

逢妻川における河川マイクロプラスチック実態調査

木村 由紀子 市川 智宏 山内 幸一 齋藤 祐理香
白井 敏紀 成瀬 憲政 坂井田 稔 加藤 三奈

近年、世界中の海域で5 mm未満の微細なプラスチック類（以下「マイクロプラスチック」という。）が確認され、海洋環境等への影響が懸念されている。河川はプラスチックごみの陸域から海域への主要な流出経路であり、マイクロプラスチックについても多くが河川から海域へ流出していると考えられることから、河川中のマイクロプラスチックの実態把握が必要とされている。

そこで、愛知県内の河川中のマイクロプラスチックの実態を把握するため、環境基準点のある逢妻川及び上流の逢妻男川、逢妻女川の3地点で河川表層試料の採取を行い、前処理によりプラスチック候補粒子を分取し、フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）による同定を行った。2022年冬及び2023年夏の2回調査を実施した結果、マイクロプラスチックの個数密度は2.5～23.6個/m³（平均値13.5個/m³、中央値16.9個/m³）であった。形状は繊維状、破片（フラグメント）の順に多く、プラスチックの種別では、PET、PP、PEの順に多かった。

キーワード プラスチックごみ、マイクロプラスチック、河川

1 はじめに

近年、世界中の海域でプラスチックごみによる海洋環境等への影響が懸念されている。ウミガメ類や海鳥類等の生物がプラスチックごみを餌と間違えて捕食し、死亡した個体の体内からプラスチックごみが検出される事例や、流失した漁具に絡まり死亡する事例も報告されている^{1,2)}。また、プラスチックに含まれる化学物質や海水中から吸着した化学物質が、プラスチックごみとともに海洋を移動し、遠隔地への輸送媒体となっている³⁾。年間約800万トン以上のプラスチックごみが陸域から海洋に流出しており、2050年には海洋中のプラスチックごみの総重量が魚より多くなるとも言われている⁴⁾。

また、プラスチックごみの中でも5mm未満のマイクロプラスチックによる水環境や生態系への影響についても注目が集まっており、世界中で研究が進められている。マイクロプラスチックは、製品や製品の原料として使用するために微小なサイズで製造された一次マイクロプラスチックと、プラスチック製品が熱、紫外線、波風等の物理的な作用により劣化し、微細化した二次マイクロプラスチックに分けられる⁵⁾。マイクロプラスチックの生態系への影響は、生物が異物を取り込むことによる物理的な作用による影響と、プラスチック製品に元々含まれている添加剤や環境中から吸着した化学物質による影響がある。日本内湾等においても魚類の約4割からマイクロプラスチックが検出されているという研究結果⁶⁾や、プラスチックの劣化により表面積が大きくなると

化学物質の吸着量が増加することを示唆した研究結果もあり⁷⁾、水環境中のマイクロプラスチック量の把握が必要とされている。

海洋ごみの多くが陸域で発生したプラスチックごみ等が河川を経由して海に流出したものとされており⁸⁾、マイクロプラスチックについても多くが河川から海に流出していると考えられる。日常生活で使用するプラスチックの破片や、化学繊維の衣服の洗濯により生じた繊維状マイクロプラスチック、研磨剤に含まれるプラスチックビーズ等が生活排水や工業排水から直接河川に排出されるか、下水処理過程を経由して排出される。また、陸域や河川、海岸におけるプラスチックごみが紫外線等により微細化したものや、自動車のタイヤ摩耗粉じんや道路舗装の劣化等に由来するマイクロプラスチックが降雨により河川や海域に排出されている^{9~11)}。マイクロプラスチックに関する研究は海域で先行して行われてきたが、発生源対策の観点から陸域から海域への主要な流出経路である河川のマイクロプラスチックの実態把握が必要となっており、日本国内の河川でも研究が進められている^{12~20)}。

そこで、愛知県内の河川中のマイクロプラスチックの実態を把握するため、県中央部の豊田市から刈谷市にかけて流れる逢妻川及び支流の逢妻男川、逢妻女川について調査を行った。調査は環境省「河川マイクロプラスチック調査ガイドライン（令和3年6月）」²¹⁾（以下「ガイドライン」という。）に基づき行った。

2 方 法

2.1 試料採取地点及び試料採取日

公共用水域水質調査地点の環境基準点のある逢妻川及びその上流の逢妻男川、逢妻女川で試料採取を行った。逢妻川は逢妻川橋付近（刈谷市築地町）、逢妻男川は西逢妻橋付近（豊田市花園町）、逢妻女川は中田橋付近（豊田市中田町）で採取した（図1）。

採取時期による差を確認するため、冬（2022年12月2日）及び夏（2023年7月24日）の2回採取を行った。降雨による影響を避けるため、採取日及び採取前日に降雨がない日を選定した。冬の先行晴天日数は2日、夏は10日であった。

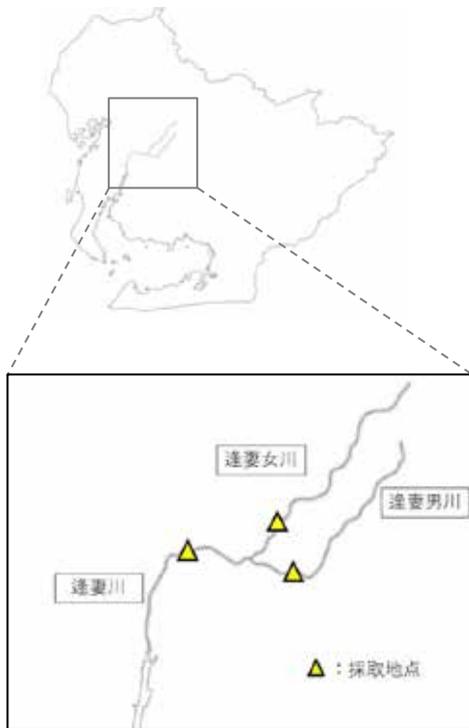


図1 試料採取地点

2.2 採取方法

採取には口径30cm、目開き0.3mmの円錐形プランクトンネットを使用し、採取用ネットの開口部に低流速用ローターを接続したデジタルろ水計（GO-2030R6型 GENERAL OCEANICS社製）を取り付け、ろ水量が10m³程度となるまで河川水を採取した。採取時は、河川内に立ち入り、河川の流心で採取用ネットの開口部上部を水面直下まで水没させて、河川表面付近の水を採取した（写真1）。地点ごとに別の採取用ネットを用い、採取後は開口部をアルミホイルで覆い、布製の袋に入れ持ち帰った。1地点につき1サンプル採取した。



写真1 試料採取の様子

2.3 前処理

採取した試料の前処理フローを図2に示す。

持ち帰った採取用ネットを水道水で洗い、試料をビーカーに移し替えた。別のビーカーに目開き0.1mmのネットをかぶせ、試料を静かに流し入れる過を行った。試料中に水草や落ち葉等が混入していた場合は、表面を精製水で洗い流した後除去した。ネットに残った試料を別のビーカーに30%過酸化水素水を用いて洗い込み、合わせて約100mLになるよう30%過酸化水素水を加え、時計皿をかぶせてウォーターバスで約55°Cに加温し、3~5日間静置し酸化処理した。過酸化水素水が不足する場合は適宜追加し、試料中の懸濁物がおおむねなくなるまで過酸化水素水の追加と加温を行った。酸化処理が終わった試料を目開き0.1mmのネットでろ過し、少量の精製水で複数回洗い込んだ。この試料を5.3Mよう化ナトリウム溶液を入れた漏斗に流し入れ、3時間以上静置し、比重分離を行った。漏斗下層部に溜った試料と上層部の試料をそれぞれ別のビーカーに流し入れ、目開き0.1mmのネットでろ過し、精製水で洗浄した。洗浄後の試料をガラスシャーレに精製水で移し込み、下層部の試料についてもプラスチック候補粒子がないか確認した。ガラスシャーレ上の試料からプラスチック候補粒子をピンセットで分取し、別の格子付きガラスシャーレに移し、それぞれのプラスチック候補粒子の形状及び色を、目視または拡大鏡を用いて確認し記録した。また自動計測コロニーカウンター（PSF-2100 写真化学社製）を使用し、シャーレごとの画像データを取得し、画像処理ソフトを用いて長径を0.01mm単位まで測定し記録した。



図2 前処理フロー

2.4 プラスチックの同定

分取したプラスチック候補粒子を、フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) (IRAffinity-1SまたはIRAffinity-1 島津製作所製)の全反射測定法(ATR法)で測定した。得られたスペクトルデータについて機器のライブラリを使用しスペクトル検索を行い、プラスチックの同定を行った。分類は、ポリエチレン (PE), ポリプロピレン (PP), ポリスチレン (PS), ポリエチレンテレフタレート (PET), ナイロン (Nylon), タンパク質, セルロース (天然繊維), 無機物, 黒色サンプル (FT-IRで明確なスペクトルが検出されない特定のゴム等のサンプル), その他 (プラスチック), その他 (プラスチック以外), 同定不能の12種類とした。

2.5 添加回収試験

採取から前処理までの操作の正確性を確認するため、市販の直径0.300~0.355mmのオレンジ色着色ポリエチレン粒子 (ORGPMS-1.00 300-355 μ m Cospheric社製)を用い添加回収試験を行った。2023年7月24日の採取時に、試料採取後及び未使用のプランクトンネットに現場で着色ポリエチレン粒子50個を添加して持ち帰り、前処理を行った後、残った着色ポリエチレン粒子

の個数を計測した。

3 結果と考察

3.1 プラスチックの検出状況

今回の調査結果を表1に示す。ガイドラインでは5mm未満のプラスチックを対象としており、目開き0.3mm程度のプランクトンネットで採取することから、1mm未満については参考値とされているが、今回の調査では1mm未満及び5mm以上についても測定したため、ガイドラインで対象とする1~5mmとそれ以外のものを含む全サイズとに分けて考察を行った。

3.1.1 個数

今回調査した3河川で採取できた1~5mmのプラスチック候補粒子数は31~464個であり、そのうちプラスチックと同定できたものは26~265個、各調査地点のろ水量で割った個数密度は2.5~23.6個/ m^3 (平均値13.5個/ m^3 , 中央値16.9個/ m^3)であった (図3)。この結果は、本調査と同様にガイドラインに基づいて実施された鈴木らの調査結果 (平均値1.2個/ m^3 , 中央値1.0個/ m^3)¹³⁾や他の日本国内での調査結果^{15, 17~20)}と比較して多い結果となった。なお、他の調査結果は都市部に限定した結果で

表1 調査結果

河川名	逢妻川				逢妻男川				逢妻女川			
	2022/12/2		2023/7/24		2022/12/2		2023/7/24		2022/12/2		2023/7/24	
採取日												
水深(m)	0.51		0.60		0.45		0.53		0.42		0.45	
ろ水量(m^3)	13.8		10.2		10.2		10.4		10.4		11.2	
ろ水速度(m^3/min)	1.7		2.1		0.5		0.7		1.3		1.6	
サイズ	1~5mm 全サイズ											
プラスチック候補粒子数(個)	43	65	345	641	31	49	239	386	238	396	464	820
プラスチック数(個)	34	49	194	376	26	41	180	269	173	268	265	433
プラスチック個数密度(個/ m^3)	2.5	3.5	18.8	36.5	2.5	4.0	17.2	25.8	16.6	25.7	23.6	38.6
形状(%)												
破片(フラグメント)	44.1	57.1	24.7	46.8	26.9	31.7	10.0	29.0	27.7	40.7	23.0	38.1
繊維状	52.9	40.8	73.2	51.9	65.4	61.0	88.9	69.9	72.3	59.3	74.7	60.3
膜・シート状	2.9	2.0	2.1	1.3	7.7	7.3	1.1	1.1			0.4	0.5
発泡(発泡プラスチック)											0.8	0.5
円柱・球(ベレット)											1.1	0.7
色組成(%)												
透明	32.4	34.7	1.0	1.3	15.4	14.6	1.1	2.2	31.8	28.4	4.2	3.2
白	29.4	30.6	54.6	54.0	19.2	19.5	57.8	55.0	24.9	24.6	50.9	53.8
赤	5.9	4.1	1.0	1.1		2.4	2.2	1.9		0.4	0.4	0.9
橙(オレンジ)	5.9	4.1	4.1	4.5	7.7	4.9	0.6	1.9	1.7	1.1	6.4	6.0
黄	2.9	4.1	5.2	4.5			3.3	4.5			0.4	0.5
緑	2.9	4.1	3.1	2.4	7.7	4.9	4.4	3.3	2.3	3.7	3.8	3.5
青	11.8	12.2	1.0	2.7	7.7	9.8	0.6	1.1	0.6	0.4	1.5	1.6
紫	2.9	2.0					0.6	0.4		0.4		
黒	2.9	2.0	11.3	14.4	34.6	39.0	17.2	19.0	21.4	28.4	15.5	17.1
複合(混合色)	2.9	2.0	18.6	13.8	7.7	4.9	10.6	8.6	17.3	12.7	17.0	13.4
その他				1.3			1.7	2.2				
種別(%)												
ポリエチレン(PE)	25.6	21.5	7.0	12.5	25.8	30.6	8.8	11.4	13.0	14.1	11.9	14.1
ポリプロピレン(PP)	30.2	36.9	13.6	16.1	38.7	36.7	10.5	12.7	27.7	25.0	8.8	10.0
ポリエチレンテレフタレート(PET)	20.9	13.8	28.1	21.5	9.7	6.1	46.0	33.9	28.2	23.2	33.2	24.3
ポリスチレン(PS)			1.4	2.0	3.2	4.1	0.8	1.6	0.4	1.3	0.2	0.6
ナイロン(Nylon)						2.0				0.4	0.5	
タンパク質			0.6	0.5			1.3	1.8	0.4	0.8		0.2
セルロース(天然繊維)	4.7	3.1	4.9	3.7			5.9	7.3	7.1	7.1	4.3	4.4
無機物			6.4	6.4				0.5		0.8	4.1	3.9
黒色サンプル												
その他(プラ)	2.3	3.1	6.1	6.6	6.5	4.1	9.2	10.1	2.9	3.5	3.0	3.8
その他(プラ以外)			6.4	5.8			3.3	4.1			21.3	21.6
同定不能	16.3	21.5	25.5	25.0	16.1	16.3	14.2	16.6	18.9	23.2	13.1	17.1

はないため、人口密度等が同等な結果と比較する必要はある。

3つの河川の個数密度を比較すると、逢妻女川が最も多く、逢妻川と逢妻男川は同程度であった。下流に向かうほど個数密度が増加すると想定していたが、上流の逢妻女川の方が多い結果となった。冬と夏で比較すると、冬は2.5~16.6個/m³、夏は17.2~23.6個/m³であり、夏の方がどの河川でも多い結果となった。他の調査でも同様の傾向を示す結果があり、流量や降水との関連があると考えられている^{18~20)}。今回の調査でも、どの河川も夏の方が水深が深く、ろ水速度も速かった。また、調査地点上流の豊田アメダス観測所の降水量²²⁾は、調査日直近では、冬は11月29日に26.5mm、夏は7月13日に4.5mmであり、冬の方が多かったが、調査日前1か月の合計降水量（降水日数）は、冬は87.5mm（6日）、夏は175.0mm（12日）であり、夏の方が多かった。このことからマイクロプラスチックの個数密度には直近の降水だけではなく、合計降水量や降水日数が関係していると考えられる。

また、マイクロプラスチックの個数密度と人口密度、市街地率に相関があると言われていた¹⁵⁾、逢妻男川と逢妻女川では逢妻男川周辺の方が人口集中地区が多く、逢妻女川周辺は農地が多いため²³⁾、逢妻女川の個数密度が多い要因との関連は少ないと思われる。

採取地点周辺の環境を見ると、逢妻女川の両岸は樹木等の植生が多く生えており、河岸近くの樹木には高水位時に絡まったとみられるビニール袋などのプラスチックごみが見られた。一方で、逢妻川と逢妻男川は植生はあるが草本のみで、樹木のような大きなものはなかった。逢妻女川では河岸に樹木が多いためか、冬・夏の両時期とも河川に落ち葉が多く流れており、サンプリング時もプランクトンネットの中に入っている落ち葉や水草が他の地点より多かった。川に落ちた落ち葉や水草が水中のマイクロプラスチックが付着しており、その落ち葉等を採取したことにより、逢妻女川では個数密度が多くなった可能性がある。逢妻川と逢妻男川では冬と夏の差が

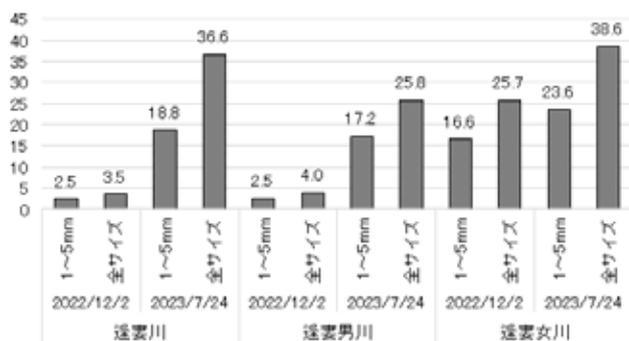


図3 個数密度 (個/m³)



写真2 採取されたプラスチック（左：破片（フラグメント）、中央：被覆肥料の被膜殻と考えられる球状プラスチック、右：繊維状、格子の一边は5 mm）

7倍程度、逢妻女川では1.5倍程度と、逢妻女川の方が冬と夏の差が小さかったが、逢妻女川では冬も夏も川を流れている落ち葉がプランクトンネットに捕捉されていたため、マイクロプラスチック数の差が少なかったのではないかと考えられる。

浮遊物質量（SS）とマイクロプラスチック数との関連を調べるため、夏の調査ではSSを同時に測定した。通常SSは2mm以下のものを対象とするが、今回は2mm以上のものについても測定対象とした。結果は、逢妻川 8mg/L、逢妻男川 5mg/L、逢妻女川 7mg/Lであり、マイクロプラスチック数との明確な関連は認められなかった。SSは採取するポリ容器の口径が小さく、採取時間も短いため、落ち葉等の大きな浮遊物質は採取が難しかったためと思われる。

3.1.2 形状・色・種別

形状は冬の逢妻川的全サイズを除き繊維状が最も多く、次に破片（フラグメント）が多い結果となった。織

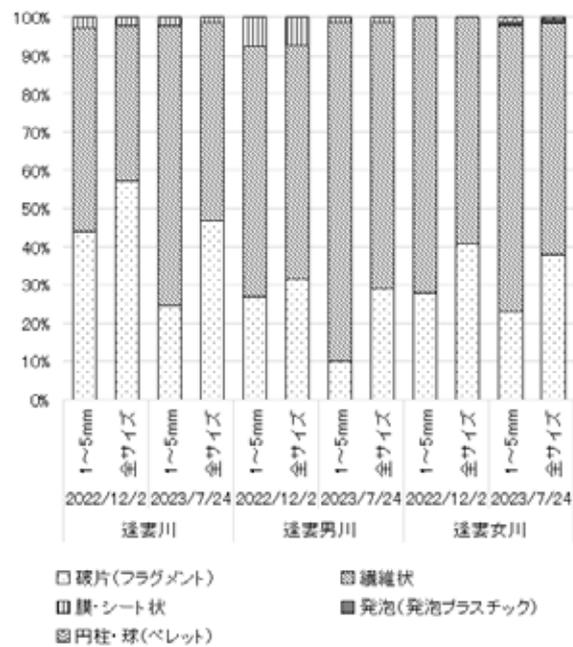


図4 形状

繊維状と破片（フラグメント）で全体の9割以上を占めていた（図4）。また、冬と夏では夏の方が繊維状の割合が多くなった。繊維状の発生源としては、洗濯排水が考えられ、冬の方が毛足の長い衣服が多いため繊維状が多くなると予測したが逆の結果となった。冬と夏では夏の方が洗濯の回数が多い傾向にあり²⁴⁾、繊維が出やすいタオル等の洗濯頻度も高いと思われるが、今回の結果との関連については不明である。

また、逢妻女川の夏のみスポンジ状の発泡プラスチックと球状プラスチックが検出された。球状プラスチックについてはプラスチック被覆肥料の被膜殻であると思われる。逢妻女川周辺は農地が存在するため、農地にまかれた被覆肥料の被膜殻が代掻き等で農地から流出したと考えられる。タイヤ摩耗粉じん由来と考えられる黒色サンプルは、今回検出されなかった。1~5mmと全サイズを比較すると、1~5mmの方が破片（フラグメント）の割合が少なかった。

色については、透明、白のプラスチックが多く、次に黒が多く見られた（図5）。逢妻男川の冬では黒が多く、透明・白の割合が少なかったが、その他の地点では冬夏ともに透明と白を合わせたものが5~6割を占めていた。

プラスチックの種別では、PET、PP、PEが多く、どの河川でも3種で約5~7割を占めていた（図6）。逢妻川及び逢妻男川では冬にPE、PPが多く、夏にPETが多かった。逢妻女川ではPPが冬に多く、PE、PETは冬と夏で同程度であった。3河川とも冬にPPが多い傾向があった。色及び種別については、1~5mmと全サイズで大きな差は見られなかった。

今回の調査で多く検出された破片（フラグメント）と繊維状について、3河川で検出された全サイズのプラスチックにおける種別と色の割合を図7に示す。繊維状のPETが最も多く、破片（フラグメント）のPETは少なかった。PEは逆に破片（フラグメント）の方が多く、PPはどちらも同程度であった。他の研究ではPE、PP、PSの3種が多く検出されているが^{13, 14, 17)}本調査ではPETが多かった。このことは繊維状PETに起因していると考えられた。また、色について、冬と夏で透明の割合が大きく異なったが、透明は破片（フラグメント）より繊維状のもので多く、繊維状は細く色の判別が難しいため、白と透明の区別が明確にできていなかった可能性がある。

3.1.3 サイズ分布

今回採取したプラスチックの長径は、最小0.07mm、最大19.20mmであり、0.5mmごとのサイズ分布では0.5~1mmの範囲のプラスチックが最も多かった（図8）。

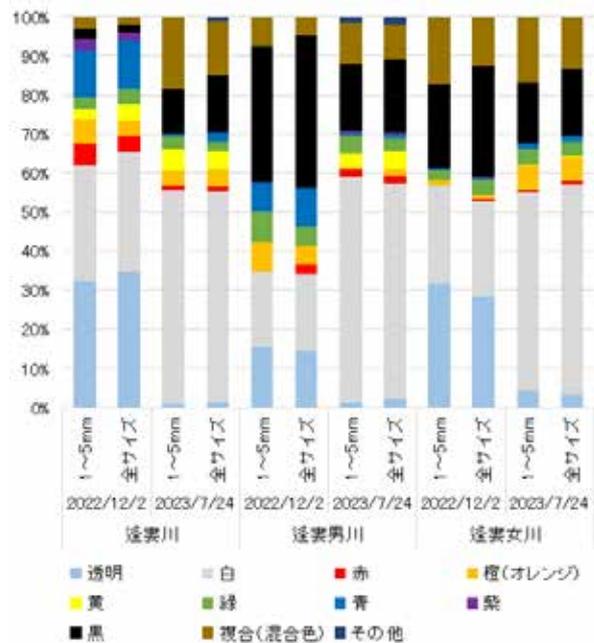


図5 色

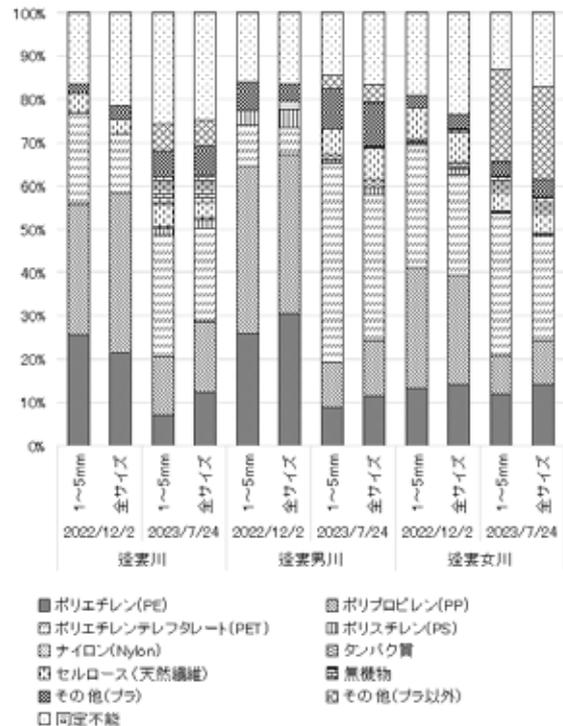


図6 種別

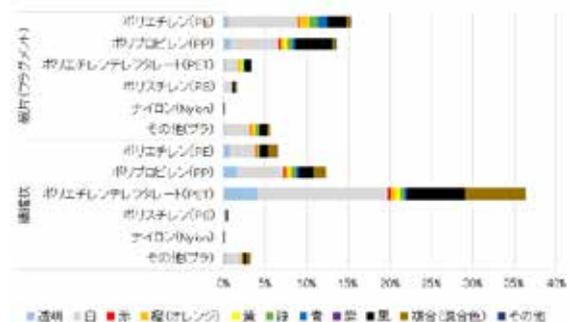


図7 形状別の種別・色

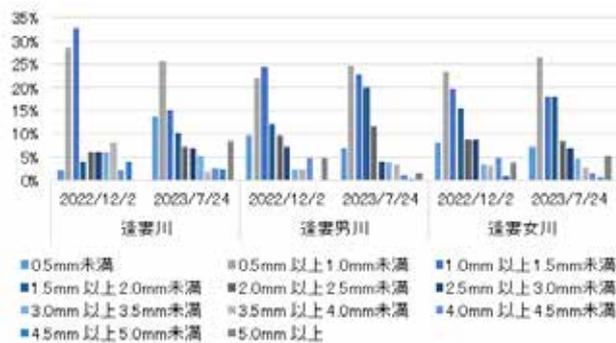


図8 サイズ分布

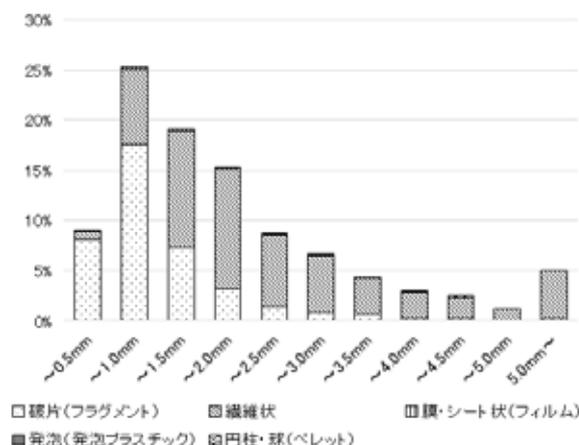


図9 サイズ別の形状

プランクトンネットの目開きが0.3mmのため、0.5mm未満のプラスチックは少なくなったと考えられる。0.5mm以上に於いては、小さなサイズほど多く検出される傾向があった。2mm未満のサイズが全体の6~7割であり、工藤らの研究¹⁶⁾と同様の傾向であった。採取した全サイズの試料のうち、ガイドラインの対象となる1~5mmのマイクロプラスチックは5~7割程度であった。3河川の中で下流にあたる逢妻川と上流の逢妻男川・逢妻女川について、2mm未満のサイズの割合を比較しても同程度であり、今回の調査では下流ほどプラスチックが細分化されるという結果にはならなかった。

形状について、全サイズと比較して1~5mmの方が破片(フラグメント)の割合が少なかったため、全サイズのプラスチックについて0.5mmごとの形状の割合を示した(図9)。1mm以上では破片(フラグメント)より繊維状が多く、1mm未満では逆に破片(フラグメント)の方が多かった。

破片(フラグメント)と繊維状について、PE, PP, PETの3種の種別ごとのサイズ分布を見ると、どの種別も破片(フラグメント)は0.5~1.0mmに分布のピークがあり、繊維状は1.5~2.0mmにピークがあった(図10)。このことから、繊維状より破片(フラグメント)の方が劣化し細くなりやすいことが示唆される。ただし、1mm未満の繊維は小さいため、全て分取できていない可能性があり、さらに微小なマイクロプラスチックを測定できる方法で測定した場合、異なる結果となる可能性がある。また、プラスチックの種別によって劣化・微細化の実態が異なるとの研究²⁵⁾もあるが、今回の調査では種別ごとにサイズ分布の傾向に差は見られなかった。

3.2 添加回収試験結果

添加回収試験の結果、回収された着色ポリエチレン粒子の数は、空試験46個、逢妻川50個、逢妻男川49個、逢妻女川44個であった。88~100%回収できており、前処理操作に問題がないことが確認できた。逢妻女川では、ネットに着色ポリエチレン粒子を投入する際に濡れた手に付着したため、そこでロスした可能性がある。

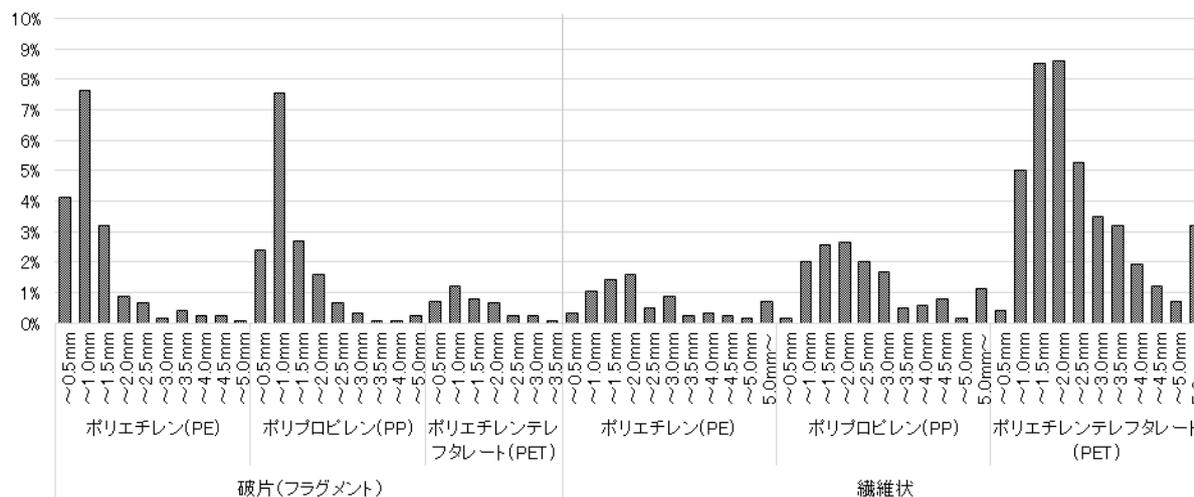


図10 種別ごとのサイズ分布

3.3 今後の課題

今回初めて河川マイクロプラスチックの調査を行ったが、検出されたマイクロプラスチックの数が多く、測定に長時間を要したため、作業の効率化・省力化を図る必要があると感じた。プラスチック候補粒子の分取や色・形状の判別等目視による作業は個人差が出やすいため、カメラや顕微鏡などの電子機器の活用が望ましいと考えられる。

また、人口密度や下水道普及率は市町村ごとに公表されているため、豊田市から刈谷市という狭い範囲を流れる3河川について、それぞれの流域ごとの人口密度等の比較が難しかった。今後、調査を県内の他の地域にも広げ、マイクロプラスチックの個数密度と人口密度等との関連について調べていきたい。SSとの関連については、今後の調査でもSSを測定するとともに、落ち葉等へのプラスチックの付着の有無を確認していきたい。また、他の研究結果と比べると繊維状の割合が多かったため、繊維状の発生源や、県内の他の河川でも同様の傾向があるのかについて調査する必要がある。

4 まとめ

ガイドラインに基づき、逢妻川及び上流の逢妻男川、逢妻女川の3地点で、2022年冬と2023年夏の2回河川表層試料の採取を行った。その結果、マイクロプラスチックの個数密度は2.5~23.6個/m³ (平均値13.5個/m³, 中央値16.9個/m³)であった。冬と夏で個数密度を比較すると、夏の方がどの河川でも多い結果となった。このことは流量や直近の合計降水量と関係があると考えられる。

形状は繊維状、破片(フラグメント)の順に多く9割以上を占めていた。また、冬と夏では夏の方が繊維状の割合が多くなった。色については、透明、白のプラスチックが多く、次に黒が多かった。プラスチックの種別では、PET, PP, PEの順に多く、3種で約5~7割を占めており、なかでも繊維状のPETが最も多く検出された。0.5mmごとのサイズ分布では、0.5~1mmの範囲のプラスチックが最も多かった。

謝 辞

プラスチックの同定に際し、あいち産業科学技術総合センター尾張繊維技術センター及び産業技術センターのFT-IRを使用させていただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 1) Gall S.C. and Thompson R.C. The impact of debris on Marine Life, *Marine Pollution Bulletin*, **92**, Issues1-2, 170-179 (2015)
- 2) 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*, **66**, 51-68 (2016)
- 3) 高田秀重, 山下 麗 海洋プラスチック汚染概論—研究の歴史, 動態, 化学汚染—, 水と廃水, **60**(1), 29-40 (2018)
- 4) Ellen MacArthur Foundation The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics (2016)
- 5) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment, *GESAMP Reports and Studies*, **90** (2015)
- 6) 牛島大志, 田中周平, 鈴木裕識, 雪岡 聖, 王 夢澤, 鍋谷佳希, 藤井滋穂, 高田秀重 日本内湾および琵琶湖における摂食方法別にみた魚類消化管中のマイクロプラスチックの存在実態, *水環境学会誌*, **41**(4), 107-113 (2018)
- 7) 雪岡 聖, 田中周平, 鍋谷佳希, 鈴木裕識, 藤井滋穂, 高田秀重 水環境中におけるマイクロプラスチックの粒形に着目した微量有機汚染物質の吸着特性, *土木学会論文集G(環境)*, **74**(7), III_527-III_535 (2018)
- 8) Laurent C.M. Lebreton, Joost van der Zwet, Jan-Willem Damsteeg, Boyan Slat, Anthony Andrady and Julia Reisser River plastic emissions to the world's oceans, *Nature Communications*, **8**, 15611 (2017)
- 9) 三島聡子, 中山駿一, 二瓶泰雄 路肩のプラスチック片堆積状況に対する近傍の発生源及び累積降雨量の影響, *環境化学*, **33**, 41-50 (2023)
- 10) Tamaki Morioka, Shuhei Tanaka, Yuta Yamada, Satoru Yukioka and Fumihiko Aiba Quantification of microplastic by particle size down to 1.1 μm in surface road dust in an urban city, Japan, *Environmental Pollution*, **334** (2023)
- 11) Leads Rachel R. and Weinstein John E.

- Occurrence of tire wear particles and other microplastics within the tributaries of the Charleston Harbor Estuary, South Carolina, USA, *Marine Pollution Bulletin*, **145**, 569-582 (2019)
- 12) 大塚佳臣, 高田秀重, 二瓶泰雄, 亀田 豊, 西川可穂子 マイクロプラスチック汚染研究の現状と課題, *水環境学会誌*, **44**(2), 35-42 (2021)
- 13) 鈴木 剛, 中尾賢志, 比嘉元紀, 谷脇 龍, 伊藤彰, 宇野悠介, 佐藤敬士, 宇智田奈津代, 田中厚資, 秋田耕祐, 藤原康博, 倉持秀敏, 大迫政浩 河川マイクロプラスチックの排出実態把握と排出抑制対策に向けて, *地球環境*, **27**(3), 253-264 (2022)
- 14) 中根芽莉, 谷口義則, 大脇健史 愛知県内河川におけるマイクロプラスチック汚染, *陸の水* (Limnology in Tokai Region of Japan), **88**, 1-7 (2021)
- 15) 二瓶泰雄, 片岡智哉 河川から考える海洋プラスチックごみ・マイクロプラスチック対策, *廃棄物資源循環学会誌*, **29**(4), 309-316 (2018)
- 16) 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**(4), I_1225-I_1230 (2017)
- 17) Yasuo Nihei, Takushi Yoshida, Tomoya Kataoka and Riku Ogata High-Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea, *Water*, **12**(4), 951 (2020)
- 18) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 北浦郁弥 平常時・出水時河川のマイクロプラスチック濃度の時間変動特性と年間輸送量評価, *土木学会論文集 B1 (水工学)*, **74**(4), I_529-I_534 (2018)
- 19) 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-, *横浜市環境化学研究所報*, **45**, 13-20 (2021)
- 20) 宇野悠介, 田子 博, 梅澤真一 利根川における河川水中マイクロプラスチックの調査, *群馬県衛生環境研究所年報*, **54**, 34-39 (2022)
- 21) 環境省 河川マイクロプラスチック調査ガイドライン (令和3年6月) (2021)
- 22) 気象庁 過去の気象データ検索>愛知県豊田>日ごとの値, <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php> (2024.2.9)
- 23) 国土交通省 国土情報ウェブマッピングシステム 国土数値情報>土地利用>土地利用細分メッシュ, <https://nlftp.mlit.go.jp/webmapc/mapmain.html> (2024.2.9)
- 24) 清井えり子, 板垣昌子, 尾畑納子, 多賀谷久子, 山口庸子 家庭洗濯の衣類乾燥に関する地域間の比較研究, *日本家政学会誌*, **62** (4), 223-231 (2011)
- 25) 鈴木 剛, 田中厚資, 高橋勇介, 倉持秀敏, 大迫政浩 海洋プラスチックごみの流出抑制に資する劣化・微細化研究の取り組みと今後の展開, *廃棄物資源循環学会誌*, **33**(5), 340-356 (2022)