

令和 5 年 3 月 13 日
ばく露等評価分科会

令和 4 年度 ばく露等評価分科会の検討結果に関する報告

目次

1. 背景・目的	2
2. 検討の進め方	2
3. 分科会の開催	3
4. 委員による研究・取組の共有	3
4.1. 実施概要	3
4.2. 共有された内容	3
5. 実測状況の把握	5
5.1. 背景・目的	5
5.2. 方法	5
5.3. 結果	7
6. 濃度の換算方法の検討	9
6.1. 背景・目的	9
6.2. 方法	9
6.3. 結果	9
6.4. 考察・まとめ	11
7. 今年度のまとめと今後の進め方	12
8. 別添	14
8.1. 委員名簿	14
8.2. 開催概要	14
8.3. 委員の発表の概要	15
8.4. 文献の整理	21
8.5. 実測値と推計値の比較	22
8.6. 粒径の視点から見た実測データと室内実験データの存在状況	26

1. 背景・目的

マイクロプラスチック（以下、「MPs」という。）そのもの（粒子）や、MPsに残留している添加剤、環境中からMPsに吸着してきた化学物質による生物・生態系影響に係る知見が限られているため、当該環境課題に対して定量的なリスク評価に基づく適切な判断を行えない状況にある。

このような背景のひとつに、実環境（海洋表層）で採取されるMPsの特性（粒径、素材、形状、濃度単位等）と生物影響を把握するために室内実験で用いられるMPsの特性（粒径、素材、形状、濃度単位等）が異なり、両者を比較することが困難なことが挙げられる。

そこで、ばく露等評価分科会では、最新の研究動向や文献調査を踏まえ、実環境（海洋表層）で採取されるMPsの濃度と有害性試験の影響濃度を比較する際の考え方を整理することを目的とし、検討を行った。

2. 検討の進め方

実環境（海洋表層）で採取されるMPsと室内実験で用いられるMPsの違いは、主に、粒径、素材、形状、評価における濃度単位が挙げられる。Burns & Boxall (2018)¹等で示されている両者を比較する際の課題を図表 2-1 に示す。

図表 2-1 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

項目	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 330 μm 以上が対象	ナノオーダー～10 μm 程度が多く使用されている	✓ 室内実験で使用される MPs は実環境より 1～3 オーダー程度小さい ✓ 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	✓ 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	✓ 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 ($\mu\text{g}/\text{L}$)で評価	✓ 個数⇄重量の換算をしなければ比較できない状況

特に粒径に関しては、室内実験ではナノオーダー～10 μm 程度の MPs が多く使用されており、実環境（海洋表層）中で採取されている MPs の粒径と現時点では乖離がある。また、濃度単位に関しても、実環境（海洋表層）は主に個数濃度、室内実験は主に重量濃度で評価されており、何らかの換算を行わなければ両者を比較できない状況にある。

そこで本分科会では、分科会の委員が現在取り組んでいる実測調査や推計、環境動態、単位換算等の最新動向を共有し、実環境中のMPs存在量の調査に係る現状の課題点を把握す

¹ Burns, E. E., & Boxall, A. B. (2018). Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environmental toxicology and chemistry*, 37(11), 2776-2796.

るため、5名の委員に研究・取組をご紹介いただいた（第4章）。また、事務局の文献調査も踏まえ、MPsの実測状況の把握（第5章）と濃度換算方法の検討（第6章）を行った。

3. 分科会の開催

本年度の検討は9名の有識者により（8.1節参照）、計4回開催した（8.2節参照）。

4. 委員による研究・取組の共有

4.1. 実施概要

本分科会の5名の委員に、「実測」、「モデル推計」、「環境動態」の観点から研究・取組をご紹介いただいた。委員と発表題目を図表4-1に示す。

図表 4-1 発表題目

観点	発表題目
実測	Global ocean monitoring program for microplastics ($\geq 1 \mu\text{m}$) abundance, characteristics and environmental behaviors in surface water
	微細 MPs 環境モニタリングについて
	現場観測および実験に基づく微細 MP の表層からの除去過程の解明
モデル推計	マイクロプラスチックのサイズ分布推定(推定モデル/破碎モデル)
環境動態	Fragmentation mechanisms of microplastics and their distribution behavior in the sea near Nagasaki

4.2. 共有された内容

【実測に関して】

- ✓ 環境中の実測に関して、現時点（2023年3月現在）で分析可能な粒径の下限値は、顕微 FT-IR（フーリエ変換赤外分光光度計）を用いた場合、 $10 \mu\text{m}$ 程度である。（顕微ラマン分光装置を用いると $1 \mu\text{m}$ 程度まで測定可能となるが、現時点で導入している研究室・機関は限定的）
- ✓ 分析機器に関して、現在最もよく用いられている装置は FT-IR であり、粒径数百 μm 以上の MPs が主な対象である。FT-IR は安価であるが、試料を粉碎させるため試料の保存が困難である。その他、顕微 FT-IR は、粒径 $10 \mu\text{m}$ 以上の MPs が測定可能だが解析に時間を要する。顕微ラマン分光装置は粒径 $1 \mu\text{m}$ 以上の MPs が測定可能だが、分析時に添加剤の影響を受ける可能性もあり、取り扱いの難易度が高く、高価である。熱分解 GC-MS は、粒径 $1 \mu\text{m}$ 以下のナノプラスチックを測定することが可能だが、装置が高価であり、現時点では分析可能なポリマーが限られている。
- ✓ 信頼性の高い実測データの条件として、採取時、分析時におけるコンタミネーション、粉碎率、回収率等の確認の有無が挙げられる。コンタミネーションに関しては、分析器具を繰り返し洗浄する等で対策が可能となる。回収率に関しては、市販のビーズ等を用いてサンプルと同様の前処理を行うことで対策が可能である。破碎率に関しては、採取時の非意図的な粉碎や、分析時の過酸化水素による粉碎等が挙げられるが、現時点では

ほとんどの文献で配慮されておらず、今後の課題となっている。上記の点をすべて確認している実測データは現時点では限られているため、データの信頼性評価の際の必須条件にはできないが、言及があればデータの信頼性は高いと言える。

- ✓ サルパ²を海洋中から採取し、その胃の中に含まれている微細 MPs (数十 μm) を分析することで、環境中の MPs 濃度や組成の解明に取り組んでいる。サルパ 1 個体あたり約 4.3 個の MPs を含んでいることが判明しており、1 時間当たり 1L 程度濾水すること、消化管内容物は 3~5 時間で 1 回転することを踏まえると、環境中 MPs は 0.86 個/L 程度 (数十 μm) と試算された。
- ✓ 個数濃度と重量濃度の換算に関して、実測データは個数濃度で表記されている文献が大半であり、重量濃度で表記している文献は限定的。何らかの換算方法を検討する必要がある。

【モデル推計に関して】

- ✓ 破砕モデル等を用いた環境中濃度の推計手法に関して、現時点では Cozar et al.(2014)³、Aoki et al.(2021)⁴、Kaandorp et al.(2021)⁵等が代表的な研究として挙げられる。
 - Cozar et al.(2014)は、海洋表層中の MPs に関して、平衡状態では質量 (体積) 保存を満たすように、粒径が小さくなるにつれて三次の増加曲線に従うと予測している。推計では素材や形状の違いまでは考慮されていないが、三次曲線での増加を仮定した比較的簡易な推計のため、現時点では最もリーズナブルに扱うことができる方法である。
 - Aoki et al.(2021)は、ボルツマン分布に従い、MPs の破砕が細かく進むほど、破砕に要するエネルギーが大きくなり、そのエネルギーを供給する自然現象の発生確率は小さくなるという理論をもとに、サイズ分布の推計式を算出している。
 - Kaandorp et al.(2021)は、破砕過程はフラクタル構造に従い、MPs が破砕される確率はどのサイズでも同じであるというものであり、固体地球分野の土壌や岩盤破壊のモデルで使われる考え方をもとにしている。

² 生物学上ホヤの仲間分類される樽形でプランクトン性の尾索動物

³ Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma AT, Navarro S, García-de-Lomas J, Ruiz A, Fernández-de-Puelles ML & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10239-10244.

⁴ Aoki, K., & Furue, R. (2021). A model for the size distribution of marine microplastics: A statistical mechanics approach. Plos one, 16(11), e0259781.

⁵ Kaandorp, M. L., Dijkstra, H. A., & Van Sebille, E. (2021). Modelling size distributions of marine plastics under the influence of continuous cascading fragmentation. Environmental Research Letters, 16(5), 054075.

【環境動態に関して】

- ✓ 表層水及び水深 50m の水を濾紙で濾過し、濾紙に残った粒子を電子顕微鏡及び SEM-EDX（エネルギー分散型 X 線分光法）で分析した結果、採取した粒子の約 60%が粒径 10 μ m 以下であり、約 2/3 が塗料片（ケイ素系塗料、銅系塗料）だった。銅系塗料片が多く見つかった地点では MPs があまり検出されず、銅系塗料に含まれる亜酸化銅により MPs が分解された可能性が示唆された。

5. 実測状況の把握

5.1. 背景・目的

環境省が継続的に実施している海洋中の MPs 実測調査では、観測網（ニューストーンネット）を使用しており、測定下限値は粒径 330 μ m とされている⁶。他方、有害性評価ではこれよりも小さな粒径で実施されている室内実験が多数報告されている（図表 2-1 参照）。そこで、粒径 330 μ m 以下の MPs を対象としている実測調査の存在状況を把握するため、文献調査を行った。

5.2. 方法

【文献の抽出】

対象とする学術文献を漏れなく抽出するため、複数の無料文献検索サービス (PubMed⁷、J-GLOBAL⁸) を使い、2000 年以降に公開された MPs に関する学術論文を網羅的に検索した。検索の際に用いたキーワードは図表 5-1 の通りとし、全て OR 条件で検索を行った。この作業により、MPs について言及している約 1 万報を抽出した。

図表 5-1 文献検索時のキーワード

マイクロプラスチック関連	ナノプラスチック関連	プラスチック破片関連
Microplastic	Nanoplastic	plastic particle
Microplastics	Nanoplastics	plastic particles
micro plastic	nano plastic	plastic debris
micro plastics	nano plastics	
micro-sized plastic	nano-sized plastic	
micro-sized plastics	nano-sized plastics	
micro sized plastic	nano sized plastic	
micro sized plastics	nano sized plastics	
plastic microparticle	plastic nanoparticle	
plastic microparticles	plastic nanoparticles	
plastic microsphere		
plastics microsphere		

⁶ 令和元年度海洋ごみ調査の結果について
<https://www.env.go.jp/press/108800.html>

⁷ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

⁸ <https://jglobal.jst.go.jp/>

【雑誌の影響度によるスクリーニング】

より影響度の大きい文献を効率的に抽出するため、SJR (SCImago Journal Rank⁹) を用いて本作業で対象とする雑誌のスクリーニングを行った。具体的には文献の 1 万報を SJR のランキング順位で並べ (雑誌順)、上位 2000 報を母集団とした。

【タイトル・アブストラクト情報に基づく文献情報の整理】

母集団 2000 報のタイトル、アブストラクトを確認し、2018 年以降に公開された、粒径 330 μm 以下の MPs を対象とした実測調査に関する文献を選定した。調査対象とした文献を図表 5-2 に示す (14 報)。

図表 5-2 調査対象とした文献 (14 報)

No.	出版年	媒体	粒径 (μm)	書誌情報
①	2018	海洋	20~5,000	Song, Y.K., Hong, S.H., Eo, S., Jang, M., Han, G.M., Isobe, A., Shim, W.J., 2018. Horizontal and Vertical Distribution of Microplastics in Korean Coastal Waters. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 52, 12188-12197. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04032
②	2021	海洋	20~5,000	Eo, S., Hong, S.H., Song, Y.K., Han, G.M., Seo, S., Shim, W.J., 2021. Prevalence of small high-density microplastics in the continental shelf and deep sea waters of East Asia. <i>Water Research</i> 200, 117238. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117238
③	2019	海洋	20~5,000	Ding, J., Jiang, F., Li, J., Wang, Zongxing, Sun, C., Wang, Zhangyi, Fu, L., Ding, N.X., He, C., 2019. Microplastics in the Coral Reef Systems from Xisha Islands of South China Sea. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 53, 8036-8046. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01452
④	2019	海洋	11~5,000	Lorenz, C., Roscher, L., Meyer, M.S., Hildebrandt, L., Prume, J., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdt, G., 2019. Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea. <i>Environmental Pollution</i> 252, 1719-1729. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.093
⑤	2020	海洋	32~651	Pabortsava, K., Lampitt, R.S., 2020. High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean. <i>Nat Commun</i> 11, 4073. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17932-9
⑥	2020	海洋	11~500	Tekman, M.B., Wekerle, C., Lorenz, C., Primpke, S., Hasemann, C., Gerdt, G., Bergmann, M., 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. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 54, 4079-4090. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06981
⑦	2022	海洋	20.1~321.2	Zhao, S., Zettler, E.R., Bos, R.P., Lin, P., Amaral-Zettler, L.A., Mincer, T.J., 2022. Large quantities of small microplastics permeate the surface ocean to abyssal depths in the South Atlantic Gyre. <i>Global Change Biology</i> 28, 2991-3006. https://doi.org/10.1111/gcb.16089
⑧	2022	湖沼	50~500	Xia, F., Liu, H., Zhang, J., Wang, D., 2022. Migration characteristics of microplastics based on source-sink investigation in a typical urban wetland. <i>Water Research</i> 213, 118154. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118154
⑨	2021	河川	20~5,000	Feng, S., Lu, H., Yao, T., Liu, Y., Tian, P., Lu, J., 2021. Microplastic footprints in the Qinghai-Tibet Plateau and their implications to the Yangtze River Basin. <i>Journal of Hazardous Materials</i> 407, 124776. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124776
⑩	2019	河川	20~5,000	Eo, S., Hong, S.H., Song, Y.K., Han, G.M., Shim, W.J., 2019. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. <i>Water Research</i>

⁹ ジャーナルの評価指標の一つ。引用の重み付けに引用元のジャーナルの評価を使用することにより、分野間の比較を可能とした指標。

https://jp.service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/16208/supporthub/scopus/

No.	出版年	媒体	粒径(μm)	書誌情報
				160, 228-237. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.053
⑪	2021	河川	15~4,565	Kameda, Y., Yamada, N., Fujita, E., 2021. Source- and polymer-specific size distributions of fine microplastics in surface water in an urban river. <i>Environmental Pollution</i> 284, 117516. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117516
⑫	2021	河川	50~1,000	Picó, Y., Soursou, V., Alfarhan, A.H., El-Sheikh, M.A., Barceló, D., 2021. First evidence of microplastics occurrence in mixed surface and treated wastewater from two major Saudi Arabian cities and assessment of their ecological risk. <i>Journal of Hazardous Materials</i> 416, 125747. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125747
⑬	2021	河川	10~1,000	Sugiura, M., Takada, H., Takada, N., Mizukawa, K., Tsuyuki, S., Furumai, H., 2021. Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff. <i>Environmental Monitoring and Contaminants Research</i> 1, 54-65. https://doi.org/10.5985/emcr.20200006
⑭	2021	河川	11~275	Hildebrandt, L., Zimmermann, T., Primpke, S., Fischer, D., Gerdt, G., Pröfrock, D., 2021. Comparison and uncertainty evaluation of two centrifugal separators for microplastic sampling. <i>Journal of Hazardous Materials</i> 414, 125482. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125482

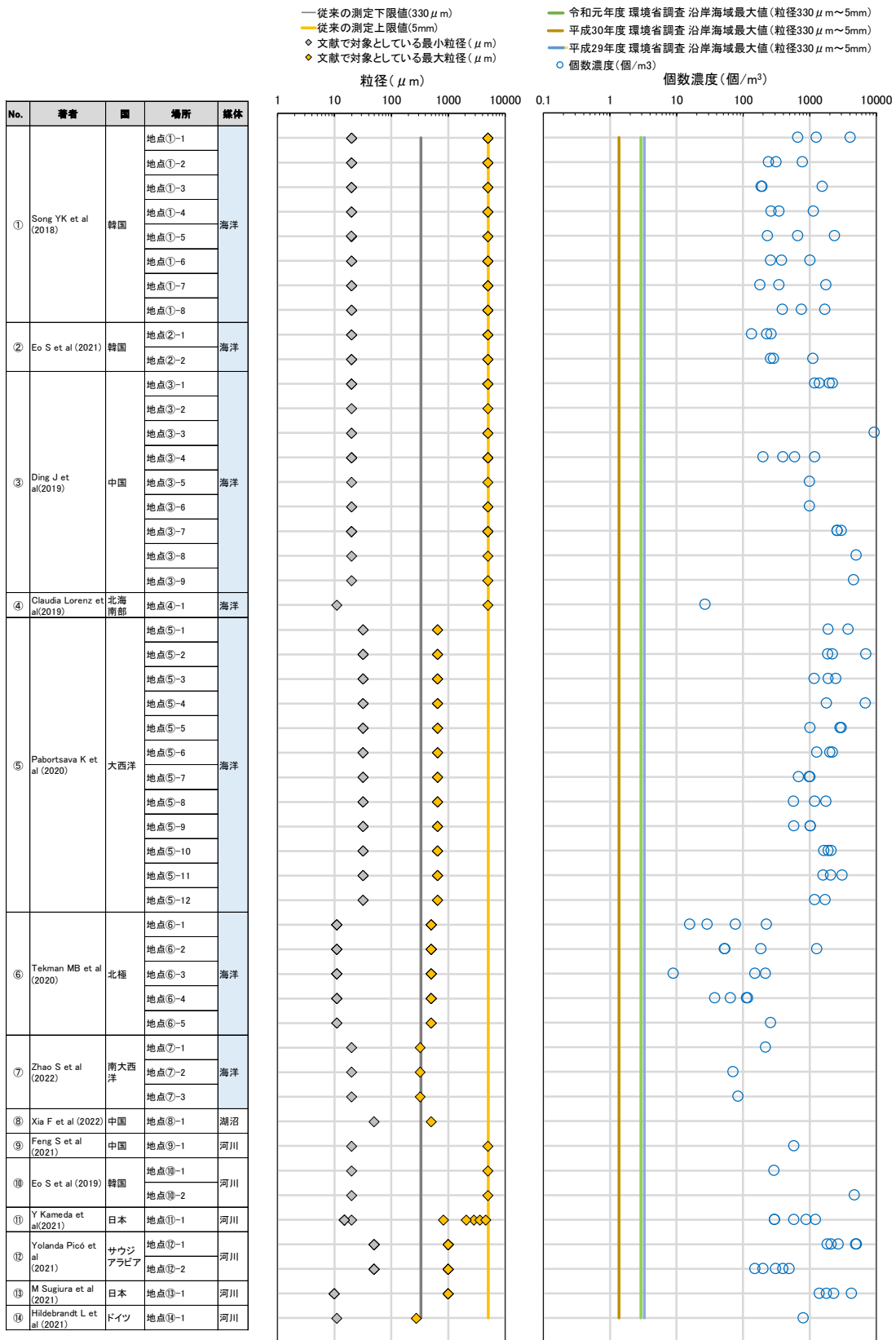
5.3. 結果

14報の文献が対象としている、粒径（最大、最小）と個数濃度を図表 5-3 に示す。粒径に関して、現時点（2023年3月現在）で報告されている範囲では、10μm 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、地域や媒体によって偏りはあるものの、およそ 100~10,000 個/m³ の範囲で検出されており、従来の 330μm 以上を対象としている環境省¹⁰の調査結果（1~4 個/m³）と比較して 2~4 オーダー程度高い濃度で検出されている。

また、信頼性の高い実測データの条件として、コンタミネーション、粉碎率、回収率等の確認の有無が挙げられる。今回調査対象とした 14 報の文献においては、多くの文献で分析器具等を事前に洗浄し、分析時のコンタミネーションを防ぐ努力がなされていた。回収率に関しては、5 報の文献で回収率試験が実施されており、63%~100%の回収率が報告されている。粉碎率に関しては、どの文献にも言及がなく今後の実測における課題と言える。文献調査の整理結果を図表 8-2 に示す。

対象粒径によって個数濃度がオーダーレベルで変わるため、現在多くの室内実験で実施されているような粒径範囲（ナノオーダー~数十μm 程度）でリスク評価を行うためには、より微細な MPs を対象とした実測調査への挑戦と分析技術の更なる発展が必要であると言える。

¹⁰ 令和元年度海洋ごみ調査の結果について
<https://www.env.go.jp/press/108800.html>



図表 5-3 文献における対象粒径と個数濃度

6. 濃度の換算方法の検討

6.1. 背景・目的

環境中の実測濃度はそのほとんどが個数濃度（個/m³）で評価されており、室内実験における影響濃度（重量濃度：μg/L）と比較する際は、重量濃度への換算が必要となる。Zhao et al.(2022)¹¹等の文献を参考に、濃度換算方法の検討を行った。

6.2. 方法

Tekman MB et al.(2020)¹²の実測値¹³をベースに、個数濃度から重量濃度への換算を試行した。ただし MPs の形状についての報告はされていないため、フレーク、球形、楕円体、円柱の4パターンを想定し、また MPs の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。最も多く検出されたポリマーの密度（素材：ポリエステル）を使用し、全16通りの試算を行った。

6.3. 結果

個数濃度から重量濃度への換算結果を図表 6-1 に示す。最大値は、形状を球形、長軸を粒径分布の最大値と仮定した場合、最小値は、形状をフレーク、長軸を粒径分布の最小値と仮定した場合であり、同一の実測データを用いても、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。

¹¹ Zhao, S., Zettler, E. R., Bos, R. P., Lin, P., Amaral-Zettler, L. A., & Mincer, T. J. (2022). Large quantities of small microplastics permeate the surface ocean to abyssal depths in the South Atlantic Gyre. *Glob. Change Biol*, 28, 2991-3006.

¹² Tekman, M. B., Wekerle, C., Lorenz, C., Primpke, S., Hasemann, C., Gerdt, G., & Bergmann, M. (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. *Environmental science & technology*, 54(7), 4079-4090.

¹³ 地点：グリーンランド（海洋）、個数濃度：78 個/m³、素材：ポリエステル 56%、形状：記載なし、粒径分布は 11、12~25、26~50、51~75、76~100、101~125 μm の粒径区分にて個数濃度を報告。

図表 6-1 個数濃度から重量濃度への換算結果（事務局試算）

長軸の仮定	項目	フレーク 重量= $(L^2/2) \times 0.1L \times$ 密度	球形 重量= $(4/3) \pi (R/2)^3 \times$ 密度	楕円体 重量= $\pi lLh/6 \times$ 密度	円柱 重量= $(R/2)^2 \pi \times 0.1R \times$ 密度
					
①長軸を粒径分布の 最小値とした場合 (11 μm)	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 (125 μm)	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 (26.9 μm)	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 (18.5 μm)	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}

6.4. 考察・まとめ

個数濃度から重量濃度への変換に係る試算結果を踏まえ、ばく露等評価分科会で濃度換算の方法について議論を行い、以下の3点を整理した。

- ① 有害性試験で報告されている MPs の重量濃度を個数濃度に換算
 - 実環境(海洋表層)中の不均一な MPs に対して重量への換算を行うのは困難であり、室内実験で用いられる(実環境中と比較すると)均一な MPs を個数濃度に換算する方法が簡易かつ合理的な可能性がある。
- ② 実環境(海洋表層)中の MPs の個数濃度に加え重量濃度も測定
 - 実環境(海洋表層)中の個別 MPs 粒子の重量を一つ一つ計測するのは困難だが、採取した MPs の合計重量を計測し、その粒径分布を考慮し、粒径ごとの重量を算出する方法も考えられる。その上で、図表 6-1 に示す 16 通りの換算方法の中で最も実態に即している換算方法を採用してはどうか。
 - 室内実験において、仮に同じ重量濃度であっても、粒径 10 μ m と粒径 100 μ m の MPs では、異なる影響が発現している可能性もある。このような有害性の影響も考慮し、粒径ごとの重量を算出していくことが重要ではないか。
- ③ 換算に用いるポリマーの密度について
 - 最も多く検出されたポリマーの密度を用いて換算を行っていく。
 - 個数濃度の推計範囲に 2 オーダー程度の幅がある中で、ここでのポリマー密度の差は許容範囲と見なす。また、紫外線劣化等によって粒子に細孔が生じる可能性もあるが、ここでは考慮しない(現時点では許容範囲と見なす)。

7. 今年度のまとめと今後の進め方

【第4章 委員による研究・取組の共有】

- ✓ 環境中（海洋表層）の実測に関して、現時点（2023年3月現在）で分析可能な粒径の下限値は顕微 FT-IR（フーリエ変換赤外分光光度計）を用いた 10 μ m 程度 である。
- ✓ 信頼性の高い実測データの条件として、採取時、分析時におけるコンタミネーション、粉砕率、回収率等の確認の有無が挙げられる。これらの点をすべて確認している実測データは現時点では限られているため、データの信頼性評価の際の必須条件にはできないが、言及があればデータの信頼性は高いと言える。
- ✓ 破砕モデル等を用いた環境中濃度の推計手法に関して、現時点では Cozar et al.(2014)、Aoki et al.(2021)、Kaandorp et al.(2021) 等が代表的な研究として挙げられる。Cozar et al.(2014)は、海洋表層中の MPs に関して、平衡状態では質量（体積）保存を満たすように、粒径が小さくなるにつれて三次の増加曲線に従うと予測している。推計では素材や形状の違いまでは考慮されていないが、三次曲線での増加を仮定した比較的簡易な推計のため、現時点では最もリーズナブルに扱うことができる方法である。

【第5章 実測状況の把握】

- ✓ 粒径 330 μ m 以下を対象とした実測調査では、地域や媒体によって偏りはあるものの、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 オーダー程度高い濃度で検出されている。
- ✓ （別添 8.5 節）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、文献調査を行った実測値がおおよそこの範囲に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できた。今後も研究が進み、当該粒径レンジの実測データは増加していくと考えられる。引き続き、実測データを積み上げながら、実測値と推計値両方を考慮し、ばく露濃度を検討していく。
 - 今後、数十 μ m オーダーの MPs の実測データに関する報告は増えていくと考えられるため、引き続き文献調査をもとに実測データを積み上げる。
 - 数 μ m オーダーの MPs の実測データに関しては、分析方法の検討が進んでいるところであり実測データが報告されるまで時間がかかることが予想されるため、推計等を活用することでカバーする。

【第6章 濃度換算方法の検討】

- ✓ 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。

- 実環境中（海洋表層）の不均一な MPs に対して重量への換算を行うのは困難であり、室内実験で用いられる（実環境中と比較すると）均一な MPs を個数濃度に換算する方が簡易かつ合理的な可能性がある。
- 実環境中（海洋表層）の個別 MPs 粒子の重量を一つ一つ計測するのは困難だが、採取した MPs の合計重量を計測し、その粒径分布を考慮し、粒径ごとの重量を算出する。
- 換算におけるポリマーの密度は、最も多く検出されたポリマーの密度を用いて行う。（個数濃度の推計範囲に2オーダー程度の幅がある中で、ここでのポリマー密度の差は許容範囲と見なす。また、紫外線劣化等によって粒子に細孔が生じる可能性もあるが、ここでは考慮しない（現時点では許容範囲と見なす））
- 個数と重量の一対一の換算のみではなく、表面積や体積など、他の評価手法も今後検討していく必要がある。

8. 別添

8.1. 委員名簿

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 附属大気海洋環境研究センター 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 主幹研究員
高橋 一生	東京大学大学院 農学生命研究科・農学部 水圏生物科学専攻 水圏生物環境学研究室 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 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	長崎大学大学院 工学研究科 化学・物質工学コース 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 海洋生態系科学部門 浮遊生物グループ 特任研究員

8.2. 開催概要

回数	開催日時	議題
第1回	令和4年9月2日 (有害性評価分科会と 合同開催)	(1)分科会の設置について (2)昨年度の概要と体制案について (3)今年度の方針とリスク評価検討委員会でのご意見 (4)今年度の検討手順について (5)今後のスケジュールについて
第2回	令和4年10月21日	(1)第2回ばく露等評価分科会での検討内容について (2)環境モニタリング、推計における最新の研究状況のご紹介 (3)今後のスケジュール
第3回	令和4年12月9日	(1)前回分科会の振り返りと本日の検討内容について (2)既存のモニタリング文献におけるリスク評価への活用可能性について (3)環境動態における最新の研究状況のご紹介 (4)今後のスケジュール
第4回	令和5年2月28日 (有害性評価分科会と 合同開催)	(1)今年度のばく露等評価分科会の検討結果に関する報告 (2)今年度の有害性評価分科会の検討結果に関する報告 (3)総合討論 (4)今後のスケジュール

8.3. 委員の発表の概要

図表 8-1 委員による発表の概要

①

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベル [※] への影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
	環境中からの採取時	採取方法	・鶴見川の論文では、表流水をポンプでくみ上げ、自作の 10 μ m メッシュのプランクトンネットで 1m ³ を濾過(30 分~1 時間)	・複数の船を用いてサンプリングを行う場合、船ごとにプランクの違いがあるかもしれないが、現時点では明らかなコンタミなし、よって課題なし		
		採取量	・表流水 1m ³			
		試料の輸送方法、保存方法				
		採取時のコンタミ、破碎率、回収率等	・表流水から回収する MPs 数に対して、ポンプによるコンタミが 5%以下であることを確認し、問題ないとしてサンプリング ・船の流速に対する MPs 破碎率は確認できていない	・現在は、市販されていない非プラスチックのポンプを使用しているため、採取時のコンタミはなし、よって課題無し ・採取時における破碎率は確認できておらず今後の課題	中(破碎率の確認に課題あり)	・船員の協力があれば粉碎状況を調査できる可能性がある
環境モニタリング	実験室での分析時	実験室の作業環境				
		ろ過・比重分離・夾雑物分解	・サンプルは、過酸化水素による有機物分解と NaI による比重分離			
		分析時のコンタミ、破碎率、回収率等	・コンタミレベルは採取した MPs100 個以上に対し、7~10 個程度 であり、ほとんど影響なし ・過酸化水素による MPs の破壊率は把握できていない ・回収率については、市販の 20 μ m の PE ビーズを用いて繰り返し調査し、90%以上の回収率を担保	・コンタミレベルは低く、課題なし ・前処理における破碎率は確認できておらず今後の課題 ・回収率は 90%以上のため課題無し	中(破碎率の確認に課題あり)	
		分析機器	・顕微 FTIR によるイメージング分析 (Ycalos(You can look for microplastics)という独自の同定ソフトを使用)	・顕微ラマン分光装置の用いた 1 μ m までの同定 (2022 年冬導入予定)	大(1 μ m まで測定可能になると、把握できる粒径範囲が飛躍的広がる)	

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベル※への影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
	結果の解釈時	濃度の算出方法(重量/個数換算について)	・試行的に、繊維状 MPs と粒子状 MPs のそれぞれについて、長径と短径から体積を算出し、その体積に比重をかけて重量を算出	・2mm 以上の大きな MPs が重量濃度を引き上げる ・繊維状 MPs を重量換算すると過大評価になる ・換算した重量濃度と実サンプルの重量を比較検討できない	(リスク評価を行う際は換算方法の影響は大きい)	・リスク評価を行う際はある程度粒径範囲を絞る ・熱分解 GC-MS を用いて実サンプルの重量を測定することができれば、換算した重量と比較可能になる
		粒径分布	・顕微 FT-IR+Ycalos ・顕微ラマン分光装置+Ycalos	・0.5~1 μ m の MPs は顕微ラマン分光装置でも正確な検出は難しく、粒子数を過小評価する恐れがある	大(微細粒子は過少評価の恐れあり)	
		素材判定	・顕微 FT-IR+Ycalos ・顕微ラマン分光装置+Ycalos	・PMMA の発生源が不明(船底塗料ではないか?)	小	・船底塗料は、高速船ではケイ素系塗料、タンカーのような大きな船では酸化銅を含む塗料を使用しているため、SEM-EDX を用いて元素分析を行えば、発生源を判別可能
		形状判定	・顕微 FT-IR+Ycalos ・顕微ラマン分光装置+Ycalos			

※粒径 数 μ m~330 μ m の MPs の実態把握

②

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベルへの影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
環境モニタリング	環境中からの採取時	採取方法	・ニューストーンネットで採取(捕獲が容易)	・サルパは外洋に多く存在しているが、沿岸に少ないため、沿岸のモニタリングには利用できない	中(外洋のモニタリングには適しているが、沿岸域のモニタリングには適していない)	
		採取量	・高知沖でトガリサルパ 3 個体を採取(2022 年 1 月)	・サルパは脆弱な生物であり、常に MPs 分析に必要な一定の個体数を確保できるとは限らない	大(捕獲量に課題あり)	・状態の良い検体で実験するには潜水等による捕獲が必要

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベルへの影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
		試料の輸送方法、保存方法	・サルパは採取後、ホルマリンで固定し保存			
		採取時のコンタミ、破碎率、回収率等	・採水時のコンタミリスクなし			
	実験室での分析時	実験室の作業環境				
		ろ過・比重分離・夾雑物分解	・医療用多酵素浸透洗浄剤にて3個体分を同時に溶解し、残渣をメンブレンフィルター上に濾過			
		分析時のコンタミ、粉碎率、回収率等	・解剖、洗浄、濃縮等の過程でコンタミが生じる可能性がある	・消化管組織を酵素で分解するだけでは残渣が多く残ってしまう	大(残渣が多く、写真で形状をとらえることはほとんどできていない)	・適切な解剖、洗浄、濃縮法の検討
		分析機器	・顕微 FTIR			
	結果の解釈時	濃度の算出方法(重量/個数換算について)	・平均するとサルパ1個体あたり4.3個MPsを含んでおり、文献値よりサルパは1時間当たり1L程度濾水すること、消化管内容物は3~5時間で1回転することから、環境中MPsは0.86個/L程度と推定	・環境濃度に復元する際に必要となる摂餌速度、消化管回転速度の文献値が少ない ・Brandonがサルパ胃内容物から見積もった東部太平洋のMPs濃度240~400個/Lとは大きな差がある	大(環境濃度への換算制度に課題あり)	・摂餌速度、消化管回転速度(排泄速度)の実測データ、さらに種、ステージ、水温との関係に関する知見蓄積
		粒径分布	・顕微 FTIR	・大きい粒子を取り込んだ場合、吐き出すという行動が起きると考えられるため、大きい粒子の数は正確性に欠ける可能性がある	小(微細な粒子をターゲットとする必要あり)	・300μm以上のMPsはニュートンネットで採取し、300μm未満のMPsはサルパから算出するという手法を取れば、効率よくデータを蓄積できる
		素材判定	・顕微 FTIR	・解析に時間がかかる(1サンプル3~4日)	小(解析時間に課題あり)	
		形状判定	・顕微 FTIR	・顕微 FTIRで写真を撮ると、残渣が多く、粒子の形状等を確認することができない	大(形状を正確に把握することができない)	・サンプルを処理する際の試薬や処理時間の調整

③

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベルへの影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
環境モニタリング	環境中からの採取時	採取方法	・水柱の MPs は CTD 付きニスキン採水器を用いてサンプリング(水深 5~4000m、100L 程度まで採水可能。ステンレスタンクに水を一時保存可能)	・一度に採れる採水量が限られている		・ポンプ採水・現場濾過器を使用
		採取量	・100L 程度	・適した量かどうか模索中		・調査域によって採水量を決定
		試料の輸送方法、保存方法	・採水した海水 100L を吸引濾過することにより、MPs を 5 μ m メッシュのメンブレンフィルター上に捕集し、アルミホイルで包んで冷蔵保存し、輸送			
		採取時のコンタミ、破碎率、回収率等	・フィルターを設置する前に、フィルター両面を MilliQ で洗浄することでコンタミを防いでいる ・使用直前にすべての実験器具を MilliQ で洗浄 ・作成した溶液を事前に濾過して使用	・採取時にマイクロファイバーがコンタミしてしまう可能性あり ・混入した場合の結果の取り扱い	大(採取時のコンタミ、破碎率に課題あり)	・船にクリーンルームを設置
	実験室での作業環境	実験室の作業環境	・実験室にどの程度 MPs が存在しているのか調べるため、1 週間実験室にシャーレを置き、FTIR で観察した。その結果、ファイバーを数多く検出	・実験過程でのマイクロファイバーの混入	大(マイクロファイバーのコンタミ)	・クリーンベンチを設置し、その中で作業を行う
		ろ過・比重分離・夾雑物分解	・有機物の除去は化学薬品を使う方法と、酵素を利用する方法の 2 つがある	・化学薬品による有機物除去では、温度が上がることにより、MPs が溶解する可能性がある ・酵素による有機物分解は時間がかかり、酵素が高価である	小	
	実験室での分析時	分析時のコンタミ、破碎率、回収率等	・操作 1 工程ごとにブランクを設置し、空気中からのコンタミの割合を確認 ・市販のポリエチレンビーズを添加し、操作工程に供することにより、回収率を確認	・回収率は、7~9 割程度 ・混入した場合の結果の取り扱い		・プラスチックが使われている採集道具や実験器具をできる限り使わない ・超音波洗浄を行わない
		分析機器	・FTIR(数百 μ m~) ・顕微 FTIR(10 μ m~) ・顕微ラマン分光装置(1 μ m~) ・熱分解性 GC-MS 等がある	・ATR_FTIR→試料破碎、ロス ・顕微 FTIR→解析に時間がかかる ・顕微ラマン分光装置→添加剤の影響を受けるため取り扱い困難 ・熱分解性 GC-MS→MPs・NPs の重量を測定できるが現段階では分析可能なポリマーが限定される		

大項目	中項目	小項目	発表内容	技術的な課題点	目指したいレベルへの影響度(大・中・小)	現状想定できる対応策
	結果の 解釈時	濃度の算出方法(重量/個数換算について)	・現在は個数濃度について記載されている論文がほとんどであり、海洋中の MPs の重量濃度を記載している論文はほとんどない。Zhao の論文では、MPs を楕円体として体積を算出し、ポリマーの密度をかけて重量を算出	・破片と繊維の 2 つに区別する場合は判断が容易であるが、フィルムを区別するのは難しい ・微細 MPs の重量を測定することは不可能		・表面が一様になめらかかどうか、厚さが一様であるかどうかを基準に判別
		粒径分布	・顕微 FTIR		小(微細な粒子をターゲットとする必要あり)	
		素材判定	・顕微 FTIR(スペクトルの一致率を 70%以上としている)	・複数のポリマーが重複して抽出された際、スペクトルがリファレンスと一致するか確認する手間が生じる ・一致率 70%の妥当性	中	・劣化スペクトルの作成(熊本大 中田先生) ・島津のライブラリーは熱劣化させたプラスチックのスペクトルを登録している
		形状判定	・顕微 FTIR	・フィルムの判別が難しい	小	・見た目、厚さが一様であるかどうかを確認する

④

大項目	発表内容	技術的な課題点
モデル推計	<p>【Cozar et al.,(2014)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Tokai et al.,(2021)は、ネットからすり抜けた MPs 数を推計し、真の値に補正。Cozar et al.,(2014)の推計モデルは、補正後の二次曲線に従って増加 ・MPs 数が n 次曲線に従って増加すると仮定し、10~500μm の MPs の存在量を、二次曲線に従う場合と三次曲線に従う場合のそれぞれについて算出したところ、二次曲線の場合は 100 個/m^3、三次曲線の場合は 10000 個/m^3と推計された。 	<ul style="list-style-type: none"> ・質量保存の三次曲線よりも、二次曲線の方が一致する理由は不明 ・海洋乱流による沈降や、生物過程による消失が起きるはずであるため、二次の増加曲線に従う場合、矛盾が生じる ・MPs が破碎される速度と供給される速度が一致するという根拠はないため、サイズ分布が平衡状態になる根拠はない
	<p>【Aoki et al.,(2021)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボルツマン分布に従い、MPs の破碎が細かく進むほど、破碎に要するエネルギーが大きくなり、そのエネルギーを供給する自然現象の発生確率は小さくなるという理論をもとに、サイズ分布の推計式を算出 	<ul style="list-style-type: none"> ・実環境中では、混合による沈降や生物過程による消失も起こっているため、このモデルだけでサイズ分布を説明するのは難しい ・実際のプラスチックの割れ方とモデルとの照合は行っていない
	<p>【Kaandorp et al.,(2021)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破碎過程はフラクタル構造に従い、MPs が破碎される確率はどのサイズでも同じであるというものであり、固体地球分野の土壌や岩盤破壊のモデルで使われる考え方 	<ul style="list-style-type: none"> ・実際のプラスチックの割れ方とモデルとの照合は行っていない

⑤

大項目	発表内容	技術的な課題点
環境動態	<p>【環境中 MPs の劣化過程の調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表層水及び水深 50m の水を濾紙で濾過し、濾紙に残った粒子を電子顕微鏡及び SEM-EDX で分析 ・繊維状 MPs はコンタミとして結果から除外し、SEM-EDX による元素分析の結果、金属元素を多く含んでいた粒子もポリマーではないとして結果から除外 ・採取した粒子の約 60%が 10μm 以下 ・採取した粒子の約 2/3 が塗料片(ケイ素系塗料、銅系塗料) ・銅系塗料片が多く見つかった地点において、MPs があまり検出されなかったことについて、銅系塗料に含まれる亜酸化銅により MPs が分解された可能性が示唆された 	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物分解の過程で MPs が溶解・劣化するのを避けるため、無処理で分析に供しており、懸濁物が多く残ってしまう ・SEM-EDX の元素分析によりポリマーの判定を行っているため、エラーが生じる
	<p>【実験室における MPs の作成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境中から採取した MPs の形状やサイズを参考に、劣化 MPs を作成 ・海水の pH を 5 に保つことにより、塩素、次亜塩素酸、次亜塩素酸ナトリウムの 3 者の平衡を、最も反応性の高く疎水性も高い次亜塩素酸に傾け、効率的にラジカルを生成させることにより、内部から劣化する MPs を効率的に作成 ・劣化試験の時間を調整することで、作成する MPs のサイズを調整でき、現在は 1μm まで作成可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然界では起こり得ない状況で MPs を作成している(実際の海水の pH は 8.2 であり、pH が 7.5 まで下がらなければ次亜塩素酸が主な成分とならない) ・ナノサイズの MPs は非常に数が多く、コンタミとの判別が難しいため、SEM-EDX による分析で粒子数を計測するのが困難

8.4. 文献の整理

図表 8-2 粒径 330 μm 以下の MPs を対象とした実測データの文献調査の結果 (※ ○ : 記載あり、- : 記載なし)

文献 No.	文献情報		サンプリング				分析					結果					
	著者名	場所		メッシュサイズ (μm)	濾水量 (m ³)	有機物分解方法	密度分離方法※	コンタミネーションの検討 (器具の洗浄等)※	破碎率※ (%)	回収率※ (%)	分析機器	粒径		濃度		形状※	素材
		地域	媒体									粒径 (μm)	粒径分布の記載※	個数濃度 (個/m ³)	重量濃度換算の記載※		
①	Song YK et al (2018)	韓国	海洋	20	0.1	フェントン反応	NaCl	○	-	-	顕微 FTIR	20~5000	○	180~4064	-	フラグメント、ファイバー、ビーズ	PP、PE、EVA、PBMA、PMMA、PET 等
②	Eo S et al (2021)	韓国	海洋	20	0.2	フェントン反応	メタタングステン酸リチウム溶液	○	-	-	顕微 FTIR	20~5000	○	136~1136	-	フラグメント、ファイバー	PP、PE、EVA、PDMS、ポリアミド、PS 等
③	Ding J et al (2019)	中国	海洋	0.45	0.005	アルカリ加水分解	NaCl	○	-	-	顕微 FTIR	20~5000	○	400 ~ 45200	-	ファイバー、フラグメント、ビーズ	レーヨン、PET、PVDC、PE、ポリアミド等
④	Claudia Lorenz et al (2019)	北海	海洋	100	20~50	酵素分解	ZnCl ₂	○	-	-	顕微 FTIR	11~5000	○	0.06 ~ 245.4	-	-	PE、PP、ポリアミド、PS、ポリ塩化ビニル等
⑤	Pabortsava K et al (2020)	大西洋	海洋	55, 1	0.51~1.5	アルカリ加水分解	NaCl	○	-	-	FTIR+赤外顕微鏡	32~651	○	585 ~ 11693	○	-	PE、PP、PS
⑥	Tekman MB et al (2020)	北極	海洋	32	0.22~0.56	酵素分解	ZnCl ₂	○	-	-	FTIR+フローイメーシング顕微鏡	11~500	○	9~1287	-	-	PP、ポリアミド、ポリエステル、PS、PE 等
⑦	Zhao S et al (2022)	大西洋	海洋	200, 40, 2	0.44~1.77	アルカリ加水分解	NaI	○	-	-	顕微 FTIR	20.1~321.2	○	71~218	○	-	ポリアミド、PP、PE、ポリエステル等
⑧	Xia F et al (2022)	中国	湖沼	50	0.015	フェントン反応	-	○	-	96	FTIR+共焦点レーザー顕微鏡+電界放出型走査電子顕微鏡	50~500	○	16000 ~ 89000	-	ファイバー、フィルム、フラグメント	PE、PP、ポリ塩化ビニル、ポリアミド、PS 等
⑨	Feng S et al (2021)	中国	河川	20	0.02	フェントン反応	-	○	-	90~96	顕微ラマン分光装置	20~5000	○	3~1166	-	ファイバー、フラグメント、ビーズ等	PP、PE、PS、PET、ポリアミド、ポリウレタン等
⑩	Eo S et al (2019)	韓国	河川	20	0.1	フェントン反応	メタタングステン酸リチウム溶液	○	-	-	顕微 FTIR	20~5000	○	293~4760	○	フラグメント、ファイバー等	PP、ポリエステル、PE、ポリアミド、PS 等
⑪	Y Kameda et al (2021)	日本	河川	10, 5	0.02	フェントン反応	NaI	○	-	94~100	顕微 FTIR	15~4565	○	298~1240	-	-	PE、PET、ポリイソブレン、PMMA 等
⑫	Yolanda Picó et al (2021)	サウジアラビア	河川	20	0.02	フェントン反応	-	○	-	-	FTIR+マイクロスコブ	50~1000	○	153~5093	-	ファイバー、ビーズ、フラグメント等	PP、PE、PS、PET 等
⑬	M Sugiura et al (2021)	日本	河川	5	0.02	フェントン反応	NaI	○	-	63~93	顕微 FTIR	10~1000	○	1400 ~ 4300	○	フラグメント、ファイバー	PE、PP、PS、PET、PEPD 等
⑭	Hildebrandt L et al (2021)	ドイツ	河川	500, 20	0.086~0.129	フェントン反応	ZnCl ₂	○	-	95	FTIR+顕微ラマン分光装置	11~275	○	193~2072	-	-	PP、ポリ塩化ビニル、PE、PS 等

8.5. 実測値と推計値の比較

文献調査より得られた実測濃度（第 5 章）とばく露等評価分科会で磯辺座長にご提示いただいた Cozar et al.(2014)¹⁴の推計式を用いて算出した推計値を比較した。

Cozar et al.(2014)は、海洋表層中の MPs 個数濃度に関して、平衡状態では質量（体積）保存を満たすように、粒径が小さくなるにつれて三次の増加曲線に従うと予測している。また、MPs の形成を「厚さ一定の剥がれ過程」とした場合、面積保存で二次の増加曲線に従う可能性も考えられる。実際の環境中での MPs の破碎過程は明らかとなっていないため、上記 2 種類の破碎を仮定している。n 次の増加曲線に従う場合の個数濃度推計式は以下の通り¹⁵。

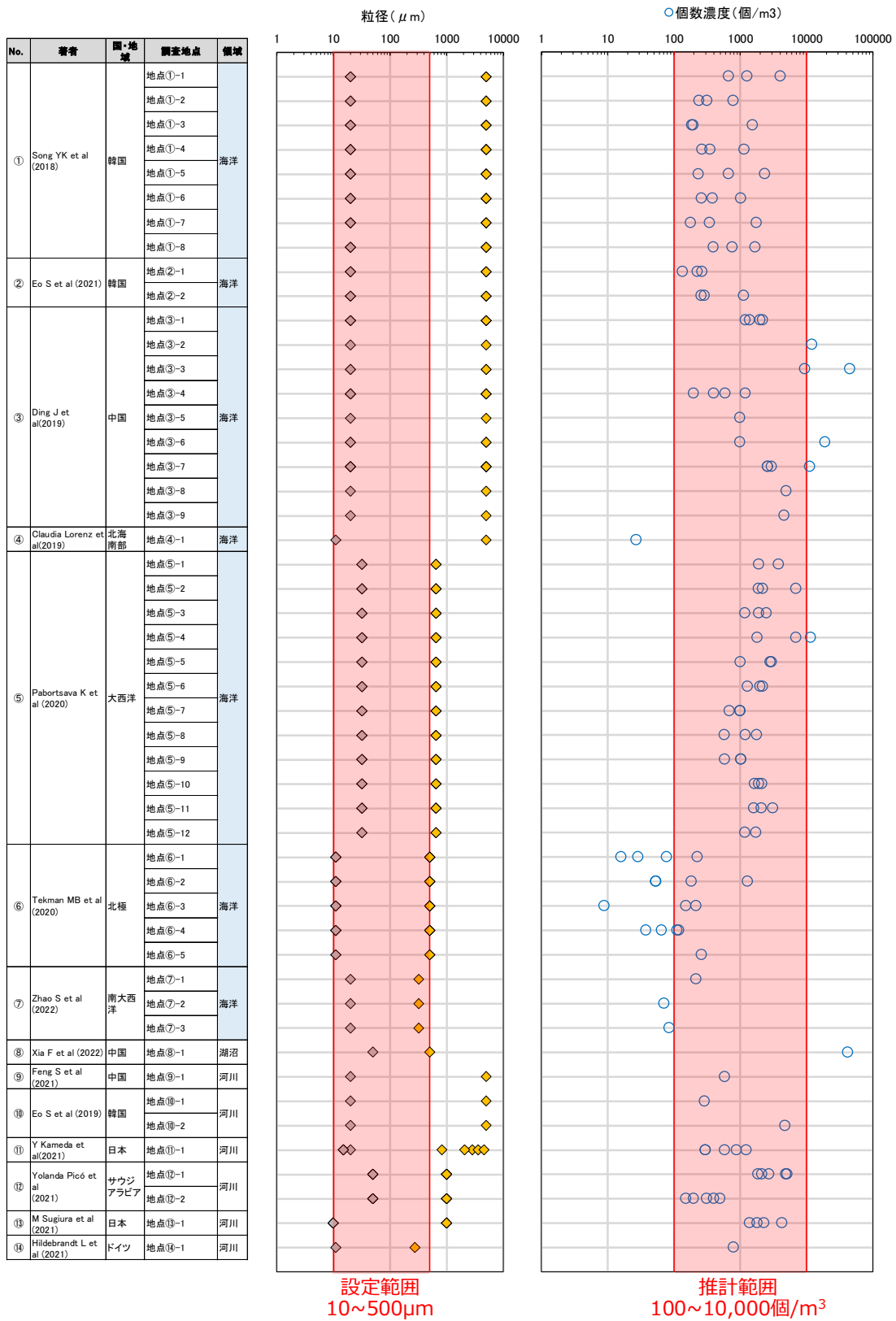
$$A(l) = \frac{c}{l^n}$$
$$N_{\delta_s, \delta_l} = \int_{\delta_s}^{\delta_l} A(l) dl = \frac{c}{1-n} (l^{1-\delta_l} - l^{1-\delta_s})$$
$$\delta_l = 5mm, \quad \delta_s = 0.3mm, \quad N_{\delta_s, \delta_l} = O(1) \text{ pieces}/m^3$$
$$c = 0.56$$

当該推計式に従うと仮定すると、海洋表層の粒径 10~500 μm の MPs の個数濃度は二次曲線増加（面積保存で増加）の場合は 100 個/ m^3 オーダー、三次曲線増加（質量保存で増加）の場合は約 10,000 個/ m^3 オーダーと推計される。ただし、MPs が微細化していく中で、砕けた破片が海洋中の同じ層に留まることを仮定しているため、推定された個数濃度は上限値に近い値であることには注意が必要。実際は底質への移行や、河川・大気からの流入等、系外とのやり取りが考えられるが、当該推計式は海洋表層で完結した閉鎖系という前提条件のもとで推計を行っている。

推計された個数濃度と図表 5-3 における実測値を重ね合わせた結果を

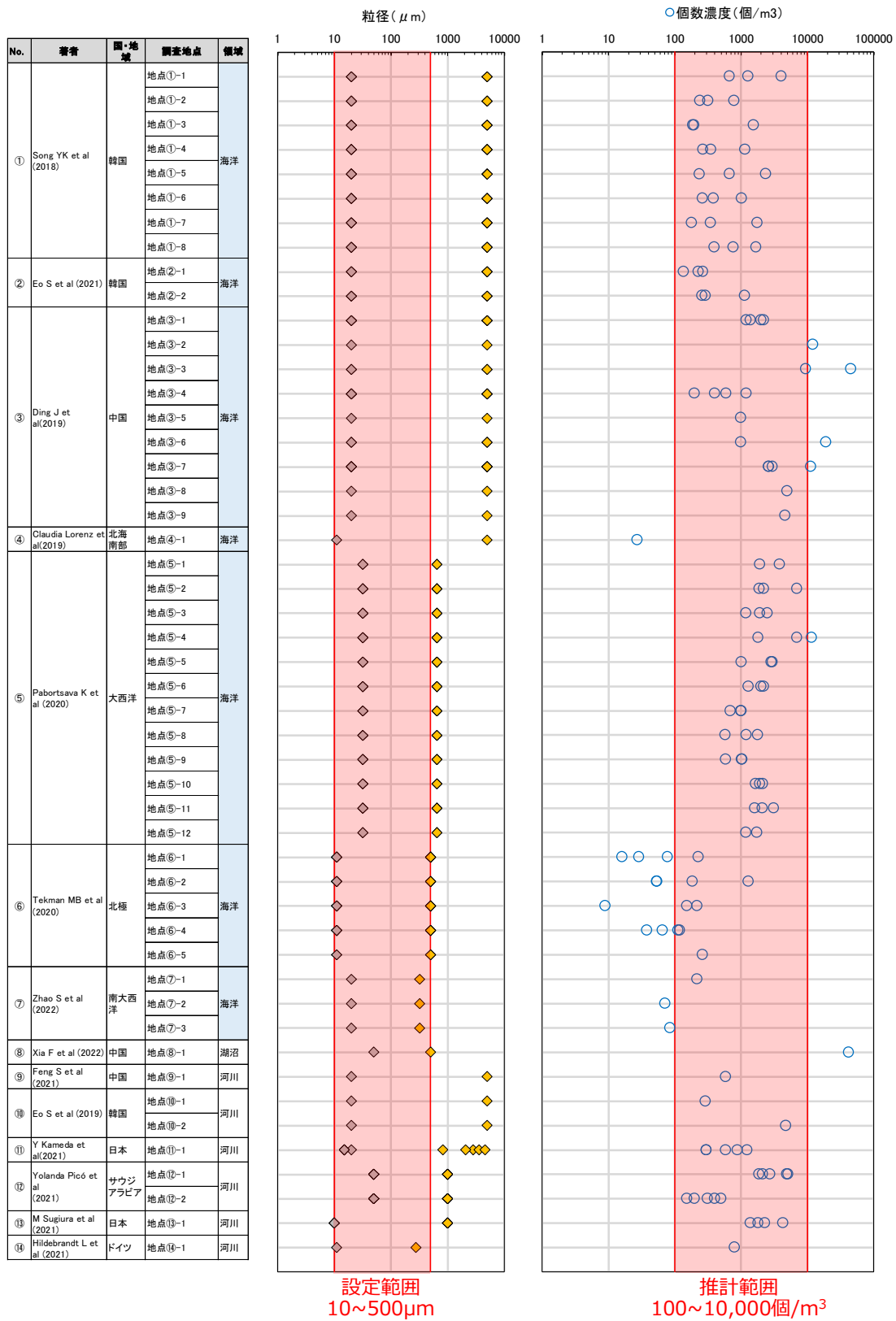
¹⁴ C3zar, A., Echevarr3a, F., Gonz3lez-Gordillo, J. I., Irigoien, X., 3beda, B., Hern3ndez-Le3n, S., Palma AT, Navarro S, Garc3a-de-Lomas J, Ruiz A, Fern3ndez-de-Puelles ML & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10239-10244.

¹⁵ ばく露等評価分科会内で磯辺座長より提示頂いたもの。



図表 8-3 に示す。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、この範囲に図表 5-3 の実測値がおおよそ収まる結果となり、既存文献の実測値と推計結果に矛盾がないことを確認できた。今後とも研究が進み、当該粒径レンジの実測データは増加していくと考えられる。引き続き、実測データを積み上げながら、実測値と推計値両方を考慮し、ばく露濃度を検討していく。



図表 8-3 実測値と推計値の重ね合わせ

8.6. 粒径の視点から見た実測データと室内実験データの存在状況

粒径の視点から見た実測データと室内実験データの存在状況を図表 8-4 に示す。従来のニューストンネットを用いた調査での実測下限値を $330\ \mu\text{m}$ 、委員の研究発表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。

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¹⁶を行った、生態影響に関する室内実験を実施している 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。

実測調査及び室内実験両方のデータがある程度存在し、両者を比較可能な粒径範囲はレンジⅡ（ $10\sim 330\ \mu\text{m}$ ）であることから、今後はレンジⅡ（ $10\sim 330\ \mu\text{m}$ ）に着目して検討を行っていくことが考えられる。

レンジⅠ（粒径： $\sim 10\ \mu\text{m}$ ）

- ✓ 約 6 割の室内実験が行われている
- ✓ 実測データは非常に限定的なため、環境中濃度の推計が必要

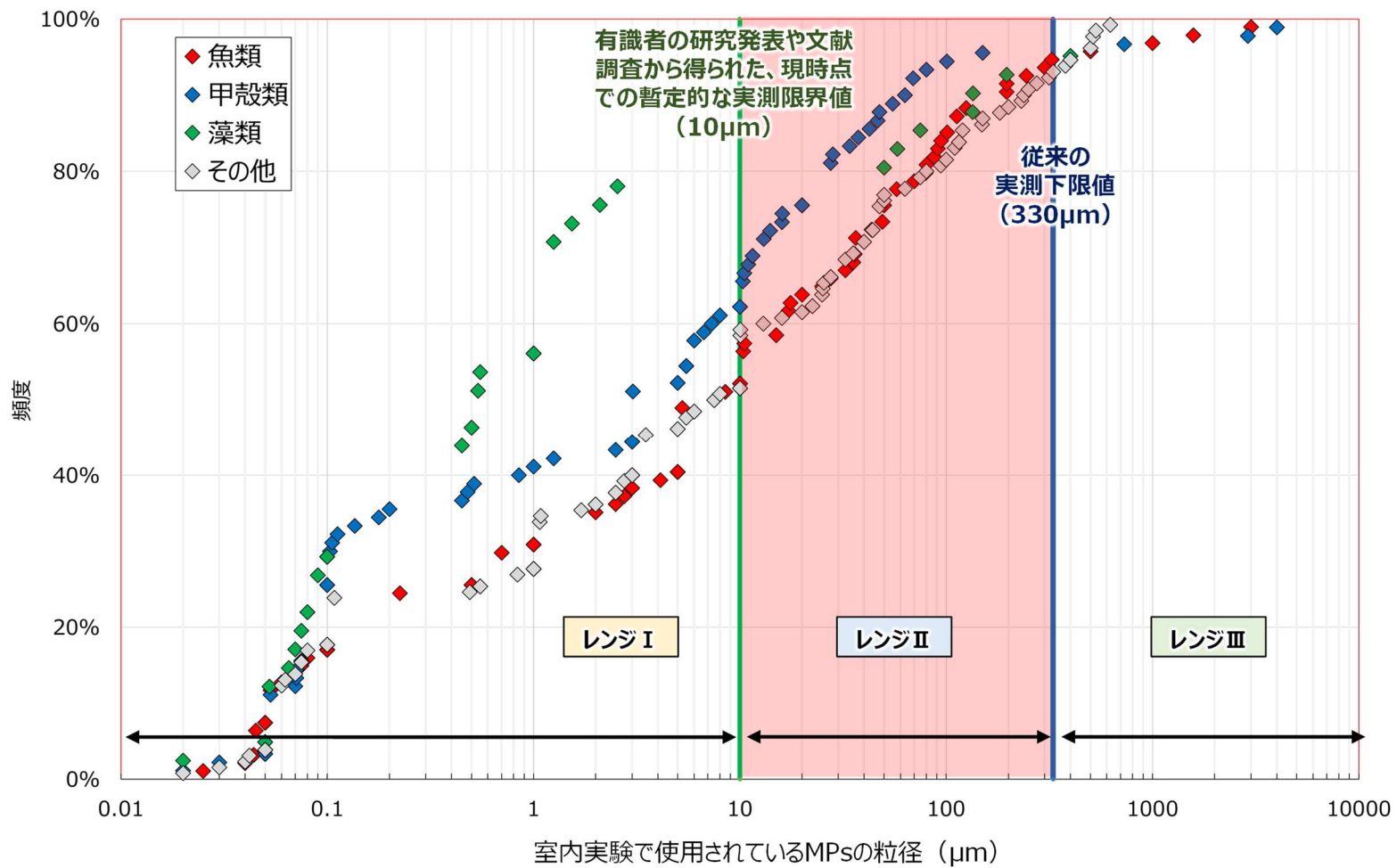
レンジⅡ（粒径： $10\sim 330\ \mu\text{m}$ ）

- ✓ 約 3 割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する

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

¹⁶ 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 万報を抽出。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た。



図表 8-4 粒径の視点から見た実測データと室内実験データの存在状況