

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
 水道水及び原水における化学物質等の実態を踏まえた水質管理の向上に資する研究
 令和5年度 分担研究報告書

－化学物質・農薬分科会－

研究代表者	松井 佳彦	北海道大学大学院工学研究院
研究分担者	浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
	松下 拓	北海道大学大学院工学研究院
	小坂 浩司	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究協力者	相澤 貴子	関東学院大学工学総合研究所
	鎌田 素之	関東学院大学理工学部理工学科
	中沢 禎文	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
	上條 宏滋	八戸圏域水道企業団水質管理課
	寺嶋 誠	仙台市水道局浄水部水質管理課
	岡崎 悠佳	茨城県企業局水質管理センター
	山田 恵子	千葉県企業局水質センター
	荒井 活人	東京都水道局水質センター
	小館 一雅	神奈川県内広域水道企業団浄水部広域水質管理センター
	高橋 英司	新潟市水道局技術部水質管理課
	平林 達也	大阪市水道局工務部水質試験所
	山口 敏彦	神戸市水道局事業部水質試験所
	尾濱 明子	広島市水道局技術部水質管理課
	佐藤 卓郎	福岡県南広域水道企業団施設部浄水管理課水質センター
	兼城 貴司	沖縄県企業局水質管理事務所
	佐藤 学	神奈川県衛生研究所理化学部生活化学・放射能グループ

研究要旨：

令和3農薬年度の農薬製剤出荷量は約22.2万tで昨年とほぼ同じであった。登録農薬原体数は令和5年2月現在592種類であった。登録農薬製剤数は令和4年9月現在、殺虫剤が1033、殺菌剤が866、殺虫殺菌剤が352、除草剤が1609、それ以外が317で、合計は4177であった。令和5年度の調査では、原水では68種、浄水では35種の農薬および分解物が検出された。検出された農薬を使用用途で見ると、除草剤が原水で42種、浄水では18種と最も多く、監視農薬の分類では対象リスト農薬掲載農薬が原水では42種、浄水では21種であった。個別農薬評価値が最も高かった農薬は、原水ではテフリルトリオン、浄水ではクロロピクリンで、 Σ 値の最高値は、原水では0.96、浄水では0.10であった。分科会に参加の事業者による有機フッ素化合物の調査では、浄水からPFOSとPFOAの合計値が暫定目標値の50%を超過する場合もあったが、他の浄水場の浄水と混合されて配水され、給水栓水濃度は低い値になっていた。多種の有機フッ素化合物を調査した事業者では、炭素数が少ないものが検出される傾向、炭素数の少ないものが浄水処理工程で除去されにくい傾向が認められた。水源調査では、いくつかの事業者でPFOA、PFOSあるいは合計値が50ng/L超で検出される場合があったが、原水の取水への寄与が小さかったり、取水の抑制等で運用が行われていた。A浄水場の水源河川を調査し、PFBSの発生源は河川L、河川BとCの上流、河川Dの合計4地点に存在することが推定された。

このうち、河川L、河川Dの発生源はそれぞれ廃棄物集積地点、廃棄物埋立地の可能性が考えられた。塩素処理よりフェントエートはフェントエートオキソンに変換され、その変換率は60～80%と高かった。また、塩素共存下でもフェントエートオキソンは安定して存在した。さらに、フェントエート塩素処理試料が誘発したChE活性阻害性は、フェントエートオキソンのみで説明できた。加えて、フェントエートオキソンのChE活性阻害性は、既に測定対象リストに組み込まれているマラチオンオキソン、ダイアジノンオキソン、メチダチオンオキソンのChE活性阻害性より大きかった。各地域で測定を推奨する農薬類として地域別リストを作成した。測定推奨農薬は地域間で異なり、その数は最大でも75であった。また、対象農薬類への格上げ、対象農薬類からの格下げが推奨される農薬類を選定した結果、2023年度時点でリストアップされていた対象農薬類115種類に対して格上げ対象が6農薬、格下げ対象が8農薬となり、その結果、対象農薬類を113農薬に更新することを提案した。第1格上げ基準のフェンキノトリオンは出荷量の増加が顕著な水田用除草剤で、10地域中6地域で優先度が高い測定推奨農薬と判定された。

A. 研究目的

水道水源で使用される化学物質・農薬の状況を把握し、水道の水質管理の向上に資するため、実態調査を実施し、検出傾向の解析を行った。特に水源となる流域に開放的に使用される化学物質として量が多い農薬について重点的に解析した。

近年の使用量の増加している農薬について、実態調査に関する検討、実態調査、浄水処理性に関する検討を行った。また、有機フッ素化合物を対象に、水源や浄水場での実態調査を行った。有機リン系農薬について、代謝を考慮した場合としない場合のコリンエステラーゼ(ChE)活性阻害試験を行った。さらに、各地域で測定を推奨する農薬類として地域別のリスト作成するとともに、対象農薬類への格上げ、対象農薬類からの格下げが推奨される農薬類について、優先順位を付けて更新リストを作成した。

B. 研究方法

1) 農薬の出荷量に関する調査

農薬要覧2023((一社)日本植物防疫協会、2023)に記載のある農薬製剤別出荷量情報と(独)農林水産消費安全技術センター(FAMIC)が提供している農薬登録情報(<http://www.acis.famic.go.jp/ddata/index.htm>)の農薬製剤別農薬原体含有率情報から、各都道府県での農薬原体出荷量の算出を行った。農林水産省が提供している農薬登録情報(https://www.maff.go.jp/j/nouyaku/n_sin

<sa/index.html>)とFAMICが提供して失効農薬情報から新規登録された農薬と農薬登録が失効した農薬についても取りまとめ、出荷量や登録原体数の現状を把握した。

2) 全国水道事業体の農薬類調査結果のまとめ
分科会参加事業体を含む全国12水道事業体と神奈川県衛生研究所による農薬類の測定結果を取りまとめた。

3) 各水道事業体における農薬類、有機フッ素化合物の実態調査

研究班参加事業体において、浄水場や水源での農薬類、有機フッ素化合物の実態調査を行った。

4) 神奈川県内の水道水源河川の実態調査

直接注入-LC/MS/MS法を用い、神奈川県内の主要な水道水源河川である相模川の河川水、それを原水とする水道水の実態調査を行った。実態調査の対象地点は14カ所を選定した。また、神奈川県内の県認可水道事業における農薬類の実態調査を行った。

5) 水源における有機フッ素化合物汚染と発生源調査

2022年6、9、12月、2023年2、6月にA浄水場の水源河川で試料水を採取した(図1)。2022年6月は河川A、C、D、E、G、H、I、Kと水路の合流部、排水機場の前後など22地点で採取した。2022年9月は河川A、C、D、E、F、I、Jの17地点、2022年12月は河川A、Bの5地点で採取した。2023年2月は河川A、Lの5地点、2023年6月は河川A、Lの7地点で採取した。測点番号は各河川の上流から下流

へ向けて割り振った。対象物質は、21 種の PFASs [ペルフルオロブタンスルホン酸 (PFBS)、ペルフルオロペンタンスルホン酸 (PFPeS)、ペルフルオロヘキサスルホン酸 (PFHxS)、ペルフルオロヘプタンスルホン酸 (PFHpS)、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)、ペルフルオロノナンスルホン酸 (PFNS)、ペルフルオロデカンスルホン酸 (PFDS)、ペルフルオロドデカンスルホン酸 (PFDoS)、ペルフルオロブタン酸 (PFBA)、ペルフルオロペンタン酸 (PFPeA)、ペルフルオロヘキサン酸 (PFHxA)、ペルフルオロヘプタン酸 (PFHpA)、ペルフルオロオクタタン酸 (PFOA)、ペルフルオロノナン酸 (PFNA)、ペルフルオロデカン酸 (PFDA)、ペルフルオロウンデカン酸 (PFuDA)、ペルフルオロドデカン酸 (PFDoA)、ペルフルオロトリドデカン酸 (PFTrDA)、ペルフルオロテトラデカン酸 (PFTeDA)、ペルフルオロヘキサデカン酸 (PFHxDA)、ペルフルオロオクタデカン酸 (PFODA)] とした。

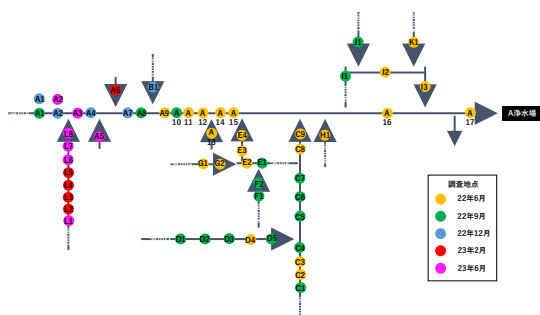


図1 A 浄水場と河川 A~L の位置関係 (矢印は河川を数字は測点番号を表す、測点 A1 と A2 は 2 回ずつ調査)

6)代謝を考慮したコリンエステラーゼ活性阻害試験の構築とそれを用いた有機リン系農薬の塩素処理に伴い生成される毒性を誘発する物質の推定

(1) バッチ式塩素処理実験

10 mM のリン酸バッファー (pH 7.0) にフェントエート標準品を 15 μM 程度、あるいはジスルホトン標準品を 80 μM 程度になるように添加した。これらを、マグネティックスターラーにてひと晩攪拌した後にろ過 (PTFE, φ=0.45 μm) し、未溶解の農薬を除去することにより試料を調整した。ここに、次亜塩素

酸ナトリウムを、4~7 日の塩素処理後に消失しない程度添加し、20 °C 暗所にて塩素処理を行った。塩素処理過程にて経時的にサンプルを採取し、亜硫酸ナトリウムにて残留塩素を消去した。これらのサンプルの毒性を後述の試験法により評価するとともに、農薬濃度を LC/MS にて測定した。

(2) ChE 活性阻害試験

本研究では、従来の質量分析ベースの ChE 活性阻害試験 (Matsushita et al., 2020) に加え、代謝を組み込んだ ChE 活性阻害試験 (Matsushita et al., 2021) を用い、試料の毒性を評価した。

7)機械学習モデルを用いた測定を推奨する農薬類の選定と対象農薬リスト掲載農薬類の更新に関する検討

農薬類の測定データや出荷量、分解・吸着特性などに関する公表データと表流水中の農薬の検出可能性を推定する機械学習モデルを用いて、農薬類の地域別 (全国を 10 地域に分割) の検出可能性を推定し、各地域で検出の可能性が高い農薬類を、測定を推奨する農薬類として、地域別のリストを作成した。検出・不検出のデータは、水道統計 ((公社) 日本水道協会, 2011~2020) および厚生労働科学研究化学物質・農薬分科会の実態調査データ (以下、分科会データ) から取得した。

また、対象農薬類への格上げ、対象農薬類からの格下げが推奨される農薬類について、優先順位を付けて更新リストを作成した。このとき、格上げの検討対象は、要検討農薬類、その他農薬類および追加農薬類の 280 農薬とし、格下げ対象は 2023 年度時点の対象農薬類の 115 農薬とした。対象農薬類の設定にあたっては、モデルによる検出可能性の評価のみでなく、検出実績や目標値の設定有無、検査方法の有無など、その他の要因も考慮する必要があるが、本検討ではモデルの評価によって推奨される格上げ・格下げの提案を行うことに焦点をあてた。

格上げは、2019~2021 年度の 3 年間において、いずれかの地域でモデルによる検出可能性が高い農薬類とし、格下げは 2019~2021 年度の 3 年間を通じてすべての地域でモデルに

よる検出可能性が低く、かつ、過去4年間（2019～2022年度）の検出値が目標値の1%を上回っていない農薬類とした。格上げ基準では、検出と予測した農薬が実際に検出されることを重視し適合率が100%および80%となる基準をそれぞれ第1格上げ基準、第2格上げ基準とした。一方、格下げ基準では、不検出農薬に着目し、再現率が100%および90%となる基準をそれぞれ第1格下げ基準、第2格下げ基準とした。

C. 研究結果およびD. 考察

1) 農薬類の出荷量に関する調査

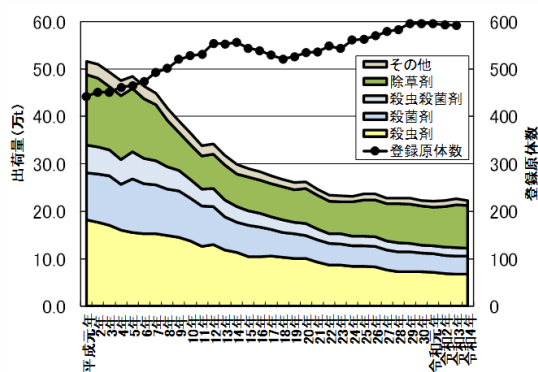


図2 農薬製剤出荷量と登録原体数の推移

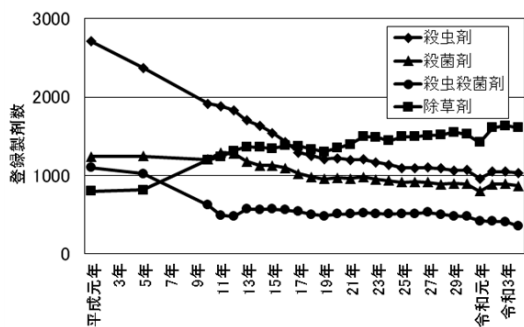


図3 用途別登録農薬製剤数の推移

図2に、平成元年以降の用途別農薬製剤出荷量と登録農薬原体数の推移を示す。令和4農薬年度（令和3年10月～令和4年9月）の農薬製剤出荷量は約22.2万tで昨年とほぼ同じであった。用途別農薬製剤出荷量は殺虫剤が6.7万t、殺菌剤が3.8万t、殺虫殺菌剤が1.6万t、除草剤が9.1万tであった。

20年前、10年前と比べると、それぞれ全体では74%、96%となっており、農薬出荷量の減少傾向は続いているが減少割合は小さくなってきている。

登録農薬原体数は令和5年2月現在592種類であった。図3に、平成元年以降の用途別農薬製剤出荷量と登録農薬原体数の推移を示す。登録農薬製剤数は令和4年9月現在、殺虫剤が1033、殺菌剤が866、殺虫殺菌剤が352、除草剤が1609、それ以外が317で、合計は4177であった。2020年以降新たに殺虫剤として殺虫剤が6種、除草剤が4種、殺菌剤が6種の化学物質が新たに農薬として登録されていた。個別の農薬原体の出荷量のうち前年度と比べて出荷量の増加が顕著であり、現在、水道水源において監視対象となっていない農薬類の出荷量を見たところ、イソチアニル、フェンキノトリオン、トルプロカルブ、ペンフルフェンの増加が顕著であった。

2020年以降に24の農薬原体の登録が失効していた。特に今年度はIBP、メトラクロール、オキサジアルギル、DMTPのこれまでかなり出荷量が多く、水道水源においても頻繁に検出されてきた農薬であり、これらの農薬の代替の農薬について精査する必要があると考えられた。

2) 全国水道事業体の農薬類調査結果のまとめ

表1 令和5年度の研究班による農薬類実態調査結果の概要

	河川水	原水	浄水	
検出農薬	72	68	35	
用途	除草剤	38	42	18
	殺虫剤	14	11	8
	殺菌剤	14	12	6
	分解物	3	3	2
	対象	42	41	21
分類	要検討	3	4	1
	その他	10	6	5
	除外	5	3	2
検出濃度 (µg/L)	ペンタゾン 9.93	プロモプテド 3.50	ブタクロール 1.20	
個別農薬評価値	チアリトリオン 0.85	チアリトリオン 0.65	クロロピクリン 0.10	
検出指標値	0.79	0.96	0.10	

令和5年度の調査では、原水では68種、浄水では35種の農薬および分解物が検出された。検出された農薬を使用用途で見ると、除草剤が、原水で42種、浄水では18種と最も多く、監視農薬の分類では対象リスト農薬掲載農薬が原水では42種、浄水では21種であった。

検出濃度が最も高かった農薬は、原水ではプロモブチド、浄水ではブタクロールであった。個別農薬評価値が最も高かった農薬は、原水ではテフリトリオン、浄水ではクロロピクリンであった。検出指標値（ Σ 値）の最高値は、原水では0.96、浄水では0.10であった（表1）。

モリネートやDMTPなどこれまで広く利用されてきた農薬類の登録が抹消し、フェンキノトリオン、メタゾスルフロン、プロピリスルフロンの除草剤やクロラントリニプロール、シアントラニプロールなどのジアミド系の殺虫剤など新しい農薬の使用が増えている可能性もある。したがって農薬製剤の使用量の変化にも着目しながら、適切に監視対象の農薬を選定し、水道水源における農薬類の実態を把握する必要があると考える。

3) 各水道事業体における農薬類、有機フッ素化合物実態調査

八戸圏域広域水道企業団では、白山浄水場の馬淵川系原水、新井田川系原水、白山浄水場浄水について、66種の農薬類を調査した（後に1種追加）。原水では馬淵川で18種、新井田川で15種の農薬類が検出された。原水の検出指標値（ Σ 値）の最高値は、馬淵川が0.104、新井田川が0.089であった。いずれの地点においてもイプフェンカルバゾンとテフリトリオンの個別評価値が高かった。浄水の Σ 値の最高値は0.004と十分に低く、調査期間を通じて目標値の1/100未満で維持できた。有機フッ素化合物検査を2回実施した結果、検査対象成分は検出されなかった。

仙台市水道局では、114項目（酸化物、代謝物を含む）の農薬類について調査した。調査対象項目中9項目で検出が認められた。検出濃度が最も高かった農薬は原水、浄水ともにベンタゾンであった。また、目標値の100分の1を超えた農薬は、原水ではアミトラズ（0.09 $\mu\text{g/L}$ ：福岡浄水場原水）、テフリトリオン（0.06 $\mu\text{g/L}$ ：茂庭浄水場原水、0.29 $\mu\text{g/L}$ ：福岡浄水場原水）であり、浄水ではアミトラズ（0.08 $\mu\text{g/L}$ ：福岡浄水場浄水）であった。 Σ 値について見ると、原水では5月の福岡浄水場原水が最も高く Σ 値0.162であり、

主にテフリトリオンの寄与に因るものであった。浄水では8月の福岡浄水場浄水が最も高く Σ 値0.021であり、主にアミトラズの寄与に因るものであった。茂庭浄水場配水、福岡浄水場浄水については調査期間を通じて、仙台市の浄水管理目標である Σ 値0.05を下回った。

茨城県企業局では、10浄水場を対象に110項目について調査した。原水の場合、全ての調査地点で農薬が検出され、1地点あたりの検出項目数は河川系で最大14項目、湖沼系で最大6項目であった。検出頻度が比較的高い項目は、カルボフラン、テフリトリオン、プロモブチドであった。最大の個別評価値を示した農薬はテフリトリオンで、その値は5月23日の1.00であった。浄水で目標値の1/100を超えて検出された項目はカルボフランのみで、5月に利根川浄水場（上旬および下旬の2回）、水戸浄水場および涸沼川浄水場で計4回検出され、その際の個別評価値はすべて0.01であった。有機フッ素化合物については、浄水、原水ともに、PFOSおよびPFOAの暫定目標値を超える検出は見られなかった。

千葉県企業局では、129種の農薬類について調査した。テフリトリオンは、利根川水系の原水で高い頻度で検出され、個別農薬評価値も高い値となったが、浄水では検出されなかった。それ以外の農薬では、福増浄水場を除く原水でピラクロニルが検出された。令和3年度から測定を開始したイプフェンカルバゾンは、令和5年度は検出されなかった。浄水の場合、個別農薬評価値が0.01以上となる農薬類は検出されなかった。有機フッ素化合物については、21項目の実態調査を行った結果、浄水場の原水から9項目、浄水からは7項目が検出された。いずれも測定対象とした有機フッ素化合物のうち低炭素数のものが検出される傾向が認められた。また、浄水処理工程における除去性は、PFOS、PFOAと同様の傾向を示し、また、炭素数の少ないものが除去されにくい傾向が認められた。

東京都水道局では、利根川・荒川水系、多摩川水系、相模川水系の8浄水場の原水、浄水について、81種の農薬類の調査を行った。

検出された農薬は、テフリルトリオンやピラクロニルをはじめとする6農薬であった。除草剤が大半であったが、有機リン殺虫剤の一種フェントロチオン (MEP) が検出された。浄水については、全ての浄水場において不検出であった。検出された農薬のうち、個別農薬評価値が1%を超えて検出されたものはイプフェンカルバゾン、テフリルトリオン、ピラクロニルであった。23区内に配水している10大規模浄水場について、原水、浄水、給水栓水の有機フッ素化合物を調査した。原水の場合、PFOSおよびPFOAの合計値は、表流水系の浄水場では3浄水場の原水において5ないしは6 ng/Lが検出された。そのうちの1浄水場では、浄水からも5 ng/Lが検出された。それら以外の浄水場では、原水、浄水ともに定量下限値未満であった。一方、伏流水系の砧浄水場、砧下浄水所では、原水で22から35 ng/L、浄水では10から27 ng/Lが検出された。給水栓水のPFOSおよびPFOAの合計値の検出濃度は、ほとんどの地点で定量下限未満で、最大でも14 ng/Lであった。定量下限以上で検出された地点は砧浄水場及び砧下浄水所の系統であるが、いずれも他の浄水場の浄水と混合されて配水されており、PFOSおよびPFOA濃度は低い値に抑えられていた。

神奈川県内広域水道企業団では、水源、原水、浄水について、144種の農薬類を測定した。原水で検出されたのは9項目で、濃度が最も高かったものはブロモブチド(1.0 µg/L)であった。また、検出された項目のうち、目標値に対する割合が最も高かったものはテフリルトリオン(0.120)であった。浄水で検出されたのはブロモブチド(0.3 µg/L)、の1項目であった。原水と浄水について、PFOS、PFOA、PFHxSを測定したところ、原水の一つからPFOSが6 ng/Lで検出されたが、それ以外の試料からは検出されなかった。

新潟市水道局では、6浄水場と水源河川を対象に、対象農薬リストの31種の農薬類、および9種の調査対象の農薬について調査を行った。信濃川水系では原水ではイプフェンカルバゾン、テフリルトリオン、ピラクロニルが多く検出された。浄水ではブタクロール、

ピラクロニル、イプフェンカルバゾンが検出された。中ノ口川水系、西川水系ではイプフェンカルバゾン、テフリルトリオンが主に検出され、浄水からはイプフェンカルバゾンが検出された。阿賀野川水系では、主にテフリルトリオンが検出され、また、イプフェンカルバゾンの他信濃川水系と同様の農薬が検出された。浄水からはイプフェンカルバゾンが検出された。その他の調査対象農薬では、フェンキノトリオンがテフリルトリオンと同様の検出傾向であった。最大0.78 µg/Lで、塩素処理後は分解物が検出された。シアントラニプロールは他の除草剤と同様の検出傾向で、原水では最大0.03 µg/L、浄水では最大0.01 µg/Lで検出された。有機フッ素化合物について、阿賀野川水系の上流調査を行った。対象は21種の有機フッ素化合物とした。新潟県内2地点、福島県内8地点で試料採取した。21種類のPFASのうち、7種類が検出され、特にPFOAが突出して濃度が高かった。第2回の調査では濃度が高かった地点より上流の阿賀川支川を網羅的に調査した。対象項目をPFOS、PFOAに絞った。濃度が特に高い地点が確認され、PFOAが50 ng/L超、PFOSが24 ng/L検出された。この他の阿賀川支川では低濃度だったため、当該地点のある支川に発生源が接続していると推測された。

大阪市水道局では、淀川本川8地点、淀川支川5地点、柴島浄水場、庭窪浄水場、豊野浄水場の各原水と浄水について、202種の農薬類と酸化物等を測定した。原水、水源調査において目標値の1%を超過して検出した農薬は、11物質であった。テフリルトリオンは、最大で目標値の63%で検出され、浄水以外の試料での検出率は89%であった。浄水で目標値の1%を超過して検出した農薬はなかった。有機フッ素化合物は13水源、3浄水場の原水と浄水で、15種について測定した。水源調査では、一部の地点でPFOAが50 ng/L以上で検出された(最大108 ng/L)。浄水からは9種の有機フッ素化合物が検出され、最高値はPFOAの11 ng/Lであった。

神戸市水道局では、水源10地点、千刈浄水場の原水、浄水を対象に、114種の農薬類を

測定した。4月から除草剤の検出がみられ始め、6月には除草剤をはじめとする多くの種類の農薬類が検出された。また、6月に調査したすべての地点においてイプフェンカルバゾン、テフリルトリオン、ピラクロニルが検出された。イプフェンカルバゾンとテフリルトリオンは8月以降も調査した多くの地点で検出されたが、浄水での検出はなかった。2月には、対象地点では近年検出されていない MCPA が検出されたが、目標値の 0.02 倍と低い値であった。また、令和 5 年度全期間を通して、目標値を超過して検出された農薬類はなかった。有機フッ素化合物について、PFOS、PFOA を水源 10 カ所、浄水場原水 4 カ所、浄水 10 カ所について測定を実施した。水源の場合、PFOS と PFOA の合算値の最大は 14 ng/L であったが、予備水源であり現在、取水は行っていない。原水では全ての原水から検出され、最大は 7 ng/L であった。浄水では 10 カ所中、9 ヶ所から検出され最大 13 ng/L であった。

広島市水道局では、全ての浄水場の原水・浄水について 102 種の農薬類の調査を実施した。原水でテフリルトリオンおよびイプフェンカルバゾンが、浄水でイプフェンカルバゾンが検出された。これらは近年検出されるようになり、その傾向は今年度も変わらなかった。個別評価値の最大は高陽浄水場原水のテフリルトリオンで 0.08 であった。Σ 値の最大は原水が 0.10、浄水が 0.03 であった。有機フッ素化合物については 7 浄水場の原水・浄水および水源等 8 地点において調査を行った。調査項目は、有機フッ素化合物 10 物質とした。原水および浄水において、ほとんどの有機フッ素化合物が定量下限値未満であった。全ての原水および浄水において、水質管理目標設定項目である PFOS および PFOA は定量下限値未満であった。検出された物質数は、原水で 1 物質、浄水で 2 物質、水源等で 8 物質、全体で 8 物質であった。

福岡県南広域水道企業団では、105 種の農薬について測定した。原水では、ベノミル、クロラントラリニプロール、ベンタゾン、メタゾスルフロン、ジノテフランの検出率が高

かった。また、検出濃度は、ブロモブチド (1.112 μg/L)、次いでダイムロン (0.955 μg/L)、フルトラニル (0.708 μg/L) が特に高く検出された。テフリルトリオンの影響により Σ 値の最高値 0.491 で、平均は 0.026 であった。浄水では、最も検出率が高かった農薬は、ベンタゾンであった。検出濃度はベンタゾン (0.193 μg/L)、ブロモブチド (0.092 μg/L) が比較的高い数値を示した。Σ 値の最高値は除草剤である MCPA や 2,4-D の影響により 0.0044 で、平均では 0.0010 であった。

沖縄県企業局では、北谷浄水場と各水源において PFOS および PFOA 合計値、PFHxS 濃度の調査を行った。また、比謝川の支流である大工廻川での PFOS 濃度が特に高いため、比謝川取水ポンプ場以外の地点でも調査した。北谷浄水場浄水での PFOS および PFOA 合計値の最大値は 5 ng/L となった。比謝川においては、取水ポンプ場で平均 134 ng/L、支流大工廻川で平均 275 ng/L、大工廻川流入前の地点 1 で平均 25 ng/L となった。長田川では平均 9 ng/L であった。

4) 神奈川県内の水道水源河川の実態調査

神奈川県内の主要な水道水源河川である相模川とそれを原水とする水道水中の農薬類の実態調査を行った。調査期間は 2023 年 4 月下旬～9 月下旬、採水地点は 14 カ所、対象農薬類は 190 種であった。また、伏流水や深井戸を水源としている県認可水道事業の水道 9 地点において、原水および浄水の農薬類の実態調査を実施した。河川水からは 70 種類、水道水からは 20 種類の農薬類が検出された。水源から目標値の 10% を超える濃度で検出された農薬類は、イプフェンカルバゾン、カルバリル (NAC)、キノクラミン (ACN)、テフリルトリオン、ピラクロニルであった。対象農薬リスト外の農薬としてはメタゾスルフロンの検出が目立った。また本年度より新たに測定を始めたフェンキノトリオンが 156 検体中 67 検体で検出され、最大濃度は 0.380 μg/L であった。水道水の場合、2,4-D (2,4-PA)、プレチラクロール、ブロモブチド等が検出された。また、低濃度ながらテフリルトリオン代謝物 B、フェンキノトリオン代謝物 C が検出され

た。県認可水道事業の調査では、9 地点で 2 回 2 回行った。原水から 10 種、浄水から 6 種検出された。

5) 水源における有機フッ素化合物汚染と発生源調査

2022 年 6 月の調査では、PFBS は河川 A、C、D の上流で高濃度で検出された。河川 C が河川 A に合流する地点より下流では PFBS 濃度はやや小さかった。PFBS 負荷量は河川 A の測点 A9 と A11 が大きく、それに比べ河川 C の合流部 (C9) の負荷量は 10 分の 1 以下であり、その下流では A14 から A17 に至るまで負荷量に漸増傾向が見られた (図 4)。

また河川 H の PFBS は比較的 low 濃度 (6 ng/L) であった。したがって、河川 A の高負荷区間は 3 区間 (A9 上流、A11 上流、A14 下流) あり、また負荷量は小さいが河川 C 上流にも存在することが推察された。この結果を受け、9 月に PFBS の高負荷区間の絞り込みを行った。河川 A では A8 と A10 で負荷量が 31、88 $\mu\text{g/s}$ (それぞれ 1.0、2.8 kg/y) と高かったため、その上流に高負荷の 2 区間 (A1~A8、A9~A10) が存在することが推定された (図 4)。

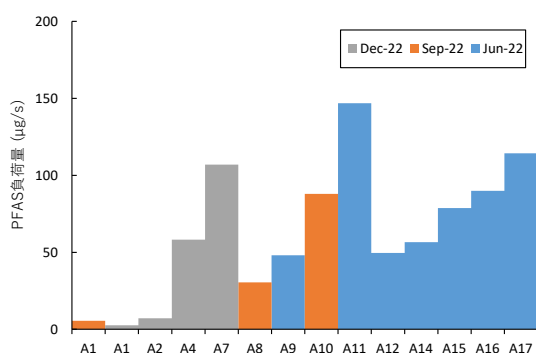


図 4 A 浄水場の水源河川の PFBS 負荷量

河川 C と河川 D では、それぞれ C1 と D2 で高濃度の PFBS (それぞれ 172、9243 ng/L) が検出されたため、流量不明により負荷量は算出できないが、上流側に高負荷区間 (C1 上流、D1~D2) があることが推定された (図 5)。D2 周辺には廃棄物埋立地があるため、特定には至ってはいないが発生源の可能性が考えられた。河川 E、I はそれぞれ PFBS 濃度が最大で 133、123 ng/L であった。河川 E、I にはそれぞれ河川 C、A が分岐して流入していること

が現地調査から判明した。加えて、河川 E に流入する河川 F と G、および河川 I に流入する河川 J と K は PFBS 濃度が比較的 low 濃度 (2~20 ng/L) であったため、河川 E、I の高濃度 PFBS はそれぞれ分岐元である河川 C、A に由来すると推定された。

12 月には河川 A の A8 上流および河川 B について高負荷区間の絞り込みを行った。河川 A では A4 と A7 で負荷量が 58、107 $\mu\text{g/s}$ (それぞれ 1.8、3.4 kg/y) と高かったことから、上流側に高負荷の 2 区間 (A2~A4、A4~A7) が存在することが推定された (図 4)。さらなる調査で、負荷量の増加は、河川 L の水 (その水が混入した水路等を含む) が、これら 2 区間から河川 A に流入したためとわかった。河川 L の発生源は、付近の廃棄物が集積した地点であると推察された。また、河川 B の B1 では負荷量が 41 $\mu\text{g/s}$ (1.3 kg/y) と高く、B1 上流にも高負荷区間が存在することが推定された。

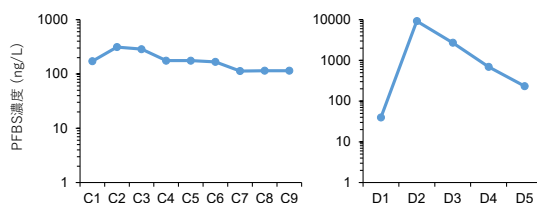


図 5 A 浄水場の水源河川 C、D の PFBS 濃度

6) 代謝を考慮したコリンエステラーゼ活性阻害試験の構築とそれを用いた有機リン系農薬の塩素処理に伴い生成される毒性を誘発する物質の推定

(1) フェントエートについて (代謝なし)

表 2 オキソンの毒性の比較 (代謝なし)

	IC ₅₀ , μM
ピリダフェンチオンオキソン	0.0059
フェントエートオキソン	0.0074
マラチオンオキソン	0.024
ダイアジノンオキソン	0.075
メチダチオンオキソン	0.084
ジメトエートオキソン	14

LC/MS/MS を用い、合成したフェントエート

オキシソ (林純薬) を測定したところ、塩素処理試料中で確認されていたフェントエートオキシソと推定していたピークと、保持時間とMS/MS スペクトルが一致した (図なし)。よって、昨年度の報告にて確認されたピークは、フェントエートオキシソ由来であることが分かった。

一方、フェントエートオキシソの毒性をChE 活性阻害試験 (代謝なし) で調べたところ、用量依存的に毒性が増加することが分かった。すなわち、フェントエートオキシソはChE 活性阻害性を有することが明らかとなった。また、フェントエートオキシソのChE 活性阻害性を、他の有機リン系殺虫剤のオキシソ体と比較したところ (ChE 活性を 50%阻害する濃度として比較)、既に測定対象リストに組み込まれているマラチオン、ダイアジノン、メチダチオンのオキシソ体に比べて、フェントエートオキシソ体の 50%阻害濃度が 1 ケタ程度小さかった。すなわち、フェントエートオキシソの毒性がこれらの農薬のオキシソ体よりも高いことが示された (表 2)。

そこで、改めてフェントエートの塩素処理実験を行ったところ、フェントエートは速やかに消失し、一部がフェントエートオキシソへと変換された。また、フェントエートオキシソは塩素処理時間とともに緩やかに減少し、96 時間の接触でほぼ消失した。フェントエートオキシソへの変換率は最大で 61%であった。

しかし、この実験では、試料が誘発するChE 活性阻害性を評価する目的があったため、初期フェントエート濃度も (16.2 μM = 5.2 mg/L)、添加塩素濃度 (20 mg-Cl₂/L) も、実際の浄水処理で想定される濃度と比べて、極めて大きい値であった (ChE 活性阻害性試験での毒性定量感度を確保するため)。そこで、実浄水処理で想定されるような低濃度でも、塩素処理によりフェントエートオキシソに変換されるか否かを調べるため、初期フェントエート濃度を 10 $\mu\text{g/L}$ 、添加塩素濃度を 1 mg-Cl₂/L といずれも低く設定して、再度塩素処理実験を行った (図 6)。その結果、低濃度条件下でも、塩素処理により、フェントエートからフェントエートオキシソが生成されること

が確認され、1 時間の接触で、初期添加フェントエートの 76%がフェントエートオキシソへと変換されることが分かった。低濃度条件下でも、塩素処理時間とともにフェントエートオキシソは減少したが、24 時間後でも初期添加フェントエートの 55%が、72 時間後でも 30%がフェントエートオキシソとして残存しており、水道水のような塩素共存下におけるフェントエートオキシソの安定性が確認された。

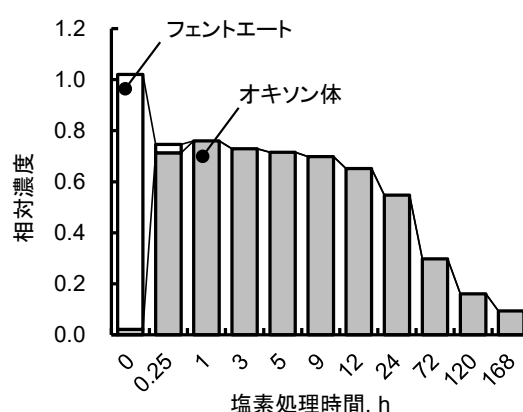


図 6 低濃度塩素処理実験でのフェントエートオキシソへの変換 (フェントエート初期濃度: 10 $\mu\text{g/L}$, 遊離塩素初期濃度 1 mg-Cl₂/L)

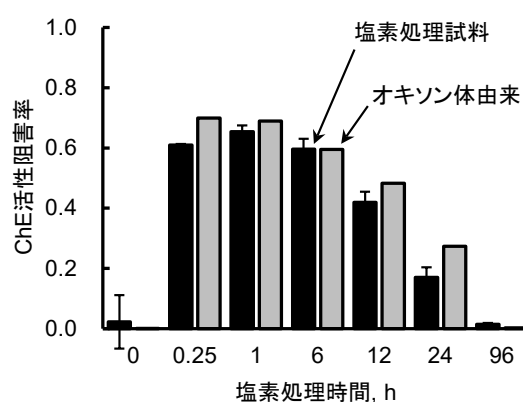


図 7 フェントエート塩素処理の毒性に対するフェントエートオキシソの寄与 (代謝なし)

次に、塩素処理サンプルを 750 倍希釈した

後にChE活性阻害試験（代謝なし）に供することにより、塩素処理サンプルの有する毒性を評価した（図7、黒棒）。塩素処理前（塩素処理時間0 h）の試料は毒性を誘発しなかったが、塩素処理に伴い、毒性を誘発するようになった。すなわち、フェントエートが塩素との反応により変換されて生成した物質が、毒性を誘発したと判断された。毒性は、塩素処理1時間で最大となった後に減少した。

そこで、塩素処理試料が誘発した毒性に、塩素処理により生成されたフェントエートオキソンがどの程度寄与するのかを、試料中でのフェントエートオキソン濃度と、フェントエートオキソン濃度と毒性の関係から算出した（図7、灰棒）。その結果、塩素処理試料が誘発した毒性（黒棒）と、フェントエートオキソン由来の毒性（灰棒）が概ね一致した。すなわち、フェントエート塩素処理試料が誘発した毒性は、生成されたフェントエートオキソンのみで説明できることが分かった。

フェントエートオキソンへの変換率は最大でも61%であった。このことは、初期添加のフェントエートの少なくとも39%は、フェントエートオキソン以外の物質へと変換されたことを意味するが、これらの「フェントエートオキソン以外の物質」は、塩素処理試料が誘発した毒性には寄与しないと判断された（毒性がオキソン体のみで説明できたため）。

(2) フェントエートについて（代謝あり）

代謝を考慮した場合のChE活性阻害性の変動を調べるため、改めてフェントエートの塩素処理実験を行った。フェントエートは0.25 hの塩素処理でほぼ消失し、一部がフェントエートオキソンに変換された（図なし）。そこで、代謝を考慮したChE活性阻害性試験により塩素処理試料の毒性を調べたところ、いずれの試料も毒性を誘発しなかった。すなわち、フェントエートは塩素処理により、フェントエートオキソンを含む分解物へと変換されるが、これらの物質は、代謝後に毒性を誘発しないと判断された。

以上より、(1) 塩素処理よりフェントエートはオキソン体に変換され、その変換率は高かった。(2) 塩素共存下でフェントエートオ

キソンは安定して存在した。(3) フェントエート塩素処理試料が誘発した（フェントエートADI設定時の毒性エンドポイントである）ChE活性阻害性は、代謝の有無に関わらず、オキソン体のみで説明できた。(4) フェントエートオキシソンのChE活性阻害性は、既に測定対象リストに組み込まれているマラチオンオキソン、ダイアジノンオキソン、メチダチオンオキシソンのChE活性阻害性より大きかった。

(3) ジスルホトンについて（代謝なし）

ジスルホトンに塩素を添加したところ、0.25 hの接触でジスルホトンはほぼ消失した（図なし）。一方、塩素処理試料からはジスルホトンオキソンは検出されなかった（図なし）。すなわち、塩素との反応により、ジスルホトンはオキソン体以外の物質へと変換されることが分かった。

次に、ジスルホトンの塩素処理に伴うChE活性阻害性（代謝なし）の変動を調べたところ、塩素添加により0.5 hまでは毒性が大きく増加し、その後、緩やかに減少することが分かった（図8）。すなわち、塩素処理により、ジスルホトンは毒性を誘発する物質へと変換されたと判断された。

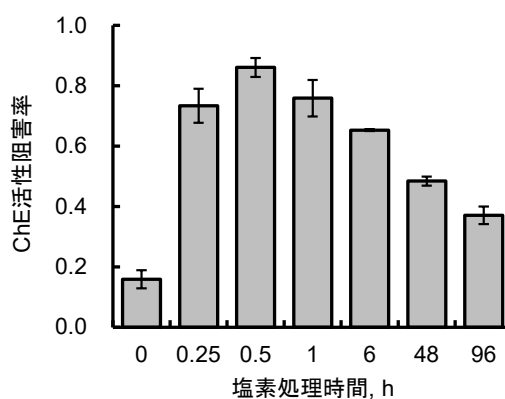


図8 ジスルホトンの塩素処理に伴う毒性の変動（代謝なし）

塩素処理試料をLC/MSでスキャン分析したところ、いくつかのピークが検出され、塩素との反応により、ジスルホトンが様々な物質へと変換されたことが示唆された（図なし）。

そこで、どの物質がChE活性阻害性を有するのかを評価するため、塩素処理時間1hの試料をLCにより1分ごとに分画し、得られた30フラクションをそれぞれChE活性阻害試験(代謝なし)に供した。その結果、フラクション#12, #13, #16, #17が毒性を誘発することが分かった。すなわち、塩素処理によりジスルホトンから生成された毒性を誘発する物質が、これらのフラクションに分離されたと考えられた。他の塩素処理時間における試料も同様の手法により分画し、これらのフラクションが誘発する毒性を調べたところ、塩素処理初期(≤1h)では、フラクション#12と#13の毒性が支配的であるが、塩素処理時間が長くなるにつれてフラクション#16と#17の毒性が支配的になることが分かった。

これらのフラクションにて、どのような物質が毒性を誘発しているのかを調べるため、それぞれのフラクションをスキャン分析したところ、それぞれのフラクションでピークが1つずつ観察された(図なし)。また、フラクション#16と#17で観察されたピークの保持時間と精密質量が一致しており(ピークがフラクション#16と#17にまたがっていたため、両方のフラクションにて検出された)、これらは同じ物質であると判断された。精密質量分析の結果、フラクション#12にて観察されたピークA([M+H]⁺ = 291.0477)は、C₈H₁₉O₅PS₂であると推察された。この分子式は、ジスルホトン(C₈H₁₉O₂PS₃)からSが1つ減り、Oが3つ増えたものであり、ジスルホトンオキシンスルホンである可能性が示唆された。そこでジスルホトンオキシンスルホン標準品と、LC保持時間およびMS/MSスペクトルを比較したところ、いずれも一致したため、フラクション#12にて観察されたピークAはジスルホトンオキシンスルホンであることが分かった。また、フラクション#13にて観察されたピークB([M+H]⁺ = 309.0137)は、C₈H₁₈O₄PS₂Clであると推察され(塩素の同位体ピークも確認された)、ジスルホトンオキシンスルホキシドの1塩素置換体である可能性が示唆された。さらに、フラクション#16と#17にて観察されたピークC([M+H]⁺ = 342.9746)は、

C₈H₁₇O₄PS₂Cl₂であると推察され(塩素の同位体ピークも確認された)、ジスルホトンオキシンスルホキシドの2塩素置換体である可能性が示唆された。

塩素処理に伴う、これらの物質の各フラクション中における面積値の変化について検討し、面積値に対する、それぞれのフラクションが誘発した毒性をプロットしたところ、いずれのピークについても、用量(面積)依存的に毒性が増加することが分かった。このことは、これらのピークとして観察された分解物が毒性に寄与していることを強く示唆する。

上述の通り、ピークAとして観察された分解物は、ジスルホトンオキシンスルホンであることが分かったため、ジスルホトンオキシンスルホン標準品に対してChE活性阻害試験(代謝なし)を行ったところ、用量依存的に毒性が増加し、この物質がChE活性阻害性を有することが明らかとなった。そこで、各塩素処理時間におけるフラクション#12中のジスルホトンオキシンスルホン濃度を測定し(図なし)、その用量反応曲線から、その濃度のジスルホトンオキシンスルホンから誘発される毒性を算出したところ、それぞれのフラクションが誘発した毒性と概ね一致した(有意水準5%で有意差なし)(図9)。すなわち、フラクション#12が誘発した毒性は、ジスルホトンオキシンスルホンのみで説明できることが示された。

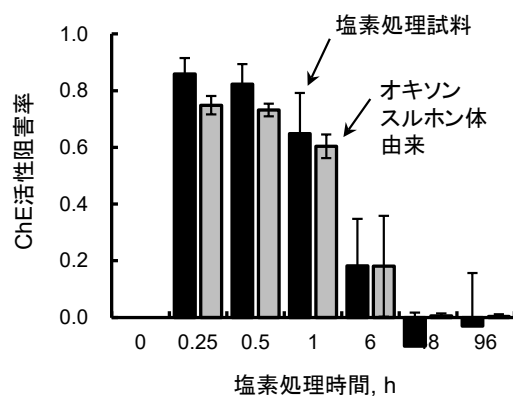


図9 フラクション#12が誘発する毒性に対するジスルホトンオキシンスルホンの寄与(代謝なし)

今後、ジスルホトンオキシンスルホンの塩素共存下での安定性を調べることや、ジスルホトンオキシンスルホキシドの塩素付加体の構造を決定するとともに合成し、毒性への寄与を確認することが必要であろう。

7)機械学習モデルを用いた測定を推奨する農薬類の選定と対象農薬リスト掲載農薬類の更新に関する検討

機械学習モデルでは検出可能性として 0～1 の間の予測確率値が出力される。この数値が大きいほど、検出可能性が高いとみなせることから、検出される可能性が高く、測定が推奨される農薬の選定には、この予測確率値を用いることとした。原水中に存在する農薬の見逃しを防ぐためには再現率を高めればよいが、再現率を高めるように閾値を調整することで擬陽性が増加する。擬陽性が増加することで、測定したとしても検出されない確度が低い農薬が多くなる。そのため、測定したら検出される確度が高いものを推奨する必要があると考え、適合率を用いて地域別に推奨する農薬を選定することとした。

高い適合率となるように予測確率値の閾値を設定した場合、地域によっては推奨すべき農薬がまったく選定されないことがある。そこで目標とする適合率を 80%、60%、50%の3段階に定めてランク分けし、検出可能性が高い順にランク A、ランク B およびランク C と称する。

表 3 地域別の測定推奨農薬数のまとめ

優先度	北海道	東北	関東	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州	沖縄
A 対象	1	9	28	4	3	12	4	1	18	0
A 要検討	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
A その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A 追加	0	1	3	1	1	1	0	0	2	0
A 小計	1	10	32	5	4	13	4	1	20	0
B 対象	2	10	18	8	9	13	9	3	23	0
B 要検討	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
B その他	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0
B 追加	0	3	8	1	0	6	2	0	5	0
B 小計	2	15	29	9	9	20	12	3	30	0
C 対象	1	10	7	3	9	17	5	3	13	0
C 要検討	0	1	1	0	0	2	0	0	1	0
C その他	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0
C 追加	1	3	4	1	0	4	3	0	5	0
C 小計	2	14	14	4	9	25	8	3	21	0
合計	5	39	75	18	22	58	24	7	71	0

2021 年度の農薬出荷量を用いて推定した地域別の測定推奨農薬の数量を表 3 に示す。各地域の測定推奨農薬数は関東が最大の 75 農薬であり、次いで九州が 71 農薬であった。唯一、沖縄は適合率 50%以上の範囲に該当す

る農薬がなく、測定推奨農薬がゼロとなった。2023 年度時点の農薬リストに含まれていない「追加農薬」のうち、フェンキノトリオン（6：東北、関東、北陸、東海、近畿、九州）、シアナミド（関東）、メソトリオン（関東）、イミシアホス（九州）の 4 農薬が優先度 A と判定された。

格上げの対象として選定された農薬を表 4 に示す。第 1 格上げ基準で選択された農薬は 1 農薬（フェンキノトリオン）であった。フェンキノトリオンは 2018 年に登録された表流水への流出のおそれが高い水田用除草剤であり、評価値は 2022 年度に対象農薬類に格上げされたイプフェンカルバゾンの目標値 2 µg/L と同オーダーの 4 µg/L である。第 2 格上げ基準では 5 農薬が選択された。そのうち 3 農薬は水田用農薬であった。

次に、格下げの対象として選定された農薬を表 5 に示す。第 1 格下げ基準で選択された農薬はゼロであった。第 2 格下げ基準では 8 農薬が選択された。モデルでは評価値や農薬出荷量、分解性が検出可能性の推定に大きな影響を与えることから (Narita et al., 2023)、これらの特徴量の大小によって検出可能性が低いと評価されたものと考えられる。

したがって、2023 年度で 115 農薬がリストアップされていた対象農薬類は 6 つ格上げ、8 つ格下げとなり、その結果、113 農薬となった。第 1 格上げ基準のフェンキノトリオンは出荷量の増加が顕著な水田用除草剤で、10 地域中 6 地域で優先度が高い測定推奨農薬と判定された。

表 4 格上げ対象農薬

選択基準	登録番号	原剤名	用途	主な使用先	ADI (mg/kg/day)	評価値 (µg/L)	登録年	備考
第1	添-177	フェンキノトリオン	除草剤	水田	0.0016	4	2018	
第2	要-010	フルスルファミド	殺菌剤	畑地	0.001	2.5	1992	
第2	他-061	ビメトロジン	殺虫剤	水田	0.013	30	1998	
第2	添-060	シアナミド	成長調整剤	水田	0.002	5	2000	ADI:EFSA値
第2	添-148	イミシアホス	殺虫剤	畑地	0.0005	1.3	2010	
第2	添-150	メソトリオン	除草剤	水田	0.003	7.5	2010	

表 5 格下げ対象農薬

選択基準	登録番号	原剤名	用途	主な使用先	ADI (mg/kg/day)	評価値 (µg/L)	登録年	失効年
第2	対-001	1,3-ジクロロプロベン (D-D)	土壌燻蒸	畑地	0.02	50	1950	未失効
第2	対-006	アンジュラム	除草剤	水田	0.36	900	1972	未失効
第2	対-039	クロタロニル (TPN)	殺菌剤	畑地	0.018	50	1965	未失効
第2	対-052	ジメトエート	殺虫剤	畑地	0.002	50	1961	未失効
第2	対-059	チオジカルブ	殺虫剤	畑地	0.03	80	1988	未失効
第2	対-067	トリフルラリン	除草剤	畑地	0.024	60	1966	未失効
第2	対-106	マラチオン (マラソン)	殺虫剤	畑地	0.02	700	1953	未失効
第2	対-109	メタラキシル	殺菌剤	畑地	0.022	200	1984	未失効

E. 結論

1) 令和4年度農薬年度の農薬製剤出荷量は約22.2万tで昨年とほぼ同じであった。登録農薬原体数は令和5年2月現在592種類であった。登録農薬製剤数は令和4年9月現在、殺虫剤が1033、殺菌剤が866、殺虫殺菌剤が352、除草剤が1609、それ以外が317で、合計は4177であった。

2) 令和5年度の調査では、原水では68種、浄水では35種の農薬および分解物が検出された。検出された農薬を使用用途で見ると、除草剤が原水で42種、浄水では18種と最も多く、監視農薬の分類では対象リスト農薬掲載農薬が原水では42種、浄水では21種であった。個別農薬評価値が最も高かった農薬は、原水ではテフリルトリオン、浄水ではクロロピクリンで、 Σ 値の最高値は、原水では0.96、浄水では0.10であった。

3) 分科会に参加の事業者による有機フッ素化合物の調査では、浄水からPFOSとPFOAの合計値が暫定目標値の50%を超過する場合もあったが、他の浄水場の浄水と混合されて配水され、給水栓水濃度は低い値になっていた。多種の有機フッ素化合物を調査した事業者では、炭素数が少ないものが検出される傾向、炭素数の少ないものが浄水処理工程で除去されにくい傾向が認められた。水源調査では、いくつかの事業者でPFOA、PFOSあるいは合計値が50ng/L超で検出される場合があったが、原水の取水への寄与が小さかったり、取水の抑制等で運用が行われていた。

4) A浄水場の水源河川を調査し、PFBSの発生源は河川L、河川BとCの上流、河川Dの合計4地点に存在することが推定された。このうち、河川L、河川Dの発生源はそれぞれ廃棄物集積地点、廃棄物埋立地の可能性が考えられた。

5) 塩素処理よりフェントエートはフェントエートオキシソンに変換され、その変換率は60~80%と高かった。また、塩素共存下でもフェントエートオキシソンは安定して存在した。さらに、フェントエート塩素処理試料が誘発したChE活性阻害性は、フェントエートオキシソンのみで説明できた。加えて、フェントエート

オキシソンのChE活性阻害性は、既に測定対象リストに組み込まれているマラチオンオキシソン、ダイアジノンオキシソン、メチダチオンオキシソンのChE活性阻害性より大きかった。

6) 各地域で測定を推奨する農薬類として地域別リストを作成した。各地域の測定推奨農薬数は75以下であった。また、対象農薬類への格上げ、対象農薬類からの格下げが推奨される農薬類を選定した結果、2023年度時点でリストアップされていた対象農薬類115種類に対して格上げ対象が6農薬、格下げ対象が8農薬となり、その結果、対象農薬類を113農薬に更新することを提案した。第1格上げ基準のフェンキノトリオンは出荷量の増加が顕著な水田用除草剤で、10地域中6地域で優先度が高い測定推奨農薬と判定された。

F. 参考文献

Matsushita, T., Fujita, Y., Omori, K., Huang, Y., Matsui, Y., Shirasaki, N. Effect of chlorination on anti-acetylcholinesterase activity of organophosphorus insecticide solutions and contributions of the parent insecticides and their oxons to the activity. *Chemosphere*, 261, 127743, 2020.

Matsushita, T., Kikkawa, Y., Omori, K., Matsui, Y., Shirasaki, N. A metabolism-coupled cell-independent acetylcholinesterase activity assay for evaluation of the effects of chlorination on diazinon toxicity. *Chemical Research in Toxicology*, 34, 2070-2078, 2021.

Narita, K., Matsui, Y., Matsushita, T., Shirasaki, N. Screening priority pesticides for drinking water quality regulation and monitoring by machine learning: Analysis of factors affecting detectability. *Journal of Environmental Management*, 326, 116738, 2023.

(一社) 日本植物防疫協会. 農薬要覧 2023. 2023.

(公社) 日本水道協会. 水道統計 (水質編)

平成 21～令和 2 年度. 東京, 2011～2022.
農林水産消費安全技術センター (FAMIC). 農
薬登録情報.

<http://www.acis.famic.go.jp/ddata/index.htm>

農林水産省. 農業資材審議会農薬分科会審議
資料.

<https://www.maff.go.jp/j/council/sizai/index.html>

G. 研究発表

1. 論文発表

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N.,
Asami, M., Matsui, Y. Maximum
desorption of perfluoroalkyl
substances adsorbed on granular
activated carbon used in full-scale
drinking water treatment plants.
Water Research, 254, 121396, 2024.

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N.,
Asami, M., Matsui, Y. Long-term
removal of perfluoroalkyl substances
via activated carbon process for
general advanced treatment purposes.
Water Research, 2023, 245, 120559.

2. 解説・総説

小坂浩司. 水道における化学物質に関する
最近の話題. 保健医療科学, 72 (3), 203-
211, 2023.

3. 学会発表

Ando, D., Matsushita, T., Matsui Y.,
Shirasaki, N. Evaluating toxicity of
phenthoate during chlorination and
identifying toxic transformation
products generated by reaction with
free chlorine. 9th IWA-ASPIRE
Conference & Exhibition 2023, 2023.

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Asami, M.,
Matsui, Y. Desorption of
perfluoroalkyl substances from
granular activated carbon used at a
full-scale drinking water treatment
plant. 12th Congress of the Asia
Pacific Initiative on Reproduction
(ASPIRE 2023), 2023.

安藤大将, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆. 毒
性を誘発する農薬ジスルホトンの塩素処
理生成物: LC を用いた分画と精密質量分
析による推定. 第 58 回日本水環境学会年
会, 2024.

平田蒼太郎, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆.
カーバメイト系農薬メソミルの塩素処理
に伴う毒性の変動に寄与する分解生成物
の推定. 第 58 回日本水環境学会年会, 2024.

中沢禎文, 小坂浩司, 浅見真理, 松井佳彦.
有機フッ素化合物の粒状活性炭からの脱
着速度と水質の影響. 第 58 回日本水環境
学会年会講演集, 128, 2024.

平田蒼太郎, 松下拓, 松井佳彦, 白崎伸隆.
塩素処理に伴うカーバメイト系農薬メソ
ミルのコリンエステラーゼ活性阻害性の
変動. 第 30 回衛生工学シンポジウム, 2023.

中沢禎文, 小坂浩司, 吉田伸江, 浅見真理.
ペルフルオロオクタン酸とペルフルオロ
オクタンスルホン酸の分岐鎖の分別定量
による水道水源の調査. 第 60 回環境工学
研究フォーラム講演集, 2023.

中沢禎文, 小坂浩司, 吉田伸江, 浅見真理.
粒状活性炭処理における有機フッ素化合
物の破過におよぼす水質の影響. 令和 5 年
度全国会議(水道研究発表会)講演集, 336-
337, 2023.

H. 知的所有権の取得状況

なし