

多摩川におけるマイクロプラスチック汚染状況と魚類への影響

2021年

二瓶 泰雄

共同研究者

片岡 智哉

目次

1. はじめに	1
2. 研究方法	
2.1 多摩川流域の概要	3
2.2 観測地点・日程	5
2.3 サンプルング方法の概要	7
2.4 河川水, 底質, 藻の MP 分析手法	9
2.5 アユの分析方法	12
3. 結果と考察	
3.1 MP 個数・質量濃度	15
3.2 河川水・堆積物・アユの MP 性状の比較	23
3.3 多摩川の MP 汚染状況とその要因	25
4. まとめ	27
参考文献	28

1. はじめに

世界のプラスチック生産量は増加し続けており、これに伴い地球環境への悪影響が発生している。そのため、グローバルな取り組みが 2015 年以降活発になされ、プラスチックごみ問題は 2015 年 G7・エルマウサミット等の議題に取り上げられ、グローバルな環境問題として認識されている¹⁾。最近の 2019 年 6 月には大阪で G20 サミットが開催され、2050 年には海へのプラごみ流入量をゼロとする「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」が採択された²⁾。プラスチックごみの中でも、特に、プラスチックが微細化した 5mm 未満のマイクロプラスチック (Microplastics, MP)³⁾ は、海洋に流れ出ると回収することは事実上困難である。これに加えて、MP は吸着しやすい有害化学物質等のキャリア (運搬物質) の役割を担うと共に、MP は生物が捕食しやすいサイズのため有害化学物質の生物や人間への移行やそのストレス影響が懸念され、かつ、それを食べる人間等多くの生態へ脅威を及ぼすことが懸念されている。

MP 汚染に関する既往研究としては、海洋における調査が先行している一方^{4)~7)}、MP の主要排出源と目される陸域や河川の MP 調査は海洋と比べて限定的である^{8)~10)}。そのため、どこで MP が生成・排出され、河川等にてどのように輸送されるか、という流域圏の MP 動態に関する知見は未だ乏しい。それに対して、代表者の研究グループ (二瓶, 片岡) は、全国河川における MP 調査を行い、我が国の河川における MP 汚染実態を示すと共に、河川流域情報 (土地利用や人口密度) と MP 汚染の関係性を世界で初めて明らかにした^{11)~13)}。これにより、流域内の人口密度が高いほど、また、市街地の割合が高いほど、河川の MP 濃度が高くなっており、MP 汚染に対する人間活動の影響を示した。また、プラスチック汚染は海水・河川水のみならず、生物への移行が多く報告されている。Tanaka & Takada¹⁴⁾ は、東京湾で採取されたカタクチイワシからは、64 尾中 49 尾で 5mm 以下のプラスチック片であるマイクロプラスチック (MP) が見つかったという報告がされている。他にも女川湾、敦賀湾、大阪湾、英虞・五ヶ所湾、琵琶湖と、各地の魚からも MP は見つかった¹⁵⁾。魚の MP 汚染に関しても、海洋と比べて、河川での報告例は多くなく、かつ、周辺環境中 (河川水、河床堆積物) の MP 濃度と同時調査が行われている事例は非常に少ない¹⁶⁾。

本研究では、人口密度や市街地率が高い多摩川流域を対象として、多摩川流域圏における MP の発生・輸送過程を明らかにすると共に、河川の MP 汚染による魚類への影響を把握することを目的とする。ここでは、多摩川の代表魚種であるアユ (学名: *Plecoglossus altivelis*) 及び河川水・河床堆積物の MP 汚染状況を把握することを試みる。具体的な研究項目は以下の 3 つである。

① 多摩川における 8 地点を対象とした MP 濃度調査をいくつかの季節に実施し、多摩

川水系における MP 汚染状況を調べる。

- ② 多摩川流域における底質堆積物調査と共に，入手したアユの MP 調査を行い，それらの関係性を検討する。
- ③ 流域における汚濁負荷源（特に生活排水）の情報を収集し，①・②の観測結果と合わせて，流域内における MP 汚染源やアユへの影響について検討する。

2. 研究方法

2.1 多摩川流域の概要

多摩川は、**図 2-1** に示すように、山梨県と埼玉県の県境に位置する笠取山(標高 1,953m)を源流とし、多くの支川と合流しつつ東京都・神奈川県・山梨県の 30 市町村を流れ、羽田空港の脇で東京湾に注ぐ一級河川である。多摩川の流域面積と幹川流路延長はそれぞれ 1,240km²、138km となっており、109 の一級水系中それぞれ 54 位、23 位となっている。このように、流域面積と比べて流路延長が長く、比較的細長い形状を有している。流域人口は約 380 万人(全国 5 位)、人口密度は約 3,000 人/km²と全国トップクラスである。多摩川流域の土地利用特性としては、山林は 50.9%、市街地は 35.2%、水田 0.7%、畑地 5.9%、その他 7.2%であり、市街地が中・下流域に集中する典型的な都市河川である。感潮域は調布堰のある河口から 13km までである。

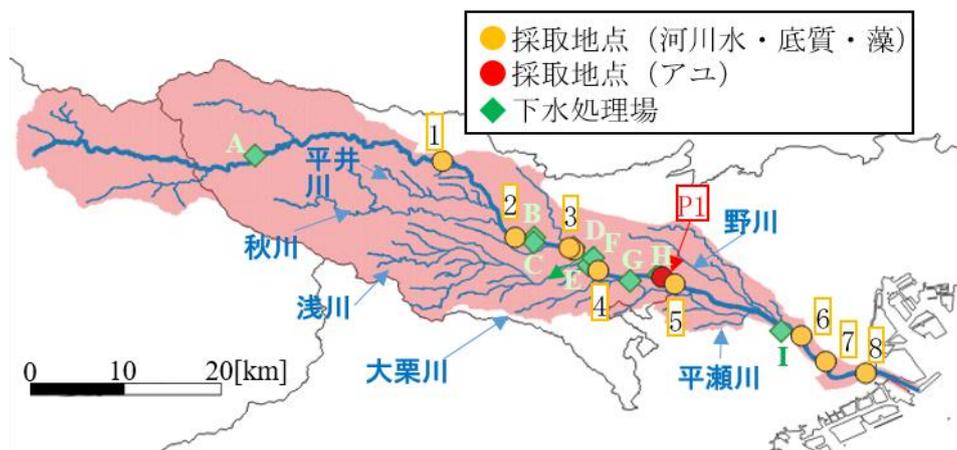


図 2-1 多摩川流域と観測サイト

多摩川的主要な支川は、**図 2-1** に示すように、以下のとおりである。

- ・ 平井川：流域面積 38.4km²，流路延長 33.1km
- ・ 秋川：流域面積 169.6km²，流路延長 60.4km
- ・ 浅川：流域面積 154.6km²，流路延長 120.3km
- ・ 大栗川：流域面積 41.8km²，流路延長 27.4km
- ・ 平瀬川：流域面積 13.0km²，流路延長 9.4km
- ・ 野川：流域面積 67.5km²，流路延長 47.1km

いずれも中流部にて支川の合流が集中しており、右支川が多いのも特徴的である。

多摩川流域の下水道普及率が 99%に達している（平成 22 年現在）。主な下水処理場は、表 2-1 に示すように、9 つ存在する。ここでは、各処理場の BOD や下水排水量の年間平均値も表示している。これより、平均排水流量が 1m³/s を超える下水処理場が 5 つ存在している。また、BOD 濃度も立川市錦町下水処理場や川崎市等々力水処理センターで高くなっている。

表 2-1 多摩川流域における主な下水処理場の概要

No.	下水処理場名	BOD [mg/L]	下水排水量 [m ³ /s]
A	奥多摩町小河内浄化センター	<1	1.74E-03
B	多摩川上流水再生センター	2	1.82
C	八王子水再生センター	3	1.47
D	立川市錦町下水処理場	15	0.54
E	浅川水再生センター	3	0.94
F	北多摩二号水再生センター	3	0.50
G	南多摩水再生センター	4	1.27
H	北多摩一号水再生センター	4	1.91
I	等々力水処理センター	9	1.92

2.2 観測地点・日程

本研究の観測地点と日程，観測項目を表 2-2 に示す．観測地点は多摩川本川の上流から河口までの 8 地点であり，その位置は図 2-1 に示すとおりである．このうち，Stn.6(丸子橋)と Stn.7 (多摩川大橋)，Stn.8 (大師橋) は感潮域の中に位置する．各観測地点の様子を図 2-2 に示す．

観測項目は，①アユ採取，②河川水，③底質，④藻であり，①のアユ採取は 2019/7/23 に，Stn.A1 (稲城大橋) 周辺にて実施された．②の河川水は，研究期間中 3 回 (夏期の 2019/8/5, 2020/9/3 と冬期の 2019/12/5) に実施した．底質と藻に関しては，1 回 (2019/8/5) 実施した．これらの観測日は，いずれも平水時の流況・河川水位であった．ただし，2020/9/3 の当日はゲリラ豪雨が発生し，降雨影響が含まれている．

なお，Stn.3 は当初は日野橋としていたが，2019 年台風 19 号 (東日本台風) により，日野橋では橋脚洗堀により通行止めとなったので，それ以降の観測は日野橋の近くの立日橋にて実施した．

表 2-2 観測地点と日程，項目の一覧表

No.	地点名	河口からの距離[km]	2019/7/23	2019/8/5			2019/12/5			2020/9/3		
			アユ	河川水	底質	藻	河川水	底質	藻	河川水	底質	藻
1	調布橋	59.8	/	○	○	○	○	/	/	○	/	/
2	拝島橋	46.2	/	○	○	/	○	/	/	○	/	/
3	日野橋 (立日橋)	39.8(40.4)	/	○	○	○	○	/	/	○	/	/
4	府中四谷橋	36.2	/	○	○	○	○	/	/	○	/	/
5	多摩川原橋	27.8	/	○	○	○	○	/	/	○	/	/
6	丸子橋	13	/	○	/	/	○	/	/	○	/	/
7	多摩川大橋	8.4	/	○	○	/	○	/	/	○	/	/
8	大師橋	2.6	/	○	○	/	○	/	/	○	/	/
A1	稲城大橋	29.4	○	/	/	/	/	/	/	/	/	/

調布橋



拝島橋



日野橋



府中四谷橋



多摩川原橋



丸子橋



多摩川大橋



大師橋



図 2-2 現地観測時の各地点の様子 (2019/8/5)

2.3 サンプルング方法の概要

(1) 河川水

河川水の MP 採取では、プランクトンネット（口径 30cm, 目合い 0.35mm : 5512C 簡易プランクトンネット, 離合社製）を橋の上から河川水表面に下して 5 分間固定した。また、ネットにデジタル濾水計（低流速羽 : 5572, General Oceanics 社製）を取り付け通水量（濾水量）も同時に計測した。さらに、ポータブル多項目水質計（WQC-24, 東亜ディーケーケー社製）を用いて水質項目の測定も行った。具体的な作業内容は以下のとおりである。

- ① ネットの尾をインシュロックで止める。
- ② ネットと内枠を取り付ける。
- ③ ネットと外枠, ナイロンロープ・三又を取り付ける（**図 2-3** 参照）。また、ろ水計のカウンタを読む。
- ④ ナイロンロープを橋に固定する。
- ⑤ ネットを河川水表面まで下し、一定時間（基本は 5 分間）設置する。
- ⑥ 一定時間経過後、ネットを上げる。通水後のろ水計のカウンタを読む。
- ⑦ ネット入り口に布製カバーを付けて、袋にしまう。

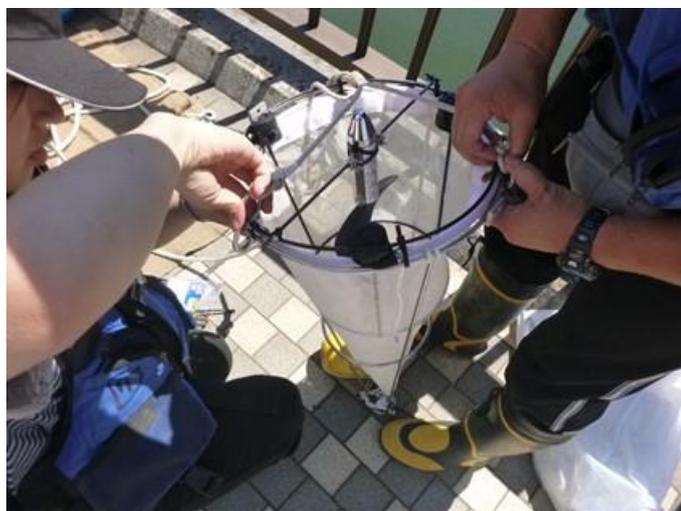


図 2-3 ネット設置中の様子

(2) 底質と藻

河川水の MP サンプルング後に、水際に近づいて底質と藻類のサンプルングを行った。底質採取の際には、**図 2-4** のように、スコップを使って底質を適量採取した（約 900g）。その時、なるべく大きな石が入らないように配慮した。採取した試料はジップロックを二重にして入れ、持ち帰った。



図 2-4 底質の採取

さらに、アユの摂餌環境の影響を見るために、石に付着する藻を採取した (図 2-5)。具体的には、河岸の石を集め、その石の表面に付着している藻を、歯ブラシを使ってその場で擦った。使用した歯ブラシはやわらかめのものである。こすった藻はジップロックに入れて持ち帰る。



図 2-5 石表面に付着した藻

(3) アユ

アユについては多摩川漁業協同組合に採取を依頼した。アユは、リールなしの長い竿1本の手持ちで釣る「友釣り」という方法で採取された。採取は43尾であり、そのうち41尾を分析対象とした。

2.4 河川水, 底質, 藻の MP 分析手法

(1) 河川水

河川水に含まれる MP 分析の基本的な流れを以下に示す。河川水については Kataoka et al.¹²⁾をベースとする (図 2-6)。

- ① 持ち帰ったネットに捕捉された MP を含む様々な浮遊物質を落とすために、ネットに水道水をかけながらネットをこする。閉じられていたネット下部 (下流側) を開けて、集まった浮遊物を、水道水をかけながらステンレスボトルに移す。
- ② ステンレスボトルに集められたサンプルをファンネル (漏斗) に入れて濾過する。その際、MP 採取用のフィルターとして、現地観測でも用いたプランクトンネット (目合い 0.1mm) を採用し、浮遊物質を抽出する。
- ③ ネット上に捕捉された浮遊物質を乾燥用恒温器 (SLI-220, 東京理化器械(株)製) を用いて、60℃, 24 時間以上乾燥させる。乾燥後、電子天秤 (AUX220, 株式会社島津製作所製) によってサンプルの乾燥質量を計測する。
- ④ 浮遊物質に含まれる有機物を除去するために、サンプルを過酸化水素水 30% に約 1 週間浸水させる。その間、一日に 1 回程度かき混ぜて、有機物分解を促進させる。その後、再度、目合い 0.1mm のネットでろ過して、60 度, 24 時間以上乾燥させる。
- ⑤ 土粒子 (懸濁物質) が多く含まれている場合には、ヨウ化ナトリウム (NaI, 比重 1.6) 溶液中にサンプルを入れて静置して (3 時間), 比重分離を行う。その後、上澄み液を採取する。今回、比重分離は 7 サンプル中 1 サンプルのみ実施した。
- ⑥ 乾燥後のサンプルの質量も計測し、シャーレに移す。サンプル量が多い場合は、適宜分割する。このサンプルに水道水を浸して、ピンセットでサンプルをほぐしながら MP の候補粒子をピックアップし、別のシャーレ内に並べる。
- ⑦ 抽出した個々の MP 候補粒子のサイズと質量を計測する。サイズは、CCD カメラ (HDCE-20C, AS ONE 製) 付実体顕微鏡 (SZX7, Olympus 製) を用いて撮影した画像から求め、長辺の長さを代表サイズとしている。サイズ計測後、ウルトラマイクロ天秤 (XPR2UW, METTLER TOLEDO 製) を用いて個々の MP 候補粒子の質量を計測する。なお、ウルトラマイクロ天秤の計測精度は、0.1µg である。
- ⑧ ダイヤモンド ATR 装置 (Quest, Specac) を取り付けたフーリエ変換赤外分光光度計 (Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR), IRAffinity™-1S, 株式会社島津製作所製) を用いて、MP 候補粒子を圧着して、反射光から吸光スペクトルを取得する。得られた吸光スペクトルを LabSolutions™ IR Standard Library に含まれている標準 IR スペクトルと比較し、MP 候補粒子の材質を判定する。本来、FTIR で材質を判定してから質量とサイズを計測する方が効率的であるが、ATR 装置で圧着する際に形状が変化もしくは粉碎してしまう可能性があるため、ここでは上記の順序で分析している。
- ⑨ プラスチックである場合には、Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) 及

びその他 (Other) の 4 種類に分類した. 各観測で得られた MP の個数及び質量を集計し, ろ水量で除すことにより, MP 数密度・質量濃度を算出する.

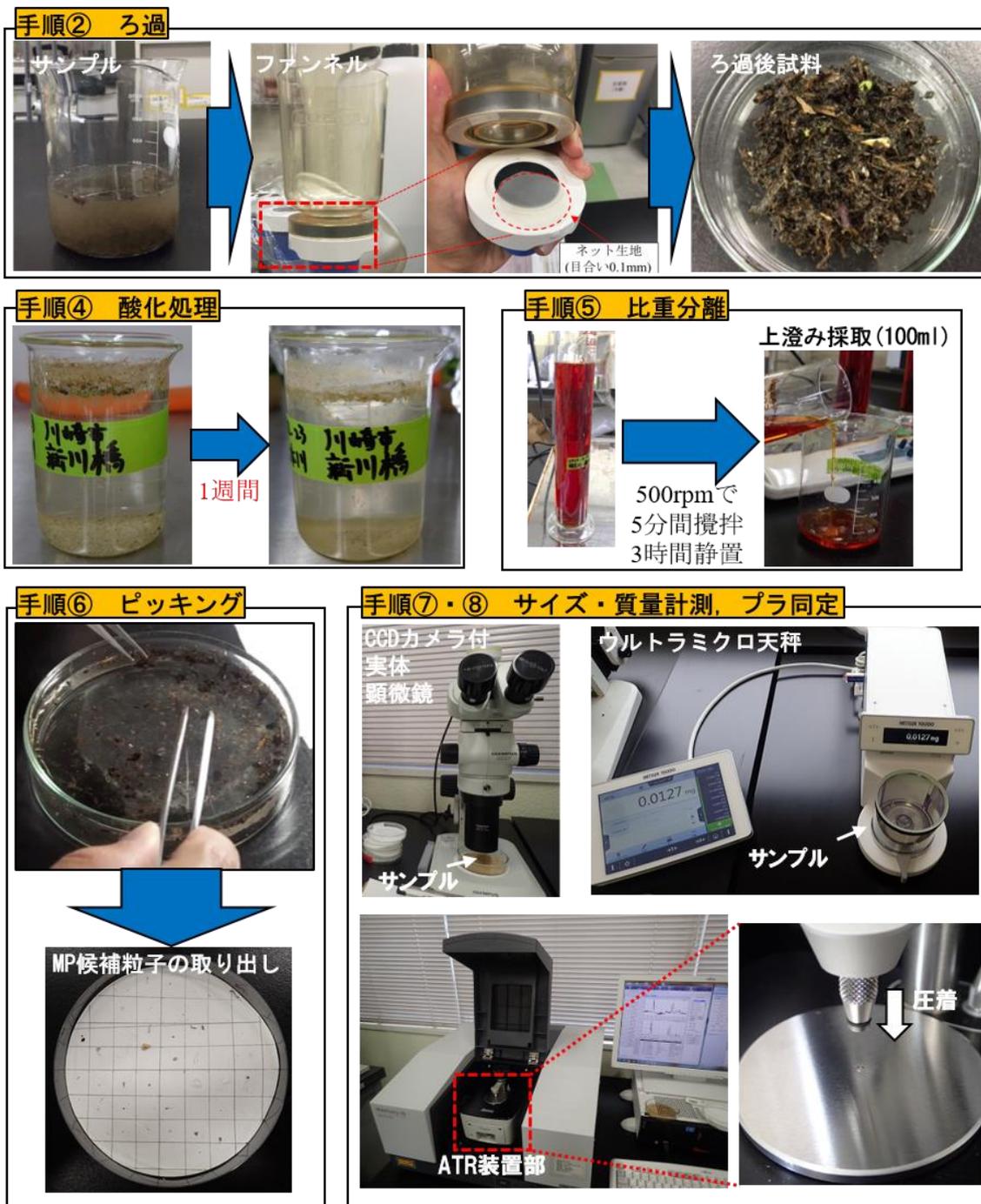


図2-6 MPの分析フロー

(2) 底質

実際に行った底質の分析手順を以下に示す。この分析は、河川水の MP 分析手順や藤山ら¹⁷⁾を参考にして行った。

- ① 採取した底質全体の質量 M_{all} を計測する。
- ② ①から約 10g 分 (M_{part}) のサンプルを取り出し、その質量 (湿潤質量 M_w) を計測する。
- ③ ②のサンプルを乾燥させ、その質量 (乾燥質量 M_d) を測る。
- ④ ②と③から乾湿比 M_d/M_w を出し、全体の乾燥質量 ($=M_{all} * M_d/M_w$) を算出する。
- ⑤ 飽和食塩水を作り、飽和食塩水内に③のサンプルを入れ、10 分程度かき混ぜる。
- ⑥ 上澄み液をろ過して乾燥させる。
- ⑦ ⑥のサンプルより MP 候補物質の抽出し、FTIR などを用いて材質、サイズ、質量を計測する。

(3) 藻

藻の分析手順を以下に示す。藻の分析は、基本的には、底質と同様である。

- ① 約 10g 分 (満たない場合は全量) の質量を取り出し、乾燥させる。
- ② 過酸化水素水 30% (昭和化学) に 1 週間つける。
- ③ ②のサンプルをろ過して乾燥させる。
- ④ ③のサンプルの比重分離を、ヨウ化ナトリウムを用いて行う。
- ⑤ ろ過した上澄みと沈殿物を乾燥させる。
- ⑥ MP 候補物質の抽出を行い、FTIR などを用いて材質、サイズ、質量を計測する。

2.5 アユの分析方法

(1) 概要

アユは、**図 2-7** に示すように、河川水や底質、餌である藻類に含まれる MP を口から摂取して消化管に取り込むと想定される。そのため、消化管を構成する食道、胃、腸に着目して分析を行った。

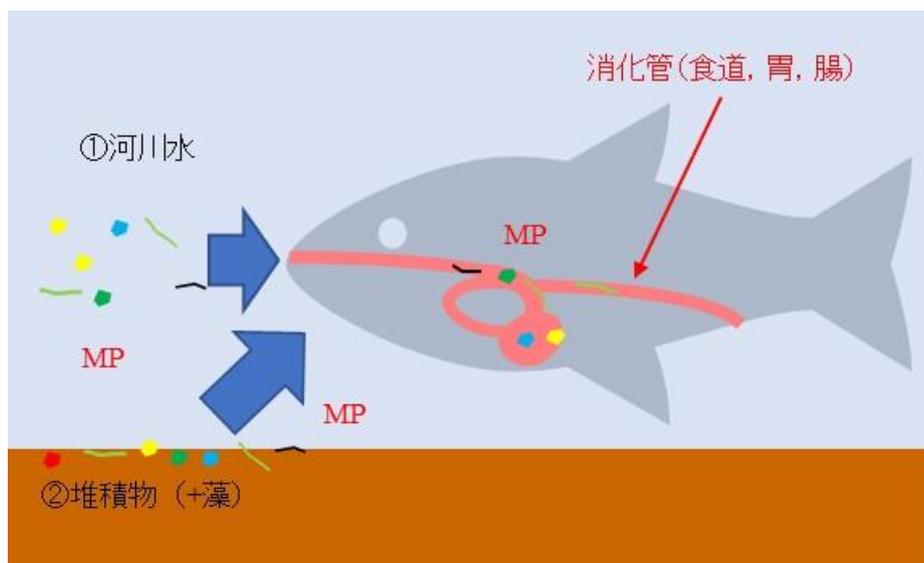


図 2-7 アユの MP 摂取経路の想定

(2) 分析フロー

アユの分析フローを**図 2-8** に示す。以下、各作業の概要を示す。



図 2-8 アユの分析フロー

① 個体情報の記録

採取したアユを冷凍保存し、必要な時に取り出して解凍する。その際、個体番号が分かるように保存する。アユを解凍できたら、個体情報として、全長と標準体長（吻端から脊椎骨末端まで）、魚全体の質量を測定した。測定の様子を**図 2-9**に示す。

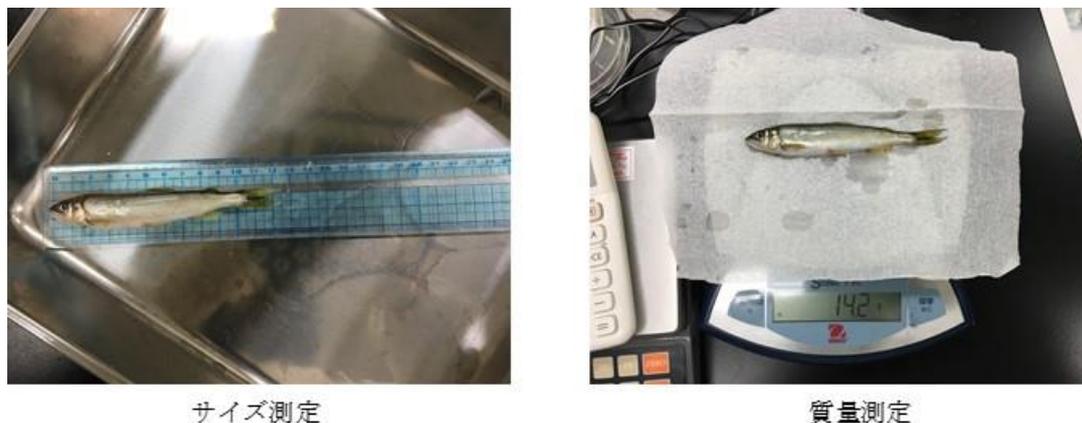


図 2-9 個体情報計測の様子

② 解剖

各アユの個体情報を調べたら、解剖を行う。解剖手順のフローを**図 2-10**と以下に示す。

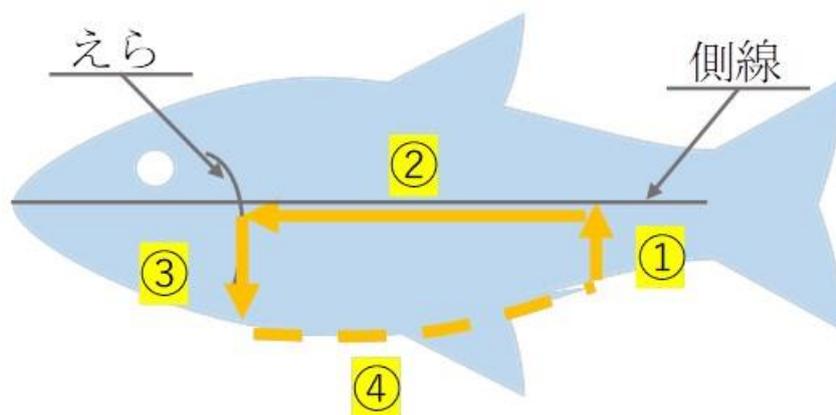


図 2-10 解剖手順のフロー図

<解剖>

手順 1：肛門から側線に向かってまっすぐ切る。

手順 2：側線に沿ってえらまで切る（骨も切ると内臓が見える）。

手順 3：えらから腹部に向かって切る。

手順 4：腹部を切る。

<消化管の取り出し>

- ・心臓・肝臓等妨げとなるものを取り除く.
- ・肛門・口から消化管を切る.
- ・太さ、色等から消化管を口～食道、胃、腸の3つに分ける.
- ・消化管を容器に入れ、容器の質量を量る.
- ・コンタミ防止のため、アルミホイルをかぶせる.

③ 過酸化水素処理

河川水におけるMP分析に一般的な行われている有機物分解処理を行う。ここでは、②で得られた消化管を過酸化水素水（30%）に1週間浸漬させた。

④ ろ過

有機物分解処理後のサンプルをろ過する前に、蒸留水を用いてガラス容器の壁面に付いたものをとる。なお、水道水にMPが含まれていることが報告されているため、コンタミの影響を最小限に抑えるべく、蒸留水をガラス繊維ろ紙（GF/A 47mm, Whatman製）でろ過する（目詰まりが起りやすいので、吸引ろ過をした）。

ろ過に使うフィルターは、100 μ m ネット（離合社 NXX13）である。

⑤ 乾燥

ろ過し終わったサンプルを、フィルターごとシャーレに入れて乾燥させる。

⑥ FTIR

乾燥が終わったら（最低1日以上は乾燥させる）、FTIRでMPの識別・材質の同定を行う。河川水・底質等他の項目では候補物質の抽出を行うが、アユでは省く。この理由は、アユに含まれているMPは小さく、目視では厳しいからである。FTIR使用時に使う顕微鏡を使ってMPの候補と思われるものをFTIRにかけていく。

3. 結果と考察

3.1 MP 個数・質量濃度

(1) アユ

アユ 41 尾における個体情報（全長，標準体長，魚全体の質量，消化管の質量）と見つかった MP 個数を取りまとめたものを表 3-1 に示す。また，個体情報の平均値±標準偏差を表 3-2 に示す。なお，消化管質量で斜線のサンプルは計測をし損ねたものである。これより，分析対象のアユの全長は 15.14 ± 1.88 [cm]，標準体長は 12.97 ± 1.65 [cm] であった。質量としては，魚全体として 29.61 ± 13.26 [g] であり，全長と比べてばらつきが大きい。また，消化管の質量は 1.74 ± 0.64 [g] と魚全体の質量と同様にばらつきは大きく，魚全体の 6% 程度を占めている。

表 3-1 アユの個体情報と見つかった MP 個数

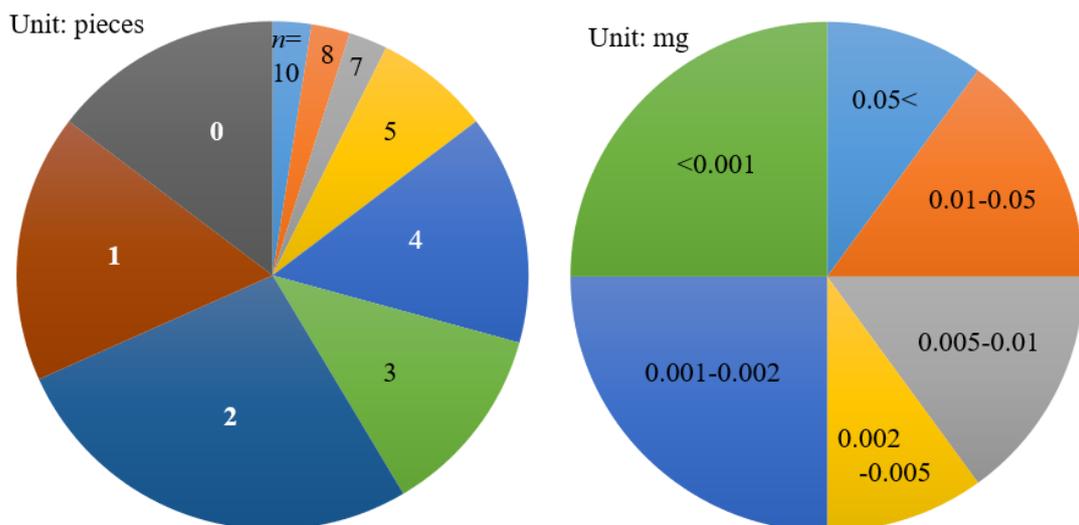
サンプルNo.	サイズ[cm]		質量[g]		MP 個数	サンプルNo.	サイズ[cm]		質量[g]		MP 個数
	全長	標準体長	魚全体	消化管			全長	標準体長	魚全体	消化管	
1	11.6	10	13		0	22	14.5	12.5	25.8	1.8266	4
2	14.2	12.5	25.1	1.2232	3	23	13.8	11.7	20.7	1.1678	0
3	14.6	12.4	25.4		1	24	15.3	13.3	29.1	2.4676	1
4	13.7	12	19.7	1.3886	2	25	14.5	12.5	22.8	0.701	3
5	14.3	12.5	22.7	1.3335	2	26	14.5	12.5	23.5	2.1412	7
6	16.2	14.3	37	1.8722	5	27	13.5	11.6	19.6	1.0448	4
7	12.5	10.5	15.6	1.2134	0	28	12.1	10.4	13.3	1.0382	2
8	14.6	12.3	26.4	1.7329	8	29	15	12.9	28.3	2.2323	2
9	14	11.9	21.5	1.0358	4	30	15.8	13.5	30.8	1.2685	3
10	12.6	10.7	14.2	0.6726	5	31	19	16.5	60.2	3.1429	2
11	17	14.4	38.2	1.8589	2	32	16	13.5	32.1	2.3894	2
12	16.6	14.1	34	1.889	0	33	16.7	14.5	39	2.8758	4
13	14.4	12.2	23.2	1.4167	1	34	14	12	21.6	1.5366	1
14	15.4	13	29	1.7056	2	35	17.1	14.5	39.6	2.0909	1
15	15.8	13.5	32.2	1.9815	2	36	13.4	11.4	18.2	1.4822	2
16	14.2	12	21.7		5	37	20	17.3	68.5	2.9623	0
17	12.8	10.7	16.4	1.3921	2	38	15.5	13.2	27.4	1.5978	4
18	16.5	14.2	38.4	1.8707	1	39	17	14.5	42.8	2.5302	10
19	15.8	13.5	33.1	1.4248	3	40	19.8	16.9	73.1	3.1137	3
20	16.1	13.7	34.7	1.4549	0	41	16.1	14.2	33.5	1.9032	4
21	14.4	12	22.7	0.993	1						

表 3-2 アユの個体情報の平均値

サイズ[cm]		質量[g]	
全長	標準体長	魚全体	消化管
15.14±1.88	12.97±1.65	29.61±13.26	1.74±0.64

アユの消化管に含まれる MP の個数や質量の頻度分布を図 3-1 に示す。MP 個数に関しては、全対象 41 尾の結果が表示されており、MP 質量に関しては、MP が見つかったアユのみを対象に描かれている。これより、アユ 41 尾中 35 尾のアユから MP が検出されており、その割合は 85% である。1 尾あたりの MP 個数は、2 個が最頻値となっており、最大 10 個、平均は 2.6 個、中央値は 2 個、標準偏差 2.2 個であり、1 個～5 個に集中している。

また、MP が見つかった 35 尾に関する 1 尾当たりの質量は 0.01mg 以下が 75% を占めている。この時の最大値は 0.0678mg、平均値は 0.0086mg、中央値は 0.0025mg であった。標準偏差が 0.0153mg とばらつきが大きい。なお、室内で MP 分析時におけるコンタミが懸念されるため、ブランク試験（実験室内にシャーレを置き、シャーレに溜まった MP を分析する）も合わせて行った。ブランク試験では、MP が 1 個以上見つかるケースも見られたため、アユで見つかった MP のうちブランク試験でも見つかったものはコンタミと見なし除外した結果を用いることとしている。



(a) MP 個数 (図中数値：個数)

(b) MP 質量 (図中数値：質量)

図 3-1 アユに確認された MP 個数と MP 質量の頻度分布

次に、アユの MP 汚染状況がアユ個体情報の影響を排除するために、アユ個体質量当たりの MP 個数の頻度分布を **図 3-2** に示す。ここでは、**表 3-1** に示す各個体で見つかった MP 個数と魚全体の質量の比を取っている。これより、約半分が 0.1 個/g 未満であり、最大は 0.352 個/g であった。平均値・中央値・標準偏差はそれぞれ 0.118, 0.102, 0.084 個/g である。

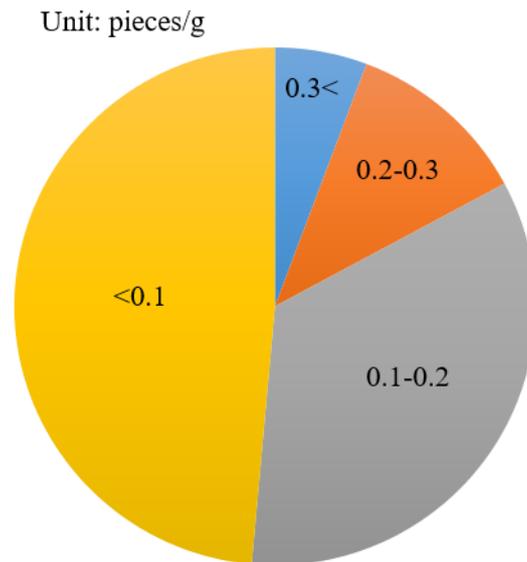


図 3-2 アユ個体質量当たりの MP 個数の頻度分布

本研究で得られたアユの MP 汚染状況を、既往の研究成果と比べるために、淡水域における魚の MP 汚染研究をレビューした Collard et al.¹⁶⁾の結果と比べたものを **表 3-3** に示す。まず、本研究では MP 発見率は 85% (41 尾中 35 尾) であったが、これは既往研究の中でもトップクラスである。また、MP 個数の平均値 (2.63 個) は、既往研究 (3.53 個) よりもやや小さいが、データのばらつきが大きいいため、既往研究と比べて本研究の MP 個数が明確に小さくはない。MP 個数と魚質量の比は、既往研究で調べている事例が多くないため **表 3-3** には未掲載であるが、概ね 0.1~8.8 となっており、本研究のほうが小さい傾向がみられる。

表 3-3 本研究と Collard et al.¹⁶⁾の比較

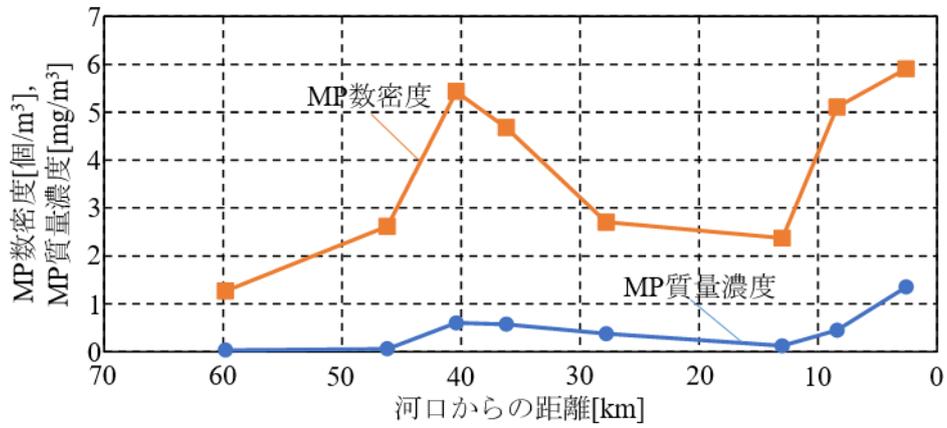
研究対象	項目	平均	標準偏差	最大値	最小値
本研究	数[個]	2.63	2.21	10	0
	質量[mg]	0.0086	0.0153	0.0678	0
	個数/魚質量[個/g]	0.118	0.084	0.352	0.025
Collard et al. ¹⁶⁾	数[個]	3.53	5.48	13	0.16
	MP発見率[%]	36.2	28.8	85	8.2

(2) 河川水

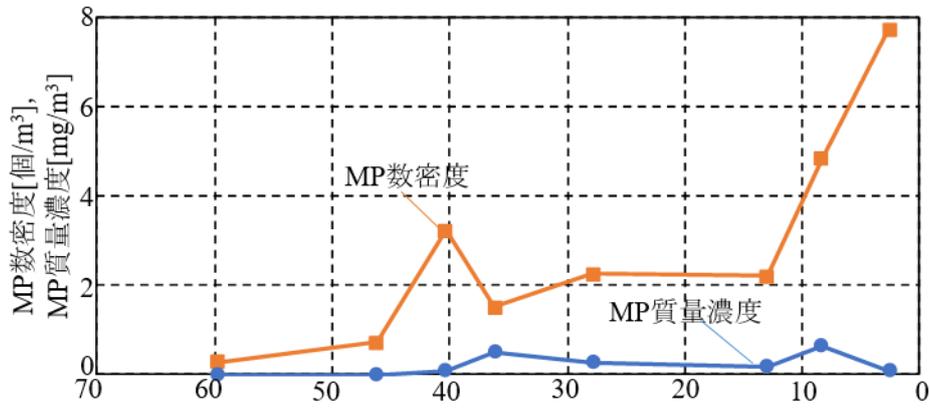
次に、多摩川上流から下流域にわたる河川水の MP 数密度・MP 質量濃度の縦断分布を **図 3-3** に示す。ここでは、3つの観測日毎に MP 数密度と MP 質量濃度を記載している。まず、2019/8/5 に関しては、MP 数密度では 40km 付近（日野橋）でピークとなり、その下流に行くと減少するが、13km（丸子橋）より下流の感潮域に再び増加している。この時の最大・平均・最小値は 5.91, 3.76, 1.27 個/m³である。同日の MP 質量濃度に関しても、上流から徐々に増えて 40km（日野橋）でピークとなり、その後減少し、感潮域で増加し、河口に近い大師橋で最大となる（最大・平均・最小値：1.35, 0.45, 0.03mg/m³）。

次に、2019/12/5 の MP 数密度に着目すると、40km（立日橋）と河口域でピークとなっており、MP 数密度の縦断分布形状は 2019/8/5 と類似している。この時の最大・平均・最小値は 7.72, 2.85, 0.30 個/m³であり、両日の数密度レベルは概ね同じである。MP 質量濃度についても、河口部の大師橋を除いて、同様な傾向が見られる。MP 質量濃度の最大・平均・最小値は 0.66, 0.24, 0.001 mg/m³である。

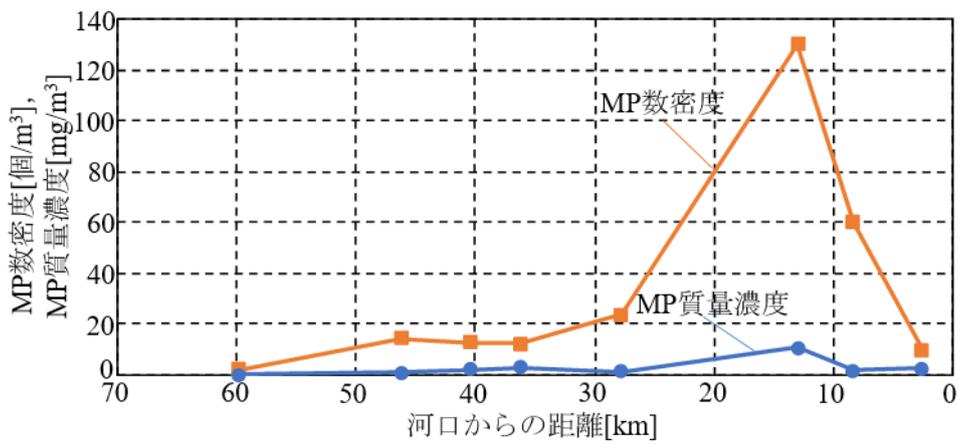
最後に 2020/9/3 の MP 数密度に関しては、過去 2 回の観測結果と大きく異なり、全体的に数密度レベルが高いことと、数密度ピークが 13km（丸子橋）で現われている。この時の最大・平均・最小値は 130.23, 33.04, 1.94 個/m³となっており、平均値は過去 2 回よりも 1 オーダー大きくなっている。また、MP 質量濃度に関しても 13km（丸子橋）にてピークとなっており、MP 数密度と同様な結果となっている。ただし、詳細に見ると、上流から立日橋、府中四谷橋にて MP 質量濃度は上昇し、その後の多摩川原橋で減少する様子は、過去 2 回と類似している。MP 質量濃度の最大・平均・最小値は 10.51, 2.70, 0.10 mg/m³であり、平均値は過去 2 回の約 10 倍である。この観測日では、**図 3-4** に示すように、未明に最大で時間雨量 17mm が観測され、河川水位もわずかながら増減しており、MP サンプリング時には出水の影響が残っていた。そのため、過去 2 回と比べて大きな MP 濃度となったものと考えられる。ただし、累積雨量も最大で 30mm 弱であり、出水イベントと見なせるかどうかは疑問であるが、このような降雨とそれに伴う出水でも MP 濃度が大きく増加することが示唆された。



(a)2019/8/5

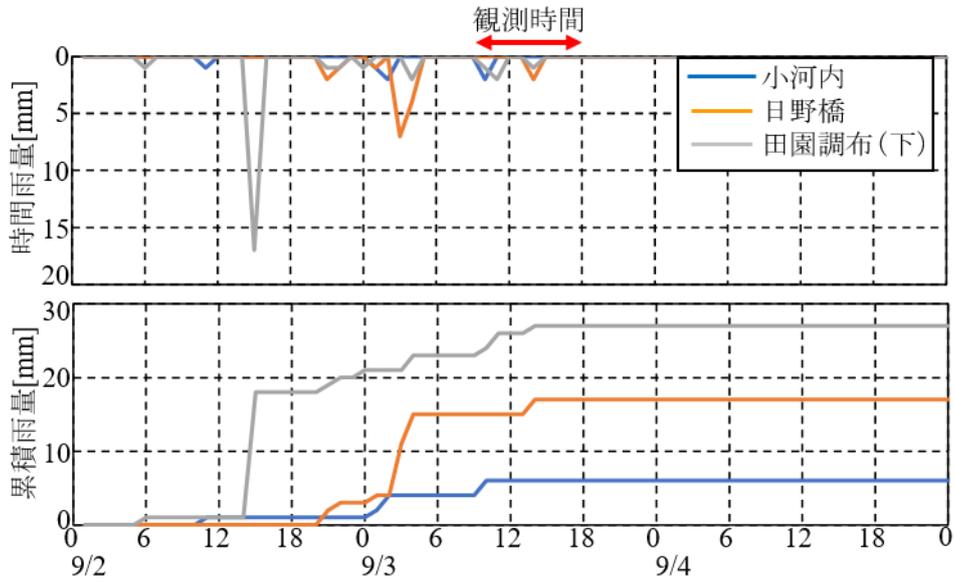


(b)2019/12/5

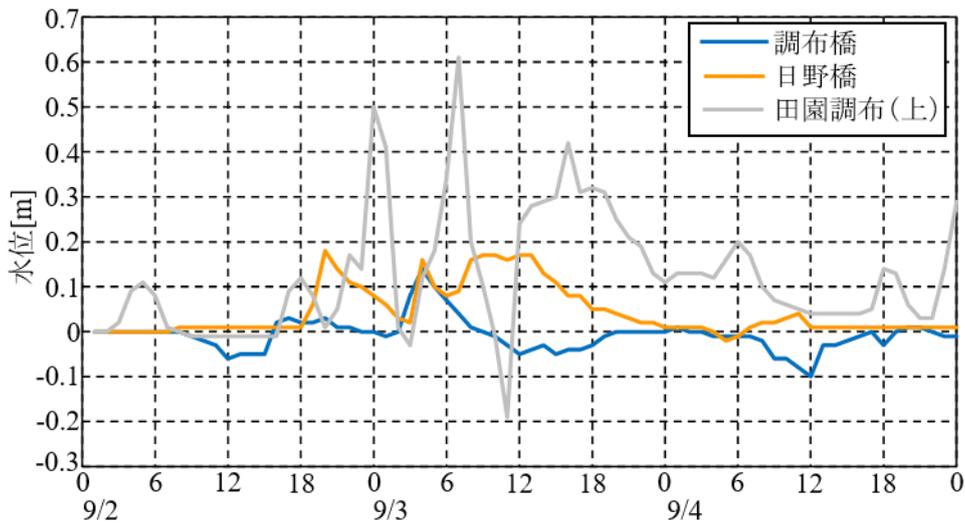


(c)2020/9/3

図 3-3 多摩川における河川水の MP 数密度と質量濃度の縦断分布



(a) 雨量



(b) 河川水位（各地点の 2020/9/2 1 時の水位を基準とする）

図 3-4 MP 観測日の降雨・出水状況（観測日：2020/9/3）

(3) 底質

多摩川における底質中に含まれる MP 分析結果と MP 数密度・質量濃度の縦断分布を表 3-4、図 3-5 にそれぞれ示す。表中には、各観測地点において採取した底質サンプル全体の乾燥質量と、見つかった MP の個数と質量、これらと底質全体質量との比 (MP 数密度 (単位: 個/kg), MP 質量濃度 (単位: mg/kg)) を表示している。また、この表中における底質中の MP 数密度・質量濃度を図 3-5 に示している。なお、丸子橋(13km)では、底質サンプルの採取ができなかったため、記載されていない。また、底質サン

ルは水際や河岸で採取しているのので、低水路中央における底質の MP 濃度とは異なる可能性があることに注意されたい。これより、MP 数密度・質量濃度共に、多摩川大橋(8.4km)や大師橋(2.6km)の結果が、他の地点よりも突出して大きいことが分かる。この2地点は感潮域に位置しており、上流部より流下してきた MP が感潮域で堆積している様子がうかがえる。また、順流域(13kmの田園調布堰より上流)で詳細に見ると、日野橋(40km)や拝島橋(46.2km)で高くなっている。

表 3-4 多摩川の底質中の MP 分析結果

地点名	河口からの距離[km]	底質全体	MP総数		MP濃度	
		質量[kg]	個数[個]	質量[mg]	数密度[個/kg]	質量濃度[mg/kg]
大師橋	2.6	1.935	176	12.63	90.95	6.53
多摩川大橋	8.4	0.955	102	27.59	106.82	28.89
多摩川原橋	27.8	0.734	9	0.05	12.26	0.07
府中四谷橋	36.2	0.825	5	0.05	6.06	0.06
日野橋	39.8	0.350	9	0.54	25.70	1.55
拝島橋	46.2	0.914	22	0.52	24.07	0.57
調布橋	59.8	0.606	2	0.01	3.30	0.02

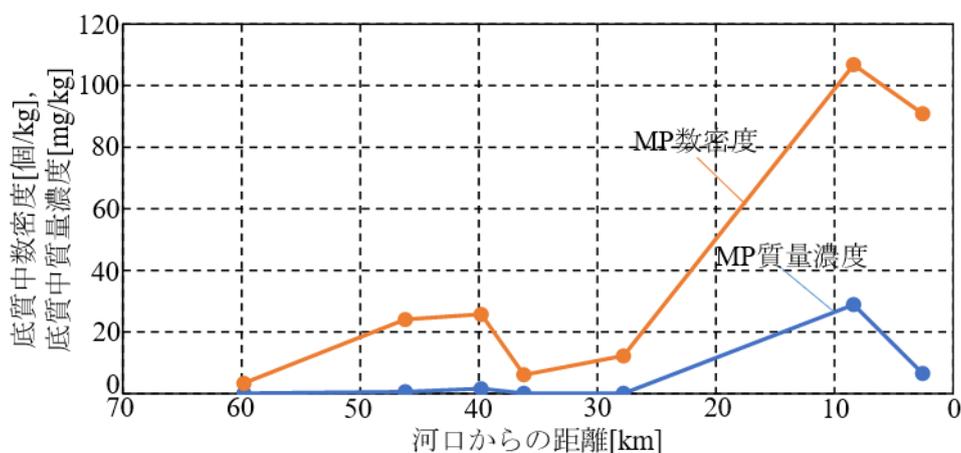


図 3-5 多摩川における底質中の MP 数密度と質量濃度の縦断分布 (2019/8/5, 丸子橋は未計測)

(4)藻

アユの餌となる藻類に含まれる MP 汚染状況を取りまとめた結果を表 3-5 に示す。ここでは、複数の石表面に付着する藻類をこそぎ落としたサンプルを実験室で分析した結果である。これより、藻を採取した 4 地点中、MP を発見したのは 2 地点であり、残り 2 地点は MP が含まれていなかった。また、MP が見つかった 2 地点でも、MP 個数は 1, 2 個であり、非常に少ない。今回は、採取した藻の質量や石表面積を正確には把握していない。そのため、底質と単純な比較はできないが、石表面の藻にも MP はトラ

ップされていること、その量は底質中よりは小さい可能性が示された。

表 3-5 多摩川の石表面の藻類中に含まれる MP 分析結果

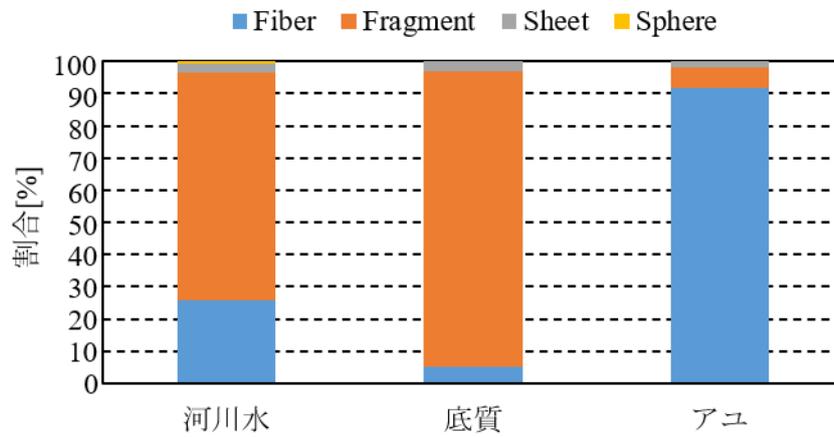
地点名	河口からの距離[km]	MP総数	
		個数[個]	質量[mg]
大師橋	2.6		
多摩川大橋	8.4		
丸子橋	13		
多摩川原橋	27.8	2	0.003
府中四谷橋	36.2	1	0.061
日野橋	39.8	0	0
拝島橋	46.2		
調布橋	59.8	0	0

3.2 河川水・堆積物・アユの MP 性状の比較

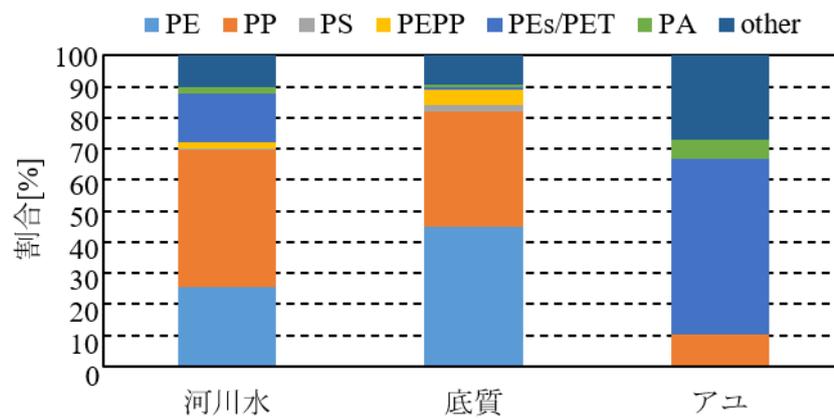
前節で示したように、多摩川で採取したアユから MP が見つかった割合は 85%と高い割合であった。このようなアユの MP 汚染の経路を検討するために、多摩川全体における河川水 (MP 個数 $n=507$)、堆積物 ($n=325$) とアユ ($n=48$) における MP の形状と材質を図 3-6 に示す。ここで、形状としては、Fiber (繊維)、Fragment (破片)、Sheet (シート)、Sphere (球) の 4 分類とし、個数の割合を表示している。また、MP の材質に関しては、PE, PP, PS に加えて、PEPP, PEs/PET, PA, その他 (other) に分け、各々の個数割合を示している。まず、MP の形状に関しては、河川水・底質・アユ共に大半は Fragment と Fiber で占められており、Sheet や Sphere は非常に少ない。この Fragment と Fiber の割合は、河川水では 70.8%, 25.8%, 堆積物では 91.7%, 5.2%と Fragment が卓越しており、これまでの著者らが行った河川水の MP 観測結果と概ね一致する。一方、アユに関しては、Fiber (91.7%) が Fragment (6.3%) を大きく上回っている。このように、Fragment と Fiber の割合は、河川水・底質とアユの間では大きく異なっていることが分かる。

次に、MP の材質に着目すると、河川水と堆積物では PE と PP の和が 70-82%を占めている。それに対してアユに関しては、PE は 0%, PP は 10%と少なく、PET が最大の 57%となった。この材質の差は卓越する形状の差と対応しており、Fiber で見られる材質がアユで多い結果となっている。

以上より、「なぜアユの MP に Fiber が多いか」に関しては、周辺環境 (河川水や堆積物) に Fiber が元々多く存在していることに加えて、魚体内における保有時間が Fragment よりも Fiber の方が長い可能性が考えられる。



(a) 形状



(b) 材質

図 3-6 河川水・底質・アユにて発見された MP 性状の比較

3.3 多摩川のMP汚染状況とその要因

アユのMP汚染源を検討するために、多摩川におけるMP質量濃度の縦断分布と共に、各地点における河川流量と下水処理場からの排水量（上流からの累積値）を図3-7に示す。ここでは、2019/8/5における結果を対象としている。河川流量の算定にあたり、 $H-Q$ 式が存在する水位流量地点において観測日当日の水位から流量を求め、その他の地点では上記の観測地点の流量と流域面積比から流量を算定している。また、下水処理場の排水量は、公表されている年間値を用いており、上流からの累積値を表示している。

これより、MP質量濃度は上流の調布橋（59.8km）・拝島橋（46.2km）では非常に小さいが、その下流の日野橋（40.4km）や府中四谷橋（36.2km）で急増している。下水排水量累積値については、上流2地点ではほぼ0であるが、その下流の日野橋地点から丸子橋（13km）まで増加すると共に、河川流量に占める割合も増えている。下水処理場ではMPの除去がなされているが、すべてを取り除かれていないので、多摩川では下水処理排水が一つのMP汚染源となったものと推測される。また、アユ採取地点（稲城大橋）は府中四谷橋と多摩川原橋の間に位置し、アユのMP汚染は下水処理水の影響を受けている可能性が示唆された。

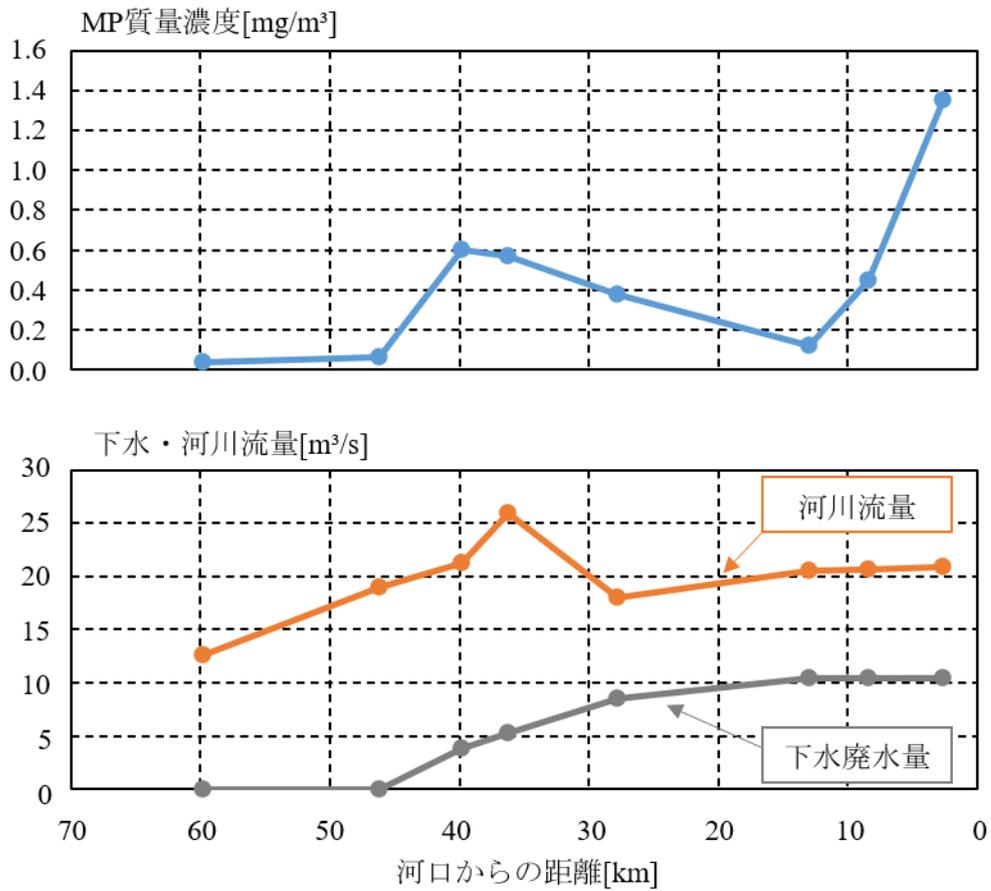


図 3-7 河川流量・下水排水量及びMP 質量濃度の縦断変化 (2019/8/5 の結果)

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 多摩川において採取されたアユ 41 尾中 35 尾 (85%) から MP が検出された。この 85% の検出率は、既往データと比べても非常に高い数値であった。また、1 尾あたりの MP 個数は、2 個が最頻値となっており、最大 10 個、平均は 2.6 個、中央値は 2 個である。また、1 尾当たりの質量は 0.01mg 以下が大半であり、最大値 0.0678mg、平均値 0.0086mg であった。
- (2) 河川水の MP 縦断分布調査を行った結果、MP 数密度・質量濃度は、40km 付近 (日野橋) でピークとなり、その下流に行くと減少するが、13km (丸子橋) より下流の感潮域に再び増加しており、その分布パターンは 3 回の観測日とも共通していた。また、2020/9/3 の MP 濃度は、その他の 2 回の観測結果の 10 倍程度となっており、これには降雨影響が顕著に現れたことが示唆された。
- (3) アユにて見つかった MP の汚染経路を調べるために、多摩川全体における河川水・底質・アユにおける MP の形状を比べた。その結果、河川水や底質では **Fragment** が卓越しているが、アユでは **Fiber** が顕著となっており、MP の形状割合が大きく異なっていることが示された。これに合わせて、MP の材質の構成割合も変化した。
- (4) 「なぜアユの MP に **Fiber** が多いか」に関しては、周辺環境 (河川水や底質) に **Fiber** が多く存在していることに加えて、魚体内における保有時間が **Fragment** よりも **Fiber** の方が長い可能性が考えられる。
- (5) アユの MP 汚染源を検討するために、河川流量に対する下水排水量の割合を調べたところ、下水処理場の排水量の割合の増加と共に MP 濃度の増加が確認された。下水処理場では MP の除去がなされているが、すべてを取り除かれていないので、多摩川では下水処理排水が一つの MP 汚染源となったものと推測される。また、アユ採取地点 (稲城大橋) は府中四谷橋と多摩川原橋の間に位置し、アユの MP 汚染は下水処理水の影響を受けている可能性が示唆された。

本研究により、多摩川流域における MP 汚染状況を把握すると共に、魚 (アユ) の MP 汚染実態も把握できた。これらの成果は、様々な講演活動を通じて、社会に研究成果を還元する予定である。これらを通して、多摩川流域という身近な河川でもプラスチック汚染やマイクロプラスチック汚染が進行していること、それが河川水だけでなく魚にまで影響していることを市民に啓発する。

なお、多摩川における MP 汚染源の特定には至らなかった。その主な要因は生活排水や工場排水に関する検討は不十分であったためであり、今後の大きな課題である。

参考文献

- 1) 外務省：2015 G7 エルマウ・サミット首脳宣言（仮訳）（平成 27 年 6 月 8 日），http://www.mofa.go.jp/mofaj/ecm/ec/page4_001244.html.
- 2) 外務省：大阪ブルー・オーシャン・ビジョン実現のための日本の「マリーン・イニシアティブ」（令和元年 6 月 29 日），https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ge/page25_001919.html.
- 3) The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP), GESAMP Reports and studies 90 "sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment". International marine organization, London, UK, pp.14-29, 2015.
- 4) Carpenter, E.J., Smith, K.L: Plastics on the Sargasso Sea surface, *Science*, Vol.175, pp.1240–1241, 1972.
- 5) Rothstein, S. I.: Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a seabird, *Condor*, Vol.75, pp.344–345, 1973.
- 6) Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. and Russell, A.E.: Lost at sea: where is all the plastic?, *Science*, Vol.304, 2004.
- 7) Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F. and Ryan, P.G., Reisser, J., Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighting over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, Vol.9, No.12, e111913, 2014.
- 8) Mani, T., Hauk, A., Walter, U. and Burkhardt-Holm, P.: Microplastics profile along the Rhine River, *Scientific Reports*, Vol.5, No.17988, DOI: 10.1038/srep17988, 2015.
- 9) Moore, C. J., Lattin, G. L. and Zellers, A. F.: Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California, *Integrated Coastal Zone Management*, Vol.11, No.1, pp.65-73, 2011.
- 10) Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C. and Aldridge, D.C.: Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs, *Water Research*, Vol.75, pp.63-82, 2015.
- 11) 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), Vol.73, No.4, pp.I 1225-I 1230, 2017.
- 12) Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K. and Hinata, H.: Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan, *Environmental Pollution*, Vol.244, pp.958-965, 2019.

- 13) Nihei, Y., Yoshida, T., Kataoka, T. and Ogata, R.: High-resolution mapping of Japanese microplastic and macroplastic emissions from the land into the sea. *Water*, Vol.12, No.4, 951, 2020.
- 14) Tanaka, K., and Takada, H.: Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific reports*, Vol.6, No.1, pp.1-8, 2016.
- 15) 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*, Vol.41, No.4, pp.107-113, 2018.
- 16) Collard, F., Gasperi, J., Gabrielsen, G. W., and Tassin, B.: Plastic particle ingestion by wild freshwater fish: a critical review, *Environmental Science & Technology*, Vol.53, No.22, pp.12974-12988, 2019.
- 17) 藤山朋樹, 吉田拓司, 宮本颯太, 村上依里子, 岡本洋輔, 片岡智哉, 二瓶泰雄: 河川におけるサイズ別プラスチックごみの堆積分布特性と劣化状況の把握, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol.75, No.2, pp.I_433 -I_438, 2019.

多摩川におけるマイクロプラスチック汚染状況と魚類への影響

(研究助成・学術研究 VOL. 50—NO. 362)

著 者 二瓶 泰雄

東京理科大学理工学部土木工学科 教授 (採択当時)

発行日 2021年12月

発行者 公益財団法人 東急財団

〒 150-8511

東京都渋谷区南平台町5番6号

TEL (03) 3477-6301

<http://foundation.tokyu.co.jp>