

国土地理院における 地震・火山活動に伴う地殻変動の観測・解析



Outline for today's talk

1. 地殻変動解析の成果
2. ALOS-2への期待
3. 観測要求地域(案)について

小林 知勝*, 飛田幹男, 山中雅之, 野口優子, 鈴木啓, 宮原伐折羅, 石原操
(国土地理院)

Geospatial Information Authority of Japan

ALOS-2WS
2011/11/17

謝辞

ALOSの長年にわたる活躍が、地震・火山・地盤沈下等の国土監視ならびに当該研究分野における新しい発見や発展に、多大なる貢献をもたらしました。JAXAならびに多くの関係者の方々のこれまでのご尽力に感謝の意を申し上げます。

本研究で用いたPALSARデータは地震・地盤変動データ流通及び解析ワーキンググループ（地震WG）、火山噴火予知連・衛星解析グループ（火山WG）からの提供を受けたものおよび国土地理院とJAXAの「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定書」に基づき購入したものです。PALSARデータの所有権は宇宙航空研究開発機構（JAXA）および経済産業省にあります。

1. 地殻変動解析の成果

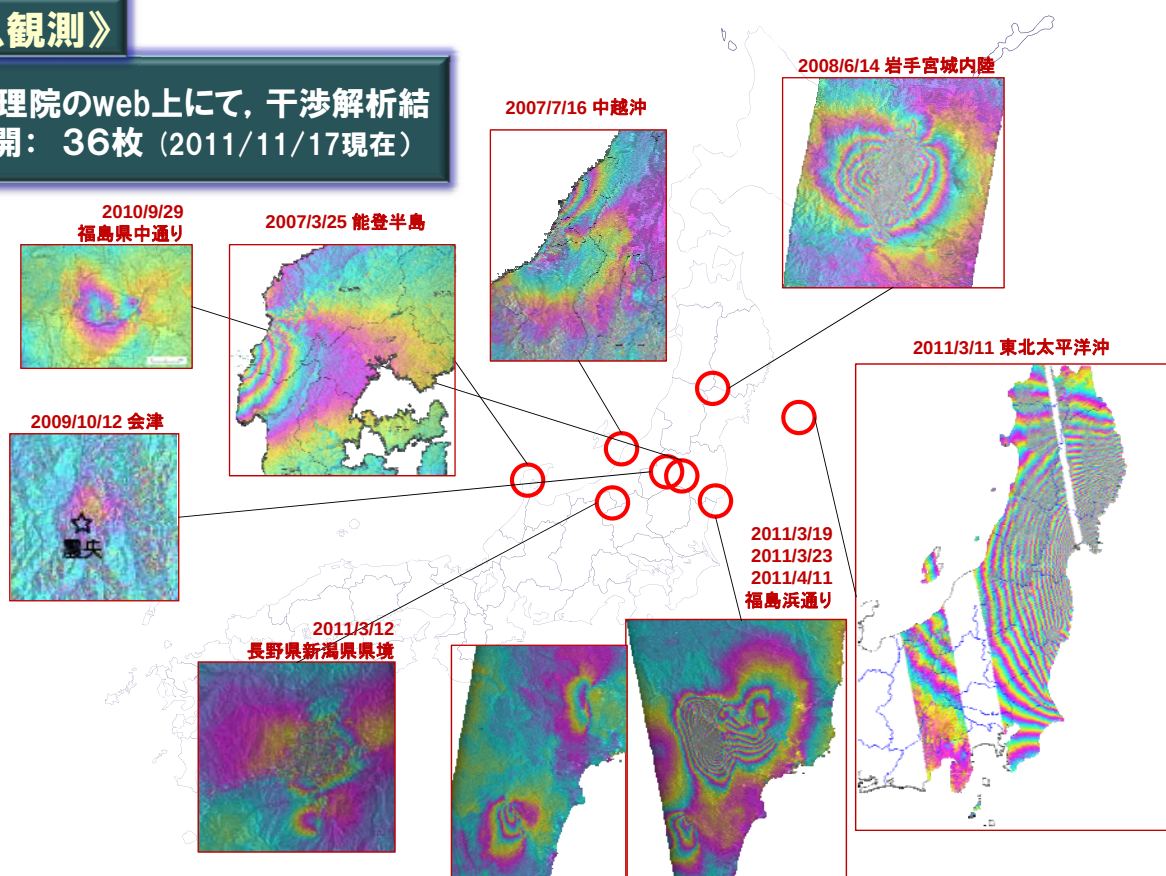
1.1 打ち上げから運用停止までの地殻変動解析成果のまとめ

1.2 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における地殻変動解析

ALOSによる地殻変動(地震)の観測【国内】 [2006-2011]

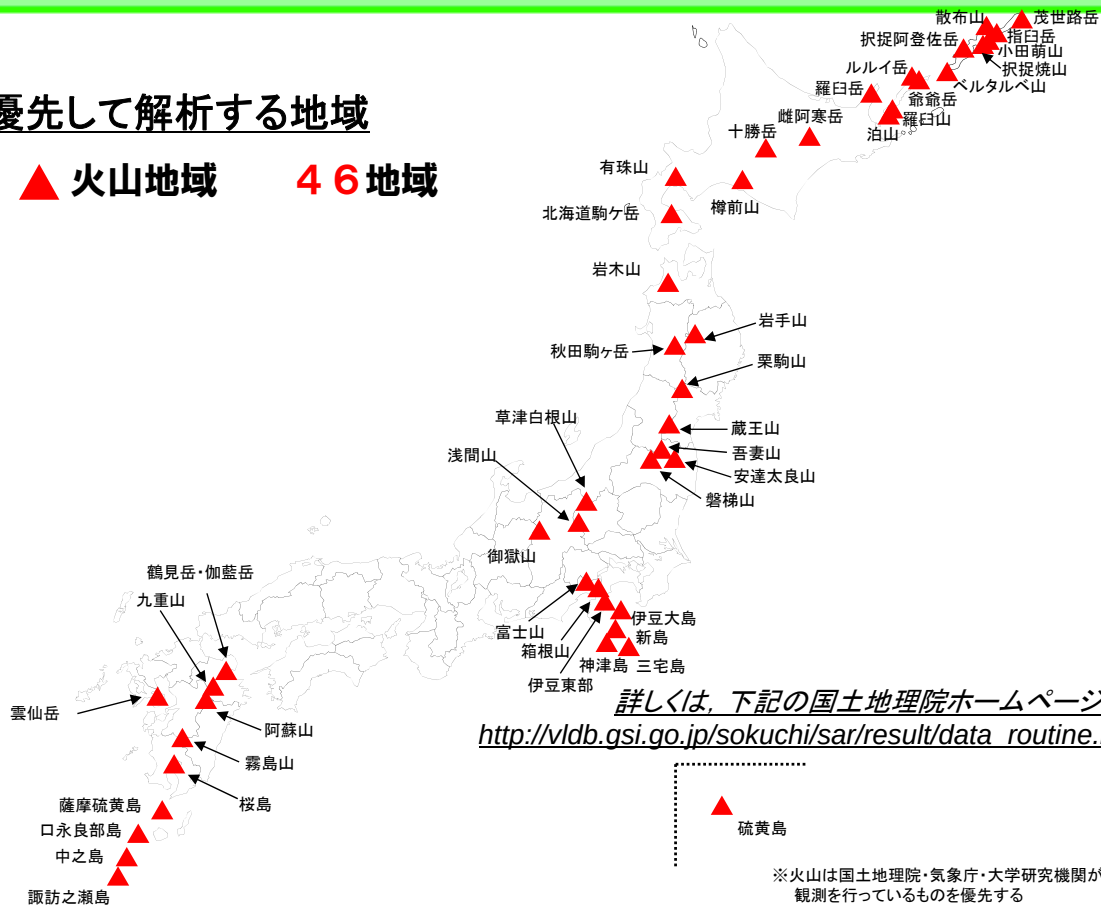
《緊急観測》

国土地理院のweb上にて、干渉解析結果を公開：36枚(2011/11/17現在)



優先して解析する地域

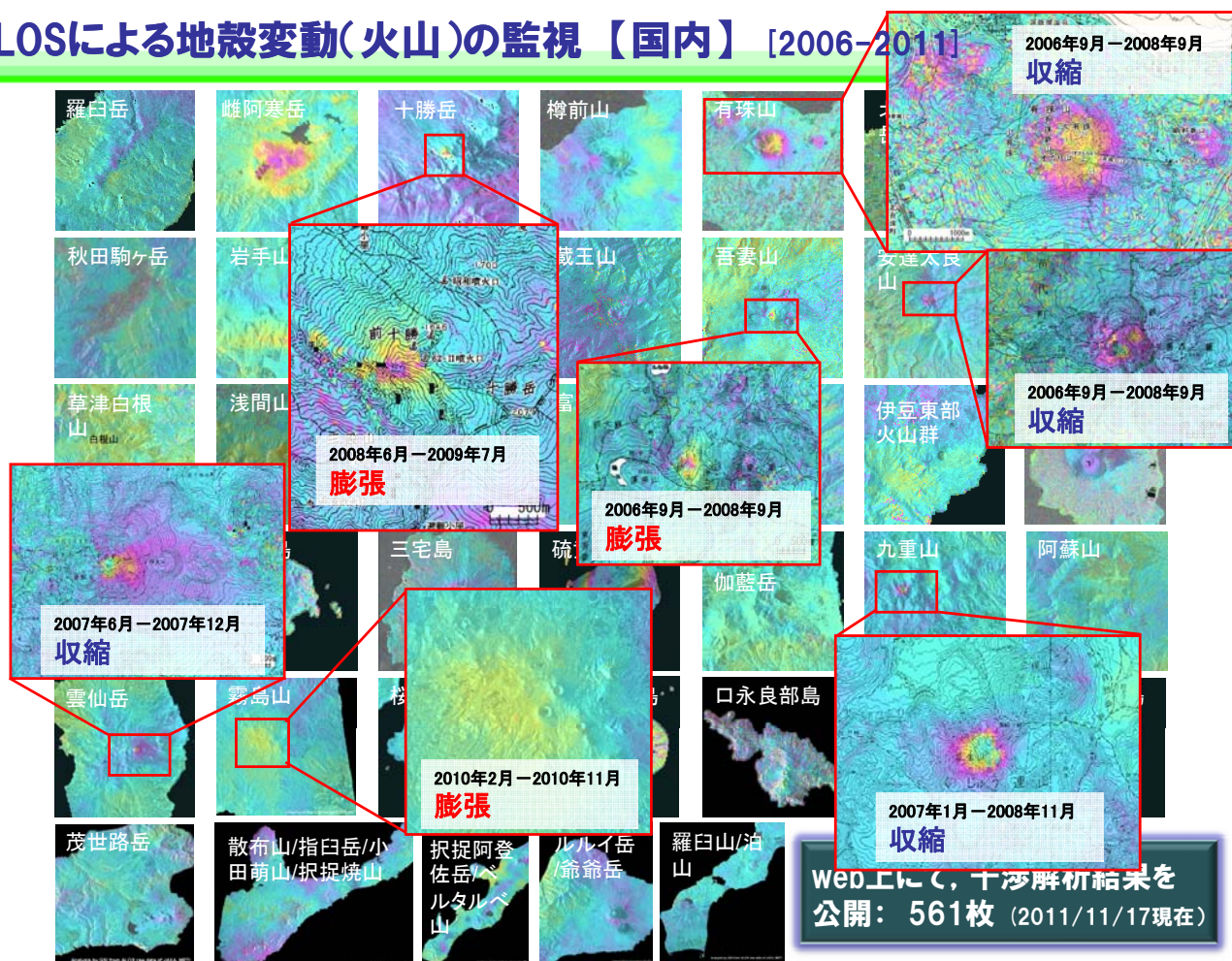
▲ 火山地域 46地域



詳しくは、下記の国土地理院ホームページにて
http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/data_routine.html

※火山は国土地理院・気象庁・大学研究機関が重点的に観測を行っているものを優先する

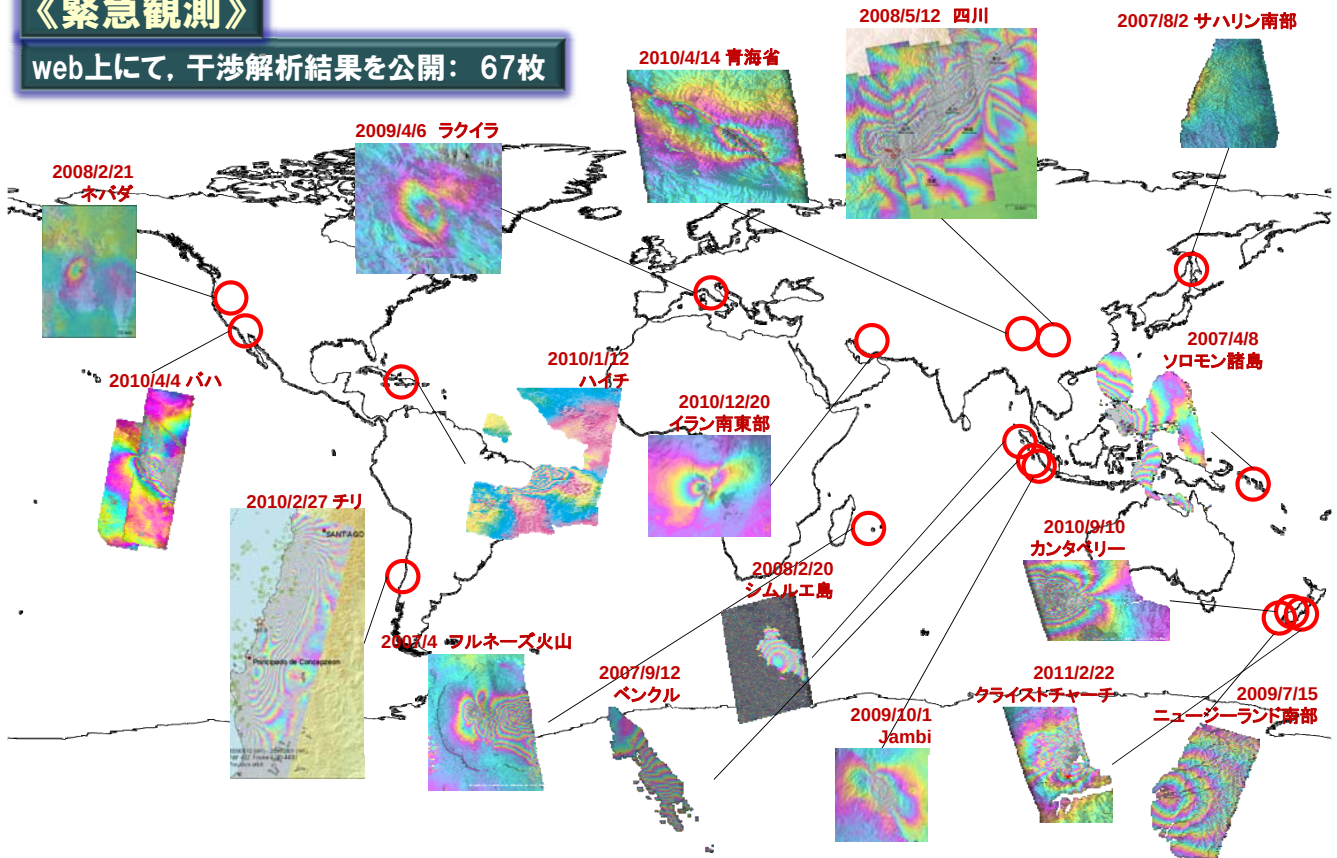
ALOSによる地殻変動(火山)の監視【国内】 [2006-2011]



Web上に、干渉解析結果を
公開: 561枚 (2011/11/17現在)

《緊急観測》

web上にて、干渉解析結果を公開：67枚



SAR干渉解析結果の公表

国土地理院干渉SARホームページトップ

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/>

地殻変動研究室

<http://www.gsi.go.jp/cais/crust-index.html>

Googleで“干渉SAR”を検索

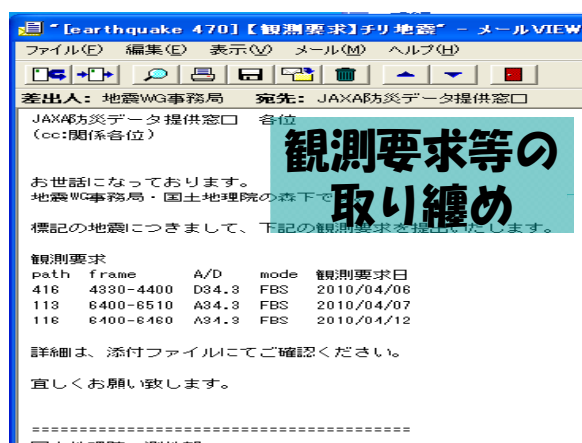


政府機関等での活用

地震調査委員会，衛星データ解析検討小委員会，
地震予知連絡会，火山噴火予知連絡会etc.

国土地理院：ALOSデータ提供窓口

地震・地盤変動データ
流通及び解析ワーキン
ググループ(地震WG)
事務局



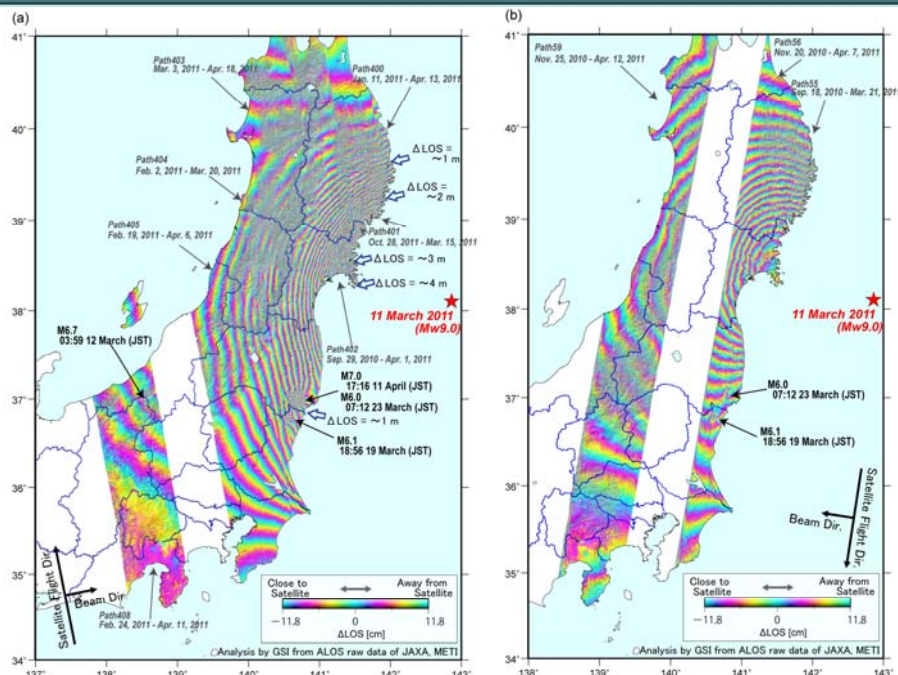
1. 地殻変動解析の成果

1.1 打ち上げから運用停止までの地殻変動 解析成果のまとめ

1.2 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖 地震における地殻変動解析

- ① 本震(Mw9.0)に伴う広域地殻変動の把握と公表
 - ・GEONETとの融合解析による迅速な干渉画像公開
- ② 内陸の誘発地震に伴う地殻変動の把握と公表
 - ・電子国土web/Google Earthを利用した干渉画像データの提供
 - ・地震学的知見(地表地震断層，震源モデル)の提供

日本でのInSAR観測史上最大の変位量！ $\Delta LOS \sim 4m$ @ 牡鹿半島



解析結果の公開

新規観測ごとにweb上にて干渉画像を公開・更新(3/17~4/28)

軌道情報

■RARR: 数時間
「精度 悪 / 配布 早」

■高精度軌道情報: 数日
「精度 良 / 配布 遅」



迅速な提供には、**RARRの使用が必須！**

論文・時報

T. Kobayashi, M. Tobita, T. Nishimura, A. Suzuki, Y. Noguchi, and M. Yamanaka, Crustal deformation map for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, detected by InSAR analysis combined with GEONET data, *Earth Planets Space*, 63(No. 7), 621-625, doi:10.5047/eps.2011.06.043, 2011.

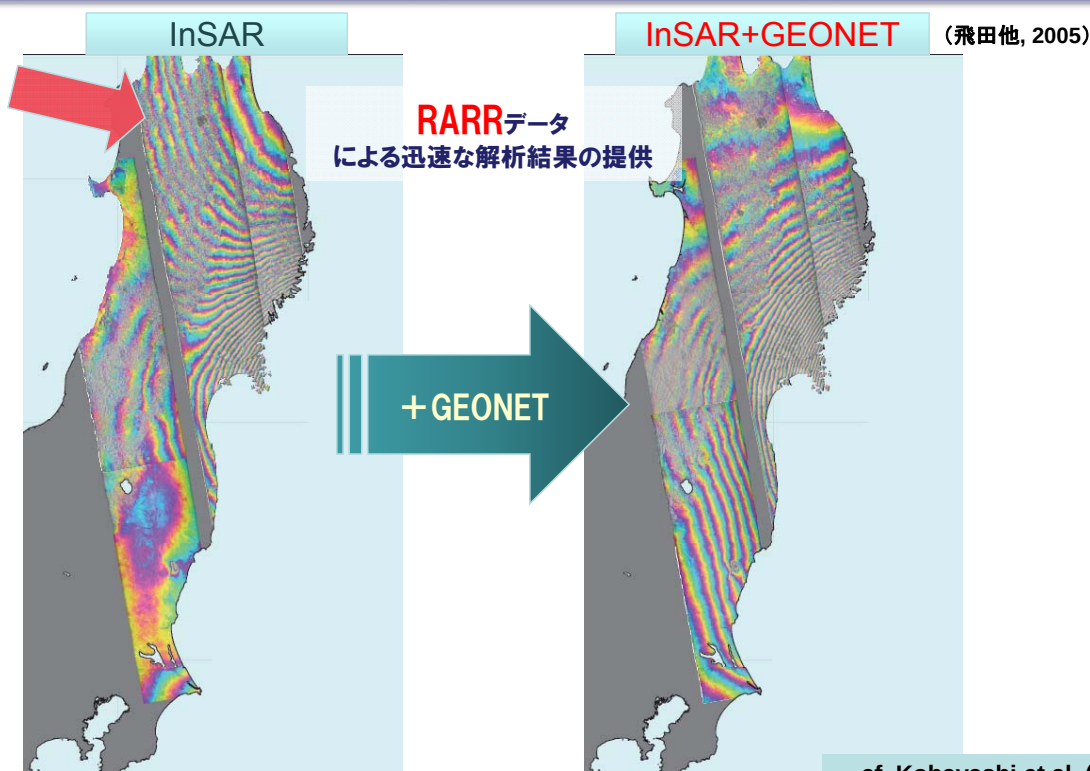
水藤 尚, 西村 卓也, 小林 知勝, 小沢 慎三郎, 飛田 幹男, 今給黎 哲郎, 2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震に伴う地震時および地震後の地殻変動と断層モデル. 地震, 投稿中.

Tetsuro Imakiire, Hisashi Suito, Shinzaburo Ozawa, Takuya Nishimura, Tomokazu Kobayashi, Mikio Tobita, Crustal deformation and fault model of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Bulletin of the GSI*, 122 (in preparation).

山中 雅之, 野口 優子, 鈴木 啓, 宮原 伐折羅, 石原 操, 小林 知勝, 飛田 幹男, 衛星合成開口レーダーを用いた平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 122 (準備中).

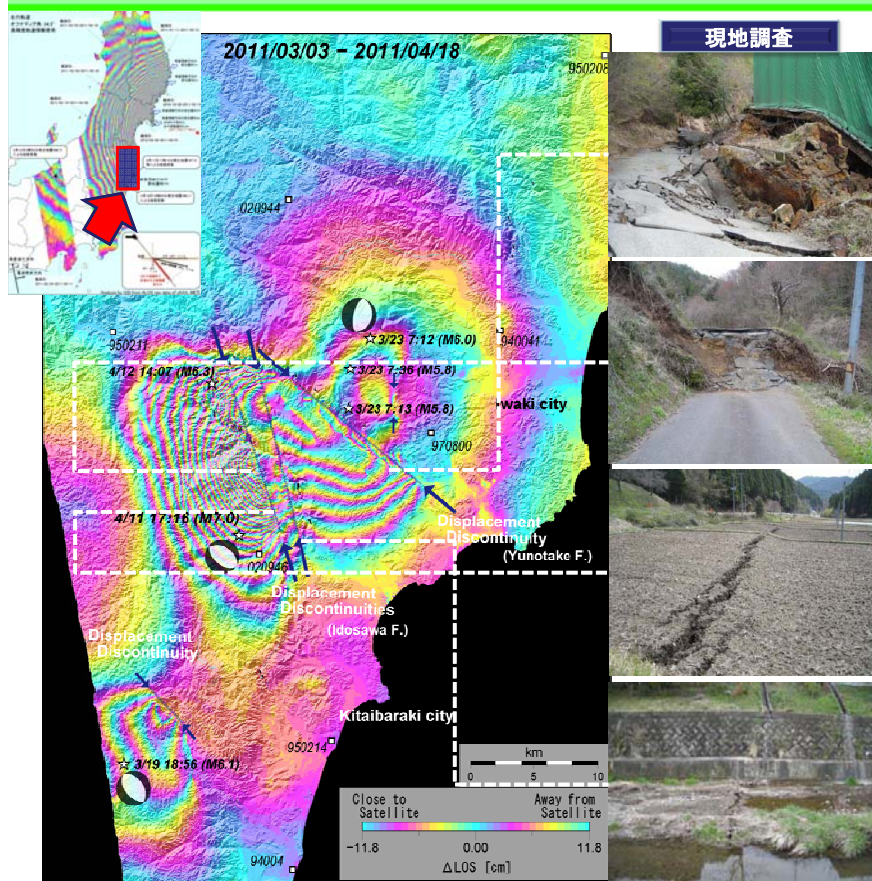
GPSとの統合解析による迅速かつ正確な地殻変動図の提供 国土地理院

GEONETデータとの統合解析により, RARRデータでも適切な地殻変動を抽出
→ 迅速な地殻変動図の提供が可能



cf. Kobayashi et al. (2011)

内陸誘発地震① 4月11日福島県浜通りの地震 (Mj7.0)



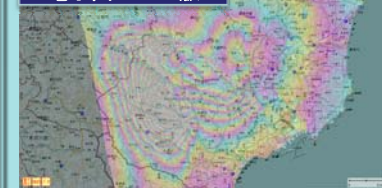
現地調査



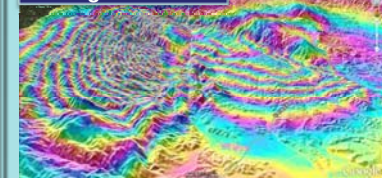
**地表地震断層の
全容が明らかに！**

■井戸沢断層・湯ノ岳断層等に沿って現れた変位の不連続＝**地表地震断層**の位置を網羅的にかつ詳細に把握。

電子国土web版



Google Earth版

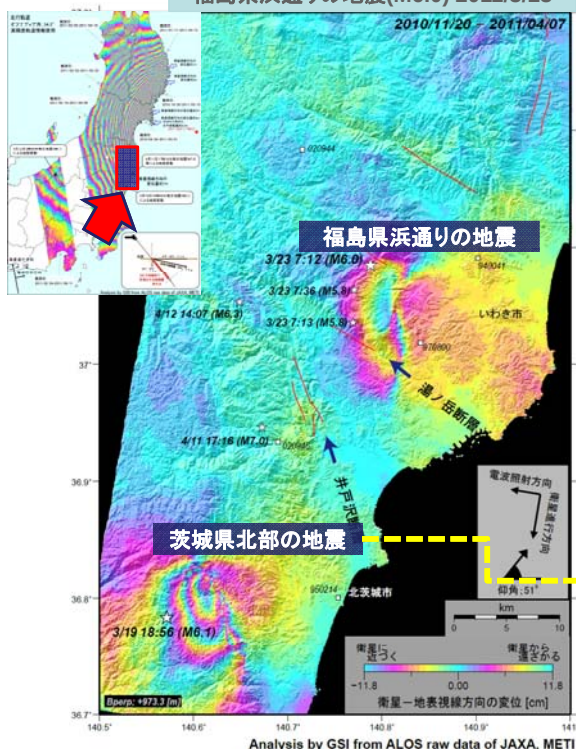


現地調査：地理情報解析研究室 <http://www.gsi.go.jp/common/000060535.pdf>

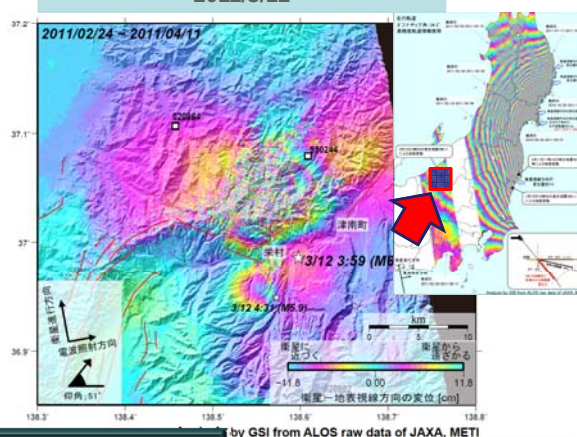
内陸誘発地震② ～福島浜通り、茨城県北部、長野県・新潟県県境～

「L-band SAR干渉」は内陸地震研究に欠かすことのできない観測手段！

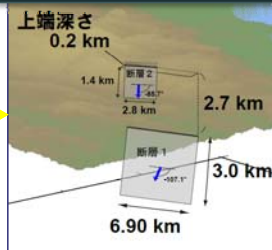
茨城県北部の地震(M6.1) 2011/3/19
福島県浜通りの地震(M6.0) 2011/3/23



長野県・新潟県県境付近の地震 (M6.7)
2011/3/12



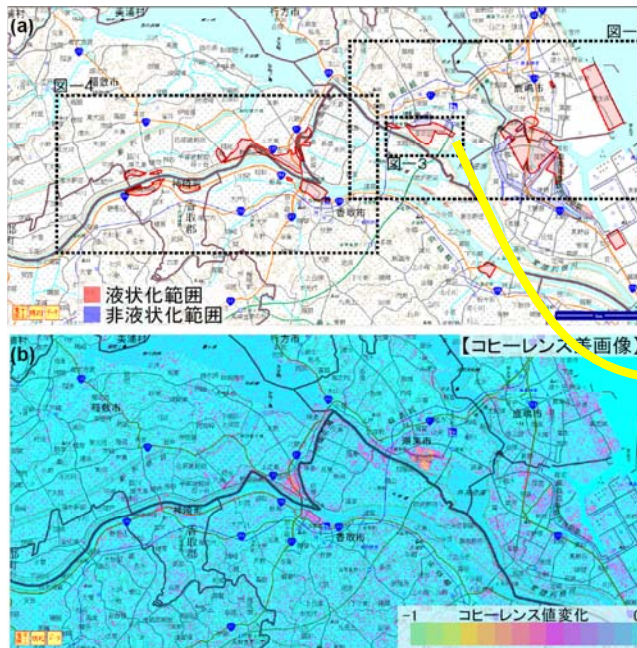
【震源断層モデル構築】



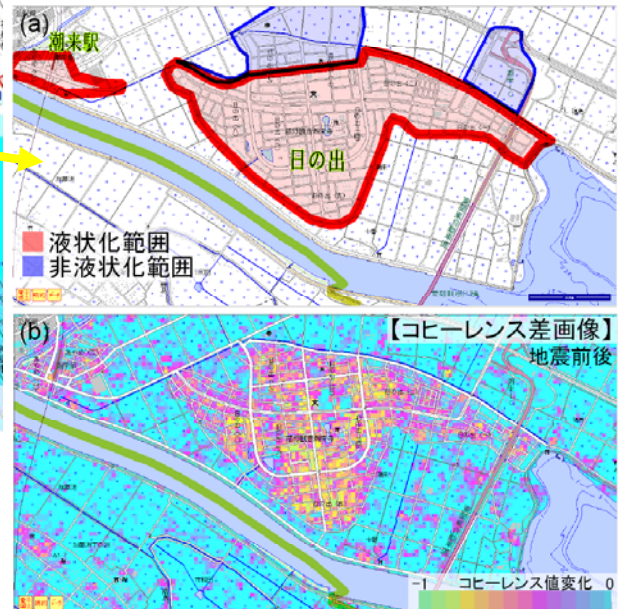
←破壊の詳細を把握

震源近傍の地殻変動
計測により実現

GEONET (GPS)では不可能



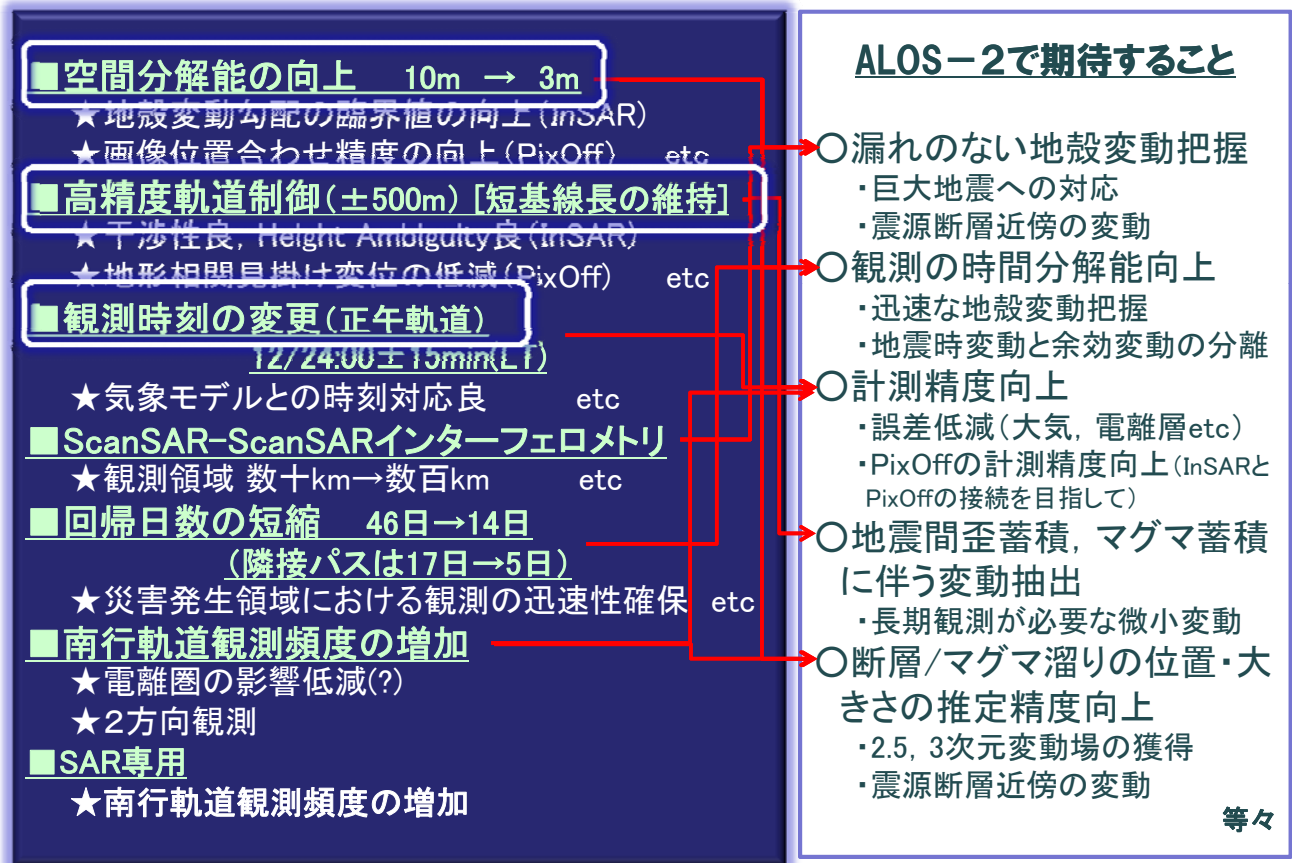
コヒーレンス値低下域と
液状化発生域



干渉SARの応用的利用の
1つとして

小林・他(2011) 国土地理院時報 第122集 に掲載予定

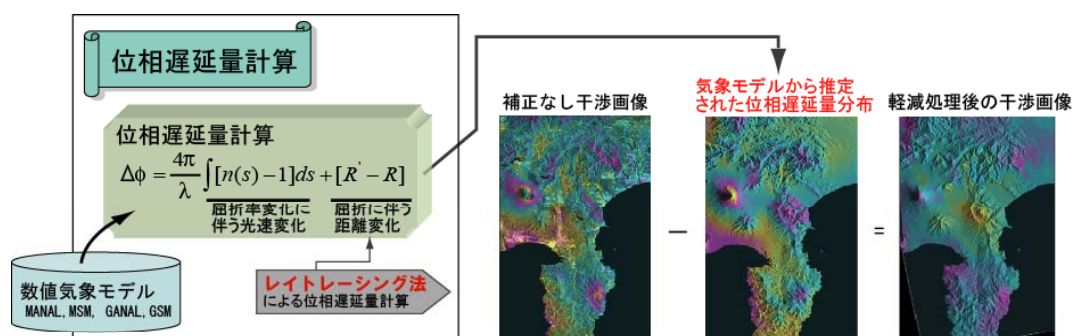
2. 地殻変動解析からの ALOS-2への期待



①観測時刻変更(12/24:00)への期待 ～大気遅延誤差の低減～ 国土地理院

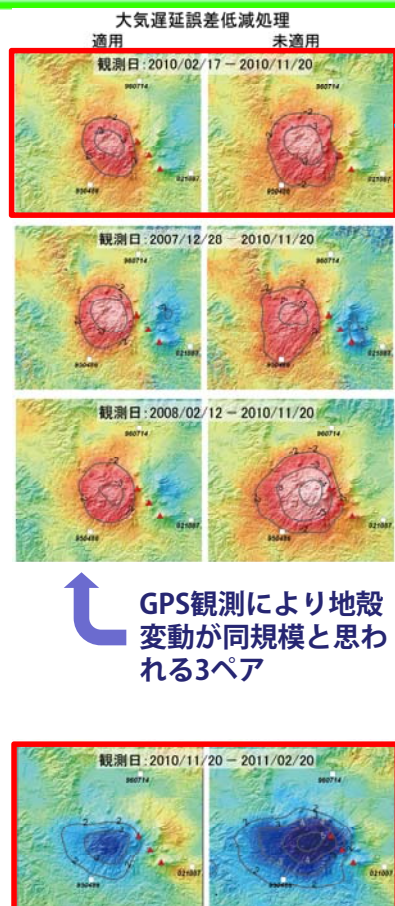
大気遅延誤差の低減処理

干渉画像中に含まれる大気中水蒸気起因の誤差(大気遅延誤差)を
数値気象モデルを用いて低減



$$N = (n-1) \times 10^6 = \underbrace{k_1 \frac{P_d}{T}}_{\text{乾燥大気}} + \underbrace{\left(k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right)}_{\text{湿潤大気}} + \underbrace{\frac{K}{f^2} \text{TEC}}_{\text{電離層}} + \underbrace{CW}_{\text{水(液体)}}$$





■低減処理未適用(右列)

- ・位相変化の大きさや空間分布にばらつき.

■低減処理適用(左列)

- ・変動量はいずれも最大-4cm程度. 未適用の結果と比べるとばらつきが小さい.
- ・変位の空間的広がりはほぼ同心円状のパターンを示して画像間のばらつきは小さい.

GEONET 牧園(950486)における変動量との比較

衛星視線方向の距離変化量(2010/2/17-2010/11/20)

GPS: -1.0cm

SAR(低減処理適用): -1.3cm

SAR(低減処理未適用): -2.3cm

Good!

衛星視線方向の距離変化量(2010/11/20-2011/2/20)

GPS: +0.8cm

SAR(低減処理適用): +1.8cm

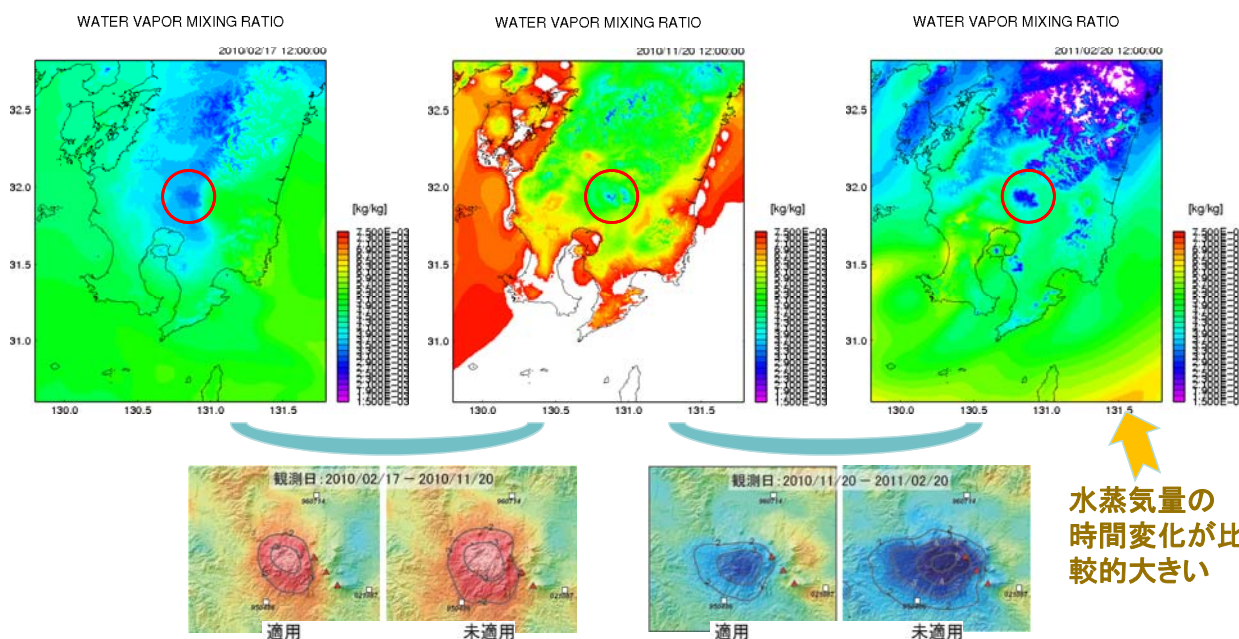
SAR(低減処理未適用): +2.3cm

Not so Good...

cf. 小林・他(2011) 国土地理院時報121集

数値気象モデルの水蒸気分布(混合比)

12:00と15:00(UT)の数値気象モデルから計算した水蒸気混合比分布の時間変化
(※SAR観測:13:45(UT)頃)



大気状態が安定: 低減効果UP!

大気状態が不安定: 低減効果小さい...

SAR観測時刻と数値気象モデルの解析時刻が同じになる
→ 低減処理の効果向上につながるか！？



《ALOS》

観測時刻: 10:30/22:30 (LT)

数値モデルの解析時刻から一番外れた時間帯

《ALOS-2》

観測時刻: 12:00/24:00 (LT)

数値モデルの解析時刻と同じ時間帯

<現状の対処法>

- 時空間的に線形補間
- 数値気象モデルを高分解能化

②高空間分解能への期待

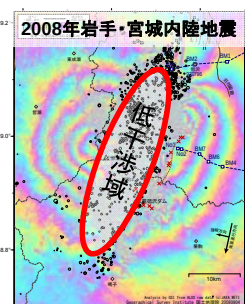
ALOS-2高分解能[3m]

震源断層直上の地殻変動をより高い精度で観測可能に

InSAR

Tobita, 2006より

$\left(\frac{\partial \Delta \rho}{\partial \rho}\right)_c = \frac{\lambda}{2R_{res}}$	ERS-1	Envisat	Radarsat	JERS-1	ALOS FBD	ALOS FBS	ALOS-2 3mモード
地殻変動 勾配臨界値 (mm/m)	2.9	3.0	5.7	11.7	11.0	22.1	~66



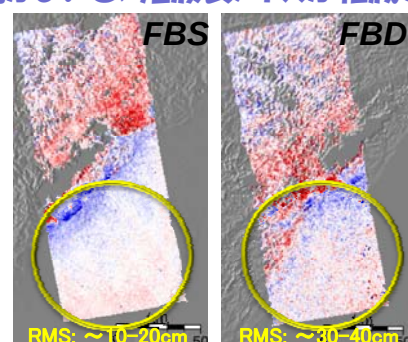
ピクセルオフセット

画像マッチングにおける位置あわせの精度向上

1/32ピクセル分解能の場合

	ERS-1	ALOS FBS	ALOS-2 3mモード
計測精度(cm)	~25	~15	~5

分解能がよいと、短波長ノイズが軽減される

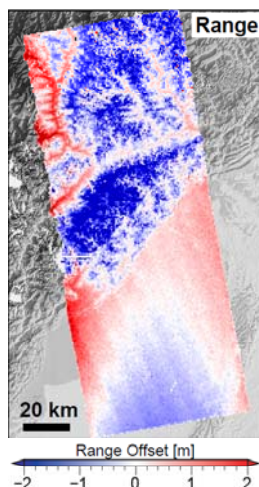


2008年中国四川省地震の解析事例

■ ピクセルオフセット

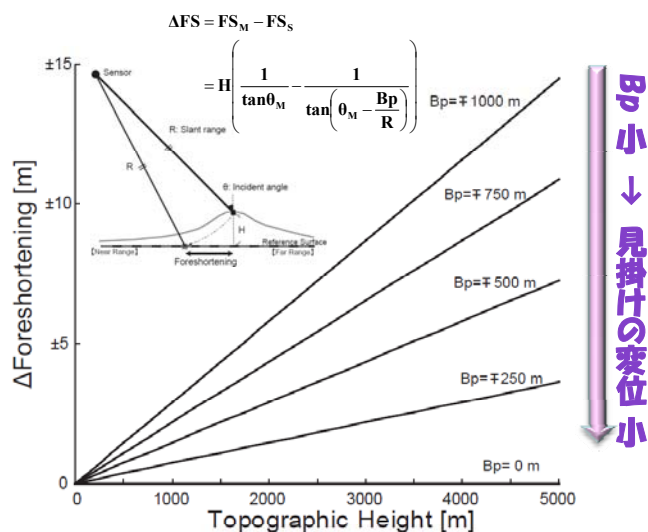
・地形(標高)の影響による見かけの変位を軽減

2008年中国四川省地震の解析事例
Kobayashi et al. (2009)



地震発生前にも関わらず、標高の高い場所では数mの見かけの変位が現れてしまう。

(Bp=589m)



小林・他(2011) 測地学会誌

■ InSAR

- ・Height Ambiguityの影響軽減
- ・干渉性の向上
- ・地震間変動などの長期にわたる観測が必要な微小地殻変動観測に有利

ALOS-2へのさらなる期待

運用面で期待すること

■複数回の(緊急)観測(イベント発生後も継続的な観測を)
～余効変動, 長期的な火山活動のモニタリング～

■ベースマップ作り後も定期的な観測を
～地震・噴火前の状態把握のために～

■山間部は夏が短い 積雪期を考慮した撮像計画を
～地上観測が困難な領域こそ観測を～

ALOSシリーズに期待すること

■ALOS-X(4?)の実現を

■次期衛星はALOS-2との干渉可能に

■設計寿命を出来るだけ長く

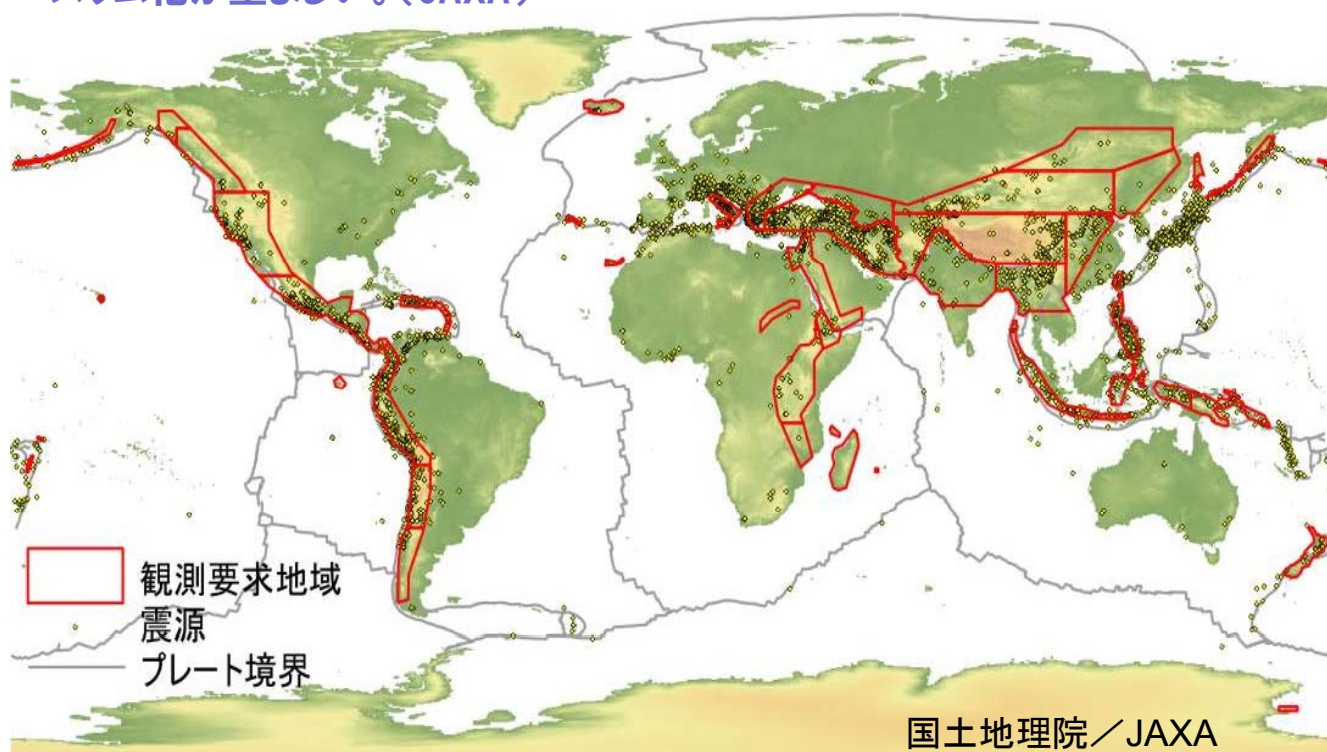
～長期の観測が必要な微小な地殻変動観測を目指して～

3. 世界の地殻変動帯の ALOS-2観測要求地域(案)について

ALOS-2の観測リソース確保のため、ALOS用に策定した「世界の地殻変動帯の観測要求地域」をALOS-2用に改訂した。

世界の地殻変動帯のALOS観測要求地域（従前）

ALOS-2では観測データサイズが大きいため、要求領域が大きいと観測頻度が少なくなる等の影響が考えられる。必要最低限の領域だけとするようスリム化が望ましい。(JAXA)

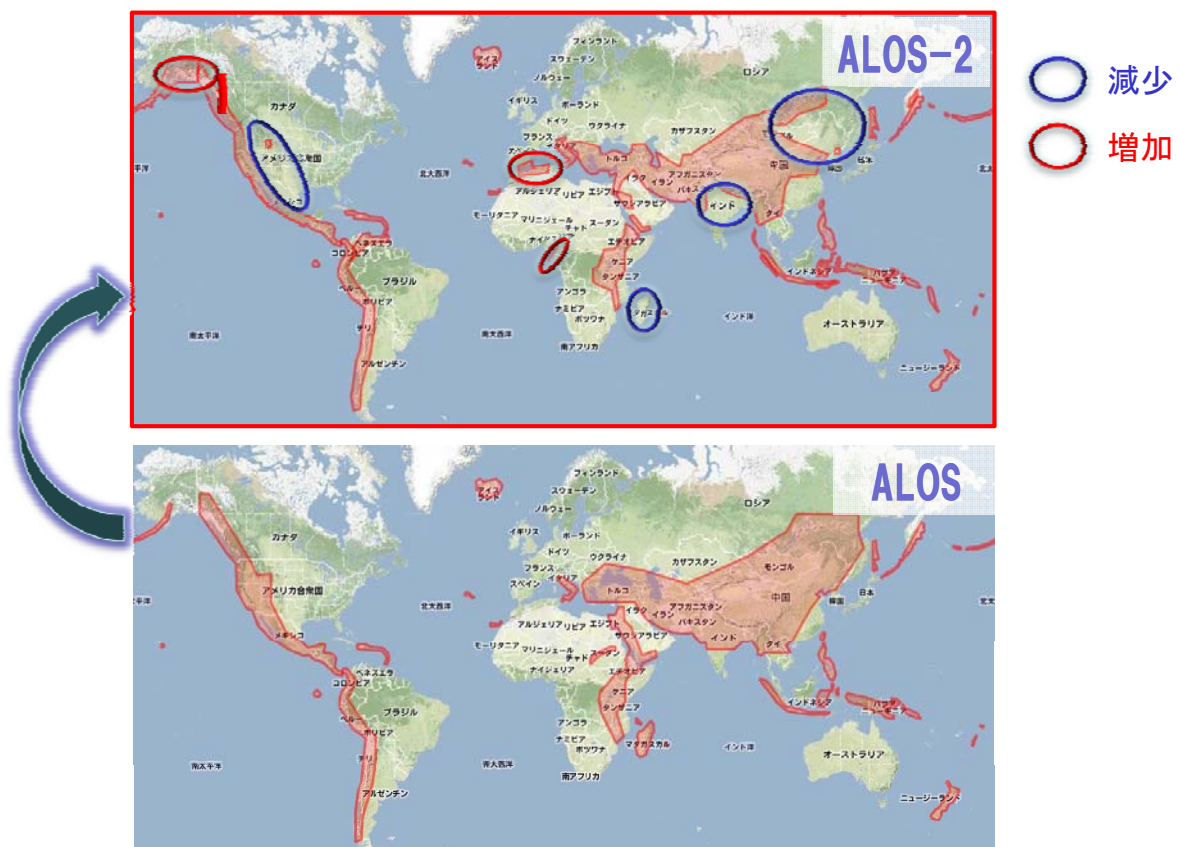


【変更方針】

0. ALOS版をベースとして、以下の方針で改訂.

1. 活動度の低い場所を削除、真に必要とする領域を詳細に指定
(地震活動度, 活動的火山)
2. ALOS版で指定されていない場所で、2001年以降起こった巨大地震の地域を追加
3. ALOS版で指定されていない場所で、地殻変動観測上、重要と考えられる地域を追加
4. 北方領土は国内観測の対象とし、世界の観測要求域から削除

ALOS版からALOS-2版へ



ALOS: 約43百万 km² → **ALOS-2(案): 約35百万 km²**
18.6%減を実現

《減少》

- 方針1: 極東(中国北東部, モンゴル東部etc), インド中部, マダガスカル島, スーダン, ユカタン半島, 紅海~アフリカ大地溝帯のスリム化, 北米西海岸のスリム化(イエローストーン以外)など
- 方針4: 北方領土

《増加》

- 方針2: 該当なし
- 方針3: キューバ南東部(セプテントリナオル断層), アラスカ(デナリ地震源域), カメルーン火山列, アルジェリア・スペイン南部

主に参考にしたデータ M>5 深さ0-50km 1976-2010 (Global CMT catalog)
 M>7 深さ0-50km 2001-2011 (Global CMT catalog)
 M>7 深さ0-50km 1500-2008 Death Toll > 100 (建築研(BLI)カタログ)
 活火山 Active Volcanoes (Smithsonian Institution, Global Volcanism Program)

地震活動と主な活動的火山との関係

国土地理院による世界の地殻変動帯に関するALOS-2観測
 Requested areas of ALOS-2 observations for crustal deformation by GSI, J

