

＜特集＞第52回環境保全・公害防止研究発表会

特別講演：持続可能な環境監視～ストックホルム条約における  
PFASの動向と環境スペシメンバンキングの将来展望～

高澤 嘉一

(国立研究開発法人国立環境研究所 環境リスク・健康領域  
基盤計測センター 環境標準研究室 室長)

座長 郡司 博道

(全国環境研協議会 会長：福島県環境創造センター所長)



(スライド3)

まず、はじめに環境スペシメンバンキングと化学物質環境実態調査について、お話しさせていただきます。そもそも、生物モニタリングとは、非常に古くから行われている手法であり、学問として意識され始めたのは1970年代の半ばだと考えられています。当時は、炭鉱のカナリアなど、有毒ガス検知のためにカナリアの感受性の高さを利用した方法や魚の入った水槽に薬を溶かして、水溶性の毒物を検知するなど、生物の感受性の高さを利用して、その化学物質の存在を調べる方法が昔から行われておりました。モニタリングの1つの意味としては、劇的な変化が起こる前に、可能な限りその汚染の程度を把握していきたいというところがあり、人間に対する影響をできる限り初期の段階で把握することに意味があります。

(スライド4)

今は「ワンヘルス」という考え方が浸透してきており、人の健康に対する影響や、化学物質の取り込み経路を調べていくうえで、人そのものではなく、私たちの周りにはいる動物や自然などをうまく包括的に調査していきながら、最終的に人への影響を総合的に評価していくという動きになっています。そのため、生物濃縮、生物蓄積しやすいということを考えた場合に、こういった経路で化学物質が私たちの体内に入ってくるのかを追跡していく必要があります。

(スライド5)

環境中に放出された化学物質の濃度は、一旦希釈され、当然低くなりますが、低次の生物から高次の生物にどんどん移行していくにしたがって、濃度は高くなっていきます。化学物質の排出源としましては、様々なとこ

ろがありますが、環境中の化学物質はほとんどが低濃度であり、直接その媒体を調べたとしても、そこで必ずしも検出できる状況ではありません。そのため、顕著な濃度や影響が出てくる前に把握するというのを考えた場合には、やはり環境中での濃縮というものを1つのポイントとして考え、それをうまく活かしていく必要があります。

(スライド6)

こちらは環境中での化学物質の濃度についての図ですが、環境中の濃度としては非常に低いレベルになっています。実際に分析をする場合には、前処理や試料精製などの時間が必要となりますが、現在は分析機器の進歩により、分析装置の感度としては、非常に低い濃度でも確認が可能となっております。

(スライド7)

生物濃縮としては、先ほど示したように化学物質が環境中に放出され、低次の生物から高次の生物に至る過程で濃縮されます。

(スライド8)

ただ、分析法にも限界があり、生物モニタリングを利用しないで直接、分析しようとする場合は、この4項目が課題として挙げられます。1点目は、水や大気など、いわゆる環境媒体を大量に集めてくる必要が生じる点です。もちろん、ホットスポットで汚染されているかどうか調べたいのであれば濃度としては高いので大量に集める必要はないかもしれませんが、一般的な環境モニタリングでは、それなりの量を集める必要があります。2点目は、試料精製時に大幅に濃縮する必要が生じる点です。また、3点目として、機器分析では、装置に導入する量をできる限り増やすような操作も必要になってきますし、場合によっては実験室由来の汚染にも注意が必要

になります。私もPFASの分析を2003年から2004年あたりに行っていたのですが、室内のブランクを下げるのにとっても苦労しました。例えば、溶媒が揮発しないように瓶の周りを巻いたテフロン製のシールテープから非常に強い汚染が出てしまっていて、当時は、ここまで室内汚染の影響を受けるとは思っていなかったもので、室内でのブランク対策に随分苦労した経験があります。ですから、このような二次汚染に十分、気をつける必要があります。

(スライド9)

一方で、生物モニタリングを用いた利点については、量が多ければ正確な検出や比較が容易であるということです。また、得られる濃度については、水質の場合、スポット採水であれば瞬間的な濃度となりますが、生物であれば、その生物が生きてきた積分値になりますので、その生息地の平均的な濃度が得られるというような利点があります。さらに、化学物質との相性もありますが、生物濃縮では、その蓄積性が高ければ、自然環境における本当にわずかな変化でさえも事前に把握することができます。

ここにスズキ、サンマ、ムラサキイガイの例を示しておりますが、黒本調査（化学物質環境実態調査）では、このような種を対象にしています。これらの種を対象とする理由については後ほどご紹介します。

(スライド10)

この黒本調査の名称というのは、この報告書の色が黒いため、「黒本」という通称で呼ばれています。報告書としては、令和5年度に実施した調査結果を掲載した令和6年度版の「化学物質と環境」が最新版となっています。令和7年度の調査については、おそらく皆様にも調査の協力依頼があり、水質、底質、大気などの試料採取をしていただいている段階だと思っておりますが、12月から2月ぐらいに令和7年度の試料を分析し、その結果を3月までに取りまとめる予定です。また、令和7年度の資料については、令和8年度の11月か12月頃に開催するPOPsモニタリング検討会で、精度管理の部分も含めて精査が行われるような流れになっております。

本調査については、本当に皆様のご協力があって成り立っている調査であり、長く地点を変えずに、継続性を担保できているのは大変ありがたい限りと感じております。

(スライド11)

黒本調査の構成を説明いたしますが、初期調査、詳細環境調査、モニタリング調査があり、初期環境調査については、選定された化学物質があるかどうか把握する調査になります。ここで選定された化学物質と記載していますが、これは皆様からの情報提供、あるいは社会情勢を踏まえた上で、これから注目・調査を進めていかなければ

いけないということでリストアップされた化学物質となります。2つ目の詳細環境調査は、把握した化学物質について分析を確立した上で、地点を変えたりしながら進めていく調査になります。3つ目のモニタリング調査については、毎年度、ストックホルム条約で規定されているPOPsを中心に汚染状況の実態を調査するもので、水、底質、大気、生物の4媒体が対象となっております。POPsモニタリング業務の事務局は私のところで受けておりますが、モニタリング調査の分析データについては、外部有識者の先生を招いて、分析機関の分析精度に問題がないか確認を行っています。また、毎年度、入札によってモニタリング調査分析機関が変わる可能性があるため、データの継続性を評価しながら進めています。

(スライド12)

黒本調査の特徴と検討課題についてですが、私から見た場合の黒本調査の特徴としては、この3つが挙げられると思います。1つはデータの継続性の担保です。この調査は昭和47年から50年あたり、戦後から進められている調査ですので、トレンドを確認する上では、比較可能なデータであることが重要になってきます。2つ目は国際的に整合性がとれているデータを提示する必要があることです。特に日本の場合には、個別の異性体を詳しく分析し、値を出していく手法を用いており、非常に良いことではありますが、国際的に見ると、かなり先進的な分析法であるため、調和が取れていないということがあります。今のところ、PCBのデータなどでは、データの一部を紹介し、あわせて全異性体の分析値も世界に対して公表するようなやり方をしております。それから、もう1つは非意図的な生成物の注視というところです。ここ1、2年では、PCBの二塩素化の11番が非常に問題になっています。まだ確実には言えませんが、非汚染地域のモニタリング結果を見ると、二塩素化の11番のPCB濃度が増えているようなトレンドを示しています。日本の場合には、特に特措法もありますので、PCBについては強く注視していく形になっています。これまでに挙げられた検討課題になりますが、ターゲット分析の限界という点については、POPsも初めは「Dirty Dozen」と呼ばれた12物質だけでしたが、今ではその倍以上、かなり多くの物質がPOPsに指定されています。限られた試料の有効活用を考えると、特定の目的に試料を使用するターゲット分析は限界をむかえつつあり、スクリーニング分析など、幅広く分析していくような手法に試料を活用するよう進めていかなければいけないと考えています。あとは、試料の長期保存と記載していますが、モニタリングにより現状の濃度データを知るだけではなく、スクリーニング分析法を使って、幅広く調査しつつ、さらに試料を保存しておき、将来振り返りできるような体制を構築

することが非常に重要であると考えています。

(スライド13)

令和6年度の「化学物質と環境」の水質のモニタリング地点になりますが、日本全国の47地点で採取されています。

(スライド14)

同じく底質のモニタリング地点です。底質の場合、基本的には水質と同じ地点で採取していただいておりますが、東京湾や大阪湾など港湾関係では2地点あるいは3地点と少し多めに地点を設定しているため、水質より地点数が多くなっています。

(スライド15)

大気のモニタリング地点については35地点あり、北から南まで幅広く網羅しています。

(スライド16)

生物のモニタリング地点については20地点となります。対象種としては魚類や貝類、それとカワウなどを対象としており、内陸の生物よりは海岸性あるいは海洋性の生物を対象としています。魚類では、遠くの方まで行くシロサケなどを対象にしています。

(スライド17)

POPsの特徴の話になりますが、POPsはここに挙げた4つの特徴を持つもので、今のところPOPRCと呼ばれるPOPs Review Committeeで、POPsに当てはめるかどうか、条約に追加するかしないかを判断しています。

(スライド18)

ストックホルム条約、2004年5月に発行されておりますが、そのベースとなっているものとして、「陸上活動からの海洋環境の保護に関する世界行動計画」がありました。特に人の健康に着目をするような形で本計画を発展させて、POPs条約が発行されましたが、その中で締約国に求められている行動計画が次の5項目になります。その中には、対策の有効性を評価するためのモニタリングの実施という項目が盛り込まれていますので、日本を含めて締約国は、条約事務局に対し、有効性評価のためのモニタリングであることを示す必要があり、先ほどお話しした黒本調査が若干関係しております。ここで有効性評価ということですので、本来であれば、ホットスポットなど汚染されている地域ではなく、非汚染地域での濃度を把握し、各国の対策により非汚染地域においてPOPsの濃度が減少する傾向が見られることが理想的ではありますが、先ほどの黒本調査の計画については非汚染地域ではありませんが、日本国内の取組として、条約事務局に挙げており、きちんと東アジアを含めた取組内容として評価はされている結果になっています。

(スライド19)

こちらPOPsに関連する国内法令を挙げております。化

審法、PCB特措法、ダイオキシン特措法、廃棄物処理法、バーゼル条約など挙げておりますが、実はバーゼル条約とPOPs条約については、UNEPでの条約事務局を同じ方が担当していますので、関連性が非常に強いと思います。そのほか化管法、大気、水質、土壌の各汚染防止法、対策法が関係法令になっています。

(スライド20, 21, 22)

黒本調査の結果については、環境省環境保健部のページに、全国の結果を取りまとめて報告されています。公表ページの左下にある「化学物質の環境中での残留実態」をクリックすると、これまでの黒本調査の結果が掲載されております。さらに、各年度をクリックすると、右側にPCBなどの調査対象物質について、各化学物質の元データが4つの調査媒体別に掲載されています。さらに、調査地点や同族体濃度などの詳しい情報も個別にPDFで確認することができますので、皆様方ご自身の自治体以外の地点情報など確認したいということであれば、本ページにアクセスいただければ確認可能となっています。

(スライド24)

次に、生物モニタリングで用いる生物を簡単に紹介します。まず、1つ目はスズキになります。スズキは黒本調査の中でも主要な生物で、一般的には西日本の沿岸で頻繁に見られますが、全国的にも東京湾は非常に捕獲しやすいということで、捕獲のしやすさが特徴の1つに挙げられます。また、沿岸近くに棲むため沿岸一帯での水の状況を把握しやすく、特定地域の汚染レベルの評価が非常に把握しやすい種になります。さらに、脂質含量は低いですが、食物連鎖の上位に位置しているため、濃縮性を生かして分布の低そうな物質、例えば、国内での使用実績がないような化学物質のモニタリングにおいて非常に有用な魚種になります。そのほか、漁業者を通じて安定して入手ができるので、スズキは地域の特性を把握していく上では有用性の高い種であると考えています。

(スライド25)

続いて、サンマですが、サンマは採取自体が難しくなっており、以前は茨城県沖のサンマを利用しておりましたが、近年は漁獲量が大幅に減少しているため、今はサバに変更しております。これまでのデータはサンマが非常に多かったのですが、継続していきかかったところですが、これからは代替種で考えていかなければならないと思っています。サンマについては日本列島を南北広範囲に回遊する種であるため、茨城県沖で採取したサンマであっても、その行動範囲を考えると太平洋側の汚染レベルを把握することができるような代表性のある位置付けとして採用されていた種になります。

(スライド26)

続いてはムラサキイガイです。ムラサキイガイは国立環境研究所で進めているスペシメンバンキングでもメインの採取種になっておりますが、世界的に分布していることから、古くは「整合値」というような印象を付けられて1970年代から80年代ごろには、この種を使った化学物質のモニタリングやトレンドを把握するような研究が盛んに行われてきました。

基本的にはエラで水をこして、化学物質を取り込むわけですが、代謝能が非常に低いため、取り込んだ化学物質をそのまま代謝せずに体内に留める性質を利用して、モニタリングする形となります。採取も非常にしやすく、とても利用しやすい種でしたが、近年はなかなか採取するのが難しくなっております。以前は東京湾の木更津や横浜港などの岸を見るとすぐに見つけることができましたが、今は非常に難しいです。ムラサキイガイを関東で見ることができるのは、大洗海岸ぐらいでしょうか。昨年、千葉の銚子沖にも伺いましたが、本当にわずかししか見つけることができず、ここ数年は、本来、もう少し南の方まで生息していたものが生息できなくなっているような状況が顕著になっております。

(スライド27)

あとは、ウミネコです。先ほど鳥類としてはカワウがあると話しましたが、カワウのほかウミネコも対象としております。昭和57年度の調査から対象種として選定されており、沿岸性の海鳥で特に魚食性もあることから、生物濃縮の観点で、特定の地域というよりは日本広範囲の汚染濃度を把握することを目的に対象とした種となっております。

(スライド28)

ここからは、環境試料の長期保存事業スペシメンバンキングについて、ご紹介したいと思います。

これまでの説明の中でも少しお話ししましたが、今現在、将来的に起こり得る問題を推定していくことは、非常に難しいことから、今、採取した試料をなるべく広範な分析法を利用して幅広く活用するとともに、試料を保存し、将来の進んだ分析技術を利用して、遡って汚染史を振り返ることを目的に進められている事業となります。国立環境研究所では、2005年に環境試料タイムカプセル棟という建物ができ上がりまして、建物の中にはマイナス60度の冷凍室（大きさは24畳ほど）が2つありますので、全体で大体50畳ほどの冷凍室があります。もう1つは液体窒素を用いた保管で、各地点で採取した生物試料を粉碎均質化し、瓶詰めした後に液体窒素を使用して長期保管しています。液体窒素はタンクに自動供給する形となっております。当初のデザインとしては、化学物質の中には実際のところ2世代影響があるものが存在し

ますので、大体50年ぐらいを想定しています。このような事業を行う場合、特徴的な地点を対象とするなど試料を集める方についてはやりやすいのですが、試料を使う方についてはかなり決断力が必要といたしますか、本来であれば、採取するだけではなく、どのように使っていくかを考えていく必要があります。私はこの事業を5年前から引き継いでいますが、今は試料を収集するより、むしろ、使用していく方向へ舵を切りつつあります。全体のキャパシティがありますので、集めるだけでは、いつか破綻してしまうということもありますので、皆様の方でも使ってみたいという話がありましたら、利用できる可能性も十分ありますし、ぜひ、ご意見いただきたいと考えています。

このようなバンキング施設は海外でも幅広く設置されており、現在、日本以外におそらく25機関ほどあります。日本では、国立環境研究所のほか、より高次の海洋生物を対象とされている愛媛大学の沿岸海洋センターの2ヶ所になります。また、「IESB (International Environmental Specimen Bank Group)」という国際ネットワークがあり、2年に1回、幹事の施設紹介と2年間の事業の進捗状況などを共有する会議を開催しているところです。

(スライド29)

これは長期保存室にある液体窒素を使った保管タンクと低温室の写真になります。

低温室は、建物の中にある大きな部屋全体が冷凍室になっているイメージです。実は、東日本大震災の際に、液体窒素の保存タンクは影響がなかったのですが、低温室については、建物との間に小さな隙間が生じ、天井裏に水がたまるようになってしまいました。常時、大量の水がたまるようになってしまったので、2ヶ月に1度ほど、自分たちで排水作業を行いました。また、大型の室外機が4つ付いているのですが、一部、割れが生じてしまったため冷えにくくなり、おそらく室外機に負荷がかかってしまって、昨年度、停止してしまいました。今のところ、政府の補正予算を使って改修工事を行っており、ちょうど今、1室の工事が終わり、これから2室目の工事を行うところですので、来年5月頃には、元のおりになるかなと考えています。写真のように2室ともかなりの量が保存されていますが、工事中は、すべての試料を1室に集約しているため、相当な容積率となっております。

(スライド30)

実際にどのような方法で長期保存しているのかということですが、ここに凍結作業の様子を示しているとおり、紫外線や酵素による作用を抑えるため、できるだけ低温で試料作製を進めているところです。また、作製した試

料を粉碎処理するのですが、その際も液体窒素をかけて冷やしながら温度が上がらないよう十分注意して作業を行っています。

(スライド31)

こちらは、これまで採取してきた試料です。ムラサキイガイや、その類似種であるムラサキインコガイ、あと一部、カキも採集してきましたが、カキはイガイとはだいぶ蓄積特性が異なっており、いわゆる代替種にはなりえないということがわかってきています。

日本地図の黄色でマークした地点については、底泥を採取している地点、都市部の産業の影響を評価するために選定された地点、非汚染的な地点などが混在しており、おおむね7年かけて全国を一周するようなスケジューリングで試料採取を進めているところです。

(スライド32)

こちらの写真のように、研究所から機材を運んでいきまして、現地で貝を採取し、無菌にしたうえで殻をむいて液体窒素で凍結するなど現場での作業も行っております。

(スライド33)

こちらの写真は、試料を持ち帰ってから液体窒素に保存するまでのスキームになります。まず、個体の貝類を荒く粗粉碎しまして、その後、さらに細かく粉碎して瓶詰してから液体窒素下にて保存します。ガラス瓶は液体窒素の温度まで耐えられますが、キャップが耐えられませんが、実際のところは、液体窒素の中に瓶を丸ごと沈めるわけではなく、液体窒素の10~15cmぐらい上に吊り下げている状況です。このため、温度としては、マイナス170℃程度で長期保存しているのが実情です。

(スライド34)

貝類以外にも、以前はアカエイを粉碎する機会がありました。いずれの試料についても、およそ粒径として50 $\mu$ m程度になるように粉碎して、最終的に液体窒素の保管タンクで保存しています。また、例えば、マイクロプラスチックなどを対象とする場合、試料を粉碎してしまうと、優位性が失われてしまいますので、一部試料については粉碎せず、あえてバンクの状態でのマイナス60℃保管しています。

(スライド35)

保存試料の作製にあたって、注意すべき点の1つとして作業環境が挙げられます。二次汚染を防ぐために、試料採取から保管に至るまで、十分にコントロールしながら進めていかなければならず、かなり労力を費やしているところです。また、粉碎などの作業の際に、超純水で作った氷も一緒に粉碎して、使用している器具類からの重金属や化学物質の汚染を評価できるような体制をとっています。あとは、下側の写真に示しているとおり、試

料採取の現場に口を開けた状態で水が入ったビンを置きまして、試料採取の現場での汚染がないかということも評価するような管理体制をとっております。

(スライド36)

試料調製器具の汚染管理の事例紹介になりますが、写真に示しております「バランスディッシュ」には、様々な化学物質が含まれており、ノニルフェノールやBPAなどの濃度を調査したところ、ノニルフェノールの濃度が高かったため、作業には使用できないということになりました。このようなプラスチック類は極力使用しないということと、使用する場合には事前に十分に洗浄するというのを留意して進めております。

(スライド37)

2004年と2005年のノニルフェノールの濃度を比較したグラフになりますが、2004年にノニルフェノールによる室内汚染が大きくなったため、バランスディッシュの使用を取りやめたところ、2005年には室内汚染のレベルが低減したことがわかりました。

(スライド38)

続いて、試料の分析項目ですが、これまでの分析項目としては、重金属の主要元素や放射性元素、PAHs、POPs、PFASなどの化学物質になりますが、国際的なトレンドを踏まえて、分析項目を選定しております。

(スライド39)

次に、長期保存試料の活用事例として、PFASの中でもPFOSについて、左側の図に2003年から2006年の調査結果、右側の図に2009年から2014年の調査結果を示しております。PFOSは、2009年に国際規制がなされたことを受け、国内でも使用制限や廃絶を行ってまいりました。この結果をみると、全体的な傾向ではありますが、2003年~2006年に高濃度だった地域でも、2009年以降は濃度が低下していることがわかります。

このように、国内政策が有効に機能しているかを判断するための資料として、過去から現在まで保存されている試料は活用しやすいのではないかと考えています。

(スライド40)

1997年に起きましたナホトカ号の沈没事件により石川県沖で重油が流出しましたが、この時には、福井県から石川県の沿岸で二枚貝を採取して分析を行いました。事故直後は、ベンゾピレンの濃度が非常に高かったのですが、徐々に濃度が低下していき、2000年以降になると1000分の1近いオーダーまで濃度が低下していることがわかりました。

(スライド41)

続いて、2002年に起こりましたタンチョウの農薬へい死事件ですが、北海道女満別の小麦畑でタンチョウのへい死が発見されたことから、状況を確認するため、保存

試料の分析を行った結果、有機リン製剤のフェンチオンがかなり高濃度で検出しました。この結果は、タンチョウの生息状況などを管理している部署に活用していただき、この地域一帯でフェンチオンの使用規制が急速に進んだと聞いており、うまく規制に繋がった事例だと考えております。

(スライド42)

続いて、2021年に起きた八戸沖のタンカー座礁事故ですが、この時も八戸に行きまして、試料を採取しております。この事故の試料も手元にありますので、試料を活用したい、あるいは分析をしたいなど希望があれば、試料をお渡しすることが可能です。

(スライド43)

スペシメンバンキング事業として、現在、当研究所では、共同研究を含めて、外部の方々へ試料分与する利活用への取組に力を入れております。このため、研究所ホームページには、これまで採取した試料の一覧などを掲載しています。また、皆さんに採取していただいた黒本調査の試料、特に底質については、残余試料を研究所で長期保管しておりますので、環境省さんとの相談が必要なケースもありますが、ホームページの情報をご覧いただき、保存試料を使いたいという希望がありましたら、利活用の点では私たちとしても非常にありがたいと考えております。

(スライド44)

これまでお話ししてきました生物モニタリングについては、生物濃縮性を利用した非常に良い方法ではある一方で、生物試料を採取できるかどうかという問題があります。

海洋生物に頼らない方法として、化学物質を濃縮するような樹脂を海洋に沈めて評価する手法なども考えられますが、藻類の付着や濃度換算に課題があり、クリアする必要があります。濃度換算では、おそらく化学物質によって吸着係数が異なること、あるいは土壌粒子の付着状況も異なってくると思いますので、どうしても換算する際に推定となる部分がでてしまうことが課題と考えています。さらに、潮流の影響もありますので、これらのことを踏まえると、私個人としては、現時点では、生物モニタリングの方が優位性は高いと考えております。もちろん、生物モニタリングの代替手法については、今後も進めていかなければいけないということで、検討を始めているところです。

(スライド45)

次にPFASの話になりますが、その前に少しUNEPの状況を説明します。

現在、第4次の地域モニタリング報告書をまとめているところですが、第3次の地域モニタリング報告書で

は、2000年から2019年までのデータを統合し、POPs濃度を評価しています。第3次の報告書の要点としては、旧来からある多くのPOPsについては減少傾向を示す一方で、新しいPOPsについては様々な課題があるということをお知らせしております。この地域報告書はアジア太平洋地域に限ったもので、同様に、世界各国でブロック分けされた5~6地域ごとに報告書を取りまとめ、最終的には1つの報告書になるという形です。

(スライド46)

こちらに第3次地域報告書の要点を記載していますが、特に重要な点としては、2つ目に記載のあるHCB(ヘキサクロロブタジエン)のような新規POPsについては一部地域で濃度の上昇が確認されているという点が第3次報告書の特徴となっています。

(スライド47)

また、日本の場合、水質やその他の媒体において、PCBやHCBなどの旧来のPOPsは減少が確認されている一方で、PFOAやPFOSのようなPFAS関係は特徴的なトレンドがありません。特に水の場合はかなり複雑なところがあり、第4次報告に向けて、どのような書き方にするか考えているところではありますが、今のところは結論が出ていない状況であります。

(スライド48)

第4次の地域モニタリング報告書につきましては、昨年の後半頃から始まっており、コンサルの方も含めてデータの取りまとめを行っているところです。この第4次報告書は、2027年の第13回締約国会議(COP13)で提出予定になっており、国連5地域の状況を取りまとめて、ストックホルム条約の評価を進めていくこととなっています。

(スライド49)

各時期における全球モニタリング計画はグローバルモニタリングプラン(GMP)と呼ばれておりますが、フェーズ1から4まであり、それぞれの期間ごとに締約国会議(COP)で利用されている状況です。現在のところ、フェーズ4の2020年以降を進めながら、COP13に向かっている状況になっております。

(スライド50)

フェーズ4に向けて、全球モニタリング計画の改定に関する議論も始まっており、現在のところ、PFOS、PFOA、PFHxS、それから長鎖ペルフルオロアルキルカルボン酸が測定項目に入っていますが、前駆体まで広範囲に測定項目へ入れるかどうかという議論がありました。このため、黒本調査にも関わってきますが、次のモニタリングでは、PFASとして前駆体も測定項目に入ってくる可能性があります。

(スライド52)

当研究所では、2003年から2005年に特別研究として、河川や下水処理場でのPFOSの挙動について研究を行っており、結論としては、2005年当時、PFOSの大半は下水処理過程では処理できずに放流されていたという状況がわかっております。

(スライド53)

PFASの場合、解離基を持つため従来の脂溶性が高いPOPsとは全く異なった物理化学的性質を有していることから、これまでの考え方が当てはまらない物質です。例えば、水への溶解度、あるいは疎水性を示すオクタノール/水分配係数については、イオン化することで数桁異なってくることがわかっております。従って、ステレオタイプな考え方では当てはまらない、厄介な物質ということが当初から言われてきたところでもあります。

(スライド54)

POPs条約の中で、附属書A(廃絶)、附属書B(制限)、附属書C(非意図的生成物)があり、PFAS類についても割り振りがなされている状況です。

(スライド55)

これは条約における発効プロセスになりますが、条約に盛り込む物質として各国からの提案があると、UNEPの専門家グループがその物質について、(1)スクリーニング、(2)リスクプロファイル、(3)リスク管理に関する評価の検討を行います。これらのプロセスを経て、条約に追加するべきとの判断がなされると、締約国会議に勧告され、条約附属書へ掲載・発効されるという流れになります。

(スライド56)

一般的な話になりますが、PFASは撥水・撥油性が非常に高いなど様々な界面活性剤的な性質を有しておりますので、これまで世界的に様々な用途で幅広く利用されています。残留性の高い有機化合物として様々な物質がある中で、今、対象をPFOSやPFOAに定めていますが、それだけでは話が進まない状況になりつつあると考えています。

(スライド57)

こちらに示しているとおおり、PFASは、代替物質や前駆体、さらには、PFOSでも直鎖態と分岐鎖態もあり、1種類だけではないということです。

(スライド58)

条約で規制されるPFASについてですが、PFOS、PFOA、PFHxS、LC-PFCAが2009年から2025年にかけて附属書Aもしくは附属書Bに追加されました。一方で、LC-PFCAについては炭素数が9から21までとなっているものの、分析サイドとしては、炭素数21の物質を本当に測定できるのかと感じております。せいぜい炭素数14から16までが測

定の限界ではないかと思われませんが、先ほどお示したスクリーニングからリスクプロファイルの段階では、実際に分析できるかどうか、有効性評価のためのモニタリングが実施可能かという視点がやや薄いのかなと感じているところです。

(スライド59)

ここからは諸外国における飲料水のPFOS、PFOAの現状について説明します。

(スライド60)

飲料水については、PFOS、PFOAを対象に、2022年9月にWHOがガイドラインを設けており、ガイドラインの中で、PFOSおよびPFOAの目標値として100ng/Lという基準が示されております。この基準の良いところとしましては、現状で使用可能な分析法や処理の達成可能性に関するデータを踏まえて、値が設定されているところです。

(スライド61)

それに対して、アメリカのEPAでは、2022年3月に暫定値として、PFOSで0.02ng/L、PFOAで0.004ng/Lと非常に低い値を示しておりました。これについては、少し二次汚染してしまうと測定できないという非常に低い値でしたので、PFAS関係の分析をされてる方から本当に測定できるのかという意見が多く出されていたと思います。その後、2023年に第1種飲料水規制案として、それぞれ4ng/Lが提案されましたが、やはりWHOの値からはだいぶ低い値が設定されています。

(スライド62)

続いて、ヨーロッパの食品安全機関では、PFAS類としてPFOS、PFHxS、PFOA、PFNA(C9)について、1週間の耐容摂取量として4.4ng/kgという値が提示されています。

(スライド63)

次に、カナダの飲料水目標値は2023年に設定されていますが、カナダでは、PFOSやPFOAといった個別の物質に対する値ではなく、全体を評価する視点として総PFASで30ng/L以下という値を設定しています。従来の飲料水ガイドラインの値は、2023年の設定値よりもおおむねワンオーダー高い値でしたので、私たち研究者の中では、だいぶ低い値を設定したという印象が共通認識だったと思います。

(スライド64)

続いて、ドイツでは、総PFASと近い考えになりますが、PFOS、PFOAを含む20種類のPFASについては100ng/L、PFOS、PFHxS、PFOA、PFNAの4種類のPFASについては20ng/Lという規制値を示しており、EPAの値よりも高い値となっています。分析サイドとしては、現状の分析レベルに近い値と感じておりますが、このあたりの落としどころが難しいところかと思えます。

(スライド65)

以上をまとめたものがこちらの表になりまして、日本のデータは一番下に示していますが、PFOSの目標値として、PFOS+PFOAで50ng/L、PFOAについても同様にPFOS+PFOAで50ng/Lという目標値が設定されております。

(スライド66)

次に、ロードマップのような話になりますが、2022年から2023年にかけて、特に飲料水について、各国ともにPFASの目標値あるいは規制値の検討を行っており、現在もおそらく議論されている状況ではないかと考えています。

(スライド67)

世界保健機関の総PFASの提言では、500ng/Lという値を新たに提案しているところです。

(スライド68)

EPAでは、個別にPFAS類を規制することはなかなか難しいということで、少し幅広にグループとして規制をしていくことを考えているようです。また、すでにPOPs条約に掲載されている、例えば、GenXなどの代替の有機物化合物についても、規制値を検討する動きがあるところです。

(スライド69)

次に、ヨーロッパでは、先ほどお示したように個別のPFASではなく、「PFAS total」あるいは「sum of PFAS」というように全体的に評価する動きになりつつあります。

(スライド70)

このため、表流水や生物体の含有量の規制値についても、今後、おそらく「PFAS total」という形になると思われれます。

(スライド71)

「PFAS total」では、活性炭カラムなど捕集可能な有機フッ素全般を対象としています。それ以外は「総PFAS」や「PFAS合計」すなわち「sum of PFAS」としていても測定可能な数物質に対象を限定して、モニタリングを進めているようです。

(スライド72)

2022年から2023年あたりの諸外国における目標値を表に示しておりますが、個別のPFASを対象とするよりは、総PFASあるいはPFASの合計としている国が非常に多くなっていることがわかります。

(スライド73)

特に2025年に追加された長鎖のPFCAについては、ちょっと厄介で、直鎖体と分岐鎖体の比率が発生源あるいは環境を移動する間にも変わってきますので、PFASの環境

モニタリングをされている方は十分注意が必要であると思います。また、土壌からの溶出試験結果において、分岐鎖体は土壌との相互作用が直鎖体よりかなり弱そうであること、長鎖のPFCAは底質に高い割合で蓄積しやすいとの特徴があります。さらに、魚類を使った生物濃縮試験では、炭素数が1つ増えるごとに、おおむね濃縮係数が8倍ほど増えることがわかっています。このようなことを踏まえると、長鎖のPFCAについては、生物モニタリングの方がいいのかなと考えています。

(スライド74)

最後にPFASの部分をもとめます。条約対応という意味では個別に定量を進めていく必要がありますが、今後は新たなPFASについては、個別にモニタリングするだけではなく、前駆体や代替物質を広範に測定する、いわゆる「PFAS capacity」を評価していく手法のニーズが高まっていると考えています。また、全酸化分析法と呼ばれる「TOPアッセイ」という手法があり、前駆体すべてを酸化し、カルボン酸に変化させて評価する手法もありますので、これらの手法が個別PFASのモニタリングを補完する手法として、今後利用されていくのではないかと想定しております。効率的にモニタリングを実施するためには分析法の整備が重要であり、今後も基礎的な検討の積み重ねが重要であると考えております。