

卒業論文概要

UAV 搭載マルチスペクトルカメラによる海岸漂着プラスチックゴミの分析

高知工科大学 システム工学群
建築・都市デザイン専攻 海岸工学研究室
1220030 江口友美
指導教員：佐藤慎司

1. 研究の背景・目的

近年、海洋プラスチックごみによる海域汚染が問題視されており、2019年には海洋プラスチックごみ削減に向けてG20サミットにおいて合意がなされた。特に、粒径5mm以下のマイクロプラスチックは生物の摂食障害や表面へのPCB濃縮が懸念されている。海洋漂流物は、波浪の作用により海岸に漂着・集積するため、海岸での賦存量を把握することが重要である。これらの背景から、プラスチックごみの検出手法に関する研究が行われてきたが(例えば作野ら(2018)、森田ら(2019))、調査のコストや精度に課題がある。本研究では、カメラを搭載したUAVによる海岸漂着プラスチックごみの量・質の検出・分析を、海浜表面のスペクトル特性を利用し行うことを目的とした。

2. 現地調査対象領域

物部川河口東側の吉川地先海岸の離岸堤背後を現地調査の対象領域とする。調査地は漂着ゴミが比較的多い海岸である。

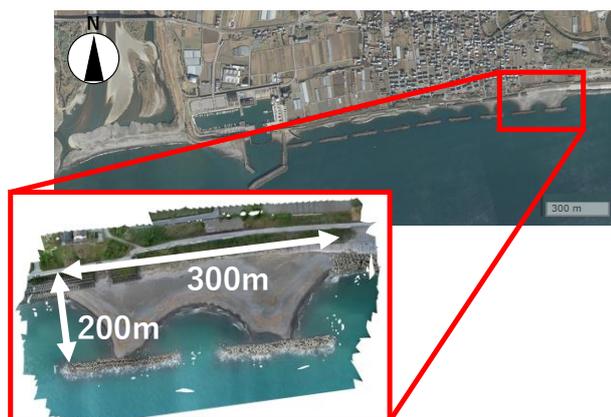


図 1. 現地調査対象領域(地理院地図)

3. 現地調査概要

(1) UAV による海岸調査

対象海浜は海岸堤防から離岸堤までの岸沖方向長

さ約200m、沿岸方向長さ約300mの領域とし、2021年8月末から10月にかけて数回調査を実施した。対象海浜を可視光カメラとマルチスペクトルカメラを搭載したUAVに自動飛行させ、海浜の画像を取得した。可視光カメラでは、DJI社Phantom4 RTKにより高度30mから約570枚の写真(地上画素寸法約1cm)を取得した。マルチスペクトルカメラにはMicasense社のRedEdge-MX Dual Camera Systemを用いた。これは可視領域から近赤外領域にかけて波長444nm~840nmの範囲の10バンドの反射強度を記録できる。DJI社のMatrice 300 RTKに搭載し、高度40mから約9000枚の10バンドのマルチスペクトル画像(地上画素寸法約3cm)を取得した。

これらに加え8月末の調査では、ごみが集積していた堤防基部と汀線付近を対象に、高度約10mからマルチスペクトルカメラで撮影し高精細のマルチスペクトル画像約3400枚を取得した。低高度で撮影した高精細画像は、プラスチックごみを含む海浜表面のマルチスペクトル特性の分析に用いた。

調査期間中の10月1日に台風16号が来襲した。高知海岸にも有義波高4.1m、有義波周期15.1秒のうねりが来襲し、調査地も堤防基部まで波が遡上した。その結果、海浜部の漂着ごみが洗われ、一部のごみは堤防基部に集積するとともに、多くのごみが海に流出した。そのため、10月7日、8日に UAVによる調査を実施し、台風前後のごみの分布を比較した。

(2) マイクロプラスチックの調査

マイクロプラスチックは非常に小さく、UAVで撮影した画像から検出することは難しい。そのため調査対象地でもマイクロプラスチックが検出されるか2021年9月15日に調査した。ちりとりで海浜の表層砂を深さ1cm、20cm四方程度採取し、海水を入れたバケツに投入・攪拌し比重分離法により粒径5mm以下の

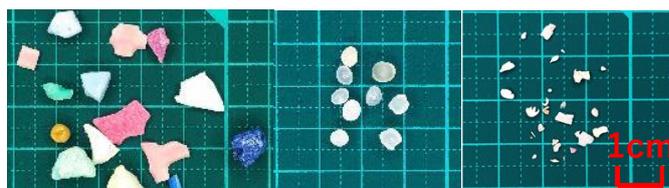


図 2. 確認できたマイクロプラスチック

(左：硬質プラスチック片/中：レジンペレット/右：発泡スチロール片)

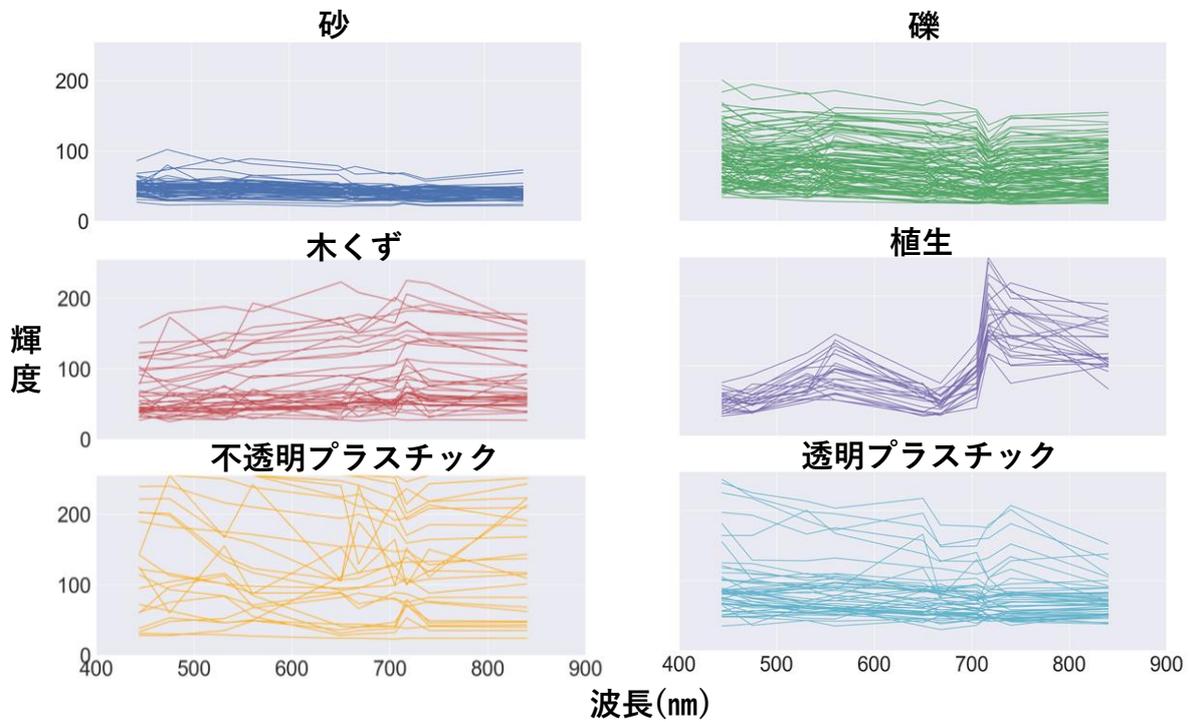


図3. 6種類のスペクトル特性

プラスチックをマイクロプラスチックとして検出した。同手法により、近傍の種崎，十市，物部川河口でも調査を実施したが、これらの海岸ではマイクロプラスチックは全く検出されなかった。一方、本研究の調査対象の吉川地先海岸では、硬質プラスチック片や発泡スチロール片が数多く検出された。レジンペレットは、木くずや微細ごみが集積する領域を目視で探したところ、数粒確認できた。最終的に吉川地先海岸で確認できたのは、図2の3種類である。すなわち、外洋に面してごみの漂着が比較的少ない高知海岸においても、場所によってはマイクロプラスチックによる海岸・海洋汚染が進んでいることが確認された。

4. 高精細画像の分析

調査対象地は、砂礫混じり海岸であるが、高さ約10mの海岸堤防や消波工などのコンクリート構造物に加えて、木くずごみ、プラスチックごみ、植生などが見られる。これらの海岸に存在するものを砂、礫、木くず、植生、不透明プラスチック、透明プラスチックの6種類に分類した。一地点で撮影した10バンドのマルチスペクトル画像は、カメラレンズの位置や画角がわずかに異なるため、撮影範囲にずれが

生じている。これらの画像を相関法を用いて位置の厳密合わせをしたうえで、合成可視画像とし分析を行った。

分類した6種類に色を割り当て、位置合わせを行った合成可視画像のうち5枚を選び、6色それぞれ対応する箇所に描き込んだ。5枚の画像は約340枚の中から6種類が確認しやすいものを選出した。書き込んだ画像の各領域を識別し、それぞれの領域の1ピクセルごとのスペクトル特性を明らかにした。

分析を行った5枚のスペクトル変化をグラフで示した(図3)。砂以外はピクセルによって輝度が大きく異なるが、波長変化に伴う輝度変化が大きいのは木くず、植生、不透明プラスチックの3種類である。透明プラスチックは一部輝度が大きい、これは透過した別のものを透明プラスチックとして判定している可能性がある。多くは波長が変化しても輝度100前後をとる傾向がみられる。これが透明プラスチックの特性であると考え、透明プラスチックもばらつきが小さい。この特性は砂の特性と近似しており、スペクトル特性からこれら2つを区別することは難しいと考えられる。

ピクセルごとの10バンド間での輝度変化に着目し、指標として標準偏差 σ を用いて比較した。

卒業論文概要

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

標準偏差 σ は式 (1) で算出した。図3から波長変化に伴う輝度変化が大きいと考えた木くず、植生、不透明プラスチックの3種類は、砂、透明プラスチックの

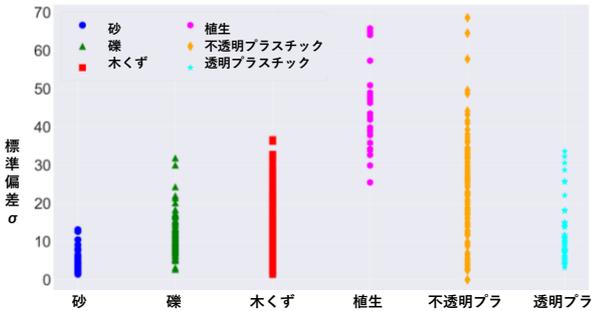


図 4. 標準偏差

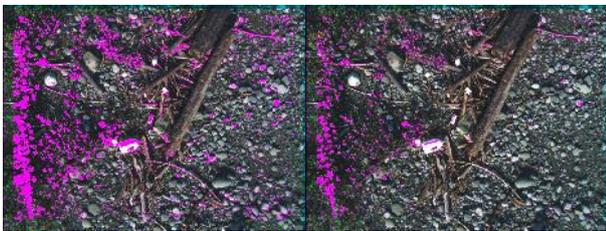


図 5. $\sigma > 20$ (左) と $\sigma > 30$ (右)

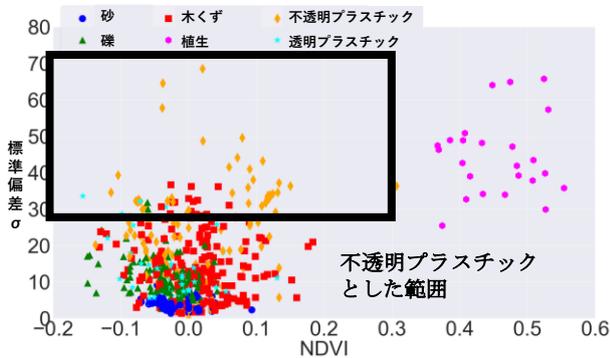


図 6. 標準偏差 σ と NDVI

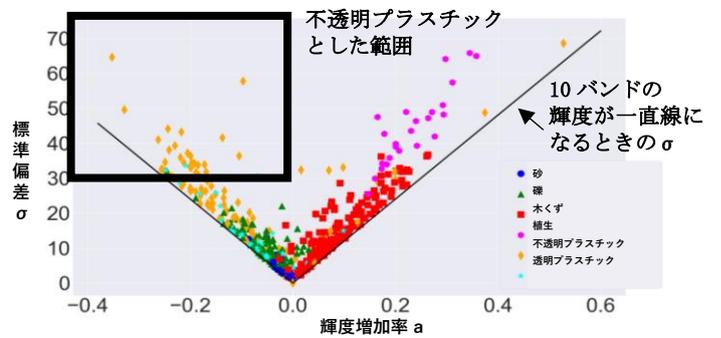


図 7. 標準偏差 σ と輝度増加率 a



図 8. $\sigma > 20$ - NDVI < 0.3 塗りつぶし画像



図 9. $\sigma > 30$ - NDVI < 0.3 - $a < 0$ 塗りつぶし画像

2種類と比べ、標準偏差 σ が大きいことが分かる (図 4)。木くず、植生、不透明プラスチックの半分以上にあたる範囲として $\sigma > 20$ もしくは $\sigma > 30$ であると考えられる。これに該当するピクセルを画像上で塗りつぶすと、 $\sigma > 20$ では木くず、植生、不透明プラスチックの3種類以外に礫も多く塗りつぶされた。一方、 $\sigma > 30$ ではプラスチックの一部が塗りつぶされなくなったが、礫は除外できていることが分かる (図 5)。本研究における対象海浜は礫浜であり、 $\sigma > 20$ とすると、多数の礫のピクセルが誤ってプラスチックと判定されてしまうと考えられる。プラスチックを確実に検出する方法を目指しているため、一部のプラスチックは検出できないことが予想されるが、検出には、標準偏差の条件として $\sigma > 30$ を用いることとする。

標準偏差 σ が大きい3種類の中から木くずと植生を分離するための指標として、代表的な正規化植生指標である NDVI を用いた。これは植物の量や活性度合いを表す指標である。

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} = \frac{y_5 - y_3}{y_5 + y_3} \quad (2)$$

卒業論文概要

NDVIは式(2)により算出した。ここで、IRはバンド5 (波長840nm)、Rはバンド3 (波長668nm) の輝度である。この2つの指標を用いた結果、不透明プラスチックは主に標準偏差 $\sigma > 30$ かつNDVI < 0.3 であると考えられる (図6)。この条件に当てはまるピクセルを塗りつぶしたところ、植生は除外されたが木くずは除外されなかった (図8)。

木くずを除外する方法として、波長と輝度の輝度増加率 a を用いた。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x}) \sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

輝度増加率 a は、 x を波長、 y を輝度とし式(3)で算出した。標準偏差 σ とNDVIに加え輝度増加率 a の指標を用いた結果、標準偏差 $\sigma > 30$ かつNDVI < 0.3 、そして輝度増加率 $a < 0.0$ であれば不透明プラスチックに分類できることを見出した (図7)。この条件を元に画像の塗りつぶしを行ったものが図9である。標準偏差 σ とNDVI、輝度増加率 a の3つの指標を用いると、一部木くずや礫も含まれるが、不透明プラスチックだけを抽出して画像上に表示できた。

以上から、透明プラスチックはスペクトル特性を利用して検出することは難しいが、不透明プラスチックは近赤外域のスペクトル特性を利用すると十分に検出が可能であるといえる。

5. 台風前後の変化

台風16号の到来前後で海岸のごみの分布を比較した。これまでの検出手法を用いて木くずを橙色、プラスチックをマゼンタで表示した (図10)。木くずは、8月末に汀線付近にあったものは海へ流出し、陸寄りのものは堤防基部に打ち寄せられている。プラスチックは8月末の時点で堤防基部に多く存在していたが、台風後はさらに増加している。海浜表面に占める被覆度を台風前後で比較すると、木くずは1.58%から0.72%へ減少し、不透明プラスチックは0.54%から0.38%へと減少した。台風による波浪でゴミが減少したことが確認できる。木くずに比べてプラスチックゴミの減少率が少ないのは、比重の違いによると考えられ、海岸に漂着したプラスチックゴミは流出しづらいことも確認できた。

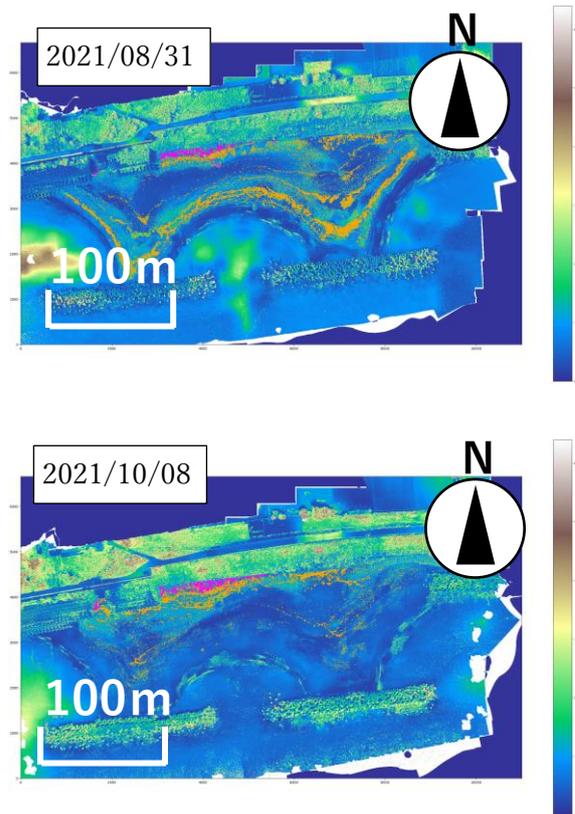


図10. 台風前後のごみの分布

6. 結論

本研究において、以下の結論を得た。

(1) 高知海岸においてもマイクロプラスチックが確認され、レジンペレットを含むマイクロプラスチックによる海岸・海洋汚染が進んでいることが明らかとなった。

(2) スペクトルの標準偏差 σ およびNDVI、輝度増加率 a を用いることにより、高精細マルチスペクトル画像において不透明プラスチックの検出が可能である。

以上により、調査が困難な海浜漂着ゴミの分析において、広域を短時間で効率的に調査する手法を確立することができた。

7. 参考文献

作野裕司, 森本雅人: 海岸のプラスチックゴミ検出のための近赤外分光反射特性と衛星からの検出可能性, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第74巻, pp. 1471-1476. (2018)

森田翔平, 種田哲也, 加古真一郎: ドローンを用いた海岸漂着ゴミ定量手法の構築, 信学技報, IEICE Technical Report, AI2019-28 (2019-09)