

航空機 SAR の改修と湛水域抽出について Improvement of Airborne SAR and Research of Extracting Water Area in Disaster

基本図情報部 伊藤裕之・笹川啓・藤原博行・大野裕幸

National Mapping Department

Hiroyuki ITO, Akira SASAGAWA, Hiroyuki FUJIWARA and Hiroyuki OHNO

要 旨

航空機搭載型合成開口レーダ（以下、「航空機 SAR」という。）は、マイクロ波センサの特性により、雲や噴煙などの影響を受けずに昼夜を問わず観測が可能であることから、災害時の被災状況の早期把握への活用が期待される。国土地理院では、平成 8 年度～平成 9 年度にかけて航空機 SAR を整備し、浅間山や霧島山（新燃岳）等の火山観測を実施してきたところである。平成 23 年度～24 年度初めにかけて、豪雨災害や津波により発生した湛水域の早期把握を目的として、航空機 SAR の改修を実施し、空中写真撮影用のカメラとの同時搭載、雨天時における飛行、観測映像の迅速な提供、搭載所要時間の短縮といった災害時観測のための機動性の向上を実現した。また、平成 23 年 9 月の台風 12 号により発生した河道閉塞箇所（奈良県十津川村栗平地区）の湛水域について試験観測を実施して湛水域抽出手法の検討を行い、観測データの解析により湛水域の概形の抽出が可能であることを確認した。

1. はじめに

災害時には被災状況の早期把握が重要であり、国土地理院では航空機を用いた情報収集を行っている。災害時における光学センサによる観測は、雲によって視界が遮られ、迅速な情報収集を行えないケースがある。また、火山災害においては噴煙による影響などで火口の状況等の把握を行うことは難しい。一方で、航空機 SAR による観測は、航空法に定められる航空機の飛行条件や航空機のパフォーマンスによる制約等はあるものの、マイクロ波センサの特性を生かし、雲や噴煙などの影響を受けずに昼夜を問わず観測が可能である。

国土地理院では、平成 8 年度～平成 9 年度にかけて航空機 SAR を整備し、浅間山や霧島山（新燃岳）等の火山観測を実施してきたところである（浦部，2005；下野，2011）。平成 23 年度～24 年度初めにかけて、豪雨災害や津波により発生した湛水域の早期把握を目的として、災害時観測の機動性を向上させるための改修を実施したので、改修の内容と観測データの精度検証の結果について報告する。また、河道閉塞により発生した湛水域の試験観測を実施し、観測データからの湛水域抽出手法の検討を行ったの

で、その結果について報告する。

2. 航空機 SAR 改修概要

国土地理院の航空機 SAR は、測量用航空機「くにかぜⅢ」（セスナ 208B）に搭載して運用するが、平成 8 年度～平成 9 年度に整備した航空機 SAR は装置が大きいため、空中写真撮影用のカメラとの同時搭載が不可能であり、観測の際には SAR 装置の取付け作業とともにカメラの取外し作業が発生していた。また、レーダ電波の干渉を防ぐため、SAR アンテナ設置部にあるカーゴドアを取り外した状態にする必要があり、雨天時の飛行は機内へ雨が吹き込むことによる他の搭載機材への影響から支障があった（図-1）。

このため、平成 23 年度～24 年度初めにかけて航空機 SAR の改修を実施し、カメラとの同時搭載を可能とするための装置の小型化、レーダを透過する電波透過素材（FRP）を採用したレドームドアの作成を行った（図-2）。



図-1 航空機 SAR（平成 8 年度～平成 9 年度整備）

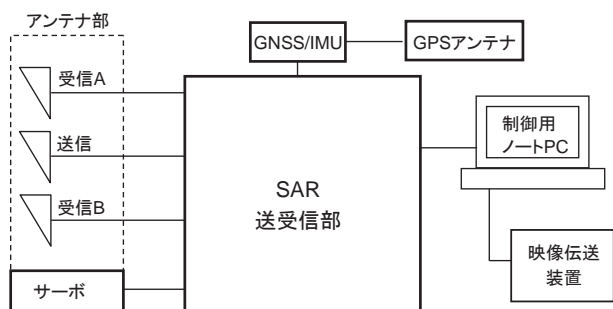


図-2 航空機 SAR（平成 23 年度～平成 24 年度整備）
（左：SAR アンテナ、右：レドームドア）

また、観測映像の迅速な提供を実現するため、機上にて簡易処理した映像を観測直後に地上に素早く伝送する機能を付与した。

改修後の航空機 SAR 装置の構成と仕様を図-3 に示す。本装置は SAR 送受信部、アンテナ部、制御用ノート PC、映像伝送装置及び GNSS/IMU をベースに構成され、アンテナ部は 1 回のフライトで干渉処理による標高情報を得るために、受信アンテナを上下に 2 台配置する形になっている。制御用ノート PC で簡易処理した観測映像は、映像伝送装置を用いて機上から伝送を行うことができる。

本装置の重量は SAR 送受信部、アンテナ部ともに約 30kg 程度であり、くにかぜⅢへの搭載所要時間は、レドームドアへの付け替え約 1 時間、装置の取り付け約 30 分程度である。改修前の航空機 SAR の搭載には丸 1 日程度を要していたことから、搭載所要時間の短縮も実現した。



- ・周波数 9.65GHz (Xバンド)
- ・送信帯域幅 300MHz (300MHz 3N)
- ・偏波 水平送信/水平受信
- ・送信電力 10W
- ・観測幅 最大 5km
(インターフェロメトリモード時)
- ・空間分解能 0.6m~5m
- ・オフナディア角可変範囲 55~75°

図-3 航空機 SAR 装置の構成と仕様

航空機 SAR の作業フローを図-4 に示す。航空機 SAR により得られる成果は、簡易処理により得られる観測映像（動画）（図-5）、GNSS/IMU より得られる最適軌跡解析結果を用い、位置情報を付与して作成される再生画像（図-6）及び数値表層モデル（DSM）（図-7）である。再生画像の作成では、SAR 特有の倒れ込みの補正のため、基盤地図情報（数値標高モデル）10m メッシュ（標高）を用いてオルソ補正を行う。また、数値表層モデル（DSM）の作成では、レーダシャドウ（地形等の影響により電波が到達しない場所に現れるデータ欠損）による欠損部を埋めるため、複数コースの観測データから得られた数値表層モデル（DSM）を用いて合成作業を行う。

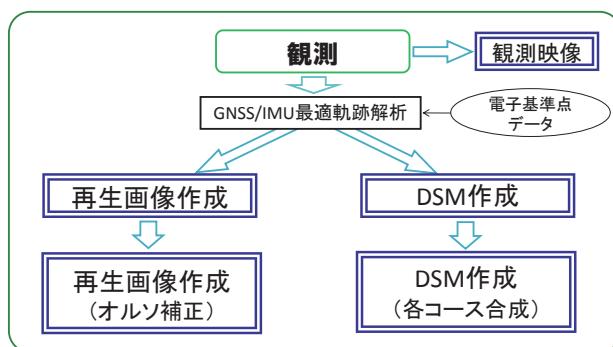


図-4 航空機 SAR の作業フロー

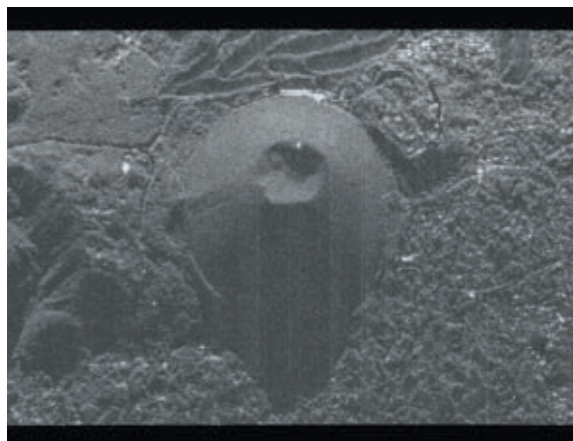


図-5 観測映像（動画）

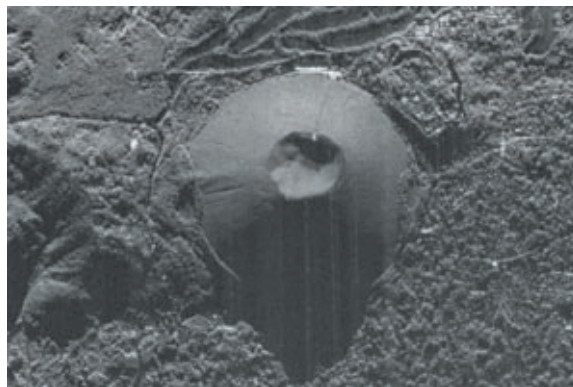


図-6 再生画像（オルソ補正）

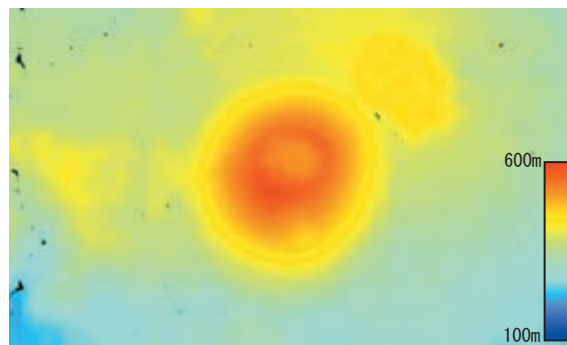


図-7 数値表層モデル（DSM）

3. 観測データの精度検証

改修後の航空機 SAR で作成される再生画像と DSM の位置精度が、どの程度なのかを確認するため、静岡県伊東市大室山近辺の観測を実施し、精度検証を行った。観測コース及び諸元を図-8 に示す。



※水平距離：コースから観測中心までの距離

図-8 観測コース及び諸元

3.1 再生画像の水平位置精度検証

再生画像の精度検証にあたっては、レーダを反射するコーナーリフレクタを、レーダに対する遮蔽物や他の反射物がない大室山山頂（4 方向に対応）と伊東市立大池小学校グラウンド（1 方向（北南コース）に対応）に設置して地上検証点とし、再生画像上にその反射を写し込ませた。図-9 は再生画像上に写し込んだ大室山山頂のコーナーリフレクタの反射の状況である。

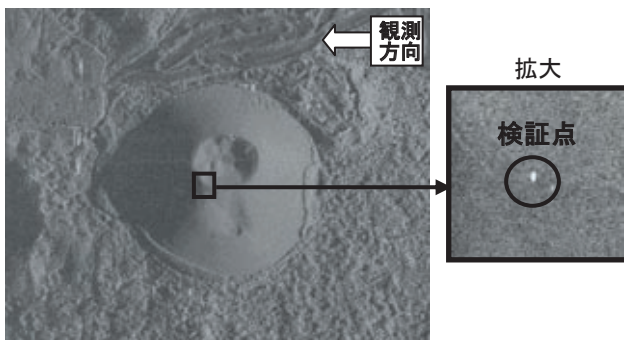


図-9 大室山近辺の再生画像（南北コース）と大室山山頂の検証点（コーナーリフレクタ）

コーナーリフレクタの設置地点（地上検証点）については、VRS 方式の RTK-GPS 測量で位置情報を取得し、その値を真値として、再生画像上から計測される位置情報と比較した。

水平位置精度の検証結果を表-1 に記す。水平誤差が最大 4.060m, RMSE が 2.951m であった。この水平誤差は、再生画像作成において 10m メッシュ DEM を用いてオルソ補正を行っていることから、航空機 SAR 装置自体が持つ測定誤差に加え、10m メッシュ DEM を用いることによる誤差を内包している。

表-1 再生画像の水平位置精度検証結果

| 観測コース | 検証点 | $\Delta X(m)$ | $\Delta Y(m)$ | $\Delta XY(m)$ |
|-------|-----------|---------------|---------------|----------------|
| 東西コース | 大室山山頂 | -0.524 | 4.026 | 4.060 |
| 西東コース | 大室山山頂 | -3.092 | -2.375 | 3.899 |
| 南北コース | 大室山山頂 | -0.990 | 1.256 | 1.599 |
| 北南コース | 大室山山頂 | 1.296 | 0.050 | 1.297 |
| 北南コース | 伊東市立大池小学校 | 2.287 | 1.546 | 2.761 |
| RMSE | | 1.883 | 2.272 | 2.951 |

3.2 DSM の精度検証

DSM の作成にあたっては、レーダシャドウによるデータ欠損部を埋めるため、4 方向の各観測データから作成した DSM を合成し、大室山山頂付近の 500m×500m の DSM（5m メッシュ）を作成した。また、再生画像の精度検証に用いた大室山山頂の地上検証点における位置情報を調整用基準値として使用し、DSM の標高値を上下に一律シフトさせる平行移動により補正した。精度検証では、航空レーザ測量成果である基盤地図情報（数値標高モデル）5m メッシュ（標高）を真値として比較を行った。

精度検証結果を図-10 に記す。誤差が最大 16.278m, RMSE が 2.035m であった。この結果は、改修により災害時観測の機動性の向上を実現しつつ、改修前とほぼ同程度の精度レベル（浦部, 2005）を実現したといえる。

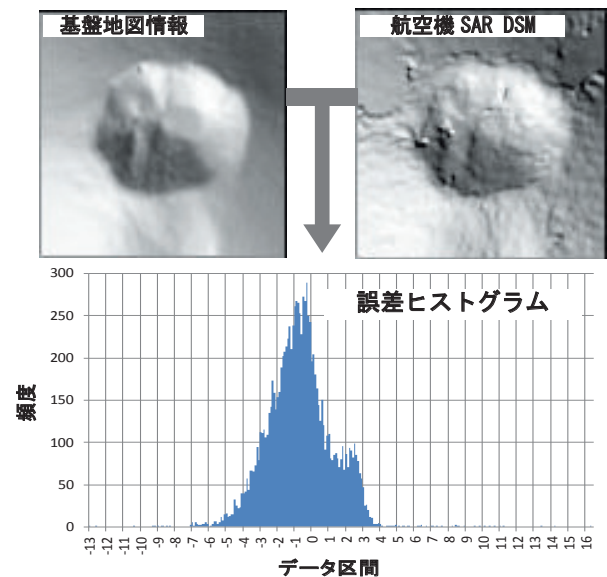


図-10 DSM の精度検証結果

4. 湛水域抽出手法の検討

航空機 SAR のマイクロ波は、水面のような凹凸の少ない滑らかな面では後方散乱が少ないため、再生画像上で水面などは暗く写るという特徴を持っている（図-11）。湛水域の抽出手法の検討にあたってはこの特徴を利用することとした。

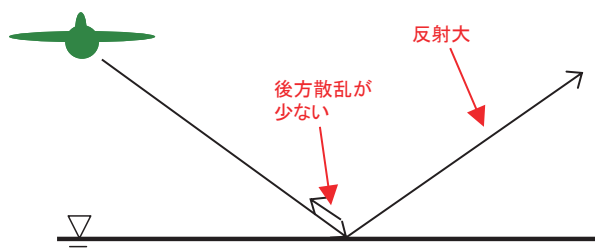


図-11 水面における反射と後方散乱

テストサイトとしては、平成 23 年 9 月の台風 12 号により大規模な河道閉塞が発生した奈良県十津川村栗平地区を選定した。平成 23 年 9 月に発生した湛水域は、図-12～図-14 に示すとおり、観測時期（平成 24 年 7～8 月頃）においても顕在であることが確認できる。観測コース及び諸元を図-15 に示す。観測にあたっては、オフナディア角の違いによる影響を調べるため、 55° と 70° の場合についてそれぞれ 4 方向（4 コース）の観測を実施した。

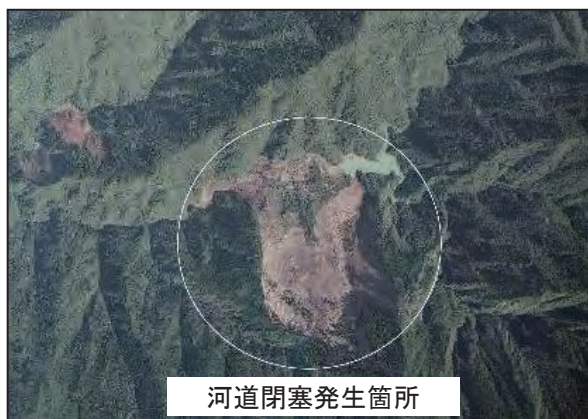


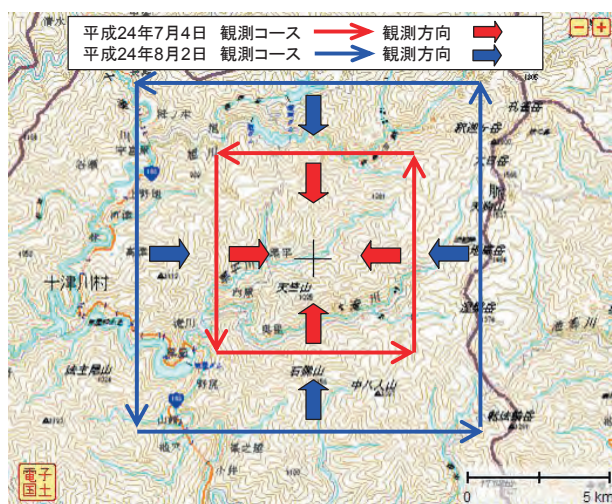
図-12 当時の空中写真（平成 23 年 9 月）



図-13 ヘリ画像
（平成 24 年 6 月 27 日近畿
地方整備局撮影）



図-14 空中写真
（平成 24 年 10 月 13 日）



| 観測日 | 2012/7/4 | 2012/8/2 |
|---------|--------------|--------------|
| 観測方向 | 4方向 | 4方向 |
| オフナディア角 | 55° | 70° |
| 飛行高度 | 約3,000m | 約3,000m |
| 水平距離 | 約3,300m | 約6,100m |

図-15 観測コース及び諸元

東西コース（オフナディア角 55° ）の再生画像を図-16 に示す。観測地域が山間部であるため、レーダの届かない箇所が多数発生し、再生画像上においては、湛水域のほか、レーダシャドウにより暗く写っている箇所が多くみられる。図-17 は、再生画像上で暗くなった箇所を抽出した結果である。

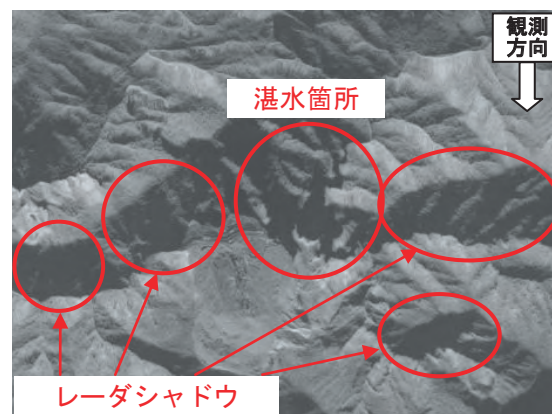


図-16 東西コース（オフナディア角 55° ）の再生画像

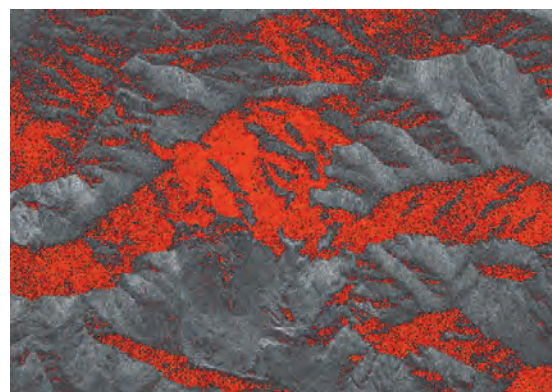


図-17 東西コース（オフナディア角 55° ）の再生画像
からの湛水域抽出

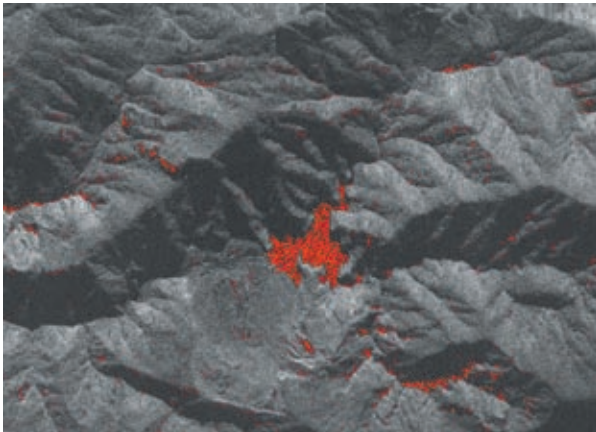


図-18 2 コース（オフナディア角 55°）の再生画像からの湛水域抽出

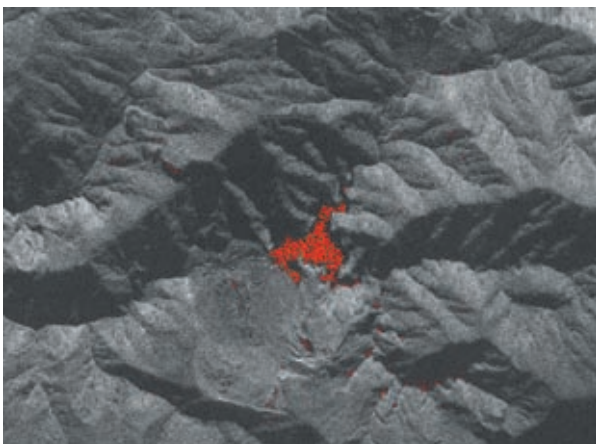


図-19 4 コース（オフナディア角 55°）の再生画像からの湛水域抽出

レーダシャドウによる湛水域の誤抽出を除去するため、各コースの観測データから作成した再生画像の暗い箇所をそれぞれ抽出し、共通して暗い箇所のみを湛水域として抽出した。図-18 は、2 コース（東西コースと西東コース）の再生画像上で共通して暗い箇所のみを抽出した結果、図-19 は、全 4 コースの再生画像上で共通して暗い箇所のみを抽出した結果である。2 コースからの抽出では、多少レーダシャドウによる湛水域の誤抽出が見られるものの、湛水域の概形の抽出は明瞭にできている。4 コースからの抽出では、2 コースからの抽出よりさらにレーダシャドウによる湛水域の誤抽出を除去することに成功している。

湛水域の抽出範囲の正確性の確認のため、現地に設置されている水位計から推測される湛水域と航空機 SAR の観測データの解析から抽出した湛水域との比較を行った。図-20 は、水位計から推測される湛水域と 4 コースからの抽出結果（オフナディア角 55°）を比較したもの、図-21 は、水位計から推測される湛水域と 4 コースからの抽出結果（オフナデ

ィア角 70°）を比較したものである。

オフナディア角 55° からの抽出結果は、水位計から推測される湛水域より狭い範囲となっている。また、オフナディア角 70° からの抽出結果は、水位計から推測される湛水域により近い範囲となっているが、湛水域の誤抽出が周辺（特に谷地形の箇所）に多くみられる。オフナディア角 70° からの抽出結果に誤抽出が多いのは、オフナディア角 70° の観測データはレーダの届かないレーダシャドウが多く、4 コースの観測データからの抽出でもレーダシャドウを除去しきれないことが原因と考えられる。

湛水域の抽出範囲の正確性については、今後さらに事例等を増やし、検証を進めていく予定である



図-20 湛水域抽出結果の比較（オフナディア角 55°）

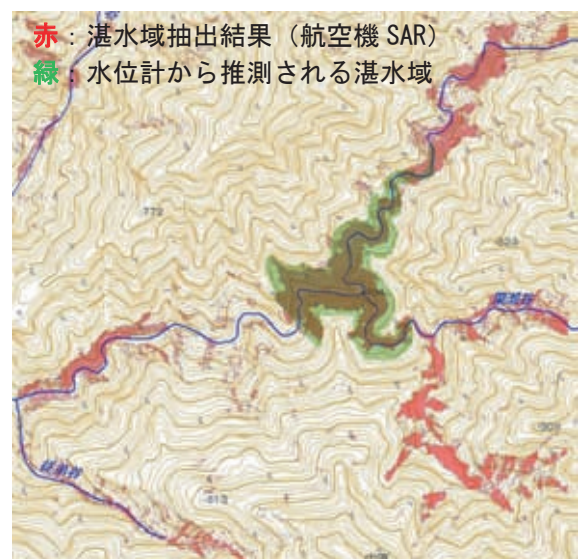


図-21 湛水域抽出結果の比較（オフナディア角 70°）

5. まとめ

国土地理院の航空機 SAR について、平成 23 年度～24 年度初めに行った改修により、空中写真撮影用のカメラとの同時搭載、雨天時における飛行、観測映像の迅速な提供、搭載時間の短縮といった災害時観測のための機動性の向上を実現しつつ、DSM においては改修前の航空機 SAR とほぼ同程度の精度レベルを実現した。また、観測データからの湛水域抽出手法の検討においては、抽出範囲に課題はあるものの、オフナディア角 55° の観測データから湛水域の概形の抽出が可能であることを確認した。

航空機 SAR は全天候型のセンサであり、今回の改修で災害時観測のための機動性の向上を実現したことから、災害時の運用がさらに期待されるところである。運用にあたっては、航空法に定められる航空機の飛行条件や航空機の性能等による制約を受けることを踏まえつつ、湛水域などの被災状況把握方法や観測データの位置精度向上、解析処理の効率化等についての検討をさらに進め、災害時における活用を図っていく予定である。

(公開日：平成 25 年 3 月 26 日)

参 考 文 献

- 岡谷隆基，小荒井衛，茂木公一，渡辺信之，山田陽子，松尾馨（2001）：航空機 SAR を用いた急峻地形地における DEM の抽出とその応用，写真測量とリモートセンシング Vol. 40, No.4.
- 浦部ぼくろう，渡辺信之，村上亮（2005）：航空機搭載型合成開口レーダ（航空機 SAR）による浅間山火口内の観測，国土地理院時報，107，15-20.
- 下野隆洋，南 秀和，西井康郎，大野裕幸，渡部金一郎（2011）：航空機 SAR による霧島山（新燃岳）の火口地形観測，国土地理院時報，121，189-194.