

ネパール地震を通じた ALOS-2 ScanSAR干渉の検証

宇宙航空研究開発機構
地球観測研究センター
夏秋 嶺

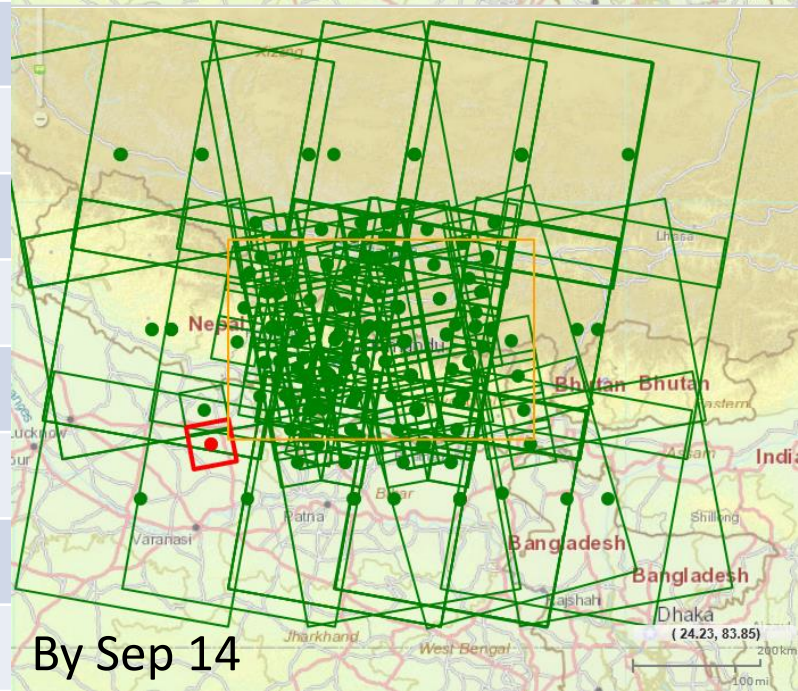
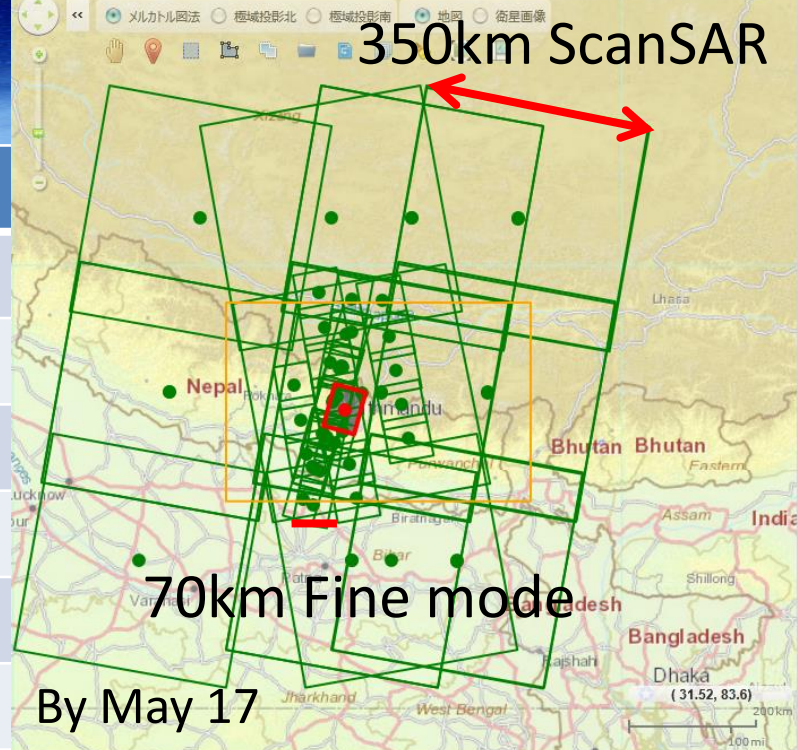
謝辞: PIXEL および地震予知連絡会SAR解析WGの活動、特に迅速な解析とフィードバックにつきまして厚く御礼申し上げます。

1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

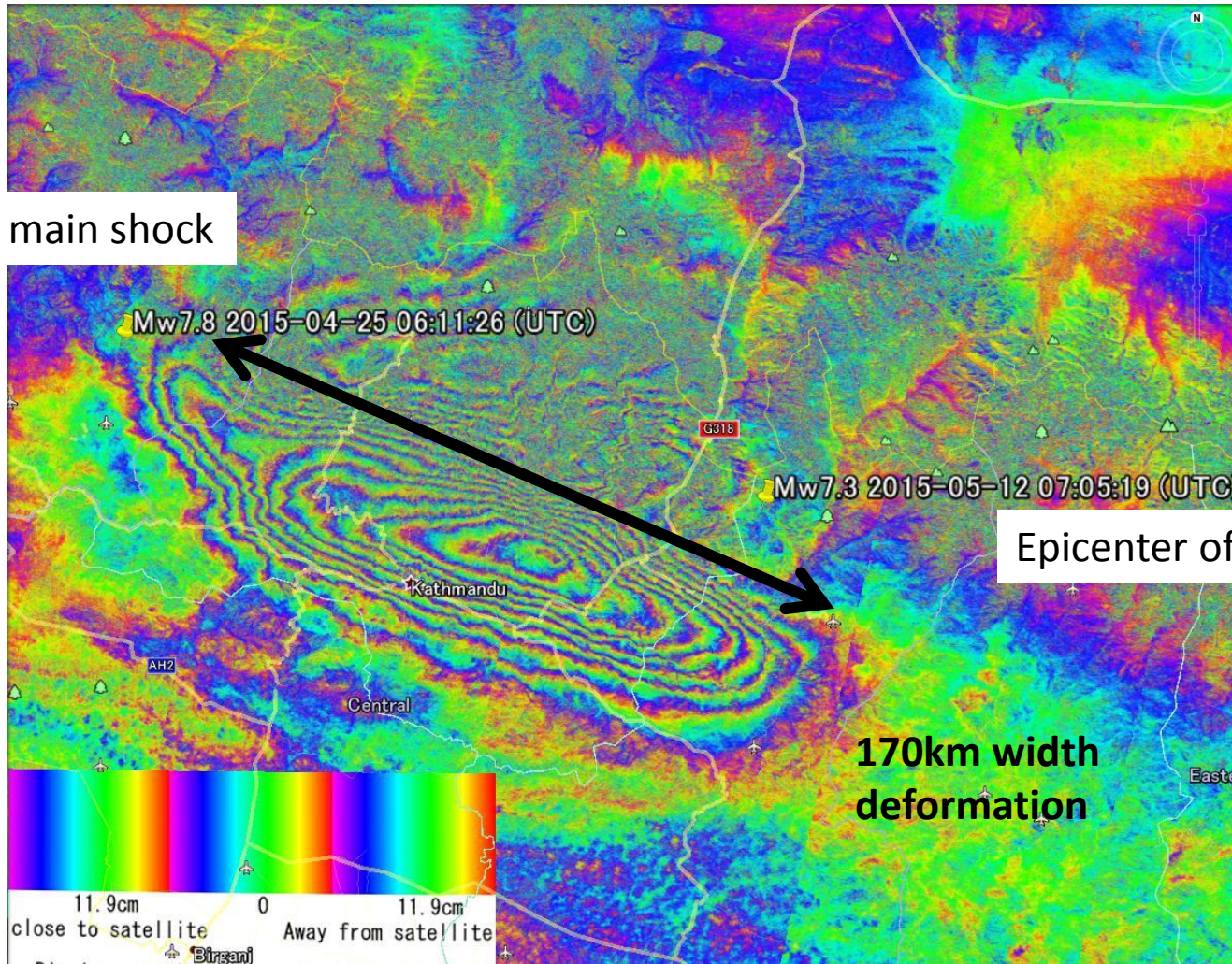
AXA 1.1 ネパール地震緊急観測

Date	Orbit	Mode/Pol.	Area of Interest
4/26	D	3m/HH+HV	Kathmandu
4/27	A	10m/HH+HV	Eastern Himalayas
4/28	D	ScanSAR	Eastern Nepal
4/29	D	ScanSAR	Western Nepal
5/1	D	3m/HH+HV	Western Kathmandu
5/2	A	10m/HH+HV	Kathmandu
5/3	D	ScanSAR	Central Nepal
5/7	A	3m/HH+HV	Epicenter
5/8	D	3m/HH	Western Kathmandu
5/12	D	ScanSAR	Eastern Nepal
5/13	D	ScanSAR	Western Nepal
5/15	D	3m/HH+HV	Western Kathmandu
5/16	A	ScanSAR	Central Nepal
5/17	D	ScanSAR	Central Nepal



JAXA 1.2 ScanSAR 干涉縞(本震)

Epicenter of main shock

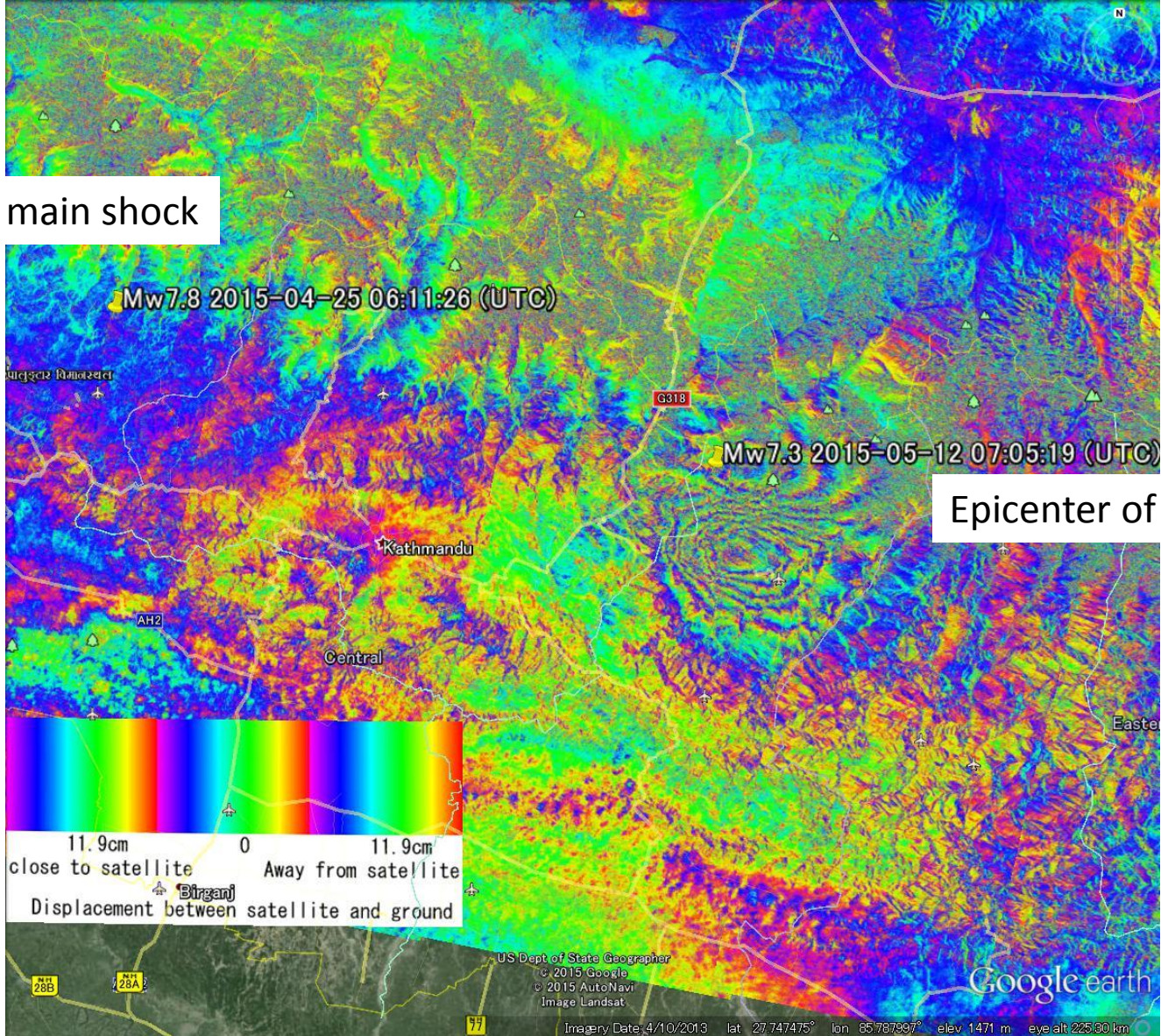


1 fringe = 12 cm deformation. -> approx. 1.2 m deformation

ScanSAR interferometry detected 170km width deformation

JAXA 1.3 ScanSAR 干涉縞 (余震)

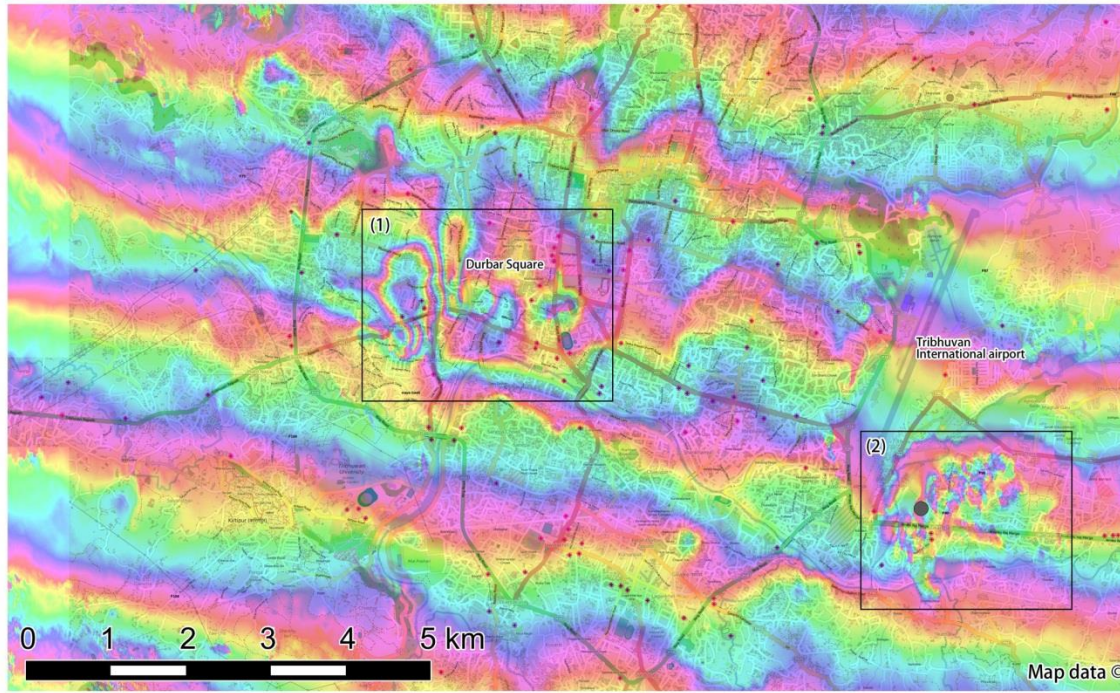
Epicenter of main shock



Epicenter of after shock

ScanSAR interferometry detected aftershock

AXA 1.4 Strip Map によるカトマンズ中心部の被害



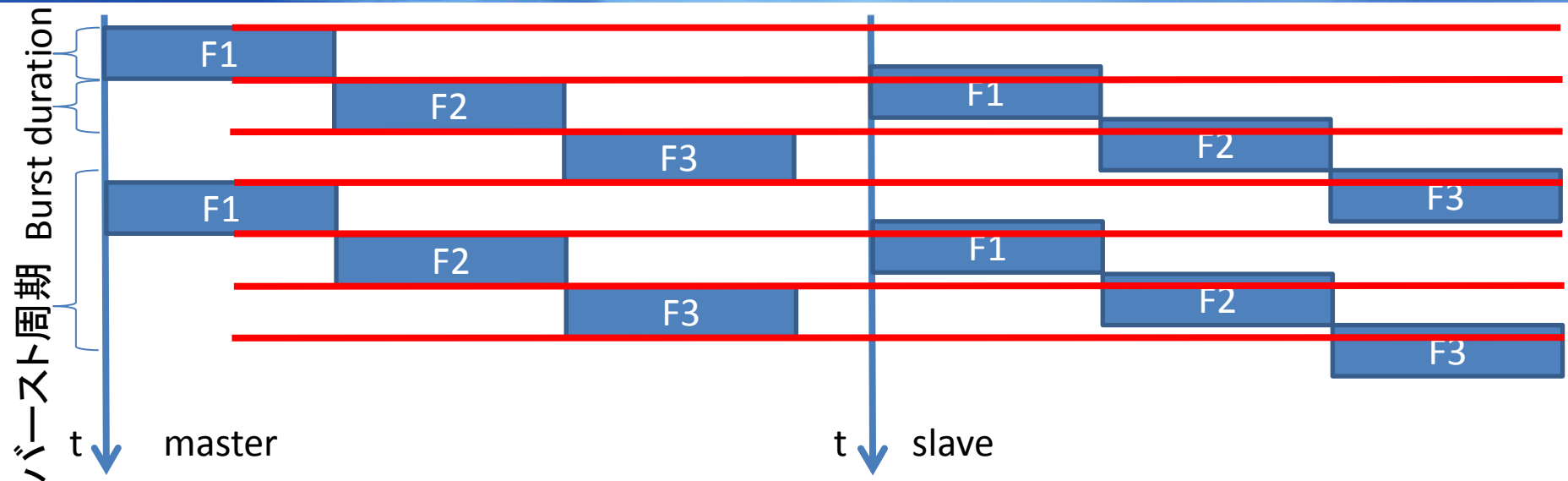
カトマンズ中心部で地震以外の変動縞を検知。現地調査団撮影の写真と照合した



現地時刻5月1日撮影、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会のネパール地震緊急被害調査団(先遣隊)による

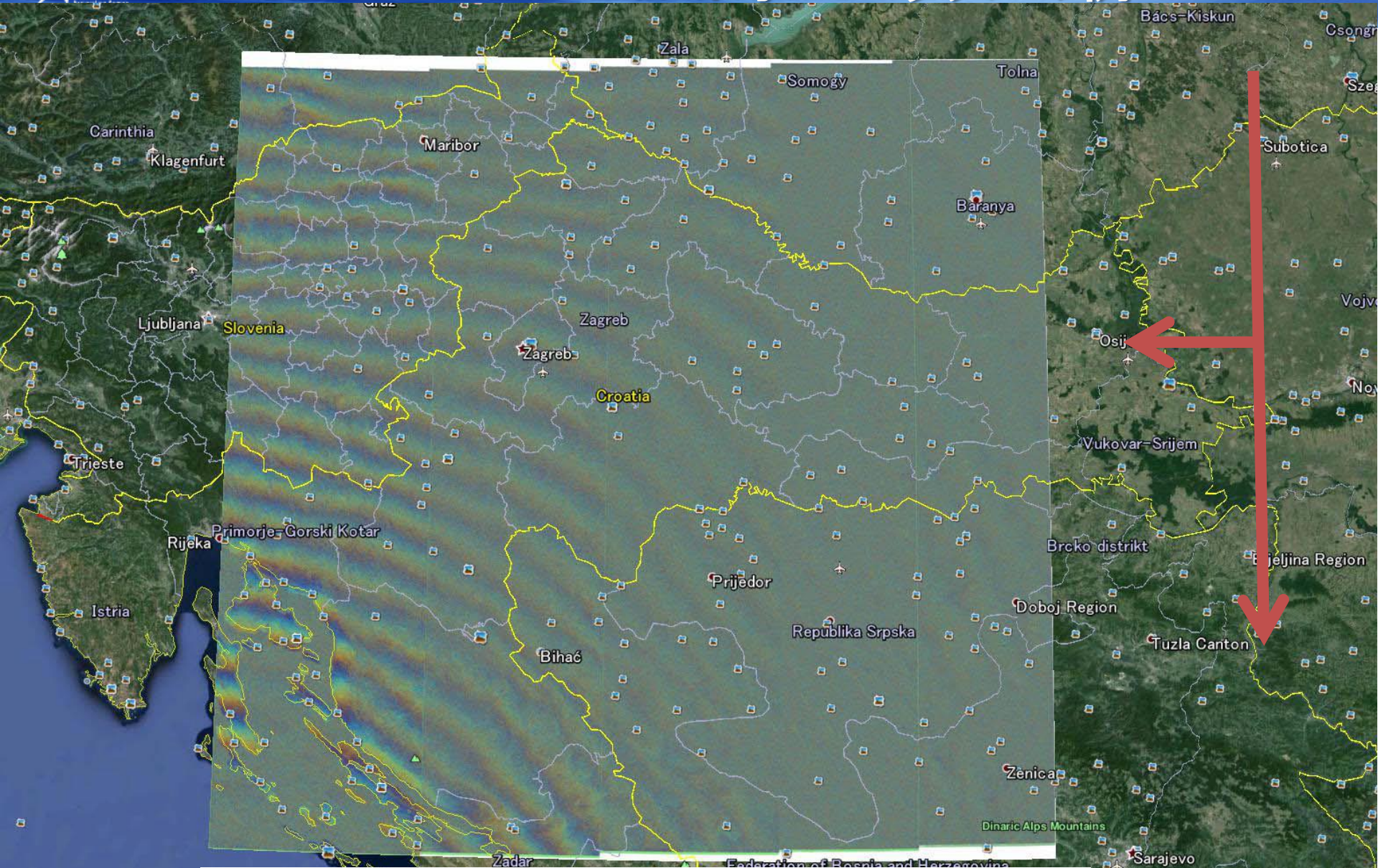
1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

JAXA 2.1 ScanSAR バーストオーバーラップ



- ScanSAR では送信するパルスをサブスワースごとに時間的に分割する。この1かたまりをバースト(Burst)、1バーストを送信している時間的な長さを Burst duration と呼ぶ。
- 干渉処理を行う場合、master と slave は同じ位置でバーストを送っている必要がある。
- ALOS-2 PALSAR-2 では1 σ で90% 以上重複している(はずだった)
- バーストの時間的な重複が20% 以下になるとほとんど干渉していない。
- 特にバーストが完全にずれてしまうと全く干渉しない。

JAXA 2.2 ScanSAR 20% バーストオーバーラップの例



Bosnia ALOS2015722700-140907 / ALOS2021932700-141019

Google earth

JAXA 2.3 ScanSAR バーストオーバーラップ

- 南北方向に飛行する間にバーストの照射タイミングを合わせるには、自機の位置を正確に知る必要がある。
2015/2/8 以前のPALSAR-2 は緯度引数の設定に誤りがあり、バーストの照射タイミングが周期的に変動しており、ScanSAR- ScanSAR 干渉ペアが限定されていた。
- ネパールを観測したScanSARアーカイブのうち、2/8 以降のものはPath 47, 48 に存在。それ以前のアーカイブで2/8以降と干渉するものは無し。
- 緯度引数のずれはALOS-2 プロジェクトチームより公表済(*)

$$\Delta Burst = a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (1)$$

ただし t は8/4日との差(日) $a_4 = -0.000000000194$, $a_3 = 0.000000029289$, $a_2 = 0.000010685720$, $a_1 = -0.001106963087$, $a_0 = -0.057085827546$

- 緯度方向のずれとバースト照射の周期(例えば、基本観測で使用されるW2 モードでは0.048348度)から、バーストオーバーラップ率を計算可能。
- W2モードについて、SLCのオフセットを計算することで独立にバーストオーバーラップ率の近似式を立てた論文もあり……というか夏秋が計算した(**)

* PALSAR-2広域観測モード(ScanSAR)の干渉処理における有効データについて

https://auig2.jaxa.jp/information_home/SHM-150006_v20150821a.pdf

** Lindsey, E.O., Natsuaki, R. et al., "Line of sight displacement from ALOS-2 interferometry: M7.8

Gorkha earthquake and mw 7.3 aftershock," Geophysical Research Letters , doi:10.1002/2015GL065385.

JAXA 2.4 バーストオーバーラップ率計算(SLCベース)

- バーストの照射周期はSLCから推定
- バーストのDuration (持続時間)は照射周期/サブスワス数 で計算する
- オーバーラップ率は
1 - オフセット量/持続時間
で計算する

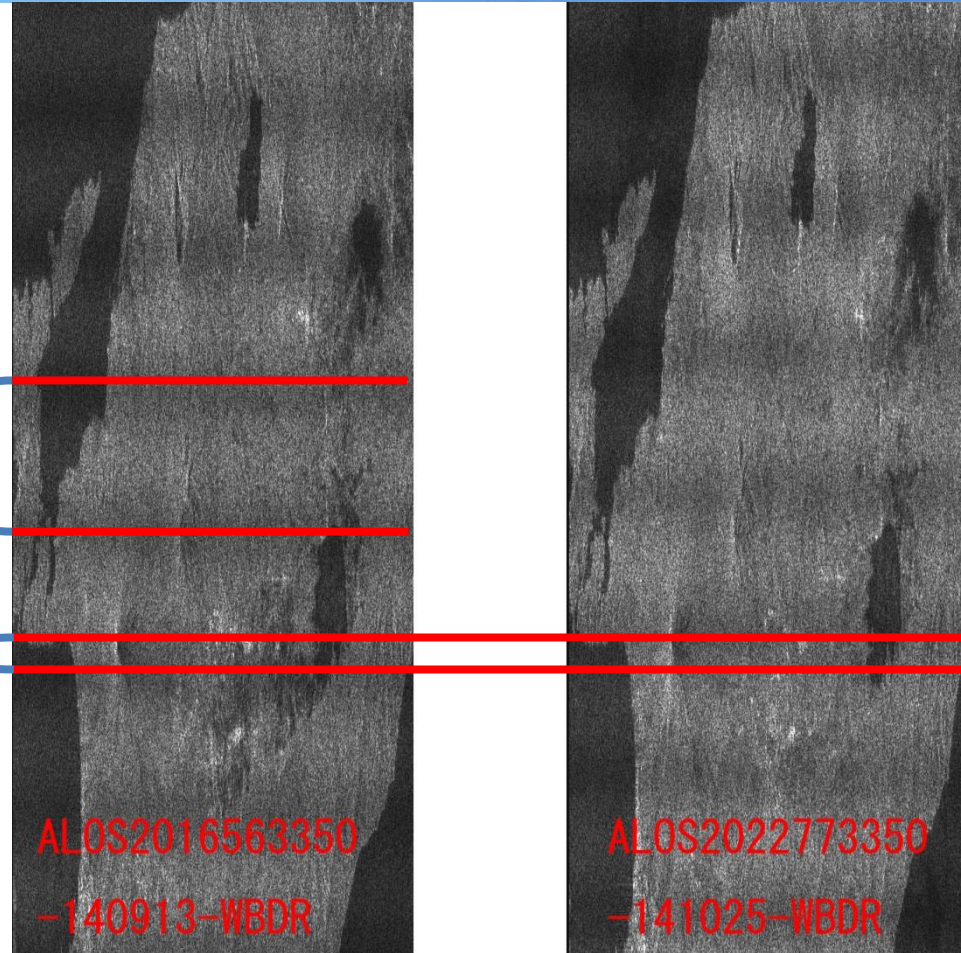
バースト照射周期

バーストのオフセット量

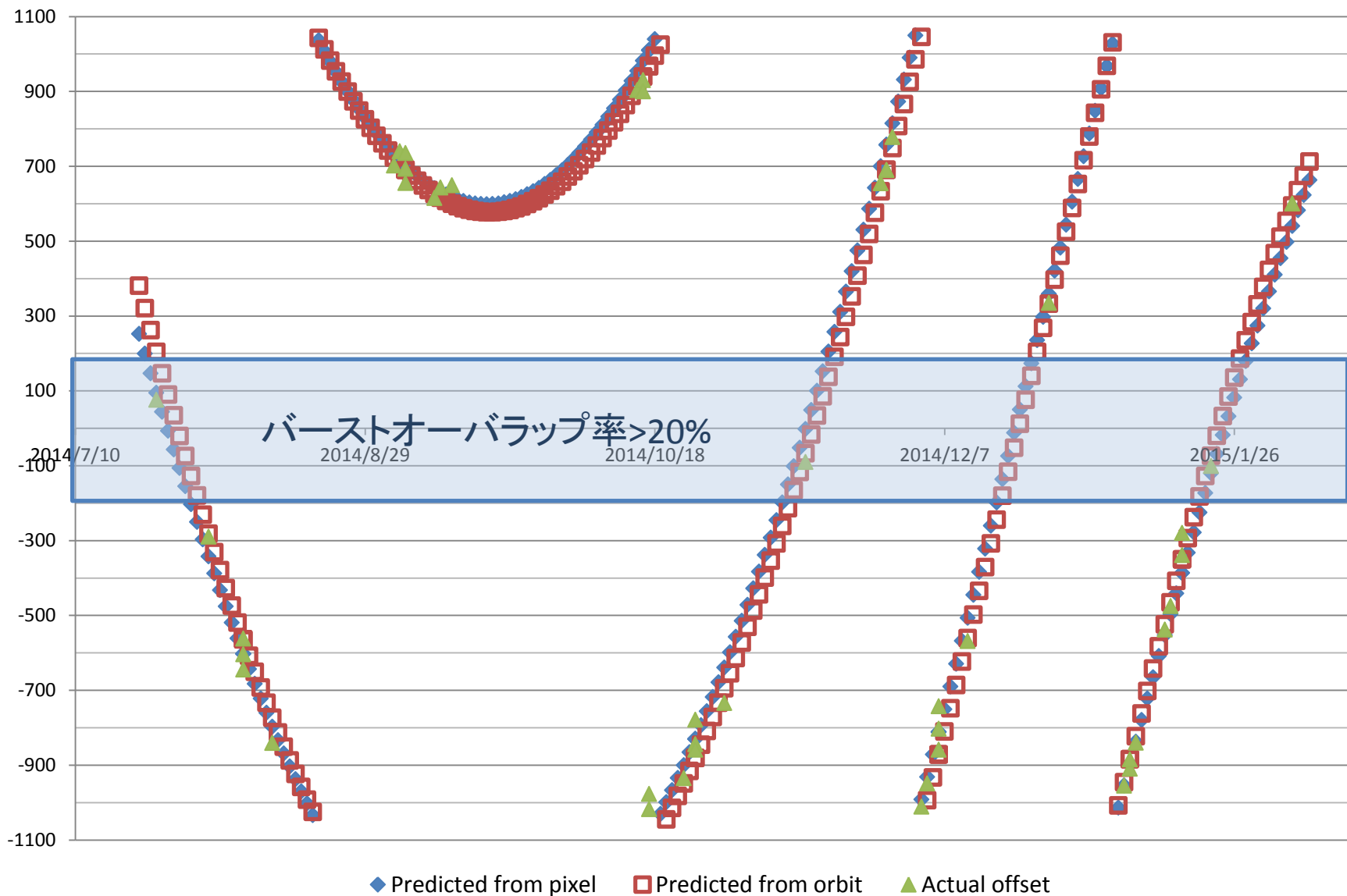
- 例:W2 モードのF1 ならば、照射周期 2100 pixel → Duration 420 pixel より、オフセット 70 pixel なら 83.3%
- 近似式 (前頁**) は

$$\Delta Burst = \text{mod}[A \sin(2\pi T/365) + P, 2P] - P$$

- ただし、F1では A=3635, P=1050, Tは2014/12/20 との差
- JAXAの $\Delta Burst$ は緯度の差なので緯度とpixel の換算が必要



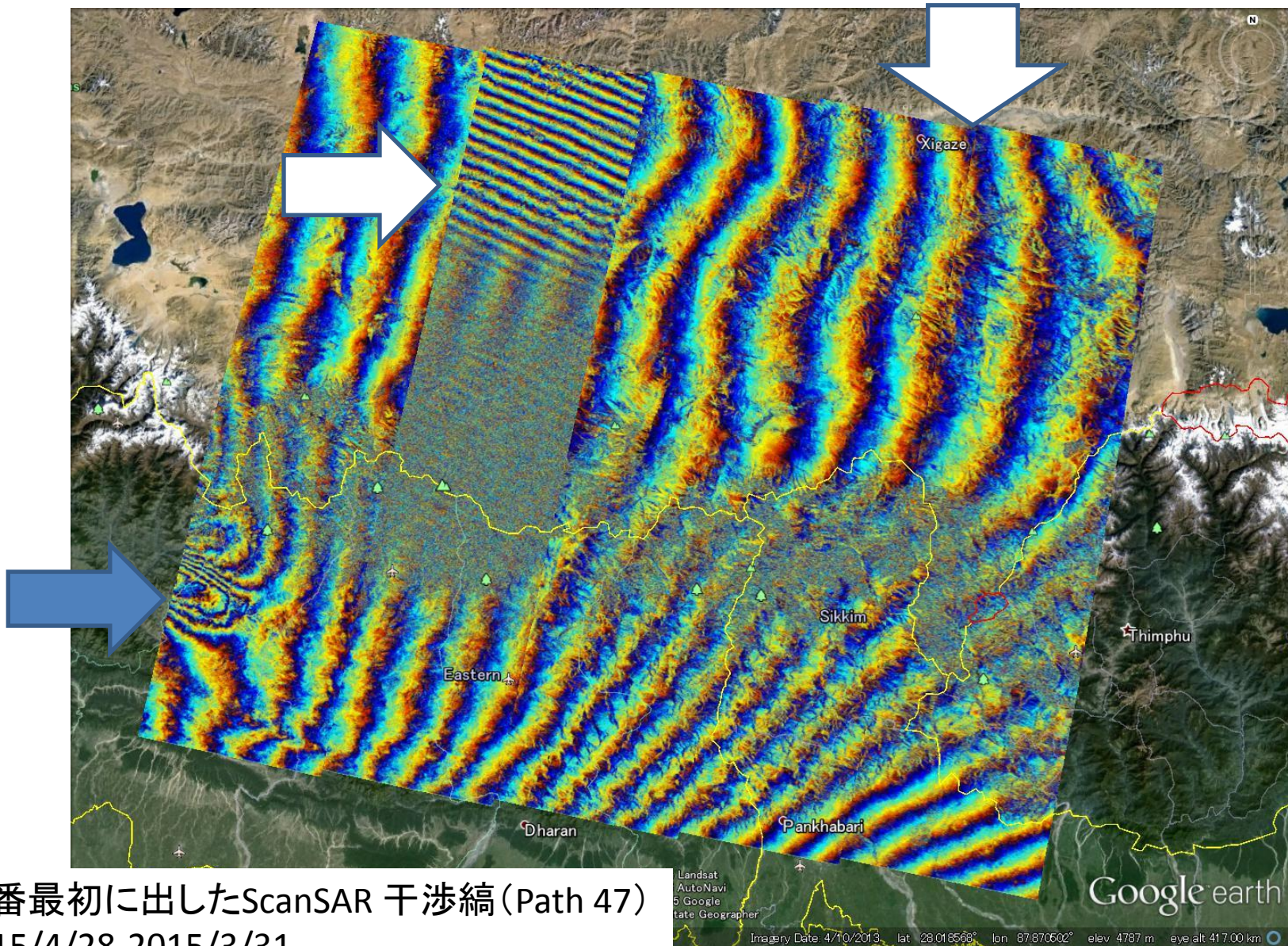
JAXA 2.5 オーバラップ率予想の比較



JAXA公式とLindsey 論文はほぼ一致(ただしJAXAは4次近似、Lindsey 論文ではSin で近似)

1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

JAXA 3.1 ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞

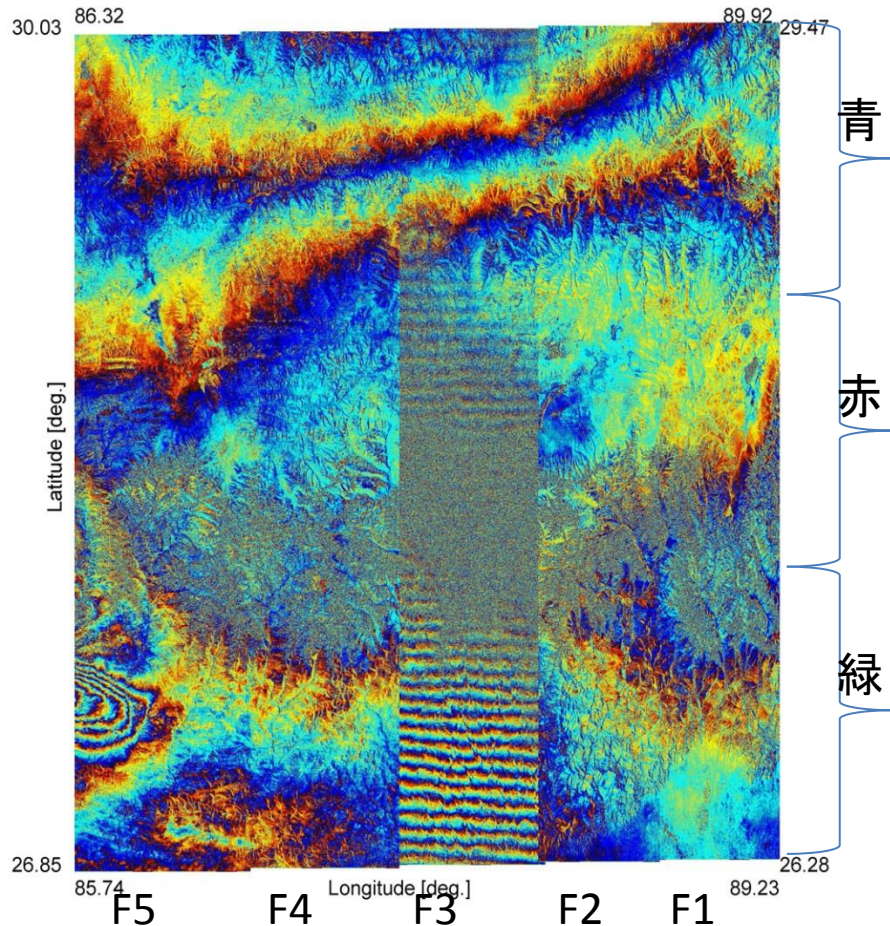


一番最初に出したScanSAR 干渉縞 (Path 47)
2015/4/28-2015/3/31

- 位置合わせ
- 軌道縞
- 電離層
- その他

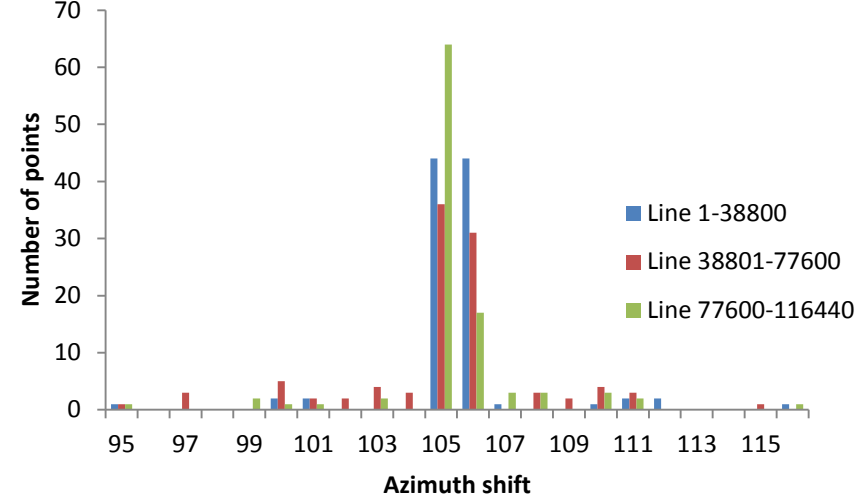
AXA 3.3 位置合わせの比較

- 相互相関ピークが複数出る場合がある
- 位置合わせでセカンドピークの方が大きくなると干渉に失敗(ソフトウェア依存)
- アフィン変換時にピーク以外は干渉しない

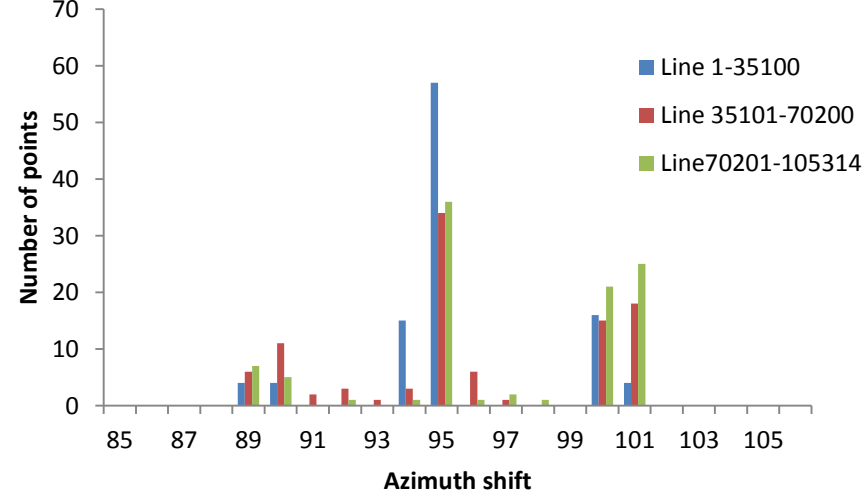


3か所で相互相関ピークを比較

Histogram of azimuth offset in F1



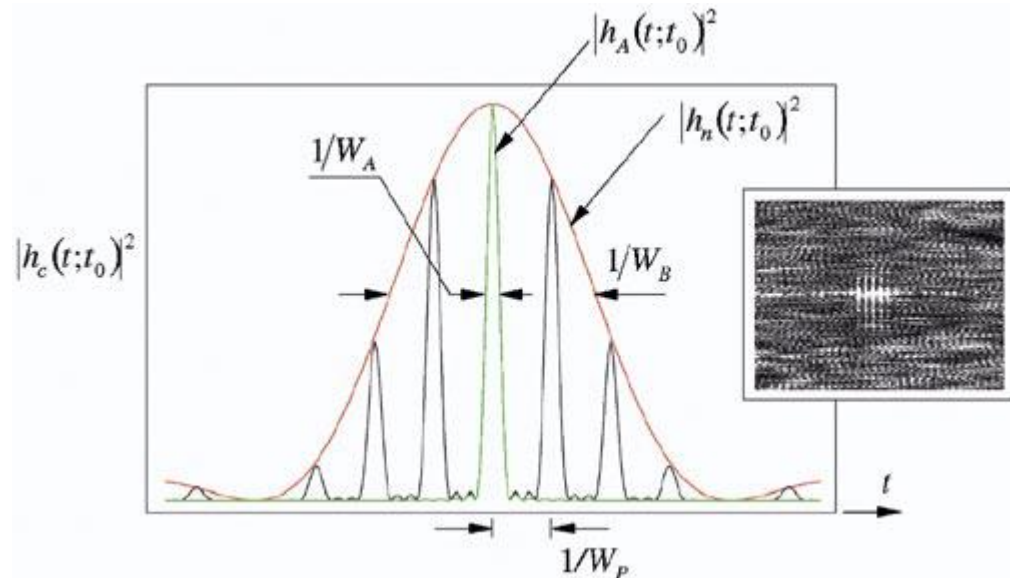
Histogram of azimuth offset in F3



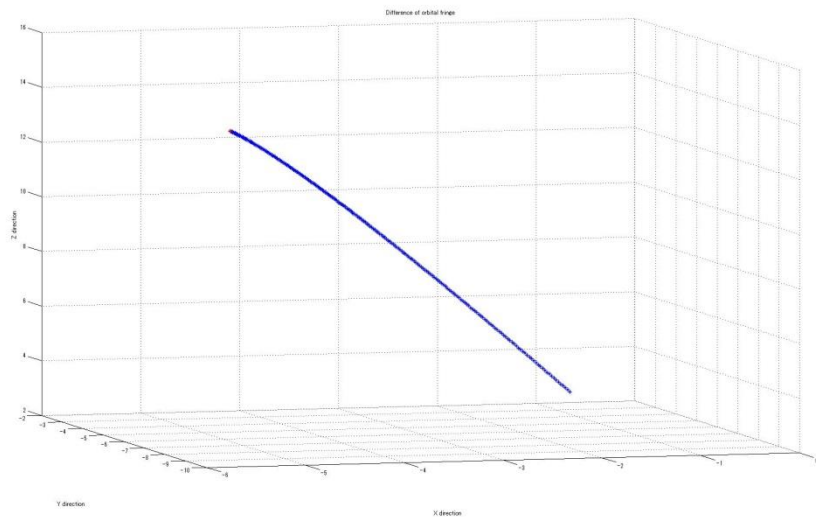
レンジ方向に分布の偏りはない

AXA 3.4 対策(ソフトウェアによる)

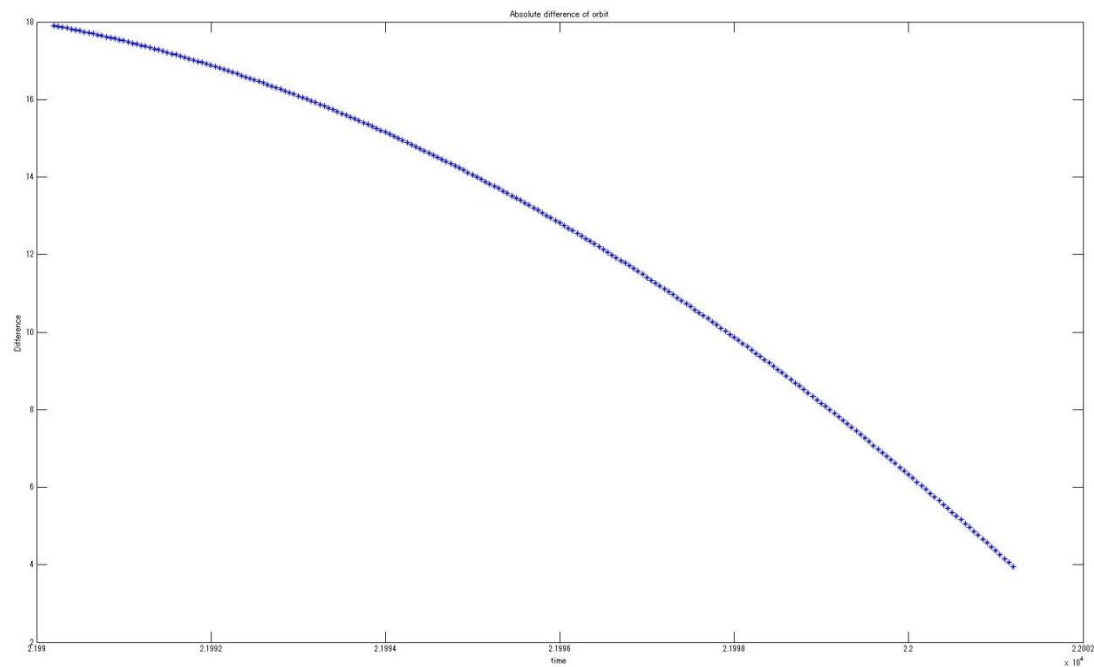
- アフィン変換の次数を下げる
相関ピークの分布が偏ると、ソフトウェアがアフィン変換係数を複数のピークに最大限合わせようとしてしまう。
→ 変換の次数を一次まで下げるとどれか一つのピークのみが採用されやすくなる。
ただし、偏りが極端だと一次でも間違える。
- 相互相関処理を二段階にする
相互相関ピーク同士は5~7ピクセル程度離れる(サブスワスによる)
→ 画像全体でのピークを一つ採用し、そのピーク $\pm X$ ピクセルで位置合わせを行う。
最初に間違ったピークを採用してしまう場合がある。
- アジマス方向にフィルタする
フルアパーチャで合成開口
した場合は点像応答で
複数のピークが立ってしまう。
→ アジマス方向に前処理で
フィルタして抑える。
重みづけ平均化の処理が複雑化?
空間分解能がフィルタの分悪化?



JAXA 3.5 GPS軌道と確定軌道の差



ネパール地震の干渉画像では最大18m程度、
平均約10mの差がある。(夏秋計算)
図はPath 47, 4/28 のLED ファイルより計算



- 位置合わせ

ScanSAR のフルアパーチャ式での合成開口はアジマス方向に自己相関のピークが立つ。複数のピークを採用すると干渉しない領域が生じる。

- 軌道縞

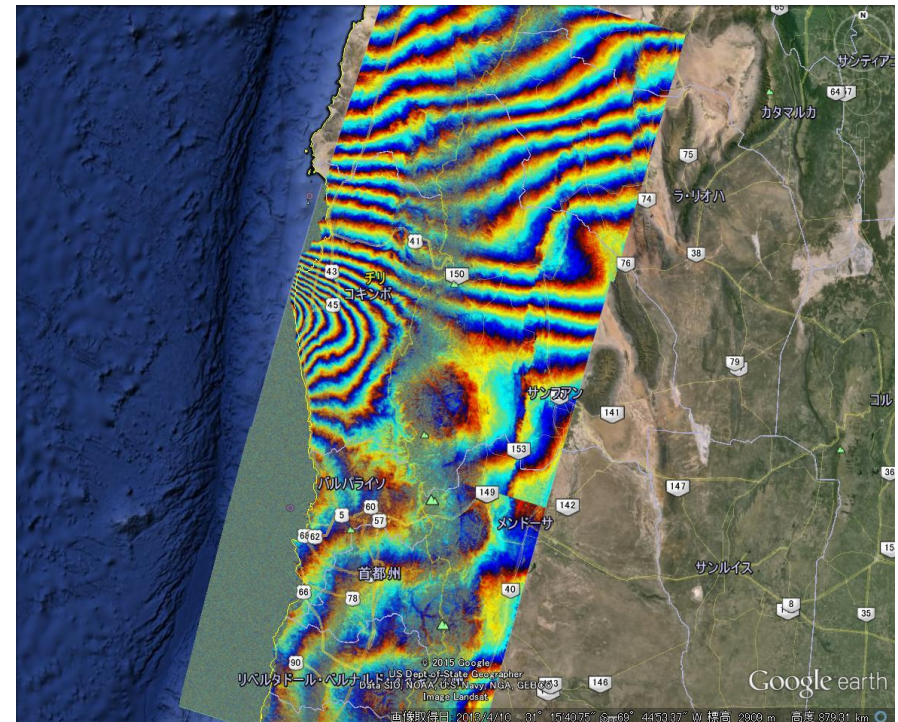
緊急観測等でGPS オンボード軌道を使用すると確定軌道より大きな誤差が生じる(ネパール地震では ~ 18 m。平均的には10 m)。二次近似で省くことが可能。

- 電離層

帯域が狭いため、帯域分割では厳しいか。アジマス方向の分割は未トライ。

- その他

原因はさておき一次もしくは二次曲面の近似で除ければよいが、チリ地震のような場合にどうするかが課題。



1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

JAXA 4.1 Strip Map ビームF2-6の中心周波数

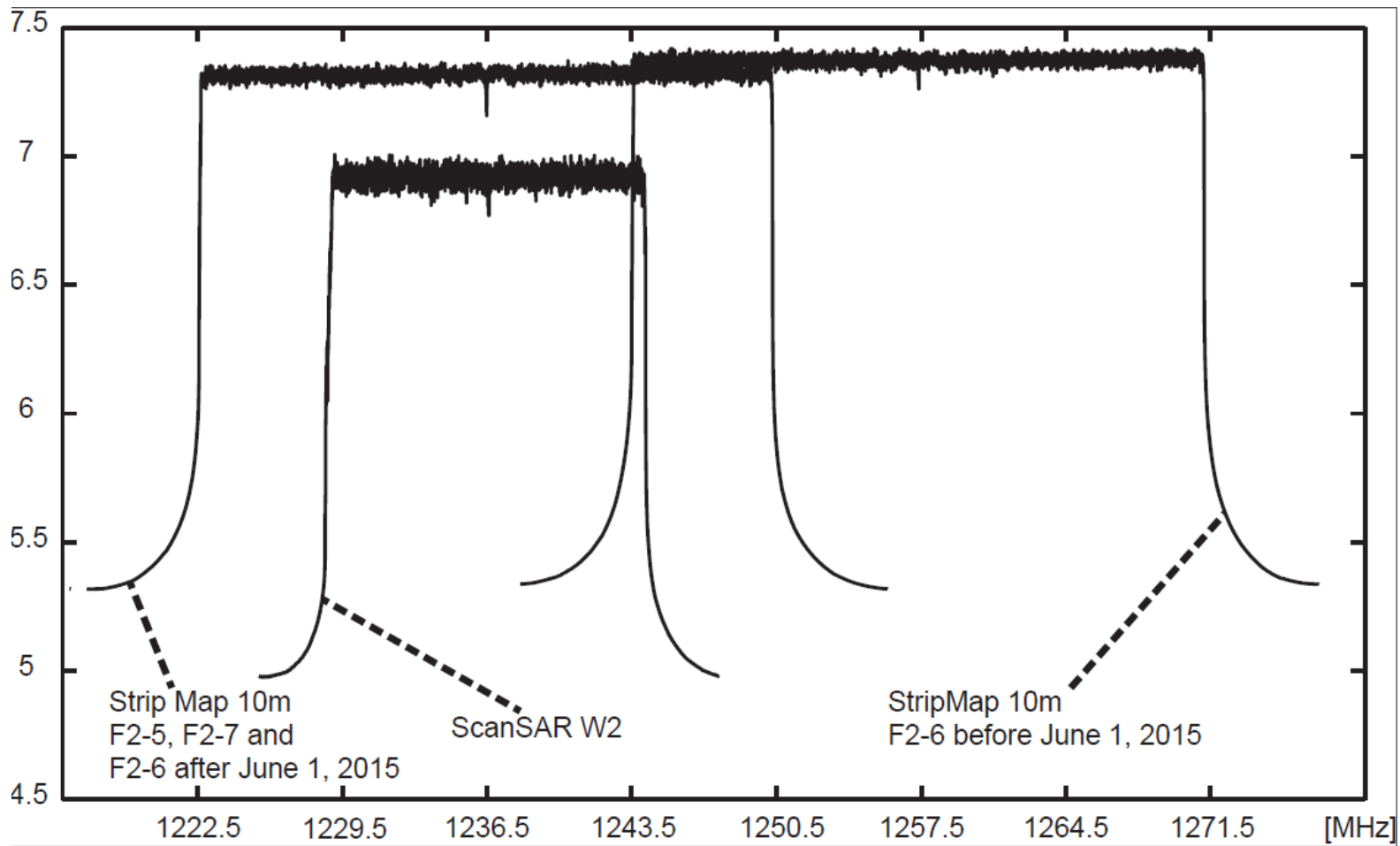
ALOS-2 は複数の中心周波数を設定できる。

Spotlight / Ultra-fine (3 m モード) :1257.5 MHz

High-Sensitive / Fine / ScanSAR :1236.5 MHz

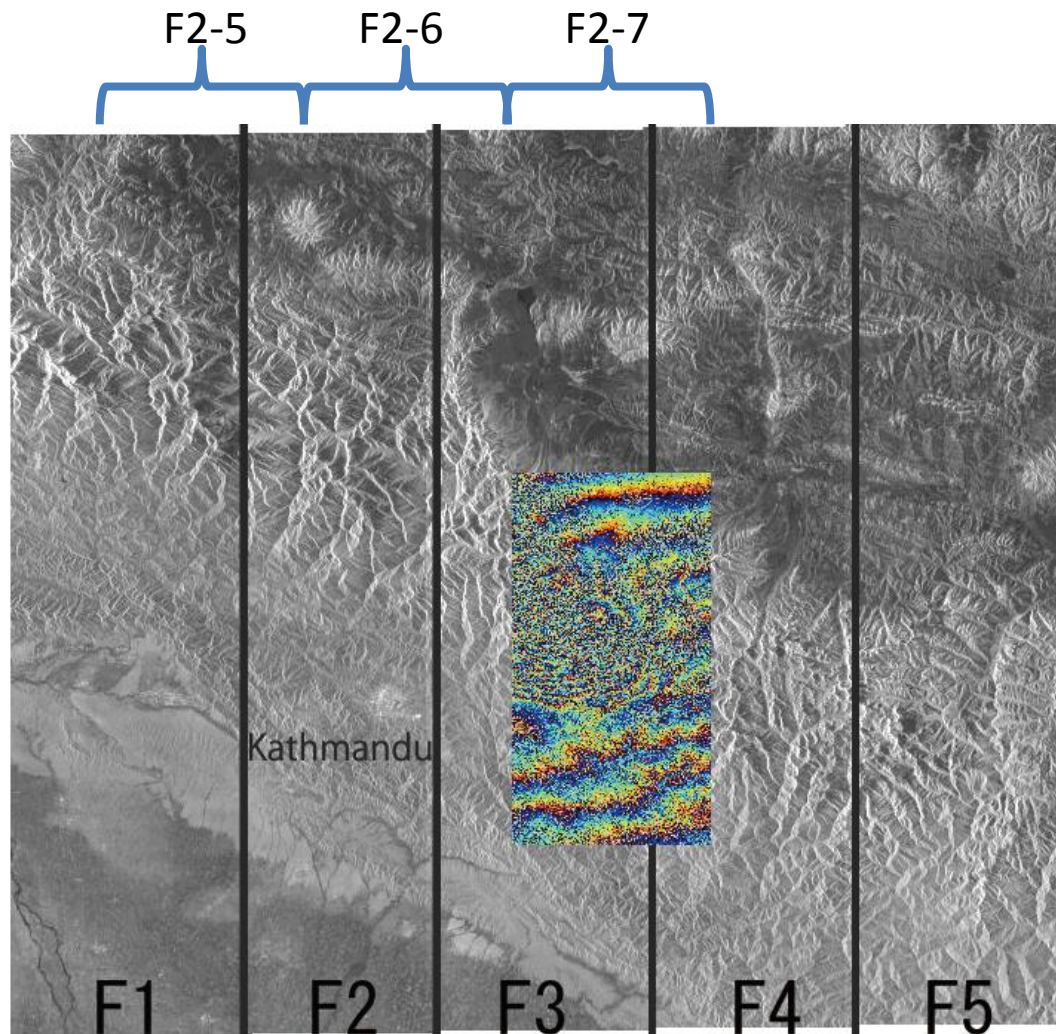
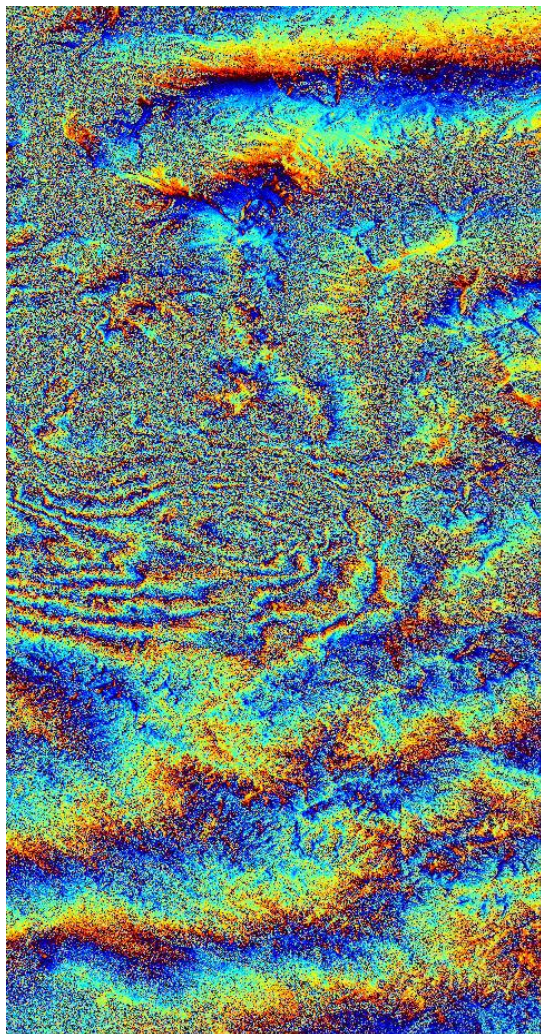
Fine beam No. F2-6 のみ 1257.5 \pm 14 MHz に設定されていた。2015 / 6/1 まで。

F2-5 と F2-7 は 1236.5 \pm 14 MHz



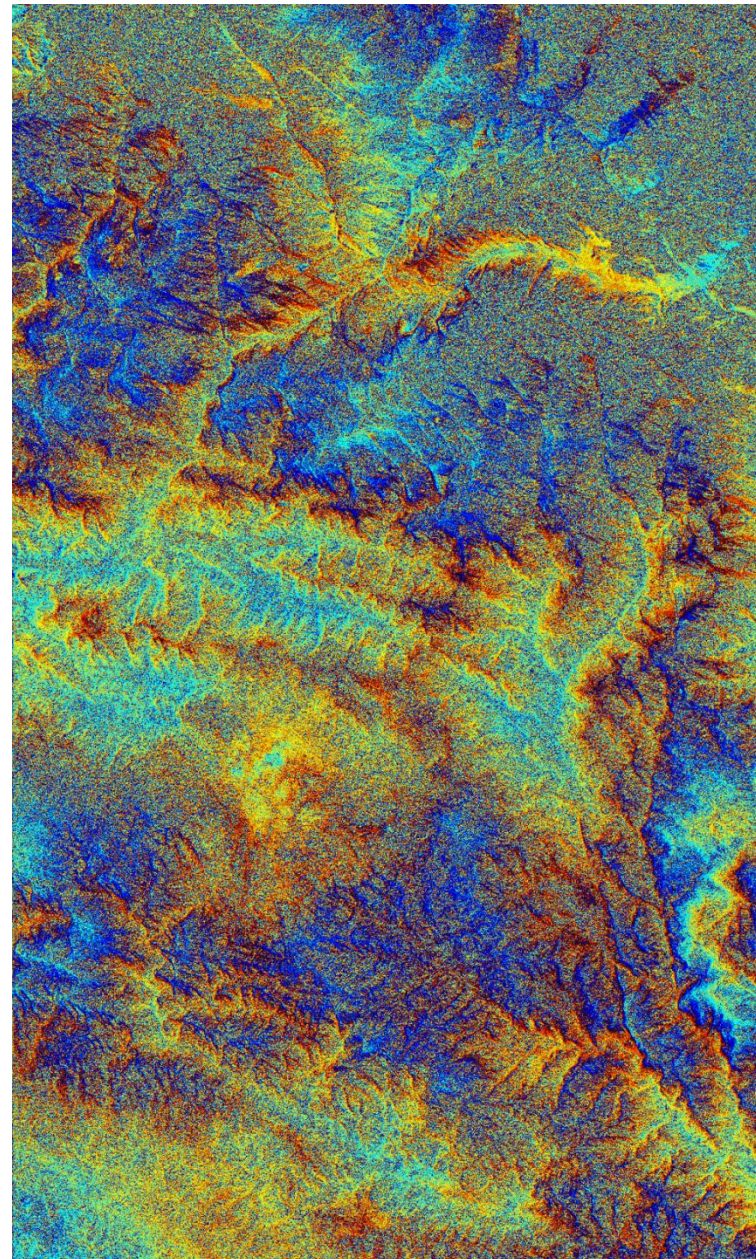
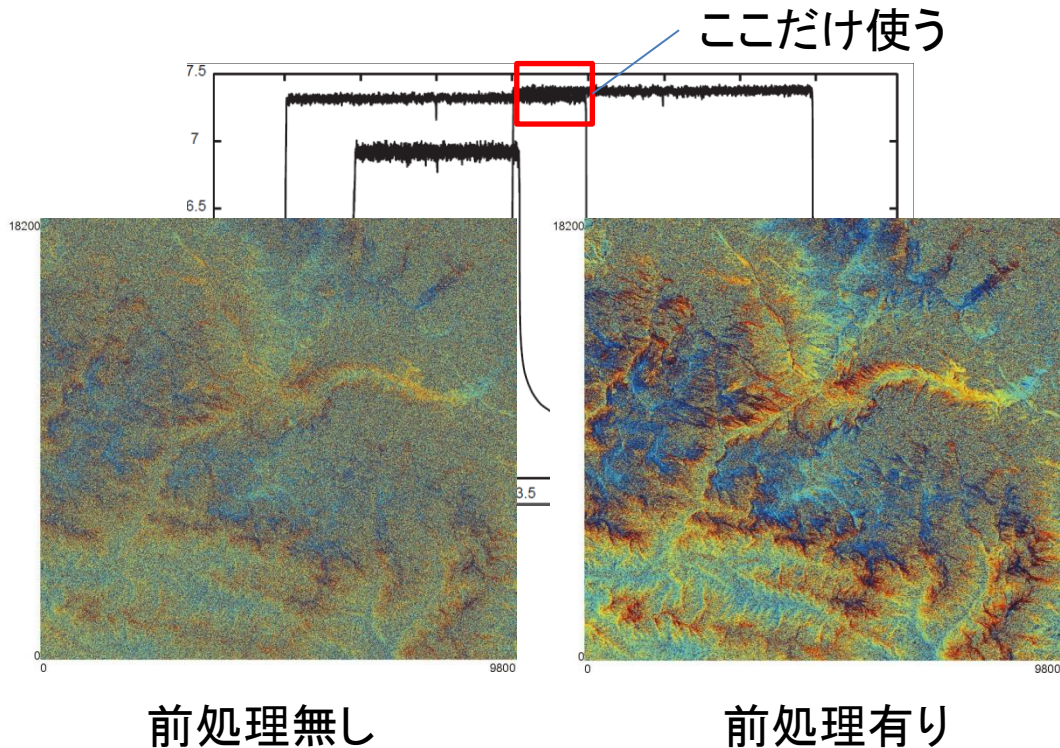
JAXA 4.2 ScanSAR – StripMap 干渉への影響

- 周波数が全く重複しないため、2015/6/1 以前はScanSAR- Strip 干渉ができない。
下図はPath 157. 参考としてF2-7 とサブスワスF3,F4 のScanSAR-Strip 干渉



AXA 4.3 6/1 以前と以後の干渉

- F2-6 は以前と以後で理論上は7MHz だけ重複している。従って、干渉処理は可能。
- ただし、中心周波数が違うためにそれぞれ21MHz ずつ余計な信号が乗っている。
- 前処理無しで干渉させると重複しない信号が干渉性を下げる。干渉処理前に重複しない帯域を除くことで干渉性を上げられる。



- 2015/2/8 以降のScanSAR-ScanSAR 干渉はバーストオーバーラップが十分あり(>75%) 大規模な地殻変動の解析には十分使える。
- 2/8 以前の干渉ペアは時期によって干渉性が変化する。
- きれいな干渉画像を作るには、相互相関の計算で相関ピークの選定に難。ただし ScanSAR フルアパーチャの根本的な問題。
- 軌道縞はGPS オンボードの場合は二次近似で消せる程度には残る。
- 電離層の影響が残る。
- Strip Map F2-6 で中心周波数の再設定が6/1 にあった。
- 6/1 以前はScanSAR - Strip 干渉が不可。それ以降は可。
- 6/1 以前と以後のF2-6 同士の干渉は重複帯域の抜き出しで可。

おまけ

ScanSAR-Strip は箱根でもやってみたが
ちょっとターゲットが小さすぎる。

P19 2015/04/28 - 2014/12/23

