

# 災害状況の迅速な把握・提供技術の開発 -航空機 SAR の精度検証-

実施期間	令和 2 年度
基本図情報部地図情報技術開発室	田代 ゆかり 石塚 麻奈 笹川 啓 柴田 光博

## 1. はじめに

国土地理院は、災害対策基本法に基づく指定行政機関として、災害時の迅速な被災状況把握及び災害復旧を支援するため、測量用航空機くにかぜⅢ（以下「くにかぜⅢ」という。）を用いて災害の種類や被災状況に合わせたさまざまなセンサによる観測を行っている。火山災害において、光学センサによる観測は噴煙による影響などで制限されるが、マイクロ波を用いたセンサである航空機 SAR は雲や噴煙などの影響を受けずに観測が可能であり、火山火口周辺の地形変化把握に活用されてきた。しかし、国土地理院保有の航空機 SAR は構成機材が大きく、一部の他機器との同時搭載が不可能であり、使用時に積み替え作業が発生していた。これが迅速な災害対応の妨げとなっていたため、令和元年度に航空機 SAR を小型化してくにかぜⅢへ常設する改修を実施した。

本稿では、常設化改修後の航空機 SAR の精度検証結果と、改修による観測効率の向上について報告する。

## 2. 精度検証

### 2.1 水平位置精度検証

茨城県つくば市の国土地理院周辺（つくば地区）と静岡県伊東市の大室山近辺（大室山地区）において観測を実施し、取得データの解析により得られる再生画像の水平位置精度検証を行った。観測諸元を表-1 に、くにかぜⅢの飛行経路と電波照射方向を図-1 に示す。再生画像作成には機体の位置や傾きを計測する GNSS/IMU の最適軌跡解析結果を用い、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った。

水平位置精度検証にあたっては、地上検証点としてコーナーリフレクタを使用した。つくば地区では国土地理院グラウンドに、コーナーリフレクタを 4 つ繋げて設置し、それぞれ東西南北の方向を向くようにした（図-2）。大室山地区では山頂につくば地区と同様に 4 つ、また、山麓駐車場に東西の方向を向くよう 2 つ、計 6 つ設置した。SAR 観測終了後に、コーナーリフレクタを設置した位置を VRS 方式の RTK-GNSS 測量で取得した（図-3）。

再生画像上でコーナーリフレクタが白く光る反射位置（図-4）と、VRS で取得した実際の位置情報を比較した水平位置精度検証結果（表

-2）を示す。従来の航空機 SAR では大室山で RMSE2.951m（伊藤ら, 2012）となっており、改修後の航空機 SAR ではつくば地区・大室山地区ともに従来より精度よく観測できた。

精度向上の要因として、改修に伴い電波の照射制御方法を従来のアンテナ

表-1 精度検証観測諸元

	水平位置		高さ方向
	つくば地区	大室山地区	大室山地区
観測地	つくば地区	大室山地区	大室山地区
観測日	2020/6/4	2020/6/16	2020/6/5
観測方向	8 方向	8 方向	8 方向
オフナディア角	65°	65°	65°
飛行高度	約 2,400m	約 3,000m	約 3,000m

ナ架台自体の回転による制御ではなく、電気的な位相制御で照射方向を変更できるフェーズドアレイ方式へ変更したことで、より精密な電波照射制御が可能になったこと、また、SAR自体の改修に伴いGNSS/IMUを新しくしたことで、従来より機体の傾きの検出精度が向上したことが考えられる。

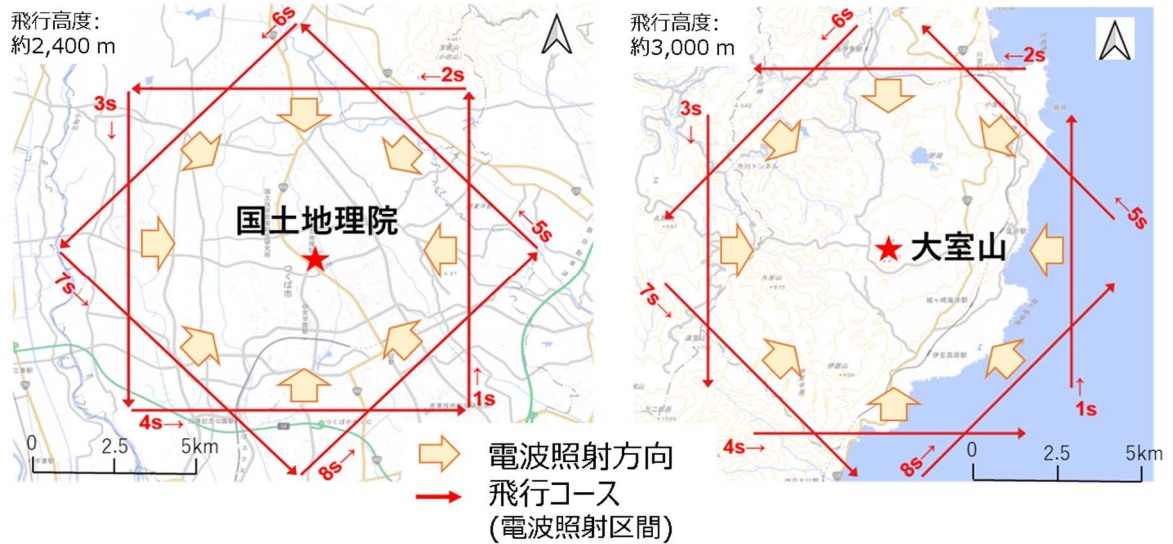


図-1 つくば地区（左）・大室山地区（右）飛行コース



図-2 4方向に設置した4枚のコーナーリフレクタ



図-3 VRSを用いた位置情報取得の様子

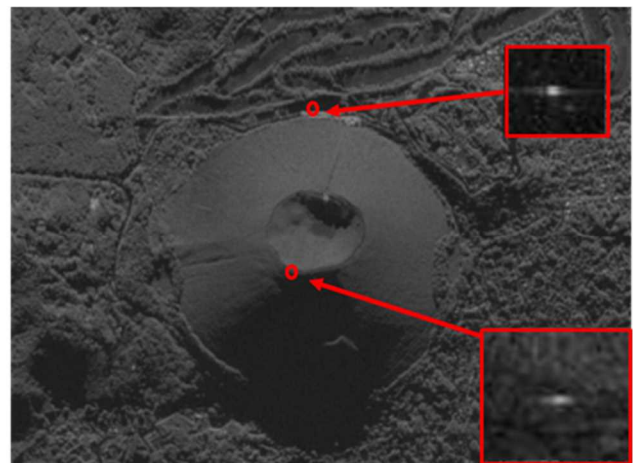
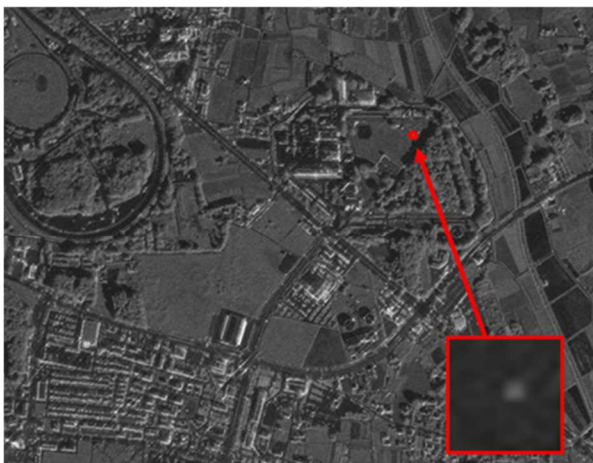


図-4 つくば地区（左）・大室山地区（右）でのコーナーリフレクタ設置箇所と反射の様子

表-2 水平位置精度検証結果

つくば地区_国土地理院敷地内				大室山地区_山頂				大室山地区_山麓駐車場			
飛行 コース	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	飛行 コース	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	飛行 コース	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
1s	-0.227	1.717	1.732	1s	-0.925	-1.067	1.412	1s	0.154	-1.376	1.385
2s	3.496	-0.851	3.598	2s	1.023	-1.544	1.852	2s	1.017	-1.824	2.088
3s	0.168	-1.719	1.727	3s	-0.039	0.338	0.340	3s	-1.737	0.527	1.815
4s	-0.472	0.153	0.496	4s	0.801	-2.727	2.843	4s	レーダーシャドウでデータ欠損		
5s	2.472	2.141	3.270	5s	0.143	-0.689	0.704	5s	0.306	-0.178	0.354
6s	1.693	-2.825	3.293	6s	1.795	-0.667	1.916	6s	0.374	-1.348	1.399
7s	-0.942	-0.797	1.234	7s	1.828	0.620	1.930	7s	3.529	-0.721	3.602
8s	-0.973	0.849	1.291	8s	1.005	-2.104	2.331	8s	1.965	-1.459	2.447
<b>RMSE</b>	<b>1.708</b>	<b>1.603</b>	<b>2.342</b>	<b>RMSE</b>	<b>1.126</b>	<b>1.449</b>	<b>1.835</b>	<b>RMSE</b>	<b>1.716</b>	<b>1.195</b>	<b>2.091</b>

## 2.2 高さ方向精度検証

静岡県伊東市の大室山近辺（大室山地区）の観測を実施して数値表層モデル（以下「DSM」という。）を作成し、基盤地図情報数値標高モデル5mメッシュ（以下「DEM」という。）と比較してその精度を確認した。飛行コースは水平位置精度検証時と同じ（図-1）であり、観測諸元を表-1に示す。当初は水平位置精度検証に用いた2020年6月16日の観測データで検証を試みたが、この日は気流の状態が不安定で機体動揺が大きく、DSM作成に不向きであったため、2020年6月5日の観測データを用いた。

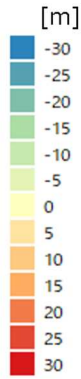
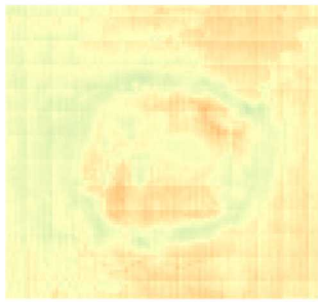
GNSS/IMUの最適軌跡解析結果を用いてコースごとにDSMを作成した後、データの完全性を向上させるため、飛行した8コースすべてを合成したDSMを作成した。DSM合成後、2020年6月16日の水平位置精度検証時に大室山山頂に設置したコーナーリフレクタの高さ情報を用いて、高さ方向の補正を行った。

大室山山頂周辺500m×500mにおける補正後のDSMとDEMの差を図-5に、その誤差ヒストグラムを図-6に示す。この範囲において、RMSE3.183mという結果が得られた。

従来の航空機SARでは高さ方向精度について、大室山でRMSE2.035m（伊藤ら、2012）、浅間山山腹（火山活動による影響を受けない箇所）でRMSE2.03m、4.16m、2.91m（浦部ら、2005）という結果が得られており、今回の観測でも従来と同程度の精度が得られたと言える。

今回の観測では、火口の縁で誤差が小さく火口内部で誤差が大きいという結果が得られた。火口内部では中央部分の誤差が小さく、これは高低差変化の少ない平坦な箇所であること、また、どのコースから観測してもレーダーシャドウ（レーダーの影となる部分）が生じなかったことが原因であると考えられる。一方、火口内部の特に北部・南部で誤差が大きいのは、火口東西部と比較して斜面が急な南北部でレーダーシャドウ等の誤差が低減できなかったことが原因として考えられる。

### DSM-DEMの差分



### 参考：空中写真



### 参考：反射強度画像 (東から観測)

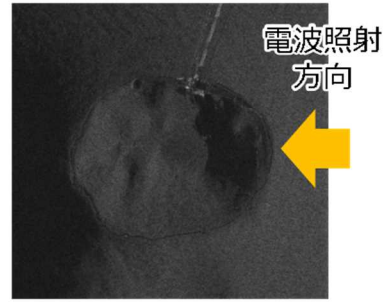


図-5 大室山山頂周辺 500m×500m における DSM と DEM の差分

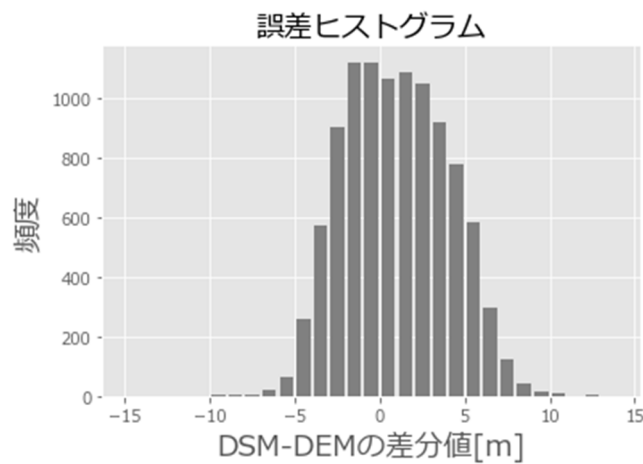


図-6 誤差ヒストグラム

### 3. 常設化改修による観測効率の向上

常設化前の航空機 SAR では、観測に伴う機器の積み込み・積み下ろしに 2 時間以上の地上作業が必要であった。このことで 1 日の観測可能時間が圧迫され、特に迅速さが求められる災害対応の妨げとなっていた。常設化改修によりこれらの作業が必要なくなったことで、離陸から SAR 観測結果の確認までの時間が短縮された他、状況によっては 1 日に 2 回のフライトが可能になるなど、柔軟な運用が可能になった。

また、機器の改修によりオフナディア角（くにかぜⅢ直下と電波照射方向のなす角度）の変更が容易になったことで、観測効率が向上した。従来は角度変更の際は地上駐機の必要があり、工具を使用する 30 分程度の作業を要していたが、改修後は飛行中であっても素手による 5 分程度の作業で容易に変更できるようになった。これにより、画像の写り具合によって観測中に角度を変更することで、火口内のより深いところの観測を行えたり、1 回のフライトで複数の火山をそれぞれ適切なオフナディア角に変更した上で観測できたりと、柔軟な観測が可能になった。令和 2 年度の観測実績においては、表-3 に示すそれぞれのフライトについて、オフナディア角の異なる火山観測を複数回実施できた。

表-3 複数火山の観測例

観測日	2020/7/22		2020/8/14	
観測地	焼岳	御嶽山	草津白根山	浅間山
観測方向	8方向	8方向	8方向	8方向
オフナディア角	70°	75°	70°	75°
飛行高度	約 4,600m	約 4,600m	約 3,700m	約 4,000m

#### 4. まとめ

常設化した航空機 SAR について精度検証を行った結果、水平位置精度については従来よりも良い成果が得られ、高さ方向精度では従来と同程度の精度が得られた。また、常設化改修により機器の積み込み・積み下ろし時間が不要となったこと及び機器の改修によりオフナディア角の変更が容易となったことから、観測効率が大きく向上した。今後は火山災害に備えて、噴火前後での再生画像が比較できるよう、火山の噴火前観測を行っていく。

#### 参考文献

菅井秀翔，片山理佐子，笹川啓，関口泰徳，茶谷隆行（2020）：災害状況の迅速な把握・提供技術の開発-航空機 SAR の常設化改修及び一眼レフカメラ等を活用した取組-，国土地理院令和元年度調査研究年報，72-76.

田代ゆかり，石塚麻奈，関口泰徳，笹川啓（2020）：フェーズドアレイ方式航空機 SAR による試験観測報告，令和2年度日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集，43-44.

伊藤裕之，笹川啓，藤原博行，大野裕幸（2012）：災害時の運用に向けた航空機搭載型合成開口レーダの改修及び精度検証，平成24年度日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集，65-66.

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.