

25. 東京湾奥表層水における マイクロプラスチック汚染状況の把握

有山 尚吾^{1*}・中村 倫明²・木村 悠二³

¹ 日本大学大学院生産工学研究科土木工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

² 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

³ 日本大学准教授 生産工学部応用分子化学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

* E-mail: ciso22002@g.nihon-u.ac.jp

近年、マイクロプラスチック(5mm未満のプラスチック、以下:MPs)の海洋汚染に世界中で注目が集まっている。海洋に流出したMPsは遠くまで運ばれる、自然分解されずに残留しやすいという性質を持つため環境問題の側面では非常に厄介な物質であり、回収は事実上困難である。

本研究では、東京湾奥表層水におけるMPsの個数密度は最大462.9個/m³であった。個数密度の空間分布は、河口に近く滞留性の強い地点で高く、沖合では低くなっていることが分かった。MPsの汚染状況はCOD、塩分濃度、全窒素と関係があり、特にPEで相関性が強かった。このことから、この海域では潮流、波浪の影響を強く受け、他の沿岸域で流入したMPsが流入してきている可能性が示唆された。

Key Words : microplastic pollution, Tokyo bay, polymer, COD, salinity concentration, total nitrogen

1. はじめに

近年、海洋プラスチックごみによる海洋生態系への影響が国際的に懸念されている¹⁾。中でも海洋に流入したマイクロプラスチック(5mm未満のプラスチック、以下:MPs)は、遠くまで運ばれる、自然分解されずに残留しやすいという性質を持っている。その為、環境問題の側面では非常に厄介な物質であり、回収は事実上困難である²⁾。また、近年魚類消化器官中からマイクロプラスチックが検出しており、東京湾では大阪湾と比べカタクチイワシのマイクロプラスチック汚染が進んでいる³⁾。環境省では平成22年度から海岸等にある漂着ごみ、平成26年度から海面に浮遊する漂流ごみ及び海底に堆積するごみ(海底ごみ)に関して、採水や採泥によるサンプリング調査を行い、量や種類などの分析から海洋汚染の現状を把握している⁴⁾。このように日本沿岸域や周辺沖合における漂流ごみやマイクロプラスチック汚染の実態把握が進められている。

内田ら⁵⁾は環境省の海洋ごみ実態把握調査報告書⁶⁾のデータを基に解析を行い、東京湾沿岸域におけるプラスチック片の平均浮遊密度が伊勢湾や駿河湾などの他の湾と

比べ高いことを示唆した。栗山⁷⁾は東京湾におけるレジンペレットによる海洋汚染を調査し、レジンペレットによる海洋汚染が湾全体にわたっていることを明らかにし、その中でも浦安沖での汚染が進んでいることも示した。大石⁸⁾は清掃兼油回収船「べいくりん」⁹⁾による浮遊ごみ回収実績データと東京湾周辺の気象データ、海象データ、河川水位データと合わせた実態解析を行い、河川水位の上昇と浮遊ごみの回収量に関係があることを示した。そのことにより、出水時に陸域から河川を經由して東京湾に浮遊ごみが流入していることが示唆される。このように、外洋における表層水におけるMPsのサンプリングや短期間での表層水サンプリングの事例は見られるが、季節変動を考慮した表層水のサンプリングは少ない⁵⁾⁶⁾。

本研究では大都市を背後に持つ東京湾に着目し、季節によるMPs汚染状況の把握することを目的として船橋市沖合での継続的な調査を実施した。この沿岸域は東京湾の中でも最奥部に位置し、周辺では流れが遅く物質が滞留しやすい。ここでは、流動性の高い表層水に着目し、季節や気象状況におけるMPsの中長期的な変動を把握し、MPsの個数、種類、大きさを継続的に調査した。



図-1 船橋市沖合の調査地点

2. 調査概要

(1) 船橋市内から東京湾へのMPs流入源

船橋市は東京湾の最奥部に位置する人口約60万人(約29万世帯)の中核都市で、千葉県において2番目、全国でも26番目に人口の多い都市である。市内を介して東京湾へ流入する水系は、2級河川の海老川(総河川延長37.99km)、真間川(総河川延長2.97km)流入である。海老川は市内を源流として市内のみを介して東京湾へ流入し、真間川は江戸川支流の一部として船橋市市内を流れている(図-1)。もう1つの流入源として、市内に2つの下水処理場がある。高瀬下水処理場は、分流式の処理場であり市内から集積された雨水はそのまま東京湾へ放流し、下水は高度処理の後に放流されている。西浦下水処理場は、合流式の処理場であり、市内から集積された下水および雨水が高度処理後に二俣川を経由して東京湾へ流入している。沿岸部には港湾があり、食品コンビニエーンとしての利用や土砂の運搬が多くなっている。また、港湾の西側には貴重な干潟である三番瀬を有しており、周辺域でのMPs汚染による生態系への影響が懸念される。

(2) 船橋沖の気象および海象状況

図-2に気象庁が保管するアメダスデータ⁹⁾から実施日を含む雨量を示す。なお、潮位変動の時間スケールに合わせて調査から14日間前のデータを使用した。積算雨量、最大日雨量、最大時間雨量とすべての項目で2021年4月が最も多い値となっている。一方で、2021年6月はすべての項目で最も少ない値となっている。また、2021年6月から12月にかけて徐々に雨量が増加しており、MPs汚

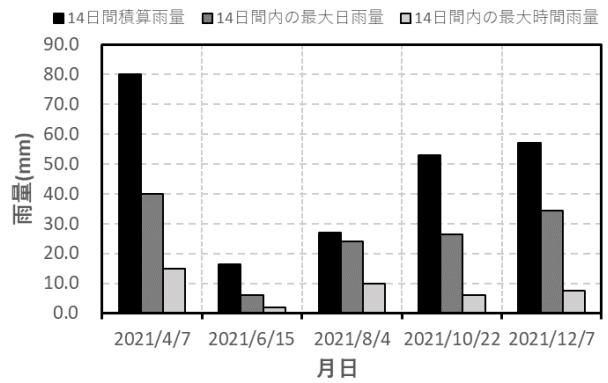


図-2 船橋における降水量と降水日数

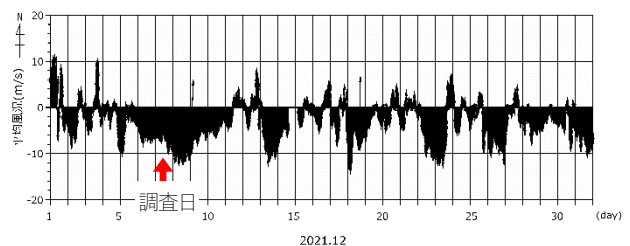
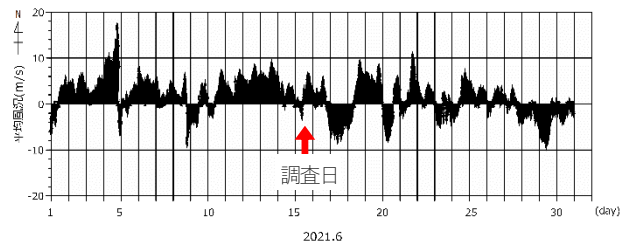
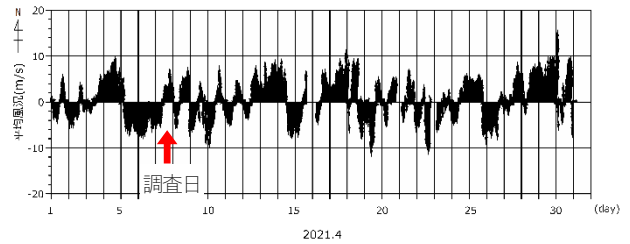


図-3 浦安沖における平均風速

染の時間変化との比較が必要となる。

漂流ごみの分布には洋上の風向と流動が大きな影響を与えている¹⁰⁾ため、図-3に東京湾環境情報センターが保管するデータ¹¹⁾から浦安沖における平均風速ベクトル(2021年4月、2021年6月、2021年12月)と図-4に上層の流動(2021年4月、2021年6月、2021年12月の25時間移動平均したベクトル)を示す。平均風速での風向きは、2021年4月は南風と北風が1~3日で交番する。2021年6月では南風が支配的となっている。一方、2021年12月では北風が支配的である。風速は、各月とも最大で10m/sを超える程度であり、2021年6月では15m/sを超える南風が吹いている。上層の流動では2021年4月は、5.0cm/s以下の北流が支配的であり、一部5.0cm/sを超える北流が発生している。2021年6月も同様に5.0cm/s以下の北流が支配的である。一方で、2021年12月では5.0cm/sを超える北流が断続的に発生している。

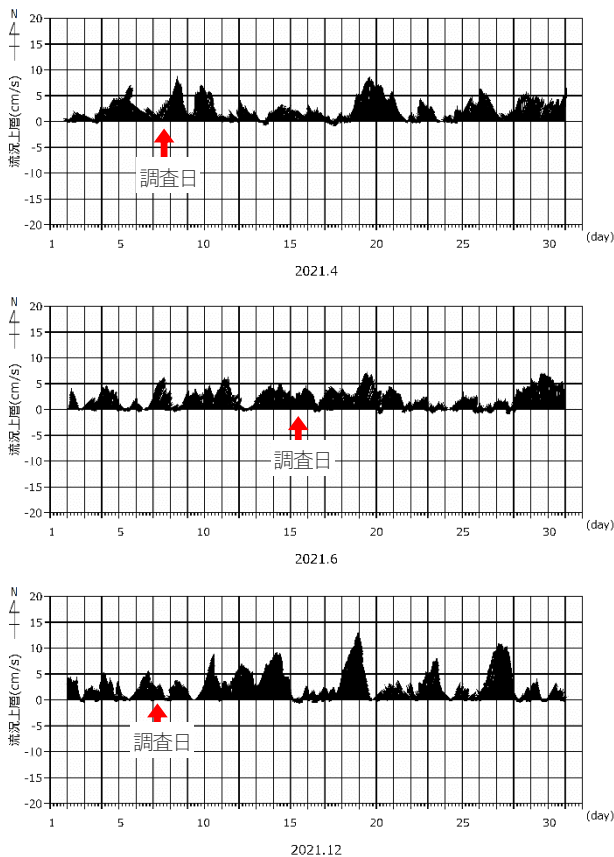


図-4 浦安沖における上層流動（25時間移動平均）

(3) 調査方法および分析方法

MPs調査は船橋市が行う公共用水域調査と併せて2021年4月から2021年12月まで断続的に実施した（表-1）。強風などにより、実施できなかった月や地点は調査結果では未実施とした。調査地点は公共用水域調査で実施している環境基準点を除く2地点（船橋①～②）と船橋が独自にモニタリングを実施している1地点（船橋③）とした。また、2021年6月は船橋①で浚渫工事のためサンプリングできなかったため、航路Cで実施した（図-1）。

MPs調査は環境省のMPsモニタリングに関するガイドライン¹²⁾を参考に、曳船用ロープの一端に取り付けたサンプリング用のプランクトンネット（離合社製、気象庁ニューストーンネット0.33mm）を船が一定速度(1~2knot)で曳航した。曳航は1地点片道10分を往路し、約1km実施した。プランクトンネットを船に引き上げた後、ネットの外側から水道水をかけて静かに洗浄しながら表層水サンプルを末端のエンドコックに入っている網袋に集め、その後、内容物を水道水ですすぎながら5Lのポリ容器に移し、生物相が腐敗しないようにホルムアルデヒドにて固定した。

分析は、環境省¹²⁾およびNOAA¹³⁾のガイドラインに沿って試料をろ過後、ヨウ化ナトリウム水溶液に浸透させ、超音波をかけながら攪拌した。その後、オーバーフロー法にて上澄み液を回収し、過酸化水素で洗浄後乾燥させ

表-1 調査日における天候と水深

		2021年				
日付		4月7日	6月15日	8月4日	10月22日	12月7日
天候		晴れ	晴れ	晴れ	雨	曇り
水深(m)	船橋①	10.90	9.30	10.80	10.10	4.91
	船橋②	8.50	6.60	7.70	7.50	7.80
	船橋③	2.30	2.50	4.80	2.55	3.51
潮位(cm)		137	31	155	123	125
潮汐		若潮	中潮	若潮	大潮	中潮

る。ここで、明らかにMPsではないと思うものは目視にて分別した。その後、日本分光株式会社の赤外分光光度計FT/IR-4100(ATR)を用いて、測定を行った。測定したIRスペクトルをPEやPPなどのプラスチックのIRスペクトルと比べて、MPsであるか確認し、種類を識別した。識別後、画像認識ソフトImage Jを用いてサイズ、個数を計測した。

また、公共用水域調査による検査方法は、CODは規格17に定める方法、全窒素は規格45.4、45.6（規格46の備考9を除く。2イにおいて同じ）に定める方法、塩分は海洋観測指針(1999)5.3に掲げる方法（海域の分析方法（平成11年3月12日環境庁水質保全局水質規制課長通知をいう。）に沿って実施した¹⁴⁾。

3. 調査の結果

(1) MPsの分析結果

海水表層におけるMPsの個数密度とポリマー比率を図-5に示す。船橋①においては平均238.9個/m³のMPsが検出された。最大個数密度は2021年10月22日で462.9個/m³であった。一方、最小個数密度は2021年6月15日の30.2個/m³である。この月は航路Cでの実施であった地点の変更による影響が考えられる。船橋②では、平均71.8個/m³のMPsが検出された。ポリマー比率ではPEが大半を占めている。また、2021年4月から12月にかけて個数密度が増加していることが確認できる。船橋③では平均60.1個/m³であった。船橋②同様、ポリマー比率ではPEが大半を占めている。

空間分布として、海老川河口近く船橋航路内に位置する船橋①は個数密度が最も高く、海苔漁場である船橋③が最も小さい個数密度となっている。また、沖合に位置する船橋②も個数密度が小さい結果となった。いずれの地点においても検出したポリマーは比重が1より小さいPE（ポリエチレン）やPP（ポリプロピレン）が大半を占めているがPVC（ポリ塩化ビニル）やPET（ポリエチレンテレフタレート）なども検出されている。既往知見⁹⁾で示された東京湾沿岸域のプラスチック片の平均浮遊密度は2.54個/m³と比べ大きい個数密度である。

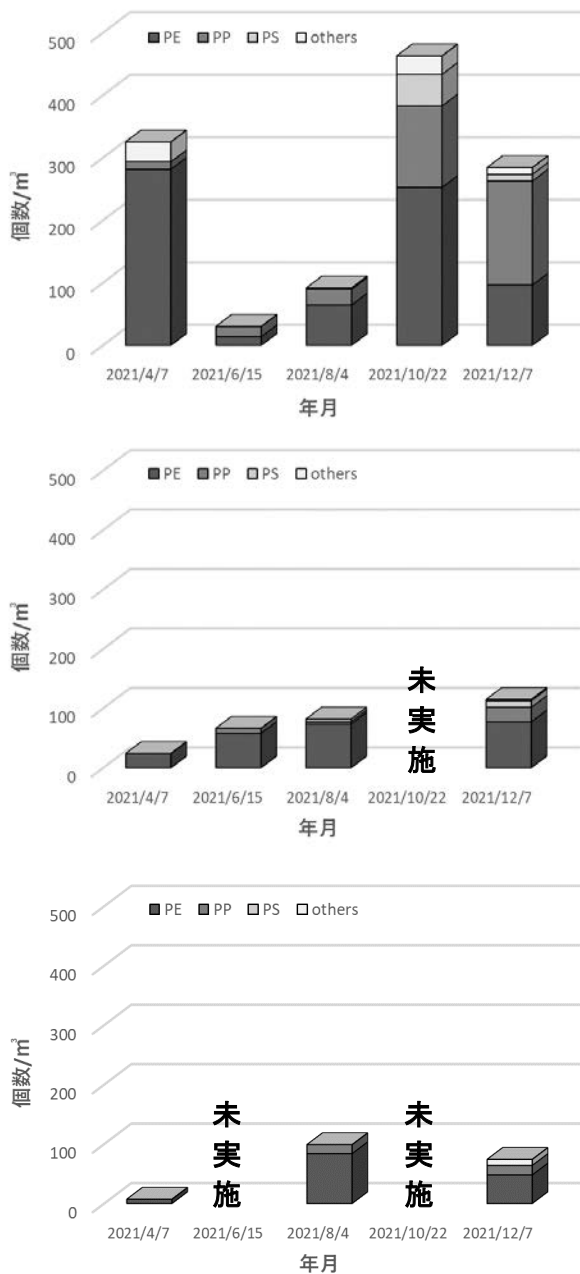


図-5 表層水のMPs個数密度と種類
(上：船橋①，中：船橋②，下：船橋③)

時間方向にはいずれの地点においてもMPsの個数密度とポリマー比率に変化があることが確認できる。全体の個数が多い船橋①では変動が大きく、雨量の多い2021年4月や2021年10月では個数密度が多くなり、2021年6月や2021年8月の雨量の少ない時期では個数密度が小さくなる傾向が見られる。流動性の高い表層水では同地点にMPsが堆積することは少ないが、船橋①は湾内であり水の流動が少ないため河川から流入してきたMPsが長時間堆積したと考えられる。また、ポリマー比率の時間的変化では2021年4月7日、2021年6月15日、2021年8月4日はPEが大半を占めていたのに対して、2021年10月22日、2021年12月7日ではPPのポリマー比率が高くなっていること

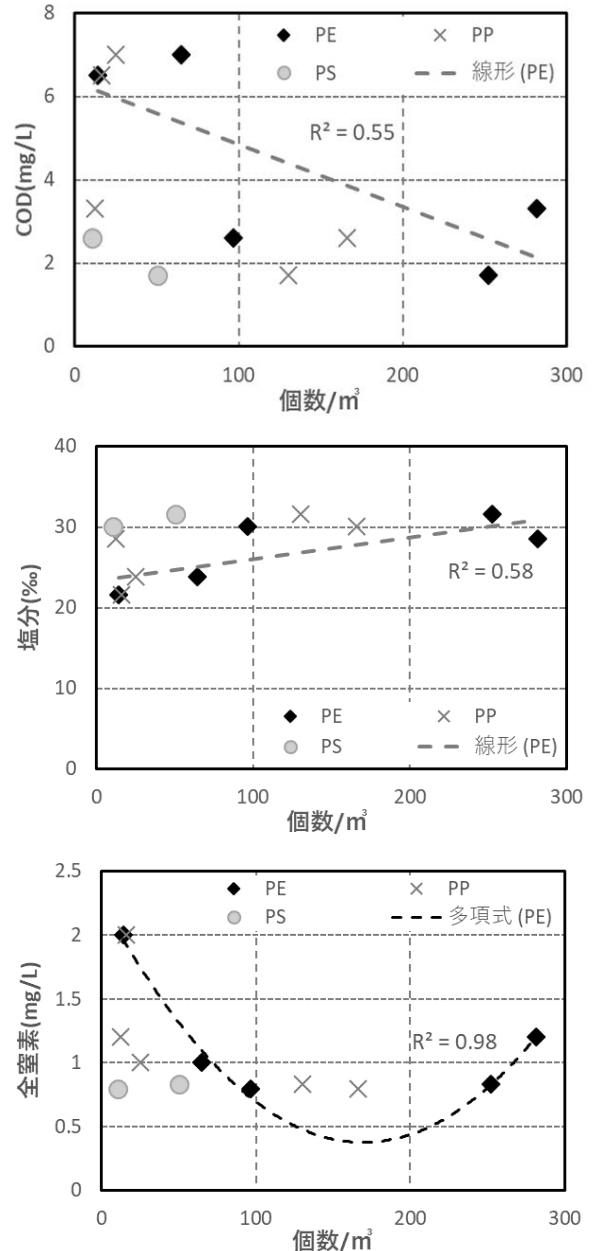


図-6 船橋①におけるMPsの個数密度と水質の関係性
(上：COD，中：塩分，下：全窒素)

が分かる。これは工場排水、下水処理水、河川流入など多岐にわたる流入源が影響していると考えられる。

(2) MPsの個数密度と水質の関係性

表層水におけるMPs汚染状況の水質の変化から推考するために、船橋①におけるCOD、塩分、全窒素とMPs個数密度との関係を図-6に示す。なお、船橋①における2021年6月データは航路Cで計測された水質を使用した。

船橋①における2011年から2021年のCODの平均値¹⁵⁾は3.47mg/Lである、CODとMPs個数密度との関係では、決定係数 $R^2=0.27$ と相関性がやや弱い結果となった。CODとPEでのMPs個数密度を比較してみると、2021年10月22

日はCODが1.7mg/Lと平均より低くPEの個数密度は252.5個/m³で高い結果となった。一方、2021年6月15日ではCODが6.5mg/Lと高く、PEの個数密度は13.9個/m³で低い結果となった。この結果から、PEの個数密度が上昇すると、CODが減少するといった反比例の関係性が確認でき、決定係数 $R^2=0.55$ と相関性がやや強い結果となった。船橋①における塩分濃度とMPs個数密度との関係では、決定係数 $R^2=0.28$ と相関性がやや弱い。塩分濃度とPEでのMPs個数密度を比較してみると、2021年6月15日は塩分濃度が21.85%と一番低くPEの個数密度は13.9個/m³で高い結果となった。一方、2021年10月22日では塩分濃度が31.58%と高くPEの個数密度は252.5個/m³で高い結果となった。この結果から、PEの個数密度が上昇に伴い、塩分濃度が増加するといった比例の関係性が確認でき、決定係数 $R^2=0.58$ と相関性がやや強い結果となった。このCOD、塩分濃度とPEの個数密度で相関性が強くなった理由として、潮汐の影響が考えられる。東京湾におけるCODの濃度分布は湾奥部の値が高く、湾口に近づくにつれて低い値となっており、特に湾奥部の表層において高い濃度が見られる¹⁶⁾。また、東京湾における表層の塩分分布では湾口ほど高く、河川の影響を受けやすい湾奥・沿岸では低くなる傾向が見られる¹⁷⁾。その為、2021年10月22日は、大潮であり東京湾から船橋沖に海水が流入し、CODが減少、塩分濃度の増加した。それに伴い、他の沿岸域で流入したMPsがこのエリアに流入しMPsの個数密度が上昇したと考えられる。特に、比重が1より軽いPEは海面に浮遊するため表層の波浪や潮流の影響を受けやすくCODと塩分との相関性が強く出たと考えられる。

船橋①における2011年から2021年の全窒素の平均値は1.0mg/L¹⁶⁾である。全窒素とMPs個数密度との関係では、決定係数 $R^2=0.14$ と相関性がほぼない。全窒素とPEでのMPs個数密度を比較してみると、2021年6月15日の全窒素が2.0mg/Lで最大濃度であった。また、2021年12月7日では全窒素が0.8mg/Lであり、最小濃度であった。PEの個数密度との関係はPEの個数密度が増加すると、全窒素は減少する。しかし、全窒素が0.4mg/L近くを境にPEの個数密度と全窒素がともに増加することが確認できる。また、多項目式での近似を行うと決定係数 $R^2=0.98$ と相関性がとても強い結果となった。これも、潮汐の影響が考えられる。東京湾における全窒素の濃度分布は湾奥部の値が高く、湾口に近づくにつれて低い値となっている¹⁸⁾。2021年6月15日は船橋①に海水が流入せず滞留性の強いいため全窒素が高かった。また、MPsの流入もなかったため、MPs個数密度も低い結果となった。東京湾湾口から海水が流入するにつれ、全窒素の濃度は減少し、MPsの個数密度は増加する。一方、全窒素とPEの個数密度

が共に増加している2021年4月と2021年10月では、降水量が多かった。その為、下水処理場の簡易放流などによって下水処理水が船橋①に流入し、全窒素の上昇に伴い、PEの個数密度も上昇した可能性がある。

4. まとめ

本研究では、東京湾湾奥部の表層水におけるMPs汚染の状況を把握するために、船橋沖の表層水における継続的なMPsの個数密度、サイズ、水質環境とMPsの個数密度の分布を行った。主な結論は以下に示すとおりである。

- ・船橋市沖の表層水では時間変化をしながらもほぼ定期的にMPs汚染が確認された。
- ・個数密度の空間分布は河口近くの滞留性の強い地点で高く、沖合では低くなっていることが確認された。
- ・PEにおけるMPsの個数密度とCOD、塩分濃度、全窒素で強い相関性が見られた。
- ・船橋市沖における表層水のMPs汚染は、海老川や真間川といった河川からより、他の沿岸域で流入したMPsが潮流や波浪などの影響により流入してきているほうが強い可能性がある。

参考文献

- 1) 松崎裕司, 佐藤加奈子: 日本の海洋ごみ対策の今後の課題, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.29, No.4. pp.278-285, 2018.
- 2) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 北浦侑弥: 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), Vol.74, No.4, I_529-I_534, 2018.
- 3) 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, 田中秀重: 日本内湾および琵琶湖における摂取方法別にみた魚類消化器内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.
- 4) 環境省: 海洋ごみ実態把握調査
https://www.env.go.jp/water/post_64.html
(閲覧日: 2022年7月27日)
- 5) 内田圭一: 沿岸・沖合域における漂流ごみ・海底ごみの実態把握, 水産工学vol.59, No.1, pp.49-55, 2022.
- 6) 栗山雄司, 小西和美, 兼広春之, 大竹千代子, 神沼二眞, 間藤ゆき枝, 高田秀重, 小島あずさ: 東京湾ならびに相模湾におけるレジンペレットによる海域汚染の実態とその起源, 日本水産学会誌vol.68, No.2, pp.164-171, 2002.
- 7) 関東地方整備局: 東京湾における浮遊ごみ挙動の実態解析

- https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000105717.pdf
(閲覧日：2022年7月23日)
- 8) 国土交通省関東地方整備局千葉港湾事務所：べいくりん
<https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/chiba/bayclean/index.html>
(閲覧日：2022年7月23日)
- 9) 気象庁：ホームページ
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
(閲覧日：2022年7月27日)
- 10) 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vol.66，No.1，pp51-68，2016.
- 11) 東京湾環境情報センター：浦安沖
<https://www.tbeic.go.jp/MonitoringPost/ViewGraph/ViewGraph?buoyId=03> (閲覧日：2022年7月18日)
- 12) Ministry of the Environment：Guidelines for Hamonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods, Ver.1.1, 2020.
- 13) NOAA: Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments, Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015.
- 14) 船橋市：令和3年度版環境白書（船橋市の環境）
<https://www.city.funabashi.lg.jp/machi/kankyoku/001/p029029.html> (閲覧日：2022年7月25日)
- 15) 船橋市：水質の経年変化（平成23年度～令和2年度）
<https://www.city.funabashi.lg.jp/machi/kankyoku/006/p003411.html> (閲覧日：2022年7月25日)
- 16) 平成25年5月31日東京湾再生推進会議：東京湾再生のための行動計画（第二期）
https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renaissance/RenaissanceProject/ActionProgram2.htm
(閲覧日：2022年7月22日)
- 17) 環境省：令和3年度東京湾環境一斉調査調査結果
https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renaissance/Monitoring/General_survey/index.htm
(閲覧日：2022年7月22日)
- 18) 令和3年3月東京湾岸自治体環境保全会議：東京湾水質調査報告書（令和元年度）2019
<http://www.tokyowangan.jp/database/pdf/r01hokoku.pdf>
(閲覧日：2022年7月25日)