

河川におけるプラスチックゴミの移動と堆積に関する調査と実験

Investigation and experiment regarding behavior of plastics in rivers

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 久保田航平 (Kohei Kubota)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 岩崎理樹 (Toshiki Iwasaki)
 北海道大学大学院工学研究院 フェロー 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

現在の我々の生活においてプラスチックは必要不可欠なものである。その丈夫さと加工のしやすさから様々な用途で使用され、我々の周りにありふれている。しかしプラスチックは自然界にはもともと存在しない物質であり、人為的に作られたものであるため自然には分解されない。この自然には消えない物質が適切に処分されずに自然環境中に放出され続けており、大きな問題となっている。特に、陸域から河川を経由して海洋まで達したプラスチックは半永久的に海洋をさまようことになるが、輸送途中において風や紫外線の影響を受けて劣化することでマイクロプラスチックとよばれる 5mm 以下の微細なプラスチック片となり、魚などの海洋生物が誤飲するなど、海洋生態系に対して深刻な影響を与えている。これらのいわゆるマイクロプラスチック問題は、魚などの生物だけでなくマイクロプラスチックを誤飲した魚を食べる人間にも悪影響が出るなど食物連鎖全体における生態系に対しても大きな問題となる。

これらの問題を受けて G7 では各国に対策を促す海洋プラスチック憲章が作成され¹⁾、G20 では 2050 年までに海洋へのプラスチックゴミの放出をゼロにすると宣言される²⁾などマイクロプラスチック問題は世界的にも早急に解決すべき課題となっている。

海洋における生態系へ影響を与えるマイクロプラスチックは大きく一次的マイクロプラスチックと二次的マイクロプラスチックに分類される。一次的マイクロプラスチックとは 5mm 以下のプラスチックとして生産されたプラスチックであり、二次的マイクロプラスチックとは元々大きいプラスチックとして生産されたものが、劣化縮小することで発生するマイクロプラスチックである³⁾。一次的マイクロプラスチックは歯磨き粉に利用されており、大変小さく回収も困難であるが、二次的マイクロプラスチックになる段階より前のプラスチックゴミはサイズが大きいので、回収が一次的マイクロプラスチックよりも容易であるため対策が行うことができる。一方、マイクロプラスチックの海洋への供給源である河川において、比較的大きなプラスチックゴミが輸送と堆積を繰り返す中で劣化し、二次的マイクロプラスチックを生産することがわかってきており⁴⁾、発生源である陸域—河川における大きめのプラスチックの動態を明らかにすることが重要になる。

しかし、海洋に流出する前の段階である河川におけるプラスチックの輸送・堆積特性に関する調査や研究は海洋に比較し圧倒的に少なく、近年になり基本的特性が明らかにされつつあるものの⁵⁾、その実態について今後さらなる研究が必要な状況である。そこで本研究では、河

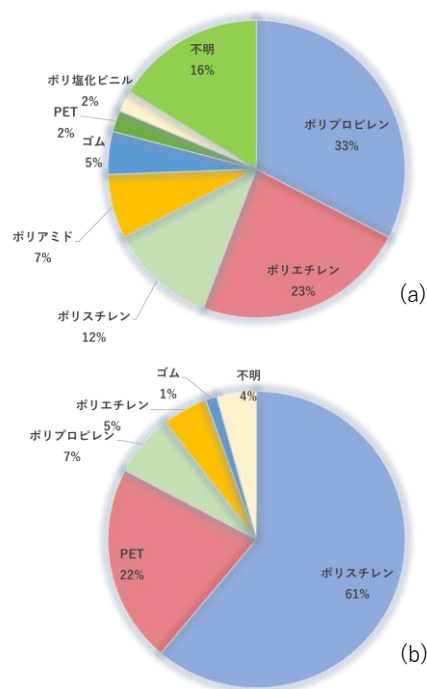


図1 高水敷で採取したプラスチックゴミの分類結果。(a)豊平川、(b)石狩川であり、個数の割合を示している。



図2 荒川におけるゴミの採取結果

川でのプラスチックゴミの輸送や堆積といった挙動を明らかにしていくことを目的として、現地調査と水路実験を行った。

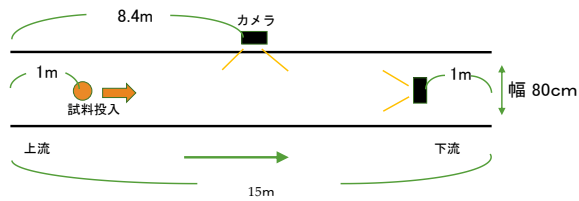


図-4 室内実験の模式図

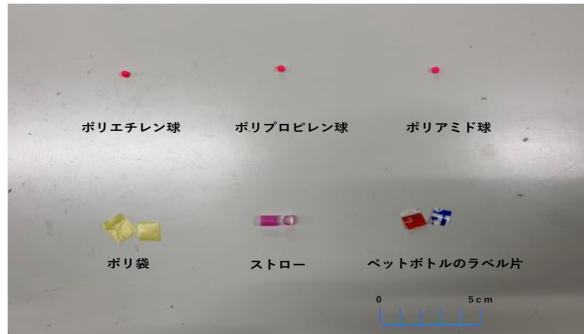


図5 実験で使ったプラスチック試料

表1 実験で使ったプラスチック試料の比重と形状

種類	比重	形状
ポリエチレン球	0.92	球体
ポリプロピレン球	0.9	球体
ポリアミド球	1.14	球体
ポリ袋	0.9	四角形
ストロー	0.9	輪切り
ラベル	1.04	四角形

2. プラスチックごみの河川における動態に関する実態調査

2.1 調査方法

本調査ではまず、実際に河川を流下し、堆積しているプラスチックごみがどのようなものかを調べるために、実河川における調査を実施した。対象とした河川と調査場所は、豊平川・幌平橋、石狩川・札幌大橋、荒川・船堀橋としてそれぞれの橋付近の川辺を調査した。調査日は2019/9/20（豊平川）、11/23（石狩川）、10/30（荒川）でいずれも平常時に行った。本調査では、以下の二つの方法によりプラスチックを採取した。

(A) 川端から長さ1m30cmのたも網（直径35cm、網目の幅2.5mm）を用いて河川を流れるゴミを捕捉する。

(B) 周辺の高水敷に堆積しているゴミを収集する。
すなわち、Aの手法により河川を流下中のプラスチックを、Bの手法により河川に堆積しているプラスチックを採取することを試みた。採取したプラスチックごみをサイズや種類ごとに分類し、河川内に存在しているプラスチックごみの特性について調査した。

2.2 調査結果

豊平川は平常時に調査したこともあり、濁度やごみは

目視ではほぼ認められず、実際に（A）の方法でゴミを採取することはできなかった。一方、高水敷には一定量のプラスチックごみが堆積しており、計43個のサンプルを採取することができた。これを材質ごとに分類し、個数の割合を求めたものを図-1aに示す。図に示すように、採取したサンプルの材質では、ポリプロピレンが最も多く次いで、ポリエチレン、ポリスチレンなどといった材質のごみが多く堆積していることがわかる。

石狩川でも豊平川と同様に流下中のごみは非常に少なく、（A）の方法によりサンプルを採取することができなかったため、（B）の方法により採取されたサンプルの結果を示す。採取できたサンプル数は162個であり図1bに石狩川の高水敷に堆積していたごみの集計結果を示す。高水敷に堆積しているごみのうち最も多かったのは、食品トレーや発砲スチロールなどのポリスチレンであった。次に多かったのはペットボトルという結果になった。また、豊平川では見られなかった二次的のマイクロプラスチックも堆積していることがわかった。豊平川では日本で生産量の多いポリプロピレンとポリエチレンが多かったが、石狩川では発砲スチロールやペットボトルなど人間活動により発生する身近なゴミを多く観測された。また、石狩川のほうがより劣化したゴミが多く、またその総量も多い。

荒川での調査では（A）の方法で図2に示すような十分な量のプラスチックを採取することができた。図2上部に示すゴミが5mm以上のプラスチックごみであり、下部に示すものが5mm以下のマイクロプラスチックである。ここでは破碎したプラスチック片が多かったため5mmのマイクロプラスチックか否かで分類した。計140個のプラスチックを採取したがそのうち67個が5mm以上のプラスチックであり、73個がマイクロプラスチックであった。また、船堀橋周辺では、高水敷にはペットボトルをはじめとする大量のプラスチックゴミが落ちており、分類が困難だったため、（B）の方法での採取は行っていない。

河川におけるプラスチックごみの流下量は、その地点における流域の集水面積と人口密度に依存する⁹⁾。すなわち、首都圏を抱え人口が多く、ごみを発生させるポテンシャルが大きい荒川や、集水面積が大きい石狩川下流部では、流域人口が小さく、ごみの負荷が小さい河川上流に位置する豊平川より多くのごみのサンプルが採取されたと考えられる。また、豊平川では全くみられなかった二次的のプラスチックが、石狩川や荒川で観測されたことは、大河川において大きなプラスチックごみが流下と堆積を繰り返すうちに劣化し、細分化していることを示唆するものである。

このような河川内における二次的のプラスチックの生成を理解するためには、移動・堆積を経た移動時間等と、プラスチック自体が持つ劣化時間の関係が重要になるため、河川内のプラスチック移動特性を明らかにすることが必要である。一方で、これら移動・堆積特性は、比重といったプラスチックの材質や、形状によっても大きく変化することが予想されるが、これらの移動特性を詳細

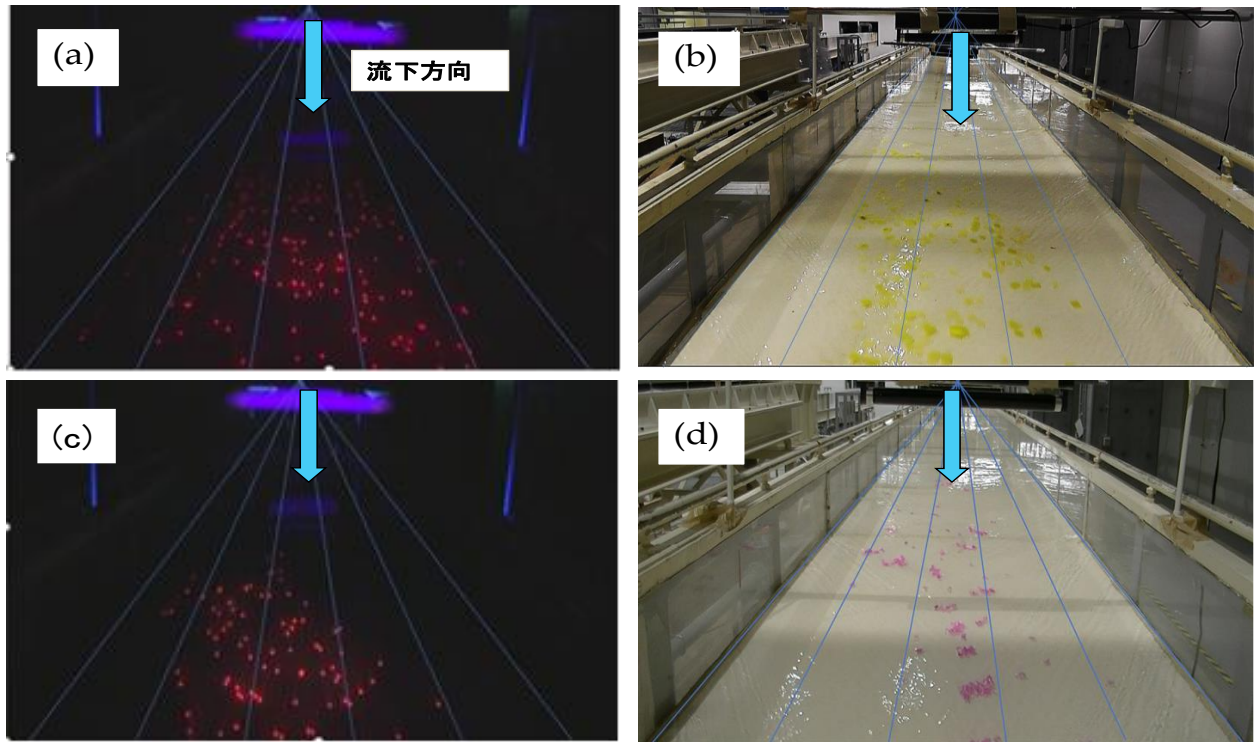


図6 プラスチック試料の平面的な流下状況 (a) ポリエチレン球 (比重 0.9) (c) ポリ袋 (比重 0.9)
(b) ポリプロピレン球 (比重 0.92) (d) ストロー (比重 0.9)

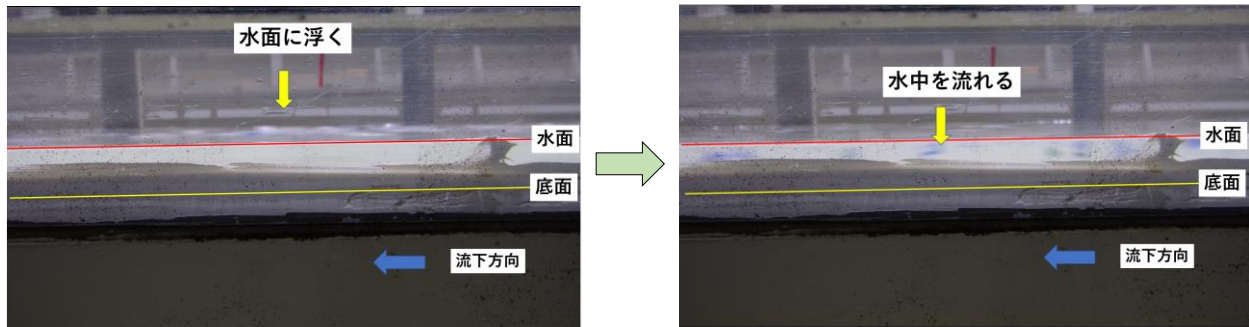


図7 ペットボトルのラベル片 (比重 1.04) の水深方向の流下特性

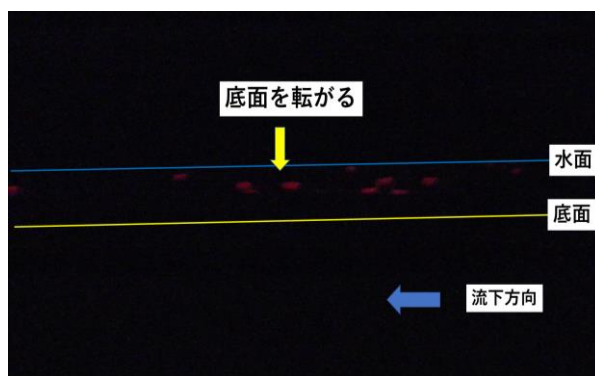


図8 ポリアミド球 (比重 1.14) の水深方向流下特性

に実河川で観測することは難しい。そこで、ここでは現地調査から得られたプラスチック特性を踏まえて簡単な水理実験を行うことで、河川におけるプラスチック輸送特性について考察することを試みる。

3. プラスチックの移動に関する水理実験

3.1 実験方法

図4に本研究で実施した水理実験の模式図示す。実験で用いた水路は図-4に示すように長さ 15m、幅 80cm の長方形断面水路である。勾配は 1/300、流量は等流水深が 1.8cm になるよう 4.18l/s とした。これらの条件から逆算されるマンニングの粗度係数は 0.0136 であり、平均流速は 0.29m/s である。水路上流端から 1m の水路中央付近から図5に示すようなプラスチックの試料6種類を1種類ずつ一度に流し、各種プラスチックが流下・拡散する様子を水路横と水路の下流に設けたカメラで撮影した。

3.2 プラスチック試料

実験で使用した試料を図5に示す。実験で用いた材質の決定には豊平川で得られたゴミを分類した材質の上位4種類を用いることにした。用いる材質はポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリアミドの4種類である。表1に用いた試料の比重と形状について示す。図5の上段左上の素材からポリエチレン、ポリプロピレン、

ポリアミドを原料とするプラスチック球であり直径は5mm、比重は順に0.92、0.90、1.14である。カメラ撮影を容易にするために、プラスチック球を蛍光塗料で着色し、実験時にはブラックライトをあてることにより、その挙動を撮影した。下段左がポリエチレンを原料とするポリ袋を1~2cmの四角形に切ったもので比重は0.9である。下段中央がポリプロピレンを原料とする口径7mmのストローを1cm間隔で輪切りにしたもので比重は同様に0.9である。下段右がポリスチレンを原料とするペットボトルのラベルを1~2cmの四角形に切ったもので比重は1.04である。それぞれの試料を300~400個程度用意し、これらを図4に示す位置から一度に水路に投入している。

3.1 結果と考察

まず、比重が0.9であるポリエチレンを原料とするプラスチック球とポリ袋の結果について述べる。プラスチック球とポリ袋が流下している様子を水路の下流から撮影したものをそれぞれ図6aと図6bに示す。縦の青い線は水路を横断方向に5等分し、プラスチック流下位置を見やすくしたものである。図-6aと図-6bからどちらの場合も水路全体に広く拡散しながら、流下している様子がわかるが、プラスチック球の場合よりも、ポリ袋は水路中央にまとまって動く傾向にあった。また、ポリエチレンは比重が1よりも小さいため試料はどちらも水に浮かびながら水路を流下していた。

次にポリエチレンと同様に比重が水よりも小さいポリプロピレンを原料とするプラスチック球とストローを流下している様子をそれぞれ図6cと図6dに示す。ポリプロピレンプラスチック球はポリエチレンプラスチック球同様に広く拡散していく様子が見えたが、ストローを細かく切った試料は中央にまとまって動き、いくつかのストロー片が塊をなし、集団を形成して流下していることがわかる。また、ポリプロピレンも比重が1よりも小さいため、どちらの試料も水面付近を流下していた。

これらの実験よりプラスチックの球を用いた実験では球がそれぞれ大きく分散しながら流下したが、同程度の比重を持つポリ袋やストローなどではあまり広がらずに流下し、特にストローに関しては大きな塊をつくるように流下した。すなわち、比重が同程度であっても、形状によって輸送特性が大きく異なることが示唆された。これは、形状が複雑になるにつれて流れに対する追従度が変化し、乱流等の影響を受けて偏分布した可能性⁷⁾があるが、詳細については今後検討する必要がある。

最後に、比重が1より大きいポリスチレンを原料とするペットボトルのラベルとポリアミド球の結果について述べる。ポリスチレンは比重が1より重いが同じようなラベルでも水に浮かぶラベルと沈むラベルが混在する。水路の横から撮影した実験結果を図7に示す。横から撮影した図では最初に流れてくるラベルは浮かんでいるが徐々に水中を流れるラベルが増え始め、水路下流部ではラベルはほとんどが水中もしくは沈んで底面を流れた。また、同じく比重が1.14で水よりも重いポリアミドを原料とするプラスチック球の水深方向の流下状況を図8

に示す。実験ではポリアミド球はすべての試料が沈み底面を転がるように流下していた。両者の比重は若干異なるものの、比重が1より大きいペットボトルのラベルとポリアミド球を流下させたところ、形状が均一なプラスチック球はすべての試料が沈んだ一方で、不均一な形状のペットボトルラベルは浮かぶものや沈むものが存在した。このことは、プラスチックの水深方向輸送には、平面方向の移動と同様に、単に比重だけでなく、形状やサイズの影響を受けていることを示唆している。

4. まとめ

本研究では、現在社会問題化している海洋マイクロプラスチックの主たる供給源である河川におけるプラスチックごみの輸送・堆積特性を明らかにする第一歩として、現地調査と室内実験による検討を行った。

現地調査により、人口密度が高い地域や集水面積が大きい地点では、河川において多くのプラスチックごみが流下、集積していることがわかった。また、河川の長い区間を移動・堆積しながら輸送される間に、大きなプラスチック片が劣化・細分化し、二次的マイクロプラスチックを生成することが示唆された。

また、現地調査により得られたプラスチックの材質等を踏まえた簡単な室内実験を実施し、河川におけるプラスチック輸送には、比重だけでなく、形状の影響が大きいたことが明らかとなった。

今後は、異なる水理条件等の実験を実施することにより、これらの結果を一般化し、実河川におけるプラスチック輸送・堆積特性に関する知見を得たいと考えている。

参考文献

- 1) <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO31591900R10C18A6EAF000/>
- 2) <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO46163950V10C19A6MM8000/>
- 3) <https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000463800.html>
- 3) 藤山朋樹, 吉田拓司, 宮本楓太, 村上代里子, 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_433-438, 2019.
- 4) 小林俊介, 片岡智哉, 宮本楓太, 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, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.2, pp.I_439-444, 2019.
- 5) 赤堀良介, 初田直彦, 清水康行, 伊藤丹: 水理構造物周辺の流れの構造に対する流木の応答, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I_691-696, 2014.