

．病原微生物に係る水質基準

人に対して健康被害を与える可能性のある病原微生物は多様であるが、水道水を介して伝播するものは主に腸管系の病原微生物であり、糞便による水の汚染が原因している。このため、現行の水質基準では、糞便性汚染指標及び現存量指標（ひいては塩素消毒が適正に行われているか否かの判定指標）として、それぞれ「大腸菌群」及び「一般細菌」が定められている。

これらの指標については、最新の知見に照らして見直しが行われるべきであり、本専門委員会においては、この機会に再評価を行うこととした。具体的には、「一般細菌」の妥当性と従属栄養細菌（Heterotrophic Plate Count, HPC）の追加、あるいはHPCへの転換の可能性、「大腸菌群」に代えて直接的に糞便由来である「大腸菌」を水質基準とすることの是非、について検討を行った。また、近年問題となっているクリプトスポリジウム（*Cryptosporidium parvum*）等の塩素耐性を持つ病原微生物について、水質基準を設定することの是非についても検討を行った。

1．一般細菌

水道の分野における微生物汚染への対応はコッホ(Robert Koch)の業績に始まり、緩速砂ろ過により細菌聚落数（現在の一般細菌に相当）が100個/ml以下に制御（ろ過除去）された水道水を介してコレラやチフスが発生していないことを根拠として、細菌数の測定がろ過工程の評価に採用された。我が国においても、この目的で一般細菌が導入された。

上水試験方法（日本水道協会）等によれば、一般細菌の指標性に関して、幾つかの異なった機能が解説されている。一義的には細菌の現存量指標として意味付けされているが、塩素消毒が確実に行われているか否か確認するためにも用いられるとされている。さらに、糞便や下水等に見られる従属栄養細菌は比較的高い栄養の培地（現行の標準寒天培地）に成育し、36℃付近で速やかに生育するのに対して、多くの環境由来の従属栄養細菌は生育し難く、増殖速度も遅いことが知られていることから、糞便等の汚染がある場所では一般細菌数の増加が認められるとし、糞便汚染の指標となり得るとも説明されている。また、場合によっては水処理工程における細菌学的な水質改善効果の判定等に有効であるとの説明もある。

我が国ではこれまで一貫して水質基準として一般細菌を採用してきた経緯があり、

浄水の現場ではこの指標を有効活用すべく創意工夫がなされてきた。その結果、検出対象の細菌の種類は限定されるものの、検出に要する時間が24時間程度と短く、検査方法も簡便であることから、工程管理的要素を加味した指標細菌として活用している浄水場も少なくない。

しかしながら、今日の水道にあっては、細菌の現存量の把握は一般細菌ではなく、従属栄養細菌を用いるのが適当と考えられる。その理由は、従属栄養細菌は本来的な水中細菌数を表現すること、培養方法が確立していること、配水系等での生物膜やスライムの形成など、水道施設の清浄度の劣化を端的に表現する指標として優れていること、等々である。また、現在問題となっているレジオネラ属は水中に形成された生物膜中の原生動物（アメーバ等）を宿主として増殖する細菌で、従属栄養細菌との量的相関は認められないものの、従属栄養細菌の測定を通してその水系がレジオネラの増殖を許す環境であるか否かの判定が可能である。従って、従属栄養細菌の培養方法が確立された今日では、多くの国が従属栄養細菌の測定を行っている。

このようなことを考慮すれば、一般細菌に代えて従属栄養細菌を水質基準項目とすることが望ましいが、我が国では従属栄養細菌は限られた水道施設において試験的に計測されているに過ぎず、十分な基礎資料の蓄積がないこと、一方、一般細菌は培養条件から従属栄養細菌の一部の細菌を検知するに留まり、感度が劣るものの従属栄養細菌との量的相関が認められること、培養技術が確立していること、培養時間が短いことから、当面は水質基準項目として据え置くことが妥当と考えられる。

2．大腸菌

水系感染症の主な原因菌が人を含む温血動物の糞便を由来とすることから、水道の微生物学的安全性確保に向けては糞便汚染を検知することが極めて重要である。すなわち、水道水の品質保証という観点から糞便汚染の検知には高い精度が求められる。その意味から大腸菌は糞便汚染の指標として適当と判断される。

今日まで大腸菌群を指標として用いてきたが、その指標性は低く、本来は大腸菌を用いるべきであった。それでも大腸菌群が採用された理由は、単に当時の培養技術が制約となっていたに過ぎない。今日では、迅速・簡便な大腸菌の培養技術が確立されており、技術的問題は解決されている。従って、水質基準項目としては、大腸菌群に代えて大腸菌とすべきである。

3．クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物

詳細は後述するが（「X．クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物対策」参照。）その検出方法等に種々の課題が残っていることもあり、水質基準とすることは適当ではないと考えられる。

4．水質基準案

以上の結果をまとめれば、病原微生物に係る水質基準は次のとおりとすべきである。

一般細菌：1mlの検水で形成される集落数が100以下であること（現行どおり）

大腸菌：検出されないこと（ただし、検水量は100ml）（大腸菌群を大腸菌に変更）

5．留意事項・課題

従属栄養細菌については、細菌の現存量の指標としては有効と考えられるものの、我が国の水道における情報等の不足から、今回は水質基準とすることは見送らざるを得なかった。今後、よりよい基準の設定に向け、従属栄養細菌に関する情報収集・調査研究を進めていくべきである。

具体的には、従属栄養細菌に関する資料の収集・解析を進め、現存量指標としての有効性を確認すること、試験法の普及と改良に努め、水道事業体を始めとする関係者の協力を得て、我が国における従属栄養細菌の存在量に関するデータを収集すること、の2点につき、積極的に推進していくことが必要である。

(参考) 一般細菌、従属栄養細菌及び大腸菌群について

1. 一般細菌

水道における微生物学的管理は、19世紀末のコッホ (Robert Koch) の業績によるところが大きい。コレラやチフスの集団感染は砂ろ過により細菌聚落数 (現在の一般細菌に相当) が 100 個/ml 以下に制御された水道水を介して発生しない、という観察事実に基づいたものであった。ドイツでは、その後この値が緩速ろ過の基準に採用された。我が国においても 1904 年に導入され、緩速ろ過池の運転管理に用いられてきたことは周知のことである。

当初の培養技術は現在のそれと比べるべくもないが、培地成分にゼラチン (25 付近でゾル化) が用いられており、培養温度は 20 付近に設定されていた。その後の培養方法の変遷を見ると、必ずしも指標細菌としての一般細菌の位置付け (理解) が一様ではなかったとの印象がある。

まず、大きな変化として、培地成分として寒天の利用があげられるが、これにより培養温度を高温域まで広げることが可能となり 1929 年から 37 (24 時間) が採用された。培養温度を温血動物の体温に近づけた真の理由は明らかではないが、病原微生物あるいは糞便汚染の把握を企図したものと推測される。ここで注意すべきは、後述するようにこの時点で既に糞便汚染の指標として別途大腸菌群の導入が図られていた点で、糞便汚染あるいは病原微生物汚染の代替指標が重複化する傾向を見せている点である。

1950 年に水道協会協定の上水判定標準と日本薬局方による常水判定標準が厚生省の飲料水検査指針に統一され、「一般細菌数は 1 ml 中 100 を超えてはならない」ことが定められた。

1978 年の水道法第 4 条に基づく水質基準に関する省令 (厚生省令第 56 号) により、それまでの普通寒天培地から標準寒天培地に変更されて現在に至っている。この改訂では培地の組成が統一されただけでなく、それまでの糞便性細菌の検出に適した高栄養で食塩含量の多い培地から低塩濃度のものに改められ、従属栄養細菌の検出に向けた修正が図られた。しかしながら、この培養条件では従属栄養細菌のうち、中温 (37 付近) で短時間に集落を形成し、比較的高濃度の栄養条件で増殖する細菌類が検出対象となっている。

従属栄養細菌分離用の培地（PGY 培地、R2a 培地等）が考案されてより以降は、基準項目として従属栄養細菌を採用する国が多くなっている。

ところで、我が国では一般細菌を一貫して水質基準として採用してきたという経緯があり、浄水の現場ではこの指標を有効活用すべく創意工夫がなされてきた。その結果、検出に要する時間が 24 時間程度と短く、検査方法も簡便であることから、工程管理的要素を加味した指標として活用している浄水場も少なくない。上水試験方法（日本水道協会）等の記載によれば、一般細菌の指標性に関して、幾つかの異なった機能が解説されている。一義的には、細菌の現存量指標として意味付けされているが、一方では塩素消毒が確実に行われているか否かをチェックするために用いられるとされている。さらに、糞便や下水等に見られる従属栄養細菌は比較的高栄養（現行の標準寒天培地）の培地に成育し、36 付近で比較的速やかに生育するのに対して、多くの環境由来の従属栄養細菌は生育し難く、増殖速度も遅いことが知られている。そのため、糞便等の汚染がある場所では一般細菌数の増加が認められるとし、糞便汚染の指標となり得るとも説明されている。また、場合によっては、本来的な指標、すなわち水処理工程における細菌学的な水質改善効果の判定等に有効であるとの解説もある。

上述のように、現在のところ一般細菌の位置付けは一義的には細菌の現存量指標とされる現存量とは浄水の保有する生物（細菌）量を指すもので、この概念の中にはろ過等の処理で除去できなかった残存細菌数のみならず、配管系を含む上水システム全体での微生物の再増殖（regrowth）した菌量も含まれる。

この様に一般細菌検査の目的は不明瞭となっているが、いずれの説明も正当性があるものと考えられる。導入当時と今日とでは浄水施設における処理技術は大きく変容を遂げ、また、「一般細菌」という項目名こそ変わっていないが培養方法そのものも大きく様変わりしている。それにもかかわらず、一般細菌の指標性について正面から再評価してこなかったことが今日の状況を招いているものと考えられる。

2．従属栄養細菌

従属栄養細菌とは生育に有機物を必要とする多様な細菌のことで、浄水処理過程や消毒過程での細菌の挙動を評価するのに適している。また配水系における塩素の消失や滞留に伴い増加することから、配水系の微生物学的状態を把握するには有用である。

3．レジオネラ属菌

水系感染の原因となる病原体には環境中で増殖するものが知られており、感染経路も経口感染に限られるものではない。WHO 飲料水水質ガイドラインでは、アエロモナス (*Aeromonas*)、バチルス (*Bacillus*)、レジオネラ (*Legionella*)、シュードモナス (*Pseudomonas*)、マイコバクテリア アビウム (*Mycobacterium avium complex*) 等々の細菌類及びアカンソアメーバ (*Acanthamoeba*)、ネグレリア (*Naegleria*) 等の病原性を有するアメーバ類を列挙し、水道水系での増殖が飲料水の安全性にとって脅威となる可能性を指摘している。

その典型例であるレジオネラ属菌 (*Legionella spp.*) は 20~45 付近を好適な生息温度とする細胞寄生性の細菌で、環境中において細菌類を主な餌として繁殖する原生動物 (アメーバ類) に寄生して増殖する。特に、滞留水が発生し、水温の上昇が見込まれる構造を有する場合には注意が必要である。本菌に起因する肺炎は汚染された水の微細水滴 (aerosol) を吸引することによる。本属菌に係る指標生物は知られていないが、水道水系において従属栄養細菌等の増殖が宿主アメーバ類の繁殖につながり、やがてレジオネラ汚染へと進行する構図は明らかである。

4. 大腸菌群

主な水系感染症の原因菌は人を含む温血動物の糞便を由来とすることから、糞便汚染を検知することで病原体混入の危険性を探知する、といういわゆる代替指標菌を用いた検査手段が導入された。糞便汚染の指標として、温血動物の腸管内に常在する菌の中で最も数の多い ($10^8\sim 10^9$ 個/g) 大腸菌 (*Escherichia coli*) が選択された。しかしながら、当時の培養技術では大腸菌を直に検出する技術はなく、菌の同定には高度な細菌学的知識と複雑な培養技術が要求されていた。そこで、大腸菌が有する生化学性状のうちの 5 つに着目し、その性状をすべて備える細菌群をもって大腸菌を代替させた。この細菌群が大腸菌群で、それ以降今日まで代替指標菌として用いられている。

時系列的に見ると、大腸菌群の検査が検討された時期は 1911 年頃にまでさかのぼることができる。1926 年に協定上水試験法の附則として採用され、1932 年に判定基準 (常水判定基準及試験方法) が設けられた。

その後、1966 年の水質基準に関する省令 (厚生省令第 11 号) で「大腸菌群は検出してはならない」と規定された (検水量は 50ml)。周知のごとく、大腸菌群には *Escherichia* 属、*Citrobacter* 属、*Enterobacter* 属、および *Klebsiella* 属などが含まれており、その中には外界でも増殖可能な細菌類が含まれる。また、これら細菌類の構成比率は常に流動的である。したがって、大腸菌群には糞便汚染の指標性は低いという認識が今日の国際的な理解である。