3C07 (Keynote)

マイクロプラスチックの地球化学

○高田秀重¹ (¹東京農工大学)

マイクロプラスチックとは?

年間に世界で 3 億トンのプラスチックが生産されている。その約半分は使い捨てのプラスチックである。廃プラスチックのうち陸上の廃棄物管理からもれた部分が、降雨時の表面流出等により河川、そして海洋へ流入する。ポリエチレンやポリプロピレンは水より密度が小さく、浮いて遠距離輸送される。それらは海洋表層や海岸で紫外線に曝され、劣化し、破片となっていく。劣化、破片化が進み 5mm 以下になったプラスチックがマイクロプラスチックと呼ばれている 1)。これらのプラスチック製品の破片の他に、洗顔料や化粧品の中のスクラブ等のマイクロビーズ 2)、化学繊維の衣類の洗濯屑 3)、スポンジの削れかすなどの寄与も指摘されている。世界の海洋に5兆個、27万トンのプラスチックが浮遊していると推定されている 4)。これらのマイクロプラスチックの地球化学的な意味について本稿では考えてみたい。

マイクロプラスチックの動態

プラスチック廃棄物の発生量、廃棄物処分法や処分率などを基に、陸から海へ流入するプラスチック量は世界で年間 $480\sim1270$ 万トンと推定されている 50 。上述の浮遊量 (27 万トン)が流入量 $(480\sim1270$ 万トン)よりも桁違いに少ないことや表層水中のマイクロプラスチックの粒径分布などから、missing sink の存在が指摘された 60 。しかし、プラスチックには様々なポリマーがあり、その中には密度が海水よりも大きいものがあり、それらは水底に沈んでいる(図 10)。 さらに、ポリエチレンやポロプロピレンのような密度が小さくもともとは水に浮くプラスチックも、 100 1 により沈降し 90 5、堆積物から検出されることが明らかになってきた(図 10 7)。一旦堆積物に沈降したポリエチレンやポリプロピレン等の軽いプラスチックは付着生物膜が分解や摂食等により取りのぞかれると密度が小さくなり、再浮上する可能性がある。すなわち、マイクロプラスチックは沈降と再浮上を繰り返すと考えられ、このプロセスはヨーヨー効果とよばれているが 100 5、まだ実証はされていない。

有機汚染物質の輸送媒体としてのマイクロプラスチック

マイクロプラスチックは化学物質、特に有機汚染物質の輸送媒体としての役割を担っていると考えられる。マイクロプラスチックは大別すると 2 種の化学物質を輸送する 11)。まずは、プラスチックに含まれる添加剤である。プラスチックには可塑剤、酸化防止剤、紫外線吸収剤、難燃剤等、多様な添加剤が含まれる。添加剤は水環境中で水相へ溶出していくが、疎水性の高い添加剤の溶出は遅く 12)、臭素系の難燃剤等は外洋を浮遊するプラスチック破片からも検出される 13)。添加剤に加えて、ポリエチレンのような疎水性の大きなポリマーは疎水性の高い化学物質を吸着していることも吸着実験 14)や観測 15)から明らかになってきている。粒径が吸脱着の速度を支配しており、1mm~5mm程度のポリエチレンの場合、オクタノール水分配係数の対数値が 6 以上の化合物の場合は、吸脱着が平衡に達するのに 1 年以上かかると考えられている 12)。一方、1mm~5mm程度のポリエチレンは、都市周辺海域で疎水性高い汚染物質を吸着した後、それらを脱

着する間もなく急速に水平輸送される場合があり、大洋の離島に高濃度の疎水性化学物質を含んだマイクロプラスチックの漂着もしばしば観測される 16)。マイクロプラスチックは疎水性の汚染物質を長距離運ぶ輸送媒体となっていると考えられる。また、上述のように 1mm 以下の微細なポリエチレンは表層水と堆積物の間を沈降・再浮上を繰り返す(ヨーヨー効果)可能性があり、それに伴い堆積物中に蓄積されている環境への新たな放出が止まった疎水性の汚染物質を表層水中に再移動させる可能性も考えられる。

Anthropocene: 柱状堆積物中のマイクロプラスチック

マイクロプラスチックを介した有害化学物質の生物への曝露や蓄積は室内実験 ¹⁷⁾や野外の観測 ¹⁸⁾から明らかにされてきた。しかし、マイクプラスチックによる生物への影響は野外の生物では顕在化していない。しかし、将来、マイクロプラスチックの量が増えると、影響の顕在化も懸念される。そのため、マイクロプラスチック汚染の経時的な傾向を明らかにすることは重要である。我々は堆積物中にマイクロプラスチックが蓄積することに注目し、柱状堆積物を使って経時的な傾向把握を試みている ⁷⁾。一例を図 1 に示す ⁷⁾。プラスチックの消費量の拡大に伴い、堆積物中のマイクロプラスチックの数が増えていることが示された。このことは、我々人類が地質学的な媒体に人間活動の痕跡を刻んでいる、すなわち人新世 ¹⁹⁾の一つの証拠とも捉えることができる。

炭素循環の中のプラスチック: 非持続的な存在としてのプラスチック

プラスチックの生産には世界の石油の産出量の8%が使われている。プラスチックは 炭素循環を考える上でも重要な位置を占める。日本の一部の自治体では廃プラスチック を焼却して発電するプラゴミ焼却発電が行われている。炭素循環の中で、二酸化炭素が 再び石油そしてプラスチックになるまでには数百万年以上かかり、プラゴミ焼却発電で 炭素循環が切れてしまうことは明白であり、温暖化を促進し、パリ協定にも合致しない。 非持続的な素材であるプラスチックの大量生産、大量消費自体を見直す必要がある。

引用文献: 1. GESAMP (2015), 2. Tanaka and Takada (2016), Sci. Rep., 3. Woodall, et al. (2015) Mar. Pollut. Bull. 4. Eriksen, et al. (2014) Plos one, 5. Jambeck, et al. (2015) Sci., 6. Cózar, et al. (2014) PNAS, 7. Matsuguma, et al. (2017) Arch. Environ. Contam. Toxicol., 8. Zettler, et al. (2013) ES&T., 9. Kooi, et al. (2017) ES&T., 10. Mincer, et al. (2016) Springer., 11. Teuten, et al. (2009) PT RSBS, 12. Endo, et al. (2013) Mar. Pollut. Bull., 13. Hirai, et al. (2011) Mar. Pollut. Bull., 14. Mato, et al. (2001) ES&T., 15. Ogata, et al. (2009) Mar. Pollut. Bull., 16. Heskett, et al. (2012) Mar. Pollut. Bull. 17. Tanaka et al. (2015) ES&T., 18. Tanaka et al. (2013) Mar. Pollut. Bull., 19. Crutzen and Stoermer (2000) Glob. Change Newslett.

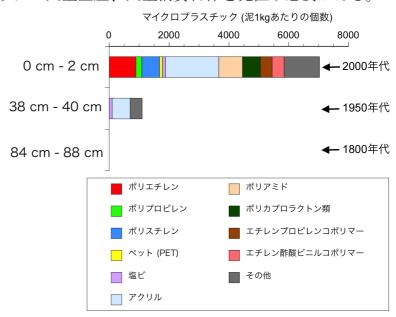


図1. 皇居桜田濠の柱状堆積物中のマイクロプラスチック 引用文献⁷⁾の図を改編作成。

Geochemistry of Microplastics *H. Takada¹, (¹Tokyo Univ. Agric. Technol.)