

海洋プラスチック海岸過程に関する数値モデルの現状と課題

愛媛大学 学生会員 ○谷口詩音
愛媛大学 非会員 郭新宇

愛媛大学 正会員 日向博文
愛媛大学 非会員 佐川奈緒

1. はじめに

プラスチック生産量は2015年には3億2200万トンに達し、この内1.7-5%程度が海洋に流出していると推定されている⁽¹⁾。海洋プラスチックは海流等の外的要因、サイズ等の物理特性に応じて海水表面を浮遊、海底に沈降しながら海洋環境中に拡散する⁽²⁾。沿岸に輸送されたプラスチックは確率的に海岸に漂着し再漂流する⁽³⁾。2 mm以下のマイクロプラスチック(0.35-5 mmのプラスチック、以下MP)は海底に沈下し易く、2 mmより大きいMPは海岸に堆積し易い⁽³⁾。プラスチックの海岸滞留時間は～数百日程度⁽⁴⁾であり、海岸上で光酸化分解等によりMPへ微細化する⁽⁵⁾。MPはPOPsを吸着する性質を持ち、また海洋生物が容易に摂取出来る大きさの為、海洋生態系に有害な影響を与えることが懸念されている⁽⁵⁾。この有害影響の把握には海洋環境中のレザバー(海岸、海面、海中、海底、生物相など)内のプラスチックのストックとそれらの間のフラックスを数値モデルによって推定することが必要である。海岸はMPの主要な生成源⁽⁶⁾であり、海岸過程(漂着-滞留-再漂流)を理解することはMPの海洋生態系に与える影響を理解する上で非常に重要である。本研究では、上記の定量化を行う上で特に重要だと考えられる海岸過程に関する数値モデルの現状と課題について議論する。

2. 海岸過程に関する数値モデルの現状と課題

Liubartseva et al. (2018)⁽⁷⁾はモンテカルロ法を適用した2Dラグランジュモデルを用いて地中海におけるプラスチックの海洋表面、海岸、海底における分布を検討した。漂着確率は以下の式を用いて算出している。

$$P_{cst \rightarrow srf} = \begin{cases} a_{cst} \exp\left(-\frac{t}{T_{cst}}\right), & \text{if } t < T_{stg} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 a_{cst} : 再漂流確率、 T_{cst} : 平均海岸滞留時間、 T_{stg} : 海岸付近での滞留時間である。その結果、エーゲ海、バルカン半島は周囲にある多数の小島や複雑な海岸地形のフィルター効果によりMP数が少ないことが推測された。但し、海岸を含む沿岸域におけるMP数の季節・年変動を把握可能なデータセットが十分に揃っておらず、モデルの信頼性は十分に検証されていないのが現状である。

Jalón-Rojas et al. (2019)⁽⁸⁾はオーストラリア・ジェービス湾における海洋プラスチックの漂着、再漂流確率を3次元粒子追跡モデルの一つであるTrackMPDを用いて計算した。再漂流確率の計算式を以下に示す。

$$P = 0.5^{-t/T}$$

ここで、 P : 再漂流確率、 T : 海岸におけるMP数の半減期、 t : 漂着からの経過時間。湾内に放出した粒子は閉鎖的な地形の影響により漂着量、再漂流量共に多くなることを明らかにした。より厳密な再漂流過程の計算の為には、海岸に打ち寄せる波高および波の遡上到達位置を考慮した定式化など、海岸上でのプラスチック挙動に影響を与える物理過程の考慮が必要であると考えられる。

佐川(2019)⁽³⁾は漂着確率を与えた中立粒子を使用し、牡蠣養殖に使用する発泡スチロール(以下、FPS)の汚染が深刻な広島湾・安芸灘のFPS製MPの動態シミュレーションを行った。MPの漂着および再漂流フラックスが釣り合うと仮定し(式1)、滞留時間から求めた漂着確率(式2)を使用して再漂流確率を算出した。

$$a \times \rho_b \times \Delta B \times \Delta y = b \times \rho_s \times \Delta x \times \Delta y \quad (1)$$

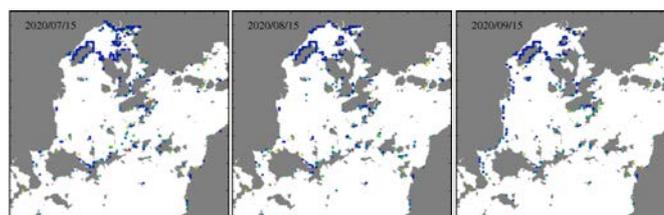


図1: 風あり・海岸滞留時間100日の広島湾内の空間分布と海岸経験日数, 2020年7-9月まで抜粋⁽³⁾

$$a = 1 - \exp\left(-\frac{1}{24\tau}\Delta t\right) \quad (2)$$

ここで、 a : Δt 当たりの漂着確率、 b : Δt 当たりの再漂流確率、 ρ_b (ρ_s) : 海岸(海面)の MP 数密度 (個/m²)、 ΔB : 海岸幅、 Δx 、 Δy : 東西および南北方向のグリッドサイズ、 τ : 海岸滞留時間である。実際の計算では、海上風の影響を考慮した場合(図 1)と考慮しない場合(図 2)について検討し

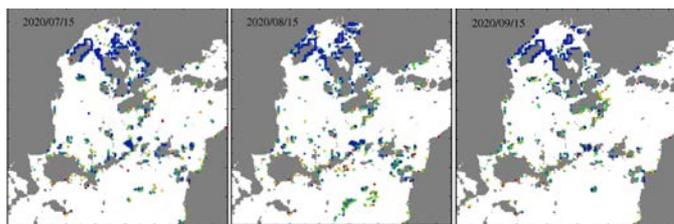


図 2: 風なし・海岸滞留時間 100 日の広島湾内の空間分布と海岸経験日数, 2020 年 7-9 月まで抜粋⁽³⁾

た。夏期は風の影響の有無に関わらず湾奥部の海面および海岸に粒子が集中する結果となった。また、風の影響を考慮しない方が年間を通じて海域の粒子総数が多く、海岸経験日数の長い粒子が多くなった。さらに、両ケースとも湾口部ほど海岸経験日数の長い粒子が多く、湾奥から発生した MP が漂着・再漂流を繰り返しながら伊予灘方面へと流出していることが示唆された。これは小澤 (2016)⁽⁹⁾の観測結果と符合している。

佐川(2019)⁽³⁾では、漂着確率を導出するに当たって漂着フラックスと再漂流フラックスのバランスを仮定した。そこで、Hinata et al. (2020)⁽⁴⁾は、この仮定の適用範囲 (具体的には、海岸滞留時間と漂着フラックスの変動周期の比) について、線形システム理論と中立粒子を用いた数値実験により検討した。その結果、このモデルは、線形システム理論から推測される適用範囲を超えて漂着-滞留-再漂流過程を再現できることを示した。

3. まとめと今後の展望

現在、海洋プラスチックの輸送経路や集積域、発生源に関する数値モデルの開発が進んでいる。特に海洋生態系に容易に取り込まれ、有害な影響を与え得る MP の主な生成源である海岸の影響を考慮することが重要である。この過程をモデリングする為の短期的な方向性は、再漂流確率、及び漂着確率をパラメータとして予め与えることである。この方法の課題は、複数海岸、あるいは多海域への展開が難しい点である。よって、中長期的には、物理過程に基づいてそれらの確率を求めるモデリングが必要である。いずれにせよ、モデルの検証に必要となる沿岸域 (海岸を含む) においての時間的、空間的に密なデータが必要であるが、これらのデータは十分とは言い難いのが現状である。

参考文献

- (1) Jambeck et al., "Plastic waste inputs from land into the ocean." *Science* 347.6223 (2015): 768-771.
- (2) Iwasaki et al., "Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan." *Marine Pollution Bulletin* 121.1-2 (2017): 85-96.
- (3) 佐川奈緒. "中立粒子法に基づくマイクロプラスチック海岸過程のモデリングと広島湾への応用" 愛媛大学修士論文(2019). pp1-39
- (4) Hinata et al., "Numerical modeling of the beach process of marine plastics: A probabilistic and diagnostic approach with a particle tracking method." *Marine Pollution Bulletin* 152 (2020): 110910.
- (5) Andrady et al., "Microplastics in the marine environment." *Marine pollution bulletin* 62.8 (2011): 1596-1605.
- (6) Lebreton et al., "Numerical modelling of floating debris in the world's oceans." *Marine pollution bulletin* 64.3 (2012): 653-661.
- (7) Liubartseva et al., "Tracking plastics in the Mediterranean: 2D Lagrangian model." *Marine pollution bulletin* 129.1 (2018): 151-162.
- (8) Jalón-Rojas et al., "A 3D numerical model to Track Marine Plastic Debris (TrackMPD): Sensitivity of microplastic trajectories and fates to particle dynamical properties and physical processes." *Marine pollution bulletin* 141 (2019): 256-272.
- (9) 小澤文, 広島湾・安芸灘海岸におけるマイクロプラスチックのサイズと劣化度の空間分布に関する研究, 愛媛大学環境建設工学科卒業論文, 2016.