

# 地理空間情報としての 地球観測衛星データ

**G空間EXPO シンポジウム**

**地球観測衛星に期待される新たな展開**

**主催：日本写真測量学会**

**日本科学未来館(東京・お台場)会議室1**

**2014年11月13日(木) 14:00~17:00**

**小荒井衛**

**国土交通大学校 測量部長**

# 紹介する主な衛星リモートセンシング技術

## ★高分解能光学衛星

地上解像度50cmクラスが実現

太陽光を反射した地表の状態：受動的

分析方法；輝度分析、画像判読

Google Mapなどの背景画像に使われる

## ★レーダ衛星（合成開口レーダ；SAR）

マイクロ波を照射：能動的

分析方法；散乱強度画像（変化抽出）

干渉SAR(地表変動量の抽出)

# 高分解能光学衛星画像による災害状況判読

1. 空中写真ステレオ画像(地上分解能0.2~0.4m)
2. **GeoEye-1**(米国)(パンシャープン:地上分解能0.5m)
3. **WorldView-2**(米国)(パンシャープン:地上分解能0.5m)
4. **WorldView-1**(米国)(パングロマテック:地上分解能0.5m)
5. **QuickBird**(米国)(パンシャープン:地上分解能0.6m)
6. **IKONOS**(米国)(パンシャープン:地上分解能1m)
7. **EROS-A1**(イスラエル)(パングロマテック:地上分解能1.8m)
8. **ALOS PRISM**(日本)(パングロマテック:地上分解能2.5m)  
ステレオ撮影
9. **SPOT5**(フランス)(パングロマテック:地上分解能2.5m)
10. **IRS-1D**(インド)(パングロマテック:地上分解能5.8m)
11. **SPOT4**(フランス)(パングロマテック:地上分解能10m)
12. **ALOS AVNIR2**(日本)(マルチカラー:地上分解能10m)



# 2010年ハイチ地震(ポルトープランス) GeoEye-1画像

2010/01/13  
GeoEye-1撮影  
50cm解像度



赤丸は壊滅的建物被害小荒井(2010)





# 2010年ハイチ地震 だいち PRISM パンクロ、2.5m分解能 2010年1月23日撮影



斜面崩壊

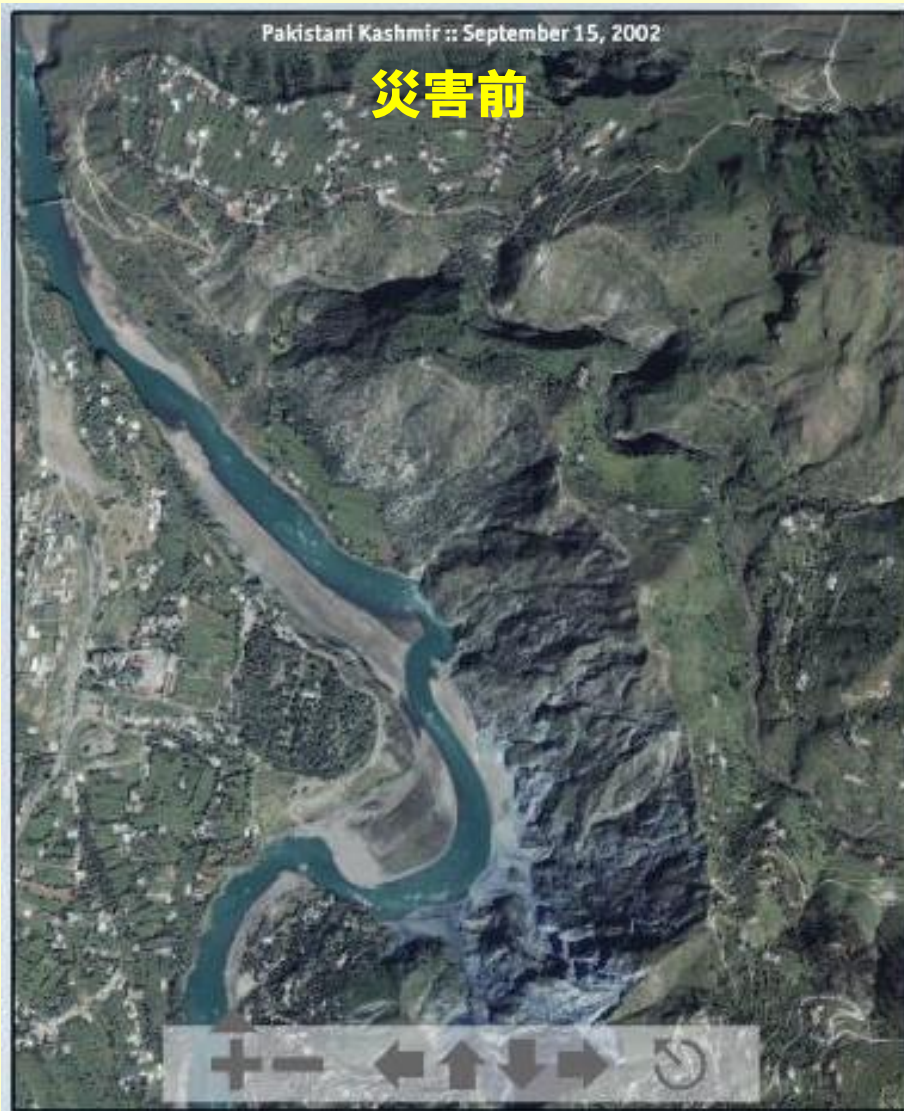


谷壁の崩壊



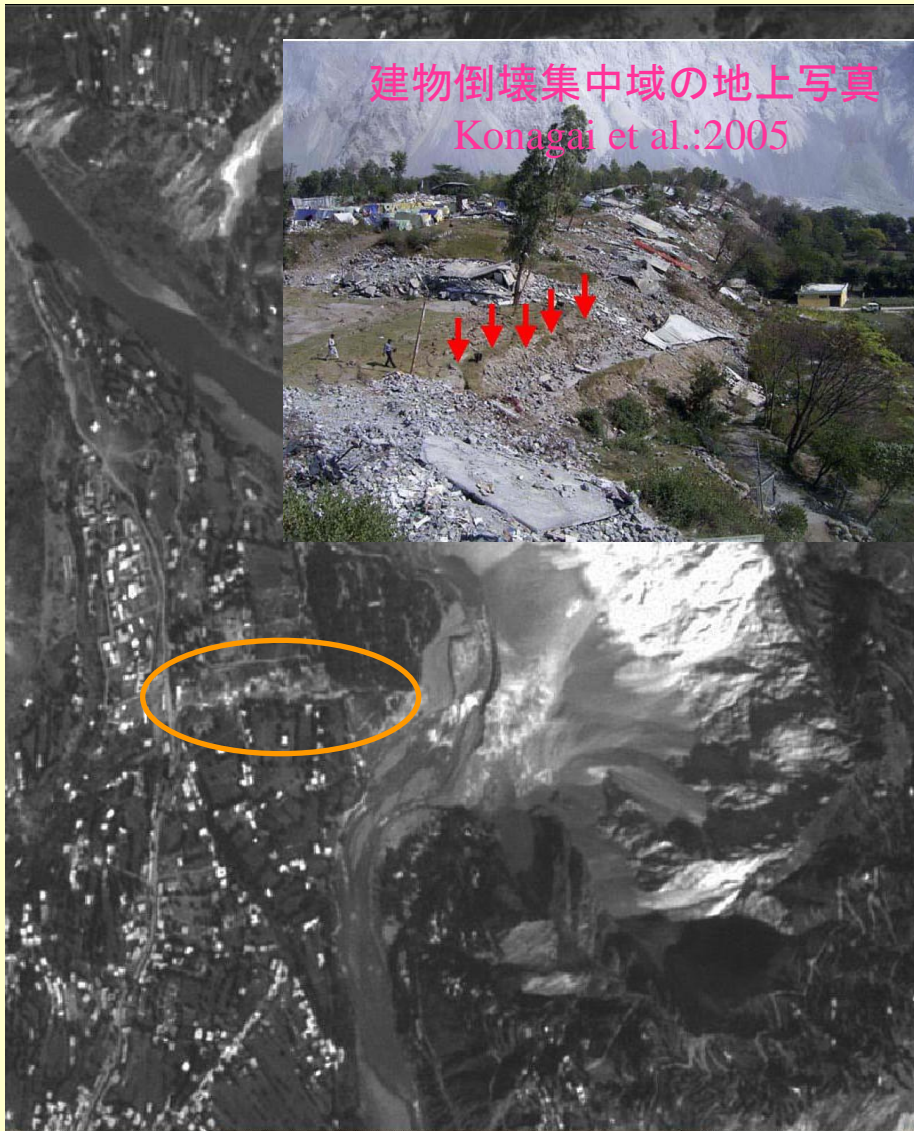
都市部の建物被害

# 2005年パキスタン北部地震(M7.6) ムザファラバード 大規模斜面崩壊、断層変位地形等の判読 (IKONOS画像)





# 2005年パキスタン北部地震(M7.6) ムザファラバード 大規模斜面崩壊、断層変位地形等の判読(SPOT5画像)



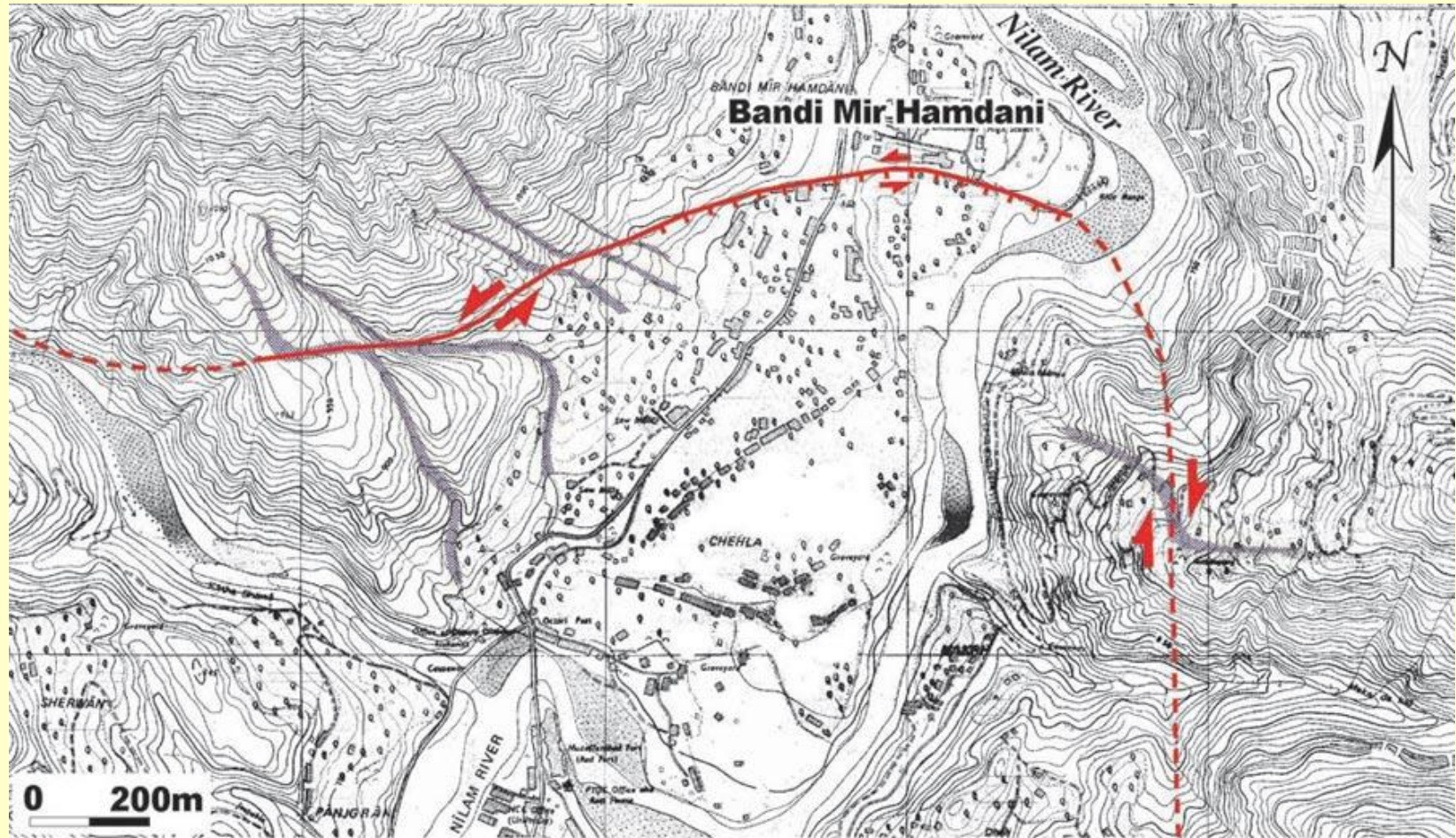
小荒井ほか(2008)  
地質学雑誌



# ムザファラバード北部周辺の活断層

(活断層研究センターHPから)

<http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/pakistan/fig.08.html>



Active fault traces



Streams offset by fault

broken line: indistinct trace, combs: down-thrown side,  
arrows: direction of strike-slip



# Quick Bird 画像(0.6m分解能)

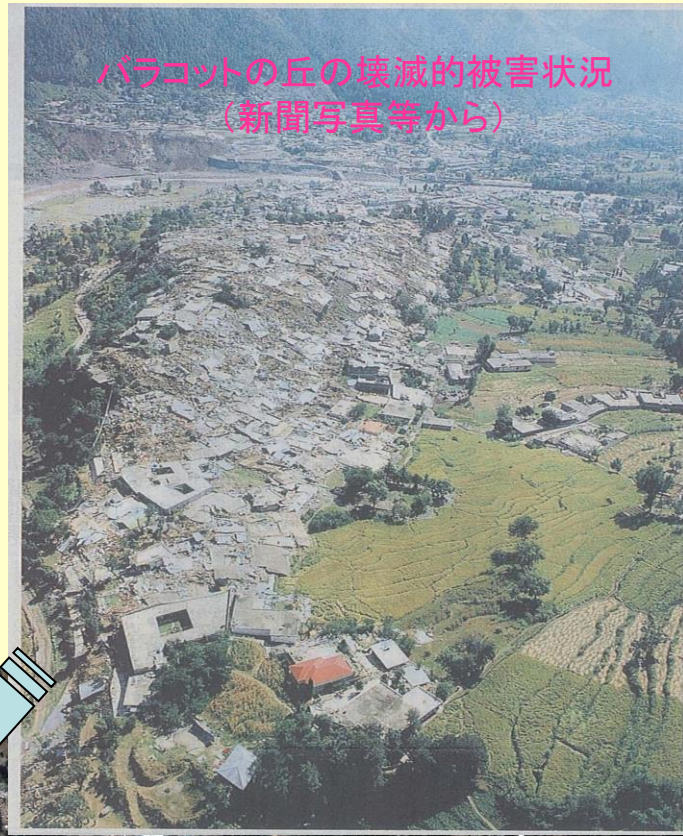
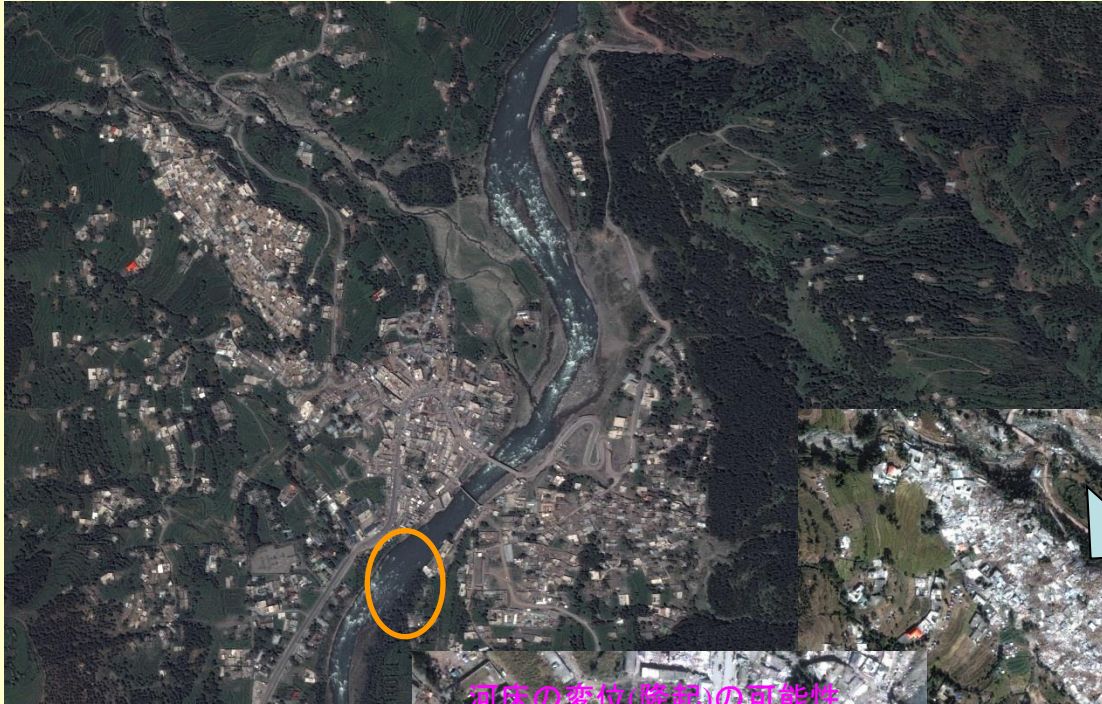
日立ソフトウェアエンジニアリング社のHPで公開した画像(バラコット周辺)





# バラコットの北部の Quick Bird画像

(災害前)



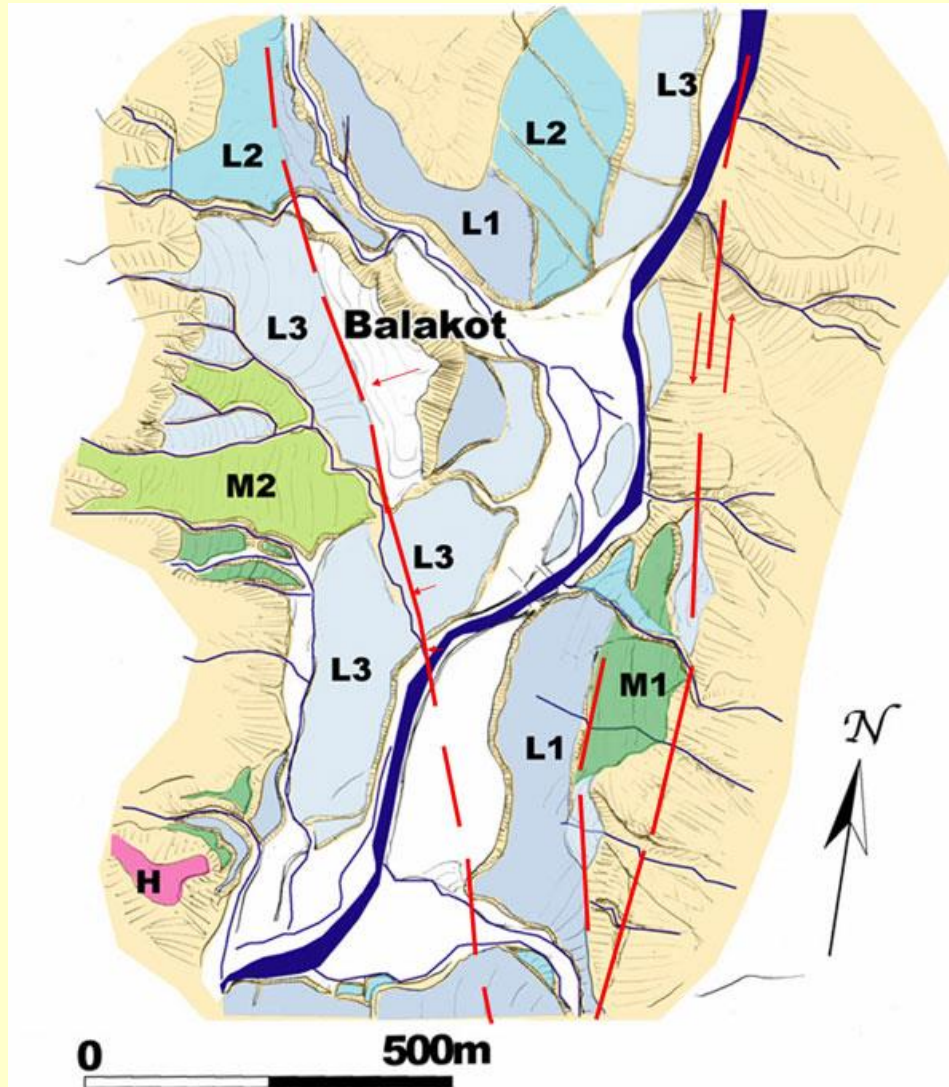
建物被害集中域は  
断層運動に伴う  
撓曲崖

小荒井ほか(2008)  
地質学雑誌



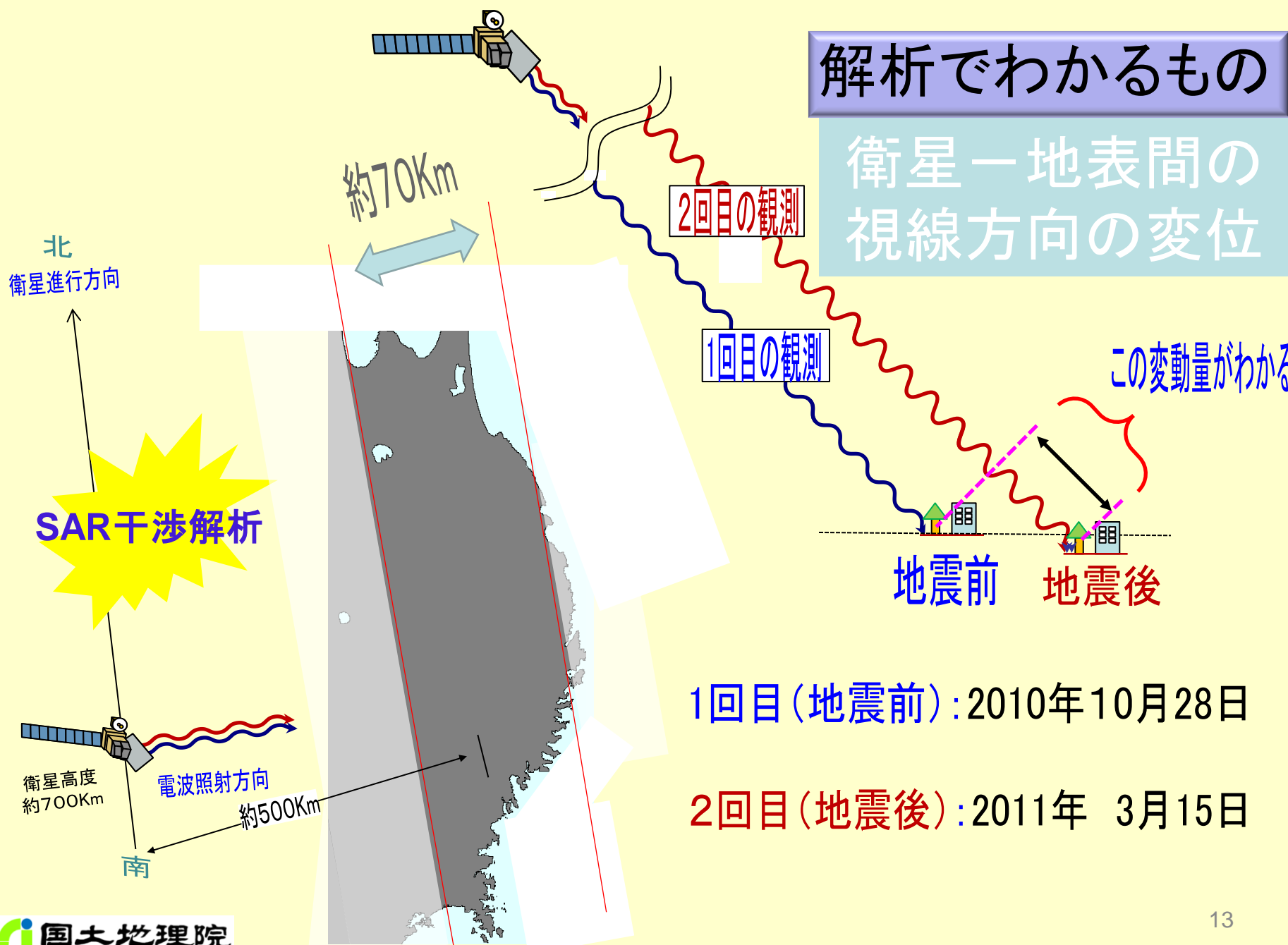
# バラコット周辺の活断層

(活断層研究センターHPから)



# 「だいち」(ALOS)とSAR干渉解析





解析でわかるもの

衛星—地表間の  
視線方向の変位

2回目の観測

1回目の観測

この変動量がわかる

地震前 地震後

1回目(地震前): 2010年10月28日

2回目(地震後): 2011年 3月15日

北  
衛星進行方向

SAR干渉解析

衛星高度  
約700Km

電波照射方向

南

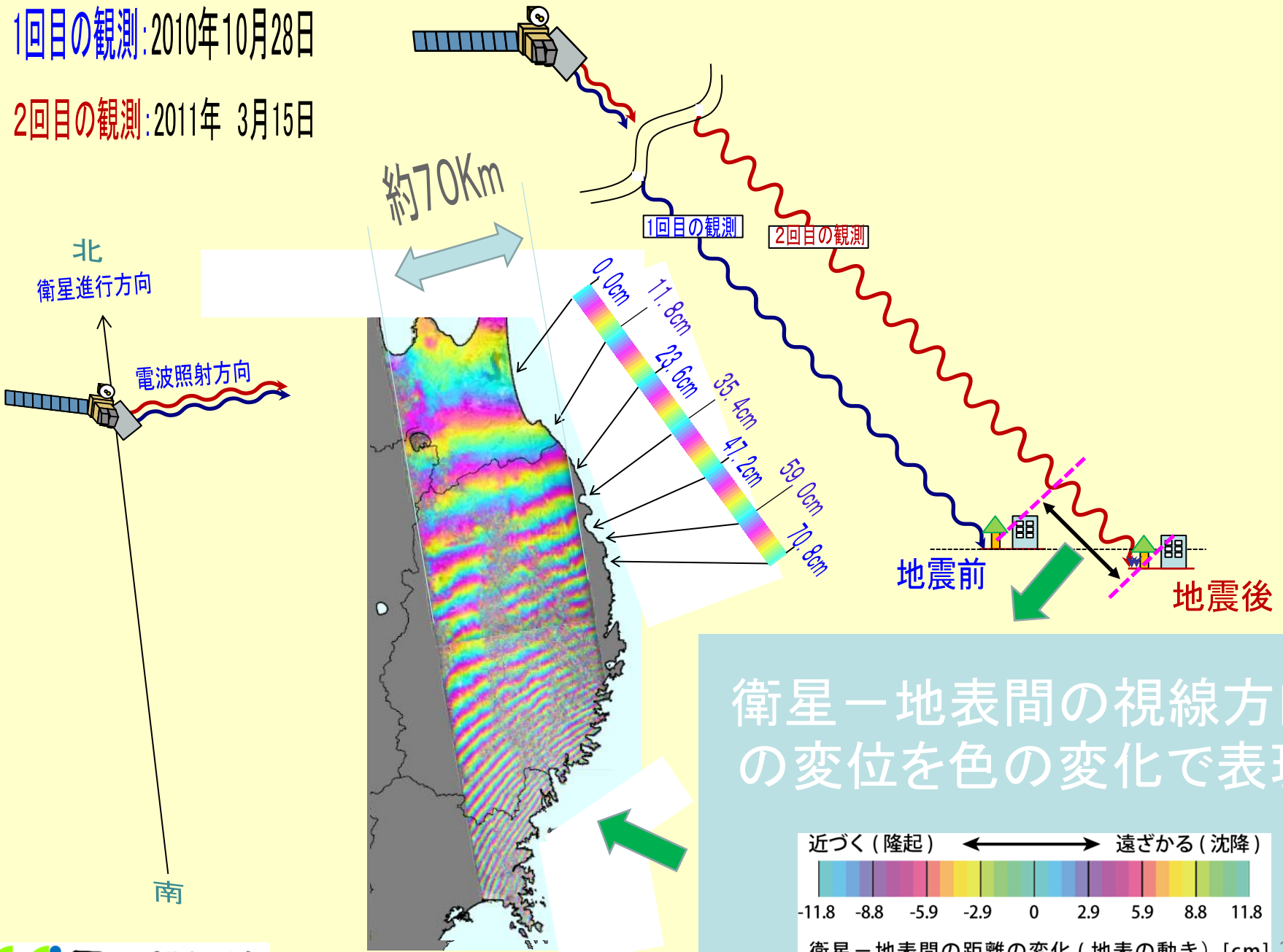
約70Km

約500Km

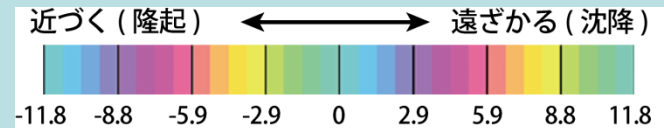


1回目の観測: 2010年10月28日

2回目の観測: 2011年 3月15日



衛星—地表間の視線方向  
の変位を色の变化で表現

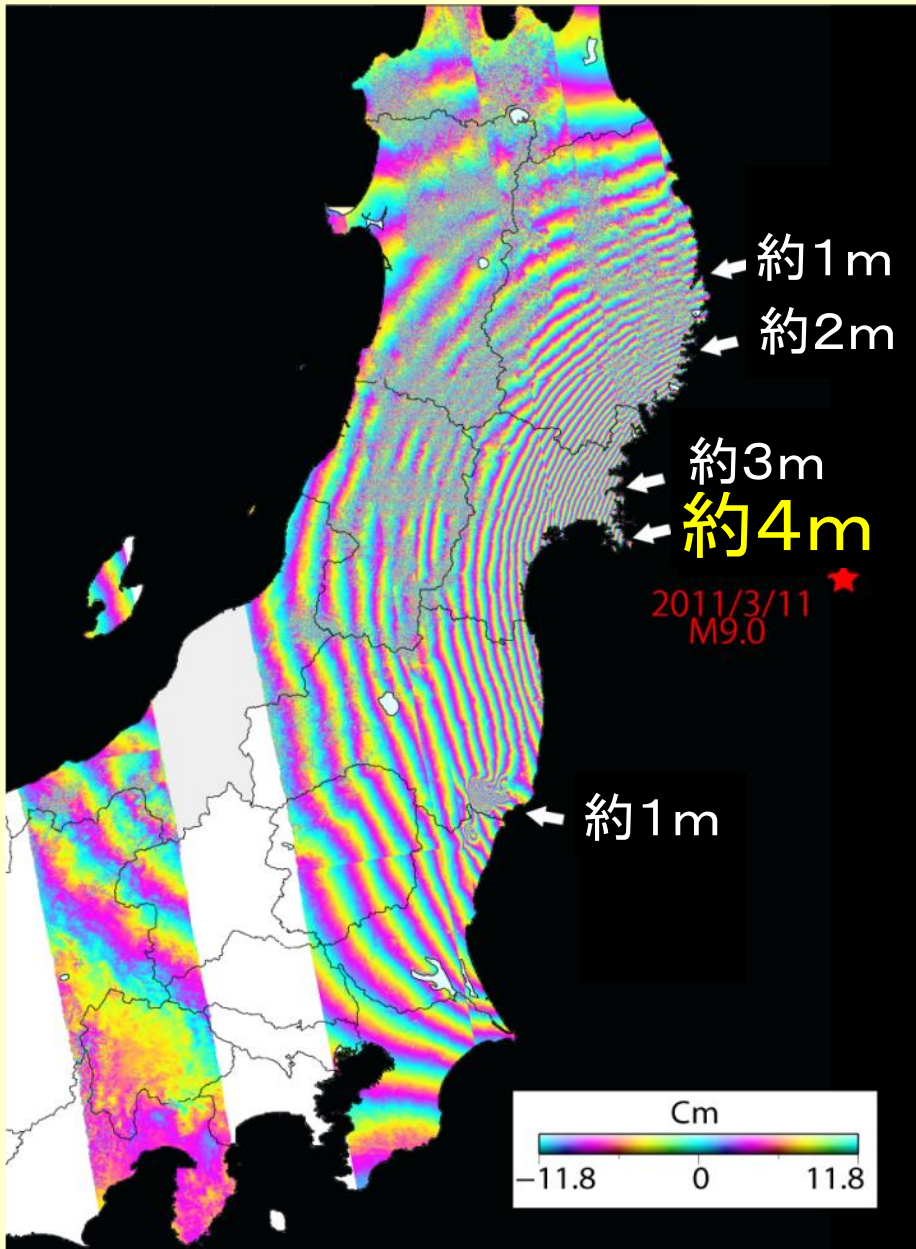


衛星—地表間の距離の変化 (地表の動き) [cm] 14

# 「だいち」が捉えた 地殻変動の特徴

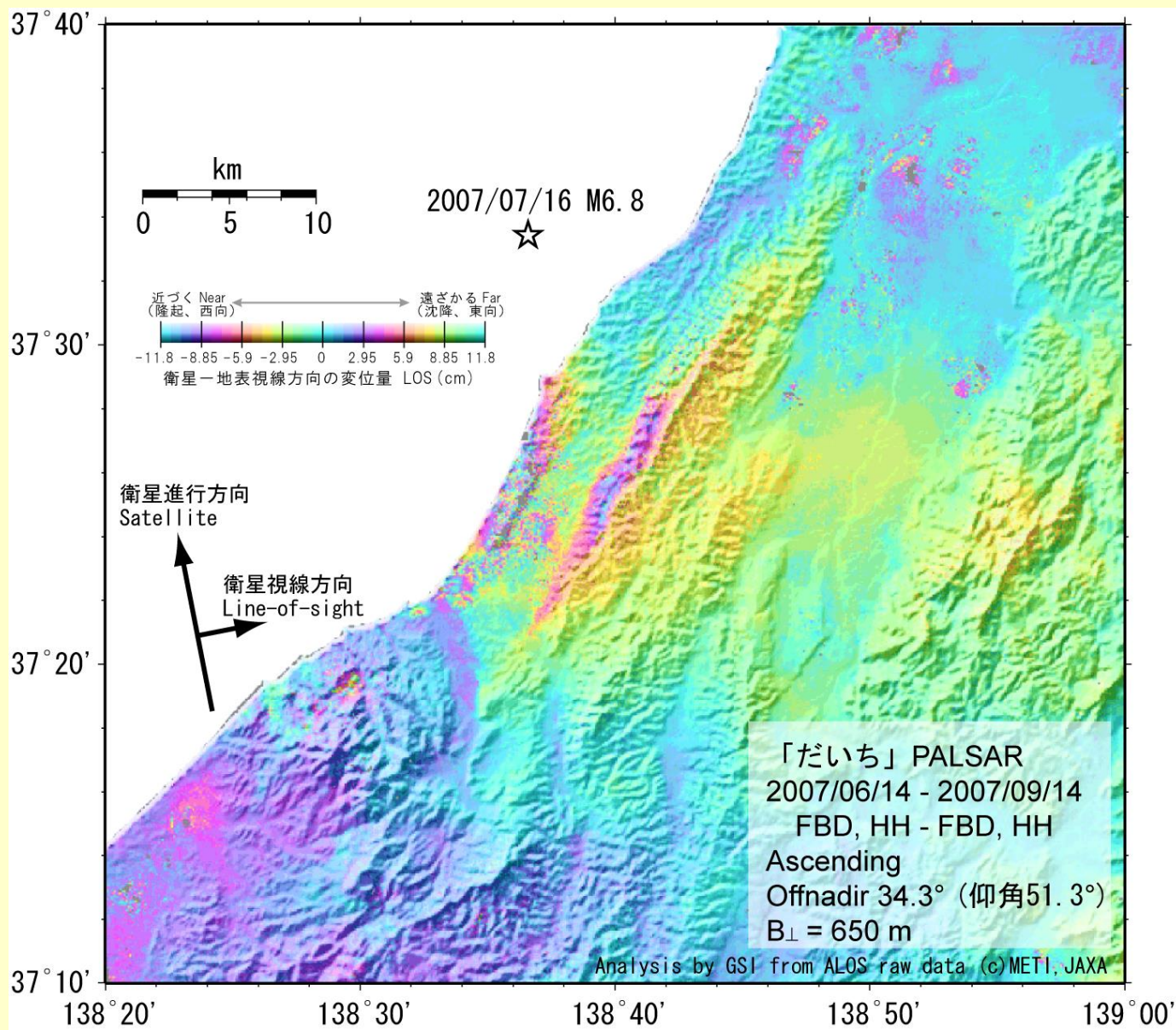
変動は東北地方から関東及び中部地方までおよんでいる。

最も変動が大きかった牡鹿半島では、衛星と地表の間で距離が約4m伸びる変動がみられた。



# 2007年中越沖地震による活褶曲の成長

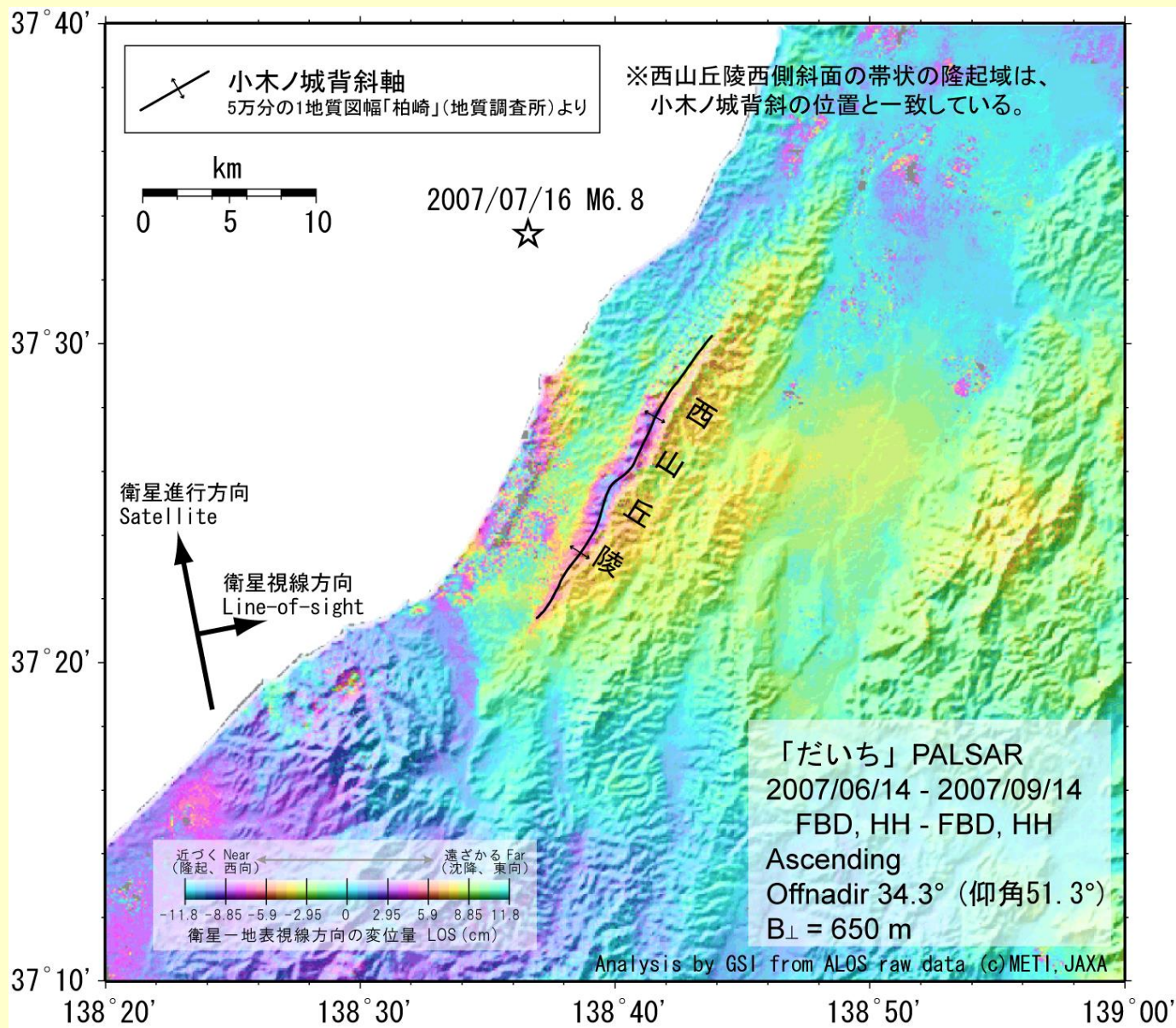
小荒井ほか(2010);地質学雑誌



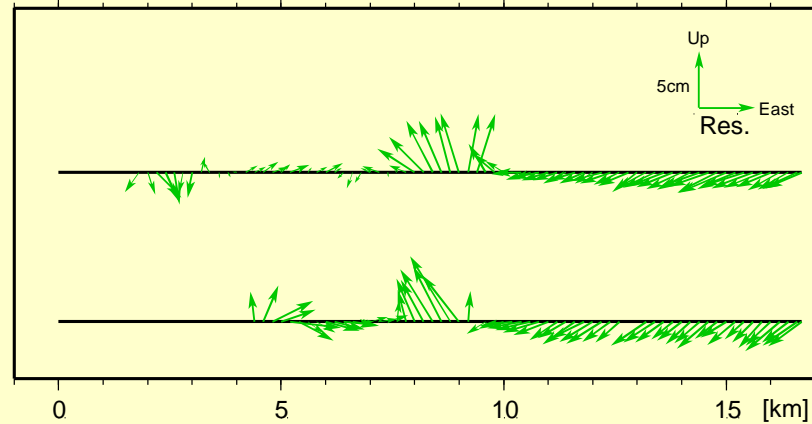
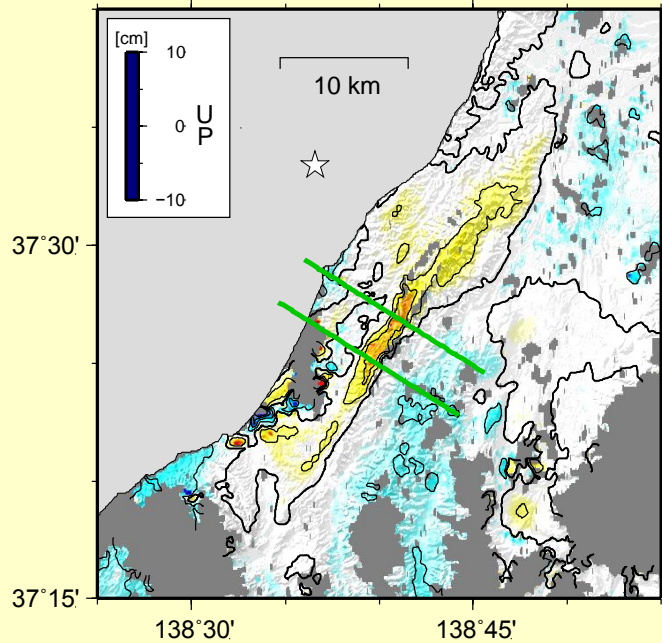


# 2007年中越沖地震による活褶曲の成長

小荒井ほか(2010);地質学雑誌

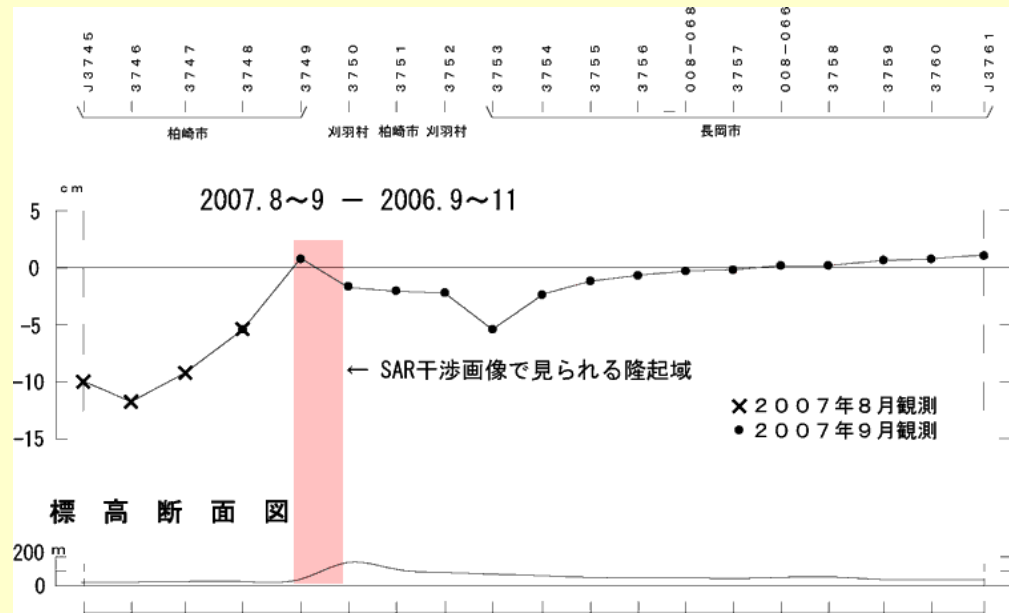


# 中越沖地震に伴う地殻変動の上下成分



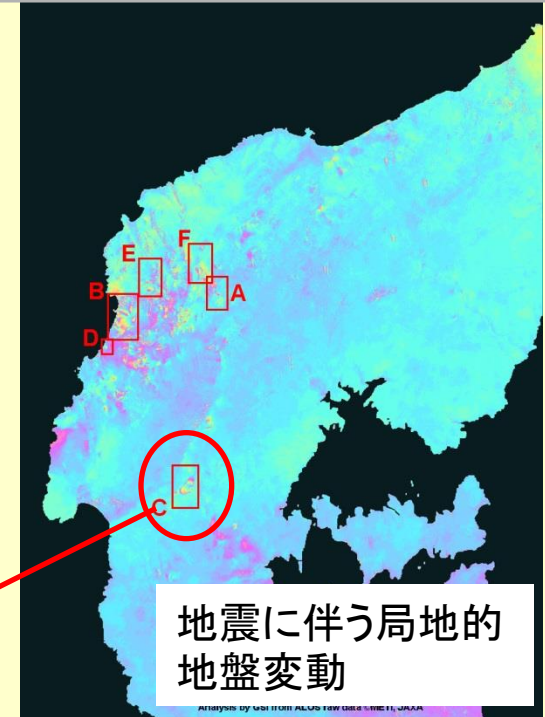
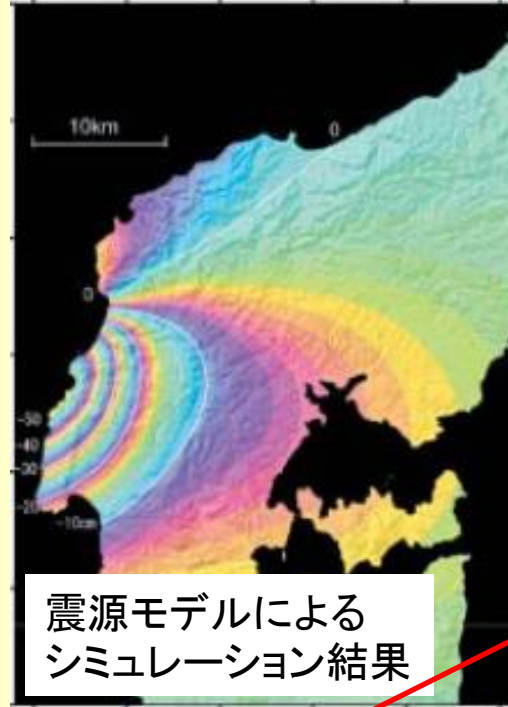
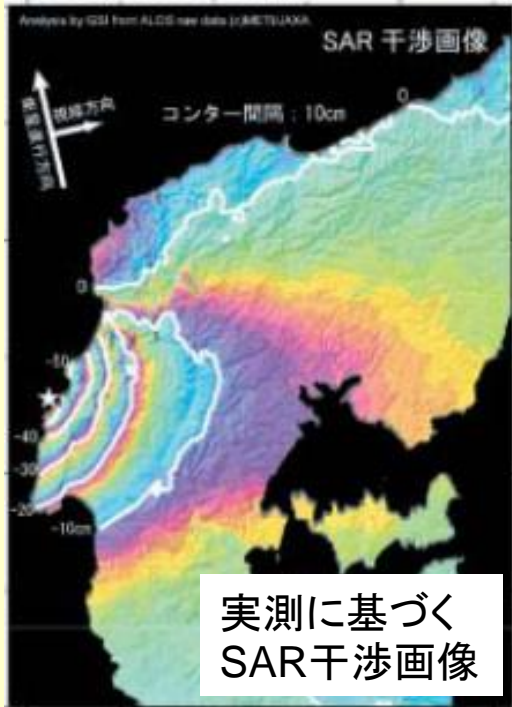
西山丘陵を横切る路線の水準測量結果

西山丘陵西部で、東西圧縮  
の隆起が認められる  
→小木ノ城背斜の成長



標高断面図

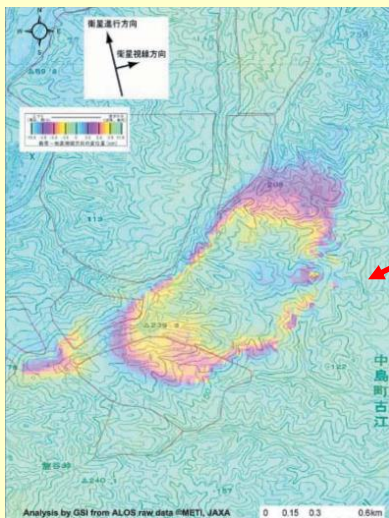
# 干渉SARによる地震時の初生地すべりの検出



Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI

宇根ほか(2008);地すべり学会誌

H19能登半島地震の事例において、SAR干渉画像から地震に伴う広域的な地殻変動成分を取り除くことで、局地的な地盤変動を監視できる可能性が示唆





# 国土地理院による干涉SAR定常解析

## 定常解析

地図もしくは表から地域を選択してください。

例)

地盤沈下地域・・・○石狩平野

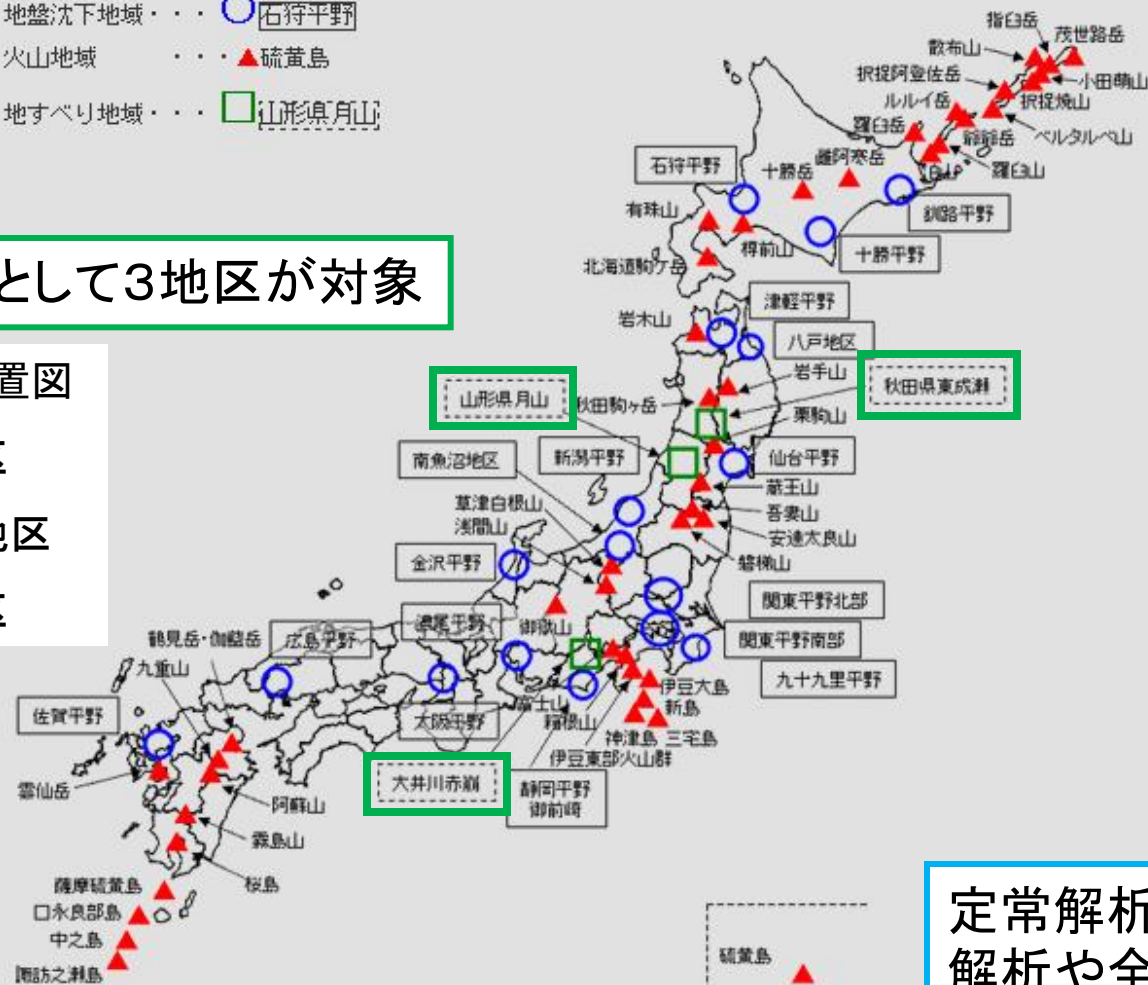
火山地域・・・▲硫黄島

地すべり地域・・・□山形県月山

## 地すべり地域として3地区が対象

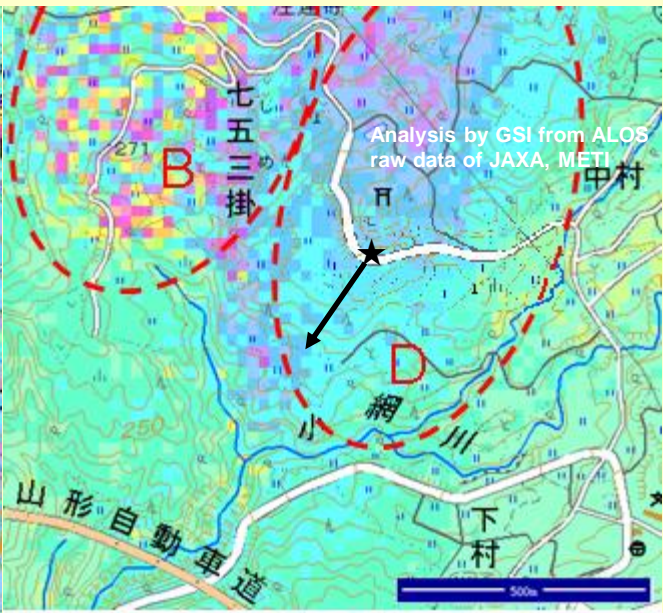
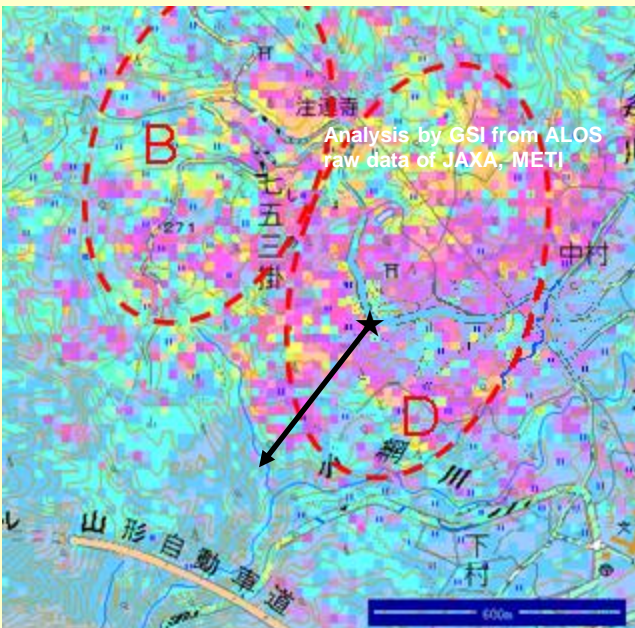
### 研究対象地の位置図

- ・山形県月山地区
- ・秋田県東成瀬地区
- ・静岡県赤崩地区



定常解析以外にも緊急解析や全国解析も実施

# 山形県月山地区における事例(その1)



図中の「★」はGPS観測点の位置



時系列的解析による、地すべりの挙動追跡可能性について検証を実施

⇒結果として、SAR干渉画像が地すべり性変動の盛衰を反映し、条件によって定量的にも整合的であることが判明

表:SAR視線方向の距離変化の比較

	GPS観測値	SAR干渉画像
2009/3-5	約7cm (遠ざかる)	6~9cm (遠ざかる)
2009/5-8	約2cm (遠ざかる)	1~3cm (遠ざかる)

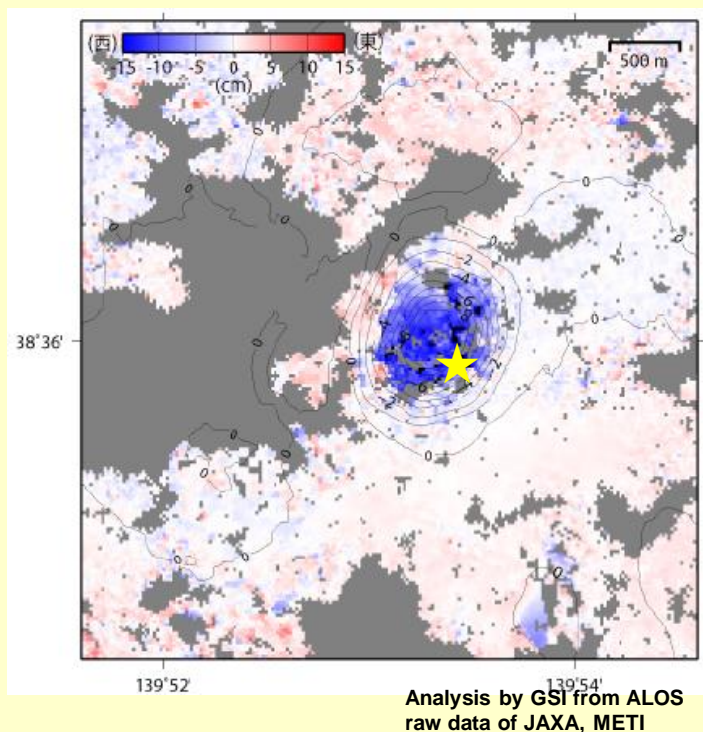
※赤矢印(→)はSAR干渉画像から判読されるGPS観測点付近の変動量

※図中の黒矢印はGPS観測による観測点の移動方向と移動量(絶対値は干渉縞のカラーバーと一致させた)

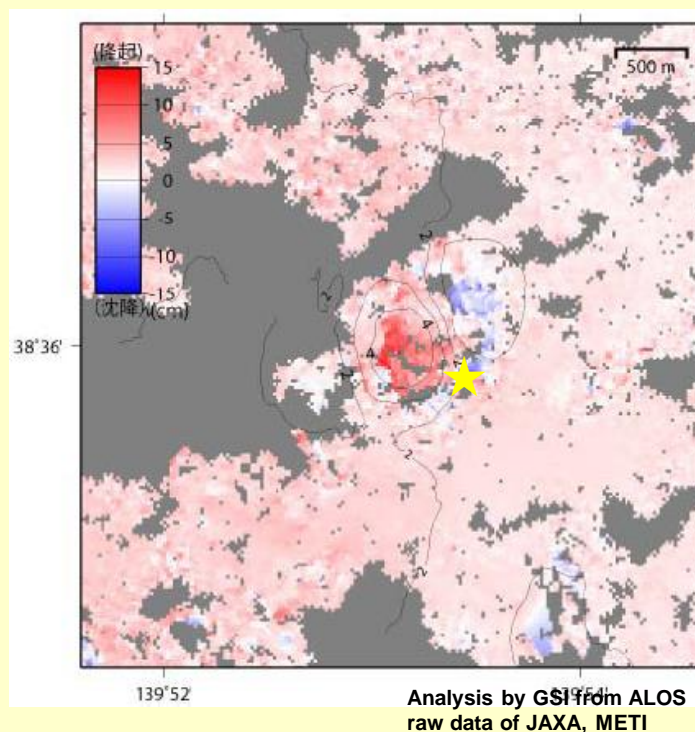


# 山形県月山地区における事例(その2)

変動を東西方向及び上下方向にほぼ相当する成分に分離した結果



東西成分  
(青が西方向、赤が東方向の変動)



上下成分  
(青が沈降方向、赤が隆起方向の変動)

※图中的「★(黄色)」はGPS観測点の位置

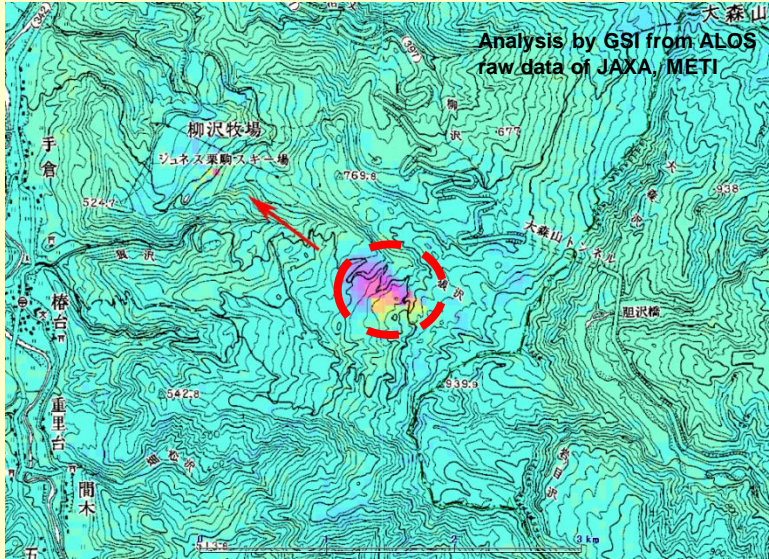
SAR干渉画像の干渉縞から判読される変動量とGPS観測の変動量の比較を実施し、東西成分が西向きになるという傾向は一致し、定量的にもほぼ類似の傾向を示した

これらにより、SAR干渉画像で地すべり性変動の監視が出来る可能性を示した



# SAR干渉画像による地すべり性変動の抽出(1)

## ①既知の地すべり地において変動が抽出された例...秋田県東成瀬地区



1. 地形タイプ 地すべり地形(移動域)
2. 変位量 中
3. 密集度 大
4. 変位方向 NW
5. 地質 前～中期中新世非アルカリ珪長質火山岩類
6. 地すべり地形分布図 有

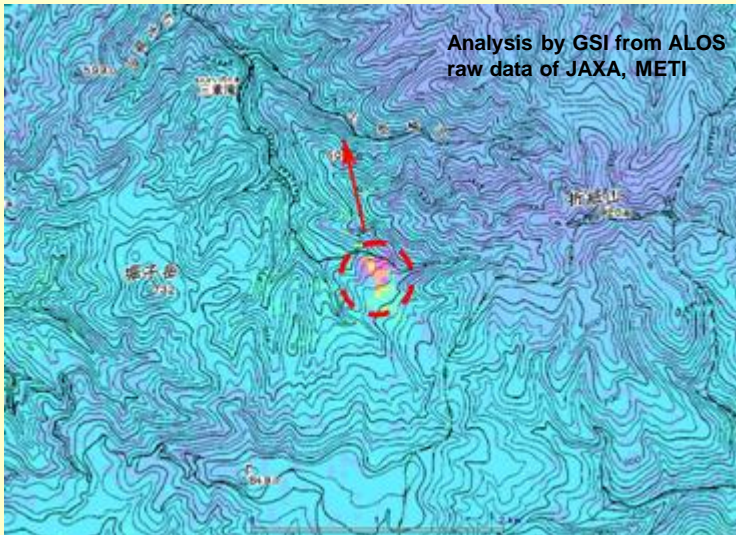
SAR干渉画像により確認される干渉縞形成域は地すべり地形分布図と一致し、地すべり地形が明瞭である。よって、SARで捉えている変動は地すべりの可能性が高い。  
(当該地すべりは「狼沢地すべり」にあたる)

周辺の地すべり地形分布図  
(防災科研による)



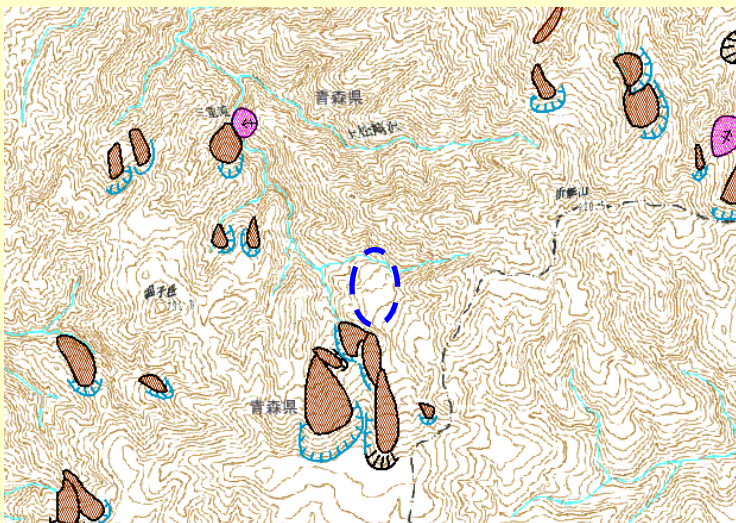
# SAR干渉画像による地すべり性変動の抽出(2)

## ②未知の地すべり地において変動が抽出された例...青森県青森市折紙山付近



1. 地形タイプ 地すべり地形(移動域及び滑落崖)
2. 変位量 中
3. 密集度 大
4. 変位方向 NW
5. 地質 前～中期中新世非アルカリ苦鉄質火山岩類(周辺に前～中期中新世非アルカリ珪長質火山岩類等有)
6. 地すべり地形分布図 無

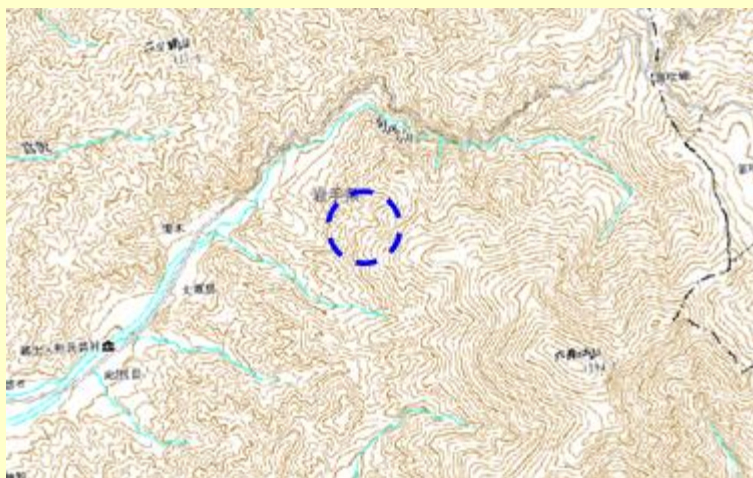
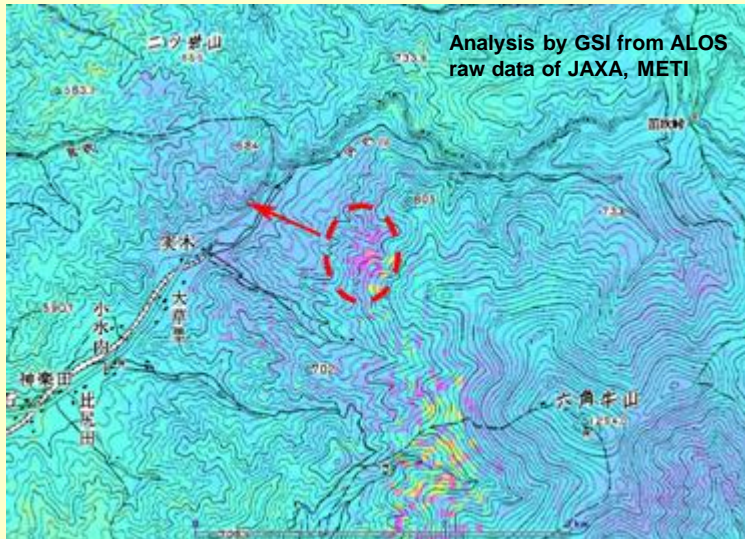
SAR干渉画像により確認される干渉縞形成域は地すべり地形分布図には表現されていないが、地形的には地すべりが明瞭である。よって、SARで捉えている変動は地すべりの可能性が高い。



周辺の地すべり地形分布図  
(防災科研による)

# SAR干渉画像による地すべり性変動の抽出(3)

## ③変動が抽出されたものの、地すべりとの関連が認められない例...岩手県遠野市実木



周辺の地すべり地形分布図  
(防災科研による)

1. 地形タイプ 尾根型斜面
2. 変位量 中
3. 密集度 小
4. 変位方向 NW
5. 地質 前期白亜紀堆積岩類(海成層)  
(周辺にペルム紀堆積岩類(海成層)等有)
6. 地すべり地形分布図 無

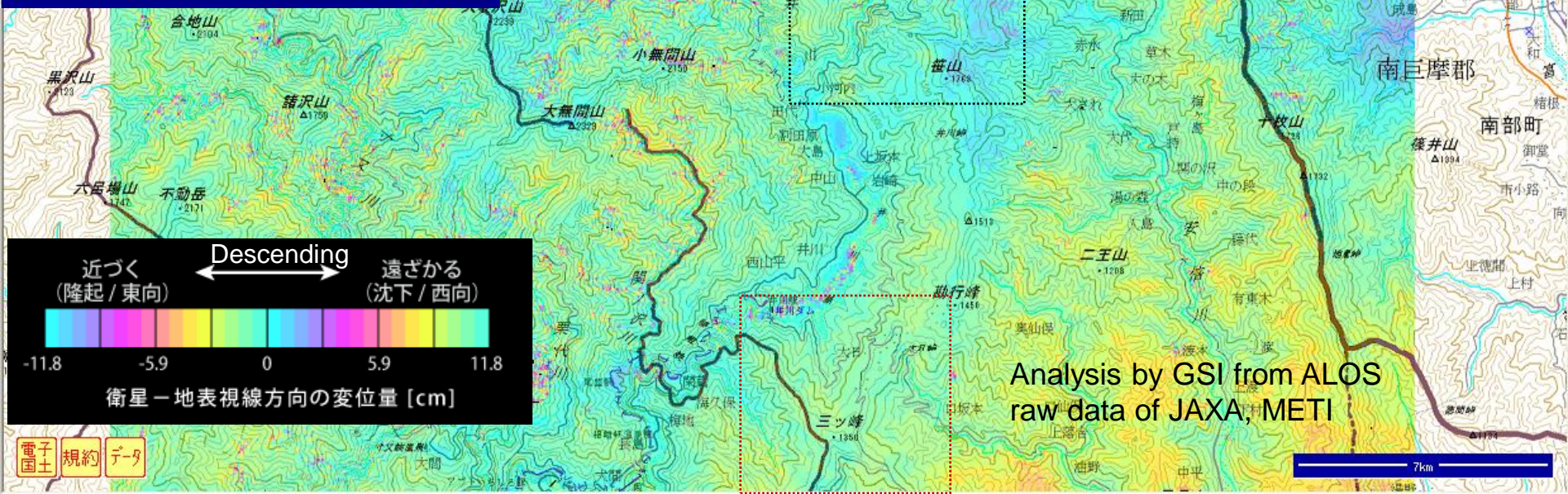
SAR干渉画像により確認される干渉縞形成域は地すべり地形分布図とは一致せず、地形的にも地すべりの特徴は薄い。このため、SARで捉えている変動は地すべりであるかは判然としない。



# 研究対象地域広域のSAR干渉画像(口坂本地すべり)

小荒井ほか(2013);リモートセンシング学会

2009/09/08-2009/10/24 Descending(南行軌道, 基線長:+306m)



<宇宙測地課コメント>

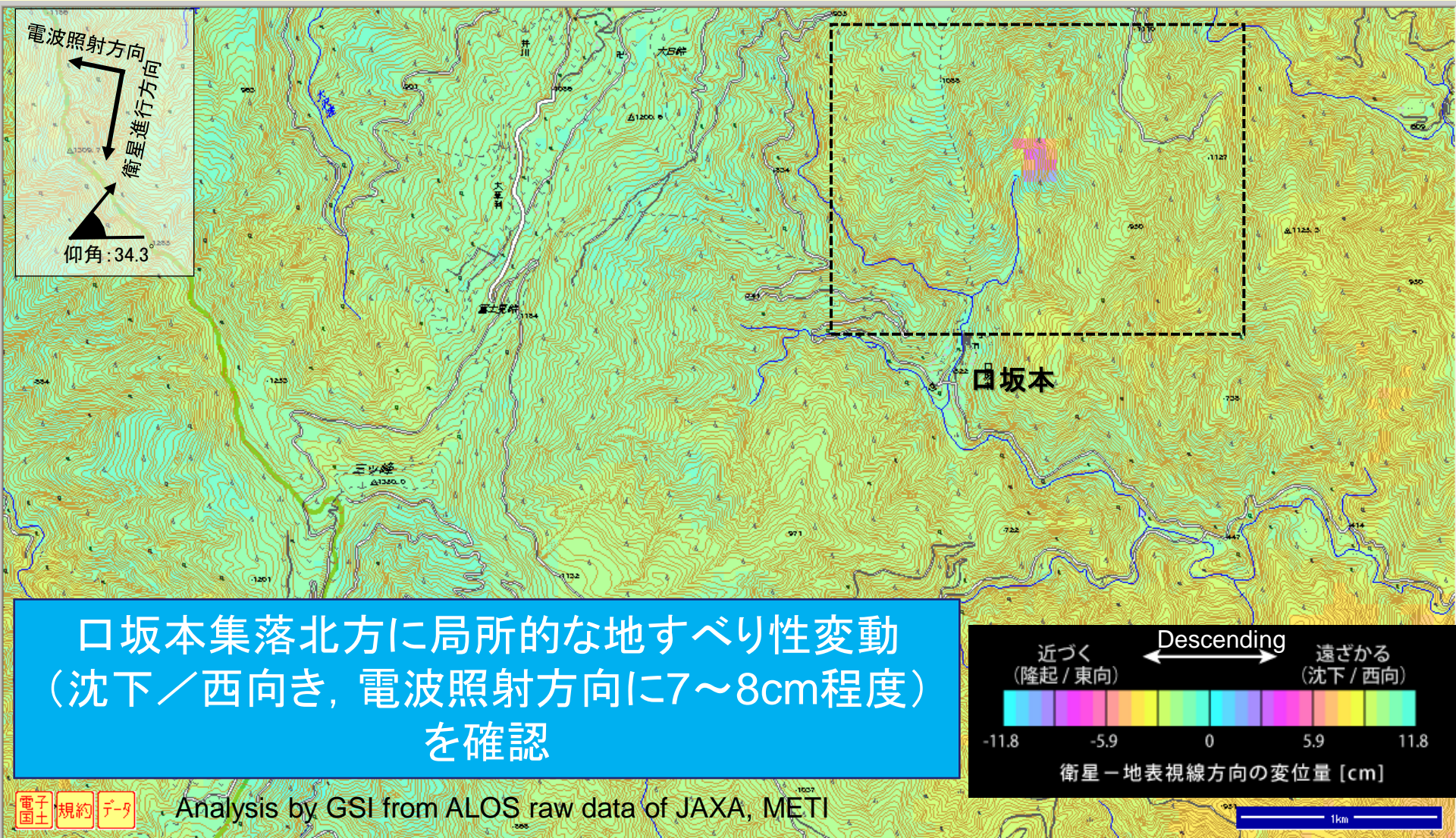
赤崩で、衛星から遠ざかる方向の変動が見られる

口坂本地すべり



# 口坂本地区のSAR干渉画像①

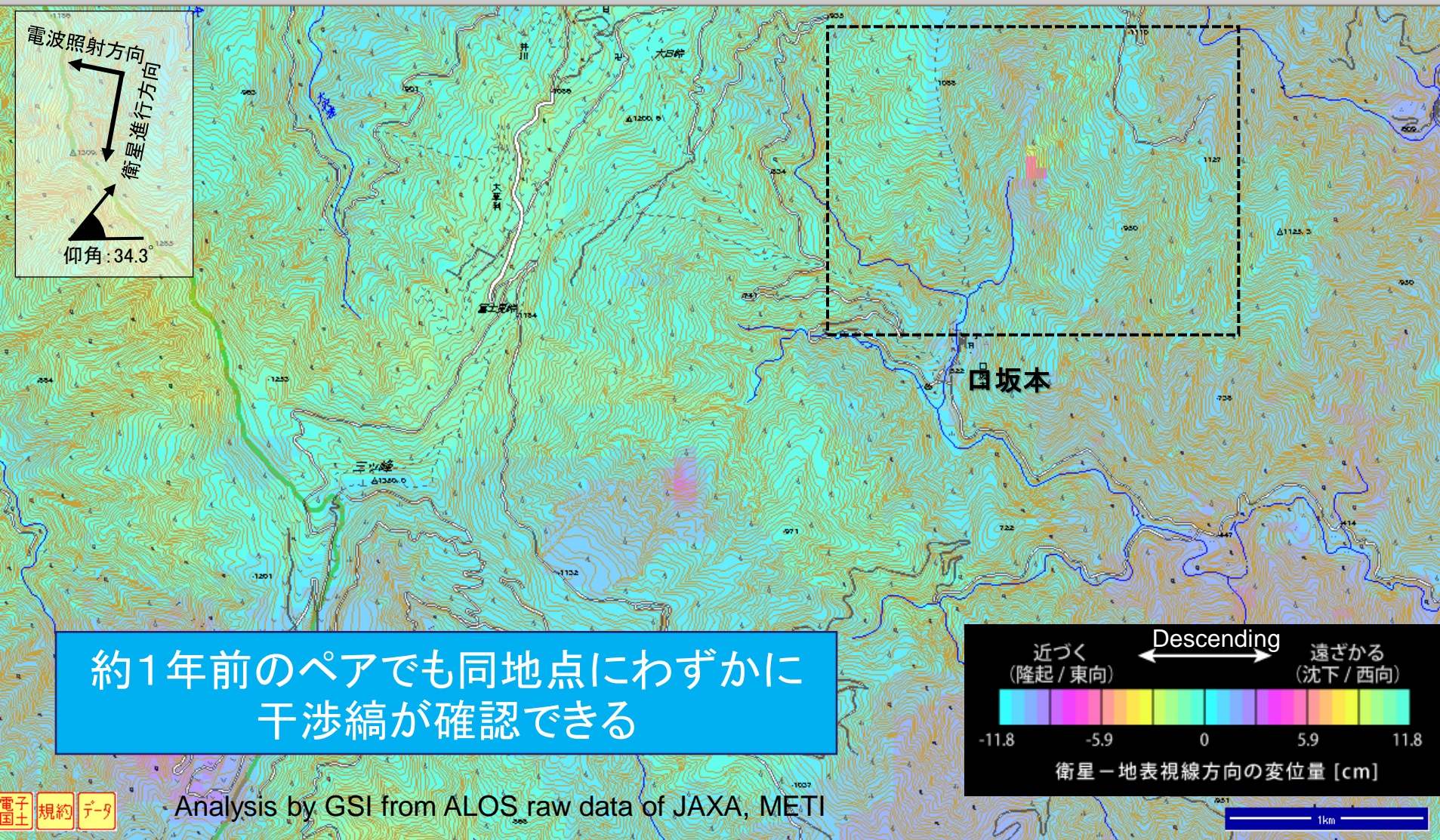
2009/09/08-2009/10/24 Descending (南行軌道)





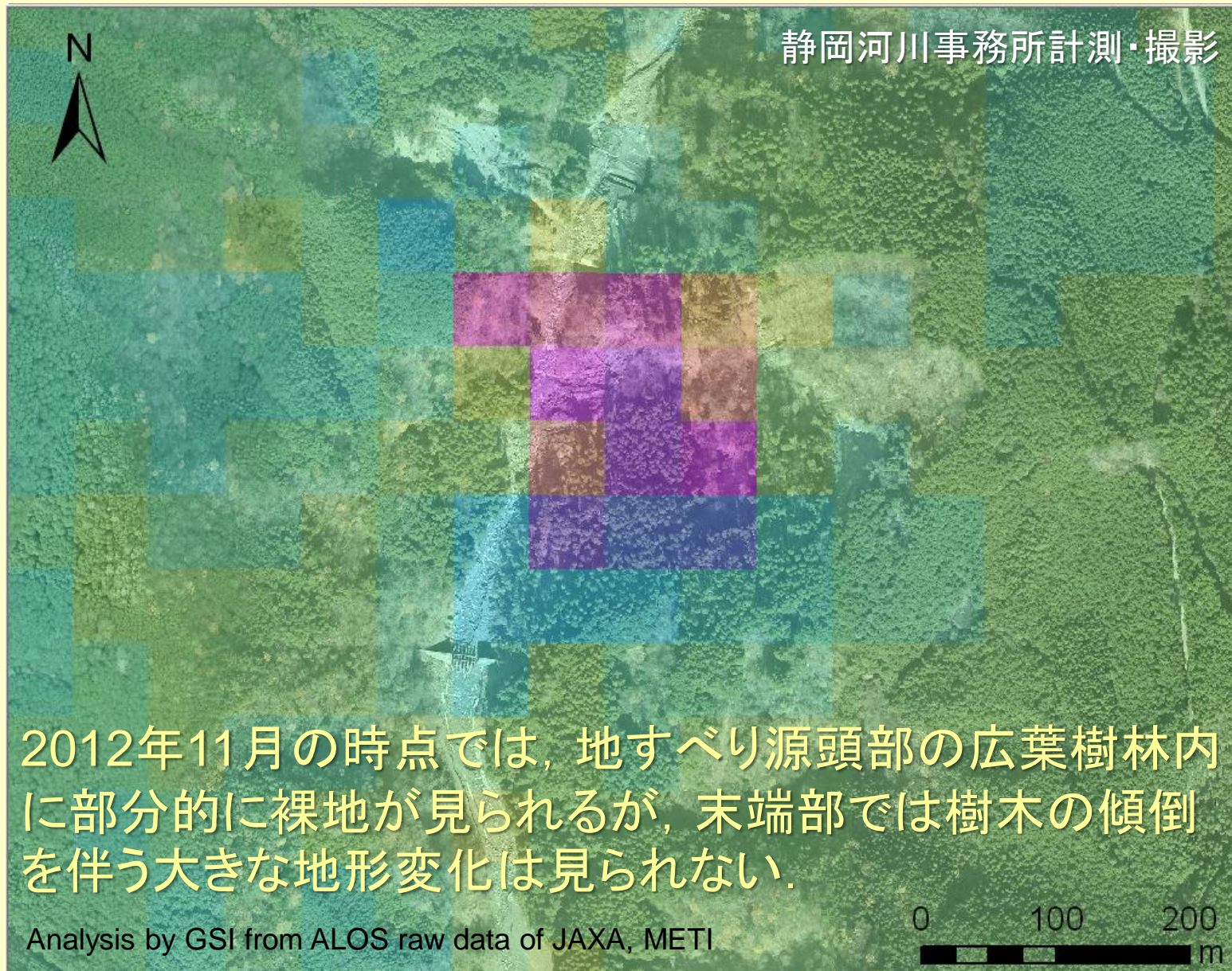
# 口坂本地区のSAR干渉画像②

2008/09/5-2008/10/21 Descending (南行軌道)



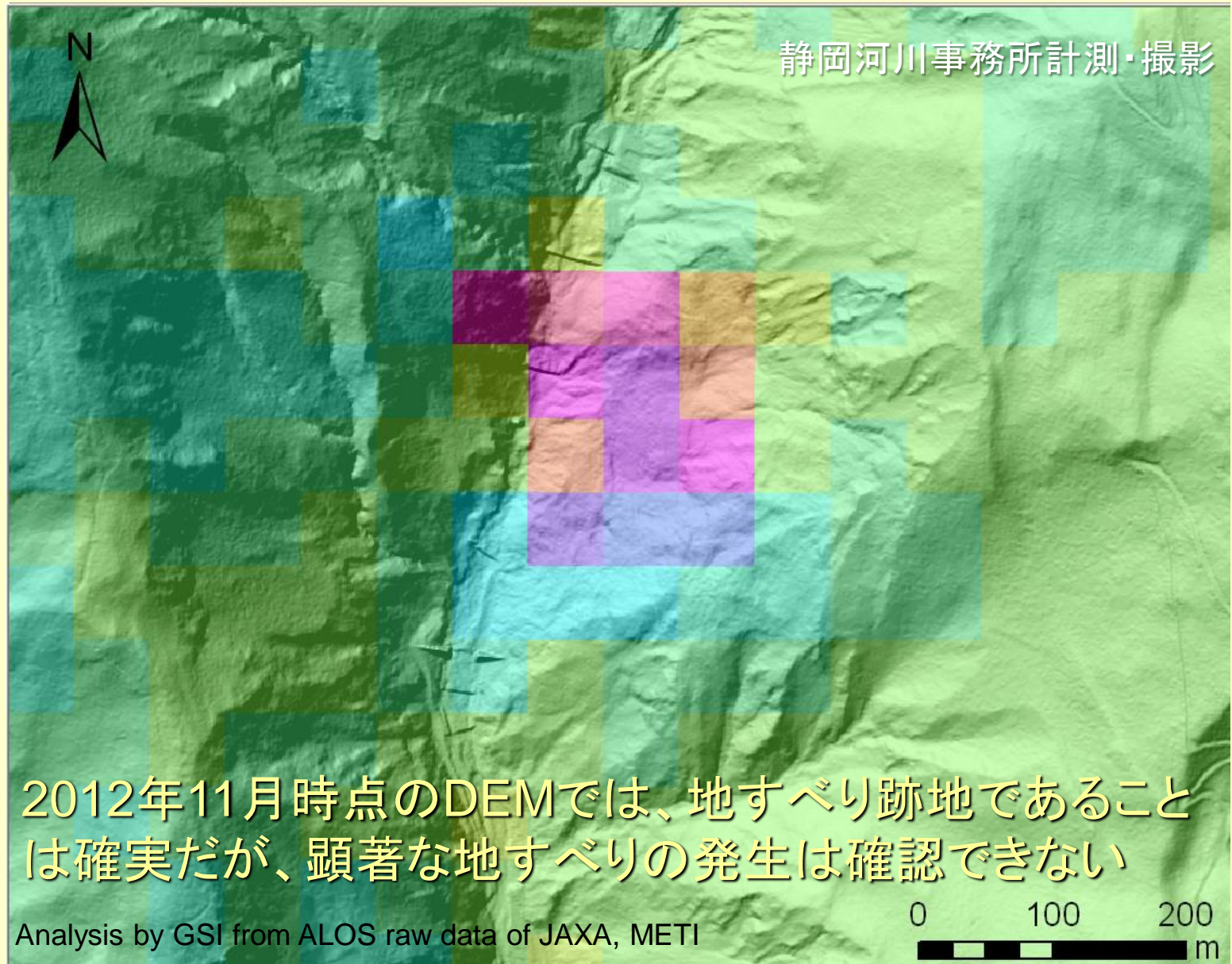


# 2012年11月撮影オルソ画像+InSAR画像



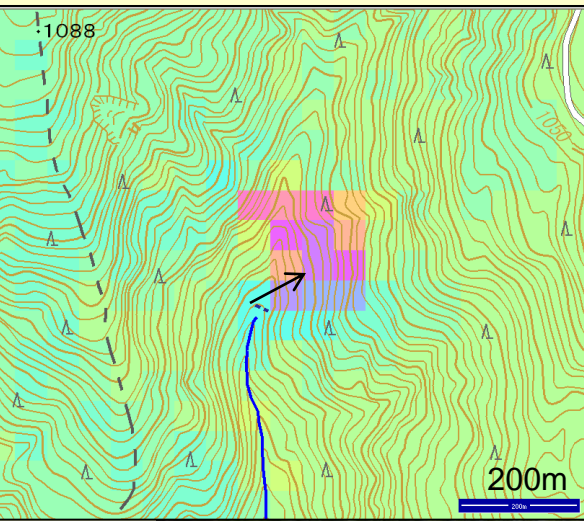


# H24年11月計測LIDAR DEM陰影図+InSAR画像





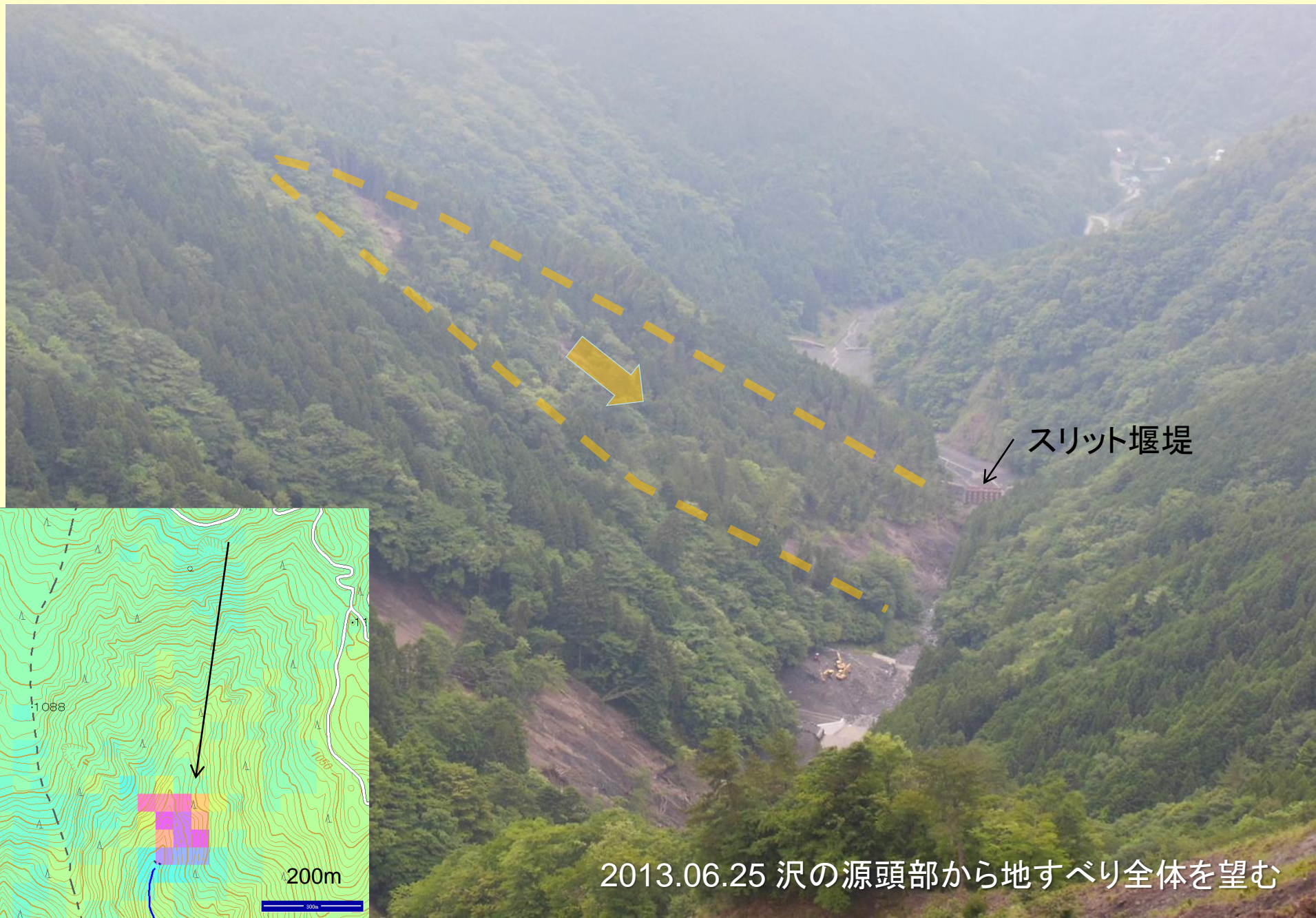
# 干渉SAR変動箇所の現地写真①(地上)



2013年6月末の時点では、規模の大きな地すべりが発生していた  
2013.06.25 スリット堰堤西側(沢の右岸、地すべりの対岸)より撮影



# 干渉SAR変動箇所 の現地写真②(俯瞰)



スリット堰堤

2013.06.25 沢の源頭部から地すべり全体を望む

# 口坂本のまとめ

- 2008年秋と2009年秋には、干渉SAR画像で有意な変動が発生していた。(2009年は約1ヶ月半で電波照射方向に6~7cm程度)
  - 2012年11月の時点では、大きな地すべり変動は発生していなかった。
  - 2012年11月~2013年6月の間に、大きな地すべり変動が発生した。
- 口坂本では干渉SARで地すべり変動の前兆が捉えられていた可能性が高い。



# 東日本大震災の事例

## ●3月11日のM9.0の地震

- 地震による地殻変動  
衛星合成開口レーダ(衛星SAR)(既に報告)
- 仙台平野の津波被害  
高分解能衛星画像
- 東京湾岸や利根川流域の液状化被害  
高分解能衛星画像

## ●誘発地震

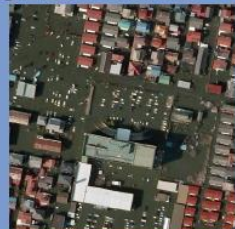
- 4月11日の福島県浜通りの地震(地表地震断層、斜面崩壊)  
衛星SAR、高分解能衛星画像

# 東日本大震災における津波被害

空中写真を判読して、津波の被害状況を3段階に区分したデータを作成

《目視判読の目安》

① 建造物が比較的残っている



(浸水による泥の堆積、建造物被害の状況等の把握が課題)

② 建造物の多くに流出や損壊が見られる

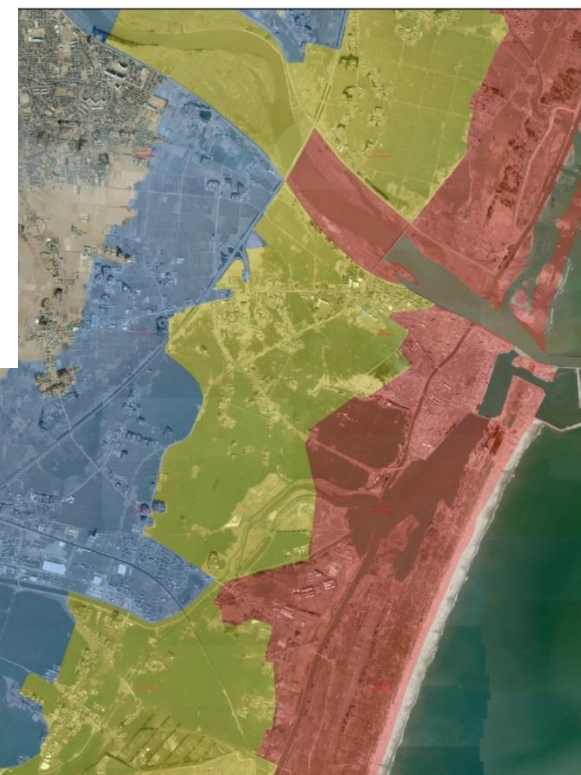


(流出、損壊した建造物の状況等の把握が課題)

③ 建造物のほとんどに流出や損壊が見られる



(都市機能の存続状況等の把握が課題)



凡例  
津波被害度分類  
被害度

Rank1  
Rank2  
Rank3

0 250 500 1,000 m

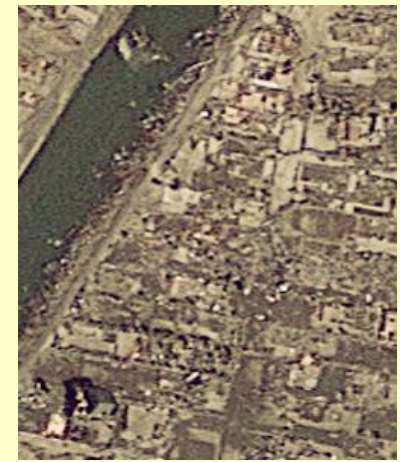
- ・ 建物の大半が基礎ごと流失 (Rank1)  
**流出**
- ・ 建物が残されているが甚大な被害 (Rank2)  
**破壊**
- ・ 浸水したが建物の破壊はほとんど無い (Rank3)  
**浸水**



# 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震 (M9.0)に伴う津波被害の判読特性 (宮城県名取市閑上地区)小荒井ほか(2011)

<検討に使用した画像>

・3月14日撮影GeoEye-1画像 ※現地写真は、4月13日撮影



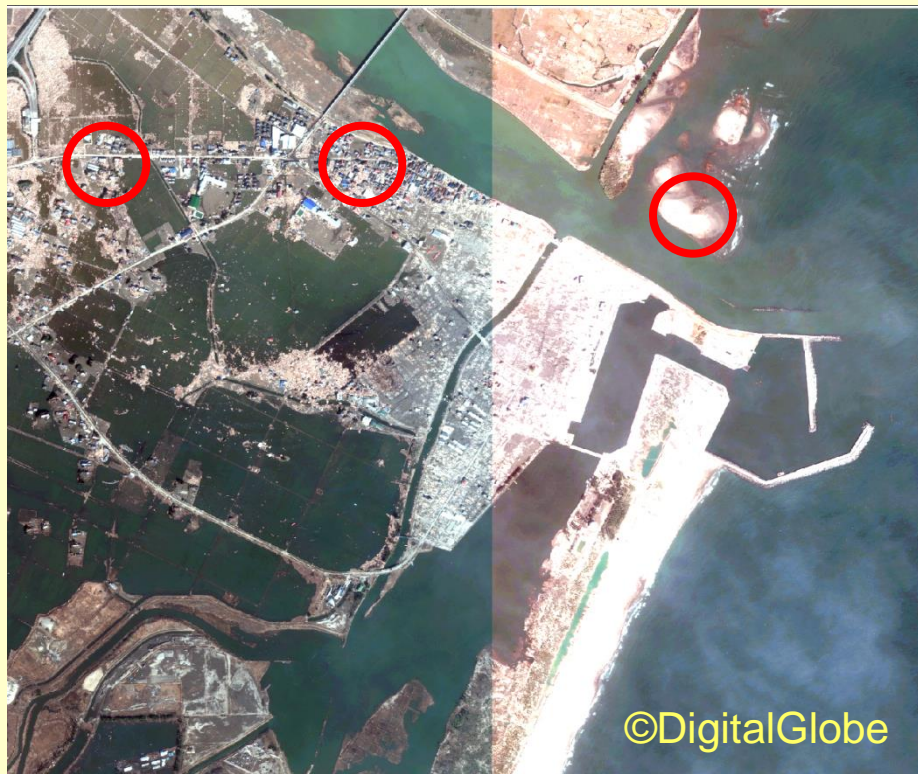
「建物等がほとんど流出した範囲」については、衛星画像で建物の土台のみを残してほとんど流出している様子が容易に判読できる。



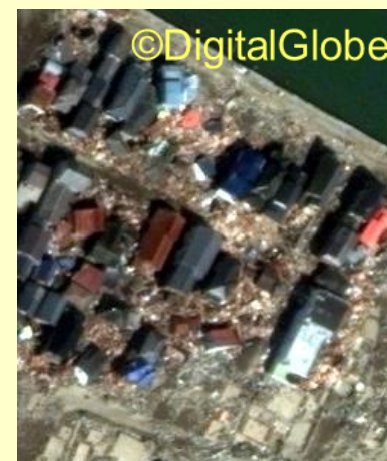
# 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震 (M9.0)に伴う津波被害の判読特性 (宮城県名取市閑上地区)小荒井ほか(2011)

<検討に使用した画像>

・3月14日撮影WorldView-2画像 ※現地写真は、4月13日撮影



津波で分断された  
干潟の砂嘴



「建物流出は余り無いが破壊がなされている範囲」については、空中写真判読でも実質的には瓦礫前線の範囲を判読している。衛星画像では瓦礫の堆積範囲は比較的容易に判読できるが、建物の破壊状況については、単画像の場合には実体視が出来ないので通常の地震災害と同様に困難である。



# 津波で発生した湛水域抽出の試行

## 【東日本大震災の湛水域発生箇所の観測】

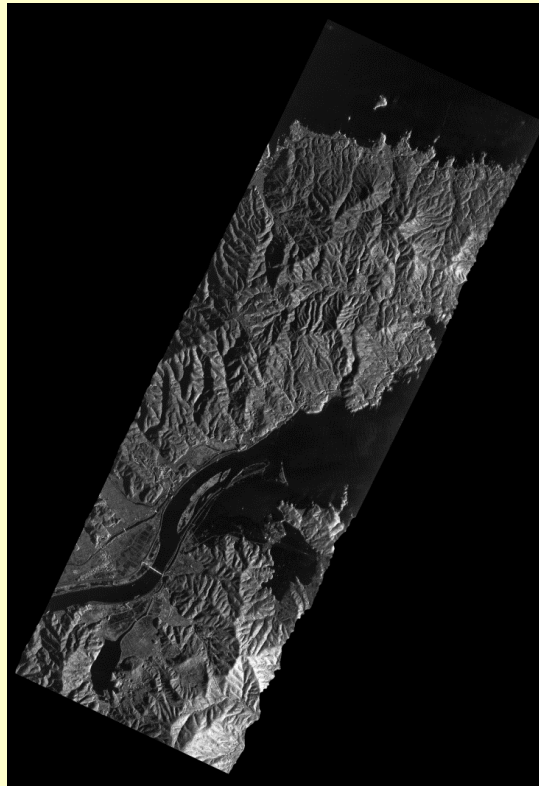
- ・再生画像上では水部が暗く写る特徴を利用し、東日本大震災の津波により発生した湛水域の抽出を試行(宮城県石巻市北上川河口周辺)。
- ・大きく湛水している箇所の抽出は明瞭にできている。周辺には誤抽出が散見される。

## 【宮城県石巻市北上川河口周辺】

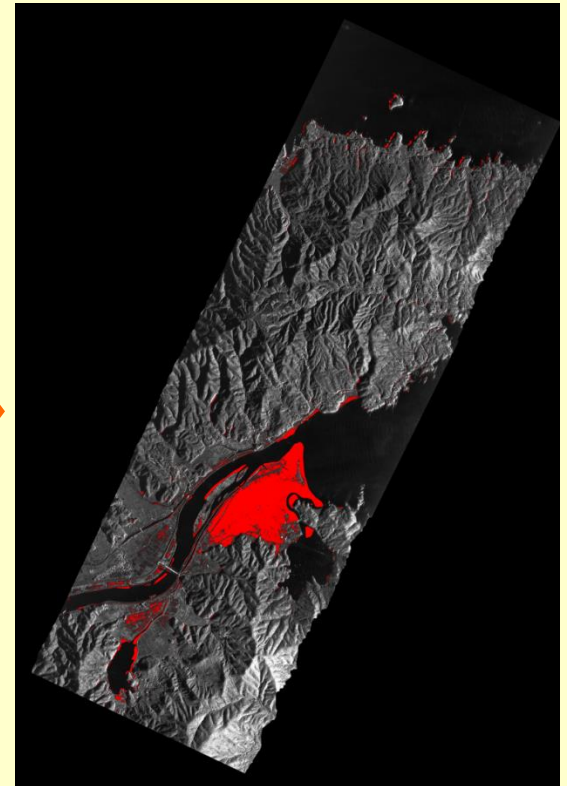
空中写真  
(2011年6月撮影)



SAR再生画像(2011年8月観測)



湛水域の抽出



全体図

# 関東地方の 液状化発生地の分布



## 東日本大震災に おける液状化被害

液状化が集中して発生した地域

- ・東京湾岸（特に北部）
- ・利根川流域
- ・利根川支流（鬼怒川，小貝川など）の流域
- ・九十九里平野
- ・荒川低地
- ・那珂川，久慈川流域

関東地方整備局・地盤工学会  
(2011)による

20 0 20 (km)



# 潮来市日の出地区の液状化被害 小荒井ほか(2011)



B

潮来市では、日の出地区で  
激しい液状化被害が集中した



A



C



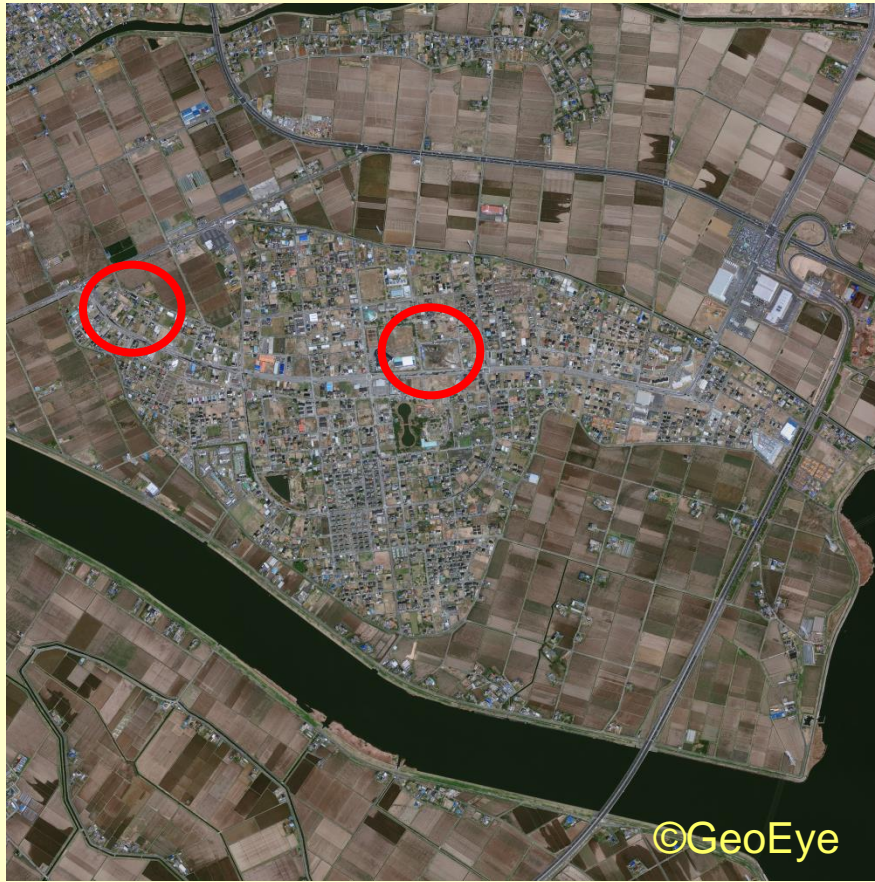
D

明治時代の地図を現在の地図と重ね合わせてみると、日の出地区は、外浪逆浦の入江である内浪逆浦を埋め立てた土地であることがわかる。



# 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震 (M9.0)に伴う液状化被害の判読特性 (茨城県潮来市日の出地区) 小荒井ほか(2011)

<検討に使用した画像>・4月12日撮影GeoEye-1画像 ※現地写真は、6月16日撮影



農地や学校のグラウンドや大規模郊外店舗の駐車場で  
の噴砂痕は判読がしやすく明瞭である。



道路の噴砂と波打ち。衛星画像では噴出した水が確認  
できるが、現地調査時点では水は無い。



傾倒したグラウンドの柵の鉄柱



# 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震 (M9.0)に伴う液状化被害の判読特性 (茨城県潮来市日の出地区) 小荒井ほか(2011)

<検討に使用した画像>・4月12日撮影GeoEye-1画像 ※現地写真は、6月16日撮影



広域に見られた噴砂は判読可能である。農地や駐車場での噴砂は判読が容易ではあるが、住宅地では個別に液状化しているか否かの判断は難しい場合が多い。また、建物の抜け上がりや、側溝の歪み、電柱の傾きなどは判読できない。



# 千葉県神崎町の液状化被害

小荒井ほか(2012)



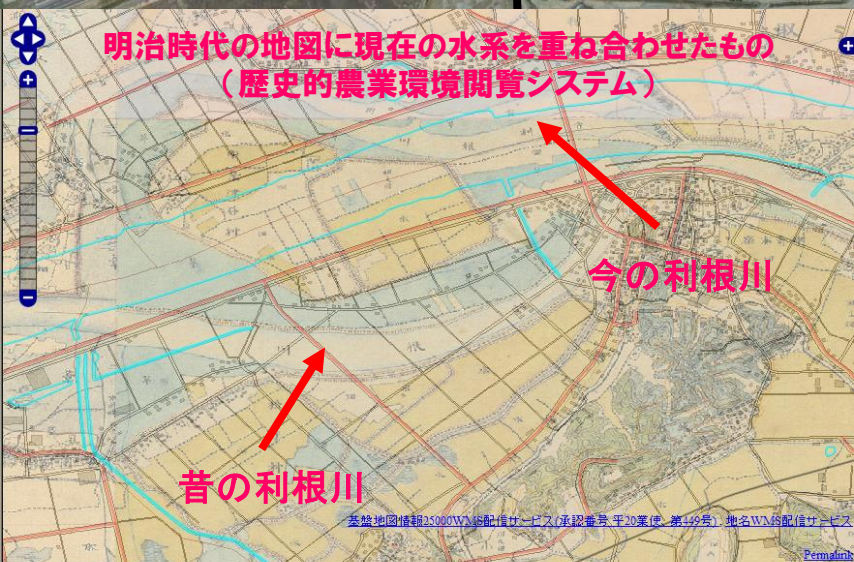
広域に噴砂痕が認められる。



トイレが50cm以上抜け上がっている。



写真



明治時代の地図に現在の水系を重ね合わせたもの  
(歴史的農業環境閲覧システム)

今の利根川

昔の利根川

千葉県地図情報25000WV/S配信サービス(承認番号:平20業保-第49号) 地名WV/S配信サービス



河床で噴砂があり、中央部が盛り上がっている。



いわき市内陸部における  
4月11日福島県浜通りの地震  
に係る災害現地調査結果

# 2011年4月11日 福島県浜通りの地震による 地表地震断層の出現 小荒井・岡谷(2011)

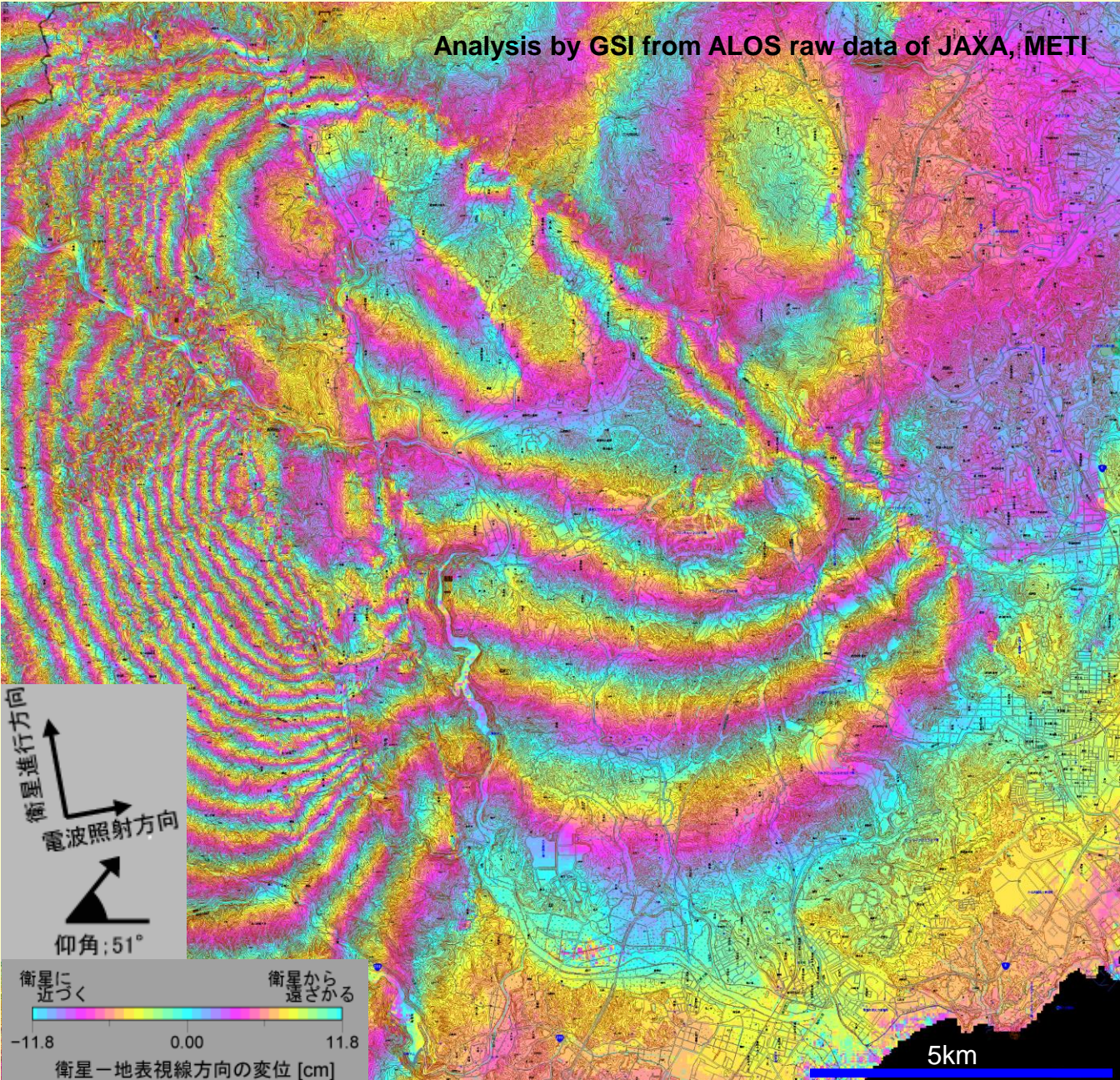
## 主な調査結果

- ・井戸沢断層西側で断層によるズレ  
(垂直方向に最大約2m)
- ・湯ノ岳断層でも断層によるズレ  
(垂直方向に約80cm)
- ・両断層の延長上で新たに断層のズレが出現
- ・建物全壊は両断層の直上で発生
- ・斜面崩壊が両断層の直上や近傍で発生  
(湯ノ岳断層と平行に斜面崩壊の多発域あり)
- ・井戸沢断層東側直上で斜面崩壊や亀裂等  
が集中



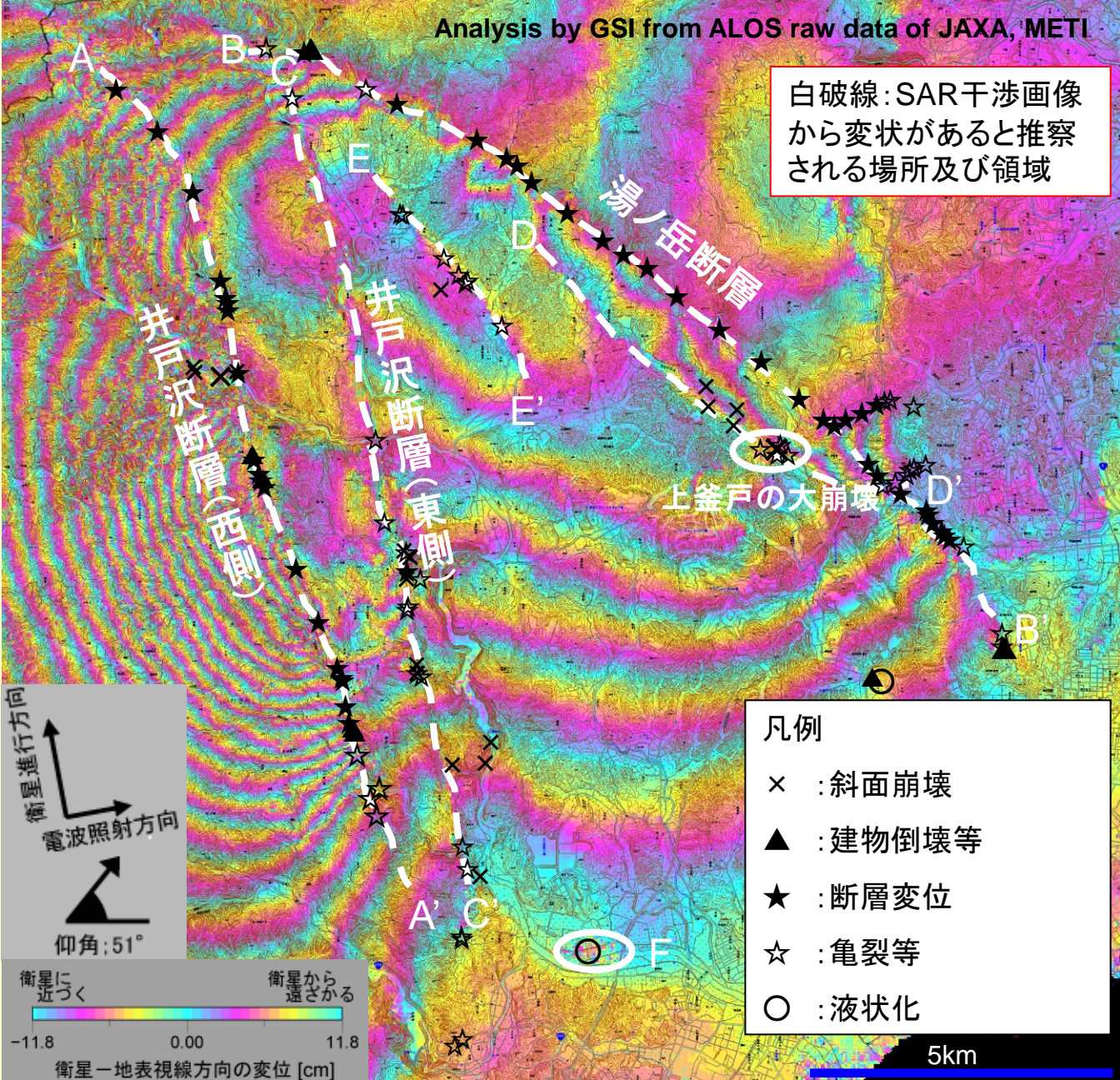


# SAR干渉画像(2011.3.3-2011.4.18)に見られる変位の不連続の分布





# SAR干渉画像(2011.3.3-2011.4.18)に見られる変位の不連続の分布





# 平成23年4月11日福島県浜通りの地震(M7.0)による地表地震断層の判読特性(福島県いわき市塩ノ平) 小荒井ほか(2011)



道路や水田に段差があることは判読できる。  
河川の河床で東側(下流側)が隆起したため淵が出現したが、その様子が判読できる。



# 平成23年4月11日福島県浜通りの地震(M7.0)による地表地震断層の判読特性(福島県いわき市御斎所街道) 小荒井ほか(2011)



道路の段差(A)、斜面崩壊、河川上流側での淵の形成、斜面中の亀裂(B)、断層直上での樹木が倒れによる森林の上方が開きなどにより、地表地震断層をトレースすることが容易である。

# まとめ(災害対応に着目して)

- ・人工衛星画像の高分解能化(50cmレベル)により、海外の災害も含めて被災状況等を早急に把握することが可能になってきた。
- ・マイクロ波リモートセンシング(合成開口レーダ; SAR)により、雨天下や夜間でも災害状況を把握することが可能になり、洪水、津波や土砂災害による湛水域の抽出、地震時の壊滅的被害域の抽出、火山噴火時の火口内の観測や地形変化の計測などが可能になってきている。
- ・衛星SAR(合成開口レーダ)干渉技術により、2時期間の地殻変動や地盤沈下、活断層による地表変位などを抽出することが可能である。



# 次世代災害監視衛星の満たすべき要件

- 高分解能衛星画像の高頻度でのステレオ撮影の実施  
1m解像度(1mパンクロ、4mマルチカラー)の立体視センサ  
同一軌道内でのステレオ撮影が可能(直下視と後方視など)  
ポインティング機能を有する  
50km四方程度の観測幅

ALOS-3(光学)の早期打ち上げに期待

→広域を定期的に観測できる体制が必要

(商用的には、特定の範囲を、高分解能で、高頻度で  
というニーズであろうが、災害や基盤情報整備には、  
全域、広域、定期的観測が重要)

- 光学画像のほか、レーダ画像の活用  
(散乱強度の変化による建物倒壊域の抽出など)  
→ALOS-2の実用展開に期待