

下水処理場への新たな衛生学的指標導入に関する検討

藤井都弥子・川住亮太・重村浩之・山下洋正・小越眞佐司

1. はじめに

現在、下水処理場からの放流水の水質の技術上の基準における衛生学的項目として大腸菌群数(3,000個/cm³以下)が用いられているが、大腸菌以外にも土壌由来の細菌や環境中で増殖する細菌が含まれるなど、糞便性汚染を示す指標としての妥当性が低いことが指摘されている。上水の水質基準項目については、平成15年に大腸菌群数から大腸菌数に変更されており、また、環境基準(生活項目)についても、項目を大腸菌数に変更するための調査が進められている。このため、放流先の水環境への影響を考慮する上で下水処理水中の大腸菌数の実態把握を行う必要性が高まっている。

本報告は、下水処理水放流先の衛生学的な安全性を確保するため、新たな衛生学的指標導入に関する調査検討を行ったものである。具体的には、下水処理水中における大腸菌の存在実態・変動特性、測定方法や測定者の違いによる測定結果の変動について報告するとともに、これらを踏まえた放流水の新たな基準値設定の考え方を提示する。

2. 下水処理水中における大腸菌の存在実態・変動特性の調査^{1)~5)}

下水処理水中における大腸菌の存在実態・変動特性を把握することを目的として調査を行った。

2.1 調査概要

2.1.1 調査期間及び調査対象

- (1) 大腸菌の存在実態を把握するため、平成24年2月から平成24年3月にかけて、9つの実下水処理場を対象に、流入下水及び放流水(消毒後)についてスポット採水調査を各3回行った。
- (2) 季節変動を把握するため、(1)で対象とした処理場のうち2処理場(X処理場、Y処理場とする)において、平成24年6月から平成25年2

月にかけてスポット採水調査を行った(8月2回、9月3回、その他は月1回)。

- (3) 時間変動を把握するため、平成24年2月から10月にかけて24時間調査を行った。調査は、低温期(X処理場のみ2月に実施)、高温期(X処理場7月、Y処理場8月)と中温期(両処理場とも10月)に1回ずつ調査を行った。

ここで、スポット採水調査は、同一曜日・時間に行い、24時間調査は、10時、14時、18時、22時、2時の計5回採水し、各試料について分析した。

2.1.2 測定方法

大腸菌数、大腸菌群数の測定は、表-1に示す方法を用いた。これらの方法は、いずれも下水試験方法¹⁾に掲載されている一般的な測定方法である。

表-1 大腸菌群数及び大腸菌数測定に用いた方法

測定方法	使用培地	測定対象		略称
		大腸菌群数	大腸菌数	
最確数法 (複数の試験管で培養試験を行い、陽性となった本数から統計学的に推計する方法)	コリラート培地QTTレイ	○	○	最確数法
平板培養法 (シャーレ培地上に出現するコロニーを集計する方法)	デソキシコール酸塩培地 クロモアガーECC培地	○	○	デソ法 平板法クロモアガー
メンブレンフィルター法 (試料をメンブレンフィルター(MF)でろ過し、フィルターを培地の上に載せて培養し、コロニーを集計する方法)	クロモアガーECC培地	○	○	MF法 (通常のフィルター) HGFMF法 (疎水性格子付フィルター)

2.2 調査結果

2.2.1 存在実態

(1)の調査では、すべての処理場においてデソ法及び最確数法による測定を行い、2処理場においてさらに平板法クロモアガー、HGFMF法による測定を行った。すべての処理場で測定を行った2方法の測定結果を図-1に示す。なお、デソ法による測定については、試料水1mLを用いた測定の結果を100mLあたりの数値に換算している。処理場ごとのばらつきが大きいものの、大腸菌群数は10¹~10⁵CFUまたはMPN/100mL、大腸菌数は10⁰~10³CFUまたはMPN/100mLの範囲でそれぞれ存在していた。

2.2.2 季節変動

X処理場における大腸菌群数及び大腸菌数測定結果の季節変動について、処理水（消毒前）を図-2に、放流水（消毒後）を図-3にそれぞれ示す。平板培養法（デソ法および平板法クロモアガー）については、試料水1mLを用いた測定の結果を100mLあたりの数値に換算している。処理水については、年間を通してほぼ一定の菌数であること、この菌数の範囲においては測定方法の違いによるばらつきはほとんど見られないことが把握できた。一方、放流水については、冬季において測定方法の違いによるばらつきが見られ、特に平板法クロモアガーによる大腸菌の測定で検出下限値未満となる場合が他の測定方法より多く見られた。これは、今回平板培養法による測定で用いた試料が1mLであり、菌数が少ない試料の場合に誤差が生じた可能性が考えられる。

2.2.3 時間変動

X処理場放流水における24時間調査（中温期10月）の結果を図-4に示す。測定時間や測定方法の違いによりややばらつきが見られること、同じ測定方法でのばらつきは大きいところで2log程度であること等が把握できた。

2.2.4 大腸菌数と大腸菌群数との相関

2.2.2の調査結果から、大腸菌数と大腸菌群数との相関について整理した。流入水、処理水、放流水それぞれの試料水中の大腸菌群に占める大腸菌の割合の分布を図-5に示す。ここで、横軸は大腸菌の割合、縦軸は該当する検体が全体検体数に占める割合を示しており、各試料水の全体検体数は、X処理場とY処理場の合計である。大腸菌群に占める大腸菌の割合の最頻値について見ると、流入水においては30%~40%、処理水においては20%~30%、放流水においては10%以下となり、統計学的な妥当性の検証が必要ではあるものの、処理が進むにつれて大腸菌群に占める大腸菌の割合が低くなる傾向が見られた。

3. 測定機関・測定者の違いによる大腸菌数測定結果の変動調査⁶⁾

3.1 調査内容

3.1.1 複数の測定機関による測定(以下、機関別測定)

平成26年1月下旬にX処理場において採水を行

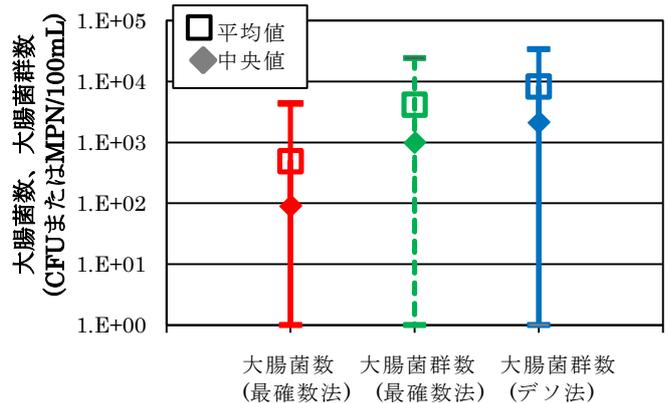


図-1 対象処理場における大腸菌群及び大腸菌の測定結果（処理水）

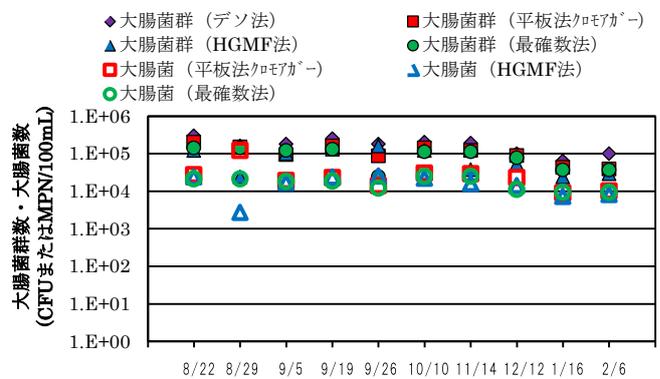


図-2 X処理場における測定結果（処理水・季節変動）

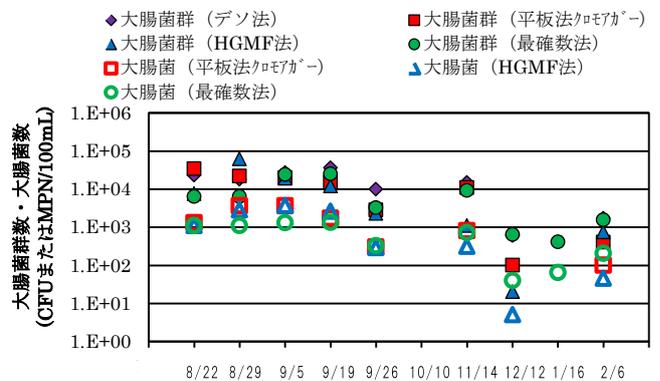


図-3 X処理場における測定結果（放流水・季節変動）

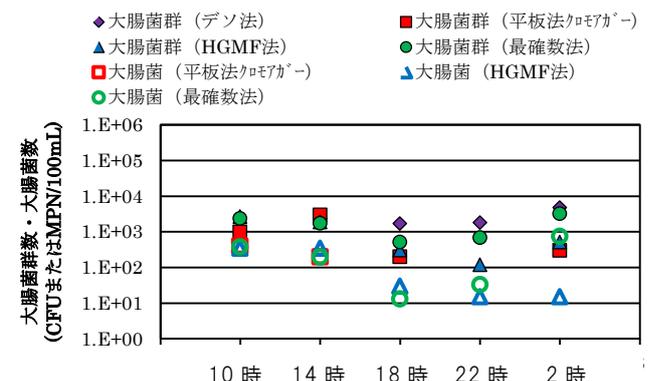


図-4 X処理場における測定結果（放流水・時間変動）

い、7機関（自治体6機関及び民間分析会社1機関）による菌数の測定を行った。採水した試料は概ね3℃で冷蔵して各分析機関に送付し、すべての機関において採水翌日の同時刻に作業を開始した。測定方法は表-1で示した方法を用いたが、各分析機関で実施可能な方法による測定を依頼したため、機関により実施した測定方法の数が異なっている。

3.1.2 複数の測定者による測定(以下、測定者別測定)

平成26年2月中旬にX処理場において採水を行い、同一機関に所属し、分析経験年数の異なる3名（生物関連の分析経験がそれぞれP：1年、Q：5年、R：7年）の測定者による菌数の測定を行った。用いた測定方法は3.1.1と同様である。

3.2 調査結果

3.2.1 機関別測定

放流水中の大腸菌数は、ほぼすべての測定機関、測定方法において10CFUまたはMPN/mL以下であり、機関によるばらつきは見られなかった。（機関Dの平板培養法による測定のみ30CFU/mL）。

次に、処理水中の大腸菌数について、最も多くの機関で測定を行った平板法クロモアガーによる測定結果を図-6に示す。3回の測定値がいずれも平板培養法の菌数計測に適しているとされている範囲内(下水試験方法より30~200CFU/mL)に収まっていたC、D、E、Fの4機関について変動係数（標準偏差を平均値で除した数値）を算出したところ、機関Dは約22%であり、他の3機関はいずれも20%以下であった。

測定値の変動の許容範囲の目安として、例えば上水については、厚生労働省から各水質項目の測定結果における変動係数が、基準値の1/10の値付近で10%もしくは20%の範囲内となるような精度を確保することとの通知が出されている⁷⁾。これを参考として考えると、今回の平板法クロモアガーの結果は、概ね問題ない測定精度の範囲であると判断された。

3.2.2 測定者別測定

3.2.1と同様に、本調査においても、放流水中の大腸菌数はすべての測定方法において10CFUまたはMPN/mL以下であり、測定者によるばらつきはほとんど見られなかった。次に、機関別測定との比較のため平板法クロモアガーによる処理

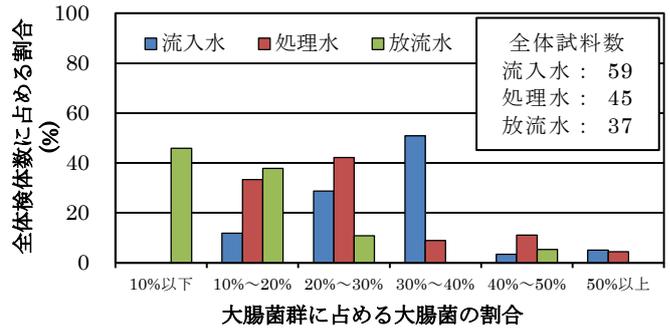


図-5 各試料水中の大腸菌群数に占める大腸菌数の割合の分布

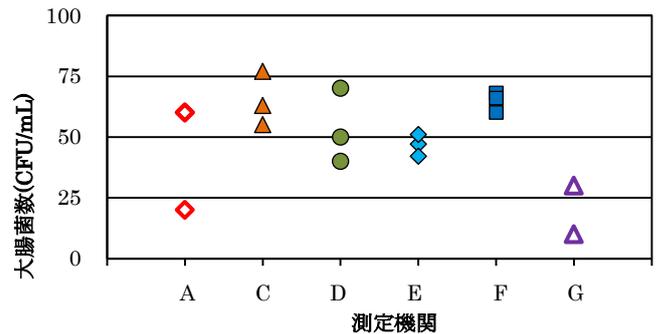


図-6 処理水中の大腸菌数測定結果 (機関別測定・平板法クロモアガー)

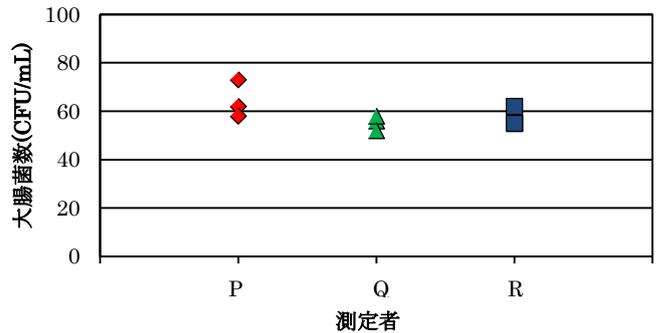


図-7 処理水中の大腸菌数測定結果 (測定者別測定・平板法クロモアガー)

水中の大腸菌数測定結果を図-7に示す。各測定者の測定値は50~75CFU/mL、変動係数は概ね10%以下であった。

4. 新たな基準値導入の考え方

これまでの調査結果を踏まえ、現在の指標である大腸菌群数を大腸菌数に変更しようとした場合の基準値設定の考え方について検討を行った。まず、基準値の目安となる大腸菌数の値を設定する。設定に当たっては、①全国の下処理場放流水中の大腸菌数について実態を把握し、例えば95パーセンタイル値を目安の値とする、②大腸菌数と大腸菌群数との間に相関があると仮定し、現在の基準値から算出するといった方法が考えられる。例えば②の考え方で、現在の基準値の大腸菌群数

3,000個/cm³に対して、2.2.4の結果より放流水中の大腸菌群に占める大腸菌の割合を10%と仮定すると、大腸菌数300個/cm³となる。次に、この目安値に対してさらに変動係数として例えば20%を仮定すると、基準値は360個/cm³程度と試算される。これはあくまで試算の一例であり、実際に基準値を設定する際には、例えば変動係数を安全側に考慮する（上記の場合は、300個/cm³の8割である240個/cm³程度）、現在の下水処理場の処理状況や下流域への影響等を考慮し、過剰な処理を必要とする基準値とならないように設定するなど、様々な観点からの検討が必要となる。しかし、本研究による結果は、現実的な平板培養法（希釈操作も含め）で基準適合が判断できる範囲の基準値案を合理的に定めうる技術的可能性を示しているものであるといえる。

5. まとめ

本研究により、放流水中の大腸菌数の存在実態、変動状況、大腸菌群数との相関等についておおよその傾向を把握することができた。また、測定方法（今回は平板培養法）に適した測定値範囲の場合には、処理水中の大腸菌数測定結果の変動係数が10%～20%程度におさまることが確認できた。この測定精度は、一般的な測定精度の考え方として水道での事例（厚生労働省通知⁷⁾）から見ても、概ね問題ない範囲であると考えられる。

上述の実態調査の結果や従来の指標と新たな指

標との相関等から目安となる値を設定し、さらに変動係数を考慮して新たな基準値を設定する考え方を提示した。

得られた結果は、今後の新たな衛生学的指標導入の際の基準値の検討及び公定法選定における基礎的知見としての活用が期待される。

謝 辞

本調査にご協力頂きました自治体関係者の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (公社)日本下水道協会：下水試験方法 下巻－2012年版－、pp.224～241、2012
- 2) 平成23年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.69～74、2012
- 3) 藤井都弥子、小越眞左司、對馬育夫：異なる測定方法を用いた下水処理水中の大腸菌数測定結果の比較検討、第49回下水道研究発表会講演集、pp.553～555、2012
- 4) 平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.59～66、2013
- 5) 藤井都弥子、小越眞左司、對馬育夫、原田一郎：下水処理水中における大腸菌数の変動調査、第50回下水道研究発表会講演集、pp.352～354、2013
- 6) 藤井都弥子、重村浩之、小越眞左司、山下洋正：測定者の違いによる測定結果への影響等を踏まえた大腸菌基準値設定の考え方、第51回下水道研究発表会講演集、pp.331～333、2014
- 7) 厚生労働省：水質基準項目の測定精度（水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について（別添5））、平成15年10月10日

藤井都弥子



国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センター建設マネジメント技術研究室 研究官（前国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室研究官）
Tsuyako FUJII

川住亮太



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官
Ryota KAWASUMI

重村浩之



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官
Hiroyuki SHIGEMURA

山下洋正



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室長
Hiromasa YAMASHITA

小越眞左司



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研究官
Masashi OGOSHI