

SAR画像ピクセルの緯度経度変換とオルソ変換について

島田政信

宇宙航空研究開発機構

地球観測研究センター

平成22年4月20日

日本リモートセンシング学会、評価・標準化研究会

M.S. リモセン標準化部会

1

内容

SARの歴史

SAR映像化の基本

ドップラー周波数と地上交点

アジマスシフト

厳密解法、近似解法

試験

オルソ補正画像

結論

M.S. リモセン標準化部会

2

1. SAR system description

SAR imaging (I)

History

1950s : Airborne SAR was developed in USA。

1978, Seasat : L-SAR, digital。

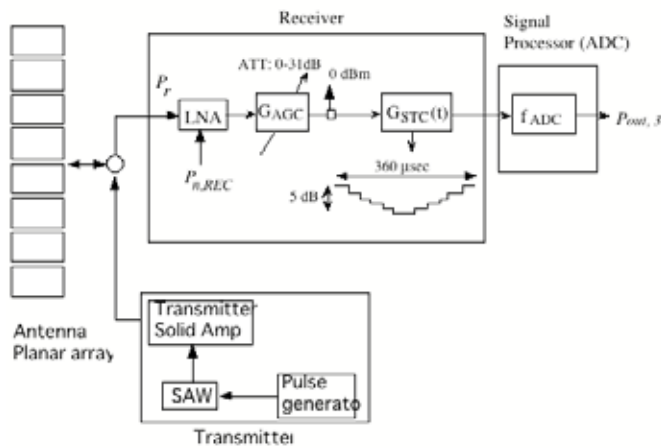
1980s,1990s : USA, EC, Japan, Russia launched SARs

2000s:ENVISAT, ALOS were launched, and RADARSAT-2, TERRA-SARX, etc,,,

Feature (Advantages)

- High resolution Imaging by a two dimensional correlation (several meter)
- Detection of amplitude and phase
- Operable in night/day, weather conditions
- Disadvantages
- Speckle noise
- Foreshortening, layover, shadowing
- Interference from the ground radar
- Saturation, AGC/STC, antenna pattern error

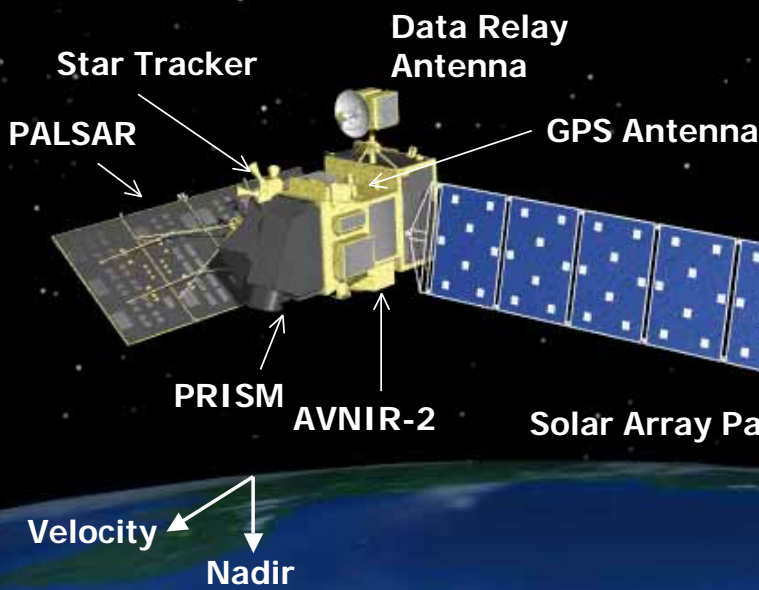
JERS-1 SAR



SAR model

JERS-1 SAR artistic view

ALOS Satellite System



Launch Date	Jan. 24 2006
Launch Vehicle	H-IIA
Spacecraft Mass	about 4,000kg
Generated Elec. Power	about 7kW at EOL
Orbit	Sun Synchronous
Altitude	691.65km
Repeat Cycle (Sub-Cycle)	46 days (2 days)

PRISM : Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
 AVNIR-2: Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2
 PALSAR: Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

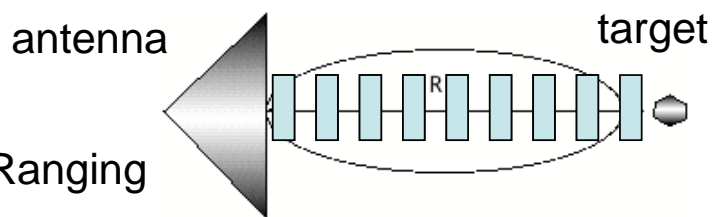
2.SAR imaging

STRIP mode

Signal reception by a radar

RADAR:

Radio Detection and Ranging



transmit

$$f_t = \exp\{2\pi j f_0 t\}$$

receive

$$f_r = \exp\left\{2\pi j f_0 \left(t - \frac{2R}{c}\right)\right\}$$

intermediate

$$f_r \cdot f_t^* = \exp\left\{2\pi j f_0 \left(\frac{-2R}{c}\right)\right\}$$

Importance: R
is remained.

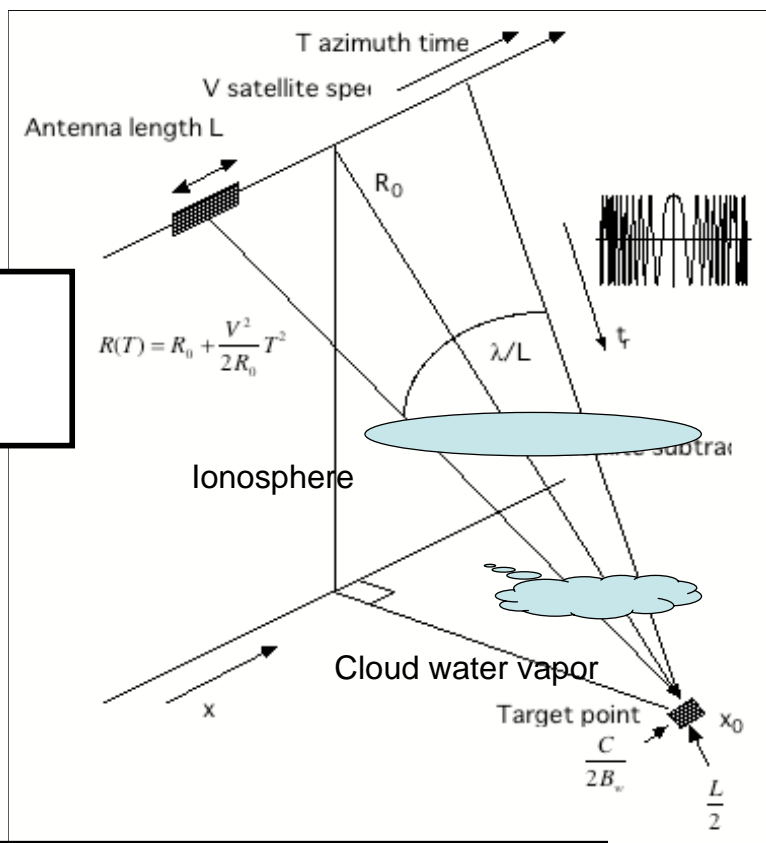
Chirp signal case

$$f_r \cdot f_t^* = \exp\left\{2\pi j f_0 \left(\frac{-2R}{c}\right) + 2\pi j \frac{k}{2} \left(t - \frac{2R}{c}\right)^2\right\}$$

SAR imaging

High resolution imaging
 range :FM modulation
 Azimuth:Doppler modulation

	Bw	L
JERS-1	15M	12m
PALSAR	28M	9m
PALSAR	14M	9m
Pi-SAR	50M	1.6m



$$S_{ra}(R, x) = A(R, x) \sin c\left(\frac{2\pi B_w (R - R_0)}{C}\right) \sin c\left(2\pi\left(\frac{x - x_0}{L}\right)\right) \exp\left(-\frac{4\pi R_0}{\lambda} j\right)$$

Correlation

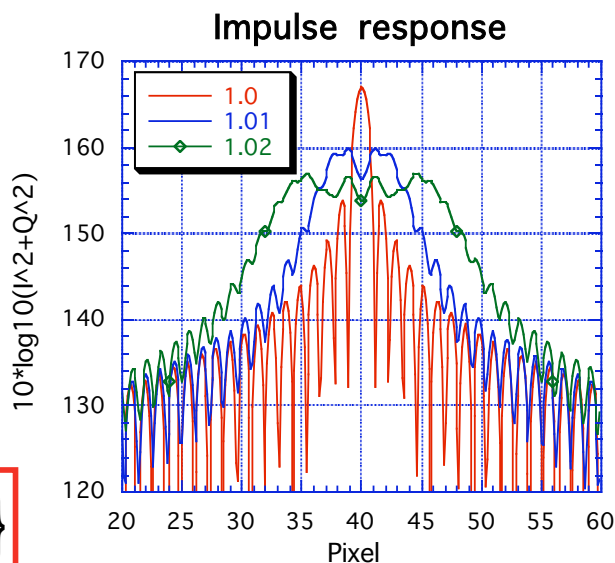
Response due to mismatching

Formulation

$$g(t') = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} f(t) f^*(t + t') dt$$

Transmitted wave

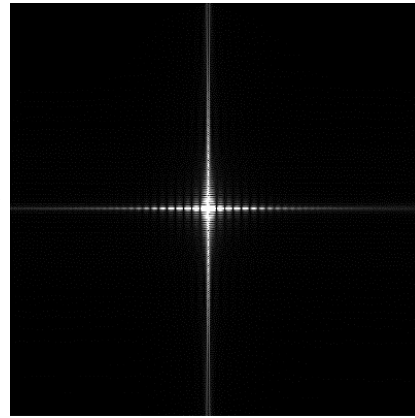
$$f(t) = \Pi\left(\frac{t - t_0}{\tau/2}\right) \exp\left\{\pi\kappa(t - t_0)^2\right\}$$



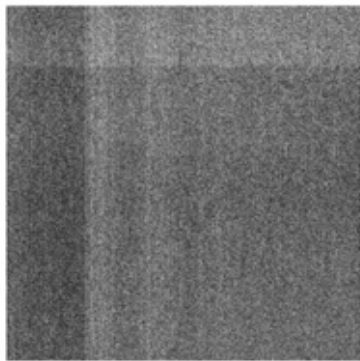
1 D response

2 X 1 D correlation processing

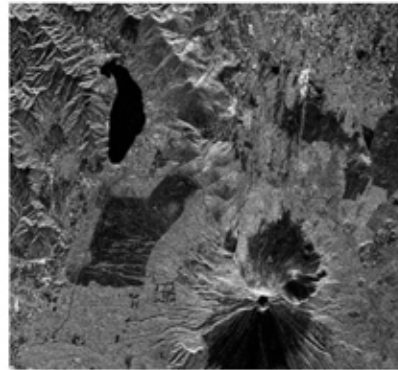
Simulated data



Actual data



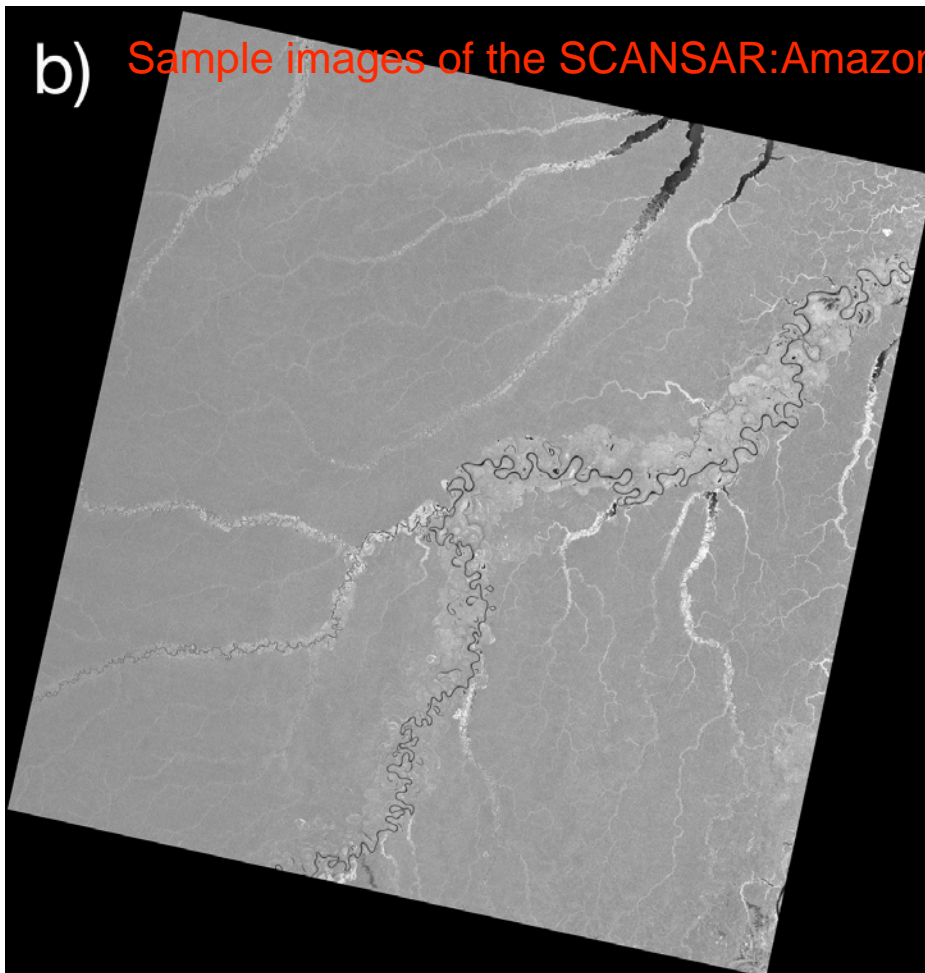
raw data



processed

SIGMA-SAR

b) Sample images of the SCANSAR:Amazon



3. SAR映像化に置ける焦点位置と地表の関係

3.1 投影面を回転楕円体表面とした場合(標準成果物)

3.2 地表面をDEMで表現し、正射投影した場合(オルソ変換)

ドップラー周波数

$$f_d = \frac{2}{\lambda} (\mathbf{u}_s - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_p) \cdot \frac{(\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_s)}{|\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_s|}$$

\mathbf{u}_s : 衛星速度ベクトル@慣性座標、

$\boldsymbol{\omega}$: 地球自転角速度ベクトル、

\mathbf{r}_p : 観測対象点の位置ベクトル、

\mathbf{r}_s : 衛星位置ベクトル、

λ : レーダ波長である。

\mathbf{r}_p はヨー角度の関数でもある。観測対象物の位置ベクトルはGRS80楕円体上の測地緯度経度 (ϕ , λ) と楕円体高 (h) で表現される。

衛星

ERS-1/2

JERS-1

radarsat

ENVISAT

ALOS

SIR-C

radarsat?

ドップラー周波数

ゼロ

非ゼロ

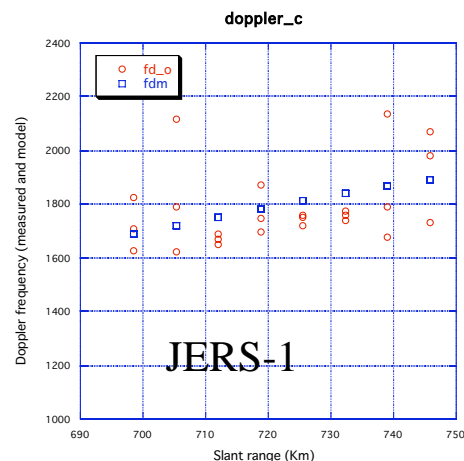
非ゼロ

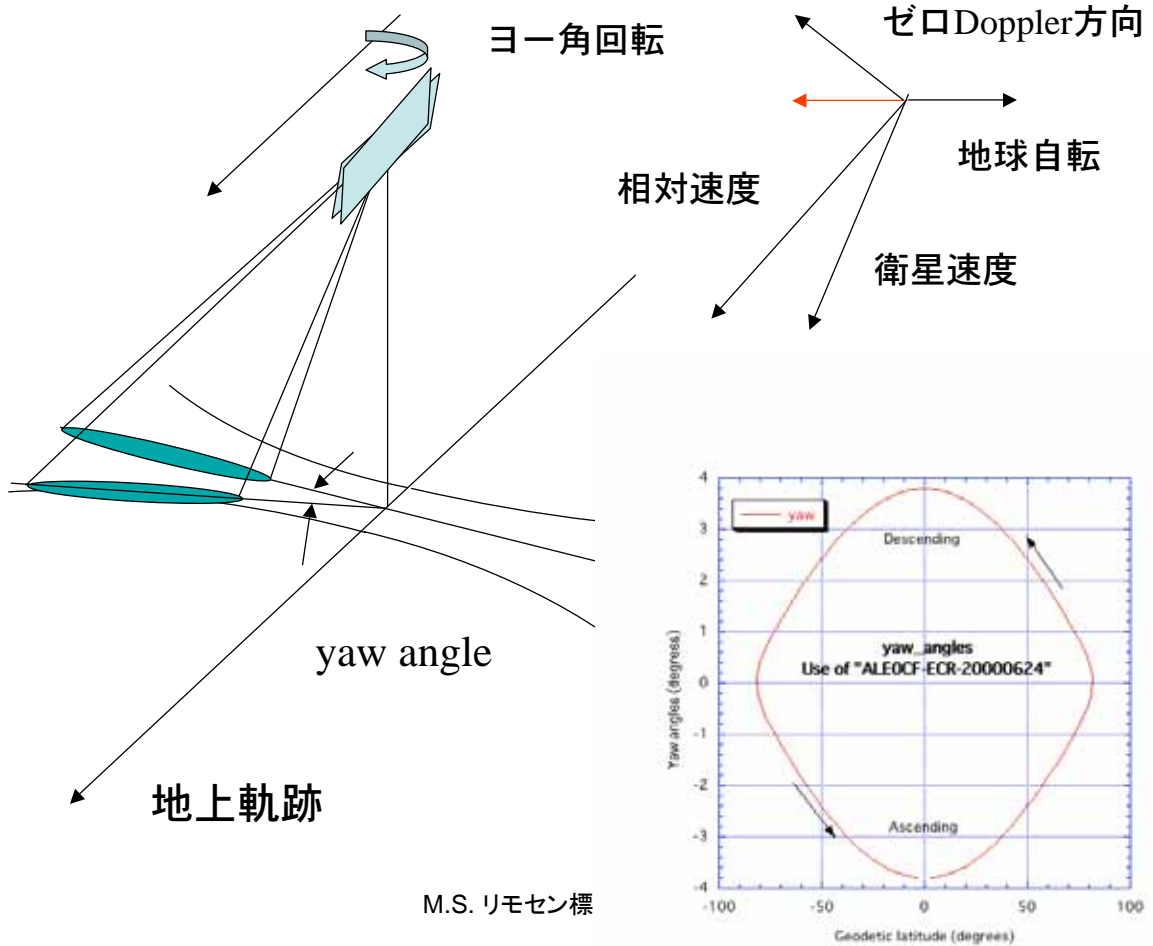
ゼロ

ゼロ

ゼロ

ゼロ





地上点の計算

$$f_{d1} = \frac{2}{\lambda} (\mathbf{u}_s - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_p) \cdot \frac{(\mathbf{r}_p' - \mathbf{r}_s)}{|\mathbf{r}_p' - \mathbf{r}_s|}$$

$$r = |\mathbf{r}_p' - \mathbf{r}_s|$$

$$\frac{x_p^2}{R_a^2} + \frac{y_p^2}{R_a^2} + \frac{z_p^2}{R_b^2} = 1$$

$$r = \frac{c}{2} \left(n \cdot f_{prf} + \Delta t_{off} + \frac{i}{f_{sample}} \right)$$

$$d = -\frac{\Delta f}{f_{dd}} v_g$$

仮定

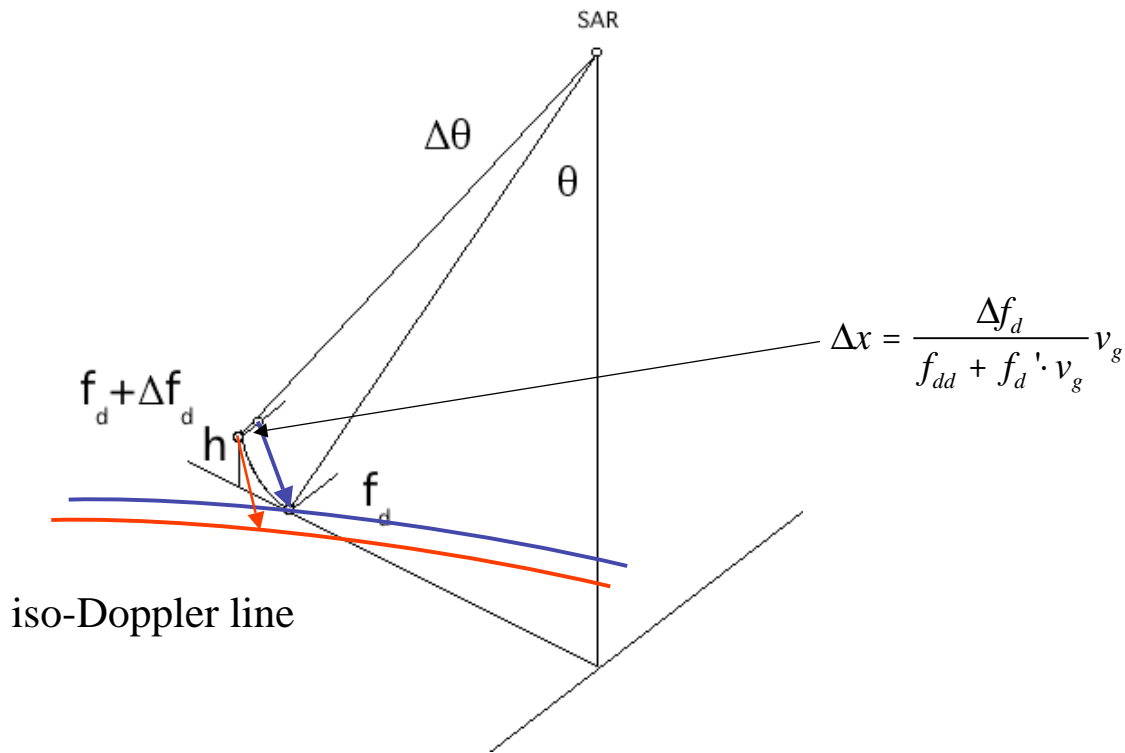
- 対象点はGRS80楕円体上に存在
- SAR映像化処理に使用したドップラー周波数に合致
- 既知のスラントレンジ

→収束演算

問題点：高さが非ゼロの場合、上記方法で算出された点が実際の点とは異なる。

レンジ方向倒れ込み

アジマスシフトについて



厳密解法

$$f_{d1} = \frac{2}{\lambda} (\mathbf{u}_s - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_p) \frac{(\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_s)}{|\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_s|}$$

収束演算

$$r = |\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_s|$$

$$\frac{x_p^2}{R_a^2} + \frac{y_p^2}{R_a^2} + \frac{z_p^2}{R_b^2} = 1$$

$$R_a = \bar{R}_a + \{h(\varphi, \lambda) + h_{geoid}(\varphi, \lambda)\} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$R_b = R_a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$e^2 = \frac{R_a^2 - R_b^2}{R_a^2}$$

h : 標高

h_{geoid} : ジオイド

近似解法 アジマス方向変化 (dx) は微小量解析

$$f_{d1} = \frac{2}{\lambda} (\mathbf{u}_s - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_p) \frac{(\mathbf{r}_p' - \mathbf{r}_s)}{|\mathbf{r}_p' - \mathbf{r}_s|}$$

$$= f_d + \frac{d}{dx} f_d \cdot dx + f_{dd} \frac{dx}{v_g}$$

$$\Delta f_d = f_{d1} - f_d$$

$$= f_d' \cdot dx + f_{dd} \frac{dx}{v_g}$$

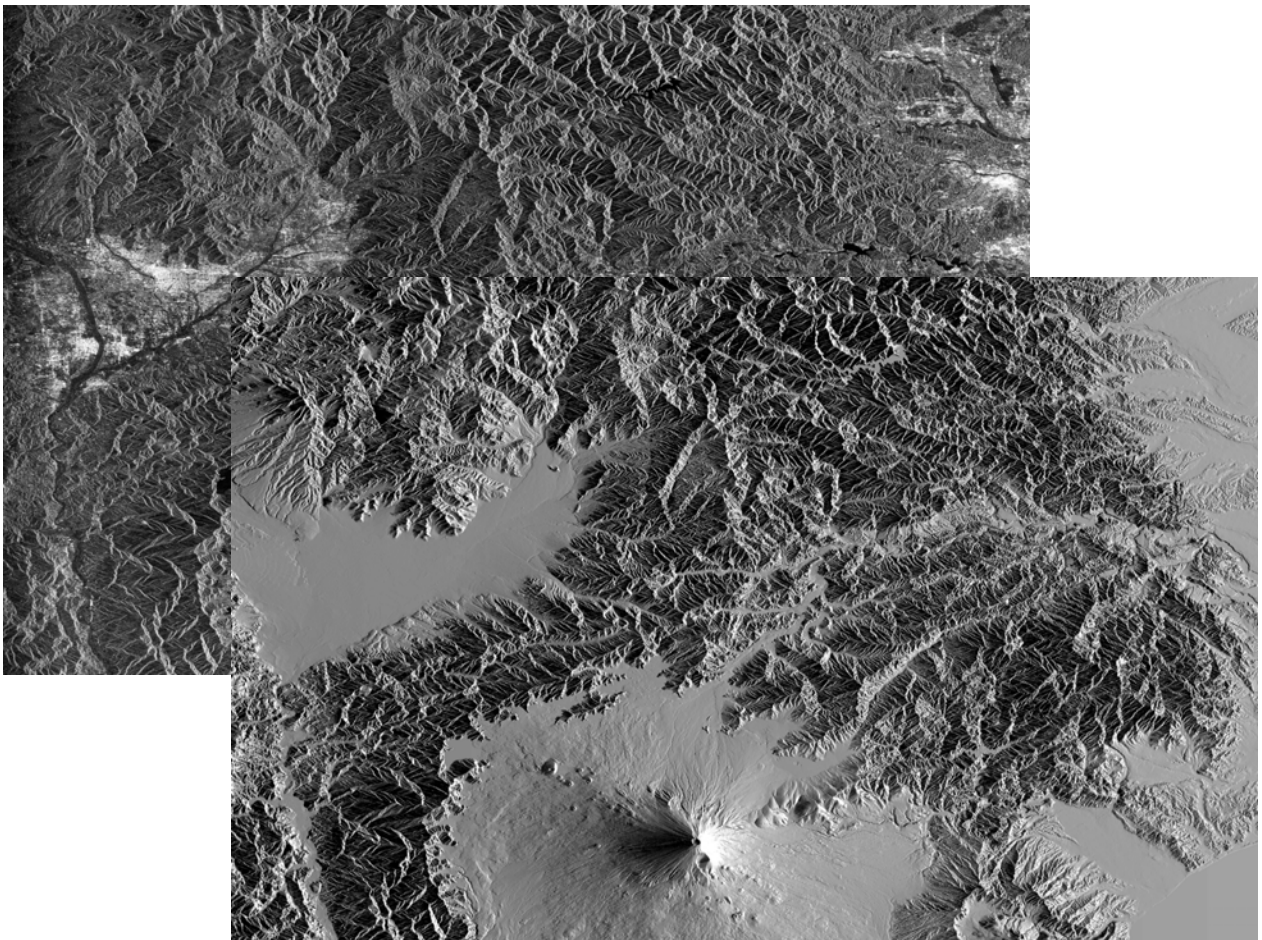
分母は f_{dd} で近似可能
(0.4% 誤差)

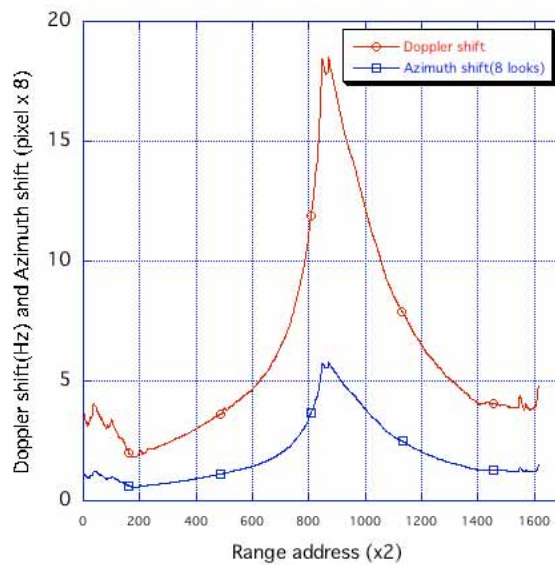
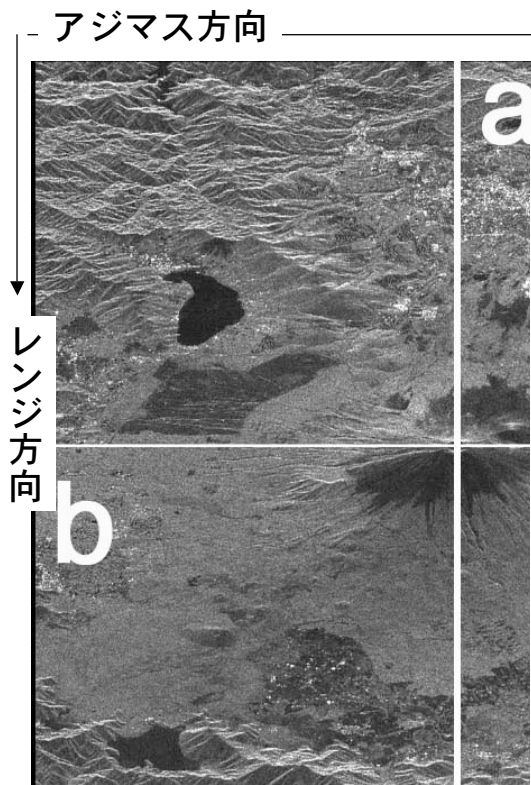
$$dx = \frac{\Delta f_d}{f_{dd} + f_d' \cdot v_g} v_g$$

$$f_d' \cdot v_g = \frac{\partial f_d}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \cdot v_g$$

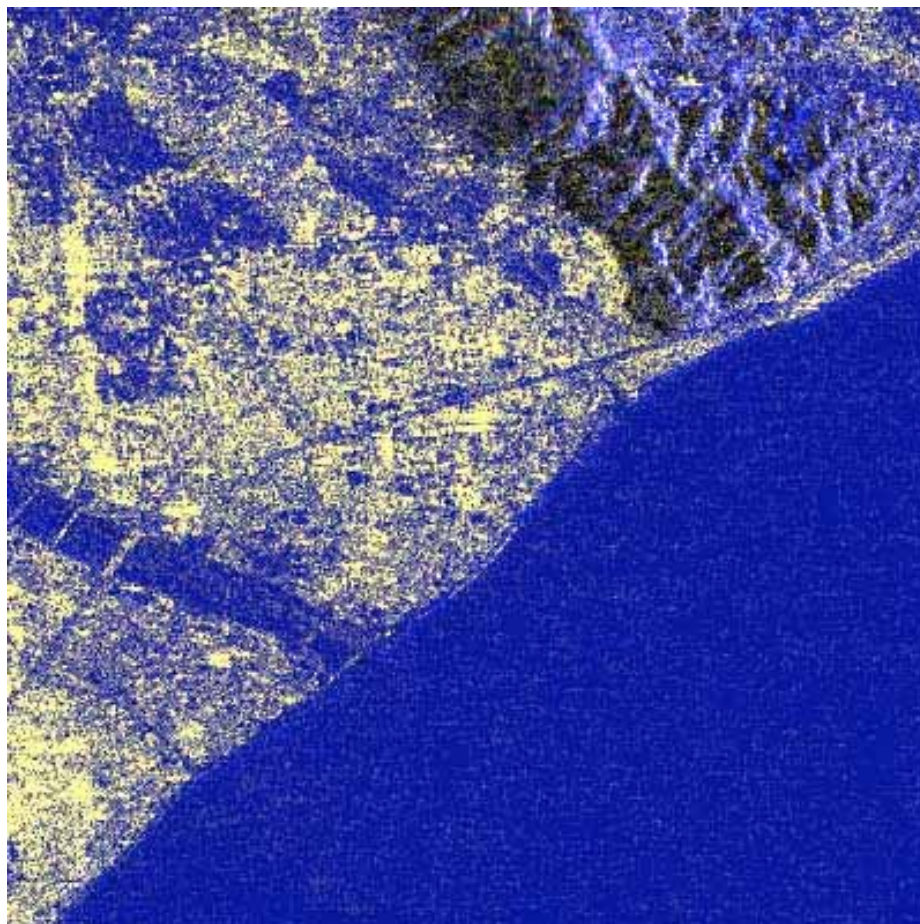
$$= \frac{18}{4000} \frac{10}{100} 6500 = 3$$

$$f_{dd} = -650 \approx 0.4\% \text{ 誤差}$$





富士山頂で約6ピクセル (8ルック) アジマスシフト (200m)
18Hzドップラーシフト

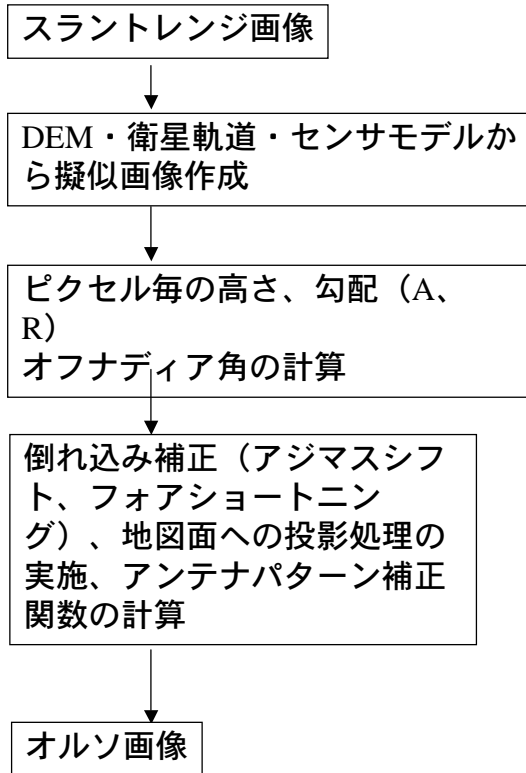


R : 補正済み
G : 補正前
B : DEM画像

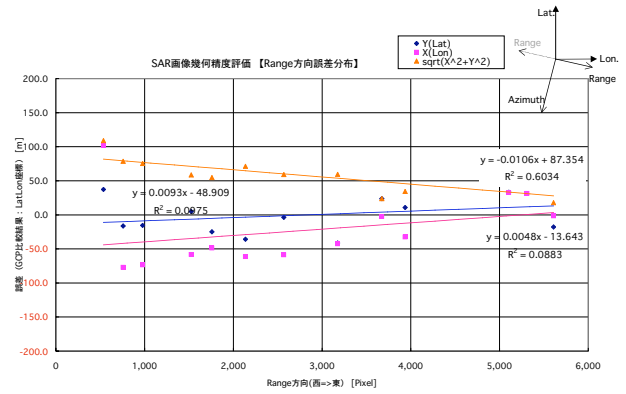
山頂
R-Gは一致
Gはずれる

海岸線
R-G-Bともに
一致

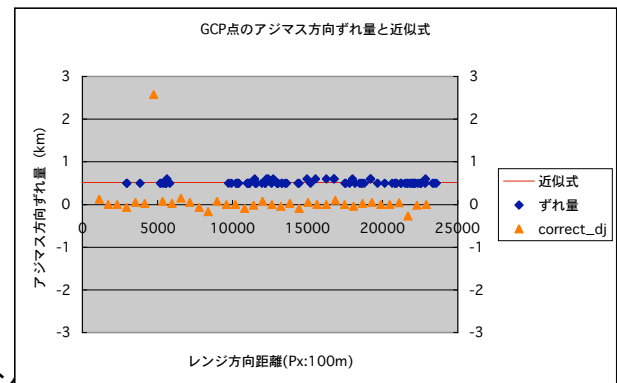
地形補正のルーチン



スラントレンジ画像の幾何精度



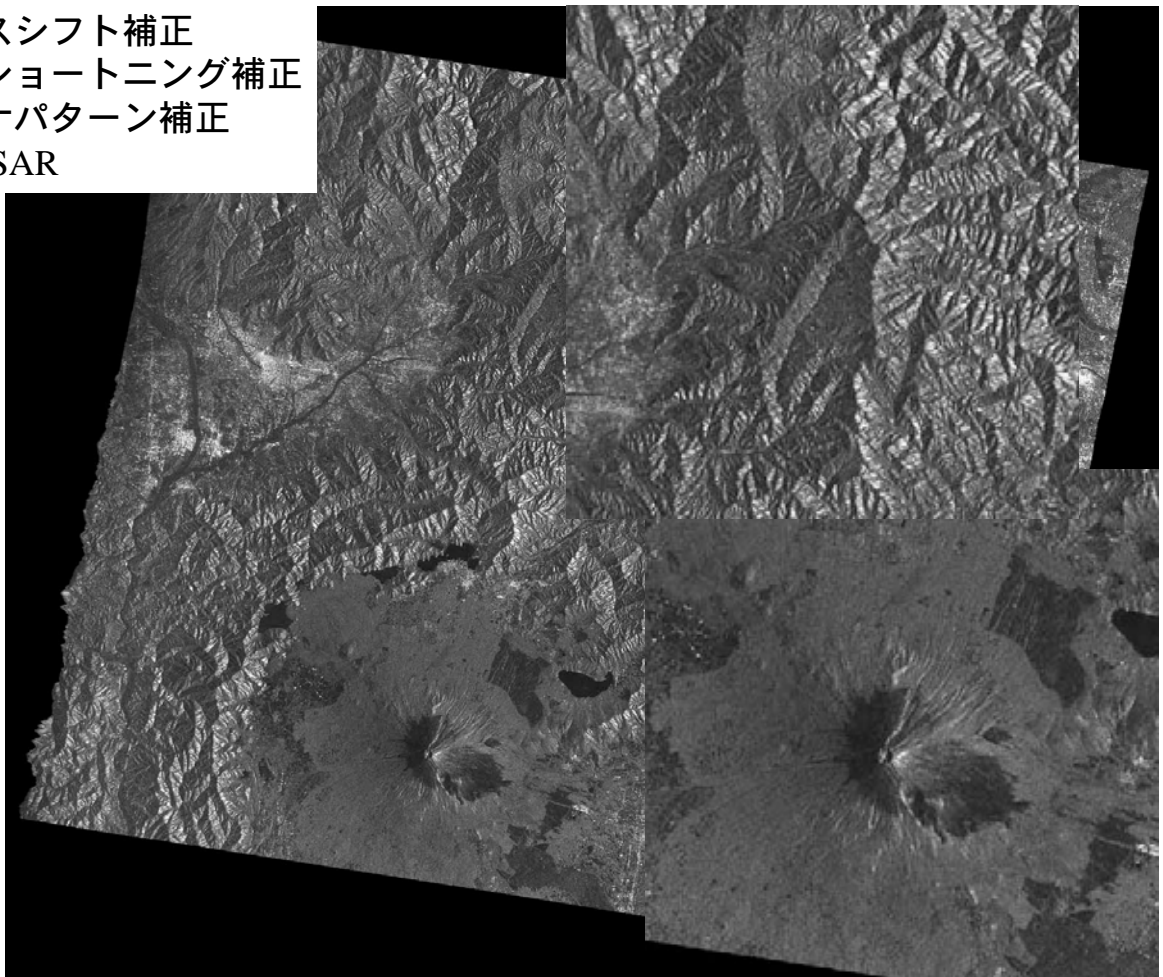
1) 一パス (シーン) 内のレンジ依存性



M.S. リモセン

2) モザイク画像内のレンジ依存性

アジマスシフト補正
 フォアショートニング補正
 アンテナパターン補正
 JERS-1 SAR



精度目標 (PALSAR)

Products	Accuracy Goal	Validation method
Standard Products 1.0 1.1 1.5	Geometry 100 m Radiometry 1.5 dB (abs.) 1.0 dB (relative) 5° (phase)	CR, ARC's location Validation CR, ARC Amazon
High level Ortho rectified DEM	geometry 50 m (horizon) Radiometry 30 m (vertical) 1.5 dB(ext. layover)	CR,ARC's location GCP,DEM Validation CR,ARC
Research Product Deformation Forest map Soil moisture Snow map Biomass Sea Ice	Geometry 100 m Radiometry 1.5 dB 5mm	Landsat images Amazon images GPS's positions

まとめ

ヨー角制御しないSAR衛星（JERS-1）の画像はアジマス移動する。

その移動量は観測点の高さに依存する。

アジマス移動量補正の方法として、近似方法を提案した。

近似方法では、ゼロドップラーとして求めた対象点のドップラー、その変化率等をDEM、衛星軌道データから求める。

JERS-1の場合、富士山山頂が約200mアジマス方向移動し、その補正が必要となる。

ここで効率的なアジマス移動補正方法を提案した。

また、ALOSの軌道情報を用いた幾何精度推定を行い、JERS-1に比べ十分に高い幾何精度が見込めることを確認した。

画像の種類と画像の見え方

- 1) スラントレンジ
- 2) グラウンドレンジ
- 3) ジオコード画像
- 4) オルソ画像
- 5) 勾配補正画像

緯度・経度とライン・ピクセルの変換方法

PALSAR画像の緯度経度の計算方法(対応画像、スラントレンジ、グラウンドレンジ、ジオリファレンス、ジオコード)

$$lat = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 a_{i,j} (line - line_c)^{4-j} (pixel - pixel_c)^{4-i} + lat_c$$

$$lon = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 b_{i,j} (line - line_c)^{4-j} (pixel - pixel_c)^{4-i} + lon_c$$

$$pixel = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 c_{i,j} (lon - lon_c)^{4-j} (lat - lat_c)^{4-i} + pixel_c$$

$$line = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 d_{i,j} (lon - lon_c)^{4-j} (lat - lat_c)^{4-i} + line_c$$

$$a_{i,j} = factor_m[is1 + j + i \cdot 5]$$

$$b_{j,i} = factor_m[is2 + j + i \cdot 5]$$

$$c_{j,i} = factor_m[is3 + j + i \cdot 5]$$

$$d_{j,i} = factor_m[is4 + j + i \cdot 5]$$

リモセン標準化部会

29

設備関連データレコード11 (5 / 6)

バイトNo.	タイプ	内 容 (定義及び具体的数値)	備 考
1025-2024	50E20.10	ピクセル(P)・ライン(L)を緯度(φ)・経度(λ)に変換する 8次多項式の係数 $\begin{aligned} \phi = & a_0L^4P^4 + a_1L^3P^4 + a_2L^2P^4 + a_3LP^4 + a_4P^4 \\ & + a_5L^4P^3 + a_6L^3P^3 + a_7L^2P^3 + a_8LP^3 + a_9P^3 \\ & + a_{10}L^4P^2 + a_{11}L^3P^2 + a_{12}L^2P^2 + a_{13}LP^2 + a_{14}P^2 \\ & + a_{15}L^4P + a_{16}L^3P + a_{17}L^2P + a_{18}LP + a_{19}P \\ & + a_{20}L^4 + a_{21}L^3 + a_{22}L^2 + a_{23}L + a_{24} \end{aligned}$ $\begin{aligned} \lambda = & b_0L^4P^4 + b_1L^3P^4 + b_2L^2P^4 + b_3LP^4 + b_4P^4 \\ & + b_5L^4P^3 + b_6L^3P^3 + b_7L^2P^3 + b_8LP^3 + b_9P^3 \\ & + b_{10}L^4P^2 + b_{11}L^3P^2 + b_{12}L^2P^2 + b_{13}LP^2 + b_{14}P^2 \\ & + b_{15}L^4P + b_{16}L^3P + b_{17}L^2P + b_{18}LP + b_{19}P \\ & + b_{20}L^4 + b_{21}L^3 + b_{22}L^2 + b_{23}L + b_{24} \end{aligned}$ (a ₀ , a ₁ , a ₂ , ..., a ₂₄ 及びb ₀ , b ₁ , b ₂ , ..., b ₂₄ の順に格納)	画像上のピクセル(p)・ライン(l)に対して、 (P, L)を P=p-P ₀ , L=l-L ₀ として、式に代入する。 この式で、左上画素 の中心を (p, l)=(0, 0) とする。また、(φ, λ)の 単位は (度) である。
2025-2044	E20.10	原点ピクセル(P ₀)	
2045-2064	E20.10	原点ライン(L ₀)	

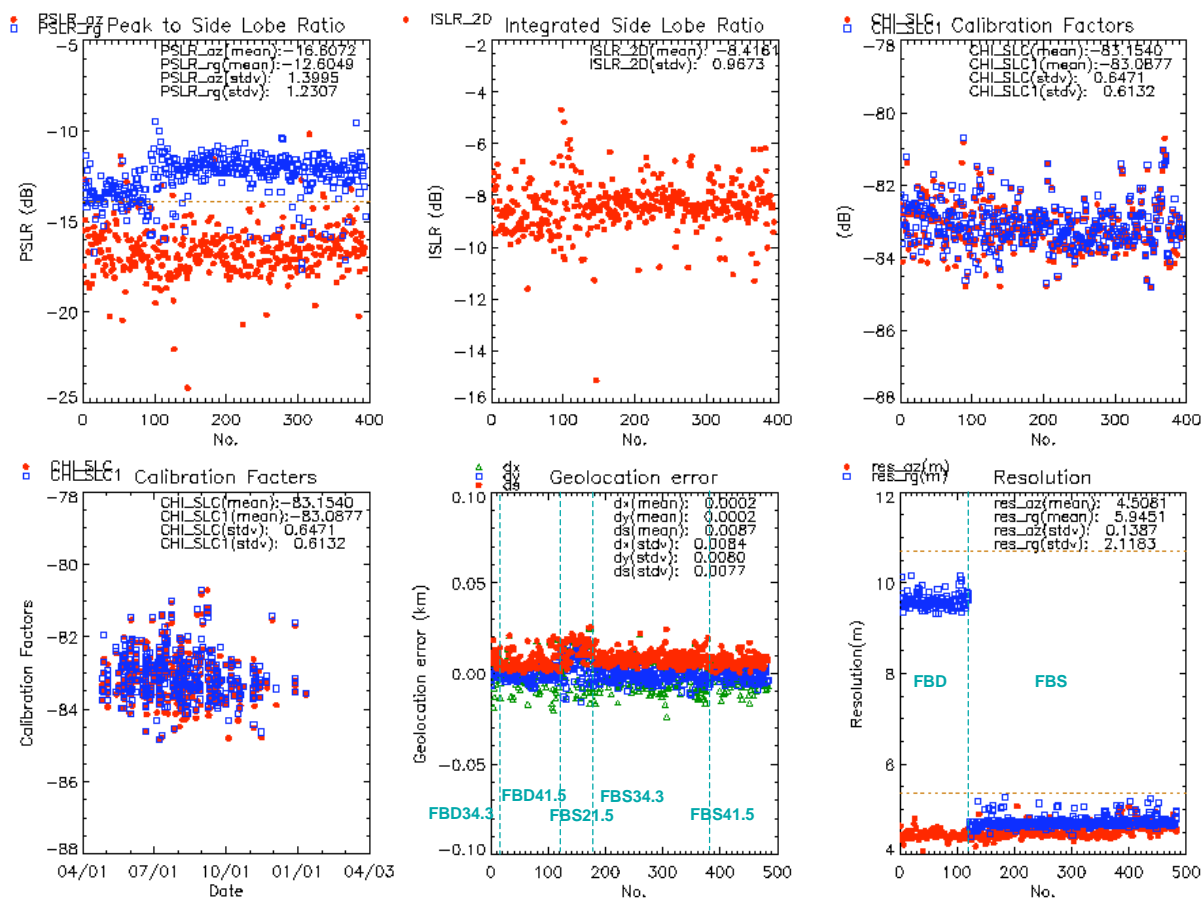
バイトNo.	タイプ	内 容 (定義及び具体的数値)	備 考
2065-3064	50E20. 10	緯度(Φ)・経度(Λ)をピクセル(p)・ライン(l)に変換する 8次多項式の係数 $p = c_0\Lambda^4\Phi^4 + c_1\Lambda^3\Phi^4 + c_2\Lambda^2\Phi^4 + c_3\Lambda\Phi^4 + c_4\Phi^4$ $+ c_5\Lambda^4\Phi^3 + c_6\Lambda^3\Phi^3 + c_7\Lambda^2\Phi^3 + c_8\Lambda\Phi^3 + c_9\Phi^3$ $+ c_{10}\Lambda^4\Phi^2 + c_{11}\Lambda^3\Phi^2 + c_{12}\Lambda^2\Phi^2 + c_{13}\Lambda\Phi^2 + c_{14}\Phi^2$ $+ c_{15}\Lambda^4\Phi + c_{16}\Lambda^3\Phi + c_{17}\Lambda^2\Phi + c_{18}\Lambda\Phi + c_{19}\Phi$ $+ c_{20}\Lambda^4 + c_{21}\Lambda^3 + c_{22}\Lambda^2 + c_{23}\Lambda + c_{24}$ $l = d_0\Lambda^4\Phi^4 + d_1\Lambda^3\Phi^4 + d_2\Lambda^2\Phi^4 + d_3\Lambda\Phi^4 + d_4\Phi^4$ $+ d_5\Lambda^4\Phi^3 + d_6\Lambda^3\Phi^3 + d_7\Lambda^2\Phi^3 + d_8\Lambda\Phi^3 + d_9\Phi^3$ $+ d_{10}\Lambda^4\Phi^2 + d_{11}\Lambda^3\Phi^2 + d_{12}\Lambda^2\Phi^2 + d_{13}\Lambda\Phi^2 + d_{14}\Phi^2$ $+ d_{15}\Lambda^4\Phi + d_{16}\Lambda^3\Phi + d_{17}\Lambda^2\Phi + d_{18}\Lambda\Phi + d_{19}\Phi$ $+ d_{20}\Lambda^4 + d_{21}\Lambda^3 + d_{22}\Lambda^2 + d_{23}\Lambda + d_{24}$ ($c_0, c_1, c_2, \dots, c_{24}$ 及び $d_0, d_1, d_2, \dots, d_{24}$ の順に格納)	画像上の緯度(ϕ)・経度(λ)に対して、(Φ, Λ)を $\Phi = \phi - \Phi_0$ (度) $\Lambda = \lambda - \Lambda_0$ (度) として、式に代入する。 この式で、左上画素 の中心を $(p, l) = (0, 0)$ とする。
3065-3084	E20. 10	原点緯度(Φ_0) [度]	
3085-3104	E20. 10	原点経度(Λ_0) [度]	
3105-5000	CH	ブランク	

PALSAR Calibration

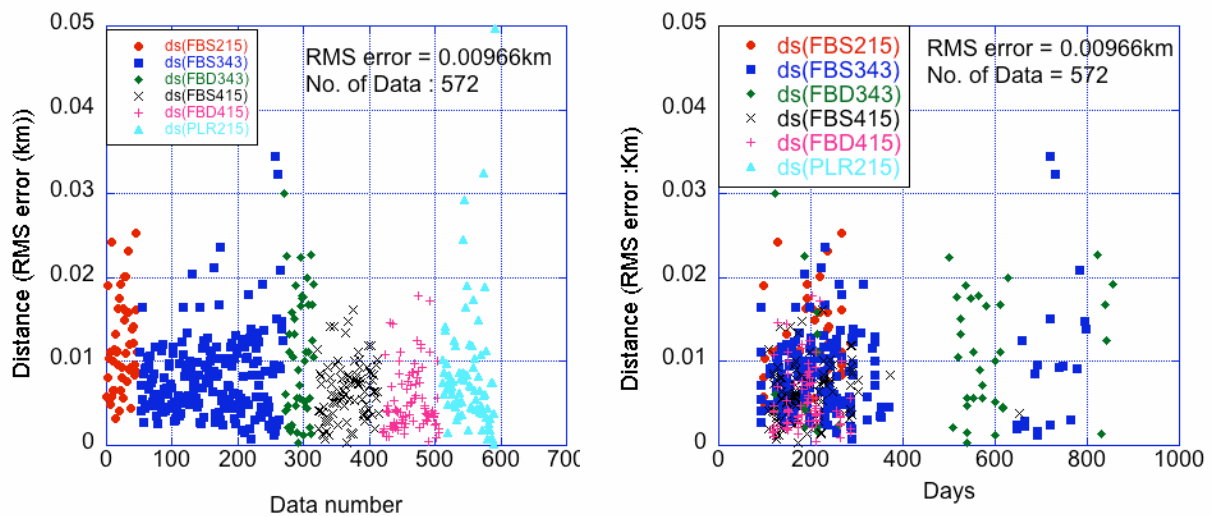


M.S. リモセン標準化部会

FBS/FBD Evaluation Results



Geometric calibration using the CRs Mode and time dependency over last three years



Summary of the PALSAR CALVAL results

Table 6 PALSAR Calibration Accuracy¹⁾

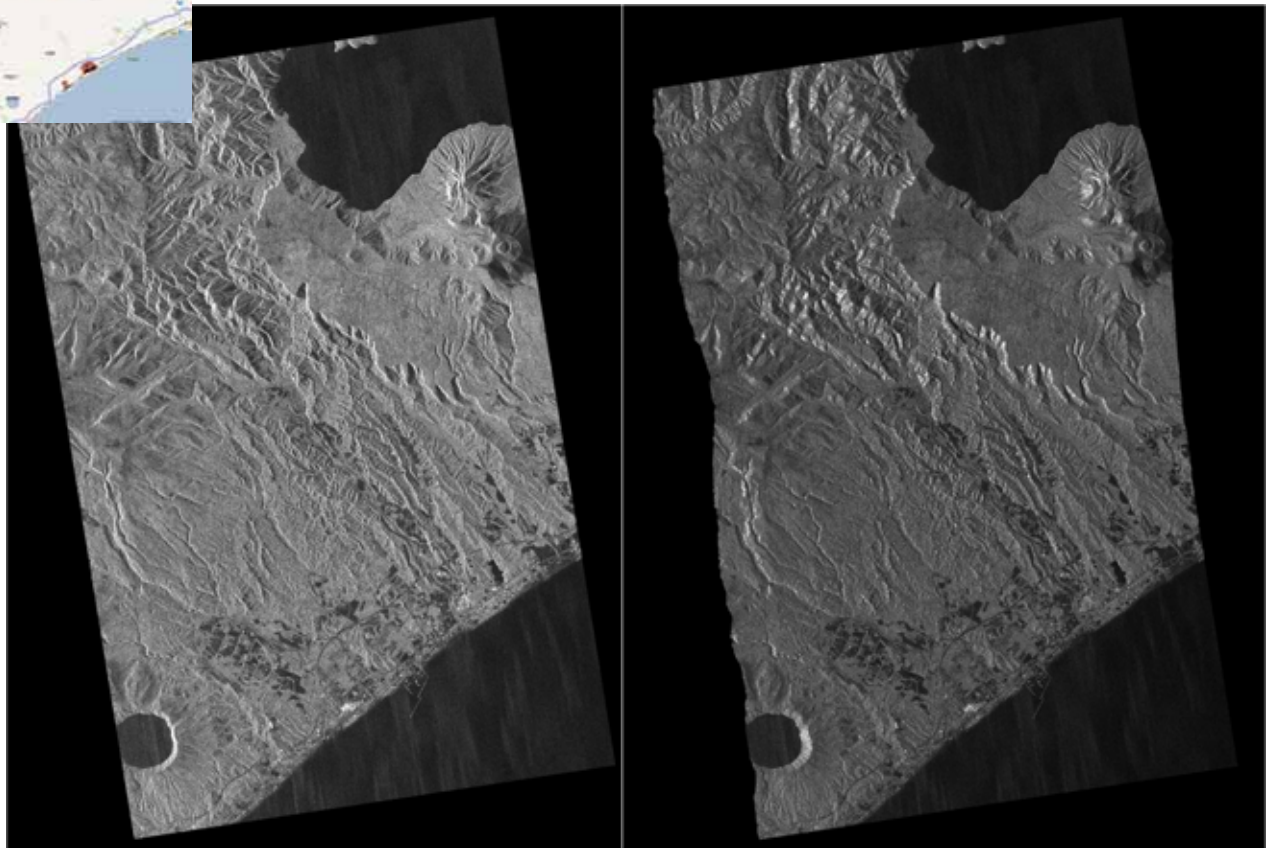
Items ¹⁾	Measured values ²⁾	No. of Data ¹⁾	Specification ¹⁾	
geometric accuracy ¹⁾	9.7m(RMS): STRIP mode ¹⁾	572 ¹⁾	100m ¹⁾	
	70m(RMS): SCANSAR ¹⁾			
radiometric accuracy ¹⁾	0.219 dB(1 sigma) from Amazon forest ¹⁾	572 ¹⁾	1.5 dB ¹⁾	
	0.76 dB (1 sigma) from CRs ¹⁾			
	0.17 dB (1sigma: Sweden CRs) ¹⁾			
	-34 dB (Noise equivalent Sigma-zero for HV) ¹⁾			
	-32 dB (as a minimum of FBD-HH) ¹⁾			
Polarimetric calibration ¹⁾	VV/HH ratio ¹⁾	81 ¹⁾	0.2 dB ¹⁾	
	VV/HH phase diff ¹⁾			1.013 (0.062)* ¹⁾
	Crosstalk ¹⁾			0.612deg(2.66)* ¹⁾
resolution ¹⁾	azimuth ¹⁾	572 ¹⁾	4.5m ¹⁾	
	range (14MHz) ¹⁾			4.49 m (0.1) * ¹⁾
	range (28MHz) ¹⁾			9.6m(0.1m) * ¹⁾
Side lobe ¹⁾	PSLR in azimuth ¹⁾	572 ¹⁾	-10dB ¹⁾	
	PSLR in range ¹⁾			-16.6dB ¹⁾
	ISLR ¹⁾			-12.6 dB ¹⁾
Ambiguity ¹⁾	Azimuth ¹⁾	23 dB ¹⁾	16dB ¹⁾	
	Range ¹⁾			
Transmission power ¹⁾	Sum of 80 TRM ¹⁾	2220W ¹⁾	2000W ¹⁾	

Note: A (B)* represents an average value of A and a standard deviation of (B). PSLR is Peak-to-Side-Lobe Ratio, ISLR is Integrated Side-Lobe Ratio.¹⁾

オルソ変換



北海道白老町



ジオコード

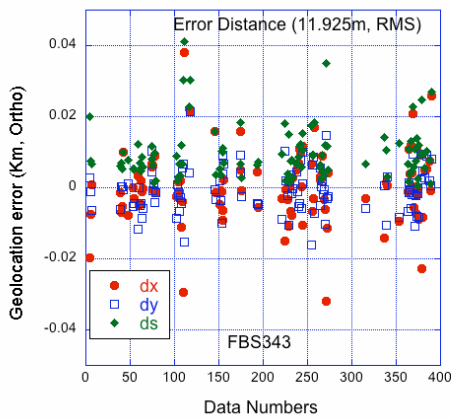
オルソ

Ortho Rectification and slope correction

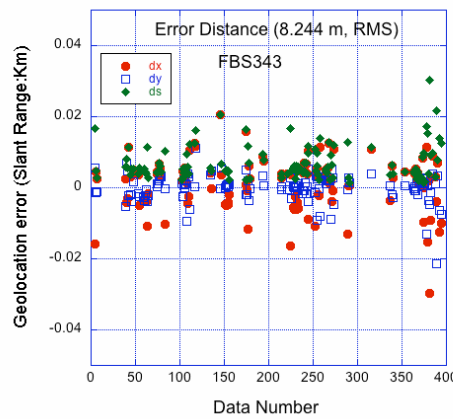
Purpose:

- 1) correct the foreshortening and azimuth shift to co-register with the map information
- 2) Additional slope correction reduces the area dependence of the scattering coefficient mainly.

Geo error (ortho) > Geo error (slant)



I.S.



39

Slope correction(勾配補正)

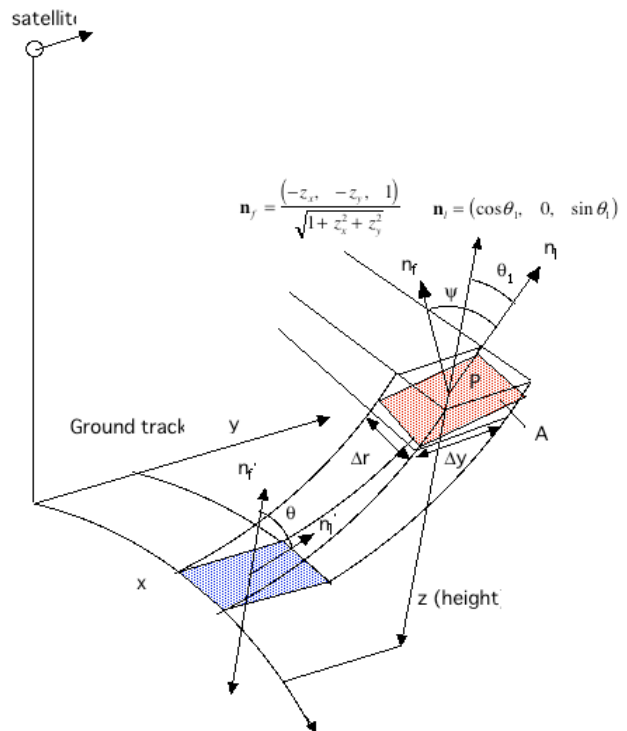
$$\sigma^0 = \tilde{\sigma}^0 \frac{\sin \theta}{\cos \psi}$$

$$\theta_l = \cos^{-1} \left\{ \frac{(\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_p) \cdot \mathbf{n}_l}{|\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_p|} \right\}$$

$$\mathbf{n}_l = \frac{1}{\sqrt{h_x^2 + h_y^2 + 1}} \begin{pmatrix} h_x & h_y & 1 \end{pmatrix}^t$$

$$\cos \psi = \mathbf{n}_f \cdot \mathbf{n}_l = \frac{\sin \theta_l - \cos \theta_l \cdot h_x}{\sqrt{h_x^2 + h_y^2 + 1}}$$

M.



Correction of the local incidence dependence

↵

$$\gamma^0 \equiv \frac{\sigma^0}{\cos \theta} \cdot SCF$$

$$SCF = IACF \cdot LICF$$

$$IACF \equiv \frac{\cos \psi}{\sin \theta}$$

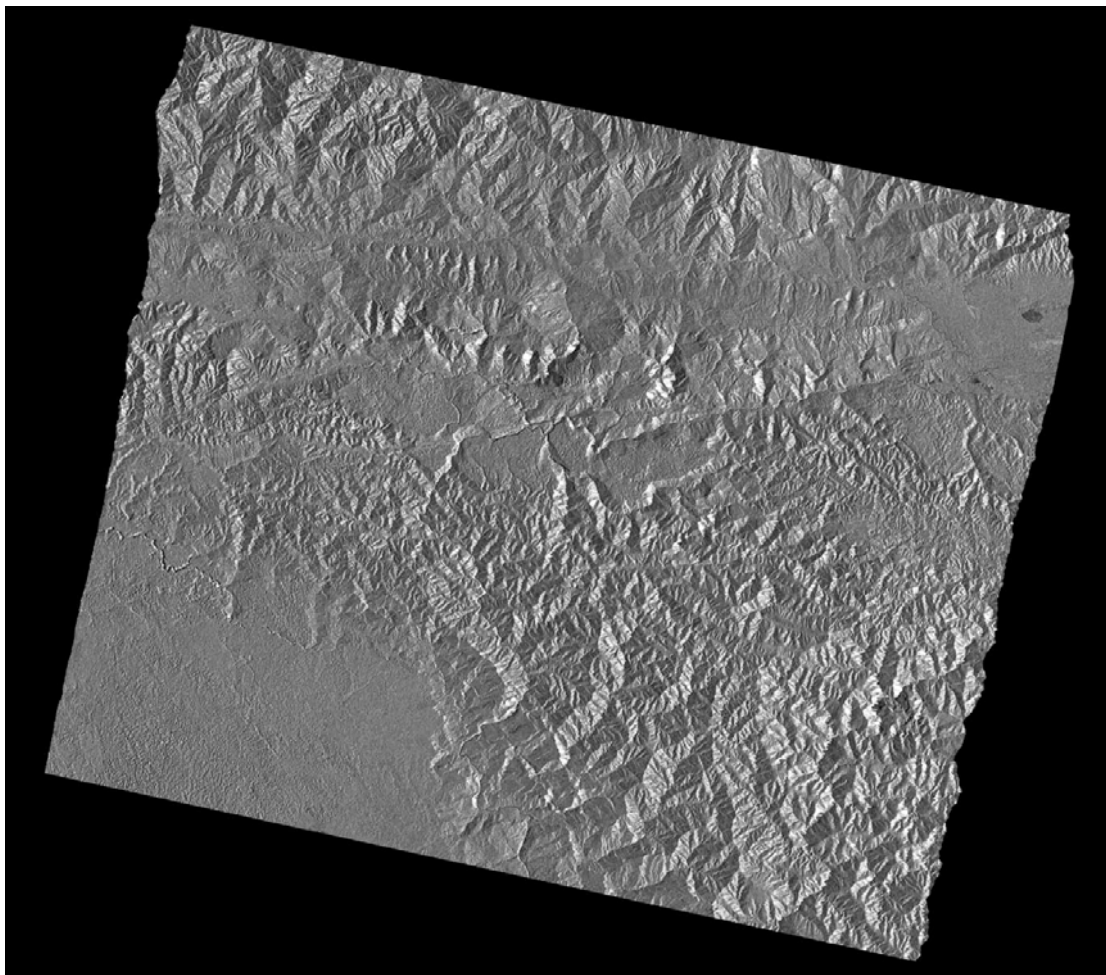
↵

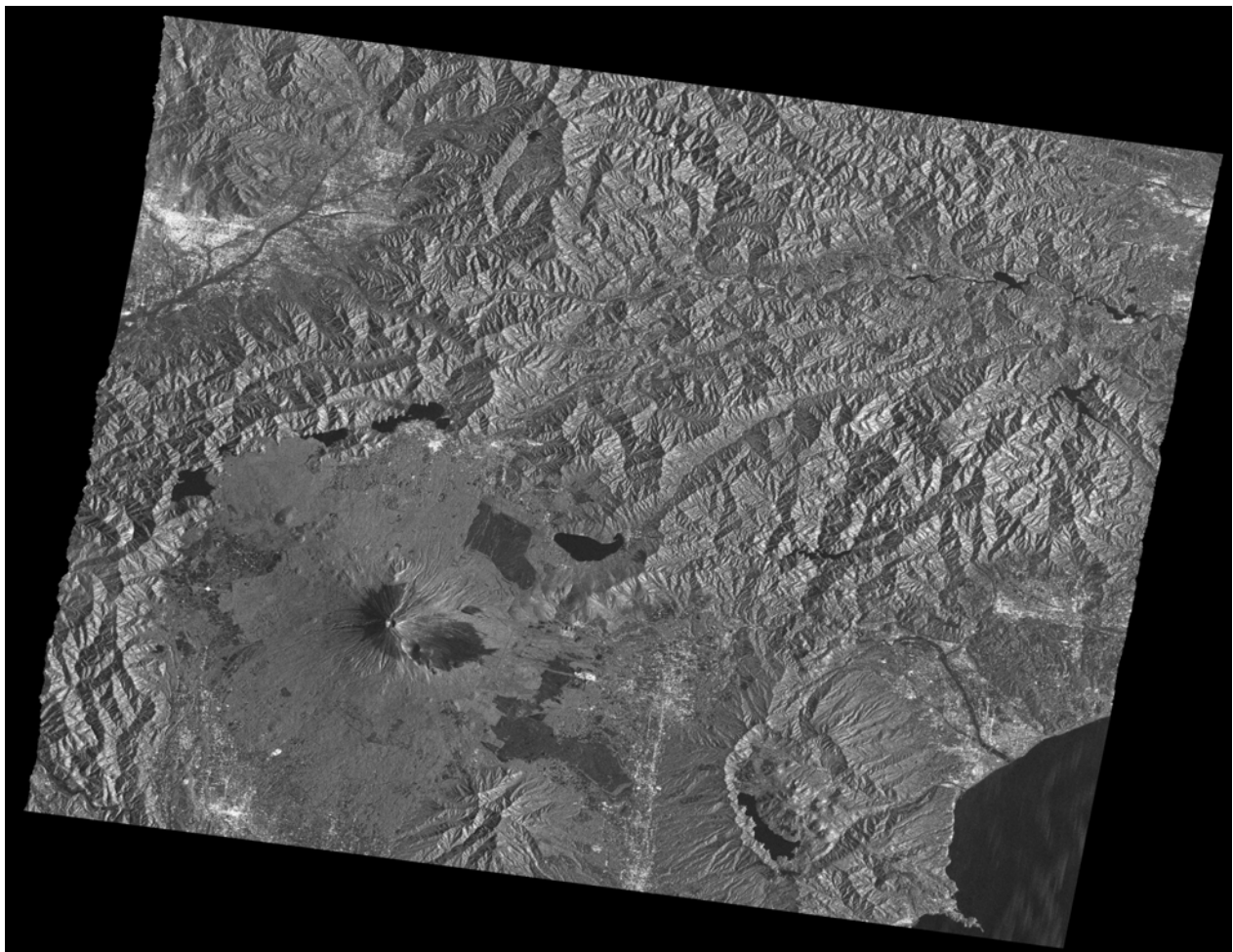
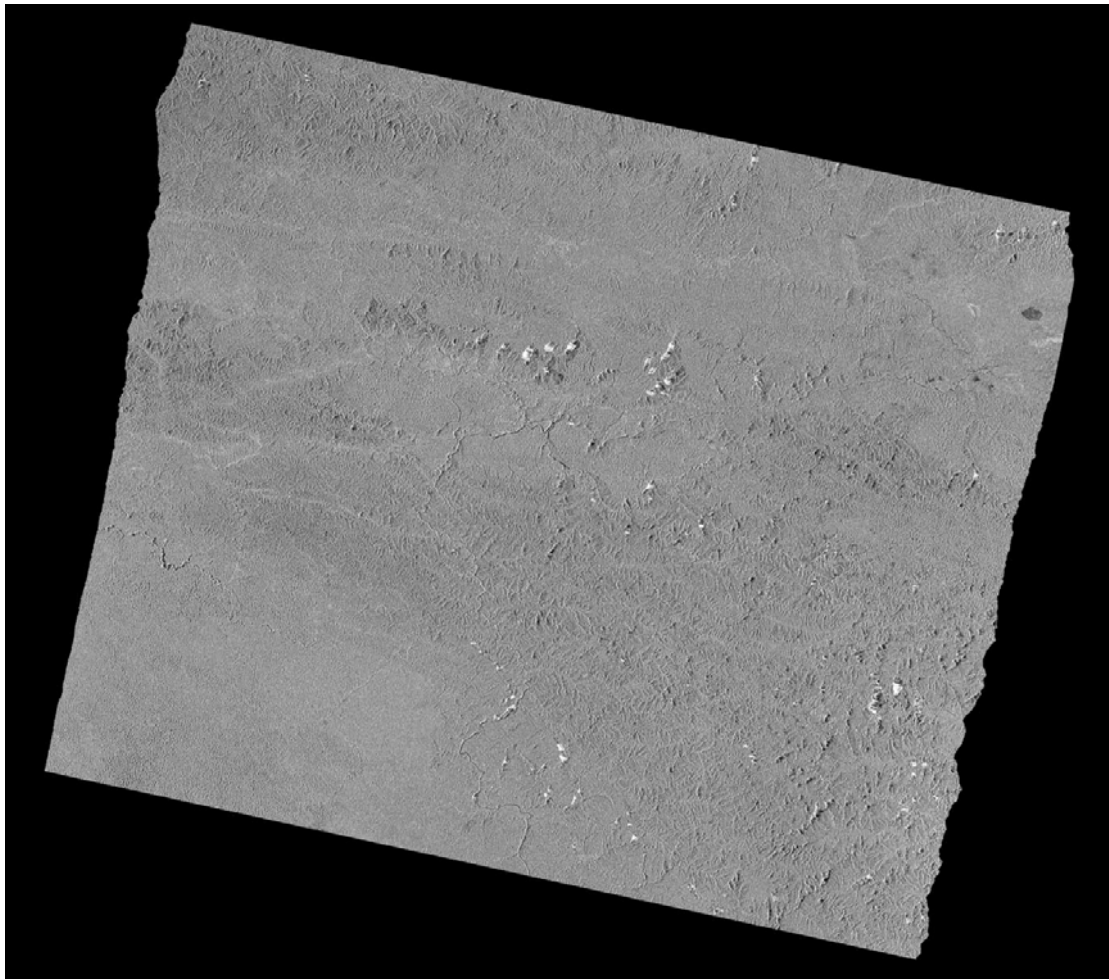
IACF: Illumination area correction factor

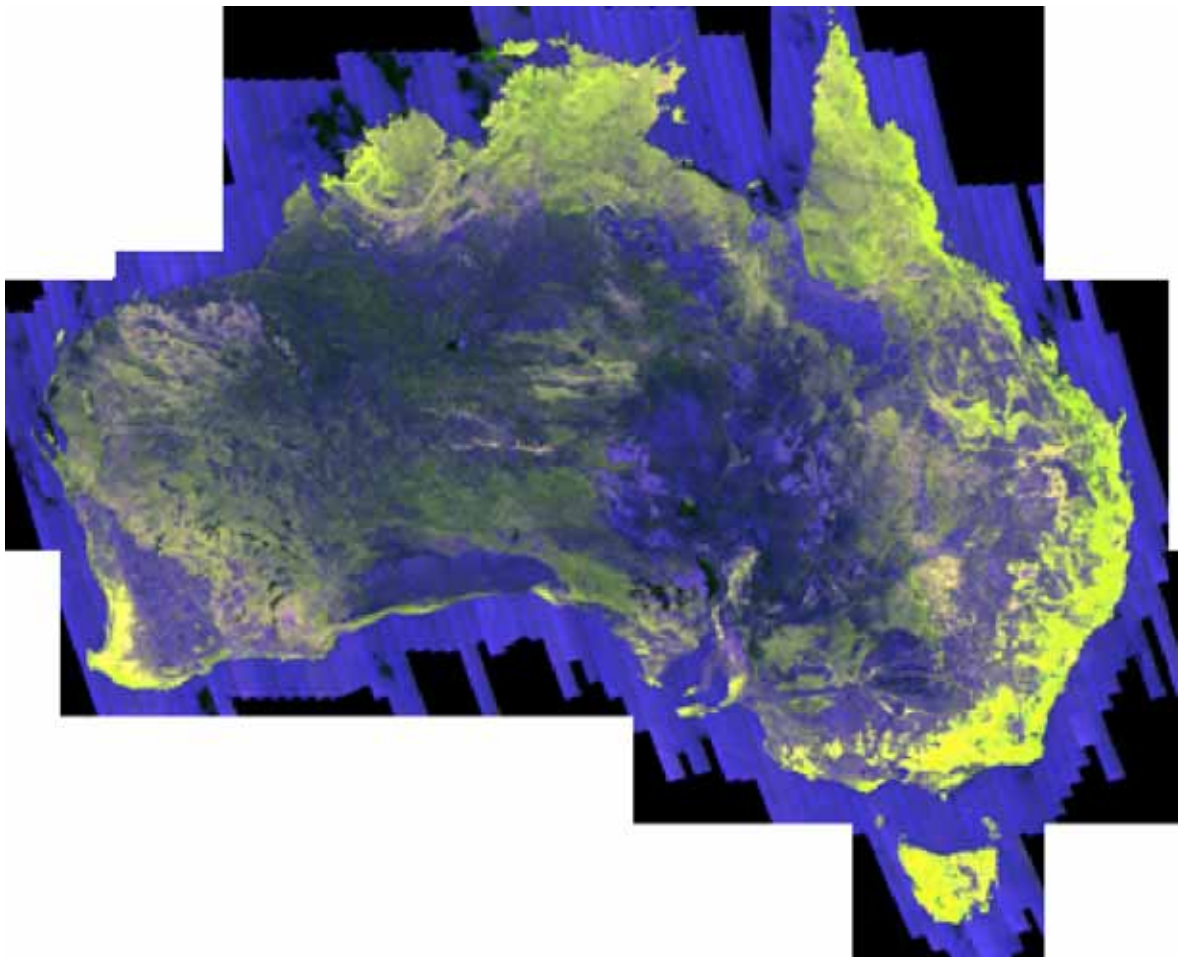
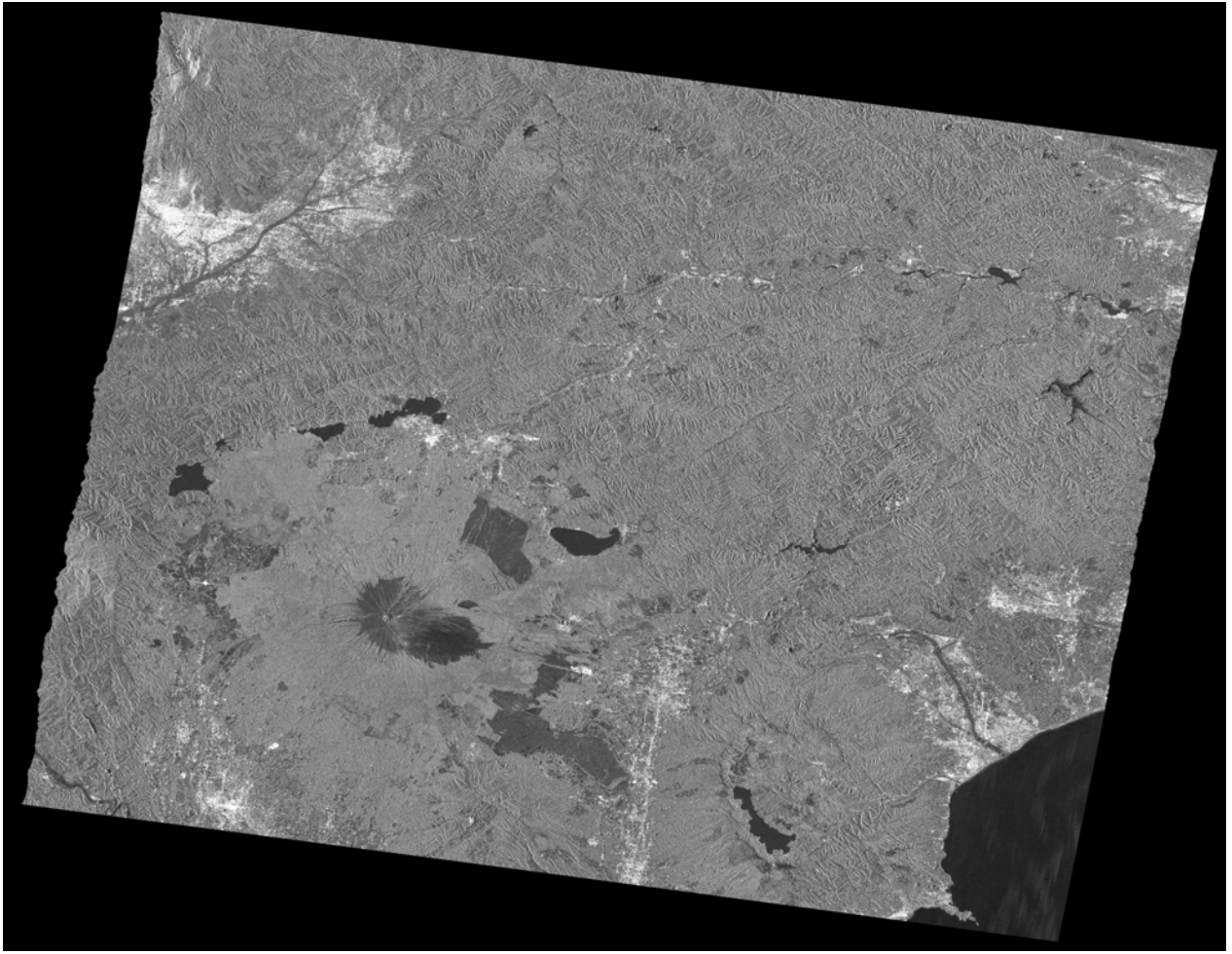
LICF: Local Incidence angle Factor

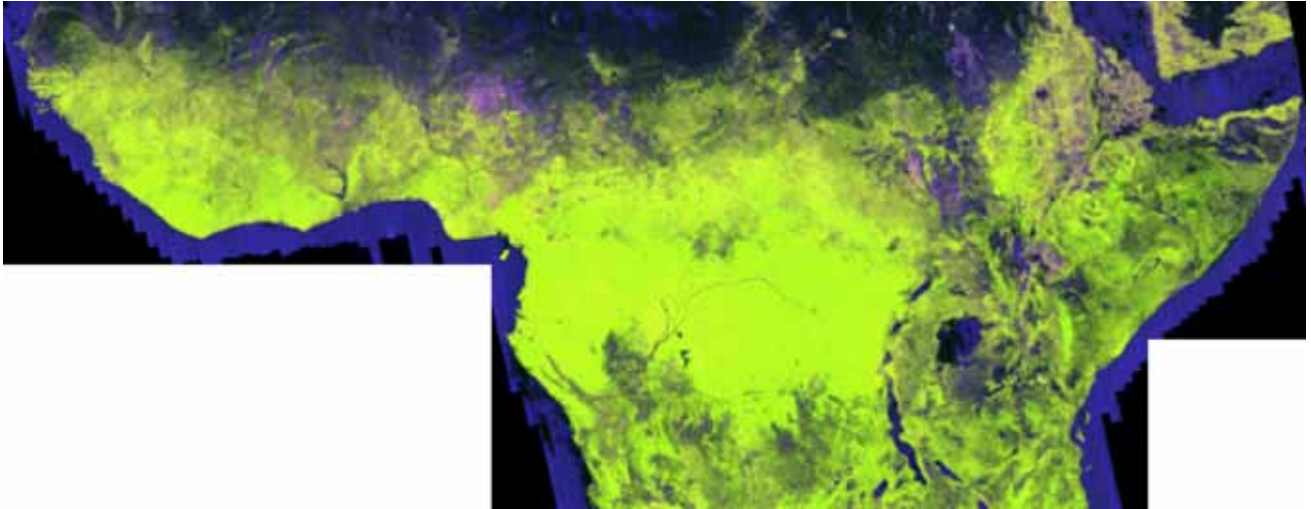
M.S. リモセン標準化部会

$$\sigma^0 \sim 10^{d\theta_l} \quad 41$$









まとめ

PALSARの幾何学情報抽出についての整理

オルソ変換方法の整理

勾配補正方法の整理

オルソ補正方法の評価

全球成果物の作成