

## 地表水紫外線処理および濁度管理事例等に関する海外文献調査

研究分担者 国立保健医療科学院 島崎 大

**研究要旨** 海外における文献情報を収集し、わが国の地表水を原水とする浄水場において濁度管理ならびに紫外線処理を適切に行う上での留意点を抽出した。過去の集団感染事例では、水道施設の設計、日常の運転管理、職員の教育など複層的な問題により濁度管理が適切に行われていなかった。濁度の挙動は浄水処理における凝集沈殿・ろ過プロセスが適切に機能しているか判断する上で重要な管理指標の一つであるものの、濁度管理のみに依存した病原微生物リスクの制御には限界がある。この点において、既存の濁度管理技術に加えての紫外線消毒の適用は、有効性が高い技術手法であると考えられる。

### A. 研究目的

現行の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、レベル4施設に対しても「浄水処理の安全性を一層高めるために、ろ過池等の出口の濁度を0.1度以下に維持することが可能なら過設備と紫外線処理設備を併用することとしてもよい」とされており、適切な濁度管理の下に地表水の紫外線処理を行うことが可能である。むしろ多段階バリアの観点からすれば、耐塩素性病原微生物などによる汚染の恐れが高い原水に対しては、積極的にろ過処理と紫外線処理を併用することが望ましいものである。しかしながら、現在までに国内で地表水に紫外線処理を導入した事例は見受けられない。

ここでは、地表水を対象とした紫外線処理の導入を推進する上での一助とすべく、海外における地表水紫外線処理および濁度管理事例等に関する文献情報を収集し、わが国の地表水を原水とする浄水場において

濁度管理ならびに紫外線処理を適切に行う上での留意点について抽出することを目的とした。

### B. 研究方法

諸外国における水道水に由来するクリプトスポリジウムへの集団感染事例を収集し、対策として紫外線消毒施設の導入を行った事例<sup>1)</sup>、浄水場における濁度制御・管理が不適切であった事例<sup>2,3)</sup>を選択、各事例における集団感染発生の経緯や要因を抽出した。さらに、世界保健機関（WHO）が公表した水道の濁度管理に関する技術報告<sup>4)</sup>を参照し、濁度管理における目標値を抽出した。

### C. 結果

(1) 水道に由来するクリプトスポリジウム集団感染および紫外線処理施設の導入事例<sup>1)</sup>

英国 Wales 北西地域において、2005 年秋季を中心としてクリプトスポリジウム感染

症の患者が集団発生し、うち 218 名は *Cryptosporidium hominis* への感染が確認された。現地の疫学調査により、水道水との関連が示唆された。当該地域の浄水場は、Llyn Cwellyn 貯水池を水源としており、取水口対岸に下水処理場が、また流域に少なくとも 13 ヶ所のセプティックタンクが存在していた。Llyn Cwellyn 貯水池自体は清浄な原水水質であるものの、高濁度の発生時には大腸菌や腸球菌が検出されていた。また、原水水質が良好であるため、浄水処理は圧力砂ろ過および塩素消毒のみでよいとされており、凝集剤は未適用であった。

感染症の発生時において、浄水場の機能には特段の障害は認められなかったものの、水道水中からクリプトスポリジウムが検出された。しかしながら、その濃度は最大 0.08 オーシスト/10L であり、規制値 (1/10 L av./1000 L/24 hrs) 未満であった。

2005 年 11 月 18 日より、現地では免疫不全患者に対する水道水の煮沸勧告を行い、さらに 11 月 29 日より全住民に煮沸勧告を拡大した。当時の規制では、クリプトスポリジウムの物理的な除去によらない対策は認められていなかったが、科学的根拠ならびに短期間での導入が可能な手法として、水道会社に紫外線消毒の導入を勧告した。

紫外線消毒設備の導入が完了した、翌年 1 月 30 日に煮沸勧告が解除された。

(2) 水道に由来するクリプトスポリジウム  
集団感染と浄水場濁度管理との関連に係る事例<sup>2,3)</sup>

2001 年 3 月下旬から 4 月上旬にかけて、カナダ国 Saskatchewan 州 North Battleford 市 (人口約 14,000) や Battleford 町 (人口約 4,000) を中心に下痢症が集団発生し、

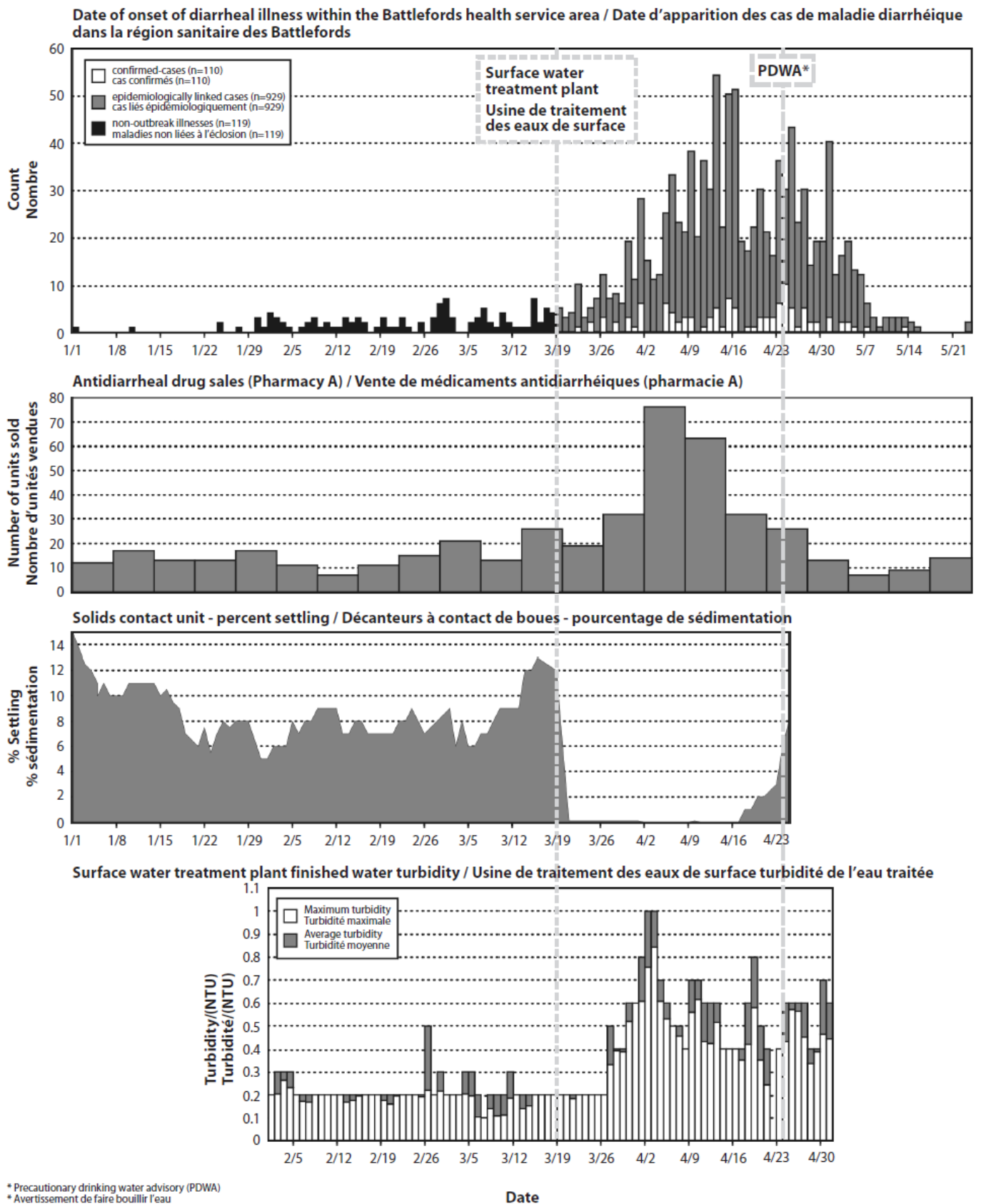
患者便から *Cryptosporidium parvum* が検出された。4 月 25 日に州保健部局が同国保健省に対して疫学調査や浄水場調査等の支援を依頼、同日に水道水の予防的 (煮沸) 勧告を発令した。現地調査により下痢症患者 1,907 名が同定され、うち 275 名は *C. parvum* への感染が確定した。当該地域の患者数は 5,800-7,100 名の範囲であると推定された。

なお、医薬品販売数に関する調査により、3 月下旬-4 月上旬にかけ、当該地域における市販止瀉薬の販売金額は、前後の時期と比較して 5 倍増に達した。また、多変量解析により当該地域の水道水摂取の機会が増すと感染リスクが増加するとの結果が得られた。

当該地域には Saskatchewan 川地表水を原水とする浄水場、および、同河川流域に点在する井戸の地下水を原水とする浄水場が存在しており、前者の浄水処理は凝集沈殿-砂ろ過-塩素消毒、後者は塩素消毒-砂ろ過 (金属除去) であった。このうち、地表水を水源とする浄水場にて、同年 3 月 20 日以降の高速凝集沈澱池 (SCU: solids contact unit) のメンテナンスに伴う運用停止によって化学凝集が行われない状態となり、砂ろ過前工程水の沈降性が悪化すると共に、浄水の濁度が増加 (0.2→0.5NTU) していることが確認された。当該の浄水場では、残塩濃度ならびに微生物指標は適合しているものの、浄水からクリプトスポリジウムオーシストの検出が確認された。次頁の図 (文献 2 から引用) に示すように、下痢症患者数の増加、市販止瀉薬の販売量の増加、砂ろ過前工程水の沈降性の減少、浄水の濁度増加の動向は一致していた。

Figure 2: Temporal comparison of disease burden and water quality data

Figure 2 : Comparaison temporelle des données sur le fardeau de la maladie et la qualité de l'eau



\* Precautionary drinking water advisory (PDWA)  
\* Avertissement de faire bouillir l'eau

図 カナダ国クリプト集団感染事例における患者数・市販止瀉薬販売量・工程水沈降率・浄水濁度<sup>2)</sup>

(3) 水道の濁度管理に関する技術報告

WHO 水・衛生・健康部門は、2017年2月に標記技術報告をウェブサイトにて公開した<sup>4)</sup>。当報告は水道事業の運転管理者と規制者を対象とし、水道原水や浄水処理過程、浄水における濁度管理の有用性と重要性に関する情報提供を行うことを目的としている。要旨の抄訳と濁度目標値を以下に示す。

・濁度自体は公衆衛生上の直接的なリスクを意味するものでないが、水供給システム全体において、病原微生物の存在や危害イベント発生の有効な指標である。

- ・濁度は極めて利便性の高い指標であり、迅速、安価、常時重要な情報を得ることができる。濁度の測定は様々な状況に適用できる。
- ・濁度は簡易、正確かつ迅速に測定でき、水安全計画に定める管理措置上の運転モニタリング等にも広く用いられる。また代替水源の比較や、様々な管理措置の効果を評価する基準として使える。
- ・濁度は飲料水の審美的な指標としても重要である。

表 水道システムの濁度管理における目標値および汚染指標<sup>4)</sup>

場所・処理工程	濁度目標値・汚染指標	備考	
水源	原水濁度の急激な変化	・環境イベントや人為活動に由来する汚染 ・地下水取水施設等における汚染の侵入	
	長期的な濁度変化	・流域内の変化、調査により是正措置を勧告	
水処理	ろ過 [直接ろ過・急速ろ過]	以下の除去性能に相当	
	各月のろ過水濁度 95%値<0.3NTU かつ、1NTU を超過しない	・ウイルス 1-2log 除去 ・クリプト、ジアルジア 2.5-3log 除去	
	[珪藻土ろ過・緩速ろ過]	以下の除去性能に相当	
	各月のろ過水濁度 95%値≤1NTU	・ウイルス 1-2log 除去 ・クリプト、ジアルジア 3log 除去	
消毒	[膜ろ過(MF・UF)]	以下の除去性能を達成可能、膜孔径に依存	
	<0.1NTU	・ウイルス 4-7log 除去 ・クリプト、ジアルジア 1-6log 除去	
消毒	理想的には<1NTU	濁度が 1NTU を超える場合、適切な CT 値を確保するために、消毒剤の注入率または接触時間(紫外線消毒の場合は照射線量)を高める必要がある	
	[大規模・良好な浄水場] 常時<0.5NTU、平均≤0.2NTU [小規模・資源が限られた浄水場] <5NTU		
配水過程・貯留	予期せぬ濁度上昇	・様々な障害やイベントによって生じうる ・速やかな調査と改善措置を講じる必要がある	
給水末端	審美性	理想的には<1NTU	4NTU 以上で目に見える濁りを生じる
	家庭内	理想的には<1NTU	濁度が 1NTU を超える場合、消毒剤の注入率または接触時間を高める必要がある
	貯留	困難であれば<5NTU	

#### D. 考察

##### (1) 水道に由来するクリプトスポリジウム 集団感染および紫外線処理施設の導入 事例

当該の浄水場のうち、圧力砂ろ過は原水中のマンガン除去を主な目的としており、クリプトスポリジウムオーシストの除去はまったく考慮されていなかった。また、原水水質が良好であるため化学凝集は適用できず、仮に適用したとしてもクリプトスポリジウムオーシストの除去性は向上しなかったであろうとの記述があった。水道水源である Llyn Cwellyn 貯水池が低濁度であるため、凝集処理でのフロック形成が困難であるとの認識であったと考えられる。

ろ過処理の運用については、各ろ過池に濁度計を設置して濁度の連続モニタリングを行い、ろ過池の逆洗後にはスロースタートを実施するなど、同国において推奨されるクリプトスポリジウム対策に沿った管理が行われていた。しかしながら、記録によれば再開直後のろ過水濁度は大幅に増加していた。

以上のことから、当該の浄水場における処理プロセスの設計ならびに運転管理は、クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物への対処としては、いずれも不適切であったと考えられる。

一方、事後対策ではあるものの、科学的根拠ならびに短期間での導入が可能な手法であることより、紫外線消毒が採用されたことは注目に値する。わが国においても、低濁度原水の濁度管理に苦慮している水道事業者が見受けられており、水源の糞便汚染に対する潜在的リスクが大きいと考えられるため、参考になると思われる。

##### (2) 水道に由来するクリプトスポリジウム 集団感染と浄水場濁度管理との関連に 係る事例

当該の浄水場では、高速凝集沈澱池を 1 系統しか有しておらず、定期清掃等のメンテナンス時には、高速凝集沈澱池をバイパスした（凝集処理を行わない）直接ろ過処理が実施されていた。さらに、ろ過水等の濁度の常時監視は行っていなかったこと、濁度上昇時等の運転管理条件が明文化されていなかったこと、施設の設計上、ろ過池の逆洗浄後における捨水の実施が不可能であったこと、水道事業者職員の濁度管理およびクリプトスポリジウム等対策に関する認識が欠如していたことなど、当該の浄水場における処理プロセスの設計段階での不備、不適切な日常の運転管理、職員の教育不足など、様々な要因が指摘されていた<sup>3)</sup>。

注目すべきは、図に示すように、集団感染の発生状況と、ろ過前水の沈降率、ならびに、浄水中の濁度の推移に明確な関連が見いだせる点である。とりわけ、浄水処理が適切に機能していた時点での浄水中の濁度は 0.2NTU であり比較的安定していたのに対し、浄水処理の不全が生じて以降は 0.5-0.6NTU に上昇し、かつ、0.4-1.0NTU の範囲で大きく変動した。このように、濁度の挙動は浄水処理における凝集沈殿・ろ過プロセスが適切に機能しているか判断する上で重要な管理指標の一つであり、その推移を継続的に監視すべきである。その一方で、濁度の値そのものは、病原微生物の存在状況を必ずしも反映しないため、濁度管理のみに依存した病原微生物リスクの制御には限界がある点には留意する必要があると思われる。

### (3) 水道の濁度管理に関する技術文章

WHO がこれまでに公表している飲料水水質ガイドライン<sup>5)</sup>でも、浄水処理における濁度管理の重要性は指摘されており、当該技術文章は、水道事業の実務者に向けて、適切な濁度管理により水道水の微生物リスクを制御できること等を強調する目的でまとめられたものである。過去の水道水を通じた集団感染事例においても、大抵の場合、水道水の濁度上昇を伴うとされており、浄水の濁度を低く保つことは、病原微生物の除去や水道水の安全性を確保する上での指標として実績があるとしている。

ただし、水道水の濁度と特定の地域における胃腸炎の発生状況との間には、明確な相関が見いだされている事例、見いだされない事例ともに報告があり、地域ごとに状況が異なっている。

さらに、表に示されている所定の濁度目標値に対する微生物またはウイルスの除去性能は、いずれも米国およびカナダ国において平常運転時の短期間の試験により得られた値であるため、原水水質の急激な変動や浄水処理工程の不具合といった異常時には、除去性能は低下しうる点に留意する必要があるであろう。

### E. 結論

諸外国における水道水に由来する過去のクリプトスポリジウムへの集団感染事例を参照したところ、いずれも、凝集処理を行うことなく後段の砂ろ過処理に供する場合があります。クリプトスポリジウム等の病原微生物が、浄水処理の工程において適切に除去されていなかったことが判明した。また、いずれの場合も、水道施設的设计、日常の

運転管理、職員の教育など複層的な問題点が指摘されていた。

WHO の濁度管理に関する技術文章にもあるように、濁度の挙動は浄水処理における凝集沈殿・ろ過プロセスが適切に機能しているか判断する上で重要な管理指標の一つであり、その推移を継続的に監視すべきである。また、水道原水や給配水における異常を検知する上でも有用な指標である。

一方で、濁度の値そのものは、病原微生物の存在状況を必ずしも反映しないため、濁度管理のみに依存した病原微生物リスクの制御には限界がある。この点において、既存の濁度管理技術に加えての紫外線消毒の適用は、有効性が高い技術手法であると考えられる。

### F. 研究発表

- 1 論文発表  
なし
- 2 学会発表  
なし

### G. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

### 参考文献

- 1) B. W. Mason, R. M. Chalmers, D. Carnicer-Pont and D. P. Casemorel: A *Cryptosporidium hominis* outbreak in North-West Wales associated with low oocyst counts in treated drinking water, *J. of Water and Health*, 8(2), 2010.
- 2) Stirling, R., Aramini, J., Ellis, A., Lim, G., Meyers, R., Fleury, M. & Werker, D.: Waterborne *Cryptosporidiosis*

Outbreak, North Battleford, Saskatchewan, Spring 2001, Canada Communicable Disease Report 27(22), 185-192, 2001.

- 3) The Honourable Justice Robert D. Laing, Commissioner: Report of the Commission of Inquiry into matter relating to the safety of the public drinking water in the City of North Battleford, Saskatchewan, 2002

<http://www.justice.gov.sk.ca/nbwater/final/pdfdocs.html>

- 4) World Health Organisation: Water

quality and health – Review of turbidity information for regulators and water suppliers, 2017

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/turbidity-technical-brief/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/turbidity-technical-brief/en/)

- 5) World Health Organisation: Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, 2011

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/)