

SII-2-2

「海洋プラスチックごみ及びその含有化学物質による生態影響評価」

JPMEERF18S20220

研究代表者：高田秀重

研究期間：2018年度～2020年度

研究代表機関：国立大学法人 東京農工大学 （高田秀重）

研究分担機関：国立大学法人 九州大学 （大嶋雄治）

国立大学法人 北海道大学 （仲岡雅裕）

1.はじめに

- 海洋のプラスチックによる汚染に対する世界的な懸念
- マイクロプラスチック(5mm以下のプラスチック)の生物影響への懸念

- 物理的異物としての粒子毒性
- 添加剤と海水中から吸着してくる疎水性有機汚染物質による化学的な影響の懸念
- 生物への化学物質の移行・蓄積は未解明
- 生物影響は未解明

2. 研究開発目的

- ・海洋生物中のプラスチックおよびマイクロプラスチックの存在を明らかにする。
- ・様々なサイズの海岸漂着及び海洋漂流プラスチック中の化学物質の濃度・存在特性を明らかにし、それらの化学物質の吸脱着・溶出特性を明らかにする。
- ・低次栄養段階生物へのマイクロプラスチック及びそれらに含有される化学物質の影響を明らかにする。
- ・餌経由での化学物質曝露との比較や、各種プラスチック等の添加剤や吸着性化学物質に着目し、プラスチックとそれが媒介する化学物質曝露と食物連鎖を通じた生態系への侵入とその影響を明らかにする。

3. 研究目標

プロジェクト全体目標: 生物中のプラスチックおよびそれらに吸着・含有される有害化学物質の精密かつ網羅的な分析、摂食実験および野外での観測を行い、海洋プラスチックの生物および生態系への影響を評価する。

テーマ1: 紫外線吸収剤や難燃剤を含め20種程度の添加剤および海水中に含まれる残留性有機汚染物質(POPs)3種について世界20地点程度で採取したマイクロプラスチック中の分布と分布特性を明らかにする。それらのマイクロプラスチックに含まれる化学物質の溶出・脱着特性や、海水中からの吸着特性を明らかにする。

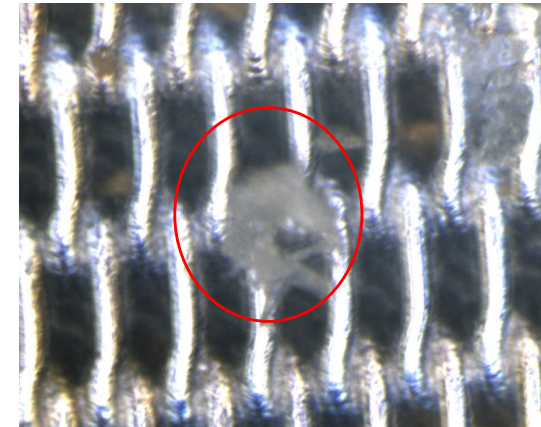
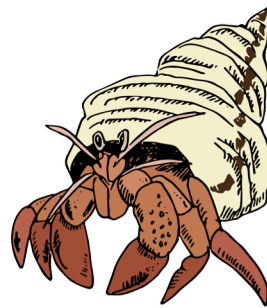
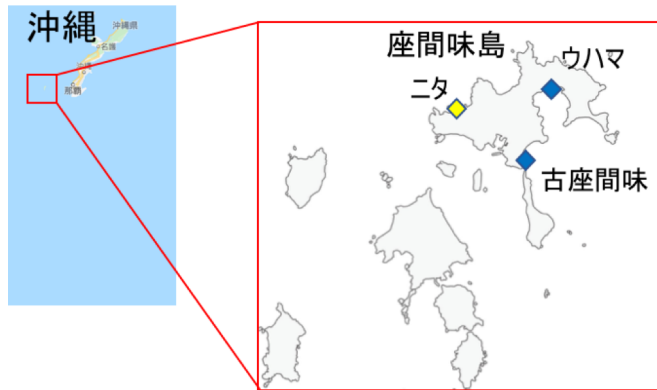
テーマ2: 低次栄養段階生物(モデルとしてアルテミア・シオダマリミジンコと海水・淡水メダカ)を対象として、マイクロプラスチックの取込みと体内動態、移行を調べ、栄養段階を介した濃縮を解明し、体内濃縮モデルを構築する。さらに、有害化学物質(PAH,生活関連医薬品)とマイクロプラスチックをメダカに複合曝露して、その体内動態と生体影響を調べる。

テーマ3: 海洋プラスチックごみおよびそれに含まれる有害化学物質が海洋生物・生態系に与える影響について、小型甲殻類・底生魚類の食物連鎖を通じたマイクロプラスチック摂食と生物濃縮の相対的重要性と相乗効果、および海鳥のマクロプラスチック摂食による有害物質蓄積・濃縮が遺伝子発現機構に与える効果に着目して評価する。

4. 研究開発内容

- 4-1. 生物試料中微細マイクロプラスチック分析法の開発および海浜生物への応用
- 4-2. 節足動物および魚類への MP の取込み, 消失までの体内動態の評価
- 4-3. 海洋プラスチック及びその含有化学物質の海洋環境における分布と動態
- 4-4. 吸着性の化学物質の体組織への移行促進(ベクター効果)の検討
- 4-5. 低次消費者におけるマイクロプラスチックおよび含有化学物質の影響評価
- 4-6. 沖縄海浜生物へのプラスチック由来化学物質蓄積の観測
- 4-7. 食物連鎖における添加剤の移行と蓄積
- 4-8. 海鳥へのマイクロプラスチックと含有添加剤の影響解析

5-1-1. 生物試料中微細マイクロプラスチック分析法の開発および海浜生物への応用



0 – 13 pieces/g-wet

Control
beach



293 - 482 pieces/g-wet

Plastic
contaminated
beach



Polystyrene

fragment

100µm

Hit ratio:94%

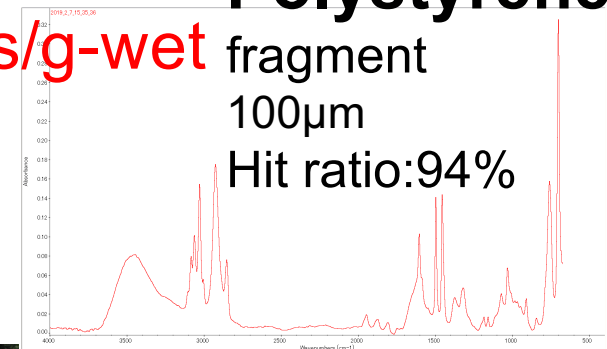


図1.オカヤドカリの消化管内のマイクロプラスチック

5-1-2. 節足動物および魚類への MP の取込み, 消失までの体内動態の評価

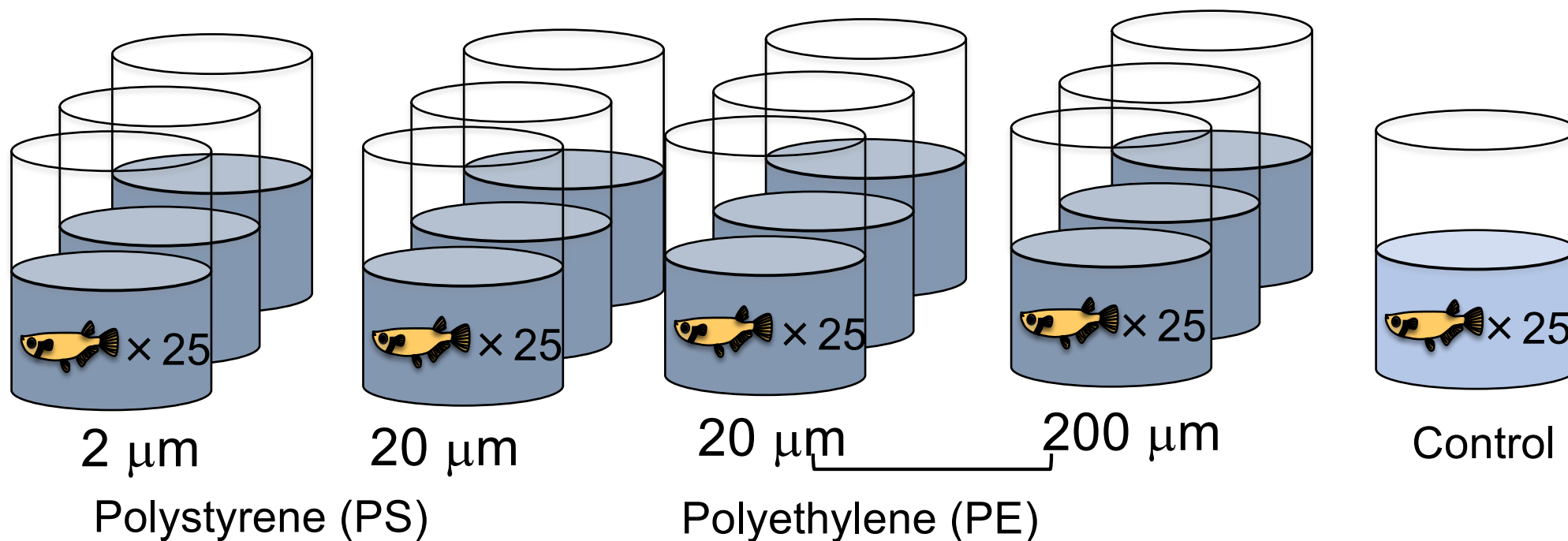


図2.メダカMP暴露試験

5-1-2. 節足動物および魚類への MP の取込み, 消失までの体内動態の評価

Ecotoxicology and Environmental Safety 212 (2021) 112007



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Ecotoxicology and Environmental Safety

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecoenv



Uptake and depuration kinetics of microplastics with different polymer types and particle sizes in Japanese medaka (*Oryzias latipes*)

Yangqing Liu^a, Xuchun Qiu^{a,b}, Xinning Xu^a, Yuki Takai^a, Hijiri Ogawa^a, Yohei Shimasaki^a, Yuji Oshima^{a,c,*}

Y. Liu et al.

Ecotoxicology and Environmental Safety 212 (2021) 112007

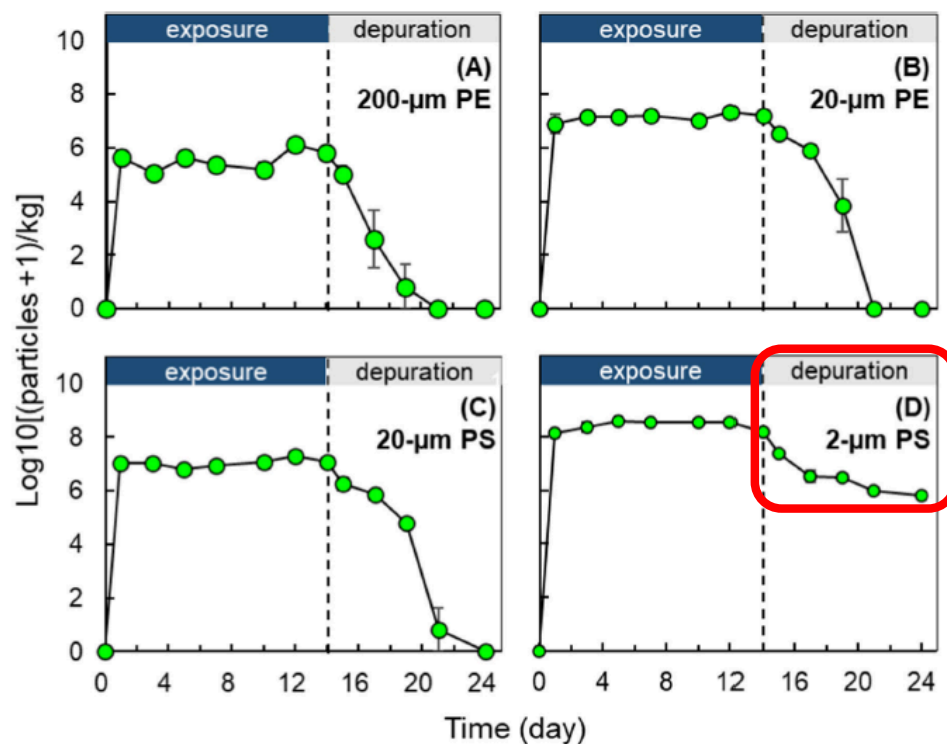


Fig. 5. The concentration of microplastics (MPs) in the Japanese medaka (*Oryzias latipes*). (A) PE-MPs with a diameter of 200 μm ; (B) PE-MPs with a diameter of 20 μm ; (C) PS-MPs with a diameter of 20 μm ; (D) PS-MPs with a diameter of 2 μm . Data are shown as mean \pm SD ($n = 5$). The experiment consisted of a 14-day uptake phase (blue bar) and a 10-day depuration phase (gray bar). In some instances, the errors are small and obscured by the symbols.

図3. 粒径 2, 20 μm PS-MP, 20 μm PE-MPおよび200 μm PE-MPに曝露したメダカにおけるMPの体内濃度変化

5-1-3. 海洋プラスチック及びその含有化学物質の海洋環境における分布と動態

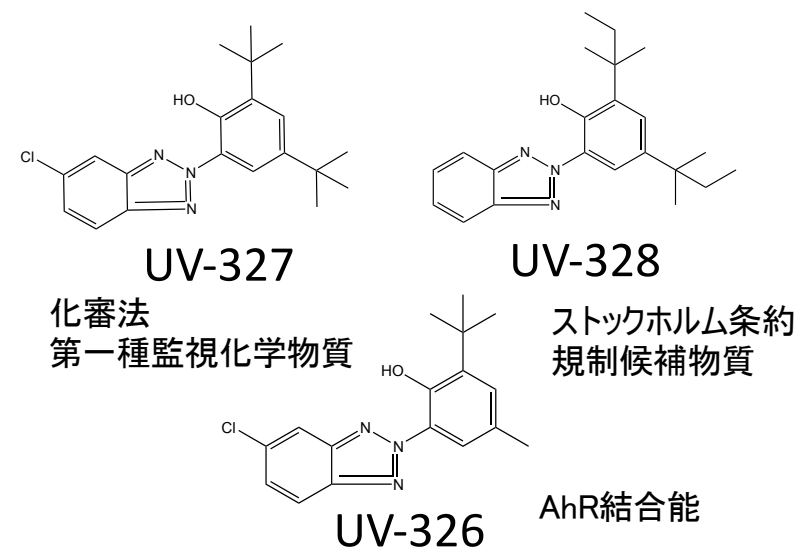
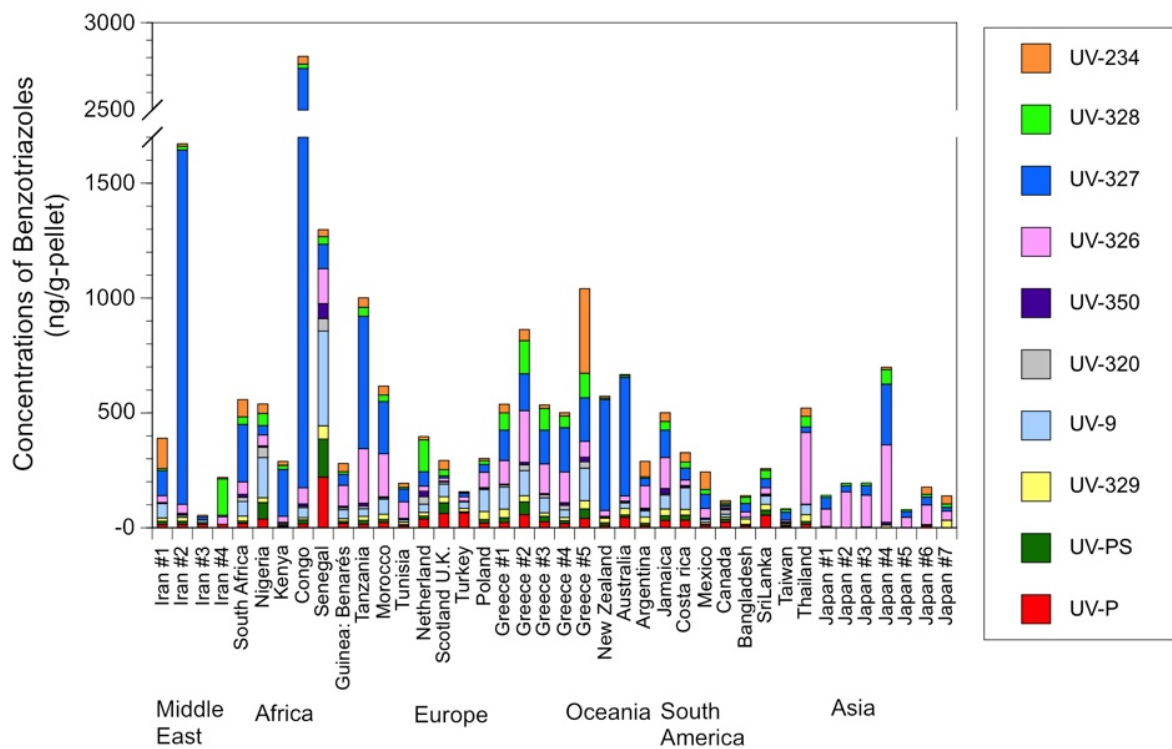
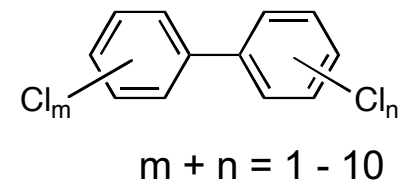
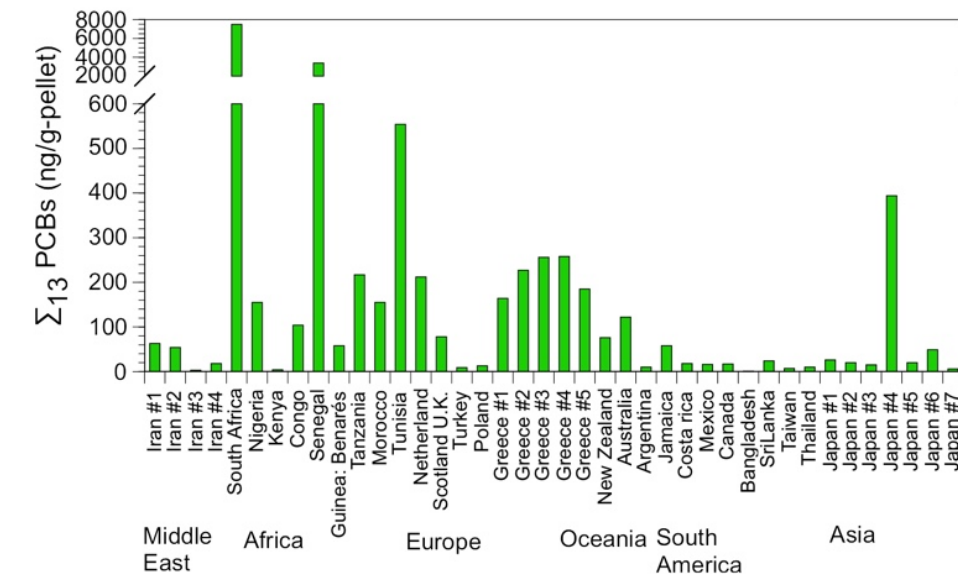
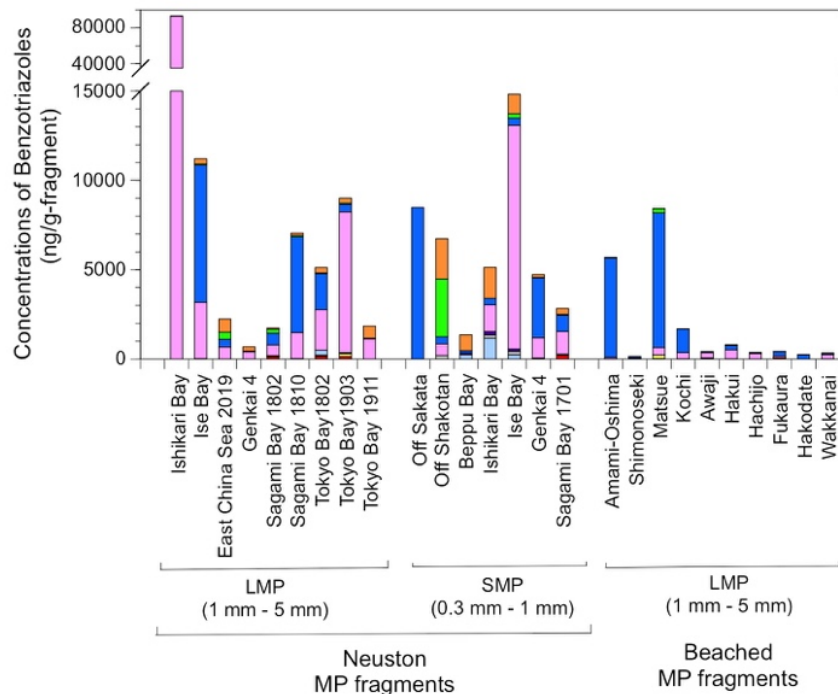
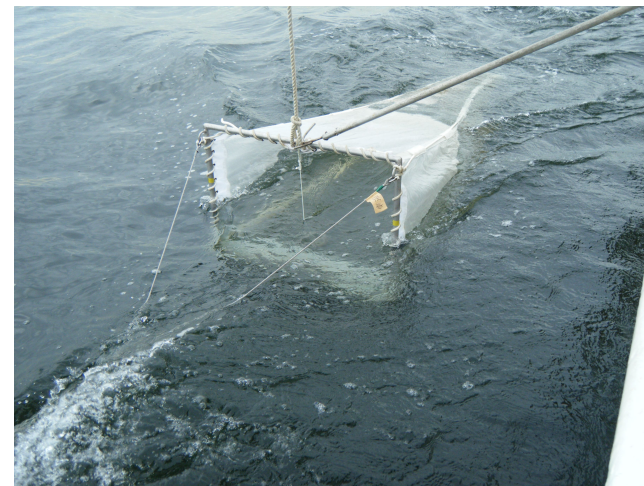
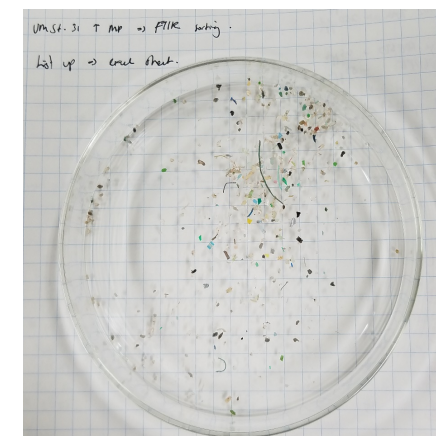


図4. 世界25カ国のPEレジンペレット中のPCBs濃度(上)とベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤濃度(下)

5-1-3. 海洋プラスチック及びその含有化学物質の海洋環境における分布と動態



L-MP
(1 mm - 5mm)



S-MP
(0.3 mm - 1 mm)

図5. 海洋漂流マイクロプラスチック中のベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤濃度

5-1-4. 吸着性の化学物質の体組織への移行促進(ベクター効果)の検討

ポリエチレンビーズに海水中から取り出した有害化学物質を吸着させ、それをムラサキイガイへ曝露し、ムラサキイガイの生殖腺中の化学物質を測定した。

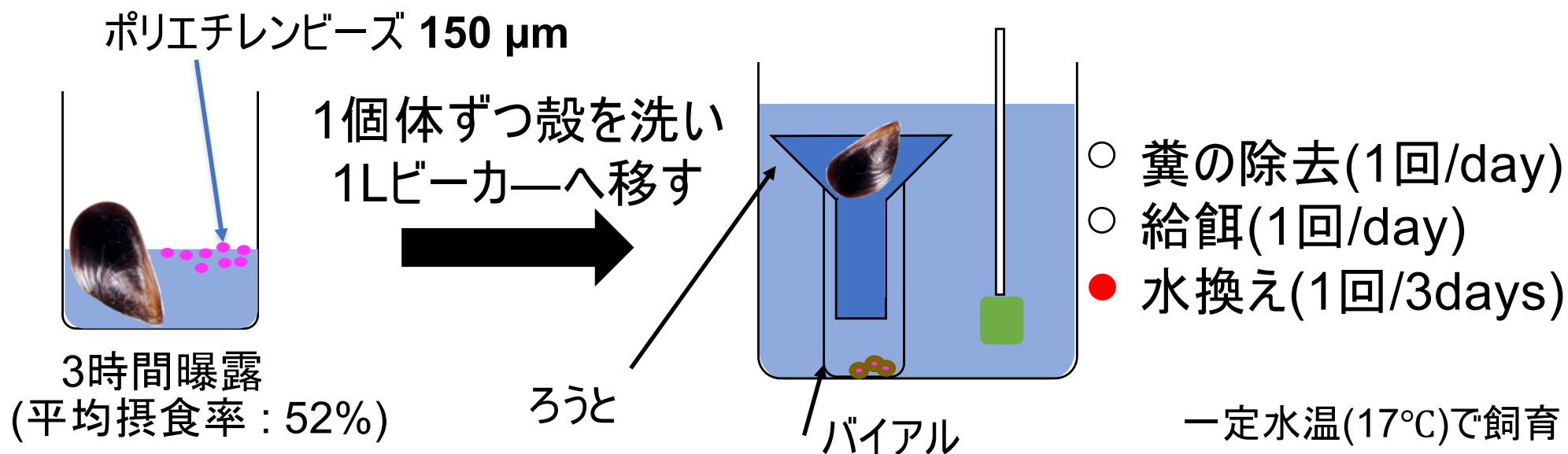
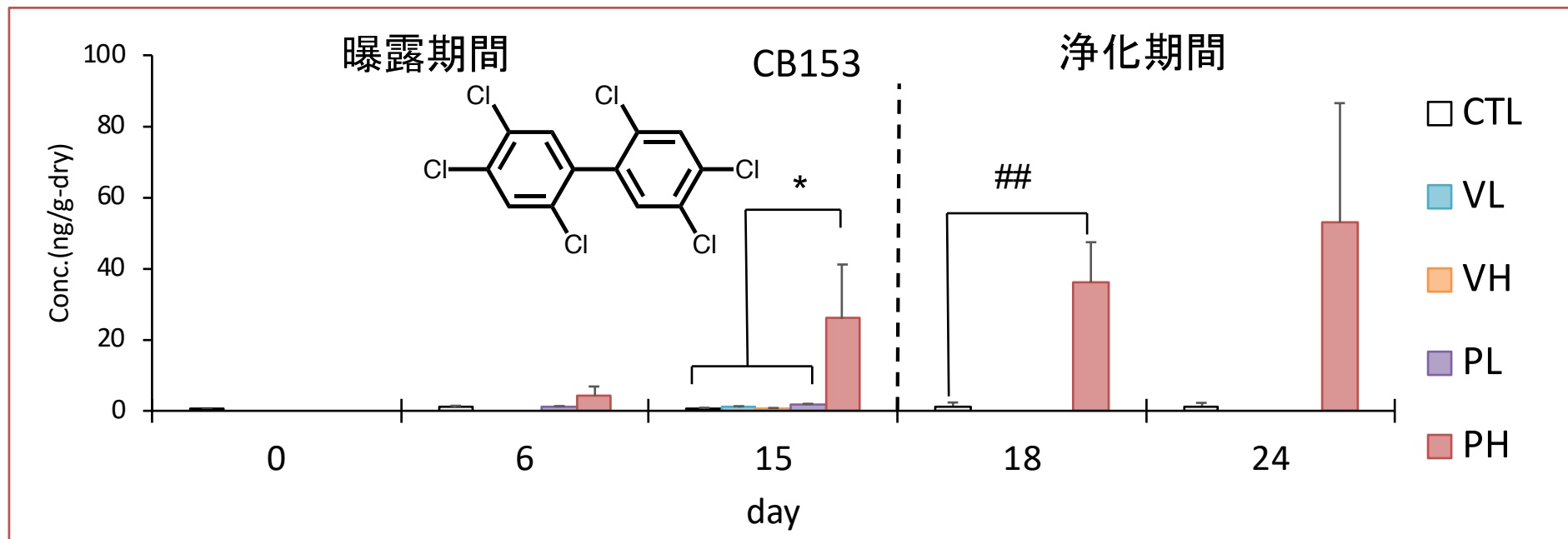


図6. 二枚貝へのPCBsのマイクロプラスチックを介した曝露実験方法

5-1-4. 吸着性の化学物質の体組織への移行促進(ベクター効果)の検討



(*: $p < 0.05$, by Tukey-Kramer test, ## : $p < 0.01$, by t -test)

各処理区3-5個体分析した

day15,18:PH区のみ有意に濃度が増加

PCBsの移行率は0-57%、

曝露を停止した後も濃度が減少しない

マイクロプラスチック摂食によって
POPsが組織へ移行・蓄積することが証明

図7. 二枚貝へのPCBsのマイクロプラスチックを介した曝露実験における生殖腺中のPCBs濃度の経時変化

5-1-6. 沖縄海浜生物へのプラスチック由来化学物質蓄積の観測

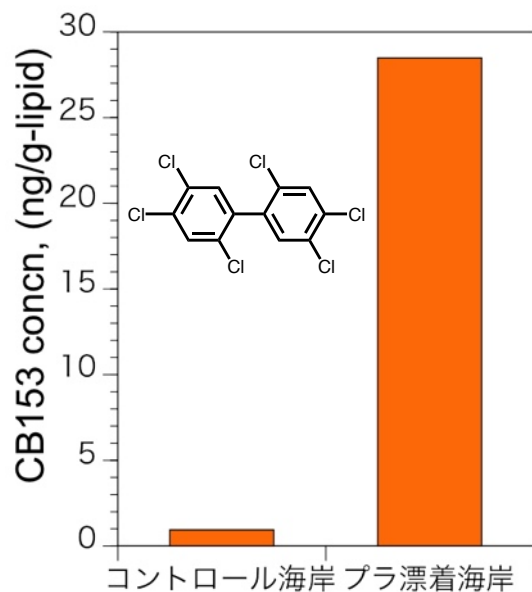
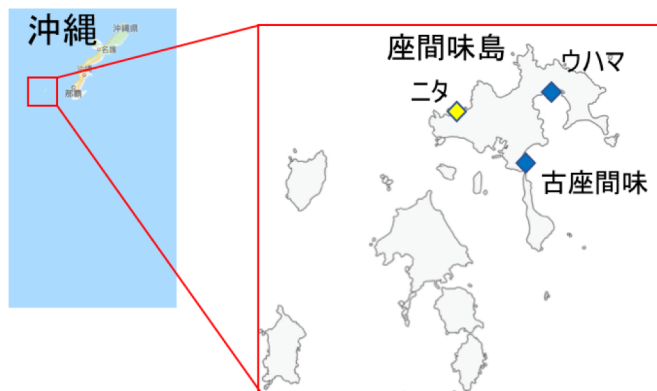


図8. 沖縄座間味島のプラスチック漂着の多い浜と少ない浜で採取されたムラサキオカヤドカリ肝臓中のPCBs濃度

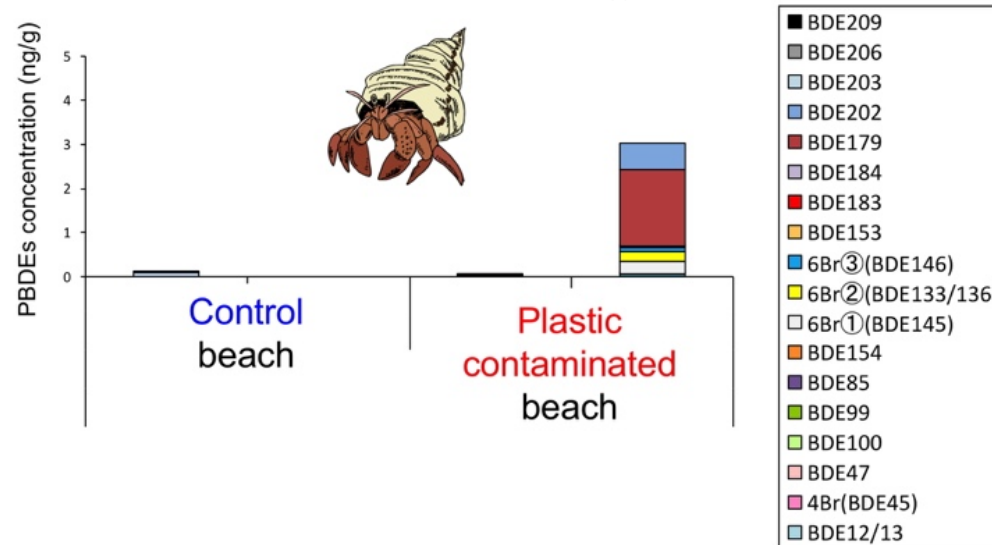
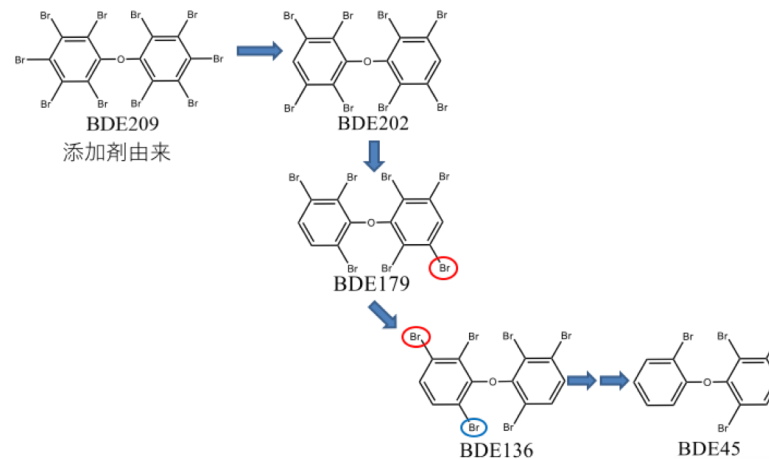


図9. 沖縄座間味島プラスチック漂着の多い浜と少ない浜で採取されたムラサキオカヤドカリ肝臓中のポリ臭素化ジフェニルエーテル濃度

5-1-7. 食物連鎖における添加剤の移行と蓄積

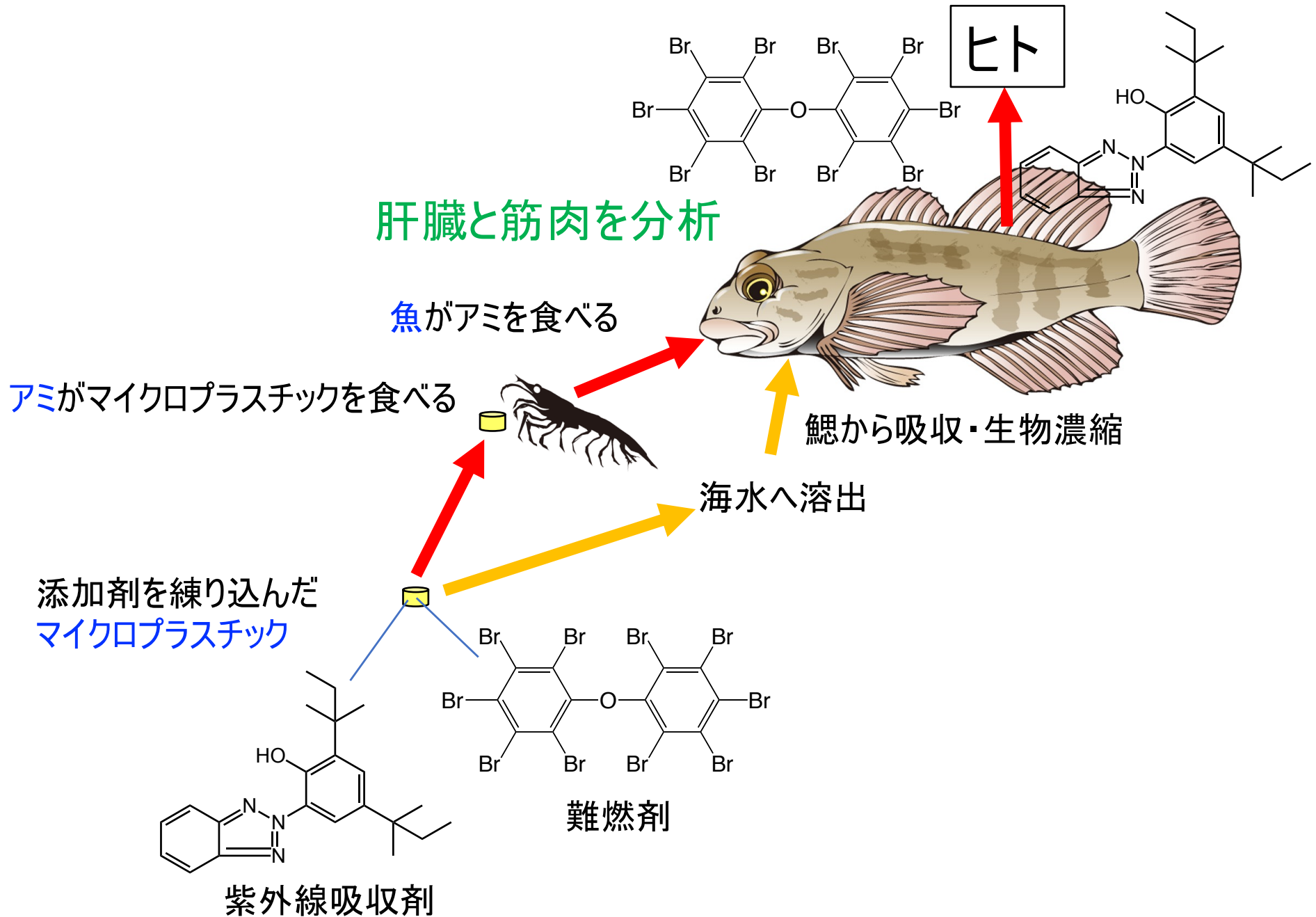


図10. アミ - カジカ系でのプラスチック添加剤の移行・蓄積検討の実験デザイン

5-1-7.食物連鎖における添加剤の移行と蓄積

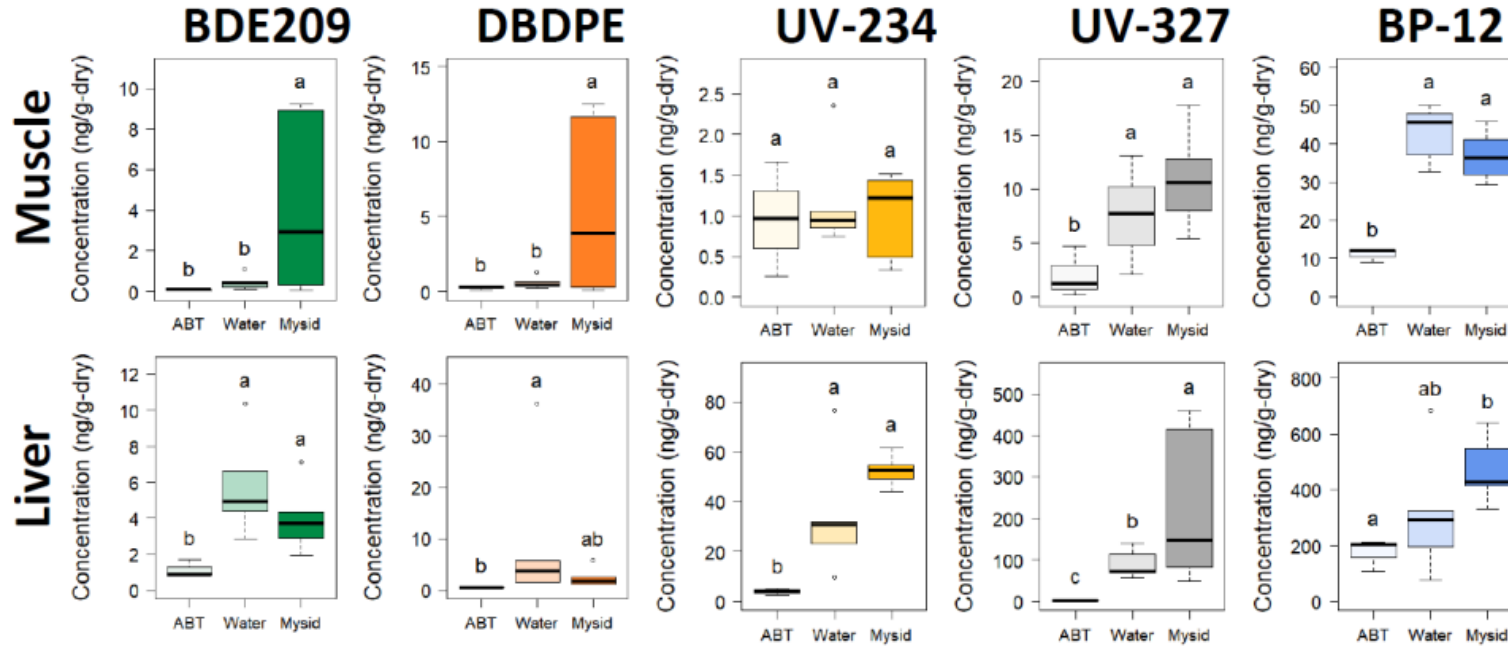


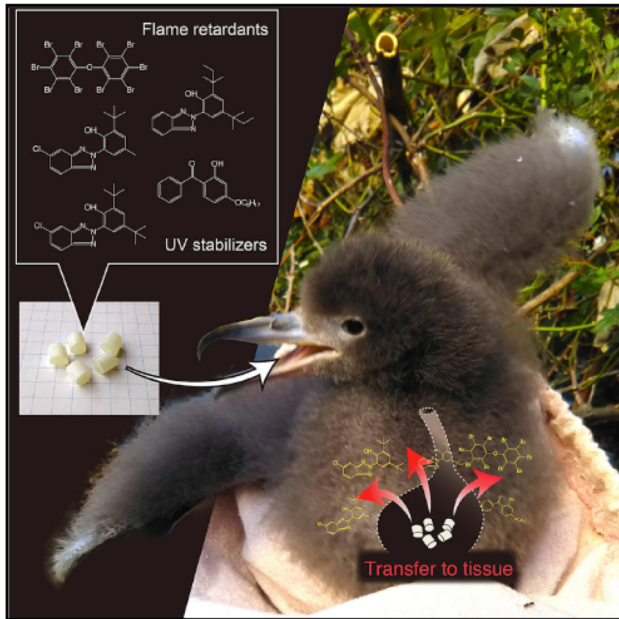
図11. カジカの筋肉(上段)および肝臓(下段)における5種の添加剤の濃度(ボックスプロット)

ABTは野外から採集して直ちに保存した野外対照区、LCTは添加剤が溶出した海水で飼育したカジカ、MPsは添加剤入りマイクロプラスチックに暴露したアミを捕食させた実験群を示す。事後検定(Tukey's HSD)で有意な差があった群は異なるアルファベット(a, b)で示している。

Current Biology

In Vivo Accumulation of Plastic-Derived Chemicals into Seabird Tissues

Graphical Abstract



Authors

Kosuke Tanaka, Yutaka Watanuki, Hideshige Takada, ..., Michelle Hester, Yoshinori Ikenaka, Shouta M.M. Nakayama

Correspondence

shige@cc.tuat.ac.jp

In Brief

Tanaka et al. show that feeding additive-laced plastic pellets to seabirds results in the accumulation of chemical additives in liver and adipose tissue at 10^1 – 10^5 times above baseline. These findings demonstrate seabird exposure to plastic additives and additives' importance as emerging pollution sources.

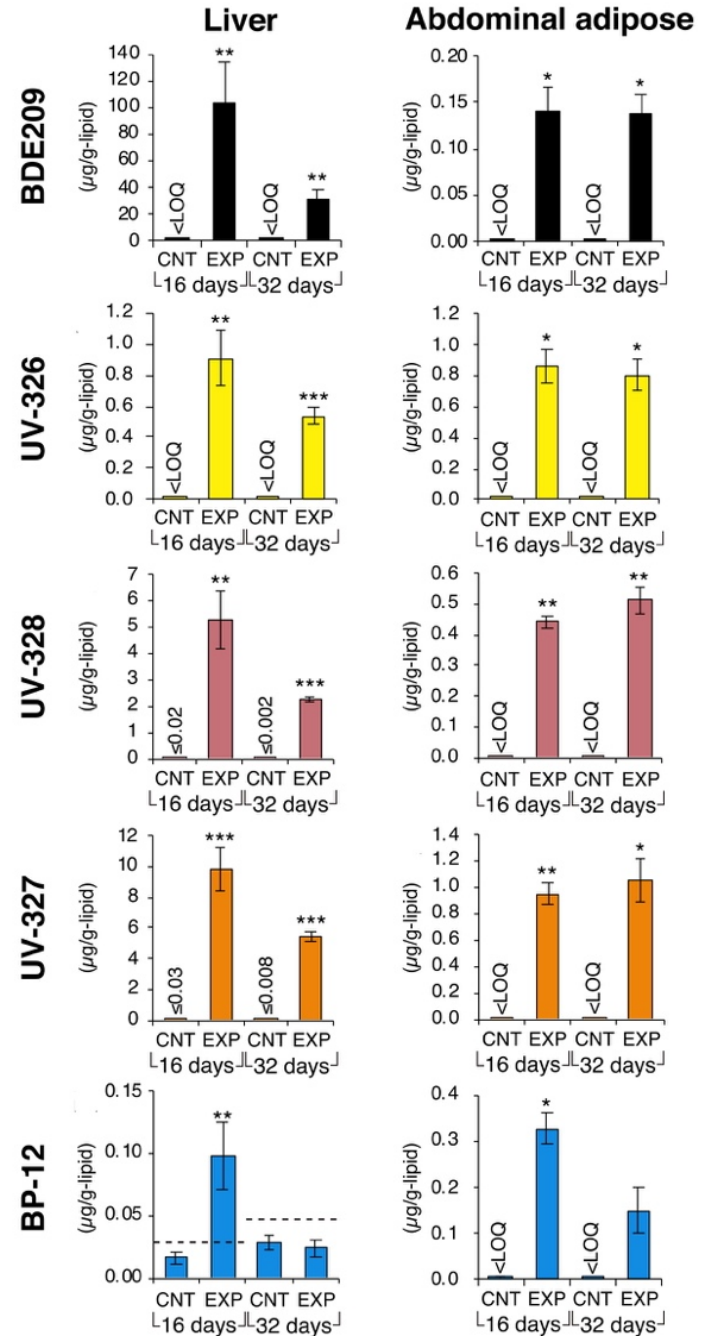


図12.添加剤入りプラスチック摂食実験における海鳥の肝臓と腹腔脂肪中の添加剤濃度

5-1-8.海鳥へのマイクロプラスチックと含有添加剤の影響解析

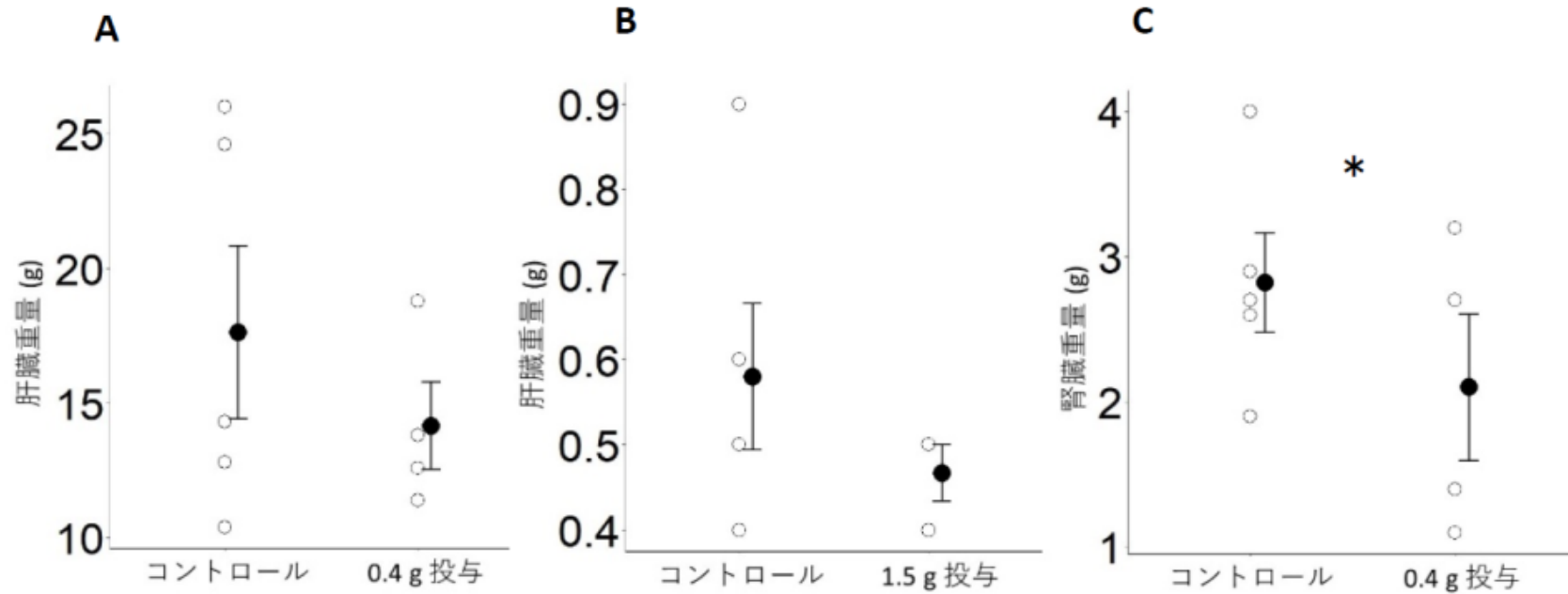
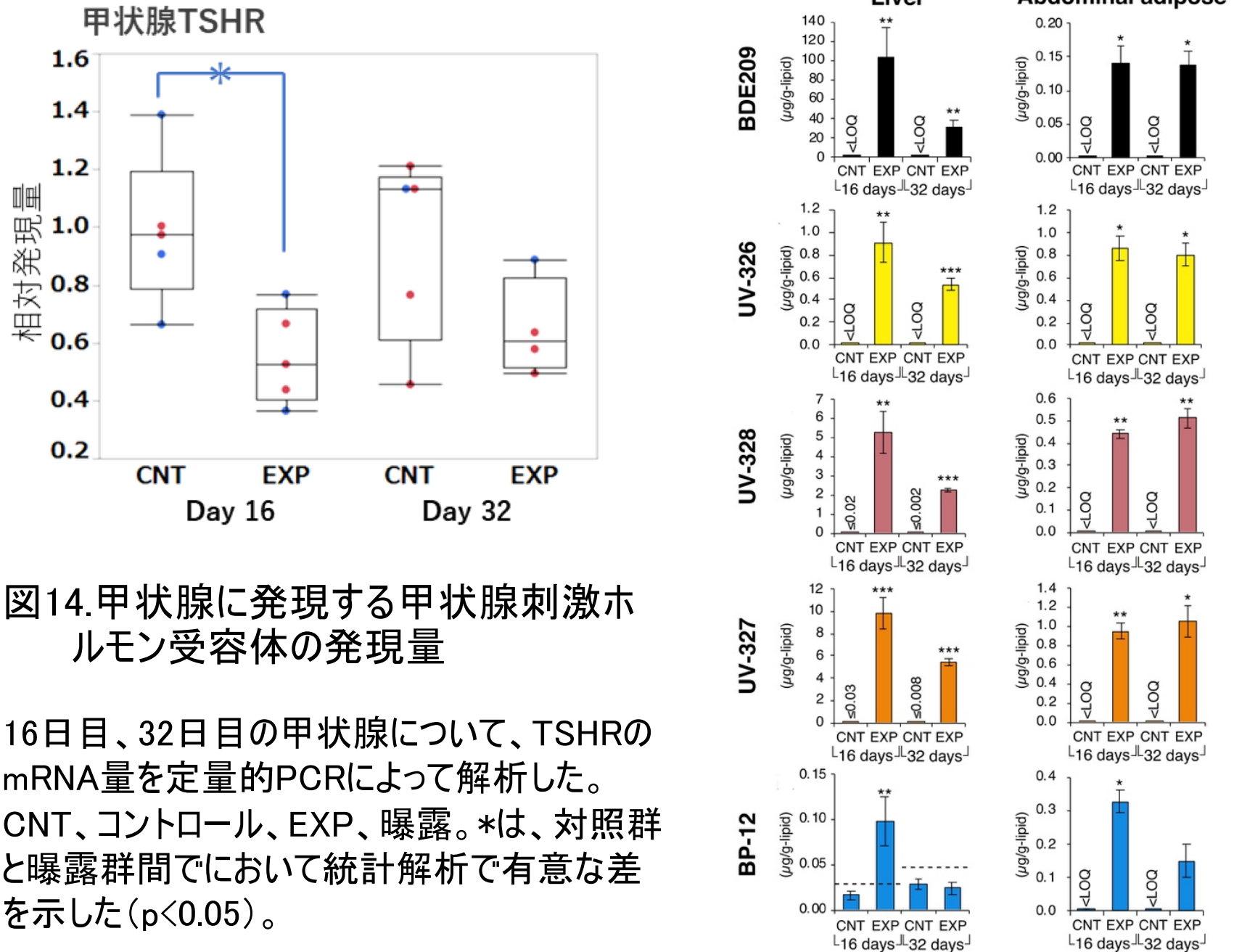


図13. オオミズナギドリ雛の臓器重量に対するプラスチック投与の影響.

A: 2017年の投与後2週間群、B:2017年の投与後1か月群、C:2019年の投与後52日群。

*は有意差があったものを示す。

5-1-8.海鳥へのマイクロプラスチックと含有添加剤の影響解析



5-1-8. 低次消費者におけるマイクロプラスチックおよび含有化学物質の影響評価

Chemosphere 299 (2022) 134403



Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere



Combined effect of diazepam and polystyrene microplastics on the social behavior of medaka (*Oryzias latipes*)

Yuki Takai^a, Hideaki Tokusumi^a, Moeko Sato^a, Daishi Inoue^a, Kun Chen^b, Takumi Takamura^a, Shintaro Enoki^a, Yu Ueno^a, Ik Joon Kang^c, Yohei Shimasaki^a, Xuchun Qiu^b, Yuji Oshima^{a,d,2}

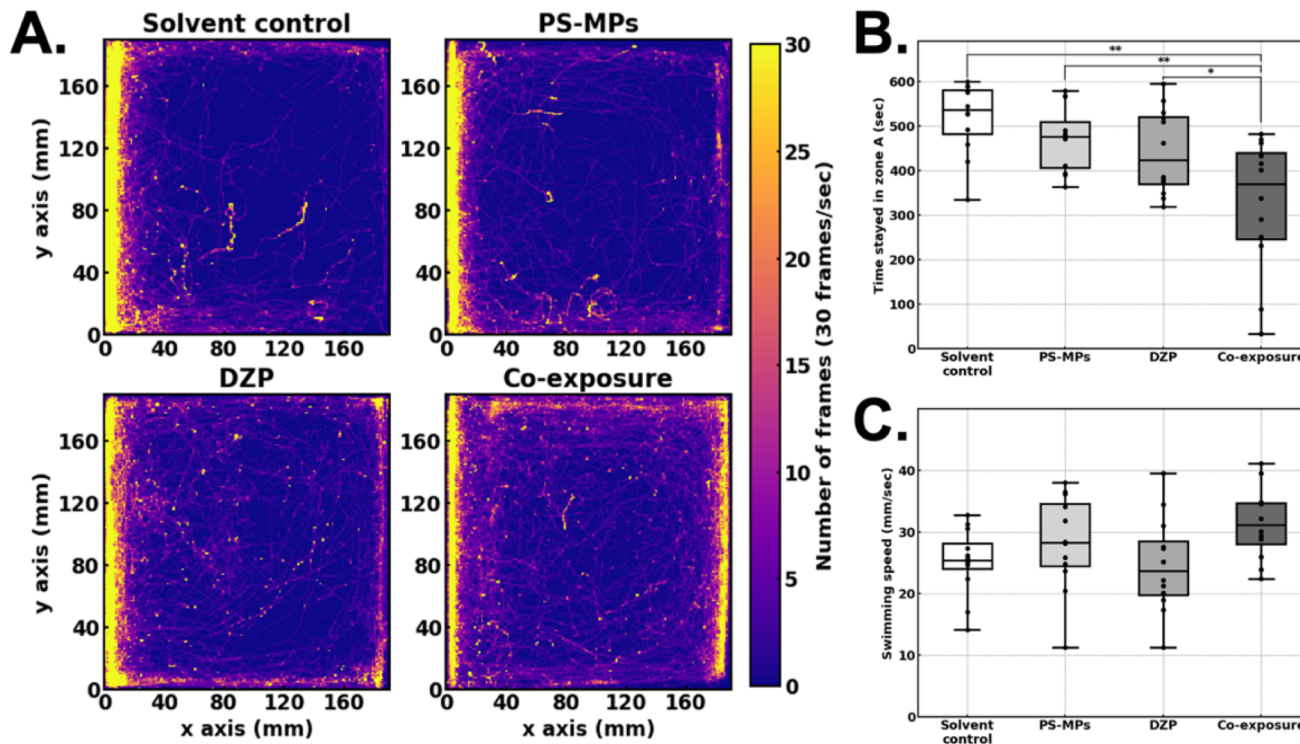


図15. 抗うつ剤ジアゼパムおよび/または PS-MP に曝露されたメダカのShoaling behavior 試験の結果

A. メダカの遊泳ポジションのヒートマップ, 黄色はメダカが 1 秒以上 (30 フレーム以上) 留まった位置, B. メダカがゾーンA内に滞在した期間の箱ひげ図, C. メダカの遊泳速度 (mm / 秒) の箱ひげ図 ボックス内の黒点は, 各メダカのデータ, PS-MP; 107 particles/L PS-MP 曝露, DZP; 0.03 mg/L ジアゼパム曝露, Co-exposure; 0.03 mg/L ジアゼパムと 107 particles/L PS-MP の複合曝露, **, P < 0.01, *, P < 0.05

5 - 1. 成果のまとめ

- マイクロプラスチックは低次栄養段階生物に取り込まれ、消化管に濃縮され生物濃縮係数は 10^3 程度になるが、多くの粒子は速やかに排泄される。しかし、 $2\ \mu\text{m}$ 以下のマイクロプラスチックは排泄が遅く、体内への長期間の残留が示唆され、細胞間隙への貫入の可能性も考えられた。
- マイクロプラスチック自体の魚類の再生産への影響は認められなかったが、細胞接着に関与する遺伝子発現の上昇等、発遺伝子発現の変動が認められた。
- 海鳥の場合は、体重比2%以上のプラスチック摂食があると、体重や肥満度への影響が懸念される。
- プラスチック製品に配合されている添加剤の中で疎水性の高い成分は海洋漂流および海岸漂着マイクロプラスチックに残留しており、難燃剤や紫外線吸収剤は散発的（2%程度の出現頻度）に高濃度になることがあり、海洋生物への添加剤の曝露源となっていることが明らかになった。海洋漂流マイクロプラスチックの中でも 1mm 以下の微細なマイクロプラスチックにも高濃度に残留していることが明らかになり、低次栄養段階の生物を通して疎水性添加剤が生態系全体に広がっていることが示唆された。
- マイクロプラスチックが疎水性の化学物質を吸着して生物体内に輸送する効果（ベクター効果）はメダカや二枚貝について確認された。
- プラスチックに含有される添加剤はプラスチックマトリクスに練り込まれているので、生物への移行はないと考えられてきたが、甲殻類、魚類、海鳥の体内に移行し組織に蓄積されることが明らかになった。
- メダカの場合はマイクロプラスチックに輸送された化学物質による生物機能への影響も確認された。海鳥については、それらの添加剤による甲状腺ホルモン系や胆汁酸合成系に関連する脂質代謝遺伝子の発現量の変動が示された。

5-2.環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

2021年3月にオンラインで開催された令和2年度海洋プラスチックごみ学術シンポジウムにおいて高田と大嶋が研究成果を紹介し、環境省の海洋プラスチック汚染とその生物影響について認識強化につながった。

2021年1月11日～16日にオンラインで行われたストックホルム条約の第16回残留性有機汚染物質検討委員会（POPRC）とその事前会議に高田が招待され、本研究の対象添加剤の一種ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤UV328について、そのマイクロプラスチック中での分布、海鳥が摂食したプラスチックからのUV328の生物組織への移行・蓄積、UV328の海鳥汚染の地球規模での広がりなどについて、本研究の成果を情報提供し、国際的な枠組みでの化学物質規制の検討に活用された。さらに、2022年1月のPOPRCでも情報提供を行い、UV-328の規制に向けたリスクプロファイル作製と規制に向けた検討の最終段階に進むことに貢献した。

本研究期間中に行われた115回の講演会の半分以上が地方自治体主催の会や、国家公務員の研修会、国立国会図書館の職員向けの講演であり、そこで本研究成果を紹介し、地方自治体職員、国家公務員、さらには広く市民がプラスチック問題を認識し、その解決策を考えるための意識啓発の材料として本研究成果は活用された。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

本研究では「プラスチック自体、およびプラスチックに吸着する化学物質とプラスチック添加剤が生物に影響を及ぼす」ことを明らかにした。個々の添加剤やポリマーについてその有害性の定量的な評価を行い、有害性の高い添加剤やポリマーの規制につなげいく必要がある。そのような流れの一つとして、POPRCでのUV328の評価に本研究成果は大いに貢献した。具体的にはこのような形で一つ一つの添加剤について条約や既存の化学物質規制の枠組みを使って規制していくことが本研究成果の活用の一つの方向である。同時に、予防原則的な視点と廃棄物管理、資源問題、温暖化抑止の視点から、プラスチックの使用量自体を削減していくための行政的な枠組み作りの際の科学的根拠として本研究が活用される見込みがある。同時にプラスチック使用量削減の意識を広く市民や行政機関が共有するための科学的根拠としても本研究成果は活用される見込みがある。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文	13件
査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表(査読なし)	5件
口頭発表(学会等)	33件
「国民との科学・技術対話」の実施	115件
マスコミ等への公表・報道等	208件
本研究に関連する受賞	5件