

都内水環境中における有機フッ素化合物の動態

西野 貴裕 加藤みか 上野 孝司* 北野大**

(*現・東京都下水道局 **淑徳大学)

要 旨

都内地下水における有機フッ素化合物 (PFCs) 13 種の分析を実施したところ、現在も一部の物質が 100ng/L (2005 年度、多摩川日野橋における PFOS 平均濃度) を超える濃度で残留している地点があった。また、PFCs の地下浸透における動態を考察するため、土壌カラム浸出実験を行った。この結果、骨格炭素数の少ない物質ほど速く浸透する傾向にあることが分かった。また、東京湾に生息している生物試料 (スズキ) を分析し、PFCs 濃度の経年変化を追跡するとともに、水試料のデータと比較することで、短鎖および長鎖 PFCs の生体への蓄積性について比較検討を行った。

キーワード：有機フッ素化合物 (PFCs)、地下水、土壌カラム浸透実験、短鎖 PFCs、長鎖 PFCs

1 はじめに

当研究所では、これまで多摩川をメインフィールドとして、有機フッ素化合物 (PFCs) の排出源となる事業所の業態解明¹⁾²⁾を進めるとともに、代表的な PFCs であるパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)、パーフルオロオクタン酸 (PFOA) の規制や排出削減活動に伴う濃度変化を追跡してきた³⁾。その結果、PFOS、PFOA は、それぞれ POPs 条約対象物質への追加⁴⁾に伴う規制、米国 EPA による排出削減プログラム⁵⁾策定を受け、河川水における濃度が大幅に減少した。しかし、河川等の表流水と異なり、地下水は流れが緩慢で、一度汚染されると回復しにくい傾向があるため、現在でも、都内で PFOS が 100ng/L (2005 年度、多摩川日野橋における PFOS 平均濃度) を超える濃度で検出される地点が存在していた⁶⁾。また、PFCs には、骨格炭素数が大きくなるにしたがい、底質や生物への蓄積性が高くなる傾向があるという報告がある。このため⁷⁻⁹⁾、土壌カラム実験を通じて PFCs の地下への浸透における挙動を追跡した。さらに、東京湾に生息している生物試料 (スズキ) を分析し、PFCs の組成割合を調べることで、水環境への排出後における動態について考察を行った。なお、地下水における PFCs 実態調査は 2010 年度から実施してきたが、本報告では、2013 年度に実施した 58 地点のデータを示すこととした。

2 調査方法

(1) 測定対象物質

測定対象物質一覧を表 1 に示す。測定対象物質は PFOS、PFOA 及びそれぞれの類縁物質 (以下それぞれ「PFAS 類」、「PFCA 類」という。) 計 13 物質である。標準物質は Wellington 社製の標準原液 (PFAC-MXB : 各成分 2 μg/mL : メタノール溶液) とパーフルオロヘプタンスルホン酸 (PFHpS) メタノール溶液 (50 μg/mL) を混合希釈し、標準混合メタノール溶液 (各 200ng/mL) を調製した。内部標準物質は、同じく Wellington 社製の有機フッ素化合物ラベル化体の混合標準原液 (MPFAC-MXA : 各成分 2 μg/mL メタノール溶液) をメタノールで希釈し、内部標準混合メタノール溶液 (各 200ng/mL) を調製した。

(2) 都内地下水試料の測定

分析フローを図 1 に示す。試料 (約 250 mL) に内部標準混合溶液を 10 μL 添加後、石英繊維ろ紙で吸引ろ過し、溶存態 (ろ液) と懸濁態 (ろ紙の残渣) とに分離した。浮遊物は操作の過程上、固相カートリッジを詰まらせることや LC で分析する際に夾雑物となり、分析の妨害を行う原因ともなりうるためである。懸濁態はピーカーに移し変え、懸濁態をメタノールで超音波抽出を 2 回繰り返して、溶液を溶存態に加えた後、ギ酸を用いて pH 4 に調整した。pH 4 に調整後、Waters 社製の固相カートリッジカラム Oasis-Wax Plus を用いて流速 5 mL/min で

表 1 測定対象物質一覧（上段：PFAS 類、下段：PFCA 類）

物質名	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS
骨格炭素数	4	6	7	8	10
定量イオン	299>80	399>80	449>80	499>80	599>80
確認イオン	299>99	399>99	449>99	499>99	599>99
内部標準物質	¹⁸ O ₂ -PFHxS			¹³ C ₄ -PFOS	

物質名	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA
骨格炭素数	6	7	8	9	10	11	12	13
定量イオン	313>269	363>319	413>369	463>419	513>469	563>519	613>569	663>619
確認イオン	—	—	—	413>169	463>219	513>269	563>319	663>419
内部標準物質	¹³ C ₂ -PFHxA	¹³ C ₄ -PFOA	¹³ C ₅ -PFNA	¹³ C ₂ -PFDA	¹³ C ₂ -PFUnDA	¹³ C ₂ -PFDoDA		

固相抽出を行った。試料を全て通水後、試料を保管していたポリプロピレン製容器及び処理に用いたガラス器具類の壁面に吸着した PFCs を溶出させるため、pH 4 ギ酸水溶液 40mL、ギ酸酸性メタノール 40 mL で順次洗いこみ、洗浄液を同様の順序で固相カラムに流した。最後に固相カラムに 1% アンモニア含有メタノール 5 mL をバックフラッシュ法により通し、PFCs を溶出した。溶出液は窒素吹き付けにより濃縮後、水：メタノール=1：1 混合溶液で 1 mL に定容した。

砕後、0.5mm メッシュのふるいを通し、内径 20mm のガラスカラムに湿式で充填した。土壌の層は 17cm 程度とした。充填した土壌を超純水で洗浄し、本報での測定対象である 13 種混合 PFCs 水溶液（各 50 μg/L）1mL をカラム上層に負荷した。その後、超純水を順次注ぎ入れ、自然流下させながら約 20mL ずつのフラクションに分けて採取・分析を行った。分析は、(2)と同様の方法で実施した。

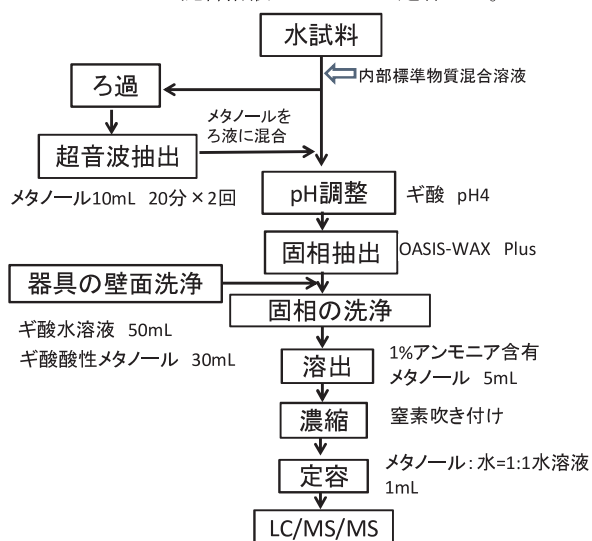


図 1 分析フロー（水試料）

(3) 土壌カラム浸透実験

PFCs が水とともに土壌を浸透する際の挙動を考察するため、土壌を充填したガラスカラムに PFCs 水溶液を通過させ、物質ごとの浸透速度を比較検討した。

関東ローム層を形成している赤土をメノウ乳鉢で粉



図 2 土壌カラム浸透実験風景

(4) 東京湾における媒体別(水質、底質、生物)のPFCs存在比率

PFCsのうち、パーフルオロブタンスルホン酸(PFBS)やパーフルオロヘキサン酸(PFHxA)のような骨格炭素数の4~6程度の短鎖PFCsと、パーフルオロドデカン酸(PFDoDA)、パーフルオロウンデカン酸(PFUnDA)といった同10以上の長鎖PFCsでは、水に対する溶解度(水/オクタノール分配係数:LogPoW等)が異なり¹⁰⁾、媒体別での存在比率が物質の性質に応じて変化することが考えられた。そこで、東京湾に生息しているスズキを用いて分析を行い、生体内におけるPFCsの組成割合や、濃度実態の経年変化を追跡するとともに、水試料のデータと比較することでPFCsの種類ごとの生体蓄積性について比較検討を行った。スズキの生体試料は、環境省化学物質環境実態調査において、2003年度から継続して東京湾羽田沖城南島付近で採取している。採取したスズキは、大きさ別に3~5グループに分けた後、可食部をホモジナイズした。過去に採取した試料に関しては、冷凍保存し、分析の直前に解凍した。

生物試料の分析フローを図3に示す。試料(湿重量10g程度)に内標準物質混合溶液10μLを添加し、アルカリ分解(2 mol/L-NaOH 10mL, 80°C, 乾燥3時間, 放冷40 min)を行った。分解処理後の試料溶液に炭酸ナトリウム緩衝溶液10 mL, テトラブチルアンモニウム溶液(TBA 溶液)5 mL, t-ブチルメチルエーテル(MTBE)とメタノール1:1溶液(2回目以降MTBEのみ)を10 mL加え、超音波抽出と遠心分離を行い、上澄みを分取した。抽出は3回行い、分取後の上澄みに無水硫酸ナトリウムを加えて脱水し、ロータリーエバポレーターを用いてこの溶液を濃縮し、メタノール10 mL加えてさらに濃縮した。濃縮液をシリンジフィルターに通して

250 mL 超純水に溶解させ、ギ酸でpH 4に調整後、固相抽出を行った。その後の操作は地下水の場合と同様である。

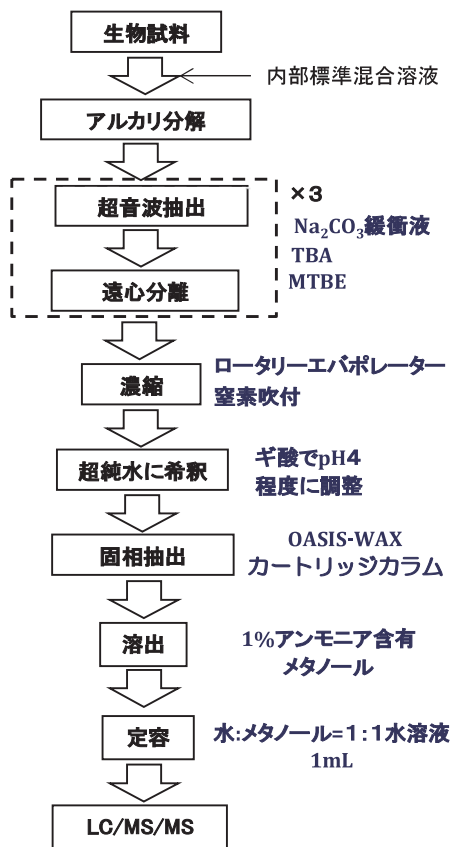


図3 分析フロー(生物試料)

3 結果と考察

(1) 都内地下水試料の測定

結果を表3に示す。PFCsのうちPFOSは、かつて多摩川で100ng/Lを超える濃度で検出されていたが、POPs条約への追加に伴って濃度が大幅に低減し、現在は10ng/L程度で推移している³⁾。これに対し地下水では、現在でも100ng/Lを超過する地点が存在しており、同条約追加後においても、表層水の場合と異なり、大きく濃度が低減しない地点があることが分かった。これに対し、骨格炭素数10以上であるパーフルオロドデカンスルホン酸(PFDS)やパーフルオロトリデカン酸(PFTrDA)等の長鎖PFCsは、検出濃度が低く、不検出の地点も多かった。これらの物質は、製造・輸入量や使用量等が明らかではない種類が多いものの、骨格炭素数が大きくなるにしたがい土壌への吸着性や生物蓄積性が高くなる傾向にある⁷⁻⁹⁾ため、地下浸透の際に長鎖PFCsは土壌に吸着する可能性も考えられた。

表2 LC/MS/MSによる分析条件

HPLC部	
装置	Waters製 Alliance2695
カラム	化学物質評価研究機構製 L-Column2 ODS (φ2.1mm×150mm、粒径3.5μm)
移動相	A:10mM酢酸アンモニウム溶液 B:アセトニトリル 0→5min A:B=55:45 5→10min A:55→5 B:45→95 linear gradient 10→15min A:5→55 B:95→45 linear gradient 15→20min A:B=55:45
流量	0.2mL/min
カラム温度	40°C
試料注入量	10μL
MS部	
装置	Waters製 Quattro PremierXE
イオン化法	ESI(ネガティブモード)
測定モード	MRM
イオン源温度	120°C
脱溶媒温度	350°C

表3 地下水中PFCs濃度一覧 (ng/L)

区部	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDAPFD	DoDAPFT	rDA
中央区	5.2	5.6	N.D.	5.2	N.D.	6.5	7.6	16	(1.5)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
港区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.5)	N.D.	0.8	(1.5)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
新宿区	7.5	N.D.	N.D.	(0.7)	N.D.	2.8	2.4	5.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
文京区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.4)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
台東区	5.8	24	N.D.	38	(0.4)	19	14	35	11	3.9	N.D.	N.D.	N.D.
江東区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.4)	N.D.	(0.5)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
品川区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.6)	(0.6)	2.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
目黒区	1.9	N.D.	N.D.	(1.0)	N.D.	N.D.	(0.5)	1.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
大田区1	(0.8)	(1.1)	N.D.	6.3	N.D.	2.8	2.6	6.3	3.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
大田区2	2.1	(1.8)	N.D.	17	N.D.	14.7	20	37	7.1	6.2	(0.6)	N.D.	N.D.
世田谷区1	(1.2)	2.6	N.D.	N.D.	N.D.	5.9	(0.6)	1.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
世田谷区2	2.1	3.4	N.D.	3.2	N.D.	2.2	2.2	8.4	2.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
世田谷区3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.6)	N.D.	(0.7)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
渋谷区	(1.5)	2.5	N.D.	89	N.D.	35	20	61	480	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
中野区	N.D.	(1.2)	N.D.	N.D.	N.D.	2.0	(0.6)	2.2	(1.1)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
杉並区	2.5	13	N.D.	21	N.D.	3.8	2.6	6.5	2.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
豊島区	N.D.	N.D.	N.D.	31	N.D.	1.6	1.2	6.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
北区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.3)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
荒川区	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.3)	N.D.	1.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
板橋区	2.1	2.5	N.D.	N.D.	N.D.	(0.6)	N.D.	1.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
板橋区	(1.1)	2.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
練馬区1	N.D.	N.D.	N.D.	(0.9)	N.D.	(0.5)	N.D.	(0.7)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
練馬区2	N.D.	(1.2)	N.D.	(1.4)	N.D.	(0.7)	(0.6)	2.1	(0.8)	(0.6)	N.D.	N.D.	N.D.
足立区1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.4)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
足立区2	N.D.	N.D.	N.D.	3.2	N.D.	20	25	9.7	3.9	2.8	1.4	(0.7)	N.D.
足立区3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.6)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
葛飾区1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.4)	N.D.	0.9	(0.9)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
葛飾区2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.3)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
江戸川区1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.5)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
江戸川区2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.6)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

多摩地区	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDAPFD	DoDAPFT	rDA
八王子市	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.5)	(0.7)	2.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
立川市	1.7	10	N.D.	4.5	N.D.	2.8	1.8	4.3	(1.7)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
武蔵野市	1.9	5.7	N.D.	7.1	N.D.	4.2	2.3	12	5.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
三鷹市	(1.3)	3.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.7)	1.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
青梅市	(1.1)	N.D.	N.D.	10	N.D.	1.2	1.3	7.9	4.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
府中市	4.7	30	N.D.	29	N.D.	8.0	4.5	10	3.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
昭島市	1.5	N.D.	N.D.	4.9	N.D.	1.4	1.0	4.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
調布市	N.D.	6.4	N.D.	7.0	N.D.	4.3	2.5	6.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
小金井市	N.D.	(0.8)	N.D.	(0.8)	N.D.	1.3	(0.5)	1.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
小平市	N.D.	3.2	N.D.	(1.6)	N.D.	1.4	(0.5)	1.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
日野市	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
東村山市	(1.2)	(1.1)	N.D.	6.3	N.D.	11	3.0	7.2	4.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
国分寺市	3.1	5.8	N.D.	5.3	N.D.	3.8	2.2	7.1	2.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
国立市	7.0	56	N.D.	85	N.D.	19	7.8	14	11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
福生市	13	110	4.0	150	N.D.	23	14	43	4.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
狛江市	5.5	22	N.D.	45	N.D.	41	17	15	21	(0.6)	N.D.	N.D.	N.D.
東大和市	(1.5)	3.6	N.D.	5.7	N.D.	3.8	4.0	7.1	4.0	(0.6)	N.D.	N.D.	N.D.
清瀬市	(1.4)	3.2	N.D.	6.1	N.D.	4.7	4.3	9.4	3.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
東久留米市	2.1	6.0	N.D.	15	N.D.	3.7	1.8	3.3	4.7	(0.8)	1.1	N.D.	N.D.
武蔵村山市	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
多摩市	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	(0.3)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
稲城市	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.4	1.5	6.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
羽村市	(1.1)	2.1	N.D.	6.9	N.D.	5.1	3.9	7.1	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
あきる野市	(1.1)	(1.4)	N.D.	10	N.D.	3.0	2.2	9.5	3.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
西東京市	8.0	47	N.D.	67	N.D.	22	9.7	15	6.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
瑞穂町	N.D.	N.D.	N.D.	(0.8)	N.D.	2.5	N.D.	1.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
日の出町	(0.9)	3.6	N.D.	5.0	N.D.	1.2	1.1	4.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
桧原村	N.D.	N.D.	N.D.	(1.5)	N.D.	0.8	1.0	1.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.:検出下限値未満

() 内の数値 : 検出下限値以上定量下限値未満

	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDAPFD	DoDAPFT	rDA
検出下限値	0.6	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3	0.8	0.5	0.4	0.5	0.5
定量下限値	1.6	2	1.9	1.7	1.1	0.8	0.9	0.8	2.2	1.2	1	1.3	1.2

(2) 土壌カラム浸透実験

土壌カラムでの浸透実験結果を図4に示す。PFBS や PFHxA 等の短鎖 PFCs は、土壌の層を速く通過した一方、骨格炭素数 10 以上の長鎖 PFCs は、フラクション 100 まで通水後（2L 通水した後）も検出されなかった。長鎖 PFCs は、前述のとおり LogPoW が大きいと、土壌に吸着しやすくなると考えられる。実際の地下水試料でも、長鎖 PFCs の検出地点数は、それ以外の PFCs の地点数より少ないことから（表3）、長鎖 PFCs は土壌中に吸着し、地中で滞留している可能性も考えられる。

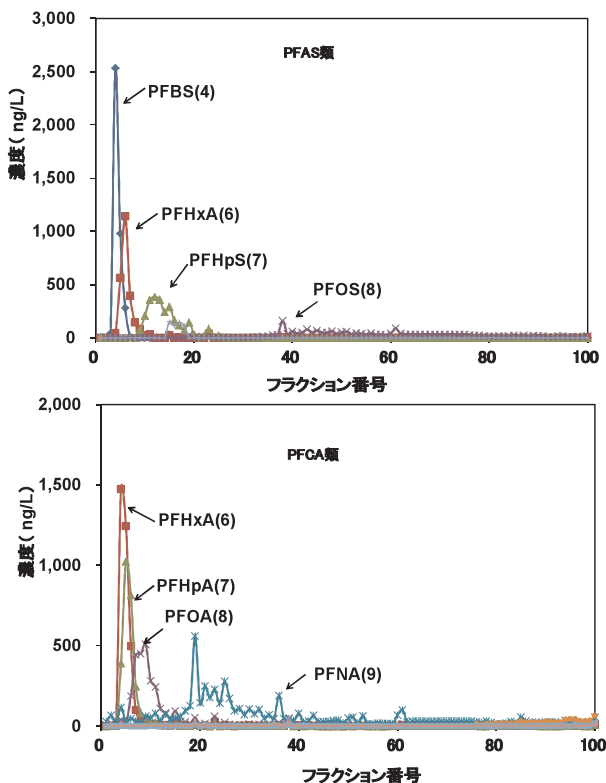


図4 PFCs 土壌カラム浸透実験結果

（上段：PFAS類、下段：PFCA類）

物質名後の（）内数値は、骨格炭素数

(3) 東京湾における媒体別（水質、底質、生物）における PFCs 存在比率の結果

東京湾に生息している生物試料（スズキ）中の PFCs データについて、2003、2005、2010、2012 年度の分をピックアップし、PFOS が POPs 条約に追加された 2009 年および PFOA の管理プログラムが発効された 2006 年の前後における濃度トレンドを調べることにした。結果を図5に示す。2003 年度以降、PFOS 濃度が減少傾向を示している。この背景としては、世界最大の PFOS 製造企業であった 3M 社が 2002 年以降その製造を中止する

とともに、国内でも製造・輸入量が減少してきたことが考えられる（2002 年度：10.2 トン、2007 年度：6.1 トン、2008 年度：5.5 トン¹¹⁾。また、2009 年 5 月にストックホルム条約の附属書 B 掲載物質に追加されたこと、および 2010 年に化審法の第 1 種特定化学物質に指定されたことにより、さらに PFOS の製造・使用量が減少し、環境中へ排出される量が少なくなったことが主要因として考えられる。一方、骨格炭素数 9 のパーフルオロノナン酸（PFNA）およびさらに長鎖の PFCs は、PFOS と異なり濃度の減少傾向が見られなかった。この結果は、多摩川に生息するコイ体内の蓄積状況を調査した結果報告と合致していた¹²⁾。長鎖 PFCs の国内における製造・輸入量に関して、PFNA、PFUnDA などは、データがないため不明だが、化審法監視化学物質である PFDoDA、PFTrDA は、2010、2011 年度においては 1 トン未満¹³⁾であり、2002 年度の PFOS の実績と比較すると少ない。しかし、生物濃縮係数⁷⁾、生体内半減期⁸⁾ともに長鎖になるほど高くなることから、PFOS のように排出削減の効果は現れにくいことが推察された。

さらに、生物試料採取箇所と同一地点における水質、底質試料の分析を行い、生物中 PFCs データとの存在比率を比較した。その結果、生物、底質試料において、PFOS とともに骨格炭素数 11 以上の長鎖 PFCs 類の存在割合が高いことが分かった。PFCA 類に関しては、骨格炭素数が大きくなるにしたがい、LogK_{oc} が高くなる傾向があり¹⁴⁾、実際に水-土壌間の存在比率を調べたところ、骨格炭素数が大きい物質ほど土壌中の比率が高くなるという報告²⁹⁾もある。これに対して水試料の場合は、PFOS、PFOA とともに、PFHxS といった短鎖 PFCs の割合が大きかった。短鎖 PFCs は、水への溶解性が高く、生物への蓄積性等が低いという報告がある。このため、国内外の各業界でも、PFOS、PFOA の代替品として、これらの物質を製造・使用している。上記の結果は、これらの背景を反映していると考えられる。

また、PFNA 等の長鎖 PFCs は、前述の EPA 管理プログラムの対象物質でもあるため、今後もその流域に生息する水生生物や高次の捕食動物についても詳細な調査が必要であると考えられる。

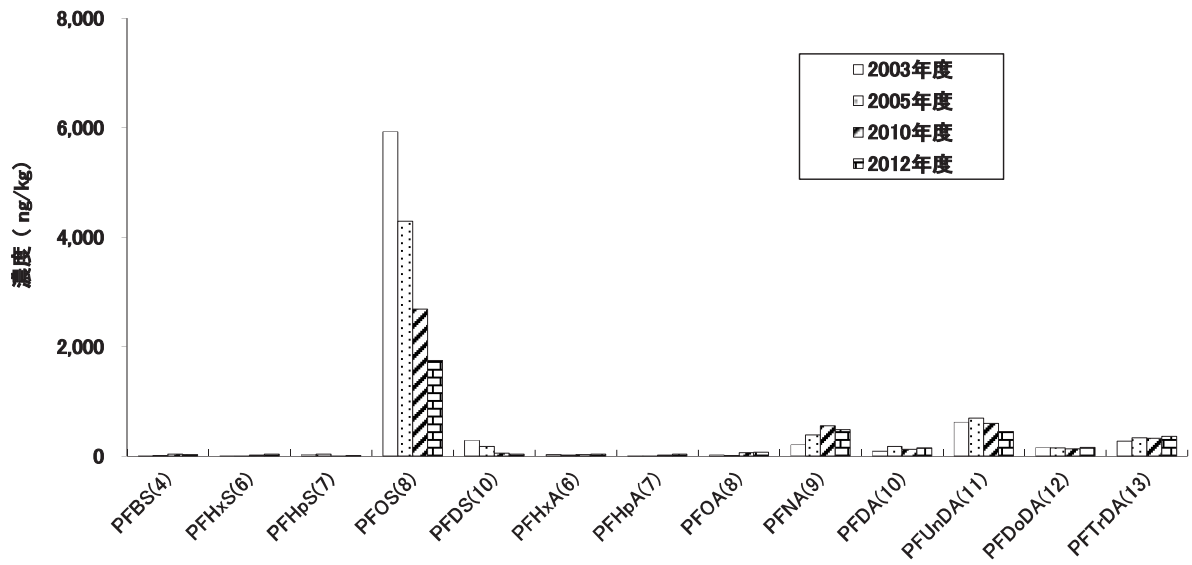


図5 東京湾内スズキ中の PFCs 濃度の変化
物質名後にある () 内数値は、骨格炭素数

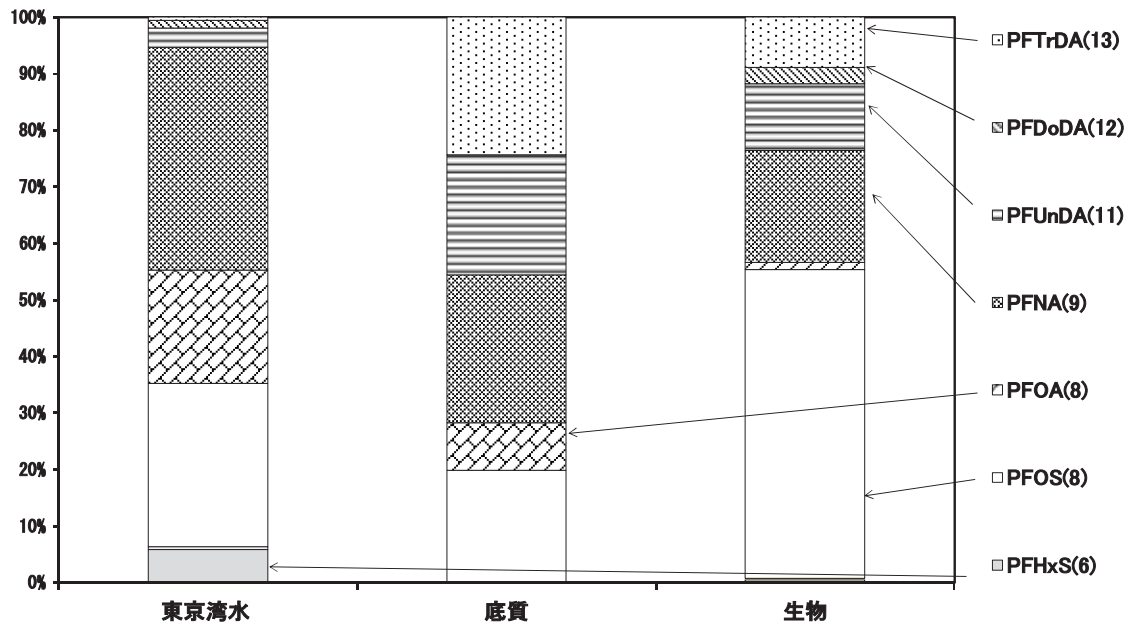


図6 同一地点（東京湾内）における媒体ごとの PFCs 存在比率
物質名後にある () 内数値は、骨格炭素数

4 まとめ

(1) 都内地下水中の PFCs 濃度実態を調査したところ、PFOS が現在でも 100ng/L を超える地点が存在する一方、PFUnDA、PFTrDA 等の長鎖 PFC は検出頻度、濃度レベルともに低かった。

(2) PFCs の土壌カラム浸透実験を行ったところ、PFBS、PFHxA 等の短鎖 PFC は素早く土壌を通過する一方、PFUnDA、PFTrDA 等の長鎖 PFCs は、フラクション 100 まで検出されず、土壌への高い吸着性が示唆された。

(3) 生物試料中の PFCs を分析したところ、PFCs 種類別の存在比率が水質試料と大きく異なり、長鎖 PFCs の割合が高かった。また、PFOS の濃度が経年的に減少傾向にあるのに対し、PFTrDA 等の長鎖 PFCs は、大きな変化は見られなかった。このため、今後の濃度の監視を継続するとともにスズキ以外の生物についても蓄積状況を調査する必要があると考える。

参考文献

- 1) 西野貴裕ら：都内水環境における PFOS の汚染源解明調査, 東京都環境科学研究所年報, pp. 18-23 (2008)
- 2) 西野貴裕ら：都内水環境における有機フッ素化合物の汚染源解明調査, 東京都環境科学研究所年報, pp. 3-9 (2009)
- 3) 西野貴裕ら：多摩川における PFOS 等の濃度変化の追跡調査, 東京都環境科学研究所年報, pp. 3-8 (2010)
- 4) <http://chm.pops.int/>
- 5) <http://www.epa.gov/oppt/pfoa/pubs/stewardship/>
- 6) 西野貴裕ら：多摩川水系における有機フッ素化合物の実態調査, 東京都環境科学研究所年報, 3-8 (2012)
- 7) 村上道夫, 滝沢智：フッ素系界面活性剤の水環境汚染の現況と今後の展望, 水環境学会誌, 33, pp103-114 (2010)
- 8) Omori, K., Kudoh, N., Katayama, K. and Kawashima, Y.: Comparison of the Toxicokinetics between perfluorocarboxylic acids with Different Carbon Chain Length, Toxicology: 184, pp. 135-40 (2003)
- 9) Andrew B. Lindstrom, Mark J. Strynar, Amy D. Delinsky, Shoji F. Nakayama, Larry McMillan, E. Laurence Libelo, Michael Neill, and Lee Thomas: Application of WWTP Biosolids and Resulting Perfluorinated Compound Contamination of Surface and Well Water in Decatur, Alabama, USA Environ. Sci. Technol., 45pp., 8015-8021 (2011)
- 10) Arp, H.P.H., Niederer, C. and Goss, K.C.: Predicting the partitioning behavior of various highly fluorinated compounds, Environ. Sci. Tech., 40, pp. 7298-7304 (2006)
- 11) 環境省：第 90 回中央環境審議会・環境保健部会・化学物質審査小委員会, 参考資料 3, ペルフルオロ (オクタン-1-スルホン酸) (別名 PFOS) 又はその塩など 12 物質について
- 12) 足立望, 村上道夫, 高田秀重：アジアの淡水魚類における有機フッ素系界面活性剤 (PFSs) の蓄積-汚染の拡がり と 経年変化-, 第 18 回環境化学討論会要旨集, pp. 554-555 (2009)
- 13) 経済産業省：監視化学物質の製造・輸入数量 http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/volume_monitorrev.html
- 14) Jenifer G. Sepulveda, Andrea C. Blaine, Lakshmi S. Hundaland, Christopher P. Higgins: Occurrence and Fate of Perfluorochemicals in Soil Following the Land Application of Municipal Biosolids, Environ. Sci. Technol. 45(19), pp. 8106-8112 (2011)