

多摩川流域における水質汚濁指標に関する研究

—— ふん便汚染指標細菌と汚濁物質との関連 ——

1987年

尾藤 朋子

神奈川県立衛生短期大学衛生技術科教授

目 次

1. 緒 言	1
2. 各年度の研究課題	1
3. 採水地点	1
4. 測定項目および方法	2
5. 実験結果	2
1) ふん便性大腸菌群測定法の検討	2
2) 多摩川本流二子橋・多摩川原橋および支流野川の水質調査.....	5
6. 参考文献	14

多摩川流域における水質汚濁指標に関する研究

— ふん便汚染指標細菌と汚濁物質との関連 —

神奈川県立衛生短期大学

尾藤 朋子 ・ 北原 節子

1. 緒言

多摩川流域の人口は現在約300万人となっている。これらの居住地域から排出される生活排水は下水道の敷設が不十分なため大部分が多摩川水系の支流河川に流入し、本流に汚濁をもたらしている。

本研究では生活排水による河川汚濁の実態を調査することを目的に、河川水中のふん便汚染指標細菌、BODおよび塩素イオン等の測定をおこないその汚濁状態を明らかにした。さらに各測定項目間の関連を調べ、支流河川が多摩川本流に対する影響の程度を評価する。

また、本研究を遂行するに当たり、ふん便性大腸菌群の測定法についてその迅速化と測定精度を検討したので報告する。

2. 各年度の研究課題

- 1) 59年度下期
 - i) ふん便性大腸菌群測定法の検討
 - ii) 多摩川本流二子橋および支流野川の水質調査
- 2) 60年度上期・下期
 - i) ふん便性大腸菌群測定法の検討(59年度の継続)
 - ii) 多摩川本流二子橋・多摩川原橋および支流野川の水質調査
- 3) 61年度上期・下期
 - i) 多摩川本流二子橋・多摩川原橋および支流野川の水質調査

3. 採水地点

図-1に示した4地点から採取した。

St.3: 多摩川本流二子橋より約100m下流で野川との合流地点

St.4: 多摩川本流でSt.3地点より約10km上流(多摩川原橋)で、支流野川の影響を全く受けない地点として60年度から採水した。

St.1: 支流野川で、本流St.3への合流前で、建設省が設置した礫間浄化施設への流入前の地点。

St.2: 支流野川で、礫間浄化施設より下流の本流合流前の地点

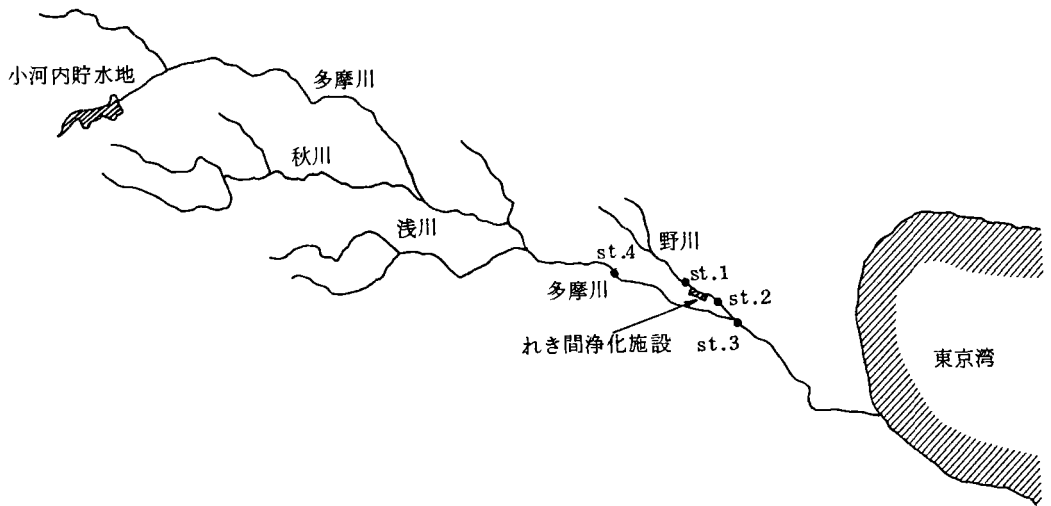


図1 多摩川・野川の採水地点

4. 測定項目および方法

- 1) pH：比色法（採水現場で測定）
- 2) DO：ウィンクラーアジ化ナトリウム変法（採水現場で固定）
- 3) BOD：ウィンクラーアジ化ナトリウム変法
- 4) 塩素イオン：硝酸銀滴定法
- 5) 大腸菌群：メンブランフィルター法，培地はm-Endo培地を使用した。
- 6) ふん便性大腸菌群：M-FC法およびHGMF法で測定した。培地はm-FC培地（固体および液体，Difco製）を使用した。

5. 実験結果

1) ふん便性大腸菌群測定法の検討

河川，湖沼，海域などの水質汚濁状態を衛生学的な面から示す指標として，古くから大腸菌群が用いられており，環境基準や排水基準項目の一つとなっている。

しかし，大腸菌群を構成する細菌のすべてがふん便由来ではないので，大腸菌群の中で腸管以外に生息場所をもたないふん便性大腸菌を測定すべきであるという意見が多く，すでに欧米諸国では水，食品などのふん便汚染指標は，ふん便性大腸菌E. coliに変更されている。

我が国においても環境庁が59年度から海水浴場の水質基準項目の大腸菌群をふん便性大腸菌群を対象に測定するよう改訂した。（58年改訂，59年度実施）

また，それと同時に測定法もMPN法からメンブランフィルターを用いるM-FC法，HGMF法いづ

れかの方法で実施することになった。

これらメンブランフィルター法は従来のMPN法と比較して、方法が簡易でしかも迅速に測定できるので、河川水、海水の水質検査のように多数の検体を処理するには良好な方法といえる。

両法のうち、M-F C法については、すでに尾藤・北原が測定に関する基本的な問題点を検討して報告している。

HGMF法は最近カナダで開発された新しいメンブランフィルター法で、フィルターの材質がM-F C法とは異なるポリサルフォン製で、形状は角型をしており、これに疎水性の特殊樹脂を使用して格子状(1,600区画)にコーティングがなされ、その一つ一つがコロニーの発育区画である。コロニーは通常、疎水性の格子によってマス目の外へ広がることがないので、出現菌数が多い場合でもコロニーの重なりによる計数不能が少ないことはHGMF法のもつ大きな利点である。

前述のようにHGMF法は59年度から海水浴場の水質検査にM-F C法とともに公定法として採用された。河川水に対しては現在、MPN法が公定法として用いられているが、今後はメンブランフィルター法が採用される可能性をもっている。

そこで、まず、河川水を試料としたHGMF法の検討をおこない、さらに同じフィルター法であるM-F C法と比較検討した。

i) HGMF法におけるふん便性大腸菌群コロニーの色調・形態

m-F C培地で発育するふん便性大腸菌は青色で光沢を有するコロニーで、フィルターに生育しているすべての区画を数えて菌数値を算出する。

ii) M-F C法とHGMF法の比較

試料には多摩川河川水(St. 3)を用い、M-F C法とHGMF法での菌数値を比較した。

成績を表-1、表-2に示した。表-1は河川水10検体ずつの菌数を測定して平均値を算出した。さらに両菌数値の標準偏差、変動係数を求め、測定精度を比較し、表-2に示した。

HGMF法はM-F C法より測定方法が簡易で、しかも1枚のフィルターで測定できる菌数値の範囲が大きいため多くの利点を持っているが、本実験の河川水ではM-F C法と比較して、菌数値が高く出現した。(表-1)河川水の場合、ふん便性大腸菌と定義されている青色コロニーと実際にフィルターに出現したコロニーの色調との間に差が生じることが原因と考えられる。すなわち、河川水のように有機物質や多種類の細菌が混在する場合は単に青色コロニーといってもその色調の範囲が広くなり、青色の識別が困難となる。

M-F C、HGMF両法の標準偏差、変動係数を算出して測定精度を比較した結果、HGMF法のバラツキがやや大きいが大差ではなかった。

また、両法の比較実験を2人の測定者で同時に実施した結果、両測定者の間の差はみられなかった。

iii) HGMF法によるふん便性大腸菌群測定の培養温度について

表-1 多摩川河川水によるHGMF, M-F C両法の菌数値の比較

No	実 験 1				実 験 2			
	HGMF法		M-F C法		HGMF法		M-F C法	
	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B
1	158	147	33	33	66	82	47	43
2	119	82	32	20	56	61	56	54
3	109	136	39	27	66	72	65	61
4	87	103	32	35	125	103	36	35
5	114	125	35	32	61	51	47	45
6	93	103	27	29	46	30	75	73
7	72	77	22	38	56	56	47	42
8	77	87	27	29	93	98	49	47
9	77	66	37	28	93	93	47	44
10	61	51	34	30	72	56	35	34
平均 菌数値	96.7	97.7	30.8	30.1	73.4	70.2	50.4	47.8

表-2 多摩川河川水によるHGMF法とM-F C法の測定精度の比較

	実 験 1				実 験 2			
	HGMF法		M-F C法		HGMF法		M-F C法	
	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B	測定者 A	測定者 B
平均	97.7	96.7	30.1	30.8	70.2	73.4	47.8	50.4
標準偏差	31.0	28.8	4.9	6.0	23.5	23.7	11.9	12.2
変動係数	31.8	29.8	16.3	19.5	33.5	32.3	25.0	24.2

前実験でHGMF法はM-F C法と比較して菌数値が高く出現した。それはさきに述べたように、HGMF法でふん便性大腸菌と定義されているのは光沢のある青色コロニーであるが、実際にはフィルターに出現したコロニーと定義との間に差が生じたためである。すなわち単に青色コロニーといってもその色調の幅が広く、青色の識別が困難なので菌数値が増加したと考えられる。

ふん便性大腸菌が非ふん便性大腸菌と比較して高温域での発育が可能なことから、現在、培養温度を44, 5℃にしてふん便性、非ふん便性のセレクトを実施しているが、これをさらに上昇させ、培養温度を46℃に設定、46℃における非ふん便性大腸菌の発育抑制とふん便性大腸菌E, coli

の生育状態とを調べ、HGMF法での高い菌数値是正の可能性を検討した。

実験方法は前実験と同様で、培養温度46℃と現在の44.5℃とを比較した。

試料には多摩川および野川の河川水を使用した。

その結果フィルターに出現したコロニーの色調は、46℃では濃青色で大型のコロニーが多く出現し、灰青色コロニーがかなり減少したため、コロニーの計数が容易となった。46℃、44.5℃両培養温度での菌数値を表-3に示した。

46℃培養では、44.5℃より菌数が減少しており、その菌数値は同時に測定したM-F C法の菌数とかなり近い値を示した。

以上から、従来の44.5℃培養を46℃に上昇させれば、非ふん便性細菌が44.5℃培養より抑制され、フィルター上に出現するコロニーの大部分はHGMF法でのふん便性大腸菌の定義である光沢ある青色コロニーであることが確認された。

表3 培養温度の相違による菌数値の比較(菌数/ml)

実験	野 川		多 摩 川	
	44.5℃	46.0℃	44.5℃	46.0℃
1	5.0×10^2	2.8×10^2	9.9×10	6.1×10
2	3.6×10^2	1.9×10^2	4.8×10	2.2×10

∴ 各菌数値は3検体の平均値である。

2) 多摩川本流二子橋・多摩川原橋および支流野川の水質調査

河川の水質汚濁の程度を評価する方法は種々あるが、その中で河川の利用目的からの評価あるいは積極的な利用目的がなくとも人間が生活する環境条件の一つとしての評価など、河川の汚濁程度を表わす方法はそれぞれの視点によって異なっている。

その評価法の一つとして全国の河川に対し、利用目的別に国が定めている生活環境の保全に関する環境基準がある。

本実験ではその環境基準を基本にしてさらに本研究の目的である多摩川本流に対する生活排水の影響の程度を把握するための独自の項目とその基準値を設定した。それら基準に対する河川水質の適合状態を調べ、さらに水質分析成績から河川の汚濁指標に関する検討をおこなうとともに、各測定項目間の関連についても考察する。

1) 各測定項目の環境基準に対する適合性

表-4に国が定めた環境基準(河川水質)を示しこ。本実験では浮遊物質(SS)を除外した。

表4 生活環境の保全に関する環境基準(河川)

類型	PH	DO mg/l	BOD mg/l	SS mg/l	大腸菌群 MPN/100ml
AA	6.5~8.5	7.5	1	25	50
A	6.5~8.5	7.5	2	25	1000
B	6.5~8.5	5	3	25	5000
C	6.5~8.5	5	5	50	—
D	6.0~8.5	2	8	100	—
E	6.0~8.5	2	10	ごみ等の 浮遊無し	—

各採水地点の環境基準における類型は、St.1, St.2(支流野川)はD類型に該当、St.3, St.4(多摩川本流)はC類型に、これらは利用目的によって分けられている。

C類型, D類型には水道原水としての取水がなく、また水泳(水浴)もできない類型なので大腸菌群に対する基準値は設定されていない。

生活排水からの汚濁を考慮して評価するとき、ふん便汚染指標細菌である大腸菌に対して基準がないのは生活排水の指標性が欠落すると考えられる。

そこで、本研究では大腸菌群およびふん便性大腸菌の基準値を暫定的に設定した。

大腸菌群の基準値はC類型, D類型ともに検水100ml中10,000以下とした。この数値はB類型基準値の2倍で、C, D類型には水道原水としての取水がないのでB類型より緩和した。

ふん便性大腸菌の基準は59年度から海水浴場の水質基準にふん便性大腸菌が採用され、基準値が決定された。(表-5) その中で許容限度菌数値が検水100ml中1000以下と設定されているので、この値を採用した。それは本実験の採水地点がC, D類型に属し水浴が禁止されている地域であることと、大腸菌群に対するふん便性大腸菌の比が、約10%程度であったことなどを勘案した数値である。

塩素イオンは国の環境基準にはないが、海水や特殊な地層の影響を受けない限り、人為的な汚染によるものと考えられ、汚染源としてはし尿(Cl^- 濃度5,500mg/l), NaClを含む生活排水、

表5 海水浴場の水質基準(昭和58年改訂)

— 環境庁水質保全局 —

糞便性大腸菌群数

目標値	100/100ml(海水)以下
許容限度	1000/100ml(海水)
暫定目標	400/100ml(海水)

HClおよび塩化物を使用する工場から排出される産業廃水などがあげられる。塩素イオンは水中で化学変化を受けにくく、従って安定しているので、し尿を含む生活排水や産業廃水などの汚染指標として優れていることから、本実験では測定項目に加えた。

塩素イオンの基準値は我が国の自然水が含有する濃度がほぼ30 mg/l以下といわれているのでこの値を採用した。

また、し尿に含まれる塩素イオンは5,500 mg/lと高濃度であるから、し尿を含む生活排水が河川に混入した場合には水中の塩素イオン濃度に影響を与えることが推定できる。

以上の本研究における基準項目およびその基準値を表-6に示した。この環境基準に対する適合状態を調べると、

昭和59年度下期では3回の実験(60年1月, 2月, 3月)をおこないその成績を図-2に示した。測定項目のうち、大腸菌群およびふん便性大腸菌ではすべての試料が基準値をかなり上回る

表6 本実験における設定基準

河川	類型	PH	DO mg/l	BOD mg/l	大腸菌群 菌数/100ml	糞便性 大腸菌群 菌数/100ml	塩素イオン mg/l
多摩川	C	6.5~8.5	5	5	10000	1000	30 * 5.8
野川	D	6.0~8.5	2	8	10000	1000	30

* St.4 昭和17~18年調査(小林純著「水の健康診断」)

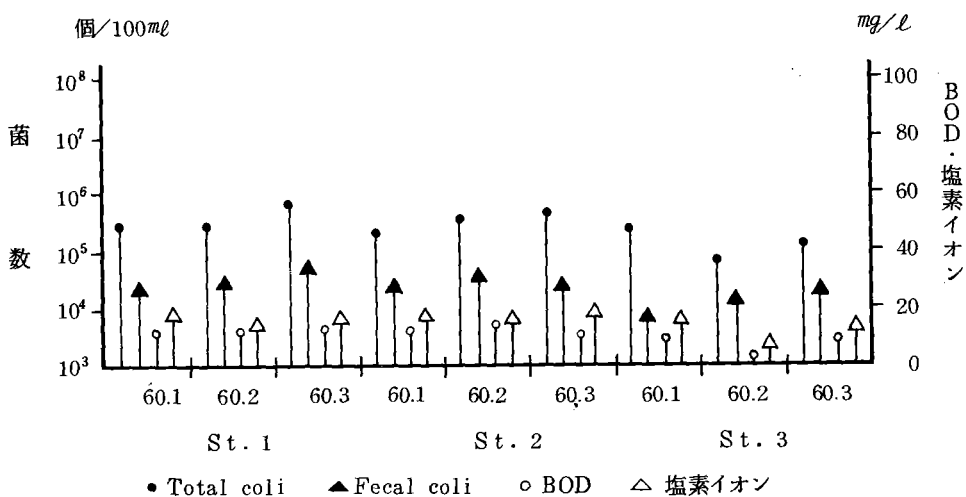


図2 59年度水質調査成績(St.1, St.2, St.3)

値であった。また、塩素イオン濃度は、St. 3の1検体を除いたすべてが基準値の30 mg/lを越えており、し尿、生活排水等の混入の大きいことが推定できる。BODはSt. 1のすべてが基準値を越える汚染度を示したがSt. 2では採水3回のうち1回が、St. 3では2回が基準値を達成した。

60年度では、年間を通じ10回採水した。各測定項目の環境基準達成状況は表-7のように、pHは採水地点、採水時期を問わず7.2~7.4の範囲内であって、すべての値が基準内であった。

DOはSt. 3の1検体が基準値をわずかに下回ったのみで、他のすべては基準値を達成した。基準以下だった検体は60年12月に採水した試料で、冬の渇水期に当り、St. 3の水量が極端に少なかったことも原因の1つかと思われる。

表7 環境基準達成率(%)

河川 採水地点	PH	DO	BOD	大腸菌群	糞便性 大腸菌群	塩素イオン
野川 St. 1	100	100	0	0	0	20
野川 St. 2	100	100	20	0	0	30
多摩川 St. 3	100	90	30	0	0	40
多摩川 St. 4	100	100	77.8	0	0	66.7

BODは、野川、多摩川の全検体を通じて達成率が30.8%とかなり低率であった。特に野川では10%と低く、St. 1では基準値を達成したものが全くなかった。St. 2の野川はSt. 1と比較すれば基準値に達するものもあったが、達成率は20%と低率で、しかもそのBOD値はかろうじて基準値に適合する数値であった。従来から指摘されている野川の高い汚染状態が本実験からも裏付けられた。

多摩川本流のSt. 3、St. 4のBOD達成率は、両地点を合わせると52.6%であるが、野川の影響をまったく受けないSt. 4の多摩川原橋が、77.8%と高い値を示しているのに対し、St. 3の二子橋下流の野川合流後のBOD適合率は30%に低下した。

以上のBOD値から、支流野川の水質汚濁が与える多摩川本流への影響の大きいことが、明らかとなった。

塩素イオンの濃度は一般に我が国の自然水に含有する Cl^- が30 mg/l以下であるといわれているので、この値を一つの基準値と考え、本実験での測定値と比較した。その結果、全検体を通じての適合率は38.5%で、野川のみ適合率が25%と低く、しかも基準値に適合したのも30 mg/lをわずかに下回る数値であった。

さきに述べたように Cl^- は水中で化学変化を受けにくいので、汚染源から河川水に混入した状態をそのまま測定できるので、生活排水、産業廃水などの汚染指標として優れている。

大腸菌群とふん便性大腸菌の測定値を基準値と比較した結果、すべての採水地点で基準値を上回っており、達成率0であった。その菌数は基準値の10～100倍の汚染状態で、特にSt.1、St.2の菌数は検水100ml中 10^5 から 10^6 と、野川の汚染度が細菌面からも高いことは明らかである。

60年度の各採水地点における水質調査成績を図3・1～3・4に示した。

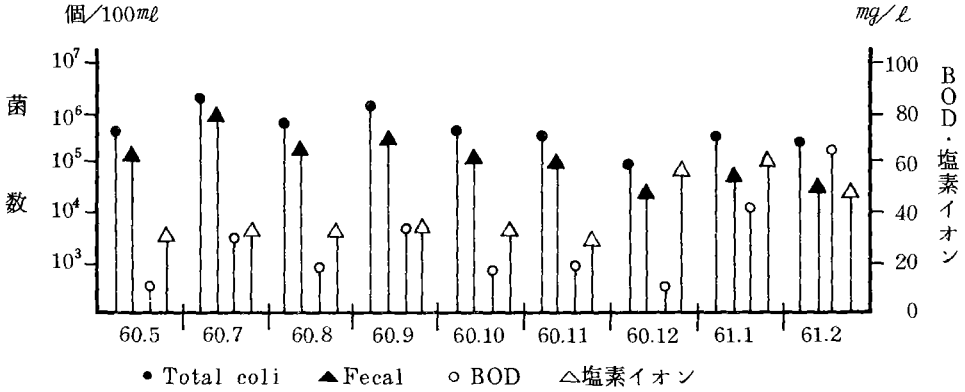


図3-1 60年度 水質調査成績(St.1)

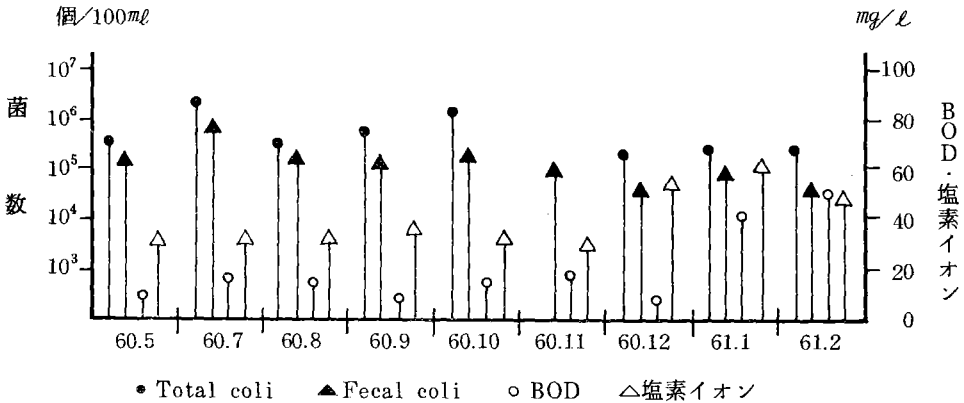


図3-2 60年度 水質調査成績(St.2)

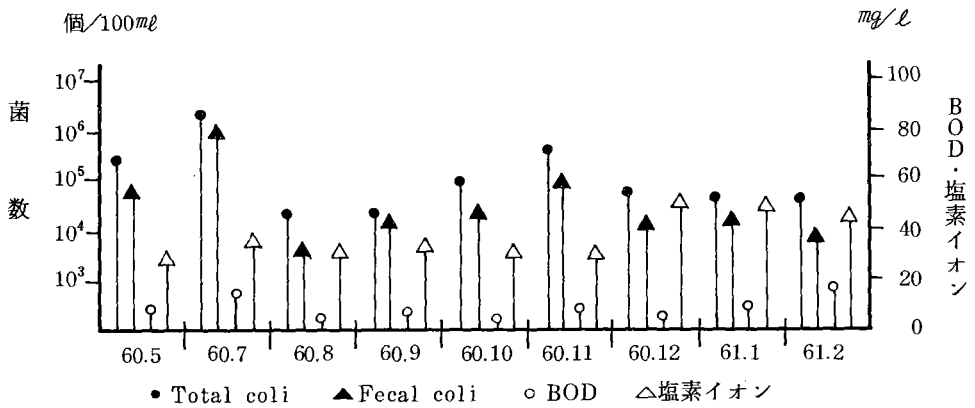


図 3-3 60年度 水質調査成績(St.3)

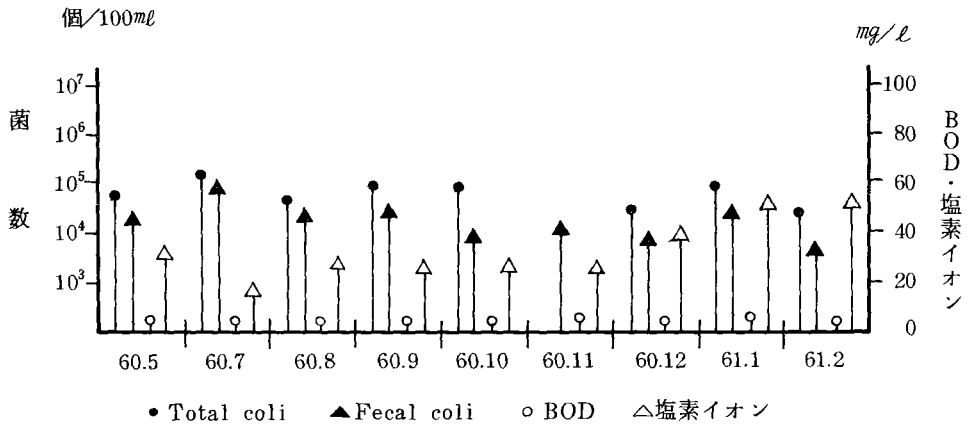


図 3-4 60年度 水質調査成績(St.4)

61年度では、60年度と同様、年間を通じ10回採水した。

各測定項目の環境基準に対する達成率を表-8に示した。

pHは60年度と同様、各採水地点、採水時間を問わず、6.6~7.6の範囲内にあって、基準値に適合したが、60年度と比較して変動範囲は大きく、酸性側は辛うじて基準内数値に適合した。

DOはSt.2~St.4までの検体のすべてが基準値を達成したが、St.1では護岸工事によって川底が掘りおこされ、底質汚泥が浮上して溶存酸素量は減少した。

BODは全検体を通じての達成率が67.5%と基準値達成状況としては、良好とは言えないが、

表8 環境基準達成率(%)

河川 採水地点	PH	DO	BOD	大腸菌群	ふん便性 大腸菌群	塩素イオン
野川 St.1	100	80	40	0	0	30
" St.2	100	100	50	0	0	30
多摩川 St.3	100	100	90	10	0	50
" St.4	100	100	90	10	0	60
平均			67.5			42.5

60年度の30.8%と比較するとすべての採水地点でかなりの上昇がみられた。特にSt.3, St.4の多摩川本流では90%の達成率であった。

塩素イオンの全検体を通じての達成率は、42.5%で60年度の38.5%と比較するとやや上昇はしているが、St.1, St.2の野川では30%と低率で、その適合濃度も基準値の30mg/lの値をわずかに下回る程度であった。

大腸菌群・ふん便性大腸菌は60年度においては全検体を通じて基準を達成したものがまったくみられなかったが、61年度ではSt.3, St.4の多摩川本流の大腸菌群が10%と低率ではあったが、基準値に適合した、ふん便性大腸菌においては60年度と同様、すべての採水地点で基準値を上回っており、その菌数値は基準値の数倍から100倍の汚染状態であった。

特にSt.1, St.2の汚染度の高いことがわかった。しかし、60年度と比較すると61年度の菌数値は大腸菌群、ふん便性大腸菌ともに減少傾向がみられた。

61年度の各採水地点における水質調査成績を図4・1～4・4に示した。

61年度の水質調査成績から、St.1, St.2の野川は各測定項目を通じて同程度の汚染状態で、両地点の間に殆んど差がみられなかった。

すなわち、St.1とSt.2の間に設置されている礫間浄化施設での浄化効果がなかったことを表わしている。

実際に1年間に10回採水にいったが、その間浄化施設が稼働し、St.1の河川水が浄化施設を経由してからSt.2に流入されたことは1～2回程度で、大部分は浄化施設を経由することなく流下していたので、浄化施設が有効に利用され、その効果をみる事ができなかった。

St.3の多摩川は野川合流後の成績で、St.1, St.2と比較して菌数、BODは低い傾向にあるが、塩素イオンは野川とほぼ同程度であった。

St.4の多摩川原橋は野川の影響を受けない地点で、St.3と比較して、菌数、BODは低く、年間を通じて平均化している。塩素イオンはSt.3よりやや低い傾向にあった。

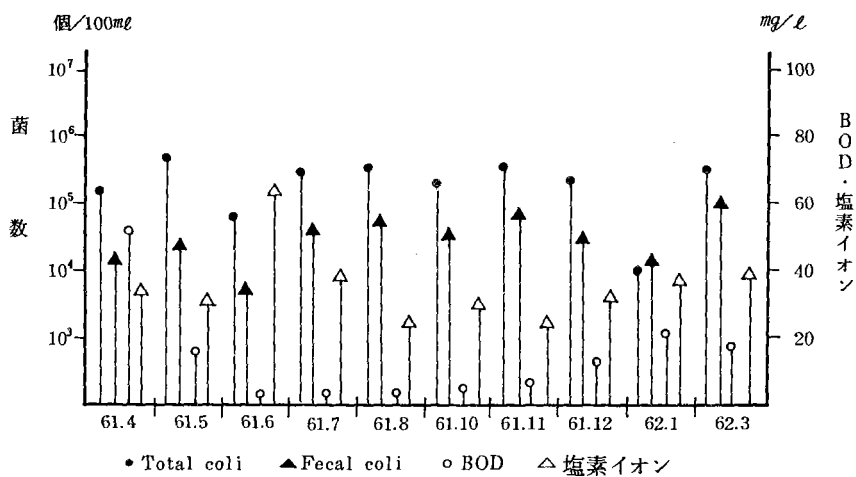


図 4-1 61年度 水質調査成績(St.1)

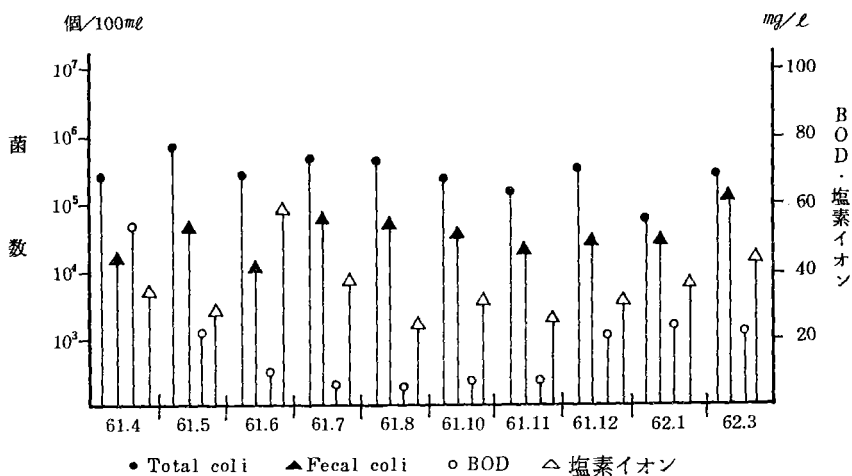


図 4-2 61年度 水質調査成績(St.2)

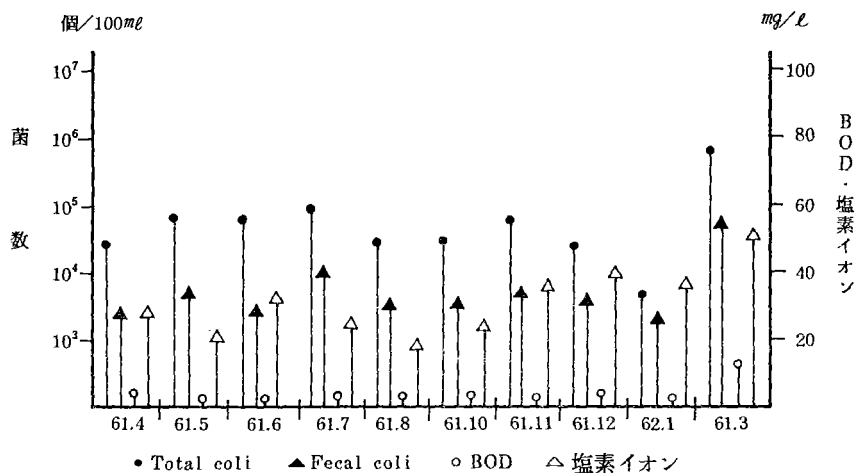


図 4-3 61年度 水質調査成績(St.3)

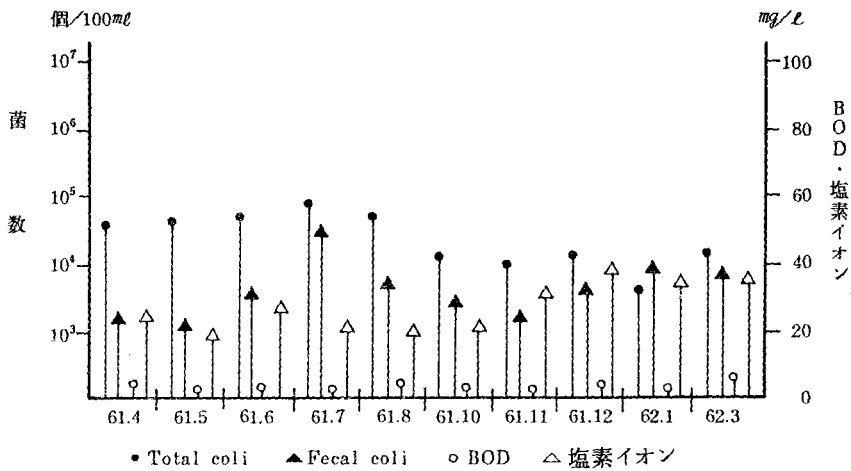


図4-4 61年度 水質調査成績(St.4)

ii) ふん便汚染指標細菌と汚染物質に関する考察

多摩川本流に対する支流野川の生活排水がもたらす水質汚濁に関する水質調査を、昭和59年度下期、60年度、61年度と継続して実施した。

その水質分析成績の中でふん便性大腸菌の菌数と塩素イオン濃度から生活排水、すなわち、し尿排水を含む家庭排水の混入の大きいことが明らかとなった。

河川の流域人口が増加して都市化が進み、さらに生活が豊かになれば、家庭や商店からの排水量は増加する。特に流域住宅区域に下水道の布設がない場合には浄化槽による水洗トイレが設置され、その浄化槽排水が河川への主要汚染源となることは推定できる。

本研究で設定した環境基準項目である塩素イオンの基準値 30 mg/l という値は、さきに述べたように、現在、汚染を受けていない自然水の Cl^- 濃度の値として示されているので採用したが、昭和17・18年に小林純氏が多摩川のSt.4(多摩川原橋)とほぼ同地点の Cl^- 濃度を分析した結果、 5.8 mg/l と述べている。

本研究の 30 mg/l は自然水中の Cl^- 濃度の最高値として示したが、 5.8 mg/l との差から当時の多摩川が豊富な水量と清冽な流れを有する河川であり自然との調和を保った良好な水辺環境にあったことを物語っている。

以上から、生活排水による汚染を調べる場合の指標として、塩素イオンとふん便性大腸菌の測定が考えられる。日本人は1日に12.2gの食塩を摂取しており、(国民栄養調査・61年国民衛生の動向より)従ってふん便中への塩素イオンの排出量が大きいこと、また、主として動物のふん便中にしか存在しないふん便性大腸菌、その2項目を生活排水の有力指標として注目し、測定対象とする必要がある。

多摩川本流および支流野川の生活排水による水質汚濁の浄化対策として最も基本となるのは下水道の整備であるが、行政区域が多岐に渡ることから整備計画が遅れがちで、従って下水道の普及率

は急速には上昇されない。しかし必ずしも下水道の普及のみが河川の水質汚濁の減少に寄与するとは限らずむしろ、河川水量の減少に撃がるので、水辺環境の整備にマイナスをもたらすことも考えられる。

生活排水に対する規制は工場廃水の場合と異なり、個々の排水量は小さいが、規制対象数が多く複雑なため、かなり困難がともなう。

そこで、国では下水道非敷設地域で水洗便所を設置する場合、浄化槽の保守点検、清掃の適正化を図るため、58年に浄化槽法を成立させ、60年10月1日より施行した。この法律によって浄化槽の適正な維持管理が普及すれば、河川水へ流入する生活排水の水質はかなり向上するものと考えられ、その効果に期待したい。

6. 参考文献

1) 図書

- 上水試験方法： 厚生省生活衛生局監修，日本水道協会発行，1985
- 下水試験方法： 日本下水道協会編，下水道協会発行，1984
- 衛生試験法・注解： 日本薬学会編，金原出版発行，1980
- Standard Method for the Examination of Wastewater, 14th, Edition, APHA - AWWA - WPCF, 1975
- 水質調査法： 半谷高久・小倉紀雄共著，丸善発行，1985
- 水の健康診断： 小林 純，岩波書店発行，1971
- 公衆衛生における実践統計学： 大崎 純，講談社サンエンティフィック発行，1979
- 都内河川・内湾の水質測定結果（総括編）東京都環境保全局発行，1981

2) 雑誌

- 尾藤朋子・北原節子： 用水と廃水，vol.26, №7, 1984
- 厚生統計協会編： 国民衛生の動向，厚生指標臨時増刊，1986
- 尾藤朋子・北原節子： 日本水処理生物学会誌，別巻6号 1986
- 谷本浩一： 岡山医学会雑誌，vol.31, №5, 1984
- 谷本浩一： 日本公衆衛生雑誌，vol.32, №7, 1985
- 谷本浩一： 岡山医学会雑誌，vol.97, №11, №12, 1985
- 古畑勝則・松本淳彦： 水道協会雑誌，vol.54, №9, 1985