

下水処理水のクリプトスポリジウム対策



下水道研究部 下水処理研究室 主任研究官 山下 洋正

1. はじめに

近年、狂牛病やO-157（病原大腸菌）による食中毒など、微生物による人の健康被害が大きな社会問題となっており、水や食品の安全性への関心が高まっている。

特にクリプトスポリジウムと呼ばれる病原微生物については、1996年に埼玉県越生（おごせ）町において水道水を原因とした9,000人近い集団感染が発生し、また、米国でもミルウォーキー市で40万人が感染するなど、国際的にも多数の感染事例が報告されており、大きな注意が払われている。

クリプトスポリジウムは下水道にも流入しているが、通常の下水処理プロセスでは完全には除去されず、一部が処理水中に生存したまま自然環境中に放流又は再利用されるため（図-1）人に感染をもたらす可能性がある。

特に都市域においては、人がクリプトスポリジウムの主要な感染者＝排出者であり、排泄物を通じて下水道に集約されることになるため、下水処理水について適切なクリプトスポリジウム対策を講じることが必要となっている。

2. クリプトスポリジウムとは

クリプトスポリジウムは、人間や哺乳動物（牛、豚、犬、猫、ネズミ等）の消化管内で増殖し、下痢等の症状を起こす感染症（クリプトスポリジウム症）をもたらす微生物（単細胞の寄生虫であり、アメーバと同じく原虫と呼ばれる）である。水環境中ではオーシスト（丈夫な殻に覆われた卵のようなもの）の形態で数ヶ月も生存する。人に寄生する種（*Cryptosporidium Parvum*）では、オーシストは大きさ千分の5ミリメートル程度の楕円形であり、細菌（例えば大腸菌は長さ千分の2ミリメートル程度の棒状）よりも大きい。検出は、顕微鏡による観察（図-2）の他、遺伝子的手法（PCR法）等が用いられるが、時間と労力、熟練を要する。

人がこのオーシストを含んだ水を飲むこと等により体内に取り込むと、スポロゾイトと呼ばれる虫体が遊離し、消化管内で増殖して数日から2週間程度続く下痢、腹痛、発熱等を引き起こすと同時に大量のオーシストを形成し、1日

に10億個ものオーシストが糞便とともに排出される。

健康者では免疫機構により自然治癒するが、免疫不全患者では重篤になり、死亡に至る場合もある。

クリプトスポリジウムのオーシストは上下水道の水処理で一般に用いられている塩素消毒に対して強い耐性を有する（大腸菌の1万倍以上）ことから、その削減のためには、凝集沈殿、砂ろ過、膜分離等の物理化学的除去や、紫外線、オゾン等の代替的消毒手法が必要となる。

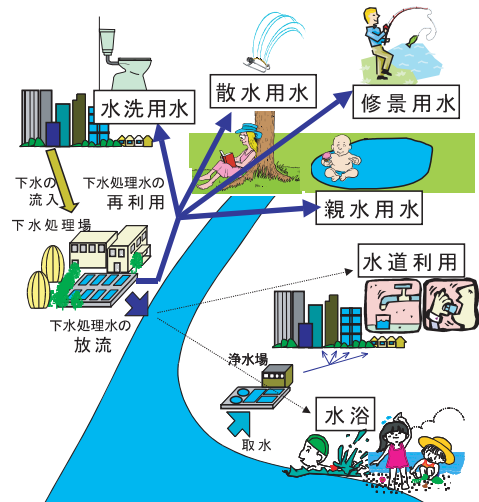


図-1 下水処理水の放流・再利用の影響

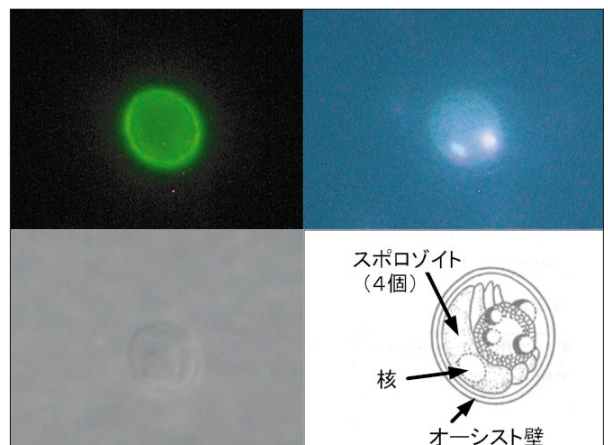


図-2 クリプトスポリジウムについて

左上：落斜蛍光顕微鏡像（青緑色の周縁がオーシスト壁）
 右上：DAPI染色像（内部で青白く光っているのが核）
 左下：微分干渉像（内部構造が見える） 右下：模式図¹⁾

3. 下水処理水のクリプトスポリジウムリスク評価

クリプトスポリジウム症は「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」により4類感染症として発生の状況及び動向の把握が行われるが、隔離や消毒等はなされないため、下水道が整備されている地域で人がクリプトスポリジウム症になると、トイレを通じてオーシストが下水処理場に流入してくることになる。

基本的な下水処理プロセスでは、二次処理（活性汚泥法）によってオーシストの約99%が除去され、残りの1%が二次処理水中に残存し、放流前の塩素消毒では死なないため、そのまま放流されることになる。再利用を行う際には、砂ろ過により有機物や懸濁物を除去して水質の向上を図るが、この際にさらに約70%が除去され、全体として流入下水のオーシストの0.3%程度が砂ろ過水（再生水）中に残存する。

我が国の既往最大感染事例である埼玉県越生町のケースをもとに検討した結果、流入下水の最高濃度は100万個/Lに達する可能性があることが分かった。但しこれは大規模な集団感染が発生した場合であり、普段ははるかに低い濃度で流入しているものと想定される。

下水処理水の継続的なモニタリングを行った結果、二次処理した放流水中の平均的なオーシスト濃度は1.6個/Lであり、二次処理水及び砂ろ過水中のオーシスト濃度は日々変動するが、全体としては対数正規分布という確率分布（濃度の対数値が、集団の身長や試験成績さらには多くの自然現象が従う一般的な確率分布である正規分布となる）に従うことが分かった。

このモニタリングデータ（対数正規分布モデル）を用いて、下水処理水によるクリプトスポリジウム曝露に由来する年間感染リスクについて、モンテカルロシミュレーション（確率的に発生する事象について、コンピュータを用いた乱数を発生させて行う仮想計算手法）を行った結果、リスクは 10^2 （年間の感染者が100人当たり1人）～ 10^5 （同10万人当たり1人）の範囲にあると推定された（図-3）。

なお、リスク計算では、オーシストの感染力、下水処理水の誤飲量や曝露回数等に仮定や文献値を用いている。また、感染しても発症しない場合もあるため、クリプトスポリジウム症のリスクはより低いことに留意が必要である。

現時点の結論としては、下水処理水中のクリプトスポリジウムによる人の健康リスクの現状は、年間の平均的な感染リスクとして顕著な問題のない範囲にあると考えられる。

4. リスク管理目標と対策

人の健康リスクについて、米国環境保護庁では年間リスクの目標値として 10^{-4} を提言しているが、その実現に要する費用と比較して十分な効果が得られるかどうかは不明な場合が多く、水系感染症の年間感染リスクとしては 10^2 程度が現実的な目標との提言が我が国でもなされている。

下水処理水中のクリプトスポリジウムによる健康リスクは、現状で年間平均 10^2 レベルは達成できているため、今後も年間平均としてこのレベルを超えないことを目標として継続的なモニタリングを行い、万一集団感染が発生した場合は、下水処理場に流入する大量のオーシストの削減（凝集剤添加による除去率向上等）を行うことが現実的な対策であると考えられる（図-4）。

今後、より高い目標レベルのリスク管理が社会的に要請されるようになった場合は、上下水道も含めた流域全体でのリスク管理を推進しつつ、技術の高度化、コスト低減の進展を踏まえて、紫外線、オゾン等のより高度な消毒施設の導入の検討が必要になるものと考えられる。

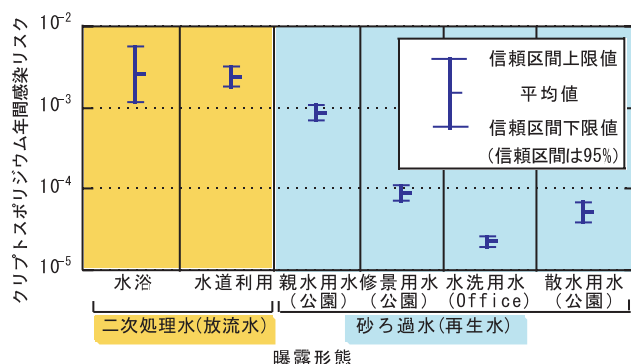


図-3 クリプトスポリジウムの年間感染リスクの推定

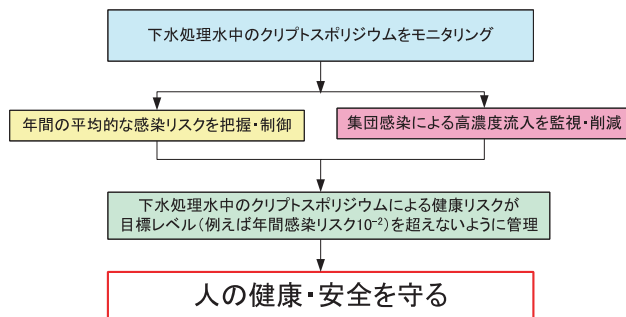


図-4 クリプトスポリジウム対策のイメージ

【参考文献】

1) Upton, S. J. & Current, W.L.: The species of Cryptosporidium (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) infecting mammals, J. Parasitol., 71:625-629, 1985 の原図より作成