

環境省
令和4年度海洋プラスチックごみ学術シンポジウム

2023年3月4日
セッションC：生物・生態系影響

**微細マイクロプラスチックのベクター効果：
マイクロプラスチックの水中濃度が
ジャワメダカのアントラセン蓄積量に与える影響**

高井優生、島崎洋平、大嶋雄治
九州大学（水産生物環境学）

背景

プラスチックによる環境汚染

マクロプラスチック



<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/>

メソプラスチック



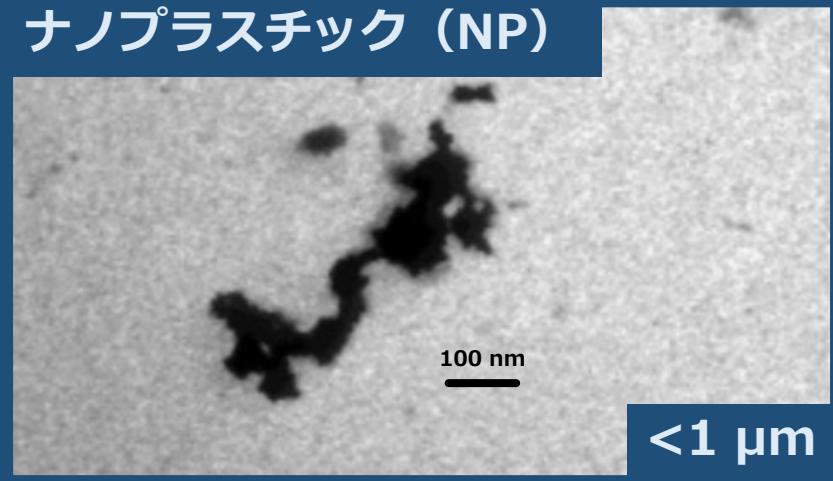
<https://www.scientificamerican.com/>

マイクロプラスチック (MP)



<https://www.ehn.org/are-microplastics-toxic/>

ナノプラスチック (NP)

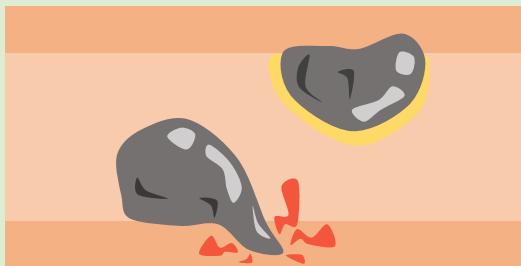


Gigault et al., Environmental Pollution, 235 (2018)

背景 MP (NP) の生物影響

物理的な影響

臓器への傷害や神経毒性
腸内環境への影響



- ・消化管内壁の炎症
- ・腸内細菌叢の変化

Rawls et al. (2005), Jin et al. (2018),
Wan et al. (2019) 等

・神経毒性

Ding et al. (2018), Huang et al. (2022) 等
- AChE活性の低下

・行動影響

Carlos de Sa et al. (2015), Takai et al. (2022) 等
- 過活発
- 社会性の低下

添加剤の影響

消化管内での添加剤の溶出およびそれによる影響



・難燃剤の蓄積

Hasegawa et al. (2021), Herrera et al. (2022)

- カジカ
- アミ
- ヨーロッパシーバス

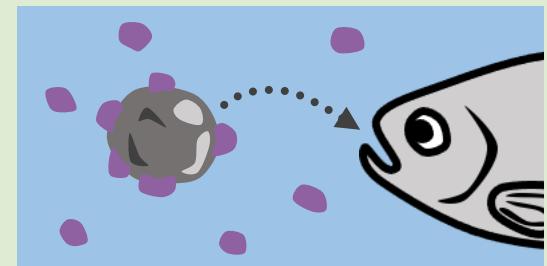
・紫外線吸収剤の蓄積

Hasegawa et al. (2022)

- カジカ
- アミ

ベクター効果

環境中での化学物質の取り込み促進効果



・モデル解析

Bakir et al. (2016), Koelmans et al. (2016)
Liu et al. (2022) 等

- ベクター効果は
起こりにくいのでは？

・生物を使用した実験

Chen et al. (2017), Qu et al. (2018),
Qiu et al. (2020)

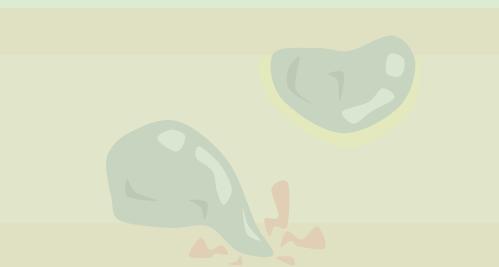
- ベクター効果は
起こり得るのでは？
(ビスフェノールA、ベンラ
ファキシン、アントラセン)

背景

MPのベクター効果

物理的な影響

臓器への傷害や神経毒性
腸内環境への影響



- ・消化管内壁の炎症
- ・腸内細菌叢の変化

Rawls et al. (2005), Jin et al. (2018),
Wan et al. (2019) 等

・神経毒性

Ding et al. (2018), Huang et al. (2022) 等
- AChE活性の低下

・行動影響

Carlos de Sa et al. (2015), Takai et al. (2022)
- 過活発
- 社会性の低下

添加剤の影響

消化管内での添加剤の溶出およびそれによる影響



研究報告 多

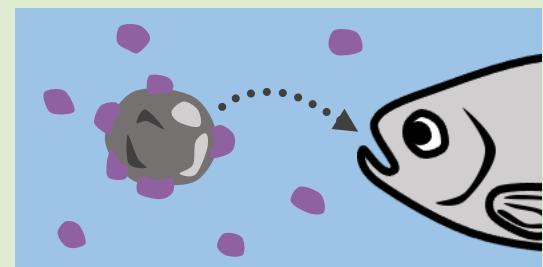
- 人工消化液等を用いた
*in vitro*での実験結果を活用

研究報告 少

- 定量的にベクター効果を検証した例は3報のみ
- MPのサイズや濃度との関連は不明

ベクター効果

環境中での化学物質の取り込み促進効果



・モデル解析

Bakir et al. (2016), Koelmans et al. (2016)
Liu et al. (2022) 等

- ベクター効果は起こりにくいのでは？

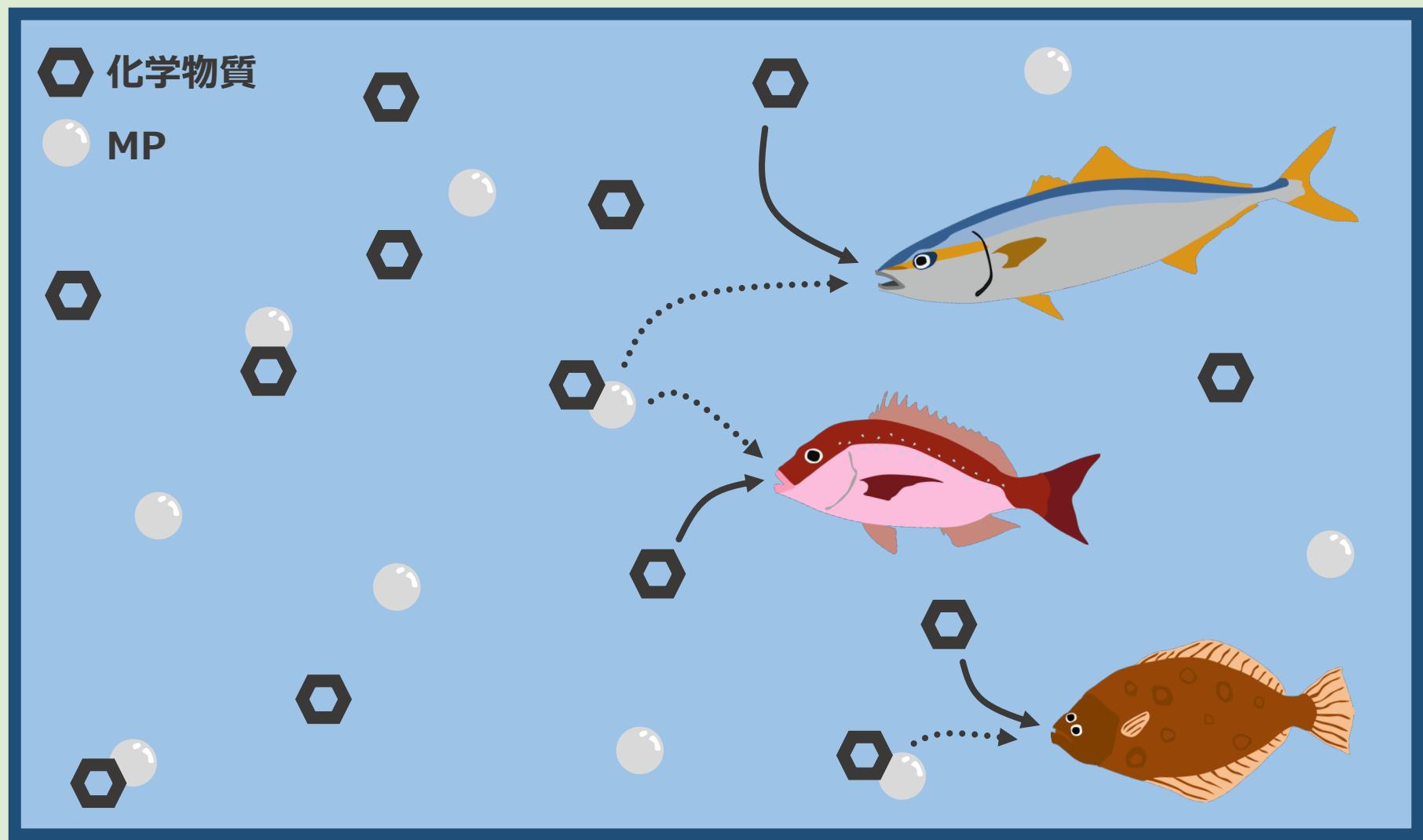
・生物を使用した実験

Chen et al. (2017), Qu et al. (2018),
Qiu et al. (2020)

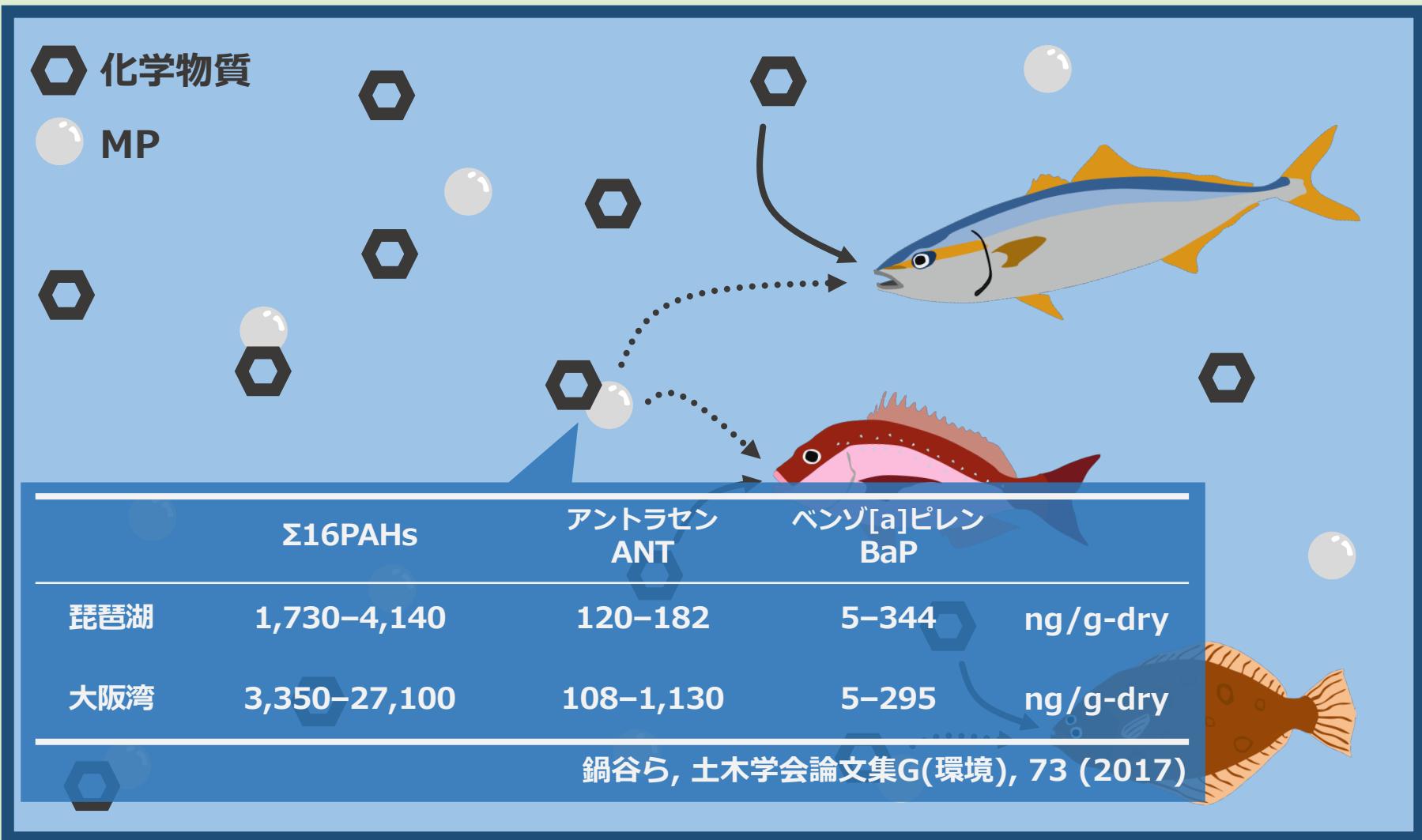
- ベクター効果は起こり得るのでは？

(ビスフェノールA、ベンラ
ファキシン、アントラセン)

背景 MPのベクター効果

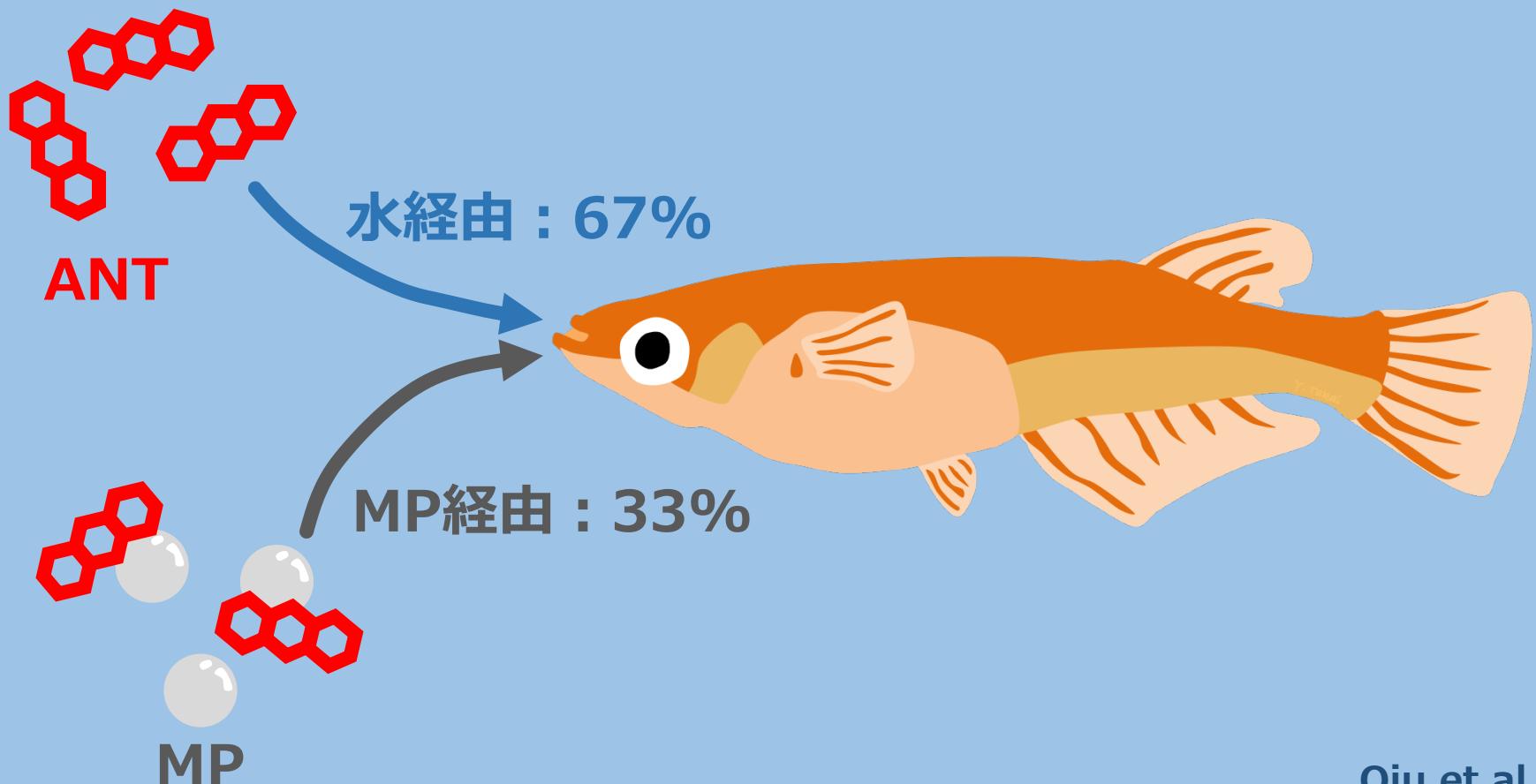


背景 MPのベクター効果



背景

MPのベクター効果



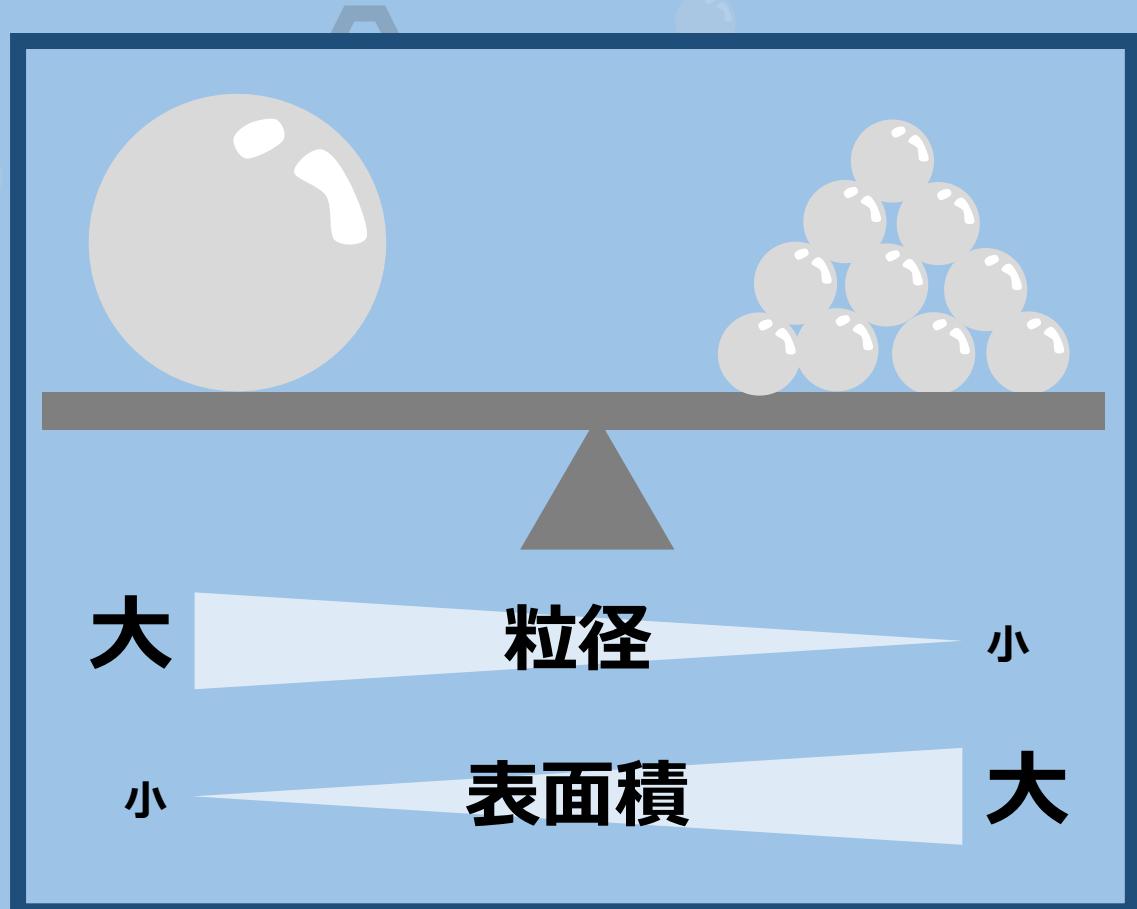
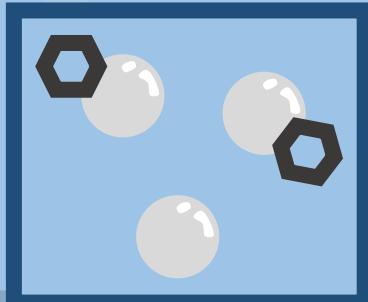
背景

MPのサイズとベクター効果の関係

◆ 化学物質

● MP

MPに吸着した化学物質が
生物の体内に取り込まれる



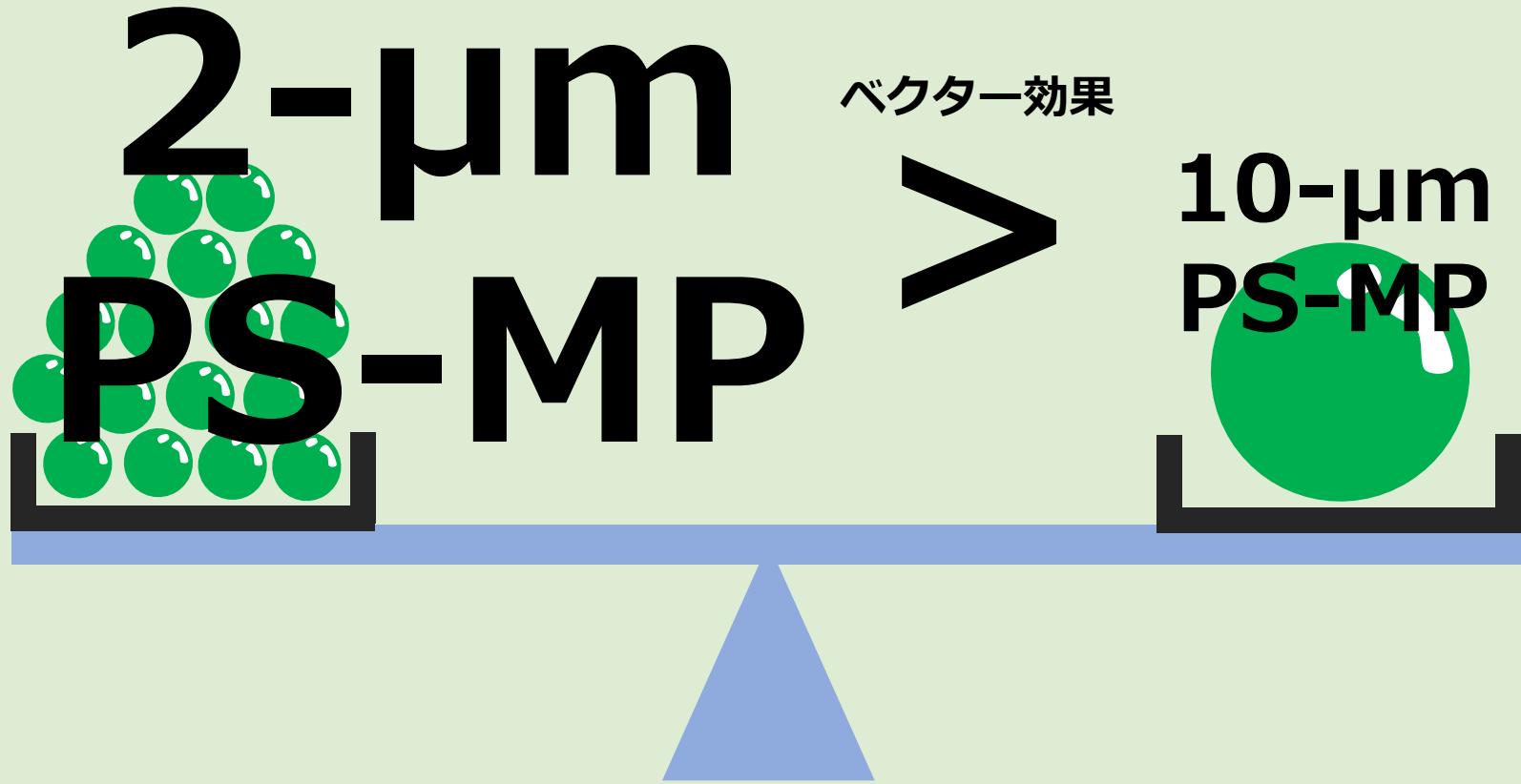
背景【先行研究】

MPのサイズとベクター効果の関係

論文投稿中のため
グラフは非公開

背景【先行研究】

MPのサイズとベクター効果の関係



同重量の場合、10- μm MPよりも
2- μm MPの方がベクター効果が大きい

背景

MPの水中濃度とベクター効果の関係



- ・環境中のMP濃度は様々で局的に高濃度になっている場所もある (0–7924 items/m³) Yu et al., Chemosphere, 249 (2020)
- ・2060年には海洋環境のMP (0.3–5 mm) 濃度は現在の濃度 (0.04–0.1 mg/L) から1 mg/L程度にまで上がるのではないか Isobe et al., Nature Communications, 417 (2019)

方法

ANTとPS-MPを用いた曝露試験

試験魚 : ジャワメダカ (*Oryzias javanicus*) 40尾/試験区

MP : PS-MP (緑色蛍光、粒径2 μm)

試験容量 : 18 L/試験区 (毎日全量水換)

試験区 : 5試験区

	溶媒対照区	ANT	ANT + 低濃度PS-MP	ANT + 中濃度PS-MP	ANT + 高濃度PS-MP
アントラセン	-	100 μg/L	100 μg/L	100 μg/L	100 μg/L
2-μm PS-MP	-	-	25 μg/L	50 μg/L	100 μg/L

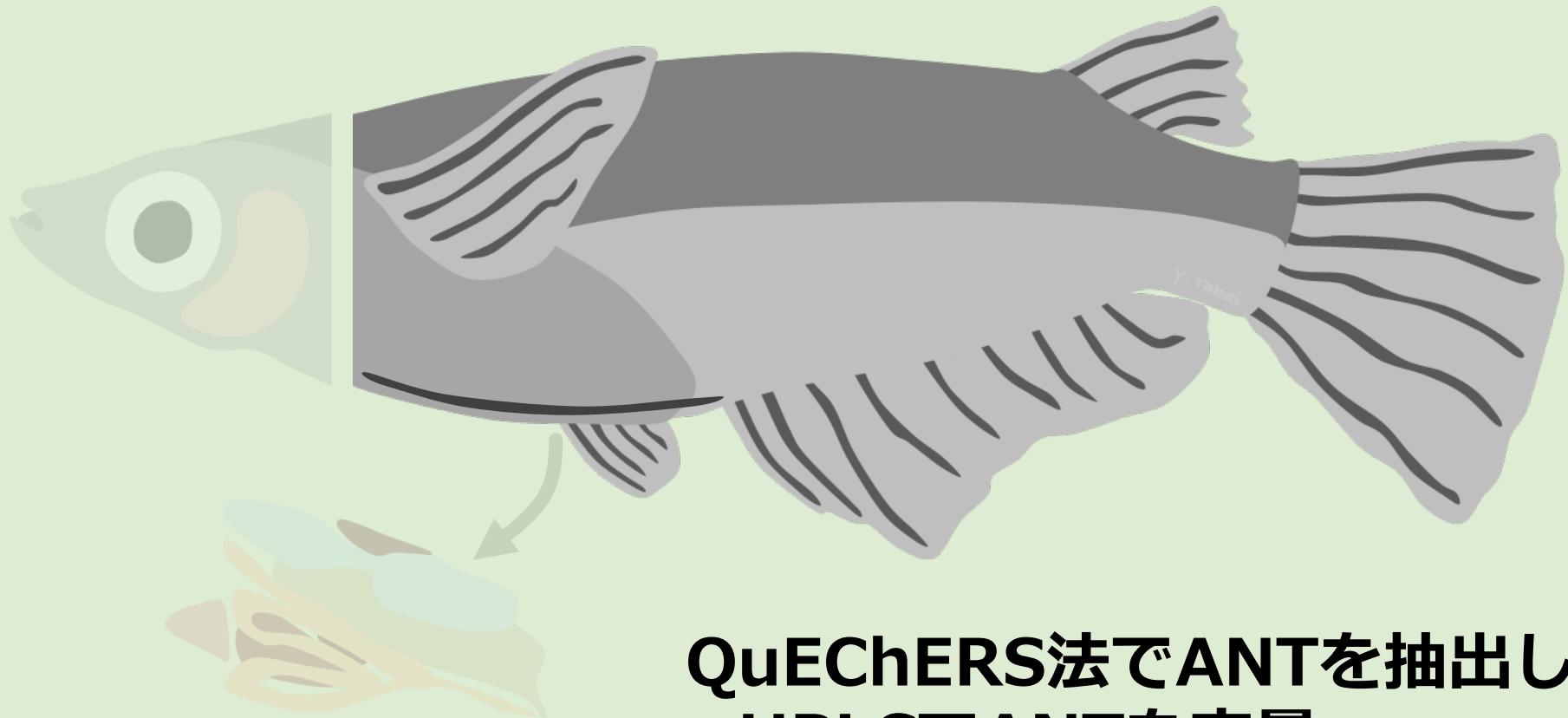
試験期間 : 21日間

… 6 … 8 … 10 … 12 … 14 15 … 17 … 19 … 21

曝露期間

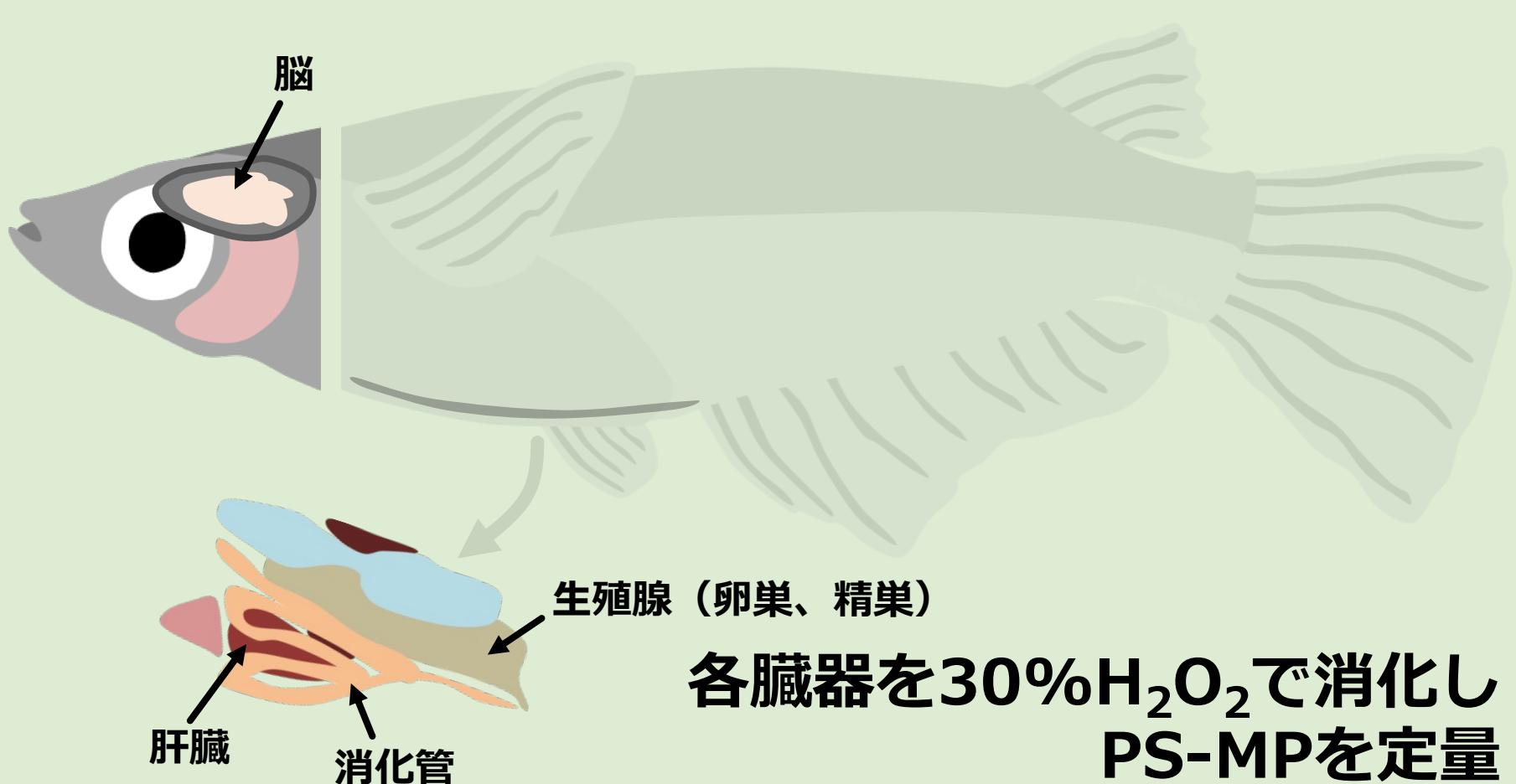
排出期間

方法 魚体内に蓄積したANTの定量

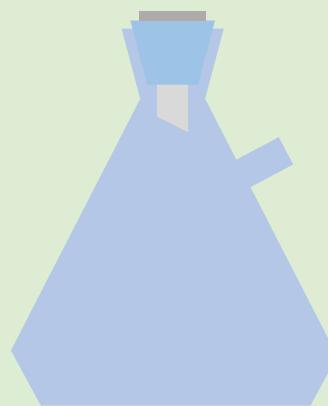


QuEChERS法でANTを抽出し
HPLCでANTを定量 (内部標準法)

方法 魚体内に蓄積したPS-MPの定量



方法 魚体内に蓄積したPS-MPの定量



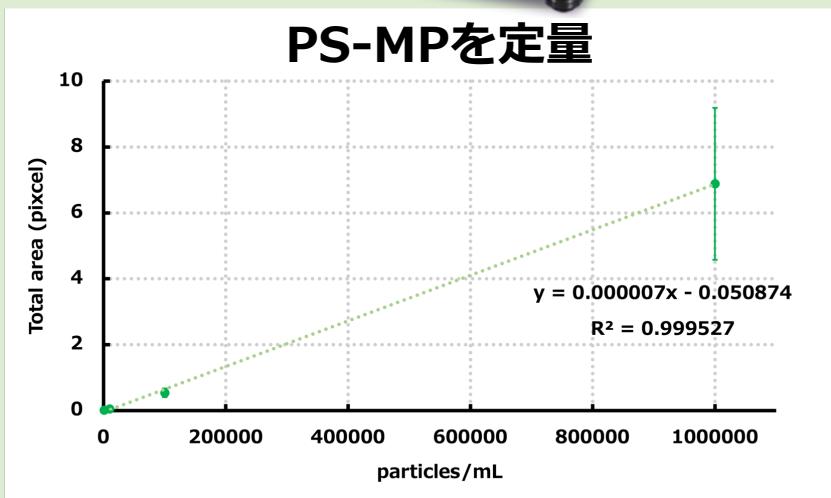
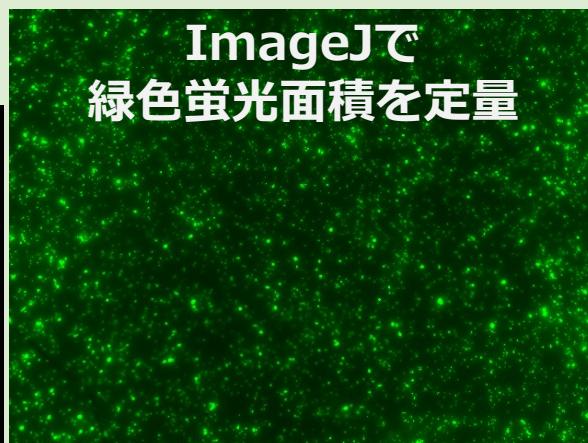
ガラスフィルターでろ過
(孔径 0.7 μm)



蛍光顕微鏡で撮影 (BZ-X800)
($\lambda_{em} = 518$ nm、 $\lambda_{ex} = 488$ nm)



ImageJで
緑色蛍光面積を定量



結果

消化管内の2- μm PS-MP濃度

論文投稿予定のため
非公開

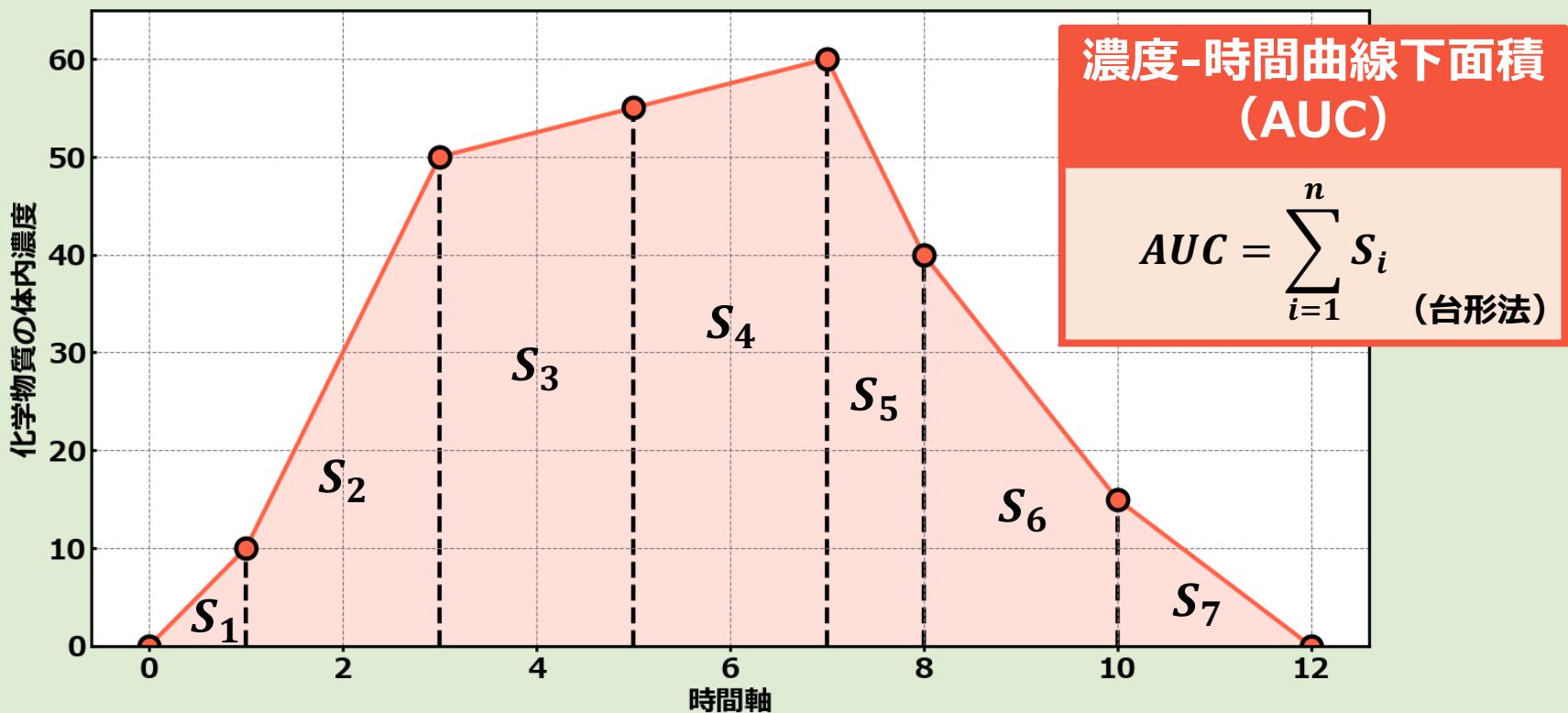
結果 ANT体内濃度

論文投稿予定のため
非公開

方法 モーメント解析

モーメント解析 —

- ・化学物質の蓄積性についての解析方法（非モデル依存）
- ・化学物質の体内動態を確立過程として計算する



結果

PS-MP蓄積量のモーメント解析

論文投稿予定のため
非公開

結果

ANT蓄積量のモーメント解析

論文投稿予定のため
非公開

方法

1 コンパ

トントウテニギル

$$\frac{dC_{fish}^{MP}}{dt} = k_1^{MP} \times C_{water}^{MP} - k_2^{MP} \times C_{fish}^{MP}$$



$$\frac{dC_{fish}^{ANT}}{dt} = k_1^{ANT} \times C_{water}^{ANT} - k_2^{ANT} \times C_{fish}^{ANT} + \underline{\alpha \times C_{fish}^{MP}}$$

結果

2-μm PS-MPのベクター効果定数

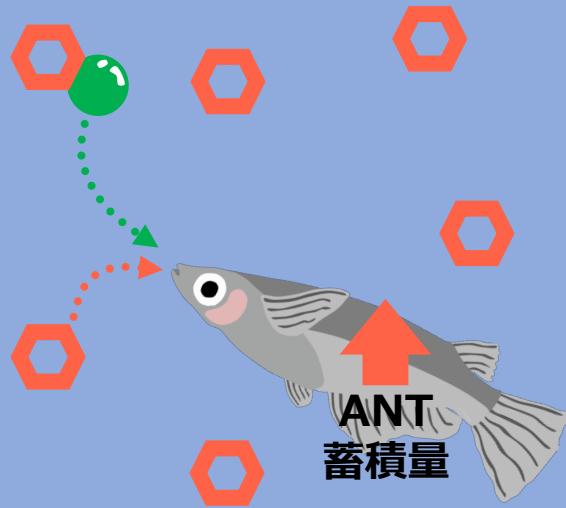
論文投稿予定のため
非公開

考察

PS-MPの水中濃度とベクター効果

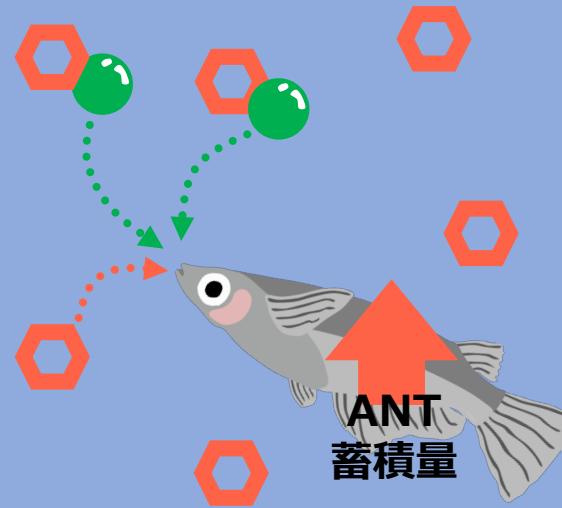
ANT+低濃度PS-MP

ANT : 100 µg/L
PS-MP : 25 µg/L



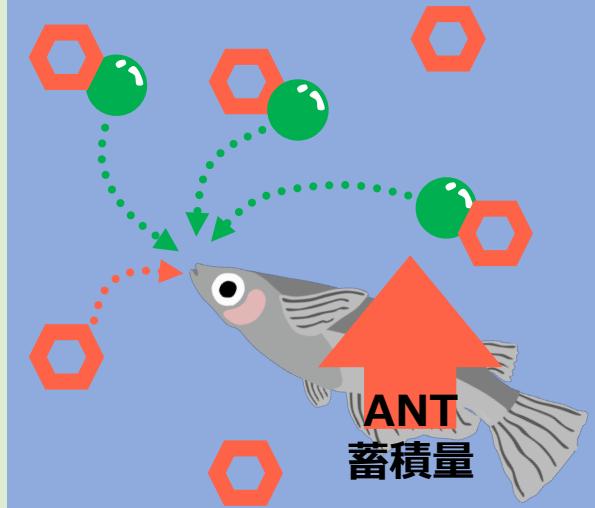
ANT+中濃度PS-MP

ANT : 100 µg/L
PS-MP : 50 µg/L



ANT+高濃度PS-MP

ANT : 100 µg/L
PS-MP : 100 µg/L



水中のPS-MP濃度が高くなると消化管内に取り込むPS-MPが増えてベクター効果が大きくなつた

考察

MPのサイズ・水中濃度とベクター効果

先行研究 (PS-MPサイズの影響)

10- μm PS-MPよりも2- μm PS-MPの方が
ベクター効果が大きかった

MPのサイズ（表面積）が
ベクター効果に大きく寄与する

本研究 (PS-MP濃度の影響)

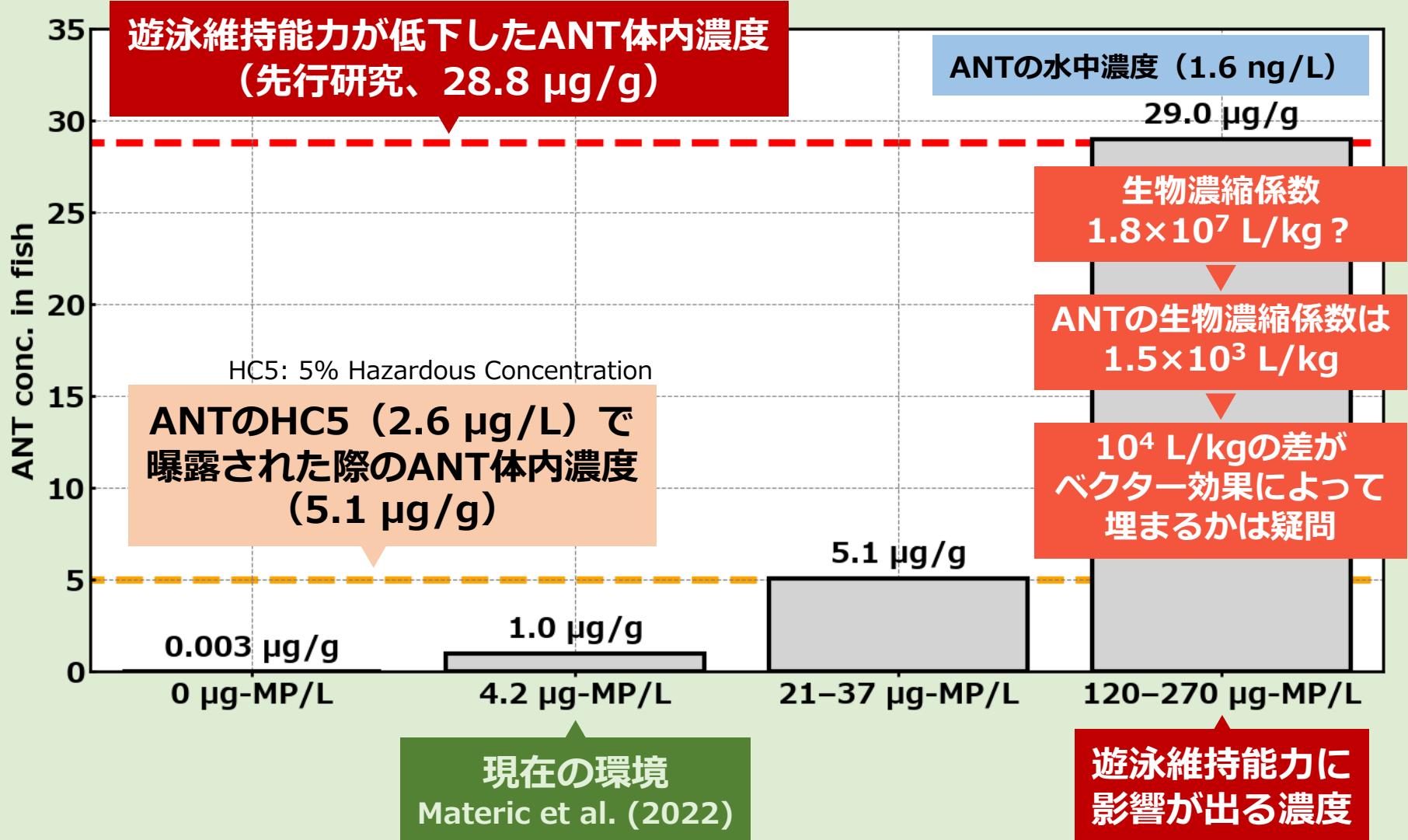
水中のPS-MP濃度に比例してANT蓄積量が増加した

生物のMP取り込み量が
ベクター効果に大きく寄与する

食性が大きく寄与することが予想されるが
食性に着目した研究は無脊椎動物の報告を含めて2報のみ
Bertoli et al. (2022), Aiguo et al. (2022)

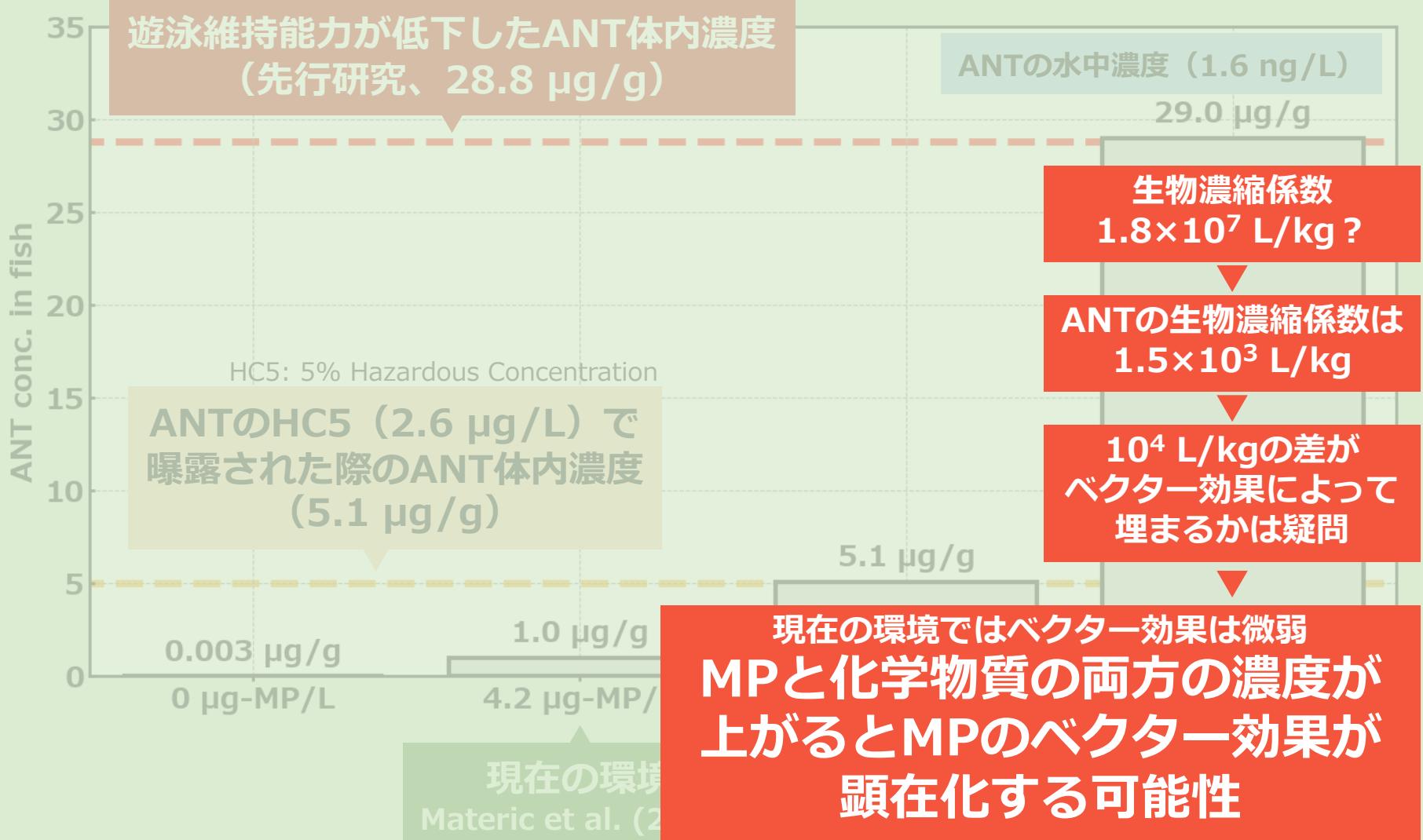
考察

ベクター効果定数を用いたシミュレーション



考察

ベクター効果定数を用いたシミュレーション



まとめ

MPのサイズや水中濃度がベクター効果に大きく寄与するが
**現在の環境でベクター効果が生物に
深刻な影響を与えている可能性は低い**

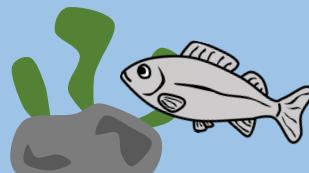
他の化学物質では?
他の種類のMPでは?

…
…
…

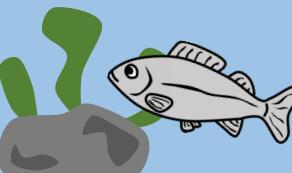
MP取り込み量と
食性の関係

化学物質の複合毒性との関係

化学物質A
毒性弱



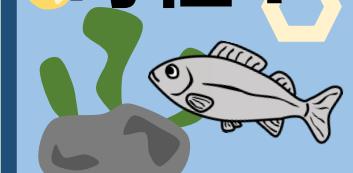
化学物質B
毒性弱



化学物質A+B
毒性強



化学物質AB+MP
毒性?



謝辞

本研究は以下の研究費の助成をいただきました。

- ・日本科学協会 筏川科学研究助成 (2021-6026)
- ・日本学術振興会 特別研究員 (DC2) 奨励費 (22J13703)
- ・金沢大学環日本海域環境研究センター共同研究 (20061、21070)
- ・一般社団法人日本化学工業協会 (19_R05-01)