2022年10月21日 日本写真測量学会関西支部 第115回話題交換会

環礁国での海岸地形変化研究における空間情報の活用事例

摂南大学理工学部 都市環境工学科 佐藤 大作

(簡単に)自己紹介

所属: 摂南大学理工学部都市環境工学科 専門: 海岸工学, 環境水理学 研究キーワード:



本日の内容

1. 環礁州島

- 2. ツバル国フナフチ環礁
- 3. 現地調査での地形情報の収集事例
- 4.おわりに

本発表は下記助成を受けて行った研究成果の一部をもとにしています。

- SATREPS,「海面上昇に対するツバル国の生体工学的維持」,代表 茅根創(東京大), 2008~2013.
- 基盤研究(c),「環礁州島の州島形成維持メカニズムの解明」,代表 佐藤大作, 2018 ~ 2020.



N W DE
S 0 1.252.5 5 km □

ツバル、フナフチ環礁







キリバス共和国, タラワ環礁

- 環状のサンゴ礁基盤の上に州島が形成
- 州島はサンゴ礁起源の有機物で構成
- 環礁のみで構成される国 マーシャル諸島共和国 ツバル国 キリバス共和国...

Google Earth モルジブ共和国



	FUNAFUTI ATOLL
Bathymetry	
above 10	
-341 to -166	a.40m 印庄
-517 to -341	~40111住皮
-692 to -517	A SIM
-868 to -692	statel.
-1043 to -868	
-1219 to -1043	and the second s
-1394 to -1219	A Child
-1745 10 -1570	and the second s
-1921 to -1745	
-2096 to -1921	外注
-2272 to -2096	
-2447 to -2272	1000
-2623 to -2447	
-2798 to -2623	CONTRACTOR AND
-29/4 to -2/98	
-314910-2974	
below -3325	

Damlamian(2008)を元に作成

 ・標高が非常に低い

 →高くても数m

 →河川が存在しない

- 2つの異なる海域に面する
- 首都の島に人口が集中

ツバル国



ツバル国 フナフチ環礁

ツバル国

- ・9つの環礁から成る国
- 面積:25.9km²
- 人口:11,790人(2020年)
- 首都:フナフチ環礁
- 1人当たりGNI: 5,620米ドル(2019)
 (日本は41,513米ドル(2021))

日本からの援助(2018年度までの累計) 無償資金援助:108.82億円 技術協力:31.13億円



✓島の幅は数十m~数km ✓島の標高は最大で5m程度

















オレンジ色の粒すべてが有孔虫(太陽の砂)

and the second se



島の断面図



島の維持形成過程







プロジェクトでのミッション

▶州島の有効な維持保全手法の検討

- ✓ 現状の海岸地形変化の把握
- ✓ 作用外力(波,流れ)の把握
- ✓ 漂砂の方向, 量の推定
- ✓ 堆積物移動の阻害要因の特定

現地調査での海岸地形情報 の取得

> 海岸地形測量

- ✓ 断面地形(スタジア測量)
- ✓ 海岸地形(後処理RTK)
- ✓ 砂浜域, 礫域(ハンディGPS)
- ▶ 砂の動きの測定
 - ✓ 置き砂実験(ハンディGPS)
- ▶海岸堆積物の分布情報の取得 ✓ 空撮画像(ドローン, 畳み込みニューラルネットワーク)

断面地形測量

- 地形がどのように変わっているのか情報なし
- ・ 当然,過去の測量結果は無い.
- レベル+三脚+スタッフ → スタジア測量
- ・3月,8月の調査で同じ側線を毎回計測



4/4 Cause Way of = 1/4 hedi B.P. 100.05cm. 19:34 1, 115,3 13,2 111,2 (4:36 DT 2, 107,3 104,1 100.8 10-37 2 3. 180,7 175,9 171.0 14:38 04.39 4, 154,3 1498.0 141,12 14=39 188.2 4 47.7 44.2 40.8 14.41. 32 E. 5' 117.1 115.8 114.5 14:43 B.R. 6' 78.6 79.9 76.7 14=44 B.R. Br B.P. 122.8 149, 18973 8, 47190 7. 131.7 131. 03 130.9 14-47 B.R. 8 150,5 150,0 149.5 14:48. B.R. 9 195,4 192,3 189.3 14:50, B.R. Ith) 汗線 岩盤 10. 206,0 201.5 197,0 14:51. WD.4 常態 11, 213,4 206,4 199,4 14752 W.D.10 11 @11 116,5 1100 103.4 14:57 W.D. 15. " 12' BI,9 128,17 125,4 14:58 W.D.31. 11 3, P. 128.5 ____ 179.1899.4 第,サンゴ、深 8.47157 13, 129, 2 125, 5 122, 0 100, W. (D. 30. 11 14, 132,3 125.6 119.1 15:02 W.D.26 11, 17:0 9411 15, 130,2 20,2 110,3 15-63 W.D. 25. 11 16, 135,5 121.8 107,9 13:06 N.2.18 M=D. L 179, 1904 8.49141

当時のデータシート

E:013 10 m 25, 11-7 IN = ?!

海岸地形の計測

- ・後処理RTKの導入
- スタジア測量より機材は多くなったが、測定が容易になった.
- ・ 断面 (ライン)から面の情報の取得が可能になった.
- 基準点は?



フナフチ環礁の基準点

- ・ツバル国土地測量局から基準点の情報収集.
- 正式な地図が無いため手書きのイラストを元に捜索.
- 基準点らしきものはある.
- 密に整備されているわけではない.
- ・ 必要であれば独自の基準点を設置.



砂浜域, 礫域の計測

- ハンディGPSによる輪郭計測
- ・計測方法 →GPSを持って歩く.
- ・現地土地測量局のカウンターパートとの共同調査
 ・現地調査時+カウンターパートのみ
- 計測は容易だが体力勝負





砂浜域, 礫域の計測結果

- 州島中心部の砂浜海岸での計測結果
- 面的な砂浜域の変動が把 握できた.
- ・季節的に大きく変化
- ・機動性が高く有効
- 精度は他の測量手法に は及ばない
- RTK+ハンディGPS



置き砂実験

- 砂の移動を可視化するとともに移動速度を計測
- ・粒径1mmのカラーサンド
 (自然着色料による炭酸 カルシウム粒)
- 15kg×146箱(2.19t)
- ハンディGPSで輪郭計測
 および目視による到達点
 計測





置き砂実験結果

現地漂砂実験

- ・青色カラーサンド
- ・2013年4月調査時に実施
- GPSを使用してモニタリング
- 漂砂移動速度の把握
 - > 20m/5days
 - ➢ 98m/22days

平均移動速度:4m/day



Figure 1-6 Installed blue-colored sand



Figure 1-8 Detected range of installed sand transport (a, b) and calculated daily range of sediment transport

数値計算結果との対応

- ・3,4月の平均波・風条件
- 漂砂移動速度で比較
- 現地漂砂実験:4m/dayに対して、計算結果:8m/dayとなった.

空撮画像を用いた堆積物の把握

- 海岸域の継続的なモニタリング
 →砂浜の分布などの情報を集積
 →環礁国での継続的な実施は困難
 より効率的に海岸堆積物の情報を得る手法が必要
- 対象:ツバル国フナフチ環礁 フォンガファレ島
- 狭小な国土.砂・礫の分布が海岸管
 理において重要
- 畳み込みニューラルネットワークによる海岸堆積物分類モデル
- ▶ ドローンで撮影した空中写真を分類
- 学習用画像は容易に取得可能なデジタルカメラ画像を使用



畳み込みニューラルネットワークモデル

- 分類器
- 画像分類を得意とするモデル
- 畳み込み層+プーリング層
- 3種類の学習ラベル -砂域, 礫域, その他(植生, 道路)
- TensorFlowを用いて実装

畳み込み層

フィルタ処理で画像の特徴量を抽出



特徴量マップを集約化



現地調査概要

- ツバル国フナフチ環礁フォンガファレ島
- 2018年8月21日-8月31日
- 学習用画像の取得
- ・ ドローンによる空撮画像の取得

◇<u>学習用画像</u>

- 現地海岸を踏査しながら、デジタルカメ ラ(Nikon COOLPIX P6000)で砂浜、礫の 写真を取得した。
- 砂域画像数:4,632枚
- 礫域画像数:6,766枚

◇空撮画像

- 分類対象となる空撮画像をドローン (DJI Phantom4 Pro V2.0)で取得した
- 撮影箇所はフォンガファレ島北端部, 南端部, Causewayの3か所



学習用データの生成

- •原画像: デジタルカメラによる画像(4,608×3,456 pixels)
- •学習用画像: 28×28, 32 x 32, 64×64 pixels
- ・解像度が異なる画像のため、処理が必要
- ・空撮画像の粗さに近づけるため、学習用画像にモザイク処理(Pillow GaussianBlur, 半径3pixels)を適用したものも用意した.



- ・ 礫域の画像も同様に 処理
- 陸域(植生,道路など)
 の学習用画像は空撮
 画像から作成
- 学習用データセットの 作成は、砂域、礫域、
 陸域の画像からランダ ムに抜き出して行った.

学習条件

- 中間層(畳み込み層+プーリング層)を3種類
- プーリング層のサイズ、枚数は畳み込み層に一致
- 全結合層は一律で1,024とした.
- パラメータを変化させる.

→学習精度, テスト精度を確認

	画像 サイズ	学習 回数	バッチ 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	
層数					サイズ	枚数	サイズ	枚数	サイズ	枚数	サイズ	枚数
2	28 × 28 32 × 32 64 × 64	200 400 600 800 1,000 5,000	10 20 30	1 × 10 ⁻⁶	2 × 2 3 × 3 4 × 4	16 32 64	2 × 2 3 × 3 4 × 4	32 64 128	—	_	_	_
3	32 × 32 64 × 64		40 50 60 ¹						2 × 2 3 × 3 4 × 4	64 128 256	_	—
4	64 × 64		70 80 90 100								2 × 2 3 × 3 4 × 4	128 256 512

学習結果(学習回数と精度)

学習精度:
 学習に用いた画像の分類精度

→学習がうまく行われているか

- テスト精度:
 学習に用いていない画像の分類精度 →過学習となっていないかなど
- ✓ 畳み込み層サイズ:2×2
 ✓ 畳み込み数(1, 2, 3, 4層):
 32, 64, 128, 256
 ✓ バッチ数:50
- ✓ 2層モデルでは学習回数と精度 向上が比例
- ✓ 3,4層モデルでは400回までで学 習精度はほぼ100%.テスト精度 はわずかに上昇傾向
- ✓ 4層モデルで最も良い精度



学習結果 (2層モデルでの精度)

- ✓ 畳み込みフィルタ数の増加は精度 向上につながる
- ✓ 畳み込みフィルタサイズの増大は 必ずしも精度向上に寄与しない
- ✓ バッチ数の増加は必ずしも精度向
 上にはつながらない





学習結果 (モザイク処理あり)

- ✓ 学習回数600回ではモザイク処
 理によって学習精度が向上
- ✓ その他では学習精度に大きな 変化はない.
- ✓ テスト精度はモザイク処理ありの学習モデルが良い精度となった.
- ✓ 本研究で行った学習ケースの 中で、モザイク処理ありの400
 回の学習で最も良い精度 (0.986)となった.
- ✓ 画像内の特徴量として何が顕 著かある程度判断する必要が ある.



✓ 入力画像:64×64
✓ 3層モデル
✓ 畳み込みフィルタ数:32,64,128
✓ 畳み込みフィルタサイズ:2×2
✓ バッチ数:40

空撮画像への適用結果(砂浜域)

- 中間層3層
- 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
- 砂域:黒, 礫域:白,
 その他:半透明
- 砂域はおおむね想定通りの 分類結果が得られた。
- 一部,木の陰にあたる部分 で礫として分類された.
- 水中も一部は砂として分類 される結果となった.



空撮画像への適用結果 (礫域)

- 中間層3層
- 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
- 学習用画像にモザイク処理
- 砂域:黒,礫域:白,その他:半透明
- ・ 植生以外はすべて礫が堆積.
- モザイク処理なしのケースでは多くの 部分が砂として分類される.
- モザイク処理ありのケースでは砂域と 分類される領域が減少。
- 空撮画像と学習用画像の解像度



礫域分類の改善の試み

- ▶ 対象:ツバル国フナフチ環礁フォンガファレ島
- > 狭小な国土. 砂・礫の分布が海岸管理において重要
- ▶ 海岸域の継続的なモニタリング →砂浜の分布などの情報を集積 →現地での継続的な実施は困難
- ▶ より効率的に海岸堆積物の情報を得る手法が必要
- 佐藤(2020)で畳み込みニューラルネットワークによ る海岸堆積物分類モデルを提案
- ▶ 砂浜域の分類は良い精度で行えた.
- ▶ 礫域の分類では誤分類が多く、課題が残った.
- ガウシアンフィルタを適用した学習用画像で礫域の 分類精度が向上した。





フナフチ環礁





学習用データの作成

- ・原画像:現地で撮影したデジタルカメラによる画像
- 学習用画像: 32 x 32 pixels
- ・解像度が異なる画像のため、処理が必要
- 原画像から600×600 pixelsで切り出し
- 600 × 600 pixelsの画像にガウシアンフィルタを適用し, 32 × 32 pixelsにリサイズ



ガウシアンフィルタ

- ・ 画像の 平滑化処理に 用いられる フィルタ
- ・ガウス分布を用いて着目する画素からの
 距離に応じて近傍の画素に重みをかける。

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ・平滑化の強弱の違いを検討するため,
 ・平滑化係数(σ)を9種類設定した.
- 砂域の画像は見た目ではガウシアンフィ ルタによる平滑化の影響はほぼ確認で きない。
- ・礫域の画像はガウシアンフィルタの強度 増加で礫の細かな特徴が消失。

	砂	礫
フィルタなし		
0.2		
0.4		30
0.6		
0.8		D
1.0		3
2.0		
3.0		-678
4.0		20
5.0		



- 学習精度はガウシアンフィルタを適用したケースではほぼすべての条件 で1.0となった。
- テスト精度で最も精度が高い結果となったのは平滑化係数が0.4の時で 0.986となった。
- 平滑化処理の強度を強くしすぎると画像内の特徴量が大きく減少してしまい、学習・テストの精度は低下するが、ある程度までは平滑化処理なしの 学習よりも高精度な学習結果が得られることがわかった。



空撮画像への適用結果(砂浜域)



空撮画像への適用結果(礫域)



おわりに

- 海岸域の維持・保全 →海岸地形の計測が必要不可欠
- 継続的に定期的なデータ蓄積が重要
- 国外での調査では機材の制限がある
- ツバルでは現地調達ができない
- プロジェクトが終わってしまうと継続性がない
- 機材の保守メンテナンス
- 機材は最新のものがある(トータルステーション, RTK, ArcGIS, ドローン・・)