

陸域観測技術衛星ALOS-2の利用状況

小宮山倍子*
麻生紀子**

Usage Situation of Advanced Land Observing Satellite - 2

Masuko Komiya, Noriko Aso

要旨

陸域観測技術衛星2号“だいち2号”(Advanced Land Observing Satellite-2: ALOS-2)は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、開発が進められ、2014年5月24日にH-II A24号機によって打ち上げられた。高性能マイクロ波センサ“Lバンド合成開口レーダPALSAR-2(Phased Array-type L-band Synthetic Aperture Radar-2)”を搭載し、災害状況把握、地球規模の環境問題への対応、経済・社会への貢献をミッションとする。合成開口レーダ(SAR)は昼夜や天候によらず観測可能という特長を持つが、特に地殻変動や植生状態把握に優れるLバンド帯域のSARは日本が継続的に開発・発展させてきたセンサであり、PALSAR-2はふよう1号(Japanese Earth Resources Satellite-1: JERS-1)、だいち

(ALOS/PALSAR)に続く3世代目となる。

ALOS-2衛星開発では、前号機ALOSで得られた様々な知見を反映し、新たにスポットライトモード(分解能1~3m)や広域観測490kmモードを追加し、幅広いニーズに対応する。左右観測機能を持たせることに加えて、観測可能領域を約3倍に拡大して観測頻度を向上させ、ALOSで実施していた災害観測等の高度化とともに、今後の海洋状況把握等でも利用が期待される。

ALOS-2で取得された画像は、2014年8月20日の定常運用移行後、国土地理院等による定期的地殻変動モニタリング、関東・東北豪雨や熊本地震等の災害状況把握等、国内外の災害状況把握や地域観測等、幅広い分野で利用が進んでいる。



ALOS-2の概要とデータ利用

ALOS-2は、ふよう1号(JERS-1)、だいち(ALOS/PALSAR)に続く3世代目となるLバンド合成開口レーダPALSAR-2を搭載している。2014年8月20日の定常運用移行後、取得された画像は、災害時の防災機関による利用とともに、平常時でも国土地理院や気象庁による地殻変動や火山活動の定常監視、海上保安庁による海水観測等の利用が定着している。

1. ま え が き

衛星搭載SARは、安全保障、海域(油流出、流氷監視等)、陸域(地理情報、農業等)等、幅広い分野で利用されているが、近年は更なる高分解能化、広観測幅化とともに複雑なニーズに応えるため、コンステレーション型の衛星システムも増えつつある。表1に各国の衛星搭載SARを示す。

ALOS-2搭載のPALSAR-2は、ふよう1号(JERS-1)、だいち(ALOS/PALSAR)に続く3世代目であり、前号機のALOSユーザーや新たなユーザーからの要望を反映し、ALOSから様々な性能向上を図っている。

本稿では、2章でALOSから性能向上を図ったALOS-2システムについて述べ、3章で国内外でのALOS-2データの利用状況について述べる。

2. ALOS-2“だいち2号”システム概要

ALOSからの主な向上点は、次のとおりである(表2)。

- (1) 回帰日数を46日から14日に短縮し、干渉SAR処理等で必要となる同一観測条件の機会を増加した。
- (2) 左右観測や入射角範囲の拡大によって観測可能範囲を大幅に拡大した。
- (3) 84MHzの帯域幅によってLバンドでは最高の分解能(レンジ方向3m)を実現した(図1)。さらに、アジマス方向分解能1mのスポットライトモードを新規整備した。
- (4) 高速マルチモード変調器による800Mbpsの高速直接伝送を実現した。

2.1 衛星システム

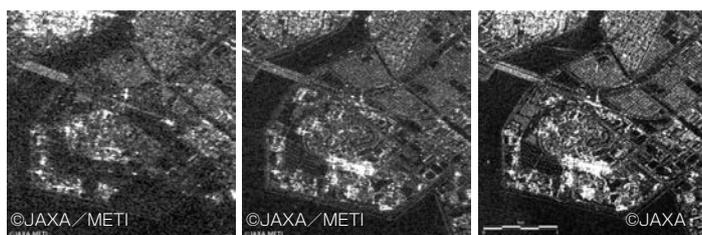
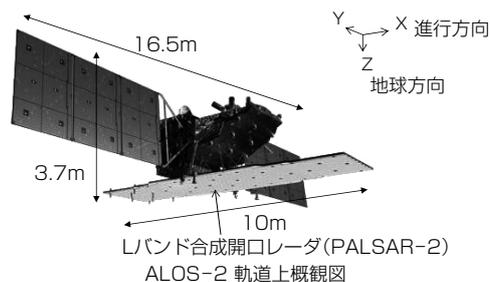
図2にALOS-2の外観と主要諸元を示す。主センサと

表1. 各国の衛星搭載SARの概要⁽¹⁾

| 国名等 | 衛星名 | 運用機関等 | 用途 | 性能等 | | |
|-------|------------------|---------------------|------------------------------|-----------------|--------|--------|
| | | | | 周波数帯 | 分解能 | |
| 日本 | ALOS-2 | JAXA | 政府(多目的) | L | 1~100m | |
| 米国 | Lacrosse | NRO | 軍事(インテリジェンス) | 不明 | 不明 | |
| カナダ | RADARSAT-2 | MDA | 商用 | C | 3~100m | |
| 欧州 | 欧州 | Sentinel-1 | 政府(多目的) | C | 5~40m | |
| | ドイツ | TerraSAR-X/TanDEM-X | AirBUS Defence and Space/DLR | X | 1~30m | |
| | ドイツ | SAR-Lupe | Bundeswehr | 軍事(インテリジェンス) | X | 0.5~1m |
| | イタリア | CosmoSkymed | e-Geos | 商用(デュアルユース、多目的) | X | 1~100m |
| イスラエル | TecSAR | Tsahal | 軍事(インテリジェンス) | X | 不明 | |
| インド | RISAT-1 | ISRO | 政府(多目的) | C | 2~50m | |
| | RISAT-2 | ISRO | 政府(多目的) | X | 1~8m | |
| 中国 | Yaogan6, 13, 18等 | 中国軍? | 政府(軍用?) | 不明 | 不明 | |

表2. だいちとだいち2号の性能比較

| | だいち | だいち2号 |
|--------|--------------------------|----------------------------------|
| 回帰日数 | 46日 | 14日 |
| 観測可能範囲 | 約870km(右方向だけ) | 約2,320km(左右観測) |
| 分解能 | 10m(ストリップマップ) | 1~3m(スポットライト), 3/6/10m(ストリップマップ) |
| データ伝送 | 138Mbps(直接伝送)及びデータ中継衛星経由 | 800Mbps(直接伝送)及びデータ中継衛星経由 |



「ふよう1号」SAR 1992年4月21日 (分解能 約18m) 「だいち」PALSAR 2006年4月27日 (分解能 約10m) 「だいち2号」PALSAR-2 2014年6月19日 (分解能 約3m)

図1. 分解能向上の変遷

| | | |
|----------------------------|----------|----------------------------|
| 運用軌道 | 種類 | 太陽同期準回帰軌道(14日回帰) |
| | 高度 | 628km(赤道上) |
| | 通過時刻 | 12:00(正午)@赤道上(降交軌道) |
| 設計寿命 | 5年(目標7年) | |
| 打上 | 時期 | 平成26年(2014年)5月 |
| | ロケット | H-IIA |
| 衛星 | 質量 | 約2トン |
| | パドル | 2翼パドル |
| ミッションデータ伝送 直接伝送及びデータ中継衛星経由 | | |
| 合成開口レーダ周波数 Lバンド(1.2GHz帯) | | |
| 観測性能 | スポットライト | 分解能:1~3m 観測幅:25km |
| | 高分解能 | 分解能:3/6/10m 観測幅:50/50/70km |
| | 広域観測 | 分解能:100/60m 観測幅:350/490km |

技術実証ミッションとして小型赤外カメラ(CIRC)、船舶自動識別(AIS)信号受信機(SPAISE2)を搭載

©JAXA

図2. ALOS-2の外観と主要諸元

なる1.2GHz帯バンドSARを搭載し、3×10(m)の大型展開アンテナを持つ(図3)。ALOSでは1翼であった太陽電池パドルを2翼にしてサバイバビリティを向上させ、また、高精度自律軌道制御技術による位置・回帰精度の向上によって、基準軌道に対して半径500mのチューブ内を飛行することが可能であり、干渉SAR解析の精度向上に寄与している。また、技術実証機器として衛星搭載船舶自動識別システム(SPAISE2)を搭載している。

2.2 観測ミッション性能

PALSAR-2は窒化ガリウム素子の採用、ビームの二次元走査、デュアルビーム方式等の適用によって、広観測幅かつ高画質の観測が可能となっている。図4にALOS-2の観測モードを示す。ALOS/PALSARからの観測モードを継承するとともに、スポットライトモードや広域観測の観測幅拡大(490km)モードを追加、さらに、6m分解能のフルポラリメトリ(4偏波による観測)や広域観測モードの2偏波化も実現して幅広いユーザーニーズへの対応を図っている。

2.3 観測運用

ALOS-2の観測は、基本観測シナリオをベースとする平常時観測と災害発生時等の緊急観測に区分される。

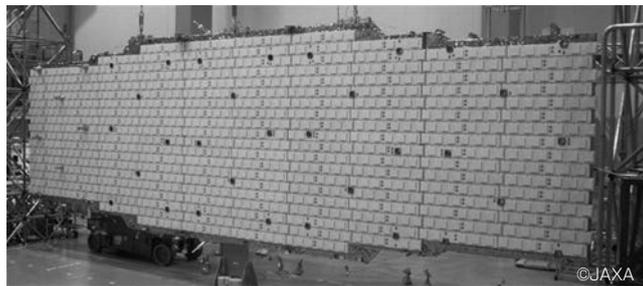


図3. 大型展開アンテナ

(1) 平常時観測(ベースマップ)

基本観測シナリオは、ミッションの目的に合致する利用実証等に必要の観測を効率的に行うための平常時の観測計画である。シナリオは、年2回開催されるJAXAの運用調整会議でユーザー機関や配布事業者との調整の上、日本域と世界全域(日本域除く)に分けて作成される。日本域シナリオは災害時の緊急観測で発災前後の比較や地殻変動検出のための干渉SAR処理に資するベースマップ整備を目的として、様々な条件の観測を取りまとめている。

(2) 緊急観測

災害発生時等、緊急の観測を必要とする場合には、防災機関や海外の連携機関からの要請に基づいて観測を実施する。緊急観測は、JAXA衛星利用運用センターが主体となり実施される。

図5にALOS-2の緊急観測のタイムラインを示す。ALOS-2の日本域観測時間(降交点地方太陽時)は、ALOSを踏襲しており12:00頃と0:00頃である。海外商用SAR衛星は6:00と18:00の観測が多い中で、夜中の観測が可能な点は防災ユーザーからも強く支持されている。観測要求は、最短で観測用コマンドアップリンク1.5時間前まで受付可能である。観測実施後1時間程度で標準処理データを提供、観測後2時間程度で災害速報図を提供可能である。ALOSでは受付は5時間前、画像提供は観測後3時間以内であり、ALOS-2では大幅なタイムライン改善が図られていることが分かる。

3. 国内外でのALOS-2データ利用

3.1 災害監視

ALOS-2観測運用開始後、日本では御嶽山等の火山噴火、関東・東北豪雨、熊本地震等数多く災害が発生し、観測要請に基づく緊急観測が実施されている。

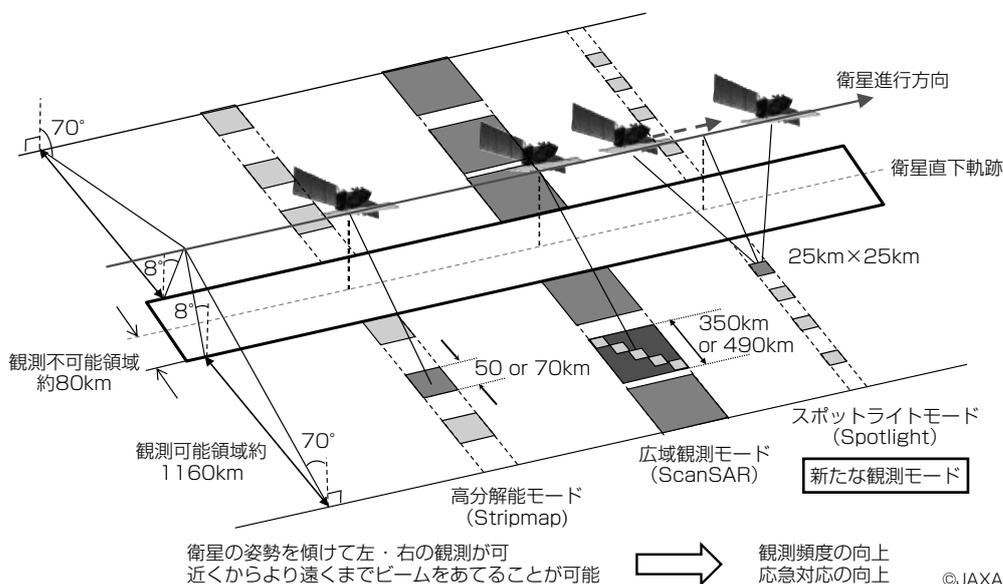


図4. ALOS-2の観測モード

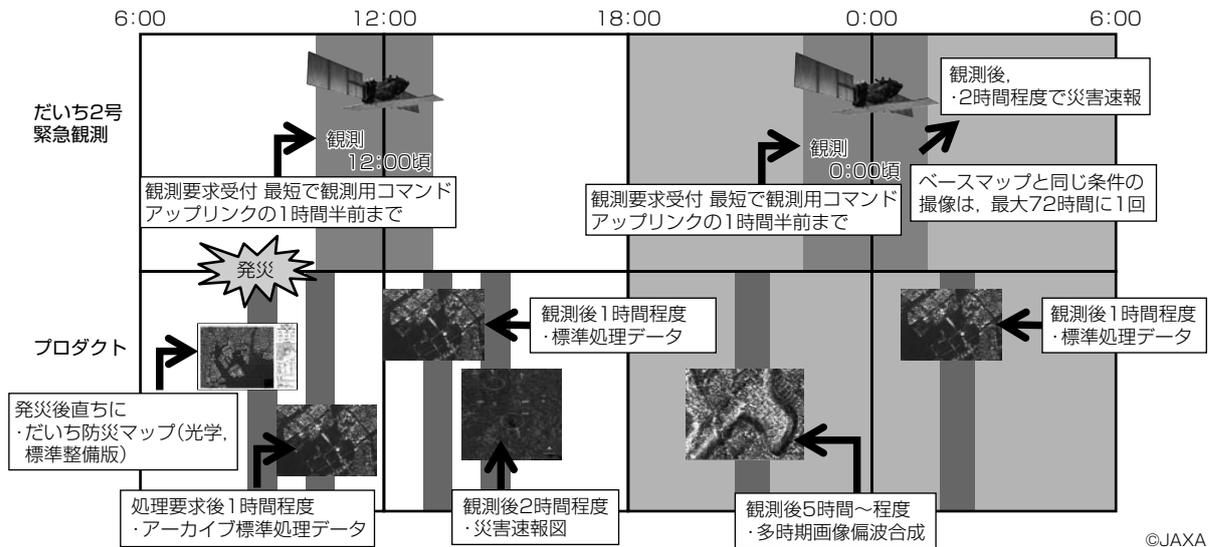


図5. 緊急観測のタイムライン

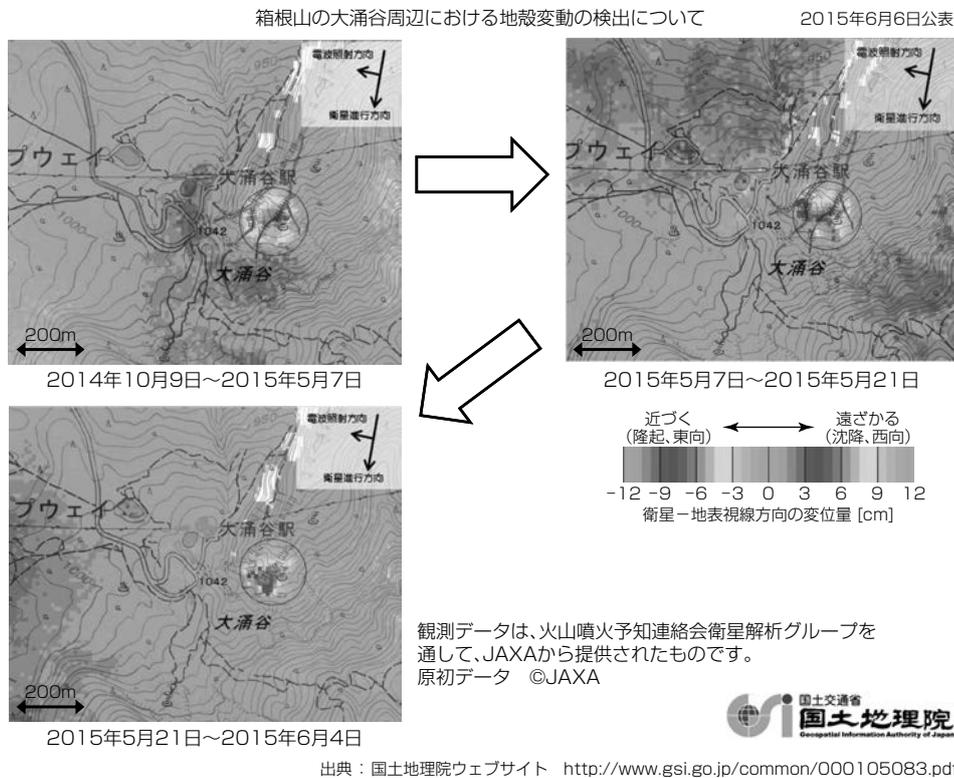


図6. 箱根山地殻変動

図6に2015年の箱根山地殻変動に対する国土地理院の解析結果を示す。箱根山の事例では、大涌谷の直径約200mの範囲で約6cmの隆起が確認され、規制区域への立入り再開及び安全対策の判断材料として活用された。

また、図7に2016年4月の熊本地震の解析結果を示す。熊本地震については、地震に伴う土砂流入や植生喪失等の状況が災害前後の画像比較によって明瞭に確認できる。

海外の災害への対応は、国際災害チャータやセンチネルアジア等の国際連携の枠組みに基づき画像提供が行われている。2015年4月のネパール地震ではセンチネルアジア

の要請に基づき、ICIMOD(国際総合山岳開発センター)に提供するとともに、現地入りした日本赤十字社と現地支援組織に活動拠点へのアクセスルートの資料として活用された。図8に国土地理院による解析結果を示す。20cm以上の地殻変動が見られる領域は、カトマンズ北東約20kmを中心として、東西150km程度、南北100km程度の範囲で、最大で約1.4m隆起していることが推測された。

さらに、ALOS-2の高分解能・高精度化を生かした新たな防災関連の利用分野として、ダム等社会インフラの可視化が困難な微小な変動量推定手法の研究開発も始まっている。

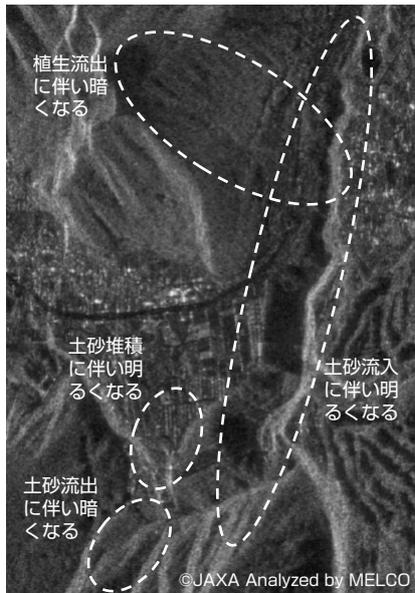
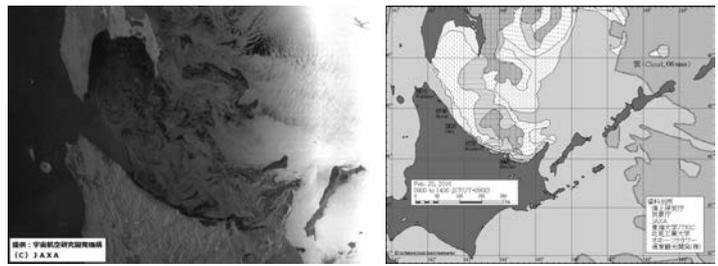


図7. 熊本地震の解析結果



(a) ALOS-2画像

(b) 海水密接度

©第一管区海上保安本部 海水情報センター

図9. ALOS-2画像と海水密接度

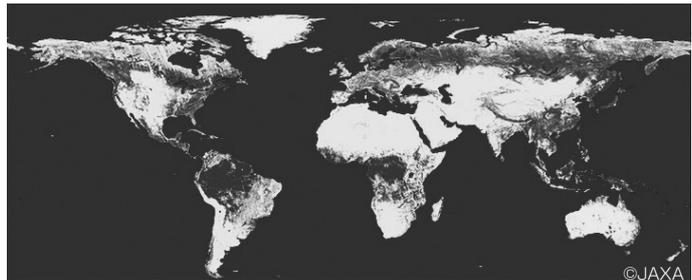


図10. 森林・非森林マップ

帯雨林でも定期的に観測できるという利点がある。JAXAでは地球温暖化や生物多様性の減少などの地球環境変化把握に資するデータとして、全球25m分解能の森林・非森林マップ(図10)を公開・更新している。

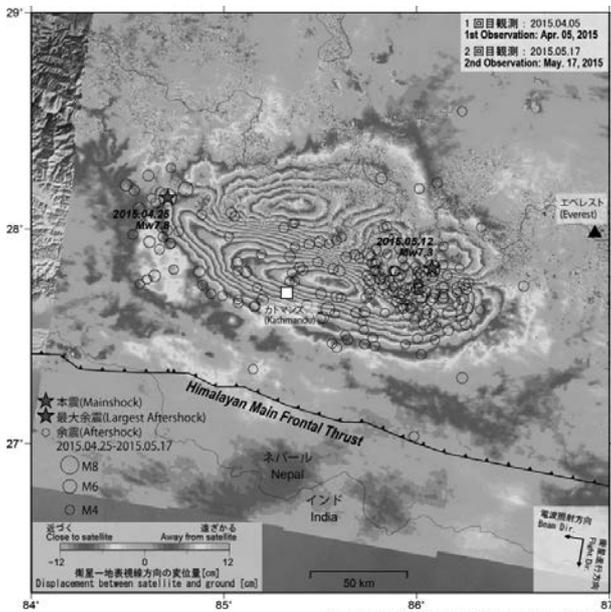
4. むすび

ALOS-2は、当社が培った様々な技術の集大成として開発し、世界に誇る日本のLバンドSAR衛星として現在順調に運用されている。国内では、災害時の防災機関による利用とともに、平常時でも国土地理院や気象庁による地殻変動や火山活動の定常監視、海上保安庁による海水観測等の利用が定着している。また、全球的な活動としては温暖化対策に資する森林状況モニタリング等も継続的に実施されている。

さらに、ALOS-2の高性能化によって、社会インフラのモニタリング等新たな分野への適用も様々な機関によって積極的に進められている。2020年には先進光学衛星の打上げが予定されており、SAR衛星と光学衛星の連携による統合的かつ高度な地球観測を担う社会インフラとして活躍することが期待される。

参考文献

- (1) 日本航空宇宙工業会：世界の宇宙インフラデータブック2014 衛星編
- (2) 宮崎景太：だいち2号の防災対応の取り組み，ALOS-2 利用シンポジウム（2015）
- (3) 麻生紀子：陸域観測技術衛星2号「だいち2号(ALOS-2)」について，先端技術の軍事利用に関するセミナー（2015）



Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA
 出典：国土地理院ウェブサイト <http://www.gsi.go.jp/common/000105848.png>

図8. ネパール地震の解析結果

3.2 地球観測

地球、地域観測分野では、ALOSから継続して海水観測や森林観測が行われている。

(1) 海水観測

オホーツク海における冬期の海水分布を迅速かつ正確に把握・周知することで船舶等の海難を防止するために設置されている海上保安庁海水情報センターでは、航空機や船舶等からの海水情報に加え、ALOS-2画像を利用し、悪天候下でも充実した海水情報を提供している。図9にALOS-2画像を利用した海水密接度の例を示す。

(2) 森林観測

LバンドSARは、合成開口レーダの中でも長い波長を使用するため雲や雨を透過して観測可能であり、雲の多い熱