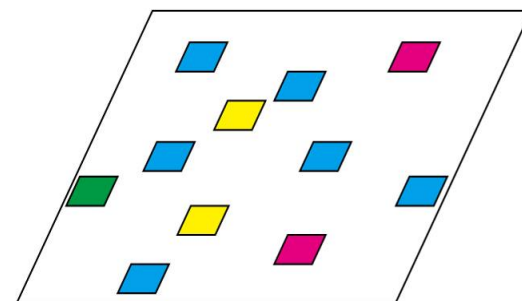
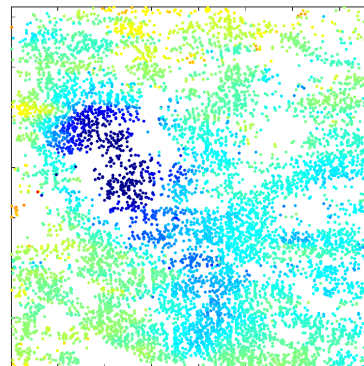
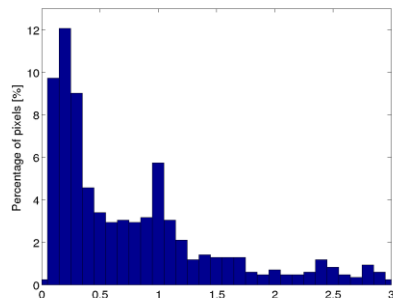


偏波を用いたPS干渉SAR解析手法の開発 — ALOS/PALSARデータへの適用

石塚 師也¹, 松岡 俊文^{1,2}, 田村 正行²

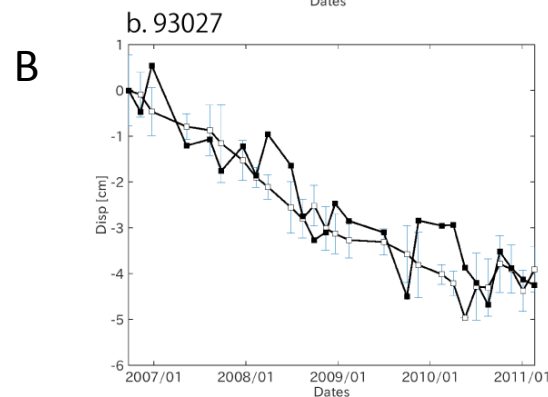
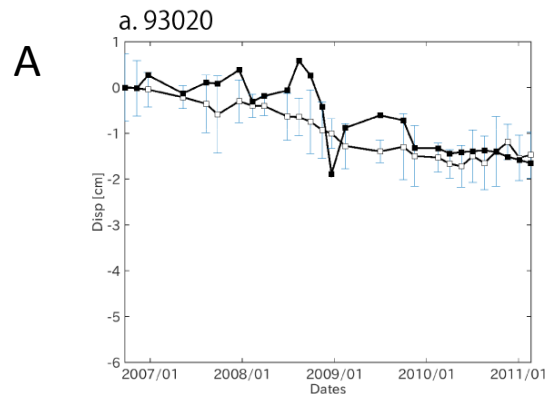
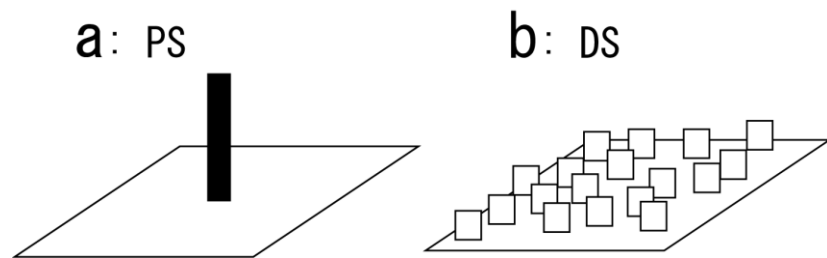
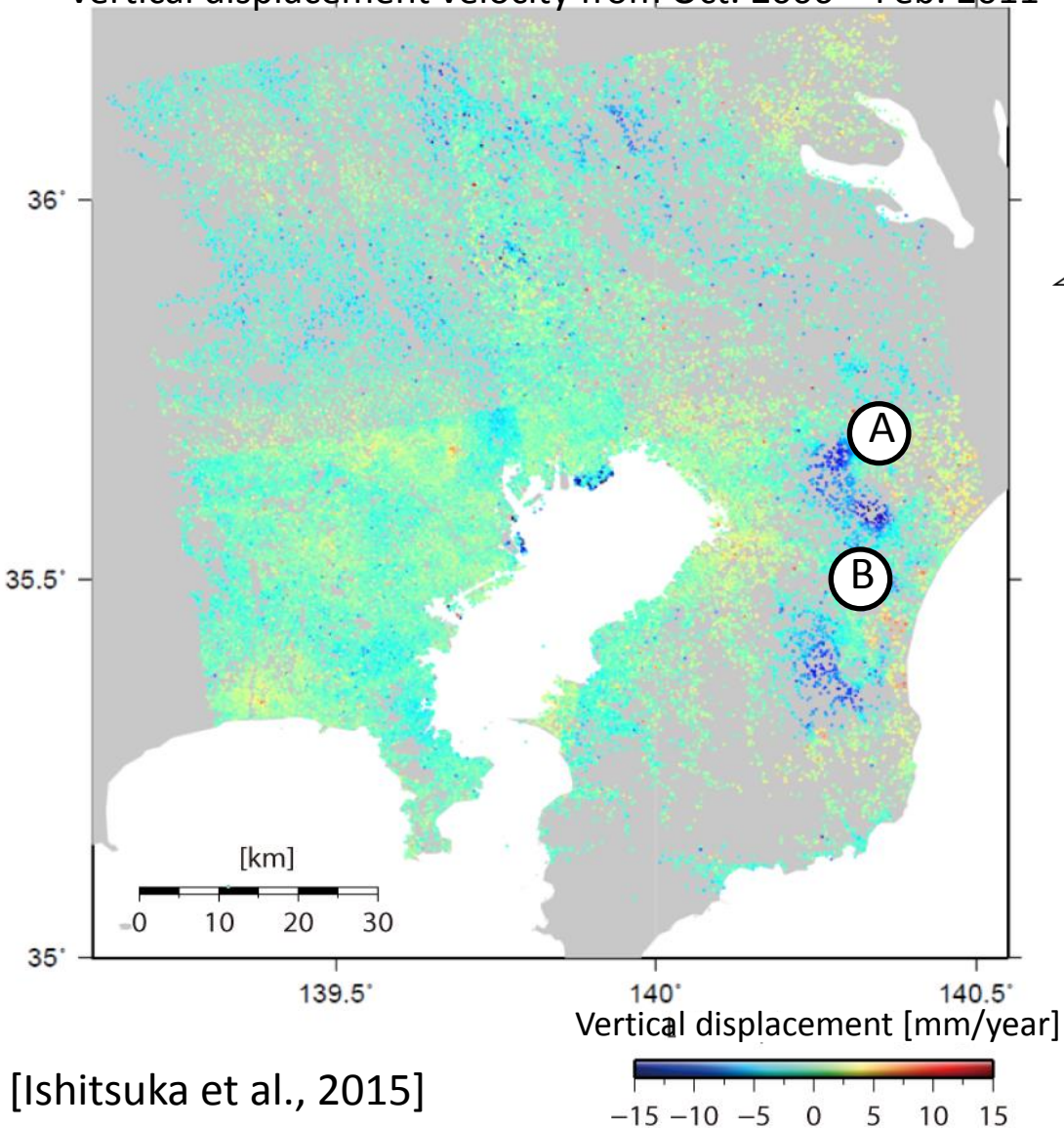
1. (公財) 深田地質研究所
2. 京都大学



- Coherent in all polarimetric data
- Coherent in HH
- Coherent in WV
- Coherent in HV

PS干涉SAR解析

Vertical displacement velocity from Oct. 2006 – Feb. 2011



■ PSInSAR

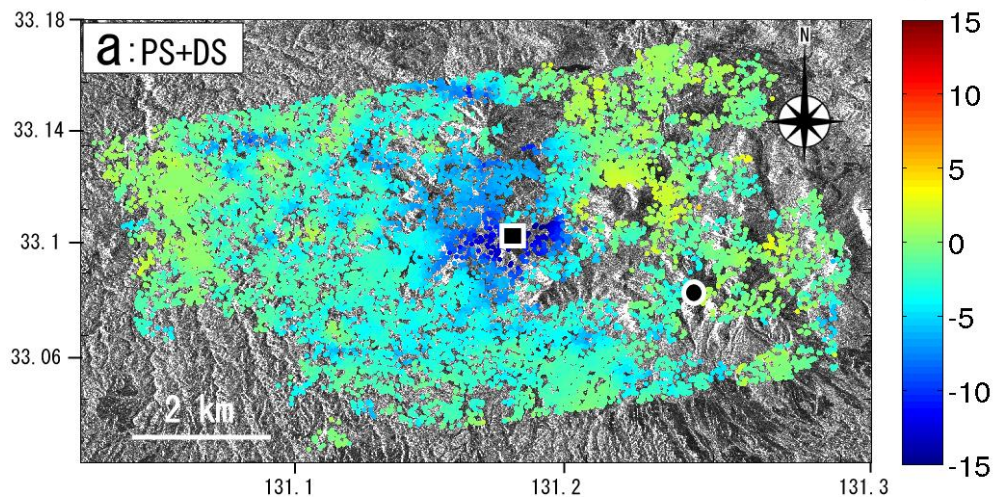
□ GPS

[Ishitsuka et al., 2015]

PS干渉SAR解析ーPSおよびDSの解析

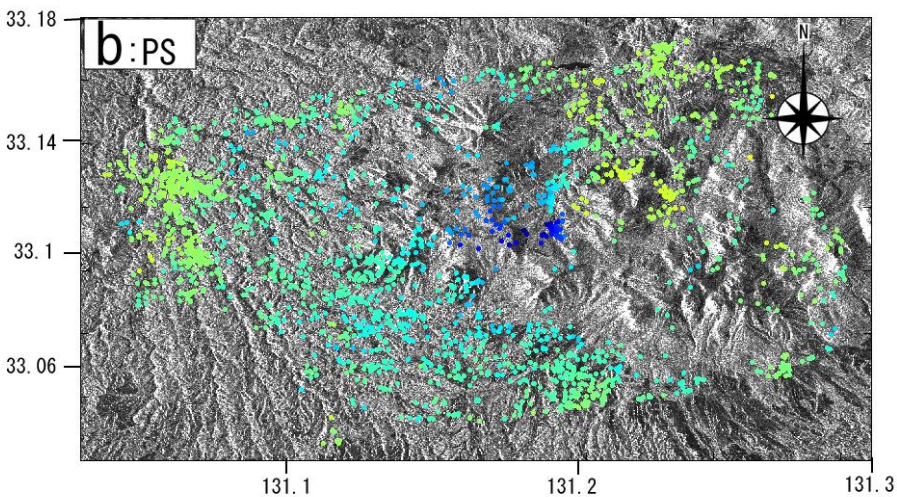
適用型フィルタリングによるPSの空間密度の向上

[mm/year]



□ 適応型フィルタリング (space adaptive filtering) の導入

□ 干渉性が十分に高いピクセル (PS) のみでなく、多少干渉性の低いピクセル (DS) もPS干渉SAR解析アルゴリズムに導入

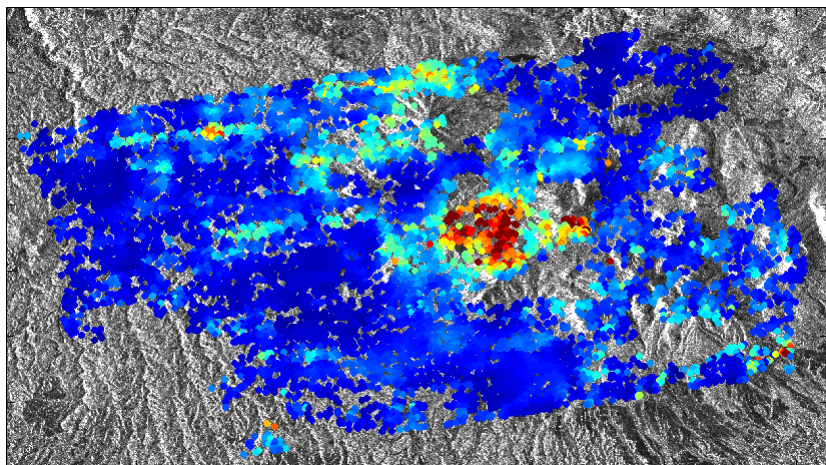


□ 変動の空間分布をより明瞭に識別可能

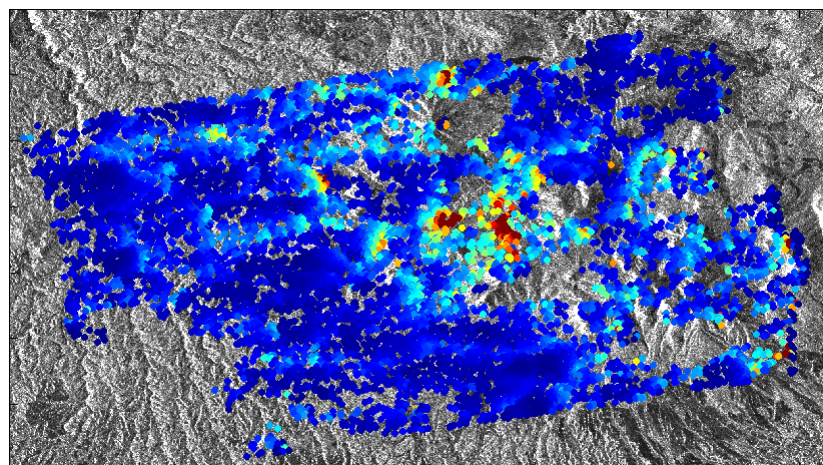
PS干渉SAR解析－PSおよびDSの解析

年間地表変動量の傾斜による変動境界の推定

年間地表変動量の傾斜(南北方向)



年間地表変動量の傾斜(東西方向)

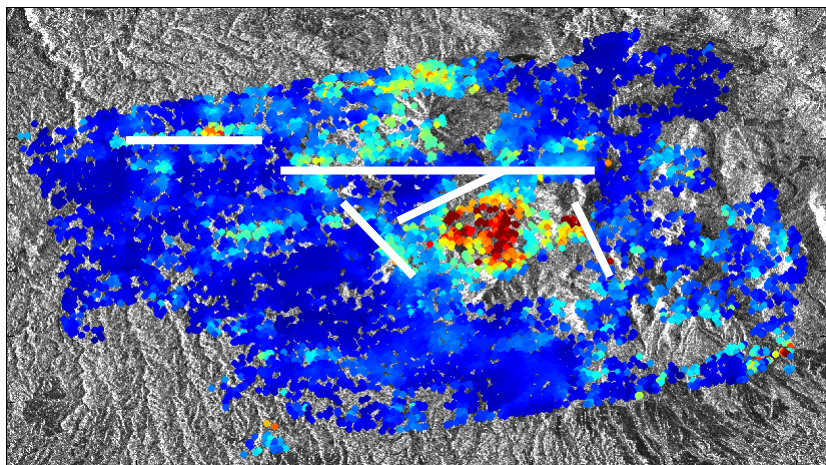


- 地表変動量の中心部以外で、傾斜量の大きい線がいくつか見られる。

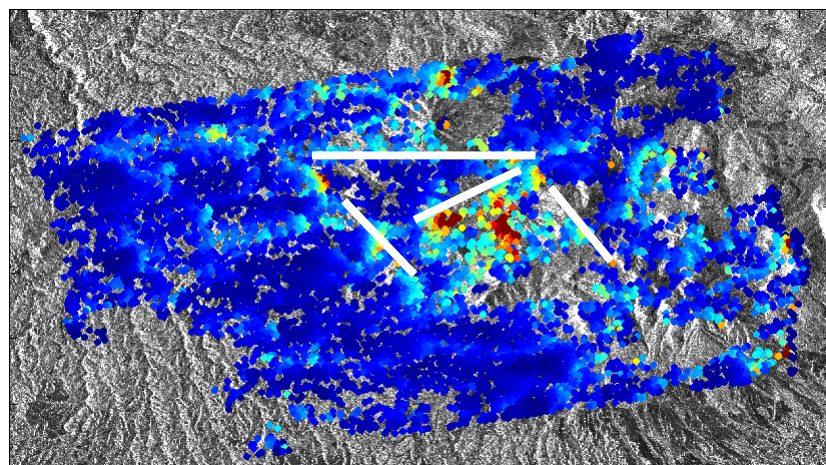
PS干渉SAR解析－PSおよびDSの解析

年間地表変動量の傾斜による変動境界の推定

年間地表変動量の傾斜(南北方向)



年間地表変動量の傾斜(東西方向)



- 地表変動量の中心部以外で、傾斜量の大きい線がいくつか見られる。
- これらの線で、地殻の力学的性質が急な変化をしていると考えられる。

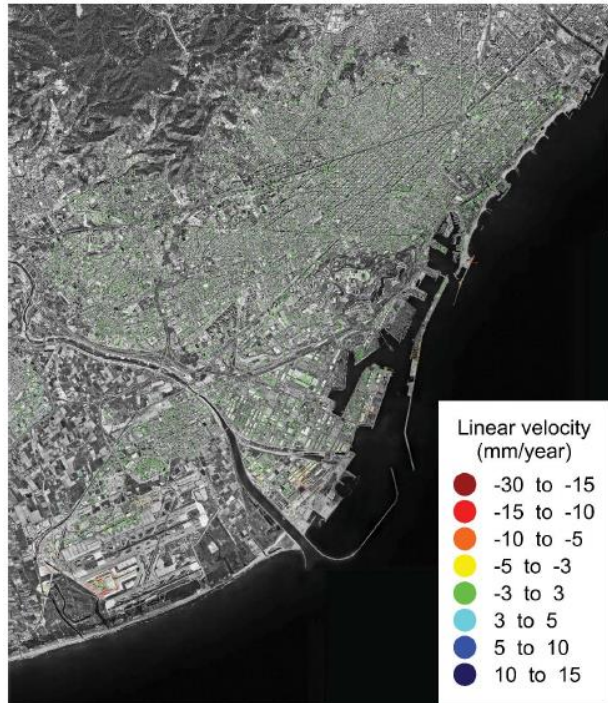


不均質な変動の空間分布を知るためには、PS数を増加させることが重要である

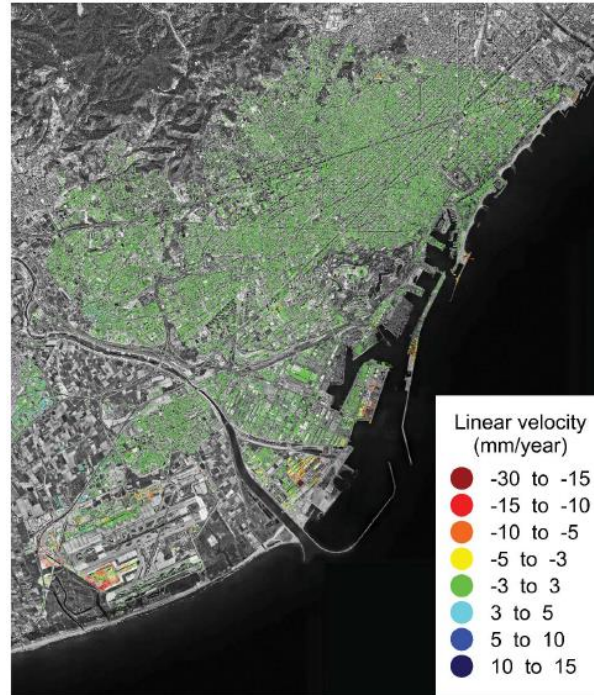
[Ishitsuka et al., 2016]

偏波を用いたPS干渉SAR解析

HH



Full-pol



[偏波を用いた
PS干渉SAR解析に関する
先行研究]

- Pipia et al., 2009, GRSL
- Navarro-Sanzhez et al., 2013; 2014, TGRS
- Ishitsuka et al., 2014, GRSL
- Iglesias et al., 2014; 2015, TGRS

[Navarro-Sanzhez et al., 2014]

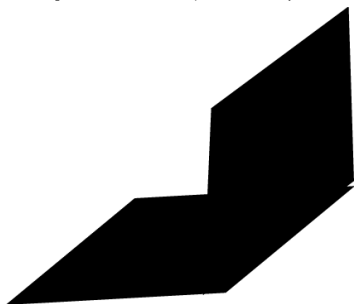
近年、偏波データを組み合わせた解析により、**PSの密度・地表変動の推定精度の向上**が示されている

PSの偏波依存性－理論的な観点から

コヒーレントなピクセル(PS)は用いる偏波によって異なる

HHとVV偏波に散乱しやすい散乱体の例

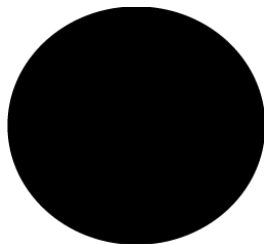
2面コーナーリフレクタ



平板



球

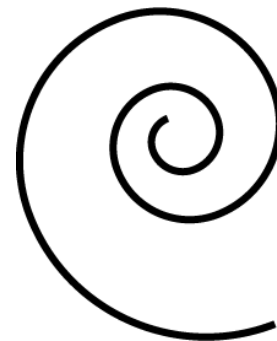


ある特定の偏波に散乱しやすい散乱体の例

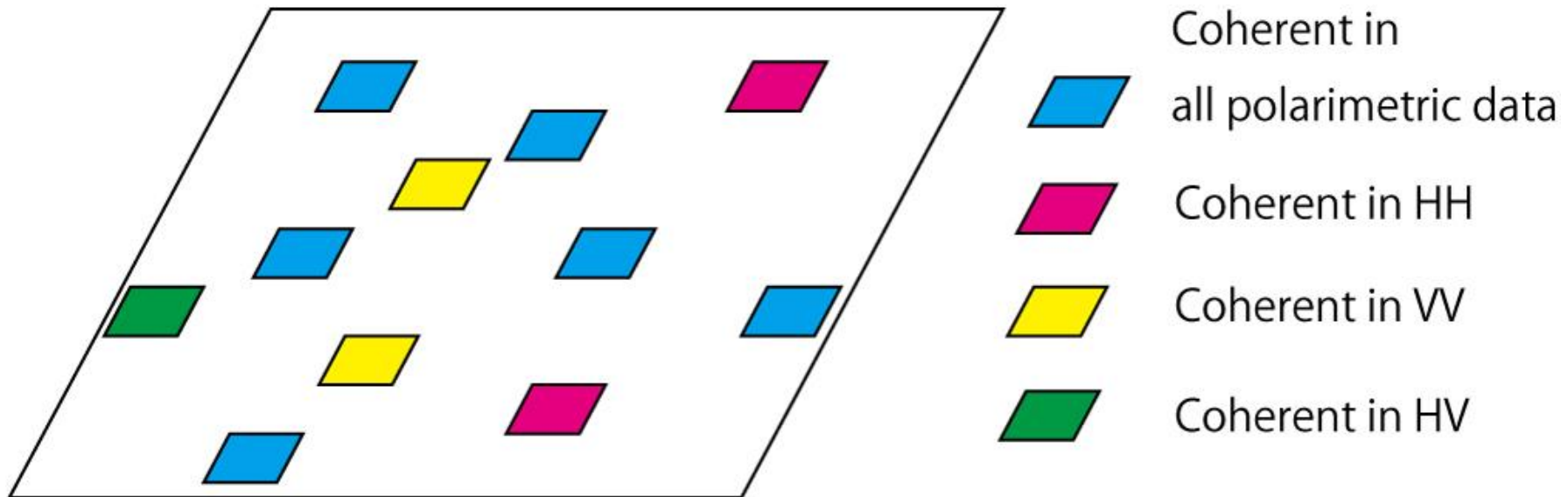
ダイポール (HH or VV)



ヘリックス (HV)



PSの偏波依存性



用いる偏波データによってPSが異なる

- ・ある偏波データで干渉性が高いピクセルはある偏波データのみを用いて、
- ・全ての偏波データで干渉性が高いピクセルでは全ての偏波データを用いて、

PS干渉SAR解析を行いたい。

目的

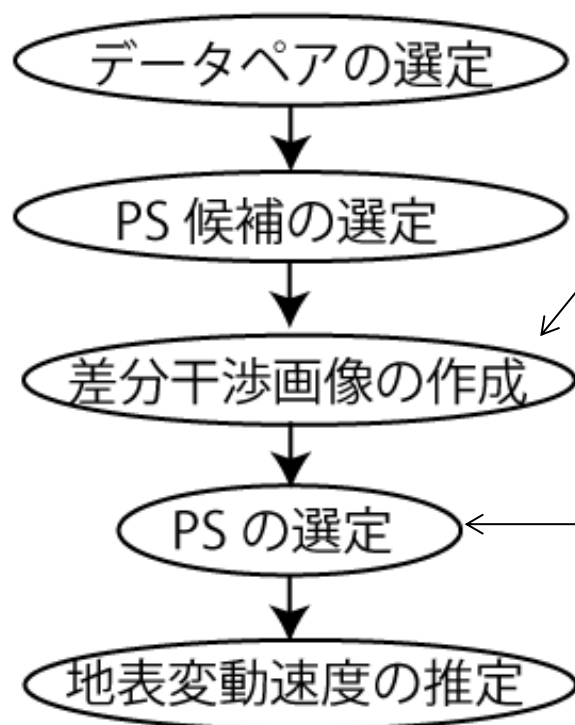
多偏波で取得されたSARデータを用いて、PSの空間密度を向上できる(地表変動をより詳細に捉えることにできる)手法の開発

本研究ではPS干渉SAR解析の1ステップである”PSの選定”を改良

目次

1. 最尤法を用いたPSの選定
 2. 実データの解析 : ALOS/PALSARデータへの適用
 3. まとめ
-

最も基本的なPS干渉SAR解析の流れ



差分干渉画像の位相のモデル

$$\phi = \phi_{model} + \phi_{noise}$$

コヒーレンスによる位相の安定性の評価

$$\gamma = \frac{1}{N} \left| \sum_i^N \exp\{j(\phi_{obs,i} - \phi_{model,i}(m))\} \right|$$

ベイズ理論による尤度の導出

<観測方程式>

$$\underline{\phi}_{HH} = \underline{G}(m) + \underline{e}_{HH} \quad e_{HH} \sim N(0, \sigma_{HH}^2)$$

HH偏波の時系列干渉画像の位相ベクトル
 モデル化された位相(地表変動速度など)
 干渉度の低下に伴うノイズ

<差分干渉画像の位相の確率分布>

N : 干渉画像数

$$p(\phi_{HH} | m, \sigma_{HH}^2) = (2\pi\sigma_{HH}^2)^{-N/2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_{HH}^2} (\phi_{HH} - G(m))^T (\phi_{HH} - G(m))\right)$$



$$p(m, \sigma_{HH}^2, \sigma_{HV}^2, \sigma_{VV}^2 | \phi_{HH}, \phi_{HV}, \phi_{VV}) \propto p(\phi_{HH} | m, \sigma_{HH}^2) p(\phi_{HV} | m, \sigma_{HV}^2) p(\phi_{VV} | m, \sigma_{VV}^2)$$

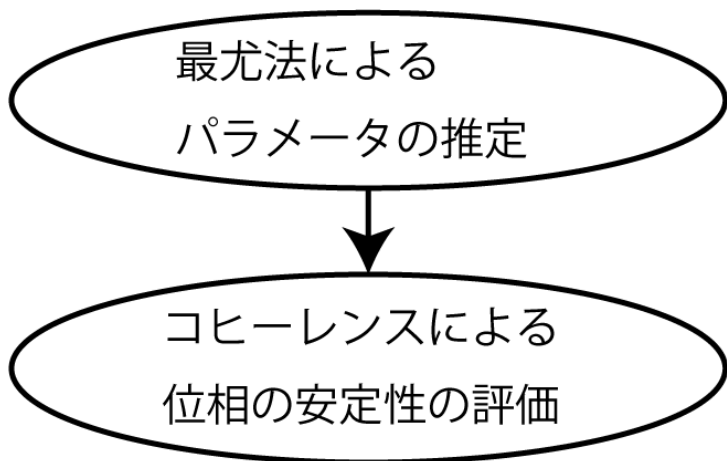
$$\begin{aligned} & \log(p(m, \alpha, \beta | \phi_{HH}, \phi_{HV}, \phi_{VV})) \\ &= -\frac{3}{2} N \log s(m, \alpha, \beta) + N \log \alpha + N \log \beta + \text{Const} \end{aligned}$$

ここで

$$\alpha = \sigma_{HH} / \sigma_{HV} \quad \beta = \sigma_{HH} / \sigma_{VV} \quad s(m, \alpha, \beta) = (\phi_{HH} - G(m))^T (\phi_{HH} - G(m)) + \alpha^2 (\phi_{HV} - G(m))^T (\phi_{HV} - G(m)) + \beta^2 (\phi_{VV} - G(m))^T (\phi_{VV} - G(m))$$

最尤法によるPSの選定

[最尤法を用いたPSの選定の流れ]



$$\hat{m}, \hat{\alpha}, \hat{\beta}$$

$$= \operatorname{argmax}\{\log\{p(m, \alpha, \beta | \phi_{HH}, \phi_{HV}, \phi_{VV})\}\}$$

重み係数

(各偏波にどれだけ重みを付けて、変動推定を行うかを表す)

$$\alpha = \sigma_{HH} / \sigma_{HV} \quad \beta = \sigma_{HH} / \sigma_{VV}$$

- ❑ ピクセル毎のノイズ量(の比)の客観的な推定
- ❑ 各偏波のノイズ量を考慮した変動量の推定

最尤法によるPSの選定

[最尤法を用いたPSの選定の流れ]

最尤法による
パラメータの推定



コヒーレンスによる
位相の安定性の評価

偏波間のノイズ量を考慮したコヒーレンス(Γ)

$$\Gamma = w_{HH}\Gamma_{HH} + w_{HV}\Gamma_{HV} + w_{VV}\Gamma_{VV}$$

それぞれの偏波のコヒーレンスの重み

$$w_{HH} = \frac{\sigma^2_{HH}}{\sigma^2_{HH} + \sigma^2_{HV} + \sigma^2_{VV}}$$

$$w_{HV} = \frac{\sigma^2_{HV}}{\sigma^2_{HH} + \sigma^2_{HV} + \sigma^2_{VV}}$$

$$w_{VV} = \frac{\sigma^2_{VV}}{\sigma^2_{HH} + \sigma^2_{HV} + \sigma^2_{VV}}$$

目次

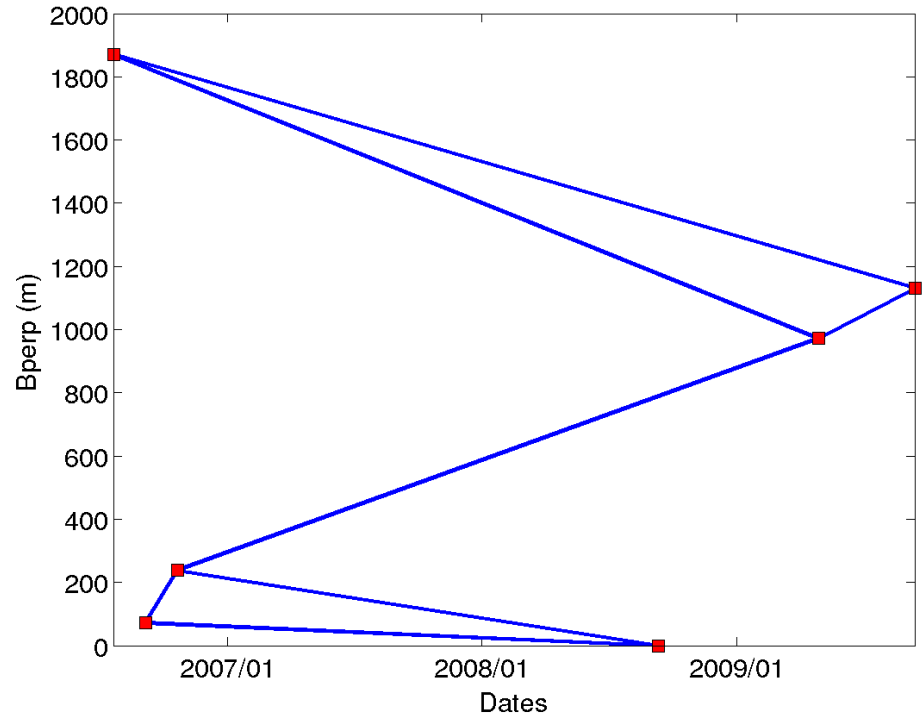
1. 最尤法を用いたPSの選定
 2. 実データの解析 : ALOS/PALSARデータへの適用
 3. まとめ
-

解析に用いたSARデータ: ALOS/PALSAR多偏波モード

航空写真



SARデータとデータペア



ピクセル数
空間解像度

255(r) × 950(az)
9.4m(r) × 3.5m(az)

6 データ

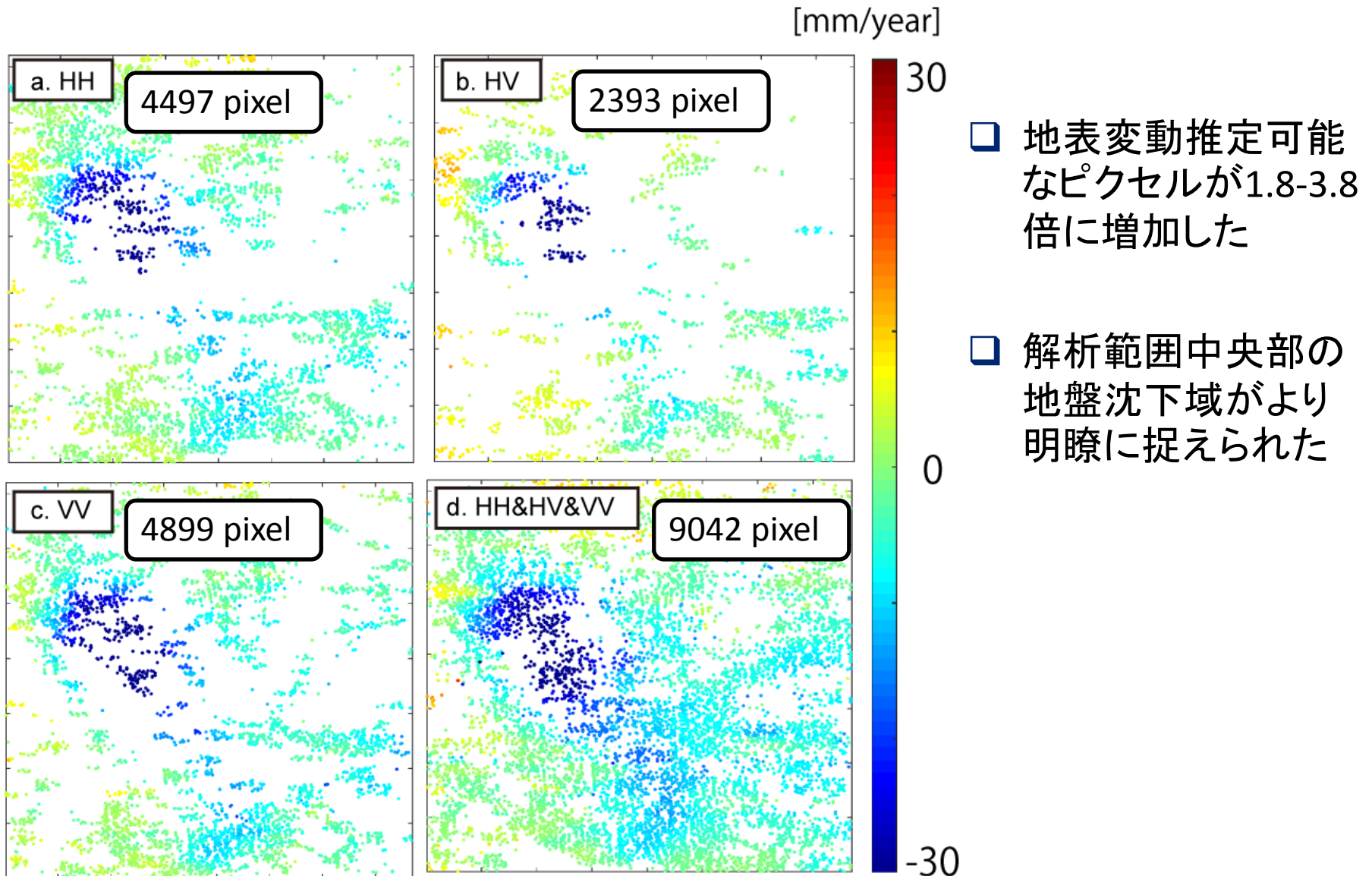
$B_{\perp} \leq 900 m$



7 データペア

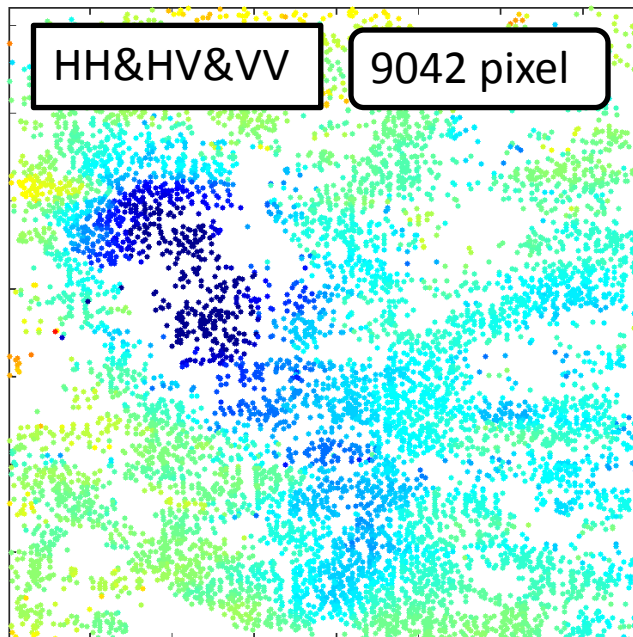
年間地表変動量の比較

—3偏波と単偏波データの比較

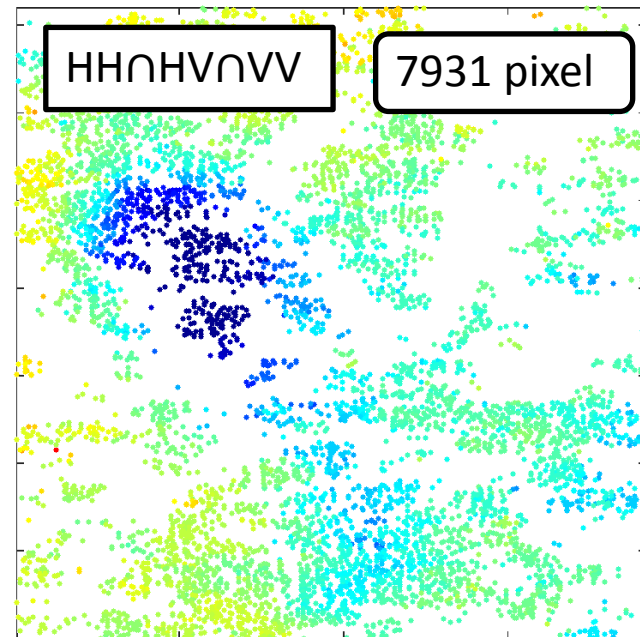


単偏波の解析結果を単純に組み合わせた場合との比較

開発した手法



単偏波の解析を組み合わせた場合



[mm/year]

30

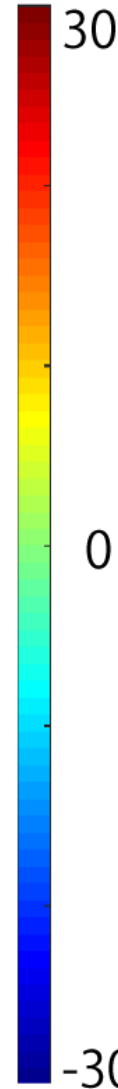
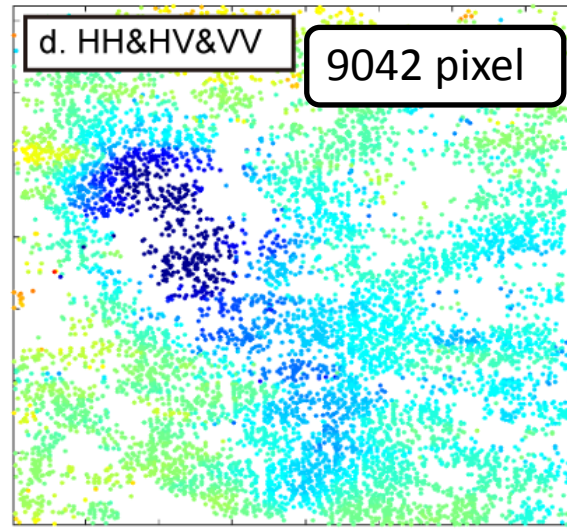
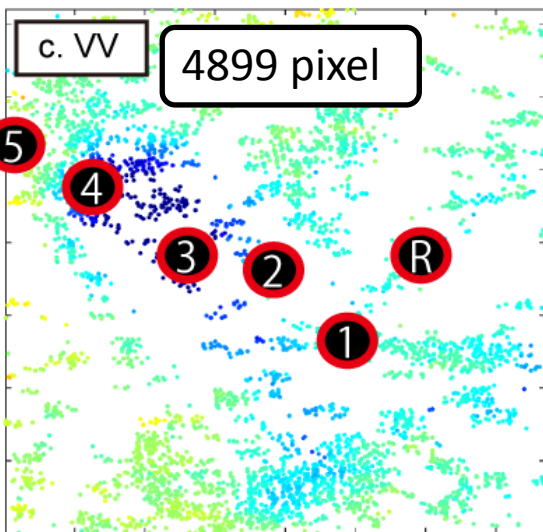
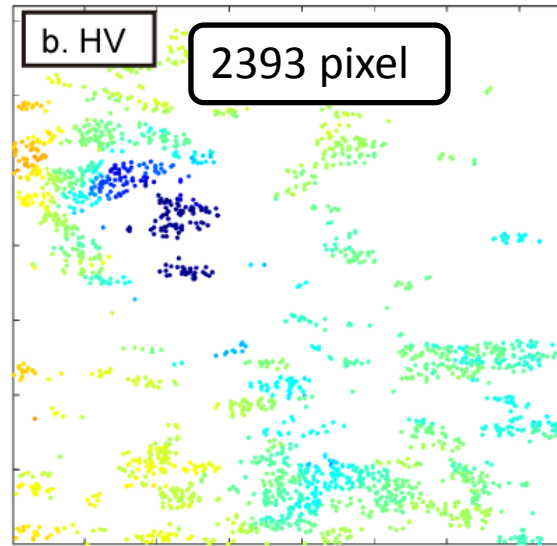
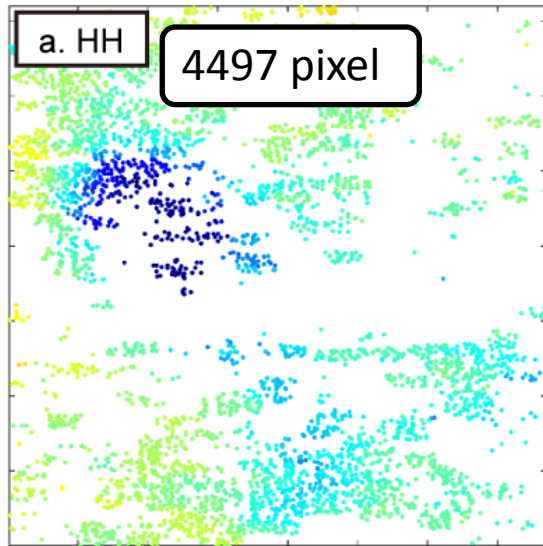
0

-30

年間地表変動量の比較

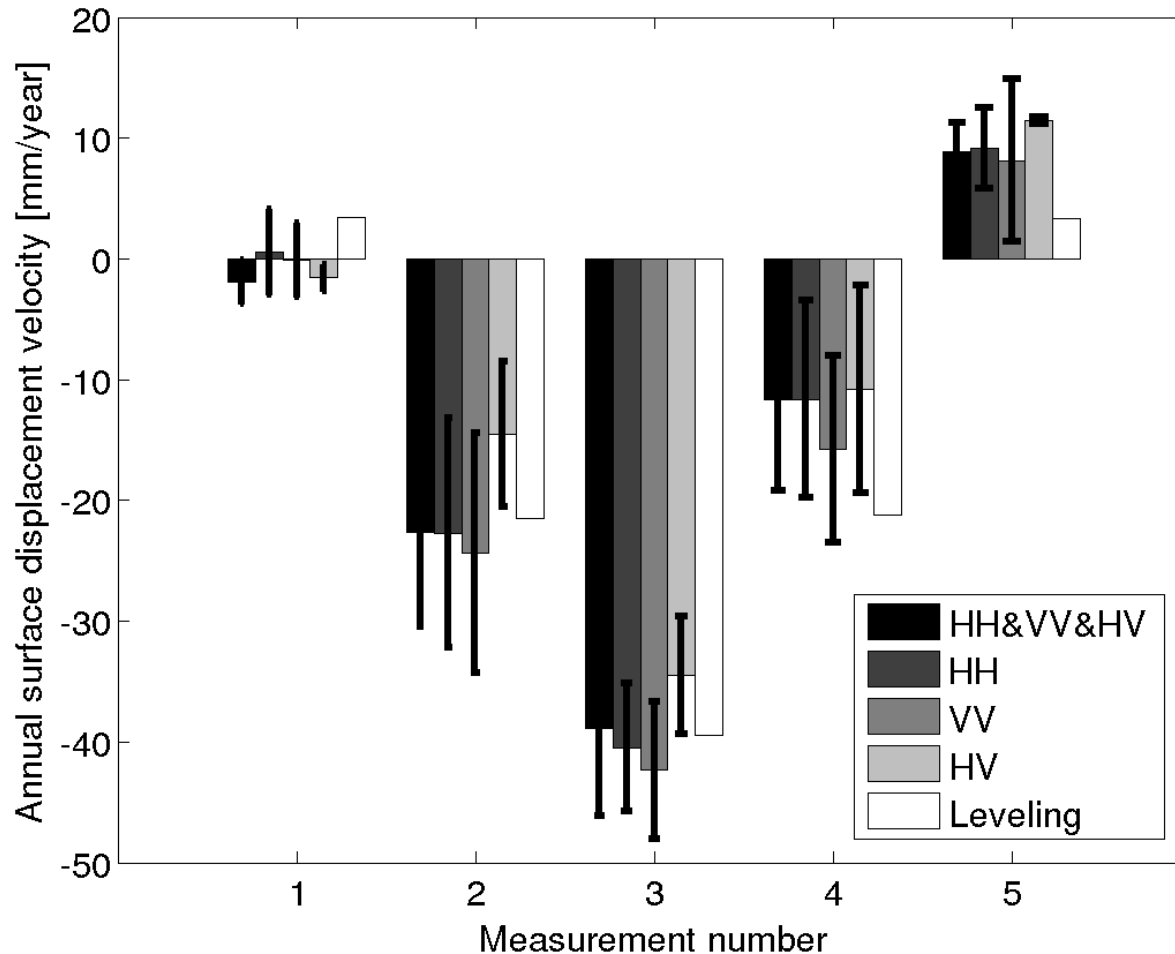
—3偏波と単偏波データの比較

[mm/year]



- 地表変動推定可能なピクセルが1.8-3.8倍に増加した
- 解析範囲中央部の地盤沈下域がより明瞭に捉えられた

水準測量データとの比較

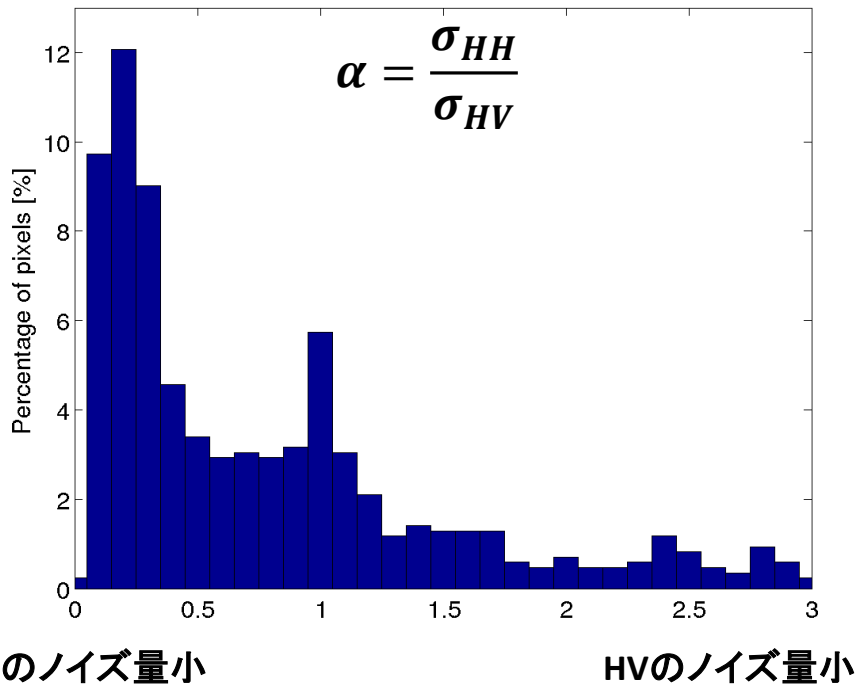


- PS干渉SAR解析結果と、水準測量結果は整合的である。
- 開発した手法により、全ての偏波を融合的に用いると、0.34-9.56 mmの誤差であり、最も誤差が小さかった。

推定された重み係数

重み係数
HH-HH & HV-HV

$$\alpha = \frac{\sigma_{HH}}{\sigma_{HV}}$$

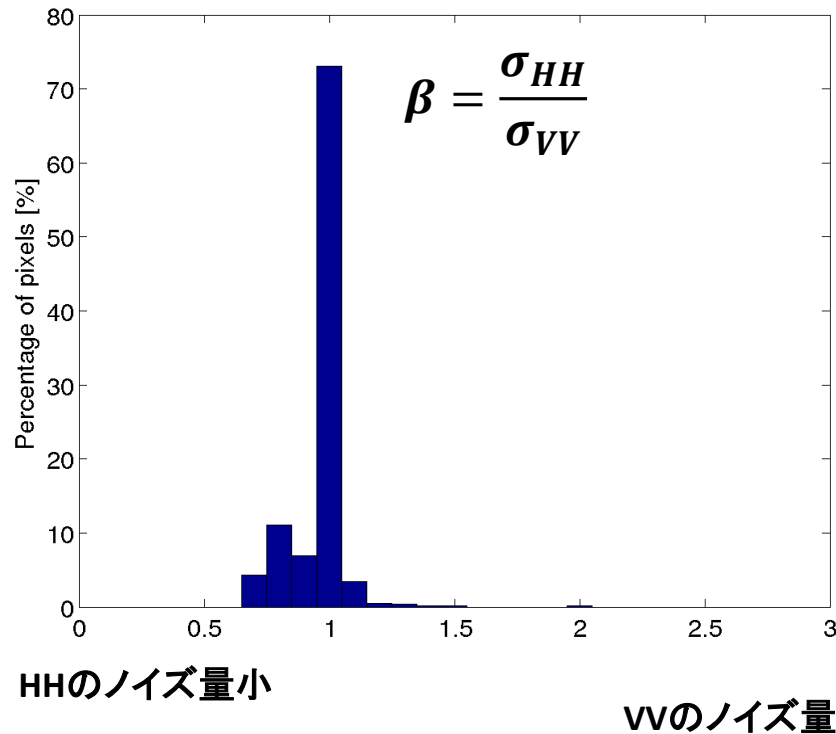


$$\alpha < 1$$

(HH-HHのノイズ量はHV-HVよりも小さい)

重み係数
HH-HH & VV-VV

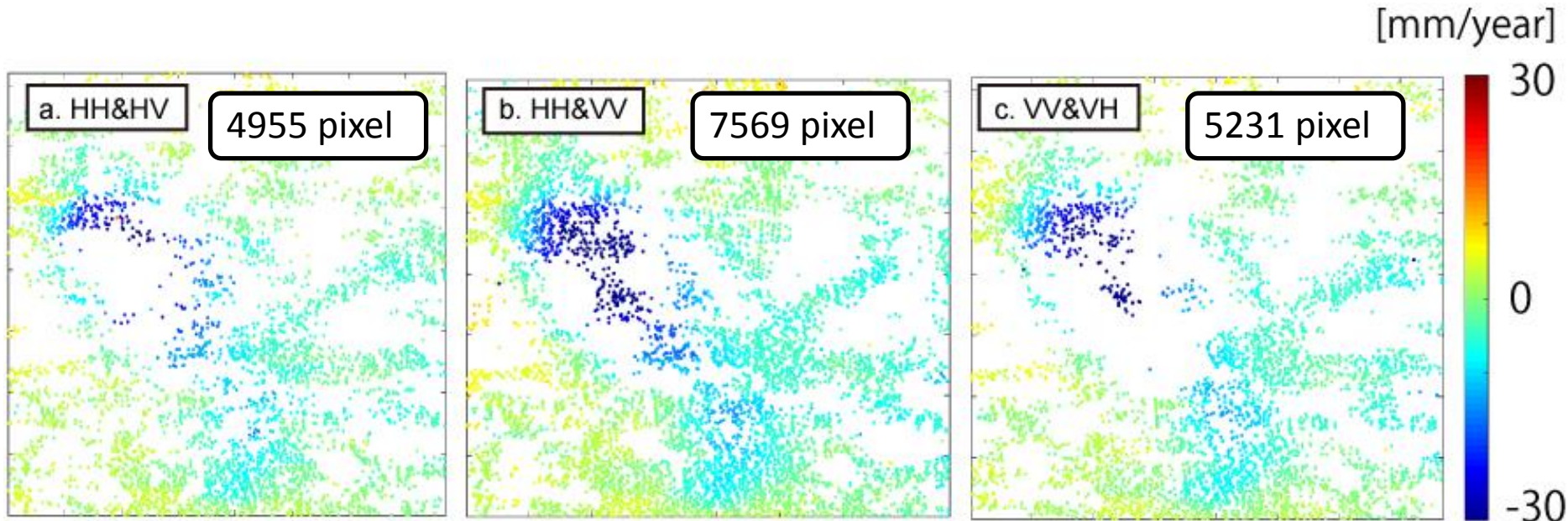
$$\beta = \frac{\sigma_{HH}}{\sigma_{VV}}$$



$$\beta \cong 1$$

(HH-HHとVV-VVのノイズ量は同程度)

年間地表変動量の比較 — 2偏波データの結果



cf) 単偏波・三偏波の結果

偏波	PS数
HH	4497
HV	2393
VV	4899
HH&HV&VV	9042

- 2偏波データへの適用により、単偏波よりもPSの数が1.1-2.1倍増加した

- 2偏波の組み合わせの中で、主偏波成分の解析が最も改善が見られたが、主偏波と交差偏波のデータの解析でも改善が見られた

まとめ

- 最尤法を元に、任意の多偏波データの組み合わせを解析できる手法を開発した。
- 開発した手法をALOS/PALSAR多偏波モードで取得されたデータに適用したところ、PSの空間密度の向上および地表変動の推定精度の向上が確認された。
- 開発した手法は2偏波で取得されたデータへも適用可能であることが示された。

謝辞

- 水準測量データは国土地理院から提供頂きました。
 - 本研究でを使用したALOS/PALSARデータはJapan Space Systemsより提供頂きました。
-