

紫外線照射実験に基づいた河川流域内プラスチックごみからの微細プラスチック発生量推計

愛媛大学 学生会員 ○大江 悠人

愛媛大学 非会員 田久和孝明

福井工業高等専門学校 非会員 古谷 昌大

愛媛大学 正会員 片岡 智哉

1. 背景・目的

国内外の河川において 5mm 未満のマイクロプラスチックによる汚染が確認されているが、流域内でのその発生過程や発生量は不明である。また、プラスチックの劣化速度は海洋よりも陸域の方が速いことから¹⁾陸域でのプラスチックの劣化及び微細化過程の把握が重要であるが、現時点で知見が乏しい²⁾。

そこで、身近な飲料用ボトルキャップを対象に紫外線照射実験を行い、分子構造・表面形状・質量に着目して劣化度を評価し、劣化度モデルを構築する。さらに、愛媛県・重信川河岸で採取したキャップの劣化度を評価することで、同流域におけるプラごみの野外暴露時間の推定を行う。最後に実験で得られた結果から全国各地におけるキャップ 1 個からの年間微細プラスチック発生量の推計を行うことを目的とする。

2. 実験方法

実験サンプルには 4 種類の飲料用ボトルキャップの新品を用い、乾燥状態で UV 照射装置 (UV-1047Xe, フロンティア・ラボ製) を用いて促進劣化試験を行った。照射時間 72h 毎に、赤外顕微鏡 (AIM-9000, SHIMADZU) による赤外分光スペクトル測定、共焦点レーザー顕微鏡 (LSM700, ZEISS) による表面画像解析、ウルトラマイクロ天秤 (XPR2UV, METTLER TOLEDO) による質量計測の 3 つの方法で劣化度を評価した。ここで、JIS E4037³⁾に基づき、次式で年間紫外線量 E (J/m^2) に相当する UV 照射装置での照射時間 T (h) を推定する。

$$T = \frac{E}{3600 \times G} \quad (1)$$

ここで、 G は UV 照射装置の放射照度であり、光量計 (UV-340C, カスタム製) による測定結果に基づき、 1395 (W/m^2) とした。また、 E に松山市の年間紫外線放射量の十年平均値 (3.52×10^8 (J/m^2)) を代入すると $T=72\text{h}$ となり、UV 照射装置で 72 時間実験サンプルを劣化させると、松山市野外で 365 日間暴露された事に相当する。

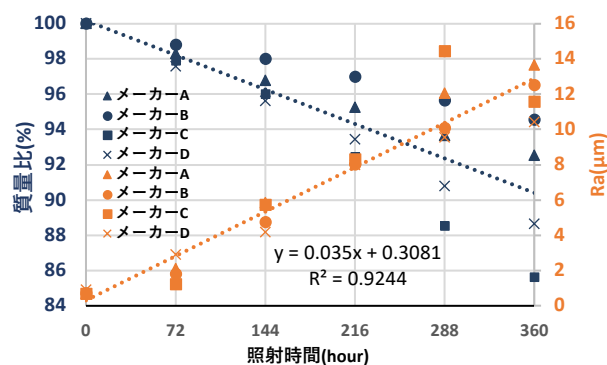
さらに、実験時に使用したものと同一飲料用ボトルキャップを重信川河岸 5 地点で採取し、表面画像解析を行うことで劣化度を評価するとともに、その賞味期限から野外暴露時間を推定することで、劣化度モデルの妥当性を検証した。

3. 結果及び考察

72 時間毎の 4 種キャップの質量比 (初期質量に対する劣化質量の比率) と亀裂等による Ra の関係を図 1 に示す。ここで、 Ra とは凹凸のある面の平均面に対して各点の高さの差の絶対値の平均のことで、表面粗さの指標に用いられる。

$$Ra = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x, y)| dx dy \quad (2)$$

4 種ともに照射時間が進むにつれて、質量が有意に減少した。また、表面画像解析からキャップ表面

図 1 質量比と Ra の変化

キーワード 河川流域, プラスチックごみ, 微細プラスチック, 劣化度モデル

連絡先 〒790-0825 愛媛県松山市道後樋又 10-13

国立大学法人愛媛大学 工学部工学科 土木情報学研究室

に亀裂等が生じていることが確認され、 R_a が増加していた。この質量比と R_a に有意な関係 ($r = -0.834, p < 0.0001$) が得られたことから、紫外線で劣化することで、プラスチック表面から nm サイズレベルで微細プラスチックが剥離して環境中に流出している可能性が示唆された。

また河岸ごみの賞味期限と R_a から推定した暴露時間 (各々を τ_d 、 τ_s と称す) の関係を調べたところ、両者に有意な相関があり ($n=12, r = 0.697, p < 0.05$)、表面形状変化から古いキャップほど紫外線暴露により劣化が進行していることが確認された。一方、多くの河岸ごみは $\tau_s > \tau_d$ の関係があり、紫外線強度の変動や降水、河川水への暴露の影響により、劣化度の進行が早い可能性が示唆された。

本実験結果に基づき、全国各地の年間紫外線量からキャップ 1 個あたりの微細プラスチック発生量を推計するため、累積紫外線量を説明変数とした質量減少率 (1 - 質量比) の一般化線形モデルを構築した (図 2)。なお、ここではキャップの質量減少が微細プラスチックの発生によるものと仮定している。

さらに、全国 42 箇所の気象台で観測された 2021 年度の日合計全天日射量の年計値に太陽光の紫外線構成比 (6.8%) を乗ずることで、各地点における年間累積紫外線量を求め、一般化線形モデルを用いて全国各地におけるキャップ 1 個 (4 種キャップの質量平均値: 2.199(g)) からの微細プラスチック発生量を見積もった (図 3)。値の分布を見ると、北から南にかけて微細プラスチック発生量は増加する傾向が見られ、日本海側よりも太平洋側の方が値の大きい地域が多いことがわかる。紫外線量が最大であった南大東ではペットボトルキャップ 1 個から発生する微細プラスチック量が 0.0498g (95%信頼区間: 0.0307~0.0806g)、最小であった稚内では 0.0432g (95%信頼区間: 0.0276~0.0674g) となり、全国平均値は 0.0457g と推計された。

4. 結論

新品の飲料用ボトルキャップに紫外線を照射することで質量減少が見られ、表面に亀裂等が生じていることが確認された。また、 R_a は質量比と有意な相関があることから、粗くなった表面から nm サイズのプラスチックが発生している可能性が示唆された。さらに、河岸ごみの表面画像解析から古いキャップほど劣化が進行していることがわかった。最後に全国におけるキャップ 1 個からの年間微細プラスチック発生量を推計すると全国平均値が 0.0457g であることがわかった。今後、紫外線強度の変動や湿潤状態による劣化度の進行を考慮する必要がある。

謝辞: 本研究は科研費(21H01441)、NEDO の委託業務 (JPNP18016)、環境研究総合推進費 (JPMEERF21356444) によって実施された。

参考文献 1) Andrady L. Anthony, *Marine Pollution Bulletin*, 2011
2) Carmen et al., *Science of the Total Environment*, 2022
3) 鉄道車両-構成部品-耐候性試験法, (JIS E4307) 2001

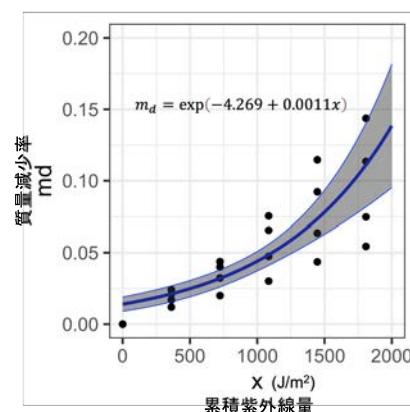


図 2 累積紫外線量を説明変数とした質量減少率の一般化線形モデル

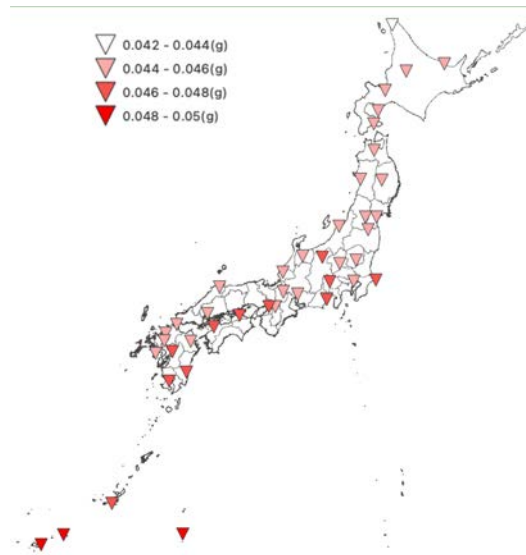


図 3 全国各地での年間紫外線照射によるキャップ 1 個からの微細プラスチック発生量推計