

# 水環境における病原微生物の実態と水質基準

The Actual Condition of Pathogenic Microorganisms in Water Environment and its Regulation

大瀧雅寛

Masahiro OTAKI

(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科人間環境科学専攻)

## 0. はじめに

人間が健康で快適な生活を行うためには安全な水の確保が重要であることはいうまでもない。考えてみれば海外旅行へ行くときよく水に注意しろというが、その時の「危ない水」という意味は、下痢等の何か危ない病気にかかる危険性があるということを示している。これは即ち病原微生物が含まれている水に注意しろと言っていることとほぼ同義である。

現在のわが国においては水道の蛇口をひねる際、飲んだら下痢になるかもしれないと思う人はほとんどいまい。そんな病気の心配よりも「カルキ臭い」とか、単に「マズイ」とか思う方が多いだろう。振り返ってみるとわが国では、病原微生物的に安全な水の供給が確立したのは、明治期の近代水道の敷設に端を発する。世界的に見ても病原微生物を除去するという認識の元に水道を敷設し始めたのは、たかだか1世紀強ほど前に過ぎない。

ここでは病原微生物の排除という目的で水道が整備されていった経緯を、水由来の感染症の歴史を振り返ることによって説明する。また現在の病原微生物の状況及び微生物に関する水質基準についても解説する。

## 1. 病原微生物による水系感染症の実態

### 1.1 水系感染症の定義

まず水系感染症には一般的に次のような共通性が存在する。特にc)については歴史的事実がそれを証明している。

a) 被害発生区域と水使用区域が一致する

b) 集団的に多数発生する傾向にある。

c) 原因となる水の使用の中止もしくは改善により被害が減少する。

d) 水中に原因となる微生物が検出される

e) 検出される病原体は、多くの菌型がある病原の場合でもほとんど同じ菌型である。

### 1.2 水系感染症の歴史

#### 1) Mills-Reineckeの現象

1892年にドイツのHamburg市とAltona市でのコレラの流行(図1)があった。

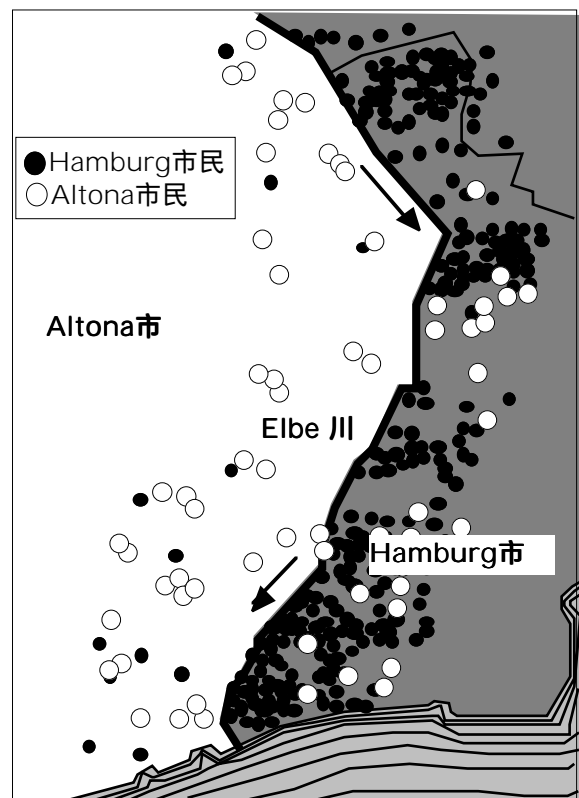


図1 1892年のHamburg市とAltona市におけるコレラ患者の分布<sup>1)</sup>

共にElbe川の水を供給していたのだが、Altona市では供給する前に浄水処理

表1 近代水道布設前後による死亡率の変化<sup>1)</sup> [%]

都市	人口1万人に対する腸チフス・赤痢・コレラによる死亡率			人口1万人に対する一般死亡率		
	給水開始前	給水開始後	増減	給水開始前	給水開始後	増減
東京市	7.93	3.83	- 4.10	205.5	186.8	- 16.9
大阪市	19.44	8.95	-10.49	243.5	241.2	- 2.3
横浜市	93.46	11.74	-81.72	433.7	226.9	-206.8
神戸市	30.69	8.03	-22.66	262.5	245.3	- 20.2
長崎市	44.40	14.17	-30.23	236.2	176.1	- 60.1
佐世保市	11.71	1.99	- 9.72	120.8	117.9	- 2.9
秋田市	3.61	2.42	- 1.19	161.6	209.4	+ 47.8
岡山市	20.94	4.34	-14.60	172.2	158.3	- 13.9
広島市	40.53	4.22	-36.31	214.3	188.6	- 25.7
下関市	5.86	5.24	- 0.62	194.6	163.6	- 31.0

(砂でろ過)を行っており、Hamburg市では行っていなかった。その結果、図1の様Altona市では感染者の数が少なく、Hamburg市に非常に多いという結果になった。

1893年にはアメリカのLaurence市における腸チフスの罹患率が浄水(砂ろ過)給水によって劇的に改善されるという事例が示された。

以上、衛生保守のための水道の重要性が認識されることになった上記の2つの現象を、報告した人の名にちなんでMills-Reineckeの現象と呼ぶ。

## 2) 明治期の近代水道布設効果

表1に示されるように水道敷設により消化器系感染症は減少している。ただし完全に疾病が抑えられているわけではない。この水道は塩素などを用いた消毒処理を用いていない緩速ろ過式浄水処理であり、その処理における病原体除去の限界を指名していると考えられる。

## 3) 近代水道布設後から現在までに発生した主な流行症事故<sup>1)</sup>

3-1) 佐賀県基山町(1977年)<sup>2)</sup> A型肝炎ウイルスによる486名の水系感染。

し尿浄化槽の欠陥による井戸への混入によるものである。この事故はウイルスによる感染流行症を世間に知らしめるきっかけとなった。

3-2) 和歌山県有田市(1977年) コレラ菌による約100人の集団感染事故。

水系感染であることはほぼ間違いないが、原因は特定されず。この事故により、すでに解決済みと思われるコレラのような感染症も状況によってはこの様な数の集団感染を起こす可能性があることが示された。

3-3) 北海道札幌市(1982年) カンピロバクター腸炎による7,751人の水系感染事故。

原因はSストアの井戸水が汚染されていたことであると判明。数年前に米国などでこのカンピロバクターによる腸炎が報告され始めていた。日本で、それまで存在があまり知られていない病原微生物が流行感染を起こした例として、海外の事故が対岸の火事と見過ごせないという教訓となっている。

3-4) 埼玉県浦和市(1990年) 幼稚園児55人が発症し、うち2人が死亡する食

中毒事故。

原因は大腸菌O157と同定された。幼稚園内の浄化槽流出水が井戸水へ漏入したことが原因であり、管理を怠ると取り返しのつかない事故になるという教訓である。この数年後にこの病原大腸菌O157が大阪の堺市を中心に猛威を振るったことは記憶に新しい

3-5) 埼玉県越生町(1996年)<sup>3)</sup> 病原原虫のクリプトスポリジウムによる8800人の集団下痢感染事故。

原因は水道原水の汚染がひどくなったタイミングと浄水場における浄水処理の不具合のタイミングが最悪にも重なったことが原因である。公共水道による流行感染症としてはこれまでにない感染数であり、水道の安全性と消毒が非常に困難なクリプトスポリジウムが世間に知られることになった事例である。

1.3 近年のアメリカにおける公共水道由来の流行感染症について

表2に示されるように、アメリカで1990年代前半において公共水道由来の流行感染症が、感染者数にはばらつきがあるもののほぼ毎年起きていることが報告されている。これは消毒処理(主に塩素消毒)が行われているような近代水道が敷設されてい

るところでも、流行症が絶えず起こっていることを示している。また1993年のクリプトスポリジウムによる40万人の集団感染者のデータを異常値としてみれば、コンスタントに感染者数が報告されているのはAGI(原因不明)であるという事実も示されている。これは未だに発見されていない病原によるものか、検査体制の不備によるものであろうが、未だに病原微生物については完全には原因が把握できていないということである。

1.4 流行感染時の感染者数及び全感染者数の割合

多くの場合、感染症のデータは流行感染時の場合にのみデータが得られるものである。何故ならば病原微生物の検出は通常限られた研究室もしくは保健所でしか行うことができないが、そのような機関で検査されるのは、集団感染などの事態が起こったときのみであると考えられるからである。通常の疾患で、個人がそのような場所に出向いて、病原体を検出してくれと頼むようなことはほとんど考えられないであろう。

しかし実際は集団感染時以外にも病原微生物による感染者は常時存在していると考えられる。表3は英国において流行感染時の感染者数と同期間における全感染者数の病原微生物の検出を行った結果を示したも

表2 近年報告されたコミュニティー水道由来感染症<sup>4)</sup>

病原	報告期間(2年毎)							
	1989-1990		1991-1992		1993-1994		年平均	
	感染者数	流行数	感染者数	流行数	感染者数	流行数	感染者数	流行数
AGI	894	4	10,077	3	0	0	1,829	1.17
ジアルジア	503	4	95	2	385	5	164	1.83
肝炎	3	1					0.5	0.17
大腸菌O157	243	1					41	0.17
クリプトスポリジウム			3000	2	403,237	3	67,706	0.83
カビ・バクテ					172	1	28.7	0.17
コレラ					11	1	1.8	0.17

AGI: 原因不明の急性腸炎

表3 England及びWalesでの1992-1994における保健所（研究所）での検出数と流行時の感染者数<sup>4)</sup>

病原	全感染者数 (研究所における全検出数)	流行感染時の感染者数	比率
カンピロバクター	122,250	240	509.4
ロタウイルス	47,463	127	373.7
赤痢菌	29,080	847	34.3
サルモネラ	92,416	5,960	15.5
クリプトスポリジウム	14,454	1,066	13.6
大腸菌O157	1,266	128	9.9

のである。このデータによると例えばカンピロバクターなどにおいては、流行感染による感染者はほんの氷山の一角であり、ほとんどの感染は日常的に起きていることが示されている。逆に比率の低い病原微生物は、日常的にも起きているが、集団感染時の感染者数がそれに比べれば大きくなる傾向にあるということも示唆している。

以上から言えることは、歴史的に見て近代水道の敷設により、劇的に衛生面が改善されたことは事実であるが、ほぼ100%の上水道普及率を達成したとしても完全に衛生的な安全が達成されているわけではないということがわかりただけだと思う。逆に近年、これまで以上に病原微生物による集団感染がニュースとして扱われることが多くなってきた。これにより、ともすれば衛生面での不備を指摘されることもあるが、これはこれまで原因不明だった感染症や、存在することは知られていたがインパクトが小さく特別に取り上げられていなかった病原微生物が、検出技術の向上によって明らかにされてきたためであることが大きな要因であると考えられる。このような加熱しがちな報道に対しては冷静な対応が必要であろう。

## 2. 上・下水（再利用）の水質基準

生活に関わる水において衛生的な状態であるか管理するためには、病原微生物に関する基準値を決めて検査体制を維持するこ

とが重要である。検査する対照となる微生物としては病原微生物を直接測定することが最も理想的であるが、その場合の労力、費用、時間の問題を考えると今の技術では現実的でない。

そこで病原微生物の代わりとして、その存在を示唆するような指標となる代替微生物を用いて管理を行うことになる。

指標としての代替微生物は一般的に次の条件を満たしている必要がある。

- 病原体が存在するところには必ず存在すること
- 病原体と同程度もしくはそれ以上の数が存在すること
- 糞便汚染を明確に示すこと
- 水処理及び消毒過程において、病原体と同程度もしくはそれ以上の耐性を持つこと
- 非病原性であり、簡便、迅速、廉価な方法であることが望ましい。

以上の条件からわが国では、これまで代替指標として大腸菌群が使用されている。

以下にその特徴を示し、各水利用における基準についても併せて説明する。

### 2.1 大腸菌群の意義

意義：大腸菌群は大腸菌とは違う。その定義は1)グラム染色によって染色されず、2)芽胞をつくらず、3)桿菌であり、4)乳糖を分解して酸とガスを産出し、5)好気性また

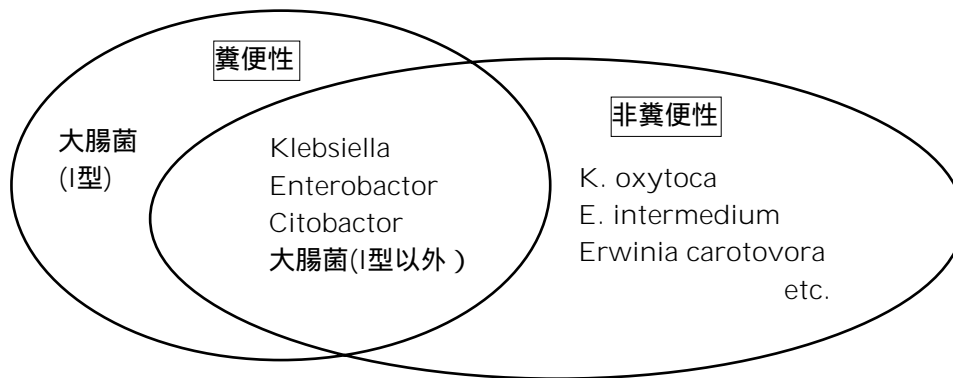


図2 大腸菌群と糞便との関係<sup>5)</sup>

は通性嫌気である、という細菌群の総称である。

この細菌群は糞便中に多量に存在し、一般に病原菌よりも耐性があるものが存在することから、間接的に病原生物の汚染の可能性を知ることができる。図2のように糞便性でない大腸菌群も存在する。従って大腸菌群が検出されたからといって、必ずしもそれが糞便などによる汚染や病原菌混入の確証とはならないこともある。

## 2.2 水道水質基準値

わが国では「検出されないこと」となっている。ただし月に一回の検査で検査量は50mLとなっている。即ち1個/50mL以下ならば良いという様にも取れる。

海外の例を挙げるとWHOガイドライン基準では100mL中に検出しないこと、大規模水道事業体に対してどの12ヶ月サンプルをとっても95%以上存在しないこととなっている。またUSEPA（米国環境保護局）の基準では月40サンプル以上検査しているものは5%を越えて検出しないこと。もしくは40サンプル未満のものは1サンプルを越えて検出しないこととなっている。

また微生物に関する水道水質基準値としては大腸菌群だけではなく、一般細菌数も基準値として取り入れられている。一般細菌は広く環境中に存在しており、十分な消毒処理をした水道水においても検出される。しかし検査結果において、平常値より

も著しく増加した場合は何らかの汚染あるいは病原生物の混入を示唆することになる。また一般細菌には大腸菌群よりも高い塩素抵抗性を持つものがあり、かつ糞便汚染以外の場合も鋭敏に反応することが多いため汚染指標としての感度は大腸菌群よりも高いと考えられている。

一般細菌数の基準値は「1 mLの検水で形成される集落数が100以下であること」とされている。ちなみに海外の例を示すとWHOガイドライン(1984)では提唱値として500個/mL以下としており、わが国の基準はこれよりも厳しい。

## 2.3 下水処理における技術基準

公共下水道における放流水水質の技術基準については異なる処理法には異なる基準が適用されているが、微生物に関する指標はいずれの場合も基準値は3,000個/mL以下となっており同じ基準値が設定されている(下水道法施行令第6条)。

しかしこの基準値の持つ意味は水道水質基準のそれとは異なっている。この場合は処理水が糞便汚染されているかどうかを見るよりも、病原微生物の除去が下水処理によって達成されているかという確認の意味が大きい。通常生下水中の大腸菌群数は $10^6$ 個/mLと言われており、下水処理において約 $1/10^3 \sim 10^4$ まで減少(消毒)されれば病原微生物も同程度減少されていることになるだろうという考えである。

表4 各々の水域における微生物に関する環境基準値（生活環境の保全に関する環境基準値）<sup>6)</sup>

河川			湖沼			海域		
類型	利用目的	大腸菌群数	類型	利用目的	大腸菌群数	類型	利用目的	大腸菌群数
AA	水道1級	50MPN/ 100mL以下	AA	水道1級 水産1級	50MPN/ 100mL以下	A	水産1級 水浴	50MPN/ 100mL以下
A	水道2級 水産1級	1,000MPN/ 100mL以下	A	水道2,3級 水産2級	1,000MPN/ 100mL以下	B	水産2級 工業用水	-
B	水道3級 水産2級	5,000MPN/ 100mL以下	B	水産3級 工業1級 農業用水	-	C	環境保全	-
C	水産3級 工業1級	-	C	工業2級 環境保全	-			
D	工業2級 農業用水	-						

しかし下水の水質は放流先の水質に密接に関連しているということを考えると、上記の3,000個/mLにただ従っていれば良いということではなく、放流先の環境基準値に応じた対応が元来されるべきであろう。生物指標に関する環境基準は表4に示すとおりである。

参考としてアメリカの例<sup>7)</sup>を紹介しよう。多くの州が糞便性大腸菌群として200 MPN/100 mLとしている。これは大腸菌群数としては約1200MPN /100 mLに相当する(1 MPNは1 個に相当)。

これは放流先の基準値として糞便性大腸菌群が2.2-5000MPN/100mL、もしくは大腸菌群数として2.2-10,000 MPN/ 100 mLという基準を受けてのものである。

また海水においては大腸菌よりも腸管系罹患率と高い相関関係が得られているという理由から *enterococci* を導入している州

も多くある。わが国と異なりその州毎に応じた対応がなされている点で、基準値もバラエティーに富んでいる。

#### 2.4 各種用水（散水、修景用水、親水）<sup>1)</sup>

わが国においては、未だにこれらの再利用水に関する基準は定められていない。しかし技術指針案等が提案されてきており、近い内に法制化されると思われる。表5はその指針案をまとめたものである。

下水処理水の再利用に關しての法制化に關してはアメリカが最も早い時期に提唱している。背景としてはカリフォルニア州やフロリダ州などの水資源が慢性的に不足している場所では、飲料水はともかく、農業用水は下水の再利用水を使わざるをえないという状況がある。また下水処理水を土壤に捲けば土壤による過効果が期待でき、かつ地下水の涵養もできるということから

表5 再生水の用途別水質基準(案)<sup>1)</sup>

項目	水洗用水		散水用水			修景用水		親水用水	冷却補給用水	洗車用水
	建設省案1	建設省案2	建設省案1	建設省案2	建設省報告書	建設省案1	建設省案2	建設省案2	建設省報告書	建設省報告書
大腸菌群	10個/mL	1000 /100mL	N D	50 /100mL	N D	N D	1000 /100mL	50個 /100mL	N D	N D

建設省案1:「下水処理水循環利用技術指針(案)」1981年

建設省案2:「下水処理水再利用技術指針(案)」1991年

建設省報告書:「排水再利用設備構造指針検討業務報告書」1986年

以前から行われている。しかし米国では野菜の生食が普通であることから、下水処理水を農業用の灌漑水に用いる場合には病原微生物に関して安全性を確保しておく必要があった。また地下水の涵養にしても、いずれは井戸水として飲料用になる場合があるということを考えると、やはり病原微生物に関してしっかりとした法制化をしておくべきであると考えるのは当然であろう。

そのような背景からアメリカでは下水処理水を再利用する場合に必要な微生物の除去率を、細菌だけでなくウイルスも考慮して基準化しており、それに応じた必要な高度処理なども提案されている。特にカリフォルニア州では人との接触の度合いにより再利用水の要求レベルを細かく分類していたり、アリゾナ州では再生水の基準に腸管系ウイルスとジアルジアを項目として含めている

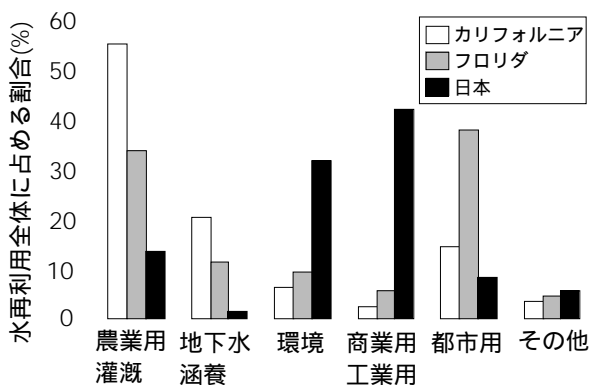


図3 カリフォルニア州、フロリダ州、日本における再生水適用区分の比較<sup>8)</sup>

翻ってわが国での再利用水の状況を見ても事情が大きく異なっている。図2に、アメリカのカリフォルニア州及びフロリダ州における再利用水の利用割合と日本の状況を比較したグラフを示した。アメリカでは灌漑用水や地下水涵養の用途が主であるが、日本では主に商業用、工業用といった用途が目立つ。これには歴史的理由がある。

公害年代となった1960年代とそれを受けて成立した公害対策基本法によって、環境

中への放流水における排出基準が一様に厳しくなった。そのため工場などの事業所からの汚染水排出元では自前で放流水の処理を始めるようになった。その際、折角処理した水ならば、もう一度工業用水として使用する方が得であるということから、工場などの事業所においては再利用水の利用率が格段に上がるという結果につながった。

これがわが国における再利用水普及の主要因となったのである。つまり元々工業用水など人の健康影響とは直接関わり合っていないところで発達したために、特に微生物リスクに関する考慮が働くことはなかった。そのために微生物基準に関する枠組みもなかなか発展するようなことはなかったのである。

しかし近年、都市部における湯水の頻発化や新たな水源確保が困難であるということから、再利用水を工業用水以外にも積極的に利用しようという機運が高まってきている。例えば水洗トイレのフラッシュ水や噴水などの修景用水といった用途に再利用水が使われることが増えてきた。このような用途では、再利用水と人との接触を考慮しなければならない。つまり病原微生物によるリスクを考慮しなければならない状況が生まれてきたのである。ここ数年で指針案が固まりつつあるのはそのような背景がある。

### 3. まとめ

水系感染症の脅威は近代水道の普及によって格段に減少した。しかし依然として現在でもその危険性が残っていることも事実である。衛生的な生活をまもるためには、日常的な水の監視と保守が不可欠であるが、そのガイドラインを策定することが非常に重要であることも事実である。

ここではそのガイドラインとして、微生物の基準値を示し、その意味などを取り上げてきたが、現時点での基準値に関しては理論的根拠に関してあやふやな点が多い。

これは現在の基準値が決定された時代にはまだまだ水系感染における微生物リスクに関する研究があまり扱われておらず、定量的な議論ができなかったためである。

しかし近年この研究分野は著しく発展してきており、基礎データも充実してきている。従って今後リスク評価を基本とした微生物に関する水質基準策定が進められることが期待される。

#### 4 . 参考文献

- 1) 金子光美：水質衛生学、技報堂出版、1997.
- 2) 金子光美監訳：飲料水の微生物学、技報堂出版、1992.
- 3) 厚生省：水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針、1998.
- 4) Haas C.N., Rose J.B. and Gerba C.P. : Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley & Sons, Inc. 1999.
- 5) 日本環境管理学会編：新水道水質基準ガイドブック、丸善、1998.
- 6) 松尾友矩編：水環境工学、オーム社、1999.
- 7) Wastewater Disinfection, Water Environment Federation, 1996.
- 8) 浅野孝他監修：水環境の工学と再利用、北海道大学図書刊行会、1999.