

各種水中病原微生物の特徴とその管理手法

Characteristics of waterborne pathogenic microorganisms and management method.

大瀧 雅寛

Masahiro OTAKI

1. はじめに

近代日本の水道は伝染病対策から始まった。言い換えれば水道は水中に潜む病原微生物の驚異から市民を衛るために整備されてきたのである。それではその対象となる病原微生物とは一体どのようなものであり、どういった対応をしているのか、ここではおおまかに解説してみたい。

2. 病原細菌 (pathogenic bacteria)

水中の病原微生物はその大きさや生活環から寄生虫 (原虫)、細菌、リケッチア、クラミジア、マイコプラズマ、ウイルスに分けられる (表1参照)。この中で主に問題とされているのは細菌、ウイルス、寄生虫であろう。さらにこの中で研究対象として最も歴史が古いのは細菌類である。コレラ、赤痢、破傷風など、昔から原因が特定できていた伝染病は大抵この病原細菌由来であることが多い。その理由としては、細菌の特徴として

- 1) 光学顕微鏡観察が可能 (大きさが数 μm 程度)
 - 2) 培地上で培養が可能、即ち培養後単離して同定すること等が可能。
- であることなどが挙げられる。この条件を満た

していれば、昔の技術 (寒天培地による培養と顕微鏡観察) でも病気の原因細菌を見つけることは可能であった。

病原細菌の例としては、コレラ菌 : *Vibrio cholera*、赤痢菌 : *Shigella spp.*、サルモネラ菌 : *Salmonella spp.* などは有名であるが、今日問題となっている主な病原細菌を挙げると

- ・ 下痢症、出血性大腸炎、胃腸炎を引き起こす病原大腸菌 : *enteropathogenic E.coli* (中でもO-157が猛威を振るったことは記憶に新しい)
- ・ 発熱を伴う下痢症を引き起こすカンピロバクター菌 : *Campylobacter jejuni*
- ・ 回腸末端炎虫垂炎を引き起こすと考えられるエルシニア菌 : *Yersinia enterocolitica*
- ・ 24時間風呂で有名な急性肺炎症を引き起こすレジオネラ菌 : *Legionella pneumophila* などである。

現在、水道の病原微生物指標としては細菌の一種である大腸菌群数という指標を用いて水質管理を行っている。この意味は以下の通りである。人間が腸内に常時持っている大腸菌群が水中に存在するということは、その水は人間由来の排泄物に汚染されているということを示す。病原細菌の主な汚染源は人間であるということから、人間由来

表1 各微生物の特徴

	原虫	細菌	リケッチア	クラミジア	マイコプラズマ	ウイルス
宿主細胞外増殖	可	可	不可	不可	可	不可
タンパクの自己合成	可	可	可	可	可	不可
細胞壁の有無	有	有	有	有	無	無
大きさ (μm)	5~50	0.3~5	0.2~2	0.2~1	0.2~	0.02~0.2

の汚染をうけているかどうか、病原細菌の存在の可能性を示すことになる。これが大腸菌群を測定することによって病原細菌のリスクが示されるという仕組みである。大腸菌自身は病原性の種は少なく、取り扱いも安全であり測定法も非常に簡単であるという理由から、この指標が広く使われている。

その他にもこの大腸菌群が広く認知されている理由としては、それが病原細菌と自然水中での挙動が同じであろうということ、即ち死に易さや増殖しやすさが病原細菌と大腸菌では類似しているとの考えに基づいている。この点が実は病原細菌以外の病原微生物が明らかにされつつある昨今、指標としての大腸菌群の限界が指摘されているところでもある。

3. 病原ウイルス(pathogenic viruses)

次に電子顕微鏡を用いないと観察できない程小さい微生物であるウイルスについて見てみよう。ウイルスは細菌に比べて非常に小さく(数十nm~数百nm)、核酸(DNAもしくはRNA)とそれを覆うタンパク質とで構成され、自身では増殖も成長もできないという特徴を持つ。ウイルスは生きている宿主細胞(動物の体細胞から細菌まで多種にわたるが、ウイルスによって寄生できる細胞は異なる)に寄生し、その宿主が持っている核酸複製酵素及びタンパク質合成酵素の働きを利用して、宿主の内部で自身のコピーを増やすことができる。従って一般の細菌培地でじこ増殖させて観察するということはできない。そのためこのウイルスは存在の確認や種の同定が非常に困難であった。現在、研究が進みこれまで原因が特定できなかった水系感染症の中にもウイルスが原因であるものが見つかり始めている。

ウイルスが原因で生じる水中感染性の病気で確認されているものを挙げると、A型肝炎

(Hepatitis A virus)、夏風邪や急性出血性結膜炎(Ecovirus)、小児麻痺(poliovirus)、下痢症(Reovirus、Rotavirus、Norwalk-virus)、プール熱(Adenovirus)などがある。このように問題視されているウイルスであるが、水中に存在する量は細菌類に比べて非常に少ない。さらにウイルスは細菌と異なり、感染が成立するのに必要な最小単位は非常に小さく、1単位~数単位(即ちウイルス一個~数個が体内に入る)でも感染が可能であるとされている。従って、低濃度で存在しても無視できない。また一般に細菌よりも塩素消毒剤に対する抵抗性が強いために現行の消毒基準でウイルス感染症に十分対応できているかどうかという点も検討されている問題点である。

これらをふまえた上で水質管理はどうすれば良いのであろうか、病原ウイルスも汚染源は感染した人間であるということから考えると、糞便汚染指標すなわち大腸菌群をその指標として用いても良いのではないかと考えられる。現在現場ではこの立場がとられており、従来通り大腸菌群のみを病原微生物指標として用いていることは変わっていない。しかし上述したように細菌とウイルスではその挙動が異なると考えられ、大腸菌群の不検出が病原ウイルスのリスク無しと断言できるかどうかは、まだ議論の分かれるところである。また消毒後の安全性を大腸菌群の殺菌効果でウイルスへの効果を代表できるのかどうかについてももんだいである。

ではこれらの病原ウイルスを直接測定することにより水中の病原ウイルスによる感染症リスク管理を行えば良いのだろうか。しかし、これは

- ・水中での存在量が少ない
- ・実験の危険性が伴う
- ・危険なウイルスを全てチェックすることはほぼ不可能である、

といった理由のため現実的ではない。そこで病原

細菌の指標として大腸菌群を用いているのと同じように、病原ウイルスの代替指標を使うことが検討されている。その有力な候補として、細菌に寄生するウイルスであるバクテリオファージ: bacteriophage (ファージとは細菌に感染するウイルスの呼び方) が提案されている。このファージの検出方法は細菌試験と同様に、比較的容易に行うことができ、ファージ自体は人体には無害であるので、実験の安全性が高い。中でも大腸菌を宿主として寄生する大腸菌ファージ: coliphage は人的汚染の指標になるばかりでなく、自然界での挙動がその他のウイルスと類似していると考えられ、指標として大きな可能性をもっており、現在研究が進められている。また、RNAファージ (RNAを持つ最小サイズの部類のファージ) は、その構造などが腸管系ウイルスに類似している。そのため種々の消毒手法の研究において、ウイルスの消毒効果を評価する際の代替ウイルスとして用いられている。

4. 病原寄生虫 (病原原虫) (pathogenic protozoa)

水系感染で主に問題となっているのは *Giardia lamblia* と *Cryptosporidium* である。どちらも激しい下痢症を引き起こす病原原虫である。特に近年水環境においてクローズアップされているのが *Cryptosporidium parvum* である。1996年埼玉県で水道経由でこの原虫による数千人規模の集団感染事故が起こった。この原虫は米国でも1993年ウィスコンシン州ミルウォーキーで数十万人規模の感染事故を引き起こしており、現在の水道業界の重要な対策対象微生物である。この原虫に感染すると健常者においては下痢が数週間続いた後快復するが、免疫不全患者では死に至ることもある。

この原虫は人と牛に主に感染するため、都市排水だけではなく畜産排水にも高濃度で含まれ

る。またこの原虫は自然水中では強固な殻 (オシスト: oocyst) に包まれて存在しており、人や牛に感染すると腸管内で殻の中の寄生体 (スポロゾイト: sporozoite) が飛び出して腸内に寄生するという特徴をもつ。オシストは5 μ m程度と細菌とほぼ同じ程度の大きさを持ち、浄水過程における凝集沈殿、ろ過処理においても漏洩する場合がある。強固な外殻のため塩素などの消毒剤への耐性が非常に大きいことから、現行の消毒基準では十分に対応しているとは言い難い。

このように細菌やウイルスとは異なった生活環を持ち、塩素などの消毒剤への耐性が非常に大きいことから、従来の大腸菌群を代替指標微生物として用いることは不相当であると考えられる。

自然水中の挙動や浄水処理過程での処理効率が類似しているという点では嫌気性萌芽菌が代替指標として有効であるという報告もなされているが、現在検討段階である。現実の対応としては各水道事業体で直接検出して調べている。しかしこの検出法については以下のような理由で困難な作業となっている。

- 1) 低濃度で存在するため多量の試料を濃縮する必要がある
- 2) 顕微鏡計測であるため、人的パワーが必要
- 3) 計測には熟練が必要であることや結果に個人差が生じてしまう

またこの原虫類は生死判定が難しいという問題点も持つため、種々の消毒方法の評価研究において非常に扱いが困難となっている。他の微生物の場合、生死判定というのは増殖能の有無によって判断できる。ウイルスならば宿主に寄生して、宿主細胞を破壊し細胞群に溶菌穴 (ブラック: plaque) を作る能力があるかどうか、細菌ならば培地上で増殖して集団 (コロニー: colony) を作るかどうかで判断できる。

一方 *Cryptosporidium* の生死判定法については現在提案されている方法としては

- 1) 免疫不全マウスに投与して感染するかどうか
 - 2) 脱嚢（殻を破って寄生体が外に出ること）する能力があるかどうか
 - 3) 適切な染色剤の透過特性を利用して生物膜に活性があるかどうか
 - 4) 培養細胞を用いて感染するかどうか
- 等がある。しかし、いずれも方法も費用や時間がかかったり、測定法の再現性に問題があるなど、生死判定に決定的な方法は未だ提案されていないのが現状である。

5 . おわりに

これまで水の衛生管理においては、病原微生物といえば病原細菌を主な対象として扱ってきたために、指標微生物は大腸菌群を用い、消毒剤は塩素を用いることで大丈夫だろうという考え方が支配的であった。事実、日本中で上水道が整備され塩素消毒処理が行われてからというもの、水系感染症の症例は激減した。しかし近年さらに安全な生活を求める要求が強くなり、ここで紹介してきたように、その自然水中での挙動や消毒効果の面から、大腸菌群ではカバーしきれない他の病原微生物の存在が無視できなくなったことや、高塩素耐性の微生物の存在により、他の消毒剤の研究が必要となってきた。

さらに水系感染リスクを減らすために行われている塩素注入によって、トリハロメタンなどの副生成物による発癌リスクがあがってしまうという矛盾が起こっており、いわゆる病原微生物による感染リスクと発癌リスクのトレードオフの上に立って適切な消毒処理などの微生物管理を行っていかなければならない状況にある。

以上紹介してきたように普段何気なく飲んでいる水を微生物という視点で覗いてみても、一朝一夕では解決できない問題点が山積みである

ということに気づいていただきたいと思います。

6 . 参考文献

佐藤敦久他「水処理その新しい展開」技報堂

金子光美他「水質衛生学」技報堂