

衛星搭載型合成開口レーダの利用技術

遠藤 勉* 中村聖平*
 入部紘一** 吉岡秀樹*
 横田裕也***

Advanced Techniques for Satellite Synthetic Aperture Radar Applications

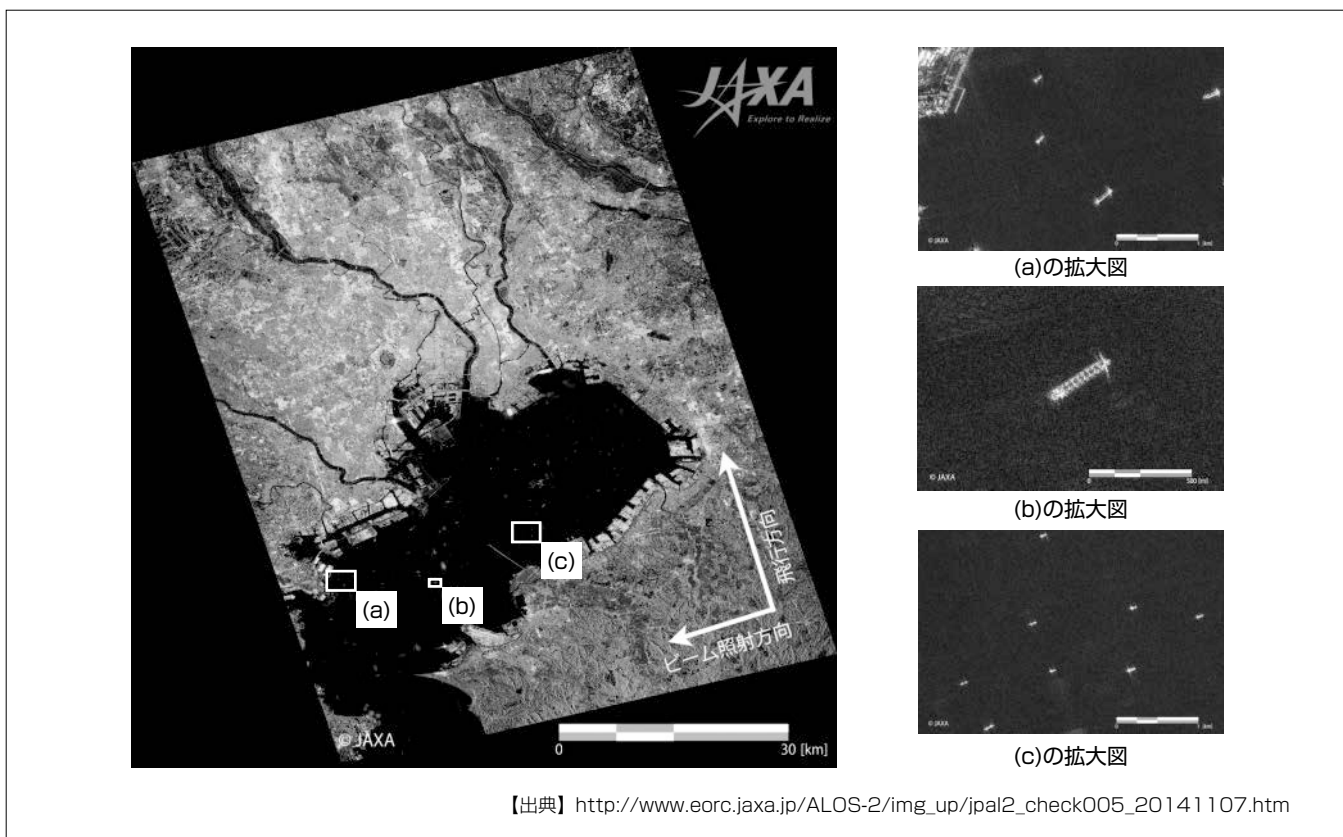
Tsutomu Endo, Koichi Iribe, Yuya Yokota, Shohei Nakamura, Hideki Yoshioka

要 旨

衛星搭載型合成開口レーダ(以下“衛星SAR”という。)は、航空機搭載型に比べ、高高度から観測を行うため広範囲の観測が可能である上、台風や噴煙等の大気条件によって観測の可否に対する影響を受けない利点を持つ。また、ほぼ一定軌道を安定して飛行するため定点観測を得意とする。これまでに災害を始め、多岐にわたる分野での衛星SARの利用があった。2011年5月に運用を終えた我が国の衛星SARであるPALSARが成果をあげた災害分野での利用はその一例である。三菱電機は衛星SARの更なる利用のため、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、陸域観測技術衛星2号(ALOS-2)に搭載するLバンド衛星SARであるPALSAR-2を開発した。高分解能化や広域化を

現したPALSAR-2は、例えば災害分野の利用で、これまで困難であった日本家屋のような密集した建物の識別や、希望する観測エリアが一度の観測で収まることによるモニタリングの効率化が期待される。

本稿では、衛星SARの利用についての事例を示し、SARデータの解析や最新の研究成果から、PALSAR-2に期待される利用について述べる。また、これまでに取得した最新のPALSAR-2のSAR画像を用いて、当社が開発した衛星SARの利用を支える技術について述べる。さらに、将来のSAR技術開発のため、JAXAと共同開発したPALSAR-2に実装してある実験モードについても述べる。



高分解能と広域観測を両立させるPALSAR-2のSAR画像(画像提供：JAXA)

2014年8月29日に高分解能3mモードで観測された東京湾のPALSAR-2のSAR画像である。良好な雑音等価後方散乱係数(NESZ)に加え、分解能3m及び観測幅50km以上という、高分解能と広域観測を両立させるPALSAR-2によって、拡大図からは海上の船舶の有無を確認できるだけでなく、船舶の進行方向、そして船舶の特徴的な形状から船種の推定を、広範囲にわたって実施可能であることを示している。

1. ま え が き

2014年5月に打ち上げられたALOS-2に搭載されているPALSAR-2は、Lバンドの衛星SARであり、昼夜天候を問わずいつでも、地表面を1~3mの高分解能で観測することが可能である。490kmを超える広域観測、さらにPALSARを踏襲した多偏波観測機能などによって、今後、様々な分野で利用されることが期待されている⁽¹⁾。

本稿では、衛星SARの利用を支える技術に対する当社の取組みについて述べる。

2. 衛星SARの利用とPALSAR-2への期待

表1に衛星SARの利用について実例を示し、PALSAR-2で新たに開発した技術、SARデータの解析や最新の研究成果から、PALSAR-2へ期待される利用についてまとめた。利用を支える技術については3章で述べる。

3. 衛星SARの利用を支える技術

3.1 デュアルビームSAR技術

広範囲にわたって高分解能で観測する要望があるが、SARは原理上、アジマス方向の分解能と観測幅がトレードオフの関係にあり、高いアジマス分解能を実現するため

には、観測幅を狭める必要がある。PALSAR-2では、広域かつ高分解能なプロダクトの実現のためにデュアルビームSAR技術を採用した。デュアルビームSAR技術は、図1に示すとおり、1つの開口から送信された信号を位相中心の異なる2つの受信開口で受信することで、PRF(パルス繰り返し周波数)を低下させる。PALSAR-2では、この技術を標準実装することによって、PALSARでは難しかった分解能と観測幅に関して飛躍的な性能の改善を同時

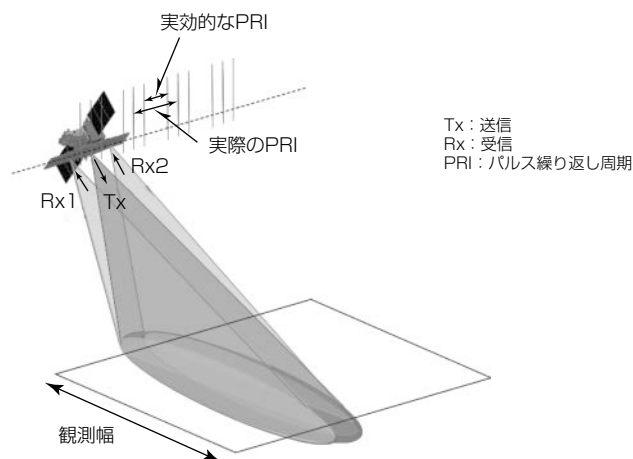
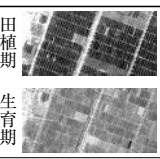
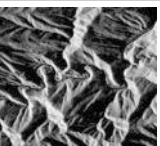
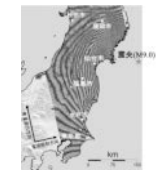
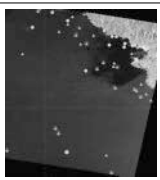


図1. デュアルビームSAR技術による観測の概念図

表1. 衛星SARの利用とPALSAR-2への期待

利用分野	衛星SARの利用例	PALSAR-2への期待	利用を支える技術
農業	○作付状況の把握 ⁽²⁾ 作物の成長に対するSAR受信信号レベルの違いを利用した、作付面積の把握及び作付状況の把握へ利用 画像提供：農業環境技術研究所／RESTEC/JAXA 	良好なNESZ ^(注1) に加え、高分解能化と広域化を両立した観測によって、農作物の作付面積や収量に関わる統計値の精度向上と管理の効率化	デュアルビームSAR技術
土木	○道路や線路の保守点検・管理 ⁽²⁾ 定期的に取得したSAR画像から抽出した変化から、川の氾濫や崖崩れの様子が分かり、周囲を走る道路や線路の点検、補修工事の優先順位を正しく設定することへ利用 画像提供：Pi-SAR-L2/JAXA 	高分解能化と広域化を両立させた観測画像の活用(定期的に取得した画像間の変化抽出等)による保守点検作業の効率化 回帰日数の短縮化による、時間分解能の向上、地形及び地殻変動量の推定精度の向上	デュアルビームSAR技術 —
災害	○被災エリアの地殻変動モニタリング ⁽²⁾ 差分干渉SAR技術によって推定された地殻変動から、被害規模の想定と復旧計画の立案へ利用 画像提供：JAXA/METI 	高分解能化技術によって、識別困難であった観測対象の状況把握が可能になり(例えば橋梁の形状)、防災のための詳細な災害ハザードマップ作成が可能 広域化技術によって、希望する観測エリアが一度の観測で収まることによるモニタリングの効率化(観測タイミングを待たなくて済む)	スポットライトモードSAR技術 スキャンSAR技術
海洋	○船舶の安全を確保 ⁽²⁾ SAR画像とAISデータを組み合わせて利用することで、船舶の詳細な分布状態が分かり、海上での安全確保へ利用 画像提供：JAXA/METI 	広域化技術による航行状況モニタリングの効率化 PALSAR-2 SAR画像とALOS-2搭載の自動船舶検知システム(AIS)等の他のセンサの情報との組み合わせによって、船舶の状況確認に対する精度の向上	スキャンSAR技術 ATI技術
森林	○炭素循環モデリングや林業のための森林樹高推定 ⁽⁴⁾ 偏波干渉SAR技術によって推定された森林樹高から、炭素循環モデリングのためのバイオマス量の推定や森林管理へ利用	高い偏波分離度等による高精度な多偏波観測技術と回帰日数の短縮化及び良好なNESZによる高品質な干渉SAR技術の組み合わせ(偏波干渉SAR技術)によって、樹高等の森林パラメータ推定精度の向上	ポーラメトリックSAR技術、偏波干渉SAR技術

(注1) NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero)は、S/N(Signal to Noise)比が1となる場合の後方散乱係数を表す。値が低いほど、SARの受信信号に対する感度が高いことを示す。

RESTEC：リモートセンシング技術センター、METI：経済産業省

に実現した。表2にPALSARとPALSAR-2の性能比較を示す。ストリップマップモードでは3mの高分解能化と50km以上の広い観測幅を同時に実現した。

3.2 スポットライトモードSAR技術(高分解能化技術)

災害発生後の被災地の詳細な状況を把握するなどの観測対象に対する高い識別性が要求される観測のため、PALSAR-2ではスポットライトSAR技術を採用し、1~3mの分解能を実現した。スポットライトSAR技術は、図2に示すとおり、画像化対象領域に、スポットライトのようにビームを当て続けることで、長い合成開口長を確保して高分解能化を図る技術である。さらに、デュアルビームSAR技術との併用によって、観測幅も25kmと広い範囲をカバーできるため、大規模災害時にも対応可能となる。

図3に、スポットライトSAR技術によって観測された神戸市周辺のSAR画像を示す。右に示す神戸空港連絡橋付近の拡大図から、橋梁(きょうりょう)の形状を明瞭に確認できることが分かる。仮に橋梁が被害を受けた場合、被害状況の確認に有用であると見込まれる。

3.3 スキャンSAR技術(広域化技術)

観測対象が広大な海洋や災害等の分野でのモニタリングでは、瞬時に広範囲の観測が必要である。広範囲の観測を実現する観測方式として、PALSAR-2ではスキャンSAR技術を採用している。スキャンSAR技術では、図4に示

すとおり、帯状領域をバースト様に観測し、それらをエレベーション方向に移動(スキャン)させながら観測することで、大きな刈り幅での観測を実現する。

PALSAR-2では、5スキャン及び7スキャンでの観測が可能であり、デュアルビームSAR技術との併用によって、観測幅350kmに加えて、観測幅490kmの超広域観測を実現している。図5にPALSAR-2のスキャンSAR技術の観測結果を示す。一度に北海道がほぼ収まる領域の観測が可能である。さらに、観測制御方式の改善による高頻度でのスキャンSARインターフェロメトリが可能となり、広域災害のモニタリングに期待が高まっている。

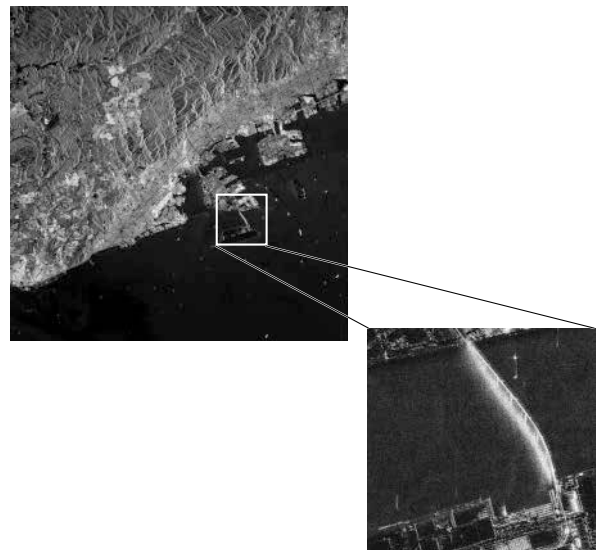




図3. PALSAR-2のスポットライトSAR技術による観測結果(神戸市周辺と橋梁・2014/06/20観測(画像提供: JAXA))

表2. PALSARとPALSAR-2の性能比較

	PALSAR	PALSAR-2
イメージ図		
運用期間	2006~2011年	2014年~
送信電力	2,000W級	5,100W級
スポットライトモード 分解能/観測幅/NESZ	なし	1~3m/25km/-24dB以下
ストリップマップモード 分解能/観測幅/NESZ	10m/70km/-21dB以下	3m/50km/-24dB以下 10m/70km/-26dB以下
スキャンSARモード 分解能/観測幅/NESZ	100m/350km/-23dB以下	60m/490km/-26dB以下 100m/350km/-26dB以下
ポーラリメトリックSARモード 分解能/観測幅/NESZ	30m/30km/-28dB以下	6m/30km/-25dB以下

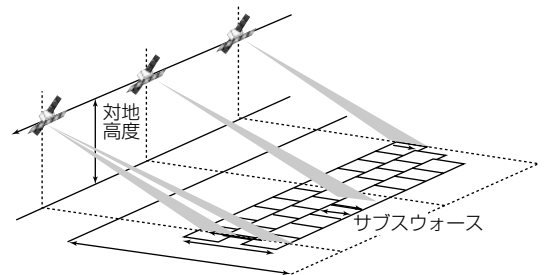


図4. スキャンSAR技術による観測の概念図

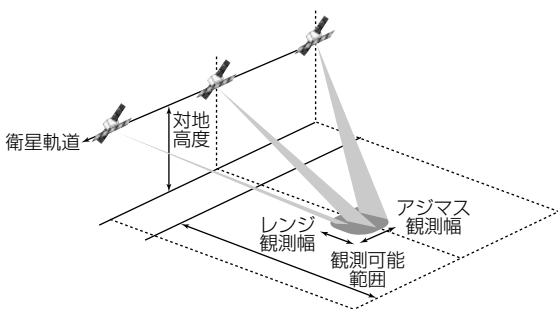


図2. スポットライトSAR技術による観測の概念図



図5. PALSAR-2のスキャンSAR技術による観測結果(北海道周辺・2014/07/05観測(画像提供: JAXA))

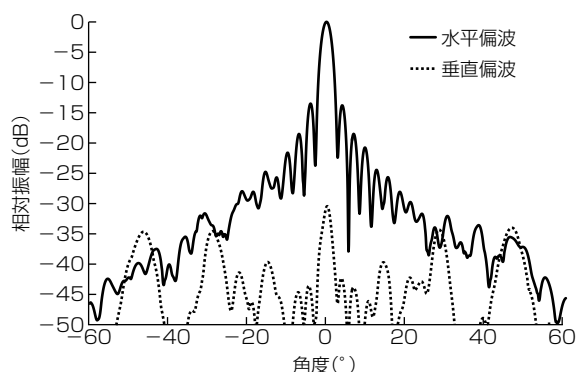


図 6. 水平偏波と垂直偏波の間の偏波分離度 (PALSAR-2のアンテナパターン地上試験結果)



(a) HH偏波のSAR画像



(b) VH偏波のSAR画像

図 7. PALSAR-2 ポーラリメトリックSAR技術による観測結果 (テーマパーク駐車場・2014/06/19観測(画像提供：JAXA))

3.4 ポーラリメトリックSAR技術(多偏波観測技術)

水平偏波と垂直偏波による送受信の組合せによって多偏波観測するポーラリメトリックSAR技術を採用しており、単一偏波観測に比べ、観測対象の表面粗さや形状等の情報をより多く取得できる。

高精度なポーラリメトリックSAR観測の実現のためには、水平偏波と垂直偏波で高い偏波分離度が要求されるが、図6に示すPALSAR-2のアンテナパターン地上試験結果として、偏波分離度30dB以上を達成している。

図7は、同一の観測対象に関する(a)HH偏波、(b)VH偏波のSAR画像であり、画像中央には駐車場がある。駐車場にある街灯のポールは偏波散乱特性によって、ポールは

VH偏波では現れないがHH偏波では現れていることを確認できる(複数の白い点)。

4. 将来SAR技術開発への取組み

PALSAR-2では、SAR利用技術実証のための実験モードとして、CP(Compact Polarimetry)技術とATI(Along Track Interferometry)技術を搭載している。CP技術は、PALSAR-2の多偏波観測機能を活かし、送信偏波を円偏波とすることで実現している。CP技術によって、多偏波観測に比べて広域での偏波観測が可能となる。また、デュアルビーム技術実現のために実施しているアンテナ開口の前開口、後開口の信号を独立した受信システムで受信していることを活用することでATI技術を実現している。ATI技術によって、移動目標検出が可能となり、都市域や海洋における船舶のモニタリングなどに効果を発揮することが期待されている。

また、PALSAR-2の観測データとALOS-2搭載の船舶自動識別システム(AIS)等の他のセンサの取得情報を組み合わせることによって、船舶の検知、分類、そして速度検出までを一連に処理し、高次レベルプロダクトとして出力する手法も提案されている⁽³⁾。さらには、ALOS-2で実現された回帰日数の短縮化及び高出力化による良好なNESZによって、観測対象の高度情報を抽出するSAR干渉技術を高品質に実現できる見込みである。偏波観測技術と組み合わせることで、森林の樹高を精度よく推定することへの期待がある⁽⁴⁾。

5. む す び

衛星SARの利用とPALSAR-2への期待、そして利用を支える技術について、PALSAR-2によって取得された最新のSAR画像を用いて示した。SARを開発し、SARの利用を通して社会貢献を志向する当社は、更なる利用拡大のため、一般ユーザーが要望する高次レベルプロダクトの提供を念頭に置いた技術開発を今後も推進していくことによって、更なる貢献を目指している。

参 考 文 献

- (1) Kankaku, Y., et al.: PALSAR-2 Launch and Early Orbit Status, IGARSS, 3410~3412 (2014)
- (2) ALOS-2 SOLUTION BOOK 2nd edition http://www.sapc.jaxa.jp/use/PDF/ALOS_JP_web.pdf
- (3) Arii, M., et al.: Applicability of ALOS2 to Maritime Surveillance, EUSAR, 1~4 (2014)
- (4) Hajnsek, I., et al.: Tropical-Forest-Parameter Estimation by Means of Pol-InSAR: The INDREX-II Campaign, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47, No.2, 481~493 (2009)