



2015年ネパール地震と干渉SAR

国土地理院

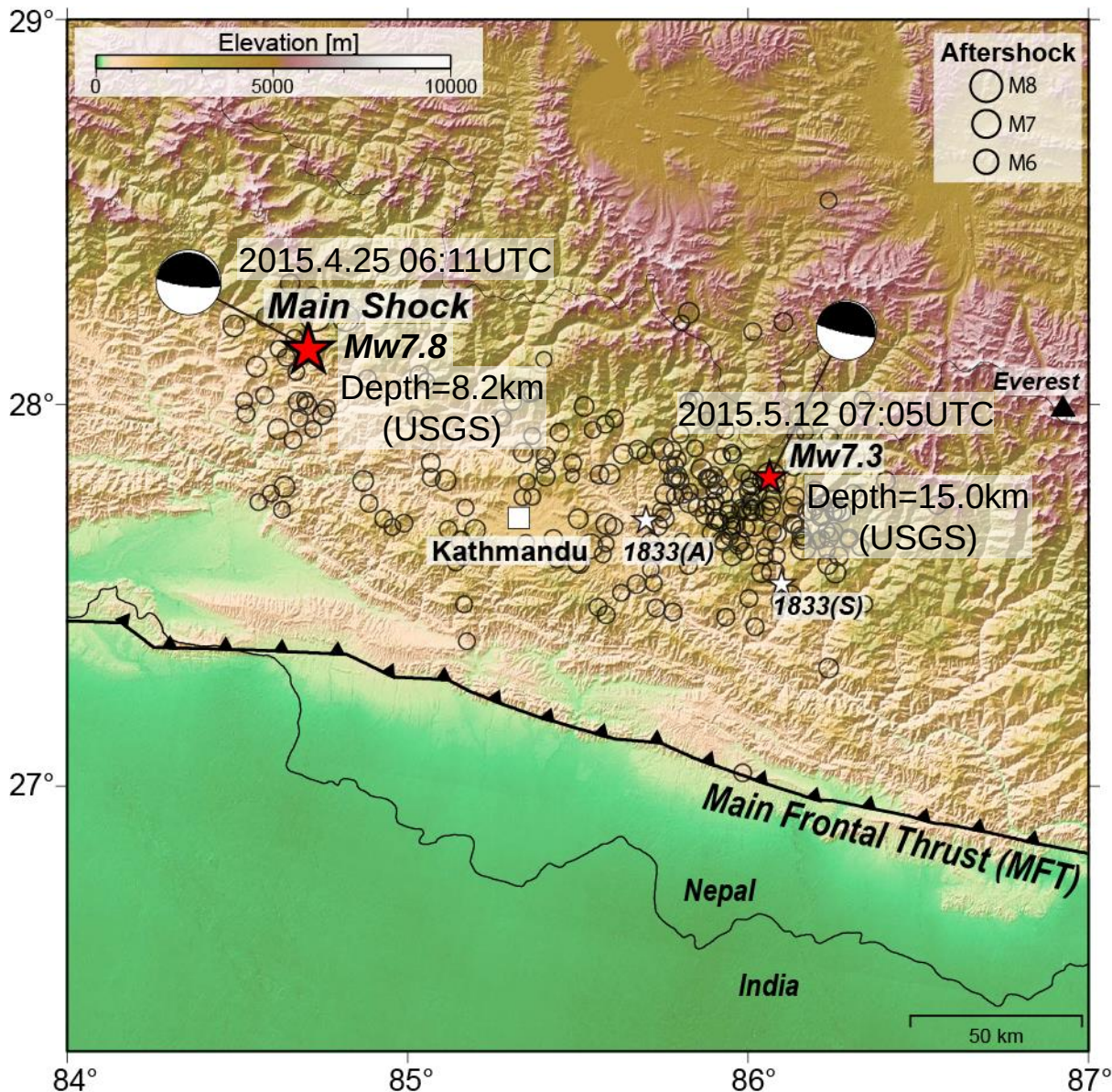
#森下遊、小林知勝、矢来博司

謝辞: 本研究で用いたALOS-2データは、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ(地震WG)を通じて、(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)から提供を受けました。原初データの所有権はJAXAにあります。

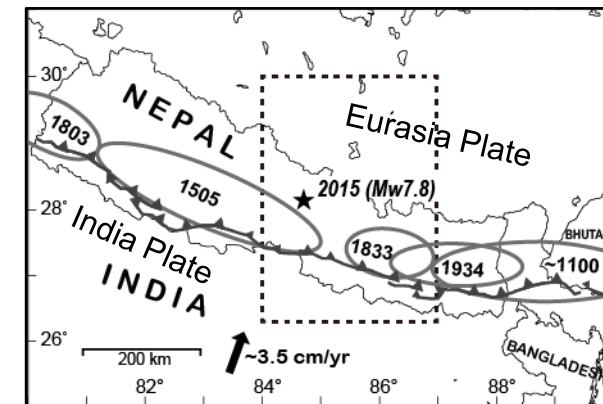
京都大学防災研究所一般研究集会(課題番号:27K-08)「新世代SARがもたらす災害・環境モニタリングの進展」

@京都大学宇治キャンパス(おうばくプラザ セミナー室4.5)

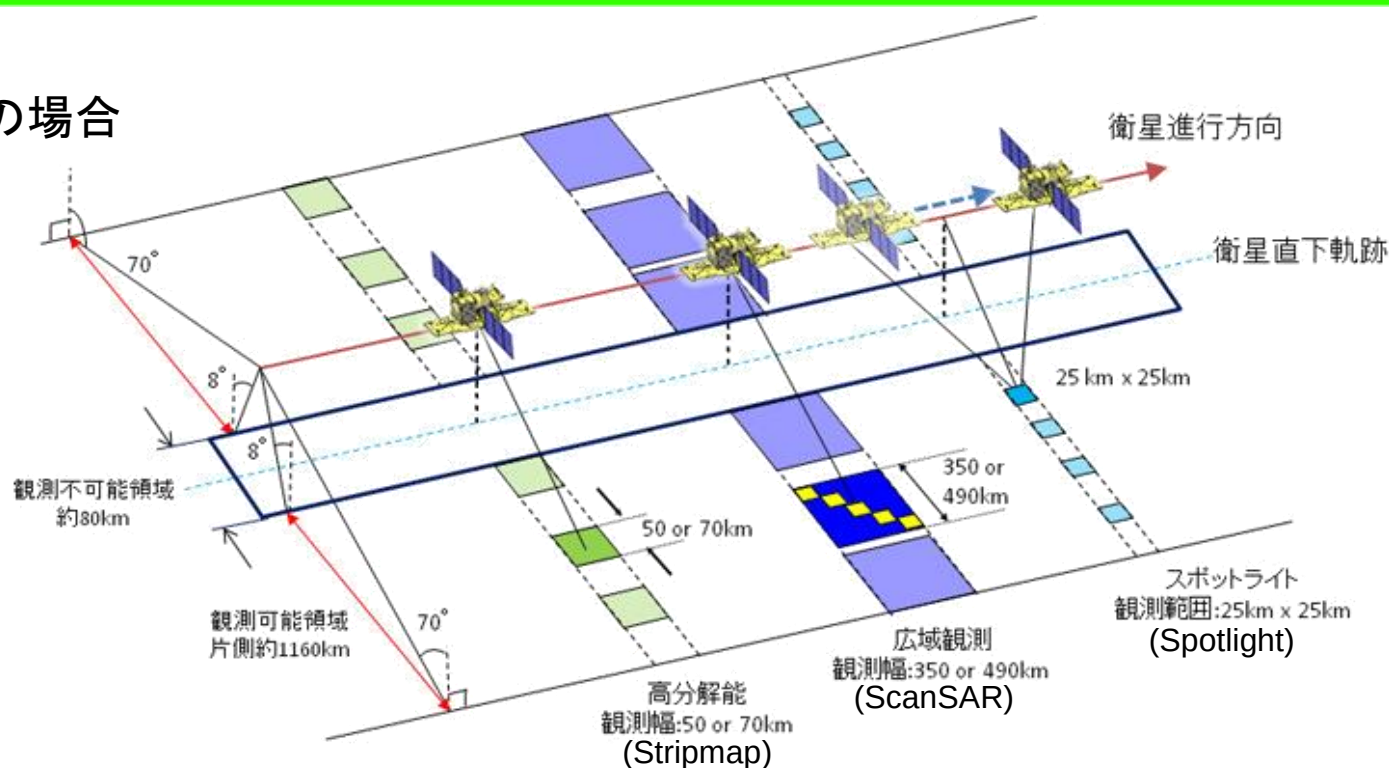
2015年12月2日 14:00-14:20 A-7



死者: 約8900人
負傷者: 2万人以上

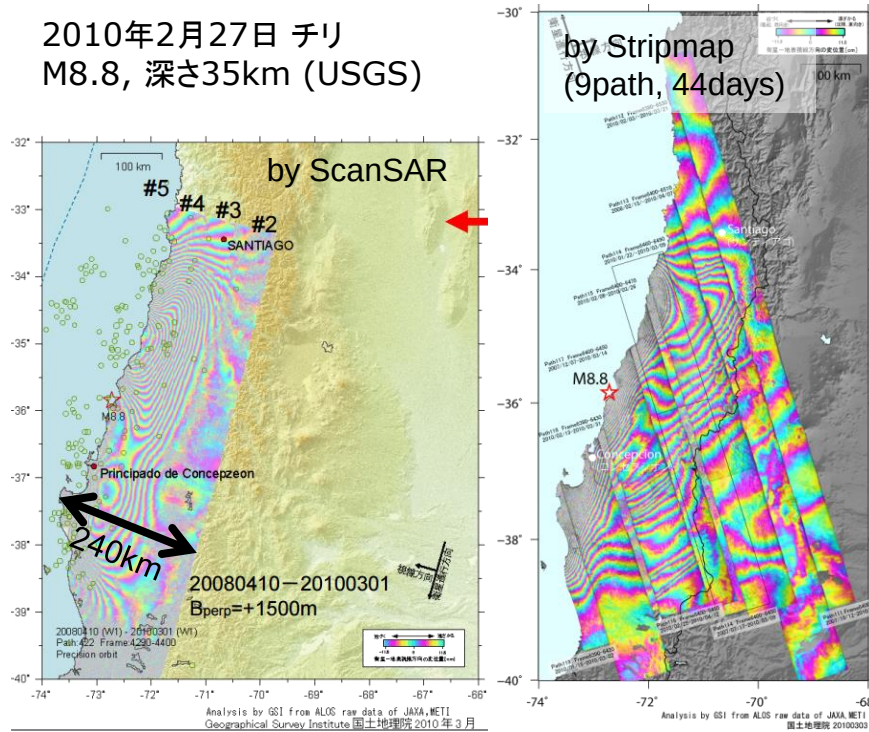


ALOS-2の場合

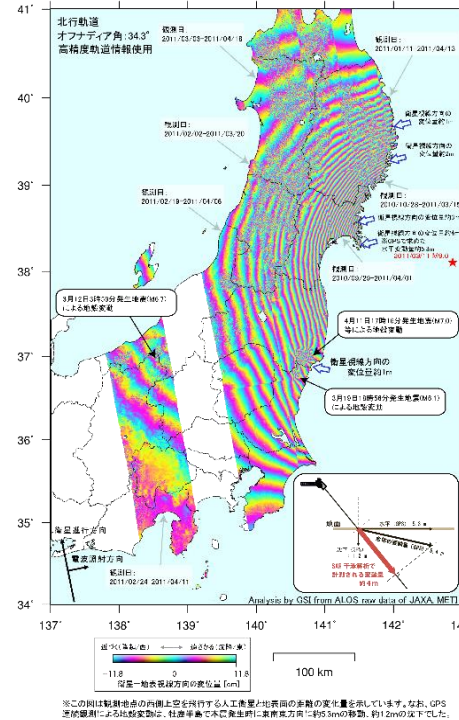


観測モード	スポットライト	高分解能					広域観測	
		3m	6m		10m		Normal	Wide
帯域幅 (MHz)	84	84	42		28		14 28	14
分解能 (m)	3×1 (Rg×Az)	3	6		10		100 (3 looks)	60
入射角 (deg.)	8 - 70	8 - 70	8 - 70	20 - 40	8 - 70	23.7	8 - 70	8 - 70
観測幅 (km)	25×25 (Rg×Az)	50	50	40	70	30	350 (5 scans)	490 (7 scans)
偏波*	SP	SP/DP	SP/DP/CP	FP	SP/DP/CP	FP	SP/DP	SP/DP

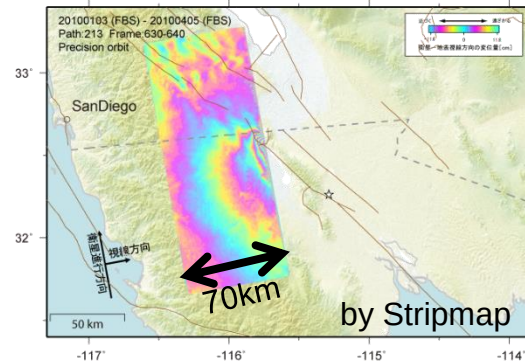
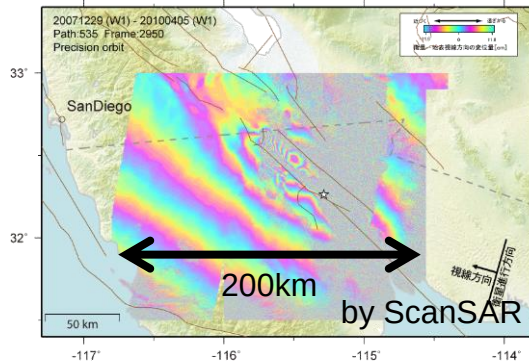
2010年2月27日 チリ
M8.8, 深さ35km (USGS)



合成開口レーダー(SAR)と電子基準点(GPS連続観測点)の融合解析による地殻変動

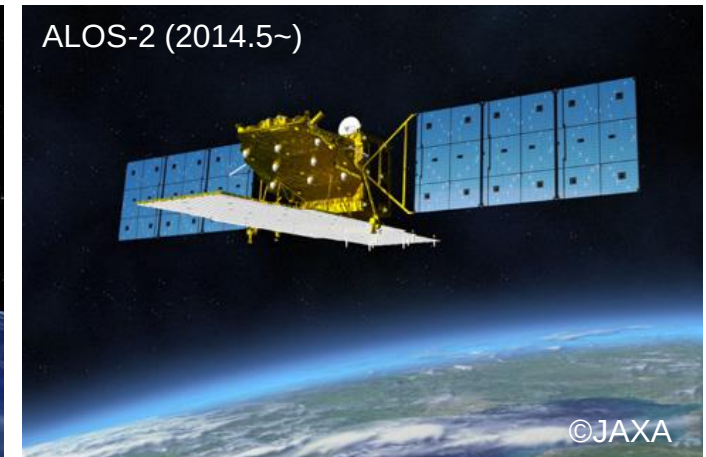
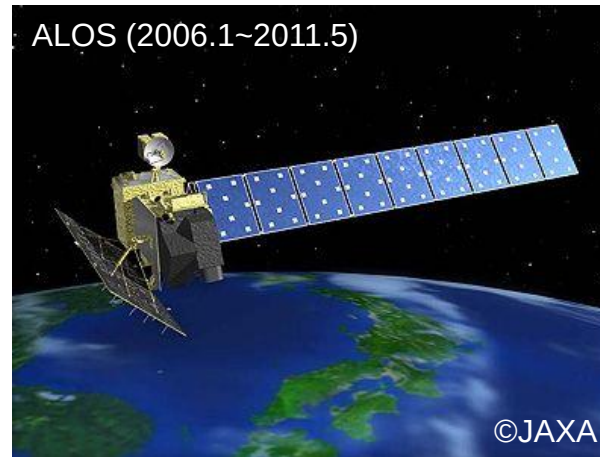


2011年3月11日
東北地方太平洋沖地震
M9.0, 深さ30km (USGS)
Only by Stripmap
(7path, 38days)



ScanSARは
◎大地震に効果的
×常に干渉解析可能ではなかった

2010年4月4日
メキシコ バハ・カリフォルニア州
M7.2, 深さ10km (USGS)



垂直基線長^{*1}

ばらつきが大きい
(最大**10km超**)

常に**500m**以内

バーストオーバーラップ率^{*2} **低い(0%)**ことが多い

常に**90%以上**
(2015.2.8~)

回帰日数

46日

14日

ALOS-2は

○観測条件が干渉SARに最適化

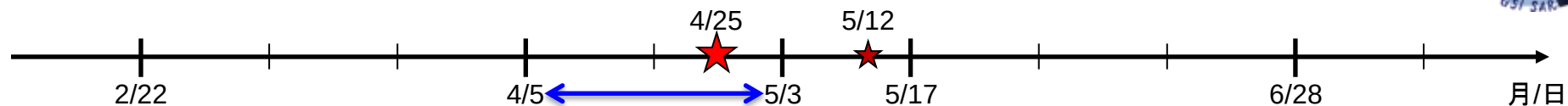
○ScanSAR干渉が常に可能に！！

→**ALOS-2初のScanSAR干渉成果**

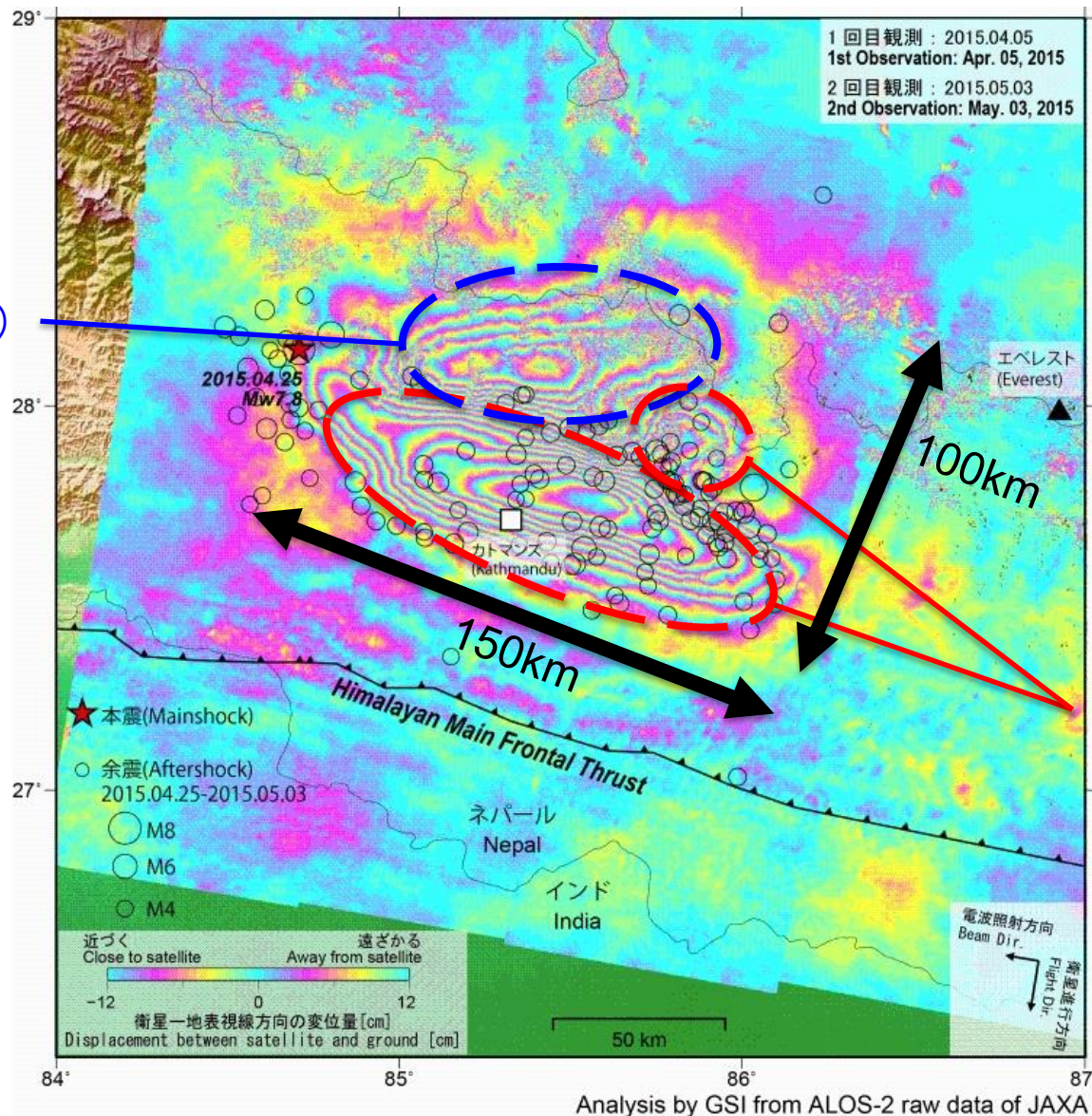
^{*1} 2回観測間の衛星の位置のずれの電波照射方向に対する垂直成分。
短いほど干渉SARには適している。ALOSでは約3kmが許容範囲。

^{*2} ScanSARにおけるビーム照射タイミングの重複率。
高いほどScanSARの干渉SARに適している。最低20%以上。

干渉画像(南行、本震のみ)



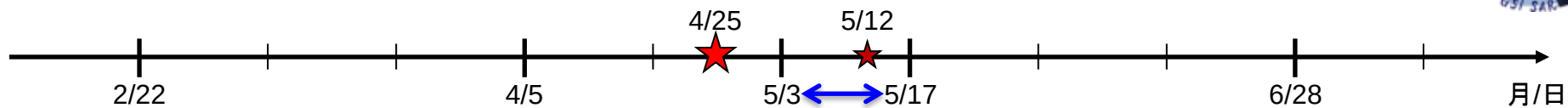
LOS伸長
(沈降/西向き)
最大約70cm



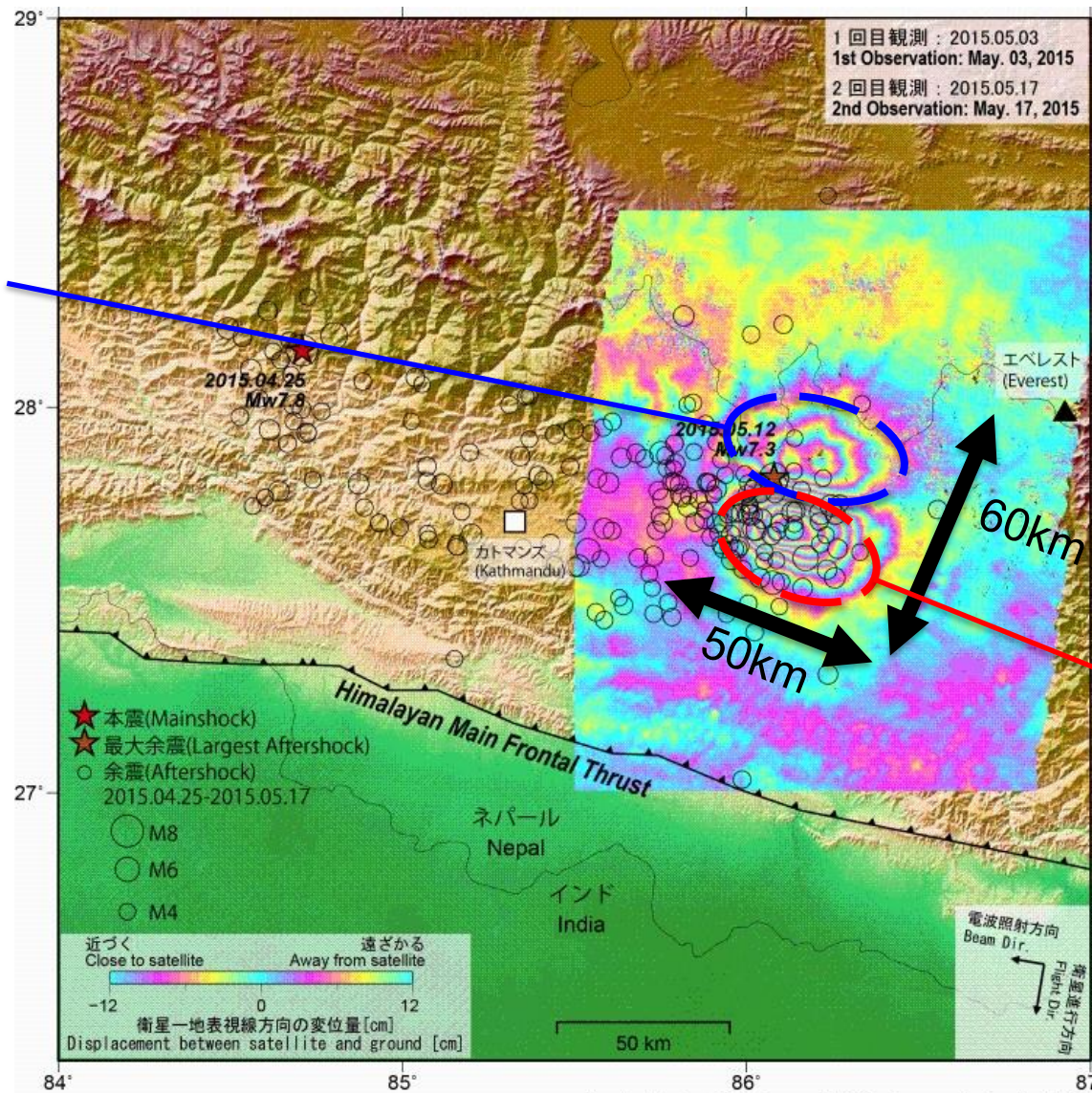
干渉性が
非常に高い

LOS短縮
(隆起/東向き)
最大約115cm

干渉画像(南行、最大余震のみ)

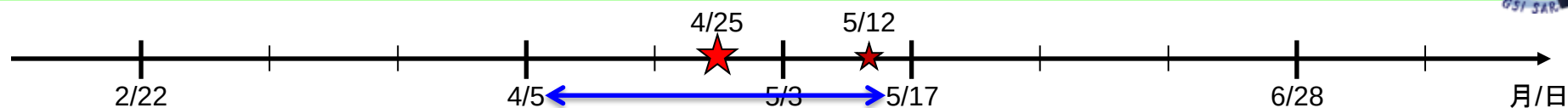


LOS伸長
(沈降/西向き)
最大約35cm

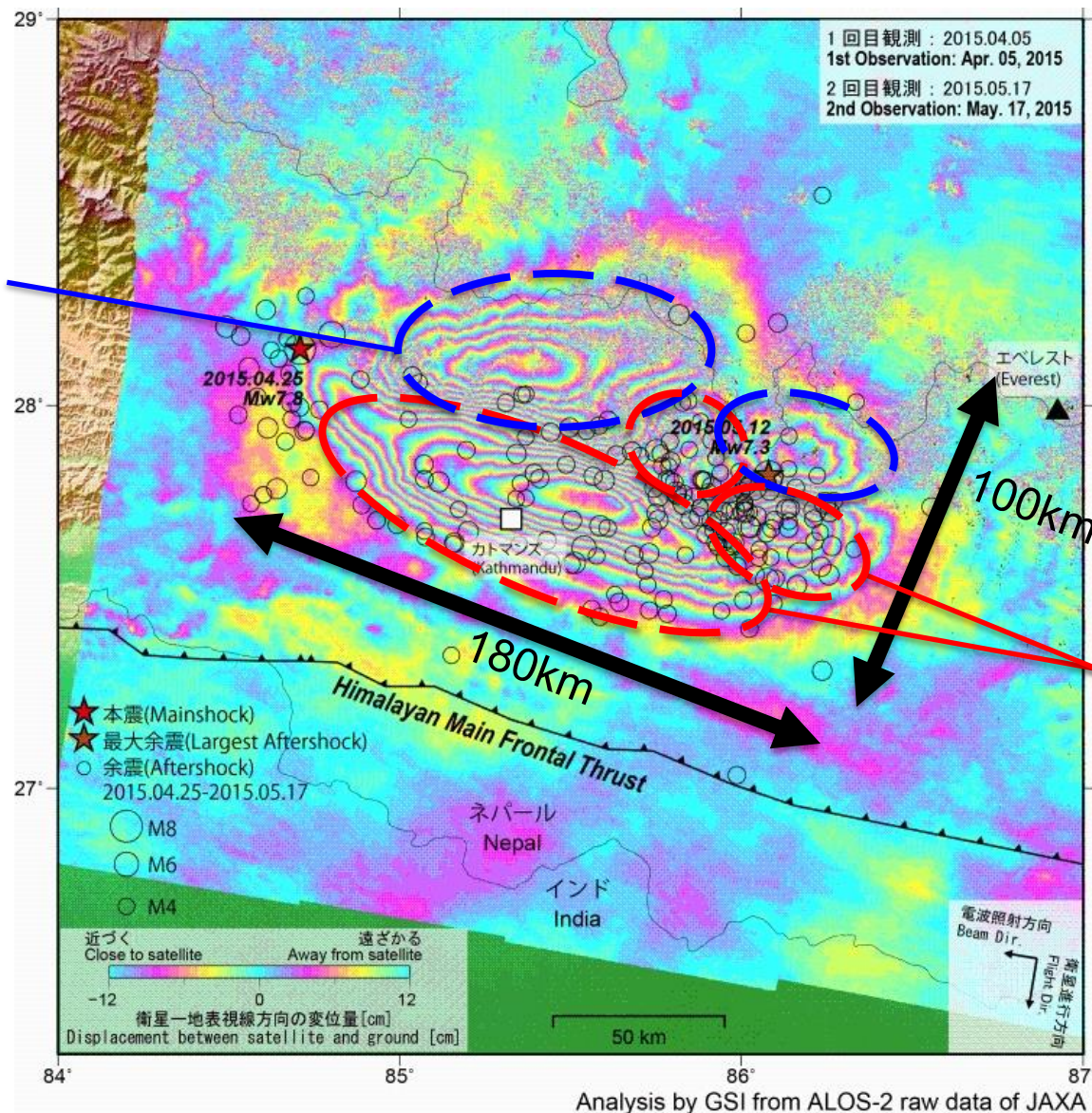


LOS短縮
(隆起/東向き)
最大約75cm

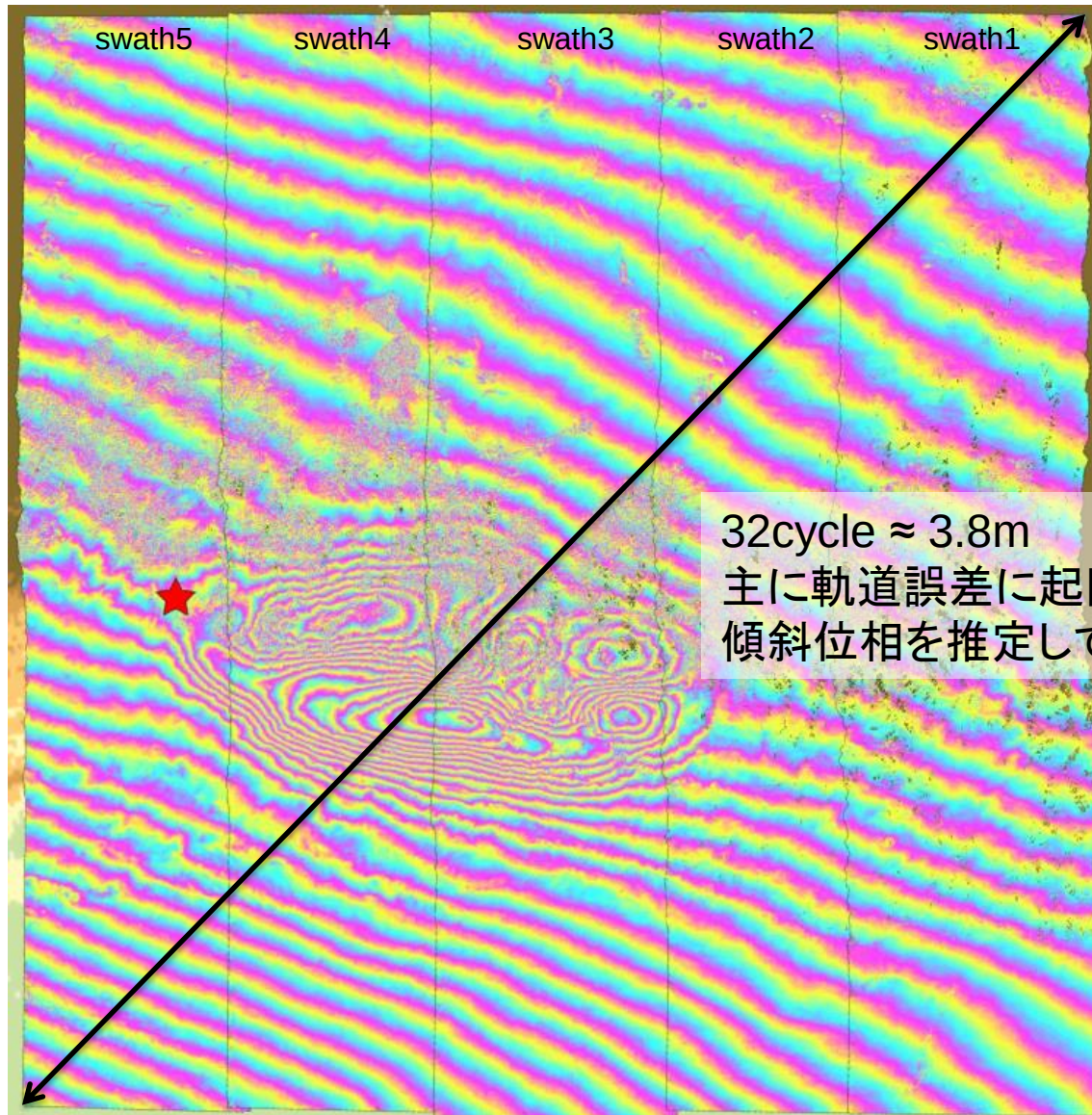
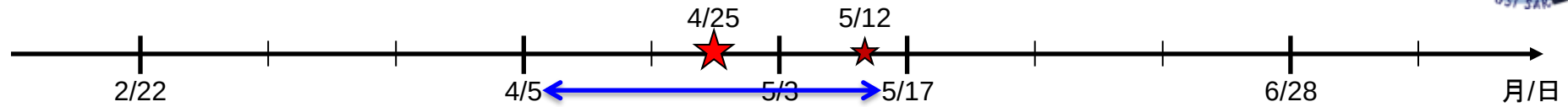
干渉画像(南行、本震+最大余震)



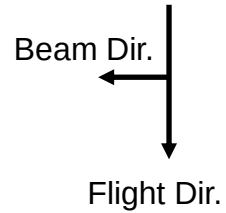
LOS伸長
(沈降/西向き)
最大約70cm



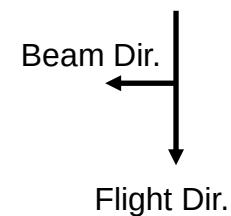
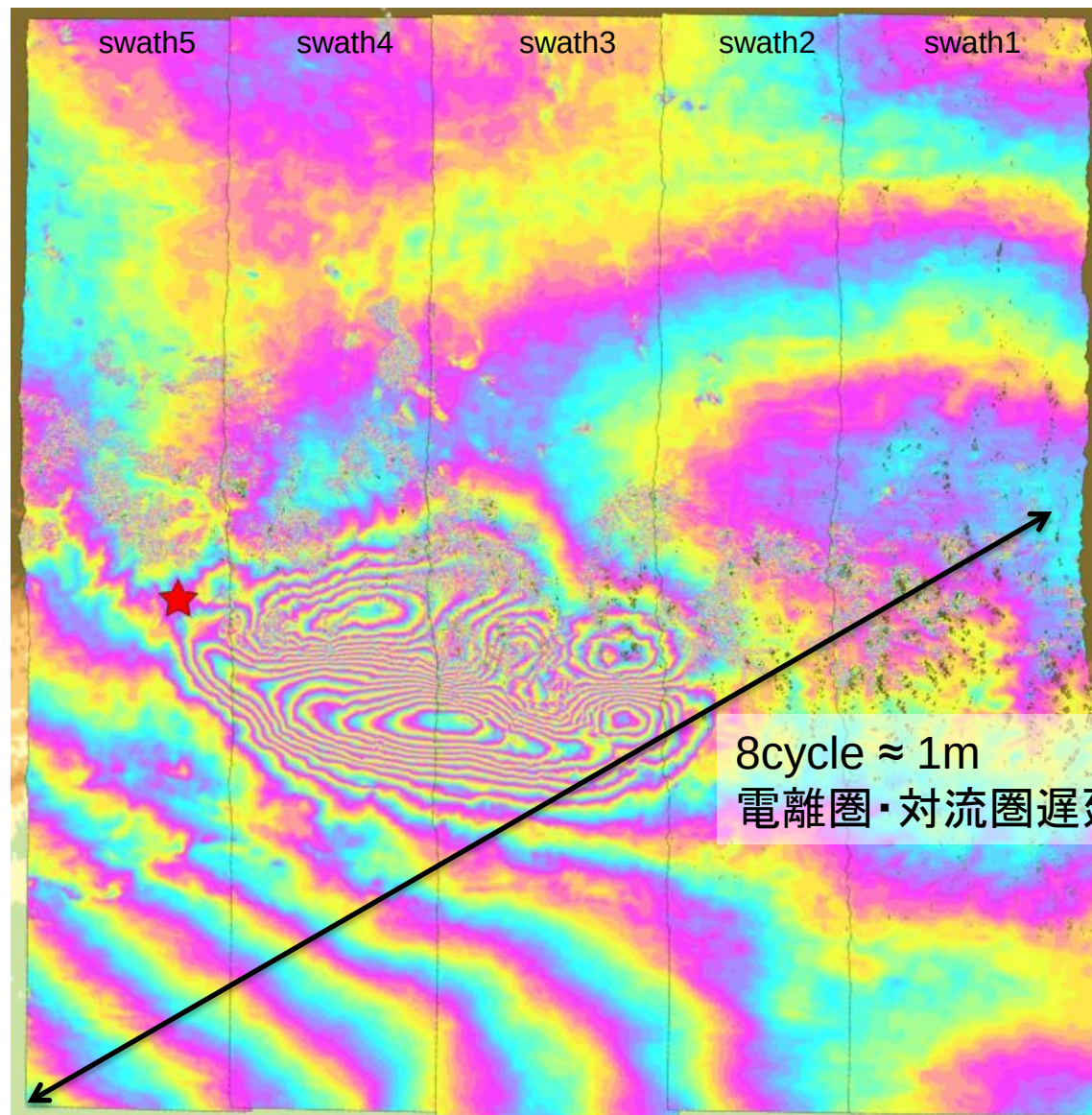
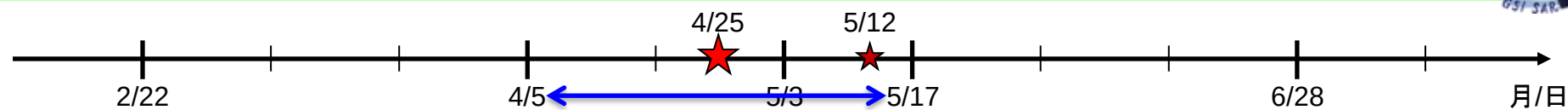
LOS短縮
(隆起/東向き)
最大約110cm



32cycle $\approx$ 3.8m
主に軌道誤差に起因する誤差
傾斜位相を推定して補正

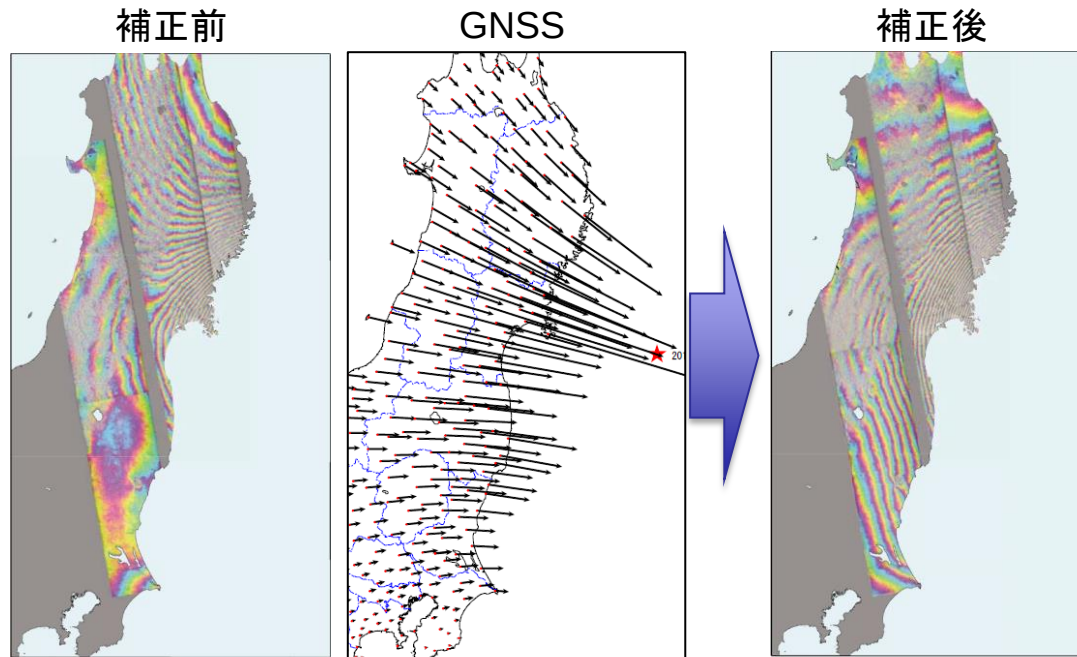


50km



8cycle $\approx$ 1m
電離圏・対流圏遅延による誤差？

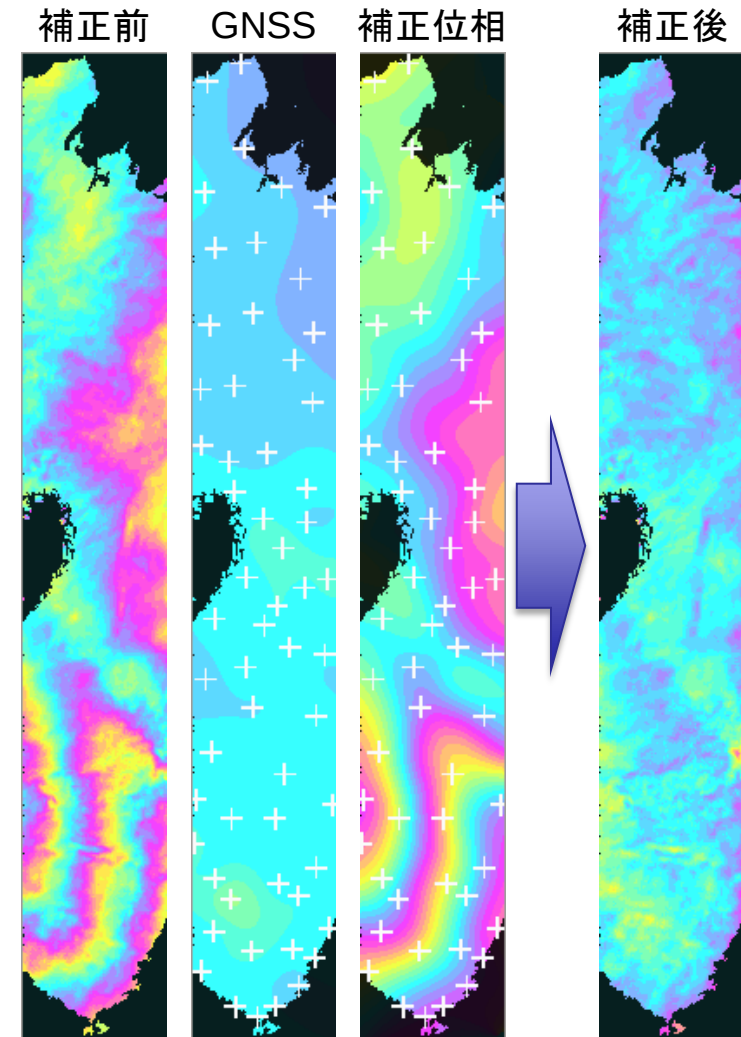
50km 10



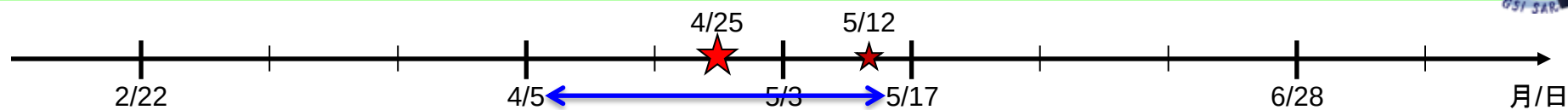
Kobayashi et al. (2011)

GNSS変位量に合うように補正
(バイリニア曲面)

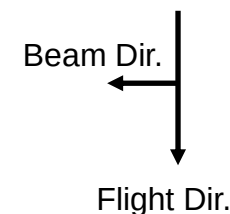
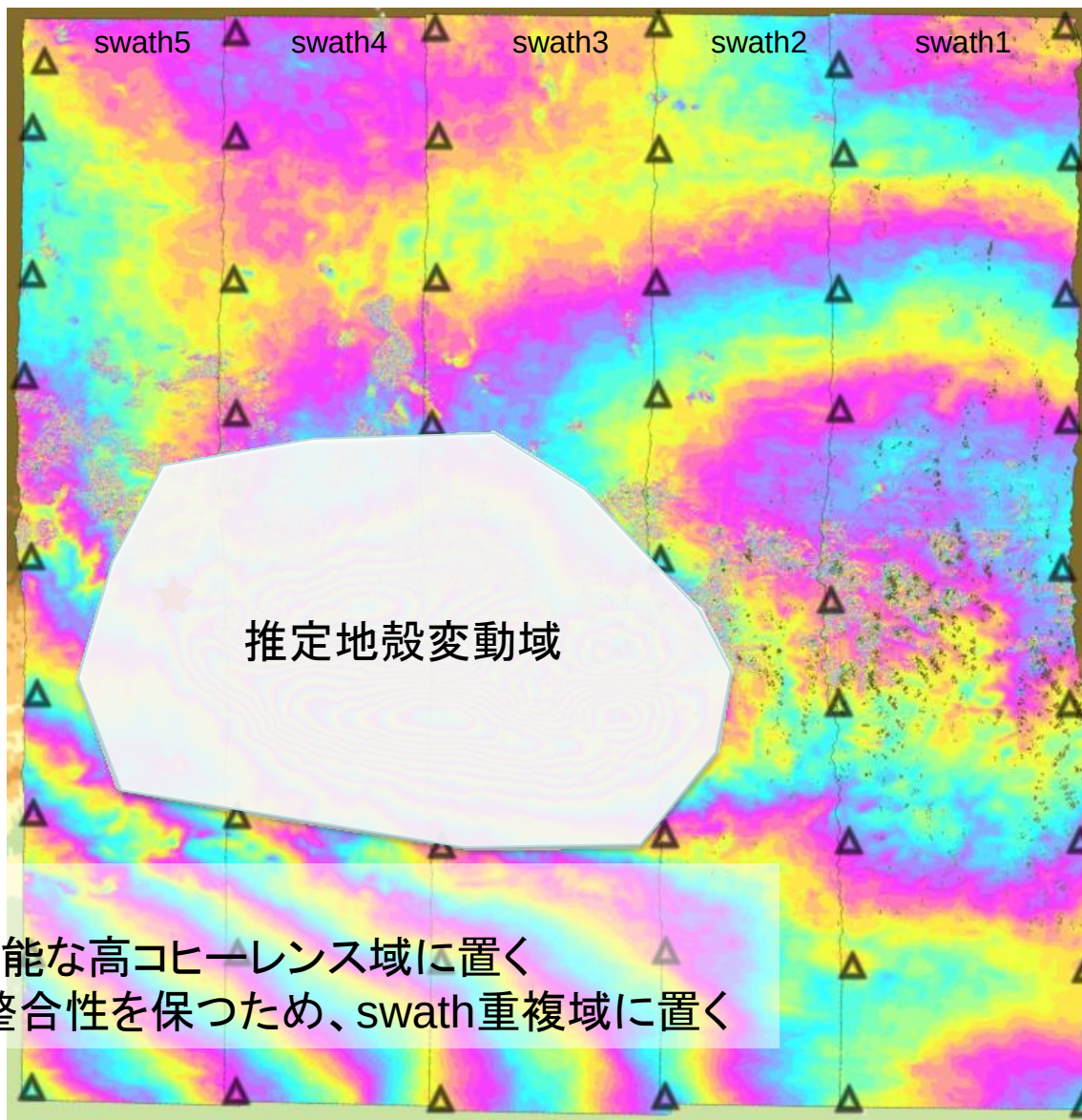
高密度な独立した変位量の
情報が必要...



GNSS変位量に合うように補正
(スプライン補間)

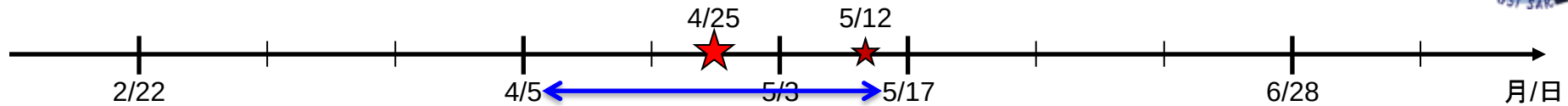


外側に
仮想基準点
(変動無し)
を配置



配置のコツ

- アンラップ可能な高コヒーレンス域に置く
- swath間の整合性を保つため、swath重複域に置く



外側に
仮想基準点
(変動無し)
を配置

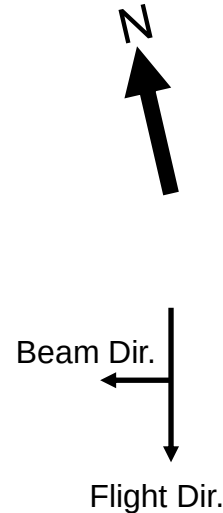
↓
内挿補間
(スプライン)

↓
補正位相

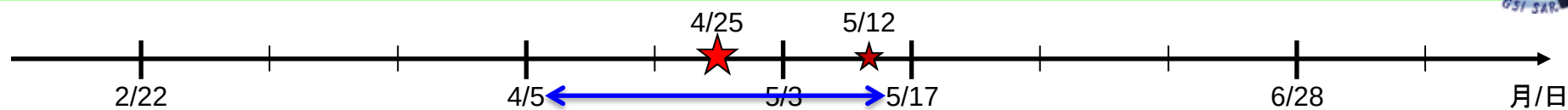
InSAR変動量@仮想基準点 ≈ 誤差

配置のコツ

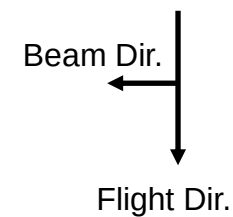
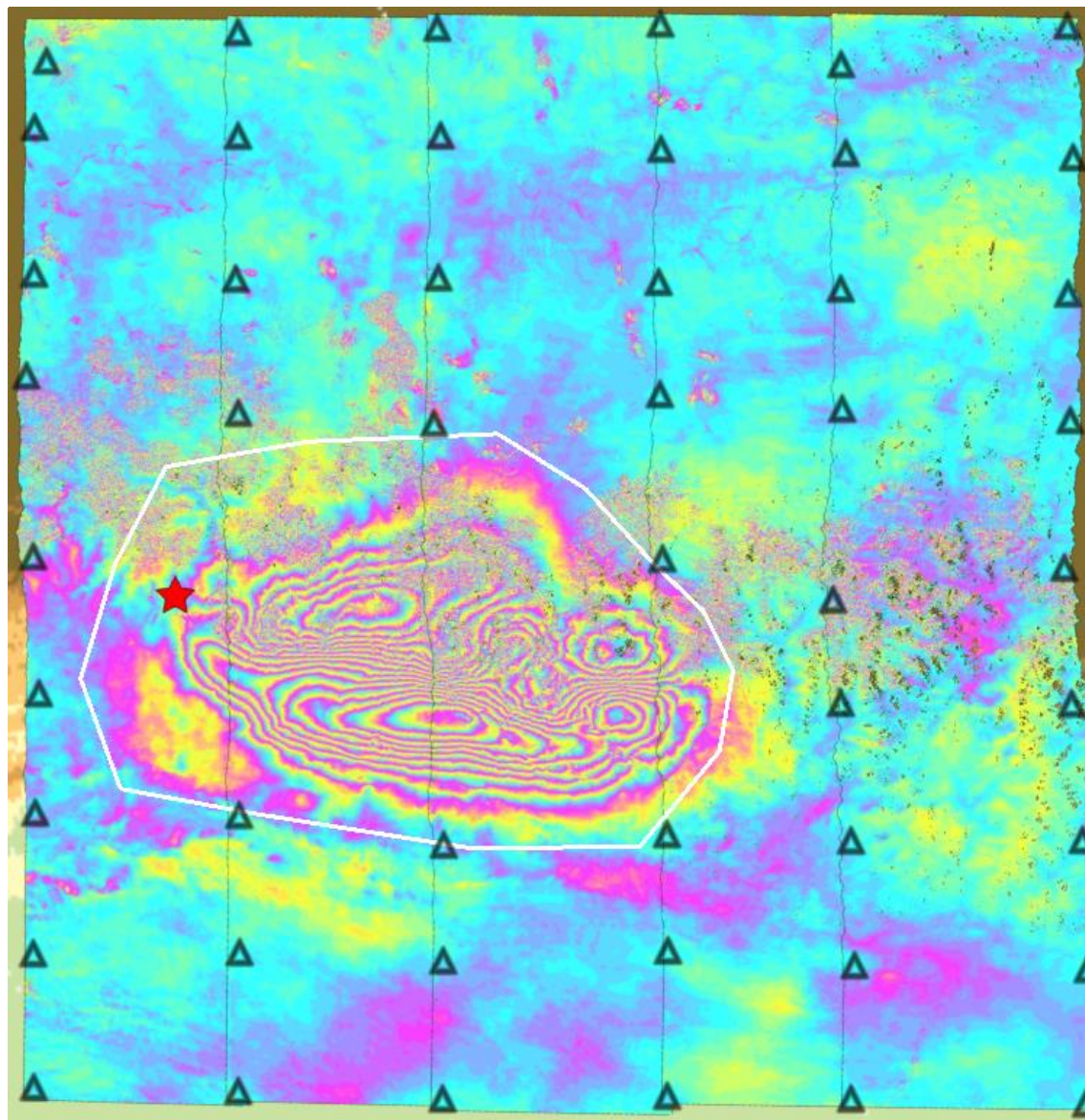
- アンラップ可能な高コヒーレンス域に置く
- swath間の整合性を保つため、swath重複域に置く



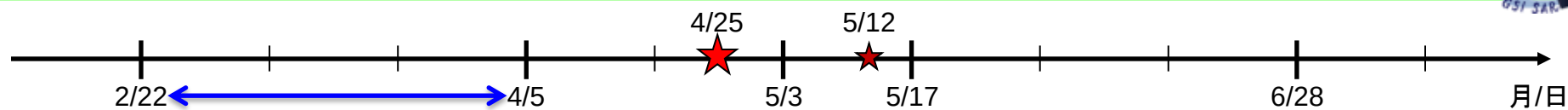
50km



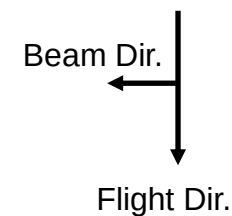
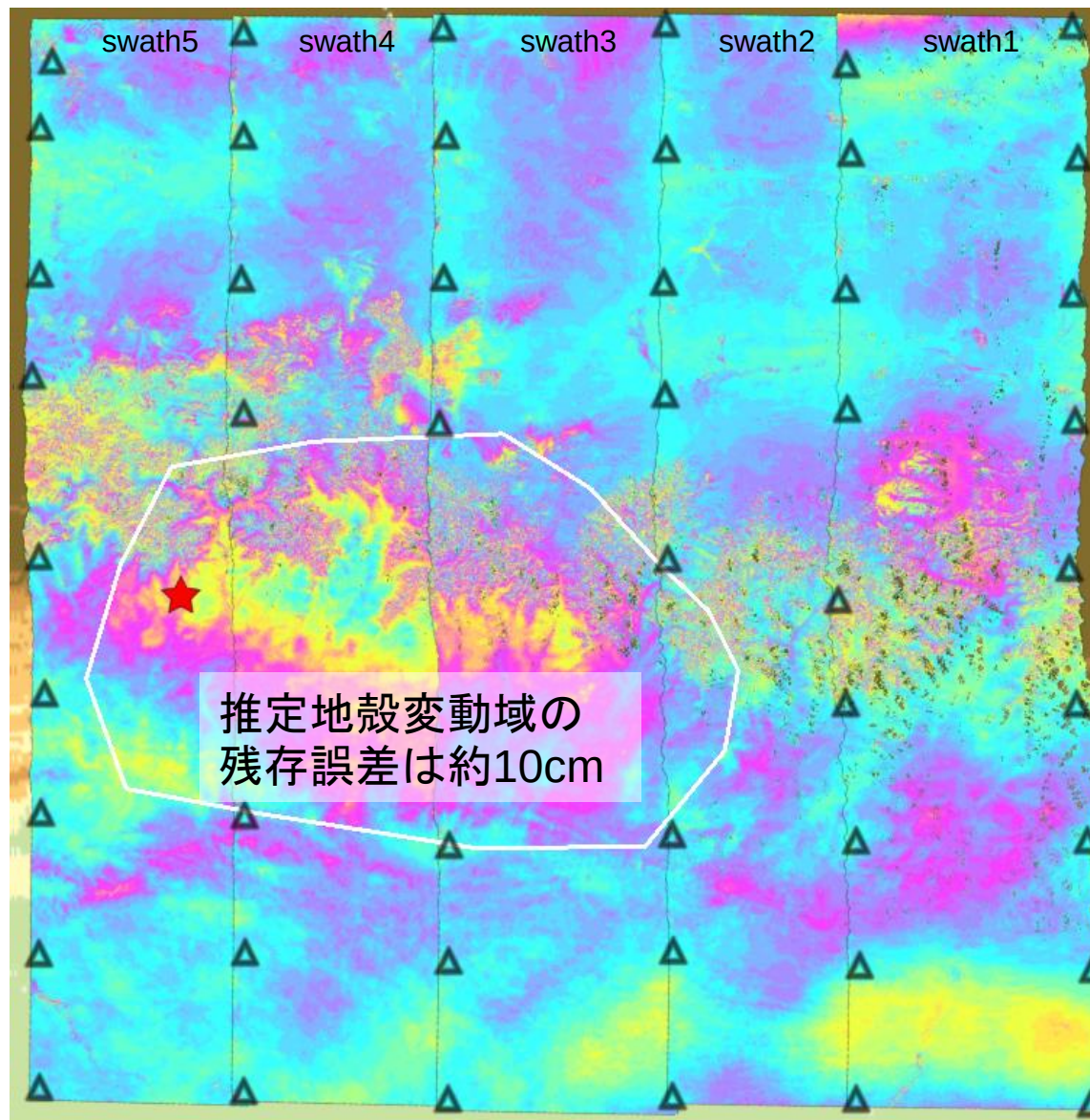
補正後



50km 14

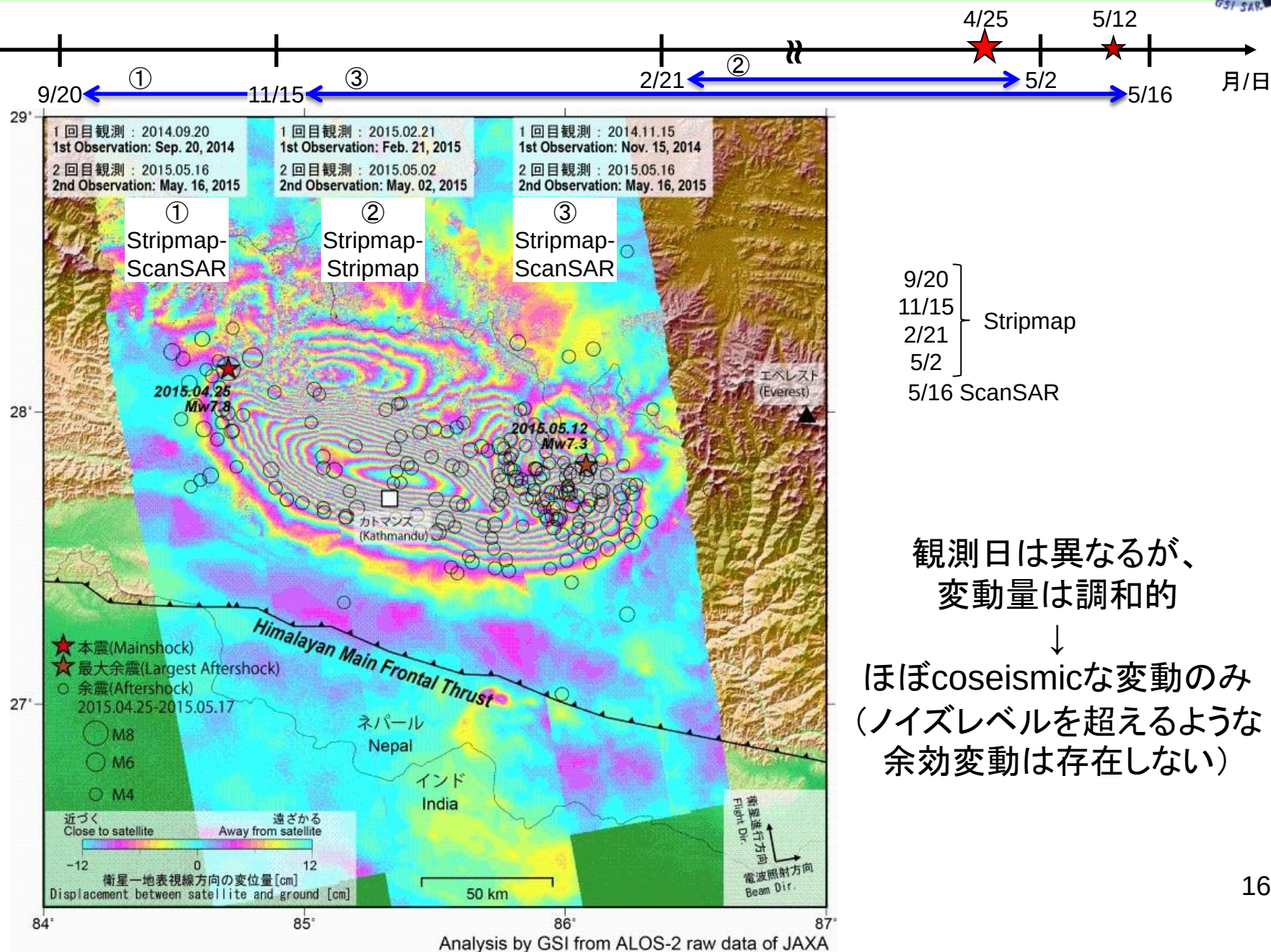


補正後



50km 15

干渉画像(北行、本震+最大余震)

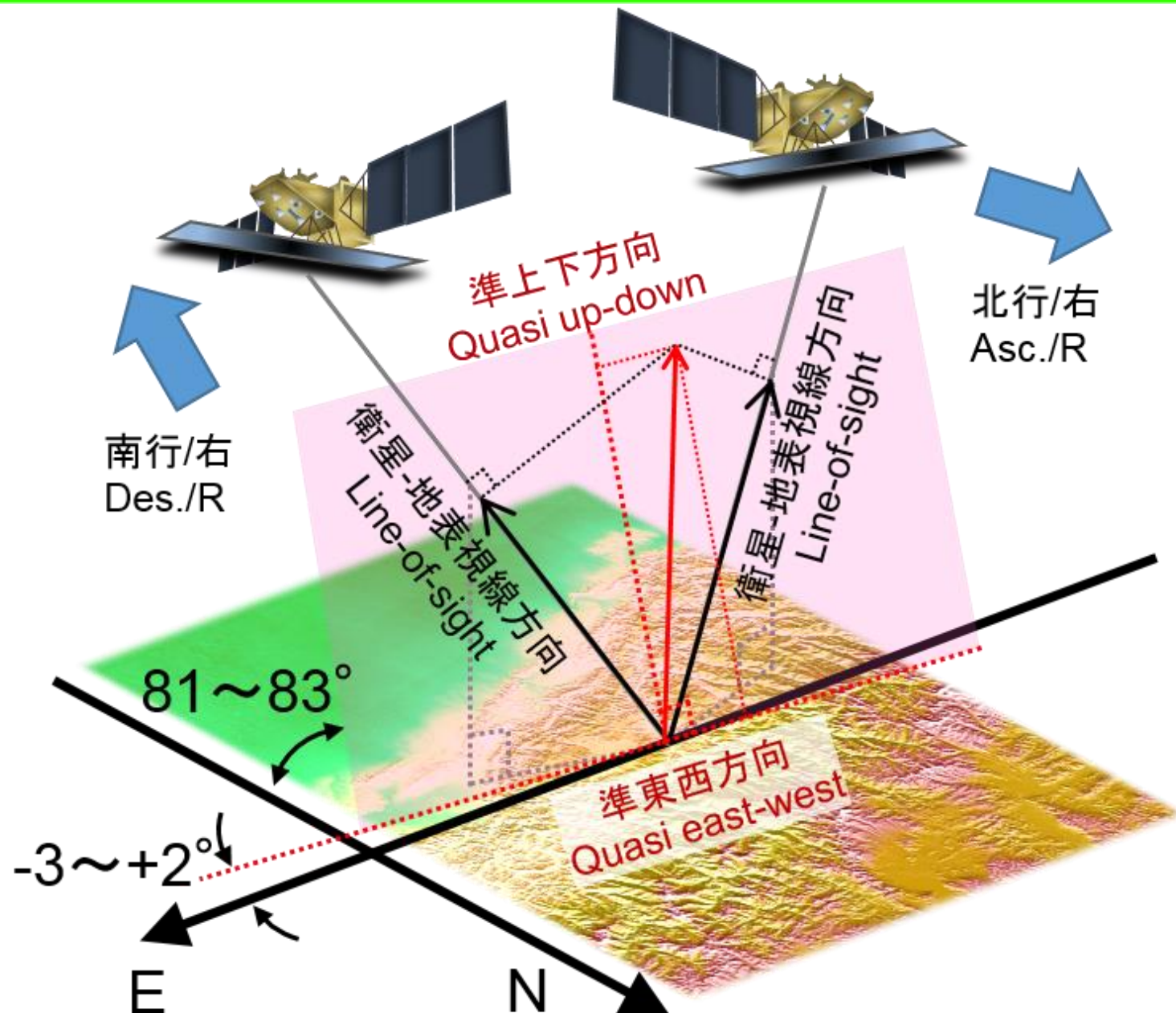


9/20
11/15
2/21
5/2
5/16 ScanSAR

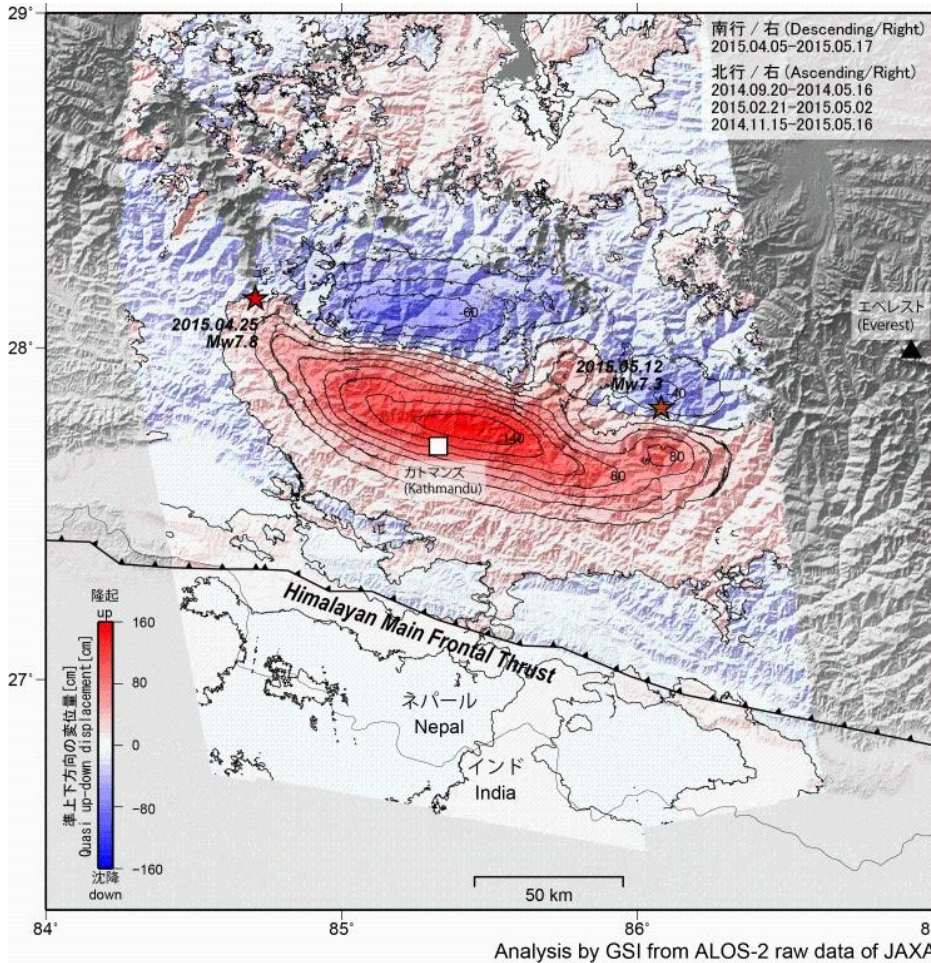
Stripmap

観測日は異なるが、
変動量は調和的

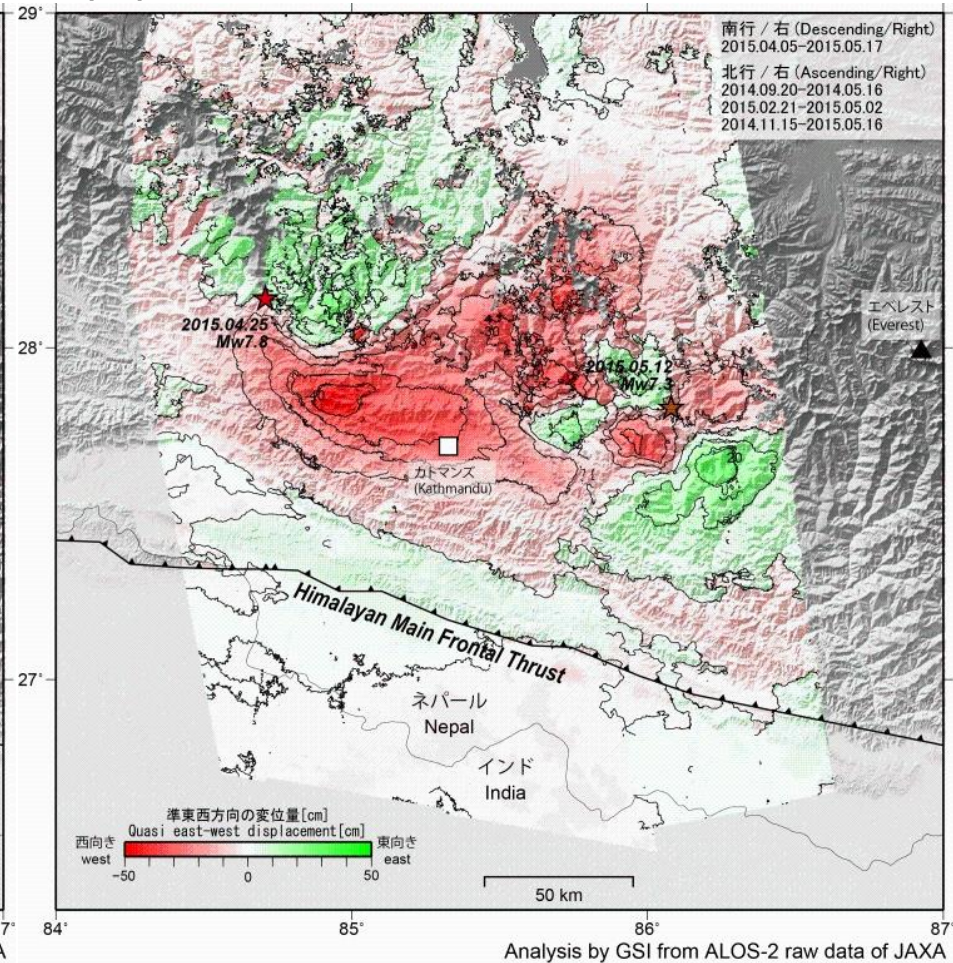
↓
ほぼcoseismicな変動のみ
(ノイズレベルを超えるような
余効変動は存在しない)



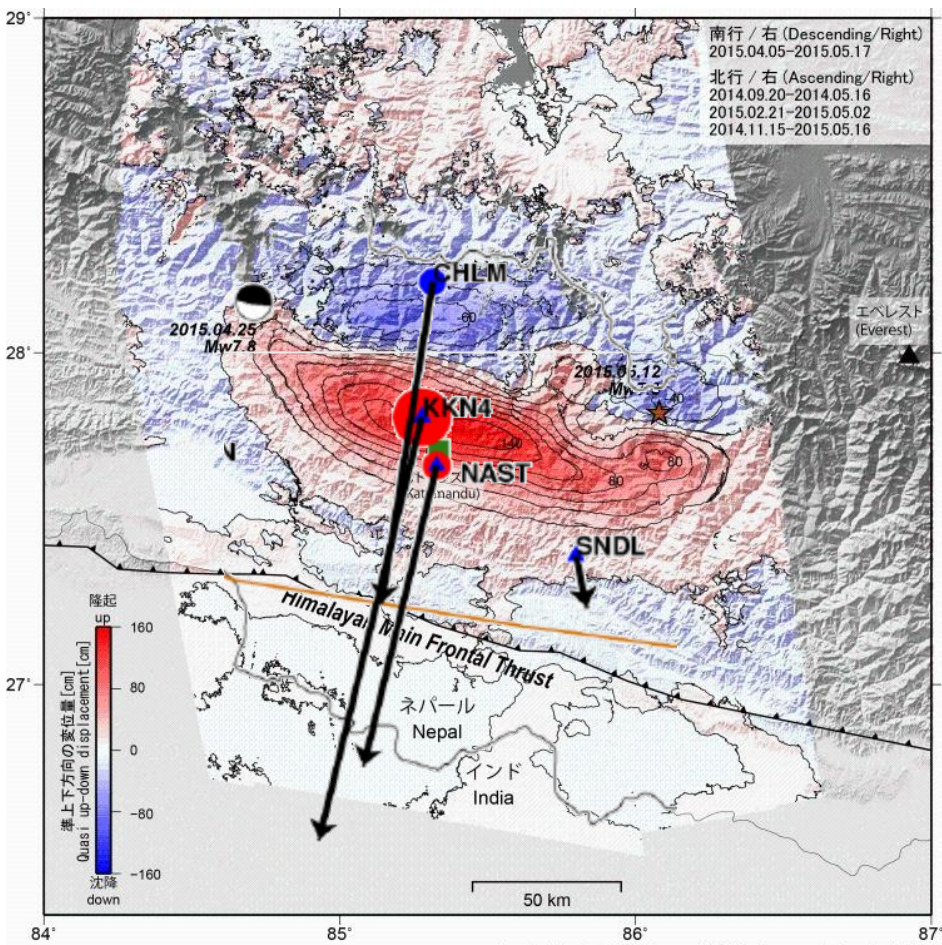
準上下方向



準東西方向



- 最大1.4m以上の隆起、0.6m以上の沈降
- 約1mの隆起、約30cmの西向き@カトマンズ



← 50 cm horiz.
← 1 cm horiz.
● 100 cm up
● 100 cm down



		(cm)			
点名		CHLM	KKN4	NAST	SNDL
準上下	SAR	-39.0	138.0	70.5	2.7
	GPS	-38.0	151.0	78.6	5.7
	差分	-1.0	-13.0	-8.1	-2.9
準東西	SAR	-6.7	-32.5	-21.7	0.7
	GPS	-19.5	-40.8	-29.1	4.8
	差分	12.9	8.3	7.4	-4.1
南行 LOS	SAR	-33.9	82.1	39.0	2.7
	GPS	-41.3	83.4	37.9	7.5
	差分	7.4	-1.3	1.1	-4.8
北行 LOS	SAR	-29.0	138.7	74.1	1.8
	GPS	-19.6	147.4	81.2	1.6
	差分	-9.4	-8.7	-7.1	0.3

RMS
7.8

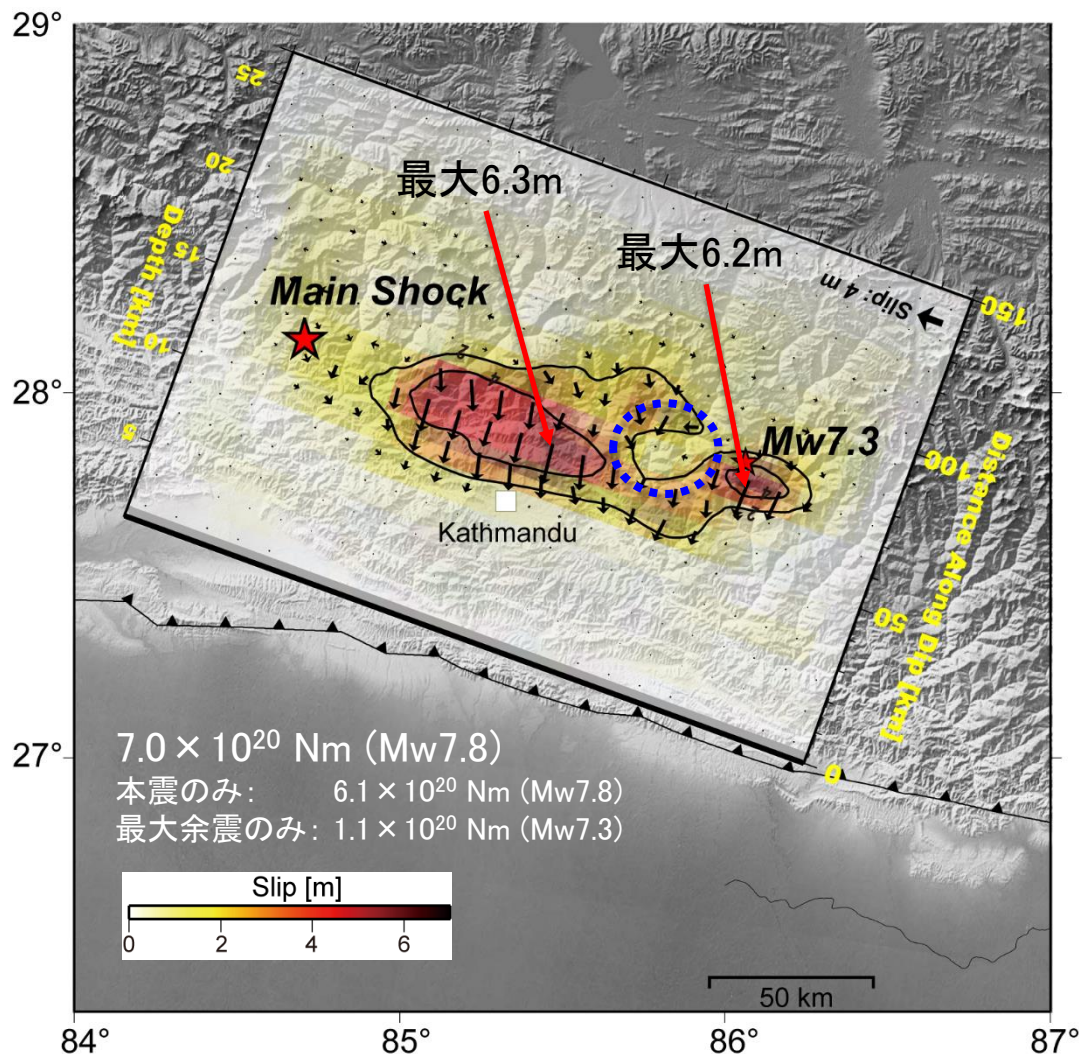
8.7

4.5

7.3

東西	-22.2	-44.5	-31.6	4.7
南北	-139.0	-183.0	-130.0	-22.3
上下	-59.0	126.0	60.6	2.5

本震＋最大余震



- 破壊は震源から東方向に進展か
- ほぼ純粋な逆断層滑り
- 深部はやや右横ずれ

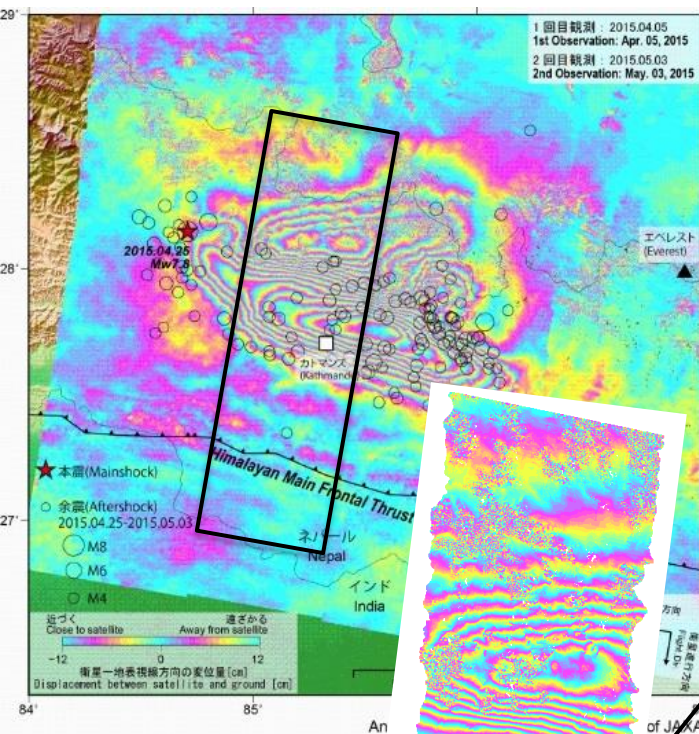
【浅部】

- 浅部に滑りは見られない
- 地震間では浅部の固着はほぼ100% (GPS等より)
- 過去(1934年 $M_w 8.1$ 等)には地表まで破壊が到達した地震も存在する
- 浅部で破壊が起こるポテンシャルが残されている

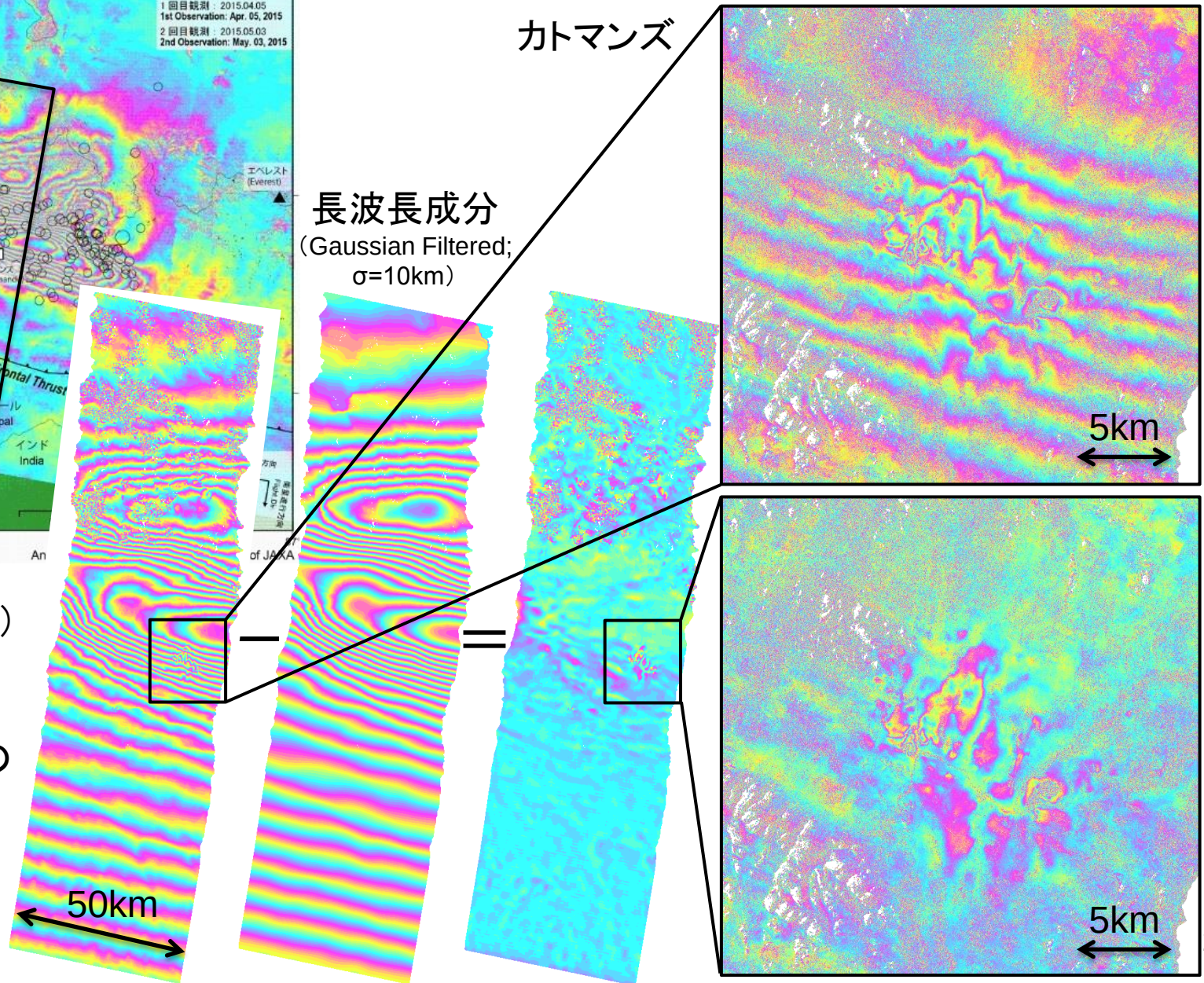
【滑り欠損】

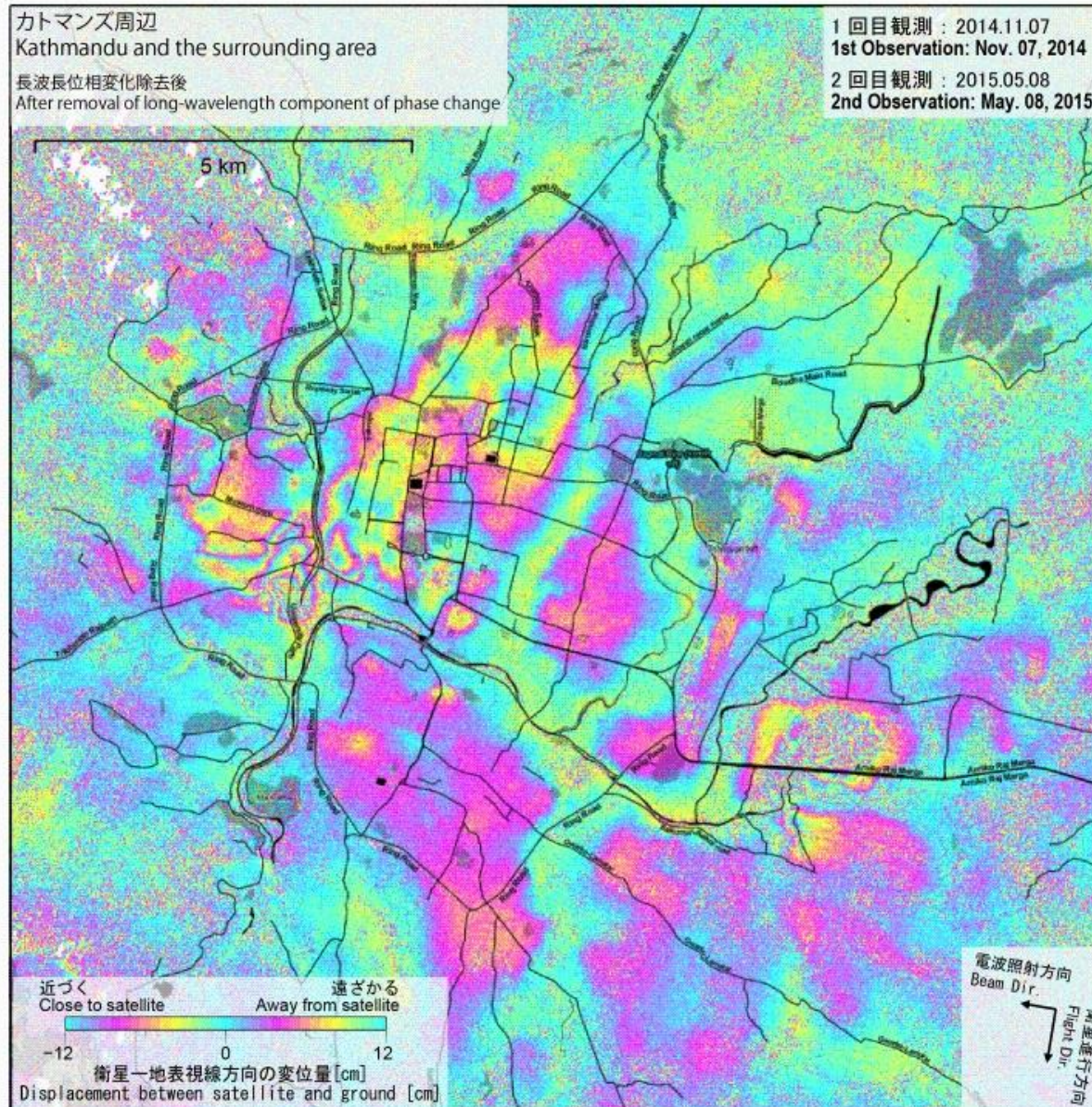
- 最大余震の西に滑りが極端に小さい領域が存在
- $M_w 7$ 程度の滑りを解放する可能性 (周囲と同様に4m程度の滑りを仮定)

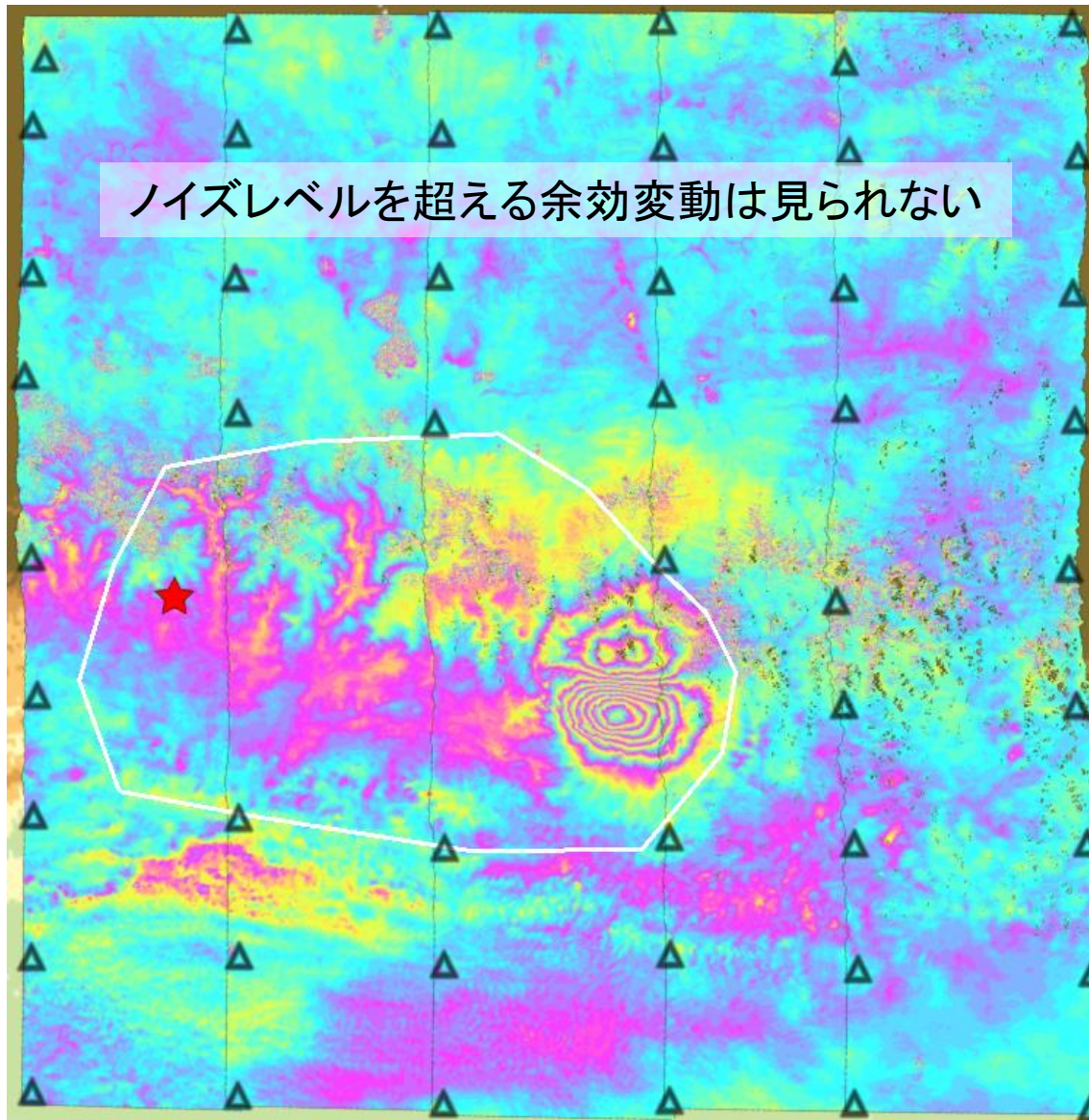
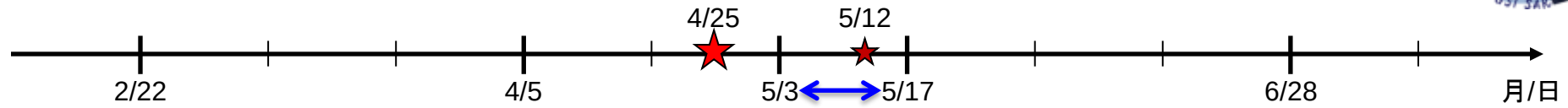
カトマンズ・局所的変位の抽出



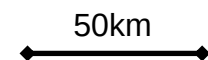
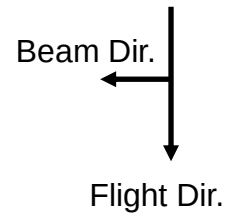
Stripmap (3m)
2014.11.07-
2015.05.08
(上図とは別の
データ)

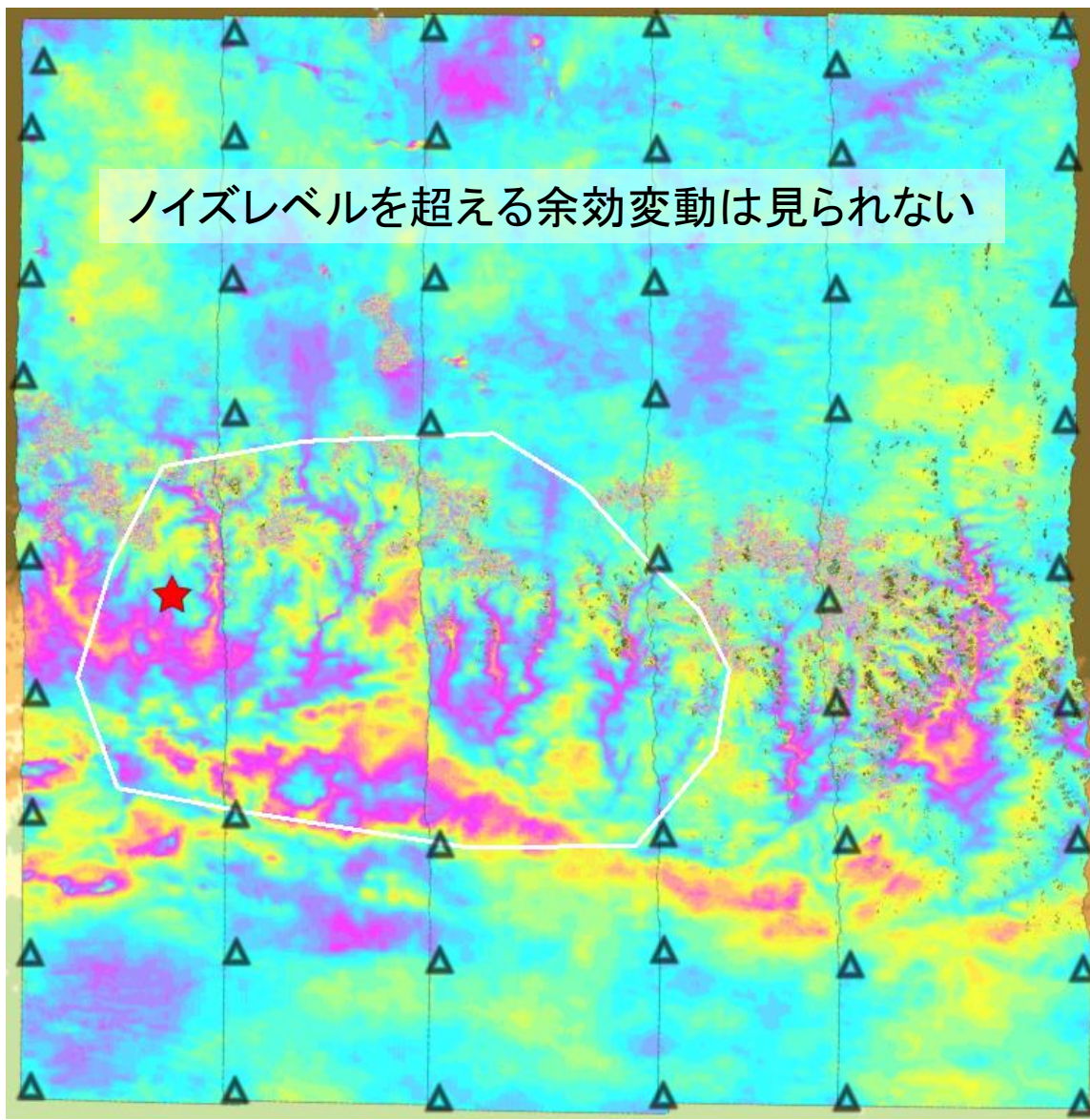
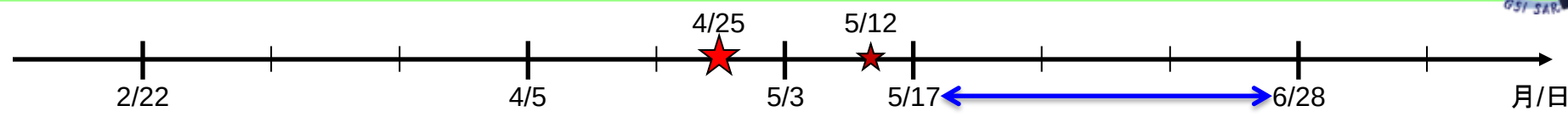




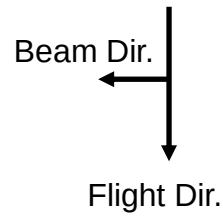


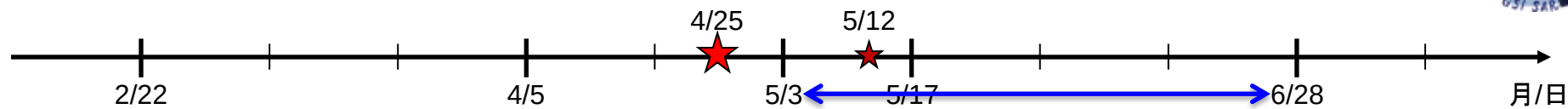
ノイズレベルを超える余効変動は見られない



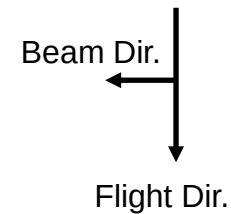
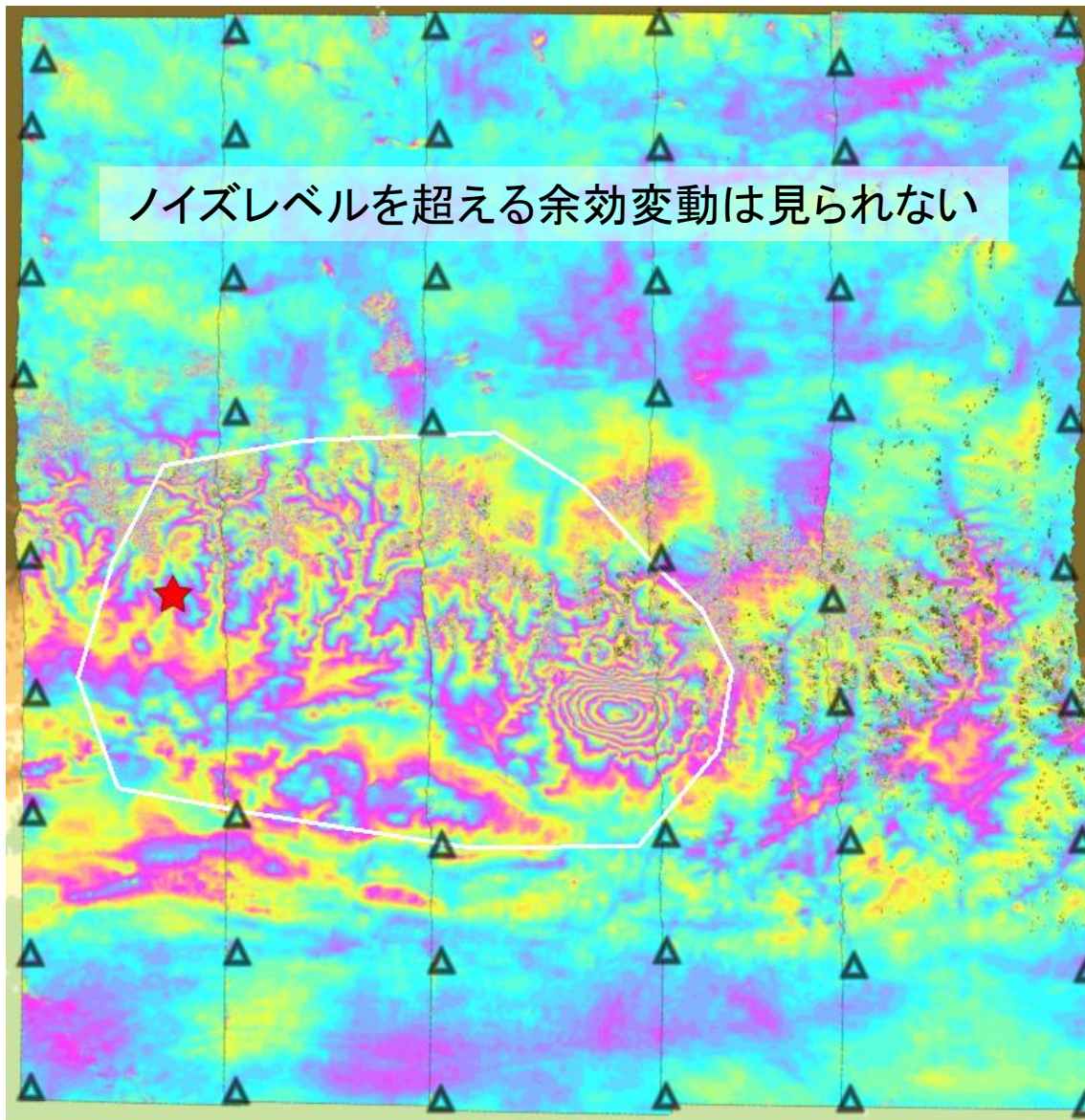


ノイズレベルを超える余効変動は見られない





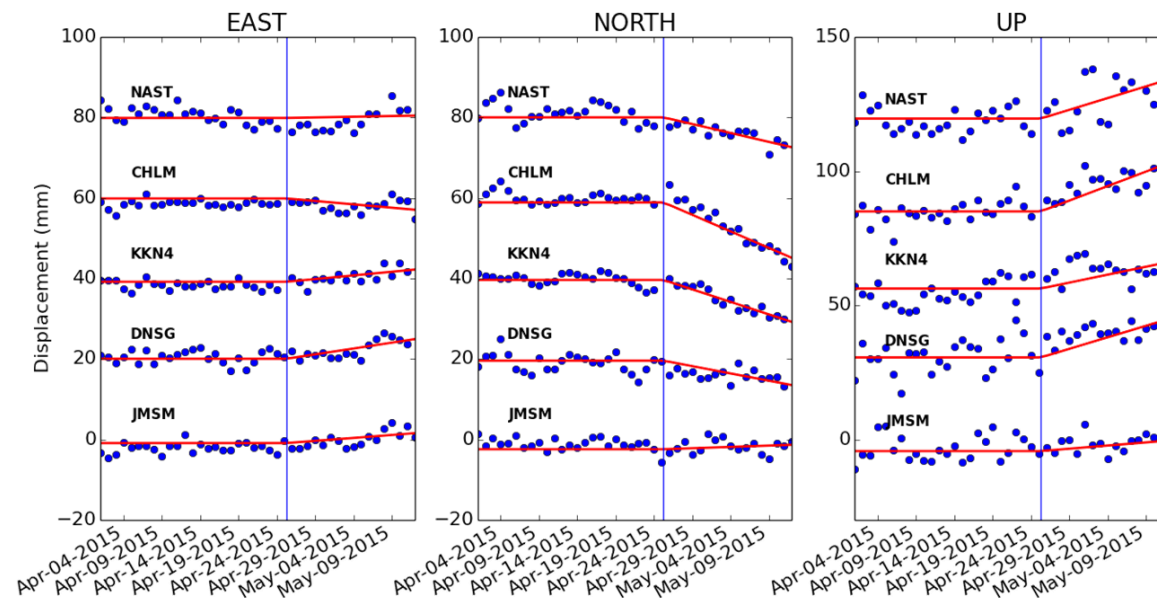
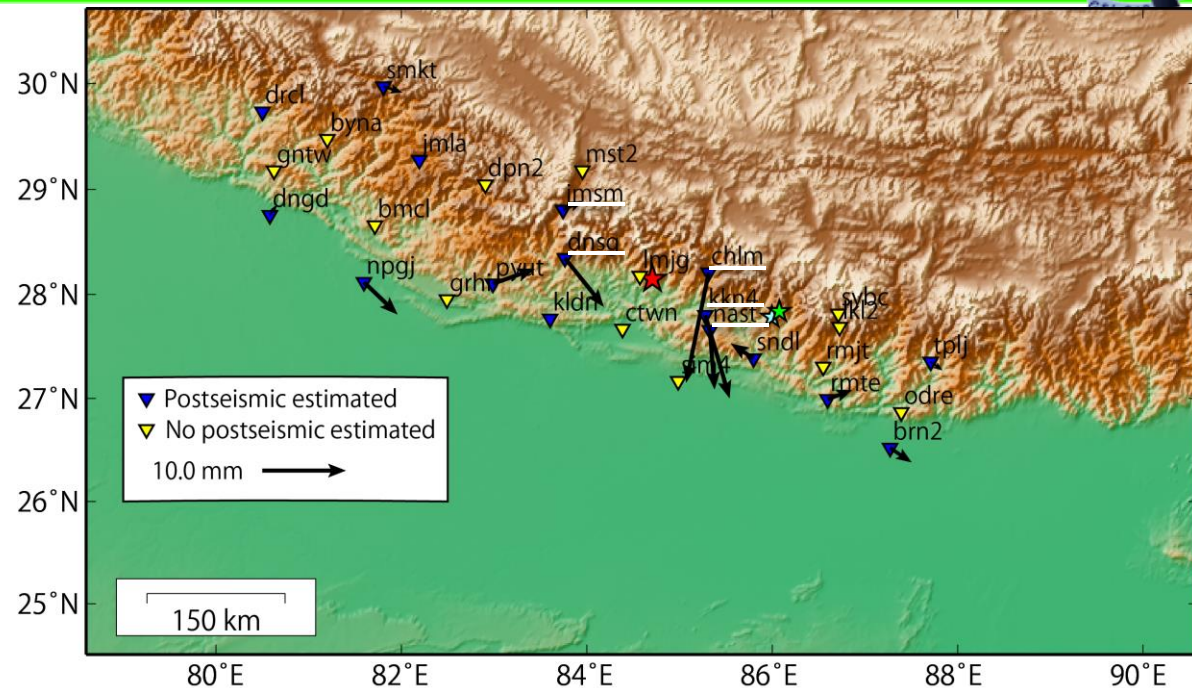
ノイズレベルを超える余効変動は見られない



50km 25

【参考】GPSによって検出された余効変動

- 余効変動は最大でも2cm程度
(2015/5/11まで、2週間)
- CHLMはcoseismicには沈降だがpostseismicには隆起





打ち上げ日

2014年4月3日

2014年5月24日

波長

5.6cm (Cバンド)

約24cm (Lバンド)

回帰日数

12日

14日

観測幅

250km (IW)

350km (ScanSAR)

地震後観測
(UTC)

4月29日00:19

5月3日12:21

4月28日05:59

5月2日18:16

5月3日06:13

⋮



ESA (European Space Agency)

SEOM (Scientific Exploitation of Operational Missions)

Name: Sentinel-1 INSAR Performance Study with TOPS Data

Acronym: InSARap

Kick-Off: March 2014

Project Duration: 18 months (~ September 2015)

Objectives: Scientific exploitation and validation of the interferometric TOPS mode implemented on the Sentinel-1 mission

Partners:

- Norut, Norway (Prime Contractor)
- PPO.labs, The Netherlands
- University of Leeds, United Kingdom
- Polish Geological Institute (PGI), Poland
- NGU (Geological Survey of Norway), Norway

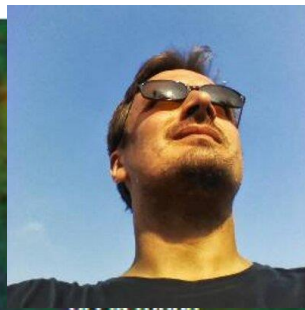
Anticipated results:

- Confirm and document Sentinel-1 interferometric performance.

- Assess the synergy between Sentinel-1 and previous C-band SAR missions.

- Adapt already successful DINSAR and PSI techniques to TOPS SAR data.

- Provide the scientific community with the first DINSAR and PSI results over selected pilot sites.



Norut

@NorutNRI

Norut - Northern Research Institute – Forskningskonsern med nordområdene som spesialitet. Oppdateres av Rannveig H. Stiberg, Nettredaktør

📍 Norway

🌐 norut.no

🕒 2010年1月に登録

Petar Marinković

@pmar

I compute interferograms for fun and profit at PPO.labs, there are many angles but I follow fringes

📍 The Hague, Netherlands

✉ insar.expert@gmail.com

Tim Wright

@timwright_leeds

Quakes, Volcanoes, Satellites... Prof of Satellite Geodesy, @SEELeeds. Director of @NERC_COMET. All views my own. Occasional blogs at satellitegeodesy.wordpress.com

📍 Leeds, UK

🌐 see.leeds.ac.uk/~eartjw

🕒 2011年1月に登録

Andy Hooper

@GeoAndyHooper

Geodesy & Geophysics Prof @SEELeeds, looking into volcanoes, earthquakes, shrinking ice caps and other processes that deform the Earth

📍 Leeds

🕒 2008年5月に登録

Zbigniew Perski

@ZbigniewPerski

SAR interferometry, deformations, landslides and who knows what else...

📍 PL

John Dehls

@jdehls

Applying InSAR to landslides and neotectonics at the Geological Survey of Norway (NGU)

📍 Trondheim

🌐 linkedin.com/in/jdehls

🕒 2009年10月に登録

WE'RE ALSO ON SOCIAL NETWORKS



Twitterによる情報発信

message (worried about SPAM? we are first to hate it!)

Send! (Still not working, will fix soon!)

Hungry for some interesting project numbers?

📁 18000 +
GBs of TOPS Data Processed

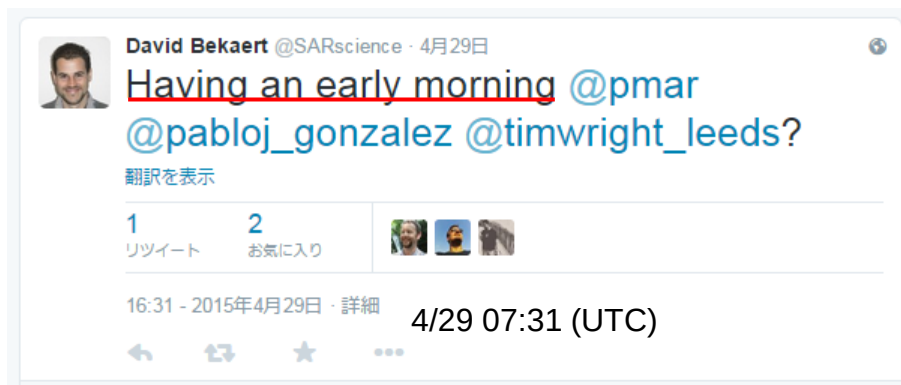
📁 185 +
Code Commits

📁 26
Algorithmic Iterations

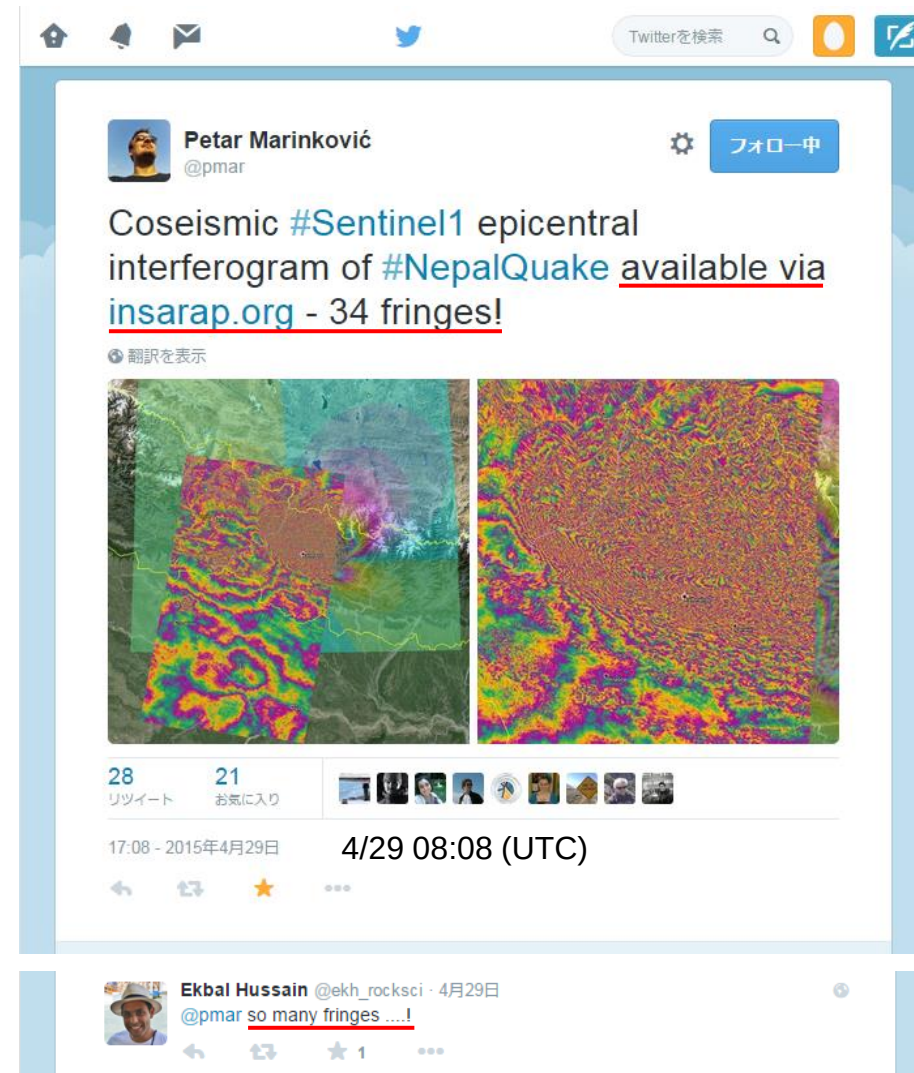
📁 2392 +
Cups of Coffee Consumed



観測 4/29 00:19 (UTC)



(PhD student at Leeds)



(PhD student at Leeds)

Sentinel-1

観測 5/03 12:21 (21:21JST)

HP公開 5/04 01:24 (10:24JST)

ALOS-2

観測 5/03 06:06 (15:06JST)

解析終了 5/04 07:19 (16:19JST)

HP公開 10:17 (19:17JST)

4/25 06:11 (15:11JST)



Sentinel-1

観測 4/29 00:19 (09:19JST)

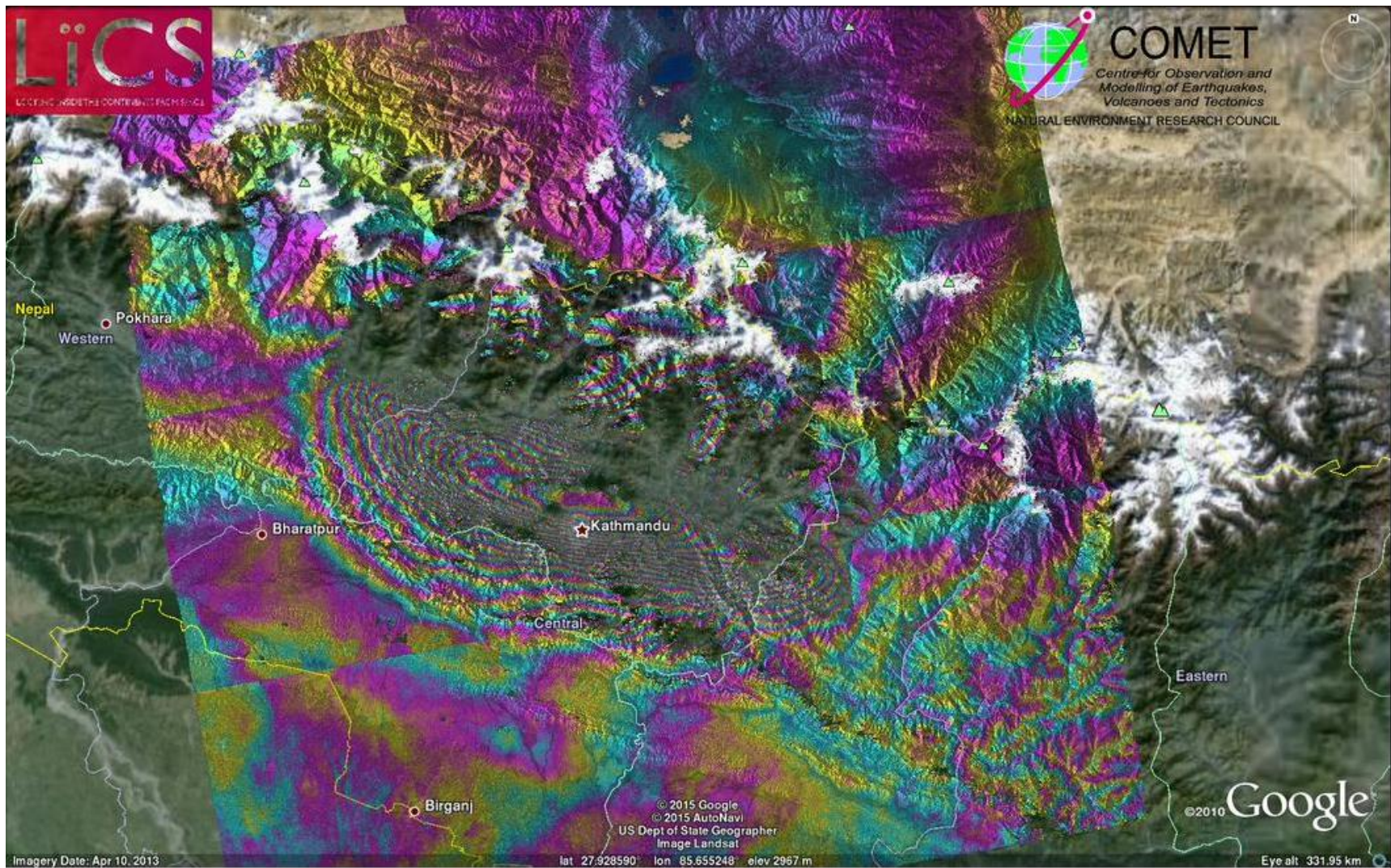
HP公開 08:08 (17:08JST)

ALOS-2

観測 4/28 06:06 (15:06JST)

解析終了 4/29 01:25 (10:25JST)

HP公開 4/30 04:57 (13:57JST)



Pablo J. González @pabloj_gonzalez · 5月4日

#NepalQuake Asc. Sentinel-1A "crafted/filtered/unwrapped vol. 2". Max. LoS motion ~136 cm. Rupture length ~170 km.



26



18

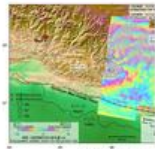


(Research fellow at Leeds)



David Bekaert @SARscience · 4月30日

ALOS2 #insar data for #NepalQuake, shows eastern extent of #Katmandu coseismic slip. Contains residual noise signals



国土地理院地理地殻活動研究センター @GSI_Research

ネパール地震関係について、日本の地球観測衛星「だいち2号」(ALOS-2)に搭載された合成開口レーダのデータを干渉解析して、地震に伴う地殻変動を検出しました。

翻訳を表示

4

リツイート

1

お気に入り



21:41 - 2015年4月30日 - 詳細

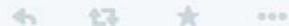


@SARscience さんへの返信



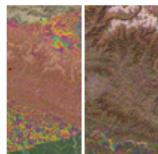
David Bekaert @SARscience · 4月30日

Thanks for @pmar for pointing this out. Guess I was missing it because of the Japanese language.



Tim Wright @timwright_leeds · 5月3日

Looks like we need the ALOS-2 @EricFielding



Petar Marinković @pmar

New 24day (09.04-04.05) coseismic #Sentinel1 ifg of #NepalQuake has a good coverage but quite incoherent in AOI (1/2)

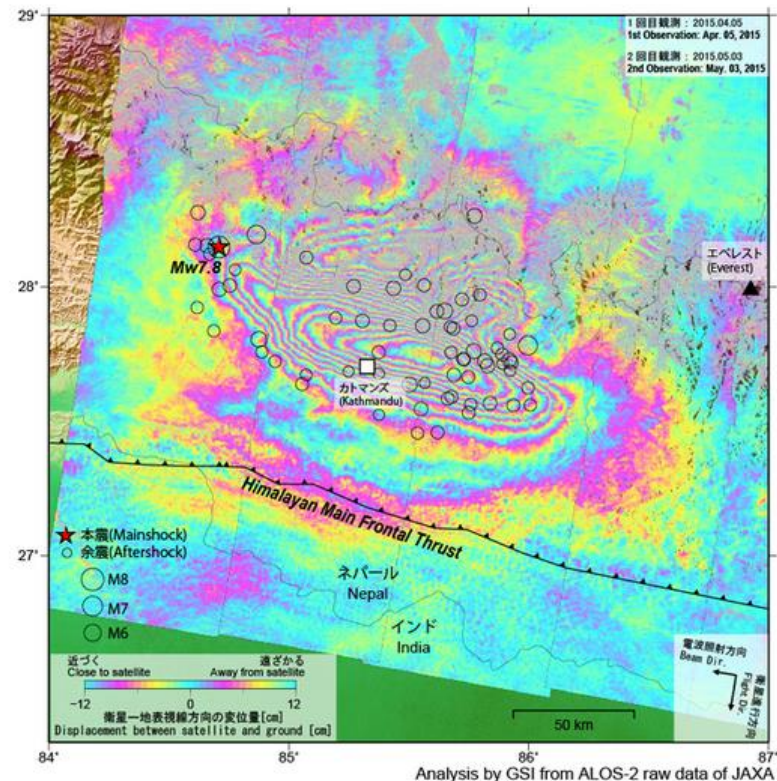


Raphael Grandinさんと他1人がリツイートしました

Anthony Lomax @ALomaxNet · 5月4日

The 2015 Nepal Earthquake: Crustal deformation detected by ALOS-2 data gsi.go.jp/cais/topic1504...

翻訳を表示



14

リツイート

13

お気に入り



22:50 - 2015年5月4日 - 詳細



干渉SARによりネパール地震の地殻変動が明らかに

- ALOS-2初のScanSAR干渉成果
- 仮想基準点+スプライン補間により長波長誤差を低減
- 南行・北行ともに良好な結果(誤差~10cm)
- 最大1.4m以上の隆起、0.6m以上の沈降、6.3mの滑り
- 浅部で滑りが見られず、歪みが蓄積されたまま
- Mw7.0程度に相当する滑り欠損が存在
- カトマンズにおける局所的地盤沈下を検出
- ノイズレベルを超えるような余効変動は見られず
- 速報性はSentinel-1、干渉性はALOS-2

解析結果はHPでも公開しています。

2015年4月25日ネパールの地震に伴う地殻変動 | 国土地理院
<http://www.gsi.go.jp/cais/topic150429-index.html>

国土地理院 ネパール地震

検索