

以下，参考

Slide 17

課題の解決方法

植生 新規開発

位相最適化処理による
計測点の抽出

※ 従来の手法では使われない画素(計測点)に特殊な統計処理を施すことで、植生の影響を抑えて計測精度を上げ、画像内の良質な計測点を増加させる。

大気 従来技術実装

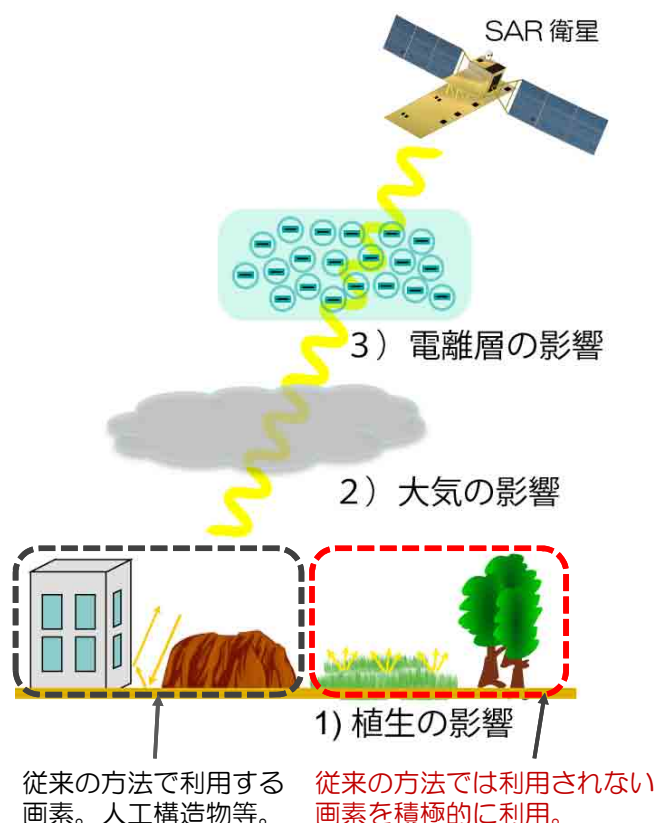
数値気象モデルを用いた
大気の誤差の低減

※ 特別研究(H20-22)「正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究」で開発した技術を干渉SAR時系列解析に適用

電離層 新規開発

周波数分割法による
電離層の誤差の低減

※ SARデータの周波数差を利用した誤差低減のための新規技術。電離層を通過する際の電波の位相の遅延量を推定可能。



技術的な詳細はslide21, 24, 26

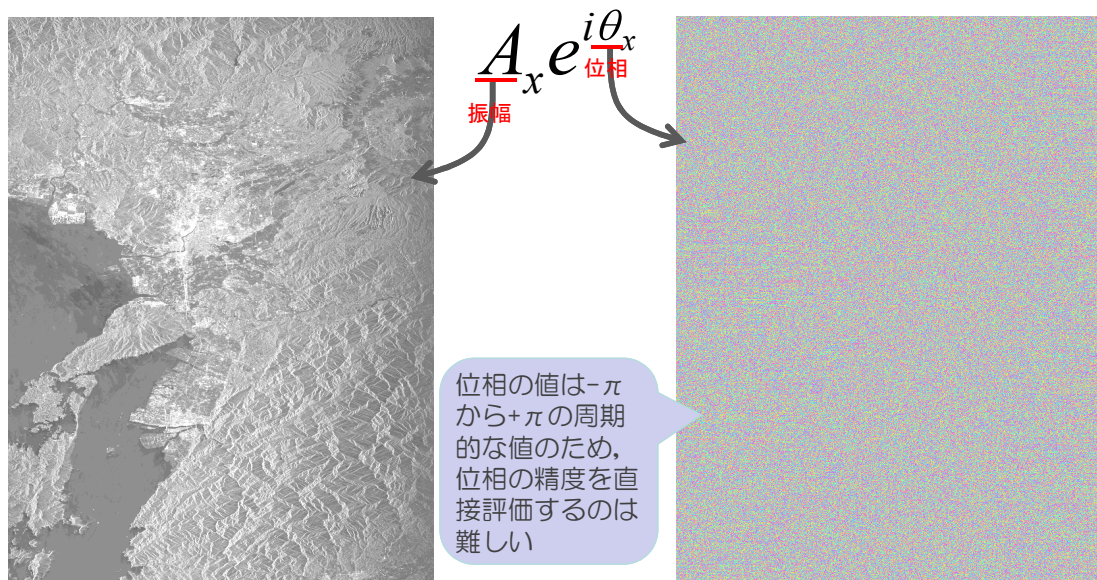
Slide 18

技術開発の詳細

1. 植生の影響低減

Slide 19

植生の影響を低減する技術 ～位相最適化処理～



【従来の方法】
(PSI法)

位相を直接扱うのは
難しいので 振幅値の安定性を指標

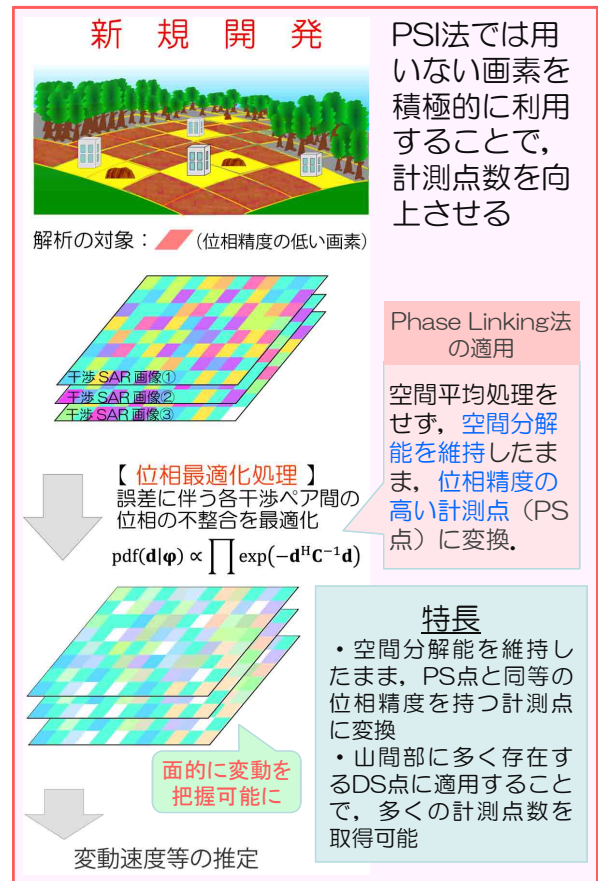
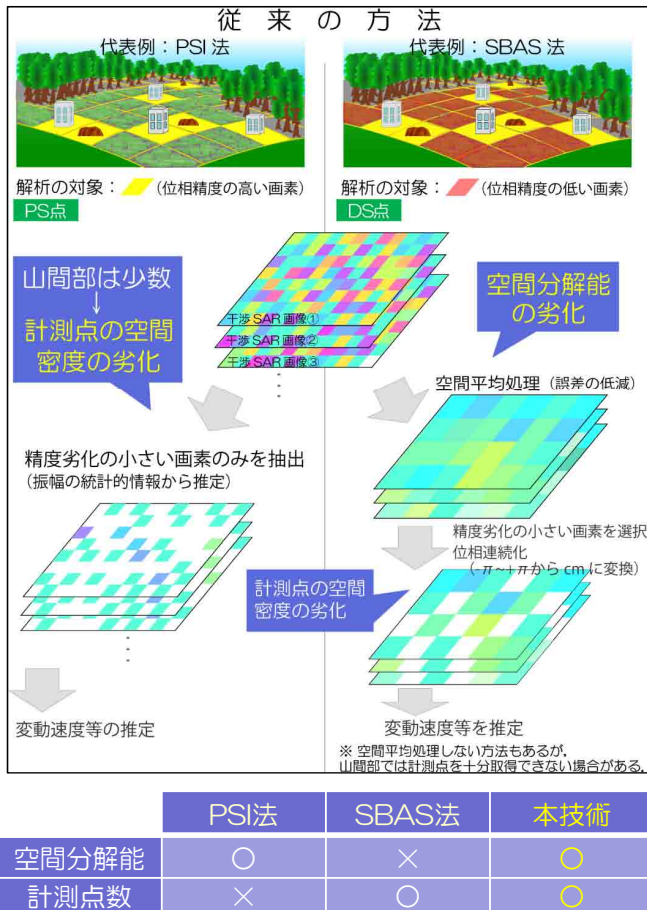
山間部では少ない

位相精度の高い画素を抽出

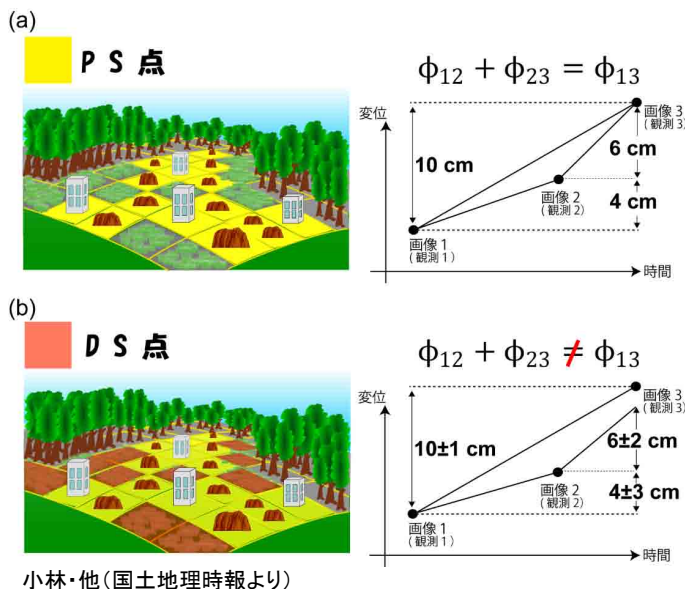
【新規技術】

最尤法等の特殊な
統計処理を通じて
直接位相の値を処理・評価する

Slide 20



Slide 21

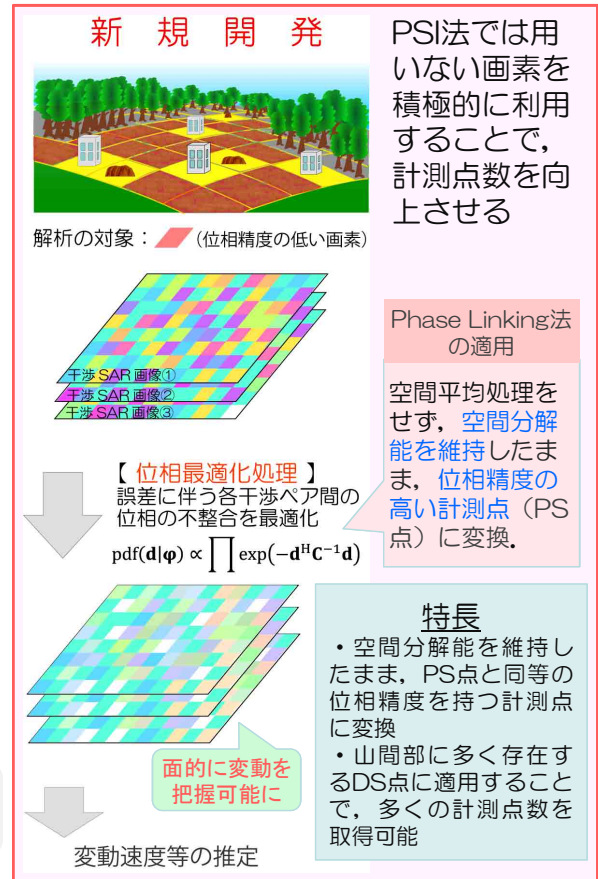


■最尤法により各ペア間の位相を最適化

- ✓コヒーレンスを重みとして解く
- ✓ノンパラメトリック検定を利用したコヒーレンス推定

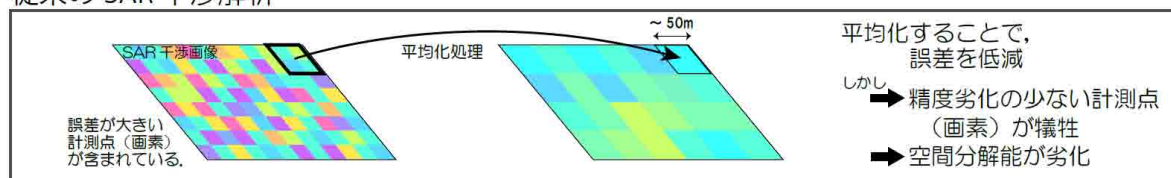
位相連続化($-\pi \sim +\pi \rightarrow \text{cm}$ への変換)
前に最適化することで、位相連続化処理失敗による計測点の取りこぼしを抑える

水準測量の網平均計算
に類似したアプローチ

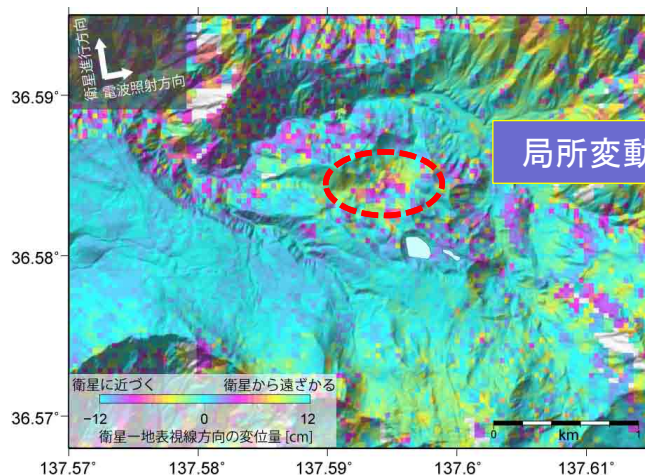


Slide 22

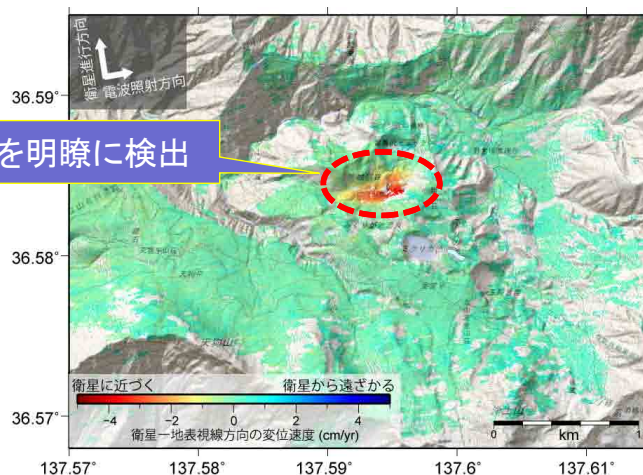
従来の SAR 干渉解析



従来法：干渉SAR解析



新手法：干渉SAR時系列解析 【位相最適化処理適用】



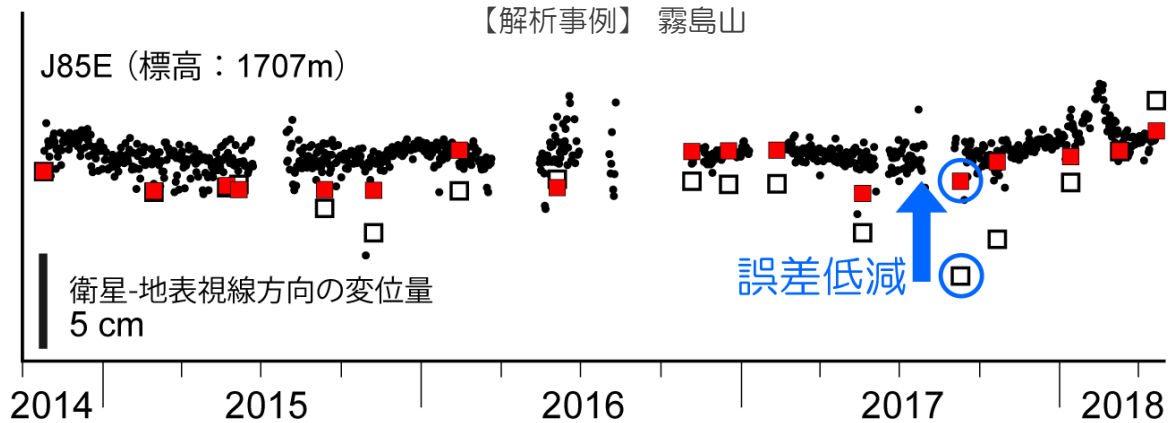
Slide 23

技術開発の詳細

2. 大気の影響低減

Slide 24

数値気象モデルを用いた誤差低減処理により計測精度が向上



■ 数値気象モデルによる誤差低減
□ 誤差低減なし

● GNSS 時系列データ

※観測点の位置はslide 22

特別研究「正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究(H20-22)」で開発した技術を干渉SAR時系列解析に組み込み、大気起因の誤差を低減。

誤差：約50%減

残差の二乗平均平方根

J85E (上段)

■ 数値気象モデル：1.4 cm

□ 誤差低減なし：2.8 cm

山間部の計測精度を向上

謝辞：本資料に示すGNSSデータは気象庁から提供を受けました。 Slide 25

大気の誤差低減のための技術

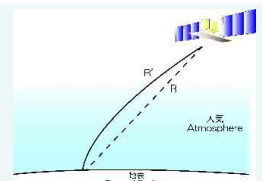
数値気象モデル から計算される位相遅延誤差を用いて低減

特別研究「正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究(H20-22)」で開発した手法を利用

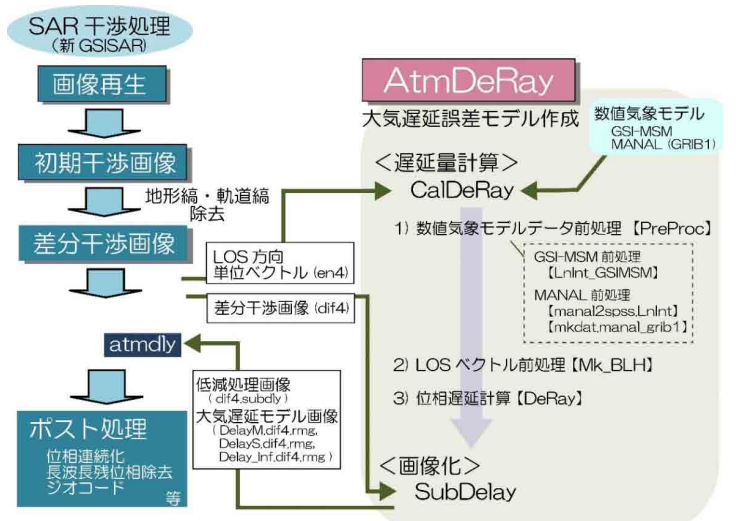
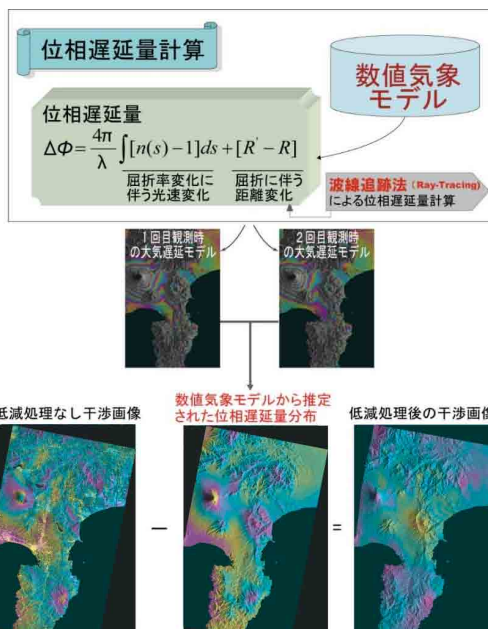
位相遅延(誤差)

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \int [n(s)-1]ds + [R'-R]$$

屈折率変化に伴う光速変化 屈折に伴う距離変化

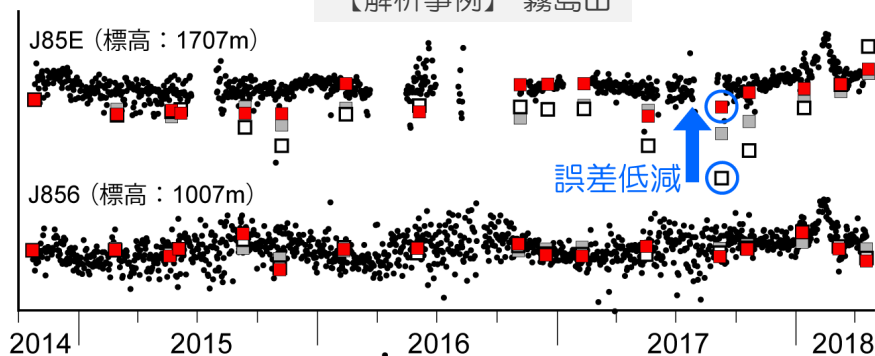


$$N = (n-1) \times 10^6 = \underbrace{k_1 \frac{P_d}{T}}_{\text{乾燥大気}} + \underbrace{\left(k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right)}_{\text{湿潤大気}} + \underbrace{\frac{K}{f^2} TEC}_{\text{電離層}} + \underbrace{CW}_{\text{水(液体)}}$$



従来型のフィルタ適用時と同等の誤差低減効果

【解析事例】 霧島山



残差の二乗平均平方根

J85E (上段)

■ 数値気象モデル: 1.4 cm

■ 従来型フィルタ: 1.7 cm

□ 誤差低減なし: 2.8 cm

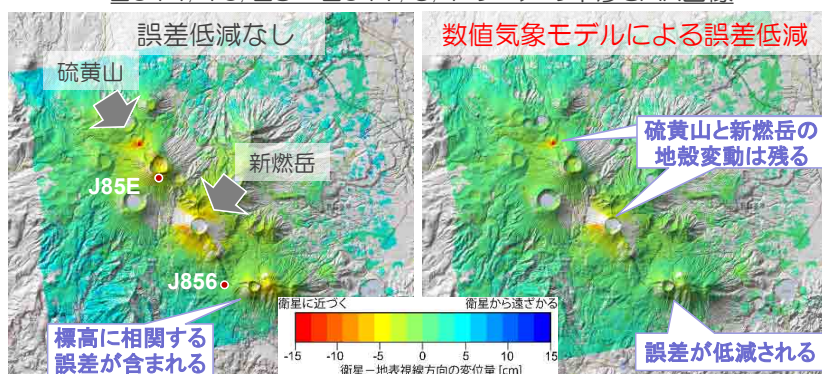
J856 (下段)

■ 数値気象モデル: 1.4 cm

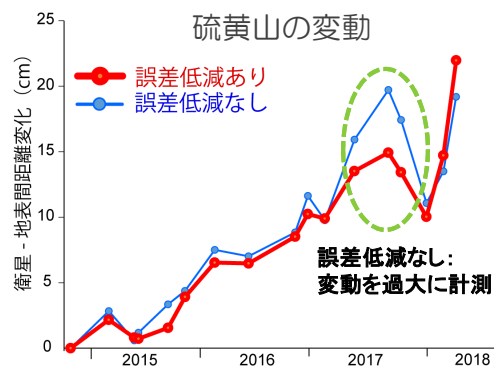
■ 従来型フィルタ: 1.4 cm

□ 誤差低減なし: 2.6 cm

2014/10/23 - 2017/9/7のペアの干渉SAR画像



謝辞: 本資料に示すGNSSデータは気象庁から提供を受けました。



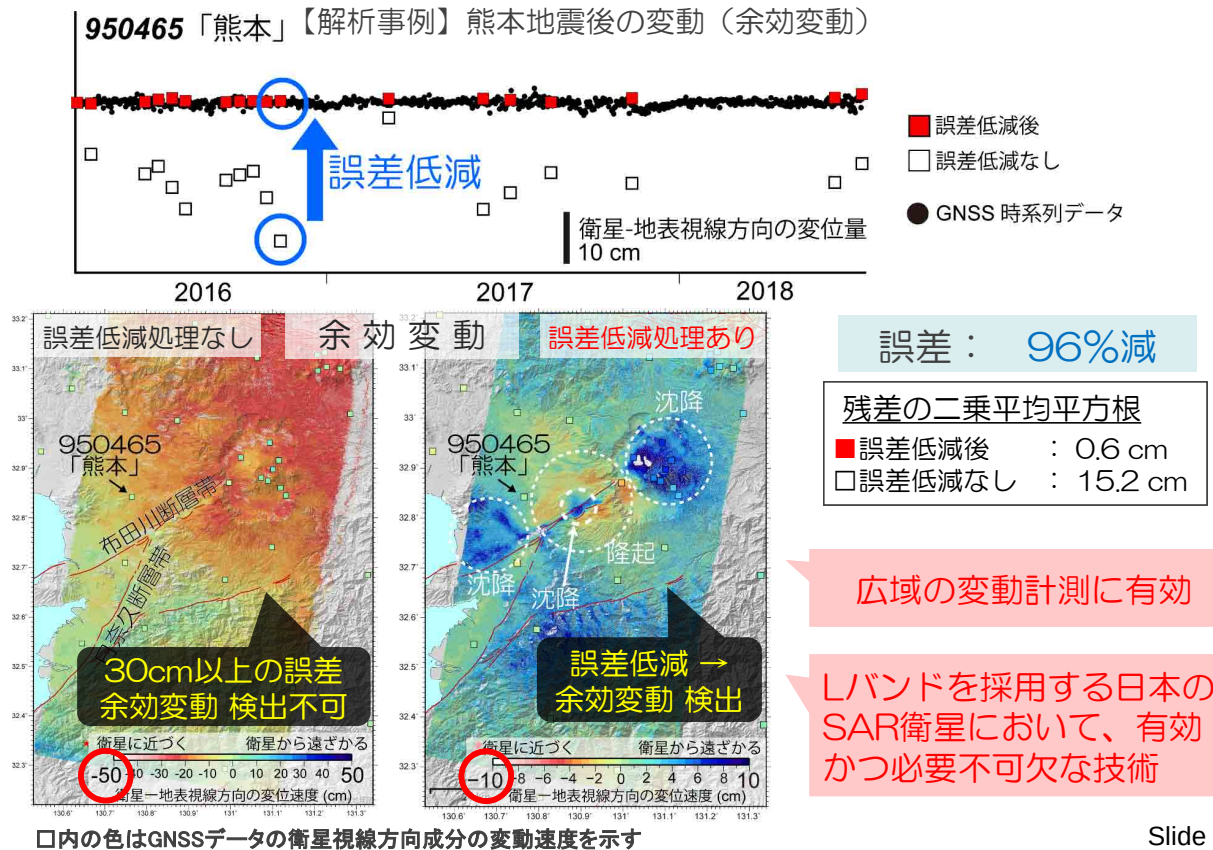
Slide 27

技術開発の詳細

3. 電離層の影響低減

Slide 28

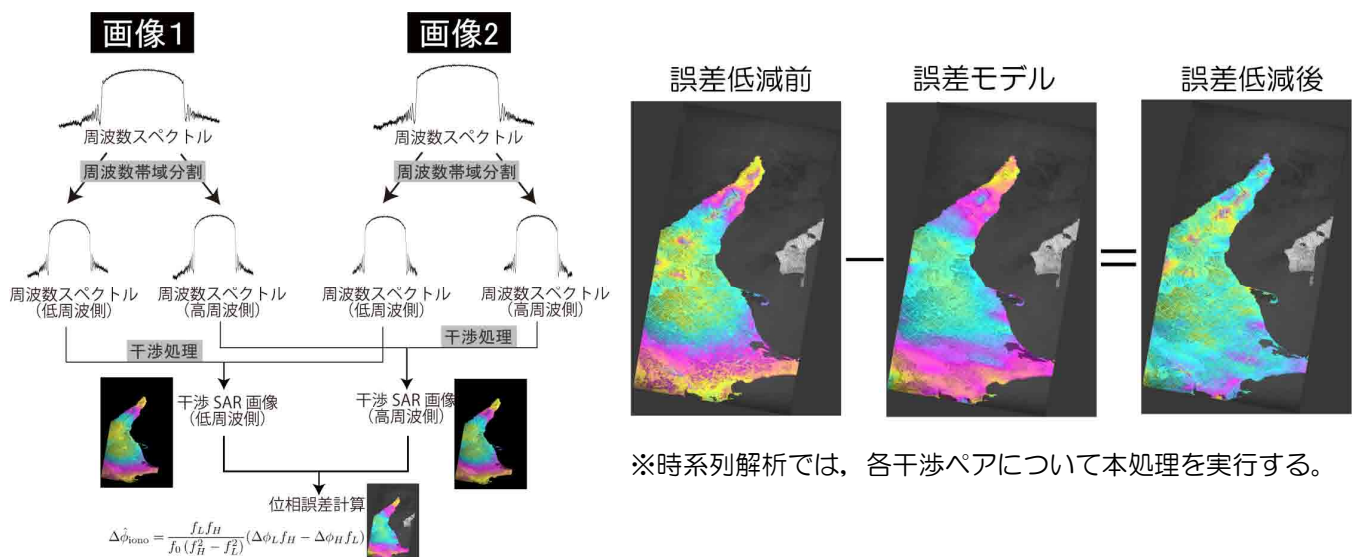
新規開発した周波数分割法による誤差低減処理により計測精度が向上



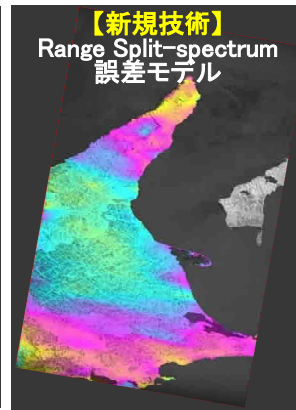
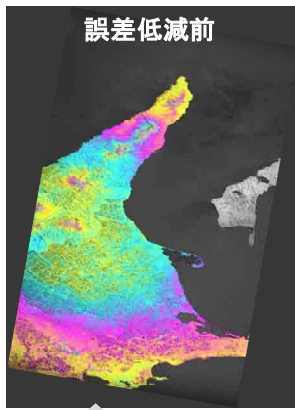
Slide 29

今回の開発で実装した各種手法

- 周波数分割を利用した手法（Range Split-spectrum 法）による低減 ← 新規開発技術
- GPS-TECを利用した低減 ← 特別研究「衛星干渉SARによる高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究(H25-27)」で開発した手法
- GNSS変位データを用いた近似曲面モデルによる低減 ← 従来からの標準的手法（飛田・他, 2005）



Slide 30



高い低減効果をもつ
新規技術の開発

【誤差低減効果の比較】

■新規技術 (Range Split-spectrum法) 適用時

低減前 11.0 cm → 低減後 2.3 cm
(二乗平均平方根)
80%減

■GPS-TEC法適用時

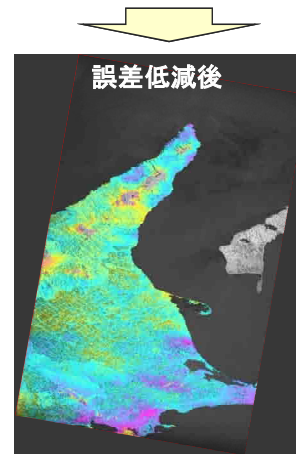
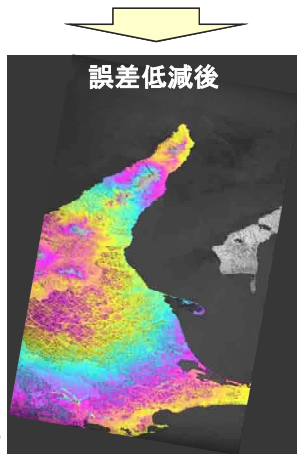
低減前 11.0 cm → 低減後 13.4 cm
(二乗平均平方根)
20%増

LバンドのInSARに、
しばしば含まれる。
ALOSシリーズの衛星
にとって大きな障害。

【Range Split-spectrum法】
Gomba et al. (2016)において開
発された手法。低減効果の高さ
を考慮し、本研究期間中に急遽
開発・実装した。

【GPS-TEC法】

特別研究「衛星干渉SARによる高度
な地盤変動監視のための電離層補正
技術に関する研究(H25-27)」で開発
した低減手法。本研究開始時に
おいて実装を計画していた手法。



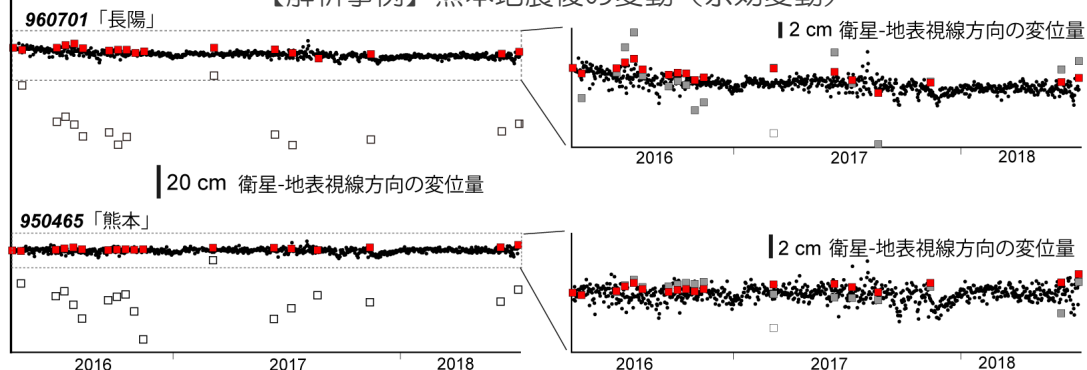
Range Split-spectrum法

時系列解析システム
への実装

Slide 31

従来型のフィルタ適用時と同等の誤差低減効果

【解析事例】熊本地震後の変動（余効変動）



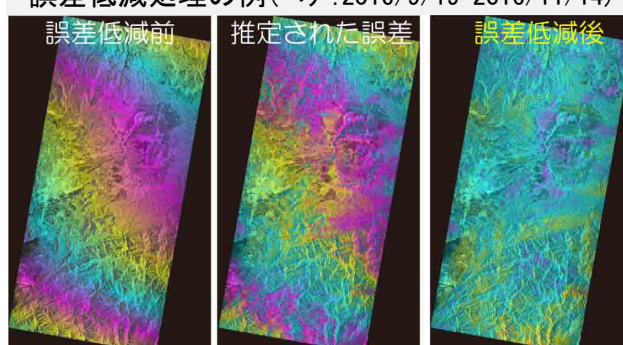
● GNSS 時系列データ

■ 新規技術による誤差低減後

□ 誤差低減なし

■ 従来型フィルタによる誤差低減後

誤差低減処理の例（ペア：2016/9/19-2016/11/14）



残差の二乗平均平方根

960701 誤差： **95%減**
■ 新規技術 誤差低減後： 1.2 cm
■ 従来型 誤差低減後： 3.4 cm
□ 誤差低減なし： 25.2 cm

950465 誤差： **96%減**
■ 新規技術 誤差低減後： 0.6 cm
■ 従来型 誤差低減後： 0.7 cm
□ 誤差低減なし： 15.2 cm

Slide 32

■ 干渉SAR(干渉合成開口レーダー)

干渉SAR(Interferometric SAR)は、空間分解能の高いマイクロ波レーダーであるSAR(Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダー)による観測を、地表の同一範囲に対して二回以上実施し、それらのデータに含まれる位相の差を計算することで、観測の間に発生した地盤変動を面的に計測できる測量技術。地上に観測点を設置することなく、数十mの高い空間分解能で、地盤変動を数cmの精度で計測が可能。衛星を用いた宇宙からの観測が一般的。

■ 干渉SAR時系列解析

観測時期の異なる多数枚のSAR干渉画像を用いて、定常的な(場合によっては非定常な)地盤の変動を計測する干渉SARの応用技術。多くのデータを用いることで、大気起因等のランダムなノイズを低減して信号対雑音比(S/N比)を高め、年平均1cm以下の速度で進行する微小な地盤変動も計測が可能。

■ PSI法(永続散乱体干渉手法)

干渉SAR時系列解析の代表的手法。散乱特性の時間的变化が小さい画素(PS: persistent scatter (永続散乱点))のみを選択的に抽出し、その画素における地盤変動の時間変化を計測する。ビル等の人工構造物はPS点となりやすい。都市部ではPS点が多く抽出されて面的な地盤変動が得られやすい一方で、山間部ではPS点になるものが少なく面的な計測が困難な場合が多い。

Slide 33

