

クリプトスポリジウムとジアルジアによる水環境及び水道水の汚染

保坂三継*

Contamination of Drinking Water and Water Environments by *Cryptosporidium* and *Giardia*

Mitsugu HOSAKA*

Keywords: 原虫 protozoa, クリプトスポリジウム *Cryptosporidium*, ジアルジア *Giardia*, 水系感染 water-borne infection, 水環境 water environments, 水道水 drinking water, 浄水処理 water treatment

はじめに

近代水道の発達と塩素消毒による衛生的な飲料水の供給は、下水道の整備による汚水の排除や生活環境衛生の向上、医療保健体制の充実などとあいまって、水道水を介したコレラやチフスなど古典的な水系感染症の制圧に絶大な威力を発揮した。しかし水道水によって伝播し感染する病原微生物の問題がすべて克服されたわけではない。特に近年は、従来からの制御対象であった細菌に加えて、原虫やウイルスによる感染症が注目されている。特に原虫は、多くの病原性細菌やウイルスに比べて一般に消毒剤耐性が大きく、最小感染量が小さい¹⁾。このことは、コレラ菌や赤痢菌などの水系感染性細菌に比べて、原虫のほうが水道水媒介による水系感染を引き起こすリスクが大きいことを意味している。

水系感染性の原虫には多くの種類があるが、実際に水道水を介した感染を引き起こしているのは、集団下痢症の原因となるクリプトスポリジウム(*Cryptosporidium parvum*)、ジアルジア(ランブル鞭毛虫)(*Giardia lamblia*)、サイクロスポラ(*Cyclospora cayatanensis*)及びアメーバ赤痢の原因である赤痢アメーバ(*Entamoeba histolytica*)の4種類である。このうち水道水による赤痢アメーバ感染事例は、1970年まではしばしば発生した²⁾が、近年はほとんど発生しておらず、また先進国におけるサイクロスポラの水道水による感染は、1990年に米国シカゴ市の病院で発生した1件(患者数21人)³⁾以外は例がない。一方、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塩素消毒への耐性が大きく、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消毒程度の塩素処理ではほとんど死滅しないので、水道水の処理技術や衛生環境の向上した先進国においても水道水を原因として大規模な水系感染をたびたび引き起こしている。

米国では、CDC(疾病管理センター)によって飲料水に起

因する疾病の発生状況が継続的に報告されており、米国における水系感染症の病因別の発生件数や患者数を知ることが出来る。表1は、1993年から2002年までの10年間における飲料水起因の疾病の発生状況をまとめたものである⁴⁻⁸⁾。これによれば、この10年間に発生した水系感染症のうち、もっとも多くの患者を出した病原体はクリプトスポリジウムであり、また原因不明の急性胃腸炎を除いて、発生件数ではジアルジアがもっとも多かった。このように、病原大腸菌やカンピロバクター、赤痢菌など細菌性感染症も根強く残っているが、近年ではクリプトスポリジウムとジアルジアによる水系感染症が細菌性及びウイルス性水系感染を大きく上回っている。

わが国でもクリプトスポリジウムとジアルジアは現実には水系感染を引き起こし、あるいは水道水から検出されて水道の給水停止事件を引き起こしており、全国的に水道水の汚染防止並びに感染防止対策が急がれている。こうしたことから、本稿では水環境及び水道水のクリプトスポリジウムとジアルジアの調査事例を基に、これらの原虫による汚染実態について概説する。

1. クリプトスポリジウムとジアルジアの疫学

1) クリプトスポリジウム

クリプトスポリジウム属には現在13種が提案されている⁹⁾が、ヒトに感染する種はおもに*C. parvum*である。ヒトのクリプトスポリジウム症が最初に報告されたのは1976年であり、その後、AIDS患者の致死感染として知られるようになった¹⁰⁾。しかし、水系感染によるクリプトスポリジウム症が注目されたのは1983年からのすぎない。その後わずか四半世紀の間に、クリプトスポリジウムは水道水の微生物的安全性を確保するうえで最も警戒すべき対象となった。なお、*C. parvum*には、ヒトを含む広範囲のほ乳類に感染するウシ型と、ヒトとサルに感染するヒト型の、2つ

* 東京都健康安全研究センター多摩支所微生物研究科 190-0023 東京都立川市柴崎町 3-16-25

* Tama Branch Institute, Tokyo Metropolitan Institute of Public Health
3-16-25, Shibasaki-cho, Tachikawa, Tokyo 190-0023 Japan

表1. 米国における飲料水起因の疾患の発生状況 (1993~2002年)

	1993-1994		1995-1996		1997-1998		1999-2000		2001-2002		合計	
	件数	患者数	件数	患者数	件数	患者数	件数	患者数	件数	患者数	件数	患者数
原因不明												
急性胃腸炎	5	495	8	684	5	163	17	416	7	117	42	1,875
細菌												
<i>Campylobacter jejuni</i>	3	223					2	117	1	13	6	353
<i>C. jejuni</i> / <i>Y. enterocolitica</i>									1	12	1	12
<i>Escherichia coli</i> 157:H7			1	33	3	164	4	60	1	2	9	259
<i>E. coli</i> 157:H7/ <i>C. jejuni</i>							1	781			1	781
<i>Salmonella</i> Typhimurium	1	625									1	625
<i>Salmonella</i> spp.							2	208			2	208
<i>Shigella flexneri</i>	1	33									1	33
<i>S. sonnei</i>	1	230	2	93	1	83					4	406
<i>Plesiomonas shigelloides</i>			1	60							1	60
非O1 <i>Vibrio cholerae</i>	1	11									1	11
ウイルス												
ノロウイルス							3	356	5	727	8	1,083
SRSV			1	148			1	70			2	218
原虫												
<i>Cryptosporidium parvum</i> *	5	403,271			2	1,432	1	5	1	10	9	404,718
<i>Giardia lamblia</i> **	5	385	2	1,459	4	159	6	52	3	18	20	2,073
<i>Naegleria fowleri</i>									1	2	1	2
化学物質												
鉛	3	3									3	3
フッ素化合物	2	43									2	43
硝酸塩	2	4	2	9			1	1			5	14
銅	1	43	2	37	2	37			3	34	8	151
水酸化ナトリウム			1	33			1	2			2	35
濃縮液体石けん			1	13							1	13
塩素			1	1							1	1
エチルベンゼン, ほか									1	2	1	2
エチレングリコール									1	3	1	3

* 2001年以後は*Cryptosporidium species*** 1997年以後は*Giardia intestinalis*

の異なる遺伝子型があり、ヒト型については*C. hominis*として新種提案されている¹¹⁾。

クリプトスポリジウムは世界的に広く分布する。免疫の正常なヒトにおけるクリプトスポリジウム感染は26ヶ国で見られ、先進国では0.6~20%、開発途上国では4~20%に感染が広がっていると報告されており、また大人よりも子供に多いのが一般的である¹²⁾。とくにAIDS患者では感染はしばしば致死的であり、免疫正常の患者では生存率100%であるが、AIDS患者では生存率は39%に低下する¹³⁾。アジア、アフリカ、オセアニア、ヨーロッパ及び南北アメリカの計18ヶ国で糞便検査によって下痢症患者のクリプトスポリジウムへの罹患率を調べた調査結果によれば、下痢症患者等の数%、多い場合は50~60%がクリプトスポリジウムに感染していることが示されている¹⁰⁾。このことは、潜在的にはクリプトスポリジウムの水系集団感染の可能性が世界中にあることを示している。米国における1999~2002年までの4年間で、米国全州から毎年2,769~3,787人(4年間の合計で12,700人)のクリプトスポリジウム症患者が報告され、人口10万人当たりの患者数は1.0~1.3人であった¹⁴⁾。わが

表2. クリプトスポリジウム症の発生報告数 (感染症発生動向調査による)

診断年	患者報告数
1999*	4
2000	3
2001	11
2002	109
2003	8
2004	93
2005	9

* 4月以降

国では、1994年に神奈川県平塚市で雑居ビルの受水槽の汚染により461例の感染者を出し¹⁵⁾、また1996年6月には埼玉県越生町で町営水道水の汚染により8,812例の患者を出した¹⁶⁾が、それ以前のクリプトスポリジウム症の発生報告はきわめてわずかであった。クリプトスポリジウム症は感染症法の施行によって五類感染症(全数把握の対象)となっており、1999年4月~2005年12月の患者届け出数は237例であった(表2)。この報告数は、米国における報告数と比べて、人口比を考慮しても非常に少ない。加えて、この237例のう

表3. 東京都内における原虫症の原因別発生報告数
(感染症発生動向調査による)

	経口 感染	性行為感染			不明・ その他	合計
		異性間	同性間	不明		
クリプトスポリジウム症						
2003年	0	0	4	0	2	6
2004年	3	0	0	0	5	8
合計	3	0	4	0	7	14
ジアルジア症						
2003年	9	0	3	0	17	29
2004年	11	0	1	1	5	18
合計	20	0	4	1	22	47
アメーバ赤痢						
2003年	24	15	22	0	59	120
2004年	27	16	26	3	69	141
合計	51	31	48	3	128	261

ち202例は2002年と2004年の集団感染（いずれも感染源不明）で報告されたものであり、届け出も北海道と関東、関西にほとんど限定されていた¹⁷⁾。また、2003年と2004年に都内から報告されたクリプトスポリジウム症は合計14例あったが、感染原因別では経口感染3例、性行為感染4例、不明・その他7例となっており、報告例の半数は原因不明であった（表3）。こうしたことから、これらの報告データのみではわが国のクリプトスポリジウム汚染実態や罹患状況の正確な把握は困難と思われる。

2) ジアルジア

ジアルジア属には*G. lamblia*のほか*G. muris*、*G. agiris*などが知られているが、人に感染するのは*G. lamblia*のみである。ジアルジア (*G. lamblia*) はランブル鞭毛虫の名で古くから知られている原虫である。本原虫の学名には*G. lamblia*のほかにも*G. intestinalis*や*G. duodenalis*もしばしば用いられるが、いずれも異名同種である。

ジアルジアは1965年に米国コロラド州Aspenで発生した井戸水による感染症ではじめて水系感染することが疑われ、その後、1974年にニューヨーク州Romeで起きた大規模感染の際にCDCによって原水からジアルジアが初めて検出され、水系感染することが照明された¹⁸⁾。ジアルジアはウシやイヌなどの家畜のほかビーバー等の野生動物にも広く感染し、またヒトから得た生物が他の哺乳動物にも感染することが確かめられている^{12, 18)}。そのためジアルジア症は人畜共通感染症と考えられてきたが、現在では*G. lamblia*についても*C. parvum*と同様に複数の遺伝子型が存在し、ヒトを含む広範囲のほ乳類に感染するタイプと、ヒトのみに感染するタイプのあることがわかっている¹⁹⁾。

ジアルジアは世界的に広く分布するが、温暖な地域で感染率が高く、ケニアでは国民の2.25～39.4%にジアルジア症がみられるという²⁰⁾。こうした熱帯の国々や発展途上国への旅行者等が現地で感染して国内に持ちこむ旅行者下痢症となる例も多い。

表4. ジアルジア症の発生報告数
(感染症発生動向調査による)

診断年	患者報告数
1999*	47
2000	93
2001	135
2002	115
2003	99
2004	86
2005	81

* 4月以降

米国では下痢症の子供の4～22%、大人の2～15%がジアルジア症であるという²¹⁾。オレゴン州では1982～1988年までの間、10万人あたり22.7～45.7人のジアルジア症患者が発生していた²²⁾。米国における近年のデータでは、1998～2002年までの5年間で、米国全州では毎年19,659～24,204人（5年間の合計で110,086人）のジアルジア症患者が報告され、人口10万人当たりの患者数は6.9～9.0人であった²³⁾。わが国では第二次大戦後に5～10%が感染していたがその後次第に減少した²⁴⁾。1949～1956年までの間に北海道から沖縄にかけて調査された結果では、ジアルジアの感染率は2.2～8.4%であった。また、1952～1964年にかけて行われた調査では、1950年代前半(3.8～8.8%)から1960年代(0.05～2.5%)に向かって感染率が低下している様子が見られる²⁵⁾。ジアルジア症も五類感染症であり、1999年4月～2005年12月の患者届け出数は656例であった（表4）。また、2003年と2004年に都内から報告されたジアルジア症は合計47例あった。このうち、ほぼ4割（20例）が経口感染、1割（5例）が性行為感染であったが、クリプトスポリジウム症の場合と同様に、ほぼ半数の22例が原因不明・その他であった（表3）。ジアルジア症に関しても、米国と比較した報

表5. 水道水によるクリプトスポリジウム症集団感染発生の主要事例

年	発生場所	暴露人口 (人)	感染者数 (人)	原水	浄水方法	原因(推定)
1983	英国 Cobaham, Surrey	不明	16	湧水	緩速濾過+ 塩素消毒	不明
1984	米国テキサス州 Braun Station	5,900	2,006	地下水	塩素消毒のみ	下水汚染
1985	英国 Cobaham, Surrey	不明	50	湧水	緩速濾過+ 塩素消毒	不明
1986	英国Sheffield, S.Yorks	不明	84	表流水	不明	豪雨による牛ふん便の 流出
1986	米国ニューメキシコ州 Albuquerque	不明	78	表流水	無処理	放牧地からの流出水
1987	米国ジョージア州 Carrollton	32,400	12,960	表流水	通常処理(*)	処理不十分
1988	英国Ayrshier	24,000	27	不明	不明	牛舎排水汚染
1989	英国 Swindon/Oxfordshire	741,092	516	表流水	通常処理(*)	逆洗水の再利用、原水 の牛ふん便汚染、及び オーシストのろ過池か らの漏出
1989~ 1990	英国Humberside	不明	不明	不明	不明	不明
1990	英国Lock Lomond	不明	147	表流水	不明	不明
1990~ 1991	英国Thanet島	177,300	47	表流水	通常処理(*)	処理不十分
1991	米国ペンシルベニア州 Berks County	1,987	551	地下水	塩素消毒のみ	腐敗槽流出水の流入
1992	米国オレゴン州 Jackson County	160,000	15,000	湧水/表流水	通常処理(*)	牛の汚物による原水汚 染および処理不十分
1993	米国ウィスコンシン州 Milwaukee	1,600,000	403,000	表流水 (ミシガン湖)	通常処理(*)	原水の汚染源は不明 処理不十分
1993	米国ワシントン州 Yakima County	10	7	地下水	無処理	家畜ふん便で汚染され た表流水の流入
1993	米国ミネソタ州Cook County	58	27	表流水(湖水)	圧力ろ過+ 塩素消毒	下水又は腐敗槽の逆流
1994	米国ネバダ州 Las Vegas	不明	103	表流水 (メド湖)	通常処理(*)	下水処理水等による原 水の汚染、逆洗水の返 送、ろ過不十分
1994	米国ワシントン州 Walla Walla County	227	86	地下水	無処理	下水処理水灌漑装置の 故障による流入
1994	日本 神奈川県 平塚市	736	461	表流水	通常処理(*)	受水槽への汚水混入
1995	米国フロリダ州 Alachua County	104	72	不明	不明	配水系統へ汚染水逆流
1996	日本 埼玉県 越生町	約13,800	8,812	湧水/表流水	通常処理(*)	排水による原水の汚 染、処理不十分
1997	英国North London/ Hertfordshire	1,522,990	354	地下水(井戸+ 試掘孔)	活性炭ろ過+ 塩素消毒	表流水による原水の汚 染、処理不十分
2001	カナダ サスカチュワン 州North Battleford	5,800~ 7,100	1,907	井戸水/河川水	塩素消毒のみ/ 通常処理(*)	河川水原水の濁度除去 不良
2004~ 2005	ノルウェーBergen	不明	115	表流水	塩素消毒のみ	不明(ジアルジア集団 感染と同時)
2005~ 2006	英国Wales	不明	231	表流水 (貯水池)	圧力ろ過+ 塩素消毒	集水域における小規模 流行(ヒト型オーシス トと判明)

(*) 通常処理: 凝集沈殿+砂ろ過+塩素消毒.

告件数の少なさや感染源不明の多さなどから、汚染実態や罹患状況を十分反映していないと思われる。

2. 水系感染発生事例

1) クリプトスポリジウム

水道水によるクリプトスポリジウムの集団感染はこれまで米国、英国及び日本から報告されていたが、近年では他の先進国からの報告もある。1983年に最初の水系集団感染

が英国から報告され、翌年には米国で感染者2,000人を超える大規模感染を引き起こした。それ以後、近年まで毎年のように水道水を原因とした集団感染を引き起こしている(表5)^{15, 16, 26-33)}。とりわけ、1万人を越える感染者を出した極めて大規模な流行だけでも、1987年米国ジョージア州Carrollton(1万2,960人)、1992年米国オレゴン州Jackson County(1万5,000人)、1993年米国ウィスコンシン州

表6. 米国における飲料水起因のジアルジア症発生状況 (1989~2000年)

年	発生場所	感染者数 (人)	水源	原因 (推定)
1989	コロラド州	19	河川水	処理の欠陥
	ニューヨーク州	460	貯水池	処理の欠陥
	同上	53	湖水	処理の欠陥
1990	アラスカ州	18	河川水	無処理
	コロラド州	123	湧水	処理の欠陥
	バーモント州	24	湖水	処理の欠陥
1991	カリフォルニア州	15	湧水	配水系統の欠陥
	ペンシルバニア州	13	地下水	処理の欠陥
1992	アイダホ州	15	地下水	無処理
	ネバダ州	80	湖水	処理の欠陥
1993	ペンシルバニア州	20	地下水	処理の欠陥
	サウスダコタ州	7	地下水	無処理
1994	ニューハンプシャー州	18	貯水池	処理の欠陥
	同上	18	湖水	処理の欠陥
	テネシー州	304	貯水池	配水系統の欠陥
1995	アラスカ州	10	表流水	無処理
	ニューヨーク州	1,449	湖水	処理の欠陥
1996	-			
1997	ニューヨーク州	50	湖水	処理の欠陥
	オレゴン州	100	井戸/湧水	配水系統の欠陥
1998	フロリダ州	7	井戸	無処理
	同上	2	井戸	処理の欠陥
1999	フロリダ州	2	井戸	無処理
2000	コロラド州	27	河川水	処理の欠陥
	フロリダ州	2	井戸	配水系統の欠陥
	ミネソタ州	12	井戸	無処理
	ニューハンプシャー州	5	井戸	無処理
	ニューメキシコ州	4	河川水	不明/その他

Milwaukee (40万3,000人) で発生している。これらの大流行は、通常の浄水処理が施され、当時の米国環境保護庁が定めた濁度や大腸菌群の基準 (濁度<1.0 NTU, 大腸菌群<1 CFU/100 mL) に適合した水道水で大規模な流行が発生したと考えられた。しかし、実際にはこれらの流行の原因となった浄水場の浄水処理施設に欠陥があり、また不適切な運転管理が行われていたことが指摘されている^{26, 27, 34}。

わが国におけるクリプトスポリジウムの水系感染としては、1994年に神奈川県平塚市で461人が感染した事例が最初であったが、原因は受水槽への汚水混入であり、給水されている水道水自体には問題がなかった。しかし、1996年埼玉県越生町で起きた集団感染は、町営水道の水道水そのものがクリプトスポリジウムに汚染されていたこと、また町の人口の約7割、8,800人あまりが感染するという世界的にみてもきわめて大規模な流行であったことから、わが国の水道関係者に極めて大きな衝撃を与えた。越生町の集団感染の原因は、それまでの海外におけるクリプトスポリジウム汚染事故事例の多くと同様に、排水による原水のクリプ

トスポリジウム汚染と同時に、凝集剤の適切な注入等の浄水処理がなされていなかった可能性が指摘される¹⁶⁾。

なお、水道水が直接の原因ではないが、プール水や自家製の清涼飲料水の汚染により288名がクリプトスポリジウムに感染する水系感染事例が2004年に長野県で発生した³⁵⁾。この事例は、わが国で初めてのレクリエーション用水が関係したクリプトスポリジウム感染事例であり、さらにこの事例では、長野県で感染した児童が地元の千葉県のプールを利用し、このプール水の汚染から2名の2次感染患者が発生する³⁶⁾という事態となった。

2) ジアルジア

飲料水起因のジアルジア症は、1965年に初めて認識されて以来、米国では第2次大戦後から1994年までに発生した飲料水起因の感染症のうち、急性胃腸炎 (原因不明) を除いて病因別の発生件数で第1位(122件)を占めている。また患者数においても、1920~1994年までに発生した飲料水起因の感染症のうち、赤痢、チフスなどの細菌性感染症よりも多く、クリプトスポリジウム症に次いで第2位(約27,000人)

であった^{4, 37-39}。近年の1995～2002年では急性胃腸炎（原因不明）を除いて、発生件数、患者数ともに第1位となっている（表1）。

表6に、米国で1989～2000年までに報告された飲料水原因のジアルジア感染事例を示す^{4-7, 38, 39}。これらの感染事例は、表流水（河川水や湖水）では処理の欠陥（不十分な消毒、不十分なる過処理）が、また地下水や井戸水では無処理での給水が主な原因となって発生している。このことから、消毒を確実にすることは当然であるが、消毒のみに頼るのではなく、適切なる過処理によるジアルジアの除去処理が必要であることがわかる。

米国以外の各国におけるジアルジアの水系感染発生状況は、体系的に整理されて公表されたデータがほとんどないため、全体をつかむことは困難であるが、WHO^{1,2)}によれば汚染飲料水によるジアルジア症の発生は、米国以外にカナダ、イングランド、スコットランド、スウェーデン及び旧ソ連から報告されている。最近では、2004～2005年にかけてノルウェーで1,500人以上の患者を出す大規模な水道水起因の集団感染があった。原因となった水道水は湖水を原水にしていたがろ過は行っておらず、塩素消毒のみで給水していた^{40, 41)}。

幸い、わが国では水系感染によるジアルジアの集団下痢症はこれまで発生していないが、感染症発生動向調査では毎年100例前後の患者が報告されており（表4）、経口感染が推定されている例も多い（表3）。また後述するように、河川水や水道水の汚染も現実起きており、水道水の汚染による集団感染が発生する要素はそろっていると考えなければならぬ。

3. わが国水環境の汚染状況

1) 水源河川

糞便によって宿主体外に排泄されたクリプトスポリジウムのオーシストやジアルジアのシストは、最終的に種々の水環境に進入し、水道原水、そして水道水を汚染する。これらのオーシストあるいはシストによる水道水の汚染レベルの把握や浄水処理システムの原虫類除去能力の評価による感染リスクの推定のためには、水道水や水道水源における原虫類の汚染実態に関する広範囲な情報が必要不可欠である。水道水の原虫問題が顕在化した当初、わが国ではこうした調査事例は皆無に近く、米国等諸外国のデータを集約して類推する以外になかった⁴²⁾。その後、わが国でも主要な水源河川での調査結果が公表されるようになり、原虫類の存在の普遍性や一部の高濃度汚染の状況も明らかとなりつつある。ここでは関東と関西の主要水源河川における調査事例に基づいて水源河川の汚染状況を紹介する。

橋本ら⁴³⁾は、神奈川県的主要水源である相模川水系の11地点において1997年4月～12月まで、延べ77試料について、最大水量100Lで原虫類の調査を行っている（表7）。この調査においてクリプトスポリジウムは11地点中10地点、77試料中51試料で検出された。検出数の範囲は小鮎川片原橋

表7. 相模川水系における原虫類測定結果

地点		クリプト スポリジウム	ジアルジア
相模川			
桂橋	平均	3	28
	検出割合	1/1	1/1
相模湖	平均	3	5.0
	範囲	1～2.2	2～13
	検出割合	4/6	3/6
昭和橋	平均	2	2
	範囲	1～8	1～3
	検出割合	3/5	4/5
厚木市金田	平均	7	20.0
	範囲	—	3～130
	検出割合	1/5	2/5
厚木市東町	平均	2.0	8
	範囲	9～130	2～19
	検出割合	4/5	3/5
寒川町宮山	平均	9	4
	範囲	1～67	1～18
	検出割合	15/18	14/18
小鮎川			
片原橋	平均	2,110	540
	範囲	190～11,000	14～20,000
	検出割合	9/9	8/9
厚木市元町	平均	23	9
	範囲	6～100	2～36
	検出割合	5/5	5/5
中津川			
愛川町半原	平均	—	1
	検出割合	0/9	1/9
才戸橋	平均	6	11
	範囲	2～23	2～44
	検出割合	5/9	8/9
鮎津橋	平均	33	2
	範囲	3～500	2～2
	検出割合	4/5	2/5
水系全体	平均	24	12
	範囲	1～11,000	1～20,000
	検出割合	51/77	51/77

平均：幾何平均値（個/100 L）
 範囲：検出数の最小値～最大値（個/100 L）
 検出割合：陽性試料数/試料総数

地点を除いて1～500 個/100 Lであり、相模川本川では1～130 個/100 Lであった。ジアルジアは11地点すべてから検出され、77試料中51試料が陽性であった。検出数の範囲は小鮎川片原橋地点を除いて1～130 個/100 Lであり、相模川本川ではクリプトスポリジウムと同じく1～130 個/100Lの値が検出された。流入河川の小鮎川片原橋地点では、その直上流に養豚場排水が流入しているため、両原虫とも高濃度に検出された（クリプトスポリジウム190～11,000 個/100 L、ジアルジア14～20,000 個/100 L）。水道原水が取水される相模川寒川町宮山地点におけるクリプトスポリジウム濃度は不検出～67 個/100 L、ジアルジアは不検出～18 個/100 Lであった。この調査は一つの水系を上流から下流の利水点まで最大100 Lの水量で実施しており、上流の水質

表8. 多摩川における原虫類調査結果

	1999年9月～2000年1月調査		2000年11月～2001年1月調査		2002年6月～2003年1月調査	
	調査水量 20 L		調査水量 100 L		調査水量 100 L	
	クリプト スポリジウム 検出範囲 (個/20 L) 検出割合	ジアルジア 検出範囲 (個/20 L) 検出割合	クリプト スポリジウム 検出範囲 (個/100 L) 検出割合	ジアルジア 検出範囲 (個/100 L) 検出割合	クリプト スポリジウム 検出範囲 (個/100 L) 検出割合	ジアルジア 検出範囲 (個/100 L) 検出割合
上流域						
昭和橋	0 0/3	0 0/3	0 0/2	19 1/2	0 0/3	0 0/3
和田橋	0 0/3	0 0/3	0 0/2	1 1/2	0 0/3	0 0/3
東秋川橋 (秋川)	— —	— —	0 0/2	0 0/2	0 0/3	0 0/3
羽村堰	0 0/3	0 0/3	0 0/2	0 0/2	0 0/3	0 0/3
拝島原水補給点	0 0/3	0 0/3	1 1/2	5 1/2	0 0/3	0 0/3
下流域						
多摩川原橋	0 0/3	1～24* 3/3	18～630 2/2	270～1,500 2/2	1 2/3	1～65 2/3
砧下取水点	0 0/3	1～8* 3/3	2～810 2/2	56～1,400 2/2	1 2/3	2 2/3
田園調布堰上	2* 1/3	2～16* 3/3	1,100 1/2	3.6～1,200 2/2	1 2/3	1 2/3

* 調査水量が20 Lのため、20 L中の検出個数で表示。

が良好な地点でも低レベルながらも原虫汚染があることをわが国で初めて明らかにした。

保坂ら^{44, 45)}は多摩川本川の環境基準点等8地点において、1999年9月～2000年1月に3回(試料水量20 L)、2000年11月と2001年1月に2回(試料水量100 L)、さらに2002年6月～2003年1月に3回(試料水量100 L)の合計8回、延べ61試料について原虫類等の調査を行った(表8)。クリプトスポリジウムは上流部と下流部の中間に位置する拝島原水補給点を含む下流側の4地点から検出され、2000年1月以降の47試料中13試料から検出された。特に下水処理場放流水の混入率が高い多摩川原橋から下流の3地点では、2001年1月に630～1,100 個/100 Lと極めて多数検出された。ジアルジアは多摩川原橋から下流の3地点では1999年9月の最初の調査からほぼ毎回検出され、クリプトスポリジウムの場合と同様、2001年1月の調査では1,200～1,500 個/100 Lと極めて高濃度で検出された。さらに、水質環境基準AA類型に指定され、通常は水質がもっとも良好と考えられる最上流地点の昭和橋や和田橋でも、同時期に1～19個/100 Lが検出された⁴⁴⁾。しかし、2002年6月～2003年1月の調査ではこうした高濃度の値は観察されず、2002年6月に多摩川原橋で65個/100 Lのジアルジアが検出された以外は、クリプトスポリジウム、ジアルジアとも不検出～2 個/100 Lと少なかった。この原因としては、糞便汚染指標細菌数が減少していたことなどから、流域の下水処理場において放流水改善対

策が取られたためと推察されている⁴⁵⁾。なお、水道原水が取水される地点(羽村堰、拝島原水補給点)では全調査を通じてクリプトスポリジウムは不検出～1 個/100 L、ジアルジアは不検出～5個/100 Lであった。一方、猪又ら⁴⁶⁾は、多摩川水系上流域の山間部を流れる秋川から、自然由来と考えられるクリプトスポリジウムとジアルジアを検出している。検出地点数は7地点中3地点、両原虫ともに試験した21試料中3試料に検出され、検出数はすべて1個/20 L(検水量20 L)であった。このことから、人為汚染のほとんどない河川でも、この程度の頻度と濃度で原虫類が検出される可能性があることがわかった。

関東の水道水源として極めて重要な利根川・江戸川水系においては、北千葉広域水道企業団と東京都水道局が2000年11月と2001年2月に共同調査を行っている⁴⁷⁾。この調査での検査水量は10 Lと少なく、1 個/10 L以下の汚染状況については把握できないが、2回の調査を通じて16地点すべてから原虫類が検出され、利根川・江戸川水系の上流から下流に至る広い範囲に原虫類汚染があることが明らかとなった(表9)。本川(利根川、江戸川、渡良瀬川)の各地点で検出されたクリプトスポリジウムとジアルジアの数は概ね1～10 個/10 Lであった。しかしクリプトスポリジウムでは、汚濁した流入河川を含めた水系全体では1～93 個/10 Lと多くなった。また2000年11月よりも2001年2月に、検出地点、検出数とも増加する傾向があった。水道原水の取水地点(利

表9. 利根川・江戸川水系における原虫類検出状況

地点	クリプト スポリジウム		ジアルジア	
	(個/10 L)		(個/10 L)	
	2000年 11月	2001年 2月	2000年 11月	2001年 2月
利根川				
坂東大橋	—	1	—	8
刀水橋	—	3	—	10
利根大堰	0	3	3	4
新利根川橋	—	8	—	4
渡良瀬川				
三国橋	0	12	3	1
江戸川				
関宿橋	1	6	0	1
金野井大橋	1	—	2	—
野田橋	—	3	—	5
上花輪	1	—	2	—
流山橋	1	6	3	6
北千葉取水口	1	6	1	3
三郷取水庭	0	2	1	6
流入河川				
座生川	0	8	0	1
利根運河	1	14	10	0
谷口取水口	2	93	9	10
主水大橋	2	7	2	4

根大堰と三郷取水庭)ではクリプトスポリジウムは不検出～3個/10L, ジアルジアは1～6個/10Lであった。

関西の重要な水道水源である淀川水系(木津川・宇治川・桂川・淀川)においては、大阪府水道部、枚方市水道局並びに寝屋川市水道局が2000年7月と2001年1月に28地点で共同調査を行っている^{4,8)}。この調査でも検査水量は10Lと少なく、1個/10L以下の汚染状況については把握できないが、両原虫とも淀川水系全体の広い範囲で検出された(表10)。また2000年7月よりも2001年1月に、検出地点、検出数とも多かった。木津川、宇治川及び桂川とこの3川が合流した淀川の各本川16地点では、クリプトスポリジウムは1～27個/10L, ジアルジアは1～79個/10Lであった。淀川水系においても利根川・江戸川水系と同様に、本川よりも流入河川で高濃度の地点が見られ、淀川水系全体の検出数範囲はクリプトスポリジウムで1～32個/10L, ジアルジアでは1～380個/10Lであった。原虫類が不検出(1個/10L未満)とされた地点における汚染状況の評価にはさらに多くの水量による調査が必要である。しかし利根川・江戸川水系と同様、わが国の主要な水道水源である淀川水系のほぼ全域に原虫類汚染があり、本川においてもわずか10Lの水量で検出できるほど汚染レベルが高い地点が多いことなどが明らかとなった。

多摩川、利根川・江戸川水系、淀川水系の3河川水系に共通した現象として、いずれも冬期に原虫類の増加が認められた点があげられる。冬期は一般に河川の自流水が減少し、相対的に下水放流水等の人為的排水の混入比率が高まること、また水温の低下によって急速ろ過処理の要である凝集処理が不良となって原虫の補足が不十分となる可能性が高

表10. 淀川水系における原虫類検出状況

河川名	地点	クリプト スポリジウム		ジアルジア	
		(個/10 L)		(個/10 L)	
		2000年 7月	2001年 1月	2000年 7月	2001年 1月
木津川 (山田川)	恭仁大橋 (木津川 合流直前)	0 (0)	4 (2)	0 (0)	0 (3)
木津川 (大谷川)	玉水橋 (八幡排水 機場)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	2 (0)
木津川	御幸橋	0	1	0	2
宇治川 (山科川)	宇治橋 (宇治川 合流直前)	0 (0)	0 (5)	0 (12)	0 (340)
宇治川	宇治大橋 左岸	0	0	3	10
	宇治大橋 右岸	0	0	1	6
(大内川)	(久御山 排水機場)	(0)	(32)	(0)	(23)
宇治川	御幸橋左岸	0	3	2	43
	御幸橋流心	0	2	2	10
	御幸橋右岸	0	0	1	8
桂川	渡月橋	0	2	0	1
	久世橋	0	2	0	1
	久我橋	2	27	4	66
(鴨川)	(西高瀬川 合流直前)	(1)	(0)	(0)	(1)
(西高瀬川)	(鴨川合流 直前)	(3)	(16)	(28)	(380)
桂川 (船橋川)	宮前橋 (淀川合流 直前)	0 —	13 (1)	6 —	79 (0)
(穂谷川)	(淀川合流 直前)	(0)	(1)	(0)	(20)
(利根川)	(淀川合流 直前)	(0)	(5)	(1)	(84)
(黒田川)	(淀川合流 直前)	(0)	(0)	(0)	(0)
(天野川)	(淀川合流 直前)	(0)	(15)	(0)	(5)
(安居川)	(淀川合流 直前)	(0)	(4)	(6)	(1)
淀川	枚方大橋 左岸	0	4	2	16
	枚方大橋 流心	0	0	1	1
	枚方大橋 右岸	0	3	0	12

()は流入河川並びにその測定値。

まると考えられることから、河川を水源とする水道では特に警戒が必要であろう。

2) 下水等

クリプトスポリジウムやジアルジアはヒトを含む哺乳類の腸管に感染する病原体であり、これらの原虫類を含む糞便が汚染原因であることはいうまでもない。前述した相模川や多摩川での調査結果が示すように、ヒトの下水や畜産排水並びにそれらの処理水の放流によってもたらされる水環境への負荷は膨大であり、かつその排出先の河川が水道の水源である場合、その影響は非常に大きい。したがって、これらの排水中における原虫類の存在状況のデータは水環

境の汚染を考えるためには極めて重要である。しかし、わが国の下水等における原虫類調査の結果については公表されているデータは多くない。表11には、橋本ら^{4 9)}、諏訪・鈴木^{5 0)}、川村・五藤^{5 1)}、平松ら^{5 2)}、山下ら^{5 3)}によってこれまで報告されている下水処理場流入下水と下水処理水(2次処理水または下水処理場放流水)の原虫類測定結果を示す。なお、下水等では懸濁物質等が多く、試料の濃縮とそれに続く精製が困難であるため調査水量はおのずと限定され、流入下水で数100 mLから数L程度、下水処理水でも数Lから20 L程度であるため、表11ではそれぞれの検出結果をすべて10 Lあたりに換算して表示した。これらの検出レベルをまとめると、流入下水中にはクリプトスポリジウムが $10^1 \sim 10^3$ 個/10 L、ジアルジアが $10^3 \sim 10^4$ 個/10 Lのオーダーで含まれること、また下水処理水(放流水又は二次処理水)中にはクリプトスポリジウムが $10^0 \sim 10^1$ 個/10 L、ジアルジアが $10^1 \sim 10^2$ 個/10 Lのオーダーで含まれると考えられる。これらの値は、クリプトスポリジウムについては諸外国での下水に関する調査結果に比べてかなり低い^{4 2)}。一方、ジアルジアについては流入下水では米国、カナダ、ケニアなどでの結果と同様であり、また下水処理水に関しては英国やフランス、カナダでの報告よりは少なく、米国11州11か所の下水処理場での結果と同レベルであり、アリゾナ州の3か所の下水処理場での結果よりは多かった^{4 2)}。

一方、畜産排水中の原虫類のデータは、橋本ら^{4 3)}が相模川水系の支流に排水する養豚場排水のデータを示している以外、ほとんど公表されておらず、畜産系の排水による水環境への汚染負荷の実態は不明である。

4. 水道水の汚染状況

1) 海外における調査事例

米国等においては、1990年代に浄水場等におけるジアルジアやクリプトスポリジウムの大規模な調査が盛んに行われている^{5 4-6 3)}。これらの調査における原虫検出状況を総括すると、原水では、クリプトスポリジウムは検出率40.5%^{6 1)}~100%^{5 7)}、検出濃度0.6 個/100 L^{6 1)}~ 4.84×10^4 個/100 L^{5 4)}まで、ジアルジアは検出率20%^{5 6)}~81%^{5 4)}、検出濃度 2 個/100 L^{5 7)}~ 6.6×10^3 個/100 L^{5 4)}までと、広い範囲にわたっている。浄水では不検出となる試料が多くなるが、クリプトスポリジウムでは検出率5%^{6 0)}~70%^{5 6)}、検出濃度0.04 個/100 L^{5 9)}~ 4.1×10^2 個/100 L^{5 6)}まで、ジアルジアでは検出率10%^{5 6)}~30%^{5 6)}、検出濃度0.29 個/100 L^{5 5)}~ 1.7×10^2 個 /100 L^{5 6)}までの値が報告されている。

これらの調査結果は数100 L~数1,000 Lもの大量の水について試験したものであり、こうした大量の水を試験することで、原水はもとより、浄水における汚染状況についても詳細に把握していることがうかがわれる。

2) わが国における水道水等の原虫汚染状況

越生町での事件以後、地方の小規模な水道あるいは簡易水道で、ろ過を行わずに消毒のみで給水している水道施設や浄水処理の管理が悪い水道施設で、浄水にクリプトスポリジウムやジアルジアが検出され、給水停止となる事件がたびたび発生している(表12)。しかし、こうした事故事例を除いて、通常の浄水処理が適切に施された水道水における原虫の汚染レベルについては情報が乏しく、実態はほとんど不明のままであった。

猪又・保坂^{6 4)}は、水道事業体が発行している水質年報等に基づいて、北海道から沖縄県までの19都道府県の平成9~13年までの間の浄水場の原水及び浄水における原虫検出状況を調査した。その結果、クリプトスポリジウムについて

表 1 1. わが国の下水等における原虫濃度測定結果

	クリプト スポリジウム 検出範囲 (個/10 L)* 検出割合	ジアルジア 検出範囲 (個/10 L)* 検出割合
流入下水		
都市下水処理場 (9箇所) ^{4 8)}	2.8×10^2 1/22	1.3×10^3 ~ 5.5×10^4 22/22
全国の下水処理場 (67箇所) ^{4 9)}	8.0×10^1 ~ 5.0×10^2 7/73	—
都区区内下水処理場 (1箇所) ^{5 0)}	4.0×10^2 1/1	4.0×10^4 1/1
関東・関西の下水 処理場 (8箇所) ^{5 2)}	~ 2.0×10^3 52/95	—
検出レベルの範囲	$10^1 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^4$
下水処理水(放流水又は二次処理水)		
都市下水処理場 (9箇所) ^{4 8)}	ND 0/23	6.0×10^1 ~ 7.5×10^2 18/23
都区区内下水処理場 (1箇所) ^{5 0)}	1.5×10^0 1/1	2.5×10^2 1/1
都多摩地域下水 処理場(3箇所) ^{5 1)}	5.0×10^0 1/3	7.0×10^1 ~ 2.1×10^2 3/3
関東・関西の下水 処理場 (8箇所) ^{5 2)}	~ 5.85×10^1 46/59	—
検出レベルの範囲	$10^0 \sim 10^1$	$10^1 \sim 10^2$

* 検査水量がそれぞれの報告で異なるため、検出個数はすべて10 Lあたりに換算して表示した。

表 1 2. 原虫類検出による水道の給水停止事例*

平成	県名	水道事業体名等	浄水処理	検出状況	
				原水	浄水
9年	鳥取	三山口簡易水道	塩素消毒のみ	—	<i>Cryptosporidium</i> 8個/10L
					<i>Giardia</i> 2個/10L
10年	岡山	哲多簡易水道	塩素消毒のみ	—	<i>Cryptosporidium</i> 1個/10L
					<i>Giardia</i> 2個/20L
10年	福井	永平寺町 志比地区簡易水道	急速ろ過処理	<i>Giardia</i> 2~4個/10L	<i>Giardia</i> 2個/20L
					<i>Cryptosporidium</i> 2個/10L
11年	山形	朝日村上水道	塩素消毒のみ	—	<i>Cryptosporidium</i> 4個/60L
					<i>Giardia</i> 2~3個/60L
12年	青森	三戸町 蛇沼地区簡易水道	塩素消毒のみ	—	<i>Giardia</i> 5個/20L
					<i>Giardia</i> (濃度不詳)
13年	愛媛	今治市上水道	塩素消毒のみ	—	<i>Cryptosporidium</i> 2個/20L
					<i>Cryptosporidium</i> 50個/10L
14年	愛媛	北条市上水道	急速ろ過処理	—	<i>Cryptosporidium</i> 6個/20L
					<i>Cryptosporidium</i> 1個/40L

* 新聞報道等による発表があった事例のみ。

は19都道府県29水道事業体、延べ163箇所の浄水場原水の延べ1,922件中150件（検出率7.8%）で1~26 個/10 Lが検出されていた。また、ジアルジアについては16都道府県21水道事業体、延べ130箇所の浄水場原水の延べ1,163件中114件（検出率9.8%）で1~23 個/10 Lが検出されていた。しかし、浄水に関しては、クリプトスポリジウム、ジアルジアとも、すべて不検出であり、水道水の存在状況を明らかにすることはできなかった。なお、浄水の検査水量は10~50 Lであり、その多くは20 Lあるいは40 Lで検査されていた。

保坂ら^{45, 65-67)}は、東京都の奥多摩地域（奥多摩町、檜原村）と島しょ（伊豆諸島、小笠原諸島）の表流水系浄水場の延べ17箇所の原水と浄水について、100 Lレベルでの検査を2000~2004年までに延べ75回行った。原水の結果を総括して表13に示す。なお、2000年のみ60 Lによる結果であるため、100 Lに換算して集計した。検出率はクリプトスポリジウムで約5%、ジアルジアで約10%だった。検出濃度は、利島村の浄水場でジアルジアが一度だけ55 個/100 Lとやや多く検出されたほかは、クリプトスポリジウム、ジアルジアともに1~3 個/100 Lと比較的低濃度であった。なお、浄水からはこの調査期中一度も検出されなかった。

表 1 3. 多摩地域及び島しょの浄水場原水における原虫類検出状況（2000~2004年）

調査対象 浄水場数	延べ 調査回数	クリプト スポリジウム	ジアルジア	
		検出範囲 (個/100 L) 検出割合	検出範囲 (個/100 L) 検出割合	
奥多摩町	5	25	3 1/25	1~5 2/25
檜原村	2	10	0 0/10	0 0/10
大島町	1	2	0 0/2	0 0/2
八丈町	4	17	1 1/17	1~3 3/17
利島村	2	6	1~3.3 2/6	55 1/6
青ヶ島村	1	5	0 0/5	0 0/5
小笠原村	2	10	0 0/10	1~1 2/10
全体	17	75	1~3.3 4/75	1~55 8/75

わが国の浄水場浄水における原虫の存在状況を報告した唯一の例は、Hashimotoら⁶⁸⁾による相模川を水源とするあ

る浄水場の調査結果である。この調査では、限外ろ過膜を用いて2,000 Lの浄水を検査しており、クリプトスポリジウムは26試料中9試料から0.5~2 個/1,000 Lの濃度で、またジアルジアは26試料中3試料から0.5~8個/1,000 Lの濃度で検出された。この浄水場は適切に運転管理され、浄水は水質基準を十分満足しており、給水区域内での原虫症の発生もなかった。この浄水場の原水には概ね $10^1 \sim 10^2$ 個/100 Lのオーダーでクリプトスポリジウム及びジアルジアが検出されていた。この濃度は、前記のようにわが国の水源河川で往々にして見られる値であり、全国の浄水場原水での検出濃度範囲^{6,4)}とも一致している。すなわち、わが国の多くの表流水系浄水場の原水状況の代表としてとらえることができ、そうした原水を処理している浄水場で、適切に運転管理されている場合の浄水中の原虫類濃度は最大でも10 個/1,000 L程度であると考えられる。

わが国では多くの水道事業体が厚生労働省の示した「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」(平成10年)(以下、「暫定的な試験方法」という)に準じた検査水量(原水で概ね10 L, 浄水で概ね20 L)で水道水等の試験を行っている。最大でも10 個/1,000 L程度という浄水中の原虫濃度レベルは、「暫定的な試験方法」で水道水を試験する場合の代表的な検査水量である20 Lでは0.2 個にすぎず、多くはこれ以下の濃度である。すなわち、適切に処理された水道水中の原虫は「暫定的な試験方法」に示された水量による検査ではほとんど検出されないと考えられる。このことは一方で、わが国の水道水における原虫類の存在状況を正確に把握し、水道水の摂取による原虫感染のリスクを評価するためには、浄水場浄水に対して少なくとも100 Lもしくはそれ以上の検査水量による調査が必要であることを示している。

おわりに

1996年の越生町でのクリプトスポリジウム集団感染事件以後、わが国では幸いにして水道起因の原虫症集団感染は発生していない。しかし地方の小規模な水道では越生町での事件以後、クリプトスポリジウムあるいはジアルジアが検出され、給水停止となる事例がいくつも発生している。これらの水道の多くが浅井戸を水源としており、消毒のみで給水していた。井戸水が原水の場合、通常は原虫類の除去が可能なる過などの浄水処理が行われないため、ひとたび汚染された場合は防除ができず、原虫感染防止のうえで問題が大きいといえる。今後は、河川等の表流水を水源とする水道のみならず、表流水や近傍の排水の汚染を受けやすい浅井戸を原水とする水道の原虫汚染の状況についても監視を強化し、汚染がある場合は適切な対策を指導する必要がある。加えて、米国では近年、飲料水よりもプール水を原因とした原虫感染事例が増えており^{6,9)}、CDCはプールの利用者や設置者に注意を促している^{7,0)}。広い意味での原虫類の水系感染を防止するため、今後はレクリエーション用水における原虫汚染に対しても十分関心を払う必要

があろう。

文 献

- 1) WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*, 3rd ed., Vol. 1, 2004, Geneva.
- 2) Safe Drinking Water Committee: Microbiology of drinking water. In National Research Council (ed.), *Drinking Water and Health*, 63-134, 1977, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- 3) Soave, R.: *Clin. Infect. Dis.*, **23**, 429-437, 1996.
- 4) Kramer, M.H., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **45**, No.SS-1, 1-30, 1996.
- 5) Levy, D.A., Benz, M.S., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **47**, No.SS-5, 1-33, 1998.
- 6) Barwick, R.S., Levy, D.A., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **49**, No.SS-4, 1-32, 2000.
- 7) Lee, S.H., Levy, D.A., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **51**, No. SS-8, 1-44, 2002.
- 8) Blackburn, B.G., Craun, G.F., Yoder, J.S., et al.: *MMWR*, **53**, No.SS-8, 23-43, 2004.
- 9) Xiao, L., Fayer, R., Ryan, U., et al.: *Clin. Microbiol.Rev.*, **17**, 4572-97, 2004.
- 10) Fayer, R. and Ungar, B.L.P.: *Microbiol.Rev.*, **50** (4), 458-483, 1986.
- 11) Morgan-Ryan, U.M., Fall, A., Ward., L.A., et al.: *J. Eukaryot. Microbiol.*, **49**, 433-440, 2002.
- 12) WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*, 2nd ed., Vol. 2, 1996, Geneva.
- 13) 鈴木了司: 感染症, **16**(4), 36-39, 1986.
- 14) Hlavsa, M.C., Watson, J.C. and Beach, M.J.: *MMWR*, **54**, No. SS-1, 1-8, 2005.
- 15) 黒木俊郎: 病原微生物検出情報, **15**, 248-249, 1994.
- 16) 埼玉県衛生部: クリプトスポリジウムによる集団下痢症—越生町集団下痢症発生事件—報告書, 1997.
- 17) 国立感染症研究所感染症情報センター: 病原微生物検出情報, **26**, 165-166, 2005.
- 18) Hibler, C.P. and Hancock, C.M.: Waterborne giardiasis. In McFeters, G.A. (ed.), *Drinking Water Microbiology*, 271-293, Springer-Verlag, New York/Berlin/Heidelberg, 1990.
- 19) Thompson, R.C.A.: *Int. J. Parasitol.*, **30**, 1259-1267, 2000.
- 20) Grimason, A.M., Smith, H.V., Thitai, W.N., et al.: *Wat. Sci. Tech.*, **27**(3-4), 97-104, 1993.
- 21) Lin, S.D.: *J. AWWA.*, **77**(2), 40-47, 1985.
- 22) Glicher, J.L. and Edwards, R.A.: *J. AWWA.*, **83**(11), 46-51, 1991.
- 23) Hlavsa, M.C., Watson, J.C. and Beach, M.J.: *MMWR*, **54**, No.SS-1, 9-16, 2005.
- 24) 吉田幸雄: 図説人体寄生虫学, 第6版, 42-45, 2002, 南山堂, 東京.
- 25) 中島康雄: モダンメディア, **28**(7), 27-33, 1982.

- 26) Solo-Gabriele, H. and Neumeister, S.: *J. AWWA*, **88** (9), 76-86, 1996.
- 27) Lisle, J.T. and Rose, J.B.: *J. Wat. SRT-Aqua*, **44** (3), 103-117, 1995.
- 28) Pontius, F.W.: *J. AWWA*, **85** (8), 18,22,122-123, 1993.
- 29) Leland, D., McNulty, J., Keene, W., et al.: *J. AWWA*, **85** (6), 34-42, 1993.
- 30) 日本水道協会水道技術総合研究所「水道の原虫対策に関する研究会」: 水道協会雑誌, **68** (6), 75-84, 1999.
- 31) Stirling, R., Aramini, J., Ellis, A., et al.: *CCDR*, **27** (22), 185-192, 2001.
- 32) Robertson, L.J., Forberg, T., Hermansen, L., et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **72**, 2218-2220, 2006.
- 33) Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment: *Health Stream*, **41**, 10-11, 2006.
- 34) Rose, J.B.: Occurrence and control of *Cryptosporidium* in drinking water. In McFeters, G.A. (ed.), *Drinking Water Microbiology*, 294-321, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1990.
- 35) 鳥海宏, 高木正明, 坂本淳, 他: 病原微生物検出情報, **26**, 167-168, 2005.
- 36) 一戸真人, 福嶋得忍, 三瓶憲一, 他: 病原微生物検出情報, **26**, 169-170, 2005.
- 37) Craun, G.F.: *Wat. Sci. Tech.*, **24** (2), 17-20, 1991.
- 38) Herwaldt, B.L., Craun, G.F., Stokes, S.L. et al.: *JAWWA*, **84** (4), 129-135, 1992.
- 39) Moore, A.C., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **42**, No.SS-5, 1-22, 1993.
- 40) Nygård, K., Schimmer, B., Søbstad, Ø., et al.: *Eurosurveillance weekly*, **8** (46), 2004. (web版)
- 41) Robertson, L.J., Hermansen, L., Gjerde, B.K., et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **72**, 2212-2217, 2006.
- 42) 保坂三継: 原虫による汚染実態, 土屋悦輝, 中室克彦, 酒井康行編, 水のリスクマネジメント実務指針, 356-364, 1998, サイエンスフォーラム, 東京.
- 43) 橋本温, 河井健作, 西崎綾, 他: 水環境学会誌, **22**, 282-287, 1999.
- 44) 保坂三継, 落合由嗣, 矢野一好, 他: 用水と廃水, **44**, 295-303, 2002.
- 45) 保坂三継, 勝田千恵子, 榎田隆一, 他: 東京健安研七周年報, **54**, 290-295, 2003.
- 46) 猪又明子, 田中勇三, 高瀬和弥, 他: 水道協会誌, **71** (9), 31-38, 2002.
- 47) 五十嵐公文, 小西道生, 木村直広, 他: 平成13年度日本水道協会関東地方支部水質研究発表会講演集, 16-18, 2001.
- 48) 中西正治, 向井聖二, 保尊とし子, 他: 第52回全国水道研究発表会講演集, 558-559, 2001.
- 49) 橋本温, 平田強, 土佐光司, 他: 水環境学会誌, **20**, 404-410, 1997.
- 50) 諏訪守, 鈴木穰: 土木研究所資料第3533号, 20-25, 1998.
- 51) 川村吉晴, 五藤久貴: 平成11年度東京都下水道局技術調査年報, 165-173, 1999.
- 52) 平松順子, 佐藤誠一, 宮島裕子: 平成12年度日本水道協会関東地方支部研究発表講演集, 13-15, 2000.
- 53) 山下洋正, 斎野秀幸, 中島英一郎: 第37回日本水環境学会年會講演集, 381, 2003.
- 54) LeChevallier, M.W., Norton, W.D. and Lee, R.G.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, 2610-2616, 1991a.
- 55) LeChevallier, M.W., Norton, W.D. and Lee, R.G.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, 2617-2621, 1991b.
- 56) LeChevallier, M.W. and Norton, W.D.: *J. AWWA*, **84** (12), 54-60, 1992.
- 57) LeChevallier, M.W., Norton, W.D., Siegel, J.E., et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **61**, 690-697, 1995.
- 58) Rose, J.B.: *J. AWWA*, **80** (2), 53-58, 1988.
- 59) Rose, J.B., Gerba, C.P. and Jakubowski, W.: *Environ. Sci. Technol.*, **25**, 1393-1400, 1991.
- 60) Roach, P.D., Olson, M.E., Whitley, G., et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, 67-73, 1993.
- 61) Smith, H.V., Grimason, A.M., Benton, C., et al.: *Wat. Sci. Tech.*, **24** (2), 169-172, 1991.
- 62) Gilmour, R.A., Smith, H.V. and Smith, P.G., et al.: *Wat. Sci. Tech.*, **24** (2), 179-182, 1991.
- 63) Kfir, R., Hilner, C., du Preez, M., et al.: *Wat. Sci. Tech.*, **31** (5-6), 435-438, 1995.
- 64) 猪又明子, 保坂三継: 東京健安研七周年報, **57**, 313-318, 2006.
- 65) 保坂三継, 落合由嗣, 矢野一好, 他: 東京衛研年報, **52**, 254-259, 2001.
- 66) 保坂三継, 落合由嗣, 勝田千恵子, 他: 東京衛研年報, **53**, 223-228, 2002.
- 67) 保坂三継, 高田千恵子, 榎田隆一, 他: 東京健安研七周年報, **56**, 305-311, 2005.
- 68) Hashimoto, A., Kunikane, S. and Hirata, T.: *Wat. Res.*, **36**, 519-526, 2002.
- 69) Yoder, J.S., Blackburn, B.G., Craun, G.F., et al.: *MMWR*, **53**, No.SS-8, 1-21, 2004.
- 70) CDC, Division of Parasitic Diseases: Healthy Swimming, <http://www.cdc.gov/healthyswimming/>