

# 海洋汚染

## —マイクロプラスチック—

亀田 豊

### 1 はじめに

多くのマスメディアで海洋におけるマイクロプラスチック (MPs) について、水生生物の体内からの検出事例<sup>1)</sup>や、消化管の閉塞事例<sup>2)</sup>といったショッキングな映像がいまだに報じられ、そのおかげか幼稚園児から年配までの多くの市民が MPs という言葉を知る世の中となった。さらに、レジ袋やストローの使用の自粛等の具体的な活動も盛んになった。しかし、これらが海洋中の MPs 量の削減にどれほどの寄与があるのかは不明であり、海洋中 MPs 問題解決にそもそも向かっているのか疑わしく感じる。事実、科学界においても海洋中 MPs の濃度、粒径分布、ポリマー組成および微細化特性は未解明であり、早急な現在の存在実態の把握が必要である。そこで、本稿では現在の汚染実態を把握するため、MPs の分析方法について初級分析関係者向けの基礎的情報を紹介したい。MPs 分析は決して難しいものではないので、これにより、MPs 分析への挑戦のたじろぎが少なくなれば幸いである。

### 2 海洋中 MPs の採取

#### 2-1 「どのくらい海水をろ過すべきだろう？」

まず、見逃しがちな重要な事項として MPs を収集するための試料採取量の決定がある。プラスチック製品は身の回りにあふれているため、試料の採取から保管、前処理、検出の一連の工程中に、周囲の環境からのプラスチックの混入 (コンタミネーション) は避けられない。その結果、過去の研究事例<sup>3)</sup>には、明らかにコンタミネーションの影響で過剰評価しているものが少なくない。そのため、MPs 分析が開始された時期では、中国の研究者のようにクリーンルームで分析を行う極端な事例<sup>4)</sup>もあった。当然、ここまで大がかりなことをするのは非現実的であり、また、最近ではコンタミネーションの大幅削減を可能にする技術の開発により、コンタミネーションの問題は数十  $\mu\text{m}$  レベルの MPs 分析まではおおむね解決したと筆者は考えている。例えば、筆者の

開発した方法<sup>5)</sup>では、通常の実験室における 20  $\mu\text{m}$  ~ 5 mm の MPs 分析工程でのコンタミネーションは 7.6  $\pm$  2.5 個となっている。いずれにしても、まずは、MPs の分析を開始する際は、自らの分析方法のコンタミネーションレベルの確認が必須であり、そのレベルをはるかに超える数の MPs を含む試料量を採取することが重要となる。例えば、遠洋から沿岸域までの 20  $\mu\text{m}$  ~ 5 mm の MPs 濃度は、筆者らの調査結果 (<https://www.casio.kamedalab.com>, 2021 年 10 月現在) では約 60 ~ 1000 個/ $\text{m}^3$  程度である。したがって、分析作業中のコンタミネーションの影響を考慮し、例えば、その 20 倍 (つまり 140 個で全体の 5 % がコンタミによるものとする) を海洋水中の MPs として筆者が分析するには、最低 2  $\text{m}^3$  程度あれば十分という計算になる。海外の学術論文でも、以前ほどコンタミネーションを削減するための分析環境を詳細に書く必要はなくなったが、最低でも測定時の MPs 検出数とコンタミネーションによる MPs 検出数の相対比は必要不可欠となっている。だからといって、ろ過する海水量が多ければよいというわけではない。ろ過水量が多い場合、3 章の前処理工程でプラスチック以外の夾雑物質<sup>きょうざつ</sup>が十分除去できないことが意外と多い。この場合は、悲しいかな、分取作業が必要となり、何のために大量ろ過したのか自戒の念に悩まされることになる。したがって、適切な試料量の設定が MPs 分析成功の初めの第一歩といえる。

#### 2-2 「MPs の測定対象粒径範囲も試料量を決める？」

MPs の定義は現在固まりつつあり、おおよそ 1  $\mu\text{m}$  ~ 5 mm とされつつある<sup>6)</sup>。残念ながら、フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) やラマン分光光度計、顕微ラマン分光光度計では、この粒径範囲の MP 粒子数濃度を一度に測定することは困難なため、対象とする粒径範囲は使用する検出器で決定される。しかし、測定対象粒径範囲に応じてサンプリング試料量も影響を受けるので注意が必要である。図 1 に筆者らが測定した 20  $\mu\text{m}$  ~ 5 mm までの海洋中 MPs の粒径分布を示す。この図から明らかのように、全粒子数の 8 割程度は 100  $\mu\text{m}$  未満である。したがって、100  $\mu\text{m}$  未満の MPs を測定範

Marine Pollution (Microplastics).

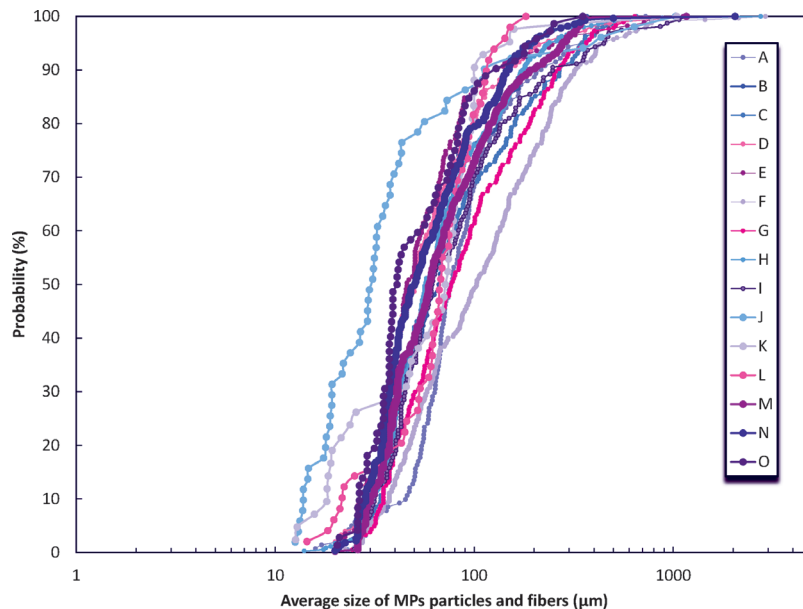


図1 世界の海洋15調査地点の海水中20 μm～5 mmのMPsの粒径分布

困粒径にする場合は2・1で述べたように2 m<sup>3</sup>程度で十分となるが、それよりも大きな粒径、例えば1 mm以上のMPsを高精度で測定する場合には、全粒子数に占める割合が数%程度なので、100倍つまり200 m<sup>3</sup>程度の海水試料のろ過が必要となる。この量のろ過には調査船等の大規模調査が必須となってしまふ。

このように、MPs分析を始める際には、MPsの測定粒径範囲と分析工程におけるコンタミネーションレベル二点を考慮したうえでの海水試料量の決定が重要となる。経験上、この部分を考慮して研究計画を練ると精度の高い良いデータを収集することができている。

### 3 海洋中MPsの前処理及び分析方法

#### 3・1 1 mm以上のMPsの分析方法

プランクトンネットで海水をろ過して得られた、MPsを含む残渣物から、夾雑物質をできるだけ除去する作業を通称「前処理」と呼んでいるが、MPs分析を始める際に始める高いハードルはこの前処理の部分であろう。もちろん、FTIR等の検出機器の購入費用の捻出のほうがかつて最も高いハードルであることは皆さんも切に感じていると思う（私も検出器の入手には組織の理解が得られず、かなりのウルトラC技を使った…）。

2021年10月現在、海洋中MPsの前処理方法は、アメリカ海洋大気庁NOAAや環境省が推奨法としてドラフトを公開しているの<sup>78)</sup>で、これに従って分析すれば300 μm以上のMPs分析は不可能ではない。しかし、実際に推奨法通りに行うとコツが必要であったり、化学分析とは大きく異なる「アバウトな忍耐がいる作業」であることに恐れおののき、コストパフォーマンスの低い研究と判断する方が多い（筆者も同感だった）。以下で、恐れおののく点をここでピックアップしてみたい。



図2 プランクトンネットで捕集された大型の夾雑物質とマイクロプラスチック

具体的な前処理作業は大きく分けて三工程に分類できる。はじめの工程は「大型夾雑物質の手作業による除去」である。数百m<sup>3</sup>の海水をニューストーンネット等でろ過すると、たくさんの大型の海藻、アミ等の動物プランクトン、植物片等が混入する。そのため、5 mmの篩<sup>ふるい</sup>を通して通過したものから、目立つ夾雑物質（図2）を手作業で取り除かなければならない。また、5 mm以上の夾雑物質に微細なMPsが吸着している恐れがあるので、夾雑物質一つ一つを丁寧に洗浄し洗浄水を回収しなければならない。実は、この作業が前処理過程で一番労力を使うともいわれているが、一方でこの部分がMPs分析の成功のカギの一つを担っている。特に、mmレベルのMPsを測定対象にした場合は、この忍耐のいる作業が重要となる。この作業をおろそかにすると、これら大型の夾雑物質が酸化処理過程で微細化し、比重分離でも除去できず、分析失敗となる（試料水が‘エビ汁’や‘海藻汁’と化す）。

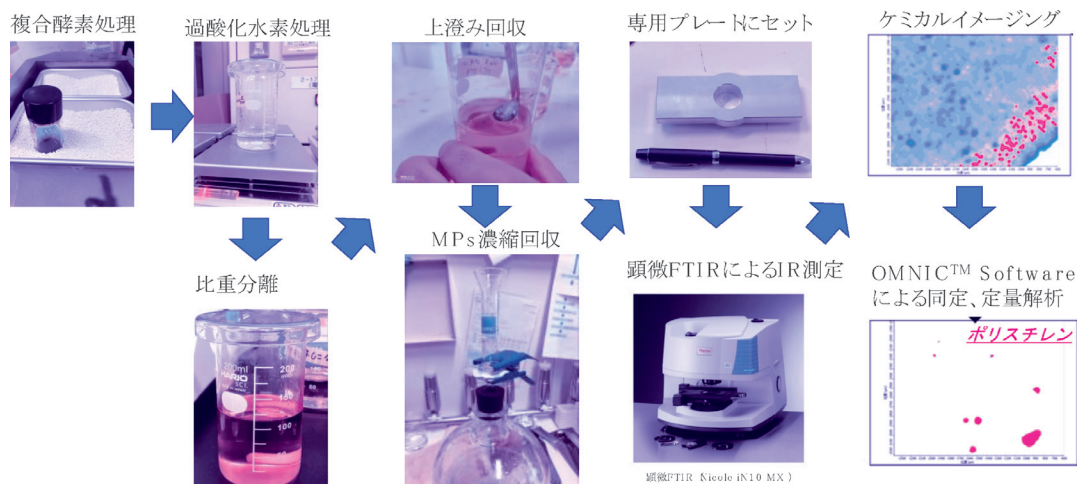


図3 筆者が行っている20 μm～5 mmまでのMPs分析方法の流れの概要図

目立った夾雑物質を取り除いた試料は、ビーカー内で過酸化水素が添加され、55～60℃程度で数日間の酸化処理に移る。場合によってはフェントン反応を利用して酸化処理を促進させることで、プラスチック以外の有機物を分解する。この工程は容易である。酸化反応が終了後、ろ過により懸濁物を回収し、懸濁物を分液漏斗に入れ、ヨウ化ナトリウム水溶液等のプラスチックの比重よりも大きい溶液を加え、振とう、静置、上澄み回収を複数回繰り返す。この過程が比重分離工程となる。この過程はMPsのロスやコンタミに注意すべき第二の重要な過程である。この過程では、振とう、静置、上澄み回収を三回程度繰り返すとMPsの回収率が100%に非常に近づくことが多くの分析者の間で知られている。しかし、その場合は、複雑な形である分液漏斗で振盪、静置を行い、沈降物を回収し、別の分液漏斗に移す作業といった、とても煩雑な作業が必要になるため、MPsがコックの部分に詰まってロスするほか、コンタミネーションが生じやすくなる。したがって、熟練の経験がものをいう作業となり、恐れ多き部分の二つ目に該当する。

比重分離工程で回収された上澄み液にはプラスチックや一部の夾雑物質が含まれる。そこで、ろ過でろ紙上に懸濁物を回収後、自らの目と手でプラスチックと思しきものをピンセットでつまむ作業に入る。この作業も実に忍耐のいる作業で老体には耐えがたき作業となる。また、作業者の判断でプラスチックを選別するため、小さいMPsの見落としや摘まめないジレンマも生じる。このこともあり、この方法では1 mm以上のMPs分析であれば、分析者や研究機関間で精度の誤差が生じないことが報告されている<sup>9)</sup>ため、それ未満の微細なMPsの分析には適用不可能となっている。抽出されたプラスチック候補は、FTIRでひとかけらごとに材質同定とサイズ測定が行われ、海水中のMPs濃度がついに算出される。ちなみに、ベテランの分析者でも候補物中のプラ

スチック的中率は3割でエクセレントレベルなので、かなり無駄な作業が多いことを覚悟する必要がある。このつまむ作業と同定作業こそ、三つ目の恐れ多き部分といわれる。以上、この推奨分析方法を整理したのが、図3となる。この推奨方法は非常に労力がかかるものの、1 mm以上の大きなMPsに限って分析する場合には、高額な機器はFTIRのみあればよいので、臆せずにチャレンジしてもよいと思う。

### 3・2 1 mm未満のMPsの前処理方法

3・1の前処理方法は1 mm以上のMPsに対し有効な方法であるものの、それよりも小さい、例えば筆者が測定している20 μm～1 mm未満のMPsについては適用が難しい。さらに、1～20 μmのMPsに対しては残念ながら適用できない。これらの原因は、コンタミネーションの物理化学的特性（例えば塩の析出や周囲のMPs濃度がさらに著しく高いこと）やMPs粒子の微小化による物理特性の相違（重力による比重分離の困難さ等）が原因である。したがって、現在の状況では微細なMPs測定の前処理は独自法を開発する必要がある。そこで、多くの科学者が微小MPsの分析方法の開発を試みている。ここでは、筆者らが行っている20 μm～5 mmまでのMPsの前処理分析手法を紹介する。図3にその概要を示す。

まず、最も注意しなければならないのは、図1に示したように水中のMPsは粒径によってその濃度が著しく異なる。したがって、20 μm～1 mm未満のMPsを分析する場合は1 m<sup>3</sup>海水をろ過すればよく、1 mm以上のMPsと同等の数百 m<sup>3</sup>の海水のろ過は分析上、夾雑物質が増えるだけにすぎない。その結果、プランクトンネットで捕集した懸濁物質には植物の葉や枝などの大型夾雑物質はほとんど含まれないため、懸濁物質を親水性PTFEメンブレンでろ過回収し、メンブレンごと200 mLのトールビーカーに入れる。その後、30%過



酸化水素水を 50 mL 程度添加し、100 rpm 以下でゆっくり攪拌しながら 55 °C で数日間酸化処理を行う。この処理により藻類も分解され、透明な試料水となる。珪藻等のプランクトン量の多い試料では、過酸化水素処理では分解が困難なため、事前に酵素処理を行うと効果的である。既往の論文<sup>10)</sup>では、セルロース、キチン質、タンパク質等過酸化水素では分解が困難な物質それぞれに対応した酵素をそれぞれの酵素に対し、厳密に pH 及び温度を管理して行っており、とても煩雑な作業になっている。しかし、本研究室では市販の酵素混合液を懸濁物質に添加し、一週間程度 40 °C で保温することで海中のタンパク質等の夾雑物質は分析に支障のないレベルまで可溶化できる。酵素処理及び過酸化水素で分解後、200 mL ビーカーに超純水で 100 mL に定溶し、さらに 100g のヨウ化ナトリウムを加える。これにより、比重約 1.7 のヨウ化ナトリウム水溶液による比重分離工程の準備が終了する。ヨウ化ナトリウムを完全に溶解後、約半日静置し、上澄み 20 mL を 100 円ショップで購入した計量スプーンですくうことで、表面に存在する MPs を回収する。回収後、さらに 1 分程度強めに攪拌後、半日静置し、上澄みを回収する。この作業を合計 3 回繰り返す。合計 60 mL 程度の上澄み液を別のビーカーに回収する。最後に、回収した上澄み液を 5 μm 孔径の親水性 PTFE メンブレン上に 5,9,18 mm φ いずれかの面積にろ過・集積し、乾く前にメンブレンを専用のプレートに貼り、50 °C でプレートごと乾燥させて、前処理が終了する。

この方法の特筆すべき点は、必要最低限のヨウ化ナトリウム水溶液を使用して、過酸化水素処理から比重分離までを一つのビーカーで容易な作業で済ませている点である。この方法により空気中の MPs のコンタミネー

ションや試料の移し替えに伴う MPs のロスを大幅に低減することができている。本研究室では前もって市販の 20 μm の MPs を 200 mL ビーカーから掬う練習をし、90 % 以上の回収率で MPs を回収している。学生によれば、ビーカーの下側からスマホの LED 光を照射すれば、このサイズの粒子も目視したうえで回収できるらしい（筆者は目に何らかのダメージがありそうなので推奨していない）。3・1 で紹介した推奨法とはかなり異なる前処理方法だが、重要なのは精度管理であり、精度管理した方法であれば独自の方法でも問題はない。この考え方は、筆者が所属する環境毒性学会（Society of Environmental Toxicology and Chemistry）の MPs 委員会でも同じ考え方であり、分析方法の統一よりも独自の方法の開発とそれらの調和化（Harmonization）が重要になると考える。

### 3・3 1 mm 未満の MPs の検出方法

3・2 の前処理サンプルは「専用」のプレートにメンブレンを張った形で前処理終了する。この「専用」という意味は筆者が使用している顕微 FTIR に合わせた形の「専用」という意味である。3・1 でも記述した通り、1 mm 未満の MPs はピンセットでもれなく摘み上げることが困難である。そこで、20 μm ~ 1 mm の MPs の検出には顕微 FTIR に備わっているケミカルイメージングが必要となる。ケミカルイメージングする際、MPs が集積しているメンブレンはたわみのないような状態であればならなく、一方で水分を含んだメンブレンは乾燥とともに丸まってしまうため、乾燥台の役割も持つこの専用プレートが重要となる。

顕微 FTIR によるケミカルイメージングの概要を図 4 に示す。なお、この概要は筆者が使用しているサーモサ

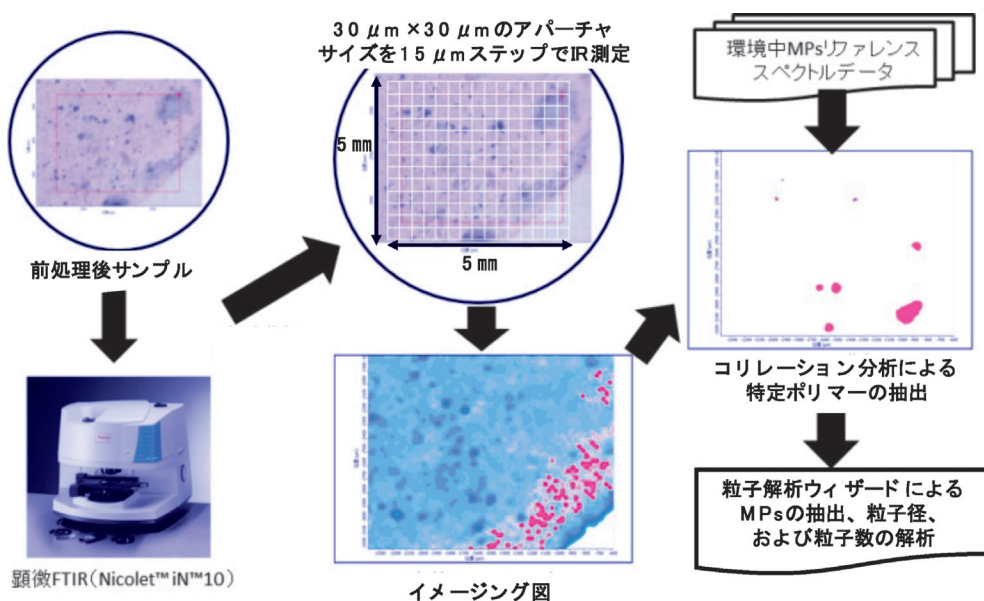


図 4 筆者が使用している顕微 FTIR を事例とした MPs のイメージング分析

イエンティフィック社の機器概要であり、メーカーによって解析方法が若干異なるので注意されたい。一般的に FTIR は、分析者が特定の粒子に着目し、赤外分光スペクトル (IR スペクトル) の吸収特性を測定し、そのスペクトルから材質を同定する。一方、ケミカルイメージングでは測定対象エリア、つまり筆者の場合はメンブレン上の 5 mm 四方を設定したのち、個々に測定する IR スペクトルエリア (ここではアパーチャサイズを指す。筆者の場合 30  $\mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ ) とそれを移動させる間隔 (ここではステップサイズを指す。筆者の場合 15  $\mu\text{m}$ ) を設定することで、5 mm 四方のエリアを 30  $\mu\text{m}$  四方の平均 IR スペクトルを 15  $\mu\text{m}$  ずつずらして全面を一気に自動で測定する方法である。その結果、約 600~4000  $\text{cm}^{-1}$  の波長域の IR スペクトルを約 111000 セット測定して、コンター図として整理できる。測定時間は約 200 分で測定可能である。したがって、筆者は 9 mm  $\phi$  のエリアに MPs 試料を集積後、5 mm 四方を二か所測定することで全体の約 71.6 % を 400 分で測定している計算になる。一般的な FTIR ユーザーや FTIR メーカーに言わせると、「器機をいじめている信じられない使い方」だそうだが、従来定量性の低い分析方法しかなかった 20  $\mu\text{m}$  以上の MPs を高精度で自動同定分析できる利点は計り知れず、微細 MPs を粒子数として測定する方法として、このケミカルイメージング技術は必要不可欠となりつつある。メンブレン上の MPs の同定は、ポリエチレンやポリスチレン等、自分の選択した特定のプラスチックの IR スペクトルと約 111000 個の IR スペクトルの中で、類似性の高いエリアをコンター図中にハイライトし、MPs 粒子や繊維の形として判別することで、その粒子数や粒径データを得ることができる。

この方法により大幅な作業量の低減が可能となるとともに、メンブレン上の MPs を非破壊で IR スペクトルデータを測定し、電子データとして保存できる。操作も想像以上に簡便なため、初心者であってもすぐに使いこなすことができ、MPs の新たな有効な分析手法の一つであろう。

#### 4 海洋中 MPs の同定方法と問題点

MPs のポリマー同定は、試料の IR スペクトルとバージンのプラスチックの IR スペクトルとの間の HQI (Hit-Quality Index) を用いることが多い。その判断基準は論文雑誌や分析者によってさまざまだが、あくまでスペクトルデータが ATR 法で測定されたような、夾雑物の少ないスペクトルで成り立つ議論であることに注意しなければならない。特に、環境中で検出される MPs は紫外線や加水分解による劣化が生じているため、バージンのプラスチックのスペクトルとは一致しないことが多く、HQI の値は低い。さらに、微細な MPs では粒子が小さいことによるピークの低下に加え、夾雑物質の影響が相対的に大きくなることで、さらに HQI は低くなりやすい。また、イメージング分析では透過法を用いることで多く、この場合はプラスチック以外の夾雑物質のスペクトルが MPs のスペクトルに重なることが多い。このように、環境中 MPs の同定は、HQI だけで決定することは特に注意が必要である。また、FTIR メーカーの解析ソフトでは、HQI の計算式を公表していないことも多く、使用する分析機器と解析ソフトによって HQI が大きく異なることもある。具体的に、図 5 にその事例を示す。透過法によりイメージング分析した環境中のポリエチレン (PE) 粒子のスペクトルには、劣化や夾雑物質の影響で PE のキーバンド以外にも様々なバンドやベースラインの上昇が観察できる。したがって、環境中の MPs 分析の論文、特に微細な MPs に関する論文では、HQI でまず MPs 候補物質を抽出し、さらに、候補物質のスペクトルを一つずつ、分析者がキーバンドの有無やスペクトル全体の形状でプラスチックか判断する方法が採用されることがある。この方法では、同定するポリマー数が多い場合や候補となる MPs 数が数百もある場合は大変な作業となり、実際にそうなることが多々ある。

このように、現在の MPs 研究は MPs の同定部分にも大きな問題があり、それを解決せずに実施されているのが現状である。今後は分析方法のみならずこの同定作業

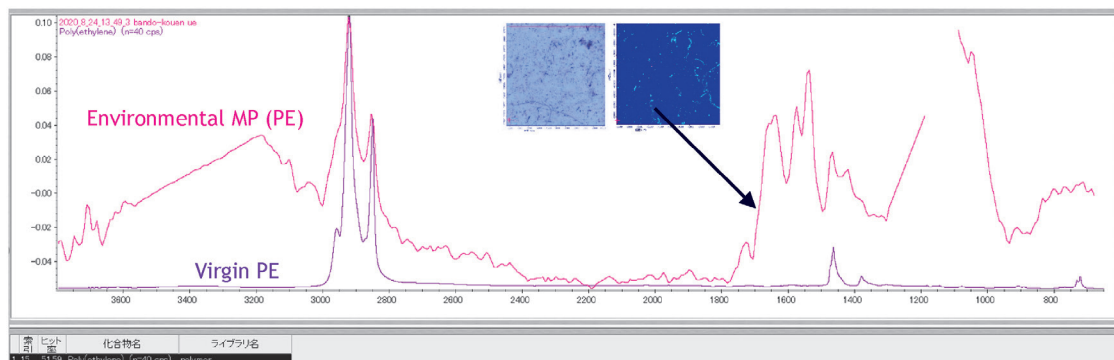


図 5 環境中のマイクロプラスチックの IR スペクトルとリファレンススペクトルの比較

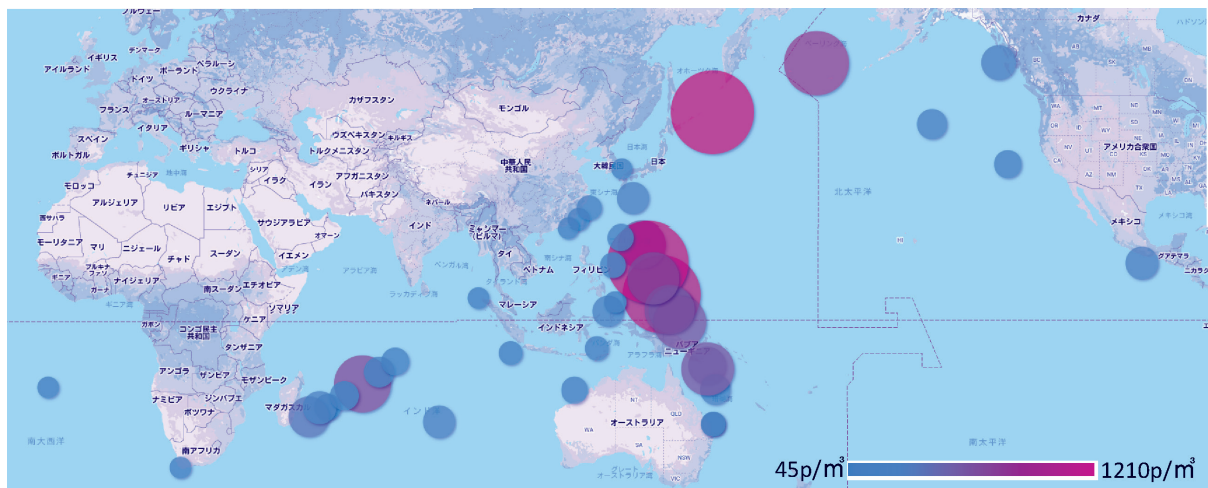


図6 外航船航路を利用した海洋表層水中の20 $\mu\text{m}$ 以上のマイクロプラスチック調査結果(2021年10月現在)

についても基準化が重要になると考えられる。例えば、筆者は前述の分析者による確認作業をプログラムした自動同定ソフトを開発した。このソフトでは、各波長のスペクトル強度の内積計算で算出されるHQIとは異なり、ピークの形状や位置を分析者の設定したパラメータにしたがってプログラムが判断するため、複数のポリマーに対して候補物質が何百あっても、ボタン一つですべての設定ポリマーについて同定作業が終了し、粒子数や粒子サイズが解析できる。今まで我々分析機器ユーザーは解析ソフトや分析方法の開発をメーカーに依存してきた。メーカー側も自社の機器のできる範囲内でそれに対応してきた。しかし、今回のイメージングや開発ソフトを利用するMPs検出解析方法については、本研究室がメーカー側に途方もないアイデアを提案し、強引といえるほどのユーザー側目線の方法で具現化した一例だったと感慨深い。近い将来、数 $\mu\text{m}$ のMPsやナノプラスチックの検出解析技術が本格的に始まるであろうが、この時はぜひ、分析メーカーと我々研究者ががっちりスクラムを組んで破天荒なブレイクスルー技術を開発しやすい状況になってほしいと切に願う。

### 5 データ事例とその解釈

筆者の研究室では、3・2で紹介したトールピーカーによる前処理方法、3・3で紹介した顕微FTIR検出方法および4で紹介した同定プログラムを用いることで、水道水、下水、河川水及び海洋水中等のMPsサンプルを数人で年間200サンプル程度を測定し、測定回数では400回以上実施できており、環境中における未知のMPs存在特性が明らかになっている。その事例として図6に、日本郵船株式会社と協力している世界の海洋における20 $\mu\text{m}$ 以上のMPs濃度分布の途中結果を示す。なお、このデータの一部は筆者研究室ウェブページ(<https://www.casio.kamedalab.com>, 2021年10月現在)で随時公開しているので参考にさせていただきたい。この

調査は日本郵船株式会社の輸出入用のタンカーの航路に沿って、海中のMPsを採取し、上述の方法で調査しているものである。このことにより、大量のデータを一研究室で調査でき、世界でも貴重な同一分析手法による全球レベル海洋MPs汚染マップを作製できる。実際に興味深い結果が得られている。海洋ごみが高濃度に集積している地点と微細なMPsが集積している点は決して一致していないことや、アジア地域、北大西洋地域、黒潮海域等、還流別にポリマー組成が大きく異なり、粒径分布も明らかになりつつある。今後、スペクトルからのMPsの劣化度評価と劣化に関するマップを作成することも、微細化の現状を把握には有効であろう。また、これらのデータを活用しながら、MPsの海洋中環境挙動を加味したシミュレーションモデルの作成ができれば、微細なMPsを含む海洋中MPsの将来濃度予測モデルの構築も可能であろう。

### 6. まとめ

本稿は20 $\mu\text{m}$ 以上のMPsの分析方法について、筆者の方法や経験を踏まえて説明したが、そのほかにも様々な方法が提案されているので参考にさせていただきたい<sup>11)</sup>。また、すでに筆者は顕微ラマン分光装置を利用した0.5~20 $\mu\text{m}$ のMPs分析方法も確立しており、今後世界的にもこのレベルのMPs分析も一般的な方法として普及すると思われる。これらの効率的な高精度MPs分析技術は、分析化学のみならず様々な関連研究分野の発展を促すことが期待できる。本稿を読んでいた方の一部でも、MPs分析にチャレンジしていただければ幸いです。

### 文 献

- 1) J. Carlin, C. Craig, S Little, M. Donnelly, D. Fox, L. Zhai, L. Walters : *Environ. Pollut.*, **264**, 114633 (2020).
- 2) 牛島大志, 田中周平, 鈴木裕誠, 雪岡 聖, 王 夢澤,



- 鍋谷佳希, 藤井滋穂, 高田秀重: 日本水環境学会誌, **41**, 4 (2018).
- 3) J. Wagner, Z.M. Wang, S. Ghosal, C. Rochman, M. Gassel, S. Wall: *Analy. Methods*, **9**, 1479 (2017).
- 4) E. Hermesen, S.M. Mintenig, E. Besseling, A.A. Koelmans: *Environ. Sci. Technol.*, **52**, 10230 (2018).
- 5) Y. Kameda, N. Yamada, E. Fujita: *Environ. Pollut.*, **284**, 117516 (2021).
- 6) European Chemical Agency, Registry of restriction intentions until outcome, <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73> (2021年12月時点).
- 7) National Oceanic and Atmospheric Administration, Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment (2015), URL: [https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa\\_microplastics\\_methods\\_manual.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf). (2021年10月時点).
- 8) 環境省, Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods. Version 1.1. (2021). URL: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/114043.pdf> (2021年10月時点).
- 9) A. Isobe, N. Buenaventura, S. Chastain, S. Chavanich, A. Cózar, M. DeLorenzo, P. Hagmann, H. Hinata, N. Kozlovskii, A. Lusher, E. Martí, Y. Michida, J. Mu, M. Ohno, G. Potter, P. Ross, N. Sagawa, W. Shim, Y. Song, H. Takada, T. Tokai, T. Torii, K. Uchida, K. Vassilenko, V. Viyakarn, W. Zhang: *Mar Pollut Bull.*, **146**, 831 (2019).
- 10) M.G.J., Löder, H.K. Imhof, M. Ladehoff, L.A. Löschel, C. Lorenz, S. Mintenig, S., Piehl, S., Primpke, I., Schrank, C., Laforsch, G. Gerdt: *Environ. Sci. Technol.*, **51**, 14283 (2017).
- 11) 中嶋亮太, 山下 麗: 海の研究, **29**, 5 (2020).



亀田 豊 (Yutaka KAMEDA)

千葉工業大学創造工学部都市環境工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1). 北海道大学大学院環境資源工学専攻博士後期課程修了. 工学博士. 《現在の研究テーマ》マイクロプラスチック海洋中挙動解明と海洋シミュレーション構築. 《主な著書》“水環境の事典”, 日本水環境学会, (朝倉書店). 《趣味》ボディビルディング  
E-mail: yutaka.kameda@it-chiba.ac.jp

## 原 稿 募 集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象: 以下のような分析機器, 分析手法に関する紹介・解説記事

- 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術, 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術, 3) 分析機器および分析手法の応用例, 4) 分析に必要な試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説, 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項, 6) その他, 分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

報など

新規性: 本記事の内容に関しては, 新規性は一切問いません. 新規の装置や技術である必要はなく, 既存の装置や技術に関わるもので構いません. また, 社会的要求が高いテーマや関連技術については, データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません.

お問い合わせ先:

日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会

[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]