

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：26402

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18898

研究課題名(和文) UAVを用いた漂砂系スケールにおける海岸地形・底質粒径マッピング技術の革新

研究課題名(英文) Innovation of mapping technology of coastal topography and sediment size in sediment-cells by using UAV

研究代表者

佐藤 慎司 (SATO, Shinji)

高知工科大学・システム工学群・教授

研究者番号：90170753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：地形環境が激しく変動する沿岸域と海浜部の地形に焦点をあて、UAVを用いて低コストで広域(～数キロ)の地形環境をマッピングする技術を開発した。現状の海岸地形マッピングでは、地形測量には音響測深技術、底質調査にはサンプリングによるふるい分け調査が用いられており、それぞれ多大な労力と特殊な装置が必要なため、限られた領域で一年に一度程度の頻度でしかデータが取得されない状況にある。本研究では、(1)海底地形の推定、(2)海浜陸上部地形の推定、(3)海浜構成砂礫材料のマッピングに関して、数キロの海岸のデータを一日程度で取得できる安価で機動性の高いマッピング技術を開発し、現地適用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海岸保全は、海岸が侵食された後に、経験的な設計により構造物を設置する局所的な対応が優先されがちであった。抜本的な対策には、広域の海岸保全概念を導入する必要があり、その実現には新たなモニタリング技術の開発が必要となる。UAVによる機動的・多角的調査により、地形や底質に関する高解像度のデータが取得されれば、従来より予測精度を飛躍的に高めることができる。本研究は、大きく変動する海象データの取得解像度を時間的にも空間的にも格段に向上させることにより、複雑な海岸過程の全体像を解き明かすとともに、さらに広域流砂系への適用可能性を秘めた挑戦的な研究として位置づけられる。

研究成果の概要(英文)：A low-cost wide-area mapping system was developed for monitoring highly variable nearshore zone and beach topography. UAV was utilized as the core device of the system. In the present technology of the monitoring system, the topography is measured by survey for subaral zone and by sonar sounding for submarine zone. Sediment size is measured by sieving analysis. These measurements are however labor intensive with special devices. Therefore data are usually taken only once a year. In the preset study, a low-cost wide-area portable monitoring system was developed in which coastal zone spanning with a few kilometers is covered in one day. The system was found to be applicable for (1) nearshore bathymetry, (2) subaral beach topography and (3) beach sediment size.

研究分野：海岸工学

キーワード：海岸環境 UAVによるモニタリング 海浜地形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋国家である我が国において、海岸・海洋のガバナンスと安全保障は、国家と地球環境の持続性を維持するためにも極めて重要な課題である。そのため、MDA(Maritime Domain Awareness)を強化する方針が打ち出されているが、海岸・海洋はアクセスが困難な地域に位置しているため、高い頻度で監視することすら困難な場合が多い。本研究では、地形環境が最も激しく変動する沿岸域と海浜部に焦点をあて、UAV を用いて低コストで広域(～数キロ)の地形環境をマッピングする技術を開発する。現状の海岸地形マッピングでは、地形測量には音響測深技術、底質調査にはサンプリングによるふるい分け調査が用いられており、それぞれ多大な労力と特殊な装置が必要なため、限られた領域で一年に一度程度の頻度でしかデータが取得されない状況にある。本研究では、安価で機動性の高いマッピング技術を開発し、効率的な海岸保全対策に資するとともに、沿岸域のMDAを飛躍的に革新することを目的とする。

2. 研究の目的

現状の海岸地形マッピングでは、地形測量には音響測深技術、底質調査にはサンプリングによるふるい分け調査が用いられており、それぞれ多大な労力と特殊な装置が必要なため、限られた領域で一年に一度程度の頻度でしかデータが取得されない状況にある。本研究では、安価で機動性の高いマッピング技術を開発し、効率的な海岸保全対策に資するとともに、沿岸域のMDAを飛躍的に革新することを目的とする。海底地形の推定、陸上地形の推定、底質材料のマッピングの3つのサブテーマのもとで実証的な研究を進める。

3. 研究の方法

海上に高度150mで静止させたUAVによる約20分間の連続画像から波峰線を抽出し、波峰線の移動・変形履歴をもとに、海底地形を逆推定する手法を確立する。波峰線の抽出では、wavelet-directional法(Donelanら, 1996, J. Phys. Oceanography)を用いて二次元ウェーブレットを時間発展型にして適用し、周期的な輝度変化に注目して沿岸波浪の効率的な抽出を行う(図-4)。さらに、非線形波浪の沿岸における屈折・回折・砕波を計算する波浪モデルと組み合わせることにより、水深推定の精度と堅牢性を高める。

海浜部を高度30m以下の多視点からUAVで撮影した連続画像をもとに、参照点探索アルゴリズムであるSfM(Structure from Motion)技術を用いて、図-5に示したような海浜陸上部の高解像度地形DEM(Digital Elevation Model)を作成する。海浜地形は「極端に細長くほぼ平坦な」地形であることと、沿岸方向に標高がほぼ一定な湿潤線が形成されることを利用して、標定点の配置と参照点探索アルゴリズムを最適化する。

4. 研究成果

(1) はじめに

海岸を覆う砂や礫、植生、漂着物等の分布は海岸管理のためにはなくてはならない情報であり、またそれを知ることはその海岸の土砂動態を把握するうえでも重要である。しかしながら、これらの情報を得るためには一般的に現地での踏査を行い測量やサンプルの採取を行う必要があり、大きな費用や労力がかかることから大規模な調査や高頻度の調査は困難である。一方で近年では小型無人航空機(Unmanned Air Vehicle, 以下 UAV)の普及により、安価かつ簡易に空中から撮影した画像を取得できるようになってきた。海岸工学の分野でもUAVを用いた調査等が行われてきていることから、海岸の情報の収集にもUAVの活用が期待される。こうしたアイデアは海岸分野では沿岸域の地形推定や保安林の実態把握への適用が実践されてきているが、海浜の情報マッピングへの適用例はほとんどない。

本研究は安価で高頻度な海岸の調査を可能にすることを目的として、UAV撮影画像の分析により漂着物や植生、砂浜上の礫の分布といった海岸情報のマッピングを行う手法を提案する。また、本手法を宮崎海岸に適用した結果について考察するとともに、手法の他海岸への適用性についても検証する。

(2) 現地調査

2018年10月に宮崎県にて現地調査を行った。宮崎海岸は南部の三瀬川河口以南で侵食が進行していることが知られている砂浜海岸であるが、本研究の調査対象地はその北側の小丸川河口の北500m地点から三瀬川の河口までの10.2kmの区間である。この地域は過去数十年にわたり比較的海岸線が安定しており、自然の状態の広い砂浜が広がっているため本研究の調査には至適である。調査日の約2週間前には台風24号が日向灘沖を通過しており、その影響により海岸線には漂着物が多く分布していた。UAVは海岸線上を高度約50mで飛行しながら、約50m間隔で停止し真下を定方位で撮影した。一度の飛行ではおよそ2kmの海岸を撮影し、5回の飛行により本研究の対象海岸全体の空中写真を取得した。

調査にはDJI Phantom 4を用いた。画像のサイズは3000×4000ピクセルであり、1枚の画像には縦約75m、横約100mの範囲が写っている(1ピクセルが2.5cmに相当する)。レンズには歪みが存在し、砂浜には勾配が存在するため、実際には画像内で縮尺には違いが生じるが、勾配は国土交通省による断面測量データによれば約1/50と小さく、レンズのゆがみも小さいことから結果に与える影響は大きくないため、補正は行っていない。調査範囲全体で193枚の画像を取得

し、分析に使用した。また、各画像には UAV の GNSS により取得された位置情報がタグ付けされており、情報の整理に利用した。

撮影は日程の都合上 2 日間に分けて行われたが、1 回の飛行は約 20 分であり、調査を完了するための実際の実行時間は移動に要する時間を含めて約 3 時間であった。

(3) 画像処理によるマッピング

(3.1) RGB 値による分類

画像内の各画素の RGB 値の違いを用いて、撮影画像に多く含まれていた要素である「植生」（草地や海岸林）、「漂着物」、「水域」、「砂」の分類を行った。RGB 値の補正を行った後に各画像を 25cm 四方の格子に区切り、各格子がどの分類に該当するかを判定する。格子の大きさは、分類の対象のうち小さなものである植物や漂着物が数十 cm 程度のスケールであることから決定した。

a) RGB 値の補正

RGB 値による分類を行う上では、撮影時刻や天候の影響を受けて画像全体の色味が変わってしまうことが課題となった。これを補正するため、分類前に特定の画素の情報を用いて RGB 値の正規化を行った。これは、多くの画像では輝度が中央値付近となる画素が砂浜をとらえたものであり、砂浜の色は漂砂系を通じてほぼ同一であり、補正の結果が安定するからである。画像内の砂浜の占める面積は最小で 30% 程度であったことから、全体の 25% の画素の平均を利用した。

上記の操作による補正後の R' 、 G' 、 B' の値そのものは画像によって異なるが、強度のバランスが補正されるため、 $R-B'$ 、 $G'-R'$ のように差を求めることにより安定した指標を得ることができることが確認された。

b) 分類基準の決定

分類基準の決定のため「植生」、「漂着物」、「水域」、「砂」に該当する格子を複数の画像からサンプルとして各 110 個ずつ抽出し、各格子内の画素の補正後 RGB 値の平均を取得した。前項で安定すると述べた R' 、 G' 、 B' の差のうち $R'-B'$ を x 軸に、 $G'-R'$ を y 軸にとり、全 440 点のサンプル格子をプロットした。境界線を引くことで、色の違いによる分類を明確に行うことができる(図-1)。水域と砂は分類が難しい領域が存在するが、水域を砂と判定してしまうことよりも陸地を水域と判定してしまうことのほうが実用上、また後述の礫マッピングを行う上で悪影響が大きいので、砂であると判定する領域を広めにとっている。また、水域と砂の誤判定が避けられないため、水域の判定には次のような追加の操作を行う。連結した水域または水域以外の格子を一つのかたまりとして、

- (i) 水域と判定された格子に四方を囲まれた、水域以外と判定された格子のかたまりは水域と判定する。
- (ii) 水域と判定された格子のかたまりのうち、いずれの格子も画面の縁に接していないものは砂面と判定する。

この操作により水域が飛び地状に判定されることを防ぎ、水域と砂の間の誤判定の多くが解消された。

c) 分類結果

分類の結果、水域、砂、漂着物、植生を正確にとらえられていることを確認した。ただし、ほとんど同系色である枯草と漂着物を判別することが本手法では困難な例もあった。

(3.2) 礫分布マッピング

五嶋・佐藤 は礫浜海岸において礫の平均粒径を UAV 撮影画像により分析したが、宮崎海岸では砂浜海岸上に直径 10cm 前後の粗礫や石(ここでは礫と総称する)がまばらに分布しており、その分布密度は沿岸漂砂と関連していると考えられる。本研究ではそれらの礫を画像分析により検出し、その存在密度を推定する。

a) 礫の検出

撮影した RGB 画像をグレースケール画像に変換し、そこに形状フィルターを掛けることにより礫を強調し、その

位置を抽出する。フィルターは、撮影された礫の画像をサンプルとして約 30 点集め、それらを平均したのちに同心円状かつ全要素の合計値が 0 になるように調整したものを利用した。このフィルターにより礫を強調し、適切な閾値を設定することにより礫の位置を抽出した。ただし、このフィルターは細長い物体を強調してしまうこともあるため、検出された礫のうち長径が 25cm を超えるものは結果から除外した。また、前節の分類により「砂」以外と判定された区域は結果

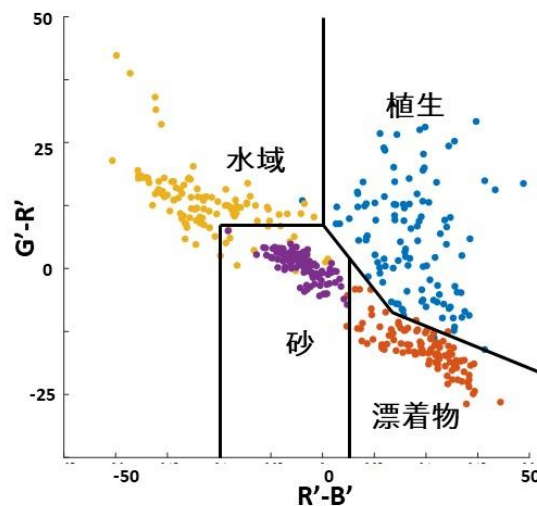


図-1

から除外し、各画像を 1.25m 四方の格子に区切った時に格子内の砂以外が占める面積が 20%以上となる格子も、結果が不安定となることからその全域で礫の検出を行わないこととした。

b) 検出結果

それぞれの格子の中で検出された礫の数を数えることにより礫の密度分布を作成した。特に礫密度の高いところで過小評価する傾向が見られるものの、定量的な評価が可能となった。検出結果は目視で確認できる礫の多寡と一致していた。また、礫の密度が高い部分は汀線付近を中心として帯状に広がっており、岸沖方向の分布が存在することが分かるが、画像内で検出された礫の個数を検出が行われた「砂」分類の面積で割ることにより、画像撮影地点での平均的な礫の密度が求められ、沿岸方向の分布が評価可能である。

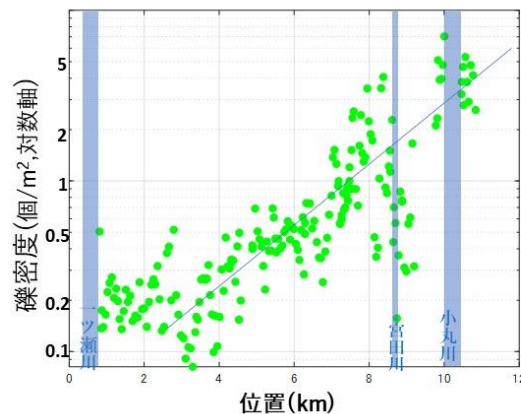


図-2

(4) マッピング結果の活用

(4.1) 漂着物の分布

(3.1)でマッピングした漂着物の砂浜上で占める面積を各画像ごとに求め、画像あたりの海岸線撮影時に取得した緯度の情報を用いて単位海岸線当たりの漂着物被覆面積の沿岸方向分布を評価した。漂着物の面積は少ないところでは数 m 相当、多いところでは 30m 相当に及んだ。調査地域は二つの河川の河口の間でわずかに湾曲した海岸線となっているが、漂着物の量は中央部で少なく両端で多い傾向が見られた。

(4.2) 礫密度の分布

画像ごとの砂浜上の礫密度を整理したところ、礫の存在密度は北側の小丸川河口付近でもっとも大きく、南の二ツ瀬川に近づくにつれて小さくなっていった(図-2)。宮崎海岸では北から南へ向かう正味の沿岸漂砂があると考えられているが、本結果もそれを支持する結果となっている。小丸川や小丸川以北の海岸から礫が供給され、漂砂の下手側に行くにしたがってその数が減少していると考えられる。また、小丸川河口から二ツ瀬川の北側 2km 地点付近まで片対数グラフ上で直線的に減少していることから、砂浜上の礫の存在密度は供給源からの距離に対して指数関数的に減少すると考えられる。本研究の調査海岸では礫の出現頻度はおよそ 1.6km ごとに半減している。

(5) 他海岸への適用性

本手法の他海岸への適用性を検討するため、宮崎海岸と同じ条件での UAV による空撮を和歌山県白浜町の志原海岸(2018年10月2日17:30頃)および千葉県御宿町の御宿海岸(2019年2月9日14:30頃)で行った。両海岸はともに砂浜海岸であるが、志原海岸は宮崎海岸と同様に砂浜上に礫が存在する。宮崎海岸と同じ基準をそのまま適用できるわけではないことが確認された。このように同じ基準が適用できない原因は主に RGB 値の補正に用いる砂の色が海岸によって異なることであると考えられる。志原海岸の砂の色は宮崎海岸と同系色だがやや青みがかったおり、御宿の砂は黄みがかった。志原海岸や御宿海岸において最適の分類基準によってマッピングを行うと宮崎海岸と同等の精度でマッピングが可能であることが確認された。このことから分類基準を調整することにより様々な海岸に本手法が適用可能であることが確かめられた。また、志原海岸においては礫の検出も宮崎海岸と同様に行うことができた。

(6) 結論

UAV により撮影した海岸の画像の分析による海岸情報マッピングの手法を提案した。RGB 値の補正により光の当たり具合の影響を取り除くことにより、画像の色から植生、漂着物、水域、砂などに分類し、マッピングすることが可能である。このマッピングを行った後に礫の形状を模したフィルターを砂浜の画像に適用することにより、砂浜上に散在する海浜礫を抽出し、その平面分布をマッピングすることができる。UAV による撮影は 10km あまりの範囲を 3 時間程度でカバーすることができ、本手法により海岸管理や漂砂系の土砂動態の把握に資する海岸の情報を極めて容易に得ることができる。

構築した手法を宮崎海岸に適用し、漂着物の分布と海浜礫の分布を分析した。漂着物は河口に挟まれわずかに湾曲した海岸の両端付近に多く分布する傾向が見られた。礫の存在密度は礫の供給源から遠ざかると指数関数的に減少し、宮崎海岸では約 1.6km ごとに半減することが分かった。

この手法は様々な海岸に適用できることを志原海岸と御宿海岸を例にして確認した。ただし、マッピングの分類基準は海浜を構成する砂の色に依存するため、海岸ごとに設定する必要があることが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Naohiro Hattori and Shinji Sato	4. 巻 10
2. 論文標題 Extraction of wave crests from UAV imagery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 10th Asian Pacific Coast Conference, Springer	6. 最初と最後の頁 913,919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-981-15-0291-0_125	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 -
1. 著者名 柴田涼太郎・佐藤慎司・山中悠資	4. 巻 75-2
2. 論文標題 UAVを用いた海岸情報マッピングに関する研究	5. 発行年 2019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_1261, I_1266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.75.I_1261	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 -
1. 著者名 Naohiro Hattori, Shinji Sato & Yusuke Yamanaka	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of an imagery-based monitoring system for nearshore bathymetry by using wave breaking density	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/21664250.2019.1588522	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yoshinao Matsuba and Shinji Sato	4. 巻 60
2. 論文標題 Nearshore bathymetry estimation using UAV	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/21664250.2018.1436239	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 服部直弘
2. 発表標題 砕波密度の推定に基づく監視カメラによる海浜地形モニタリング手法の構築
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Konomi Goto and Shinji Sato
2. 発表標題 Development of a UAV-based System for High Resolution Beach Sediment Mapping
3. 学会等名 International Conference on Asian and Pacific Coast (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	田島 芳満 (TAJIMA Yoshimitsu) (20420242)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	下園 武範 (SHIMOZONO Takenori) (70452042)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	