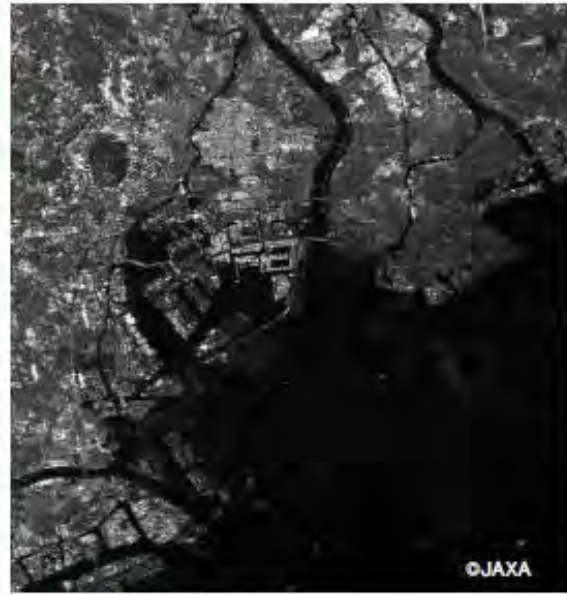


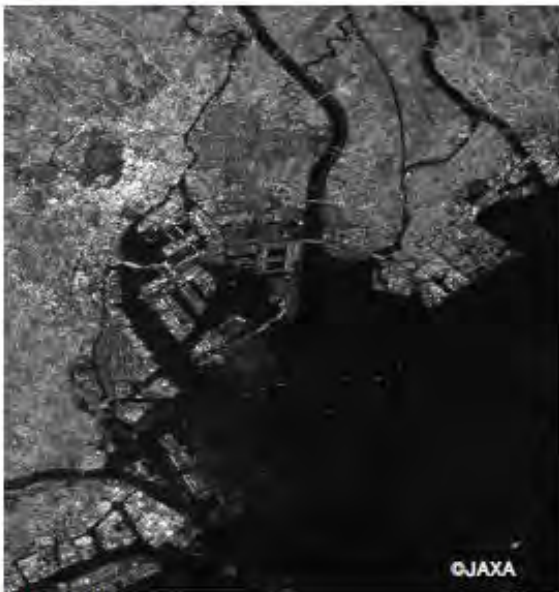
偏波画像の例



擬似カラー画像



HH画像(赤)



HV画像(緑)



VV画像(青)



衛星: ALOS-2
観測日時: 2015/10/11 14:37
分解能: 6m
オフナディア角: 34.9°
偏波: HH+HV+VH+VV

図 3-35 沿岸（港湾）での SAR 観測画像例

<合成開口レーダ衛星「だいち2号」(ALOS-2)について>

「だいち2号」(ALOS-2)の前号機となる陸域観測衛星「だいち」(ALOS;初号機)はLバンド合成開口レーダ(SAR)と光学センサを搭載し、2006年1月24日に打ち上げられた。名称のとおり陸域を主に観測し、地図の更新や森林の違法伐採の検知、さらに災害状況の把握に用いられ、2011年の東日本大震災で400シーンの観測を実施した後、2011年5月12日に運用を停止した。海洋においても、海水や油の流出、さらに海上の風や波といった利用技術の開発や検証も行われた。

「だいち」のLバンドSAR観測を発展的に引き継ぎ、「だいち2号」は2014年5月24日に打ち上げられた。「だいち2号」は地表面変化を「だいち」より正確に観測できること等により、山体変化による火山活動の把握利用や、災害状況把握(特に災害前後での変化)の利用が大きく進んだ。加えて、前述のAIS受信機(SPAISE2)で得られる情報とあわせ、海上船舶の把握に向けた観測データ解析技術開発が行われた。

図3-36に合成開口レーダ(SAR)による船舶観測の概念を示す。衛星から照射した電波の反射を観測することで、船舶の存在位置が分かる。AIS等の信号発出に関係なく観測ができ、昼夜や天候を問わず観測できる特長がある。また、選択する観測モード(分解能)により、船舶のサイズや形状の特徴を観測することができる。

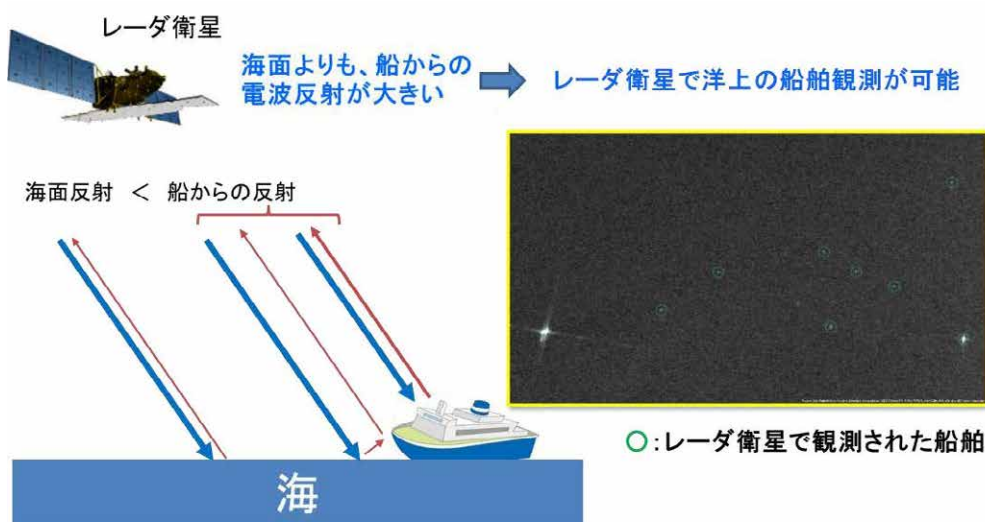


図3-36 合成開口レーダによる船舶の観測原理

また、合成開口レーダ衛星は通常、複数の観測モードを有する。各モードの分解能と観測幅は相反するものであり、観測対象、目的に応じて選択する(その他、偏波モードも選択可能)。「だいち2号」の観測モードを図3-37および図3-38に示す。

観測モード(分解能 / 観測幅)	
高分解能	3m~10m / 50km or 70km
広域観測	100m / 350km or 490km
スポットライト	1~3m / 25km

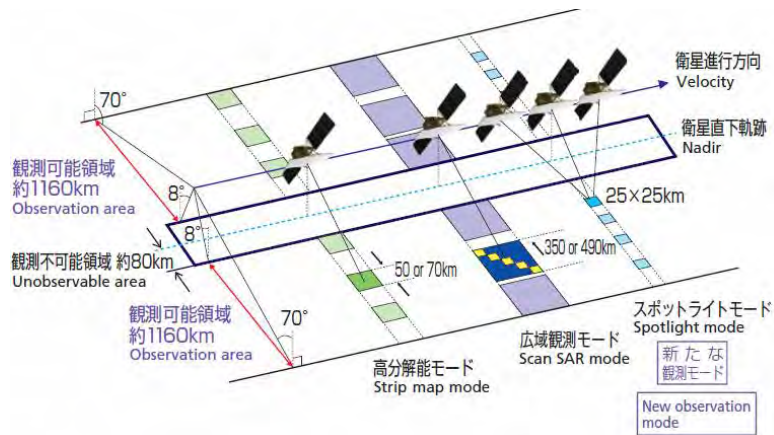


図 3-37 「だいち 2 号」の主たる SAR 観測モード³¹

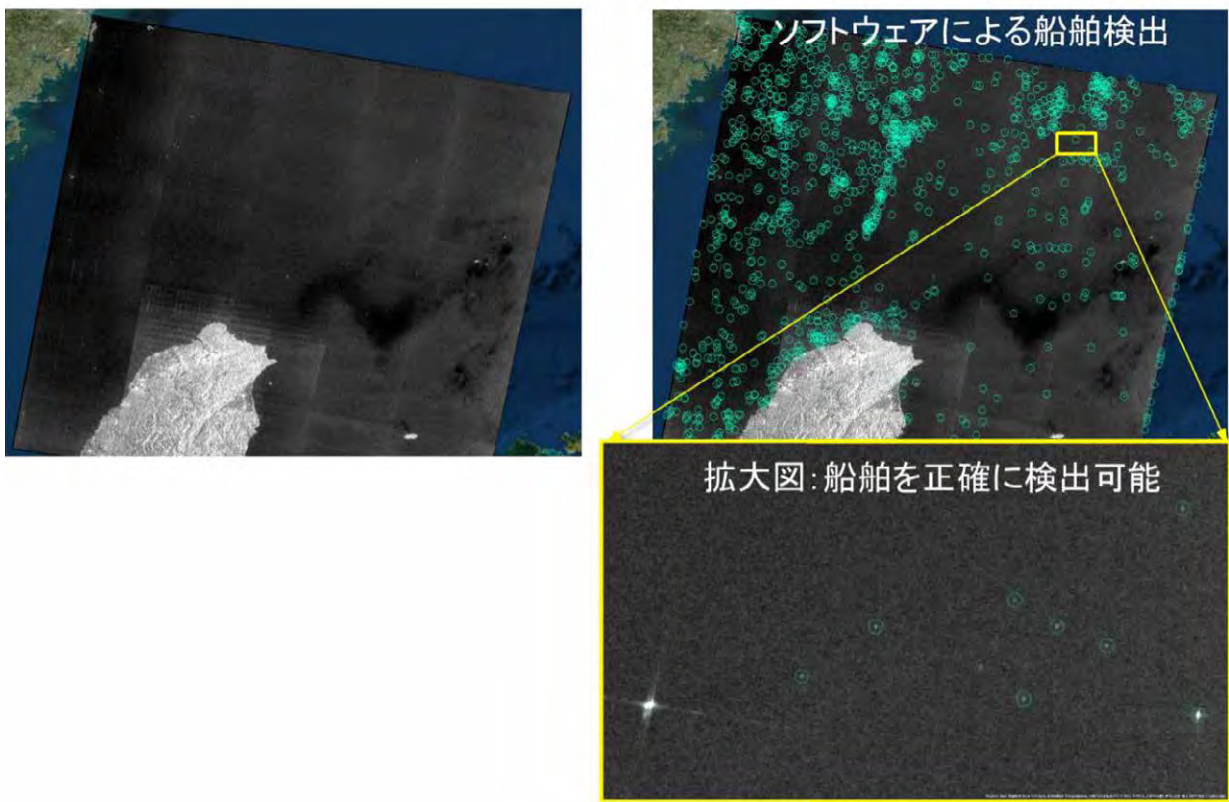


図 3-38 「だいち 2 号」による広域観測 (350 km 幅) 画像例

左上は東シナ海の画像であるが、台湾の北部等の陸域が見えるだけである。これを船舶検出用のソフトウェアによって船舶の位置を丸く囲ったものが右上の画像である。さらに拡大した図も下に載せるが、船舶を正確に検出可能である。「だいち 2 号」は 350 km 幅といった広域の観測が可能であるが、手作業により船舶を見つけるのは現実的でなく、解析ソフトウェアにより自動検出することが一般的となっている。

また、観測幅は狭くなるものの、高分解能モードやスポットライトモードはより分解能の高い観測画像が得られる。これら画像からは、船舶の大きさや、船舶の形状や反射の特徴から船舶の種類等を分析することが可能である。JAXA では SAR 画像からの船舶分析の高速化を目指し

³¹ ALOS 解析研究プロジェクト 「ALOS-2 プロジェクト/PALSAR-2」 Retrieved from <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/about/jpalsar2.htm>

た機械学習技術の研究も行っているが、やはり観測モード（分解能）により解析できる情報が異なり、また観測モード別の学習が必要となっている。将来、異なる衛星で観測された SAR 画像を用いる場合は、（共通的に利用できる部分もあるが）衛星ごとに分けた学習も必要となることも課題である。

その他、「だいち 2 号」を通じて得られた SAR 衛星による船舶観測における知見、課題を以下に紹介する。

洋上の船舶の把握には、広域観測が非常に重要

船舶は移動する観測対象であり、事前に位置を予測できない。また、SAR 衛星は常に地表、洋上を観測しておらず、必要な観測対象のみを事前に計画して観測する。そのため、関心の海域を広域で観測し、求める船舶が確実に観測されることが必要である。

SAR 衛星の観測幅は、各国の宇宙機関によるもの（日本、欧州、ドイツ、イタリア、カナダ）は 200 km を超える広域観測モードを有するが、商用小型衛星は最もサービスが先行している ICEYE で 100 km であり、我が国のように周辺海域が広い場合は十分と言えない。また、複数機コンステレーションは狭い領域の高頻度観測には適しているが（事業収益も得られやすく、民間衛星はそのような傾向と思われる）、広い洋上の船舶監視には適さない。異なる観測時刻で撮像された衛星画像から広域画像を合成しても、移動する船舶の位置が観測時刻によって変わってしまい、その後の分析が困難となる。地理空間情報の活用（GEOINT）では、位置を含む情報を複数レイヤーに加えていくが、海洋状況把握においては海上の船舶分布を示した大きな 1 枚図が基盤情報として重要であり、これに各種情報を加える使い方が想定される。

港湾内の船舶は、狭域の観測モード（高分解能）の画像も必要

船舶は洋上か港湾内に存在する。港湾に停泊している船舶は狭い観測幅の観測モードにて、高分解能な観測が可能である。観測幅に制約がある小型衛星も活用しやすい。また、洋上と比べると船舶の揺動（揺れ）も少ないため、鮮明な観測画像が得られやすい。

各国政府が有する広域衛星では、StripMap モードでの狭域観測を行い、高分解能画像を取得することが普通だが、StripMap モードは狭域を集中して観測するため、その前後の領域が観測できなくなり、広域観測衛星のリソース負荷が大きくなる。

このような港湾内の観測は、必要な画質（分解能等）や迅速性等が満たされるのであれば、我が国も含め発展が進んでいる Xバンド小型衛星コンステレーションを活用するのが得策と思われる。

SAR に用いる帯域として、船舶の検出は Lバンド、形状分析は Xバンドが適する

合成開口レーダは衛星の種類ごとに用いる帯域が異なっている。「だいち」シリーズは地表面の観測に適した Lバンドを採用しているが、小型商用 SAR 衛星等で一般的な Xバンドと比べると原理的な最大空間分解能（使用する周波数帯域幅による）において不利なため、船舶 1 隻ごとの画像は Xバンド SAR よりも鮮明度が落ちやすい。一方 Lバンドは海面の状態の影響を受けにくく、海面の荒れを船舶として誤検出しにくい利点もある。（さらに Cバンド SAR は海面そのものの観測に適している等、用いるバンドで得られやすい情報の特徴が異なる。異なる帯域の SAR 観測画像を複合的に分析する試みも行われている。）

観測リソースが十分でない

「だいち 2 号」は陸域（災害対策、地理情報把握等）を中心に様々な観測用途に利用されている。海洋状況把握目的の観測も「だいち」（初号機）から増やしているが、海洋以外の安全保障利用ニーズも強く、国内ニーズ全てに対応することは不可能である。加えて一定規模以上の災害発生時は災害対応観測が増えるため、海洋状況把握目的の観測はどうしても制約される。災害対応、海洋状況把握とも我が国の安全・安心を支える重要な活動であり、「だいち 2 号」もできる限りの観測対応を行っているが、手段として利用可能なものを最大限に使っている状態である。将来についてはリスク（大規模災害と海洋状況把握が同時に重要な場面等）の備えとして、必要とする情報から、十分となる観測リソース（衛星機数を含む）を考慮することも重要と思われる。

東日本大震災では、3月11日にロシア空軍の早期警戒管制（AWACS）機と見られる複数の不明機の接近に対し、航空自衛隊がスクランブル対応した件³²や、3月20日過ぎには、東シナ海において海自護衛艦に対する中国公船からのヘリや小型機による異常接近もあった³³との記事がある。最悪ケースとして、大規模災害時に安全保障目的の情報収集体制をどうするかを検討も必要だろう。

なお、海外の宇宙機関では SAR 衛星は複数機での運用が行われている。この内、欧州の Sentinel-1 では 2021 年 12 月 23 日以降 2 機の内 1 機（Sentinel-1B）に不具合が発生し、観測不能となった。そのような不測の事態においても、複数機での運用は観測手段が全く失われない点（抗たん性、冗長性）において有効である。

³² 現代ビジネス. 「今年の 3.11 にロシア空軍が日本を「挑発」していた…報じられない「全容」」（2021 年 3 月 18 日）. Retrieved from: <https://gendai.media/articles/-/81198>

³³ ウェッジオンライン. 「東日本大震災時も自衛隊は「有事」を意識していた」（2021 年 3 月 9 日）. Retrieved from: <https://wedge.ismedia.jp/articles/-/22362>

(参考) 海外宇宙機関のレーダ衛星

• X-band

- TerraSAR-X/TanDEM-X, ドイツ (2007-)
- COSMO-SkyMed 1-4, イタリア (2007-)
- RISAT-2, インド (2009-)
- KOMPSAT-5, 韓国 (2013-)
- PAZ, スペイン (2018-)
- COSMO-SkyMed 2nd Gen. イタリア(2019-)
- KOMPSAT-6, 韓国 (2023?-)
- HRWS, ドイツ



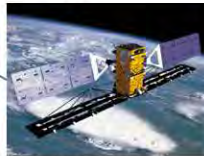
Credit: DLR



Credit: Thales Alenia Space



©JAXA



Credit: CSA



©ESA

• C-band

- RADARSAT-2, カナダ (2007-)
- RISAT-1, インド (2012-)
- Sentinel-1A/B, 欧州 (2014-)
- Gaofen-3, 中国 (2016-)
- RCM, カナダ (2019-)
- Sentinel-1C/D, 欧州 (2023?-)
- Sentinel-1 Next Gen., 欧州
- RCM follow-on, カナダ

• S-band

- Huan Jing-1C, 中国 (2008-)
- NISAR (S), インド/米国 (2023?-)

• L-Band

- ALOS-2, 日本 (2014-)
- SAOCOM, アルゼンチン (2018-)
- ALOS-4, JAXA (2023?-)
- NISAR (L), 米国/インド(2023?-)
- ROSE-L, 欧州
- TanDEM-L, ドイツ

• P-Band

- Biomass, 欧州

運用中
計画中・
開発中

面積あたりの
観測コストが安い

図 2-39 様々な SAR 衛星 ①大型衛星：主に宇宙機関

先進国の宇宙機関が開発し、観測の広域性を特徴とする。そのため、観測面積あたりのコストが安く、国土や海上の網羅的な監視に適している。

世界的に Xバンド、Cバンドが多い。JAXA では地殻変動（地震、火山の活動評価に利用）の監視で植生を透過し、洋上の波立ちを船舶と誤検知しにくい Lバンド SAR を用いている。なお、米/印、欧州、ドイツも Lバンド SAR 衛星の開発や計画を進めている。