

海洋問題となるマイクロプラスチックの調査の現状と今後の課題

公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所 研究員 朱夢瑤

1. はじめに

海洋プラスチック問題は、海洋環境への影響をはじめ船舶航行への障害、沿岸域居住環境への影響、観光や漁業へのダメージなど多岐にわたる。また、マイクロプラスチック¹は海洋中のポリ塩化ビフェニル（PCB）等の有害化学物質を吸着する性質があり、食物連鎖を通じて、海洋生物や海洋生態系、さらに人の健康にも重大な影響を及ぼすことが懸念されている^{2,3}。

2016年の世界経済フォーラムの報告によれば、2050年までに、海洋プラスチックの総重量は魚の総重量を超えると思われる⁴。また、2018年に欧州消化器病学会は人体にマイクロプラスチックが取り込まれていることを発表した⁵。韓国の研究者グループと環境保護団体「グリーンピース東アジア」の合同チームが行った調査では、世界中の食塩の9割にマイクロプラスチックが含まれることが判明した⁶。プラスチックによる海洋汚染は、南極や北極、深海底に至るまで観測され、深刻な世界的問題となっている^{7,8,9}。

海洋におけるプラスチックの実態を把握することは、この問題を解決するキーポイントと考えられる。本論考では、日本におけるマイクロプラスチックの調査手法と観測プラットフォームの概要についてレビューし、併せて今後のマイクロプラスチックに関する課題と解決方向を検討する。

2. 海洋マイクロプラスチック調査手法の現状

マイクロプラスチックの実態を調査する手法として、サンプルの収集と実験室での定量化分析という二つの段階が挙げられる（図1）。



図1 海洋マイクロプラスチック調査手法の手順

¹ 1 辺が 5 mm以下の微小なプラスチック片。

2.1 マイクロプラスチックの収集

海洋マイクロプラスチックを採取する主な対象としては海水、海底、海岸そして海洋生物であり、対象ごとに用いるセンサー（手法）が異なっている。

海水から採取されるサンプルの分析によって海表面または目的の水深におけるマイクロプラスチックの現状を知ることができる。現在の調査対象は水深0-0.5mの海表面に浮遊するマイクロプラスチックであることが多い。海表面の採取では、プランクトンネットの一種であるニューストーンネットとマンタネットがよく使用されている^{10,11,12}。どちらもネットのメッシュサイズは100-500 μ mである。より細かいメッシュサイズであれば小さなマイクロプラスチックまで回収できるが、水中で目詰まりしやすくなるため通常330 μ m程度の網がよく使われている^{11,12}。このため、330 μ mより小さなマイクロプラスチックは採取できず、海表面のマイクロプラスチック量を過小評価する問題がある。

目的の水深におけるマイクロプラスチックを調査対象とする際には、ニスキンボトルなどの採水器を用いる。マイクロプラスチックの鉛直分布を調べる際には多層式開閉プランクトンネットを用いたりする^{11,12}。海面表層（およそ10mまで）のマイクロプラスチックを採取するには、ポンプや連続プランクトン採集器を利用することが多い。ポンプ採水によって得られる海水サンプルでは、目合の異なる複数のフィルターを通過させることでサイズ別のマイクロプラスチックを同時に得られるメリットがあるが、ネット採取と比較すると時間あたりにろ過できる水量が少ない¹¹。

有人潜水艇（HOV: Human Occupied Vehicle）や遠隔操縦ロボット（ROV: Remotely Operated Vehicle）によって操作されるコアラーと呼ばれる採取装置（box corerやpush corer、またはmultiple corer）を用い、堆積物を採取することで海底に沈んだマイクロプラスチックの実態を分析できる^{11,13,14}。しかし、研究ごとに堆積物におけるマイクロプラスチック密度の計算方法やサンプリングの採取深度が異なるため、各研究結果の比較が困難だと考えられる。

海岸におけるマイクロプラスチックの漂着量を調べることは、海や湾内のマイクロプラスチックの分布状況を把握する有効な方法と考えられる。一般的には、調査する海浜で四角形の採取区画を設定し、表面の砂をすくい取り、ふるいをかけて砂試料を採取し、含まれるマイクロプラスチックを調べる^{11,15}。

海洋生物を採取対象として、生物に誤食されたマイクロプラスチックの量を調べることもできる。採取された生物を解剖し、消化管におけるマイクロプラスチックの数や重量を計り、海洋マイクロプラスチックの実態を把握する^{11,14,16}。

2.2 マイクロプラスチックの定量化分析

採取されたマイクロプラスチックを定量化（サイズや形の識別、材質判別など）するための前処理、すなわちプラスチックと非プラスチックの分離が必要となる。一番シンプルな分離方法は、サンプルをふるいでろ過し、目視選別によりマイクロプラスチックを拾い出すことである^{11,12}。この方法では、大きな生物や海藻などを効率よく取り除くことができるが、目視での識別に膨大な時間がかかるという欠点もある。そのため、密度分離や化学処理などの方法も広く応用されている。密度分離はプラスチックと非プラスチック（例えば、堆積物や砂など）との密度差を利用し、塩化ナトリウム（NaCl）などの塩類溶液でマイクロプラスチックを分離させる手法である^{11,12,17}。多くの無機物は密度分離で取り除けるが、有機物（例えば、プランクトンやデトリタスなど）は化学処理でより効果的に取り除くことができる。特に、酸性やアルカリ性の化学試薬（硝酸や水酸化ナトリウムなど）による有機物分解と過酸化水素による有機物酸化といった処理手法が広く使われている^{18,19}。複数の処理方法を合わせて使うことで、より効率的な分離ができると考えられる。

前処理したサンプルを用いて、マイクロプラスチックのサイズや形の識別、材質判別といった定量的分析を行う。数百

μm以上のマイクロプラスチックは肉眼で直接的に選別できるが、より小さなものは実体顕微鏡または高い解像度を持つ電子顕微鏡で拡大してからマイクロプラスチックを選別し、デジタル画像処理によってマイクロプラスチックの形状や大きさ及び数を測定する^{11,12,20}。さらに、分光分析によりマイクロプラスチックの材質（ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）など）を判定する。通常、ポリマーを高い信頼性で同定できるフーリエ変換赤外分光法（Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR）やラマン分光法が用いられている^{12,20}。

しかしながら、現在マイクロプラスチックの定量化方法は手作業を中心として、時間がかかり、効率が悪く、人の手で操作が入るため分析の正確さに欠けていると考えられる。（国研）海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、高速な検出分類手法の研究に着手し、2020年にマイクロプラスチックの新たな方法を開発した²¹。具体的には、プラスチック材料が素材ごとに固有の分光反射特性を持つ性質に着目してハイパースペクトル画像診断

（Hyperspectral Imaging, HSI）技術と、高い過性能がある金コートフィルターを用いて100μmまでの微小なプラスチック粒子を検出し、材質を識別することに成功した。時間的には、1cm × 1cmフィルター面のスキャン時間は約10秒であり、従来のフーリエ変換赤外分光法（FTIR）に比べ、約100倍の速さで評価が可能であることも確かめられた。今後は、海水中の実サンプルを適用し、水中マイクロプラスチックを回収するためのフローシステムも組み合わせた高速かつ自動的な計測システムを開発していく予定である²¹。

また、米国のDraper研究所では、United States Environmental Protection Agency (EPA)と共同し、リアルタイムで海水中におけるマイクロプラスチックの数、サイズ、材質等を測定できる世界初のセンサーを装備したMicroplastics-Sensing Autonomous Underwater Vehicle (AUV)を開発する計画がある²²。

3. 海洋マイクロプラスチック観測プラットフォームの現状

日本では、マイクロプラスチックの観測調査を実施する主な組織として、環境省をはじめ、大学機関、研究機構、地方研究所、自治体そして民間企業がある。これらの組織は、様々な調査手段や採集器具を用いている。本章ではこれらをプラットフォームと位置づけ、整理する。

3.1 環境省

環境省では2014年より、九州大学と東京海洋大学の協力を得て、本州・四国・九州周辺の沖合海域69地点におけるマイクロプラスチックの分布状況を把握するための調査を始めた。さらに、2017年より、日本南方海域も対象として調査海域109地点を拡大するとともに、大学との連携体制も拡充し、上記の2大学のほか、北海道大学、長崎大学及び鹿児島大学も加え、調査を継続している。調査では、網口の大きさが75 cm×75 cm、ネットの長さが30 cm、網目が350μm のニューストーンネットを観測船（東京海洋大学の海鷹丸と神鷹丸）から2-3knotの速度で20分間曳航し、マイクロプラスチックを採取した。定量分析を行った結果、日本周辺の沖合海域で全体的にマイクロプラスチックが分布しており、北陸から東北沖の日本海北部に多く、山陰西部沖、九州・四国の太平洋岸、津軽海峡から三陸沖にも高濃度の海域が見られた。

また2018年から環境省は、海洋における調査に加え、海洋ゴミの一因とされる河川のマイクロプラスチックの実態調査も行い、多摩川・鶴見川において試行的な採取等調査を実施した。今後、河川等におけるマイクロプラスチック調査方法の確立、実態調査の実施、河川から海洋への流入量概算等に取り組む予定である。

3.2 大学機関

環境省環境研究総合推進費の助成を受け、九州大学の磯辺篤彦教授をリーダーとする研究グループは、2016年に東京海洋大学の海鷹丸を利用し、南極海から赤道を越えて東京に至る太平洋縦断調査を行い、海洋マイクロプラスチックの分布状況を明らかにした²³。網口の大きさが75cm×75cm、ネットの長さが30cm、網目が300μmのニューズトンネットを海鷹丸から2-3knotの速度で40分間曳航し、マイクロプラスチックを採取し、そのサンプルを九州大学で計測した。また、4つの数値モデル（図2）を用い、2016年に太平洋全域で観測した300μm以上のマイクロプラスチック浮遊量を数値シミュレーションで再現し、50年先までの太平洋全域における浮遊量を予測した。その結果、プラスチックごみの海洋流出がそのまま増え続けた場合、海洋上層におけるマイクロプラスチックの重量濃度は、2030年までに約2倍（2016年比）、2060年までに約4倍となり、環境リスク増大の可能性が示唆された²³。

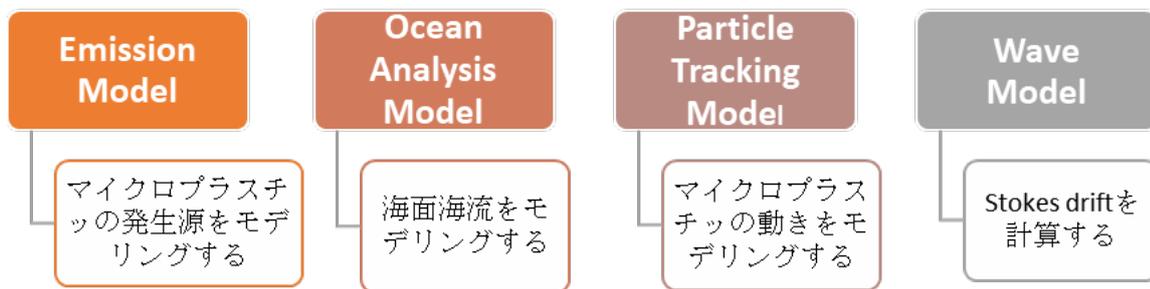


図2 マイクロプラスチックを再現する数値モデル（Isobe,A et al., 2019より作成）

東京理科大学の二瓶泰雄教授をリーダーとする研究グループは、2015年から2017年までに23河川26地点の河川水中におけるマイクロプラスチックの実態を調査した。簡易プランクトンネット（口径30cm、ネット長75cm、ネットの目合350μm）を用い、10～30分間にわたり、橋上から河川内のマイクロプラスチックを採取した。その結果、全観測地点・全河川においてマイクロプラスチックが発見された。最大値は、熊本県の白川であった^{24,25}。

3.3. 研究機構

JAMSTECは、2019年に、海洋プラスチックがたまりやすい場所のひとつとされる日本の南東沖にある「西太平洋ごみパッチ」に、つまり小笠原諸島父島から相模湾までの広い海域内に、15点の調査点を選定しマイクロプラスチックの分布を調べた（<https://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/reports/yk19-11.html>「しんかい6500」調査潜航 YK19-11航海レポート）。海面表層のマイクロプラスチックは網目300μmのニューズトンネットを用い、研究船「よこすか」による調査航海を実施した。また、深海に沈んだ海洋プラスチックの調査も行い、深度6500mまでは有人潜水調査船「しんかい6500」を利用し、総計6回まで相模湾から房総半島の沖合に潜って、海底ゴミ、採泥、採水等を行った。また、マイクロプラスチックから生物への影響を調査するため、ナマコなどの底生生物の採取も実施した。さらに深い場所（6500m～9200m）は独自開発した「フリーフォールカメラシステム」を駆使し、総計2回まで採水、採泥、生物採取、TVカメラ映像等の試料を採取した。

このほか、JAMSTECは民間機関との協働を活用し、2019年12月～2020年1月にかけて開催された「日本-パラオ親善ヨットレース」において、競技参加艇「トレッキー号」および伴走船「みらいへ」に調査設備を搭載し、日本とパラオを結ぶ西部北太平洋の航路上で、マイクロプラスチックを採集し、連続観測を行った²⁶。調

査期間中、マイクロプラスチックは2通りの方法で採集した。一つ目は、半自動的に海表面のマイクロプラスチック採集可能なサンプラーを使用し、3000kmの範囲にわたって300 μ m未満のマイクロプラスチックを採集した。濾過した海水中に含まれるマイクロプラスチックは、サンプラーの3種類のメッシュサイズ（30, 100, 300 μ m）の金属フィルター上に捕集した。二つ目は、メッシュサイズ335 μ mのニューストーンネットを用い、船速約2ノットで30分間曳網し、海表面のマイクロプラスチックを採集した。初期の結果として、マイクロプラスチックが調査海域の広範囲にわたって分布していることを示した。また、マイクロプラスチックの密度は、日本沿岸相模湾沖の観測点で最も高く、パラオ沿岸の観測点の密度が最も低かった。このプロジェクトの成功により、将来に向けた海洋科学者と民間とのさらなる協働の可能性が広がった²⁶。

さらに、JAMSTECは「しんかい6500」や「しんかい2000」などで30年以上にわたり集めたデブリに関する映像を「深海デブリデータベース」として2017年より公開しはじめた。世界初のデータベースとして、海洋プラスチック問題に関する教育、メディア、科学研究への活用が期待される。

3.4 地方研究所

神奈川県環境科学センターは、2017年から2018年までに相模湾沿岸域における漂着マイクロプラスチックの実態調査を行った¹⁵。調査地点とした海岸は、逗子（逗子市）、鵜沼（藤沢市）、高浜台（平塚市）、山王網一色（小田原市）そして久里浜（横須賀市）の5地点とした。海浜を構成する満潮線と潮上帯の2つの部位を対象に、40cm四方の採取区画を設定し、表面の砂を約3cmすくい取り、4.75mmメッシュサイズのふるいをかけ、砂試料を採取した。実験室で水による比重選別、ふるい分け及び目視選別を組み合わせ、マイクロプラスチックを分離し、実体顕微鏡で1個ずつ顕鏡して形状と色を分類し、赤外吸収スペクトルで材質判別を行った。その結果、漂着マイクロプラスチックの主要材質は、PE（ポリエチレン）、PP（ポリプロピレン）及びPS（ポリスチレン）であり、海岸ごとに材質構成や漂着個数の違いが明らかに見られた¹⁵。

静岡県環境衛生科学研究所は、2018年に焼津市浜当目海岸を対象に、砂と海水のサンプルをそれぞれ採取し、その中に含まれるマイクロプラスチックを調べた²⁷。海浜に、50cm四方の採取区画を設定し、表面の砂を約1cmすくい取り、4.75mmメッシュサイズのふるいをかけ、砂試料を採取した。また、海水から試料を採取するためポンプを用い、海表面から海水を採取し、メッシュサイズ20 μ mのプランクトンネットで海水をろ過した。採取したサンプルを比重選別、ふるい分け、超音波振動などによりマイクロプラスチックを分離し、フーリエ変換型赤外分光法で材質判別を行った。その結果、砂と海水ともにマイクロプラスチックが存在し、主要材質は、PE、PS、PPであったことが確認された²⁷。

3.5 自治体

日本の自治体では、海洋マイクロプラスチック問題に応じて様々な活動を行っている。例えば、川崎市は環境系ベンチャー企業である株式会社ピリカに依頼し、2018年8～9月にかけて川崎市内の河川や港湾など、計14カ所でマイクロプラスチックの浮遊状況調査を実施した。ピリカ独自で開発した調査装置－アルバトロス（収集機のネットの網目は300 μ m）を用い、橋上または船上から収集機を水中に沈め、3分間で濾し取った固形物を収集し、サンプルはピリカで分析した。その結果、14地点のうち、13地点からマイクロプラスチックが検出された。主要材質はPE、PP、PA（ポリアミド）であり、その中、一番多かったのが平らで棒状の緑色の破片で、スペクトル（分光）分析を行ったところ、人工芝と判定した（Public Lab、<https://publab.jp/>）。

さいたま市は河川を通じて、埼玉県から海に流れ込んでいるマイクロプラスチックの実態を明らかにする業務委託を

実施した。2019年に県内全域を対象とし、5河川10地点で河川水中に、メッシュサイズ300 μ mのプランクトンネットを用い、マイクロプラスチックを調査した。全ての地点でマイクロプラスチックが検出され、主要材質はPE、PP、PSであった。破片状のものが全体の74%を占め、大きなプラスチックが砕けてできた「二次的マイクロプラスチック」が多いことが判明し、日常生活で使っているプラスチックが主な発生源であると考えられた（埼玉県ホームページに参照）。

横浜市は下水道処理場でのマイクロプラスチックの実態を試験的に調べるため、2018年に3か所の水再生センターの流入水、放流水を対象に調査を実施した。その結果、水再生センターのうち2か所は流入水だけからマイクロプラスチックが検出され、1箇所は流入水と放流水の両方から検出された。これは試験的な調査であるため、今後は採水方法や前処理の工夫が不可欠と考えられる（横浜市資料より）。

3.6 民間企業

環境系ベンチャー企業であるピリカはマイクロプラスチック調査サービスを事業の一部として提供し、河川や港湾、下水処理施設など、様々な場所で調査と実態解明を進めている。調査の計画から、マイクロプラスチックの採取、抽出、成分、サイズ等の分析、経路の推定、結果の報告まで対応している。先述のようにピリカは独自のマイクロプラスチック調査装置-アルバトロスを開発した。どこでも使える低価格の装置で、通常のプランクトンネットより便利かつ効率だと考えられる²⁸。また、大量のマイクロプラスチックデータを効率よく管理するシステムを持ち、社外にも提供している。担当した調査事例は幾つがあり、例えば、神奈川県川崎市の依頼を受け、市内の河川や港湾、計14箇所でもマイクロプラスチック等の浮遊状況を調査した。また、日本財団や地球環境基金などの依頼により国内12都府県の河川、港湾、湖で100箇所での調査を実施した。

建設環境コンサルタント会社もマイクロプラスチック問題に関心を寄せ、様々な委託業務のもとで調査を実施している。例えば、いであ(株)は2016年より海洋表層に浮遊するマイクロプラスチックのモニタリング手法のガイドライン作成業務に携わった。また、河川、下水処理場、深海底堆積物、生物体内におけるマイクロプラスチックの実態調査業務にも関わっている。

3.7 まとめ

各マイクロプラスチック観測プラットフォームの概況を表1のように簡潔的にまとめている（民間企業を除く）。日本では国から民間企業までマイクロプラスチック問題に注目し、その実態を把握するため、様々な観測調査に取り組んでいる。その中で環境省や大学機構及びJAMSTECは、より広い海洋で、長い時間をかけてマイクロプラスチックの分布実態調査を実施している。他の組織と比べて、これらは相対的に十分な人力と研究費および豊富な知見があると考えられる。それに対して、地方研究所や自治体は沿岸域または河川を中心とした、より短い期間でのマイクロプラスチックの調査を行っている。陸上の状況との関連性があるため、材質判別によってマイクロプラスチックの原材料や発生源を推測できる利点がある。民間企業は主に調査母体からの委託を受け、重要な役割を果たしている。そのため各機関で互いに補完しあうような関係が見られる。

表1 各マイクロプラスチック観測プラットフォームの比較

実施機関	調査期間	調査対象	調査手法（センサー）	網目のサイズ（ μm ）
環境省	2014年～	日本周辺沖合海域の海表面・河川	ニューストーンネット	350
九州大学・東京海洋大学	2016年	南北太平洋の海表面	ニューストーンネット	300
東京理科大学	2015-2017年	全国の23河川	簡易プランクトンネット	350
研究機構（JAMSTEC）	2019年	小笠原諸島父島から相模湾の海表面・海底	ニューストーンネット・採水器・採泥器	300
	2019-2020年	西部北太平洋の海表面	サンプラー・ニューストーンネット	300未満（*30, 100, 300） 335
神奈川県環境科学センター	2017-2018年	相模湾沿岸域の海浜	ふるい	475
静岡県環境衛生科学研究所	2018年	焼津市浜当目海岸の海浜・海表面	ふるい ポンプ	475 20
川崎市	2018年	川崎市内の河川や港湾	アルバトロス	300
さいたま市	2019年	埼玉県内の河川	プランクトンネット	300
横浜市	2018年	横浜市の下水道処理場	ネット ふるい	300 100-5000

しかし、全体的にみると、現段階では主に海洋表層・河川表層に、メッシュサイズ300 μm 以上のネットを用いてマイクロプラスチックの調査を行い、その結果、より小さいマイクロプラスチック（300 μm 以下）または海底に沈んだマイクロプラスチックの実態はほとんど把握できないという問題が生じる。

4. マイクロプラスチックの課題と今後の展望

本論考では、日本国内を中心にマイクロプラスチックの調査の現状をレビューしたが、海外においても様々な取り組みを進めている。例えば、2018年から慈善団体であるJust One Ocean（UK）とポーツマス大学は“The Big Microplastic Survey”というプロジェクトを企画し、団体、組織、個人を問わず、関心を持つ参加者を通して世界中の河川や沿岸からマイクロプラスチックに関する基礎データを収集する活動を推進している²⁹。また、中国では国家

海洋局が主導し、2016年より沿岸から外洋、そして極地までのマイクロプラスチックの実態をモニタリングしている。また、2017年に国家海洋環境モニタリングセンターによって海洋ごみとマイクロプラスチック研究センターを設立し、マイクロプラスチックに関する調査方法や技術、管理対策などの研究に対して色々なサポートを提供する。

海洋マイクロプラスチック問題を解決するためには、まず世界各国が協力し、その実態を把握しなければならない。しかしながら、マイクロプラスチックの収集・定量化手法は未だに世界的には統一されているとはいえない。マイクロプラスチックの収集・定量化手法に関する標準化を進めるため、国際的な共同研究や交流をより一層促進することが重要だと考えられる。

既往文献によれば、海洋に浮遊するプラスチックの量の99%が表層から失われ、「行方不明プラスチック」問題となっている³⁰。行方不明になった理由としては、まず限られた海域しかプラスチックを観測していないこと。二つ目に、300μm以上のプラスチックを対象とした観測データが多く、より細かいプラスチックのデータがほとんどないこと。そして三つ目に、海中や深海に沈んだプラスチックの観測調査が少ないことと挙げられる。

この「行方不明プラスチック」問題に対して、JAMSTECは2019年から「しんかい6500」や「Free-fall camera system」を用い、深海におけるプラスチックの実態を調査し始めた。また環境省環境研究総合推進費の助成を受け2018年より東京海洋大学の東海正教授が、多段式ネットを用いて深度別に海表面から海中に漂流する微細な(350μm以下)マイクロプラスチックの採取手法や、海底堆積物におけるマイクロプラスチックの自動化検出に向けた基礎技術などの確立について取り組んでいる。日本財団と東京大学は2019年に「海洋ごみ対策プロジェクト」という共同研究を立ち上げ、湾内や外洋の海面から海底までにあるマイクロプラスチックが縦方向にどのように分布しているかを調べているところである。さらに、2020年より、日本郵船(株)は自社の約750隻の運航船ネットワークを活用して、航海中にマイクロプラスチックを採取し、千葉工業大学がサンプル分析を行い、マイクロプラスチックの地理情報・サイズ・分布濃度・経年変化等が分かる世界規模の詳細なプラゴミマップを作成する予定である³¹。

直接目に見えず回収が難しいマイクロプラスチックは、常に海流や波などにより流動し、海洋生物に食べられ、一部は深海まで沈んでいくため、広範囲での包括的調査は困難である。これからはより広く深い海域におけるマイクロプラスチックの観測調査を進めるとともに、その海洋中の分布状況・動態などを解明し、数値モデル化する必要があると考えられる。例えば、九州大学の磯辺教授らによる地球規模でのプラスチック循環モデルを構築する研究はその好例である。野外調査と理論的な手法を組み合わせることで海洋におけるマイクロプラスチックの問題解決に近づけると考える。

引用文献：

- ² Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T., Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. 2001, *Environ.Sci.Technol.*, 35, (2), 318-324.
- ³ Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., Russell, A. E., Lost at sea: Where is all the plastic? 2004, *Science*, 304, 838.
- ⁴ World Economic Forum, 2016, The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics
- ⁵ Schwabl, P. et al., Assessment of microplastic concentrations in human stool-Preliminary results of a prospective study, 2018, Presented at UEG Week 2018 Vienna, October 24, 2018.
- ⁶ Ji-Su Kim, Hee-Jee Lee, Seung-Kyu Kim, Hyun-Jung Kim, Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. 2018, *Environ. Sci. Technol.* 52, 21, 12819-12828.
- ⁷ Isobe, A., Uchiyama-Matsumoto, K., Uchida, K., Tokai, T., Microplastics in the Southern Ocean. 2017, *Mar. Pollut. Bull.* 114, 623-626.

- ⁸ Peeken I, Primpke S, Beyer B, et al., Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. 2018, *NATURE COMMUNICATIONS*, 9, 1505.
- ⁹ X. Peng, M. Chen, S. Chen, S. Dasgupta, H. Xu, K. Ta, M. Du, J. Li, Z. Guo, S. Bai. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. 2018, *Geochem. Persp. Let.* 9, 1-5.
- ¹⁰ Prata, J.C., Costa, J.P., Duarte, A.C., et al., Method for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. 2019, *Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.
- ¹¹ 中嶋 亮太, 山下 麗, 海洋マイクロプラスチックの採取・前処理・定量方法, 2020, 海の研究(Oceanography in Japan), 29(5), 129-151.
- ¹² Michida, U., Chavanich, S., Chiba, S., et al., Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods- Version 1.1. 2020, Ministry of the Environment, JAPAN
- ¹³ Tsuchiya, M., Nomaki, H., Kitahashi, T., et al., Sediment sampling with a core sampler equipped with aluminum tubes and an onboard processing protocol to avoid plastic contamination, 2019, *MethodsX*, 6, 2662-2668.
- ¹⁴ Claessens, M., van Cauwedberghe, L., Vandegehuchte, M.B. & Janssen C.R. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. 2013, *Marine Pollution Bulletin*, 70, 227-233.
- ¹⁵ 中間報告書：相模湾漂着マイクロプラスチック（MP）の実態とその由来の推定, 2019, 神奈川県環境科学センター 調査研究部 マイクロプラスチック研究チーム
- ¹⁶ Hermsen, E., Mintenig, S. M., Besseling, E., Koelmans, A., Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: a critical review. 2018, *Environmental science & technology*, 52(18), 10230-10240.
- ¹⁷ Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. & Thiel M., Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. 2012, *Environmental Science & Technology*, 46, 3060-3075.
- ¹⁸ Miller, M.E., Kroon, F.J. & Motti, C.A., Recovering microplastics from marine samples: A review of current practices. 2017, *Marine Pollution Bulletin*, 123, 6-18.
- ¹⁹ Shim, W.J., Hong, S.H. & Eo, S., Identification methods in microplastic analysis: A review. 2017, *Analytical Methods*, 9, 1384- 1391.
- ²⁰ Kappler, A., Windrich, F., et al., Identification of microplastics by FTIR and Raman microscopy: a novel silicon filter substrate opens the important spectral range below 1300 cm⁻¹ for FTIR transmission measurements. 2015, *Anal. Bioanal. Chem.*, 407, 6791-6801.
- ²¹ Zhu, C.M., Kanaya, Y., Nagajima, R., Tsujiya, M., Nomaki, H., Kitahashi, T., Fujikura, K., Characterization of microplastics on filter substrates based on hyperspectral imaging: Laboratory assessment, 2020, *Environmental Pollution*, 263, part B.
- ²² <https://www.draper.com/explore-solutions/microplastics-sensor>
- ²³ Isobe, A., Iwasaki, S., Uchida, K., Tokai, T., Abundance of non-conservative microplastics in the upper ocean from 1957 to 2066. 2019, *Nature Communications*, 10, Article number: 417.
- ²⁴ 二瓶 泰雄, 片岡 智哉. 河川から考える海洋プラスチックごみマイクロプラスチック対策. 2018, 廃棄物資源循環学会誌, 29(4), 309- 316.
- ²⁵ 工藤 功貴, 片岡 智哉, 二瓶 泰雄, 日向 博文, 島崎 穂波, 馬場 大樹. 日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討. 2017, 土木学会論文集B1 (水工学) 73(4), I_1225-I_1230.
- ²⁶ Chiba, S., Sailing towards a plastic-free Ocean: Microplastic survey and Ocean literacy during the Japan-Palau Goodwill Yacht Race 2019/2020. 2020, Earthzine.
- ²⁷ 鈴木 光彰, 神谷 貴文, 小郷 沙矢香, 岡 智也, 長島 由佳, 平松 裕志. 海岸域におけるマイクロプラスチックの調査手法の確立. 2018, 静岡県環境衛生科学研究所
- ²⁸ Abeynayaka, A., Kojima, F., Miwa, Y., Ito, N., Nihei, Y., Fukunaga, Y., Yashima, Y., Itsubo, N., Rapid Sampling of Suspended and Floating Microplastics in Challenging Riverine and Coastal Water Environments in Japan. 2020, *Water*, 12(7), 1903.
- ²⁹ <https://microplasticsurvey.org/>
- ³⁰ Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J., Irigoien, X., Ubeda B., et al., Plastic debris in the open ocean. 2014, *PNAS*, 111 (28) 10239-10244.
- ³¹ https://www.nyk.com/news/2020/20200306_01.html