

地震火山研究におけるALOSの 寄与とALOS-2以降への期待

福島 洋・橋下 学・高田陽一郎
(京都大学防災研究所)

ALOSが地震火山研究で貢献したこと： あらゆる地域での地殻変動検出

- 地震の複雑性が明らかに
- 世界中の火山のモニタリングが可能に
 - 「全地球火山監視システム」は夢物語ではない
 - 系統的な火山・テクトニクスの研究が可能

The frames analyzed by Estelle Chaussard,
a student at Univ. Miami

スンダ弧のALOS/PALSARシーン範囲の図

他人から頂いた図なので、削除しました。

スンダ弧の火山、時系列解析結果の図

他人から頂いた図なので、削除しました。

ちなみに、このスンダ弧3000kmの時系列解析は、たった一人の学生によって行われました。例えば日本列島全域の変動時系列を解析し公開するようなことは、データ量等の問題を含めても現時点で十分可能だと思います。

ALOSの短所

- 再来周期が長い
- 観測が少ない
- 電離層ノイズ

→ ALOS-2で改善
できる！

→ 次のミッション
では是非！

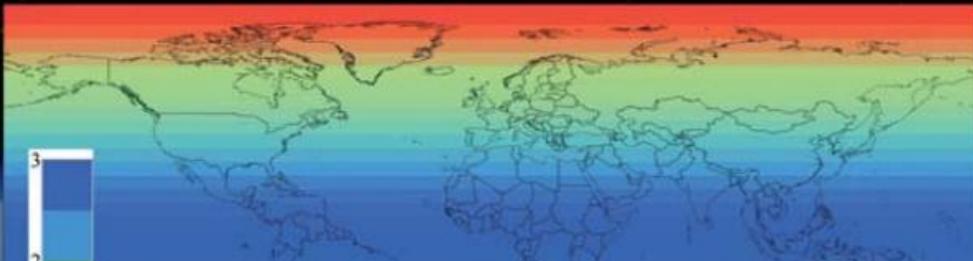
地殻変動モニタリング（時系列で変動を追跡
していく）には使いにくい。

本日のメッセージ： ALOS-2への期待

- これからの干渉SAR＝微小な変動の推移を測定する。イメージ：GEONETの高空間解像度版。
（地震火山イベントに伴う変動検出は当然）
- そのためには、**高頻度観測**が決定的に重要。3つの意義：①時間干渉度劣化の回避、②画像枚数をかせぐことによるノイズ軽減、③時間分解能。
 - **基本観測として広域観測モードを！**
 - **昇交・降交軌道の両方からの観測を！**
 - **右左両方向の観測より、どちらかを！**
- 単偏波（？）（分解能向上のため）
- Sentinelには負けないで欲しい。相補的、あるいは上をいくデータを！

Sentinel-1@ESA

2013年 2nd Quarter 打ち上げ



Sentinel-1 Satellite Characteristics

Lifetime: 7 years (consumables 12 years)

Launcher: Soyuz from Kourou (baseline),
Zenith-2 (backup)

Orbit: near-polar Sun-synchronous
693 km **12-day repeat cycle;** 175 revs
per cycle

Mean Local Time: **(+orbital tube 50m)**
ascending node

Orbital period: 98.6 minutes

Attitude stabilisation: 3-axis

Attitude accuracy: 0.01 deg (each axis)

Orbit knowledge: 10 m (each axis,
3-sigma) using GPS

Operating autonomy: 96 hours

Launch mass: 2300 kg (including 130 kg
monopropellant fuel)

Size (stowed): 3900 x 2600 x 2500 mm

Solar array average power: 4800 W (end-
of-life); battery capacity: >300 Ah

Spacecraft availability: 0.998

Science data storage capacity: 1000 GB
(end-of-life)

S-band TT&C data rate: 100 Mbit/s
telecommand; 16/12 Mbit/s

telemetry (programmable)

X-band science data rate: 600 Mbit/s

Operational modes

Sentinel-1 has four standard operational modes, designed for interoperability with other systems:

基本観測モード

– Strip Map Mode, 80 km swath and
5 x 5 m spatial resolution;

– Interferometric Wide Swath Mode,
250 km swath, 5 x 20 m spatial resolu-
tion and burst synchronisation for
interferometry;

– Extra-wide Swath Mode, 400 km
swath and 25 x 100 m spatial resolution
(3-looks);

データは無料公開。

– Synthetic Aperture Radar (SAR) Mode, 100 km swath and 5 x 20 m spatial resolution. SAR provides high resolution images of the ground. SAR images are acquired at 100 km intervals along the orbit.

FRINGE 2011ワークショップの発表資料から

ERS-2、撮像日間隔36日の干渉画像の図

他人から頂いた図なので、削除しました。

ERS-2、撮像日間隔12日 (Sentinelと同じ)の干渉画像の図

他人から頂いた図なので、削除しました。

$\Delta t=12$ 日なら (Cバンドでも)
かなり使えそう。

($\Delta \text{doppler}$ が270Hzもあることも留意)

ERS-2、東北地方の時系列解析の図(GPSと $\sigma \sim 1\text{cm}$ くらいで整合)

他人から頂いた図なので、削除しました。

Zhenghong Li et al.のFRINGE 2011ワークショップ 発表の図

ネバタの地熱プラントの地盤沈下について、
InSARとGPSの時系列を比較したところ、RMSで0.5mm/yrの一致性

他人から頂いた図なので、削除しました。

干渉SARで大地の時々刻々 とした変形を測る

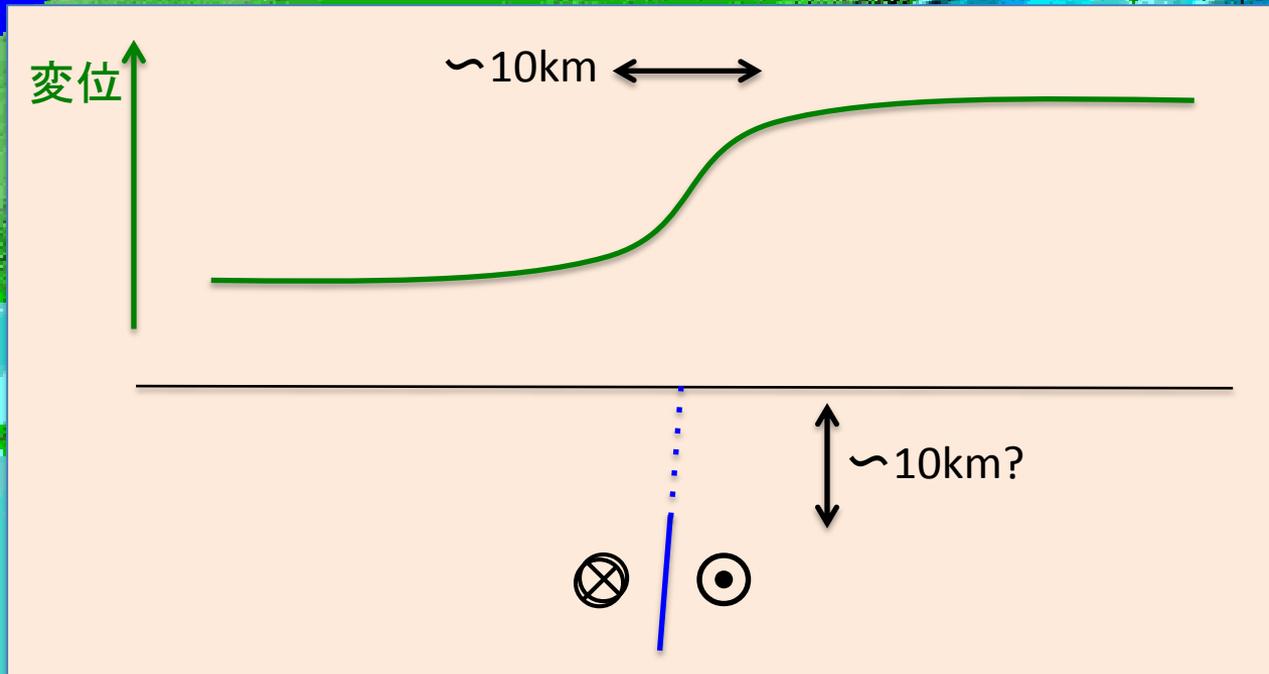
干渉SARの4大ターゲット：

地震・火山・地盤沈下・地すべ

い^りずれのターゲットにとっても、干渉SARの時系列解析はモニタリング（監視）・メカニズム研究（災害学理の追求）の両方にとって大変有用。

mm、mm/yearレベルで変動がわかれば、相当のことがわかるはず

- 変動帯（日本列島など）の変形



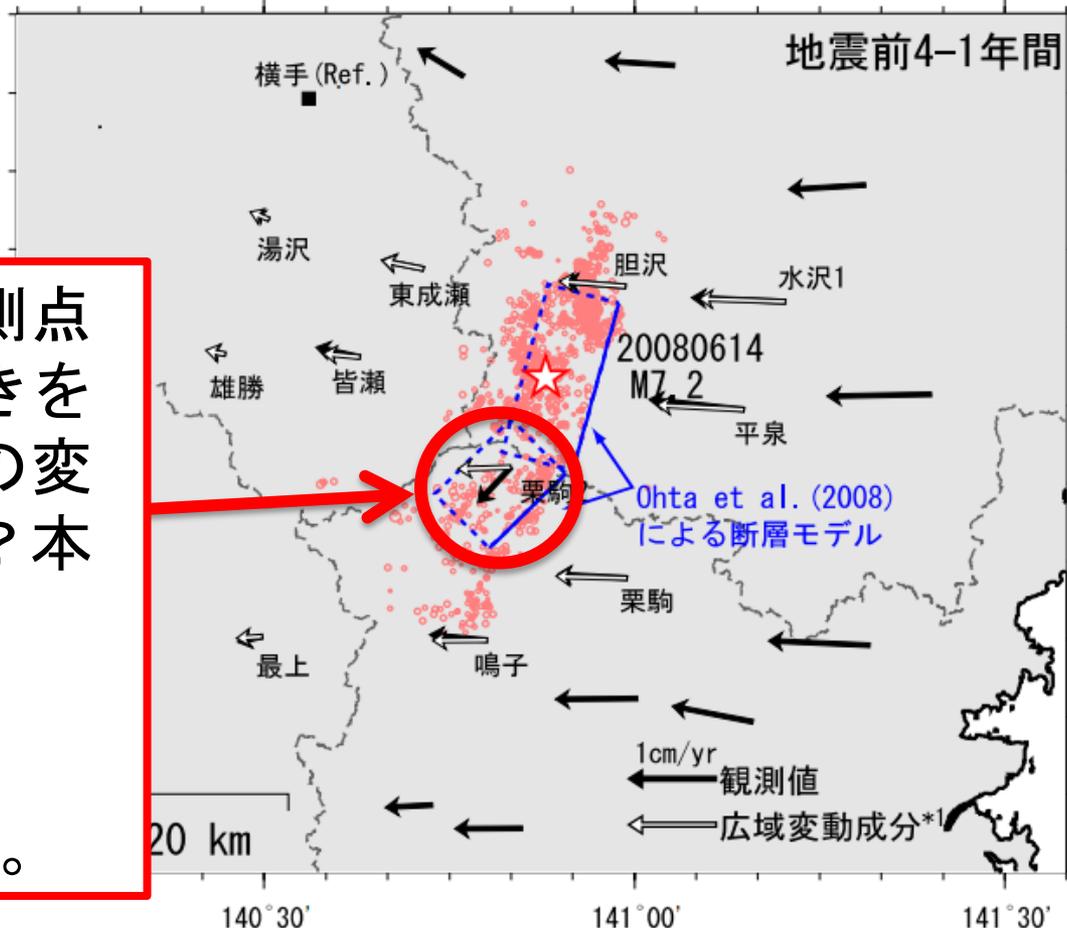
変形は、活断層周辺や火山地域にどの程度局在化するのか？

岩手・宮城内陸地震：地震前の変動

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震前の地殻変動(1)

栗駒2で地震前に観測された変動を、地震活動より示唆される前駆すべりモデル(統計数理研究所による)に基づいて説明すると、2004-2007年に最大2cm/年の前駆すべりが震源断層南部で起こっていたことになる。

地震の4年前から1年前の間の水平速度ベクトル(速度の推定期間:2004/7-2007/7)



明らかに、この観測点だけ周囲と違う動きをしている。火山性の変動？前駆的すべり？本震との関係は？

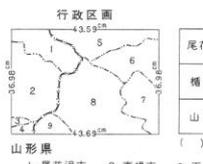
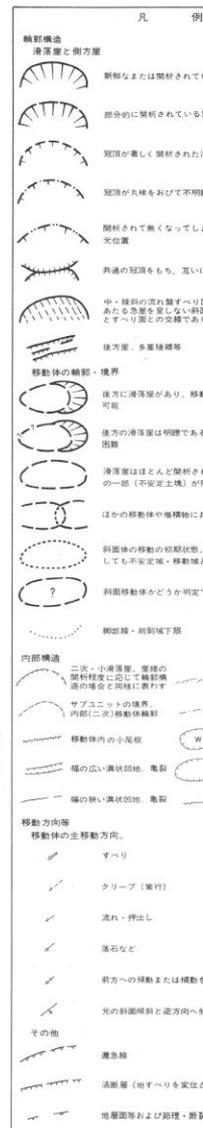
しかし、一点のみ。
InSARがあれば。。。

広域観測モードの解像度100mでも、地すべりに伴う変動を測定することはできそう。

Q: 広域観測モードで実現される分解能（解像セルの大きさ）は？分解能は高いほうが当然望ましい。10mから50mの分解能があるのが理想的（by 千木良教授@京大防災研）

TOPSモードはできませんか？

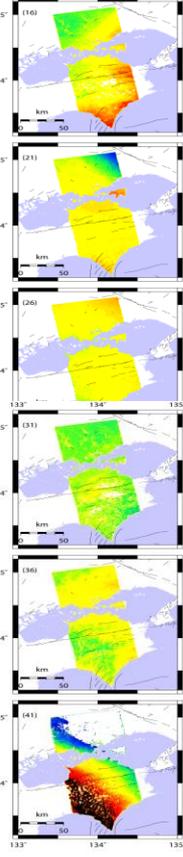
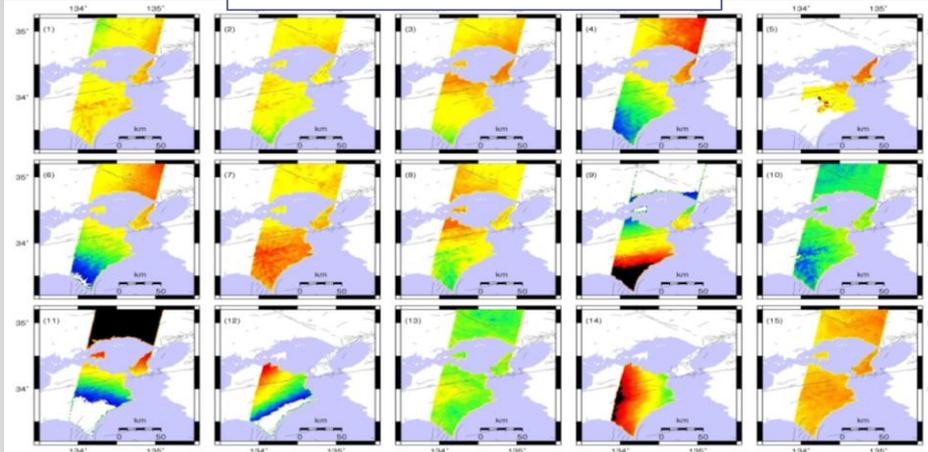
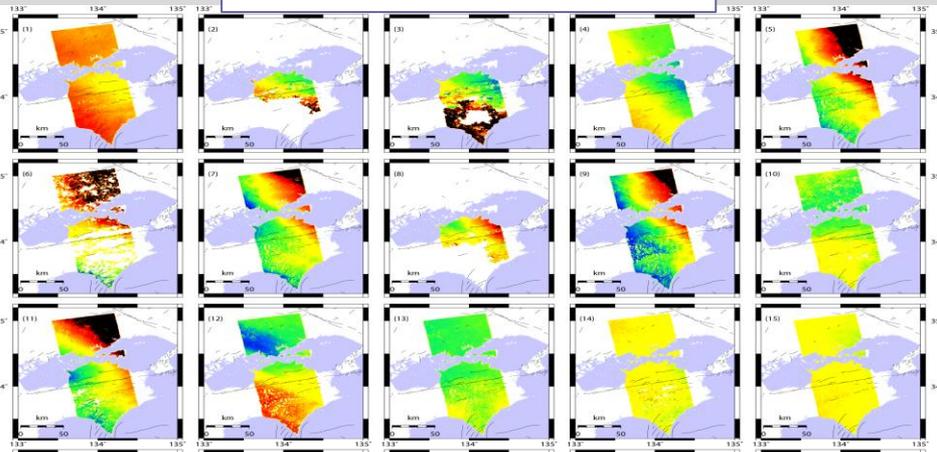
2km



昇交データ？降交データ？

昇交干渉画像

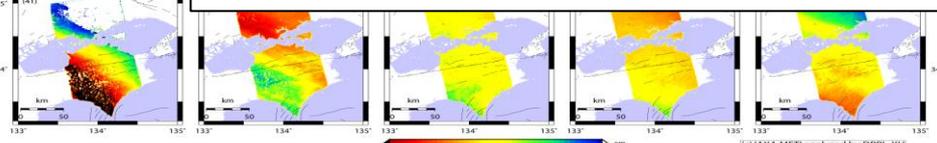
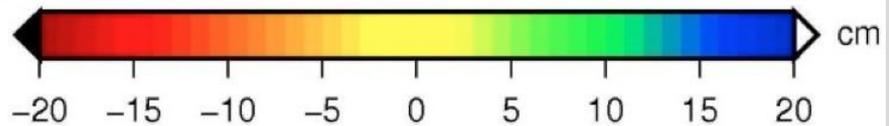
降交干渉画像



少なくとも、「昇交干渉画像の方が明らかに電離層ノイズが少ない」とは言えなさそう。

(しかも、変動空間スケールが小さい地すべりや地盤沈下は、電離層ノイズはあまり関係ない)

昇交と降交の両方あるのが理想的。



JAXA/METI analyzed by DPRI-KU

(C)JAXA/METI analyzed by DPRI-KU

おまけ : Geosynchronous InSAR



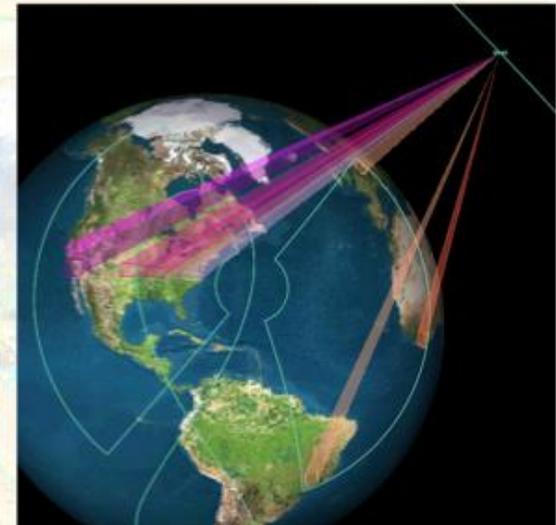
A Geosynchronous SAR Concept

Operational Modes Highly Flexible



Operational modes

- Stripmap SAR with 400 km swath width:
 - 10 m resolution @ 4-5 looks
 - Suited for high-resolution mapping
- ScanSAR over 5500 km swaths on either side of nadir track:
 - 50 m @ 4-5 looks
 - Daily continental coverage
- Squint-scanned SAR (beam hops to $+45^\circ$, broadside, -45°):
 - 3-D displacement mapping of extended areas in a single day
 - Useful for tectonic studies
- Spotlight SAR (beam dwells on single target area for long time):
 - High resolution in azimuth, semi-continuous coverage
 - Suitable for disaster management
- High resolution stepped frequency SAR (step frequency within 80 MHz band on successive passes then combine coherently to get high resolution without losing SNR or increasing data rate):
 - 2 m ground range resolution, 2m azimuth resolution at far range
 - 6-10 m resolution at near range



Data rates and volumes

- Data rate 220 Mbits/sec per 20 MHz channel
- 2.4 TB/day with nearly 100% instrument duty cycle

Rosen et al. (2010, IGARSS)

まとめ：ALOS2への期待

- これからの干渉SAR＝微小な変動の推移を測定する。（イメージ：GEONETの高空間解像度版）
- そのためには、高頻度観測が決定的に重要。3つの意義：①時間干渉度劣化の回避、②画像枚数をかせぐことによるノイズ軽減、③時間分解能。
 - 基本観測として広域観測モードを！
 - 昇交・降交軌道の両方からの観測を！
 - 右左両方向の観測より、どちらかを！
- Sentinelには負けないで欲しい。相補的、あるいは上をいくデータを！