





# Global Environmental Monitoring by ALOS PALSAR 地球環境を捉える「だいち」

Science Results from the ALOS Kyoto & Carbon Initiative — ALOS 京都・炭素・観測計画から得られた科学的成果—





# Global Environmental Monitoring by ALOS PALSAR 地球環境を捉える「だいち」

Science Results from the ALOS Kyoto & Carbon Initiative —ALOS 京都・炭素・観測計画から得られた科学的成果—



### CONTENTS 目次 -

The ALOS Kyoto & Carbon (K&C) Initiative ……… 4 ALOS 京都・炭素観測計画について

The Advanced Land Observing Satellite (ALOS) …… 6 陸域観測技術衛星 (ALOS)

The Phased Array L-band Synthetic
Aperture Radar (PALSAR) ······7
フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)

The ALOS Basic Observation Scenario (BOS) ………8 ALOS の基本観測計画

### Mosaics モザイク

M-01 : Global 1	0
Generation of PALSAR 50 metre resolution globa mosaics	al
50m 分解能 PALSAR による全世界モザイクの作成	
M-02: Global // Wide-beam PALSAR ScanSAR mosaics ScanSAR による世界 4 か所のモザイク	2
M-03 : Africa	!4

A fine resolution wall-to-wall mosaic of the African continent アフリカ大陸を端から端まで高解像度画像で見る

```
ALOS/PALSAR モザイク画像で南北アメリカを見る
```

### Forests 森林

F-01 : South America ····· 18
Near Real Time Monitoring of Brazilian Amazon Deforestation
ブラジル、アマゾンの森林伐採を準リアルタイムで監視
F-02 : South America ····· 20
Deforestation Monitoring for Law Enforcement 法執行のための森林伐採監視
F-03 : South America 22
Detecting 14-year tropical forest change by ALOS and JERS-1
アマゾンやインドネシアに於ける森林伐採
F-04 : South America 24
Forest cover mapping and change detection in the
Xingu watershed, Mato Grosso, Brazil アマゾンのシングー川流域で森林の変化を捉える
F-05 : Australia 26
Estimation of vegetation above-ground biomass in Queensland, Australia
オーストラリア、クイーンズランド州の地上植生バイ オマス量を算定
<b>F-06 : Australia</b>
Mapping and characterization of woody regrowth, Oueopsland Australia
ducensiand, Australia オーストラリア、クイーンズランド州での木の再成長 マッピング
F-07 : Southeast Asia 30
Wide area land cover mapping of Borneo ボルネオの広域土地被覆マッピング

F-08 : Southeast Asia ..... 32

Consistent land cover change monitoring in Borneo ボルネオで土地被覆の変化を連続して監視

F-09 : Southeast Asia ····· 3	4
Mapping of Land Cover in Riau Province, Sumatra	a,
Indonesia	
インドネシア、スマトラのリアウ州の土地被覆マッピンク	ブ

#### F-10 : Southeast Asia ..... 36

Mapping deforestation in Sumatra using multitemporal ALOS ScanSAR data ALOS/ScanSARデータでスマトラ島の森林伐採をマッ ピング

F-11: Southeast Asia ······ 38
--------------------------------

Forest logging and tree plantations in Vietnam ベトナムの森林伐採と植林

F-12: Africa 40
Land cover and topographic mapping at national scale
in Malawi
マラウィ全土の土地被覆と地形図

F-13: Africa 42 Using ALOS PALSAR for timber volume estimation in forest plantations in South Africa ALOS/PALSAR を南アフリカの森林植林地樹木量推 定に利用

F-14 : Europe ..... 44

National clear-cut mapping in Sweden スウェーデンにおける森林伐採

F-15 : Asia	46
Boreal Land Cover and Forest Structure Mapping 針葉樹林の土地被覆と森林構成のマッピング	

F-16 : Asia		48
-------------	--	----

Mapping 10-year changes in forest biomass in Central Siberia

中央シベリアにおける森林バイオマス量の10年間の変化

### Wetlands 湿地帯

W-01 : South America ..... 50

Wetland management and wild life protection in the Pantanal パンタナル湿原の管理と野生生物保護

### W-02 : South America ..... 52

ALOS reveals regional-scale effects of La Niña 2008 ALOS が明らかにしたラニーニャ現象

### W-03 : South America ..... 54

Habitat mapping for biodiversity and conservation on the Amazon floodplain アマゾン氾濫原の生物多様性と保護のための生息環境 マッピング

### W-04 : South America ..... 56

Regional inundation mapping for carbon cycle, hydrologic, and climate modeling in the Amazon basin アマゾン川流域の炭素循環、水循環、気候モデリング のための浸水マッピング

W-05 : Africa	58
---------------	----

Mapping of threatened wetlands along the Nile River ナイル河畔の危機に瀕した湿地帯のマッピング

W-06 : Afri	a ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	60
-------------	--	----

Mapping wetlands in Africa to improve understanding of wetland-livelihood interactions Lake Urema, Mozambique 湿原と生活環境を理解するためにアフリカ湿地帯の マッピング、モザンビーク・ウレマ湖の事例

Flood duration mapping in the Congo River Basin コンゴ川流域における洪水域と期間の把握

W-08 : Australia ······ 64

Structural mapping of Australian mangroves オーストラリアのマングローブの構造マッピング 

#### 

Wetland extent, inundation patterns and vegetation change in the Greater Mekong Basin メコン川流域の湿地帯の浸水パターンと植生変化

#### W-11 : Southeast Asia ..... 70

Mapping of peat swamp forests in Indonesia インドネシアの泥炭湿地林のマッピング

#### W-12: Southeast Asia ..... 72

Mapping Rice Agro-Ecological Conditions to Track Avian Influenza 稲作と生態状況のマッピングで鳥インフルエンザを追跡

ScanSAR Imagery ALOS ScanSAR 画像で稲作農業をマッピング

### 

Assessing climate change and greenhouse gas emissions from rice crops. 気候変動と温室効果ガス排出を米作から見る

### W-15: North America ..... 78

Mapping wetland ecosystems across Alaska アラスカでの湿地帯エコシステムのマッピング

### 

Estimates of lake size distribution and carbon burial across the Canadian landscape カナダ全域の湖での炭素埋蔵と分布の予測

### Deserts 砂漠

D-1 : Africa
Mapping of sub-surface geology in Sahara to support
water prospecting
水源確保のためのサハラ砂漠地下のマッピング

Keyword INDEX ·····	84
キーワードインデックス	

# The ALOS Kyoto & Carbon (K&C) Initiative ALOS 京

### PREFACE はじめに

Masanobu Shimada, Manager ALOS Science Program Ake Rosenqvist, K&C Initiative Science Coordinator

This booklet presents results obtained within the ALOS Kyoto & Carbon (K&C) Initiative. The Initiative builds on the experience gained from the JERS-1 Global Rain Forest and Boreal Forest Mapping (GRFM/GBFM) projects, in which SAR data from the JERS-1 satellite were used to generate image mosaics over the entire tropical and boreal zones of Earth. While the GRFM/GBFM projects were undertaken already in the mid 1990's, they demonstrated the utility of L-band SAR data for mapping and monitoring forest and wetland areas and the importance of providing spatially and temporally consistent satellite acquisitions for regional-scale monitoring and surveillance.

The ALOS K&C Initiative is set out to support data and information needs raised by international environmental Conventions, Carbon cycle science and Conservation of the environment. The project is led by JAXA EORC and supported by an international Science Team consisting of some 25 research groups from 14 countries.

The objective of the ALOS K&C Initiative is to develop regional-scale applications and thematic products derived primarily from ALOS PALSAR data that can be used to meet the specific information requirements relating to Conventions, Carbon and Conservation. The Initiative is undertaken within the context of three themes which relate to three specific global biomes; Forests, Wetlands and Deserts. A fourth theme deals with the generation of continental-scale ALOS PALSAR image mosaics. Each theme has identified key products that are generated from the PALSAR data including land cover, forest cover and forest change maps, biomass and structure (Forests), wetlands inventory and change (Wetlands) and freshwater resources (Deserts). Each of these products are generated using a combination of PALSAR, in situ and ancillary datasets.

The mosaic data sets and thematic products generated within the Initiative are available to the public at the K&C homepage at JAXA EORC: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kyoto/kyoto\_index. html

### ALOS 京都・炭素観測計画について

島田 政信(ALOS 解析研究プロジェクトマネジャー) オーケ・ローセンクイスト(京都 炭素観測計画 コーディネータ)

本冊子は ALOS 京都・炭素観測計画プロジェクトで得られた 成果を示しています。この計画は JERS-1(Japanese Earth Resource Satellite-1、地球資源衛星1号「ふよう1号」)衛星を 用いた全球熱帯雨林及び北方林マッピングプロジェクトを基本に、 JERS-1 から ALOS/PALSAR データを用いて地球の全熱帯、北方 圏をカバーするモザイク画像として作成しました。

全球熱帯雨林と、北方林マッピングプロジェクトは、1990年代 の半ばから2000年前半にかけて実施されたものですが、本プロジェ クトでは ALOS の長波バンドの SAR データを森林や湿原の監視に 活用し、衛星を使った継続的な空間的、時間的な監視や警戒が地域 的スケールで重要だということが明らかになりました。

ALOS 京都・炭素観測計画は、環境保全、炭素循環などの国際環 境に関する会議により取り上げられたニーズに対して、科学的な情 報を提供するために作られました。本事業は JAXA EORC が先導し、 14 か国からの 25 の研究グループからなる国際的な科学者のチーム がそれをサポートしました。

このプロジェクトの目的は、炭素循環と保護管理の国際会議からの要請に基づき、ALOS PALSARのデータを特殊な情報を得るために使用するというテーマにそって行われました。

観測計画は、森林、湿地帯、砂漠という3分野での地球規模のバイ オマスをテーマにして実施し、第4のテーマは、ALOS PALSAR のモザイク画像の大陸規模での実施使用としています。その内容は、 土地被覆、森林植生、森林変化マッピング、バイオマスと構成(森林)、 地球規模の湿原調査と変化(湿地帯)、水資源(砂漠)という4分野 です。

本書で紹介している、個々の結果は PALSAR データと副次的な データの組み合わせを使って作成しました。モザイクデータは本事 業の目的に沿い、JAXA EORC の京都・炭素観測計画ホームページ にも公開されています。

http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kyoto/kyoto\_index.html

# The Science Team



6th ALOS Kyoto & Carbon Science Team meeting Tokyo, Japan (March, 2005)

第6回京都·炭素計画チーム会議 2005年3月 於:東京



9th ALOS K&C Science Team meeting Tsukuba, Japan (January, 2009) 第9回京都・炭素計画チーム会議

2009年1月 於:筑波



2nd JERS-1 SAR Global Forest Mapping project meeting Pasadena / California, USA (November, 1997)

第2回 JERS-1 SAR 地球森林マッピングプロジェクト会議 1997年11月 於:カリフォルニア・パサディナ



5th JERS-1 SAR Global Forest Mapping project meeting Fairbanks / Alaska, USA (March, 2001) 第5回 JERS-1 SAR 地球森林マッピングプロジェクト会議 2001年3月 於:アラスカ・フェアバンクス



6th JERS-1 SAR Global Forest Mapping project meeting Cairns, Australia (April, 2002)

第6回 JERS-1 SAR 地球森林マッピングプロジェクト会議 2002 年 4 月 於:オーストラリア・ケルン

# The Advanced Land Observing Satellite (ALOS) 陸域観測技術衛星 (ALOS)

The Advanced Land Observing Satellite (ALOS), also known as "Daichi", was launched by JAXA with an H-IIA rocket from Tanegashima Space Centre on January 24, 2006. ALOS carries three remote sensing instruments: the along-track 2.5 metre resolution Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM), the 10-metre resolution Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer 2 (AVNIR-2), and to maintain Japan's commitment to spaceborne L-band SAR, the Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR).

ALOS was placed in a sun-synchronous orbit at 691 km, with a local equator pass time at about 10:30 and 22.30, in descending and ascending directions respectively. With a 46-day repeat cycle and 14+27/46 revolutions per day, ALOS requires 671 passes to complete a full global coverage. For temporary on-board data storage, ALOS is equipped with a 96 Gbyte High-speed Solid State Recorder (HSSR), which serves all three instruments. The Hatoyama Earth Observation Center (EOC) constitutes the main ground station for data downlink from ALOS. The majority of the data from ALOS are transmitted via the Data Relay Test Satellite (DRTS), which stationed in a geostationary orbit over the Indian Ocean at E90°.

ALOS can be considered a pathfinder mission for global environmental monitoring, both due to advanced instruments, and in particular the PALSAR, but also due to the systematic data acquisition strategy (BOS) which has been implemented. The BOS has been designed to provide consistent, wall-to-wall observations at fine resolution of all land areas on the Earth on a repetitive basis, in a manner which has earlier been conceived only for coarse and medium resolution instruments.

Figure 1: The launch of ALOS. Tanegashima Space Center, January 24, 2006.

図1:ALOS 打ち上げ。2006 年 1 月 24 日、種 子島宇宙センター

Figure 2: The Advanced Land Observing Satellite (ALOS). Inset (top right): The Data Relay Test Satellite (DRTS) which is used for data transmission between ALOS and the ground receiving stations in Japan.

図2:陸域観測技術衛星(ALOS)挿入図(右上): データ中継技術衛星(DRTS) ALOSと日本の地上 データ受信局間のデータ中継をしています。 陸域観測技術衛星 ALOS(ADVANCED LAND OBSERVING SATELLITE) は、「だいち」の愛称で呼ばれています。 2006年1月24日に種子島宇宙センターからH-IIA ロケッ トに搭載して、JAXA により打ち上げられました。「だいち」 には3つのセンサが搭載されています。パンクロマチック立 体視センサの PRISM は 2.5m 分解能の光学センサ、高性能 可視近赤外放射計2型の AVINIR-2は10mの分解能の光学 センサ、Lバンド SAR のフェーズドアレイ方式Lバンド合 成開ロレーダ(PALSAR)は10mの分解能での映像レー ダです。

ALOS は、691km の高さの太陽同期軌道を飛び、赤道上 空を現地時間の午前 10:30 分と午後 22:30 分に通過しま す。回帰日数は 46 日で、1日に 14 + 27/46 回地球の周 りを周回しながら、671 周回で地球全体を完全にカバーし ます。衛星上でのデータの一時保存には、96 ギガバイトの 高速ソリッドステートレコーダ(HSSR)装置をもちい、3 つのセンサを支えています。鳩山受信局(EOC)が ALOS からのデータを地球に伝えるキーステーションの役目を果た しています。インド洋上の東経 90 度にある地球静止軌道上 にある、データ中継技術衛星(DRTS)を経由して、主要デー タが転送されます。

PALSAR に特徴的な高度な機能を持ち、体系的なデータ 取得計画(BOS)が実施されているため、ALOS は地球環 境監視のための先駆的役割を担うと考えられます。BOS は、 地球全体を繰り返し、高解像度で隅から隅まで一貫して観察 するように設計されていますが、これまでは、中解像度のセ ンサーのためだけに考えられてきたものでした。



#### ALOS CHARACTERISTICS ALOS 主要諸元

	Characteristics 特性
	24 January, 2006 2006 年 1 月 24 日
aunch 場所	Tanegashima Space 種子島宇宙センター
ht Center	約4トン
	約7kW(寿命末期)
	3~5年
	Polar, sun synchronous 太陽同期 準回帰軌道
Altitude 高度	691.65 km(赤道上空)
Inclination 軌道傾斜角	98.16 deg. 98.16 度
Recurrence cycle 回帰日数	46 days (2 days sub-cycle) 14 <sup>27</sup> / <sub>46</sub> rev./day; 671 rev./cycle 46 日(サブサイクル 2 日) 14 + 27/46 自転、671 走査
Orbital control (target) 軌道調整(目標値)	Cross-track<+/- 500 m Height < +/-500 m クロストラック < +/- 500 m 高度 < +/-500 m
姿勢決定精度	2.0x 10-4°以内(オフライン、GCP あり)
位置決定精度	1m以内(オフライン)
d Solid order (HSSR) ッドステートレコーダ	Capacity: 96 Gbytes Data rate: 360 Mbps (recording) 240 Mbps (playback) 容量 96 Gbytes データ伝送速度 記録時 360 Mbps 再 生時 240 Mbps
mission: 送速度 intenna ドアンテナ itenna :アンテナ	240 Mbps (via Data Relay Test Satellite, DRTS) 120 Mbps (direct down-link) 240 Mbps (データ中継衛星経由) 120 Mbps (直接送信モード)
ay Paddle アレイパドル	3 m x 22 m, 9 segments 3 m x 22 m, 9 セグメント
l power	8.5 kW (at launch) 8.5 kW(打ち上げ時)
	日 aunch 場所 ht Center Altitude 高度 Inclination 軌道傾斜角 Recurrence cycle 回帰日数 Orbital control (target) 軌道調整 (目標値) 袋勢決定精度 位置決定精度 位置決定精度 位置決定大精度 do Solid order (HSSR) ッドステートレコーダ

# The Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR)

The Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) is an enhanced version of the SAR instrument onboard the Japanese Earth Resources Satellite (JERS-1: 1992-1998). It is a fully polarimetric instrument, which operates in L-band with 1270 MHz (23.6 cm) centre frequency. The radar antenna consists of four panel segments, with a total size of 3.1 by 8.9 m.

PALSAR can be operated in five different observation modes: Fine Beam Single polarisation (FBS), Fine Beam Dual polarisation (FBD), Polarimetric mode (POL), Wide Beam (ScanSAR) mode and Direct Transmission (DT) mode. Out of the 72 alternative Fine Beam modes available, two have been selected for operational use: FBS with HH polarisation,  $34.3^{\circ}$  off-nadir angle and 28 MHz bandwidth, and FBD with HH+HV polarisation,  $34.3^{\circ}$  off-nadir angfle and 14 MHz bandwidth. The swath width is 70 km and the ground resolution 10x10 m (FBS) or 10x20 m (FBD). The  $34.3^{\circ}$  off-nadir angle corresponds to an incidence angle range of  $36.6^{\circ} - 40.9^{\circ}$  from near to far range.

The wide-swath ScanSAR mode most commonly used operates with a single (HH) polarisation, 14 MHz bandwidth and approximately 100 m ground resolution. It features a 350 km swath width with an incidence angle range varying from 18.1° to 43.0°. In PALSAR ScanSAR mode, only one in every three passes is acquired under normal operations (1, 4, 7, etc.) to minimise conflicts with the optical sensors. This reduced acquisition sequence however still provides

full (50%) swath overlap at the Equator.

Within the Kyoto & Carbon Initiative, the PALSAR Fine Beam data are processed by JAXA (using the JAXA Sigma-SAR processor) to 50 meter resolution path image products, and provided to the K&C Science Team members for analysis. フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR) は、日本の地球資源観測衛星(JERS-1: 1992-1998)に 搭載された SAR をさらに性能向上したものです。PALSAR は多偏波を持つレーダであり、Lバンドの周波数は 1270 MHz (23.6 cm)です。4つのパネルから構成されるアンテ ナは 3.1m x 8.9m の大きさがあります。

PALSAR は5つの異なった観測モードで運用することが できます。すなわち、単偏波高分解能モード(FBS)、二偏波 高分解能モード(FBD)、多偏波モード(POL)、ScanSAR モー ド、及び直接伝送モード(DT)です。72の選択肢のあるファ インビームモードの中から、2つが実際の運用に選択されて います。HH 偏波を持ち、オフナディア角が34.3°で、バン ド幅は28 MHzのFBSと、HHとHV偏波を持ち、オフナディ ア角が34.3°で、バンド幅は14 MHzのFBDです。観測幅 は70kmで、地上分解能はFBSで10×10m、FBDでは 10×20mです。34.3°の中心オフナディア角を持つビーム はは36.6°-40.9°の入射角の領域を観測します。

広域観測モードの ScanSAR は、単偏波 (HH) の 14 MHz バンド幅で、およそ 100 m の地上分解能があります。特徴 としては、350 km の観測幅をもち、そのなかで入射角は 18.1°から 43.0°に変わります。PALSARの ScanSAR モー ドは、観測幅が広いので、パス間引きで運用され(例えば、 3パス毎に1パスの運用)、光学センサとの競合を最小化して います。

京都・炭素観測プロジェクトの中では、PALSARのファ インビームデータや ScanSAR データを、JAXA が Sigma-SAR プロセッサを用いて全数処理し、50 m 分解能画像に 直して、K&C サイエンスチーム用に提供しています。



Figure 1: Deployment of the PALSAR antenna in space 図1:宇宙での PALSAR のアンテナ配置



	ALOS PALSAR
Antenna size	8.9 m x 3.1 m
アンテナサイズ	
Centre frequency	1270 MHz / 23.6 cm
中間周波数	
Chirp band width	28 MHz (FBS, ScanSAR long burst)
バンド幅	14 MHz (FBD, POL, ScanSAR short burst)
Transmission peak power	2 kW
Pulse Repetition Frequency	1500 – 2500 Hz (discrete stepping)
パルス反復周波数	1000 2000 III (diserve stepping)
Image modes	Fine beam mode (FBS_FBD):
muge modes 画像モード	· Single polarization (HH or VV)
	· Dual pol (HH/HV or VV/VH)
	Polarimetric mode (POL):
	· Ouad-pol (HH/HV/VH/VV)
	ScanSAR mode:
	· Single polarization (HH or VV)
	· No sub-beams: 3.4 or 5
	· Short (14 MHz) or long (28 MHz) burst
	Direct Transmission mode (DT):
	· FB single pol (14 MHz)
	· ScanSAR (14 MHz)
Dit quantization	5 bite
Bit quantisation ビット数	5 0115
Swath width	$70 \text{ km}$ (EBS_EBD @ $34.3^{\circ}$ )
新加加	$30 \text{ km} (\text{POL} @ 21.5^\circ)$
	360  km (102  (a) 21.5)
	Soo kiii (ScanSAR 3-bealii)
Off-nadir angle	Variable: FBS/FBD: 9.9°-50.8°
オフテティア月	POL: 9.7°-26.2°
	Fixed: ScanSAR: 20.1°-36.5° (beam 1-5)
Look direction	Right
万回	
Ground resolution	10 m x 10 m (FBS @ 34.3°)
地上分解能	20 m x 10 m (FBD @ 34.3°)
Rg (1 look) x Az (2 looks)	31 x 10 m (POL @ 21.5°)
	~71-157m (4 look) x 100m (2 look)
	(ScanSAR 5-beam)
Data rates	240 Mbps (FBS, FBD, POL)
データ数値	120 Mbps (DT, ScanSAR)
Yaw steering	Yes (near-zero Doppler)
偏揺れ角操作	

### The ALOS Basic Observation Scenario (BOS)

Apart from the unique configuration of the PALSAR sensor, being the only orbital L-band SAR instrument in operation, ALOS features an entirely new acquisition concept, aiming at producing spatially and temporally consistent coverages of the planet on a repetitive basis, to accommodate systematic globalscale, fine-resolution, monitoring of the environment.

JAXA has acknowledged the critical need for consistent satellite data over extensive regions and allowed the establishment of an unprecedented, global systematic acquisition strategy - the Basic Observation Scenario (BOS) - in support of the science goals for the ALOS mission. Unlike the common background missions defined for most Earth Observation satelites, the ALOS BOS has been implemented as a top-level foreground mission with a priority second only to that of special observation requests and emergency observations (e.g. earthquakes, natural disasters) and sensor calibration/validation.

In operation since late 2006, the BOS has resulted in a comprehensive and homogeneous global archive of PALSAR, PRISM and AVNIR-2 data, in which a consistent time-series for data can be found for any arbitrary point or region on Earth. Previously, such consistent data archives existed only for coarse resolution satellites.

The Basic Observation Scenario is particularly effectual for the PALSAR sensor, which has the great advantage of not being constrained by clouds or haze. The PALSAR BOS was designed to fulfil the following general acquisition concepts:

- Spatial consistency: Continuous wall-to-wall acquisitions over continental areas.
- Temporal consistency: Each regional acquisition performed during limited time windows to maximise seasonal homogeneity in each wall-to-wall coverage
- Revisit frequency: Semi-annual repetition to accommodate systematic monitoring of bio- and geophysical changes.
- Timing: Acquisitions performed during the same time period(s) every year to minimize temporal bias.
- Sensor consistency: Selection of a limited number of operational default modes to maximize data homogeneity and minimise programming conflicts.
- Mission-term continuity: Strategy operations until the end of the ALOS mission life.

The ALOS BOS is refined on a continuous basis and the latest plan updates are available for viewing at the JAXA EORC homepage: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/overview.html

### ALOS の基本観測計画

世界で唯一の衛星用LバンドSAR (PALSAR)を搭載した ALOS (「だいち」) は、衛星のデータ取得能力がこれまでの衛星に比べて飛躍的に増えているという こともあり、その観測計画には新しい特徴があります。

全体として観測計画は様々な利用者の要求を満たすように作られていますが、 特に、地球環境監視に関して、時期的にも空間的にも均質な地球観測データの取 得を目的としたものとなっています。具体的には、地球全球をいくつかのブロッ クに分け、ブロック毎にほぼ同じ時期に観測し、それを順次広げることで最終的 に全球観測に仕上げるというものです。これにより時期的に均質なデータを得る ことができます。また、地上分解能が高い為に空間的にも高分解能が保証されます。 最低でも一年に二回は全球を観測します。勿論、緊急観測、検証を優先した観測、 一般利用者の観測も考慮されます。このような、基本的な観測計画を「基本観測 計画」BOS と称して、打ち上げ前に用意しました。

2006 年後半から運用された BOS は、PALSAR や、PRISM、AVNIR-2 のそ れぞれのセンサーを活用し、全球規模でのデータを取得できるようになりました。 基本観測計画は、雲や降雨中でも観測できるという性能を持つ PALSAR には 特に効果的です。ALOS BOS は下記に示すような特徴があります。

- ・空間的一様性:大陸規模で隅から隅までのデータを取得できます。
- ・時間的一様性:季節的に均質なデータを取得できます。
- ・観測頻度:生物学的、地理学的に体系的モニタリングを行う為にも、半年毎 に繰り返してデータを取得します。
- ・観測時期:毎年同一時期に観測を行うことで、時間的誤差を最小限にします。
- ・センサー間の競合:3センサー間の競合を最小限にして、データ取得効率を 高めています。
- ・観測の継続性:ALOS のミッションが終了するまで、観測計画の運用は継続 を考慮します。

ALOS BOS は観測運用会議の決定事項を反映しながら、定期的に改良されて、最 新計画は下記の JAXA 地球観測研究センターのホームページで見ることができます。 http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/overview.html



Figure 1: Systematic acquisitions through the PALSAR Basic Observation Scenario (BOS). Cloud-free continental PALSAR coverage acquired during short time window (July 28 – Sep 11, 2009).

図1: PALSAR 基礎観測計画(BOS)で体系的に取得。PALSAR が短期間の観測で取得した大陸規模の画像。 (2009年7月28日-9月11日)

# Global



Mosaics モザイク

\*\* This work has been undertaken by Masanobu Shimada (JAXA EORC), Takahiro Otaki and Daisuke Sango (RESTEC) within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative.

本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで、島田 政 信 (JAXA 地球観測研究センター、 EORC),大滝崇裕、三五大輔(リ モートセンシング技術センター、 RESTEC)が実施しました。 Generation of PALSAR 50 metre resolution global mosaics

Contributed by: Masanobu Shimada, JAXA EORC

Calibration and validation of the ALOS PALSAR sensor, which was conducted after the ALOS launch in 2006, reported that PALSAR imagery have high geometric accuracy (9.7 m Root Mean Square Error), and that the radiometric accuracy and stability are high. PALSAR has the capacity to perform acquisitions during almost 70% of every (100 minute) orbit, and by downlinking the acquired data via the Data Relay and Tracking Satellite (in geostationary orbit over the Indian Ocean), some 1500 scenes can be received at the JAXA ground stations every day.

The global systematic acquisition strategy that is implemented for ALOS, (also referred to as the Basic Observation Scenario, BOS) provides full coverage of the global land surface twice per year, summer and winder (or dry and wet seasons) at resolutions of 10 metres at single (HH) polarisation and 20 metres at dual (HH+HV) polarisation. Since ALOS was declared operational in October 2006, JAXA has (as of June, 2010) collected full fine resolution coverages over the Earth land surface more than 20 times.

JAXA EORC is using these extensive data for research activities within the framework of the Kyoto & Carbon Initiative, including for example forest/ non-forest classifications, biomass estimation and monitoring of environmental changes. An important task for JAXA is the generation of fine resolution mosaic data sets, ortho-rectified using Digital Elevation Models to correct for topographic effects. The figures illustrate samples of the continental-scale mosaics generated by JAXA. The mosaics are generated from the full-resolution PALSAR data, but provided at 50 m spatial resolution to improve radiometric quality and reduce memory space.

Figure 1 shows a 50 m resolution, dual polarisation (HH+HV) mosaic covering the entire Southeast Asia and Papua New Guinea, using data acquired in 2007 (SE-Asia) and 2008 (PNG). To create the colour composite, the HH channel is displayed in red, HV in green and the HH/HV ratio in blue. Since the HV polarisation is particularly sensitive to backscattering from the forest canopy, forest areas appear green in the mosaic. Lower vegetation and non-forest appear darker, often in purple colours. Figures 2-4 show mosaics generated over Australia, using data acquired in 2008, and over Central Africa and northern South America, using data acquired in 2009. All mosaics are generated at 50-metre resolution, and they can be enlarged to show fine details about the land cover.

### 50m 分解能 PALSAR による 全世界モザイクの作成

寄稿:島田政信(JAXA/EORC チーム)

ALOS/PALSARは、衛星打ち上げ後に実施された校正検証の結果、1) 画像の幾何学精度が9.7m以下と良好なこと、2) ラジオメトリック精度や センサの安定性も高いことがわかりました。PALSARは長時間観測(1軌道 当り最大70分)が可能で、インド洋上空に浮かぶデータ伝送衛星(DRTS) を用いて、一日当り1500シーン程度のデータを取得可能であり、2006 年10月以降、全球森林観測を目的とした観測を続けてきました。一年あた り、夏期と冬期の二回に全球を観測し、それを50m分解能のオルソ画像(あ るいは勾配補正画像)に変換し、森林分類や高次処理の為のデータ蓄積を行 うものです。

これまでに、地球を 20 回観測するほどのデータが集まり、今は、その高 次解析研究としての森林/非森林の抽出やその炭素量への変換の研究を進め ています。ここに紹介するのは、そのうちの基本データセットであるモザイ ク画像例(JAXA/EORC 作成分)です。

- 東南アジアモザイク: JAXA/EORCでは東南アジア領域を2007年以降、50メートルモザイク画像を順次作成中です。以下に示すのはそのうちの2009年に作成したものです。図1は、西はスマトラから、東はパプアニューギニア(2008年)、北はインドシナ半島を含んでいます。R:HH,G:HV,B:HH/HVで3色合成しています。HV は森林樹幹部からの信号を表す為に、緑に見えるところは森林部を表します。暗く見えるところは HH も HV も共に暗いところで、森林が少ないところを表します。
- オーストラリアモザイク:同様にオーストラリアのモザイクを作成したものを図 2に示します。2008年夏期の画像です。
- 3. 中央アフリカのモザイク:同様に 2009 年の中央アフリカのモザイクです。
- アマゾンモザイク:2009年の50メートルモザイク画像であり、画像拡大を することで、詳細な地形情報が得られます。特にブラジル南部で特徴的な暗いパ ターンが多く見られますが、森林伐採に直結しています。

注) 幾何学精度:衛星軌道情報、時刻情報等から得られた画像の各ピクセルの位置情報の精度のことを言います。単位はmです。

ラジオメトリック精度:SAR が観測する観測対象物の反射係数の計測精度のことを言います。 単位は dB(デシベル)です。



Figure 1: ALOS PALSAR 50 m resolution mosaic over Southeast Asia (2007 data) and Papua New Guinea (2008 data).

図1:2009年東南アジアモザイク(PNGは2008年)



Figure 2: The Australian continent in 2008 at 50-metre resolution. 図2:オーストラリアモザイク、2008 年



Figure 3: Central Africa in 2009. 図3:中央アフリカモザイク、2009 年



Figure 4: Northern South America and the Amazon in 2009. 図4:アマゾンモザイク、2009 年



Mosaics

モザイク

### Wide-beam PALSAR ScanSAR mosaics

Contributed by: Masanobu Shimada, JAXA EORC

The ALOS PALSAR sensor can operate in different acquisition modes. The most common is the Fine Resolution Beam mode, which can provide one or two polarisation channels (HH and/or HV) at a ground resolution of around 10 - 20 metres with a 70 km swath width. Another useful mode is the ScanSAR, which features a single polarisation only (HH) and a reduced ground resolution of around 100 metres, but has the advantage of providing an extended imaging swath of 350 km, i.e. five times that of the Fine Beam. This makes the ScanSAR mode very suitable for high-repetition monitoring over large areas, for instance for rapid detection of deforestation, or for monitoring of changes in flooding extent in seasonally inundated wetlands.

Figure 1 shows a ScanSAR mosaic over the western part of Southeast Asia. Thanks to the wide imaging swath, this area of 2500 km width can be covered with only seven orbits. The light and dark intensity variations visible in each path are caused by the large incidence angle variation  $(17^{\circ} \sim 42^{\circ})$  between the near and far sides of the paths. Effects of the incidence angle (i.e. the angle between the ground normal vector and the satellite sensor) vary depending on the ground cover, but is largely a natural consequence of the wide 350 km imaging swath. Despite this radiometric peculiarity however, the five-times increase in observation capacity makes the ScanSAR mode feasible for large area observations, and in particular over regions where changes occur quickly. Figures 2, 3 and 4 show ScanSAR mosaics over Japan, Brazil and Tanzania.

These four images are ScanSAR mosaics for a part of Southeast Asia including Sumatra and Malay peninsula acquired (June-July 2009) and Japan (summer of 2008). Also Central Africa (October-December 2009), and the Amazon area (Dec/2009-Jan/2010) are shown. Compared to the mosaic made by FBD strips, one ScanSAR strip covers larger incident angles. By correcting the incident angle dependence, we could generate the ScanSAR mosaic with uniform intensity. Compared to the FBS strips, increase of the observation frequency can generate the timely consistent PALSAR ScanSAR mosaic.

### ScanSAR による世界4か所のモザイク

寄稿:島田政信(JAXA/EORC チーム)

PALSAR の一つのモードに ScanSAR モードがあります。これは、通常 1秒間に 2,000 回ほど発射するパルスを、1本あたり 70km 幅をもつ合計 5本のビームに、それぞれ 400 パルスほど分割発射し、後で合計 350km の観測幅に合成する信号処理技術です。その利点として、観測幅を通常モー ドの5倍程度に広げることができる、観測周期を1/5に減らすことができ るという利点がある反面、観測分解能が 100m 程度に落ちる欠点があげら れます。

図1では東南アジア(2009/6~2009/9)を観測して作製したモザイ ク画像を紹介します。観測幅を広げることで、わずか7パスで2500kmに 及ぶインドネシア、インドシナ半島を観測できます。一ビーム当りの入射角 が17度から42度と広くなり、画像に入射角に起因する明るさのばらつき が現れることがあります。ただ、これらの欠点を差し引いても高分解能 SAR よりも5倍の早さで観測することは、短期に変化する地球環境の監視に有効 な手段となるものです。

その他に日本(2008を中心とした夏季データ)、アマゾン(2009/12 ~2010/1)、中央アフリカ(2009/10~2009/12)のScanSARを 紹介します。FBSなどの高分解能モードを用いたモザイクに比べて、1パス 画像あたりの受け持つ入射角範囲が広がっていますが、入射角補正を行うこ とで、このように空間的に一様なモザイク画像が作成できました。高分解能 モードに比べて、観測頻度が向上する為に時間的により一様な観測とモザイ ク画像の作成が可能になります。

\*\* This work has been undertaken by Masanobu Shimada (JAXA EORC), Takahiro Otaki and Daisuke Sango (RESTEC) within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Intiative.

本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで、島田 政 信 (JAXA 地球観測研究センター、 EORC)、大滝崇裕、三五大輔(リ モートセンシング技術センター、 RESTEC)が実施しました。



Figure 3: ScanSAR mosaic over the southern part of the Amazon. 図3:アマゾンモザイク



Figure 2: ScanSAR mosaic over Japan. 図2:日本モザイク

the Indonesian island of Sumatra.

図1:東南アジアモザイク



X This work was undertaken within the context of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, the JRC TREES-III project and the European Commission Marie Curie IRG framework. It was perfoemed by Gianfranco De Grandi, Ake Rosenqvist and Alexandre Bouvet of the Joint Research Centre (JRC), with support from Francesco Holecz and Stefano Monaco of sarmap, Switzerland.

本事業は JAXA 京都 炭素・観 測計画の中で、共同研究センター (JRC) TREES- III プロジェクト、 及び欧州委員会マリーキューリー国 際社会復帰の補助金 (IRG) の枠組 みで行われました。研究者は共同研 究センター (JRC) の Gianfranco De Grandi、Ake Rosenqvist と Alexandre Bouvet で、スイス にある sarmap 社の Francesco Holecz と Stefano Monaco の協 力を得ました。

# A fine resolution wall-to-wall mosaic of the African continent

Contributed by: Gianfranco De Grandi, Ake Rosenqvist and Alexandre Bouvet, Joint Research Centre of the European Commission (Ispra, Italy)

Continental-scale image mosaics demonstrate in an excellent manner the strength of the global systematic observation strategy that is implemented for the ALOS satellite. That is particularly true for the PALSAR sensor, which has the capacity to acquire data regardless of sunlight and weather, and thereby can provide complete coverage of the Earth surface within relatively short time periods.

Within the ALOS Kyoto & Carbon Initiative, the image mosaicing effort is shared between the Science Team members, within the Joint Research Centre being responsible for the generation of a dual-polarisation mosaic over Africa. It is the first time ever that a cloud-free mosaic at such fine resolution has been assembled over the whole African continent.

319 PALSAR path images, each some 1000-2000 km in length, were used for the generation of the mosaic, out of which 276 of the passes were acquired during the June-August, 2007, time window another 27 passes during the next 46-day cycle (Sept-Oct, 2007), while 16 passes (5% of the total) had to be filled in from the 2008 acquisitions. The mosaic is represented in a geodetic (lat, lon) reference system.

Figure 1 encapsulates the wealth of information in the mosaic data set, with the great variety in brightness and colour illustrating the broad diversity of the African environments. Figure 2 shows a subset of the mosaic image at full resolution (representing some 0.01% of the total mapped area) at the coastal region between Nigeria and Cameroon. The Africa mosaic is available free of charge for scientific and public use worldwide.

### アフリカ大陸を端から端まで 高解像度画像で見る

寄稿 : ジャンフランコ・ディ・グランディ、オーケ・ローセンクイスト、アレク サンドル・ブーベ(イタリア、EC リサーチセンター)

ALOS データで作成される大陸規模なモザイク画像は、全世界 を俯瞰的に観察する優れた方法です。太陽光の有無や気象条件に 関わらず、特に ALOS/PALSAR センサではデータ取得能力が顕 著です。そのため、比較的短期間で、地表面を完璧に見ることが できます。

ALOS の京都炭素・観測計画では、科学者たちが、モザイクデー タの結果を共有することができますので JRC(Joint Reserch center)がアフリカの二重偏波モザイク画像(FBD)の作成を行 いました。

雲を透過して得られた高い解像度の画像を、全アフリカ大陸で 集められたのは、これまでの観測史上初めてのことです。

319 PALSAR パス画像は、長さがそれぞれ 1000 ~ 2000km のものがモザイク画像作成に使用され、そのうち 276 パスは、 2007 年 6月 -7 月に取得したものです。他の 27 パスは次の 46 日間 (2007 年 9月 -10 月) に、残り 16 パス (全体の 5%) は 2008 年に取得したものを加えました。これらの画像は測定 (緯度、 経度)参照システムに表すことができます。

図1では、モザイクデータの情報量が豊富で、明度や色彩が多 様なので、アフリカの環境の広大な多様性を表現しています。

図2は、完全解像度(地図化した地域の 0.01%に当たる)で、 ナイジェリアとカメルーンの間の海岸線に沿った地域を示してい ます。このアフリカの画像は、世界中の科学者や一般の人にも無 料で使っていただけます。





Figure 2: Full-resolution subset of the mosaic, showing the great details of the mangrove areas at the border between Cameroon and Nigeria.

図2:モザイクの高分解能図で、カメルーンとナイジェリア国境にあるマングローブ地帯の詳細図で す。

Figure 1: ALOS PALSAR 50 m mosaic over the African continent, generated from PALSAR dualpolarization data acquired in 2007. The two polarizations (HH and HV) provide complementary information about the nature and characteristics of the observed surfaces, giving deserts, rain forests and savannah areas their profoundly different appearances. A third channel is derived from the two polarizations (the HV/HH ratio) to create the color-composite image.

図 1: ALOS PALSAR 50m モザイク画像。2007 年に PALSAR の2 偏波データから作成され たアフリカ大陸。2つの偏波(HH と HV)は、その自然と表面、砂漠、雨林とサバンナ地域とそれ らの豊かに変容する様子を補完情報として捉えています。第3チャンネルはカラー複合画像を作成 するために、2 偏波(HV/HH 比率)から得たものです。

# North and South America North America 北アメリカ South America 南アメリカ

Mosaics モザイク

\*\* This work has been undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Bruce Chapman (JPL/Caltech) ). The work was performed at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration (NASA).

本事業は JAXA 京都 炭素 · 観 測計画の枠組みにより、Bruce Chapman(JPL/Caltech)が主導 しました。研究は、米国航空宇宙局 (NASA) との契約の下で、ジェッ ト推進機構 / カリフォルニア工科大 学で行いました。

### ALOS PALSAR mosaics over North and South America

Contributed by: Bruce Chapman (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, USA)

The extent and seasonal, inter-annual, and decadal variation of inundated wetland areas play key roles in ecosystem dynamics. Wetlands contribute approximately one fourth of the total methane annually emitted to the atmosphere and are identified as the primary contributor to inter-annual variations in the growth rate of atmospheric methane concentrations.

A NASA funded research task, working in conjunction with the ALOS K&C Initiative, will be generating an Earth Science Data Record for global inundated wetlands, where wetland extent and dynamics will be characterised using ALOS PALSAR imagery and other sensors. The first step in creating the Earth Science Data Record for inundated wetlands will be geo-coding the PALSAR imagery and assembling regional image mosaics. These image mosaics will be used to characterize the inundation state.

Figure 1 shows a preliminary image mosaic covering the Western United States. The color image is obtained by assigning Red to the HH polarization ALOS PALSAR data, HV to Green, and the ratio of HH over HV to Blue. The detail cutout shows the excellent data quality when viewed at high resolution. The dual polarization data may be used to classify some vegetation types. Figure 2 shows a different type of image mosaic. The ALOS PALSAR ScanSAR mode only acquires HH polarization, but it is acquired more often, so it can be used to monitor seasonal changes. The intensity banding and gaps in the mosaic will corrected in the final versions.

### ALOS/PALSAR モザイク画像で 南北アメリカを見る

#### 寄稿:ブルース・チャップマン(アメリカ、ジェット推進研究所 / カリフォルニ ア工科大学)

湿地の浸水の範囲の、季節や年ごと、もしくは10年単位での変 遷は、生態系の変化に重要な影響を与えます。大気中に放出され る年間のメタンガスのうち、湿原からは1/4程度が担われており、 大気中のメタン濃度の増加率を変化させる重要な一因となってい ます。

アメリカ航空宇宙局 (NASA) は、ALOS/PALSAR による炭素・ 観測計画と共同し研究費を拠出して、地球規模での氾濫湿原につ いての地球科学データレコードを作製する予定です。湿原の範囲 や変化については、ALOS/PALSAR画像などのセンサを用いて 特徴を出す予定です。氾濫湿原の地球科学データレコード作成の 最初の一歩は、ALOS/PALSAR画像による分類とその地域のモ ザイク画像を集めることです。モザイク画像は、浸水の状態を特 定するために利用されます。

図1はアメリカ西部の暫定的なモザイク画像です。カラー画像 はALOS/PALSAR データの赤をHH偏波にし、HVを緑で、HH とHVの比率は青で示しています。詳細部では、高解像度でのデー タが高品質であることが理解できます。二重偏波データは、植生 分類にも使用できると考えられています。

図2ではいろいろなモザイク画像が見られます。ALOS/ PALSARのScanSARモードではHH波のみを使用しますが、頻 繁に取得できるため、季節的な変化を捉えることができます。最 終版には、モザイク画像の彩度の調整も加えられる予定です。



Figure 1: This preliminary mosaic of dual polarization ALOS PALSAR data, is sensitive to the presence of vegetation.

図1:この二重偏波 ALOS/PALSAR の暫定モザイクデータは、現存の植生に敏感に反応します。



Figure 2: Detailed cutouts of a preliminary ScanSAR mosaic of the South American Amazon River Basin, at the center of this figure, are shown. ALOS ScanSAR mode data is HH polarization only, but color mosaics may be obtained by combining images from different dates.

図2:中央は南米アマゾン川を ALOS ScanSAR のモザイク画像で捉えた切取図です。ScanSAR モードのデータは HH 偏波のみを捉えますが、カラーモザイク画像は、別の日付の画像を複合することで取得することができます。



Forests <sub>森林</sub>

\*\* This work has been undertaken by Dalton Valeriano and Silvana A maral (INPE) within the framework of JAXA Kyoto & Carbon Initiative and the INPE DETER project.

本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで、ブラジル 宇宙研究機構(INPE)のリアルタ イム森林伐採検知プロジェクトの 協力により、Dalton Valeriano、 Silvana Amaral (ブラジル宇宙研 究機構)が行いました。

# Near Real Time Monitoring of Brazilian Amazon Deforestation

Contributed by: Dalton Valeriano, Silvana Amaral, INPE (São Jose dos Campos, Brazil)

The Brazilian Institute for Space Research (INPE) is responsible for the Amazon Deforestation Monitoring Program. This program is comprised of a set of remote sensing based systems to monitor the state of Amazonian forest cover. The Near-Real-Time Deforestation Detection System (DETER) identifies and maps recently deforested areas in the Brazilian Amazon forests to support law enforcement for deforestation control. DETER is based on low resolution optical sensors, benefitting from their high revisiting capability. ALOS PALSAR data has a strong potential to complement the DETER system considering the environmental relevance, the extension, and the frequent cloud cover conditions of the Brazilian Amazon forest.

As illustrated by the deforestation polygons and field work pictures in the figures, deforested areas older than one year present dark patterns in L-band SAR. Areas recently deforested, usually mapped by the DETER Program are discernible in ALOS PALSAR ScanSAR images as lighter areas.

With multi-temporal change detection approach, ALOS PALSAR imagery will enable forest monitoring at regular basis, even during the rainy season, when deforestation detection by the DETER Program methodology is impaired by cloud cover.

### ブラジル、アマゾンの森林伐採を 準リアルタイムで監視

寄稿 : ダルトン・バレリアノ、シルバナ・アマラル(ブラジル、INPE、São Jose dos Campos)

ブラジル宇宙研究機構(INPE)はアマゾン森林伐採監視プログ ラムを実施しています。その目的はアマゾンの森林被覆の度合を 遠隔感知のシステムで監視することです。準リアルタイムの伐採 探知システム(DETER)はアマゾンの森林の近々に伐採された場 所を特定し地図にして、伐採制限のための法律の執行に寄与しま す。DETER は解像度は近いが観測幅が広く繰り返し観測頻度が 高い光学センサで監視できるものです。

ブラジル、アマゾン森林は環境問題として重要です。空間的に かなりの広がりを持ち、長期間にわたって雲に覆われることから、 ALOS/PALSAR はブラジル森林観測プログラムの達成に非常に 高い能力を持つといえます。

図で森林減少領域として示されているように、L- バンド SAR では1 年以上経過した伐採地は暗く映ります。また、最近伐採さ れた場所(これは DETER プログラムでマッピングされた場所で す)は、ALOS/PALSAR ScanSAR の画像では、明るく映ります。

多時期の ALOS/PALSAR 画像は、DETER プログラムでの観 測が雲に妨げられる雨季でも、定期的な森林の監視を可能にしま す。



Figure 1: ALOS PALSAR ScanSAR HH multi-temporal composite, muncipalities of Itaituba, Altamira and Novo Progresso (7.13S, 55.4W), in the state of Pará (Brazil). Red: 30 August 2008; Green: 30 May 2008; Blue: 13 January 2008. Located between Jamanxim and Curuá River, and along Road BR-163, this region was a deforestation hotspot in 2008.

図1: ALOS PALSAR の ScanSAR HH 多時期複合画像、パラ州のイタイツバ市、アルタミ ラ市、ノボプログレッソ市(南緯 7.13 西経 55.4)赤は 2008 年 8 月 30 日、緑は 2008 年 5 月 30 日、青は 2008 年 1 月 13 日。トカンティス川とアマゾン川の間にあり、BR-163 号線道路に沿っています。この地域は 2008 年には伐採最前線として注目されました。



Figure 2: ALOS PALSAR ScanSAR HH multi-temporal composite for Altamira subset (white box) of Figure 1, mapped by DETER in May (yellow), June (cyan), July (blue), and August (black), 2008. Points A, B, C, D, E and F are deforestation examples verified by aerial photographs obtained during field work in September, 2008. 図 2: 図 1 のアルタミラの部分 (白囲い) の ALOS PALSAR ScanSAR HH の多時期複合画 像。2008 年 5 月に DETER で作成された森林伐採ポリゴン地図 (黄色)、6 月 (藍) 7月 (青) 8月 (黒)。A,B,C,D,E,F で示されている場所は 2008 年 9 月のフィールドワークで得た航空 写真により立証された森林伐採地点。





Forests <sub>森林</sub>

X This work has been undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by IBAMA by Humberto Navarro de Mesquita Junior, in collaboration with R.A de Souza, C.A. Dupas, M.C. da Silva, D de Moraes Freitas, F. Matos and W. Gonçalves. Additional collaboration with Dalton Valeriano of INPE, as well as with JAXA and RESTEC.

本事業は JAXA 京都 炭素・観測 計画の枠組みで、IBAMA の主導 の下に作成されました。 研究者:Humberto Navarro de Mesquita Junior 協力者:R.A de Souza, C.A. Dupas, M.C. da Silva, D de Moraes Freitas, F. Matos and W. Gonçalves 及びブラジル宇宙研究機構 (INPE) の Dalton Valeriano と JAXA、 RESTEC

### Deforestation Monitoring for Law Enforcement

Contributed by: Humberto Navarro de Mesquita Junior et. al. (Brazilian Institute for Environment and Renewable Natural Resources – IBAMA, BRAZIL)

The Brazilian Institute for Environment and Natural Renewable Resources, IBAMA, is the executive institution of the Ministry of Environment responsible for the implementation of environmental polices. One of its missions is to implement control actions to environmental protection. IBAMA's Remote Sensing Center is responsible for environmental monitoring by satellite, in collaboration with Environmental Law Enforcement Agents who check the monitoring information in the field by helicopter or by car. This activity has become very important for decision makers to implement environmental restrictions, as well as for the Law Enforcement Agents to define the logistics and strategies for their field actions.

The Amazonian region is also monitored by the Brazilian Institute of Space Research (INPE), which undertakes annual quantification of the rates of deforestation, as well as provides deforestation alerts every fifteen days. Both systems are based on optical satellite sensors, which however are hindered by cloud cover, in particular during the rainy season.

ALOS PALSAR is unaffected by clouds and the wideswath ScanSAR mode is a valuable resource that is used to complement the optical-based monitoring system for identification of early deforestation. For each new potential change detected in the satellite image, the borders of the area are delimited and the area is classified into either being in the initial process of deforestation, or a change caused by a on-going clear cutting of the forest. The information is assembled into a socalled Deforestation Indication document that is provided to the Law Enforcement Agents to enable their fast responses to halt illegal deforestation.

### 法執行のための森林伐採監視

寄稿:フンベルト・ナバロ・デ・メスキータ・ジュニア China Rice(ブラジル環境・ 再生可能天然資源院: IBAMA)

ブラジル環境・再生可能天然資源院(IBAMA、Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis)は、ブラジル環境省下での環境政策実施担当機関 です。この機関の重要任務は、環境保護の管理活動を行うことです。 ヘリコプターや車両を使って森林を監視する環境法執行当局と協 力して、IBAMAのリモート・センシング・センターでは、衛星に よる環境管理を行っています。この活動は、環境規制を実施する 上で、決定権を持つ人々にも重要で、当局が野外調査をするため の方針や計画の決定にも役立っています。

アマゾン地域は、ブラジル宇宙研究機構(INPE)も監視してお り、年次の森林伐採率で算定し、毎月15日毎に森林伐採警報を 出しています。

これら2つのシステム<sup>(注)</sup>は衛星に搭載された光学センサを利用 していますが、特に雨期には雲に遮られて観測が十分に実施でき ません。

ALOS/PALSARは、雲に影響されることなく、広い観測幅を 持つScanSARモードで、光学的監視システムを補って使用する 貴重な存在で、初期の森林伐採の確認が可能です。衛星画像で新 しい地点での潜在的な変化が掌握できるため、地域境界に制限は ありません。その地域の森林伐採が初期段階なのか、あるいは森 林全体の伐採が進行中のために変化が起こっているかを選別でき ます。そこから得られる情報は、森林伐採指摘書と呼ばれる文書 に記録され、法執行当局による不法な森林伐採を停止する処置に 迅速に対応できるようになっています。

(注)ブラジルには光学センサを用いた2つの森林データモニタリングシステムが存在します。



Figure 1: (Left) ALOS ScanSAR image with old deforestation areas masked in black. (Right) Deforestation Indication document used by Brazilian Law Enforcement Agents, with information about potential new deforestation areas.

図 1: (左) ALOS/PALSAR の ScanSAR 画像。古い伐採部分は黒で識別。(右)ブラジル環境法執行局で使用されている森林伐採指摘文書には潜在的森林伐採地域の情報も 含まれています。

# South America



Forests <sup>森林</sup>

\*\* This work has been undertaken by JAXA EORC within the framework of the ALOS Kyoto & Carbon Intiative and the JERS-1 SAR Global Rain Forest Mapping project.

本事業の一部は JAXA 京都・炭素 観測計画の枠組みで行われました。

# Detecting 14-year tropical forest change by ALOS and JERS-1

Contributed by: Masanobu Shimada and JAXA/EORC team

High-resolution spaceborne Synthetic Aperture Radar sensors have become important and effective tools to monitor the state and associated changes of the global forests. The long-wavelength type of radar (L-band) that is operated by the Japanese JERS-1 SAR (1992-1998) and ALOS PALSAR (launched 2006) is particularly suitable, as the L-band signal not only penetrates cloud cover, but also is distinctly sensitive to detecting deforestation.

The examples illustrate forest changes monitored by JERS-1 SAR and ALOS PALSAR in Brazil and Indonesia between 1995 and 2009. Figure 1 shows the spread of deforestation around Rio Branco in Acre state in Brazil during this 14vear time period. Classification results indicate an increase in deforested areas (dark in the figures) with about 1,900 km<sup>2</sup> (out of the total image area of  $60,000 \text{ km}^2$ ). The second example (Figure 2) is a multi-temporal colour composite image from Matto Grosso state in Brazil. The massive deforestation that has occurred during the 14-year period appears red in the image. The third example in Figure 3 shows forest change in Riau province in Sumatra, Indonesia. Deforestation patterns are here less evident than observed with JERS-1 and ALOS in Brazil. which is both due to that large-scale deforestation started later in Sumatra, as well as due to environmental conditions which make the distinction of forest/non-forest using only single-polarised (HH) data (used by JERS-1 and PALSAR ScanSAR mode) more difficult. In the Sumatra case, PALSAR dual-polarisation data will improve detection.

### アマゾンやインドネシアに於ける森林伐採

寄稿:島田政信(JAXA/EORC チーム)

熱帯雨林や北方林を中心として、各地で進行している森林減少 (伐採)を効果的に監視する手段として近年重要性を増しているの が、宇宙からの高分解能センサを使用したものです。特に合成開 ロレーダは天候、昼夜の別なく観測でき、23cm 程度の波長の電 波を選ぶことで、森林と森林伐採地の区別が容易であり、有効な 手段になってきました。

ここに紹介するのは、ブラジルやインドネシアにおける 14 年 間の変化例です。

ーつ目はペルーブラジルの国境付近に位置するリオブランコに おける変化です。1995年の画像(左:JERS-1 SARで観測) で暗く見えるところ(伐採地)が2009年の画像(右:ALOS/ PALSARで観測)では広がっています。分類を通した解析により、 この画像の総面積が60,000km<sup>2</sup>に対して、14年間で伐採地が 1,900km<sup>2</sup>程度増加したことがわかりました。

第二の事例はマットグロッソ州のものです。配色を 1995 年が 赤、2009 年が青/緑に取っています。森林減少したところが赤 く配色されますが、この図からほとんどの場所で減少しているこ とがわかります。

第3の事例はインドネシア国スマトラ島リアウ州のものです。 これは、森林量が減ると暗く見えるという特徴がそのまま現れて おり、左の1995年に対して右の2009年は全体に暗くなって います。ここの三例に表されるように、森林の減少は熱帯雨林(南 アメリカ、中央アフリカ、東南アジア)で進行していますが、そ の見え方は場所により異なります。



Figure 1: Deforestation patterns around Rio Branco (Acre, Brazil), as observed by JERS-1 SAR (left) in 1995 and ALOS PALSAR (right) in 2009. Dark areas indicate non-forest. 図1:リオブランコの14年間の変化例。 赤:1995年画像、青、緑/2009年画像



Figure 3: Riau province, Indonesia. Intensity changes visible in JERS-1 SAR and ALOS PALSAR data (left: extract from 1995 JERS-1 SAR mosaic; right: 2009 ALOS wide-swath ScanSAR).

図3:インドネシア、スマトラ島リアウ州の事例



Figure 2: Forest decrease in Matto Grosso, Brazil. Red for 1995, and Blue and Green for 2009. Areas appearing in red indicate deforestation between 1995 and 2009.

図2:マットグロッソに於ける森林減少:赤:1995年画像、青、緑:2009年画像、赤く見えるのは14年間での森林減少地を意味します。



\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. ALOS PALSAR data have been provided by JAXA EORC and the American ALOS Data Node at the Alaska Satellite Facility. Image processing and analysis by The Woods Hole Research Center, 2008. Josef Kellndorfer, Wayne Walker, Claudia Stickler, and Daniel Nepstad

本事業の一部は、JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みの中で行われ ています。 ALOS PALSAR データは、 JAXA EORC およびアラスカ衛星 施設のアメリカのALOSデータノー ドにより提供されたものです。 画像処理および分析: Josef KelIndorfer、Wayne Walker、 Claudia Stickler および Daniel Nepstad ウッズ・ホール研究セン ター、2008 年

### Forest cover mapping and change detection in the Xingu watershed, Mato Grosso, Brazil

Contributed by: Josef Kellndorfer - Woods Hole Research Center (Woods Hole/MA, USA)  $\ensuremath{\mathsf{WA}}$ 

Continuous observations of forest cover and forest cover change from anthropogenic and natural disturbances are crucial for a much needed better understanding of regional- to globalscale carbon dynamics tied to the forest ecosystem. Also, in the current re-negotiation of the *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), emphasis is given on designing mechanisms to *Reduce Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+), and thus forest observation needs are significantly increasing.

ALOS PALSAR offers two distinct characteristics which make its image data invaluable for tropical forest observations: Cloud-penetrating land surface imaging of the L-band radar which is coupled with a dedicated observation strategy providing annual (or better) high-resolution (~10-100 m) data sets acquired during short acquisition timeframes.

The examples below show ALOS PALSAR-based mapping in 2007 and 2008 of a 350,000 km<sup>2</sup> region in the upper Xingu Watershed in Mato Grosso, Brazil. This area is located at the so called arc of deforestation at the southern edge of the Amazon and encompasses at its center a large forest reserve area, which was burned significantly during the 2007/2008 forest fire season.

### アマゾンのシングー川流域で森林の変化を捉える

#### 寄稿:ジョセフ・ケルンドルファ (アメリカ、ウッズ・ホール研究センター)

森林分布の状況や人間の営みあるいは自然による森林の変化を 継続して観測することは、森林生態系に関連した地域的あるいは 全地球的炭素循環を詳しく知る上で非常に重要です。また、現在 の気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)の再交渉で は、「森林の減少や劣化を原因とする温室効果ガスの排出の削減 (REDD プラス)」をどのように設計するかに重点が置かれており、 森林監視に対するニーズがより高まっています。

ALOS/PALSARは、森林を有効に解析するふたつの特徴を持っています。ひとつは、雲を透過して陸域表面の観測に優位なこと、もうひとつは10~100mの高分解でシステマティックに観測する計画です。

2007 年と2008 年に ALOS/PALSAR が捉えた図は、ブラ ジルのマトグロッソ州にあるアマゾン川の主要な支流のシングー 川上流域 35 万 km<sup>2</sup> に及ぶ地域の観測データです。この地域は、 アマゾン南端の森林破壊地域で、中央部には、2007 年と2008 年の大規模な森林火災で焼失した森林保護区が含まれています。



Figure 1: Forest cover classification (right) from ALOS PALSAR dual-polarimetric (FBD) data (left) 図 2: シングー川流域の 2007 年 (左) と 2008 年 (右) の ALOS FBD 画像によって検知された火災 in the Upper Xingu watershed, Brazil. Colour representation of the imagery (left) is HH in red, HV in green, and the HH/HV ratio in blue. の傷痕(上)と森林伐採(下)の例。 カラー描写画像(左) で、HH は赤、HV は緑、HH/HV 比率は青で示しています。

図 1:森林の分類。右は ALOS PALSAR 二重偏波 (FBD) データ。左はシングー川上流域におけるカラー 描写画像。HH は赤、HV は緑、HH/HV 比率は青で示しています。

# Australia



\*\* This research was undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Aberystwyth University (Wales, UK), the Queensland Department of Environment and Resource Management (QDERM), the University of Queensland (Brisbane, Australia) Joint Remote Sensing Research Program (JRSRP) the Tropical Research Institute (IICT) Department of Natural Sciences (Lisbon, Portugal)" between "(JRSRP)" and "and JAXA.

本事業は JAXA 京都 炭素・観測 計画の枠組みで、Aberystwyth University (Wales, UK)、the Queensland Department of Environment and Resource (クイーンズランド環境資源局)、 the University of Queensland (Brisbane, Australia) Joint Remote Sensing Research Program (JRSRP) (クイーンズラ ンド大学共同リモートセンシング 研究プログラム) と JAXA. が実 施しました。

# Estimation of vegetation above-ground biomass in Queensland, Australia

Contributed by: Richard Lucas, Aberystwyth University (Wales, UK)

Across the state of Queensland in northeastern Australia, changes in vegetation occur because of natural events and processes, which may be modified by climatic variability, as well as human activities. These changes may lead to uptake of biomass (carbon) through regeneration and thickening of woody vegetation and losses associated with direct clearance or mortality because of drought or flooding.

To support the quantification of biomass change, maps of above-ground biomass (AGB) in woody vegetation have been generated using relationships established between ALOS PALSAR data and field-based estimates of AGB. Variability in the radar backscatter associated with environmental conditions, vegetation type and growth stage has been taken into consideration in this mapping effort. The distribution of AGB was found similar to that obtained in other studies, with the higher amounts (in terms of tonnes per hectare) associated with coastal and highland forests. However the vast majority of the AGB (in terms of area) is contained within the wooded savannas inland and in the tropical north.

### オーストラリア、クイーンズランド州の地上植 生バイオマス量を算定

#### 寄稿:リチャード ルーカス (英国・ウェールズ、アベリストゥイス大学)

オーストラリア北東部、クイーンズランド州の全域で生じてい る植生の変化は、自然現象やその過程で発生しますが、気候変動 や植林、伐採などの人的活動によってさらに変化することがあり ます。こうした変化は、直接的な伐採や干ばつや洪水による森林 植生の消失と再生、繁茂にともなって、バイオマスの増減に影響 を与える可能性があります。

バイオマスの変化を定量的に把握するため、ALOS/PALSAR のデータと現地での綿密な地上バイオマス (AGB)量の調査データ を使用して得られた情報から、森林植生に関する地上バイオマス 地図が作成されました。

地図作成作業では、環境条件や植生タイプと成長段階に関連す るレーダ反射のばらつきが考慮されました。他の研究でも同様な 結果となっているように、AGBの分布は、沿岸部と高地の森林地 帯で1 ヘクタールあたりのトン数では多くなっています。しかし、 大部分の地上バイオマスは、内陸の森林サバンナ内と北部熱帯地 域に存在しています。





図1:ALOSPALSAR モザイク画像で取得したオーストラリア、クイーンズランド州の地上 バイオマス(ABG)地図。PALSARのHV 偏波チャンネルは、バイオマスと植生構造には特 に敏感に反応します。



Figure 2: ALOS PALSAR L-band HV-polarisation mosaic of Queensland, Australia, generated using data acquired in 2007 during periods of minimal soil moisture, as determined from Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) data.

図2:ALOS PALSARのLバンド、HV 偏波モザイクデータで作成した、オーストラリアの クウィーンズランド州。2007年の土壌水分が最少の時期のデータで、高性能マイクロ波放 射計 (AMSR-E) で確認されたものです。



\*\* This research was undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Aberystwyth University (Wales, UK), the Queensland Department of Environment and Resource Management (QDERM) and University of Queensland (Brisbane, Australia) Joint Remote Sensing Research Program (JRSRP), the Tropical Research Institute (IICT), Department of Natural Sciences (Lisbon, Portugal), and JAXA.

本事業は JAXA 京都・炭素観測 計画の枠組みで、Aberystwyth University (Wales, UK)、クイー ンズランド州省環境資源管理局 (QDERM)、クイーンズランド大学 (Brisbane, Australia)の Joint Remote Sensing Research Program (JRSRP)、熱帯研究所 (IICT)、Department of Natural Sciences (Lisbon, Portugal)と JAXA が主導しました。

# Mapping and characterization of woody regrowth, Queensland, Australia

Contributed by: Richard Lucas, Aberystwyth University (Wales/U.K.)

In the Brigalow Belt Bioregion of southeast Queensland, since European settlement, extensive tracts of woody vegetation have been cleared for agriculture. As a consequence, more than 60 % of native vegetation within the bioregion has been lost and less than 10 % of forests with brigalow (*Acacia harpophylla*) as a dominant or subdominant component remain. Despite being one of the most endangered ecosystems in Queensland, only a few areas of brigalow habitat are protected in national parks and most are fragmented. However, brigalow is often dominant in regrowth establishing on previously cleared land.

By integrating ALOS PALSAR backscatter data with so called Foliage Projected Cover (FPC), derived from optical Landsat data and defined as the fraction of the vertical view that is occluded by foliage, the extent of different stages of regrowth has been mapped. The earliest stage of regrowth exhibits a FPC value similar to that of woody vegetation but a PALSAR HH backscatter equivalent to non-forest as the stems are too small for L-band microwave interaction to occur. Older (remnant) forests collectively exhibit high PALSAR HH and HV backscatter and Landsat FPC. Intermediate stages of growth can be defined within remaining areas, using a relationship established between biomass and PALSAR HV backscatter. The K&C project has allowed new information on the structural characteristics and extent of woody regrowth stages to be obtained, which has application in policy, land management, carbon budgeting and conservation of biodiversity.

### オーストラリア、クイーンズランド州での 木の再成長マッピング

寄稿:リチャード・ルーカス(英国・ウェールズ、アベリストゥイス大学)

クイーンズランド州東南にあるブリガロウベルトバイオリー ジョンでは、ヨーロッパ人が入植以来、広大な地域の木や植物が 農業のために排除されてきました。結果として、その地域の原産 植物のうち 60%以上が失われ、アカシアの森の 10%以下が優占 種か亜優占種として残りました。クイーンズランド州で最も絶滅 の危険にさらされている生態系の一つであるにもかかわらず、ア カシアの木が生息するほんの少しの地域だけが、国立公園の中で 保護されていて、多くは、ばらばらにされています。しかし、ア カシアは、あらかじめ整地された土地では再成長して、優占種に なりえます。

ALOS/PALSARの後方散乱データと光学ランドサット衛星で 取得した Foliage Projected Cover (FPC)のデータを統合して、 葉で遮蔽されている縦方向の視界部分として明示したので、再成 長の様々な段階が図になりました。再成長の初期段階は、FPC 値で表され、森林植生の数値と類似しますが、ALOS/PALSAR のHHでは見えません。古くから残っている森林は、一括して PALSARのHH、HV後方散乱とランドサット FPC で明示され ます。バイオマスと PALSARのHV後方散乱の間で確かめられ た関係を利用して、中期段階の成長は明らかになります。京都 炭素・観測計画によって、構造的な特徴と樹木の再成長段階の程 度に関する新情報を得られるようになり、政策、土地管理、二酸 化炭素量推定と生物多様性にも応用されます。



図の中 紫:残存森林(アカシア) 黄緑:再生成木(アカシア)赤:成 長初期(アカシア)薄緑:片付けら れた地域(以前はアカシア)濃緑: 森林(多種)オレンジ:再生林(多種) 白:片付けられた地域(以前は多種).

Figure 1: The extent of regrowth and remnant woody vegetation, Brigalow Belt Bioregion, Queensland, as mapped using ALOS PALSAR L-band HH, HV and Landsat-derived FPC. The inset enlargement corresponds to the area marked with the red box at the bottom of the map. The smaller red box (near Injune) corresponds to the area in Figure 2.

図1:クイーンズランド州、ブ リガロウベルトバイオリージョ ンの再成長と残存森林植生の範 囲をALOS PALSAR のLバ ンド、HHとHV 偏波とランド サット衛星が得たFPCを使用 した地図。内部の拡大図は地図 の下の赤でマークした地域と対 応しています。小さな赤い囲い (Injune近く)は、図2で示す 地域です。



Figure 2: Composite of Landsat FPC and ALOS PALSAR L-band HH and HV dualpolarisarion image, showing brigalow-dominated early regrowth (red) in the Injune region in Queenland (smaller red box on the map in Figure 1). Areas in green represent rough ground whilst shades of white represent forests of increasing biomass

図2:ランドサットFPCと ALOS PALSARLバンドの HHとHVの二重偏波画像の複 合で、クイーンズランド州のイ ンジューン(図1で赤く囲まれ た地域)でのアカシアが優占し ている再成長の初期(赤)を示 している。緑の地域は荒地で、 白い影はバイオマス量が増大し ている森林です。



Figure 3: Examples of brigalow regrowth aged a) 5, b) 27 and c) 40 years. Mature remnant forest is illustrated in d). Even after 40 years, forests may remain structurally similar to the early regrowth stage (< 5 years) as the high density of stems inhibits growth.

図3:アカシア再成長の例 a) 5年 b) 27年 c) 40年。d) は成熟した元からある森林です。 40年後でも、高い密度で幹が成長するので、森は初期の再成長段階(5年以上)のものと構造的には類似しています。

# Southeast Asia Wide area land cover mapping of Borneo



Forests <sub>森林</sub>

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis by Dirk Hoekman and Martin Vissers (SarVision-Wageningen University).

本事業は JAXA 京都 炭素・観 測計画の枠組みで実施されました。 画像処理と分析は Dirk Hoekman と Martin Vissers(Sar Vision-Wageningen University) が行いました。 Contributed by: Dirk Hoekman (Wageningen University) and and Martin Vissers (SarVision), The Netherlands

One of the main prototype areas for demonstrating PALSAR's wide-area forest and land cover mapping methodology is the island of Borneo in South East Asia. Borneo is the third largest island in the world and covers approximately 750,000 km<sup>2</sup>. Almost three quarters of the island is part of Indonesia (Kalimantan), while other parts are covered by Malaysia (Sarawak and Sabah) and the sultanate of Brunei Darussalam. Borneo was almost entirely covered by tropical evergreen broadleaved forest until the 1950s. Intensive logging of predominantly commercial dipterocarp species and conversion to cropland, oil palm and timber plantations has reduced forest cover significantly. Other major natural vegetation types include: peat swamp forests, which are found in the coastal and sub-coastal lowlands of Borneo, freshwater swamps along rivers inland, and mangrove forests in the coastal plains along the coastlines.

This example is the first of its kind and shows a forest and land cover map based on the classification of Fine Beam Single (FBS) and Fine Beam Dual (FBD) polarisation (path) image pairs of the year 2007. To cover Borneo the equivalent of 554 standard images is required. The map features 18 land cover classes. Qualitative and quantitative validation results and findings have been undertaken and the accuracy achieved is widely considered adequate, a very promising result for a sub-continental high resolution (50 m) map based on just single-year radar data.

### ボルネオの広域土地被覆マッピング

寄稿:ダーク・ホークマン(オランダ、ワゲニンゲン大学) マーティン・ビッサース(オランダ、Sar Vision 社)

PALSAR の広域な森林や土地被覆のマッピングの技法を実施す るのにふさわしい場所の一つが、東南アジアのボルネオ島です。ボ ルネオは世界で3番目に大きな島で、面積はおよそ 75 万km です。 島の 3/4 はインドネシア(カリマンタン)に属し、他はマレーシア (サラワクとサバ)と一部ブルネイ王国に属しています。ボルネオ は 1950 年代まで、熱帯常緑広葉樹の森林でほとんどが覆われてい ました。商業的に価値のあるフタバガキ種の伐採、穀倉地への転換、 アブラヤシと材木用の木のプランテーションにより、もともとの土 地被覆植物は極端に減りました。

主要な天然植生としては、泥炭森林があり、ボルネオ島の沿岸や 沿岸に近い低地に見られます。内陸部の川沿いには真水湿原や沿岸 部の平野にはマングローブの森林があります。

この種のものでは初事例となり、高分解能単偏波モード(FBS) と高分解能二偏波モード(FBD)による2007年の画像を元に森 林と土地被覆の地図が明示されています。ボルネオ島をカバーする には標準画像で554枚が必要です。地図には18種の土地被覆が 示されています。質的、量的な実証結果と研究結果が保証され、正 確度も十分だと広く考えられ、たった1年のレーダデータに基づい た高解像度(50m)の亜大陸の地図として期待がもてる結果を生み 出しました。





Figure 1: Dual-season PALSAR mosaic image over Borneo island, 2009. (R: HH July/August; G: HV July/August; B: HH January/February) 図1:2009年にPALSARモザイク画像が2つの時期に捉えたボルネオ島。 (R: HH 7/8月、G: HV 7/8月、B: HH 1/2月)



Forest mosaics 雑木林 High shrub 高い潅木 Medium shrub 標準的な潅木 Ferns / grass シダ/草 Grasslands 草地 Cropland (upland) 穀倉地帯(高地) Cropland (irrigated) 穀倉地帯(灌漑) Plantations ブランテーション Tree cover, burnt 消失した木で覆われている土地 Water bodies 水 Layover /Shadow 不明 / 影 No strip coverage 裸地ではない土地 Mountain forest 山岳森林

Figure 2: Most detailed Land Cover map available over Borneo island, derived from ALOS PALSAR dual-season data, acquired in 2007.

図1:ALOS/PALSARの複数時期データから取得した、ボルネオ島の土地被覆図としては、 現存する最も詳細な地図です。



Forests <sub>森林</sub>

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis by Dirk Hoekman (Wageningen University) Niels Wielaard, and Matin Vissers and Rob Verhoeven (SarVision), The Netherlands

本事業は JAXA 京都 炭素・観測 計画の枠組みで行われました。 画像処理と分析: Dirk Hoekman (Wageningen University) Niiels Wielaard、Matin Vissers、 Rob Verhoeven (Sar Vision) オランダ

# Consistent land cover change monitoring in Borneo

Contributed by: Dirk Hoekman (Wageningen University, The Netherlands)

ALOS PALSAR is well suited to provide accurate and up-todate information in a consistent and repetitive way. In this example radar images of a 25 km wide oil palm plantation development area in Sarawak, Insular Malaysia, are shown. The radar images of the years 2007, 2008 and 2009 and the associated land cover classification maps show the fast conversion of forest and grasslands into new oil palm plantations.

Indonesia and Malaysia are the world's largest producers of palm oil and both countries have promoted rapid expansion of the plantation acreage in the past decade(s). Existing land use plans designate large tracts of land as so-called "forest lands" (in Indonesia: "kawasan hutan" and in Malaysia: "Permanent Forest Estate"). These forest lands are largely reserved for forestry, biodiversity conservation and environmental functions and exclude its use for forest plantation. In Borneo, forest lands also comprise vast areas of peat land. Nevertheless, local NGO and national government reports indicate that there are numerous cases where oil palm concession areas overlap with forest areas and wetlands (such as peat swamp forests) in legally protected forest lands. The actual extent of plantation development and associated risks, however, are not sufficiently known. This is a major barrier to the implementation of sustainable palm oil production and its certification.

The ecological, social and economic impacts of (illicit) forest land conversion are of concern to many stakeholders. Palm oil from illicit sources can undermine the credibility of certification schemes (such as Roundtable on Sustainable Palm Oil, RSPO) and government policies and schemes (such as the Reduced Emissions from Deforestation and Degradation, REDD).

### ボルネオで土地被覆の変化を連続して監視

寄稿:ダーク・ホークマン(オランダ、ワゲニンゲン大学)

ALOS/PALSARは、正確で一貫した最新情報を反復提供するの に適しています。本事例では、マレーシア、サラワクのアブラヤシ 植林開発地域の 25km 幅のレーダ画像が見られます。

2007年~2009年のレーダ画像と土地被覆分類地図で、森林 や草地がアブラヤシのプランテーションに急速に変わっていること が分かります。

インドネシアとマレーシアは、世界最大のパーム油の生産地域で、 両国とも過去10年間は、植林面積を急激に拡大してきました。現 在の土地利用計画では、「森林地」(インドネシア語では「カワサン・ フタン」、マレーシアでは「永久森林財」)と呼ぶ広大な面積の土地 を指定しています。この「森林地」は森林管理、生物多様性の監視 や環境に関連する機能のために広く保護され、プランテーションと しての利用からは除外されています。

ボルネオ島は、「森林地」が広大な泥炭地になっています。地域の NGO や政府の報告から推測すると、アブラヤシの植林が認められ ている地域が、法的には保護されるべき「森林地」の中にある土地 や湿原(泥炭湿原森林)と重なっています。しかし、植林開発の実 際の規模と関連するリスクは十分には知られていません。それが持 続可能なパーム油生産とその認可の実施を大きく阻んでいます。

不法な「森林地」の用途変更による生態的、社会的、経済的な影響は、多くの利害関係者が憂慮するところです。禁止されている地域で栽培されたパーム油は、「持続可能なパーム油のための円卓会議 (Roundtable on Sustainable Palm Oil、RSPO)」<sup>(注1)</sup>や政府の 政策や計画、「森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減 (Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation、 REDD)」<sup>(注2)</sup> による認可の信頼性を低下させています。

(注1) 2002年にWWFなどの呼びかけで設立された第三者機関。

(注2)開発途上国での森林破壊や劣化を回避とて、CO2の排出削減を目指したプロジェクト。 COP13(気候変動枠組条約締約国会議第13回会合、2007年インドネシアのバリ島で 開催)で締約国がREDDの取組を支援することを決定しています。



Figure 1: Land cover change mapping. ALOS PALSAR is very useful for the detection of changes in forest and land cover. The systematic data acquisition strategy implemented by JAXA allows annual updates of land cover maps over wide areas, such as Borneo island. The purple colour shows the development of oil palm plantations in an approximately 25 km wide area in the state of Sarawak, Malaysia.

図1:土地被覆変化のマッピング。ALOS/PALSAR は森林や土地被覆の変化を解明するのに極めて有効です。JAXA で実施した体系的データ取得の方法で、ボルネオ 島のような広い地域での土地被覆図を年次で更新できます。紫で示されているのは、マレーシアのサラワク州の約 25km のアブラヤシのプランテーションの開発です。





# Southeast Asia

Forests <sup>森林</sup>

Sumatra

スマトラ

\*\* This work has been undertaken by JAXA and WWF within the framework of the ALOS Kyoto & Carbon Initiative.

本事業は JAXA および WWF に より、ALOS 京都 炭素・観測計 画の枠組みで行われました。

# Mapping of Land Cover in Riau Province, Sumatra, Indonesia

Contributed by: Nicolas Longépé, Preesan Rakwatin, Osamu Isoguchi, Masanobu Shimada (JAXA) and Yumiko Uryu (WWF)

This work aims to investigate the capabilities of using ALOS PALSAR mosaic data for land cover classification in tropical rainforest areas. In collaboration with the World Wildlife Fund (WWF), Riau province in central Sumatra was selected as study site. Riau is covered by vast peat lands estimated to hold Indonesia's largest stock of carbon. However, Riau is under serious threat because of rapid large-scale deforestation and conversion of the peat lands to plantations.

In this study, a land cover classification map was generated from PALSAR 50 meter resolution mosaic data using a so called Support Vector Machine (SVM) classification approach, which has been successfully introduced in remote sensing in recent years. There were six different classes discriminated: Dry natural forest, Swamp forest, Acacia, Clear cut, Oil palm and Others. The classification agreement is of the order of 70% for the land cover map in comparison with the WWF reference map, derived by manual interpretation of optical (Landsat) data. Both the ALOS PALSAR and Landsat data were acquired in 2007. When confining the classification to the distinction of forest and non-forest only (i.e. natural forest versus non-natural land cover types such as tree crops, plantations etc.) a classification accuracy of 86% was achieved, indicating that the mapping of the tropical rainforest belt using PALSAR data appears to be an achievable target.

### インドネシア、スマトラのリアウ州の 土地被覆マッピング

#### 寄稿:ニコラス・ロンゲペ、プリーサン・ラクワティン、 磯口 治、島田 政信 (JAXA)、瓜生 由美子 (WWF)

このプロジェクトは、世界野生生物基金(WWF)と協力して、 ALOS/PALSAR のモザイクデータを使って、熱帯雨林地域の土地 被覆分類の能力を確認するために行い、研究実施地域として中央ス マトラのリアウ州を指定して実施しました。

リアウ州には広大な泥炭地があり、インドネシア最大の炭素貯蔵 があると推定されています。しかし、リアウ州は急速な大規模森林 伐採と泥炭地をプランテーションとしての開拓が進んでいるため、 重大な危機にさらされています。

この研究では近年、遠隔センシング分野に導入され結果を出して いた PALSAR の 50m 解像度のモザイクデータでサポートベクター マシーン (SVM) の分類方法を使用して、土地被覆分類を行いました。

得られたデータを類別すると6分類になりました。その内容は、 乾燥自然森林、湿性森林、アカシア林、伐採林、アブラヤシ、その 他です。

Landsat の光学データを手動で分析して作成された WWF の参照 地図と比較して、およそ 70%の土地被覆地図が分類合意となりま した。ALOS/PALSAR と Landsat の両データは 2007 年に取得 されたものです。森林と非森林(例:自然林/非自然土地被覆型— 果樹やプランテーションなど)を識別した分類の特定では、86%の 精度で分類され、熱帯雨林地域の森林分類には PALSAR データの 使用が適切であると判断されます。




#### Southeast Asia



X This work was undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative and was partially supported by the UK National Environment Research Council under funding for the National Centre for Earth Observation. Major contributions to this work were made by Martin Whittle (University of Sheffiield/ CTCD), Yumiko Uryo, Michael Stuewe and Koko Yulianto (WWF).

本事業は JAXA 京都・炭素観 測計画の枠組みで、英国自然 環境調査局 (the UK National Environment Research Council) が地球観測センター (the National Centre for Earth Observation)の助成を受け て実施されました。主な研究者 は Martin Whittle (University of Sheffiield/CTCD), Yumiko Uryo, Michael Stuewe と Koko Yulianto (WWF).です。

### Mapping deforestation in Sumatra using multi-temporal ALOS ScanSAR data

Contributed by: Shaun Quegan, Centre for Terrestrial Carbon Dynamics (CTCD), University of Sheffield, UK

Tropical deforestation is a major factor in climate change, contributing around 20% of the total amount of anthropogenic carbon dioxide emissions. The 2009 Copenhagen Climate Conference therefore recommended that steps be taken towards establishing the Reduction of Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) mechanism, which will provide economic incentives for tropical countries to preserve their forests. Crucial to REDD are reliable methods to monitor tropical forests; these should also, if possible, provide frequent observations so that national authorities can respond quickly to illegal logging.

ALOS PALSAR seems ideal for this purpose as it is unaffected by the cloud and smoke that cause serious problems for optical observations in the tropics, and in particular the ScanSAR mode which allows wide area coverage every 46 days. Methods to detect deforestation from time-series of ScanSAR images have been developed and applied to the Riau province of central Sumatra. This area is of global significance because much of the forest grows on deep peats, whose degradation after deforestation can lead to major emissions of carbon dioxide.

Results show that the temporal signature of deforestation in Sumatra varies in the single-polarized (HH) ScanSAR data, and even undisturbed forest shows marked temporal variability, probably caused by changes in soil water. Hence automatic methods can achieve high rates of detection of deforestation only at the expense of false detections in undisturbed forest. Current results thus suggest that a high level performing monitoring system will need the ScanSAR data to be supplemented by PALSAR dualpolarisation (HH+HV) data (acquired at less frequent time intervals) to help resolve these ambiguities.

#### ALOS/ScanSAR データでスマトラ島の 森林伐採をマッピング

#### 寄稿:ショーン・クエーガン(イギリス、シェフィールド大学地上炭素ダイナミ クスセンター)

熱帯の森林伐採は気候変動の重要な原因で、人為的に排出される 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)全量の20%ほどにも及びます。2009年に行 われたCOP15の会議では、熱帯の国々が森林を保存するために経 済奨励を行う、劣化と森林伐採の削減(REDD)方策を設定するた めのステップを取ることが推奨されました。

森林伐採の削減実現にまず行わねばならないことは、熱帯森林を モニターする信頼できる方法の導入で、頻繁に観察ができることで、 国家・政府が不法な伐採に速やかに対処できることになります。

ALOS/PALSAR は、このような目的に合致したもので、熱帯 での視覚的観測では深刻な問題となる、雲や煙に影響されず、特に ScanSAR モードでは、46 日毎に広い地域をカバーすることがで きます。

時間が連続できる ScanSAR 画像から、森林伐採を看破する方法 が開発され、中央スマトラ島のリアウ州で応用されました。この地 域は、深い泥炭上に多くの森があり、伐採後の森の崩壊で、CO<sub>2</sub>の 排出を招くことになるため、世界的にも重要な場所です。

結果から見ると、スマトラ島での森林伐採の現段階の特徴は、単 偏波(HH) ScanSAR データが異なり、原始林では、土壌の水分 の変化が原因とみられる、ばらつきが見られます。そのため、自動 的な方法では、原始林では結果が異なるというリスクを負う場合も あります。そこで、今後はレベルの高い、実行力のあるモニタリン グシステムが必要とされています。



Figure 1: Multi-temporal composite image over a part (100 km x 75 km) of Riau province, Sumatra, generated from ALOS PALSAR ScanSAR data acquired in January and September 2007 and June 2008. Overlaid on the image are deforested areas detected by ScanSAR during the period June 2007 – June 2008 and regions deforested between April 2007 and June 2008 according to the WWF databases. Inset diagrams show temporal ScanSAR backscatter signatures for each of the pixels in a 5x5 window surrounding a few points in the image, indicating the variety of temporal signals encountered in both deforested areas and primary forest.

図1:スマトラ島リアウ州の一部(100km x 75km)を多時期複合画像で示しています。 2007年1月、9月と2008年6月にALOS PALSAR ScanSAR データで得られたもの。画像 で示しているものは、2007年6月から2008年6月の間に ScanSAR が発見した伐採地域で、 2007年4月から2008年6月に伐採された地域のデータはWWFのデータベースからです。中 の図表は、ScanSARのバックスキャッターを画像の数箇所で、各ピクセルが5 x 5 のウィンドウ で示しており、伐採された地域と原始林の両方で発生したシグナルも入れています。

図の中 白:伐採 緑:2008年の森林 赤:発見した箇所



Figure 2: (a) Dual-polarisation PALSAR composite image for 2007/06/28 with HH, HV & HH/ HV taking the RGB channels; (b) is the same scene a year later, on 2008/06/30, and shows clear changes. Image (c) shows (b) overlaid by ScanSAR detections over the same period in red. Image (d) shows part of a Landsat image of the same area acquired on 22/07/2008.

図2:a. 二重偏波の ALOS PALSAR 複合画像による 2007 年 6 月 28 日のデータ。RGB チャンネルを取った HH,HV と HH/HV の画像。b. 同じ場所の 2008 年 6 月 30 日の画像で、1 年で明らかな変化がある。c. b と同時期の ScanSAR データを加えた箇所が赤で表示。d.2008 年7月 22 日に Landsat で得た同じ地域の画像。



森林

% This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Thuy Le Toan (CESBIO, Toulouse, France) and Nguyen Lam Dao (University of Southern Queensland, Australia). Booklet image processing by Ake Rosenqvist (soloEO, Sweden).

本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで、Thuy Le Toan (フランス CESBIO 社)、 Nguyen Lam Dao (オーストラ リア、University of Southern Queensland) が実施しました。 画像処理は Ake Rosenqvist (ス ウェーデン、soloEO) が担当しま した。

### Forest logging and tree plantations in Vietnam

Contributed by: Thuy Le Toan (CESBIO, France)

Forests act both as sources and sinks of CO<sub>2</sub> as deforestation depletes carbon stocks and releases CO<sub>2</sub> to the atmosphere, while on the other hand, forest regrowth results in large absorptions of carbon. Quantifying forest carbon stocks and their changes are therefore critical. However, the magnitude, stability, and regional and temporal variability of these sinks and sources are poorly known and are the subject of heated debate, particularly because of its relevance to the Kyoto Protocol. The increment in biomass for growing forests is spatially variable as the regrowth after disturbances depends on climate, soil characteristics, change history, etc., as well as in the cases of managed forest and forest plantations, also on species and cultural practices.

Vietnam is currently carrying out a large-scale "reforestation" programmes. Much of the planting taking place today is of fast-growing tree species aimed at producing raw materials for the pulp and paper industry or manufacturing of woodchips for export. Also, Vietnam has decided to increase the areas of rubber plantations in the country to produce more natural rubber. According to Vietnam's Agriculture Ministry, the area of rubber has increased from about 75,000 ha in 1975, to about 700,000 ha in 2010. In 2009 alone, some 37,000 ha of new plantations were created.

Changes in biomass due to tree harvesting, deforestation and regrowth can be clearly assessed using time series of ALOS PALSAR data. ALOS is programmed by JAXA to cover all of Vietnam at least 2 times every year to accommodate nation-wide change monitoring.

#### ベトナムの森林伐採と植林

寄稿:トゥイ・ル・トォアン(フランス、CESBIO社)

森林には、伐採により大気中へ CO<sub>2</sub> を排出(ソース)する一 方、樹木の再生によって炭素を吸収する(シンク)機能があります。 そのため、森林の炭素貯蔵量とその変化を知ることは、緊急の課 題です。しかし、これらシンクとソースの大きさ、増減、地理的・ 時間的な変化については、ほとんど知られておらず、京都議定書 に関連し、熱心な討論が繰り返されています。

伐採後の森林再生は、気候や土壌の特性、それまでの植生の歴史、 管理された森林か植林か植林かどうか、樹種や栽培条件などによっ て状況が違うため、成長中の森林のバイオマスの変化は条件によっ て異なります。

ベトナムでは現在、大規模な再生林計画を行っています。植林 する樹種の多くは成長が早いもので、パルプや紙の原料か輸出用 のチップとなります。また、天然ゴムを生産するための植林も 拡大しています。ベトナム農業省によれば、1975年には7万 5,000ha だったゴムの木は2010年には70万haへと広がり、 2009年だけで、3万7,000haの新しい植林が行われました。

森林の伐採と再生によるバイオマスの変化は、ALOS/PALSAR の継続的な観測で明らかになるもので、少なくても年に2回、ベ トナム全土の変化を観測しています。



Figure 1: Southern Vietnam, July/August, 2009. Extract from the K&C PALSAR mosaic over Southeast Asia, generated by JAXA EORC.

図 1:2009 年 7/8 月のベトナム南部。JAXA/ EORC チームが作成した PALSAR の東南アジア のモザイク地図より抽出しました。



Figure 2: Multi-temporal PALSAR image over Dau Tieng, Vietnam (R: 2007; G: 2008; B: 2009). The area part is of the extensive rubber plantation programme, where extensive conversion from natural forest to rubber plantations is taking place. Forest cleared 2007-2008 appear in red, clearings between 2008-2009 in yellow, while young growing rubber shows up in blue.

図2:ベトナム、ダウ・チェンの PALSAR 画像(R/2007, G/2008, B/2009年)この地域はゴム植林計 画が策定され、自然林はゴムプラン テーションに変わりました。2007/ 2008年に伐採された森林は赤で、 2008/2009年は黄色。青で示して いるのは成長中のゴムの木。



Figure 3: Prototype map of above-ground biomass, estimated from ALOS PALSAR dual-polarisation path image data. The cross-polarised HV channel is particularly sensitive to vegetation structure.

図3:ALOS/PALSAR 二偏波モード画像で検出した、地上バイ オマスのプロトタイプ地図。HV チャンネル波は植生構造には感度 が優れています。

### Africa Land

Malawi マラウィ Forests 森林

X This work has been undertaken by Francesco Holecz, Massimo Barbieri, Alessio Cantone, Paolo Pasquali and Stefano Monaco, sarmap/Switzerland, within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, and the European Space Agency Global Monitoring for Food Security and EOMD projects.

※本事業は、JAXA 京都・炭素計画 と欧州宇宙機関の食糧確保のため の全世界モニタリング及び EOMD プロジェクトにより、スイスのサル マップ社に在籍する Francesco Holecz、Massimo Barbieri、 Alessio Cantone、Paolo Pasquali、Stefano Monaco が行 いました。

# Land cover and topographic mapping at national scale in Malawi

Contributed by: Francesco Holecz (sarmap, Switzerland)

The use of Synthetic Aperture Radar (SAR) data is often an absolute requirement in large parts of the African countries, in particular for those close to the equator, simply due to the fact that optical satellites are severely hampered by clouds. An operational application based on the use of ALOS PALSAR interferometric data has been developed for the generation of a country-wide land cover map over Malawi, and, with the same data set, the production of a Digital Elevation Model at very fine (10 meter) resolution.

The results clearly show that PALSAR data enables the reliable identification of key land cover types such as forest, clear cuts, burnt areas, low vegetation, bare soil, and water bodies. Moreover, by combining ALOS PALSAR data with multi-temporal data from radar satellites operating with shorter wavelengths, such as in this case the European Envisat ASAR, a crop map can be generated. The integration of longer (ALOS) and shorter (Envisat) wavelength radar data, the latter acquired during the whole crop season, enables accurate mapping of the cropped areas and their evolution during the growth period. It should also be noted that the Digital Elevation Model derived from the ALOS interferometric pairs shows a higher quality than the Shuttle Radar Topographic Mission one, and it opens new capabilities to topographic mapping in near-equatorial, non-forested regions.

### マラウィ全土の土地被覆と地形図

寄稿:フランチェスコ・ホルツ(スイス、sarmap 社)

アフリカの赤道近辺の国々は、厚い雲に覆われ、光学センサに よる観測は難しく、ALOS/PALSARのデータに期待が集まりま すが、ここでは PALSARの干渉データを利用して、マラウィ全 土の土地利用分類と10m分解能のデジタル標高モデル(DEM) を作成した例を紹介します。

右ページに結果を示しますが、画像から、PALSAR は土地利用 分類の代表項目である、森林、森林伐採、森林火災跡、低木層、裸地、 そして水系をよく把握することが分かります。また、もう少し波 長の短いレーダであるヨーロッパの宇宙機関 ENVISAT の SAR (ASAR) と組み合わせることで、多時期情報より穀物の生育状況 マップが作成できます。

さらに、ALOS/PALSAR の干渉 SAR 処理から作成した DEM は、スペースシャトルによる地形データより高精度であり、赤道 に近くても森林が疎な地域では地形図が作成できるという新しい 可能性を示しました。



Figure 1: Malawi. Colour composite based on interferometric ALOS PALSAR data (70 image pairs have been used). The enlargements highlight the extensive information included in this type of data set, which allows the generation of products such as main land cover/change classes, and digital elevation model.

図1: ALOS PALSAR 干渉データ(70 画像のペア使用)によるカラー複合画像。 拡大図では土地被覆とその変化やデジタル標高モデル(DEM)がみられます。

Crop Map © K&C, JAXA/METI, ESA Nov 07 - Jan 08 Intensity ASAR HH Intensity PALSAR HH Intensity ASAR HH

Figure 2: Multi-temporal data set based on ALOS PALSAR (70 scenes) and ENVISAT ASAR (120 scenes), covering the whole Malawi (118,000 km<sup>2</sup>, 15 m resolution). The enlargement highglights the rich information included in this multi-temporal multi-satellite data set, which allows the generation of crop maps.

図 2: ALOS PALSAR (70 か所)と ENVISAT ASAR (120 か所)のデータを 組み合わせたマラウィ全土(11.8 万km,解像度15m)地図。多時期、複数衛星デー タに基づき、穀物の作付け状態がわかります。



X This work has been undertaken by Francesco Holecz, Massimo Barbieri, Alessio Cantone, Paolo Pasquali and Stefano Monaco, sarmap/Switzerland, within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative.

※本事業は、JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで、スイ ス、sarmap社のFrancesco Holecz、Massimo Barbieri、 Alessio Cantone、Paolo Pasquali、Paolo Pasqualiが実 施しました。

# Using ALOS PALSAR for timber volume estimation in forest plantations in South Africa

Contributed by: Francesco Holecz (sarmap, Switzerland)

The conventional practice to collect forest ground truth information (forest biophysical parameters), such as tree height, stem diameter (DBH) and other contextual information, is by using a system of sample plots that represent the forest types of interest. The sample plot information is then averaged across the forest stand and standard allometric equations (i.e. empirical relationships between e.g. tree height and timber volume or biomass) are applied to produce estimates of the timber volume per stand, and subsequently extrapolated across the plantation. This approach is however both time consuming and costly and limits the possibility of regular plantation-wide estimates of timber volume.

Earth Observation data provides the possibility to move from the statistical sample plot based methods to full wall-towall mapping of the plantations. An approach has here been developed to provide transparent, comprehensive and cost effective forest information by integrating specific products derived from ALOS PALSAR data.

In a series of trials in Mpumalanga province, South Africa, multi-temporal interferometric ALOS PALSAR data were acquired and the approach was tested over a range of conditions –across different topography, at sub compartment level, across different seasons and weather conditions – to confirm that it could be used in an operational manner to support and improve management of saw log plantations. The approach was evaluated by timber companies in the province and considered valuable and very useful, demonstrating the utility of ALOS PALSAR for forest mapping and monitoring purposes and for the extraction of key forest biophysical parameters that are required to estimate standing timber volume.

#### ALOS/PALSAR を南アフリカの 森林植林地樹木量推定に利用

寄稿:フランシスコ・ホレズ(スイス、sarmap 社)

木の高さや胸高断面積 (DBH) などの「森林生物物理学要素」を 従来手法で取得するには、対象とする森林タイプが存在する土地 で見本を収集していました。

選択した土地の情報は、場所や木の高さ・樹木の大きさ・バイ オマスとの関係を標準的に均一化し、その土地に対しての樹木生 長予測に応用され、植林地での推定にも使われています。しかし、 この方法では、時間やコストがかかり、一般的な植林地での樹木 の大きさしか得られないという制約があります。

この統計的な土地サンプルを基礎とした方法ではなく、地球観 測データにより、植林地全体のマッピングが可能な方法がありま す。つまり ALOS/PALSAR データから、明解かつ高い費用対効 果の森林情報が得られるのです。

南アフリカのムプマランガ州における連続試験で、多時期に使 える干渉センサがある ALOS/PALSAR のデータが、様々な条件 下で試されました。

すなわち、異なった地形・区切られた地域・時期や気候が違う などの条件による試験です。その結果、データは製材用素材管理 の改良に運用可能であることが実証されました。この取り組みは、 地元の材木会社にも評価を受けました。

ALOS/PALSAR データは、森林地図作成や監視目的に有用で、 立ち木の量の推定に必要な「森林生物物理学要素」のキーを引き 出すものです。



Figure 1: Composite of ALOS PALSAR Fine Beam Single and Dual polarization data (top left) over Mpumalanga province, South Africa (top right). The approach is designed to detect and extract known land cover classes from single-date PALSAR HH/HV intensities (bottom left) and, whenever available, including HH-coherence (bottom right).

図1:ALOS/PALSARのファインビーム単偏波と二重偏波データの複合画像(左上)南アフリカ、 ムプマランガ州 (右上) PALSAR の HH/HV の輝度で識別されている土地被覆を明示しています (左 下)。利用できる場合には、HH コヒーレンス(右下)も取り入れました。



Figure 2: Biophysical products derived from ALOS PALSAR. The estimation of tree height (top left), diameter at breast height, DBH (top right), and basal area (bottom left) – the three key biophysical parameters required as input parameters into the forest model for the estimation of timber volume (bottom right) – is performed by applying regression analysis by species on samples basis and PALSAR HV data. Trees per hectare are additionally estimated by considering basal area and diameter at breast height.

図2:ALOS/PALSARから取得した生物物理学的なデータ。木の高さの推定(左上)、胸高断面積 (DBH)(右上)、根元の広がり(左下)-この3つのデータが生物物理学のキーとなり、そのデータ から樹木量推定の森林モデル(右下)が算定できます。サンプルをベースにした各種の回帰分析の応 用とPALSAR HV データが基になっています。1 ヘクタール当たりの樹木は、根元の広がりと胸高 断面積を考慮して推定されます。



X This work has been undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, funded by the Swedish National Space Board, by Johan Fransson, Andreas Pantze and Håkan Olsson (Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden), Maurizio Santoro (Gamma Remote Sensing, Switzerland), Leif Eriksson and Lars Ulander (Chalmers University of Technology, Sweden)

※本事業の一部は JAXA 京都・ 炭素観測計画の枠組みで、ス ウェーデン国家宇宙局の助成によ り、Johan Fransson、Andreas Pantze、Håkan Olsson (スウェー デン農業科学大学、スウェーデン) 及び Maurizio Santoro (ガンマ・ リモート・センシング社、スイス) Leif Eriksson、Lars Ulander (チャルマーズ大学、スウェーデン) が作成しました。

#### National clear-cut mapping in Sweden

Contributed by: Johan Fransson (SLU, Sweden) and Maurizio Santoro (Gamma, Switzerland)

In Sweden, a nationwide coverage of optical satellite data is acquired annually by the government for forest monitoring purposes. The images are used by the Swedish Forest Agency for change detection in order to find clear-felled areas and subsequent verification of the cutting permits of about 70,000 clear-felled areas yearly. In combination with about 50,000 National Forest Inventory (NFI) field plots, the images are also used for producing nationwide forest maps (e.g. stem volume and biomass). In order to obtain the 200 cloud-free optical (SPOT) scenes that are required for a nationwide coverage, about 5,000 programming attempts are needed because of frequent cloudcover and long periods of reduced solar illumination. In this respect it is of interest to investigate images acquired by ALOS PALSAR, which achieves full cloud-free coverage of Sweden at least twice per year in dual polarisation mode. In this mode the sensitivity of the intensity recorded by the satellite is maximised with respect to forest properties. The radar backscatter is typically lower for bare ground, e.g. clear-felled areas, compared to mature and regrowing forest. Within this project a methodology has been developed for detection and delineation of deforestation (primarily clear-cuts) in Sweden using strips of ALOS PALSAR images, to be integrated in the mapping system used by the Swedish Forest Agency.

#### スウェーデンにおける森林伐採

寄稿:ヨハン・フランソン(スウェーデン、SLU)、 マウリチオ・サントーロ(スイス、Gamma 社)

スウェーデン政府は、全国土の森林状況を把握するため、人工 衛星を利用して、光学画像データを毎年取得しています。スウェー デン森林庁は、それらの画像から、完全に伐採された場所を特定し、 年間7万か所に制限している伐採地を確認しています。また、デー タは、森林管理局が統括する5万か所と照合して、全国土の森林 地図(森林バイオマス量、森林体積量を含む)を作成するためにも 使われています。

スウェーデンは、雲に覆われる日が多いのと、長く続く冬期の 弱太陽光量の影響で、200枚の晴天画像を得るために合計 5,000 回の観測が必要でした。このために、昼夜天候の別なく 2 種の偏 波で年 2 回スウェーデン全土を観測できる ALOS/PALSAR は興 味の対象です。

成木林や再生林と比べ、伐採によって地面がむき出しになって いる場所は、レーダ反射波は弱く、暗い画像になります。本プロジェ クトでは、スウェーデン内での森林減少(特に伐採)を ALOS/ PALSAR を用いて見いだす方法を開発し、将来的にはスウェーデ ン森林庁によるマッピングシステムに統合されることが期待され ています。



Figure 2: Gothenburg, the second largest city in Sweden, highlighting the level of detail in the ALOS PALSAR mosaic dataset.

図2:スウェーデン第2の都市ヨーテボリ。 ALOS PALSAR モザイクデータでの詳細 地図。

Figure 1: False colour ALOS PALSAR mosaic over four of the Nordic countries (Sweden, Norway, Denmark and Finland) at 50 m resolution. Forests appear in green. Bare surfaces, agricultural fields, recent clear-cuts and marshes appear in purple. Open water, such as rivers, lakes and the seas appear in blue.

図1: ALOS PALSAR フォールス・カラーによる、北欧4カ国(スウェーデン、ノルウェイ、デンマーク、フィンランド)のモザイク画像。森林は緑色、剥き出しの土地、農耕地、最近伐採された場所や湿地は紫色、川、湖、海 などの水面は青色で示されています。



\*\* This study was undertaken in part with in the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, staff support was financed through the ESA-project "GMES Service Element - Forest Monitoring" which also supported the cooperation with the Russian Forest Inventory Agency "Roslesinforg" in Irkutsk/Russia.

この研究は、JAXA 京都 炭素・ 観測計画のデータ協定により支援 されました。欧州宇宙機構(ESA) プロジェクト内「地球観測プロジェ クト (GMES)の森林モニタリング とイルクーツクのロシア森林資源 局が財政支援をしました。

## Boreal Land Cover and Forest Structure Mapping

Contributed by: Christian Thiel, Christiane Schmullius (Friedrich-Schiller University Jena, Germany) and Maurizio Santoro (Gamma Remote Sensing, Switzerland)

Russia holds the largest forestry resources in the world (ca. 22%). The detection and monitoring of forest cover changes are of great interest not only for the State Forest Services but also for climate change related questions. Large changes in the forest structure due to logging (legal and illegal), fires, insect outbreaks and wind damage are very common. Due to the large and partly inaccessible territory, as well as of the long winters and frequent cloud cover, only satellite radar offers the unique capability to guarantee regular image acquisitions.

The study area is located in the Central Siberian Plateau in central Siberia, with taiga forests (spruce, birch, larch, pine) covering some 82% of the region. The site exhibits continental climatic conditions with dry and very cold winters (down to  $-40^{\circ}$  C in January) and warm and wet summers (up to 35° C in June).

To investigate the feasibility of using dual-season ALOS PALSAR data to enhance the sensitivity for mapping of the characteristics of the forest, summer backscatter intensity data and winter interferometric coherence data were used. Coherence is a product of two "stereoscopic" radar images derived from a technique called interferometry and the resulting coherence images give an estimate of the density and thickness of forests. The study showed that areas of forest, sparse forest and non-forest could be separated with an accuracy of 93%, thus proving that operational delineation of forest cover is feasible using PALSAR. Aside from forest, other land cover types such as settlements, water surfaces and agricultural areas could also be mapped with reasonable accuracy.

#### 針葉樹林の土地被覆と森林構成のマッピング

寄稿:クリスチャン・ティール、クリスチャンヌ・シムリウス(ドイツ、フレドリッヒ-シラー大学)、マウリチオ・サントロ(スイス、ガンマーリモート社)

ロシアは、世界最大の約22%の森林資源を持っています。州の 森林局のみならず気候変動に関する課題もあるため、森林被覆変化 の把握と監視は大きな注目を集めています。こうした森林では、通常、 不法なものと法的許可のあるものの伐採、火災、昆虫の急増や風害 による被害など、森林に大きな変化があるのが一般的です。面積が 広く、部分的にはアクセスが困難な場所や長い冬、雲に覆われる期 間が多いという要因から、衛星レーダだけが、定期的に正確な画像 の取得を保証する独自の能力を発揮します。

研究対象の地域は、中央シベリア平原にあり、タイガ森林(トウヒ、 カバノキ、カラマツ、マツ)がほぼ82%を覆っています。そこは 大陸性気候で、乾燥して1月にはマイナス40℃に達する酷寒の冬 と6月には35℃まで上昇する暖かく湿った夏があります。

2つの季節の調査の実効性のために、森林特性のマッピングの精度を高めるために ALOS/PALSAR データを使って、夏の後方散乱 強度データと冬の干渉コヒーレンスデータが使用されました。コヒーレンスは、干渉法という技術を用いて取得した2つの「立体的な」レーダ画像で、森林の密度と繁茂の状態を画像から判定できます。

この研究では、森林の地域、点在する森林、森林以外が93%の 精度で明示できたので、ALOS/PALSARを使って森林被覆の実用 可能な線引きができます。森林だけでなく、居留地、水面、農地も 高い精度で地図を作成できました。





図1: ALOS/PALSAR 複合画像(左:赤と緑―HV 偏波後方散乱輝度、青―2007 年 /2008 年冬のコヒーレンスと中央シベリアの頻繁な伐採地域の森林構成図(右)



\*\* This work has been undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, the JERS-1 Global Boreal Forest Mapping (GBFM) project and the European Commission SIBERIA-I project by Thuy Le Toan (CESBIO, Toulouse, France), Mihai Tanase and Juan de la Riva (U. Zaragoza, Spain), Maurizio Santoro (Gamma Remote Sensing, Switzerland) and Chistiane Schmullius (FSU-Jena, Germany)

本事業の一部はJAXA 京都・ 炭素観測計画とJERS-1の「全 球森林マッピング」プロジェク ト及び、ヨーロッパ欧州委員会 「SIBERIA-1」プロジェクトで行い ました。研究者はThuy Le Toan (CESBIO、フランス)、Mihai Tanase, Juan de la Riva (U. Zaragoza、スペイン)、Maurizio Santoro (Gamma Remote Sensing、スイス)、Christiane Scmullius (FSU-Jena、ドイツ) です。

# Mapping 10-year changes in forest biomass in Central Siberia

Contributed by: Thuy Le Toan (CESBIO, France)

The forests of Siberia constitute about 22% of the total world forested areas and nearly 50% of the total world coniferous-forested areas. The Siberian forests have recently become an important topic of debate. The first reason of the interest is the role of Siberian forests as weak carbon sinks, and the large uncertainties in the sink estimates. The second reason for this interest is concerned with the ongoing exploitation of forest resources.

When combined with natural hazards, this over-exploitation may cause serious deterioration of the environment, especially when considering the very low recovery rate of boreal forests. ALOS PALSAR data have proved particularly useful for providing information relevant to carbon budget calculations and to the assessment of forest status, from logging to regrowth during the first decades after disturbances in Siberia.

Quantification of a 10-year change in forest cover in the Siberian regions of Irkutsk and Krasnoyarsk was undertaken by comparing a 1997 forest map derived within the SIBERIA project from JERS-1 and ERS satellite data, with ALOS PALSAR data acquired one decade later, in 2007. The results obtained for the two study regions, which together cover an area of one million hectares, indicate that logging and forest fires may have affected some 12% of the area around Irkutsk and as much as 16% around Krasnoyarsk. While the results are under validation, this high exploitation rate of more than 1% per year indicates a concern for the future development of the Siberian forests.

#### 中央シベリアにおける森林バイオマス量の 10 年間の変化

#### 寄稿:トゥイ・ル・トォアン(フランス、CESBIO 社)

シベリアの森林は、世界全体の森林面積の22%を持ち、世界の 半分近くの針葉樹林を占めますが、この森林は以下の理由で最近 議論の的になっています。ひとつは、シベリアの森林の炭素吸収 量が少なく、その量を正確に把握できないことです。ふたつ目は、 森林資源開発が非常に進んでいることです。これは、自然災害に もつながることや、寒冷地の森林再生力が低いことを考えると、 行き過ぎた開発が環境悪化の大きな原因となります。

ALOS/PALSAR のデータは、森林炭素量計算に特に有用な 情報と、シベリアでの伐採から再生までの10年間の森林状況の 把握に有用な情報を提供しています。シベリア中部のイルクーツ クやクラスノヤルスクにおける10年間の森林変化は、人工衛星 JERS-1とERSを用いた「シベリアプロジェクト」で作成した 1997年の森林地図と、2007年にALOS/PALSARによる10 年後のデータを比較して得られました。

以下の2つの地域は合計100万haに達する広がりを持ちます が、研究の結果、シベリア東部のイルクーツク周辺では、伐採と 森林火災により12%が、クラスノヤルスクでは16%程度の森林 が消失していることが分かりました。これらの結果はまだ、検証 中ではありますが、毎年1%以上という高い率の森林伐採は、シ ベリアの森林を将来、重大な危機にさらすことになります。



1997



2007



#### Explanatory notes Red: forest lost Light Green: (re)growth Yellow: stable open areas Dark green: 'stable' forest

0

5 10

ıkm

20

1997-2007 Change map 1997 年/2007 年の変化

Black: unclassified in 1997 **凡例** 赤:消失した森林

- 淡緑:再生森林
- 黄:安定した開けた土地
- 濃緑:安定した森林
- 黒:1997年には識別されなかった場所



Irkutsk site - 1997-2007 change map イルクーツク 1997 年/2007 年の変化地図

Figures: 10-year forest changes around Irkutsk, Central Siberia, derived from 2007 ALOS PALSAR data compared with JERS-1 and ERS-1 data acquired in 1997. The map indicates biomass loss (mainly by logging, and also by fires) as well as biomass gain (regrowth of up to 30 ton/ha).

図 1:中央シベリア、イルクーツク周辺の 10 年間の森林変化データ。1997 年に JERS-1 と ERS-1 から得たデータを 2007 年に ALOS PALSAR で得たデータと比較。主に伐採と火災によるバイオマスの減少と 1 ヘクタール当たり 30 トンまでの森林再生による増加が示されています。

### South America



\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Maycira Costa (University of Victoria, Canada)

※本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画として行われました。 責任者 Maycira Costa (University of Victoria, Canada)

# Wetland management and wild life protection in the Pantanal

Contributed by: Maycira Costa (University of Victoria, Canada)

The Pantanal Wetland is located in Brazil, roughly in the center of South America, at the borders between Brazil, Bolivia and Paraguay. It is the largest pristine tropical wetland in the world, covering a continuous area of approximately 160,000 km<sup>2</sup> (several times the size of the Florida Everglades) with an abundance of biodiversity and varied threatened habitats, both on land and in the water. This includes a large number of bird species such as the giant Tuiui - the 2 m tall symbol of the Pantanal - as well as anteaters and caimans. The interplay between the distribution of vegetation, hydrology, climate and geomorphology nourishes and sustains the large diversity of flora and fauna in this wetland system. Unfortunately this interplay is poorly understood at the scale of the entire Pantanal, and the wetlands are threatened by human development, such as logging for agricultural activities and cultivated pastures, building dams, mining, burning of vegetation, and others.

The Pantanal project, partially sponsored by JAXA under the K&C initiative, uses L-band ALOS PALSAR and other SAR imagery acquired at different times of the year to map the flood dynamics of the Pantanal ecosystems at different scales. These maps will help on defining strategic areas that should be protected for wild life. In addition, our work will help answer questions of how changes on climate and human activities over time affect the biodiversity and people who live the Pantanal.

#### パンタナル湿原の管理と野生生物保護

寄稿:マイシラ・コスタ(カナダ、ビクトリア大学)

パンタナル湿原は、ブラジル、ボリビア、パラグアイにまた がる世界最大の手つかずの熱帯湿原です。その総面積は約16万 km<sup>2</sup>(北海道の2倍強)に及びますが、そのうちの1,878km<sup>2</sup> が2000年に、「パンタナル自然保護地域」として、UNESCO の世界遺産に登録され、ラムサール条約にも登録されています。

ここには、水中にも陸上にも、豊富で多様な動植物、絶滅危惧 種も生息しています。特にコウノトリ科のジャビルは、パンタナ ルの代表的な鳥で、翼を広げると 2m にもなるものです。他にも 多くの鳥類やアリクイ、ワニなども生息しています。

しかし、パンタナルの植生が豊かなことや、水の循環や気候と 特徴的な地形によって、生物の多様性が保たれていることは、ほ とんど知られていないのが現状です。

農業用地確保のための伐採、牧草地の開墾、ダム建設、地下資源の採掘、焼畑などの開発が行われ、この湿原を危機にさらしているのです。

ALOS/PALSAR や他のセンサの異なった時期のデータから作成したパンタナル湿原の画像は、どこに重点を置いて野生生物保護を行えばよいかを示してくれます。さらに、気候の変化と開発が、湿原の多様な生物や、そこで暮らす人々に、どのような影響を及ぼしているかを把握できます。



Figure 1: Top: Aerial photograph over the Pantanal. Bottom: Abundant wildlife (Tuiui-the bird symbol of Pantanal; Caimans on the shore, Large Anteater)

図1:上 パンタナル湿原の空撮写真 下 豊富な野生生物(パンタナールを象徴する るジャビル、ワニ、アリクイ)



(Blue: February/rising water Red: July/mixture of high and low waters 22°00'00"S Green: November/low water)

図 2:2007 年、PALSAR, SAR によるパンタナール(青:2月(増水期) 赤:7月(増水と渇水の混合)緑:11月(渇水期)







X This work has been undertaken by Ake Rosenqvist and Frank De Grandi, European Commission Joint Research Centre, within the context of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, the JRC TREES-III project and the European Commission Marie Curie IRG framework,

本事業は JAXA 京都・炭素観測 計画、共同研究センター(JRC) TREES-III プロジェクト、欧州委 員会(European マリーキュリー国 際社会復帰の補助金(Marie Curie IRG)の枠組みの中で、欧州委員 会共同研究センター(European Commission Joint Research Centre)の by Ake Rosenqvist と Frank De Grandi が実施しまし た。

### ALOS reveals regional-scale effects of La Niña 2008

Contributed by: Åke Rosenqvist and Frank De Grandi, EC Joint Research Centre (Ispra, Italy)

La Niña events occur when the water temperatures in the equatorial belt of the Pacific are cooler than normal. It is the opposite effect of El Niño, which forms when Pacific water temperatures are warmer than normal. Both phenomena affect global weather patterns and result in anomalous droughts and rain events.

Early 2008 was the peak of a recent La Niña event, and it resulted in increased precipitation in both central Africa and South America. In the central part of the Amazon river basin the peak of the seasonal flooding normally occurs sometime in the period May to July, with January and February normally displaying rising, but still moderate water levels. In 2008 however, La Niña caused increased precipitation and exceptionally high river levels and extensive flooding already the first months of the year, in particular in the northern part of the basin. The effect of La Niña is evident in the unique view of the central Amazon basin provided by ALOS PALSAR. The images were acquired in February 2007 (normal year) and February 2008 (La Niña year), and show the extensive high water levels (bright) caused by the event.

#### ALOS が明らかにしたラニーニャ現象

#### 寄稿:オーケ・ローセンクイスト、フランク・ディ・グランディ (イタリア、EC リサーチセンター)

ラニーニャ現象は、エルニーニョの反対の現象で、赤道付近の 水温が通常より低いときに生じます。どちらの現象も、世界の気 象に大きな影響を及ぼし、干ばつや大雨をもたらします。

1998年以後もっとも最近のラニーニャ現象のピークは 2008 年初めで、これにより中央アフリカと南アメリカで降水量が増加 しました。

アマゾン川中流域の季節的洪水のピークは、通常5月から7月 の間で、1月と2月は、水位は上昇するものの、それほど高くは なりません。しかし2008年には、ラニーニャ現象によって降水 量が増え、特に流域北部では、最初の数か月で水位が異常に上昇し、 広範囲に洪水が発生しました。

ALOS/PALSAR が取得したアマゾン川中流域の画像から、ラ ニーニャ現象の影響がはっきりと観測できます。図は、2007年 2月(通常年)と2008年2月(ラニーニャの年)のもので、ラニー ニャによる広範囲の洪水(明るい部分)を示しています。



Figure 1: The effect of La Niña in the central Amazon river basin. as observed by ALOS PALSAR. The images cover an area of 350 km by 350 km. The Negro river is visible in the top, and the Solimões (Amazon) at the bottom of the images. The left image shows the basin in February 2007 (normal year) and the right image the region in February 2008 during La Niña. The exceptionally high water levels and extensive forest inundation in the northern tributaries are manifested as bright in the images.

図 1: ALOS/PALSAR により観測したアマゾン川中流域でのラニーニャ現象の影響。350km 四方の画像。画像上部にネグロ川が、下部にソリモンエス(アマゾン)が見えます。左の画像は、2007 年 2 月(通常年)、 右の画像は、2008 年 2 月のラニーニャ現象発生中の流域の様子。画像中の明るい部分が水域で、北の支流が異常に高い水位を示し、広範囲にわたる森林の浸水が観測できます。ALOS K&C ©JAXA/METI

#### South America



湿地带

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis were supported by the Brazilian National Institute for Space Research (INPE), the Institut de Recherche pour le Développement (IRD), and NASA's MEaSUREs program.

※本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで作成された。 画像処理、分析はブラジル宇宙研 究機構 (INPE)開発研究所 (IRD) 及び NASA の MEaSUREs プログ ラムにより支援されました。

# Habitat mapping for biodiversity and conservation on the Amazon floodplain

Contributed by: Laura Hess (ICESS, University of California Santa Barbara, USA)

The seasonally inundated flood plain, or várzea, of the Amazon River is rich in biodiversity and in forest, game, and fisheries resources that historically have supported local communities in a sustainable manner. Today, várzea environments are under increasing pressure from threats including cattle ranching, timber extraction, commercial fishing, and hydroelectric projects. Large areas of the Brazilian várzea have been designated as Sustainable Development Reserves, within which biodiversity is assessed and monitored, and conservation planning is carried out in cooperation with communities.

Because vegetation patterns are closely linked to inundation period, várzea habitat mapping requires a sensor that can detect seasonal flooding beneath forest canopies, regardless of cloud cover; only ALOS PALSAR provides this capability. As shown here (Figure 1), multi-date Fine-Beam PALSAR data was used to map environments of the Mamirauá Sustainable Development Reserve, located at the confluence of the Amazon and Japurá Rivers. PALSAR-based mapping is being used at Mamirauá and other várzea reserves in conservation planning for animal species including the giant (and delicious) Amazonian pirarucu fish, the Amazonian manatee, the jaguar, and three caiman species, as well as for inventory and sustainable management of forests and fisheries.

#### アマゾン氾濫原の生物多様性と 保護のための生息環境マッピング

寄稿 ローラ・ヘス(アメリカ、ICESS、カリフォルニア大学サンタバーバラ校)

アマゾン川の季節的氾濫原には、多様な生物が生息しています。 森林が豊かなために、狩猟や漁業を営め、持続可能な方法で自然 環境が、その地域の人々を支えてきた歴史があります。しかし最 近の氾濫原の環境は、家畜の放牧、木材の切り出し、商業的漁業、 水力発電計画などによって、切迫した状態になりつつあります。

ブラジルの広大な氾濫原は、持続可能な開発保護地に指定され、 その中で多様な動植物が評価、監視され、地域コミュニティの協 力で保護計画が実行されてきました。

植生の分布状況は、浸水期間と密接に関連しています。生息環 境のマッピングには、樹木や雲の下でも季節的氾濫原を把握する 機器として ALOS/PALSAR があります。

図1に示すように、多時期、高解像度ビームを備えた PALSARのデータは、アマゾン川とジャプラー川の合流地点に ある、マミラウア自然保護区の環境地図の作成に使用しました。 PALSARのデータを元にしたマッピングは、マミラウアをはじめ とする自然保護区の巨大で美味な魚アマゾンピラルクや海生哺乳 類のマナティー、ジャガー、3種類のワニなどの動物保護計画と 森林と漁業の資源管理、さらに持続可能な管理計画の策定に寄与 しています。





Mamirauá Sustainable Development Reserve, Amazon floodplain (2.8S, 65.0W). Red: HH, 14 June 2007; Green: HV, 14 June 2007; Blue: HH, 30 July 2007. The Mamirauá Reserve is bounded by the Amazon River to the southwest and the Japurá River to the northeast. 図 1: ALOS PALSAR 高解像度ビーム、多時期複合画像。アマゾン 氾濫原、マミラウア自然保護区(2.8S、65.0W)赤: HH、2007 年 6月 14日 緑: HV、2007 年 6月 14日 青: HH、2007 年 7月 30日。マミラウア保護地は、南西のアマゾン川と北東のジャ グラー川とで区画されています。



Structure	Inundation period	Local term	
Woody-tall	0-1 months/year	High várzea forest	
Woody-tall	1-2 months/year	High várzea forest	
Woody-tall	2-6 months/year	Low várzea forest	
Woody-tall	6-9 months/year	Chavascal	
Woody-short	6-9 months/year	Chavascal	
Herbaceous	9-12 months/year	Aquatic macrophyte	
Non-vegetated	9-12 months/year	Open water	

構成	浸水期間		現地用語	
高い樹木	年間 0-1 ヶ月	間 0-1 ヶ月 濃緑 高氾濫原森林		
高い樹木	年間1-2ヶ月 淡緑 高氾濫原森林		高氾濫原森林	
高い樹木	年間 2-6 ヶ月	黄	低氾濫原森林	
高い樹木	年間 6-9 ヶ月	白	Chavascal	
潅木	年間 6-9 ヶ月	ピンク	Chavascal	
草	年間 9-12 ヶ月	水色	大型水生植物	
植生なし	年間 9-12 ヶ月	藍	開水域	

Figure 2: Classified image for subset (red box) of Figure 1, using three PALSAR dates as inputs (14 June, 30 July, and 30 October 2007). Between highwater stage in June, and lowwater stage in October, the Amazon River fell 9.1 m. In June, nearly the entire floodplain was inundated. Várzea tree species are adapted to tolerate various degrees of flooding-on the lower parts of the floodplain, trees are largely submerged at peak flood stage, and fish swim through the treetops.

図 2: 図 1 の 部 分 拡 大 ( 赤 枠 の 部 分 ) の 分 類 図。3 回 の PALSAR デ ー タ (14/7、 30/7、30/10/2007)を使用。 6 月の水が多い時期と 10 月の 少ない時期とでは、アマゾン川 の水位は 9.1mの差があります。 6 月の氾濫原はほぼ全体が水没 します。氾濫原の樹木は水没に 対応でき、氾濫原の樹木は水没に 対応でき、氾濫原の樹木は水没に、 樹木はほぼ水没し、魚が木の梢 を泳ぎます。



% This work has been undertaken by Laura Hess, University of California Santa Barbara, supported by the Brazilian National Institute for Space Research (INPE), the Institut de Recherche pour le Développement (IRD), and NASA's MEaSUREs program. Principal collaborators in this analysis were Bruce Chapman (NASA - Jet Propulsion Laboratory), Evlyn Novo (INPE), and Laurent Durieux (IRD).

本事業は、Laura Hess (カリフォ ルニア大学サンタバーバラ校)が ブラジル国立宇宙研究所、開発リ サーチ研究所 (IRD)及び、米国航 空宇宙局の MEsSUREs プログラ ムの支援により実施しました。分 析協力者は Bruce Chapman (米 国航空宇宙局ジェット推進研究所) Evlyn Novo (ブラジル国立宇宙研 究所)、Laurent Durieux (IRD) です。 Regional inundation mapping for carbon cycle, hydrologic, and climate modeling in the Amazon basin

Contributed by: Laura Hess (ICESS, University of California Santa Barbara, USA)

With a 350 km swath width allowing rapid imaging of continental-scale areas, the ALOS ScanSAR mode provides the unique capability to map inundation in forested tropical regions with high spatial (100 m) and temporal (46-day) resolution. Because inundated wetlands are the largest natural source of methane, an important greenhouse gas, knowledge of seasonal wetland inundation is required for regional and global carbon cycle modeling.

Inundatable wetlands cover approximately 15% of the lowland Amazon basin; these areas are thus an important component of the regional hydrologic cycle. Global climate change is likely to cause changes in seasonal inundation patterns in the basin, with increased frequencies of floods and droughts. In order to detect possible future changes, a multi-year baseline record of current inundation seasonality is urgently needed.

Through the ALOS systematic acquisition strategy, ScanSAR imaging of the Amazon basin is providing a 100-fold improvement in the spatial scale of inundation mapping compared to previous sensors. The ScanSAR multi-temporal, multi-swath composite in Figure 1 provides a synoptic view of regional flooding patterns for an area of approximately 680,000 km<sup>2</sup> (over 10% of the total basin area) for the period May-August 2007. Colour variation within the wetlands reflects differences in timing of the seasonal flood pulse 1) between south and north, 2) between east and west along the Amazon floodplain, and 3) between the upper and lower reaches of smaller tributaries.

Seasonal inundation products covering the complete annual cycle are being produced for the entire Amazon basin through the ALOS Kyoto & Carbon Initiative.

#### アマゾン川流域の炭素循環、水循環、 気候モデリングのための浸水マッピング

寄稿:ローラ・ヘス(アメリカ、ICESS、カリフォルニア大学サンタバーバラ校)

ALOS/PALSARのScanSARモードは100mの空間分解能、 350kmの観測幅、46日の周期で、熱帯森林地域の浸水地図を 作成することができます。浸水した湿原は温室効果ガスであるメ タンを自然界で最も多く含み、湿原の季節的な浸水状況の把握は 地域的・地球規模的な炭素循環をモデリングする上で重要です。

浸水した湿原はアマゾン川流域の低地の約15%の面積を占め、 この地域の水循環の重要な要素となっています。グローバルな気 候変動がこの流域の季節的浸水の変化の原因になっているとみら れ、洪水と干ばつが頻繁に繰り返されています。この湿原の変化 を予知するために、多年にわたる浸水に関する季節変化の情報が 必要です。

ALOS は系統的にデータ取得が可能で、アマゾン川流域の ScanSAR 画像は、それまでのセンサと比べて空間的に 100 倍 の浸水マッピング能力があります。図 1 は、2007 年 5 月から 8 月の期間の約 68 万 km<sup>2</sup> (流域全体の 10%以上)の地域の浸水 パターンを示したものです。湿原内の色の変化は、季節的浸水を 表しており、1)南北間、2)アマゾン川氾濫原にそった東西間、3) 小さい支流の上流と下流間の状況が分かります。

アマゾン川流域の季節的浸水マッピング図は、ALOS 京都・炭 素観測計画プロジェクトとして作成されています。



Figure 1: Three-date ALOS ScanSAR mosaic of the central Amazon, from May, June/July and August, 2007. Non-wetland areas are shown in gray. The remaining areas appear black (primarily open water or sparsely vegetated), white (forested areas that are flooded during all three imaging cycles), or in various colors (forested areas with changes in flooding between the months of May, June-July, and August 2007).

図1:アマゾン中央部の2007年5月、6/7月、8月の3時期でのALOS ScanSARのモザイクデータ。湿原以外の地域は灰色。黒は主に開水域か植生がまばらな地域。白は森林地域で3時期で、すべてで浸水していた地域。他の色は森林地域で、2007年5月、6/7月、8月では浸水が変化した場所です。



#### \*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis by Lisa Maria Rebelo, International Water Management Institute, 2010.

※本事業の一部は、JAXA 京都・ 炭素観測計画の枠組みの中で行わ れています。 画像処理および分析: Lisa-Maria Rebelo、国際水管理機構、2010 年

### Mapping of threatened wetlands along the Nile River

Contributed by: Lisa-Maria Rebelo, International Water Management Institute (Addis Ababa, Ethiopia)

Located on the White Nile River in Sudan, the Sudd wetland is one of the largest inland wetlands in the world. The Sudd is rich in flora and fauna and although it is one of the largest floodplain systems in Africa, detailed maps do not exist of the ecosystem. A core area of 57,000 km<sup>2</sup> of the wetland was designated as a Ramsar Convention Site in 2006, recognizing the high biodiversity of the wetland.

However, potential water resource developments threaten the wetland and will result in large environmental consequences in the region. A particular threat is the Jonglei canal that is being built to divert the river away from the rich swamps to carry the White Nile's water directly to the main river channel north of the Sudd. Construction of the Jonglei Canal was halted in 1984 due to political instability in Sudan, but in 2008 discussions were begun to restart the construction.

Very little is currently known about the flooding extent and seasonal changes within this sensitive wetland, and the full impact of the canal cannot be fully evaluated without this crucial information.

Thanks to its capacity to see through clouds and its unique sensitivity to map flooding even under tree cover, ALOS PALSAR plays a key role in increasing our understanding of this complex wetland. As a collaboration between JAXA and the International Water Management Institute, the Sudd wetland is being subject to intense monitoring.

#### ナイル河畔の危機に瀕した湿地帯のマッピング

寄稿:リサ・マリア・レベロ (エチオピア、国際水管理機構)

スーダン東部を流れる白ナイル川流域のサッド湿地は、アフリ カ最大の湿地帯のひとつで、フランス全土とほぼ同じ面積があり ます。

この湿地は豊かな動植物に恵まれ、高い生物多様性が確認されています。そのため中心部の5万7,000km<sup>2</sup>は2006年にラムサール条約に登録されました。

しかしこれまでのところ、生態系に関する詳細な地図は作成さ れていません。強大な水資源開発が湿原を脅かし、この地域に将 来多大な環境破壊をもたらす可能性があります。この地域で行わ れている水資源開発は、湿地帯の存続を脅かし、将来にわたって 多くの環境破壊をもたらす可能性があります。特に大きな脅威と なっているのが、建設中のジョングレイ運河です。この運河は、サッ ド湿地の北側を迂回して、主河道に直接川が流れ込むように計画 されています。この運河は、スーダンの政情不安により 1984 年 に一旦中断され、2008 年には建設の再開が決定されました。こ の工事によって影響を受けやすい湿地帯の洪水規模や季節変動に よる水量の増減は、今のところほとんど情報がないため、運河の 建設によって受ける湿地全体の影響を完全に評価することができ ません。

ALOS/PALSAR によるマイクロ波センサの観測データは、天候や昼夜、雲の有無に影響されず、樹林の陰にある洪水までも正確な画像として捉えます。このため、複雑で豊かなこの湿地帯を深く理解する上で貴重な情報を収集できます。

現在、JAXA と国際水管理機構 (IWMI) の共同事業として、サッド湿地の集中的なモニタリングが行われています。





29°0'E

30°0'E

Figure 1: The Sudd Wetlands, Sudan. False colour composite image using PALSAR data from June, September and December, 2007. The Jonglei Canal is the linear feature running north-southwest direction on the right of the wetland (marked with red arrow). 図 1: スーダンのサッド湿地 2007 年 6, 9, 12 月のフォールスカラー画像 湿地帯の右側に北から南西に走る線状の部分(赤い矢印)がジョングレイ運河。

W-05

### 

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis by Lisa Maria Rebelo, International Water Management Institute, 2010.

本事業の一部は、JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みの中で行われ ています。 画像処理および分析:Lisa Maria Rebelo、国際水管理機構、2010 年 Mapping wetlands in Africa to improve understanding of wetland-livelihood interactions Lake Urema, Mozambique

Contributed by Lisa Maria Rebelo, International Water Management Institute (Addis Ababa, Ethiopia)

Lake Urema is a shallow lake located on the floor of the Rift Valley, to the south of the Zambezi River in the Gorongosa National Park, Mozambique. The periodic inundation of the floodplains surrounding the lake is vital for maintaining the ecological character and biodiversity of the Park. The frequent flooding creates a dynamic ecozone supporting a range of diverse habitats with the capacity to support large numbers of herbivores (e.g. small and large antelope) and associated predators (e.g. lions).

However while the wetland is vital in supporting wildlife populations and the ecosystem of the Park, the livelihoods of local people are also dependent upon it and the ecosystem services it provides (e.g. fisheries). Land-use practices, in the watershed outside the Park affect the hydrological regime of the wetland. Consequently, there are a number of potential conflicts between livelihood and conservation requirements. Information on the flooding patterns and vegetation distribution within the floodplain is essential in order to understand the system, and to identify future changes in the hydrological regime.

Due to its high temporal coverage, high spatial resolution, and ability to "see through" clouds PALSAR data provides information which is not available from other satellites. This data is critical for mapping the flooding patterns and vegetation characteristics of the Lake Urema. 湿原と生活環境を理解するために アフリカ湿地帯のマッピング、 モザンビーク・ウレマ湖の事例

寄稿:リサ・マリア・レベロ(エチオピア、国際水管理機構)

ウレマ湖は、モザンビークのゴロンゴーザ国立公園のザンベジ 川南のリフトバレーに位置する浅い湖です。湖を取り巻く氾濫原 が周期的に浸水するので、国立公園の生態系と生物の多様性を維 持できています。

浸水によって生態系が維持され、大小のレイヨウ<sup>(注1)</sup> などの草 食動物やそれを捕食する肉食動物の豊かな生息地域となっていま す。湿原が動植物にとって重要であるように、地元住民の生活は 漁業など、湿原に依存しています。国立公園外での土地利用が、 湿原の水循環に影響を及ぼし、生活と環境保護との対立も起こっ ています。

氾濫原内での浸水のパターンと植生分類の情報は、生態系と水 循環の管理について、今後の変化を認識するために不可欠なもの です。

時間的にも空間的にも情報収集能力が高く、雲を透過して観測 できる PALSAR は、他の人工衛星では得られない情報をもたら します。ウレマ湖の正確な形状を把握し、浸水パターン、植生分 類を知るために非常に重要です。

(注1) アンテロープ (Antelope) のこと。ウシ科の約130種のうち約90種を含む種。



Figure 1: Lake Urema, Mozambique. Dual polarisation false colour ALOS PALSAR image acquired in 2007.

図 1:モザンビークのウレマ湖、2007 年に ALOS PALSAR が取得した二重偏波フォー ルスカラーの画像 Figure 2: Identification of wetland types based on flooding regime, derived from multi-temporal PALSAR ScanSAR data.

図2:多時期 PALSAR ScanSAR データから得て特定した洪水期間の湿地帯タイプ

Congo River

コンゴ川

D.R.Congo コンゴ民主共和国

Wetlands

湿地带

\* This work has been undertaken

by Ake Rosenqvist and Frank De

Grandi, European Commission

Joint Research Centre, within the

context of the JAXA Kvoto &

Carbon Initiative, the JRC TREES-

III project and the European

Commission Marie Curie IRG

framework, Congo river stages

were derived by the Topex-Poseidon Radar Altimeter by Charon Birkett,

※本事業は JAXA 京都·炭素観測

計画とJRC TREES-Ⅲ、欧州委員 会マリーキューリー国際社会復帰

の補助金(IRG)の支援で、欧州委

員会共同リサーチセンターの Ake Rozenqvist と Frank De Grandi

が行いました。コンゴ川の一部は

NASA ゴダード宇宙飛行センターの Charon Birkett により Topex-

Poseidon Radar Altimeter を使用

NASA Goddard.Space Center.

# Africa Flood duration mapping in the Congo River Basin

Contributed by: Åke Rosenqvist and Frank De Grandi, EC Joint Research Centre (Ispra, Italy)

The Congo River Basin is the second largest watershed in the world, covering an area of about 3.8 million km<sup>2</sup>. The floodplain is subject to a seasonal inundation cycle in which extensive forest areas are flooded on a regular basis, and as such, constitutes a significant source of natural greenhouse gas emissions to the atmosphere. The magnitude and variability of these emissions are largely unknown due to the lack of adequate measurement techniques to map the flooding, as even with cloud-free optical data, the extent of water below the tree canopy cannot be seen.

Thanks to the unique long wavelength used by the ALOS PALSAR, it can penetrate and "see through" the evergreen forest coverage and detect the extent of forest inundation over large regions.

With the use of wide-swath PALSAR ScanSAR data acquired during every satellite cycle (46 days) over the Congo River Basin, it is for the first time possible to map the extent and duration of forest inundation with high spatial and temporal detail. The PALSAR time-series shows a 120,000 km<sup>2</sup> part of the river basin, around the confluence of the Congo and Ubangi Rivers, acquired during one year in 2007/2008. The colour image shows a flood duration map for the main flood season between July 2007 and March 2008, indicating the number of days an area has been flooded during the period. Applying this technique to the entire Congo River Basin will allow estimation of the basin's total emissions for the first time ever.

#### コンゴ川流域における洪水域と期間の把握

寄稿:オーケ・ローセンクイスト、フランク・ディ・グランディ (イタリア、EC リサーチセンター)

コンゴ川は、世界で2番目の約380万km<sup>2</sup>の流域面積があり ます。その森林域は季節的な浸水サイクルによって、大気中に温 室効果ガスを放出します。

光学的な観測では、水が林冠にどの程度迫っているのかを見る ことができません。しかもこれまでは洪水地図を作成する適切な 技術もなかったため、温室効果ガスの排出規模やその変動につい ては、ほとんど把握できない状況でした。

ALOS/PALSARは、常緑樹林を「透かして観る」ことができるため、広域にわたる森林の浸水状況を把握できます。

1年間にわたってコンゴ川中流域での1衛星サイクル(46日間) ごとに取得した ALOS/PALSAR の画像から、空間的・時間的に 極めて詳細な森林浸水の状況を把握することが初めて可能となり ました。

図は、コンゴ川とウバンギ川の合流点付近の12万 km<sup>2</sup> に及ぶ 流域です。それぞれの色はその地域が2007~2008 年の変化 を示しています。図2は2007年7月から2008年3月の1 年間の洪水期間に浸水した日数です。この手法を適用して、コン ゴ川の全流域で年間温室効果ガス排出量を算出できます。

しました。



Figure 1: River height variations during one year in the Congo River. Note the characteristic two peaks of high waters of the river every year.

図1:コンゴ川の1年間の水量変化。 水量が高い時期が年に2回という特徴 が留意点です。





図 2:(左) ALOS PALSAR による 1 年間(2007 年 7 月から 2008 年 7 月)のデータ。森林は浸水している時期は明るく表示されます。(右) ALOS から取得した 2007 年 7 月から 2008 年 8 月の コンゴ川中流域洪水期間地図。

## Australia Queensland 71-2752 FM Australia 7-215907

湿地带

\* This research was undertaken within the framework of the ALOS Kyoto & Carbon Initiative by Richard Lucas, Aberystwyth University (Wales, UK)

本事業の一部は JAXA 京都 炭 素・観測計画の枠組みで作成され ました。 責任者は Richard Lucas (アベリ ストゥイス大学、英国、ウェールズ)

### Structural mapping of Australian mangroves

Contributed by: Richard Lucas, Aberystwyth University (Wales/U.K.)

Mangroves throughout the tropics and subtropics are responding to both natural and human-induced (anthropogenic) changes. In northern Australia, increases in rainfall and fluctuating sea levels are contributing to both seaward and landward extension of mangroves. Along the northeast coast of South America, substantive changes in mangrove extent are linked to erosion and accretion of sediments, including from the Amazon River. In Southeast Asia, anthropogenic disturbance of mangroves associated with activities such as logging and aquaculture is a more significant contributor to change.

Whilst detecting changes in the extent of mangroves is possible using optical remote sensing data, persistent cloud cover in many tropical regions limits such observations. However, because microwaves can penetrate cloud cover, such changes can be detected on an annual basis or better using ALOS PALSAR data, thereby providing opportunities for routine monitoring of mangroves over the entire tropical zone.

The long wavelength and multi-polarisation capacity of the PALSAR data also facilitates the retrieval of information on the biomass and structure of mangroves, particularly when combined with optical data and digital elevation information such as that obtained by the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). An example classification of mangroves surrounding Hinchenbrook Island in Queensland, Australia, is given in Figure 1, whilst Figure 2 shows how these data can be used for detecting change in mangroves extent.

#### オーストラリアのマングローブの構造マッピング

寄稿:リチャード・ルーカス (イギリス、アベリストゥイス大学)

熱帯や亜熱帯のマングローブは、自然や人間が起こす変化に敏 感です。

オーストラリア北部では、降雨量の増加、海面レベルの変動に より、マングローブが増減しています。南米北東部沿岸では、ア マゾン川などから排出される堆積物や土地の侵食で、マングロー ブの実質量の変化が見られています。東南アジアでは、伐採や養 殖といった人為的行為により、マングローブが被害を受けていま す。

マングローブ林の広がりの変化は、光学的リモートセンシング データで得ることができますが、熱帯地方は雲に覆われる日が多 いため観測が限定されます。ALOS/PALSAR はマイクロ波によ り雲を透過することができ、年間を通しての変化を検出でき、全 熱帯地域のマングローブ林の定期的モニタリングが可能です。

長波で多偏波をもつ PALSAR データに光学データとスペース シャトル立体地形データ(SRTM)で取得する数値標高情報を組 み合わせると、マングローブ林のバイオマス量と構造の情報を取 得することができます。

図1は、オーストラリア、クイーンズランド州のヒンチンブルー ク島周辺のマングローブの類型を示しており、図2は取得したデー タがマングローブの拡大変化の検知にどのように使用されるかを 表しています。



© K&C, JAXA/METI					10
	A.C.		A Krat	and the second	<u> </u>
		T			1CT
				k A	X
		K Sta		Closed Avicennia Closed Avicennia/Ceri Closed Ceriops	別額性のアビセニア 別額性のアビセニア/コビルキ 別額性のフビセニア/コビルキ

Figure 2: Gulf of Carpentaria (Queensland, Australia). Seaward extension of mangroves (yellow colour along the coast line) observed using ALOS PALSAR data. 図2:カーペンタリア湾(オーストラリア、クイーンズランド州)海上方向へ拡大するマングローブ(黄色 海岸線沿い) ALOS/PALSAR データで観測。

	Low biomass mangroves	低バイオマス量のマングローブ
	High biomass mangroves	高バイオマス量のマングローブ
	High biomass mangroves with prop root systems	高バイオマス量の支柱根があるマングローブ
4	Non-mangrove	マングローブなし

Figure 1: Hinchinbrook Island National Park (Queensland, Australia). Map of three biomass classes of mangrove obtained using a combination of ALOS PALSAR, Landsat and SRTM elevation data. Areas in red indicate mangroves with aerial root systems.

図1:ヒンチンブルーク島国立公園(オーストラリア、クイーンズランド州)。ALOS PALSAR、ランドサット衛星とSRTM 標高データを組み合わせて取得したマングローブ林のバイオマス量。赤の地域は支柱根を持つマングローブ。

### Southeast Asia



湿地带

\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. Image processing and analysis by Åke Rosenqvist, soloEO, 2010.

※本事業の一部は JAXA 京都炭 素観測計画の枠組みで作成されま した。画像処理と分析は 2010 年 Ake Rosenqvist (soloEO) が担い ました。

## Monitoring of mangrove swamp clearings and regrowth

Contributed by: Åke Rosenqvist, soloEO (Stockholm, Sweden)

Mangroves serve as natural protective buffer zones between land and water, and play a key role in supporting the coastal ecosystems and local fisheries. They provide habitat and shelter for many fish and crustaceans species, and produce organic matter that feed aquatic life in the waters outside the mangroves. Mangroves worldwide are however under severe threat and the areas are declining rapidly, and updated information about where changes have occurred, when they occurred, and the area affected, is crucial to stop and reverse these destructive trends.

Multi-temporal ALOS PALSAR "false colour" images provide a simple but effective means for mapping both logging and regrowth, giving a clear indication of both the temporal and spatial characteristics of the changes. The figures show multitemporal views of the Matang Mangrove Forest Reserve in Perak, West Malaysia. The reserve is used as a production forest and is logged at regular intervals, with regrowth occurring in between. Figure 1 shows a 4-year multi-temporal false colour change image derived from ALOS PALSAR data between 2006 and 2010. Forest areas which have not changed in the time period between 2006 and 2010, appear in shades of grey, while areas where changes have occurred appear in colour, depending on when the change occurred, and the type of change. The red areas indicate mangrove clearings undertaken between 2006 and 2008, while yellow shows areas cleared between 2008 and 2010. Blue signifies areas where the mangrove forest is regenerating.

Figure 2 illustrates the ALOS PALSAR capacity for rapid detection of changes, and even small such, showing the ongoing activities in the forest reserve during the period between December 2009 and March 2010. Red indicates logging between January and March, 2010. Mangrove areas logged before December 2009 appear bright in the colour composite image.

マレーシアのマングローブの把握

寄稿:オーケ・ローセンクイスト(スウェーデン、soloEO 社)

マングローブ林は、水と大地の豊かな自然を保護する緩衝地帯 としての働きがあり、沿岸部の生態系や地元の漁民にとって重要 な役割を果たしています。この林は、多くの魚類や甲殻類の生息 地や避難場所となり、マングローブ林の外に生息する水生生物に は餌となる有機物を生み出しています。

しかし、世界中のマングローブ林が深刻な脅威にさらされ、そ の面積は急速に減少しています。こうした破壊に歯止めをかけ、 自然を取り戻していくには、変化している場所や時期の特定、影 響の程度などの最新情報が不可欠です。

フォールスカラー画像は、時間的・空間的変化を明確に示し、 伐採と再生の状況を把握する効果的な手段です。

図1は、マレーシア西部ペラ州マタン・マングローブ林保護区 の2006年から2010年の経年表示画像です。この保護区は、 生産林として運営され、定期的な伐採と計画的な再生が行われて います。図2では、この期間に変化がなかった地帯はグレー表示、 変化があった地帯は、変化が生じた時期や変化の種類に応じて着 色しています。



Figure 1: Matang Mangrove Forest Reserve in Perak, Malaysia. ALOS PALSAR composite from June 2006, October 2008 and March 2010. Mangrove forest logged between the 2006 and 2010 satellite acquisitions appear in red and yellow, while regrowth appears in blue.

図 1:マレーシア、ペラ州のマタン・マングローブ林保護区。2006 年 6 月、 2008 年 10 月、2010 年 3 月の ALOS 合成画像。2006 ~ 2010 年に伐採 されたマングローブ林は赤と黄色で表わされ、再生林は青で表示しています。



Figure 2: Mangrove clearings in Matang duing a 4.5-month period between December 5, 2009 and March 7, 2010. ALOS PALSAR (R: Mar. 2010, G: Jan. 2010, B: Dec. 2009). Areas logged between Dec. 2009 and Jan. 2010 are visible in red, while yellow indicates clearings undertaken during the first two months of 2010. ©JAXA/METI

図 2:マタンのマングローブの 4 ~ 5 ヶ月の伐採。2009 年 12 月 5 日から 2010 年 3 月 7 日まで の ALOS PALSAR 画像(赤:2010 年 3 月、緑:2010 年 1 月、青:2009 年 12 月)2009 年 12 月と 2010 年 1 月に伐採された地域は赤、黄色は 2010 年の 1、2 月に伐採された地域。©JAXA/ METI

### Southeast Asia



## Wetland extent, inundation patterns and vegetation change in the Greater Mekong Basin

Contributed by: Anthony Milne and Ian Tapley, Horizon Geoscience Ltd.

Determining the spatial pattern of vegetation classes in freshwater wetlands and the associated sequence of floodplain draining and drying that accompanies flood events is an important first step in assessing the hydrologic, geomorphic and ecological processes operating in flooded ecosystems. It is also a necessary pre-requisite to the formulation of management plans relating to the sustainable use, conservation and rehabilitation of such environments.

The figures show the effects of seasonal changes in water level in the Tonle Sap Great Lake in Cambodia, as viewed by ALOS PALSAR. The two images in figure 1, which were acquired during different seasons illustrate the effect of flooding around the lake. The left image was acquired during the wet season (Nov. 2006) when submerged vegetation shows up as dark areas around the lake. During the subsequent dry season, depicted in the right image (March 2007) the water level in the lake was lower and non-flooded vegetation shows up as grey. Figure 2 illustrates the usefulness of multi-temporal datasets in determining land cover and the pattern of floodwater recession.

#### メコン川流域の湿地帯の 浸水パターンと植生変化

寄稿:アンソニー・ミルン、イアン・タプレイ(オーストラリア、ホライズンジ オグラフィック社)

淡水の湿地帯や浸水状態に応じて、水を排出したり、乾燥した り変化する洪水原で植生分類をすることは、生態を評価する上で の第一歩です。環境を持続可能に利用し、保護・再生に関した管 理計画を策定するためにも必要な前提条件にもなります。

カンボジアのトン・レ・サップ湖の季節的な水位変化の影響を ALOS/PALSAR で観測しました。図1は湖の周辺が受ける浸水 の影響を異なる季節で観測したものです。左は2006年11月の 雨期のもので、水中に隠れた植生が湖の周辺に暗く示されていま す。右図は、乾季の2007年3月です。湖の水位は低く、浸水 されない植生は灰色で示されます。図2は土地被覆や浸水域が後 退するパターンの決定に多時期データセットが有効であることを 示しています。

\*\* This work has been undertaken by Anthony Milne and Ian Tapley (Horizon Geoscience, Australia) within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative.

※本事業の一部は JAXA 京都 炭 素・観測計画の枠組みで行われまし た。実施者は Anthony Milne, Ian Tapley (Horizon Geoscience 社、 オーストラリア)です。







1. Submerged forest within Prek Toal Biosphere Reserve

- 2. Flooded forest and shrub
- 3. Macrophytes
- 4. Constrained surface water beneath shrub
- 5. Permanent areas of open water and grasslamds
- 6. Surface water drainage
- 7. Irrigated rice-fields
- 8. Villages along roads

- 1. プレクトオール生物圏保護区内の浸水した森林 2. 浸水した森林と潅木
- 2. 皮水しに林林と准小
- 3. 大型底生植物
- 4.潅木の下の人工水面
- 5.残っている開水と草地の地域
- 6. 地表水の排水
- 7. 灌漑田
- 8. 道に沿った集落

Figure 1: Tonle Sap Lake, Cambodia. ALOS PALSAR wide-swath ScanSAR data acquired during the wet (left: November 2006) and dry (right: March 2007) seasons. The white rectangle indicates the location of figure 2.

図1:カンボジア トン・レ・サップ湖。雨期(左2006年11月)と乾季(右 2007年3月)に得た(ALOS/ PALSAR の広幅 ScanSAR データ。白い長方形は図2の場所。

Figure 2: Three-date colour composite image of the Prek Toal Nature Reserve, in the northwestern part of Tonle Sap Great Lake, Cambodia, and corresponding aerial photographs of typical land cover types in the area. The colour and hues in the PALSAR composite are in response to changing backscatter conditions that occur as a result of falling water levels and crop phenology.

図2:カンボジア、トン・レ・サップ湖の北西にあるプレクトオール生物保護区の3時期のカラー複合画像。その地域の典型的な土地被覆の種類が空撮にも対応しています。

PALSAR 画像の色と色調は落水の規模や穀物の季節により後方散乱の変化に呼応しています。

69

### Southeast Asia



\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. ALOS PALSAR data have been provided by JAXA EORC. Image processing by Dirk Hoekman, Marcela Quinones and Martin Vissers, Wageningen University/ SarVision, 2007.

※本事業の一部は JAXA 京都・炭 素観測計画の枠組みで行われた。 ALOS PALSAR データは JAXA 地球観測センターにより提供されま した。

 ※画像処理・分析 ワーゲニンゲン 大学の Sar Vision (マッピングシス テムの運用アプリケーション) によ り 2007 年に実施しました。
 Dirk Hoekman (ワーゲニンゲン大 学) Marcela Quiñones、Martin Vissers (Sar Vision)

### Mapping of peat swamp forests in Indonesia

Contributed by: Dirk Hoekman (Wageningen University) and Marcela Quiñones and Martin Vissers (SarVision), The Netherlands

About two thirds of the tropical peat swamp forests in the world can be found on the islands of Sumatra, Borneo and New Guinea. Peat swamp forests are perennial moist ecosystems, which support a wide range of endemic vegetation types and endangered animal species, including the Sumatran tiger and the Orangutan. With trees up to 30 m and a peat layer that can reach some 20 m of depth, the swamps contain several times more carbon than even the most dense rain forest.

The peat swamps in South-East Asia are under severe threat from human development, in paticular from logging, rice cultivation and conversion into tree plantations, mainly oil palm and Acacia. The water is drained from the swamps through the construction of canals, which often lead to that the peat dries out and catches fire.

The current loss of peat swamp forest causes enormous emissions of  $CO_2$  at the global level and there is therefore an urgent demand for inventory and physical characterization of peat swamps in support of hydrological modeling and management, and subsequently protection and restoration.

ALOS PALSAR has proven particularly useful for improving information related to flooded cover types and biomass levels, as maps based on PALSAR data provide better accuracy and detail than the best available maps based on visual interpretation of optical satellite imagery. Results are used operationally by local governments and non-governmental organisations in Indonesia for spatial planning of sustainable peatland management strategies.

#### インドネシアの泥炭湿地林のマッピング

寄稿:デイルク・ホックマン(オランダ、ワーゲニンゲン大学)、 マルセラ・キノネス、マーティン・ヴィッサース(オランダ、Sar Vision 社)

世界の熱帯性泥炭湿地林の約3分の2は、スマトラ島、ボルネ オ島、ニューギニアにあります。

泥炭湿地林は一年中湿潤な生態系を維持しており固有の植物が 生育しています。また、スマトラ虎やオランウータンなど、絶 滅危惧種の動物が生息しています。そして 30m 程の樹木と深さ 20m にも達する泥炭層により、湿地は高密度の雨林地帯よりも数 倍もの炭素を含んでいます。

東南アジアの泥炭湿地は、伐採、稲作、アブラヤシやアカシア の植林などの開発で危機に瀕しています。運河の建設により泥炭 湿地から水が流れ出し泥炭が乾燥して、火災が発生することもあ ります。

泥炭湿地林の消失は、地球規模での CO₂の排出要因ともなるため、緊急に湿地帯を調査して特性を明らかにする必要があります。 水循環モデルを把握して水資源を管理して、保護と再生を実施する必要に迫られているのです。

ALOS/PALSARのデータを活用することで、可視光の衛星画像を元にした地図より、精密で詳細な地図が作成できます。その結果、浸水のタイプやバイオマス量に関する情報を有効に収集できます。これらのデータは、インドネシアの地方行政府やNGOが利用し、持続可能な泥炭地の管理計画の策定に役立っています。



Figure 1: PALSAR colour composite image of South Kalimantan, Indonesia. Region of major conversion of peat swamp forest to rice cultivation. Canals built to drain water from the swamps are visible as blue linear features.

図1:インドネシア、南カリマンタンのPALSARカラー複合画像 泥炭湿地林が稲作に転換した地域。青い線は湿原から水を排出する運河です。



Figure 2: Map derived from PALSAR ScanSAR time-series showing flooding frequency in 2007. 図 2: PALSAR ScanSAR で得られた 2007 年の時系列の浸水頻度マッピング 洪水頻度は図の中の青が濃くなるほど高く灰色は不明を意味しています。
### Southeast Asia



\*\* This research was undertaken by William Salas and Nathan Torbick, Applied GeoSolutions, LLC, within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, in collaboration with Xiangming Xiao, University of Oklahoma.

※本事業は JAXA 京都 炭素・ 観測計画の枠組みで、Applied GeoSolutions, LLC 社のWilliam SalasとNathan Torbickが、オク ラホマ大学のXiangming Xiaoの 協力を得て実施しました。

### Mapping Rice Agro-Ecological Conditions to Track Avian Influenza

Contributed by: William Salas, Applied Geosolutions LLC (Durham, NH, USA)

Highly Pathogenic Avian Influenza H5N1 ("bird flu") virus emerged in China in the late 1990s, but the first largescale epidemic took place in the winter of 2003-04 in East and Southeast Asia. Indonesia reported the first avian influenza outbreaks in its territory in 2004. Since then, outbreaks occurred over large portion of the country, and the disease seems to be persistent and endemic on the islands of Java, Bali and Sumatra. For cost-effective in surveillance, risk reduction and response, it is important to identify "hot-spots" (location-varying risk) and "hot-times" (time-varying risk) for possible outbreaks of the influenza. Prediction of these hot-spots and hot-times depends on our understanding of ecology and epidemiology of the H5N1 virus (Figure 1).

Improved information about rice paddy cultivation cycles and timing of crops is helping scientists to improve public health strategies. ALOS PALSAR and MODIS satellite images are being integrated to understand and forecast Avian Influenza events. Epidemic outbreaks are highest during periods of interaction between people, domestic poultry, and migratory waterfowl. Rice paddies are thus a hot spot of activity for potential disease transmissions. Multi-temporal PALSAR images are used to map rice paddy locations (Figures 2 and 3), crop calendars, and crop cycles to examine when and where events are most likely to occur. In conjunction with mapping, health data and waterfowl tracking is linked to model bird flu dynamics.

### 稲作と生態状況のマッピングで 鳥インフルエンザを追跡

#### 寄稿 : ウィリアム・サラス(アメリカ、アプライドジオソルーション LLC 社)

病原性の高い鳥インフルエンザウイルスは 1990 年代に中国で 出現しました。最初の大規模な流行は、2003 年から 2004 年の 冬にかけて東アジア、東南アジアで起こりました。インドネシアは、 2004 年に国内での鳥インフルエンザの急増を最初に発表しまし た。それ以来インドネシアの広範囲に鳥インフルエンザが急激に広 がりバリ島、スマトラ島では持続的に根強くはびこる病気のように 思われました。

想定されるインフルエンザの流行を防ぐには、一番多く発生して いる場所(ホットスポット)と時期(ホットタイム)の特定が重要 となり、高い費用対効果が期待される監視とリスク軽減、対応が望 まれます。これら場所と時期を予測するには、生態学と鳥インフル エンザウイルスの疫学の理解が重要な鍵となります。(図1)

水田耕作のサイクルと収穫時期に関する情報は、科学者が公衆 衛生の計画を改善するために役立ちます。ALOS/PALSAR と MODIS 衛星画像は統一されて、鳥インフルエンザの理解と発生を 予測することができました。

それは、人と家畜、渡り鳥の間で相互に接触があった時期に、流 行が多発しました。このような理由で、水田が病気を伝染するホッ トスポットになっていると考えられるのです。水田の場所の特定(図 2・3)や、いつ、どの場所で鳥インフルエンザが発生するかを調 査するため、穀物栽培の日程と栽培サイクルを地図にすることにし ました。この目的に ALOS/PALSAR の多時期の画像が使われま した。マッピングと関連して、健康データ(図4)と水鳥の追跡が、 鳥インフルエンザ発生のモデル作成に参照されました。



Figure 1: Ecology and epideminology of Highly Pathogenic Avian Influenza H5N1 (AIV) in a nature-human system. (Figure by X. Xiao)

図1:自然と人間の関わりの中での病原性の高い鳥インフルエンザの生態学と疫学(作成者X.Xiao)



Figure 2: Rice agriculture dynamics in Java, Indonesia, from three ALOS PALSAR ScanSAR scenes (Red: 12/30/2008, Green: 02/14/2009, Blue: 05/17/2009). Green, red and purple areas are rice fields with different cultivation dates. Areas of aquaculture (fish and shrimp ponds) are also visible along the coast (dark areas with low SAR backscatter).

図2:3つの ALOS/PALSAR ScanSAR デー タによる、インドネシア、ジャワ島での米作農業 動態。(赤:2008年12月30日 緑:2009 年2月14日 青:2009年5月17日)緑、赤、 紫の地域は異なった栽培時期の水田。養殖(魚と 海老の池)の地域は海岸(後方散乱が低い地域) に沿って見られます。



Figure 3: Java, Indonesia. Top: PALSAR ScanSAR multitemporal mosaic. White box indicates location of figure 2. Bottom: Extent of rice paddy cultivation, derived from the ScanSAR mosaic.

図3:インドネシア、ジャワ島。上図:ALOS PALSAR ScanSAR 多時期モザイク画像。白く囲まれているのは図2の 場所。下図:水田耕作の広がり(黄色)をScanSAR モザイク 画像で示しています。



\*\* This research was undertaken by William Salas and Nathan Torbick, Applied GeoSolutions, LLC, within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative, in collaboration with Xiangming Xiao, University of Oklahoma.

この研究は JAXA 京都 炭素・観 測計画の枠組みの中で、Applied GeoSolutions, LLC 社の William Salas と Nathan Torbick がオクラ ホマ大学の Xiangming Xiao の協 力で行いました。

### Mapping and Monitoring Rice Agriculture with ALOS ScanSAR Imagery

Contributed by: William Salas, Applied Geosolutions, LLC (Durham, NH, USA)

Rice is an important crop globally that influences regional economies and global trade, migratory waterfowl, nutrition and food security, and the Earth system. Rice is a major food crop in Asia where approximately 130 million hectares are planted each year, with the majority of rice production from flooded paddy fields.

ALOS PALSAR is being used to generate a suite of information products that monitor rice agriculture across Southeast Asia and China. The rice monitoring system based on PALSAR and MODIS imagery provides useful information on rice area, rice yields or total crop harvest, flood dynamics and waterfowl habitat, and the number of crops per year for paddies. The information is used by governments, farmers, scientists, and decision-makers involved with food security, land use planning, disease ecology, and climate change. Satellite images are collected over time to update the system and generate upto-date rice information products for scientists. Multi-temporal PALSAR images are quite effective for mapping rice. Figure 1 is a false color composite of three PALSAR ScanSAR images showing the Poyang Lake region in Province, China. Rice areas are visible in red colors due to the higher backscatter in August (mature rice plants) than in April in May when the fields are being flooded and rice is transplanted.

### ALOS ScanSAR 画像で稲作農業をマッピング

寄稿:ウィリアム・サラス(アメリカ、アプライド ジオソルーション LLC 社)

米は、世界的に重要な穀物で、地域経済や貿易、渡りをする水鳥、 食の安全、そして地球のシステムにも影響を与えます。米はアジ アの主要な穀物で、約1億3000万haの土地に毎年作付され、 ほとんどが冠水する水田で耕作しています。

ALOS/PALSAR を使うと、東南アジアと中国までの稲作農業 をモニターする情報を得ることができます。PALSAR と MODIS の画像に基づく稲作モニタリングシステムを使って、米作地帯、 収穫高、全穀物の収穫、浸水のパターン、水鳥の生息地および水 田の年毎の収穫量について有用な情報が得られます。

その情報は、政府関係者や科学者、農民だけでなく、食の安全 や土地利用計画、動植物の病気に関する生態系と気候変動に関わ る人たちに利用されています。

何度も集められる衛星画像は、その都度更新されて、最新の米 作生産情報を科学者に伝えます。多時期にわたる PALSAR 画像 は、稲作マッピングには極めて大きな役割を果たします。図1は PALSAR ScanSARのフォールスカラー複合画像で、中国の江 西省、鄱陽湖(はようこ、現地ではポーヤンフー、Póyáng Hú) 一帯の地域を示しています。稲作地域は赤で見えますが、これは、 田植えを終えたばかりの4月や5月は田に水が満たされている時 期よりも、米が育った8月には後方散乱が大きくなるからです。

Figure 1: Poyang Lake region, Jiangxi Province, China, is the largest freshwater lake in China. Multi-temporal 2007 ScanSAR data (Red: August 29, Green: May 29, Blue: April 13) highlights rice paddies (red), wetland/water (black-green) of the lake, and urban land uses (white) in the region.

図1:江西省のポーヤン湖は中国最大の淡水湖です。2007年の ScanSAR データ(赤: 8月29日 緑:5月29日 青:4月13日)は水田(赤)、湖の湿地/水(黒一緑)

© K&C, JAXA/METI

Figure 2: Left: Rice (red) classification for the Poyang Lake watershed using multitemporal ALOS PALSAR ScanSAR and Landsat water mask. Right: Map of rice cropping intensity (# of crops) and rice paddy hydroperiod for Poyang lake watershed (right). Approximately 85% of rice paddies were identified with two distinct inundated periods indicating double crop paddies.

図2:左:多時期 ALOS PALSAR ScanSAR と Ladnsat water mask を使用したポーヤン湖の米(赤) 区分図 右:ポーヤン湖周辺には米作地が非常に多いこと、水田の冠水時期を示した図。水田の約85%は 際立って冠水する2つの時期が認められ、二期作の水田と推定できました。



### North America Canada カナダ California state カリフォルニア州 USA アメッカ レーマー Wetlands 湿地帯

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by William Salas, Applied Geoscience LLC, USA.

※本事業の一部は JAXA 京都・炭
素観測計画の枠組みで作成されました。
責任者: William Salas (アプライドジオサイエンス LCC 社、米国)

# Assessing climate change and greenhouse gas emissions from rice crops.

Contributed by: William Salas, Applied Geosolutions, LLC (Durham, NH, USA)

Recent government regulations and international frameworks are emphasizing the need to assess greenhouse gas (GHG) emissions from agricultural sectors to address climate change. Rice agriculture is one sector that is of importance due to rice paddy biogeochemistry and potential to optimize sequestration opportunities through farm managements. Rice agriculture occupies more than 11% of global cropland and generates upwards of 20% of global methane emissions. Several studies have shown that irrigation management can significantly influence rice paddy emissions. To comply with new regulations, identify opportunities, and address climate change the rice industry needs improved operational monitoring tools to systematically assess the role of rice paddy irrigation management on GHG emissions.

ALOS PALSAR has advanced our understanding of how human activities impact the climate and how agricultural management decisions influence greenhouse gas emissions. The data has enabled accurate monitoring of rice paddy growth and water management cycles over large regions. In this example, 95% of the rice grown in California, USA was observed using ALOS PALSAR images throughout the year (Figure 1). These PALSAR images help scientists map rice paddy extent, characterize rice biomass growth, and record paddy flooding cycles (Figure 2), and are subsequently used as input to a biogeochemical model to quantify the amount and spatial patterns of nitrous oxide and methane emissions (Figure 3). The results help scientists and farmers understand the important role that rice management decisions play in changing our climate.

### 気候変動と温室効果ガス排出を米作から見る

寄稿 : ウイリアム・サラス (アメリカ、アプライドジオソリューション LLC 社)

近年、政府の規制や国際的な枠組みの中で農業分野から、温室 効果ガス (GHG) 排出の算定を通した気候変動への取り組みが重要 になってきました。生物地球化学的循環や、農業経営の環境のた めの改善を実行する可能性のためにも、米作は大きな課題です。

米作農地は世界の穀物生産地の11%以上を占めており、20% ものメタンガスを排出しています。いくつかの研究事例からは、 灌漑経営が水稲栽培からの排出量に大きな影響を与えていること がわかります。新しい規制に応じて、可能性を明らかにしながら 気候変動に取り組むために、温室効果ガス排出の水稲栽培管理体 制を体系的に判断できる、運用可能な改良された評価ツールが、 米作経営に必要となります。

ALOS/PALSARのデータは、農業管理と人間の行動が温室効 果ガスの排出にどのような気候への影響を与えるかという理解を 進めました。広大な地域における水稲の成長や水管理の正確なモ ニタリングがデータにより可能となりました。

図1はカリフォルニア州で栽培される水稲の95%を ALOS/ PALSAR で通年観測したものです。画像は、科学者が水田の範囲 を地図(図2)で把握し、水稲が成長する際の特性を明らかにしま す。水田の洪水域を記録する上で有用です。

こうした観測データは、亜酸化窒素 (N2O) とメタンガス (CH4) の、排出量と分布パターンを把握するため、生物地球化学的モデルの入力データとなります。(図3)

この計算結果により、水稲の管理が気候変動へ与える影響に重 要な役割を担うことが、科学者や農業従事者に理解されるでしょ う。



Figure 1: PALSAR dualpolarisation image (Red:hh, Green: hv, and Blue HH-HV) of rice fields in California, USA.

図1:米国、カリフォルニ ア州の米作地の二重偏波 画像(赤:hh 緑:hv 青: HH-HV)



Figure 3: PALSAR imagery was used to map rice paddies and flood cycles to model the amount of greenhouse gases (GHG) and understand how humans influence climate changes. Bluish colors show locations of high methane emissions, while red rice fields have lower methane emissions.

図3:温室効果ガス(GHG) の量をモデル化し、人間が 気候変動にどのような影響 をあたえるかを理解するた めに、PALSAR画像を用 いて水田と浸水サイクルの 地図を作成しました。青味 がかった色はメタンガス排 出量が多い場所です。白、 赤の水田はメタンガス排出 か少ない場所です。



Figure 2: Map of rice paddies and rice paddy hydroperiod generated from ALOS PALSAR FBS/D (HH: 12.5m) and ScanSAR WB1 (HH:100m), respectively. In this example approximately 75,000 hectares of rice paddies were cultivated in the rice growing season of 2007 in the Sacramento Valley, California, USA. Of these, approximately half (47%) were identified as flooded only during the December temporal window.

図 2: ALOS PALSAR FBS/D(HH:12.5m) と ScanSAR WB1(HH:100m) で作成された水田とその水量。この画像 では、カリフォルニア州サクラメント渓谷の約 75,000 ha の水田が、2007 年の成長期に耕作されており、約半分の 47%は 12 月と冬の一時期にのみ浸水しています。

### Mapping wetland ecosystems across Alaska

Aliaska アラスカ アラスカ Wetlands 湿地帯

North America

\*\* This work has been undertaken within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative and the JERS-I Global Boreal Forest Mapping (GBFM) project by Kyle McDonald (JPL/Caltech), in collaboration with Mahta Moghaddam, Jane Whitcomb, Erika Podest and Josef Kellndorfer.

本事業の一部は、JAXA 京都・炭素 観測計画の枠組みの中で行われて、 JERS-1 のグローバル北方林のマッ ピングプロジェクトデータ (GBFM) が使用された。実施の一部は、アメ リカ航空宇宙局との契約の下、カリ フォルニア工科大学ジェット推進研究 所で行われました。 実施者:Kyle McDonald (JPL/ Caltech)

協力者: Mahta Moghaddam、 Jane Whitcomb (ミシガン州立大 学)、Erika Podest (JPL/Caltech) および Josef Kellndorfer (ウッズホー ル研究所)。 Contributed by: Kyle McDonald (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, USA)

Wetlands play an important role in the global cycling of carbon and water. Wetland ecosystems are important to the exchange of greenhouse gases between the land and atmosphere and can vary between being a source or a sink of atmospheric carbon in response to climate change and anthropogenic influences. Wetlands are also important to biodiversity and water resource management. Despite their importance, the extent and dynamics of wetlands are not accurately known largely because of the difficulty associated with identifying and mapping wetlands in remote areas. Japan's L-band radar satellites (JERS-1 and ALOS) provide unique capabilities for mapping and monitoring wetlands, enabling the large-area coverage needed to characterize these important ecosystems. Data from both satellites have been used to identify, map and characterize wetland ecosystems world-wide.

The figure shows a map of wetlands over the entire state of Alaska derived from 100 m resolution JERS-1 mosaic data. A novel approach was applied to map the broad landscape, utilizing both radar data and ground measurements for developing the classification and validation scheme. With an aggregated accuracy of 89.5% relative to ground survey data, this is the first Alaska-wide map of wetlands developed from a single contiguous data source. It provides key information needed for regional- to continental-scale studies of biogeochemistry, hydrology, plant and animal biodiversity, water resource management, and long-term sustainability of wetland ecosystems in Alaska.

### アラスカでの湿地帯エコシステムのマッピング

寄稿:カイル マクドナルド(アメリカ、カリフォルニア州パサデナ、カリフォ ルニア工科大学ジェット推進研究所)

湿地帯は、生物多様性の保存や、水資源管理にとって重要です。 しかし、遠隔地で湿地帯の範囲を特定し、地図作成に必要なデー タを収集するには適切な技術がなく、湿地帯の範囲と変化につい ては、正確に把握されていないのが実情です。

Lバンドレーダ衛星の JERS-1 と ALOS は、湿地帯のデータ収 集とモニタリングに適した独自の能力を持っているため、広範囲 にわたる湿地帯の生態系を特定し詳細な地図作成を行って湿地帯 の特性を明らかにできます。

図は、JERS-1の解像度 100m によるモザイクデータから作 成したアラスカ全域の湿地帯地図でです。レーダのデータと地上 での実測値を活用した新しい手法により、世界で初めて広大なア ラスカ全域の湿地帯地図を作成しました。地上での実測値と比較 して、89.5%の精度が得られました。

この地図は、アラスカの湿地帯、さらには大陸規模での生物地 球化学、水理学、生物多様性、水資源管理および生態系の長期的 持続可能性を検討する上で重要な情報源となるものです。



Figure 1: Wetlands map of Alaska derived from JERS-1 SAR mosaic. Original resolution 100 metres. As many as nine distinct wetlands vegetation classes are identified in this map. 図 1: JERS-1 SAR 解像度 100m モザイクから得られたアラスカの湿地帯地図。9 種類の植生が確認できます。

# North America



湿地带

\*\* This work has been undertaken in part within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative by Kevin Telmer, Jamie MacGregor and Maycira Costa (University of Victoria, Canada)

本事業は JAXA 京都 炭素・観測計 画の枠組みで作成されました。主導 者は Kevin Telmer, Jamie MacGregor, Maycira Costa (カナダ ビクトリア大学)

### Estimates of lake size distribution and carbon burial across the Canadian landscape

Contributed by: Kevin Telmer (University of Victoria, Canada)

Carbon accumulation in lake sediments has long been recognized as an important component of the global carbon cycle, and in the Canadian boreal region alone, it could account for as much 13.4 Mt of  $CO_2$  equivalent per 100,000 km<sup>2</sup> per year.

Of the many parameters which influence carbon accumulation rates, lake size has been identified as a simple predictor of carbon burial rates in lake sediments. Accurate and reliable lake census data is therefore a fundamental first step in extrapolating carbon accumulation rates to regional and global scales. In Canada, the CanVec hydrographic dataset (produced by Natural Resources Canada) constitutes one of the most comprehensive datasets available. It demonstrates very good spatial accuracy while however its temporal resolution is limited; especially in remote areas and can span up to 50 years or more. The majority of available hydrographic datasets are generally limited in either spatial or temporal resolution, or both.

ALOS PALSAR provides a unique opportunity to construct a global lake database with high spatial resolution and within the period of one season during a single year. One of the inherent benefits of such PALSAR is its capacity to detect water bodies. L-band radar can penetrate through sparse vegetation while also being less sensitive to water surface roughness. This makes it ideal for differentiating water from land under variable conditions.

### カナダ全域の湖での炭素埋蔵と分布の予測

寄稿:ケビン・テルマー(カナダ、ビクトリア大学)

湖に沈んだ炭素堆積物は長期間にわたり、地球の炭素循環に重要な要素だと認識されてきました。カナダの針葉樹林帯だけでも、 年間10万 km<sup>2</sup> につき、13.4M トンの CO<sub>2</sub> の確認ができます。

炭素堆積物量を把握する要因の中で湖の大きさが、炭素埋没量 の予測に使われています。地域と地球規模のデータを、既知のデー タから推測、作成することは正確で信頼のおけるデータ取得の基 礎的な第一歩です。

カナダでは、カナダ天然資源省が製作した Can Vec 測定デー タセットが最もわかりやすく使用できます。このデータセットは、 空間的精度は大変良好ですが、時間的な解析は遠隔地では限定さ れていて、50 年くらいまでの計測しかできません。

多くの水理学的データセットが、空間的か時間的か、どちらか の分析しかできないものが多いのが現状です。

ALOS/PALSARは、1年のある季節だけでも、空間的解像度 が高く、地球規模での湖のデータベースを作図することができま す。PALSARの利点の一つは水を通して観測できることです。L バンドレーダは水面が波だっていてもあまり影響せずに点在する 植生を捉えます。この特性は、様々な条件下でも、水と土地を識 別する理想的な機能です。



### PALSAR Lakes



CanVec Lakes



Figure 1: Northwest Territories (NWT), Canada. Left: ALOS PALSAR data showing one of the ecozone test sites used to test the lake classification for a Canada wide assessment of lakes. The ecozones (boreal, southern arctic, and northern arctic) were used to scale carbon accumulation rates before they were applied to the PALSAR dataset. Top right: lakes derived from ALOS PALSAR. Bottom right: the corresponding CanVec reference data base.

図1:カナダ北西部。左:カナダの湖の広範 囲な評価のために分類試験に使われた7つの エコゾーンの一つをALOS/PALSARで示し ています。針葉樹林帯、南半球、北半球のエ コゾーンは、ALOS/PALSARのデータを使 う前に炭素蓄積量が測定されていました。右: ALOS/PALSARから得られた湖の画像。右 下:Can Vec データベースと合致したしたこ とを示しています。

## Africa North Atlantic Sahara desert サルラ砂漠 Africa アフリカ Deserts 砂漠

\*\* This work has been realized within the framework of the JAXA Kyoto & Carbon Initiative. PALSAR data were provided by JAXA EORC and were processed by the Observatoire de Bordeaux, with a financial support from the French space agency, CNES.

※本事業は JAXA 京都 炭素観測計画 の一部として実施されました。PALSAR 画像は JAXA 地球観測センターが提供 し、ボルドー天文台が処理しました。フ ランス国立宇宙研究センター (CNES) か らも助成を受けています。

# Mapping of sub-surface geology in Sahara to support water prospecting

Contributed by: Philippe Paillou, Observatoire de Bordeaux, France

The access to freshwater resources is a crucial problem for future generations, in particular in arid regions such as North Africa. Typical water prospecting schemes start from existing geological maps, in order to define further fieldwork exploration. However, in remote areas such as central Sahara, such detailed geological map do not exist, and aeolian deposits (sand) hide most of the important geological information.

In arid conditions, microwave signals can penetrate the dry sand layer and provide information about sub-surface geological features hidden to the naked eye. The longer the wavelength, the deeper the penetration. The long L-band wavelength of ALOS PALSAR is particularly suitable and allows probing the subsurface down to several meters.

To facilitate mapping of sub-surface geology over subcontinental scales, an ALOS PALSAR mosaic covering the entire north Africa and Arabian peninsula was generated. A first major discovery using this unique data set was a major 1200-km long ancient river (called paleo-river) in Libya, that in the past used to connect the Kufrah basin in southeastern Libya with the Mediterranean coast. The discovery of the so-called Kufrah River, which is comparable in length with the Egyptian Nile, has important implications for the understanding of the past environments and climates of northern Africa and for present prospecting of ground water resources in the region.

The PALSAR mosaic has also enabled the discovery of a large number of previously unknown impact craters in Egypt, Sudan and Libya.

水源確保のためのサハラ砂漠地下のマッピング

寄稿:フィリップ・パイヨー (フランス、ボルドー天文台)

北アフリカのような乾燥地域では、次世代の人々のために、新 鮮な水を入手することは切実な課題です。地質図から地下水脈を 探し出すことは、現代的手法ですが、文明から離れた中央サハラ の地では詳細な地質図はなく、しかも風により、砂などの堆積物 が地質学上重要な情報を覆い隠してしまっています。

乾燥した場所では、乾いた砂の層をマイクロウェーブが透過し て、目に見えない地下の地質情報を得ることができます。探査用 の電磁波は、長波であるほどより深くまで見ることができます。 ALOS/PALSARのL-バンドは、この条件に適しており、地表下 数 m まで徹底的な調査を可能にしています。

広大な大陸規模の地下マッピングを容易にするため、ALOS/ PALSARによって北アフリカ全土とアラビア半島のモザイクデー 夕を作成しました。

この過程で最初に分かったことは、リビアに1,200km に及ぶ 古代の川(クフラーパレオ川)の存在です。昔、この川はリビア 南東部のクフラ盆地と地中海をつなぐもので、エジプトのナイル 川にも匹敵する長さがありました。

このデータは、かつての北アフリカの環境や気候を理解する上 で重要な指標となり、この地域での水源を予測することにも役立 ちます。

また PALSAR のモザイクデータから、以前には知られていな かった、エジプト、スーダン、リビアにある隕石落下によるクレー タを数多く発見しました。



Figure 1: ALOS PALSAR mosaic, covering Sahara and Arabian peninsula at 50m resolution (17°N – 37°N and 17°W – 60°E) 図 1 : ALOS/ PALSAR サハラとアラビア半島のモザイク画像 50 m解像度(北緯 17 度から 37 度、西経 17 度から東経 60 度)





Figure 2: The Kufrah paleo-river (in blue) in Libya mapped onto SRTM topography (top) and PALSAR mosaic (bottom). 図 2: 左はSRTM(シャ トルレーダ地形ミッショ ン)作成の地図でみるクフ ラーパレオ川(青)右は PALSARのモザイク画像



Figure 3: A 1°x1° PALSAR map with potential paleoriver networks overlaid. Part of a radar atlas of Sahara showing sub-surface geology.

図 3: PARSAR 地図。埋 もれたパレオ川の水路網が 示されている。レーダの一 部にはサハラの地表下の地 質が見えます。





Figure 4: LANDSAT 7 ETM+ image of the Arkenu double impact crater (top) and corresponding PALSAR radar image (bottom) at a resolution of 50m.

図4:ランドサット7ETM +画像によるアーケヌ隕 石によるクレーター(上) PARSAR レーダー画像 50m 解像度による(下)

### Keyword INDEX

手切せた	中国来日 中国来日	森林管理 Mosaic	Forestry	Wetland 湿地帯	Biomass バイオマ	Defores 伐採	Degrada 劣化	Vegetatic 植生生物	Land Co 土地装潢	に 相図 数 更	地図作成	浸水 Man ger	CO <sub>2</sub> /CH	保護監視 Carbon	各種国際で	Conventions	Biodive	Environ 環境変化	Africa アフリカ	東南アシ. Asia アジア	オースト SE-Asia	⊒—⊔ », Australi	北アメリ: Europé	North A	South A 南アメリ:	事例番号	Paper co	Forestry 森林管理 Mosaic	Wetland 湿地帯	Biomass バイオマ:	Defores 伐採	Degrada 劣化	Vegetatic 植生生物	Land Co 土地被覆:	Change 地図変更	Map ger 地図作成	Inundat 浸水	Carbon CO <sub>2</sub> /CH	Conserv 保護監視	Conventions 各種国際語	Biodive 生物多様	Environ 環境変化	Africa アフリカ	Asia アジア	SE-Asia 東南アジ	Australi オースト	Nortury 北アメリ: Europé ヨーロッ,	歯アメリ:
	ode	generation		S	۶ ۶	tation	tion	on biophysical parameters 物理学指標	)ver classincation 分類	mapping · 改訂		neration	D. 4	(CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> )	¥約 /ation	⊯ ; (UNFCCC/REDD, Ramsar, CBD) æ≪∽	rsity #	mental change		<i>F</i>	U V			merica	merica h		ode	r generation	IS	× ۲	tation	tion	on biophysical parameters 物理学指標	over classification 分類	mapping · 改訂	neration	ion	$(CO_2/CH_4)$	ation	; (UNFCCC/REDD, Ramsar, CBD) 条約	rsity 性	mental change			ק	a ラリア	nuerica 27	
N	4-01	0																								W	V-01		0					0	0	0	0		0	0	0	0						0
Ν	4-02	0																								W	V-02		0						0		0	0										0
N	4-03	0																	0							W	V-03		0					0			0		0	0	0							0
Ν	4-04	0																						0	0	W	V-04		0						0		0		0	0	0							0
F	7-01	(	c			0				0				0				0							0	W	V-05		0					0			0		0	0	0		0					
F	-02	(	э			0	0			0				(				0							0	W	V-06		0					0		0	0		0	0	0		0					
F	-03	(	c			0				0								0							0	W	V-07		0						0		0	0					0					
F	-04	(	э			0				0	0					0		0							0	W	V-08	0	0					0						0						0		
F	-05	0	э		0			0			0		(	0		0						0				W	V-09	0	0		0	0			0				0	0		0			0			
F	-06	0	c			0	0	0		0	0		(	0 0		0		0				0				W	V-10		0					0			0								0			
F	-07	0	o						0		0			(		0					o 📘					W	V-11	0	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0		0			0			
F	-08	(	þ			0	0		0	0				(		0	0	0			o 🗌					W	V-12		0								0								0			
F	-09	(	þ						0												o 🗌					W	V-13		0						0		0	0				0		0				
I	F-10	(	þ			0	0			0			(	0 0		0		0			o 🗌					W	V-14		0						0		0	0				0					0	
I	F-11	(	c		0	0				0			(	0			0	0			э					W	V-15	0	0					0		0		0		0							0	
I	F-12	0	o					0	0		0					0		0	0							W	V-16		0					0		0		0		0							0	
I	F-13	(	þ		0			0			0		(	0					0							D	<b>D-01</b>	0								0							0					
I	F-14	0	э							0	0		(	0				0					0																									
I	F-15	0	o		0	0			0		0					0		0		0																												
I	F-16	0	o			0				0			0	0 0		0		0		0																												

## ALOS Kyoto & Carbon Initiative - Science Team members

Name	Affiliation	Representing country	Booklet contribution
Silvana Amaral	National Institute for Space Research (INPE)	Brazil	F-01
Bruce Chapman	Jet Propulsion Laboratory/California Inst. of Techology (JPL)	USA	M-04
Maycira Costa	University of Victoria	Canada	W-01
Frank De Grandi	European Commission, Joint Research Centre (JRC)	EU	M-03, W-02
Humberto Navarro de Mesquita Jr.	Institute for Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA)	Brazil	F-02
Johan Fransson	University of Agicultural Sciences (SLU)	Sweden	F-14
Laura Hess	University of California Santa Barbara	USA	W-03, W-04
Dirk Hoekman	Wageningen University	The Netherlands	F-07, F-08, W-11
Francesco Holecz	sarmap	Switzerland	F-12, F-13
Josef Kellndorfer	Woods Hole Research Center (WHRC)	USA	F-04
Thuy Le Toan	Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO)	France	F-11, F-16
John Lowry	Department of Environment, Water, Heritage and the Arts	Australia	
Richard Lucas	Aberystwyth University	Wales, U.K.	F-05, F-06, W-08
Kyle McDonald	Jet Propulsion Laboratory/California Inst. of Techology (JPL)	USA	W-15
Anthony Milne	Horizon Geoscience	Australia	W-10
Philippe Paillou	University of Bordeaux	France	D-1
Kostas Papathanassiou	German Aerospace Center (DLR)	Germany	
Shaun Quegan	Sheffield University	U.K.	F-10
Lisa-Maria Rebelo	International Water Management Institute (IWMI)	Ethiopia	W-05, W-06
Ake Rosenqvist	Solo Earth Observation (soloEO)	Sweden	M-03, W-02, W-07, W-09
William Salas	Applied Geoscience (AGS)	USA	W-12, W-13, W-14
Maurizio Santoro	Gamma Remote Sensing	Switzerland	F-14, F-15, F-16
Christiane Schmullius	Friedrich-Schiller University Jena	Germany	F-15
Masanobu Shimada	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Japan	M-01, M-02, F-03
Paul Siqueira	University of Massachusetts	USA	
Kevin Telmer	University of Victoria	Canada	W-16
Christian Thiel	Friedrich-Schiller University Jena	Germany	F-15
Yumiko Uryu	World Wide Fund for Nature (WWF)	Indonesia	F-03, F-10
Dalton Valeriano	National Institute for Space Research (INPE)	Brazil	F-01
Yoshiki Yamagata	National Institute for Environmantal Studies (NIES)	Japan	

### JAXA and RESTEC Kyoto & Carbon Initiative Team

JAXA Earth Observation Research Center	RESTEC
Masanobu Shimada	Akira Mukaida
Ake Rosenqvist	Kazuo Isono
Osamu Isoguchi	Hayato Okumura
Preesan Rakwatin	Takashi Ogawa
Nicolas Longépé	Takahiro Otaki
Takeo Tadono	Daisuke Sango
Masato Ohki	Fumi Ohgushi
Yousuke Miyagi	Emi Aoki
Nobuyuki Kawano	Kanako Yamauchi
Masuo Takahashi	Kaoru Tsuzuku
Katsumi Okano	Tomohiro Watanabe
Manabu Watanabe	Satono Imura
	Yuka Ogawa
	Kayoko Iwasa

### Global Environmental Monitoring by ALOS PALSAR 地球環境を捉える「だいち」

Science Results from the ALOS Kyoto & Carbon Initiative — ALOS 京都・炭素・観測計画から得られた科学的成果—

Edited by Ake Rosenqvist, K&C Science Coordinator and Masanobu Shimada, ALOS Science Program Manager. Contact e-mail: aproject@jaxa.jp Published by Japan Aerospace Expoloration Agency (JAXA reference: NDX-100004) Publication Date: March 30, 2010 Tsukuba Space Center 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan URL http://www.jaxa.jp Printed by IWORD Co. Ltd., Sapporo, Japan 発行日:2010年3月30日 編集:オーケ・ローセンクイスト、京都炭素観測計画コーディネータ&鳥田 政信、ALOS 解析研究プロジェクトマネジャー 発行:宇宙航空研究開発機構 〒 305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 E-mail : aproject@jaxa.jp URL http://www.jaxa.jp 印刷:株式会社 アイワード ©K&C 2010



Published by Japan Aerospace Expoloration Agency Tsukuba Space Center 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan Tel +81-50-3362-4489 Fax +81-29-868-2961 URL http://www.jaxa.jp 発行:宇宙航空研究開発機構 〒 305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 Tel 050-3362-4489 Fax 029-868-2961 URL http://www.jaxa.jp





































