

〈研究発表〉

蛍光染色法による人工芝由来のマイクロプラスチックの環境負荷量の検討

鎌田 素之¹⁾, 中嶋 真治²⁾, 川崎 悦子²⁾

¹⁾ 関東学院大学 理工学部理工学科応用化学コース
(〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1 E-mail: motoyuki@kanto-gakuin.ac.jp)

²⁾ (株)日吉 分析検査部
(〒523-8555 滋賀県近江八幡市北之庄町908番地)

概要

水環境中のマイクロプラスチック（以下MPs）に注目が集まり、様々な検討が行われている。MPsの発生源の1つとして人工芝が挙げられるが、環境負荷量に関する検討は限定的である。一方、環境中のMPsの測定には顕微FT-IR等が用いられるが、前処理や測定には煩雑な操作が必要となる。本研究では蛍光染色法を用いた顕微鏡観察による簡略化を試みると共に、人工芝由来のMPsの環境負荷に関する基礎的検討を行った。

キーワード：マイクロプラスチック、人工芝、環境負荷量

原稿受付 2022.7.13

EICA: 27(2・3) 148-150

1. 研究背景と目的

プラスチックは軽量かつ安価で耐久性があり、我々の生活にはなくてはならないものであるが、その一方で、環境中に流出したプラスチックが様々な問題を引き起こしている。特に環境中で光による酸化や熱に加えて、摩耗等によって細分化されたマイクロプラスチック（以下MPs）は、海洋だけでなく、様々な場所で問題になりつつある。これらを受けて、プラスチック製ストローの廃止の動きや、2020年7月1日からのビニール袋の有料化など様々な対策が取られてきているが、それらの対策がMPsの低減に確実に繋がっているかは疑問であり、MPsの負荷源の特定と、より適切な対策が求められている。一般社団法人ピリカは、人工芝がマイクロプラスチックとして環境中に流出しているとの調査結果を発表しており¹⁾、国内の河川や港湾を漂うマイクロプラスチックの約14%が人工芝であることを特定している。人工芝の利用は近年、急速に拡大してきているが、人工芝が発生源となったMPsの負荷量等に関する報告事例は、ほとんどみられない。関東学院大学でも、サッカーグラウンド、テニスコートなど様々な場所で人工芝が使用されていることから、人工芝グラウンドからのMPs流出に関して基礎的な検討を行った。また、人工芝に紫外線を照射し、破碎することで、実際にどのくらい個数のMPsが生成するかという点についての調査も行った。通常MPsの分析には、比重分離や過酸化水素等の酸化剤を用いた前処理と顕微FT-IR等の分析手法を組み合わせた測定が行われているが、高価な装置や煩

雑な操作が必要となることから、一部の測定について蛍光染色法を用いた顕微鏡観察による簡略化を試みた。

2. 実験方法

2.1 人工芝グラウンドからのMPsの流出量に関する調査

調査は人工芝を使用している関東学院大学のグラウンドとテニスコート（**Photo. 1**）を対象として2020年10月から実施した。試料は降雨時にグラウンドとテニスコート周辺にある側溝に雨水の流出を確認した後、側溝の水試料を120 mL採取した。採取した試料から1.0 mL採取し、30%過酸化水素水溶液を0.5 mL加え

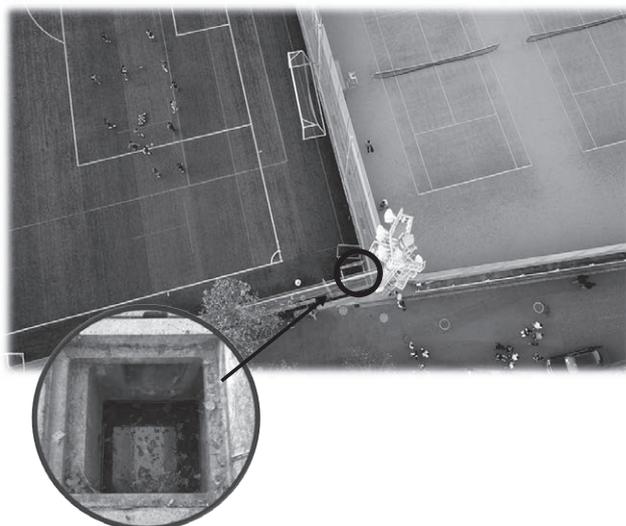


Photo. 1 Relationship between the ground and drainage ditch to be surveyed

て70℃で2日間加熱処理後、超音波抽出等の前処理を行った。尚、MPsが多い試料は0.2 mLとした。その後、孔径1.0 μm PTFE メンブレンフィルターに吸引ろ過をし、顕微 FT-IR NicoletTM iNTM 10MX (Thermo science Fisher 製) による分析から人工芝由来の MPs の個数や粒子の形状を解析した。加えて、得られたスペクトルより 1718 cm^{-1} と 2020 cm^{-1} の吸収の高さを算出した。プラスチックが劣化した際、紫外線により表面が酸化され分子切断が生じると同時にカルボニル基が発生することにより、赤外スペクトル上の 1718 cm^{-1} 付近の吸収が増加することから、これをプラスチックの劣化指標 (以下劣化指標とする) として評価に用いた。

2.2 紫外線による人工芝劣化と MPs の生成量検討

市販のポリエチレン製 (以下 PE) 人工芝を SUV-16 (アズワン社製) を用いて一定時間紫外線照射を行い、劣化させた。劣化させた人工芝は顕微 FT-IR NicoletTM iNTM 10MX (Thermo science Fisher 製) を用いて、赤外スペクトルを測定し、併せて、劣化指標の算出も行った。劣化指標が20以上の十分劣化した人工芝の重量を測定後、ステンレス製の板に挟んで万力で一定の力を加え微細化させ MPs を生成させた。生成させた MPs は水で洗い流し、口径53メッシュのステンレス製メッシュで吸引ろ過し、ステンレス製メッシュを固定した。その後、一部の試料に関して2.1に示した方法で顕微 FT-IR NicoletTM iNTM 10MX (Thermo science Fisher 製) による分析を実施し、それ以外の試料についてはアセトンで溶解した10 μg/mL ナイルレッド溶液 200 μL をステンレス製メッシュに滴下し、30分間染色を行った²⁾。染色した MPs は蛍光顕微鏡 (OLYMPUS 社製) を用い、励起波長470 nm、蛍光波長529 nm、倍率4倍で観察した。得られた画像は画像解析ソフト AdvanView (アドヴァンヴィジョン社製) を用いて MPs の長径、面積を測定し、生成した MPs を評価した。なお、今回の測定では固定した金属メッシュの目開きを考慮し、 250 nm^2 以上の MPs だけを評価した。

3. 結果と考察

3.1 人工芝グラウンドからの MPs の流出量に関する調査

結果の一例として、2020年10月19日の降雨時の試料採取時刻における10分毎降水データと、顕微 FT-IR により測定された MPs 濃度および MPs の平均長径の関係を Fig. 1 に示す。測定の結果、15試料すべてから人工芝由来の MPs が確認できた。試料採取時から降雨が激しくなったが、それに伴って試料中の MPs 濃度が増加し、18:03 に採取した試料⑦で

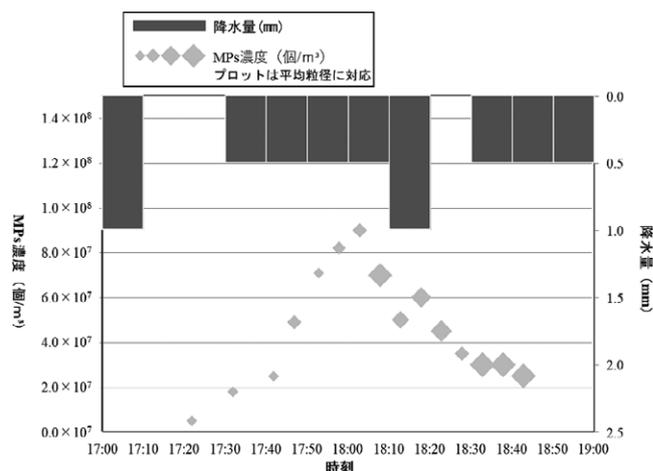


Fig. 1 Concentration of MPs in ditches and Precipitation

は MPs 濃度が最も高く、 9.0×10^7 個 / m^3 となり、人工芝由来の MPs が降雨時に一定の負荷源となっていることが推察された。その後、MPs 濃度は減少したが、検出された MPs の平均長径が大きくなる傾向が確認された。具体的には、顕微 FT-IR の解析により得られた試料①における MPs の平均長径が $92.83\text{ }\mu\text{m}$ 、試料⑮における最終試料の平均長径が $218.67\text{ }\mu\text{m}$ となった。降雨のパターンにも影響を受けることが予想されるが、降雨初期には比較的粒径の小さい MP が多く流出し、一定の降雨強度、降雨量があると粒径の大きい MP が流出する現象を捉える事ができたと考える。同様の調査をその後も降雨時に何度か実施したが、1時間当たり15 mm 以上の比較的強い降雨があると、今回のような高い濃度での MPs の流出が確認された。今回、側溝から採取した MPs について劣化指標を求めたが、劣化指標の平均は100.7 ($n=20$) と高い値を示し、紫外線等により劣化の進んだ人工芝が MPs 化して流出していることが示唆された。また、いずれの測定も所定の前処理を行い、顕微 FTIR での測定を実施したが、前処理、顕微 FTIR のマッピングおよび解析作業にかなりの時間を要した。

3.2 紫外線による人工芝劣化と MPs の生成量検討

結果の一例として、劣化指標16.1の人工芝0.96 mg を細分化した際に生成した MPs の面積別度数分布を Fig. 2 に示す。0.96 mg の人工芝から合計528の MPs の生成が確認された。これらの平均面積は $3041\text{ }\mu\text{m}^2$ であり、面積が $999\text{ }\mu\text{m}^2$ 以下の MPs が半数以上となった。このサイズになると目視で確認することは困難である。同様の実験を劣化指標の異なる人工芝を用いて実施し、劣化指標と人工芝単位質量あたりの面積が $3250\text{ }\mu\text{m}^2$ 以下の MPs の生成数の関係を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、人工芝の劣化指標が10を超えると MPs が生成し、劣化指標が15を超えるとかなり多

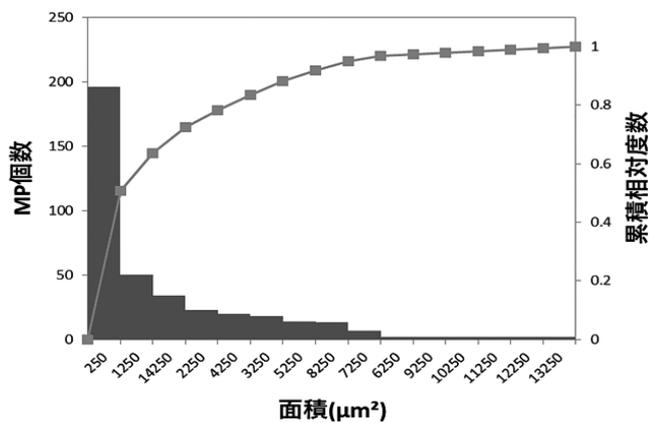


Fig. 2 Number and area of MPs generated from degraded artificial turf

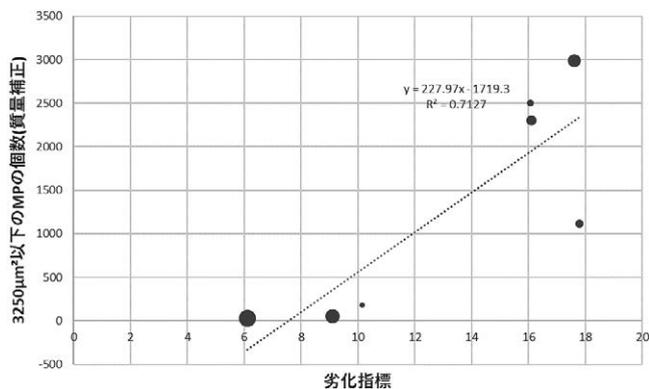


Fig. 3 Relationship between degradation index and number of MPs

くの微細な MPs が生成することが確認された。これらの結果より、人工芝が紫外線により劣化することで微細化し、降雨時にその一部が流出する可能性が示唆された。MPs の測定に際しては、顕微 FTIR による測定も併用したが、今回の人工芝の紫外線による劣化試験のような夾雑物を含まない実験系では、蛍光染色による顕微鏡観察の方が、より小さな MPs まで迅速

に検出することが可能であったため、蛍光染色による検出方法の有用性を確認することができたと考える。

3.3 まとめと今後の課題

水環境中への MPs 負荷源として人工芝に着目し、降雨時の人工芝を使用したグラウンドからの流出実態と紫外線による人工芝の劣化に伴う MPs 化について検討を行った。その結果、一定量の降雨がある場合、特に人工芝の劣化の進んだグラウンドからは大量の MPs が流出し、環境への大きな負荷源となっている事が明らかとなった。また、流出した MPs は紫外線による劣化が進んでいることから、適正な時期に人工芝の取り替えや流出対策を講じるなど、何らかの対応が必要であると考えられる。さらに、人工芝に紫外線を照射し、劣化に伴う MPs を検討したところ微細な MPs が大量に発生することも確認された。MPs の分析には一般的に顕微 FTIR などの分析機器が使用されており、煩雑な前処理と操作が必要であるが、夾雑物が限られる系においては、蛍光染色による顕微鏡観察が有効な手法となり得ることが示された。今後、より詳細な人工芝由来の MPs 負荷量を算出するため、側溝の流量の算出や検出された MPs の劣化状況等を検討すると共に、人工芝を使用したグラウンドに適用可能な MPs の流出対策等について検討する予定である。

参考文献

- 1) (一社)ピリカ、マイクロプラスチック流出状況データベース <https://corp.pirika.org/public-survey-results/> 2022年7月7日最終アクセス
- 2) Maes, Thomas, et al. "A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red." Scientific reports 7.1 pp. 1-10 (2017)