

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04358

研究課題名(和文) 底生食物連鎖におけるパーフルオロアルキル酸化合物の生物蓄積動態

研究課題名(英文) Bioaccumulation of perfluoroalkyl acids in the aquatic benthic food chain

研究代表者

櫻井 健郎 (SAKURAI, Takeo)

国立研究開発法人国立環境研究所・環境リスク・健康領域・室長

研究者番号：90311323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：パーフルオロアルキル酸(PFAAs)の底生食物連鎖における生物蓄積動態を研究した。ヒラメへの消化管経由の取り込み効率と体内半減期を曝露実験により明らかにした。この際、既往知見の多い参照化合物としてポリ塩化ビフェニルにも同時に曝露させ、動力学を参照化合物に対する相対値でも評価した。つぎに、底生無脊椎動物であるゴカイへの移行動力学の温度依存性を曝露実験により調べたが、17.5℃と22℃では明確な違いは見いだせなかった。これらに基づき、底生魚類中のPFAAsの濃度と環境中濃度との関連を記述する生物蓄積の数式モデルを構築し、食物と水からの寄与等を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水産食糧資源の基礎であると同時に食物網への化学物質の入口として重要である沿岸海域における底生食物連鎖において、化学物質の移行に関する実験的知見が限られている。パーフルオロアルキル酸(PFAAs)は世界中の環境中に残留するイオン性化合物で、魚介類の摂食が人間への主要な曝露経路と考えられ、水生生物への移行の理解が必要であるが知見が不足している。本研究は、多様な化学物質の排出から曝露に至る動態を予測する際の基礎となるものであり、環境媒体中濃度と生息環境の状況から、食物網中のさまざまな生物における化学物質濃度を動力的に予測する研究へ展開できる。

研究成果の概要(英文)：We investigated the bioaccumulation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in a model aquatic benthic food chain. We elucidated the gut uptake efficiency and depuration half-life of 7 PFAAs in flounder (*Paralichthys olivaceus*) by an exposure experiment, and also evaluated the values of these parameters normalized to those of polychlorinated biphenyls that were exposed simultaneously. We also investigated the temperature dependence of the bioaccumulation kinetics of 10 PFAAs in a marine polychaete sandworm species (*Perinereis wilsoni*) by exposure experiments, but no clear differences were observed between 17.5 deg C and 22 deg C. Finally, based on these experimental results, we constructed a mathematical model to describe the relationship between PFAA concentrations in the environment and those in benthic fish, estimated the relative contribution of food and water pathways to the body burden of PFAAs in fish by using the model, and discussed the implications.

研究分野：環境化学

キーワード：汚染質動態 実験 モデリング 残留性 動力学

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

水環境から水生生物への多種の化学物質の移行を明らかにし、また精度良く予測することは、環境の保全および化学物質の悪影響のリスク管理のために重要である。沿岸海域における底生食物連鎖は、水産食料資源の重要な基礎であると同時に食物網への化学物質の入口として重要である[1-6]が、ここでの化学物質の移行動力学の知見が限られている。

パーフルオロアルキル酸 (PFAAs) は世界中の環境中に残留するイオン性化合物で、2022年までに 3 化合物がストックホルム条約の残留性有機汚染物質に指定されている。魚介類の摂食が PFAAs の人間への主要な曝露経路と考えられ、水生生物への生物蓄積の理解が必要である。イオン性化合物は欧州 REACH に登録された有機化合物の約半数を占めるとの報告があるが、生物蓄積の知見が不足し、基礎となる動力学の研究が必要である。この際、体内への取り込み効率が、生物蓄積予測モデル構築のために重要なパラメーターとなる[1,3-5]。また、実験条件や個体間の違いの影響を減らし、知見の多い化合物との比較により移行動力学の特徴を明らかにするために、ベンチマーク法[7]が有効と考えられる。

底生食物網での PFAAs の生物蓄積の動力学、とくに体内への取り込み効率の知見は限られている[4,5,8]。われわれはカレイ科魚類で PFAAs のうち PFOS の呼吸器官からの移行動力学を明らかにした[5]が、底生魚類での消化管からの移行動力学は明らかになっていなかった[8]。また、底生無脊椎動物であるゴカイにおいて魚と異なる PFAAs の移行動力学を示唆する結果を得た[9,10]。種間外挿を慎重に行う必要を示す新たな知見であり、ゴカイにおける PFAAs の移行動力学の研究をさらに深める必要がある。実環境での生物蓄積の理解と予測には移行動力学の温度依存性の把握が必要であるが、魚以外の水生生物ではこの点について殆ど情報が無い[11]。また、実験的知見を踏まえて、移行動力学と生理学的特性を組み合わせた生物蓄積動力学モデル[12]を構築することで、生物中の化合物濃度の環境中濃度との関係や取り込み経路（呼吸、摂食）の寄与について検討することができる。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、底生食物連鎖のモデル捕食関係において、実験およびモデル手法により PFAAs の生物蓄積動態について理解を深めるために、以下の三点を行う。

- (1) PFAAs の底生魚類への消化管経由の移行動力学を明らかにする
- (2) PFAAs のゴカイへの移行動力学の温度依存性を明らかにする
- (3) 底生魚類中の PFAAs の濃度と環境中濃度との関連を記述する生物蓄積モデルの構築

### 3. 研究の方法

#### (1)ベンチマーク法による曝露実験と分析手順の確立ならびに二重ベンチマークの検討

生物蓄積について既往知見の多いポリ塩化ジフェニル (PCBs) を中性のベンチマーク化合物として選定した。イオン性のベンチマーク化合物として、PFAAs のうちで知見が多いことから PFOS を選定した。PCBs の分析方法は、試料分割が困難な場合に抽出方法を PFAAs と共通とするためアルカリ分解-エーテル抽出法の適用を検討した。また、ブランク水準、回収率、また実験試料中バックグラウンド水準を確認した。

#### (2)PFAAs の底生魚類への消化管経由の移行動力学

##### ①曝露実験および実験試料中 PFAAs およびベンチマーク化合物濃度の分析

アルキル鎖長 3-9 のカルボン酸 (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA) と同 4、6、8 のスルホン酸 (PFBS, PFHxS, PFOS) とを混合物で曝露した。底生魚類として養殖のヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) の当歳魚を用いた。曝露水準は一段階とし、餌に PFAAs を添加しない対照区を設けた。曝露区 36 尾、対照区 18 尾のヒラメを水槽に入れ、海水は両区共有で循環させた。水温、溶存酸素 (DO) 濃度等の水質を計測した。実験期間は曝露期間 7 日に続いて浄化期間 28 日の計 35 日間である。当初はゴカイを餌に用いる計画だったが、予備実験にてヒラメはゴカイをほとんど摂食しなかったため、キビナゴを用いることとした。餌はキビナゴの切り身を毎日 2 g-wet 与え、曝露期間にはこれに曝露区では各 10 ng の PFAAs 混合物のメタノール溶液 2  $\mu$ L、対照区では溶媒のみを同量注入し添加餌とした。合計 8 回ヒラメと海水試料を採取した。

PFAAs は既報[13-15]を参考に、同位体で標識した内標準を添加後、抽出、前処理し、液体クロマトグラフータンデム質量分析計にて同定、定量した。ヒラメは頭、背骨、消化管を除く全身を均質化し、その一部を分析した。PCBs は既報[16]に従い抽出精製し、ガスクロマトグラフ-イオントラップ型質量分析計にて同定、定量した。

##### ②動力学解析

魚体内存在量の一次速度論に基づくマスバランス式 (式 1) により解析した[9]。

$$\frac{dB(t)}{dt} = m_D \alpha_{ug} - k_d B(t) \quad (1)$$

ここで、 $B(t)$ は時刻 $t$ における魚体中各化合物の量、 $\alpha_{ug}$ は消化管からの取り込み効率、 $k_d$ は浄化速度定数、 $m_D$ は摂餌による化合物の摂取速度であり浄化期間にはゼロである。浄化期

間のデータを対数値の最小二乗法により式 1 に当てはめて $k_d$ を推定し、ついで曝露期間のデータにより $\alpha_{ug}$ を推定した。体内からの浄化半減期 $t_{1/2} = (\ln 2)/k_d$ である。

### (3)PFAAs のゴカイへの移行動力学の温度依存性

#### ①曝露実験および試料中 PFAAs 化合物濃度の分析

対象化合物は 3 (2)①節と同じとした。ゴカイは養殖のイソゴカイ (*Perinereis wilsoni*) を用いた。実験手法は概ね既報[5]に従い、小型の容器を用いて容器あたり一個体とした。曝露濃度は一段階とし、PFAAs を曝露しない対照区を設けた。餌料は配合飼料を用いた。定期的にゴカイ、海水試料を採取し、また水質を計測した。当初は、12 °C、22 °C で実験を行い、既往の 17.5 °C での結果とあわせて温度依存性を評価する計画であったが、実験系の追加検討(後述)に時間を要し、12 °C での実験は行えなかった。22 °C と 17.5 °C で行った餌曝露実験、22 °C で行った海水曝露実験の結果に既往の結果をあわせて解析した。

餌曝露実験は、21 日間 (17.5 °C) および 29 日間 (22 °C) で行った。1 日目に、曝露区では PFAAs を添加、対照区では無添加の配合餌料を摂餌させ、個体ごとに摂餌数を記録した。両実験区ともに 3 日目以降、無添加の餌を与えた。海水曝露実験は、曝露期間 7 日、続いて浄化期間 26 日の計 33 日間で行った。曝露期間には、曝露区で PFAAs を添加混合した海水中でゴカイを PFAAs に曝露させた。対照区と浄化期間の曝露区とは無添加の海水中で飼育した。曝露期間は給餌せず、8 日目より一日おきに給餌した。いずれの実験も、飼育容器から脱出した個体は、可能なものは飼育容器に再導入して実験を継続した。実験試料中 PFAAs 濃度の分析は 3 (2)①節と同様に行った。

#### ②実験系の追加検討

ゴカイが、実験容器外へ事前検討 (5%–6%) より大幅に高い頻度 (20%–75%) で移動したため、実験容器外への移動の抑制方法を検討した。また、海水曝露実験において、一部化合物の海水中濃度が異常な高値および低値を示したため、原因および抑制方法を検討した。

#### ③動力学解析

一次速度論に基づくマスバランス式により化合物ごとに解析した[5,9]。餌曝露実験についてはヒラメと同様に行った (3 (2)④節)。海水曝露実験については式 2 により行った。

$$\frac{dC_b(t)}{dt} = \frac{V}{W} \alpha_{ur} C_W - (k_d + k_g) C_b(t) \quad (2)$$

ここで、 $C_b(t)$ は時刻 $t$ における魚体中 PFAA 濃度、 $V$ は換水速度、 $W$ は魚体質量、 $\alpha_{ur}$ は呼吸に際しての取り込み効率、 $C_W$ は水中濃度、 $k_g$ は成長速度定数である。浄化期間の $C_W$ はゼロとした。 $V$ は呼吸に寄与する単位時間当たりの水量とし、呼吸速度に基づき推定した[5]。データを対数値の最小二乗法により式 2 に当てはめて各パラメーターを推定した。

### (4)底生魚類中の PFAAs と環境中の PFAAs との関連を記述する生物蓄積モデルの構築

底生食物連鎖 (ゴカイ–カレイ目魚類) における PFAAs 蓄積動態の予測モデルを構築した[12]。具体的には、式 (3) および (4) とし、動力学パラメーターは本研究および魚の $\alpha_{ur}$ は他魚類の文献値による推定値[17]を用いた。生理学的パラメーターを既報[4,5,18]により推定した。単純化として、魚の食べ物はすべてゴカイ、ゴカイの食物はデトリタスであると仮定した。また、ゴカイは常に海水と接触し、取り込みと排出が可能な状況と仮定した。体重は現実的と考えられる固定値 (ゴカイ 0.30 g-wet、魚 100 g-wet) とし、定常状態を仮定して体内存在量への水と食物の寄与を検討した。環境媒体中の濃度は大牟田川河口部のデータ[6]を参考に設定した。

$$\frac{dC_{1b}(t)}{dt} = \frac{V_1}{w_1} \alpha_{1ur} C_W + \frac{I_1}{w_1} \alpha_{1ug} C_{1D} - (k_{1d} + k_{1g}) C_{1b}(t) \quad (3)$$

$$\frac{dC_{2b}(t)}{dt} = \frac{V_2}{w_2} \alpha_{2ur} C_W + \frac{I_2}{w_2} \alpha_{2ug} C_{1b}(t) - (k_{2d} + k_{2g}) C_{2b}(t) \quad (4)$$

ここで、添字の 1、2 はそれぞれゴカイ、魚を指す。

## 4. 研究成果

### (1)ベンチマーク法による曝露実験と分析手順の確立ならびに二重ベンチマークの検討

アルカリ分解および抽出に用いる試験管をガラス製とすれば、PCBs はエーテルで良好に抽出でき (濃度既知スズキ筋肉にて PCB 総濃度の回収率 104%)、汚染あるいは分解等も認められなかった。PCBs 総濃度は曝露させていないゴカイ中で 3.6–5.1 ng/g-wet ( $n=4$ )、配合餌料中で 2.9 ng/g-wet であり、単一化合物としては CB153 が最も濃度が高くそれぞれ 1.0–1.7 および 0.47 ng/g-wet であった。PCB 添加水準は、既報[1]等を参考にして消化管経由の取り込み量を試算し、対照区濃度と十分な差をもって、また機器分析にて十分に検出可能な濃度となるよう設定した。本実験では、PCB 主要化合物のうち無添加の餌中に含まれる濃度と十分な差が取れた CB52 と CB118 をベンチマーク化合物として用いた。

## (2)PFAAs の底生魚類への消化管経由の移行動力学

### ①曝露実験および実験試料中 PFAAs およびベンチマーク化合物濃度の分析

水質（平均±標準偏差）は、水温  $16.8 \pm 0.2$  °C、pH  $7.35 \pm 0.15$ 、DO 濃度  $8.10 \pm 1.48$  mg/L、塩分  $32.0 \pm 1.0\%$ であった。対照区試料中濃度については、PFOS が平均  $0.45$  ng/g-wet で検出されたが、他の化合物は検出下限と同程度かそれ未満で、無視できる水準であった。曝露区の魚体中存在量は、PFBA を除きおおむね曝露期間に上昇し浄化期間に減少した。CB52 と CB118 も同様の経時変化であった。

### ②動力学解析

PFBA は  $B(t)$  の経時傾向が不明確、また PFPeA と PFBS は浄化期間で不検出の試料が多く解析の信頼性が低いと判断して結果から除いた。 $\alpha_{ug}$  は 4.6%–64% の範囲で中央値は 39% であり、カルボン酸ではアルキル鎖長に伴いおおむね上昇した（図 1A）。PFOA より短鎖のカルボン酸について魚類での  $\alpha_{ug}$  はこれまで報告が無く、他魚種も含め知見の蓄積が求められる。同じアルキル鎖長でのカルボン酸とスルホン酸との違いは明確でなかった。 $t_{1/2}$ （図 1B）は 1.1–60 日の範囲で、カルボン酸ではアルキル鎖長につれて長くなる傾向があり（対数値について  $r = 0.85$ ,  $n = 5$ ）、これまでの魚類における報告[19]と同様であった。

CB52 と CB118 の  $\alpha_{ug}$  は近い値であり幾何平均値は 1.5 であった。 $\alpha_{ug}$  は 0–1 の範囲であるべきだが、1 を超えているのは実験およびモデルの誤差によるものと考えられる。ここでは他化合物との相対値を議論するためこのまま用いた。本実験で得られた PFAAs の  $\alpha_{ug}$  はベンチマーク化合物より低く相対値として 0.030–0.43、中央値 0.26 であった。同様に、 $t_{1/2}$  はベンチマーク化合物より短く相対値として 0.012–0.65、中央値 0.20 であった。イオン性のベンチマーク化合物（PFOS）に対する相対値は  $\alpha_{ug}$  は 0.12–1.7、中央値 1.0 で、 $t_{1/2}$  は 0.053–3.0、中央値 0.91 であった。アルキル鎖長の近い化合物は近い値となる傾向だった。

## (3)PFAAs のゴカイへの移行動力学の温度依存性

### ①曝露実験および試料中 PFAAs 化合物濃度の分析

水温（平均±標準偏差）は、餌曝露実験（ $17.5$  °C）では  $17.7 \pm 0.2$  °C、餌曝露実験（ $22$  °C）では  $22.1 \pm 0.1$  °C、海水曝露実験では  $22.1 \pm 0.1$  °C であった。他の水質はいずれも各実験の平均値で塩分は 32‰–36‰、pH は 7.9–8.1、DO 飽和度は 66%–87%、アンモニア態窒素濃度は 0.01–0.21 mg-N/L であった。ゴカイの死亡率は 0%–10%、また成熟による形態変化により取り除いた個体が 0%–4% あった。

無添加の餌、無添加の海水中の濃度はおおむね無視できる低い水準であった。ただし餌曝露実験（ $22$  °C）では若干数の添加餌の水没により一時的な水中濃度の上昇があり、その影響で  $\alpha_{ug}$  の値が若干高く出ている可能性がある。対照区試料中は検出下限未満か操作ブランクと同等であり、また PFBA、PFPeA、PFBS 等の一部試料を除き、曝露区試料に比べて十分に低かった。以上の点に留意しつつ、ここでは汚染の影響は無視できるとして解析を行った。海水曝露、餌曝露実験ともに、曝露区のゴカイ中濃度はおおむね、曝露期間にあるいは添加餌摂取により上昇し浄化期間に減少した。

### ②実験系の追加検討

容器外への移動は、メッシュ型容器への変更とフタの設置により抑制できた。海水中高濃度および低濃度は、いずれも鎖長依存的であった。原因は実験系の汚染や分析の異常ではないことを確認した。海水への混合と攪拌との条件を検討したが十分な解決には至らなかった。原因は特定できていないが、対象化合物が界面活性を有すること、水、砂利、またゴカイや餌由来の有機物等が存在し実験系が不均質であることが関与していると考えられる。

### ③動力学解析

ゴカイにおける動力学パラメーターの値の化合物間での関係は、曝露経路および温度を変えても共通していた。すなわち、 $\alpha_{ug}$ （図 2A）は 77% 程度（図示した全データの中央値）であり、アルキル鎖長および官能基に対する傾向は明確でなかった。また、 $k_d$  は PFHxA–PFNA、PFHxS が他化合物より小さかった（ $t_{1/2}$  が長かった）（図 2B）。温度による違いは  $17.5$  °C と  $22$  °C では識別できなかった（図 2）。 $k_d$  については、温度が上がると代謝速度が上がり、大きくなると予想したが、そのような傾向は見られなかった。今後、温度変化を大きくする、実験のばらつきを小さくするなどした上でさらに検討する必要がある。

## (4)底生魚類中の PFAAs と環境中の PFAAs との関連を記述する生物蓄積モデルの構築

PFAAs の体内存在量に対する寄与は、ゴカイ、底生魚いずれも食物が水より多かった（図 3）。このような環境で底生魚中の濃度を下げるためには、食物となる底生生物中の濃度が下がるような対策が必要である。なお、経路寄与の推定は、食物構成、および水中濃度と食物中濃度の関係など、評価する環境の諸条件に依存することに留意されたい。

## (5)まとめ

底生食物連鎖のモデル捕食関係において、PFAAsの移行動力学を実験的に明らかにした。すなわち、底生魚類への消化管経由の移行動力学を明らかにし、ベンチマーク化合物による規準化を行った。また、PFAAsのゴカイへの移行動力学の温度依存性を検討したが、17.5°Cと22°Cでは実験のばらつきを上回る差は見いだせなかった。また、ゴカイ-底生魚類の生物蓄積動態モデルを構築しPFAAs体内存在量への取り込み経路の寄与を検討した。

<引用文献>

[1] Kobayashi J et al. 2011. Chemosphere 82:745; [2] Mizukawa K et al. 2013. Sci Total Environ 449:401; [3] Kobayashi J et al. 2013. Chemosphere 93:1479; [4] Sakurai T et al. 2013. Environ Toxicol Chem 32:2009; [5] Sakurai T et al. 2017. Bull Environ Contam Toxicol 99:203; [6] Kobayashi J et al. 2018. Bull Environ Contam Toxicol 100:536; [7] Adolfsson-Erici M et al. 2012. Environ Toxicol Chem 31:1853; [8] Hassell KL et al. 2020. Environ Toxicol Chem 39:595; [9] 櫻井ら. 2019. 第28回環境化学討論会要旨集, P-044; [10] 櫻井健郎ら. 2021. 第29回環境化学討論会要旨集, 2A-1; [11] Maulvault AL et al. 2018. Environ Res 161:236; [12] Norstrom RJ et al. 1976. J Fish Res Board Can 33:248; [13] 白坂と門上. 2014. 環境化学 24:67; [14] 西野ら. 2013. 環境化学 23:177; [15] Taniyasu S et al. 2005. J Chromatogr A 1093:89. [16] Ogata Y et al. 2009. Mar Pollut Bull 58:1437; [17] Sakurai T. et al. in preparation; [18] Peters RH. 1983. Cambridge University Press; [19] たとえば Chen F et al. 2016. Sci Total Environ 568:33.

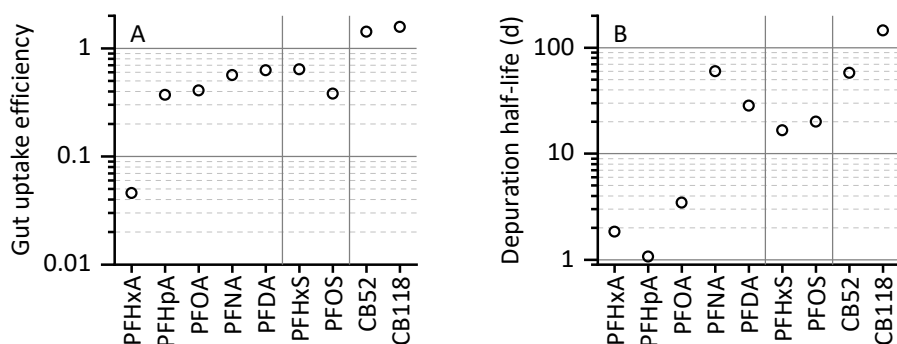


図1 PFAAsとPCBsのヒラメにおける(A)消化管における取り込み効率と、(B)浄化半減期

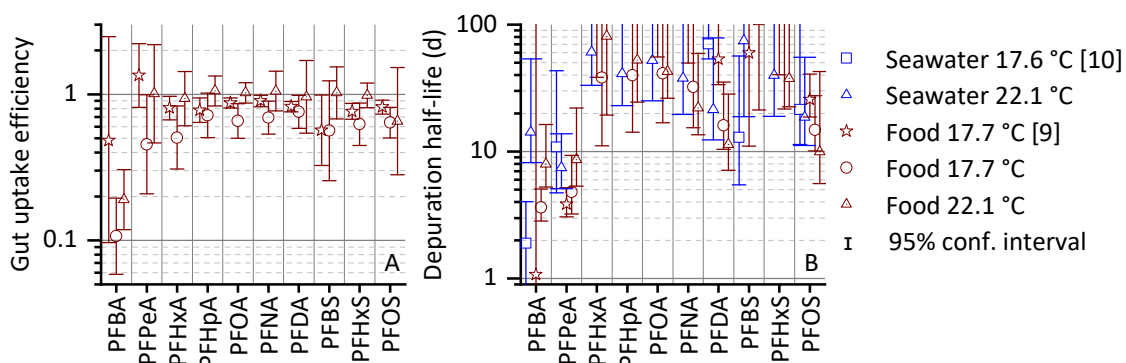


図2 PFAAsのゴカイにおける(A)消化管における取り込み効率と(B)浄化半減期の実験間での比較。浄化半減期のプロットがグラフ範囲内にはないものは、濃度減少が小さいため信頼性の高い半減期を算出できていない。95%信頼区間はフィッティングのみによるもの。

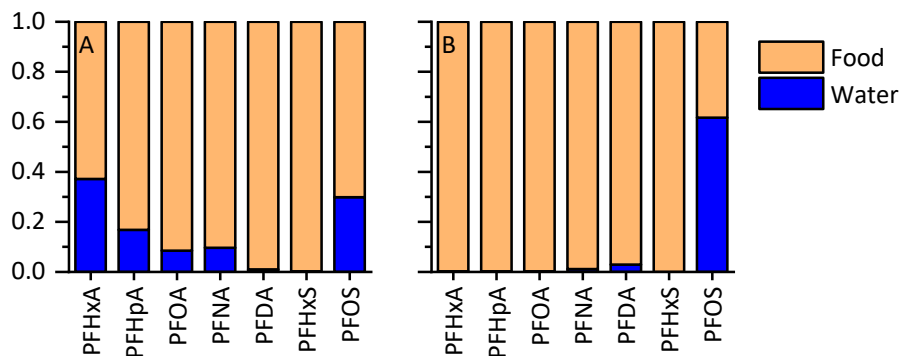


図3 体内存在量への取り込み経路寄与推定の一例。(A)ゴカイ、(B)ゴカイを食べる底生魚

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sevilla-Nastor J. B., Sakurai T., Mozo M. J., Villanueva J. D.	4. 巻 -
2. 論文標題 Determination of perfluoroalkyl acids in seawater and sandworm samples by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13762-021-03593-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 櫻井健郎, 小林淳, 鈴木規之
2. 発表標題 パーフルオロアルキル酸の水圏食物網における生物蓄積挙動のモデル化
3. 学会等名 環境化学物質3学会合同大会（第30回環境化学討論会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯本怜佳, 櫻井健郎, 小林淳
2. 発表標題 イオン性化学物質の生物濃縮係数とタンパク結合定数との関係について
3. 学会等名 環境化学物質3学会合同大会（第30回環境化学討論会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯崎涼介, 小林淳, 水川薫子, 櫻井健郎
2. 発表標題 ヒラメにおけるパーフルオロアルキル酸化合物の腸管経由の取り込み動態について
3. 学会等名 環境化学物質3学会合同大会（第30回環境化学討論会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井健郎, 遠藤智司, 小林淳, 鈴木規之
2. 発表標題 パーフルオロアルキル酸代替化合物の魚における生物蓄積モデル動力学パラメーター推定の検討
3. 学会等名 第2回環境化学物質3学会合同大会 (第31回環境化学討論会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林淳, 平野将司, 櫻井健郎
2. 発表標題 タンパク結合を指標としたイオン性有機化学物質に対する生物濃縮係数の予測手法の検討
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井健郎, 遠藤智司, 水川薫子, 小林淳
2. 発表標題 パーフルオロアルキル酸化合物の海水から海産ゴカイへの移行動力学
3. 学会等名 第29回環境化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧隆成, 上村幸, 櫻井健郎, 小林淳
2. 発表標題 ニジマスにおける医薬品の移行動力学
3. 学会等名 第29回環境化学討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小林 淳  (Kobayashi Jun)  (00414368)	熊本県立大学・環境共生学部・教授   (27401)	
研究 分担者	水川 薫子  (Mizukawa Kaoruko)  (50636868)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教   (12605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------