

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04373

研究課題名 (和文) 環礁州島の州島形成維持メカニズムの解明

研究課題名 (英文) Consideration of island formation mechanisms in atoll islands

研究代表者

佐藤 大作 (Sato, Daisaku)

摂南大学・理工学部・准教授

研究者番号：10624017

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 2,900,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究ではツバル国フナフチ環礁を対象に州島形成・維持のメカニズムを検討するために数値計算を実施し、現状の州島が存在しない条件においてリーフ上で波浪外力によって砂質堆積物を想定した仮想粒子の集積域を明らかにした。また、州島保全に必要な不可欠となる沿岸域の情報を効率的に蓄積する手法として畳み込みニューラルネットワークを用いた空撮画像の堆積物分類法を構築し、砂浜域は良好な分類結果が得られた。しかし、礫域では誤分類される領域が多いことから、学習に用いる画像の質を向上させるなどの改善をすることで実用化に近づくと考えられた。持続的な海岸保全対策の検討に向けて必要不可欠なデータ取得の実現に近づいた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた州島形成に関する知見は、今後の州島保全の対策を検討するうえで非常に重要な知見である。本来、リーフの生態系サービスによって堆積物が供給され、それらが堆積することで州島が形成しており、どのような外力が主要因で堆積物が運ばれ、堆積して島となるかを理解することは持続的な州島の維持形成を実現するために必要不可欠な知見である。また、現実的に起こっている島の変形を継続的にモニタリングして情報を蓄積することは、島の変化の特性を把握することに加えて、今後対策を実施した際の効果を見極めるうえで重要である。こうした観点から本研究で構築した海岸堆積物のモニタリングシステムは非常に有用だと考えられる。

研究成果の概要 (英文) : This study conducted numerical simulation on island formation in Funafuti atoll, Tuvalu in order to consider the mechanisms of island formation and maintenance under monthly mean wave condition. The result showed that the virtual particles of sand, which is the main sediment of island in Funafuti, accumulated on the reef-flat in some area. In some area, the estimated region of particle accumulation was agreed with the region where the present location of island formation.

In order to provide easy monitoring system of sediments in coastal area, the convolution neural network (CNN) model that can classify the type of sediments was developed in this study. The Constructed CNN model successfully classified sand area from aerial photographs, however, the region of coral gravels had not good results. by doing improvement of classification accuracy in coral gravels provide effective method of coastal monitoring of sediments.

研究分野：海岸工学

キーワード：環礁州島 州島形成 数値計算 モニタリング 畳み込みニューラルネットワークモデル フナフチ環礁

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究で対象とする環礁州島は、サンゴ片や有孔虫遺骸、ハリメダなどの石灰藻といったサンゴ礁起源の有機物が州島を構成しており、環礁の基盤となるサンゴ礁から供給される生態系サービスによって堆積物が供給されている。こうして供給された堆積物が集積することで州島が形成されるが、同じ環礁上でも州島が形成するところもあれば、州島は形成せず、リーフのみの場所もある。州島形成の有無がどのような条件下で決定されるのか、不明な部分が多い。持続的に環礁上の州島を維持してゆくことを考えるのであれば、環礁上に形成する州島の形成プロセスを明らかとする必要がある。さらに、この州島形成プロセスが明らかとなれば、州島の維持やそれを実現する海岸保全対策に資する基礎的な知見が得られることとなる。

環礁州島の持続的な国土保全対策の実現には、生じた海岸侵食に対する応急的な対策ではなく、州島形成の根本的なメカニズムを十分に考慮した対策が、経済的・技術的に乏しい環礁国においては必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は環礁州島が有する独特な地形形成・維持の過程について、ツバル国フナフチ環礁を対象に数値的検討を行い、州島を構成する砂の堆積過程について検討を行った。また、持続的な州島保全を実現するために必要不可欠な知見となる海岸を構成する堆積物のモニタリング手法について検討を行った。以下の詳細な目的について示した。

(1) 環礁州島の形成要因についてフナフチ環礁リーフにおいて州島が無い条件を数値的に与え、月平均の波浪条件によって砂を想定した仮想粒子が集積する領域について検討した。これより、波浪作用下で州島が形成する要件について明らかとすることを目的に研究を行った。

(2) 環礁州島の形成と維持について、月平均波浪条件下において10年程度の期間で集積した仮想粒子がどのように維持されるか検討を行った。

(3) 国土保全に必要となる海岸侵食に対する有効な対策を検討するうえで必要となる基礎的知見である砂や礫の分布を継続してモニタリングする手法について検討を行った。本来、海岸管理において蓄積されているべき情報であるが、現地では定期的に沿岸域の情報をモニタリングするシステムはなく、人的資源や経済的資源が十分でないため今後も継続的にデータを収集することは期待できない。このため、現地で求められている効率的な海岸モニタリング手法を開発することを目的に研究を進めた。

3. 研究の方法

(1) 州島の形成過程を検討するため、数値計算を実施した。数値計算は大きく2つのパートに分かれており、波浪外力を評価するための波浪推算と得られた波浪外力下において堆積物を想定した仮想粒子の移動計算である。波浪外力の評価には第3世代波浪推算モデルであるswanを用いた。図-1に示す計算領域において、外縁部の波浪境界条件および計算領域内の風場条件はECMWFの再解析値(ERA40)から過去10年間の月平均条件を求めて与えた。なお、本研究ではリーフ上において堆積物が集積する領域を推定することを目的に現状形成する州島を無くした条件を与えて計算を実施した。州島の存在する領域にはリーフ上水深(1.0m)を一律に与えた。計算領域のメッシュサイズは 0.003° とした。

堆積物の運搬を想定した仮想粒子の移動計算においては、波浪推算で得られた波浪場を用いて、移動量を計算した。毎年1月1日00:00に仮想粒子をリーフ上に配置した(1メッシュあたり9個)。有義波高、有義波周期などの波浪諸元から底面流速を算定し、正味の流速を求めたうえで、移動量を算定した。移動量計算のタイムステップは600秒とし、10年間の計算を行った。

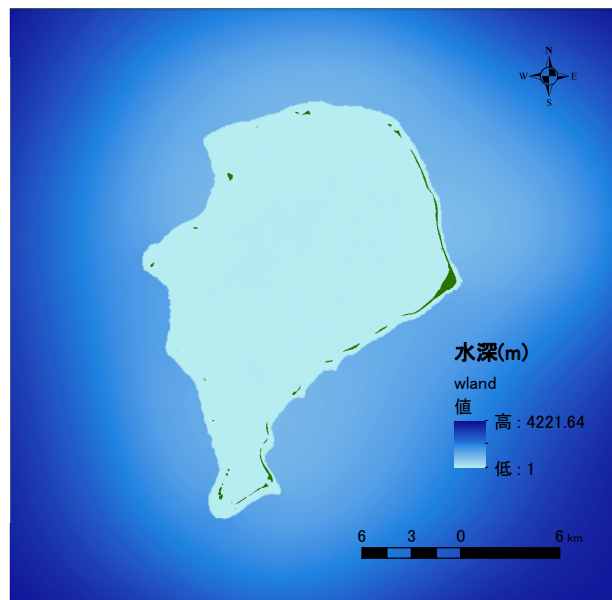


図-1 計算領域と水深（州島あり）

(2) 沿岸域の堆積物分布のモニタリング手法として空撮画像から沿岸堆積物を分類する手法の構築を行った。本研究では畳み込み層およびプーリング層で構成される中間層が2, 3, 4層の3

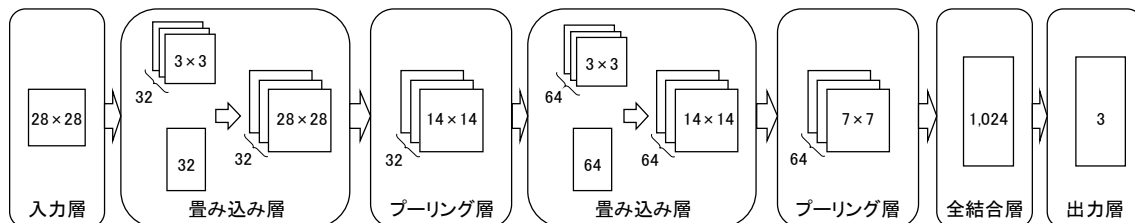


図-2 中間層 2 層モデル概要図

種類のモデルを構築した。図-2 に中間層 2 層のモデル概念図を示した。入力層に 28×28 ピクセルの画像を与えると、畳み込み層、プーリング層で特徴量が抽出され、出力層で砂、礫、その他の分類結果が出力される。モデルの実装は Google が公開しているプラットフォームである TensorFlow を用いた。学習に用いる画像および沿岸部の堆積物分類に用いる空撮画像の取得のため、2018 年 9 月にツバル国フナフチ環礁において現地調査を実施した。モデルを適用する画像はドローンによる空撮画像を考えているため、同様にドローンによって撮影された空撮画像から学習用画像を生成することが望ましいと考えられるが、撮影範囲が非常に広い空撮画像から、砂浜域および礫域のみを抽出して多数の学習用画像を用意することは非常に難しい。そこで、現地の砂浜域・礫域において、デジタルカメラによって砂浜域、礫域それぞれ 4,632, 6,766 枚の画像を取得した (図-3)。堆積物の分類に用いる空撮画像はドローン (DJI Phantom4 Pro V2.0) を用いて取得した。撮影高度は 60m とし、砂浜域、礫域、砂と礫の混合域を対象に撮影を行った (図-4)。デジタルカメラで取得した砂浜域、礫域の画像は $4,608 \times 3,456$ ピクセルとなっており、モデルへの入力画像サイズに合わせる必要があるが、本研究では取得した画像を 600×600 ピクセルに切り取り、切り取った画像を入力画像のサイズに平滑化することで画像作成を行った。入力画像の違いによる学習精度を検討するために、 28×28 , 32×32 , 64×64 の 3 種類の入力画像サイズを設定した。堆積物の分類を行う画像はドローンによって取得した空撮画像であるが、学習用画像と同様にモデルの入力画像のサイズでなければモデルに適用することができない。そこで、 $3,840 \times 2,160$ サイズの空撮画像を入力画像サイズに区切って入力画像とし、各入力画像の分類結果を最終的に元の画像サイズに結合することで、

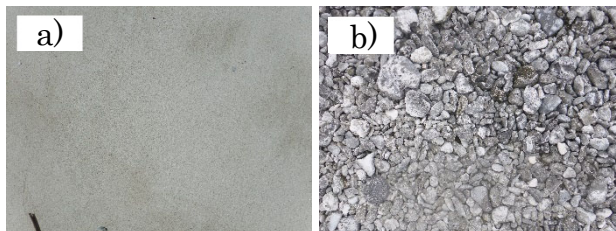


図-3 取得した画像の例 a) 砂浜域, b) 礫域

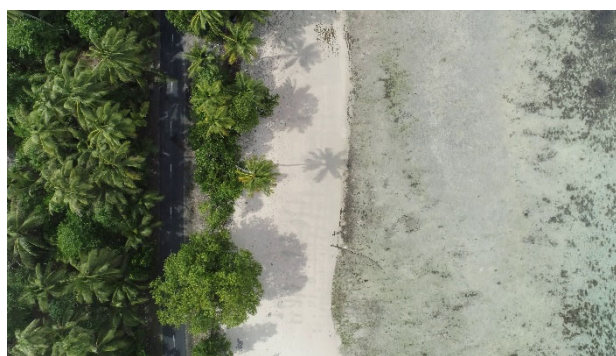


図-4 ドローンで取得した砂浜域の画像例

表-1 学習条件一覧

層数	画像 サイズ	学習 回数	バツ チ数	学習率	畳み込み層 1		畳み込み層 2		畳み込み層 3		畳み込み層 4	
					サイズ	枚 数	サイズ	枚数	サイズ	枚 数	サイズ	枚 数
2	28×28	200	10	1×10^{-6}					—	—	—	—
	32×32		20									
	64×64		30									
3	32×32	400	40		2×2	16	2×2	32	2×2	64	—	—
	64×64	600	50									
		800	60									
4	64×64	1,000	70		4×4	64	4×4	128	3×3	128	2×2	128
		5,000	80									
			90								3×3	256
			100								4×4	512

堆積物の分類マップを作製した。本研究では入力画像のサイズや学習回数、畳み込み層のファイナルサイズや枚数等を変化させ、合計で 376 ケースの学習条件を設定し（表-1）、最もよい学習精度が得られたモデルを空撮画像に適用して分類を行った。

4. 研究成果

(1) フナフチ環礁における州島形成過程についての検討結果を図-5 に示す。同図は仮想粒子の集積する箇所を赤色で示しており、10 年後の集積域の分布となっている。多くのリーフ上に集積域が形成することが計算結果から分かった。特に環礁南側で多くの集積域が見られるが、この領域はラグーン側の水深が特に浅い状態となっており、集積域が形成しやすい環境となっているものと推測される。また、環礁西側にも多くの集積域が見られるが、実際には図-1 に示すように環礁西側にはほとんど州島は形成されておらず、小さな州島が点々と存在するのみである。本研究の結果から考えると、比較的大きな州島が形成する可能性があることを示していると解釈できるが、現実とは異なる結果となった。本研究では波浪の作用のみによって堆積物がどこに集積するかという観点から検討を行ったが、より現実 に即した条件を考えると、潮位変動に応じて生じると考えられる流れや高波浪時の条件が挙げられる。こうした未考慮の条件が作用することで、波浪によってのみ考えた場合の堆積物集積域に州島が形成されないものと予想される。現在、フナフチ環礁において最も大きな州島であるフォンガファレ島が存在する環礁東側においては、波浪の作用によっては堆積物の集積域が広く分布する結果とはならなかった。より詳細に検討するため、フォンガファレ島周辺を拡大した結果を図-6, 7 に示した。同図より最も幅の広い州島が形成する中央付近において集積域が形成しており、波浪の作用によって堆積物がたまりやすい状態になるものと推測された。南側にも集積域が形成しており、実際に州島が形成する様子と類似した傾向が見られた。一方、北側には集積域は形成しておらず、波浪の作用のみでは堆積物が集積しないものと考えられた。以上より、

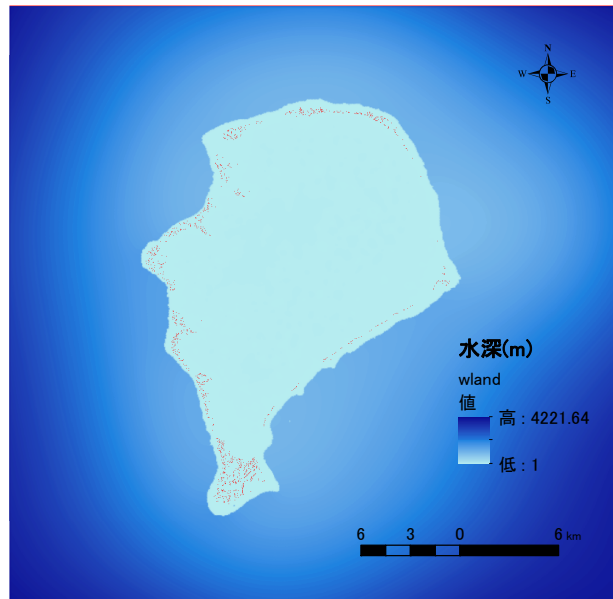


図-5 堆積物集積域の計算結果（10 年後）

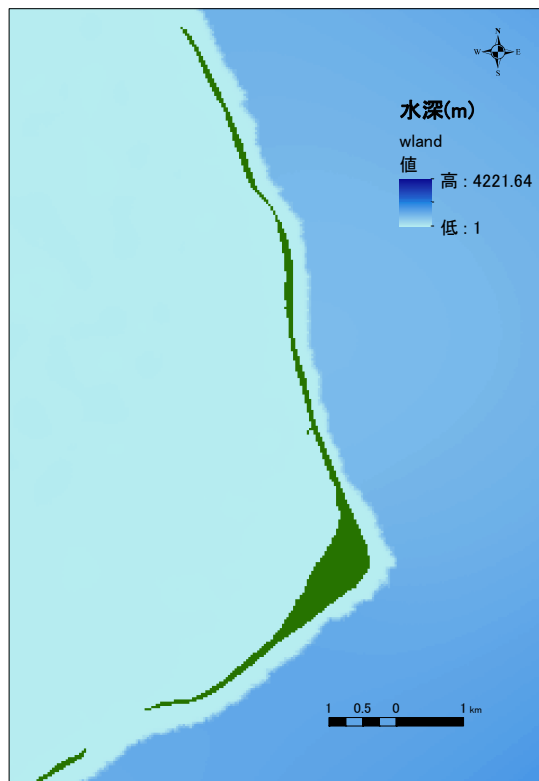


図-6 フォンガファレ島周辺部

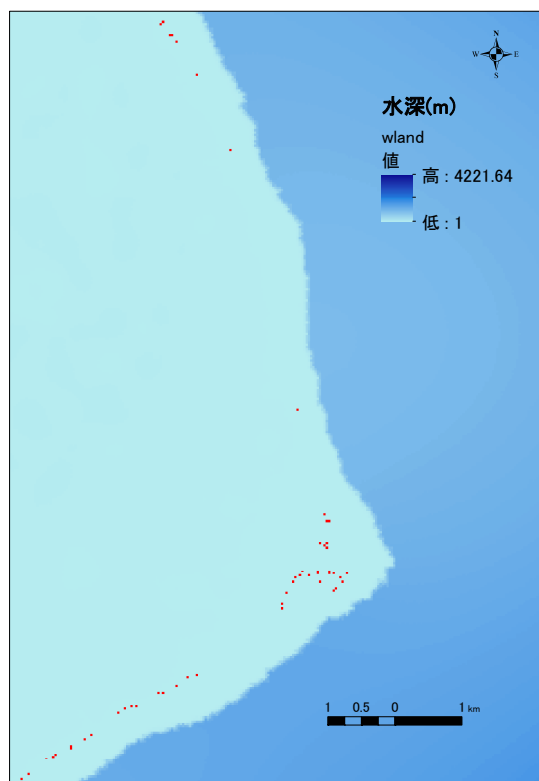


図-7 堆積物集積域の計算結果（フォンガファレ島周辺）

波浪の作用によって堆積物が集積する領域が形成されることが明らかとなるとともに、現状形成する州島と整合する領域が確認される一方、実際に州島が形成する領域において集積域が生じない箇所も存在し、波浪以外の外力が州島形成・維持の主たる要因となる箇所もあるものと推測された。以上の検討より、波浪による州島形成の潜在的能力を示すとともに、波浪外力のみでは説明できない領域も存在し、他の主要外力も存在しうることを示した。

(2) ドローンによる空撮画像のうち主に砂浜域が多く撮影されている画像に最もテスト精度が高かった分類モデル（学習回数 800 回）を適用した結果を図-8 に示した。同図 a) が原画像を示しており、b) が分類結果を示している。同図中の黒色、白色、透明で示されている部分がそれぞれ砂、礫、その他として分類されたことを示している。同図 a) 中の赤点線内がおよそ砂浜として認識してほしい領域であり、同図 b) の分類結果をみると、想定通りの認識域を得ることができた。沿岸部の樹木によって影がかかっている部分があるが、学習用写真において影がかかった砂浜写真も含まれていたため、想定通り砂浜と認識されている。同図右側の海中域にも砂として判断されている部分があるが、現地で確認したところ、同部分はサンゴ礁の基盤に薄く砂質の堆積物が積もっているような領域であり、砂が堆積している領域として判断することは過剰評価であると考えられた。

礫域の分類結果を図-9 に示した。適用したモデルは図-8 に示した砂浜域の分類に用いたものと同じである。図-9a) は空撮画像の原画像を示しており、陸域部分の植生部以外は全てサンゴ礫が堆積したものとなっている。同図 b) はモザイク処理なしの入力画像で学習したモデルによる分類結果を示している。両図を比較すると、多くの部分で砂域として分類されており、実際の分布と相違がみられた。学習の段階では精度よく学習できていたにもかかわらず、空撮画像に適用した段階で相違が多くみられたことから、学習に用いた画像と適用先となる空撮画像の間の違いが大きく、有効な学習になっていない可能性が考えられた。より精度よく分類できるモデルの構築には、学習に用いる画像をより精査するとともに、学習に用いる画像の種類や枚数、学習の回数などを増加させることで改善が見込めるものと予想されるが、計算環境の制約などもあるため、最適な学習材料、学習条件について今後も検討を進めることで実用可能な適用精度を有するモデルの構築が行えると考ええる。本手法の実用化によって、非常に効率的な沿岸堆積物情報が得られるとともに、持続的な海岸管理に向けた基礎データの蓄積が実現すると期待される。

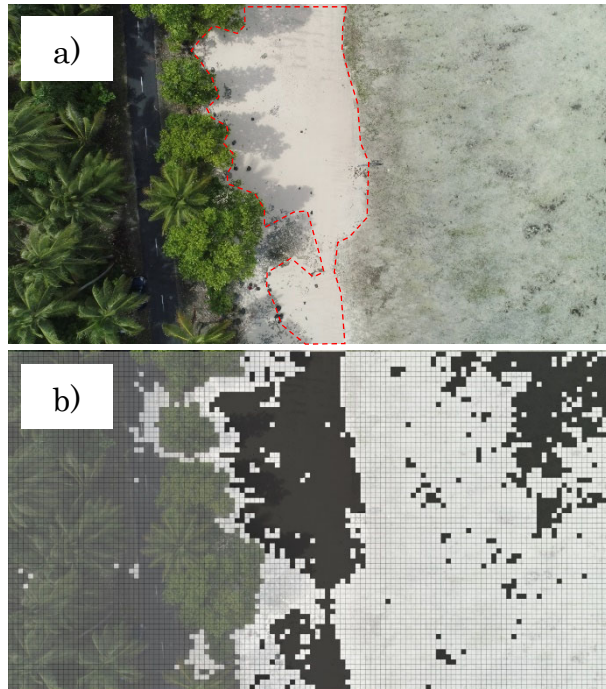


図-8 中間層 3 層モデルでの砂域の分類結果
(入力画像 64×64, 畳み込み枚数 32, 64, 128, 畳み込みサイズ 2×2, バッチ数 40)
a) 原画像, b) 分類画像 (黒色が砂域, 白色が礫, 半透明がその他を示す.)



図-9 中間層 3 層モデルでの砂域の分類結果
(入力画像 64×64, 畳み込み枚数 32, 64, 128, 畳み込みサイズ 2×2, バッチ数 40) a) 原画像, b) モザイク処理なしの学習モデルの分類画像, (黒色が砂, 白色が礫, 半透明がその他を示す.)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 佐藤大作	4. 巻 76
2. 論文標題 フナフチ環礁フォンガファレ島を対象としたディープラーニングによる海岸堆積物分類モデルの構築	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2（海岸工学）	6. 最初と最後の頁 I_1417-I_1422
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.76.2_I_1417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Daisaku Sato
2. 発表標題 NEURAL NETWORK MODEL FOR IDENTIFYING THE COASTAL SAND AREA USING THE AERIAL PHOTOGRAPHS PICTURED BY UAV
3. 学会等名 Virtual International Conference on Coastal Engineering（国際学会）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------