

## 陸域散乱プラスチック劣化度評価のための基礎的実験

愛媛大学 学生会員 ○田久和孝明

愛媛大学 正会員 片岡智哉

福井工業専門学校 非会員 古谷昌大

### 1. はじめに

陸域はマイクロプラスチック（最大長 <5 mm）が発生するホットスポットと考えられている（Andrady, 2011）．陸域に散乱するマイクロ化する前のマクロプラスチック（最大長 >25 mm）の劣化度を知ることで、陸域内でのプラスチックの動態を解明し、マイクロプラスチックの流出源の特定が可能になると考えられる．そこで、本研究では、陸域散乱プラスチックの劣化度を評価するため、紫外線（UV）照射によるプラスチック促進劣化試験を行い、松山市中須賀ポンプ場（図-1）で採取したプラスチックの野外暴露時間の推定を試みた．

### 2. 研究手法

本研究では2つの実験を行い、野外暴露時間を推定した．

①UV照射装置の性能確認実験

②陸域散乱プラスチック劣化実験

③野外暴露時間の推定

①の実験では UV 照射装置の性能確認、並びに②の実験の劣化時間の決定を目的とする．使用する機器はUV照射装置（UV-1047Xe, フロンティア・ラボ株式会社）、赤外顕微鏡（AIM-9000, 株式会社島津製作所）、フーリエ変換赤外分光光度計 FTIR（IRAffinity-1S, 株式会社島津製作所）である．UV照射装置は試料に紫外線を照射して劣化させる装置である．また、野外暴露時間の推定を行うため、装置で試料を劣化させた時間を以下の JIS E4307 の野外暴露時間変換式（式(1)）を用いて野外暴露時間に変換した．



図-1 中須賀ポンプ場の位置図

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

ここで、 $E$ は松山气象台で観測された十年間の平均放射露光量（ $= 3.52 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ ）、 $G$ は、UV照射装置の照射照度（ $= 1397 \text{ J/s}$ 、但し、試料から光源までの高さを6cm、照射強度を100%で照射した場合）であり、式(1)より70時間劣化させると野外暴露時間が365日分に相当することが分かった．赤外顕微鏡・フーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）は劣化度を測定するために使用する機器である．UV照射装置で劣化させた試料の赤外吸収（IR）スペクトルを測定し、劣化させた対象のIRスペクトルの推移をもとに劣化度を算定する．IRスペクトルは、試料が赤外線を透過できる場合は赤外顕微鏡を用いた透過法、赤外線を透過できない場合はフーリエ変換赤外分光光度計を用いたATR法を使用する．劣化度はIRスペクトルのピーク比を求めて評価する．ピーク比を求めるために以下の式を使用する．

$$I = \frac{P_{\text{impurity}}}{P_{\text{polymer}}} \quad (2)$$

分子には劣化によって変化が生じた化学構造の波数帯のピーク値（ $P_{\text{impurity}}$ ）を、分母にはポリマー本来が持つ化学構造の波数帯のピーク値（ $P_{\text{polymer}}$ ）を用いてピーク比を求めた．

### 3. 結果と考察

#### (1) UV照射装置の性能確認実験の結果

ここでは、UV 照射装置の劣化性能評価、陸域散乱プラスチック劣化実験の劣化時間の決定するため、低密度ポリエチレン (LDPE) を用いて試行的 UV 照射による IR スペクトルの時間推移を把握した。ここで、UV 照射時間は 24 時間間隔で 0~120 時間照射し、IR スペクトルを FTIR で測定した。IR スペクトルから得られる特定波数帯のピーク比を式(1)で算出し、 $P_{impurity}$  は UV 照射によって顕著に吸光度が変化した C=O 伸縮 (波数帯:  $1650-1750\text{ cm}^{-1}$ ) 及び O-H 伸縮 (波数帯:  $3100-3500\text{ cm}^{-1}$ ) を、 $P_{polymer}$  は C-H 伸縮 (波数帯:  $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ ) を採用した。図-2 及び図-3 はそれぞれ LDPE の IR スペクトル及びピーク比の時間推移である。この結果より、UV 照射により劣化度は照射初期に急激に増加し、48 時間程度 (野外暴露時間 247 日に相当) で飽和することが示された。そこで、実験②では、添加剤等の混和を加味し、劣化時間は 72 時間に決定した。

### (2) 陸域散乱プラスチック劣化実験の結果

実験①の結果を踏まえて、中須賀ポンプ場で採取されたペットボトルと同製品の新品を購入し、劣化の容易性からラベル (材質: Polyester) を対象に UV 照射促進劣化試験を実施した。実験①より UV 照射初期に急激に劣化度が増加することから、本実験では照射時間が 0-24 時間では 1 時間間隔、24-48 時間では 6 時間間隔、48-72 時間では 24 時間間隔で赤外顕微鏡を用いて IR スペクトルを測定した。各 IR スペクトルから、実験①と同様の波数帯に着目し、劣化度を評価した。但し、C=O 伸縮は吸光度が飽和してピークが明確でないため、飽和波数帯を避けて劣化度を評価した。劣化時間経過と共に IR スペクトルの吸光度が上昇しており (図-4)、劣化度も増加傾向にあった (図-5)。

### (3) 野外暴露時間の推定

中須賀ポンプ場で採取した同製品のラベルの IR スペクトルを測定したところ、C=O 伸縮と O-H 伸縮の劣化度はそれぞれ  $I_{C=O} = 0.86$  と  $I_{O-H} = 0.12$  であった。この劣化度を図-5 に矢印で示した。これらの劣化度は、照射時間 0 時間のピーク比 ( $I_{C=O} = 0.85$  及び  $I_{O-H} = 0.10$ ) と照射時間 1 時間のピーク比 ( $I_{C=O} = 1.00$  及び  $I_{O-H} = 0.20$ ) の間であり、線形補間により野外暴露時間を推定すると、約 1 日であった。このことから、ほとんど中須賀ポンプ場の排水区に散乱してから短期間で中須賀ポンプ場に流れてきている可能性が示唆された。

謝辞: 本研究成果の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF21356444)、科研費 (21H01441) 及び (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP18016) によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献 Andrad L. Anthony : Marine Pollution Bulletin, 62, 1596-1605, (2011)

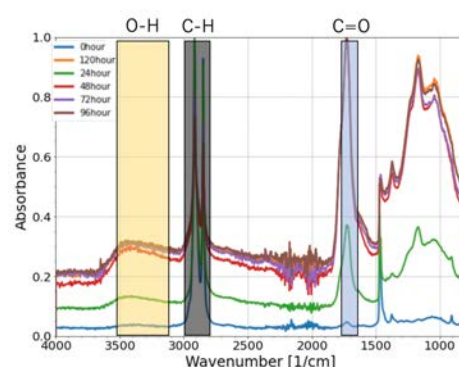


図-2 LDPE IR スペクトル時間推移

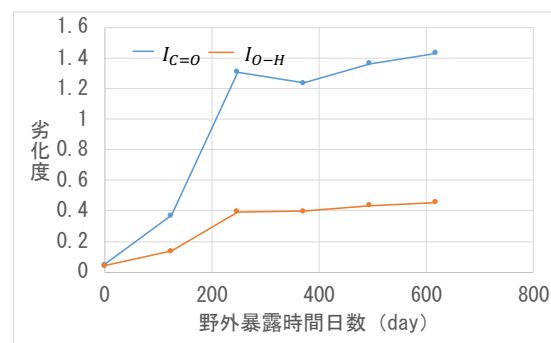


図-3 LDPE ピーク比時間推移

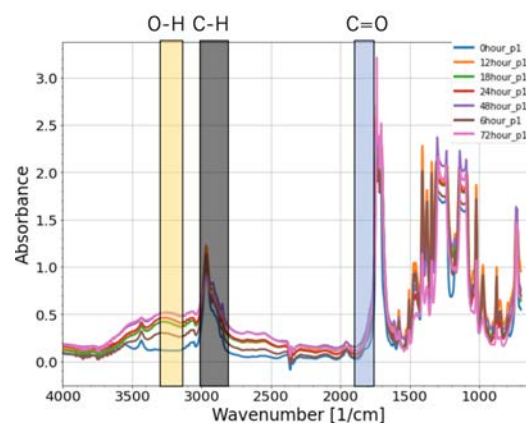


図-4 ペットボトルラベルの IR スペクトル時間推移

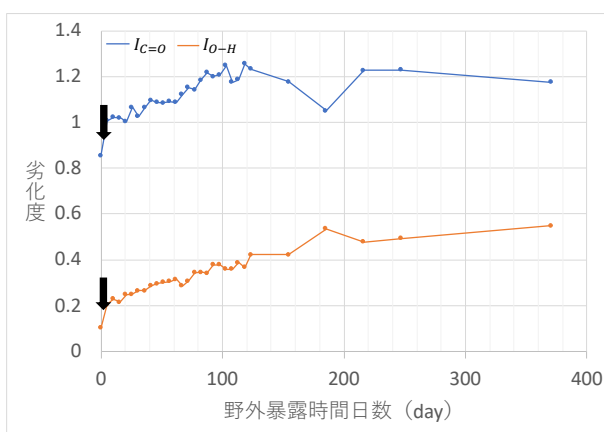


図-5 劣化度の時間推移 (矢印は中須賀ポンプ場で採取した試料の劣化度を表す)