

〈研究ノート〉

多摩川のマイクロプラスチック汚染の季節変動

¹仲山英之 ²田中翔大 ²平沼朋晃 ³羽野芳生

¹帝京科学大学総合教育センター非常勤講師 (元帝京科学大学生命環境学部自然環境学科)

²元帝京科学大学生命環境学部自然環境学科学生

³前所属帝京平成大学薬学部 現所属東邦大学薬学部

Seasonal Variation of Microplastic Pollution in the Tama River

¹Hideyuki NAKAYAMA ²Shota TANAKA ²Tomoaki HIRANUMA ³Yoshio HANO

キーワード：マイクロプラスチック、河川、多摩川、季節変動、マイクロファイバー

1. はじめに

プラスチックは、現代社会に欠かすことができない物質であるが、一方で、海洋汚染の一因にもなっている。プラスチックの量産が始まって10年ほどたった1960年代にすでに海鳥の消化管からプラスチック片が検出されており¹⁾、その当時から海洋プラスチック汚染が始まっていたと考えられている²⁾。その後、2000年に北太平洋に微細なプラスチックが高密度で集積している場所が発見され³⁾、海洋プラスチック汚染への関心が世界的に高まり始めた。これまでに、海鳥、クジラ、イルカ、カメ、魚、貝、プランクトンなどの海洋生物から、様々な大きさのプラスチックが検出されている^{4,5)}。また、河川^{6,7)}、湖沼⁸⁾、地表⁹⁾、水道水^{10,11)}、大気¹²⁾からも検出されている。さらに、人の胎盤¹³⁾や血液中¹⁴⁾からも検出されている。

大きさが5 mm以下のプラスチックは通常マイクロプラスチックと呼ばれ、一旦環境中に放出されると回収は不可能に近く、かつ次のような点で問題視されている⁵⁾。

- 1) 有害物質を吸着し、生物の体内に運び込む。
- 2) プラスチックに含まれている添加剤が生物の体内に移行する。
- 3) マイクロプラスチックそのものに毒性(粒子毒性)がある可能性が高い。

今のところ自然界で明確な影響は検知されていないが、どのくらいの濃度で影響が出るのか、現在重要な研究テーマになっている。

当初、海洋のマイクロプラスチックの多くは、河川から海に流出した比較的大きなプラスチックごみ

が紫外線や温度変化、さらに波の作用などで微細化したと考えられていた。しかし、その後、陸域で微細化したプラスチックが河川を通して流入する経路もあることがわかってきた^{6,7)}。そのため、現在は海洋の調査だけでなく、河川の調査も、行われるようになった。しかし、一地点における調査回数は少なく、季節変動を調査した例は少ない^{15,16)}。

私たちは、2019年の5月から始めて1年を通した調査を試みた。しかし、2020年の新型コロナウイルス感染拡大のために、1年を通しての測定はできなかった。そのため年間推移の完全なデータは得られなかったが、ある期間の定点観測のデータとして価値があると考え報告する。

2. 調査方法

試料採取地点

採取は、2019年5月28日、2019年7月11日、2019年8月27日、2019年10月31日、2019年12月12日、2020年1月9日に多摩川の調布市と稲城市を結ぶ多摩川原橋(図1)で行った。多摩川原橋を採取地として選んだ理由は、都市部を流れる代表的な川であり、潮の満ち引きで海水の逆流がない(感潮域より上流)地点であるからである。

試料採取と処理

試料採取は、ろ水計(GENERAL OCEANICS社2030)を装着した目合100 μm、口径30 cmのプランクトンネット(離合社)を橋の上からロープで下ろし、3~5分係留させ、河川水を自然の流れで通過させることで行った(図1、図2)。プランクトン



図1 試料採取地点（多摩川原橋）

ネットを通過した水の量はろ水計で計った。採取した試料はプランクトンネットの外側から河川の水をかけてプランクトンネットの下部に集めた後、採取ボトルに移した。採取物は、まず5 mm以上の固形物を除去後、生物由来の有機物を分解するためにH₂O₂水で1週間程度処理した。さらにふるいを用いて通常の調査¹⁷⁾で対象としている300 μmから5 mmの試料に関してNaI水溶液（比重1.5）で比重分離し、浮遊物を得た。浮遊物は水で洗浄後、乾燥させ、顕微鏡下で人工物と考えられるものを選別し、格子目の入ったシャーレにピンセットで移した。

材質の同定

形状と色が似ている同一物質と考えられるサンプルに関しては、代表的なものを1つ選び赤外スペクトル測定を行った。測定サンプルは、2枚のKBrプレートに挟みハンドプレスで圧着させて用いた。測定は、顕微赤外分光計（Nicolet iN10, Thermo Fisher Scientific社）で行った。材質の同定は得られたスペクトルを装置に付属のデータベースのスペクトルと比較することで行った。

なお、以下の記述において、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）、ポリウレタン（PU）、およびポリエチレンテレフタレート（PET）の表記にはカッコ内の略号を用いた。

3. 結果と考察

採取された代表的なマイクロプラスチックを図3に示した。上段のようなものを微細片、下段のようなものをファイバーとして分類した。ファイバー状のマイクロプラスチックはマイクロファイバーと呼ばれている。これらは、元の製品が微細化あるいは元の製品から脱離したものであると考えられるが、起源の詳細は不明である。一般にマイクロプラス



図2 ろ水計と浮き（ペットボトル）を装着したプランクトンネット

チックの元の製品が判明しているものは少なく、そのうちの1つに人工芝がある。c) は、色、形状、材質から人工芝の可能性が高い。ファイバーとして採取されたPET、アクリル、ナイロンは衣類によく使われている。PETは衣類の表示ではポリエステルと呼ばれている。後で述べるように、今回採取されたこれらのファイバーは衣類から脱離したものである可能性が高い。

表1に採取日ごとのろ水量、採取されたマイクロプラスチックの形状ごとの数、両者の合計数、および合計数から求めた数密度を示した。数密度は採取されたマイクロプラスチックの数をろ水量で割った値であり、河川水1 m³あたりに含まれるマイクロプラスチックの数に相当する。図4に、数密度の推移を形状ごとの内訳と共に示した。

図5、図6には、微細片とマイクロファイバーのそれぞれの数密度の年間推移を材質の内訳と共に示した。内訳における「その他」は、数密度が小さい材質と材質の候補が複数あり特定できなかったものを含む。

今回の調査結果には、以下の傾向がみられた。

- 1) マイクロプラスチックの数密度は、冬と春が大きい。（図4）。
- 2) マイクロファイバーの数密度は、冬に著しく大きい。材質はPETの割合が多い（図5）。
- 3) 微細片の数密度は、春と冬に大きい。材質はPE、PP、アクリルが多く、PETは採取されなかった（図6）。

微細片とマイクロファイバーで年間推移の傾向が一致していないことは、両者の発生源や流出経路の季節依存性が異なることを示唆している。マイクロファイバーは、衣類の洗濯によって大量に発生す

表1 採取日ごとのろ水量、マイクロプラスチックの数、数密度

採取日	ろ水量/m ³	微細片数	ファイバー数	合計数	数密度/pieces m ⁻³
2019/5/28	4.50	272	6	278	61.8
2019/7/11	5.00	84	0	84	16.8
2019/8/27	9.20	33	3	36	3.9
2019/10/31	4.82	46	3	49	10.2
2019/12/12	3.80	60	23	83	21.8
2020/1/9	4.76	145	176	321	67.4

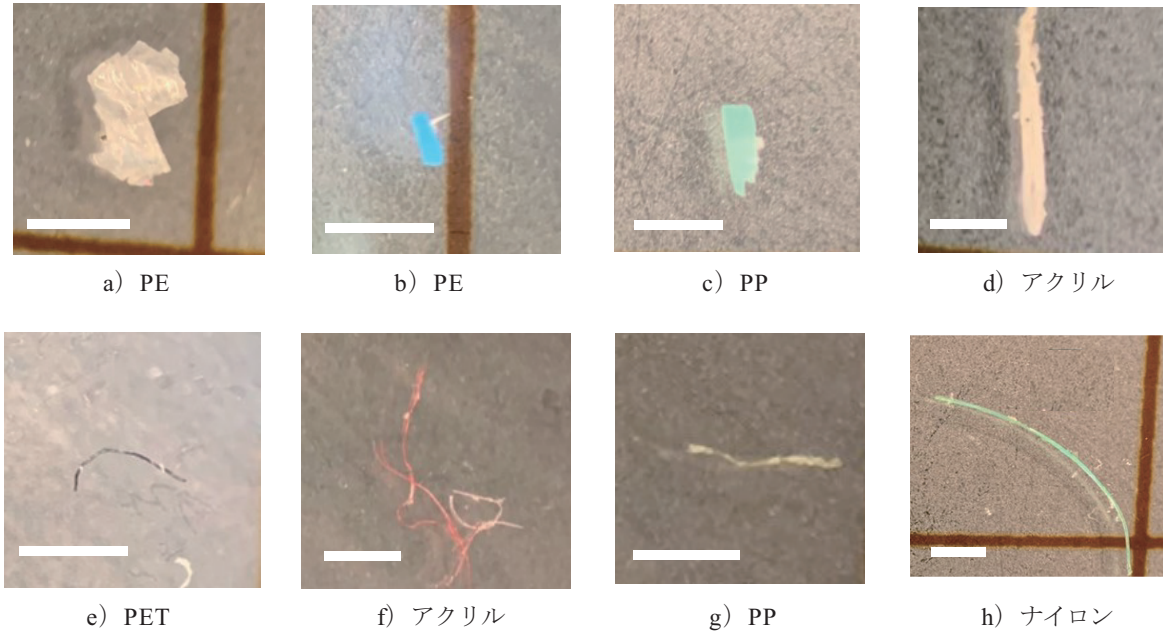


図3 採取された代表的なマイクロプラスチック
白線のスケールバーは1 mm. 茶色の線はシャーレのマス目.

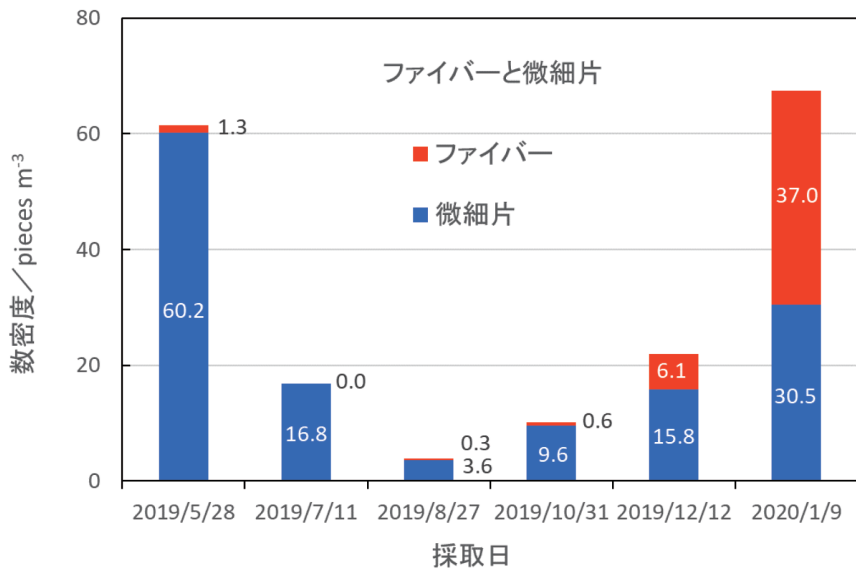


図4 マイクロプラスチックの数密度の推移と形状ごとの内訳

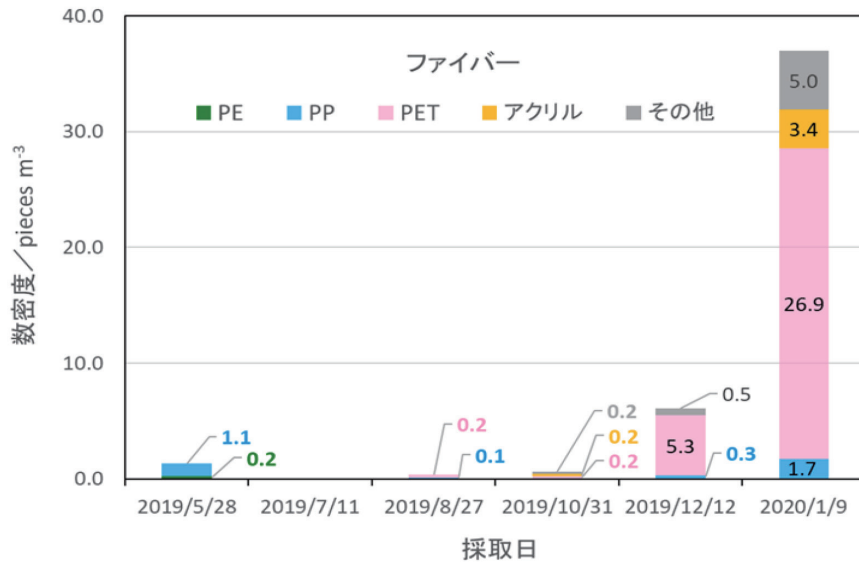


図5 マイクロファイバーの数密度の推移と材質ごとの内訳

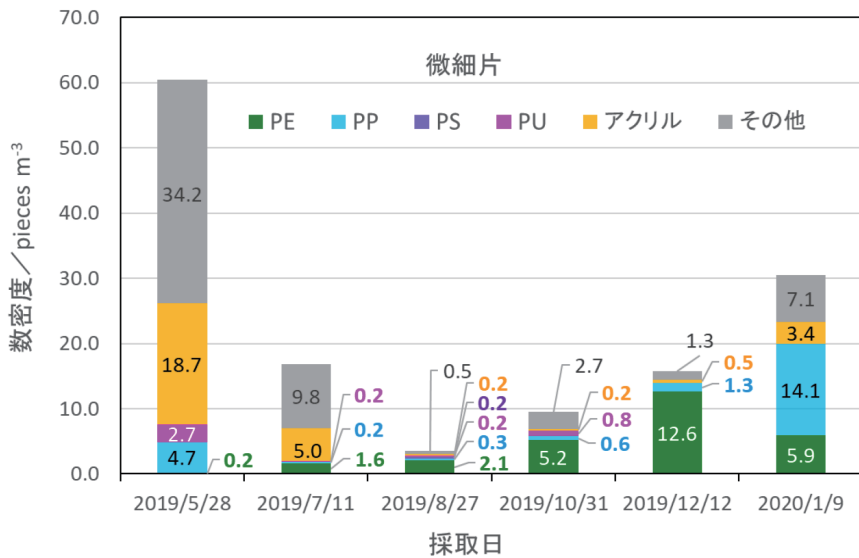


図6 微細片の数密度の推移と材質ごとの内訳

る^{18, 19)}。通常、それらの大半は下水処理場で除去されるものの流入量が多いので、かなりの量が自然界へ流出している²⁰⁾。また、洗濯を行わなくても使用中に衣類から脱離し環境中に放出されるものもある²¹⁾。今回の調査で多く採取されたPETは衣類に多く使われている素材であり、冬季に衣類の使用量が多いことを考慮すると、採取されたマイクロファイバーは衣類に起因するものであると考えられる。

微細片にPE、PPが多いことは、多くの河川で観測される一般的な傾向であり²²⁾、これらの生産量が多いことに起因していると考えられている。一方、5月、7月にアクリルが比較的多く観測されたが、

これは一般的な傾向とは著しく異なり²²⁾、特別な発生源が存在することを示唆している。また、マイクロファイバーとは対照的に微細片にPETが観測されなかった理由は、PETが劣化しづらいためであると考えられる²³⁾。

現在、マイクロプラスチック汚染を抑制するための策として、使い捨てプラスチック製品の使用削減、使用後の適切な廃棄、使用中の製品に関しては劣化してマイクロプラスチックになる前の適切な回収・廃棄などが求められている。今回の調査から、これらの策に加えて、洗濯から発生するマイクロファイバーを減らすことも河川のマイクロプラスチック汚染を抑

制するために大事であることが示唆された。

近年、河川のマイクロプラスチック汚染の調査を行う自治体が増えてきたが、時期により数密度が大きく異なる今回の結果から、汚染実態を正しく把握するためには、年に一回の測定では不十分で、少なくとも夏季と冬季の調査が必要であると考えられる。

4. まとめ

多摩川の多摩川原橋において、マイクロプラスチック汚染の調査を2019年5月から2020年1月までの期間に計6回行った。その結果、単位体積当たりの河川水に含まれるマイクロプラスチックの数は時期により大きく異なり、夏に比べ冬から春にかけて多く観測された。その傾向は、微細片とファイバーの両方で見られたが、ファイバーでより顕著であった。ファイバーはPET製のものが多く、衣類から脱離したものであることが示唆された。

参考文献

1. R. Thompson, C. Moore, A. Andrady, M. Gregory, H. Takada, S. Weisberg: New Directions in Plastic Debris. *Science*, 310: 1117, 2005.
2. 高田秀重：マイクロプラスチック汚染の現状、国際動向および対策. *廃棄物資源循環学会誌*, 29(4) : 261-269, 2018.
3. C. J. Moore, S. L. Moore, M. K. Leecaster, S. B. Weisberg: A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.*, 42 : 1297-1300, 2001.
4. 山下麗, 高田秀重：さまざまな栄養段階の海洋生物へのプラスチック摂食の影響. *海洋と生物*, 36 : 606-611, 2014.
5. 環境省 水・大気環境局水環境課海洋プラスチック汚染対策室：海洋プラスチックごみに関する既往研究と今後の重点課題. 令和2年6月.
6. Y. Nihei, T. Yoshida, T. Kataoka, and R. Ogata: High-Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea. *Water*, 12 : 951, 2020.
7. T. Mani, A. Hauk, U. Walter, P. Burkhardt-Holm: Microplastics profile along the Rhine river. *Sci. Rep.*, 5 : 17988, 2014.
8. M. B. Alfonso, F. Scordo, C. Seitz, G. M. M. Manstretta, A. C. Ronda, A. H. Arias, J. P. Tomba, L. I. Silva, G. M. E. Perillo, M. C. Piccolo: First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America). *Science of The Total Environment*, 733 : 139385, 2020.
9. N. D. Christensen, C. E. Wisinger, L. A. Maynard, N. Chauhan, J. T. Schubert, J. A. Czuba, J. R. Barone: Transport and characterization of microplastics in inland waterways. *Journal of Water Process Engineering*, 38 : 101640, 2020.
10. D. Schymanski, B. E. Oßmann, N. Benismail, K. Boukerma, G. Dallmann, E. von der Esch, D. Fischer, F. Fischer, D. Gilliland, K. Glas, T. Hofmann, A. Käßler, S. Lacorte, J. Marco, M. E. Rakwe, J. Weisser, C. Witzig, N. Zumbülte, N. P. Ivleva: Analysis of microplastics in drinking water and other clean water samples with micro-Raman and micro-infrared spectroscopy: minimum requirements and best practice guidelines. *Anal. Bioanal. Chem.*, 413(24): 5969-5994, 2021.
11. 宮本明子, 佐古かおり, 古川瑠美, 村山蘭：水道水中のマイクロプラスチックの現状について. *空気調和・衛生工学会大会(札幌)*, 10 : 125-128, 2019.
12. G. Chen, Q. Feng, J. Wang: Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of The Total Environment*, 703 : 135504, 2020.
13. A. Ragusa, A. Svelato, C. Santacroce, P. Catalano, V. Notarstefano, O. Carnevali, F. Papa, M. C. A. Rongioletti, F. Baiocco, S. Draghi, E. D'Amore, D. Rinaldo, M. Matta, E. Giorgini: Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ. Int.*, 146 : 106274, 2021.
14. H. A. Leslie, M. J. M. van Velzen, S. H. Brandsma, A. Dick Vethaak, J. J. Garcia-Vallejo, M. H. Lamoree: Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ. Int.* 163 : 107199, 2022.
15. T. Li, K. Liu, R. Tang, J. R. Liang, L. Mai, E. Y. Zeng: Environmental fate of microplastics in an urban river: Spatial distribution and seasonal variation. *Environmental Pollution*, 322 : 121227, 2023.

16. I. Zhdanov, A. Lokhov, A. Belesov, A. Kozhevnikov, S. Pakhomova, A. Berezina, N. Frolova, E. Kotova, A. Leshchev, X. Wang, P. Zavialov, E. Yakushev: Assessment of seasonal variability of input of microplastics from the Northern Dvina River to the Arctic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 175 : 113370, 2022.
17. 環境省 水・大気環境局水環境課：河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン。令和5年3月。
18. N. L. Hartline, N. J. Bruce, S. N. Karba, E. O. Ruff, S. U. Sonar, P. A. Holden: Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments. *Environ. Sci. Technol.*, 50 : 11532-11538, 2016.
19. 青柳聖也：洗濯で発生するマイクロファイバーの除去。帝京科学大学2020年度卒業研究。
20. 田中周平, 垣田正樹, 雪岡聖, 鈴木裕識, 藤井滋穂, 高田秀重：下水処理工程におけるマイクロプラスチックの挙動と琵琶湖への負荷量の推定。土木学会論文集G (環境), 75(7) : III_35-III_40, 2019.
21. ダスキン：ホコリ分野の研究「ホコリ」とは何か。 <https://www.duskin.co.jp/rd/laboratory/feature/dust/01/#:~:text=> (2023.5.27参照)
22. 環境省：河川・湖沼マイクロプラスチック調査令和3年度報告書。
23. 北沢賢二：内陸河川におけるマイクロプラスチック汚染と劣化プラスチックの特徴。帝京科学大学2020年度修士論文。