



(公財)水道技術研究センター  
〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-28  
K. I. S 飯田橋ビル 7F  
TEL 03-5805-0264, FAX 03-5805-0265  
E-mail [jwrchot@jwrc-net.or.jp](mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp)  
URL <http://www.jwrc-net.or.jp>

## 体細胞性コリファージ及び ウェルシュ菌とその孢子の現状 (EUの報告書より -その2-)

### 本編

#### 4.4.3 ウェルシュ菌、クリプトスポリジウム・パルバム、及びジアルジア・ランブリアの環境 中での残存性

ウェルシュ菌の孢子や寄生原虫のオーシストの水生環境での生存に、環境要因（温度、日光、塩分、捕食、酵素分解など）が及ぼす影響を示した公式な評価結果は、現時点では存在しない。

ウェルシュ菌の孢子は、温度に対する耐性が高く、植物細胞よりもさらに耐性が高いことが示されている。Wang とその共同研究者らは、90～100℃の水中で10～20分間培養すると、ウェルシュ菌孢子の90%以上が不活化されることを示した<sup>135</sup>。一般に、温度の上昇は孢子の大幅な減少をもたらす。クリプトスポリジウムのオーシストは、低温状態（4～15℃）で7～18カ月間生存し、12週間以上感染性を維持する<sup>119,121</sup>。中温（20～25℃）では、8～12週間後に生存率が4log低下することが観察されている（King et al. 2015）。ジアルジアのオーシストは、8℃で77日間、21℃で26日間、37℃で6日間残存することが示されている<sup>130</sup>。また、クリプトスポリジウム・パルバムのオーシストは、凍結（ただし生存率は大幅に低下する）や海水への曝露など、さまざまな環境ストレスに耐えられるが、その一方で、乾燥に弱い。乾燥状態における活動を分析したところ、2時間後に生存していたオーシストはわずか3%であった<sup>136</sup>。凍結に耐えられるクリプトスポリジウムのオーシストとジアルジアのシストはごく一部である（ジアルジアのシストの1%未満が氷点下13℃の環境下で14日間凍結に耐えた）。

いくつかの研究では、河川や湖沼水中のジアルジアのシストの濃度の変動は、温度に依存する可能性があることが報告されている<sup>137-140</sup>。また、紫外線（UV）<sup>131,132</sup>への曝露や捕食<sup>133</sup>などの他の要因も、ジアルジアのシストの生存期間を短くする可能性がある。ジアルジアのシストの生存期間と、水のpH、溶存酸素、濁度、色、硬度、アンモニア、硝酸塩、リンなどの他の因子との間には、何ら関連性が見られなかった。

水中の感染性オーシストについて報告されている生存率（rates）は、研究によって大きく異なり<sup>124,125,141</sup>、検出方法によって変化する。ほとんどのオーシストは「空っぽ」であり、生存不能であるため、非感染性であると考えられる。

#### 4.4.4 水中におけるウェルシュ菌、クリプトスポリジウム・パルバム、ジアルジア・ランブリアの発生状況

クリプトスポリジウムやジアルジア・(オー)シストは、地下水や飲料水中ではそれほどでもないが、下水や地表水中では多く検出されており、特に米国とカナダにおいて、水系感染症の病因となること

が証明されている。

人獣共通感染症、人獣共通感染症の病原体、及び食中毒の傾向と発生源に関する欧州連合の概要報告書（欧州食品安全機関（EFSA）及び欧州疾病予防管理センター（ECDC）発行）の中で、クリプトスポリジウム及びジアルジア・（オー）シストと、いくつかの水系感染症の発生との関連性が報告されている。2010年にスウェーデンで発生した水系感染症には、クリプトスポリジウム・ホミニスが関わっていたことが分かっており（症例数 12,700）、2014年に英国で発生した水系感染症には、クリプトスポリジウム・パルバムが関わっていたことが分かっている（症例数 24）。これら感染症の発生においては、水処理が不十分であったことが指摘されているが、ほとんどの場合、その後の調査では病原体と水系感染症との関連について十分な証拠が示されなかった。さらに、欧州では、全ての国がクリプトスポリジウム症及びジアルジア症に関する最新の症例定義を使っているわけではなく、また、全ての国で監視システムが整備され、ECDC に対する報告がなされているわけでもない（2017年には、31カ国からなる欧州／欧州経済領域のうち、24カ国でジアルジア症の確定報告がなされ、25カ国でクリプトスポリジウム症の確定報告がなされた）。クリプトスポリジウム症及びジアルジア症の実際の発症数と、水に関連した症例数がそのうちいくつかあるのかを予測することは、非常に困難にみえる。その理由のひとつとして、クリプトスポリジウム・パルバム及びジアルジア・ランブリアに対する水中での定期的なモニタリングが、高額であることが考えられる。それゆえ、クリプトスポリジウム及びジアルジアが、欧州での水を媒介とする感染症の発生源であることを明示した地図データは、今のところ存在しない。

クリプトスポリジウムのオーシスト及びジアルジアのシストが除去されていることを確認するための、いくつかの代替物質（surrogates）の評価が行われている。代替物質のなかには、好気性細菌（枯草菌）及び嫌気性細菌（クロストリジア）の胞子が含まれており、とりわけ、亜硫酸塩還元性クロストリジアの胞子とウェルシュ菌の胞子は広く用いられている。ウェルシュ菌の胞子は、大腸菌や腸球菌<sup>142</sup>に比べて死滅速度が遅いため、河川水中のクリプトスポリジウム・パルバムのオーシストの存在を示す指標として提案されており、また、水処理の研究<sup>143</sup>においては、クリプトスポリジウムのオーシストの代替物質として提案されてきた。さらに、河川水中のジアルジアのシストの存在を示す指標としても提案されてきた。

Korajkic とその共同研究者<sup>144</sup>らは最近、水中のクリプトスポリジウム、ジアルジアのオーシスト、さらに他の病原体の存在の代替指標（単独又はコリファージと合わせて）としてのウェルシュ菌の使用について報告書を発表した（表 12）。淡水のレクリエーション施設及び給水施設計 25 箇所で実施された別の研究では、他の指標（大腸菌など）が存在する水のサンプルから、ウェルシュ菌が常に検出されるわけではないことが示され、ウェルシュ菌とクリプトスポリジウム及び／又はジアルジアの（オー）シストとの間には何の関係も認められなかった（表 12）<sup>145</sup>。総じてみると、淡水及び海水／汽水中において、11 件中 8 件の研究で、ウェルシュ菌の胞子とクリプトスポリジウム及び／又はジアルジアの（オー）シストとの間の関係は報告されなかった（表 12）。この結果は、水生生態系におけるクリプトスポリジウム及び／又はジアルジアの存在を示す指標として、ウェルシュ菌が最適な選択肢でない可能性を示唆している<sup>145-155</sup>。

表 12. 淡水及び海水/汽水中における糞便汚染指標としてのウェルシュ菌及び病原体との関係 (Korajkic et al., 2018<sup>144</sup> 及び Till et al., 2008<sup>145</sup> より改変)。

指標	病原体	場所	指標と病原体との関係	参考文献
淡水				
ウェルシュ菌	カンピロバクター属菌、サルモネラ属菌、緑膿菌、ジアルジア及びクリプトスポリジウムの (オー) シスト、エロモナス属菌	ドイツ：ルール川 (レクリエーション用水並びに飲料水の原水) 及びバリア湖	報告なし	Strathmann <i>et al.</i> , 2016 <sup>146</sup>
ウェルシュ菌	ヒトアデノウイルス、ジアルジア及びクリプトスポリジウムの (オー) シスト	フランス：河川	報告なし	Jacob <i>et al.</i> , 2015 <sup>147</sup>
ウェルシュ菌 (及び F 特異 RNA コリファージ)	リステリア・モノサイトゲネス、サルモネラ属菌、大腸菌 O157:H7、カンピロバクター属菌、クリプトスポリジウム及びジアルジアの (オー) シスト	ニュージーランド：クライストチャーチのエイボン川 (下水放流の影響)	F 特異 RNA コリファージは、ウェルシュ菌よりも、カンピロバクター属菌、ジアルジア及びクリプトスポリジウムのオーシストとより強い相関がある。	Devane <i>et al.</i> , 2014 <sup>148</sup>
ウェルシュ菌 (及び FIB)	クリプトスポリジウム及びジアルジアの (オー) シスト、サルモネラ、カンピロバクター	カナダ：サウス・ネーション川流域	ウェルシュ菌とクリプトスポリジウム及びジアルジア・オーシスト以外の病原体との間に、弱い正の相関。  クリプトスポリジウム及びジアルジアのオーシストと関係なし  ウェルシュ菌と FIB との間に弱い相関	Wilkes <i>et al.</i> , 2009 <sup>149</sup>
ウェルシュ菌及び F-RNA コリファージ	クリプトスポリジウム属菌、サルモネラ属菌、カンピロバクター属菌	ニュージーランド：レクリエーション及び給水場所	報告なし	Till <i>et al.</i> , 2008 <sup>145</sup>
ウェルシュ菌	リステリア・モノサイトゲネス、サルモネラ属菌	オーストラリア：パラマッタ湖 (レクリエーション用水)	報告なし	Roser <i>et al.</i> , 2006 <sup>150</sup>

指標	病原体	場所	指標と病原体との関係	参考文献
<b>海水/汽水中</b>				
ウェルシュ菌（及びF特異RNAコリファージ）	サルモネラ属菌、カンピロバクター属菌、クリプトスポリジウム及びジアルジア・オーシスト、アデノウイルス、腸管ウイルス	オーストラリア：メルボルンのドックランズ、サウス・ヤラ及びアボッツフォード河口	報告なし	Henry <i>et al.</i> , 2016 <sup>151</sup>
ウェルシュ菌	クリプトスポリジウム及びジアルジアのオーシスト	ベネズエラ：生活排水で汚染された海岸	有意な相関関係なし	Betancourt <i>et al.</i> , 2014 <sup>152</sup>
ウェルシュ菌（及びF特異RNAコリファージ）	ビブリオ・バルニフィカス、黄色ブドウ球菌、腸管ウイルス、ノロウイルス、A型肝炎ウイルス、クリプトスポリジウム及びジアルジアのオーシスト	米国：フロリダ州のマイアミ・デイド郡の海岸	報告なし	Abdelzaher <i>et al.</i> , 2011 <sup>153</sup>
ウェルシュ菌	ビブリオ・バルニフィカス、黄色ブドウ球菌、腸管ウイルス、ノロウイルス、A型肝炎ウイルス、クリプトスポリジウム及びジアルジアの（オー）シスト	米国：フロリダ州のヴァージニアキービーチ	報告なし	Abdelzaher <i>et al.</i> , 2010 <sup>154</sup>
ウェルシュ菌（及びコリファージ）	クリプトスポリジウム及びジアルジアの（オー）シスト、腸管ウイルス	米国：フロリダ州のサラソタ湾沿岸	報告なし	Lipp <i>et al.</i> , 2001 <sup>155</sup>

## 4.5 浄水処理中の除去又は不活化

ウェルシュ菌の胞子は環境中に残存し、下水処理中のクリプトスポリジウム及びジアルジアのオーシストの存在を示す代替物質としての信頼性が高いことから、浄水処理研究における代替指標として提案されている<sup>47,143</sup>。

米国の公共水道システムの場合、米国環境保護庁（USEPA）が、ろ過水におけるクリプトスポリジウムのオーシストの除去又は不活化率として  $2 \log$  以上（99%）、ジアルジア・ランブリアのシストの除去又は不活化率として  $3 \log$  以上（99.9%）を規定するとともに（1998年以降の「地表水処理規則」）<sup>156</sup>、使用される各処理プロセスに対しても、最低限守らなければならない処理性能を規定している。

表 13 は、ウェルシュ菌胞子及び両原虫のオーシストの物理的な不活化と消毒に関する主な研究を示したものである。浄水処理におけるウェルシュ菌胞子、クリプトスポリジウム・パルバムのオーシスト、及びジアルジア・ランブリアのシストの同時発生（co-occurrence）について論じた文献の数は、下水処理中の同生物の発生に関する文献に比べて非常に限られている。ほとんどの場合、浄水処理中のウェルシュ菌胞子の不活化は、寄生虫とではなく、大腸菌及びコリファージと一緒に（代替指標として）言及される。

凝集処理（Coagulation）は、クリプトスポリジウム及びジアルジアのオーシストに対する重要な浄水処理プロセスであり、除去率の下限は  $3 \log$  である<sup>9</sup>。この値は、凝集処理と溶解空気浮上法（DAF）を用いた原虫のオーシストの除去率が  $1.08 \sim 1.7 \log$  であった別の研究結果とは大きく異なる<sup>157</sup>。評価された処理プロセスは、ウェルシュ菌の胞子に使われた凝集処理と浮上（flotation）を組み合わせた処理プロセスよりも効率的であるように思われる<sup>158</sup>。

理想的な指標であるには、原水中の濃度が（オー）シストと同じで、また、不活化（除去）率も同じであることが望ましい。Hijnen らは当初、亜硫酸還元性クロストリジウム（SRC）の胞子の除去率を、 $2 \log$  の除去率（99%）として評価した<sup>159</sup>。彼らは、異なる処理プロセス後における胞子の濃度を見極めるために、さらに多量の水を使用した。水中の病原体を低減させるために適用した処理プロセスの全てがどれも同じ効果を有しているわけではなかったが、その差は他の処理プロセスと組み合わせることで補われ、その結果、検出された病原体の数は、許容される数値（疫学的調査を実施したあとで決定された数値）を下回った。Hijnen らは、低温時及びオゾン処理中のウェルシュ菌とクリプトスポリジウム・パルバムの不活化速度が、ほぼ同じであることを見てとった<sup>160</sup>。クリプトスポリジウム・パルバム及びジアルジア・ランブリアのオーシストは、クロストリジウム・ビファーメンタンスの胞子（SRCの他種）よりも、粒状活性炭ろ過による影響を受けやすかった<sup>161</sup>。また、化学的な消毒や紫外線に対する耐性が高く、クリプトスポリジウム・パルバムのオーシストは、ウェルシュ菌の胞子よりも遊離塩素に対する耐性が高い一方で、混合酸化剤（消費者にとって有害となる副産物を生成しないと考えられている）を使用した場合の不活化率は同程度であった<sup>143</sup>。クリプトスポリジウム・パルバムのオーシストとジアルジア・ランブリアのシストは、ウェルシュ菌の胞子よりも紫外線による影響を受けやすい<sup>162</sup>。

いくつかの研究結果によれば、浄水処理プロセスは、指標と病原体に対して同じ不活化率を示さない。クロストリジウム属菌の胞子については、Hokajärvi ら（2018）が、パイロットスケールの浄水場では  $5.2 \sim 7.5 \log$  の除去率、フルスケールの浄水場では  $0.8 \sim 3.1 \log$  の平均除去率であったと報告している<sup>158</sup>。これらの結果が水道事業者に示しているのは、水処理システムが常に効果的であるように管理すると同時に、特定の処理プロセスで障害が発生しても直ちに是正措置を講じられるように、各処理プロセスの効果をきちんと理解したうえで水安全計画（WSP）を策定することの重要性である。

ウェルシュ菌の胞子と寄生虫（オー）シストの不活化率を比較することは、評価の対象となる水処理システムの材質、薬品投与量及び接触時間の違いにより、しばしば困難である。ウェルシュ菌の胞子が、浄水処理中のクリプトスポリジウム及びジアルジアの（オー）シストの存在を示す代替物質として信頼に足るかを結論づけるには、今後の研究成果を待たなければならない。

表 13. 水処理プロセス中のウェルシュ菌の孢子（又はクロストリジウム・ビファーメンタンス、又は亜硫酸還元性クロストリジア(SRC))、クリプトスポリジウム・パルバム及びジアルジア・ランブリアの（オー）シストの log 除去率の平均

処理方法	ウェルシュ菌孢子 (*クロストリジウム・ビ ファーメンタンス、 **SRCを除く)	クリプトスポリジウ ム・パルバムのオー シスト	ジアルジア・ランブリア のシスト	コメント	参考文献
凝集		> 2.90	> 3.2		カナダ飲料水水質ガイドラ イン、2019年 <sup>9</sup>
凝集及び浮上	1.9～2.4				Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>
凝集、溶解空気浮 上法 (DAF)		1.08～1.42	1.31～1.79		Andreoli and Sabogal-Paz, 2019 <sup>157</sup>
砂ろ過： ・緩速砂ろ過	3.6	4.7		・クリプトスポリジウム・パルバムは、ウェルシュ菌よりも緩速砂ろ過の 影響を受けやすい。 ・ウェルシュ菌の孢子の方がより効率的に砂に付着していることから残存 性が高いため、緩速砂ろ過によるオーシストの除去を確認する代替物質と して、SRCの孢子は不向きである（控えめすぎる）。	Hijnen <i>et al.</i> , 2007 <sup>163</sup>
・急速砂ろ過	1.0～1.2				Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>
オゾン処理	0.8**～0.2	0.8		同程度	Hijnen <i>et al.</i> , 2002 <sup>160</sup> Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>
粒状活性炭ろ過	0.9～1.1*	1.1～2.7	2.0～2.2	クリプトスポリジウム・パルバム及びジアルジア・ランブリアのオーシス トは、クロストリジウム・ビファーメンタンスの孢子よりも、(新しい又は 使い古された)粒状活性炭によるろ過の影響を受けやすい。	Hijnen <i>et al.</i> , 2010 <sup>161</sup>
	-0.03～0.9				Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>
紫外線消毒 (範囲)	3 (48～64 mJ/cm <sup>2</sup> )	3 (13 mJ/cm <sup>2</sup> )	2.5 (1.5 mJ/cm <sup>2</sup> )	クリプトスポリジウム・パルバム及びジアルジア・ランブリアのオーシス トは、ウェルシュ菌の孢子よりも紫外線の影響を受けやすい（不活化に必 要なエネルギーが少ない）。	Hijnen <i>et al.</i> , 2006 <sup>162</sup>
化学的消毒： ・塩素消毒 ・遊離塩素(4時間後) ・混合酸化剤	0.05 (国際的)				Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>
	1.4	0		クリプトスポリジウム・パルバムはウェルシュ菌よりも遊離塩素に強い。	Venczel <i>et al.</i> , 1997 <sup>143</sup>
	3	3		混合酸化剤による類似の不活化が観察される。	Venczel <i>et al.</i> , 1997 <sup>143</sup>
紫外線＋塩素消毒	0.3～3.1				Hokajärvi <i>et al.</i> , 2018 <sup>158</sup>

#### 配信先変更のご連絡等について

「JWRC水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記までE-メールにてご連絡をお願いいたします。

〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-28 K.I.S飯田橋ビル7F (公財) 水道技術研究センター ホットニュース担当

E-MAIL : [jwrchot@jwrc-net.or.jp](mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp)

TEL 03-5805-0264 FAX 03-5805-0265

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

#### 水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー（第58号以降）は、下記アドレスでご覧になれます。

バックナンバー一覧 <http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/hotnews-r2.html>

#### 水道ホットニュースの引用・転載について

水道ホットニュースの引用・転載等を希望される方は、上記ホットニュース担当までご連絡をお願いいたします。

なお、個別の企業・商品・技術等の広告にはご利用いただけません。