

令和8年3月27日
ばく露等評価分科会

令和7年度 ばく露等評価の検討結果に関する報告

1.	ばく露等に関する検討結果（底質）	2
1.1.	背景・目的	2
1.2.	底質におけるマイクロプラスチックの存在状況の把握	4
1.2.1.	はじめに	4
1.2.2.	方法	4
1.2.3.	結果	5
1.3.	底質におけるマイクロプラスチックの挙動・推計に関する情報収集	14
1.3.1.	はじめに	14
1.3.2.	方法	14
1.3.3.	結果	15
1.4.	まとめ	22
1.4.1.	実測に関するまとめ	22
1.4.2.	挙動・推計に関するまとめ	23
1.5.	現状の課題点と今後の検討の方向性(案)	24
1.6.	ばく露等評価分科会の開催	25

1. ばく露等に関する検討結果（底質）

1.1. 背景・目的

MicP は河川や沿岸域を通じて海洋へ流入し、一時的には海洋表層に分布するが、時間の経過とともに劣化、微細化、生物付着、凝集等の影響を受け、最終的には海底へ沈降し底質中に蓄積すると考えられている。このため、底質は MicP の最終的な集積場であると同時に、底生生物との接触を通じて生態系へ影響を及ぼす可能性がある。令和 7 年度のばく露等評価では、底質中の MicP を対象に、存在状況、挙動や推計に関する情報を取りまとめ、底質におけるばく露等評価における現状の課題点と今後の検討の方向性を整理した。

はじめに、ばく露評価における「海洋表層」と「底質」の考え方の違いを整理した（図表 1-1）。海洋表層は移動・拡散・漂流等を伴う動的環境であるのに対し、底質は沈降・堆積・再懸濁を伴う堆積環境であり、長期的な蓄積履歴を反映している。また、両者で環境中からの採取方法が異なるため、検出可能な粒径の下限値の考え方が異なる。

また、底質における実測データの収集を行い、採取方法、前処理、分析、濃度、対象粒径、地点による違い等の現状を取りまとめた。また、底質における MicP の挙動の把握や、推計に関する情報収集を行った。今年度は、ばく露等評価分科会を 1 回開催し、上記の議論を行った。

図表 1-1 ばく露等評価における「海洋表層」と「底質」の考え方の違い

分類	観点	海洋表層	底質
①実測	モニタリングガイドライン	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 環境省のモニタリングガイドラインが整備されている。 ✓ ガイドラインに従って採取された日本近海の実測データあり(粒径 330 μm 以上)。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 環境省のモニタリングガイドラインなし(どのような実測データが信頼に値するか判断基準なし)。 ✓ 学術文献においても、海洋表層と比較して実測データが少なく、特に日本近海・沿岸域・内水域に関するデータは限られている。
	採取方法	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般的には 330 μm のネットを用いて、海水をろ過することによって MicP を採取(→この時点でメッシュサイズ以下の粒径は切り捨てられる可能性あり) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般的にはエックマンバージを用いて底質を採取(→この時点では粒径の小さな MicP も切り捨てられない)
	前処理・分析	<ul style="list-style-type: none"> ✓ フィルター・濾過後、FT-IR・ラマン・顕微鏡観察により同定(夾雑物の影響が小さい) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 比重分離、有機物除去後、FT-IR・ラマン・顕微鏡観察により同定(夾雑物の影響が大きい)
	地点による濃度差	<ul style="list-style-type: none"> ✓ (底質と比べて)地点による濃度差が小さい ✓ 海洋表層は動的環境であり、瞬間的な濃度を代表 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地点による濃度差が大きい(地形・流速の違い、混合・沈降のしやすさ、社会活動の密度の違い等) ✓ 長期的な蓄積履歴を反映
	検出される素材	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本的には比重が水より小さい素材が検出される 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本的には比重が水より大きい素材が検出される(バイオフィルムが付着すると、比重が小さい素材も沈降する)
	単位	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本的には、水体积あたりの個数(個数/m^3)が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 底質の乾重量あたりの個数(個数/kg-dry)が多い
②挙動・推計	濃度推計	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 既往研究の破碎モデルを用いた推計手法あり(Cozar モデル、Kaandorp モデル、青木モデル、Sugar Lump モデル等) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海洋表層に比べてより複雑な挙動をとるため、単純なモデルで示すことは現時点では困難
	環境挙動の主要プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 浮遊・風・波・流れによる拡散・輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 沈降・再懸濁・生物攪乱・堆積による蓄積
	推計の目的	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実測調査の情報が少ない微細粒径の濃度予測 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実測調査の情報が少ない微細粒径の濃度予測
	推計が必要な粒径範囲	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般的には 330 μm のネットを用いて、海水をろ過することによって MicP を採取しているため、<u>粒径 330 μm 以下は捕捉されておらず、推計をしなければならない(ネットのメッシュサイズが検出可能粒径の律速に)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般的にはエックマンバージを用いて底質を採取し、実験室で前処理を行い分析 ✓ そのため、<u>測定可能な MicP の粒径は、おおよそ分析機器の下限値に依存(→文献調査の結果数十 μm 程度か)</u>

1.2. 底質におけるマイクロプラスチックの存在状況の把握

1.2.1. はじめに

底質における MicP の存在状況を把握するため、実測調査に関する文献を整理した。また、底質中の MicP は、地点による濃度の差が海洋表層に比べて大きい傾向にあると予想される。そこで、地点ごとの濃度差やホットスポットの可能性のある地形、地点の分類等を把握するため文献調査を行った。

1.2.2. 方法

文献検索サービスを用い、タイトルおよびアブストラクトの内容から、底質中の MicP 濃度を実測していると読み取れる、比較的近年の文献を抽出した。対象とした文献は図表 1-2 の通り。

図表 1-2 実測調査の対象とした文献

No.	著者名	出版年	文献名
①	Lorenz C et al	2019	Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea.
②	Missawi O et al	2020	Abundance and distribution of small microplastics ($\leq 3 \mu\text{m}$) in sediments and seaworms from the Southern Mediterranean coasts and characterisation of their potential harmful effects.
③	Tekman MB et al	2020	Tying up Loose Ends of Microplastic Pollution in the Arctic: Distribution from the Sea Surface through the Water Column to Deep-Sea Sediments at the HAUSGARTEN Observatory.
④	Bergmann M et al	2017	High Quantities of Microplastic in Arctic Deep-Sea Sediments from the HAUSGARTEN Observatory.
⑤	Xia F et al	2022	Migration characteristics of microplastics based on source-sink investigation in a typical urban wetland.
⑥	Lenaker PL et al	2021	Spatial Distribution of Microplastics in Surficial Benthic Sediment of Lake Michigan and Lake Erie.
⑦	Dikareva N et al	2019	Microplastic pollution in streams spanning an urbanisation gradient.
⑧	Hurley RR et al	2017	Ingestion of Microplastics by Freshwater Tubifex Worms.
⑨	Su L et al	2018	Using the Asian clam as an indicator of microplastic pollution in freshwater ecosystems.
⑩	Mani T et al	2019	Microplastic Pollution in Benthic Midstream Sediments of the Rhine River.
⑪	Zhou Y et al	2021	Microplastic contamination is ubiquitous in riparian soils and strongly related to elevation, precipitation and population density.
⑫	Mamun Mandal et al	2025	Comprehensive study of the microplastic footprint in the urban pond and river of Eastern India
⑬	Nikola Bobchev et al	2024	High microplastic pollution in marine sediments associated with urbanised areas along the SW Bulgarian Black Sea coast
⑭	Mitzi Sánchez-Campos et al	2024	Microplastic contamination in three environmental compartments of a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico
⑮	P.M. Graham et al	2024	Determination of microplastics in sediment, water, and fish across the Orange-Senqu River basin
⑯	Freya Radford et al	2024	Factors influencing microplastic abundances in the sediments of a seagrass-dominated tropical atoll
⑰	Austin Gray et al	2024	Microplastic burden in native (<i>Cambarus appalachiensis</i>) and non-native (<i>Faxonius cristavarius</i>) crayfish along semi-rural and urban streams in southwest Virginia, USA

No.	著者名	出版年	文献名
⑱	Haijun He et al	2025	Observation, distribution, and characteristics of microplastics in sediments from the estuary and river network areas of Pearl River Delta, China
⑲	D. Saad et al	2024	Characteristics of microplastics in sediment of the Vaal River, South Africa: implications on bioavailability and toxicity
⑳	Yehao Wang et al	2023	Dynamics of microplastic transport and accumulation in a rural coastal area: Insights from the Otsuchi Bay, a small ria in Sanriku, Japan
㉑	Hirofumi Hinata et al	2023	A 75-year history of microplastic fragment accumulation rates in a semienclosed hypoxic basin
㉒	Yehao Wang et al	2021	Contamination of seabed sediments in Tokyo Bay by small microplastic particles

また、GRID-Arendal (UNEP とノルウェー政府が設立した環境団体) の Peter T. Harris は、「The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis (2020)」において、底質における地形ごとの MicP 濃度のレビューを行っている。当該文献を整理し、地形ごとの MicP 濃度の特徴を取りまとめた。

1.2.3. 結果

底質における MicP の実測に関する文献調査の結果概要を図表 1-3 に示す。サンプリング方法 (地域、採取機器等)、分析方法 (有機物分解、密度分離、回収率、分析機器等)、結果 (粒径、濃度、形状、素材等) を中心に整理した。サンプリングは多くの調査で エックマンバージ を用いており、サンプリングの段階で微細粒径の MicP が切り捨てられてしまう可能性は低いと考えられる。よって、粒径に関しては、分析機器の測定下限値が律速になると考えられ、その値はおおよそ 10 μ m 程度 (顕微 FT-IR) と読み取れた。また、個数濃度 (図表 3) に関しては、地点により 10~10,000 個/kg とばらつきが大きい結果となった。地形・流速の違い、混合・沈降のしやすさ、社会活動の密度の違い等に左右され、高濃度の地域 (ホットスポット) が存在すると思われる。素材に関しては、海洋表層に比べて検出される素材の種類が多い。基本的には比重が水より大きい素材が検出されるが、MicP にバイオフィルムが付着すると比重が小さい素材も沈降することがある。

回収率試験の有無、コンタミの対策、破砕率の考慮を確認した結果、22 報の文献のうち 5 報で分析工程において回収率試験を実施し、MicP の個数濃度を補正していた (55~100% の回収率)。多くの文献でコンタミネーションに注意が払われ、事前に分析器具を洗浄し、分析時のコンタミを防ぐ努力がなされていた。破砕率 (採取、分析時に MicP が破砕して個数濃度が変化すること) に関してはいずれの文献でも言及がなく、実測における今後の課題と考えられる。

図表 1-3 底質における MicP の実測に関する文献調査の結果概要

文献 No.	文献情報	サンプリング			分析				結果					
	著者名	場所		採取機器	有機物分解方法	密度分離方法	回収率 (%)	分析機器	粒径		濃度		形状	素材
		地域	媒体						粒径 (μm)	粒径分布の有無	個数濃度 (個/kg)	重量濃度換算の有無		
①	Lorenz C et al (2019)	北極	海洋	エクマンバージ	酵素分解、フェントン反応	ZnCl ₂	-	FTIR+ フローイメージング顕微鏡	11~5000	○	3~1189	-	-	PP、PA、PVC、PE 等
②	Missawi O et al (2020)	チュニジア	海洋	エクマンバージ	アルカリ加水分解	ZnCl ₂	-	顕微 FTIR、顕微ラマン	1.2~1000	○	129~606	-	ファイバー、フラグメント等	PE、PP、PA 等
③	Tekman MB et al (2020)	北極	海洋	マルチプルコアラー	フェントン反応	ZnCl ₂	-	FTIR+ フローイメージング顕微鏡	11~500	○	239~13331	-	-	ポリ塩化エチレン、ニトリルゴム、PP 等
④	Bergmann M et al (2017)	北極	海洋	マルチプルコアラー	フェントン反応	ZnCl ₂	-	顕微 FTIR	11~275	○	42~6595	-	-	ポリ塩化エチレン、PA、PP、ニトリルゴム等
⑤	Xia F et al (2022)	中国	湖沼	カラム サンプラー	フェントン反応	NaCl	72~74	FTIR+ 共焦点レーザー顕微鏡+電解放出型走査電子顕微鏡	50~5000	○	30400	-	ファイバー、フィルム、フラグメント等	PE、PP、PVC、PA、PS 等
⑥	Lenaker PL et al (2021)	アメリカ	湖沼	エクマンバージ	フェントン反応	ZnCl ₂	92	FTIR	125 ~ 354.9	○	631	-	ファイバー、発泡体、フラグメント、ペレット、ビーズ、フィルム等	PET、PE、PP、PVC 等
⑦	Dikareva N et al (2019)	ニュージーランド	河川	エクマンバージ	フェントン反応	NaCl、NaI	-	FTIR	63~5000	○	9~80	-	フラグメント、ファイバー、	PE、PET、PVC、PP 等

文献 No.	文献情報	サンプリング			分析				結果					
	著者名	場所		採取機器	有機物 分解方法	密度分離 方法	回収率 (%)	分析機器	粒径		濃度		形状	素材
		地域	媒体						粒径 (μm)	粒径分 布の有無	個数濃度 (個/kg)	重量濃 度換算 の有無		
													フィルム、発 泡体等	
⑧	Hurley RR et al (2017)	イギリス	河川	グラビティ ー コア ー	アルカリ加 水分解	NaCl、NaI	-	FTIR+ 高開口 電動ズーム顕 微鏡	76~4330	-	914	-	フラグメント、 ファイバー、 ビーズ等	PE、PP、PS、 PET 等
⑨	Su L et al (2018)	中国	河川	カラム サ ンプラー	フェントン反 応	NaCl	-	顕微 FTIR	21~4830	○	20~160	-	ファイバー、 ペレット、フィ ルム、フラグ メント等	ポリエステル、 PP、PE 等
⑩	Mani T et al (2019)	ドイツ	河川	ダイビン グベル+鋤	フェントン反 応	ZnCl ₂	55 ~ 100	顕微 FTIR	11~5033	○	260~11070	-	-	PE、PP、PS、 ポリエステル等
⑪	Zhou Y et al (2021)	中国	河川	-	アルカリ加 水分解	NaCl 、 ZnCl ₂	-	顕微ラマン	10~1000	○	3748~4005	-	ファイバー、 フラグメント 等	PE、PP、PS、 PET、PVC、ポ リエステル等
⑫	Mamun Mandal et al (2025)	インド	河川 /池	Van Veen グラブサ ンプラー	H ₂ O ₂ 酸化法	ZnCl ₂ 、NaI	-	実体顕微鏡	300~5000	○	167000~ 193000	-	フィルム、破 片、粒子、繊 維、ペレット、 発泡体	ナイロン、PE、 PET、PVC、 PU、PP、PS
⑬	Nikola Bobchev et al (2024)	南アフリカ	河川	ステンレ ス製グラ ブサンプ ラー	H ₂ O ₂ 酸化法	NaCl	-	実体顕微鏡 (40倍)、接眼 マイクロメータ ー、FTIR 分光 法	500~5000	○	304.91~ 1222.23 825.93±396. 30(海岸)、 580.25±356. 53(河川)、 550.62±245. 71(湾)	-	繊維、破片 状、フィルム	PE、PP、PET

文献 No.	文献情報	サンプリング			分析				結果					
	著者名	場所		採取機器	有機物 分解方法	密度分離 方法	回収率 (%)	分析機器	粒径		濃度		形状	素材
		地域	媒体						粒径 (μm)	粒径分 布の有無	個数濃度 (個/kg)	重量濃 度換算 の有無		
⑭	Mitzi Sánchez-Campos et al (2024)	メキシコ	湾	バン・ヴィーン採泥器	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (重クロム酸カリウム)と濃硫酸(H_2SO_4)	ZnCl_2	-	実態顕微鏡	100~4250	○	2.44~43.01	-	繊維、破片、泡状	ポリエステル、アクリル、レーヨン、ポリアミド
⑮	P.M. Graham et al (2024)	南アフリカ	河川	金属スプーン	H_2O_2 酸化法	ZnCl_2	-	FTIR 顕微鏡、焦点面アレイ(FPR)検出器(Bruker 社)	20~5000	○	150~4000	-	-	ポリプロピレン、ポリエチレン、アクリレート、ポリウレタン、ワニス、ポリアミド
⑯	Freya Radford et al (2024)	ベリーズ	海洋	PVC パイプ	過酸化水素	油抽出法	-	マイクロ FTIR 分光分析装置(PerkinElmer Spotlight 400)	25~1000	-	32~17137	-	-	ポリカーボネート、酸化ポリエチレン、ポリスチレン、ゴム、ポリエチレン、ポリプロピレン、塩素化ポリエチレン、APV、他
⑰	Austin Gray et al (2024)	アメリカ	河川	アンバーガラス瓶・ボトル	H_2O_2 酸化法	ポリタングステン酸ナトリウム	-	視覚的識別 LeicaS9 実験顕微鏡、イメージソフトウェア	0.45~5000	○	116.5~161.5 139±22.5	-	繊維、破片	ポリプロピレン、セルロースアセテート、ナイロン、コポリマー、ポリビニル酢酸エチル、ポ

文献 No.	文献情報	サンプリング			分析				結果					
	著者名	場所		採取機器	有機物 分解方法	密度分離 方法	回収率 (%)	分析機器	粒径		濃度		形状	素材
		地域	媒体						粒径 (μm)	粒径分 布の有無	個数濃度 (個/kg)	重量濃 度換算 の有無		
														リビニルアルコ ール、他
⑱	Haijun He et al (2025)	中国	河川 /河 口域	ボックスス コ アラ	H ₂ O ₂ 酸化法	NaCl	-	実態顕微鏡 (80倍率でサ イズを、 micro-FTIR によりポリマ ータイプを、 SEMにより表 面特性を計 測)	0.45~ 5000	○	68~460	-	フィラメント、 顆粒状、棒 状、ブロック 状	ポリエチレン、 ポリプロピレ ン、合成繊維、 ポリエステル、 ポリアミド
⑲	D. Saad et al (2024)	南アフリカ	河川	グラブサ ンプラー (ヴァンベ ーン)式	水酸化カリ ウム	ヨウ化ナト リウム	-	実態顕微鏡、 SEM (Horiba LabRAM HR Raman spectrometer)	-	○	78~1092	-	繊維、破片、 ペレット	PE、PEH、PP、 PU、PEVA
⑳	Yehao Wanga et al	日本	湾 (岩 手)	エクマン バージ	30% H ₂ O ₂ 72 時間処理	NaI 溶液	約 85~ 100% (粒径 別)	FTIR 顕微鏡 (Nicolet iN10)	50~5000	○	約 2600~ 13600	-	不規則形状 の破片	ポリエチレン (PE)、ポリプロ ピレン(PP)、ポ リ塩化ビニル (PVC)、ポリア ミド(PA)、ポリ スチレン(PS)、 共重合体およ びその他合成 樹脂

文献 No.	文献情報	サンプリング			分析				結果					
	著者名	場所		採取機器	有機物 分解方法	密度分離 方法	回収率 (%)	分析機器	粒径		濃度		形状	素材
		地域	媒体						粒径 (μm)	粒径分 布の有無	個数濃度 (個/kg)	重量濃 度換算 の有無		
⑪	Hirofumi Hinata et al	日本	湾 (別 府 湾)	コアサン プラー	過酸化水素	-	-	双眼実体顕 微鏡、FTIR	300~5000	○	86(2014年)	-	PE および PP は鋭角的なフ レーク状、発 泡 PS は繊維 状またはねじ れ形	ポリエチレン (PE)57.0%、ポ リプロピレン (PP)21.3%、 ポリスチレン (PS)19.3%
⑫	Yehao Wang et al	日本	湾 (東 京 湾)	エクマン バージ	30%過酸化 水素水	NaI 溶液	約 72~ 100% (粒径 別)	FTIR	25~480.7	○	約 100000~ 147000	-	破片状	ポリエチレン (PE)、ポリプロ ピレン(PP)、ポ リアミド(PA)で あり、少量のポ リスチレン(PS) およびポリ塩化 ビニル(PVC)

また、Peter T. Harris らは、「The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis (2020)」において、約 80 報の文献のレビューを行い、調査地点を 9 つの主要な堆積環境 (Beaches (浜辺)、Shallow Coastal (浅海域)、Tide-dominated Estuaries and Deltas (潮汐支配型の河口・三角州)、Wave-dominated Estuaries and Deltas (波支配型の河口・三角州)、Lagoon and Coastal Lakes (ラグーン・沿岸湖)、Fjords (フィヨルド)、Tide-dominated Continental Shelves (潮汐支配型大陸棚)、Wave-dominated Continental Shelves (波支配型大陸棚)、Deep Sea Environments (深海)) に分類した (図表 1-4)。

図表 1-4 地点の分類

No.	地点	説明	レビュー対象論文数	MicP 濃度中央値 (個/kg)
1	Beaches (浜辺)	波打ち際や砂浜。波の影響が強く、粒子の入れ替わりが激しい動的環境。	17 報	約 200
2	Shallow Coastal (浅海域)	湾内の浅い海域や干潟など、波や潮流の影響が適度にある沿岸環境。	18 報	約 200
3	Tide-dominated Estuaries and Deltas (潮汐支配型の河口・三角州)	潮の満ち引きで流れが逆転する環境。運搬力が高く、粒子が移動しやすい。	6 報	約 150
4	Wave-dominated Estuaries and Deltas (波支配型の河口・三角州)	波の力で堆積物が堆積・分散される環境。中央に泥がたまりやすい。	8 報	約 300
5	Lagoon and Coastal Lakes (ラグーン・沿岸湖)	外洋から半ば閉ざされた環境で、水の入れ替わりが少ない。	4 報	約 800
6	Fjords (フィヨルド)	氷河によって形成された深い湾。堆積効率が非常に高い堆積のホットスポット。	5 報	約 7,000
7	Tide-dominated Continental Shelves (潮汐支配型大陸棚)	潮流が強く、泥が運ばれやすい海底環境。	5 報	約 120
8	Wave-dominated Continental Shelves (波支配型大陸棚)	波の影響で、海底に沿って粒子が拡散されやすい環境。	14 報	約 30
9	Deep Sea Environments (深海)	水深 1000m 以上の深海底。マリンスノー等により粒子がゆっくり沈降。	9 報	約 80

Peter T. Harris が分類した、各地点における底質中の MicP 濃度を図表 1-5 に示す。底質中の MicP 濃度には、環境の物理的・地形的特性、および堆積プロセスの違いに基づいた明確な傾向と差異が認められた。

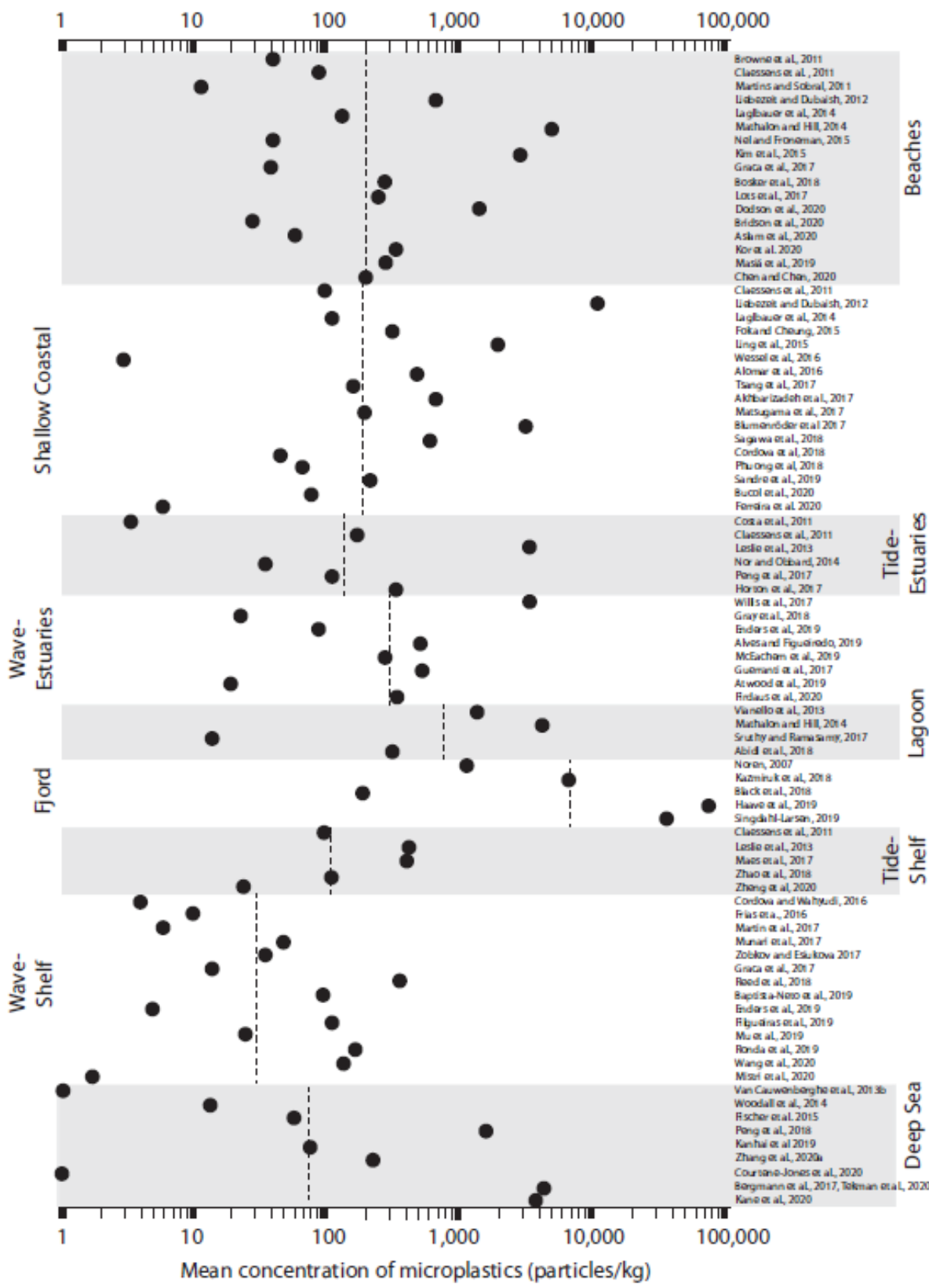
特に顕著であったのは、フィヨルドにおける MicP 濃度の高さであり、レビュー対象となった全環境の中で、フィヨルドは平均濃度・最大濃度ともに最も高い値を示し、中央値約 7,000 個/kg、最大で 200,000 個/kg に達する事例も報告されている。この要因として、フィヨルドは構造的に閉鎖性が高く、外洋との水交換が制限されているため、懸濁粒子が堆積しやすい地形的条件を備えていることが挙げられる。

次に、高濃度の傾向を示したのはラグーン (lagoon) および波支配型河口 (wave-dominated estuaries) である。これらの環境では、MicP 濃度の中央値がそれぞれ 800 個/kg、300 個/kg と相対的に高く、閉鎖性や波の運搬作用による粒子の堆積が主要な要因であると推定される。ラグーンは特に外洋との水交換が限定的で、滞留時間が長いために、MicP の拡散が抑制され堆積が進行しやすいと考えられる。

中程度の MicP 濃度を示した環境としては、浜辺 (beaches)、浅海域 (shallow coastal)、潮汐支配型河口 (tide-dominated estuaries) が挙げられる。これらの環境では、MicP 濃度の中央値はおおむね 150~200 個/kg の範囲に分布しているが、いずれも水の動きが活発な環境であるため、堆積した MicP が再浮上・再分散されやすく、安定した堆積物として保持されにくい特性を有している。特に浜辺は、波による攪乱が頻繁であり、粒子は滞留しにくい。したがって、これらの環境において検出される MicP は、歴史的な蓄積というよりは、動的な MicP 輸送の中間的な存在と見なすことが適切である。

一方で、MicP 濃度が最も低かったのは大陸棚 (shelves) と深海 (deep sea) であった。特に波支配型大陸棚では、平均濃度は約 30 個/kg と、他の環境と比較して著しく低く、波のエネルギーが高いことにより、MicP が定着せずに拡散してしまうと考えられる。また、潮汐支配型棚でも類似の傾向が認められた。深海においては、全体としては粒子が到達しにくく、また堆積速度が非常に遅いため、濃度は低く、かつ長期間にわたり徐々に蓄積する傾向がある。

これらの結果を総合すると、MicP の海底への沈降は、水深や粒子輸送力、地形の閉鎖性、堆積速度、有機物との共沈降性など、複数の物理的・化学的要因によって制御されていると考えられる。とりわけ、MicP の堆積ホットスポットとして機能する環境 (例：フィヨルド、ラグーン) と、拡散・再輸送が支配的な環境 (例：大陸棚、深海) に分類することは、海洋環境モニタリングにおける地点選定の指針として極めて有用である。



図表 1-5 各地点における底質中の MicP 濃度

1.3. 底質におけるマイクロプラスチックの挙動・推計に関する情報収集

1.3.1. はじめに

海洋表層と同様に、底質のマイクロプラスチックについても、日本近海のマイクロプラスチック実測データから微細な粒径のマイクロプラスチックの濃度の推計が望まれる。

実測データを用いた底質の微細なマイクロプラスチック濃度の推計を実施することを想定し、底質のマイクロプラスチックに係る理解を深めるため、底質のマイクロプラスチックの挙動に関する情報を整理した。

1.3.2. 方法

文献検索により、海洋の水中での MicP の挙動についての研究事例を調査した。調査した文献の一覧を図表 1-6 に示す。MicP の微細化要因や推計地点の特性を考慮した事例、MicP 表面でのバイオフィーム形成をモデル化した事例、MicP の沈降・浮遊などの挙動をシミュレーションした事例などがある。

図表 1-6 調査文献一覧

No.	著者名	出版年	文献名
①	L. Lebreton et al.	2019	A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean [https://www.nature.com/articles/s41598-019-49413-5]
②	A. Koelmans et al.	2017	All is not lost: Deriving a top-down mass budget of plastic at sea [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa9500]
③	M. Eriksen et al.	2014	Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea [https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111913]
④	E. van Sebille et al.	2015	A global inventory of small floating plastic debris [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124006]
⑤	A. Isobe et al.	2021	A multilevel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes [https://microplastics.springeropen.com/articles/10.1186/s43591-021-00013-z]
⑥	M. Eriksen et al.	2023	A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required [https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0281596]
⑦	J. Barrett et al.	2020	Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight Front [https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2020.576170/full]
⑧	A. Isobe et al.	2022	The fate of missing ocean plastics: Are they just a marine environmental problem? [http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153935]
⑨	M. Liro et al.	2023	Macroplastic fragmentation in rivers [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023004592]
⑩	D. Rodrigues et al.	2020	Distribution patterns of microplastics in seawater surface at a Portuguese estuary and marine park [https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.582217/full]
⑪		2022	Distribution patterns of microplastics in subtidal sediments from the Sado river estuary and the Arrábida marine park, Portugal

No.	著者名	出版年	文献名
			[https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.998513]
⑫	M. Kooi et al.	2017	Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on Vertical Transport of Microplastics [https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b04702]
⑬	R. Fischer et al.	2022	Modelling submerged biofouled microplastics and their vertical trajectories [https://bg.copernicus.org/articles/19/2211/2022/]

1.3.3. 結果

以下の各事項についての研究事例を示す。

- ・海面と海底でのプラスチック量の比較
- ・微細化要因
- ・地点の特性
- ・バイオフィウリングによる沈降・再浮上モデル
- ・沈降・再浮上のシミュレーション

(1) 海面と海底でのプラスチック量の比較

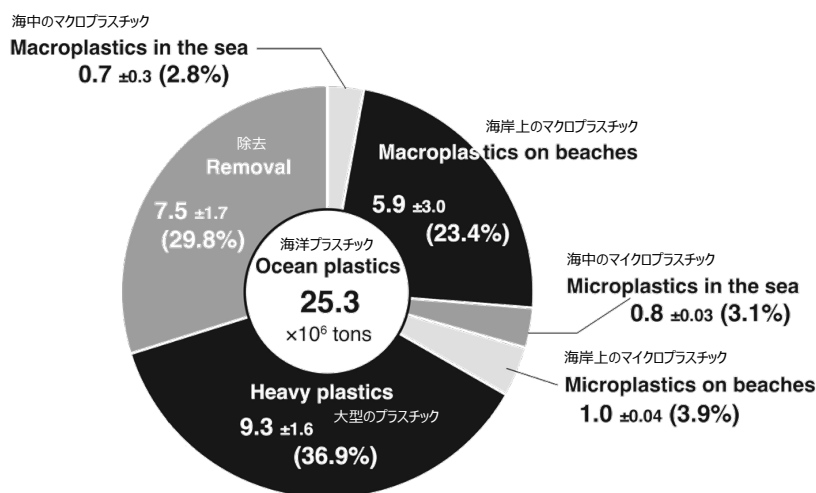
全世界の海面に浮遊するプラスチック量、海底に存在するプラスチック量を推定した研究事例を図表 1-8 に示す。ともに実測を基にした推定である。

海面での推定量は約 10 万～500 万トン、約 5 兆～400 兆個である。一方、海底での推定量は約 1,400 万トンである。海底に存在すると推定されるプラスチックの重量は、海面に存在すると推定される重量よりも多い（3～100 倍程度と幅あり）。

図表 1-7 海面と海底に存在するプラスチック推定量

場所	推定量		推定対象	出典
	重量	個数		
海面	27 万トン	5 兆個	プラスチック全体	Eriksen (2014)
海面	9～24 万トン	15～51 兆個	マイクロプラスチック	van Sebille (2015)
海面	8～58 万トン	24 兆個	マイクロプラスチック	Isobe (2021)
海面	110～490 万トン	82～358 兆個	プラスチック粒子	Eriksen (2023)
海底	1,400 万トン	—	マイクロプラスチック	Barrett (2020)

また、Atsuhiko Isobe (2022)の報告では、全世界の海洋プラスチックは 2,530 万トンと推定されている。そのうち、海中のマイクロプラスチックは 80 万トンで、全体の 3.1%を占めると推定されている。



図表 1-8 海洋プラスチックの推定量

今回の調査では、底質の MicP 濃度を直接推計している研究事例は見当たらなかったが、海域の表層とそれ以外の領域でのプラスチック存在量を推計した研究事例がある（図表 1-9）。

どちらの研究事例も、1950 年以降に世界で生産され、海域に排出されたと推測されるプラスチック量に比べて、実際に海域表層で観測されるプラスチック量が桁違いに少ないことに対して、モデル計算によって破碎過程、存在域を推計し、実態を解明しようとしたものである。

図表 1-9 海域の表層とそれ以外の領域でのプラスチック存在量を推計した研究事例

研究事例	概要
Lebreton et al. (2019) (図表 1-6 の①)	河川流入量、漂流・分解・沈降などのプロセスを考慮した質量収支モデルを構築し、世界の海洋に存在するマクロプラスチックの量を推定。 観測データとモデルを統合し、投入量と現存量の大きな乖離を定量化し、滞留時間や主要損失経路を明らかにした。
Koelmans et al. (2017) (図表 1-6 の②)	観測値と既存推計を用いて、海洋プラスチックの投入量・沈降・生物摂食・海岸堆積などの損失経路を定量化。 定常状態を仮定した質量収支モデルで「観測されない大量のプラスチック」の所在を説明する枠組みを提示し、ミッシングプラスチック問題に理論的根拠を与えた。

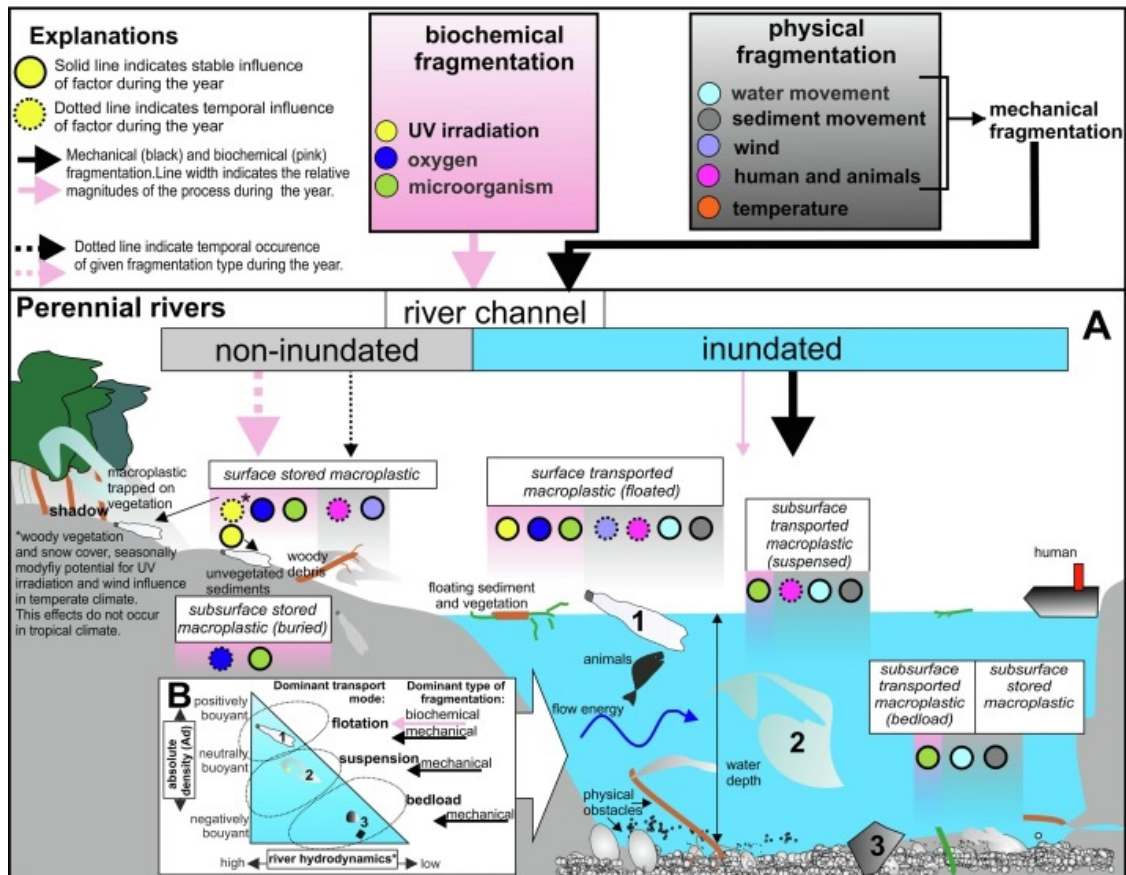
(2) 微細化要因

Maciej Liro(2023)の報告によれば、MicP の微細化は表層水と川底では微細化の要因に違いがあることを指摘している。

微細化の要因は、化学的要因と物理的要因があり、化学的要因には紫外線・酸化・微生物の影響、物理的要因には水の作用・底質の作用・風・人や生物・温度による影響がある。

川底では、紫外線等の影響はなくなり、微生物・水の作用・底質の作用により微細化する。

CONCEPTUAL FRAME FOR EXPLORING RIVERINE MACROPLASTIC FRAGMENTATION

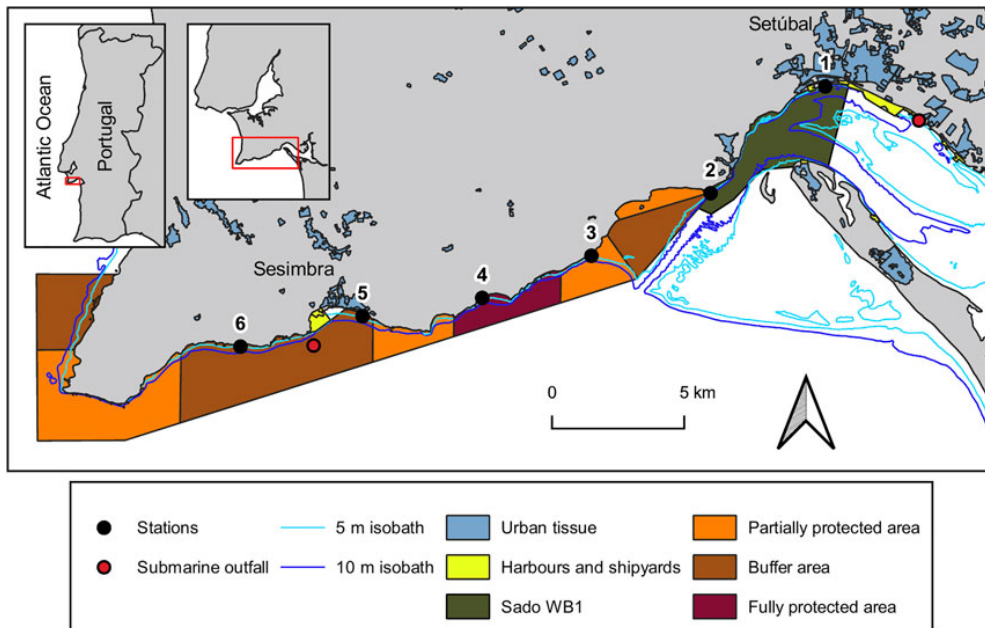


図表 1-10 Maciej Liro (2023)のモデル

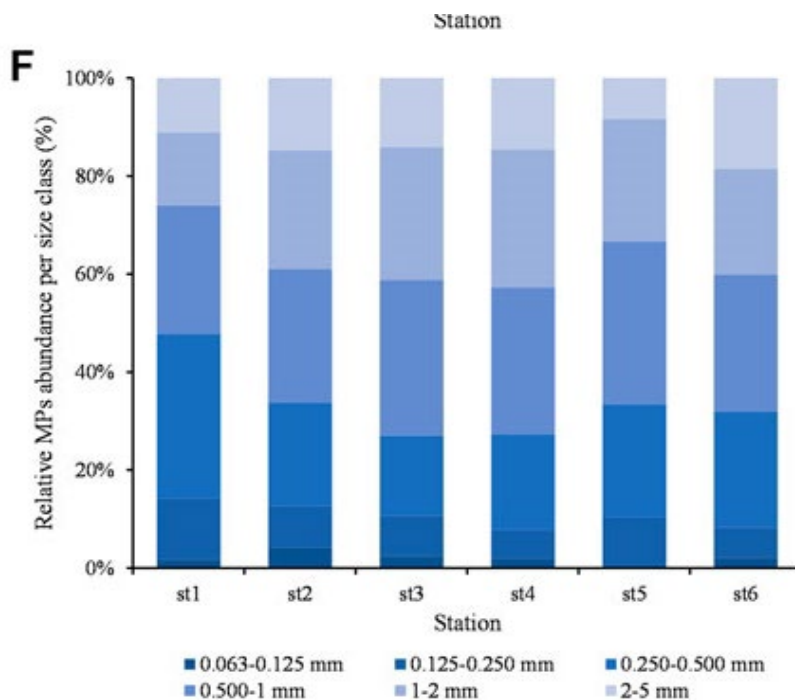
(3) 地点の特性

Diana Rodrigues (2022)の報告によれば、環境要因等により堆積物に存在する MicP の粒径分布が地点により異なる可能性を指摘している。

河口に蓄積した MicP は大部分が 0.250~0.500 mm や 0.500~1 mm であり、海洋に近い地点では、大部分が 0.500~1 mm と 1~2 mm であった。



図表 1-11 測定地点



図表 1-12 地点別の MicP の粒径分布

(4) バイオフィウリングによる沈降・再浮上モデル

Merel Kooi(2017)の報告では、MicP 表面のバイオフィウリング (バイオフィルムの付着・成長) による鉛直方向の沈降・再浮上を表現するモデルが提示されている (図表 1-13)。

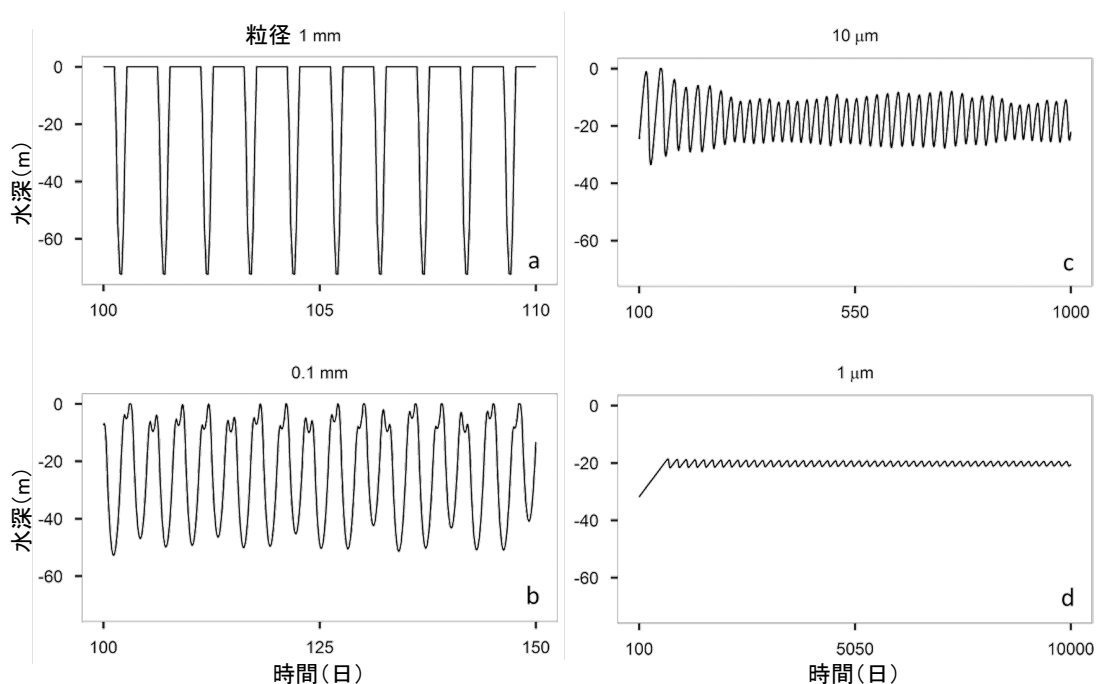
藻類によるバイオフィルムが付着・成長すると、MicPは沈降し始める。藻類の成長・死亡・呼吸により、MicPの密度が変化し、「浮く」「沈む」「振動する」という挙動を示す。

振動の周期・振幅はMicPサイズに依存する、サイズが小さいMicPほど、再浮上しにくいという結果が示されている（図表 1-14）。

図表 1-13 沈降速度式（修正ストークス則）

$$V_s(z, t) = - \left(\frac{\rho_{\text{tot}} - \rho_{\text{sw},z}}{\rho_{\text{sw},z}} g \omega_* \nu_{\text{sw},z} \right)^{1/3}$$

V_s : 沈降速度	ρ_{tot} : 粒子と付着藻類の合計密度
ρ_{sw} : 周囲の海水密度	g : 重力加速度
ω_* : 無次元沈降速度	ν_{sw} : 海水の動粘性率



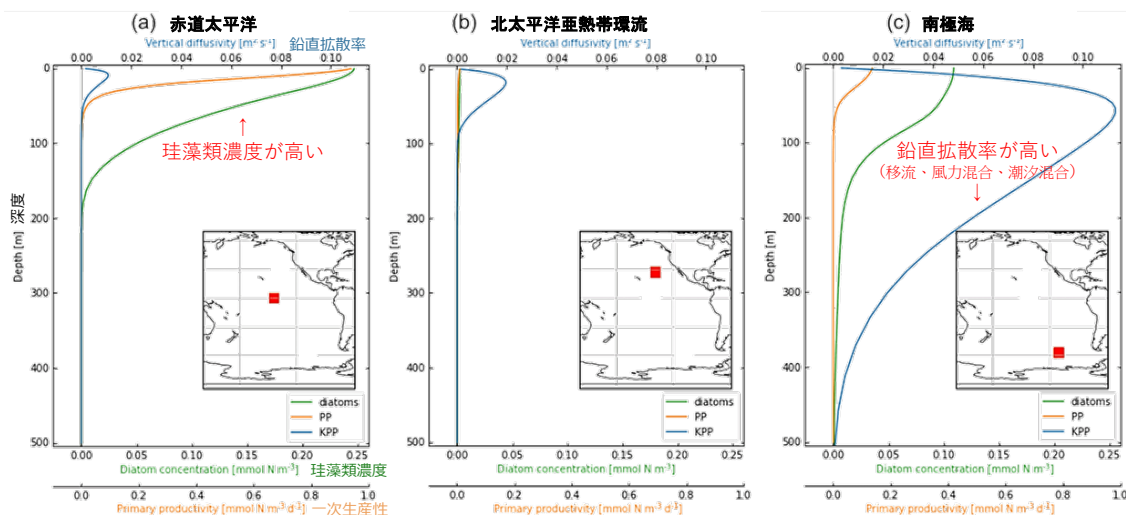
図表 1-14 MicP サイズによる沈降・再浮上挙動の違い

(5) 沈降・再浮上のシミュレーション

Reint Fischer (2022)により、バイオフィリングで沈降したマイクロプラスチックが、付着生物の呼吸や剥離により再浮上する過程をモデル化し、海中でのMicPの挙動をシミュレーションした結果が報告されている。

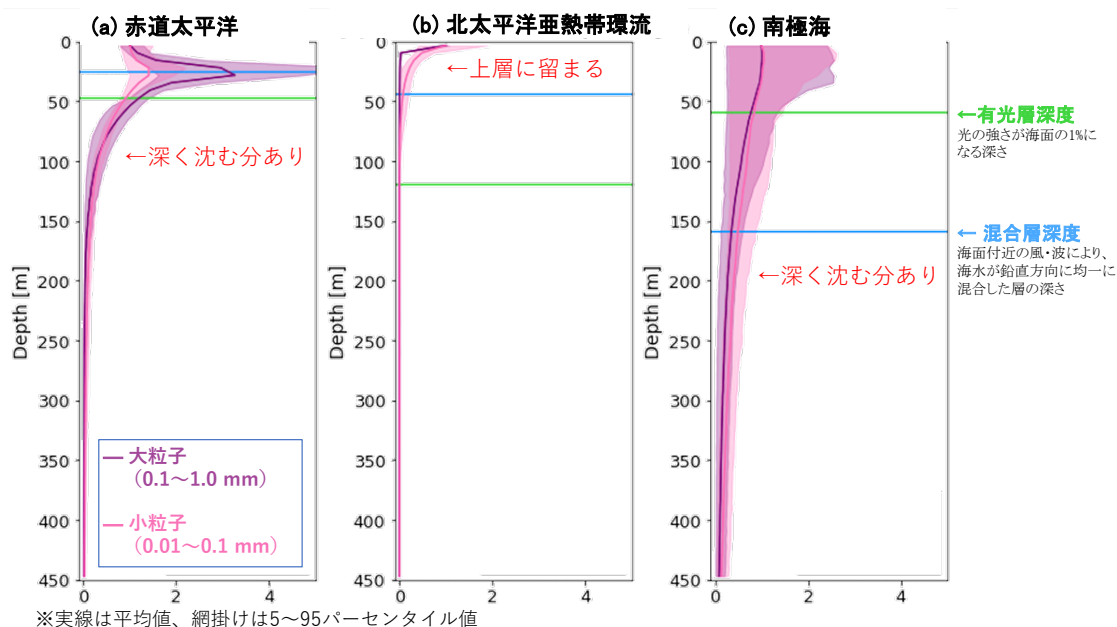
計算では、粒子密度変化・沈降速度・浮力の力学方程式をベースとし、Kooi(2017)のモデルを改良した Lobelle(2021)の生物付着モデルが使用されている。MicPが沈降・再浮上する要因として、移流、風力混合、潮汐混合およびバイオフィルム付着を想定している。

計算対象は代表的な3つの海域であり（図表 1-15）、MicP の鉛直方向の沈降・再浮上についての時間変化がシミュレーションされている。



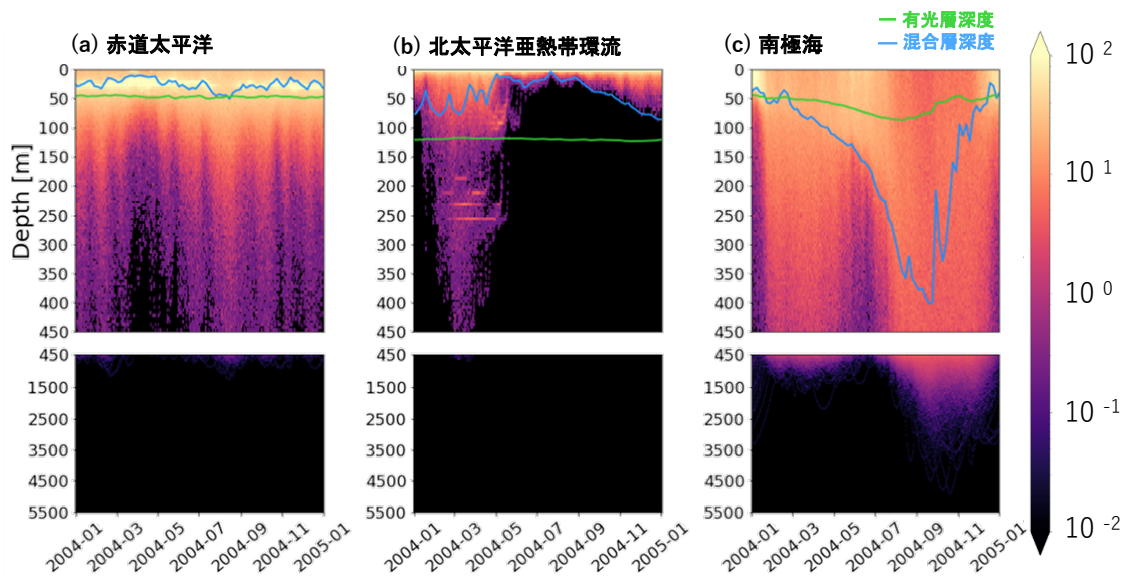
図表 1-15 計算対象地域

図表 1-16 に示すように、生物活動が活発な領域（(a)赤道太平洋）および混合が激しい領域（(c)南極海）では、MicP は有光層深度、混合層深度よりも遥かに深く沈む可能性がある。それ以外の領域（(b)北太平洋亜熱帯環流）では、ほとんどの MicP は有光層深度、混合層深度よりも上方に留まっている。



図表 1-16 深さ方向の MicP 濃度分布（表層に対する比、年間平均）

また、図表 1-17 に示すように、南極海では、最深部（最大 5000メートル超）まで到達する MicP はごく僅かあるが、それ以外の領域では、MicP は海底には到達しないという結果となっている。北太平洋亜熱帯環流では、MicP 濃度分布に季節変動が現れている。



※海洋粒子沈降特性が典型的な2004年が計算対象。

図表 1-17 MicP 濃度分布の到達深度（粒径 0.1~1.0 mm の場合）

1.4. まとめ

1.4.1. 実測に関するまとめ

■実測データの不足と空間的偏り

- ✓ 海洋表層と異なり、環境省による底質中 MicP の実測は行われていない。学術文献に関しても、海洋表層と比較して底質の実測データは少ない。特に日本近海・沿岸域・内水域に関するデータは限られている。
- ✓ 底質は地点による濃度差が大きく、河川、干潟、湖沼、発生源近傍など、集積しやすい環境（ホットスポット）を重点的に評価すべき。

■粒径に関する課題・留意点

- ✓ エックマンバージ、顕微 FT-IR を用いた場合、実測データとして信頼できる下限は概ね 20 μm 程度 であり、それ以下の粒径は正確な測定は現時点では困難。前処理に使用したメッシュサイズ（特に網目の対角線長）が、実際に回収・検出可能な粒径範囲を規定する。
- ✓ 粒径が小さいほど回収率が低下し、データの信頼性が低くなる可能性があり、回収率試験に供した MicP のサイズは確認が必要。

■実測データの信頼性に関する課題

- ✓ 実測の文献を確認する際は、以下のような最低限確認すべき条件（ミニマムリクワイアメント）の整備が必要である。
- ✓ 特に、底生生物の毒性試験と比較する際は、堆積物の情報が必要となるため、MicP 以外の堆積物の情報を取得している実測文献は優先的に確認すべき。また、底質の深度によっても生息生物が異なるため、実測文献においても深度の情報があれば取得しておく。
 - 前処理における酸化処理、比重分離の方法（重い素材が分離できていない可能性あり）
 - 前処理における使用メッシュのサイズ（信頼できる粒径範囲に関連）
 - コンタミネーション対策
 - FT-IR 等による材質同定の有無
 - 回収率試験の実施状況と使用粒径
 - MicP 検出数（極端に少ない場合は信頼性が低い）
 - MicP 以外の堆積物の測定（粒度分布、有機物含量（強熱減量）、含水率など） 等

1.4.2. 挙動・推計に関するまとめ

■推計に関して

- ✓ 底質中の MicP の推計に関しては、以下のような挙動を考慮すべきだが、これらの挙動が同時並行的かつ相互依存的に進行するため、現時点では単純なモデルで示すことは困難である。基本的には、有害性との比較においては底質の実測データを使用することが現実的であると考えられる。
- ✓ 一方、実測データとして信頼できる粒径下限は概ね 20 μ m 程度なので、それ以下の粒径は推計を行う必要がある。上記と並行して、海洋表層の推計濃度に沈降モデルを加味した底質濃度の試算の検討を行う。考慮できている挙動と、考慮できていない挙動を明記し、現時点での限界を示す。推計結果と実測値との整合性を確認することでモデルの妥当性を検証していく。

■推計において考慮すべき挙動

- ✓ 沈降・破砕プロセス
 - 底質中の MicP の分布は、粒子の破砕と沈降の二段階のプロセスを経て形成される。これらのプロセスは同時並行的かつ相互依存的に進行するため、単純な粒径分布モデルで再現することは困難である。
 - 粒径によって沈降速度が大きく異なり、特に一桁 μ m オーダーの粒子は水中に長時間滞留する。水流、潮汐、乱流などの環境条件が沈降・分散挙動に強く影響再浮上・鉛直移動
 - する。推計を行う場合、実環境のどの部分を再現しているのかを明確にする必要がある。
- ✓ 再浮上・鉛直移動
 - 底質に沈降した MicP が、再浮上し再び水柱中を移動する可能性が指摘されている。特に旋回流や攪乱が生じる海域では、沈降と再浮上を繰り返す鉛直移動（ヨーヨー効果）が起こり得る。
 - しかし、再浮上現象は実証が難しく、定量モデルへの組み込みには大きな不確実性を伴う。現時点では、再浮上を含む詳細挙動を定量化するよりも、現象として起こり得ることを前提条件として明示する整理が適切である。
- ✓ 凝集・バイオフィアウリング
 - 実環境中では、MicP は単独粒子ではなく、藻類や有機物と凝集体を形成して存在することが多い。この凝集状態が沈降速度、分布、バイオアベイラビリティに大きな影響を及ぼす。
 - 実環境中の分析の結果は、凝集体が解体された後の単体の MicP に近い状態であり、生物が実際に摂食する状態を直接反映していない可能性が高い点には留意が必要。

1.5. 現状の課題点と今後の検討の方向性(案)

今年度の検討を通じて見えてきた、現状の問題点と今後の検討の方向性(案)を以下に示す。

図表 1-18 底質におけるばく露等評価に関する現状の課題点と今後の検討の方向性(案)

分類	現状の課題点	今後の検討の方向性(案) (次年度以降の環境省事業で取組み可能なものには【◎】を付与)
実測に 関して	①底質における微細粒径の MicP の存在状況が未把握 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 現在の測定技術では、粒径 20μm 程度が検出下限値であり、それ以下の粒径を正確に把握することは困難 ➢ 海洋表層と比較しても、日本近海・沿岸域・内水域に関するデータは限られている 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 微細粒径の MicP の環境中での存在状況を把握するため分析技術の開発 ➢ 環境省実測調査におけるデータの蓄積【◎】
	②ホットスポットに関する情報が限定的 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 底質は地点による濃度差が大きく、河川、干潟、湖沼、発生源近傍など、集積しやすい環境(ホットスポット)が存在するが、濃度分布の情報が限定的 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 底質における地点ごとの実測データの拡充【◎】
挙動・推 計に関 して	③現時点では単純なモデルで底質中の MicP の濃度を推計することは困難 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 推計において考慮すべき挙動として、沈降・破砕プロセス、再浮上・鉛直移動、凝集・バイオフィウリング等が挙げられるが、これらの挙動が同時並行的かつ相互依存的に進行するため、現時点では単純なモデルで推計を行うことは困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 微細粒径の MicP の環境中濃度推計・挙動に関する継続的な情報収集【◎】 ➢ 海洋表層の推計濃度に沈降モデルを加味した底質濃度の試算
評価に 関して ※	④有害性データと比較する際の評価単位の統一 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 底質の実環境中の実測に関しては、底質の乾重量あたりの個数(個数/kg-dry)や面積あたりの個数(個数/m²)などが用いられていることが多い。 ➢ また、底質経由の毒性試験においては、底質の乾重量あたりの個数(個数/kg-dry)や水体积あたりの個数(個数/m³)でコントロールされていることが多く、評価単位が様々である。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 既往文献における評価単位の確認(必要であれば乾重量・湿重量・体積ベースの間の換算)【◎】
	④ばく露シナリオに関して(摂餌生態や生育環境) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 底質中に潜行する生物(例:ゴカイ)と、底質表層で摂食する生物(例:エビ・カニ)では、ばく露シナリオが異なる。エックマンバージで採取した底質中の MicP 濃度と有害性データを比較する際は、生物の摂餌生態や生育環境をどの程度考慮すれば良いか。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 既往文献における底生生物のリスク評価手法の確認【◎】 ➢ 有害性評価分科会との密な連携【◎】

※有害性の課題も含む

1.6. ばく露等評価分科会の開催

令和7年度は、ばく露等評価分科会を1回開催した。委員名簿と開催概要を以下に示す。

氏名 (敬称略、五十音順)	所属
磯辺 篤彦 (座長)	九州大学 応用力学研究所 教授
亀田 豊	千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 教授
鈴木 剛 (副座長)	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環領域 資源循環基盤技術研究室 室長
高橋 一生	東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授
田中 厚資	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環領域 資源循環基盤技術研究室 研究員
田中 周平	京都大学大学院 地球環境学堂 准教授
中谷 久之	長崎大学 総合生産科学域 教授
中田 晴彦	熊本大学大学院 先端科学研究部 准教授
山下 麗	東京大学 大気海洋研究所 海洋生物資源部門 資源生態グループ 特任研究員

回数	開催日時	議題
第1回	令和7年11月7日	(1)分科会の設置について (2)今年度のばく露評価の検討方針について (3)底質におけるマイクロプラスチックの存在状況について (4)底質におけるマイクロプラスチックの挙動と推計について (5)今後のスケジュールについて