

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



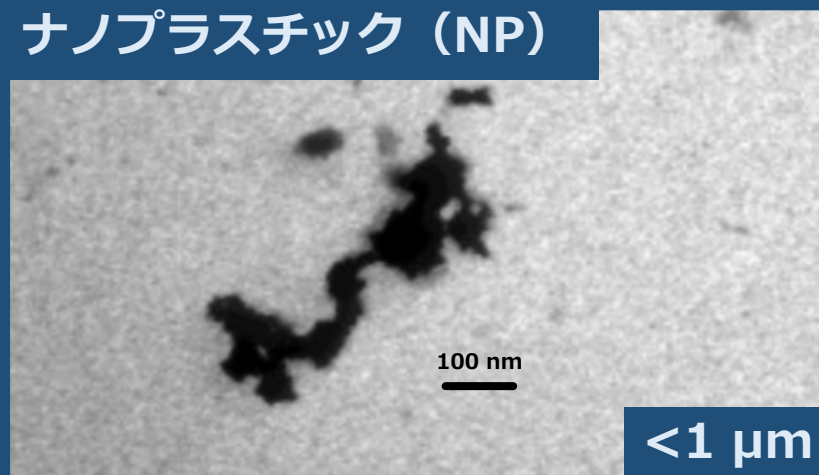
<https://www.scientificamerican.com/>

### 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
  - AChE活性の低下

Ding et al. (2018), Huang et al. (2022) 等

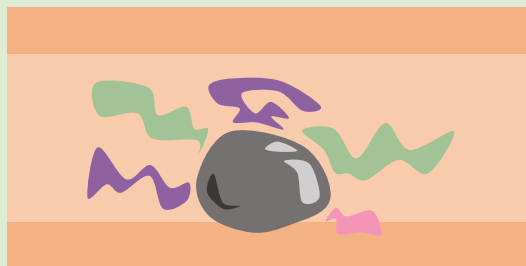
- 行動影響

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

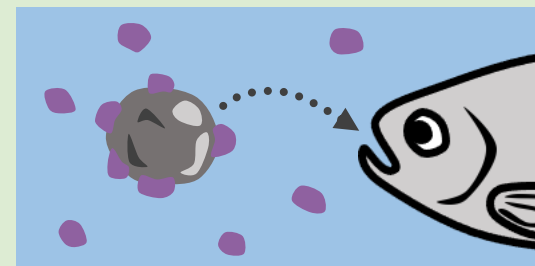
- 紫外線吸収剤の蓄積

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  
ファキシシ、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

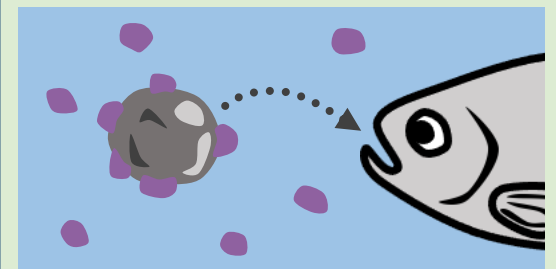
- 人工消化液等を用いた  
in vitroでの実験結果を活用

### 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？

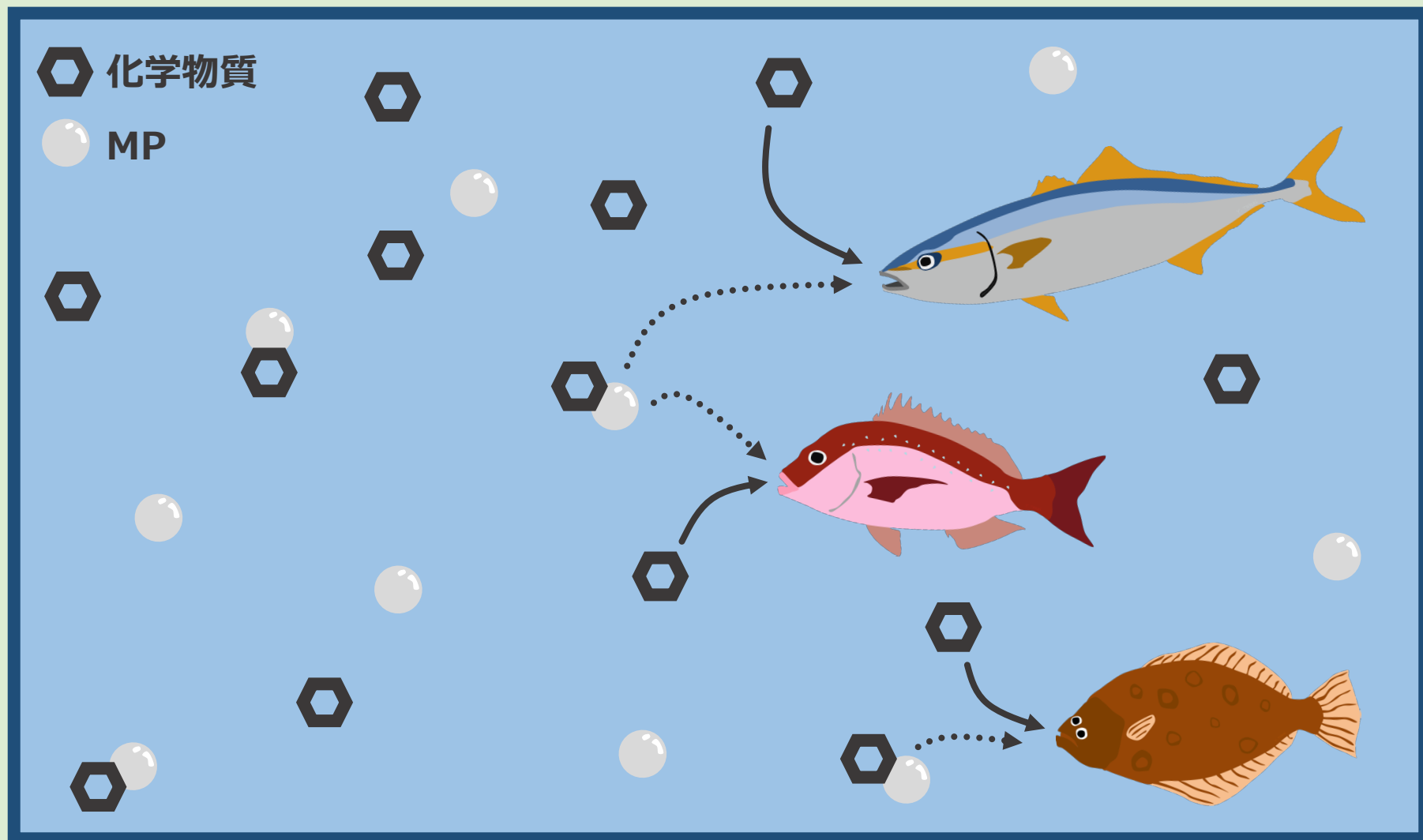
#### • 生物を使用した実験

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

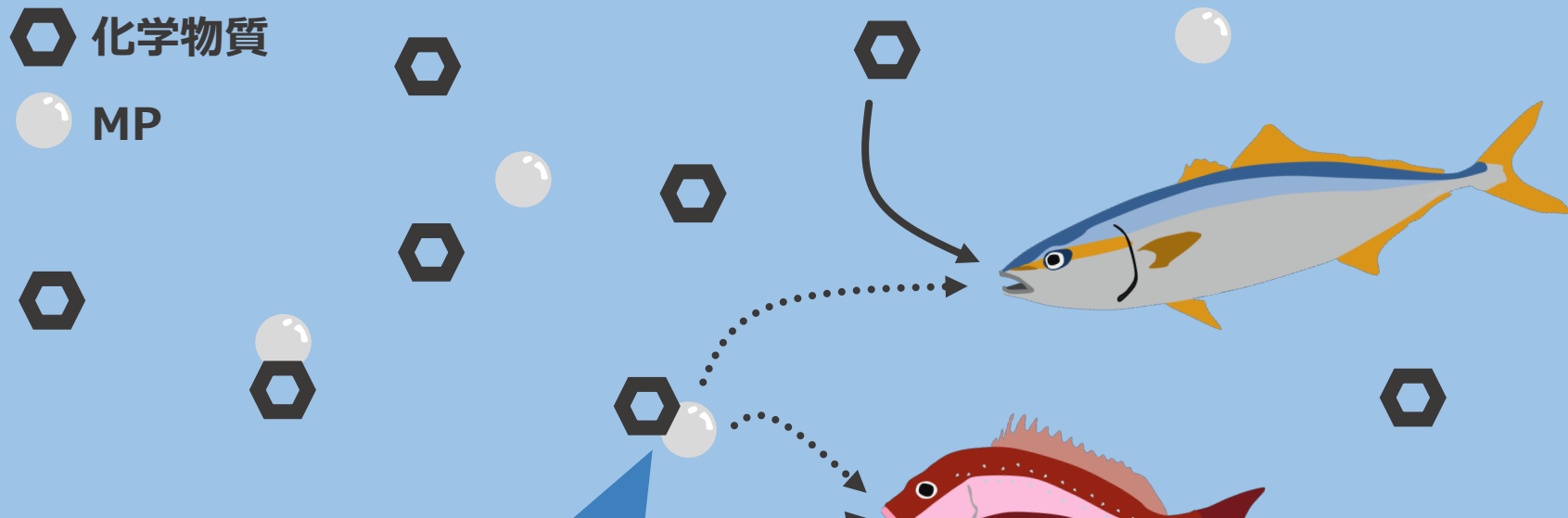
## MPのベクター効果



# 背景 MPのベクター効果

化学物質

MP

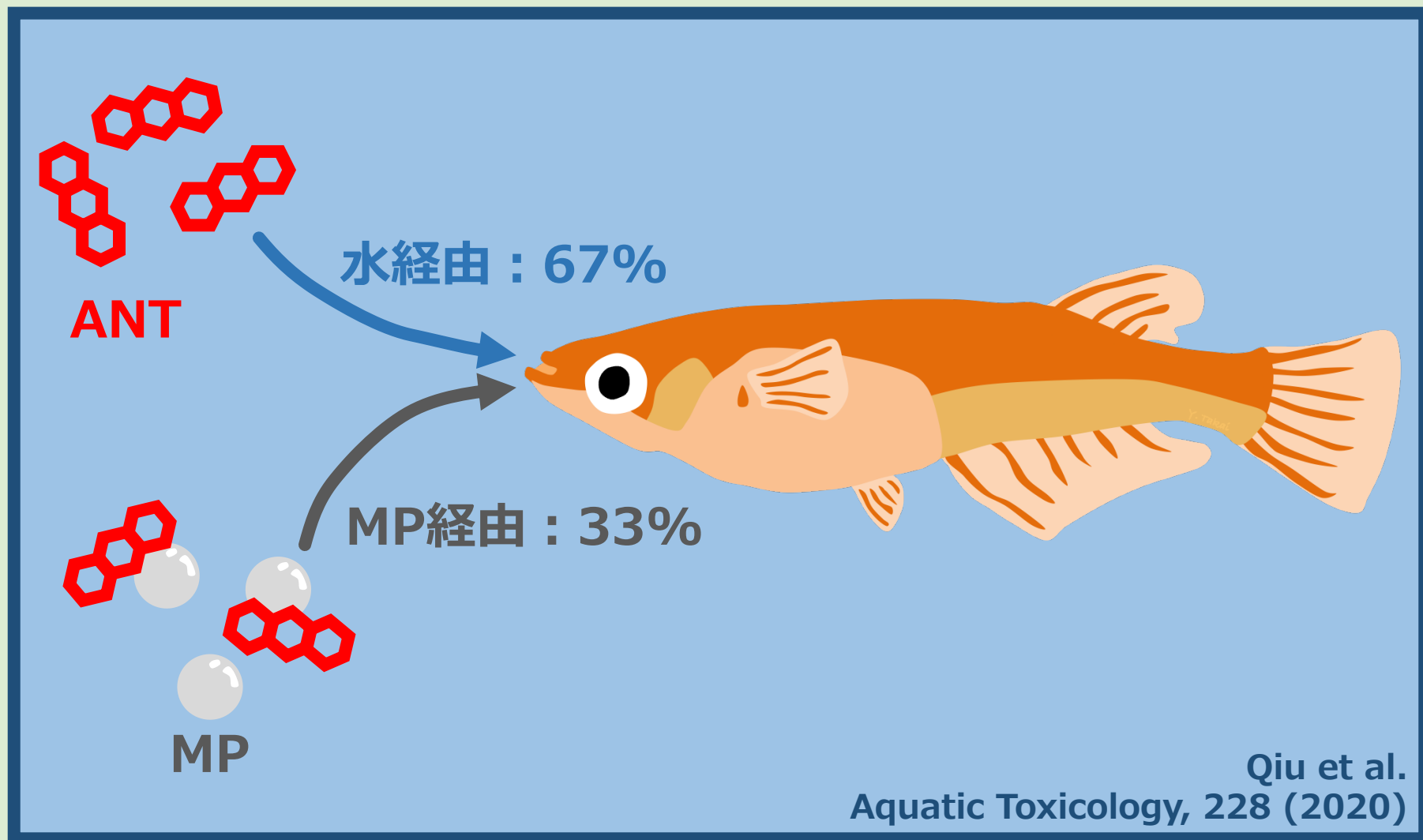


	Σ16PAHs	アントラセン ANT	ベンゾ[a]ピレン BaP	
琵琶湖	1,730-4,140	120-182	5-344	ng/g-dry
大阪湾	3,350-27,100	108-1,130	5-295	ng/g-dry

鍋谷ら, 土木学会論文集G(環境), 73 (2017)

# 背景

## MPのベクター効果

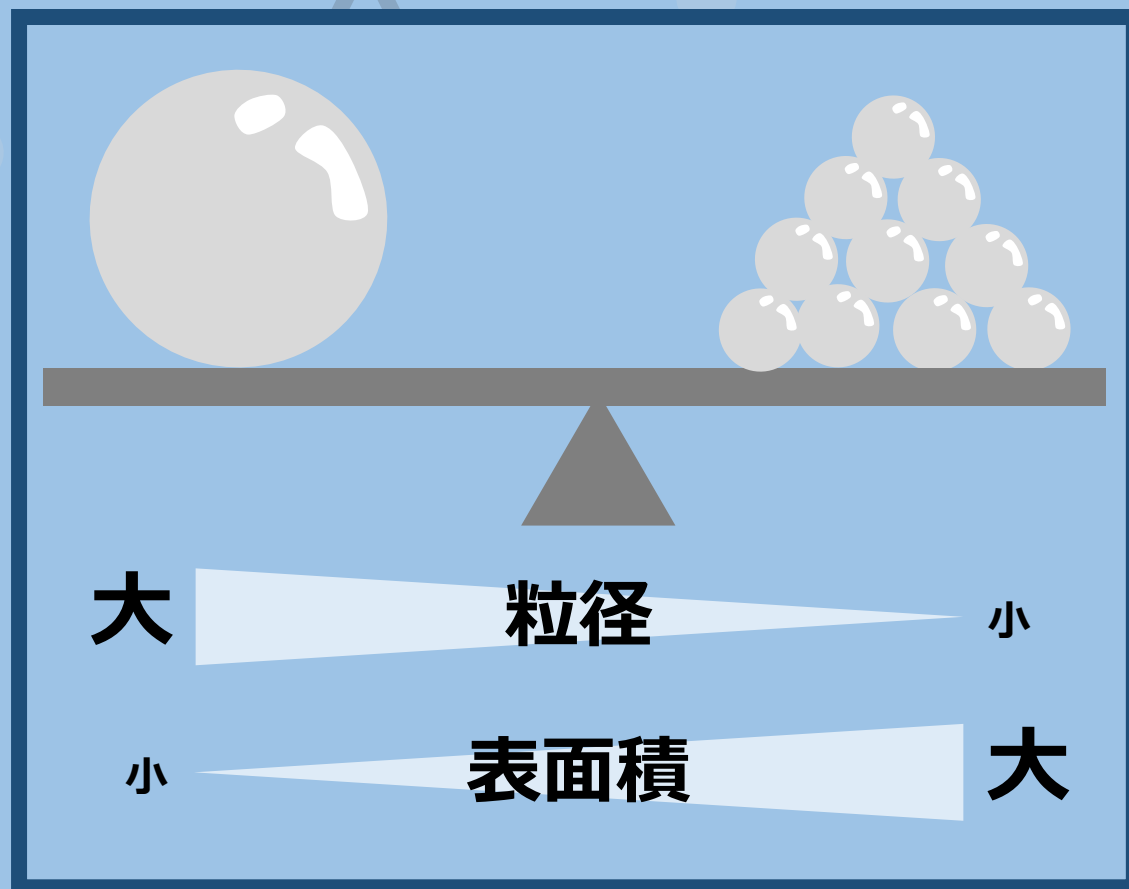
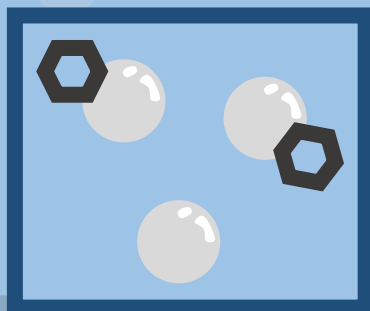


背景

## MPのサイズとベクター効果の関係

化学物質

MP

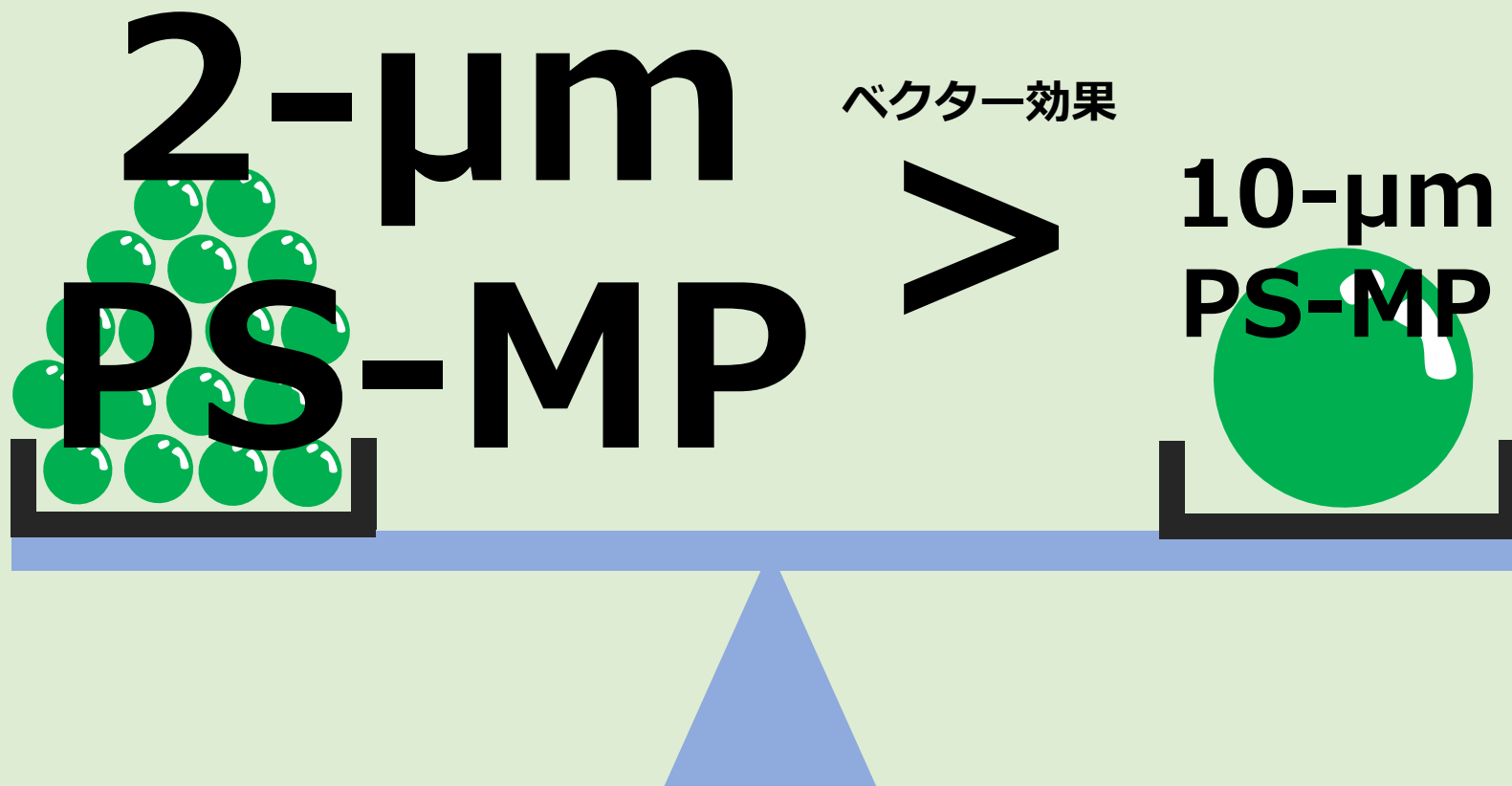
MPに吸着した化学物質が  
生物の体内に取り込まれる



# 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

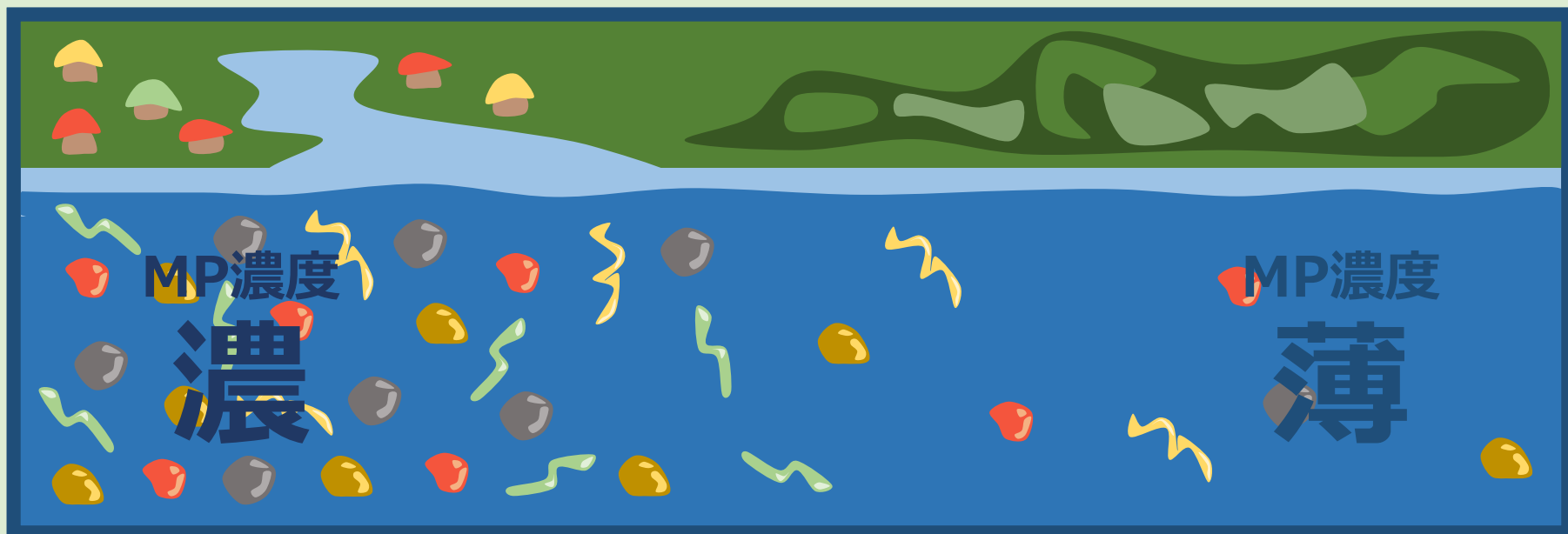
背景【先行研究】  
MPのサイズとベクター効果の関係



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濃度は様々で局所的に高濃度になっている場所もある (0-7924 items/m<sup>3</sup>) 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と

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  $\mu\text{m}$ )

**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 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$
2- $\mu\text{m}$ PS-MP	-	-	25 $\mu\text{g/L}$	50 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$

**試験期間** : 21日間

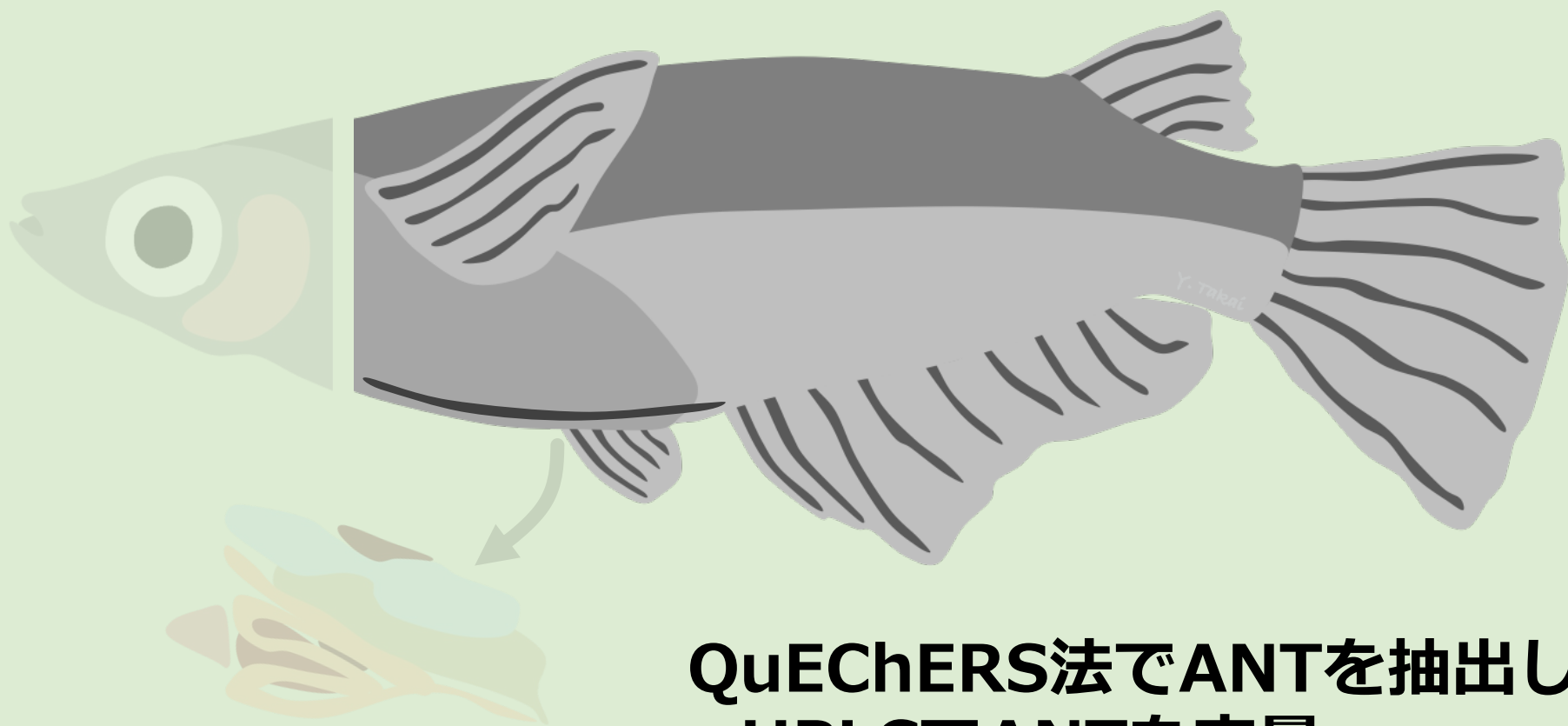
... 6 ... 8 ... 10 ... 12 ... 14 | 15 ... 17 ... 19 ... 21

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)**

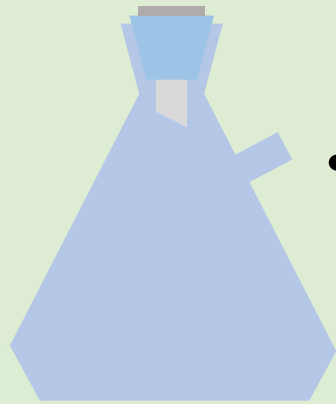
# 方法

## 魚体内に蓄積したPS-MPの定量



# 方法

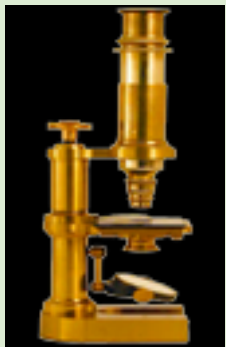
## 魚体内に蓄積したPS-MPの定量



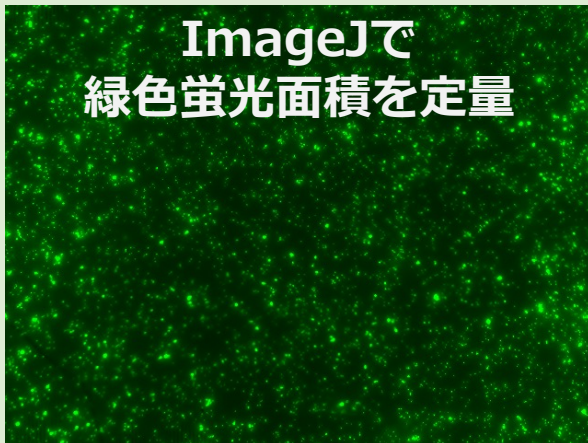
ガラスフィルターでろ過  
(孔径 0.7  $\mu\text{m}$ )



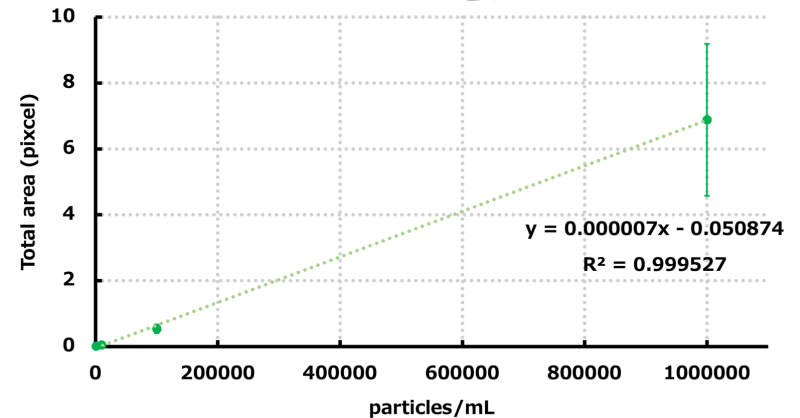
蛍光顕微鏡で撮影 (BZ-X800)  
( $\lambda_{\text{em}} = 518 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{ex}} = 488 \text{ nm}$ )



ImageJで  
緑色蛍光面積を定量



### PS-MPを定量



# 結果

## 消化管内の2- $\mu\text{m}$ PS-MP濃度

論文投稿予定のため  
非公開



# 結果

## ANT体内濃度

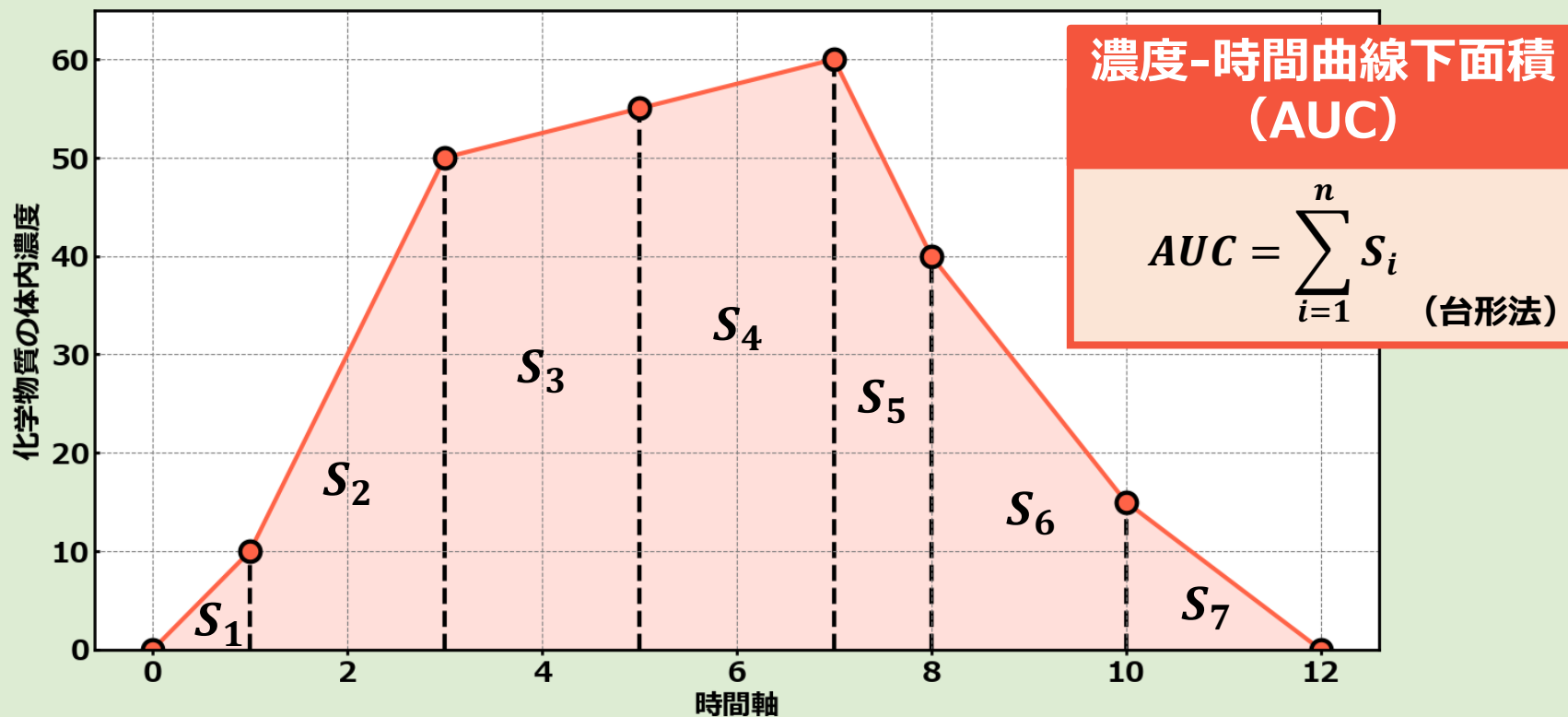
論文投稿予定のため  
非公開

# 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. コンパイル エンジン

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



ベクター効果  
MPから魚体内へ

ベクター効果  
定数



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

結果

# 2- $\mu\text{m}$ PS-MPのベクター効果定数

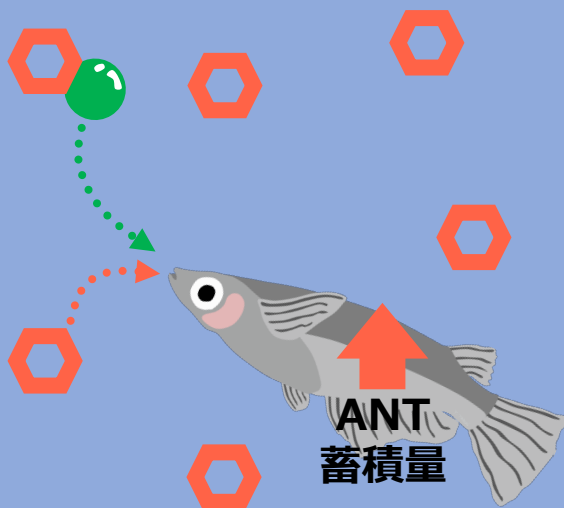
論文投稿予定のため  
非公開

## 考察

## PS-MPの水中濃度とベクター効果

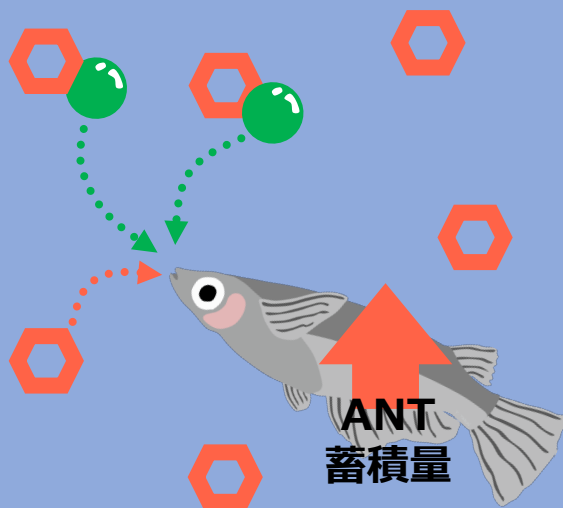
## ANT+低濃度PS-MP

ANT : 100  $\mu\text{g/L}$   
PS-MP : 25  $\mu\text{g/L}$



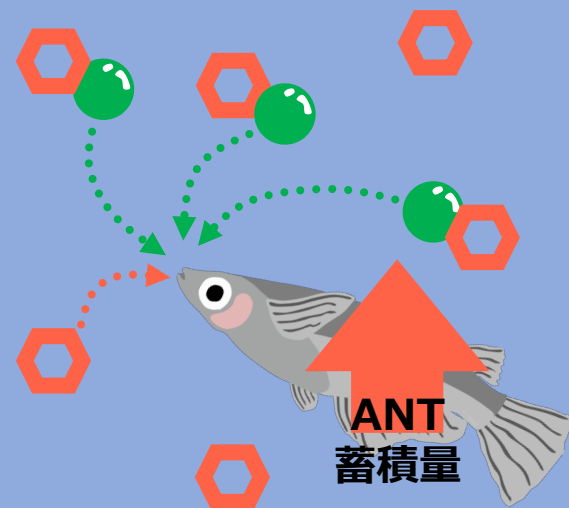
## ANT+中濃度PS-MP

ANT : 100  $\mu\text{g/L}$   
PS-MP : 50  $\mu\text{g/L}$



## ANT+高濃度PS-MP

ANT : 100  $\mu\text{g/L}$   
PS-MP : 100  $\mu\text{g/L}$



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った

## 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- $\mu\text{m}$  PS-MPよりも2- $\mu\text{m}$  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

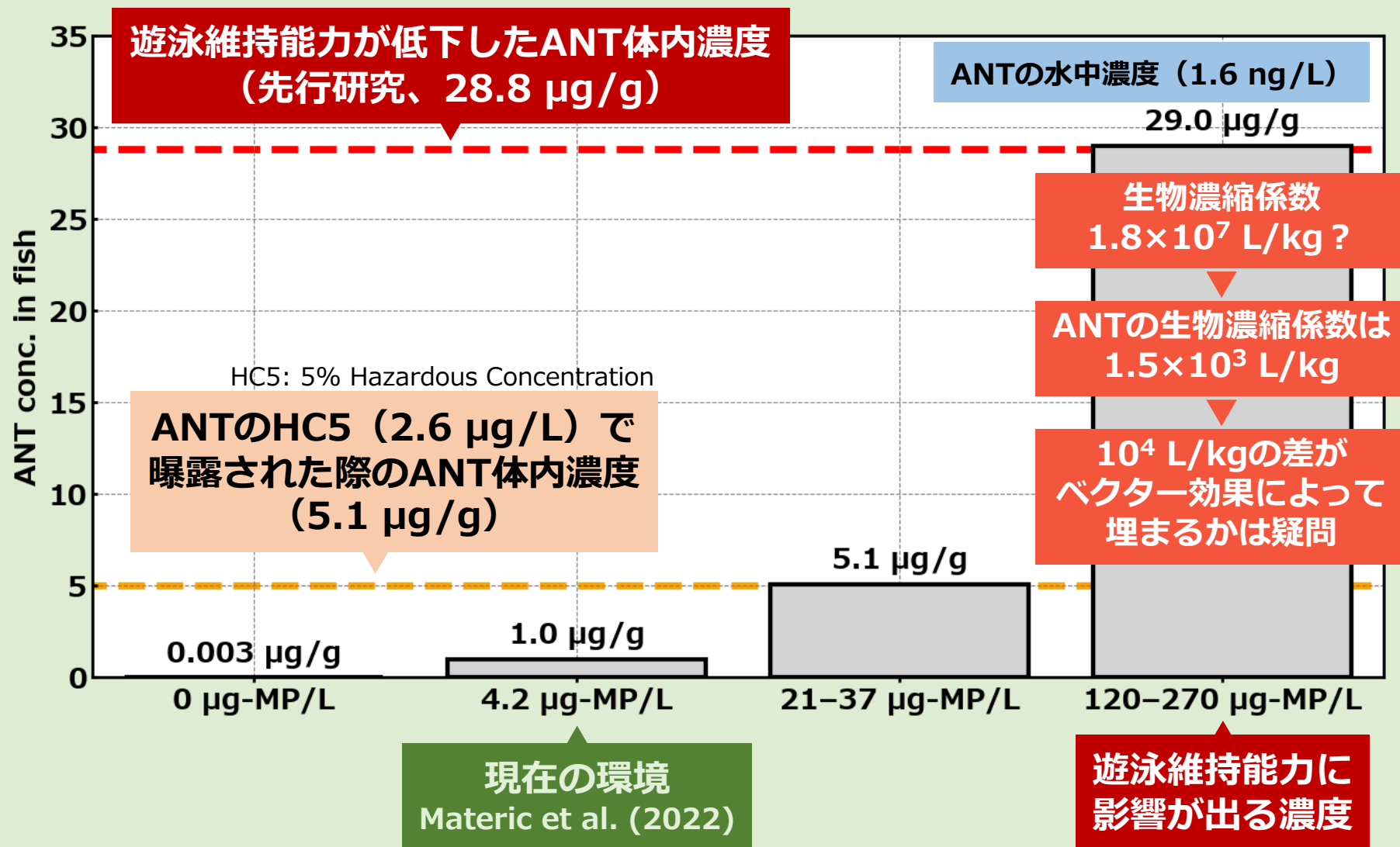
生物のMP取り込み量が  
ベクター効果に大きく寄与する

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)



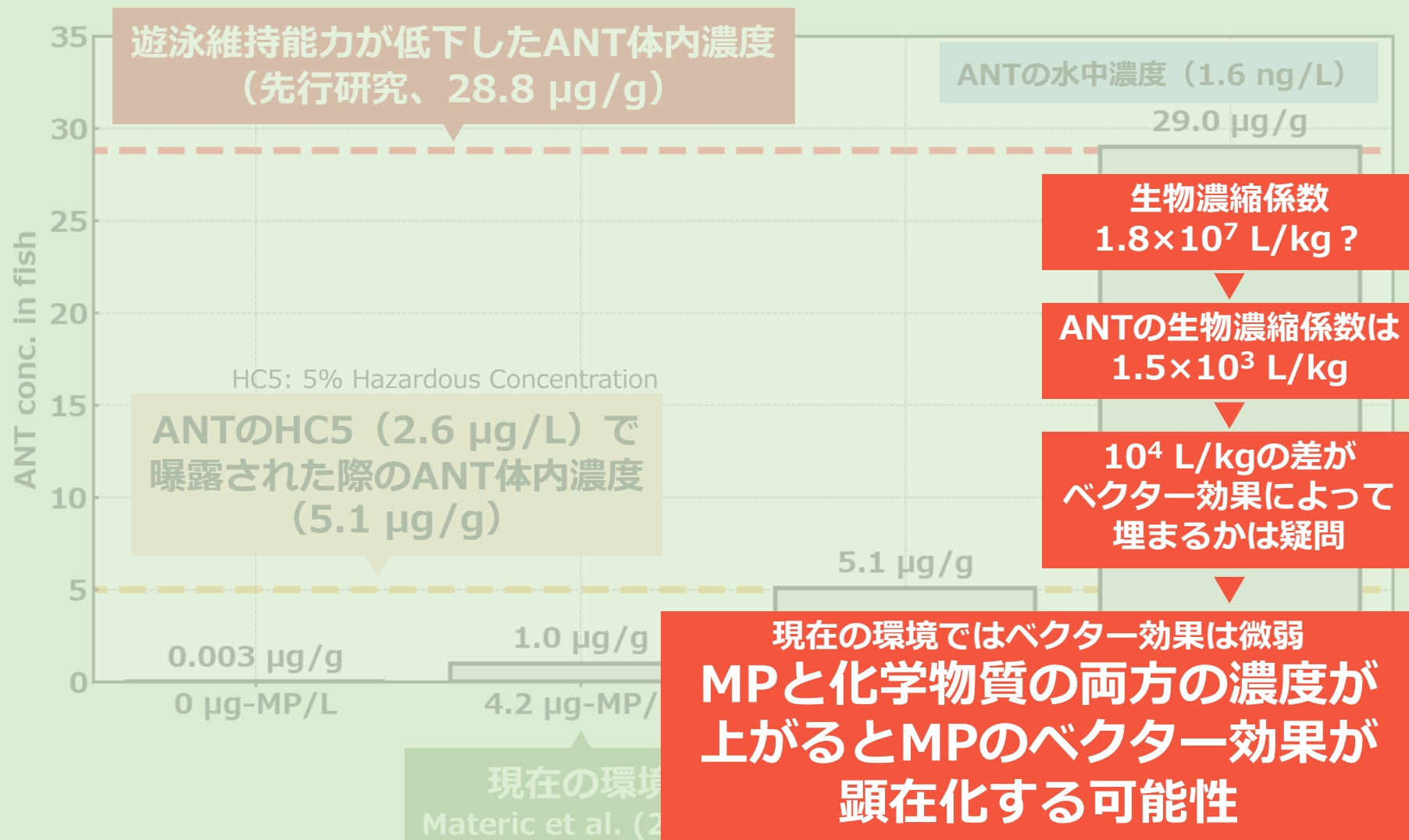
## 考察

## 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



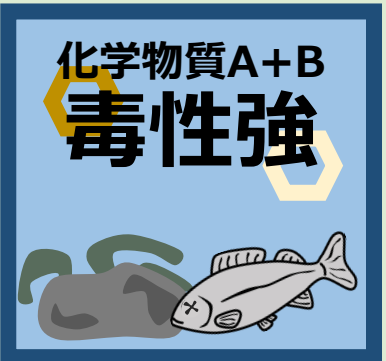
# まとめ

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**



# 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 笹川科学研究助成 (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)