

福岡核問題研究会 3月例会

日時:2020年3月14日

会場:九州大学筑紫キャンパス

**米軍基地から流出したとみられる
泡消火剤、有機フッ素化合物の
健康への影響**

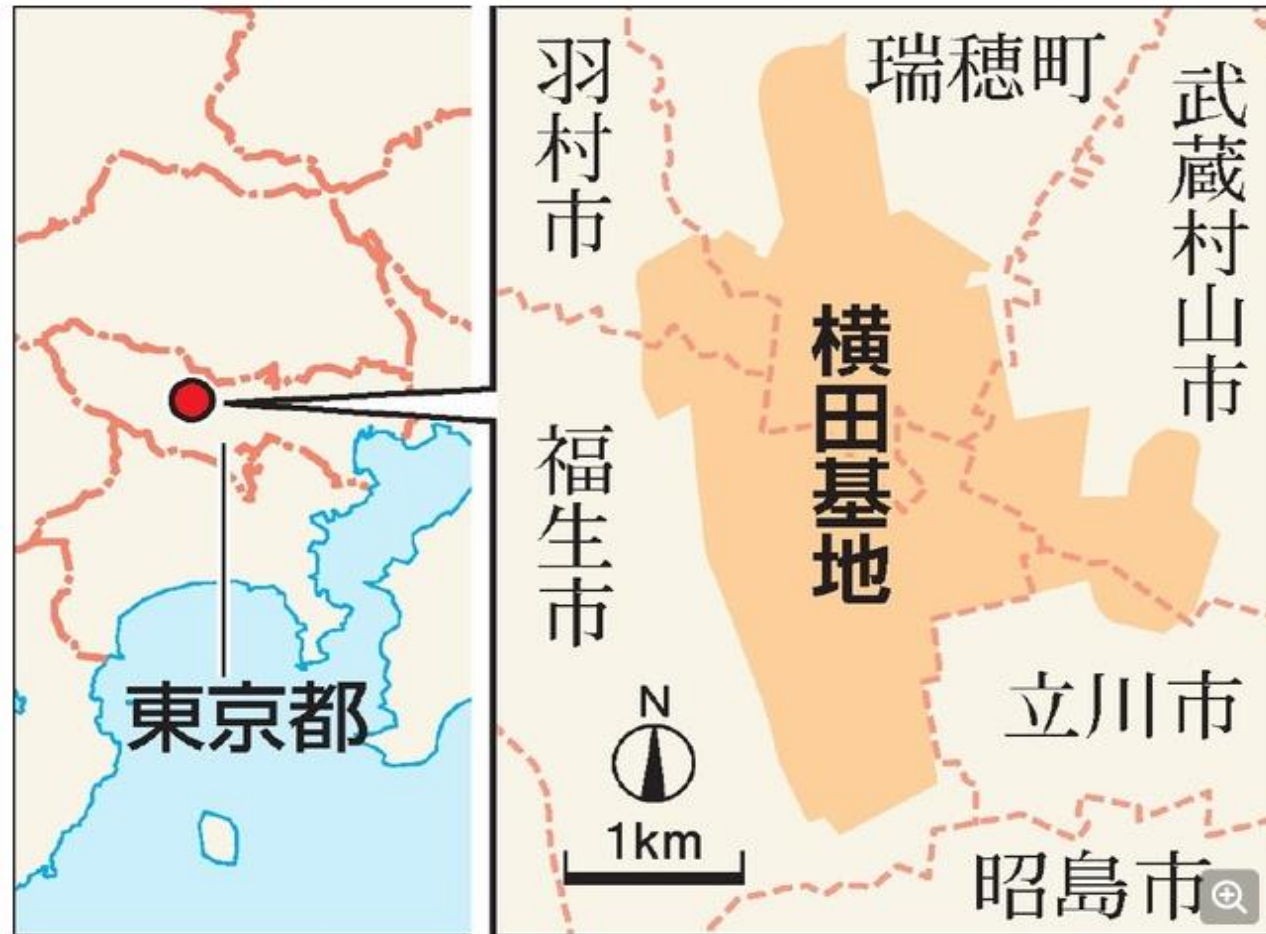
森永 徹

米軍横田基地



出典:朝日新聞デジタル。「横田基地近くの井戸から有害物質 米の飲用水基準19倍」.
2020年1月6日.

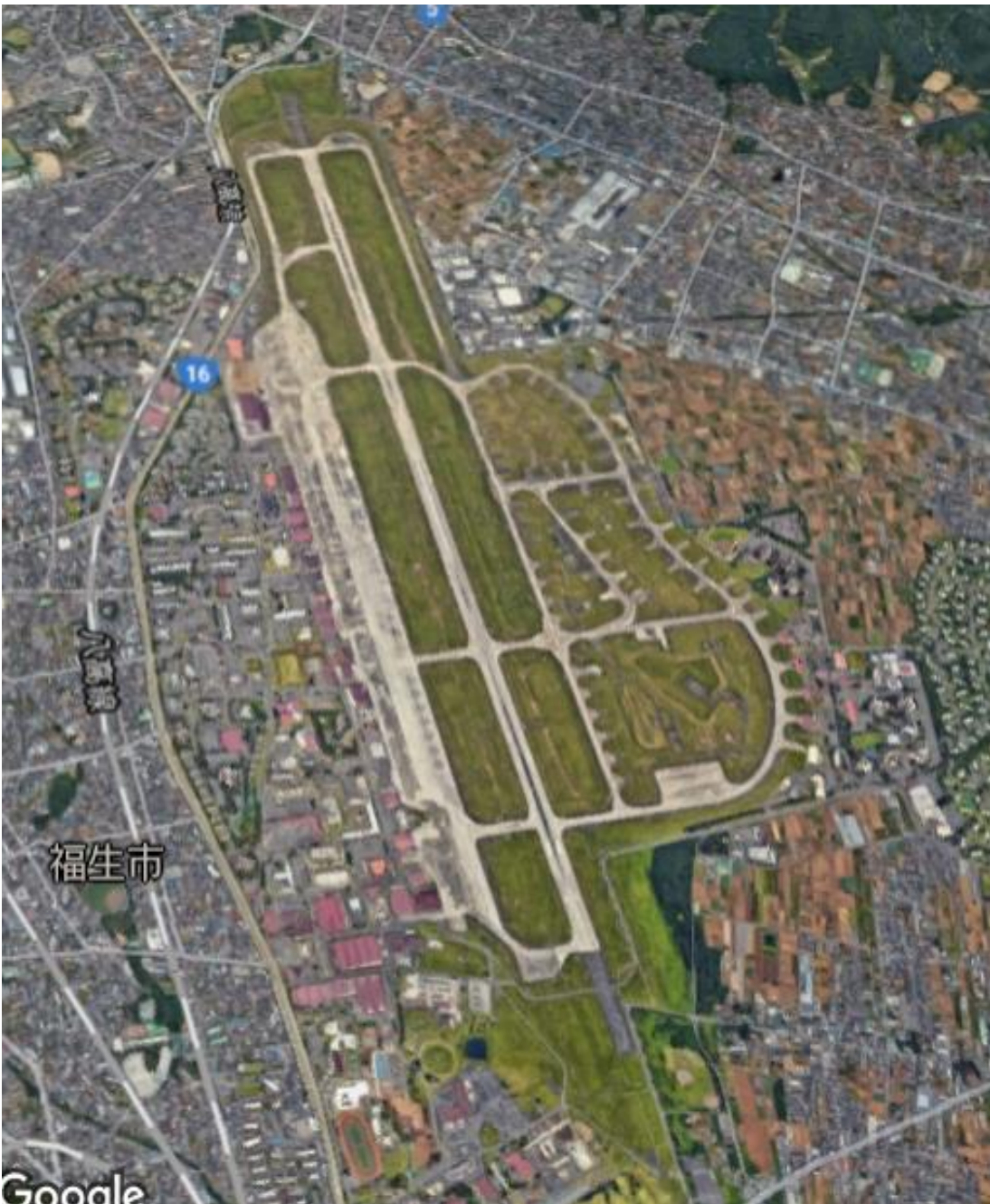
都市に囲まれた米軍横田基地



出典:朝日新聞デジタル.「横田基地近くの井戸から有害物質 米の飲用水基準19倍」.
2020年1月6日

米軍横田基地は都市に 囲まれている

出典：Googleマップ



「【ジョン・ミッチェル特約通信員】在日米軍司令部のある米軍横田基地（東京）で2010～17年に漏出した残留性有機フッ素化合物PFOS（ピーホス）を含む泡消火剤の量が、少なくとも計3161リットルに上ることが分かった」

2012～17年に米軍横田基地で起きた漏出事故

液体の種類	件数	漏出量（リットル）
航空燃料	64	3445
ディーゼル燃料	8	3040
油	8	250
油圧作動油	17	530
その他（ガソリン、不凍液、泡消火剤など）	21	3324
合 計	118	10588

※漏出量は四捨五入しているため合計が合いません

横田基地から漏出した泡消火剤は少なくとも3161リットル

出典：沖縄タイムス＋プラス、「普天間飛行場で汚染指摘の有害物質、横田基地でも漏出 井戸から高濃度のPFOS」。2018年12月10日

横田基地では長年にわたり大量の泡消火剤が使われてきた

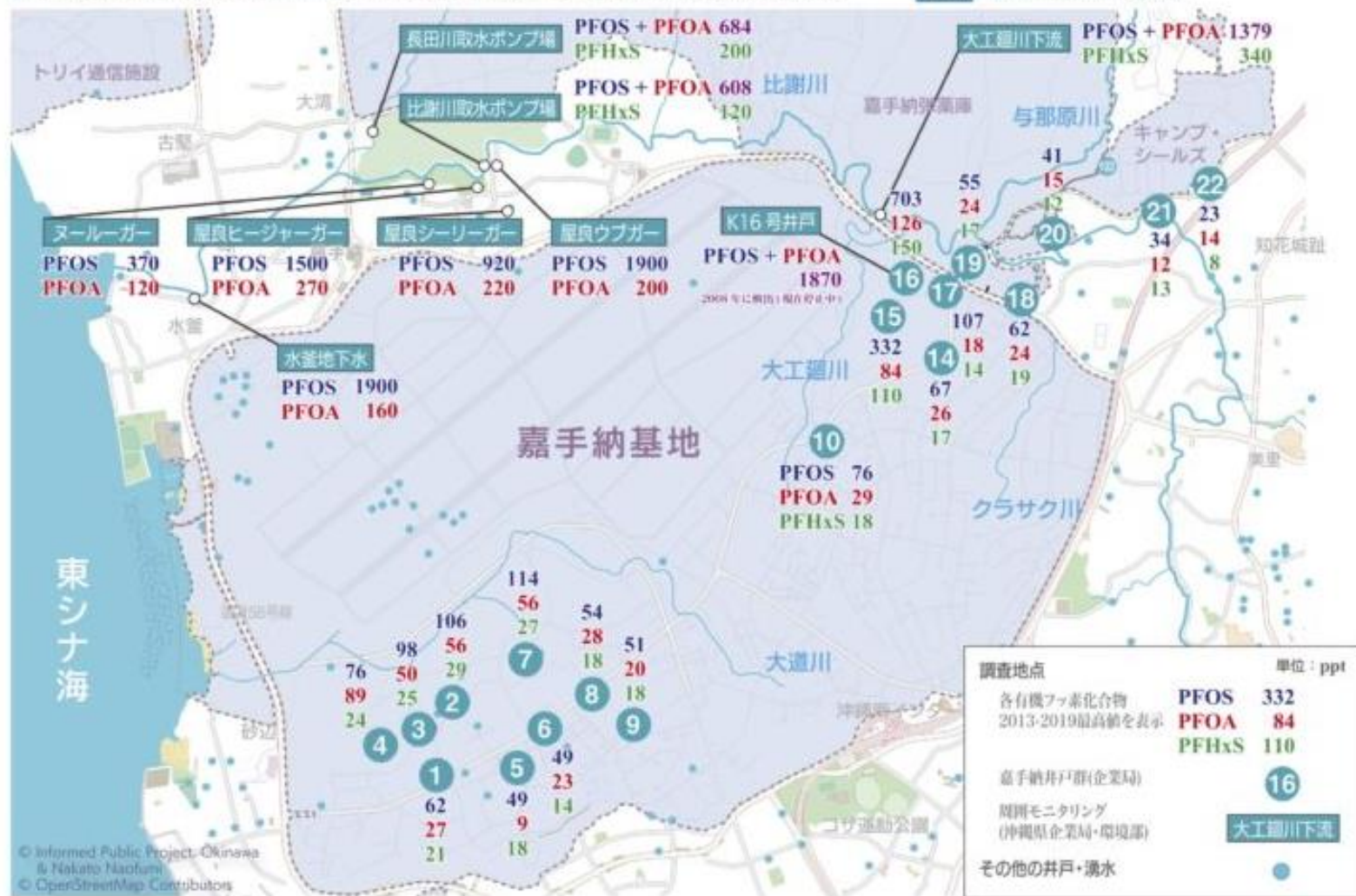


1958年、本物のB29にガソリンをかけて行われた消火訓練

出典：AERA.「横田基地周辺で勧告値19倍の水質汚染 専門家が危険視する健康被害の可能性」. 2020年1月20日.

嘉手納基地内および周囲の有機フッ素化合物 汚染状況マップ

嘉手納基地内および周囲のPFAS(有機フッ素化合物)汚染状況



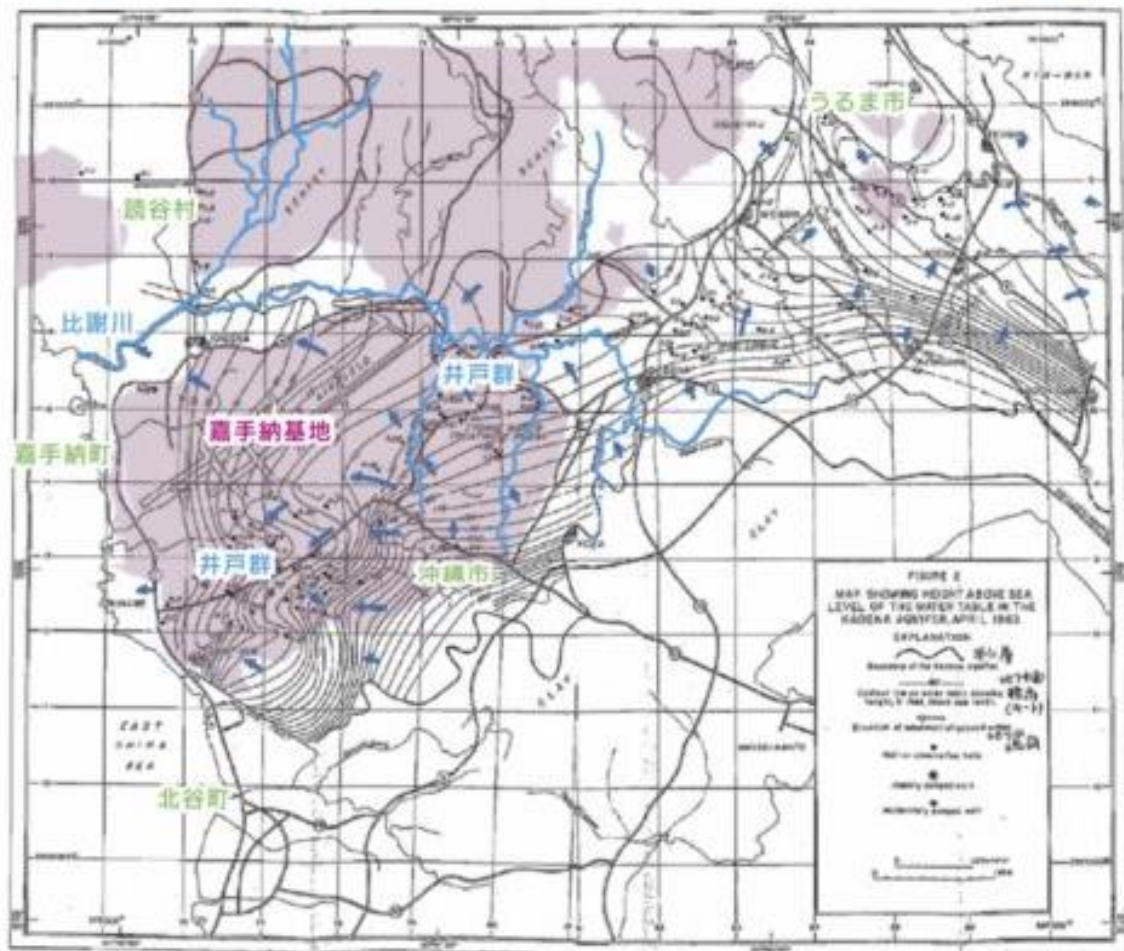
出典: The Informed Project Okinawa 嘉手納基地内および周囲のPFAS(有機フッ素化合物)汚染状況マップ」 2019.09.09

嘉手納基地周辺の地下水の流れ

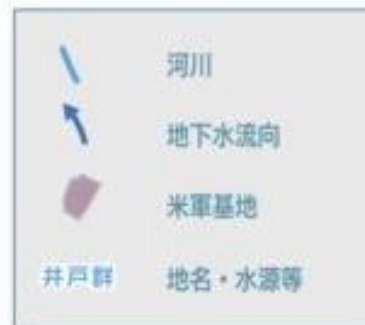
嘉手納基地周辺の地下水の流れ



© IPP (Informed-Public Project, Okinawa)
& Nakato Naofumi Sep. 2019



この地図は「提供施設区域内における
現況調査業務 報告書」平成 30 年 3 月、
沖縄防衛局・いであ株式会社 中の図
2.1-2 に下記の表記（河川、地名等）
を IPP が描き加え作図したもの。



出典) The Ground-Water Supply In The Kadena Aqirer (1965, D.J. Cederstorm)

図 2.1-2 既往知見による嘉手納帯水層の地下水調査結果

出典: The Informed-Public Project Okinawa 嘉手
納基地内および周囲のPFAS(有機フッ素化合物)汚染状
況マップ」 2019.09.09

普天間基地周辺の有機フッ素化合物汚染

出典: The Informed-Public Project
Okinawa 普天間基地周りの
PFOS/PFOA汚染: 宜野湾市の当事者
性を問へ」2018.10.22



湧水等から検出されたPFOSとPFOAの合計値

数値は2016年度夏季～2017年度冬季間の最大と最小値
赤字は、EPAの基準値(70ng/L)を上回る部分。●○はその他の湧水など



沖縄の河川、海域の有機フッ素化合物の環境汚染

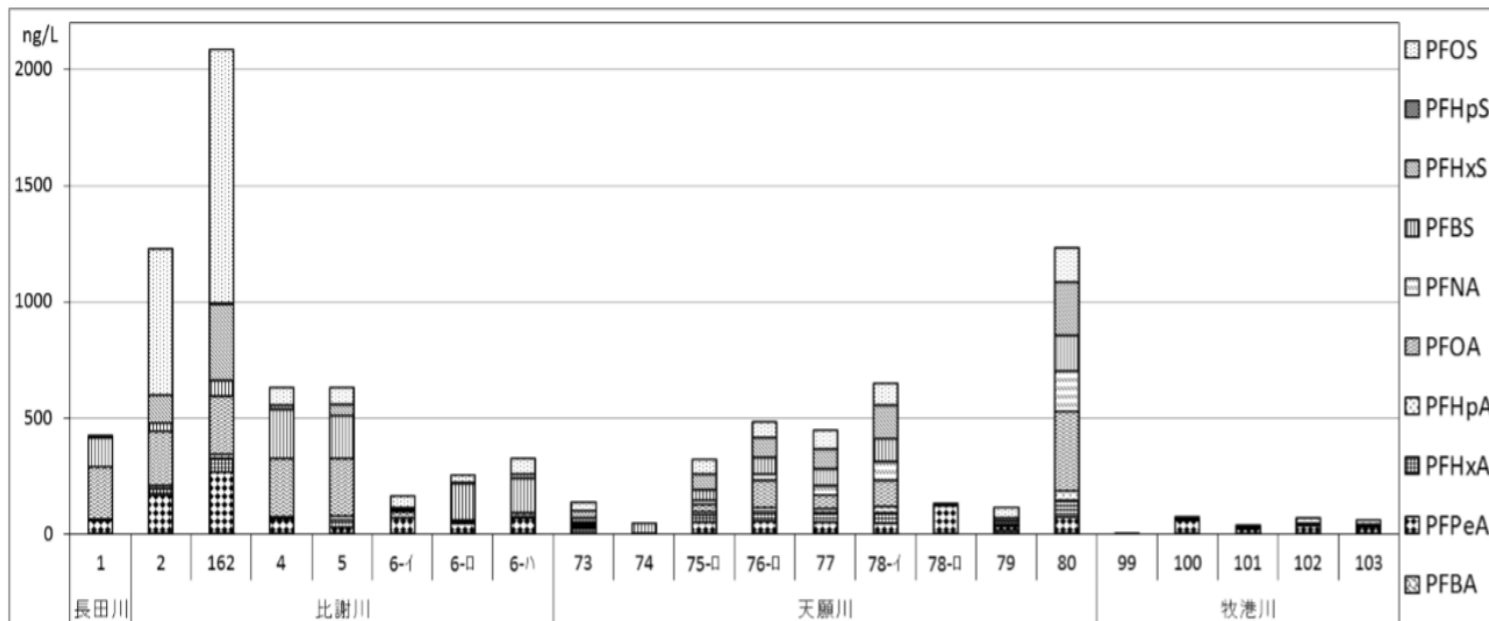


図 10. 中部河川の PFCs 濃度 (ng/L)

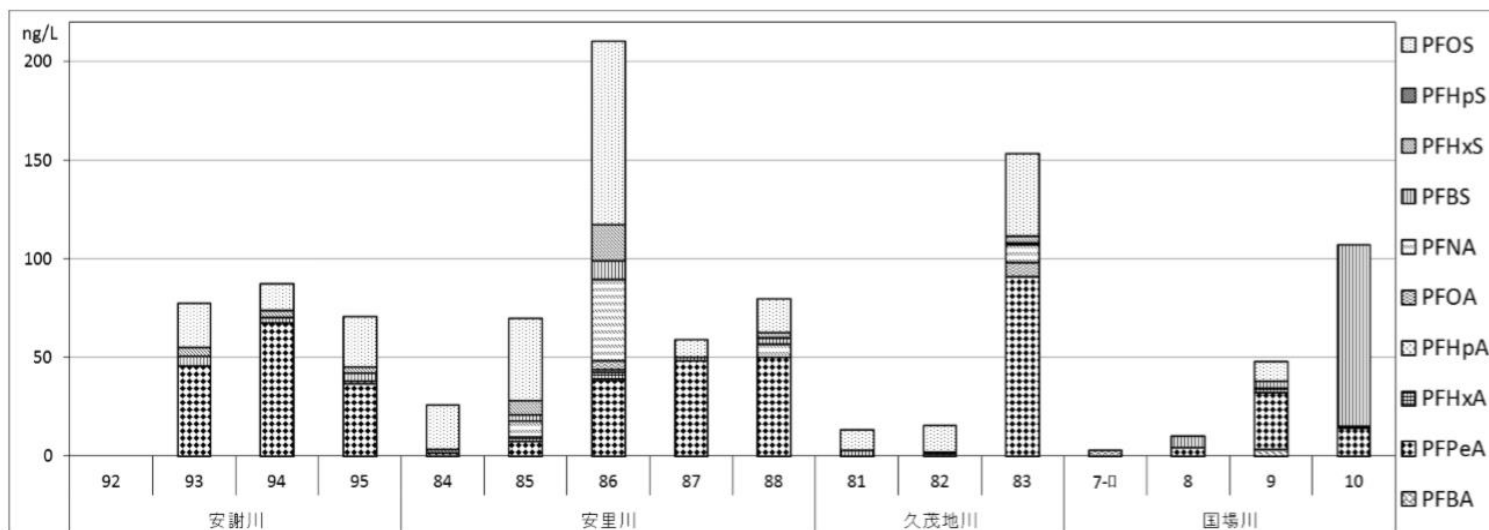


図 12. 那覇市周辺河川の PFCs 濃度 (ng/L)

塩川敦司・玉城不二美「沖縄島の河川及び海域における有機フッ素化合物の環境汚染調査」.
 沖縄県衛生環境研究所所報 第51号. 2017

嘉手納町屋良の湧き水



出典:琉球新報.「生活圏の湧水『不安』 住民『子どもの遊び場』 嘉手納汚染」.
2019年4月24日.

「水道水から有害物質検出 那覇・新都心で26・86ナノグラム 名護の100倍 2007年に岩手の研究所が調査 原因、米軍基地の可能性も」(沖縄タイムス)

「2007年に全国124カ所で実施された水道水調査で、北谷浄水場が給水元となる那覇市新都心公園の水道水の有機フッ素化合物PFOSとPFOAの合計値が1リットル当たり26・86ナノグラムとなり、名護浄水場が給水する名護市久志の同0.25ナノグラムの約100倍だったことが分かった。(社会部・松田麗香)」

水道水からのPFOS・PFOA検出値

採取地点	PFOS	PFOA	合計	給水元
北中城村 キャンプ瑞慶覧	15.3	1.32	16.62	北谷浄水場
那覇市 新都心公園	24.8	2.06	26.86	北谷浄水場
名護市久志	0.17	0.08	0.25	名護浄水場
糸満市 平和祈念公園	0.33	0.09	0.42	西原浄水場

※単位は ng/L

出典：沖縄タイムス＋プラス、「水道水から有害物質検出 那覇・新都心で26・86ナノグラム 名護の100倍 2007年に岩手の研究所が調査 原因、米軍基地の可能性も」. 2019年5月23日.

米軍基地の泡消火剤



画像出典:NHK・クローズアップ現代プラス.「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日.

有機フッ素化合物について

「有機フッ素化合物(PFCs)は、撥水・撥油性、熱・化学的安定性等の物性を示すことから、撥水撥油剤、界面活性剤、半導体用反射防止剤、金属メッキ処理剤、水成膜泡消火剤、殺虫剤、および調理用器具のコーティング剤等の幅広い用途で使用されてきました。〈中略〉炭素数が8のパーフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)とパーフルオロオクタン酸(PFOA)は環境中で分解されにくく、残留性や生物蓄積性を示すことから、世界的に河川水等の水環境中に存在し、さらには、人間活動から遠く離れた極域に生息するホッキョクグマをはじめとする多くの野生動物やヒトの血液や母乳からも検出されています。PFCs曝露による毒性影響は、実験動物を用いた投与実験で発ガン性、発達障害等が報告されています」

出典: 久保田領志(国立医薬品食品衛生研究所生活衛生化学部). 日本薬学会
環境・衛生部会.

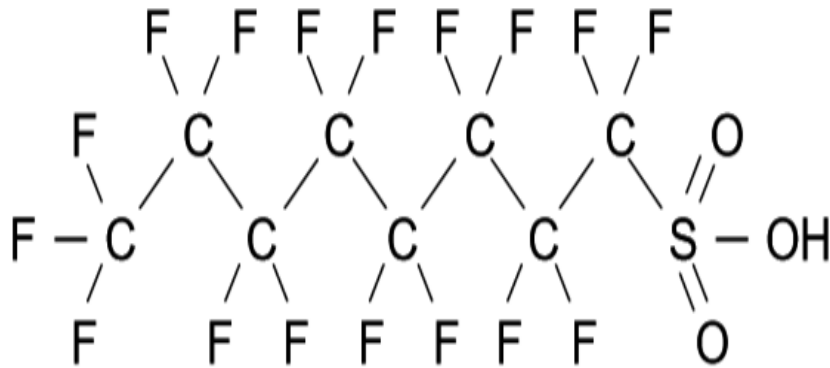
有機フッ素化合物について〈続き〉

「PFOSは、残留性有機汚染物質(POPs)の減少を目的に、それらの製造・使用・輸出入を制限する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)の附属書B(製造、使用、輸出入を制限すべき物質)へ掲載され、日本では、化学物質の審査および製造等の規制に関する法律(化審法)の第一種特定化学物質、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(PRTR法)の第一種指定化学物質に指定されています。一方、PFOAについては、米国環境保護庁においてはPFOA自主削減プログラム(PFOA 2010/2015スチュワードシッププログラム)によって主要フッ素化学メーカー8社による自主的な削減を求められ、日本では化審法の第二種監視化学物質に指定されています」

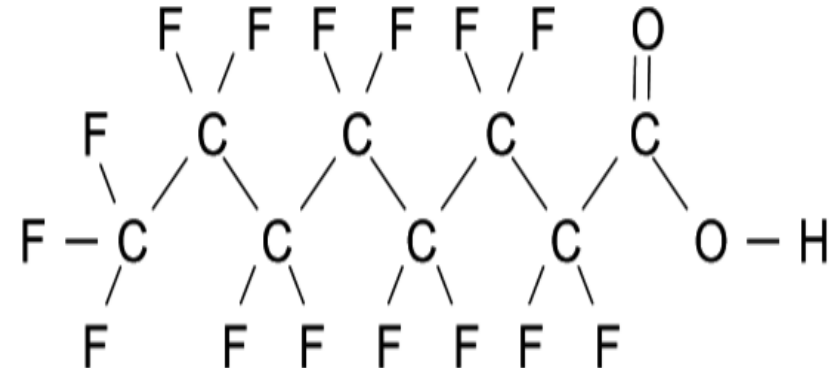
出典: 久保田領志(国立医薬品食品衛生研究所生活衛生化学部). 日本薬学会
環境・衛生部会.

有機フッ素化合物の構造式

炭素-フッ素結合を持つ有機化合物の総称。化学反応がおきにくく、温度を変化させても安定。



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)

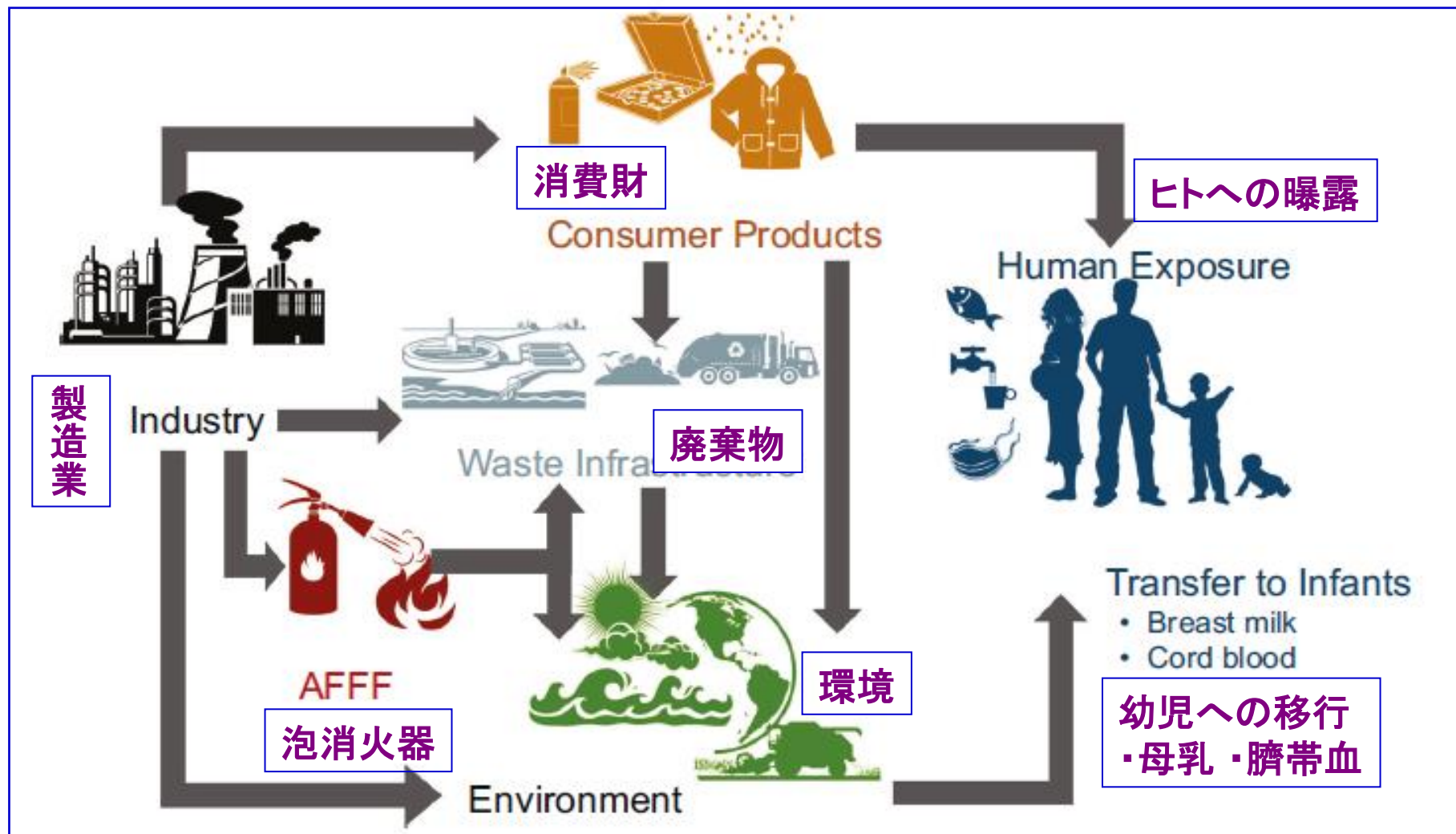
図1 代表的な有機フッ素化合物の構造式

PFOAの利用例

画像出典：NHK「クローズアップ現代プラス」 化学物質「水汚染」リスクとどう向き合うか」 2019年5月15日



有機フッ素化合物のヒトへの曝露経路



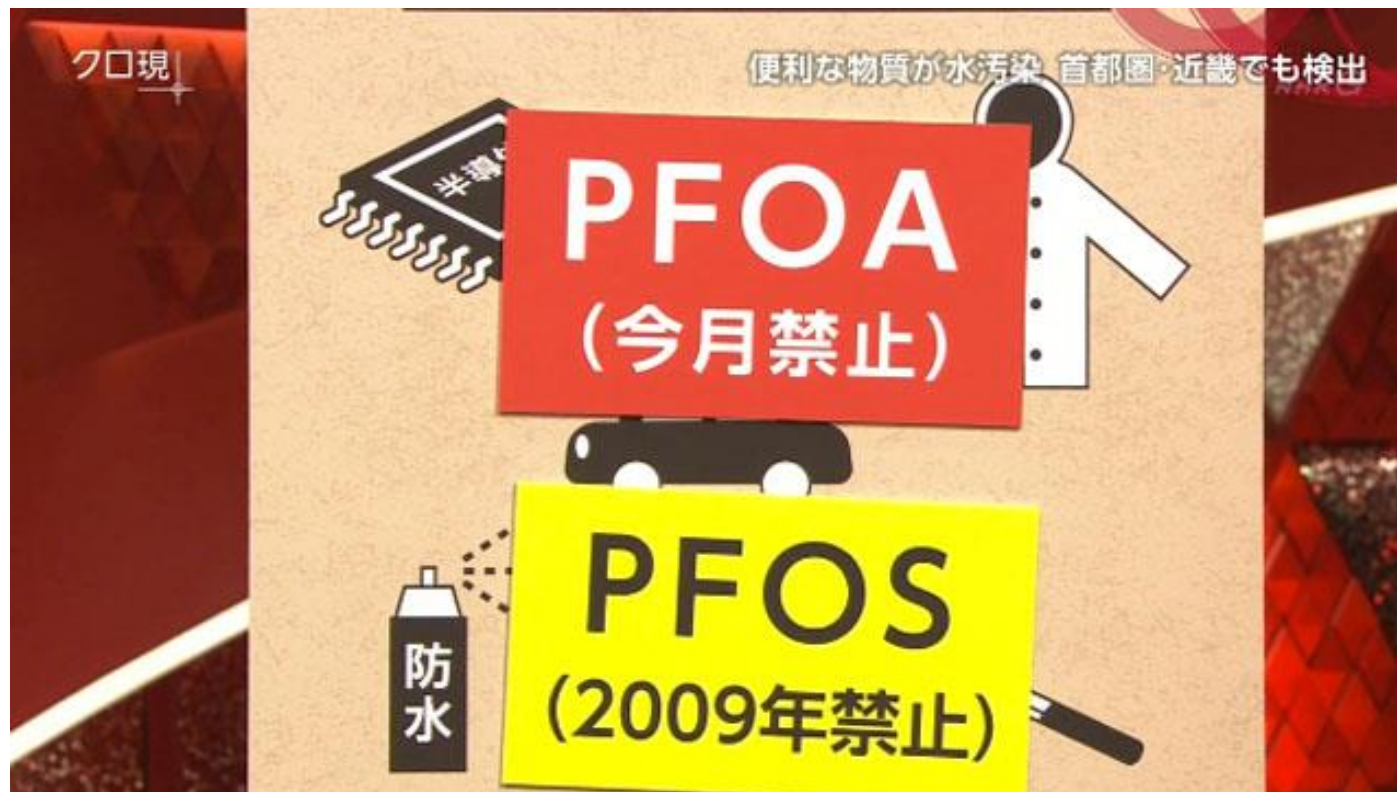
出典: Sunderland, Elsie M. (ハーバード公衆衛生大学院), et al. "A review of the pathways of human exposure to poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects." *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2019. (一部改変)

2019年5月の国連の会議でPFOAの製造と使用の禁止が決議された



画像出典: NHK・クロズアップ現代プラス. 「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日.

PFOSは2009年に、PFOAは2019年5月に製造と使用の禁止が決議された



画像出典: NHK・クロズアップ現代プラス. 「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日.

主な国におけるPFOS、PFOAの飲料水に関する目標値

	PFOS	PFOA	備考
米国	70ng/L (2016)	70ng/L (2016)	PFOS、PFOAの合計
ドイツ	300ng/L (2006)	300ng/L (2006)	
英国	300ng/L (2010)	10000ng/L (2010)	
オーストラリア	70ng/L (2017)	560ng/L (2017)	PFOSについては、ペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)との合計

植物の有機フッ素化合物濃度は土壌濃度に依存する

“soil-to-plant carryover of polyfluorinated compounds (PFCs), five cultivated plants (spring wheat, oats, potatoes, maize, and perennial ryegrass) ”

“Six variants per species were used, each with a different concentration level of PFOA and PFOS to detect possible concentration dependence in the transfer of these two PFCs from soil to plant.”

“The results show that concentrations of PFOA/PFOS in the plants vary greatly, depending on the concentrations applied to the soil.”

「ポリフッ素化合物(PFC)の土壌から植物への移行を5つの栽培植物(春小麦、オート麦、ジャガイモ、トウモロコシ、多年生ライグラス)」(で研究した。)

「土壌から植物へのこれら2つのPFCの移動における濃度依存性を検出するために、PFOAおよびPFOSを6種の濃度に分けた」

「結果は、植物に含まれるPFOA / PFOSの濃度は、土壌の濃度によって大きく異なることを示した」

出典: Stahl T. *et al.* “Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plants” *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2009

製造メーカーは有機フッ素化合物の健康影響を隠蔽した

“In the editorial, Grandjean said studies conducted up to four decades ago found health effects, including on the immune system, from PFAS chemicals, but those studies were hidden by production companies, like 3M Co.”

「論説で、Grandjeanは、古くは40年前に行われた研究がPFAS化学物質（パーフルオロアルキル化合物及びポリフルオロアルキル化合物）による免疫系を含む健康への影響を発見したと述べたが、それらの研究は製造メーカー、例えば3M Coによって隠蔽された」

出典: Heather Mongilio. “Hidden studies from decades ago could have curbed PFAS problem Scientist”. *Environmental Health News*. 2018.

有機フッ素化合物の健康影響のレビュー

“Multiple studies find significant associations between PFAS exposure and adverse immune outcomes in children. Dyslipidemia is the strongest metabolic outcome associated with PFAS exposure. Evidence for cancer is limited to manufacturing locations with extremely high exposures”

「複数の研究により、PFAS曝露と小児の有害な免疫結果との間に有意な関連性が見られる。脂質異常症は、PFAS曝露に関連する最も強い代謝結果である。がんの証拠は、非常に高い曝露のある製造場所に限定されている」

出典: Sunderland, Elsie M. (ハーバード公衆衛生大学院), et al. “A review of the pathways of human exposure to poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects.” *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2019.

有機フッ素化合物と疾患との関連



画像出典: NHK・クローズアップ現代プラス. 「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日

有機フッ素化合物と がんとの関連

オハイオバレーのデュポン社の化学工場

便利な物質が水汚染 首都圏・近畿でも検出



汚染源となったデュポン社(当時)の化学工場

画像出典:NHK・クローズアップ現代プラス.「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日.

有機フッ素化合物とがんとの関連

“Our analyses included incident cases of 18 cancers diagnosed from 1996 through 2005 in five Ohio (OH) counties and eight WV counties”

“higher PFOA serum levels may be associated with certain cancers. The association in the highest PFOA exposure group was largest but very imprecise for testicular cancer, and smaller but more precise for kidney cancer. Non-Hodgkin lymphoma and ovarian and prostate cancers were associated with very high exposure based on some models”

「我々の分析には、オハイオ州の5つの郡とWVの8つの郡で1996年から2005年にかけて診断された18の癌の発生事例が含まれる」

「より高いPFOA血清レベルが特定のがんに関連しているかもしれないといういくつかの証拠を提供する。最も高いPFOA曝露グループの関連性は、精巣腫瘍では最大であるが精密ではなく、腎臓がんでは小さいがより正確だった。非ホジキンリンパ腫と卵巣がんおよび前立腺がんは、一部のモデルに基づいて非常に高い曝露と関連していた」

出典: Vieira VM, et al.” Perfluorooctanoic acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: a geographic analysis. ” [Environ Health Perspect.](#)2013.

有機フッ素化合物と腎臓がん、精巣がん、甲状腺がんとの関連

化学工場からの放出により飲料水中のPFOAに曝露されたオハイオバレー中部の住民32,254人の癌発生率を、2005～2011年に調査した。腎臓がん、精巣がん、甲状腺がんの増加傾向が見られた。

Table 5. HRs (95% CIs) by PFOA quartile^a for thyroid, kidney, and testicular cancer cases among the cohort (*n* = 32,254).

Cancer	No. of cases ^b	Quartile 1 (reference)	Quartile 2	Quartile 3	Quartile 4	<i>p</i> -Value ^c	<i>p</i> -Value ^d
Kidney							
No lag	105	1.00	1.23 (0.70, 2.17)	1.48 (0.84, 2.60)	1.58 (0.88, 2.84)	0.18	0.10
10-year lag	105	1.00	0.99 (0.53, 1.85)	1.69 (0.93, 3.07)	1.43 (0.76, 2.69)	0.34	0.15
Testes							
No lag	17	1.00	1.04 (0.26, 4.22)	1.91 (0.47, 7.75)	3.17 (0.75, 13.45)	0.04	0.05
10-year lag	17	1.00	0.87 (0.15, 4.88)	1.08 (0.20, 5.90)	2.36 (0.41, 13.65)	0.02	0.10
Thyroid							
No lag	86	1.00	1.54 (0.77, 3.12)	1.48 (0.74, 2.93)	1.73 (0.85, 3.54)	0.25	0.20
10-year lag	86	1.00	2.06 (0.93, 4.56)	2.02 (0.90, 4.52)	1.51 (0.67, 3.39)	0.57	0.65

出典: Barry V, et al. “Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant.” *Environ health perspect.* 2013.

国際がん研究機関(IARC)は、PFOAをヒトに対して発がんの可能性があると分類

“The International Agency for Research on Cancer (IARC) classified PFOA as a possibly carcinogenic to humans (Group 2B). No IARC evaluation is available for PFOS.”

「国際がん研究機関(IARC)は、PFOAをヒトに対して発がんの可能性があると分類した(グループ2B)。PFOSで利用できるIARC評価はない」

出典: Sunderland, Elsie M. (ハーバード公衆衛生大学院), *et al.* “A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects.” *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2019.

有機フッ素化合物と その他の疾患との関連

PFOAは潰瘍性大腸炎を引き起こす

Table 3. Overall retrospective survival analysis results based on follow-up from 1952 through 2008–2011 [RR (95%)].^a

	Q2 vs. Q1 ^b	Q3 vs. Q1	Q4 vs. Q1	p_{trend} of log cumulative exposure
Unlagged exposure				
Ulcerative colitis	1.76 (1.04, 2.99)	2.63 (1.56, 4.43)	2.86 (1.65, 4.96)	< 0.0001
Crohn's disease	1.25 (0.61, 2.58)	1.15 (0.55, 2.41)	1.00 (0.48, 2.09)	0.73
Rheumatoid arthritis	1.24 (0.85, 1.79)	1.40 (0.96, 2.03)	0.99 (0.68, 1.43)	0.84
Type 1 diabetes—broad ^c	0.68 (0.29, 1.58)	0.53 (0.22, 1.30)	0.54 (0.22, 1.33)	0.84
Type 1 diabetes—narrow ^d	0.83 (0.25, 2.78)	1.41 (0.40, 4.95)	0.88 (0.25, 3.06)	0.68
Lupus	1.49 (0.68, 3.34)	1.01 (0.44, 2.30)	0.71 (0.31, 1.65)	0.94
Multiple sclerosis	0.85 (0.44, 1.63)	1.56 (0.81, 3.00)	1.26 (0.65, 2.42)	0.22
10-year lagged exposure				
Ulcerative colitis	1.71 (0.89, 3.27)	2.05 (1.07, 3.91)	3.05 (1.56, 5.96)	< 0.0001
Crohn's disease	0.80 (0.32, 1.99)	0.97 (0.36, 2.60)	0.69 (0.26, 1.82)	0.79
Rheumatoid arthritis	1.53 (0.61, 2.58)	1.73 (1.10, 2.71)	1.35 (0.87, 2.11)	0.73
Type 1 diabetes—broad ^c	0.42 (0.09, 2.00)	0.70 (0.14, 0.35)	0.38 (0.08, 1.93)	0.84
Type 1 diabetes—narrow ^d	0.50 (0.05, 4.90)	1.32 (0.14, 12.40)	0.71 (0.07, 7.14)	0.65
Lupus	0.79 (0.27, 2.34)	1.26 (0.40, 4.03)	0.61 (0.19, 1.91)	0.93
Multiple sclerosis	1.16 (0.54, 2.47)	1.62 (0.75, 3.52)	1.32 (0.61, 2.84)	0.59

出典：Steenland, Kyle, *et al.* “Ulcerative colitis and perfluorooctanoic acid (PFOA) in a highly exposed population of community residents and workers in the mid-Ohio valley.” *Environmental health perspectives*. 2013.

有機フッ素化合物は妊娠高血圧症 および出生時低体重と関連する

“Results provide some evidence of positive associations between measured serum perfluorinated compounds and pregnancy-induced hypertension and a negative association between PFOS and birth weight among full-term infants”

「結果は測定された血清ペルフルオロ化合物と妊娠高血圧症との正の関連性と、満期産児におけるPFOSと出生時体重との負の関連性のいくつかの証拠を提供する」

Darrow, L. et al. "Serum perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate concentrations in relation to birth outcomes in the Mid-Ohio Valley, 2005–2010." [*Environmental health perspectives*](#).2013.

PFOAは性ホルモンを減少させる

“The associations between PFOA and reproductive hormones, hepatic enzymes, lipoproteins, hematology parameters, and leukocyte counts were studied in 115 male employees. Serum PFOA was positively associated with estradiol and negatively associated with free testosterone (TF) but was not significantly associated with luteinizing hormone. The negative association between TF and PFOA was stronger in older men. Thyroid stimulating hormone and PFOA were positively associated.”

「PFOAと生殖ホルモン、肝酵素、リポタンパク質、血液学的パラメーター、および白血球数との関連性が、115人の男性従業員で研究された。血清PFOAは、エストラジオールと正の関連があり、フリーテストステロン(TF)とは負の関連があったが、黄体形成ホルモンとは有意な関連はなかった。TFとPFOAの間の負の関連は、年配の男性でより強かった。甲状腺刺激ホルモンとPFOAは正の関連があった」

有機フッ素化合物と小児の健康に関する文献レビュー

“Six categories of health outcomes emerged. These were: immunity/infection/asthma, cardio-metabolic, neurodevelopmental/attention, thyroid, renal, and puberty onset. While there are a limited number of studies for any one particular health outcome, there is evidence for positive associations between PFAS and dyslipidemia, immunity (including vaccine response and asthma), renal function, and age at menarche.”

「健康の結果は6つのカテゴリがあった。これらは、免疫/感染/喘息、心代謝、神経発達/注意、甲状腺、腎、思春期の発症だった。特定の健康結果に関する研究の数は限られているが、PFASと脂質異常症、免疫（ワクチン反応と喘息を含む）、腎機能、初潮年齢との間に正の関連性がある証拠がある」

出典: Rappazzo, M., et al.. "Exposure to perfluorinated alkyl substances and health outcomes in children: a systematic review of the epidemiologic literature." *International journal of environmental research and public health*.2017.

有機フッ素化合物は小児の免疫に影響する

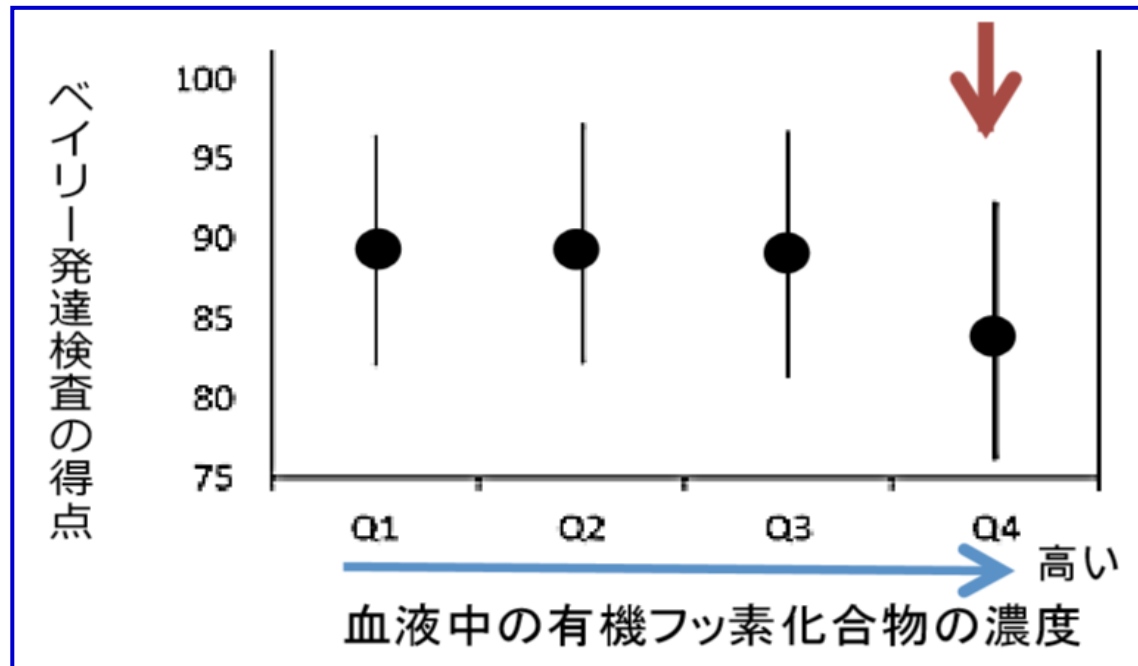
“Some health effects such as immunotoxicity can be detected at lower exposure levels than others. For example, Grandjean et al. examined the impact of serum PFAS concentrations on serum antibody production in children at ages 5 and 7 years following routine vaccinations for tetanus and diphtheria. A doubling of serum PFOS, PFOA and PFHxS concentrations at age 5 was associated with a 50% decline in antibody concentrations at age 7. ”

「免疫毒性などの健康影響は、他よりも低い曝露レベルで検出できる。例えば、Grandjean et al.は、破傷風とジフテリアの定期予防接種後5歳と7歳の子供の血清抗体産生に対する血清PFAS濃度の影響を調べた。5歳での2倍の血清PFOS、PFOA、PFHxS濃度は、7歳での抗体濃度の50%の低下と関連していた」

出典: Sunderland, Elsie M., et al. "A review of the pathways of human exposure to poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects." *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 2019

血中有機フッ素化合物濃度が高いと運動・言語・社会性などの総合的な発達が低下する

生後6ヶ月の女児173人の有機フッ素化合物濃度と運動・言語・社会性などの総合的な発達の関連をベイリー発達検査で調べた。



出典:ポプラ通信. 2016年上半期号. 北海道大学 環境健康科学 研究教育センター.
原典:Goudarzi, H, et al. “Prenatal exposure to perfluorinated chemicals and neurodevelopment in early infancy: The Hokkaido Study.” Science of the Total Environment. 2016.

妊婦のPFOS濃度が高いと乳児は低体重、低ホルモンとなる

フタコ

便利な物質が水汚染 首都圏・近畿でも検出

北海道大学の妊婦と赤ちゃんの調査



PFOS濃度 高



出生体重が軽い
(濃度差10倍で150g減)



精子の形成にかかわる
ホルモン濃度4割低い



PFOS濃度 低



画像出典: NHK・クローズアップ現代プラス. 「化学物質“水汚染” リスクとどう向き合うか」. 2019年5月15日

福岡市の河川の 有機フッ素化合物濃度

福岡市内河川水及び博多湾の有機フッ素化合物に 関する汚染実態調査の調査地点

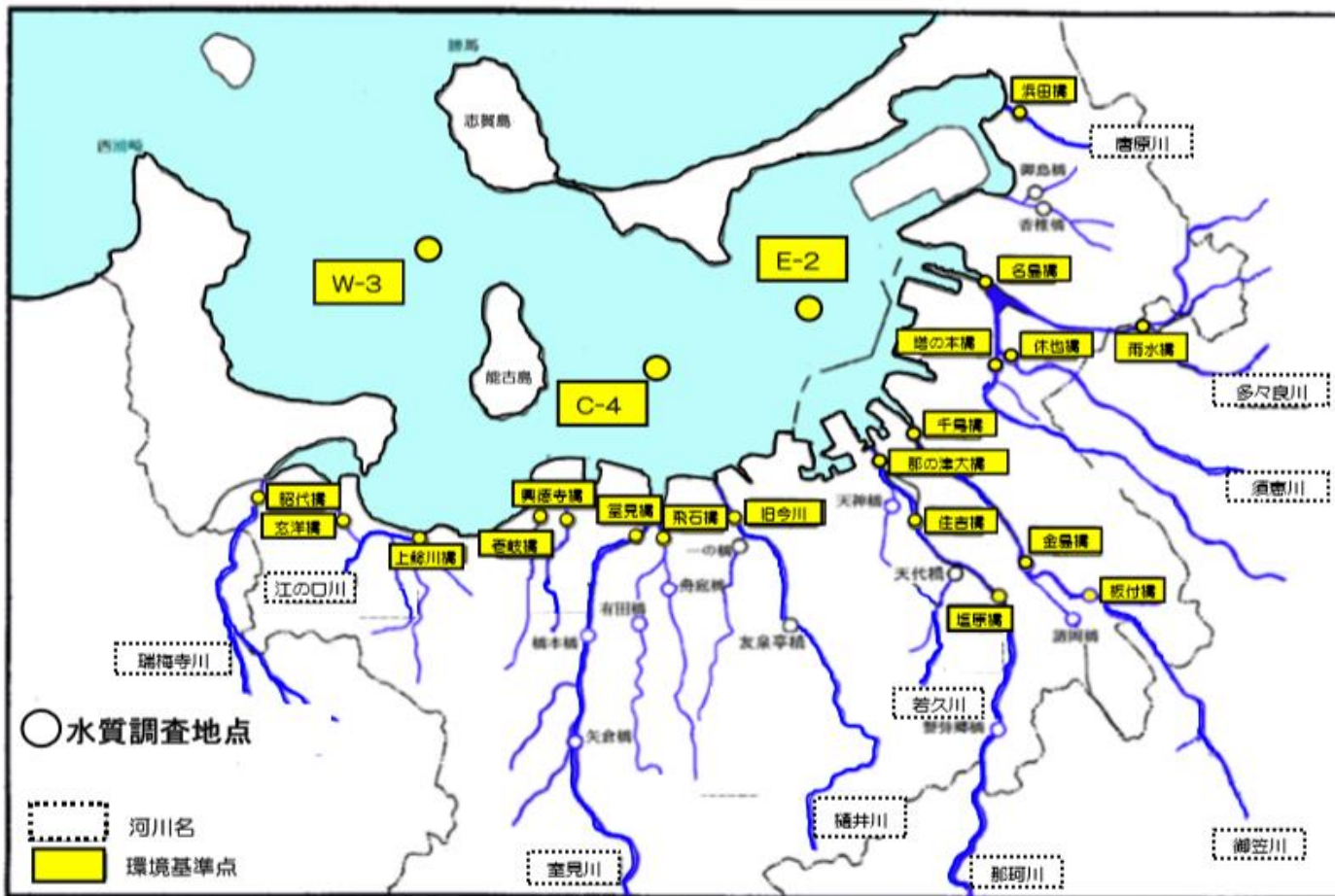


図1 調査地点図

出典:小原浩史, *et al.*「福岡市内河川水及び博多湾の有機フッ素化合物に関する汚染実態調査」. 福岡市保健環境研究所報, 2009.

福岡市の各地点別の有機フッ素化合物濃度 (ng/L)

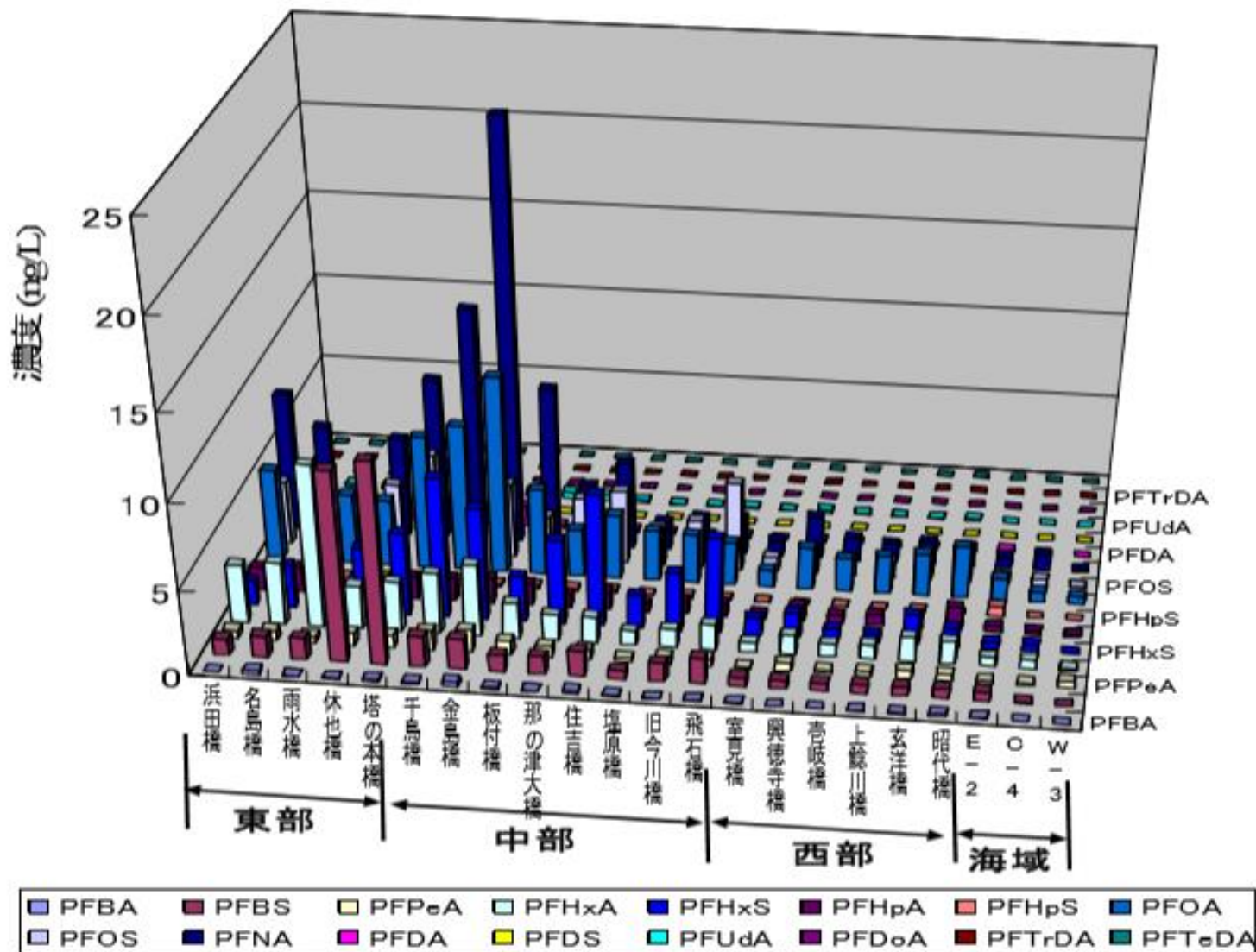


図3 有機フッ素化合物の炭素数別・地点別分布図

出典: 小原浩史, *et al.* .「福岡市内河川水及び博多湾の有機フッ素化合物に関する汚染実態調査」. 福岡市保健環境研究所報, 2009.

東部地区の濃度はなぜ高いか

この文献では東部地区河川の PFCs 濃度が高いことに関して「東部，中部地区に PFCs の排出源とされる下水処理場等があり，その影響が考えられた」としている。

しかし、東部地区の金島橋、千鳥橋の上流には福岡空港、元の旧米軍板付基地がある。ここからの流出の可能性もあるのではないだろうか。

まとめ

米軍基地から流出する有機フッ素化合物は様々な健康被害を惹起する。

米軍基地内も日本側が調査できるような体制を取り、国民の健康を守ることが必要である。