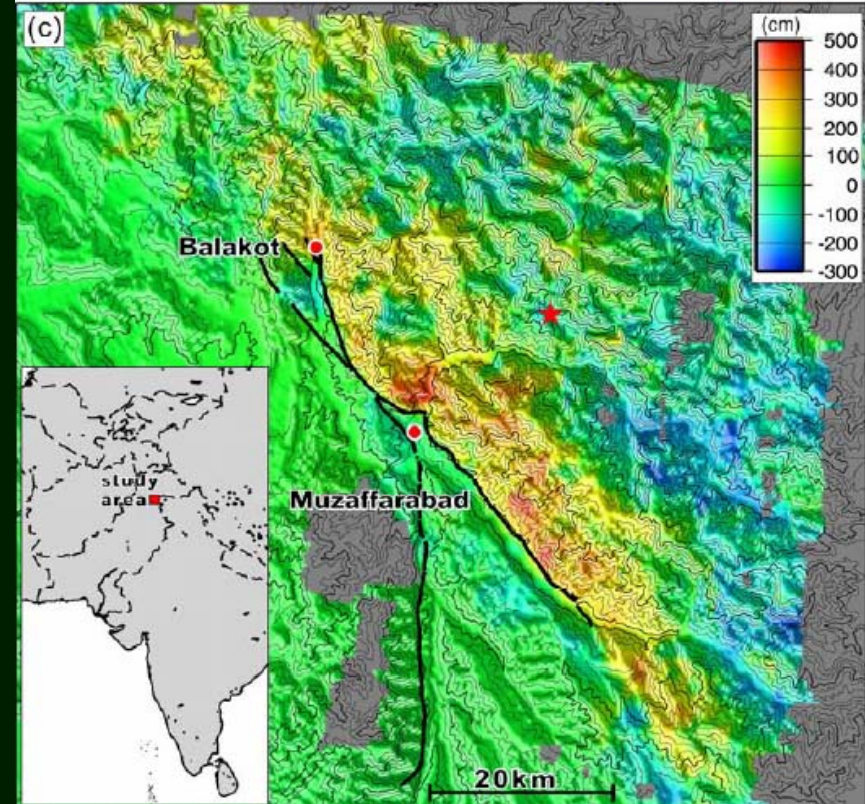
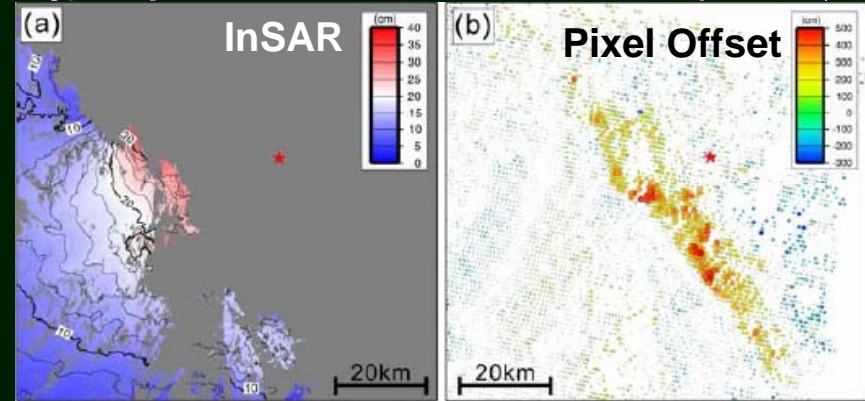


Tobita et al. (2001)より

- 位相ではなく振幅データを使う
- InSARでは計測困難な局所的大規模変位の計測に強い
- 変位2成分 (レンジ方向 + アジマス方向)



## 解析事例: 2005年パキスタン北部の地震



藤原・他(2007)

InSARは大きな変位勾配を持つ地殻変動に弱い...

	ERS-1	ENVIS AT	JERS-1	JERS-1	ALOS (FBD)	ALOS (FBS)	ALOS (Scan SAR)	ALOS-2 (3m)
地殻変動勾配臨界値 (mm/m)	2.9	3.0	5.7	11.7	11.0	22.1	11.0	66.1

$$\frac{\partial \Delta \phi}{\partial \phi} = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{R \text{res}}$$

(Tobita, 2006)

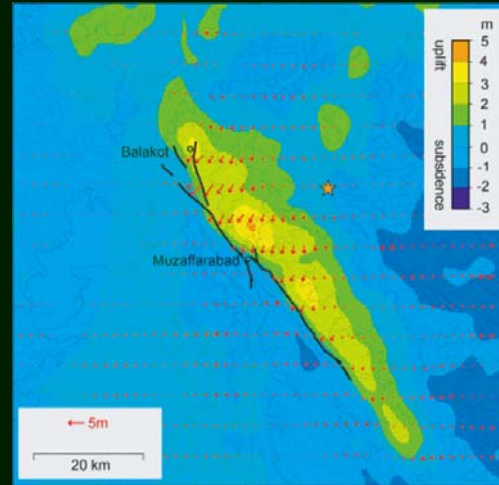
※ALOS-2(3m (λ=23.86cm)) 入射角37° を仮定 Rres≈1.80 m

## 2000年有珠山噴火



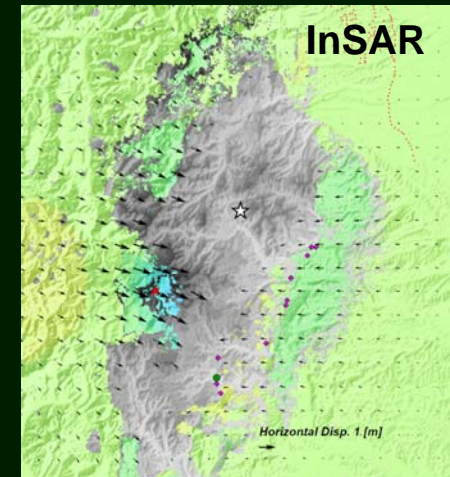
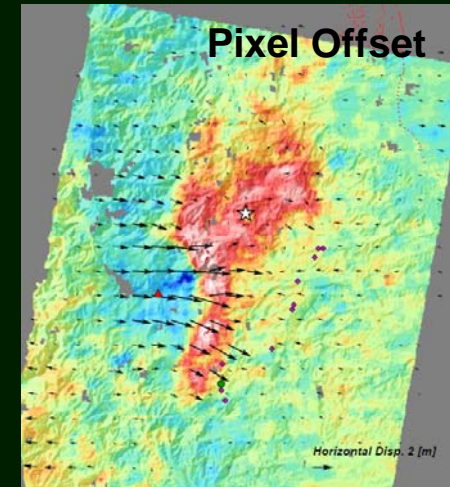
Tobita et al. (2007)

## 2005年パキスタン北部の地震



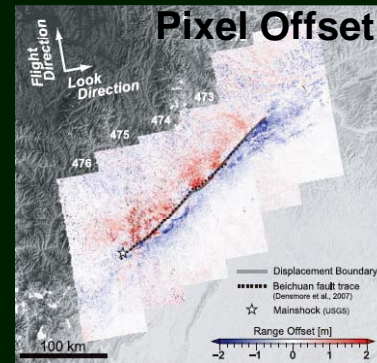
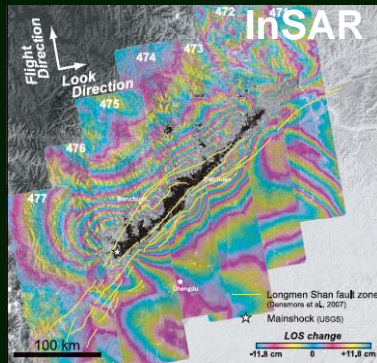
Fujiwara et al. (2007)

## 2008年岩手・宮城内陸地震



Analysis by Kobayashi

## 2008年中国・四川省の地震



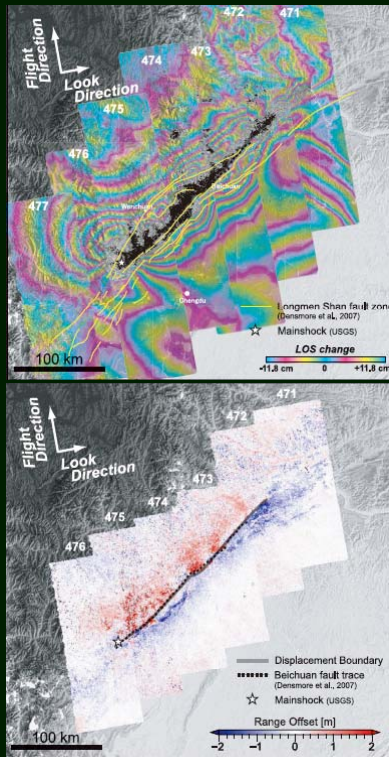
Kobayashi et al. (2009)

# 3次元変位場獲得に関する研究開発

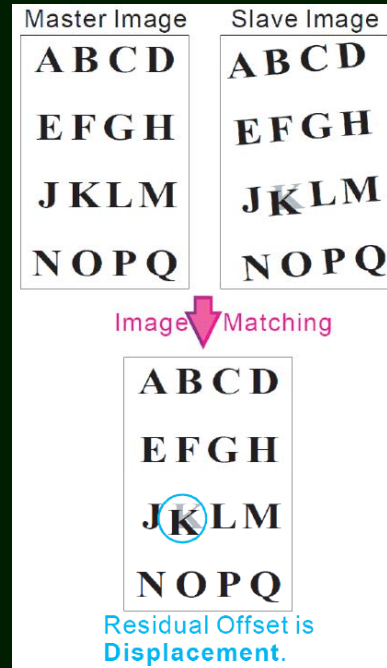
MAI法による衛星進行方向成分の計測

# 衛星進行方向(アジマス方向)の変位計測技術

## Pixel offset (ピクセルオフセット)



小林・他(2010)より



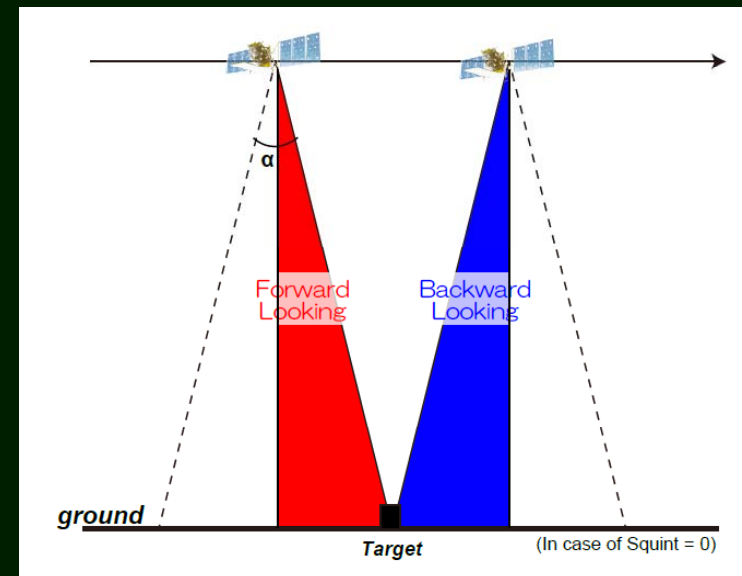
Tobita et al. (2001)より

## MAI: Multiple-Aperture Interferometry

Bechor and Zebker (2006)

InSARにより衛星進行方向(アジマス)の変位計測を実現する技術

前方視SAR (SLC) 画像によるInSAR  
&  
後方視SAR (SLC) 画像によるInSAR



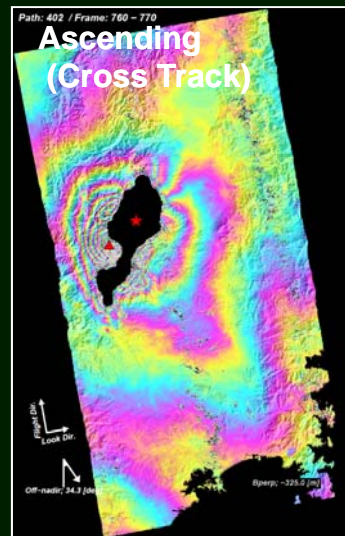
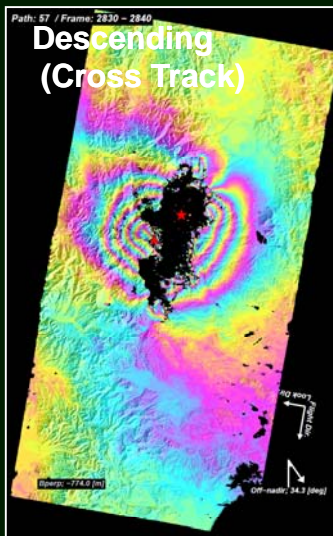
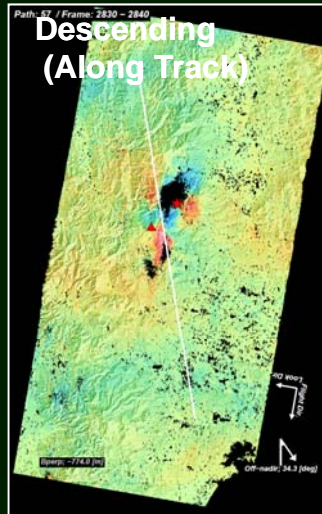
計測精度と空間解像度の向上が期待される

- 変位2成分 (レンジ方向+アジマス方向)
- 局所的大規模変位の計測に強い
- × 計測精度低い (十数cm~数十cm)
- × 空間解像度低い (500m~1km)

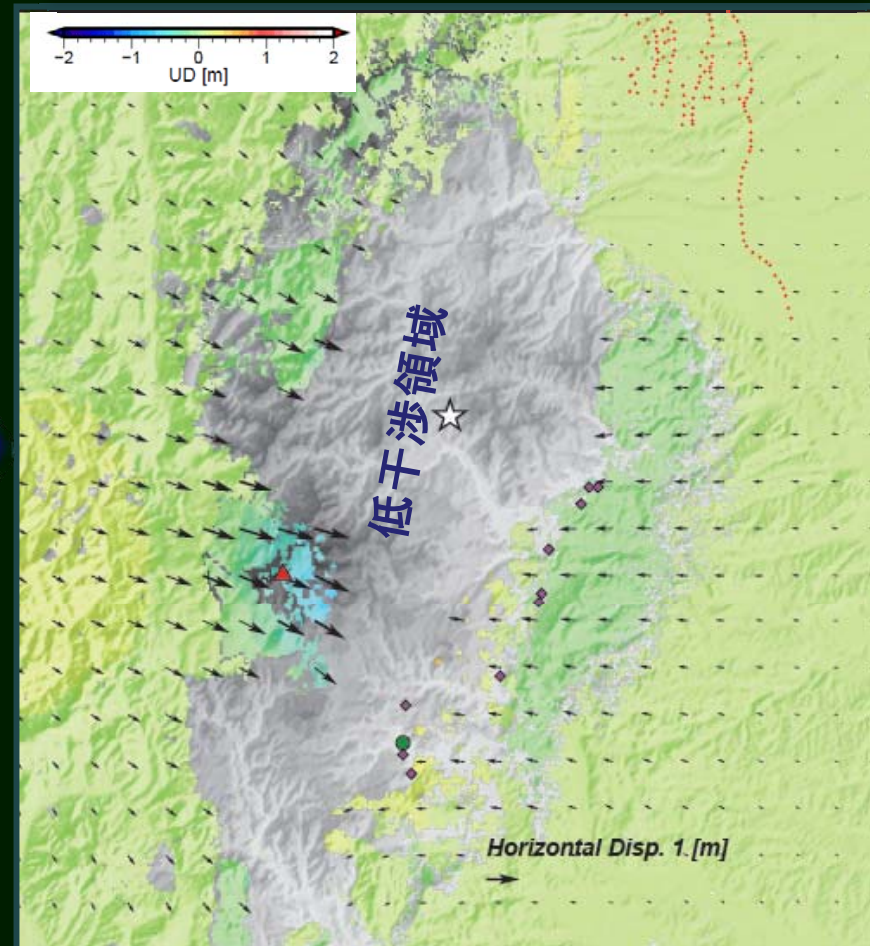


# Cross-Track InSAR + MAI による3次元変動場の獲得

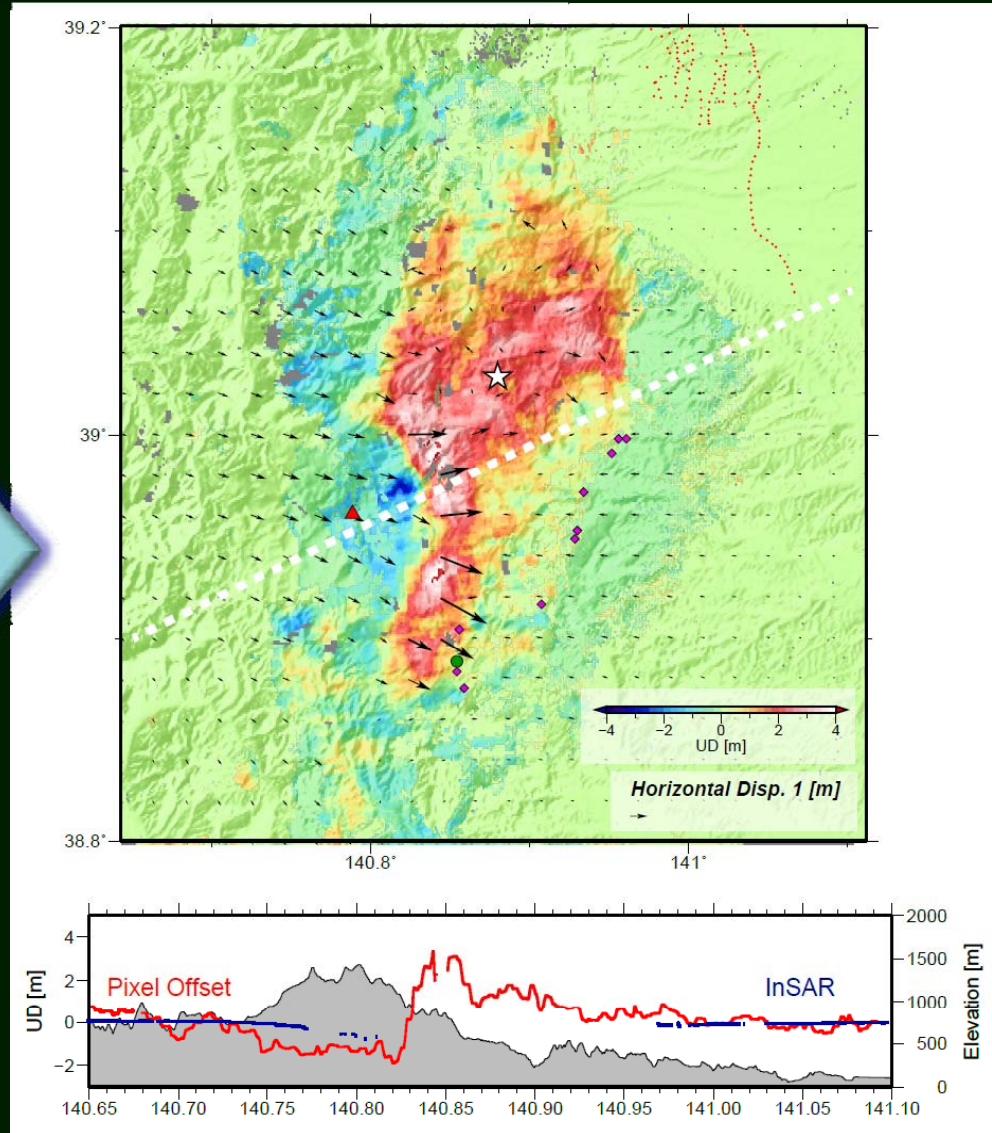
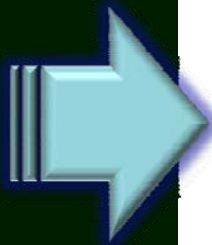
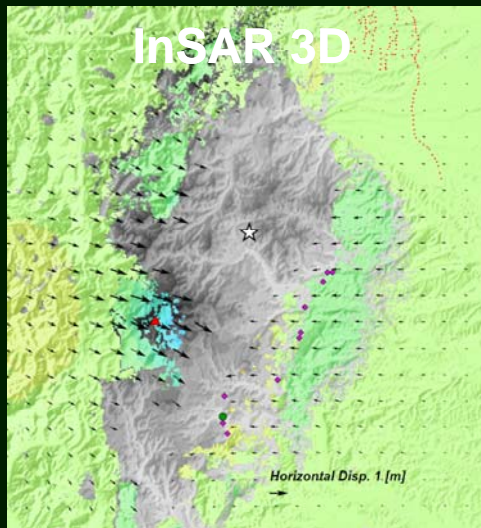
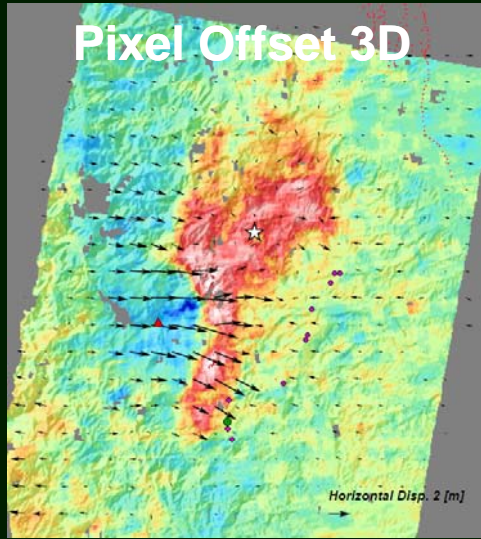
2008年6月14日岩手宮城内陸地震(Mj7.2)



## 3次元地殻変動図

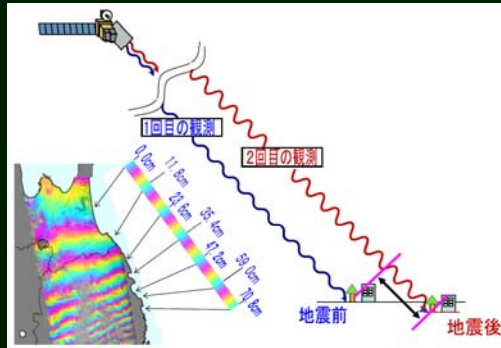


## 高S/N比の3次元変動場の獲得

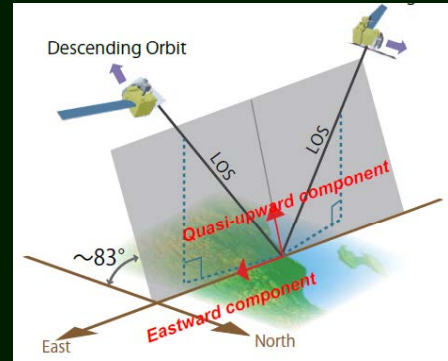


## ■ 変位成分

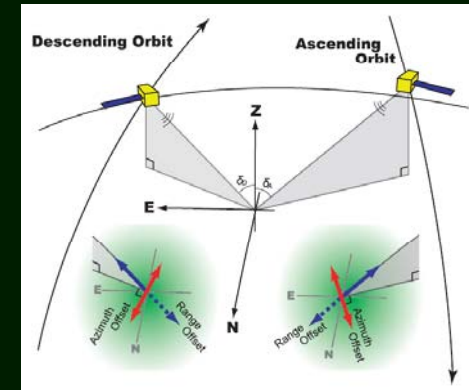
1成分 衛星-地表



2成分 (2.5次元変位場)  
北行軌道と南行軌道の組み合わせ



3成分 (東西, 南北, 上下の3次元変位場)  
Azimuth方向の変位 Pixel Offset / MAI

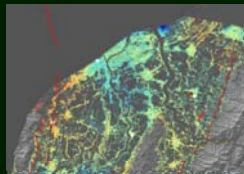


## ■ ダイナミックレンジ [mm ~ m]

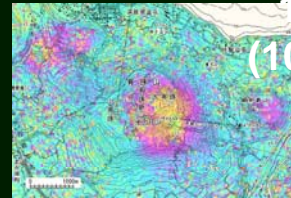
歪み蓄積(断層), マグマ蓄積, 地盤沈下

地震時, 噴火時に伴う地殻変動

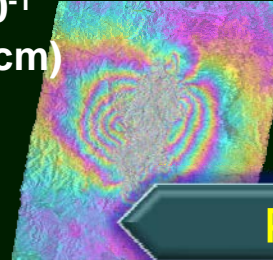
$10^{-3}$   
(1mm)



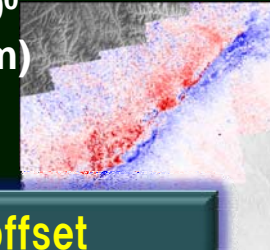
$10^{-2}$   
(1cm)



$10^{-1}$   
(10cm)



$10^0$   
(1m)



InSAR 時系列解析

誤差低減技術の適用

Pixel offset

2-pass D-InSAR

## ■ 空間スケール

Spotlight  
1m

Stripmap

50-100km

ScanSAR

300-400km

# 国土地理院のSAR解析

## 1. 1 SARの実利用

### 高精度地盤変動測量事業

## 1. 2 研究・開発

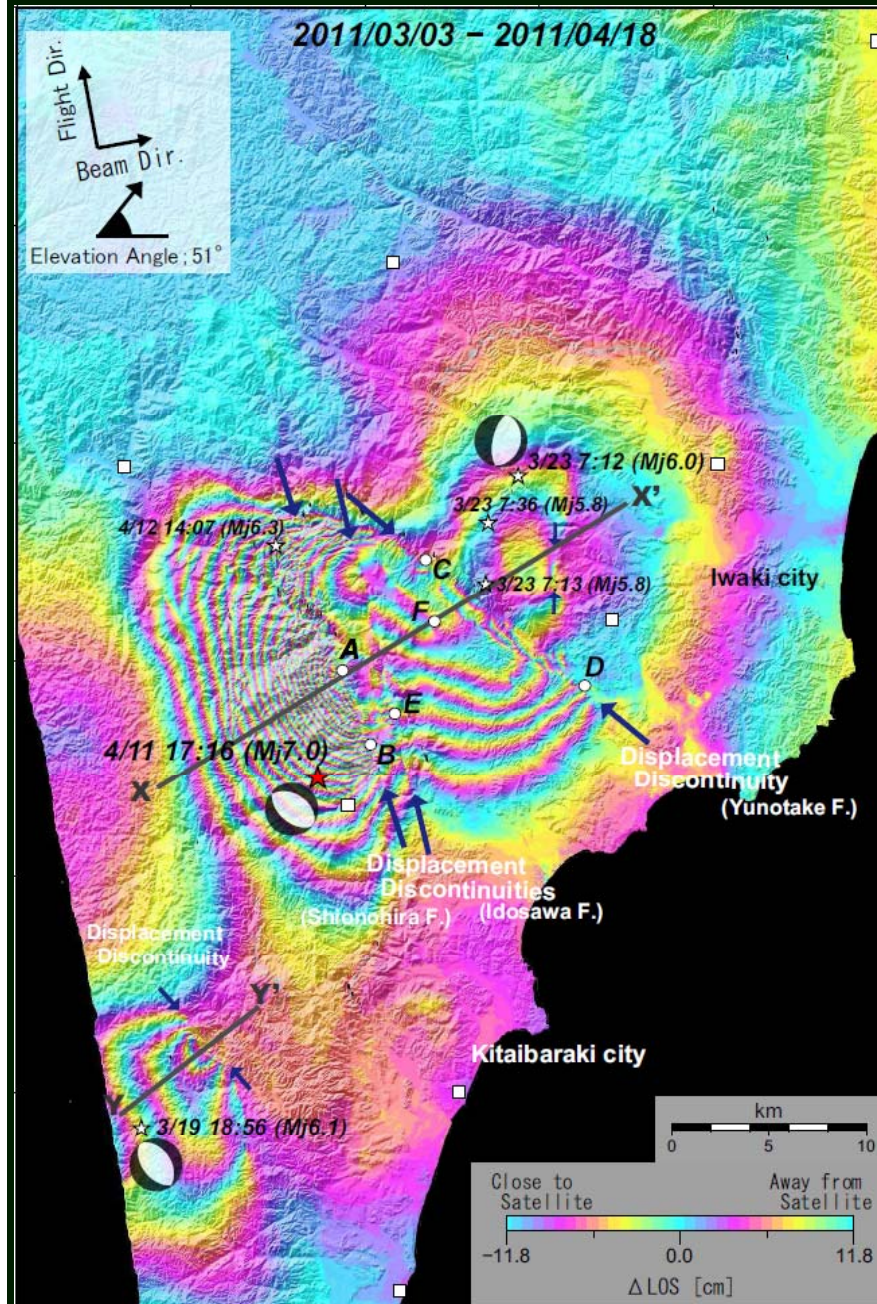
### 1. 2. 1 技術開発

### 1. 2. 2 利活用研究

（地震，火山，地盤沈下，地すべり，液状化）

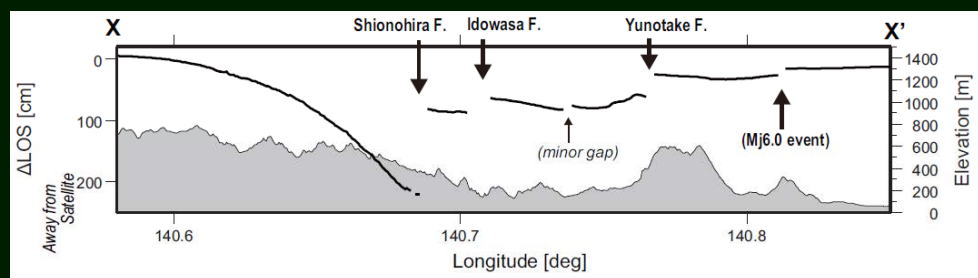
### 1. 2. 3 解析結果の提供方法

# 内陸地震解析例 2011/4/11 福島浜通りの地震(Mj7.0)



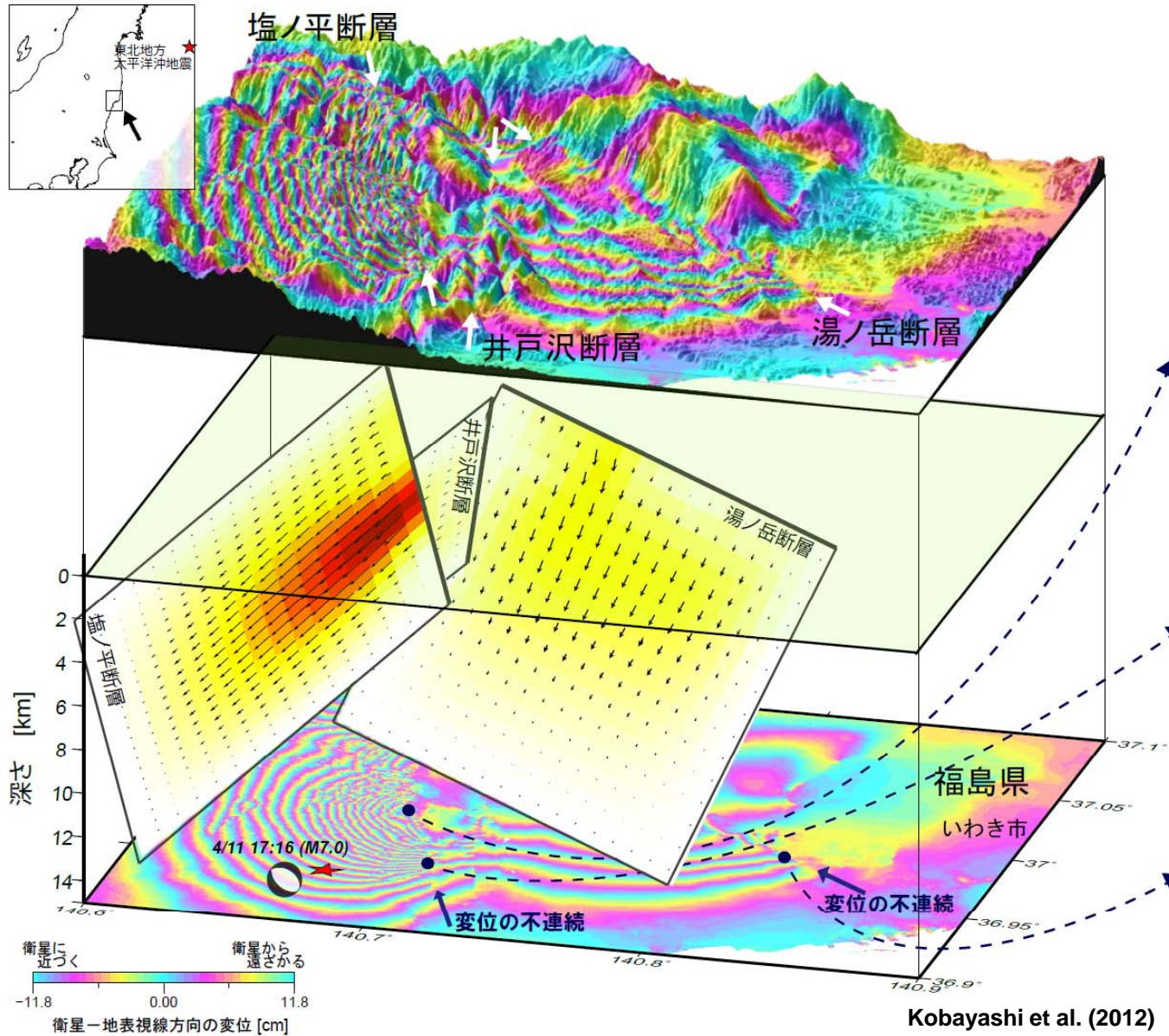
■ 変位不連続 → 地表地震断層と一致

Field Survey

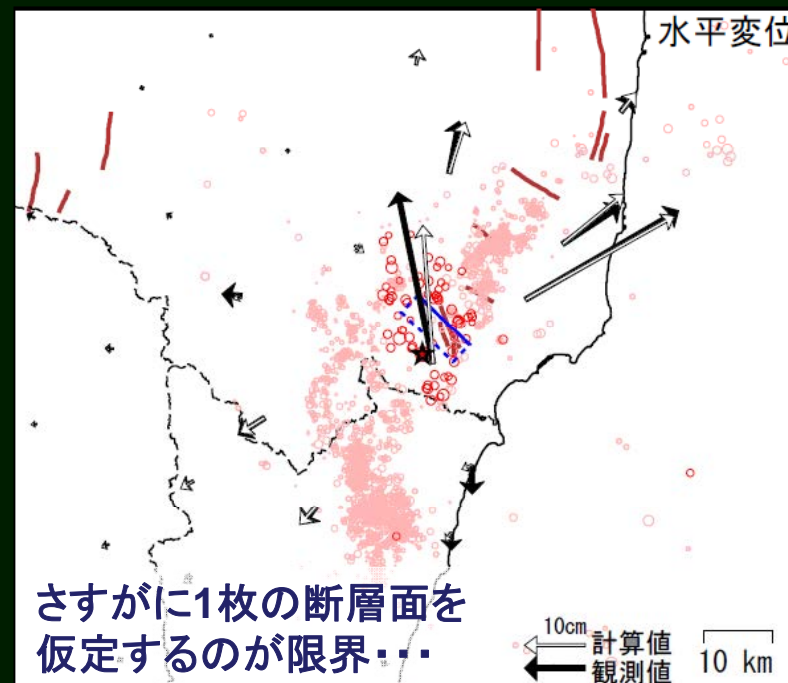
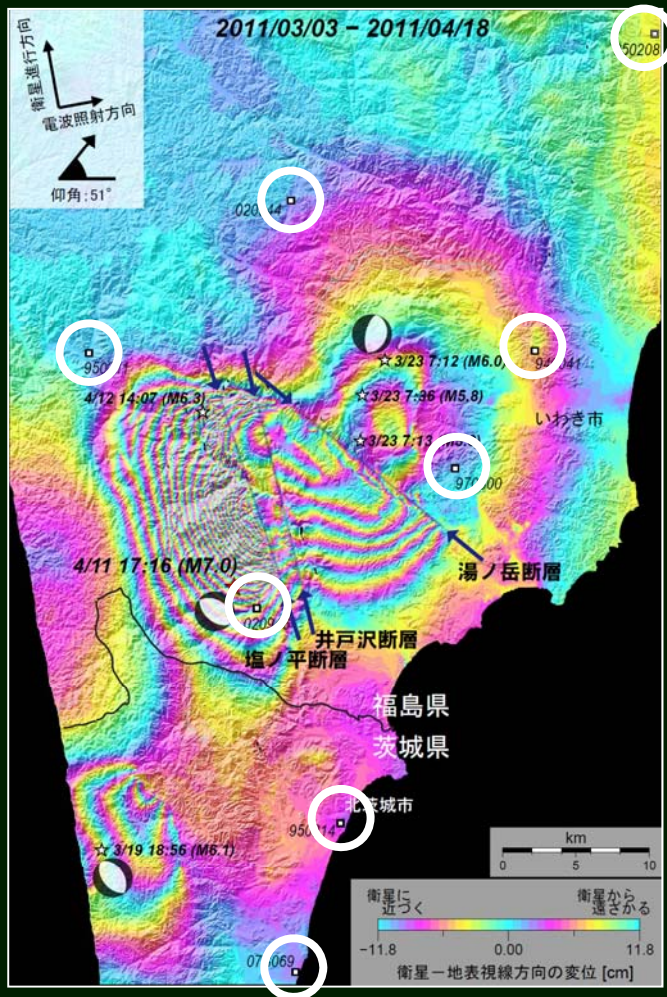


# 2011年福島県浜通りの地震(M7.0)の震源断層モデル

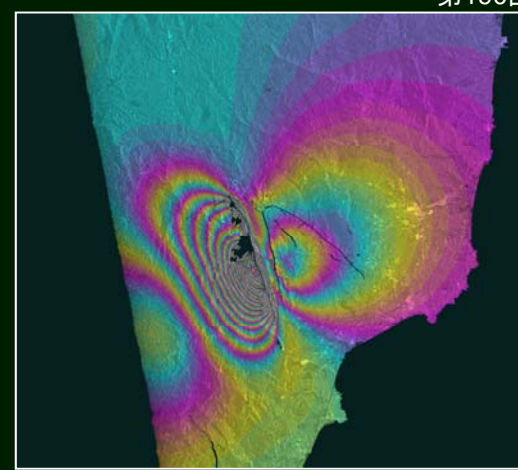
SAR観測が複雑な地震発生メカニズムの理解を可能にした



## GNSS観測と震源断層モデル



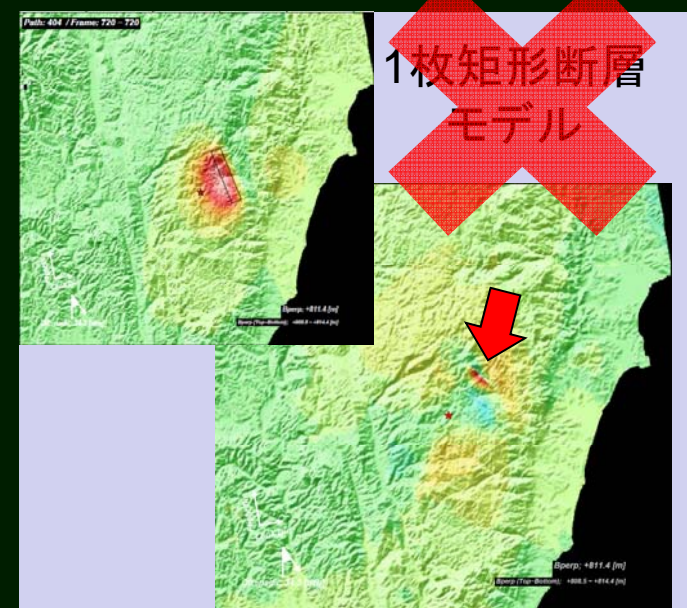
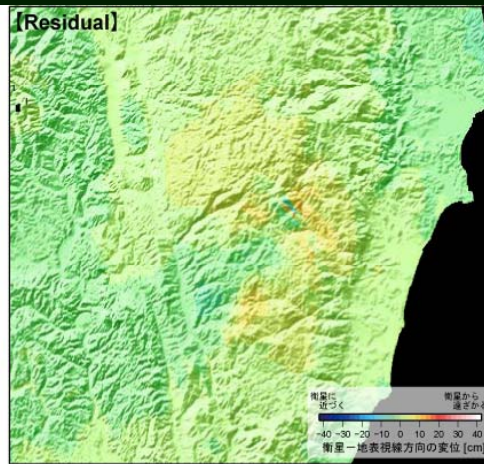
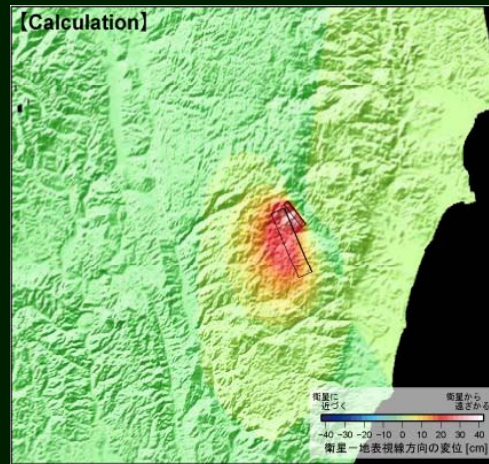
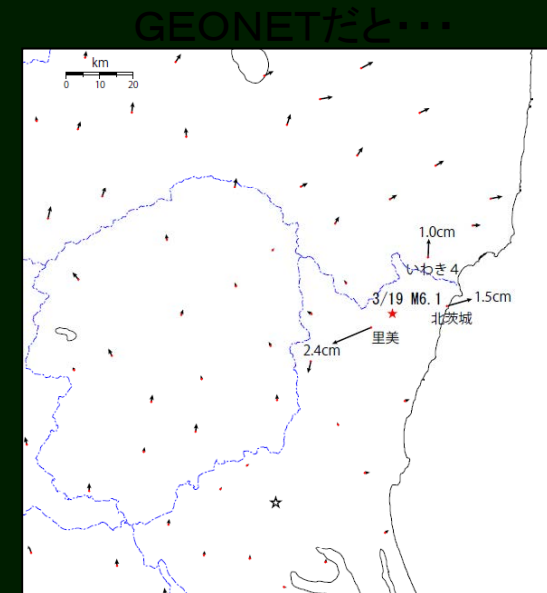
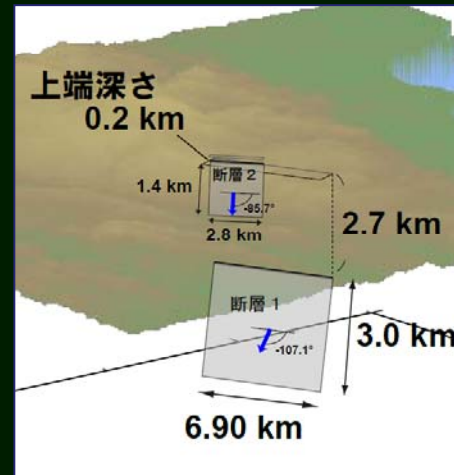
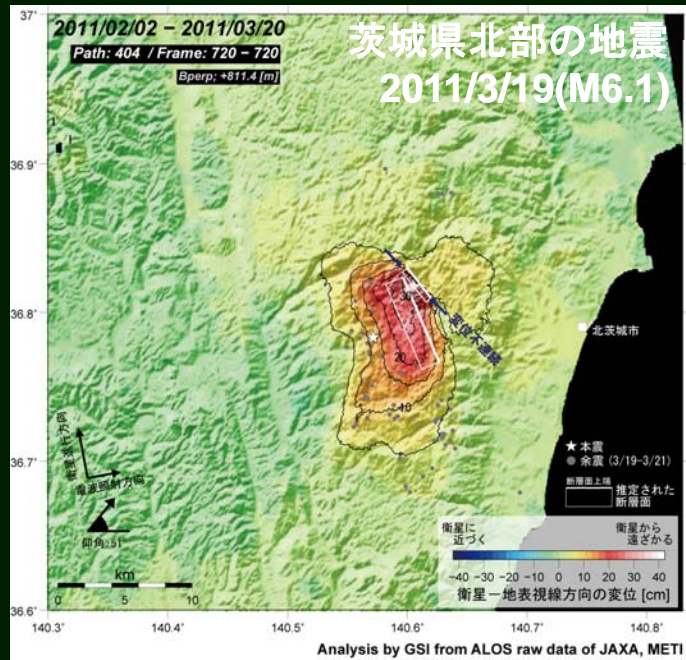
第190回地震予知連絡会 国土地理院資料



西落ちの断層面1枚を仮定したときの計算画像



# M5後半～M6前半の内陸地震の断層モデルも詳細に



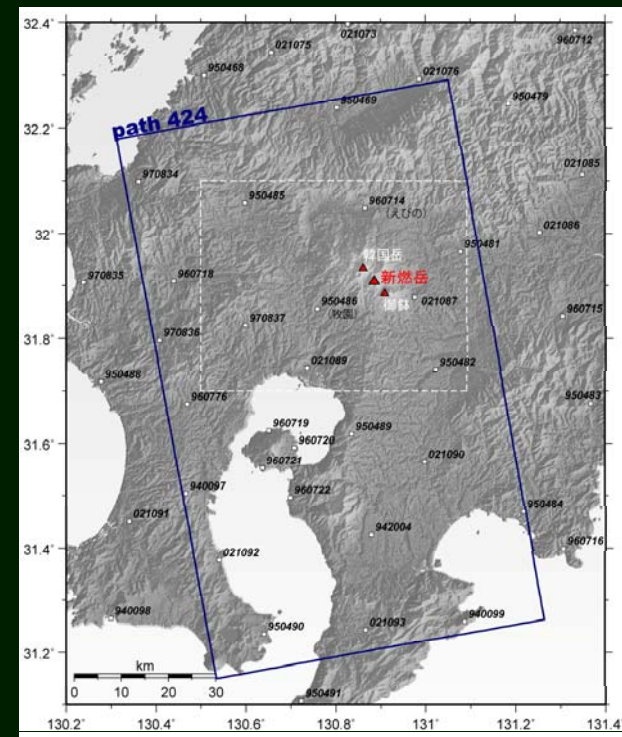
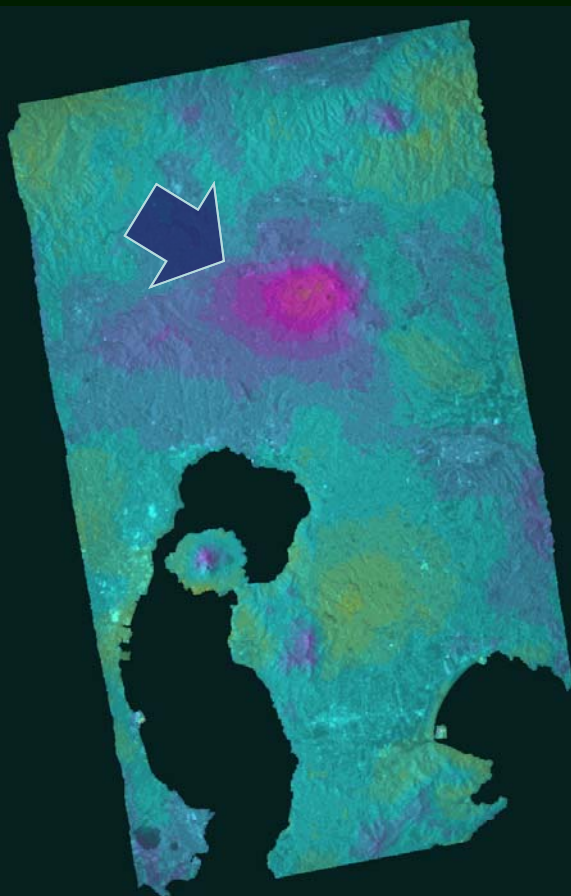
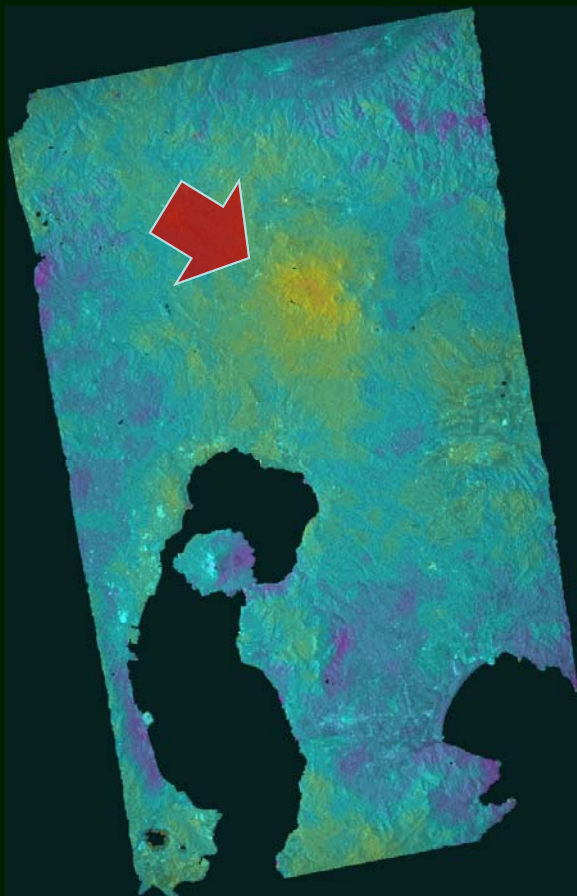
M5後半からM6級の地震像も詳細に

SARにしかできない!



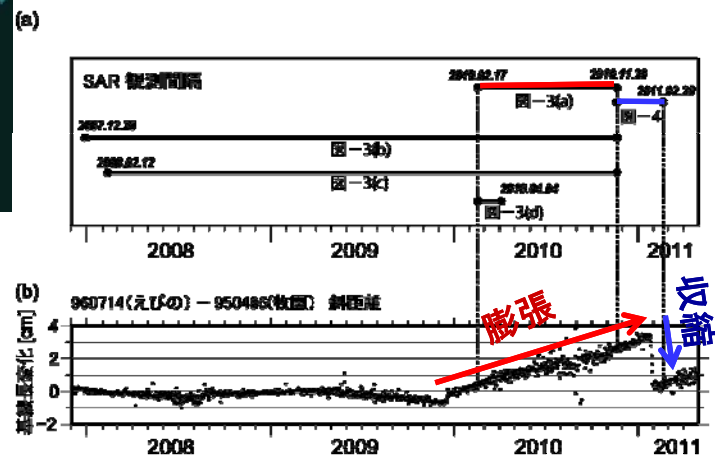
2010.2.17-2010.11.20  
(噴火前-噴火前)

2010.11.20-2011.2.20  
(噴火前-噴火後)



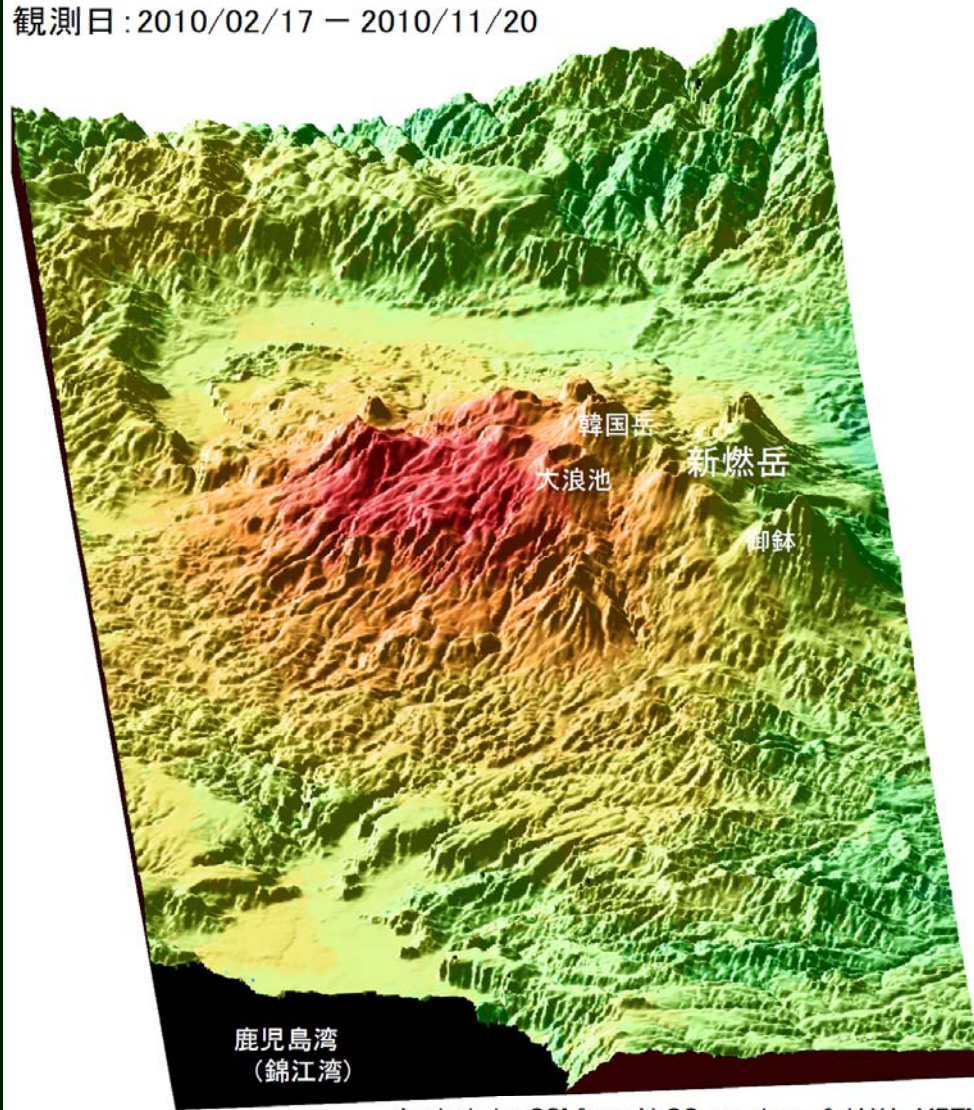
霧島火山体を中心に、数cmの位相変化が確認できる。

噴火前にマグマ蓄積の進行過程を捉えていた！

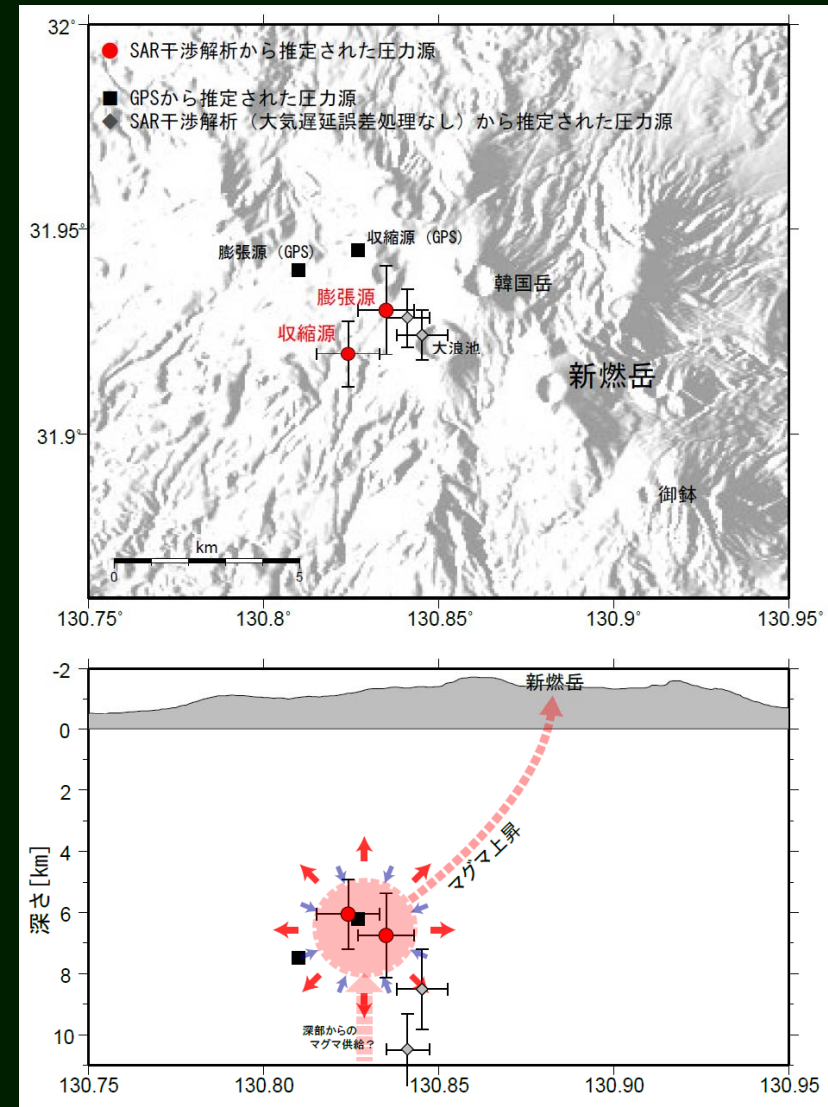


# 解析事例 霧島山(新燃岳)火山活動に伴う地殻変動解析 国土地理院

観測日: 2010/02/17 - 2010/11/20



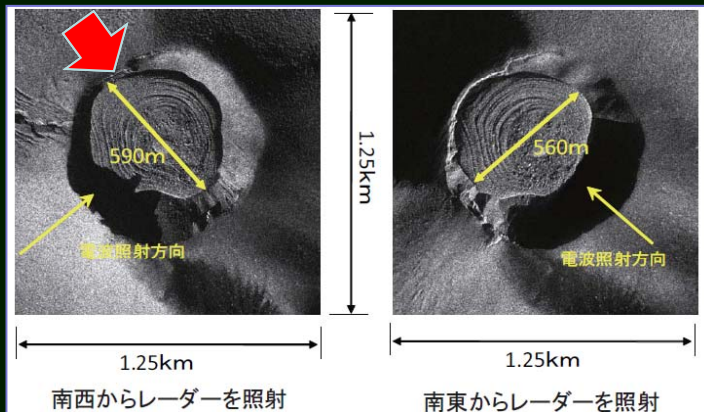
Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI  
 衛星に近づく ← 衛星から遠ざかる  
 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8  
 衛星-地表視線方向の変位量[cm]



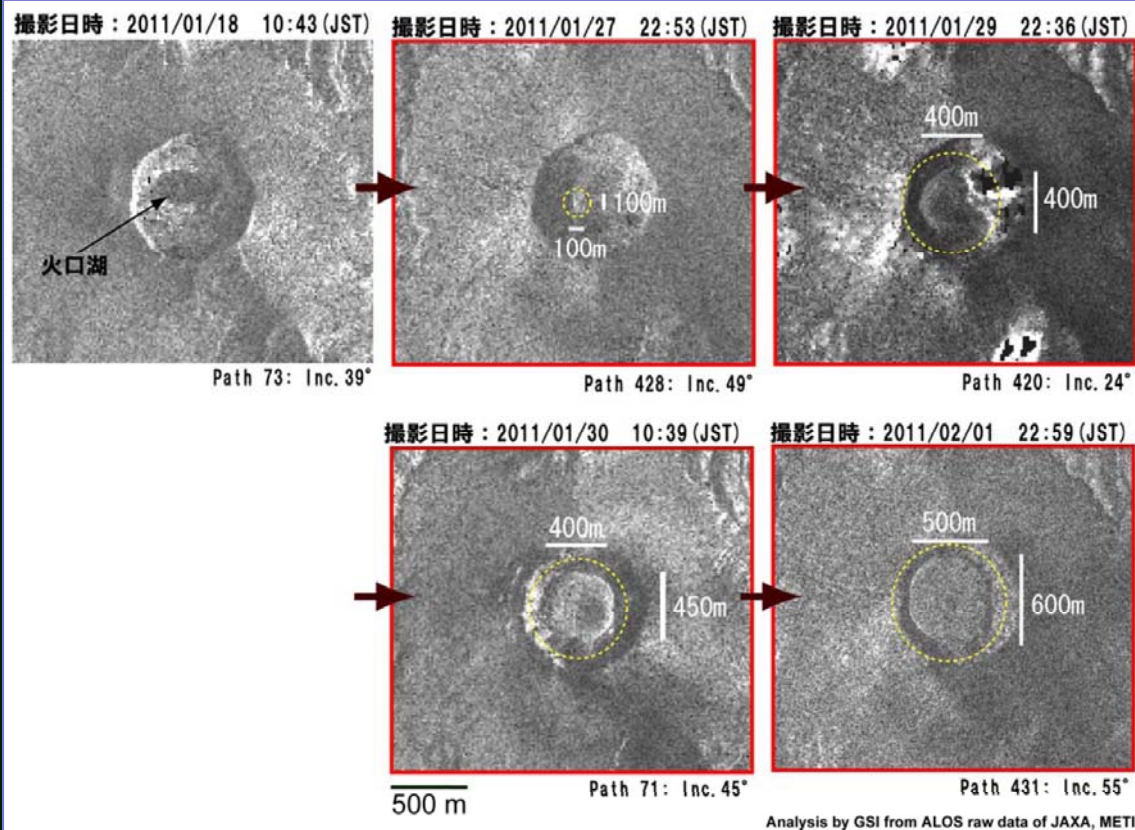
小林・他(2011)

溶岩があふ  
れ出すか？

航空機SAR



衛星SAR



噴煙等に邪魔されず  
地表を監視可能！

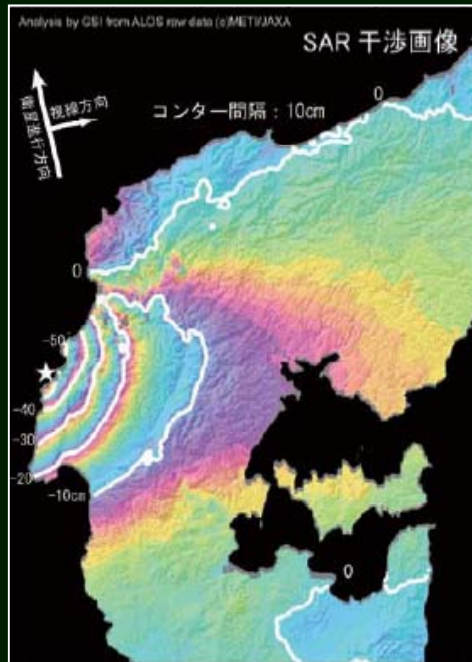
■ 監視の高度化のために

1. 頻度の高い観測の必要性  
→ 短回帰の衛星, 衛星コンステレーション
2. 高い空間解像度の必要性

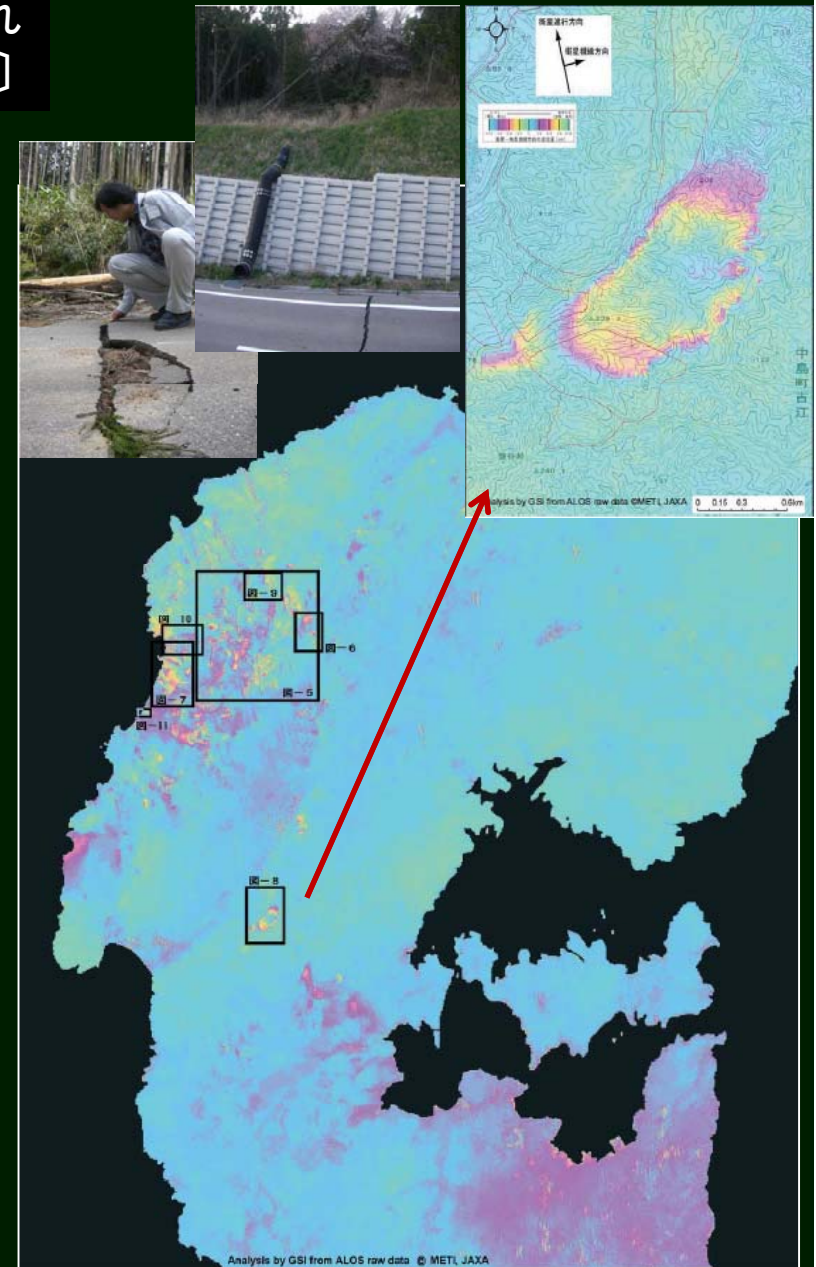
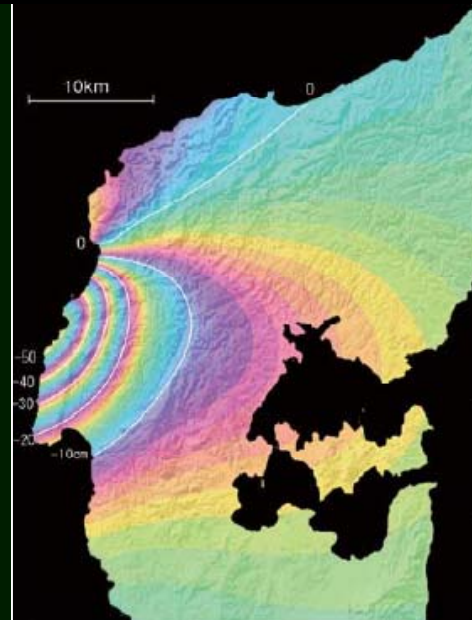
火山噴火予知連絡会 国土地理院資料より

# 地滑り性斜面変動検出への応用

SAR干渉画像〔観測〕



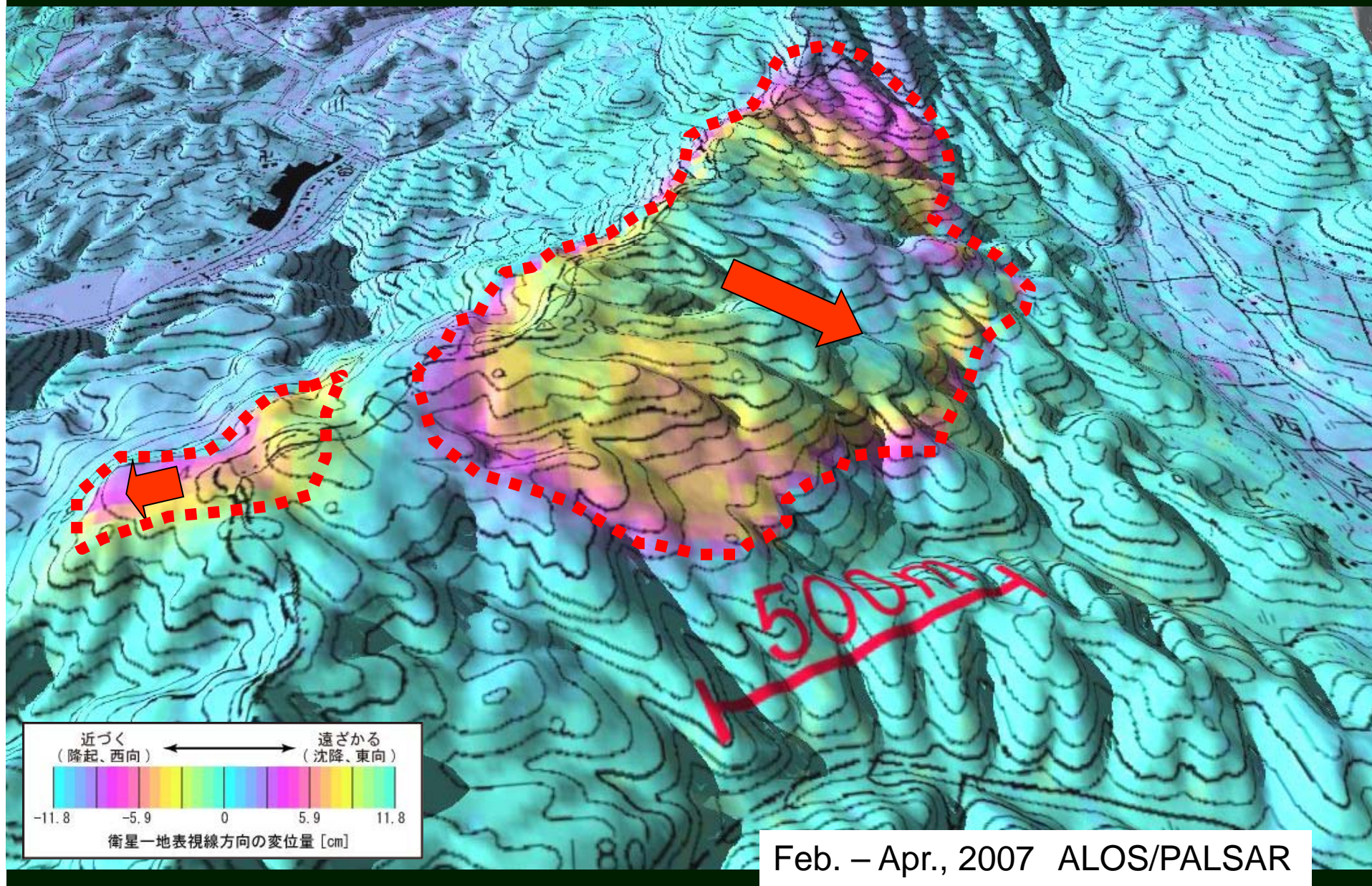
断層モデルにより計算されたSAR干渉画像〔モデル〕



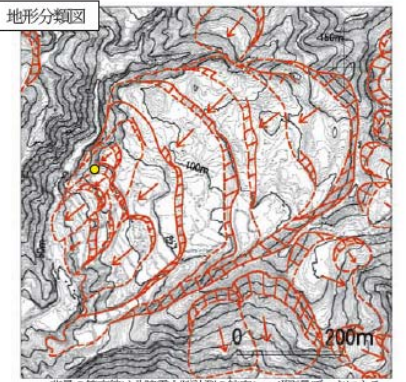

2007年能登半島地震のSAR干渉画像から抽出された地滑り性斜面変動

(国土地理院時報 (宇根・他))

## Noto Peninsula Earthquake in 2007



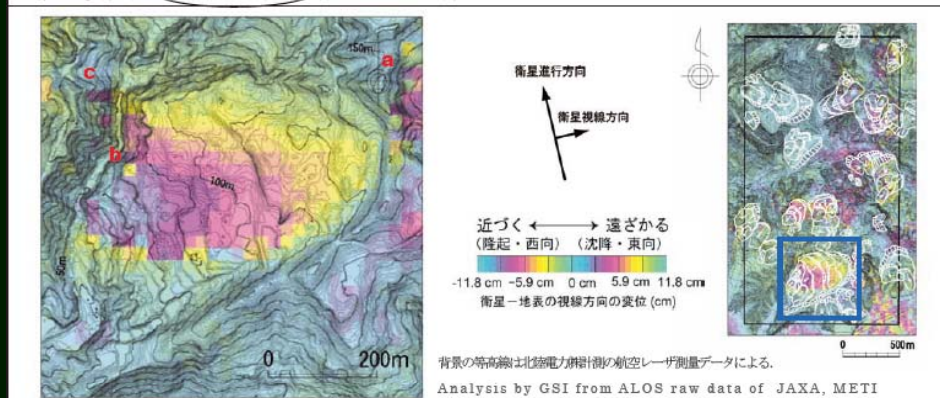
# SAR干渉画像判読カード（地滑り性変位）

総図名 対象地点の中心	七尾 北緯 37° 17' 46"	1/2.5 万国名 東経 136° 45' 41"	門前 Area E(3)
地形分類図 	空中写真（国土地理院 1975 年撮影、縮尺 1/10,000） 		

## SAR干渉画像判読カード

地滑り性斜面変動が発生した場所において、SAR干渉画像をどのように解読すればよいのかについて示すとともに、当該箇所地形がどのようなになっているのかについて地形分類図や空中写真を組み合わせたもの

SAR干渉画像：アセンディング；オフナディア角：41.5°；基線長 Bperp：+432m  
 撮影年月日：2007年2月23日～2007年4月10日  
 解像度：(FBS)/FBD (2007年2月23日) (FBS)/FBD (2007年4月10日)  
 衛星の視線方向：(西側上空から東向き) 東側上空から西向き



備考：  
 斜面（地すべり）  
 ① 干渉縞：明瞭  
 ② 視線方向の色変化：(馬蹄形変動の東側にある無変化の青色部分 a を基準に東から西に向かって) 青→黄→赤色  
 ③ 移動方向：西向きないしは隆起  
 干渉縞は、上の左図、「a」を起点として東から西に向かって青→黄→赤となり、次に青 (b) となる。上の中央、色変化の凡例の中央の「青」を起点として左側への移行、すなわち西側上空の衛星に向かって近づく動きであることから、西向きの地表の動きまたは隆起の動きのいずれかとして判読される（土塊が南西向きに移動する地すべり地形が判読され、検出された動きとしては地すべり地形に整合する）。  
 なお、上の左図、b) の青と、起点 (a) の青は一周期、位相が異なっていると解釈される。それよりさらに西側の青 (c) は無変化部分を示しているが、b) と c) の青の位相の切れ目は判然としない。

2007年能登半島地震のSAR干渉画像の判読例  
 (佐藤・他 (国土地理院時報より))

# 干渉性の変化による液状化域判読の試み

## コヒーレンス値を利用した液状化域把握

液状化に伴う地表状態の変化で、コヒーレンス値低下が期待される



コヒーレンスの低下を指標に液状化発生域の把握を試みる

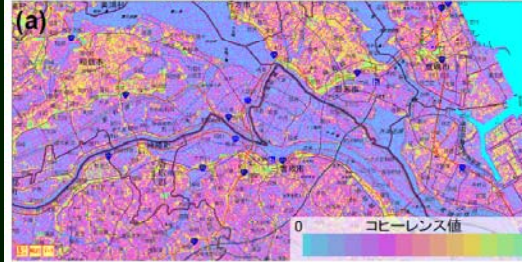
衛星SARデータは、数十mの空間解像度で数十km四方の地表情報を、一挙に取得可能。



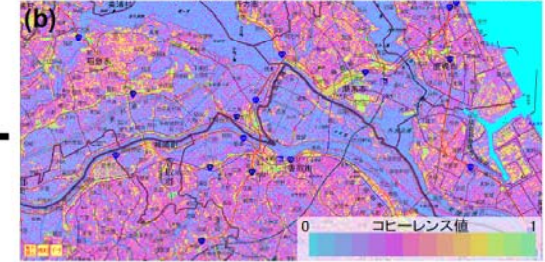
研究の動機

液状化発生域の把握に  
利用できないか？

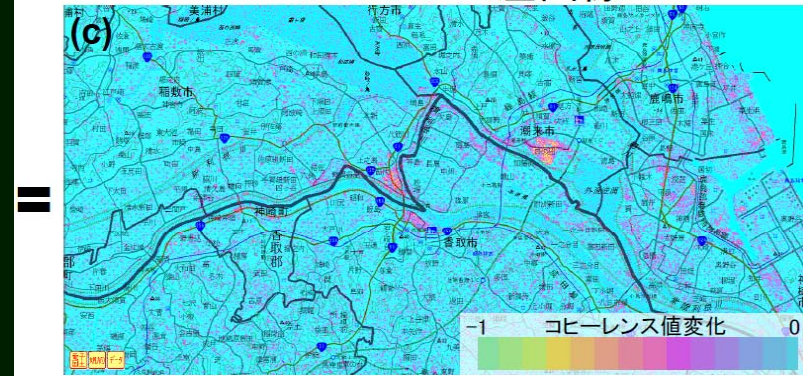
コヒーレンス画像（地震前 - 地震後ペア）



コヒーレンス画像（地震前 - 地震前ペア）

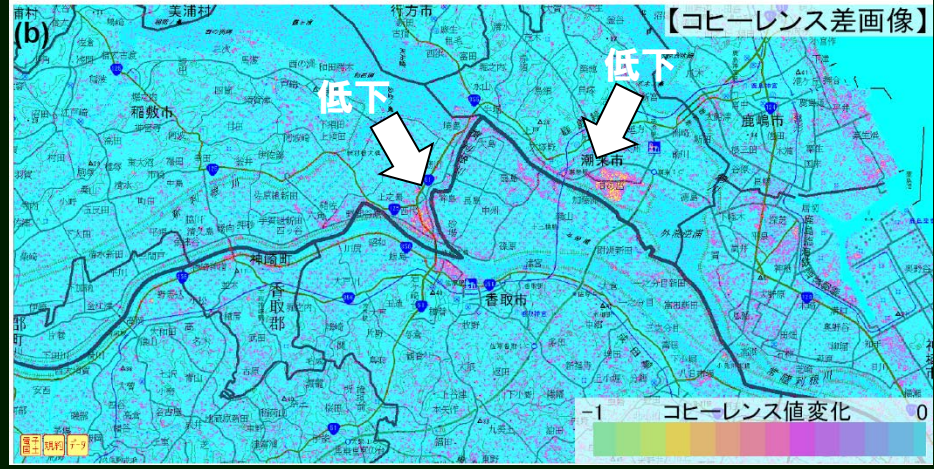
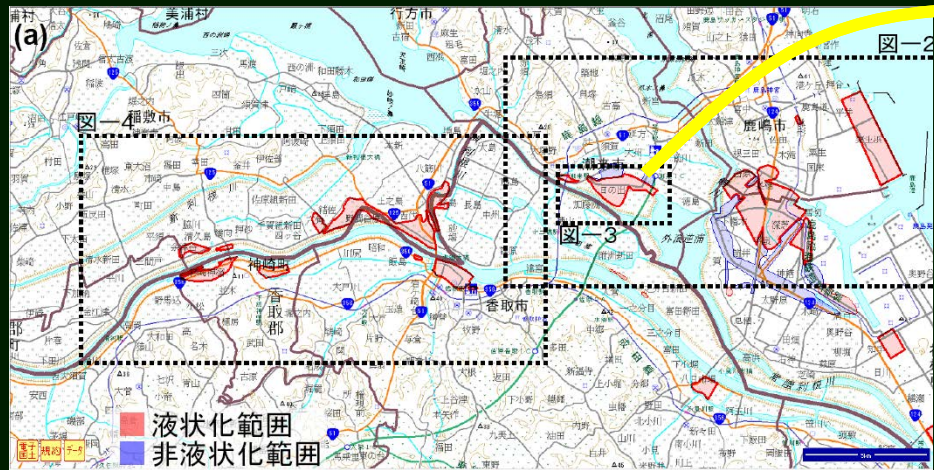


コヒーレンス差画像



# 利根川下流域の解析例

コヒーレンス値低下域と液状化発生域には空間的に良い対応が見られる





# 国土地理院のSAR解析

## 1. 1 SARの実利用

### 高精度地盤変動測量事業

## 1. 2 研究・開発

### 1. 2. 1 技術開発

### 1. 2. 2 利活用研究

（地震, 火山, 地盤沈下, 地すべり, 液状化）

### 1. 2. 3 解析結果の提供方法

# 縞々からの脱却 アンラッピング

高解像度画像における正確・迅速な位相連続化処理が可能に

【従来】

【新機能】

経路編集するピクセル位置をコマンドライン上に1つ1つ入力

```

tkoba@TkobaGSI:~/GSIPHUNW_TEST/Noto_sample/phunw
[tkoba@TkobaGSI phunw]$ EditFlag flag.3 346
EditFlag Ver.1.2 2003/09/11 Mikio Tobita, JPL
EditFlag Ver.1.1 11/29/1996 Mikio Tobita, JPL
Edits a flagfile for phase unwrapping.

flag filename as input and output = 'flag'
number of samples/bytes in a line = 346
flag.3 was opened as read/write mode.
number of lines = 500
You can add cuts specifying start and end points.
Input 0 0 to exit.
Input -1 -1 to change to cut-removing mode.
cut-adding mode: Input Start Point x y (starts from 0 0)
cut-adding mode: Input End Point x y (starts from 0 0)
164,366 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
164,367 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
164,368 CUT exists. 64
164,369 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
164,370 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
164,371 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,372 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,373 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,374 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,375 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,376 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
165,377 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
166,378 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
166,379 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
166,380 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
166,381 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
166,382 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,383 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,384 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,385 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,386 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,387 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
167,388 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,389 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,390 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,391 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,392 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,393 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,394 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
163,365 CUT does not exist, so now CUT. 0 -> 64
168,394 CUT exists. 64
cut-adding mode: Input Start Point x y (starts from 0 0)
COMPLETED. Come again. Mikio
Display with cviewDEM flag.3 (346 500 10 b)
[tkoba@TkobaGSI phunw]$
    
```

GUI設定画面

マウス操作で簡単に伝播経路を編集可能!

迅速かつ簡便な編集

操作の迅速性・正確性が向上

# 等値線付き変動量図表示機能

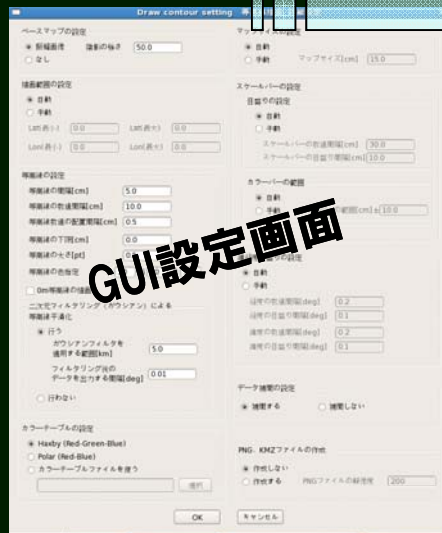
定量的で視認性に優れた変動量の表現に

位相連続化処理の高度化により、正確な等値線の作成が可能となった

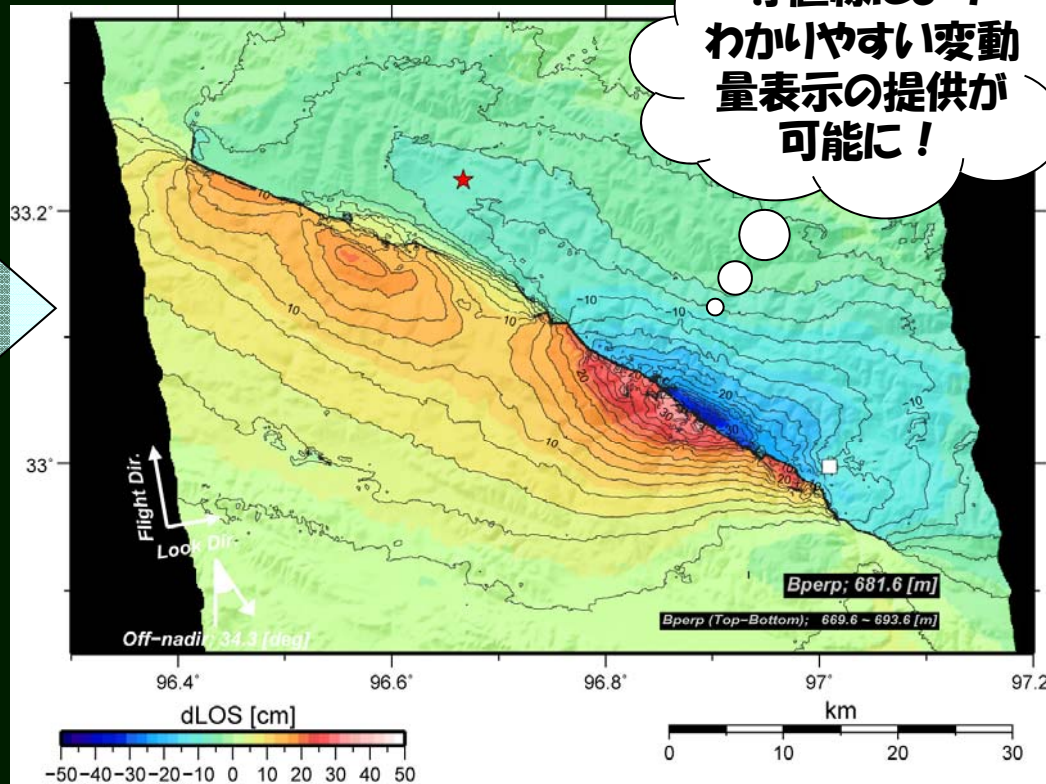
2010/04/14 中国青海省地震

位相の繰り返し表現では、  
変動の様子がわかりにくい...

等値線により  
わかりやすい変動  
量表示の提供が  
可能に！

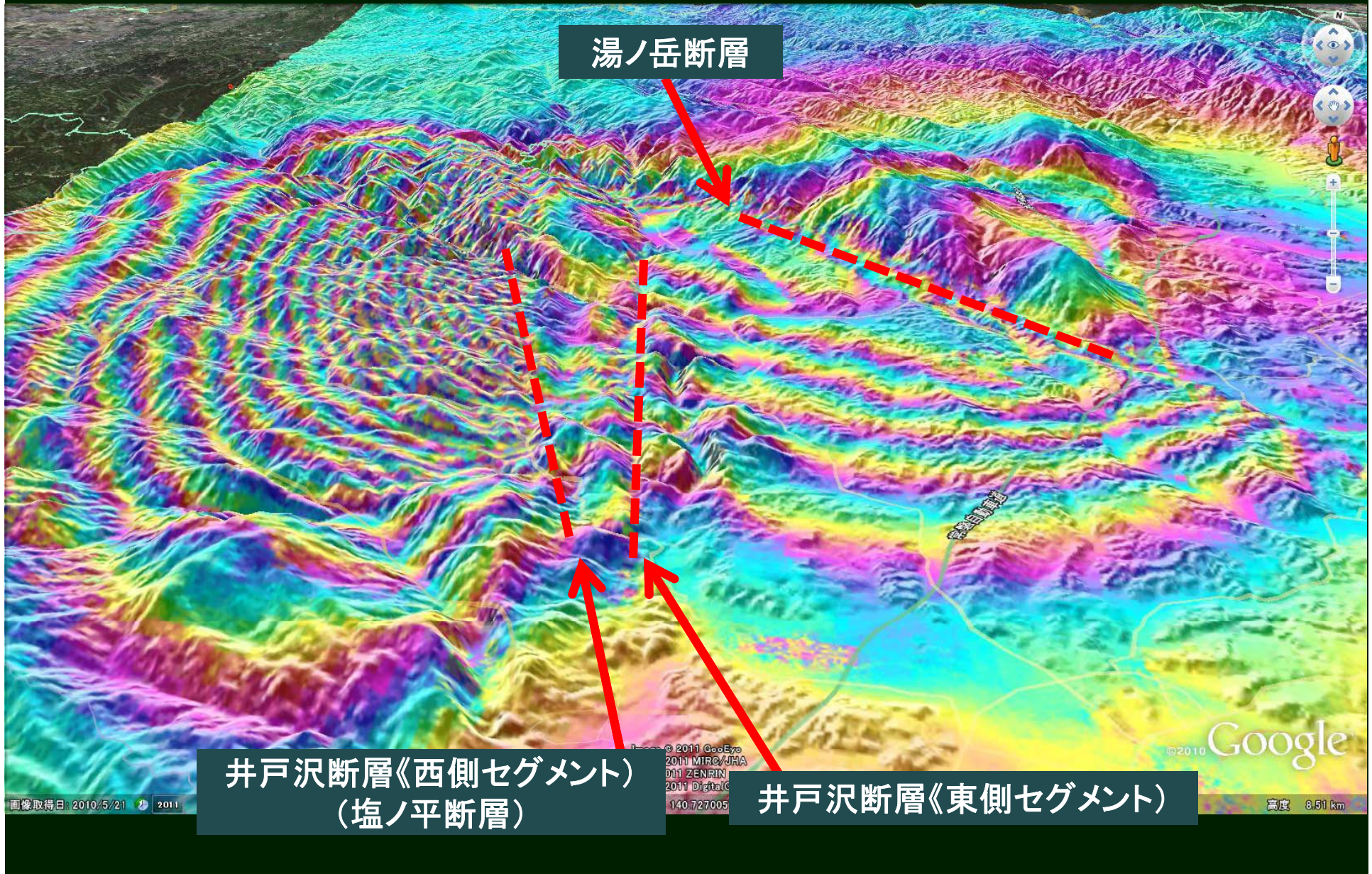


GUI設定画面



地形との位置関係

自由な視点移動



湯ノ岳断層

井戸沢断層《西側セグメント》  
(塩ノ平断層)

井戸沢断層《東側セグメント》

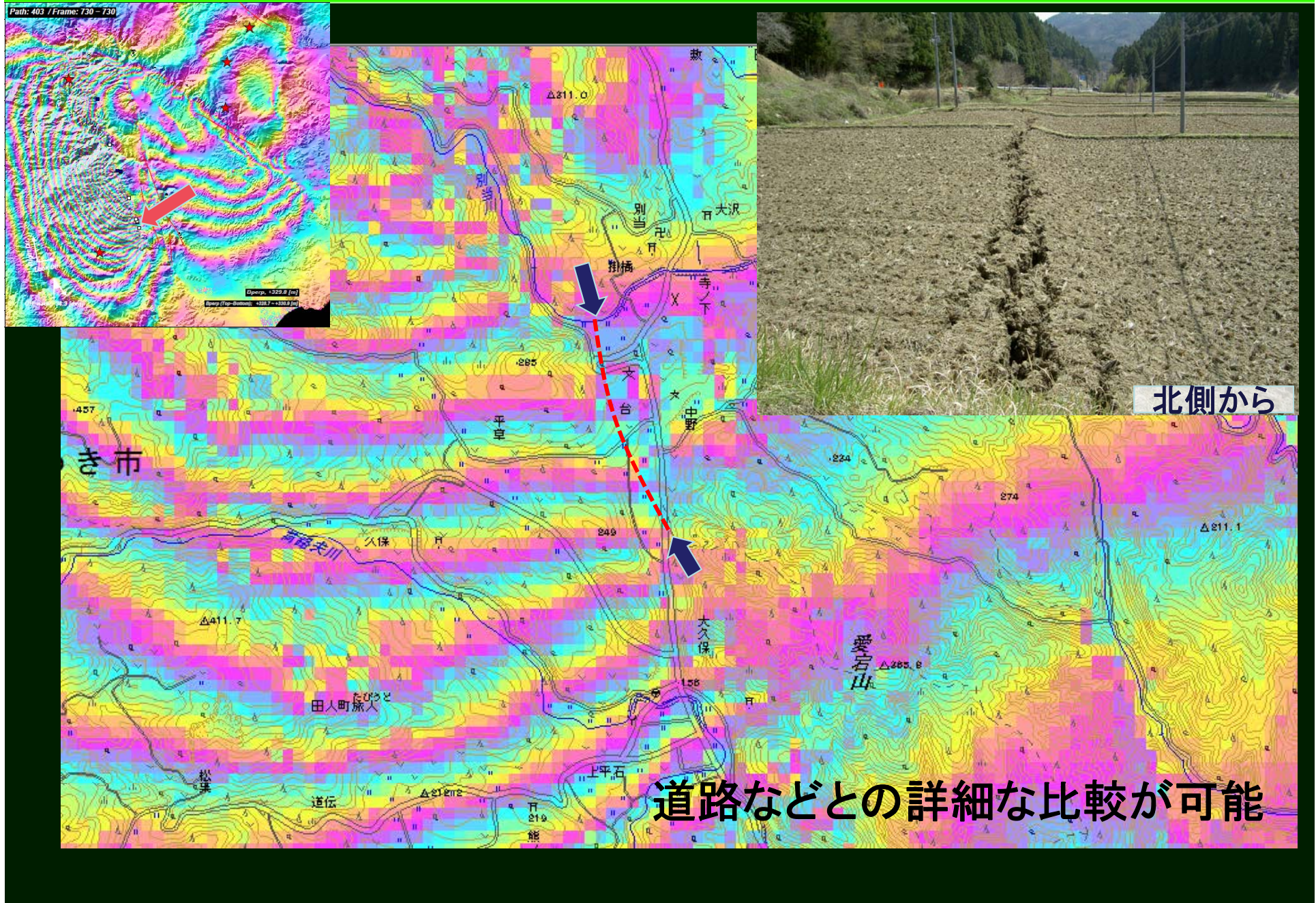
画像取得日: 2010/5/21 2011

© 2011 GeoEye  
© 2011 MIRC/JHA  
© 2011 ZENRIN  
© 2011 DigitalGlobe  
140.727005

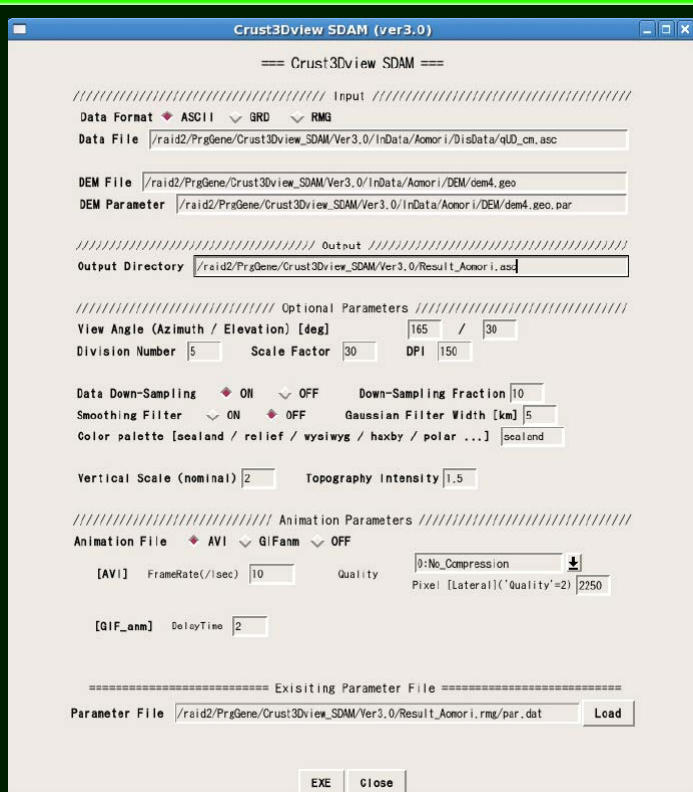
© 2010 Google

高度 8.51 km

# 電子国土web Google Earth版 での干渉画像配布2



# 動画による表現 3Dアニメ作成ソフトの開発



## 地表変位 3次元描画プログラム Crust3Dview SDAM (ver3.0)

2013/01/29

### 0. はじめに

#### Crust3Dview SDAM とは

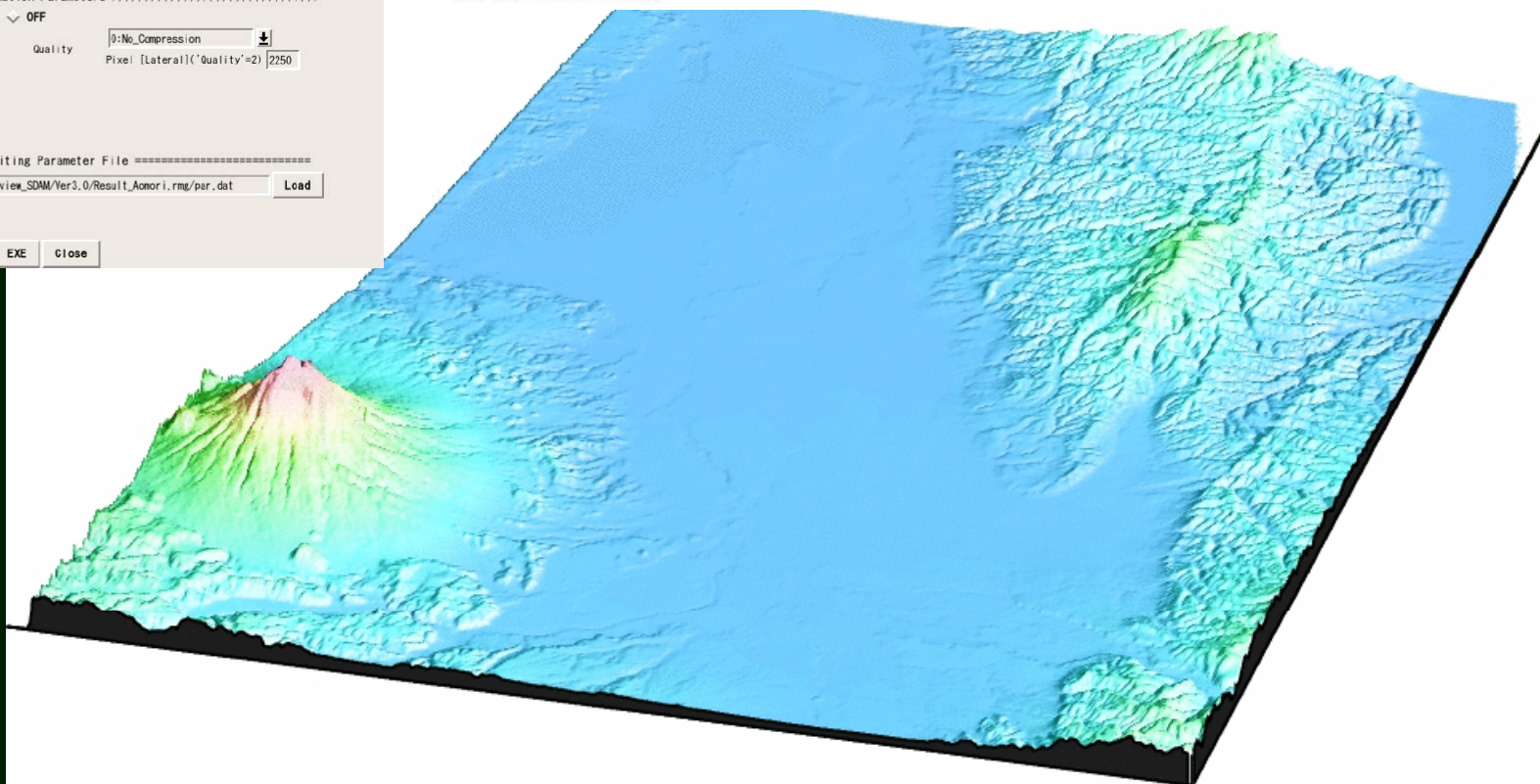
Crust3Dview<sup>1</sup> SDAM (SAR-derived Displacement Animation Module) は、SAR データ解析などにより取得された地表変位の空間分布やその規模を、視覚的にわかりやすく表示することを目的に、3次元鳥瞰図アニメーションを GUI 操作により簡便に作成できるプログラムである。(※Ver3.0 は上下動成分のみ対応)

#### 【主な特徴】

- ・ 3次元鳥瞰図アニメーションの作成
- ・ GUI 操作によるパラメータ設定・実行
- ・ GMT をベースにフリーソフトのみで構築 (GUI は perl/tk を使用)

#### 【主な機能】

- ・ AVI もしくは GIF アニメ形式の動画を出力
- ・ 静止画 (JPEG) ファイルを出力
- ・ 視点 (方位角/仰角) の自由設定



## 誰もが知っていて & “使える” 技術に!

前 宇宙基本計画

トーンダウン...

現行 宇宙基本計画

### A アジア等に貢献する陸域・海域観測衛星システム

#### ①社会的ニーズと今後10年程度の目標

##### (a) 公共の安全の確保

(略)

「地殻変動の予測監視」というニーズに対して、世界有数の地殻変動(地面の動き)が活発な地域に位置するわが国では、全国約1,200箇所に設置された電子基準点(GPS衛星データを受信)による監視が行われている。一方Lバンドレーダセンサ活用の実証的な取組も進められてきたものの、衛星の更新に間が空いたために数年間観測できない期間があったこと、また撮影頻度が少ないことから、まだ予測や監視に十分に活用できていない。今後は地表面の情報を広域かつ長期間にわたり継続的・高頻度で取得することで得られる画像情報の面的な解析結果を、電子基準点等による特定の地点の情報と組み合わせ活用することにより、**地殻変動を1センチメートル程度の精度で面的かつ稠密に監視**(すなわち点の把握から面の把握へ向上)する。特に大規模な地殻変動の予兆が認められたり火山の活動度が高まったりした場合には、GPSによる現地での臨時観測等と合わせ、少なくとも3時間毎に対象地域の監視を行い、今後の地殻変動や火山活動の推移に関する予測精度を向上させる。(以下略)

##### (b) 国土保全管理

##### (c) 食糧供給の円滑化(農業と沿岸漁業等の高度化)

##### (d) 資源・エネルギー供給の円滑化

##### (e) その他

・言葉の登場回数: 「だいち」11回, 「陸域観測衛星」3回, 「Lバンド」2回, 「だいち2号」1回

・言葉の登場回数: 「だいち」の2回のみ

(一方, 「準天頂」は21回)

・現状分析の記載に留まる(必要性は読み取れず)

日本のSAR観測・研究の未来は決して楽観視できない。

・コミュニティの成長による利用拡大

・SARの有効性のアピール

科学としての成果

社会での利用価値のアピール