

横浜市内のマイクロプラスチック調査（第8報）

—河川マイクロプラスチック定点調査（2019～2021年度）—

松島由佳、畠山貴紀、山本大樹、米谷健司（横浜市環境科学研究所）

Microplastics survey in Yokohama City (Part8)
- Fixed point survey of microplastics in the rivers (Fiscal year 2019 to 2021) -

Yuka Matsushima, Takanori Hatakeyama, Hiroki Yamamoto, Kenji Yoneya
(Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：マイクロプラスチック、河川、海洋環境、定点調査

要旨

横浜市環境科学研究所では、2017年度から市内のマイクロプラスチック（MP）の実態調査を行っており、2019年度からは河川について、より精度の高いMP調査を行うため、採取方法や前処理方法等を検討してきた。今後、河川MPの調査を長期的に行うにあたり、実際に年2回（夏季及び冬季）、3定点（累計市内4河川4地点）で2019～2021年度の3年間調査し、定点調査方法を検討した。この結果、調査地点の選定において、河川表層に多いMPを安定して採取し、濾水量をより正確に計測するため、「①プランクトンネットを手で固定できる様に立入が可能」、「②濾水計が安定して回る流速及びプランクトンネットを沈める水深が確保できる」、「③安全に作業できる」地点が必要であることがわかった。また、採取されたMPの形状と材質については、調査地点間での明確な違いは確認できなかったが、MP個数密度とMPの元となったプラスチック製品の推定については、鶴見川亀甲橋において他の地点と異なる傾向が確認できた。この要因として、鶴見川には他の地点と異なる流域特性があるものと推測された。

1. はじめに

近年、プラスチックごみやマイクロプラスチック（一般的に5mm以下の微細なプラスチック¹⁾、以下MPと略す)による海洋汚染が国際的な問題となっている²⁾。2019年6月に開催されたG20大阪サミットでは、2050年までに海洋プラスチックごみの追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルーオーシャンビジョン」が共有され、海洋プラスチックごみに関する国際的な取組みが進んでいる³⁾。横浜市では2019年9月にプラスチック問題の解決に向けて、横浜市が取り組む具体的な行動を示した「よこはまプラスチック資源循環アクションプログラム」⁴⁾を策定した。また、2021年7月には横浜市生活環境の保全等に関する条例で環境への負荷の低減に関する指針を改正、「プラスチックの流出防止」を規定し、樹脂ペレットを使用等する事業者に対する取組を規定した⁵⁾。

横浜市環境科学研究所では2017年度から市内環境中のMP調査を行っている^{6)~10)}。このうち、市内沿岸の6か所の調査では、全ての海岸においてMPが観察された。このため、2019年度からは海域へのMPの流入経路の一つと考えられる市内河川中のMP調査を行うこととした。河川水中のMP調査については、2021年6月に環境省から河川マイクロプラスチック調査ガイドライン¹¹⁾（以下、環境省ガイドライン）が策定されたが、それまでは国際的にも確立された河川MP調査方法はなかった。このため、本研究所では2019年度から、より精度の高い河川MP

調査を行うため、採取方法（採取ネットの改良や横断方向における採取位置の影響）や分析の前処理方法（フェントン処理の有効性等）を検討してきた^{8)、10)}。今後、市内を広域かつ長期的に調査するにあたり、今回、市内3定点（累計4河川4地点）で2019～2021年度の3年間調査した結果を報告する。なお、MPは一般的に5mm以下と定義¹⁾されるが、本調査においては、環境省ガイドラインに準じ、5mm未満のMPを解析対象とした。



図1 調査地点

2. 調査方法

2-1 調査地点と採取日

調査河川は市内を広域的に把握するため、一級または二級河川である4つの河川（鶴見川、帷子川、大岡川、境川水系柏尾川）の各1地点で行った（図1～2、表1）。

なお、採取は2019（R1）～2021（R3）年度に夏季（7～9月）及び冬季（1～2月）の年2回行った。

2-2 試料採取方法

試料採取は既往の研究を参考にプランクトンネット（目開き300 μ m）^{14）、15）}を用いた。プランクトンネットの内部には濾水計（GENERAL OCEANIC社製、GO-2030R低速用ローター付）を取付け、プランクトンネットの内部を通過した水量を算出した。

なお、2019（R1）年度当初に使用したプランクトンネットは市販の丸形であったが、2020（R2）年度からは最表層のMPをより安定して捕集するため^{10）}、角形を自作し、導入した（図3）。

また、試料採取は河川中に立ち入り、プランクトンネット開口部の最上端が水面際になるように手動で固定して行った（図4）。

採取位置について、帷子川横浜新道下、大岡川青木橋、柏尾川吉倉橋（以下、それぞれ横浜新道下、青木橋、吉倉橋）では中間（川岸から対岸までの中間点）1点とした。なお、鶴見川亀甲橋（以下、亀甲橋）については、川幅が他の河川より広く、2020（R2）年度の本研究所の調査結果^{10）}で横断方向のMP個数密度の違いが大きいのことがわかっている。また、環境省ガイドラインにおいても「川幅が広い調査地点では、3地点以上の採取が望ましい」とされている。これより、2019（R1）～2020（R2）年度までは他地点と同様に1点採取であったが、2021（R3）年度の亀甲橋では、中間に加えて右岸（川の上流から下流に向かって右側）、左岸（川の上流から下流に向かって左側）を併せた計3点採取とした。

表1 調査地点の詳細

※濾水計が正常に回らなかったため欠測

地点番号	河川名	地点名	河川概要 ^{12）、13）}			調査年度	調査日
			分類	延長(km)	流域面積(km ²)		
①	鶴見川	亀甲橋	一級	約43	約235	2019(R1)	7/11、1/20
						2020(R2)	8/14、1/8
						2021(R3)	9/14、2/22
②	帷子川	横浜新道下	二級	約17	約57	2019(R1)	8/8、1/16
						2020(R2)	8/14、1/8
						2021(R3)	9/14、2/22
③	大岡川	青木橋	二級	約14	約35	2019(R1)	7/19、1/16
						2020(R2)	8/13、1/8※
④	境川水系 柏尾川	吉倉橋	二級	約11	約84	2021(R3)	9/17、1/24



①鶴見川亀甲橋



②帷子川横浜新道下

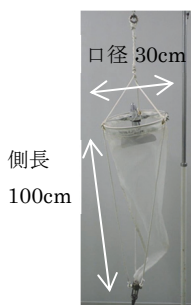


③大岡川青木橋

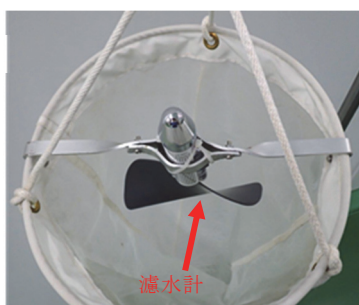


④柏尾川吉倉橋

図2 調査地点の遠景

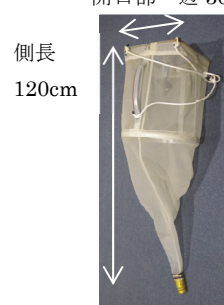


①市販の丸形プランクトンネット（R1年度使用）



濾水計

開口部一辺 30cm



側長
120cm



濾水計

②自作の角形プランクトンネット（R2年度から使用）

図3 各プランクトンネットの外観

2-3 試料前処理

採取した試料の分析フローを図5に示す。

プランクトンネットの捕集物は藻や落葉などの有機物を除去するために、フェントン処理¹⁶⁾を行った。フェントン処理は水130 mLに対して30%過酸化水素20 mLと硫酸鉄0.07 gを添加し、5日以上静置して行った。フェントン処理後の試料は40℃で乾燥後、プラスチックと思われるもの(プラスチック候補物)をピックアップし、これを分析対象とした。

2-4 MPの同定

プラスチック候補物は全て実体顕微鏡(オリンパス社製SZH10、ArTec)で大きさを計測し、5 mm未満のプラスチック候補物についてはFT-IR(Thermo Fisher Scientific社製Nicolet iS5、日本分光社製FT/IR-6600)を用いて分析し、材質を分類した。なお、FT-IRはATR法(プリズムに試料を密着させ、試料表面から数μmもぐりこんで反射する全反射光を測定する方法)を用いた。

3. 結果と考察

3-1 調査地点の選定

調査地点の選定条件として、次のような条件を考慮した。

- ①何を調査したいか(どのような考察をしたいか)
- ②潮の影響を受けない
- ③立入が可能で安全に作業ができる
- ④可能な限り、公共用水域の水質測定地点と同地点(環境基準点、補助点)
- ⑤濾水計が回る流速とネットを沈められる水深である

①については、本調査は広域かつ長期的な河川MPの調査であることから、調査河川は市内北部から南部の一級及び二級河川から3河川選択することとした。

②の潮の影響については、潮の影響のある地点では潮の満ち引きにより、河川中のMPに海水中のMPが混在することが懸念される。このため、なるべく潮の影響を受けない地点及び時期での採取とした。



図4 試料採取外観

③については、2019(R1)年度の調査⁸⁾において、プランクトンネットを橋の上から投げ込んだ採取では、河川中に立ち入り、採取ネットを手で固定した場合に比べて、プランクトンネット開口部を河川の流れに対して垂直に向け続けることや開口部の水面際で安定して保持することが難しかった。このことから、河川表層に多いMP^{17)、18)}を安定に採取し、濾水量をより正確に計測するため、プランクトンネットの固定は手で行うこととした。また、調査地点は事前に水深、流速、川底形状等を調査し、安全に作業できる地点とした。

④については、公共用水域の水質測定地点(環境基準点やその補助点)では河川の水質や流域情報などが得やすいため、長期的なモニタリングという観点から、調査地点は可能な限り水質測定地点と同地点とした。

⑤については、③で述べた様に、採取の際にはプランクトンネットを開口部の最上端が水面際になるように手動で固定するため、調査時期によらず安定して口径30 cmのプランクトンネットを十分水中に沈められる水深が必要であった。プランクトンネットの下端が川底に接触してしまうと、川底の砂等が撒き上がってしまったため、水深はプランクトンネットの口径+αとして35 cm以上が必要であると判断した。

また、実際に調査を行った際に、2020(R2)年度の冬季の大岡川青木橋において、流速が小さく、濾水計が正常に回らないことがあり、欠測となった調査があった。濾水計で正確に計測できていないと採水量が算出できず、MP個数密度を求めることができない。そこで、これまでの調査における採水時の流速を図6にまとめた。この結果から、同じ地点でも年度や季節、横断方向の採取位置によって、流速が異なっていることがわかる。また、欠測時の流速は0.11 m/sと最も小さく、採取できた調査の最小流速は0.14 m/sであった。このことから、調査地点では調査時期によらず安定して濾水計が回る流速(およそ0.14 m/s以上)が必要であるといえる。

以上の①~⑤を考慮し、2021(R3)年度の調査では、青木橋から柏尾川吉倉橋に調査地点を変更することとした。

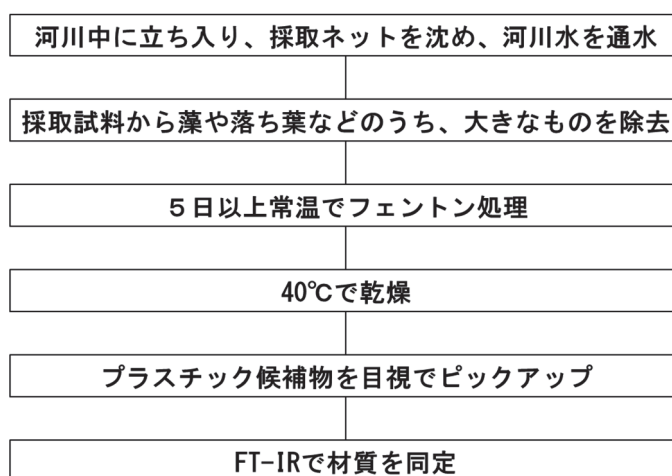


図5 試料採取からMP同定までの分析フロー

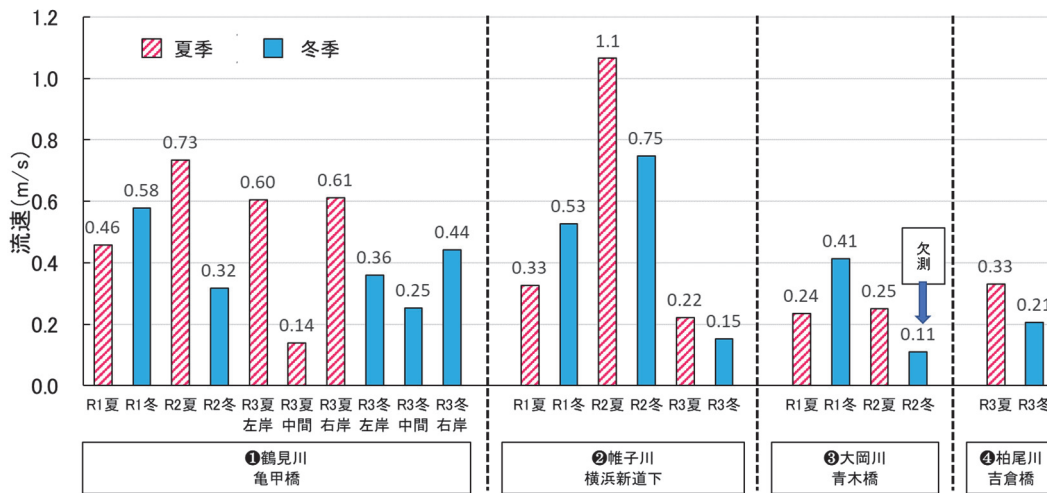


図6 各地点の流速(m/s)

3-2 MPの個数密度

本調査では、2-4の通り、5mm未満のMP全てをFT-IRで分析しており、分析対象に下限値を設けてはいない。一方、環境省ガイドラインにおいては「本ガイドラインは、河川水中の5mm未満のプラスチック片・繊維を対象とする。なお、目開き0.3mm程度のネットによる採取方法を用いていることから、1mm未満のマイクロプラスチックに関する測定値等は参考値とする」とある。そこで、今回調査したMPの個数密度について、「①全MP」、「②1mm以上のMP」、「③1mm未満のMP」に分けてまとめた(図7)。

この結果、①全MPの個数密度は0.57~6.7個/m³、②1mm以上のMPの個数密度は0.28~4.9個/m³、③1mm未満のMPの個数密度は0~3.0個/m³となった。

また、全MPに占める1mm未満のMPの個数密度の割合を図8に示す。1mm未満のMPは全MPの0~50%を占めており、調査日や調査地点によっては1mm未満のMPが1mm以上のMPと同率となる地点もあった。このことから、本報告では1mm未満のMPを参考値とせず、以降は全MPを用いて解析することとした。

亀甲橋のMPの個数密度は1.3~6.7個/m³であり、また、横断方向の3地点で測定した2021(R3)年度夏季では2.0~5.1個/m³、冬季では2.9~5.2個/m³となり、同時期でも横断方向の位置によっては倍以上異なる場合もあった。このことから、亀甲橋では横断方向の採取位置による違いが大きいため、今後も横断方向の3地点で採取を行う必要があるといえる。一方、横浜新道下のMPの個数密度は1.7~2.7個/m³、青木橋では0.70~3.0個/m³、吉倉橋では0.57~2.3個/m³であった。

4地点のMPの個数密度を比較すると、亀甲橋が夏季・冬季を問わず他の3地点と比べて大きい傾向にあることがわかった。これより、亀甲橋では上流に他の3河川とは異なるMPの流入要因がある可能性が推測される。

なお、全国70河川計90地点での二瓶らの研究結果¹⁹⁾によると、MPの個数密度の中央値は4.34個/m³、平均値は1.51個/m³であり、他の3地点より大きかった亀甲橋の平均値3.8個/m³は全国の中央値と平均値の間の値となっていた。このことから、市内河川は全国的にみると、MPの濃度が常時特に高い河川ではないと考えられる。

また、夏季と冬季のMPの個数密度を比較すると、亀甲橋と横浜新道下では明確な違いはみられなかった。一方、青木橋では冬季、吉倉橋では夏季において、MPの個数密度が大きい結果となったがその要因は不明である。

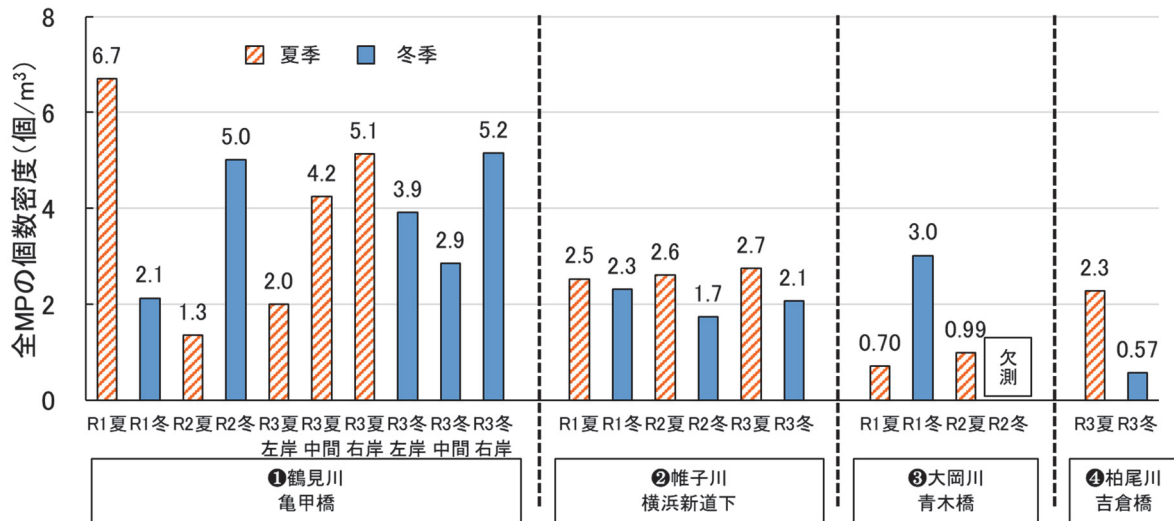
3-3 MPの形状

各地点のMPの形状を図9に示す。形状の分類はR1(2019)年度調査開始当初からR2(2020)年度までは「破片」「粒子」「繊維」としていたが、環境省ガイドラインでは分類が「破片」、「膜・シート状」「ビーズ」、「発砲」、「球・円柱」「繊維状」となったため、一部再集計を行った。このため、R1(2019)年度及びR2(2020)年度では「膜・シート状」は「破片」に含まれている。

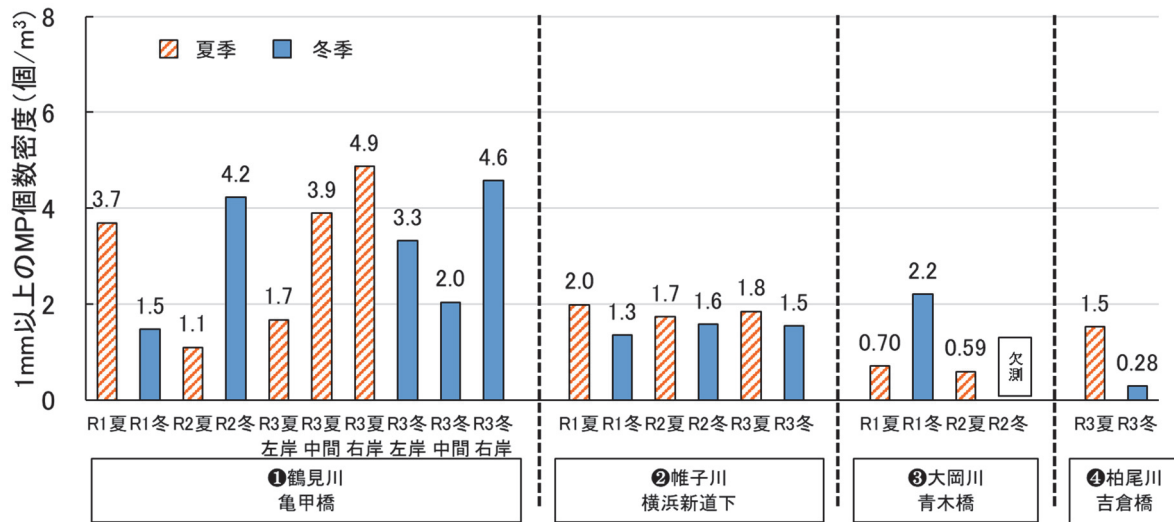
この結果、R1(2019)年度夏季の亀甲橋を除いて、調査年度や夏季・冬季、調査地点を問わず、すべての調査において「破片」と「膜・シート状」で全体の7割以上を占めていることがわかった。これより、河川中のMPは大きなサイズで製造されたプラスチックが、自然環境中で破碎・細分化された2次MPが主であるといえる。なお、調査によっては特定の形状の割合が上下することがあったが、MPの形状の割合に関する河川による違いは確認できなかった。

3-4 MPの材質

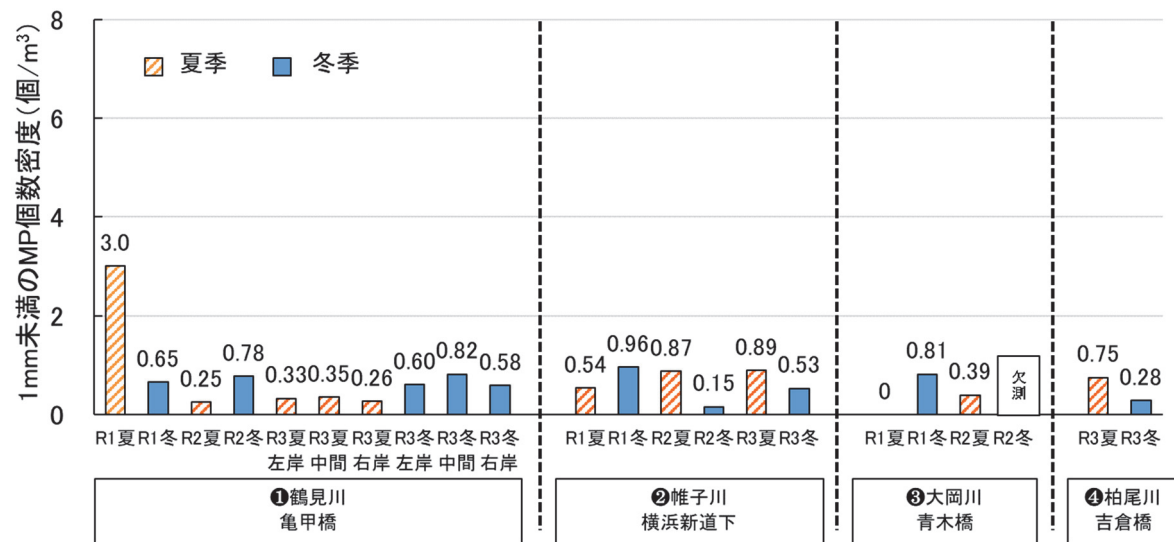
各地点のMPの材質を図10に示す。この結果、調査年度や夏季・冬季、調査地点を問わず、すべての調査において、ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)及びポリスチレン(PS)で全体の7割以上を占めていた。これは国内の廃プラ総排出量の樹脂別内訳上位3位²⁰⁾とも一致している。また、工藤らの全国河川調査²¹⁾におけるMPの材質について、PE、PPが全体の7割を占めていた結果とも同様の傾向となっていた。なお、その他プラスチックとしては、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリアミド(ナイロン)、ポリメタクリル酸メチル等のアクリル樹脂類、エチレンビニルアセテート(EVA)などが採取された。また、調査によっては特定の材質の割合が上下していることがあったが、MPの材質の割合に関する河川による違いは確認できなかった。



① 全 MP の個数密度



② 1mm以上のMP 個数密度



③ 1mm未満のMP 個数密度

図7 各地点のサイズ別のMP 個数密度

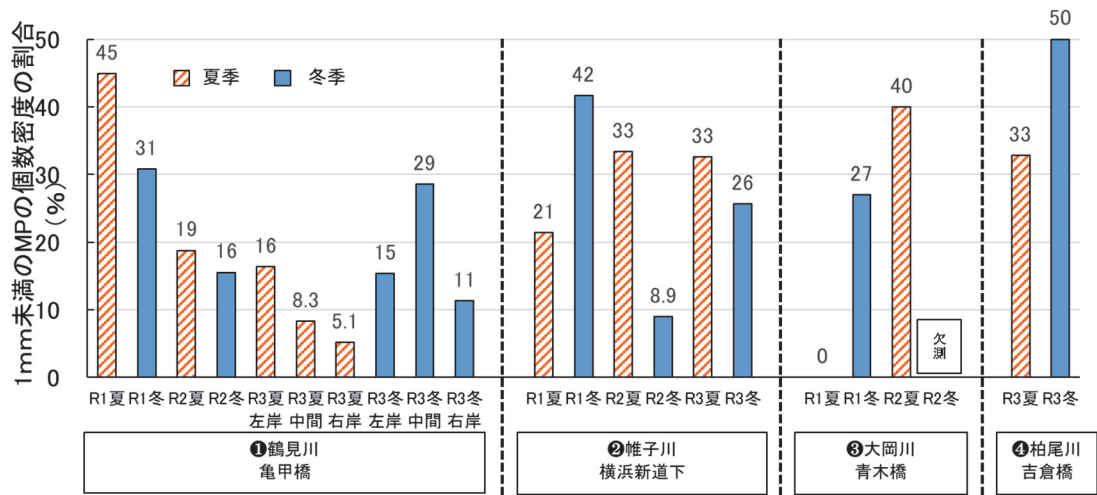


図8 全MPに占める1mm未満のMPの個数密度の割合

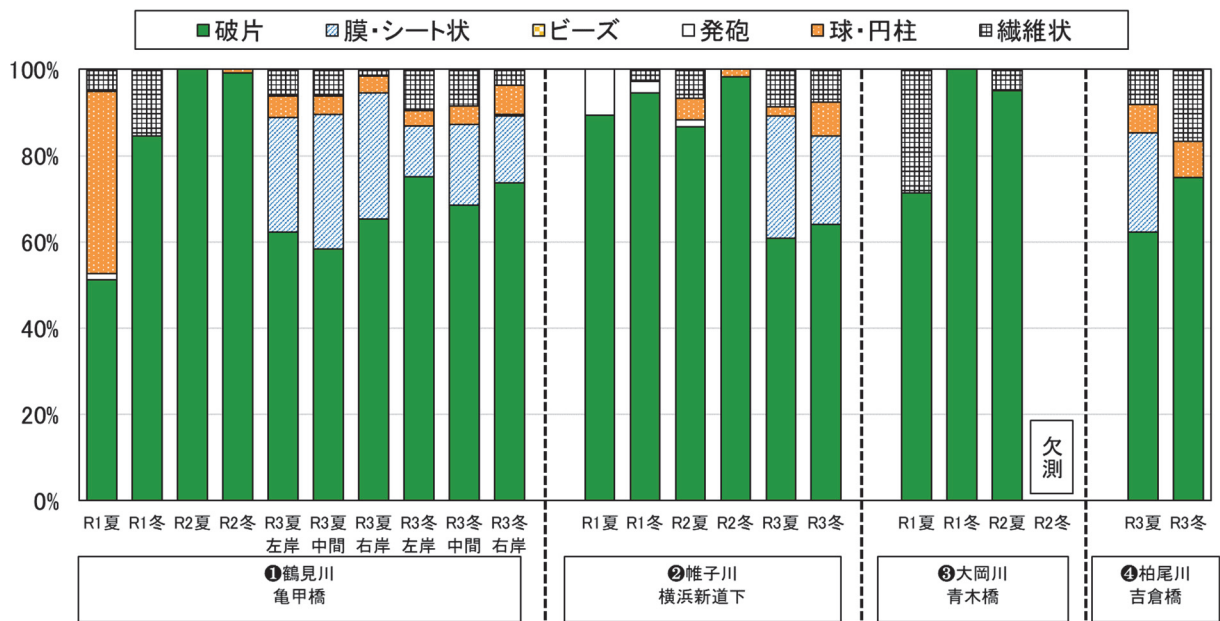


図9 各地点のMPの形状

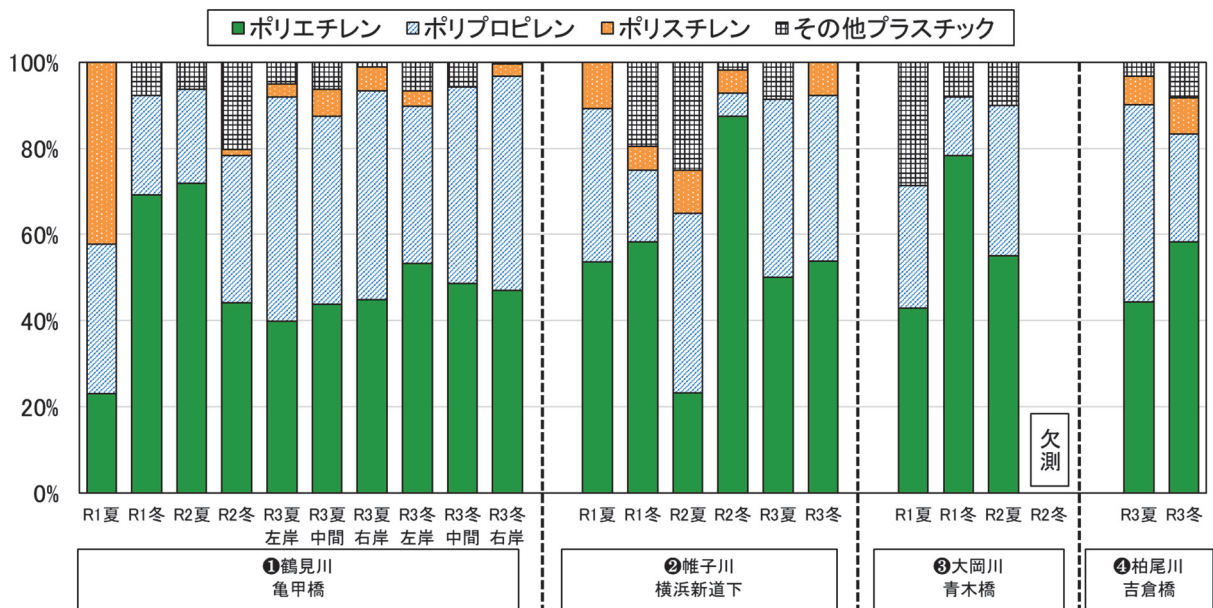


図10 各地点のMPの材質

3-5 MPの元となったプラスチック製品の推定

各地点で採取されたMPについて、実体顕微鏡での観察や材質などから総合的に判断し、MPの元となったプラスチック製品を推定した。元の製品は、「人工芝」、「発砲スチロール」、「ポリスチレン (PS) 粒子」、「ペレット」に分類し、それ以外や推定が困難なものについては、「不明」とした。この結果を図11に示す。

この結果、人工芝は全ての地点で採取され、4地点のうち亀甲橋だけは全体に占める割合が小さい傾向にあり、MPの個数密度による比較と同様に、鶴見川には他の3河川とは異なるMPの流入要因がある可能性が推測される。なお、神奈川県環境科学センターの相模川及び引地川の調査結果²²⁾をもとに算出すると、同河川中の人工芝は全MPの個数の5~11%程度採取されており、また、全国の河川中においても人工芝が見つかったという報告²³⁾もある。

一方、発砲スチロール及びPS粒子は、いずれの調査地点においても全体に占める割合は小さい傾向にあり、調査日によっては採取されないこともあった。

なお、横浜市環境科学研究所で2017(H29)~2019(R1)年度に行った市内沿岸調査^{6), 7), 9)}で多数確認されたペレ

ットは、亀甲橋右岸における2021(R3)年度夏季の調査では1個採取されたが、他の地点や調査日では採取されなかった。このことから、ペレットの沿岸への漂着は、河川による常態的な流下以外に主要な要因がある可能性が示唆される。

3-6 フィルム状のMP

3-5で、MPの元となったプラスチック製品を推定した際に「不明」としたものの中で特徴的な形状であったフィルム状のMPに着目した。全MPの個数のうちフィルム状のMP個数の割合を図12、フィルム状のMPの外観を図13に示す。

亀甲橋では2021(R3)年度冬季を除いて全ての調査日でフィルム状のMPが観察されており、その割合は3.8~19%であった。一方、横浜新道下、青木橋、吉倉橋では観察される時とされない時があり、その割合は2.7~14%であった。このことから、MPの個数密度やMPの元となったプラスチック製品の推定による比較と同様に、鶴見川には他の3河川とは異なるMPの流入要因がある可能性が推測される。

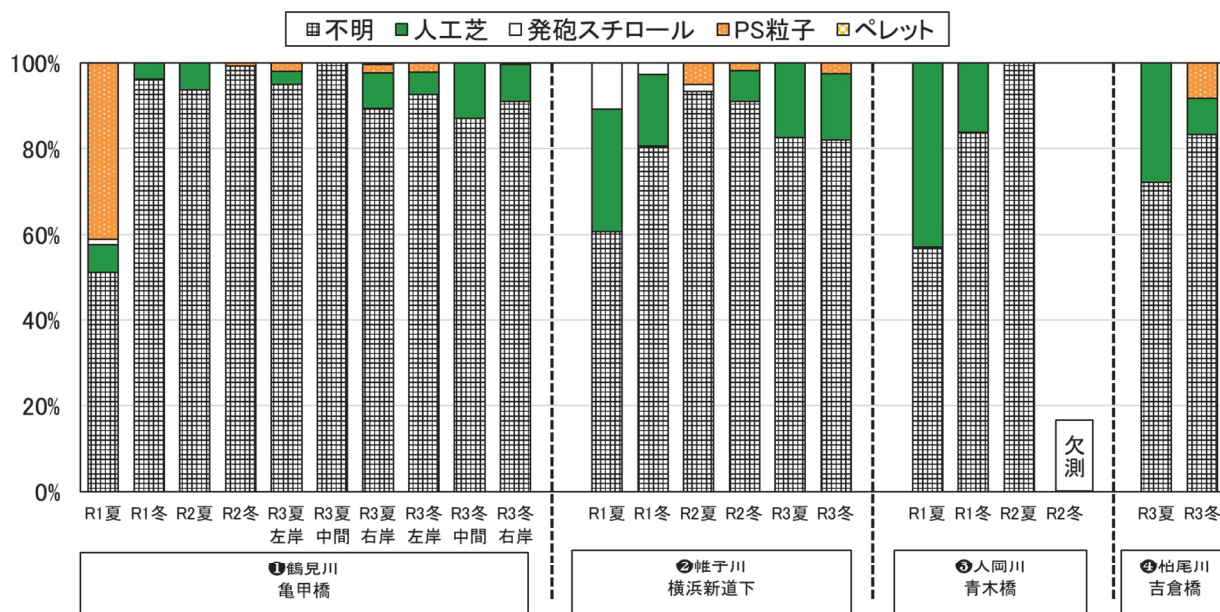


図11 MPの元となったプラスチック製品の推定

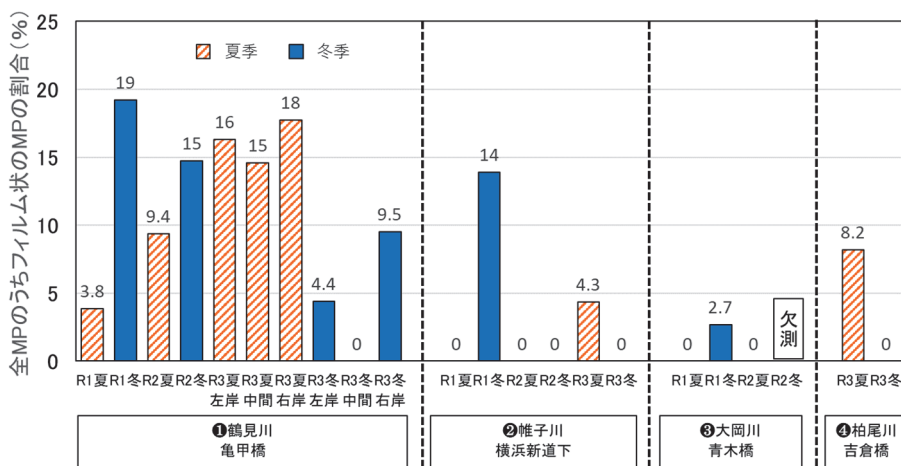


図12 全MPの個数のうちフィルム状のMPの割合



図 13 フィルム状のMPの外観

4. まとめ

河川中のMPの広域かつ長期的な調査を行うために、市内4河川4地点で2019(R1)～2021(R3)年度の3年間、検討した調査方法を用いてMPの実態を調査した。

この結果、調査地点の選定において、河川表層に多いMPを安定して採取し、濾水量をより正確に計測するため、「①プランクトンネットを手で固定できる様に立入が可能」、「②濾水計が安定して回る流速及びプランクトンネットを沈める水深が確保できる」、「③安全に作業できる」地点が必要であることがわかった。

また、調査した4地点のMPの個数密度を比較すると、亀甲橋では夏季・冬季を問わず、他の3地点と比べて大きい傾向にあることがわかった。なお、この亀甲橋のMPの個数密度の平均値は、二瓶らの全国70河川計90地点の調査結果の中央値と平均値の間の値であった。

採取されたMPの形状と材質については、環境省ガイドラインの分類上では調査地点間で明確な違いはみられなかった。一方、MPの元となったプラスチック製品の推定やフィルム状のMPについては、亀甲橋において他の地点と異なる傾向が確認できた。

以上から、鶴見川には他の地点と異なる流域特性があるものと推測された。今後はこの視点に着目した調査を実施していきたい。

文 献

- 1) Andrady A.L. : Microplastics in the marine Environment, *Marine Pollution Bulletin*, **62**, 1596-1605 (2011)
- 2) 環境省 : 環境白書 令和二年版、25-36(2020)
- 3) 外務省 : G20 大阪首脳宣言、https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/g20/osaka19/jp/documents/final_g20_osaka_leaders_declaration.html (2023年2月時点)
- 4) 横浜市 : よこはまプラスチック資源循環アクションプログラム、<https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/yokohamashi/org/shigen/sonota/hoshin/plastic-program.files/action-program.pdf> (2023年2月時点)

- 5) 横浜市 : 環境への負荷の低減に関する指針(事業所の配慮すべき事項)の一部改正、https://www.city.yokohama.lg.jp/business/bunyabetsu/kankyo-koen-gesui/kiseishido/tetsuzuki/joureikaisei20211001.files/0016_20210730.pdf (2023年2月時点)
- 6) 蝦名紗衣、加藤美一、堀美智子 : 横浜市内のマイクロプラスチック調査(第1報)-沿岸のマイクロプラスチックの漂着状況-、*横浜市環境科学研究所報*、**43**、26-30(2019)
- 7) 蝦名紗衣、加藤美一、北代哲也、小倉智代 : 横浜市内のマイクロプラスチック調査(第4報)-野島海岸のマイクロプラスチック漂着量の季節変動-、*横浜市環境科学研究所報*、**44**、52-58(2020)
- 8) 松島由佳、小倉智代、蝦名紗衣 : 横浜市内のマイクロプラスチック調査(第5報)-市内河川のマイクロプラスチック調査-、*横浜市環境科学研究所報*、**45**、13-20(2021)
- 9) 蝦名紗衣、小倉智代、北代哲也、浦垣直子、井上徹教、小室隆 : 横浜市内のマイクロプラスチック調査(第6報)-野島海岸のマイクロプラスチック漂着量のモニタリング-、*横浜市環境科学研究所報*、**45**、21-30(2021)
- 10) 松島由佳、畠山貴紀、山本裕一、山本大樹、米谷健司、蝦名紗衣 : 横浜市内のマイクロプラスチック調査(第7報)-河川マイクロプラスチック調査方法の検討-、*横浜市環境科学研究所報*、**46**、31-39(2022)
- 11) 環境省 : 河川マイクロプラスチック調査ガイドライン、<https://www.env.go.jp/content/900543325.pdf> (2023年2月時点)
- 12) 横浜市 : 横浜の川、https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kasen-gesuido/ka-sen/kouhou/default20190305.files/0017_20200306.pdf (2023年2月時点)
- 13) 横浜市 : 戸塚区内の河川、https://www.city.yokohama.lg.jp/totsuka/kurashi/machizukuri_kankyo/jimusho/kasen/kunainokasenn.html (2023年2月時点)
- 14) T. Kataoka, Y. Nihei, K. Kudou, H. Hinata : Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan, *Environmental Pollution*, **244**, 958-965(2019)
- 15) Ministry of the Environment Japan : Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods, Ministry of the Environment Japan, 18-22(2019)
- 16) Rachel R. Hurley, Amy L. Lusher, Marianne Olsen, Luca Nizzetto : Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices, *Environmental Science and Technology*, **52**, 7409-7417(2018)
- 17) 小林俊介、片岡智哉、宮本颯太、二瓶泰雄 : 河川におけるマイクロプラスチックの浮遊・沈降特性、*水工学論文集B1(水工学)*、**75(2)**、I_439-I_444(2019)

- 18) 石井裕一、齋藤由美、増田龍彦、田中仁志：河川表層水中の浮遊マイクロプラスチックの分布、東京都環境科学研究所年報 2021 年版、54-55 (2021)
- 19) Yasuo Nihei, Takushi Yoshida, Tomoya Kataoka, Riku Ogata: High-Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea, *Water*, **12**(4), 951 (2020)
- 20) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会: 2021 年プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況マテリアルフロー図、<https://www.pwmi.or.jp/pdf/panf2.pdf> (2023 年 2 月時点)
- 21) 工藤功貴、片岡智哉、二瓶泰雄：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**(4)、I_1225-I_1230 (2017)
- 22) 神奈川県環境科学センター：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>その 1 漂着実態把握と吸着化学物質の測定、<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/3464/2mprep20191.pdf> (2023 年 2 月時点)
- 23) 一般社団法人 ピリカ：「マイクロプラスチック等浮遊状況調査」2019 年度版レポート、27-28 (2020)