



ALOS-PALSAR 多偏波モード による火山の観測例



*Monitoring Volcanoes Using ALOS-PALSAR
Quad-pol. Mode*

和田 裕／Yutaka Wada (RESTEC)

鵜川 元雄／Motoo Ukawa (NIED)

山口 芳雄／Yoshio Yamaguchi (Niigata Univ.)

背景・目的

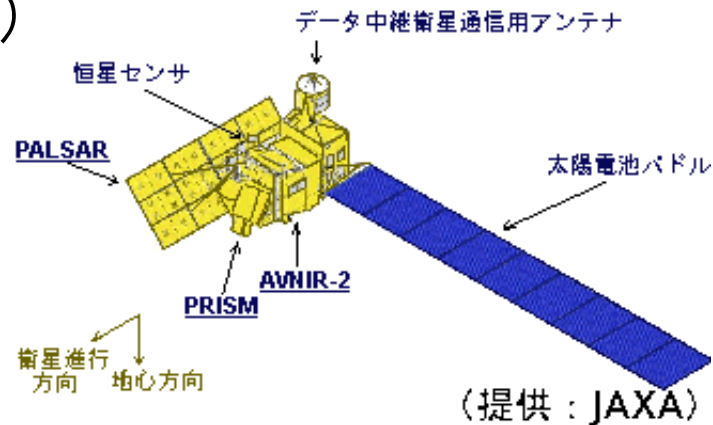
- SARによる火山観測
 - リモートセンシング（遠隔地観測が容易、安全）
 - マイクロ波の透過性（雲、噴煙の影響）
 - 多偏波SAR技術の進展
 - 航空機SARを用いた多くの研究
 - 衛星搭載多偏波SARセンサ
 - ALOS-PALSAR（2006年）
 - TerraSAR-X , Radarsat-2（2007年）
- ⇒ 衛星多偏波SARによる火山活動把握の試み

内容

- 多偏波SARについて
 - ALOS-PALSAR について
 - 多偏波SARの概要
- 解析手法
 - $H/\alpha/A$ 三成分解析
 - $P_s/P_d/P_v/P_c$ 四成分分解
- 解析結果
- 考察・まとめ

ALOS-PALSAR 概要

- PALSAR
 - Phased Array type L-band SAR sensor
 - 観測モード
 - 高分解能(単偏波／2偏波)
 - 広域観測(単偏波)
 - 多偏波(4偏波、実験モード)
 - 波長: 23.5 cm (L-Band)



多偏波SAR概要

- 偏波とは？

- 電磁波の振動の様子に、ある一定のパターン(偏り)があるもの

- 直線偏波
 - 円偏波
 - 楕円偏波

- ⇒ 電波の進行方向を見て、電界の変化の軌跡が直線状(往復)・円または楕円状(回転)

多偏波SAR概要

- なぜ複数の偏波を使うのか？
 - 対象の形状等によっては、偏波が異なると散乱の仕方が異なる
 - ⇒ 観測対象の形状的特性を把握

(例) 垂直の格子



多偏波SAR概要

- 多偏波SARとは？

- 二種類の偏波(H偏波、V偏波)を交互に照射し
二種類の偏波を同時に受信する

⇒ 4つのチャンネルによる観測

- **HH** : H偏波を照射してH偏波を受信
- **VV** : V偏波を照射してV偏波を受信
- **HV** : H偏波を照射してV偏波を受信
- **VH** : V偏波を照射してH偏波を受信

} **Like偏波**
(co-pol.)

} **Cross偏波**
(x-pol.)

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

Coherency matrix の固有値解析

- Sinclair 散乱行列 $[S]$ から Coherency行列 $[T]$ を生成し、固有値(λ)を求める

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix}$$

$$\langle [T] \rangle = \begin{bmatrix} \langle |S_{HH} + S_{VV}|^2 \rangle & \langle (S_{HH} + S_{VV})(S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & \langle 2 S_{HV}^* (S_{HH} + S_{VV}) \rangle \\ \langle (S_{HH} - S_{VV})(S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & \langle |S_{HH} - S_{VV}|^2 \rangle & \langle 2 S_{HV}^* (S_{HH} - S_{VV}) \rangle \\ \langle 2 S_{HV} (S_{HH} + S_{VV})^* \rangle & \langle 2 S_{HV} (S_{HH} - S_{VV})^* \rangle & \langle 4 |S_{HV}|^2 \rangle \end{bmatrix}$$

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析 Coherency matrix の固有値解析

- Sinclair 散乱行列 $[S]$ から Coherency行列 $[T]$ を生成し、固有値(λ)を求める

$$\langle [T] \rangle = [U_3] [\Sigma_3] [U_3]^{-1}$$

$$[\Sigma_3] = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3), \quad [U_3] = [\mathbf{u}_1 \quad \mathbf{u}_2 \quad \mathbf{u}_3]$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{1}{2} |S_{HH} + S_{VV}|^2 \\ \lambda_2 &= \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV} + 2j S_{HV}|^2 \\ \lambda_3 &= \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV} - 2j S_{HV}|^2 \end{aligned} \quad \mathbf{u}_i = \begin{bmatrix} \cos \alpha_i \\ \sin \alpha_i \cos \beta_i \exp(j \delta_i) \\ \sin \alpha_i \sin \beta_i \exp(j \delta_i) \end{bmatrix}$$

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

H の定義

- H : エントロピー

- 散乱の複雑さ(多様性)に起因

$$H = \sum_{i=1}^3 P_i \log_3 P_i \quad P_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$

$$H \rightarrow 0 : \lambda_1 \rightarrow SPAN, \quad \lambda_2 \rightarrow 0, \quad \lambda_3 \rightarrow 0$$

$$H \rightarrow 1 : \lambda_1 \rightarrow \frac{SPAN}{3}, \quad \lambda_2 \rightarrow \frac{SPAN}{3}, \quad \lambda_3 \rightarrow \frac{SPAN}{3}$$

$$(SPAN = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$$

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

$\bar{\alpha}$ の定義

- $\bar{\alpha}$: 平均アルファ角
 - 散乱のメカニズムに相関

$$\bar{\alpha} = P_1 \alpha_1 + P_2 \alpha_2 + P_3 \alpha_3$$

$\bar{\alpha} \rightarrow 0$: 表面散乱

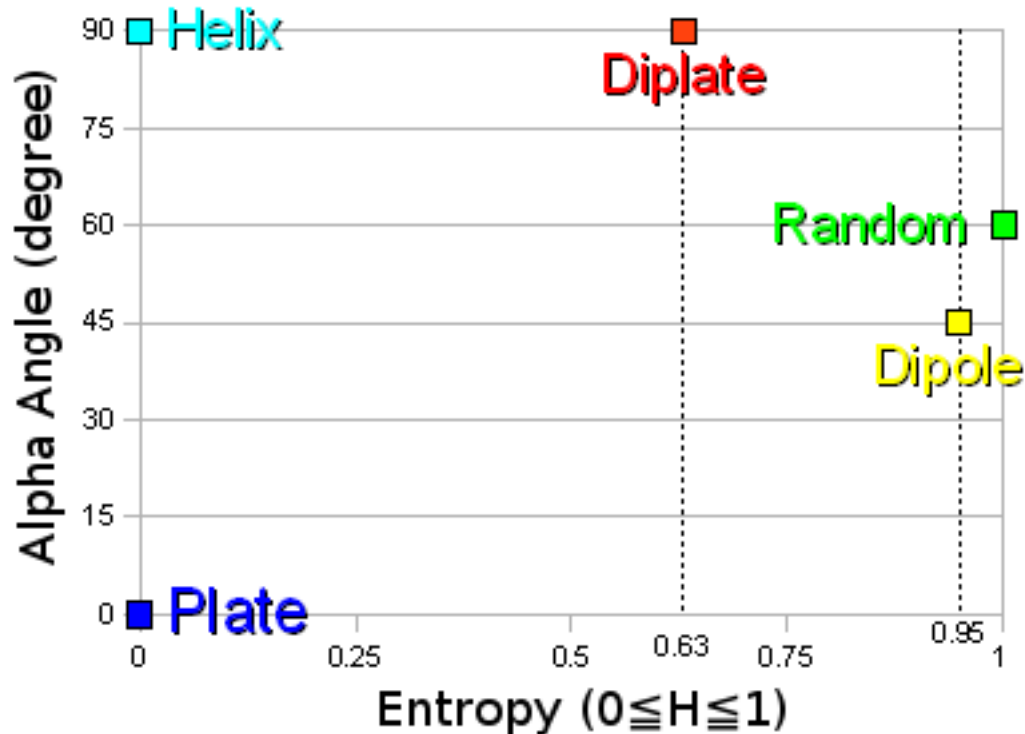
$\bar{\alpha} \rightarrow \frac{\pi}{4}$: 体積散乱

$\bar{\alpha} \rightarrow \frac{\pi}{2}$: 二回反射

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

観測対象と $H/\bar{\alpha}$ の関係

- 標準的なターゲットの $H/\bar{\alpha}$ 特性



$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

A の定義

- A : アニソトロピー
 - 第二散乱成分に相関

$$A = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$$

($\lambda_1=1.0$, $\lambda_2=1.0$, $\lambda_3=0.3$ のとき)

$$P_1 = \frac{1}{2.3}, \quad P_2 = \frac{1}{2.3}, \quad P_3 = \frac{0.3}{2.3} \quad \Rightarrow \quad H=0.9, \quad A=0.54$$

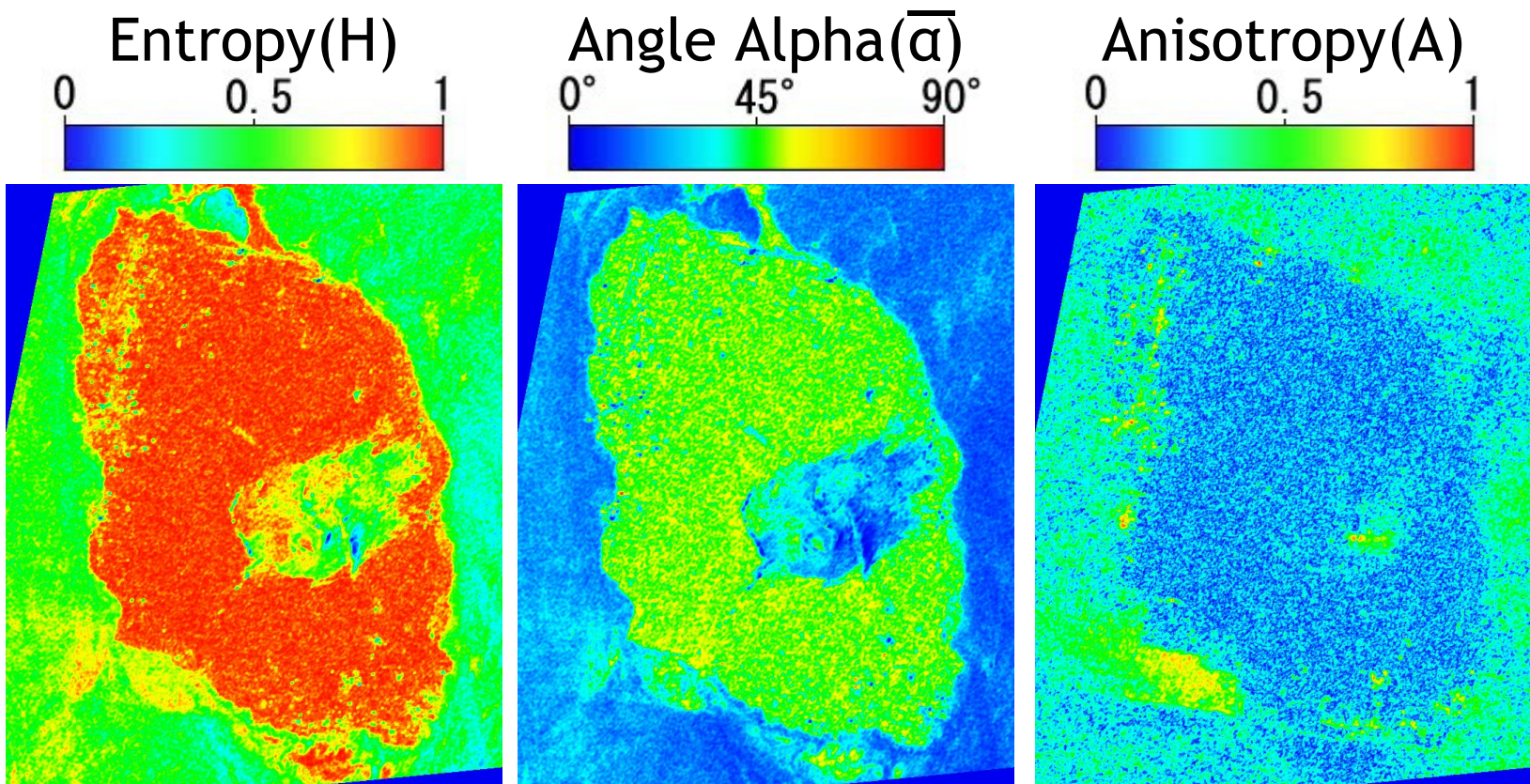
($\lambda_1=1.0$, $\lambda_2=0.4$, $\lambda_3=0.4$ のとき)

$$P_1 = \frac{1}{1.8}, \quad P_2 = \frac{0.4}{1.8}, \quad P_3 = \frac{0.4}{1.8} \quad \Rightarrow \quad H=0.9, \quad A=0.0$$

H だけでは
区別できない
ものを分類可

$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析 解析結果の例(伊豆大島)

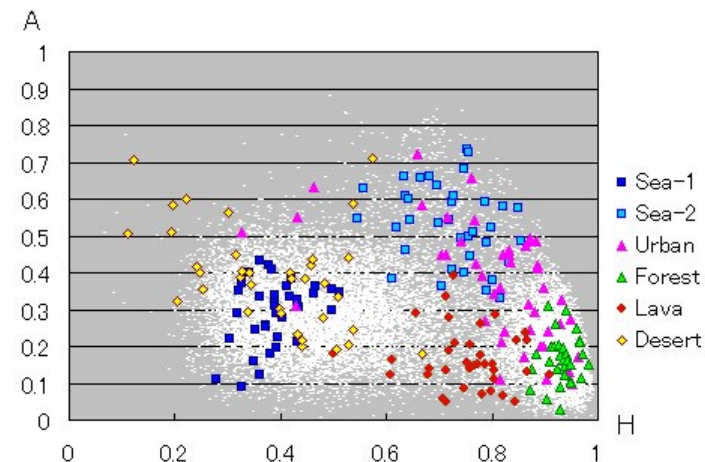
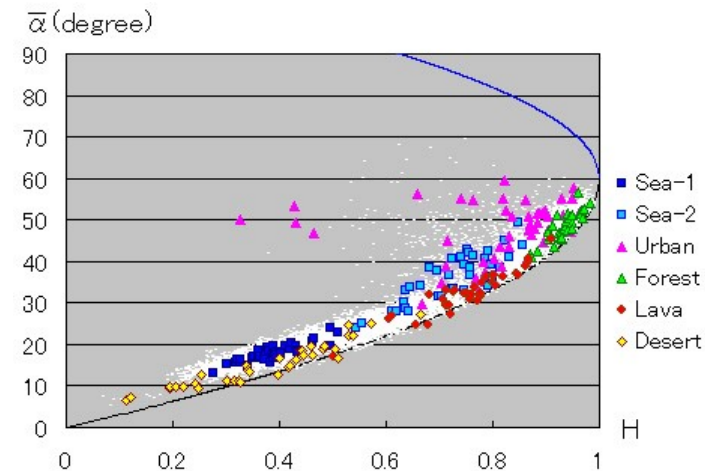
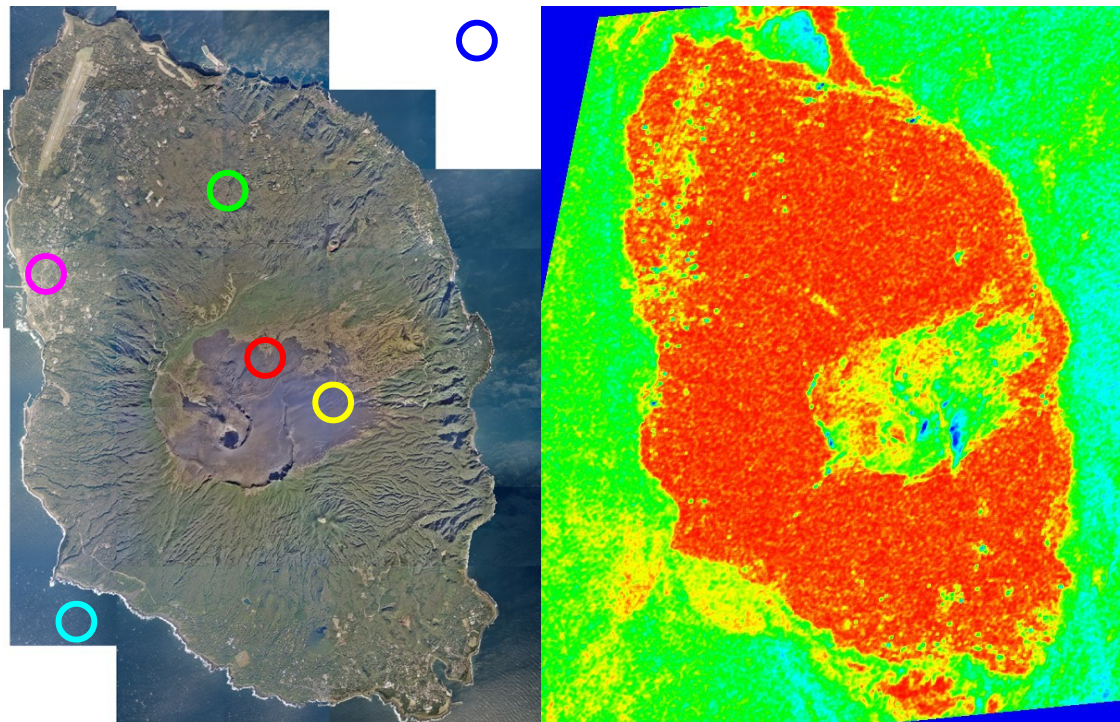
- 伊豆大島(2006年8月19日)



$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析

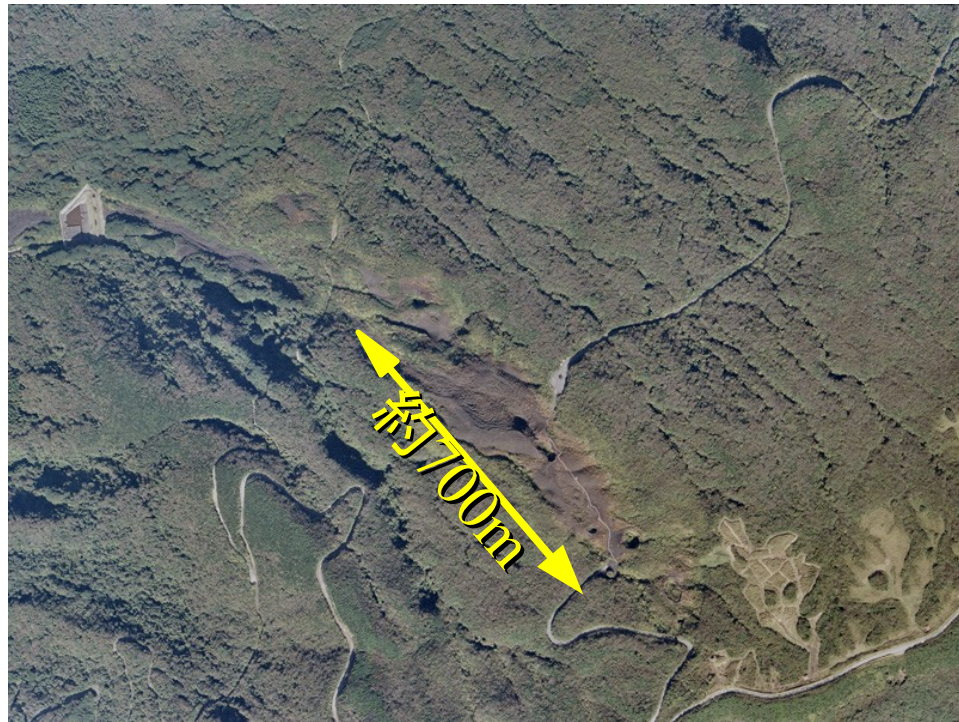
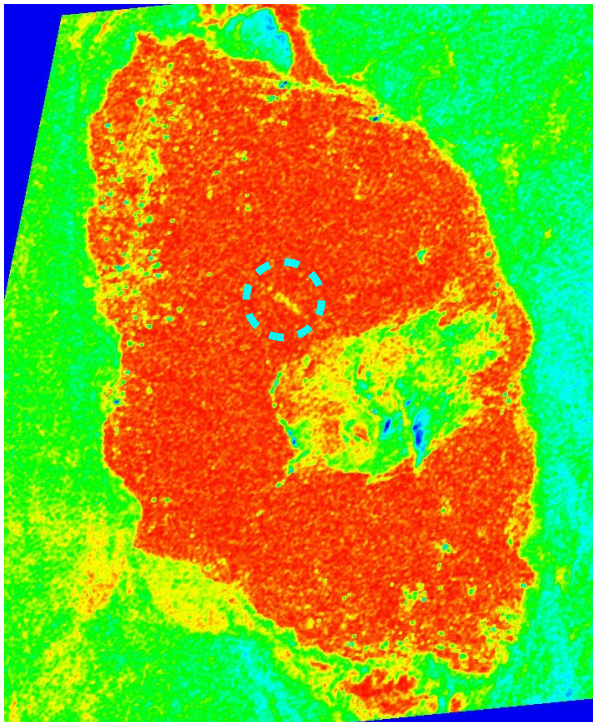
解析結果の例(伊豆大島)

- 地形ごとの $H/\bar{\alpha}/A$ 値



$H/\bar{\alpha}/A$ 三成分による解析 解析結果の例(伊豆大島)

- エントロピーとC火口列(1986)



$P_s/P_d/P_v/P_c$ 四成分の電力分解

4種類の散乱メカニズム

- 受信電力を4種類の散乱成分の和と仮定

$$\langle [C] \rangle = f_s [C]_{surface} + f_d [C]_{double} + f_v [C]_{volume} + f_c [C]_{circular}$$

- 表面散乱 (surface scattering)

- 地面、海面など

- 二回反射 (double bounce)

- 地面 + 壁面 など

- 体積散乱 (volume scattering)

- 森林など

- Helix散乱 (helix scattering, circular scattering)

- 人工物など？

$P_s/P_d/P_v/P_c$ 四成分の電力分解

Covariance matrix によるモデル化

- 既知の散乱モデルを元に方程式化

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad \langle [C] \rangle = \begin{bmatrix} \langle S_{HH} S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{HH} S_{HV}^* \rangle & \langle S_{HH} S_{VV}^* \rangle \\ \sqrt{2} \langle S_{HV} S_{HH}^* \rangle & 2 \langle S_{HV} S_{HV}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{HV} S_{VV}^* \rangle \\ \langle S_{VV} S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{VV} S_{HV}^* \rangle & \langle S_{VV} S_{VV}^* \rangle \end{bmatrix}$$

$$[C]_{surface} = \begin{bmatrix} |\beta|^2 & 0 & \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta^* & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [C]_{double} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \alpha^* \\ 0 & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & |\alpha|^2 \end{bmatrix}$$

$$[C]_{volume} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 3 \end{bmatrix} \quad [C]_{circular} = \begin{bmatrix} 1 & \pm\sqrt{2}j & -1 \\ \mp\sqrt{2}j & 2 & \pm\sqrt{2}j \\ -1 & \mp\sqrt{2}j & 1 \end{bmatrix}$$

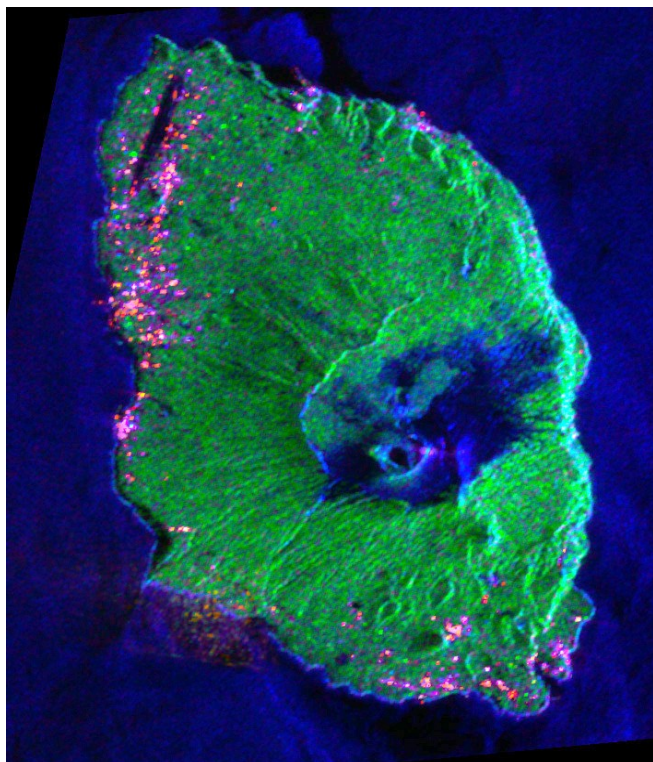
$$\langle [C] \rangle = f_s [C]_{surface} + f_d [C]_{double} + f_v [C]_{volume} + f_c [C]_{circular}$$

$$P_c = f_c, \quad P_v = f_v,$$

$$P_s = f_s (1 + |\beta|^2), \quad P_d = f_d (1 + |\alpha|^2)$$

$P_s/P_d/P_v/P_c$ 四成分の電力分解 解析結果の例(伊豆大島)

- 伊豆大島(2006年8月19日)

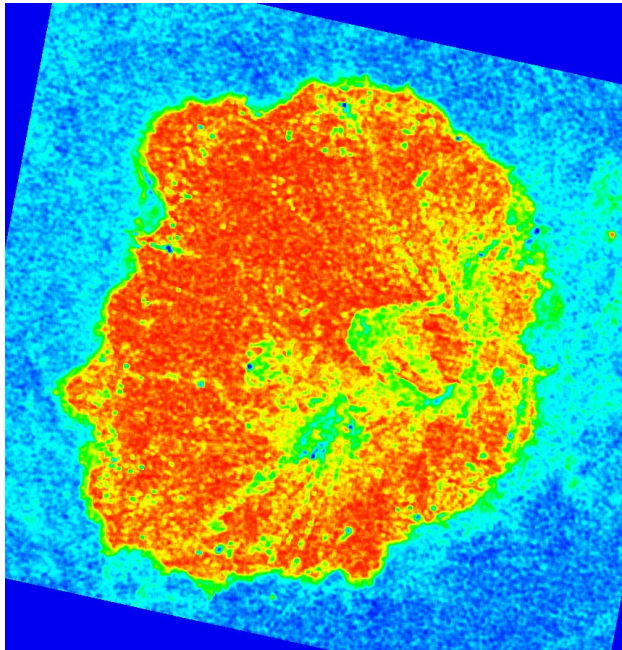


- $R / G / B = P_d / P_v / P_s$
 - 都市域 : P_d が卓越
 - 森林域 : P_v が卓越
 - 裸地・海上: P_s が卓越

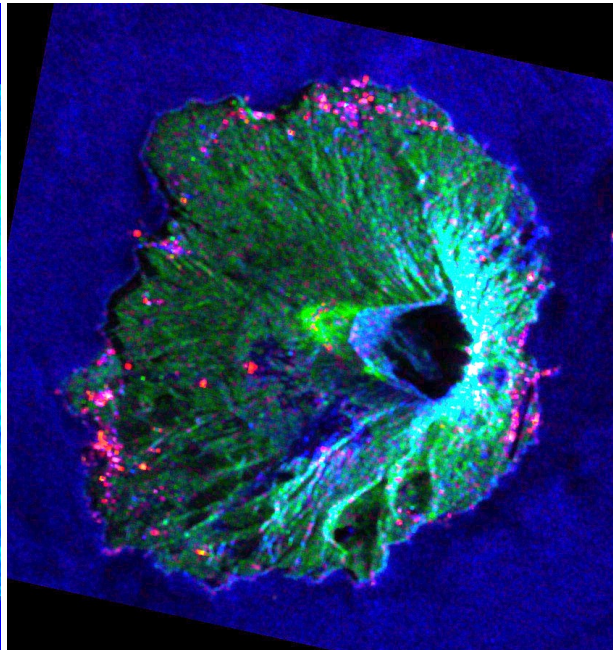
他の火山の観測例

三宅島

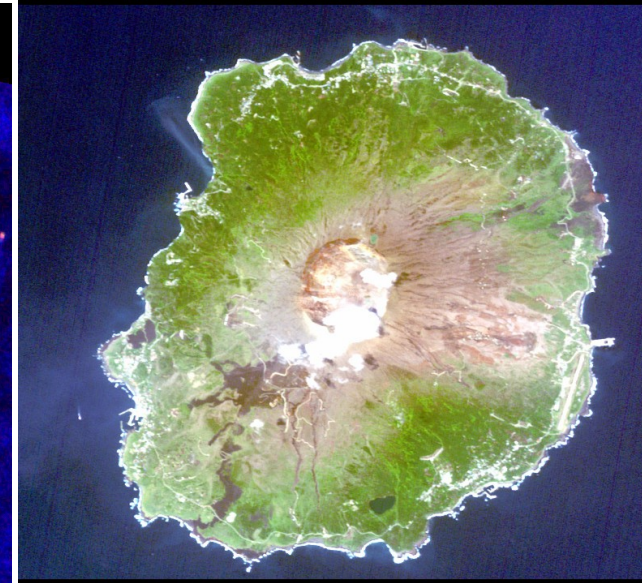
- 三宅島(2006年5月19日)



Entropy



$P_d / P_v / P_s$

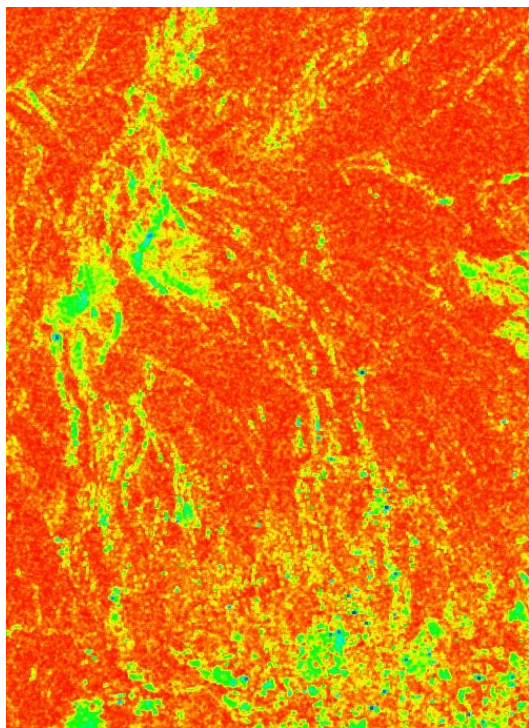


AVNIR-2 (06/05/21)

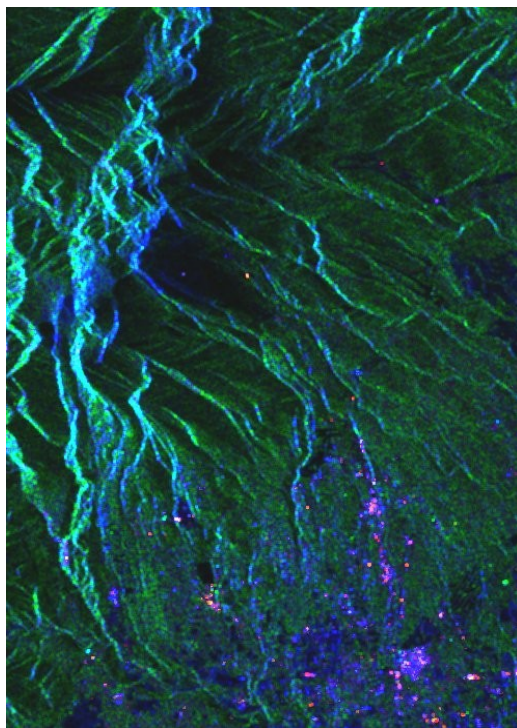
他の火山の観測例

那須岳

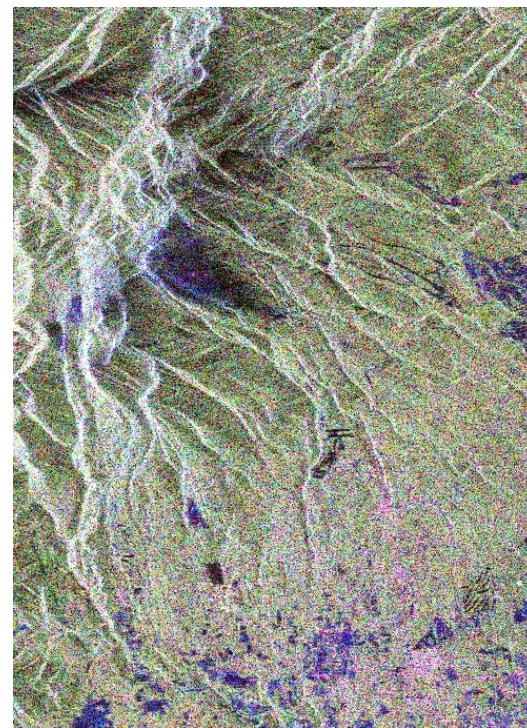
- 那須岳 (2007年4月2日)



Entropy



$P_d / P_v / P_s$

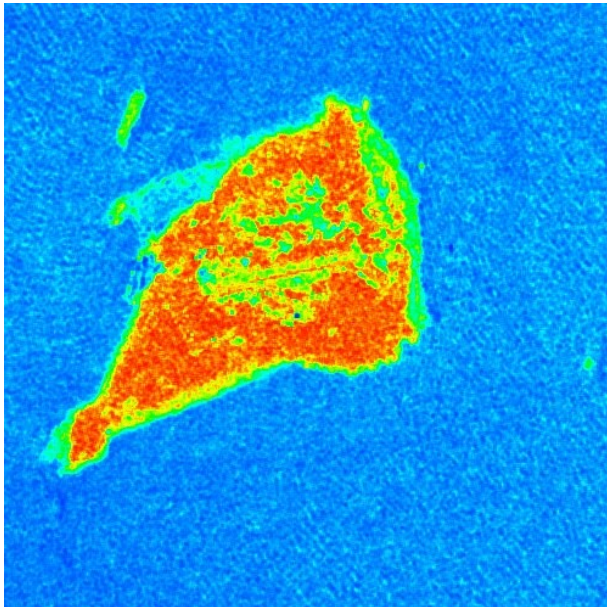


$|HH-VV| / 2|HV| / |HH+HV|$

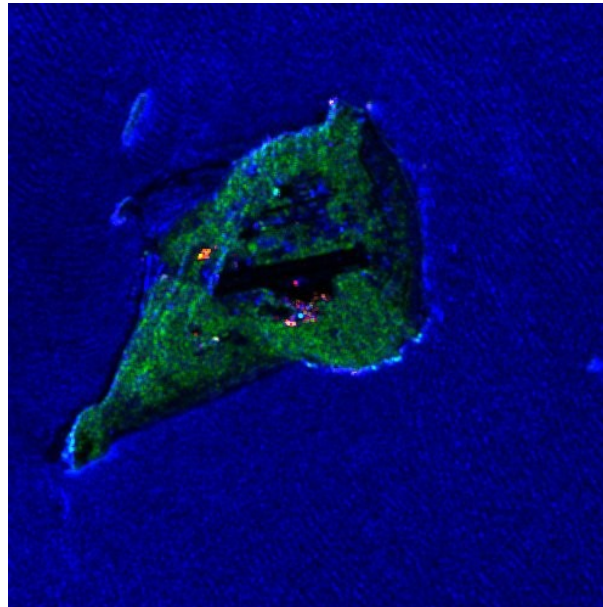
他の火山の観測例

小笠原硫黄島

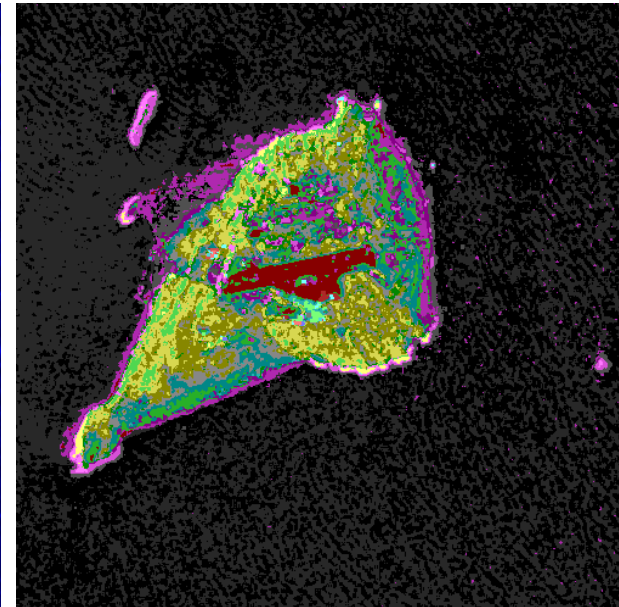
- 小笠原硫黄島 (2007年5月23日)



Entropy



$P_d / P_v / P_s$

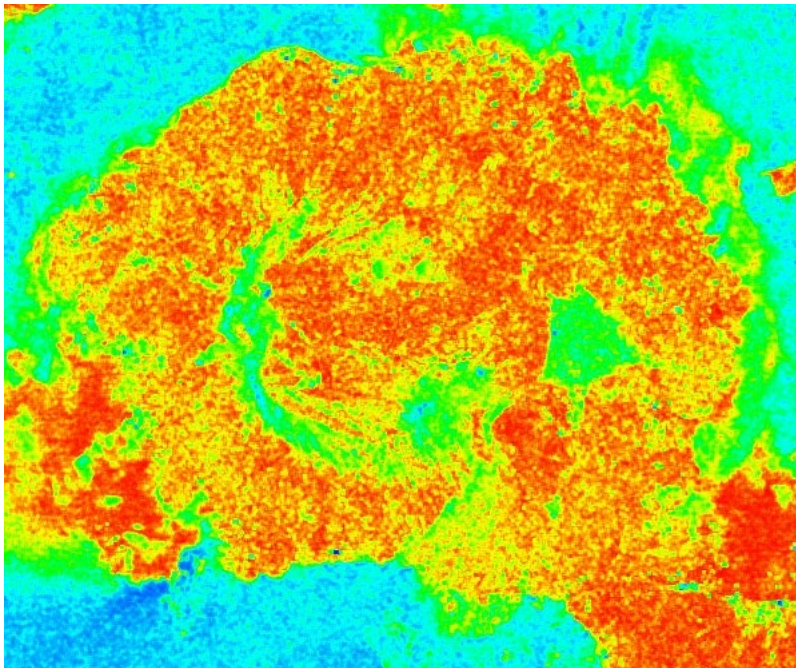


Wishart Classifier
($H/\alpha/A/TP$ を用いた
教師なし分類)

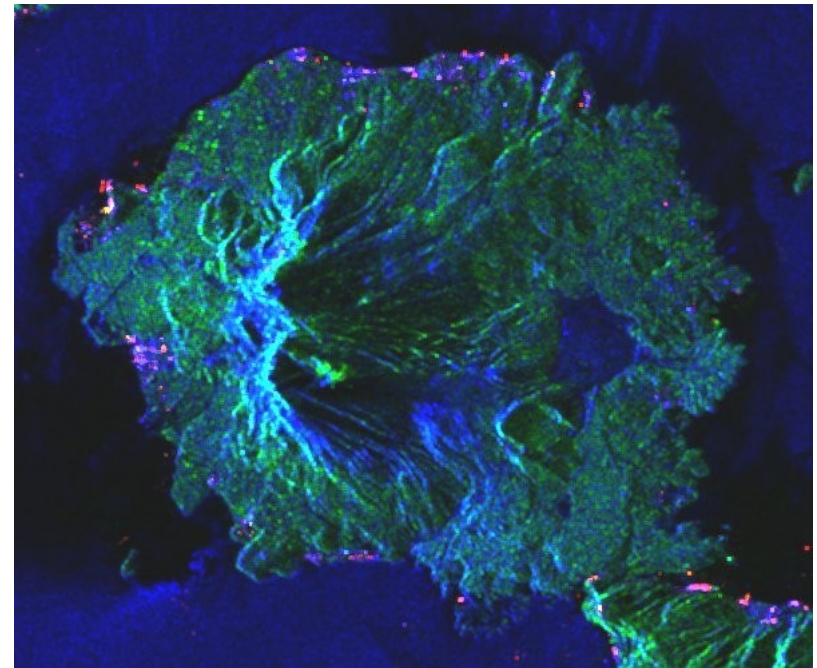
他の火山の観測例

桜島

- 桜島(2007年6月5日)



Entropy



$P_d / P_v / P_s$

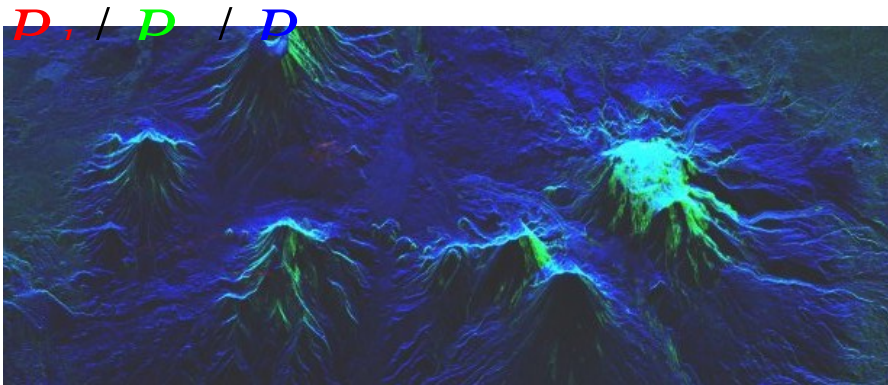
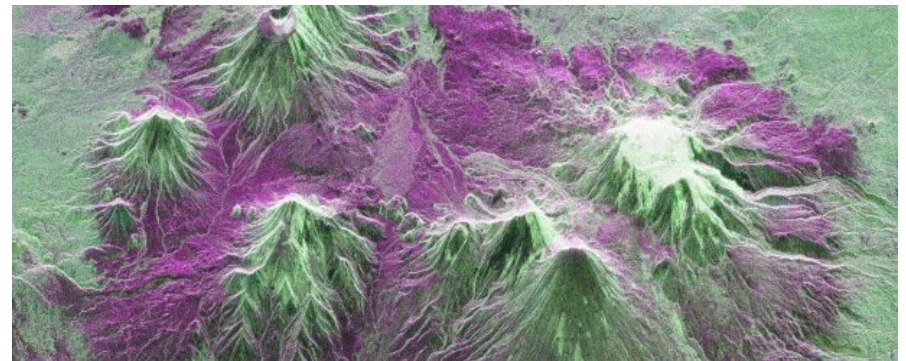
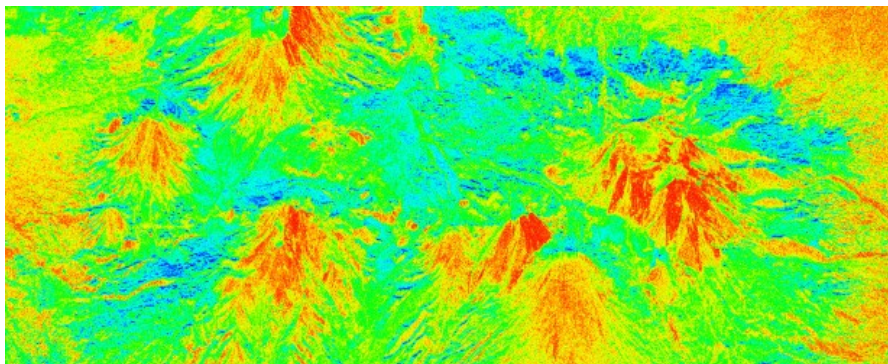
他の火山の観測例

Bezymianny (カムチャツカ)

- Bezymianny (2007年3月28日)

Entropy

HH / HV / VV



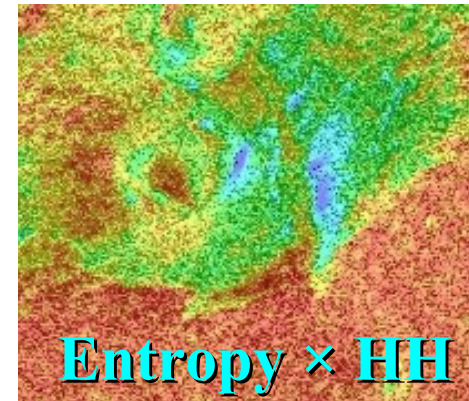
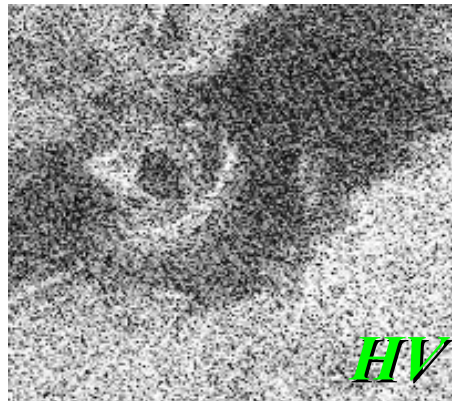
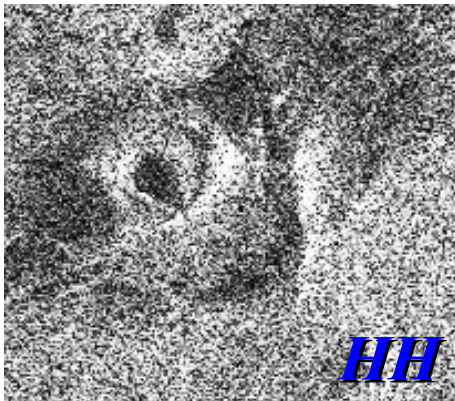
→ Entropy の高いところが
森林とは限らない
(雪? 氷?)

考察

傾斜とEntropy

- Near 側の裸地斜面で H 値が著しく低下

(例) 伊豆大島中央火口付近



考察

傾斜とEntropy

- H は λ の比によって定まる

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} |S_{HH} + S_{VV}|^2, \quad \lambda_2 = \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV} + 2j S_{HV}|^2, \quad \lambda_3 = \frac{1}{4} |S_{HH} - S_{VV} - 2j S_{HV}|^2$$

– 照射方向に垂直な平面では

S_{HH} と S_{VV} が卓越, $S_{HV} \rightarrow 0$

$$\therefore \lambda_1 \rightarrow 2|S_{HH}|, \quad \lambda_2 \rightarrow 0, \quad \lambda_3 \rightarrow 0, \quad H \rightarrow 0$$

- PALSAR-PLR の入射角

– 基本的に 21.5 or 23.1 degree で運用

- 稀に 13.8 deg. 等でも運用
- 仕様上は約 8 ~ 30 deg.

⇒ 山岳地(傾斜地)には注意が必要?

考察

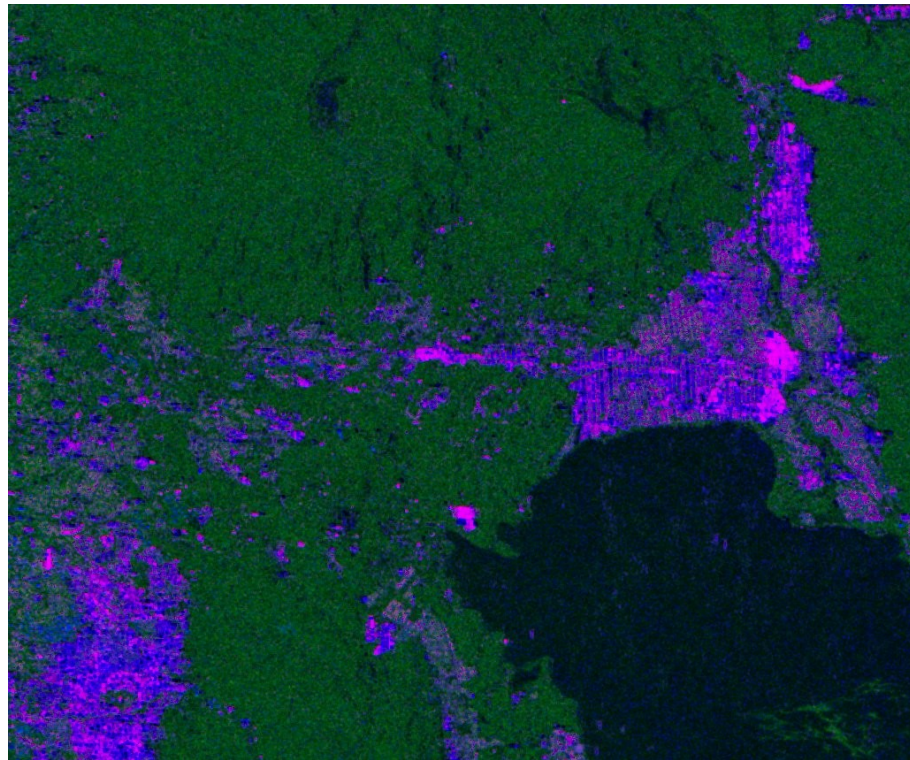
円偏波成分の有効性

- 円偏波成分 (P_c) があまり有効に利用できていない
 - P_c が高いところは P_v も高い
 - 航空機SARでは人工物の検出に有効
 - 分解能の違い？ 入射角の違い？
- 人工物検出にはLL-RR相関係数が有効？

考察

円偏波成分の有効性

- (例: 磐梯山 2006年8月19日)



$$R : G : B = P_d / \text{SPAN} : P_c / \text{SPAN} : \gamma_{LL-RR}$$

まとめ・今後の課題

- ALOS-PALSAR 多偏波データの有用性
 - 森林域や建造物の検出に有効
 - 被災域の特定等
- 解析技術の高度化
 - 適正な初期値による教師あり地表面分類
 - 傾斜の影響の補正
 - 各種偏波相関係数の応用
 - 他波長のセンサとの併用