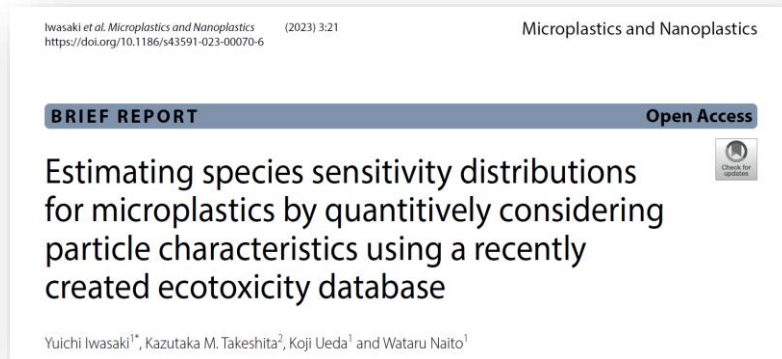


2024-03-09

マイクロプラスチックの特徴を 考慮できる種の感受性分布の推定： 水生生物毒性データベースToMExの利用



岩崎 雄一¹, 竹下 和貴², 上田 紘司¹, 内藤航¹

¹産業技術総合研究所 安全科学研究部門

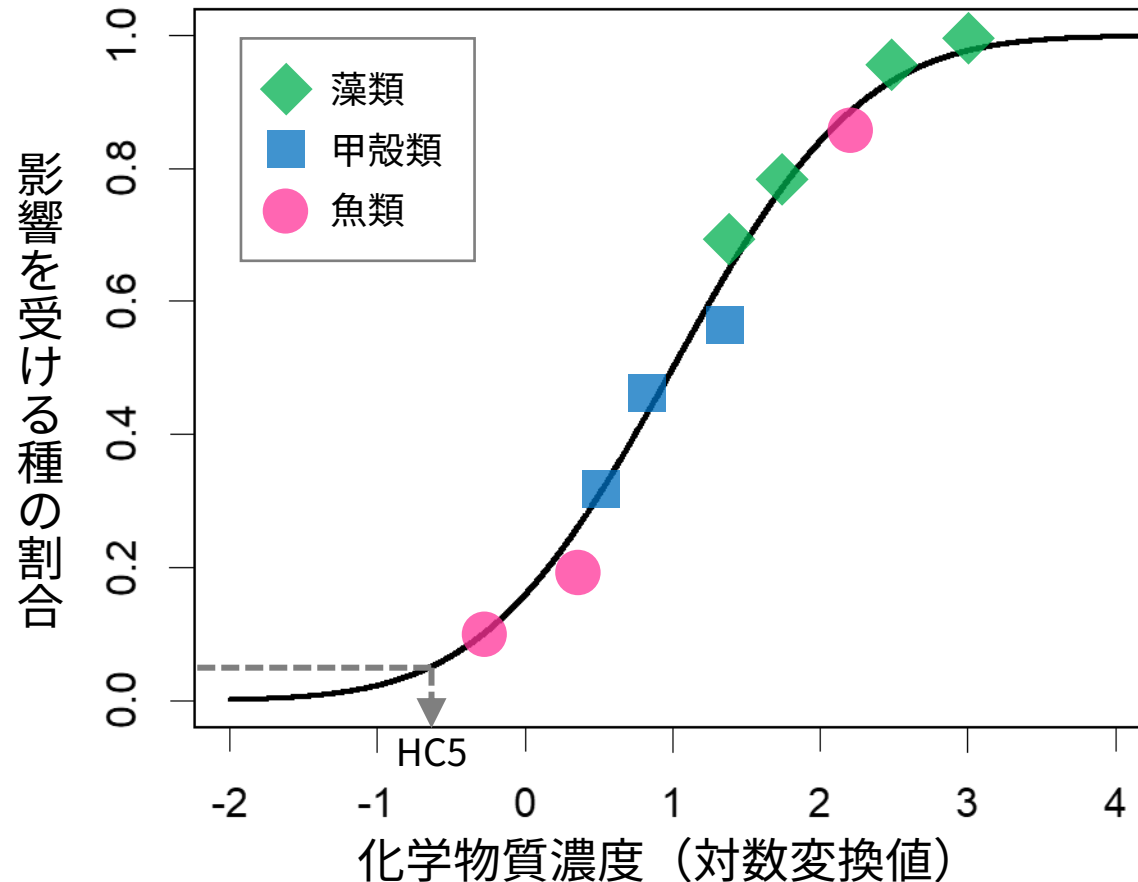
²東洋大学 生命科学部



本研究は、日本化学工業協会が推進するLRI（Long-range Research Initiative; 化学物質の環境影響および安全性に関する長期自主研究）、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20231001）により、支援された。

種の感受性分布とは？

- 複数の生物種を対象に得られた毒性データを，対数正規分布等の統計分布に当てはまる方法
- 95%の種が保護できる濃度（5%の種が影響を受ける濃度：HC5）が推定される
 - HC5は実環境中における生物群集に対して十分な保護を提供しうる濃度（メソコスムや野外調査結果から）



種の感受性分布に興味を持たれた方は、
環境毒性リレーセミナー
「種の感受性分布にまつわるあれこれ」
YouTubeに録画あります！

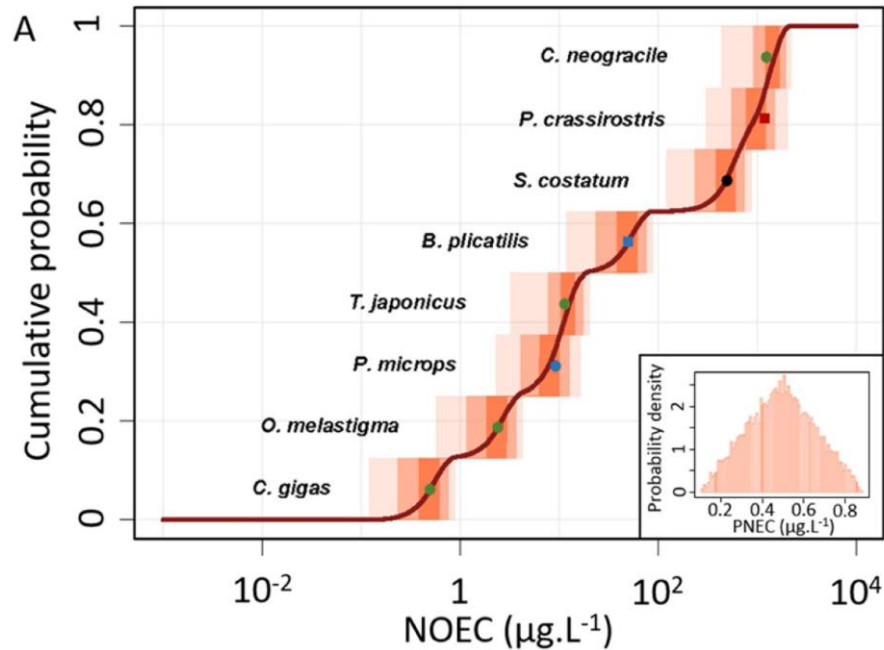


マイクロプラスチック粒子の有害性評価

- 複数の生態リスク評価（曝露と有害性の比較）がすでに行われている
- 有害性評価では，室内毒性試験結果に基づく種の感受性分布を推定

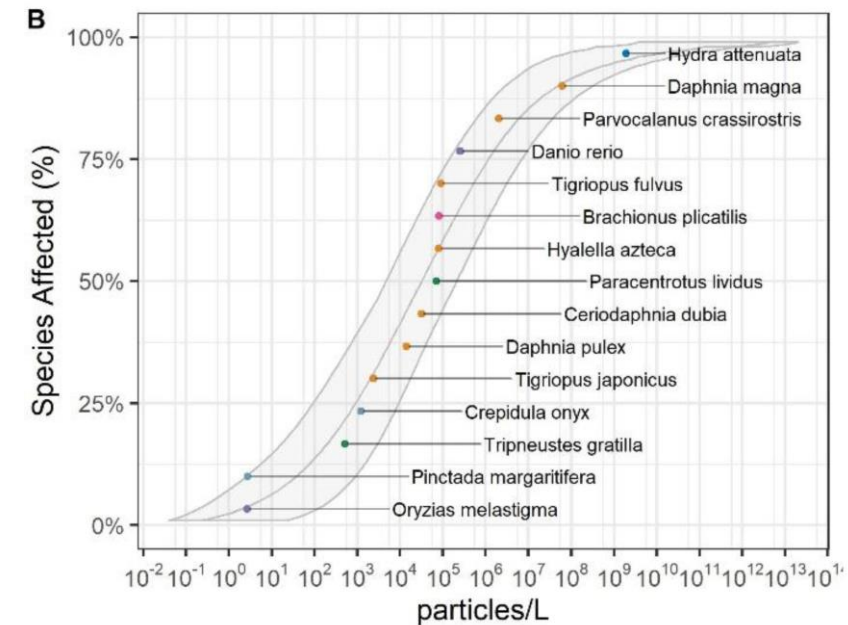
Adam et al. (2021) Aquatic Toxicology

<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105689> CC-BY 4.0



Mehinto et al. (2022) Microplastics and Nanoplastics

<https://doi.org/10.1186/s43591-022-00033-3> CC-BY 4.0



- HC5の点推定値は重量換算で0.01~1 µg/L，個数換算で10⁵~10⁶ particles/m³のオーダーで導出されている（岩崎ら 2021，環境毒性学会誌）

MP粒子の有害性評価の課題

岩崎ら (2021, 環境毒性学会誌)

1. MPの影響メカニズム

- 一貫して報告されているのは,
 - ①食物の消化・吸収の阻害／食物の栄養価の低下
 - ②MPの摂取による個体内での物理的なダメージ

2. MPの特徴と影響濃度の関係

- サイズ, 形状 (球体, ファイバー, フラグメント), ポリマータイプ (PS, PE等), 経年劣化の有無等のMPの特徴によって影響濃度が変化するか

3. 有害性評価や曝露評価の際に用いる濃度単位

4. 濃度反応関係が得られていない試験結果の取り扱い

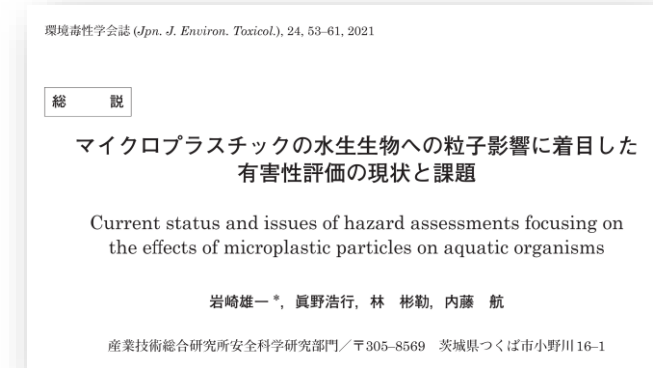
5. MPの生物利用可能性の考慮

6. 実際の環境中で想定される曝露条件の考慮

7. 自然の微細粒子を添加した対照区等の利用

8. MP等から溶出する化学物質や保存液の影響

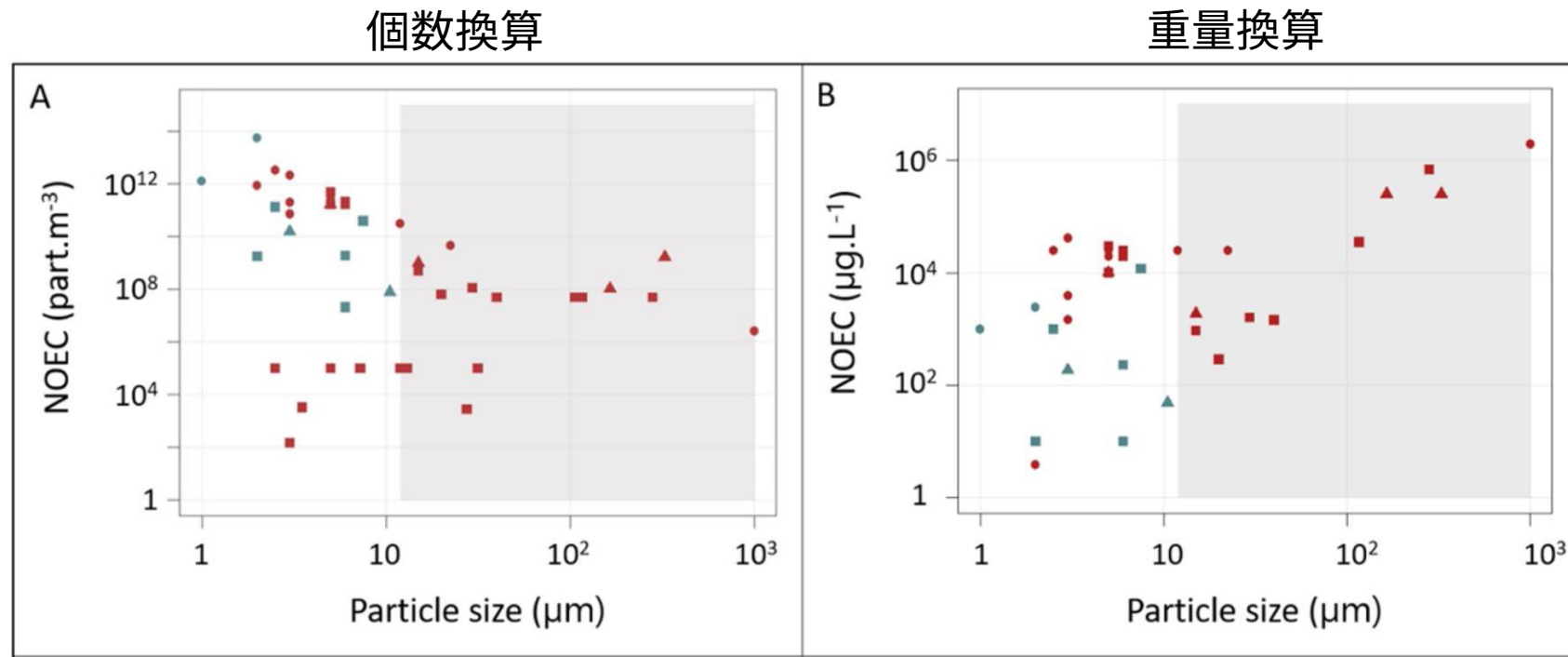
9. 不確実性係数の適用



※付着している化学物質の影響については Koelmans et al. 2019などを参照ください
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>

MP粒子の特徴が有害性評価に及ぼす影響

- 粒子サイズ、形状、ポリマータイプ、試験媒体（海水/淡水）などの要因がMP粒子の影響濃度に及ぼす可能性は指摘されているが、既往のレビュー等では「明確な結論は得られていない」
- 他の要因の影響を制御せずに、粒子サイズの影響を抽出するのは困難



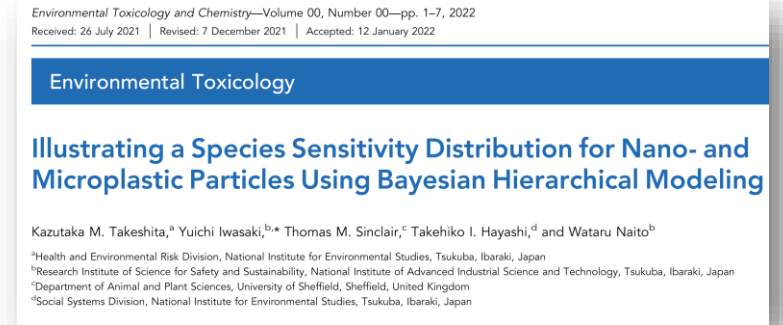
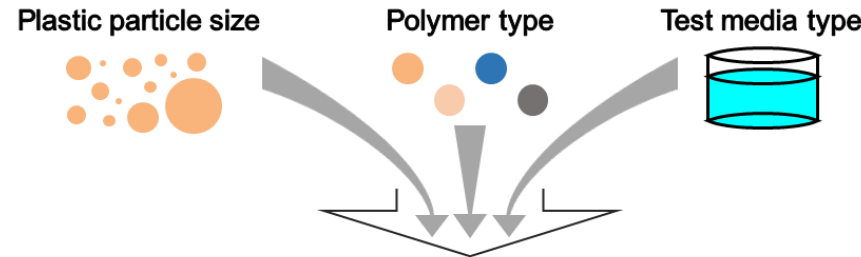
HONEC
他の毒性指標
ベースのNOEC

Adam et al. (2021) Aquatic Toxicology <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105689> CC-BY 4.0

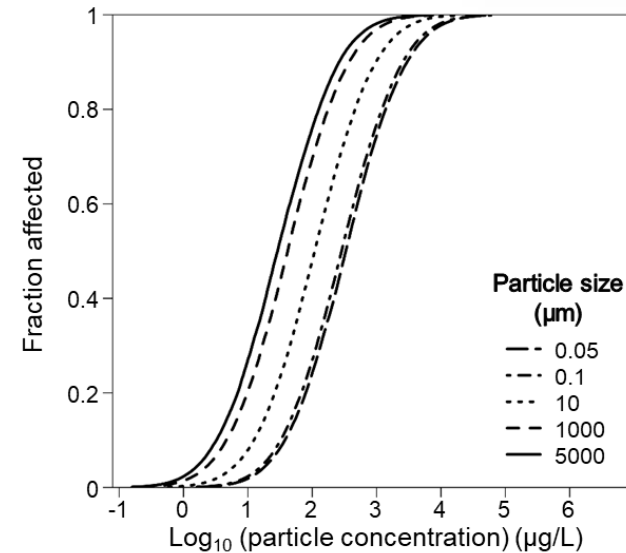
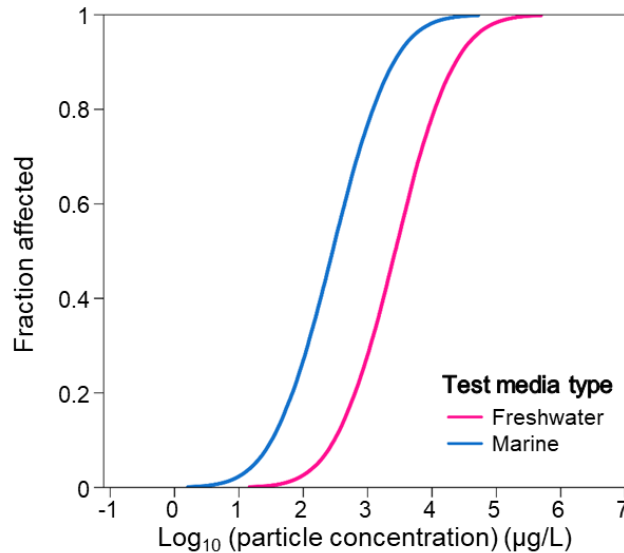
目的

- 粒子サイズなどの要因の影響を考慮できる種の感受性分布をベイズモデリングを用いて構築する

解析方法はTakeshita et al. (2022)を援用



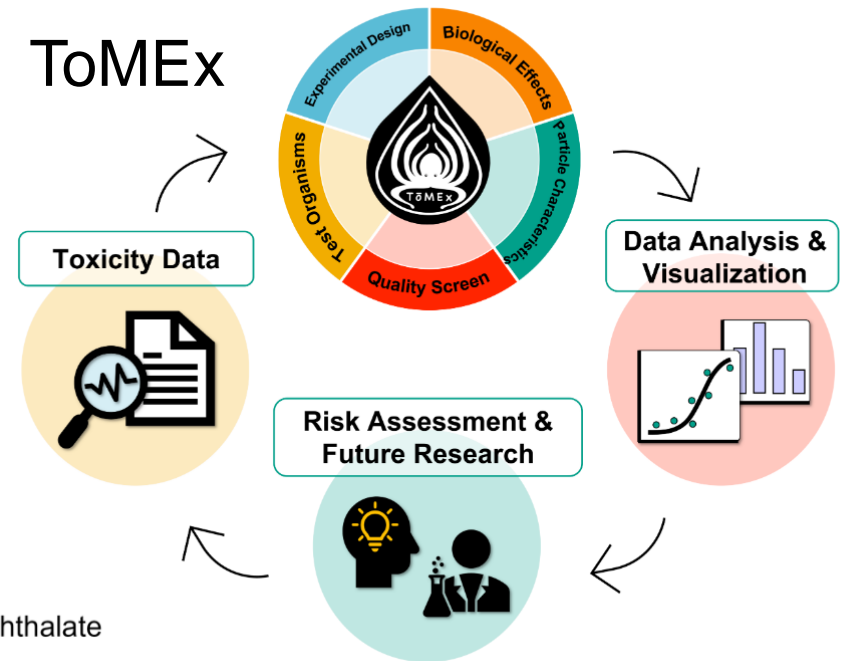
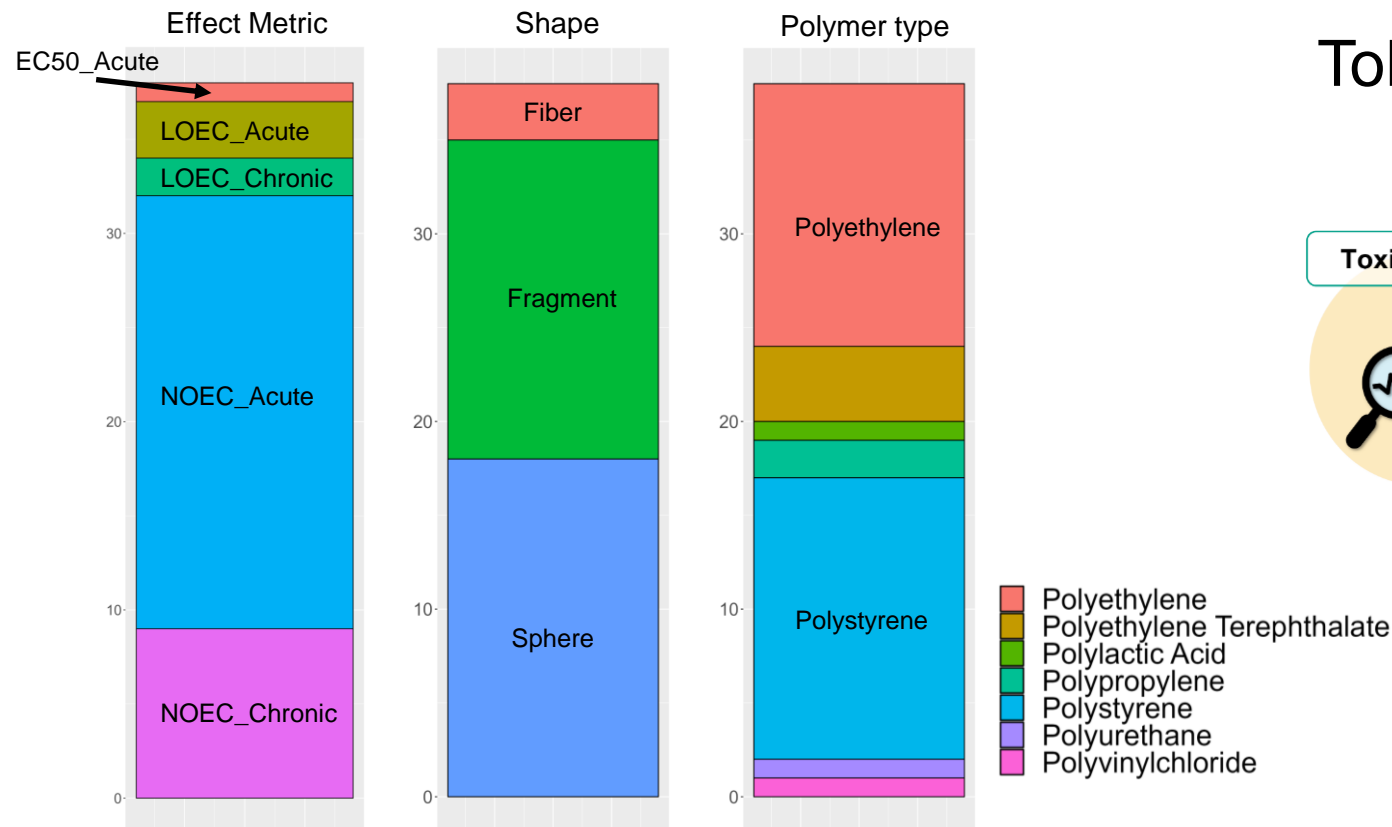
Hierarchical species sensitivity distribution modeling



本模式図は
Takeshita et al. (2022)より転載
<https://doi.org/10.1002/etc.5295>
CC-BY 4.0

有害性データ：Toxicity of Microplastics Explorer (ToMEx)

- ToMExに搭載されている有害性データを利用（2020年12月まで更新）
- 38個の慢性NOECs（29個のデータに、2~100の不確実性係数を適用。HONEC除外）
 - “Food dilution”を想定し、藻類を除外（Mehinto et al. 2022）。ただし、重量濃度を利用。
 - 全部で18生物種、粒子径は0.05–280 μm、海水生物のNOECは38%



<https://microplastics.sccwrp.org/>
 Thornton Hampton et al. 2022
<https://doi.org/10.1186/s43591-022-00032-4>
 CC-BY 4.0

方法：種の感受性分布モデル

- 対数正規分布を仮定した種の感受性分布（SSD）

平均 μ ，標準偏差 σ の正規分布に従う

$$\log_{10} \text{NOEC} \sim \text{Normal}(\mu, \sigma)$$

$$\mu = \alpha + \sum \beta_i(X_i)$$

SSDの平均

考慮した要因

- 粒子径（常用対数値）
- 形状
- ポリマータイプ
- 生息場（淡水 or 海水）

ベイズモデリング

- SSDの平均がMPの特徴や生息場の影響を受けると仮定するSSDモデル
- 生息場（淡水かどうか）、形状（フラグメントかどうか、ファイバーかどうか）、ポリマータイプ（PSかどうか、PEかどうか）の影響は、2値変数（0, 1）で考慮
- WAIC（Widely applicable information criterion）によるモデル選択
 - 相対的なランキングが可能。WAICの差で絶対的な評価は難しい

結果：WAICによるモデル選択

- 粒子径とファイバーを含むモデルがWAIC最小
 - 粒子径が小さいMPほど、慢性NOECが低い。ファイバーの方が、慢性NOECが低い。
 - Nullモデル（切片だけのモデル）は27番目に位置し、粒子径やファイバーの形状等の特性をSSDの推定において考慮する重要性を示唆

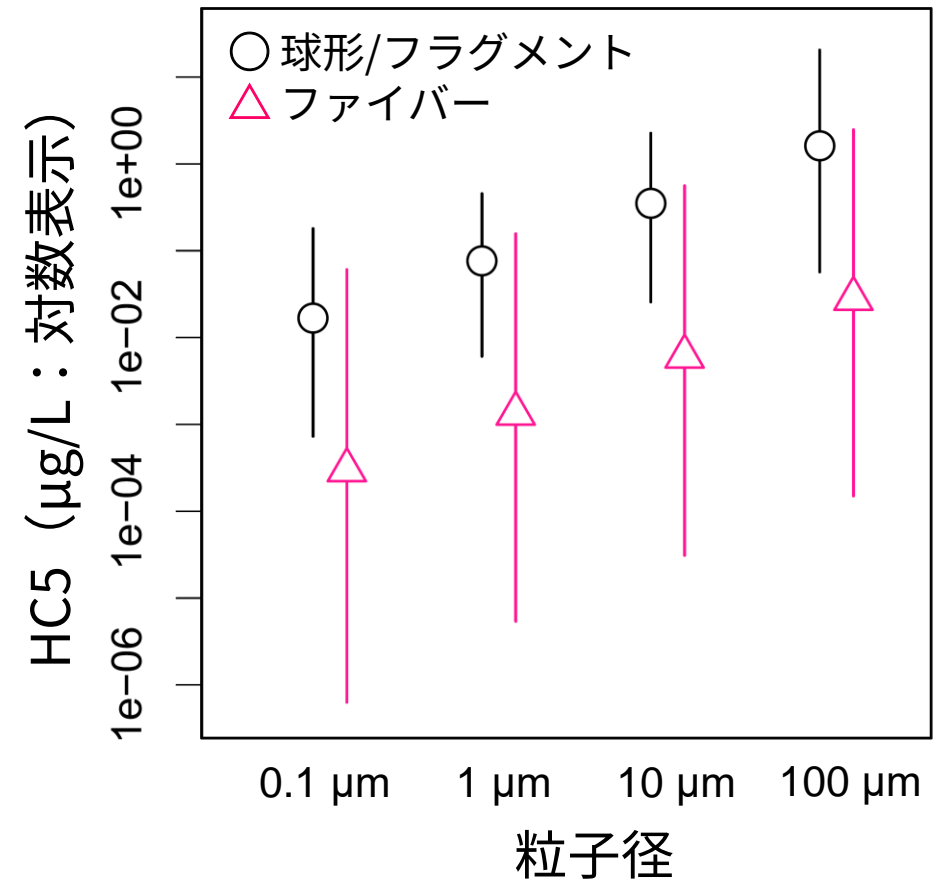
Parameters	Rank 1	Rank 2	Rank 3	Rank 4	Rank 5	Null model	Full model
Intercept (α)	-1.25	-1.47	-1.13	-1.32	-1.30	-1.04	-0.90
Particle length	<u>0.66</u>	0.61	0.73	0.55	0.63		0.53
Environment		0.53					0.46
Fragment					0.16		-0.03
Fiber	<u>-1.76</u>	-1.97	-1.96		-1.61		-2.35
Polystyrene							-0.56
Polyethylene			-0.36				-0.69
SSD SD (σ)	1.75	1.75	1.76	1.79	1.77	1.88	1.80
WAIC	153.3	154.6	155.0	155.1	155.2	157.0	159.4
Delta WAIC	0.0	1.3	1.7	1.8	1.9	3.8	6.1

Delta WAIC = ベストモデルのWAICとの差。モデルの係数は、事後分布の中央値。

結果：95%の種が保護できる濃度（HC5）

- 球形とフラグメントMPのHC5（中央値）は、0.02–2 $\mu\text{g/L}$
 - 既往研究の推定値と同じオーダー
 - 0.14 $\mu\text{g/L}$ (VKM 2019)
 - 1.7 & 5.4 $\mu\text{g/L}$ (Besseling et al. 2019)
 - 0.5 $\mu\text{g/L}$ (Adam et al. 2021)
- ファイバーのHC5（中央値）は、約100倍低い濃度と推定された
 - ただ、95%ベイズ信用区間は、最大で5桁にも広がっており、不確実性が大きい
 - ファイバーのデータは3つしかない

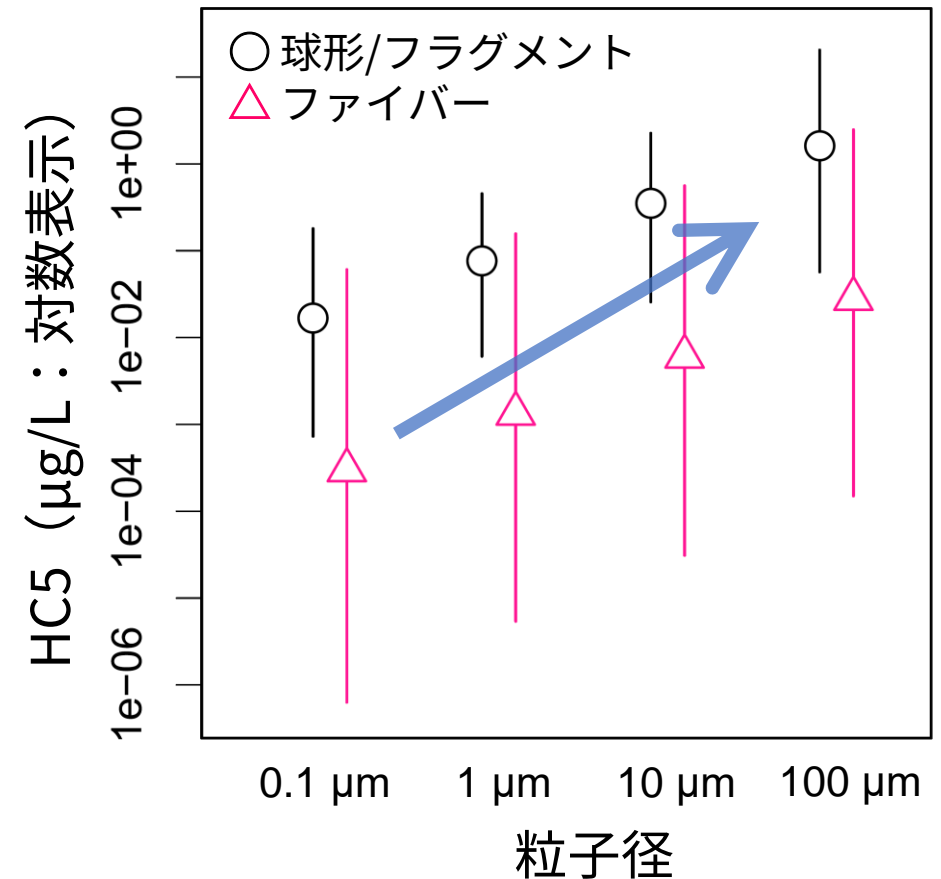
粒子径0.1–100 μm の範囲で表示
 （データの範囲：0.05–280 μm ）



結果：粒子径の影響

- 粒子径 vs NOEC（及びHC5）は正の関係
 - 粒子径 β_{length} の95%ベイズ信用区間は、0.1-1.2とゼロを含んでいない
 - ただ、LOECを用いたTakeshita et al. (2022)では逆の結果（粒子径とLOECは負の関係）
 - 他の既往研究でも、両方の結果が存在
- 背後にある影響メカニズム？
 - 小さいMPが組織に移行されやすく有害性が高くなる？

粒子径0.1-100 μm の範囲で表示
(データの範囲：0.05-280 μm)



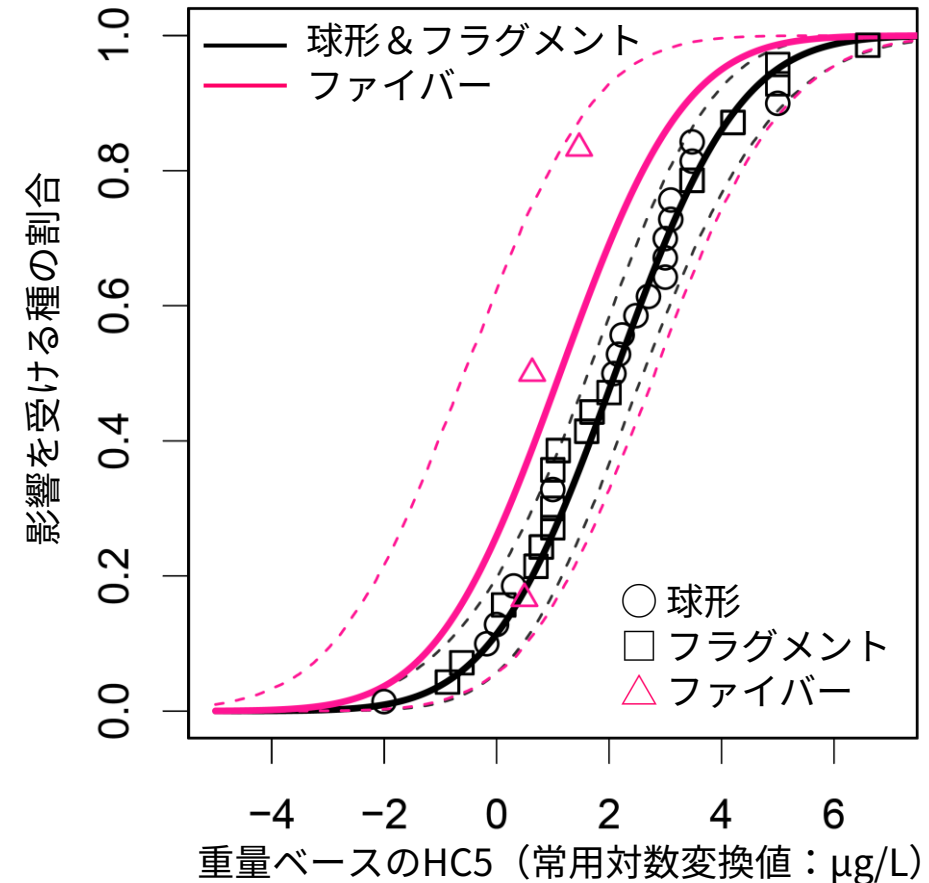
まとめ

MP = マイクロプラスチック

- 粒子径等のMPの特徴を考慮した種の感受性分布を推定
 - 粒子径が小さく & 形状がファイバーであればHC5が低くなることを示唆
- ベイズSSDモデリングを利用することで複数の生物種を対象に、MPの特徴の影響を評価できる！

課題：

- 生物種毎で見ると、データはまだまだ少ない
 - ほとんどの生物種で1~3データポイントしかない
 - リスク評価（有害性評価）に資する試験結果と有害性DBのさらなる拡充が必要
- 曝露データに基づく生態リスク評価の実施



粒子径はデータの中央値（球形/フラグメント 3.5、ファイバー 47.5 μm）を用いてSSDを描いた