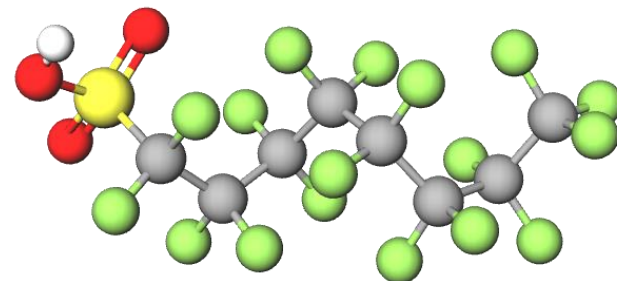
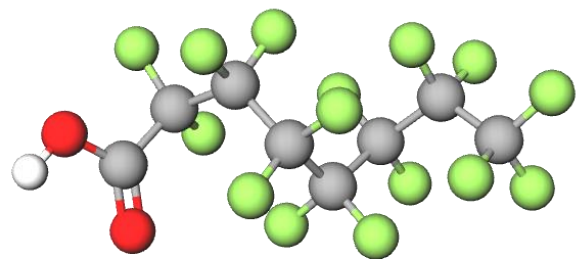


広がるPFAS汚染 私たちの体も汚染されている

京都大学医学研究科
原田浩二



報告の概要

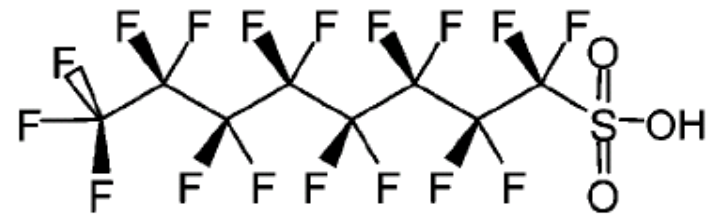
- PFAS汚染の背景
- 2000年代の調査事例
- 曝露と健康影響
- 沖縄での事例
- 今後に向けて

PFASとは？

(**p**er- and poly**f**luoro**a**lky**l** **s**ubstances)

- ペル／ポリフルオロアルキル物質
- 水素ではなくフッ素で覆われた
ペルフルオロアルキル鎖Rfを持つ
Rf基: $\text{CF}_3-(\text{CF}_2)_n-$
- 用途に合わせた種々の官能基
カルボン酸、スルホン酸、リン酸、...
- 単量体、重合体

- 特に注目されている2物質
ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)
ペルフルオロオクタン酸 (PFOA)



PFAS類の用途

- 撥水撥油コーティング剤
- 泡消火剤
- 半導体フォトレジスト
- 金属メッキ槽のミスト抑制剤
- アリ誘引殺虫剤の有効成分
- 航空機油圧作動油の抗腐食剤
- フッ素樹脂製造時の加工補助剤



Firefighters from the 71st Civil Engineer Squadron and the 41st Air Force Base Fire Department participate in live fire training exercises April 2, 2014, at Dyess Air Force Base, Texas. (U.S. Air Force photo by Senior Airman Kim Kistner/Released)



PFASsの利用と汚染

- 1940年代に3Mによって開発された。
- 過去の日本の一般住民の血液の分析によりPFOAに関しては1975年頃より曝露がはじまった
- PFOSに関しては1975年以前には既に導入されており、1960年代から曝露がはじまったと考えられる。
- 2000年代初頭には、PFOSおよびPFOAとも主要メーカーの製造撤退により曝露は減少
- PFASの性質である環境残留性により各地で深刻な地下水や土壌汚染が継続しており健康影響が懸念
- PFOS/PFOA以外のPFASは依然使用されている

PFOA・PFOS問題の発覚

- ペルフルオロ化合物の環境汚染の懸念が指摘
(Key et al., ES&T, 1997)
- 2000年5月、3M社がPFOA・PFOS生産の
2002年までの自主的廃止を発表
- 理由
- 環境残留性
- 生物蓄積性
- 有害性は認めていない

3M to Discontinue Some Scotchgard Repellent Products

BY CAROLINE E. MAYER AND DAVID BROWN

MAY 17, 2000 12 AM PT

WASHINGTON POST

3M Co. announced Tuesday it would stop making many of its well-known Scotchgard stain-repellent products after finding that one of the chemical compounds used to make the products persists in the environment and is found in the bloodstream of people worldwide.

The substance, perfluorooctane sulfonate, is released in minute quantities by products as various as water-repellent coatings and fire-suppressing foams. It is made almost entirely by 3M, the huge St. Paul-based firm known formally as Minnesota Mining & Manufacturing Co.

SUBSCRIBERS ARE READING >

FOR SUBSCRIBERS

So you want to build an ADU in Cal
Here's what you need to know

L.A. must add more than 250,000 |
zoning plan by October, state rules

CDC relaxes guidelines for masks b
recommends them in L.A. County

FOR SUBSCRIBERS

'The One' mega-mansion is up for ;
Whoever buys it may soon have a r

PFOA/PFOSの生物蓄積

- 世界各地で海棲ほ乳類・鳥類・魚類で検出
(Giesy and Kannan, 2001)
遠隔地でも経年的増加は顕著
(ウミバト、ホッキョクグマ)
- PFOS
生物濃縮係数 ~10,000
(Morikawa et al, 2006)
- PFOAは野生生物での蓄積は低め

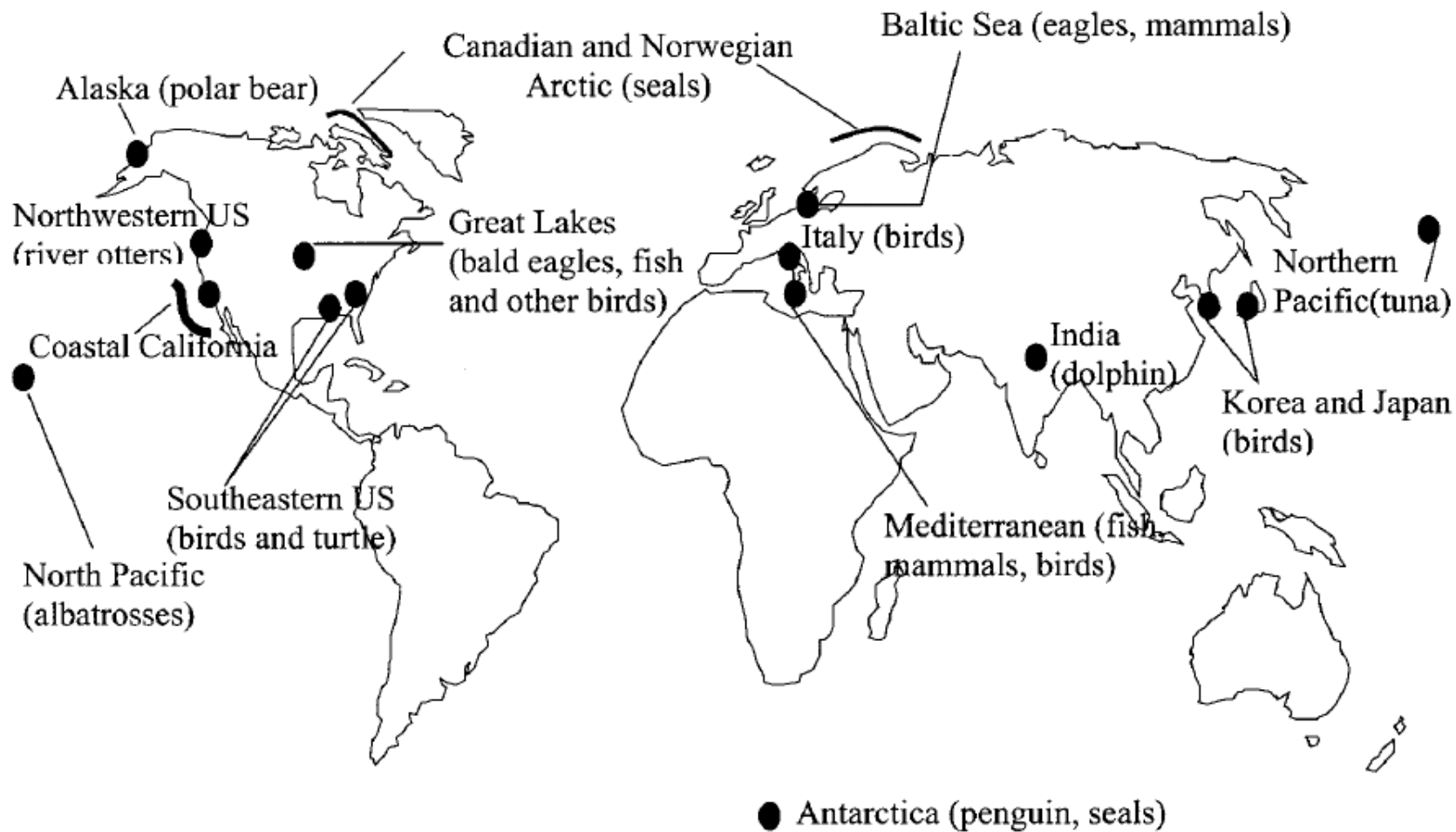


FIGURE 2. Sampling locations of wildlife to monitor fluorinated organic compounds.

Giesy, J.P., Kannan, K., 2001. Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. *Environ Sci Technol* 35, 1339-1342.

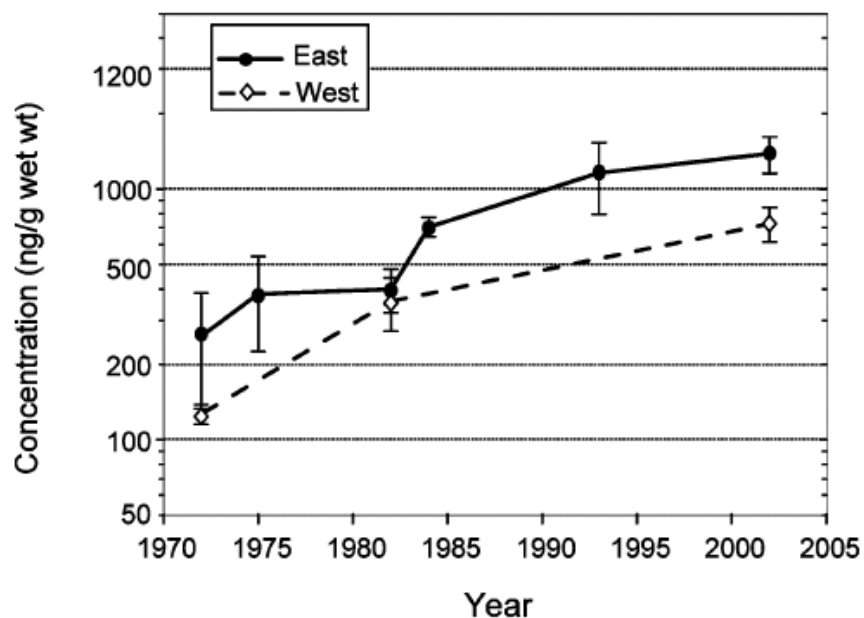


FIGURE 1. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) concentrations (ng/g wet weight) in polar bear liver tissues from an eastern location around northern Baffin Island, Canada, and a western location around Barrow, Alaska, between 1972 and 2002. Doubling times and significance parameters from the regressions are found in Table 1. Vertical bars indicate 95% confidence intervals.

Smithwick, M. et al., 2006. Temporal trends of perfluoroalkyl contaminants in polar bears (*Ursus maritimus*) from two locations in the North American Arctic, 1972-2002. *Environ Sci Technol* 40, 1139-1143.

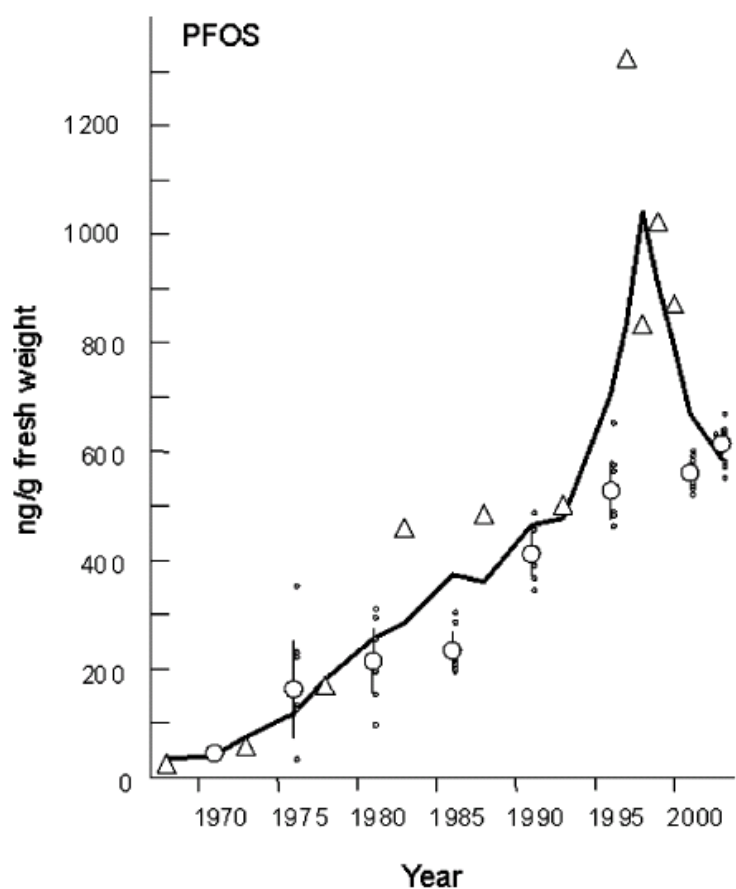


FIGURE 2. Temporal trend in PFOS concentrations in guillemot eggs from the Baltic Sea, 1968–2003. Arithmetic mean values (circles), values from pooled samples of 8 individuals (triangles), and values from the individual eggs (dots) are shown. The error bars represent 95% confidence interval of the arithmetic mean values. The line illustrates a three-point running mean smoother ($p < 0.001$).

Holmstrom, K.E. et al., 2005. Temporal trends of PFOS and PFOA in guillemot eggs from the Baltic Sea, 1968–2003. *Environ Sci Technol* 39, 80-84.

PFOAとPFOS、PFHxSの規制状況

ストックホルム条約（POPs条約：残留性有機汚染物質に関する条約）

日本など条約を締結している加盟国は、対象となっている物質について、各国がそれぞれ条約を担保できるように国内の諸法令で規制

POPs条約対象物質(2022年3月現在)

付属文書A（廃絶） 27物質の中にPFOA

付属文書B（制限） 3物質の中にPFOS（エッセンシャルユースあり）

現在審議中 ペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)とその塩及びPFHxS関連物質

新規提案 長鎖ペルフルオロアルキルカルボン酸とその塩

国内での規制など(2021年9月現在)

化審法 第一種特定化学物質指定 PFOS、PFOA（2021年10月施行）

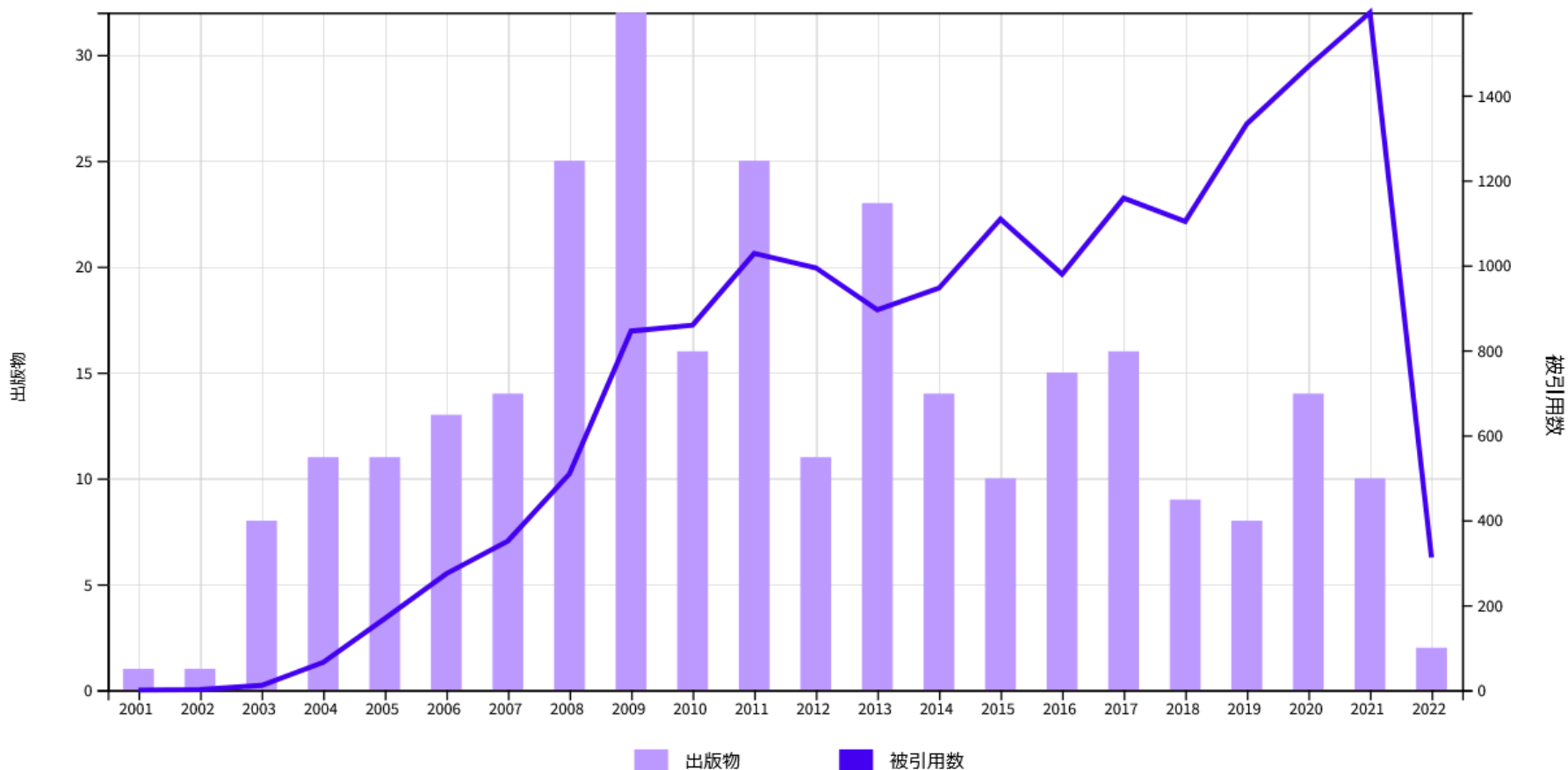
水道水質管理目標設定項目（PFOS+PFOA） 50 ng/L（2020年4月）

水質環境基準健康項目 暫定指針値(PFOS+PFOA) 50 ng/L（2020年5月）

日本での研究状況 (“PFOS”)

被引用数と出版物数（推移）

ダウン
ロード



河川水のPFAS分布

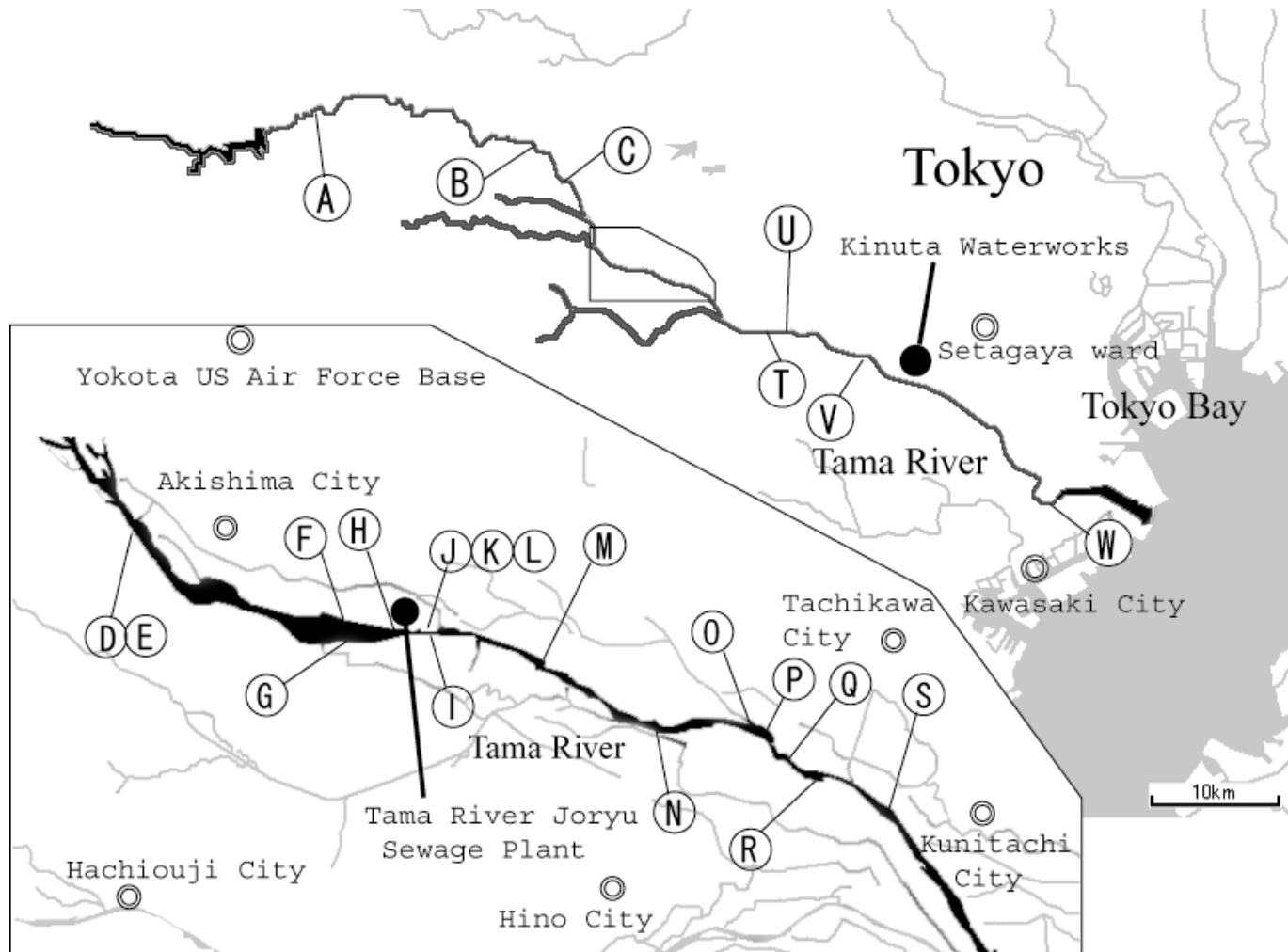
- 全国79河川 (2002年、2003年調査)
PFOAは大阪近辺で高濃度
- 水道水でも関西地域で高め



(Saito et al., AECT 2003; J Occup Health 2004)



2002年の多摩川調査



A-IまでPFOSは10 ng/L以下、M-Wは36から157 ng/L
砧浄水場からの水道水は43から50 ng/L

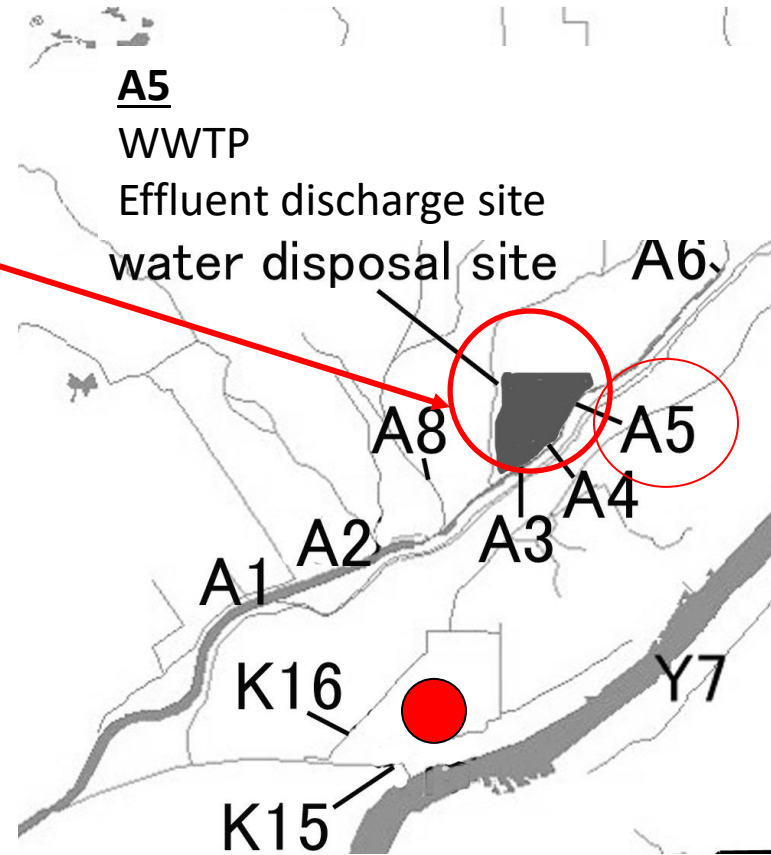
(Harada et al., BECT 2003)

航空関連施設周辺での汚染

- PFAS問題の初期から、ミシガン州Wurtsmith空軍基地の消火訓練場、トロント・ピアソン国際空港での汚染が報告されていた
- 日本国内でも大阪国際空港（伊丹空港）の周辺河川、横田基地に近い多摩川上流下水処理場（現・多摩川上流水再生センター）放流水でPFOS濃度が高かった

大阪の下水処理場からの高濃度PFOA放流

Loc	PFOA (ng/L)	PFOS (ng/L)
Ai river WWTP		
A1	19400	11.7
A2	24080	9.1
A3	39500	8.3
A4	42950	6.1
A5	67000	13.0
A6	124	1.9
A7	76.0	1.8
A8	3750	20.2



フッ素樹脂製造工場

(Saito et al., J Occup Health 2004)



京・阪・神で水質汚染

高レベル有機フッ素水道水に

住民の血中濃度突出

京大チーム調査

動物実験によって発がん性が指摘されている有機フッ素化合物の一種による水質汚染が全国的に広がり、特に大阪市や京都市、兵庫県西宮市などでは、水道水や住民の血中濃度も極めて高くなっていることが、京都大学大学院医学研究科の小泉昭夫教授(環境衛生学)らのグループによる調査で分かった。検出されたのはパーフルオロオクタン酸(PFOA)という物質。国による環境基準なども定められておらず、専門家は汚染源の特定や人体への影響など詳しい調査の必要性を指摘する。(29面に関連記事)

PFOAは、調理器具Aを検出した。ほとんど、ある下水処理場の処理水や繊維製品などに集積や汚れが付かないようにする加工、撥水剤などのフッ素関連製品の製造過程で、環境中に放出されると考えられている。

小泉教授によると、北海道から九州までの約80カ所の河水水を調査した結果、全地点でPFOAが検出された。中でも、大阪府の淀川水系の安威川(淀川)で最も高濃度だった。周辺地域を調べたところ、淀川支流の安威川に、川では140ナノグラム、兵庫県の猪名川で456ナノグラムと他地域に比べて高濃度だった。

大阪市の水道水からは40ナノグラム、京都市の水道水からは5・4ナノグラムを検出した。さらに大阪や京都、西宮(兵庫県)、仙台、高山(岐阜県)など全国10カ所で計200人について血中のPFOA濃度(血液1リットル中の濃度)を調べたところ、他の地域が3・0ナノグラム以下だったのに対して、大阪

で14・5ナノグラム、京都で10・5ナノグラム、西宮で11・9ナノグラムという高いデータを検出した。

水道水では、大阪市の濃度は仙台市の数百倍。大阪市などの血中濃度は、国際的にも一桁高い値で、人体汚染は飲料水の汚染が原因とみられるという。

京阪神地域での汚染源の詳細は不明だが、研究グループには琵琶湖・淀川水系周辺には複数の汚染源があると推定。下流に行くにつれてPFOAの濃度が高まり、最終的には、水処理場などで、高濃度の汚染された水が集まる下流の水処理場などで、高濃度の汚染となる可能性が高いとみている。

高濃度のPFOA汚染が確認された近畿圏の3河川

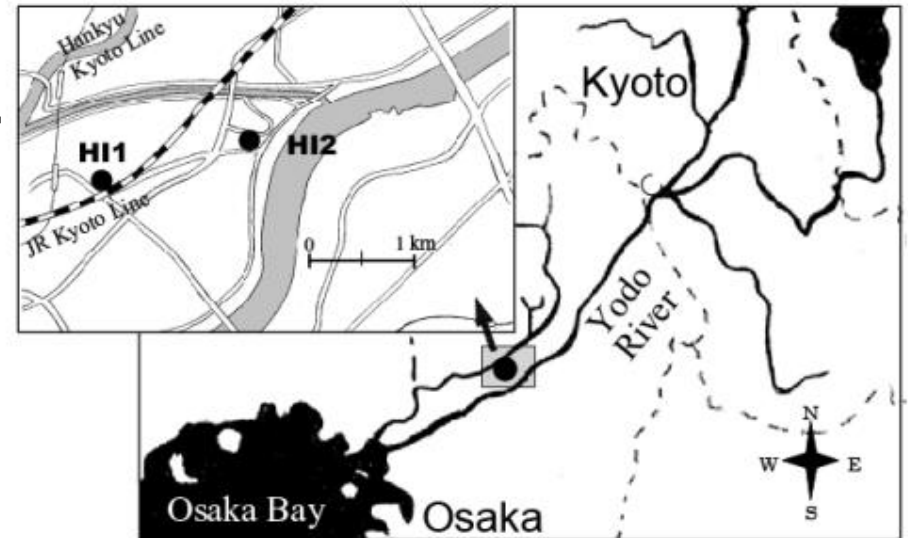


パーフルオロオクタン酸(PFOA) 一種。動物実験で発がん性や発達障害への影響、発がん、肥満との関連が指摘されている。日本や欧米などの人間の血液や尿に蓄積し、環境中に広く分布している。極域の生物など広範囲の環境汚染が問題化。欧米では生産規制が検討され、日本の3社を含む世界のフッ素樹脂メーカーが昨年、米環境保護局と共同で、環境への排出削減に自主的に取り組むことになった。環境省の調査でも河川水、大気、食物など



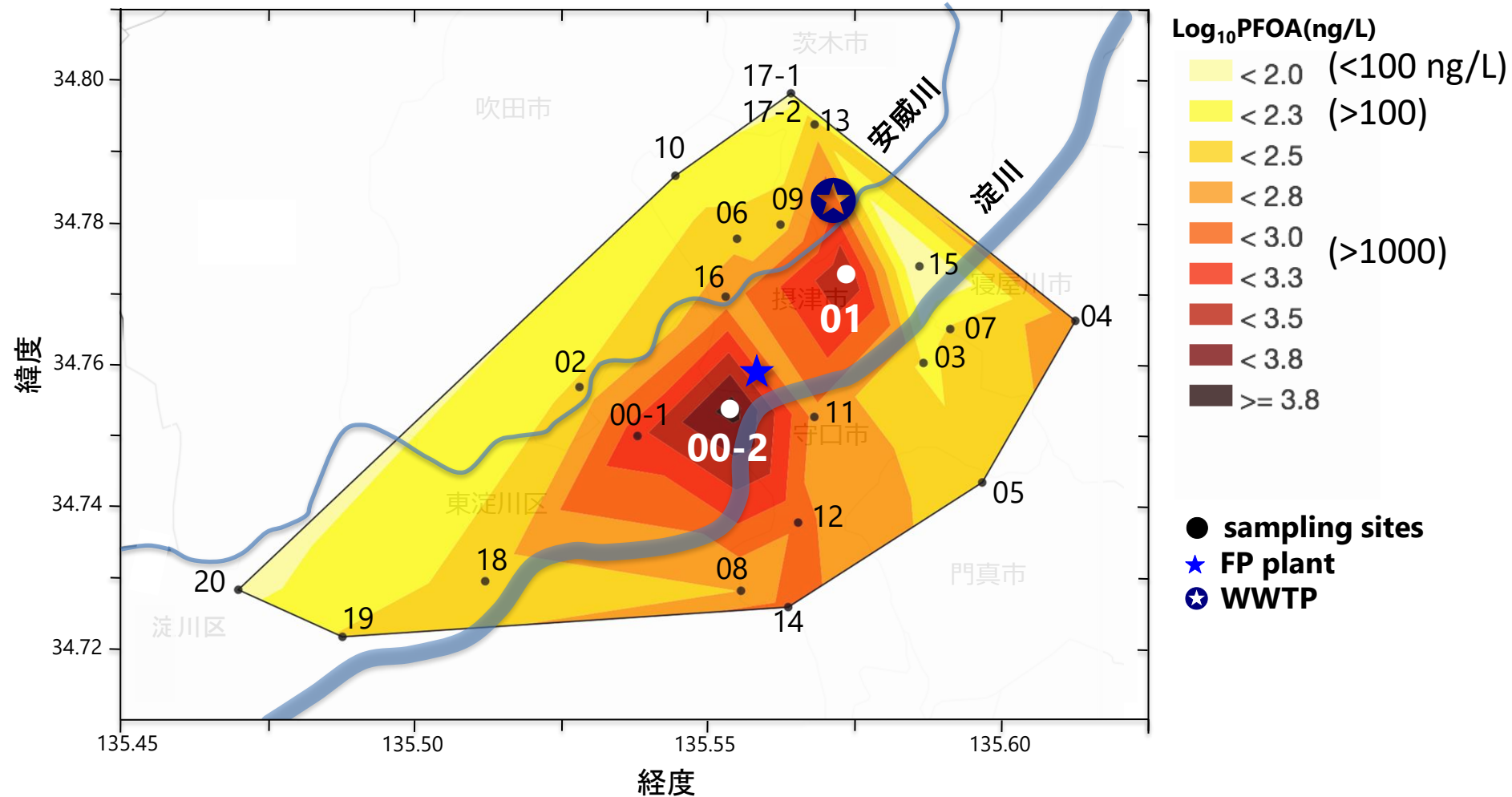
周辺地下水の汚染(2007)

- HI1
PFOA: 8300 ng/L
PFOS: 140 ng/L
- HI2
PFOA: 57000 ng/L
PFOS: 10 ng/L



地下水中のPFOA (2016年調査)

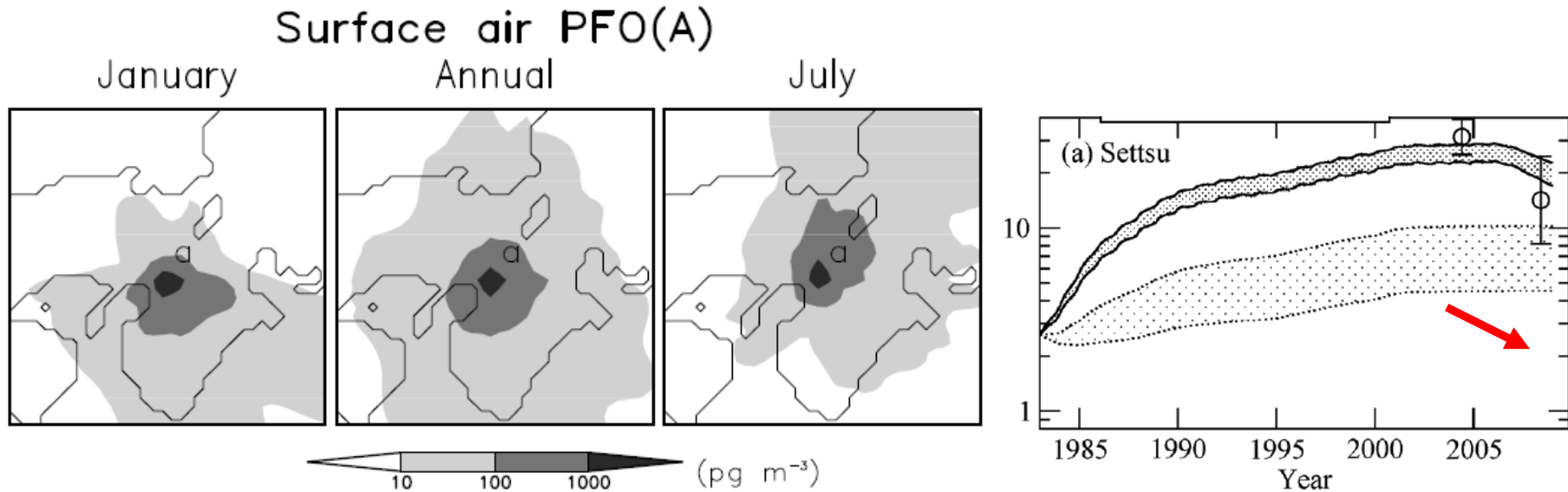
(1) PFOA



(Shiwaku et al., Chemosphere 2016)

大気拡散モデルによるPFOA予測

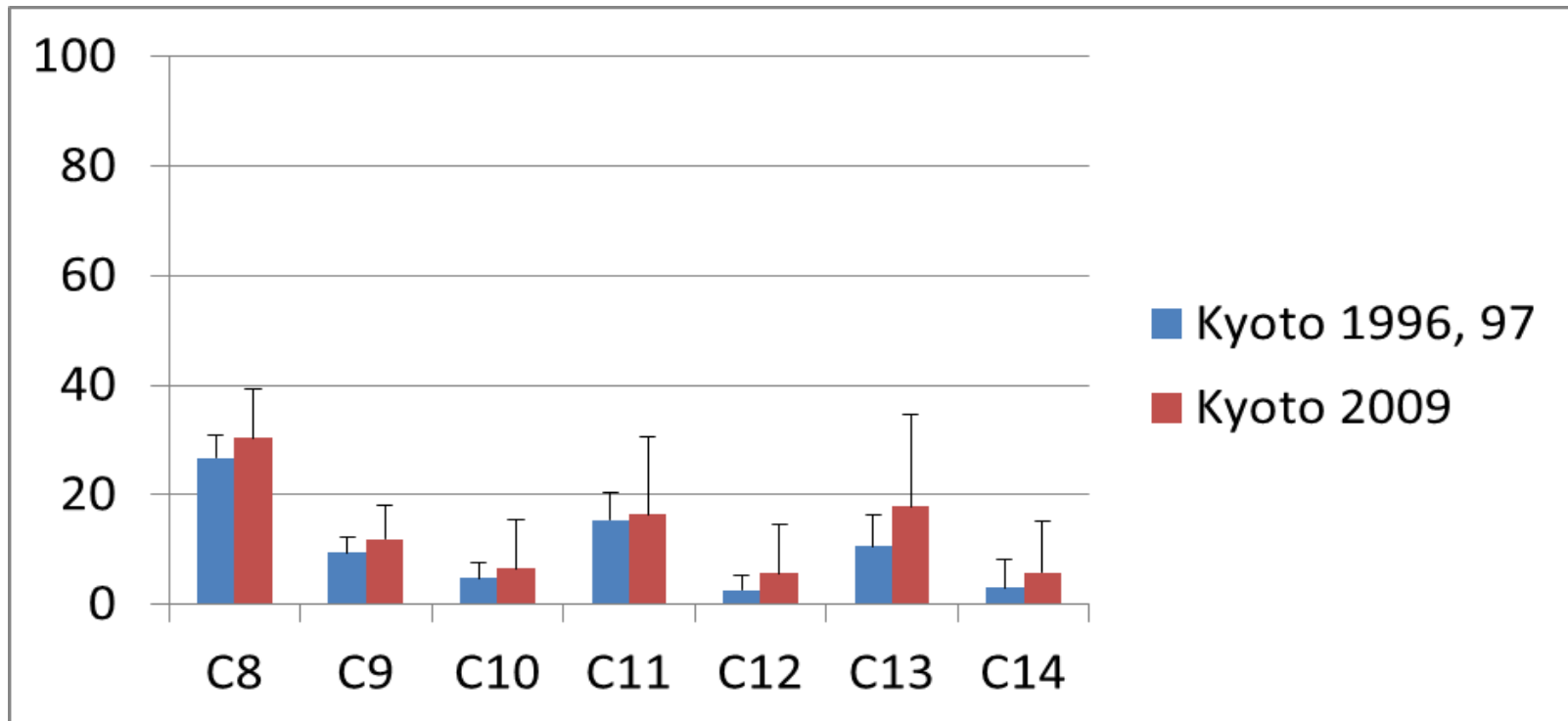
- 樹脂製造量から大気放出量を推定



工場周辺では大気中濃度がng/m³レベルを超え、周辺住民での血中高濃度PFOAを説明できた

PFOAの自主規制後、大気中濃度は下がり、血中濃度も下がりつつあった

食事からのPFAS摂取量(ng/day)



Fujii Y, Harada KH, Koizumi A. Environ Sci Technol 2012;46:11235-42.

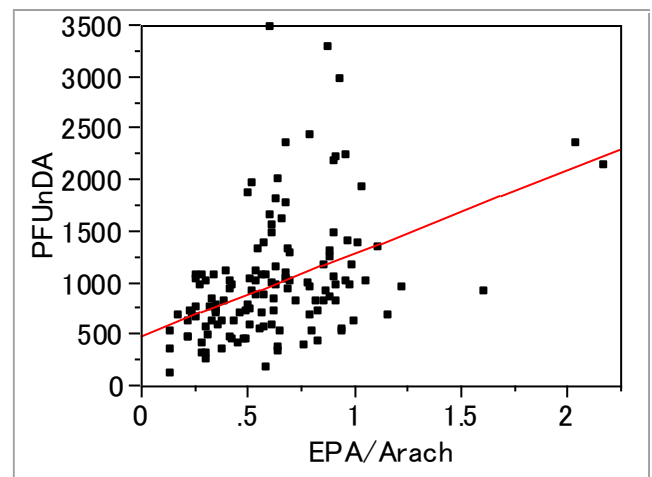
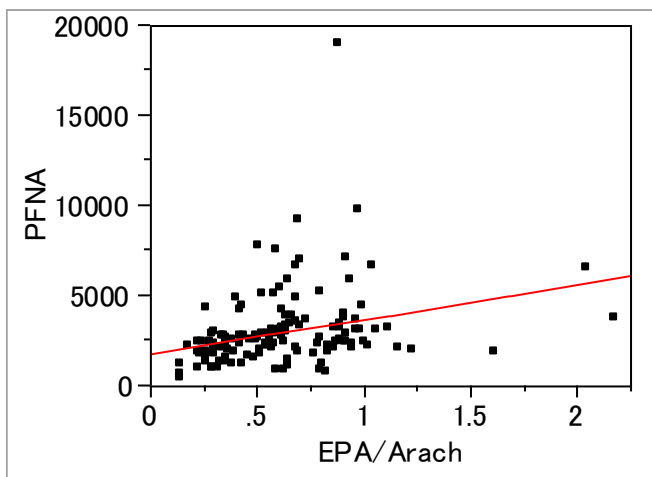
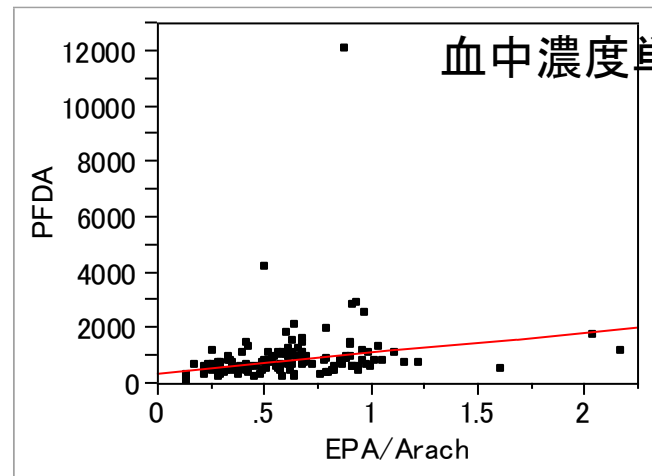
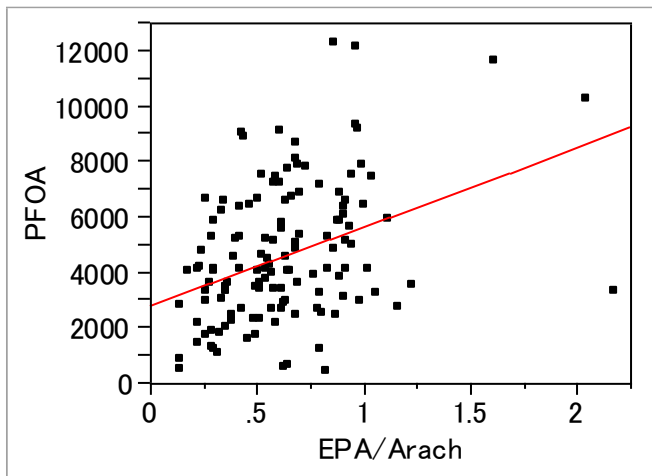
どのような食品から？

食事を通じてもPFASを摂取している

他のPOPsのように、魚介類からの摂取は多いのか？

血中PFASsと魚介類摂取の生物学的指標である
n-3系多価不飽和脂肪酸(エイコサペンタエン酸)との
関連を検討

EPA/AAとPFCAの相関



生物濃縮性の高い長鎖PFCAは魚類に比較的蓄積し、食事からの摂取に占める割合が高くなっている

注目のキーワード



ウクライナ

新型コロナウイルス

ロシア

韓国

バイデン

中国

映画

BOOKS

HOME > 最新記事 > ワールド > やっぱり危ない化粧品——米研究で半分以上に発がん性…

最新記事

ヘルス

1

2

3

Next

やっぱり危ない化粧品——米研究で半分以上に発がん性物質

Study Finds Cosmetics in U.S. and Canada Contain Cancerous Chemicals

2021年6月17日（木） 15時45分

マシュー・インペリ

いいね! 720

シェア

ツイート 675

BI ブックマーク 9





PFAS Ban For Cosmetics Proposed In Two States

Wednesday, February 23, 2022

On February 18, 2022, a bill was introduced in California that would ban the sale in California of any cosmetics and personal care products that contain any type of PFAS. Concurrently, a similar bill is making its way through the Washington state legislative process, which would also ban the sale of any cosmetics that contain any PFAS whatsoever. The proposed PFAS ban for cosmetics in California and Washington are just the latest in the broad-sweeping PFAS-containing products ban bills that are increasing across the country. It is critical for companies anywhere in the manufacturing or supply chain for cosmetics to immediately assess the impact of the proposed PFAS ban for cosmetics on corporate practices, and make decisions regarding continued use of PFAS in products, as opposed to substituting for other substances. At the same time, companies impacted by the PFAS legislation must be aware that the bills poses risks to the companies involvement in PFAS litigation in both the short and long term.

[California's Proposed PFAS Ban For Cosmetics](#)

Article By

John Gardella

CMBG3 Law

CMBG3 Legal Resource



Related Practices & Jurisdictions

*Environmental, Energy & Resources
Administrative & Regulatory
Election Law / Legislative News
California
Washington*

PRINTER-FRIENDLY

RELATED

**The E
Trans**
By F. Ch

**Orego
Decar**
By Eric I

**States
Adva
Recyc**
By K. Rt

**New I
Comm**
By Kirst

TRENDII

**What
Gover**
By Gree

Top

化粧品表示名称

部外品添加物

原料

処方例

全成分リスト

部外品承認情報

化粧品表示名称 検索結果 (103件)

<前のページ

1

2

3

4

5

6

次のページ>

全件表示

表示名称 	INCI
トリフルオロ酢酸テトラデシルアミノブチロイルバリルアミノ酪酸ウレア	Tetradecyl Aminobutyroylvalylaminobutyric Urea Trifluoroacetate
トリフルオロ酢酸ビオチニルヒスチジルD-トリプトファンジペプチド-29リシンアミド	Biotinyl Histidyl D-Tryptophanyl Dipeptide-29 Lysinamide Trifluoroacetate
トリフルオロ酢酸ペントペプチド-34	Pentapeptide-34 Trifluoroacetate
トリフルオロ酢酸合成ヒトオリゴペプチド-73アミド	sh-Oligopeptide-73 Amide Trifluoroacetate
トリフルオロ酢酸合成ヒトペントペプチド-6	sh-Pentapeptide-6 Trifluoroacetate
トリメチルトリフルオロメチルインドリノピペリジニルスピロナフトオキサジン	Trimethyl Trifluoromethylindolino Piperidinylspironaphthooxazine
パーフルオロアルキル (C4-14) エトキシジメチコン	Perfluorohexylethoxy Dimethicone
パーフルオロアルキル (C6-16) エチルリン酸アンモニウム	Ammonium C6-16 Perfluoroalkylethyl Phosphate
パーフルオロアルキル (C8-18) エチルリン酸DEA	DEA-C8-18 Perfluoroalkylethyl Phosphate

日本での調査事例





- ポリフルオロリン酸エステル (PAPs) は、化粧品・日焼け止・油耐性食品包装紙等に広く使用
- PAPsは、PFOAなどへの分解が実験で確認
- フッ素関連物質が成分表示に記載されている製品を収集
- 2007 – 2012年に化粧品15サンプル、日焼け止め9サンプル
- 化粧品15製品中13、日焼け止め9製品中8でPFASが検出
- 化粧品で最大5.9 $\mu\text{g/g}$ 、日焼け止で最大19 $\mu\text{g/g}$
- 製品中のPFASsはppmレベルであり、従来の消費者製品類の濃度よりもはるかに高濃度であった。PFCAsはPAPsを含んだ化粧品原料中にも高濃度で、原料の不純物と考えられた
- 肌への塗布による直接曝露の影響、家庭内のハウスダスト等への影響を評価する必要がある

Packaged in Pollution: Are food chains using PFAS in packaging?

By Jen Dickman, Erika Schreder, and Nancy Uding



Nearly half of tested food packaging items likely contained PFAS chemicals

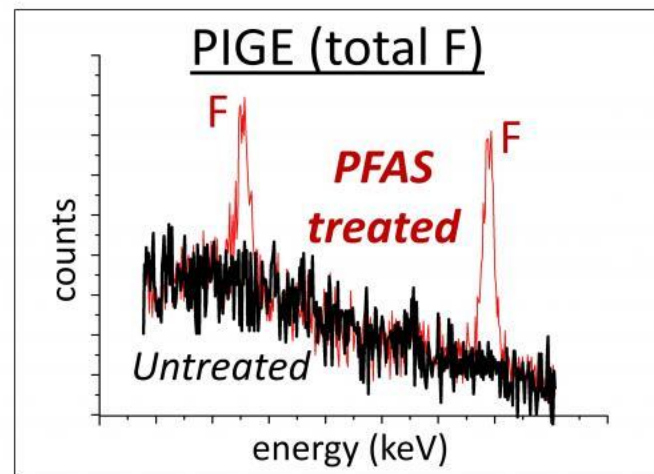
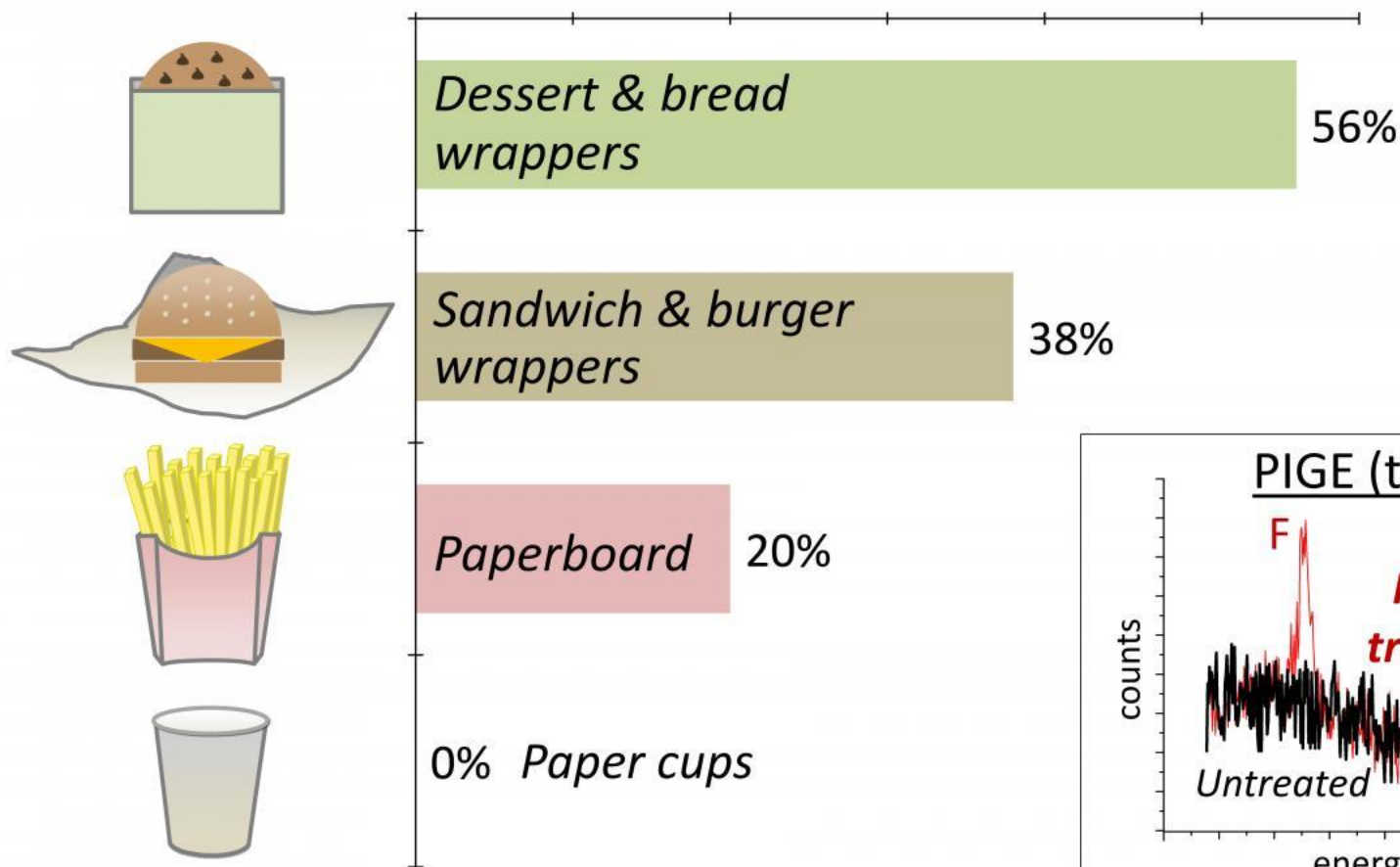
Number of samples that tested above the fluorine screening level out of the total number tested in each category		Burger or sandwich		Fries, other fried items, or desserts		Salads, warm bowls, or other meals		
		WRAPPER	CARDBOARD CONTAINER	PAPER BAG	PAPERBOARD CONTAINER	MOLDED FIBER BOWL	MOLDED FIBER TRAY	
	7,000+ ¹ stores	3 out of 8	● ○ ○ ²		● ●	○ ○ ○		
	15,000+ ¹ stores	3 out of 9	○ ○ ○ ²	●	● ●	○ ○ ○		
	6,000+ ¹ stores	1 out of 4	○ ²		●	○ ○		
CAVA	100+ stores	4 out of 4	●		●	● ²	●	
	300+ ¹ stores	1 out of 2	○			● ²		
sweetgreen	100+ stores	2 out of 2				● ● ²		
TOTAL		14 out of 29	● ● ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	●	● ● ● ● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ● ●	●

¹ Number of stores in the U.S. and Canada.

² We collected and tested more than one of the same kind of wrapper or bowl from different locations in the U.S., but are reporting each set as 1 to reflect the number of unique items. For details, see our methodology page.

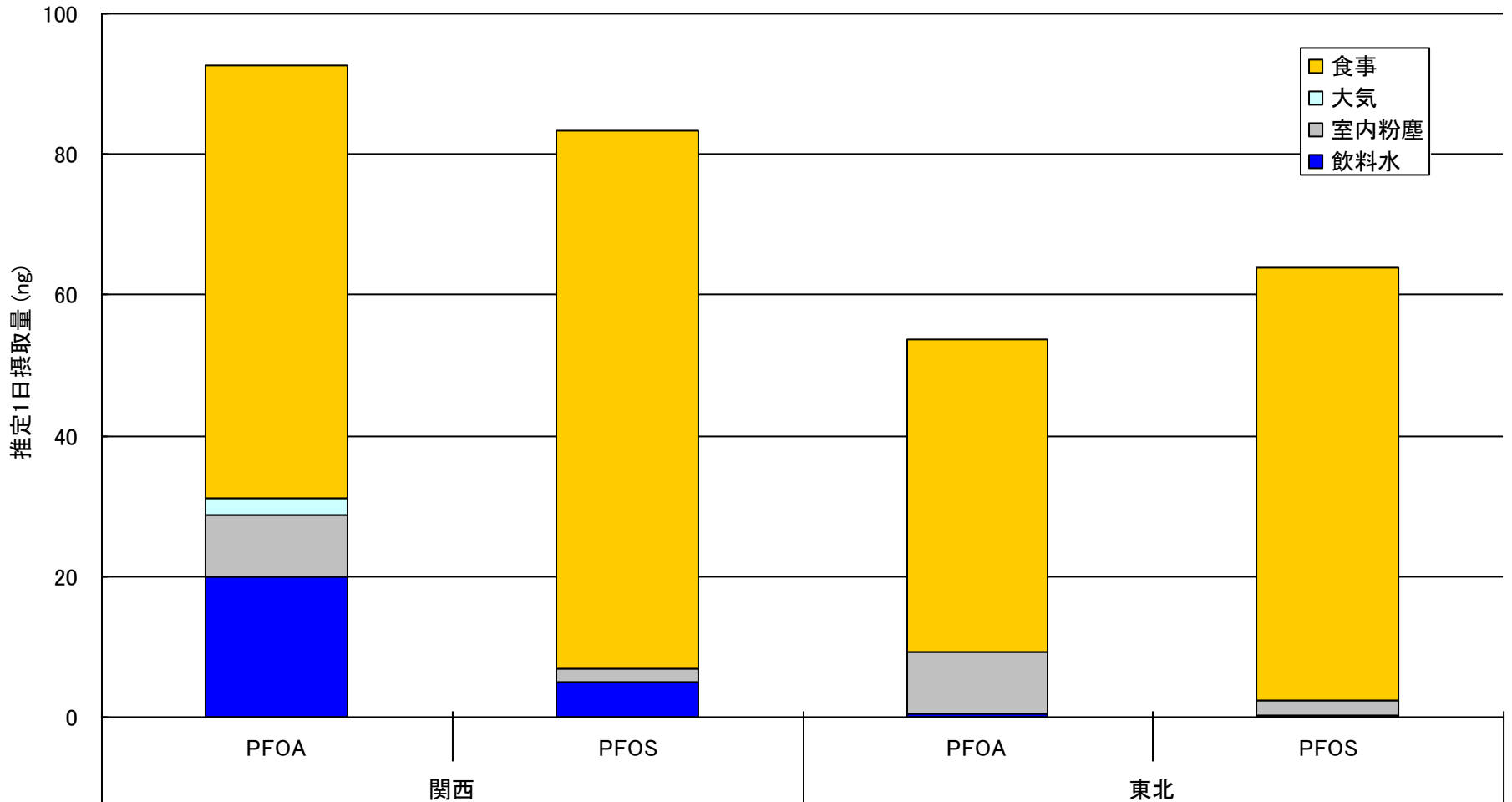
他の研究でも包装紙からフッ素を検出

Percent with fluorine



摂取量の推定

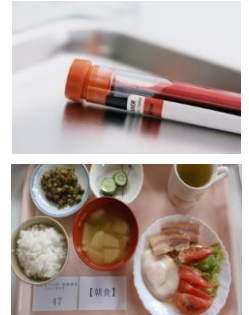
- 水摂取量、呼吸量などの推定値から計算



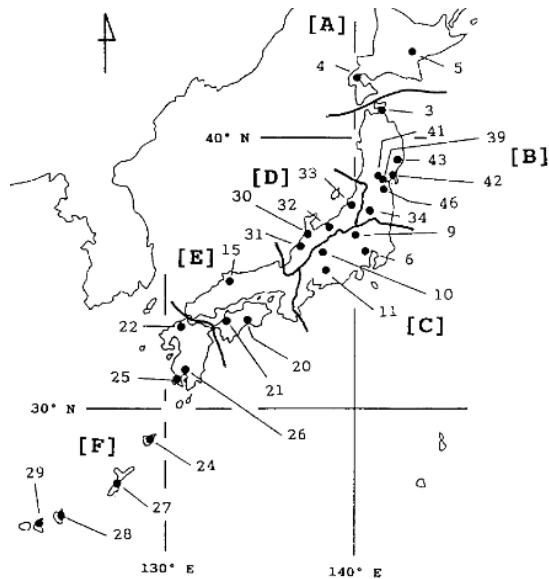
(Harada et al., 2009. Environ Health Prev Med)

試料バンクを利用したヒト生物モニタリング

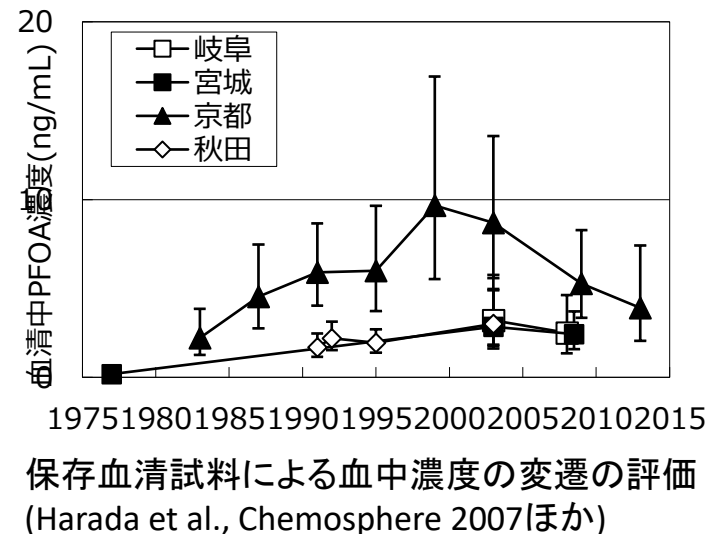
- 京都大学生体試料バンク
1970年代から現在まで、日本複数地域で採取、保管
(6万検体以上)
- 血液、尿、母乳と食事 (陰膳法)



(Koizumi et al., Environ Health Prev Med. 2009;14:307)



(試料採取地域, 1990年代)



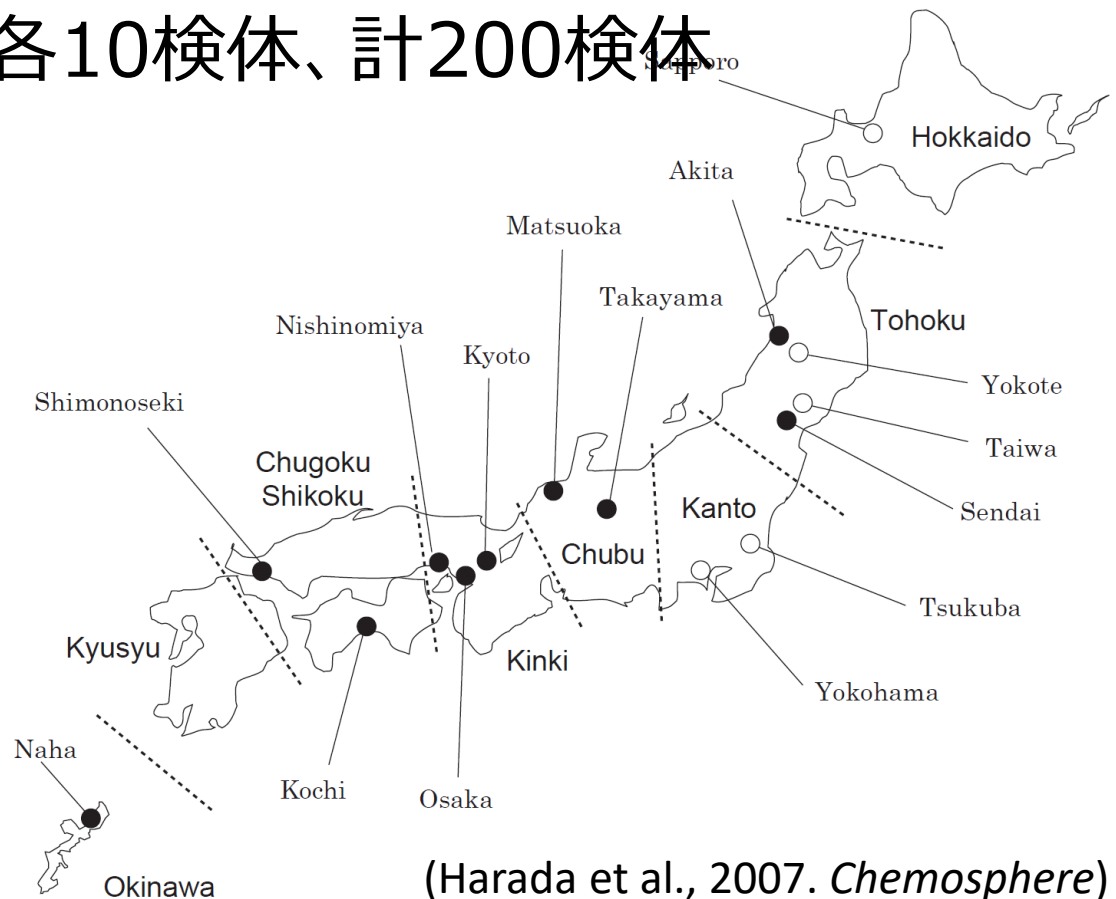
保存血清試料による血中濃度の変遷の評価
(Harada et al., Chemosphere 2007ほか)

血中PFAS濃度

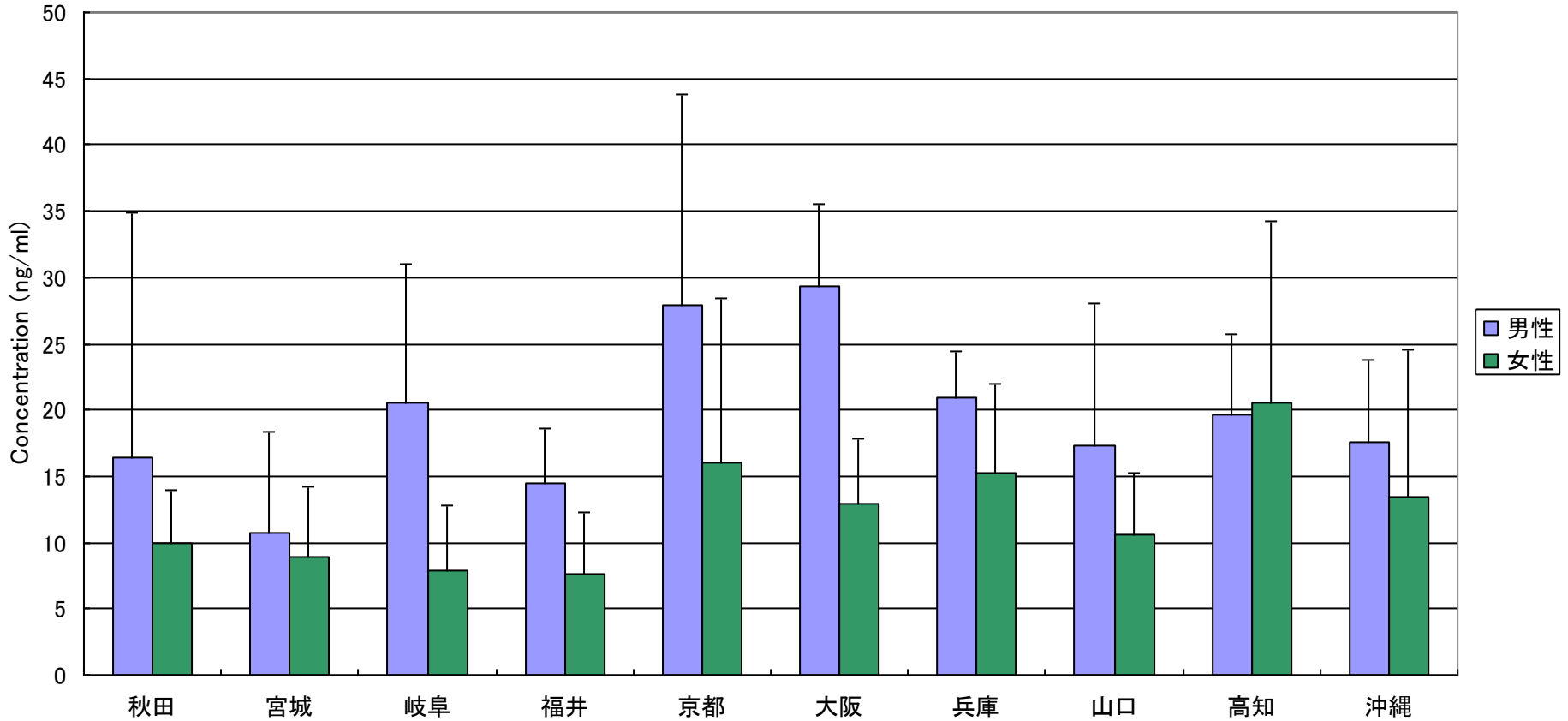
- 米国6地域（献血）：（Olsen et al., *EHP*, 2003）
 - PFOS: 34.9ng/mL (GM)
 - PFOA: 4.6ng/mL
- 京都：（Harada et al., *JOH*, 2004）
 - PFOS: male 28.1, female 13.8 ng/mL (GM)
 - PFOA: male 12.4, female 7.1 ng/mL
- 京都ではPFOA曝露が高い？

2003-2004における日本国内10地域のPFOS・PFOA濃度調査

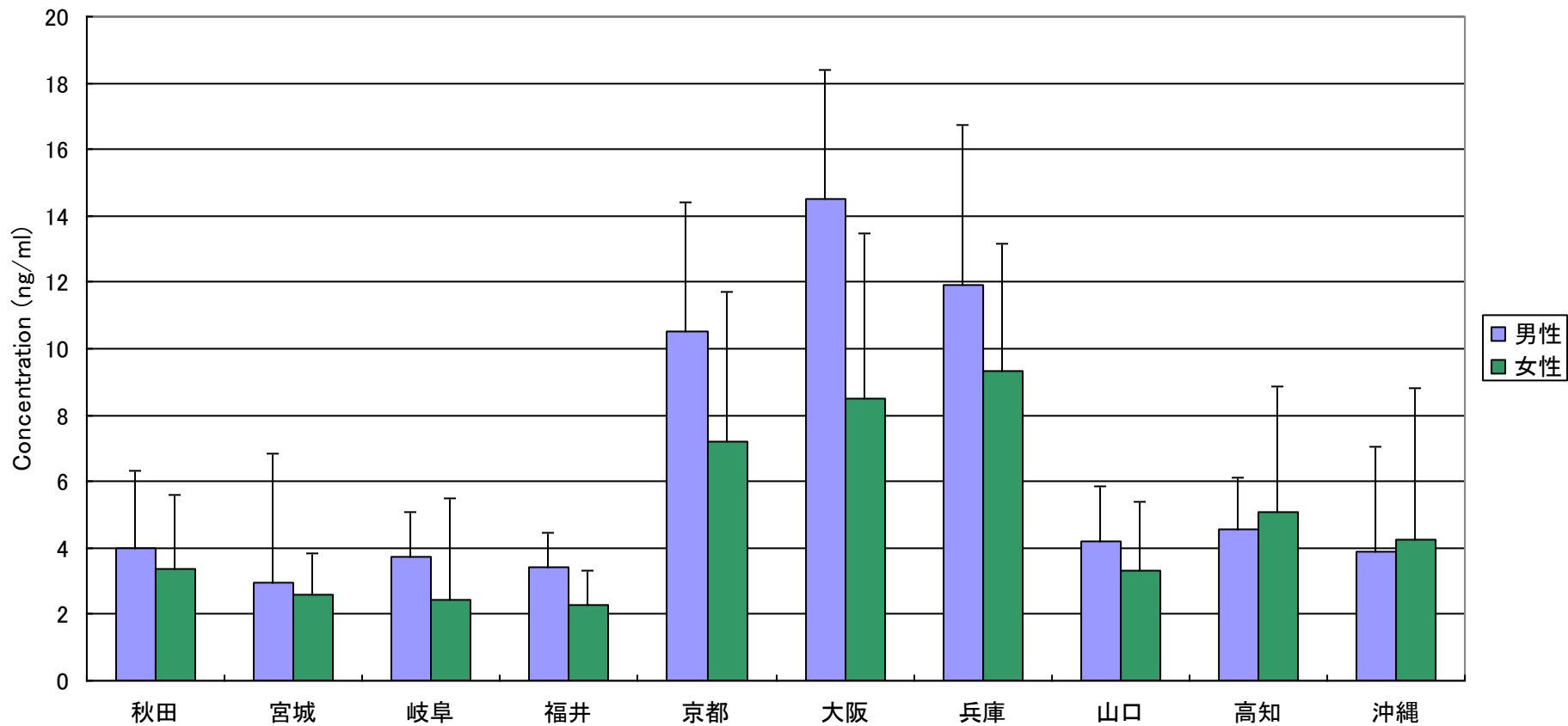
- 血清試料:
京都大学生体試料バンク
- 国内10地域、男女各10検体、計200検体



血漿中PFOS濃度 幾何平均(幾何標準偏差)



血漿中PFOA濃度 幾何平均(幾何標準偏差)



(Harada et al., 2007. *Chemosphere*)

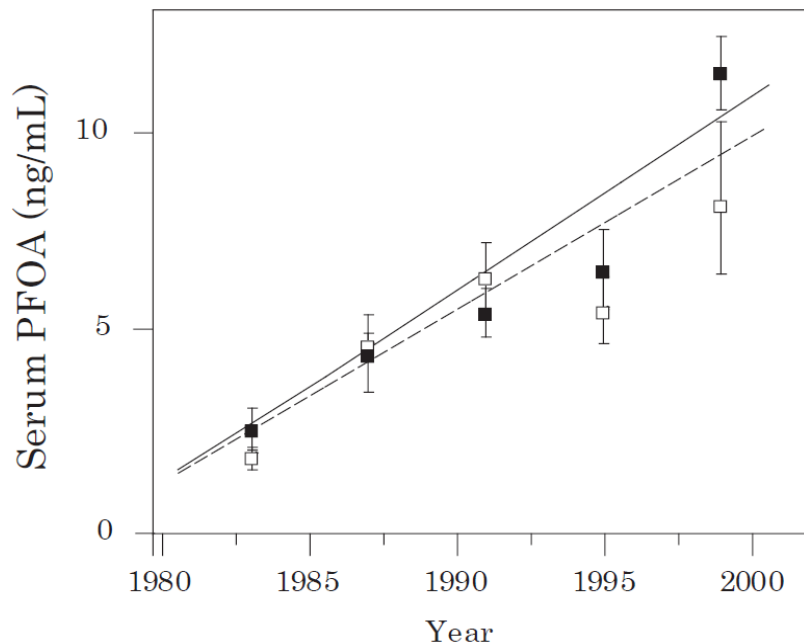
PFAS曝露はどのように変わってきたか

- 1990年代から2000年代の血中濃度変化
- 米国(Maryland)(Olsen et al., *EHP*, 2005)
- PFOA/PFOSいずれも増加傾向無し

- 日本(秋田)(Harada et al., *JOH*, 2004)
- PFOA : 増加傾向
- PFOS : 増加傾向無し

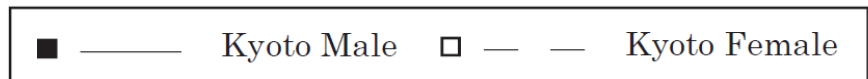
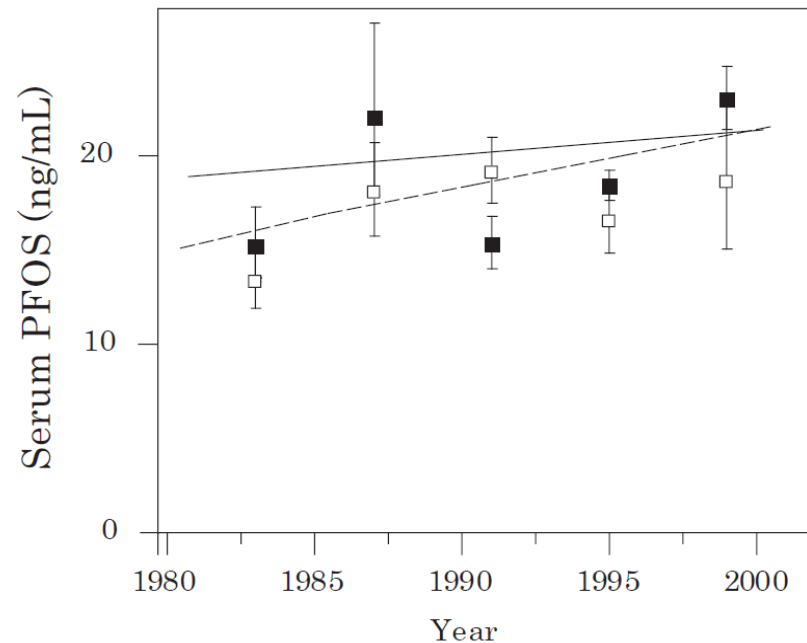
京都における経年変化

- 試料バンクの保存血液、京都市、1983年から1999年までの5時点、男女各10検体、計100検体

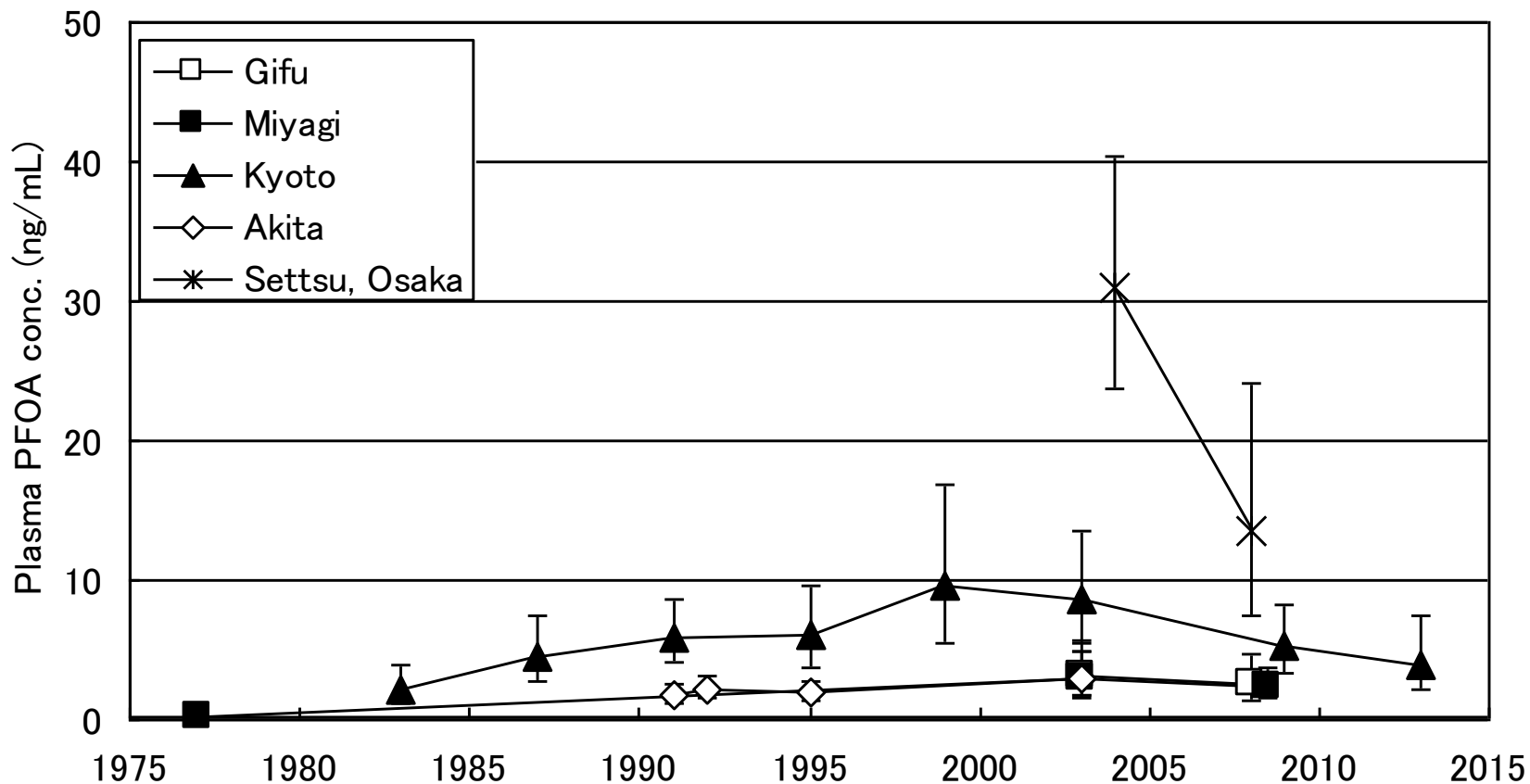


$r = 0.672, p < 0.001$ for males

$r = 0.585, p < 0.001$ for females



2000年以降の血中PFOA濃度



(原田ほか、公衆衛生, 79, 2015)

PFOS/PFOA以外の状況は？

- 3M社以外のフッ素樹脂生産者
ダイキン、旭硝子、デュポンほか
- 使用組成の違い（PFOS類よりPFOA類）
C7~C13
- 試料バンクの保存血清（日本、韓国、ベトナム）を用いて3M社の製造廃止前後の変化を検討

PFOA類の環境排出

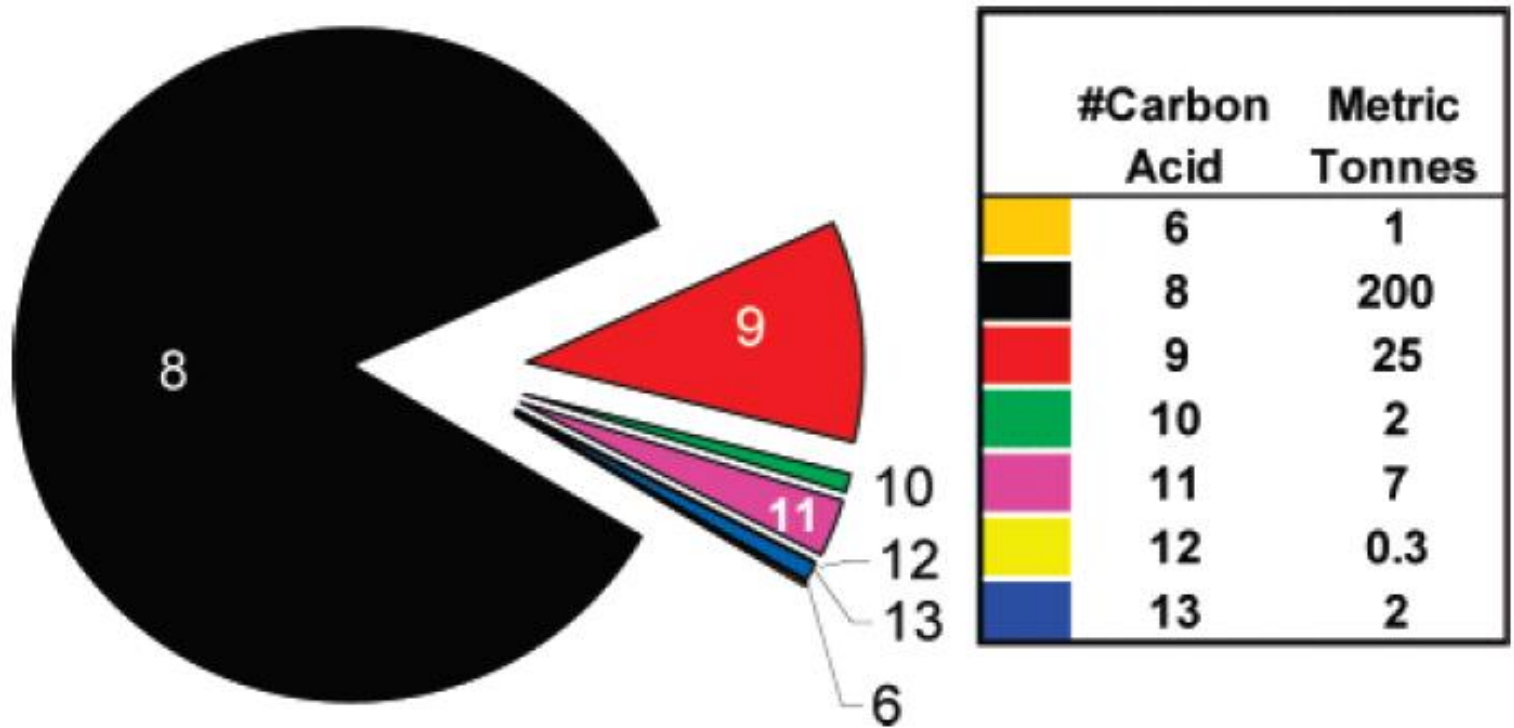


FIGURE 4. Estimated 2000 global PFCA emissions by carbon chain length. (Environ Sci Technol 2006;40:32)

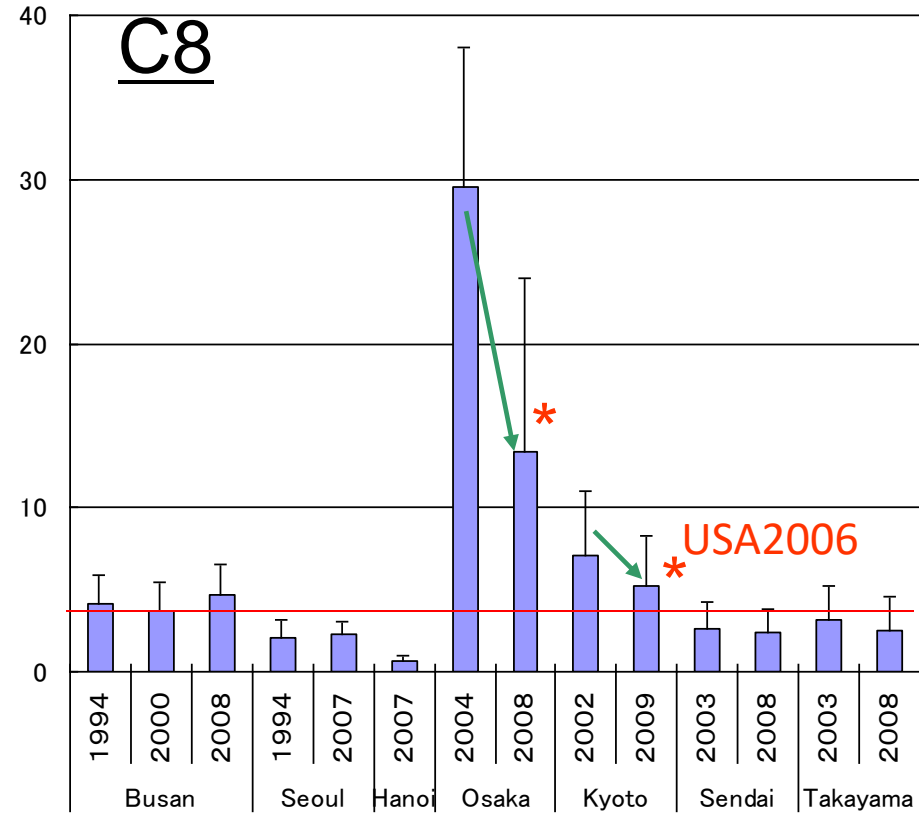
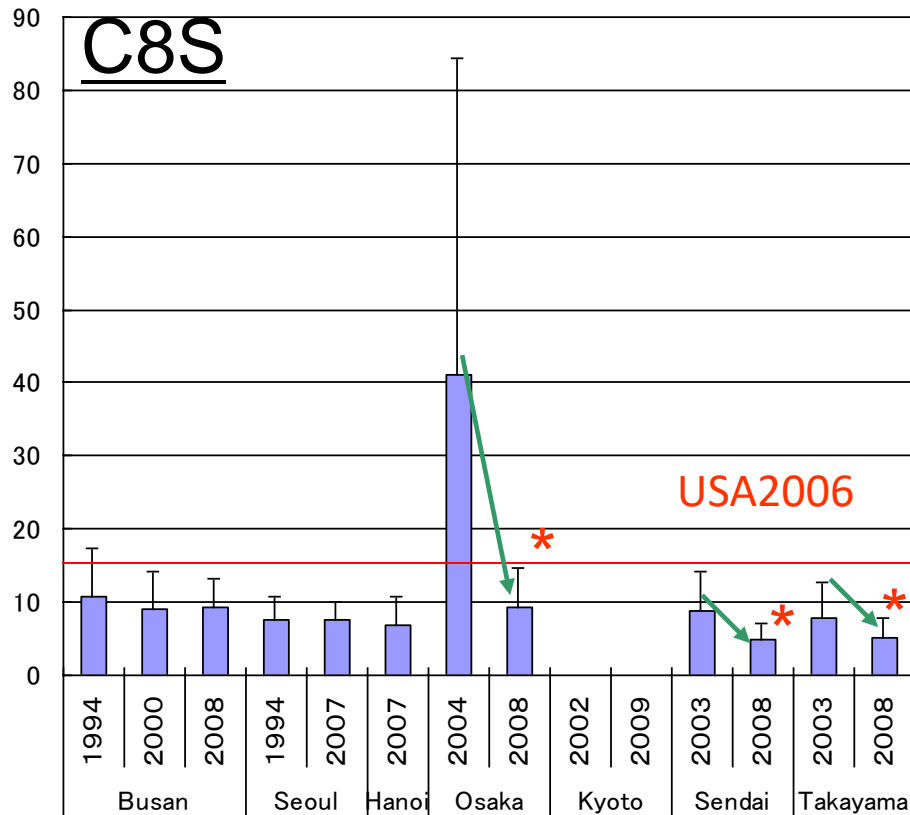
PFOAより炭素の多い長鎖PFASも多い

C8S, C8の経年変化

PFOS

PFOA

* p<0.05 by t-test



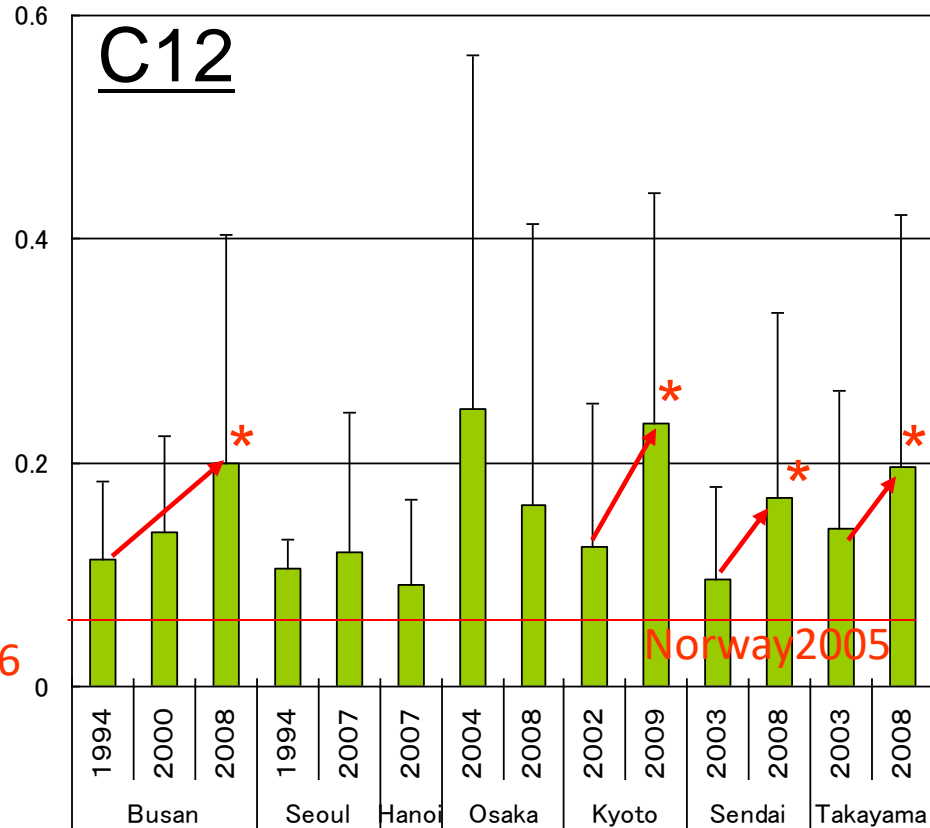
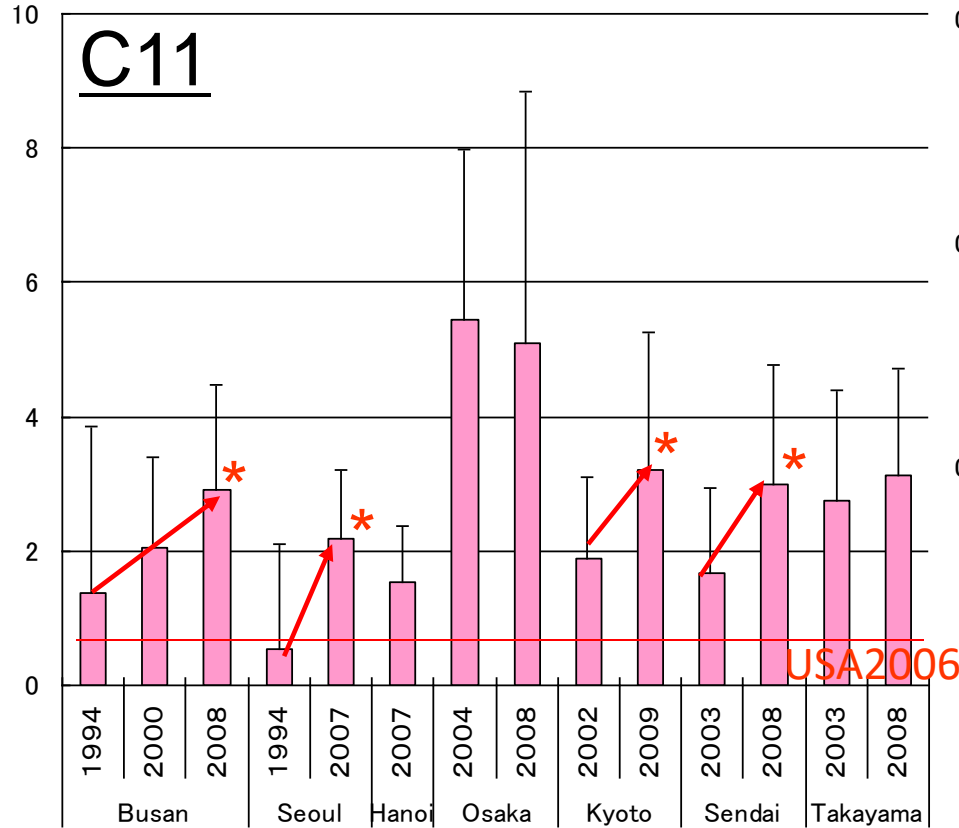
日本ではC8Sは減少、C8は高曝露の関西のみ減少
 韓国では有意な変化はなかった
 都市部でC8S、C8が高い、ハノイではC8は微量

C11, C12の経年変化

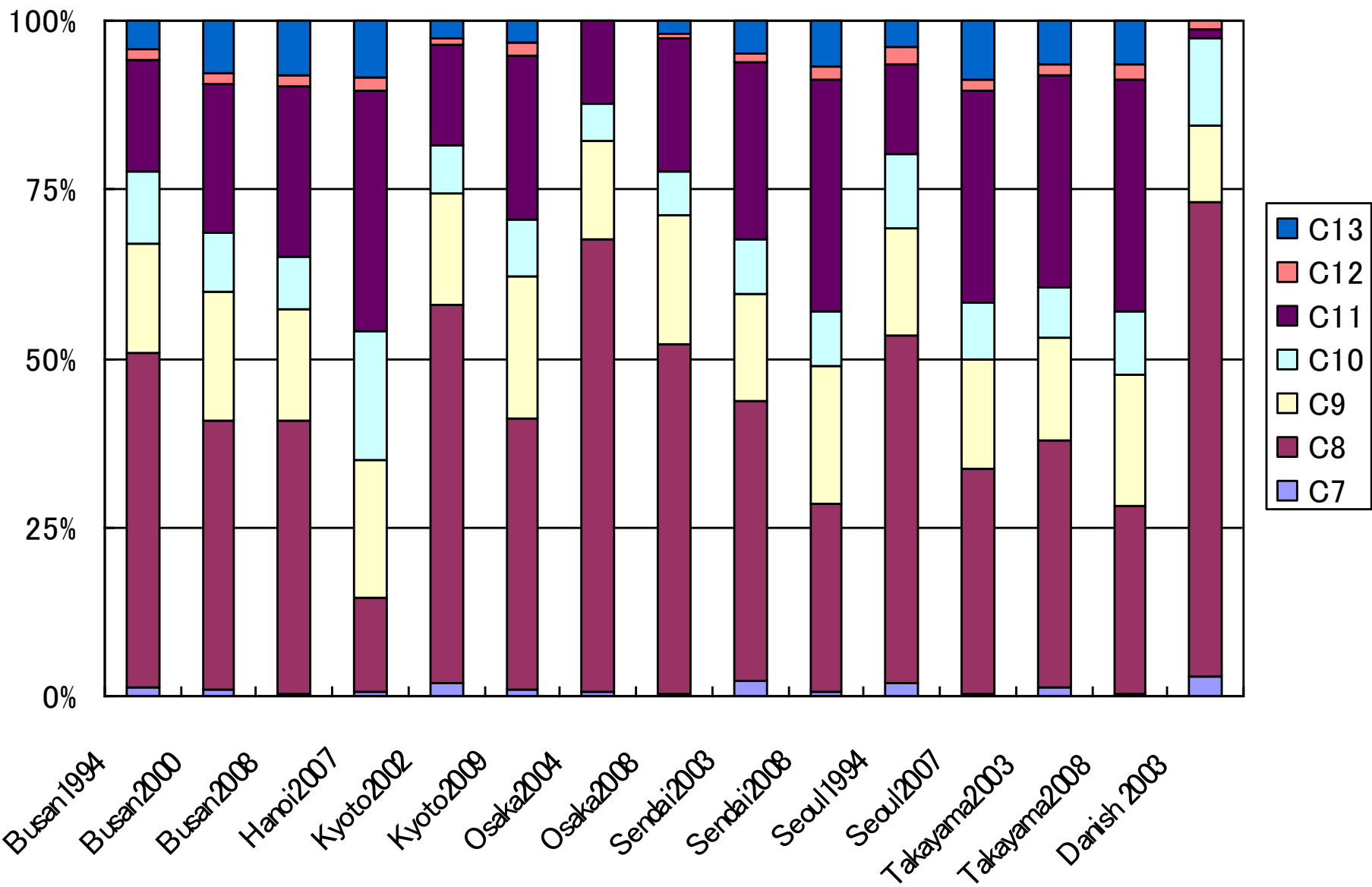
PFuDA

PFdDA

* p<0.05 by t-test



大阪を除き、C11, C12は上昇



奇数鎖C9、C11、C13が偶数鎖C10、C12より高くなる
 2008年ではPFOA (C8)の寄与が相対的に低下(30~40%)

PFOS・PFOAだけではない

- 2002年の3M社のPFOS製造廃止以降もPFAS汚染は進行
- PFOAと長鎖PFCAsは異なる汚染源
- ベトナムではC8は微量、C9 \leq は日韓と同等
工業製品とは異なる可能性：食品が原因？
C9 \leq は生物濃縮性が高い(BCF, >5,000)
- 長鎖有機フッ素カルボン酸の汚染源、曝露評価、
リスク評価が必要
- 血中濃度以上に肝臓へ蓄積

PFOA・PFOSの毒性

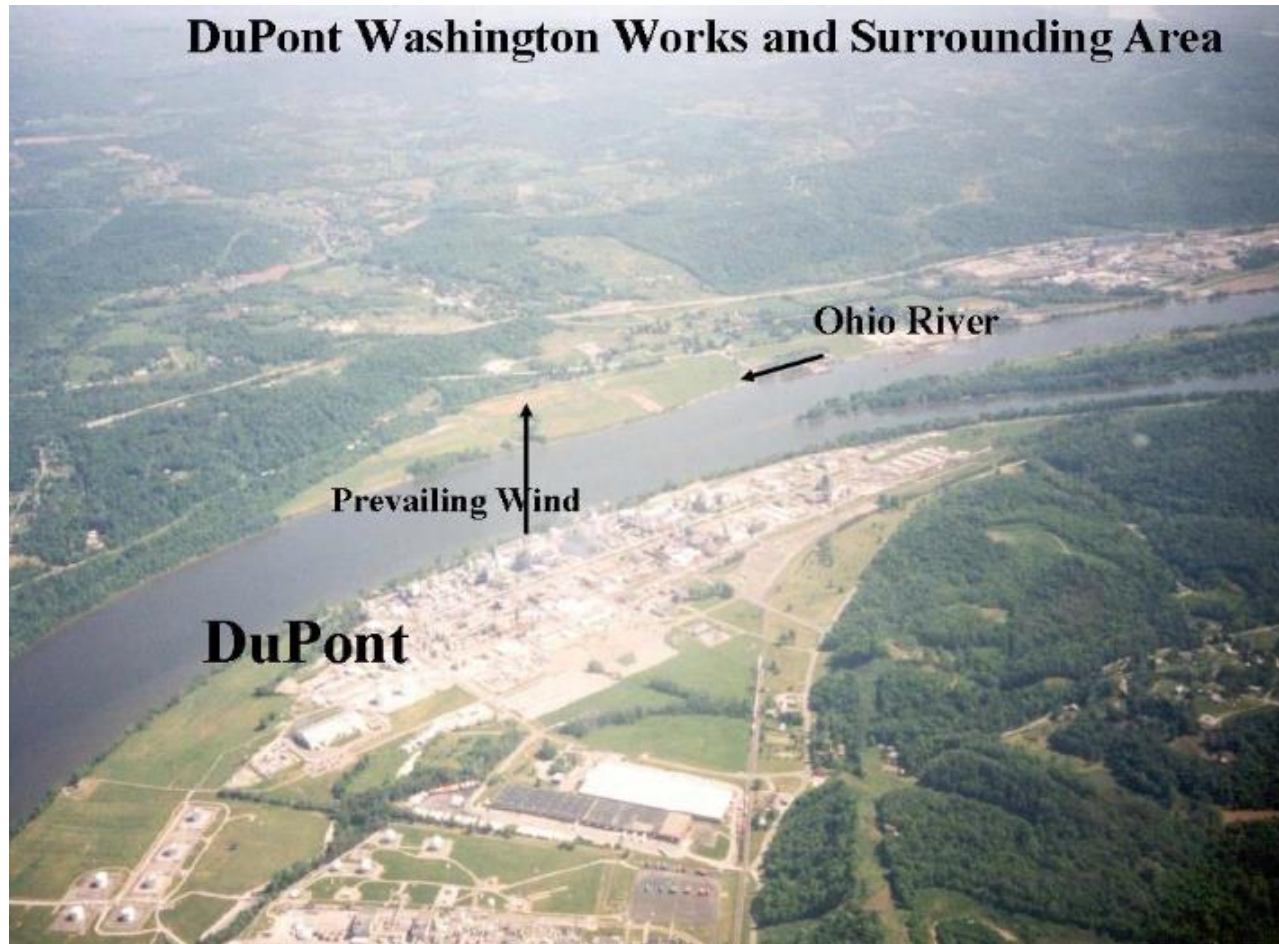
- 動物実験:肝発がん(高用量)、胎仔の成長阻害, IARC 2B (ヒトに対する発がん性が疑われる)
- 疫学研究:
 - 低出生体重ほか発達影響
 - ワクチン抗体価の低下
 - 脂質・代謝
 - 前立腺がん・膀胱がん増加 (3M労働者)

発がん

- 疫学研究（3Mフッ素化学工場労働者）
膀胱がん死亡：PFOS高曝露で12倍
ベンジジンの同時曝露の可能性
Occup Environ Med 2003;60:722
- 前立腺がん死亡：PFOA高曝露で3倍
J Occup Med 35, 950
- 大腸ポリープ、大腸がん、黒色腫、胆石：受診歴の増加
J Occup Environ Med 46, 837
肝臓がんの増加は見られなかった

C8 Science Panel

- デュポン・ワシントン工場周辺での汚染に対して住民の健康調査（訴訟の和解項目の一つ）



PFOAとの“Probable”関連

- コレステロールの増加
- 潰瘍性大腸炎
- 甲状腺疾患
- 精巣がん
- 腎臓がん
- 妊娠高血圧症候群

免疫毒性

- PFOA

胸腺・脾臓重量減少 (マウス)

IgM 抗体産生減少

LOAEL (最小毒性濃度) 74,000 ppb

Environ Health Perspect 116 (2008), pp. 644

- PFOS


IgM 抗体産生減少

LOEL **male mice, 91.5 ppb**; (ng/mL)

female 666 ppb






Toxicol Sci 104 (2008), pp. 144

2種混合ワクチン抗体価が減少する可能性

 Search All

[View Correction](#)

This Issue Views **28,300** | Citations **366** | Altmetric **785**

 PDF   More ▾  Cite  Permissions

Original Contribution **FREE**



January 25, 2012

Serum Vaccine Antibody Concentrations in Children Exposed to Perfluorinated Compounds

Philippe Grandjean, MD, DMSc; Elisabeth Wreford Andersen, PhD; Esben Budtz-Jørgensen, PhD; et al

[» Author Affiliations](#) | [Article Information](#)

JAMA. 2012;307(4):391-397. doi:10.1001/jama.2011.2034

  To|


新型コロナの重症度との関連の示唆

PLOS ONE

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED

RESEARCH ARTICLE

Severity of COVID-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates

Philippe Grandjean , Clara Amalie Gade Timmermann, Marie Kruse, Flemming Nielsen, Pernille Just Vinholt, Lasse Boding, Carsten Heilmann, Kåre Mølbak

Published: December 31, 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244815>

Article	Authors	Metrics	Comments	Media Coverage	Peer Review
---------	---------	---------	----------	----------------	-------------

Abstract

Introduction

Methods

Results

Discussion

Conclusions

Supporting information

Abstract

Background

The course of coronavirus disease 2019 (COVID-19) seems to be aggravated by air pollution, and some industrial chemicals, such as the perfluorinated alkylate substances (PFASs), are immunotoxic and may contribute to an association with disease severity.

Methods

From Danish biobanks, we obtained plasma samples from 323 subjects aged 30–70 years with

PFASの健康影響調査の必要性

- 現在の水道水質目標値は動物実験での毒性評価の結果を使用している
- 実験動物とヒトで同じ影響とは限らない
- 海外では様々な集団で疫学研究が行われている一方、日本では子供、妊婦を対象とした研究がほとんど
- PFASが脂質、代謝に影響する可能性が高く、成人の生活習慣病も重要
- また地域ごとのPFAS曝露の違い（平均濃度、種類）を考慮

泡消火剤とPFAS汚染

- 航空関連施設では、燃料火災に備えて消火設備が備えられている
- 消火剤として泡消火剤AFFFsが採用されてきた
- 主成分はPFOSであった（3M light water）
- 事故時の放出以外に、訓練などでも使用
- 開放系での使用のため、環境への影響が大きい



米国の多くの軍施設で地下水汚染

The Pentagon Says More Than 400 Military Sites Could Be Contaminated With PFAS Chemicals

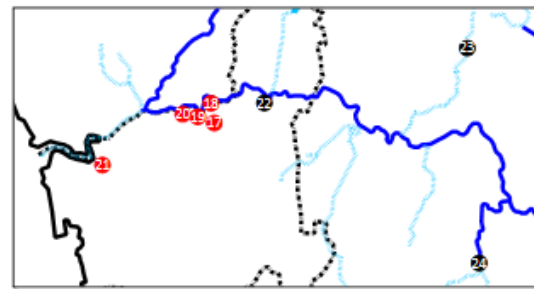
Branch of service	Total sites with known or suspected release of PFOS/PFOA (as of 8/31/17)	Sites sampled where results exceeded EPA health guideline (as of 8/31/17)	Groundwater wells sampled	Groundwater wells that tested above the EPA guideline
Army	64	9	258	104
Navy/Marine Corps	127	40	1,368	784
Air Force	203	39	1,022	719
Defense Logistics Agency	7	2	20	14
Total	401	90	2,668	1,621

Source: Department of Defense PowerPoint, March 2018

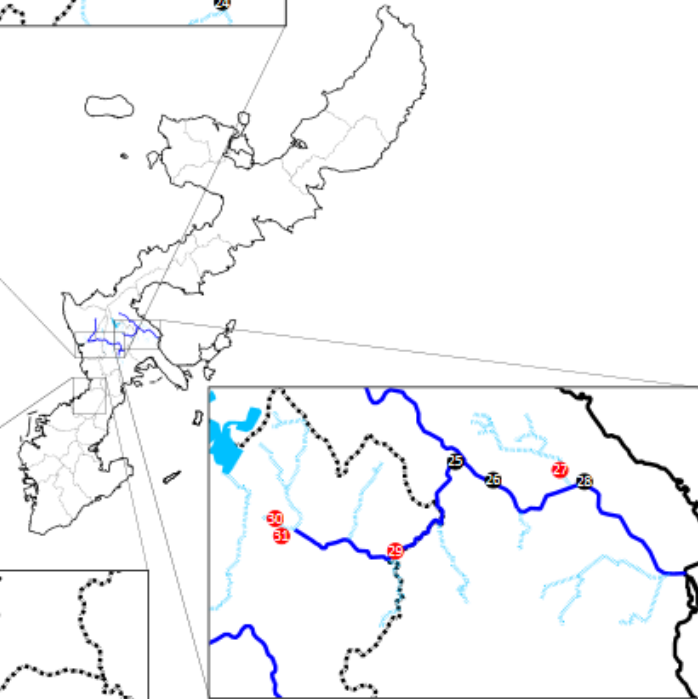
2021年末には687施設で過去のPFAS使用が特定され、地下水汚染の懸念が示されている。

宜野湾市での調査

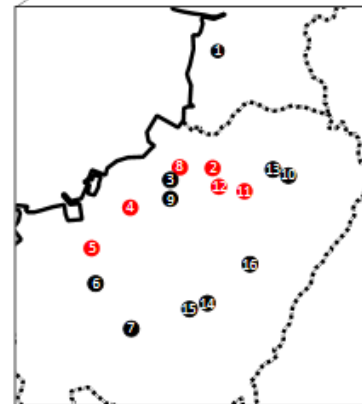
- 2016年の沖縄県の調査以降、北谷浄水場取水水源、普天間飛行場周辺湧水での高濃度PFOSの検出
- 2019年4月に宜野湾市および南城市の住民の要望、協力により、普天間飛行場周辺のPFAS環境汚染の研究機会



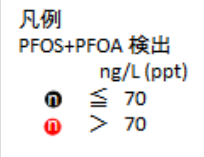
比謝川周辺



天願川



普天間飛行場周辺



血液中PFAS調査

- 普天間基地近隣の宜野湾市住民および、基地から離れており水道水の泉源もPFOSの汚染がないと思われる南城市住民を対象として調査
- 水道水の採取、血中濃度の測定、水道水の利用状況の聴取
- 1981年に嘉手納基地に近い沖縄市美里で採取した男性5名の血液

なぜ血液調査が必要か

- 曝露評価手法：環境濃度（水、食事、日用品、大気、・・・）からの推計、生物モニタリング
- ヒト生物モニタリングは、個人ごとの様々な経路からの曝露の総和を反映
- 健康影響との関連を研究するためにも有用
- サンプル採取した時点以前の一定期間の曝露量を反映（蓄積しやすいPFASでは）

血中濃度から摂取量がわかる

- 摂取量, D
- 体重, 60kg
- 定常血中濃度 C_{ss} (ng/mL) = D/CL
- CL : クリアランス (体外排出速度)

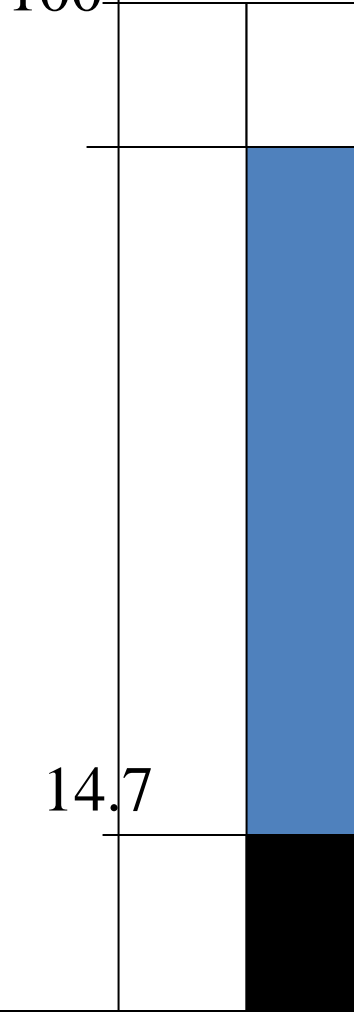
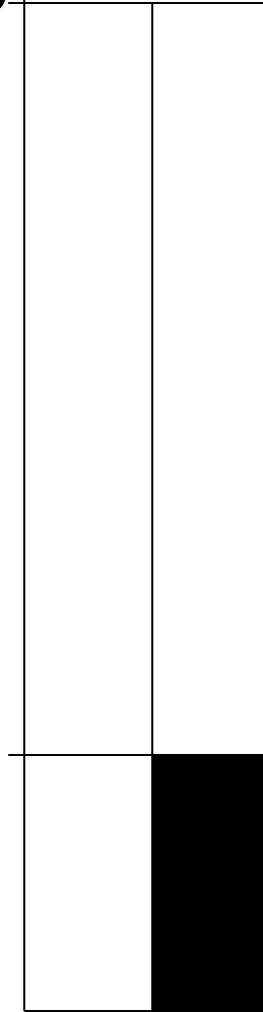
- 2003年の京都市を例にすると
 $13 \text{ (ng/mL)} = D \text{ (ng/day)} / 0.8 \text{ (mL/day)}$
- $D = \text{ca. } 100 \text{ (ng/day)}$

排出量

摂取量

100

100



食事

大気・水

14.7

尿



血漿中PFASs濃度

	年齢	濃度 (ng/mL)					
		L-PFHxS	ΣPFHxS	L-PFOS	ΣPFOS	L-PFOA	ΣPFOA
宜野湾 (n=44)							
平均	62	16.0	16.3	6.9	13.9	3.3	3.3
SD	21	9.7	9.8	3.5	7.9	1.5	1.5
最大	85	41.2	41.8	15.5	37.2	7.8	8.0
中央値	69	16.2	16.4	6.7	13.7	3.1	3.2
南城 (n=61)							
平均	61	3.8	3.9	4.4	6.6	2.6	2.7
SD	17	3.1	3.1	2.5	3.7	1.1	1.1
最大	90	19.3	19.7	15.4	19.3	5.3	5.4
中央値	65	3.3	3.4	3.7	5.6	2.5	2.6

水道水の利用による違い

	年齢	濃度 (ng/mL)					
		L-PFHxS	ΣPFHxS	L-PFOS	ΣPFOS	L-PFOA	ΣPFOA
水道水を飲む (n=24)							
平均	72	20.0	20.4	8.0	16.7	3.9	3.9
SD	15	9.9	10.0	3.7	8.4	1.6	1.7
最大	85	41.2	41.8	15.5	37.2	7.8	8.0
中央値	79	22.9	23.5	7.6	16.0	3.9	4.0
水道水を飲まない (n=20)							
平均	50	11.3	11.5	5.4	10.6	2.6	2.6
SD	21	7.1	7.1	2.8	5.9	0.9	0.9
最大	79	25.1	25.4	10.8	22.4	4.2	4.2
中央値	57	9.9	10.1	5.4	11.2	2.7	2.8
t検定							
p-value		0.002	0.002	0.014	0.009	0.003	0.003

PFOSの1日摂取量の推定

分布容積 $V_d = 230 \text{ mL/kg}$
血中半減期 $t_{1/2} = 1971 \text{ days}$

定常状態近似では、

$$D = k \times C$$

D : 一日摂取量 (ng/day)

k : クリアランス (mL/day)

C : 血漿中濃度 (ng/mL)

$$D = 0.693/1971 \text{ (1/day)} \times 230 \text{ (mL/kg)} \times 60 \text{ (kg)} \times 16.7 \text{ (ng/mL)} = 81 \text{ (ng/day)}$$

表3 水道水、沸き水

水試料	ng/L (ppt)	PFOS	PFOA	PFHxS
宜野湾水道水		14.1	4.1	13.2
南城水道水		1.4	0.7	0.7
宜野湾大山地区沸き水		1193	57.9	151



メンダカリヒージャーガー

保存血中PFAS（1981年 沖縄市）

	年齢	濃度 (ng/mL)					
		L-PFHxS	ΣPFHxS	L-PFOS	ΣPFOS	L-PFOA	ΣPFOA
Okinawa 1981 (n=5)							
平均	45	24.6	25.9	29.3	47.6	25.2	25.6
SD	9	13.8	14.4	22.0	36.4	19.7	19.8
最大	54	41.9	43.8	64.2	104.7	54.3	54.7
中央値	47	21.4	22.7	16.9	27.9	16.7	17.3

(小泉・原田, 環境と公害 2020)

過去の曝露は現在より遥かに高かったことを示唆

PFHxSも広く検出

- PFHxSの汚染について：
PFOA, PFOS同様に体内に蓄積し、発達毒性と脂質代謝異常(コレステロールを上げる)作用が懸念
PFHxSのリスク評価、基準値設定が必要
- 汚染源対策：
沖縄の水道水の汚染源は、米軍基地内の消火剤と考えられるため、厳重な管理、今後の推移の予測、対策が必要

土壌への影響

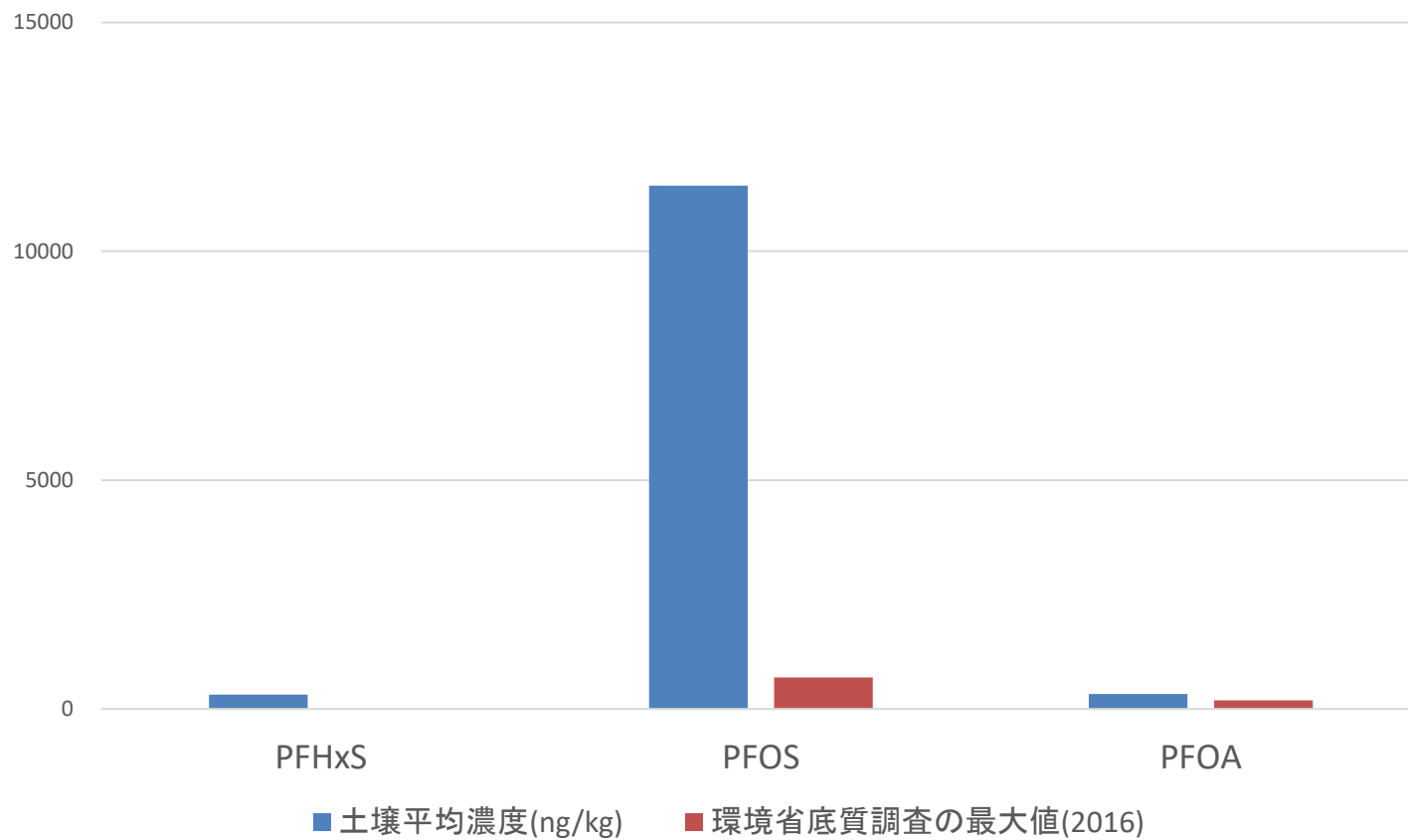
- 沖縄県の基地周辺の湧き水で有機フッ素化合物が高濃度に検出される事例
- 湧き水などは農業用の水源にも利用
- PFOSなどを含んだ水を利用した場合に、畑土壌への蓄積がどの程度になるのか
栽培する作物にどの程度含まれるのか
- 宜野湾市大山地区の土壌、田芋に含まれる有機フッ素化合物を分析

土壌調査

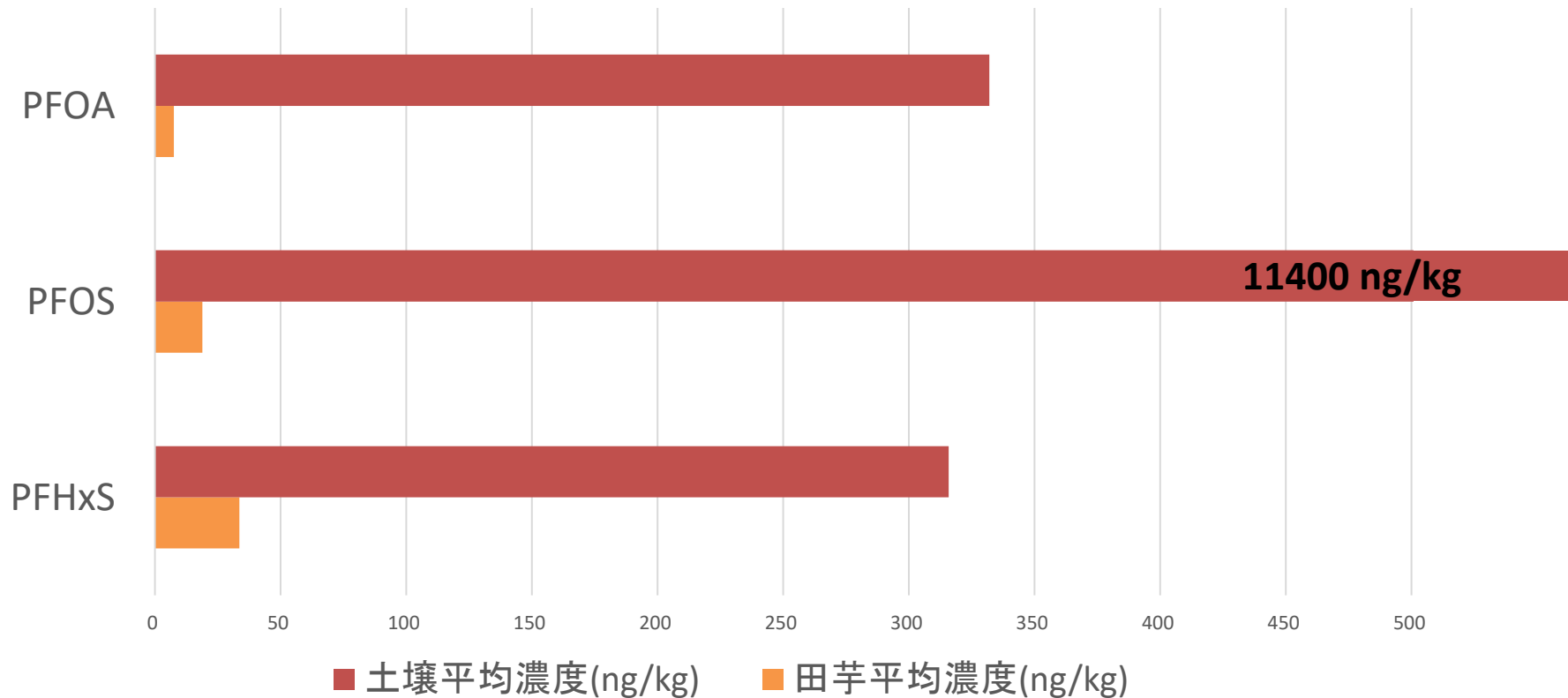
- 2019年4月13日に採取
- 協力農家 1 件の田芋畑で、田芋 5 検体、土壌 5 検体の採取
- 田芋の根塊と芋莖を分けて、分析
- 土壌は表面から 5cm ほどの深さまでを採取
- 有機フッ素化合物 PFOS、PFOA、PFHxS



土壤中PFAS



田芋の有機フッ素化合物



PFOSは平均18.9 ng/kg、PFOAは平均7.5 ng/kg
土壌に比べるとPFOSは0.17%、PFOAは2.3%の濃度

2019年調査後の動向

- 2020年に、厚生労働省が水道水の基準（目標値）として50ng/L
- 環境省は環境水の汚染基準（暫定指針）として50ng/Lを設定
- 規制値の公示に合わせて、環境省は、2020年5月に全国での汚染の状況を報告
- 他の媒体（土壌、食品）には定められていない

普天間飛行場泡消火剤流出事故

- 2020年4月10日午後4時40分ごろ、米軍普天間飛行場から泡消火剤が基地外に流出
- PFOSを含む可能性, 14万3830リットル



写真：琉球新報社

河川への影響調査

- 琉球新報社、名桜大学の田代豊氏がサンプリングを実施し、京都大学で試料分析



京大の分析結果	ナノグラム/1リットル	PFOS	PFOA	合計	採取日時
① 宇地泊川 (泡発生地点)		68.2	179.0	247.2	12日 午後7時すぎ
② 泡が付着した水たまり		52.8	91.2	144.0	11日 午前9時ごろ
③ 暗渠合流地点		13.7	36.3	50.0	13日 午後6時半すぎ
④ 牧港漁港		11.8	29.2	41.0	12日 午後7時半ごろ
⑤ 宇地泊川上流		3.6	26.6	30.2	12日 午後7時ごろ

4月24日 琉球新報

PFASsの中でも6:2FTS特に高濃度

表6 普天間飛行場泡消火剤漏出事故における水試料中有機フッ素化合物濃度

採取場所	採取日 (全て2020年)	濃度 (ng/L)									
		PFHxS	PFHpS	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	6:2FTS	
宜野湾市宇地泊川周辺水たまり	4月11日	14.5	26.1	52.8	153.6	36.2	91.2	48.9	18.3	66431	
宇地泊川上流	4月12日	9.1	0.4	3.6	17.6	2.5	26.6	2.4	0.8	718	
宇地泊川	4月12日	39.3	<0.20	68.2	216.4	78	179	48.7	13.6	81604	
牧港漁港	4月12日	2.4	<0.14	11.8	44.7	21.2	29.2	2.5	1.8	14610	
基地内汚染水の合流地点暗渠	4月13日	23.1	<0.14	13.7	68.4	32.5	36.3	5.1	3.5	6784	
宇地泊川河口西側沿岸	4月11日	12.7	<0.17	50.4	150.3	33.1	205	19.7	11.4	41513	
宇地泊川河口西側沿岸約1.5km西沿岸	4月11日	<1.98	<0.13	9.2	10.3	5.8	26.9	2.3	0.7	1049	
宇地泊川河口東側沿岸	4月11日	<1.68	<0.11	<5.11	8.9	7	3	3.4	1	340	
宜野湾市宇地泊川周辺水たまり	5月10日	2.86	<0.14	1.8	465.65	84.25	6.69	2.69	<0.63	75600	
宇地泊川上流	5月10日	5.5	0.21	2.79	2.11	0.93	2.99	0.99	1.08	3	
宇地泊川	5月10日	10.26	0.03	6.6	56.67	13.23	3.98	1.82	0.57	2406	
牧港漁港	5月10日	4.28	<0.50	3.9	3.79	1.48	5.77	0.84	0.18	<13.16	
基地内汚染水の合流地点暗渠	5月10日	8.62	<0.03	3.96	2.41	1.04	2.79	1.21	0.29	94	

(小泉・原田, 環境と公害 2020)

6:2FTS

- PFOS規制により、新たに泡消火剤の成分として、テロマー合成される化合物が採用されていることが報告されている
- 6:2FTSそのものはその消火剤の不純物と考えられる



消火剤の泡の分析

- 流出した泡の試料を琉球新報社から提供を受けて分析
- 主成分の存在量を推定するための酸化処理により6:2FTSは4000倍以上の濃度で生成
- 6:2FTSから合成される化合物を使用した泡消火剤が流出したことを示す

表7 普天間飛行場泡消火剤漏出事故における泡消火剤試料中有機フッ素化合物濃度

試料	濃度 (原液濃度換算mg/L)								
	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	6:2FTS
泡消火剤泡	0.053	<0.000026	0.055	0.4	0.07	0.067	0.045	0.024	10
泡消火剤泡 酸化処理	0.094	<0.00035	0.054	13.9	1.29	0.136	0.067	0.035	43425

米軍、汚染可能性の除去土を提供 普天間泡消火剤流出

藤原慎一、寺本大蔵、北見英城 2020年5月11日 23時08分

シェア ツイート B!ブックマーク メール 印刷

list

9

米軍 普天間飛行場（沖縄県宜野湾市）から発がん性の疑われる有機フッ素化合物PFOS（ピーフォス）を含む泡消火剤が流出した問題で、在日米軍は11日、消火剤が漏れ出した格納庫周辺の土を日本側に提供した。米側は応じていなかったが、汚染の実態を調べるには必要だとして県と市が求めている。

米側は4月24日、汚染の可能性があると看做して、格納庫周辺の土を取り除いていた。防衛省や県によると、11日はこの除去した土と、泡消火剤が基地外に流れ出る際に通った排水路周辺の8地点の土を採取し、日本政府と県にも提供した。これまでに採取した水と土とあわせ、米側と日本政府、県がそれぞれ成分を分析し、汚染の実態を調べる。



(2) 格納庫周辺の土壌におけるPFOS及びPFOAの含有量に関する分析結果 (2020年5月1日及び11日採取)

単位 (ng/g)

調査地点	国			沖縄県			在日米軍		
	PFOS	PFOA	合計	PFOS	PFOA	合計	PFOS	PFOA	合計
1	4.2	0.7	5.0	3.7	0.6	4.4	4.0	0.65	4.7
2	0.6	0.2	0.9	0.5	0.2	0.7	1.3	0.54	1.8
3	2.9	0.7	3.6	2.2	0.6	2.8	3.5	0.81	4.3
4	2.3	0.9	3.2	1.8	0.9	2.7	1.2	0.65	1.9
5	3.1	1.1	4.3	2.6	0.9	3.5	3.1	0.93	4.0
除去土	3.2	1.0	4.2	2.3	0.8	3.2	3.3	N.D.	3.3

(3) 排水路周辺の土壌におけるPFOS及びPFOAの含有量に関する分析結果 (2020年5月11日採取)

単位 (ng/g)

調査地点	国			沖縄県			在日米軍		
	PFOS	PFOA	合計	PFOS	PFOA	合計	PFOS	PFOA	合計
1	9.4	1.0	10	9.8	0.9	10	15	2.1	17.1
2	8.7	1.0	9.7	10	1.0	11	9.7	1.3	11.0
3	29	1.0	30	29	0.8	29	35	3.2	38.2
4	15	2.2	17	15	2.0	18	18	3.1	21.1
5	17	1.6	19	16	1.3	17	20	3.7	23.7
6	10	0.8	10	8.3	0.5	8.9	14	1.5	15.5
7	2.8	0.6	3.4	3.0	0.5	3.6	4.1	0.75	4.9
8	4.9	0.8	5.8	4.1	0.6	4.7	5.3	1.0	6.3

航空自衛隊那覇基地泡消火剤流出

- 2021年2月26日午後3時30分ごろ、那覇基地から泡消火剤が基地外に流出
- PFOSを含まない代替品との説明、約900リットル



写真：琉球新報社



動画：twitter

<https://twitter.com/CGGBeen/status/1365501624274182145>

泡消火剤泡のPFAS

		PFHxS	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	6:2FTS
普天間飛行場泡消火剤 泡	(ng/L)	33	305	2823	44	422	284	150	85	10	60010
航空自衛隊泡消火剤 泡	(ng/L)	31	173	8	<3	13	<1	<0.6	<0.9	<0.9	39049
普天間飛行場泡消火剤 泡酸化処理	(mg/L)	<3	<2	2	<0.5	<1.6	<1.4	<0.5	<0.6	<0.4	22
航空自衛隊泡消火剤 泡酸化処理	(mg/L)	<1	<1.5	<1.2	<0.2	<0.5	<0.8	<0.2	<0.3	<0.2	53

		PFOS	1m	2m	3m	4m	5m	6m	dm	dm2
普天間飛行場泡消火剤 泡	(ng/L)	305	<2.2	<0.4	17	<11	28	<12	<0.8	<0.8
航空自衛隊泡消火剤 泡	(ng/L)	173	6	0.5	14	10	14	22	3	2

- 普天間での流出とほぼ同じ
- この後の自衛隊の調査で、消火剤、敷地内水路、消火剤用水槽などからも高濃度のPFOSが検出
- 全国の施設の調査へ

うるま市米陸軍貯油施設汚染水漏出

- 2021年6月10日、金武湾タンクファーム3から消火污水が施設外に漏れ出たおそれ
- 最大で2400リットル



写真・図：沖縄タイムス社

排水路などのPFOS調査

琉球新報は6月10日から4～5日後、現場周辺の排水路や湧き水から、水と土壌を採取し、京都大学で分析。通常、排水路に水はないが、同13～14日の雨で水たまりがあった。



地下水汚染は全国的な課題

有機フッ素化合物 地下水など37地点で国目標値超え 自然界で分解されず

社会 | 環境・科学 | 速報 | 環境

毎日新聞 | 2020/6/11 21:32 (最終更新 6/12 07:20) | 有料記事 [English version](#) 2049文字



米軍普天間飛行場から近くを流れる宇地泊川に流出したPFOS含有の泡消火剤 = 沖縄県宜野湾市提供

発がん性が指摘される有機フッ素化合物のPFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）とPFOA（ペルフルオロオクタン酸）について、環境省は11日、全国計171地点の地下水などの含有量を調査した結果を公表した。1都2府10県の37地点で国の暫定的な目標値（1リットル当たり50ナノグラム）＝ナノは10億分の1＝を超え、最大で目標値の約37倍に達しており、在日米軍基

.....

有機フッ素化合物の検出について

◇有機フッ素化合物（PFOS・PFOA）※1の試験結果

北名古屋水道企業団が管理している設備の一つである豊山配水場の井戸水において、令和3年3月にPFOS・PFOAの測定を行った結果、下記のとおり検出されました。（豊山配水場については、令和2年度ベースで442,678 m³配水しましたが、これは企業団の総配水量の3.87%に当たります。豊山配水場の配水区域については、時間帯にもよりますが、概ね豊山町豊場地内で国道41号線以东と想定されます。）

北名古屋水道企業団試験結果

	PFOS	PFOA	PFOS+PFOA
浄水	127 ng/L	23 ng/L	150 ng/L
原水	151 ng/L	24 ng/L	175 ng/L

（※厚生労働省が定めた暫定目標値はPFOS・PFOAの合計で50ng/L）



神奈川の米軍3基地でも高濃度PFAS 横浜の軍消防署で1リットル当たり121億ナノグラム

2021年12月7日 07:36

【ジョン・ミッチェル特約通信員】米軍厚木基地（神奈川県綾瀬市、大和市）など神奈川県の米軍3施設で、高レベルの有機フッ素化合物PFAS（ピーファス）が検出されていたことが6日までに分かった。PFASの一種、PFOS（ピーホス）の値は横浜市内にある根岸住宅地区の軍消防署が最高で、1リットル当たり121億ナノグラムを計測。PFOA（ピーホア）は、厚木基地内の貯油施設が最高で、1億8500万ナノグラムを計測していた。



高濃度PFASが検出された神奈川県内の米軍3施設

まとめと今後

- 航空施設で、泡消火剤の置き換えが進んでいるが、PFOS、PFOAも配管などに残留しており、一度流出事故が生じれば、周辺環境基準暫定指針値を上回る
- PFAS使用施設、残留が長期化しやすい他の環境媒体（土壌、生物など）の調査が必要
- PFOA、PFOS以外のPFAS、成人も含めた健康調査、リスク評価が必要