

約 0.4/10⁴ base) となる傾向が認められた。

- 4) 紫外線照射によって生じるピリミジン二量体には光回復で修復できる二量体とできない二量体があり、修復できない二量体は少量の紫外線照射で速やかに生成され、紫外線照射線量の増加に伴って修復できる二量体が増加するものと考えられた。
- 5) 暗回復では光回復とは異なり、生成 ESS 数が多いものほど、暗回復後の残存 ESS 数が多くなる傾向が認められた。
- 6) 紫外線照射により一旦喪失した感染力が回復しないのは、光回復および暗回復のいずれのプロセスでも一部のピリミジン二量体が修復されずに残存する結果、それらが DNA の複製阻害をもたらすことによるものと推測された。

参考文献

- Atherton F, Newman C P S and Casemore D P (1995) An outbreak of waterborne cryptosporidiosis associated with a public water supply in the UK, *Epidemiol. Infect.*, **115**, 123-131
- Clancy J L, Bukhari Z, Hargy T M, Bolton J R, Dussert B W and Marshall M M (2000) Using UV to inactivate *Cryptosporidium*, *J. AWWA.*, **92**(9), 97-104
- Craik S A, Weldon D, Finch G R, Bolton J R and Belosevic M (2001) Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation, *Wat. Res.*, **35**(6), 1387-1398
- Fox K R, and Lytle D A (1996) Milwaukee's crypto outbreak: investigation and recommendations, *J. AWWA.*, **88**(7), 87-94
- Freeman S E, Blackett A D, Monteleone D C, Setlow R B, Sutherland B M and Sutherland J C (1986) Quantitation of radiation-, Chemical-, or enzyme-induced single strand breaks in nonradioactive DNA by alkaline gel electrophoresis: application to pyrimidine dimers, *Analytical Biochem.*, **158**, 119-129
- Harm W (1980) Biological effects of ultraviolet radiation, Cambridge university press, 31-39
- Kamiko N and Ohgaki S (1989) RNA coliphage Q β as a bioindicator of the ultraviolet disinfection efficiency, *Wat. Sci. Tech.*, **21**(3), 227-231
- Liltved H and Landfald B (1996) Influence of liquid holding recovery and photoreactivation on survival of ultraviolet-irradiated fish pathogenic bacteria, *Wat. Res.*, **30**(5), 1109-1114
- Linden K G and Darby J L (1998) Ultraviolet disinfection of marginal effluents: determining ultraviolet absorbance and subsequent estimation of ultraviolet intensity, *Wat. Environ. Res.*, **70**(2), 214-223

- 三谷啓志, 嶋昭紘 (1989) 動物細胞の光回復酵素の謎, *放射線生物研究*, 24(4), 229-240
- Mitchell D L and Nairn R S (1989) The biology of the (6-4) photoproduct, *Photochem. Photobiol.*, 49(6), 805-819
- Mitchell D L, Jen J and Cleaver J E (1992) Sequence specificity of cyclobutane pyrimidine dimers in DNA treated with solar(ultraviolet B) radiation, *Nucleic Acids Res.*, 20(2), 225-229
- Mofidi A A, Baribeau H, Rochelle P A, Leon R D, Coffey B M and Green J F (2001) Disinfection of *Cryptosporidium parvum* with polychromatic UV light, *J. AWWA.*, 93(6), 95-109
- Morita S, Namikoshi A, Hirata T, Oguma K, Katayama H, Ohgaki S, Motoyama N and Fujiwara M (2002) Efficacy of UV irradiation in inactivation *Cryptosporidium parvum* oocysts, *AEM*, 68(11), 5387-5393
- Oguma K, Katayama H, Mitani H, Morita S, Hirata T and Ohgaki S (2001) Determination of pyrimidine dimers in *Escherichia coli* and *Cryptosporidium parvum* during UV light inactivation, photoreactivation, and dark repair, *AEM*, 67(10), 4630-4637
- Oguma K, Katayama H and Ohgaki S (2002) Photoreactivation of *Escherichia coli* after low- or medium-pressure UV disinfection determined by an endonuclease sensitive site assay, *AEM*, 68(12), 6029-6035
- 志村有通, 竹馬大介, 森田重光, 平田強 (2000) 塩素の *Cryptosporidium parvum* オーシスト不活化効果とその濃度依存性, *水道協会雑誌*, 70(1), 92-99
- Shin G A, Linden K G, Arrowood M J and Sobsey M D (2001) Low-pressure UV inactivation and DNA repair potential of *Cryptosporidium parvum* oocysts, *AEM*, 67(7), 3029-3032
- Sommer R, Lhotsky M, Haider T and Cabaj A, (2000) UV inactivation, liquid-holding recovery, and photoreactivation of *Escherichia coli* O157 and other pathogenic *Escherichia coli* strains in water., *J. Food Protection*, 63(8), 1015-1020
- Sonntag C V (1986) Disinfection by free radicals and UV-radiation, *Wat. Supply*, 4, 11-18
- 土佐光司, 平田強, 竹馬大介, 古畑勝則, 福山正文, (1997) 下痢原性大腸菌の紫外線による不活化と光回復, *水環境学会誌*, 20(9), 610-615
- Veatch W and Okada S (1969) Radiation-induced breaks of DNA in cultured mammalian cells, *Biophysical J.*, 9, 330-347
- Zimmer J L and Slawson R M (2002) Potential repair of *Escherichia coli* DNA following exposure to UV radiation from both medium- and low-pressure UV sources used in drinking water treatment, *AEM*, 68(7), 3293-3299
- Zimmer J L, Slawson R M and Huck P M (2003) Inactivation and potential of *Cryptosporidium parvum* following low- and medium-pressure ultraviolet irradiation, *Wat. Res.*, 37, 3517-3523

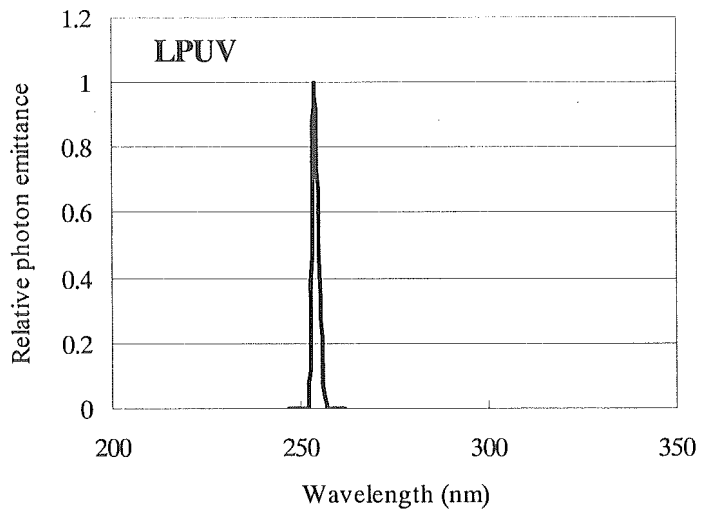


Fig 1 Relative photon emittance of low-pressure mercury UV lamp

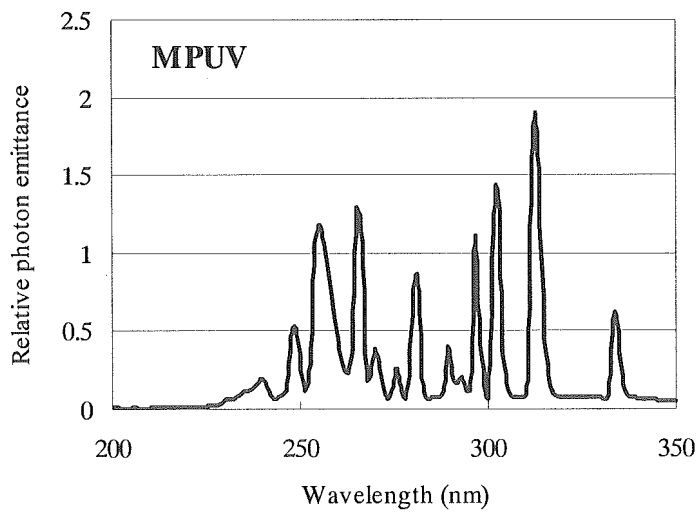


Fig 2 Relative photon emittance of medium-pressure mercury UV lamp

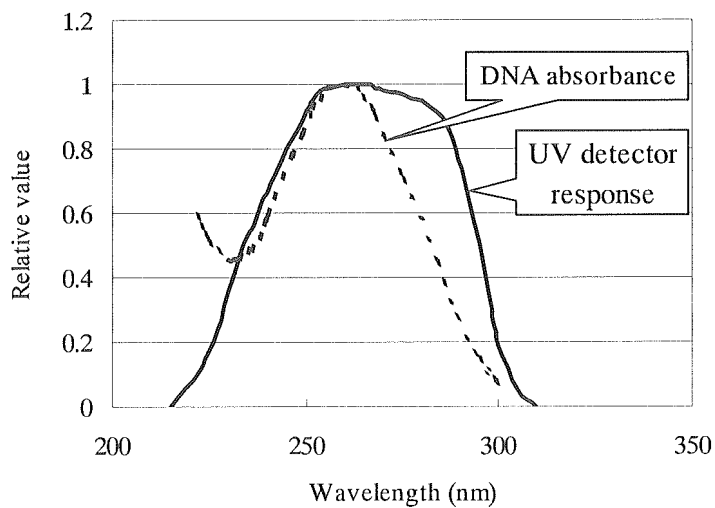


Fig 3 Relative spectral distribution of UV detector response and DNA absorbance

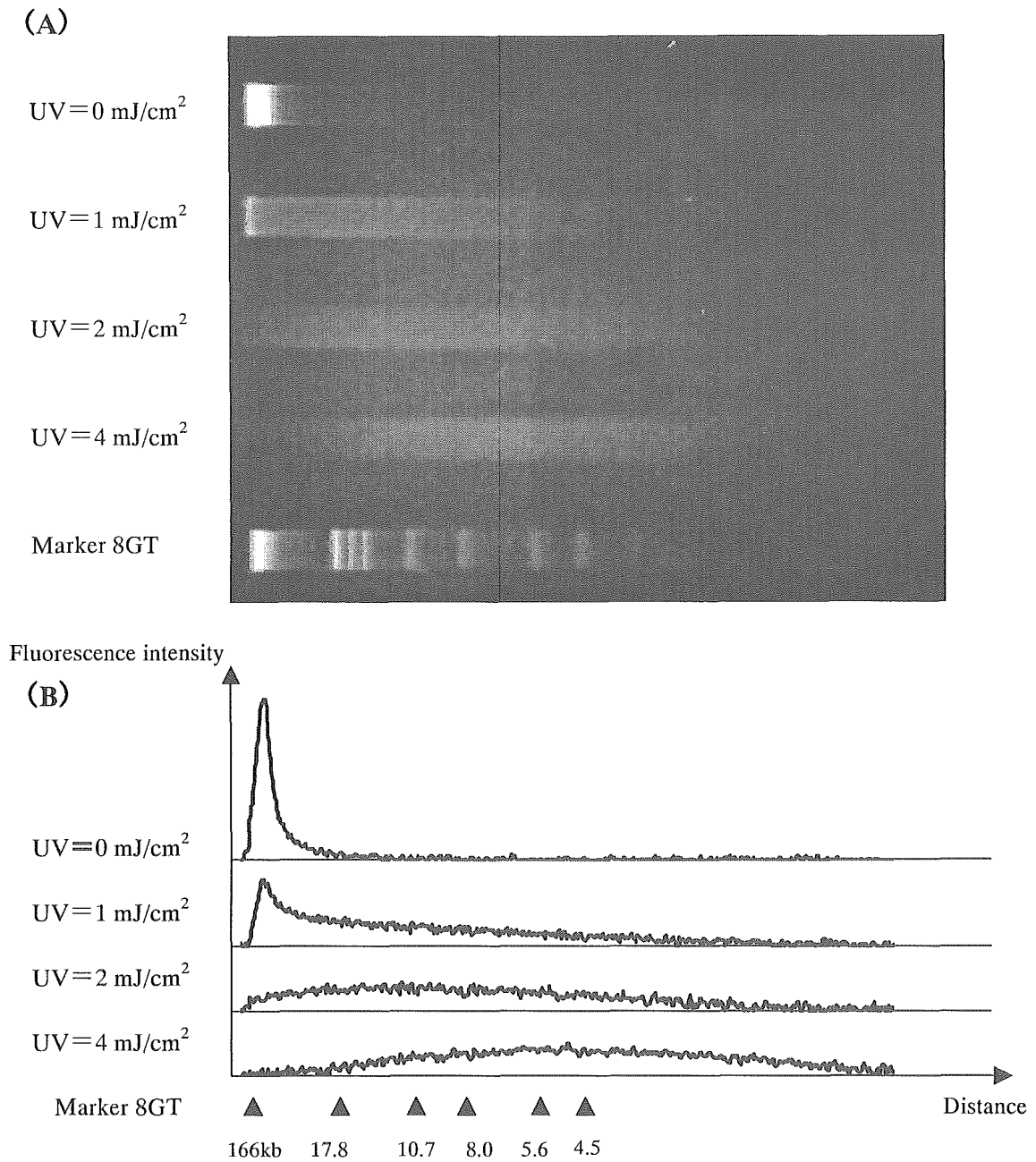


Fig 4 The result of ESS assay during UV irradiation of *C. parvum*
 (A) Photographic image of the alkaline agarose gel after electrophoresis
 (B) Profiles of DNA distributions from Fig 4(A)

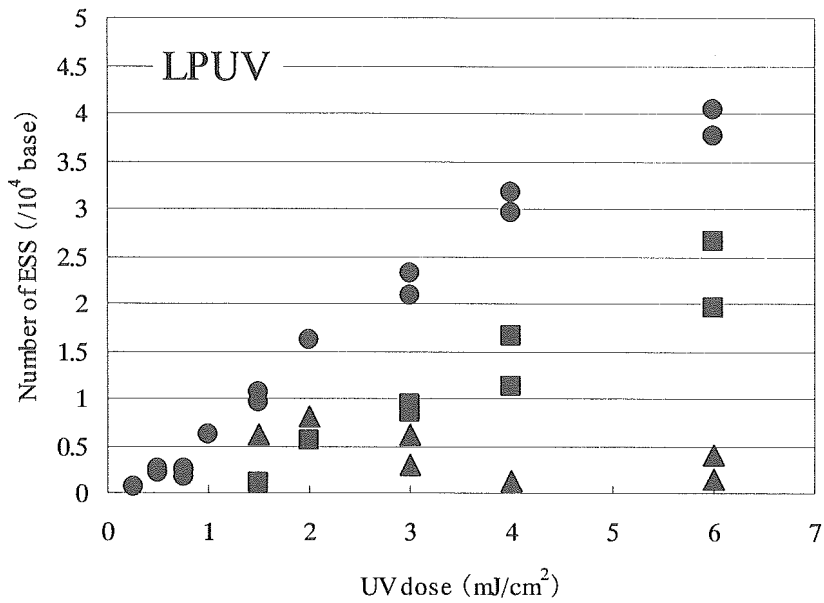


Fig 5 The number of ESS following LPUV irradiation, photoreactivation and dark repair
 ● : Immediately following LPUV irradiation ▲ : Photoreactivation
 ■ : Dark repair

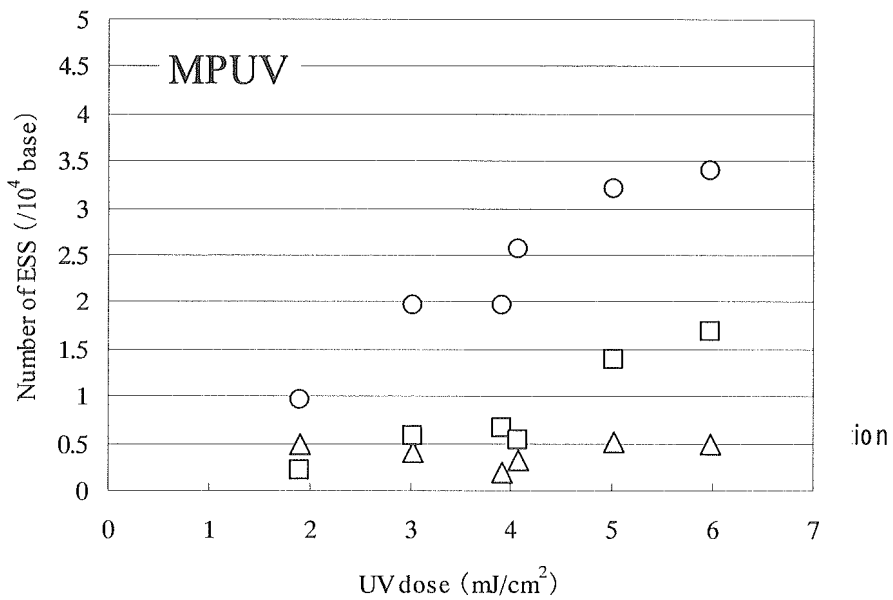


Fig 6 The number of ESS following MPUV irradiation, photoreactivation and dark repair
 ○ : Immediately following MPUV irradiation △ : Photoreactivation
 □ : Dark repair

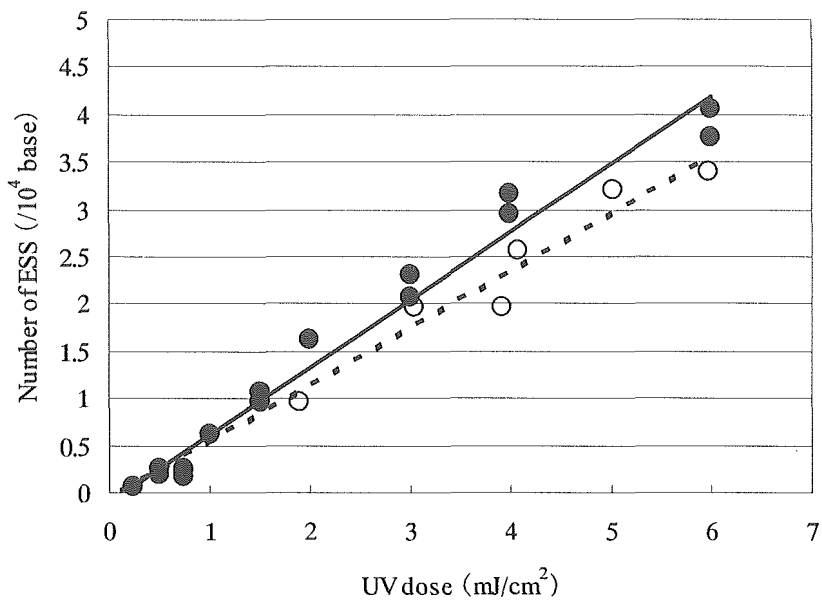


Fig 7 Comparison of the number of ESS induced by LPUV and MPUV irradiation
 ●:LPUV ○:MPUV

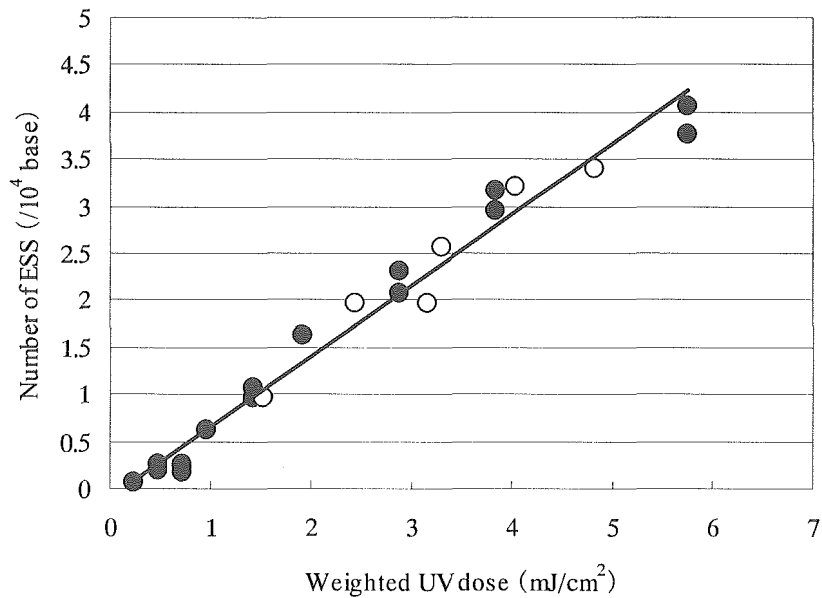


Fig 8 Comparison of LPUV and MPUV estimates using weighted UV dose
 ●:LPUV ○:MPUV

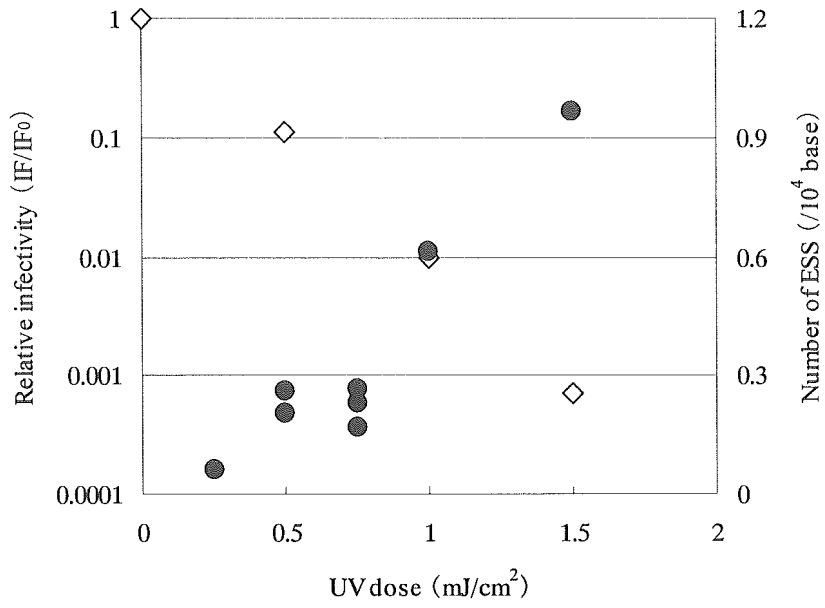


Fig 9 Relationship between UV dose and number of ESS or relative infectivity
 ●: Number of ESS ◇: Relative infectivity

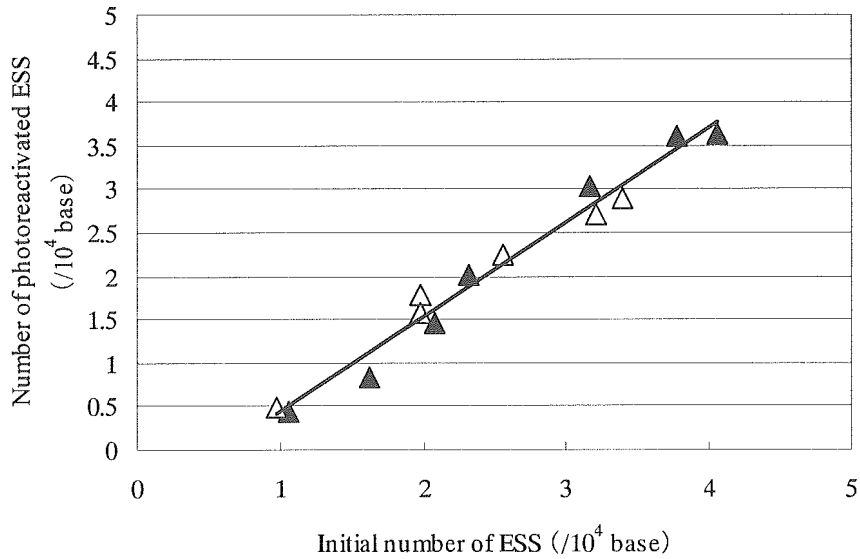


Fig 10 Relationship between the number of photoreactivated ESS and the number of ESS immediately following UV irradiation
 ▲: LPUV △: MPUV

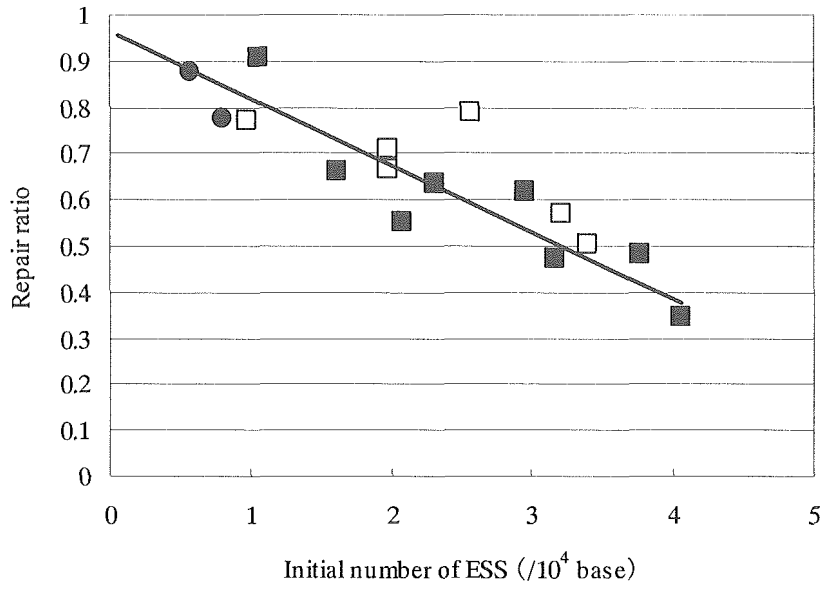


Fig 11 Relationship between repair ratio and the number of ESS immediately following UV irradiation
 ■:LPUV □:MPUV ●:LPUV (Oguma *et al.*, 2001)

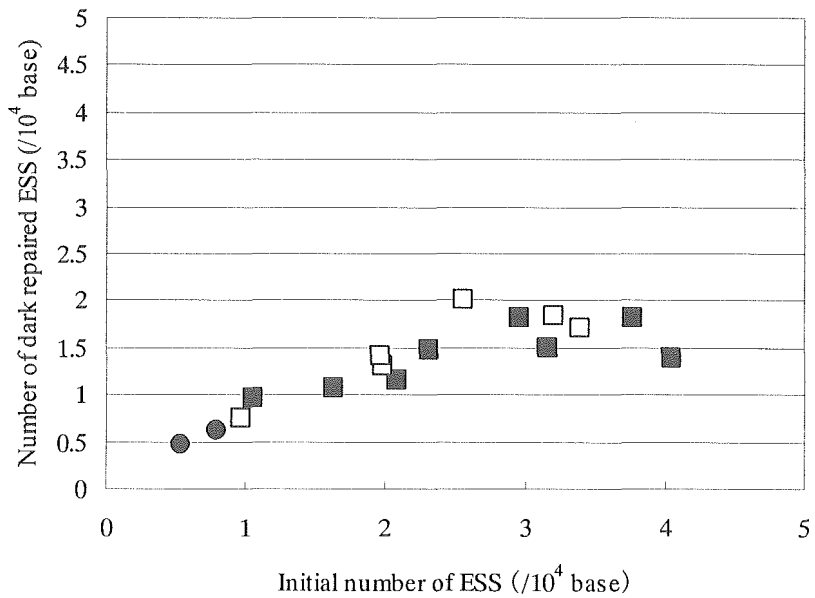


Fig 12 Relationship between the number of dark repaired ESS and the number of ESS immediately following UV irradiation
 ■:LPUV □:MPUV ●:LPUV (Oguma *et al.*, 2001)

Table 1 Experimental conditions and number of ESS induced by LPUV irradiation

trial	UV dose (mJ/cm ²)	UV irradiance (mW/cm ²)	Irradiation time (sec)	Number of ESS (/10 ⁴ base)
1	0.50	0.10	5.0	0.26
	1.00	0.10	10	0.61
	1.50	0.10	15	0.97
2	0.25	0.10	2.5	0.06
	0.50	0.10	5.0	0.20
	0.75	0.10	7.5	0.17
	0.75	0.10	7.5	0.23
	0.75	0.10	7.5	0.26
3	3.00	0.10	30	2.31
	6.00	0.10	60	4.05
4	2.00	0.10	20	1.63
	4.00	0.10	40	2.96
5	3.00	0.10	30	2.08
	6.00	0.10	60	3.77
6	1.50	0.10	15	1.06
	4.00	0.10	40	3.16

Table 2 Photoreactivation of *C. parvum* following LPUV irradiation

trial	UV dose (mJ/cm ²)	Number of ESS (/10 ⁴ base)	repair time (hour)	Number of ESS after repair treatment (/10 ⁴ base)	Number of ESS repaired (/10 ⁴ base)	Repair ratio
3	3.00	2.31	2	0.31	2.01	0.87
	6.00	4.05	2	0.40	3.65	0.90
4	2.00	1.63	2	0.80	0.82	0.51
5	3.00	2.08	2	0.62	1.45	0.70
	6.00	3.77	2	0.15	3.61	0.96
6	1.50	1.06	2	0.63	0.43	0.41
	4.00	3.16	2	0.13	3.03	0.96

Table 3 Dark repair of *C. parvum* following LPUV irradiation

trial	UV dose (mJ/cm ²)	Number of ESS (/10 ⁴ base)	repair time (hour)	Number of ESS after repair treatment (/10 ⁴ base)	Number of ESS repaired (/10 ⁴ base)	Repair ratio
3	3.00	2.31	24	0.84	1.47	0.64
	6.00	4.05	24	2.65	1.40	0.35
4	2.00	1.63	24	0.55	1.08	0.66
	4.00	2.96	24	1.13	1.82	0.62
5	3.00	2.08	24	0.93	1.15	0.55
	6.00	3.77	24	1.96	1.81	0.48
6	1.50	1.06	24	0.10	0.96	0.91
	4.00	3.16	24	1.66	1.50	0.47

Table 4 Experimental conditions and number of ESS induced by MPUV irradiation in *C. parvum*

trial	UV dose (mJ/cm ²)	UV irradiance (mW/cm ²)	Irradiation time (sec)	Number of ESS (/10 ⁴ base)
1	1.90	0.95	2.0	0.97
2	3.92	1.40	2.8	1.98
3	4.08	1.36	3.0	2.56
	5.98	1.36	4.4	3.39
4	3.03	1.32	2.3	1.97
	5.02	1.32	3.8	3.21

Table 5 Photoreactivation of *C. parvum* following MPUV irradiation

trial	UV dose (mJ/cm ²)	Number of ESS (/10 ⁴ base)	repair time (hour)	Number of ESS after repair treatment (/10 ⁴ base)	Number of ESS repaired (/10 ⁴ base)	Repair ratio
1	1.90	0.97	2	0.48	0.48	0.50
2	3.92	1.98	2	0.19	1.79	0.90
3	4.08	2.56	2	0.32	2.24	0.88
	5.98	3.39	2	0.49	2.90	0.86
4	3.03	1.97	2	0.40	1.57	0.80
	5.02	3.21	2	0.51	2.70	0.84

Table 6 Dark repair of *C. parvum* following MPUV irradiation

trial	UV dose (mJ/cm ²)	Number of ESS (/10 ⁴ base)	repair time (hour)	Number of ESS after repair treatment (/10 ⁴ base)	Number of ESS repaired (/10 ⁴ base)	Repair ratio
1	1.90	0.97	24	0.22	0.75	0.77
2	3.92	1.98	24	0.66	1.31	0.67
3	4.08	2.56	24	0.54	2.01	0.79
	5.98	3.39	24	1.68	1.71	0.50
4	3.03	1.97	24	0.57	1.40	0.71
	5.02	3.21	24	1.38	1.83	0.57

2-3

中圧紫外線と低圧紫外線の

Cryptosporidium parvum HNJ-1オーシスト不活化力の比較

中圧紫外線と低圧紫外線の *Cryptosporidium parvum* HNJ-1 オーシスト不活化力の比較

分担研究者 平田 強（麻布大学環境保健学部 教授）

協力研究者 森田重光（麻布大学環境保健学部 講師）

要旨

異なる株を用いて行われている *Cryptosporidium parvum* のオーシストの紫外線による不活化データを統合するために、米国で多用されている *C. parvum* Iowa 株と日本で多用されている *C. parvum* HNJ-1 株について、同一条件で低圧紫外線並びに中圧紫外線を照射し、その不活化レベルを Scid マウスで評価した。その結果、*C. parvum* HNJ-1 株は、米国を中心に多用されている *C. parvum* Iowa 株に比べて、紫外線感受性が低圧、中圧のいずれの場合も 1.17 倍高いことが明らかになった。

1. 目的

一般に種が同一であっても株が異なると生物の諸特性が異なることがあり、特性の評価に際しては株差に関して留意する必要がある。これまでわが国で行われてきたクリプトスポリジウムに関する研究の多くは、*Cryptosporidium parvum* HNJ-1 株のオーシストを用いて行われたものが大部分である。これに対して、世界的に最も研究データの多い米国で不活化に関する研究に最も多用されているのは、*C. parvum* Iowa 株のオーシストである。このように異なる株が用いられているにもかかわらず、不活化特性に関する両株間の株差に関する検討はまったく行われていない。このため、研究データの比較や統合の妨げとなっている。そこで本研究では、*C. parvum* Iowa 株 *C. parvum* HNJ-1 株の低圧紫外線及び中圧紫外線に対する感受性について、比較実験を行った。

2. 材料と方法

2. 1 供試 *C. parvum*HNJ-1 株オーシスト

供試 *C. parvum* オーシストは井関基弘博士（金沢大学医学部）より分与されたヒト分離由来である HNJ-1 株を Scid (CB-17.1cr, 日本クレア) マウスで継代維持して用いた。供試 *C. parvum* オーシストはマウスの糞便からスクロース密度勾配遠心分離法により精製分離し、150 mM リン酸塩緩衝液中で保存したものを供試 *C. parvum* オーシスト懸濁液とした。精製より 1 ヶ月以内の *C. parvum* オーシストを試験に供した。

C. parvum Iowa 株オーシストは、Waterborne Inc., New Orleans, LA, USA から入手した。これは、感染仔牛の下痢便から精製したものである。

2. 2 紫外線ランプ

LPUV 照射には 5 W LPUV ランプ (QCGL5W-14 97D, 岩崎電気) を、MPUV 照射には 330 W MPUV ランプ (B410MW, 荏原製作所) を用いた。

2. 3 紫外線照射線量率の測定方法

LPUV および MPUV の照射線量率は紫外線積算光量計 (UIT-150 S254, ウシオ電機) を用

いて測定した。MPUV ランプの放出波長は広域に渡るが、本研究で用いた光量計は DNA 吸収スペクトルに近い分光感度を持つため、DNA に作用する波長域とほぼ同様な光エネルギーを測定していることになる。

2. 4 感染性の測定

5 週齢雄性 SCID マウス (C.B-17/1cr, CLEA Japan Inc.) を使用した。新たな飼育環境に適応させるために 1 週間予備飼育して 6 週齢とした後、感染試験に供した。動物感染試験は麻布大学動物実験委員会の審査を受け、信頼性のある不活化定量値が得られる必要最小限の匹数で行なった。

紫外線照射群および対象群 (紫外線非照射) 試料溶液中のオーシスト数を血球計算盤法で計数し、所定の濃度となるように 5 倍希釈して 4~5 段階の段階希釈列を調製した。投与量は 500 μ L/匹とし、各希釈段階あたり 5 匹のマウスに経口ゾンデで胃内投与した。投与後に死亡したマウスはなかった。投与 4 週間後に 1 日分の糞便を回収し、シヨ糖浮遊法で精製した後、間接蛍光抗体染色した。すなわち、撥水ペンで円を描いたセルロースアセテート製メンブランフィルター (孔径 3.0 μ m, 直径 25mm, ADVANTEC) を 150mM PBS に浸してから吸引ろ過器にセットし、150mM PBS, 1%BSA, 0.1%NGS をそれぞれ 1mL ずつ滴下して吸引ろ過した。その後、シヨ糖浮遊法で精製した試料溶液を約 1 mL ろ過し、次いで 150mM PBS, 1%BSA, 0.1%NGS をそれぞれ 1 mL ずつ滴下して洗浄した。その後、1 次抗体 (Hydrofluor Combo Kit, Strategic Diagnostics) を 100 μ L 滴下し、湿度の保たれた暗所で 25 分間反応させ、150mM PBS, 1%BSA, 0.1%NGS をそれぞれ 1mL ずつ滴下して洗浄した。そして 2 次抗体を 100 μ L 滴下して 25 分間反応させ、150mM PBS, 1%BSA, 0.1%NGS で洗浄した後、エタノールグリセリン溶液で脱水した。最後にフィルターを 2%DABCO グリセリン封入液を 1 滴のせたスライドガラスにのせ、さらに 2%DABCO グリセリン封入液を 1 滴のせてカバーガラスをのせプレパラートとした。これを落射蛍光顕微鏡 (BX-60, OLYMPUS) の B 励起で観察し、アップルグリーン色に染色されたオーシストが確認されたものを感染陽性とした。この段階で陰性のマウスについては更に 1 週間飼育したのち再検査した。再検査でもオーシストが確認されなかったマウスは感染陰性とした。

各希釈段階のオーシスト投与数、供試マウス匹数および感染陽性マウス匹数データから、Hurley and Roscoe (1983) の MPN 計算法を用いて 1 MPN 発現オーシスト数を求め、(4) 式から相対感染力 (I_r) を算出した。

$$I_r = \frac{MPN_a}{MPN_0} \quad (4)$$

ここで、 MPN_a : 紫外線照射群の 1 MPN 発現オーシスト数

MPN_0 : 紫外線非照射群の 1 MPN 発現オーシスト数

3. 結果及び考察

低圧紫外線を用いたときの両株の比較結果を図 1 に示す。HNJ-1 株では紫外線照射量の増加に伴って感染性は指数関数的に減少している。また、紫外線線量 1.0mJ/cm² 当たりの不活化 log₁₀ 数は 2.02 となっており、これまでの低圧紫外線による不活化データと良く一致している。

Iowa 株でも紫外線照射量の増加に伴う感染性の低下は指数関数に従っているが、紫外線線量 $1.0\text{mJ}/\text{cm}^2$ 当たりの不活化 \log_{10} 数は 1.71 となり、HNJ-1 株で見られた 2.01 よりもやや小さい値であった。このように、HNJ-1 株と Iowa 株間に感受性に差が認められ、HNJ-1 株の紫外線感受性は Iowa 株の 1.18 ($2.02/1.71$) 倍であった。

中圧紫外線を用いたときの比較結果を図 2 に示す。低圧紫外線の場合と同様、両株とも紫外線照射量の増加に伴う感染性の低下は指数関数に従っていた。紫外線線量 $1.0\text{mJ}/\text{cm}^2$ 当たりの不活化 \log_{10} 数は HNJ-1 株では 1.81、Iowa 株では 1.55 であり、HNJ-1 株の紫外線感受性は Iowa 株の 1.17 ($1.81/1.55$) 倍であった。

このように、HNJ-1 株と Iowa 株はともに低圧紫外線、中圧紫外線のいずれに対しても、照射線量の増加に伴って指数関数で減少すること、HNJ-1 株の紫外線に対する感受性は Iowa 株の 1.18 倍（低圧紫外線の場合）、1.17 倍（中圧紫外線の場合）であり、紫外線の種類に関係なく一定であることが明らかになった。

4. 結論

わが国でヒトから単離され、各種の実験に供されている *C. parvum* HNJ-1 株のオーシストは、米国を中心に多用されている *C. parvum* Iowa 株オーシストに比べて、紫外線感受性が低圧、中圧のいずれの場合も 1.17 倍高いことが明らかになった。

参考文献

特になし。

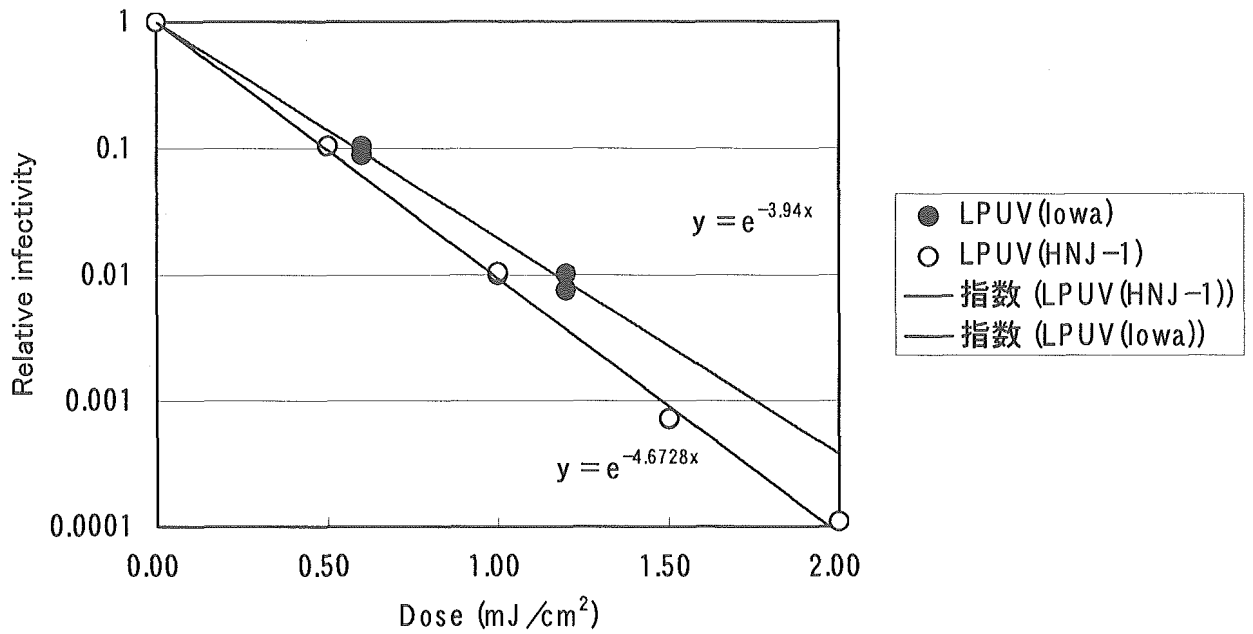


図1 低圧紫外線 (LPUV) の照射線量と *C.parvum* 不活化の関係

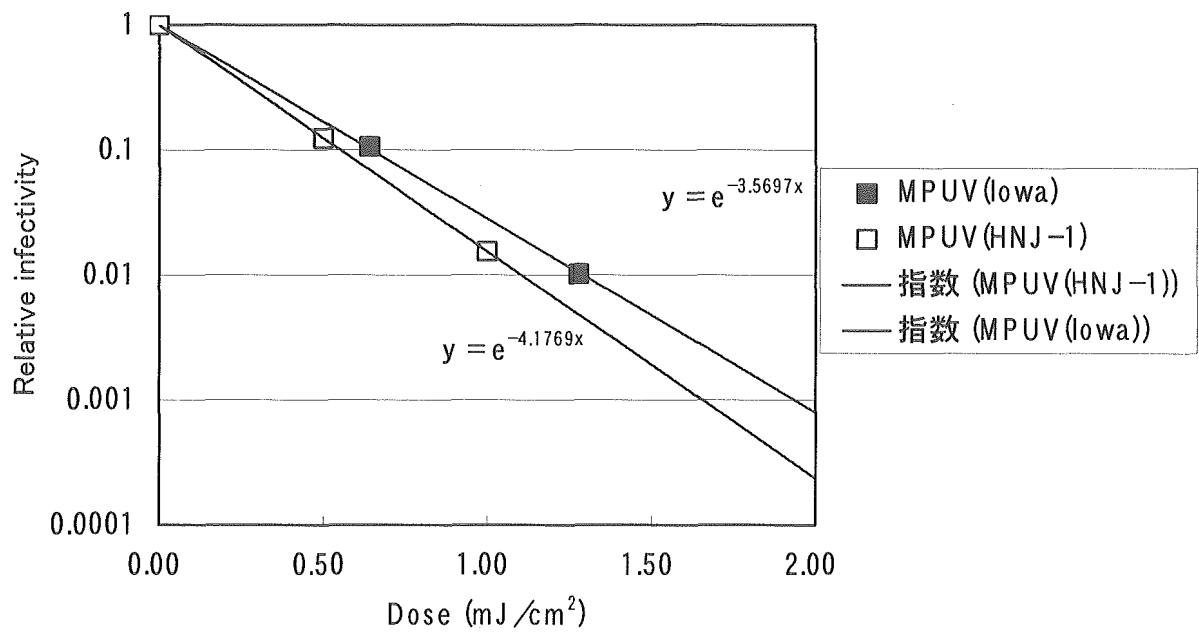


図2 中圧紫外線 (MPUV) の照射線量と *C.parvum* 不活化の関係

表1 単位線量当たりの不活化力の比較

UVランプのタイプ	LPUV		MPUV	
<i>C. parvum</i> のstrain	Iowa	HNJ-1	Iowa	HNJ-1
1mJ/cm ² のlog不活化力	1.71	2.02	1.55	1.81
Iowa/HNJ-1比	0.85		0.86	

2-4

塩素消毒の補完技術としての紫外線消毒
ー水道のクリプトスポリジウム対策として

塩素消毒の補完技術としての紫外線消毒－水道のクリプトスポリジウム対策として

分担研究者 平田 強（麻布大学環境保健学部 教授）

1. 水系クリプトスポリジウム感染症の大規模集団発生が多発

1983年以降、飲料水を介したクリプトスポリジウムの集団感染事例が米国、英国などから多数報告されている。世界最大規模の水系感染事例は1993年の米国ウィスコンシン州ミルウォーキーで発生、給水人口約80万人中実に40万人もの患者を出し、AIDS患者を中心に1995年末までに100人を超える死者を出したのはあまりにも有名である。我国では、1994年8月末から9月上旬にかけて、神奈川県平塚市の雑居ビルで地下式受水槽が汚水により汚染され、我国初の水系クリプトスポリジウム集団感染が生じた。少なくとも736人が暴露され、そのうち実に461人が下痢・腹痛などの症状を訴えていた¹⁾。そしてその2年後の1996年、埼玉県越生町で水道水が直接の感染経路となって集団感染が発生、埼玉県の行ったアンケート調査で、12,345人のうち実に8,812人が下痢または腹痛があったと回答している²⁾。

これらのクリプトスポリジウム集団感染が多発している水道には、塩素消毒のみで給水している水道で水源が汚染された場合や、汚染が想定される表流水を水源としているにもかかわらず不適切な浄水処理システムを導入している場合のほかに、「凝集沈澱＋ろ過＋消毒」からなる適切な浄水処理を行っている水道で、管理上のミスがあったため、濁度、大腸菌群などの水質基準を満たしてはいたものの、集団感染が発生している例も少なくない。

2. クリプトスポリジウムとは

生物学的分類上は真コクシジウム目のアイメリア亜目の4属のなかの *Cryptosporidium* 属の原虫をいい、5種が知られている。ヒトに感染するのは *Cryptosporidium parvum* という種が主である。免疫不全者では *C. muris* や *C. baileyi* など、健常者では感染しない種にも感染する。感染型はオーシストで、それが消化管に入ると胃酸並びに胆汁酸の刺激により脱囊し、遊離したスポロゾイトが腸管上皮細胞の微絨毛内に侵入して、そこで激しく増殖する。このため増殖に伴って微絨毛が破壊され、遊離したメロゾイトが他の微絨毛への侵入・増殖を繰り返す。こうして微絨毛組織が破壊されて水分／栄養吸収機能が損なわれ、重度の下痢をもたらす。増殖の過程で無性生殖と有性生殖を同時に行うが、有性生殖で大量に形成されたオーシストが糞便中に排出され、ピーク期にはヒトで 10^9 個/人・日、ウシで 10^{10} 個/頭・日排出する。経口摂取における1%感染量は2.4個（1個のオーシストを経口摂取したときの感染確率は0.4%）とされている。

感染型であるオーシストは径4-6 μ mの類円形で、感染症をもたらす原虫類としては最小の部類に入る。このため急速砂ろ過システムで完全に除去するのは不可能で、運転状況にもよるが、0.01～1%はろ過池を通り抜ける。そのうえ、虫体のスポロゾイトが4個、強固なオーシスト壁に包まれて保護されているため、消毒剤耐性や環境耐性が著しく強い。

3. なぜクリプトスポリジウム感染症が発生するのか

近代水道ではほとんどの水道で、微生物的安全性を確保するために消毒を行っている。それにもかかわらずクリプトスポリジウムの感染症が発生する理由として、クリプトスポリジウムの感

染型であるオーシストが著しい消毒耐性を有することが挙げられる。クリプトスポリジウムのオーシストを99%不活化するのに要する消毒剤のCT値(濃度×時間)は、遊離塩素で1600mg・min/L (pH7, 20℃)³⁾、オゾンでは2~3mg・min/L (20℃)^{4,5)}、二酸化塩素では40~60mg・min/L (5~20℃)程度であり、世界で最も多用されている塩素に対する耐性が著しく高く、遊離塩素1mg/Lで99%不活化するのに必要な接触時間は、pH7, 水温20℃で、実に27時間にも達する。このような消毒耐性の著しく高い病原微生物が水道による大規模集団感染の原因となることは、近代水道では予期していなかったことで、クリプトスポリジウムにその盲点を衝かれた格好になっている。

もう一つの理由としては、生残性が著しく高いことが挙げられよう。生きているオーシスト数が15℃の水中で1/10に低下するのに100日もの日数を要し、水のある環境あれば長期間生きている。このため、古い汚染であっても、感染症の原因となりうる。

4. どのような対策が考えられるか

では、浄水場で取りうる対策としては、どのようなものがあるのか。それは、物理的に除去するか、消毒剤でたたく以外にない。

物理的に除去する方法としては、旧来の技術である急速砂ろ過法や緩速砂ろ過法がある。これらの方法では99~99.9%の除去が期待できる。99.9%除去といえば非常に高い値であるが、クリプトスポリジウムの感染力(オーシスト1個の摂取で感染率0.4%)から見ると、高度に汚染された水源から原水を取水する水道では必ずしも十分でない場合もありうる。より確実な物理的除去が期待できる方法は膜ろ過法である。精密ろ過(MF)膜も限外ろ過(UF)膜も、事実上、クリプトスポリジウムをほぼ完全に(99.9999%以上(7log以上))除去できると見てよい⁶⁾。したがってクリプトスポリジウム対策として利用できる最も優れた方法は膜ろ過法であるといえよう。

一方、消毒剤でたたく方法としては、オゾン、二酸化塩素、紫外線が考えられる。このうち、オゾンは常温であれば有効であるが、低水温の場合に非常に大きなCT値(たとえば0℃では99%不活化に40~50mg・min/L)が要求されるうえに、水道で使用する場合は後段に活性炭処理を必要とするので、費用的に現実的でない。二酸化塩素は、消毒副生成物の問題から注入量が制約され、十分な対応ができないという欠点を抱えている。現時点で水道に導入できると考えられる消毒方法としては、最近になって極めて有効であることが明らかになった紫外線が挙げられる。以下、クリプトスポリジウムに対する紫外線消毒の効果を見てみよう。

5. 紫外線消毒

(1) 低圧紫外線によるクリプトスポリジウムの不活化

クリプトスポリジウムの不活化を評価する方法として、虫体であるスポロゾイトがオーシストから飛び出す行為(これを脱囊という)の有無で生物としての生死(生育活性)を評価する方法と、実験動物や培養細胞への感染性で評価する方法がある。かつては、クリプトスポリジウムオーシストの99%不活化照射線量は、生育活性で評価すると百数十~数千mJ/cm²にも達するとされ^{7,8)}、紫外線処理は実用的ではないと考えられていた。ところが近年になって、感染性で評価すると、わずか2~10mJ/cm²の紫外線照射量でクリプトスポリジウムが99%不活化されるとの報告が相次いだ⁹⁻¹³⁾。これらの値は、脱囊等によって評価された不活化線量の数十~200分の1程度の