

PFASに対する対策について

すずき のりゆき
鈴木 規之

国立研究開発法人 国立環境研究所 企画部 フェロー

1. はじめに

PFASは非常に多数の物質からなる物質群である。PFASと総称される一群の物質は、多数であることおよびいくつかの特性において、従来から行われてきた化学物質管理や対策のアプローチが有効かどうか考える必要がありそうな物質群である。

本稿では、過去にいくらか共通の特性を持つ物質群に対してどのような対策が試みられたかの経験から、今後のPFASに対する対策としてどのようなアプローチがあり得るかについて大枠を考えてみたい。

2. 対策を考える観点から見たPFASの特性

化学物質への対策を考えるには、対象とする物質の特性に基づいて方向性を考えることが合理的である。例えば、残留性・長距離移動性を有する物質群に対してはストックホルム条約¹⁾のような対策となり、水域での汚染物質であれば環境基準の設定²⁾、あるいは工業的に大量生産される化学物質であればわが国では化審法³⁾であり、国際的にはHPV⁴⁾のような枠組みになり、他にもそれぞれの特性に応じた管理の

枠組みで対策が行われている。まずは対策を考える観点から見たPFASの特性を、以下に整理してみる。

2.1 物質数が多い

4,700余り⁵⁾という物質数がCAS番号ベースで挙げられている。PFASと呼ぶ物質群の定義により異なるが、一般に数千になる多数の化合物からなる物質群である。これは我が国の環境管理でよく扱われる物質数、例えば化審法の優先評価化学物質⁶⁾が200少々、化管法のPRTR第一種指定化学物質数⁷⁾(515)などと比べて非常に多い。

2.2 すべての物質特性は明らかでない

OECDのFact Sheet⁸⁾に記載のある成分は120ほどで、4,700余りのごく一部でしかない。すなわち、多数ある物質群のなかの多くの個物質について物質特性は明らかではない。ただし、構造には一定の共通性はあることから、一群の物質群として扱われることになる。

2.3 組成の変遷の可能性

現代の産業において重要な物質群であるため、新規の類似物質が次々に現れてきて、PFASと呼ぶ物質群の組成が常に変遷して

いく可能性がある。これにより、延べ数としての物質数はさらに増大する可能性がある。

2.4 高度の残留性

PFOS、PFOAはストックホルム条約の対象となり、PFHxSが同条約で評価中である。有機ハロゲン化合物のなかでも、有機フッ素化合物として特に高度の環境残留性が懸念されることは、おそらくすべてのPFASに共通する性質と思われる。

2.5 これまで考慮されていない蓄積性

現代の化学物質管理において、生物蓄積性は、一般にオクタノール-水分配定数(Kow)を指標とする疎水性相互作用による蓄積が想定されている。PCB等の有機塩素化合物ではこの疎水性相互作用による蓄積機構が考えられるが、PFASは機構が異なるように思われる。PFASには、疎水性相互作用で説明される生物濃縮性はさほど高くない物質もあり、それにも関わらず生体中に蓄積されている状況が観察される(例えば先のFact Sheet⁸⁾記載の情報のある物質において、分配定数は高い場合とそうでない場合があり、しかしこれら分配定数に関わらず生物試料中に検出されることがある)。従来の生物蓄積の前提と異なる蓄積性を有することが、曝露経路、蓄積メカニズムを考える際の一つの課題となる。

2.6 影響判定が確定しない

PFASのうち、PFOS、PFOA等また他の物質群に対して各国や評価機関が何らかの基準値、指針値等を示しつつある⁹⁾。しかし、これらの判断値や参照される有害性が相互に異なっている場合がある。各国や評価機関の判断根拠に幅があることが、対策立案上の一つの課題となる。情報のある物質に対してもこのような幅があることに加えて、情報のない多数の物質群の影響をどう考えるかの課題が加わる。このような

PFASの特性は、現代の化学物質管理において想定されるリスク評価と管理による対策アプローチを難しくする。

3. 多数だが個々物質の性質が必ずしも明らかでない物質群への対応：過去の経験とPFASの比較

ここで、複雑な組成や内容を持つ物質群について、評価や管理を試みた過去の経験を整理してみる。筆者がいくらか経験を持つ範囲から、水道水中の塩素消毒副生物の課題¹⁰⁾、ダイオキシン類の臭素および臭素と塩素の混合置換体である臭素系ダイオキシン類の課題¹¹⁾、LASなどUVCBになる成分¹²⁾の課題を例として考えてみる。表1に物質群、特性、個別成分の把握、物質群全体の量、物質群全体の毒性、影響・評価および政策の各面で整理してみた。

4. PFASの管理・対策への方向性について

4.1 非常に多数の物質群であることに對する対策への方向性

表1から、規制基準等が存在して対策がとられているのは、大まかには塩素消毒副生物のうちトリハロメタン類、総量としてのLAS、PFASの一部PFOS、PFOAになる。これらの物質についての管理・対策の立場からの特徴を考えると

- (a) 構造が特定される
- (b) 環境分析が可能
- (c) 構造が特定もしくは群として把握され、分析が可能な対象に対応する影響評価が可能

の3点が満たされていることにあると思われる。対策を実施するためのさまざまな検討や判断の困難を考えれば当然のことではあるが、まずは従来の事例で確実に対策が実施されてきた物質群の領域を示している。

表1 複雑な組成や内容を持つ成分への過去の対応とPFASの特性の関係の整理

物質群	構造、有害性	環境分析による把握	物質群としての総量に関する科学的知見や方法	物質群全体の毒性に関する科学的知見や方法	影響、評価に関する科学的知見	管理・対策の実現状況
塩素消毒副生物	多数の未知成分が定性的に同定される。未知成分にも有害性への懸念はあるが個別には情報が無い。	トリハロメタン類は把握される。ほか個別成分のいくつかは定量分析も可能だがごく一部にとどまる	多数の成分が同定されたが群全体の量は不明 全有機ハロゲンとして有機ハロゲン総量を把握する方法があるが、個別の消毒副生物との定量的な関連性は不明確	一部の成分に発がん性などがある 消毒副生物抽出物から変異原性を検出 群全体では毒性不明な物質が多数	物質群全体の評価はできない 変異原性のみからの影響評価は未確立 トリハロメタン等の個別成分の一部でWHOなどによる共通の毒性学的知見に基づく評価	トリハロメタン類は多くの国が規制基準を定める 一部他の物質も管理対象 それ以外はほぼ具体的対策の対象ではない
臭素系ダイオキシン類	共通構造以外は個別には未知の多数の成分 塩素化ダイオキシンと同様の毒性が懸念されるが個別情報はない	全数のうち限られた異性体のみが分離分析される。ただしそれも単一成分かどうかは不明	クロマトグラムから定性的におよその量が把握されるが正確にはわからない	塩素・臭素置換体固有の毒性データはほとんどないが、塩素化体のアナログとして評価は可能	2378置換体が分離できれば毒性評価は可能と思われるが、分離分析ができないため正確な評価は困難	臭素系ダイオキシン固有の規制基準等の対策はほぼないと思われる
LASなどUVCB的な成分	炭素鎖と官能基の特性で把握される。 特性で区別された物質群として扱われる	個別の構造はほぼ識別されないが不明。	LAS物質群全体としての量は通常は把握可能	物質群全体の毒性としての毒性強度が把握される。個別成分の毒性は一般に不明	物質群全体として評価が行われる	LAS総量あるいはそれぞれの物質群としての規制基準が多くの国で存在する
PFAS	フッ素化炭素鎖の共通構造と官能基の構造で分類される	環境中で個物質として把握可能な成分は一部のみで、他は分析困難ないし分析法開発が間に合わない	製品としての出荷量等は特定可能でも環境中でPFAS全量の把握は困難。 総有機フッ素 ¹³⁾ の提案、PFAS前駆体分析の提案 ¹⁴⁾ はある	一部の成分でのみ有害性情報がある。新規物質が多数出現するためすべての成分の情報は得られそうにない	重篤あるいは微量での影響を示唆する知見と、有害性が弱い知見とが混在して定見に至らない 従来法での生物蓄積性の評価が適用可能ではない可能性がある	PFOS、PFOAなどは規制基準が作られつつあるが、値はかなりの幅がある PFAS全体の対策は検討段階

これらに対し、臭素系ダイオキシン類は、毒性評価の方法はともかくも存在するが、分析による正確な把握が困難で、毒性は推定されても不完全な評価と認識されている。すなわち (b) の状況が満たされていない。

塩素消毒副生成物のうちトリハロメタン以外の成分は、同定されても定量は困難で、毒性評価も困難である。すなわち、(b) (c) の状況とも満たされていない。ただし、全有機ハロゲンの分析法が存在し、この指標は塩素消毒副生物の総量にある程度までの確度で示していると思われるが、個別の消毒副生物との構造の関連性が弱く、(b) (c) の観点から管理・対策の指標には不十分であると考えられる。

LASの場合、これらと逆に個成分が分離分析されることは通常はなく、LAS全体として影響評価が行われるが、LAS総量は一つの集合体として分析可能とみなされ、影響評価も可能と考えられる。すなわち、LAS全体量を一つの物質とみなせば、(a) ~ (c) の状況が満たされていると言える。

ここでPFASに関連しては、個別成分の分析はかなり多数について可能であるが、PFAS全体には全く及ばない。すなわち(a) (b) の条件は一部で満たされるが、全体では満たされない。全有機ハロゲンに類似した総有機フッ素¹³⁾の提案があり、全有機ハロゲンと同様ある程度までの確度で総量の指標にはなるかもしれない。PFAS前

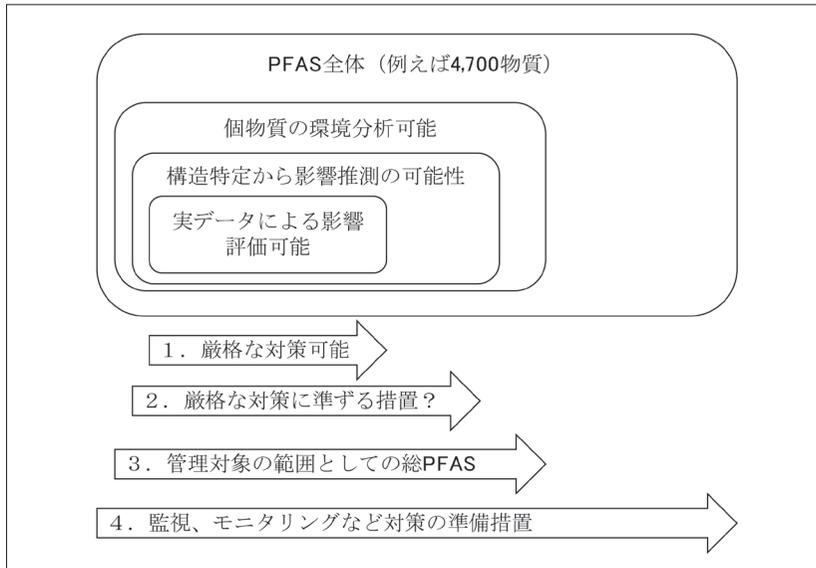


図1 PFAS成分の特性に応じた対策の概念的な整理

駆体のassay¹⁴⁾はより高い確度でPFAS成分を示すと思われるが完全に同一ではなく、これらの試験結果をそのまま(b)(c)を満たす情報と考えることは難しいように思われる。ただし、有機塩素化合物に対する全有機ハロゲンの位置づけに比べれば、PFASがそもそも特定の構造特性を有する合成物質であることから、より(b)(c)への距離は近いとも考えられる。

これらの考察から、PFASへの対応を考えてみると、例えば図1のような範囲ごとに対策の程度を段階的に設定することが一つの考え方になるのではないか。

この図1は全く筆者の試案である。PFASは複雑多数の物質ではあるが、過去の事例と比べると相互の構造にはPFASとしてかなり明確な共通構造があり、また、そこから、少なくとも残留性についてはかなり共通の、影響についてもある程度に共通性のある可能性が懸念されていることを考慮することになろう。

例えば図1の1.の範囲に相当するPFAS物質には、従来から厳格な対策が行われてきた自明な範囲として同様の対策が

考えられよう。2.の範囲は、PFASについては、実データにより影響評価ができなくとも、共通構造に基づく構造類似性の高さから、対策の範囲になり得ると思われるが、1.の範囲と同一の根拠は設定できないかもしれず、1.に準ずるが強制力のより低い対策のあり方を考える可能性となるのではないか。

2.と3.の範囲の違いは正確には提案しがたいが、影響推測の可能性が低い範囲は、厳格というより監視に近い管理対象になっていくのだと思われる。管理対象の範囲としての総PFASは、この2.または3.の範囲で設定するのではないか。

4.の範囲は、PFASの場合には現状ではPFAS前駆体分析また全有機フッ素の分析法が可能性のある分析法になろう。構造との関連性が不明なため対策の考え方は難しい。しかし、PFASについては、その構造とこれら代替指標の間に相当の共通性があると考えられることから、PFAS前駆体分析あるいは総有機フッ素とPFASの関連性は、例えば塩素消毒副生物と全有機ハロゲンとの関連性よりははるかに近いと考え

られる。そうすると4. の持つ意義はいくらかは3. に近い性格とも考え得ると思う。したがって、PFASの場合には、4. の部分の物質について、どの程度に3. に近い性質と判断するかがポイントとなり、今後の新規物質に対応するための監視・モニタリングなど対策の準備措置としての意義を持つ可能性はあると思われる。

4.2 他の特異性を含めての対策の方向性

PFASの蓄積性は、多くは予測というより環境での観測により判断されてきたと思われる。PFASの蓄積可能性を、疎水性相互作用ではないより正確な科学的方法により予測する科学的検討が必要であるが、当面の対策としては、PFASが基本的な蓄積性を有するとの想定に基づき、未然防止的な考え方によることが現実的と思われる。影響が確定しない点もまた科学的知見の集積を待つべきところではあるが、同様に当面の対策としては未然防止的な考え方を構造や影響の推測可能性を考慮して考えることになろう。

以上は、概念的かつ筆者の私見であるが、今後PFASの対策を立案していくにあたり、このような物質や情報の特性と、それに対応する管理の仕組みを関連付けて意識していくことが、複雑多数の物質に対処するための方針になると考える。例えば具体的には、私が仮に1. 2. 3. 4. などとした概念的な範囲を具体的な物質種や分析項目として設定し、対策・措置の内容を情報の確度に対応させて段階的に、必要により未然防止あるいは予防原則的な観点も意識しつつ設定していく¹⁵⁾ ことが一つの可能性、例になると考える。

参考文献

1. Stockholm Convention. Available from: <http://www.pops.int/>.

2. 環境省. 水質汚濁に係る環境基準. Available from: <https://www.env.go.jp/kijun/mizu.html>.
3. 環境省. 化学物質審査規制法ホームページ. Available from: <https://www.env.go.jp/chemi/kagaku/>.
4. OECD. OECD Existing Chemicals Database. Available from: <https://hpvchemicals.oecd.org/ui/Default.aspx>.
5. OECD. Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals. Available from: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>.
6. 製品評価技術基盤機構. 優先評価化学物質について. Available from: <https://www.nite.go.jp/chem/kasinn/ippantodokede/yuusenhyouka01.html>.
7. 製品評価技術基盤機構. PRTR制度 PRTR対象物質. Available from: <https://www.nite.go.jp/chem/prtr/prmate.html>.
8. OECD., Fact Cards of Major Groups of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) , in OECD Environment, Health and Safety Publications. 2022: Paris.
9. 環境省. PFASに対する総合戦略検討専門家会議. Available from: <https://www.env.go.jp/water/pfas/pfas.html>.
10. Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects vol. 3. R.L. Jolly, W.A. Bungs, and R.B. Cumming. Ed., 1980, Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science.
11. 環境省. 臭素系ダイオキシン類に関する調査結果. Available from: https://www.env.go.jp/air/dioxin/post_65.html.
12. OECD Guidance for Characterising Oleochemical Substances for Assessment Purposes. 2017. 15.
13. Metrom USA Inc.. ProfilerF Analyzer for AOF by US EPA Draft Method 1621. Available from: <https://profilerf.metrohmusa.com/usepamethod1621>.
14. Houtz, E.F., et al., Persistence of perfluoroalkyl acid precursors in AFFF-impacted groundwater and soil. Environ Sci Technol, 2013. 47 (15) : p. 8187-95.
15. 鈴木規之、他, 科学的知見の不確実性と予防的アプローチを含む化学物質リスク管理の方向性に関する考察—過去の公害事例を素材として—. 環境科学会誌, 2022. 35 (5) : p. 338-354.