

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

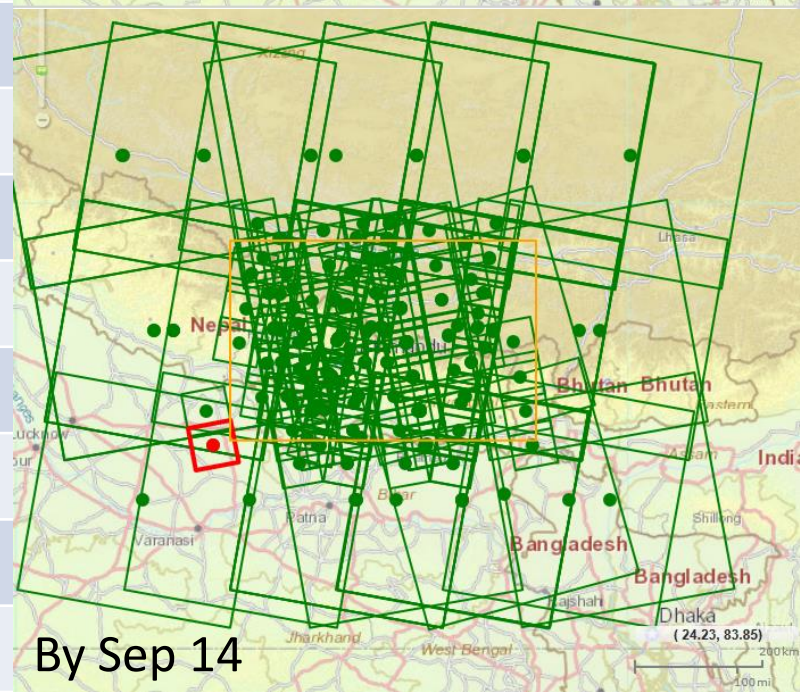
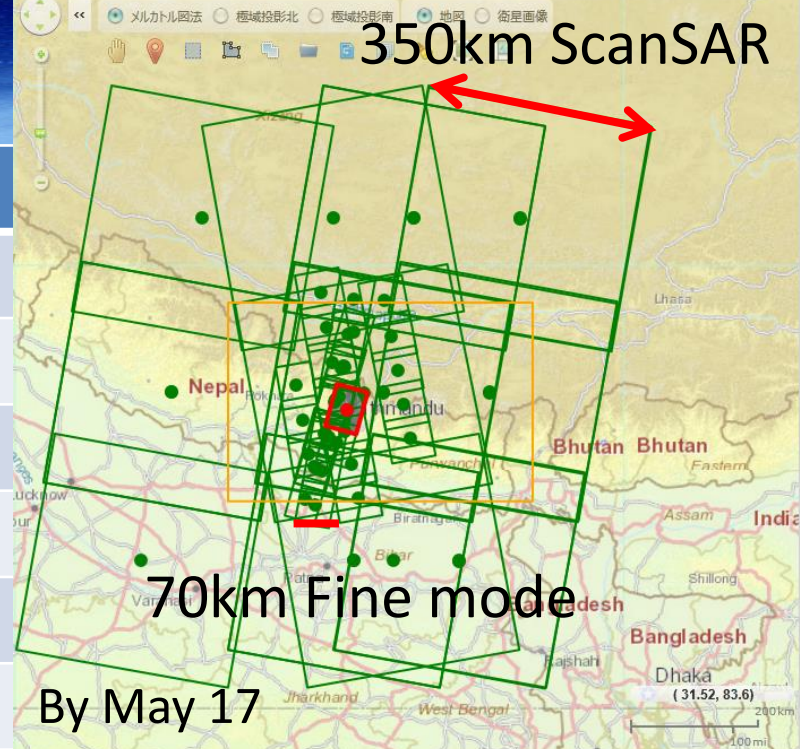
謝辞: PIXEL および地震予知連絡会SAR解析WGの活動、特に迅速な解析とフィードバックにつきまして厚く御礼申し上げます。

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

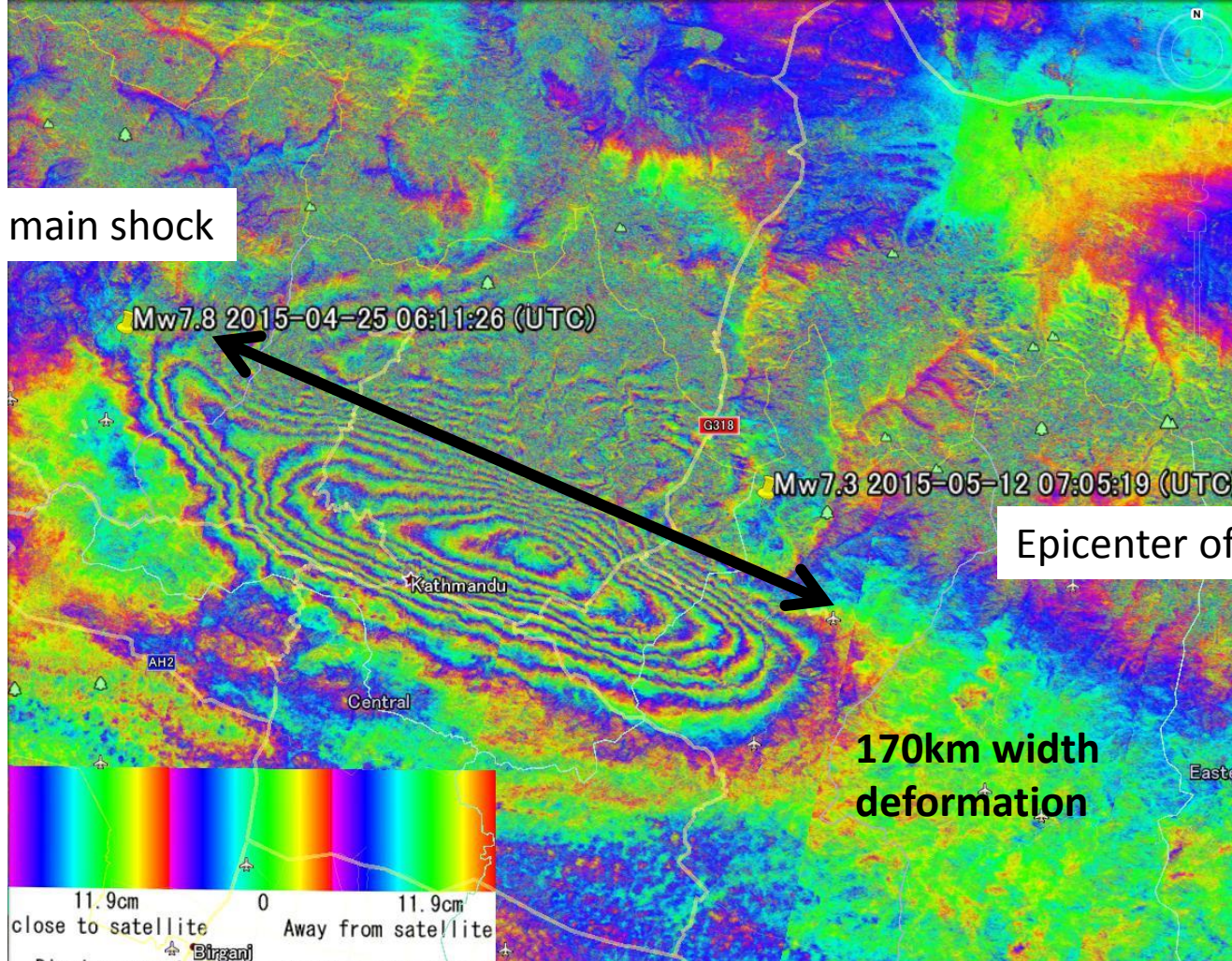
AXA 1.1 ネパール地震緊急観測

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



1.2 ScanSAR 干涉縞(本震)

Epicenter of main shock



Epicenter of after shock

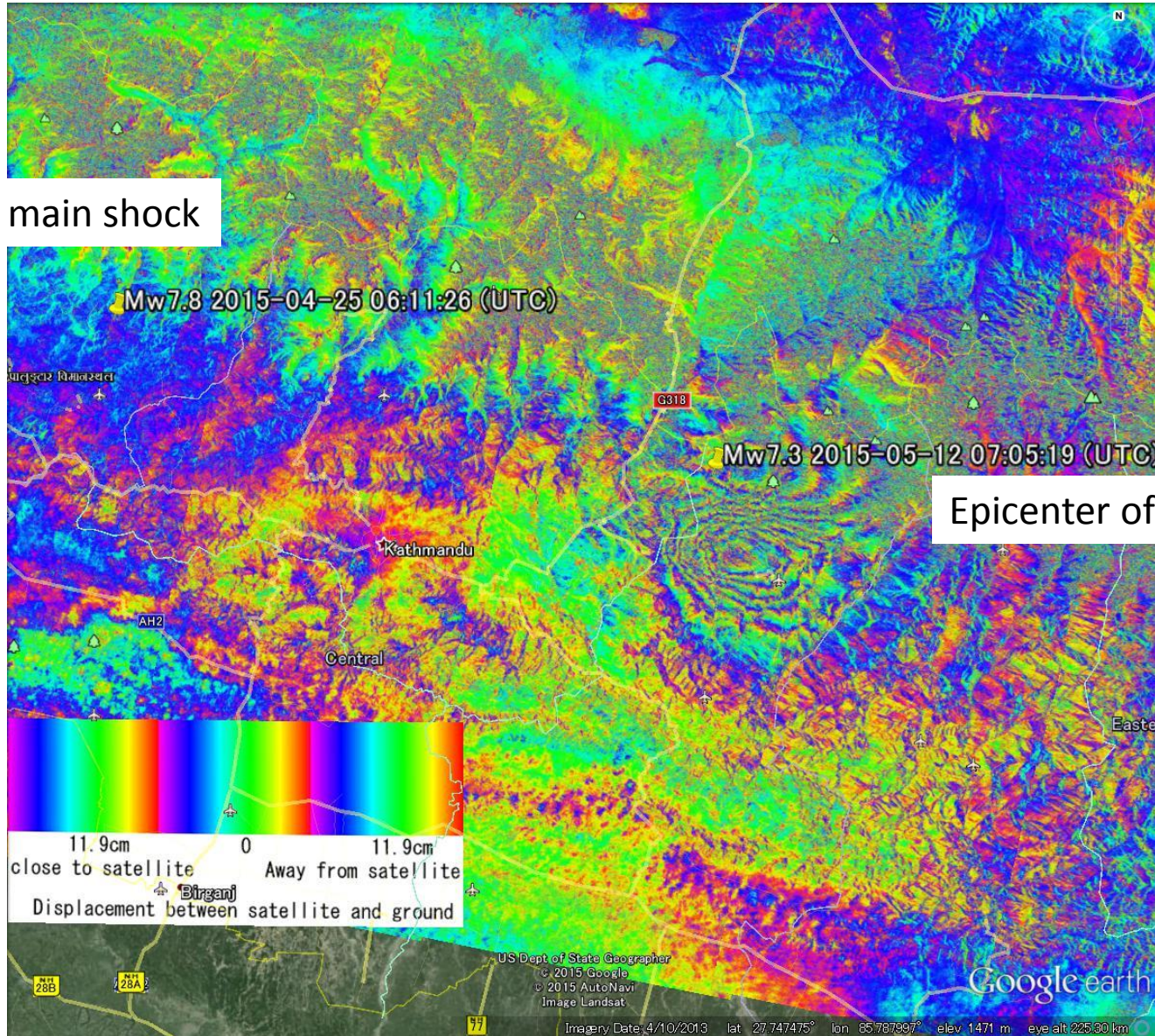
1 fringe = 12 cm deformation. -> approx. 1.2 m deformation



ScanSAR interferometry detected 170km width deformation

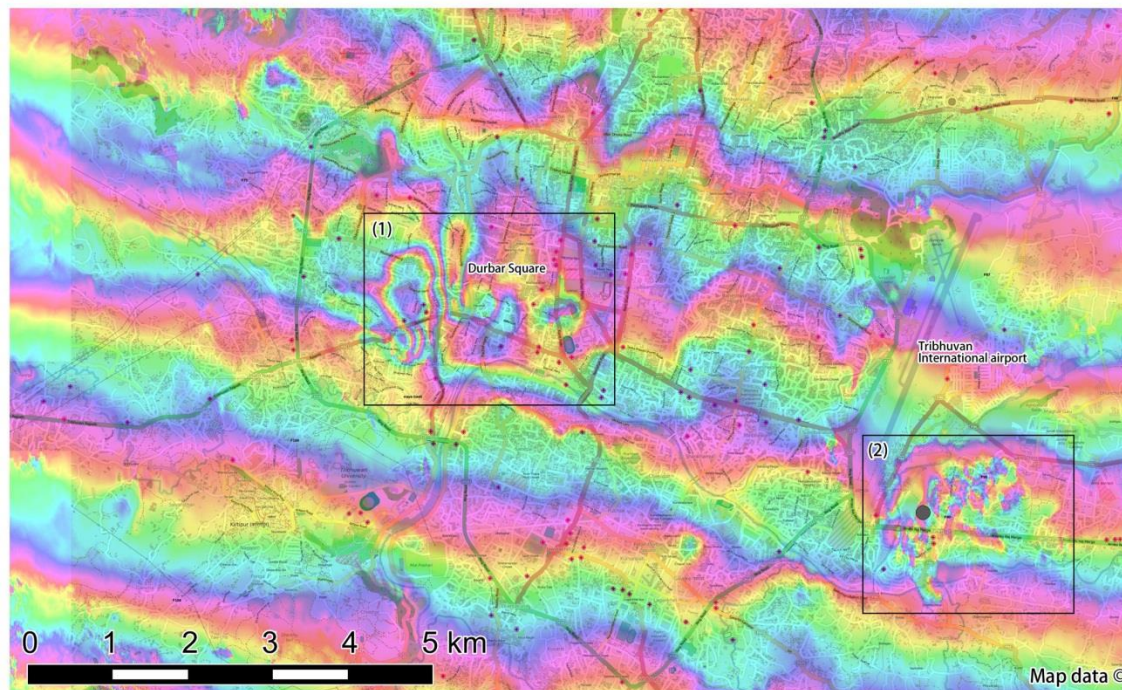
AXA 1.3 ScanSAR 干涉縞(余震)

Epicenter of main shock



ScanSAR interferometry detected aftershock

1.4 Strip Map によるカトマンズ中心部の被害



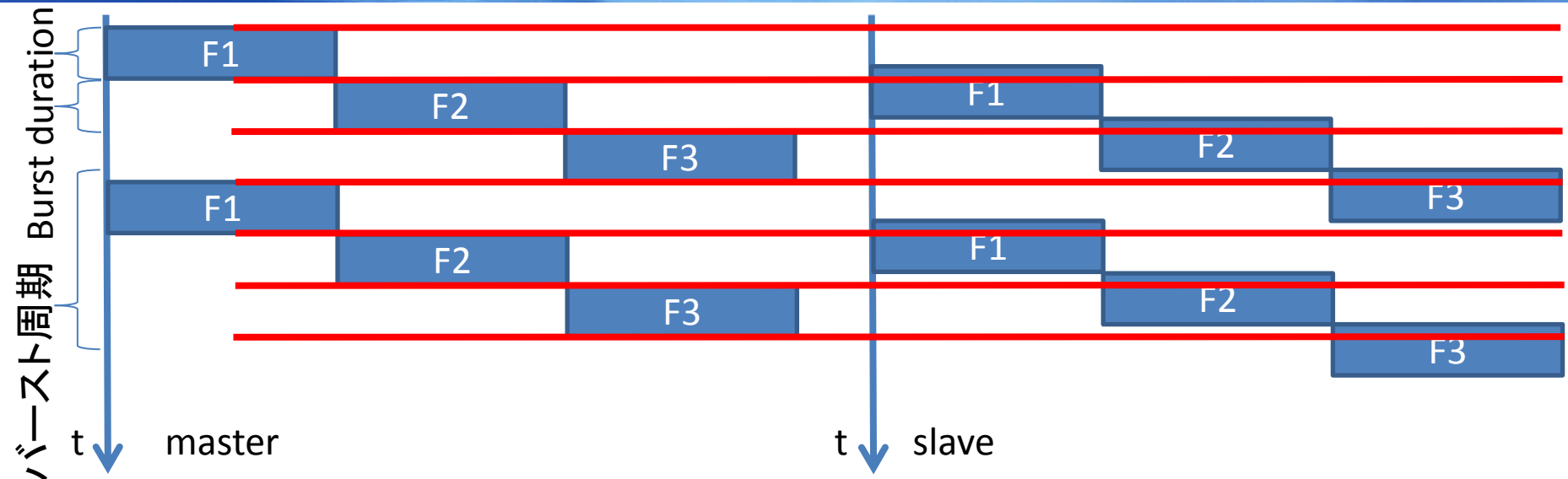
カトマンズ中心部で地震以外の変動縞を検知。現地調査団撮影の写真と照合した



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

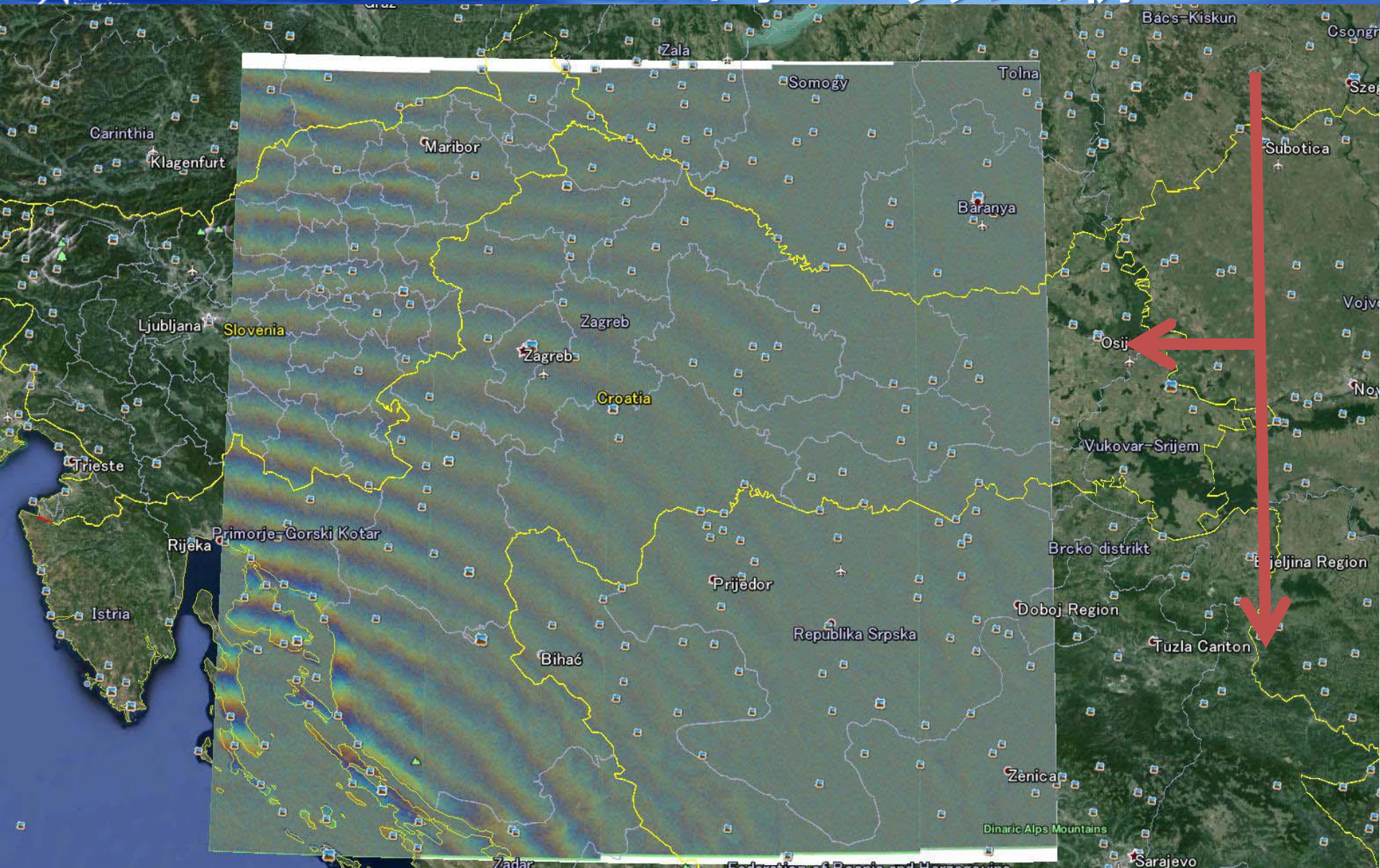
1. 背景
2. ScanSAR バーストオーバーラップ
3. ScanSAR の地殻変動によらない干渉縞
4. Strip Map ビームF2-6の中心周波数
5. まとめ

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。

AXA 2.2 ScanSAR 20% バーストオーバーラップの例



Bosnia ALOS2015722700-140907 / ALOS2021932700-141019

Google earth

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、基本観測で使用する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.

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

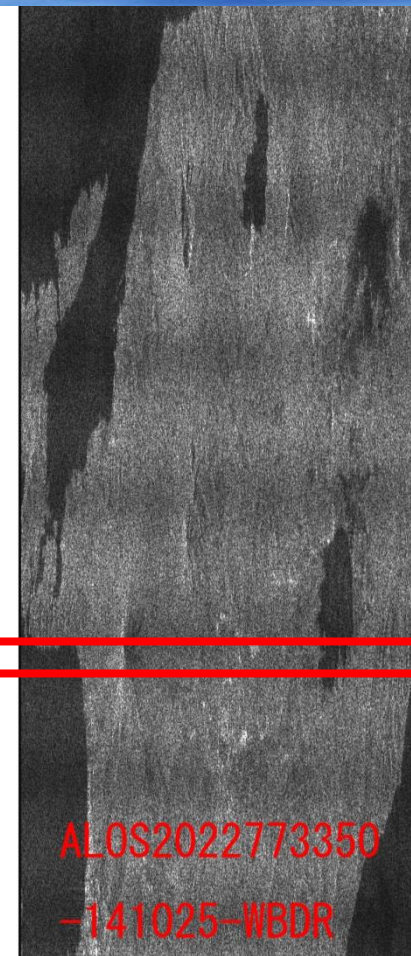
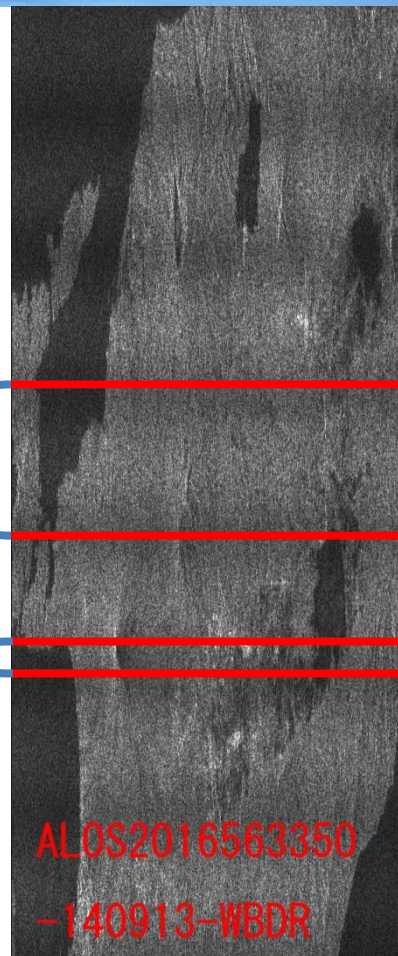
バースト照射周期

バーストのオフセット量

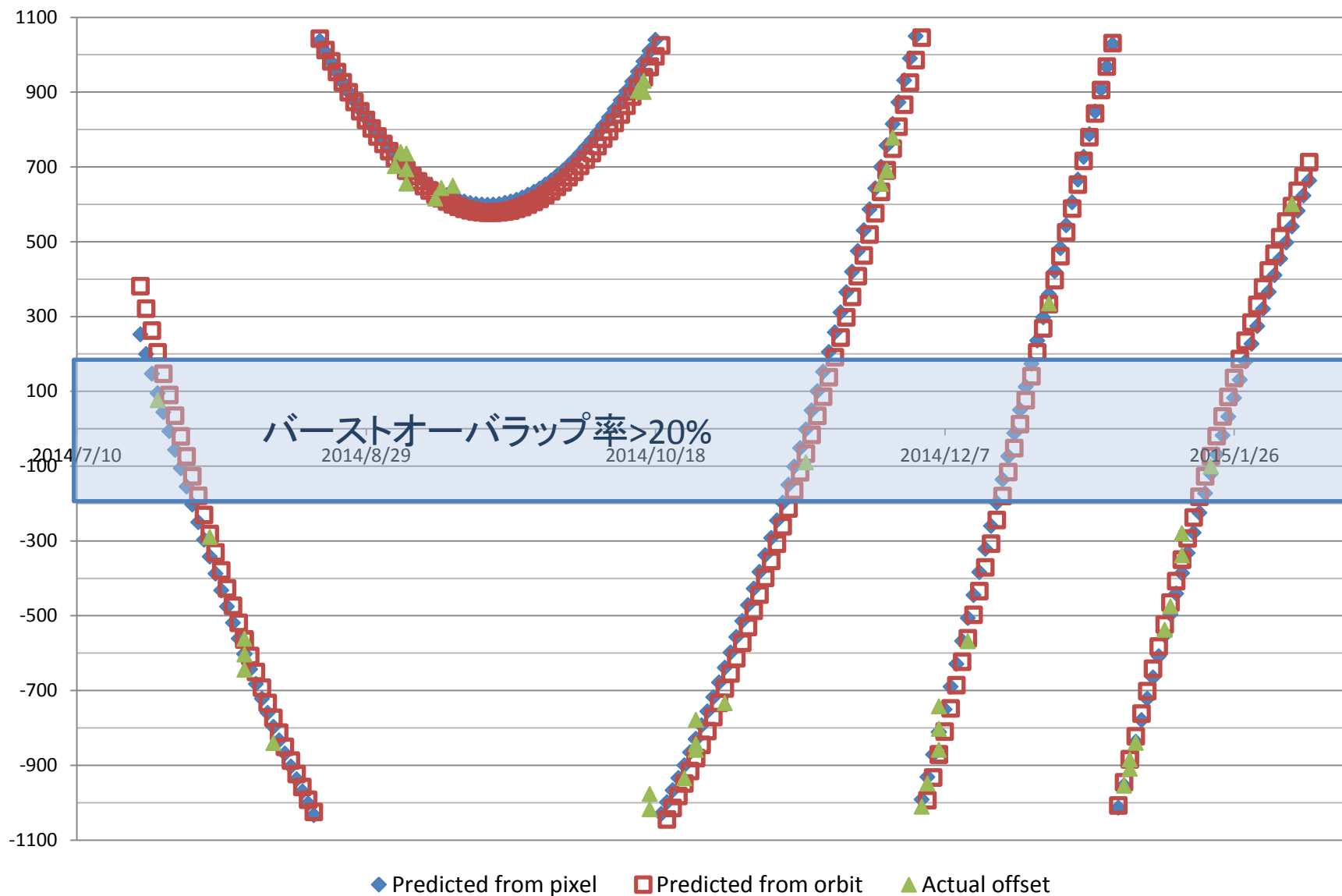
- 例:W2 モードのF1 ならば、照射周期
2100 pixel → Duration 420 pixel より、
オフセット 70 pixel なら 83.3%
- 近似式 (前頁**) は

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

- 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

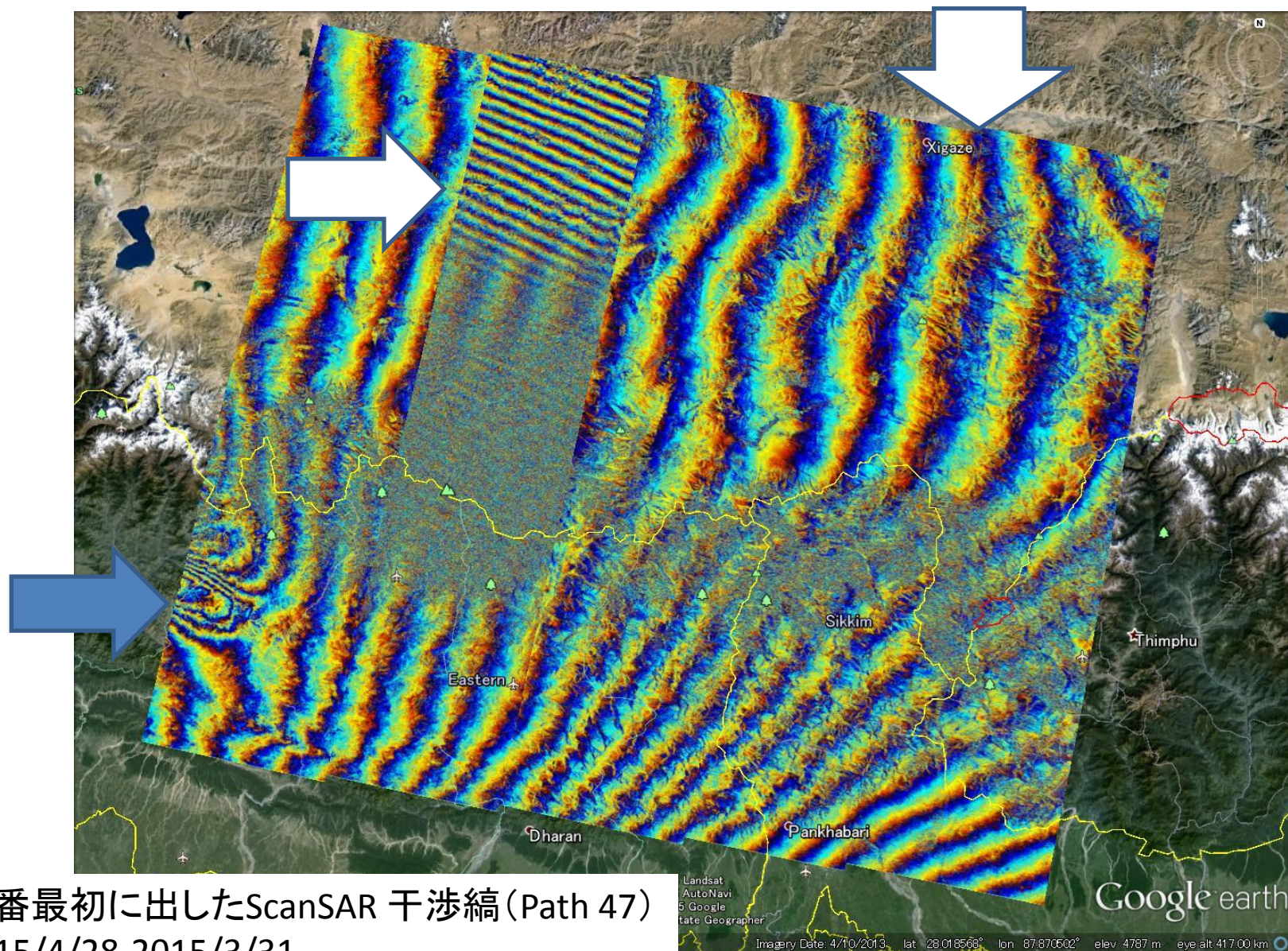


JAXA 2.5 オーバラップ率予想の比較



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

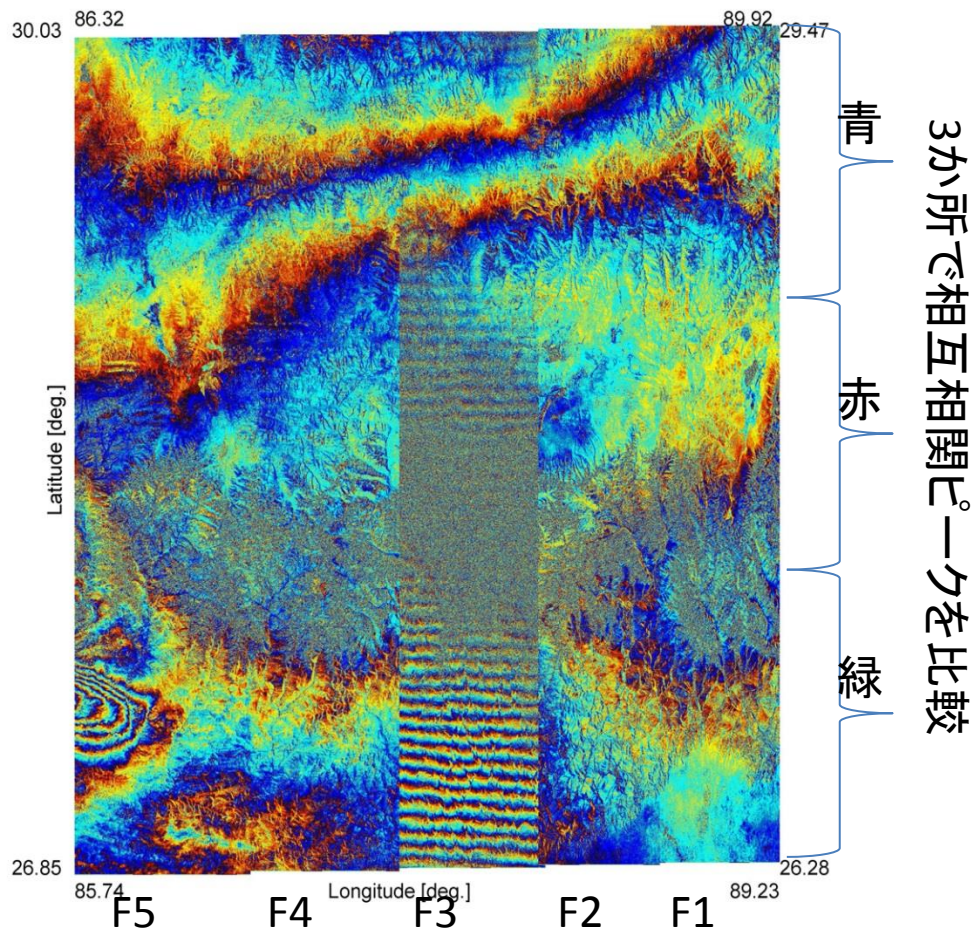


一番最初に出したScanSAR 干渉縞 (Path 47)
2015/4/28-2015/3/31

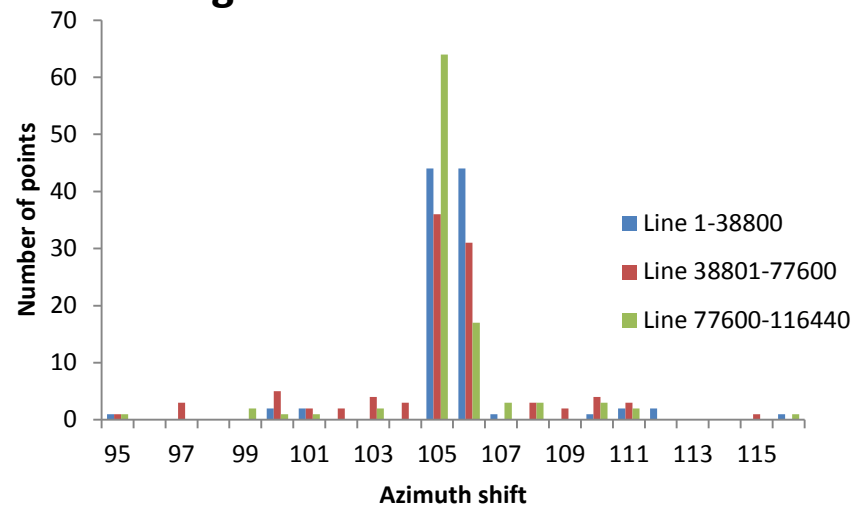
- 位置合わせ
- 軌道縞
- 電離層
- その他

AXA 3.3 位置合わせの比較

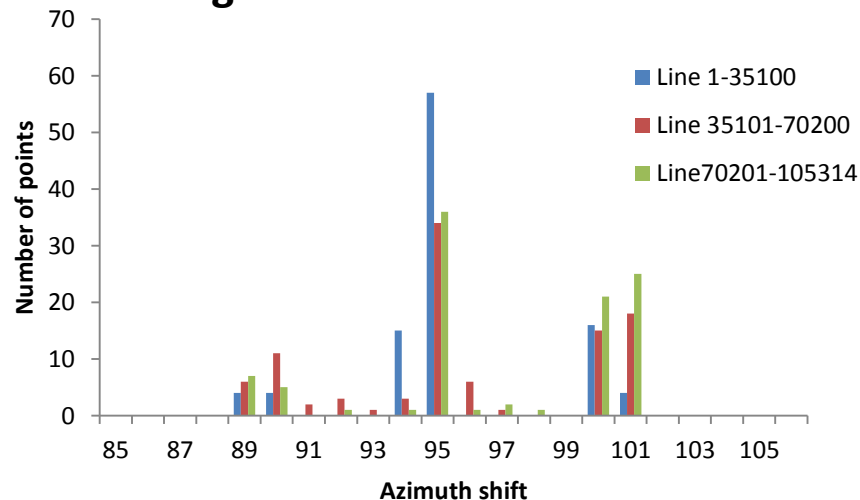
- 相互相関ピークが複数出る場合がある
- 位置合わせでセカンドピークの方が大きくなると干渉に失敗(ソフトウェア依存)
- アフィン変換時にピーク以外は干渉しない



Histogram of azimuth offset in F1



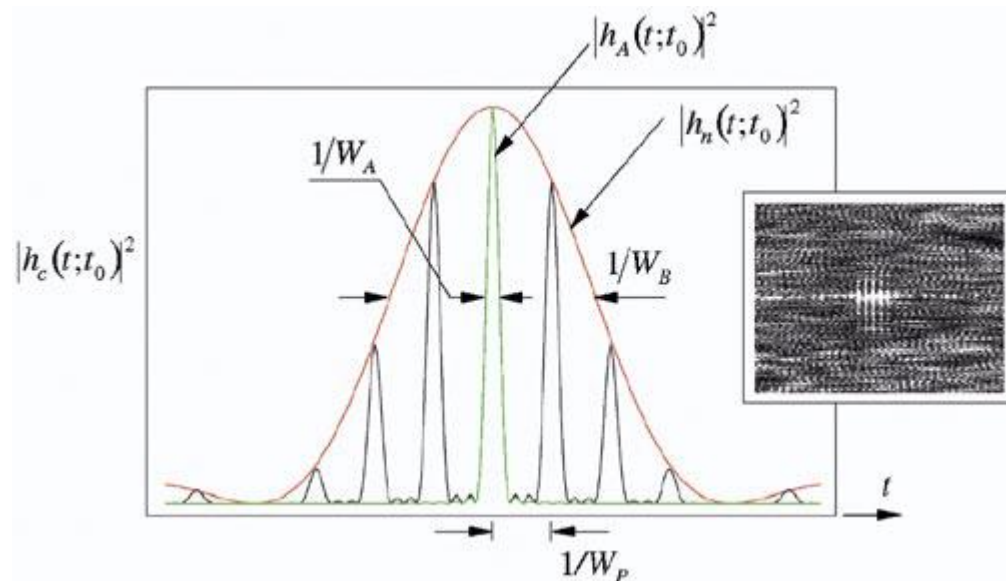
Histogram of azimuth offset in F3



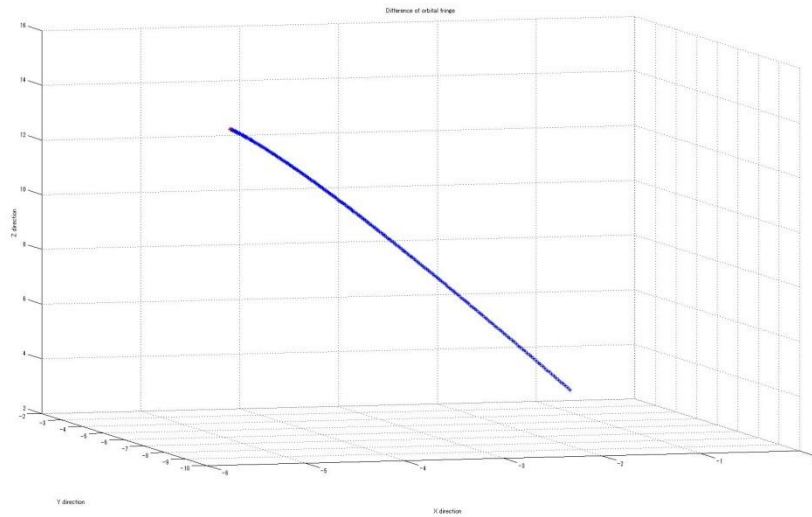
レンジ方向に分布の偏りはない

3.4 対策(ソフトウェアによる)

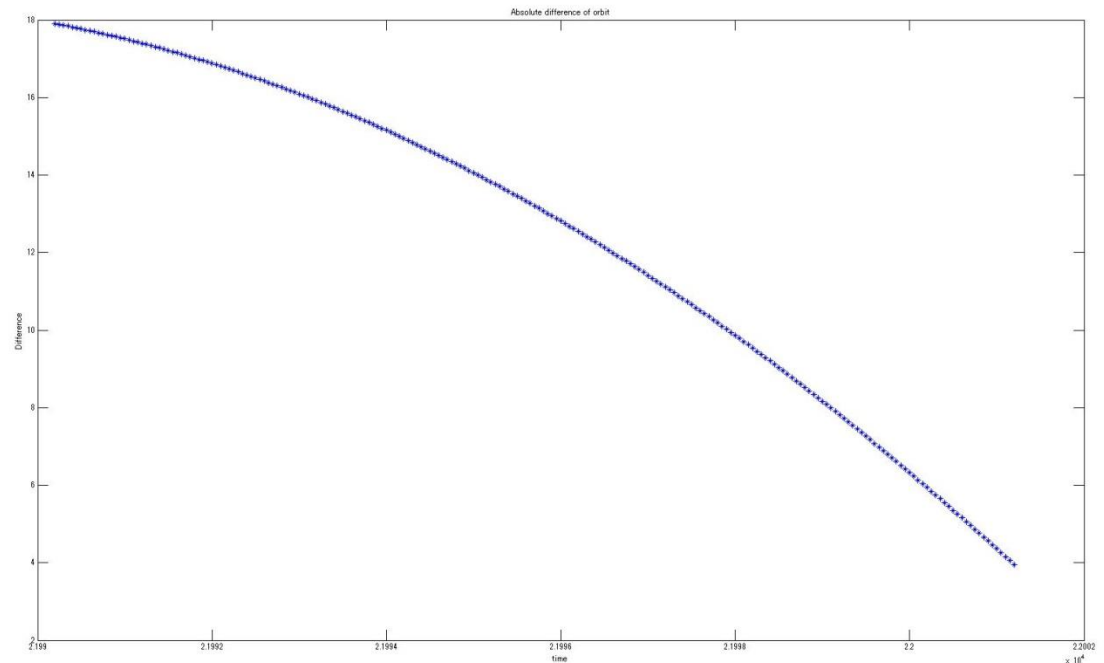
- アフィン変換の次数を下げる
相関ピークの分布が偏ると、ソフトウェアがアフィン変換係数を複数のピークに最大限合わせようとしてしまう。
→ 変換の次数を一次まで下げるとどれか一つのピークのみが採用されやすくなる。
ただし、偏りが極端だと一次でも間違える。
- 相互相関処理を二段階にする
相互相関ピーク同士は5~7ピクセル程度離れる(サブスワスによる)
→ 画像全体でのピークを一つ採用し、そのピーク $\pm X$ ピクセルで位置合わせを行う。
最初に間違ったピークを採用してしまう場合がある。
- アジマス方向にフィルタする
フルアパーチャで合成開口
した場合は点像応答で
複数のピークが立ってし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



AXA 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

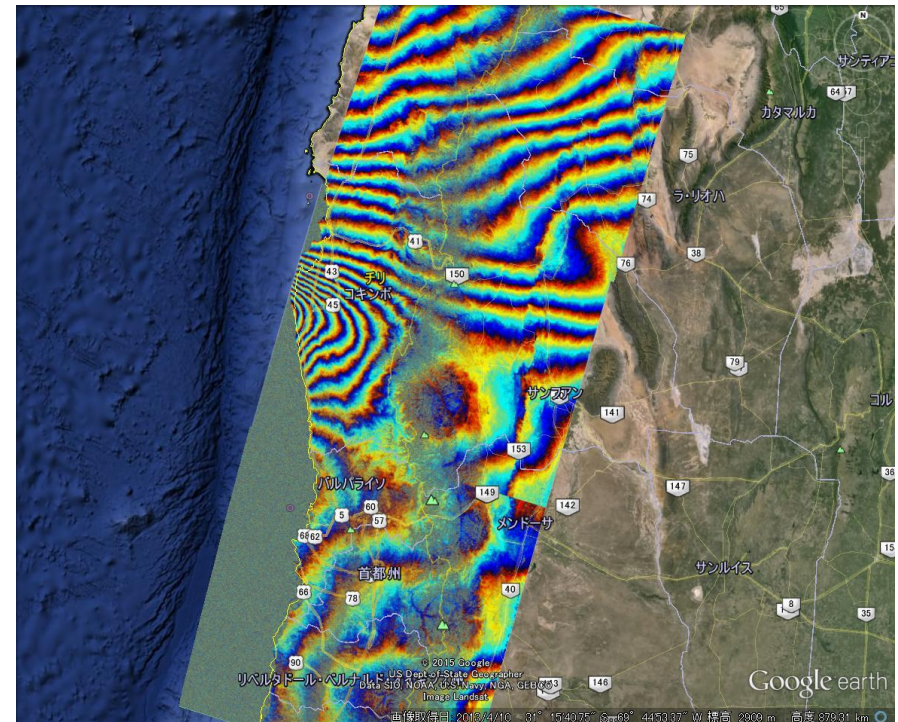
緊急観測等でGPS オンボード軌道を使用すると確定軌道より大きな誤差が生じる(ネパール地震では ~ 18 m。平均的には10 m)。二次近似で省くことが可能。

- 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

4.1 Strip Map ビームF2-6の中心周波数

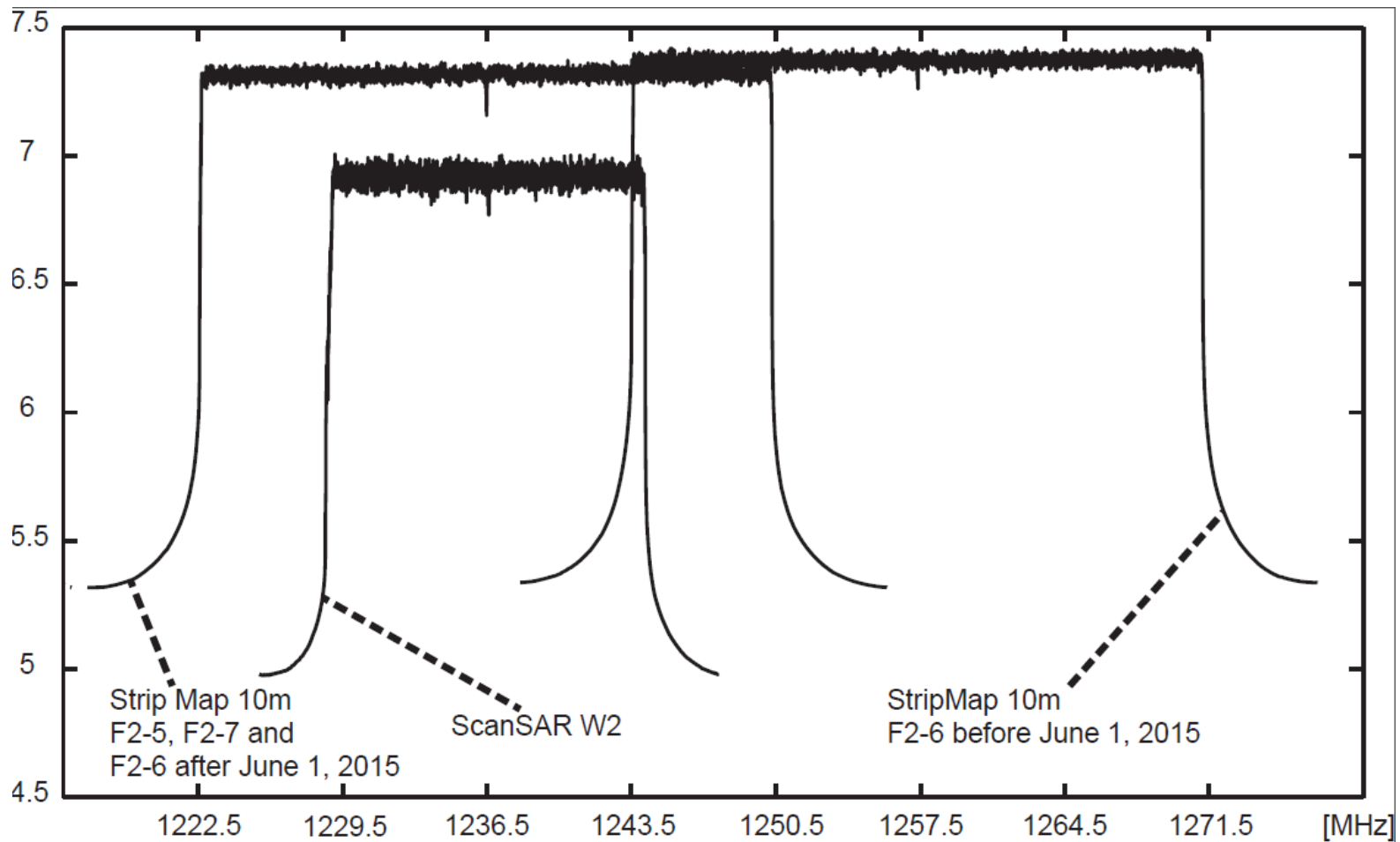
ALOS-2 は複数の中心周波数を設定できる。

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

High-Sensitive / Fine / ScanSAR :1236.5 MHz

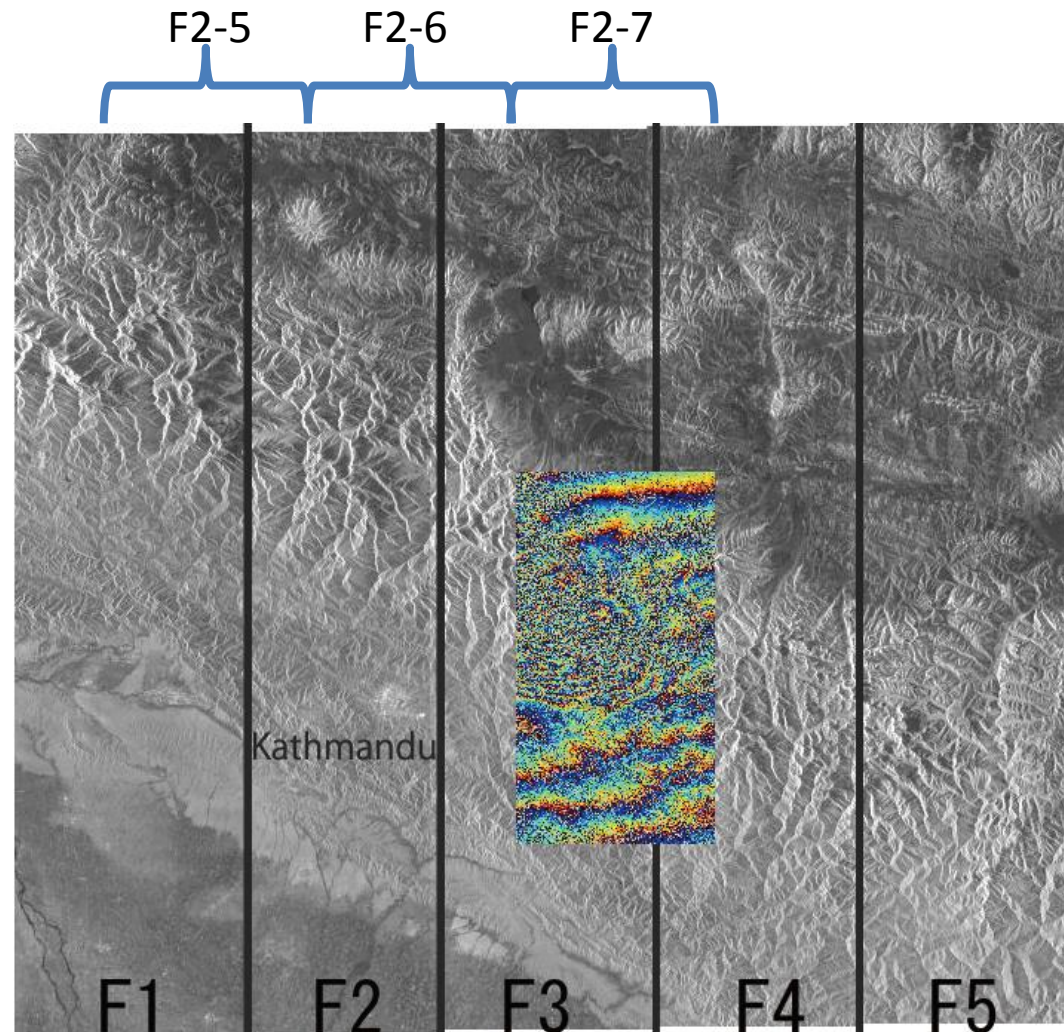
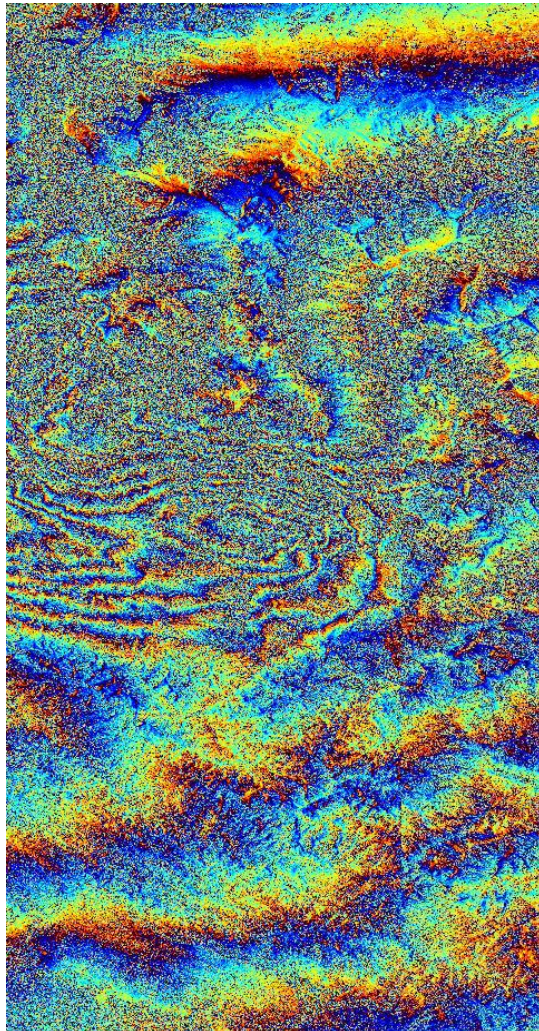
Fine beam No. F2-6 のみ 1257.5 ± 14 MHz に設定されていた。2015 / 6/1 まで。

F2-5 と F2-7 は 1236.5 ± 14 MHz



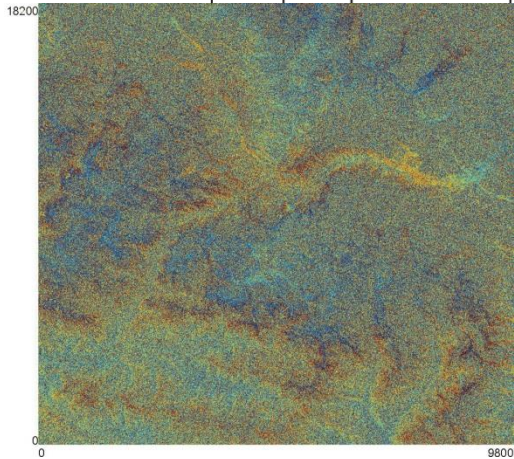
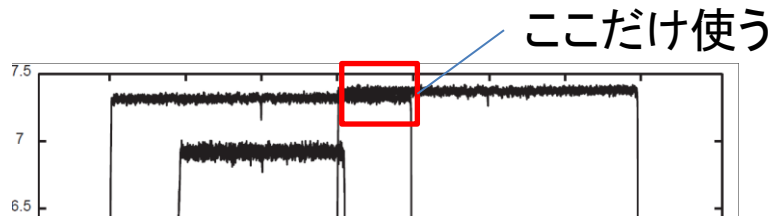
4.2 ScanSAR – StripMap 干渉への影響

- 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

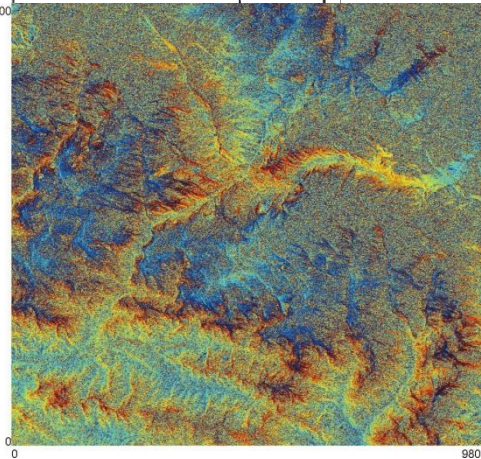


AXA 4.3 6/1 以前と以後の干渉

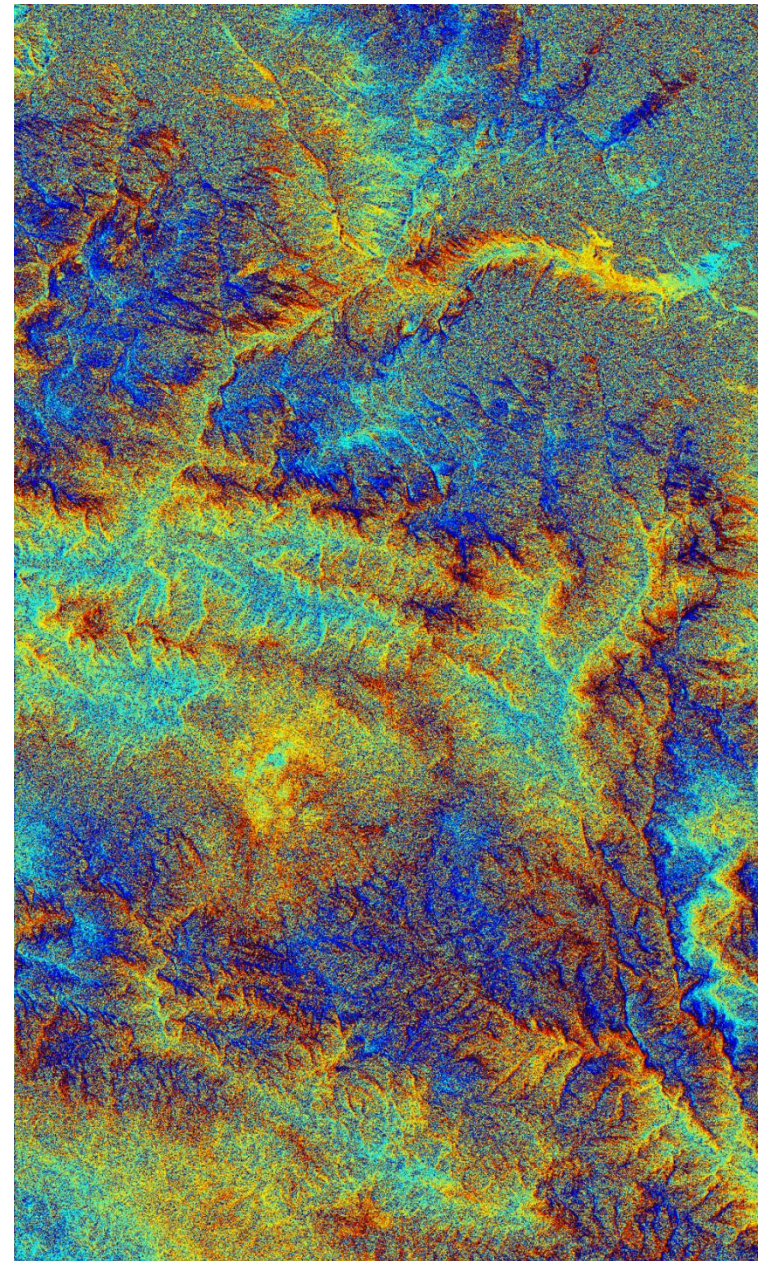
- F2-6 は以前と以後で理論上は7MHz だけ重複している。従って、干渉処理は可能。
- ただし、中心周波数が違うためにそれぞれ21MHz ずつ余計な信号が乗っている。
- 前処理無しで干渉させると重複しない信号が干渉性を下げる。干渉処理前に重複しない帯域を除くことで干渉性を上げられる。



前処理無し



前処理有り



- 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

