

「漂流マイクロプラスチックの モニタリング手法調和ガイドライン」について

いであ株式会社

井上彩子, 寺田龍介, 大野順通

1. はじめに

マイクロプラスチックを含む海洋ごみは現在、世界的な課題となっており、近年は深刻な国際問題として認識されている。プラスチックごみは海洋生態系に影響を与える可能性が高く、海洋におけるマイクロプラスチックの分布と量を把握することは、緊急の課題である。

2015年のG7エルマウサミットでは、海洋ごみ、特にプラスチックごみが、海洋と沿岸の生態系への影響、生態系への直接的な影響、および人間の健康への潜在的な影響により、地球規模の課題として認識された。エルマウサミットに続いて2015年11月にベルリンで開催された専門家ワークショップで、日本が海洋マイクロプラスチックのモニタリング方法の標準化と調和化において主導的な役割を果たすことが合意された。その後の2016年のG7富山環境大臣会合では、海洋ごみのモニタリング手法の標準化と調和を含む優先措置実施へのコミットメントを表明するコミニケが採択された。2019年のG20大阪サミットでは、海洋プラスチック汚染が優先課題の1つとして取り上げられた。G20大阪サミットで、共通の世界のビジョンとして、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す、「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」を共有し、今後、G20以外の国際社会の他のメンバーにも、このビジョンを共有するよう呼びかけていくこととしている。また、2019年に開催されたG20持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合において合意された「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組」においては、調和したモニタリング手法の

促進が挙げられ¹、実施枠組のフォローアップ会合において、日本がモニタリングの調和とデータ整備を主導することとされた。

このような背景の下、世界中の海面におけるマイクロプラスチック密度の二次元分布マッピングを奨励することにより、海洋汚染の実際の状態を確認するための取り組みが環境省により進められてきた。ここで紹介する、Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods ver1.1 (以下、本ガイドライン)は、その一環として、環境省により、海洋表層のマイクロプラスチックサンプリングと分析手法の調和化を目的として作成されたものである。いであ株式会社(以下、当社)では、一般社団法人国際環境研究協会とともに、本ガイドライン策定支援にあたり、以下に述べる先行調査等の実施支援等を行ってきた。このたび、本ガイドラインを紹介する機会をいただいたので、ガイドラインの概要や改訂状況等をここに紹介する。

2. モニタリング方法の調和化の意義

海洋マイクロプラスチックを取り巻く関心の高まりに対応して、マイクロプラスチックのモニタリング(サンプリングおよび実験室での分析)は、多様な方法で世界中の多くの機関によって実施されている。今後、海洋におけるマイクロプラスチックの地球規模の分布や挙動の解明のために、より多くの主体によるモニタリングの実施等が予想されるが、サンプリングや分析の方法が異なることで、データの相互比較が困難となる恐れがある。例えば、サンプリング時の気象・海象条件や、使用するネットのタイプやメッシュサイズの違い等により、採集

¹ 「G20 海洋プラスチックごみ対策実施枠組」において、“特に海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチックを中心とした海洋ごみの現状とその影響の測定とモニタリングのための調和化された/比較可能なモニタリング及び分析手法の促進及び試行的な実施により、科学的基盤を強化し科学的な能力を構築するために、GESAMP(海洋環境保護の科学的側面に関する合同専門家会合)の現在進行中の作業を奨励する。“地

域海条約及び地域海プログラム、IOC-UNESCOやUNEP、その他の関連機関やイニシアティブと連携し、調和された手法を用いて海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチックを中心とする海洋ごみの地球規模のモニタリングの開発を奨励する。”(G20 海洋プラスチックごみ対策実施枠組(仮訳)より引用)といった内容が述べられている。

されるマイクロプラスチック粒子の個数に差異が生じ、また、その後の前処理や分析方法の違いなどによって結果にばらつきがでる。そのため、マイクロプラスチックを含む海洋ごみのモニタリング方法の調和化は、非常に重要である。

マイクロプラスチックのモニタリング方法の調和化については、G20等での国際的な合意事項などを踏まえ、環境省が研究者と連携して、国際協力の観点からも精力的に取り組んでいる分野である。

3. ガイドラインの策定プロセス

ガイドラインの策定プロセスを図1に示す。

ガイドラインの策定に先立ち、先行して公表されている国際的なガイドライン(GESAMP(2019)など)を参照しつつ、分析方法の比較を目的としたInter-Laboratory Comparison in 2017(以下、ILC2017)²とサンプリング方法の比較を目的としたComparison of Microplastic Sampling Methods in 2018(以下、CMSM2018)³ 2つの先行プロジェクトにおいて、分析方法及びサンプリング方法の両面からの比較検討がされた。

これらの結果をもとに、国際専門家会合が開催され、12か国、国内外22名の専門家が参画して本ガイドラインの策定に向けての議論が進められた。これら一連のプロセスにおいて環境省が国内外の専門家の参画と合意を得

ながら、主導的な役割をもってガイドラインの策定を支援し、本ガイドラインは、2019年5月にver1.0として公表された。その後、2019年に追加調査としてComparison of Microplastic Sampling Methods in 2019(以下、CMSM2019)⁴を行い、ver1.0の内容をより深め、2020年6月にver.1.1として公表された。今後も、本ガイドラインは、必要に応じ、改訂がされる予定である。

4. ガイドラインの概要と構成

まず、本ガイドラインは、マイクロプラスチックの研究者を想定し、比較可能な結果を導き出す調和された方法を選択するのに役立つことを期待して作成された。GESAMP(2019)での定義や、国際機関で使用されている定義、および世界中のさまざまな国で実施されている多くの研究プロジェクトで使用されている定義と同様に、5 mm未満のプラスチック粒子をマイクロプラスチックとして定義している。

本ガイドラインの適用範囲は海洋表層のマイクロプラスチックであるが、目詰まりや鉛直混合が多くなることに注意は必要ではあるものの淡水域の表層水にも適用できるとされ、また、海水と淡水の両方の水柱と堆積物にも部分的に適用可能とされている。

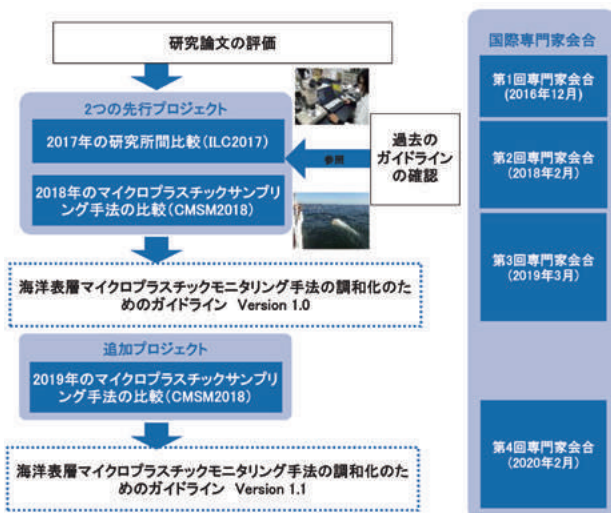


図1 本ガイドライン策定プロセス



² 2017年に実施した、10か国(カナダ、ノルウェー、中国、ロシア、韓国、スペイン、スイス、タイ、米国、日本)12の研究機関が実験室間で所定の量の非プラスチック材料とプラスチック粒子を含む標準サンプルを様々な分析方法により確認した。

³ 東京湾の海面にあるマイクロプラスチックをさまざまな方法でサンプリング、比較した。

⁴ 相模湾の海面にあるマイクロプラスチックをさまざまな方法でサンプリング、比較し、ガイドライン(ver.1.0)の内容をより深めた。

本ガイドラインの基本構成は図2に示すとおり、サンプリング手法、実験室での分析方法、レポートニングなどで構成されている。これらは、マイクロプラスチックのサンプリング、分析の手順に対応する形で本ガイドラインにまとめられた。

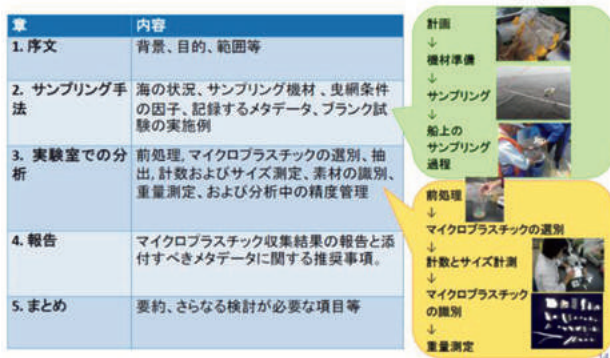


図2 本ガイドラインの全体構成

5. ガイドラインでの推奨事項

具体的な推奨事項の例としては、以下のようなものがある。詳細はガイドライン本文を参照されたい。

〈推奨事項の例〉

1. サンプリングは穏やかな海で実施すべき
2. 濾水計を使用すべき(対地距離から推計すると誤差が大きい)
3. 1~5 mmの粒子と1 mm未満の粒子を分けて報告すべき
4. 有機物を除去する前処理を実施すると効果的

【解説】

サンプリングは穏やかな海で実施すべき

一般に、風速と波高は、海洋表層の鉛直混合に影響を与え、収集されるマイクロプラスチックの量に影響を与えることが知られている。そのため、「穏やかな」状態での実施が推奨されている。しかし、そのような穏やかな状態で調査ができない場合も想定され、その場合には、他の調査結果との比較を可能にするために、風速や波高などのメタデータを記録する必要がある。過去の研究により、海の状態に応じて海面のマイクロプラスチック密度を補正ができるとされ(Kukulka et al., 2012, Kooi et al., 2016), 一部の研究ではこれらの方法が採用されている(Isobe et al., 2015, Suaria et al., 2016. など)。

濾水計を使用すべき(航行距離から推計すると誤差が大きい)

海洋表面でのマイクロプラスチックの存在量は、単位水量または単位表面積あたりの粒子数または重量として報告される。したがって、ろ過された水量または曳網面積を算定するために曳網距離の計測が必要となる。既往の研究では、陸地との相対速度から計算された航行距離と、濾水計によって計算された曳網距離に大きな違いがあることが報告されている(Suaria et al.,2016)。

CMSM2019では、船と海水との相対速度(log speed:対水速力)から計算された航行距離と、ネットに設置した濾水計で計測した曳網距離を比較したところ、天然粒子が多くネットの目詰まりが生じた場合を除けば、どちらの方法でも同様の結果が得られ、統計的に有意な差がみられなかったが、他のガイドライン(GESAMP, 2019)や専門家会議の議論を踏まえ、濾水計を使用することが本ガイドラインでは推奨されている。一方、GPSで計測した対地距離を、濾水計で計測した曳網距離と比較したところ、対地距離は曳網距離に対して海流に応じた誤差が見られ、実際の濾水量を反映していない可能性があった(図3参照)。よって、ネットに濾水計を取り付け、ろ過水量を算定することが望ましいとされている。

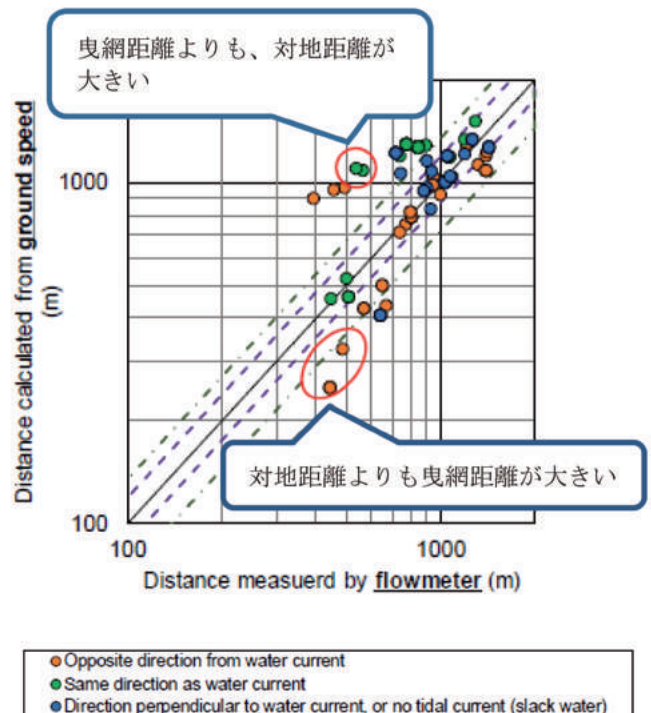


図3 曳網距離及びGPSから得た対地距離の関係 (CMSM2019結果)

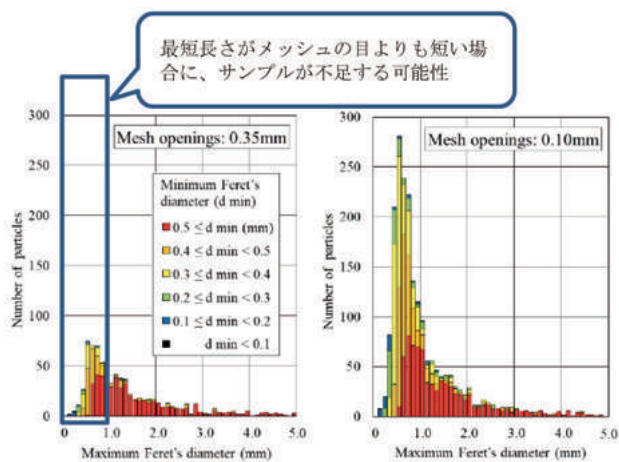
1~5 mmの粒子と1 mm未満の粒子を分けて報告すべき一般に、約0.3 mmのメッシュのネットを使用しているが、0.20 mmまたは0.10 mmのメッシュのネットも使用されている。両者を比較した場合、サイズが1 mmを超える粒子の数に大きな違いはみられなかったが、1 mm未満の粒子の場合、0.10 mmのネットで収集された粒子の数は、0.35 mmのネットで収集された粒子と比較して約4倍多かった(表1参照)。

様々な海域の浮遊マイクロプラスチック汚染を比較する点などを考慮して、最も一般的な0.3 mmのメッシュの使用が望ましいが、マイクロプラスチックの挙動や生物による取り込みの影響を解明するためには、より小さな粒子のデータが欠かせないため、その場合には細かなネットを用いたモニタリングが有用である。ただし、そのようなより小さな粒子はサンプリングや分析精度などの影響を受けやすく、精度が低下する。また、メッシュ

表1 0.35 mm及び0.10 mmのメッシュのネットによって採集されたマイクロプラスチック粒子数とその割合(CMSM2018)

Sampling No.	Mesh openings (mm)	Numbers of particles (particles/sample)					
		d < 1.0 mm		1.0 - d < 5.0 mm		Total (d < 5.0 mm)	
		Number	Ratio	Number	Ratio	Number	Ratio
No.1	0.35	146	1.98	159	1.36	305	1.66
	0.10	289		217		506	
No.2	0.35	105	4.46	154	1.47	259	2.68
	0.10	468		227		695	
No.3	0.35	116	4.78	92	2.32	208	3.69
	0.10	555		213		768	
Average	0.35	122	3.57	135	1.62	257	2.55
	0.10	437		219		656	

注1) dは、フェレー径の最大値
 注2) Ratio (割合)は、0.35 mmのネットに対し0.1 mmのネットで得られた粒子数の割合
 注3) 実際の1 mm未満の粒子数に比べ、実験室での分析誤差により両者のネットで過小評価された



注) X軸は、最長フェレー径を、そしてカラーバーで示されたY軸は最短フェレー径を示す。

図4 0.35 mmと0.10 mmのネットにより採集されたプラスチック粒子のサイズ分布 (CMSM2018)

サイズと同程度の大きさのマイクロプラスチックは、最短長さがメッシュの目よりも短い場合に、ネットを通してしまふ場合がある(図4参照)。これらのことから、1 mm未満の粒子と粒子1~5 mmとを分けて報告することが推奨されている。

有機物を除去する前処理を実施すると効果的

マイクロプラスチックの分析における一般的な手順を図5に示す。前処理、マイクロプラスチックの分離・選別、量とサイズの測定、同定、重量測定である。この前処理では、化学的又は生物学的処理、比重分離、サンプルの分割が含まれる。

基本的には、天然の有機物を含む、非プラスチックの密度が高い海域でのサンプリングは推奨されていない。改訂版であるver.1.1では、魚卵やプランクトンが多い海域では、ネットの目詰まりが起きやすいため、サンプリングを分割して複数回行うことで1回の牽引時間を短縮化し、全体で適切な曳網時間または曳網距離を得るといった内容が加わった。これにより、熱帯やプランクトンが大量発生する季節での調査によるデータの充実が期待される。

2017年に実施された実験室間の比較結果によると、1 mm~5 mm未満のプラスチック粒子の、有機物分解処理を行った実験室と行わなかった実験室の間での体系的な差異は見られなかった。1 mm未満の粒子の場合、粒子の数と重量の結果はすべての実験室で過小評価されていたが、化学的処理を行っている実験室での結果は、正しい値に近い傾向がみられていた。

サンプル中に含まれる天然有機物等が多い場合には、天然有機物を化学薬品や酵素で消化する前処理を行い、非プラスチック素材やサンプル表面に形成されたバイオフィルムを除去することが多い。これによりプラスチック粒子の誤認を最小限に抑え、この後の分離プロセスの精度を高め、全体的な作業の効率をはかることができ

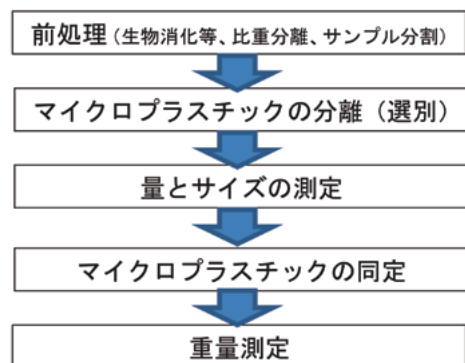


図5 マイクロプラスチックの分析の流れ

る。また、試料中のプラスチックや非プラスチックの表面にバイオフィームが形成され、分光光学機器による重量測定や材料識別に支障をきたす場合にも、有機物の分解処理が有効である。

これらのことから、粒子径1 mm～5 mm未満の粒子のモニタリング手法の調和化の観点からは、前処理として必ずしも有機物を消化する必要はないが、1 mm未満の粒子を分析する場合、より正確な分析結果を得るために、有機物を分解することが望ましい。

6. ガイドラインの改訂のポイント

Ver.1.1の改訂では次の3点が主要なポイントとされている。

- ▶ 小型の調査船や漁船でもモニタリングが実施できるよう留意点(船の走行による波の影響を避けるためサンプリングネットは船の側面から十分に離す、ネットは船の柱などに十分な強度で固定する、固定具等の破損を防ぐためロープで補強するなど)を追加した(図7参照)。これにより、ガイドラインが小型船にも適用できるようになり、海洋プラスチックごみの流出量が多いと言われている東南アジアでも広くモニタリングが可能になる。
- ▶ 魚卵やプランクトンなどの浮遊物が多い海域において、サンプリングを分割して行うこととした。熱帯やプランクトンが大量発生する季節でのモニタリングは、ネットが詰まりやすく実施が困難だったが、分割してサンプリングすることでデータの充実が期待される。
- ▶ モニタリング結果の比較に必要な記録事項を報告するためのデータ入力フォームを作成した。データ入力フォームを活用することで、調和されたデータの整理が進み、マイクロプラスチックの世界的なデータ整備の基礎となる。

改訂のポイントの2点目と関連して、分析前のサンプルの前処理の実施が推奨されている(「5. ガイドラインでの推奨事項」参照、図6参照)。また、分割してサンプリングする際には、ネットの交換や、ネットの洗浄などを組み合わせて実施することも推奨されている。

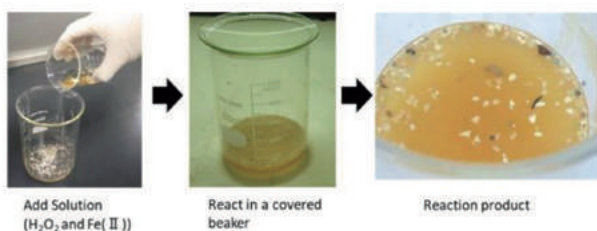


図6 有機物を除去する前処理の様子

7. 今後の展開

本寄稿は、令和元年度までに実施された環境省の「モニタリング手法の調和に向けた国際連携事業」の成果をもとに執筆した。

今後、環境省では、調和化したモニタリング・分析方法で実施した調査結果に基づき、海洋表層におけるマイクロプラスチックの密度を示す二次元マップの作成と2020年以降の公開を目指している。2019年から関係者・研究者にデータシートを配布、回収する作業を開始しており、今後データを蓄積して対象とするマイクロプラスチックを粒子径1～5 mmとし、統一した単位で面的に表示する予定である。

本ガイドラインが国際的に普及し、広域的なデータの蓄積が促進されることにより、世界規模でのマイクロプラスチックの分布や挙動の解明が進み、有効な対策につながることを期待される。

〈参考文献〉

- 1) Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods Version 1.1 (環境省, 2020年6月)
- 2) GESAMP (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean (P.J. UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 99.
- 3) Kukulka, T., Proskurowski, G., Morét Ferguson, S., Meyer, D.W. & Law, K.L. (2012). The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters*, 39 L07601
- 4) Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F.F., Schmid, M.S., Cunsolo, S., Rober to, B., Kimberly, N., Lys-Anne, S., Theo E.W. Linders., Schoeneich Argent, R.I. Albert A.K. (2016). The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean. *Scientific Reports*, 6, 33882.
- 5) Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T. & Iwasaki, S. (2015). East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 101(2), 618–623.
- 6) Suaria, G., Avio, C.G., Mineo, A., Lattin, G.L., Magaldi, M.G., Belmonte, G., Moore, C.J., Regoli F. & Aliani, S. (2016). The Mediterranean Plastic Soup: synthetic polymers in Mediterranean surface waters. *Scientific Reports*, 6, 37551.

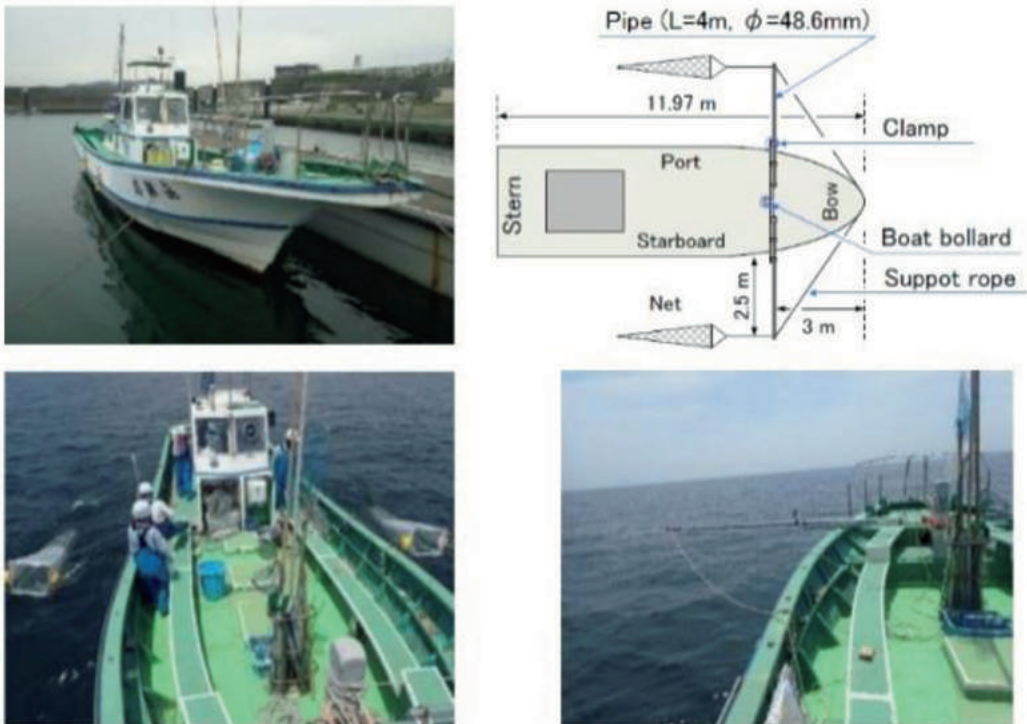


図7 漁船に簡易に装備された曳網の様子(CMSM2019)

■執筆者

井上彩子

いであ株式会社 海外事業本部海外事業部環境部

〒224-0025 横浜市都筑区早渕二丁目2番2号

TEL : 045-593-7637 FAX : 045-593-7636