

都内沿岸域における衛生指標細菌類の実態

和波 一夫 石井 裕一 木瀬 晴美* 石井 真理奈** 安藤 晴夫

(*非常勤研究員 **東京都環境局自然環境部)

要 旨

都内沿岸域（河口域、運河部、海浜公園）における衛生指標細菌類の実態を把握することを目的に、大腸菌群・糞便性大腸菌・大腸菌・糞便性連鎖球菌・腸球菌・ウェルシュ菌芽胞の6項目を計24地点で測定し、それぞれの菌数の変動と相互関係を検討した。2012年9月の城南島海浜公園、大井中央海浜公園、お台場海浜公園の大腸菌群・糞便性大腸菌群・大腸菌の菌数は 10^4 MPN /100mlを超える高い値を示したが、これは前日の大雨による汚水流入の影響と推定された。菌数値の変化はCOD値に比べて非常に大きく、汚水流入の影響をとらえるためには衛生指標細菌類の測定が適していると考えられた。大腸菌群・糞便性大腸菌群・大腸菌の3つの衛生指標細菌項目については互いに正の相関関係が認められ、大腸菌数は大腸菌群数の1/10前後の割合と推測された。そのほかの衛生指標細菌類である糞便性連鎖球菌・腸球菌・ウェルシュ菌芽胞は、大腸菌群・糞便性大腸菌・大腸菌に比較して菌数が少なく、下水処理水の影響を強く受ける地点（本文の地点番号 1, 5, 6, 7, 16）でも概ね1～2桁の低い値を示した。また、相互の相関性は小さかった。調査地点のうち、衛生指標細菌類の菌数がいずれも少なかった地点は、葛西海浜公園の西なぎさ内の3地点であり、これらの地点は他の地点に比べて衛生学的に良好な水質であることが示唆された。

キーワード：大腸菌群、糞便性大腸菌、大腸菌、糞便性連鎖球菌、腸球菌、ウェルシュ菌芽胞、東京湾、海浜公園

1 はじめに

東京都が2011年12月策定した都市戦略「2020年の東京」計画では、世界に誇るクリーンな都市環境を創出するとしている。水環境に関しては、2020年の東京の姿として『水の都東京』の再生に向けた水質改善の取組が進み、川や海などの水辺空間が、都民により一層身近なものになっている」という目標を掲げている。その目標を実現するためには、河川や東京湾の水質改善を総合的・重層的に実施し、都民が憩い、多様な生物が生息する水辺環境として再生していくことが必要である。

東京都の水辺環境の現状を把握するため、2010年度から2012年度に沿岸域の水質や生物生息の調査を行った。この調査で行った項目のうち大腸菌群数等の衛生指標細菌類に関する結果を報告する。

2 大腸菌群数等の測定について

大腸菌群とはグラム陰性無芽胞性の桿菌、乳糖を分解して酸とガスを産生する好気性または通性嫌気性の細

菌群であり、衛生学的に糞便性汚染の指標となる一群の菌の総称である。ただし、大腸菌群とされる細菌類の中には糞便と直接関係のない自然環境に存在するものもあり、大腸菌群の存在が必ずしも糞便汚染を意味するわけではない^{1)～3)}。水道法の水質基準では、大腸菌そのものの簡便な培養技術が確立されたことから糞便汚染をよりの確に検知できる大腸菌を採用するのが適当と判断され、2004年度改正の水道法の水質基準では、それまでの大腸菌群の代わりに大腸菌が基準項目となっている⁴⁾。すなわち、大腸菌は環境由来株が最も少なく、またヒト糞便中の大腸菌群の90%以上を占めることから、より明確な衛生指標細菌であるといえる⁵⁾。

公共用水域の水質汚濁に係る環境基準では、大腸菌群数が基準項目であり、大腸菌群数の測定方法はBGLB最確数法が指定されている。公共用水域の大腸菌群数については、40年ほどの測定実績があり膨大なデータが蓄積されている。しかし、大腸菌群に関する環境基準は水道の浄水操作を考慮して設定された経緯⁶⁾や水道法の水質基

準の改正などの背景から、公共用水域の水質評価において、大腸菌群数から大腸菌への基準見直しの必要性が指摘されている⁷⁾。なお、環境省では、大腸菌群数に代わる衛生指標について検討を進めており、近い将来、大腸菌数が環境基準項目になる可能性が高い⁸⁾。

水浴場の水質基準では、糞便性大腸菌群数が基準項目として設定されている。糞便性大腸菌群は、大腸菌群と比較すると糞便汚染を的確に示すとされる⁹⁾。上記のほかに、糞便汚染の指標として有用とされる糞便性連鎖球菌や、その挙動が有機汚濁に左右されない糞便の直接的な汚染指標とされている嫌気性芽胞菌など多様な細菌学的水質指標が調査・研究の対象となっている^{10～15)}。そこで、本調査ではこれらの衛生指標細菌類を同時に測定し、東京都の沿岸域における衛生指標細菌類の実態を把握することにした。2010 年、2011 年の各年度の調査結果については、既報^{16～17)}で述べているので、ここでは、2012 年度の調査結果を報告するとともに、3 か年調査で得られた衛生指標細菌に関するデータを総括し、相互の関係を検討した。

3 方法

(1) 調査地点等

調査地点等を表 1 と図 1 に示す。2012 年度の調査は 2012 年 5 月から 2013 年 2 月の期間に原則 1 回/月の頻度で実施した。以下、図中の地点名は略称地点名で表記する。地点番号については各年度の調査地点順をもとに通し番号とした。調査では、ステンレス製バケツを用い各地点の表層水を採水し、滅菌済ポリ瓶に移し入れ冷温状態を保ち実験室に搬入し測定に供した。採水と同時に現地で pH、水温を計測し、併せてポータブル水質計（横河電機、MODEL SC82）を用いて電気伝導度を測定した。

(2) 衛生指標細菌類の試験方法

衛生指標細菌項目は、大腸菌群、糞便性大腸菌群、大腸菌、糞便性連鎖球菌、腸球菌及びウェルシュ菌芽胞とした。試験方法を表 2 に示す。

(3) COD、SS、DO 及び窒素・リン類の分析

COD、SS、DO 等は工場排水試験方法（JIS-K0102）に従い測定を行った。窒素・リン類の測定は、オートアナライザー（BL TEC、QuAAtro 2-HR）を用いた。

(4) 降水量データ

2012 年 5 月から 2012 年 2 月までの降水量は、気象庁

東京管区気象台の東京におけるデータを使用し、調査地点の降水量とした。

表 1 調査地点等の概要

地点番号	地点名	略称	地番	調査年度	調査月
No.1	森ヶ崎水再生センター西側放流口前	森ヶ崎西	大田区大森南5-6	2010	4月～3月
No.2	稲荷橋	稲荷橋	大田区羽田4-5	2010	4月～3月
No.3	大森遊覧橋	大森遊覧橋	大田区大森東5-28	2010	4月～3月
No.4	京浜大橋	京浜大橋	大田区東海3-10	2010	4月～3月
No.5	五色橋	五色橋	港区芝浦4-5	2010	4月～3月
No.6	浜路橋(芝浦水再生センター北側放流口前)	浜路橋	港区港南1-3	2010	4月～3月
No.7	新港南橋(芝浦水再生センター南側放流口前)	新港南橋	港区港南1-5	2010	4月～3月
No.8	秦水橋	秦水橋	港区港南2-11	2010	4月～3月
No.9	弁天橋	弁天橋	大田区羽田6-9	2011	6月～2月
No.10	海老取川河口干潟	海老取川河口干潟	大田区羽田空港2	2011	6月～2月
No.11	大師橋左岸	大師橋左岸	大田区本羽田3-9	2011	6月～2月
No.12	都景境	都景境	川崎市中瀬3地先	2011	6月～2月
No.13	旧江戸川河口(右岸)	旧江戸川河口	江戸川区南葛西5-18	2011	6月～2月
No.14	葛西橋(中川右岸)	葛西橋(中川)	江戸川区西葛西1-1	2011	6月～2月
No.15	荒川河口(荒川左岸東西線鉄道橋下)	荒川河口	江戸川区東砂8-25	2011	6月～2月
No.16	夢の島大橋	夢の島大橋	江東区新砂2-13	2011	6月～2月
No.17	城南島海浜公園	城南島海浜	大田区城南島4-6地先	2012	5月～2月
No.18	大井ふ頭中央海浜公園	大井ふ頭	品川区八潮4地先	2012	5月～2月
No.19	お台場海浜公園St.1(港陽小中学校前)	お台場St.1	港区お台場1地先	2012	5月～2月
No.20	お台場海浜公園St.2(旧浄化水放流口付近)	お台場St.2	港区お台場1地先	2012	5月～2月
No.21	葛西海浜公園1(西なぎさ荒川側)	葛西1	江戸川区臨海町6地先	2012	5月～2月
No.22	葛西海浜公園2(西なぎさ中央)	葛西2	江戸川区臨海町6地先	2012	5月～2月
No.23	葛西海浜公園3(西なぎさテント前)	葛西3	江戸川区臨海町6地先	2012	5月～2月
No.24	葛西海浜公園4(三日月潟)	葛西4	江戸川区臨海町6地先	2012	5月～2月



図 1 調査地点図

表 2 衛生指標細菌類の試験方法

測定項目	試験方法	培養条件	略称
大腸菌群	BGLB培地(フリリアント・グリーン乳糖胆汁酸培地)	36±1℃, 48h	大腸菌群数(BGLB)
大腸菌群	デシキコール酸塩寒天培地	36±1℃, 18h	大腸菌群数(デソ法)
大腸菌群	特定酵素基質法 クロモアガー-ECC培地、HGMF使用	36±1℃, 24h	大腸菌群数(ECC)
大腸菌群	特定酵素基質法 アイデックス コリラート18、QTトレイ使用	36±1℃, 18h	大腸菌群数(C18)
糞便性大腸菌群	デシキコール酸塩寒天培地	44.5±0.2℃, 18h	糞便性大腸菌群数(デソ法)
糞便性大腸菌群	M-FC寒天培地 直径47mmメンブランフィルター使用	44.5±0.2℃, 24h	糞便性大腸菌群数(MFC)
糞便性大腸菌群	M-FC寒天培地 HGMF使用	44.5±0.2℃, 24h	糞便性大腸菌群数(HGMF)
大腸菌	特定酵素基質法 クロモアガー-ECC培地、HGMF使用	36±1℃, 24h	大腸菌数(ECC)
大腸菌	特定酵素基質法 アイデックス コリラート18、QTトレイ使用	36±1℃, 18h	大腸菌数(C18)
糞便性連鎖球菌	M-エンテロコッカス寒天培地法、HGMF使用	36±1℃, 48h	
腸球菌	特定酵素基質法 アイデックス エンテロラート、QTトレイ使用	41.5±0.5℃, 24h	
ウェルシュ菌芽胞	ハンドフォード改良寒天培地、HGMF使用、嫌気性条件下	44.5±0.2℃, 24h	

4 結果及び考察

(1) 2012 年度調査

ア. 衛生指標細菌類の経月変化

図 2 に 2012 年度調査地点の大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数の経月変化を示す。検出下限値未満であったものについては、グラフを対数表示する便宜上 $\log(\text{MPN}/100\text{ml}) = 0$ とした。2012 年度の調査地点は、城南島海浜公園(地点No.17)、大井ふ頭中央海浜公園(地点No.18)、お台場海浜公園 St. 1(地点No.19)、お台場海浜公園 St. 2(地点No.20)、葛西海浜公園の西なぎさの葛西 1(地点No.20)、葛西 2(地点No.21)、葛西 3(地点No.23)、葛西 4(地点No.24)の 8 地点である。8 地点のうち、城南島海浜公園・大井ふ頭中央海浜公園・お台場海浜公園 St. 1・お台場海浜公園 St. 2 の 4 地点は調査日が同一であり、また、葛西 1・葛西 2・葛西 3・葛西 4 の 4 地点は調査日が同一である。

図 2 の左側グラフに示すように城南島海浜公園・大井中央海浜公園・お台場海浜公園の 9 月の大腸菌群・糞便性大腸菌群・大腸菌の菌数は 10^4 MPN/100ml を超える高い値を示した。これは前日の大雨(降水量 45.5 mm)による汚水流入の影響と推定される。降雨の影響による一時的な細菌数の増加は宮崎県の沿岸域でも報告されている¹⁸⁾。海水中の大腸菌は、時間の経過とともに生菌数は減少し、10℃、15℃及び 20℃では 3 日目で検出限

界以下になると報告されている¹⁹⁾。そこで調査 3 日前からの総降水量を図 3 に示した。同総降水量と菌数の多少は概ね対応し、同総降水量 70 mm 以上の時は菌数が特に多かった。

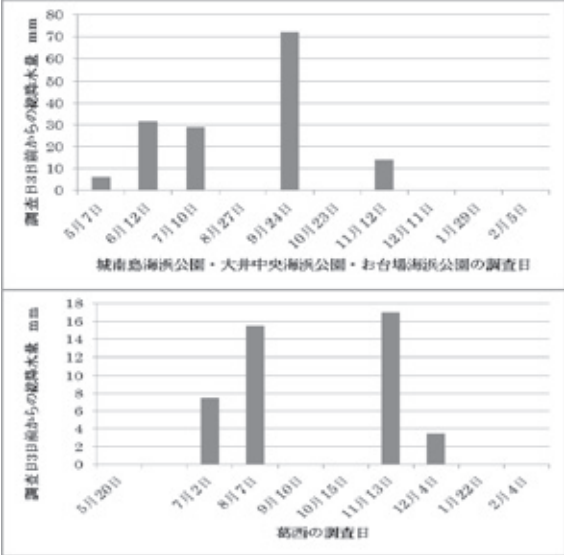


図 3 調査日 3 日前からの総降水量

図 2 の右側グラフの葛西 1・葛西 2・葛西 3・葛西 4 のうち、葛西 4 が他の地点に比べて大腸菌群・糞便性大腸菌群・大腸菌の菌数が高い値を示した。葛西 4 は図 1 の地点図で示したように他の 3 地点とは異なり、旧江戸川の河口部に位置する。葛西 4 の菌数が高いのは河川水由来の細菌類の影響と推測された。

イ. 一般水質の地点比較

図 4 に COD 等の一般水質項目の年平均値を示す。海浜公園域の「生活環境の保全に関する環境基準」(以下「環境基準」)は C 類型である。すべての地点で COD 環境基準 8mg/l 以下の値であった。SS、DO もすべての地点で環境基準に適合していた。葛西の 3 地点では微細な植物片が多く浮遊していた。そのため、他の地点に比べ SS が高い値を示した。ただ、SS を除く水質項目は低い値であり、全般的には他の地点より水質は良好であった。

(2) 3 か年調査結果

2010 年度から 2012 年度に測定した衛生指標細菌類のデータをまとめ、以下に検討する。なお、測定結果のうちデソ法に関しては本報告とは別の機会に考察する。

図 5 に各測定項目の測定結果を箱ひげ図(ばらつきのあるデータを表現する統計グラフ。最小値、第 1 四分位点、中央値、第 3 四分位点と最大値を表現)で示す。

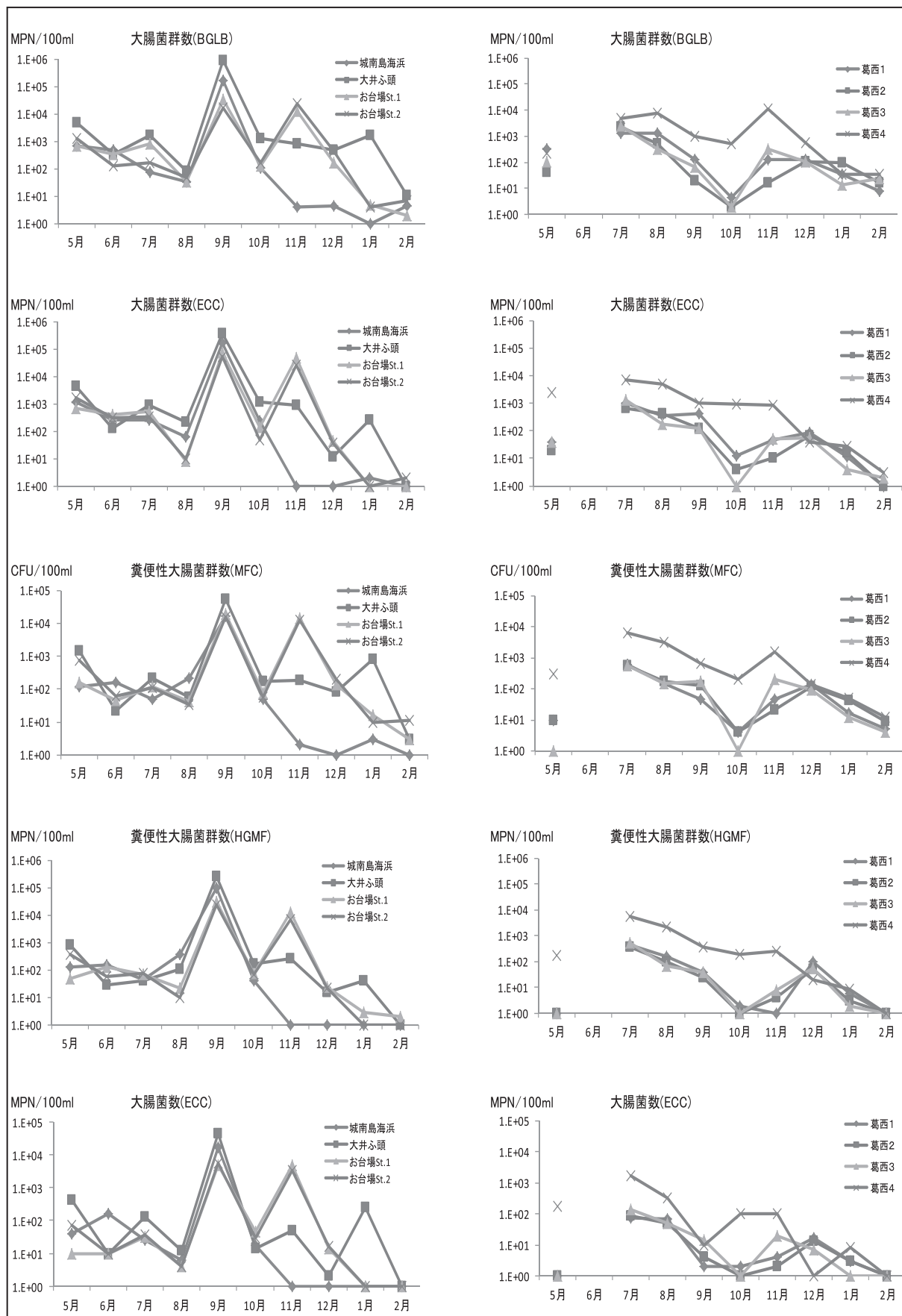


図2 大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数の経月変化（葛西の6月は欠測）

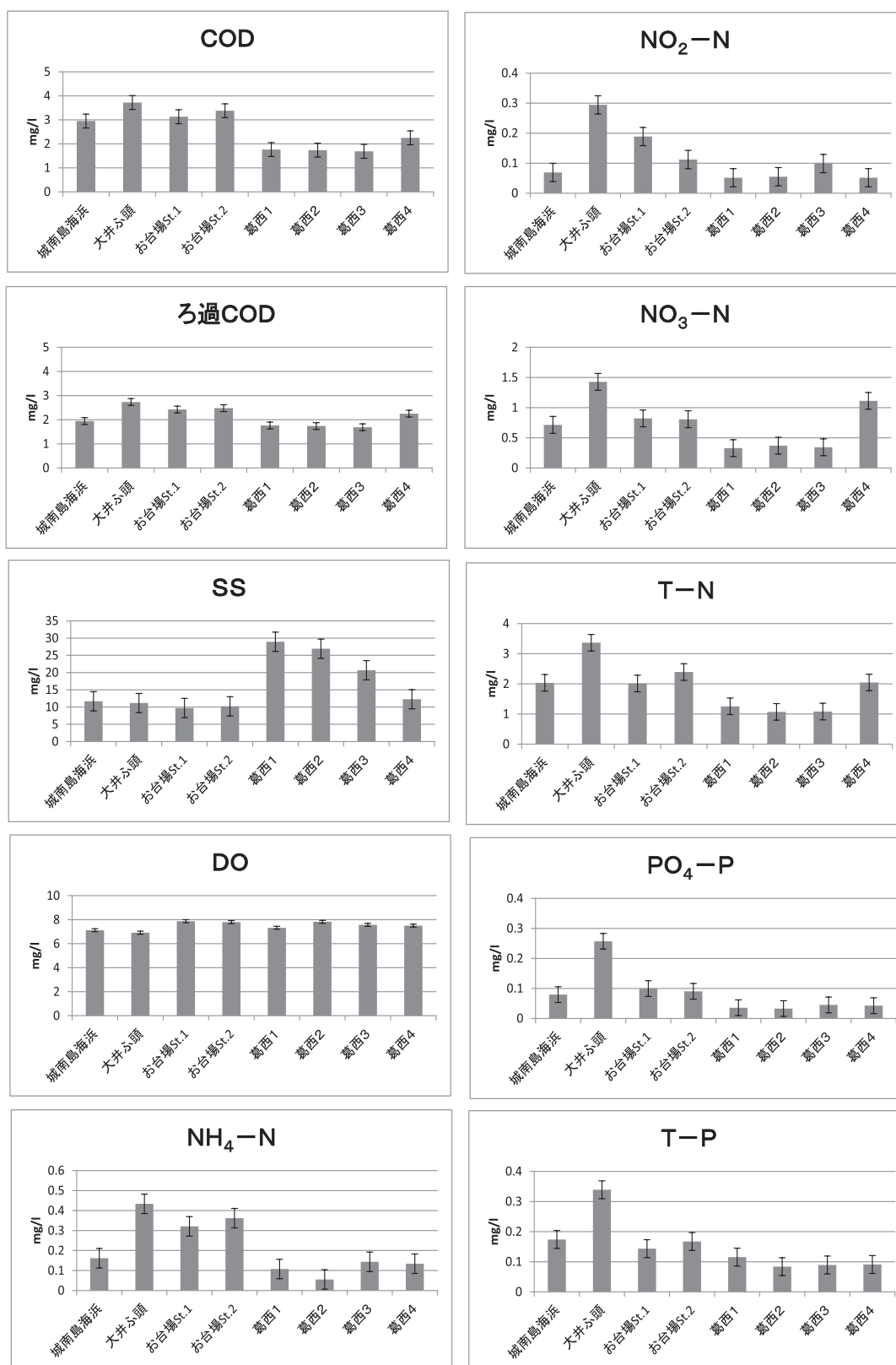


図4 一般水質項目の平均値 (n=9、10)

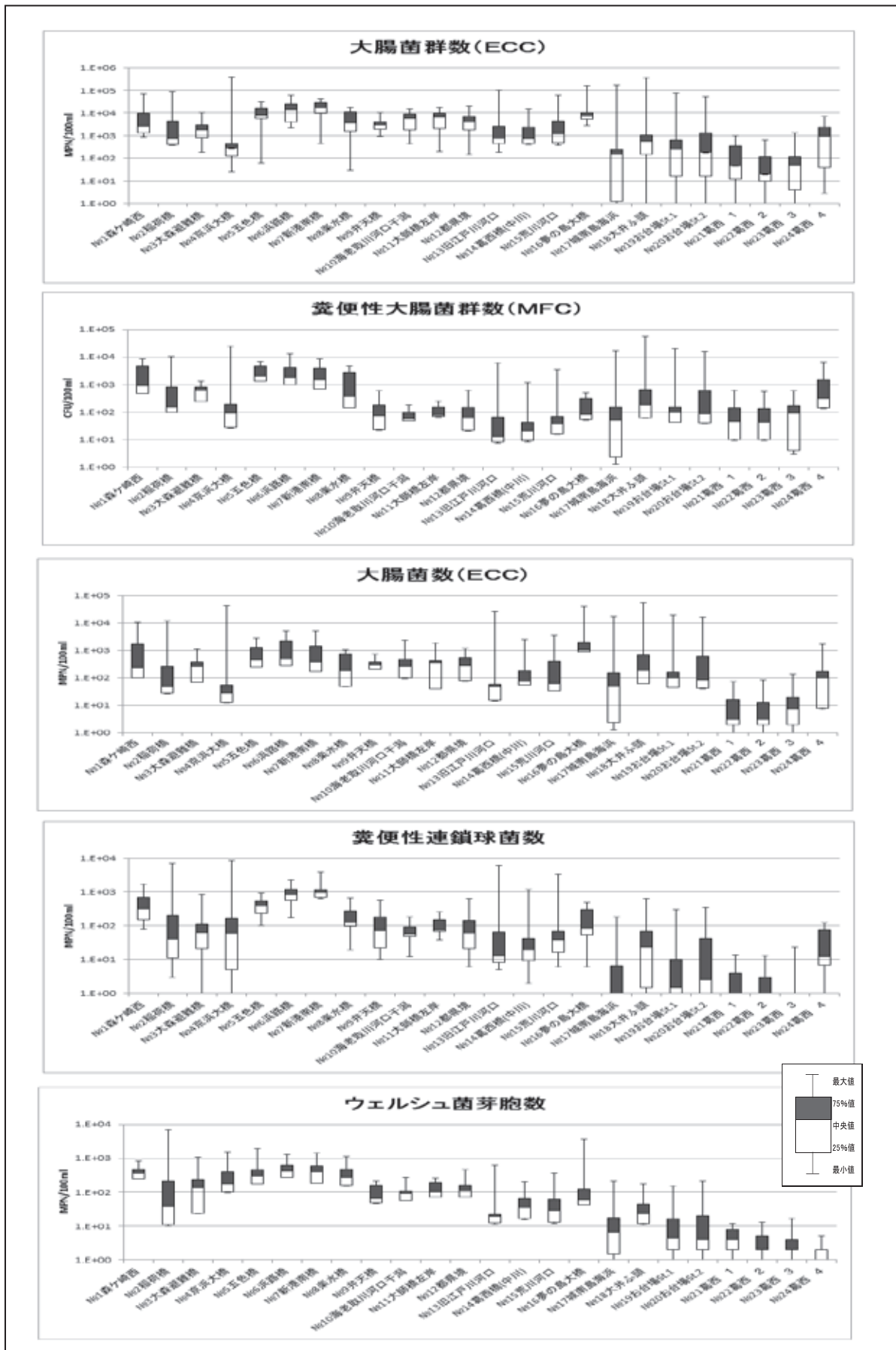


図5 各地点の衛生指標細菌類の菌数

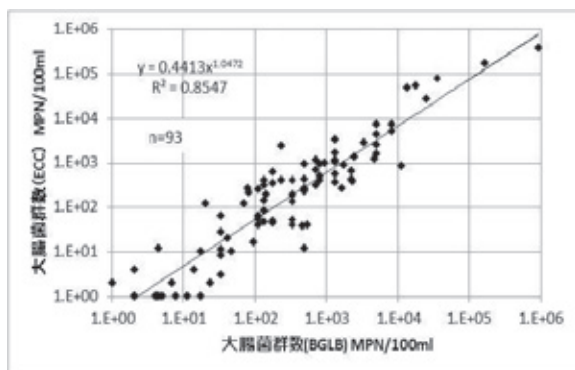


図6 大腸菌群数 (BGLB) と (ECC) との相関

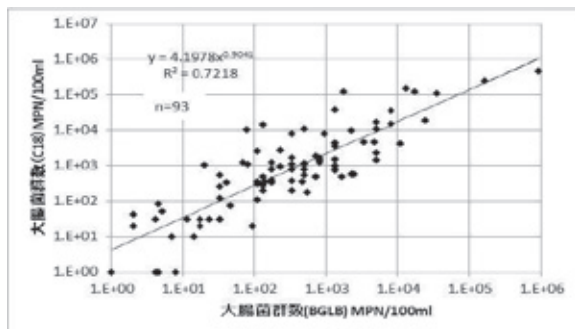


図7 大腸菌群数 (BGLB) と (C18) との相関

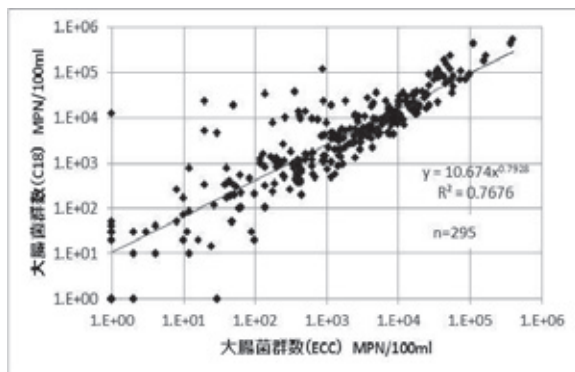


図8 大腸菌群数 (ECC) と (C18) との相関

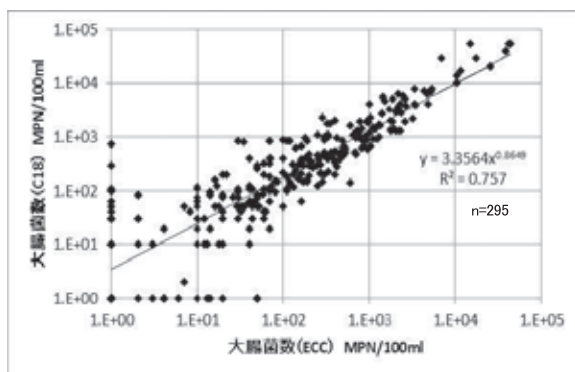


図9 大腸菌数 (ECC) と (C18) との相関

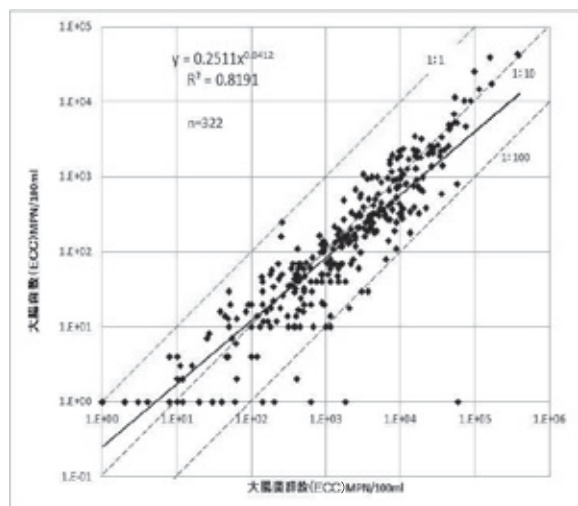


図10 大腸菌群数 (ECC) と大腸菌数 (ECC) との相関

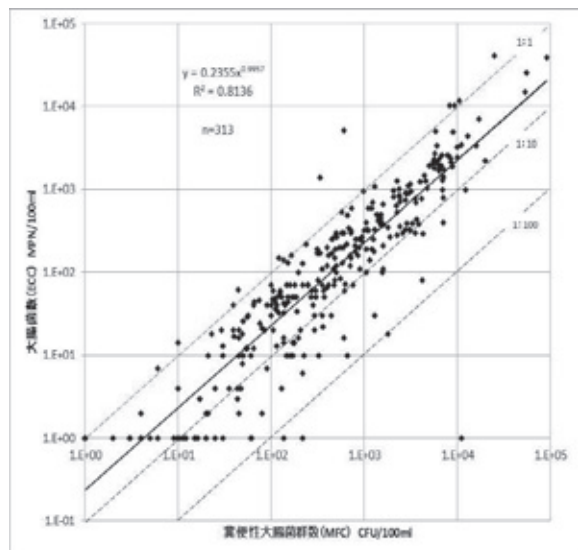


図11 糞便性大腸菌群数 (MFC) と大腸菌数 (ECC) との相関

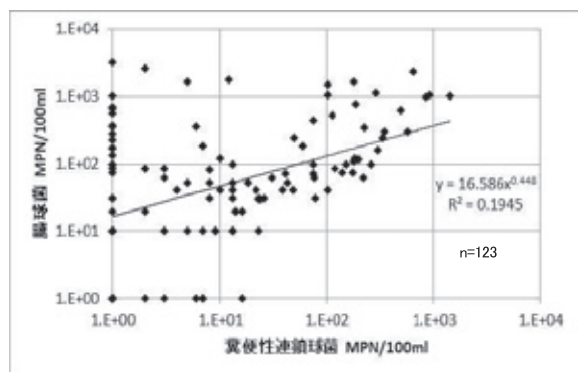


図12 糞便性連鎖球菌と腸球菌との相関

糞便汚染をよりの確に検知できる大腸菌では、No.21 葛西 1・No.22 葛西 2・No.23 葛西 3 の地点が低い値を示した。糞便性連鎖球菌やウェルシュ菌芽胞も同様に低く、葛西の 3 地点は他の地点に比べて衛生学的に良好な水質であることが示唆された。

下水処理水の影響が大きい地点（No.1 森ヶ崎西、No.5 五色橋、No.6 浜路橋、No.7 新港南橋、No.16 夢の島大橋）については大腸菌数 75%値が 10^3 MPN/100ml を超えたが、近傍の地点での菌数は 1 桁低く、拡散希釈等によって大腸菌数は減少していくと推測された。

水浴場基準の糞便性大腸菌群数については、 10^3 MPN/100ml 以下が「可」とされている。この基準に照らしてみると海浜公園（城南島、大井ふ頭中央、お台場、葛西）の糞便性大腸菌群数 75%値は 10^3 MPN/100ml 以下であった。降雨の影響がなければ水浴場基準を満たす可能性が高いと考えられる。

図 6～12 に各試験方法間、測定項目間の相関を示す。なお、糞便性大腸菌群数の 2 種のフィルターによる測定結果の考察については別報²⁰⁾で述べているので参照されたい。現在、環境基準の大腸菌群数の測定方法は BGLB 最確数法が指定されている。この BGLB 最確数法や他の試験方法間の相関は、図 6～8 に示すように正の相関関係（決定係数 R^2 はそれぞれ 0.85、0.72、0.77）が認められた。BGLB 最確数法と ECC 法は、特に強い相関関係が認められた。ECC 法と C18 法の大腸菌数についても正の相関関係（図 7）が認められたが、菌数が少ない試料の場合は、一方の試験方法では検出下限未満であっても他の試験法では 1 桁以上に菌数が検出されることがあった。なお、ECC 法と C18 法では特定酵素基質培地の組成が異なり、菌種によって陽性反応を示すものと示さないものがあると報告されている²¹⁾。

図 10 に ECC 法による大腸菌群数と大腸菌数を示した。大腸菌数の大腸菌群数に対する比は 1/1～1/100 であり、概ね 1/10 近傍にある。これは多摩川の淡水域で調査した結果⁷⁾や村岡ら²²⁾の結果と類似していた。

図 11 に糞便性大腸菌群数と大腸菌数を示した。大腸菌数の糞便性大腸菌群数に対する比は、1/1～1/10 の間にある試料が多かった。

図 10 に示す回帰式を用いて大腸菌群数の基準値から大腸菌数を計算した結果を表 3 に示す。表 3 の右側欄の数値は、河川 AA 類型、A 類型、B 類型と海域 A 類型の大

腸菌群数の基準値である。図 11 に示す回帰式を用いて水浴場基準の糞便性大腸菌群数から大腸菌数を計算した結果を表 4 に示す。

表 3 大腸菌群数から推定した大腸菌数

河川	推定大腸菌数
AA 類型 50MPN/100ml	7
A 類型 1000MPN/100ml	84
B 類型 5000MPN/100ml	325
海域	
A 類型 1000MPN/100ml	84

表 4 糞便性大腸菌群数から推定した大腸菌数

区分	糞便性大腸菌群数	推定大腸菌数
適	水質 AA	不検出
	水質 A	100個/100ml 以下 23
可	水質 B	400個/100ml 以下 92
	水質 C	1000個/100ml 以下 229

河川の環境基準では AA 類型と A 類型の水域の利用目的に水浴が掲げられている。表 3 では、A 類型の大腸菌群数に対応する大腸菌数は 84MPN/100ml であった。一方、表 4 の水浴場の水質判定基準の水浴可（水質 C）に対応する大腸菌数は 229MPN/100ml であった。今後、大腸菌数を水浴の基準に検討する場合は、100MPN/100ml 前後の値が目安となると考えられた。

5 まとめ

都内沿岸域（河口域、運河部、海浜公園）の大腸菌群・糞便性大腸菌・大腸菌・糞便性連鎖球菌・腸球菌・ウェルシュ菌芽胞を測定し、それぞれの変動と相互関係を検討した。得られた知見は以下のようにまとめられる。

- (1) 降雨の影響による汚水の流入が、海域における細菌数の増加をもたすと考えられた。
- (2) 衛生指標細菌類は COD、SS、DO、栄養塩類の一般水質項目に比べて値の変動幅が大きく、汚水流入の実態を把握するのに適している。
- (3) 大腸菌群数、大腸菌数及び糞便性大腸菌群数は互いに正の相関を示した。大腸菌数は大腸菌群数の 1/10 前後の割合と推測された。
- (4) 糞便性連鎖球菌・腸球菌・ウェルシュ菌芽胞は大腸菌群・糞便性大腸菌・大腸菌に比較して菌数が少なく、下水処理水の影響を強く受ける地点でも概ね 1 ～

2桁の低い値を示した。環境水での糞便性連鎖球菌等の検出精度を高めるには試料量を多くとる必要がある。

参考文献

- 1) 赤塚和也、森康巳、国府島泉、平井義一、浜田博司、安部益文、安部重信、荃田祥三、永田哲英、藤原清、林英生、金政泰弘：大腸菌群測定法の水質汚染指標性の検討、岡山医学会雑誌、90、pp. 1309-1317 (1978)
- 2) 上野英世：大腸菌群の周辺、用水と廃水、Vol. 9、No. 5、pp. 555-565 (1977)
- 3) 芦立徳厚：水質環境基準項目としての大腸菌群の評価、用水と廃水、Vol. 30、No. 3、pp. 229-238、(1988)
- 4) 金子光美編著：水質衛生工学、技報堂出版、p. 579 (1996)
- 5) 眞柄泰基：水道水質基準の改正と今後の展望、用水と廃水、46、pp. 557-560 (2004)
- 6) 社団法人日本化学会編者：環境・防災ライブラリー環境の基準—その科学的背景—、丸善、p. 217 (1979)
- 7) 和波一夫、石井真理奈、木瀬晴美：都内河川の大腸菌群数に関する研究 (1) —多摩川の大腸菌群と大腸菌の挙動—、東京都環境科学研究所年報 2010、pp. 9-19 (2010)
- 8) 環境省 今後の水環境保全に関する検討会 (2001) 今後の水環境保全の在り方について (とりまとめ)、http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=17164&hou_id=13595
- 9) 日本水道協会：上水試験方法解説編、pp. 836-854 (2003)
- 10) 谷本浩一：環境水域における糞便性大腸菌群に関する研究、日本公衆誌、第 31 巻、第 5 号、pp. 199-206 (1984)
- 11) 国府島泉、小野敬治、森康巳、金政泰弘、岡部昭延：河川水汚染指標としての糞便レンサ球菌の菌種分類、岡山医学会雑誌、97、pp. 567-572 (1985)
- 12) 尾藤朋子、大屋日登美：水質汚染指標としての大腸菌の分類と生態、用水と廃水、Vol. 36、No. 10、pp. 889-894 (1994)
- 13) 平田強、江崎達也、河村清史、田口勝久：水環境におけるウェルシュ菌と糞便性大腸菌群の存在量の比較、水道協会雑誌、第 55 巻、第 12 号、pp. 8-13 (1986)
- 14) 古田世子、佐貫典子、吉田美紀、青木茂、金子光美：17. 琵琶湖・環境水における細菌関連調査研究—琵琶湖における細菌数の地点別経月変化について—、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書、3、pp. 189-194 (2006)
- 15) 小出拓、伊与亨、岩堀恵祐：腸球菌と大腸菌を指標とした新たなモニタリング手法、用水と廃水、Vol. 49、No. 9、pp. 761-767 (2007)
- 16) 和波一夫、石井真理奈、安藤晴夫、木瀬晴美：生物生息環境・自然浄化機能に関する研究 (2) —高浜運河の水質実態—、東京都環境科学研究所年報 2011、pp. 99-102 (2011)
- 17) 石井裕一、和波一夫、木瀬晴美、安藤晴夫：東京湾流入河川の河口域における細菌学的水質調査、東京都環境科学研究所年報 2012、pp. 17-23 (2012)
- 18) 古川隼人、川畑勇人、鈴木祥広：沿岸レクリエーションエリアにおけるふん便細菌汚染の調査、環境技術、39、pp. 493-499 (2010)
- 19) 笠井久会、中村暢之、吉水守：道東の標津川、伊奈仁川および古糠川の細菌学的調査、北大水産彙報 53 (2)、pp. 75-82 (2002)
- 20) 木瀬晴美、和波一夫、石井裕一：メンブレンフィルター法による糞便性大腸菌群数の測定、東京都環境科学研究所年報 2013、pp. 78-79 (2013)
- 21) 岩崎誠二、地主昭博、松井孝悦、佐伯栄男：大腸菌群数の定量法の検討、三重県保健環境研究所 (環境部門) 年報、第 1 号 (通巻第 20 号)、pp. 19-28 (2000)
- 22) 村岡麻衣子、折目孝子：酵素基質培地による下水試料の大腸菌群及び大腸菌の測定、第 44 回下水道研究発表会講演集、第 44 巻、pp. 922-924 (2008)