

平成25年度 REDDプラスに係る森林技術者講習会（応用講習）

REDD+における SARデータの利用と留意点



一般財団法人 リモート・センシング技術センター
REMOTE SENSING TECHNOLOGY CENTER OF JAPAN

目次

1. SARとは
2. SARを使った森林における解析事例
3. SARデータの特徴と活用上の留意点
4. SARデータの取得・購入について

1. SARとは

SAR画像はどう見える？

SARで森林がどう見える？

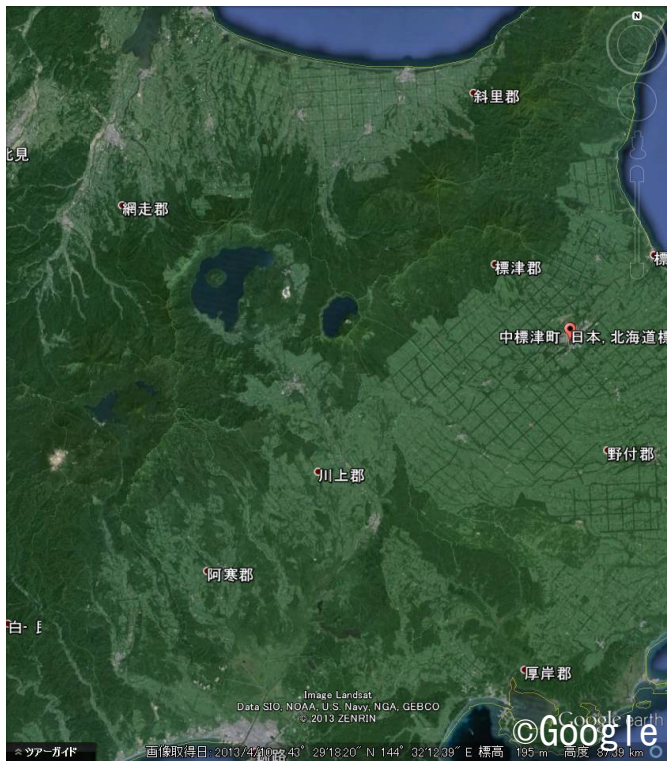


北海道中標津町周辺

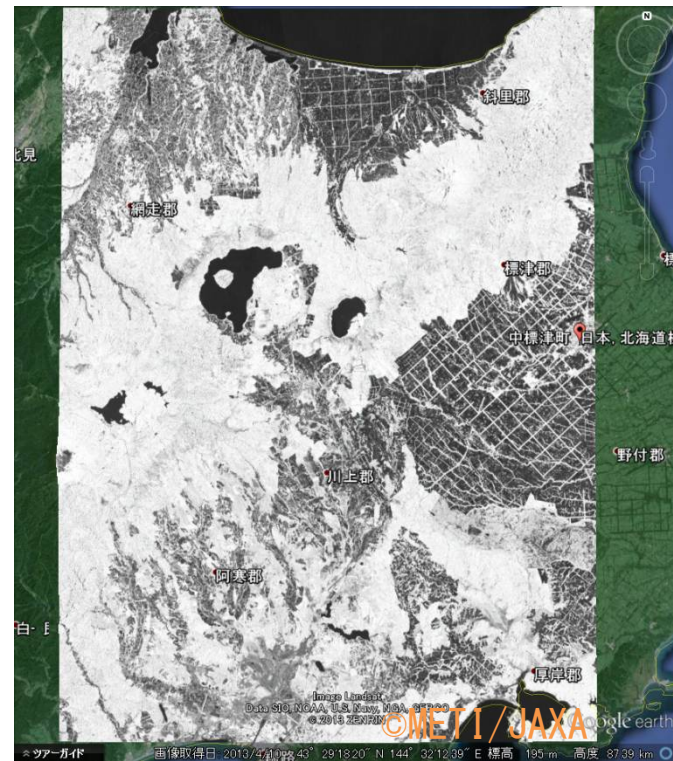
Google Earth画像において、濃い緑が森林、明るい緑が耕地となっている。

PALSAR画像ではGoogle Earthにて森林に対応する箇所が明るく、耕地や水域が暗くなっている。

PALSAR画像では森林が明るく見える。



Google Earth (可視センサ)

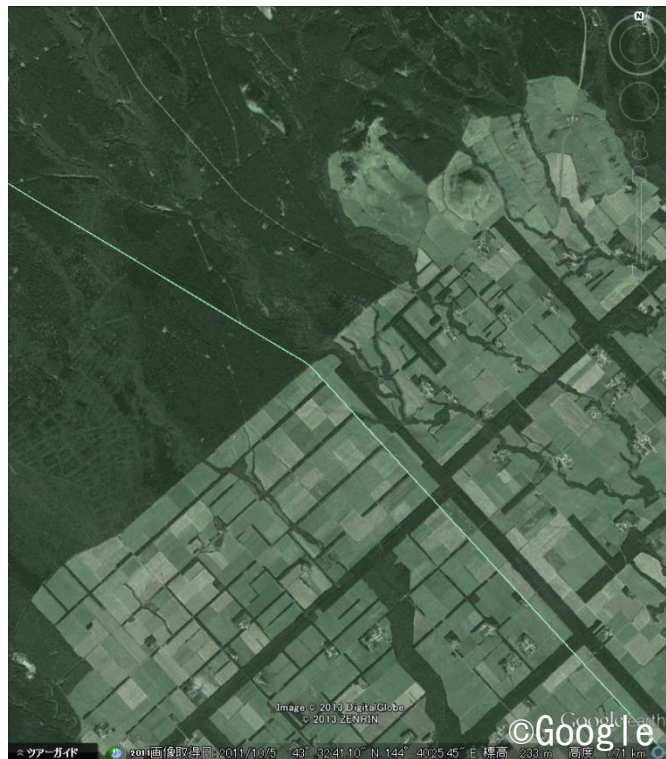
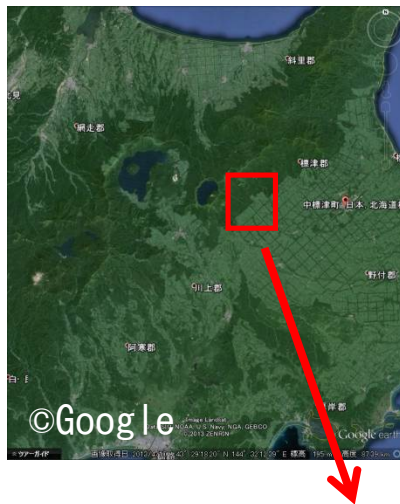


PALSARによる画像

SARで森林がどう見える？

北海道中標津町周辺

広がりのある森林のみならず，防風林においても
PALSARの画像にて明るくなっており，樹木のある
箇所を特定することができる。



Google Earth（可視センサ）



PALSARによる画像

SARで森林がどう見える？

北海道中標津町周辺



SARで森林がどう見える？

SAR画像は一般的な画像と異なり白黒の画像

森林に対して感受性が高く，他の土地被覆に比べて明るく見える。

明るく見える特性を活かして，その広がりを見ることが出来る。

可視光画像との違い

SARとその定義

SAR (Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダ)

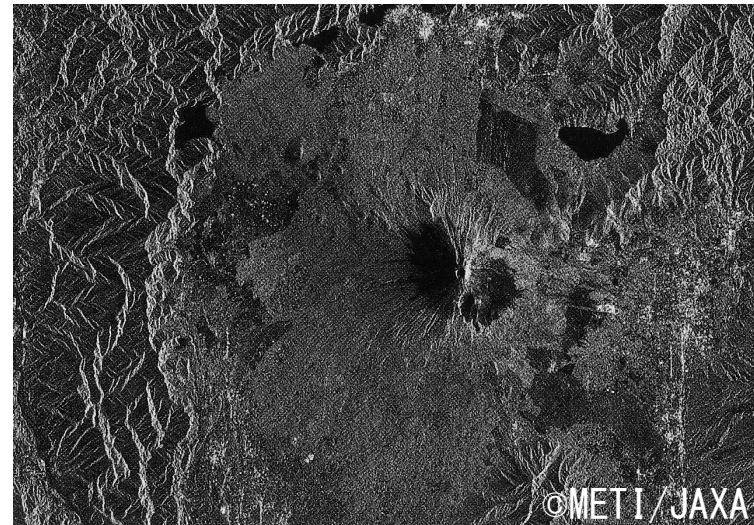
装置自身がマイクロ波を照射し、その後方散乱を受信・画像化する能動型（アクティブ）センサ。

映像レーダの一種。合成開口処理（後述）により、衛星高度からでも高分解能観測を実現。

- ・ マイクロ波センサ
- ・ アクティブセンサ
- ・ 映像レーダ

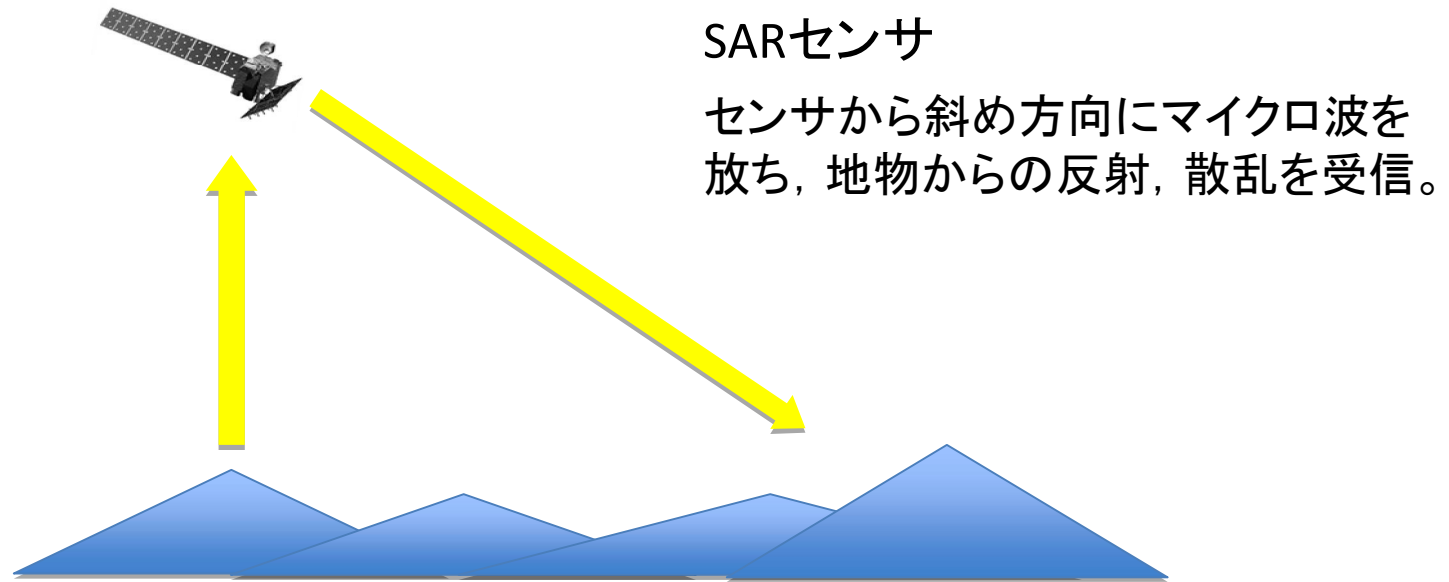


JERS-1/OPSによる富士山



JERS-1/SARによる富士山

センサと観測対象の位置関係



可視センサ

センサから直下、太陽光を対象物が反
射、散乱したものをとらえる

SARと可視センサの比較

- 可視センサ

可視光線をとらえる。人間の目で見えるものと近い画像が得られる。

太陽光を対象物が反射，散乱したものをとらえる

: 受動型センサ

光学センサ，可視センサなどと呼ばれる。

例：ALOS/AVNIR-2/PRISM, Landsat等

- SARセンサ

センサから放たれたマイクロ波を対象物から反射，散乱したものをとらえる。

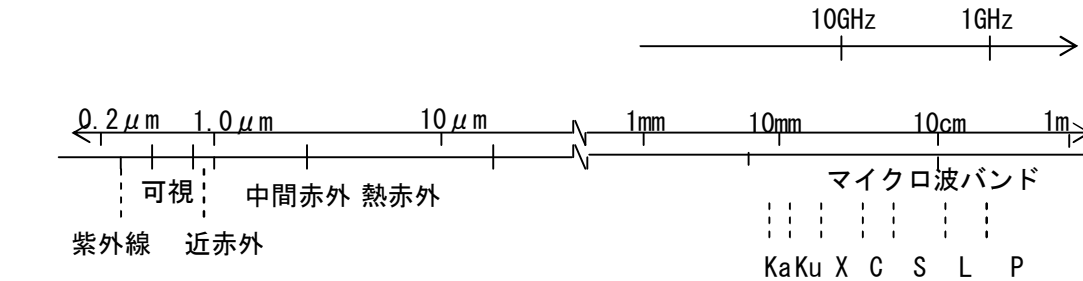
: 受動型センサ

SAR，合成開口レーダ，レーダなどと呼ばれる

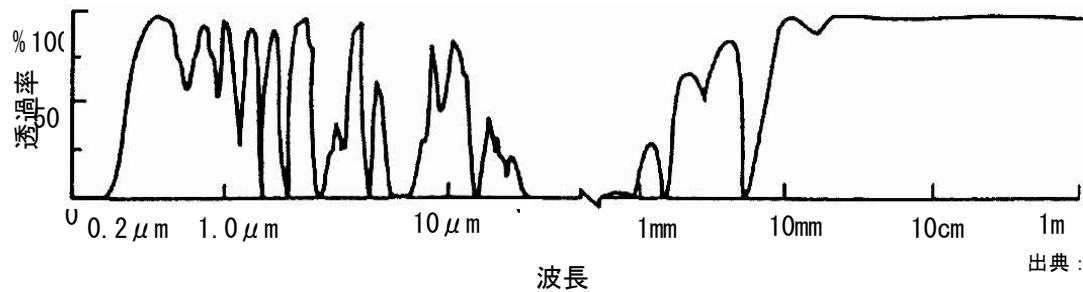
人間の目でみたものとは異なる画像が得られる。

例：ALOS/PALSAR, RADARSAT, Terra-SAR-X等

SARと可視光の波長域の違い



電磁波の波長帯と名称



波長帯ごとの大気の透過率

マイクロ波の呼称と波長、周波数

バンド名	波長 (mm)	周波数 (GHz)
Ka	7.5~11.0	40.0~26.5
K	11.0~16.7	26.5~18.0
Ku	16.7~24.0	18.0~12.5
X	24.0~37.5	12.5~8.0
C	37.5~75.0	8.0~4.0
S	75.0~150	4.0~2.0
L	150~300	2.0~1.0
P	300~1000	1.0~0.3

出典：NASA Instrument panel report, Volume I If, SAR earth observing system

SARは可視光と比べて波長がとても長い。このため大気の透過率が高く、雲など水蒸気も透過するため晴天でなくとも観測が可能。

SARと可視センサの比較

- 光学センサのメリット

人間の目で見えるものと近い画像が得られるため理解が容易。
得られる情報が多いため、SARに比べてより詳細な土地被覆の分析が可能。
衛星からの直下を観測するためSARに比べて歪みが少ない。

- SARセンサのメリット(SARが期待される理由)

マイクロ波は雲を透過するため天候に左右されず観測が可能。
→ 降雨の多い低緯度熱帯地域にて観測機会が多い。

自らマイクロ波を放ち観測する能動型のため、昼夜問わず観測が可能。
→ 可視センサに比べて観測機会が増える。

SARと可視センサの比較

- 光学センサのデメリット

大気の状態に大きく左右される。

特に雲がある場合、有効なデータが全く得られない。

観測機会が少なく、データをそろえることが難しい。

- SARセンサのデメリット (SARが敬遠されがちな理由)

人間の目で見えるものとは異なる画像のため理解が難しい。

画像化の処理が難しい。

斜めから観測しているため、画像の歪み、倒れ込みの問題。

SARと可視センサの比較

- 可視光を利用したセンサとは異なる特性を持つ。
- 可視光に比べて解釈が難しく直感的な理解が難しい。
- 可視光には見えないものが見えるため、観測機会が多くなり安定的に観測が可能。

SAR観測のメカニズム

SAR観測のメカニズム

SARはセンサ自らマイクロ波を放射する能動型

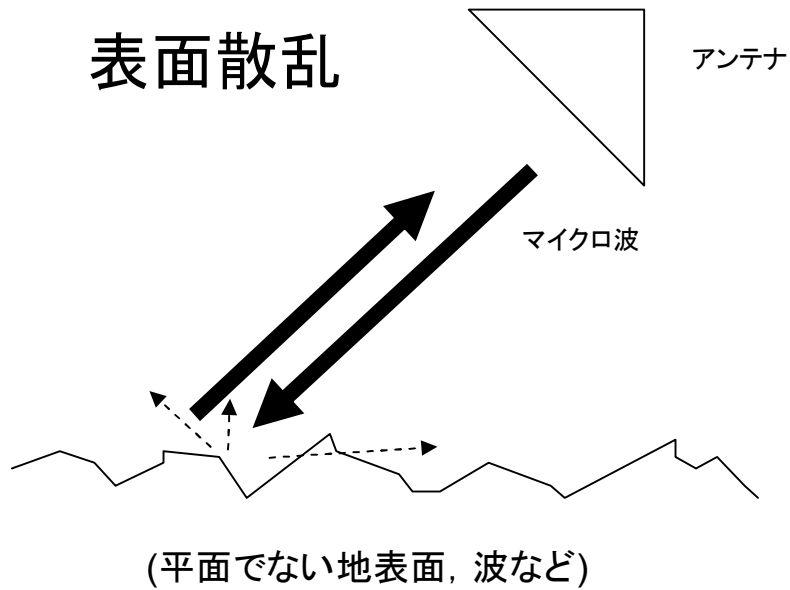
センサからのマイクロ波を地上の観測対象物が反射，散乱したものを受信し観測している。

散乱にはいくつかの種類がある。

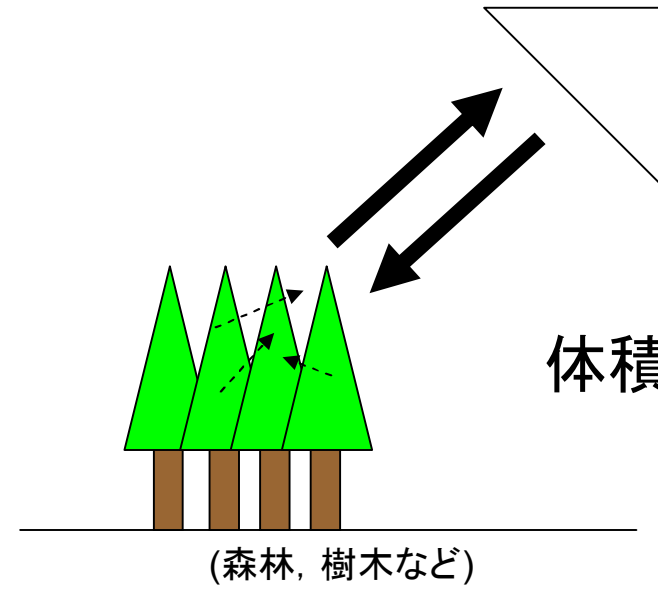
対象物によって散乱が異なることを利用して観測を行っている。

マイクロ波の散乱

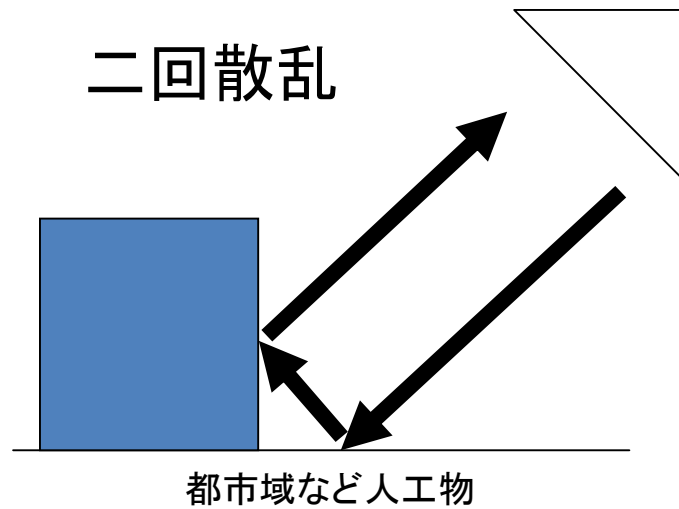
表面散乱



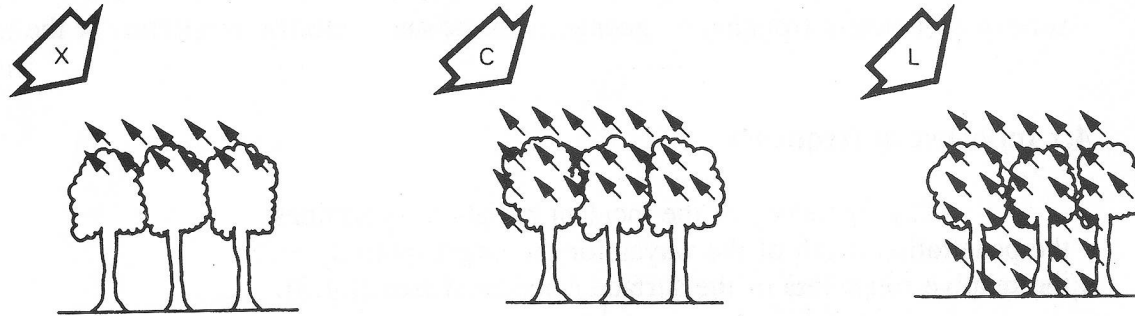
体積散乱



二回散乱

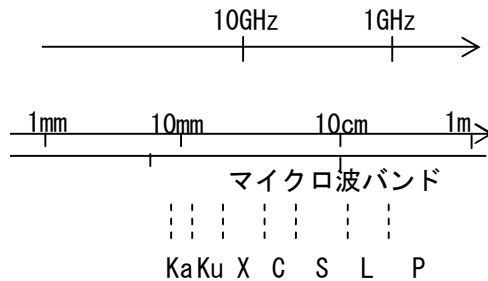


マイクロ波の周波数の違いによる森林の散乱の違い



マイクロ波の呼称と波長、周波数

バンド名	波長 (mm)	周波数 (GHz)
Ka	7.5~11.0	40.0~26.5
K	11.0~16.7	26.5~18.0
Ku	16.7~24.0	18.0~12.5
X	24.0~37.5	12.5~8.0
C	37.5~75.0	8.0~4.0
S	75.0~150	4.0~2.0
L	150~300	2.0~1.0
P	300~1000	1.0~0.3



マイクロ波の波長帯と名称

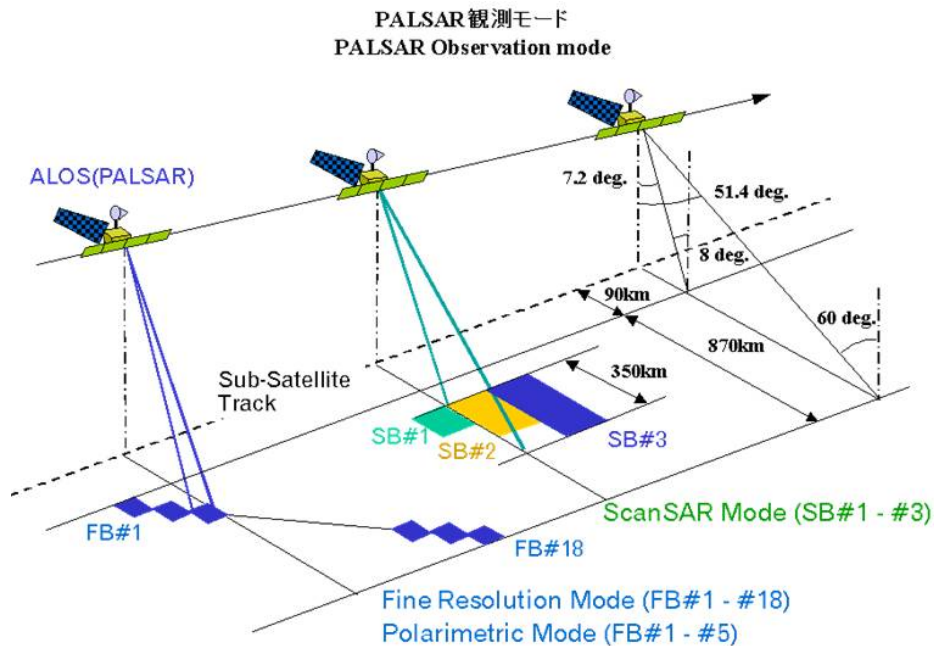
出典：NASA Instrument panel report, VolumeI If, SAR earth observing system

同じマイクロ波でも周波数によって森林における体積散乱の性格が異なる。

周波数の長いLバンドは樹冠を透過し樹幹部から散乱があるため、材積、バイオマスとの相関関係が研究されてる。

ALOS/PALSAR, ALOS-2/PALSAR-2はLバンド。森林監視に適した設計。

ALOS衛星のPALSARセンサ



- ALOS : Advanced Land Observing Satellite (陸域観測技術衛星)
(ただし、必ずしも陸域専用ではない)
- PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
- 衛星搭載では世界初の4偏波同時観測 (HH+HV+VH+VV) を実現

ALOS/PALSARの観測モード図

PALSARは、入射角を8～60度の範囲で変更した観測 (FB#1～FB#18) や、観測幅が最大350kmのScanSAR (広域観測) モード (SB#1～SB#3) など、多様な観測が可能である。

偏波について

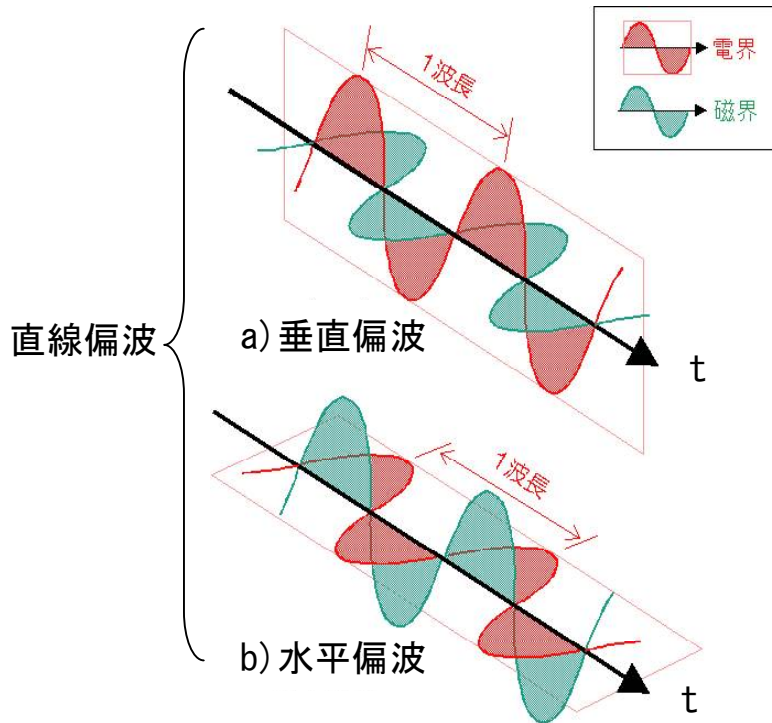
- ・ 直線偏波 : 水平偏波 (Horizontal)
: 垂直偏波 (Vertical)



衛星の場合、衛星進行方向に平行なものを
H偏波（水平偏波）、垂直なものをV偏波
（垂直偏波）と定義

HH: H送信, H受信

HV: H送信, V受信



森林では特に、H送信された水平偏波が散乱によって垂直偏波となる特性がある。



森林モニタリングではHV（H送信, V受信）の画像が重要

SAR観測のメカニズム

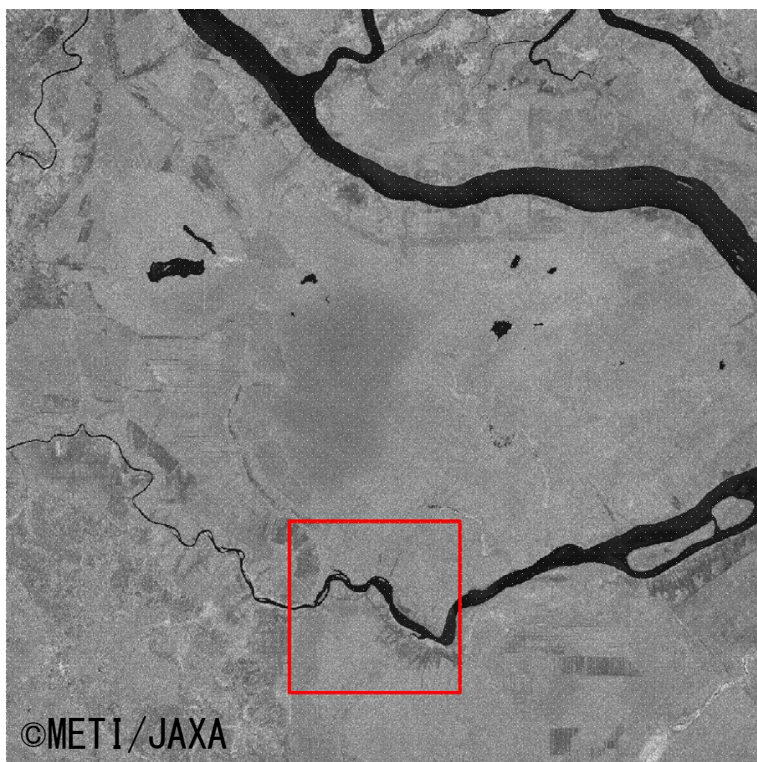
- 斜め方向からのマイクロ波の反射，散乱をとらえている。対象物によって散乱が異なる。
- マイクロ波の波長によって反射，散乱の特性が異なる。Lバンドを用いているALOS/PALSARは森林に適している。
- 偏波にはHH，HVなど種類がある。森林ではHVが適している。

2. SARを使った 森林における解析事例

ALOS/PALSARによる 森林・非森林図

PALSAR/FBDデータ（FBD: Fine Beam Dual）

Lバンド SAR FBDデータ



HH



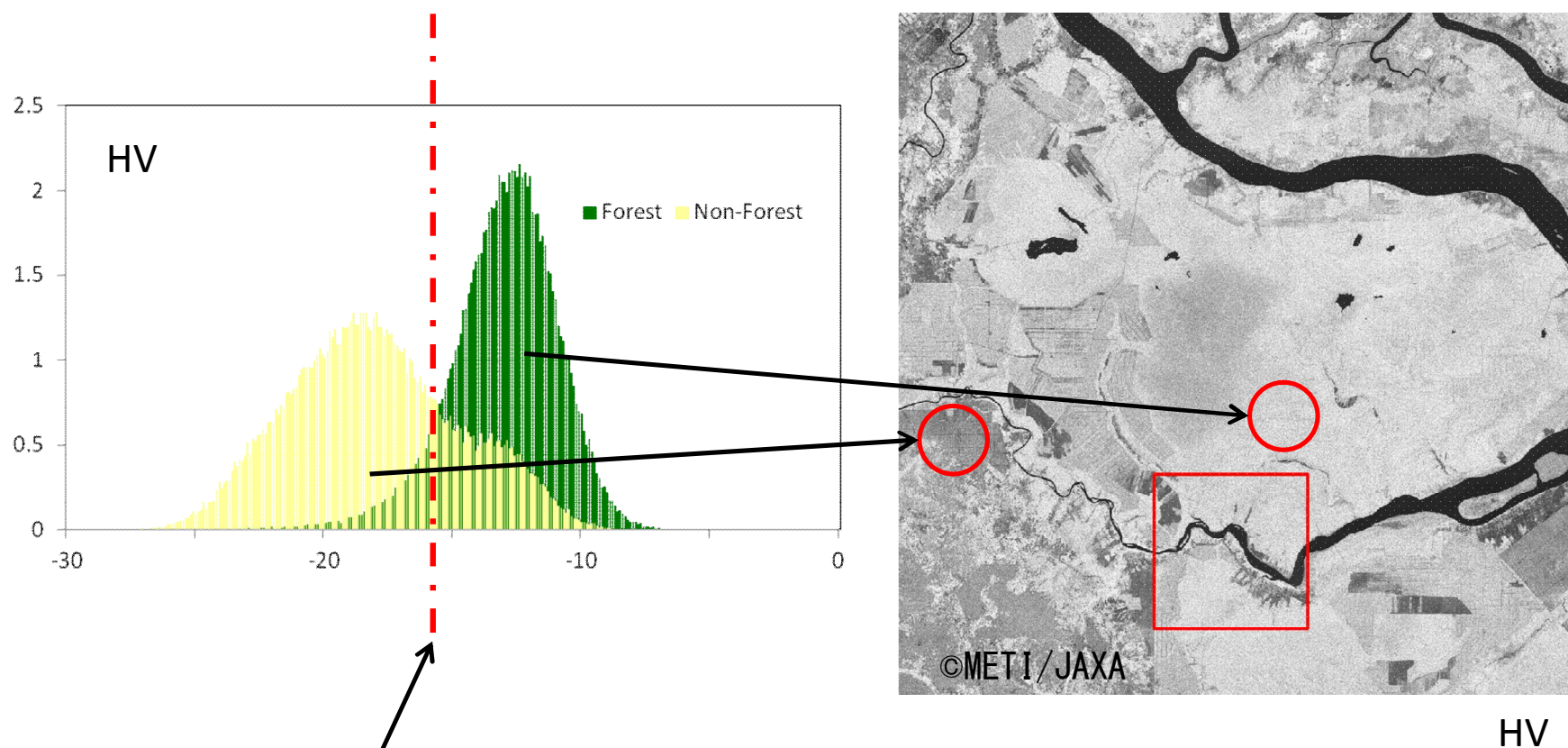
HV

特にHVにおいて、明るいところが森林、暗いところがプランテーションや農耕地、あるいは伐採地となっている。

インドネシア スマトラ島 リアウ州

PALSAR FBDを用いた森林抽出

森林，非森林地域における画素値のヒストグラムの例



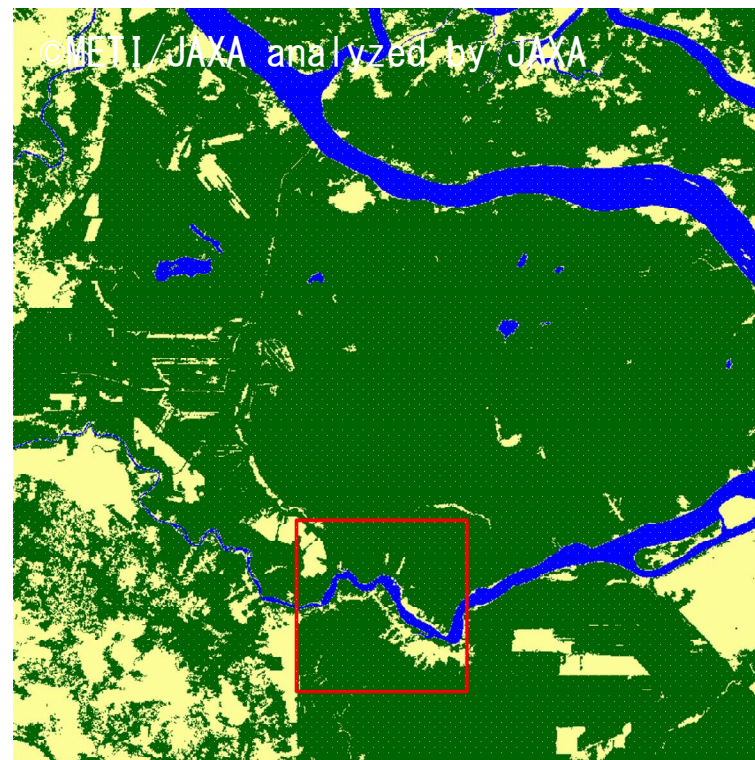
森林，非森林の境界部分に閾値を設定して分類することで森林，非森林を簡易に分類することができる。

FBDカラー合成が像と森林・非森林図

Lバンド SAR FBDデータからの森林・非森林図



- R: HH
- G: HV
- B: HH/HV

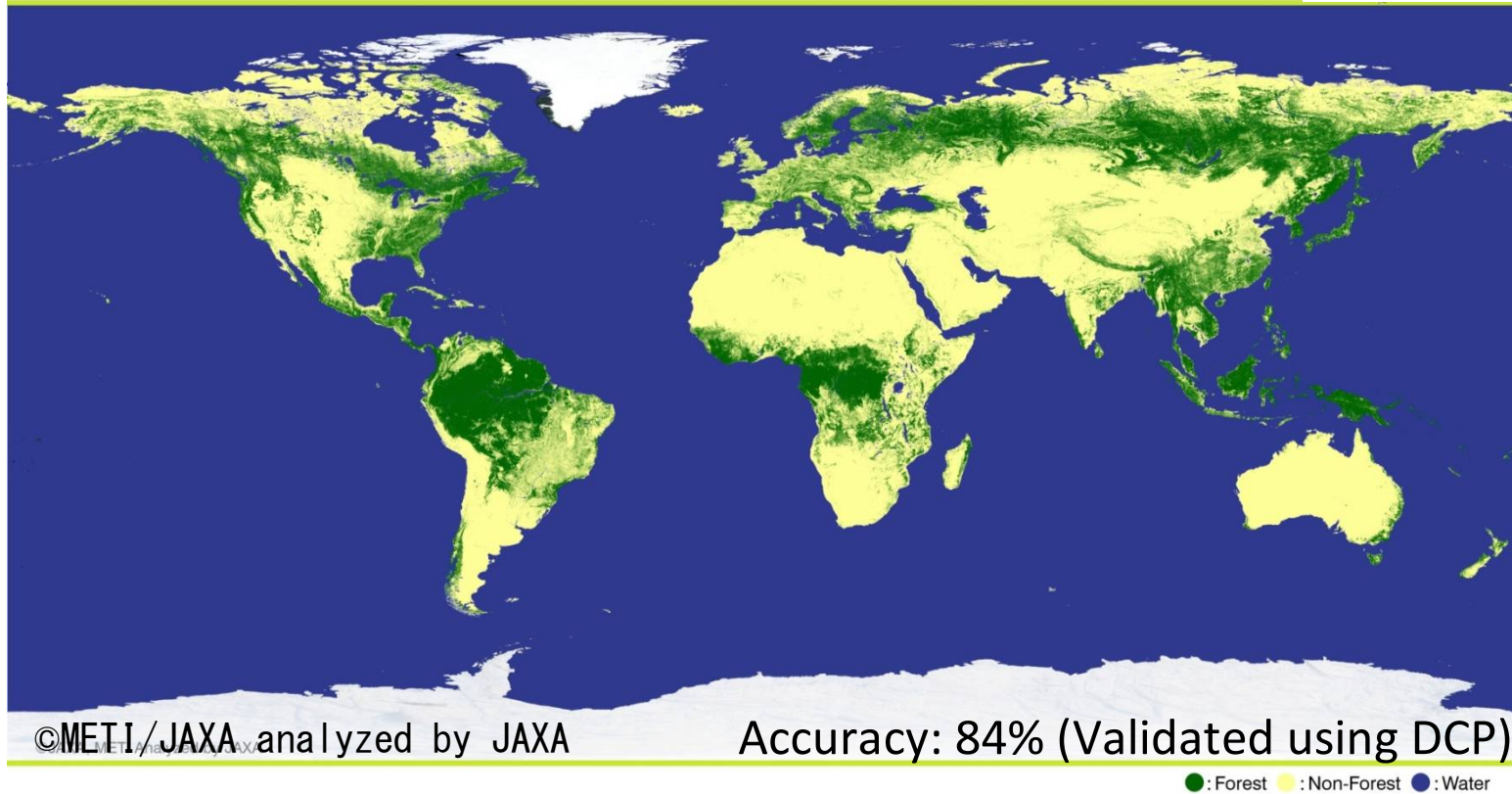


- Forest
- Non-Forest
- Water

カラー合成したSAR画像にて、明るい緑の箇所が森林、暗い部分や茶色い箇所が非森林。

ALOS/PALSARによる全球森林・非森林図

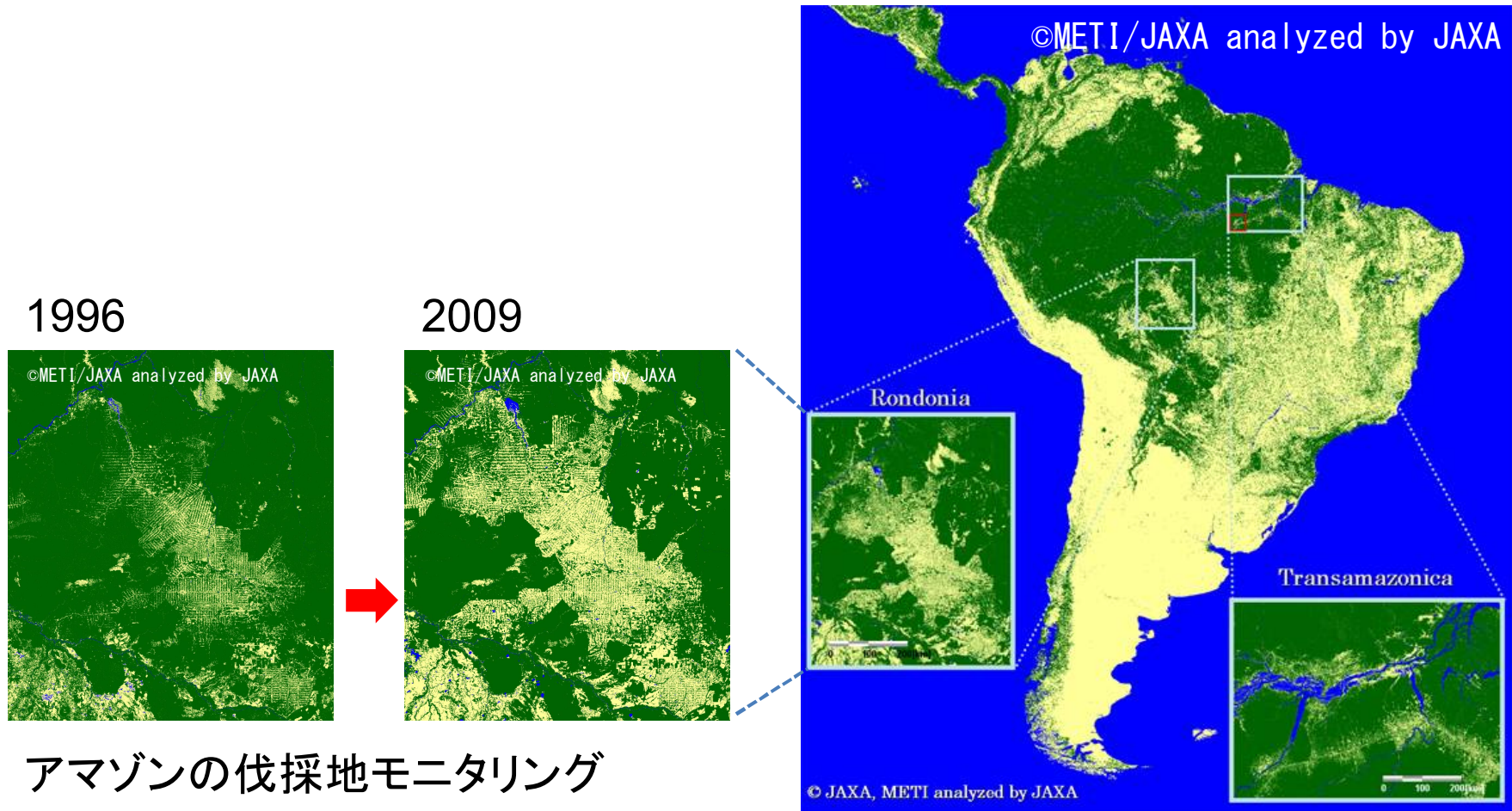
PALSAR 10m Global Forest/Non-Forest Map 2009



Forest is defined as the biomass higher than 100 ton/hectare. The accuracy of the forest/non-forest demarcation by this image is confirmed to be 84% compared to the ground base data set. This ground truth data set that is compiled based on local data of each one-degree square area in latitude and longitude gathered from the Degree Confluence Project (<http://confluence.org/>)

ALOS/PALSARは雲に邪魔されないため、安定的に全球を観測しデータをそろえることが可能なため、年ごとの森林、非森林図を作成することが可能。
定期的な観測は森林モニタリングには重要。

森林・非森林の継続監視



アマゾンの伐採地モニタリング

全球にわたり森林・非森林が把握出来るため、継続的にデータを作成することで伐採などの変化を監視することが可能。

全球森林・非森林図

- ALOS/PALSARにより全球にわたって森林・非森林の分布を把握することが可能。
- SARの特性を活かし、毎年安定的に森林・非森林図を作成することができる。
- 継続的なデータ作成により、伐採等による変化を監視することが出来る。

ALOS/PALSARによる 伐採地抽出

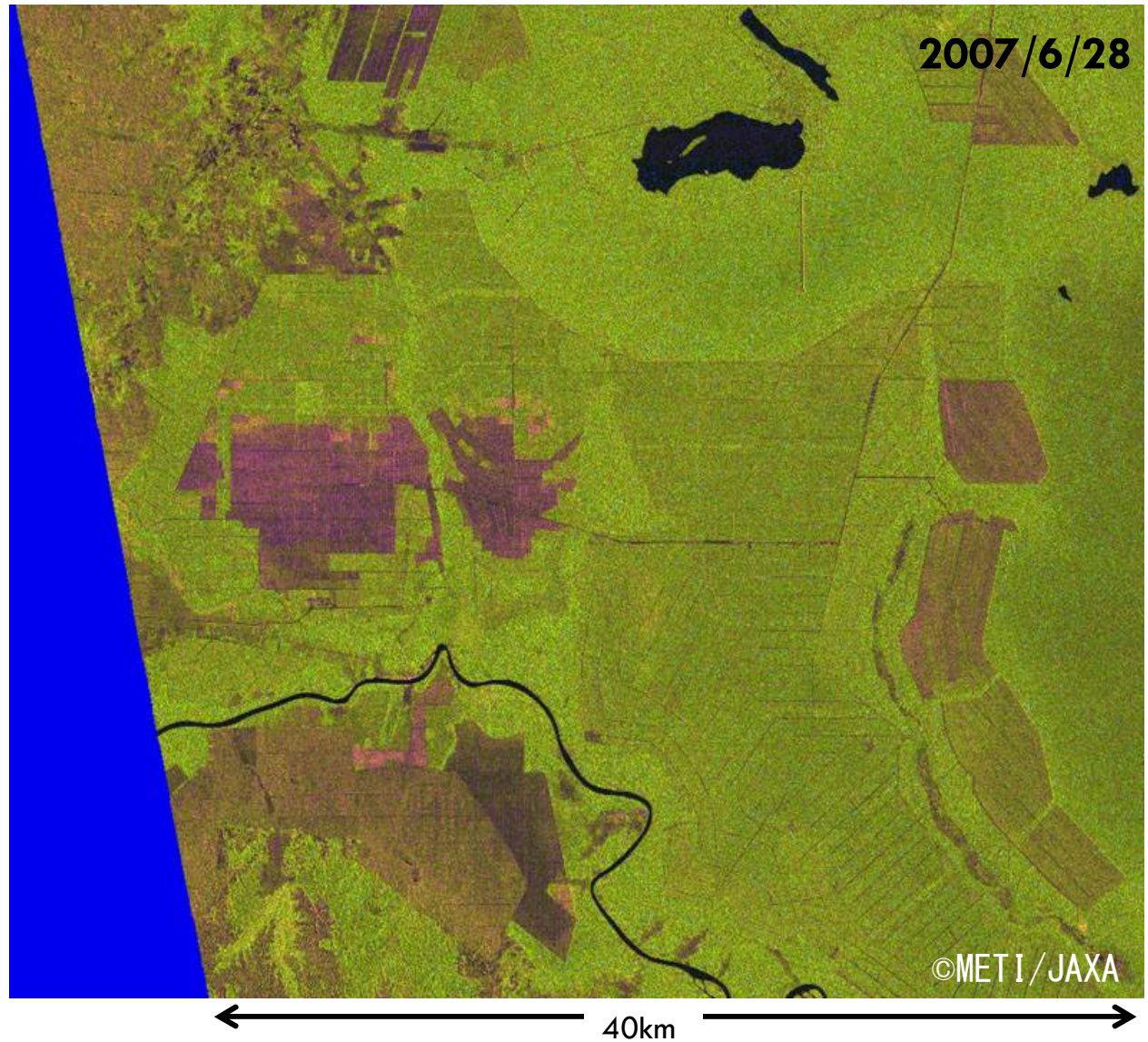
PALSARによる伐採地抽出

- ✓ 森林におけるLバンドSARの特性を用いた伐採地の抽出
- ✓ HH, HVの2偏波を用いたALOS/PALSRのLバンドのFBDデータ

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

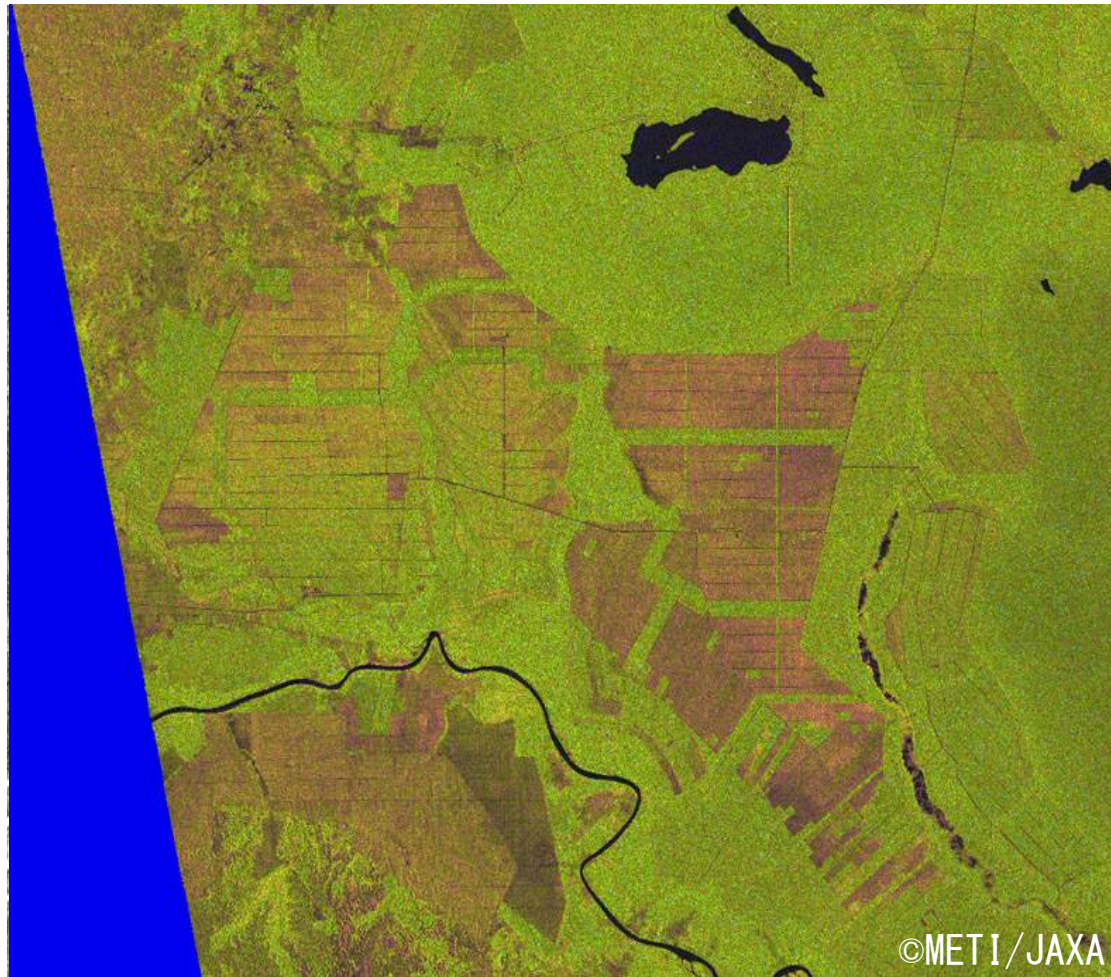


PALSAR FBD 343 Red: HH Green: HV Blue: HH/HV



インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

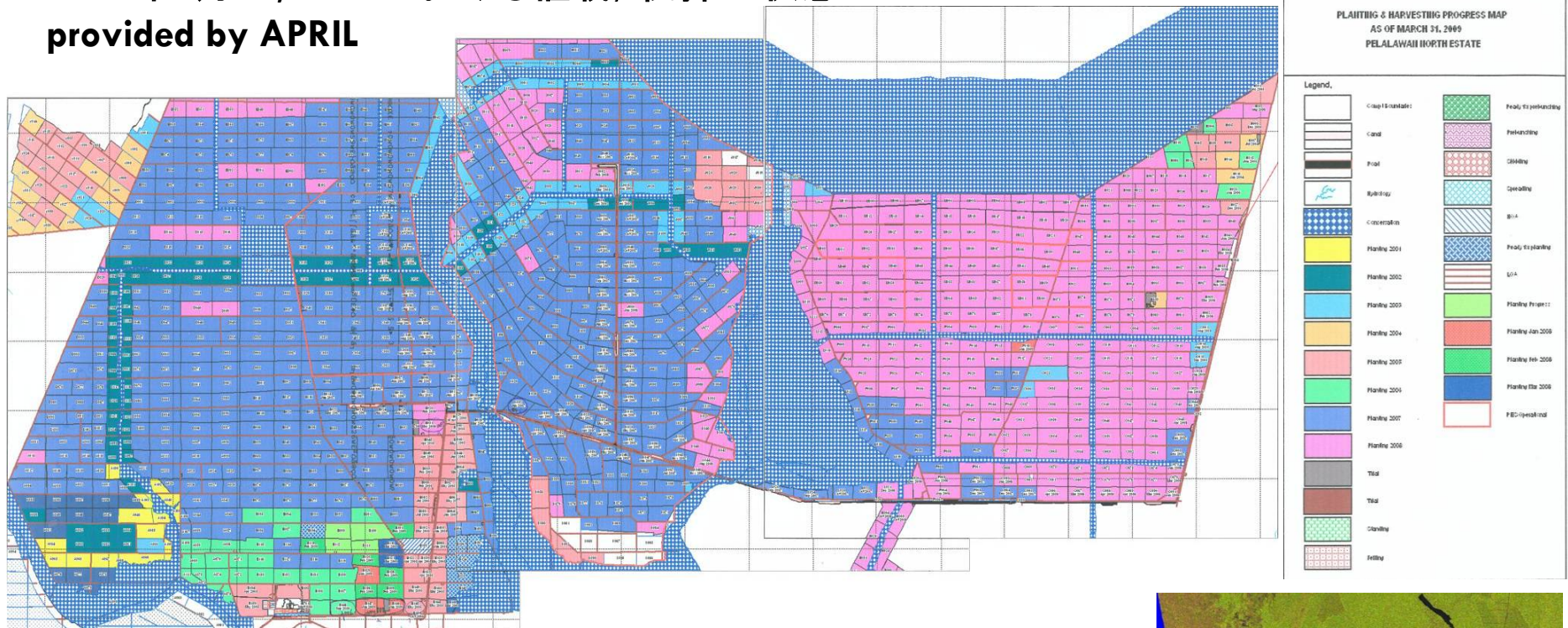
1.5年間の伐採地変化



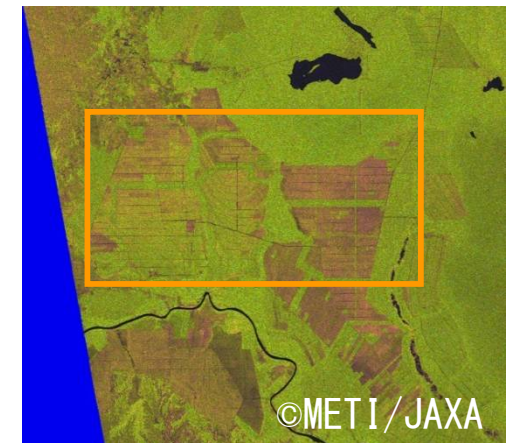
- ✓ 明るく森林のあるところ, 暗く伐採地のところの変化を監視する。

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

2013年3月31, 2009における植栽, 伐採の状態:
provided by APRIL



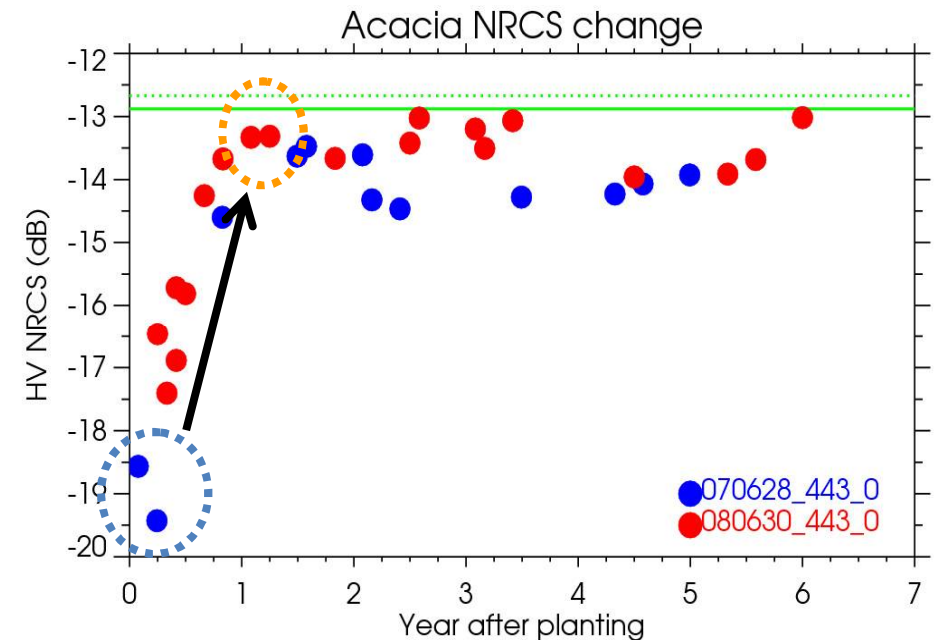
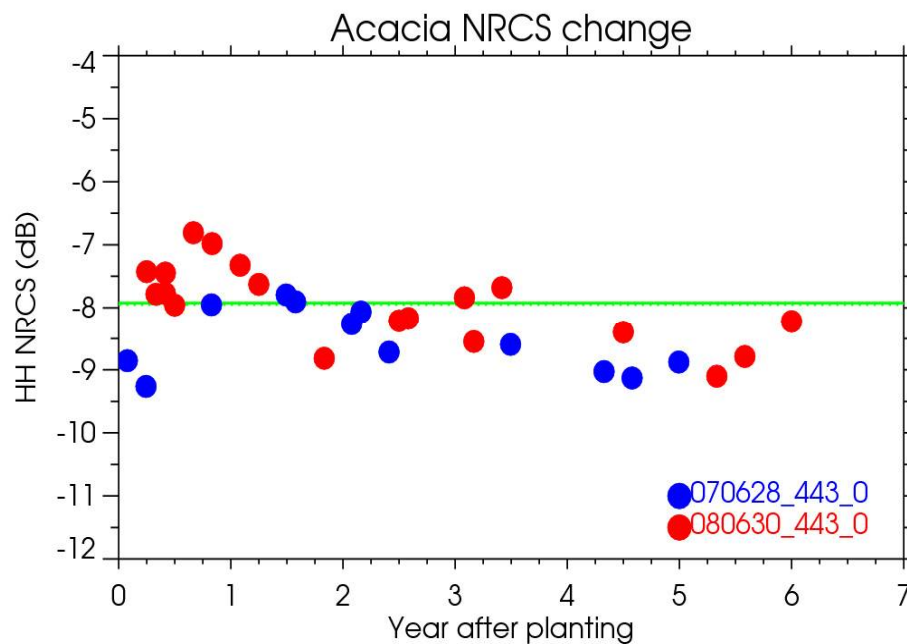
✓ 林齢によるHV受信の強度の強弱 by using FBD images.



インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

アカシア林におけるHH & HV 偏波と林齢との関係

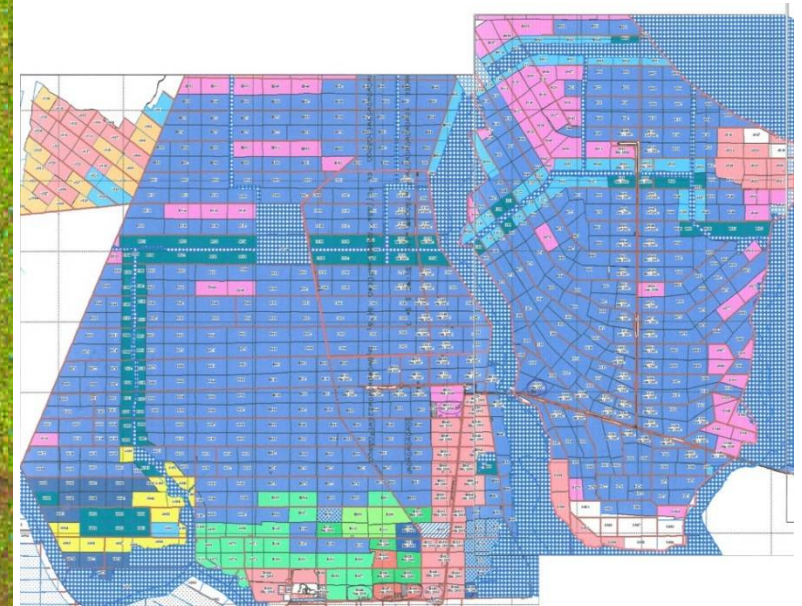
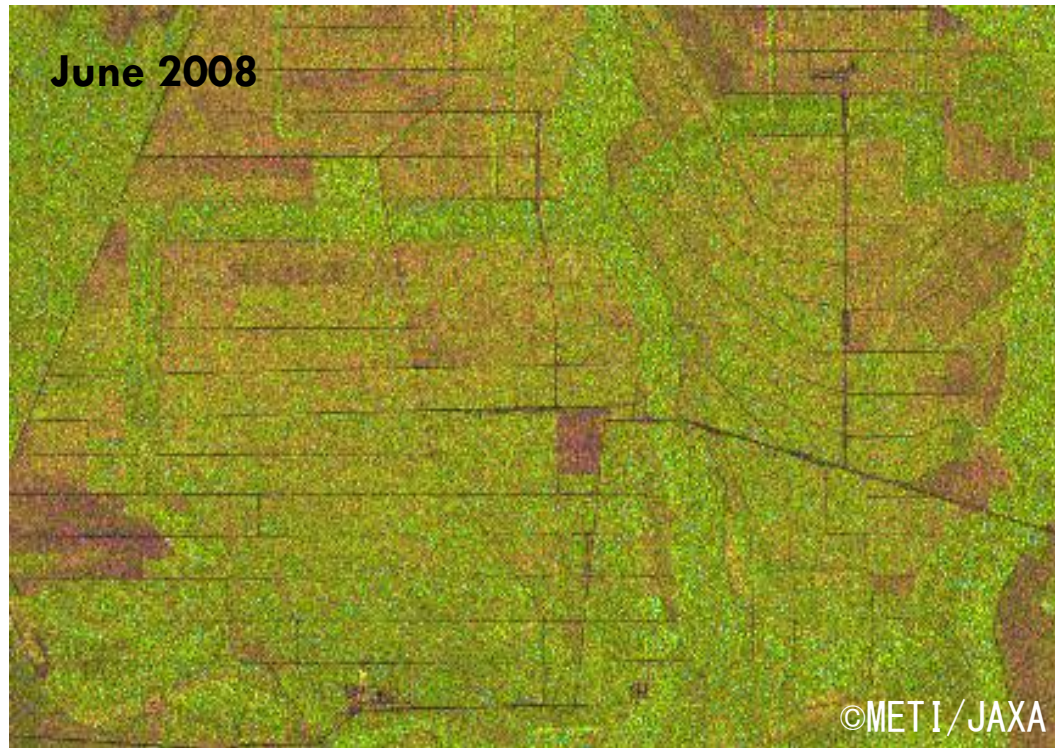
- 2007/6/28 and 2008/6/30 FBD 343と植栽時期



- ✓ HHはわずかであるが徐々に減少傾向にある。
- ✓ HVは急激に増加し、1年ほどで頭打ちになる。

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

Red: HH Green: HV Blue: HH/HV



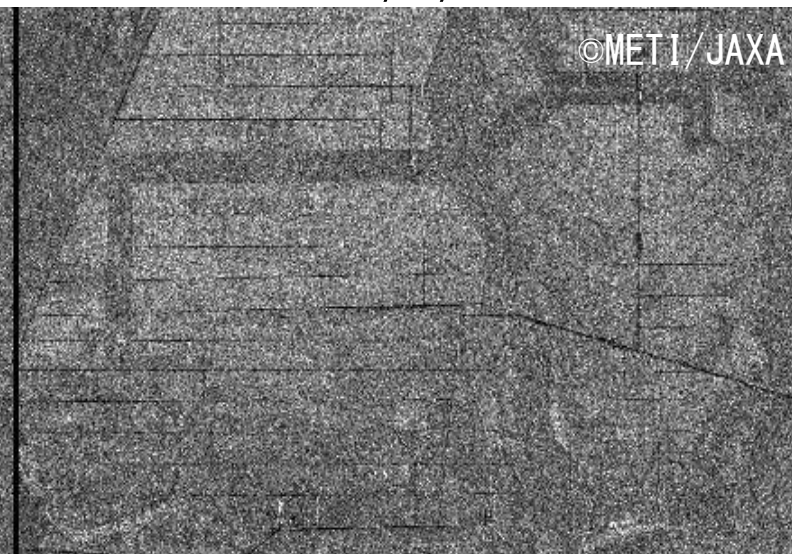
provided by APRIL

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

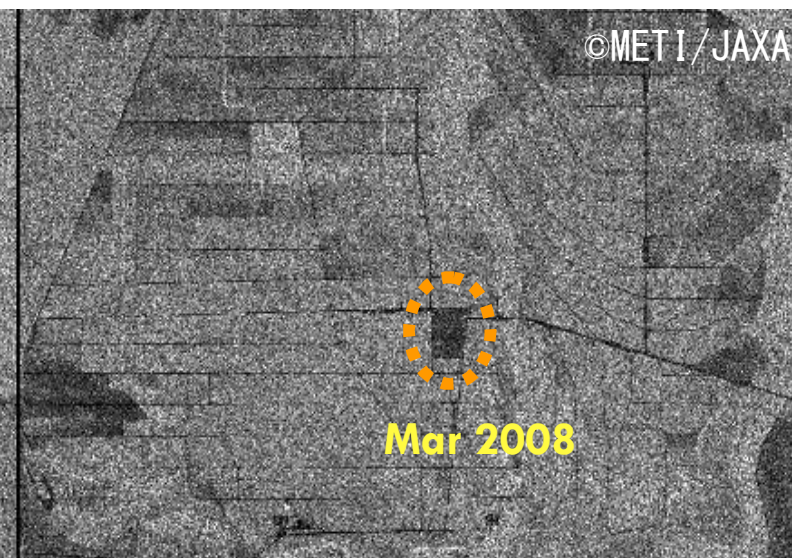
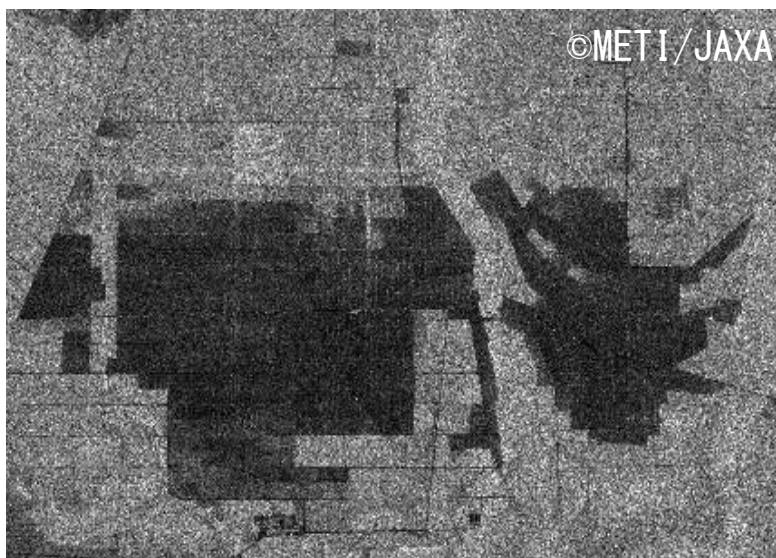
2007/6/28

2008/6/30

HH



HV



インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

POL 23.1 2009/5/13



HH: little large
HV: almost same



Photos taken 2009/4/6

2008年3月植栽 (林齢約1年)



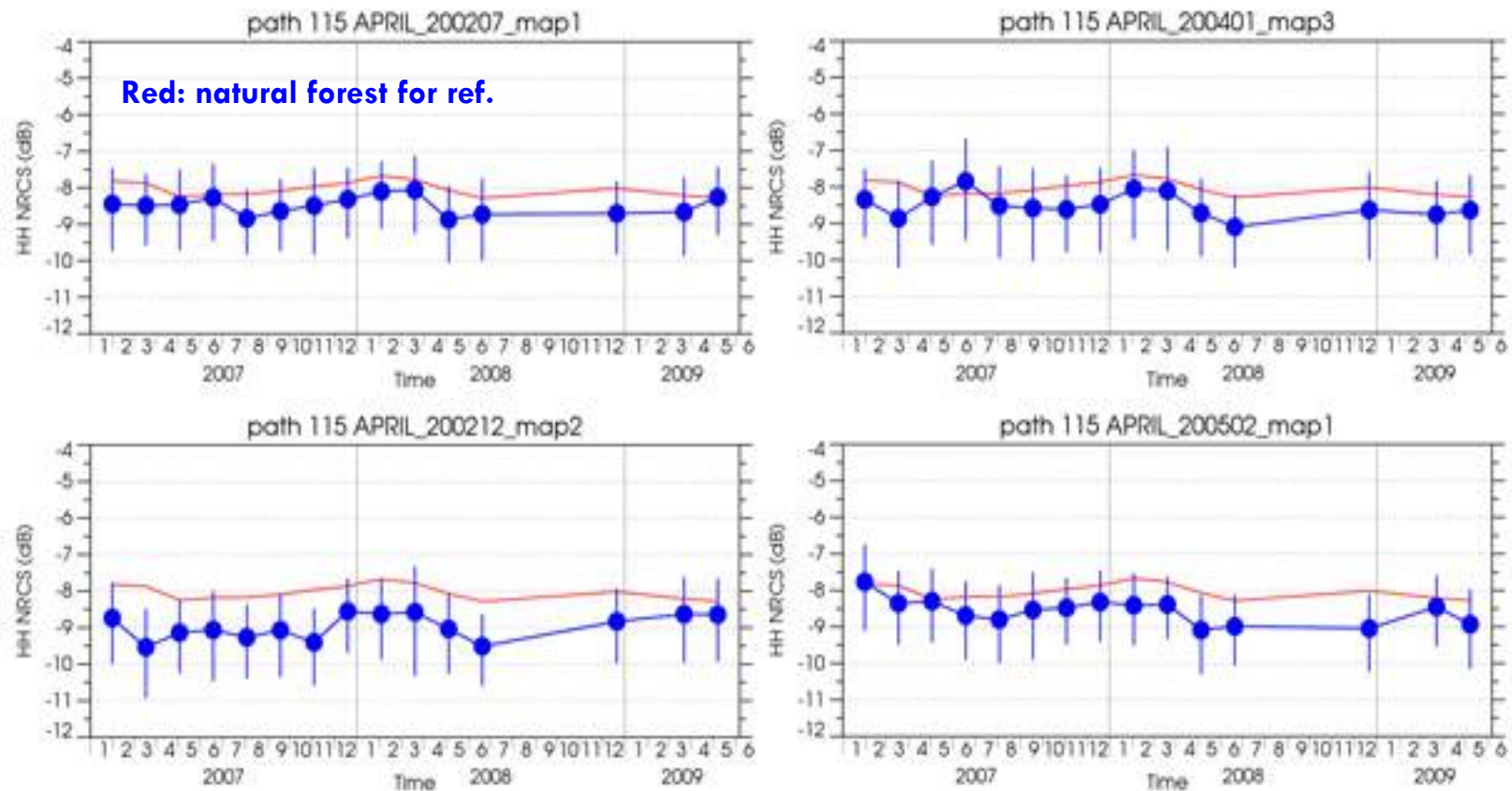
2005年7月植栽 (林齢約3.8年)



成長の早いアカシアの状態が反映されている。

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

2002-2005の間に植栽されたアカシアのL-HH時系列変化
-ScanSARによる結果 (path 115: inc. angle $\sim 36^\circ$)

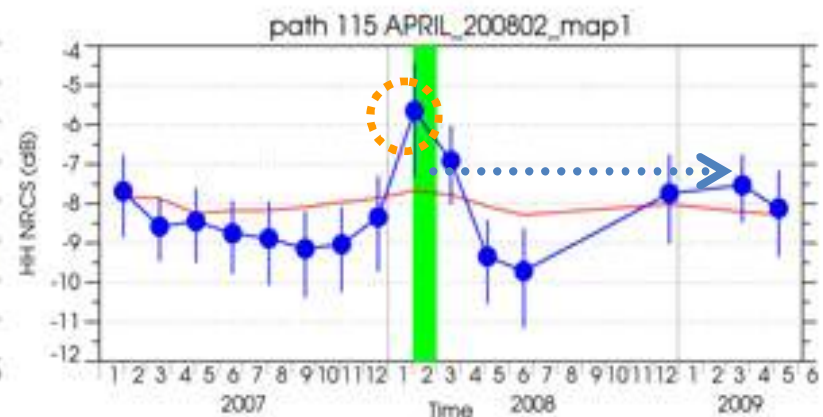
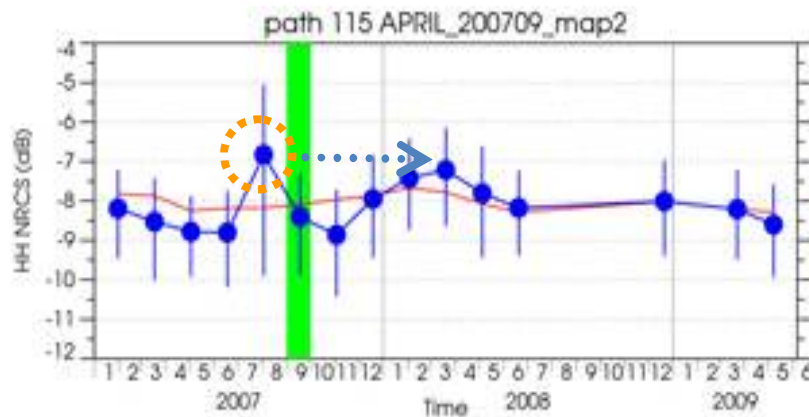
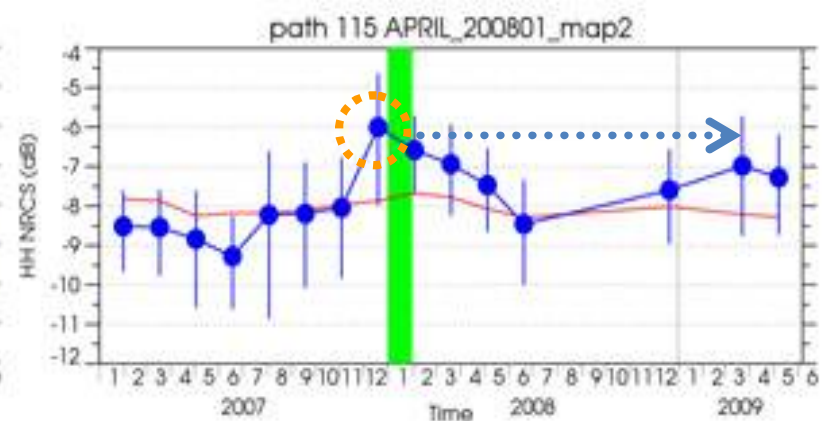
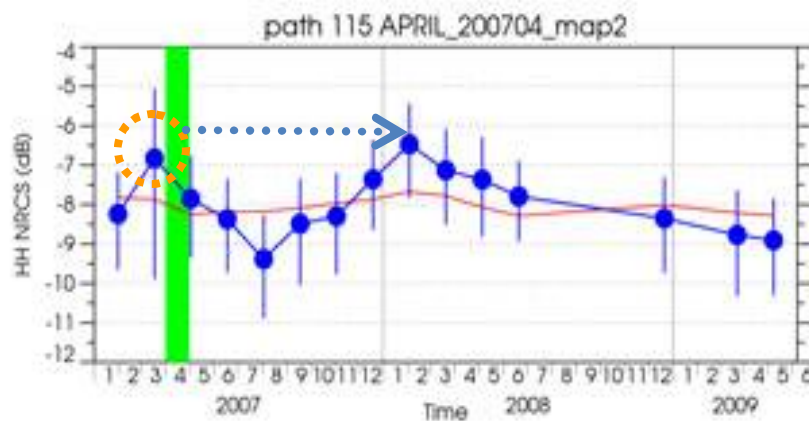


- ✓ 天然林の季節変化と類似した変動を示している。
- ✓ 天然林に比べ0.5-1 dBほどアカシア林の方が低い値を示している。

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

2007-2008に植栽されたアカシア林におけるScanSAR L-HH の時間変化
(植栽と伐採を含む。)

Planting



- ✓ 植栽直前に大きな値となる。おそらく伐採による影響をとらえていると考えられる。
- ✓ 振幅が大きい。雨季に比べ乾季の方が大きい。

インドネシアにおけるアカシア人工林のサイクル

まとめ

- ✓ **HH, HVの値のアカシア林における林齢への依存性**
 - ✓ 植栽後HVが増加し, 1年ほどで頭打ちとなる。
 - ✓ HHは徐々に減少し天然林に比べ0.5-1 dBほど低い値となる。季節変化は天然林と類似している。
 - ✓ 強い表面散乱によりHHが植栽直前に高い値となる。(伐採直後の地上の粗度が増加するため?)。
 - ✓ 植栽後0-2年の若齢林においてHHの値は変動が大きい。これは乾季の方が変化が顕著である。

3. SARデータの特性と 活用上の留意点

SARセンサを搭載した衛星 とセンサの多様性

衛星搭載SARセンサの諸元

衛星名 (センサ名)	ERS-1 (AMI)	JERS-1 (SAR)	ERS-2 (AMI)	RADARSAT-1	ENVISAT (ASAR)	ALOS (PALSAR)	TerraSAR-X	COSMO-SkyMed1	RADARSAT-2	TanDEM-X	ALOS-2 (PALSAR-2)
所有国	欧州	日本	欧州	カナダ	欧州	日本	ドイツ	イタリア	カナダ	ドイツ	日本
打ち上げ時期	1991. 7 -2000. 3	1992. 2 -1998. 10	1995. 4 -2011. 9	1995. 11-	2002. 3 -2012. 5	2006. 1 -2012. 5	2007. 6-	1) 2007. 6- 2) 2007. 12- 3) 2008. 10- 4) 2010. 11-	2007. 12-	2010. 6-	2013年度
軌道高度	777km	568km	785km	793 -821km	780 -820km	691km	514km	620km	798km	514km	628km
軌道傾斜角	98. 5度	97. 7度	98. 5度	98. 6度	98. 55度	97. 16度	97. 44度	97. 86度	98. 6度	97. 44度	97. 9度
回帰日数	35日	44日	35日	24日	35日	46日	11日	16日	24日	11日	14日
周波数 (バンド)	5. 3GHz (C)	1. 275GHz (L)	5. 3GHz (C)	5. 3GHz (C)	5. 3GHz (C)	1. 270GHz (L)	9. 95GHz (X)	9. 65GHz (X)	5. 405GHz (C)	9. 65GHz (X)	1. 2GHz帯 (L)
波長	5. 7cm	23. 5cm	5. 7cm	5. 7cm	5. 7cm	23. 5cm	3. 1cm	3. 1cm	5. 7cm	3. 1cm	23. 5cm
偏波	VV	HH	VV	HH	Single, Dual	Single, Dual, Quad	Single, Dual, Quad	Single, Dual	Single, Dual, Quad	Single, Dual, Quad	Single, Dual, Quad
入射角	23度	38. 7度	23度	10 - 60度	15 - 45度	8 - 60度	15 - 60度	20 -59. 5度	20 - 60度	15-60度	8 - 70度
観測幅	100km	75km	100km	50 - 500km	58 - 405km	70 - 350km	10 - 100km	10 - 200km	20 - 500km	10 - 100km	25 - 490km
分解能	30m	18m	30m	9 - 147m	30 - 1000m	10 - 100m	1 - 16m	1 - 100m	3 - 100m	1 - 16m	1 - 100m
アンテナサイズ	1 ×10m	2. 2 ×12m	1 ×10m	1. 5 ×15m	1. 3 × 10m	3. 1 × 8. 9m	0. 7 ×4. 8m	1. 4x5. 7m	1. 5 ×15m	0. 7 ×4. 8m	2. 9 ×9. 9m

偏波の詳細（観測モードにより使用できる偏波は異なる）

偏波	ENVISAT (ASAR)	ALOS (PALSAR)	TerraSAR-X	COSMO-SkyMed	RADARSAT-2	ALOS-2 (PALSAR-2)
Single	HH, VV	HH, VV	HH, HV	HH, HV, VH, VV	HH, VV, VH, HV (Extended High :はHHのみ)	HH, HV, VH, VV
Dual	HH+HV, HH+VV, VV+VH	HH+HV, VV+VH	HH+HV, VV+VH	HH+HV, HH+VV, VV+VH	HH+HV, VV+VH	HH+HV, VV+VH
Quad		HH+HV+VH+VV	HH+HV+VH+VV		HH+HV+VH+VV	HH+HV+VH+VV

衛星, センサを選ぶ際の注意点

- 同じSARでもマイクロ波の周波数の違いで特性が変わる。
- 同じセンサでも利用出来る偏波が異なる。
- 森林モニタリングに適していると言われているLバンドはJERS-1, ALOSのみ。

SARデータの処理レベル

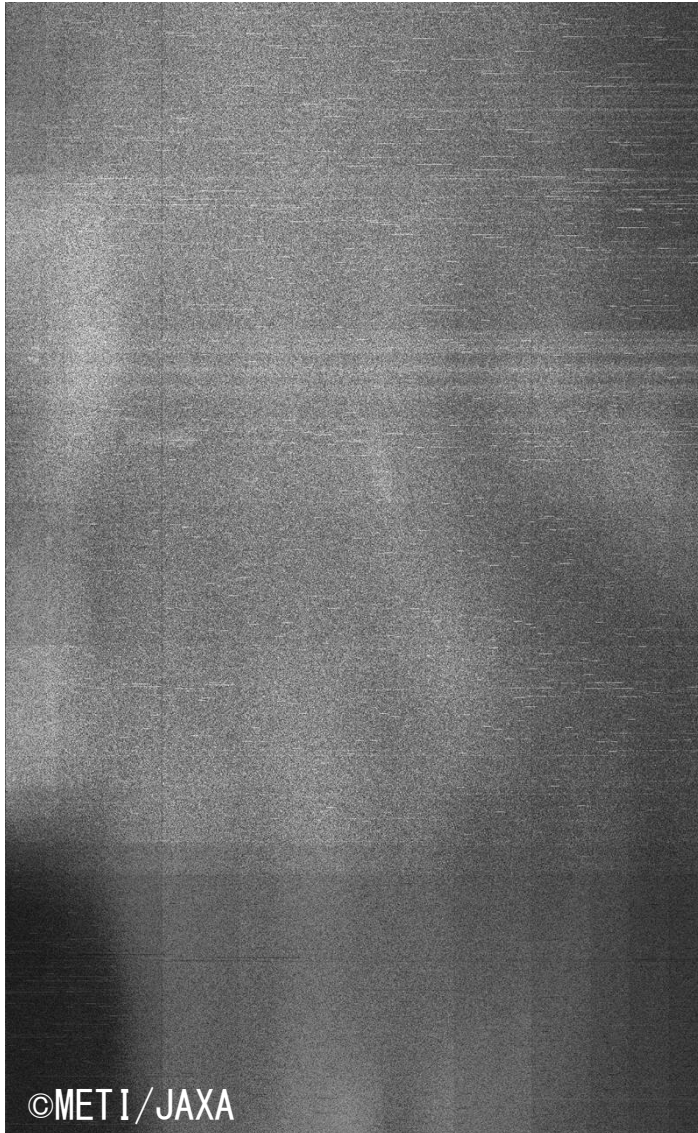
処理レベルの違いと観測画像

SARの処理レベルは、基本的に以下の3種類に分類される：

- ・ 生データ (RAW)
- ・ シングルルック複素データ (SLC)
- ・ マルチルック画像データ (MLI)

※呼び方が衛星により若干異なるので注意が必要

RAW（生）データ



RAW（生）データ

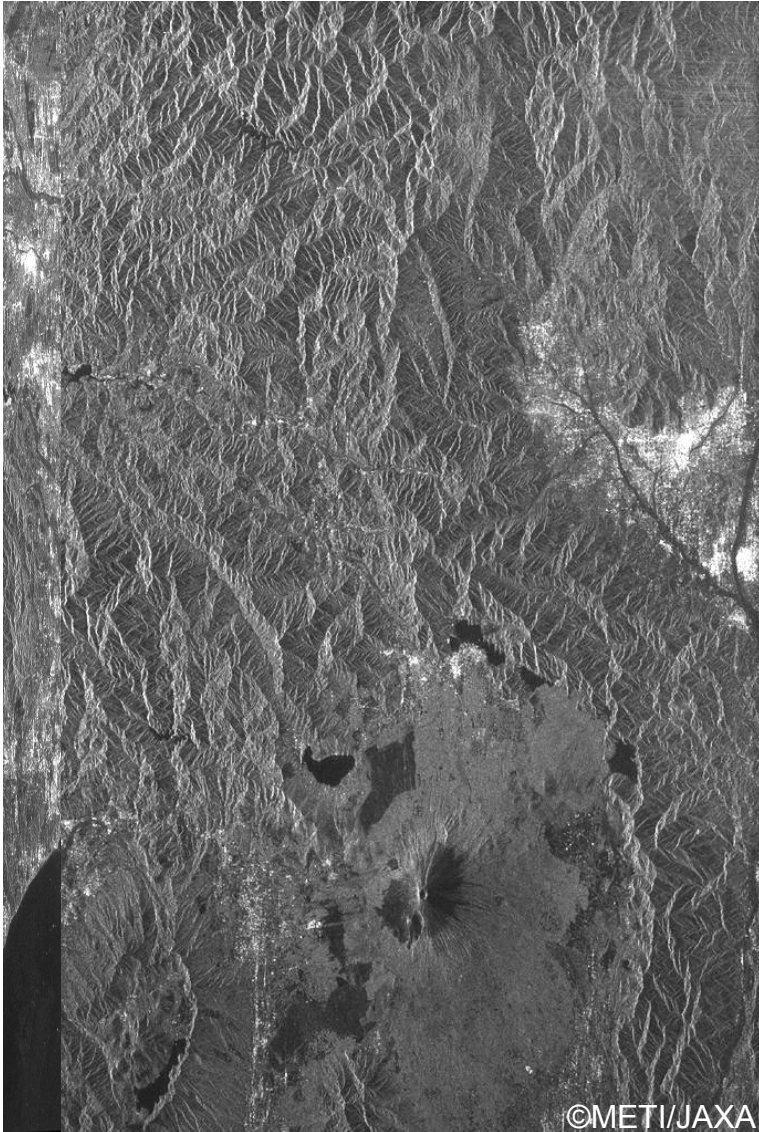
画像再生前の受信信号（画像になっていない）

複素数のデータであり、実部、虚部を含む。

左図は、複素数のデータの大きさを計算し、表示したものである。

$$a + bi \text{ の場合, } \sqrt{a^2 + b^2}$$

SLC (Single Look Complex) データ



SLC画像

画像再生処理を行った画像（レンジ圧縮，アジマス圧縮）

再生後の画像は複素数であり、実部、虚部のデータが格納されている。

マイクロ波散乱強度に加え，位相情報もデータとして保持している。

縦横それぞれの方向（レンジ方向とアジマス方向）の空間分解能が一致していないため，画像の縦横比が合っていない。

左図は，複素数のデータの大きさを計算し，表示したもの。

$$a + bi \text{ の場合, } \sqrt{a^2 + b^2}$$

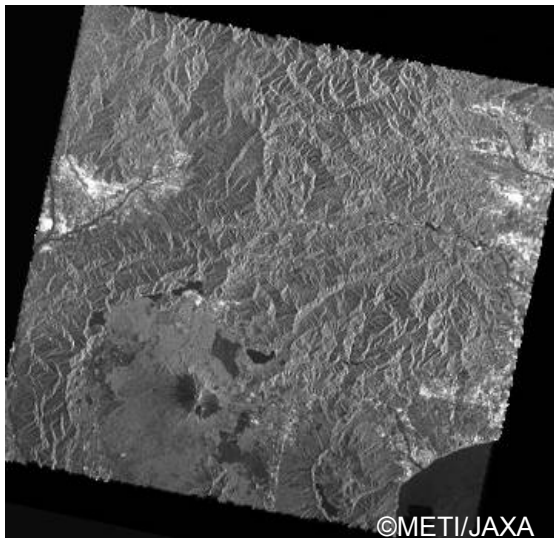
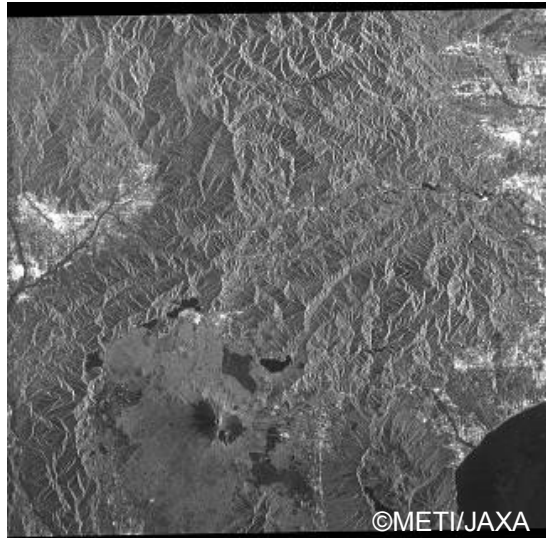
画像再生後のため，RAWデータと比較して、分解能が上がっている。

MLI (Multi Look Intensity) データ

PALSAR

L1. 5R画像

ジオリファレンス画像
Geo-Referenced



PALSAR

L1. 5G画像

ジオコーデッド画像
Geo-Coded

MLI画像

レンジ圧縮, アジマス圧縮といった画像再生後の画像

実際の地表面上の画素配列になっている。

地形による影響は未補正

画像は実数である。

SLCデータと異なり, 位相情報を含まない。

画像の一边が、衛星の進行方向と平行な画像をジオリファレンス画像, 南北方向と平行な画像をジオコーデッド画像と呼ぶ。

縦横 (レンジ, アジマス) 方向の画素の大きさは揃えられている

処理レベルの注意点

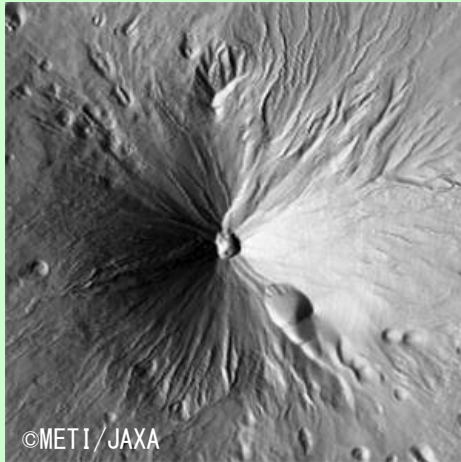
- SARデータには地図に載る画像荷なる前に再生, 前処理が必要となる。処理の段階によってRAW, SLC, MLIがある。
- RAW, SLCを画像化するには専用の処理ソフトが必要であるため, 画像を確認したいだけの場合にはMLIでないとあつかいづらい。

地形による影響

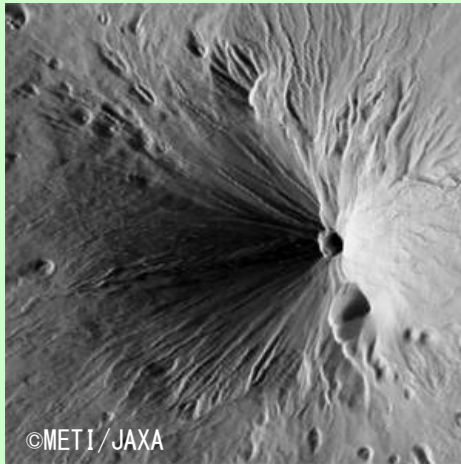
地形と観測システムに起因する歪み

ーフォアショートニング，レイオーバーー

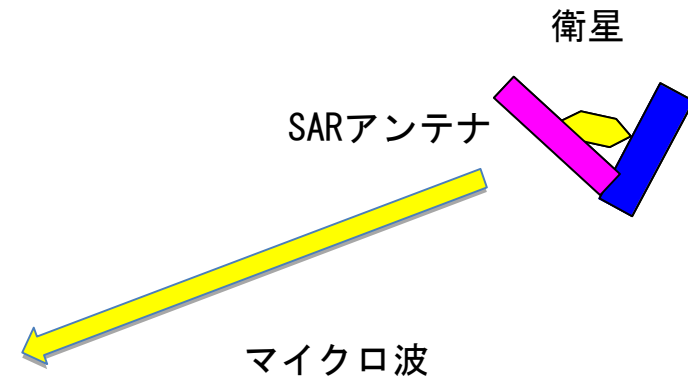
シミュレーション画像による比較



地図上の位置に投影



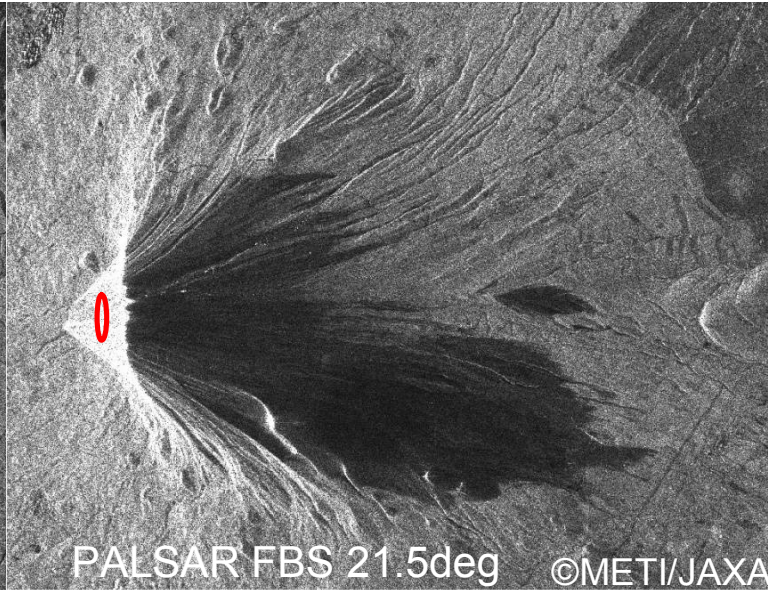
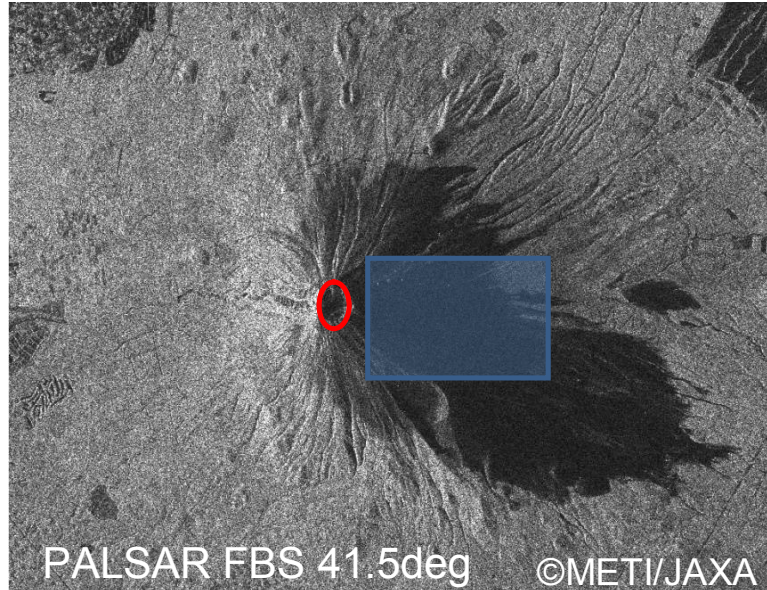
SAR画像の位置に投影



フォアショートニング，レイオーバーによる画像のひずみは、同位置から光学センサで観測した場合と逆方向に現れる。

地形と観測システムに起因する歪み

ーフォアショートニング，レイオーバー，レーダーシャドウの実例ー



青枠部：レーダーシャドウ域

赤丸部：フォアショートニング（左上）

レイオーバー（右上）

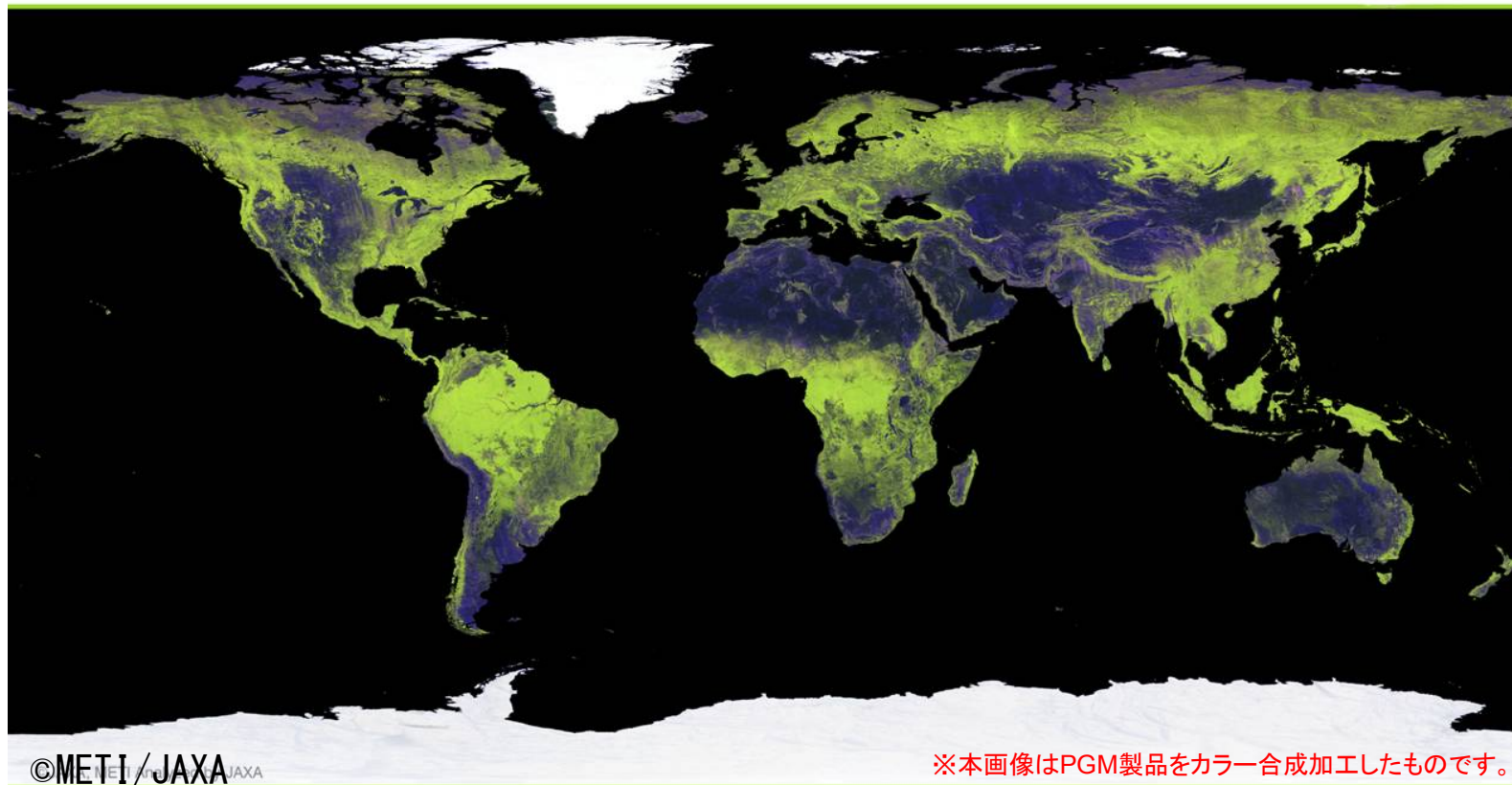
地形による影響の注意点

- 山岳地において、センサ側に地形が倒れ込む。
- 山岳地において、センサ側と反対側で輝度が異なる。
- 解析を行う場合、地形効果を取り除く処理が必要。

4. SARデータの取得 購入について

PALSAR全球オルソモザイクデータセット(PGM)とは

PALSAR 10m Global Mosaic 2009



1. PALSAR全球オルソモザイクデータセット(PALSAR Global Mosaic: PGM) は、全球をカバーする10 or 25m解像度のPALSARデータセットで、オルソ補正及びモザイク処理を施してあります。
2. PGMは、「タイル」単位のデータ(1度、偏波ごと)となっています。(3、4ページ参照)
3. 知的財産権は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)に帰属します。本製品は、JAXAからの受託により、RESTECが開発したものです。

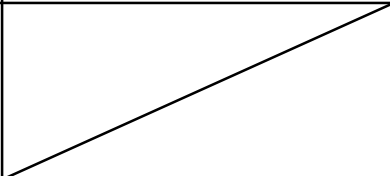
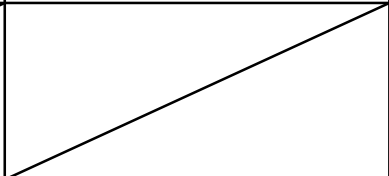
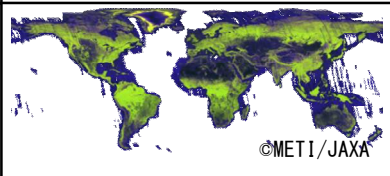
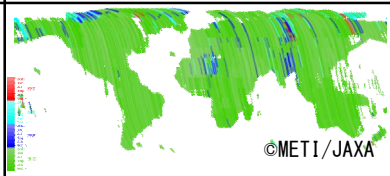
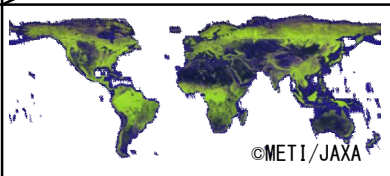
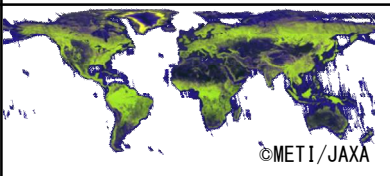
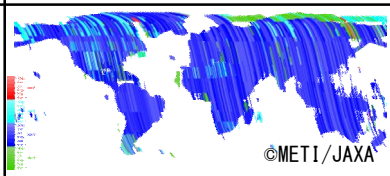
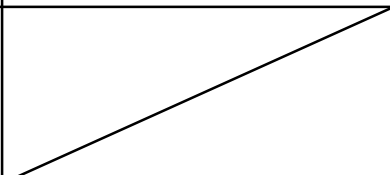
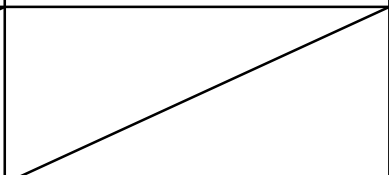
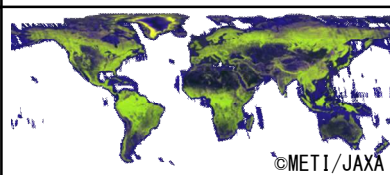
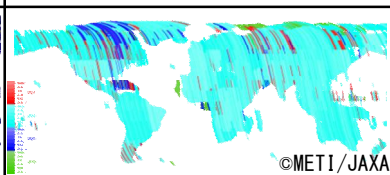
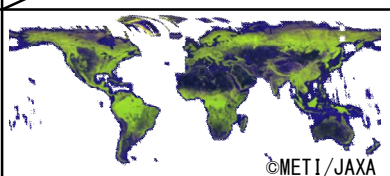
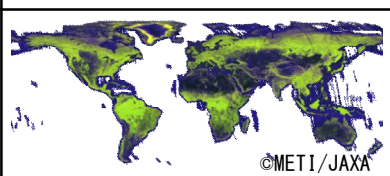
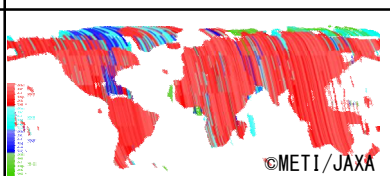
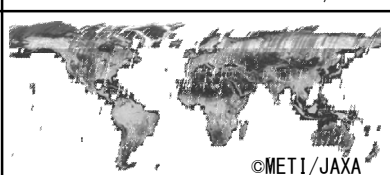
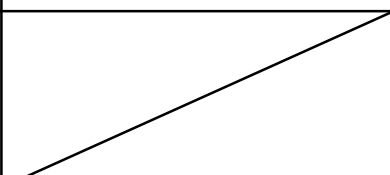
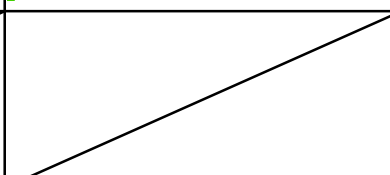
製品仕様

	仕様	備考
製品概要	PALSAR FBD (HH, HV)を使用したオルソ処理済み全球モザイクデータセット	・オフナディア角: 34.3度 ・オルソ補正用DEM:SRTM-3 (90m メッシュ DEM)を主に使用 ・JERS SAR (1992-1998、HH)によるモザイクデータセットも有
ピクセルスペーシング	緯度、経度とも約0.32秒 (緯度10m相当)	・緯度60度以上の地域では緯度約3.2秒、経度約3.2秒
	緯度、経度とも約0.8秒 (緯度25m相当)	
位置(ジオメトリック)精度	13m RMSE (1 σ)	・GPSにて決定されたコーナリフレクタ位置との比較*1
輝度(ラジオメトリック)精度	後方散乱係数0.76dB (1 σ)(元データ精度として*3)	・モザイク時にバス間の輝度差を最小化*1
斜面勾配補正	有 / 無(選択可能)*2	・有・無のいずれかを選択
測地座標系	ITRF97	・楕円体モデル:GRS80、ジオイドモデル:EGM96
地図投影図法	等緯度経度図法	
観測日	ピクセル毎に識別可能	・観測日ファイルに打上日からの通算日をピクセル毎に記載
販売単位	緯度1度×経度1度	・赤道付近において約100km四方 ・10m製品の一部の地域(緯度60度以上)は5度×5度単位での提供
画像フォーマット	GeoTIFF	・ワールドファイル(*.tif)は含まず ・Rawデータ とENVIヘッダーファイルでの提供も可能

根拠文献

- (*1)モザイク画像作成全般について : Shimada, M. and Ohtaki, T., Generating Large-Scale High-Quality SAR Mosaic Datasets: Application to PALSAR Data for Global Monitoring., IEEE J. OF SELECTED TOPICS IN APPL. EARTH OBS. AND REMOTE SENS., PP.637-656, VOL3. , NO.4, DEC, 2010
- (*2)オルソ変換、ジオメトリック精度について : Shimada, M., Ortho-Rectification and Slope Correction of SAR Data Using DEM and Its Accuracy Evaluation., IEEE J. OF SELECTED TOPICS IN APPL. EARTH OBS. AND REMOTE SENS., PP.657-671, VOL3. , NO.4, DEC, 2010
- (*3)PALSAR CALVAL全般について : Shimada, M. , et. AL., PALSAR Radiometric and Geometric Calibration, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, PP3915-3932, Vol47, Issue12, 2009

年別モザイクの他年データによる補完状況

	10m (0.32sec) resolution		25m (0.8sec) resolution	
	Browse	Filled gaps	Browse	Filled gaps
2010				
2009				
2008				
2007				
1992 -1998				

※ 各年において適切な観測データが無い場合は、他年の同時期のデータで補完しています。

**一般財団法人リモート・センシング技術センター
ソリューション事業部**

TEL: 03-6435-6789

E-mail: data@restec.or.jp



製作・編集 一般財団法人リモート・センシング技術センター

無断複製・転載を禁ず
