

全国データによる浄水場原水・浄水の原虫汚染状況と感染リスク評価の試み

猪又明子*, 保坂三継**, 矢口久美子*

Contamination of Raw and Drinking Water by Protozoan Parasites and An Attempt on Risk Assessment of Infection Caused by Drinking Water Consumption

Akiko INOMATA*, Mitsugu HOSAKA** and Kumiko YAGUCHI*

Keywords : クリプトスポリジウム *Cryptosporidium*, ジアルジア *Giardia*, 原水 raw water, 浄水 drinking water, リスク評価 risk assessment

はじめに

平成8年に埼玉県越生町で発生したクリプトスポリジウム (*Cryptosporidium parvum*) 集団感染を契機に、クリプトスポリジウムやジアルジア (*Giardia lamblia*) への対策が進められている。これらの原虫類は、経口感染によりヒトに下痢や腹痛を引き起こし、糞便中に多量に排出される。これらの原虫のオーシストやシストは環境中で長期間生残するうえ、塩素消毒に対する耐性が高い。とりわけクリプトスポリジウムのオーシストは水道水の塩素消毒では不活化がほとんど期待できない。このため水道水や水道原水における出現状況に基づくリスクアセスメント¹⁾により、水道水の感染リスクや浄水処理効果などを評価し、より安全な処理対策に結びつけることが有効である。このような視点から、本稿では全国レベルで浄水場原水ならびに浄水における原虫類の調査データを収集・解析し、原虫汚染状況について考察するとともに、感染リスク評価を試みた。なお、以下にクリプトスポリジウム及びジアルジアとあるのは、すべて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のことである。

調査方法

1. 浄水場原水・浄水における原虫類検査データ

浄水場原水・浄水における原虫類検査データは、全国の水道事業者のうち水質検査結果を公表している事業者の水質年報等から収集した。データ収集の対象期間は平成9年度から13年度、原水については表流水を対象とした。データを収集できた事業者数は表1、表2に示すとおりである。

2. 原虫類の累積出現確率の算出

原虫類の累積出現確率は、各浄水場原水における原虫類の検査結果を基にデータ処理ソフト (KaleidaGraph 4.0, ヒューリンクス社) を用いて算出し、グラフ化した。

3. 浄水場施設規模、浄水残留塩素濃度等のデータ

都内浄水場の施設規模等に関するデータは東京都福祉保健局の「東京都の水道 平成17年版」から入手した。浄水の残留塩素濃度は、平成17年度に実施した水道における感染性微生物に関する行政検査の際のデータを用いた。

結果及び考察

1. 水道原水

1) **原虫類検査状況** クリプトスポリジウムは19都道府県の29事業者によってのべ163浄水場1,922試料で調査され、150試料 (7.8%) から検出された (表1)。ジアルジアは16都道府県の21事業者によってのべ130浄水場1,163試料について調査され、114試料 (9.8%) から検出された (表2)。どちらの原虫も、検出例は大都市圏に集中しており、検出濃度レベルは $10^0 \sim 10^1$ 個/10 Lのオーダーであった。それぞれの調査の頻度、原水に対する汚染源の状況など検出率に影響を与える因子については不明であるが、平常時のわが国における水道原水の原虫汚染レベルは $10^0 \sim 10^1$ 個/10 Lのオーダーを大きく超えることはないと考えられる。ただし、クリプトスポリジウムで92%、ジアルジアで90%を占める非検出試料の多くが「水道に関するクリプトスポリジウムのオーシストの検出のための暫定的な試験方法」(厚生省、平成10年) (以下、「暫定的な試験方法」という) で原水を試験する場合の採水量の標準とされた10 Lで調査されており、この試験方法の回収率²⁾ (平均回収率19.4%) 等から判断して、採水量10 Lの調査では 10^0 個 (=1個) /10 Lのオーダーの汚染状況を正確に把握することは困難であると考えられる。また今回のデータでは大都市圏での検出例が多いが、これには検査頻度や水道事業者の検査体制、検出能力などが影響しているものと考えられる。

2) **原虫類検出結果に及ぼす検査水量の影響** これらの

* 東京都健康安全研究センター環境保健部水質研究科 169-0073 新宿区百人町3-24-1

* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health

3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

** 東京都健康安全研究センター多摩支所微生物研究科

表 1. 水道原水のクリプトスポリジウム調査結果概要 (平成9年度～13年度)

都道府県名	事業体数	浄水場数	陽性/検査数	濃度範囲 (個/10 L)	検査水量 (L)
北海道	1	5	ND/10		10
青森	1	3	ND/81		10, 20, 40
宮城	2	14	4/67	1～14	10, 20
新潟	1	4	ND/30		10, 20
埼玉	1	12	1/24	1	10
東京	1	28	54/293	1～11	10
神奈川	5	13	43/141	1～26	10
千葉	2	6	6/57	1～6	10
茨城	1	7	ND/30		20, 40
長野	1	3	ND/3		20
愛知	2	15	2/57	1～7	5, 10, 20
奈良	1	2	ND/51		10
大阪	3	7	28/337	1～14	10
山口	1	3	ND/18		10, 20, 40
香川	1	5	ND/180		10
福岡	2	13	2/263	1	10
長崎	1	12	ND/46		10
宮崎	1	3	5/144	1～4	20
沖縄	1	8	5/90	1～2	10
計 (範囲)	29	163	150/1,922	(1～26)	(5～40)

ND : 検 出 せ ず

表 2. 水道原水のジアルジア調査結果概要 (平成9年度～13年度)

都道府県名	事業体数	浄水場数	陽性/検査数	濃度範囲 (個/10 L)	検査水量 (L)
北海道	1	5	ND/10		10
青森	1	3	1/81	1	10, 20, 40
宮城	1	11	18/57	1～8	10
新潟	1	4	9/30	1～23	10, 20
埼玉	1	12	2/24	1～2	10
東京	1	28	65/293	1～10	10
神奈川	5	13	14/106	1～4	10
茨城	1	7	ND/30		20, 40
長野	1	3	ND/3		20
愛知	2	15	ND/41		5, 10, 20
奈良	1	2	ND/51		10
大阪	1	1	ND/12		10
香川	1	5	ND/180		10
福岡	1	6	5/55	1～3	10
長崎	1	12	ND/46		10
宮崎	1	3	ND/144		20
計 (範囲)	21	130	114/1163	(1～23)	(5～40)

ND : 検 出 せ ず

調査のうち、検査試料数と陽性試料数の多い5水系（荒川、多摩川、相模川、江戸川、淀川）から取水されている原水について、クリプトスポリジウムの検出状況の詳細を表3に、ジアルジア検出状況の詳細を表4に示した。5水系の原水におけるクリプトスポリジウム陽性率は5～75%、陽性

試料の濃度範囲は1～26個/10Lであった。ジアルジアの調査は淀川以外の4水系で行われており、陽性率は0～56%、陽性試料の濃度範囲は1～11個/10Lであった。これらの調査の検査水量は全て10Lであった。

一方、Hashimotoら³⁾は、相模川から原水を取水するある

浄水場（以下、CA浄水場という）において、限外ろ過膜を用いて原水100 Lを調査した結果を報告している。この調査結果を相模川水系の原水C1～C4のデータと比較することにより、水道原水の原虫類検出結果に及ぼす検査水量の影響を検討した。

表3及び表4にはCA浄水場原水の原虫類調査結果も合わせて表示している。100 Lで調査されたCA浄水場原水における原虫類濃度の最小値と最大値の範囲は、クリプトスポリジウムで16～150個/100 L、ジアルジアで4～58個/100 Lであり、これは10 Lで調査された浄水場C1～C4でのクリプトスポリジウム濃度1～26個/10 L、ジアルジア濃度1～4個/10 Lと同等の濃度であった。また陽性試料における検出濃度の幾何平均値については、CA浄水場原水のクリプトスポリジウムで40個/100 L、ジアルジアで17個/100 Lであり、これ

もC1～C4でのクリプトスポリジウム1.7～5.1個/10 L、ジアルジア1.4～4.0個/10 Lの範囲内であった。しかし陽性率については、10 Lで調査されたC1～C4ではクリプトスポリジウム47～75 %、ジアルジア17～32 %であるのに対して、100 Lで行われたCA浄水場原水ではクリプトスポリジウム100 %、ジアルジア92 %であり、大きく異なっていた。

これら5水系の原水におけるクリプトスポリジウム濃度の累積出現確率分布を図1に、4水系の原水におけるジアルジア濃度の累積出現確率分布を図2に示す。なお、相模川以外の水系については全ての浄水場のデータを一括してプロットした。検出された濃度範囲においては、クリプトスポリジウム、ジアルジアともにおおむね対数正規分布の形態を示した。しかし、クリプトスポリジウムでは全ての水系でおおむね3～5個/10 L付近を境に、低濃度域のプロットが

表 3 . 5 水系原水のクリプトスポリジウム出現状況（平成9年度～13年度）

水系名	荒川				多摩川				相模川				江戸川					淀川		
	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	CA	D1	D2	D3	D4	D5	E1	E2	E3			
浄水場	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	CA	D1	D2	D3	D4	D5	E1	E2	E3			
検査数	65	17	19	19	27	12	15	9	13	34	32	4	17	17	67	67	67			
陽性数	22	3	1	5	17	9	7	6	13	9	12	2	2	2	8	12	8			
陽性率 (%)	34	18	5	26	63	75	47	67	100	26	38	50	12	12	12	18	12			
最小値*	1	1	6	1	1	1	1	1	1.6	1	1	1	1	1	1	1	1			
最大値*	12	10	6	2	26	10	15	3	15	7	9	6	3	4	14	14	11			
全試料算術平均*	1.1	1.1	0.3	0.3	4.3	4.7	1.9	1.2	—	0.6	1.2	1.8	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4			
標準偏差*	2.1	2.9	1.3	0.6	7.1	3.8	3.8	1.0	—	1.4	2.2	2.5	0.7	1.0	1.9	1.9	1.6			
陽性試料幾何平均*	2.6	4.3	6.0	1.1	4.5	5.1	2.4	1.7	4.0	3.5	2.2	2.4	1.7	2.0	2.3	2.0	2.8			
陽性試料算術平均の標準偏差*	2.5	3.9	0.0	0.4	6.7	3.0	4.7	0.7	—	2.2	2.6	2.5	1.0	1.5	4.3	3.6	3.0			

*単位：個/10L

CA : Hashimoto et al. (2002)³⁾ による CA 浄水場原水のデータ

表 4 . 4 水系原水のジアルジア出現状況（平成9年度～13年度）

水系名	荒川				多摩川				相模川				江戸川	
	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	CA	D1	D2			
浄水場	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	CA	D1	D2			
検査数	65	17	19	19	25	12	4	7	13	34	32			
陽性数	28	1	0	1	8	2	1	2	12	16	18			
陽性率 (%)	43	6	0	5	32	17	25	29	92	47	56			
最小値*	1	2	0	1	1	1	1	2	0.4	1	1			
最大値*	5	2	0	1	4	2	1	3	5.8	6	11			
全試料算術平均*	1.0	0.1	ND	0.1	0.7	0.3	0.3	0.7	—	1.1	1.5			
標準偏差*	1.4	0.0	—	0.0	1.2	0.5	0.0	0.5	—	1.4	2.6			
陽性試料幾何平均*	2.0	2.0	ND	1.0	1.9	1.4	4.0	2.4	1.7	1.9	1.9			
陽性試料算術平均の標準偏差*	1.5	0.5	—	0.2	1.2	0.6	0.4	1.2	—	1.5	2.4			

*単位：個/10L

CA : Hashimoto et al. (2002)³⁾ による CA 浄水場原水のデータ

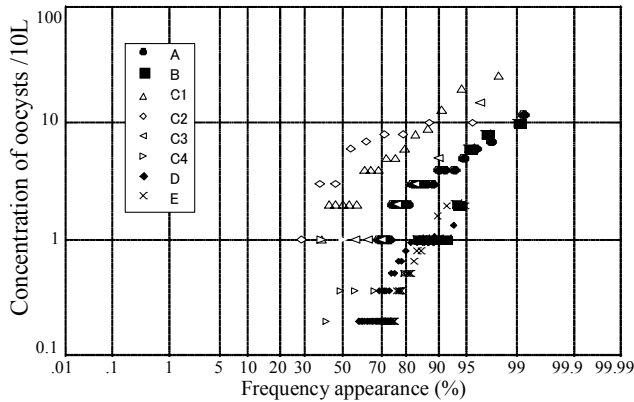


図1. 荒川水系(A)・多摩川水系(B)・相模川水系(C)・江戸川水系(D)・淀川水系(E)の原水におけるクリプトスポリジウム濃度累積出現分布

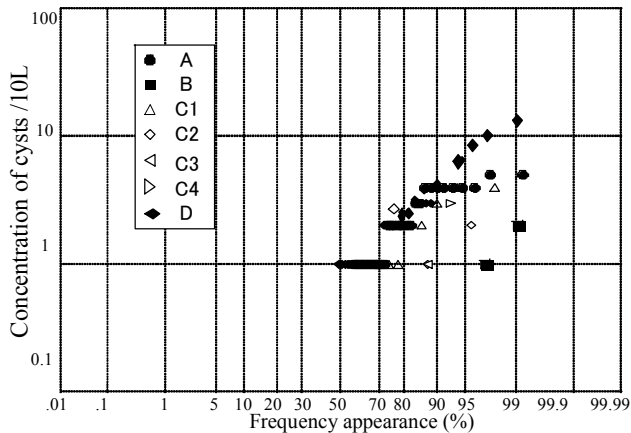


図2. 荒川水系(A)・多摩川水系(B)・相模川水系(C)・江戸川水系(D)の原水におけるジアルジア濃度累積出現分布

検出限界 (1個/10 L) 以下に急傾斜しており、その結果、相模川水系のC1~C4では30~70%の試料で、他の水系にいたっては70~90%の試料で検出限界 (1個/10 L) 未満となった (図1)。それに対して、C1~C4と同じく相模川水系の原水100 Lについて調査したCA浄水場原水では累積出現確率分布のプロットは高濃度から低濃度までほぼ一直線上に分布し、1個/10 L未満となる試料がないことが示されている³⁾。ジアルジアについては検出濃度の範囲が狭いために明確でないが、検出件数の多い荒川水系や相模川水系の一部ではクリプトスポリジウムとほぼ同様な傾向が認められた (図2)。

こうしたことから、検査水量10 Lでは原水の正確な陽性率と濃度分布の把握が困難であることが推測され、検査水量を増やすことにより原水中の原虫の存在状況をより正確に把握できると考えられる。

2. 浄水

1) 原虫類検査状況 クリプトスポリジウムは15都道府県の25事業体によってのべ131浄水場1,843試料、ジアルジアは13都道府県の19事業体によってのべ113浄水場1,344試料で調査され、結果は全て不検出であった。検査水量は10~50 Lであり、なかでも20 L及び40 Lで検査を行っている事業体が多かった。

2) 原虫類検出結果に及ぼす検査水量の影響 前述の

相模川水系を原水とするCA浄水場については、Hashimotoらによって、限外ろ過膜を用いて検査水量2,000 Lで浄水を調査した結果が報告されている³⁾。それによれば、クリプトスポリジウムは26試料中9試料から検出範囲0.5~2個/1,000 L、陽性試料の幾何平均値0.8個/1,000 Lの濃度で検出され、ジアルジアは3試料から検出範囲0.5~8個/1,000 L、陽性試料の幾何平均値1.2個/1,000 Lの濃度で検出された。また調査期間中、CA浄水場は適切に運転管理されていたという。この調査結果から、 $10^0 \sim 10^1$ 個/10 Lのオーダーでクリプトスポリジウムを含む原水を処理している浄水場でも、浄水中の原虫類濃度は最大で10個/1,000 L程度であり、この濃度レベルは「暫定的な試験方法」で水道水を試験する場合の標準的な採水量である20 Lでは0.2個に相当し、ほとんど検出されない濃度であることが示された。したがって、浄水中の原虫類濃度を正確に把握し、浄水処理による原虫類除去効果を評価するためには、浄水の検査水量を増加した調査が必要と考えられる。

3. 水道水の原虫汚染レベルに基づく感染リスク評価

1) クリプトスポリジウム クリプトスポリジウムには塩素消毒がほとんど効かないため、浄水処理による除去後に浄水中に残存するクリプトスポリジウムの濃度に基づいて、日本水環境学会「水中の健康関連微生物研究委員会」が提案したクリプトスポリジウム基準値⁴⁾により感染リスクの評価を試みた。日本水環境学会「水中の健康関連微生物研究委員会」は許容感染確率 10^{-2} /年に対応する水道水のクリプトスポリジウム基準値を、①水道水の摂取量は1L/日で常に一定、②水道水中のクリプトスポリジウム濃度は常に一定、③塩素消毒は実質的に無効、④検出されたクリプトスポリジウムは全て感染力があり、感染力は一定、⑤用量反応モデルは免疫正常な健康成人で得られた式を適用、⑥個体差による不確実係数10、との仮定に基づいて、「1個/m³」と提案した⁴⁾。また、この基準値「1個/m³」の運用として、許容感染確率 10^{-2} /年を「日感染確率の年間総和」とみなせば、この基準値は年平均値扱いとなるので、原虫類の出現確率分布から、実質上年平均値を「1個/m³」以下にするための具体的な基準値として、決して超えてはならない最大許容濃度「1個/100 L (10個/m³)」を提案した⁴⁾。2) 2)で引用したCA浄水場の浄水の調査結果³⁾をこの基準に当てはめると、浄水のクリプトスポリジウム濃度は基準値「1個/m³」を超える可能性がわずかにあるが、最大許容濃度基準「1個/100 L (10個/m³)」を超えることはなく、許容感染確率 10^{-2} /年に対応したリスク管理がなされていると判断できる。しかしながら、CA浄水場以外の浄水データでは、2) 1)で述べたように10~50 Lと検査水量が少ないために、この基準に照らした評価を行うことができない。

そこで、表1に示した原水のデータを用いて浄水のクリプトスポリジウムレベルを推定し、評価を試みた。過去の集団感染事例では、水源での突発的な高濃度汚染が原因として推定されていることから、リスクの高いケースを想定

して、浄水場ごとの原水のクリプトスポリジウム濃度の最大値を用いて累積出現確率分布図を作成した(図3)。また、ろ過などの浄水処理による微生物の除去率は、原水中の濃度に対する浄水における残存率の逆数に対する常用対数で表示される。例えば、除去率 $2 \log_{10}$ とは、浄水に残存する微生物濃度が原水の100分の1であることを意味する。CA浄水場におけるクリプトスポリジウム平均除去率 $2.47 \log_{10}$ ³⁾や、他の報告における急速ろ過法による除去率(平均 $2.38 \log_{10}$ ⁵⁾, 平均 $4.7 \log_{10}$ ⁶⁾, $>2.3 \log_{10}$ ⁷⁾, $2.0 \log_{10}$ ⁸⁾, $>2.7 \log_{10}$ ⁹⁾)を考慮すると、実施設での浄水処理によるクリプトスポリジウムの物理的除去は $2 \sim 3 \log_{10}$ と推定できる。そこで、リスクの高いケースを想定した原水を $2 \log_{10}$, $2.5 \log_{10}$ 及び $3 \log_{10}$ の3水準の除去率で浄水処理したときの浄水での推定濃度分布を図3にあわせて示した。

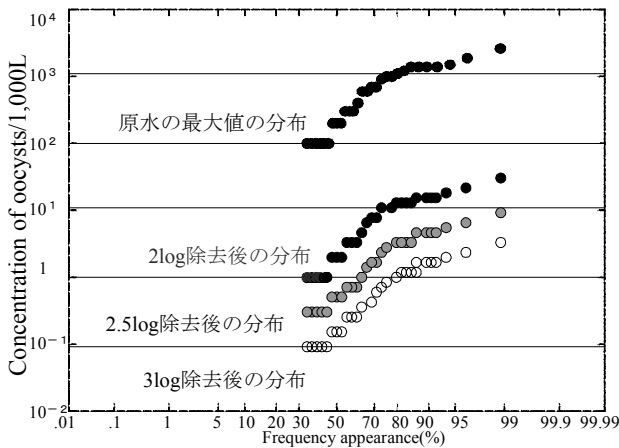


図3. 原水クリプトスポリジウム最大値の累積出現確率分布と浄水濃度の予測

この図から、除去率 $2 \log_{10}$ では約50%で、 $3 \log_{10}$ では約20%で浄水中のクリプトスポリジウム濃度が基準値「1個/m³」を超える可能性がある。また、最大許容濃度の「1個/100 L (10個/m³)」を適用すると、除去率 $2.5 \log_{10}$ では99%がこの濃度以下に収まるが、除去率 $2 \log_{10}$ では約25%の浄水中にこれを上回るクリプトスポリジウムが含まれる可能性があることがわかる。

越生町での事件以後、日本では水道水を原因とするクリプトスポリジウムの集団感染は発生していない。しかし急速ろ過や緩速ろ過処理を行っている上水道や簡易水道の浄水から原虫類が検出されて給水停止になった事例は、1996年の越生町での事件以降も2002年まで毎年発生している²⁾。したがって、豪雨による流出や集団感染の発生などによって引き起こされる、クリプトスポリジウム濃度の高いハイリスクな原水に対しても、クリプトスポリジウム感染リスクを 10^{-2} /年以下に維持するためには、除去率 $2.5 \log_{10}$ 以上の浄水処理を確実に実施するか、あるいはクリプトスポリジウムに対する不活化効果の高い消毒処理を追加的に導入する必要があると考えられる。

2) **ジアルジア** ジアルジアは大腸菌などの細菌に比べてはるかに塩素耐性が大きい、クリプトスポリジウムとは異なり、十分な消毒処理が加えられれば塩素により不活

化することができるため、浄水処理後の残留塩素との接触による不活化のレベルに基づいて感染リスクの評価を試みた。所定の不活化率を得るために必要な消毒剤濃度(C: mg/L)と接触時間(T: 分)の積はCT値と呼ばれ、単位はmg・min/Lで表す。同一の不活化率を得るために必要なCT値は、一般に低水温・高pH・高塩素濃度になるほど大きくなる。

塩素によるジアルジアの不活化CT値については、 $2 \log_{10}$ 不活化で $60 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$ (15°C, pH 7, 塩素濃度 $1 \text{ mg} / \text{L}$)¹⁰⁾, $100 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$ (10°C, pH 7~7.5)¹¹⁾, $80 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$ (10°C)¹²⁾, $4 \log_{10}$ 不活化で $221 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$ (5°C, pH 7.5)¹³⁾などの報告がある。また、原虫の検出事例はこれまで簡易水道などの小規模な水道で多く報告されている²⁾。そこで、都内の小規模な水道として奥多摩地区及び島嶼の浄水場を例に、浄水池及び配水池での滞留時間と浄水の遊離残留塩素濃度から期待されるCT値を試算し、塩素消毒による不活化効果について評価した。

表5には、これらの浄水場のうち単一の送水系統を持ち、浄水池及び配水池等での滞留時間を算出することが可能であった8箇所の浄水場を示した。これら8浄水場の浄水池及び配水池での滞留時間は4.1時間から48時間まで大きく異なり、それぞれの浄水の遊離残留塩素濃度 $0.1 \sim 1.0 \text{ mg} / \text{L}$ から算出された期待CT値は $49 \sim 864 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$ であった。このCT値によるジアルジアの不活化率をPontius (1993)¹⁰⁾のデータ(水温15°C, pH 7.5, 遊離残留塩素 $1 \text{ mg} / \text{L}$ における $2 \log$ 不活化に必要なCT値 $60 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{L}$)に基づいて算出すると、 $1.6 \sim 28.8 \log_{10}$ となった。

水道施設設計指針(2000)¹⁴⁾(以下、「設計指針」という)では、浄水池を計画浄水量の1時間分以上、配水池を12時間分以上の容量とするとされている。浄水池及び配水池での残留塩素濃度を $0.5 \text{ mg} / \text{L}$ と仮定すると、「設計指針」に従って設計された浄水場では、浄水池で $1 \log_{10}$ 、配水池で $12 \log_{10}$ の不活化が期待できる。また、「水道水中のクリプトスポリジウム暫定対策指針」(平成10年、厚生省)の注に示された配水池有効容量全国平均による滞留時間は9.4時間であり、配水池での残留塩素濃度を $0.5 \text{ mg} / \text{L}$ と仮定すると、約 $9 \log_{10}$ 程度の不活化が期待できる。

こうした「設計指針」や配水池有効容量全国平均と比較すると、これら8浄水場の一部では浄水池及び配水池での滞留時間が大幅に短く、加えて浄水残留塩素濃度が $0.1 \sim 0.2 \text{ mg} / \text{L}$ と非常に低いために期待CT値が小さくなっている。このため、万一浄水中にジアルジアが漏出した場合、十分な不活化ができない可能性があると考えられる。

これまで原虫の検出による給水停止事例に関わった簡易水道などの小規模な水道の多くが湧水や地下水を水源としており²⁾、本研究での検討例とした浄水場でも浄水池及び配水池での滞留時間が短く、また期待不活化率が小さい浄水場は地下水・湧水系の浄水場であった。これらの浄水場ではろ過等の浄水処理を行っておらず、塩素消毒のみが感染性微生物に対するバリアーである。こうした浄水場においてジアルジアによる感染リスクを制御するためには、水

表5. 都内小規模浄水場における塩素消毒によるジアルジア期待不活化率

浄水場名	水源・浄水処理施設能力 ¹⁾ (m ³ /日)	時間能力 (m ³ /hr)	浄水池+配水池容量 ¹⁾ (m ³)	滞留時間 (hr)	浄水塩素濃度 ²⁾ (mg/L)	期待CT値 (mg・min/L)	期待不活化率 ³⁾ (log ₁₀)	
A	表流水・緩速ろ過	190	8	210	26.5	0.4	636	21.2
B	表流水・緩速ろ過	400	17	250	15.0	0.8	720	24.0
C	浅井戸・塩素のみ	1200	50	700	14.0	0.2	168	5.6
D	表流水・塩素のみ	235	10	40	4.1	0.2	49	1.6
E	湧水・塩素のみ	40	2	80	48.0	0.3	864	28.8
F	深井戸・塩素のみ	300	13	160	12.8	1.0	768	25.6
G	湧水・急速ろ過	255	11	180	16.9	0.3	304	10.1
H	表流水・緩速ろ過	120	5	200	40.0	0.1	240	8.0

¹⁾ 東京都の水道 平成17年版

²⁾ 平成17年度水質検査時のデータ

³⁾ Pontius, 1993¹⁰⁾ に基づく計算値

道水の味に影響しない範囲で残留塩素濃度を現状よりも高く設定する、紫外線消毒などの新たな消毒設備を導入するなどの対応が必要と考えられる。

なお、水道事業体の中には水道水のおいしさの観点から残留塩素濃度を下げようとする動きがある。特に配水過程で塩素濃度の減少が少ない冬季に浄水場出口の塩素濃度を低下させる傾向がある。しかしながら、冬季は水温が低く、塩素の消毒力が低下する。また一般的に冬季は河川流量が少なく、河川水に占める下水処理水の相対割合が増加するために、原水中のジアルジア数が増加する。加えて、低水温下では急速ろ過処理で最も重要な凝集が不良となりやすく、河川水を原水とする浄水場では原虫の除去率が低下し、浄水中に原虫が残存することが懸念される。このような場合でもジアルジアを十分除去できるように浄水処理を確実に実施し、さらに残留塩素濃度を確保することにより、安全な水道水を供給する必要がある。

ま と め

全国の水道原水及び浄水における原虫類の調査結果を取りまとめ、感染リスク評価を試みた。

- 1) 全国の水道原水における原虫濃度レベルは10⁰~10¹個/10 Lのオーダーであった。原水の多くは検査水量10 Lで調査されており、検査水量100 Lで行われた既往の調査結果との比較により、10⁰個/10 Lレベルの汚染状況を正確に把握することは困難と考えられた。
- 2) 浄水は検査水量10~50 Lで調査されており、全試料で原虫類は検出されなかった。既往の調査結果との比較により、この検査水量では浄水の汚染状況の把握はできないと考えられた。
- 3) 原水中のクリプトスポリジウム濃度が上昇した場合でも感染リスクを10⁻²/年に維持するためには、除去率2.5 log₁₀以上の浄水処理を確実に実施するか、不活化効果の高

い消毒処理の導入が必要であると考えられた。

文 献

- 1) Haas, C.N., Crockett, S.E., Rose, J.B. et al.: *Jour. AWWA* A., **88**(9), 131-136, 1996.
- 2) 日本水道協会：クリプトスポリジウム—解説と試験方法一, 2003.
- 3) Hashimoto, A., Kunikane, S. and Hirata, T.: *Wat. Res.*, **36**(3), 519-526, 2002.
- 4) 平田強, 他：第4回日本水環境学会シンポジウム講演集, 181-182, 2001.及び平田強：水環境学会誌, **24**(12), 826-828, 2001.
- 5) LeChevallier, M.W., Norton, W.D. and Lee, R.G.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, 2610-2616, 1991.
- 6) Payment, P. and Franco, E.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, 2418-2424, 1993.
- 7) Nieminski, E.C. and Ongerth, J.E.: *Jour. AWWA.*, **87**(9), 96-106, 1995.
- 8) Payment, P., Berte, A., Prevost, M. et al.: *Can. J. Microbiol.*, **46**(6), 565-576, 2000.
- 9) Swertfeger, J., Metz, D.H., DeMarco, J. et al.: *Jour. AWWA.*, **91**(9), 90-100, 1999.
- 10) Pontius, F.W.: *Opflow.*, **19**(7), 9, 1993.
- 11) WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*, 3rd Ed., Vol. 1, Recommendations, 140-141, 2004.
- 12) Daniel, P.A.: *20th Int. Wat. Supply Cong. Exhibi.*, Technical Papers, SS6-1-SS6-5, 1995.
- 13) Hibler, C.P. and Hancock, C.M.: *In* (ed. G. A. McFeters) *Drinking Water Microbiology*, 271-293, 1990, Springer-Verlag, NewYork/Berlin/Heidelberg.
- 14) 日本水道協会：水道施設設計指針, 2000.