

東京湾流入河川の河口域における細菌学的水質調査

石井 裕一 和波 一夫 木瀬 晴美* 安藤 晴夫

(*非常勤研究員)

要 旨

東京湾流入河川の河口域における細菌学的水質指標に関する基礎的知見の集積を目的に、大腸菌群、糞便性大腸菌、大腸菌、糞便性腸球菌およびウェルシュ菌芽胞数を計測し、それぞれの変動と相互関係、他の水質項目との関係を検討した。いずれの細菌関連項目についても明瞭な季節的な変動は確認されなかったが、大腸菌群、糞便性大腸菌群および大腸菌については少雨時にその値が低下していた。この3つの細菌関連項目は互いに正の相関関係が認められた。糞便性連鎖球菌およびウェルシュ菌芽胞については他の細菌と相関性は小さかった。電気伝導度との関係を検討したところ、大腸菌群、糞便性大腸菌群および大腸菌については概ね負の相関が認められ、塩分の増加に伴い菌数が減少することが示唆された。大腸菌群数は水温と明瞭な相関関係は認められなかったが、高水温期と低水温期を区別して整理すると、いくつかの調査地点では低水温期に減少することが確認された。

キーワード：大腸菌群、糞便性大腸菌、大腸菌、河川河口域、塩分応答

A survey of the microbiological water quality of river estuaries in the Tokyo bay

ISHII Yuichi, WANAMI Kazuo, KISE Harumi*, ANDO Haruo

(*Associate researcher)

Summary

Seasonal variations and correlations of coliform group, fecal coliform group, *Escherichia coli*, fecal streptococcus and clostridium perfringens spores were surveyed for investigation of the microbiological water quality of river estuaries in the Tokyo bay. Relationships between microbiological and other water qualities were also investigated. All bacteria did not clearly show seasonal variation. However, numbers of coliform group, fecal coliform group and *E. coli* were decreased in little rain term. The positive correlations among these bacteria were recognized. The correlativity among fecal streptococcus, clostridium perfringens spores and other bacteria were relatively low. It was suggested the correlativity between salinity and three bacteria, coliform group, fecal coliform group and *E. coli*, because numbers of these bacteria were decreased with increasing of electrical conductivity. Coliform group was decreased in low water temperature term at some survey point the, although the correlation with water temperature was ambiguous.

Key Words : coliform group, fecal coliform group, *Escherichia coli*, river estuaries, salt response

1 はじめに

水域の生活環境保全に関する環境基準の1つとして、大腸菌群数が定められている。しかしながら大腸菌群数は、人畜の糞便由来のものだけでなく土壌等の自然起源菌が混入することが古くから指摘されている¹⁾。大腸菌群を構成する細菌の中で、大腸菌 (*E. coli*) 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、より明確な指標細菌である²⁾。大腸菌群に関する環境基準の設定の経緯³⁾や水道法基準の改正⁴⁾から判断して、公共用水域の水質測定において、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⁵⁾。

また、水浴場の水質基準として、大腸菌群と比較すると糞便汚染を的確に示すとされる⁶⁾糞便性大腸菌群数 (m-FC法) が設定されており、水質監視に限らず、近年でも水域の糞便汚染に関する様々な研究が実施されている^{7~9)}。

それら以外でも、糞便汚染の指標として有用とされる糞便性連鎖球菌¹⁰⁾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¹¹⁾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。

本研究では、干潮河川河口域における、これら細菌学的水質指標に関する基礎的資料を得ることを目的に、東京湾の流入河川を対象に調査を行い、その分布や季節変動およびそれぞれの相互の関係を検討した。併せてCOD等他の水質項目の測定を実施し、細菌関連項目との関係を検討した。

2 方法

(1) 現地調査および採水

現地調査は2011年6月から2012年2月の期間に1回/月の頻度で実施した(6月のみ2回実施)。調査地として図1に示す多摩川河口4地点 (St.1: 弁天橋、St.2: 海老取川河口干潟、St.3: 大師橋下、St.4: 右岸都県境)、旧江戸川河口1地点 (St.5: 京葉線鉄橋下)、中川河口1地点 (St.6: 葛西橋下)、荒川河口1地点 (St.7: 東西線鉄橋下) および荒川河口に接続する砂町運河1地点 (St.8: 夢の島大橋) の合計8地点を選定した。毎回の調査で、各地点においてステンレス製バケツを用い表層水を採水し、滅菌済ポリ瓶に移し入れ冷温状態を保ち実



図1 調査地点

験室に搬入し、細菌類計測および水質分析に供した。採水と同時に現地で水温を計測し、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) 細菌培養および計数

細菌関連の検査項目は、大腸菌群、糞便性大腸菌群、大腸菌、糞便性連鎖球菌およびウェルシュ菌芽胞とした。それぞれの検査項目に対し、検水の適量 (1~100ml) を疎水性格子膜メンブレンフィルター (NEOGEN、ISO-GRID Sterile Membranes、0.45 μ m) でろ過した。ウェルシュ菌芽胞については、検水を75 $^{\circ}$ Cで20分間加熱した後、十分放冷したものをろ過した。

大腸菌群および大腸菌はECC培地 (CHROMagar) を用い、36 $^{\circ}$ Cで24時間培養、糞便性大腸菌群はmFC培地 (Difco) を用い44.5 $^{\circ}$ Cで24時間、糞便性連鎖球菌はm Enterococcus培地 (Difco) を用い36 $^{\circ}$ Cで48時間培養、ウェルシュ菌芽胞はHandford改良培地 (栄研化学) を用い嫌気条件下で44.5 $^{\circ}$ C、24時間培養した。培養後、それぞれのフィルター上のコロニー数をカウントし、最確数法により各細菌数を求めた。なお、いずれの細菌も検出下限値は1 MPN/100mlである。

(3) COD、SS およびアンモニア態窒素の分析

CODおよびSSは工場排水試験方法 (JIS-K0102) に従い測定を行った。アンモニア態窒素濃度は、オートア

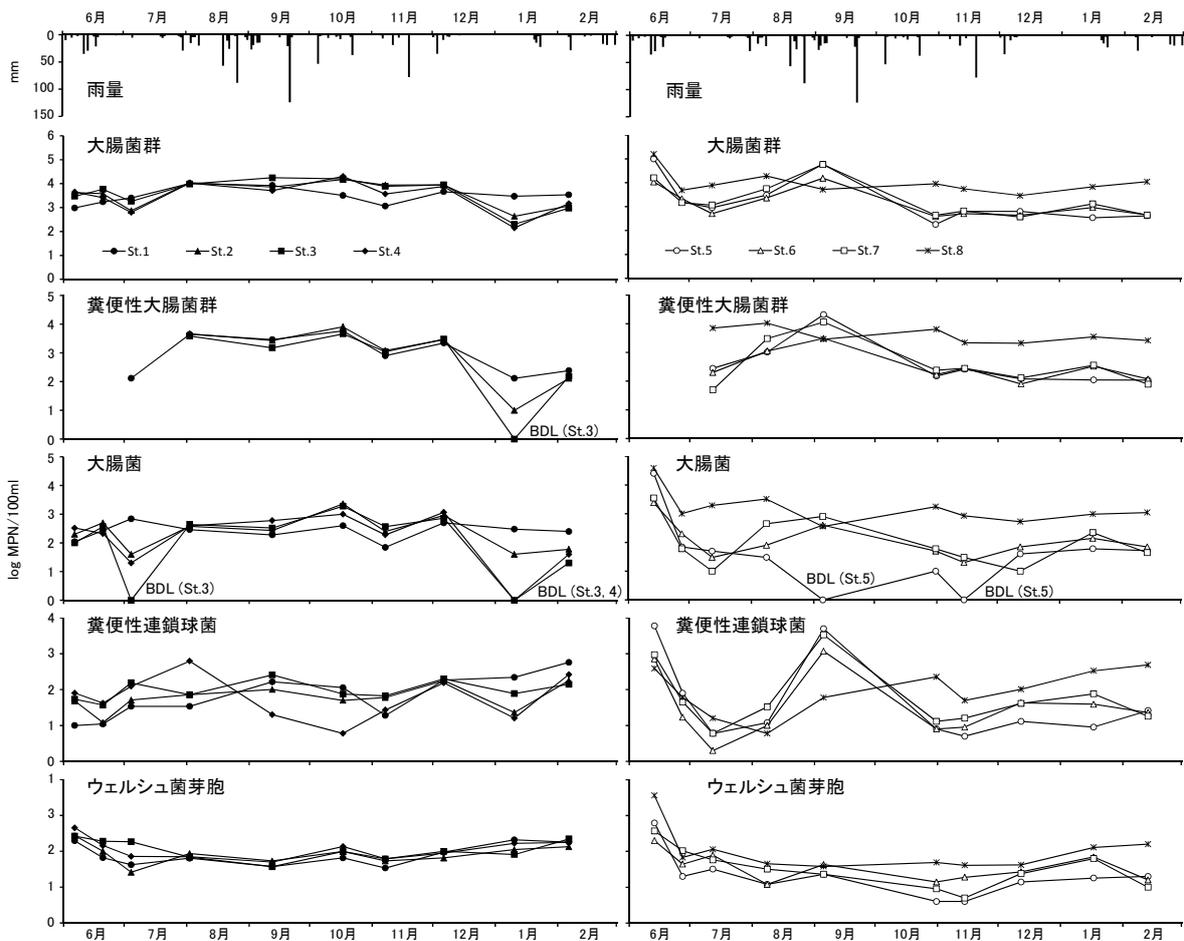


図2 多摩川河口 (St.1~4)、旧江戸川河口 (St.5)、中川河口 (St.6)、荒川河口 (St.7) および砂町運河 (St.8) における大腸菌群数、大腸菌数、糞便性大腸菌群数、糞便性連鎖球菌数およびウェルシュ菌芽胞数の経月変化

ナライザー (BL TEC、QuAAtro 2-HR) を用い測定した。

(4) 雨量データ

2011年6月から2012年2月までの雨量は、気象庁東京管区气象台およびアメダスデータを利用し、日毎の雨量を整理した。

3 結果および考察

(1) 各細菌数の変動

図2に多摩川河口 (St.1~4)、旧江戸川河口 (St.5)、中川河口 (St.6)、荒川河口 (St.7) および砂町運河 (St.8) における大腸菌群数、大腸菌数、糞便性大腸菌群数、糞便性連鎖球菌数およびウェルシュ菌芽胞数の経月変化を示す。図中の雨量は東京管区气象台のものである。また検出下限値未満 (BDL: below detection limits) であったものについては、便宜上 log (MPN / 100ml) = 0 として

図示した。

大腸菌群数については、調査期間中の平均値は St.1 は 3,909 MPN/100ml (960~10,230 MPN/100ml)、St.2 は 6,074 (430~14,800)、St.3 は 7,136 (200~17,620)、St.4 は 5,604 (140~20,000)、St.5 は 16,617 (180~99,300)、St.6 は 3,386 (390~15,400)、St.7 は 8,497 (370~57,800)、St.8 は 23,010 (2,910~158,000) であった。何れの調査地点においても明確な季節変動は観測されなかったものの、調査日までの雨量が少なかった7月 (St.1~4 : 3.5mm、St.5~8 : 6.5) は、その前後の調査結果に比べ、小さい値を示す地点が多かった。多摩川本流 (St.2~4) では先行晴天日数が27日間と長い1月は低い値となっていたが、その他の地点では、前後の調査結果と同程度であった。また、St.5~7では雨量の多かった6月の1回目調査 (調査日までの7日間で68mm) および9月 (同

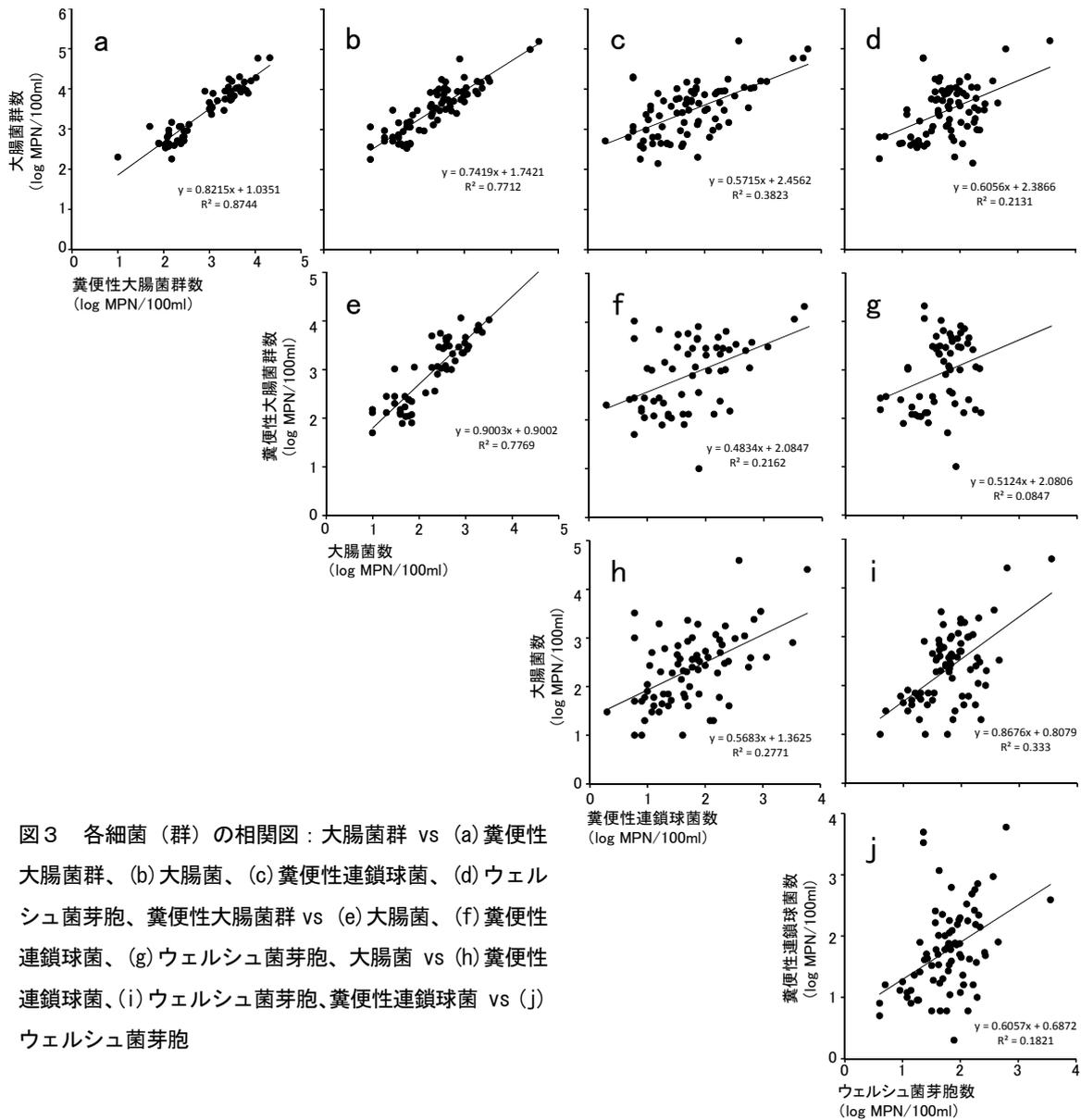


図3 各細菌(群)の相関図: 大腸菌群 vs (a)糞便性大腸菌群、(b)大腸菌、(c)糞便性連鎖球菌、(d)ウェルシュ菌芽胞、糞便性大腸菌群 vs (e)大腸菌、(f)糞便性連鎖球菌、(g)ウェルシュ菌芽胞、大腸菌 vs (h)糞便性連鎖球菌、(i)ウェルシュ菌芽胞、糞便性連鎖球菌 vs (j)ウェルシュ菌芽胞

79mm) は比較的高い値を示していた。

糞便性大腸菌群数については、調査期間中の平均値は St.1 は 2,131 MPN/100ml (220~5,580 MPN/100ml)、St.2 は 2,078 (130~5,800)、St.3 は 2,811 (10~8,100)、St.4 は 2,029 (BDL~4,600)、St.5 は 2,870 (108~20,900)、St.6 は 675 (80~3,100)、St.7 は 1,961 (50~11,500)、St.8 は 4,664 (2,100~10,500) であった。大腸菌群数同様に明確な季節変動は認められなかったが、少雨時の群数減少や、多雨時の群数増大などは同様の傾向であった。

大腸菌数は、調査期間中の平均値は St.1 は 307 MPN/100ml (70~690 MPN/100ml)、St.2 は 495 (40~

2,300)、St.3 は 425 (BDL~1,900)、St.4 は 395 (BDL~1,170)、St.5 は 2,581 (BDL~25,500)、St.6 は 346 (20~2,400)、St.7 は 518 (10~3,500)、St.8 は 5,077 (360~39,000) であった。またその変動は多くの地点で大腸菌群数や糞便性大腸菌群数と同様の傾向であった。しかしながら St.5 については、他の地点のような傾向は認められず、6月の1回目調査時のみ高い値(25,500 MPN/100ml)で、それ以降は比較的低い値 (BDL~70 MPN/100ml) で推移していた。

糞便性連鎖球菌数については、St.1 は 136 MPN/100ml (10~571 MPN/100ml)、St.2 は 77 (12~179)、St.3 は

113 (37~255)、St.4 は 135 (6~621)、St.5 は 1,105 (5~5,950)、St.6 は 203 (2~1,170)、St.7 は 452 (6~3,337)、St.8 は 173 (6~486) であった。St.5~7については、多雨時の増大が認められた。

ウェルシュ菌芽胞数はSt.1 は99 MPN/100ml(34~208 MPN/100ml)、St.2 は 100 (26~272)、St.3 は 130 (37~264)、St.4 は 142 (50~452)、St.5 は 77 (4~620)、St.6 は 52 (12~200)、St.7 は 70 (5~370)、St.8 は 431 (38~3,620) であった。何れの地点においても、6月の多雨時のぞき低い値であり、また地点間の差も比較的小さかった。

大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数およびウェルシュ菌芽胞数のそれぞれの相関を図3に示す。大腸菌群数については糞便性大腸菌群数(図3a) および大腸菌数(図3b) と強い正の相関関係が認められた(決定係数 R^2 はそれぞれ 0.87 および 0.77)。

糞便性連鎖球菌(図3c) およびウェルシュ菌芽胞(図3d) との関係については、いずれも正の相関を示すものの R^2 はそれぞれ 0.38 および 0.21 と小さかった。また糞便性大腸菌群数は大腸菌数とも強い正の相関が認められた(図3e、 $R^2=0.78$)。それら以外(図3f~j)については概ね正の関係を示すものの、いずれも決定係数は小さく(0.08~0.33)、相関性は弱かった。

(2) 水質の変動と細菌の関係

各調査地点における電気伝導度、水温、COD、SS および NH_4-N 濃度の経月変化を図4に示す。電気伝導度については、本調査ではサンプリング時の潮の干満を考慮していないこともあり、規則的な変動は認められなかった。しかしながら、その挙動は各調査地点ともに比較的類似しており、降雨後の調査時には低下する傾向であ

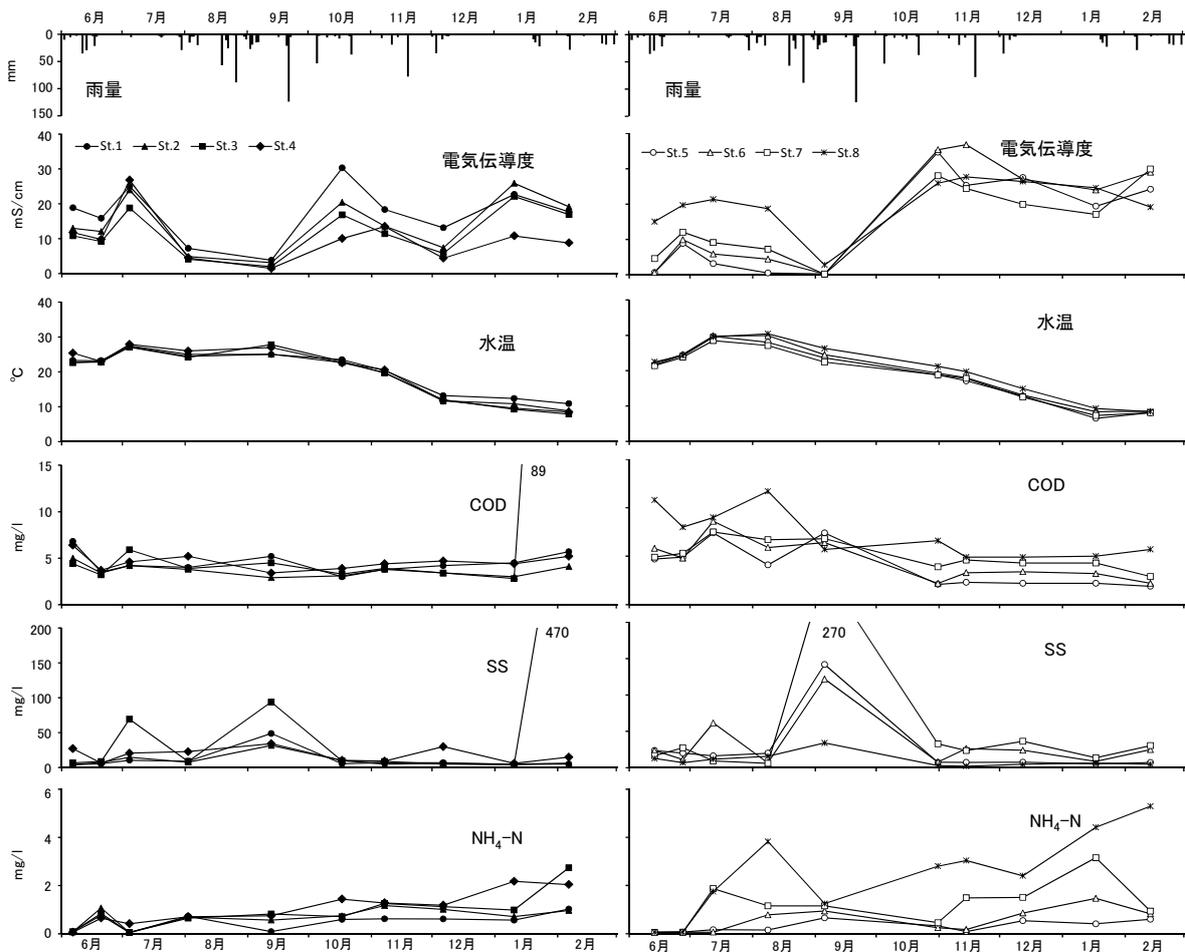


図4 多摩川河口 (St.1~4)、旧江戸川河口 (St.5)、中川河口 (St.6)、荒川河口 (St.7) および砂町運河 (St.8) における電気伝導度、水温、COD、SS およびアンモニア態窒素濃度数の経月変化

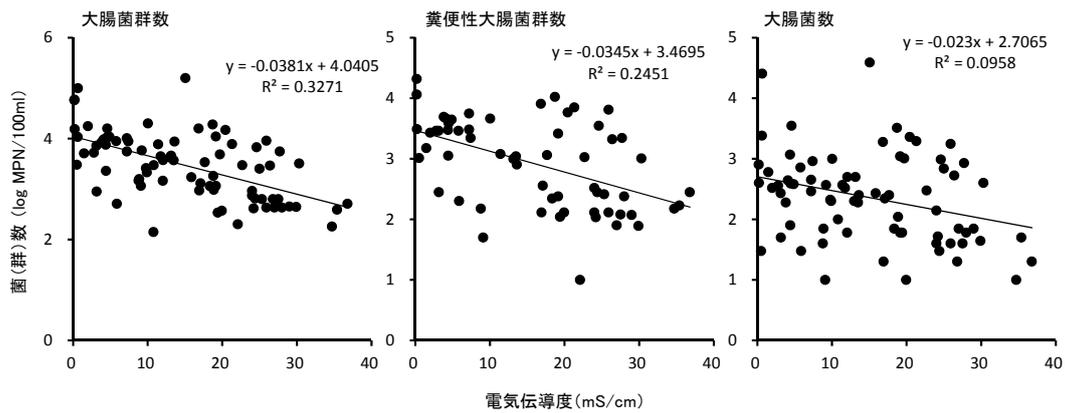


図5 大腸菌群数、糞便性大腸菌群数および大腸菌数と電気伝導度との関係

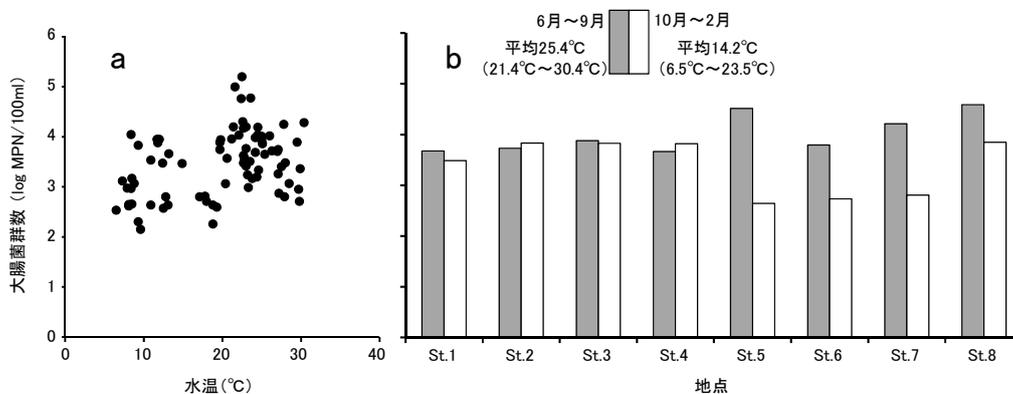


図6 大腸菌群数と水温との関係 a : 相関図、b : 高水温期および低水温期における大腸菌群数の比較

った。水温は、いずれの調査地点においても同様の挙動・季節変動であったことが確認された。COD は、多摩川河口域 (St.1~4) はいずれの地点も同様の挙動であった。St.3 では2月の調査時に大量のユーグレナ (ミドリムシ) が発生しており、89 mg/l という極めて高い値であった。そのため、以降の解析ではこの値は除外した。St.5~8 については、多摩川河口域と異なり、水温低下に伴い減少する傾向が認められた。SS はいずれの地点においても、降雨後の調査時には高い値が観測された。また2月のSt.3の測定結果についてはCOD同様に除外した。NH₄-NはSt.8が比較的高濃度であったが、その他の調査地点は概ね同程度の濃度で、水温低下に伴って上昇する傾向が観測された。

ここで、これら水質項目と各細菌の関係を検討した。図5に大腸菌群数、糞便性大腸菌群数および大腸菌数と電気伝導度との関係を示す。何れの細菌群 (細菌) も概

ね負の相関を示していた。糞便性大腸菌群については、塩分濃度の増加に伴い、その群数が低下することが報告されている⁸⁾。今回の調査では、いずれも弱い相関ではあるが、糞便性大腸菌群のみならず、同様の結果は大腸菌群や大腸菌についても確認された。古川ら (2010)⁹⁾ は、塩分濃度上昇による糞便性大腸菌群の減少は、懸濁物に付着し沈降するためではなく、塩分影響によって死滅するためであると報告している。図示はしないが、今回の調査結果でもSSと各細菌の間には相関関係は認められなかった。また糞便性連鎖球菌数およびウェルシュ菌芽胞数については、電気伝導度との相関性は認められなかった。

水温との関係については、大腸菌群数は水温の上昇により増加することが報告されている^{5,9)}。今回の調査では、図6aに示すように、全体として正の相関を示すものの、その傾向は明瞭ではなかった。そこで各調査地点

における高水温期（6月～9月）と低水温期（10月～2月）の大腸菌群数の平均値をみると、図3bに示すように、多摩川河口域（St.1～4）ではどちらも同程度の値であったが、St.5～8は低水温期の方が群数が減少していた。調査地点（調査河川）ごとに大腸菌群数の温度応答が異なる原因については、今後の検討課題である。CODやNH₄-Nとの関係については図示しないが、いずれも各細菌群（細菌）との間に相関性は認められなかった。

4 まとめ

干潮河川河口域における、細菌学的水質指標に関する基礎的知見の集積を目的に大腸菌群、糞便性大腸菌、大腸菌、糞便性腸球菌およびウェルシュ菌芽数を計測し、それぞれの変動と相互関係、水質項目との関係を検討した。得られた知見は以下のようにまとめられる。

- (1) いずれの細菌関連項目についても明瞭な季節変動は確認されなかったが、多摩川本流では大腸菌群、糞便性大腸菌および大腸菌は少雨時にはその値が低下していた。
- (2) 大腸菌群、糞便性大腸菌および大腸菌は互いに正の相関を示していたが、糞便性連鎖球菌およびウェルシュ菌芽胞については他の細菌と概ね正の相関関係は認められるものの、その決定係数は小さかった。
- (3) 電気伝導度との関係を検討したところ、大腸菌群、糞便性大腸菌および大腸菌については負の相関が認められ、塩分の増加に伴い菌数が減少することが示唆された。
- (4) 多摩川は高水温期と低水温期とで大腸菌群数は同程度であったが、旧江戸川、中川、荒川および砂町運河は低水温期に減少する傾向であり、調査地点ごとに、大腸菌群数の温度応答が異なっていた。

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) 金子光美編著：水質衛生工学、技報堂出版、p.579（1996）
- 3) 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）

- 4) 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）
- 5) 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）
- 6) 日本水道協会：上水試験方法解説編、pp.836-854（2003）
- 7) 鐘ヶ江隆、佐藤義夫、小野信一、加藤義久、西村弥亜、成田尚史、福江正治、池田倫和：清水港の水質の変遷と折戸湾における細菌組成、「海—自然と文化」東海大学海洋学部紀要、4、pp.17-28（2006）
- 8) 古川隼人、田中昭彦、吉田照豊、鈴木祥広：沿岸域における河川水中のふん便性細菌の挙動に関する基礎的研究、環境技術、39、pp.170-176（2010）
- 9) 古川隼人、甲斐竜輔、土手裕、鈴木祥広：宮崎県青島海水浴場における細菌学的調査、水環境学会誌、34、pp.197-201（2011）
- 10) 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）
- 11) 古田世子、佐貫典子、吉田美紀、青木茂、金子光美：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センター試験研究報告書、3、pp.189-194（2006）
- 12) 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）