

UAV 画像を用いたマーシャル諸島共和国 Eneko 島における 有孔虫ハビタットの調査

Investigation of Foraminifera habitat using UAV-image at Eneko Island in the Majuro atoll, Marshall Islands

阿部 美帆*・榎本 忠夫**・鈴木 準平***
藤田 昌史****・桑原 祐史*****

Miho ABE, Tadao ENOMOTO, Junpei SUZUKI

Masafumi FUJITA and Yuji KUWAHARA

要旨：IPCC第5次評価報告書によると、ライフスタイルの選択によっては最大0.82 mの海面上昇が起こるであろう事が報告されている。有孔虫外殻や破碎されたサンゴレキが堆積した環礁州島の平均標高は数mであり、海面上昇の影響が深刻な地域である。そのような中、マーシャル諸島マジュロ環礁では、大まかな有孔虫生息域は把握されているものの、個々の島嶼毎に生息域は明らかにされていない。都市化も進んでおり、生息環境の保護のためにもハビタットを明確にすることが重要と考えた。本論では、ハビタットマップ生成に先立ち、マジュロ環礁の1島であるEneko島を対象とし、ドローンを用いた予備調査を行った。結果、地形的な特徴から有孔虫が多く分布する領域を把握できることを明らかにした。また、予察という観点で詳細な有孔虫分布域把握に向けた課題を整理した。

キーワード：マーシャル環礁、リーフフラット、有孔虫、UAV、現地調査

1. 研究の背景

近年、大気中の二酸化炭素の濃度が高まり、地球温暖化が進んでいる¹⁾。IPCC第5次評価報告書では、今世紀末までに、我々のライフスタイルの選択によっては平均海面が最大0.82 m上昇すると予測されている。この海面上昇の影響を最初に受けると予測されるのは平均標高が数 m である環礁州島である。環礁とはリーフフラットと呼ばれる数十 m～数百 m の幅で環状に形成されているサンゴ基盤で、この上に有孔虫の外殻および破碎されたサンゴレキが堆積し

成長した島のことである²⁾。今後海面上昇によって海岸線近傍で碎波が起きるとなると、島を形成している有孔虫外殻の単位堆積重量が微小であるため、海岸浸食が急速に進む可能性が指摘されている。海岸線の防護のために日本では堤防等の構造物による防護方法が取られることも多いが、火山由来ではない島の形成由来から淡水資源や建設資材(砂やレキ)が乏しく、島嶼国では現実的ではない。このため、島嶼陸域の維持のためには島を形成している有孔虫のハビタットマップや海岸線近傍の土地利用を調査

* 学生会員 茨城大学大学院理工学研究科, ** 非会員 茨城大学 工学部都市システム工学科, *** 非会員 電力中央研究所 環境科学研究所水域環境領域, **** 正会員 茨城大学 工学部都市システム工学科, ***** 正会員 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

することが重要となる。

山野ら (2006) は³⁾, ASTER という可視から熱赤外までの 14 バンドを有している高性能光学センサより近赤外画像を用いた海岸線抽出を試み, マーシャル諸島共和国環境保護庁 (EPA) は海岸リソースマップを生成しているが, リーフフラット上を対象とした有孔虫ハビタットマップの生成には至っていない。また, Ford ら (2012) は⁴⁾, 高解像度衛星画像を用いてマジュロ環礁の海岸線変化を時系列で分析しているが, リーフ上の環境変化の分析は行っていない。

そこで著者らは, 有孔虫ハビタットマップ生成に先立ち, マーシャル諸島共和国マジュロ環礁の 1 島である Eneko 島を対象とし, 限定された時間に局所の観測が可能である UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 以下, UAV)⁵⁾を用いた予備調査を行った。

2. 研究の目的

本論では, マーシャル諸島共和国マジュロ環礁 Eneko 島を対象として(以下, Eneko 島), 空撮画像から有孔虫分布域把握するために藻類や地形の特徴を考察し, 本研究で考慮すべき調査要件と手順を整理するため下記の 3 点を目標とした。

- (1) Eneko 島を踏査し, 有孔虫生息域と地形特徴に特徴的な関係があるか調査する。
- (2) UAV を用いてリーフフラットを空撮し, オルソ画像を生成する。
- (3) 現地踏査で得られた情報を UAV による空撮画像でどこまで説明することができるのか考察し, 本調査に向けた課題と作業手順を整理する。

3. 研究方法

3.1 踏査

リーフフラットの底質は干潮時に最も良く確認することができる。オーストラリア政府気象局の予測潮位図⁶⁾より新月前の月最干潮の条件となる 2018 年 9 月 10 日 (月) AM:10:46 を確認し, Eneko 島での調査を実施した。また有孔虫は一般的に外洋側に生息するため⁷⁾, 外洋側を調査対象とした。

現地で数か所において島本体から外洋側(北)に向け徒歩で移動し(図 1 矢印方向), 底質が変化する地点や有孔虫の生息域について踏査を行った。

3.2 空撮および画像解析方法

踏査後, DJI 社の Phantom4/PRO⁸⁾を用いて空撮を行った。撮影高度は 40 m 程度で, マニュアル操作によ

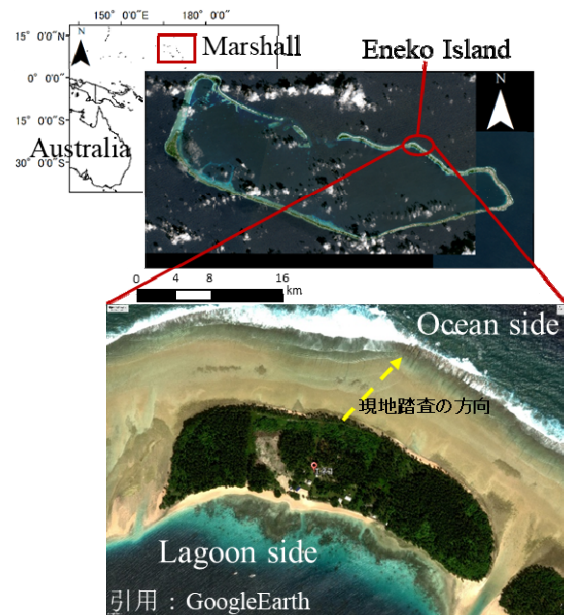


図 1 Majuro 環礁および Eneko 島の外観

り動画での撮影を行った。動画は 1 秒毎にレンダリングを行い, 画像として出力した。

SfM (Structure from Motion) ソフトウェアの一つである Agisoft PhotoScan Professional Edition⁹⁾を使用してオルソ画像の生成を行った。

また解析方法として数値標高モデル (DEM) を用いた地形解析の分野で多用される起伏量について画像濃度値を対象として行った。計算は, 3×3 (Pixel) で構成されるウィンドを対象として, 含まれる画像濃度値の最大値から最小値を減じた値をレベル分けするものである。レベルが大きい地点では被覆が大きく異なる物が分布することにより濃淡さが大きくなることを示す。この方法を用いて画像濃度値のパターンを強調した。また分布域等を定量化するために空撮画像を K-means 法より分類した。分類クラス数は, 階級の数を決める目安を得られるスタージェスの公式 (式-(1)) に基づき階級数を決定した。その後地形特徴に基づき統合した。

$$K = \log_2 N + 1 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

K : 階級数, N : データの個数 (画素数: 縦×横)

4 研究結果と考察

4.1 踏査結果

踏査調査よりリーフは 4 領域に区分できることを確認した。次に 4 領域についての特徴を示す。

領域① (砂浜): 島本体のリーフ側には, 細かいサンゴレキと有孔虫外殻から成る砂浜 (平均粒径約 0.8 mm) が分布している (図 2)。

領域②：低潮位時にサンゴの化石が土台となる平坦なリーフが干出し、ほとんど水位がなくなる箇所（図2）。

領域③：凹凸の激しいサンゴレキが分布している。リッジ(領域④)から島に向けて水路状のクラックがあり、その先に水深0.1 m程のプールが分布していた。この部分にのみ図3に示す藻類が分布し、頸部で有孔虫が生息している（図4）。

領域④：領域③の外側に小高いリッジが分布し、砕波が生じていた。リッジに向けて水路状のクラックがあり、砕波に伴い海水が領域③にゆっくりと流れ込んでいた（図4）。

現地踏査により、リーフフラットが特徴的な4領域に区分できることが確認され、かつ、最干潮時においても水深約0.1 m程度が維持される領域③にのみ、有孔虫が付着している藻類が分布していることが分かった。なお、この藻類は紅藻のPalisada属(タカサゴソゾ属)である可能性が高い(国立環境研究所山野博哉氏、鈴木はるか氏、私信)。この藻類は、日本で絶滅危惧種としてレッドデータブックに登録されているものであり¹⁰⁾、希少な藻類であることが分かった。本研究では有孔虫のハビタットマップ生成を目的としてきたが、生息に必要な藻類その

ものの保護も重要な観点になることが明らかになったと言える。

以上の特徴を盛り込み、リーフフラットの地形断面面を模式化すると図5に示す通りとなる。

4.2 空撮画像の解析によるリーフの特徴

リーフ全体の空撮画像において、波長が最も短く水域調査等で応用されることの多い可視光Blueについての画像濃度値出力結果を拡大した図6に着目する。踏査で明らかになった藻類が分布する領域③の変化は平坦であるが、水路部分では変化が大きくなっていることが分かる。この傾向は、可視光GreenやRedの画像でも同様に確認できた。本研究における空撮画像の分解能は約4.5 mmであったが、この程度の解像度で本調査を行えば、有孔虫分布域を把握する上で重要な手がかりとなる水路の分布状態は十分に捉えられることが分かった。また、図3に示し



図2 領域①と領域②

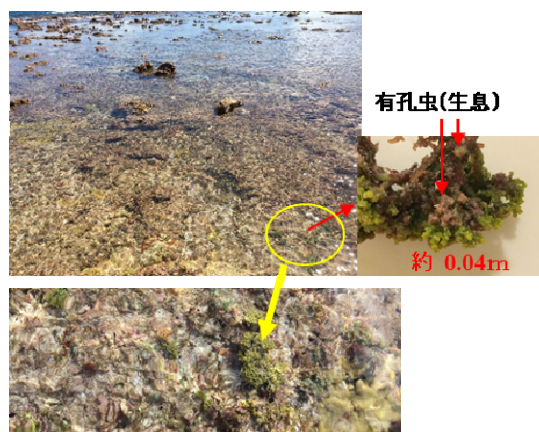


図3 領域③と藻類(紅藻のPalisada属)

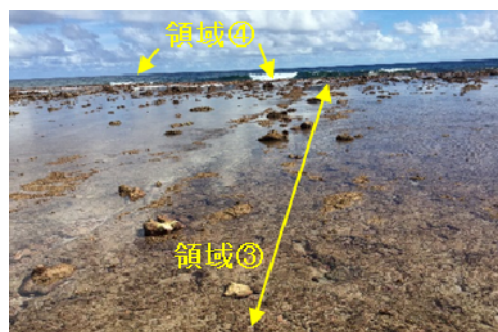


図4 領域③と領域④

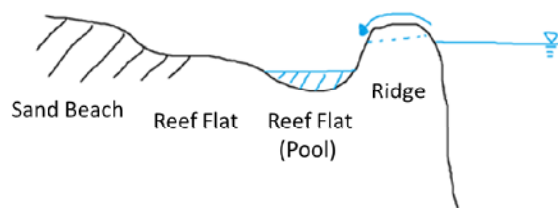


図5 リーフ地形断面図

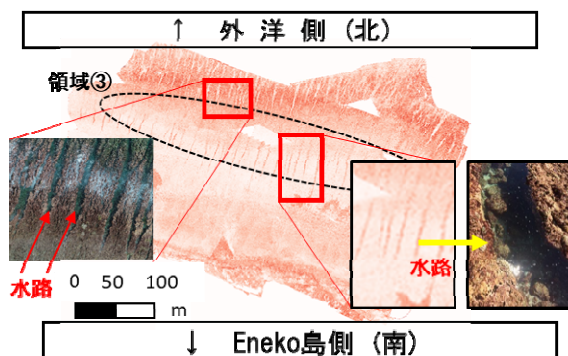


図6 画像濃度値(可視光Blue)

た有孔虫が生息している藻類のサンプルの直径は約 0.04 m であった。リーフフラットでは藻類がブロック状に固まって分布していることが多いことから、空撮画像から藻類を抽出する際に、解像度 4.0~5.0 mm 程で十分であることが明らかになった。

オルソ画像を用いた分類結果を図 7 に示す。ステージスの公式より階級を 26 クラスに決定し、分類を行った。踏査ではリーフを 4 領域に区分したことから、26 クラスを目視判断により領域①~④に振り分け、統合した。ここでは画像解析ソフトウェアの ENVI (ESRI ジャパン) の Combine Classes ツールを用いた。この分類図より有孔虫が分布する可能性が高い領域③は図 7 下図の青色で示された領域であり、穏やかな水流で海水を供給している水路の特定が可能となる。

本調査の分類対象の全面積は 2292.0 km² であり、そのうち最干潮時にプール状となる領域③の面積は 550.6 km² とリーフフラットの約 24 %程度 (陸域部に誤分類があるため、実際は少々小さい割合となる) であった。UAV による空撮はバッテリーの制約もあり、更に調査が可能な干潮時間は短いため、水路 (領域③) から外洋側の調査を行うことで調査の規模を縮小できることが分かった。

5. 空撮画像の効用と課題

現地踏査と空撮画像の分析から有孔虫が生息する藻類の分布域は、いくつかの地形条件を持つ場所であることが明らかになった。しかし従来までの調査・解析方法だけでは分類精度が低く、また藻類分布域の面積を精度高く推定することが出来なかった。このため、数値表層モデル (DSM) を用いて水路の構

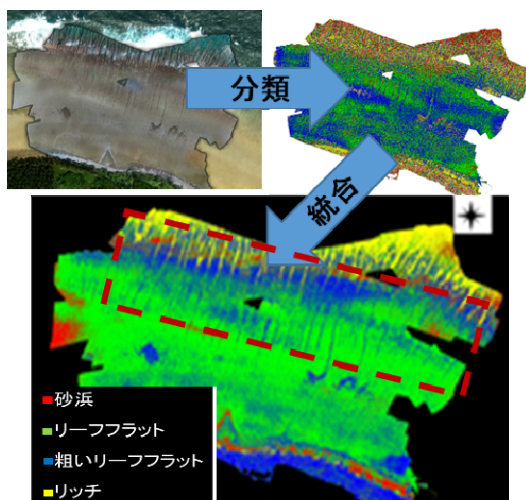


図 7 空撮画像の分類結果

造抽出や最干潮時でもプール状に水が溜まる領域の平坦性等についてテクスチャ情報として生成する。また UAV に近赤外カメラを装着することで、藻類のクロロフィルの情報を強調した空撮画像から有孔虫分布域と関連が高かった事項を情報化する。以上より予察で得た成果に加えて、上記のような機能向上や解析手順の改良を加えることにより、有孔虫ハビタットマップの完成に向けて研究を展開したい。更に海岸保護計画上に有孔虫分布域を保護区として現地機関に提案することを想定している。本研究の工学的意義はこれらの点にある。

引用・参考文献

- 1) Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change -Summary for Policymakers, <<http://www.ipcc.ch/>>, (2018 年参照).
- 2) 江田雄樹, 桑原祐史, 佐藤大作, 藤田昌史, 横木裕宗: マーシャル諸島共和国マジュロ環礁を対象とした国土防護のための対策優先地区選定方法の提案, 沿岸域学会誌, Vol. 25, No. 3, pp. 53-64, 2012.
- 3) Yamano, H., Shimazaki, H., Matsunaga, T., Ishoda, A., McClennen, C., Yokoki, H., Fujita, K., Osawa, Y., Kayanne, H. (2006) Evaluation of various satellite sensors for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Islands. *Geomorphology*, 82, 398-411.
- 4) Murry Ford (2012) Shoreline Changes on an Urban Atoll in the Central Pacific Ocean: Majuro Atoll, Maeshall Isands, *Journal of Coastal Research*, Vol. 28, No. 1, pp. 11-22.
- 5) 日本リモートセンシング学会編「基礎からわかるリモートセンシング」理工図書, pp110-111, 2011.
- 6) Australian Government Bureau of Meteorology: Pacific Sea Level Monitoring Project Tide Calendars, <<http://www.bom.gov.au/oceanography/projects/spslcmp/tidecalendars.shtml#rtable>>, (2018. 08. 20 参照).
- 7) 大澤葉子: Majuro 環礁における大型底生有孔虫の生息分布と生息規定要因, 東京大学理学系研究科修士学位論文, p. 74, 2008.
- 8) DJI JAPAN 株式会社: DJI Phantom4 Pro-空撮撮影用ドローン-DJI, <<https://www.dji.com/jp/phantom-4-pro>>, (2018. 08. 20 参照).
- 9) 株式会社オーク: PhotoScan Professional edition - 株式会社オーク, <<https://oakcorp.net/agisoft/professional/>>, (2018. 08. 10 参照).

10) NPO 法人 野生生物調査協会, Envision 環境保全事務所: タカサゴソゾ,
(<http://jpnrdp.com/search.php?mode=map&q=120201120030108>), (2019. 01. 31 参照).

著者紹介

阿部 美帆 (学生会員)

茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学科 修士課程 (茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 2017 年福島工業高等専門学校建設環境工学科卒業, 2019 年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 日本沿岸域学会, 土木学会, 各会員。

榎本 忠夫 (非会員)

茨城大学工学部都市システム工学科 准教授 (茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 2008 年東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻博士課程単位取得中退, 同年国土交通省に入省, 地盤工学会, 土木学会, 各会員。

鈴木 準平 (非会員)

電力中央研究所環境科学研究所水域環境領域 (千葉県我孫子市我孫子 1646), 2011 年茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻卒業, 土木学会, 水環境学会, 各会員。

藤田 昌史 (正会員)

茨城大学工学部都市システム工学科 准教授 (茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 1996 年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 1998 年同大学院博士前期課程修了, 2001 年東京大学大学院博士課程修了. 土木学会, 日本水環境学会, 日本下水道協会, 廃棄物資源循環学会, International Water Association, 各会員。

桑原 祐史 (正会員)

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 教授 (茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 1992 年東京理科大学理工学部土木工学科卒業, 1994 年同大学院修士課程修了, 1995 年同大学院博士課程中退, 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本リモートセンシング学会, 地理情報システム学会, 環境情報科学センター, 地盤工学会, 各会員。

Investigation of Foraminifera habitat using UAV-image at Eneko Island in the Majuro atoll, Marshall Islands

Miho ABE, Tadao ENOMOTO, Junpei SUZUKI
Masafumi FUJITA and Yuji KUWAHARA

ABSTRACT : According to the 5th IPCC Assessment Report, the global average sea level is expected to rise because of the global warming effect. For the high-level warming scenario, the average sea level is expected to rise by 0.82 m. The maximum altitude in the Majuro atoll is approximately 6 m. Consequently, coastal erosion will be accelerated by the rise in sea level. Atoll islands are made of corals and the outer shell of foraminifera. This study aims to investigate the distribution pattern and ecology of the foraminifera in the Majuro atoll, Marshall Islands. We conducted a field investigation in September 2018 using an unmanned aerial vehicle (UAV), since UAVs are suitable for high-resolution photography. The results of this field investigation showed the characteristic topography (i.e., pool on the reef and channel), allowing us to locate any possible habitat map generation.

KEYWORDS : *Marshall atoll, reef flat, foraminifera, UAV, field survey*