

(参考1) WHO の提唱する Reference Level of Acceptable Risk (参考許容値)

WHO はクリプトスポリジウムを含む微生物による汚染に対しては、原水の汚染状況の把握と汚染量を許容できる範囲 (Reference Level of Acceptable Risk: 参考許容値) にまで低減できる浄水処理工程の導入により対応するよう提言している。WHO の水質基準にクリプトスポリジウム等に関する項目は含まれない。

疾病ごとの健康影響は多様で、比較に際しては共通の尺度が必要となる。WHO では感染症に限らず全ての疾病における健康影響度を『Disable Adjusted Life Years (DALYs: 障害調整生存年数)』という指標を用いて表現し、それぞれの疾病毎に健康影響度を算出することで比較を行っている。その際用いる疾病毎の健康への影響度は0から1の間の値をとり、影響が全くないものを0、死を1と規定している。

DALYs 値は疾病によって失われた余命 (Years of Life Lost: YLL) と障害を持って過ごす時間 (Years of Life Lived with a Disability: YLD) の和で、以下の式で表される。

$$\text{DALYs} = \text{YLL} + \text{YLD}$$

クリプトスポリジウム症に関する DALYs 値の計算は、以下の手順で算出されている。クリプトスポリジウム症の主な症状は下痢 (水様便) で、疾病による負荷量の研究 (Murray, 1996) によると水様便の平均加重は 0.066 とされている。本症では下痢症状が平均 7.2 日 (0.020 年) 続く。米国ミルウォーキーにおけるクリプトスポリジウム集団感染事例より、健常者での死亡は 10 万人当たり 1 名 (40 万人のうち 4 名死亡) と推定される。オランダの 1993~1995 の統計資料によると、下痢症が原因の死亡は 75 歳以上に認められ、その余命は 13.2 年となる。本症の発症者は感染者の 71% とされる。損失生存余命 (YLL) および障害をもって過ごす時間 (YLD) は以下の通りとなる。

有症者 1000 人あたり $\text{YLL} = 1 \times 1000 \times 1/10^5 \times 13.2 = 0.13$
感染者 1000 人あたり $\text{YLL} = 0.13 \times 0.71 = 0.0923$

有症者 1000 人あたり $\text{YLD} = 0.066 \times 1000 \times 0.020 = 1.32$
感染者 1000 人あたり $\text{YLD} = 1.32 \times 0.71 = 0.937$

上記の結果より、健康影響度は以下の通りとなる。

感染者 1000 人あたり: $0.0923 + 0.937 \approx 1.03 \text{ DALYs}$

すなわち、1 回のクリプトスポリジウム感染による健康影響度は感染者 1000 人あたり、1.03 DALYs と計算される。

我が国における現行の「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」では、原水の汚染濃度把握のために、概ね 10L の試料水よりオーシスト数を測定している。仮に、原水 10L 中に 1 個のオーシストが存在するものとして、無処理あるいは上水処理後の水道水に潜むクリプトスポリジウム症のリスクを試算した (表)。クリプトスポリジウムによる感染確率は後述の Haas らの式 (Equ (1)) より求められ、オーシスト 1 個の摂取による感染率は 4.0×10^{-3} となる。

ところで WHO は水道水中の臭素酸の摂取による腎細胞癌 (Renal cell cancer) の許容発生率を 10^{-5} (1/100,000 人) としている。腎細胞癌は平均 65 歳で発生し、その平均余命は 19 年である。このときの死亡確率を 60% とし、症状の重さは致死であることから 1 とする。損失生存余命 (YLL) は以下の通りとなる。

$\text{YLL} = 1 \times 0.60 \times 19 = 11.4 \text{ DALYs}$

本症より派生する障害をもって過ごす時間 (YLD) は YLL に比べて十分に小さく、YLD は無視できる。人の寿命を 80 年と仮定した腎細胞癌の年間の DALY は、以下の通りである。

$$10^{-5} \times 11.4 \div 80 = 1.4 \times 10^{-6} \text{ DALYs}$$

すなわち、WHO の発癌物質 (臭素酸) による癌の年間許容発生率は、障害調整生存年数 1.4×10^{-6} DALYs に相当する。

表に示した試算によると、無処理 (1.5×10^{-4}) では WHO の参考許容値を大幅に上回る。一方、2log 除去が保障された上水処理 (1.5×10^{-6}) であれば、概ね WHO の参考許容値と同程度のリスク水準にあるといえる。

表 1 クリプトスポリジウムの年間リスク

原水中のオーシスト濃度	1 個/10L			
上水処理における除去率	3 log	2.5 log	2 log	無処理
水道水中の濃度	10^{-4} 個/L	3×10^{-4} 個/L	10^{-3} 個/L	10^{-1} 個/L
飲用日量	1L/日			
曝露量/日	10^{-4} 個/日	3×10^{-4} 個/日	10^{-3} 個/日	10^{-1} 個/日
1 オーシスト摂取による感染確率	4×10^{-3}			
DALYs/case 1 感染あたりの健康影響度	1.03×10^{-3} DALYs (発症率 71% を採用)			
1 日あたりの感染率 (年間)	4×10^{-7} /日 (1.5×10^{-4} /年)	1.3×10^{-6} /日 (4.7×10^{-4} /年)	4×10^{-6} /日 (1.5×10^{-3} /年)	4×10^{-4} /日 (1.5×10^{-1} /年)
1 人あたりの年間健康影響度	1.5×10^{-7} DALYs	4.8×10^{-7} DALYs	1.5×10^{-6} DALYs	1.5×10^{-4} DALYs

(参考2) 微生物許容感染リスクに基づく評価

Haas らによれば、クリプトスポリジウムの用量-作用 (infection probability/particle) に関する計算式は、次のとおり与えられる。

$$P(N) = 1 - \exp(-N/k) \quad \text{Equ(1)}$$

N: 摂取オーシスト個数
k: パラメータ (= 238.6)

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n \quad \text{Equ (2)}$$

Pn: 反復暴露による感染確率
n: 反復回数
P₁: 単回暴露による感染確率

上記式によるとオーシスト1個を摂取した時の感染確率は Equ (1) より

$$P(1) = 1 - \exp(-1/238.6) = 0.0042$$

Haas CN et al., Accessing the risk posed by oocysts in drinking water. Journal of American Water Works Association 88(9):131-136, 1996.

米国 EPA によれば、微生物許容感染リスク 10^{-4} /年以下を満足することを目標にしている。この目標を満たすための条件を一日の水道水の飲用量を 1L として試算すると(摂取日量の分布の 97.5 パーセントイルがおよそ 1000ml、矢野一好等、2000 年)、Equ (2) より、

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n \leq 10^{-4} \quad (P_1 \doteq 2.7 \times 10^{-7})$$

を満たすことが求められる。Equ (1) から N を求めると、 $N \leq 6.51 \times 10^{-5}$ となり、 6.51×10^{-5} 個/L 以下、すなわち 15.4t 当り 1 個 (6.5 個/100t) と計算される(飲用量を 2L/day とすれば 1 個/30t)。

ところで、クリプトスポリジウムの感染リスクを考える場合、高度に汚染された原水の流入や浄水処理における障害など様々な要因で平常時の年間感染リスクを超えるような日感染確率(特異日の感染確率)が生じることを想定する必要がある。たとえば 10^{-4} を年間感染リスクとした場合、浄水中のクリプトスポリジウム濃度 2.5 個/100L で日感染リスクが 10^{-4} となるが(1 日飲水量 1L、1 個摂取した場合の感染確率 0.4% として計算)、このような測定値は実際に観測される汚染である。

ちなみに、年間感染リスクは、感染しない確率を算出してその値を 1 から減じることで得られることから、次式で計算される。

$$YRisk = 1 - \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) \quad \text{Equ (3)}$$

ここで、Yrisk: 年間感染リスク、Drisk_i: i 日目の日感染リスク、とする。

通常、この値は 10^{-4} などの値をとり、1 より非常に小さい値となる。従って、 $\prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i)$ の

値はほぼ 1 に近似される。ここで、特異日の感染リスクを p とすると

$$YRisk = 1 - \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) \times (1 - p) = 1 - \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) + \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) \times p \quad \text{Equ (4)}$$

Equ (4) が得られる。ここで、 p が通常の年間リスクよりも十分に大きな値をとるとすると、

$$YRisk = 1 - \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) \times (1 - p) \approx 1 - \prod_{\text{日}} (1 - Drisk_i) + p \quad \text{Equ (4')}$$

となり、結局のところ通常の年間の「感染確率」に特異日の「感染確率」を加えればよいことがわかる。すなわち、年間感染リスクは特異日の値に大きく影響され、その値が年間リスクのほぼ

全てを占めることが示される。

上記のことを念頭に入れて、仮の目標値として米国 EPA の微生物許容感染リスク 10^{-4} /年以下を達成するための特異日感染リスクの排除条件を検討した研究報告がある (Masago et al., 2002)。そこでは、相模川水系におけるクリプトスポリジウムの調査結果 (Hashimoto et al., 1999) をもとにモンテカルロ・シミュレーションを用い、浄水中に、ある限度以上のオーシストが含まれている日には飲用が中止されるものとして年間感染リスクの計算を行っている。詳細は原著に譲るが、シミュレーションでは水系におけるオーシストの分布様式が概ね適合すること、非加熱の水道水の飲水量は Teunis 等 (1997) の報告を採用 (0.153L/日を中央値とした対数正規分布)、その他の変動要因として降雨による原水中のオーシスト量の変化、浄水処理効率等々が組み込まれている。その結果、対策指針に定められた条件、すなわち 20L の検水からオーシストが検出された日には給水が停止される (その日の感染リスクが 0 である) ものとする、年間感染リスクの 95% 値はおよそ 1 log 程度低下することが示された。さらに、オーシスト測定の際の検水量を変化させて検討した結果、検水量をおよそ 80 L 以上にすることで年間感染リスクの 95% 値を許容リスク以下にすることができたとしている。

(参考文献)

矢野一好、保坂三継、大瀧雅寛、田中愛、伊予亨、土佐光司、市川久浩 (2000) 日本水環境学会シンポジウム講演集 (摂南大学 9 月 13-14 日)

Y. Masago, H. Katayama, A. Hashimoto, T. Hirata and S. Ohgaki (2002). Assessment of Risk of Infection Due to *Cryptosporidium parvum* in Drinking Water, *Water Science and Technology*. *Water Science & Technology* 46(11-12): 319-324.

Hashimoto A. and Hirata T. (1999). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in Sagami river, Japan. *Proceedings of Asian Waterqual '99: 7th IAWQ regional conference*, 2: 956-961.

Teunis P.F.M., Medema G.J., L. Kruidenier and A. H. Havelaar (1997). Assessment of the risk of infection by *Cryptosporidium* or *Giardia* in drinking water from a surface water source. *Water Research*, 31(6):1333-1346.

4. 飲料水における HPC (Heterotrophic Plate Count) 測定の意味

4. 1 はじめに

飲料水中の HPC 測定の意義について、飲料水の水質管理の観点から最新のデータを基に公衆衛生上の意義について専門家の意見を集約したものである。討議の内容は以下のようである：

HPC と利用者への健康影響

飲料水における間接指標としての HPC の意義

浄水処理効率と適正評価にかかる HPC 測定の意義

HPC による飲用適用の評価

近年の水道にあってはビル等における蛇口水、あるいはボトル水の安全性確保（への配慮）が必須となりつつある。利用者には健康弱者も含まれており、その構成は一様でない。これらの事柄も併せて考慮する必要がある。

4. 2. 定義と展望

WHO によれば、飲料水とは人が飲用可能なものであって、家事全般で要求されるすべての利用に答え得るべき水で、個人の衛生管理への利用も含まれる。従って、飲用、洗浄／シャワー、家庭での調理への利用が可能でなければならない。水による暴露形態は飲用、接触、吸引等である。

本来、飲料水は終生利用によっても害を及ぼすものであってはならないが、利用者の多様化が進む中で、かならずしも免疫不全者の安全を保証するものではない。

配管水道には原水、浄水処理および配水の各工程からなる。配水末端では家庭あるいは施設内での軟水化装置、活性炭処理装置、自販機、分水機、その他の付属設備を併用することがある。飲料水には湧水や公衆井水やボトル水および氷が含まれる。

水道施設や水源においては糞便汚染の可能性のあるところでは、その防止に向けた管理が重要となる。糞便汚染の指標菌である *E. coli* は重要な指標となる。

従属栄養細菌とは生育に有機の炭素を要求する微生物を指し、細菌類、イースト、糸状菌類等々が含まれる。多様の微生物を最大限に検出できるように工夫された単一培地を用いた検出法を HPC と呼ぶ。従って、従属栄養細菌と HPC は同義語ではない。

定量検査用に多様な培養条件が開発されている。培養温度はおよそ 20℃－40℃、数時間から 7 日あるいは数週間の培養時間、成分含量は多いものから少ないものまで多様である。いずれの検査法も特定の生物が対象とされていない。

生物活性を有する微生物が存在していれば、数が少なくとも既存の培養方法で検出することが可能とされる。ただし、分離される微生物叢は培養法により異なるものと考えられる。實際上、地域、季節あるいは同一地点での連続採取試料においても試料ごとに分離細菌叢は量的および質的に変動するものと考えられる。

HPC 試験で分離される微生物叢は自然界に棲息する非病原性の微生物であるが、各種の汚染源からの混入微生物も含まれる可能性もある。

4. 3 水系で繁殖する微生物

通常水中には微生物が生息するもので、構造物と水との接触面にバイオフィームが形成される。浄水処理後の水に繁殖する微生物は特に「regrowth (再増殖微生物)」と称される。この増殖は HPC 値に反映される。HPC 値の上昇は特に配管系の滞留部分、家庭内配管、ボトル水、および軟水化装置、活性炭フィルターあるいは自販機などといった配管接続機器において認められる。Regrowth の主な原因は、温度、栄養素の存在、および残塩の消失に依存する。栄養素は原水や水と接触する物質の表面から供給される。

4. 4. 飲料水管理への HPC の利用

水道における HPC 試験はすでに長い歴史を有しており、19 世紀末にはすでに水処理工程の機能診断（特に緩速ろ過）および水の安全性確保に向けた間接的な指標として用いられ

ている。20世紀に入り、特異的な糞便性汚染指標が確立されるに従って安全性の指標としての価値は低下した。

上述のような経緯はあるものの、今日もなおHPCは多くの国で水質管理やガイドラインに用いられており、HPCは以下の目的で測定されている：

水処理工程の評価、すなわち間接的な病原体除去の評価

衛生上の問題としてRegrowthの指標として乳糖分解能を指標とした大腸菌群の検出に際して、攪乱細菌の存在確認（現在では乳糖を含まない培地が考案されている）

4.5 配管系水道への利用

今日の飲料水分野では安全性確保に向けた包括的な「飲料水安全計画」の導入が進んでいる。本計画は水源から蛇口水までの全工程が管理の対象とされる。

今回のWHO飲料水ガイドライン改訂に際しては、飲料水安全計画が取り入れられるよう提案されており、以下の5点が要点となっている。

水系感染防止に向けた水質基準

浄水の全工程管理により水質目標値を維持する

浄水処理における各工程をモニタリングして安全性確保に努める

管理計画にはシステム評価と監視について；報告と情報交換を含む平時および異常時の行動計画についてあわせて言及することが求められている

上述の処理工程の評価に向けた系統立った個別調査

大規模ビル内の配管給水システムは多量の微生物が発生し易い構造となっている（貯水槽、配管系、水温等の影響）。本配管システムにおける主要な健康影響は誤接続とレジオネラの増殖であるが、これらはHPC検査で検出不可能である。一般的な水道水の安全性は維持手順、定期洗浄、温度管理および残塩の管理によってもたらされる。このような理由から、ビル管理責任者は適確な助言を行うことと、水の安全管理計画の作成が求められる。

4.6 水質目標

疫学的調査あるいは病原微生物の発生との因果関係の調査からHPC値自体は健康への危険因子と直接相関ないことが明らかとなっている。従ってHPC値は単一で、公衆衛生上の目標設定（public health target setting）や煮沸勧告等に向けた判断基準とはなり得ない。HPCの異常な増加は時として糞便汚染を原因とするが、危険因子の存在については糞便汚染の指標菌検査等による確証が必須である。

評価と検証：経験的にはHPC監視は他の評価・検証方法あるいは処理や他の設備の効率評価等と併用することで浄水システムの管理に利用することが可能となる。

フィルター効率や消毒工程の監視：管系配水システムにおいて、HPC値測定は配水システムの状況判断（従って、一般的な評価指標）に有用と考えられる。それらは滞留、残塩の消失、AOCの上昇、高水温、あるいは栄養素等々である。クロラミン消毒あるいは原水にアンモニアが含まれる際にはHPCを含む様々なパラメータ、特に硝酸と亜硝酸が硝化の指標となる。

HPC値は自販機、食品加工、あるいは医療機器等々の見た目のきれいさの検証（研究者によっては評価）に用いられている。

外観的水質（esthetic quality）：飲料水は見た目も重要である。安全であっても見た目に汚れた水は利用に供されず、逆に見た目に頼ることで衛生的には危険な水が利用されるといった健康上の影響も発生する。

非配管系給水システムへの適用：

ボトル水は規制を受けた飲料水、または食品として扱われているものと理解される。一部にはNatural Mineral Waterを他のボトル水と区別する向きもある。WHOの水質に係るガイドラインはCodex委員会に引用されており、ボトル水にも適用されるものと考えられる。ボトル水は微生物相にとっての特有な増殖環境である。ボトル水の原水はpristine water sources（Natural mineral water）か、処理水を由来としている。それらは再増殖を抑制

する作用を有する二酸化炭素が含まれていたり添加されているが、長期にわたり増殖阻害効果を有する残留消毒薬は含まれていない。最終産物はしばしば飲用されるまでに数日から数週間にわたり高温（室温）に曝されている。

ボトル水に自然発生する微生物は安全規定に抵触するものではない。ボトル水の HPC レベルは水道水よりも高値を示すことがある。

ボトル水の安全性確保に向けて、その生産工程では WSPs が最も厳密に踏襲されている。*P. aeruginosa* 及び HPC 測定が工程管理の指標として用いられているところがあるが、衛生上の指標としては用いられていない。

（配管）接続器具：軟化装置、活性炭フィルターなど配管接続器具あるいは自販機内には細菌類の繁殖が起きる。これらの機器では HPC 値の上昇がみられる。規定値以内の HPC 値の上昇はそれ自体が健康影響に直結しない。外観によるこれらの機器の管理は、製造者への勧告に示されている。

輸送：船舶や航空機などといった交通手段で用いられる給水システムでは水の安全性確保に向けた特有の試みがなされている。これらには物理的（狭い空間における長く複雑な配管）および場所ごとあるいは配水区分ごとに決められた複数の責任体制といった構成上の問題がある。

一般に、輸送機関での水の安全管理における HPC 検査の役割は他の場合と同じである。すなわち、HPC 測定は単独の検査方法としては有用でない；例えば、港湾の安全監視では連続的な結果が得られないことから、糞便汚染の指標が優先される。この分野に関しては別途 WHO *Guide to Ship Sanitation and Guide to Hygiene and Sanitation in Aviation*（現在改訂中）で扱っている。

その他の水関連施設：水泳プールやスパは本報告書の対象から除外されている。これらに関しては WHO リクレーション水の安全性に関するガイドラインで扱っている。ただし、加湿器及び冷却水中の HPC に関しては後者の対象からも外れている。

4. 7 健康上の視点

いわゆる従属栄養微生物の曝露量は飲料水よりも食品を介する方がはるかに多い。食品を介した曝露の許容量は水のそれよりもはるかに多い。これらの曝露形態（経路）に関するデータは乏しい。HPC 微生物の曝露は経気感染や他の環境からの汚染も考えられる。

水を介した従属栄養細菌への曝露による健康影響についての疫学研究、あるいは他の研究として case study、特に臨床的あるいは動物への水由来の HPC 投与実験が行われてきた。それによると、糞便汚染がない場合には飲料水中の HPC の値と住民の健康状態との関連は認められていない。この結論は（病原体を含まない）食品から多量の HPC を摂取しても病気を起こさないという事実により間接的に指示されている。HPC 値と非腸管系疾患との関連についての資料は少ないが、それらによっても病気との関連は指摘されていない。

従属栄養細菌の中で健康に影響を及ぼす微生物に関する情報は集団感染の調査やリスク評価を含めた疫学調査によってもたらされるものと考えられる。

日和見感染病原体と称される従属栄養細菌の中には *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Klebsiella pneumoniae* などが含まれるが、これらの細菌を原因とした水系腸管感染症が一般住民で報告されたことはない。

水の中で増殖し得る日和見感染病原体の中にはレジオネラや非定型性結核菌のように HPC 測定によっては検出できないものがある。吸引によるレジオネラ症発生については報告がある。

現行の試験方法で検出される HPC 値がレジオネラや *P. aeruginosa*、あるいは非定型性結核菌と直接的に相関を持つという証拠は無い。

従属栄養細菌のある種の微生物は健康弱者（免疫不全者、導尿管、動脈挿管、携帯腹腔透析装置の装着者等々）へ感染する可能性があるが、感染経路としては水以外（自家感染、院内感染、その他の環境からの感染）の経路が専らと考えられる。しかしながら、水を介したことが疑われる感染も数多く報告されている。また、免疫不全者においてどの程度で

発生しているのかは不明である。

様々なレベルの免疫不全者が増加する方で、患者の生活形態も家庭内看護を含めて多様化している。通常の飲料水は免疫不全者のあらゆる用途（傷口の洗浄など）に適用できるものではない。免疫不全者に適用できないという問題は従属栄養細菌やその他の微生物による汚染が原因しているというのではなく、水道水で求められる安全性の域外だということである。この点に関しては患者や臨床医に対する適切な指導が必要である。

WHO ガイドライン等に適合した飲料水は、著しく異常（白血球数が $<500\mu\text{l}$ など）と診断された免疫不全患者に限って利用を控えるべきで、特別な処理水が必要である。

厚生施設とは病院、ヘルスセンター、透析施設及び歯科治療施設を含む施設を指す。これらの施設は、そこを利用する者たちの感受性が高いこと、及び環境で増殖する微生物に感染する可能性が高いことから一般に感染制御が必要な施設とみなされている。

厚生施設は感染予防の一貫として飲料水安全計画を実行すべきである。その計画はいわゆる一般的（通常のヘルスセンターを対象とした）、あるいは大規模なビル（多くの医療機関や介護施設）への適用にはそれに応じた特有の計画が必要となろう。計画では外からの *Pseudomonas aeruginosa*, や *Legionella* 等の汚染防除に加え、それらの増殖防止が必要で、その対象設備としては患者が直接に触れるシャワーヘッド、透析装置や歯科治療用給水装置などの医療機器がある。

4.8 課題と研究

HPC に関する今後の研究は第2節で触れたように公衆衛生上の問題というよりも処理の工程管理・保全への応用に視点を置く必要がある。

現在の HPC への関心の度合いからすれば、今後とも研究がなされるものと思われる。その際には、従属栄養細菌のうち病原性を持つ特異的なものへの視野を持つことが重要で、今後の分子生物学的な技術の進歩に伴って下記に述べるような公衆衛生上の情報も追加されることが期待される。

免疫不全者（特に医療機関での院内感染防除）：飲用以外の曝露（エアロゾル曝露と過敏症反応、）及びバイオフィーム中のアメーバの由来 *Pseudomonas aeruginosa* 関連として、環境中には常在しているが飲料水中からも時折検出される。これらはハイリスクグループにおいては創傷やその他の部分での感染が認められている。

汚染状況、感染経路、及び汚染防止に関する追加研究：飲料水を介した曝露に対して感受性を有するようリスク集団に関する研究

給水系における HPC の汚染防止あるいは低減が人への感染性を有する微生物の低減にどの程度寄与するかといった研究も今後期待される。

文献

WHO Guidelines for Drinking Water Quality (Vols. 1, 2, Microbiology addendum) Fewtrell and Bartram, Water Guidelines, Standards and Health Water Safety Plan Report.

WHO Guidelines for Safe Recreational Waters, Volume 1 - Coastal and Fresh Waters, Volume 2 -Swimming Pools, Spas and Similar Recreational Water Environments

WHO Guide to Ship Sanitation.

WHO Guide to Hygiene and Sanitation on Aircraft.

General Standard for Bottled/Packaged Drinking Water (other than Natural Mineral Water).

Standard Methods for the Analysis of Drinking Water and Wastewater- APHA, AWWA, WEF.

The Microbiology of Drinking Water (2002) - Part 1-Water Quality and Public Health (Standing Committee of Analysts, Environment Agency, (London).

The Microbiology of Drinking Water (2002)- Part 7- Methods for the enumeration of heterotrophic bacteria by pour and spread plate techniques (Standing Committee of

Analysts, Environment Agency, (London).

International Standard ISO 6222:1999. Geneva: International Organization for Standardization.

EU 98-83-EG Quality of Water for Human Consumption (3 November 1998 (ABI. EG no. 330).

Guidelines for Disinfection and Sanitation of Water Treatment Equipment, 3rd Edition, 2000, Publ. No.E2, The Water Quality Association, Lisle, Illinois 60532-1088, USA
www.wqa.org.

5. 水質評価における指標生物 (Indicator organisms)

5.1 はじめに

細菌類やファージが水中の腸管系病原体の存否、あるいは浄水処理効率の指標として用いられている。例えば、糞便性大腸菌群は水の糞便汚染の指標として用いられており、腸管系病原体の汚染の可能性を示唆する。ファージや *Clostridium perfringens* の芽胞はその抵抗性を利用して、耐塩素性の原虫類の（オー）シストやウイルスに対する消毒の効果判定に用いられている。指標生物に求められる特性は簡便であること、安価であること、特殊な検査室を必要としないこと、あるいは特殊技能者を必要としないことなどである。指標生物そのものに病原性があってはならない。水質検査においては、複雑で高価な検査を少数回行うよりも簡単で安価な検査を繰り返し行うことが望ましい。以下に、指標生物の例を挙げ、その適用範囲、限界等について概説する。

5.2 従属栄養細菌 (Heterotrophic plate count bacteria)

概要：従属栄養細菌測定(HPC)は、細菌やカビ類など広範な従属栄養微生物を検出する方法である。培地の組成は富栄養で、阻害因子や選択因子を含まれていない。本試験は処理後の飲料水の通常の微生物学的品質を評価する目的で用いられている。HPCはボトル水あるいは水道水の配水系での残塩濃度の不足、及び配水系での微生物の繁殖などといった消毒効率の評価方法でもある。本方法は簡便で安価、さらに48時間で結果が得られる。

水質指標：HPC測定で得られる微生物相は広く、塩素消毒が有効な大腸菌群や、芽胞形成菌のように耐塩素性の菌、あるいは *Aeromonas* や大腸菌群の一部など消毒剤の残留効果が消失した水で速やかに増殖する微生物などが含まれる。富栄養と最適温度を満たすことであらゆる従属栄養微生物の増殖を促し、消毒や環境により障害を受けた微生物の増殖も期待している。本試験は特に消毒が実施されている給水システムの検査に用いられている。培養の温度及び期間は目的に応じて調整されており、例えば、35-37℃で48時間とすれば、ヒトや動物由来の微生物分離に適している。また、20-25℃で長期の培養を行えば、バイオフィーム形成などに関与する水環境中の微生物叢が検出できる。

環境中での挙動：従属栄養細菌はあらゆる種類の水環境中の微生物叢を指す。水道原水中には多量に存在する。浄水処理工程で、凝集、沈殿といった処理により従属栄養細菌の数の減少が期待される。しかしながら、活性炭槽や砂ろ過の工程では反対に増殖する。HPC値は塩素、オゾン処理、紫外線などによる消毒で著しく低減させることができる。しかしながら、如何なる消毒工程も水道水の滅菌は行えず、残塩の消失などといった条件が揃えば速やかに微生物の再増殖が起きる。

指標性：HPC測定は飲料水供給システムの微生物学的品質の評価法として簡便で安価なため、広く用いられている。特に高度な実験施設が必要では無く、特別に教育されたスタッフも必要ではない。単純な好気培養の混積培養法では48時間という適当な時間で結果を得ることができる。従って、本方法は頻回の検査が容易である。本方法は特に消毒効果判定と配水系での品質保全の評価に優れている。ボトル水ではHPC値は味や臭い(悪臭)あるいは見た目の品質に影響するような微生物の増殖を監視するのに有効である。

飲料水との関連性：消毒直後の飲料水でHPC値が許容値を超える場合には消毒の不備があることを強く示唆する証拠となる。同様に、配水系でHPC値が許容値を超える場合には、消毒剤の残留量の不足を示唆するもので、バイオフィーム形成の可能性を示唆する。従属栄養細菌には *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Legionella*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* などといった日和見感染の原因菌が含まれる。しかしながら、いずれの菌も水を介して一般住民の腸管系疾患の原因となったという証拠はない。

文献

Allen MJ, Edberg SC, Reasoner DJ (2002) Heterotrophic plate count (HPC) bacteria-what is their significance in drinking-water? Proceedings of the NSF International

/ WHO Symposium on HPC Bacteria in Drinking Water: Public Health Implications? April 22-24, 2002, Geneva, Switzerland, pp. 29-45. NSF International, Ann Arbor.

Ashbolt N J, Grabow W O K, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality. In: Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London. Pp 289-315.

Bartram J, Cotruvo J, Exner M, Fricker C, Glasmacher A (2003) Heterotrophic Plate Count and Health. World Health Organization, Geneva. 280 pages.

Grabow WOK (1996) Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. *Water SA* 22: 193-202.

Rusin PA, Rose JB, Haas CN, Gerba CP (1997) Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking-water. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 152: 57- 83.

WHO/NSF (2003) HPC and Drinking-water Safety. The Significance of Heterotrophic Plate Counts for Water Quality and Human Health. WHO Issues in Water Quality and Health. IWA Publishing, London.

5. 3 大腸菌群、糞便性大腸菌群及び大腸菌 (Coliform bacteria including thermotolerant coliforms and *E. coli*)

概要：大腸菌群は、広範な好気性あるいは通性嫌気性、グラム陰性、無芽胞の桿菌で、比較的高濃度の胆汁の存在下で、35-37℃、24 時間以内に乳糖を分解しガスと酸、あるいはアルデヒドを産生する。これらの一部は人や動物の糞便中に排出される。ほとんどの大腸菌群は従属栄養細菌に属し、水環境中で増殖する。大腸菌群のうち 44.0±0.5℃で乳糖を分解してガスと酸を産生するものを糞便性大腸菌群とよび、その主な構成菌は *Escherichia*、*Citrobacter*、*Klebsiella* および *Enterobacter* 等である。大腸菌群に比べ、糞便性大腸菌群は糞便汚染の指標性が高い。しかしながら、*Klebsiella* は条件によって水環境で増殖する。これらの糞便性大腸菌群のうち、44.0±0.5℃、24 時間以内にトリプトファンからインドール産生（インドール試験陽性）する菌は大腸菌である。大腸菌は水環境中では基本的に増殖しないことから、糞便汚染の指標性が高く評価されている。大腸菌群がβ-ガラクトシダーゼ（β-galactosidase）産生を行うのに対し、大腸菌はβ-グルクロニダーゼ（β-glucuronidase）産生であることから、これをマーカーとして同定することが可能である。

指標性：大腸菌群は、飲料水の衛生指標として広く使用されているが、高濃度の有機物の存在下あるいは特定の物質の表面で増殖することが知られている。大腸菌群の試験方法は簡便で安価で設備や人材を必要としないことから、繰り返しの検査が可能である。検査結果は24 時間以内に得ることができる。その他の利点は、培地や培養温度の設定から、糞便性大腸菌群に比べて障害を受けた菌や増殖の遅い株の検出に優れていることが挙げられる。この点から、大腸菌群は糞便性大腸菌群よりも消毒効果の判定方法として感度の高い指標といえる。大腸菌群検出用の培養フィルターから容易に大腸菌の分離・同定が可能である。糞便性大腸菌群は大腸菌群に比べて糞便汚染の指標性に優れるが、大腸菌による確定試験が必須である。大腸菌群は水質評価と汚染防止に向けて利用されている。大腸菌群の欠点は、消毒剤に対する感受性が高いことで、大腸菌群が不検出であってもクリプトスポリジウムやウイルスなどといった耐塩素生物の汚染を否定する判断材料にはなり得ない。

環境中での挙動：大腸菌群、特に大腸菌は下水から多量に検出される。その大半は人や動物の糞便由来と考えられる。また、相当量が河川や湖といった自然の水環境から検出される。大腸菌群による表流水の汚れは下水の流入を原因とするのが一般であるが、環境での増殖も考えられる。これらの水資源は水道水の原水として用いられており、その存在量は水系の病原性細菌類の数に比べて桁レベルで多いことが予想される。大腸菌群とウイルスや原虫との比率は、消毒処理といった菌の生存条件の悪化に伴って減少する。結果的に、大腸菌群が不検出の最終処理水で上記の病原体が存在する可能性がある。

実用性：大腸菌群は一般的に 100ml の飲料水を試料とする。手技的にはメンブラン法（メンブランフィルターで回収、フィルターごと選択培地で培養、24 時間後のコロニー数測定）など多種の方法が知られている。あるいは、試験管やマイクロタイタープレートを用いた最確法や、定性試験、または 100ml 以上の試料水を用いる方法もある。野外試験用の検査キットも入手可能である。

飲料水との関連性：配水系、貯水槽水で大腸菌群が検出されるということは、浄水処理または消毒の不徹底、微生物の増殖やバイオフィルムの形成、あるいは土壌や植物といった異物の混入といった欠陥があることを示す。大腸菌群検査の特徴は簡便で安価な検査方法で、繰り返しの定期検査が可能である点である。このような利点に反し、欠点も指摘される。すなわち、消毒剤への感受性が高いことである。このことから、大腸菌群が陰性であっても原虫やウイルスの汚染を否定するものではない。この事実はこれまでの疫学的調査によって確認されている。

文献

- Ashbolt N J, Grabow W O K, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality, 289-315. In: Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London.
- George I, Petit M, Theate C, Servais P (2001) Use of rapid enzymatic assays to study the distribution of faecal coliforms in the Seine river (France). *Water Science and Technology* 43: 77-80.
- Grabow W O K (1996) Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. *Water SA* 22: 193-202.
- Standard Methods (1998). Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD (Editors). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington DC.
- Sueiro RA, Araujo M, Santos CJ, Gómes MJ, Garrido MJ (2001) Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering *Escherichia coli* and other coliform bacteria from groundwater samples. *Water Science and Technology* 43: 213-216.
- WHO (1996) Guidelines for drinking-water quality, Second Edition, Vol 2: Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva. 973 pages.

5. 4 腸球菌 (Enterococci)

概要：腸球菌は *Streptococcus* 属に属する糞便性連鎖球菌グループのうちの一部の細菌がこれにあたる。これらはグラム陽性、塩化ナトリウムやアルカリ性に耐性である。これらは通性嫌気性で、単独では双菌状もしくは短連鎖状になって存在する。糞便性連鎖球菌は全てランスフィールド D 群抗体と反応し、温血動物の糞便から検出される。腸球菌サブグループには *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae* が含まれる。このサブグループは全て糞便汚染と直結している点で他の糞便性連鎖球菌と区別される。しかしながら、水から分離される他の腸球菌は土壌など他の生息域からの混入の可能性はある。人の糞便中の腸球菌数は一般的に糞便性大腸菌群に比べて少ない。

指標性：腸球菌は原水の糞便汚染指標として用いられている。大腸菌群の異なり、腸球菌は環境中で増殖しないという特性がある。加えて、腸球菌は細胞壁の構造的長により環境水中でより長く生存できる。これらの特性から、大腸菌群や大腸菌に比べて、耐塩素性を示す病原体の指標としてより優れていると判断される。また、腸球菌グループは環境中で増殖するものが少ないことから、糞便性連鎖球菌よりも糞便性汚染の指標として優れていると考えられる。

環境中での挙動：腸球菌はヒト及び他の温血動物糞便に存在する。しかしながら、ある種のものには土壤中からも検出される。腸球菌は下水や汚染された環境水中で多量に検出される。人の糞便中の腸球菌は糞便性大腸菌群よりも1桁程度少ないが、下水により汚染された水からは容易に検出できる。

実用性：腸球菌は簡単で安価な培養方法で検出でき、通常の細菌実験室があればよい。通常、メンブランフィルター法が用いられ、35-37℃、48時間でコロニー数を測定する。他の方法として、最確法が用いられるが、酢酸タリウムとナリジク酸の存在下で4-methyl-umbelliferyl- β -D-glucoside (MUD) を水解してフルオロジェン (fluorogen) 産生をマーカーとして検出する方法が考案されている。飲料水の水質として用いる場合は100ml中に腸球菌が不検出という基準が採用されている。

飲料水との関連性：飲料水中からの腸球菌の検出は糞便汚染を意味し、病原微生物の汚染のおそれが指摘される。同時に、消毒工程の不備も指摘される。腸球菌は適切な消毒により不検出のレベルにまで低下させることができる。腸管菌は糞便由来で、ある程度の耐塩素性を示すことから、糞便性大腸菌群試験の補完・確認に用いることができる。

腸球菌検査は水道管の新規埋設工事、あるいは消毒システムの改造後の検査では特に重要な検査となる。

文献

Ashbolt N J, Grabow W O K, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality, 289-315. In: Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London.

Grabow W O K (1996) Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. Water SA 22: 193-202.

Junco TT, Martin MG, Toledo LP, Gómez PL, Barrasa JLM (2001) Identification and antibiotic resistance of faecal enterococci isolated from water samples.

International Journal of Hygiene and Environmental Health 203: 363-368.

Pinto B, Pierotti R, Canale G, Reali D (1999) Characterization of 'faecal streptococci' as indicators of faecal pollution and distribution in the environment. *Letters in Applied Microbiology* 29: 258-263.

Standard Methods (1998). Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD (Editors). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington DC.

WHO (1996) *Guidelines for drinking-water quality*. 2nd Edition Vol 2: *Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva. 973 pages.

5. 5 ウェルシュ菌 (*Clostridium perfringens*)

概要：*Clostridium*属はグラム陽性、嫌気性で芽胞を形成する桿菌である。このグループの細菌は芽胞形成を行ない、芽胞はきわめて環境抵抗性で、紫外線照射、温度、pH、及び塩素等の消毒などに耐性を示す。クロストリジウム属の中で代表的なウェルシュ菌は、大腸菌よりはるかに数が少ないものの、ヒトの糞便中に常在している。大腸菌と同様、ほとんどの水環境で増殖せず、従って、糞便汚染の指標性は高いものと判断される。

指標性：ウェルシュ菌はきわめて強い耐塩素性や環境抵抗性を示すことから処理水中のウイルスや原虫類の汚染の指標となり得る。一方、ウェルシュ菌は長期間にわたり生残・蓄積するため、過去の糞便汚染の指標ともなる。これに対し、芽胞を形成しない大腸菌などは新しい糞便汚染の指標である。

環境中での挙動：ウェルシュ菌の芽胞は主に糞便由来であり下水中に常在している。他の多くの指標細菌とは異なり環境水中では増殖しない。ウェルシュ菌はヒトや他の温血動物の糞便に比べヒトの糞便中に多く存在する。芽胞は環境中で長期に生残する。

指標菌としての適用：ウェルシュ菌の検出は主にメンブランフィルター法が用いられる。この検査法は厳密な嫌気条件で培養するため、大腸菌群の試験方法と比べれば必ずしも簡便で安価な方法といえない。

飲料水との関連性：芽胞はきわめて強力な環境抵抗性を示すことから、本菌が不検出であればウイルスや原虫の汚染もないものと判定される。浄水場によっては、飲料水中のウェルシュ菌を基準値以下にすることができない場合があり、指標菌としては厳しすぎるのではないかと指摘もある。しかしながら、飲料水の処理及び消毒を適正に行えば100ml中の処理水からウェルシュ菌が基準値以下となるという確固たる研究成果も示されている。

文献

Araujo M, Sueiro RA, Gómez MJ, Garrido MJ (2001) Evaluation of fluorogenic TSC agar for recovering *Clostridium perfringens* in groundwater samples. *Water Science and Technology* 43: 201-204.

Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality. In: *Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health*. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London. Pp 289-315.

Payment P, Franco E (1993) *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking-water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 2418-2424.

WHO (1996) *Guidelines for drinking-water quality*. 2nd Edition Vol 2: *Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva. 973 pages.

5. 6 大腸菌ファージ(Coliphages)

概要：バクテリオファージ（ファージ）は細菌に感染するウイルスである。大腸菌ファージは *Escherichia coli* に特異的に感染する。従って、宿主菌同様に糞便汚染の指標となり得る。水質管理の指標として用いられるファージは菌体吸着大腸菌ファージと F-RNA 大腸菌ファージに分けられる。F-RNA co 大腸菌ファージの I 及び IV 型は動物の糞便に存在し、III 型は人の糞便にのみ検出されるとされる。この現象は良く判っていないが、指標としてきわめて興味がある。

指標性：ヒトウイルスと共通点が多いファージは糞便性細菌などの指標よりも水環境中の腸管系ウイルスに類似する挙動を示す。F-RNA 大腸菌ファージはピコルナウイルスと形態的に不可分である。F-線毛は 30℃ 以上の温度環境で対数増殖期 (logarithmic growth phase) の大腸菌にのみ形成されることから、F-RNA 大腸菌ファージは温血動物の腸管のみで増殖するものと考えられている。従って、下水汚染の指標として用いられる F-RNA 大腸菌ファージは大腸菌と同様の指標性を有するものと評価されている。また、菌体吸着大腸菌ファージは下水中でも増殖することから、糞便性大腸菌群のそれと対比される。腸管系ウイルスとの類似性からエンテロウイルスの指標として、糞便性細菌の挙動よりも評価できる。その挙動の類似性は実験的に証明されている。

環境中での挙動：宿主細菌がヒトや恒温動物の腸管内に生息していることから大腸菌ファージは糞便とともに排出される。菌体吸着大腸菌ファージは多くの宿主細菌に感染して多量に増殖し、F-RNA 大腸菌ファージは F 特異性線毛を有する宿主大腸菌に感染して増殖する。したがって排水中では菌体吸着大腸菌ファージが多く、F-RNA 大腸菌ファージは少ない傾向がある。

実用性：大腸菌ファージは水処理と消毒プロセスにおける腸管系ウイルスの挙動や生存の指標として利用できる。ファージの検査は比較的簡単で安価な方法によって 24 時間以内に結果が得られる。F-RNA 大腸菌ファージはヒトや動物から特異的に排出されており、それらは 4 種類の遺伝子型に分類される。F-RNA 大腸菌ファージの型別によってヒトと動物に由来する糞便汚染の相違が判定できる。

飲料水との関連性：大腸菌ファージの存在は下水汚染を示す指標となっている。従って、飲料水中に大腸菌ファージが検出される場合は腸管系ウイルスあるいはその他の病原体による汚染が危惧される。また、消毒処理の不備も示差される。しかしながら、逆に大腸菌ファージが不検出ということが耐塩素性の病原体による汚染を否定するわけではない。このような証拠も示されている。F-RNA 大腸菌ファージは腸管系ウイルスの特徴を良く備えており、指標性が評価されている。さらに、F-RNA 大腸菌ファージの型別によってヒトや動物の糞便汚染の由来を識別できるとされることから、ウイルス学的な健康リスクの評価にその有効性が期待されている。しかしながら、一部では反証も示されており、今後の詳細な研究が待たれる。

文献

- Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality. In: *Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health*. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London. Pp 289-315.
- Grabow WOK (2001) Bacteriophages: Update on application as models for viruses in water. *Water SA* 27: 251-268.
- Mooijman KA, Bahar M, Contreras N, Havelaar AH (2001) Optimisation of the ISO-method on enumeration of somatic coliphages (draft ISO 10705-2). *Water Science and Technology* 43: 205-208.
- Schaper M et al. (2002) Distribution of genotypes of F-specific RNA bacteriophages in human and non-human sources of faecal pollution in South Africa and Spain. *Journal of Applied Microbiology* 92: 657-667.
- Storey MV, Ashbolt NJ (2001) Persistence of two model enteric viruses (B40-8 and MS-2 bacteriophages) in water distribution pipe biofilms. *Water Science and Technology* 43: 133-138.

5. 7 バクテロイデスフラギリス(*Bacteroides fragilis*)ファージ

概要：2グループの *B. fragilis* ファージが水質評価の指標生物として用いられている。一つはすべての *B. fragilis* に感染する幅広いスペクトルを有し、他方は *B. fragilis* HSP40 株に特異的に感染するファージである。*Bacteroides fragilis* はヒト及び他の温血動物の腸管内フローラにおける偏性嫌気性細菌である。これらは、水環境中では増殖できないので、特に糞便性汚染の有効な指標となるが、環境中では速やかに死滅することからその指標的価値は必ずしも高くない。これらの細菌に感染するファージは糞便性汚染の有効な指標となる。その上、*Bacteroides fragilis* HSP40 は、ヒトの胃腸管内に特異的に存在しており、そのファージはヒト由来であることが示唆される。*Bacteroides fragilis* HSP40 ファージは Siphoviridae 科に属しており、柔軟な非収縮性の尾、二重螺旋 DNA、直径 60nm 以上のカプシドを有する。*Bacteroides fragilis* RYC2056 株は、幅広いスペクトルの *Bacteroides fragilis* ファージを検出するのに宿主として用いられている。

指標価値：糞便汚染指標であると同時に、ヒトと動物起源の糞便汚染を識別するのに有用である。*B. fragilis* HSP40 ファージは過酷な環境条件下にも例外的に抵抗性がある。それらは典型的なヒト腸管系ウイルスよりも、様々な水環境中で長期生存する。すなわち、水源に *Bacteroides fragilis* HSP40 が存在しないということはヒト腸管系ウイルスが存在しないという指標となり得る。

環境中での挙動：*Bacteroides fragilis* HSP40 ファージは、世界中の約 10~20% のヒトから排出される。従って、大腸菌ファージと同程度の排出とはならず、下水中での数は事実上、菌体吸着大腸菌ファージや F-RNA 大腸菌ファージよりも少ない。*B. fragilis* HSP40 ファージは地域によって極端に低いか全く存在しないということが明らかとなっている。

実用性：プラーク法は、複雑な生育培地を用いて、完全な嫌気性条件下で行わなければならない、さらに、プラークが見えるようになるまでに2日を要するので、*B. fragilis* ファージの検出は大腸菌ファージ検出のように簡便で経済的とはいえない。本ファージが多くの水環境中で相対的に低濃度であることから、水質評価において大腸菌ファージほど広くは用いられていない。しかしながら、処理及び消毒過程の効率性の評価といった目的のためにはこれらのファージの有用性が認識されている。

飲料水との関連性：飲料水から *B. fragilis* ファージが検出されれば、糞便性汚染の明らかな証拠である。*B. fragilis* HSP40 ファージの存在はヒト由来の糞便汚染を強く示唆する。

文献

Bradley, G, Carter C, Gaudie D, King C (1999) Distribution of the human faecal bacterium *Bacteroides fragilis* and their relationship to current sewage pollution indicators in bathing waters. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement* 85: 90S-100S.

Grabow WOK (2001) Bacteriophages: Update on application as models for viruses in water. *Water SA* 27: 251-268.

Puig A, Queralt N, Jofre J, Araujo R (1999) Diversity of *Bacteroides fragilis* strains in their capacity to recover phages from human and animal wastes and from fecally polluted wastewater. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 1772-1776.

Tartera C, Lucena F, Jofre J (1989) Human origin of *Bacteroides fragilis* bacteriophages present in the environment. *Applied and Environmental Microbiology* 10: 2696-2701.

Storey MV, Ashbolt NJ (2001) Persistence of two model enteric viruses (B40-8 and MS-2 bacteriophages) in water distribution pipe biofilms. *Water Science and Technology* 43: 133-138.

5. 8 腸管系ウイルス (Enteric Viruses)

概要：腸管系ウイルスとは、ヒトに対して「糞-口感染」して腸管で増殖するウイルスの総称である。このグループには、エンテロウイルス（ポリオ、コクサッキーA群・B群、エコー及びエンテロ）、アストロ、腸管アデノ、レオ、カリシ及びA・E型肝炎ウイルスが入る。これらのウイルスは、総じて宿主特異性が強く感受性のある動物のみに感染し増殖する。水質衛生学上は、「腸管系ウイルスを含まないこと」と規定されている。腸管系ウイルスには広範な種類が含まれ、世界的にも主要な疾病の原因であり、かつ死亡原因となっている。感染した場合の臨床症状は、胃腸炎、呼吸器障害、脳炎、マヒ、肝炎及び結膜炎などと多彩である。また、その構造や構成する核酸の種類なども多彩である。したがって、環境中への排出量や水処理過程における生残性にも大きな差がある。

指標値：一般的に、水環境における糞便由来細菌は、腸管系ウイルスの挙動を把握するための指標になり得ないといわれている。両者の大きな違いは、腸管系ウイルスの環境中への排出が感染時のみであるのに対して、糞便由来細菌は糞便とともに常時排出されている。さらには、糞便由来細菌と腸管系ウイルスは、環境中での生残性にも差がある。糞便由来細菌が、水環境における腸管系ウイルスの挙動を把握するための指標として有効であるか否かを見極めるには更なる実態調査が必要である。水中のすべてのウイルスを検出する方法は確立していないが、水中の糞便由来細菌と腸管系ウイルスの関連性について研究することが急務である。

環境中での挙動：腸管系ウイルスの下水中への排出量と検出率は、当該地域における感染実態を反映している。しかし、腸管系ウイルスの検出率は、その集団の抗体保有状況などの疫学的な要因を大きく受ける。

実用性：腸管系ウイルスのすべてを検出できる実用的な方法はまだ確立されていない。環境水の水質評価のためにも腸管系ウイルスを広く全般的に検出する方法の開発は不可欠で

ある。エンテロウイルスには、広い意味でアデノウイルス及びレオウイルスが含まれており、これらのウイルスを含めて、確実に腸管系ウイルス全般の指標となるものが発見されれば、浄水過程や消毒過程における妨害要因の究明にも有用であり、水環境の汚染実態把握につながる。

飲料水中での意義：飲料水から何らかの腸管系ウイルスが検出されれば、他の腸管系ウイルスも存在している可能性があり、水処理過程や消毒過程における欠陥が示唆される。

文献

Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M (2001) Chapter 13: Indicators of microbial water quality. In: *Water Quality Guidelines: Guidelines, Standards and Health*. Editors Fewtrell L and Bartram J. World Health Organization Water Series. IWA Publishing, London. Pp 289-315.

Grabow WOK, Taylor MB, de Villiers JC (2001) *New methods for the detection of viruses: call for review of drinking-water quality guidelines*. *Water Science and Technology* 43: 1-8.

(WHO Guidelines for Drinking-Water Quality Third Edition Chapter 7 : Microbiology (Draft) から抜粋)