

ロット図を見ると、第1主成分については濁度変動の影響が強く出ていることが分かるが、第2主成分については差が少なく特定が難しい。そこで、1日変動の四分位範囲 (pH) と中央値 (電気伝導度) を除き、6つの項目で再度主成分分析を行ったところ、図14のように各事業体の散らばりが大きくなり、第2主成分のプラス側がpH変動の大きさ、マイナス側が電気伝導度の変動の大きさに影響を受けていることが分かった。第2主成分の因子としては、自然的変動 (生物由来)、人為的変動 (ダム放流や取水の切替え等) が想定されるが、その特定にあたっては今後も引き続き検討が必要である。

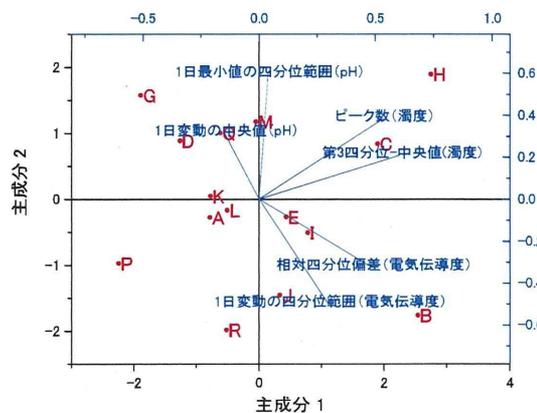


図13 バイプロット図(6項目)

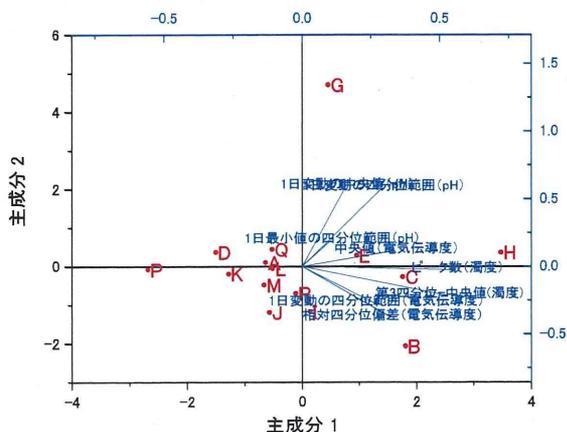


図12 バイプロット図(8項目)

表3 主成分分析成分の固有値と寄与率

	固有値	寄与率	累積寄与率
1	2.31606	28.95%	28.95%
2	2.18575	27.32%	56.27%
3	1.43265	17.91%	74.18%
4	0.87064	10.88%	85.06%
5	0.77472	9.68%	94.75%
6	0.2833	3.54%	98.29%
7	0.11844	1.48%	99.77%
8	0.01844	0.23%	100.00%

3.5 レーダーチャート

主成分分析で最終的に選択した6つの項目について、各項目の最大値を100%としたレーダーチャートを、図14に示す。面積の大きさにより、総合的な変動の大きさを表すことができ、H事業体などについては総合的に変動が大きく、一方でP事業体については変動が小さいことが分かる。これによって、各事業体の濁度・pH・電気伝導度の変動特性を視覚的に把握することができた。

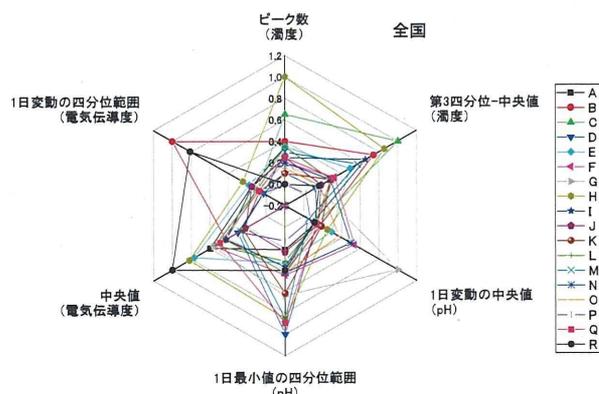


図14 レーダーチャート(全国)

E. 結論

- ・これまで、多地域の総合的な解析を行った例は少ないと考えられる自動水質計器のデータについて、数値解析を行った。
- ・18箇所の水道事業体の連続監視データのうち、設置箇所数が多い原水濁度・pH・電気伝導度の連続データについて、連続自動水質計器のデータによる水質変動の比較解析を行った。その変動の特性を把握するため、濁度については「ピーク数」「第3四分位-中央値」、pHについては「1日変動の中央値」「1日変動の四分位範囲」「1日最小値の四分位範囲」、電気伝導度については「中央

値」「相対四分位偏差」「1日最小値の四分位範囲」を算出した。

・その結果について主成分分析を行い、最終的に6項目についてレーダーチャートを作成した。これにより、各事業体の原水濁度・pH・電気伝導度の変動特性を把握することができ、限定的ではあるが原水安定度を表現する一種の指標を作成することができた。

・原水濁度のピーク数は降雨等の影響によるとみられ、平均値と標準偏差は必ずしも相関関係は無く、変動は流域の特性などと関連すると考えられた。

・原水 pH は、特に生物の同化作用を受けやすい場合の変動が顕著に見られ、藻類の光合成等の影響の受けやすさにより左右されるものと考えられた。

・電気伝導度については、原因は必ずしも明らかではないが、上流の温泉地の排水の流入や水源の切り替えなど人為的な要因により変動していることが想定された。

・これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続データであり、これらの変動の解析が原水の水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。

・今後は、より一般化された原水安定度、浄水安定度等の指標化、処理性能の評価手法を検討するため、ろ過水・浄水の水質変動を含め更なる検討を行う。

本検討は、主として、平成 27 年度国立保健医療科学院水道工学研修特別研究において行われた。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

1) 浅見真理. 水道水源の汚染リスクへの備えと危機対応の重要性. 第 29 回公衆衛生情報研究協議会. 同抄録集. 2016. 1. 28 和光市.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1. 特許取得

該当なし。

2. 実用新案登録

該当なし。

3. その他

該当なし。

分担研究報告書 6

連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

研究分担者 水野 忠雄

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）
「水道における連続監視の最適化および浄水プロセスでの処理性能評価に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

研究分担者 水野 忠雄 京都大学大学院工学研究科

研究要旨

昨年度のニーズ調査結果を受けて、選定したオゾン接触槽について、既設の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、溶存オゾン濃度の連続測定を行った。本研究では1か月程度のならし期間を経て、安定したデータの取得が可能となった。複数回の急激な濃度変化に対してもすべてのモニターで同様の変化が確認されたことから、急激な変動に対しても十分な追随性を要していることが確認できた。採用しているモニターの機構と関連して、鉄・マンガン装置への付着や、水の粘性に注意を払う必要があることがわかった。

オゾンの反応に関して、オゾン濃度とHOラジカルのプローブ物質の濃度を再現する反応モデルの検討を行ったところ、異なる初期溶存オゾン濃度に対して、同じパラメーターを与えることで、溶存オゾン濃度及びHOラジカル濃度が再現できていることが確認できた。

オゾン接触槽の流動については、槽内に散気管を配置した場合と配置しない場合で、対象水流動に対する本質的な相違は大きくないと考えられた。一方で、散気管の有無により計算の負荷が大きく異なったことから、今後現象の再現性、計算の容易性を考慮し、物質移動及び反応を加えたモデルを開発していく予定である。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する観点から、水道システム、特に水道水源での危害を同定し、浄水プロセスで水質変動・異常を検知し、迅速に対応することが重要な課題の一つである。浄水プロセスについては、各水道事業体の運用開始時の実証試験およびその後蓄積される経験に基づいて、適切な運転管理指標およびその数値が設定され、かつ安定的に運転が行われているものの、必ずしも処理槽内の反応や流動に関する科学的な知見に基づくものばかりではなく、水道水源の水質変動や異常時への対応として十分とは言えない。そこで、連続自動計器を用いた水質監視により得られる定量的な数値と、処理槽内の反応および流動を含む処理性能との関連を明らかにし、その可視化などを通じて、平時の安定的な処理を達成するとともに、異常時にも対応しうる、処理プロセスの運転管理に資する処理性能評価手法の開発を目的とした。

B. 研究方法

本研究の進め方を図1に示す。昨年度は、水道事業体へ処理性能評価を行う対象プロセス及びその監視項目についてのニーズ調査を行い、対象プロセスとしてオゾン接触槽/反応槽を、連続測定監視項目として溶存オゾン濃度を選定した。オゾン接触槽/反応槽の性能評価にニーズがあること理由としては、現在のオゾン処理は、実務的には良好に運転され、また、急な水質変動や水質異常の際にも比較的対応能力が高いプロセスで

あると考えられる一方、水質浄化に寄与するオゾンがガスとして利用されるため、槽内の反応と流動が複雑であり、切り離して議論することが難しいため、より一層の科学的根拠を必要とされていることが考えられた。また、オゾン処理技術の発展や水道事業体において設備更新の時期を迎えていることもあり、処理性能評価手法を用いた現状解析と改善提案の可能性に期待がもたれていることも要因と考えられた。

以上のことから、オゾン接触槽/反応槽を対象として、既存設備性能の現状評価のための連続水質データの取得、オゾン反応解析の高度化、オゾン接触槽/反応槽の流動評価を主な評価項目として定め、本年度は、以下の内容に関して研究を進めた。

1. 浄水場での溶存オゾン濃度の連続測定

阪神水道企業団猪名川浄水場 II 系の1つに、オゾン注入率制御のために設置されている既存の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニター（PL-603、荏原実業株式会社）を設置し、連続データの取得を行った。なお使用したオゾンモニターは既設のモニターと同じ測定原理である。対象としたオゾン接触槽/反応槽の概要とオゾンモニターの設置位置を図2に示す。上下迂流三段向流式と呼ばれるオゾン接触槽である。オゾンモニターは既設の配管より採取した水を通水した。配管の採水位置は、水の流れ方向には図2に示す通りで、奥行方向は、ほぼ壁際の地点である。オゾンモニターからの出力は、データロガー（GL-220、グラフテック株式会

社) にて1分ごとに採取した。

2. オゾン反応の評価

昨年度、実験結果例をもとに、オゾンの分解が多くの研究で報告されている通り、初期に急激に起こり、その後緩やかに起こること、また、後半の緩やかな反応を一次反応として評価すると、その速度定数が時間の経過に従い徐々に小さくなること、すなわち厳密には一次反応ではなく、徐々に遅くなる反応であることを報告した。その機構は明らかではないが、上記を満たす反応モデルとして以下のような有機物の質変換に関する仮定を設定し、表1に示すようなパラメーターを設定し、計算を行った。

仮定1: 有機物濃度 (TOC 値) としての低下は起こらない (表1の[DOM]は一定)

仮定2: 有機物は、オゾンに対して速やかに反応する部位と緩やかに反応する部位を持ち、それぞれは独立して存在する (DOM₁、DOM₂を独立に設定する)。また、その初期濃度は[DOM]に比例する。仮定3: それぞれの部位の性質を表す反応速度定数は一定として、それぞれの性質を持つ部位が減少していく (表1の[X₁]、[X₂]がDOM₁、DOM₂の性質を表す状態変数であり、これらの値が減少することでその性質を失うとする)

これらをオゾン分解モデル¹⁾に組み込み、評価を行った。この際に無機炭酸の影響に関しては、文献²⁾を参考に設定した。また、比較する実験データとしては、ある程度の情報を得ることが可能な20℃のものを用いた。

3. オゾン接触槽の流動評価

評価の対象は、阪神水道企業団猪名川浄水場 II 系の1つであり、図2に示す形状である。接触槽底部から約1mの位置に、120本の散気管が設置されている。

計算には市販の熱流体解析ソフトウェア ANSYS CFX15.0を用いた。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 浄水場での溶存オゾン濃度の連続測定

まず、設置した溶存オゾン濃度モニター使用に際して生じた事例について2つ述べる。図3にモニターの気液分離部前面を示す。本モニターは、溶存オゾン濃度測定対象水中のオゾン曝気により気液分離し、分離されたガスのオゾン濃度を測定することにより、気液間の平衡関係を含む演算式から溶存オゾン濃度を算出する機構となっている。そのため、ガスオゾン濃度測定部は、図3に示す気液分離部とは別にある。図3に示すように、上記機構を満たすための①対象水流量調整計、②気液分離部、③不要な排ガス分解のための活性炭などから構成されている。気液分離部にお

ける曝気により、液膜が上昇することが確認された。水の粘性により頻繁に生起することも考えられ、活性炭への水の流出には注意を要する。ただし、この事例は、モニター製造会社においては以前から確認されているため、図3に示すように対策としての消泡用の棒がもともと設置されているとのことである。このように計器を製造している会社にはかなりのノウハウが蓄積されていると考えられ、今後新たな箇所への計器の設置に関する検討において、情報交換は有用かつ重要であると言える。本研究ではこれまでに設置したことのない箇所への設置も行っているため、現在のところ、念のため2段目のモニターについて、図4に示す通り活性炭設置箇所を上部にずらすとともに、活性炭槽における活性炭自体の底上げも行った。現在、その他のモニターについても経過を観察中である。

次に、図5に示す通り、1段目に設置したモニターには、通水当初から鉄・マンガンに起因すると思われる付着が認められた。現在のところ、完全な閉塞は認められていないが、経過観察中である。浄水場の既設のモニターでは、反応がある程度進んだ場所に配置されていることもあり、目立った着色や閉塞は一年の維持管理でも起こっていないとのことである。製造会社より、鉄・マンガンの除去方法としての洗浄方法が提案されており、今後必要に応じて試みる予定である。

図6に溶存オゾン濃度の連続測定結果を示す。図に示す結果は、データロガーによって収集した1分ごとのデータから正時1時間ごとを抽出し、示している。配管のならし期間が必要であったり、上記の通り鉄・マンガンの付着による供給液流量の低下が認められ、その調整などが必要となったため、データ取得開始初期の精度は劣るが、ここでは調整や間引きをせずに生データとして示している。2月10日以降は、十分にならしが完了していると評価した。また、流量の調整なども良好に行えるようになった。これらの期間前であるため、絶対値としての精度は劣るものの、1月25日朝方、1月30日夜半から31日朝方にかけての急激な濃度変化がすべてのモニターで確認されており、十分な追随性が確認できたと言える。2月10日から3月1日までの平均値は、1段目から0.015、0.155、0.284 mg/Lであった。また、各段の差は、2段目と1段目が0.140、3段目と2段目が0.129 mg/Lであった。

今後は、オゾン注入率などの運転データ及びその他水質データとの関係性などを評価していく予定である。

2. オゾン反応の評価

図7に、溶存オゾン濃度及びH₂O₂ラジカルのプロトタイプ物質としてのパラ安息香酸濃度の経時変

化について実験結果をプロットで、計算結果を実線で示した。HO ラジカルのプローブ物質とは、この物質の濃度変化を記述することで、HO ラジカル濃度の再現性能を確認することができ、濃度を追隨していることは、HO ラジカル濃度が再現できていると評価可能な物質を意味する。図からもわかる通り、2通りの初期溶存オゾン濃度に対して、同じパラメーターを与えることで、溶存オゾン濃度及びHO ラジカル濃度がある程度再現できていることがわかる。ただし、初期溶存オゾン濃度が低い条件において実験値と計算値のずれが認められること、パラメーターについては、ある程度仮定を置く必要があることなどから、今後は、溶存オゾン濃度及びプローブ物質濃度の2つの変数に対して、10個程度(現在は12個)の定数を決定する最適値問題として解を得ることが可能かどうかを検討中である。

3. オゾン接触槽の流動評価

図8に、対象水流量 $3278 \text{ m}^3/\text{h}$ (流入流速 $0.0939 \text{ m}/\text{sec}.$)、水温 7°C における対象水流動の計算結果を示す。槽内に散気管を配置した場合と配置しない場合をそれぞれ示している。対象水流動に対する本質的な相違は大きくないと考えられた。ただし、散気管の有無により計算の負荷が大きく異なったことから、今後現象の再現性、計算の容易性を考慮したモデル化を行うことが必要であると考えられた。特に、これまでの報告では、ガスの散気は、実際には槽内において散気管のような離散的な装置を用いた吹込みを行っている場合³⁾も含めて、槽底面からの吹込み^{3,4)}としていることが多いようである。ガスの吹込みを簡易化する場合には、吹込み面の範囲と吹込み流速との関係に工夫が必要であると考えられる。

E. 結論

昨年度のニーズ調査結果を受けて、選定したオゾン接触槽について、阪神水道企業団猪名川浄水場II系の1つに、オゾン注入率制御のために設置されている既存の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、溶存オゾン濃度の連続測定を行った。既設配管等の構造にもよると考えられるが、本研究では1か月程度のならし期間を経て、安定したデータの取得が可能となった。また、安定運転前ではあったが、複数回の急激な濃度変化に対してもすべてのモニターで同様の変化が確認されたことから、急激な変動に対しても十分な追隨性を要していることが確認できた。通常は、接触槽/反応槽の最終端付近のオゾン濃度を測定している場合が多く、本研究のような比較的処理初期からのデータ取得は珍しい。そのため、特に1段目の接触槽のモニターへの鉄・マンガンの付着が多いこ

とが確認された。また、採用しているモニターの機構と関連して、水の粘性にも注意を払う必要があることがわかった。ただし、これらは、モニター製造会社においても周知の事例であり、情報交換をしていくことで、円滑な連続データの取得は可能であると考えられる。今後は、オゾン注入率などの運転データ及びその他水質データとの関係性などを評価していく予定である。

オゾンの反応に関して、初期の急激な反応とその後の緩やかな反応を評価し、オゾン濃度とHO ラジカルのプローブ物質の濃度を再現する反応モデルの検討を行った。異なる初期溶存オゾン濃度に対して、同じパラメーターを与えることで、溶存オゾン濃度及びHO ラジカル濃度がある程度再現できていることが確認できた。ただし、設定するパラメーター数が多いことから、今後は、溶存オゾン濃度及びプローブ物質濃度の2つの変数に対して、10個程度の定数を決定する最適値問題として解を得ることが可能かどうかを検討していくこととした。

オゾン接触槽の流動については、槽内に散気管を配置した場合と配置しない場合で、対象水流動に対する本質的な相違は大きくないと考えられた。一方で、散気管の有無により計算の負荷が大きく異なったことから、今後現象の再現性、計算の容易性を考慮し、物質移動及び反応を加えたモデルを開発していく予定である。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

1. 特許取得

該当なし。

2. 実用新案登録

該当なし。

3. その他

該当なし。

I. 参考文献

1) Mizuno, T., Tsuno, H., Yamada, H.: Development of Ozone Self-Decomposition Model

for Engineering Design, *Ozone Science & Engineering*, 29, 2007, 55-63.

2) Mizuno, T., Tsuno, H., Yamada, H.: Effect of Inorganic Carbon on Ozone Self-Decomposition, *Ozone Science & Engineering*, 29, 2007, 31-40.

3) Cockx, A., Do-Quang, Z., Liné, A., Roustan, M.: Use of computational fluid dynamics for

simulating hydrodynamics and mass transfer in industrial ozonation towers, *Chemical Engineering Science*, 54, 1999, 5085-5090.

4) Zhang, J., Tejada-Martínez, Andrés E., Zhang, Q., Lei, H.: Evaluating hydraulic and disinfection efficiencies of a full-scale ozone contactor using a RANS-based modeling framework, *Water Research*, 52, 2-14, 155-167.

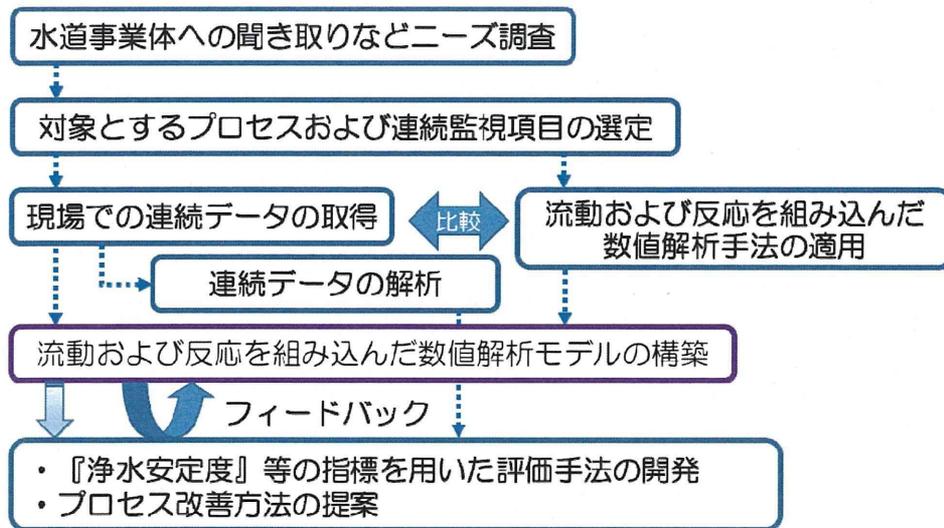


図1 本研究の進め方

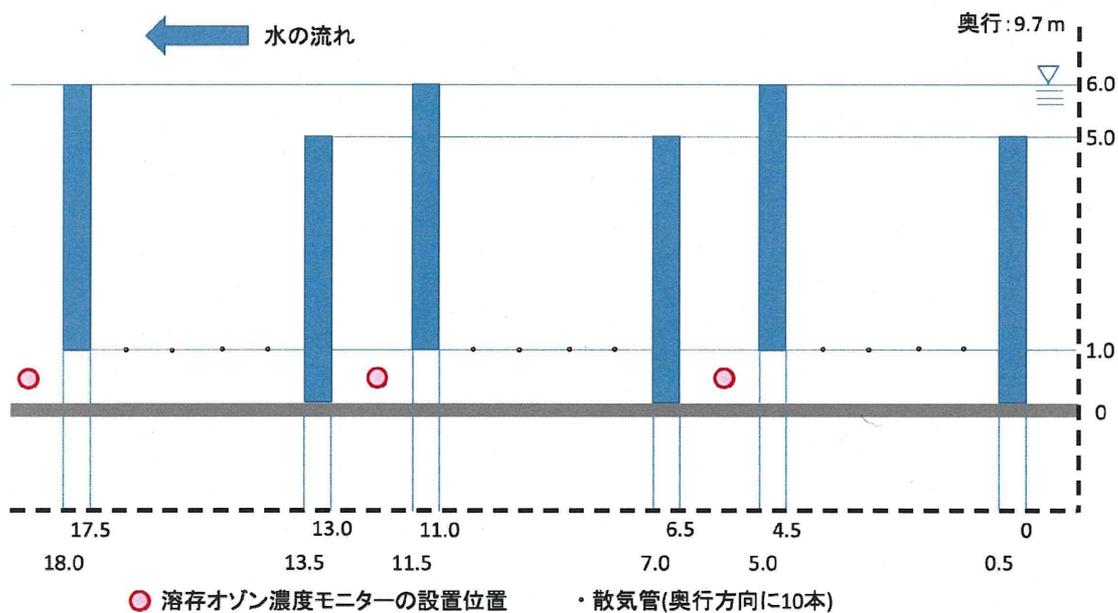


図2 オゾン接触槽の概要と溶存オゾン濃度モニターの設置位置

表1 オゾン反応モデルにおける有機物の質変換に関する設定

区分	DOM ₁	DOM ₂	注記
表記	[DOM][X ₁]	[DOM][X ₂]	[DOM]は初期有機物濃度(mgC/L)で一定として、[X]が1から0まで減少する考える
オゾンとの反応速度定数((mgC/L) ⁻¹ s ⁻¹)	k _{O3,1}	k _{O3,2}	オゾン濃度の分解を基準とする
HO・との反応速度定数((mgC/L) ⁻¹ s ⁻¹)	k _{HO,1}	k _{HO,2}	HO・濃度の分解を基準とする
オゾンとの量論関係(mgC/LM ⁻¹)	η _{O3,1}	η _{O3,2}	有機物の質変換として
HO・との量論関係(mgC/LM ⁻¹)	η _{HO,1}	η _{HO,2}	有機物の質変換として
オゾンとの反応に伴うO ₃ ⁻ の生成割合	α _{O3,1}	α _{O3,2}	
HO・との反応に伴うO ₂ ⁻ の生成割合	α _{HO,1}	α _{HO,2}	

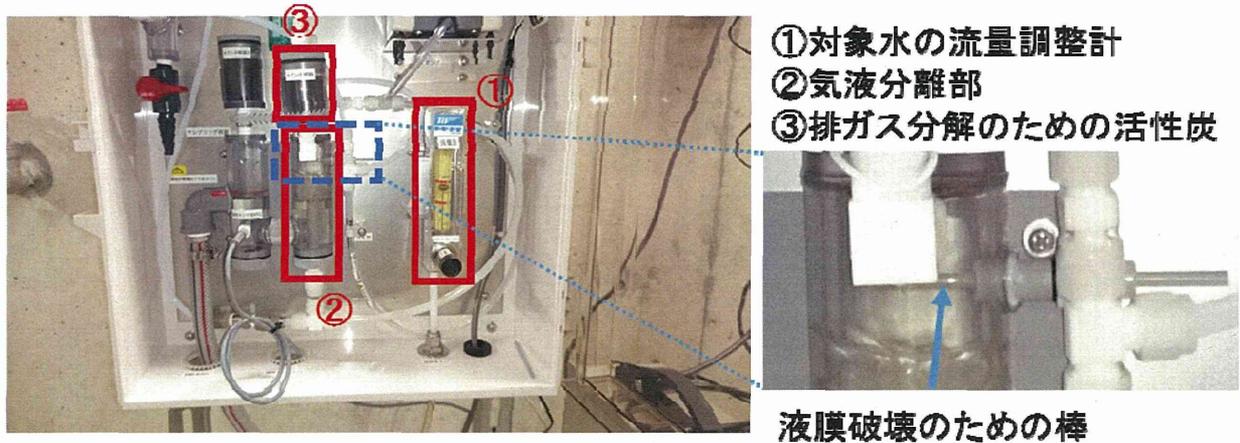


図3 溶存オゾン濃度モニターの気液分離部前面



図4 活性炭に関する工事後の溶存オゾン濃度モニターの気液分離部前面



図5 モニターへの鉄・マンガンの付着
(1段目、左：通水から6日目、右：通水から51日目)

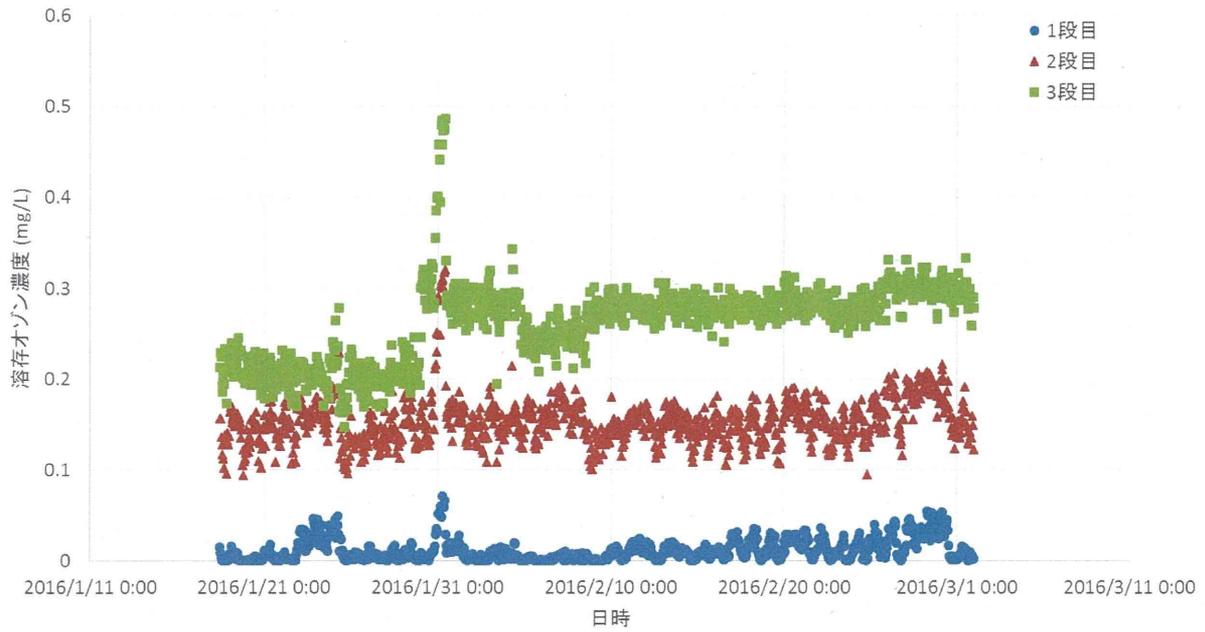


図6 溶存オゾン濃度モニターによる連続測定結果（データ未調整）

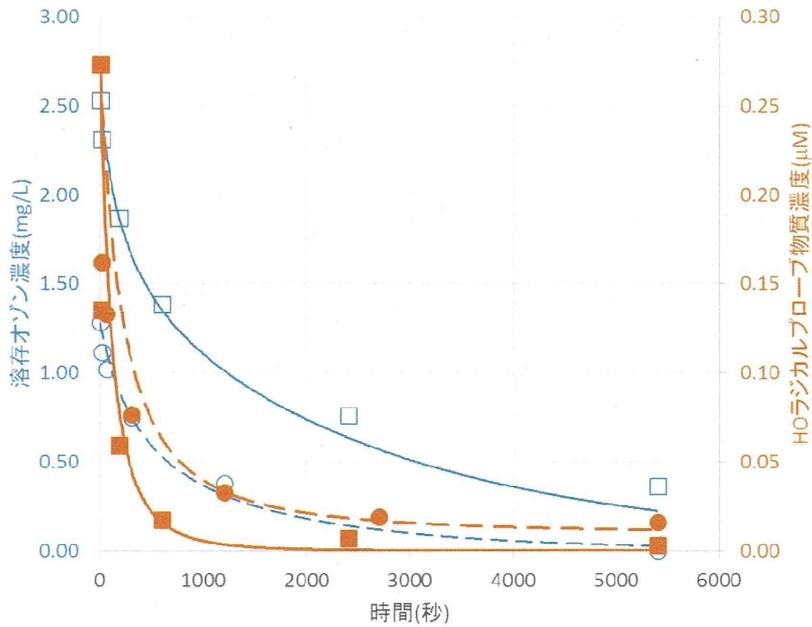


図7 溶存オゾン濃度及びHOラジカルプローブ物質濃度の経時変化の例
 (プロット：実験値、線：計算値)
 (初期溶存オゾン濃度2通り (□、○))
 (白抜き：オゾン、塗りつぶし：プローブ物質)

水の流れ→→→

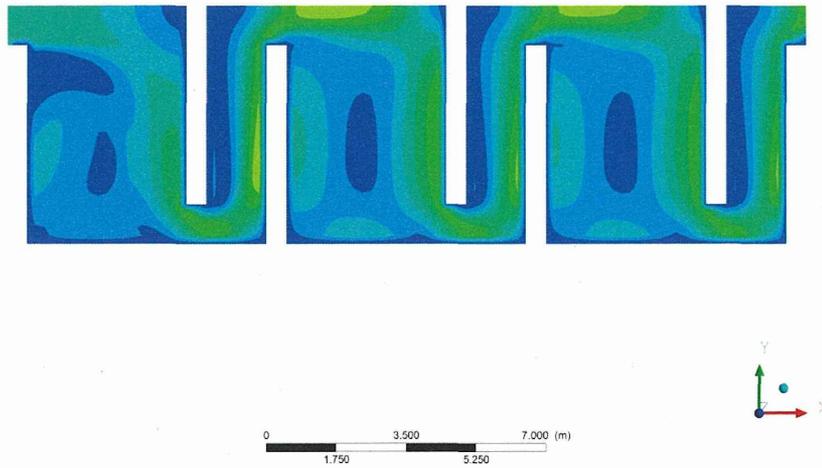
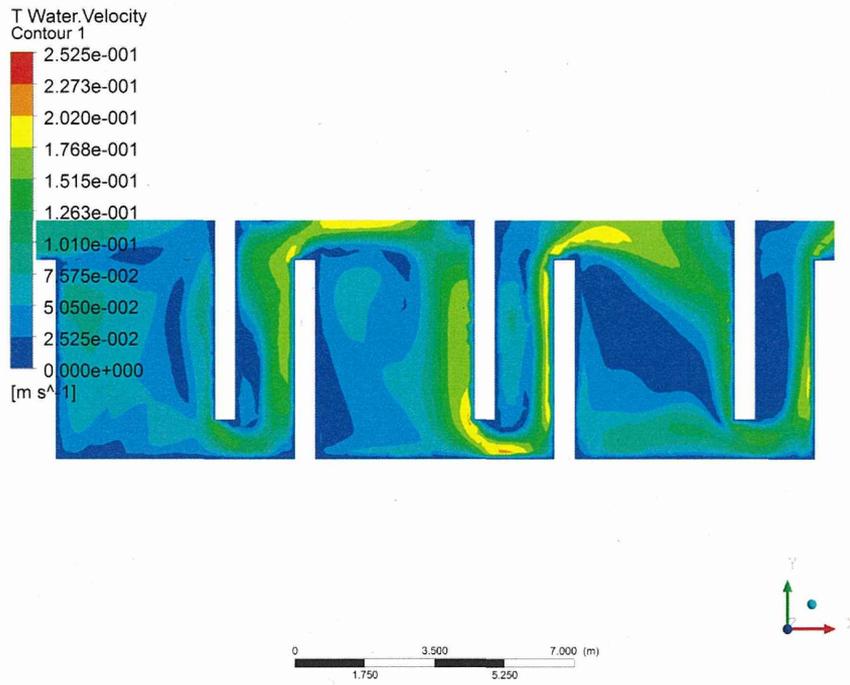


図8 オゾン接触槽内の対象水の流動例
(上：散気管がある場合、下：ない場合)

研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌（査読無し）

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
大野浩一	米国ウエストバージニア州における化学物質河川流出事故時の対応	水道	60 (3)	24～34	2015
大野浩一	続：米国ウエストバージニア州における化学物質河川流出事故時の対応－事故後の調査について	水道	60 (6)	32～40	2015
岸田直裕, 秋葉道宏	水中微生物検査のあり方	日本防菌防黴学会誌	44 (2)	69～73	2016

研究成果の刊行物・別刷

第5回

米国ウエストバージニア州における 化学物質河川流出事故時の対応

国立保健医療科学院生活環境研究部

上席主任研究官 大野 浩一

1. 課題の多い40周年

「タフな40周年だ¹⁾。」ニューオリンズで開かれていた米国水道協会（AWWA）水質技術会議において、A. ロバーソン AWWA政府関係担当主任はそう述べた。2014年は1974年に制定された安全飲料水法の40周年であったにも関わらず、大きな水質事故が数多くあったためである。特に、ウエストバージニア（WV）州MCHM（4-メチルシクロヘキサメタノール）流出事故によるDNU（Do Not Use）指示とエリー湖のマイクロキスティンによるDND（Do Not Drink）勧告は、会議を通じて、かなり深刻な水質管理上の課題として何度も言及されており、MCHM流出事故については独立した一つのセッションが立てられていた。

本稿においては、MCHM流出による水道水質事故の概要、ウエストバージニア・アメリカンウォーター（WVAW）社や関係組織が連携して行った対応などの報告を行う。内容については、2014年11月に行った現地調査およびWVAW社へのヒアリング内容、報道発表資料²⁾、および事故当時の新聞記事（デジタル版）を中心に情報収集を行ったものをベースとしている。情報源がヒアリングや新聞記事などに基づいていること、筆者の米国の法律に対する知識

が不十分なこと、紙面の制限もあり記載内容の正確さは不十分かもしれない。

また、WVAW社からの情報が多く、全方向からの見解を十分に組み込むことはできていない。これらの正確性を求める場合は、原典などに当たられることをお勧めする。なお、ヒアリングにはWVAW社から社長ジェフリー・マッキンタイア氏、副社長デビー・アルプレクト氏、渉外部長ローラ・ジョーダン氏の3名、日本からは国立保健医療科学院の筆者と浅見真理氏、東京都水道局の伊藤聖依子氏の3名が参加した。

2. 米国における水質異常時の対応例

表1にMCHM流出事故以降に米国で起きた特徴的な水質事故の例を示す。上の3つの水質事故は影響人数が30万人以上と大きな影響を与えたものである。3つの水質事故に対する勧告の内容がDNU、DND、BWA（Boil Water Alert、煮沸勧告）とそれぞれ異なっている。これは汚染の原因物質の性質によるリスクの違いに基づいている。米国の場合、これらの決定は政府が各州などに委任している安全飲料水法の施行責任機関（Primacy、以下は監督機関とする）と水道事業者との協議のもとに行われ

表1 2014年MCHM流出事故以降の米国における特徴的な水質事故例

事故発生日	場 所	原因物質など	影響人数	対応およびメモ
2014.1.9	WV州、チャールストン市を含む9郡	MCHM (石炭洗浄剤)	30万人 (皮膚の炎症・吐き気など健康被害あり)	“Do Not Use” ・リコリス臭、皮膚への刺激性
2014.5.23	オレゴン州、ポートランド市と周辺	E.Coli (3日連続陽性)	67万人	“Boil Water Alert” (煮沸勧告) ・開放型貯水池の底から死んだ鳥が発見された
2014.8.4	オハイオ州、トレド市と周辺	マイクロキスティン (エリー湖を水源とする)	40万人	“Do Not Drink” (飲用・調理用水には使用しないよう勧告)
2015.1.26	WV州、ルイスバーグ市と周辺	ディーゼルオイル流出 (7,000ガロンのタンカー事故)	1万2千人	取水停止→結果として供給水圧低下、一部地域断水→取水再開後、煮沸勧告
2015.2.16	WV州、フェイエット郡、カノーワ郡	脱線事故 (および原油の流出)	2,000契約者 (約5~6,000人)	取水停止と節水勧告→結果として数時間の断水→取水再開後、予防的煮沸勧告

る。法的な根拠は、安全飲料水法中の（違反時）公衆通知規則（Public Notification Rule³⁾）である。規則違反時の通知として3段階（Tier 1～3）があるが、その中で短期曝露により健康に深刻な悪影響がでる可能性がある場合は第1級（Tier 1）の状況となり、状況を認識してから24時間以内に給水対象者に状況について通知をすること、また、州の監督機関あるいは環境保護庁（EPA）と協議を開始することが義務づけられている。

改訂公衆通知ハンドブック⁴⁾には、水質異常時の勧告の種類として、情報通知に加えてBWA、DND、DNUの勧告は示されているが、給水停止は勧告の例には含まれていない。これは、給水停止を考慮しない訳ではなく、給水停止を選択した際の結果として起こる、基本的な衛生状態を確保出来ないこと、消火用水がなくなることなどの損失を比較検討した結果と思われる。

表1の下2つの事故は、どちらも油類の流出事故であるが、取水停止をした結果として一部地域で断水が起こった。これら2つの事故は給水人口の小さい地域で起こっている。意思決定には、断水時の応急給水

措置がそれほど困難ではないこと、また、これら油の流出事故はその流出時間の推定ができ、油を浄水場に取水してしまいその復旧にかかる労力よりも、取水停止で油をやり過ごした方が結果として損失が少ないと判断したことが寄与したのではないかとと思われる。

3. MCHM流出事故の概要

事故のタイムラインを表2に示す。2014年1月9日（木）に米国WV州の州都チャールストン市（人口約51,000人、面積84.7km²）内を流れるエルク川で、フリーダム・インダストリー社が所有する地上タンクから石炭の洗浄に使用される4-メチルシクロヘキサメタノール（MCHM、図1）が漏れ（予備の防護壁からも漏出し）、川に流出した。2.4km下流にあるWVAW社のカノーワ・バレー浄水場（図2）はこの流出の影響を受け、9日の夕方に、同市を含む9つの郡の30万人（契約顧客数約93,000人、給水区域約7,800km²）に対して「トイレの水を流す以外の用途では水を使用しないよう」

表2 2014年MCHM事故のタイムライン

日 時	内 容
1月9日(木)	取水口から2.4km上流のフリーダム・インダストリー社貯蔵タンクから約380m ³ の「粗MCHM」が流出
14時ごろ	カノーワ・バレー浄水場原水からにおいが感知される
18時ごろ	“Do Not Use”指示と州知事による緊急事態宣言の発令(記者会見)
1月10日(金) 午前	オバマ大統領が緊急事態宣言に署名
午前	州公衆衛生局がCDCから粗MCHMに1ppmの助言値を受け取る
	MCHMの定量分析を開始(原水、浄水とも1ppm以上で推移)
1月11日(土) 9時	これ以降、原水、浄水サンプルとも1ppmを下回る
	WVAW社、州兵、州公衆衛生局、州環境保護局、カノーワ郡代表からなる関係機関チームの司令所を浄水場内に設置
	水理モデルを用いた区域内配水管サンプリング方法について、関係機関チームでの内容確認
1月12日(日)	AW本社ITとGISチームがオンライン地図(図4)を開発
	WVAW社により配管洗浄ガイドライン(図3)を作成、州保健局により最終承認
	DNU解除方法の発表(区域ごと順番の解除、使用再開前の配管洗浄方法、3.8m ³ の料金免除など)
1月13日(月)	25,000契約者に対するDNU解除(病院も1か所を除いて解除)
	解除区域に関する24時間電話ホットラインの開始
夕方	これ以降、浄水場原水、浄水のMCHMがND(<10ppb)となる
1月14日(火)	計48,000契約者(約50%)に対するDNU解除
	圧力区域に関する説明図を作成(区域ごと順番にDNUを解除している理由の説明用資料)
1月15日(水)	一部DNU解除(計56,800契約者)
午前	CDCが「十分な予防の面から、妊婦はMCHMが検出限界未満となるまで水道水以外の水を摂取した方が良い」と発表
1月16日(木)	一部DNU解除(計71,000契約者)
1月17日(金)	フリーダム社倒産(連邦倒産法11章)
1月18日(土)	全区域でDNU解除完了(約93,000契約者)
1月19日(日)	“Our Next Steps”として、これまでのFAQ(随時ウェブで更新)のまとめと今後の活動に関する広報の作成、報道発表
1月21日(火)	フリーダム社が粗MCHM以外にPPHとdiPPHが含まれていたことを公表、ただし含有率は小さい(7% v/v)
(数日後)	CDCがPPH類に対する短期摂取助言値として1.2ppmを設定
1月22日(水)	PPHによる健康影響の懸念はないこと、PPH測定方法を確立、この時点での測定値は検出限界未満であることを発表
2月20日(木)	全給水区域でMCHM濃度が10ppb未満との発表
3月3日(月)	全給水区域で2ppb未満を達成したと発表
3月25日(火)	定量限界を0.4ppb程度とした上で、浄水場の工程水濃度を発表。原水でNDのものがGACろ過池出口で0.4~0.6ppbが検出されているとしてGACフィルター(500トン)の交換を発表
4月1日(火)	16池あるGACフィルター(ろ過池)の交換を開始
6月12日(木)	GACフィルター交換完了の発表
6月17日(火)	配水管内サンプルを測定し、全てND(<0.38ppb)であることを発表

(DNU)指示を出した。同時に州知事が非常事態宣言を行い、翌10日にはオバマ大統領も非常事態宣言に署名し、連邦緊急事態管理庁(FEMA)も応急給水など救援活

動を始めた。学校は休校となり、レストラン、ホテルなどが営業を停止した。病院では手術の延期や透析用水の移送の必要が出た。また、水道水からリコラス(甘草)臭

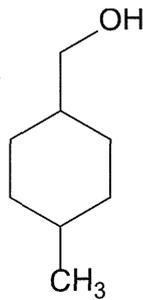


図1 MCHMの構造式

が感知される地域もあり、一部の住民はかゆみや炎症、発疹、吐き気などの症状を訴えた⁵⁾。DNU指示は13日(月)からMCHM濃度が1ppm未満となった配水ブロックから順番に解除され、18日(土)に限定された一部地域を除き解除されることとなった。しかし、1ppm未満の濃度においてもMCHMのにおいは水道水に残留し、最終的に全地域で検出限界未満(当時2ppb)となったのは、2月下旬であった(3月3日報道発表資料²⁾)。ただし、臭気の閾値

はその値よりも低いため、4月までは苦情があったという。

なお、漏出した物質は「粗(crude)MCHM」で、安全データシート(SDS)によると含有率68%~89%のMCHMと1%以上の他5物質が含まれている混合物である⁶⁾。フリーダム社は漏出量を当初7,500ガロン(28.4m³)としていたが、後日10,000ガロンに修正した。また1月21日になって、粗MCHMの他にプロピレン(およびジプロピレン)・グリコール・フェニル・エーテル(PPH, DiPPH)も含まれていたことを明らかにした。

さらに、専門家によりホルムアルデヒドが水道水から検出され健康影響が懸念されるなどという報道もあったが、これは健康影響面およびMCHMと塩素との反応の面などから否定された(1月29日報道発表資料²⁾など)。



図2 流出タンクから浄水場までの関係(フリーダム社のタンク流出地点から浄水場取水口まで約2.4km。流出地点も取水口もエルク川の左岸であった)

4. Do Not Useと非常事態宣言に至るまで

マッキンタイア氏によると、MCHM流出の発見からDNU指示と非常事態宣言を出すに至るまでの経緯は次のようなものであった。

1月9日は朝から、この溪谷中にリコリス菓子のような甘いにおいが漂っていた。ただし、この溪谷は化学工業地帯なので、時々何かにおいがすることがあり、この臭いが水源汚染と関連があるとは誰も思っていなかった。

(8:15ごろから、州の環境保護局 (DEP) に住民からの苦情が入り始める。)

(11時ごろ、DEP職員がフリーダム社に立ち入り調査を始める。)

11:56、DEP職員からWVAW社に汚染物質が川に流出しているという第一報を受けた。この日は寒波が来ていて、気温は華氏0°F (-18°C) 以下だった。川には浮氷があり一部凍っているような状態だった。流速もほとんどない状態だった。それもあり、この時点では2.4km下流の浄水場内ではにおいがしなかった。ただし、水質技術者が予防措置として粉末活性炭 (PAC) を入れ始めた。

ちなみに、この浄水場の処理プロセスは過マンガン酸カリウムによる前酸化、ポリ塩化アルミニウム (PACl) とポリマーによる凝集、スラッジブランケットと傾斜管による沈澱を行い、粒状活性炭 (GAC) フィルターによるろ過を経由して遊離塩素消毒となっている。GACろ過という点が特徴的である。

流出物質MCHMは、最初は「凝集剤」と言う話だった。凝集剤ならば通常使用しているので問題ないと考えていたが、水質

技術者が公衆衛生局と一緒に安全データシート (SDS) を入手したところ、「凝集剤 (Flocculant)」ではなく「浮上剤 (Floatant)」、石炭についている粉末などを浮上分離させ洗浄する薬品だということがわかった。これが13:00から13:30ごろの話。そして、この物質は揮発性有機化合物 (VOCs) の一種であることもわかった。この浄水場にはGACフィルターがあり、PACも添加している。そしてMCHMはGACでの除去性能が良いということで、我々はこの物質を処理できるチャンスがあるだろうと考えた。

我々はそれと同時に「浄水場を止めることは可能だろうか」と一度考えてみた。当時は厳冬期で例年よりも35%多いパイプの破損が起っていた。浄水場の通常浄水量は約10万m³/dなのだが、その日は16万m³/dだった。施設能力が約19万m³/dなので、ほぼ最大に近い状態だった。我々の水道水の値段は1ガロン (約3.8L) 当たり約1セントなので、凍結した水道管の修理費よりも安い。だから冬期には水が凍らないように、少しだけ水を出しておくように勧めている。浄水量が多かったのはそれもある。さらに困ったことに、9日の13:00ごろは場内配水池の余裕は15分から2時間位しかなかった。このことは、消防用水も衛生用水もなくなることを意味する。さらに、いつまで汚染のプルームが続くかも不明だった。(公表資料⁷⁾によると、原水濃度が1ppmを下回ったのは11日の朝9時)

SDSの情報でラットの経口LD50 (半数致死量) が825mg/kg⁶⁾ と急性毒性が高くないこと、また、MCHM製造元や取扱会社などに電話して、(濃度の高い) 労働環境において特に防護器具を使用していないことなど、労働環境中での毒性が低いこと

を確認した。

14:00、上記のとおり、我々はGACとPACでMCHMが処理ができるだろうと考えた。実際に活性炭での処理はできた。しかし、とても手に負える量ではなかった。定量出来た中で最大の河川中濃度は13ppm。しばらくメソッドがなかったのもっと高濃度のものがあったらと思う。 (公表資料⁷⁾ では10日12:30の原水3.35ppmが最高。) いずれにせよ13ppmではGACフィルターでも処理できない。下流のシンシナティやレイビルでは約80ppbまで希釈されていて、彼らはGACで処理できた。それが大きな違いだった。

同じく14:00にMCHM汚染水が原水に到達した。浄水場での処理時間は1時間であるが、15:00では浄水に臭気は検出されなかった。16:00に、浄水からにおいが検知されるようになった。1時間は持ちこたえたが、それが限界だった。

この時点から我々は次の段階に突入した。(州の)規則では12時間以内に公衆に通知しなければならない。我々はそんなに

長く待つことはできなかった。(監督機関である)州公衆衛生局と連絡をとり、他の全部門と相談をした。州知事の秘書室にも電話で状況を報告した。そして18:00にトムリン州知事とマッキンタイアWVAW社長が共同で記者会見を行い、知事が非常事態宣言およびDNUの指示を行った。

5. 明確に「浄水場を止めない」という決定をしたのか?

Yes。現在でも、そしてMCHMの物性や他の情報を知っていたとしても、同じ問題に直面したら同じ決定をするだろう。この不便、消防も衛生環境もない状態にこのコミュニティを晒すことはできない。当時の-18℃という気温もある。その環境下で母親が子供を簡易トイレに連れて行かねばならない状況にはしたくない。それから、水道管は通常地上から1mの深さに埋められており、-18℃の環境で水が止まれば、接続部分も含めて、凍ってしまう場所がで

以下の洗浄方法について解説

- 製氷機
- 作った飲料・ミルク
- 食洗機
- 流し
- 洗濯機
- 加湿器
- 吸入器など
- 風呂場
- トイレ
- 温水器
- 浄水器
- 軟水器(樹脂)
- 逆浸透膜(RO)装置

洗浄後もにおいが残存することが予想されますが、健康上の問題はありませぬ。

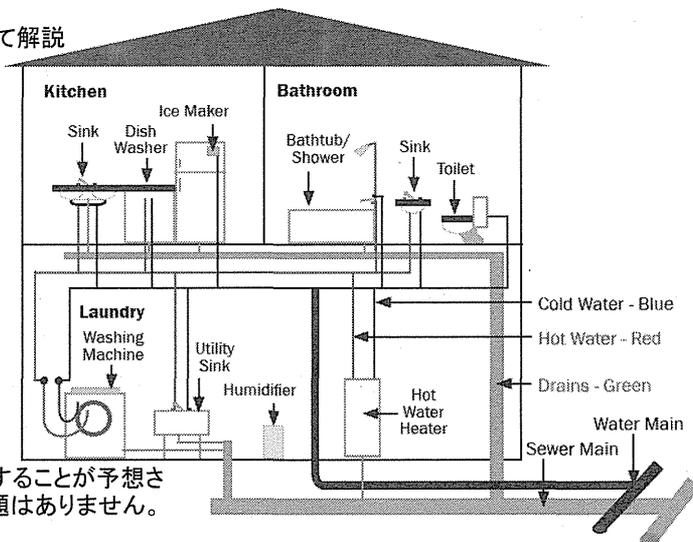


図3 DNU勧告解除前に作成した「給水システムの洗浄方法」⁹⁾内の図