

Ⅲ 調査研究

ピコ植物プランクトン添加凝集試験の 蛍光・非蛍光微粒子数による解析（Ⅱ）

○平山（千葉県企業局） 田中（千葉県企業局）
安河内（千葉県企業局） 佐藤（千葉県企業局）
水野（千葉県企業局） 山田（千葉県企業局）

1. はじめに

ピコ植物プランクトンは、汙過漏洩障害の原因生物の1つとして知られており、千葉県営水道においても、水源の上流域や場内の排水処理施設などでピコ植物プランクトンが増加したことに起因する汙過水濁度の上昇事例がある。今回、その対応策検討に資する知見を得ることを目的として、令和5年1月の冬季に実施した実験1)に続き、ピコ植物プランクトンが多い夏季の原水を用いて、ピコ植物プランクトンを添加した凝集試験を行い、濁度及び蛍光・非蛍光微粒子数による解析を行ったので報告する。

2. 方法

凝集試験は、実験①として令和5年7月に、令和5年1月の実験と同様、凝集剤であるPAC注入率を変化させた実験を、実験②として同年9月に次亜塩素酸ナトリウム(以下、「次亜」)及び粉末活性炭(以下、「粉炭」)の注入率を変化させた実験を行った。

(1) 凝集試験に用いた原水試料の調整

実験は、既報1)と同様にピコ植物プランクトンの影響を受ける利根川水系の浄水場原水で実施した。実験①では、7月27日に柏井浄水場西側施設原水を20Lポリタンク2個に採水した。原水は、濁度が15.7度で粉炭が30mg/L注入されていた。一方のポリタンクに、過去に汙過水濁度上昇が発生した際に単離したピコ植物プランクトンを0.2 μ mメンブレンフィルターで汙過後、超純水に置換したものを原水に添加し「ピコ添加系」とし、原水そのままの試験系は「未添加系」とした。調整したピコ添加系の原水は濁度が20.2度と、未添加系より4.5度上昇していた。

実験②は、9月4日に木下取水場で、粉炭注入前の柏井浄水場西側施設原水を採水した。未添加系の原水は濁度が11.0度、実験①と同様に単離したピコ植物プランクトンを添加したピコ添加系の原水は、濁度が13.0度と未添加系より2.0度上昇していた。

実験①及び実験②におけるピコ添加系と未添加系の原水の粒径区別の微粒子数を図1に示す。濁度は積分球式濁度計で、微粒子はピコ植物プランクトンが蛍光を発する原理を利用したピコプランクトン測定装置にて、蛍光及び非蛍光を区別し、0.5 μ m以上の大きさの粒子数を測定した。



図1 ピコ添加系及び未添加系の原水の粒径区別の蛍光・非蛍光微粒子数

(2) 凝集試験の方法

各原水をビーカーに1Lずつ採り、当日の浄水場の薬品注入率を参考に、各ビーカーに硫酸、次亜及びPACを添加した。凝集試験ではジャーテスターを用いて、急速攪拌(120rpm)3分、緩速攪拌(60rpm)15分の後、15分静置させ上澄水を200mL程度採取し、濁度及び微粒子の測定用試料とした。

実験①のPAC注入率は10mg/L刻みで変化させ20~90mg/Lで添加した。実験②では、次亜を0,2,4mg/L(以下、次亜0,次亜2,次亜4)と変化させ、その後粉炭を0又は10mg/L(以下、粉炭0,粉炭10)で注入し、PACは65mg/L一定注入とした。

3. 結果と考察

(1) PAC注入率の変化による影響（実験①）

実験①にてPAC注入率を変化させた結果、濁度及び蛍光・非蛍光の微粒子数は、ピコ添加系・未添

加系とも、PAC注入率が増加するほど低下する傾向であった(図2)。ただし、あるPAC注入率(ピコ添加系:70mg/L,未添加系:80mg/L)より増えると、濁度の上昇や比較的大きい蛍光微粒子数の増加が見られた。また、冬季はピコ添加系の方が凝集試験後の蛍光微粒子数が多く、濁度が高いといった傾向が見られたが¹⁾、今回は原水中のピコ植物プランクトンの数が冬季より多かったものの、同様の傾向は見られなかった。今回の試験結果では、原水中のピコ植物プランクトンの数と凝集試験後の濁度との間に相関が見られなかったことから、ピコ植物プランクトンが及ぼす浄水処理への影響については、原水中のピコ植物プランクトン数の増減だけではなく、共存する植物プランクトンなど、その他の水質項目も考慮する必要があると考えられる。

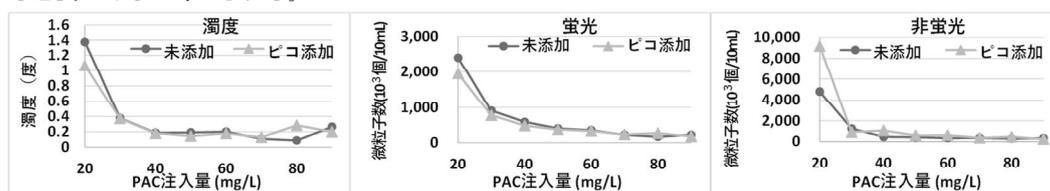


図2 PAC注入率の変化による凝集試験結果(左:濁度、中央:蛍光微粒子数、右:非蛍光微粒子数)

(2) 粉炭及び次亜注入による影響(実験②)

実験②にて粉炭を注入した結果、ほとんどの系列で濁度が低下した(図3左)。凝集試験後、最も濁度が低かったのは、ピコ添加系・未添加系とも、次亜4と粉炭10の組み合わせだった。一方、微粒子数については、蛍光粒子では大きな変化はなかったが、非蛍光微粒子ではピコ添加系及び未添加系とも、ほとんどの項目で粉炭10の方が増加していた(図3中央)。粉炭を注入することにより、濁度は低下したものの、濁度には表れない非蛍光微粒子数の増加が見られた。

次亜の注入では、ピコ添加系及び未添加系とも次亜の注入率が高いほど濁度及び蛍光微粒子数は低くなった(図3左)。一方、非蛍光微粒子数については、粉炭0の系列では、ピコ添加系及び未添加系ともに次亜注入により増加した(図3中央)。この非蛍光微粒子数は、次亜添加によって減少した蛍光微粒子数以上に増えており、またその傾向はピコ添加系でかつ次亜注入量の多い方がより顕著に見られた(図3右)。これは、次亜添加によりピコ植物プランクトンが発する蛍光が弱くなり、非蛍光と識別されただけではなく、群体で大きな1個と認識されていたピコ植物プランクトンがばらばらになり複数個の非蛍光として計数されたり、凝集沈澱不良を起こした非蛍光粒子数が増えたことなどが考えられる。なお、増加した非蛍光粒子は粒径ごとでは特に差異はなく、いずれの粒径区分においても増加していた。

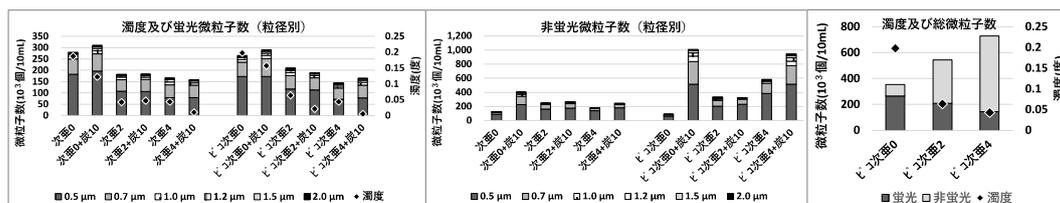


図3 粉炭及び次亜注入による凝集試験結果(左:濁度・蛍光微粒子数、中央:非蛍光微粒子数、右:濁度・総微粒子数)

4. まとめ

本試験の結果から、PAC注入の強化、粉炭及び次亜を組み合わせた処理は、蛍光微粒子数や濁度が低下したことから、ピコ植物プランクトン対策として有効と考えられる。ただし、PACは注入率が高くなると、今回の実験で見られた濁度や一部粒径での蛍光微粒子数の増加、その他、薬品費の上昇、汙過池の損失水頭の上昇、残留アルミニウムの増加などの懸念もあることから、適正な注入率の選択が必要である。また、粉炭及び次亜添加では、非蛍光粒子数の増加が見られたことから、今後はこれらの濁度や汙過処理への影響などについて調査していきたい。

【参考文献】1) 田中宏憲、安河内巧ら：ピコ植物プランクトン添加凝集試験の蛍光・非蛍光微粒子数による解析、第74回全国水道研究発表会講演集、pp.234-235

東ティモール民主共和国における浄水場の水質管理指導（V）

ーアンケート調査及びファシリテーション手法の実践ー

○田中（千葉県企業局） 島本（千葉県環境生活部）
 溝口（千葉県企業局） 高橋（千葉県企業局）
 古川（千葉県企業局） 丸山（千葉県企業局）
 浅川（千葉県企業局） 西野（千葉県企業局）
 金坂（千葉県企業局）

1. はじめに

千葉県営水道では、独立行政法人国際協力機構(JICA)からの要請を受け、2012年から東ティモール民主共和国(以下、「東ティモール」)への技術支援を開始し(長期派遣)、2014年から浄水場の運転管理及び水質管理の向上を目的とした職員の短期派遣を実施している。短期派遣は COVID-19の影響を受け2019年2月以降実施していなかったが、数年ぶりに再開し、第1陣として2023年10~11月に、第2陣として2024年1~2月に職員2名を3週間ずつ首都ディリに派遣した。

短期派遣未実施の間、東ティモールでは、水道水供給体制強化のため水道事業が国営から公社(BTL)に移管された。BTLには旧団体職員はほとんど残っておらず、今回の短期派遣を行うにあたり、マニュアルの整備・活用状況等の実態把握に時間を要すると考えられた。そこで、現地での限られた時間を有効活用するため、水質管理に関する事前アンケート調査を試みた。

アンケートや第1陣の調査結果から、塩素消毒に関する意識向上を図ることが重要と考えられたことから、第2陣ではファシリテーション手法¹²⁾を参考にし、「安全な水道水がどのように国を変えるか」というテーマで、現地職員同士で議論するワークショップを実施した。本稿ではアンケート調査と併せてワークショップの概要を報告する。

2. 事前アンケート調査

(1) アンケートの作成

アンケート作成に先立ち、海外へ技術支援をしている水道事業体にアンケートの実施状況を伺ったところ、「聞きたいことを明確にするのが良い」、「質問の意図と異なる回答があった」、「事前に送付しても回答がなかった」等のアドバイスを得たことから、質問は可能な限りシンプルで、YESかNOで回答できるようなものを中心に設定することとした。

作成にあたっては、これまでの東ティモールの水質管理指導経験者を含めた職員6名で議論し、①BTLの水質管理に必要なマニュアルの有無及び活用状況の実態把握、②塩素処理に関する意識調査、③水利用の実態把握、④水質検査等、の4つの項目に対して各10問程度設定することとした。質問の設定にあたっては、職員6名でブレインストーミング手法を用いて多様な意見を出し合った後、項目ごとに意見を整理し、意図した回答が得られるよう質問の選定や単純化を図った。

(2) アンケート調査結果

アンケートを作成後、現地語に翻訳したものを事前送付し、現地の水質管理職員12名の回答を得た。その結果、1名を除いた職員はマニュアルにより水質管理できると認識していたが、塩素の消毒効果を知らない職員が2名、水道水に安全性が求められていると思わない職員が1名いることも分かり、塩素処理に関する指導が必要であることがわかった(表1)。また、③水利用の実態により、全職員が日常生活においてボトル水や井戸、水道水を使っていることがわかった。

表1 水質管理に関する事前アンケート調査結果(一部抜粋)

No.	質問	YES	NO	No.	質問	YES	NO
1	浄水施設の水質管理マニュアルはあるか。	12	0	7	塩素処理が必要だと思うか。	12	0
2	浄水施設の水質管理マニュアルを用いて水質管理できるか。	11	1	8	水道水に安全性が求められていると思うか。	11	1
3	原水の高濁度時にどのような対応をすべきかわかるか。	10	2	9	BTLが供給する水道水を飲みたいか。	10	2
4	凝集試験を実施して凝集剤の最適注入率を決められるか。	10	2	10	これまでに水を飲んで体調を崩したことがあるか。	5	7
5	塩素処理による消毒効果を知っているか。	10	2	11	現在の浄水処理方法に問題があると思うか。	8	4
6	塩素臭がする水道水を飲めるか。	7	5	12	水質検査方法に問題があるか。	3	9

3. ワークショップ

(1) ワークショップの目的と概要

アンケートと回答後の聞き取りの結果、2020年制定の東ティモールの水質基準を示した法律(以下、「法律」)で塩素消毒が規定されているため、塩素処理が必要であると全職員が認識していたが、安全性への理解が不足している等、塩素消毒の目的についての理解が不十分であったことがわかった。

指導にあたっては、ファシリテーションスキル¹⁾を活用し、学習者主体の学びの場を作ることが有効と考えられた。ファシリテーション技能の核心は、ワークショップ等において参加者の気づきを促すことにある²⁾ことから、塩素消毒に関する意識向上を目的として「安全な水道水がどのように東ティモールを変えるか」というテーマを現地職員同士で議論するワークショップを開催した。議論の前には、実例として日本の水道を紹介し、一定のイメージの共有化を図った。

(2) 日本の水道の紹介

冒頭、日常業務の様子を知ってもらうために自己紹介を行った後、拡張整備の時代から更新の時代へと水道をとりまく環境が日本で変化したことを知ってもらうため、日本の近代水道の概要を紹介した。その後、日本の浄水場が人々の生活を変化させたことを知ってもらうためにビデオ鑑賞を行った。このビデオには戦後の日本の地方生活の様子が記録されており、井戸への水汲みや、河川水を用いた生活等、不便な生活が水道の導入により改善された様子も描かれていた。現地職員からは、「当時の日本は、現在の東ティモールの地方の生活のようだ」等の意見があった。

(3) グループワーク

当日参加していたインターン生も含め、現地職員を1グループ6人程度の3グループに分けた。各個人にメモ用紙、グループごとにプレゼン用紙を配付した後、テーマについて議論してもらった。まず何も情報を与えなかった時は、議論は深まらなかったが、法律に記載されている5つの観点(健康、生活の質、教育、環境、経済発展)について整理するよう促したところ、意見が整理された(表2)。「トイレがきれいになり、学校に行きたくなる」という短期派遣者では発想の難しい意見もあり、「健康になり、活動が広がり、生産性が上がる」といった直接水道水を供給するだけでは見えてこない事項の見える化もでき、これらは自ら生まれた意見であることから、現地職員自身の気づきを促すことができたと考えられた。

表2 ワークショップで整理された意見概要

観点	意見	観点	意見
健康	衛生的になり、病気が予防されたり、減少する。	環境	緑が増える、庭が豊かになる。
	健康の向上により、活動が広がる。		環境衛生が向上する。
生活の質	洗濯やお皿洗いが簡単になる。	経済発展	他の4観点が向上することで経済成長する。
	健康で栄養失調が減り、元気で生産性が向上する。		ホテルの質の向上が図られる。
	良質な水へのアクセスが向上する。		車やバイクの洗浄効率の向上が図られる。
健康になり、思考能力が向上する。	魚の養殖の向上が図られる。		
教育	トイレがきれいになり、学校に行きたくなる。		ボトル水購入の節約になり、お金を他に投資できる。

4. まとめ

アンケート調査は指導すべき事項を事前に整理することができ、有効と考えられた。また、ワークショップ後の塩素処理に関する講義の理解度は高く、塩素処理の重要性が理解され、これまで設定されていなかった沈澱池の目標残留塩素濃度が設定された。配水池だけでなく処理工程内の残留塩素管理にも関心が向いた結果と考えられ、ワークショップも有効であったと考えられた。今後も JICA からの要請に応じて東ティモールの浄水場の水質管理向上に貢献していきたい。

【参考文献】

- 1) 中野民夫、「学び合う場のつくり方 本当の学びへのファシリテーション」岩波書店(2017)
- 2) 和田信明、中田豊一、「途上国の人々との話し方 国際協力メタファシリテーションの手法」みずのわ出版(2010)

エタノールの浄水処理性及び河川流入時の水質変化

千葉県企業局

○水野、大和田、山田

1. はじめに

2022年12月に関西で酒造工場からエタノールが河川に流入し、近くの浄水場において浄水の全有機炭素（TOC）が水質基準（3mg/L）を超過し、取水・送水を一時停止するという事案が発生した。

千葉県営水道は、江戸川や利根川等河川を水源とする浄水場を有しており、取水地点から上流及び支流に酒造工場等エタノールを取扱う施設が存在している。そのため、当県営水道でも関西で発生した水質事故と同様の事故が起きる可能性がある。一方で、河川水にエタノールが流入した際の浄水 TOC への影響や河川中のエタノールの挙動については不明な点も多く浄水処理上の知見が不足していると考えられる。

そこで、エタノール流入事故を想定し浄水処理における基礎資料とするため、実際の河川水にエタノールを添加し浄水処理におけるエタノールの除去性や時間経過における水質変化を確認した。

2. 実験内容

(1) エタノール分析方法の検討

当県営水道では、通常エタノールの定性・定量を行っていないため分析方法の検討から行った。分析機器はパージ・トラップ-GC/MSを使用し、既存の揮発性有機化合物の測定条件を参考に表-1の条件としクロマトグラム及び検量線直線性の確認を行った。エタノール標準液は、富士フイルム和光純薬(株)製エタノール(99.5)試薬特級を使用した。

(2) 浄水処理におけるエタノールの除去性

ちば野菊の里浄水場原水（以下、原水）に8mg/Lとなるようにエタノールを添加し（以下、添加水）、PAC及び粉末活性炭を表-2のとおり添加し試料名をそれぞれPAC、AC10及びAC20として凝集試験を行った。凝集試験は急速攪拌3分、緩速攪拌15分、静置15分で実施し、粉末活性炭を添加する試料は、添加後ジャーテスターを用いて60rpmで30分接触させてから凝集試験を行った。なお、凝集試験及び粉末活性炭接触中はエタノールの揮散を抑えるためビーカー上部をラップで覆って行った。次に、凝集沈でん後の各上澄みサンプルについてろ過砂を充填したろ過塔でろ過を行った。原水、添加水、凝集沈でん後及びろ過後の各サンプルについてTOC及びエタノールの濃度を測定し除去性を確認した。また、原水及び添加水については、260nmの波長域における紫外線吸光度を測定し変化を確認した。

(3) 原水エタノール添加後の有機物濃度変化

原水（水温23.5℃、TOC2.2mg/L）にエタノールを7mg/L添加した試料を複数用意し、25℃の室内に静置して0、1、2、4、8、24時間後の試料についてTOC及びエタノールの濃度を測定し時間経過による変化を確認した。また、エタノールが生物により代謝されその産物としてアセトアルデヒドが生成される可能性を考慮し、アセトアルデヒド濃度の測定（誘導体化-HPLC法）も併せて行った。

(4) 水温によるエタノール添加後の有機物の変化への影響

原水（水温30.4℃、TOC1.9mg/L）にエタノールを6mg/L添加した試料を複数用意し、25℃の室内及び4℃の暗所にそれぞれ静置し0、1、2、3日後及び4℃については7日後のサンプルについてTOC、エタノール及びアセトアルデヒドを測定し時間経過による変化を確認した。また、エタノールの物理的な減少を確認するため、超純水に6mg/L添加した試料を25℃の室内静置し0、1、2、3日後のサンプルについてTOC、エタノールを測定し時間経過による変化を確認した。

表-1 PT-GC/MS 測定条件

測定機器	パージ&トラップ装置：Atomx XYZ GC：8890GC MS：JMS-TQ4000
分離カラム	Rtx-VMS φ0.25mm 1.4μm 30m
パージガス	窒素
サンプル量	25ml
パージ時間	6min
脱着温度	250℃
キャリアガス	ヘリウム
注入口温度	230℃
試料注入法	スプリット (1:50)
昇温条件	35℃(5min)→(10℃/min)→200℃
イオン化	EI
イオン原温度	230
質量数	定量イオン31 確認イオン45

表-2 薬品注入条件

試料名	PAC注入率 (mg/L)	粉末活性炭 注入率 (mg/L)
①PAC	30	0
②AC10	30	10
③AC20	30	20

3. 結果と考察

(1) エタノール分析方法の検討

表-1 の条件で測定及び検量線の作成を行った結果、エタノール濃度が0.1～10mg/Lの範囲で良好なクロマトグラムと検量線直線性（寄与率0.999）が得られた（図-1、2）。以後の実験では、この分析方法を用いてエタノールの定量を行うこととした。

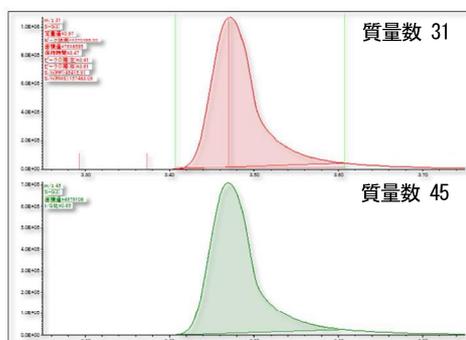


図-1 エタノールのクロマトグラム

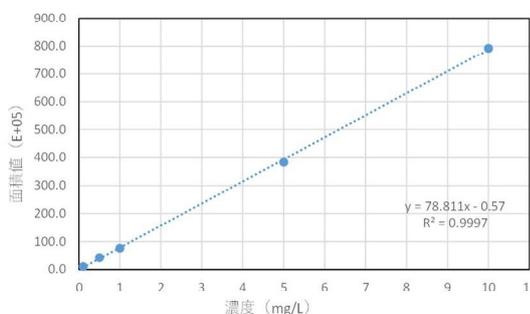


図-2 エタノール検量線

(2) 浄水処理におけるエタノールの除去性

原水の TOC 濃度は 1.9mg/L で、添加水は 6.0mg/L となった。原水のエタノール濃度は 0.1mg/L 未満で添加水のエタノール濃度は 8.0mg/L (TOC 換算 : 4.2mg/L) であったことから、TOC 濃度はエタノールを添加した分だけ増加した。また、エタノール添加前後の 260nm の紫外線吸光度は 0.205 で変化はなかった。エタノールは、炭素の不飽和結合をもたないため、260nm の吸光度は変化せず TOC のみが増加したと考えられる。

次に、各処理工程におけるエタノール及び TOC の残存率を図-3、4に示す。いずれも添加水の濃度に対する割合で、エタノール残存率は、凝集沈でん後で 94.7%～103%、ろ過後で 81.6%～86.8%であった。また、TOC 残存率は凝集沈でん後で 78.3%～86.7%、ろ過後で 76.7%～83.3%であった。エタノールは、PAC だけでなく、粉末活性炭を添加した試料でも凝集沈でん及びろ過でほとんど除去することはできなかった。TOC は、添加水よりも 1～2 割程度減少したが、粉末活性炭の添加量に応じて TOC の残存率も低下したことから、エタノール以外の TOC 成分が粉末活性炭で除去されたものと考えられた。

以上から、水道原水にエタノールが流入した場合、通常処理や粉末活性炭処理での除去は困難であることが分かった。

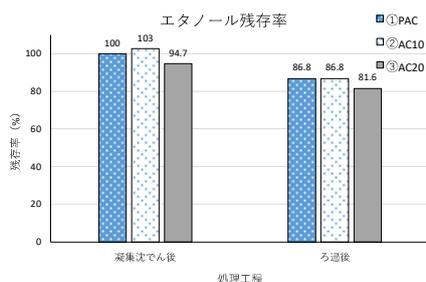


図-3 エタノール残存率

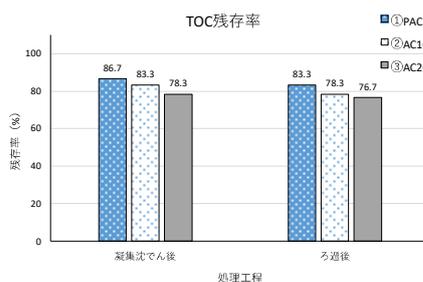


図-4 TOC 残存率

(3) 原水エタノール添加後の有機物濃度変化

エタノール添加後の各有機物濃度の時間変化を図-5に示す。エタノールについて、添加から8～12時間後はわずかに上昇したが、24時間後には、0.1mg/L 未満となった。TOC については、10時間後から徐々に減少し、24時間後に2.2mg/L と原水と同じ値まで減少していた。アセトアルデヒドについては、添加後10時間で検出されはじめ、24時間後に最大濃度0.040mg/L となった。以上から、水温 25℃程度では、エタノールは24時間後には大きく減少し TOC への影響もなくなることがわかった。エタノールが減少した詳細な理由は不明だが、エタノールの減少に対応して少量のアセトアルデヒドが検出されており、*Pseudomonas* 属等エタノールを資化する微生物も報告されていることから¹⁾、原水中の微生物により代謝されている可能性があると考えられた。また、8時間後にエタノール濃度がわずかに上昇したのは、原水中の有機物が代謝されエタノールが生成された等が原因として推測されるが詳細は分かっていない。

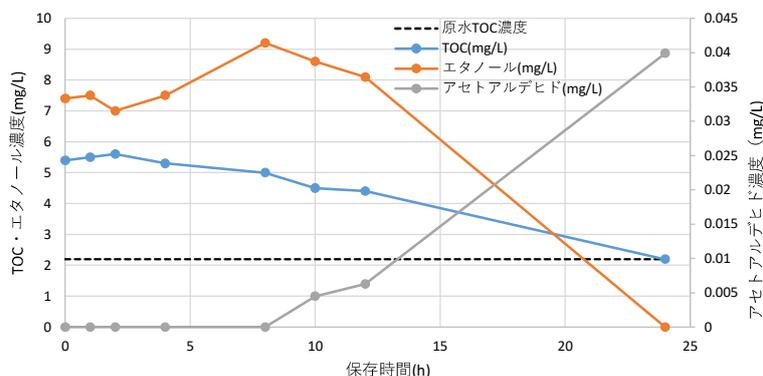


図-5 エタノール添加後原水有機物の変化 (25°C)

(4) 水温によるエタノール添加後の有機物の変化への影響

試料毎の各有機物濃度の時間変化を図-6, 7, 8に示す。エタノールは 25°Cでは3.(3)の結果と同様に 24 時間後には大きく減少したが、4°Cでは7日後でも残存していた。TOCも、25°Cでは24時間後に原水TOCと同じ程度まで減少したが、4°Cでは7日後でもほとんど減少しなかった。アセトアルデヒドは、25°Cでは検出されなかったが、4°Cでは3日目にわずかに検出された後、7日後には不検出となった。また、超純水にエタノールを添加した試料では、エタノール及びTOCの濃度変化は4°Cの3日目までとほぼ同じ動きをしていた。

4°Cの試料は、水温を急速に下げたことで、原水中の微生物が死滅して減少しエタノールがほとんど代謝されなかったと考えられる。3日目までにエタノールが多少減少しているが、超純水と同じ減り方をしているので生物的影響ではないと思われる。これらのことから、エタノールの減少には生物の代謝が重要であると考えられる。

ちば野菊の里浄水場では、生物活性炭処理を有しておりエタノールについても生物活性炭による処理が期待される。しかし、生物活性炭は低水温下において硝化能力が低下することが報告されており²⁾、エタノールを代謝する生物も低温では活性が落ちる可能性がある。

以上から、低水温期で原水にエタノールが流入した場合、高水温期より影響を受ける恐れがあるが、季節により微生物の組成も異なるため低水温期における調査も必要であると考えられる。

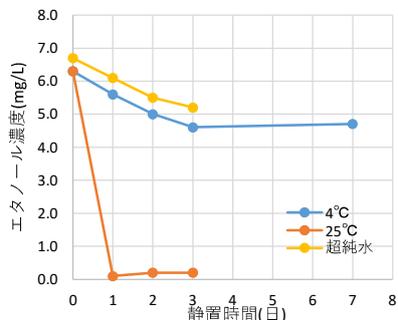


図-6 エタノール濃度変化

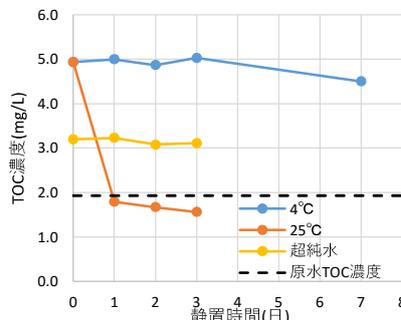


図-7 TOC濃度変化

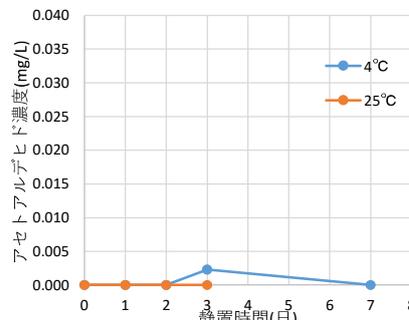


図-8 アセトアルデヒド濃度変化

4. まとめ

- ・水道原水にエタノールが流入した場合、通常処理や粉末活性炭処理での除去は困難であることが分かった。
- ・エタノールは、原水水温と同程度の25°Cでは24時間程度で検出されなくなり、TOCもエタノール添加前原水と同じ程度の濃度まで減少する。
- ・エタノールの減少には生物の代謝が重要であると考えられ、生物活性炭による処理が期待されるが低水温下においてはエタノールの代謝活性が低下する可能性がある。

5. 参考文献

1) 飯塚廣ら、Pseudomonas 属の分類と炭素代謝 日本農芸化学会誌 36 巻 8 号 p. 668-674 1962
 2) 海老江邦雄ら、低水温下における生物活性炭の硝化機能 衛生工学シンポジウム論文集 4, 45-50 1996