

都内河川の大腸菌群数に関する研究（3） －江戸川における大腸菌群と大腸菌の挙動－

石井 真理奈 和波 一夫 木瀬 晴美*

(*非常勤研究員)

要 旨

江戸川河川水及び下水処理水について、大腸菌群数、大腸菌数、及びその他の細菌数を測定した。半数以上の検体は、大腸菌群数の環境基準値を超過していた。河川水では、糞便汚染を表す大腸菌数は大腸菌群数の10%以下であった。いくつかの検体については、糞便性連鎖球菌数とウェルシュ菌芽胞数も測定したが、通常の河川表流水と同程度であった。今回の調査から、糞便汚染の指標としては大腸菌群数よりも糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数、ウェルシュ菌芽胞数が有効であることが示唆された。

キーワード：大腸菌群数、大腸菌数、河川水、下水処理水、江戸川

The survey of the coliform count in river water in Tokyo (3) － Behavior of Escherichia coli and coliform bacteria in the Edo river water －

ISHII Marina, WANAMI Kazuo, KISE Harumi*

(* associate researcher)

Summary

Coliform count, Escherichia coli (E. coli) count, and other bacterial counts in the Edo river water and treated wastewater were measured. More than half of the samples, the coliform count exceeded the environmental standards. In river water, E. coli count that indicates fecal contamination properly is less than 10% of total coliform. Number of fecal streptococci and spores of clostridium perfringens were also measured on several samples. They were normal level of river surface water. Survey results suggest it is more suitable to use fecal coliform count, E. coli count, number of fecal streptococci, and spores of clostridium perfringens than coliform count to indicate fecal contamination in river water.

Key Words : coliform count, E. coli count, river water, treated wastewater, Edo river

1 はじめに

江戸川は、都県境を流れて江戸川水門で江戸川と旧江戸川に分かれ、東京湾に流入する。江戸川は水道水源河川であり水上スポーツの場にもなっており、都民にとって大切な河川のひとつである。

江戸川の水質を環境基準適合割合(平成 20 年度)¹⁾でみると、生活環境の保全に関する項目については、生物学的酸素要求量(BOD)、溶存酸素量(DO)はいずれも適合割合 100%であり、浮遊物質(SS)は 81%と良好である。しかし、大腸菌群数の環境基準適合割合は金町浄水場取水口付近の新葛飾橋(A 類型地点)では 0%であり、市川橋及び江戸川水門上(B 類型地点)ではそれぞれ 25%、42%であり、その向上が望まれる。新葛飾橋より上流の江戸川流域 5 市における下水道普及率は 56~78%であり、生活排水が流入していると考えられる。

江戸川(旧江戸川を含む)における大腸菌群数の実態を把握し、河川の糞便汚染をよりの確に評価する手法を見いだすことを目的として本研究を行った。

2 調査内容

2009 年 5 月から 2010 年 3 月にかけて、江戸川(旧江戸川を含む)の 5 地点においてステンレス製バケツを用いて表層水を採取した。ただし、下水処理水放流口地点では、河川水ではなく放流水を採取した。調査地点を表 1 に、調査日を表 2 に、試料採取地点の位置

関係を図 1 に示す。

採取した河川水及び放流水については、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、ウェルシュ菌芽胞数、水素イオン濃度(pH)、BOD、SS、DO等を測定した。菌類の測定項目及び測定方法及び略称を表 3 に示す。菌類を除く項目については、工場排水試験方法(日本工業規格 JIS K0102)に定める方法で測定した。

表 1 調査地点、所在地、類型、大腸菌群数基準

No.	採水調査地点	所在地	類型	大腸菌群数基準
1	新葛飾橋	葛飾区金町	A	1000MPN / 100ml 以下
2	市川橋	江戸川区北小岩	B	5000MPN / 100ml 以下
3	江戸川水門上	江戸川区篠崎町	B	5000MPN / 100ml 以下
4	下水処理水放流口	市川市相之川	-	3000CFU / ml 以下(排出基準、デソ法による測定)
5	浦安橋	江戸川区東葛西	B	5000MPN / 100ml 以下

表 2 採水日及び測定項目(○印:実施)

調査回数	採水日	調査項目		
		大腸菌群等*	連鎖球菌等**	一般項目***
第1回	2009年5月19日	○	-	○
第2回	2009年6月2日	○	-	○
第3回	2009年6月16日	○	-	○
第4回	2009年6月30日	○	-	○
第5回	2009年7月14日	○	-	○
第6回	2009年8月4日	○	-	○
第7回	2009年8月18日	○	-	○
第8回	2009年9月1日	○	-	○
第9回	2009年9月15日	○	-	○
第10回	2009年10月20日	○	○	○
第11回	2009年11月17日	○	-	○
第12回	2009年12月15日	○	○	○
第13回	2010年1月19日	○	○	○
第14回	2010年2月16日	○	○	○
第15回	2010年3月9日	○	○	○

* 大腸菌群等: 大腸菌群、糞便性大腸菌群、大腸菌
 ** 連鎖球菌等: 糞便性連鎖球菌、ウェルシュ菌芽胞
 *** 一般項目: pH、BOD、SS、DO、COD、T-N、T-P

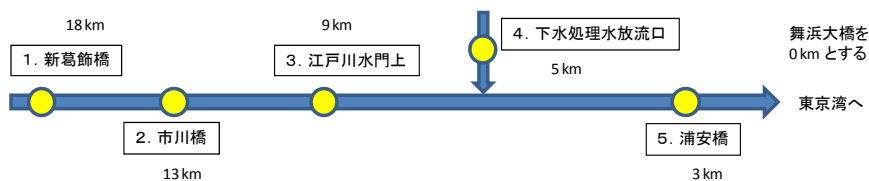


図 1 調査地点の位置関係

表 3 菌類測定方法

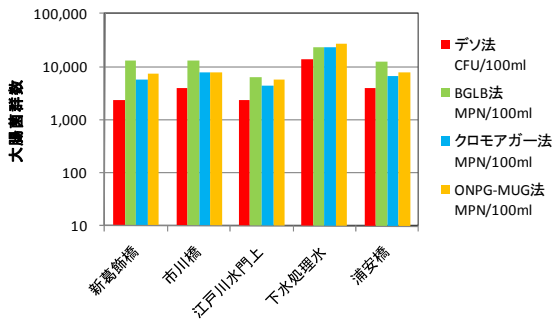
測定菌種	測定方法	培養条件	略称	原典
大腸菌群	デソキシコール酸塩寒天培地	36 °C 18 h	デソ法	下水試験方法
糞便性大腸菌群		44.5 °C 18 h		
大腸菌群	BGLB培地	36 °C 48 h	BGLB法	水質汚濁防止法
大腸菌群、大腸菌	クロモアガー-ECC培地、HGMF使用	36 °C 24 h	クロモアガー法	
大腸菌群、大腸菌	特定酵素基質培地 (ONPG-MUG)、QTトレイ使用	36 °C 18 h	ONPG-MUG法	上水試験方法
糞便性大腸菌群	M-FC寒天培地、メンブランフィルター使用	44.5 °C 24 h	MFC法	上水試験方法
糞便性連鎖球菌	m-エンテロコッカス寒天培地法、HGMF使用	36 °C 48 h	---	上水試験方法
ウェルシュ菌芽胞	1.67倍濃度ハンドフォード改良寒天培地法、HGMF使用	44.5 °C 24 h 脱酸素	---	上水試験方法

3 結果

各地点の大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数、ウェルシュ菌芽胞数を表4及び図2～6に示す。BGLB大腸菌群数は100ml中 $10^3 \sim 10^4$ 個、糞便性大腸菌群数と大腸菌数は $10^2 \sim 10^3$ 個、糞便性連鎖球菌数とウェルシュ菌芽胞数は $10^1 \sim 10^2$ 個の範

囲であった。大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数は、多摩川では夏季に多く冬季に少ないという季節変動が観測された³⁾が、江戸川ではこのような季節変動は見られなかった(図6)。

水質一般項目については、おおむね環境基準に適合していた(表6)。



注) デソ法は100ml中の菌数に換算した

図2 江戸川における大腸菌群数(平均値、n = 15)

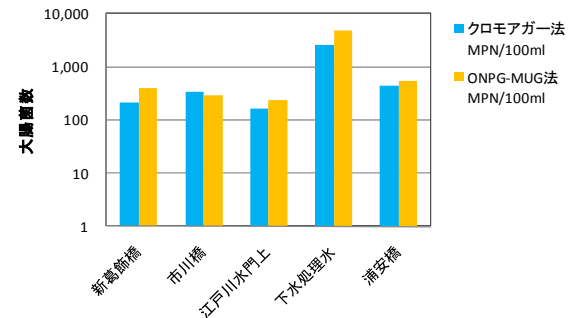
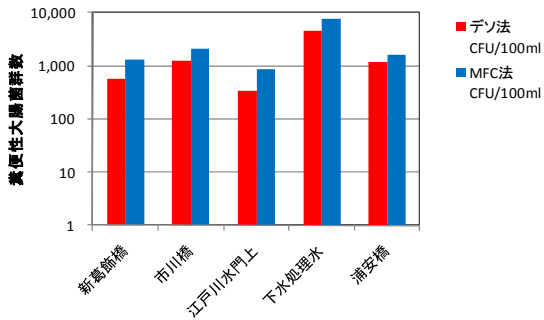


図4 江戸川における大腸菌数(平均値、n = 15)



注) デソ法は100ml中の菌数に換算した

図3 江戸川における糞便性大腸菌群数(平均値、n = 15)

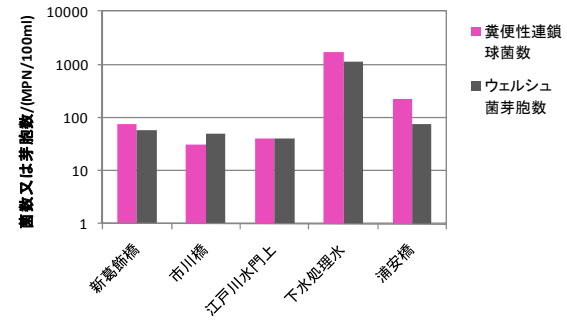


図5 江戸川における糞便性連鎖球菌数及びウェルシュ菌芽胞数(平均値、n = 5)

表4 江戸川における大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数、及びウェルシュ菌芽胞数

測定対象	測定法	単位	測定回数	新葛飾橋	市川橋	江戸川水門上	下水処理水	浦安橋					
大腸菌群数	デソ法	CFU/ml	15	24	39	24	135	39					
				4	89	1	170	3	140	29	410	5	140
	BGLB法	MPN/100ml	15	13,000	13,000	6,400	23,000	12,000					
				1,100	49,000	790	49,000	700	22,000	2,300	79,000	490	49,000
	クロモアガー法	MPN/100ml	15	5,700	7,600	4,300	23,000	6,700					
			570	37,000	230	43,000	180	19,000	4,100	80,000	480	35,000	
	ONPG-MUG法	MPN/100ml	15	7,500	7,900	5,800	28,000	7,600					
				1,600	39,000	570	36,000	510	24,000	960	82,000	1,200	24,000
糞便性大腸菌群数	デソ法	CFU/ml	15	6	13	3	45	12					
				1	38	1	78	0	23	3	150	0	71
	MFC法	CFU/100ml	15	1,300	2,000	890	7,900	1,600					
				100	5,600	65	8,200	50	5,200	900	23,000	120	9,100
大腸菌数	クロモアガー法	MPN/100ml	15	210	330	160	2,600	450					
				10	1,500	3	3,100	0	1,400	40	11,000	20	2,900
	ONPG-MUG法	MPN/100ml	15	390	300	240	4,800	540					
				20	2,400	10	2,400	0	1,600	86	14,000	75	2,800
糞便性連鎖球菌数	---	MPN/100ml	5	76	32	39	1,700	220					
				16	230	4	56	2	130	1100	3300	32	970
ウェルシュ菌芽胞数	---	MPN/100ml	5	59	51	41	1,100	75					
				18	110	18	91	9	110	470	2000	30	160
									平均値				
									最小値	最大値			

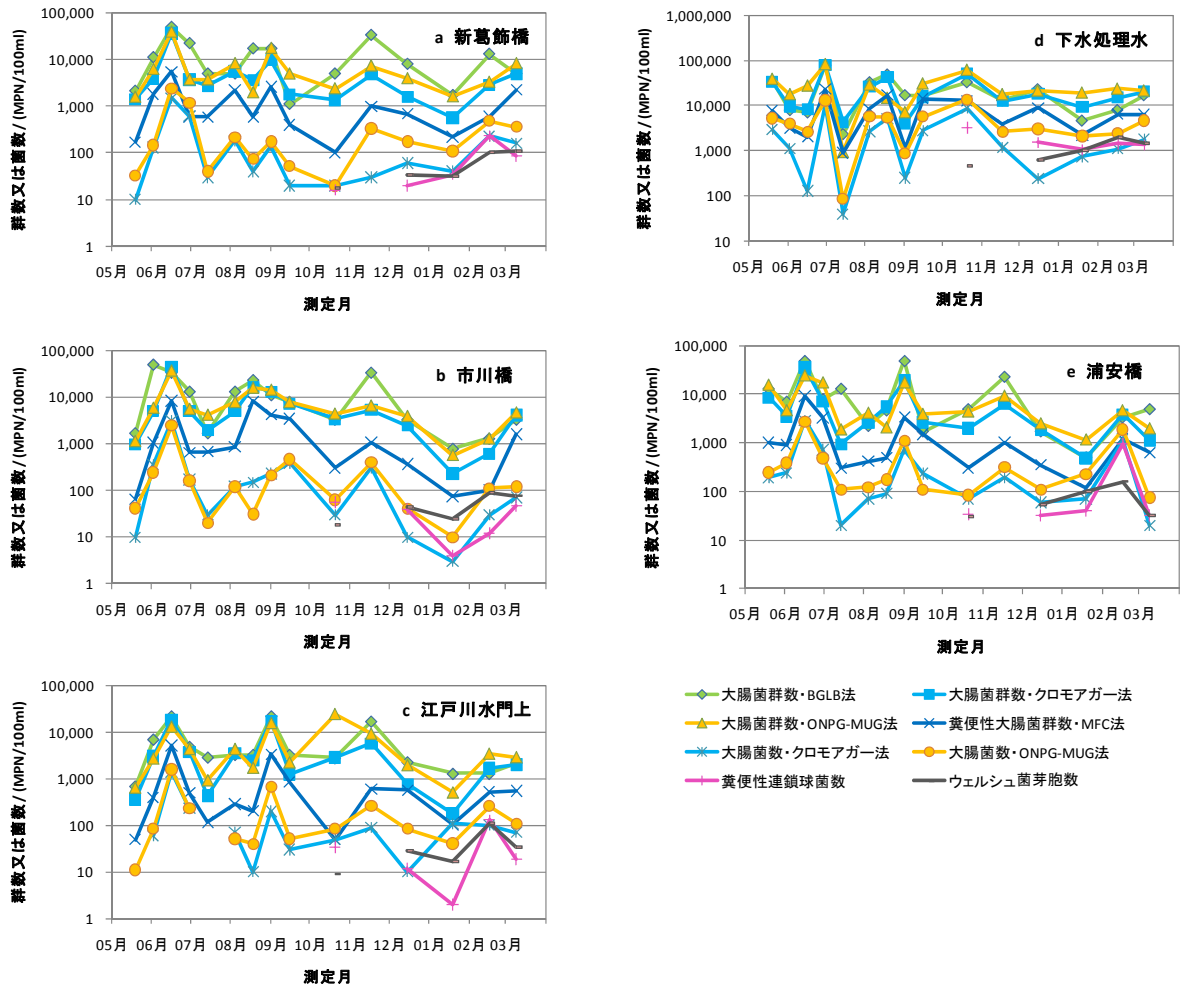


図6 大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数、及びウェルシュ菌芽胞数の経月変化
a 新葛飾橋、b 市川橋、c 江戸川水門上、d 下水処理水、e 浦安橋

4 考察

(1) 大腸菌群数と環境基準適合割合

A 類型である新葛飾橋においては、年間を通して BGLB 法による大腸菌群数が 10^3 個/100 ml を超えており (図 6 a)、環境基準適合割合は 0% (表 5) であった。これは平成 20 年度の水質測定計画による測定結果¹⁾と同様であった。

B 類型である市川橋及び江戸川水門上では、環境基準適合割合はそれぞれ 47%、73% (表 5) であった。これは平成 20 年度の水質測定計画による測定結果¹⁾と同様であった。平成 21 年度から B 類型となった浦安橋では、環境基準適合割合は 53%であり、市川橋と同程度であった。

表5 大腸菌群数の環境基準適合割合

地点名	環境基準適合割合/%	適合回数/回	測定回数/回
新葛飾橋	0	0	15
市川橋	47	7	15
江戸川水門上	73	11	15
浦安橋	53	8	15

表6 江戸川におけるpH、BOD、SS、DOの環境基準適合割合

地点名	環境基準適合割合 / %			
	pH	BOD	SS	DO
新葛飾橋	93	87	93	73
市川橋	100	93	73	100
江戸川水門上	100	100	87	100
浦安橋	100	100	93	100

(2) 大腸菌群数と測定方法

大腸菌群数は測定法によって測定値が多少、異なつた。江戸川河川水では BGLB 法による測定値が高く、ONPG-MUG 法とクロモアガー法が次いで高く、デソ法が最も低い傾向が見られた (図 2)。

環境測定 of 公定法である BGLB 法と他の方法 (クロモアガー法及び ONPG-MUG 法) の相関関係は、図 7a 及び図 7b に示すように正の相関が認められた。江戸川においてはクロモアガー法及び ONPG-MUG 法により測定された大腸菌群数と BGLB 大腸菌群数との測定値の差は比較的小さいと考えられた。

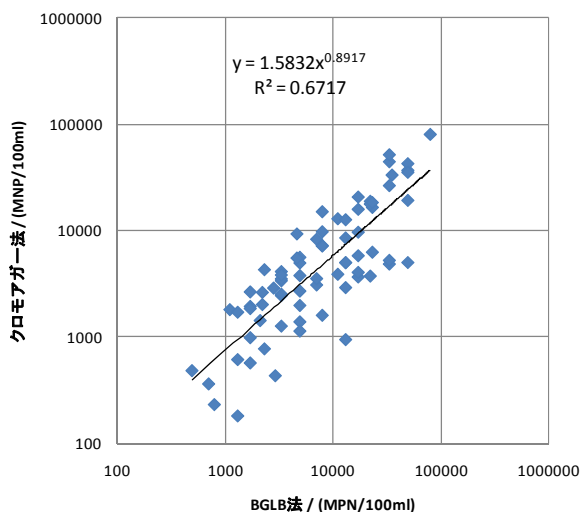


図7a BGLB 法とクロモアガー法の相関関係

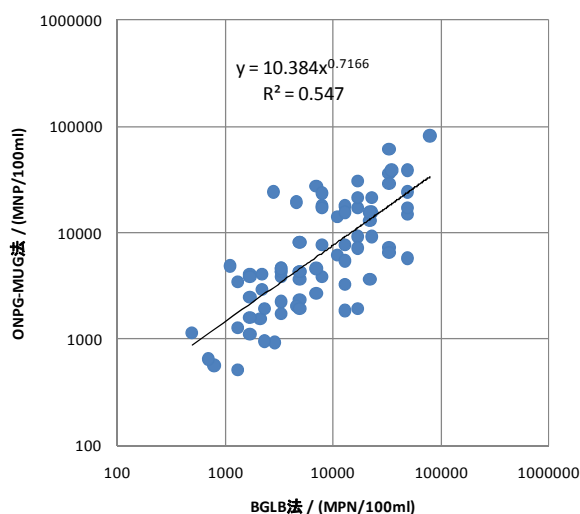


図7b BGLB 法と ONPG-MUG 法の相関関係

(3) 大腸菌群数と大腸菌数

ONPG-MUG 法とクロモアガー法は大腸菌群数と同時に大腸菌数も測定できる方法であるので、両法による測定結果から大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を算出した。大腸菌群数は $10^3 \sim 10^4$ 個/100 ml であり、大腸菌数は $10^2 \sim 10^3$ 個/100 ml であった。大腸菌群に占める大腸菌の割合は 4~8% (下水処理水を除く) と算出された (表 7)。一方、下水処理水は大腸菌の割合が 9~17% と河川水より高かった。

表7 大腸菌群数に占める大腸菌の割合

測定方法	検体の種類	大腸菌数/大腸菌群数(%)	検体数
クロモアガー法	下水処理水流入前の河川水	4	45
	下水処理水	9	15
	下水処理水流入後の河川水	7	15
ONPG-MUG法	下水処理水流入前の河川水	4	45
	下水処理水	17	15
	下水処理水流入後の河川水	8	15

生活環境項目の環境基準は、利水目的によって基準値が設定されている。大腸菌群数の基準値は、水道水における浄水処理による大腸菌群の除去率を考慮して定められたものである。糞便性大腸菌群、大腸菌、糞便性連鎖球菌は、大腸菌群よりも糞便汚染の特徴的な指標微生物であり、これらの菌数を公定法(BGLB 法)による大腸菌群数と比較すると、表 4、図 6 のように 1~2 桁少ない値であった。このように糞便性指標微生物と比較すると大腸菌群の方が多数存在するので、大腸菌群数はより安全側の指標といえるが、河川水の糞便汚染の程度を大腸菌群数で表すと汚染を過大評価するおそれがあると考えられる。

表 3 に示した菌類測定方法のうち ONPG-MUG 法とクロモアガー法は、前述のように公定法と正の相関があり、かつ直接的な糞便汚染指標である大腸菌数を同時に測定できる方法であるので、河川水の糞便汚染の実態を把握する上で意義のある測定法であると考えられた。

(4) 大腸菌群数と SS

下水処理水流入前の河川水について、SS と大腸菌群数(クロモアガー法)の関係を図 8 に示す。SS が 10 mg/l 以下である場合には、大腸菌群数は 5000MPN/100ml 以下であった。B 類型の環境基準値は 5000MPN/100ml 以下であるので、図 8 は、懸濁物の少ない時には大腸菌群数も少ないという簡易的判断法としての利用可能性を示唆している。

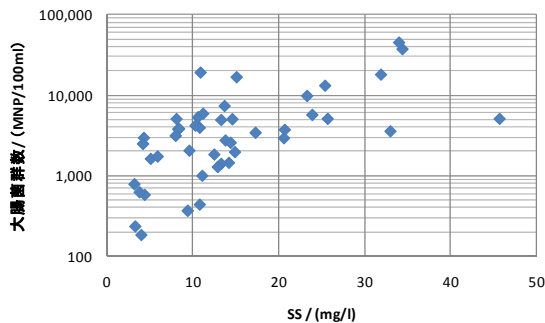


図8 SS と大腸菌群数(クロモアガー法)の関係

(5) 糞便性大腸菌群数と水浴場水質判定基準

糞便性大腸菌群は、大腸菌のほか植物や土壌由来の菌も含むが、大腸菌群と比較すると糞便汚染を的確に示しているとされている²⁾。

今回、測定された MFC 糞便性大腸菌群数は、 10^3 個/100 ml 程度であった。水上スポーツの場でもある江戸川の夏季(5 月から 9 月まで)における水浴場水質判定基準適合割合(水浴可、糞便性大腸菌群数が 1000 個/100ml 以下)は、最も低い市川橋で 44%、最も高い江戸川水門上で 78%と、地点により差があった(表 8)。江戸川で安心して水上スポーツを楽しむためには、さらなる水質改善が望まれる。

表8 夏季(5 月から 9 月まで)における水浴場水質判定基準適合割合(糞便性大腸菌群数が 1000 CFU/100ml 以下で水浴可である割合)

地点名	水浴場基準適合割合/%	適合回数/回	測定回数/回
新葛飾橋	56	5	9
市川橋	44	4	9
江戸川水門上	78	7	9
浦安橋	56	5	9

(6) 糞便性連鎖球菌数及びウェルシュ菌数

温血動物の糞便に特異的に含まれるとされている糞便性連鎖球菌の数は江戸川においては $10^1 \sim 10^2$ 個/100 ml であり、一般的な河川下流域における存在量²⁾と同程度であった。

ウェルシュ菌は食中毒菌の一つであるが、嫌気性細菌であるため、環境中では芽胞のみが生存できる。ウェルシュ菌芽胞は糞便に含まれ、環境水中では残存性が高く増殖性が低いため、遠方や過去の糞便汚染を示すとされている。また、ウェルシュ菌芽胞数は、衛生分野では原虫類のクリプトスポリジウムやジアルジアとの良好な相関が報告されている⁴⁾。江戸川におけるウェルシュ菌芽胞数は $10^1 \sim 10^2$ 個/100 ml であり、一般的な河川の表流水に存在するとされる量 $10^{-1} \sim 10^3$ 個/100 ml²⁾と同程度であった。

(7) 流下に伴う菌数変化と下水処理水の影響

新葛飾橋から江戸川水門上までは流下に伴って各菌群数と菌数は、やや減少する傾向にあった(図 2～5)。一方、下水処理水が流入する前の江戸川水門上と流入後の浦安橋を比較すると、全ての菌種と測定法で菌群数と菌数が浦安橋で増加していた(図 2～5)。特に糞便性連鎖球菌数の増加率は 460%(表 4 より算出)であり、下水処理水の影響と考えられる。なお、下水処理水については、デソ法による大腸菌群数が規制項目であり、排水基準値は 3000 CFU/ml であるが、本調査では排水基準を 100%達成していた。

(8) 浦安橋における潮位と菌数

浦安橋は感潮域にあるため、下げ潮時には下水処理水を含む河川水が流下し、上げ潮時には河川水とともに海水が遡上する。このことから、下げ潮時には下水処理水の影響を大きく受けて大腸菌数等が増加すると思われたが、潮位曲線の位相と測定された菌数をプロットしたところ、図 9a に示すように位相と菌数の相関は見られなかった。また、潮位と菌数の関係(図 9b)にも相関は見られなかった。しかし、潮位と菌数比をプロットすると図 9c のようになり、東京湾平均海面である 112 cm 以下の潮位の場合には、潮位が低いほど

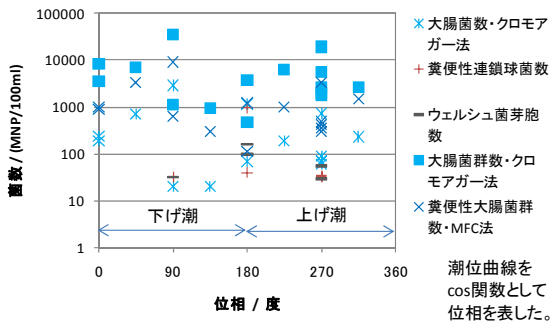


図9a 浦安橋における潮位曲線の位相と菌数

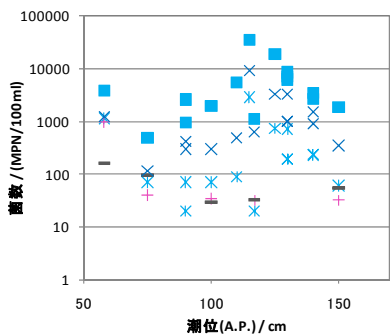


図9b 浦安橋における潮位と菌数

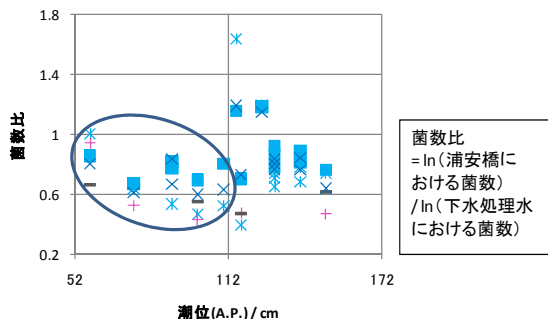


図9c 浦安橋における潮位と菌数比

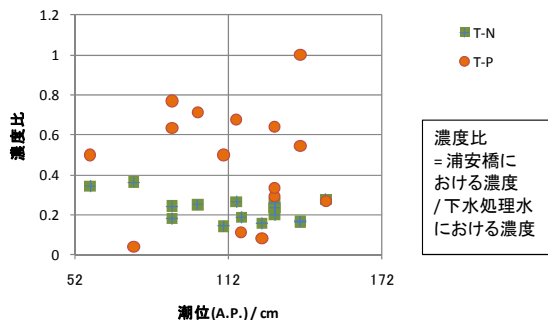


図9d 浦安橋における潮位と全窒素濃度比及び全リン濃度比

下水処理水中の菌数（対数）に対する浦安橋における菌数（対数）が大きいという傾向が見られた。この傾向は、全窒素についても見られたが、全リンの場合には見られなかった（図9d）。このことから、感潮域における下水処理水の影響を把握する場合には、潮位と菌数比あるいは潮位と全窒素比の関係を検討項目に加えておく必要があるであろう。

5 まとめ

江戸川（旧江戸川を含む）において、河川水（4地点）と下水処理放流水（1地点）を採取し、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、及びウェルシュ菌芽胞数を測定した。

河川水は、大腸菌群数に関しては上流のA類型地点（新葛飾橋）で環境基準を大幅に超過しており、B類型地点（市川橋、江戸川水門上、及び浦安橋）でも環境基準を超過していた。しかし、糞便性大腸菌群数、大腸菌数、糞便性連鎖球菌数は大腸菌群数と比較すると少なかった。今回の調査では、河川水中の大腸菌数は大腸菌群数の10%以下であった。大腸菌群は糞便由来の大腸菌だけでなく水中及び土壌等自然由来の菌も含むため、河川水の糞便汚染を的確に捉えるためには、大腸菌群数以外の測定方法も用いて評価することが必要である。

江戸川を調査した結果、糞便汚染を直接的に示す大腸菌数を測定する方法として、クロモアガー法やONPG-MUG法が有効であると考えられた。

参考文献

- 1) 東京都環境局：平成20年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果、環境資料第21073号、pp.18
- 2) 日本水道協会：上水試験方法解説編、pp.836-854、2003
- 3) 和波一夫ら：都内河川の大腸菌群数に関する研究（1）—多摩川における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
- 4) 保坂三継ら：浄水場原水・浄水等における原虫類並びに指標細菌類調査結果（平成13年度）、東京都衛生研究所年報2002、223-228