

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

***** : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

 : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2015, 六川修一

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2015, Shuichi Rokugawa

リモートセンシングの世界

-干渉型合成開口レーダが拓く
宇宙利用の新たな世界-

2015年6月5日(金)

東京大学 大学院工学系研究科
技術経営戦略学専攻
教授 六川修一

自己紹介

- 六川修一 (Rokugawa Shuichi) 1974年長野高校卒業
 - 工学系研究科 教授
(技術経営戦略学専攻)
 - 宇宙利用産業政策論
 - リモートセンシング学
 - 物理探査工学(石油・ガス、地熱、土木)
 - 一社)日本リモートセンシング学会 元会長
 - 衛星データの学術振興および実利用を推進する学術団体
 - 公社)物理探査学会 元会長
 - 資源、環境、社会基盤の物理学的探査技術の学術振興および実利用を推進する学術団体
 - 横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合) 理事
 - 衛星データ利用ビジネスコミュニティ 前会長
 - 衛星データ利用産業の育成、振興をめざす産業界ユーザコミュニティ
 - 宇宙戦略本部 リモートセンシング政策検討WG 主査(歴任)
 - 宇宙基本法/宇宙基本計画に基づき、わが国の衛星地球観測の今後の政策や技術戦略の立案を行う組織
 - ハイパースペクトルセンサ開発プロジェクト主査

1. システム構築研究の目的
2. 干渉SAR処理の概要
 - 1) 干渉SARの原理
 - 2) 全体処理の流れ
3. 主要地域の解析事例
 - 1) 南関東水溶性ガス田での地盤沈下
 - 2) 佐賀県伊万里地区での地すべり危険域特定
4. 実用化システムの構築に向けて

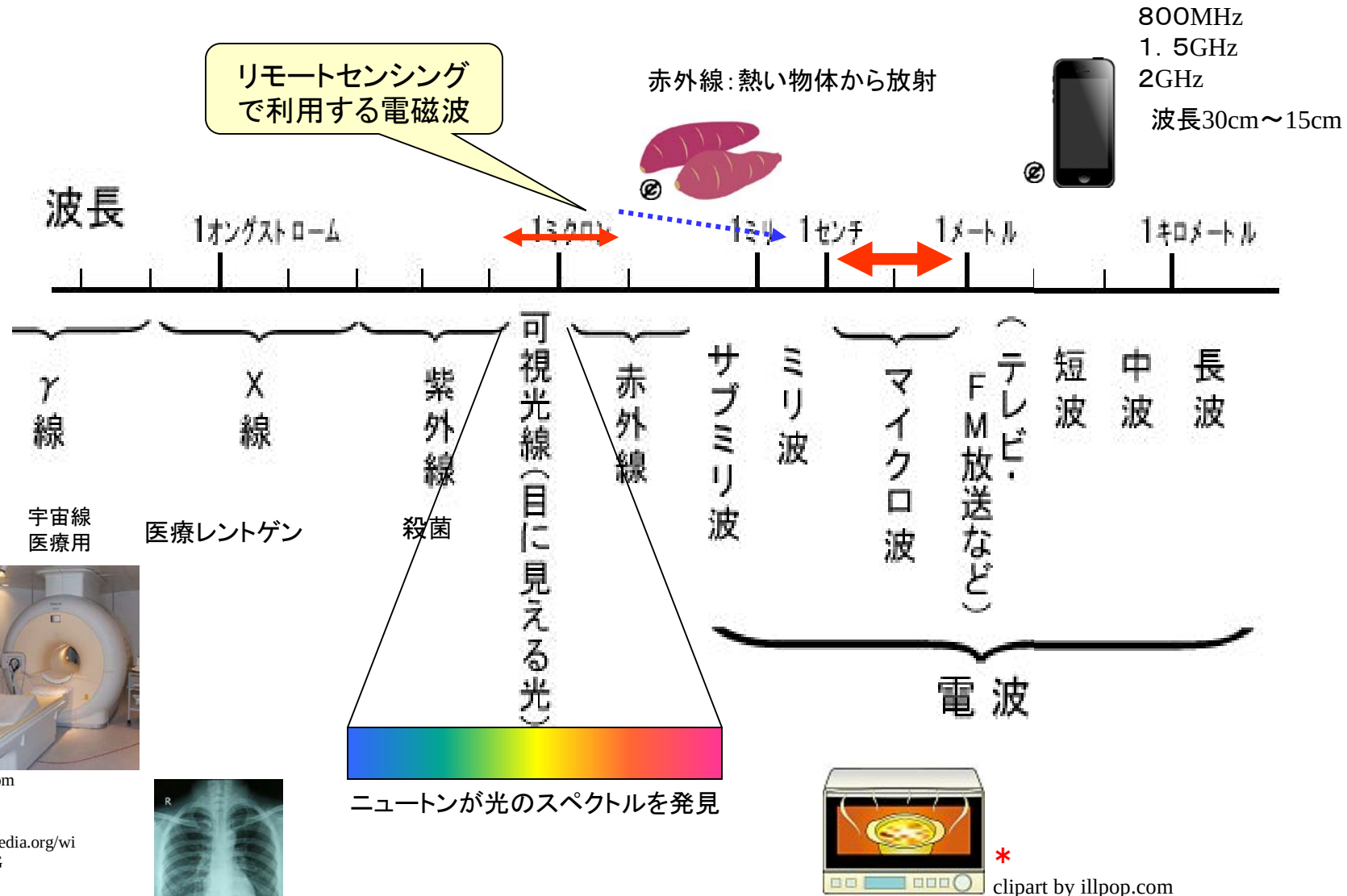
リモートセンシングの観測対象

陸域、海洋、大気など地球表面とその上空すべてを対象

- ・光学リモートセンシング：可視域から熱赤外域の電磁波を利用
- ・マイクロ波リモートセンシング：センサ自体がマイクロ波を送受信
位相差で精密変化計測



電磁波の種類

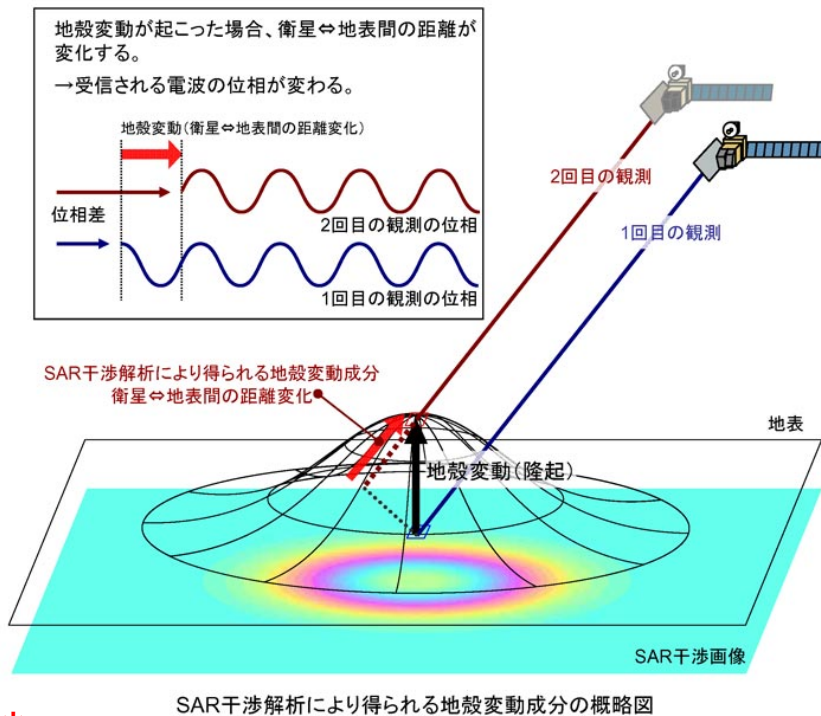


*

clipart by illpop.com

電子レンジ: 波長15cm, 周波数2GHzのマイクロ波(水分子の振動)

干渉型合成開口レーダ(InSAR)の原理



Interferometric SAR (Synthetic Aperture Rader)

2回観測点にマイクロ波を照射

後方散乱したマイクロ波の位相差より、
地表変位を捉える

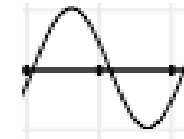
定期的な観測→モニタリング

人工衛星方向の地面の変動をcm単位で捉えるセンサ

波長を物差しとする対象物の変動検知

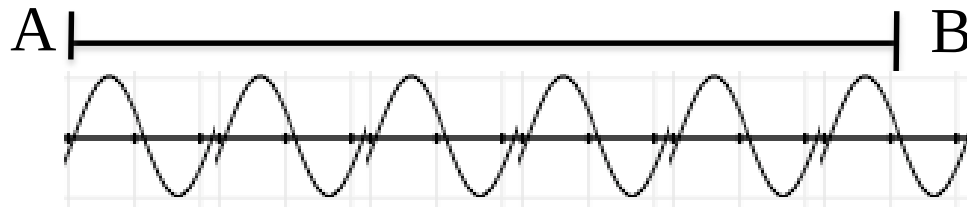
* 1回目の観測

波長がものさし:



0 λ (wavelength)

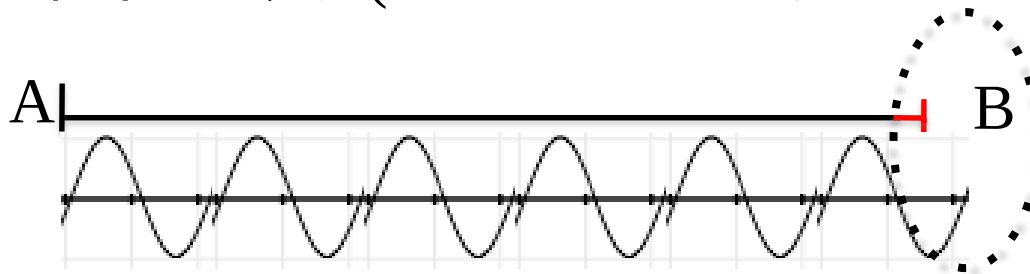
0 2π (phase)



$5 + 1/2$ [folds]

(例 1回帰以降の同一域観測)

*2回目の観測(Bが遠ざかった)

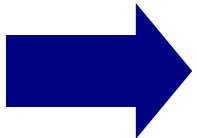


$5 + 3/4$ [folds]

変位 : $(5 + 3/4) - (5 + 1/2) = 1/4$ [scale]

長さ : $0.25 * (\text{ものさし長}) = 0.25\lambda$

位相 “ ラジアン : $0.25 * 2\pi = \pi/2$

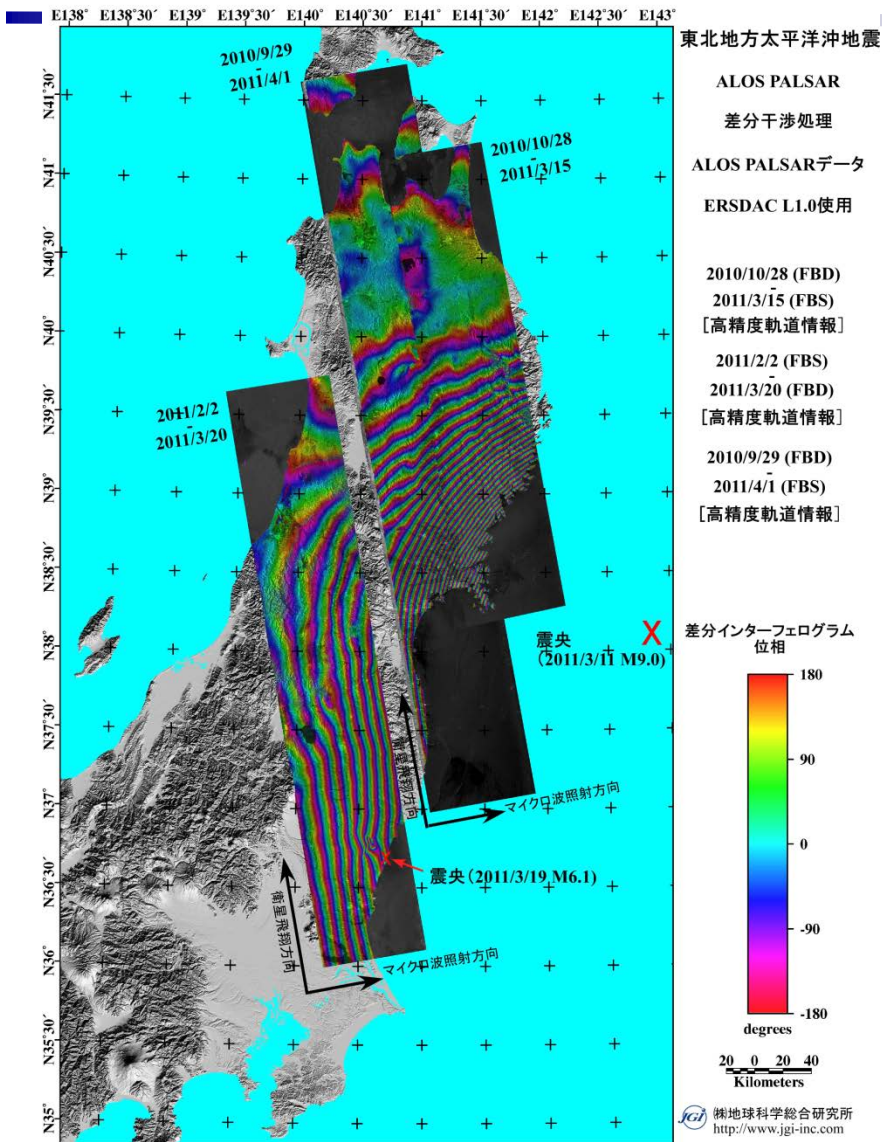


- わが国および欧州で打ち上げ・運用が始まったLバンドおよびCバンドの先進干渉SAR技術を環境・防災・エネルギー分野に適用する実利用化研究
- 土砂災害発生危険域の特定とその評価を可能とする地盤変動モニタリングシステムの構築
- 衛星リモートセンシング技術、ここでは干渉SARの解析基盤フローの確立

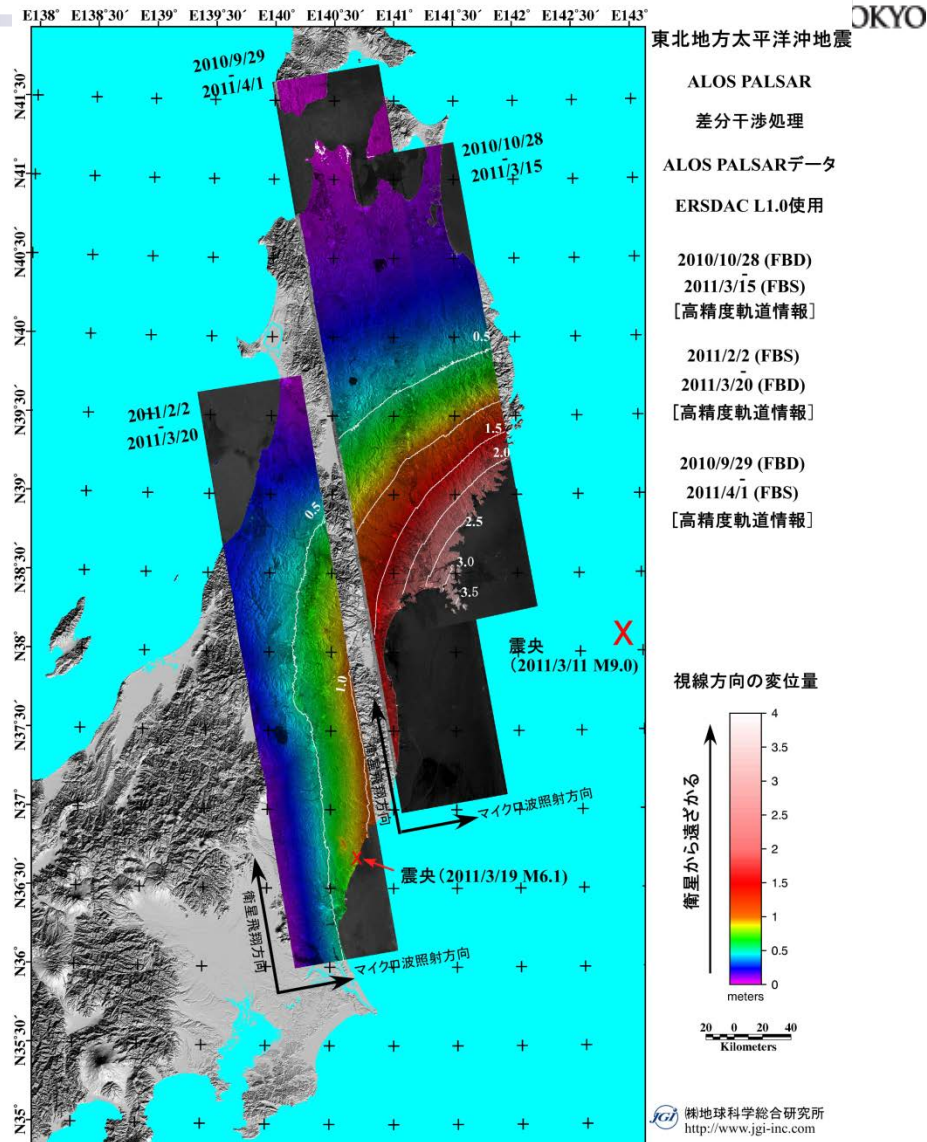
- InSAR処理の流れ

1. 解析対象地域の選択
2. 数値標高データを用いたSAR画像と地図との対応付け (Geocoding)
3. 処理対象画像セットの選択と精密画像位置合わせ
4. Differential InSAR処理(2ペアの位相差検出)
5. 地表変位導出に用いるデータペア選択
6. 最小二乗法による微細地表変位導出処理
7. 地図投影によるマップ化
8. 土砂災害危険域、地盤沈下域等の応用解析

地震災害のモニタリング



* 東北地方太平洋沖地震による干渉縞



* レーダ方向の変位

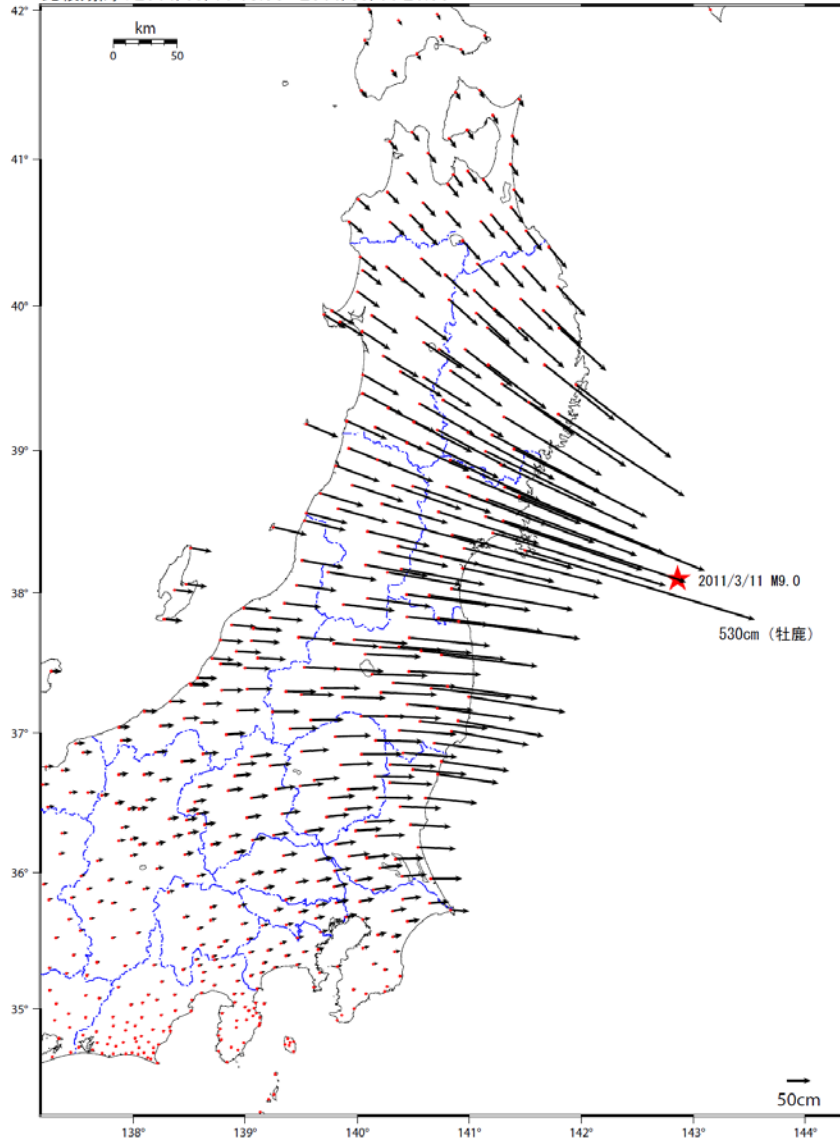
画像提供: 株式会社地球科学総合研究所

本震(M9.0)に伴う地殻変動（水平）

暫定

資料 1

基準期間：2011/03/01 21:00 - 2011/03/09 21:00
比較期間：2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 21:00



[基準：R3速報解 比較：Q3迅速解]

☆固定局：三隅（950388）

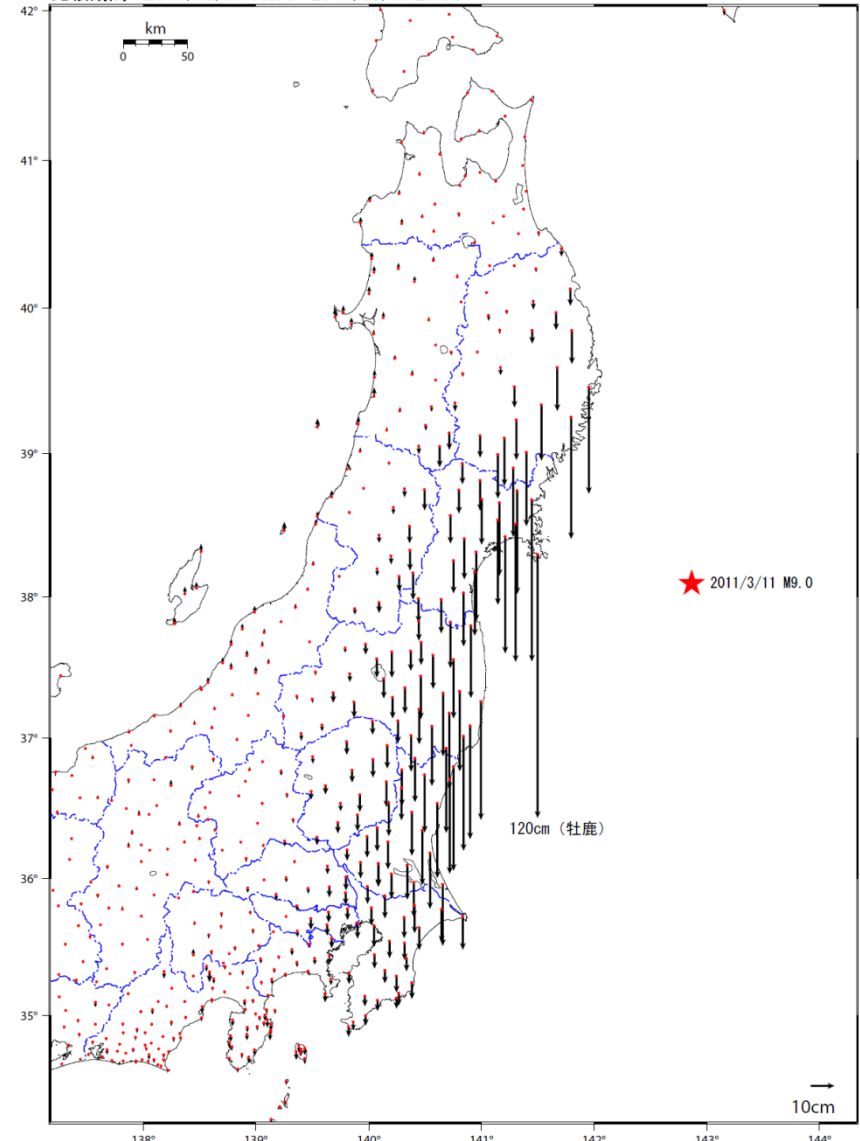
国土地理院

本震(M9.0)に伴う地殻変動（上下）

暫定

資料 2

基準期間：2011/03/01 21:00 - 2011/03/09 21:00
比較期間：2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 21:00



[基準：R3速報解 比較：Q3迅速解]

☆固定局：三隅（950388）

国土地理院ウェブサイトより

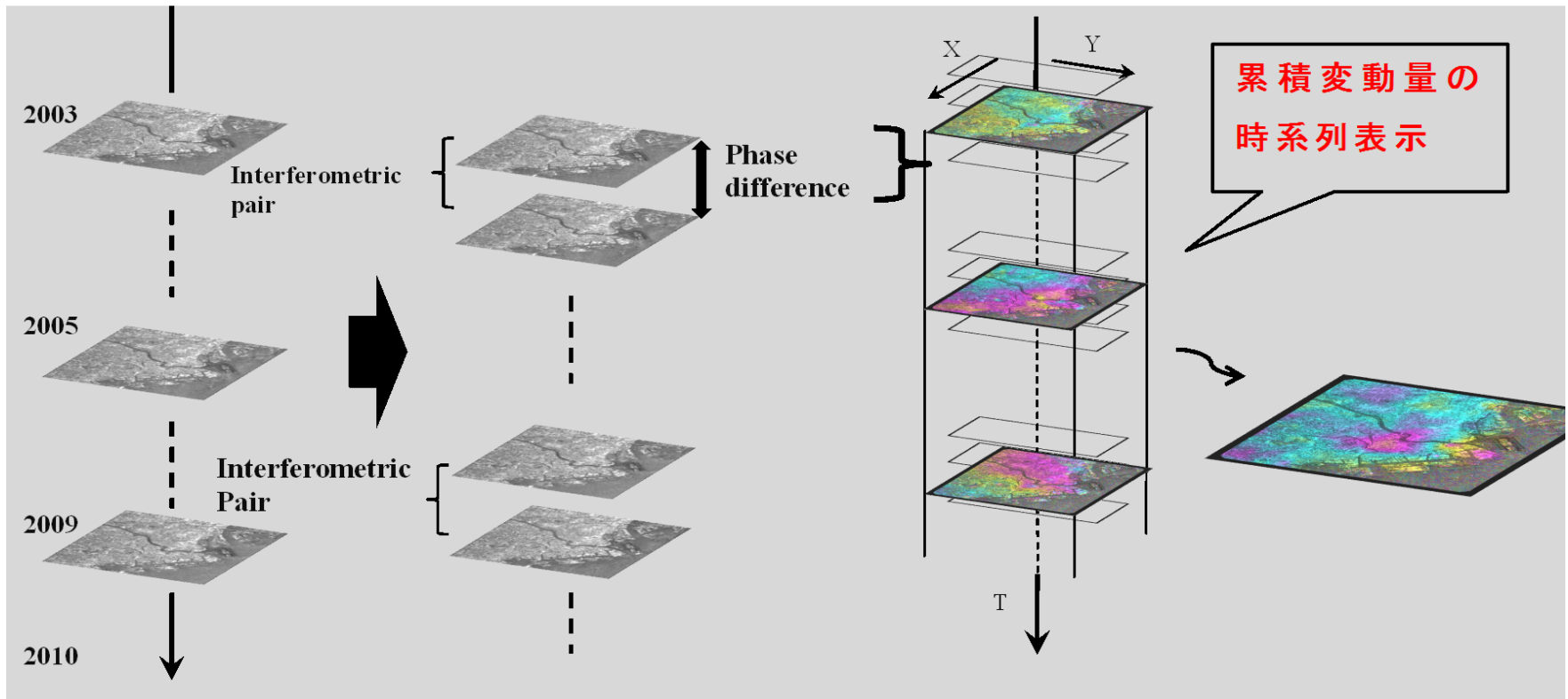
<http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>

インバージョン処理

時系列 SLC 画像データ

InSAR 解析ペア

インバージョン処理

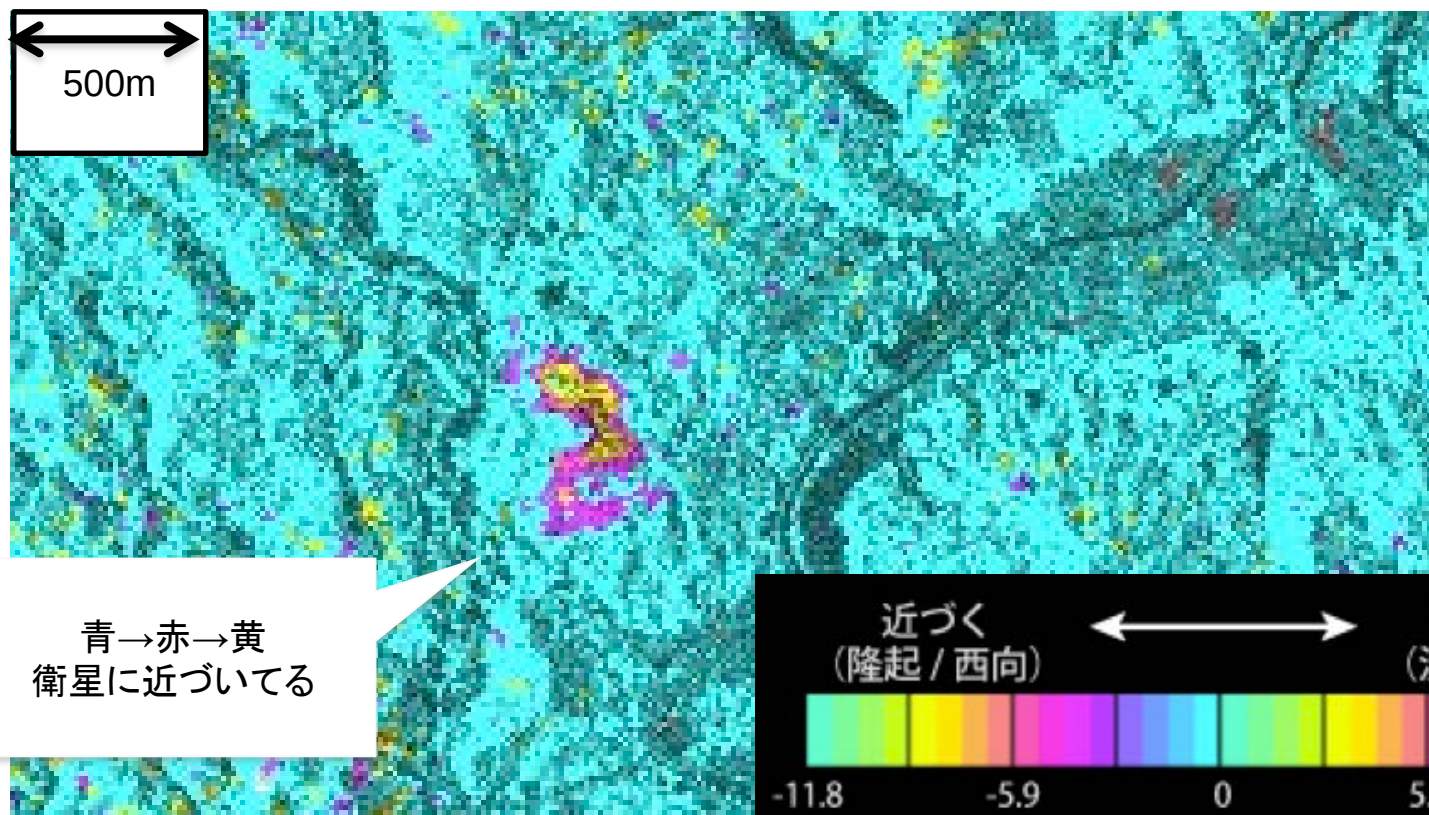


例) 10ペア

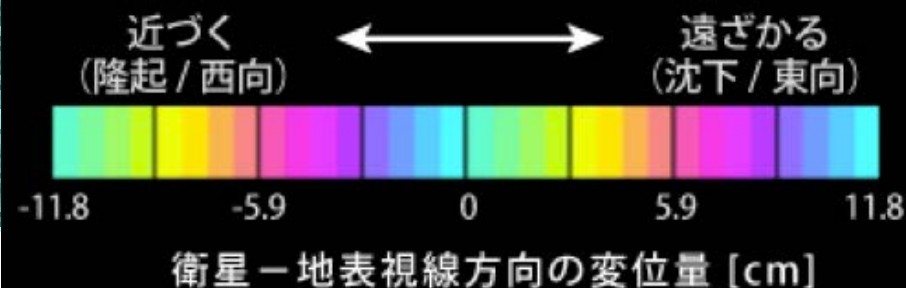
$10 \times 9 / 2 = 45$ ペア

インバージョン処理
(時系列: 連立方程式解法)

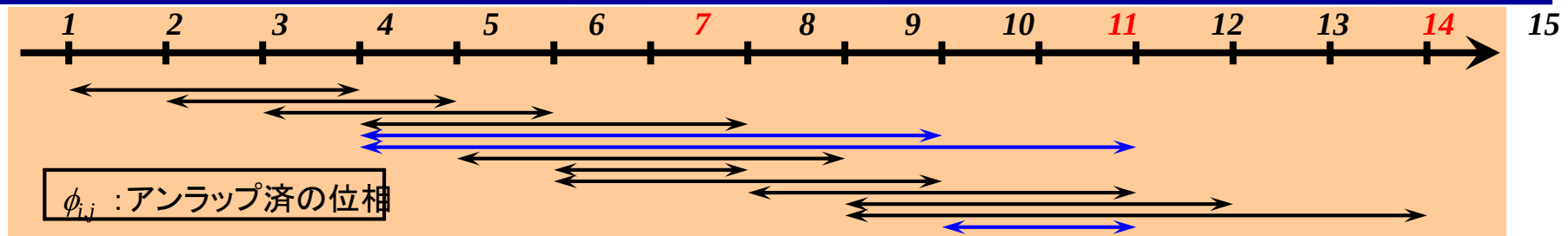
SAR画像の見方



青→赤→黄
衛星に近づいてる

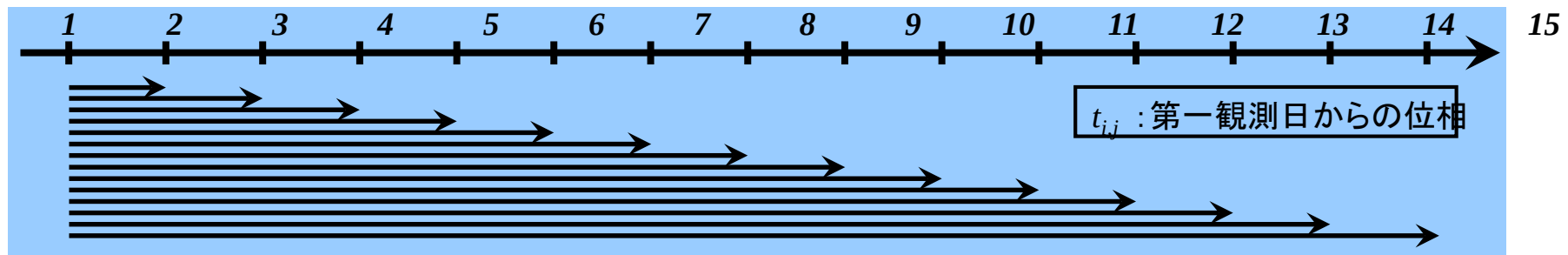


干渉SARの時系列解析



平滑化拘束条件の
重み付きインバージョン

$$U = \sum_k w_{i,j} \left[\phi_{i,j} - \left(\text{composition of } t_{i,j}^{(k)} \right) \right]^2 + \alpha^2 \sum_k \left(\text{first or second difference of } t_{i,j}^{(k)} \right)^2$$



【効果】

1. 非線形変動への対応
2. 未観測データの内挿
3. トレンド項とランダム項の分離
(地盤変動) (大気他)
4. 長期地盤変動の計測

【利点】

1. 数シーンでも処理可能
2. ペア同士が連結しなくても可
3. 多衛星同士の合成も可 (入射角の問題⇒A/D観測)

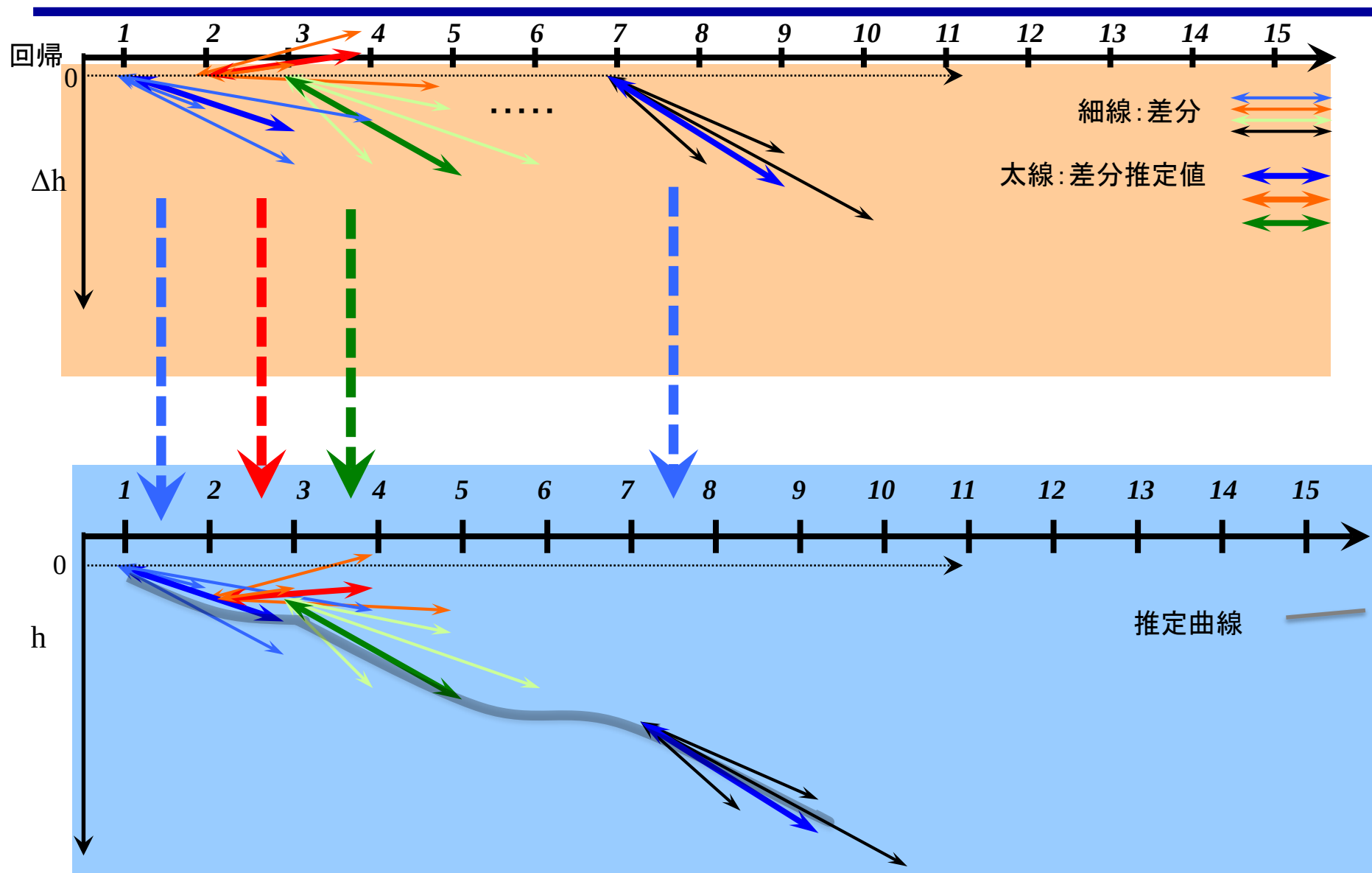
【問題点・課題】

1. 位相アンラッピング
2. ループの是非

インバージョン処理の直感的理解



THE UNIVERSITY OF TOKYO



時系列解析に用いたレーダ画像



THE UNIVERSITY OF TOKYO

時系列解析に使用した ENVISAT/ASAR 画像 55 シーンの取得年月日

(Beam/Polarisation は全て IS2/VV)

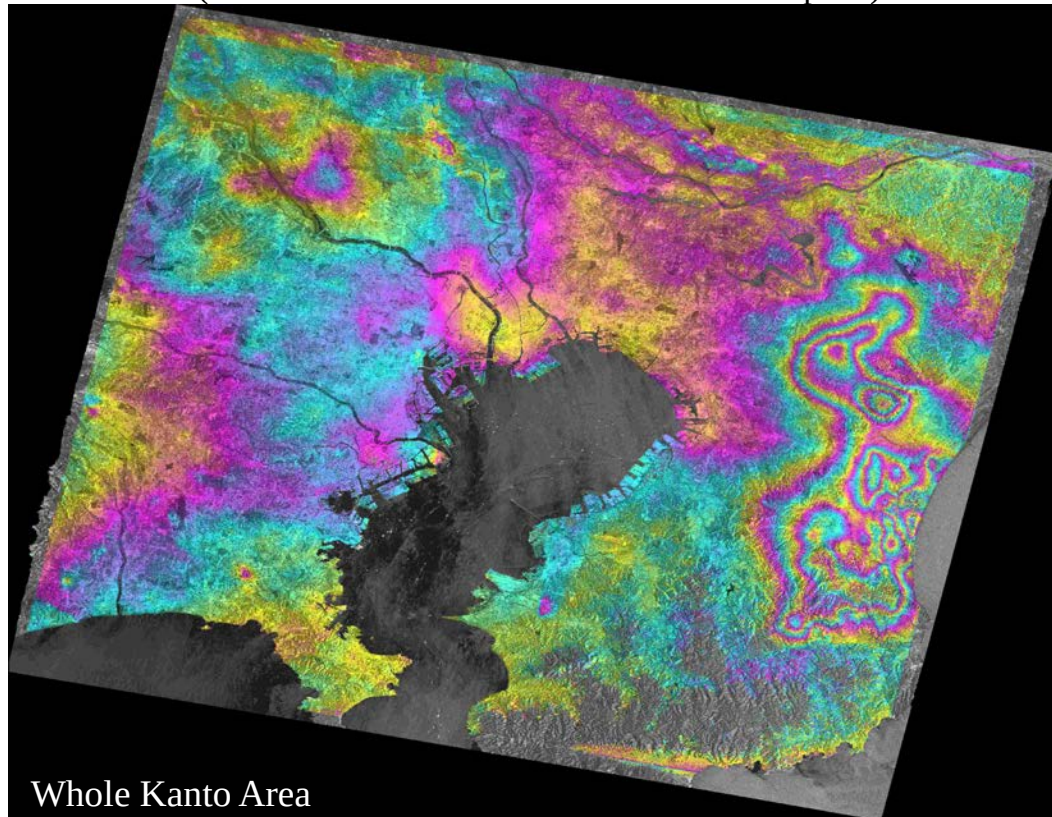
No.	Prodcuton Date	No.	Prodcuton Date	No.	Prodcuton Date	No.	Prodcuton Date
1	20030113	15	20050502	29	20070611	43	20081117
2	20030217	16	20050606	30	20070716	44	20081222
3	20030428	17	20050711	31	20070820	45	20090302
4	20030707	18	20050815	32	20070924	46	20090511
5	20031020	19	20050919	33	20071029	47	20090720
6	20031124	20	20051024	34	20071203	48	20090928
7	20031229	21	20051128	35	20080211	49	20091207
8	20040412	22	20060313	36	20080317	50	20100215
9	20040517	23	20060904	37	20080421	51	20100322
10	20040830	24	20061009	38	20080526	52	20100426
11	20041108	25	20061113	39	20080630	53	20100531
12	20050117	26	20061218	40	20080804	54	20100705
13	20050221	27	20070122	41	20080908	55	20100809
14	20050328	28	20070507	42	20081013		

20030113 : YYYYMMDD (YYYY: Year, MM: Month, DD: Day)

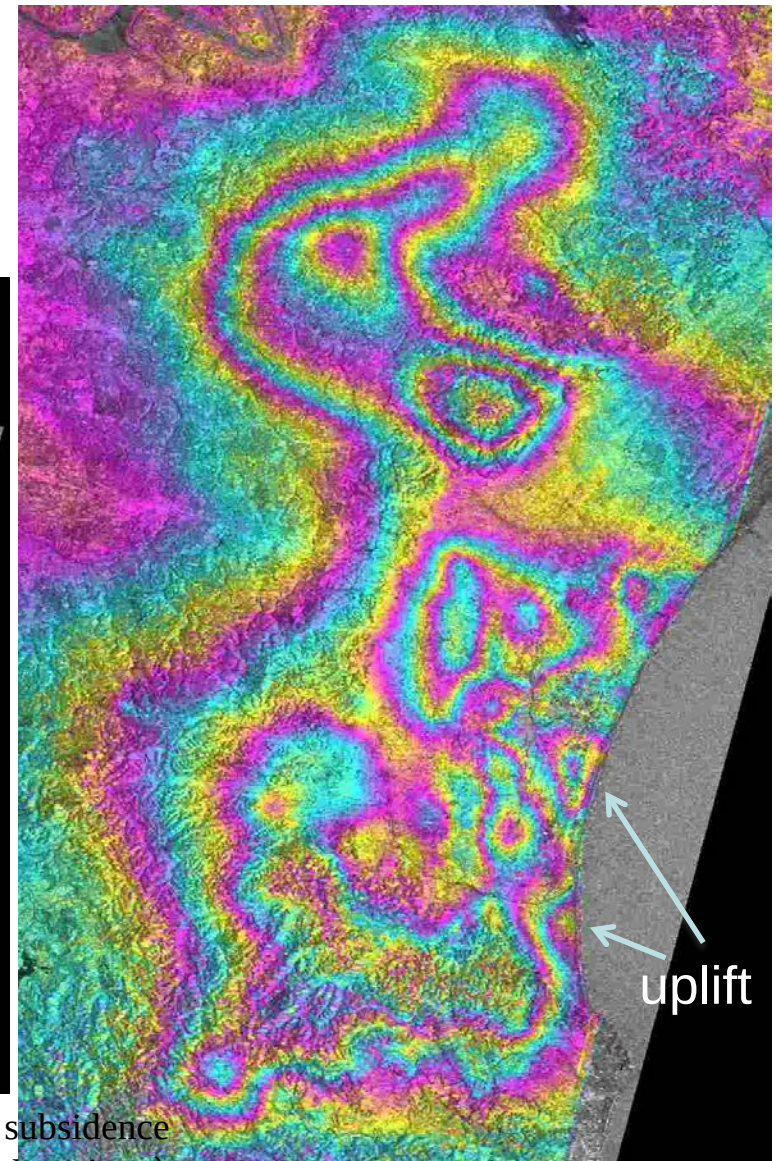
InSARによる南関東の観測結果

- C バンド SAR(Envisat): 20030113 – 20100809 (7年7ヶ月観測)
 - DinSAR: 831ペア、時系列解析: 354 pairs
 - 4cm/カラーサイクル

Blue-Yellow-Red-Purple-Blue
(Subsidence → ← Uplift)



Whole Kanto Area

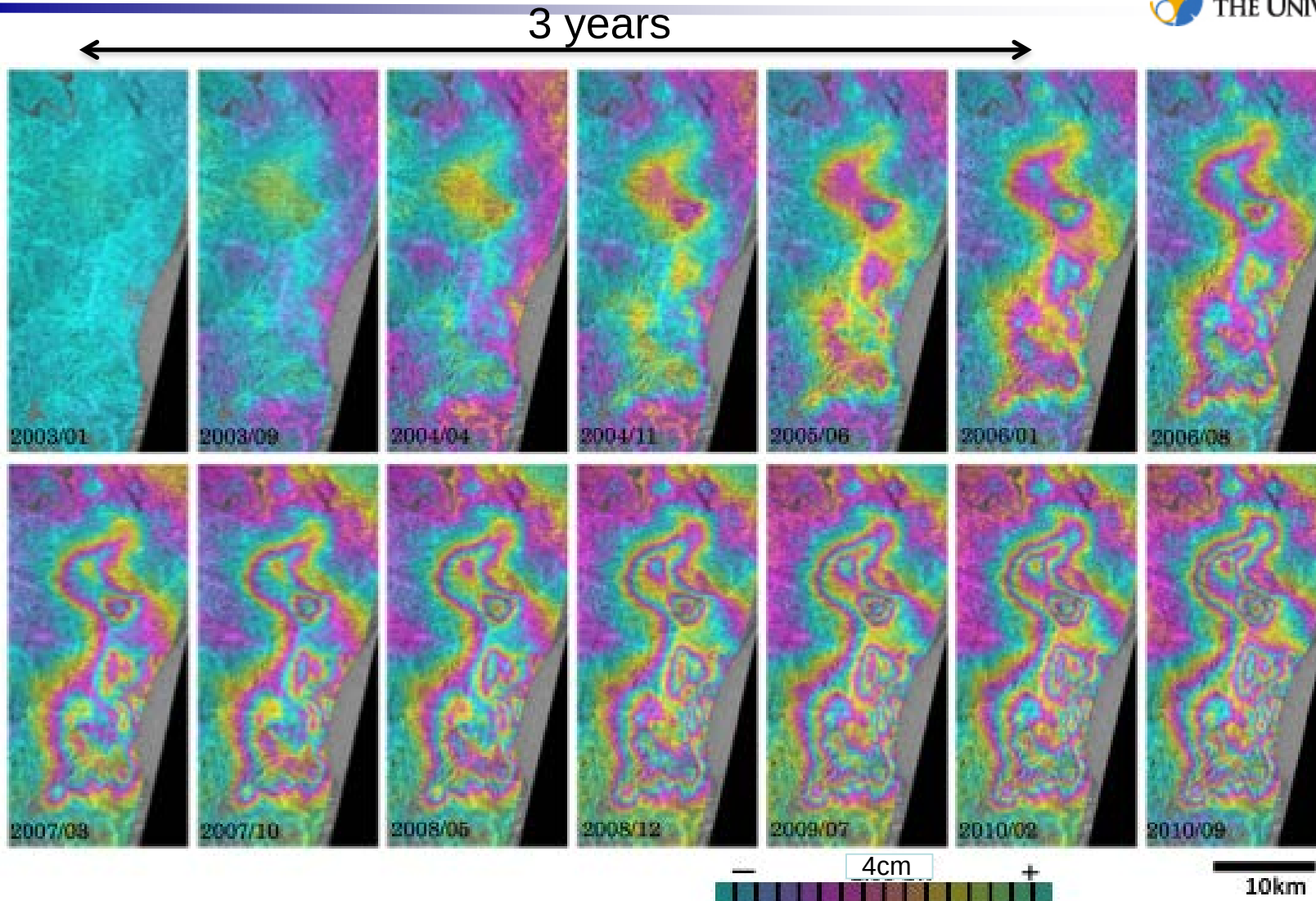


Land subsidence
(Kujukuri Area)

九十九里地域での累積変動一覽

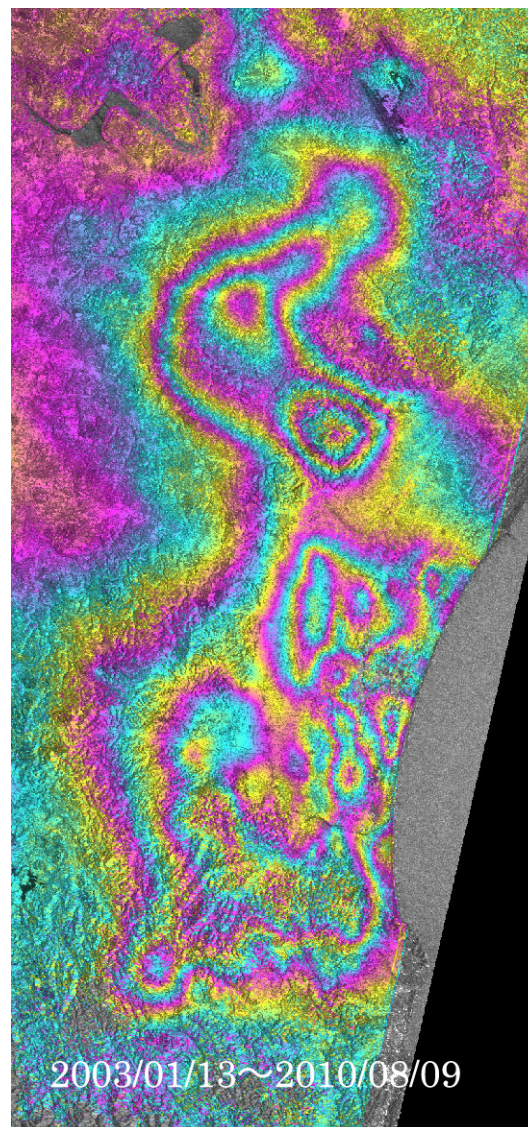


THE UNIVERSITY OF TOKYO



*Cumulative deformation as images by time-lapse InSAR analysis.
(from Jan. 13, 2003 to Aug. 9, 2010 based on C band ENVISAT/ASAR)*

地表変動のアニメーション

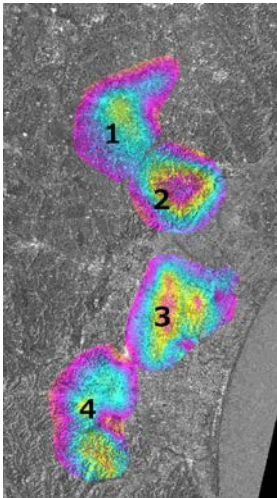


Color Cycle: 4cm

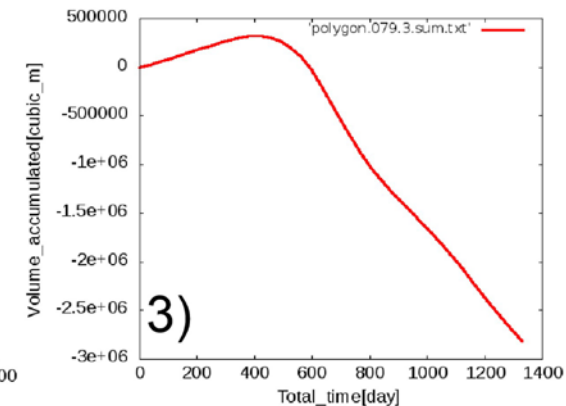
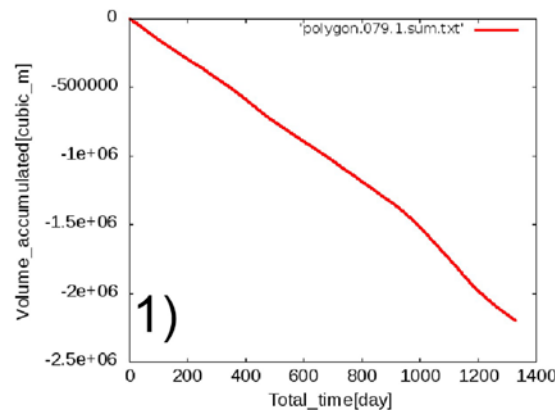
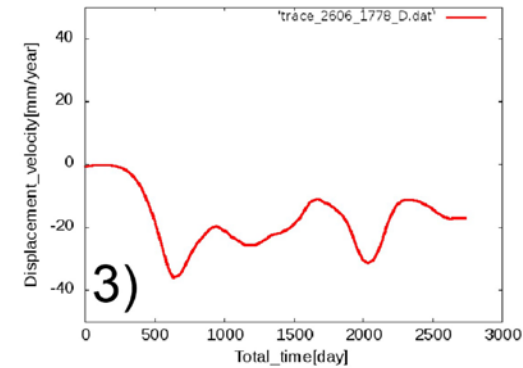
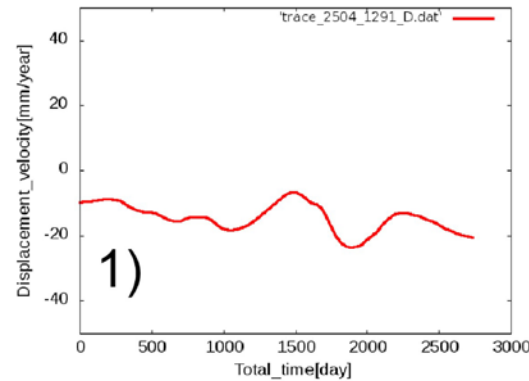
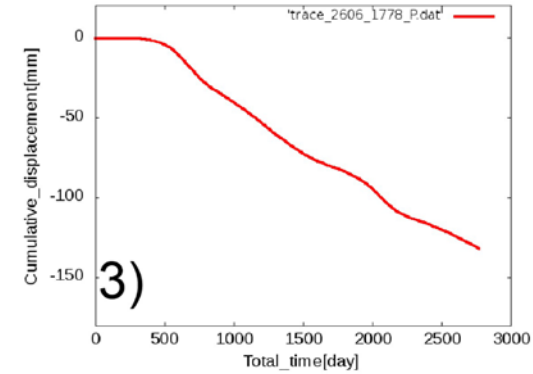
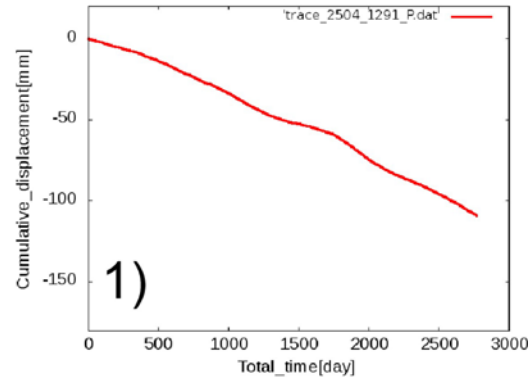
Displacement profiles

- 上図: 累積変動値 (mm)

- 中段: 変動速度 (mm/年)

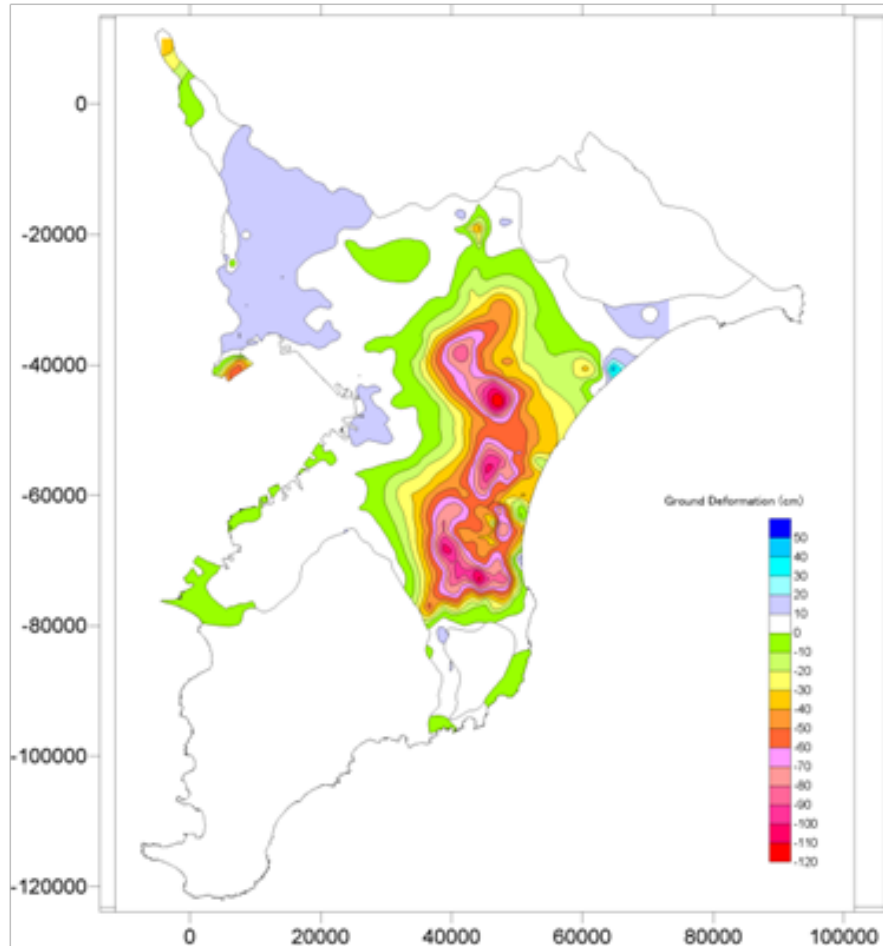


- 下段: 累積変動体積 (立法 m)

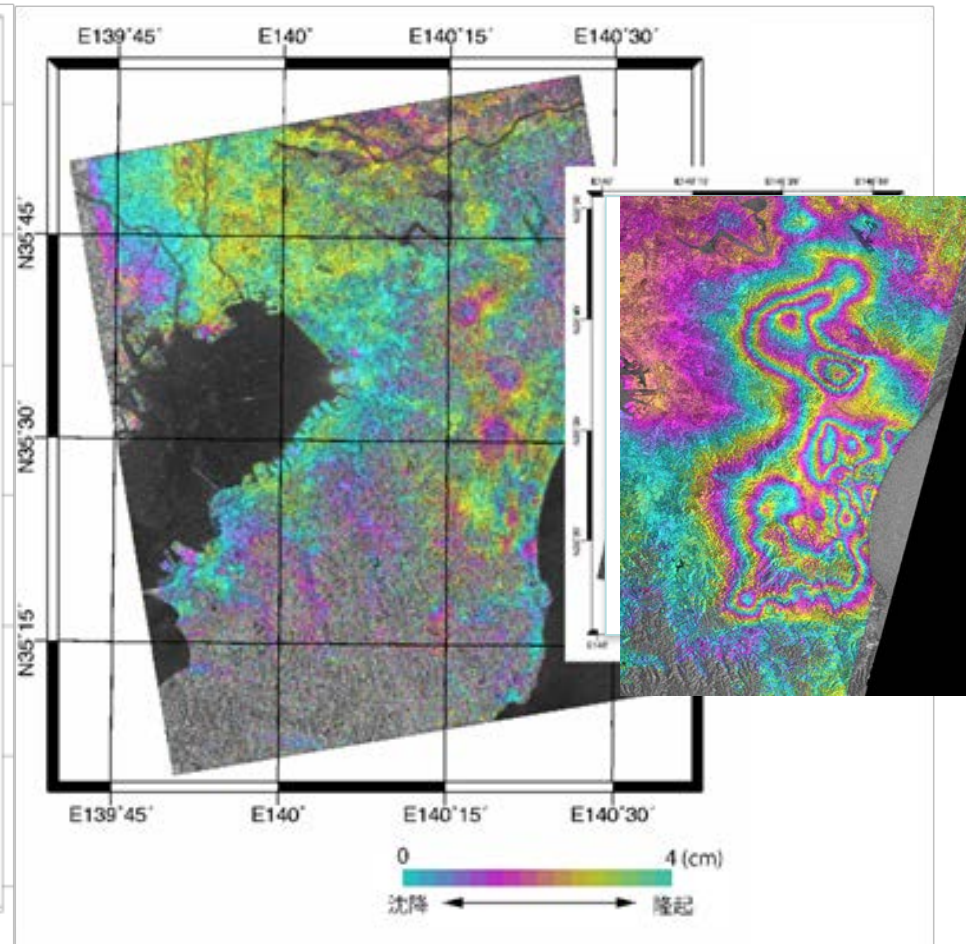


都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

水準測量と InSAR の比較



Leveling: 2003 – 2008



*L band InSAR:
2006-2008*

*C band InSAR:
2003-2010*

メディアンフィルタ

- $n \times n$ の小領域内の画素の中央値を領域中央の画素値とする
フィルタ処理
- ノイズ(ゴマ塩状雑音)除去



1	1	2
2	8	3
2	2	3

1,1,2,2,2,2,3,3,8

1	1	2
2	2	3
2	2	3



入力画像における関心画素の周囲の
重み付き平均を出力画素とする手法

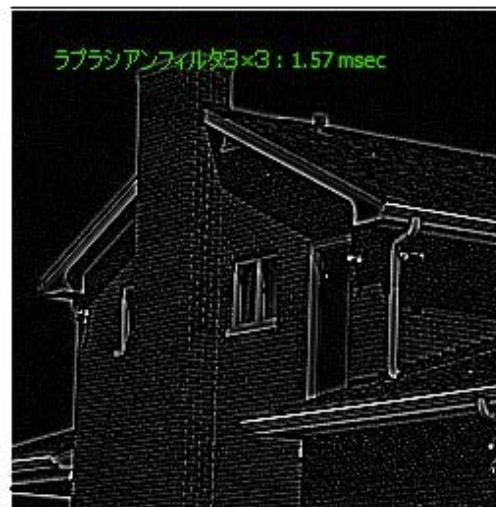
$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

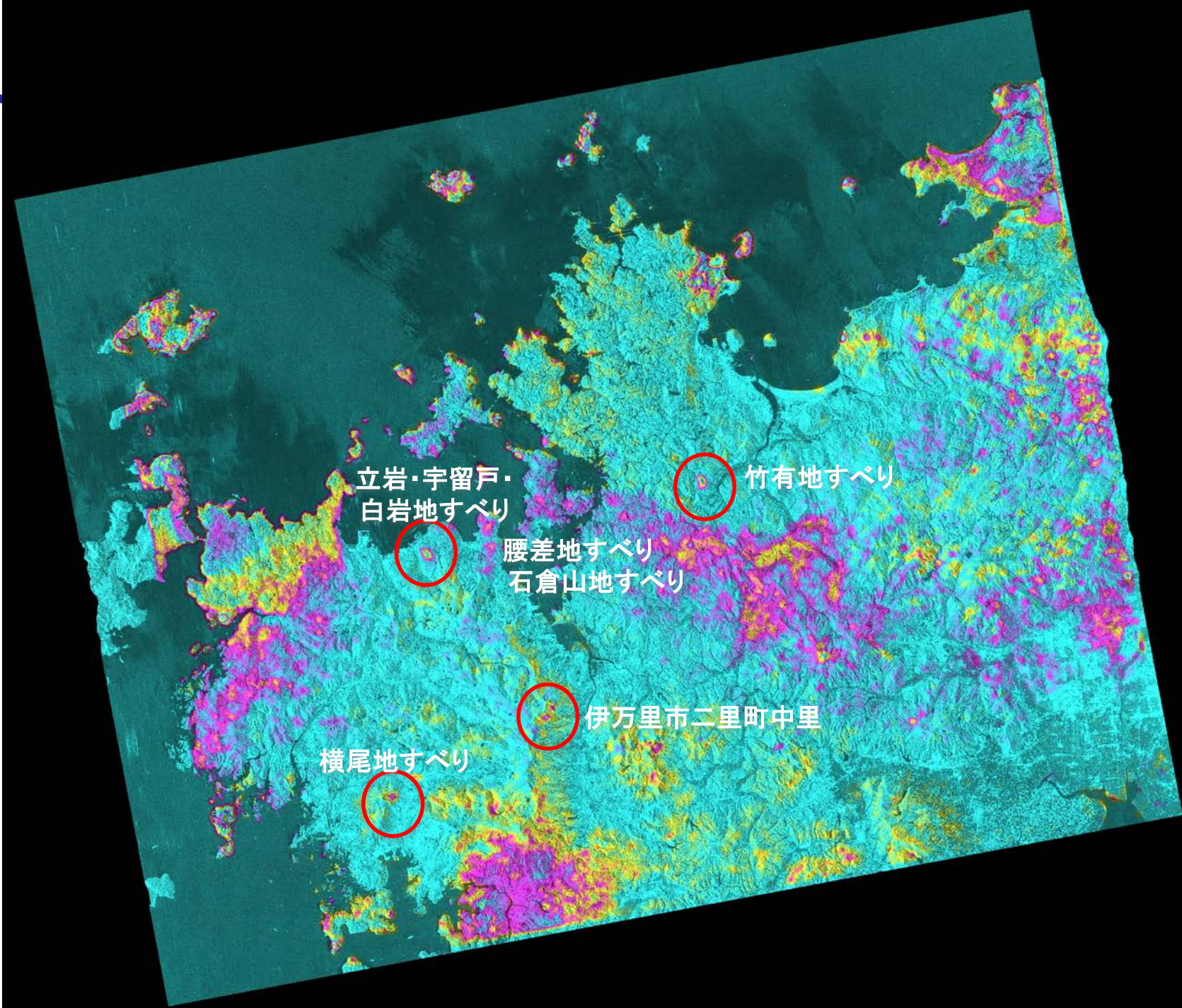
オペレータ



$$\begin{matrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{matrix}$$

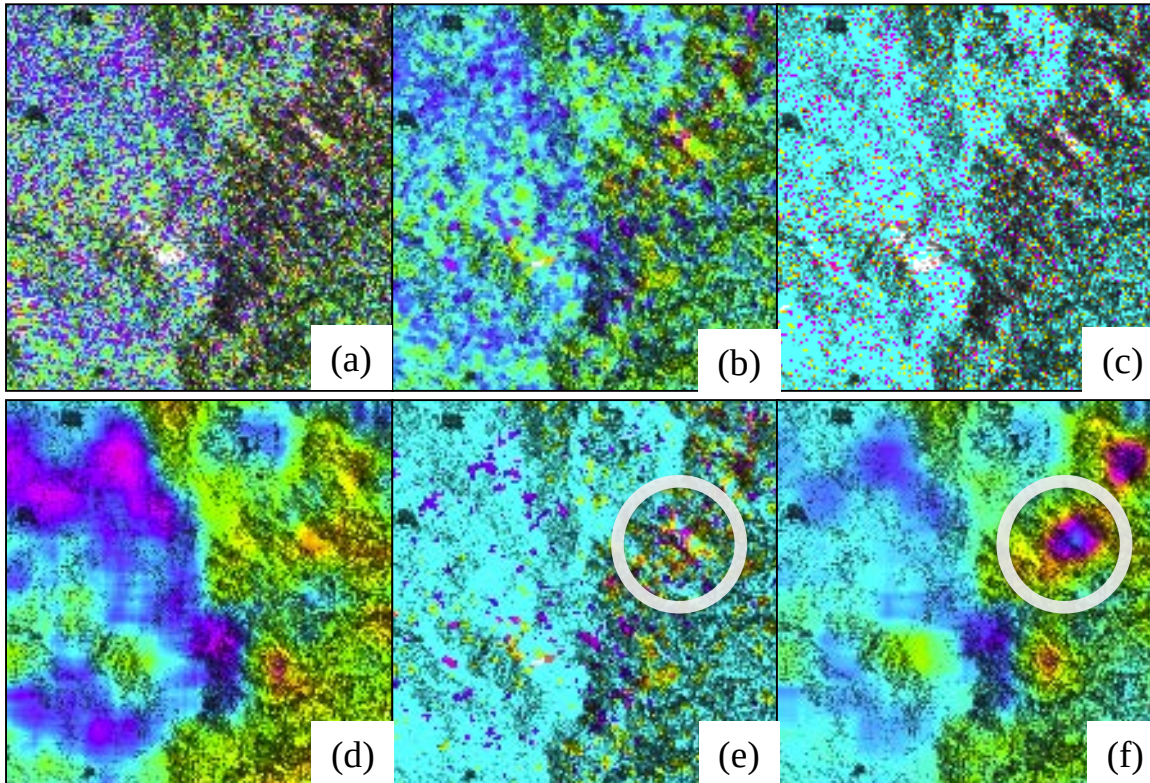
入力画像





伊万里地区の分析

2006/05/26～2011/01/22の期間
地すべり箇所を検出するにあたって、既に関起こった
地すべり災害に適用し、フィルタの有効性を評価



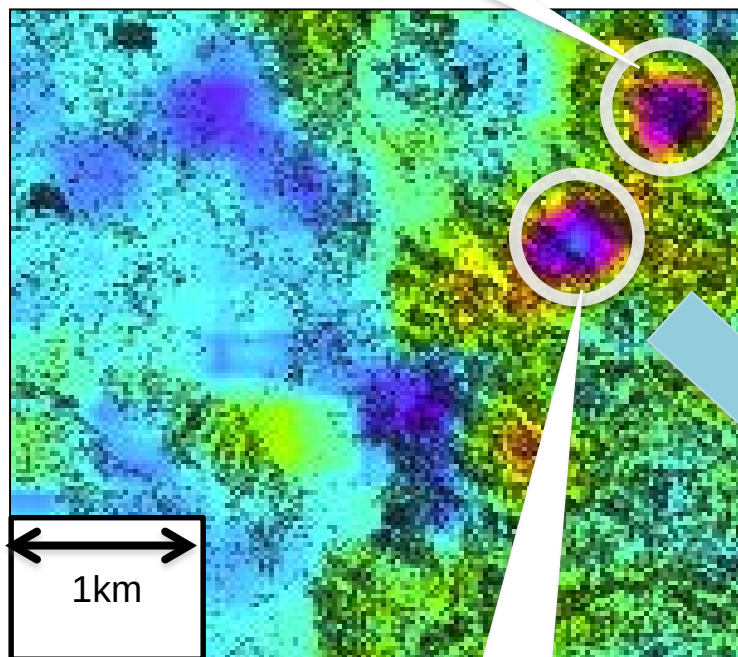
- (a) そのまま
- (b) メディアン
- (c) ヒストグラム20%
- (d) ラプラシアン
- (e) b+c
- (f) b+c+d

佐賀県伊万里市で変位を検出



THE UNIVERSITY OF TOKYO

B
斜面崩壊未発生



A
斜面崩壊箇所

斜面崩壊箇所と同様な解析結果が
北側の斜面(伊万里市二里町大里乙:烏帽子岳
南東斜面)に検出された。

佐賀県伊万里市二里町中里甲
平成22年4月24日に斜面崩壊が発生

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた写真を削除しました。

佐賀新聞
平成22年4月25日
朝刊23ページより

「伊万里の国道土砂崩れ 生体反応で搜索巻き
添えなし 498号全面通行止め」



崩壊箇所は
対策済み

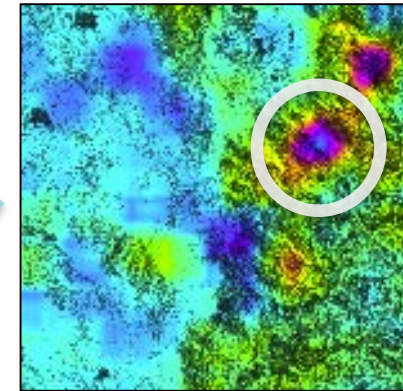
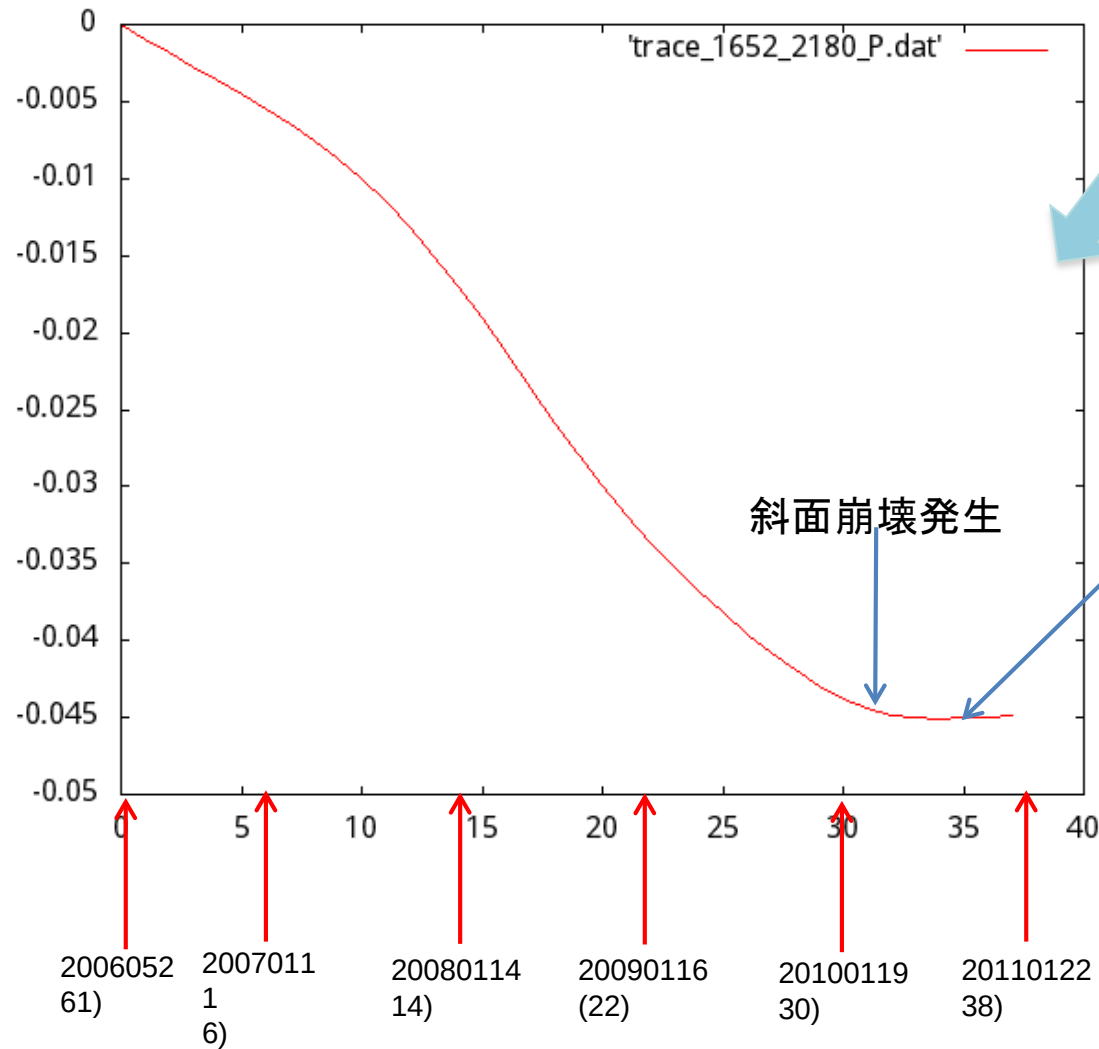


未崩壊箇所
道路沿いの
ブロック積
みには最大
20mmの亀
裂発生

斜面崩壊箇所(伊万里市二里市中里甲) 変位量解析結果



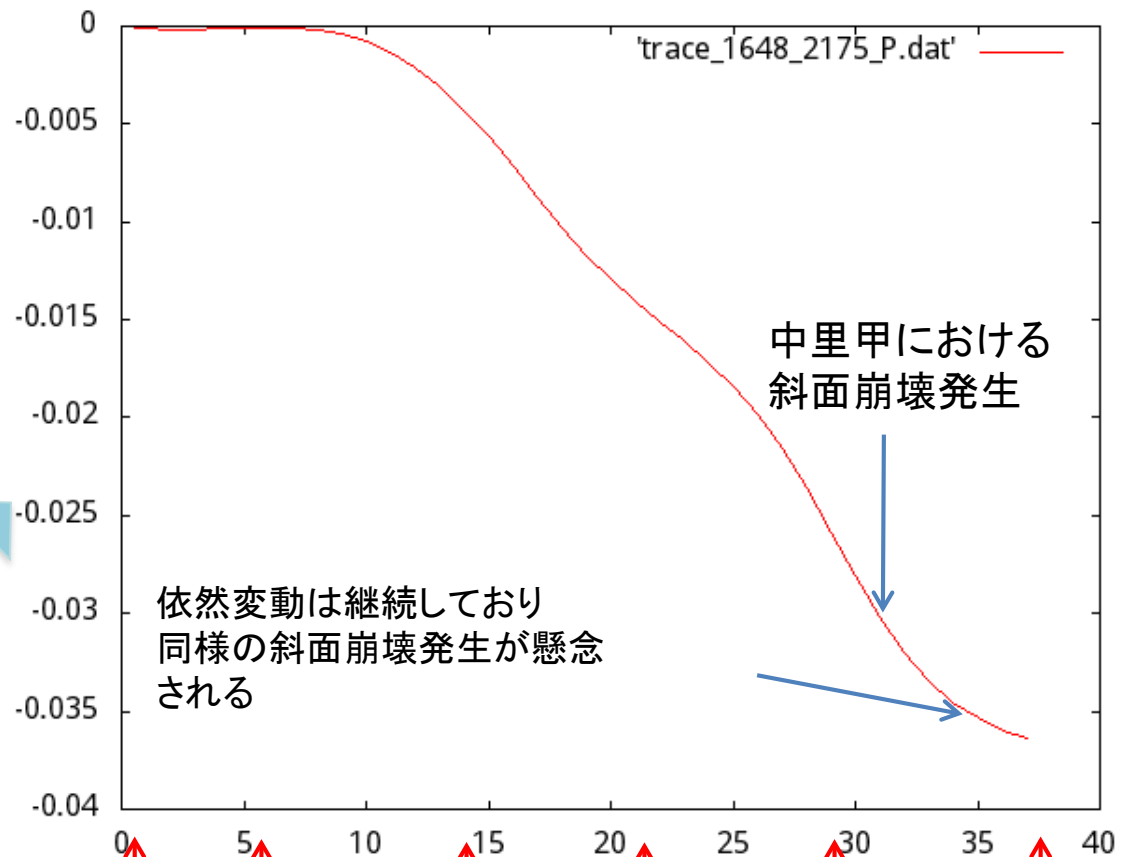
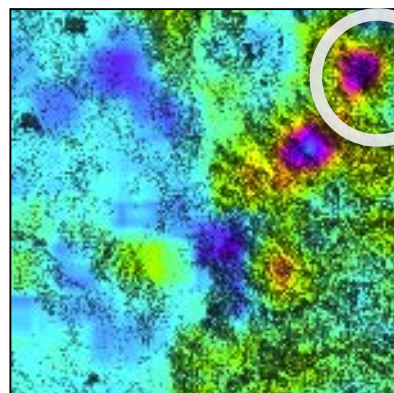
THE UNIVERSITY OF TOKYO



未崩壊箇所(伊万里市二里町大里乙) 変位量解析結果



THE UNIVERSITY OF TOKYO



2006052
61)

2007011
1
6)

20080114
14)

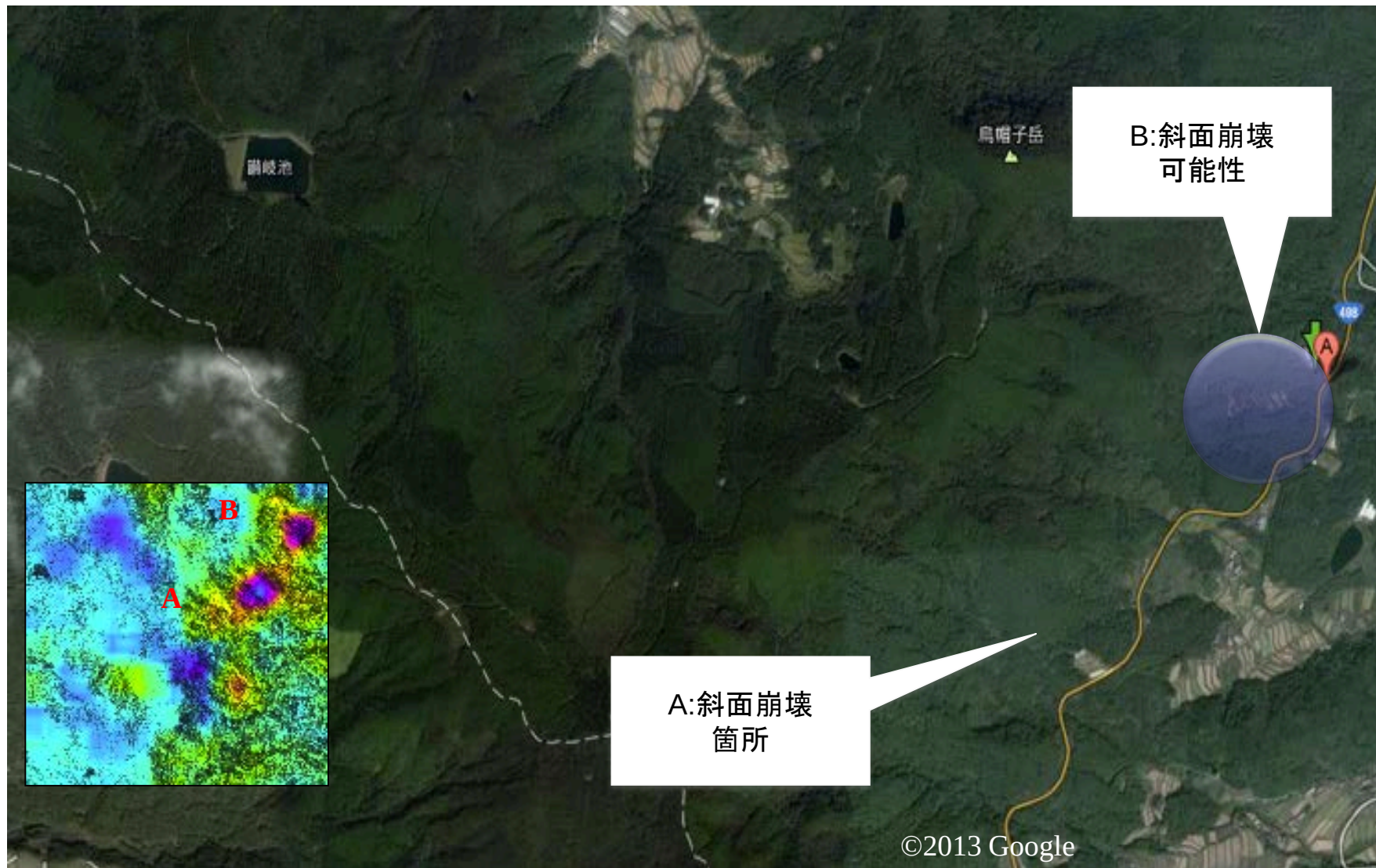
20090116
(22)

20100119
30)

20110122
38)

31

航空写真



- 宇宙の先端技術で環境・防災にかかわる国土保全・管理を行う時代になった。
 1. 干渉型合成開口レーダの高度利活用
 2. 3次元(x,y,z)的微細地表変動の検知が可能に
 3. 災害事前予測につながる技術
- 宇宙からの高度技術を「社会技術」にすることが必要
 1. GPSとの融合利用
 2. 継続的な合成開口レーダ衛星の打ち上げ保証
 3. 環境・防災モニタリングの法整備