

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00783

研究課題名（和文）都市水循環系におけるマイクロプラスチックの発生源分析と環境運命予測

研究課題名（英文）Source Tracking and Prediction of Environmental Fate of Microplastics on Urban Water Cycle

研究代表者

田中 周平（TANAKA, Shuhei）

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：00378811

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：5mm未満のプラスチックによる水環境汚染が問題となっている。マイクロプラスチックは、どこで発生し、どのような大きさで、どこに存在しているのか。本研究では、都市水循環系におけるMPsの分布および動態を把握し、発生源の特定と環境運命予測を行うことを主目的とした。10 μ mのMPsの採取、計測、成分同定手法を開発することで、生物への濃縮過程を含めた議論を可能とした。本手順を用いて、道路塵埃、雨天時路面排水、洗濯排水、下水処理工程水、農業排水、河川水中のMPsの動態を調査し、流域内での発生量を発生源別に定量化した。特に雨天時の道路面からの洗い流しに着目し、雨天時越流水中のMPsの存在実態を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LDIRや顕微FTIR、熱分解GC-MSなどを駆使して、実環境中の極微小MPsの前処理、計測、成分同定方法を開発した結果、環境中のマイクロファイバーの存在やタイヤ由来の劣化ゴムの底質への蓄積が明らかとなった。そのレンジのMPsを摂食する生物も多いことから、生物濃縮過程を含めた議論が展開され、MPsの動態解明を飛躍的に進歩させるなど新たな学術分野を開拓することができた。例えば、PM2.5は肺の奥深くにまで入り込みやすく、呼吸器系疾患や循環器系疾患などのリスクを上昇させる。2.5 μ mのMPsの存在を知ることは、人体への曝露経路を知る上で重要であると考えられるため、社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Water pollution by plastics smaller than 5 mm has become a problem. Where do microplastics (hereinafter referred to as MPs) occur, what size do they have, and where do they exist? The main objective of this study was to understand the distribution and dynamics of MPs in the urban water circulation system, identify the source, and predict the fate of the environment. By developing a procedure for collecting, measuring, and identifying components of 10 μ m MPs, we have made it possible to discuss the enrichment process in living organisms. Using this procedure, the dynamics of MPs in road dust, runoff water, laundry wastewater, sewage treatment process water, agricultural wastewater, and surface water of river were investigated, and the amount generated in the basin was quantified by source. In particular, we focused on washing off the road surface in rainy weather and clarified the existence of MPs in overflowing water in rainy weather.

研究分野：環境工学

キーワード：マイクロプラスチック 水循環系 路面粉塵 水田 畑地

1. 研究開始当初の背景

水辺ではレジ袋やペットボトル等のプラスチックゴミを見かけるが、これらの Fate (環境運命) は明らかになっていない。容器包装等のプラスチックは環境中で徐々に分解し、メソプラスチック (5 mm 以上)、マイクロプラスチック (以下 MPs, 数 μm ~5 mm) と微細になる。ところがこれまで環境中では 300 μm より大きな粒子が計測されることが多かった。研究代表者らは 100 μm の MPs の測定方法を開発し、パーソナルケア製品中の MPs の中央粒径が約 200 μm であり、1 製品あたり 621,000 個の MPs が存在することを示した。既存の海洋調査ではパーソナルケア製品中の MPs を検出できていなかったことになる。家庭排水からの MPs は下水処理場に流れ込み、1 日あたりの流入負荷量は 1 億 2 千万個 (流域人口 67 万人の下水処理場の結果) であると報告されている。さらに 100 μm よりも小さな MPs を対象とすると、フリースなどの繊維由来のマイクロファイバー (幅約 30 μm) が多く検出された。このように測定対象となる MPs のサイズが小さくなるにつれて、MPs による水環境汚染が深刻であることが分かってきた。2009~2018 年に "Microplastics" をキーワードにした論文は 2,271 編発表されており、内 1,437 編に "marine" が含まれている。陸水、都市を対象とした論文は 190 編であり全体の 8% に過ぎず、現在、陸域の発生源に関する研究が求められていた。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、都市水循環系におけるマイクロプラスチックの分布および動態を把握し、発生源の特定と環境運命予測を行うことである。

3. 研究の方法

3.1. 微小マイクロプラスチックの採取、計測、成分同定手法の確立

3.1.1. 各試料中の微小マイクロプラスチックの分析方法の開発

高分子吸収剤 (SAP) は紙おむつなどに用いられており今後使用量の増加が見込まれるが、環境への流出量や経路に関する知見は不足している。本研究では熱分解 GC-MS により SAP を分析し、環境試料中の SAP を定性、定量する際に指標となる熱分解生成物について検討した。指標として決定した熱分解生成物を用いて下水処理場流入水および砂ろ過水中の SAP の定性、定量を行った。A 下水処理場において流入水と砂ろ過後の処理水を採取し、琵琶湖北湖の今津沖中央の水深 90 m において柱状堆積物を採取した。SAP 標準品、添加試料、添加前試料、下水流入水試料の一部、砂ろ過水試料の全量にそれぞれ炭酸カルシウム 4 mg を加えたものを試料として、熱分解 GC-MS を用いて分析した。

3.1.2. 染色法によるマイクロファイバーの分析方法の開発

研究課題に対し、以下の手法を用いて、調査および実験を実施した。①では Nile red 試薬を用いた蛍光染色観察法に対し、下水試料等の特に有機物系の夾雑物を多く含む試料に対する効果的な夾雑物除去の検討、試料の一部領域の計測による作業効率化と推計誤差の検討、分析環境由来のコンタミネーションとその低減方策の検討を行った。夾雑物除去の検討では、二価鉄化合物を H_2O_2 に混合するフェントン反応処理に着目し、流入下水 500 mL に対し $30\%\text{H}_2\text{O}_2+\text{FeSO}_4$ を添加後 60°C で反応させ、その後 2N の HCl を 5 mL 添加して反応沈殿物を除去する工程を中心に計 6 種の実験条件を設定し、夾雑物除去性を評価した。試料の一部領域の計測の検討では、観察試料の形に着目し、円形フィルターの中心角 22.5° の扇形の延長部分を含むエリアを 1 計測領域とし、1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 16 個の計測領域を各ケース点対称に配置した場合の合計領域中の繊維数を計測し、それを基に算出した全体推計繊維数にどれだけ誤差が生じるかを検討した。分析環境の検討では、a. 人通りの比較的多い大学構内のピロティ、b. 人通りの比較的小さい研究室の共同実験室、c. 実験室内に設置した組立式暗室クリーンブースとした。採集の工程では、目開き 10 μm のナイロン製メッシュを直径 0.42 m の金属製ザルの上に展開、静置し、実験条件別に 0.25~72 h の間に採集された繊維状 MPs を分析に供した。②では、洗濯槽と脱水槽が分かれたパルセーター式の洗濯機を用い、下水試料からの検出頻度が高いポリエステルとナイロンを対象に、各素材 100% 製の市販タオルを入手して実験に用いた。木綿 100% 製のタオルも同様に実験し、微細化した繊維の発生挙動を比較した。また、洗濯時に添加される柔軟剤中のマイクロカプセルの挙動を検討するために、柔軟剤を添加した実験も実施した。分析には上述の蛍光染色観察法を用いた。③では、構築した繊維状 MPs の分析方法を適用し、人口約 40 万人の中規模都市 A において、2021 年 12 月の午前中に合併浄化槽および分流式の下水処理場を調査し、処理水中の個数密度を把握するとともに、1 人 1 日あたりの MPs 排出量を推計した。分析には上述の蛍光染色観察法を用いた。

3.2. 都市水循環系における分布および挙動調査

3.2.1. 道路面での存在量と降雨による洗い流し量の把握

道路塵埃は海洋へ流出する MPs の主要発生源の一つとされており、雨水流出水とともに下水道施設や都市河川へ流入する。特に、分流式下水道整備区域では、市街地ノンポイント汚染物質を含む流出水が未処理のまま放流されるため、路面排水施設内は MPs の流出抑制対策としても機能している可能性が考えられる。そして、道路塵埃中の MPs としてタイヤゴム片が多く確認されており、生態系への悪影響が懸念されている。したがって、タイヤゴム片に着目した市街地排水由来のマイクロプラスチックの挙動を調べることは意義深い。世田谷区谷沢川流域に

ある分流式下水道整備区域にて、道路塵埃とその側溝にある雨水流出抑制施設内堆積物の試料採取を2021年11月に実施した。その際、周辺の土地利用や幅員の異なる道路を対象として、3地点を選定した。粒径5.6mm未満の乾燥試料から10gを秤量して前処理を行った。過酸化水素により有機物分解した試料を目合い250 μ mの篩に通し、粒径250 μ m以上の試料について5.3Mよう化ナトリウム水溶液(1.6g/cc)による密度分離を行った。MPs候補物を顕微鏡による目視判断にて回収し、顕微鏡と画像解析ソフトにより粒径を計測した。

材質分析では、ATR-FTIRを用い、材質の判断基準はヒット率1位かつ60%以上とした。なお黒色MPsであるタイヤ片の同定のために異なる6つのメーカーのタイヤ片から作成したタイヤライブラリを導入して材質分析を行った。

試料は多摩川支流の野川とその集水域で道路粉塵、高速道路および一般道路の雨天時道路排水、晴天時と降雨時の河川水(野川)、はけ口で雨天時越流水を採取した。試水をニトロセルローズフィルターに減圧ろ過した。ろ過したフィルターを1MのNaOH水溶液10mLを用いて40°Cで溶かし、1M塩酸10mL、30%過酸化水素水50mL、50mMのFe²⁺水溶液2.5mLの順に添加し、30~40°C程度で3日間以上有機物分解をした。道路粉塵は20~100mg程度を精秤し過酸化水素とFe²⁺水溶液を加えた有機物分解に供した。分解後、6.7MのNaI水溶液250mLを用いて分液漏斗に移し、1分間の攪拌、1晩以上の静置の後に沈殿を排出した。攪拌、静置、沈殿の排出を繰り返し、上澄みをステンレスフィルター(孔径10 μ m)に減圧ろ過して微細MPsを捕集した。1日以上シリカゲル乾燥をした後、顕微FT-IRのイメージング方式で同定した。また、全試料についてブランクを同時に分析し、大気等からの混入の影響を評価した。また、家庭排水の寄与を議論するために、下水のマーカースとしてコプロスタノールも測定した。コプロスタノールは試水をガラス繊維ろ紙でろ過し、濾紙上の懸濁物を凍結乾燥し、有機溶媒で抽出・精製後、アセチル誘導体化しGC-MSで測定した。

3.2.2. 農業からの供給量の把握

被覆肥料やマルチフィルムなどのプラスチック製農業製品から発生するMPsは環境流出のしやすさから汚染に与える影響が大きいと考えられる。本研究では田や畑で採取した土壌コアを分析し、農地におけるMPs蓄積量および流出量を推定した。2022年11月4日、19日に琵琶湖東岸地域において被覆肥料を使用している田(以下PU)を4地点、使用していない田(以下PN)を5地点、畑(以下F)を6地点の計15地点で試料を採取した。各地点でコアサンプラーを用い60cmの土壌コアをランダムに3本採取して混合し、5・10cm毎で7サンプルに切り分けた。風乾し粒径300 μ m~5mmと1~300 μ mに分画した後、前者は過酸化水素および比重分離で前処理してFTIR-ATRで、後者は前処理無しで熱分解GC/MSで分析した。

3.2.3. 下水処理場における処理効果の把握

下水処理場におけるMPs挙動調査を整理し除去率とともに整理した。計18の下水処理場を対象に処理工程別(一部流入と放流)に試料を採取した。採取後の試料を過酸化水素水(30%)、ヨウ化ナトリウム(5.3M)で前処理し、夾雑物除去が困難な場合には一部フェントン反応を利用した。粒径100 μ m以上の粒子はFTIR-ATR、10~100 μ mの粒子は顕微FTIR(主に透過法)で分析した。繊維状MPsについては前処理試料を10 μ mメッシュでろ過後、蛍光染色観察法により分析した。一部、合流式では雨天時にも採取した。

4. 研究成果

4.1. 下水試料中の繊維状MPs分析における分析工程の高度化

4.1.1. 熱分解GC-MSによるポリマー混合物中の高分子吸収剤の定性および定量方法の検討

SAP標準品を分析して得られたトータルイオンクロマトグラムの一部と、ポリアクリル酸(SAPの主成分)の特徴的な熱分解生成物に対応するTIC上のピーク、抽出イオンクロマトグラム(EIC)上の対応ピークおよびそのマススペクトルを整理した。TICにおいてピークが顕著なo-cresolと2,6-xyleneolを定量用の熱分解生成物候補とし、その特徴的なm/zのEIC上の対応ピークエリア値を用いて、SAPの検量線の作成および添加回収試験を行った。検量線はすべての候補でR²値が0.92以上であった。o-cresolを定量に用いた場合、SAPの添加回収率は2,6-xyleneolの場合と比較して100%に近い値であったが、添加前試料の定量値は127.7 μ g(m/z=107)、88.1 μ g(m/z=108)となり、m/z間で差がみられた。これはo-cresolのピークが環境中の夾雑物のピークと重なることを示唆すると考えられる。このため2,6-xyleneol(m/z=122)を定量用の熱分解生成物とした。またo-cresolを除いた4つの熱分解生成物を定性用の熱分解生成物とした。各マススペクトルから作成した合計マススペクトル(SMS)を図1の下部に示す。本研究ではこれを定性合致率の計算に用いた。下水試料中のSAPの定性値、重量密度および除去率では、流入水、砂ろ過水のいずれも定性合致率は80%を超えており、重量密度は流入水では4.76 $\times 10^3$ mg/m³、砂ろ過水では1.34mg/m³であった。また、砂ろ過までの下水処理工程でのSAPの除去率は99.97%と算出された。

4.1.2. フェントン反応を用いた有機系夾雑物除去の検討

流入下水試料に対する前処理手順別のSS重量減少率を整理した。H₂O₂のみで処理した系BではSS重量減少率が79.8%であったのに対し、系C(H₂O₂+FeCl₂)と系D(H₂O₂+FeSO₄)のフェントン反応系では、各々64.3%、63.8%とH₂O₂のみの系と比較して減少率が悪化した。しかし、フェントン反応後の試料にHClを添加した系Eと系FではSS重量除去率が系Eでは96.7%、系Fでは97.0%となり、顕著にSS重量減少率が上昇した。試薬無添加の系Aではろ紙上に試料由来の黒褐色のSS成分が層状に残留していたのに対し、フェントン反応に供した系D

では、SS 成分の厚みは薄かったものの、系 A とは異なる茶褐色の残渣が存在していた。これは、鉄イオンと試料中の成分が反応して酸化鉄塩が生成したためであると推察された。一方、系 F では HCl を添加したことで酸性となり酸化鉄塩が再溶解したため、再度ろ過することで除去されたと推察された。また、落射蛍光観察による繊維状物質の計測数は、SS 重量除去率が高かった系 E と系 F では、赤、黄、緑蛍光発光繊維の合計値では 70 本/L と 84 本/L であった。一方、H₂O₂ 処理のみでは 90 本/L であった。計測結果の単純比較ではフェントン反応 (+酸洗浄) の有無は実測数に大きく影響しないことが示唆されたが、フェントン反応試料では観察妨害物の減少により、計測に要する時間が短縮された。以上より、FeCl₂ か FeSO₄ に関わらず、フェントン反応後に HCl で洗浄する手法が有効であることが見出された。なお、フェントン反応後においても物性変化がないことはナイロン 6,6 系とポリエステル系の標準品を対象に、前処理の前後で実体顕微鏡を用いた観察と FTIR (日本分光) を用いた分析の結果により確認した。また、酸洗浄を含むフェントン反応処理では、木綿が除去され観察されないことも確認された。

4.1.3. 大気からの沈着由来の繊維状 MPs の検討

廊下、実験室、クリーンブースの各分析作業環境における大気沈着繊維状 MPs の採集実験の結果、廊下では 124.8±70 本/m²/h、実験室では 4.2±2.6 本/m²/h、クリーンブースでは 0.21±0.09 本/m²/h であり、廊下と実験室の間には 29.8 倍の差、実験室とクリーンブースの間には 19.5 倍の差があった。クリーンブース内の大気沈着繊維状 MPs 数は少なかったことから、極力クリーンブース内で分析作業をすることで、大気からのコンタミネーションリスクを低減できる可能性が示唆された。本研究で検出された、大気沈着由来の繊維状 MPs の長さ分布と、本研究グループによる下水処理場 (3カ所) と浄化槽 (7ヶ所) の放流水中から検出されたすべての繊維状 MPs の長さ分布を比較した。下水試料では 100~500 μm の短い繊維ほど多く検出される傾向があった一方で、ブランク試験で検出された大気由来の繊維状 MPs では 1,000 μm 以上のものも多く検出された。下水処理施設での処理過程による除去や、曝気下での微細化を想定すると、放流水から検出された繊維状 MPs のうち長軸径の長い繊維状 MPs は、前処理の工程で混入した可能性が示唆された。例えば、分析結果の定量的補正のためにブランク試験の検出数を差し引く場合があるが、その場合、このように定性的な挙動の把握を妨げる恐れがあるため、誤検出低減の必要性が改めて確認された。下水のような有機系夾雑物の多い試料に対し、比較的迅速かつ簡易に再現性の高い定量結果が得られる分析手法が構築された。

4.2. 都市水循環系における分布および挙動調査の結果および考察

4.2.1. 道路塵埃および路面排水施設内堆積物中の MPs の組成および存在量の実態

単位重量当たりの MPs 数では、3 地点のうち道路幅員 8.0~12.0 m の地点 1 (商業地域) において、道路塵埃中 MPs 数が最も多く、道路幅員 6.0~8.0 mm の地点 2、3 を比較すると、住宅地域にある地点 3 の道路塵埃中 MPs 数が特異的に少なかった。一方、堆積物中 MPs 数は他地点と同程度であった。地点 3 は先行晴天時間の短い条件での採取試料であったことから、MPs の一部が先行降雨で流出し、道路塵埃に MPs が十分に蓄積していなかったものと考えられる。

MPs の粒径分布では、すべての地点で大きな粒径にばらつきがあることがわかる。そして地点 3 において、道路塵埃は堆積物より大きな粒径の MPs が存在していた。道路塵埃中 MPs のより微細な MPs が雨水や風により選択的に施設内へ流入して堆積しているものと推察された。材質と色については、地点 3 の道路塵埃のみ黒色 MPs が確認されなかった。一方、鉄道駅に近接し、幹線道路へも接続されているため交通量が多いと想定される地点 1 では堆積物よりも道路塵埃においてタイヤ片と思われる黒色 MPs の割合が多かった。

以上のように、道路塵埃と施設内堆積物とにおける MPs 数や粒径、色、材質を比較した結果、その分布には降雨や先行晴天時間、交通量が影響しているものと推察された。また、MPs の粒径分布から、道路塵埃中の微細な MPs が風雨により選択的に運搬され、施設内に堆積したものと考えられる。今後、より多くの試料について分析を進め、多様な市街地の特性パラメータを用いて、各試料の MPs を比較することにより、MPs の分布特性および雨水流出抑制施設による MPs の捕捉効果を明らかにしていく必要がある。

試料中の黒色 MPs の単位重量当たりの材質別個数では、黒色 MPs 数は地点 1 の道路塵埃にて最も多く、地点 3 の道路塵埃では黒色 MPs は検出されなかった。地点 3 は住宅区域内にあり、道路利用者は周辺住民に限られ、交通量も少ないことが未検出の理由と考えられる。一方、地点 1 および地点 2 の周辺には商業施設が立地しているほか、地点 1 は幅員が広く交通量の多い道路であることから、地点 1 にて黒色 MPs の存在量が最も多く、地点 2 がこれに次ぐ結果になったものと考えられる。以上のように、道路周辺土地利用や交通量が黒色 MPs の存在量に影響を与えている可能性が高い。地点 3 を除き、堆積物よりも道路塵埃において黒色 MPs 数が多かった。地点 3 では先行晴天時間の短い条件下で採取されたことから、先行降雨で MPs が流出したのち、路面上の蓄積量が十分でなかったものと考えられる。同定された材質については、地点 2 と比較して交通量が多いと考えられる地点 1 の道路塵埃にタイヤ片が最も多い。また、タイヤと判断された黒色 MPs の大半がトレッドであったことから、サイドウォールよりも直接に路面と接する部位であるトレッドは摩耗しやすいために、環境中での存在量も相対的に多いものと推察された。

地点 1 では、道路塵埃と施設内堆積物のいずれにおいてもタイヤ以外の材質の黒色 MPs も相当数あり、自動車バンパーなど他の発生源が存在する可能性が示唆された。主な用途として、Polyurethane は緩衝材、Chloroprene rubber は電線被覆材やパッキン、Ethylene propylene rubber

は自動車部品のバンパーとしても使用される。さらに、NBR は自動車のオイルシール、CB はチューブなどに用いられる。地点 1 の位置する道路周辺は、商業区域として様々な施設が立地し、人や自動車の往来が多く、他 2 地点に比べ多様な発生源が存在した可能性が考えられる。

今後の課題として、今回導入したタイヤライブラリは、製品を削り取った断面部分からのスペクトルで構成されており、タイヤの劣化状況は反映されていない。したがって、より多くのタイヤを対象としてその劣化状況をも考慮してスペクトル測定を行い、データの蓄積を進めていく必要がある。

4.2.2. 道路塵埃および河川水、雨天時越流水中の MPs の組成および存在量の実態

道路粉塵からは主にポリエチレンポリプロピレンジエンとポリエチレンプロピレンコポリマー (PEP) が検出され、いずれも高速道路粉塵中から最も多く検出された。PEPD, PEP はタイヤ摩耗物等自動車由来と考えられた。道路排水ではファーストフラッシュ (雨天開始から約 2 時間以内の排水) で MPs 濃度が最も高く、平均 857 (pieces/L) 検出され、下水流入水よりも MPs 濃度が高かった。降雨継続期には平均で 257 (pieces/L), 一般道路排水は平均で 428 (pieces/L) の MPs 濃度が検出された。河川水中では晴天時の MPs 濃度 (32 pieces/L) に比べ、雨天時 (57 pieces/L) に MPs 濃度が上昇することが観測された。特に台風時に 2 地点平均 121 (pieces/L) と高濃度であった。道路排水中 MPs 濃度は、河川水中 MPs 濃度よりも高く、道路排水は水環境への MPs の重要な負荷減であることが示された。

河川中の MPs では PEPD および PEP が主成分であった点で道路排水と類似していたが、道路排水中では 10~20% を占めたポリエチレンが河川水中では存在比が 5% 以下と組成が異なっていた。この相違の原因は本研究期間中に明らかにすることができなかった。河川水中の PET の割合は 10~30% と道路排水より大きく、下水の寄与も示された。野川には 20 箇所以上のはけ口があり、雨天時にははけ口から下水と道路排水等の表面流出水が河川に放流されている。はけ口の一つ (St.B) の試料では PET の割合が 50% を越えており、下水の寄与が大きいことが示された。一方、別なはけ口 (Outfall X) で別な時期に採取した雨天時越流水では PET の割合は 20% 程度で PEPD と PEP が卓越し、下水の寄与は小さく、道路排水の寄与が卓越した。下水の寄与についてはマーカークロスタノール濃度が Outfall X の試料 (16 $\mu\text{g/L}$) に比べ St.B の試料 (70 $\mu\text{g/L}$) の方が 4 倍程度高いことと整合性があった。以上をまとめると、タイヤ摩耗物が含まれる道路粉塵が道路排水としてはけ口から雨天時越流水として負荷される。また、下水由来の MPs も雨天時越流水として野川に供給されるが、その寄与は流域特性と降雨ステージにより変動があることが示唆された。今後、時空的に密な調査やタイヤ摩耗物に特異的なマーカークロスタノールの利用などにより、道路排水の寄与を定量的に把握することが必要である。

MPs の粒径分布から、河川水中の MPs 個数の 80% 以上が 300 μm 以下の微細 MPs として存在していることが明らかになった。粒子毒性に焦点を当てる場合は 300 μm 以下の MPs が重要であることが示された。しかし、重量で見ると、300 μm 以上の MPs の寄与が大きくなり、特に物質輸送に対する寄与の大きな増水時には MPs 重量の 50% 以上を 300 μm 以上の MPs が占めた。添加剤等のプラスチックに含有される化学物質のプラスチックを介した輸送を考える際に 300 μm 以上の MPs が重要な役割を果たすことが示唆された。生態系への MPs のリスクを総合的に捉えるためには、過度に微細な粒子を強調し、粒径の大きな MPs による化学物質輸送を過小評価しないように注意することが必要である。

4.2.3 農業からの供給量の推定

PU が 5~10 cm で 73 g/m^2 と全体的に高い値を示した。表層 1 cm の土壌が雨などで流出する場合、PU、PN、F でそれぞれ 12.1, 1.2, 2.5 g/m^2 の MPs が環境に流出すると推定された。粒径区分を合算した系統別の MPs 面積密度の分布を図 10 に示す。PU では最大値が 167 g/m^2 、中央値が 20 g/m^2 と高い密度での分布が見られた。PN と F においても中央値が 12 g/m^2 程度で、草津市の道路塵埃での 0.115 g/m^2 の値と比べ 100 倍ほど高い面積密度を示した。いずれも有意な差 ($p < 0.05$) が見られ、被覆肥料やマルチフィルムなどの使用の有無が農地での MPs 面積密度に与える影響が示唆された。

4.2.4 下水処理場における処理効果

各処理場における 100 μm 以上の粒子状 MPs の除去率 (個数ベース) では、晴天時 29 回の平均除去率は 99.6% であり、雨天時 4 回の平均除去率は 86.6% であった。雨天時については降雨開始時、2 時間後、4 時間後の試料の平均値から算出した。晴天時の排除方式別では、分流式で 99.8%、合流式で 98.9% であった。処理方式別では、2 次処理で 99.4%、3 次処理で 99.7% であった。流入水の平均個数密度は晴天時で 4,891 個/ m^3 、雨天時で 5,745 個/ m^3 であり、放流水では晴天時で 7.5 個/ m^3 (中央値 3.3 個/ m^3)、708 個/ m^3 (雨天時) であった。処理場 A, C, R1, R2 では 300 μm ~5 mm、10~300 μm の粒子状 MPs、10 μm 以上の繊維状 MPs を同時に調査した。処理場 A では流入水中に 8.80 mg/m^3 (300 μm 以上)、58.69 mg/m^3 (10~300 μm) の粒子状 MPs が存在し、50.00 mg/m^3 の繊維状 MPs が存在した。処理場 C ではそれぞれ、27.80 mg/m^3 (300 μm 以上)、20.67 mg/m^3 (10~300 μm)、76.41 mg/m^3 (繊維状 MPs) であった。処理場 C の流域には住宅地が多く、洗濯排水などによる影響が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 嶋谷宗太, 田中周平, 雪岡聖, 藤井滋穂, 高田秀重	4. 巻 20
2. 論文標題 1 人1 日分の洗濯物量から排出される繊維状マイクロプラスチックの排出特性に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境技術学会年次大会予稿集	6. 最初と最後の頁 51-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山本可那子, 古米弘明	4. 巻 78(7)
2. 論文標題 タイヤライブラリを導入した ATR-FTIR 分析による黒色マイクロプラスチックの同定法の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 111_349-111_358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.78.7_111_349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masaya SUGIURA, Hideshige TAKADA, Naohiko TAKADA, Kaoruko MIZUKAWA, Shumpei TSUYUKI and Hiroaki FURUMAI	4. 巻 1
2. 論文標題 Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Monitoring and Contaminants Research	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5985/emcr.20200006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 前田悠海, 田中周平, 雪岡聖, 松川桜子, 藤井滋穂, 垣花久好, 與古田亨, 福原次郎	4. 巻 33
2. 論文標題 沖縄県の水道水源とその浄水処理工程におけるベルおよびポリフルオロアルキル物質 (PFASs) の挙動調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 環境衛生工学研究	6. 最初と最後の頁 115-117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山本可那子, 古米弘明
2. 発表標題 市街地排水中マイクロプラスチックの雨水流出抑制施設による捕捉効果
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kanako Yamamoto, Hiroaki Furumai
2. 発表標題 Microplastics abundance and chemical composition in sediments of stormwater runoff control facilities and in surrounding road dust
3. 学会等名 Plastic Pollution in Asian Waters - From Land To Ocean (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村真悠, 田中周平, 李 文驕, 西川博章
2. 発表標題 琵琶湖北湖西岸針江に生育する貴重植物と外来植物に影響を及ぼす土壌環境特性の検討
3. 学会等名 第26回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wenjiao Li, Shuhei Tanaka, Naoki Wase, Kazuhide Hayakawa, Yasuro Fuse
2. 発表標題 Estimation of historical deposition behaviors of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in sediments from Lake Biwa
3. 学会等名 第59回環境工学研究フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中周平, 片岡弘貴, 北地優太, 山田雄太, 小浜暁子, 高田秀重
2. 発表標題 琵琶湖流域の市街地道路と歩道におけるマクロ, メソ, マイクロプラスチックの存在実態調査
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小島弘幹, 田中周平, 森岡たまき, 小浜暁子, 和世直輝, 高田秀重
2. 発表標題 熱分解GC-MSによるポリマー混合物中の高分子吸収剤 (SAP) の定性および定量方法の検討と下水試料への適用
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富山恵介, 田中周平, 森岡たまき, 小浜暁子, 高田秀重
2. 発表標題 ドラム型洗濯機による生地設計別の繊維状マイクロプラスチック排出量実験
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森岡たまき, 田中周平, 小浜暁子, 渡辺壱, 高田秀重
2. 発表標題 熱分解GC/MSIによる大気中に含まれる粒径0.43 ~ 10 μm のプラスチック成分含有量の分析手法の検討
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和世直輝, 田中周平, 森岡たまき, 大方正倫, 徳岡誠人, 西川博章, 高田秀重
2. 発表標題 農地土壌コア分析によるプラスチック農業製品由来のマイクロプラスチック流出量の推定および熱分解GC/MSによる全量定量法の検討
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 土村勇太郎, 田中周平, 森岡たまき, 高田秀重
2. 発表標題 都市域路面排水中のマイクロプラスチックの沈殿および土壌浸透処理に関するフィールド実験
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 LI Wenjiao, TANAKA Shuhei, SU Haoning, NADYA Diva Sagita, LI Fusheng
2. 発表標題 Occurrence and Fate of Antibiotic Resistance Genes in Surface Seawater of the Semi-enclosed Osaka Bay
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideshige Takada, Seiya Hirano, Kei Kobayashi, Bee Geok Yeo, Kaoruko Mizukawa
2. 発表標題 Street runoff as an important source of land-derived microplastics
3. 学会等名 7th International Marine Debris Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林恵, 高田秀重, 水川薫子, 平野晟矢, 露木俊平
2. 発表標題 多摩川における臭素系難燃剤の分布と負荷源の推定
3. 学会等名 第30回環境化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本可那子, 古米弘明
2. 発表標題 タイヤライブラリを導入した ATR-FTIR 分析による黒色マイクロプラスチックの同定法の検討
3. 学会等名 第59回環境工学研究フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本幸平, 鈴木裕識, 岡田和也, 田中周平, 李富生
2. 発表標題 水試料中の繊維状マイクロプラスチック分析における誤検出低減のための実験環境整備の取り組み
3. 学会等名 第25回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田和也, 鈴木裕識, 山本幸平, 田中周平, 李富生
2. 発表標題 柔軟剤を用いた洗濯による繊維状マイクロプラスチックの発生への影響とマイクロカプセルの排出可能性の検討
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森岡たまき, 田中周平, 相場史寛, 森谷麻未, 片岡弘貴, 高田秀重
2. 発表標題 紙オムツ処理排水中に含まれるプラスチックを分析するための前処理法の検討と下水へのプラスチック負荷量の推定
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森谷麻未, 田中周平, 雪岡聖, 片岡弘貴, Sachithra Imbulana, 相場史寛, 山田雄太, 高田秀重
2. 発表標題 雨天時の都市中小河川における粒径・成分・形状別のマイクロプラスチックの負荷量の経時変動
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡弘貴, 田中周平, 雪岡聖, 森谷麻未, 和世直輝, 高田秀重
2. 発表標題 過酸化水素とフェントン反応によるマイクロプラスチック分析前処理過程における種々のプラスチックの分解特性
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村真悠, 田中周平, 李文驕, 西川博章, 小浜暁子, 相場史寛, 山田雄太, 雪岡聖
2. 発表標題 琵琶湖に生息する貴重植物および外来植物の土壌環境特性とマイクロプラスチックの関係
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和世直輝, 田中周平, 森谷麻未, 雪岡聖, 早川和秀, 布施泰朗, 高田秀重
2. 発表標題 琵琶湖北湖の柱状堆積物の分析および年代測定によるマイクロプラスチック汚染の歴史的変遷の推定
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野晟矢, 高田秀重
2. 発表標題 道路排水中微細マイクロプラスチックの分析
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本幸平, 鈴木裕識, 田中周平, 李富生
2. 発表標題 浄化槽の調査に基づく1人1日あたりの生活排水に由来するマイクロプラスチック排出量の推計
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中周平, 近藤泰仁, 相場史寛, 雪岡聖, Bouche Leopold, 金岡智, 藤井滋穂, 高田秀重
2. 発表標題 河川表層水中の微小マイクロプラスチック分析へのLDIR ケミカルイメージングシステムの適用
3. 学会等名 第23回日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中周平, 嶋谷宗太, 雪岡聖, 鈴木裕識, 藤井滋穂, 高田秀重
2. 発表標題 パルセーター型洗濯機およびドラム型洗濯機による家庭用衣類からの繊維状マイクロプラスチックの排出量実験
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相場史寛, 田中周平, 雪岡聖, 近藤泰仁, 藤井滋穂
2. 発表標題 琵琶湖岸抽水植物群落、砂浜、湖水浴場における表層土壌中の粒径10 μm 以上のマイクロプラスチックの分布
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森谷麻未, 田中周平, 雪岡聖, 近藤泰仁, 片岡弘貴, 石丸佑樹, Leopold Bouche, 藤井滋穂
2. 発表標題 晴天時の琵琶湖流入河川における粒径10 μm 以上のマイクロプラスチックの負荷量の推定
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北地優太, 田中周平, 雪岡聖, 芳野浩志, 藤井滋穂
2. 発表標題 大阪府安威川および沖縄県比謝川の底質におけるPFASs の鉛直分布調査による残留性, 移動性の検討
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木裕識, 村田里美, 對馬育夫, 北村友一, 山下洋正, 阿部翔太, 田中周平
2. 発表標題 下水中の微細繊維状マイクロプラスチックの 調査方法整備の検討
3. 学会等名 第58回下水道研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋谷宗太, 田中周平, 雪岡聖, 岡本萌巴美, 藤井滋穂, 鈴木裕識, 阿部翔太, 高田秀重
2. 発表標題 パルセーター型洗濯機による繊維状マイクロプラスチックの排出量実験
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会(紙面発表)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古米 弘明 (FURUMAI Hiroaki) (40173546)	中央大学・研究開発機構・機構教授 (32641)	
研究分担者	高田 秀重 (TAKADA Hideshige) (70187970)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	
研究分担者	鈴木 裕識 (SUZUKI Yuji) (20762272)	岐阜大学・工学部・准教授 (13701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------