

## 研究課題名

食肉目動物における PFAS (Per fluorinated alkyl substances) の蓄積実態の  
解明

## 研究代表者

池中 良徳

北海道大学大学院獣医学研究院附属動物病院トランスレーショナルリサ  
ーチ推進室

## 共同研究者

石塚 真由美

北海道大学大学院獣医学研究院環境獣医科学講座 毒性学教室

中山 翔太

北海道大学大学院獣医学研究院環境獣医科学講座 毒性学教室

## 拠点对応教員

野見山 桂

## 研究目的

有機フッ素化合物は、炭素-フッ素結合を持つ有機化合物の総称で、  
代表的なものにパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) やパーフルオ  
ロオクタン酸 (PFOA) などが挙げられる。撥水性、撥油性、耐熱性、  
耐薬剤性などの独特な性質を持つため、カーペットや衣類の撥水撥油  
剤、金属メッキ処理剤、消火剤、調理器具などのコーティング剤などに  
用いられてきた。

しかしこれまでの研究により、これらの有機フッ素化合物は環境中へ  
の残留性が非常に高いうえ、生物濃縮性、生態毒性があることが報告さ  
れている。そのため近年、PFOS および PFOA は製造・使用の制限や廃  
絶をすべき化学物質として国際条約 (「残留性有機汚染物質に関するスト  
ックホルム条約 (POPs 条約) 」) で指定され、それに基づく日本の国内

法（「化学物質の審査及び製造の規制に関する法律（化審法）」）でも製造および輸入の原則禁止や使用制限などが定められ、規制が進められている。

PFOS、PFOA の生態毒性については、様々な影響が報告されている。人では PFOS、PFOA の出生前暴露によって、胎児の性ホルモンの合成、分泌に影響がある可能性が示唆されている。また動物では DNA を損傷させる遺伝毒性や、性ホルモンの攪乱作用、高濃度の暴露で発達毒性があることも報告されている。

ここで、ヒトと生活圏を共有するペット動物は PFASs への高い曝露が推察される。日本のイヌの血清中から、家畜のウシやブタよりも 2-20 倍高値の PFOS（平均値 25 ng/mL）が検出された事が報告されている。ペットネコからはヒトと同等の濃度で PFASs が検出され、肥満などの疾患との関連も示唆されている。しかしながら、ペット動物を対象にした PFASs の曝露実態に関する調査例は国内外含め 5 報のみであり、特に日本を含むアジア地域や近年の PFASs 曝露実態は不明瞭である。そこで、本研究では日本で採取したイヌおよびネコの血清を分析に供試し、日本における近年の PFASs 曝露実態の解明を試みた。

## 研究方法

ペット血清については、2021-2022年に採取されたイヌ3検体およびネコ8検体の血清を分析に供試した。血清の分析前処理は既報を参考に改良した方法を用いた。血清100  $\mu$ L に5%ギ酸含有アセトニトリルを添加し、タンパク質を沈殿させた。上澄みをOasis WAX Cartridgeを用いて固相抽出後、窒素気流下で濃縮した。濃縮液に5 mM 酢酸アンモニウム水溶液を添加し最終溶液とした。液体クロマトグラフ-四重極飛行時間型質量分析計（LC-QToF/MS）を用いてPFASs 29物質を定性・定量した。

## 研究内容

分析に供試した全ての血清からPFASsが検出され、日本のペット動物が広くPFASsに汚染されていることが明らかとなった（図1）。濃度はPFOS（最大値：41.9 ng/mL）が最も高く、次いでPFHxS（最大値：7.6 ng/mL）、PFNA（最大値：3.9 ng/mL）、PFOA（最大値：0.70 ng/mL）の順であっ

た。本研究で検出されたネコにおけるPFASs蓄積レベルは、2008–2014年にアメリカ合衆国およびスウェーデンで実施されたモニタリング調査と比較して低値であった。本研究と先行研究いずれにおいてもPFOSとPFOAの濃度が高割合であり、これら2物質は2009年以降ストックホルム条約によって生産や使用が規制されていることから、本研究でより低濃度という結果は規制の効果を反映していると考えられる。

イヌ血清からFOSA (Perfluorooctane sulfonamide) およびN-EtFOSAA (N-ethyl perfluorooctane sulfonamidoacetic acid)、ネコ血清から4:2 FTS (1H,1H, 2H, 2H-Perfluorohexane sulfonic acid) が検出された。これらはPFAAs (Perfluoroalkyl Acids) の前駆体であり、生体内および環境中でPFAAsに変換される。検出されたPFAAs前駆体について推定される生体内変化を図2に示した。本研究で定量したPFAAs濃度にはこれら前駆体も寄与している可能性がある。また、FOSAは規制物質であるPFOSへ変換される可能性があるが、現在も包装紙保護剤として使用されており、曝露実態の継続的な調査が必要である。

総PFASsに対する各物質の組成割合を算出した。イヌではPFOSが6–8割を占めるのに対し、ネコではPFOSの割合は3割程度と低く、PFOAおよびPFNAが5割を占めた。また、ネコ血清中の組成はハウスダスト中のPFASsの組成<sup>16</sup>と類似していることから、ネコはグルーミングによりハウスダストを摂取し、長鎖PFAAsを蓄積している可能性がある。

PFOSおよびPFOAについて、血清中PFASs濃度を毒性値<sup>17-19</sup>で除し不確実係数を乗じることでHQを算出した。その結果、肝毒性および内分泌かく乱作用については、リスクが懸念されるレベルを下回った (HQ<1)。しかし、IgMの産生低下をエンドポイントにした場合、11検体中10検体でHQは1を超過し、免疫系への影響が危惧された。

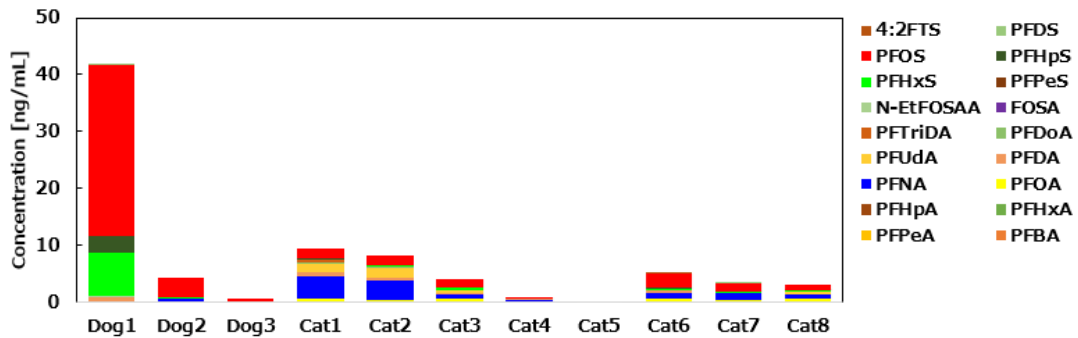


図1 ペット動物血清中PFASs濃度

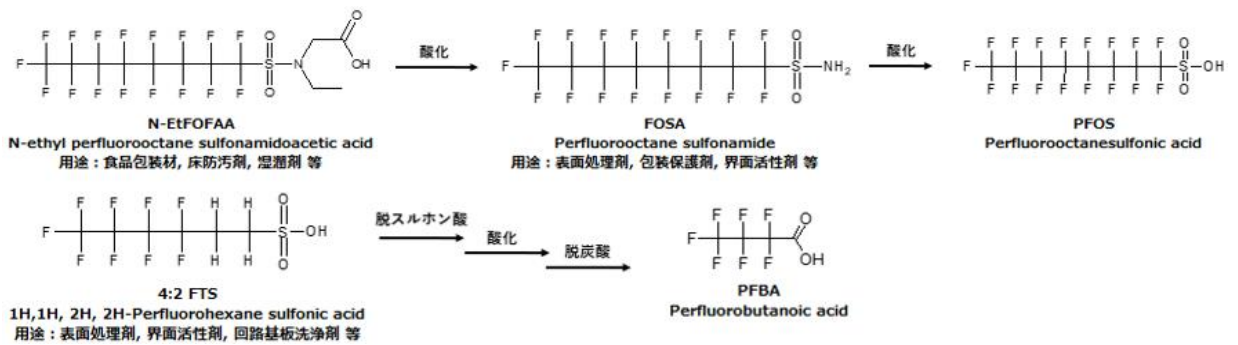


図2 ペット動物の血清から検出された PFAAs 前駆体の推定される生体内変化

## 成果発表

佐藤楓夏，水川葉月，池中良徳，横山望，滝口満善，野見山桂

ペット動物における有機フッ素化合物の汚染実態解明，第5回 ケミカルハーザードシンポジウム

## 今後の問題点

血清中PFASs分析により日本のペット動物が多様なPFASsに汚染されていることが明らかとなり、PFAAs前駆体の曝露も示された。今後は、PFAAs前駆体も含めたリスク評価手法の開発や曝露源の調査が望まれる。