目視と曳網調査に基づく九州西岸沖の 漂流プラスチックの分布密度に関する二、三の考察

八木 光晴¹・中島 良²・保科 草太³・清水 健一⁴

A Study on Abundance and Characteristics of Drifting Plastics off the West Coast of Kyushu, Japan: Visual and Tow-net survey

Mitsuharu YAGI, Ryo NAKASHIMA, Sota HOSHINA and Kenichi SHIMIZU

Abstract

Survey on abundance and characteristics of drifting plastic debris that has renewed as marine environmental pollution was conducted off the west coast of Kyushu, Japan. Large-sized plastics such as plastic bottles and styrene that were able to be observed visually from the bridge of the ship were counted during daytime. In addition, small-sized microplastics such as microbeads and fiber were also investigated via towing surface plankton net (Newston net). Density (number of pieces per sea surface area) and compositions of plastic types in large and small-sized plastics between coastal and offshore regions were compared. Densities of large-sized plastics were 2.8 pcs/km² in offshore region and 7.1 pcs/km² in coastal region. However, densities of small-sized plastics in offshore and coastal regions were 360000 pcs/km² and 1100000 pcs/km², respectively. Density of microplastics off the West Coast of Kyushu, Japan was quite high, when compared to those in other marine regions. Countermeasure against emission of plastics into the East China Sea is needed at the earliest opportunity.

Keywords : navigation and earth environment, drifting plastics, East China Sea, microplastic

キーワード: 航海・地球環境、漂流ごみ、東シナ海、マイクロプラスチック

1. はじめに

近年、年間 800 万トン分以上のプラスチックが海洋に流失しており⁽¹⁾、漂流プラスチックごみは海洋環境問題の 1 つとして注目されている。漂流プラスチックごみは、大きさにもより程度が異なるが海洋構造物に対しては定置網や生簀等の損傷⁽²⁾、船舶に対しては航行中の衝突やプロペラの破損⁽²⁾、さらに海洋生物に対しては誤食と物理的な絡まりを引き起こす⁽³⁾など水産業や船舶、海洋生物へ多岐にわたり悪影響を及ぼしている。また、プラスチックは日光や波浪などの物理的外力などの影響を受けて劣化することにより小さな破片となることはあるが、基本的には分解されにくく環境中に長期間留まることが

天然のごみとは異なる特徴である⁽⁴⁾。

漂流プラスチックごみはその大きさからペットボトルのように船上から目視で確認することができ、大きさのごみ(以下、「視認プラスチック」)と、プランクトンネットを曳網することによってはじめて確認することができる小さなごみ(以下、「曳網プラスチック」)に大別される。

漂流ごみの分布には洋上の風向と海流が大きな影響を与えていると考えられてきた⁽⁵⁾。そのため、環境省では風と潮流、さらに過去の漂着ごみの位置データを基にした数値シミュレーションの情報を提供している⁽⁶⁾。しかし、視認プラスチックの多い場所には曳網プラスチックも多いかどうかを同海域に

¹ 正会員 長崎大学総合生産科学域 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14) yagi-m@nagasaki-u.ac.jp

² 正会員 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (現所属: 長崎県五島振興局)

³ 正会員 長崎大学水産学部附属練習船長崎丸

⁴ 正会員 長崎大学総合生産科学域

において分布密度を比較した知見は極めて乏しい。そこで、本研究では九州西岸海域を沖合と沿岸域とに分け、それぞれの海域における視認プラスチックと曳網プラスチックの分布密度にはどのような関係が見られるのかを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 調査海域

沖合と沿岸域における2つの調査範囲を図1に示した。沖合域は北緯31度、東経128度を南西端、北緯32度、東経129度を北東端とする矩形で囲まれた海域、沿岸域は北緯32度、東経129度を南西端、北緯33度、東経130度を北東端とする矩形で囲まれた海域とした。

図1 沖合と沿岸域の調査範囲の設定区域

2.2 視認プラスチック

2.2.1 目視調査

目視調査は長崎大学水産学部所有の附属練習船長崎丸（総トン数842トン、全長62.87m）にて実施した。同じ海域で複数回調査するために、観測は2016年6月から同年8月の間にかけての5航海、計10日間とした（表1）。航走中に船橋（眼高9m）において日出から日没までの間、当直者がごみを探索し、ごみ発見時の緯度・経度と併せて最接近時の船からの距離、種類を記録した。視認プラスチックは、その種類の判断が観測者の器量に影響されにくく、かつ航走中に視認して即座に判断することがで

きることから、漁具類、ビニール類、発泡スチロール類、プラスチック製品、ペットボトル類の5種類に判別した。双眼鏡は種類の識別時にのみ使用した。

表1 各航海における調査日数と調査海域

航海次数	航海日数	調査日数	調査海域
438	12日	1日	沿岸
439	6日	3日	沿岸・沖合
440	2日	2日	沿岸
441	10日	2日	沿岸・沖合
442	4日	2日	沿岸・沖合

2.2.2 分布密度の推定

視認プラスチックの分布密度は、line transect法⁽⁶⁾により以下の式により求めた。これは、調査した面積とその中で発見された対象物数から、単位面積あたりの対象物数（密度）を推定する方法である。

$$N/A = n / (2 \times w \times L) \cdots \cdots (1)$$

ここでN：海区内の視認プラスチック推定数（個）、A：海区の面積（km²）、n：有効探索幅内の視認プラスチック発見数（個）、w：有効探索幅（km）、L：海区内の調査距離（km）である。

複数の航海で重複して調査された海区については、それぞれの航海ごとに分布密度を(1)式により算出し、平均した。また、(1)式におけるLは平均中分緯度航海算法に基づいて求めた⁽⁷⁾。なお、開始点は海区内で最初に発見した地点とし、終了点は海区内で最後に発見した地点とした。また、海区内で1地点でしか発見されていない場合は、line transect法の解析から除外した。さらに、開始点と終了点の緯度が同じものについては、距等圏航法の算式を用いて調査距離を求めた⁽⁷⁾。

(1)式におけるw：有効探索幅（km）とは目視でごみを発見できる距離のことであり、本研究では船から近いが見落とす確率と遠いが偶然発見できた確率が等しくなる相対累積度数50%にあたる距離とした。海面に露出する表面積により発見確率が変わるため、種類と特性（海面上、下）ごとに求めた。図2に有効探索幅の算出例を示した。この場合では、相対累積度数50%となる最接近距離は0.03kmと0.04kmの間にあることから、本例では0.04kmを有効探索幅とした。

図2 有効探索幅 (km) の算出例

ごみの種類と特性ごとの有効探索幅を表2に示した、海面上と下に存在する特性で区別し、これらの値に基づいて分布密度を求めた。

表2 視認ごみの種類と特性ごとの有効探索幅(km)

ごみの種類	特性	有効探索幅 (km)
漁具類	上	0.05
	海面下	0.01
ビニール類	海面下	0.01
発泡スチロール類	海面上	0.02
プラスチック製品	海面上	0.02
ペットボトル類	海面上	0.02

2.3 曳網プラスチック

2.3.1 採集

長崎大学水産学部所有の附属練習船長崎丸及び鶴洋丸(155トン、42.79m)を使用した。網口0.75m×0.75m、目合350μm、網丈3mのニューストーンネットを用いて沖合域は長崎丸により、沿岸域は鶴洋丸により実施した。サンプリングは対水速力2knotで沖合は20分間、沿岸は目詰まりしやすいことから10分間曳網し、網口高さの2/3が水中に没するようにフロートにより調整した(図3)。

図3 サンプリング中のニューストーンネット

本研究では、2017年9月から2018年10月の間に採取した九州西岸域の沖合域3回分、および沿岸域3回分のサンプルを主に分析した。また、他海域の現状と比較するため、2017年11月に採取した本州南岸のサンプルと2018年7月の大村湾のサンプル1回分も併せて参考値として分析した(表3)。

表3 曳網プラスチックの調査年月日

海域	調査日
沖合	(2017) 9/24, 9/25, 10/27
沿岸	(2018) 5/14, 6/4, 10/22
本州南岸	(2017) 11/14
大村湾	(2018) 7/2

2.3.2 分布密度の推定

実体顕微鏡(Nikon社製)下でサンプル中に含まれるプラスチック様の物体を選別した。その後、顕微鏡付属のカメラ(WRAYMER社製)で物体を撮影し、物体の長径を計測した。長径は、風浪や潮流など物理的外力を最も受けるので形状の指標として重要である。併せて物体の形状(破片、繊維、ビーズ、フィルム)についても記録した。取り出した物体のうち、目視ではプラスチックと断定できない破片、ビーズ、フィルムについてはフーリエ変換赤外分光光度計(以下、「FT-IR」)を使用して物体の同定を行った。FT-IRとは、赤外線を物体に照射して、反射あるいは透過の光量を測定することで分子の構造や官能基の情報をスペクトルから得て、物質定性・同定に関する有効な情報を得ることができる装置である。ただし、繊維をはじめとする表面積の小さい物体は同定が難しいため、今回はFT-IRでの分析を行っていないが、本研究ではFT-IRで同定できなかった物体もプラスチックとして結果に含めた。

本研究では曳網の開始点と終了点の緯度・経度から曳網距離を算出した。その後、ニューストーンネットの網口の幅を使用し、曳網プラスチックの単位面積あたりの分布密度を以下の式のように求めた。

$$N/A = n / (L \times \text{width})$$

ここでN: 曳網プラスチックの推定数(個)、A: 面積(km²)、n: 曳網プラスチックと思われる物体の個数(個)、L: 曳網距離(km)、width: 網口の幅(km)である。

3. 結果

3.1 調査地点

両プラスチックの調査点を図4に示した。赤丸は視認プラスチック、青丸は曳網プラスチックの沿岸と沖合、そして緑丸は曳網プラスチックの他海域の参考として分析した本州南岸と大村湾の調査点を示した。

図4 調査地点

3.2 視認プラスチックの分布密度

沖合と沿岸域における視認プラスチックの種類ごと及びそれらの合計の分布密度を図5に示した。沖合と沿岸でいずれの種類のごみも5個/km²以下であり、全ての視認プラスチックを合わせても10個/km²より少なかった。また、いずれの種類のごみにおいても沿岸域の方が多く、特に漁具類では沖合域よりも約12倍高くなっていた。全体では沖合域が2.8±1.4個/km²、沿岸域では7.1±2.5個/km²となり沿岸域の方が約2.5倍多かった。

図5 種類別の視認プラスチックの分布密度

3.3 曳網プラスチックの分布密度

沖合と沿岸域における曳網プラスチックの形状ごと及びそれらの合計の分布密度を図6に示した。いずれの形状においても少なくとも1500個/km²以

上の密度で存在しており、最大値は沿岸域における繊維63万±31万個/km²であり、合計の分布密度は沖合域では36万±13万個/km²、沿岸域では110万±29万個/km²と約3倍であった。また、ビーズ類を除く破片、繊維、フィルムにおいて、沿岸域の方が沖合よりも多く存在しており、繊維は約4.9倍、フィルムは約8.7倍多かった。

図6 形状別の曳網プラスチックの分布密度。なお、個数は100万個単位で表記している。

3.4 曳網プラスチックの大きさ

沖合と沿岸域の各サンプルから取り出された曳網プラスチックの長径ごとの相対累積度数を図7に示した。沖合、沿岸域ともに取り出された物体の約85%が、長径5mm以下のマイクロプラスチックであった。また、長径の相対累積度数が50%となる大きさは、沖合域と沿岸域ともに1mm<L≤2mmの範囲であり、サイズ組成はほぼ等しかった(図7)。

図7 曳網プラスチックの長径ごとの相対累積度数

4. 考察

近年、プラスチック問題への関心の高まりから漂着ゴミの清掃活動や堆積量の報告は増加しているが、船舶を活用した漂流ゴミに関する知見は少なかった。本研究では、練習船を用いて沿岸、そして沖合域における大型の視認プラスチックと、プランクトンネットを曳いて初めて確認することができる微小な曳網プラスチックのマクロとミクロのプラスチック密度を定量して、それらの分布密度とサイズ、そして形状について明らかにした。

沖合と沿岸域の全ての種類を合わせた視認プラスチックの分布密度は、約 2.8-7.1 個/km²の範囲であった。一方、2016 年度に調査した環境省の報告⁽⁸⁾では、視認ゴミの人工物（ガラス製品などプラスチック以外を含む）の分布密度は 165.1 個/km²であり、本研究の分布密度の値とは異なった。この違いを生み出した要因については、多角的な究明が必要であるが、調査時の船速や調査時間、海況などが寄与しているものと考えられる。例えば、船速に着目すると、環境省の調査では船速が 5 knot であったが、長崎丸では調査時の速力は約 9-12 knot であり、船速が速いことによるゴミの見落としが増加し、分布密度の過小評価に繋がったと考えられる。今後、調査時の船速や調査時間、海況などを考慮した分布密度のモデルを検討する必要があると考えられる。

本研究で得られたマイクロプラスチックの分布密度と併せて、本州南岸と大村湾、そして他の調査で行われた北太平洋と世界の海のそれを図 8 に示した。この結果から、九州西岸海域の沖合と沿岸では他の海域と比較しても分布密度が高く、特に沿岸は他の海域よりも 4-17 倍分布密度が高くなっていた。世界的に見ても九州西岸海域の分布密度は非常に高い値であり、排出抑制や回収作業などを行うなどその対策が急務であると思われる。

本研究では、便宜的に緯度と経度の 1° ラインにより沿岸域と沖合域に分けたが、視認プラスチックと曳網プラスチックの分布密度は、沖合より沿岸域の方が高かったことから、視認プラスチックが多い場所には曳網プラスチックが多く存在する可能性が示唆された。また、沿岸域で多く存在していた繊維については、視認プラスチックの 1 種である漁具類のロープなどが微細化して曳網プラスチック化した可能性もある。実際に目視調査では沖合よりも沿岸の方が高密度で漁具類が存在していた。したがって今後、視認プラスチックの組成と曳網プラスチック

の組成の類似度を検討する必要がある。また、調査海域から陸までの距離が短い沿岸において両種プラスチックごみの分布密度が高かったことから、陸からの距離が漂流プラスチックごみの分布密度と関係があることも考えられる。しかし、陸域に近い大村湾の分布密度は、九州西岸海域の沿岸よりも低くなっていたことから、必ずしも陸からの距離だけでなく、排出源からの量と距離が分布密度に影響を及ぼしているものと考えられる。今回、目視とニューストネットは同一の観測点で比較していない為、今後、より詳細な比較や統計的解析が求められる。

図 8 マイクロプラスチックの分布密度の他海域間での比較。青色と黄色（参考値）は本研究の結果であり、黄緑色は環境省の報告⁽⁸⁾より引用。

最後に、黒潮の上流部から日本周辺に流れてきたプラスチックが流れの緩やかな沿岸に滞留した可能性について検討した。曳網プラスチックの調査日の気象庁の海流図⁽⁹⁾を図 9 に示した。海流図には流速が 0.2 knot 以上の流れが矢印で表示されており、色により流れの速さが表示されている。両期間とも沖合では 0.2 knot 以上の流れが観測されているものの、沿岸では 0.2 knot 未満の流れとなっていた。また、同様に他の曳網プラスチック調査日の海流についても確認したところ、沖合では全期間とも 0.2 knot 以上の流れがあり、沿岸では 0.2 knot 未満の流れとなっていた。また、黒潮の流れの影響を強く受けていると考えられる、本州南岸でも分布密度が低かった（図 8）。これらのことから、反転流なども考慮しなければならないが、沿岸は沖合よりも流れが弱く排出源からのゴミが長い期間滞留しやすく、海流も分布密度に影響を与えていることが確認された。今後、漂流プラスチックの動態を明らかにしていくために、調査回数や海域の面積も増やした継続的なモニタリングが重要であろう。

図 9. 曳網プラスチック調査時の海流

5. 結論

本研究では九州西岸の沖合と沿岸の海域において、視認プラスチックと曳網プラスチックの漂流ごみの分布密度を定量的に明らかにした。沿岸には沖合の約 2.5 倍の視認プラスチックが存在し、約 3 倍の曳網プラスチックが存在していた。そして、視認プラスチックが多い場所には曳網プラスチックが多く存在するという新たな関係性の存在が示唆された。また、マイクロプラスチックの分布密度は他の海域と比べ非常に高く、従来から報告があった海流の影響に加えて陸上からの距離が分布密度に影響を与えているものと考えられた。

謝辞

本研究の実施にあたり、多大なご協力と助言を頂いた長崎丸及び鶴洋丸の両船の乗組員各位の方々に深く感謝いたします。また、適切な助言を頂きました匿名の査読者に感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 JP18K14790 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 環境省：海洋ごみとマイクロプラスチックに関する環境省の取組, http://www.env.go.jp/water/marine_litter/00_MOE.pdf, 2018.8.
- (2) 一般社団法人 JEAN：経済的な影響 | 海ごみの問題点 | 一般社団法人 JEAN, <http://www.jean.jp/m-litter/matter03.html>, 2018.8.
- (3) 山下麗・田中厚資・高田秀重：海洋プラスチック汚染：海洋生態系におけるプラスチックの動態と生物への影響, 日本生態学会誌, Vol.66, No.1, pp.51-68, 2016.6.
- (4) チャールズ・モア、カッサンドラ・フィリップス：プラスチックスープの海 北太平洋巨大ごみベルトは警告する, p91, NHK 出版, 2012.

- (5) 環境省：環境省__海ごみ調査報告書・パンフレット・マニュアル・ガイドライン, http://www.env.go.jp/water/marine_litter/pamph.html, 2018.8.
- (6) 田口美緒子・吉岡基・柏木正章：三河湾湾口部におけるスナメリの分布密度の季節変化, 哺乳類科学, Vol.47, No.1, pp.11-17, 2007.
- (7) 長谷川健二・平野研一：地文航法, pp.17-22, 海文堂出版株式会社, 2015.
- (8) 環境省：環境省__平成 28 年度調査報告書 分割版, pp. 16, http://www.env.go.jp/water/marine_litter/okiai1.pdf, 2018.8.
- (9) 気象庁：気象庁 | 海水温・海流のデータ 旬平均海流, http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/jun/current_HQ.html?areano=3, 2019.1.