

衛星リモートセンシングによる海洋漂流物の抽出*

青山 隆司^{*1}, 野沢 志帆^{*2}

Extraction of Marine Debris in the Sea of Japan Using Satellite Remote Sensing

Takashi AOYAMA^{*1}, Shiho NOZAWA^{*2}

^{*1} Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering

The flow of marine debris in the ocean causes extensive damage to coastal environments. It is considered important to understand the flow of marine debris in the Sea of Japan for environmental research purposes. The small size of most marine debris in the Sea of Japan means that marine debris cannot be confirmed directly, even when a high-spatial-resolution satellite image is used. Thus, in order to extract candidate pixels containing possible marine debris, pixels with spectra that differ from those of the surrounding ocean and the wave crests were identified. As a first step towards monitoring marine debris, a method for identifying marine debris floating on the Sea of Japan has been proposed that uses a histogram showing the distance from the regression line of the scatter diagram of satellite spectral bands.

Key Words : Marine Debris, Spectral Anomaly, Sea of Japan, High-spatial-resolution Satellite Image

1. 緒 言

海洋を漂流し海岸に漂着する海ゴミの問題が、我が国だけではなく世界各国で注目されてきている。海ゴミは、国内の河川や海岸等から出てくるもの、船舶や漁業等の活動から発生するもの、海外から流れ着くもの、意図的に海洋投棄される不法投棄ゴミなど多様である。これらは、景観の悪化、漁業活動や船舶航行へ影響など、経済社会活動に様々な影響を及ぼすばかりではなく、海鳥など海域に生息する生物に被害を与えたり、ゴミに付着する化学物質が生態系に取り込まれる恐れがあること等が指摘されている。また、増大する漂着ゴミの回収については、対応する自治体に大きな財政負担を強いており、十分な対応がされているとは言い難い。さらに場所によっては回収作業自体が困難であり、海底に沈むゴミは有効な回収手段も存在しない⁽¹⁾。

海洋を漂流する海ゴミが海岸に流れ着く前に、どの程度の漂流ゴミがどの海域に存在するかを把握できれば事前の対策が可能となる。さらに、海流を考慮すれば、ゴミの発生個所の推定も可能であるため、不法投棄ゴミに対する抑止効果も期待できる。そこで我々は、高解像度衛星画像から海上を漂流するゴミを抽出・監視する手法の開発を行ってきた(参考文献⁽²⁾、⁽³⁾参照)。本報告では、海ゴミを含む画素のスペクトルの異常を、より定量的に判定する新たな手法について報告する。

2. 日本海沿岸域の海ゴミ問題

漂流・漂着ゴミとは、海洋を漂流しているゴミ及び海岸に漂着したゴミの総称であり、「海ゴミ」とも呼ばれる。正確な実態の把握はされていないものの、海洋には無数のゴミが漂流していると考えられており、一部は海岸に漂着して沿岸地域への被害をもたらしている。環日本海環境協力センター⁽⁴⁾の調査によれば、日本の海岸に漂着・

* 原稿受付 2015年2月27日

^{*1} 電気電子情報工学科

^{*2} 電気電子情報工学科 (4年)

E-mail: aoyama@fukui-ut.ac.jp

漂流しているゴミの総量は年間約 15 万トンと推定されている。特に日本海沿岸や東シナ海沿岸では、簡体字やハングル、ロシア語で商品名などが表記されたゴミの漂着が増加しており、全体の約 6 % が日本以外の海外から漂流してきたものだと推定されている。Fig. 1 に福井県敦賀市の海岸に打ち上げられた海ゴミを示すが、このような岩場では回収作業も容易ではない。また Fig. 2 に示すように、漁業に使われるブイや燃料を入れていた一斗缶、危険物（薬品等）の入ったポリ容器やペットボトルも漂着している⁽⁴⁾。



Fig. 1 Debris that washed up on a beach in Fukui Prefecture, Japan. (Tsunegami Peninsula in Mihama-cho, Fukui prefecture; May 17, 2013).



Fig. 2 Examples of debris that washed up on beaches facing the Sea of Japan.

ゴミの中でも多くの割合を占めるプラスチックは、時間とともに劣化し細かくなっても自然分解されることはなく、海洋生物が誤飲することが知られている。また、投棄された漁具に絡まり死んでしまう海洋生物についても多くの報告⁽⁵⁾があり、海洋生態系への悪影響という観点からも海ゴミの監視とその後の対策が喫緊の課題となっている。

3. 衛星画像を用いた漂流ゴミ（海ゴミ）の抽出

日本海を漂流する小規模な海ゴミの抽出は、中・低解像度衛星センサー（例えば MODIS や VIIRS）では困難であることが予想されるが、日本海沿岸海域あるいは島の周辺では、高解像度衛星による観測が行われており、その画像データが利用可能である。そこで我々は、日本海を漂流する海ゴミを人工衛星の分光画像データ、特に高解像度画像データを用いて分離抽出する手法を新たに開発することを目指し研究を行っている。

衛星画像を用いた海ゴミの監視作業は、監視対象海域の広さを考えれば、船や航空機を用いた海ゴミの監視に比べ、必要となる時間、費用の両面において圧倒的な優位性を持っている。海ゴミの規模が小さいため現時点までに成功例の報告はないが、海ゴミの日本海沿岸域への漂着被害の深刻さ（Fig. 1, Fig. 2 参照）を考えれば、早急に進めなければならない研究課題であると考えている。

3.1 衛星画像から抽出した特徴物のスペクトル

地球観測衛星 WorldView-2(空間分解能 2.0m)で撮影された 2012 年 8 月 31 日の福井県敦賀半島沖の True Color 画像を Fig. 3 に示す。この画像から沿岸域の定置網や小型の船舶等が確認できる。Fig. 3 の赤枠で囲まれた部分の一部を拡大した画像を Fig. 4 に示すが、空間分解能 2.0m の高解像度衛星 WorldView-2 を用いても、規模の小さい漂流ゴミ（海ゴミ）は確認できないことが解る。

海ゴミを画像上の形として確認することはできないとしても、海ゴミが含まれている画素と海ゴミが含まれていない画素のスペクトルは異なることが予想される。そこで、Fig. 3 の赤枠内の画素から、ランダムに 20 画素を取り出しスペクトルを計測した結果を Fig. 5 に示す。縦軸は衛星の 4 つの観測バンド（band1~4 : それぞれ青、緑、赤、近赤外に対応、波長との対応は Table 1 参照）の DN 値を表している。波の反射の強弱による DN 値の高

低はあるが, band1 から band4 へ波長が長くなるにつれて DN 値も小さくなっていく画素が大半である. しかし, 赤色の矢印で示したように特異なスペクトル (band1 の値 < band2 の値) を持つ画素も存在している. これは, 海上を漂流している何らかの物体の混入が原因である可能性が高い. このことは, 衛星の解像度以下の小規模な海ゴミを, 各画素の持つスペクトルの違いとして取り出せる可能性を示唆している.



Fig. 3 Satellite image of the coastline at the study site on Tsuruga Peninsula (WorldView-2, 2012/08/31)

Table 1 Band specifications of WorldView-2

Band1	Blue: 450—510nm
Band2	Green: 510—580nm
Band3	Red: 630—690nm
Band4	NIR: 770—895nm



Fig. 4 Enlarged image of a part of the area enclosed by the red square (inset) in Fig. 3.

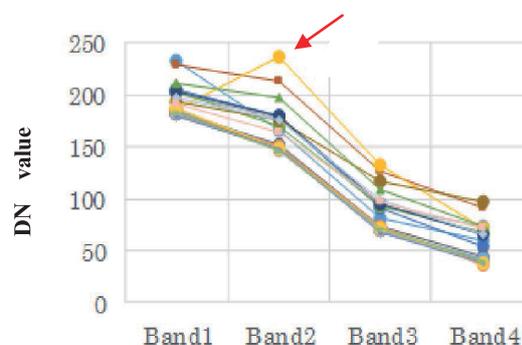


Fig. 5 Spectra of 20 pixels of four satellite bands in the area of ocean enclosed by the red square (inset).

3.2 2次元散布図と回帰直線を用いた海ゴミの抽出 (敦賀半島沖の例)

前節で示したように, band1 と band2 の値が他の多くの画素と異なった特徴的なスペクトルを持つ画素の存在についてより詳細に検討するため, Fig. 3 の赤枠内の 9207 画素に対して作成した 2 次元散布図 (Scatter Plot) と回帰直線 (緑色の点線) を Fig. 6 に示す. 対象とする海域には海と白波のみを含む画素が大半であるため, Fig. 6 に示された点のほとんどは, 図の左下部分 (黄色の楕円) に集中する. しかし, 赤色の矢印で示すように, 点が集中する部分よりかなり離れた外れた所にも画素が存在することが解る. Fig. 5 で述べた特徴的なスペクトルを持つ画素は, 左上の赤矢印で示す点に対応している. このような画素が漂流ゴミを含む画素の候補と考えられるが, それを定量的に示すために, 2 次元散布図上の各画素の位置と回帰直線との間の距離に対するヒストグラムを Fig. 7 の上図に示す. この図において, 回帰直線からの距離が小さいものほど頻度が大きく, 漂流物がない海の画素に対応していると考えられる. また, 頻度が小さいために見にくいですが, 回帰直線からの距離が大きいグラフの右側にもわずかに画素が存在する. それらの画素が Fig. 6 で示した 2 次元散布図で, 画素が集中している場所よりも大きく離れたところにあつたいくつかの点に対応している. Fig. 7 の上図の横軸が 14 以上のデータに対し縦軸を拡大して Fig. 7 の下図に示す. 赤矢印で示した画素は Figs. 5, 6 で赤矢印で示した画素と同じ画素を示している. このようにヒストグラムを作成することで, 海ゴミを含むと考えられる画素を定量的に分離できることが解る. 以上の解析は, バンド 1, バンド 2 の 2 つのバンドに対しての結果であるが, 他の全てのバンド組み合わせに対しても同様の解析を行うことにより, スペクトル異常を示す画素の抽出が可能である.

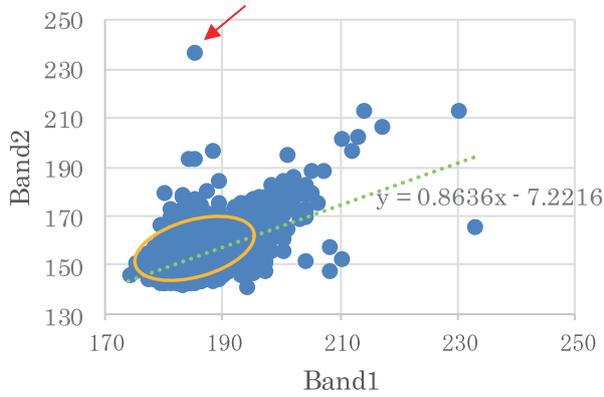


Fig. 6 Two-dimensional scatter diagram of Band 2 DN values (vertical axis) plotted against Band 1 DN values (horizontal axis) for a test area off the Tsuruga Peninsula.

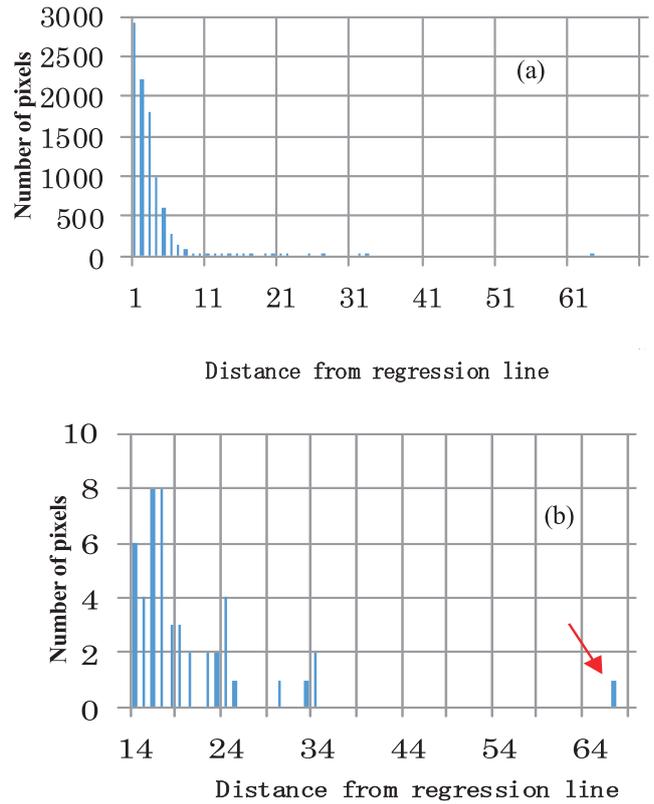


Fig. 7 (a) Histogram of all pixels shown in Fig. 6 for the distance from regression line and (b) histogram of pixels with the distance larger than and equal to 14.

3.3 2次元散布図と回帰直線を用いた海ゴミの抽出（対馬沖の例）

次に長崎県対馬沿岸域の海ゴミについて検討した結果を以下に述べる．まず QuickBird 衛星画像（2013 年 1 月 18 日）を Fig. 8 に示す．この図から，海域には白波と思われる白い点が多く見られ，この中に海ゴミが含まれている可能性がある．そこで，敦賀沖の海域で実施した手法を用いて Fig. 8 の赤枠内の 9207 画素に対して作成した

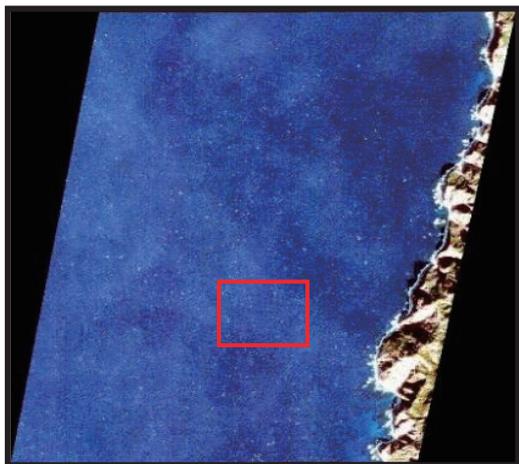


Fig. 8 Satellite image of the coastline at the study site on Tsushima Island (QuickBird, 2013/1/18)

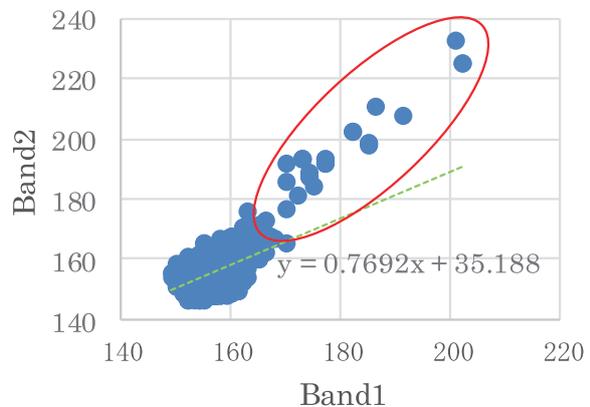


Fig. 9 Two-dimensional scatter diagram of Band 2 DN values (vertical axis) plotted against Band 1 DN values (horizontal axis) for a test area off the Tsushima Island.

2次元散布図 (Band 1: 430nm~545nm と band 2: 466nm~620nm) と回帰直線 (緑色の点線) を Fig. 9 に示す. Fig. 9 に示された点のほとんどは、図の左下部分に集中するが、赤の楕円で囲った右上部分にも多くの画素が存在し、散布図で示されるスペクトル特性は、2つの部分にはっきり分かれているように見える. そのため、全体の画素に対する回帰直線は、画素が集中する左下部分の点の分布を強く反映することになり、赤枠内の分布からはシステムティックにずれた直線になる. この左下部分の画素は波のない海域を表し、赤枠内の画素は太陽光を強く反射する白波の特性を表していると考えられる. 従って、このまま回帰直線と各点との距離を計算した場合、波を表す赤枠内の点が大きな距離を持つ点として示されることになる. そこで、2つのグループに画素を別け、グループ毎の散布図と回帰直線を Fig. 10, 11 に、回帰直線と散布図中の各点との距離に対するヒストグラムを Fig. 12, 13 に示す.

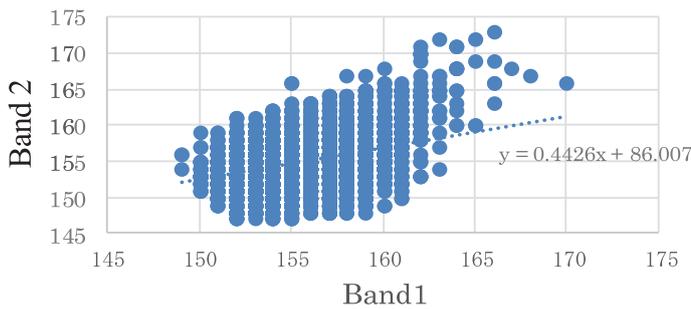


Fig. 10 Two-dimensional scatter diagram of Band 2 DN values (vertical axis) plotted against Band 1 DN values (horizontal axis) and the regression line for pixels of the lower left portion of Fig. 9.

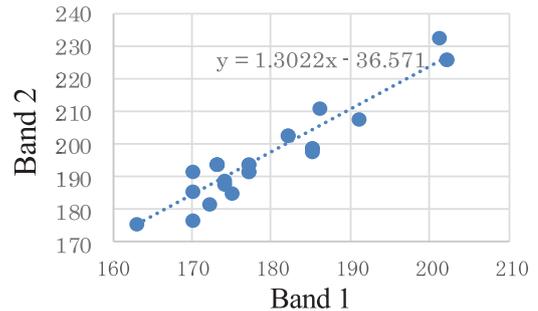


Fig. 11 Two-dimensional scatter diagram of Band 2 DN values (vertical axis) plotted against Band 1 DN values (horizontal axis) and the regression line for pixels enclosed by red ellipse of Fig. 9.

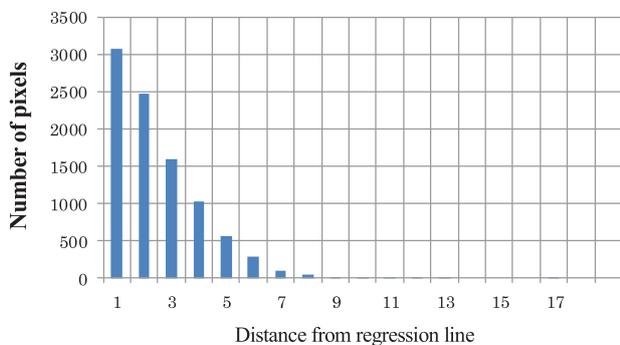


Fig. 12 Histogram of all pixels shown in Fig. 10 for the distance from regression line.

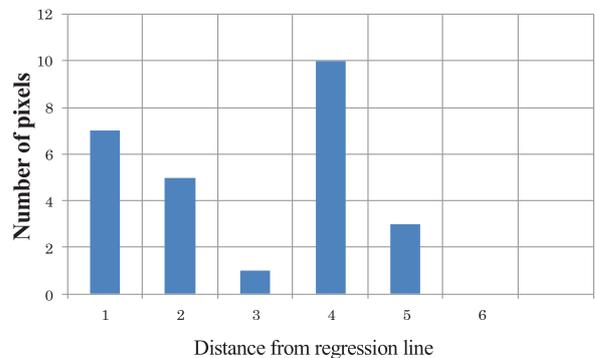


Fig. 13 Histogram of all pixels shown in Fig. 11 for the distance from regression line.

Fig. 10, Fig. 11 から解るように、それぞれの回帰直線は画素の集団の中心部分を通る形になり、Fig. 12, Fig. 13 に示されるヒストグラムでは、回帰直線から大きな距離を示す画素は存在しないことが明らかである. つまり、対馬沿岸域の画像については、太陽光の反射が強い白波を表す画素 (Fig. 9 の赤の楕円内) と波のない海の画素 (図中左下部分) にはっきり分かれ、それぞれの集団に対する2つの回帰直線から大きく外れる点は見られない. このことは、対馬沖の解析対象海域には、異物の混入した画素はほとんど存在しないことを示している.

以上の解析は、高解像度衛星である WorldView-2 衛星と QuickBird 衛星の Band 1 (青色バンド) と Band 2 (緑色バンド) についてのみ述べたが、各衛星の持つ4つのバンド全ての組み合わせに対しても解析を行った. その結果、敦賀半島沖の衛星画像については多くの海ゴミ候補が抽出されたが、対馬沖の画像からは海ゴミを含むと

思われる画素の候補は存在しないことが示された。しかし、ここで提案した解析手法は、海ゴミの存在が各画素のスペクトルに影響を与える程十分に大きいことが必要であり、小規模の海ゴミの存在は否定できない。

4. 結 言

本研究では、高解像度の地球観測衛星画像を使用し、日本海沿岸に流れ着く漂流ゴミを衛星画像から抽出する手法の開発を行った。使用した画像は WorldView-2 衛星で撮影された、2012 年 8 月 31 日の福井県敦賀半島沖の高解像度衛星画像と QuickBird 衛星で撮影された 2013 年 1 月 18 日の長崎県対馬沖の海域の衛星画像である。規模の小さい海ゴミは、2 m 前後の空間解像度を持つこれらの高解像度衛星を用いても直接確認することはできない。しかし、海ゴミが海上を漂流している場合には、たとえ小規模なゴミであっても海ゴミが含まれている画素と、含まれていない画素の持つスペクトルは異なることが予想される。この観点から、大方の画素の示すスペクトルと異なるスペクトルを持つ画素を、海ゴミの候補として抽出することが可能となる。具体的な抽出手法としては、衛星の観測バンドに対する 2 次元散布図を用い、回帰直線からの距離が他の大方の画素に比べて大きい画素を、海ゴミを含む画素の候補として抽出する方法である。解析した敦賀半島沖の海域には海ゴミを含んでいると思われる画素が存在したが、対馬沖の海域には、各画素のスペクトルに影響を与えるほどの大きさの海ゴミは含まれていないことが確認された。

今後の研究の方向としては、ここで紹介した海ゴミの抽出手法を用い、海ゴミを自動抽出するシステムを構築することである。そのためには、ヒストグラム上での境界値の設定をどのようなパラメータを用いて行うかを定める必要があり、今後の課題である。

謝 辞

本研究は、科学研究費助成事業（課題番号 25560176；平成 25 年度～平成 27 年度）の援助を受けて実施された。ここにその援助に対し感謝する。

文 献

- (1) 小島あずさ, 眞淳平, 海ゴミ－拡大する地球環境汚染, (2007), p. 232, 中公新書
- (2) 青山隆司, 佐々木拓海, “衛星分光画像を用いた日本海漂流ゴミの監視”, 福井工業大学紀要, 第 44 号, 第一部, (2014-5), pp. 1 - 6.
- (3) Aoyama T., “Monitoring of marine debris in the Sea of Japan using multi-spectral satellite images”, Proc. SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 2014, Vol. 9261, pp. 92611E-1 - 92611E -7.
- (4) 公益財団法人 NPEC 環日本海環境協力センター: 2015 年 1 月 7 日, <http://www.npec.or.jp/>
- (5) 一般社団法人 JEAN: 2015 年 1 月 7 日, <http://www.jean.jp/m-litter/matter02.html>

(平成 27 年 3 月 31 日受理)