



神奈川県

かながわプラごみ  
ゼロ宣言



# 相模湾漂着マイクロプラスチック（MP）の 実態とその由来の推定

## その2 発生源及び排出経路の推定

神奈川県環境科学センター 調査研究部

マイクロプラスチック研究チーム

2022年5月31日

## 目次

1. はじめに
2. 相模湾漂着 MP の量, 材質及び形態 その2
  2. 1 クラウドファンディングを活用した県民参加型調査
    2. 1. 1 調査地点
    2. 1. 2 調査方法
    2. 1. 3 結果と考察
    2. 1. 4 参考文献
3. 河川を流下する MP の量, 材質及び形態 その2
  3. 1 雨天時に河川を流下する MP の量, 材質及び形態
    3. 1. 1 調査地点
    3. 1. 2 調査方法
    3. 1. 3 結果と考察
    3. 1. 4 参考文献
  3. 2 ドローンを活用した河川及び河川敷に散乱するプラスチックごみ調査
    3. 2. 1 調査地点
    3. 2. 2 調査方法
    3. 2. 3 結果と考察
    3. 2. 4 参考文献
4. MP の発生源に関する調査
  4. 1 相模湾西部沿岸で採取した被覆肥料に関する発生源調査
    4. 1. 1 被覆肥料の特徴
    4. 1. 2 調査方法
    4. 1. 3 結果と考察
    4. 1. 4 参考文献
  4. 2 用途地域ごとの道路堆積物中プラスチック片量の比較
    4. 2. 1 調査地域
    4. 2. 2 調査方法
    4. 2. 3 結果と考察
    4. 2. 4 参考文献

5. 相模湾漂着 MP に含まれる PCB の実態及び発生源の検証
  5. 1 MP に吸着した PCB とその発生源寄与率
    5. 1. 1 調査方法
    5. 1. 2 結果と考察
    5. 1. 3 参考文献
  5. 2 MP 内部に含まれる PCB とその発生源
    5. 2. 1 調査方法
    5. 2. 2 結果と考察
    5. 2. 3 参考文献
  5. 3 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水の PCB 濃度の比較検証
    5. 3. 1 調査方法
    5. 3. 2 結果と考察
    5. 3. 3 参考文献
6. まとめ

謝辞

## 1. はじめに

海洋プラスチックごみの問題は、今や世界的に解決すべき喫緊の課題であることが認識されている。このまま何も対策を取らなければ、2050年には魚の重量を上回る<sup>1)</sup>という衝撃的な推計結果なども公表されたことから、具体的な取り組みの必要性も共有化され、2019年6月に開催されたG20大阪サミットにおいても、2050年までに新たな汚染をゼロとすることを目指す「大阪ブルーオーシャン・ビジョン」が合意されるなど、国際的な取り組みが進みつつある。国内においても、G20サミットにむけて策定された「プラスチック資源循環戦略」を推進するため、2020年7月1日からレジ袋の有料化が開始され、「マイバッグ」を持参することが市民に定着しつつある。さらには、「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」が2021年4月1日より施行されることになっており、製造事業者による環境配慮設計指針を策定し、これに適合した指針であることが認定されれば製品を国が率先して調達するというメリットを与えること、レジ袋以外のワンウェイプラスチックの使用の合理化を進めること、製造・販売事業者に自主回収を促進することなどが盛り込まれている。

神奈川県では、2018年9月の「かながわプラごみゼロ宣言」をきっかけとして、様々なプラスチックごみの削減対策を進めている。中でも、サイズが5 mm以下と定義<sup>2)</sup>されているマイクロプラスチック（MP）に関しては、まず実態把握を進めることが必要とされており、2017年から2018年にかけて、全国の自治体に先駆けて実施してきた研究の成果として、中間報告書<sup>3)</sup>を作成し、主として相模湾におけるMPの漂着状況、MPの河川流下状況に加えて、MPに吸着する化学物質の実態（特にPCB及び有機フッ素化合物）について報告を行った。その後3年間調査研究を継続し、5年間のプロジェクト研究が2022年3月に一旦終了している。そこで、前回の中間報告書の内容を変更することなく、「その1 漂着実態把握と吸着化学物質の測定」とし、これに追加する形で今回「その2 発生源及び排出経路の推定」として取りまとめを行った。具体的には、「クラウドファンディングを活用した県民参加型の海岸漂着量調査」、「雨天時に河川を流下するMPの調査」、「相模湾西部沿岸で採取した被覆肥料に関する発生源調査」、「用途地域ごとの道路堆積物中プラスチック片の量の比較」及び「相模湾漂着MPに含まれるPCBの実態及び発生源の検証」である。本報告が、MPさらにはプラスチックごみ全体の削減対策に少しでも役立つことを期待する。

- 1) ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; THE NEW PLASTIC ECONOMY; RE-THINKING THE FUTURE OF PLASTICS, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/out-work/activities/new-plastic-economy/reports>
- 2) GESAMP ; Reports and Studies 90 "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: a Global Assessment", pp.14-29, International Marine Organization, London (2015)
- 3) 神奈川県環境科学センター調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム; 相模湾漂着マイクロプラスチック（MP）の実態とその由来の推定<中間報告書>, 2019年5月, <https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20190.pdf>

## 2. 相模湾漂着 MP の量, 材質及び形態 その2

### 2. 1 クラウドファンディングを活用した県民参加型調査

本稿は, ”相模湾沿岸における一般参加によるマイクロプラスチック分布調査“(全国環境研会誌 vol.45, No.3, 145-149 (2020)) をもとに再構成したものである。

相模湾に漂着する MP の量, 材質及び形態については, 海岸で実施した 5ヶ所の調査結果をすでに取りまとめている<sup>1)</sup>。海岸調査には人手と手間がかかるため, 当センターの職員のみで相模湾を網羅的に調査することは難しく, これまでも県民の方にご協力をいただきながら, より広域的な調査を実施してきたところである<sup>2)</sup>。2019年度には, クラウドファンディングにより研究資金を得ることが出来たため, これを活用し, より大規模な一般参加による MP 分布調査を実施した。具体的には, 満潮線上に漂着した MP の漂着数及び材質比率について把握するとともに, 発生源対策に繋がる可能性がある特徴的な MP である樹脂ペレット, 中空球状 MP 及び緑色へら状 MP の有無についても調査し, 相模湾全体の汚染状況を明らかにした。

#### 2. 1. 1 調査地点

表 2.1.1 及び図 2.1.1 に調査地点を示した。これまでの当センターの調査結果<sup>1)</sup>から, 相模湾に漂着する MP の主な由来は河川である可能性が高いと考えられたため, 相模湾に注ぐ一級または二級河川近傍 21 地点及びそれ以外の 4 地点 (⑨-1~3 及び⑰) 並びに比較対象として東京湾に注ぐ二級河川近傍 1 地点とそれ以外 (⑱) の合計 27 地点とした。この一般調査に参加いただいた団体は計 17 団体であった。

#### 2. 1. 2 調査方法

試料の採取及び分離の手順を図 2.1.2 に示した。試料採取については, これまで実施した県民参加調査方法<sup>2)</sup>と同様とした。具体的には, 海岸の満潮線上において漂着物が多いところを目視で確認し, 40 cm 四方の採取区画を設定した。なお, 採取区画の数は, 色のついた MP が目視で合計 100 個程度集まった区画で終了するか, 若しくは最大 10 区画のいずれか少ない方とした。区画内の砂を約 3cm 程度スcoopで

表 2.1.1 採取地点一覧

No.	採取地点	市町村名	河川名	湾名
①	門川	湯河原町	千歳川	相模湾
②	吉浜	湯河原町	新崎川	
③	山王川河口	小田原市	山王川	
④	酒匂川河口	小田原市	酒匂川	
⑤	中村川河口	二宮町	中村川	
⑥	葛川河口	大磯町	葛川	
⑦-1	大磯海水浴場	大磯町	金目川	
⑦-2	金目川河口	平塚市	金目川	
⑦-3	虹ヶ浜	平塚市	金目川	
⑧	サザンビーチ	茅ヶ崎市	相模川	
⑨-1	ヘッドランド	茅ヶ崎市	-	
⑨-2	浜須賀	茅ヶ崎市	-	
⑨-3	汐見台	茅ヶ崎市	-	
⑩-1	辻堂西海岸	藤沢市	引地川	
⑩-2	辻堂海水浴場	藤沢市	引地川	
⑩-3	鶴沼海水浴場	藤沢市	引地川	
⑪-1	片瀬海岸西浜	藤沢市	境川	
⑪-2	片瀬東浜海水浴場	藤沢市	境川	
⑫-1	由比ガ浜海水浴場	鎌倉市	滑川	
⑫-2	材木座海水浴場	鎌倉市	滑川	
⑬	逗子海岸	逗子市	田越川	
⑭	森戸海岸	葉山町	森戸川	
⑮	下山川河口	葉山町	下山川	
⑯	富浦の浜	横須賀市	松越川	
⑰	和田長浜海水浴場	三浦市	-	
⑱	三浦海岸	三浦市	-	東京湾
⑲	久里浜海岸	横須賀市	平作川	

すくい、上段に 4.75 mm、  
下段に 2.00 mm メッシュの  
ふるいを重ねてふるい分け  
を行い、下段上に残った残  
留物からピンセットを用い  
て MP を採取した。

当センターへ持ち込まれ  
た試料については、前報<sup>2)</sup>と  
同様、長軸長さの計測及び材  
質の判別を実施した。なお、  
材質の判別については、図  
2.1.3 に示したポリエチレン  
(PE)、ポリプロピレン  
(PP)、発泡ポリスチレン  
(PS) 及びその他の 4 区分とした。あわ  
せて、図 2.1.4 に示した特徴的な MP の  
個数についても計測した。

## 2. 1. 3 結果と考察

### 2. 1. 3. 1 全漂着数

図 2.1.5 に全漂着数の分布状況を示し  
た。近隣の地域を比較すると、地域によ  
って漂着数が異なり、特に近傍に河川が  
ない<sup>⑨</sup>1 ヘッドランド (茅ヶ崎市) が多  
かった。ヘッドランドは、図 2.1.6 に示  
すように、茅ヶ崎海岸を侵食  
から防ぐために作られた T 字  
型の突堤である。海岸の侵食  
を防ぐということは、つまり  
波が多く打ち寄せるため、結  
果として海中に漂う MP が大  
量に漂着しやすい環境にある  
と推測される。今回の結果か  
ら、MP の漂着量には地形も影  
響している可能性があると考えられた。また、比較対象が少ないものの、相模湾の方が東京湾と比べて漂着数が多い結果であった。

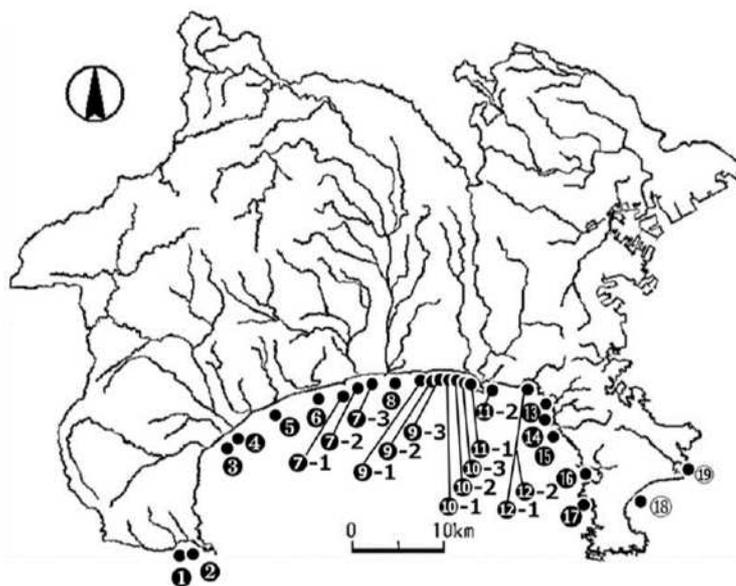


図 2.1.1 調査地点

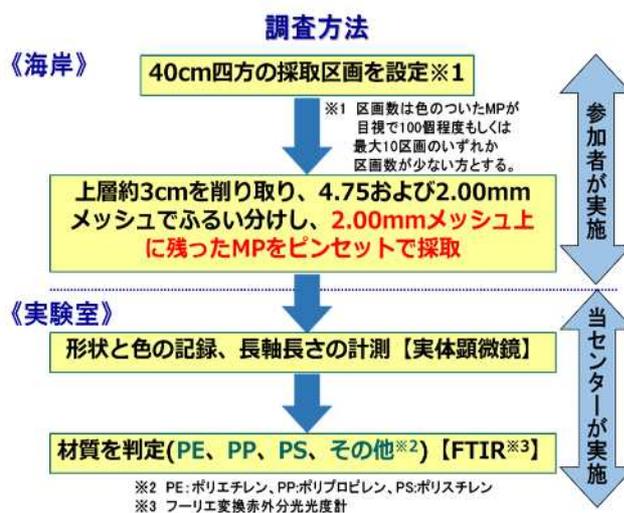


図 2.1.2 MP 分離分析手順



ポリエチレン(PE)

ポリプロピレン(PP)

ポリスチレン(PS)

図 2.1.3 一般的な海岸漂着 MP の例

### 2. 1. 3. 2 材質組成

図 2.1.7 に MP の材質組成を示した。地域毎の分布型は、PE, PP 及び PS がいずれも検出される混合型, PE が主である PE メイン型, 同様に PP メイン型, PS メイン型, その他及び MP なしの 6 種類に分類された。一部異なる地域はあるものの、近隣の地点は類似の傾向を示した。一方, PS メイン型及びその他は局所的な傾向を示した。



図 2.1.6 ヘッドランド(神奈川県茅ヶ崎市)

茅ヶ崎市が突出して多く、検出率は 59%(16/27 試料)であった。地点毎の全体に占める樹脂ペレットの割合は、⑨-1 ヘッドランド(茅ヶ崎市)のみ 50%を超えていた。県西部(①~④)及び逗子市・葉山町(⑬~⑮)は低い傾向であった。東京湾側(⑱)及び⑲)と比較すると、相模湾の方が多量漂着の傾向であった。

樹脂ペレットはプラスチック製品の原料であり、ほぼ工業的な用途

に限定されるため、漂着量が多かった原因は、輸送過程での積み替え等に伴う漏出あるいはプラスチック成型事業所からの漏出の可能性が考えられる。この場合、内陸から河川を伝って相模湾へ運ばれ

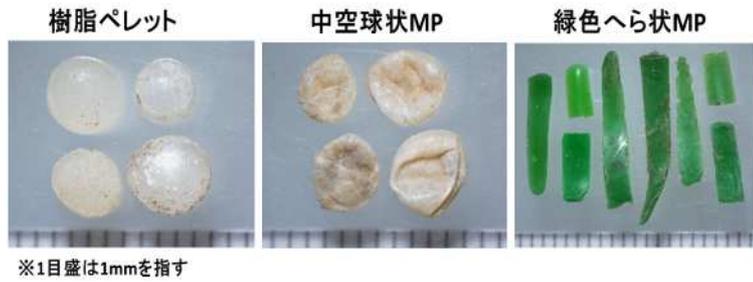


図 2.1.4 特徴的な MP の例

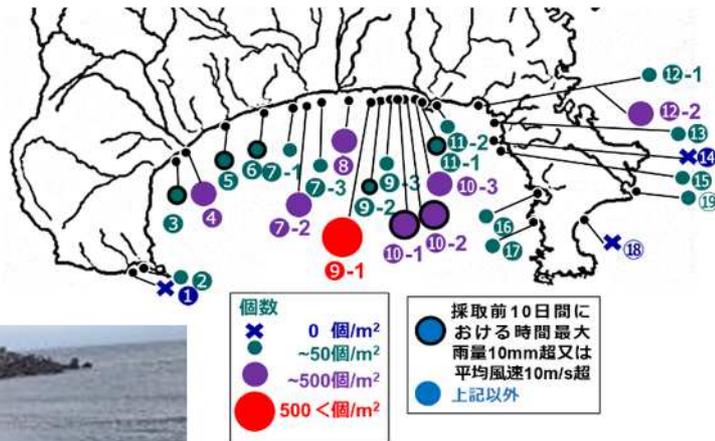


図 2.1.5 全漂着数

### 2. 1. 3. 3 特徴的な MP

#### (1) 樹脂ペレット

図 2.1.8 に樹脂ペレットの漂着数を示した。樹脂ペレットは⑨-1 ヘッドランド(茅

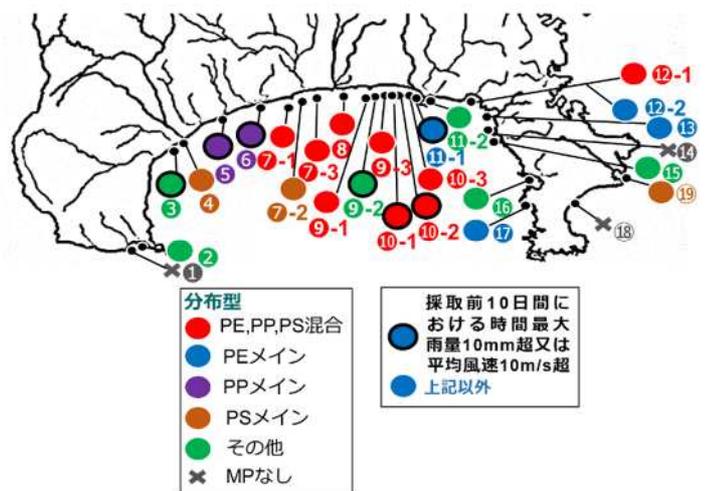


図 2.1.7 材質構成

ると推測されるが、樹脂ペレットの材質に多いPE及びPPについては、比重が海水よりも小さいため、波によって運ばれ、河口のみならず地形的に堆積しやすい場所に集まることが予想される。その結果として、⑨-1ヘッドランド(茅ヶ崎市)において多量漂着があったものと考えられた。

### (2) 中空球状MP

図2.1.9に中空球状MPの漂着状況を示した。中空球状MPは全地点において50個/m<sup>2</sup>以下であり、検出率は41% (11/27試料)であった。地域別では、③山王川(小田原市)、④酒匂川(小田原市)、⑦-1、2金目川(大磯町および平塚市)、⑧相模川(茅ヶ崎市)、⑨-1ヘッドランド(茅ヶ崎市)、⑩-1、2引地川(藤沢市)、⑬田越川(逗子市)、⑯松越川(横須賀市)及び⑰和田長浜海水浴場(三浦市)において検出されているが、東京湾側(⑱及び⑲)を含む上記以外の16地域では未検出であった。

地点毎の全体に占める中空球状MPの割合は、③山王川(小田原市)のみ50%を超えたが、それ以外の地点においては50%以下であった。

中空球状MPは、緩効性の樹脂系被覆肥料の被膜殻と推定されており、野菜栽培にも使われるが、神奈川県内では水稻栽培での使用が大部分とされている<sup>1)</sup>。これらの樹脂系被覆肥料は過去に圃場に施肥されたものが、河川を通じて流出したのと考えられた。また中空球状MPは用途が限られており、このように検出される地域に偏りが生じた要因は、特定の地域で樹脂系被覆肥料が施肥されていることが要因と考えられた。なお、この被覆肥料の被膜殻については、4.1において詳細な調査結果を報告しているため、そちらを参照されたい。

### (3) 緑色へら状MP

図2.1.10に緑色へら状MPの漂着状況を示した。緑色へら状MPは、全地点

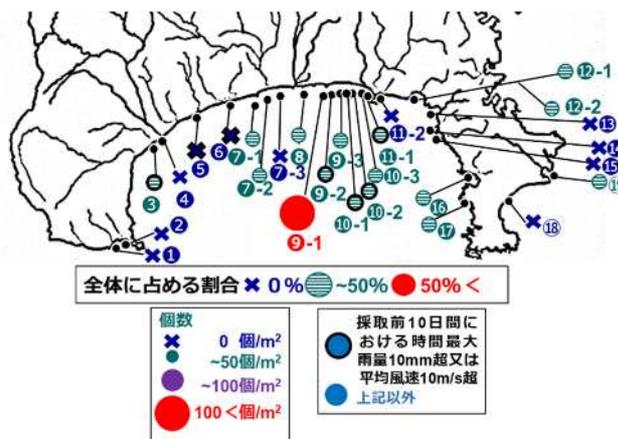


図 2.1.8 樹脂ペレット漂着量

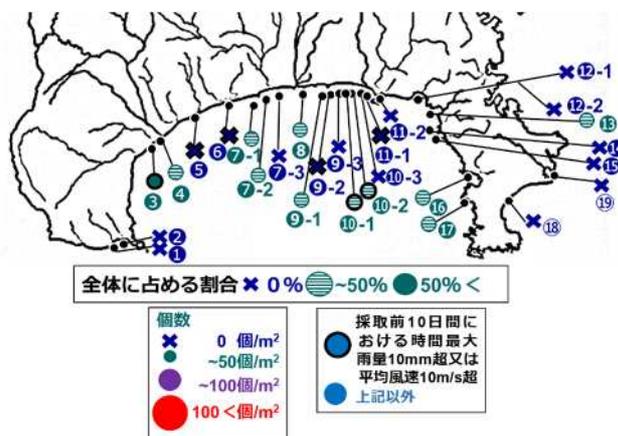


図 2.1.9 中空球状MP漂着量

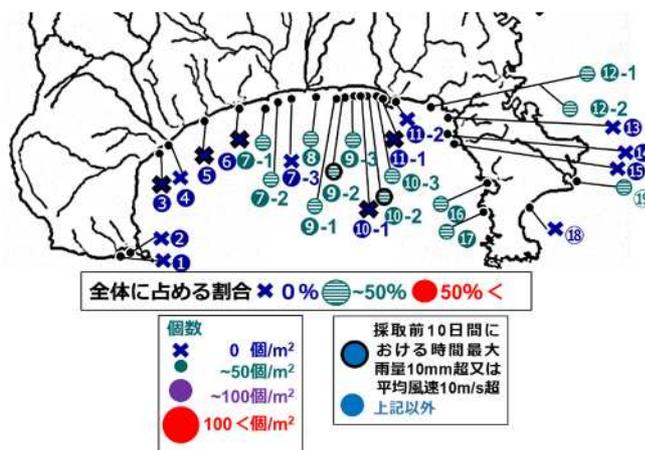


図 2.1.10 緑色へら状MP漂着量

において 50 個/m<sup>2</sup>以下であり、検出率は 48% (13/27 試料) であった。地点毎の全体に占める緑色へら状 MP の割合が 50%を超えた地点はなく、県西部及び逗子市・葉山町は低い傾向であった。東京湾側 (⑮及び⑰) と比較しても目立つ特徴は見られなかった。

このことから、緑色へら状 MP には突出した多量漂着はないものの、比較的広範囲で検出されることが明らかになった。緑色へら状 MP は一般に広く使用されている人工芝から発生すると考えられ、家庭用人工芝または玄関マット等の身近な生活用品の劣化等により排出される可能性があるため、都市域など、人口密度が高い地点からの排出が影響する<sup>3)</sup>と考えられた。

#### 2. 1. 4 参考文献

- 1) 池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海, 難波あゆみ, 小林幸文: 相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性. 神奈川県環境科学センター研究報告, 41, 1-10 (2018)
- 2) 神奈川県環境科学センター調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム;相模湾漂着マイクロプラスチック (MP) の実態とその由来の推定<中間報告書>, 2019 年 5 月, <https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20190.pdf>
- 3) 株式会社ピリカ/一般社団法人ピリカ: マイクロプラスチック流出状況データベース, <https://opendata.plastic.research.pirica.org>

(担当: 難波, 坂本)

### 3. 河川を流下するMPの量、材質及び形態 その2

#### 3. 1 雨天時に河川を流下するMPの量、材質及び形態

前報<sup>1)</sup>では、県内の4河川、すなわち相模川、引地川、酒匂川及び平作川において、流下するMPの量、材質及び形態の確認を行ったが、海岸漂着MPで確認された緑色へら状MP（人工芝の破片）及び中空球状MP（樹脂系被覆肥料殻）は河川からの流下が確認されたものの、発泡ポリスチレン（PS）あるいは樹脂ペレットが少なく、繊維またはフィルムが多く確認された。これらのことから、河川を流下するMPの実態をより正確に把握するためには、降雨初期のいわゆる「ファーストフラッシュ」を捉える必要があると考えられた。そこで、様々な制約がある中、雨天時における雨水吐出口あるいは河川への初期流出状況を把握するための調査を試みた。

#### 3. 1. 1 調査地点

##### 3. 1. 1. 2 雨水吐出口

4. 2で調査を実施している市街化地域から引地川への排出を確認するため、図3.1.1に示した2か所の雨水吐出口（写真中央の管開放部）を対象とした。

##### 3. 1. 1. 3 河川

当センターからのアクセスが良く、ウェブで河川水位情報が入手可能かつ潮汐の影響を受けない最下流地点である相模川の神川橋（寒川町一之宮）に加えて、神川橋下流で相模川に合流し、河川流域が広いことから降雨時の影響が大きいと推測された目久尻川の河原橋（寒川町一之宮）の2か所を対象とした。

#### 3. 1. 2 調査方法

##### 3. 1. 2. 2 雨水吐出口

調査は、2020年7月1日（調査日①）及び2021年7月1日（調査日②）に実施した。雨が降り出したタイミングを見計らっ



図3.1.1 調査した雨水吐出口

て現地へ向かい、吐出水を自吸式マグネットポンプ（性能最大揚水量 38mL/min., PMS-661B6E ; 三相電機（株））で汲み上げ、100L を 0.3mm ふるいに通水して MP を採取した。採取した MP は前報 1) の河川調査と同様、ふるいごと 60℃で一晩乾燥し、目視により MP をピンセットで分離して、長軸長さの計測及び材質の判別を実施した。

### 3. 1. 2. 3 河川

降雨時調査では、その前に生じた降雨の影響を受けないように実施する必要がある 2)。調査前の降雨（10mm/日以上）がない日数（以下、先行晴天日数という）が 3 日以上あり、かつ降雨により水位上昇が見られた際に河川を流下する MP の採取を行うこととし、実際の採取は、2020 年 6 月 19 日（調査日③）及び 10 月 8 日（調査日④）に実施した。なお、降雨前の確認調査として、6 月 2 日（相模川のみ）及び 10 月 7 日にも採取を行った。MP の採取方法、材質及び形態の判定方法は、前報 1) の河川調査と同様に行った。

### 3. 1. 3 結果と考察

#### 3. 1. 3. 1 雨水吐出口

それぞれの調査日前後の降雨量を図 3.1.2 及び 3.1.3 に、結果を表 3.1.1 及び 3.1.2 に示した。

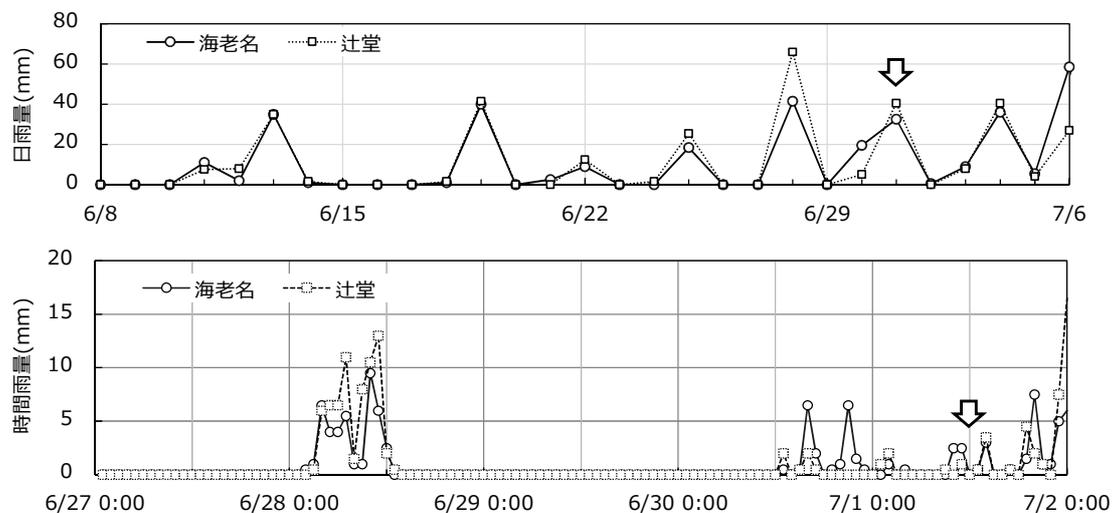


図 3.1.2 調査日①前後の降雨量（上段：日降雨量，下段：時間降雨量）

表 3.1.1 調査日①に採取した MP の個数

採取日時	採取地点	通水量 (m <sup>3</sup> )	MP個数			
			破片	ペレット	ビーズ	合計
2020/7/1 11:50	湘南台駅付近	0.1	1	0	0	0
2020/7/1 12:31	円行公園付近	0.1	0	0	0	0

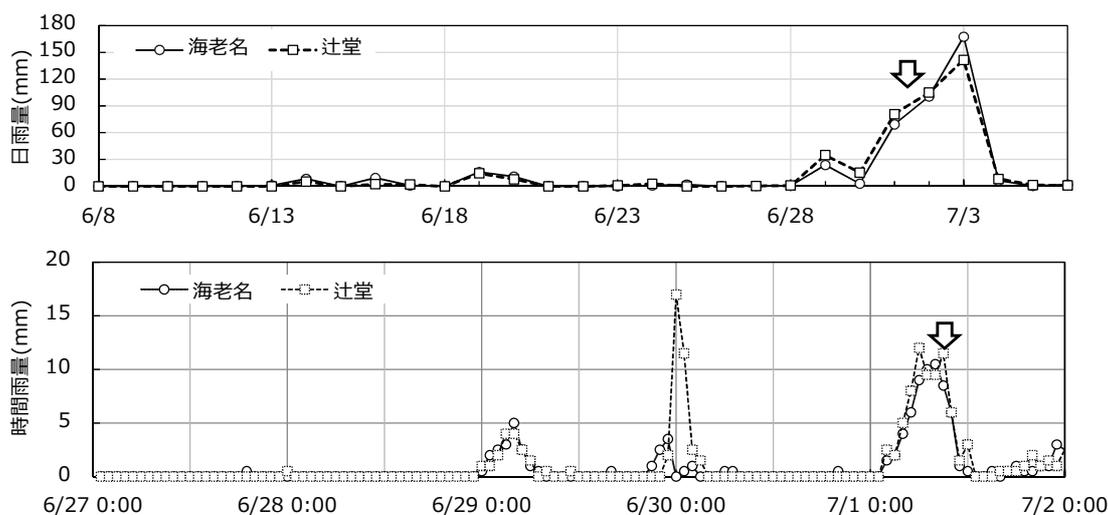


図 3.1.3 調査日②前後の降雨量（上段：日降雨量，下段：時間降雨量）

表 3.1.2 調査日②に採取した MP の個数

採取日時	採取地点	通水量 (m <sup>3</sup> )	MP個数			
			破片	ペレット	ビーズ	合計
2021/7/1 10:03	湘南台駅付近	0.1	3	0	0	3
2021/7/1 11:01	円行公園付近	0.1	0	0	0	0

降雨量については、調査地点に近い「辻堂」のデータに加えて、上流側の「海老名」における気象庁アメダス降雨量のデータ<sup>3)</sup>を参照した。

図 3.1.2 のとおり、調査日①では、3 日前に降雨があったこと、さらには 1 日の未明にも降雨があったことから、湘南台駅付近で 1 個、円行公園付近では 1 個も検出されなかった。調査日②においてもタイミングを図ったが、結果的には、やはり前日未明及び当日未明から降雨があったこともあり、湘南台駅付近では 3 個、円行公園付近では 1 個も検出されず、予想よりも少なかった。この結果より、雨水吐出口からは、降り始めてすぐに MP が流出してしまうことが推測されたため、待ち構えて採取しないと、道路をウォッシュアウトするような排出を確認することは難しいと考えられた。

### 3. 1. 3. 2 河川

それぞれの調査日前後の降雨量を図 3.1.4 及び図 3.1.5 に、結果を表 3.1.3 及び表 3.1.4 に示した。降雨量については、前項と同様、調査地点により近い「海老名」のデータに加えて、上流側である「相模湖」のデータを参照した。さらに、国土交通省のデータ<sup>4)</sup>から、相模川の調査地点である「神川橋」の水位情報についても確認した。

図 3.1.4 に示すように、調査日③では朝方から降雨があり、午前 7 時ごろに最大となった。神川橋の水位はそれから 2 時間後に最大となったため、10:47 に 1 回目の採取を開始した。その後、

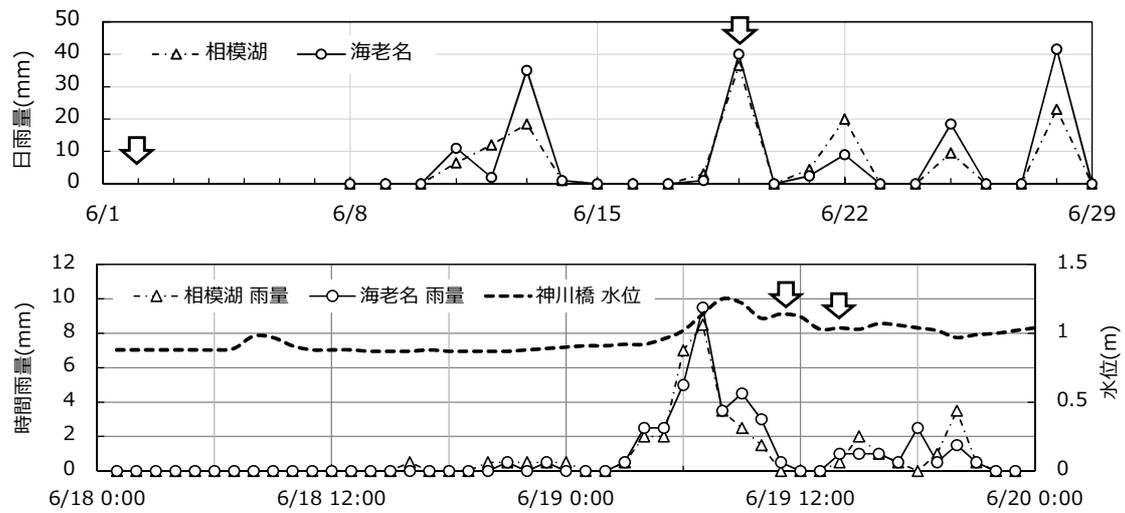


図 3.1.4 調査日③前後の降雨量（上段；日降雨量，下段；時間降雨量）

表 3.1.3 調査日③に採取したMPの個数（6/2の事前調査との比較）

採取日時	採取地点	通水量 ( $m^3$ )	MP個数			
			破片	ペレット	ビーズ	合計
2020/6/2 14:18	相模川 神川橋	5.86	1	0	0	1
2020/6/19 10:47	相模川 神川橋	6.81	25	1	0	26
2020/6/19 13:52	相模川 神川橋	5.94	13	0	0	13
2020/6/19 11:05	目久尻川 河原橋	4.19	56	1	1	58
2020/6/19 14:10	目久尻川 河原橋	4.05	21	0	0	21

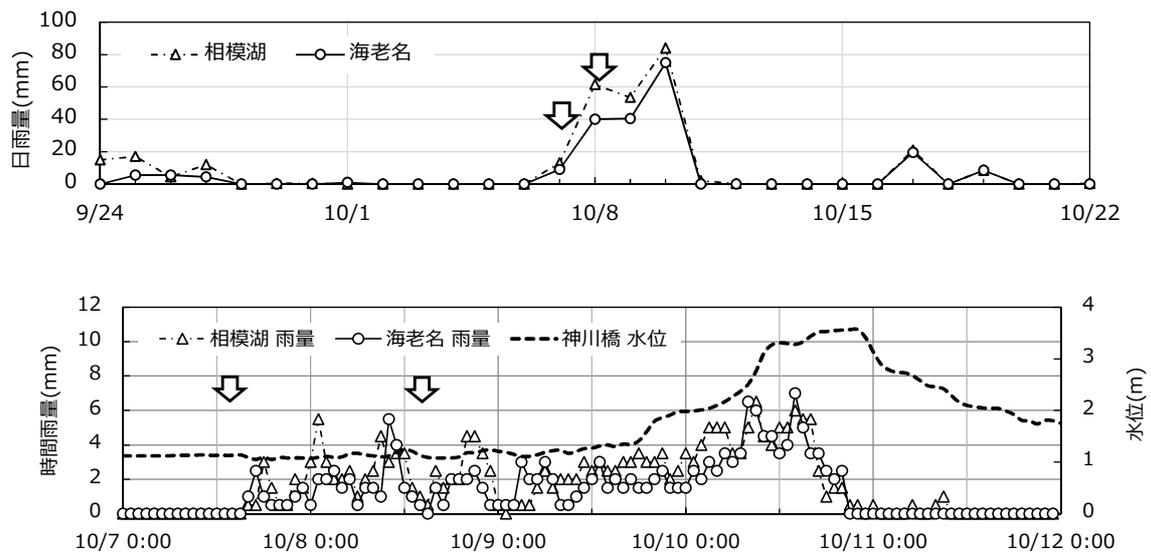


図 3.1.5 調査日④前後の降雨量（上段；日降雨量，下段；時間降雨量）

表 3.1.4 調査日④に採取したMPの個数 (6/2の事前調査との比較)

採取日時	採取地点	通水量 (m <sup>3</sup> )	MP個数			
			破片	ペレット	ビーズ	合計
2020/10/7 13:51	相模川 神川橋	2.77	0	0	0	0
2020/10/8 13:36	相模川 神川橋	11.99	9	0	0	9
2020/10/7 14:17	目久尻川 河原橋	6.13	8	0	0	8
2020/10/8 13:53	目久尻川 河原橋	2.12	46	0	1	47

目久尻川の河原橋へ向かい、11:05に1回目の採取を行った。昼頃には一旦雨がやんだが、完全には降りやまなかつたため、13:52及び14:10に、それぞれ2回目の採取を実施した。相模川の神川橋では、降雨前に実施した6月2日の事前調査実施時には0.67個/m<sup>3</sup>であったのに対し、降雨後ではそれぞれ3.8個/m<sup>3</sup>及び2.2個/m<sup>3</sup>であり、大幅に増えていた。また、河原橋では事前調査が実施出来ていないが、降雨後ではそれぞれ14個/m<sup>3</sup>及び5.2個/m<sup>3</sup>とかなり多かった。

相模川における1回目及び2回目の採取において、確認されたMPのサイズ及び材質構成を、それぞれ図3.1.6及び図3.1.7に示した。いずれのケースにおいても、確認されたMPは破片がほとんどであったが、その材質構成は、1回目のPEが7個(うちペレット1個)、PPが6個であり、PET製のフィルムが12個と最も多く、その他にも1個確認された。また2回目は、PEが6個、PPが5個であり、同じくPET製のフィルムが2個あった。

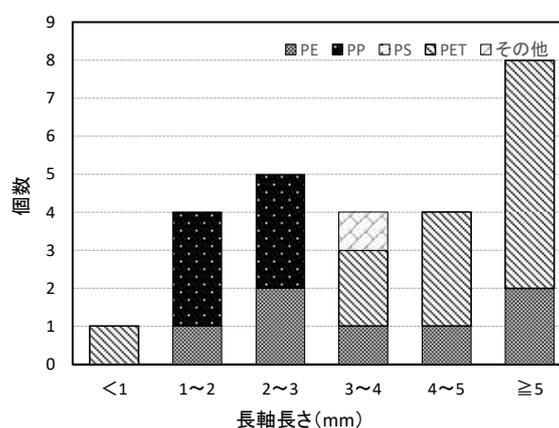


図 3.1.6 MPの粒径別分布 (相模川1回目調査)

目久尻川における1回目及び2回目の採取結果を、図3.1.8及び図3.1.9に示した。相模川と同様、破片がほとんどであったが、1回目にPP製ペレット及びPS製ビーズが1個ずつ確認された。それ以外の材質組成については、PEが22個、PPが4個、PSが3個であり、PET製のフィルムが24個、繊維が1個、その他が2個であった。また、2回目については、1~2mmの小さいサイズのMPが最も多く、PEが10個、PPが3個、

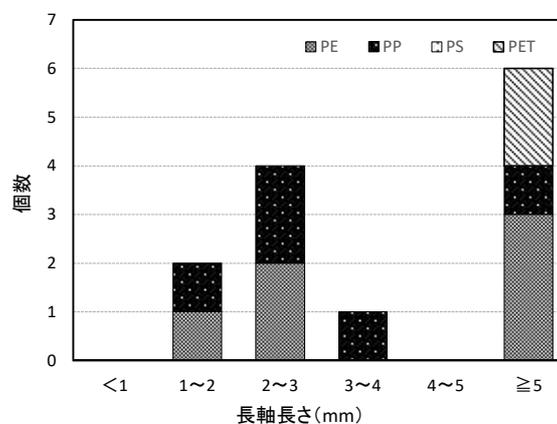


図 3.1.7 MPの粒径別分布 (相模川2回目調査)

PET 製フィルムが 7 個であり、その他が 1 個確認された。

調査日④では、いずれの地点においても、降雨前の 10 月 7 日の午後に事前採取を実施し、その後降雨を観測したため、ほぼ 24 時間後に採取を行った。相模川の神川橋では、降雨前が 0 個/m<sup>3</sup>であったのに対し、降雨後は、0.75 個/m<sup>3</sup>となった。図 3.1.5 に示した通り、神川橋の明らかな水位上昇は、採取後さらに 24 時間以上経過後に観測されているため、流れが最も多くなる前にサンプリングしたためと考えられた。一方、目久尻川の河原橋では、降雨前が 1.3 個/m<sup>3</sup>であったのに対し、降雨後は 22 個/m<sup>3</sup>と明らかに増加した。相模川と比較して水量が少ないことから、タイミングよくサンプリング出来たためと考えられた。

相模川における採取結果を図 3.1.10 に示した。材質組成は、PE が 4 個及び PP が 4 個であり、その他として PE-PP 共重合体が確認された。このうちの 6 個がフィルム状であり、板状のものは、PE 及び PP それぞれ 1 個ずつであった。

同様に、目久尻川の結果を図 3.1.11 に示した。材質組成は PE が 39 個と最も多く、そのうち 33 個はフィルムであった。また、PP が 3 個、PS のビーズが 1 個さらには PET 製の板状のものが 2 個、加えてその他として、エチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) 及びポリウレタン (PU) が 1 個ずつ確認された。

以上の結果から、これまでの予想通り、降雨後には平常時と比べて MP の流出量が増加することが明らかになった。加えて、雨天時には、これまでの定常時の調査

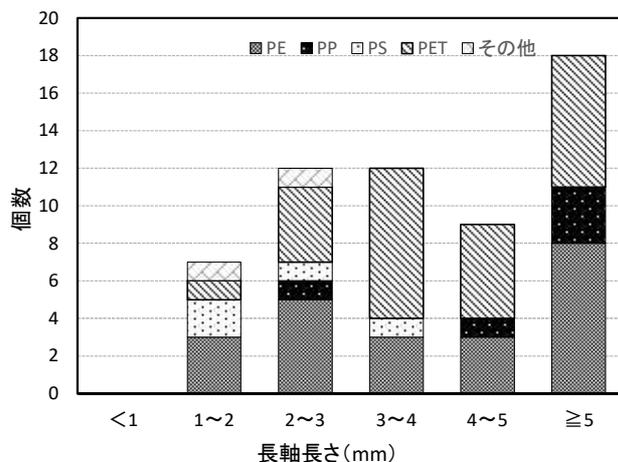


図 3.1.8 MP の粒径別分布 (目久尻川 1 回目調査)

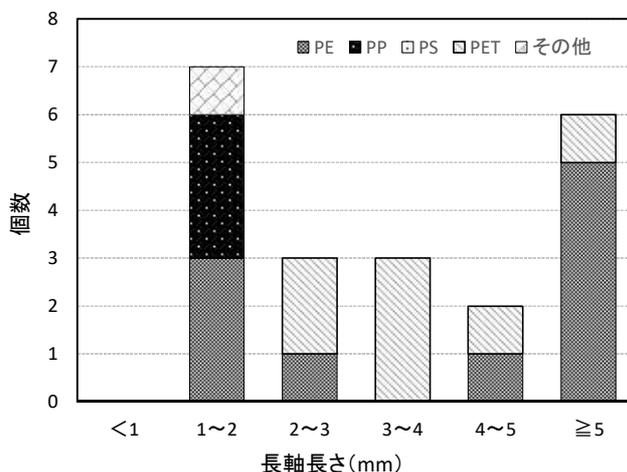


図 3.1.9 MP の粒径別分布 (目久尻川 2 回目調査)

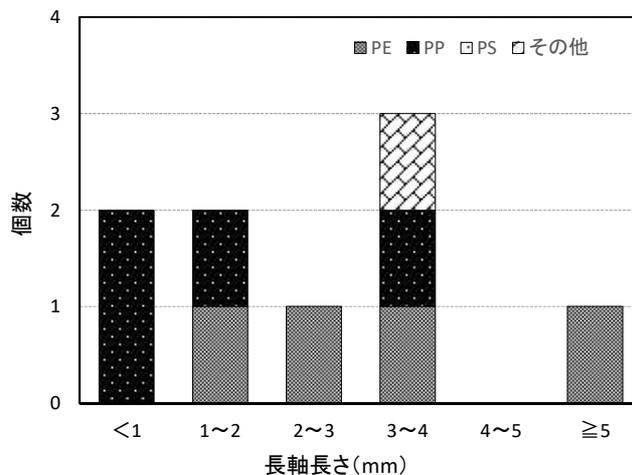


図 3.1.10 MP の粒径別分布 (相模川調査)

り)と比べて、5mmより大きい、いわゆるマクロプラスチックも多く排出されることが確認された。ただし、定常時と同様河川では、フィルム状のプラスチックが多いこと、また、海岸で多く見られる発泡PSがほとんど検出されないことが特徴的であった。フィルム状のものについては前報でも記載の通り、河川から海域に流出したのち川岸には戻らずに、そのまま沖合に輸送されたか、若しくは沈降して底質中に堆積した可能性が高いと考えられた。また、発泡PSに関して

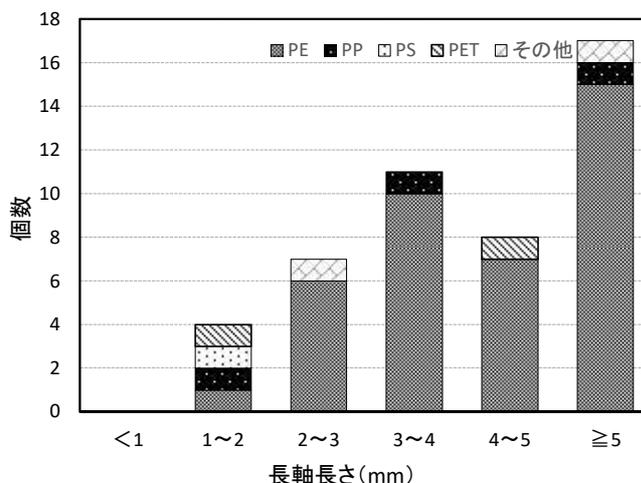


図 3.1.11 MP の粒径別分布 (目久尻川調査)

は、海岸で確認されているもののほとんどが、いわゆる「トロ箱」と呼ばれる魚保管用箱の破片であるため、内陸由来というよりは、漁港などで排出されたものが、湾内の潮流によって海岸に漂着している可能性も推測された。今回の結果から、雨天時のファーストフラッシュを把握することにより、プラスチックごみが河川を通じて流出することが確認出来たが、その詳細については、一部不明な点が残った。

### 3. 1. 4 参考文献

- 1) 神奈川県環境科学センター調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム；相模湾漂着マイクロプラスチック (MP) の実態とその由来の推定<中間報告書>，2019年5月，<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20190.pdf>
- 2) 非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン (第二版)【資料編】：環境省 水・大気環境局 水環境課，平成26年12月，<https://www.env.go.jp/water/kosyou/hitokutei/mat.pdf>
- 3) 気象庁 各種データ・資料，<https://www.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 国土交通省 川の防災情報，<https://www.riber.go.jp/index>

(担当：坂本)

### 3. 2 ドローンを活用した河川及び河川敷に散乱するプラスチックごみ調査

前項では、雨天時に流下するMPの採取調査を実施しているが、降雨のタイミングを的確に捉えて調査を実施することは、様々な条件を事前に整えていたとしても、上手くいかないこともある。片岡ら<sup>1)</sup>は、調査対象河川に定点カメラを設置し、河川を流下するプラスチックごみを画像で判別するシステムをすでに開発済みである。しかしながら、このシステムにおいても、カメラを固定して撮影を終えるまで人が張り付く必要があり、タイミングよく撮影を行うには、サンプリングと同様の困難がある。

そこで、現在幅広く活用されているドローンを用いて荒天前後の画像を撮影し、河川及び河川敷に散乱するプラスチックごみの状況を試行的に調査した。なお、本調査については、株式会社パスコへ委託して実施した<sup>2)</sup>。

#### 3. 2. 1 調査地点及び撮影範囲

調査地点は、後述する用途地域毎の詳細調査を実施している引地川中流域とし、ごみが散乱しやすいような中州があり、かつ支流との合流地点があることから、大庭大橋の上流側に設定した。なお、実際の撮影範囲は、DID（Density Inhabited District；人口集中地区）の範囲外とし、大庭大橋上流側の約100mとした（図3.2.1）。

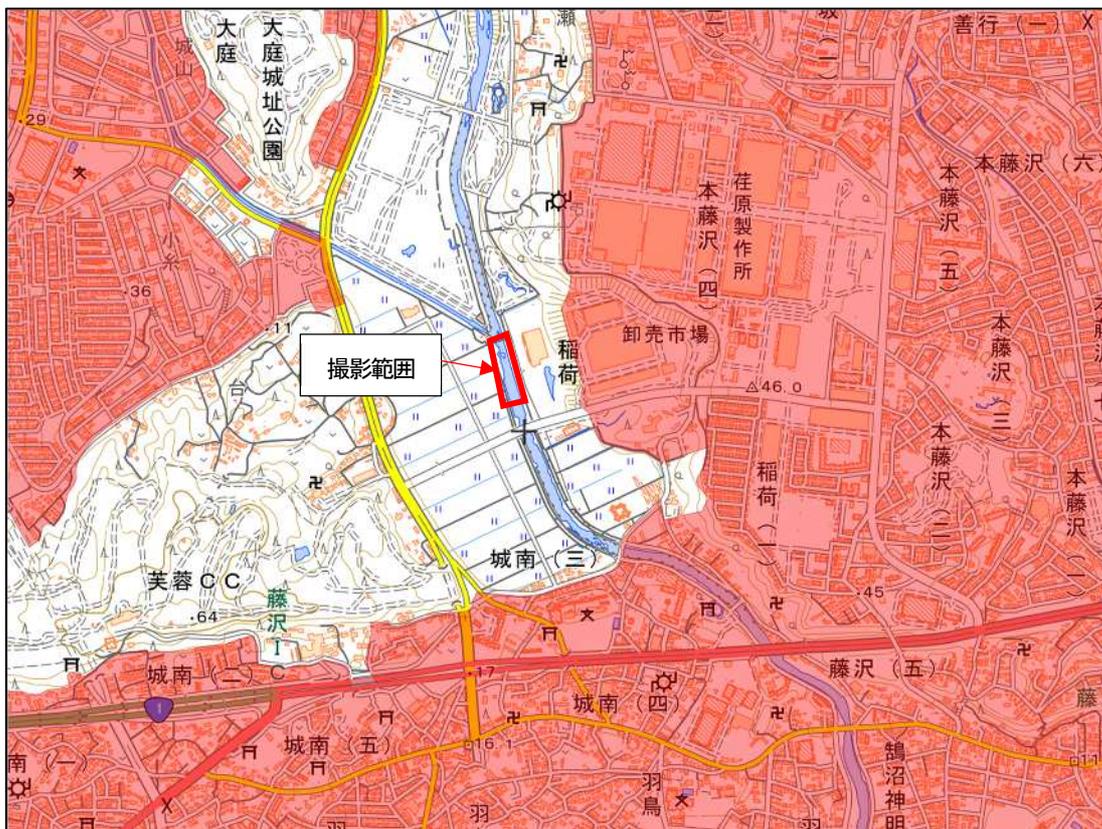


図3.2.1 調査位置及び人口集中地区(赤色)の設定状況

(出典：国土地理院図 平成27年(総務省統計局))

3. 2. 2 調査方法

3. 2. 2. 1 撮影日時及び気象条件

撮影は、荒天前1回及び荒天後2回の合計3回、降雨のない日に行った。詳細は表3.2.1に示す。

表 3.2.1 撮影日時

回数	気象条件	日時	河川の状況
1回目	荒天前	9月13日	
2回目	荒天後1	9月24日	
3回目	荒天後2	11月15日	

各撮影時の気象条件について、撮影範囲周辺の降水量（気象庁 アメダス：海老名及び辻堂）を図 3.2.2 に、撮影前 1 週間の石川橋における水位情報（国土交通省 川の防災情報：引地川）を図 3.2.3 に示す。なお、石川橋は撮影場所から約 1km 上流の地点である。

台風 14 号の接近・上陸の予報（9/18：関東最接近）に伴い、9 月 13 日に荒天前の撮影、台風 14 号上陸後の 9 月 24 日に荒天後 1 の撮影を実施した。台風 14 号による大雨（海老名：190mm/日、辻堂：103mm/日）の影響により、3.3m（氾濫注意水位：3.60m）まで水位の上昇が確認された。

その後、大きな出水等は観測されていなかったが、発達した寒冷前線による大雨（海老名：72mm/日、辻堂：107mm/日）が 11 月 9 日に観測され、2.77m までの水位の上昇が確認されたため、この出水後の状況として 11 月 15 日に荒天後 2 の撮影を実施した。

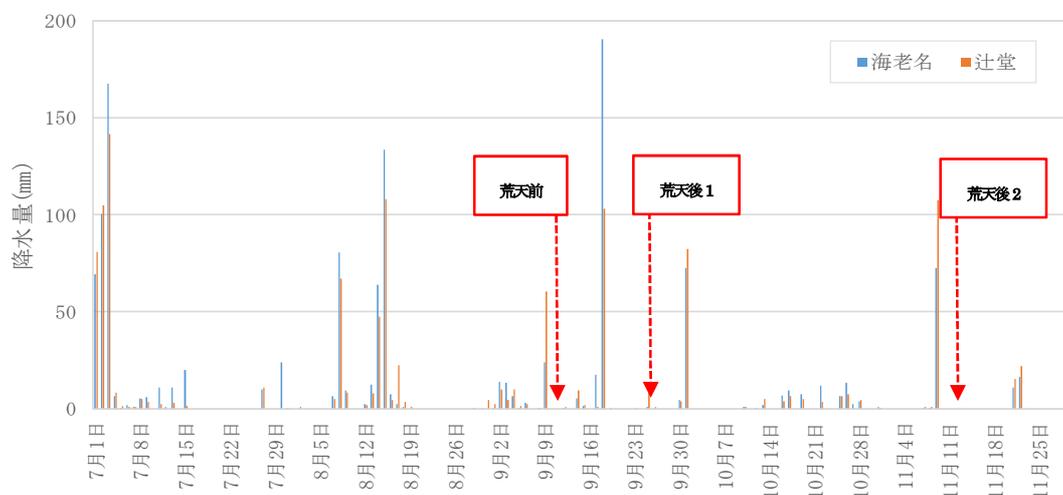


図 3.2.2 調査範囲周辺の降水量（気象庁アメダス；海老名，辻堂）

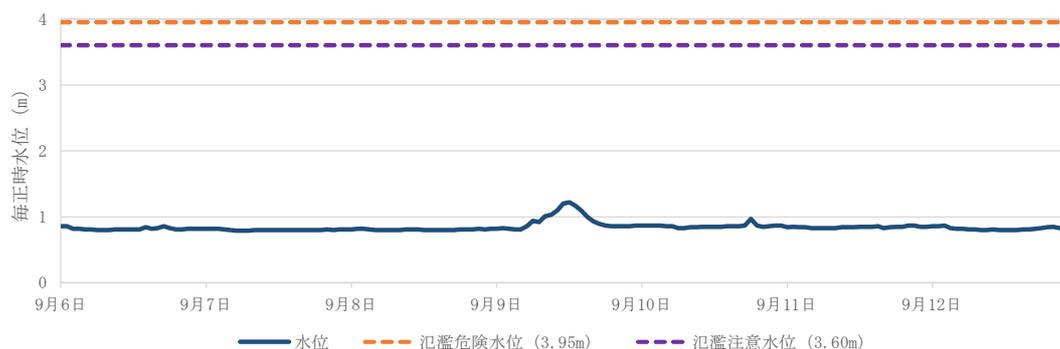


図 3.2.3 (1) 撮影前 1 週間の石川橋における水位情報（荒天前：撮影日 9 月 13 日）

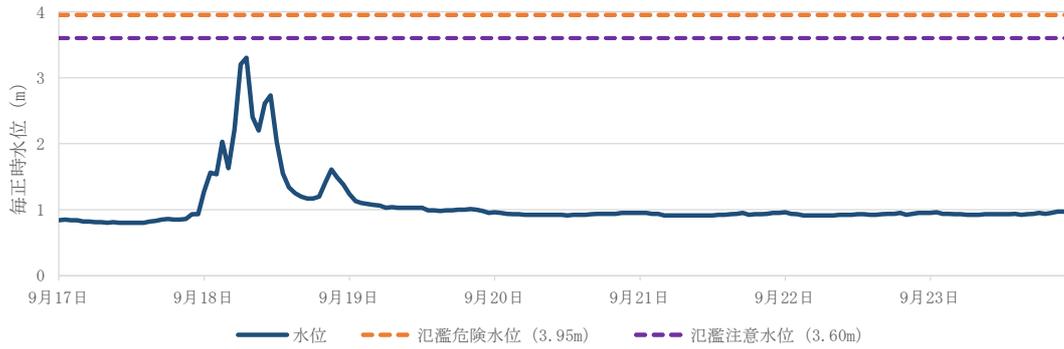


図 3.2.3 (2) 撮影前 1 週間の石川橋における水位情報 (荒天後 1 : 撮影日 9 月 24 日)

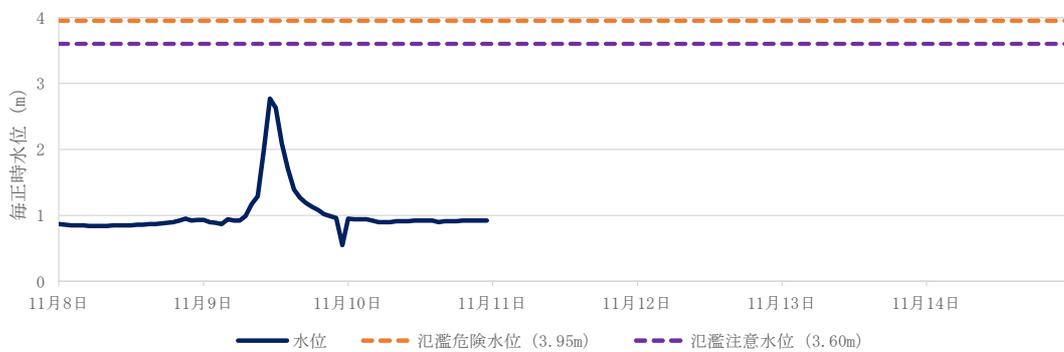


図 3.2.3 (3) 撮影前 1 週間の石川橋における水位情報 (荒天後 2 : 撮影日 11 月 15 日)

### 3. 2. 2. 3 撮影方法

#### (1) 標定点測量

撮影画像に位置情報を付与するために、おおよそ 20m 間隔で標定点を設置し、ネットワーク型 RTK-GPS 測位による標定点測量を実施した。標定点測量の実施状況を図 3.2.4 に示す。



図 3.2.4 標定点測量実施状況 (左図 : 設置した標定点, 右図 : 測量状況)

## (2) UAV 撮影

城下橋（大庭大橋上流側）上から、ドローンの離着陸を行い、撮影を行った。撮影高度別の見え方の違いなどを確認するため、地上高 10m, 20m, 30m の 3 パターンで撮影を行った。また、河川の植生などに引っ掛かるごみ等を確認するために斜め撮影も合わせて行った。ドローンの撮影状況を図 3.2.5 に示した。



図 3.2.5 撮影状況（左図：ドローン離着陸状況，右図：使用機体）

### 3. 2. 3 結果と考察

#### 3. 2. 3. 1 撮影高度による違い

撮影高度別の画像の諸元を表 3.2.2 に、撮影高度別のごみの見え方の違いを表 3.2.3 に示す。なお、画像の諸元の値については、あくまで目安の値となる。

撮影高度 10m と 30m を比較すると、地上解像度で約 3 倍、ファイルサイズでは約 5 倍の違いがあった。

撮影高度別の見え方を比較すると、撮影高度 20m と 30m では見え方の違いが明確ではないが、撮影高度 10m はごみの輪郭がより明確であった。

撮影高度 30m の画像においても、280mL ペットボトル（約 6×13cm）程度の大きさを識別するには充分であるが、より詳細にごみを分類する必要がある場合等は、高度を下げて撮影する必要があると考えられた。

表 3.2.2 撮影高度別の画像の諸元

撮影高度	地上解像度	画像枚数	総ファイルサイズ
10m	1.6mm	430 枚	3.7GB
20m	3.0mm	310 枚	2.7GB
30m	5.0mm	91 枚	0.8GB

表 3.2.3 撮影高度による見え方の違い

		10m	20m	30m
荒 天 後 1	ペ ツ ト ボ ト ル			
	ポ リ 袋 等			
	陶 器 片			

### 3. 2. 3. 2 撮影画像からのごみ判読

ごみの判読・抽出を行うにあたり、まずは作成したオルソ画像を用いてごみの場所を確認した後、主に撮影高度 10m（荒天前撮影時は 20m）のオルソ化前の元画像により、ごみの種別等の詳細を確認した。ごみの詳細を確認した後、GIS 化を行い、「形、種別、大きさ、位置」などを記録した（図 3.2.6）。

判読・抽出したごみの種別は、以下の漂着ごみの分類表（地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン（令和 2 年 6 月 第 2 版 環境省））（図 3.2.7）に準拠して品目の分類を行った。

撮影画像中のごみの判読・抽出は、目視により行った。画像中でのごみの大きさ、形状、色調、質感（表面性状、劣化の状況など）および確認場所（河床や河岸での引っ掛かり方など）などの特徴から、品目の分類を行った。レジ袋や陶器片など、詳細な特徴まで判読できたごみについては、詳細な品目名まで記録した。

各撮影時のごみの分布図を図 3.2.8 に示す。



図 3.2.6 抽出・判読したごみの GIS 化の例

ごみ質調査データカード

調査実施日: 年 月 日 天気: 記入者: 調査区間: 区分:

分類・品目	個数	分類・品目	個数
<b>素材-プラスチック</b> <small>↑正の字を記入</small>		<b>素材-天然繊維・革</b> <small>↑正の字を記入</small>	
ボトルのキャップ、ふた		ロープ・ひも	
ボトル<1L	飲料用(ペットボトル)<1L その他のプラボトル<1L	その他天然繊維・革	
ボトル、ドラム型、燃料用 &バケツ ≥1L	飲料用(ペットボトル)≥1L その他のプラボトル類≥1L	<b>素材-ガラス&amp;陶器</b>	
ストロー、フォーク、ス プーン、マドラー、ナイフ	ストロー、マドラー フォーク、ナイフ、スプーン等	建築資材	
食品容器(ファーストフ ード、カップ、パンボックス& それに類するもの)	カップ、食器 食品容器	食品容器	
ポリ袋(不透明&透 明)	食品の包装・容器 レジ袋 レジ袋(内容物入り)★ その他プラスチック袋	食品以外容器★ コップ、食器★ 電球★ 蛍光管★ ガラス又は陶器の破片(2.5cm以上) その他ガラス&陶器	
ライター		<b>素材-金属</b>	
たばこ吸殻(フィルター)		金属製コップ・食器★	
シリンジ、注射器		フォーク・ナイフ・スプーン等	
生活雑貨(歯ブラシ等)		ビンのふた、キャップ、プルタブ	
ビイ		アルミの飲料缶	
	アナゴ箸(フタ、箸) カキ養殖用まめ管(長さ1.5cm) カキ養殖用パイプ(長さ10-20cm) 釣りのルアー・浮き かご漁具 釣り糸 その他の漁具	スチール製飲料用缶 その他の缶(ガスボンベ、ドラム缶、バケツ等)★ 金属製漁具★ ワイヤー、針金★ 金属片(2.5cm以上)★ その他金属	
ロープ・ひも		<b>素材-紙&amp;ダンボール</b>	
漁網		紙製コップ・食器	
テープ(荷造りバンド、ビニールテープ)		食品包装材	
苗木ポット★		紙製容器(飲料用紙パック等)★	
ウレタン★		タバコのフィルター(フィルム、紙紙を含む)	
プラスチック梱包材		紙袋	
花火		紙袋(内容物入り)★	
玩具		紙片(段ボール、新聞紙等を含む)(2.5cm以上)★	
6パックホルダー		その他紙&ダンボール	
シートや袋の破片(2.5cm以上)		<b>素材-ゴム</b>	
硬質プラスチック破片(2.5cm以上)		靴(サンダル、靴底含む)★	
その他プラスチック		タイヤ	
<b>素材-発泡プラスチック(発泡スチロール)</b>		玩具・ボール	
食品容器(発泡スチロール)		風船	
コップ、食器(発泡スチロール)		<b>素材-木(木材等)</b>	
発泡スチロール製フロート・ブイ		ゴムの破片(2.5cm以上)★ その他ゴム	
発泡スチロール製包装材		木材(物流用パレット、木炭等含む)★ その他木	
発泡スチロールの破片(2.5cm以上)		<b>電化製品&amp;電子機器</b>	
その他発泡スチロール		電化製品&電子機器	
備考欄(各素材の「その他」で品目が特定できるものは、品目名と個数を記載。)		<b>自然物</b>	
		灌木(植物片を含む、径10cm未満、長さ1m未満)★ 流木(径10cm以上、長さ1m以上)★ その他(瓦葺等)★ ※★ICCデータカード海版にない品目	

(本分類表は「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン(環境省 第2版)」に準拠)

図3.2.7 漂着ごみの分類表

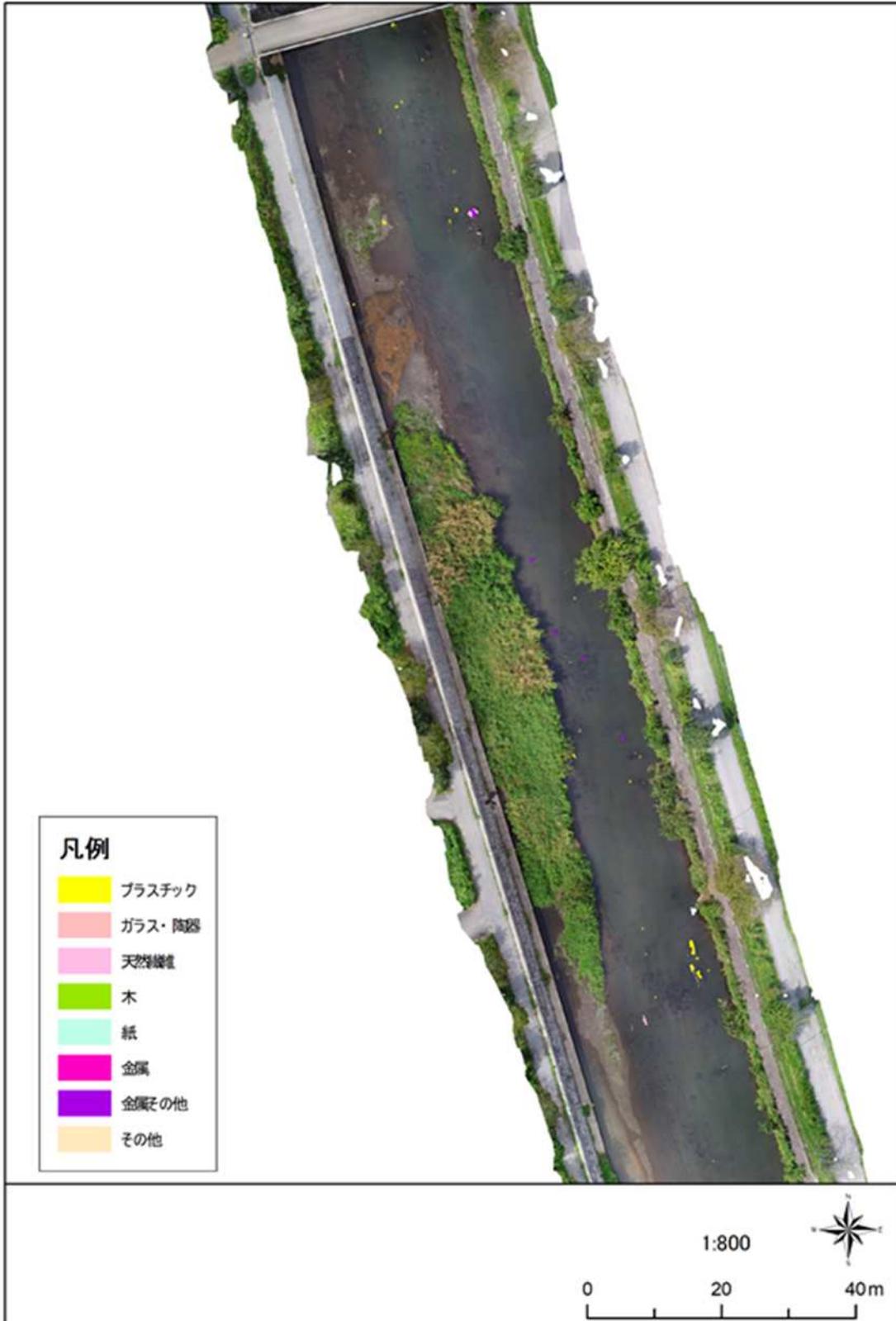


図 3.2.8 (1) 荒天前のごみの分布図

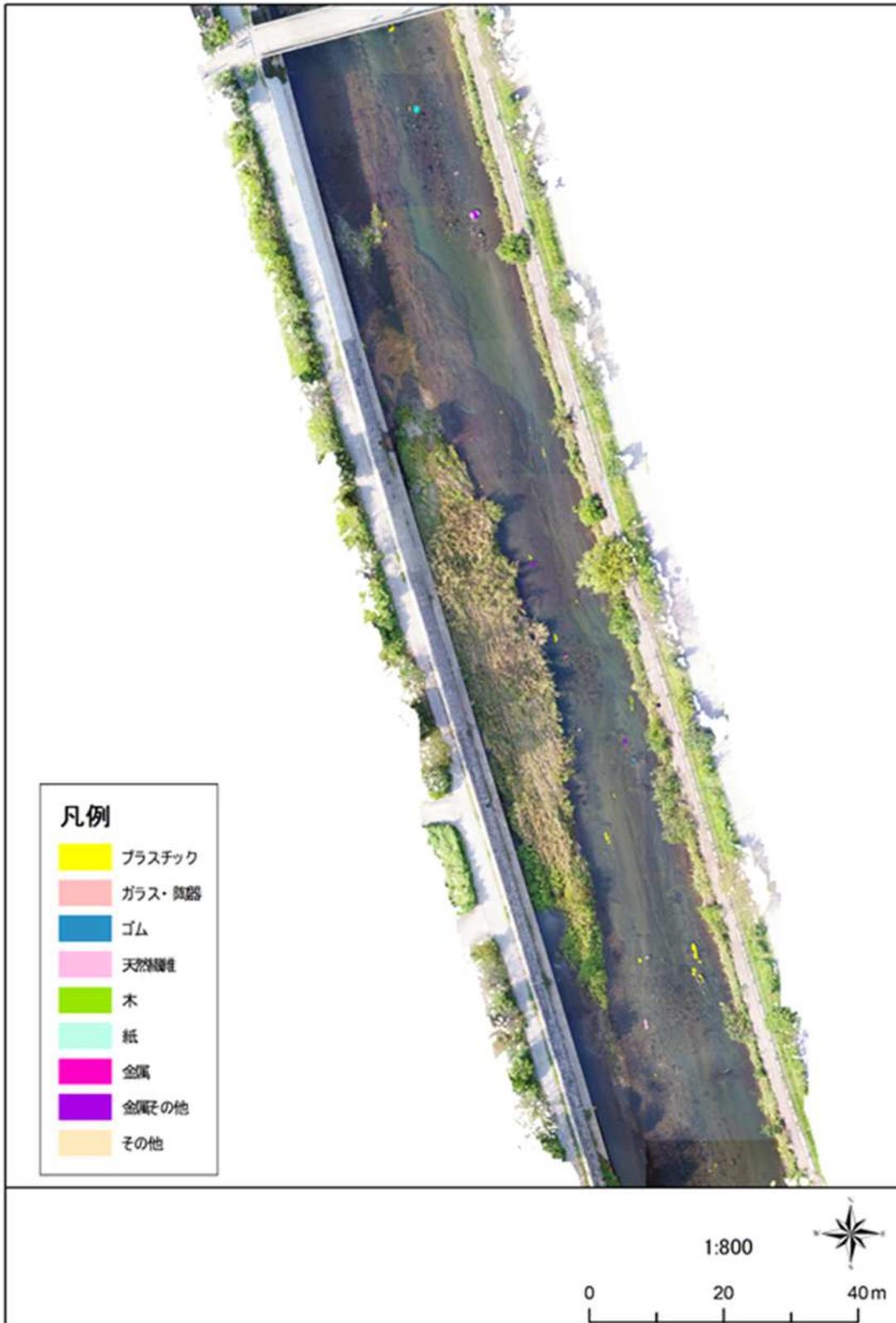


図 3.2.8 (2) 荒天後 1 のごみの分布図

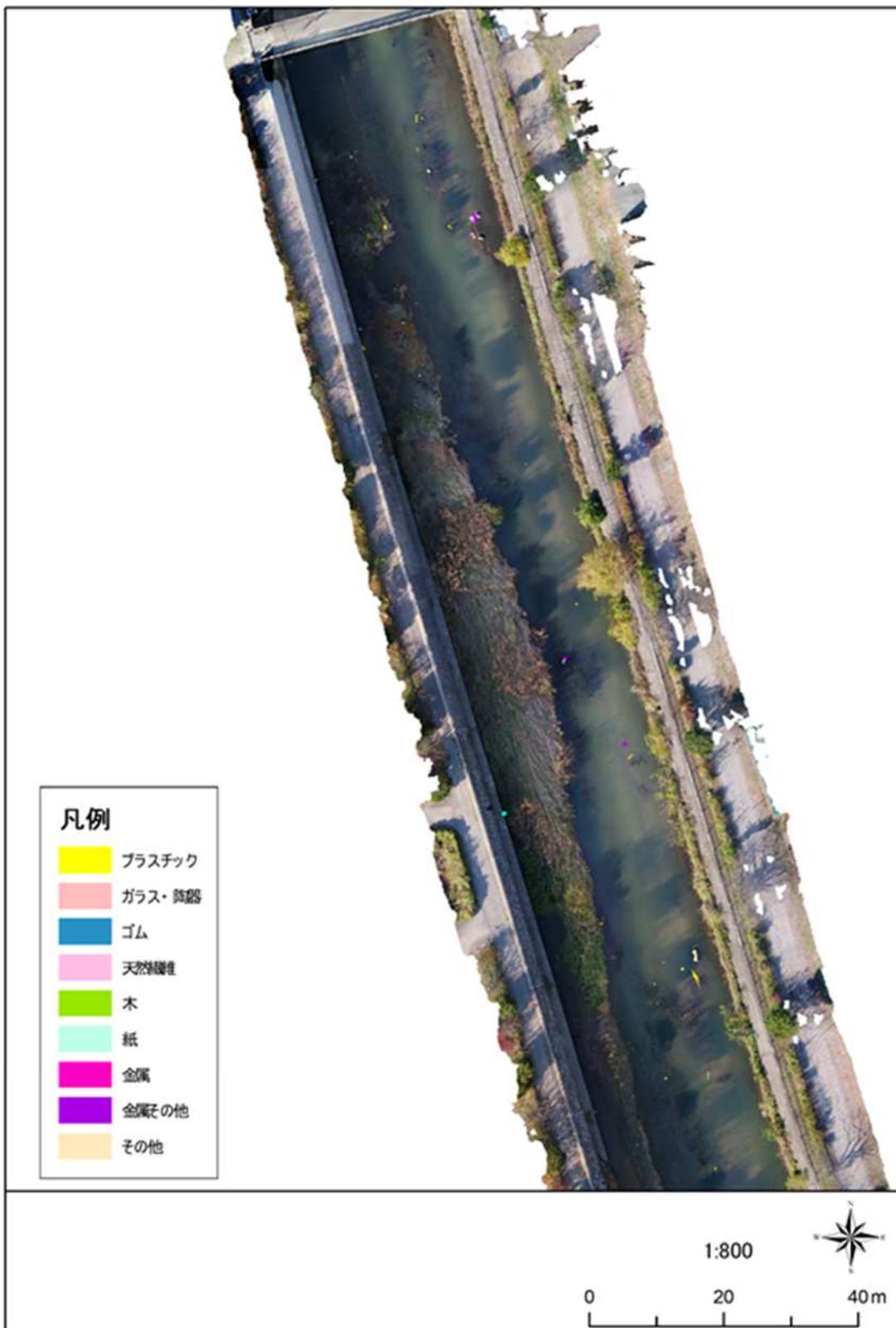


図 3.2.8 (3) 荒天後 2 のごみの分布図

### 3. 2. 3. 3 河道内におけるごみの状況

河道内において確認されたごみの概要を図 3.2.9 及び表 3.2.4 に、分類群ごとのごみの個数・面積を図 3.2.10 に示す。

荒天前撮影時は、合計 66 個のごみが確認され、その合計面積は 85,436cm<sup>2</sup>であった。ごみの内訳は、「プラスチック」が個数 (40 個 : 61%) 及び面積 (43,189.6cm<sup>2</sup> : 51%) 共に一番多く、自転車等の「金属その他」や布片や毛布等の「天然繊維」が多く確認された。

荒天後 1 撮影時は、合計 197 個のごみが確認され、その合計面積は 124,963.1cm<sup>2</sup>であった。ごみの内訳は、「プラスチック」が個数 (101 個 : 51%) 及び面積 (62,861.1.6cm<sup>2</sup> : 50%) 共に一番多かった。その他、陶器片などの「ガラス・陶器」が 50 個見つかり、全体の 25%を占めているが、面積としては全体の 3%に満たない。

荒天後 2 撮影時は、合計 108 個のごみが確認され、その合計面積は 75,542.4cm<sup>2</sup>であった。ごみの内訳は、「プラスチック」が個数 (78 個 : 72%) 及び面積 (36,319.2cm<sup>2</sup> : 42%) 共に一番多く、その他のごみは個数及び面積ともに、割合が 20%以下であった。

荒天前、荒天後共に、ポリ袋等・レジ袋・食品包装容器・ペットボトルなどの「プラスチック」が最も多く確認され、その他、自転車・飲料缶等の「金属」・「金属その他」、陶器片等の「ガラス・陶器」が多く確認された。

荒天後 1 撮影時は荒天前撮影時と比べて、ごみの個数は 3 倍、面積については 1.5 倍程に増加していた。一方、荒天後 2 撮影時はごみの個数・面積共に荒天後 1 撮影時と比べて半分程度に減少していた。これは、台風 14 号による被害により多くのごみが河川に流入し、その後の出水によってごみがより下流に流されたことが要因の一つと考えられる。但し、荒天後 1 撮影時が最も河川の濁りのない画像である等、濁りの状況による判読の誤差も考慮する必要がある。

各撮影時とも、ごみの個数・面積共に「プラスチック」が最も多い結果となった。それ以外は、数は多いが一つ一つは小さい陶器片などの「ガラス・陶器」、金属棒などの「金属」が個数としては多く、一つ一つが大きい布片や毛布等の「天然繊維」、自転車等の「金属その他」が面積としては大きかった。

	
<p>プラスチック：ペットボトル</p>	<p>プラスチック：ペットボトル</p>
	
<p>プラスチック：食品容器</p>	<p>プラスチック：レジ袋</p>
	
<p>プラスチック：ポリ袋等</p>	<p>プラスチック：プラスチック片</p>
	
<p>金属その他：三輪車</p>	<p>ガラス・陶器：陶器片</p>

図 3. 2. 9 (1) 代表的なごみの画像 (荒天後1撮影時)

	
プラスチック：ペットボトル	プラスチック：包装袋
	
プラスチック：ポリ袋等	プラスチック：ポリ袋等
	
プラスチック：ポリ袋等	プラスチック：その他
	
プラスチック：ポリ袋等	プラスチック：食品トレイ、金属：飲料缶

図 3. 2. 9 (2) 代表的なごみの画像 (荒天後 2 撮影時)

表 3.2.4 河道内において確認されたごみの概要

分類	荒天前 (9/13)		荒天後1 (9/24)		荒天後2 (11/15)	
	個数	面積 (cm <sup>2</sup> )	個数	面積 (cm <sup>2</sup> )	個数	面積 (cm <sup>2</sup> )
木	1 (2)	1112 (1)	2 (1)	1308.4 (1)	1 (1)	752.1 (1)
ガラス・陶器	5 (8)	541.6 (1)	50 (25)	3629.4 (3)	7 (6)	646.2 (1)
ゴム	-	-	3 (2)	4387.6 (4)	1 (1)	1117.7 (1)
プラスチック	40 (61)	43189.6 (51)	101 (51)	62816.1 (50)	78 (72)	31369.2 (42)
金属	4 (6)	1659.7 (2)	17 (9)	6336.1 (5)	5 (5)	1827.9 (2)
金属その他	5 (8)	17298.8 (20)	5 (3)	14533.5 (12)	3 (3)	12824.1 (17)
紙	3 (5)	328.2 (0)	3 (2)	350 (0)	1 (1)	24.8 (0)
天然繊維	4 (6)	16949.5 (20)	6 (3)	20790.1 (17)	1 (1)	11451.2 (15)
発泡スチロール	-	-	-	-	1 (1)	230.5 (0)
その他	4 (6)	4357.4 (5)	10 (5)	10811.9 (9)	10 (9)	15298.7 (20)
合計	66	85436.8	197	124963.1	108	75542.4

※ 括弧内の数字は、それぞれの割合を示す。

※ 括弧内の数字が 0 場合は、その割合が 1%未満である。

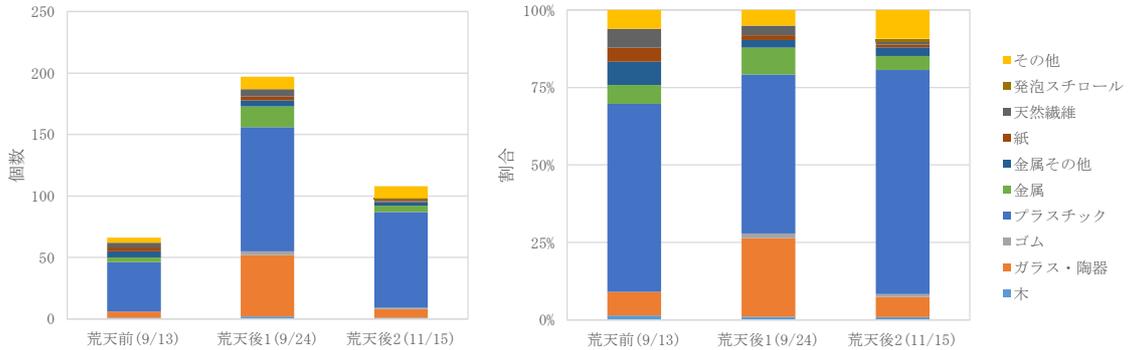


図 3.2.10 (1) 河道内における分類群ごとのごみの個数 (左図：個数、右図：割合)

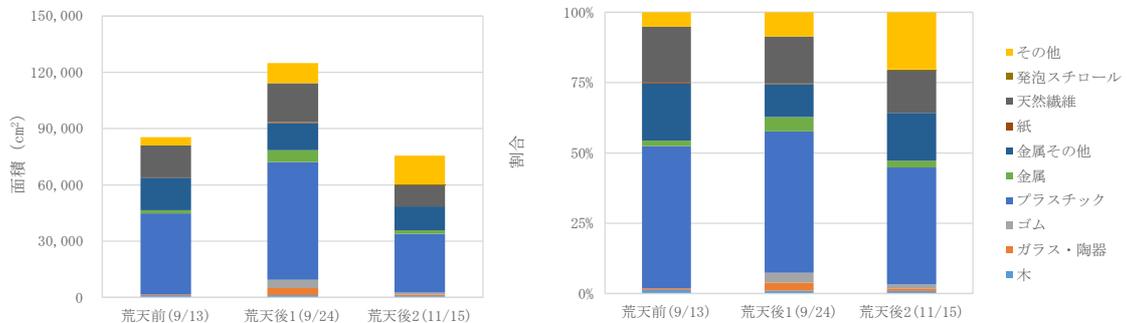


図 3.2.10 (2) 河道内における分類群ごとのごみの面積 (左図：面積、右図：割合)

### 3. 2. 3. 4 河道内における確認位置ごとのごみの状況

河道内における確認位置ごとのごみの個数について、表 3.2.5 及び図 3.2.11 に示す。

水中の河床上で確認されたごみは、各撮影時でそれぞれ全体の 50%（荒天前：33/66）、57%（荒天後 1：113/197）、34%（荒天後 2：37/108）であった。確認されたごみの内訳は河道全体の傾向（図 3.2.10）と同様であった。

水中に引っ掛かっていることが確認されたごみは、各撮影時でそれぞれ全体の 23%（荒天前：15/66）、15%（荒天後 1：30/197）、9%（荒天後 2：10/108）であった。確認されたごみの内訳は「プラスチック」と毛布等の「天然繊維」のみであり、「プラスチック」が半分以上を占めていた。

水中以外の河岸・中洲上で確認されたごみは、各撮影時でそれぞれ全体の 5%（荒天前：3/66）、8%（荒天後 1：15/197）、31%（荒天後 2：33/108）であった。確認されたごみの内訳は「プラスチック」がほとんどを占めていた。

水中以外の河岸・中洲上に引っ掛かっていることが確認されたごみは、各撮影時でそれぞれ全体の 23%（荒天前：15/66）、20%（荒天後 1：39/197）、26%（荒天後 2：28/108）であった。確認されたごみの内訳は「プラスチック」が 80%以上を占めていた。

水中の河床上のごみは、その他の確認位置のごみと比べて最も割合が多く、ごみの分類群ごとの割合も河道内全体と同様の傾向であるため、水中の河床上のごみが河道内の全体的な傾向を決めていると考えられた。また、中洲・河岸内の中洲河岸上の確認されたごみの個数が撮影を重ねるごとに増加しているが、これは、出水の影響により河岸の植生等にプラスチック等が引っ掛かったこと、及び季節の移り変わりによって植生が減少し、画像上で確認しやすくなったことの両方が原因と考えられた。

以上のことから、荒天前後のドローン撮影により、河川内、河岸あるいは中洲などに残っているプラスチックごみの状況を把握することが出来た。調査の目的に応じて具体的な撮影方法は変わる可能性があるものの、プラスチックごみの排出状況を確認する 1 つの手段として、今後も積極的かつ効果的に活用していく必要があると考えられた。

表 3.2.5 (1) 確認位置ごとのごみの個数 (水中)

分類	荒天前(9/13)		荒天后1(9/24)		荒天后2(11/15)	
	河床上	引っ掛かり	河床上	引っ掛かり	河床上	引っ掛かり
木	1	-	-	-	-	-
ガラス・陶器	5	-	49	-	7	-
ゴム	-	-	3	-	-	-
プラスチック	15	10	30	24	18	6
金属	4	-	17	-	3	-
金属その他	5	-	4	-	3	-
紙	-	-	-	-	-	-
天然繊維	1	3	1	5	-	1
発泡スチロール	-	-	-	-	-	-
その他	2	2	9	1	6	3
合計	33	15	113	30	37	10

※ 「河床上」は、河床上に埋まっているもしくは落ちているごみであり、「引っ掛かり」は、水中の障害物に引っ掛かっているものを指す

表 3.2.5 (2) 確認位置ごとのごみの個数 (河岸・中洲内)

分類	荒天前(9/13)		荒天后1(9/24)		荒天后2(11/15)	
	河岸・中洲上	引っ掛かり	河岸・中洲上	引っ掛かり	河岸・中洲上	引っ掛かり
木	-	-	2	-	1	1
ガラス・陶器	-	-	1	-	-	-
ゴム	-	-	-	-	1	-
プラスチック	1	14	10	37	29	26
金属	-	-	-	-	2	-
金属その他	-	-	1	-	-	-
紙	2	1	1	2	-	1
天然繊維	-	-	-	-	-	-
発泡スチロール	-	-	-	-	1	-
その他	-	-	-	-	1	-
合計	3	15	15	39	33	28

※ 「河岸・中洲上」は、水中以外で落ちているごみであり、「引っ掛かり」は、河岸の植生などに引っ掛かっているものを指す

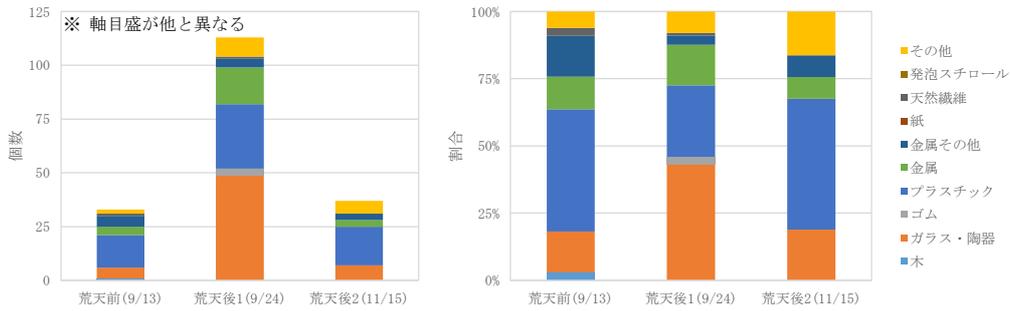


図 3.2.11 (1) 確認位置ごとのごみの個数 (水中：河床上)

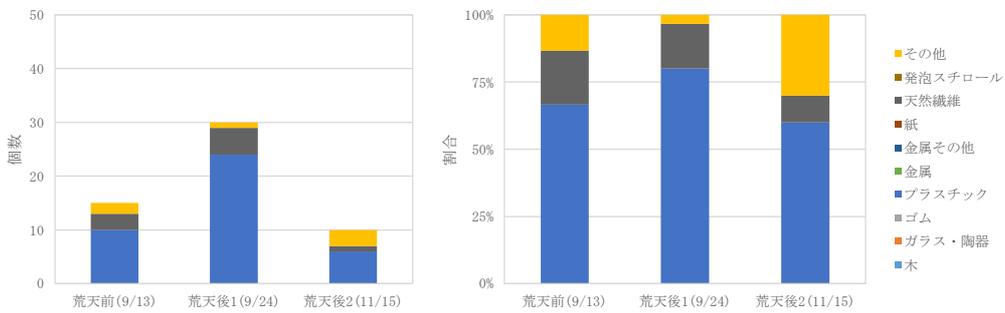


図 3.2.11 (2) 確認位置ごとのごみの個数 (水中：引っ掛かり)

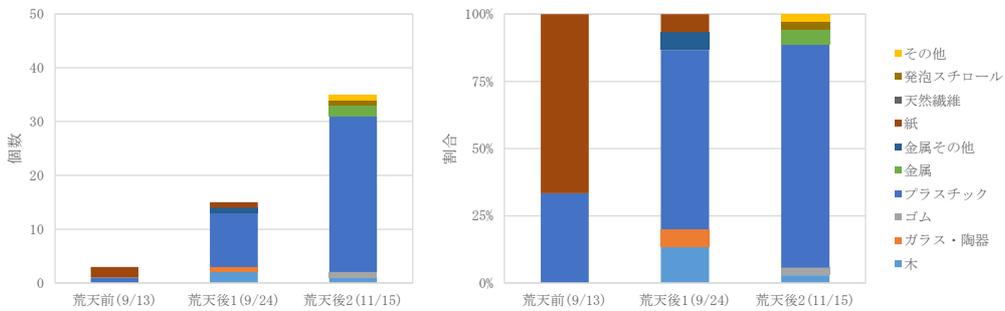


図 3.2.11 (3) 確認位置ごとのごみの個数 (河岸・中洲内：河岸・中洲上)

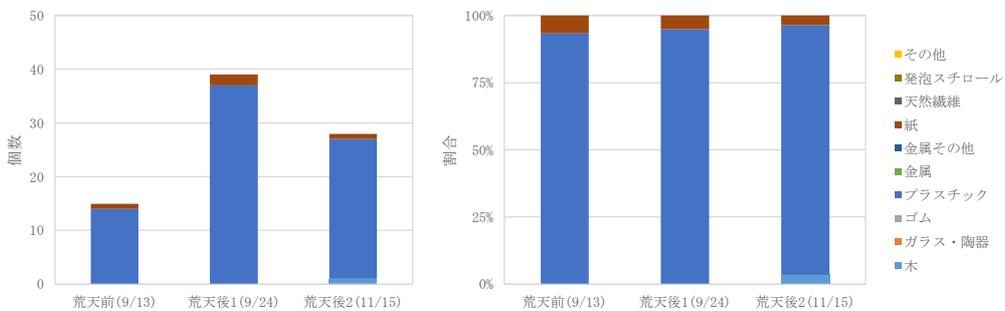


図 3.2.11 (4) 確認位置ごとのごみの個数 (河岸・中洲内：引っ掛かり)

### 3. 2. 4 参考文献

- 1) 片岡智哉, 吉田拓司, 竹中颯志, 太田 洸, 二瓶泰雄, 加古真一郎, 松岡大祐 : 深層学習を用いた河川浮遊プラスチック輸送量計測手法の開発, 令和3年度海洋プラスチックごみ学術シンポジウム, 2022年3月
- 2) 令和3年度 成果展開型研究「相模湾沿岸漂着マイクロプラスチックの発生源解明」における川岸散乱人工ごみ調査業務委託報告書, 株式会社パスコ

(担当 : 代田, 坂本)

#### 4. MPの発生源に関する調査

##### 4. 1 相模湾西部沿岸で採取した被覆肥料に関する発生源調査

本稿は、4. 1. 1を除き、“相模湾西部沿岸で採取した特徴的な形態を有するマイクロプラスチック（MP）の発生源調査”（全国環境研会誌, vol.46 No.2, 17-21 (2021)）をもとに再構成したものである。

県西部の山王網一色海岸には、形が特徴的な中空球状のMP（図4.1.1）が、他と比較して多量に漂着していることが確認されている<sup>1)</sup>。由来がわからないMPがほとんどである中、神奈川県農業技術センターの協力により、これが樹脂系被覆肥料の殻（以降「肥料殻」という）であり、しかも、県内ではそのほとんどが水稻栽培で使用されていることが判明した。さらに、山王網一色海岸においては、そこに流れ込む酒匂川がその流出経路であると推察された<sup>2)</sup>。特徴的なMPは比較的その発生源が特定しやすく、発生源対策を講じることができれば、環境中への流出も抑制することができる。そこで、この肥料殻の発生源及び環境中へ流出する原因について調査を実施した。



図4.1.1 中空球状のMP

##### 4. 1. 1 被覆肥料の特徴

###### 4. 1. 1. 1 被覆肥料とは

被覆肥料とは、表面を樹脂の膜などでコーティングし、土壌中で肥料成分の溶出を調整する肥料のことである。作物が必要とする時期に肥料成分が溶け出すため、環境負荷の低減が図られ、施肥等が不要になることで省力化にも結び付くと言われている。肥料の溶出の仕組みを図4.1.2に示す。

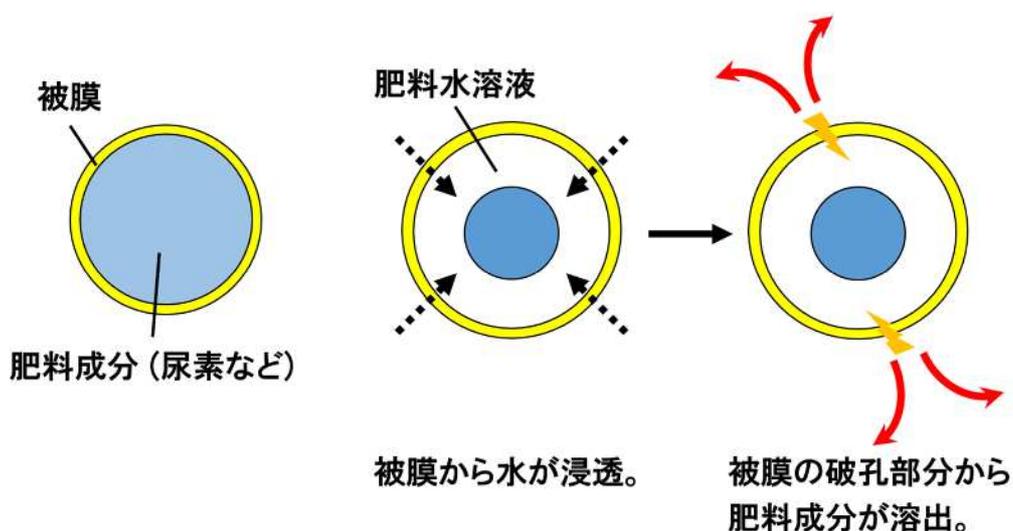


図4.1.2 被覆肥料からの肥料溶出の仕組み

#### 4. 1. 1. 2 メーカーからの報告

神奈川県では、この被覆肥料由来MPに関して、環境部と農政部が情報交換しながら対応策の検討を進めている。令和元年12月に肥料メーカーから聞き取りを行った結果は、次のとおりであった。

- 被覆肥料の被膜の崩壊は、被膜に紫外線が当たることにより樹脂部分が反応し、高分子の切断作用が繰り返され、細片化された皮膜は、微生物により徐々に分解されていくことにより進行する。
- 日本肥料アンモニア協会・全国複合肥料工業会では、プラスチック含有被覆材を環境中に排出しないため、①肥料袋へ注意書きの記載・チラシの配布、②分解性のある素材への転換を図っている。さらに一層の取り組みとして、③農家だけでなく、流通と農家の協力を深め、継続して流出防止強化徹底を図る、④環境中での分解性についてさらなる向上を目指し、被覆樹脂使用量の削減に向けた技術開発を継続して進める、⑤他の機能性肥料の活用場面の拡大などを推進することとしている。
- 肥料メーカーでは、同工業会の取組を踏まえ、長年各種樹脂の検討及び樹脂量削減の検討を実施している。同社の被覆肥料商品は、1980年代から製造を開始している。ポリオレフィン樹脂ベースの被膜に、生分解性資材の添加及び薄膜化により、被膜内の樹脂割合は、当初の50から40%へ削減している。残りは無機フィラーである。
- 同社の新しい商品は、さらに崩壊が早く、指でつかむ程度の軽微な力で崩壊する。圃場試験の結果では、1年後の被覆殻浮上率が従来品より少なくなり、流出しにくいものになっている。

#### 4. 1. 2 調査方法

##### 4. 1. 2. 1 調査地点

小田原市を流れる酒匂川の右岸に位置する山王網一色海岸において、春季に肥料殻の大量漂着を確認したため、圃場から流出した肥料殻がその排水路あるいは河川を流下した後、海岸まで到達して漂着するものと想定した。そこで、海岸から遡って調査することとし、山王網一色海岸、海岸にそそぐ酒匂川、酒匂川支流、圃場排水路及び圃場の各地点での流出・流下状況を調査した(図4.1.3)。

##### 4. 1. 2. 2 試料採取方法及び時期

試料採取については、圃場からの排水を伴う作業の際に肥料殻が流出すると想定し、これに該当する作業である代掻き、中干及び落水の際に、流出・流下状況を把握することとした。まず代掻きとは、田植えの準備のため、耕うんした田に水をはり、土を碎き均し、その後水を排出する作業であるが、この際圃場内に残っていたもみ殻及び枯れ枝が、水と同時に圃場から排出される。次に中干とは、一般的には梅雨の時期に灌水を中止して排水し、適度に圃場を乾かす作業をいい、茎数が過多になるのを防ぎ、有害物質の発生を防ぐことで根を活性化させるな

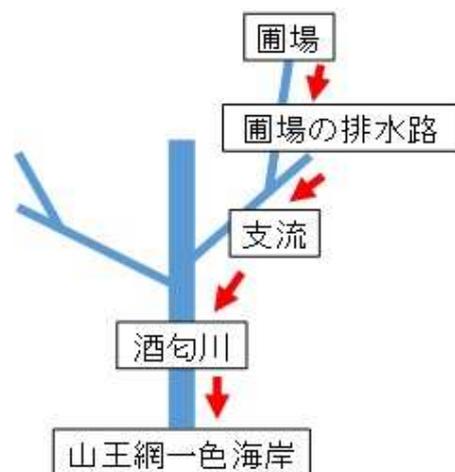


図4.1.3 海岸までの流下経路

どの効果がある。最後に落水とは、稲刈りの約 10 日前に水を抜き、稲の登熟を完了させる作業をいう。

対象とした圃場について、これらの作業を行う時期を聞き取り、代掻きとその後の調査を 2020 年 5 月 13, 14, 19 日, 6 月 9 日に、中干時の調査を 7 月 3, 15, 20 日に、落水時の調査を 9 月 4, 15 日に行った。

流出・流下した肥料殻の把握は各地点の状況に合わせて行った。圃場排水路においては、排水路への付着状況を目視したほか、角型のも網（横幅 34cm, 2mm メッシュ）を水面から深さ 6cm まで、排水中に 2 分間入れ、流下する肥料殻を採取した。

酒匂川支流及び酒匂川においては、護岸等への付着状況を目視したほか、工藤らの方法<sup>3)</sup>に準じ、プランクトンネットを用いて流下する河川水を定位置で通水し、水中に浮遊する MP を採取する方法を用いた。図 4.1.4 に示した、ろ水計 (General Oceanics 社, GO-2030R 型) を取り付けたプランクトンネット (株離合社, Cat. No.5511 北原式表面プランクトンネット) を、上部が水面と同程度の高さになるように沈めて保持し、5 分間通水させた。通水後、ネット内に捕集されたものを篩 (0.3mm メッシュ) にあけ、肥料殻が含まれていた場合、その個数を計り、1 m<sup>3</sup>あたりの流下量を推算した。

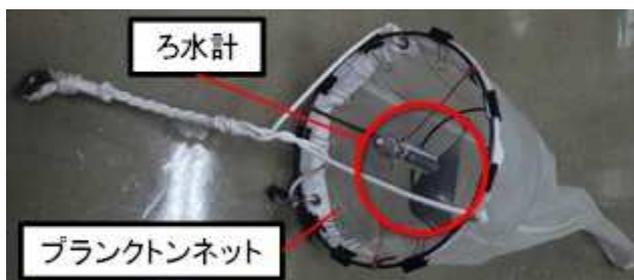


図 4.1.4 ろ水計を付けたプランクトンネット

山王網一色海岸においては、これまでの海岸漂着調査と同様、満潮線上で任意の 2 か所を選定し、40cm 四方 (図 4.1.5)、地表から 3cm を砂や枯れ枝ごとステンレススコップで削り取り、篩分 (4.75mm メッシュ) した。篩を通過したものを改めて篩分 (2mm メッシュ) し、篩上に残ったものから肥料殻を選別して計数した。その後、1 m<sup>2</sup>あたりの個数を推算した。



図 4.1.5 満潮線と採取区分

#### 4. 1. 3 結果と考察

##### 4. 1. 3. 1 代掻き時

代掻きの際、圃場の出口から圃場排水路までを目視確認したところ、圃場から 1 分間あたり数百個程度の多量の排出が認められ、また排水路には肥料殻が多量に浮いており、壁にも付着していた (図 4.1.6)。酒匂川支流においては、1 m<sup>3</sup>あたり 5 月 13 日に 3.2 個, 14 日に 1 個の流下があった。酒匂川においては、5 月 14 日に 1 m<sup>3</sup>あたり 0.1 個が流下し、河川の護岸あるいはブロックに肥料殻、もみ殻が多量に付着・漂着していた (図 4.1.7)。



図 4.1.6 排水路の壁に付着する肥料殻

山王網一色海岸においては、1 m<sup>2</sup>あたり 5 月 14 日には 22 個, 19 日には 25 個, 6 月 9 日には

143.8 個の漂着を確認した。

#### 4. 1. 3. 2 中干し時

圃場の出口から圃場排水路までを目視確認したところ、圃場出口からの流出を確認したものの、代掻きと比較すると非常に少ない様子であった。酒匂川支流においては、1m<sup>3</sup>あたり7月3日には0個（確認できず）、7月15日には0.2個、7月20日には0.1個の流下があった。酒匂川においては、7月3日及び15日は増水のため調査できなかったが、河川の護岸に肥料殻及びもみ殻が多量に付着



図 4.1.7 護岸に付着した肥料殻、もみ殻

していた。7月20日には1m<sup>3</sup>あたり0.1個の流下があった。山王網一色海岸においては、1m<sup>2</sup>あたり7月3日には553.1個、15日には37.5個、20日には120.8個の漂着を確認した。

#### 4. 1. 3. 3 落水時

圃場の出口から圃場排水路までを目視確認したところ、圃場出口からの流出を確認したものの、代掻きと比較すると非常に少なく、中干よりもさらに少ない結果であった。酒匂川支流においては、1m<sup>3</sup>あたり9月4日には0個（確認できず）、9月15日には0.1個の流下があった。酒匂川においては、1m<sup>3</sup>あたり9月15日に0.1個の流下があった。山王網一色海岸においては、1m<sup>2</sup>あたり9月15日に85.9個の漂着を確認した。

以上の結果をまとめると、代掻きから落水までの各地点での確認状況は表4.1.1、4.1.2のとおりとなった。

代掻きと比較して排出が少なかった中干及び落水の後においても、海岸には多量に漂着していることを確認した。

まず、圃場からの流出についてであるが、代掻きは田植えの前、前年から残ったもみ殻などを取り除く目的もあるため、非常に多くのものが圃場から流出し、それに合わせて肥料殻も流出してしまうことを確認した。肥料殻は中空球状であり、水に浮くため、一度土中から出てしまうと、ほとんどが代掻きによって排水とともに流出してしまうと考えられた。

そのため、浮いた肥料殻の回収、あるいは代掻き時の水量調整で流出を水尻で食い止めること、また殻の紫外線による分解を促進することなどが流出防止策として有効と考えられた。ただし、回収する方法を採った場合、回収するための網の目詰まりによる作業中断あるいは回収作業そのものの手間が生じ、施肥回数が少ない、つまり栽培工程の作業が少なく済むという被覆肥料のメリットが薄らぐ可能性がある。最終的な流出防止のためには、代掻き作業そのものの方法を含む抜本的な方法の変更が必要と考えられた。

表4.1.1 代掻き時の確認状況

	代掻き			
	5月		6月	
	13日	14日	19日	9日
排水路	多量	多量	-	-
支流	3.2	1	-	-
酒匂川	-	0.1	-	-
海岸	-	22	25	143.8

※単位 海岸:個/m<sup>2</sup> 川:個/m<sup>3</sup> 排水路:個

一方、中干あるいは落水では流出は見られないか、もしくは代掻きの際と比較して非常に少ない結果であった。これらには代掻きのような土を掻き混ぜる作業がなく、土中の殻が流出することがない、つまり表面にあったものが浮き、越流水の流れに乗った場合のみ流出するためと考えられた。こちらは流出量が少ないことから、例えば圃場出口に網を置いて回収するといった方法でも、代掻き時に行うよりは負担が少ない可能性がある。

次に海岸での漂着状況であるが、代掻き後に多量に漂着するのは、圃場での流出状況をみれば想定どおりであるが、中干や落水後も多量の漂着が見られた。代掻き、中干及び落水それぞれのタイミングでの流出個数を正確に把握するのが難しいため、おおよその結果であるが、中干及び落水の流出量が代掻きと比較して非常に少ないことを考えると、海岸で確認したもののほとんどは代掻きにより流出したと推測された。ほとんど流出のない中干や落水時にも、代掻きの数日後に近い量が確認されているのは、ひとつは河川の護岸等に付着していたものが時間を経て漂着したことが考えられる。代掻きは概ね5月に行われるが、その後梅雨などの出水期を経るため、それにより付着分が徐々に海岸に漂着しているものと考えられた(図4.1.8)。その一方、圃場表面にあったものが増水時に流出した可能性も考えられた。代掻きで流出しきれなかったものあるいは、田植え作業などにより新たに土中から浮上した殻があると考えられ、それらが降雨等による増水があった際、越流に乗って流出した可能性がある。

以上、被覆肥料の被膜殻と考えられるMPが、水稻栽培の圃場から流出し、河川を通じて海岸まで漂着することを確認した。そのほとんどが水稻栽培の一工程である代掻きの際の流出と考えられ、その他の工程で

は、代掻きと比較するとわずかであった。海岸への漂着量は、多量に流出する代掻きの後だけでなく、他の時期でも比較的多く漂着することが新たに判明した。一度流出すると河川から回収するのは難しいため、流出を未然に防止するには、圃場からの流出直前の回収あるいは圃場における肥料殻の分解を促進するような作業の追加が必要と考えられた。

#### 4. 1. 4 参考文献

- 1) 池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海, 難波あゆみ, 小林幸文: 相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性, 神奈川県環境科学センター研究報告, 41, 1-10 (2018)
- 2) 池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海: 相模湾沿岸におけるマイクロプラスチックの漂着の特徴, 用水

表 4.1.2 中干, 落水時の確認状況

	中干			落水	
	7月			9月	
	3日	15日	20日	4日	15日
排水路	数個	2	0	0	1
支流	0	0.2	0.1	0	0.1
酒匂川	-	-	0.1	-	0.1
海岸	553.1	37.5	120.8	-	85.9

※単位 海岸:個/m<sup>2</sup> 川:個/m<sup>3</sup> 排水路:個

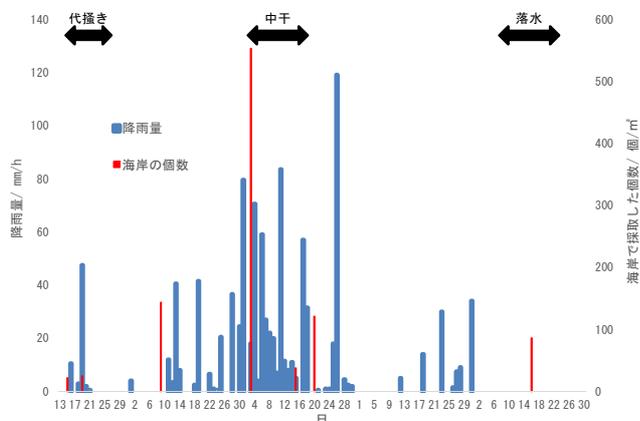


図 4.1.8 南足柄市の降雨量と海岸での漂着個数

と廃水, 62(2), 147-154 (2020)

- 3) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 日向博文, 島崎穂波, 馬場大樹: 日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 73,I1225-I1230 (2017)

(担当: 菊池, 坂本)

#### 4. 2 用途地域ごとの道路堆積物中プラスチック片量の比較

本稿は,”流域～河川～海岸におけるプラスチック片堆積状況の比較解析の試み～神奈川県引地川流域を例に～”(水環境学会誌 Vol.45, No.1, 11-19 (2022)) をもとに再構成したものである。

本研究では, 流域～河川～海岸にわたる MP の動態解明の一環として, 相模湾に流入する主要河川の一つである引地川流域を

対象として, 流域(路面)と河川, 海岸の MP 堆積状況を比較解析することを目的とした。流域では, 市街化区域(商業・住居・工業地域)及び市街化調整区域(水田地域)の道路における MP 堆積調査を行い, 用途地域間の MP 存在量や材質, サイズの違いについて比較した。また, これまでの海岸<sup>1)</sup>と河川<sup>2)</sup>の調査結果とあわせて, 流域・河川・海岸における MP 堆積状況の特徴を考察した。

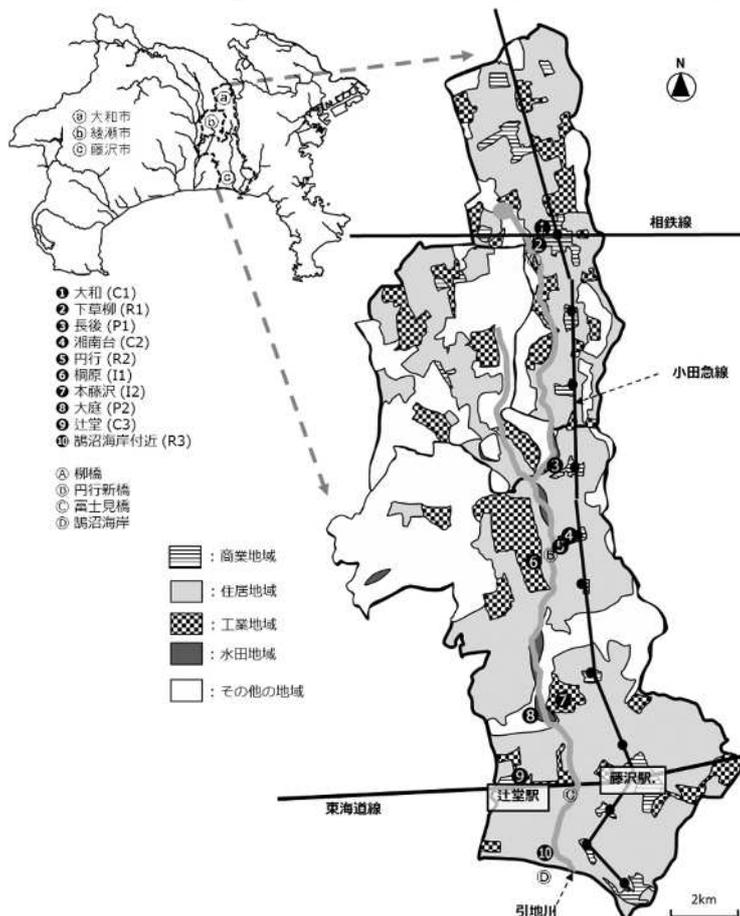


図 4. 2. 1 調査地点

##### 4. 2. 1 調査地域

調査地域を図 4.2.1 に示す。商業地域 (Stn.C1 (大和), Stn.C2 (湘南台), Stn.C3 (辻堂)), 住居地域 (Stn.R1 (下草柳), Stn.R2 (円行), Stn.R3 (鵜沼海岸付近)), 工業地域 (Stn.I1 (桐原), Stn.I2 (本藤沢)) 及び水田地域 (Stn.P1 (長後), Stn.P2 (大庭)) の計 10 の地域, 各地域で 5 地点, 合計 50 地点にて調査を行った。各調査地域の調査日時等を表 4.2.1 に示す。

各地域の採取地点については, 海岸漂着物の場合, MP を含む漂着物が多い部分を採取する方が, 平均的に地点を採取するよりばらつきの少ない結果が得られた<sup>1)</sup>ことから, 本研究においても同様の考え方で, 各調査地域で目視

表 4. 2. 1 各調査地域の調査日時

用途地域	Stn.地域	2019年2-3月	2019年9月	2019年11月	2020年1月
商業地域	C1 大和	3月19日		11月5日	
	C2 湘南台	2月22日	9月2日	11月18日	1月14日
	C3 辻堂	2月27日		11月12日	
住居地域	R1 下草柳	3月19日		11月5日	
	R2 円行	2月22日	9月2日	11月18日	1月14日
	R3 鵜沼海岸付近	2月27日		11月12日	
工業地域	I1 桐原	2月22日	9月2日	11月18日	1月14日
	I2 本藤沢	2月27日		11月7日	
水田地域	P1 長後	3月19日		11月5日	
	P2 大庭	2月27日	9月2日	11月7日	1月14日
各地域の採取地点数		5	2	2	2
合計採取地点数		50	8	20	8

によるプラスチック片等のごみの集積度の高い地点を採取し、地域を代表する最大ベースの結果により評価した。

#### 4. 2. 2 調査方法

##### 4. 2. 2. 1 採取方法

採取場所は、道路の中でも堆積量が最も大きい路肩<sup>3)</sup>を対象とした。

各地点の路肩では、2m×0.2m (=0.4m<sup>2</sup>) の範囲にて堆積している塵埃を採取した。コンタミネーション防止のため、採取用具として黒シダ製ホウキ及びボタン製チリトリを使用し、エリア毎に採取用具を交換した。

##### 4. 2. 2. 2 MP の分析法

###### (1) MP の分離法

採取した堆積物からプラスチックと目視で推測されるもの（以降、プラスチック候補物と称す）をルーペで探してピンセットで採取した。天然物と見分けのつかない色や形をしている場合は判別が付きにくいいため、約1mm以上の大きさのものをピンセットで取り出した。残った採取物に関しては、水道水を加えて攪拌し、その後6時間静置させ、水表面に浮いたものからプラスチック候補物をピンセットで採取した。

###### (2) MP の材質及び形態測定法

道路堆積物から抽出したプラスチック候補物は、1個ずつ実体顕微鏡（OLYMPUS 製 SZ61）を使用して長軸長さや形状を確認し、紙や砂、植物、虫の一部など天然物であると判明したものを除去した。残ったものをフーリエ変換赤外分光光度計（FT/IR-4600 TGS 検出器、日本分光株式会社）の ATR 法による赤外吸収スペクトルを測定して材質を判定した。使用したライブラリは、KnowItAll サドラーズスペクトルデータベースのスタンダード及びヒュメルポリマーライブラリ（Bio-Rad Laboratories 製）及び高分子ライブラリ（日本分光株式会社）で、材質に特徴的なピークが一致しない場合、鮮やかな色のもや明瞭なピークが出ているがセルロースやたんぱく質と一致しないものについては、材質不明ポリマーとして「その他」に分類した。材質の分類としては、海岸漂着物調査<sup>1,4)</sup>にならい、海岸漂着物において大部分を占めていた PE と PP、PS に加えて、汎用樹脂として身の回りの製品に使われている PET と塩化ビニル（PVC）<sup>5)</sup>とし、それ以外を「その他」に区分した。その他に区分された材質のうちには、路上で標識として使われている塗料があった。塗料については、サンプリング地点周辺の路面に塗布しているものと目視で同じと判断できるものも塗料とした。区分したプラスチックは、材質毎に質量を測定した。得られたプラスチック片の個数と質量を集計し、採取面積で除すことにより、プラスチック片数密度・質量密度を算出した。

##### 4. 2. 2. 3 ブランク試験

分析時におけるプラスチック片の混入の可能性や、その影響を定量評価するためのブランク試験をおこなった。ピンセットはステンレス製のものを、容器はガラス製のものを使用し、プラスチック

ク製のものは使用しなかったが、作業衣及び分析者の私服に化学繊維が含まれ、化学繊維片が大気経路で試料に混入する可能性があると考えられるため、ブランク試験をおこなった。分析を行う実験室において、大気から降下するプラスチック片や使用した水道水中のプラスチック片の存在を確かめるため、水道水を入れた1Lビーカー（内径約11.5 cm）を実験室内に置いた。その水道水を、アルミホイルでろ過器の蓋をしながらニトロセルロースフィルター（孔径0.45 μm）でろ過し、4.2.3.2のプラスチック片の分析を行った。

#### 4.2.2.4 プラスチック標本粒子の回収試験

本研究における前処理方法を用いた、プラスチック標本粒子の回収試験を行った。ここでは、比重が1より軽いPEと、1より重いPETとPVC、という3種類の材質の標本粒子を採取物に混ぜて、ピンセットによる抽出と比重分離での回収試験を実施した。標本粒子の作成には、既製のプラスチックを0.4~3.0 mmにカットし、PEには白色土砂と混同しやすい白色の洗剤容器、PETにはガラス破片と混同しやすい透明PETボトル、PVCには灰色土砂と混同しやすい灰色PVC管をそれぞれ用いた。粒子数34のPEと粒子数36のPVC、粒子数30のPETの標本粒子を、調査時に採取した土砂120g（比重1.3のジクロロメタンを用いて、プラスチック片を除去）に添加した。この土砂の質量は、平均的な路肩採取物の質量と同じである。この標本粒子を含むサンプルに対して、4.2.3.1の分離法及び4.2.3.2の材質及び形態測定法により分析を行った。試験回数は3回実施した。

### 4.2.3 結果と考察

#### 4.2.3.1 ブランク及び回収試験結果

プラスチック標本粒子の3回の回収試験について、粒径サイズを1mm未満と1mm以上の2段階に分けた結果を表4.2.2に示す。1mm以上の標本粒子はピンセットでほぼ回収でき、回収率はプラスチックの材質によらず最小で94.1%であり、変動係数（RSD）も3%以下であった。また、これらの回収の大多数はピンセットによるものであった。1mm未満については、3つの材質ともに回収率は70%未満であった。PEの回収率は、ピンセットのみで11.1%、水道水浮上試験後に66.7%となったが、比重が1より重いPVCやPETは水道水浮上試験では回収できず、ピンセットのみで回収したものが最終結果となった。このことから、今回対象とした1mm以上のプラスチック標本粒子に関しては、1個ずつ実体顕微鏡を使用し、紙や砂、植物、虫の一部などを除去することによって、周辺の土粒子と類似した色を有しても材質や比重に関わらず、ピンセットで良好に回収できているため、本前処理方法は今回未検証のポリマーにも有効といえる。以上より、本研究では、目

表 4.2.2 プラスチック片の回収率

粒子径 (mm)	PE			PVC			PET		
	回収率 (%)	相対的標準偏差 (%)	添加数	回収率 (%)	相対的標準偏差 (%)	添加数	回収率 (%)	相対的標準偏差 (%)	添加数
< 1	66.7	50.0	3	37.5	0.0	8	63.3	9.1	10
1 ≤ and < 3	96.8	2.8	31	98.4	2.8	28	94.1	0.0	20

視判別が可能であり、回収率の精度も高い1mm以上のみのプラスチック片を調査対象とした。

また、ブランク試験の結果、繊維は3個確認されたものの、繊維を除く300 μm以上の破片等のプラスチック片は検出されなかった。以上より、研究対象から繊維を除外し、それ以外のプラスチック片を対象とした。

#### 4.2.3.2 道路堆積物中のプラスチック片濃度の比較

道路における1mm以上のプラスチック片の堆積状況を把握するために、用途地域毎のプラスチック片密度の平均値、最大値及び最小値を図4.2.2に示す。ここでは、各エリアで2019年2~3月(5地点)と2019年11月(2地点)に行われた調査結果を商業・住居・工業・水田地域毎に分け、単位面積当たりのプラスチック片の数密度と質量密度を算出した結果を示した。

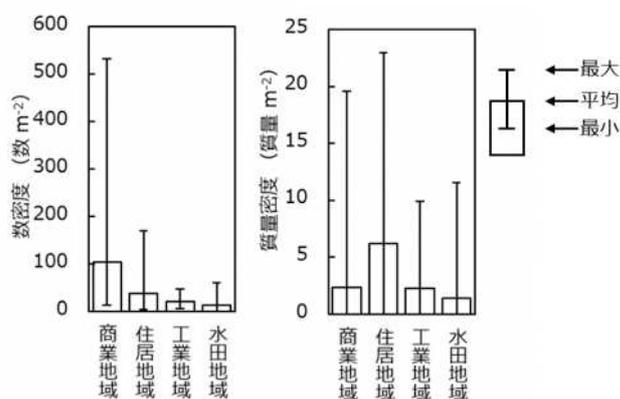


図4.2.2 単位面積当たりのプラスチック片の密度

プラスチック片の数密度の平均値、最小値及び最大値は、それぞれ、商業地域104個/m<sup>2</sup>、13個/m<sup>2</sup>及び533個/m<sup>2</sup>、住居地域37個/m<sup>2</sup>、2.5個/m<sup>2</sup>及び170個/m<sup>2</sup>、工業地域21個/m<sup>2</sup>、5.0個/m<sup>2</sup>及び48個/m<sup>2</sup>、水田地域14個/m<sup>2</sup>、0個/m<sup>2</sup>及び60個/m<sup>2</sup>となっていた。それぞれの地域間の値に有意差があるか、対数正規分布に関するt検定を実施した。検定統計量の確率p値を算出したところ、商業地域と工業・農業地域のp値は、それぞれ0.0028と0.00054の5%未満であったため、5%有意水準で有意差があり、商業地域と住居地域のp値は0.053と10%未満で、10%有意水準で有意差があり、商業地域におけるプラスチック片数密度が他の地域よりも有意に大きいことが示された。この商業地域中でも、特にStn.C1(大和)におけるプラスチック片数密度が高く、なかでも、歩行者や自転車のレーンを示す路面標識塗料が摩耗・劣化してできた破片が多く全体の84%を占めていた。これは、Stn.C1(大和)では、車両交通量が多いことと関係していると推測された。

一方、プラスチック片の質量密度の平均値、最小値及び最大値に関しては、住居地域は6.1g/m<sup>2</sup>、0.013g/m<sup>2</sup>及び23g/m<sup>2</sup>、商業地域は2.3g/m<sup>2</sup>、0.013g/m<sup>2</sup>及び20g/m<sup>2</sup>、工業地域は2.3g/m<sup>2</sup>、0.00078g/m<sup>2</sup>及び9.9g/m<sup>2</sup>、水田地域は1.4g/m<sup>2</sup>、0g/m<sup>2</sup>及び12g/m<sup>2</sup>であり、住居地域が最も大きかった。それぞれの地域間の値に有意差があるか、対数正規分布に関するt検定を実施した。検定統計量の確率p値を算出したところ、住居地域と商業・工業・水田地域のp値は0.049、0.017と0.020の5%未満で、5%有意水準で有意差があった。住居地域内では、住居やカラーコーンなどの置いている駐車場、ごみ集積場の脇において、壊れたプラスチック製品の破片やごみ回収時に落とされたと考えられるプラスチック片が散乱している様子がみられた。

ごみ集積場では、定期的にプラスチックごみが集積している。住居地域内の観測地点では、大きなプラごみが劣化・破片化しているため、質量の大きいプラスチック片が多く、結果としてプラスチック片質量密度が大きくなったものと考えられた。

#### 4. 2. 3. 3 道路堆積物と河岸・海岸漂着物におけるプラスチック片の材質比較

流域から河川、海岸に至るプラスチックごみの材質変化を把握するため、道路堆積物、引地川の河川水<sup>⑥</sup>、引地川の河岸漂着物<sup>⑥</sup>及び引地川河口の鵜沼海岸漂着物<sup>④</sup>に含まれるプラスチック片の材質の質量割合を比較した。結果を図4.2.3に示す。引地川の河川水及び河岸漂着物は、図4.2.1に示す①柳橋、②円行新橋、③富士見橋において、2019年7月4日に採取した。鵜沼海岸漂着物は、図4.2.1に示す④鵜沼海岸で2017年5月9日及び2018年5月22日に採取した。材質としては、PE、PP、PS、PET、PVCとその他に区分し、その他に関しては路上標識に使われている塗料とそれ以外に分けた。各試料を比較すると、河川水や河岸漂着物、海岸漂着物では、代表三種であるPEとPP、PSが卓越しており、代表三種の和は、河川水・河岸漂着物や海岸漂着物でそれぞれ93、97、97%となっていた。一方、道路堆積物のプラスチック片の材質割合は大きく異なっており、代表三種の割合は、商業・住居・工業・水田地域で各々18、70、14、7.3%であるため、河岸や海岸に堆積するプラスチック片の材質構成とは大きく異なっていた。各材質の比重の代表値としては、PPは0.91、PEは0.94、PS樹脂は1.06、PSフォームは微小な穴の中に空気を含むので、比重は1より小さく水に浮き、代表三種には比重が小さいものが集中している<sup>7,8)</sup>。このように、流域内の道路路面では比重が1より重いプラスチック片が多く存在するものの、比重の小さい材質のも

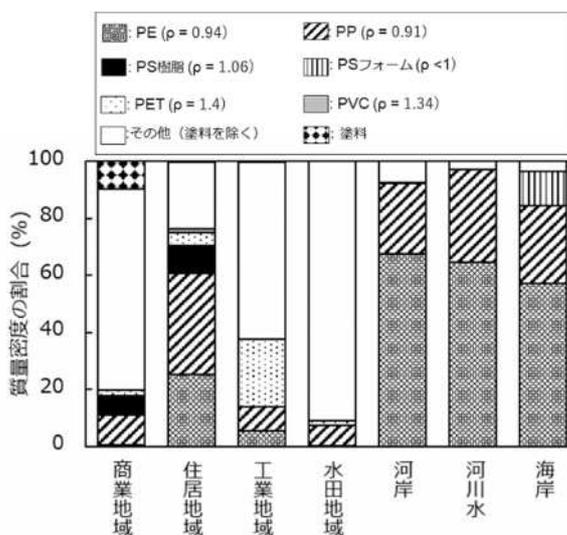


図4.2.3 道路堆積物、河川水、河岸堆積物及び海岸漂着のプラスチック片材質

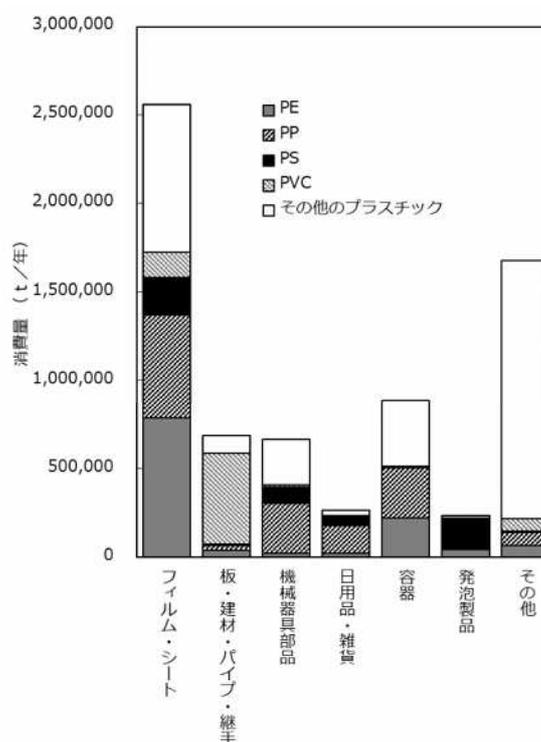


図4.2.4 プラスチック等の生産品目別消費内訳

のが多く河岸や海岸に漂着していると考えられた。道路面から流出して、河岸、海岸への漂着過程において、比重が大きなプラスチック片は沈降・分級している可能性があり、道路排水でも類似の結果が得られている<sup>9)</sup>。ただし、本研究では、1mm 以上と比較的大きめのプラスチック片を対象としているため、沈降効果は顕著に出ている可能性があるが、河床や海底の堆積物の調査は行っていないため、比重の大きなプラスチック片の河川や海岸への流出量が少ないかどうか、今後検討すべき課題である。

また、住居地域では、比重の小さい代表三種の割合が他の用途地域と比べても突出して多いと共に、プラスチック片質量濃度が他の用途地域よりも大きかった。そのため、住居地域では他の用途地域よりも河川に流出し、海岸に漂着するプラスチック片の量が多いことが予想され、住居地域のプラスチック片削減が海域に流出する MP 抑制対策として重要と考えられた。

2019 年の経済産業省生産動態統計年報のプラスチック及びゴム製品の生産品目別消費内訳<sup>10)</sup>について図 4.2.4 に示す。ラップ等包装用を含むフィルム・シート類が合計 260 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 62% (160 万 t)、建材・パイプ等が合計 69 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 11% (7.4 万 t)、機械器具部品が合計 67 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 60% (40 万 t)、日用品・雑貨が合計 27 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 87% (23 万 t)、容器が合計 88 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 58% (51 万 t)、断熱材や緩衝材等の発泡製品が合計 23 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 95% (22 万 t)、その他の製品が合計 170 万 t のうち PE, PP 及び PS の合計が 8.7% (15 万 t) であった。ほとんどの製品の材質は、PE, PP 及び PS の合計で 50% 以上を占めており、特に日用品・雑貨や発泡製品などの身の回りによくある製品については多かった。そのため、これら製品の使用や廃棄の時の漏れ及び破損を防ぐことにより、PE, PP 及び PS の環境負荷を削減できると考えられた。

#### 4. 2. 3. 4 各用途地域におけるプラスチック片のサイズ分布

プラスチック片の 1mm 刻みの粒径(長軸長さ)別数密度を図 4.2.5 に示す。数密度につ

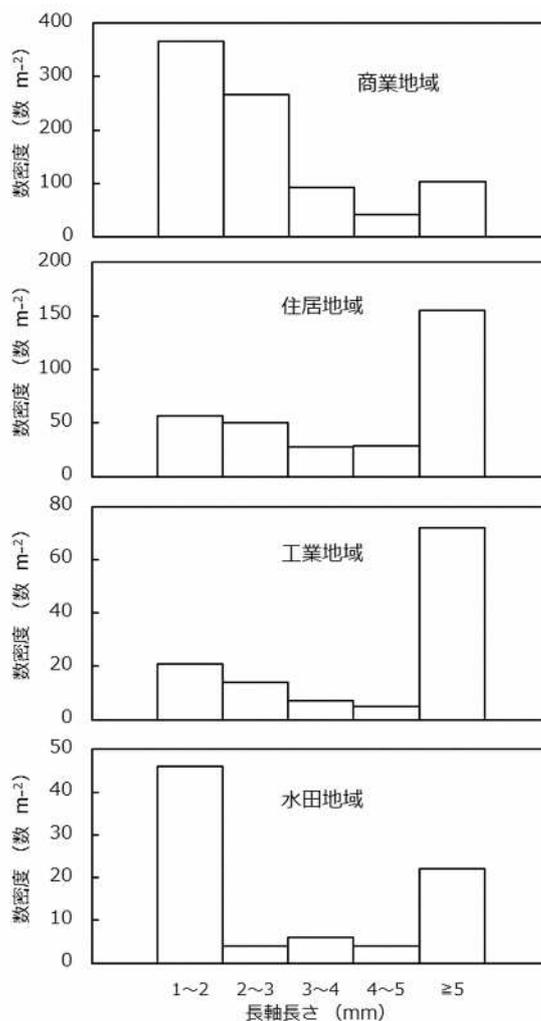


図 4.2.5 各用途地域におけるプラスチック片のサイズ分布

いては、商業地域は1~2 mmを最大として、粒径が大きくなると減少する傾向であり、住居地域及び工業地域は5 mm以上のものが多かった。水田地域については特徴が見られなかった。MPのもととなる、5 mm以上のプラスチックの割合については、住居地域及び工業地域が多く、商業地域は、他の地域と比較して大きさの小さいMPが多く、数も多かった。商業地域のプラスチック片の大きさと数については、車両交通量が多いことが影響していると推測された。

#### 4. 2. 3. 5 道路堆積物中のプラスチック片濃度の年内変動

道路面において採取されたプラスチック片の質量濃度に関する季節変化を含む年内変動を図4.2.6に示す。ここでは、観測期間中4回観測した商業地域(Stn.C2(湘南台))、住居地域(Stn.R2(円行))、工業地域(Stn.I1(桐原))、水田地域(Stn.P2(大庭))において、各エリアの毎回2地点の平均値を示した。各エリアにおける年内変動は非常に大きく、Stn.C2では0.080~2.0 g/m<sup>2</sup>、Stn.R2では4.3~9.6 g/m<sup>2</sup>、Stn.I1

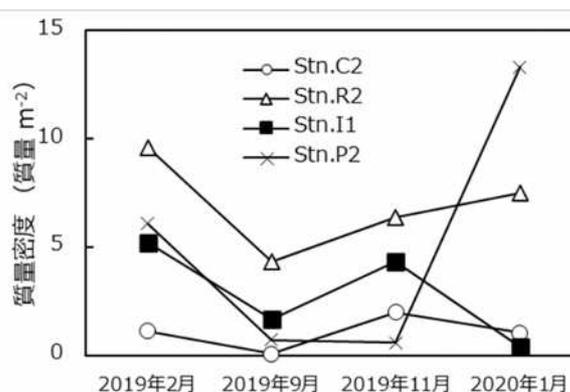


図4.2.6 道路堆積物中のプラスチック片濃度の年内変動

では0.40~5.2 g/m<sup>2</sup>、Stn.P2では0.58~13 g/m<sup>2</sup>と、採取時期によって最大で2オーダーも違いがあった。また、Stn.C2及びStn.P2は、夏季の2019年9月や秋季の2019年11月よりも冬季の2019年2月及び2020年1月の方が大きく、Stn.I1についても冬季の2019年2月が他よりも大きかったが、より詳細な道路上プラスチック片の量の季節変化を把握するには、時間解像度をより細かくした現地調査が必要であり、今後の課題としたい。

#### 4. 2. 4 参考文献

- 1) 池貝隆宏, 長谷部勇太, 三島聡子, 小林幸文: 海岸漂着量の評価のためのマイクロプラスチック採取方法. 全国環境研会誌 42(4), 54-59 (2017)
- 2) Yukioka, S., Tanaka, S., Nabetani, Y., Suzuki, Y., Ushijima, T., Fujii, S., Takada, H., Tran, Q. V., Singh, S.: Occurrence and characteristics of microplastics in surface road dust in Kusatsu (Japan), Da Nang (Vietnam), and Kathmandu (Nepal). Environmental Pollution (2020)
- 3) 砂田岳彦, 二瓶泰雄, 坂井文子, 吉田拓司: 模擬降雨流出水採取法(MOS法)に基づく路面上のノンポイント汚染源調査. 水工学論文集 50, 1513-1518 (2006)
- 4) 池貝隆宏, 三島聡子, 菊池宏海, 難波あゆみ, 小林幸文: 相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性. 神奈川県環境科学センター研究報告, 41, 1-10 (2018)
- 5) 日本プラスチック工業連盟: プラスチック入門 こんにちはプラスチック 主なプラスチックの特性と用途 (2022), <http://www.jpif.gr.jp/00plastics/plastics.htm>

- 6) 小林俊介, 岡本洋輔, 片岡智哉, 向高新, 二瓶泰雄: 河川水・堆積物中に含まれるマイクロプラスチックの製品特定の試み. 土木学会論文集 B1 (水工学) 76, I\_1351-I\_1356 (2020)
- 7) 樹脂プラスチック材料協会: 用語集-比重とは-主なプラスチックの比重一覧 (2022)  
<http://www.jushiplastic.com/specific-gravity>
- 8) 樹脂プラスチック材料協会: プラスチックの基礎知識(2022) <http://www.jushiplastic.com/プラスチックの基礎知識>
- 9) Sugiura, M., Takada, H., Takada, N., Mizukawa, K., Tsuyuki, S., Furumai, H.: Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff. Environmental Monitoring and Contaminants Research (2021)
- 10) 経済産業省: 経済産業省生産動態統計 (2019)  
[https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08\\_seidou.html](https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html)

(担当 : 三島)

## 5. 相模湾漂着 MP に含まれる PCB の実態調査及び発生源の検証

本稿は、“相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着した PCB の実態調査及び発生源別のリスク推定”（全国環境研会誌, vol.46 No.1, 10-17 (2021)）及び“相模湾漂着マイクロプラスチックに含まれる PCB の発生源の検証”（神奈川県環境科学センター研究報告, No.44,1-9 (2021)）をもとに再構成したものである。

前報<sup>1)</sup>では、2018年4月に採取した相模湾漂着 MP に含まれる PCB の分析結果から、MP に吸着した PCB の起源はほぼカネクロールに由来し、一部の MP において有機顔料(#11)の寄与率が高いことがわかった。ここでは、それ以外の時期に採取した MP に含まれる PCB の分析結果を取りまとめるとともに、MP 内部の PCB 含有量、MP 採取地点近傍の海水及び河川水そのものの分析も実施することで、PCB の発生源をより詳細に検証することとした。

### 5. 1 MP に吸着した PCB の調査検証

#### 5. 1. 1 調査方法

##### 5. 1. 1. 1 測定試料

2017年秋季（10月または11月）、2018年冬季（1月または2月）、春季（4月）及び夏季（6月または7月）に、相模湾の相模川河口付近の高浜台海岸（平塚市）、引地川河口付近の鶴沼海岸（藤沢市）と、比較のため東京湾の平作川河口付近の久里浜海岸（横須賀市）の3地点で漂着 MP を採取した。各採取地点を図 5.1.1 に示す。採取及び材質判別は既報<sup>1-3)</sup>と同様に行い、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、発泡ポリスチレン（PS）及びエチレン酢酸ビニル共重合樹脂（EVA）に分別し、測定試料とした。2018年春季以前の試料 MP は、採取量が多いものは複数検体（試料①、試料②などと表記）とした。

2018年夏季の試料 MP は、材質で分別した後、さらに色及び形状で詳細に分別して測定試料とした。

PCB 吸着量を測定した試料 MP の概要を表 5.1.1 に、2018年春季以前の試料 MP の一例を図 5.1.2 に、2018年夏季の試料 MP の分別結果を図 5.1.3 に、特徴的な試料 MP を図 5.1.4 に示す。



図 5.1.1 海岸漂着 MP の採取地点

表 5. 1. 1 PCB 吸着量を測定した試料 MP の概要

採取年月	採取地点	試料分別	測定検体数				測定試料量
			PE	PP	PS	EVA	
秋季	2017年10月	高浜台海岸	2	2	1	-	0.01~ 4 g程度
	2017年10月	鵜沼海岸	5	1	1	-	
	2017年11月	久里浜海岸	1	1	1	-	
冬季	2018年1月	高浜台海岸	1	1	0	-	0.5~ 5 g程度
	2018年1月	鵜沼海岸	2	1	0	-	
	2018年2月	久里浜海岸	1	1	1	-	
春季	2018年4月	高浜台海岸	2	2	1	-	0.03~ 1 g程度
	2018年4月	鵜沼海岸	3	3	1	-	
	2018年4月	久里浜海岸	2	1	3	-	
夏季	2018年7月	高浜台海岸	8	7	1	1	0.005~ 1.5 g程度
	2018年6月	鵜沼海岸	7	6	0	1	



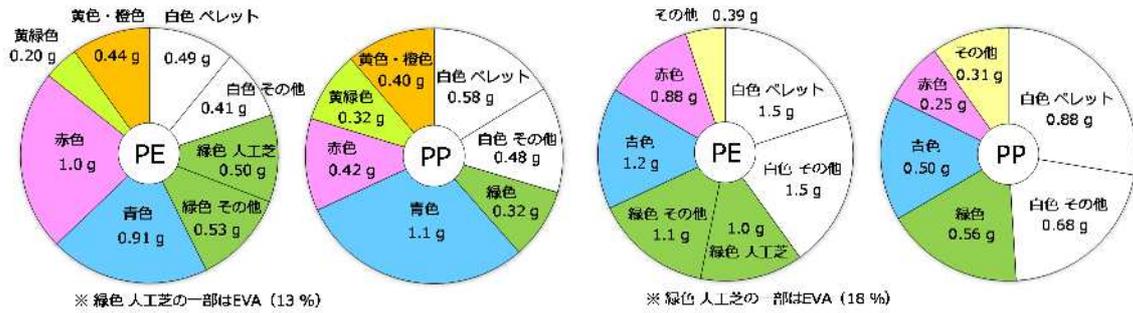
2018. 4 高浜台海岸 PE 試料①

2017. 10 鵜沼海岸 PE 試料⑤

2018. 1 鵜沼海岸 PP

2017. 10 高浜台海岸 PS

図 5. 1. 2 2018 年春季以前の試料 MP の一例



※PE及びPPの他, PS白色が0.0046g, EVA白色肥料殻が0.022gあった。

※PE及びPPの他, EVA白色肥料殻が0.12gあった。



2018年7月 相模湾 高浜台海岸

2018年6月 相模湾 鶴沼海岸

図 5.1.3 2018 夏季の試料MP の色及び形状による分別結果

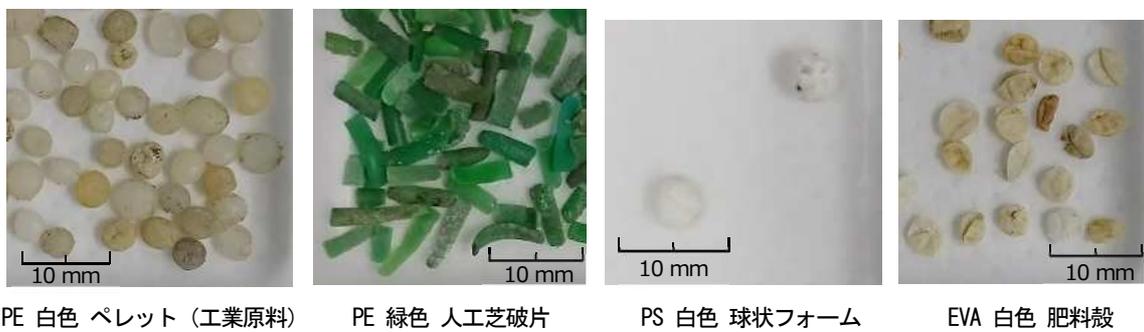


図 5.1.4 特徴的な試料MP

### 5. 1. 1. 2 測定方法

既報<sup>1,3)</sup>と同様に、試料MPをヘキサン浸漬抽出し、硫酸シリカゲルカラムクロマト及びスルホキシドカラムクロマトによりクリーンアップした後、0.05~0.1mLまで濃縮し、四重極型GC-MS (SIM法)でPCB全異性体を分析した。PCB吸着量の測定手順を図5.1.5に示した。

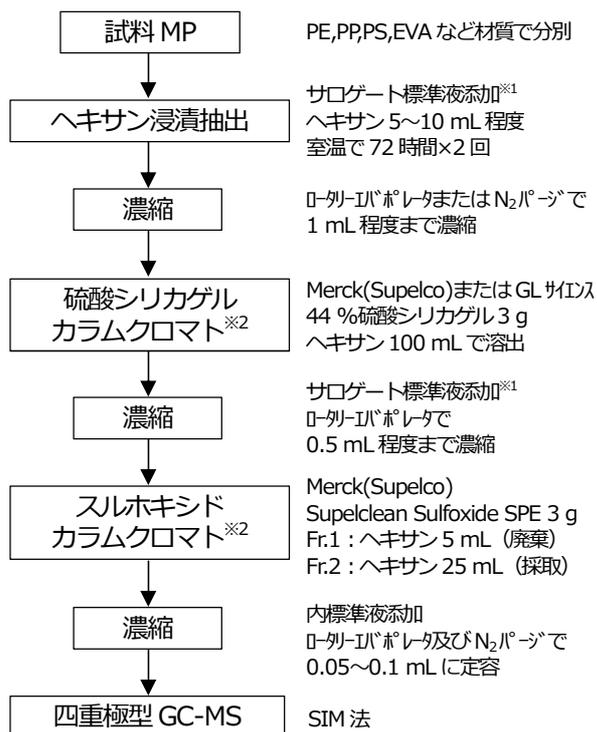
### 5. 1. 2 結果と考察

#### 5. 1. 2. 1 測定結果の総括

PCB吸着量測定結果の総括を表5.1.2に示す。いずれかの試料MPで30 ng/g以上であったPCB異性体を抜粋し、各同族体(塩素数ごと)の合計量とともに示した。なお、複数検体としたもの、もしくは色及び形状で分別したものは材質ごとに合算した。

2塩素化体の#11は、相模湾2地点では、多くの時季・材質で吸着量が多く、特にPPで顕著であった。一方、東京湾の久里浜海岸では、秋季にPS、春季にPP及びPSが多かったが、その他は少なかった。3塩素化体(#18, #28, #31など)及び4塩素化体(#52+#69, #66+#80, #70など)は、PSで吸着量が多い傾向がみられた。5塩素化体(#101, #106+#118など)及び6塩素化体(#138+#158+#160, #153など)は、各材質で検出された。7塩素化体(#180など)は、PE及びPPで吸着量が多い傾向がみられた。

総PCB吸着量は、PEが32~780 ng/g、PPが66~2,000 ng/g、PSが100~1,400 ng/g、EVAが60~72 ng/gであり、これまでの論文報告<sup>4,8)</sup>と同程度であった。全体的には時季による総PCB吸着量の傾向は明確ではなかったが、相模湾2地点では、秋季にPS、春季にPP、夏季にPEの総PCB吸着量が多く、傾向が類似していた。一方、東京湾の久里浜海岸では、冬季に全ての材質の総PCB吸着量が多く、全く異なる傾向であった。また、時季による総PCB吸着量の変動幅は、相模湾2地点の各材質では2~7倍であったのに対して、久里浜海岸PSでは14倍と大きかった。



※1 その他化学物質の測定用に濃縮液を分取した一部の試料では、サロゲート標準液をクリーンアップ途中で添加  
 ※2 抽出後の濃縮液が清浄(無色透明)な一部の試料では、クリーンアップ操作を省略

図 5. 1. 5 PCB 吸着量の測定手順



総 PCB 吸着量の最大値 2,000 ng/g を記録した冬季 久里浜海岸 PP は、#11 が少なく、3 塩素化体及び 4 塩素化体が多いなど、他の PP 試料と比べて特異的な異性体組成であった。試料の外観では、図 5.1.6 に示す人工芝と推定される緑

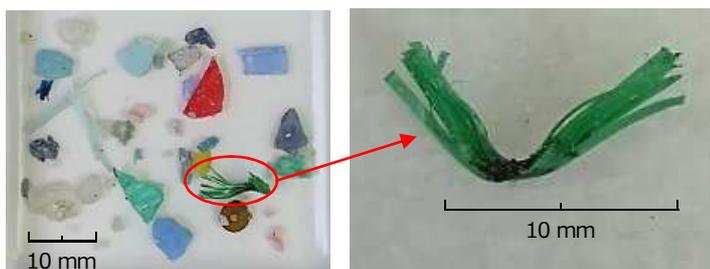


図 5.1.6 特異な MP 個体 (2018 年 2 月 久里浜海岸 PP)

色の細長いフィルムを束ねた特異な MP 個体があり、重量当たりの表面積が大きいいため、PCB 吸着量が多くなった可能性がある。

#### 5. 1. 2. 2 MP に吸着した PCB の発生源及びその寄与率

既報<sup>1,3)</sup>で述べたように、海岸漂着 MP に吸着した PCB の主な発生源は、過去にトランス、コンデンサ等に使用されたカネクロール (KC-300, KC-400, KC-500, KC-600 など) 及び有機顔料の製造工程における副生物である。

有機顔料由来と推定される異性体<sup>9)</sup>は、#11, #31, #35, #36, #52+#69, #153 などが検出された。また、カネクロール及び有機顔料以外 (燃焼など) の由来と推定される異性体は、#2, #14, #30, #78, #79, #209 などが検出されたが、これらの吸着量は非常に少なかった。

既報<sup>1,3)</sup>のケミカルマスバランス法を改良し、カネクロール及び有機顔料 (またはその他 (燃焼など)) の両方の寄与があると推定される異性体 (#31, #52+#69, #77, #153 など) は、その濃度を変数に追加し、カネクロール由来及び有機顔料 (またはその他) 由来の濃度をそれぞれ算出し、各発生源 (カネクロール, 有機顔料, その他) 及びカネクロールの製品別 (KC-300, KC-400, KC-500, KC-600) の寄与率を求めた。各発生源の寄与率を材質別に図 5.1.7 左に示す。

全ての採取地点・材質においてカネクロール及び有機顔料の寄与率が 90%以上を占めた。相模湾 2 地点では、#11 の吸着量の多寡に伴い、PP, PE, PS の順で有機顔料の寄与率が高い傾向であった。一方、東京湾の久里浜海岸の PP 及び PS では、時季によって傾向が全く異なっていた。

カネクロールの製品別の寄与率を材質別に図 5.1.7 右に示す。PE 及び PP では、高塩素化体を多く含む KC-500 及び KC-600 の寄与率が高い傾向であった。一方、PS では、低塩素化体を多く含む KC-300 及び KC-400 の寄与率が高い傾向であった。

#### 5. 1. 2. 3 発生源別の測定結果

PCB 吸着量測定結果の総括を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図 5.1.8 に示す。カネクロール由来の PCB 吸着量は、相模湾 2 地点では、PE 及び PS で多い傾向であり、時季による変動が大きかった。一方、PP では時季によらず少なかった。東京湾の久里浜海岸では、PP 及び PS で多い傾向であり、時季による変動が極めて大きかった。特に冬季の PP で 1,900 ng/g と突出して

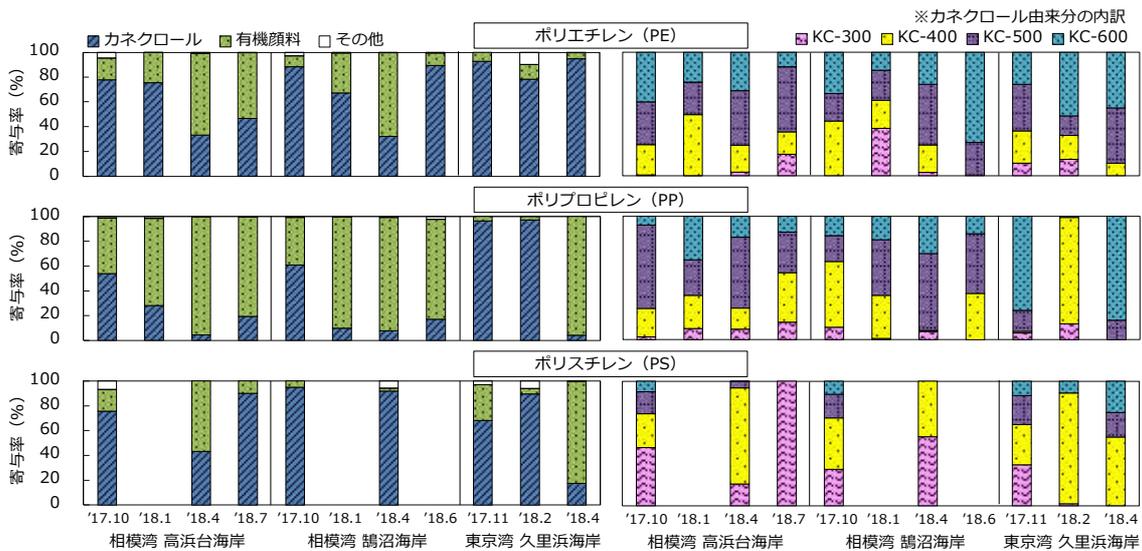


図 5.1.7 海岸漂着 MP に吸着した PCB に対する各発生源の寄与率

多く、春季の PP の 150 倍の値であった。

有機顔料由来の PCB 吸着量は、#11 が主に検出され、PP で多く、PE 及び PS で少ない傾向であり、時季による変動が大きかった。

2018 年春季以前の同一試料から複数検体とした場合の測定結果を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図 5.1.9 に示す。

同一試料からの複数検体における PCB 吸着量の幅は、カネクロール由来では、PE で 2~5 倍、PP で 2~3 倍と変動が小さかった。一方、有機顔料由来では、PE で 3~30 倍、PP で 2~7 倍と変動が大きく、有機顔料由来の PCB の方が MP 個体間で吸着量に大きな差があったと推察される。秋季の鶴沼海岸 PE は、5 検体で試料量が各 4g (350~400 個) 程度と多かつたにも関わらず、試料①~④に対して試料⑤のみ、カネクロール由来の PCB 吸着量が 3~5 倍で、異性体組成も全く異なっていた。これは、特異的に PCB 吸着量の多い MP 個体が 1~数个程度存在していたためと推察されるが、試料の外観では特異な MP 個体は見分けられなかった。試料①~④の測定結果の合算から試料⑤の測定結果を差し引くと、4 塩素化体を主とした異性体組成が得られた (図 5.1.10)。この異性体組成について、5.1.2.2 の方法で寄与率を算出したところ、特異な MP 個体に吸着していた PCB は、ほぼ KC-400 由来であると推定された。

2018 年夏季の色及び形状で分別した場合の測定結果を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図 5.1.11 に示す。カネクロール由来の PCB 吸着量は、鶴沼海岸の PE 白色ペレットが 3,300 ng/g と突出して多かつた。この原因としては、試料に変色やくもりのあるペレットが多数含まれていたこと、あるいは、2018 年 8 月~2019 年 3 月の調査では引地川及び相模川の河川水でペレットが見つからなかった<sup>3)</sup>ことから、過去に流出または遠方で流出した後、長期間にわたって海中を漂流し、多くの PCB を吸着した MP 個体が含まれていた可能性が考えられる。この異性体組成について、5.1.2.2 の方法で寄与率を算出したところ、KC-500 が 23%、KC-600 が 77%であった。

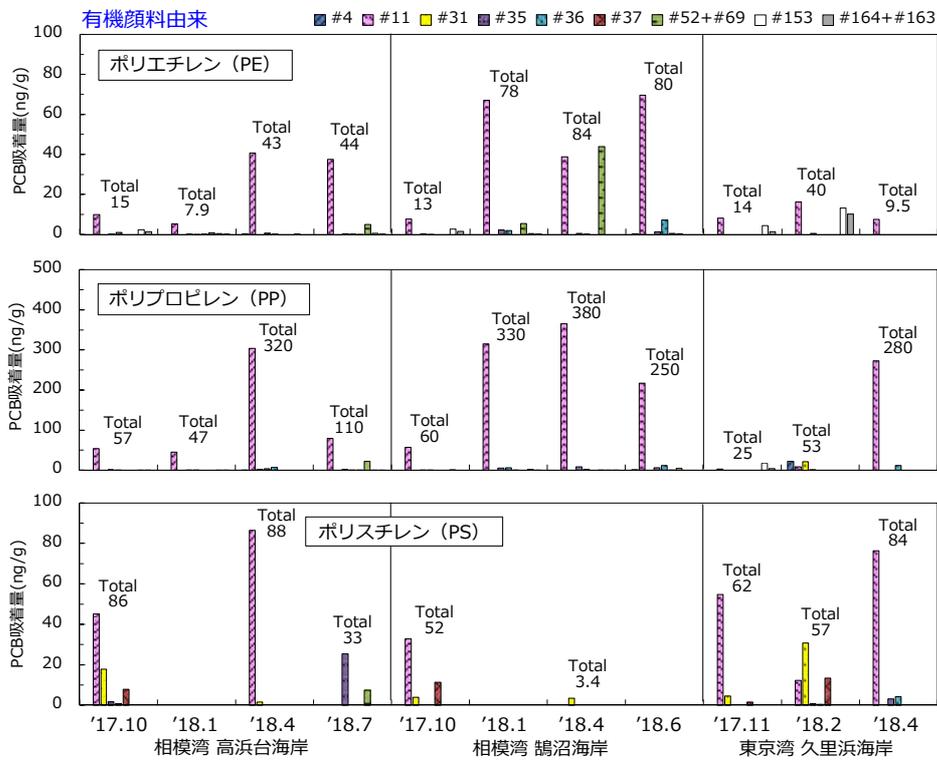
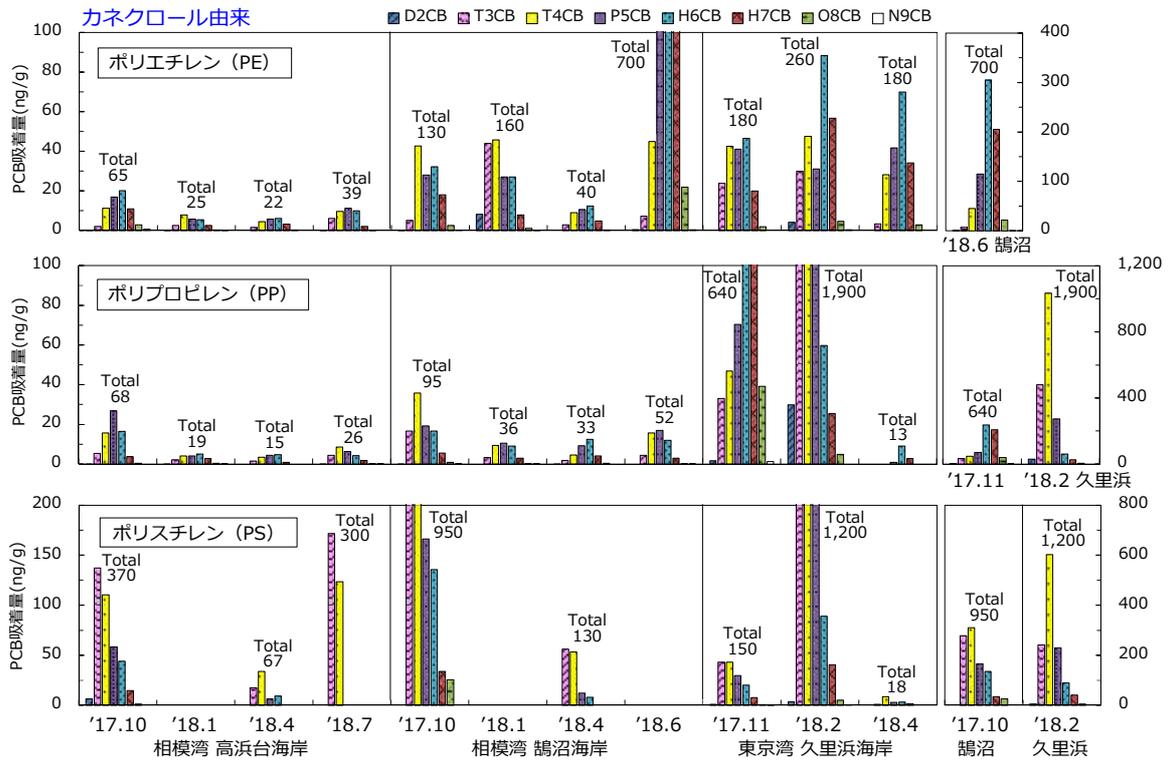


図 5.1.8 海岸漂着 MP の PCB 吸着量測定結果の総括（発生源別）

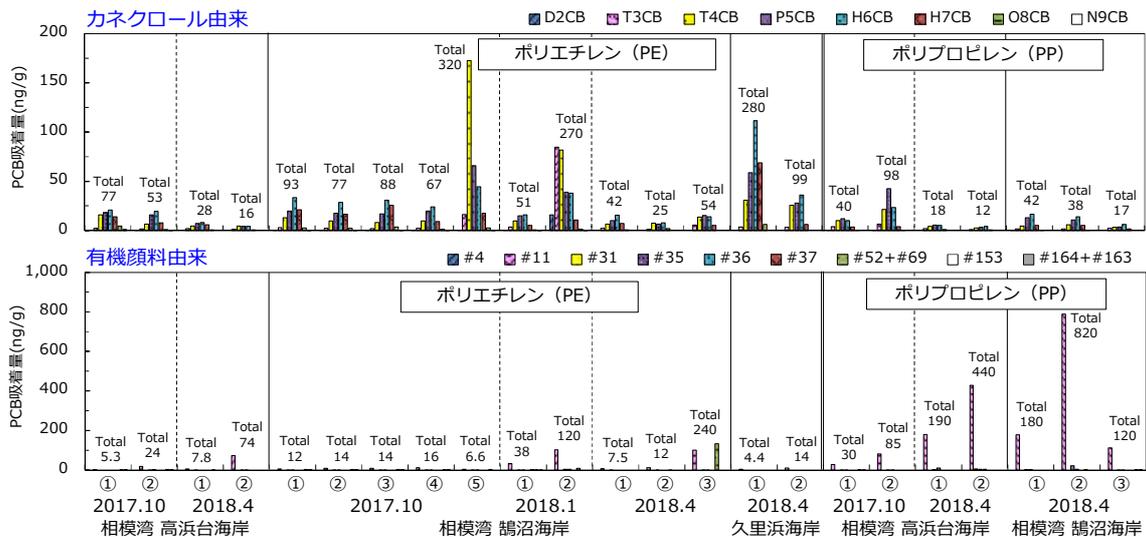


図 5.1.9 同一試料から複数検体とした場合の PCB 吸着量測定結果

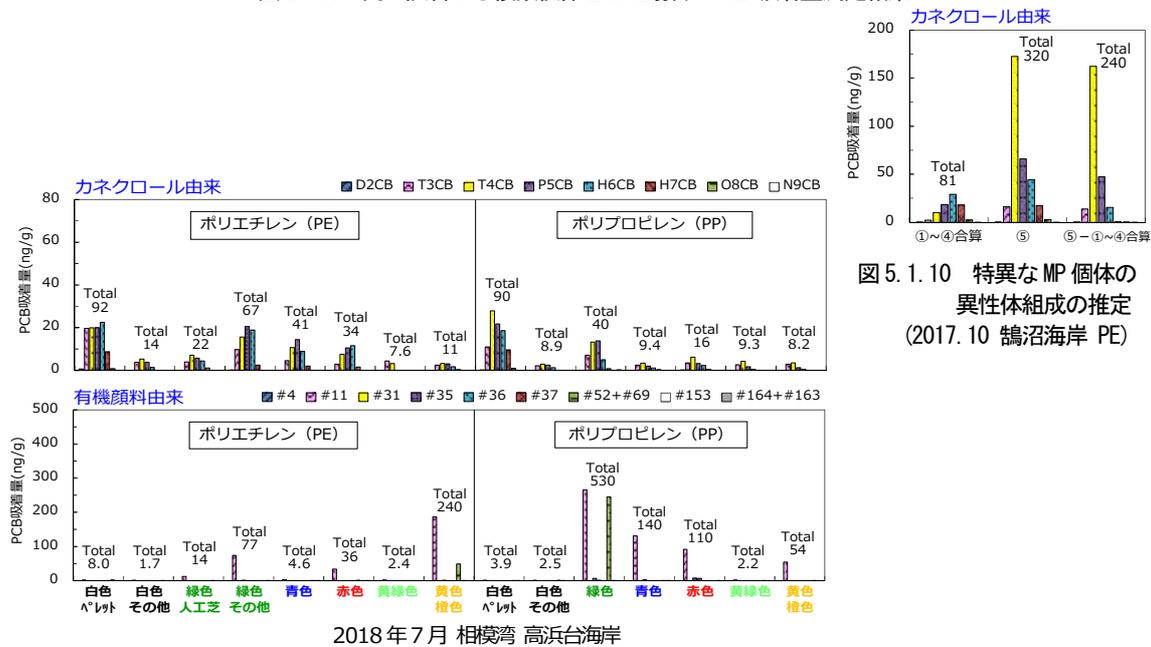


図 5.1.10 特異なMP個体の異性体組成の推定 (2017.10 鶴沼海岸 PE)

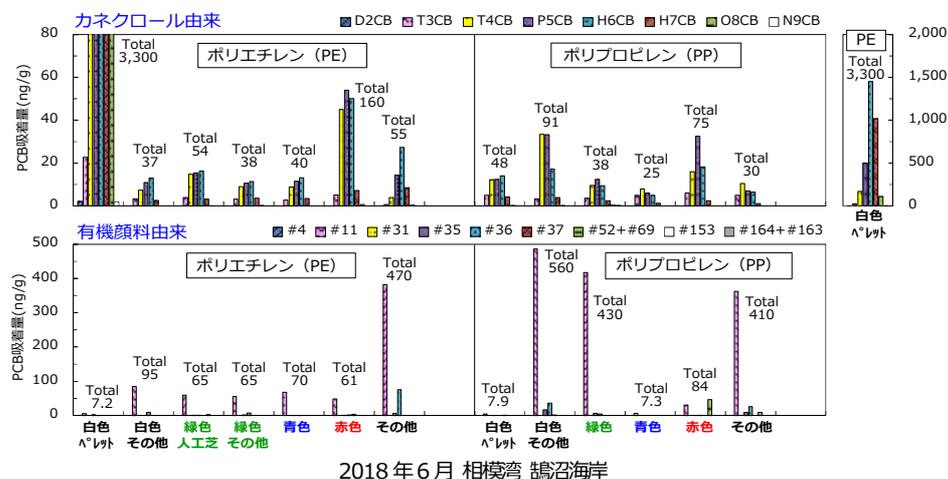


図 5.1.11 色及び形状で詳細に分別した場合の PCB 吸着量測定結果

PE 白色ペレット以外の PCB 吸着量は 10~200 ng/g 程度であったが、プラスチック破片（二次 MP）の PCB 吸着量は比較的少なく、色及び形状による差が小さいことが分かった。

有機顔料由来の PCB 吸着量は、PE では黄色・橙色（鵜沼海岸ではその他に含まれる）が多かったが、これは MP の元となったプラスチック製品の着色に使用された黄色有機顔料に由来する可能性が考えられた。PP では色及び形状によって極端な多寡がみられたが、色による傾向は不明瞭であった。また、PE 及び PP の白色ペレットでは非常に少なく、主な有機顔料由来の PCB である #11 が吸着しにくかったと推測された。

#### 5. 1. 2. 4 MP による PCB 汚染リスクの推定

既報<sup>1,3)</sup>と同様に、代表的な MP 漂着量（2017 年 5 月~2018 年 5 月）<sup>2)</sup>と本報の漂着 MP の PCB 吸着量（2017 年 10 月~2018 年 7 月）から推定した沿岸海域の MP による PCB 汚染リスクを表 5.1.3 に示す。

最もリスクが高かったのは、高浜台海岸 PP の有機顔料由来（相対値 80）であった。高浜台海岸では、次いで PE のカネクロール由来（相対値 49）、PE の有機顔料由来（相対値 36）が高かった。鵜沼海岸では、PE のカネクロール由来（相対値 71）が最もリスクが高く、次いで PP の有機顔料由来（相対値 32）、PS のカネクロール由来（相対値 29）が高かった。久里浜海岸では、PS のカネクロール由来（相対値 38）が高かった。なお、有機顔料由来のリスクは、主に #11 によるものであった。

各材質における採取地点の違いによる PCB 吸着量の幅は 2~27 倍、MP 漂着量の幅は 2~63 倍であった。

表 5.1.3 沿岸海域の MP による PCB 汚染リスクの推定結果

採取地点 MP材質	相模湾 高浜台海岸				相模湾 鵜沼海岸				東京湾 久里浜海岸				
	PE	PP	PS	その他	PE	PP	PS	その他	PE	PP	PS	その他	
MP漂着量 <sup>※1</sup> (mg/m <sup>2</sup> )	4,100	1,900	130	410	860	400	170	51	240	30	260	66	
PCB 吸着量 <sup>※2,※3</sup> (ng/g)	か加-ル由来	38	32	240	-	260	54	540	-	210	850	460	-
	有機顔料由来	27	130	69	-	63	250	28	-	21	120	68	-
	その他	1.1	1.1	11	-	2.2	3.3	4.1	-	11	1.0	30	-
	総量	66	170	320	-	320	310	570	-	240	970	560	-
MP漂着量と PCB吸着量の 積（相対値） <sup>※4</sup>	か加-ル由来	<b>49</b>	19	10	-	<b>71</b>	6.9	<b>29</b>	-	16	8.1	<b>38</b>	-
	有機顔料由来	<b>36</b>	<b>80</b>	2.9	-	17	<b>32</b>	1.5	-	1.6	1.2	5.6	-
	その他	1.5	0.65	0.47	-	0.60	0.42	0.22	-	0.86	0.0096	2.5	-
	総量	86	<b>100</b>	13	-	89	40	31	-	18	9.3	46	-

※1 2017年5月~2018年5月の海岸調査で得られた代表的な漂着状況

※2 高浜台海岸は2017年10月、2018年1月、4月、7月の平均値、鵜沼海岸は2017年10月、2018年1月、4月、6月の平均値、久里浜海岸は2017年11月、2018年2月、4月の平均値

※3 同じ採取地点・材質で複数検体とした場合、もしくは色及び形状で分別した場合は合算値

※4 高浜台海岸PPの総量を100とした値

PE では MP 漂着量が多い相模湾 2 地点、PP では MP 漂着量及び有機顔料由来の PCB 吸着量が比較的多い相模湾 2 地点、PS ではカネクロール由来の PCB 吸着量が多い鵜沼海岸及び久里浜海岸において、リスクが高い結果となった。

5. 1. 3 参考文献

- 1) 神奈川県環境科学センター 調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム：相模湾漂着マイクロプラスチック（MP）の実態とその由来の推定＜中間報告書＞，2019年5月，<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20190.pdf>
- 2) 池貝隆宏，三島聡子，菊池宏海，難波あゆみ，小林幸文：相模湾沿岸域のマイクロプラスチック漂着特性，神奈川県環境科学センター研究報告，41,1-10 (2018)
- 3) 小澤憲司，三島聡子：相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着したPCBの実態及び発生源の推定，神奈川県環境科学センター研究報告，43, 18-27 (2020)
- 4) Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. : Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment, *Environ. Sci. Technol.*, 35,318–324 (2001)
- 5) Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T.: Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences, *Mar. Pollut. Bull.*, 50,1103-1114 (2005)
- 6) Ogata Y., Takada H., Mizukawa K., Hirai H., Iwasa S., Endo S., Mato Y., Saha M., Okuda K., Nakashima A., Murakami M., Zurcher N., Booyatumanondo R., Zakaria M. P., Dung Le Q., Gordon M., Miguez C., Suzuki S., Moore C., Karapanagioti H. K., Weerts S., McClurg T., Burrell E., Smith W., Velkenburg M. Van, Lang J. S., Lang R. C., Laursen D., Danner B., Stewardson N., Thompson R. C. : International Pellet Watch:Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs,DDTs, and HCHs, *Mar. Pollut. Bull.*, 58,1437-1446 (2009)
- 7) Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Kwan C., Moore C., Gray H., Laursen D., Zettler E. R., Farrington J. W., Reddy C. M., Peacock E. E., Ward M. W. : Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches, *Mar. Pollut. Bull.*, 62,1683-1692 (2011)
- 8) 高田秀重：International Pellet Watch(IPW)：海岸漂着プラスチックを用いた地球規模でのPOPsモニタリング，*地球環境*，19,135-145 (2014)
- 9) 中野武，姉崎克典，高橋玄太，俵健二：有機顔料製造過程でのPCB生成，*環境化学*，23,107-114 (2013)

(担当：小澤)

5. 2 MP 内部に含まれる PCB とその発生源

5. 2. 1 調査方法

5. 2. 1. 1 測定試料

5. 1. 1において2018年4月鶴沼海岸及び7月高浜台海岸で採取し、PCB吸着量を測定（表面に吸着したPCBを抽出）した後の試料MPをPCB内部含有量の測定試料とした。PCB内部含有量を測定した試料MPの概要を表5.2.1に示す。

5. 2. 1. 2 測定方法

既報<sup>1)</sup>と同様に、PCB吸着量測定後の試料MPをトルエン加熱溶解し、ヘキサン添加によりプラスチックを再沈殿させ、遠心分離及びろ過で除去した後、硫酸シリカゲルカラムクロマト以降の操作を5.1.1.2と同様に行い、四重極型GC-MS（SIM法）でPCB全異性体を分析した。

PCB内部含有量の測定手順を

図5.2.1に示す。

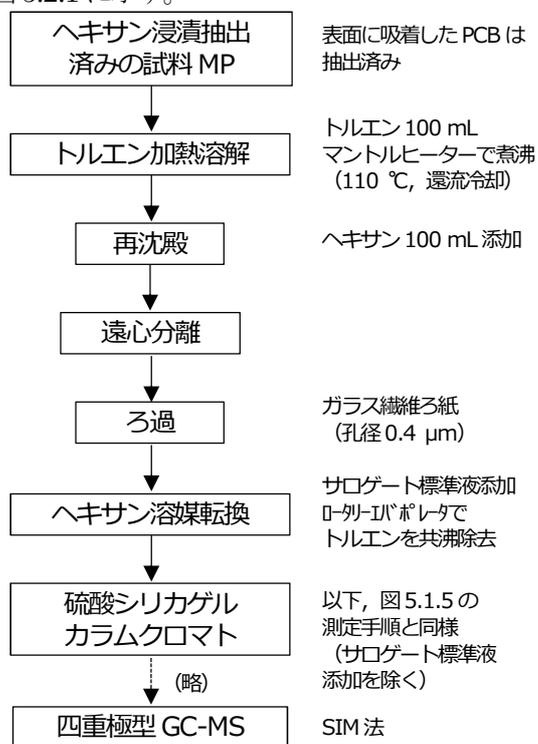


図5.2.1 PCB内部含有量の測定手順

表5.2.1 PCB内部含有量を測定した試料MPの概要

採取年月 採取地点	試料分別	測定検体数*				測定試料量
		PE	PP	PS	EVA	
2018年4月 鶴沼海岸	PE,PP,PSに分別し、採取量が多いものは、複数検体 (EVAはPEに含めた)	3	3	1		0.03~
		<u>2</u>	<u>2</u>	<u>0</u>		1.1 g程度
2018年7月 高浜台海岸	PE,PP,PS,EVAに分別し、さらに色及び形状で分別	8	7	1	1	0.005~
		<u>8</u>	<u>7</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	1.1 g程度

※ 上段は表面吸着量、下段は内部吸着量の測定検体数

表5.2.2 海岸漂着MPのPCB内部含有量測定結果の総括

採取年月 採取地点 MP材質	単位 (ng/g)			
	2018年4月		2018年7月	
	相模湾 PE	鶴沼海岸 PP	相模湾 PE	高浜台海岸 PP
測定検体数	2	2	8	7
測定試料量 (合算)	2.0 g	2.1 g	4.5 g	3.6 g
検出下限値	0.07	0.07	0.03	0.04
定量下限値	0.25	0.24	0.11	0.14
2Cl #11	<b>1.9</b>	<b>3.2</b>	<b>6.3</b>	<b>7.0</b>
3Cl #18	<b>1.0</b>	0.71	<b>2.3</b>	<b>1.7</b>
#20+#33	0.48	0.48	<b>1.2</b>	0.77
#31	0.96	0.86	<b>2.0</b>	<b>1.1</b>
4Cl #52+#69	<b>1.9</b>	0.66	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>
#43+#49	0.39	0.35	<b>1.0</b>	0.33
#44	0.60	0.54	<b>1.2</b>	0.57
1塩素化体 (M1CB)	ND	ND	ND	ND
2塩素化体 (D2CB)	19	3.2	6.3	7.8
3塩素化体 (T3CB)	3.6	2.9	7.9	6.4
4塩素化体 (T4CB)	3.8	2.2	7.8	4.9
5塩素化体 (P5CB)	ND	ND	0.11	0.36
6塩素化体 (H6CB)	ND	ND	ND	ND
7塩素化体 (H7CB)	1.2	1.4	0.63	ND
8塩素化体 (O8CB)	ND	ND	ND	ND
9塩素化体 (N9CB)	ND	ND	ND	ND
10塩素化体 (D10CB)	ND	ND	ND	ND
総量	28	9.7	23	19

#○：IUPAC番号 ※ 各検体の測定値を材質ごとに合算

#○+#○：複数異性体の合計量

※ 検出下限値以上、定量下限値未満の測定値を含む

ND：検出下限値未満 **赤太字**：1ng/g以上

## 5. 2. 2 結果及び考察

### 5. 2. 2. 1 測定結果の総括

2018年4月鵜沼海岸及び7月高浜台海岸の漂着MPのPCB内部含有量について、いずれかの試料で1ng/g以上であったPCB異性体を抜粋し、各同族体(塩素数ごと)の合計量とともに表5.2.2に示す。なお、各検体の測定値を材質ごとに合算した。

2塩素化体～5塩素化体及び7塩素化体のみが検出され、有機顔料由来と推定される<sup>2)</sup>2塩素化体の#11が最も多く、次いで3塩素化体の#18, #31, 4塩素化体の#52+#69が多く検出された。なお、#18(2,2',5'-T3CB)は有機顔料由来との文献情報等はないが、有機顔料由来と推定される#52(2,2',5,5'-T4CB)の脱塩素分解物である可能性がある。

総内部含有量は9.7～28ng/gであり、鵜沼海岸のPPでやや少なかったものの地点及び材質による変動は小さかった。

### 5. 2. 2. 2 PCB表面吸着量と内部含有量の比較

2018年4月鵜沼海岸及び7月高浜台海岸の漂着MPについて、PCB内部含有量の測定結果を5.1.2の表面吸着量(前述の吸着量と同義)の測定結果と合わせて図5.2.2に示す。

#11の内部含有量の割合は、PEで10～30%程度、PPで10%未満であり、PEについてはプラスチック製品の着色に使用された有機顔料の一部寄与があると推定された。

一方、#18及び#31の内部含有量の割合は、全ての試料で50%以上と高かった。これは、#18(2,2',5'-T3CB)及び#31(2,4',5'-T3CB)には、紫外線による脱離が起こりやすいオルト位(2-)の置換塩素があり<sup>2)</sup>、環境中でMP表面に当たった太陽光により分解したためと推定された。総内部含有量の割合は1.7～21%であり、MPに含まれるPCBの大部分は表面に吸着していることが分かった。

2018年7月高浜台海岸の漂着MPを材質、色及び形状で詳細に分別した場合について、PCB内部含有量の測定結果を5.1.2の表面吸着量の測定結果と合わせて図5.2.3に示す。

総内部含有量の割合は、PE黄緑色が82%、PE白色その他が64%、PE緑色人工芝が46%、PP赤色が41%と高く、#11, #18, #31, #52+#69も同様に高い傾向であった。

PE黄緑色、PE緑色人工芝、PP赤色については、プラスチック製品の着色に使用された有機顔料の寄与があると推定された。



図5.2.2 PCB表面吸着量と内部含有量の比較

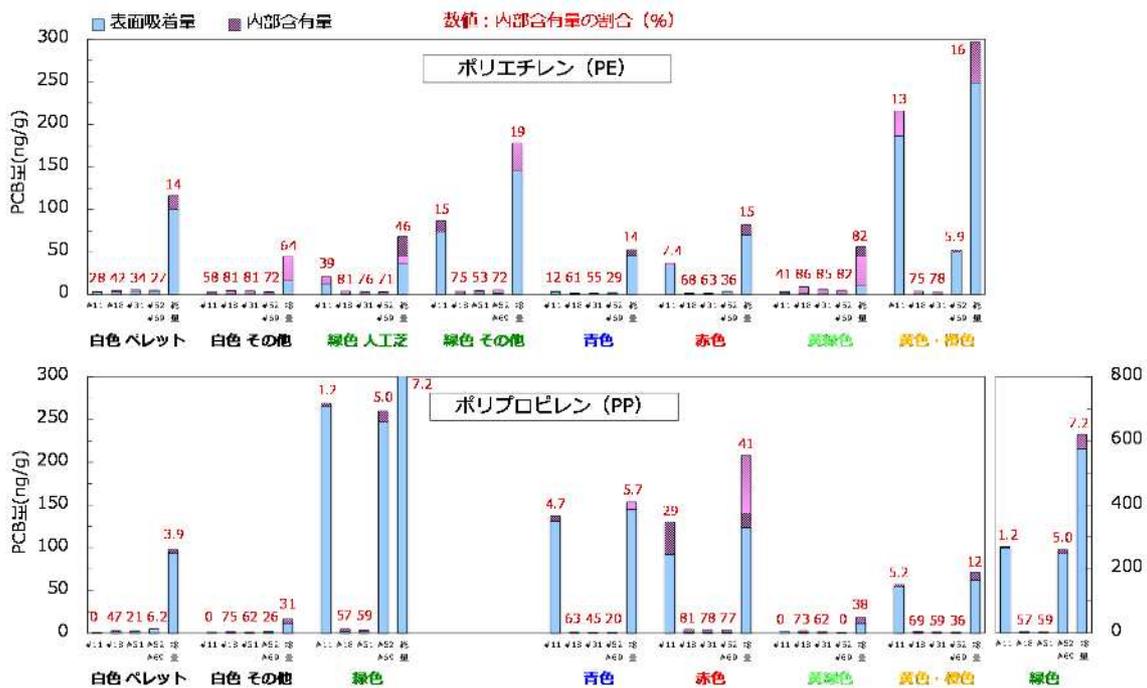


図 5.2.3 色及び形状で詳細に分別した場合の PCB 表面吸着量と内部含有量の比較 (2018 年 7 月 高浜台海岸)

PE 白色その他 (ペレット以外の破片) については、白色の有機顔料はないため、可塑剤 (難燃用) として PE に添加されたカネクロールの寄与があると推定される<sup>3)</sup>。全体としては、色及び形状による傾向は不明瞭であった。

### 5. 2. 2. 3 MP 内部に含まれる PCB の発生源

2018 年 7 月高浜台海岸の漂着 MP を材質、色及び形状で詳細に分別し、測定した PCB 内部含有量の同族体組成を図 5.2.4 に示す。

全ての試料で 2 塩素化体~4 塩素化体が主で、総内部含有量は 3.8~85 ng/g であり、材質、色及び形状による変動は小さかった。PE 白色のペレットとその他、PE 緑色の人工芝とその他、PP 白色のペレットとその他は、それぞれ同様の同族体組成であった。これは、同じ材質及び色のプラスチック製品が、同様の同族体組成の PCB を含んでいたためと推定される。

5. 1. 2 の表面吸着量の同族体組成と比較したところ、材質、色及び形状による傾向の一致はみられなかったため、MP 表面に吸着した PCB の全異性体が内部に移行した可能性は低いと考えられた。また、PE 及び PP の白色のペレットとその他については、表面吸着量はペレットの方が多かったのに対して、内部含有量は同程度であったことから、既報<sup>1)</sup>で述べたように、ペレットは海中の漂流時間が長く、多くの PCB を吸着していると推定された。

よって、MP 内部に含まれる PCB の主な発生源は、プラスチック製品の着色に使用された有機顔料であり、一部は、PE 製品に可塑剤として添加されたカネクロールであると推定された。

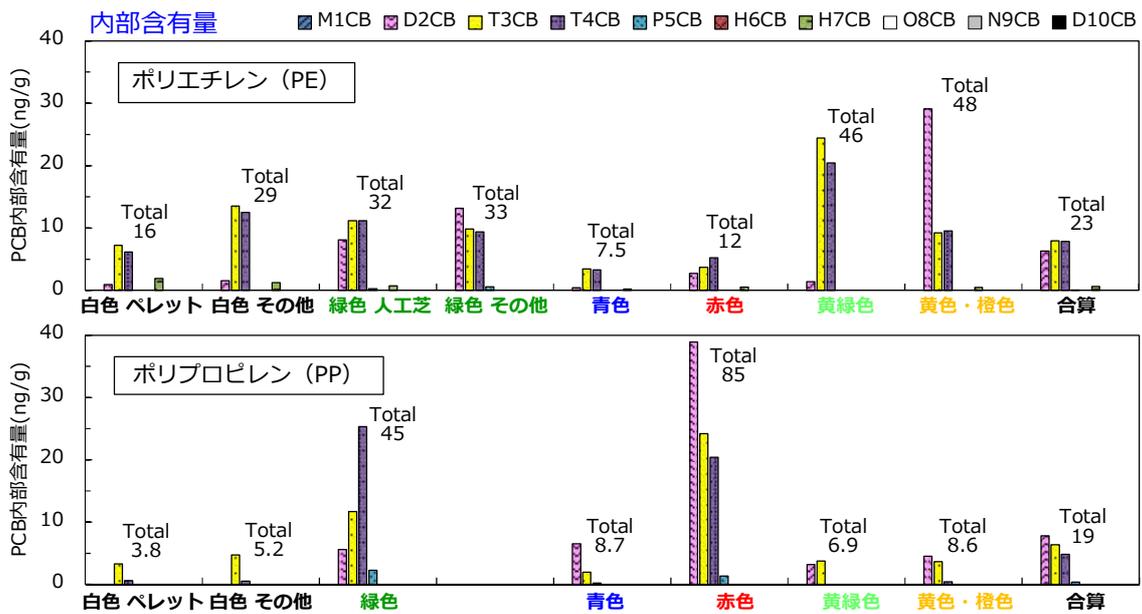


図 5.2.4 色及び形状で詳細に分別した場合の PCB 内部含有量の同族体組成 (2018 年 7 月 高浜台海岸)

### 5. 2. 3 参考文献

- 1) 小澤憲司, 三島聡子: 相模湾漂着マイクロプラスチックに吸着した PCB の実態及び発生源の推定, 神奈川県環境科学センター研究報告, 43, 18-27 (2020)
- 2) 中野武, 姉崎克典, 高橋玄太, 俵健二: 有機顔料製造過程での PCB 生成, 環境化学, 23, 107-114 (2013)
- 3) 環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課: ポリ塩化ビフェニル(PCB)使用製品及び PCB 廃棄物の期限内処理に向けて, 令和 3 年 4 月版, <http://pcb-soukishori.env.go.jp/download/pdf/full9.pdf>

(担当: 小澤)

### 5. 3 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水の PCB 濃度の比較検証

#### 5. 3. 1 調査方法

##### 5. 3. 1. 1 測定試料

2020 年秋季（10 月または 11 月）に，相模湾の高浜台海岸（平塚市），鵜沼海岸（藤沢市）と，比較のため東京湾の久里浜海岸（横須賀市）の 3 地点で漂着 MP 及び海水を採取した。また，各海岸近くに河口があり，漂着 MP の供給源と考えられる相模川，引地川及び平作川の下流域 3 地点で河川水を採取した。なお，関係地点の採取は同日に行った。

各採取地点を図 5.3.1 に示す。

漂着 MP の採取及び材質判別は 5. 1. 1. 1 と同様に行い，PE，PP，PS，エチレン酢酸ビニル共重合樹脂（EVA），ポリウレタン及び類似物（PU 等），その他に分別し，測定試料とした。

試料の概要を表 5.3.1 に示した。



図 5.3.1 海岸漂着 MP 及び海水と河川水の採取地点

表 5.3.1 PCB 吸着量を測定した試料 MP と PCB 濃度を測定した海水及び河川水試料の概要

採取年月	採取地点	試料種類及び分別	測定検体数							測定試料量
			PE	PP	PS	EVA	PU等	その他		
2020年10月	高浜台海岸	海岸漂着MPを PE,PP,PS,EVA,PU等, その他に分別	1	1	1	1	1	1	0.03~ 1.8 g程度	
2020年10月	鵜沼海岸		1	1	1	1	0	1		
2020年11月	久里浜海岸		1	1	0	1	0	1		
2020年10月	高浜台海岸	海水								11 L
2020年10月	鵜沼海岸		各地点1							10 L
2020年11月	久里浜海岸									12 L
2020年10月	相模川 田端スポーツ公園	河川水								11 L
2020年10月	引地川 富士見橋		各地点1							10 L
2020年11月	平作川 森崎橋									12 L

### 5. 3. 1. 2 測定方法

試料MPは、5. 1. 1. 2と同様にPCB吸着量を測定した。

海水及び河川水試料は、固相抽出により濃縮し、クリーンアップした後、四重極型GC-MS (SIM法) でPCB濃度を測定した。

海水及び河川水のPCB濃度の測定手順を図5.3.2に示す。

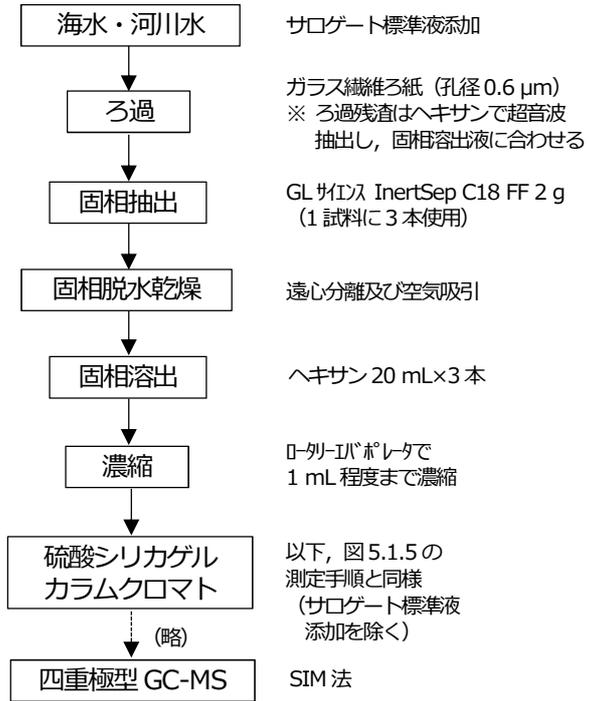


図5.3.2 海水及び河川水のPCB濃度の測定手順

### 5. 3. 2 結果及び考察

#### 5. 3. 2. 1 測定結果の総括

2020年秋季(10月または11月)に採取した海岸漂着MPのPCB吸着量と、海水及び河川水のPCB濃度について、いずれかの試料で高い値(漂着MPは5 ng/g以上、海水及び河川水は10 pg/L以上)であったPCB異性体を抜粋し、各同族体(塩素数ごと)の合計量とともに表5.3.1に示す。

全ての試料で2塩素化体~7塩素化体が主に検出された。2塩素化体の#11は、全ての試料で高い値で、特に漂着MPで高い傾向であった。3塩素化体~5塩素化体は、全ての海水及び河川水で高い傾向であった。久里浜海岸の漂着MPでは、2塩素化体の#11に加えて、6塩素化体の吸着量が多く、総PCB吸着量も220 ng/gと漂着MPで最も多かった。引地川の河川水では、2塩素化体~7塩素化体が幅広く高濃度で検出され、総PCB濃度も470 pg/Lと海水及び河川水で最も高かった。

漂着MPの総PCB吸着量は120~220 ng/g、海水の総PCB濃度は230~280 pg/L、河川水の総PCB濃度は230~470 pg/Lであった。漂着MPと海水の測定結果から、MPによるPCBの濃縮倍率は50~100万倍程度であると推定され、東京湾の海水と漂着ペレットの濃縮倍率が10万~100万倍程度であったとの論文報告<sup>1,2)</sup>と一致していた。

#### 5. 3. 2. 2 各試料のPCBの発生源及びその寄与率

5. 1. 2. 2で述べたように、海岸漂着MPに吸着したPCBの主な発生源は、過去にトランス、コンデンサ等に使用されたカネクロール及び有機顔料の製造工程における副生物であり、有機顔料由来と推定される異性体は、#11、#31、#35、#36、#52+#69、#153などが検出される。また、カネクロール及び有機顔料以外(燃焼など)の由来と推定される異性体は、#2、#14、#30、#78、#79、#209などが検出されるが、これらの吸着量は非常に少ない。

海水及び河川水中のPCBの発生源についても、漂着MPと同様に解析を行った。5. 1. 2.

表 5.3.1 海岸漂着 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水の PCB 濃度の測定結果の総括

採取年月	2020年10月			2020年10月			2020年11月		
	相模湾 高浜台海岸		相模川 田端スポーツ公園	相模湾 鵜沼海岸		引地川 富士見橋	東京湾 久里浜海岸		平作川 森崎橋
	海岸漂着MP	海水	河川水	海岸漂着MP	海水	河川水	海岸漂着MP	海水	河川水
測定試料量	1.9 g	11 L	11 L	4.0 g	10 L	10 L	2.2 g	12 L	12 L
測定項目	表面吸着量	濃度	濃度	表面吸着量	濃度	濃度	表面吸着量	濃度	濃度
単位	(ng/g)	(pg/L)	(pg/L)	(ng/g)	(pg/L)	(pg/L)	(ng/g)	(pg/L)	(pg/L)
検出下限値	0.008	0.7	0.7	0.004	0.7	0.7	0.007	0.6	0.6
定量下限値	0.027	2.3	2.3	0.012	2.4	2.4	0.022	2.2	2.2
2CI #4	ND	5.2	6.6	0.054	6.3	10	0.043	7.7	22
#11	88	15	15	22	23	20	52	20	31
3CI #18	2.1	15	15	1.8	18	17	0.95	20	29
#20+#33	0.64	10	5.0	0.58	8.1	5.2	0.63	5.7	6.8
#28	1.3	25	7.3	2.7	19	13	1.4	11	19
#31	1.2	15	9.1	3.0	12	11	1.4	14	19
#36	11	ND	ND	0.10	ND	ND	0.37	ND	ND
4CI #43+#49	1.2	6.8	5.0	4.3	6.4	12	1.5	8.3	5.9
#44	1.1	9.3	7.5	2.2	8.2	8.5	1.3	10	7.4
#52+#69	2.0	9.7	9.5	5.3	9.1	19	2.5	11	10
#66+#80	1.5	13	5.9	2.6	7.9	6.5	1.9	8.1	5.8
5CI #93+#95+#98+#102	2.4	8.2	9.4	2.3	5.8	19	3.5	8.6	7.1
#101	2.8	8.8	9.0	3.3	6.2	17	4.0	9.2	6.3
#110+#120	3.7	8.2	9.1	3.1	5.4	17	5.4	7.5	5.9
#118	2.4	9.9	7.9	2.2	5.5	11	4.9	6.5	4.3
6CI #128	0.64	2.3	2.1	0.94	ND	3.7	5.6	ND	ND
#132+#146	4.4	2.5	3.1	1.8	2.2	10	6.9	2.7	2.2
#138+#160	3.0	ND	ND	3.8	ND	ND	18	ND	ND
#139+#149	3.8	4.9	4.5	3.2	4.4	22	10	6.6	3.4
#153	4.4	5.9	5.9	4.4	6.1	24	19	7.3	4.3
#163+#164	0.98	2.0	1.8	1.8	1.5	8.6	8.9	2.6	ND
7CI #174	0.24	0.71	0.72	0.80	0.93	13	2.1	1.3	ND
#180	0.68	2.3	1.8	2.5	2.8	25	5.0	4.8	1.9
#182+#187	0.40	1.5	1.4	1.4	1.7	18	3.5	4.6	0.84
10CI #209	0.23	ND	17	0.12	ND	ND	0.18	ND	ND
1塩素化体 (M1CB)	0.29	ND	ND	0.53	ND	ND	0.32	ND	ND
2塩素化体 (D2CB)	89	23	22	22	30	30	52	27	57
3塩素化体 (T3CB)	24	93	54	14	76	70	7.8	73	110
4塩素化体 (T4CB)	12	79	56	31	69	81	18	77	57
5塩素化体 (P5CB)	21	56	53	20	36	95	31	50	33
6塩素化体 (H6CB)	25	22	20	21	16	96	84	22	19
7塩素化体 (H7CB)	2.6	6.3	3.9	8.8	7.6	94	22	18	2.7
8塩素化体 (O8CB)	0.66	ND	ND	1.4	ND	ND	2.0	ND	ND
9塩素化体 (N9CB)	0.16	ND	ND	0.16	ND	ND	0.14	ND	ND
10塩素化体 (D10CB)	0.23	ND	17	0.12	ND	ND	0.18	ND	ND
総量	170	280	230	120	230	470	220	270	270

#○：IUPAC番号 ※ 検出下限値以上、定量下限値未満の測定値を含む ND：検出下限値未満 赤太字：5ng/g以上の異性体  
#○+#○：複数異性体の合計量 ピンク太字：10pg/L以上の同族体

3と同様に、改良したケミカルマスバランス法により、漂着 MP、海水及び河川水について、カネクロール由来、有機顔料由来及びその他（燃焼など）由来の PCB 吸着量または濃度をそれぞれ算出し、各発生源及びカネクロールの製品別の寄与率を求めた。漂着 MP、海水及び河川水について、各発生源の寄与率を図 5.3.3 左に示す。漂着 MP については、高浜台海岸では、PE の#11 の吸着量が多かったため、有機顔料が 70%と高くなり、PP～その他ではカネクロールが 58～82%と高かったものの、MP 合算では有機顔料が 61%と高くなった。鵜沼海岸では、各材質のカネクロールが 56～90%と高く、MP 合算でも 73%と高くなった。久里浜海岸では、PE のカネクロールが 54%、PP の有機顔料が 57%であり、MP 合算ではカネクロールが 53%、有機顔料が 35%であった。海水及び河川水については、カネクロールが 65～94%と全ての地点で高かった。漂着 MP、海水及び河川水について、カネクロールの製品別の寄与率を図 5.3.3 右に示す。漂着 MP については、高浜台海岸では、PE の KC-500 が 70%と高く、MP 合算でも 60%と高くなった。鵜沼海岸では、各材質の

KC-400が30～47%と高くなったが、MP合算ではKC-400が37%、KC-500が30%、KC-600が26%と拮抗していた。久里浜海岸では、PEのKC-600が50%と高くなったが、MP合算ではKC-500が40%、KC-600が41%と拮抗していた。海水については、KC-300が26～37%、KC-400が41～45%と全ての地点で高かった。河川水については、相模川ではKC-400及びKC-500がともに38%と高く、引地川ではKC-600が42%と高く、平作川ではKC-300が49%と高く、各地点で傾向が異なっていた。

各発生源及びカネクロールの製品別の寄与率では、漂着MPの各材質と海水または河川水に明らかな相関はみられなかった。

### 5. 3. 2. 3 発生源別の測定結果

漂着MPのPCB吸着量と海水及び河川水中のPCB濃度の測定結果を、カネクロール由来と有機顔料由来に分けて図5.3.4に示す。漂着MPのPCB吸着量については、カネクロール由来では5.1.2とほぼ同様の結果であったのに対して、有機顔料由来では、高浜台海岸のPEが300ng/gと多く、高浜台海岸及び鶴沼海岸のPPが少ない傾向であった。また、各地点及び材質の組成は多様であった。海水のPCB濃度については、カネクロール由来、有機顔料由来ともに、3地点の濃度及び組成が極めて類似していた。河川水のPCB濃度については、カネクロール由来では、相模川及び平作川の濃度及び組成が比較的類似しており、海水とも類似していた。一方、引地川は濃度が高く、組成も異なっていたが、相模川及び平作川と比較すると、5塩素化体～7塩素化体が上乗せされた組成であった。

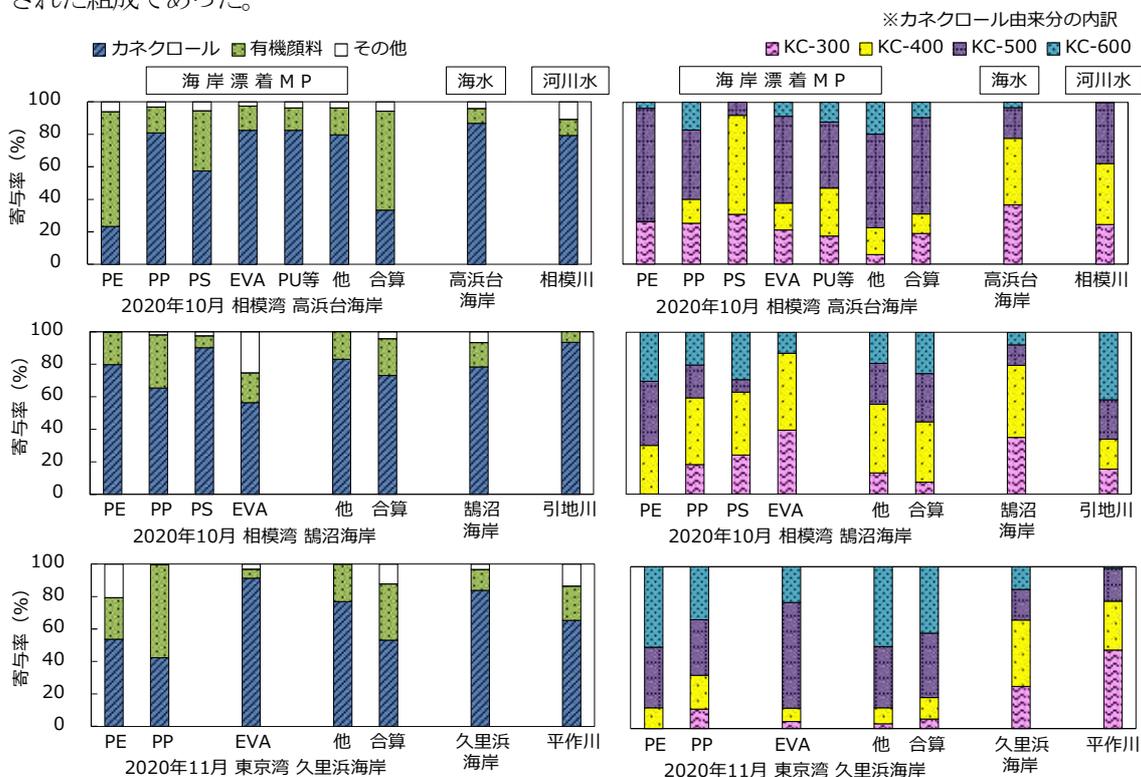


図 5. 3. 3 海岸漂着 MP に吸着した PCB と河川水及び海水中の PCB に対する各発生源の寄与率

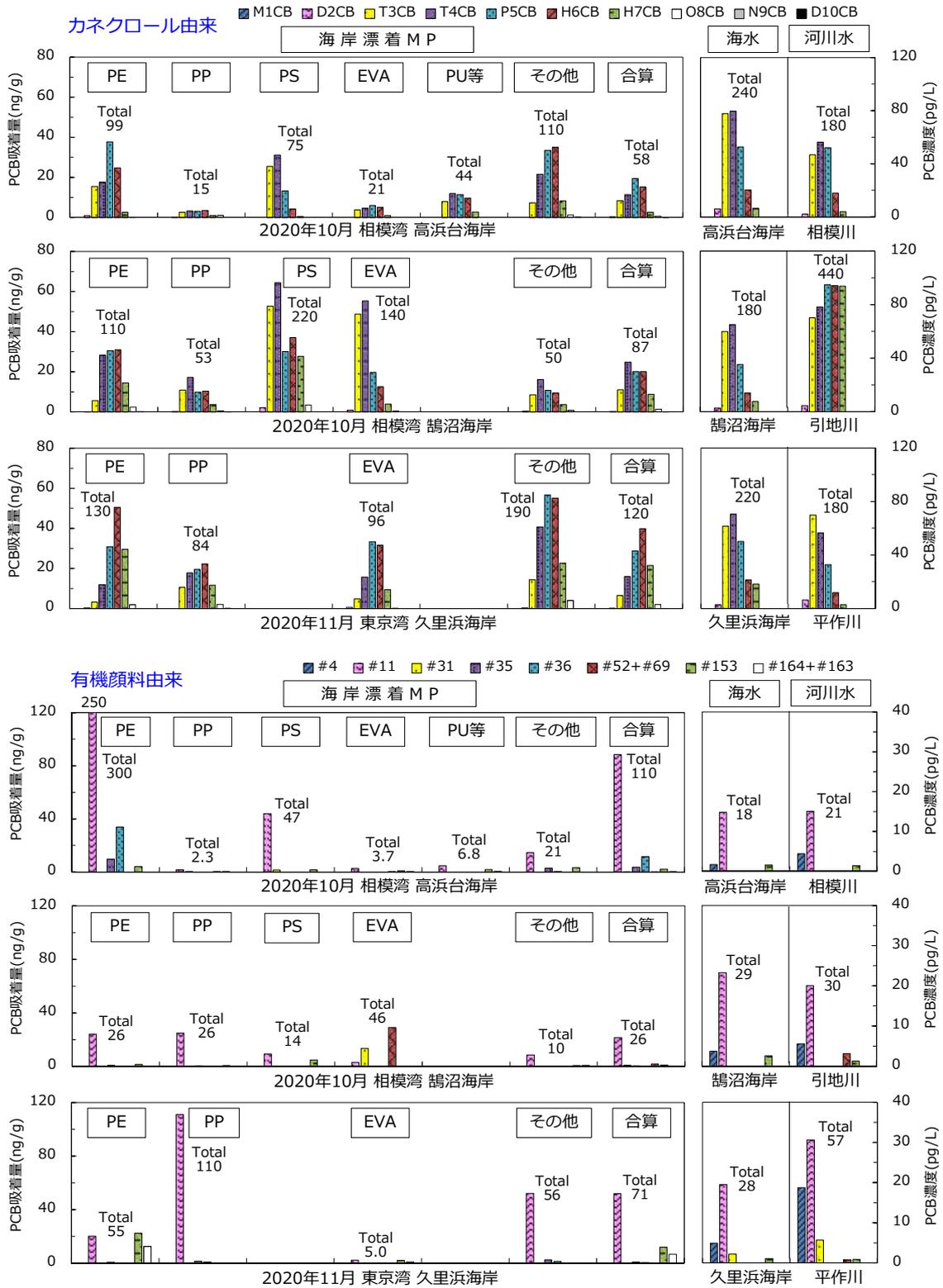


図 5.3.4 海岸漂着 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水の PCB 濃度の測定結果の総括（発生源別）

これには、河川流域に5塩素化体～7塩素化体のカネクロール (KC-500 及び KC-600) の発生源が過去に存在し、底質などから河川水に溶出している可能性が考えられた。有機顔料由来では、平作川の濃度がやや高いが、組成は類似しており、海水とも類似していた。神奈川県内の河川水は、河川によっては特異な発生源があるものの、ベースとなる PCB 濃度及び組成は、海水と同様であると推定された。

漂着 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水中の PCB 濃度の相関については、カネクロール由来では、高浜台海岸の PS と海水、鶴沼海岸の PS 及び EVA と海水の組成が類似していたが、PS 及び EVA は採取量が少ないため、MP 合算では相関はみられなかった。また、有機顔料由来では明らかな相関はみられなかった。

#### 5. 3. 2. 4 PCB の発生源と環境中での挙動

相模湾及び東京湾沿岸では、漂着 MP の PCB 吸着量、各発生源の寄与率及び同族体組成は多様性が大きかった。一方、海水の PCB 濃度、各発生源の寄与率及び同族体組成は極めて類似しており、河口近くであっても河川水の影響は小さく、海流によって相模湾及び東京湾沿岸の海水は均一化されていると推定された。

漂着 MP の PCB 吸着量及び組成等と海水及び河川水中の PCB 濃度及び組成等との相関があまりみられないことから、漂着 MP への PCB 吸着は、近隣の水環境で主に起こったものではなく、5. 1. 2. 3 で述べたように、過去に流出または遠方で流出した MP が長期間漂流している間に起こった可能性が示唆された。

#### 5. 3. 3 参考文献

- 1) Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T.: Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment, *Environ. Sci. Technol.*, 35,318–324 (2001)
- 2) 高田秀重: International Pellet Watch(IPW): 海岸漂着プラスチックを用いた地球規模での POPs モニタリング, *地球環境*, 19,135-145 (2014)

(担当: 小澤)

## 6. まとめ

2017年から5年間実施したプロジェクト研究「相模湾沿岸域におけるマイクロプラスチック汚染の実態解明」では、相模湾というローカルな場所を対象として、当時から海洋中に多く存在すると言われていたマイクロプラスチック（MP）に焦点をあて、地域における排出の実態を把握し、可能な範囲で発生源を特定した上で、流出防止あるいは排出抑制対策を講じていくことを目指してきた。この5年間で明らかになったことも多くあったが、いくつかの課題も残されている。

本報告書では、2017年から2018年にかけて実施した海岸及び河川における調査研究の成果のもとに、2019年度から残りの3年間にわたって実施してきた成果を取りまとめた。

相模湾では、海岸に漂着するMPにおいて、地域毎に特徴が見られたことから、その由来が外洋からではなく、内陸から河川を通じて流出している可能性が高いと推測された。これを踏まえて、内陸側の用途地域毎の調査、雨天時の河川流出調査、さらにはドローンを活用した河川及び河川敷の調査を実施している。加えて、前回の報告では海岸の調査地点も限られたため、クラウドファンディングによる資金援助をいただき、なおかつ県民の方々による協力も得て、相模湾の海岸を広域的に実施した調査、さらには特徴的な形状を示した中空球状MP（被覆肥料の被膜殻）の発生源調査及び前回から継続して実施した吸着PCBに関する解析調査も実施した。これらの調査研究結果から明らかになったことは以下の通りである。

- I. クラウドファンディングを活用した相模湾沿岸における県民参加型調査では、相模湾25地点に加えて、対照である東京湾2地点において、計17団体の参加により試料採取調査を実施した。その結果、MPの漂着量においても、樹脂ペレットの漂着量においても、茅ヶ崎市のヘッドランドが最も多かった。ヘッドランドは、茅ヶ崎海岸を侵食から防ぐために作られたT字型の突堤であるためと推測され、MPの漂着量には、地形も影響すると考えられた。
- II. 雨天時に河川を流出するMPの量、材質及び形態を把握するため、相模川の神川橋（寒川町一之宮）及び目久尻川の河原橋（寒川町一之宮）において、2020年の6月及び10月に調査を実施した。降雨後に河川水位が上昇したタイミングでサンプリングを実施したところ、降雨後はMPの個数が明らかに増加した。採取されたMPの材質は、定常時と同様、汎用プラスチックであるポリエチレン（PE）及びポリプロピレン（PP）が多かったが、一部PET製のフィルムも多く検出された。また、定常時と比較して5mmより大きいマクロプラスチックも多く排出されることが確認された。加えて、形状別では定常時と同様、海岸では少ないフィルム状のものが多く、発泡PSがほとんど検出されないことが特徴的であった。この結果から、フィルム状のものは、河川から海域に流出したのち、そのまま沖合に輸送されるか、あるいは沈降して底質に堆積した可能性が考えられた。一方、発泡PSのように、漁港等で使用される保管箱の破片と思われるものでは、湾内の潮流によって海岸に漂着している可能性が考えられた。
- III. ドローンを活用して荒天前後の河川及び河川敷に散乱するプラスチックごみの調査を試行的に実施したところ、荒天後に中州あるいは河岸に残ったプラスチックごみを確認することが出来たため、ドローンを有効活用することにより、労力をかけずに降雨後のプラスチックごみ排

出実態を把握することが可能になると考えられた。ただし、確認出来る大きさについては、撮影条件（特に高度）によっても異なっていた。

- IV. 相模湾西部沿岸で採取した被覆肥料殻については、春先の代掻き時に圃場から大量に流出することが確認された。その後、排水路を通じて酒匂川を經由し、最終的には山王網一色海岸へ漂着することがわかった。また、中干し及び落水作業時にも確認を行ったところ、代掻き時と比べて圃場からの流出はほとんど見られなかったが、山王網一色海岸において、漂着量の増加が確認された。これらのことから、やはり春先の代掻き時に土壌をかく乱する作業があるため、肥料殻が最も多く流出するものと考えられた。ただし、その後も海岸への漂着が続くことから、代掻き時に流出して河川の護岸等に付着していたものが、その後の出水期に越流によって流出した可能性が考えられた。
- V. 商業地域、住居地域、工業地域、水田地域及び住居地域など、用途地域毎に路肩に集積するプラスチック片の調査を実施したところ、住居地域が最も多かった。住居地域では、駐車場にあるカラーコーンあるいはごみ集積場由来のプラスチック片が散乱している様子が見られたためと考えられた。
- VI. 相模湾沿岸域で採取した海岸漂着 MP について、四季を通じた試料採取及び PCB 吸着量の測定を行い、季節ごとの実態を把握した。MP による PCB 汚染リスクの推定結果より、相模湾において注視すべきは、PE に吸着したカネクロール由来及び有機顔料由来の PCB、PP に吸着した有機顔料由来の PCB、PS に吸着したカネクロール由来の PCB であった。カネクロール由来の PCB については、PE の白色ペレットなどで特異的に吸着量が多い MP 個体が存在すること、有機顔料由来の PCB については、主に#11 であり、時季や MP の色及び形状による吸着量の変動が大きいことが分かった。
- VII. 海岸漂着 MP の PCB 内部含有量の測定を行い、PCB 吸着量の測定結果と比較したところ、海岸漂着 MP に含まれる PCB の大部分が表面に吸着していること、一部プラスチック製品中の有機顔料や可塑剤として添加されたカネクロールに由来する PCB が内部に含まれていることが推定された。
- VIII. 漂着 MP の PCB 吸着量と海水及び河川水の PCB 濃度の測定を行い、組成の類似性などを検証したところ、海岸漂着 MP への PCB 吸着は、近隣の水環境で主に起こったものではなく、過去に流出または遠方で流出した MP が長期間漂流している間に起こった可能性が示唆された。
- IX. MP に PCB などの有害化学物質が吸着することによる汚染リスクを低減させるためには、プラスチック製品の回収や不法投棄対策を行い、MP の供給元を絶つこと、特にペレットなど長寿命なものを排出抑制することが重要である。

以上の結果から、路上に散乱したプラスチック片が、降雨により河川を流下し、最終的には海岸へ漂着する過程のおおよそを把握することが出来た。しかしながら、河川及び河川敷の調査を同時期に実施していないため、河川からの流出量を面的に評価出来ていない。また、プラスチック新法

の施行により、今後は排出されるプラスチックの量が削減される可能性があり、対策の効果を見極めるためにも、長期的に海岸における漂着量調査を継続して実施する必要性も残されている。

これらを踏まえて、データが足りない部分を中心として、2022年度から3年間の計画で、「マイクロプラスチックの排出実態の解明に関する研究」を実施することになっている。この中には、国立環境研究所と地方の環境研究所が共同して実施する、Ⅱ型共同研究「河川プラスチックごみの排出実態把握と排出抑制対策に資する研究」（令和3~5年度）も含まれている。環境省では、海洋プラスチックごみ問題を受けて、各種ガイドラインの作成を行っており、「河川マイクロプラスチック調査ガイドライン」を令和3年6月に発行している。これまで、先行して調査を実施してきた神奈川県では、試料採取方式がこのガイドラインと若干異なるため、このガイドラインに則った調査を実施して、全国データと比較する必要がある。

今後も、得られた成果については報告したいと考えている。

#### 【謝辞】

本研究は、神奈川県成果展開型研究推進事業費（2019~2021年度）の助成により実施したものである。

なお、2019年度に実施した「クラウドファンディングを活用した県民参加型調査」では、たくさんの方に研究費のご支援をいただくとともに、多くのボランティアの方々に調査協力をいただきました。ここに記して、謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 神奈川県環境科学センター調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム；相模湾漂着マイクロプラスチック(MP)の実態とその由来の推定<中間報告書>, 2019年5月, <https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20190.pdf>

【研究チームメンバー】

所属	氏名
調査研究部	三島 聡子 (2017~2020) 小沢 憲司 (2018~2020) 中山 駿一 菊池 宏海 難波 あゆみ 代田 寧 (2021) 五十嵐 恵美子 (2019~2021) 小松 明弘 (2019~2020) 有田 俊幸 池貝 隆宏 (2017~2019) 坂本 広美 (2019~2021)