

(49) 空撮画像と地理空間情報を組み合わせた マジュロ環礁における有孔虫生息域の推定

渡邊 花蓮¹・阿部 美帆²・桑原 祐史³

¹ 学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町四丁目 12-1)

E-mail: 22nm844n@vc.ibaraki.ac.jp

² 非会員 朝日航洋株式会社 空間情報事業部 (〒350-1165 埼玉県川越市南台三丁目 14-4)

³ 正会員 茨城大学教授 大学院理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町四丁目 12-1)

E-mail: yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

地球温暖化による海面上昇が予測されており、平均標高が数 m で平坦な環礁州島は海岸浸食や水没など影響を強く受ける。堤防による国土防護は、淡水資源や建設材料が乏しいため実現が難しい。国土維持には砂の役割を果たし、環礁を形成している有孔虫の保護が重要である。このような中、マジュロ環礁では都市化が進んでおり、今後有孔虫砂の堆積量の減少が考えられる。生息域を明らかにし、保護区域を設定することで都市化と並行して海面上昇対策を講じられる。これまでに行った予備調査により、有孔虫は藻類に付着していることや有孔虫生息域の地形的特徴が明らかとなった。本研究では、予備調査の知見を基に空撮画像と地理空間情報を組み合わせた画像解析による有孔虫生息域の推定を検討した。

Key Words: *habitat map, foraminifera, image classification, UAV, SfM*

1. はじめに

温室効果ガスの濃度増加により、気温の上昇、砂漠化、海面上昇などの地球温暖化問題が発生している。IPCC 第 6 次評価報告書では、今世紀末までに世界の平均海面が 0.28~1.01 m 上昇すると報告されている¹⁾。平均標高が数 m で平坦な地形である環礁州島は海面上昇の影響が甚大である。

環礁州島は火山島の周囲にサンゴ礁が付着し、長い年月の中で火山島が沈降するとともに周囲のサンゴ礁が垂直方向に成長をすることでドーナツ型のリーフフラットが浮上し、形成されると C.ダーウィンの沈降説では考えられている。リーフフラットの上には破碎されたサンゴレキと原生動物である有孔虫の外殻が波浪によって岸に打ち上げられることにより砂としての役割を果たし、環礁が形成されている²⁾。

このような環礁州島を海面上昇から防護する方法として堤防が挙げられるが、火山由来ではない島の形成であることから淡水資源や建設資材が乏しく、現実的ではない。また、堤防の構築より環礁州島の形成に寄付する有孔虫の外殻の運搬作業が保たれなくなり、環礁の砂生産の増大が期待できなくなってしまう。そのため、環礁州

島を維持するためには有孔虫そのものが重要となる。

有孔虫の生息密度と人口には負の相関があることが認められている³⁾。近年では、マーシャル諸島共和国マジュロ環礁の一部で都市化が進んでいることから有孔虫砂の堆積量が減少することが予測できる。そのため、今後環礁州島において生態系保全に基づきながら有孔虫の生息分布域を把握することで、国土形成している有孔虫の保護区域を設定することが可能となり、今後海面上昇による環礁の水没を防ぐことに繋がるのではないかと考えられる。

著者らは、解像度が高く観測条件を絞った撮影が可能な無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle : 以下, UAV) を用いた調査を 2018 年に実施した⁴⁾。有孔虫は一般的に外洋側に生息しているため⁵⁾、有孔虫ハビタットマップの生成に先立ちマーシャル諸島共和国マジュロ環礁 Eneko 島の外洋側を対象に予備調査を行った。得られた知見として①踏査より浮上したリーフフラットは 4 領域 (リッジ, 粗いリーフフラット, リーフフラット, 砂浜) に区分することができる (図-1)、②有孔虫は粗いリーフフラットに区分した箇所では紅藻の *Palisada* 属 (タカサゴゾ属) に付着して生息しており、藻類そのものの保護も重要である、③画像解析と目視より有孔虫が生息してい

る地形特徴は沖側にある水路付近で見られることが明らかになった、以上の3点である⁵⁾。

本研究では予備調査の結果と課題を踏まえ、空撮画像と地理空間情報を組み合わせた画像解析を行うことで有孔虫生息域の推定方法を検討することを目的とした。

2. 対象領域および使用機材・ソフトウェア

(1) 対象領域

近年島の一部で都市化が進んでおり、生息分布域把握が求められるマーシャル諸島共和国マジュロ環礁を研究対象とした。予備調査では Eneko 島、本調査では同環礁の Rongrong 島、Enemanot 島で実施した。対象領域の位置関係を図-2 に示す。

(2) 使用機材

a) Phantom4 Pro

本研究では、自動航行ソフトウェアの無償配布等により研究への応用が容易な DJI 社の Phantom4 Pro を使用してリーフフラットの空撮を行った。自動航行での撮影範囲を決定するため、ネットワーク環境のある場所で DJI GS Pro の iPad 用アプリより設定を行った。

b) GNSS 測量機材

UAV による空撮と合わせて GNSS 測量により地上基準点 (Ground Control Points : 以下, GCP) の測量を行った。三次元モデルを生成する際に撮影した画像に各地上基準点を落とし込むことで、後処理として基準点のデータで補正することが可能である。この方法は通信状況が悪い場所でも観測が可能であり、また本研究の対象のような上空が開けている衛星の受信ができる場所で最適であると考えた。

c) 近赤外線カメラ

本研究では、Phantom4 Pro のデフォルトで使用されるカメラに加え、近赤外線カメラでの撮影を行った。UAV に搭載可能な MAPIR 社製の Survey3NRGN (Band1 : 赤, Band2 : 緑, Band3 : 近赤外) の近赤外線カメラを使用した。

(3) 使用ソフトウェア

a) Metashape Professional Edition

複数の航空写真から 3 次元の地形データを生成することができるソフトウェアである。位置情報の付与、高解像度の数値標高モデル (Digital Elevation Model : 以下, DEM) データの出力やオルソ画像の出力を実行するため、Professional Edition を使用した。

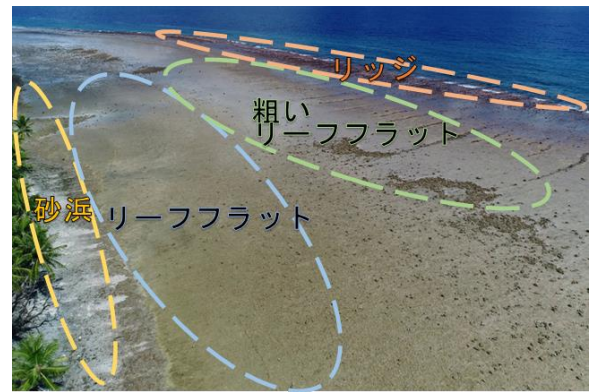


図-1 浮上したリーフフラットの区分



図-2 対象領域

b) ArcGIS・QGIS

地理情報の解析が可能なソフトウェアであり、Metashape より生成した地理情報を持つラスターデータの空間解析に使用した。

3. 研究方法

(1) 現地調査

Rongrong 島は 2019 年 12 月 13 日、Enemanot 島は 14 日に現地調査を行った。

各島における対象範囲は約 300×300 m で、UAV による撮影高度は 70 m 前後とした。調査はリーフフラットが最もよく確認できる干潮時間に合わせて空撮の飛行ルート・標定点の配置箇所を事前に決定、GNSS 測量機器の準備を行うことで限られた時間の中で効率的に行った。

国土交通省国土院の UAV を用いた公共測量マニュアル⁷⁾を参考に、標定点の配置を検討した。干潮時間により、リーフフラット全体を見られる時間は 30~45 分程度と限られているため、規定より疎な配置となった。

(2) オルソ画像の生成

農研機構のドローンを用いたほ場計測マニュアル (不陸 (凹凸) 編)⁸⁾より、空撮画像と GNSS 測量から得ら

れた地上基準点からオルソ画像を生成した。各工程での品質・精度は最高，高，中，低のうち高とした。

(3) 開析度の算出⁹⁾

開析とは一定の連続性を有していた地形面が浸食の影響により多くの谷が形成され，地形面が細分化される事象のことである。リーフフラットの地形特徴を示すため，3×3pixelの開析度を算出した。画像処理では式(1)のようになる。開析度は浸食が無しの場合を0として，3×3pixelあたりのmaxを1にした時の浸食した割合を示している。開析は中断がない限り一方的に進行を進めるため，時間と共に増加する値となる。

$$(\text{開析度}) = 1 - \frac{\text{mean}}{\text{max}} \quad (1)$$

mean : DEM データにおける 3 × 3 pixel の平均値

max : DEM データにおける 3 × 3 pixel の最大値

(4) NDVI の算出

予備調査で有孔虫は藻類に付着して生息していると判明したため，ArcGIS を用いて正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index : 以下，NDVI) の算出を行った。式(2)で表される NDVI は，植生の量や活性度を-1.0~+1.0で示す。

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (2)$$

NIR : 近赤外バンドの反射率

R : 可視光赤バンドの反射率

(5) 最尤法分類

画像の分類は教師付き分類として ArcGIS の最尤法分類 (Maximum Likelihood Classification) ツールを用いた。尤度とはあるモデルを仮定した下で観測されたデータから得られた確率であり，尤度を最大化するようにモデルのパラメータを決定する手法を最尤法と呼ぶ¹⁰⁾。最尤法による画像分類は，トレーニングデータによって与えられる各クラスのモデルパラメータ (平均ベクトルと分散共分散行列) の中から尤度が最大となるクラスを選ぶことによって，その画素を分類する方法である。

4. 調査・解析結果

本研究の結果として，より詳細な結果が得られた Rongrong 島についての結果を示す。

(1) 5バンドの複合画像の生成

302 枚の空撮画像よりオルソ画像を生成した (図-3)。

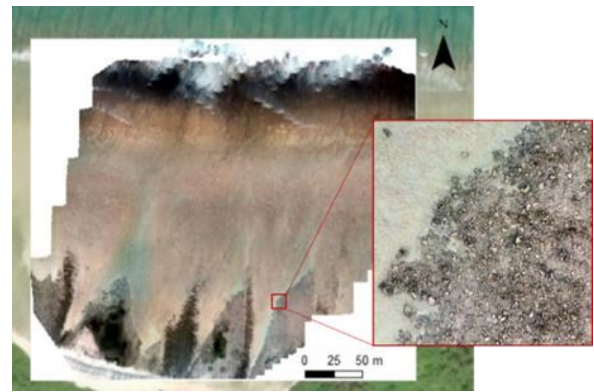


図-3 オルソ画像

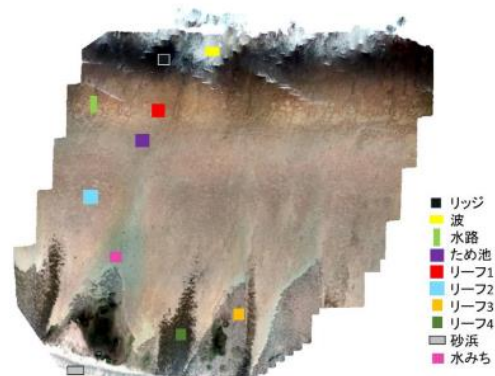


図-4 トレーニングサンプルエリア

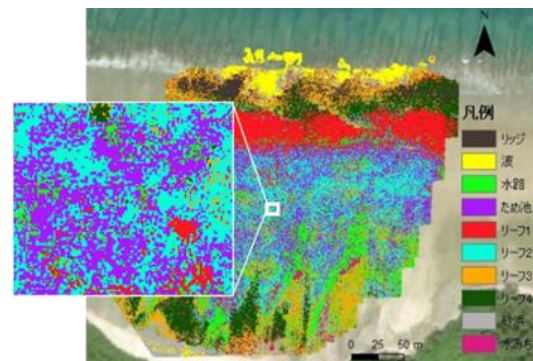


図-5 オルソ画像の分類結果

解像度は 1.94 cm/pixel でリーフフラットの特徴的な凹凸まで詳細を確認することができた。

オルソ画像から生成した DEM より開析度の算出，近赤外画像から NDVI 画像の作成を行った。オルソ画像の Red・Green・Blue バンド，開析度及び NDVI 画像の 5 バンドで構成される複合画像 (以下，5 バンド画像とする) を生成した。

(2) 最尤法分類

オルソ画像 (3 バンド) と 5 バンド画像を，図-4 のように 10 class に分類したトレーニングサンプルを用いて分類処理した。

図-5 に示したオルソ画像の分類結果では，拡大箇所

おいてため池，リーフ1とリーフ2が散在しており，現況に即していないといえる．本研究で生成したオルソ画像は非常に高い解像度を持っているが，リーフフラットの中心部分は比較的似た地形分布をしているため，オルソ画像のみではまとまりのある分類がされなかったと考えられる．

図-6に示す5バンド画像の分類結果で同じ地点を確認すると，ほとんどがリーフ2で分類されている．オルソ画像のトゥルー画像に加え，地形の侵食具合を示す開析度や，植生の活性度を示すNDVI画像が含まれた5バンド画像の分類処理となり，地形特徴を捉えた分類が可能になったと考えられる．

5. おわりに

本研究では，空撮と測量によるリーフフラット等の詳細な地形のわかるオルソ画像を生成することに加えて，近赤外線カメラで撮影した画像からNDVIの算出とオルソ画像から開析度の算出を行った．植生と地形といった地理空間情報を持った5バンド画像の分類処理はより正確に分類されることが明らかになった．

現地調査による空撮ではなく，衛星画像や航空写真の活用により有孔虫生息域の推定の検討が今後必要と考える．

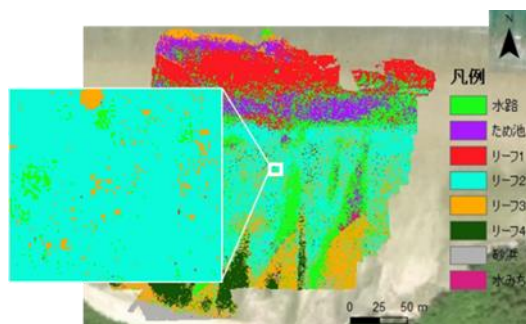


図-6 5バンド画像の分類結果

参考文献

- 1) IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)].
- 2) Yamano H, Miyajima T, Koike I, Importance of foraminifera for the formation and maintenance of acoral sand cay: Green Island, Australia, Coral Reefs 19, pp.51-58, 2000.
- 3) 山口徹(編) : アイランドスケープ・ヒストリーズ 島景観が架橋する歴史生態学と歴史人類学, 風響社, 東京, pp.277-291, 2019.
- 4) 大澤葉子 : Majuro 環礁における大型底生有孔虫の棲息分布と棲息規定要因, 東京大学大学院理工学研究科修士学位論文, pp.63-65, 2008.
- 5) 阿部美帆・榎本忠夫・鈴木準平・藤田昌史・桑原祐史 : UAV画像を用いたマーシャル共和国 Eneko 島における有孔虫ハビタットの調査, 沿岸域学会誌, Vol.32, No.4, pp.61-65, 2020.
- 6) Iryu, Y., Nakamori, T., Matsuda, S., and Abe, O., : Distribution of marine organisms and its geological significance in the modern reef complex of the Ryukyu Islands., Sedimentary Geology, 99(3-4), pp.243-258, 1995.
- 7) 国土交通省国土地理院 : UAVを用いた公共測量マニュアル(案), pp.6-9, 2016.
- 8) 農研機構 : ドローンを用いたほ場計測マニュアル(不陸(凹凸)編), pp.6-39, 2018.
- 9) 野上道男・杉浦芳夫 : パソコンによる数理地形学演習, pp.51-52, 古今書院, 1986.
- 10) 建石隆太郎 ほか : 基礎からわかるリモートセンシング, pp.244-247, 理工図書, 2011.