

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03394

研究課題名（和文）飛行時間型質量分析計を用いたペルフルオロアルキル化合物群の光分解反応の解析

研究課題名（英文）The environmental alteration of perfluoroalkyl substances by photodegradation

研究代表者

谷保 佐知 (Taniyasu, Sachi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員

研究者番号：00443200

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約の緊急課題となっているペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）やペルフルオロオクタン酸（PFOA）に代表されるペルフルオロアルキル化合物群（PFAS）の環境残留性を評価するため、PFAS水溶液とブランク試料として超純水を石英管に封かんし、キセノンアーク灯式ウェザーメータや自然環境下における促進耐光試験を実施し、PFASの分解率および分解生成物を液体クロマトグラフ飛行時間型質量分析計（LC-TOF-MS）を用いてPFAS全体で生じる段階的な光分解反応の解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで知見が大きく不足していたPFASの全球レベルの環境動態・残留性を理解するための重要パラメータである自然環境中光分解反応の解析を試みた。その結果、難分解性として知られるPFOAも光により分解し、また、飛行時間型質量分析計を用いたノンターゲット分析技術により、実環境下においても、PFOAや8:2FTOHから分解物として2H-PFCAやuPFCAが生成することを明らかにした。一方、ノンターゲット分析では多数の未知の分解産物が検出されたが、推定/同定できた化合物はごく一部であったため、今後、環境中での動態を明らかにするためには、未知の質量数を推定/同定する技術の進歩が期待される。

研究成果の概要（英文）：Perfluorooctanesulfonate (PFOS) and related perfluoroalkyl substances (PFAS) have been revealed as ubiquitous contaminants in the open environment. The most important nature of PFOS and perfluorooctanoic acid (PFOA) was “persistence” in the environment. Although several hypotheses regarding biological/ environmental breakdown (secondary formation) from precursors such as FTOHs (fluorotelomer alcohols) to PFOS and PFOA have been suggested, the evidence of photodegradation of perfluorosulfonic acids (PFSAs) and perfluorocarboxylic acids (PFCAs) themselves in the environment is not available to date. To elucidate photodegradation of PFAS that received intensive solar radiation, aqueous solutions of individual PFAS were exposure to solar radiation under three times of artificial UV irradiation (high irradiance experiments) and under natural environmental conditions (field experiment).

研究分野：環境分析化学

キーワード：ペルフルオロアルキル化合物 残留性有機汚染物質 光分解反応

## 1. 研究開始当初の背景

ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) やペルフルオロオクタン酸 (PFOA) に代表されるペルフルオロアルキル化合物群 (PFAS) は、2000 年に極域の野生動物血液から検出されて以来、外洋深層海水を含むその全球汚染が明らかとなった。PFAS は炭素数が C2~C12 のスルホン酸 (PFSA)、C2~C18 のカルボン酸 (PFCA) 及びアミド (FOSA)、フルオロテロマーアルコール (FTOHsh) 等の様々な関連物質の総称であり、POPs 条約・バーゼル条約等国際的有害物質管理・規制において最重要課題の一つとなっている。このリスク評価・安全な廃棄のために熱分解・生物分解反応研究が進められているが、分解反応についての報告は限られている。既報では、高濃度試料の触媒 (鉄・アルカリ等) 分解反応がほとんどであり、これは、地上に到達する太陽光の波長領域における PFOS 分子自体の光エネルギー吸収は理論的には無視できるほど小さく、触媒無しの自然環境中分解はあり得ないと考えられていたことが一因である。ところが、マウナケア山 (標高 4,200 m、ハワイ島) のすばる望遠鏡で行った野外実験から、ありえないと考えられていた触媒無しでの自然光分解反応が発見され、従来の光分解理論では十分説明できない「未知の光分解反応」が明らかとなった (Taniyasu, 2013)。この発見から PFAS の光分解反応研究が活発化し、OH 伸縮振動の 3 倍音励起等の禁制遷移による直接光分解、水和電子 ( $e_{aq}^-$ ) による脱フッ素化等の仮説が提唱されているが、現時点で決定的証拠は発見されていない。

PFAS の自然環境中光分解現象の理解を困難にしているのが PFOS 等を分子構造に含む数多くの前駆物質 (FOSA や FOSA 等) の存在であり、環境存在量が多いこれらの前駆物質が分解することで、比較的分解しにくい炭素数 C8 等のスルホン酸類/カルボン酸類が生成、これらがさらに時間をかけて炭素数 C6, C4 へ分解する段階的な光分解反応が予想される。また、従来研究では PFOS/PFOA (炭素数 C8) の分解/二次生成反応評価がほとんどであり、少数の個別化合物を触媒反応装置で分解し、定性的な反応経路を推測するのが限界である。これらの試験で分解産物同定に使用している X 線解析や ESI-MS 等は感度/質量数分解能が低いために、高濃度/金属触媒等の極端な条件下でなければ有意な結果が得ることは難しく、結果として実環境中の現象理解は困難であった。

## 2. 研究の目的

POPs 条約リスク評価書では、PFAS の全球レベルの環境動態・残留性を理解するための重要パラメータとして自然環境中光分解反応が指摘されているが、現時点で知見が大きく不足している。現在、PFOA の前駆物質も含めた PFOA 関連物質が POPs 候補物質として議論されているが、前駆物質の定義は各国で意見が異なり調整が困難な状況である。また今後、PFOS や PFOA 以外の関連物質も POPs 候補物質として議論されることが想定される。そのため、PFAS の自然環境中の光分解反応を理解し、化学的エビデンスを提供することは重要である。また、揮発性の前駆物質からフッ素または C-F 分子が脱落することで、より揮発性の高い分解産物が生成し、その一部が大気層へ分配、最終的にはオゾン層まで到達する潜在的危険性は、既に PFAS の熱分解試験 (Elis, 2001) で指摘されているにも関わらず、この発見を深化させた研究報告は現在までほとんど存在しない。本研究ではこの「未知の光分解反応」現象理解のために低濃度標準試料光分解産物の高感度網羅的解析を行う。

近年、多成分が存在する環境分析において、特定の化学成分の測定 (Target Analysis) だけでなく、飛行時間型質量分析計 (Time-of-Flight mass spectrometer; TOF-MS) 等による精密質量数スクリーニング技術を用いた不特定スクリーニング (Non-Target Analysis) が注目されている。しかし、この分析手法は現在も発展途上の段階であり、機器分析の条件検討や多数の不特定成分から特定の成分を抽出するための解析方法などの検討課題がある。本研究では、PFAS を対象とした Non-Target Analysis の分析技術を開発し、TOF-MS を用いた Non-Target Analysis による未知の PFAS 定性技術と、液体クロマトグラフタンデム質量分析計 (LC-MS/MS、ISO 21675 の方法に準拠) を用いた Target Analysis による超微量 PFAS 個別測定技術とを相互補完的に組み合わせる事で、PFAS 関連化合物の環境中での分解・二次生成反応の解明を試みる。

また本研究では、前駆物質・スルホン酸類・カルボン酸類を含む PFAS の低濃度標準物質 (水溶液) を石英管に封かんし、全波長人工太陽光分解装置による長期間分解試験を行う。これにより、エネルギー量の変化の有無等で、どのような分解産物が生成するかを解析することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) LC-TOF-MS を用いた PFAS を対象としたノンターゲット測定方法の開発

分解生成物の解析するため、LC-MS/MS を用いたターゲット分析と LC-TOF-MS を用いたノンターゲット分析を実施する。LC-MS/MS は PFAS の測定において、ISO 21675 などの国際標準分析法にも採用されるなど、一般に広く使用されている。しかし、LC-TOF-MS を用いたノンターゲット分析手法は現在も発展途上の段階である。LC-TOF-MS は、MS 部に導入される全ての物質の精密質量を測定できるのが利点である一方、装置由来のバックグラウンドも同時に測定されてしまう。

特に、PFAS は PTFE (通称テフロン) などに代表されるフッ素素材から容易に溶出してしまうため、PFAS の Non-Target Analysis を行うためには、何より PFAS のバックグラウンドを低減させることが重要である。そこで本研究ではまず第一に、フッ素樹脂パーツをステンレスや PEEK 素材などフッ素を含まないパーツに交換するなどして、装置由来の PFAS 関連物質のバックグラウンドの低減を試みた。また、測定対象である PFAS を正確に測定するため、装置由来のバックグラウンド成分を同定した。

LC-TOF-MS 装置は、LC 部は Agilent 1100 (Agilent) を、TOF 部は TripleTOF®4600 (Sciex) を用い、Information-Dependent Acquisition (IDA) で測定を行った。装置由来の PFAS 関連物質のバックグラウンドを低減するため、LC 部で使用されているフッ素樹脂パーツである PTFE 溶媒フィルター、PTFE チューブ、PTFE/Vespel ポンプシールを、ステンレスや PEEK 素材などフッ素を含まないパーツに交換し、交換前後の total ion chromatograms (TIC) を比較し、パーツ交換前後の機器ブランクを評価した。

また、パーツ交換前後のスペクトルを比較し、検出されたイオンの推定及び同定を試みた。TOF-MS で測定された親イオンの精密質量数や同位体比、娘イオンのスペクトルや精密質量数から、組成式又は構造式を推定した。さらに、標準物質が市販されている物質は、標準物質の LC での保持時間及び MS スペクトルの一致により同定した。

## (2) 耐光試験試料の PFAS 分解生成物の解析

キセノンアーク灯式ウェザーメータ (SX-75、スガ試験機株式会社製) を用いた促進耐光試験及び、実環境下での耐候試験により、PFAS の分解性を調査した。促進耐光試験では、PFBS、PFOS、PFBA、PFOA、PFDA、8:2FTOH を対象とし、実環境試験では、PFBS、PFOS、PFDS、FOSA、N-EtFOSA、PFBA、PFOA、PFDA、8:2FTUCA、8:2FTOH を対象とした。対象成分は、自然環境下で分解しないと考えられている PFOS および PFOA と、これらの前駆体となりえる成分を選定した。

促進耐光試験では、石英管に封かんした対象成分の低濃度水溶液を、キセノンアーク灯式ウェザーメータ (SX-75、スガ試験機株式会社製) を用いて、0 時間、200 時間、400 時間の試験を実施した。放射照度は  $180 \text{ W/m}^2$  (300~400 nm) で太陽光の約 3 倍の高照度とした。Milli-Q 水を石英管に封かんしたコントロール試料も、同様の試験を実施した。また、照射する UV 範囲をコントロールするため、フィルタなし (>275 nm の照射) の条件に加え、300 nm 以下の光をカットするフィルターあり (> 300 nm の照射) の 2 条件で照射を行った。

実環境下での耐候試験は、Beijing (中国)、Ruergai (中国)、Chennai (インド) で 2 千時間~8 千時間の試験を行った。Beijing (中国)、Ruergai (中国) においては、石英管に封かんした試料の他、石英ガラスに比べ UV-B (280-315 nm) の透過率が低い硼珪酸ガラスに封かんした試料も同様に試験した。

試料の測定には、LC-TOF-MS を用いた。測定方法として、MRMHR によるターゲット測定用の定量用メソッド (1 メソッド) および IDA を用いたノンターゲット測定の定性用メソッド (2 メソッド) を作成し、その基本パラメータを既知の PFAS 標準物質を用いて最適化した方法を用いて分析した。

## 4. 研究成果

### (1) LC-TOF-MS を用いた PFAS を対象としたノンターゲット測定方法の開発

LC 部で使用されているフッ素樹脂パーツ (PTFE 溶媒フィルター、PTFE チューブ、PTFE/Vespel ポンプシール) を、ステンレスや PEEK 素材などフッ素を含まないパーツへの交換により、Figure 1 に示すように、バックグラウンドレベルを低減することができた。

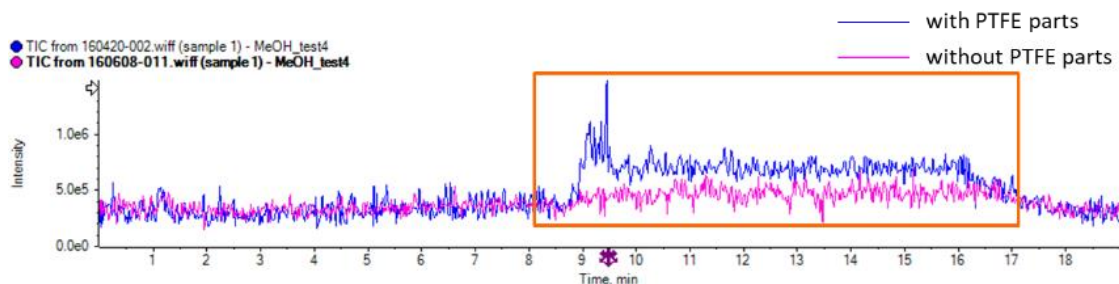


Figure 1 Instrumental blank with/without PTFE parts in the HPLC system

バックグラウンドの化合物の同定を行うため、市販の標準物質との比較等により、28 種類の化合物の同定または推定を行った (Table 1)。同定/推定した 28 種類のバックグラウンド化合物のうち、1 種類は 4-N-Buthylbenzenesulfonamide で、その他の 27 種類はフッ素を含有する化合物であった。

以上により、PFAS を LC-TOF-MS で解析する場合は、フッ素を含まないパーツに交換することが必須であり、これによりバックグラウンドレベルを低減できることを明らかにした。

Table 1 Identified/suspected instrumental contaminants of LC-TOF-MS (\* Identified chemicals by standard material)

Compound	Formula	Mass of [M-H]	Group name Formula Structure
PFPeA*	C5HF9O2	262.9760	PFCA $C_nH_{2n-1}O_2$ $F(CF_2)_{n-1}COOH$
PFHxA*	C6HF11O2	312.9728	
PFHpA*	C7HF13O2	362.9696	
PFOA*	C8HF15O2	412.9664	
PFNA*	C9HF17O2	462.9632	
3:2FTCA	C5H3F7O2	226.9949	FTCA $C_nH_3F_{2n-3}O_2$ $F(CF_2)_{n-2}CH_2COOH$
4:2FTCA	C6H3F9O2	276.9917	
5:2FTCA	C7H3F11O2	326.9885	
6:2FTCA	C8H3F13O2	376.9853	
7:2FTCA	C9H3F15O2	426.9821	
8:2FTCA	C10H3F17O2	476.9789	
9:2FTCA	C11H3F19O2	526.9757	FTUCA $C_nH_3F_{2n-4}O_2$ $F(CF_2)_{n-3}CF=CHCOOH$
4:2FTUCA	C6H2F8O2	256.9854	
5:2FTUCA	C7H2F10O2	306.9822	
6:2FTUCA	C8H2F12O2	356.9790	
7:2FTUCA	C9H2F14O2	406.9759	
8:2FTUCA*	C10H2F16O2	456.9727	H-PFCs $C_nH_2F_{2n-2}O_2$ $HCF_2(CF_2)_{n-2}COOH$
3H-PFPrA	C3H2F4O2	144.9918	
4H-PFBA	C4H2F6O2	194.9886	
5H-PFPeA	C5H2F8O2	244.9854	
6H-PFHxA	C6H2F10O2	294.9822	
7H-PFHpA*	C7H2F12O2	344.9790	
8H-PFOA*	C8H2F14O2	394.9759	
9H-PFNA*	C9H2F16O2	444.9727	
10H-PFDDA	C10H2F18O2	494.9695	
11H-PFUnDA	C11H2F20O2	544.9663	
12H-PFDDoDA	C12H2F22O2	594.9631	
4-N-Butylbenzene sulfonamide*	C10H15NO2S	212.0751	

(2) 耐光試験試料の PFAS 分解生成物の解析

促進耐光試験及び実環境下での耐候試験後の対象成分の残存率を Figure 2 に示す。いずれの試験でも、PFBS、PFOS、PFBA、PFOA、PFDA は顕著な分解が認められなかった一方、FOSA、N-EtFOSA、8:2FTUCA、8:2FTOH は試験後の分解率が高い傾向が見られた。さらに、促進耐光試験での PFOA、PFDA、8:2FTOH の残存率と、ターゲット分析で定量した分解物の生成割合を Figure 3 に示す。この結果、8:2FTOH については試験時間が長くなるほど、対象成分の残存率が低く（分解率が高く）なる傾向が観察されたが、PFOA と PFDA の残存率は試験時間によらずほぼ 100%であった。しかし、分解物の生成割合は、PFOA、PFDA、8:2FTOH のいずれにおいても時間の経過とともに増加する傾向が見られた。分解物の生成割合が最大 2%程度と低かったため、対象成分の分解率への影響が小さいものの、PFOA や PFDA も促進試験により分解することが明らかとなった。8:2FTOH は、400 時間の促進試験後には残存率が 40%程度で、60%程度が分解している様子が観察されたが、ターゲット分析で分析できた分解生成物の割合は 0.5%以下であり、ターゲット分析で測定対象としていない化合物が生成したものと考えられた。

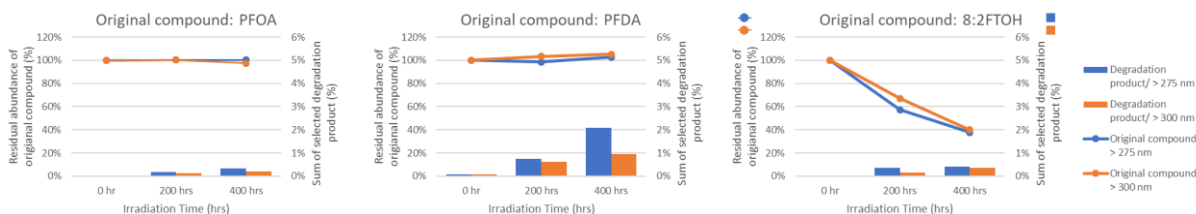


Figure 2 Residual abundance of original PFAS ( $C/C_0 \times 100\%$ )

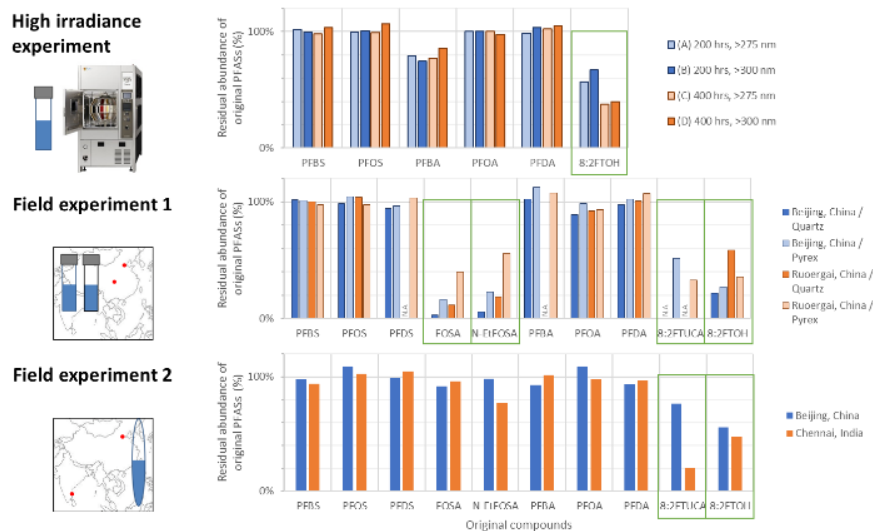


Figure 3 Amounts of original PFAS and degradation products by high irradiance experiment

次に、ターゲット分析では対象としていない分解生成物を解析するため、上述の同一の試料についてノンターゲット分析を行った。ノンターゲット分析で得られた質量プロット数を Figure 4 に示す。なお、質量プロットは、コントロール試料に比べ 10 倍以上の強度で検出された質量数のみをカウントした。その結果、8:2FOTH を除く PFAS の分解生成物の質量数は最大で 140 程度検出されたが、機器ブランクでも同程度のプロット数が検出されたことから、これらは機器ブランク由来によるものと考えられた。一方、8:2FTOH は最大で 1700 の質量数が検出された。このことから、8:2FTOH は他の PFAS よりも多数の未知の分解物が生成することが推定された。



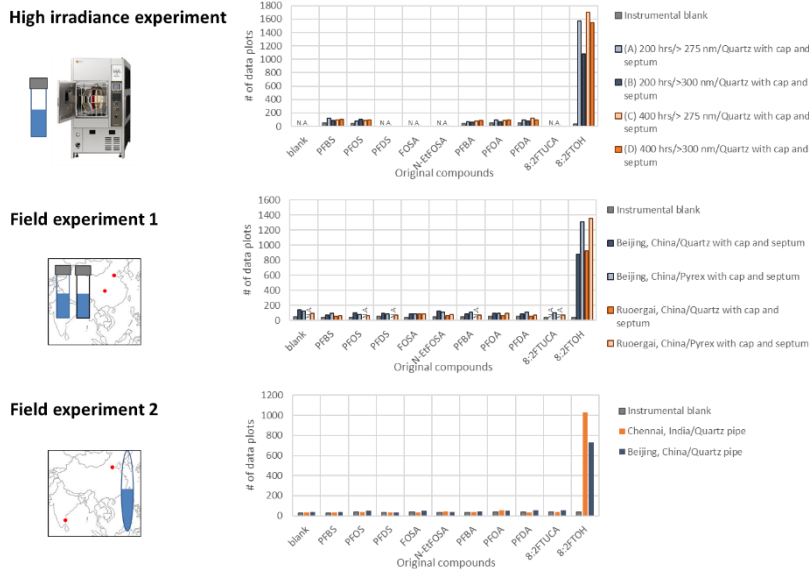
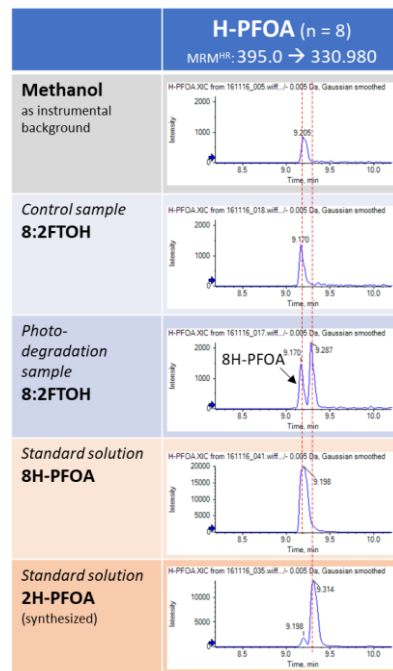


Figure 4 The number of data plots ten times higher intensity of control sample

ノンターゲット分析により検出された未知の分解生成物を同定するため、親イオンの精密質量数や同位体比、娘イオンのスペクトルや精密質量数から、組成式又は構造式を推定した。その結果、8:2FTOH や PFOA から、H-PFCA (C<sub>8</sub>H<sub>2</sub>F<sub>14</sub>O<sub>2</sub>) が分解生成していると推定された。Table 1 に示すように、8H-PFOA (CF<sub>3</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-COOH) が機器ブランクとして検出されることを既に明らかにしているが、8:2FTOH の耐光試験試料からは、8H-PFOA と同じ質量数 (395>331) であるが、異なる LC の保持時間のピークが検出されている (Figure 5)。この未知ピークは、機器ブランクからもコントロール試料からも検出されていないため、8:2FTOH の分解物として生成したと考えられる。この未知ピークを同定するため、Chang Ming HU and Ming Hu TU (1992) の方法を用いて、2H-PFOA (CF<sub>3</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-COOH) を合成した。その結果、この未知ピークは、合成した 2H-PFOA と保持時間 (Figure 5)、精密質量数、MSMS スペクトルも一致したことから、2H-PFOA と同定された。同様に、合成した uPFOA (CF<sub>3</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-CF=CF-COOH) を用いて、8:2FTOH の耐光試験試料から uPFOA が分解生成していることを明らかにした。なお、2H-PFOA 以外にも、機器ブランクでは検出されなかった H-PFCA (C<sub>n</sub>H<sub>2</sub>F<sub>2n-2</sub>O<sub>2</sub>) が、耐光試験試料からのみ検出されたことから、標準試料を用いた同定は行わなかったものの、2H-PFCA が分解生成物として生成しているものと推定された。また、2H-PFOA は、PFOA の耐光試験試料からも検出された。

Figure 5 Identification of un-known of H-PFCAs (C<sub>8</sub>H<sub>2</sub>F<sub>14</sub>O<sub>2</sub>) from photo-degradation sample of 8:2 FTOH



以上により、ターゲット分析では、耐光試験後に、PFOA や PFDA も促進試験により数%と低いものの分解物が生成していることを明らかにした。8:2FTOH は、400 時間の促進試験後には残存率が 40%程度で、60%程度が分解している様子が観察されたが、ターゲット分析で分析できた分解生成物の割合は 0.5%以下であり、ターゲット分析で測定対象としていない化合物が生成したのと考えられた。

ノンターゲット分析では、8:2FTOH からは多数の未知分解物が生成していることが明らかになり、ターゲット分析と同様に結果を示した。ノンターゲット分析で得られた未知の質量数の化合物の推定/同定を試みた結果、H-PFCA が分解生成していることが推定され、また合成した標準試料との比較により 2H-PFOA と uPFOA が分解生成物であると推定することができた。2H-PFOA と uPFOA はこれまで環境試料からの測定の報告がないが、PFCAs や FTOHs から環境中で分解生成していると推定されるため、今後のモニタリングが必要になると考えられる。また、今回ノンターゲット分析では 1700 を超える質量数が検出されたが、同定できた質量数は H-PFCA や uPFCA およびターゲット分析で対象としている成分のみであった。今後は、環境中での動態を明らかにするため、未知の質量数を推定/同定する技術の進歩が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 9件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Wang Xinhong, Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 272
2. 論文標題 Per- and polyfluoroalkyl substances in surface water, gas and particle in open ocean and coastal environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 129869 ~ 129869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2021.129869	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
1. 著者名 Troeger Rikard, Ren Hanwei, Yin Daqiang, Postigo Cristina, Nguyen Phuoc Dan, Baduel Christine, Golovko Oksana, Been Frederic, Joerss Hanna, Boleda Maria Rosa, Polesello Stefano, Roncoroni Marco, Taniyasu Sachi, Menger Frank, Ahrens Lutz, Yin Lai Foon, Wiberg Karin	4. 巻 198
2. 論文標題 What's in the water? - Target and suspect screening of contaminants of emerging concern in raw water and drinking water from Europe and Asia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water Research	6. 最初と最後の頁 117099 ~ 117099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.watres.2021.117099	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Wu Rongben, Lin Huiju, Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Soerengaard Mattias, Ahrens Lutz, Lam Paul K.S., Eun Heesoo, Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 280
2. 論文標題 Simultaneous analysis of neutral and ionizable per- and polyfluoroalkyl substances in air	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 130607 ~ 130607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2021.130607	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
1. 著者名 Lin Huiju, Taniyasu Sachi, Yamazaki Eriko, Wei Si, Wang Xinhong, Gai Nan, Kim Jin Hyo, Eun Heesoo, Lam Paul K. S., Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 54
2. 論文標題 Per- and Polyfluoroalkyl Substances in the Air Particles of Asia: Levels, Seasonality, and Size-Dependent Distribution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 14182 ~ 14191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.0c03387	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

1. 著者名 Lalwani Dipa, Ruan Yuefei, Taniyasu Sachi, Yamazaki Eriko, Kumar Nirmal J.I., Lam Paul K.S., Wang Xinhong, Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 200
2. 論文標題 Nationwide distribution and potential risk of bisphenol analogues in Indian waters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecotoxicology and Environmental Safety	6. 最初と最後の頁 110718 ~ 110718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoenv.2020.110718	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

1. 著者名 Yu Nanyang, Wen Haozhe, Wang Xuebing, Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Yamashita Nobuyoshi, Yu Hongxia, Wei Si	4. 巻 54
2. 論文標題 Nontarget Discovery of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Atmospheric Particulate Matter and Gaseous Phase Using Cryogenic Air Sampler	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 3103 ~ 3113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.9b05457	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

1. 著者名 Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Ruan Yuefei, Wang Qi, Petrick Gert, Tanhua Toste, Gamo Toshitaka, Wang Xinhong, Lam Paul K.S., Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 231
2. 論文標題 Vertical distribution of perfluoroalkyl substances in water columns around the Japan sea and the Mediterranean Sea	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 487 ~ 494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2019.05.132	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

1. 著者名 Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Noborio Kosuke, Eun Heesoo, Thaker Pooja, Kumar Nirmal J.I., Wang Xinhong, Yamashita Nobuyoshi	4. 巻 231
2. 論文標題 Accumulation of perfluoroalkyl substances in lysimeter-grown rice in Japan using tap water and simulated contaminated water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 502 ~ 509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2019.05.022	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

1. 著者名 Sachi Taniyasu, Eric J. Reiner, Nicole Riddell, Eriko Yamazaki, Nobuyoshi Yamashita	4. 巻 80
2. 論文標題 Interlaboratory trial for validation of ISO 21675 for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ORGANOHALOGEN COMPOUNDS	6. 最初と最後の頁 1036-1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Taniyasu Sachi, Yamashita Nobuyoshi, Yamazaki Eriko, Kannan Kurunthachalam
2. 発表標題 The environmental alteration of perfluoroalkyl substances by photodegradation
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MAKHIJA Lalwani Dipa, Yamazaki Eriko, Lin Huiju, Ruan, Yuefei, Taniyasu Sachi, Kumar NimarI, Gai Nan, Yang Yong, Lam K.S. Lam Yamashita Nobuyoshi
2. 発表標題 Distribution of perfluorocarboxylic acids associated with atmospheric particulate matter from Asian countries
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lin Huiju, Yamazaki Eriko, MAKHIJA Lalwani Dipa, Ruan, Yuefei, Taniyasu Sachi, Yamashita Nobuyoshi, Lam K.S. Paul
2. 発表標題 Application of cryogenic air sampler to monitor per- and polyfluoroalkyl substances in the atmosphere
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Yamazaki Eriko, Taniyasu Sachi, Ruan Yuefei, Wang Qi, Petrick GErt, Tanhua Toste, Gamo Toshitaka, Wang Xinhong, Lam K.S. Lam, Yamashita Nobuyoshi
2. 発表標題 Potential input of PFAS into the Japan Sea
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (Dioxin 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sachi Taniyasu, Nobuyoshi Yamashita
2. 発表標題 The international standardization for determination of poly and per-fluorinated alkyl substances (PFASs) in water samples
3. 学会等名 the 4th International conference on Environmental Pollution and Health (ICEPH) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷保 佐知
2. 発表標題 水試料中のペルフルオロアルキル化合物測定方法の標準化
3. 学会等名 第27回環境化学討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷保 佐知
2. 発表標題 水試料中ペルフルオロアルキル化合物一斉分析の課題と国際標準規格化
3. 学会等名 平成30年度 産総研 エネルギー・環境シンポジウム「水環境の評価、修復およびそれを支える計測技術」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sachi Taniyasu, Eric J. Reiner, Nicole Riddell, Eriko Yamazaki, Nobuyoshi Yamashita
2. 発表標題 Interlaboratory trial for validation of ISO 21675 for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water
3. 学会等名 the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs)
4. 発表年 2018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

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			
米国	Wadsworth Center I			
中国	南京大学	廈門大学	香港城市大学	
スウェーデン	Orebro University			
インド	ISTAR			