

マイクロプラスチック・ファイバーの定量法と精度に関する研究

九州大学工学部

学生会員 福田 敦輝

九州大学大学院工学研究院

正会員 中山 裕文

九州大学大学院工学研究院

フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

プラスチックごみのうち大きさが5mm以下のものをマイクロプラスチック（以下 MPs）と呼び、世界各地の海域でその存在が確認されている¹⁾。化学繊維製品からは、マイクロプラスチック・ファイバー（以下 MPs ファイバー）と呼ばれる細かいプラスチックが発生することがわかっており、衣類の洗濯等によって簡単に発生すると考えられている²⁾。河川の護岸工事、防草シート、廃棄物最終処分場の遮光性保護マット等で使用される不織布は、ポリエステルなどの化学繊維で製造されており、風雨にさらされることで MPs ファイバーの発生源となっている可能性がある。屋外設置された不織布等は紫外線により劣化し、表面から MPs ファイバーが抜け落ち降雨などにより流出すると考えられる。その発生ポテンシャルを評価する方法として、不織布の促進劣化後に摩耗試験を行い、脱離した MPs ファイバーを回収して定量する方法等が考えられるが、これまでのところ、定量方法やその精度について十分な検討はなされていない。そこで本研究では、不織布からの MPs ファイバーの定量とその精度の評価を試みた。

2. 実験内容

2.1 分析対象

プラスチック全体を研究対象にすることは困難であるため、MPs となる可能性のある資材のうち、産業資材用繊維の生産量が著しい日本において、今後その消費量が増大していくと考えられる不織布を対象とする。MPs の定量に用いたサンプルを表 1 及び図 1 に示す。

2.2 実験方法

2.2.1 MPs の定量

MPs の定量については、Corami ら³⁾の研究を参考とし、一部、改良を行った手順でより行なった。

- (1) 表 1 に示す試料を 3 つ用意し、摩耗を再現するためにハサミで表面を傷つけ繊維を 3 つの小皿にそれぞれ回収した。
- (2) 小皿に回収した繊維と試料 1 つずつを 1 L の純水を入れたプラスチック性の容器に沈め水中で試料を 10 回軽く揺すった。
- (3) 繊維を容器に残したまま試料を静かに容器から取り出し、残った純水を濾過装置にて濾過した。
- (4) 濾過後の孔径 $0.45\mu\text{m}$ の濾紙を乾燥させ質量を測り、光学顕微鏡で観察し以下の手順で分析した。

まず、観察箇所を濾紙 1 枚あたり 14 箇所重複しないようにランダムに選び、顕微鏡写真を撮影した（図 2 参照）。次に、濾紙上の MPs ファイバーが濾紙に占める面積を次式(1)で算出した。

$$\text{濾紙全体を占める繊維の面積} = \frac{\text{濾紙全体の面積}}{\text{観察箇所の面積} \times \text{観察箇所の数}} \times$$

観察した繊維の合計面積 $\cdots (1)$

濾紙の面積： $1,734\text{ mm}^2$ ，観察した区画の面積： 3.91 mm mm^2 ，観察箇所の数：

表 1 サンプル詳細

項目	詳細
用途	防草シート
材質	ポリエステル
製法	ニードルパンチ
目付 (g/m^2)	600
密度 (g/cm^3)	1.38
試料サイズ	$\phi=57.5\text{mm}$

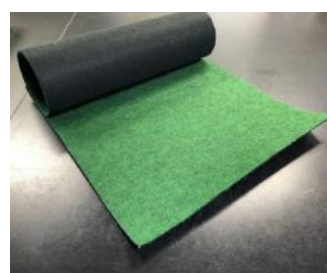


図 1 防草シート

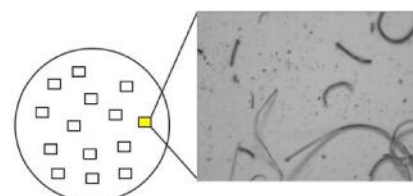


図 2 顕微鏡観察の概要図

14, 全ての観察箇所に対して繊維が占める面積: Image J によって算出(mm²)

次に、MPs ファイバーの形を円柱と仮定し、1 回の実験で試料から発生する MPs ファイバーの重さ(g)を次式(2)で算出した。

$$\text{繊維の質量} = \text{繊維の体積} \times \rho \times 0.001 = \text{濾紙全体を占める繊維の合計面積} / 2 \times r \times \pi \times \rho \times 0.001 \quad \cdots (2)$$

r: 繊維の平均半径(mm), ρ : 試料の密度(g/cm³)

繊維の平均半径は走査型電子顕微鏡による観察によって算出(図 3 参照)。なお、Corami らの研究では繊維の平均半径と平均長さより繊維の体積と質量を算出していたが、繊維が観察箇所に収まらないほど長い場合や繊維が湾曲している場合は、繊維の長さを測ることが困難であったため、本研究においては Image J で算出した面積を用いて繊維の質量を計算した。

3. 結果及び考察

3.1 MPs の定量

3.1.1 精度の検討

まず、選ぶ観察箇所による繊維面積のばらつきを検討するために、Corami et al.²⁾ を参考に観察箇所を 14 箇所(n=14)とし、1 箇所あたりの繊維が占める平均面積 μ を自由度(1, 13)の F 分布に従って、信頼水準 95%で区間推定した結果を表 2 に示す。表 2 より n=14 での 95%信頼区間が大きかったため、観察箇所を 30 箇所(n=30)に増やして実験を行い、自由度(1, 29)の F 分布に従って同様の信頼水準 95%で区間推定を行なった。n=30 のときは n=14 のときに比べ、信頼区間の幅が小さくなったが、依然としてばらつきが見られた。

3.1.2 定量

濾過後に濾紙上に残った繊維の質量を電子天秤にて測った値と、2.2.1 に記述した(1)式、(2)式に基づいて算出した値を比較した。結果を表 3 に示す。n=14 のときと n=30 のときで試料 1, 2, 3 において、概ね電子天秤による値と近い値が得られた。生じた誤差については、3.1.1 で考察したように、観察箇所によって繊維が多いところと少ないところがあるため正確な値が得られなかったことや、Image J で繊維としてカウントできていない繊維や MPs 以外のごみの存在が結果を左右したものと考えられる。n 数の違いによる誤差の検討については、n 数を 14 から 30 に増やしたことによって、より実測値に近い値が得られたため、n 数の増加に伴って定量の信頼性も向上したものと考えられる。



図 3 走査型電子顕微鏡観察による顕微鏡写真

4. 結論

本研究では、これまでのところ十分な検討がなされていない MPs の定量について、Corami et al.を参考に、摩耗を想定した不織布に対しての実験を行った。精度の検討については、n 数の増加に伴って値の信頼性が向上することが確認できた。MPs ファイバーの定量については、概ね真値に近い値が得られたが、Image J によって二値化する際の適切な閾値の設定や、繊維の質量がより小さい場合や大きい場合の定量についての検討が必要である。

参考文献)

- 1,3) Fabiana Corami, Beatrice Rosso, Barbara Bravo, Andrea Gambaro: A novel method for purification, quantitative analysis and characterization of microplastic fibers using Micro-FTIR, Chemosphere 238, No.124, pp.1~10, 2020, 2) Browne, M.A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E. L., Tonkin, A., & Galloway, T., et al.: Accumulation of microplastics on shorelines worldwide: Sources and sinks. Environmental Science and Technology, 45, 9175-9179, 2011

表 2 繊維面積の信頼区間

n=14			
	試料 1	試料 2	試料 3
平均面積(mm ²)	0.254	0.342	0.55
標準偏差	0.137	0.213	0.282
95%信頼区間	0.08<μ<0.43	0.07<μ<0.62	0.18<μ<0.92
n=30			
	試料 1	試料 2	試料 3
平均面積(mm ²)	0.286	0.315	0.514
標準偏差	0.214	0.181	0.242
95%信頼区間	0.12<μ<0.45	0.17<μ<0.46	0.33<μ<0.70

※平均面積は観察箇所 1 つあたりの値

表 3 MPs ファイバーの質量比較

	試料 1 (g)	試料 2 (g)	試料 3 (g)
電子天秤	0.00502	0.00584	0.00840
n=14	0.00435	0.00658	0.00968
n=30	0.00489	0.00605	0.00905