

空飛ぶマイクロプラスチックを富士山頂で捕まえる

○大河内博¹, 吉田昇永¹, 新居田恭弘², 梅澤直樹², 榎本孝紀³, 板谷庸平³, 三浦哲三郎⁴, 藤原雅彦⁴, 磯瑛司⁴, 勝見尚也⁵, 皆巳幸也⁵, 戸田 敬⁶, 竹内政樹⁷, 米持真一⁸, 南齊勉⁹, 三浦和彦¹⁰, 小林拓¹¹, 和田龍一¹², 土器屋由紀子¹³, 畠山史郎¹⁴

1 早稲田大学, 2 パーキンエルマージャパン, 3 柴田科学, 4 堀場製作所/堀場テクノサービス, 5 石川県立大学, 6 熊本大学, 7 徳島大学, 8 埼玉県環境科学国際センター, 9 静岡理工科大学, 10 東京理科大学, 11 山梨大学, 12 帝京科学大学, 13 富士山環境研究センター, 14 アジア大気汚染研究センター

1. はじめに

プラスチック生産量は年々増加しており、総生産量は1950年には年間200万トンでしたが、2012年には3億トン、2050年には400億トンに達すると推計されています¹。その結果、河川を通じて大量の海洋プラスチックゴミが発生しています。

プラスチックゴミのうち、直径5mm以下のプラスチック片の総称であるマイクロプラスチック (microplastics; MPs) は、海洋生物が餌と誤認して摂食することから、特に問題となっています。摂食を通して体内に取り込まれたMPsが及ぼす被害は2つに分類されています。一つは物理的摂食障害であり、MPsが魚類や鳥類の胃から検出されています。もう一つは生体毒性です。もともとのプラスチック添加剤、プラスチックが環境中で吸着した有害な有機化合物が体内に移行して生体に影響を与えることが懸念されています。これまで、MPs研究は海洋生態系の破壊という観点から進められてきました。

大気中マイクロプラスチック研究の現状

最近では河川、水道水、ペットボトル、道路粉塵、室内空気でもMPsが検出されています。米国の推計によると、MPsが体内に取り込まれる経路は食物と呼吸が同程度でそれぞれ年間6万個程度、ペットボトル水から年間9万個を摂取します²。ただし、空気中に浮遊しているマイクロプラスチック (Airborne microplastics; AMPs) の計測例は限られていて、その実態はよく分かっていません。

AMPsに関する先行研究としてフランス・パリ郊外^{3,4}や中国・広東省⁵で行われた研究があります。大部分が空気中を浮遊するAMPsではなく、雨とともに地上に降ってくるAMPsです。都市部におけるAMPsの形状は、浮遊しているものも、降ってくるものも繊維状が多く、フィルム状、破片状、発泡体は少ない傾向にあります。

空気中を浮遊するAMPsの報告例は数例に限られますが、例えば、パリ (フランス) では室内空気1m³あたり1-60本の繊維が存在しており、その66%がセルロースなどの天然繊維で、ポリエチレンなどのプラスチックは33%に過ぎないようです⁴。屋外では空気1m³あたり0.3-1.5本 (50-1650μm) の繊維が浮遊しています⁴。イラン南岸

部アサルイエの都市大気も大部分は繊維であり、空気1m³あたり0.3-1.1本 (2-100μm) ですが、天然繊維か合成繊維 (プラスチック) か不明です⁶。上海 (中国) の都市大気では空気1m³あたり0-4.18個 (23-9555μm) であり、67%が繊維状です⁷。同じ著者が同地点で計測して、空気1m³あたり0.05-0.07個 (12-2191μm) であり、43%が繊維状⁸という報告もあります。

AMPsに関する研究はほとんど都市大気に関するものですが、最近になってマイクロプラスチックが大気を通じて輸送され、山間部 (フランス、ピレネー山脈) に1日に1m²あたり365個 (65μm以上) のプラスチックが降り注いでいることが明らかにされました⁹。この量は都市部とほとんど変わらないことから、海洋ばかりではな、大気を通じたマイクロプラスチック汚染が広域的に起きていると警鐘を鳴らすものでした。また、山間部では都市部とプラスチックの形状が大きく異なり、破片状、フィルム状AMPsが多く、繊維状AMPsは少ないものでした。

大気中マイクロプラスチック研究の課題

以上のように、AMPs計測値にはかなりのばらつきがあります。その原因は採取法、前処理法、同定法にあります。空気中を浮遊するAMPsは、一般にエアロゾル捕集に用いられるガラス繊維フィルターで捕集しています。また、プラスチック以外の粒子と分離せず、前処理をしないで顕微鏡観察や顕微FT-IRで同定を行っています。

でも、繊維フィルターを用いて、空気中に浮遊する繊維を正確に測ることができるでしょうか？また、繊維フィルターでは小さいMPsは埋もれてしまい識別が困難です。さらに、ガラスファイバーは1000-1400cm⁻¹に強い吸収をもつため、ガラス繊維フィルター上のAMPsの同定は困難です。仮にガラス繊維フィルターの影響を受けずに、顕微FT-IRでAMPsの同定を行っても、AMPs表面がバイオフィルムで覆われていれば、正しく材質を同定することができません。

そこで、私達は空気中に浮遊するマイクロプラスチック (AMPs) を正しく測るために、AMPsを捕集する材質は何がよいのか、どのように前処理するとよいのか、さらにどうやって計測すればよいのかを検討しました。

2. 実験

エアロゾル採取法の検討

まず、AMPsの捕集法について検討しました。東京都新宿区に位置する早稲田大学西早稲田キャンパス研究棟屋上(64m)で、アンダーセンサンプラーローボリウムサンプラー(柴田科学)でエアロゾルを、ステンレス容器で雨水を採取しました。エアロゾルの捕集材として石英繊維フィルター、アルミホイル、ステンレスプレートについて検討しました。石英繊維フィルターでは繊維にAMPsが埋もれてしまい、計測できませんでした。アルミホイルは多少、残渣が残りますが、AMPsの同定は十分に可能でした。ステンレスプレートでは捕集材残渣がなく、最適であることが分かりました。

富士山頂では雲が頻繁に発生するので、雲を除去するためにPM2.5サイクロン分級装置(柴田科学)を用いてエアロゾルを採取しました。フィルターにはテフロンフィルターを用いました。

前処理法の検討

海洋MPs前処理法の一般的な考え方を図1に示します。海洋では微生物が多数存在しており、プラスチック表面には微生物がコロニーを形成しており、**プラスチック生命圏(plastisphere)**と呼ばれています¹⁰。このためMPs表面の有機薄膜を除去する必要があり、過酸化水素などで処理をしてから重液を用いて密度差により、軽いMPsと重い鉱物粒子などを分離法してMPsのみを回収します。

雨水やエアロゾル水抽出液のろ過に用いるフィルター、有機物分解法と分解時間、密度分離法について検討を行い、AMPsを分析するための最適条件を決定しました。詳細は発表時に示します。

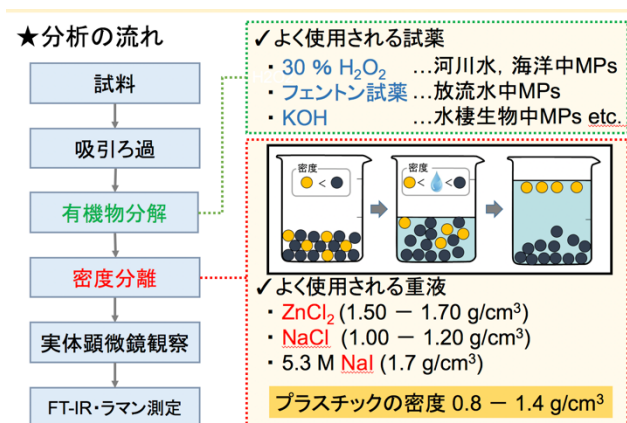


Fig. 1 Analytical protocol of MPs in the environment

顕微FT-IR/顕微ラマン分光法によるAMPs同定法の検討

一般に、MPsの同定に用いられる分析装置が、顕微FT-IRと顕微ラマン分光法です。顕微FT-IRはパーキンエルマ

ージャパン、顕微ラマン分光法は堀場製作所の協力を得てAMPsの同定方法を確立しました。これまで報告例がなかった数μmのAMPs同定が可能となりました。

3. 結果と考察

2019年の7月、8月に富士山頂で夜間(自由対流圏)にPM2.5の観測を行いました。図2には7月26日から8月6日まで採取したPM2.5で検出されたAMPsを示します。富士山周辺では7月26日から27日に台風6号の影響を受けましたが、サンプラー内に雨の侵入はありませんでした。計測途中ですが、1mm x 1mmの領域を顕微ラマン分光法で計測したところ(全面積の0.5%), 10個のAMPsが検出されました。ただし、⑨のテフロンは捕集フィルター残渣なので除外すると、実粒径で1.4 - 12 μmのマイクロカプセルや生分解性プラスチックなど多様なAMPsが9個見つかりました。繊維状はなく、ビーズ状と破片状が同程度でした。個数濃度を概算すると、都市大気の新宿と変わりませんでした。

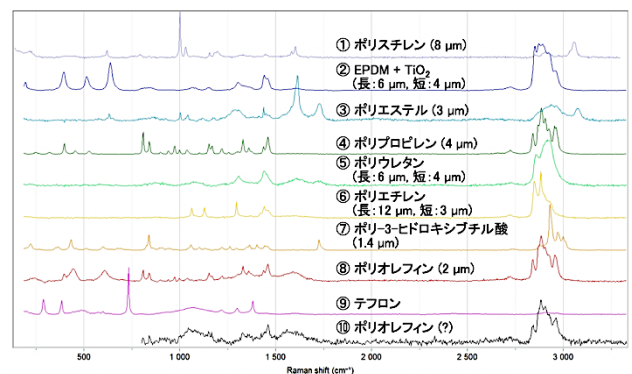


Fig. 2 Airborne microplastics detected in PM2.5 collected at night on July 26 – August 6, 2019 at the summit of Mt. Fuji

5. おわりに

予備観測ですが、自由対流圏大気から初めてAMPsが見つかりましたので、大気を通じたMPsの地球規模汚染が起きている可能性をしています。さらなる研究が必要です。

参考文献

1. Zalasiewicz, et al. (2016) *Anthropocene*, 13, 4–17.
2. Cox et al. (2019) *Environ. Sci. Technol.*, 53, 7068–7074.
3. Dris et al. (2016) *Marine Polluti. Bull.*, 104, 290–293.
4. Dris et al. (2017) *Environ. Polluti.*, 221, 453–458.
5. Cai et al. (2017) *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24, 24928–24935.
6. Abbasi et al. (2019) *Environ. Polluti.*, 244, 153–164.
7. Liu et al. (2019a) *Sci. Total. Environ.*, 675, 462–471.
8. Liu et al. (2019b) *Environ. International*, 132, 105127.
9. Allen et al. (2019) *Nature Geoscience*
<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>;
10. Zettler et al. (2013) *Environ. Sci. Technol.* 47, 7137–7146.