

# 3-2

## SAR 干渉画像で検出した東北地方太平洋沖地震による地すべり性地表変動

### Detection of landslide deformation triggered by 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake using InSAR image

佐藤 浩\*・岡谷隆基・宮原伐折羅(地理院)

Hiroshi P. Sato, Takaki Okatani, Basara Miyahara (GSI)

要旨.

ALOS/PALSAR データの SAR 干渉画像によって、2011 年東北地方太平洋沖地震が引き起こした地すべり性の微小な地表変動を検出した。

2011 年 3 月 3 日と 4 月 18 日の北行軌道(パス 403)の画像をそれぞれマスター・スレーブ(オフナディア角:34.3°)として得られた SAR 干渉画像( $B_{\text{perp}}$ :358m)が図 1(a)であるが、これから 80 ルック処理で平均化して抽出した長波長の地殻変動(図 1(b))成分を引いたのが図 1(c)である。図 1(a)の黒枠で囲んだ部分(後述の岩手県栗原市南部)を(a')~(c')に、それぞれ拡大して示す。

この結果、村上ほか(2011)が報告しているように、栗原市南部、栗駒山南東麓の火砕流堆積面で地すべり性の地表変動が捉えられた。図 2(a)に示すように、地点 D(標高 300m)では地点 A(標高 350m)と比べて 16cm 東向きか沈降の変動が認められ、明瞭なすべり面を持たず、火砕流堆積面が地表の浅層で一体的に変動したことが示唆される。図 2(a)に重ねた防災科学技術研究所の地すべり地形分布図(<http://lsweb1.ess.bosai.go.jp>)とは無関係に生じている。図 2(b)の○印で示した地点では、写真に示すように、東向き及び沈降を示す変動が現地確認され、写真中の亀裂は、隣接する谷軸とは直交して出現していた。

詳細な現地調査や現地の観測結果を収集していないが、SAR 干渉画像によって、図 2 の場所以外にも 100 ヶ所を超える地すべり性の地表変動が認められた。

参考文献: 村上亮ほか, 日本火山学会 2011 年秋季大会講演予稿集, p.55.

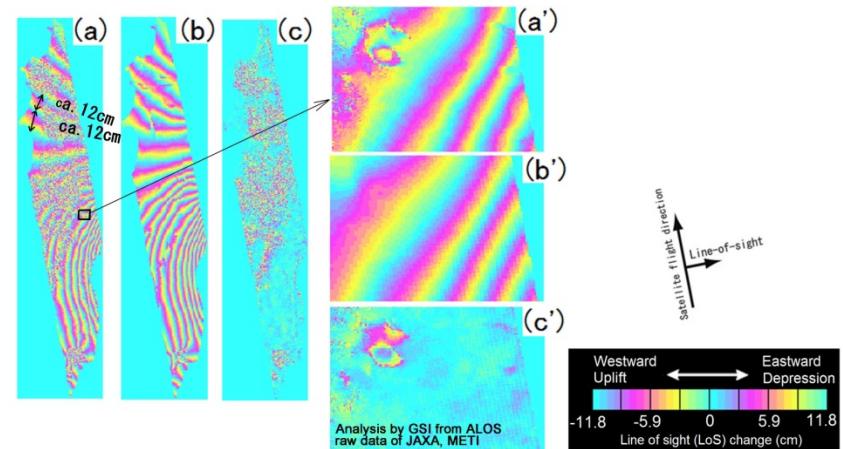


図 1 地殻変動性の長波長成分を除去した SAR 干渉画像

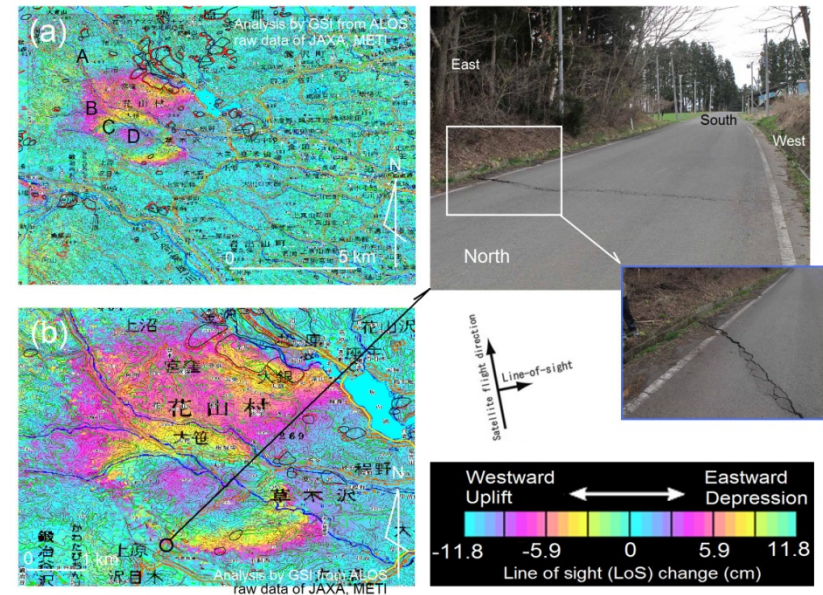


図 2 栗原市南部の地すべり性地表変動(写真:山形大学八木教授撮影)

# SAR干渉画像で検出した東北地方太平洋沖 地震による地すべり性地表変動

京都大学防災研究所一般研究集会

「SAR研究の新時代に向けて」

平成24年9月13日

京都大学防災研究所

連携研究棟大セミナー室 301号

佐藤 浩\*・岡谷隆基・宮原伐折羅(国土地理院)

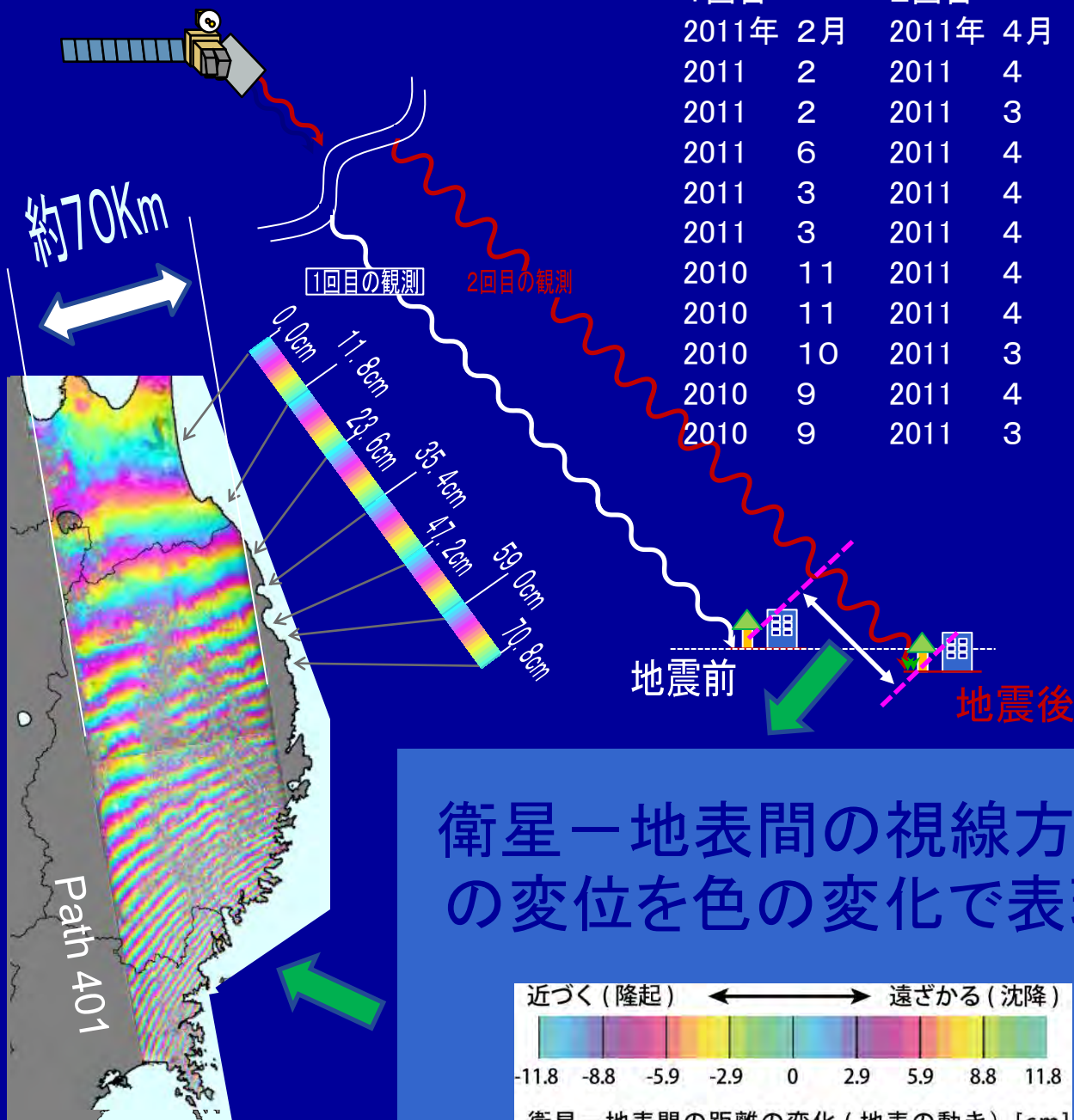
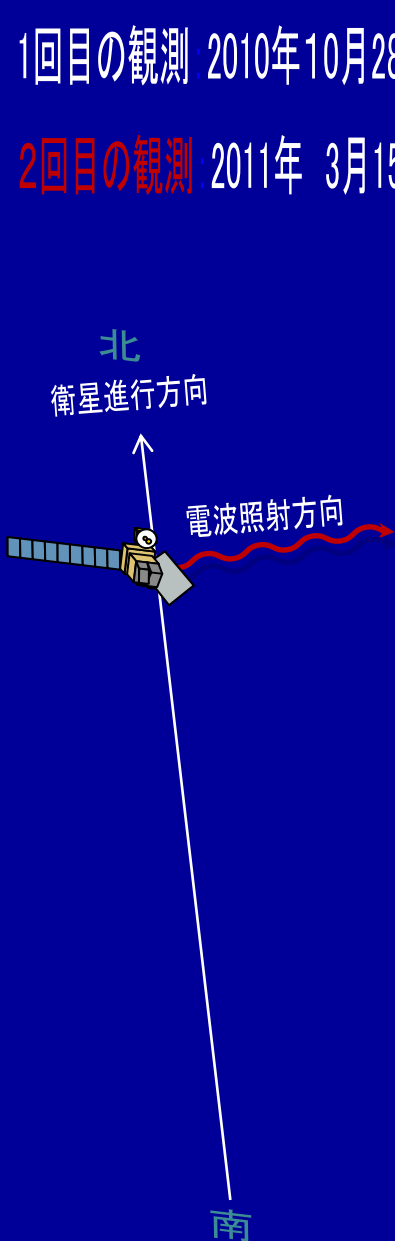
# 内容

1. はじめに
2. 方法
3. 地殻変動性の長波長成分の干渉縞の除去
4. ケーススタディ
  - ケース① 宮城県栗原市南部
  - ケース② 福島県土湯温泉
  - ケース③ 宮城蔵王
  - ケース④ 岩手県焼石岳東麓
5. SAR干渉画像の広域的な判読結果  
(参考:2008年岩手・宮城内陸地震)
6. おわりに

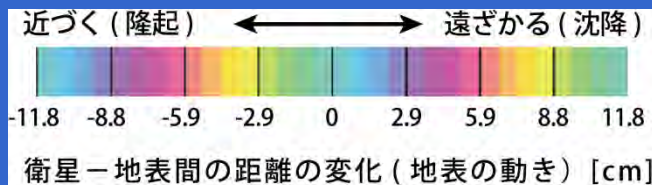
1回目の観測: 2010年10月28日

2回目の観測: 2011年 3月15日

1回目	2回目	Path
2011年 2月	2011年 4月	405
2011 2	2011 4	408
2011 2	2011 3	404
2011 6	2011 4	400
2011 3	2011 4	403
2011 3	2011 4	411
2010 11	2011 4	56
2010 11	2011 4	59
2010 10	2011 3	401
2010 9	2011 4	402
2010 9	2011 3	55

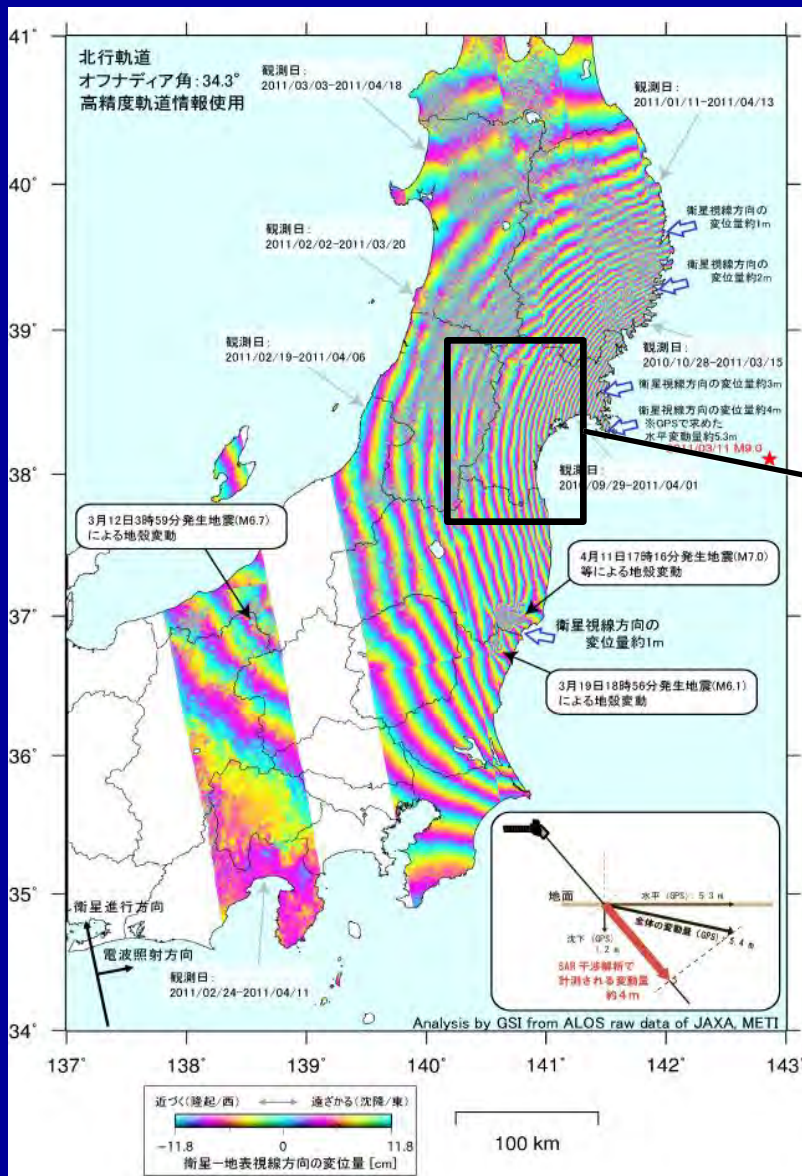


衛星—地表間の視線方向の変位を色の变化で表現

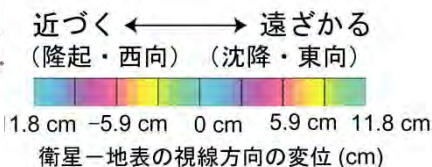
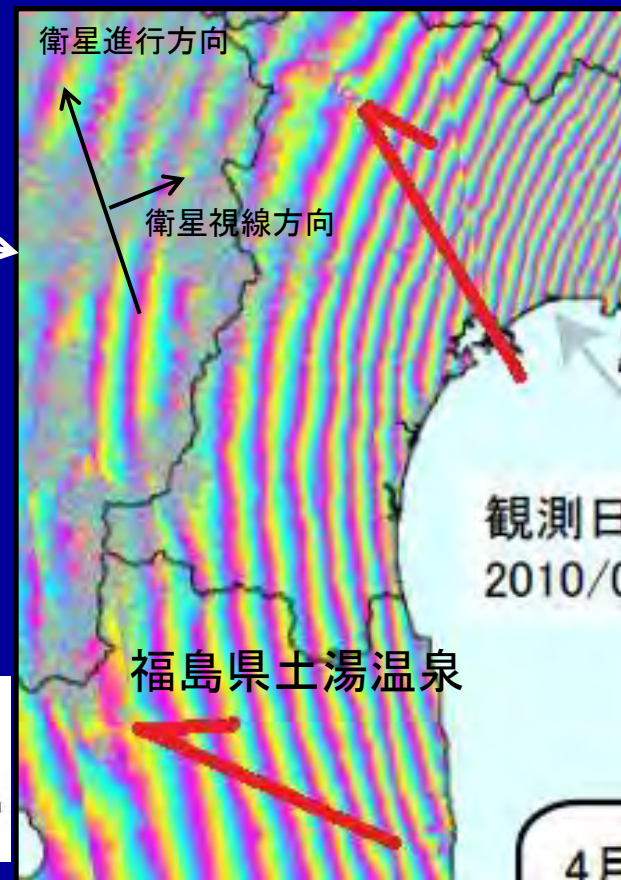


# 3. 地殻変動性の長波長成分の干渉縞の除去

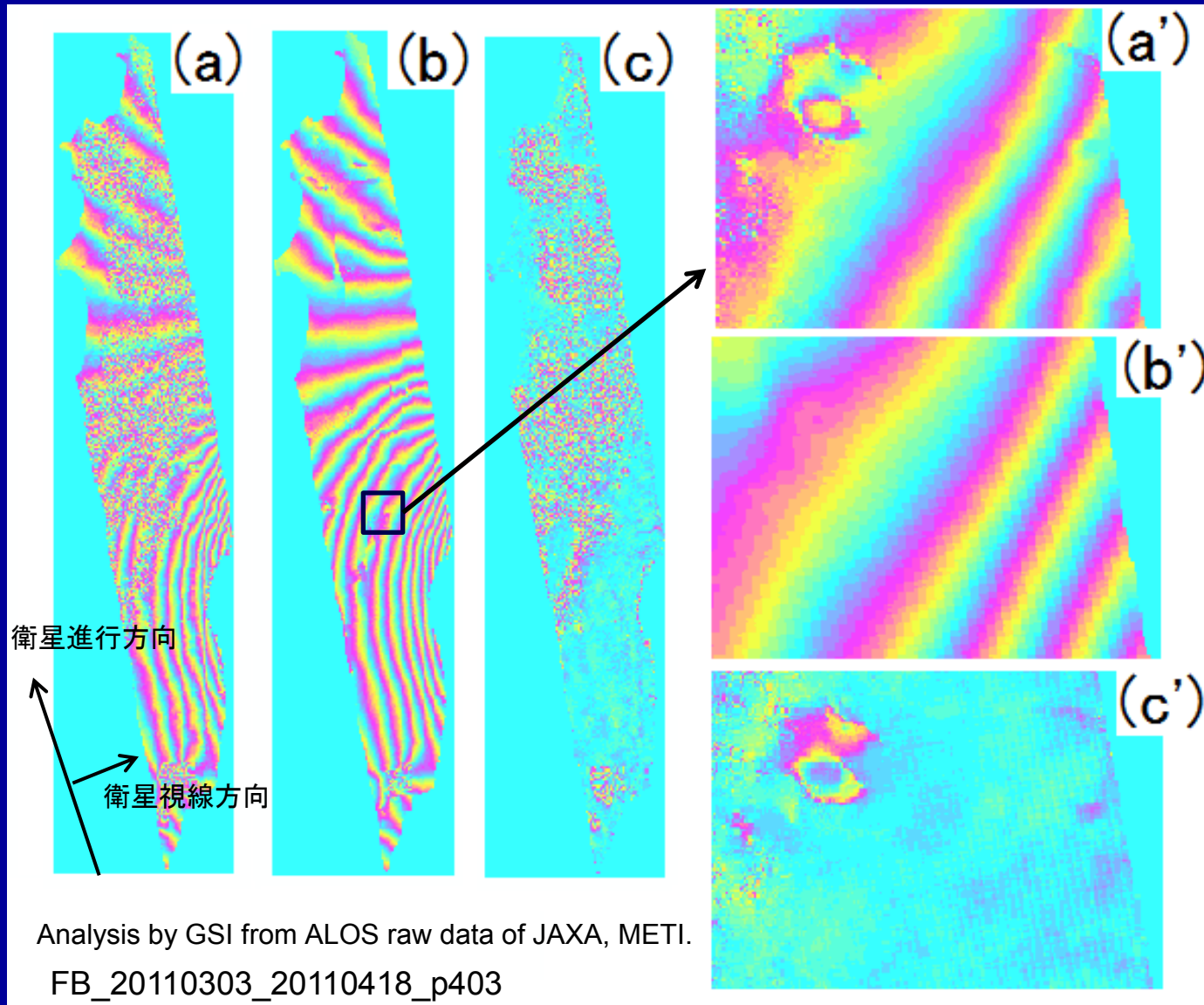
- 平成23年東北地方太平洋沖地震による地殻変動
- 東向きに4mを超える地殻変動に応じた長波長の干渉縞が顕著である。
- しかし、長波長成分の干渉縞に混ざって、短波長成分の局所的な地表変動が見られる。



宮城県栗原市南部



# 4. 地殻変動性の長波長成分の干渉縞の除去

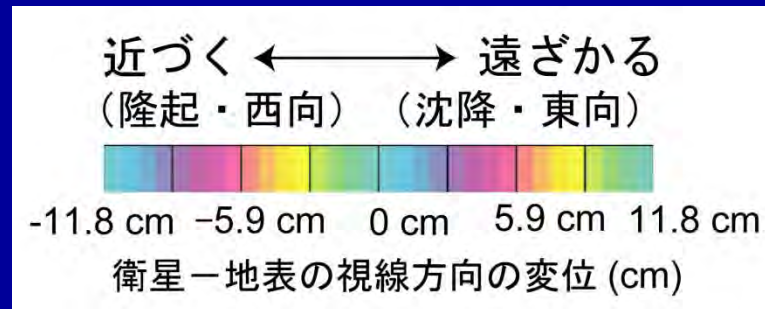
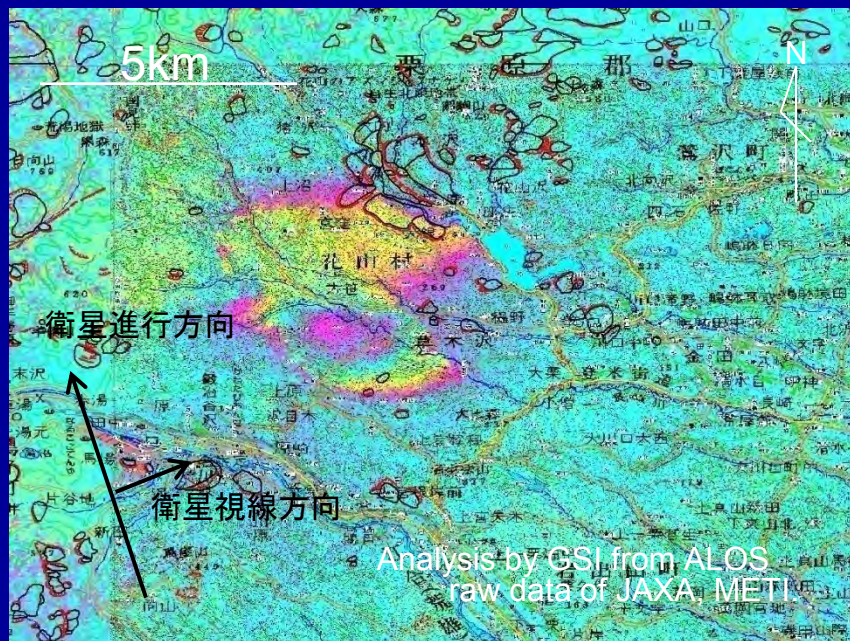


もともとのSAR干渉画像(a)から、80ルック(雑音を減少させるためのマルチルック処理)により得た長波長成分(b)、(c)は(a)から(b)を引いた画像。右は宮城県栗原市花山ダム周辺を拡大した図

# 4. ケース① 宮城県栗原市南部(1)

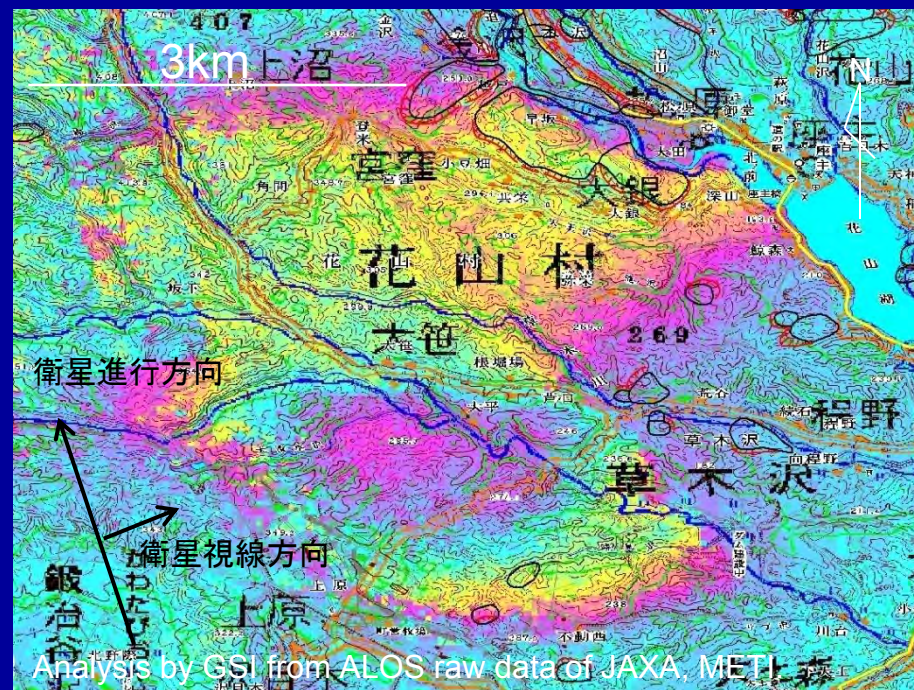
北行軌道

FB\_20110303\_20110418\_p403



・防災科学技術研究所地すべり地形データベース (<http://lweb1.ess.bosai.go.jp/>) より。背景地図は国土地理院1/5万地図画像。

・干渉縞の形状と、既往の地すべり地形との関連は薄い。



- ・ [参考] 村上亮・奥山哲・古屋正人・阿部隆博 (2011): ALOS(だいち)PALSARによる東北地方太平洋沖地震の地盤変動解析—山体崩壊の前兆把握への応用の検討—, 日本火山学会2011年秋季大会講演予稿集, p. 55.

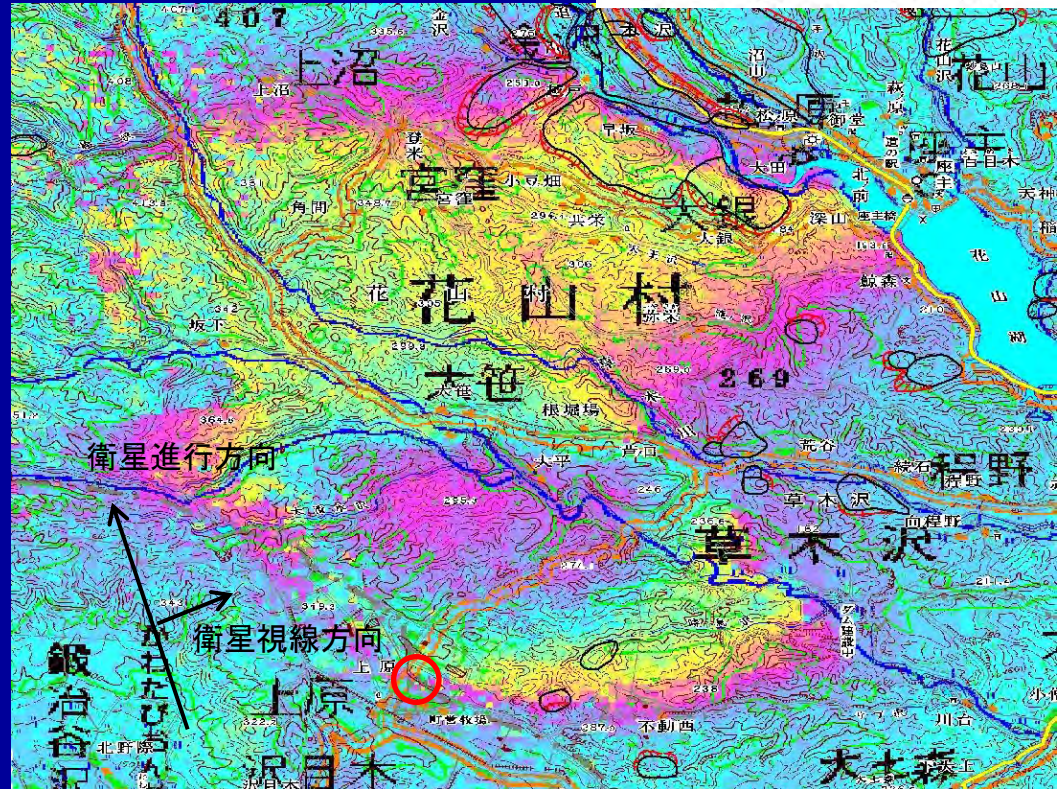
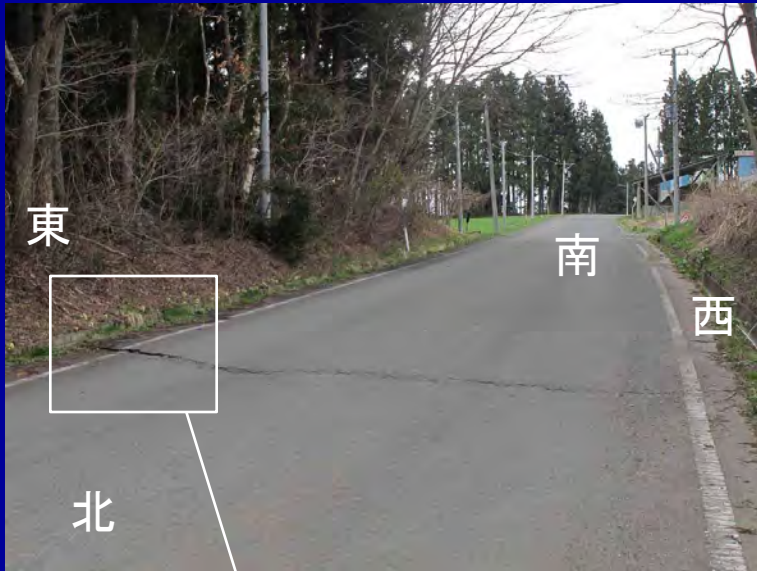
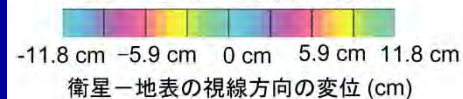
# ケース① 宮城県栗原市南部(2)

- ・2011年4月28日に現地調査(北から南を撮影)
- ・干渉縞の境界部分で亀裂が見られた(下図の赤丸)
- ・北東向きに数cmのずれ。
- ・現地の東(林内)に接する浅い谷に直交方向に変位が現れていた

北行軌道

FB\_20110303\_20110418\_p403

近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)





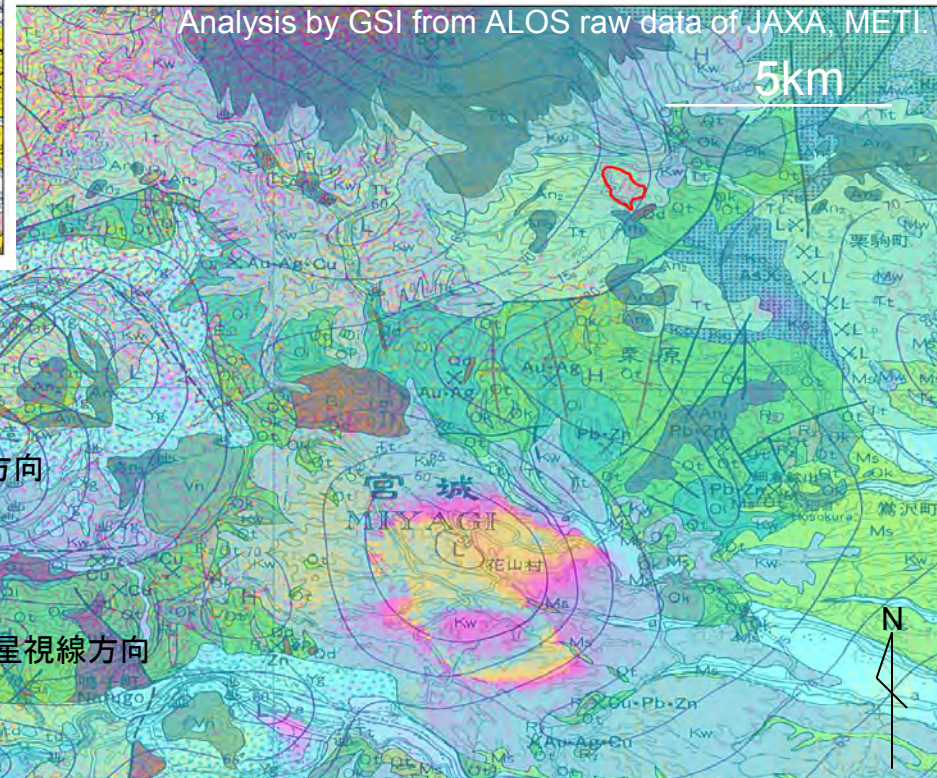
# ケース① 宮城県栗原市南部(3)



- ・ 地下の地質構造との対応(等重力線(ブーゲー異常)の低重力域に対応)
- ・ 北東の赤線は2008年岩手・宮城内陸地震時の荒砥沢地すべりの移動土塊の位置

北行軌道

FB\_20110303\_20110418\_p403



近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)



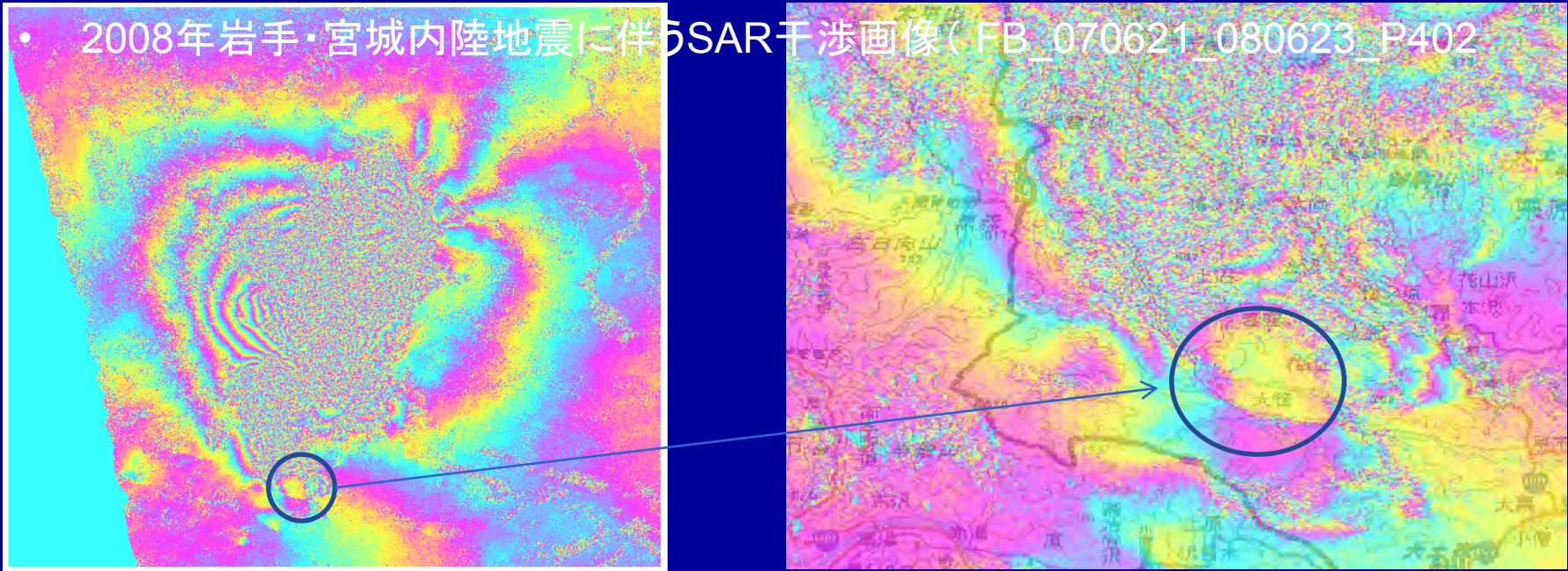
-11.8 cm -5.9 cm 0 cm 5.9 cm 11.8 cm

衛星-地表の視線方向の変位 (cm)

・ 産業技術総合研究所1/20万地質図「新庄及び酒田」より。  
背景地図は国土地理院1/5万地図画像。

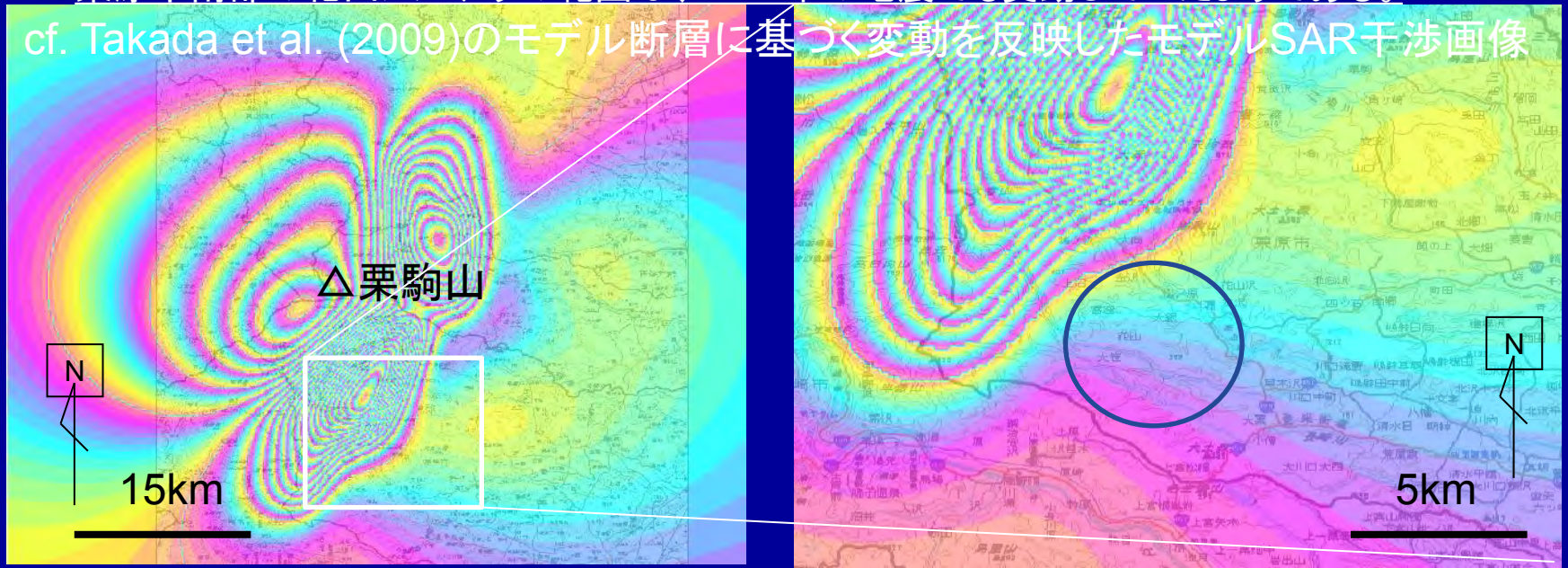
# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震(6/14)の場合)

- 2008年岩手・宮城内陸地震に伴うSAR干渉画像(FB\_070621\_080623\_P402)



- 栗原市南部の花山カルデラの範囲は、2008年の地震でも変動していたようである。

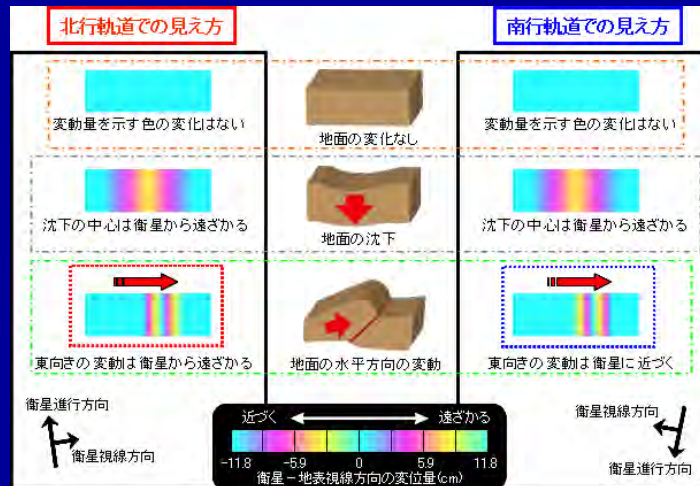
cf. Takada et al. (2009)のモデル断層に基づく変動を反映したモデルSAR干渉画像



# 4. ケース① 宮城県栗原市南部(5)

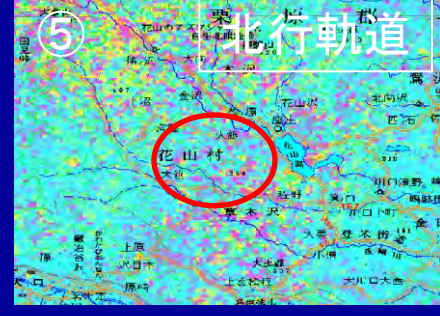
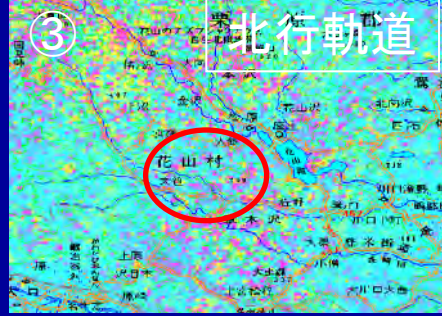
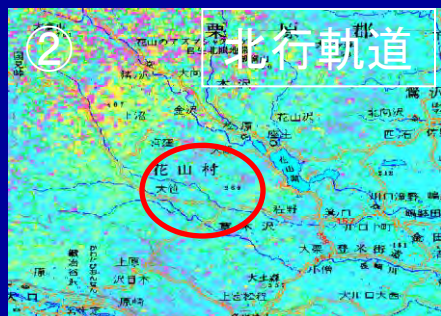
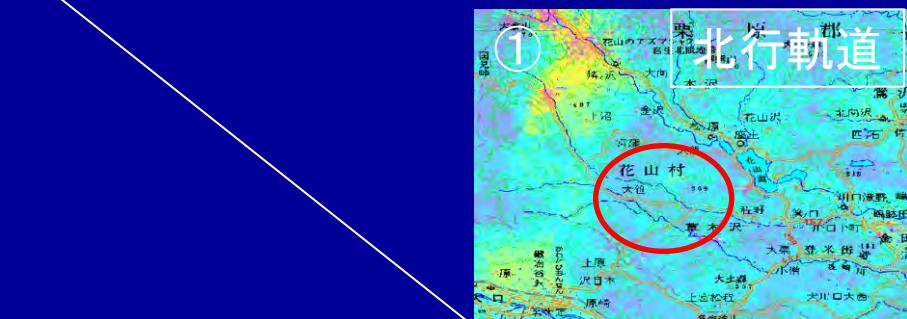
FB\_20080623\_20090626\_p403

・平成20年岩手・宮城内陸地震の後(2008年6月23日~2010年10月)には変動していない。余効変動とは無関係と思われる。

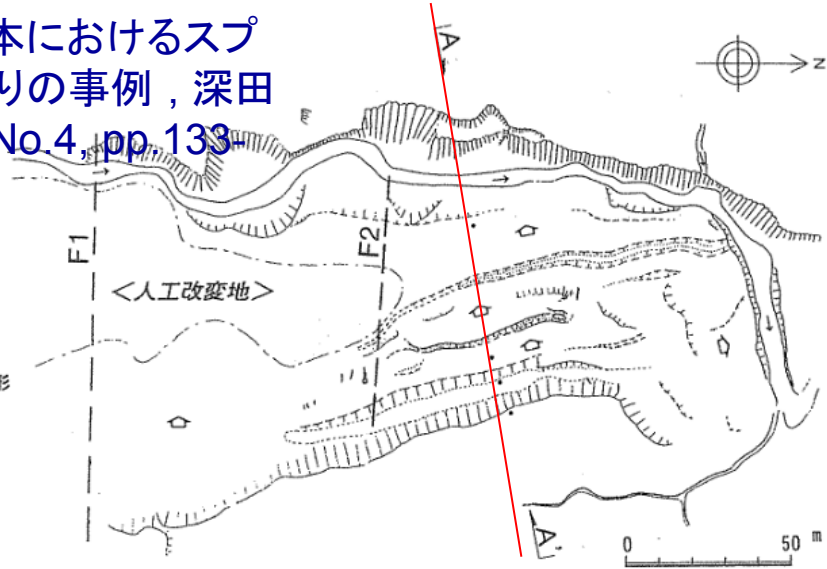


以下の期間では、有意な変動は認めがたいか、認められない。

- ①2008年6月23日~2009年9月26日 (p402)
- ②2008年6月23日~2010年6月29日 (p402)
- ③2008年7月10日~2010年7月16日 (p403)
- ④2008年8月16日~2009年10月19日 (p57)
- ⑤2008年7月10日~2010年7月16日 (p403)



大八木(2003): 日本におけるスプレッドタイプ地すべりの事例, 深田地質研究所年報, No 4, pp.133-153.

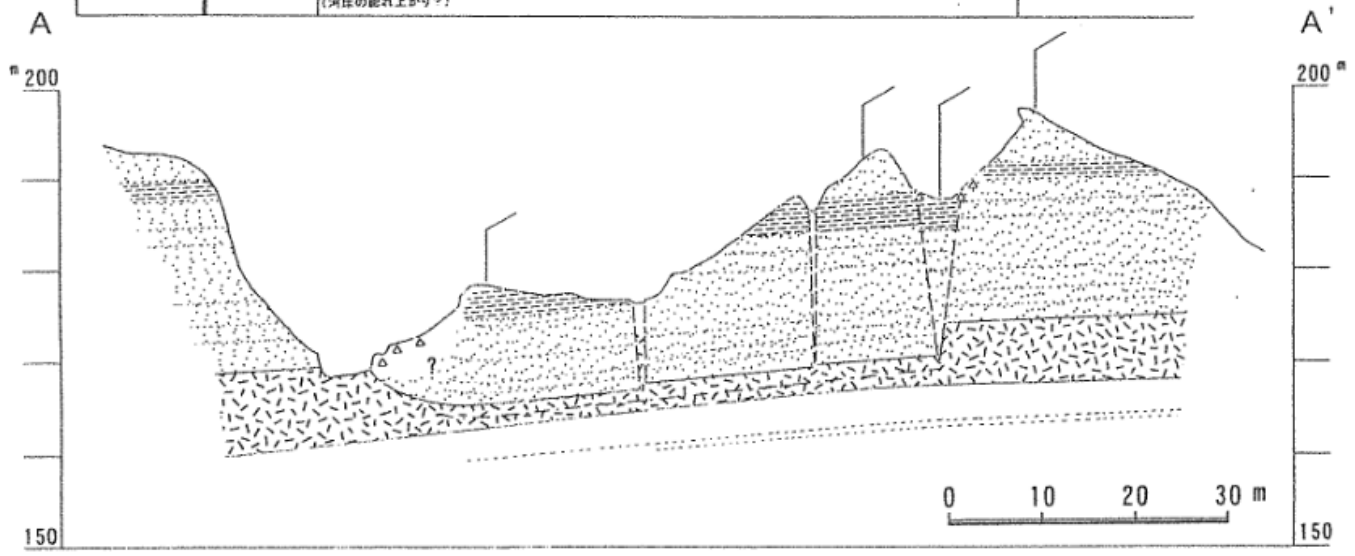


- 【凡例】
- ||||| : 新鮮な崖状地形
  - - - : やや開析されている崖状地形
  - ||||| : 不動岩盤の露岩
  - : 開口クラック
  - : 陥没孔
  - : ボーリング地点
  - △ : 地すべり移動方向

考えられる機構: 明瞭なすべり面の形成に至らない、スプレッド地形の形成の前兆  
(三田盆地西畑の例、加藤ほか, 1999)

図7 三田盆地西畑のスプレッドの平面地  
加藤ほか (1999) の図に加藤 (2000) に基

地すべり活動	不動域	地すべり移動範囲						不動域	
地すべり単位地形	—	ブロック		境界	ブロック	境界	ブロック	境界	—
斜面変動現象		突頭	表層崩壊	lateral spread					
		(河床の掘れ上がり)							



- 【凡例】
- : 地すべり移動体をなす層準 (砂質岩主体)
  - : 地すべり移動体をなす層準 (凝灰質泥岩)
  - : 塑性変形層 (凝灰質泥岩=Tfm)
  - : 不動地盤 (凝灰質砂岩)
  - △△ : 岩屑及び土砂
  - └┘ : ボーリング地点

図8 三田盆地西畑のスプレッドの地質断面図 (加藤ほか,1999)

スプレッド地形: 凝集粘性土層や岩石がブロックに分離して、より軟質の下位の物質の中に沈降しつつ広がるもの (Cruden and Varnes, 1996)

# 4. ケース② 福島県土湯温泉

## 北行軌道

FB\_20110202\_20110320\_p404

- 東北地方太平洋沖地震で発生した地すべり性地表変動と思われる。
- 変動のパターンは、斜面下方のブロック(b)と上方のブロック(a)で異なる可能性もある。

衛星進行方向



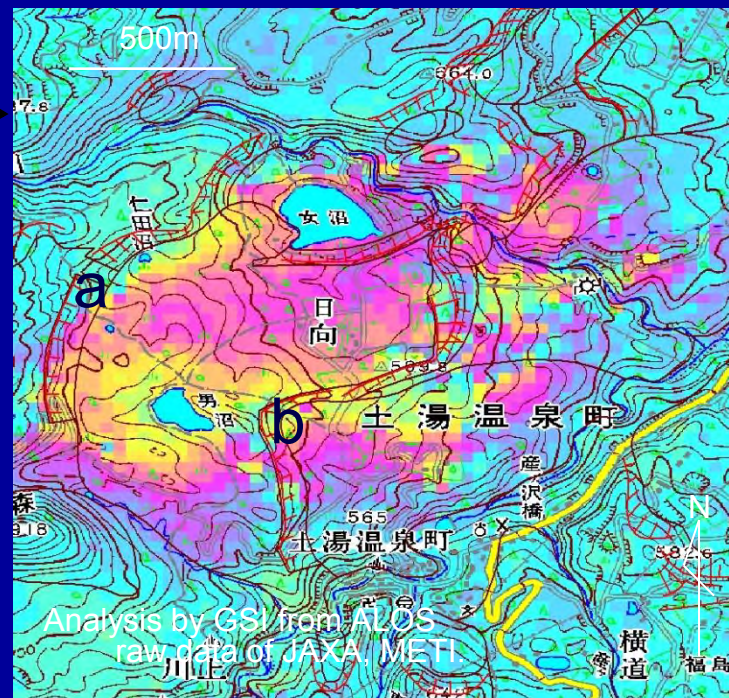
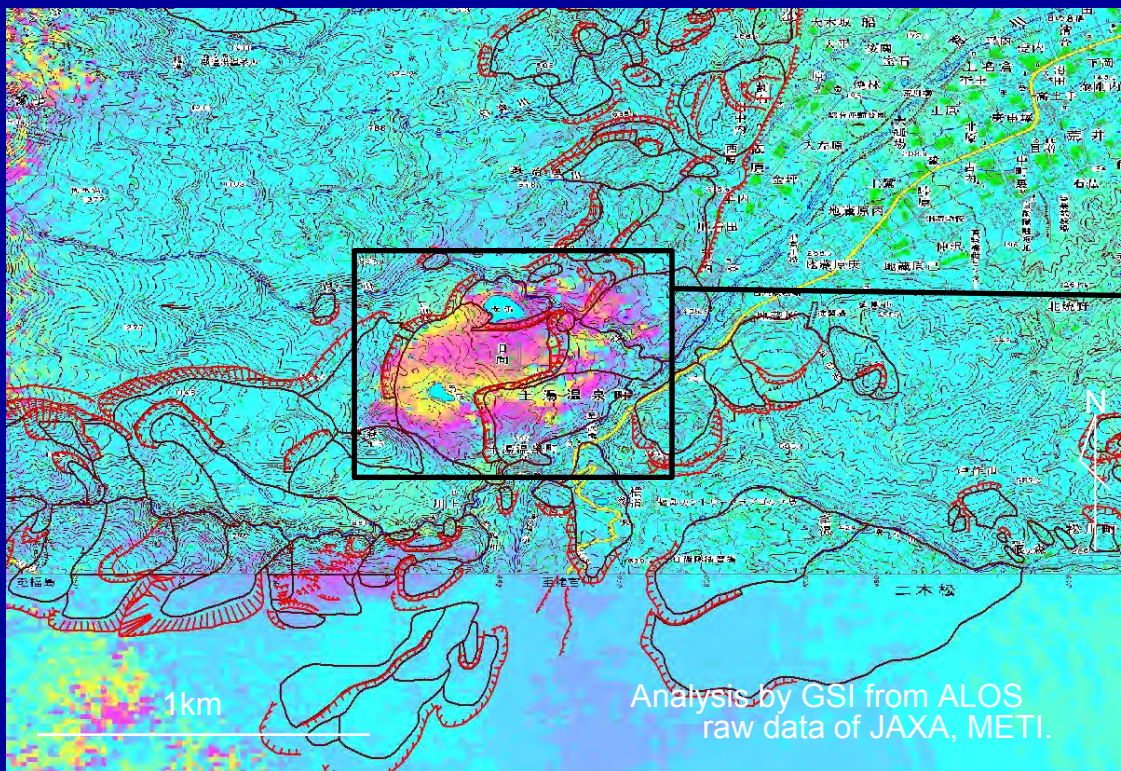
衛星視線方向

近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)



-11.8 cm -5.9 cm 0 cm 5.9 cm 11.8 cm

衛星-地表の視線方向の変位 (cm)



• 防災科学技術研究所地すべり地形データベース  
(<http://lswb1.ess.bosai.go.jp/>) より。背景地図は国土地理院1/5万地図画像。

# 4. ケース③ 宮城蔵王

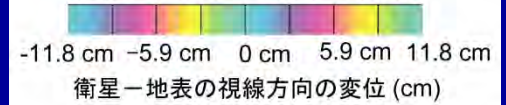
・衛星視線方向で約4cmの地すべり性地表変動がみられる。

北行軌道

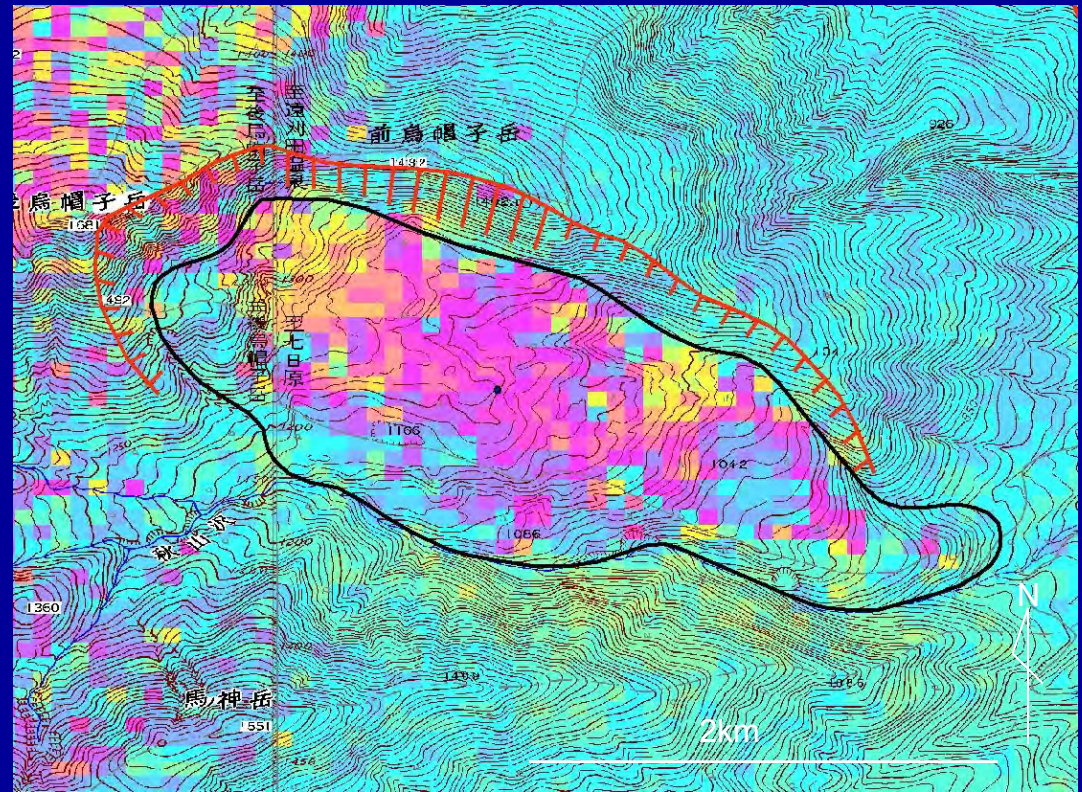
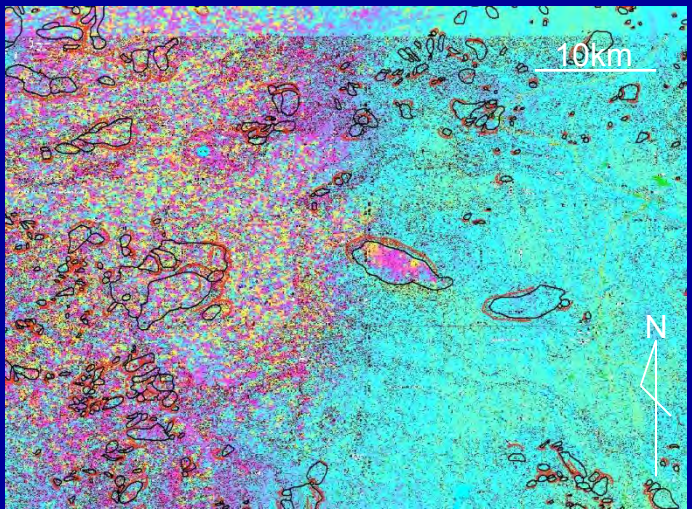
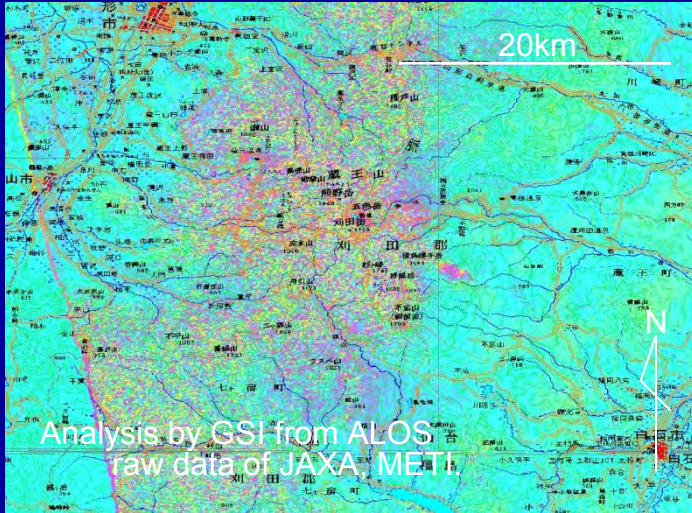
FB\_20110303\_20110418\_p403

衛星進行方向

近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)



衛星視線方向



・防災科学技術研究所地すべり地形データベース  
(<http://sweb1.ess.bosai.go.jp/>)より。背景地図は国土地理院1/20万地図画像(左)と1/2.5万地図画像(右)。

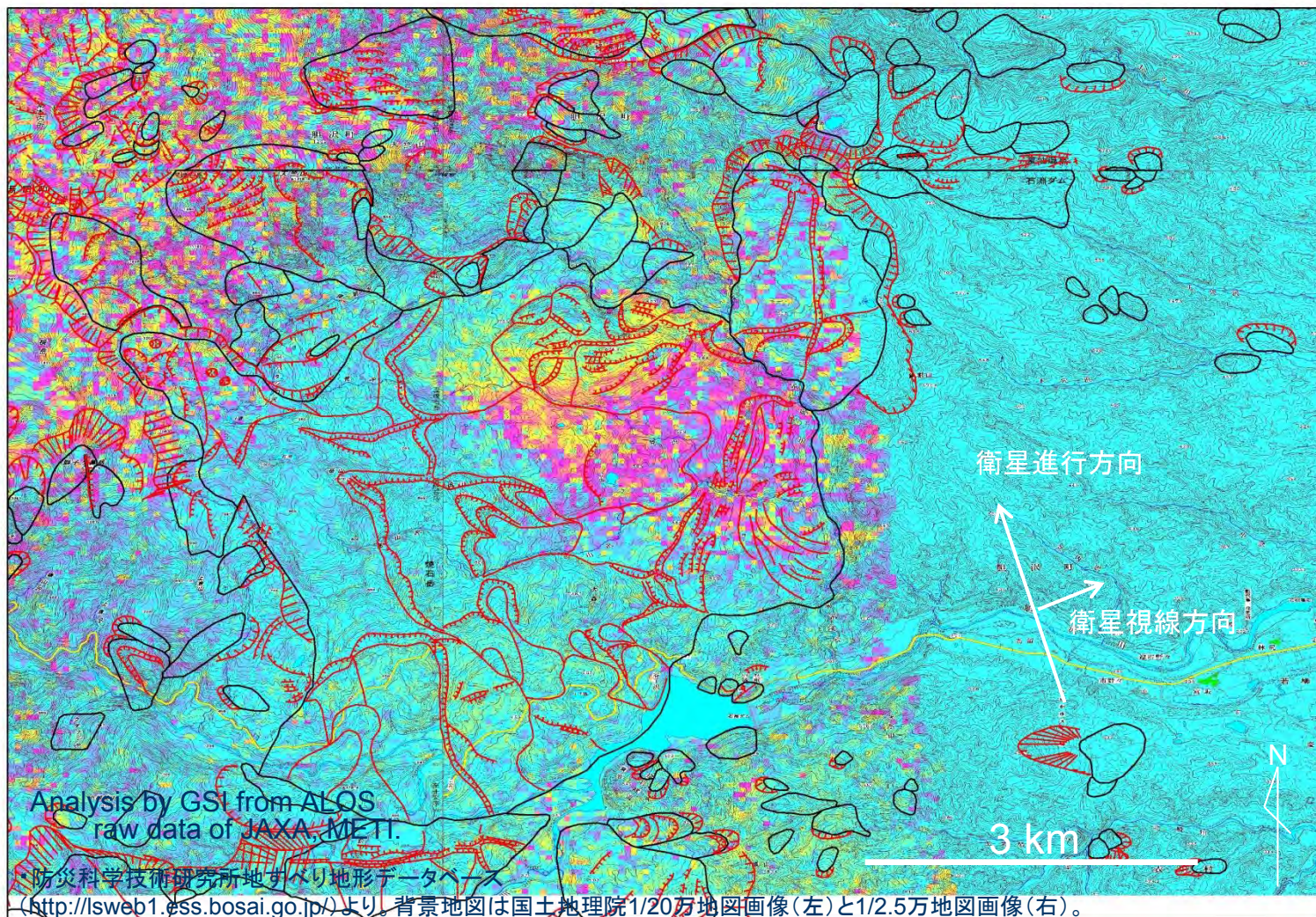
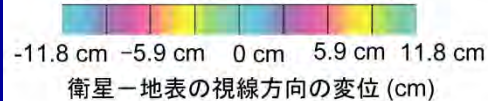
# 4. ケース④ 岩手県焼石岳東麓

・衛星視線方向で約4~6cmの地すべり性地表変動がみられる。

北行軌道

FB\_20110303\_20110418\_p403

近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)



# 4. ケース④ 岩手県焼石岳東麓

・衛星視線方向で約4~6cmの地すべり性地表変動がみられる。

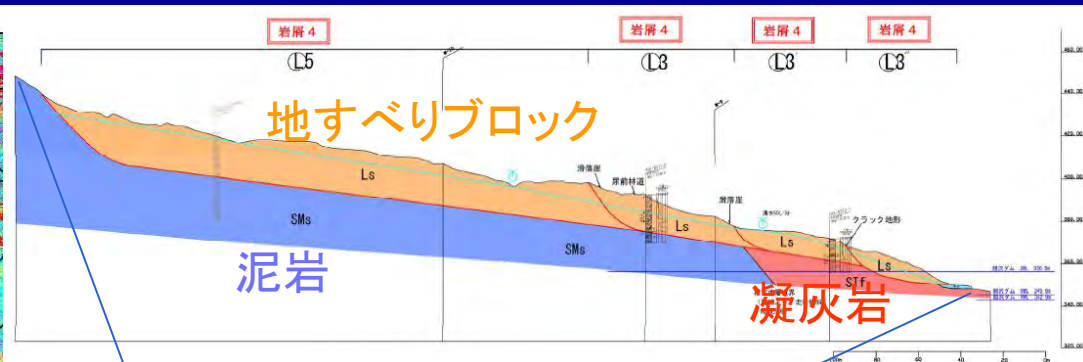
北行軌道

FB\_20110303\_20110418\_p403

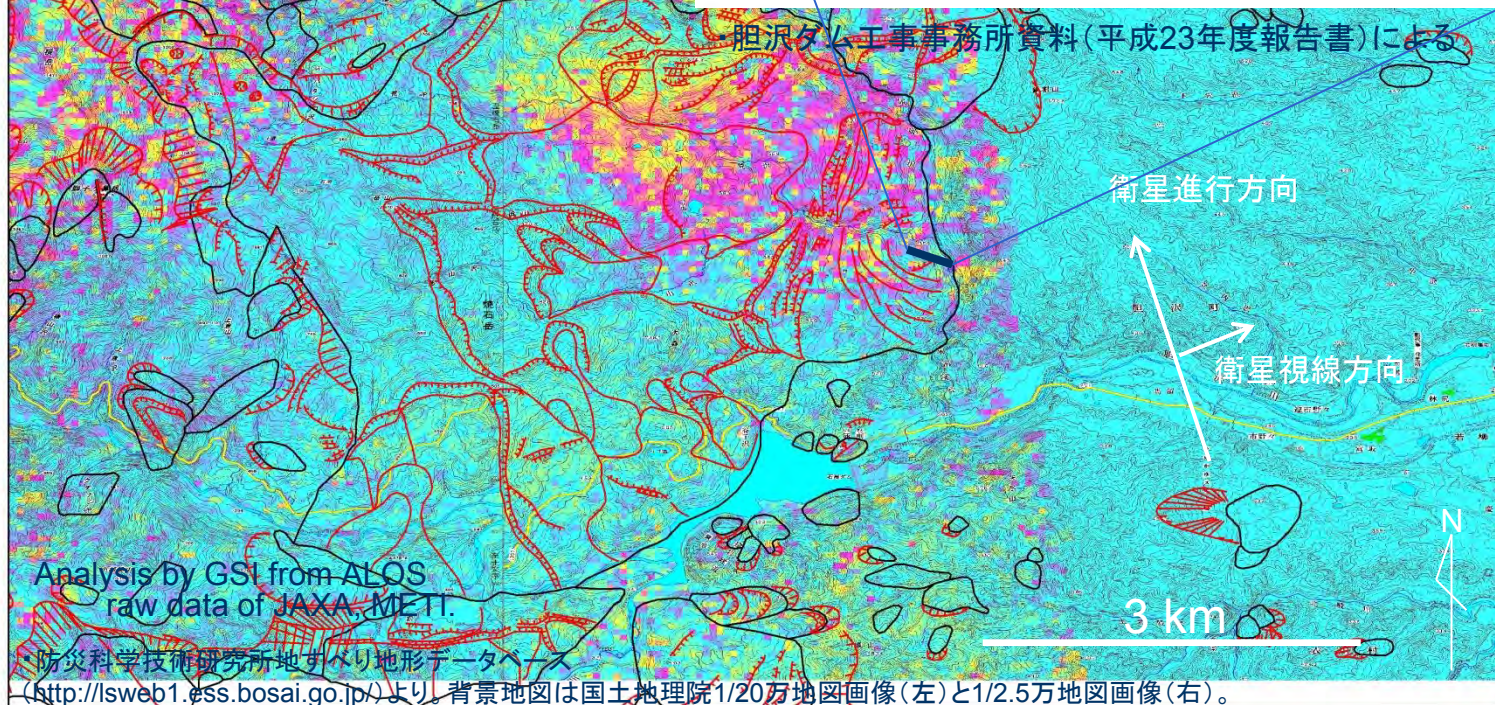
近づく ← → 遠ざかる  
(隆起・西向) (沈降・東向)



-11.8 cm -5.9 cm 0 cm 5.9 cm 11.8 cm  
衛星-地表の視線方向の変位 (cm)



胆沢ダム工事事務所資料(平成23年度報告書)による



Analysis by GSI from ALOS  
raw data of JAXA, METI.

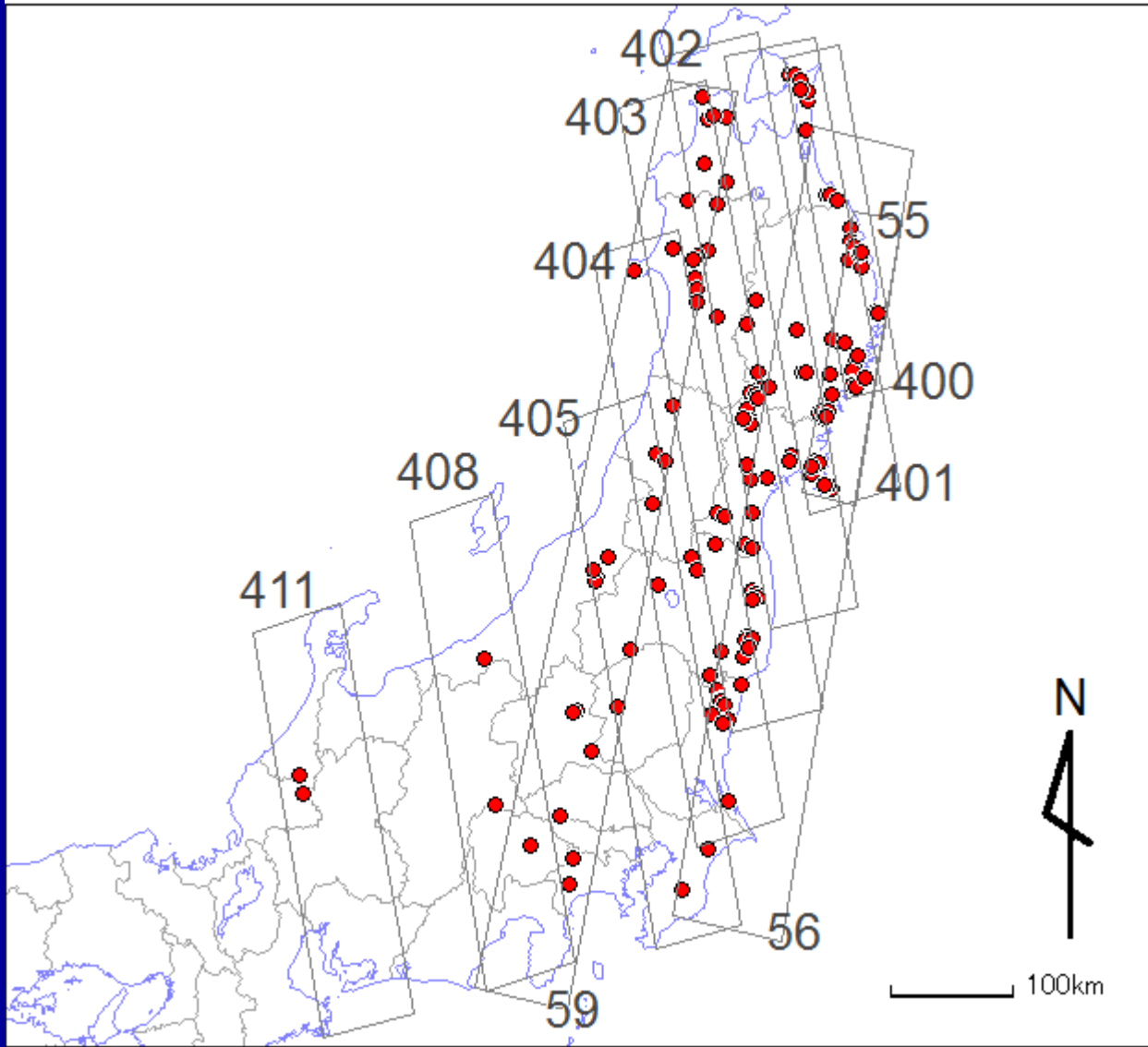
防災科学技術研究所地すべり地形データベース

(<http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/>)より。背景地図は国土地理院1/20万地図画像(左)と1/2.5万地図画像(右)。



# 5. SAR干渉画像の広域的な判読結果

100ヶ所以上の地すべり性地表変動を地震前後の差分のSAR干渉画像から判読したが、現地状況を照らし合わせて確認する必要もある。

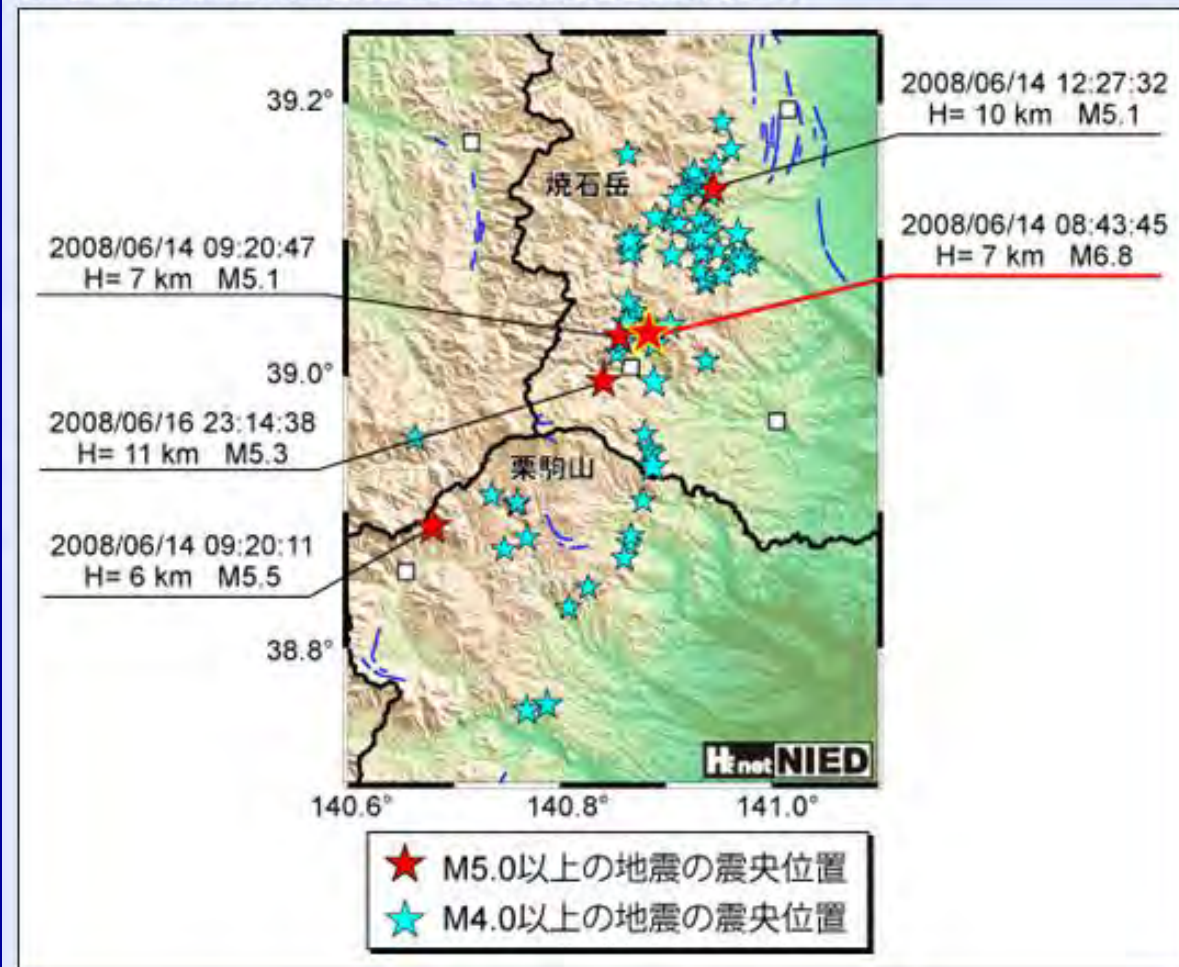


Master	Slave	Path
2011 Feb	2011 Apr	405
2011 Feb	2011 Apr	408
2011 Feb	2011 Mar	404
2011 Jun	2011 Apr	400
2011 Mar	2011 Apr	403
2011 Mar	2011 Apr	411
2010 Nov	2011 Apr	56
2010 Nov	2011 Apr	59
2010 Oct	2011 Mar	401
2010 Sep	2011 Apr	402
2010 Sep	2011 Mar	55

# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震の場合①)

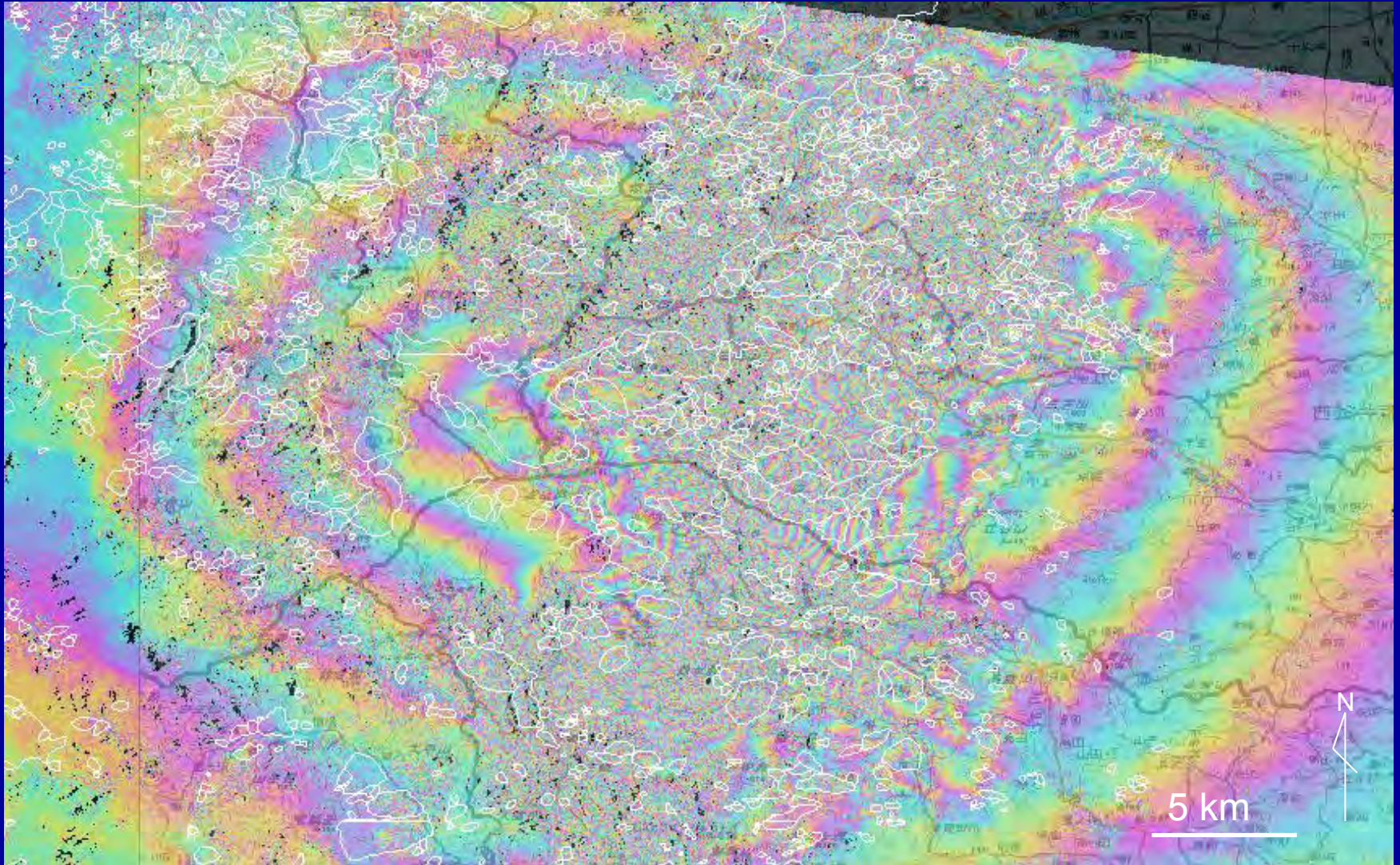
- 防災科学技術研究所ホームページ
- <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/iwate-miyagi080614/>

2008年6月14日以降に、岩手・宮城内陸域で発生した主な地震の震央分布です。地震の諸元は、防災科研Hi-netの暫定再検測結果に基づいています。本震（2008/6/14 8:43:45発生）以降では、同日の9:20に宮城・秋田県境付近で発生したM5.5の地震が最大です（7/3現在）。余震活動は、全体的に岩手県側で活発ですが、栗駒山や焼石岳などの山岳部を避けるように余震の震央が分布しているように見えます。このことは、この地域の地殻内の地震活動は、地熱構造や活構造の分布と関連する可能性があることを意味します。



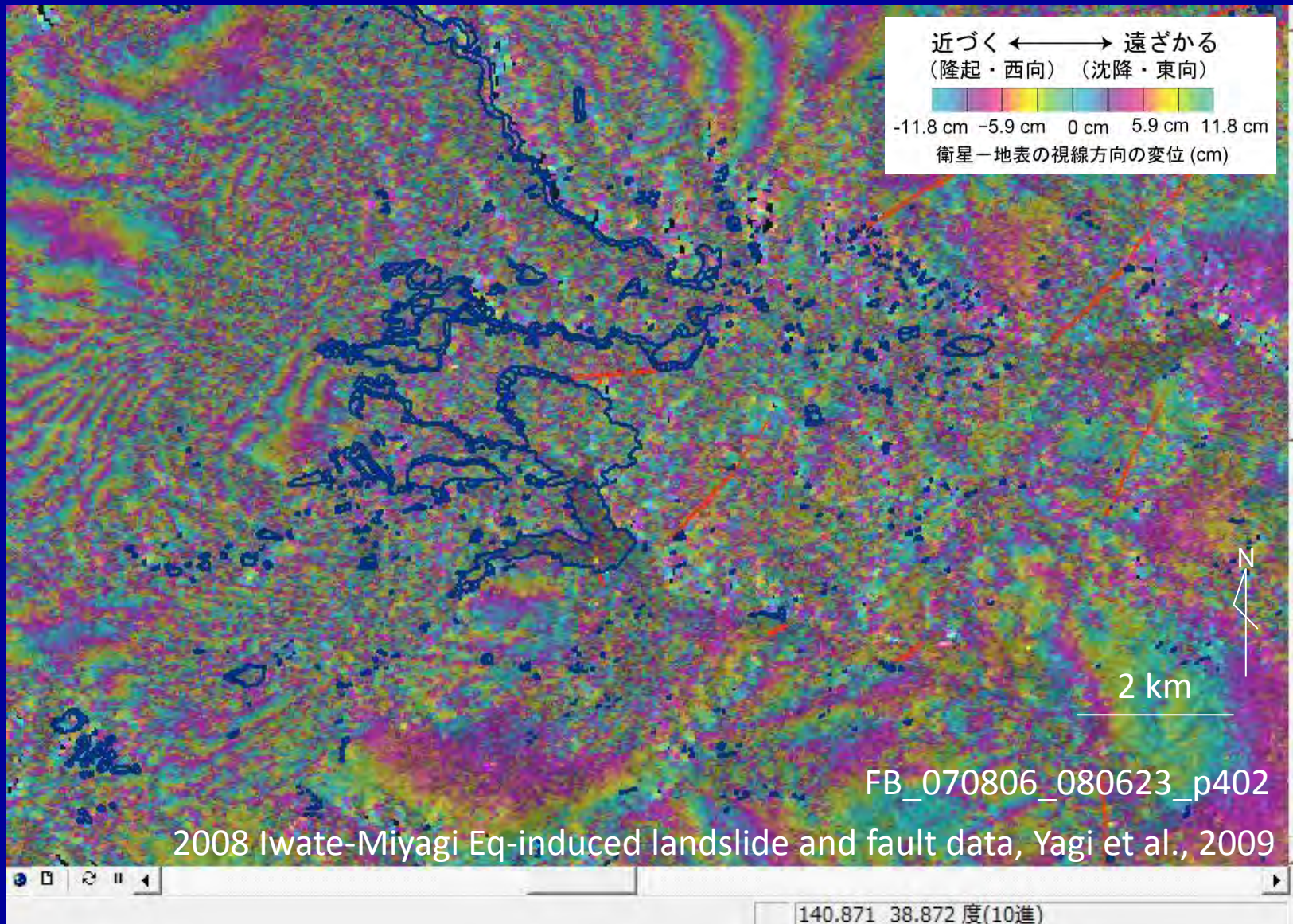
# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震の場合④)

- 2008年岩手・宮城内陸地震に伴うSAR干渉画像( FB\_070829\_080716\_P57 )
- 地すべり地形分布図(防災科学技術研究所)←地すべり地形との対応はあまりなさそう。



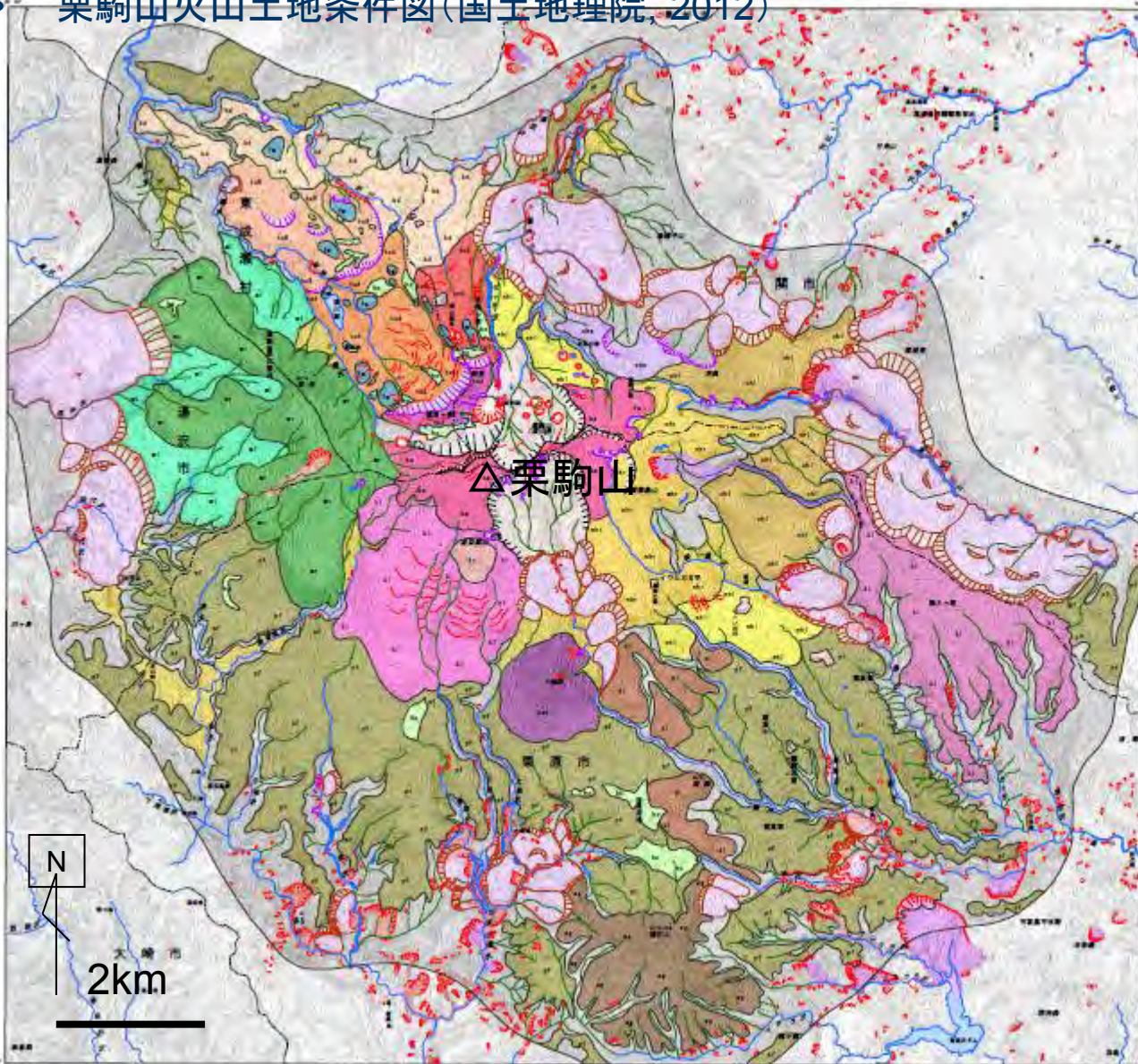
# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震の場合⑤)

- 2008年岩手・宮城内陸地震に伴うSAR干渉画像( FB\_070806\_080623\_P402 )
- 本地震によって生じた地すべりの分布←干渉性の低い場所に集中していることを示すのみ。



# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震の場合②)

栗駒山火山土地条件図(国土地理院, 2012)



1:25,000 火山土地条件図  
栗駒山

分類	名称	説明	図例
地質	山頂		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
	山頂部		[Symbol]
地形	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	火山口		[Symbol]
	地質	噴出物	
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
噴出物			[Symbol]
地質		噴出物	
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]
	噴出物		[Symbol]

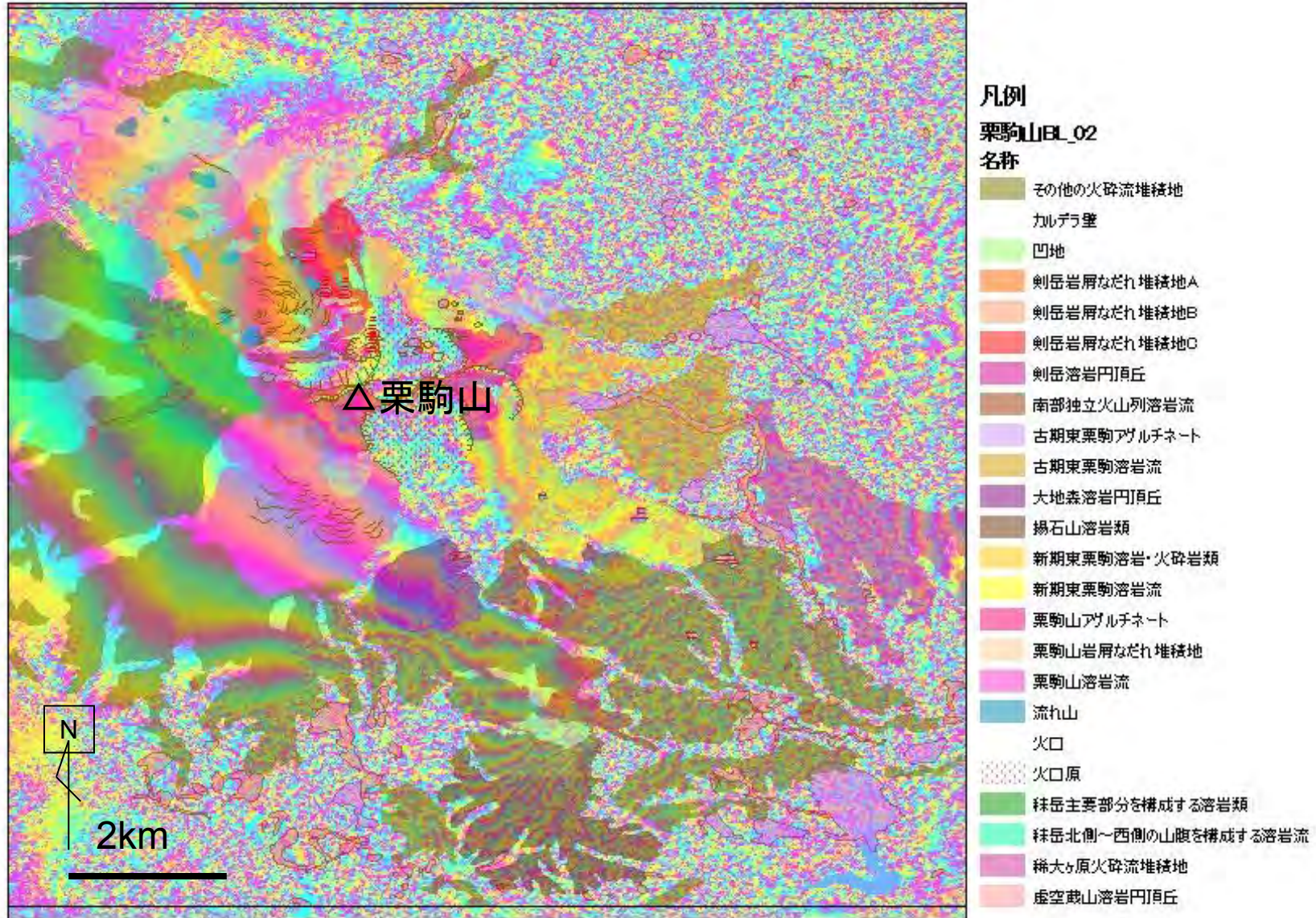
注: 図面内の彩色は平成20年に火山土地条件調査を行った結果、ただし、平成20年8月に発生した地震・震域内陸地震の後半までに、経緯地帯については図面内サビキに陥入。

- 1 経緯度の高緯度世界地図
- 2 投影法はユークリッド幾何学による直線
- 3 富士の基準は東京湾平均海面
- 4 高度は、電子測高基本図(地図情報)平成23年度版を参照  
1:25,000地形図の範囲は、以下の通り  
「東横断山」「東横断山」「水野」  
「伊達」「東横断山」「伊達」「小野原」  
「横沢」「東横断山」
- 5 標高・縮尺は、平成22、23年度
- 6 使用した図中号  
1985年 色ノクハ(国土地理院編)  
1997年 色ノクハ(国土地理院編)  
1978年 カラー(国土地理院編)  
2000年 カラー(国土地理院編)  
2000年 カラー(アリア経済株式会社編)

1:25,000  
0 500 1,000 1,500  
国土地理院

# (参考:2008年岩手・宮城内陸地震の場合③)

- 2008年岩手・宮城内陸地震に伴うSAR干渉画像( FB\_070829\_080716\_P57 )
- 火山土地条件図の重ね合わせ



## 6. おわりに

- 広域的にSAR干渉画像を判読すると、100ヶ所以上で地すべり性地表変動が生じている可能性のあることが判った。
- 既存の地すべりが本地震により再滑動した場合とそうでない場合があり、後者は、火砕流堆積面が一体となって変動したと思われる場合が認められた。このケースは、2008年岩手・宮城内陸地震の場合も生じていたようである。
- 今回の地すべり性地表変動の指摘において、現地での確認は、宮城県栗原市南部の1点、現地データとの突合は焼石岳東麓の1点に留まっている。
- 今回の他地点の指摘について、現地の調査や変動観測の結果を収集していないため、地すべり性の地表変動を確かに捉えたものなのか、なお慎重に判断すべきと考えられる。SpaceborneのSAR干渉画像を用いた今後の広域的なモニタリングが重要。
- 宮城県栗原市南部・福島県土湯温泉の変動検出については、北海道大学の村上亮教授の示唆を得るところが多かった。また、JAXA土砂WGでの議論は本稿をまとめるヒントとなった。2008年岩手・宮城内陸地震に関わる地すべり等分布データの利用については、山形大学八木浩司教授のご好意による。
- ここで使用したALOS/PALSARデータの所有権は、経済産業省およびJAXAにある。そのデータは、JAXAとの共同研究協定に基づいて国土地理院が提供をうけ、解析した。