

記念講演 原田浩二氏

広がるPFAS (有機フッ素化合物) 汚染

— 私たちの体も汚染されている

【文責】 ジャーナリスト/事務局 植田武智



原田浩二氏
京都大学大学院医学研究科社会健康
医学系専攻環境衛生学分野准教授。長
年にわたり、日本各地のPFASによる
環境汚染の調査研究を行う。

日本のPFAS汚染研究を網羅する情報豊富なお講演でしたが、紙面の都合上、いくつかのトピックを報告します。

PFAS 汚染はいつ頃から起きていたのか？

PFAS が開発されたのは1940年代でした。まず3M 社が開発し、その後商業化され応用範囲が広がって1960～70年代から人体汚染が始まったと考えられます。汚染が発覚したきっかけは、2000年5月に3M 社が自主的にPFOS や PFOA の製造中止を発表したことです。環境での残留性があり、生物での蓄積性が高く、従来の PCB やダイオキシンのような POPs (残留性有機汚染物質) に性質が似ているということで、経営上のリスクを考えてのことでした。

しかしその時にはすでに海鳥やホッキョクグマなど世界中の生物の汚染が起きていました。PFOS の場合、水中の濃度を1とすると野生生物の生体内では5000～1万倍に濃縮されることが分かっています。また、1970年代から2000年にかけて野生生物の体内の PFOS 濃度は10倍以上増えています。

その後 PFOS は2009年、PFOA は2019年に実質的に製造中止となり、環境汚染は減少してきますが、その代わりに使われ始めた PFHxS など別の PFAS の汚染が増えてきています。

ダイキン工業による大阪の PFOA 汚染

私たちは2000年くらいから研究を始めました。まず日本での汚染を確認するため全国79の河川を調べたところ、PFOS や PFOA の濃度が高い河川があることが判明。PFOA に関しては大阪近辺が高く、水道水でも関西

地域が高めということが分かりました。

その後関西地域の汚染を調べていく中で、2004年には大阪の淀川の支流の安威川にある下水処理場の近くで PFOA が数万 ng/L と国内最高濃度で見つかります。そしてその近くにダイキン工業のフッ素樹脂製造工場があることが分かりました。住民の血中濃度も高く、その原因の一つに水道水の汚染が疑われました。さらに2007年には工場周辺の地下水・井戸水から PFOA が5万7000ng/L と飛びぬけて高い濃度で検出されました。その前年にダイキン工業は PFOA 製造の削減を始めていたので河川水の濃度は下がってきたのですが、地下水の汚染は残っていることが分かりました。その後2016年の調査でも同じ地点の井戸水から1万 ng/L 検出されています。さらに PFOA 汚染は水だけでなく、工場の排気が大気中に拡散した経路もあることが分かります。

また食事も重要な汚染源であり、特に魚介類が水中の PFAS を生物濃縮して、その魚を食べることで私たち体内にも蓄積するという食物連鎖の関係が分かってきました。近年の研究では、化粧品やファストフードの容器包装からの直接ばく露も注目されています。化粧品に含まれる PFAS の濃度は人の血中濃度よりも3桁も高い濃度だからです。

全体としてどこからのばく露が多いかについては、2000年に入ってから調査で、東北地方では食事経由が半分以上を占め、関西では水道水の占める割合が高いことが分かりました。

2004年の京都の男性の血中では PFOS が28.1ng/mL、PFOA は12.4ng/mL と、海外と比べると PFOA が高いことが分かりました。京都大学で保管する全国のヒトの生体試料バンクを調べたところ、京都、大阪、兵庫では PFOA の濃度が他の地域に比べ突出していました。水道水やダイキン工業の工場からの大気を通じたばく露が原因だろうと判断しています。また生体試料バンクのデータからは汚染の変遷も分かってきました。1980年代からの京都の人たちの血中濃度では、1983年から1999年にかけて

は増加しましたが、2000年以降は減少、2013年には5ng/mL ぐらいに減っています。

PFOS、PFOA 以外の PFAS 汚染

PFOS、PFOA 以外の PFAS についても調査しました。例えば PFOA は炭素数が8つのカルボン酸ですが、カルボン酸には炭素の数が違う9個や11個があり、そうした長い炭素鎖の PFAS も使われていることが分かっています。長鎖の PFAS については血中濃度が2002年から2009年にかけて上昇していることが分かりました。これらの長鎖 PFAS は生物濃縮性が非常に高く、また血液中よりも肝臓など特定の臓器に蓄積しやすいことが問題です。

新たに分かってきた PFAS の毒性

また PFAS の毒性については、初期は動物実験からのデータが主だったのですが、汚染が広がった結果、ヒトの疫学調査から新たな毒性が分かってきました。世界中の出生コホート研究では出生体重の低下との関係が分かっています。また血中のコレステロール値を上げる作用も報告されています。こうした脂質の代謝異常については、PFAS は体の中の脂質に構造が似ているという点から注意が必要だと考えられます。

さらに免疫への影響も報告されています。免疫への影響は動物実験で報告されていたのですが、ヒトの疫学調査でも、5歳から7歳の子どもで PFAS 濃度が高いほど、ジフテリアと破傷風の2種混合ワクチン接種後の免疫抗体価が減少することが分かりました。さらに新型コロナウイルスの影響についても、ある種の PFAS の濃度が高いほど重症度が上がるという研究も発表されました。

沖縄の PFAS 調査から分かったこと

●水道水からのばく露

2019年4月に宜野湾市の人たちから依頼され血液検査を行ないました。宜野湾市の人たち44名の血中濃度は、PFOS は13.9ng/mL で、対照群である南城市の人たち61名は6.6ng/mL ですから、約2倍の高値でした。PFHxS も約4倍と高い値でした。水道水を日常的に飲んでいる人たちの PFOS 濃度はさらに高く16.7ng/mL で、飲まない人は10.6ng/mL なので、このあたりの差が水道水によるばく露と考えています。PFHxS も同様の結果でした。

この血中濃度から計算すると宜野湾市の人たちは大体毎日80ng の PFOS を摂取していると推定されます。当時、宜野湾市の水道水の PFOS 濃度は14.1ng/L、1日2L の水

道水を飲むとすれば28ng を摂取しており、その分だけ住民の血中 PFOS 濃度は上がるということになります。

●土壌を通じた農作物汚染

こうした PFAS は土壌も汚染します。汚染された土壌で育てた農作物にも影響する恐れがあります。宜野湾市では田芋の栽培が有名で、畑の土壌と田芋を分析しました。

土壌からは PFOS が1万1400ng/kg 検出されました。これは環境省による全国の底質調査最大値500ng/kg をはるかに超える値です。一方作物の田芋では PFOS が8.9ng/kg。移行割合は0.17% でかなり限定的でした。一方 PFOA は2.3%あり、PFOA の方は農作物への影響も考慮する必要があります。

PFOS を含まないはずの泡消火剤から PFOS や他の PFAS を検出

沖縄で調査している間にはいくつかの事故も経験しました。2020年4月10日の普天間飛行場の泡消火剤流出事故で、希釈した泡消火剤の量で14万3830L が放流されました。その泡が流れ込んだ宇地泊川の水では、PFOS と PFOA とも環境暫定指針値を超える濃度でした。さらに他の PFAS も調べたところ、6:2FTS（フルオロテロメスルホン酸）という PFAS が最も高濃度で検出されました。PFAS の代替物として泡消火剤の主成分になっているのだらうと推測しますが、その新しい消火剤にも依然として PFOS、PFOA も含まれていることが問題です。

さらに昨年2021年2月には今度は航空自衛隊那覇基地からも泡消火剤の流出が起きました。量は900L と少なかったのですが、泡の組成をみると6:2FTS が多く普天間飛行場のものと同じような結果でした。その自衛隊の泡消火剤は PFOS を含まない代替品という説明だったのですが、それでも PFOS がかなり残っていることが分かりました。

また、直接航空機などが配備されているわけではない、貯油施設（タンクファーム）などからの汚染も見つかっています。環境省による全国の調査でも愛知県の県営名古屋空港（名古屋飛行場）で、この周辺で取水している配水池の原水および浄水で PFOS と PFOA 合計値が150ng/L を超える場所がありました。

まとめとして航空施設では泡消火剤の置き換えが進んでいるものの、配管などに PFOS、PFOA が残留していて、流出事故があった時の影響は注意が必要です。また事故後に河川水や海水を調べて濃度が減ったから大丈夫ではなくて、土壌や魚介類などに残っていないか調査する必要があります。さらに6:2 FTS などの新たな PFAS などについても環境調査やリスク評価が必要です。