

# 有機フッ素化合物 (PFAS) 汚染をめぐる国と自治体の対応 ーリスク行政と不確実性行政の観点からー

日本都市センター 研究員 中山 敬太

本稿では、有害化学物質汚染の事例として PFOS や PFOA を含む「PFAS (有機フッ素化合物)」を取り上げ、①その汚染の実態と懸念される身体的悪影響を国内外の先行研究等により整理した。その上で、②日本における PFAS 汚染に対する国や自治体の取組みの概況やその特徴から新たな本質的課題を見出し、リスク行政と不確実性行政という観点から、神奈川県座間市の事例等にも触れながら、日本の規制の状況を踏まえ、製品ライフサイクル上の上流フェーズ (製造・輸入・使用) と下流フェーズ (消費・廃棄) に区分して、国と自治体の関係性や今後生じ得る懸念事項 (立法不作為) 等についても具体的な検討を行った。また、このような本質的課題が生じている要因 (背景) として、③リスク行政と不確実性行政の間の「ねじれ」と「ゆらぎ」という観点から若干の考察を試みた内容となっている。

## 1. はじめに

### (1) 本稿の背景・目的

人類社会は、「水」によって多大な恩恵を受けている。地球上には、表面の 70%ほどが約 14 億 km<sup>3</sup> とされる水によって覆われており、そのうち 97.5% は塩水 (海水) で、残りの 2.5% は淡水でそのおよそ 70% が氷河・氷山であり、残りの 30% のほとんどは土中の水分あるいは地下水と言われている中で、我々人間が利用しやすい河川や湖沼に存在する地表水は淡水のうち約 0.4% (地球上の水のわずか 0.01% に該当) である<sup>1</sup>。このように、普段我々人間が口に入れている水が非常に限られた水資源から恩恵を受けていることが分かる。また、人間 (成人) は体内の約 60%、子どもは約 70%、そして新生児は約 80% が水分であると言われている。つまり人間の体を構成している主成分が水であると言っても過言ではない。

では、人間が生きていく上で必要不可欠な水やその限られた水資源が汚染し、普段我々が口に入っている飲食物に知らぬ間に人体に悪影響をもたらす可能性のある有害化学物質等が入っていたらどうだろうか。現在において「工業及び農業で使用されている化学物質は世界で約 10 万物質、日本では、5 万から 6 万物質」で、「年間 50kg 以上国内で生産、輸入されており、化審法の対象となっている化学物質は約 3 万種類」であると言われている<sup>2</sup>。まさに、今現在このような汚染状況が日本の各地域をはじめ世界各国で「有機フッ素化合物 (PFAS<sup>3</sup>) 汚染」として明るみになり、深刻な化学物質汚染として社会問題化している。しかし、PFAS の一種である PFOS<sup>4</sup> や PFOA<sup>5</sup> などは既に日本でも法律により製造・輸入等が原則禁止となっているにも関わらず、その汚染対策をめぐる実態調査は行われているものの、法的拘束力の伴う規制措置等が講じられていないの

1 環境省「水の星地球ー美しい水を将来へ」 (<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h22/html/hj10010401.html> : 最終閲覧日 2025年1月24日)。  
2 中地重晴(2024)「国内外のPFASへの取り組みと国際的な化学物質管理の動向」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1、p.2引用・参照。なお、化審法は、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」が正式名称である。  
3 ペルフルオロアルキル物質(Per- and PolyFluoroAlkyl Substances)。  
4 ペルフルオロオクタンスルホン酸(perfluorooctanesulfonic acid)。  
5 ペルフルオロオクタン酸(Perfluorooctanoic acid)。

が現状である<sup>6</sup>。

そこで、本稿では、具体的な事例として「PFAS」を取り上げ、その汚染の現状と懸念される身体的悪影響を国内外の先行研究等により整理する。その上で、日本におけるPFAS汚染に対する国や自治体の取組みの概況やその特徴から新たな本質的課題を見出す<sup>7</sup>。このようなPFAS汚染をめぐり、その身体的悪影響等に対して「リスク」と「不確実性」が混在する状況下において、本稿では特に自治体の安全・安心行政を踏まえ、国と自治体のそれぞれの取組み（双方の関係性を含む）の本質的課題に関してリスク行政と不確実性行政の観点から新たな視座とその政策的示唆を示すことを目的としている。

なお、本稿における「懸念」概念には、「リスク」と「不確実性」の双方を含意する対象として用いる。ただし、「リスク<sup>8</sup>」と「不確実性<sup>9</sup>」の両概念は明確に位置づけを分けて論じる<sup>10</sup>。

## (2) 問題の所在

このような背景や目的等を踏まえ、本稿では大別して次の2つの論点について検討及び考察を行う。

第1に、PFOSやPFOAをはじめとするPFAS汚染をめぐり、その身体的悪影響に関して様々な懸念が指摘されている状況下で、汚染実態および国と自治体の取組み状況等を踏まえ、一体どのような本質的課題があるのかを追究する。

第2に、上述の第1点目で示した本質的課題が生じているのはなぜか、その背景や根本的な要因について追究する。

## 2 PFAS汚染の現状とその身体的悪影響

### (1) PFASとは

まず、PFASとは何か問題となる。その上で、PFASがどのような経緯で、なぜ用いられるようになり、一体どのような特性があるのかを示す必要がある。

PFASは「有機フッ素化合物」の総称あり、正式名称は「ペル及びポリフルオロアルキル化合物（pre-and polyFluoro Alky Substances）」である。PFASは「炭素鎖にフッ素が結合し、末端にアルキル基またはスルホン基を持つ界面活性剤」であり、「炭素鎖数が異なる同族体が存在するが、代表的な化合物として炭素鎖数8のPFOSおよびPFOAがある」<sup>11</sup>と言われている。このPFASは約4700種類<sup>12</sup>以上あるとされ<sup>13</sup>、PFASの商業目的の開発は1940年代にアメリカの3M社により始められ、「PFOSは衣類などの撥水・撥油剤（代表的な製品に3M社のスコッチガード）の構成原料、軍の基地や空港などで使用される泡消火剤、半導体製造におけるフォトレジスト、クロムメッキ加工などに用いられてきた」一方で、「PFOAはフッ素樹脂の製造過程での使用のほか、種々のPFASの副生成物と

- 6 この点、「公共用水域、水道での網羅的な調査がなされているわけではない」こと、そして「水道水のPFAS測定も義務ではなく、専用水道、簡易水道など浄水場以外の水道の実態はまだ分かっていない」と指摘している。原田浩二(2024)「PFAS汚染の広がり」とヒトばく露の現状—発覚の経緯と近年の動向—『日本の科学者』Vol.59, No.11, p.13引用・参照。
- 7 本稿では、日本のPFOSやPFOAをはじめとするPFAS汚染の実態とそれに対する国と自治体の取組みに焦点を当てるため、アメリカやEU等の諸外国の汚染実態や対策に関する動向等は別の機会でその詳細を論じる。
- 8 「リスク」の定義(考え方)は様々あるが、「人間の活動に伴う望ましくない結果とその起こる確率を示す概念」であり、「人間にとって好ましくない出来事について、『影響の大きさ』に『発生の不確かさ』を掛け合わせて評価するのがリスクの基本的な考え方である」とされている。環境省「リスク・コミュニケーションを通じた回避行動の必要性」(<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h11/10971.html> : 最終閲覧日2025年1月30日)。本稿では上述した環境省の考え方およびISO12100でも同内容が示されているように、「リスク」を危害の程度とその発生確率の組み合わせと位置付ける。
- 9 「不確実性」は、「確実」ではない(「不」)状態のことであり、本稿で取り上げたような化学物質汚染などを含む環境汚染問題をめぐっては「科学的な不確実性」と表現されることも多い。この「不確実性」に関しては、「科学的な不確実性」と「社会的な不確実性」の2つに区分し、具体的な事例に基づき「科学的な不確実性」は2区分、「社会的な不確実性」は6区分にそれぞれカテゴリー化をして論じている以下の研究成果が参考になるだろう。中山敬太(2022)「リスク意思決定に対する不確実性情報の管理に関する有効性の検討—科学的な不確実性と社会的な不確実性の細分化の観点から—」『場の科学』Vol.1, No.3。
- 10 「リスク」と「不確実性」の両概念の違いは、フランク・H・ナイトがその著書である『リスク、不確実性、利潤』でも両者を峻別したように、前者が計測可能であり、後者は計測不可能な概念であるという違いがある。また、その一方で、注8からも分かるように、「不確実性」は「リスク」に包含される概念であるとも考えられる。
- 11 荒木敦子・伊藤佐智子・宮下ちひろ・湊屋街子・岸玲子(2018)「環境化学物質による次世代の性ホルモンへの影響」『日衛誌』Vol.73, No.3, p.316引用・参照。
- 12 原田浩二・藤井由希子(2024)「国内の汚染の状況—問題発覚初期の調査と近年の動向—」『環境と公害』岩波書店、Vol.54, No.1, p.8参照。
- 13 この点、PFASに関しては、「定義やそれに合致する物質数は国や地域によって異なり、また年を追うごとに拡大してきており、対象となる物質は1万物質を超える」とも言われている。井上知也、後藤嘉孝・大野浩一(2025)「PFASをめぐる規制動向や科学的知見・基準値の変遷と得られる示唆」『リスク学研究』R-24, p.1引用。

しても含まれる」こともあり、この「フッ素樹脂は様々な製品のコーティングにも使用され、身近なものではフライパンなどがある」とされている<sup>14</sup>。このようにPFOSやPFOAをはじめとするPFASは、多くの産業分野で様々な製品・商品として利活用されてきたことが分かる。

しかし、PFASの「対象となる物質数が多い状況がPFAS問題を複雑にしている要因」<sup>15</sup>の1つであると考えられている。また、世界各地の流入水、排水、下水汚泥、バイオソリッドに高いPFAS濃度が検出されていることが明らかになっており、とりわけPFASは従来の廃水処理プロセスでは分解されず、通常は下水汚泥とバイオソリッドに吸着するが、それらを土地に散布すると、PFASが食物連鎖に入り込む糸口になる可能性があるという重大な懸念が指摘されている<sup>16</sup>。この点に関して、「PFASを摂取する経路は各地の状況によって様々であり、水道水の汚染、空気の汚染、日用品などもありうる」と言われており、「食品にもPFASは含まれており（中略）、環境中に広がったPFASが生物濃縮、食物連鎖で食品にも移行している」と指摘されている<sup>17</sup>。この生物濃縮に伴う食物連鎖の中でも、PFASは「炭素数の多いものほど魚類における生物濃縮性が高く」<sup>18</sup>なることが知られている。現在、水道水などの水源のPFAS汚染がメディア報道等で懸念されているが、今後はこのような食品中のPFAS汚染がより深刻化していくことが予測される。また、「地下水を通じた拡散のほか、大気中へ放出されたPFOAが周辺地域に広がった」ことや「PFASは土壌への吸着性を示し、周辺の地下水へと徐々に浸透していく」と言われている状況である<sup>19</sup>。

## (2) PFAS汚染による身体的悪影響

次に、このようなPFOSやPFOAを含むPFAS

の環境動態が存在する状況下で、どのような人体への健康被害等をはじめとする身体的悪影響が懸念されているのかという問題がある。

本稿では、このPFAS汚染の身体的悪影響に関して、その「リスク」と「不確実性」に区分して整理する。では、PFAS汚染における人体の影響に対して、具体的に一体どのような「リスク」や「不確実性」（科学的な不確実性）が指摘されているのだろうか。

この点、米国科学工学医学アカデミー（US National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine：NASEM）の特別委員会は、PFASに関する疫学データを検討し、PFASへの曝露に関連する抗体反応の低下、脂質異常症、乳児および胎児の成長低下、そして腎臓がんのリスクについて十分な根拠（証拠）があると判断しており、また同委員会は、乳がん、肝機能障害、妊娠高血圧症および子癩前症、精巣がん、甲状腺疾患および機能不全、そして潰瘍性大腸炎に関するリスクの増大について、限定的な示唆的根拠（証拠）があると判断している<sup>20</sup>。このようにPFAS汚染による人体への健康被害に対して様々な懸念が警鐘されている。とりわけ、PFASの中でもPFOAとPFOSに関する発がん性をめぐっては、「IARC（国際がん研究機関）の作業部会が広範な研究論文を検討した結果、PFOAはグループ1（ヒトに対して発がん性がある）に、PFOSはグループ2（ヒトに対して発がんの可能性がある）に分類することを発表」<sup>21</sup>（2023年12月）している状況である。

### ① PFAS汚染の「リスク」

まず、PFAS汚染に伴う人体への悪影響に関しては、主に発がん性、免疫系、心循環器系、そして生殖毒性等への「リスク」が指摘されている。

具体的には、PFASへの曝露は、乳児や児童の成

14 原田・藤井(2024)、No.1、p.8引用・参照。

15 井上・後藤・大野(2025)、p.1引用。

16 Saliu, T. D., & Sauvé, S. (2024). A review of per-and polyfluoroalkyl substances in biosolids: geographical distribution and regulations. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 5, 1383185.

17 原田・藤井(2024)、p.9引用・参照。

18 津田泰三・居川俊弘(2012)「世界河川および湖沼の水質および魚類中の有機フッ素化合物」『環境化学』Vol.22、No.4、p.169引用。

19 原田・藤井(2024)、p.10引用・参照。

20 DeWitt, J. C., Gluge, J., Cousins, I. T., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., ... & Scheringer, M. (2024). Zurich II Statement on Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): Scientific and Regulatory Needs. *Environmental Science & Technology Letters*, 11(8), 787.

21 中地(2024)、p.5引用。

長、学習、そして行動に悪影響を及ぼし、女性の妊娠の可能性を低下させ、コレステロール値を上昇させるなど免疫系（子供のワクチン免疫防御の低下を含む）に影響を及ぼす可能性があることが指摘されている<sup>22</sup>。この子どもへの影響に関しては、「PFASによる健康影響として沖縄で第一に問題とされているのは、低出生体重児（出生時の体重が2500グラム未満）の問題」であり、「沖縄は、47都道府県の中で低出生率の出生率が全国で最も高く、その原因の一つが飲料水のPFAS汚染である」と言われていることにも関連している可能性は否定できない<sup>23</sup>。また、女性の妊娠関連では、PFASは妊娠中の血糖値及びインスリン値と正の相関があり、母体の健康障害であり妊娠後期にも悪影響を及ぼす可能性のある妊娠糖尿病（Gestational Diabetes Mellitus : GDM）の発症と関連していることが判明している<sup>24</sup>。さらに、免疫系への悪影響に関しては、PFASの免疫毒性として、とりわけ破傷風とジフテリアのワクチン接種に対する抗体産生の減少が生じることが確認されている<sup>25</sup>。心循環器系に関して、閉経後の女性はPFASの排泄に不可欠な月経の停止により、閉経前の女性よりもPFAS値が高くなり、特にPFOSとPFOAへの曝露が閉経後女性の心血管疾患リスクの増加に関連していることが報告されている<sup>26</sup>。PFASの血中濃度との関連性めぐっては、当該基準値を超えたPFAS汚染が明るみになった自治体が住民等に対して血中濃度を測るための検査を実施している背景の一つになっていると考えられる。

## ② PFAS 汚染の「不確実性」

次に、PFAS汚染に伴う人体への悪影響に関する「不確実性」に関しては、先述した様々なPFAS汚染の「リスク」等で指摘されていることが、PFASが直接的な主要因となって具体的な疾病等を含む健康被害をもたらしているのか否かの因果関係に不確実性が生じている状況である<sup>27</sup>。

このような不確実性が生じている根本的な背景としては、いくつか要因は考えられるが、次の3点を挙げることができる。第1に、「長鎖のPFASであるPFOS、PFOAはPOPs条約（残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約）で製造が禁止されたため、短鎖のPFASが代替物として使用されているが、すべての毒性をきちんと評価するのは難しい」とされており、「より毒性の低い物質に代替させるためには、毒性評価の方法が課題となる」とも言われている<sup>28</sup>。第2に、第1点目に派生して、食品中のPFASによるリスクを評価するための毒性基準用量と累積曝露アプローチを明確にする必要があるが、食品摂取によるPFASへの曝露リスク評価は、多くの不確実性が伴っている状況である<sup>29</sup>。この点に関して、リスク評価機関である内閣府食品安全委員会が2023年1月に「PFASワーキンググループ（PFAS WG）」を立ち上げ、本稿でも取り上げているPFOS、PFOA、そしてPFHxS<sup>30</sup>の3物質を調査審議の対象として健康影響評価を行っている。その食品安全委員会の評価結果として、非発がん影響として「肝臓」、「脂質代謝」、「甲状腺機能と甲状腺ホルモン」、「生殖・発生」、「免疫」、「神経」の6つ、また発がん影響として「遺伝毒性」と「発がん性」の2つの計8つのエンドポイントに基づき調査審議を行ったが、一部動物実験の「生殖・発生」への影

- 22 Anderko, L., & Pennea, E. (2020). Exposures to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Potential risks to reproductive and children's health. *Current problems in pediatric and adolescent health care*, 50(2), 100760.
- 23 桜井国俊(2024)「沖縄のPFAS汚染問題—最大の障害は日米地位協定—」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1、p.33引用・参照。
- 24 Birru, R. L., Liang, H. W., Farooq, F., Bedi, M., Feghali, M., Haggerty, C. L., ... & Adibi, J. J. (2021). A pathway level analysis of PFAS exposure and risk of gestational diabetes mellitus. *Environmental Health*, 20(1), 63.
- 25 Blin, A. P., DeWitt, J. C., Kwiatkowski, C. F., Pelch, K. E., Reade, A., & Varshavsky, J. R. (2024). Public Health Risks of PFAS-Related Immunotoxicity Are Real. *Current Environmental Health Reports*, 11(2), 118-127.
- 26 Arredondo Eve, A., Tunc, E., Mehta, D., Yoo, J. Y., Yilmaz, H. E., Emren, S. V., ... & Madak Erdogan, Z. (2024). PFAS and their association with the increased risk of cardiovascular disease in postmenopausal women. *Toxicological Sciences*, kfae065.
- 27 中山敬太(2025)「ナノ・マイクロプラスチックとPFASの構造的問題—安全・安心行政上の『行政不作為』への対応の観点から—」『安全工学』Vol.64、No.1
- 28 中地(2024)、p.3引用・参照。残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POPs : Persistent Organic Pollutants)
- 29 Brown, J. B., Conder, J. M., Arblaster, J. A., & Higgins, C. P. (2020). Assessing human health risks from per-and polyfluoroalkyl substance (PFAS)-impacted vegetable consumption: a tiered modeling approach. *Environmental Science & Technology*, 54(23), 15211.
- 30 ペルフルオロヘキサンスルホン酸 (Perfluorohexanesulfonic acid)。

響に関しては「証拠の確からしきは強い」との判断を示しており、その他の影響等はいずれも情報や証拠が不十分、「指標値を算出することは困難」、そして「証拠の質や十分に課題」があるなどの判断示している状況である<sup>31</sup>。この影響評価結果は、人体への影響を含め「不確実性」が伴っていることを暗示していると言える。そして第3に「PFAS対策の難しさは、この対象物質の多さ、言い換えると、揮発性から難揮発性、水溶性から難水溶性まで幅広い物理化学性を有する複雑な『化学物質群』を正確に測定できる分析技術開発の困難さと直結する」と言われており、現段階で日本「国内に100か所以上点在する米軍駐屯地他からのPFAS汚染が大きな国内問題となっているが、実際には泡消火剤はPFAS汚染源のごく一部に過ぎない」状況であり、「半導体製造用のフォトレジスト、製鉄工場防塵剤、フッ素樹脂製造、撥水防汚剤、化粧品など、(中略)全ての用途を把握することが困難なほどの多種多様な汚染源が存在することがPFAS対策の困難さにつながっている」<sup>32</sup>ことが指摘されている。

このように、PFOSやPFOAだけに限らずPFASには多くの種類があるように、ある化学物質が人間に与える影響や種類等を評価する「毒性評価」や当該化学物質を人間がどこからどの程度の量を摂取すると影響が生じるのかを評価する「曝露評価」に不確実性が伴っていることが分かる。また、PFASの対象物質の多さや環境動態の複雑さに伴う多様な汚染源等から生じる「非点源汚染」がPFAS汚染の不確実性をもたらしている可能性があることを示した<sup>33</sup>。

### (3) 日本におけるPFAS汚染の現状と特徴

では、このようなPFAS汚染の人体への悪影響

に対する「リスク」と「不確実性」が伴っている中で、日本における汚染状況としてはどのような実態になっており、いかなる特徴があるのだろうか。

この点、日本におけるPFOSやPFOAなどの汚染実態調査をめぐって、かつては「検出された濃度に対してどのように対処すべきか、という目安が設定されなかったことから、具体的な対策にいたった事例はほとんどない」と言われており、「土壌などにPFAS汚染が残っている場合には影響が長期化することが考えられ、水道水源を汚染する可能性が高いことが懸念された」が、「日本国内での環境モニタリングの実施は限られており、このような汚染源をほとんど突き止められずにいた」背景がある<sup>34</sup>。時の経過とともに「PFOS、PFOAは都市部に近い河川で高く検出され、東京の多摩川や大阪の安威川の流域にある下水処理場の放流口で最大値を示したり、「多摩川ではPFOSが高く、淀川などではPFOAが高かった」という研究報告も出されている<sup>35</sup>。また、基本的に、「PFOS、PFOAは水に対する溶解度が非常に高く、水道原水・水道水を含む水試料から高頻度に検出されている」状況で、「既存の浄水処理方法では効率よく処理することが難しいことが明らかとなっている」状況である<sup>36</sup>。このような状況下ではあるものの、環境省は全国の各自治体と連携して、「継続性の観点」及び「網羅性の観点」からPFASに関する環境モニタリング調査を実施している<sup>37</sup>。

具体的に、まず「継続性の観点」では、2009年以降から化学物質環境実態調査により、「同一の測定点において水質（河川等の公共用水域）、底質、生物及び大気中のPFOS、PFOAの環境中の濃度を測定」しており、当該測定結果の経年的な動向分析によると「水質、底質及び大気については、経年的な

31 猪熊泰子・松崎伸江・高橋めぐみ・藤田正晴(2024年)「有機フッ素化合物(PFAS)の食品健康影響評価について」『食品衛生研究』Vol.74、No.12、pp.7-11引用・参照。その詳細な研究報告内容に関しては、上記論文を参照のこと。

32 山下信義・谷保佐知・山崎絵理子・羽成修康(2024)「ベル及びポリフルオロアルキル化合物分析技術—PFAS海洋化学からPFAS農業化学へ—」『土壌の物理性』第156号、p.41引用。

33 中山敬太(2025)「非点源汚染リスクに対する不確実性行政と環境イノベーションの協創をめぐる相互補完性について—ナノ・マイクロプラスチックとPFASを事例に—」『環境管理』Vol.61、No.2、p.84参照。

34 原田・藤井(2024)、pp.10-11引用・参照。

35 原田(2024)、p.12引用・参照。

36 高木総吉・吉田仁(2021)「水道水中におけるペイフルオロおよびポリフルオロアルキル化合物の分析法検討」『水道協会雑誌』Vol.90、No.6(第1041号)、p.2引用・参照。

37 環境省・PFASに対する総合戦略検討専門家会議(2024)「PFOS、PFOAに関するQ&A集(2024年8月時点)」(<https://www.env.go.jp/content/000242834.pdf>:最終閲覧日2025年1月29日)、p.3参照。

濃度の減少傾向が統計的に有意であること、また、生物については、おおむね検出率が経年的に減少していることが統計的に有意と判定され、一般環境中におけるPFOS、PFOA濃度の減少傾向が示唆<sup>38</sup>される旨の報告が出されている。次に「網羅性の観点」では、水質（公共用水域や地下水を含む）に関して、環境省は2019年度（令和元年度）及び2020年度（令和2年度）に、PFASの排出源となり得る可能性のある施設等の周辺を対象とした全国的な実態調査を行い、2020年には「要監視項目」に指定し、各地域の実情に応じて自治体がモニタリング実施をすることで測定地点の拡大を図ることで、「2019年度から2022年度までの水質測定地点延べ2,735地点（2019年度：171地点、2020年度：173地点、2021年度：1,133地点、2022年度：1,258地点）のうち、暫定目標値を超過した地点数は、延べ250地点であり、主に都市部及びその近郊で超過が確認<sup>39</sup>される傾向がある旨の報告が出ている<sup>39</sup>。このように、調査地域の母数が経年的に異なるものの、全国で少なくとも250カ所もの人間が普段口にする飲み水の水源である公共用水域や地下水等から暫定目標値を超えたPFOSやPFOA等が検出されPFAS汚染の実態が生じていることは、既述した当該物質の特性に鑑みて早急な法的予防措置等を講じる立法事実になり得ると言える。なお、このようなPFAS汚染に関しては、日本だけに限らず、アメリカ<sup>40</sup>をはじめとする他諸外国でもPFAS汚染の実態が明るみになり深刻化している状況である。

また、後述するが既に日本でもPFOSとPFOAに関しては規制措置が講じられているため、「炭素鎖8のPFOS、PFOAに代わり、炭素鎖6以下の短鎖、あるいは9以上の長鎖の化合物が使用され、我が国の妊婦血液中濃度において

も、2003年から2011年でPFOSとPFOA濃度は減少したものの、PFNA（Perfluorononanoic acid）、PFDA（Perfluorodecanoic acid）、PFUnDA（Perfluoroundecanoic acid）、PFDoDA（Perfluorododanoic acid）濃度の増加傾向が認められた<sup>41</sup>ことが報告されている。この点に関しては、PFAS汚染だけに限らず、あるリスク（目標リスク）を減らす手段を講じると、別のリスク（対抗リスク）が明るみになる事象である「リスク・トレードオフ」（特徴）が生じていると考えられる<sup>42</sup>。科学技術の発展等により毒性評価や曝露評価が進んでいき時代の変化を経る中で、PFOSやPFOA以外の規制措置が講じられていない上述したようなPFASの一種の化学物質が今後どのような懸念（人体への健康被害を含む）が生じるかが分からない状況下で、いかなる対策を講じていくかが重要な課題となる。

### 3 PFAS汚染に対する国の取組みの現状と課題

#### (1) PFAS汚染に対する国の取組みの現状

そこで、このようなPFAS汚染状況等を踏まえ、日本の対策状況がどうなっているのか、そして当該対策に対してどのような課題があり、今後いかなる対処が求められているかという問題がある。

まず、前提として、日本の「化審法で規制対象になる化学物質は優先評価化学物質としてリスク評価を実施しているが、その218物質中にPFASは指定されていない」上に、「第一種特定科化学物質に4物質、監視化学物質として10物質が指定されているのみで、短鎖のPFASは含まれていない」のが現状である<sup>43</sup>。このような状況下で、ストックホルム条約（POPs条約）において、PFOS（2009年）、PFOA（2019年）、そしてPFHxS（2022年）がそれぞれ規制されることになる<sup>44</sup>。日本もストックホ

38 環境省・PFASに対する総合戦略検討専門家会議(2024)、p.3引用・参照。

39 環境省・PFASに対する総合戦略検討専門家会議(2024)、pp.3-4引用・参照。

40 例えば、アメリカでは、49の州で公共水道システム、軍事基地、空港、工場、廃棄物処理場、そして消防士訓練場など、2230を超えるPFAS汚染場所が特定されており、また69の農業地域がフッ素化合物製造施設またはその埋立地に近接していることは、農作物へのPFASの潜在的な発生源であるとされている。Brown, J. B., Conder, J. M., Arblaster, J. A., & Higgins, C. P. (2020). Assessing human health risks from per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS)-impacted vegetable consumption: a tiered modeling approach. *Environmental Science & Technology*, 54(23), 15210.

41 荒木・伊藤・宮下・湊屋・岸(2018)、p.318引用。

42 このリスク・トレードオフに関して、食品添加物である「アスパルテーム」を事例に詳細を展開している。中山敬太(2023)「日本における食品添加物規制の現状と課題—「アスパルテーム」の事例に基づく法政策学および政策決定の観点から—」『場の科学』Vol.3、No.2。

43 中地(2024)、p.5引用・参照。

ルム条約に締結し加盟していることから、上述した当該対象物質に関して各国が条約（目的<sup>45</sup>や趣旨等を含む）を担保できるよう国内法整備化が求められることになる。

そこで、日本はストックホルム条約で規制対象物質になったこともあり、PFOS（2010年）、PFOA（2021年）、そしてPFHxS（2024年）<sup>46</sup>がそれぞれ製品ライフサイクルの上流フェーズ（製造・輸入・使用）の規制となる化審法の「第一種特定化学物質」に指定されている状況である。この第一種特定化学物質は、「難分解性、高蓄積性及び人又は高次捕食動物への長期毒性を有する化学物質」のことであり、当該物質に指定されると「製造及び輸入の許可（原則禁止）、使用の制限、政令指定製品の輸入禁止等が規定」されており、実質的な規制措置が講じられることになる<sup>47</sup>。このように日本のPFASをめぐる法整備は、国際社会の規制動向に追従している状況ではあるが、リスクの蓋然性に応じたリスクベース規制を取っていると言える。

また、製品ライフサイクル上の下流フェーズ（消費・廃棄）にも該当すると考えられる水質基準等に関して、厚生労働省は飲料水（水道水を含む）に関して、水質管理目標設定項目に位置づけ、「PFASのうちPFOS及びPFOAの合算値で50ng/Lという暫定水質基準を設定」（2020年4月）しており、環境省は水環境（公共用水域、表流水、地下水）について、「PFOS及びPFOAを要監視項目とし、その指針値（暫定）を合算値で50ng/Lに設定」（2020年5月）している状況である<sup>48</sup>。この点、その後水道行政が厚生労働省から国土交通省（水道整備・管理行政）と環境省（水質又は衛生に関する

水道行政）に移管され、水質基準に関する省令と水道法施行規則の改正が今後予定されており、それぞれPFOS及びPFOAが追加される見込みである<sup>49</sup>。しかし、既述した米国科学工学医学アカデミーが「血液中の7種類のPFASの合計値が20ng/mL以上の場合、マイナスの健康影響が高いとしている」<sup>50</sup>ことに鑑みると、確かにPFAS汚染をめぐる「どの程度の量が身体に入ると影響が出るのかについてはまだ確定的な知見はなく、現在も国際的に様々な知見に基づく検討が進められている」<sup>51</sup>状況下で暫定的な目標値を定めているが、既に5年ほど経過していることもあり、人体への影響等が不確実であるからこそ日本の基準値設定のプロセス等を含めより頻度を高く定期的な見直しが必要になるだろう。

## (2) PFAS 汚染に対する国の取組みの課題

次に、このような現状等を踏まえ、PFAS汚染をめぐる国の取組みの課題としては、大別して次の3点を挙げることができる。

第1に、日本におけるPFAS汚染対策の取組みの課題として、「法的な基準は策定されていないことから、水道水のPFAS検査も義務ではない」ことから、「多種にわたるPFASのうち、PFOS、PFOAだけの想定になっていることも問題であり、同様のリスクを持つものも把握していく必要がある」と指摘されており、「健康リスクについて、海外では多くの調査がなされているが、日本での調査は少ない」のが現状である<sup>52</sup>。この点に関しては、日本も内閣府食品安全委員会をはじめ国の研究機関等を中心に調査が行われているが、上述でも示したように国際社会の規制動向を踏まえた国内法整備、そしてEU

44 井上知也・後藤嘉孝・大野浩一(2024)「ベル及びポリフルオロアルキル化合物(PFAS)に対する国内外の政策動向」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1、p.14参照。

45 スtockホルム条約の目的には、1992年の地球サミット(国連環境開発会議)のリオ宣言・第15原則を根拠とする「予防原則」の考え方に留意し、残留性有機汚染物質から人間の健康や環境を保護することを目的としている。

46 厚生労働省医薬局医薬品審査管理課化学物質安全対策室・経済産業省産業保安・安全グループ化学物質管理課化学物質安全室・環境省大臣官房環境保健部化学物質安全課化学物質審査室(2024)「第一種特定化学物質に指定することが適当とされたペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)関連物質が使用されている製品で輸入を禁止するものの指定等について(案)」([https://www.meti.go.jp/shingikai/kagakubusshitsu/anzen\\_taisaku/pdf/2024\\_01\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/kagakubusshitsu/anzen_taisaku/pdf/2024_01_01.pdf)：最終閲覧日2025年2月1日)。

47 環境省(2023)「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律施行令の一部を改正する政令の閣議決定について」([https://www.env.go.jp/press/press\\_02450.html](https://www.env.go.jp/press/press_02450.html)：最終閲覧日2025年2月2日)。

48 桜井(2024)、p.33引用・参照。環境省・PFASに対する総合戦略検討専門家会議(2024)、p.3参照。

49 水質の基準値に関しては、「PFOS及びPFOAの量の和として0.00005mg/L(50ng/L)以下」となっている点の変更がない状況である。環境省水・大気環境局(2025年2月)「水質基準に関する省令及び水道法施行規則の一部を改正する省令案について(概要)」(<https://www.env.go.jp/content/000293383.pdf>：最終閲覧日2025年2月26日)。

50 桜井(2024)、p.37引用。

51 環境省・PFASに対する総合戦略検討専門家会議(2024)、p.3引用。

52 原田・藤井(2024)、p.12引用・参照。

やアメリカをはじめとする諸外国の調査結果等に基づいた検討が行われている点で、少なくともイニシアティブはとれていない状況である。

第2に、「化審法や欧州のREACH（化学品の登録、評価、認可及び制限に関する規則）のような化学物質管理の法規制では、（生態毒性試験を含む）要求される試験提出などは年間の製造（・輸入）量で決められていることが多く、毒性や残留性・蓄積性などの試験要求が少ない年間10ないし1トン未満の少量生産物質が増加している」ため、「多種類の化学物質が（生態）毒性情報の取得や、その結果に基づく環境リスク評価を十分にされていない」状況でもあり、「（生態）毒性情報がある物質についても、化学物質の環境リスク評価や管理は、多くの場合は単一の物質ごとに実施され、各種の化学物質管理に利用されてきた点もこういった少量多品種物質の環境中での複合毒性が懸念される原因となっている」と指摘している<sup>53</sup>。このように少量多品種で難分解性や高蓄積性が懸念されているPFAS汚染のように、その複合曝露に関する影響評価なども十分とは言えず、そのリスク等に関しては不確実性が高い状況である。

第3に、上述したようにPFOSとPFOA等に関しては、既に製造・輸入等が禁止されているが、製品（マテリアルを含む）の全ライフサイクルを射程に入れて検討する必要がある。つまり、一部予防的措置（規制を含む）が講じられている製造・輸入・使用は製品ライフサイクルにおける上流フェーズに該当するが、消費・廃棄段階等の下流フェーズに対する法整備が整っていないことが課題となる。ただし、上流フェーズの製造・輸入等の予防的措置に関しても、例えば既に規制措置が講じられているPFOSとPFOA等以外のPFASにも健康被害等の懸念事項が指摘されていることもあり<sup>54</sup>、現状維持の対応に留まることには一定のリスクがあると言え

る。このようなPFOSとPFOAなどのように、ある一定程度の健康被害が生じる蓋然性が高い場合は、その製造・輸入を禁止しているが、とりわけこのようなPFOSとPFOAでさえ当該規制措置が講じられる以前の各種製品の廃棄方法の確立やその汚染に対する実効性を担保した法的拘束力を伴う予防的措置（対策）等は講じられていない実情である。すなわち、マテリアル・ライフサイクルの上流フェーズには、リスクの蓋然性に応じたりスクベース規制が講じられているが、その下流フェーズには当該蓋然性の有無等に関わらず、現段階において具体的な法的拘束力を伴う規制措置等が講じられていないという課題がある。

このように、PFAS汚染対策をめぐる国の取組みの課題は多く存在するが、現段階では上記3点に集約することができる。

#### 4 PFAS汚染に対する自治体の取組みの現状と課題

##### (1) PFAS汚染に対す自治体の取組みの現状

まず、PFAS汚染に関する各自治体の取組みの現状を概説し、本稿ではより特徴的かつ具体的な自治体（神奈川県座間市など）の対策等を紹介する。

この点に関して、「地域におけるPFAS問題への対応が自治体をはじめとする関係主体に一任されており、現場の創意工夫によって進められている」状況であり、「国から基本的な対応に向けた方針やQ&Aは示されている一方、個別対応に向けた指針は見られない」こともあり、「それぞれの地域で環境中のPFASの広がりが異なり、PFASを含む水と地域住民との関係も様々である」という実態と課題がある<sup>55</sup>。

しかし、一部の例外事例（岡山県吉備中央町）<sup>56</sup>は存在するものの、現段階では、既述した通り、国によるPFAS汚染対策の取組み方針や暫定目標値等

53 山本裕史(2024)「環境中の複合毒性評価—関連研究の歴史と現状ならびに行政利用への課題と展望—」『環境毒性学会誌』Vol.27、S1号、p.S63引用・参照。

54 この点、確かに日本においても、PFOSやPFOA以外にもPFHxSが化審法の規制対象になっているが、諸外国では日本のPFAS規制対象3物質以外にも、例えばアメリカ環境保護庁(EPA)の飲料水規則ではPFNAやGenXに法的拘束力のない最大汚染レベル目標(MCLG)や法的拘束力のある最大汚染レベル(MCL)が設定され、欧州飲料水指令(Directive 2020/2184/EU)では「OECD(2018)の定義に基づく「総PFAS(PFAS total)」と、20物質(C4～13のPFSA・PFCA)の「PFAS合計(sum of PFAS)」という、2種類の基準値が設定」されている。井上・後藤・大野(2025)、pp.5-6引用・参照。

55 村山武彦(2024)「PFAS問題に関する国内の社会的対応—個別事例の経緯に着目して—」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1、p.25引用・参照。



に従い、各自治体が取組みを進めている状況である。具体的に、環境省が情報公開をしている令和元年から令和4年までのPFOS及びPFOAに関する全国存在状況把握調査結果で暫定目標値を超えた自治体（都道府県と市町村を含む）のPFAS汚染に対する取組みの現状として、水道局（上下水道事業）による当該目標値を下回る管理、地下水を含む井戸や浄水場等の利用停止（廃止を含む）、そして頻度は各自治体によって異なるものの定期的なモニタリング調査の実施という3点に集約される傾向がある<sup>57</sup>。なお、自治体のPFAS汚染対策等に関連した条例制定は現段階（2025年1月末）では把握ができていない状況であるが、岡山市はPFASが全国各地域の水道等で検出されている問題を念頭に、自然界に存在する化学物質の対応の必要性を明記した「市環境基本条例」の素案をまとめたとのメディア報道が出されている<sup>58</sup>。

## (2) PFAS汚染に対す自治体の取組みの課題

次に、このような現状の概要等を踏まえ、PFAS汚染をめぐる自治体の取組みの課題としては、次の2点に大別して検討を行う。なお、このようなPFAS汚染の自治体の取組みは、普段の安全・安心行政にも繋がる課題となる。つまり、地域住民が、「不確実性」を伴うリスクとしてのPFAS汚染が懸念されている中で、水道水などを利用するに際して、一体どこまでの安全性を確保し、どのような状態になれば安心して水を飲むことができるのかという課題は、「安全」の客観的要素と「安心」の主観的要素の両特性が入り混じっていることもあり、より問題を複雑化および深刻化させる可能性があり、このようなPFOSやPFOAをはじめとするPFAS汚染をめぐる、「リスク」情報と「不確実性」情報を区分して、自治体におけるリスク行政と不確実性行

政についてそれぞれ分けて検討をしていく必要がある。

### ① PFAS汚染に対する自治体のリスク行政

まず、PFAS汚染に対する自治体のリスク行政という観点からは、そもそも「地方自治体において、事前対策である予防的な『リスク管理』では、その業務が多岐にわたり、かつ地域の特性や関係官庁の政策・法環境の変化への適応の必要などの地方自治体固有の要請もあり、事前対策の中の特に最初のステップである『リスクを見つける』という行為が非常に難しく」になっており、その中でも「不作為リスクが最も危険である」と指摘している<sup>59</sup>。この「不作為リスク」に関しては、上記文脈からも様々な観点で考えることができるが、本稿では①本来リスクが生じているにも関わらず、それに自治体が気づいていない「不作為リスク」と②本来行政機関が法令等によって行わなければならない行為を（積極的に）行わない「行政不作為」が生じるリスク（「不作為リスク」）に大別することができる。

この点、自治体としての事前対策の最初のステップである上記でも示した「リスクを見つける」という文脈を踏まえると、この「不作為リスク」は、①の自治体が気づいていないリスクを指す解釈が自然な流れとなる。ここでは神奈川県座間市の事例を踏まえて検討をすると、環境省の「令和元年度PFOS及びPFOA全国存在状況把握調査」には、座間市は対象になっておらず、令和2年度当該調査<sup>60</sup>では対象地域となり、同市内の上り戸橋（鳩川）周辺で調査が行われ、PFOSとPFOAの合計値で29のため暫定目標値以下であった<sup>61</sup>。しかし、2021年（令和3年）に神奈川県が「座間市内の鳩川で暫定目標値を超えるPFOS・PFOAが検出されていたが、その後、地元の地下水を主体に水道事業を実施し

56 この点、岡山県吉備中央町は、PFASの血液検査を実施する予算を計上し、全国で初めての行政機関によるPFAS検査を5年後も含め実施することを表明する。蓮池安彦(2024)「PFAS汚染は『いのちと人権の問題』—民医連事業所としての使命、SDH、HPHの視点で地域住民の健康不安をサポート—」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1、p.26参照。

57 この詳細は、次の国土交通省の公開資料にも複数の自治体の事例を含めまとめられている。国土交通省 水管理・国土保全局 水道事業課(2024)「水道事業者等によるこれまでのPFOS及びPFOA対応事例について」(<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001845763.pdf> : 最終閲覧日2025年1月30日)。

58 山陽新聞(2024年9月26日)「岡山市が環境条例素案で意見公募 PFAS念頭に化学物質対応明記」(<https://www.sanyonews.jp/article/1615114> : 最終閲覧日2025年2月1日)。

59 森健(2020)『地方自治体のリスク管理・危機管理』商事法務、pp.5-6引用・参照。

60 環境省のPFOS及びPFOA全国存在状況把握調査は令和3年度と令和4年度も実施され情報公開されているが、神奈川県各各地域(市町村)名が記載されていないため、座間市が調査対象となっているか否かは不明である。

ている市内の第3水源で暫定目標を超える PFOS・PFOA が検出」され、また同年に市内4地点の井戸水を調査したところ1地点で当該目標値を超える検出がされる事態となった<sup>62</sup>。このような事態を受け、翌年（2022年）に座間市議会は、「汚染原因を究明し適切な対策を講じることや、PFASの環境基準や水質基準を設定し規制項目とすること、地方公共団体が行う調査や対策に係る経費の財政措置などを求める意見書を国に提出した」<sup>63</sup>背景がある。このことが意味する政策的示唆は、確かに国による全国的な状況把握調査の実施は重要であるものの、より各地域の実態を把握しているのは当該自治体等（都道府県や市区町村を含む）であり、国家機関の人員や労力等を含む行政資源の投下にも相対的に限りがあることから、上述で示したように国による財政支援を行った上で、地方自治体に権限移譲をしていくことで、各地域内でもより多くの地点や中長期的かつ継続的な調査等により汚染実態（気づいていない「不作為リスク」）の把握や新たな立法の可能性（立法事実の確認）等にも繋がるのではないかと考えている。

また、②の行政不作為から生じる「不作為リスク」に関して、自治体が法律や条例等によって本来行わなければならない行為を行わないことで生じるリスクとして考えられる事態としては、具体的な対応措置を講じる際の判断やそのタイミングに瑕疵があり不作為が生じる可能性がある。もともと本稿で取り上げたようなPFASをはじめとする化学物質汚染等のリスク行政では、「行政庁の専門的判断の必要性や被害発生の科学的不確実性から、行政の不作為が発生しやすい分野である一方で、少なくとも潜在的に存在する被害者の権利保護のためには、法的統制に対する期待が非常に大きい分野である」<sup>64</sup>とされている。具体的には、既述内容であるがPFOSやPFOA等に対する化審法上の規制措置が講じられている状況下において、地域の汚染実態調査等の事例として取り上げた座間市の事例から考えると分

かりやすい。つまり、当初の調査では暫定目標値以下であったものの、県や市の独自の調査で当該目標値を超える汚染が明るみになり、定期的なモニタリングや上下水道管理の徹底を行えているが、例えばこの県や市が独自の調査を行っておらず、PFOSやPFOA等が直接的な主要因として具体的な健康被害等が生じた際、行政不作為による国家賠償責任等が追及されないことを必ずしも保障できないリスクがある。

このような状況下で、普段の自治体のリスク行政を行っていく上でも、いかに「リスクを見つけるか」という視点でアプローチをしていくことで、気づいていないリスク①を発見し、それに基づく具体的なアクションを起こしていくことで、行政不作為から生じるリスク②を少しでも低減していくことができると考える。

## ② PFAS 汚染に対する自治体の不確実性行政

次に、PFAS 汚染に対する自治体の不確実性行政という観点からは、例えばある特定の地域でPFAS（PFOSとPFOAの合計値など）の基準値を超える汚染実態が明るみになった際、行政区の管轄を越えるその周辺地域にも今後汚染が拡散する可能性もあり、どこまで当事者意識をもって将来予測をして、事前の対策や住民へのリスク・コミュニケーション行っていくかが、当該汚染対策（調査等を含む）をめぐる広域連携の重要性とその必要性にも深くかかわってくる問題となる。なお、ここで示すリスク・コミュニケーションには、リスク情報だけではなく、一体どのようなことが分かっているのかという不確実性情報も当該内容に含まれる。

この点に関して、PFOSやPFOAをはじめとするPFAS汚染は「非点源汚染」と言われているように、例えば全国各地域で調査が行われているが、基準値を超える調査地点が明らかにあった場合は、当該場所を「点」で見るのはなく、「面」で捉えて予防的な措置を講じる必要がある。具体的には、ある

61 環境省(2020)「令和元年度PFOS及びPFOA全国存在状況把握調査の結果について」(<https://www.env.go.jp/press/108091.html> : 2025年2月2日)及び環境省(2021)「令和2年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査の結果について」(<https://www.env.go.jp/press/109708.html> : 2025年2月2日)。

62 村山武彦(2024)、p.21引用・参照。

63 村山(2024)、p.21引用。

64 清水晶紀(2024)『環境リスクと行政の不作為』信山社、p.145引用。

調査地点で基準値を超える調査結果が出た際、地形や環境等によっても異なるが、広く各行政区等を越えて当該周辺地域で汚染が広がっていること（「面」での広がり）を想定し、当該汚染地域の自治体だけでなく、少なくとも当該自治体の周辺の自治体も現段階で基準値は超えていない状況下でも、化学物質は地下水等を含め環境循環していることもあり、「予防原則」の考え方に基づく予防的な対策を講じていくことが、科学的知見の拡充により将来的に汚染等が明るみになった際の人的な被害拡大を軽減していくことに繋がる。

たまたま調査地点で基準値を超える汚染が生じていると「点」で捉えるのか、既に当該調査地点の周辺では汚染が広がっていると「面」で捉えるのかは、各自治体の環境汚染対策をめぐるリスク行政と不確実性行政のスタンスの違いが出てくることになる。このようなPFASをはじめとする「不確実性」を伴う環境汚染に対する「捉え方」を変えていくことで、法の未整備等を含む制度上の課題を補填し、国の施策に先駆けて関連する自治体が連携して予防的措置等を講じることによって、PFAS汚染の特徴の1つでもある非点源汚染をめぐる対応策の面的拡大にも繋がることになる。この点、「自治体間の連携や協力は、各地域の実情や自治体の強みや弱みなどもそれぞれ異なり、そして一自治体に対応できる能力や範囲は限られていることもあり、今後より一層その重要性は増していく」<sup>65</sup>との指摘も参考になるだろう。

よって、PFAS汚染に対する自治体の不確実性行政としては、現時点での管轄地域のリスク情報の取得やその対策だけに留まらず、積極的に不確実性情報を取得し、いかに当該リスクの蓋然性が高まった状況に対して当事者意識をもって具体的にイメージできるかが不確実性行政の予防的なアプローチの本質的な視点となり得ると言える。

### (3) PFAS汚染をめぐる国と地方（自治体）の関係

このように、PFAS汚染をめぐる自治体の安全・安心行政のあり方に関して、自治体の「リスク行政」と「不確実性行政」に分けて検討を行ってきたが、先述の通りPFOSやPFOAのように既に製造・輸入等に関して規制措置が講じられている物質対象を除き、少なくとも日本では当該汚染対策の一環として関連する法的拘束力を伴う包括的かつ予防的な規制管理体制は整っていない以上、国と自治体の関係性を検討する必要性が生じる。

この点に関して、先述した「毒性評価」と「曝露評価」の決定によるPFASガイドラインの策定は、科学的な不確実性の管理、技術的な判断とその能力、そして関係する利害関係者からの社会的、政治的、経済的影響など、複数の科学的、技術的、社会的要因の影響を受けることが分かっている<sup>66</sup>。確かに、ここで示す「科学的な不確実性の管理」に関しては、第一義的にも「科学的な不確実性」を管理すべく、当該関連情報をいかに収集していくかがより重要なアクションとなる。しかし、上述しているように、科学技術的な要因だけに限らず、科学技術以外の政治・経済等を含む「社会的な不確実性」を起因とする影響も複雑かつ複合的に関連してくることからも、広義概念としての「不確実性」を「科学的な不確実性」や「社会的な不確実性」などに区分して、具体的にどのような背景や要因で「不確実性」が生じているのかを、少しでもより実態に即して把握するためにも当該情報を予防的に管理できるような体制構築が求められる<sup>67</sup>。ただし、このような「不確実性」情報の管理に関して、財源や人員不足が深刻化している各地方自治体にその対応等を要請するのは酷であり、様々な対応基準でそれぞれが管理体制を構築していくことは非効率的かつ非合理的であることから、国に当該情報を集約化させ、全国の自治体も利活用ができるような共有プラットフォーム化をしていくことが限られた行政資源を効率的に配分していく上でも合理的であると言える。

65 中山敬太(2024)「プラスチック汚染対策をめぐる条例制定の意義—栃木県と宮津市を事例とした予防政策法務としての可能性—」『都市とガバナンス』Vol.42、p.136引用。

66 Cordner, A., De La Rosa, V. Y., Schaidler, L. A., Rudel, R. A., Richter, L., & Brown, P. (2019). Guideline levels for PFOA and PFOS in drinking water: the role of scientific uncertainty, risk assessment decisions, and social factors. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 29(2), 157-171.

67 中山(2022)。

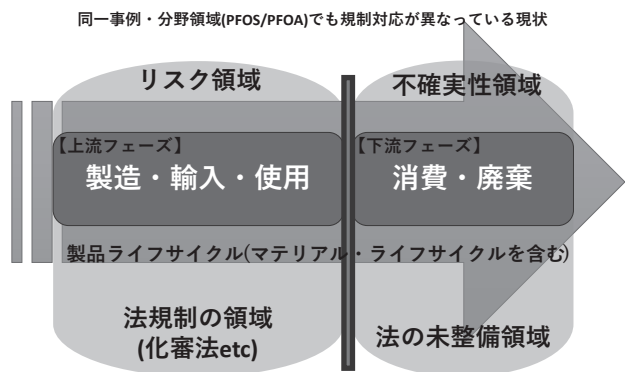
では、このような人体への健康被害等に「リスク」と「不確実性」が混在するような PFAS 汚染問題（化学物質汚染）をめぐる国と地方（自治体）の関係性について、いかなる役割分担を含む体制を構築していくことが求められるのかが問題となる。なお、この国と自治体の役割分担を検討するに際して、「評価」と「管理」という観点から検討を行う。

まず、「評価」（調査を含む）に関しては、少なくとも本稿の事例で取り上げた PFAS 汚染のような化学物質汚染をめぐるのは、神奈川県座間市の事例から示唆されたように、全国的な汚染実態の状況把握調査などは、国による財政支援と各自治体が主体となった調査実施等で役割分担をする意義を示した。ただし、調査実施に際しての統一化した評価基準（水質基準等の閾値）の設定等に関しては、より最先端の科学技術の知見等が集まり、充実した評価分析機器等を保持している可能性のある国家機関に関連する行政資源を集約化させていくことが重要になる。

次に「管理」に関しては、製品ライフサイクル（マテリアル・ライフサイクルを含む）における上流フェーズ（製造・輸入・使用）と下流フェーズ（消費・廃棄）に分けて役割分担を考えることで1つの課題解決に向けたアプローチを模索できるのではないかと考える。具体的には、上流フェーズは国による管理体制を構築し、その一方で下流フェーズは各自治体による管理を行うという役割分担である。その背景として、PFASをはじめとする「不確実性」を伴う化学物質汚染をめぐる製品ライフサイクル上の上流フェーズ（製造・輸入・使用）は、「管理」体制に関して各地域による個別の要因がはたらかない、すなわち個別的要因によって当該管理体制の変化が生じてはならない領域・分野となる。その他、このような統一管理体制（規制措置を含む）の方が比例原則の考え方や公平性を担保する上でも社会的妥当性があると言える。また、下流フェーズ（消費・廃棄）に関しては、各地域の実態に応じた対応が相対的に求められる領域・分野であり、上流フェーズによる「管理」体制が講じられていることを前提とすることになるが、製品ライフサイクル上の消費・廃棄段階は、化学物質汚染に直結するため、必ずしも国等による統一管理体制（法による規制措置）等が機能しない場合がある。つまり、この下流フェーズ

では、なぜ国による「管理」（規制）では不都合性が生じる可能性があるのかを考えることで視座を得ることができる。確かに、PFASをはじめとする化学物質汚染をめぐる、その因果関係が明確であれば例えば国による統一化した規制措置等も一定の効果が期待できるが、未だ因果関係が不明確な状況下でとりわけ「不確実性」が伴っている場合は、少なくとも日本の環境行政上は具体的な規制措置を迅速に講じることは難しく、各地域の実態に応じた自治体による注意喚起等をはじめとする予防的措置や関連する自主条例の制定等を含めた対応が期待されることになる。この点が、先述した製品ライフサイクル上の消費・廃棄段階等の下流フェーズに対する法整備が整っていない背景にも繋がってくるのではないだろうか。

図1 日本における PFOS/PFOA の規制構造



※筆者作成

このように、日本の実情を踏まえ、PFAS 汚染をめぐる国と自治体の関係性に関しては、「評価」と「管理」に区別して双方の役割分担を示した。ただし、その際に留意しなければならない点がある。つまり、上述したように PFAS 全体の問題としてではなく、特定の PFOS や PFOA のように同一対象分野・領域の問題であっても、その製品ライフサイクル上で規制範囲が異なることによる社会的不都合性が生じている点である。具体的に、図1で示すように、製品ライフサイクル上の上流規制（製造・輸入・使用）をしていても、下流規制（消費・廃棄）が適切に対応できていないために、本質的な課題解決に繋がっていない実態がある。この点に関しては、上流規制と下流規制が PFAS の事例とは逆のケースでも同

様のことが言えるだろう。製品ライフサイクル上で、本稿で取り上げたように PFAS の非点源汚染等によってリスク要素と不確実性要素が混在している場合は、製品の全ライフサイクルを規制範囲とする法的予防措置を講じることで、将来的な人的被害の拡大を最小限に抑えることにも繋がる可能性がある。その一方で、このように図 1 に示す PFAS 汚染のように、少なくとも PFOS や PFOA 等に関しては、既に上流規制がされている状況下で、具体的な法的拘束力を伴う下流規制がされていない実態は、それによる何らかの人的被害が生じた際の規制権限の不行使による立法不作為になる可能性もあると考えられる。よって、上述したような国と自治体の役割分担は考えられるものの、特定の化学物質（PFOS や PFOA 等）について上流規制をしている以上、下流規制も講じる必要性は出てくると言える。

## 6 おわりに

### (1) まとめ（若干の考察等を含む）

以上の内容を踏まえ、本稿では PFAS 汚染の現状とその人体への健康被害等を含む身体的悪影響に関して、国内外の先行研究をレビューした上で整理し、日本における PFAS 汚染に対する国や自治体の取組みの概況やその特徴から新たな本質的課題を見出し、リスク行政と不確実性行政に分けて具体的な検討を行った。

そこで、このような本質的課題が生じる要因に関して、リスク行政と不確実性行政の間の「ねじれ」と「ゆらぎ」という観点から、最後に若干の考察を試みる。

#### ① リスク行政と不確実行政の間の「ねじれ」

本稿で取り上げた PFAS 汚染めぐる国の調査を含む「評価」に対する方針とその汚染対策（「管理」）の実態に若干の乖離（「ねじれ」）があることが問題を複雑にしている引き金となっていると考える。すなわち、一見すると PFAS 汚染の人体への健康被害に対する「リスク」や「不確実性」に関する「評

価」内容とその規制措置等を含む「管理」内容に関連性（リスク行政と不確実性行政の関連性を含む）があるように見えるが、根本的な実態としては「ねじれ」が生じているのである。

具体的に、この「ねじれ」の実態としては、本稿でも触れたように、内閣府食品安全委員会の影響評価の内容<sup>68</sup>（PFOS・PFOA・PFHxS の 3 物質を調査対象）をはじめとする「評価」と化審法による当該 3 物質に対する規制措置を含む「管理」内容（第 1 種特定化学物質の指定）に「ねじれ」が生じている。本来、例えば有害化学物質の原因（汚染）と結果（被害）に対して明確な因果関係がなければ規制措置を講じることができないことが法治国家の原則となるが<sup>69</sup>、仮に当該因果関係が不明確な場合に規制措置等を可能とする考え方である「予防原則」に基づき現状の対応策を講じていると考えるならば、なぜこの PFAS の対象 3 物質だけなのかの問題となる。つまり、人体への健康被害等に対して「懸念」されている PFAS は、当該 3 物質だけではなく、調査そのものが行われていないがゆえに「不確実性」が伴っている場合もあるが、本稿でも述べたようにその他にも多く存在（評価検討中を含む）する中で、食品安全委員会の評価結果でも当該 3 物質の各種健康影響に対して明確な「リスク」は指摘されておらず、いまだ「不確実性」が伴っていることを示す内容が明示されているにも関わらず当該 3 物質だけが法的拘束力のある規制措置が講じられているのはなぜかという「評価」と「管理」における「ねじれ」が生じているのが実態である。

このような「評価」と「管理」における「ねじれ」が国と自治体の双方のリスク行政と不確実性行政の間でも生じている可能性があると考えられる。

#### ② リスク行政と不確実行政の間の「ゆらぎ」

この「ねじれ」が生じている背景としては、リスク行政と不確実性行政の間に「防止」と「予防」をめぐる「ゆらぎ」<sup>70</sup>があることが考えられる。具体的には、リスク行政における各種リスク情報に対し

68 食品安全委員会(2024)「評価書 有機フッ素化合物(PFAS)」(file:///C:/Users/kenkyu02/Downloads/kya20240625001\_201.pdf : 最終閲覧日2025年2月1日)、pp.8-9参照。

69 この点、環境法の基本原則の一つである環境基本法4条(科学的知見の充実の下に環境の保全上の支障が未然に防がれる)を根拠とする「未然防止原則」の趣旨と同様となる。

て「防止 (Prevention)<sup>71</sup>」措置を講じるのか、それとも不確実性行政における不確実性情報として「予防 (Precaution)<sup>72</sup>」措置を講じるのか、というその境界面 (閾値のような一定の「ゆらぎ」がある幅) が存在する。このような状況下で、国や自治体の行政機関が本稿で取り上げたような PFAS 汚染等の事象に対していかに意思決定をして、政策判断をするのかという点にも「不確実性」(「社会的不確実性」) が生じるものの、当該事象に対して「リスク」と捉えるのか、未だ「不確実性」が伴っていると捉えるのかで、その後の「管理」(「防止」か「予防」か否かなど含む) のあり方が異なってくることになる。つまり、限られた情報源に基づき、専門家でも意見が分かれ、判断が難しい原因と結果に対する因果関係の有無及び不明確さ (不確実性を含む) についての判断等を行政機関が担わざるを得ない状況もあり、いかに政策判断をするかという点に「ゆらぎ」が生じることになる。

このような行政機関によるリスク行政と不確実性行政の間に「ゆらぎ」が生じることで、波及的に当該間の「ねじれ」が生じ得る状況をもたらしめていると言える。

## (2) 今後の展望と残された課題

本稿で取り上げた PFAS 汚染で指摘されている人体への生命・健康被害等をめぐり、何らかの危険性が懸念されてから対策を講じるのか、一定の安全性が確保されるまで危険と見なし対策を講じるのか<sup>73</sup>は、類似する環境汚染等の国内外の動向を踏まえると、国民性、規範意識、そして規制文化等によって

変わってくる。この点、「日本の社会システム自体が現在の国内 PFAS 問題の複雑さを招いており、欧州と比較して PFAS 対策が遅々として進まない原因である事はコンソーシアムデータベースを勉強すれば自明」であり、「どんな国でも有害化学物質対策と行政・社会システムとは密接に関係する」とも言われている<sup>74</sup>。本稿では、この「コンソーシアムデータベース」に類似した本質的課題を示したが、このような PFAS 汚染のような一定の科学的な不確実性が伴う諸問題に関して、規制対象者への配慮しながら予防的措置を講じる一環として何らかのルールメイキングを行い<sup>75</sup>、国による統一化した基準等を設けていくことと同時に、地域の実態に応じて自治体として法的拘束力を伴う又は伴わない制約等を課す場合は、とりわけ個人 (住民) やコミュニティ等を構成員とする各地域におけるとりわけ「規範意識」<sup>76</sup>にも考慮していくことが時代の変化に応じて求められる可能性もあり、より実効性を担保し地域に根差したバランスのとれた政策実施をするためにも、今後どのような規範形式につながるのかを検討することは議論の実益が出てくるだろう。

また、PFAS をめぐる各種評価に係る今後の課題として「PFOS/PFOA/PFHxS 以外の PFAS の健康影響との関係の考慮」という点も挙がっている<sup>77</sup>。その上で、PFAS のように「化学物質の少量多品種化が進む中で、環境中に排出された後でのヒトや野生生物への有害影響を正確に把握し、それらを管理していくためには、成分ベースでのアプローチと混合物総体でのアプローチの上下両方の視点が重要となる」<sup>78</sup>とされている。この点、日本では「成分ベ-

70 この本稿における「ゆらぎ」は、「想定できそうでできない僅かな動きや小さなずれ」であり、「『点』でもなく『線』でもなく、『面』でとらえることでイメージすることができる」と位置づけている。中山敬太(2024)「化学物質リスクをめぐる法的予防措置の『標準化』に向けた新たな可能性—PFAS問題の現状と課題を踏まえて—」『場の科学』Vol.4、No.2、p.54引用・参照。

71 因果関係が明確な状況下で「未然防止原則」に基づく事前措置。

72 因果関係が不明確な状況下で「予防原則」に基づく事前措置。

73 この点、PFASの対象となる数が非常に多いため、規制をするために物質ごとのアプローチをすることは実質的に難しく、予防的アプローチにより①当該物質の使用が健康と安全のために必要であるか、社会の機能にとって重要であること、②技術的及び経済的に実現可能な代替手段がないことが示されない限り、全ての関連する物質が有害であると想定して段階的に廃止されるべきであると指摘している。Suffill, E., White, M. P., Hale, S., & Pahl, S. (2024). Regulating “forever chemicals”: social data are necessary for the successful implementation of the essential use concept. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 111.

74 山下・谷保・山崎・羽成(2024)、p.47引用。

75 この点、規制対象グループが将来の当該規制を予測できるよう支援し、より効果的に行動ができるようにして現在の規制拡大を推進していく点が指摘されている。Hysing, E., & Du Rietz Dahlström, S. (2024). Unofficial intermediation in the regulatory governance of hazardous chemicals. *Regulation & Governance*.

76 この点、日本における「COVID-19対策としての外出自粛などの行動制限は、あくまで『自粛』であり、罰則を伴うものではなく、個人の判断に依存」し、「その判断には規範意識も影響する」とも指摘されている。小西敦(2025)「新型コロナウイルス感染症の都道府県間『格差』とその原因(1)」『自治実務セミナー(2025年2月)』第一法規、pp.47-48引用・参照。

77 井上・後藤・大野(2025)、p.7引用・参照。

スでのアプローチについても、ダイオキシン類や水道水中の農薬類などのケースを除いて、環境複合毒性を考慮した評価・管理システムが十分に確立されていない」状況でもあり、「国内でも化審法、農取法ならびに環境基本法（環境基準等）でのシステムができる限り早急に進むことが望まれる」と指摘している点<sup>79</sup>はPFAS汚染をめぐる対策を考える上でも今後の重要な課題となるであろう。

## 引用文献

- Anderko, L., & Pennea, E. (2020). Exposures to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Potential risks to reproductive and children's health. *Current problems in pediatric and adolescent health care*, 50(2), 100760.
- Arredondo Eve, A., Tunc, E., Mehta, D., Yoo, J. Y., Yilmaz, H. E., Emren, S. V., ... & Madak Erdogan, Z. (2024). PFAS and their association with the increased risk of cardiovascular disease in postmenopausal women. *Toxicological Sciences*, kfae065.
- Birru, R. L., Liang, H. W., Farooq, F., Bedi, M., Feghali, M., Haggerty, C. L., ... & Adibi, J. J. (2021). A pathway level analysis of PFAS exposure and risk of gestational diabetes mellitus. *Environmental Health*, 20(1), 63.
- Bline, A. P., DeWitt, J. C., Kwiatkowski, C. F., Pelch, K. E., Reade, A., & Varshavsky, J. R. (2024). Public Health Risks of PFAS-Related Immunotoxicity Are Real. *Current Environmental Health Reports*, 11(2), 118-127.
- Brown, J. B., Conder, J. M., Arblaster, J. A., & Higgins, C. P. (2020). Assessing human health risks from per-and polyfluoroalkyl substance (PFAS)-impacted vegetable consumption: a tiered modeling approach. *Environmental Science & Technology*, 54(23), 15211.
- Cordner, A., De La Rosa, V. Y., Schaidler, L. A., Rudel, R. A., Richter, L., & Brown, P. (2019). Guideline levels for PFOA and PFOS in drinking water: the role of scientific uncertainty, risk assessment decisions, and social factors. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 29(2), 157-171.
- DeWitt, J. C., Gluge, J., Cousins, I. T., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., ... & Scheringer, M. (2024). Zurich II Statement on Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): Scientific and Regulatory Needs. *Environmental Science & Technology Letters*, 11(8), 787.
- Hysing, E., & Du Rietz Dahlström, S. (2024). Unofficial intermediation in the regulatory governance of hazardous chemicals. *Regulation & Governance*.
- Saliu, T. D., & Sauvé, S. (2024). A review of per-and polyfluoroalkyl substances in biosolids: geographical distribution and regulations. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 5, 1383185.
- Suffill, E., White, M. P., Hale, S., & Pahl, S. (2024). Regulating “forever chemicals” : social data are necessary for the successful implementation of the essential use concept. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 111.
- 荒木敦子・伊藤佐智子・宮下ちひろ・湊屋街子・岸玲子 (2018)「環境化学物質による次世代の性ホルモンへの影響」『日衛誌』Vol.73、No.3
- 井上知也・後藤嘉孝・大野浩一 (2024)「ペル及びポリフルオロアルキル化合物 (PFAS) に対する国内外の政策動向」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1
- 井上知也・後藤嘉孝・大野浩一 (2025)「PFAS をめぐる規制動向や科学的知見・基準値の変遷と得られる示唆」『リスク学研究』R-24
- 猪熊泰子・松崎伸江・高橋めぐみ・藤田正晴 (2024年)「有機フッ素化合物 (PFAS) の食品健康影響評価について」『食品衛生研究』Vol.74、No.12
- 環境省「水の星地球－美しい水を将来へ」(<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h22/html/>)

78 山本(2024)、p.S70引用・参照。

79 山本(2024)、p.S70引用・参照。

- hj10010401.html：最終閲覧日 2025 年 1 月 24 日）  
 環境省「リスク・コミュニケーションを通じた回避行動の必要性」(https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h11/10971.html：最終閲覧日 2025 年 1 月 30 日)  
 環境省 (2020)「令和元年度 PFOS 及び PFOA 全国存在状況把握調査の結果について」(https://www.env.go.jp/press/108091.html：2025 年 2 月 2 日)  
 及び環境省 (2021)「令和 2 年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査の結果について」(https://www.env.go.jp/press/109708.html：2025 年 2 月 2 日)  
 環境省 (2023)「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律施行令の一部を改正する政令の閣議決定について」(https://www.env.go.jp/press/press\_02450.html：最終閲覧日 2025 年 2 月 2 日)  
 環境省・PFAS に対する総合戦略検討専門家会議 (2024)「PFOS、PFOA に関する Q & A 集 (2024 年 8 月時点)」(https://www.env.go.jp/content/000242834.pdf：最終閲覧日 2025 年 1 月 29 日)  
 厚生労働省医薬局医薬品審査管理課化学物質安全対策室・経済産業省産業保安・安全グループ化学物質管理課化学物質安全室・環境省大臣官房環境保健部化学物質安全課化学物質審査室 (2024)「第一種特定化学物質に指定することが適当とされたペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS) 関連物質が使用されている製品で輸入を禁止するものの指定等について (案)」(https://www.meti.go.jp/shingikai/kagakubusshitsu/anzen\_taisaku/pdf/2024\_01\_01.pdf:最終閲覧日 2025 年 2 月 1 日)  
 国土交通省 水管理・国土保全局 水道事業課 (2024)「水道事業者等によるこれまでの PFOS 及び PFOA 対応事例について」(https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001845763.pdf：最終閲覧日 2025 年 1 月 30 日)  
 小西敦 (2025)「新型コロナウイルス感染症の都道府県間『格差』とその原因 (1)」『自治実務セミナー (2025 年 2 月)』第一法規  
 桜井国俊 (2024)「沖縄の PFAS 汚染問題ー最大の障害は日米地位協定ー」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1  
 山陽新聞 (2024 年 9 月 26 日)「岡山市が環境条例素案で意見公募 PFAS 念頭に化学物質対応明記」(https://www.sanyonews.jp/article/1615114：最終閲覧日 2025 年 2 月 1 日)  
 清水晶紀 (2024)『環境リスクと行政の不作为』信山社  
 食品安全委員会 (2024)「評価書 有機フッ素化合物 (PFAS)」(file:///C:/Users/kenkyu02/Downloads/kya20240625001\_201.pdf:最終閲覧日 2025 年 2 月 1 日)  
 高木総吉・吉田仁 (2021)「水道水中におけるペイフルオロおよびポリフルオロアルキル化合物の分析法検討」『水道協会雑誌』Vol.90、No.6(第 1041 号)  
 津田泰三・居川俊弘 (2012)「世界河川および湖沼の水質および魚類中の有機フッ素化合物」『環境化学』Vol.22、No.4  
 中地重晴 (2024)「国内外の PFAS への取り組みと国際的な化学物質管理の動向」『環境と公害』岩波書店、Vol.54、No.1  
 中山敬太 (2022)「リスク意思決定に対する不確実性情報の管理に関する有効性の検討ー科学的な不確実性と社会的な不確実性の細分化の観点からー」『場の科学』Vol.1、No.3  
 中山敬太 (2023)「日本における食品添加物規制の現状と課題ー「アスパルテーム」の事例に基づく法政策学および政策決定の観点からー」『場の科学』Vol.3、No.2  
 中山敬太 (2024)「プラスチック汚染対策をめぐる条例制定の意義ー栃木県と宮津市を事例とした予防政策法務としての可能性ー」『都市とガバナンス』Vol.42  
 中山敬太 (2024)「化学物質リスクをめぐる法的予防措置の『標準化』に向けた新たな可能性ーPFAS 問題の現状と課題を踏まえてー」『場の科学』Vol.4、No.2  
 中山敬太 (2025)「ナノ・マイクロプラスチックと PFAS の構造的問題ー安全・安心行政上の『行政不作为』への対応の観点からー」『安全工学』Vol.64、No.1  
 中山敬太 (2025)「非点源汚染リスクに対する不確実性行政と環境イノベーションの協創をめぐる相互補完性についてーナノ・マイクロプラスチックと PFAS を事例にー」『環境管理』Vol.61、No.2  
 蓮池安彦 (2024)「PFAS 汚染は『いのちと人権



の問題』 - 民医連事業所としての使命、SDH、HPH の視点で地域住民の健康不安をサポート -」  
『環境と公害』 岩波書店、Vol.54、No.1

原田浩二 (2024) 「PFAS 汚染の広がりヒトばく露の現状 - 発覚の経緯と近年の動向 -」『日本の科学者』 Vol.59、No.11

原田浩二・藤井由希子 (2024) 「国内の汚染の状況 - 問題発覚初期の調査と近年の動向 -」『環境と公害』 岩波書店、Vol.54、No.1

森健 (2020) 『地方自治体のリスク管理・危機管理』  
商事法務

山下信義・谷保佐知・山崎絵理子・羽成修康 (2024)  
「ペル及びポリフルオロアルキル化合物分析技術 - PFAS 海洋化学から PFAS 農業化学へ -」『土壌の物理性』 第 156 号

山本裕史 (2024) 「環境中の複合毒性評価 - 関連研究の歴史と現状ならびに行政利用への課題と展望 -」『環境毒性学会誌』 Vol.27、S1 号