

固定翼 UAV による空中写真を用いた南鳥島の電子国土基本図更新作業について

Updating Digital Japan Basic Map of Minami-Torishima Island using Aerial Photographs taken by Fixed-wing UAV

基本図情報部 浅野剛・澤可那子・野口真弓¹・宮地邦英²

National Mapping Department

ASANO Tsuyoshi, SAWA Kanako, NOGUCHI Mayumi and MIYAJI Kunihide

要 旨

平成 30 年度、国土地理院は固定翼 UAV を用いて日本最東端の島である南鳥島の空中写真を撮影し、それを基に電子国土基本図の全面更新を行い、令和元年 6 月 1 日に地理院地図、2 万 5 千分 1 地形図等を刊行した。南鳥島全体の更新は約 40 年ぶりとなる。

今回の全面更新は、固定翼 UAV による空中写真を基に作成したオルソ画像、DSM 及び同時期に実施した水準測量成果を用いて地物や等高線、海岸線を図化することにより行った。本稿では、これら作業の詳細について報告する。

1. はじめに

南鳥島は東京から約 1,900 km 南東に位置する日本最東端の島であり、国土管理上重要な島である。南鳥島の電子国土基本図は、昭和 52 年に初めて 2 万 5 千分 1 地形図が作成されて以来、部分的な更新が実施されてきた。

国土地理院では、平成 26 年度から災害対応や電子国土基本図の更新への無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle, 以下「UAV」という。) 及び SfM (Structure from Motion) /MVS (Multi View Stereo) 技術の活用可能性について検討を行ってきた。早坂ほか (2015) や菅井ほか (2017) は、UAV 及び SfM/MVS 技術の基本図測量における活用可能性について報告している。こうした従来の検討は、現在、日本で広く普及しているタイプのマルチコプター型 UAV を主な対象としていたが、近年では固定翼 UAV についても基本図測量での活用に対する検証を行っている (澤ほか, 2019)。

電子国土基本図の更新に用いられる空中写真の多くは、国土地理院が保有する測量用航空機「くにかぜⅢ」などで撮影した空中写真であるが、「くにかぜⅢ」の航続距離では南鳥島まで飛行できないため、空中写真撮影が困難であった。そこで一定範囲の空中写真を面的に撮影することに有効な固定翼 UAV を用いて空中写真撮影を行うこととした。なお、固定翼 UAV を用いた電子国土基本図の更新は本作業が初めてとなる。

2. 全面更新の意義

南鳥島の 2 万 5 千分 1 地形図は、昭和 50 年 11 月 20 日に撮影された空中写真から初めて作成された。通常、標定点の位置は基準点を用いた標定点測量により決まるが、当時、南鳥島には既設の基準点が多かったため、NNSS (Navy Navigation Satellite System) による人工衛星からの電波を観測して標定点の位置を決定する手法が用いられた。NNSS により得られる水平位置は、基準点を用いた標定点測量により得られる水平位置と比較して、絶対位置に関して大きな誤差を持つため、当時の地形図における水平位置の誤差は、本土等の 2 万 5 千分 1 地形図の有する誤差と比較して大きかったものと考えられる。平成 4 年の地形図更新では、GPS を用いた三角点 2 点の設置に伴い、地形図と三角点との整合をとったため、地形図の水平位置の誤差が小さくなった。その後、平成 19 年及び平成 24 年に更新を行っているが、これらは道路幅員の変更や電子基準点記号の追加、施設の廃止による注記の削除等、部分的な更新のみであった。

以上から、現状の電子国土基本図は、基準点成果と整合し精度が確保されているが、今回の全面更新では、準天頂衛星をはじめとする GNSS (Global Navigation Satellite System) や UAV 等の最新の測量技術を使うことにより、精度の向上を図ることができる。さらに現地において地物や地形の経年変化を詳細に把握することで、現況に即した電子国土基本図が作成できる。

3. 南鳥島のデータ取得

3.1 固定翼 UAV による空中写真撮影

3.1.1 固定翼 UAV の特徴

一般に、固定翼 UAV はマルチコプター型 UAV と比較して、1 フライトの航続距離が長く、広範囲の飛行が可能であるため、面的な撮影に有効である。

今回、空中写真撮影に使用した senseFly 社製の「eBee Plus」(写真-1) は 2 周波受信可能な GNSS 受信機を搭載し、後処理キネマティック測位を行うことで高精度に撮影主点位置を取得することができる。また、あらかじめ計画した飛行経路等に従い自動で

飛行及び撮影を行うことができる。撮影に使用したカメラは機体とパッケージ化されている senseFly S.O.D.A である。機体及びカメラの諸元を表-1 に示す。



写真-1 eBee Plus

表-1 機体・カメラの諸元

機体		カメラ	
翼幅	110 cm	焦点距離	28 mm
重量	1.1 kg	フォーカス	固定
飛行速度	11~30 m/s	センサーサイズ	BSI CMOS 1-inch
風速制限	12 m/s 以下		
航続時間	59 分 (max)		

3.1.2 現地での作業

南鳥島での現地作業は平成 30 年 7 月 25 日から 8 月 3 日の期間で実施した。検証点設置や天候待機を含めた固定翼 UAV に関する作業期間は、最初の 5 日間であり、そのうち実際に空中写真撮影に要した期間は 2 日間であった。固定翼 UAV の離発着場所として、広い着陸エリアが確保できる場所を 1 か所選



図-1 固定翼 UAV の離発着場所、飛行ブロック及び検証点の位置

び、そこを拠点とした(図-1)。1フライトでの撮影可能時間と安全面を考慮し南鳥島全体を6ブロックに分け(図-1)、高度210mから計2,085枚の空中写真を撮影した。

空中写真から SfM/MVS 技術で作成するプロダクトの精度管理のために、GNSS 測量機(ニコントリムブル社製 Trimble R8-2 GNSS)を用いて検証点測量を行った。検証点の位置を図-1 に示す。一般に本作業では、作業の効率性から VRS (Virtual Reference Station) -GNSS 測量を行うが、南鳥島は国土地理院が契約する VRS-GNSS 測量のサービスエリア外であった。また電子基準点「南鳥島」の観測データは、データの通信に衛星を介する必要があるため、1秒データを本院へ伝送していない。そこで、現地の電子基準点の受信機から直接データを取り出し、電子基準点を同時観測の固定局とすることで、キネマティック法による解析を行った。

3.1.3 後処理作業

撮影した空中写真に現地の電子基準点を既知点とした後処理キネマティック測位で高精度な位置情報を付与した上で、SfM/MVS 技術を利用してオルソ画像及び DSM (Digital Surface Model) を作成した。SfM/MVS ソフトは Bentley 社製 ContextCapture を使用し、作成したオルソ画像の地上画素寸法は 5 cm、DSM のメッシュ間隔は 1m とした。作成したオルソ画像を図-2 に示す。後処理キネマティック測位を行った場合に標定点なしでも電子国土基本図の更新に十分な位置精度が確保できるとの既往研究(澤ほか、2019) から、標定点を使用することなく、オルソ画

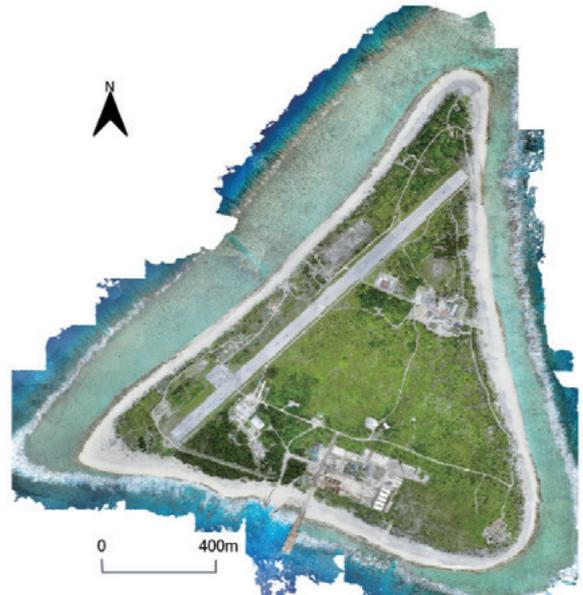


図-2 固定翼 UAV で撮影した空中写真より作成したオルソ画像

像及び DSM の作成を行った。また、DSM は作成時点では、水準測量が実施されておらず、電子基準点付属標の標高値が未確定であったため、楕円体高で作成した。

検証点 17 点における現地計測値とオルソ画像上での座標値の較差の最大値及び RMSE は、オルソ画像で水平方向に 0.08 m, 0.06 m であり、DSM で高さ方向に 0.09 m, 0.05 m であった。南鳥島は都市計画区域外であるため、今回の電子国土基本図の更新における図化作業の要求精度レベルは 25000 である。このとき基本図測量作業規程では、対地標定における平面位置及び標高の誤差は、それぞれ 7.5 m 以内、2.5 m 以内と規定しており、今回作成したオルソ画像及び DSM は、電子国土基本図の更新に用いるために十分な精度を満たしていることが確認できた。

3.2 現地調査

南鳥島は道路や滑走路以外のほとんどの部分が植生に覆われている。3.1.3 で作成された DSM は、植生の高さを含んだデータであるため、南鳥島全体の地表面の高さを把握するには、植生の高さのデータが必要となる。そこでレーザ測距計を用いて樹高の計測を行った。ただし樹木の高さは一様ではないため、地点ごとに平均的な高さの樹木に見当をつけ、代表値を取得している。

また、海岸線の概ねの位置を把握するため、GNSS 機器を携帯し、南鳥島の海岸線を歩いて一周した。電子国土基本図の海岸線の取得基準は満潮時の陸地と海面との境界であるが、現地調査時の満潮時刻は深夜であったため、本作業は安全面を考慮し、砂浜に残っていた波の跡から満潮位を推定しつつ日中に作業を行った。GNSS 機器は Ashtech 社製の MobileMapper120 を用い、観測データを電子基準点で後処理ディファレンシャル補正し、軌跡を取得した。

その他に、道路幅員の計測や地物の名称等の確認を行った。

3.3 マルチコプター型 UAV によるレーザ測量

レーザ測量では、レーザが植生をすり抜け地表面を直接観測することができるため、植生があっても地表面の地形データを取得することが可能である。島の地形を表現するために必要な以下の 3 エリアは、植生に覆われ、空中写真を用いた標高データからでは地形データを取得することが困難であると想定されたため、マルチコプター型 UAV によるレーザ測量を計画した。

- 1) 島内で最低値を示す標高点の周辺部
- 2) 島内で最高値を示す標高点の周辺部
- 3) 等高線が入り組んでいる島の北東部

この 3 エリアのうち 2) については、作業当時アジサン類の渡り鳥が該当エリアにコロニーを形成しており、マルチコプター型 UAV の飛行の安全確保が困難であったため、観測を断念したが、1), 3) については計測高度 40 m でレーザ測量を行った。

1), 3) のエリアを観測した際のマルチコプター型 UAV のフライトコースを図-3、レーザ機器の諸元を表-2 に示す。

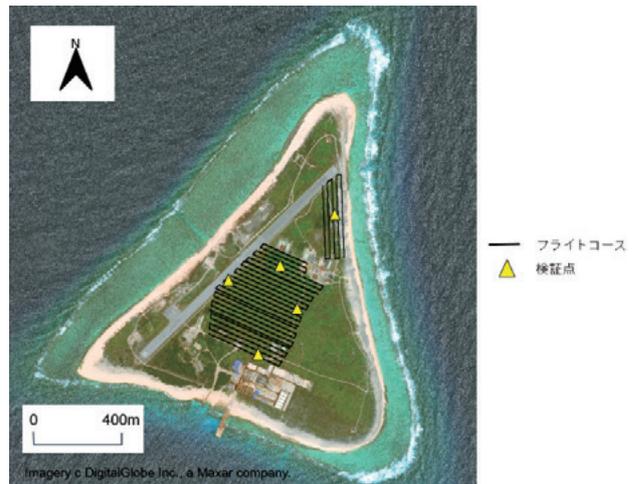


図-3 レーザ測量におけるマルチコプター型 UAV のフライトコース及び検証点の位置

表-2 レーザ機器の諸元

レーザスキャナ名	VLP-16(Velodyne 社製)
照射数	30 万発/秒
測定距離	100 m

DEM (Digital Elevation Model) は DSM と同じ 1 m メッシュで作成した。精度を管理する検証点は固定翼 UAV で使用した検証点の一部を利用しており、DEM は検証点 5 点 (図-3) における較差の最大値及び RMSE が、それぞれ高さ方向に 0.05 m, 0.03 m であった。したがって DEM は 3.1.3 で示した対地標定における標高の誤差の範囲内であるため、電子国土基本図の更新に用いるために十分な精度を満たしていることが確認できた。

4. 図化・編集作業

4.1 海岸線の図化

図化作業は、オルソ画像、DSM 及び現地調査結果をもとに行うが、この際、日本最東端の位置や島の面積を定める要因となる海岸線の図化は重要な工程の 1 つである。今回は気象庁が観測した潮位データ、平成 30 年度に国土地理院が実施した水準測量の成果である電子基準点付属標の標高値及び DSM から、満潮時の海面の楕円体高を算出して海岸線の図化を

行った。ここで満潮時の海面の「楕円体高」を算出するのは、海岸線の図化の根拠とした DSM が楕円体高で作成されたためである。算出手順は以下のとおりである。

- ① 気象庁が公表している潮位の予測値（天文潮位）を3年分調査した結果、1年の潮位のサイクルで1月の潮位が最も高いと判断した。そこで直近である2018年1月の予測値から満潮時の潮位が特に高い31日を選定し、気象庁から潮位データ（実測値）の15秒データの提供を受けた。1日の潮位変化の様子を図-4に示す。潮位データの最高値は13時23分に観測された2.30mであった。波による潮位の変動を考慮し前後10分の潮位を平均することで、海岸線の図化の基準となる満潮時の潮位を2.26mとした。

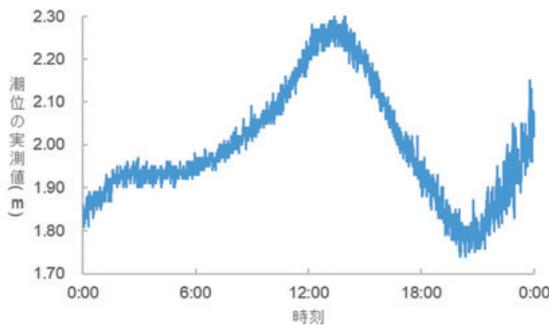


図-4 南鳥島で観測された潮位 (2018/1/31)

- ② 気象庁が潮位観測の基準として設定している観測基準面の標高(-1.948m; 気象庁による公表値)を①で定めた満潮時の潮位(2.26m)に加えることにより、満潮時の海面の標高(0.31m)を算出した(図-5)。ここで観測基準面とは、気象庁が検潮所ごとに設定した潮位を観測する基準面である。
- ③ 電子基準点付属標の標高(5.723m)と同位置のDSMによる楕円体高(32.71m)の差(26.99m)に、②で算出した満潮時の海面の標高(0.31m)を加えることで、満潮時の海面の楕円体高(27.30m)を算出した(図-6)。
- ④ ③で算出した満潮時の海面の楕円体高を用いて、DSMから楕円体高0mの等高線を自動発生させ、滑らかにすることで海岸線を取得した。

この海岸線と3.2においてGNSS機器で取得した海岸線を比較すると、形状が概ね一致したことから、今回算出した値(27.30m)は、満潮時の海面の楕円体高として問題ないと考えられる。

全面更新後の面積は1.46km²となり、全面更新前の1.51km²と比較してわずかに減じた。また最東端の座標は東へ1秒移動した。

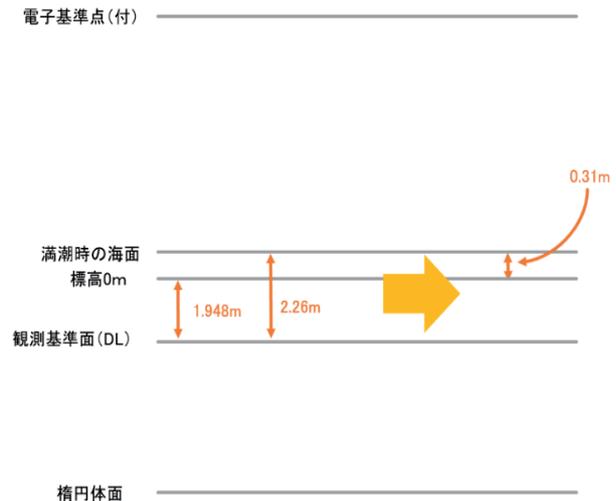


図-5 満潮時海面の標高算出方法

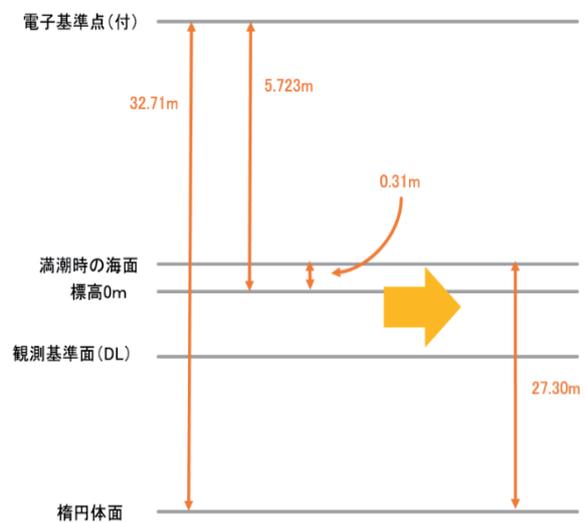


図-6 満潮時海面の楕円体高算出方法

4.2 その他地物の図化・編集

海岸線以外の地物の図化は、オルソ画像及び現地調査結果に基づき行った。そのうち等高線は、DSMを基に、現地で計測した樹高も勘案して図化した。3.3の1), 3)で示したエリアについては、レーザ測量により得られたDEMも参考にしている。

その他の地物については、道路や建物、植生等を改めてオルソ画像から取得した。道路縁は道路中心線から現地調査で計測した幅員をバッファ処理で発生させることで取得した。バッファ処理だけでは道路形状をうまく表現できない交差点部においては適宜編集を加え、現況に合うデータに編集した。また、全面更新前の電子国土基本図上では取得されていないNDBアンテナ(無指向性無線標識)等の電波塔や給油タンク、水涯線、記念碑や発電所の記号、建設中の突堤、岬の地名等を新たに取得した(図-7)。

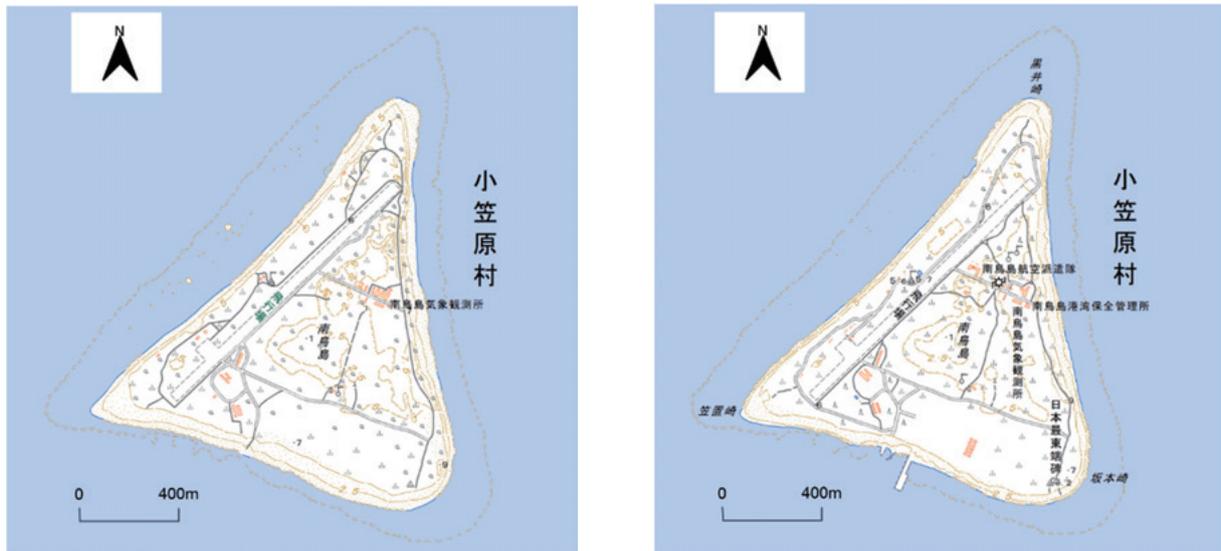


図-7 南鳥島の電子地形図 25000 (左：全面更新前 右：全面更新後)

5. おわりに

本作業では国土管理上重要な島である南鳥島の電子国土基本図の全面更新を実施し、この成果について令和元年6月1日に刊行を行った。

本作業で示したとおり、今回の更新で航空機による写真撮影が困難な遠方の離島において、固定翼 UAV を用いた写真測量と現地で取得した情報に基

づき、電子国土基本図の更新が可能であることを示すことができた。この事例での経験とノウハウを活かし、今後、UAV や SfM/MVS 技術を用いた電子国土基本図の更新事例を増やすことで、遠方の離島を含めた、より新鮮な地図の提供を進めていきたい。

(公開日：令和元年12月27日)

参考文献

- 早坂寿人, 大野裕幸, 大塚力, 関谷洋史, 瀧繁幸 (2015) : UAV による空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証, 国土地理院時報, 127, 107-116.
- 澤可那子, 阪上雅之, 野口真弓, 笹川啓, 瀧繁幸 (2019) : 次世代に向けた基盤地図情報三次元化の検討—写真測量における固定翼 UAV の活用に関する精度検証—, 国土地理院平成 30 年度調査研究年報, 74-77.
- 菅井秀翔, 宮地邦秀, 中村孝之, 南秀和, 橘克己 (2017) : UAV を活用した写真測量の精度検証, 国土地理院時報, 129, 147-157.