



愛研技術通信

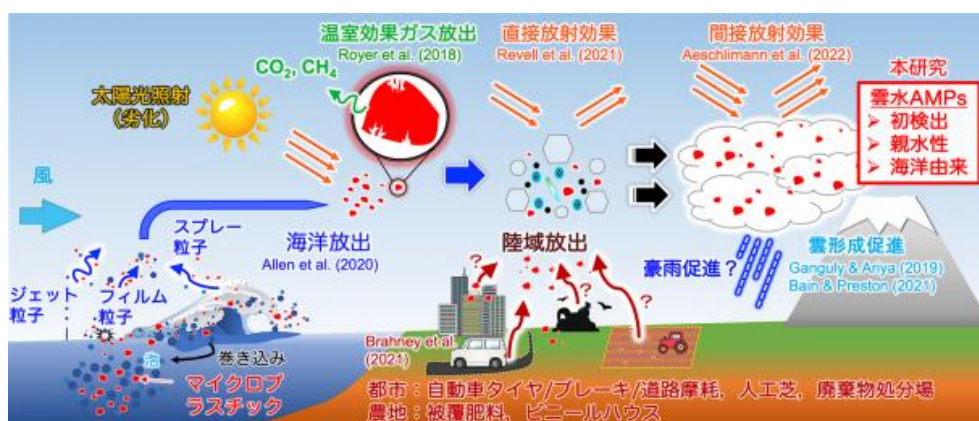
掲 示 板

法令・告示・通知・最新記事・その他

- 雲水の野外觀測で初めてマイクロプラスチックの存在を実証
～ 雲水中のマイクロプラスチックが想定以上に環境および健康リスクを高めていることが明らかに ～

2023年8月23日早稲田大学報道発表資料抜粋

早稲田大学、東洋大学、およびPerkinElmer Japan合同会社をはじめとする研究グループは、雲水中に含まれる大気中マイクロプラスチック存在量と特徴を解明することに初めて成功しました。



【 これまでの研究で分かっていたこと 】

自由対流圏は風速が強いため、主要な大気汚染物質の長距離輸送経路であるといえます。大気中マイクロプラスチック（Airborne MicroPlastics: AMPs）も自由対流圏エアロゾルから検出されて

おり、自由対流圏を通じて極域に輸送されていることが先行のモデル研究によって明らかにされています。極域生態系は脆弱であることから、大気を通じて大量のAMPsが輸送されると、重大な環境破壊が懸念されます。

AMPsは大気中を輸送されるだけでなく、上空では紫外線が強いことから、地上部よりも劣化速度が速く、温室効果ガスであるメタンや二酸化炭素を放出したり、雲凝結核や氷晶核として雲形成を促進する可能性が指摘されています。

これまでの野外観測により、雨水からはAMPsが検出されています。プラスチックは疎水性であるために水をはじきますが、紫外線劣化したり、有機汚染物質や重金属が表面吸着すると親水性になることが指摘されてきました。しかしながら、雲水中にAMPsが含まれていることは野外観測により実証されていませんでした。

【雲凝結核、氷晶核とは】

雲は、小さな水（雲粒）や氷の粒子（氷晶）が集まって形成されています。これらの粒子が太陽光を散乱し、可視化されたものを私たちは雲として認識しています。

雲粒や氷晶が発生するときに大きな役割を果たしているものが、エアロゾルと呼ばれる大気中に存在する微粒子です。発生した粒子が液体の雲の場合、そのエアロゾルは雲凝結核と呼ばれ、氷晶の場合は氷晶核と呼ばれています。代表的な雲凝結核としては水溶性の海塩粒子や硫酸塩粒子、氷晶核としては固体の鉱物粒子や花粉などの生物由来の粒子が知られています。

（気象庁気象研究所ホームページより引用

https://www.mri-jma.go.jp/Dep/typ/araki/cloud_microphysics.html)

【今回の研究で新たに実現しようとしたこと、明らかになったこと】

世界ではじめて雲水の野外観測によりAMPsの存在を明らかにし、その特徴や起源を明らかにすることを目的として、自由対流圏に位置する富士山頂（標高 3,776m）、大気境界層に位置する富士山南東麓（標高1,300m）、丹沢大山山頂（標高1,252m）で2021年から2022年にかけて雲水44試料を採取しました。

この結果、3地点で雲水から合計70個、9種類のAMPsを検出しました。さらに、PM2.5と比較すると雲水ではポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリアミド6（PA）、ポリカーボネート（PC）などカルボニル基を有するポリマーが多く、本来はカルボニル基を有さないポリプロピレン（PP）では紫外線劣化が進行したの多いことを明らかにしました。形状は破片状が多く、平均濃度は3地点で6.7～13.9（個/L）であり、実粒径は7.1～94.6 μ mでした。さらに、後方流跡解析により、自由対流圏の雲水中AMPsの起源として、海洋マイクロプラスチックの飛散および輸送が重要である可能性が示されました。

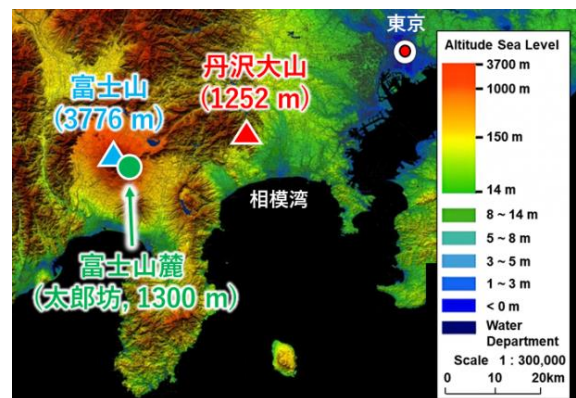


図2:雲水の採取地点

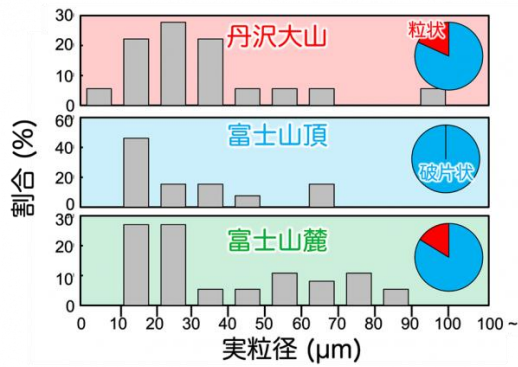


図3: 雲水中AMPsの実粒径分布と形状割合

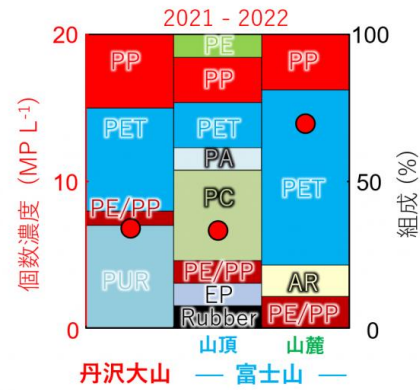


図4: 雲水中AMPsの個数濃度とポリマー組成 (PE: ポリエチレン、PP: ポリプロピレン、PE/PP: エチレンプロピレン共重合体、PUR: ポリウレタン、PA: ポリアミド6、PC: ポリカーボネート、AR: アクリル樹脂、EP: エポキシ樹脂)

【 研究の波及効果や社会的影響 】

本研究により、カルボニル基を有するAMPsが雲水中に濃縮されていることが明らかになったことから、カルボニル基を有する汎用プラスチックのみならず、本来は親水基を有しないポリエチレン、ポリプロピレンも紫外線劣化が進行し、カルボニル基や水酸基などの親水基を有することにより、モデル研究による想定以上に雲凝結核や氷晶核として機能している可能性が高いことが明らかになりました。

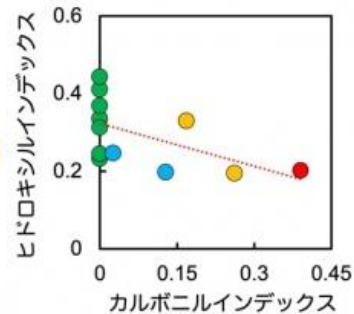


図5: カルボニルインデックスとヒドロキシルインデックスによるポリプロピレン劣化度評価

AMPsの雲形成能が高ければ、太陽光をより散乱して放射収支に影響を及ぼすと同時に、降雨量分布を変化させ、気候変動に関与している可能性があります。また、気候変動のみならず、健康リスクも懸念されます。雨水はすべての陸水の源ですが、雲水にAMPsが含まれていれば「プラスチックの雨」が地上に降り注ぐこととなります。すなわち、AMPsを空気から直接、肺に取り込むだけでなく、雨水として地上に降りそそぐことにより水源を汚染し、陸水を利用する農業や畜産業を通じて体内摂取量を増大させ、健康リスクを高める可能性があります。今後、AMPsの存在量とその環境および健康リスクについての知見をさらに集積することが重要となります。

【 今後の課題 】

本研究では、雲水中AMPsの実態解明を国内山間部3箇所で行いましたが、全容解明にはほど遠い状況です。全世界における高所山岳域、航空機を用いた陸域および海洋の雲水中AMPsの実態解明が必要となります。そのためには、国際ネットワークの構築が喫緊の課題といえます。

一方、AMPsの紫外線劣化に伴うメタンや二酸化炭素放出量の実測およびモデル研究はほとんど行われていません。AMPsが地球温暖化に影響するのか、地球冷却化に影響するのかは未だに未解明であり、地球温暖化の将来予測において不確実性を増大させている可能性があります。

【 マイクロプラスチックの測定方法 】

本研究では、丹沢大山と富士山の山頂ではパッシブ型採取器、富士山南東麓ではアクティブ型採取器が用いられました。

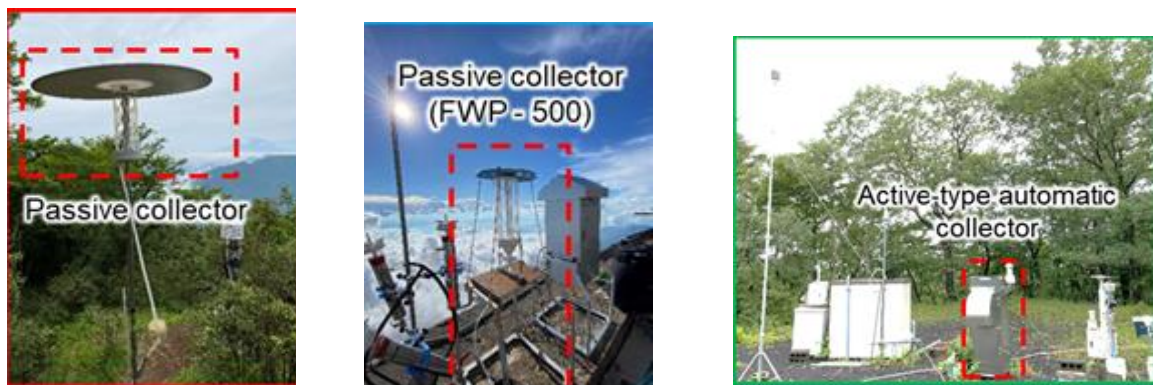


写真. 各地点での採取の様子。

左：丹沢大山、中：富士山の山頂、右：富士山南東麓

(論文原文: Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formationより引用)

採取器内に設置されたネットフィルターに、AMPsを捕集して実験室に持ち帰ります。フィルター付着物を過酸化水素水で処理すると、有機物（微生物、花粉などの有機粒子、AMP表面に吸着した有機物）が分解されAMPと砂などの無機粒子が残ります。これをヨウ化ナトリウム溶液に入れ比重分離します。比重の重い砂などの粒子は底に沈み、軽いAMPsは浮くので、上澄みをろ過してAMPと考えられる粒子を回収します。従来は、回収したAMPと考えられる粒子を、顕微鏡で見ながらピンセットでつまみ出し、識別番号等を付けて、粒子径の計測、形状（破片状、シート状、繊維状等）や色等により分類した後、フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）で、どんな種類のプラスチックかを調べていました。

本研究では、広い面積の膨大なスペクトルを高速、高感度で取得する μ FTIR ATRイメージング法をPerkinElmer Japan合同会社との共同研究により、新しく開発しました。試料にATRクリスタルと呼ばれる高屈折率の光学結晶を接触させた状態でイメージング測定することで、一度に多くの粒子径や赤外吸収スペクトルを得ることが出来ます。

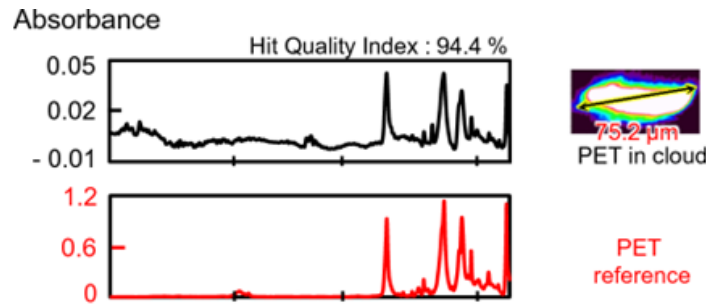


図. 上段雲水中で検出されたAMPs（ポリエチレンテレフタレート）の FTIR スペクトルとその粒子の粒径。下段はポリエチレンテレフタレートの参照スペクトル
(論文原文より引用)

○ 環境DNAによるホッキョクダラ分布域の推定

～ 生態系にやさしい手法で、北極海生態系に対する地球温暖化の影響のモニタリングに貢献 ～

2023年8月31日北海道大学報道発表資料抜粋

北海道大学、国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の研究グループは、ベーリング海から北極海に至る広範囲にわたって、北極海の生態系の鍵種となっているホッキョクダラの分布を調べました。本研究では、生物を直接捕獲せずに分布や生物量を推定することのできる、生態系にやさしい手法である環境DNA解析手法を用いました。

【 背景 】

ホッキョクダラは北極海とその周辺海域に広く分布し、北極海で最も豊富に存在する魚です。またホッキョクダラは、ホッキョクグマやクジラ類、海鳥、肉食性の魚類など、多くの生物の餌となっており、北極海の生態系を支える重要な生物でもあります。しかし北極域では、地球温暖化によるホッキョクダラの生息に適した海域の減少や、それに伴う生物量の減少が危惧されています。北極海生態系に対する地球温暖化のインパクトを評価したり、今後の生態系の変化を予測したりするためには、まず生物の分布や量の現況を理解することが必要です。しかし、これまでに複数の海域にわたる広範囲でホッキョクダラの分布や生物量を調べた研究はありませんでした。それは、北極海は多くの国から遠い上に冬には海氷に覆われるため、広範囲にわたる調査を行うことが困難だったからです。北極海の生態系をより効率的かつ高解像度でモニタリングできる手法の確立が求められています。

【 成果 】

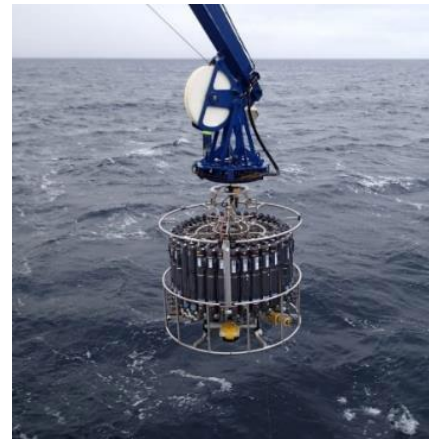
本研究では、環境 DNA 手法を用いて、ベーリング海から北極海南部におけるホッキョクダラの分布及び生息場所と水温などの環境要因との関連を調べました。近年の DNA 分析技術の進歩により、

海水に含まれる微量な DNA を調べることで、調査地点の周辺にどのような生物がどのくらい生息しているのかを推定することができるようになりました。環境 DNA 調査は、現場では海水の採集と濾過のみを行えばよいため、調査に必要な時間と労力を大幅に減らすことができます。また、漁撈設備のない船でも調査を実施することができます。

環境 DNA には様々な生物の DNA が含まれています。その中から研究対象とする生物の情報を得るには、対象生物の DNA だけを検出する必要があります。そこで研究グループはまず、ホッキョクダラの既存の DNA 情報とホッキョクダラに近縁なタラ科魚類の標本から抽出した DNA を利用し、ホッキョクダラの DNA のみを増幅できるプライマーを新たに開発しました。

環境 DNA 分析用のサンプルは、2020 年 9～11 月に実施された JAMSTEC の海洋地球研究船「みらい」の MR20-05C 航海において、ベーリング海から北極海南部にかけての 38 地点で海水を採り（右写真）、船上で濾過をすることで採取しました。同時に、水温、塩分、クロロフィル蛍光値を測定しました。また同時期の海氷の分布をもとに、海氷から観測点までの最短距離を計測しました。

サンプルを研究室に持ち帰った後、開発したプライマーを用いて、定量 PCR 法によりホッキョクダラの環境 DNA 濃度を分析し、ホッキョクダラの分布を推定しました。また、環境 DNA 濃度と環境要因との関連性について解析しました。



写真：ロゼットサンプラーで海水を採集している様子

【 研究成果 】

海洋の表層水に含まれるホッキョクダラの環境DNAは、主に北極海南部の大陸棚と、大陸棚斜面、そして海氷の縁辺域（図1）で多く検出されました（図2）。一方、ベーリング海ではまったくといっていいほど検出されませんでした。このパターンは、環境要因に基づいて分類された水塊の分布とよく対応していました。すなわち、低水温のベーリング海底層からベーリング海峡を通過して北極海に流入した海水に覆われた海域及び海氷の溶けた水の影響が強い海域で、ホッキョクダラの環境DNAが多く検出されました。



図1. 調査対象の北極海の海水縁辺域の様子。

パンケーキアイスと呼ばれる平たい氷が海一面に広がる。このような海域でも採水はできるため、環境DNAにより生息生物を調べることができる。

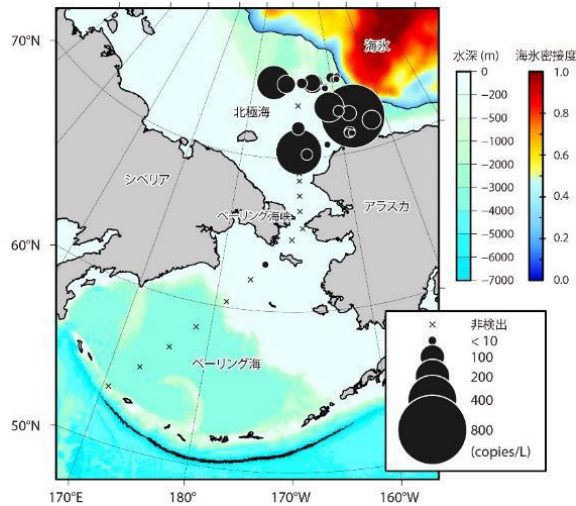


図2. 表層海水から検出されたホッキョクダラ環境DNAの分布。

地図上の黒い円の大きさがホッキョクダラ環境DNAの濃度（1LあたりのDNA断片数）を示す。

また、ホッキョクダラ環境DNAの検出結果と水温や塩分との関係を調べたところ、環境DNAの分布は水温が5°C以下の冷たい海域に限られていました（図3）。一方で、環境DNAは幅広い塩分帯から検出されていました。ホッキョクダラ環境DNAの検出結果と各環境要因との関係をロジスティック回帰により調べたところ、水温が高くなるほど環境DNAが検出される確率が低くなるという関係が認められました。しかし、塩分や海域の生産性の指標であるクロロフィル蛍光値とは、有意な関係性は見られませんでした。生物量が多いほど環境DNAの濃度が高まるという一般的な関係を仮定すると、ホッキョクダラは低水温の環境を生息場所として好んでいると考えられます。これらの結果は、ホッキョクダラの分布と生態に関するこれまでの知見とよく一致しています。

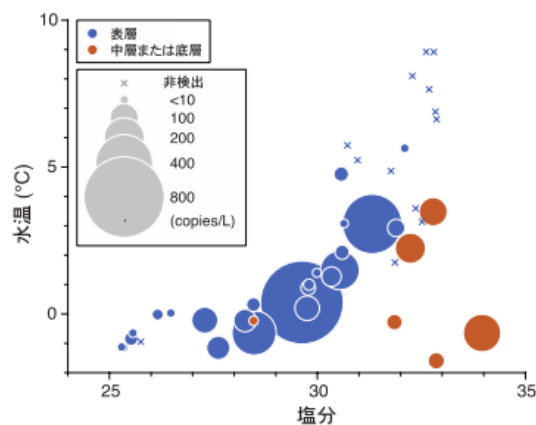


図3. ホッキョクダラ環境DNAの検出量と水温・塩分との関係。

円の大きさがホッキョクダラ環境DNAの濃度を示す。青い円は表層の海水、赤い円は中層または底層の海水からの検出結果を示す。

【 今後の展開 】

本研究により、環境DNAは、北極海の生態系の鍵種であるホッキョクダラの分布を、従来の手法よりも低い労力で、広範囲かつ詳細に調べることができるということが示されました。これは、北極海の生態系変動をモニタリングする上で大変貴重な成果と言えます。本手法を用いれば、ホッキョクダラだけでなく、様々な生物のDNAを解析することができます。タラ類、カレイ類、サケマス類といった水産上重要な種の資源量や来遊時期を調べることで、北極圏の水産資源の保全や管理に関する基礎情報を提供することも可能です。これは、北極域の気候変動が人間社会に及ぼす影響の予測にも繋がります。

2027年には砕氷機能を持った北極研究船の運用が予定されています。砕氷船で北極海中央部の海氷域に分け入り、海氷下の海水をサンプリングし環境DNAを分析することで、これまで報告が皆無であった海氷下の魚類について新しい知見を得ることができると期待されます。

編集後記

関東大震災から100年目の9月1日の「防災の日」に、社内で避難訓練を実施しました。例年行っている訓練は、5月頃に避難経路や避難器具の確認などを行っていましたが、今年は「シェイクアウト訓練」を実施しました。「シェイクアウト訓練」は、合図とともに地震から身の安全を守る行動を約1分間実施するものです。愛知県では2013年からこの訓練を実施し、今年は約120万人が参加を予定しています。Webサイト「あいちシェイクアウト」で訓練用の音源がダウンロードして利用可能です。訓練に参加して、大規模災害への備えについて考える機会になりました。ただ、子供の頃と違い、机の下で1分間じっとしているのは、結構つらかったです。(A.K)

**しせいをひくく、あたまをまもり、じっとする。
あなたの命を守る行動です。**



図. シェイクアウトで提唱している身を守る為の安全行動
(あいちシェイクアウト訓練Webサイト：
<https://aichi0901.pref.aichi.jp/> より引用)



株式会社 愛研

(<https://ai-ken.co.jp>)

本社 〒463-0037 名古屋市守山区天子田 2-710

電話(052)771-2717 FAX(052)771-2641

半田営業所 〒475-0088 半田市花田町 2-65

電話(0569)28-4738 FAX(0569)28-4749



いつも社内報「愛研技術通信」をご愛読いただき、ありがとうございます。

この度の提出をもちまして、紙媒体での提供を終了いたします。環境保護と利便性の観点から、今後はメールでの提供とホームページでの公開に移行いたします。

メールでの提供を希望される方は、お手数ですが当社営業業務部 宛て (aiken-n@ai-ken.co.jp) まで別途ご連絡ください。

新たなステップに向かうこの節目に、皆様のご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。