

# 富士山頂で空飛ぶマイクロプラスチックをつかまえる

大河内博<sup>1</sup>, 吉田昇永<sup>1</sup>, 谷悠人<sup>1</sup>, 速水洋<sup>1</sup>, 新居田恭弘<sup>2</sup>, 勝見尚也<sup>3</sup>, 皆巳幸也<sup>3</sup>, 竹内政樹<sup>4</sup>, 加藤俊吾<sup>5</sup>, 和田龍一<sup>6</sup>, 三浦和彦<sup>7</sup>, 藤井佑介<sup>8</sup>, 竹中規訓<sup>8</sup>, 反町篤行<sup>9</sup>, 梶野瑞王<sup>10</sup>, 足立光司<sup>10</sup>, 石原康宏<sup>11</sup>, 岩本洋子<sup>11</sup>

1.早稲田大学, 2.パーキンエルマー・ジャパン, 3.石川県立大学, 4.徳島大学, 5. 東京都立大学, 6.帝京科学大学, 7. 富士山環境研究センター, 8.大阪府立大学, 9. 福島県立医科大学, 10.気象研究所, 11.広島大学

## 1. 地球表面を巡るマイクロプラスチック.

年間 480 万トンから 1280 万トンのプラスチックゴミが、陸から河川を通じて海洋に流れ込んでいます(2010年推計). プラスチックゴミは輸送過程や海洋で破砕されて微細化します. 直径 5 mm 以下のプラスチック小片はマイクロプラスチック(microplastics: MPs)と呼ばれています. マイクロカプセルやマイクロビーズのように、最初から 5 mm 以下の MPs もあります(一次 MPs). 破砕されて 5 mm 以下となったものは二次 MPs と呼んでいます. 漁網などの大きなプラスチックゴミは海洋生物に巻きつき, MPs は魚や海鳥が誤食することにより命を奪っています. 海洋生態系の破壊が懸念されています.

これまでプラスチックごみの終着点は海洋と考えられてきましたが, MPs が海洋から大気へ放出され, 陸域へ年間 14 万トン輸送されていることが分かってきました(図 1). すなわち, プラスチックゴミの終着点は海洋ではなく, MPs となって海洋から大気を通じて地球表面を循環しています. 陸域から大気を通じて海洋にも輸送されていることが報告されています.

## 2. 大気中マイクロプラスチックとは?

大気中マイクロプラスチック(Airborne microplastics; AMPs)の存在は, 2016 年に初めて確認されました. フランス・パリで捕集された大気沈着物から繊維状マイクロプラスチックが多数発見され, 中国・広東省で同様の報告がありました. 2019 年にはフランス・ピレネー山脈で都市部と同程度の AMPs が降っていることが報道され, 日本国内でも注目されました. その後, 北極やスイス・アルプスの雪氷から MPs が発見され, 2020 年には米国西部でも AMPs が地上に降っていることが報告され, 「プラスチックの雨が降る」と報道されました.

2016 年から 2021 年までに報告された論文をまとめると, 大気中に浮遊している AMPs 個数濃度は 0.01 (大西洋西部)~5650 (中国・北京) 個/m<sup>3</sup> です. 都市部が高く, 外洋で低い傾向にあります. ただし, 採取法, 前処理法, 分析法が同じではないので単純に比較ができません. 中国では同一手法を用いて観測を行い, 北部 3 都市平均で 358 個/m<sup>3</sup>, 南部 3 都市平均で 230 個/m<sup>3</sup>であることを報告しています.

以上のように, AMPs は都市部, 山間部, 外洋, 北極で確認されていますが, 地上部での観測であり, 自由対流圏と呼ばれる高度 2500 m を越える上空に浮遊している AMPs の存在は確認されていません. そこで, 私達は 2019 年から富士山頂で PM<sub>2.5</sub> を捕集して AMPs の実態解明に取り組んでいます.



図 1 地球表面を巡るマイクロプラスチック

## 3. 大気中マイクロプラスチックは何が問題か?

### 3.1 健康リスク

MPs の体内摂取経路として食物, 飲物, 空気があります. どのくらいの MPs を, どのような経路で摂取しているのか詳細は分かっていませんが, 三つのモデル研究をご紹介します.

一つ目は WWF(世界自然保護基金)による推計です. ヒトは一週間にクレジットカード一枚分(5 g)の MPs を摂取しているそうです. 二つ目は米国における推計です. 食物と空気が同程度であり, 合計で年間 7 万個~12 万個, 水道水から年間 4 千個, ペットボトル水から年間 9 万個の MPs を摂取しているそうです. 三つ目は, 一日あたり子供で 553 個(184 ng), 大人で 884 個(583 ng)と推計しています. 一週間摂取量は大人で 4 mg, 子供で 1.3 mg であり, WWF 推計値の 1/1000 以下です. 年間摂取量は子供で 20 万個, 大人で 32 万個になり, 米国推計値よりも多くなります. WWF では空気吸入を無視していますが, ほかに二つでは空気吸入が最も重要な経路です.

私たちは本当に MPs を空気から吸っているのでしょうか? 答えはイエスです. 実際に呼吸系疾患のある患者の痰から 20~500 μm の MPs が見つかっています. 喫煙者では非喫煙者より多くの MPs が検出されています. この大きさの AMPs は, うがいや鼻洗いで除去できます. 一方, 吸入性粒子と呼ばれる 4 μm (空気動力学径: 単位密度の球の直径に換算した粒径) 以下の粒子では肺まで入り込みます. 実際に呼吸系疾患で亡くなった方の肺胞から MPs が見つかっています. 粒状で 1.60~5.56 μm, 繊維状で 8.12~16.8 μm であり, 粒状が 90% を占めていました. 材質はポリプロピレンとポリエチレンで全体の約 6 割を占めていました. また, 摂取経路は分かっ

ていませんが、妊娠女性の母胎と胎児からもMPsが検出され、ヒト糞便からMPsが見つかっています。体内に取り込まれたMPsが体内のどこに、どのくらい蓄積されるのか、健康にどのような影響を及ぼしているのか分かっていません。

### 3.2 環境リスク

MPsは紫外線による劣化過程でメタンなどの温室効果ガスを放出することが分かっています。メタン放出速度は水中よりも空气中が数十倍も大きいようです。上空ほど紫外線が強いため、自由対流圏のAMPsから温室効果ガスが放出されるかもしれません(図2)。AMPsが太陽光を吸収・散乱して、地球の温暖化や冷却化に関与する可能性も指摘されています。

プラスチックは水をはじきますが、劣化したり、表面に大気汚染物質が付着すると雲を作りやすくなります。大気中にも微生物が浮遊していることは知られていますが、AMPsに微生物が棲みついて表面にバイオフィーム形成すると雲を作りやすくなります。海洋プラスチックゴミ表面には微生物が棲みついて“プラスチック生命圏”という独自の生態系を構築しています。陸域では農地、森林、最終処分場、不法投棄場などでMPsに微生物が棲みつき、風で巻き上げられると、微生物が棲息するAMPsになるかもしれません。AMPsが雲形成に関与してれば、降雨量を変化させ、太陽光の吸収や散乱に影響を及ぼして気候変動に関与します。

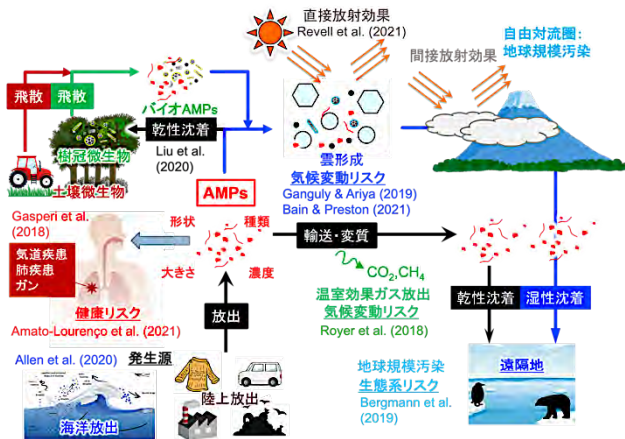


図2 大気中マイクロプラスチックの環境および健康リスク

### 4. 富士山頂で採取したPM<sub>2.5</sub>からAMPsを検出！

図3には、2021年7月20日から22日の夜間(18:00-4:00)に採取したPM<sub>2.5</sub>から検出されたAMPsの一例を示します。綺麗な球状のアクリル樹脂マイクロビーズです。塗料添加剤など幅広く使われていますが、市販品に比べると小さいので環境で削られて小さくなったものと考えられます。

図4には、AMPsの個数濃度と組成を採取期間中の空気由来とともに示しています。太平洋上空の空気が流入した

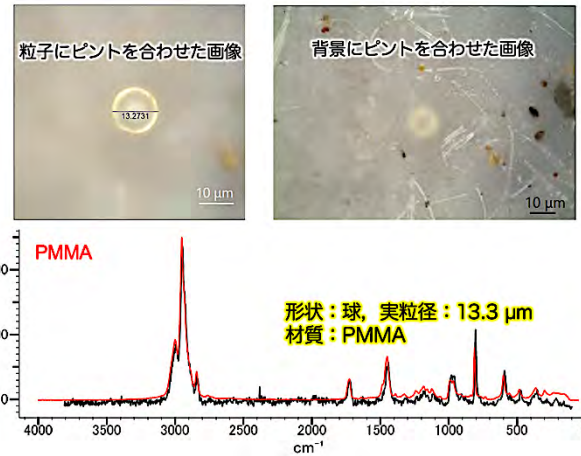


図3 富士山頂で採取したPM<sub>2.5</sub>から検出された球状アクリル樹脂粒子(日本分光社製ラマン分光装置で計測)

2021年7月20日から22日に0.06個/m<sup>3</sup>であり、既往研究の外洋大気と同程度でした。材質はポリプロピレン(PP)とポリエチレンテレフタレート(PET)でした。大陸上空から空気が流入した7月22日から26日夜間にPPが増加し、ポリスチレン(PP)も検出されました。東南アジアの地上空気が流入した7月26日から8月3日、8月3日から10日夜間に濃度がさらに増加し、プラスチックの種類が増え、エチレンプロピレンゴム(EPDM)、アクリロニトリルブタジエンスチレン共重合体(ABS)、ポリカーボネート(PC)、生分解性プラスチック(GP)であるポリビニルアルコール(PVA)も検出されました。本研究により自由対流圏大気中AMPsの一端が明らかになりました。

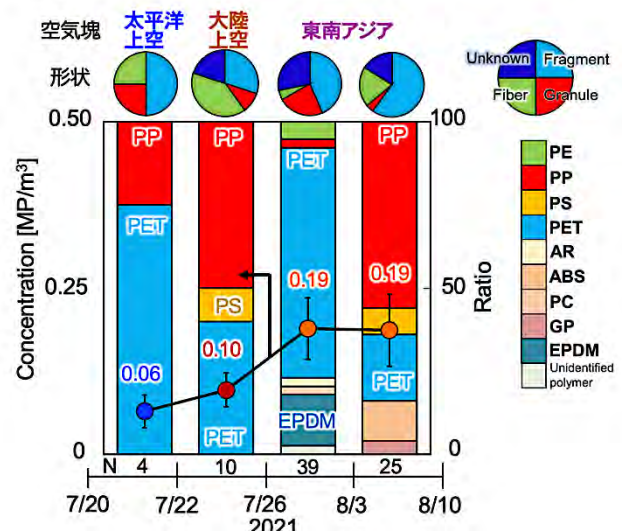


図4 富士山頂におけるPM<sub>2.5</sub>中AMPsの個数濃度と組成

### 5. 謝辞

この研究は、令和3年より環境研究総合推進費「大気中マイクロプラスチックの実態解明と健康影響」(JPMEERF20215003)により行われました。現在、富士山頂を含めて日本全国でAMPsの実態解明を行っています。