



令和4年度の成果

※対外向け公開用資料を兼ねる



マイクロプラスチックによる生物生態系影響についての検討（令和4年度）

令和4年度の目標

1. リスク評価検討委員会

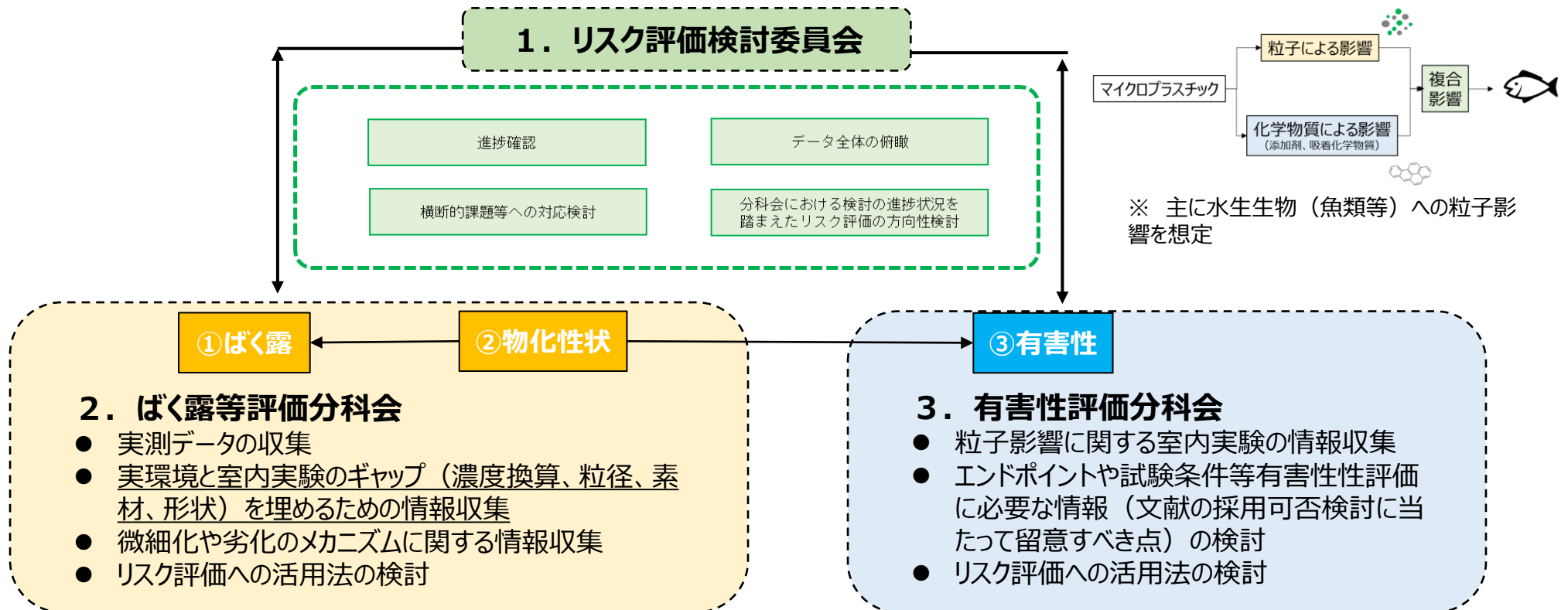
海洋プラスチックによる生物・生態系へのリスク評価※1手法の確立に当面必要な**モニタリングデータの物化性状や微細化等に係る情報及び有害性情報**を特定する。また、**両者のギャップ**について総合的に検討する。

2. ばく露評価分科会

環境中の実測データをリスク評価に活用するため、**実環境と室内実験とのギャップ**についての考え方を整理（特に粒径に関するギャップに着目）

3. 有害性評価分科会

水生生物への粒子影響に関する信頼性のある知見をとりまとめ（**リスク評価に用いる文献の採用基準を整理**）



実環境（海洋表層）と室内実験（水生生物）の比較における課題

ばく露



	実環境（海洋表層）	室内実験（水生生物）	課題
粒径	測定法の技術的な限界のため一般的に330μm以上が対象	ナノ～10μm程度が多く使用されている	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 室内実験で使用されるMPsは実環境より1～3桁程度小さい ➤ 室内実験は単一粒径、実環境は粒径の幅が広い
素材	PE、PET等が多く検出されている	PSが主に使用されている	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 室内実験は単一素材(主にPS)、実環境は様々な素材が混合
形状	ファイバー、フラグメントが多く検出されている	球形が主に使用されている	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 室内実験は単一形状(主に球状)、実環境は様々な形状が混合
評価における濃度単位	主に個数ベース（個/m ³ ）で評価	主に重量ベース（μg/L）で評価	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 個数⇔重量の換算をしなければ比較できない状況

粒径330 μm 以下のMPsを対象とした実測データの文献調査

ばく露



- 粒径330 μm 以下のMPsを対象とした実測データの文献調査を行った。2018年以降に公開された比較的新しい文献14報を中心に整理した。

No.	著者名	出版年	媒体	粒径 (μm)	文献名
①	Song YK et al	2018	海洋	20~5000	Horizontal and Vertical Distribution of Microplastics in Korean Coastal Waters.
②	Eo S et al	2021	海洋	20~5000	Prevalence of small high-density microplastics in the continental shelf and deep sea waters of East Asia.
③	Ding J et al	2019	海洋	20~5000	Microplastics in the Coral Reef Systems from Xisha Islands of South China Sea.
④	Claudia Lorenz et al	2019	海洋	11~5000	Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea
⑤	Pabortsava K et al	2020	海洋	32~651	High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean.
⑥	Tekman MB et al	2020	海洋	11~500	Tying up Loose Ends of Microplastic Pollution in the Arctic:
⑦	Zhao S et al	2022	海洋	20.1~321.2	Large quantities of small microplastics meet the surface ocean to abyssal depths in the South Atlantic Gyre.
⑧	Xia F et al	2022	湖沼	50~500	Migration characteristics of microplastics based on source-sink investigation in a typical urban wetland.
⑨	Feng S et al	2021	河川	20~5000	Microplastic footprints in the Qinghai-Tibet Plateau and their implications to the Yangtze River Basin.
⑩	Eo S et al	2019	河川	20~5000	Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea.
⑪	Y Kameda et al	2021	河川	15~4565	Source- and polymer-specific size distributions of fine microplastics in surface water in an urban river
⑫	Yolanda Picó et al	2021	河川	50~1000	First evidence of microplastics occurrence in mixed surface and treated wastewater from two major Saudi Arabian cities and assessment of their ecological risk
⑬	M Sugiura et al	2021	河川	10~1000	Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff
⑭	Hildebrandt L et al	2021	河川	11~275	Comparison and uncertainty evaluation of two centrifugal separators for microplastic sampling.

実測濃度の整理

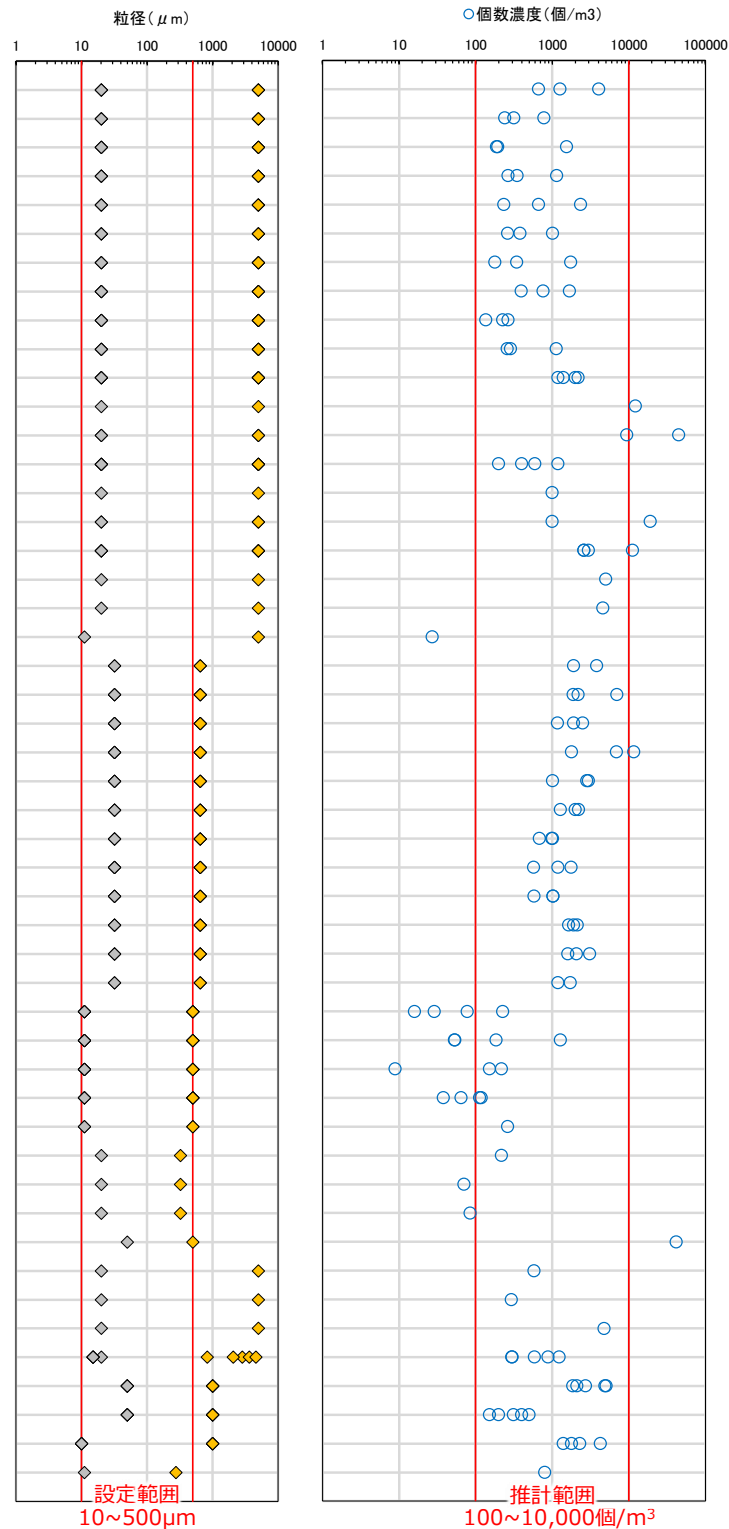
ばく露

- 文献が対象としている、粒径（最大、最小）と個数濃度を右に示す。粒径に関しては、現時点（2023年3月現在）で報告されている範囲では、10 μ m付近が測定下限値であると考えられる。
- 個数濃度に関しては、地域や海洋/湖沼/河川によって偏りはあるものの、おおよそ100~10,000個/m³の範囲で検出されており、従来の330 μ m以上を対象としている環境省の調査結果（1~4個/m³）と比較して2~4桁程度高い濃度で検出されている。
- Cozar et al.(2014)の推計式に従って算出された粒径10~500 μ mのMPsの環境中濃度は、個数濃度ベースで100~10,000個/m³オーダーであり、この範囲に実測値がおおよそ収まる結果となった。既存文献の実測値と推計結果に矛盾がないことを確認。

No.	著者	国・地域	調査地点	領域
①	Song YK et al (2018)	韓国	地点①-1	海洋
			地点①-2	
			地点①-3	
			地点①-4	
			地点①-5	
			地点①-6	
			地点①-7	
			地点①-8	
②	Eo S et al (2021)	韓国	地点②-1	海洋
			地点②-2	
③	Ding J et al(2019)	中国	地点③-1	海洋
			地点③-2	
			地点③-3	
			地点③-4	
			地点③-5	
			地点③-6	
			地点③-7	
			地点③-8	
			地点③-9	
④	Claudia Lorenz et al(2019)	北海南部	地点④-1	海洋
⑤	Pabortsava K et al (2020)	大西洋	地点⑤-1	海洋
			地点⑤-2	
			地点⑤-3	
			地点⑤-4	
			地点⑤-5	
			地点⑤-6	
			地点⑤-7	
			地点⑤-8	
			地点⑤-9	
			地点⑤-10	
			地点⑤-11	
			地点⑤-12	
⑥	Tekman MB et al (2020)	北極	地点⑥-1	海洋
			地点⑥-2	
			地点⑥-3	
			地点⑥-4	
			地点⑥-5	
⑦	Zhao S et al (2022)	南大西洋	地点⑦-1	海洋
			地点⑦-2	
			地点⑦-3	
⑧	Xia F et al (2022)	中国	地点⑧-1	湖沼
⑨	Feng S et al (2021)	中国	地点⑨-1	河川
⑩	Eo S et al (2019)	韓国	地点⑩-1	河川
			地点⑩-2	
⑪	Y Kameda et al(2021)	日本	地点⑪-1	河川
⑫	Yolanda Picó et al (2021)	サウジアラビア	地点⑫-1	河川
			地点⑫-2	
⑬	M Sugiura et al (2021)	日本	地点⑬-1	河川
⑭	Hildebrandt L et al (2021)	ドイツ	地点⑭-1	河川

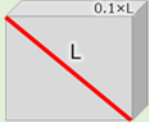

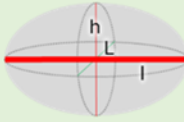
※詳細は論文参照

◆文献で対象としている最大粒径 (μ m)
◇文献で対象としている最小粒径 (μ m)



個数濃度から重量濃度への換算に関して

- Tekman MB et al.(2020) の実測値をベースに、MPsの形状をフレーク、球形、楕円体、円柱の4パターンを想定し、長軸を粒径分布の最小値、最大値、平均値、中央値と仮定した上で、最も多く検出されたポリマーの密度を使用し、全16通りの濃度換算を行った。その結果、形状と長軸の設定によって重量濃度は5オーダー程度異なる結果となった。

長軸の仮定	項目	フレーク 重量 = $(L^2/2) \times 0.1L \times \text{密度}$	球体 重量 = $(4/3)\pi(R/2)^3 \times \text{密度}$	楕円体 重量 = $\pi Lh/6 \times \text{密度}$	円柱 重量 = $(R/2)^2 \pi \times 0.1R \times \text{密度}$
					
①長軸を粒径分布の最小値とした場合 (11μm)	各パラメータの数値 (μm)	L=11	R=11	l=11 L=5.5(長軸の1/2) h=8.25(長軸の3/4)	R=11
	1粒あたりの体積 (μm ³ /個)	67	7.0×10 ²	2.6×10 ²	1.0×10 ²
	1粒あたりの重量 (μg/個) (ポリエステル密度使用 (1.38g/cm ³))	9.2×10 ⁻⁵	9.6×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻⁴
	重量濃度 (mg/L)	7.2×10⁻⁹ (最小)	7.5×10 ⁻⁸	2.8×10 ⁻⁸	1.1×10 ⁻⁸
②長軸を粒径分布の最大値とした場合 (125μm)	各パラメータの数値 (μm)	L=125	R=125	l=125 L=62.5(長軸の1/2) h=93.75(長軸の3/4)	R=125
	1粒あたりの体積 (μm ³ /個)	9.8×10 ⁴	1.0×10 ⁶	3.8×10 ⁵	1.5×10 ⁵
	1粒あたりの重量 (μg/個) (ポリエステル密度使用 (1.38g/cm ³))	0.13	1.4	0.53	0.21
	重量濃度 (mg/L)	1.1×10 ⁻⁵	1.1×10⁻⁴ (最大)	4.1×10 ⁻⁵	1.7×10 ⁻⁵
③長軸を粒径分布の平均値とした場合 (26.9μm)	各パラメータの数値 (μm)	L=26.9	R=26.9	l=26.9 L=13.45(長軸の1/2) h=20.175(長軸の3/4)	R=26.9
	1粒あたりの体積 (μm ³ /個)	9.7×10 ²	1.0×10 ⁴	3.8×10 ³	1.5×10 ³
	1粒あたりの重量 (μg/個) (ポリエステル密度使用 (1.38g/cm ³))	1.3×10 ⁻³	1.4×10 ⁻²	5.3×10 ⁻³	2.1×10 ⁻³
	重量濃度 (mg/L)	1.0×10 ⁻⁷	1.1×10 ⁻⁶	4.1×10 ⁻⁷	1.6×10 ⁻⁷
④長軸を粒径分布の中央値とした場合 (18.5μm)	各パラメータの数値 (μm)	L=18.5	R=18.5	l=18.5 L=9.25(長軸の1/2) h=13.875(長軸の3/4)	R=18.5
	1粒あたりの体積 (μm ³ /個)	3.2×10 ²	3.3×10 ³	1.2×10 ³	5.0×10 ²
	1粒あたりの重量 (μg/個) (ポリエステル密度使用 (1.38g/cm ³))	4.4×10 ⁻⁴	4.6×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³	6.9×10 ⁻⁴
	重量濃度 (mg/L)	3.4×10 ⁻⁸	3.6×10 ⁻⁷	1.3×10 ⁻⁷	5.4×10 ⁻⁸

- R4年度の査読を通じて各委員から指摘された、有害性データの信頼性の評価・採用の可能性を考える際の観点を、「MPs特有の留意すべき事項」と「一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項」の2種類で整理した。
- なお、これらの観点は各委員からの指摘をベースにまとめたものであり、今後ブラッシュアップしていくべき位置付けにあるものである。「MPs特有の留意すべき事項」については以下の通り。

有害性データの信頼性の評価・採用の可能性を考える際の観点		観点として注目した理由
ナノサイズのプラスチック粒子を使用		<ul style="list-style-type: none"> ✓ ナノサイズの粒子の場合、生物細胞への侵入や体表への影響（脱皮阻害）等もあると考えられ、マイクロサイズの粒子とは別物として考える必要がある。 ✓ 生物が摂取している量（生物利用可能量）をばく露濃度とする必要があるが、ナノサイズの粒子とマイクロサイズの粒子では生物への取り込み量が異なる可能性がある。
マイクロサイズのプラスチック粒子を使用	微細藻類を対象としている	✓ マイクロサイズの粒子を微細藻類が摂取する可能性は低く、MPsによる影響は小さいと考えられる。
	表面処理したMPsを使用	✓ NH ₂ 基を付加する等の表面処理されたMPsを使用している場合、付加なしのMPsと比べて毒性が異なる可能性がある。
	MPsに対する前処理について記載なし	✓ 試験の結果示された有害性が添加剤による影響を受けている可能性がある。
	自身で作成・調製したMPsを使用	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 作成したMPsに混ざっている小さな粒子を除去していなければNPsを多量にばく露している可能性がある。 ✓ すりつぶして作成している場合、MPsの形状がいびつであったり金属片が混入している可能性がある。

一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項（1/3）

有害性



- 「一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項」については以下の通り。

有害性データの信頼性の評価・採用の可能性を考える際の観点		観点として注目した理由
コントロール群	コントロール群の設定なし	✓ コントロール群が設定されていなければ試験が成立しているかどうかを判断できない。
	コントロール群で異常が生じている	✓ コントロール群で影響が出ている場合（例：死亡率10%超、受精成功率低下）や活動が活発になっている場合（例：生殖腺指数（GSI）が3%）には、試験そのものが成立していない可能性が高い。
ばく露濃度	実測濃度の記載なし	✓ 設定濃度と実際のばく露濃度との間に乖離が発生している可能性はあるが、それが本当に生じているのか、どの程度の乖離なのかについて確認できないため。
	分散・懸濁状態を保つ方策について記載なし	✓ 特に藻類については粒子の分散への配慮が必要だが、その程度を確認できない。
	公比が大きすぎる	✓ 公比が10以上の場合、そこから算出されたN(L)OEC等は過剰に小さく見積もられている可能性がある。
	設定濃度の数が少ない	✓ 試験の設定濃度の数が少ない場合、影響があると判断されたとしても不等号付きのLOECとなり、最終的には参考値としての採用となる。
	ばく露濃度が高すぎる	✓ ばく露濃度が高すぎるとMPsが凝集して正しい影響を評価できていない可能性がある。
	生物に応じた適切な換水方法を取られていない	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 止水式で毎日換水しているとの記載は、ばく露濃度を一定に保つための努力として重要ではあるが、例えばネットですくい取る等により換水している場合、生物種によっては相当のストレスを与えている可能性がある。 ✓ 換水時の付着等による持ち込みでMPsのマスバランスが崩れている可能性がある。

一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項（2/3）

有害性



- 「一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項」については以下の通り。

有害性データの信頼性の評価・採用の可能性を考える際の観点		観点として注目した理由
供試生物	収容密度が高い	✓ 収容密度が一般的な生物試験よりも高い場合、ストレス等により正しいMPsの影響を観測できていない可能性がある。
	生物数が少ない	✓ エンドポイントを測定するための供試生物数が少なすぎる場合、正しく影響を測定できていない可能性がある。
	供試生物の大きさが不均一	✓ 不均一な大きさの供試生物を用いている場合、より有意差が付きやすい可能性がある。
	毒性試験の推奨種ではない	✓ 一般的な毒性試験では、毒性を正しく評価するためにバリデーションを経た試験種を推奨種として設定し、適正水温も明示されているが、バリデーションを受けていない試験種の場合、それがMPsの毒性評価において妥当な試験生物・水温かどうかを判断できない。
	試験水温が高め	
	給餌方法について疑義あり	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 給餌せずに長時間試験を行っている場合（給餌量が少ない場合も含む）、影響を正しく観測できていない可能性がある。 ✓ 給餌時間（餌を投入してから回収するまでの時間）が短すぎる場合、供試生物が栄養不足を起こしている可能性がある。
試験デザイン	細胞の計測方法（特に藻類）	✓ MPsと藻類のサイズが近接している場合、細胞の計測方法に留意しなければ、影響を正しく観測できない可能性がある（例：マイクロプレートの吸光度測定、コールカウンター等による測定）。
	エンドポイントに対して試験期間が長すぎる/短すぎる	✓ エンドポイントを適切に評価するための試験期間は、生物種によってもエンドポイントによっても異なり、それを適切に設定されている必要があるが、生物種・エンドポイントが一般的なプロトコルのものでない場合、妥当な設定かを判断できない。
	繰り返し数が少ない	✓ 影響を検出する際の統計的な厳密さを確保するために、十分な繰り返し数で試験されている必要がある。

一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項（3/3）

有害性



- 「一般的な水生生物の有害性評価でも留意すべき事項」については以下の通り。

有害性データの信頼性の評価・採用の可能性を考える際の観点	観点として注目した理由	
試験結果	分子/細胞/組織レベルのエンドポイントのみを観察している試験	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 分子/細胞/組織レベルのエンドポイントは現状以下のような課題があるため、リスク評価に用いるためには時間をかけた科学的知見の集積が必要と考える。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 分子/細胞/組織レベルのエンドポイントは測定しやすい反面、多少の刺激やストレスによる影響を受けやすく、また生物体内で日々変化するものも多く、エンドポイントとして扱いつらい。 ➢ 化学物質の有害性評価において用いられている例はあるが、その場合は生物個体レベルへのモードオブアクション（MoA）や有害性発現経路（AOP）の解明が必要となる。 ✓ さらに、リスク評価を目的とする場合には、「生物個体レベルにどの程度の影響を与えるのか」という定量的な関係性についても解明が必要となる。
	行動異常をエンドポイントとして設定	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 行動異常の測定は難しく、正確に測定できているのかが論点となるが、正確性を第三者が確認するのは困難。
	試験結果の分散がほぼない	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 試験結果の分散が機器分析の誤差よりも小さいような場合、生物試験として正しく影響を測定できていない可能性がある。
	用量応答関係が逆転している	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 用量応答関係が逆転している場合、試験が成立していない可能性がある。なお、用量応答関係が確認されなかったとしても、最小用量で影響ありと判断する場合はある。
	検定方法の記載が不十分	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 多重比較検定等の検定方法に関する記載が不十分な場合、正しく有意差を評価できているのか確認するのは困難。
最小用量で全エンドポイントで影響あり	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 最小用量でも全エンドポイントに影響が見られる場合、試験が成立していない可能性がある。 	

粒径の視点から見た実測データと室内実験データ（水生生物）の存在状況（1/2）

ばく露

有害性



- 粒径の視点から見た実測データと室内実験データ（水生生物）の存在状況を次ページに示す。従来のニューストーンネットを用いた調査での実測下限値を $330\mu\text{m}$ 、委員の研究紹介や文献調査から得られた、現時点（2023年3月）での暫定的な実測限界値を $10\mu\text{m}$ とし、レンジⅠ～レンジⅢの3つのレンジに分けて整理を行った。

【レンジⅠ（粒径： $\sim 10\mu\text{m}$ ）】

- ✓ 約60%の室内実験が行われている
- ✓ 実測データは非常に限定的であり、将来的には環境中濃度からの推計の検討が必要

【レンジⅡ（粒径： $10\sim 330\mu\text{m}$ ）】

- ✓ 約30%の室内実験が行われている
- ✓ 限定的ではあるが実測データが存在し、環境中濃度からの推計※も可能（※海洋表層の閉鎖系で質量保存を保ったまま微細化することを仮定した推計）

【レンジⅢ（粒径： $330\mu\text{m}\sim$ ）】

- ✓ 約5%の室内実験が行われている
- ✓ 環境省調査等の長年蓄積されてきた実測データが存在する

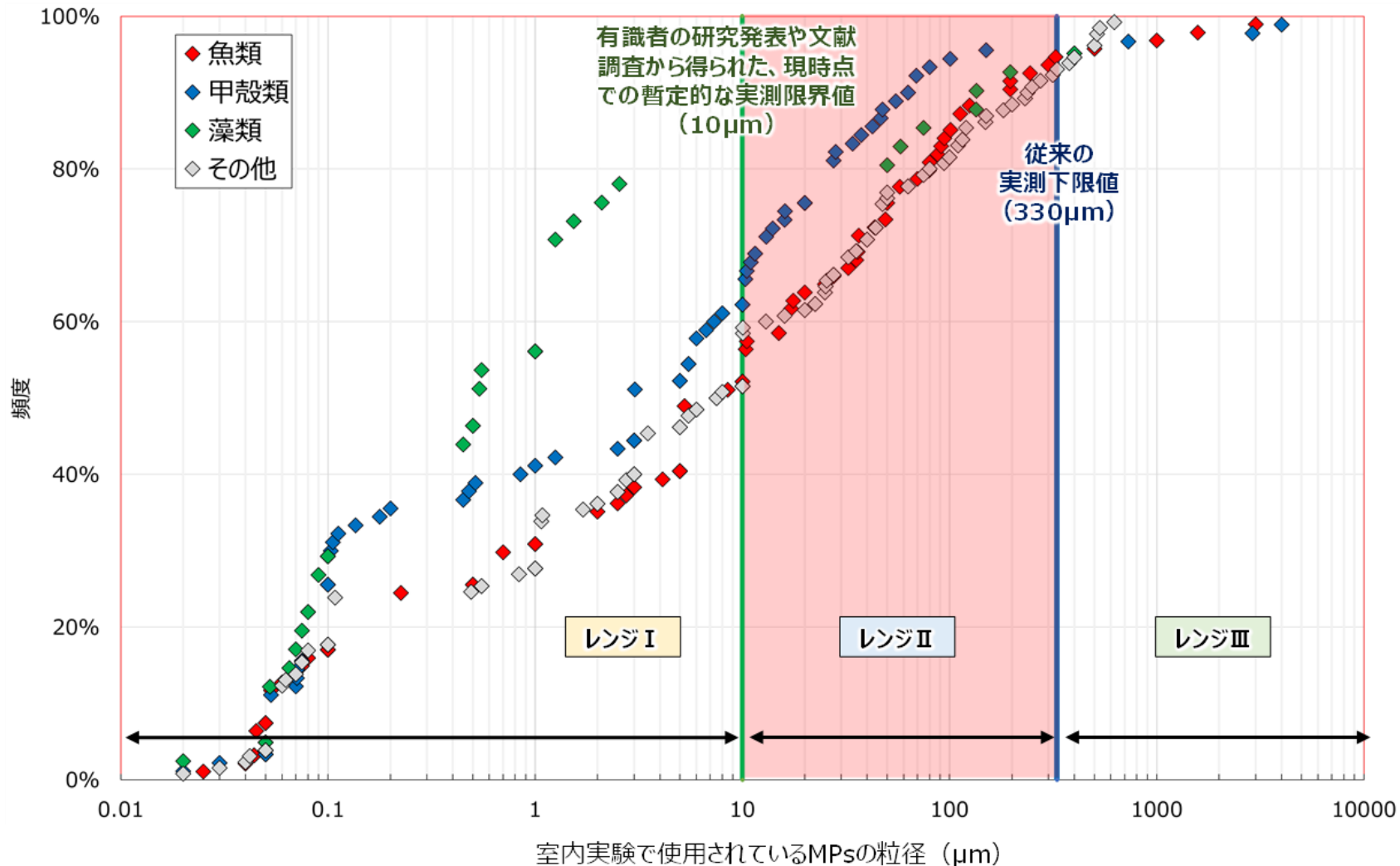
粒径の視点から見た実測データと室内実験データ（水生生物）の存在状況（2/2）

ばく露

有害性



- グラフ中のプロットは、有害性評価分科会の査読文献選定の際にスクリーニング※を行った、生態影響に関する室内実験（水生生物）を実施している351報のデータ（赤：魚類、青：甲殻類、緑：藻類、灰：その他）。
- 水生生物に対する室内実験に使用されたMPsの粒径を、文献のタイトル・アブストラクトから可能な限り読み取ったもの。粒径に幅のある場合は、上限値と下限値の平均値を採用した。



※文献検索サービスのキーワード検索を用いて、2000年以降に公開されたMPsに関する文献約1万報を母集団とした。文献のタイトル・アブストラクトから水生生物への粒子影響に関する文献をスクリーニングし、読み取れる範囲で粒径情報を抽出した。

