



Title	水質汚濁の生物学的指標について
Author(s)	桑原, 麟児; Kuwahara, Rinji; 芦立, 徳厚 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 46, 35-61
Issue Date	1968-01-29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40852
Type	departmental bulletin paper
File Information	46_35-62.pdf



水質汚濁の生物学的指標について

桑原 麟児* 芦立 徳厚* 東郷 昭彦*
橘 治 国* 齊藤 優**

(昭和42年9月18日受理)

On The Biological Indices of Water Pollution

Rinji KUWAHARA, Noriatsu ASHIDATE, Akihiko TOGO,
Harukuni TACHIBANA and Masaru SAITO
(Received September 18, 1967)

Abstract

Since pollution along water bodies have begun to interfere with human activities, various attempts to study the degree of pollution with biological indicators have been made by many investigators.

Together with the chemical tests of water the coliform group as an indirect indicator of pathogenic bacteria constitutes one of the significant parts of the water examination. Fungi, protozoa, algae, etc., have also been studied as water pollution indicators.

In general, these pollution indicator organisms can roughly be grouped into two groups. The first group satisfies the sanitary point of view. It comprises the organisms which indicate the presense of pathogenic organs of water-borne diseases. As most of the water-borne diseases result from digestive organs, these organisms should be suggestive of faecal pollution. And the second meets the view-point of water utilization such as water quality control of public water basins and research for water resources. These organisms should be suggestive of the quantitative degree of organic pollution.

With the knowledge of the coliform group, faecal streptococci, eumycetes and nematodes, the authors made an attempt to consider the subject matters of biological water pollution indicators and the outlook into the future of the study.

1. 緒 言

水域の汚濁が人間生活や産業活動に支障をきたすようになって以来、水の汚染の程度を生物によって表わそうとする試みがさまざまになされてきた。現在、病原菌による汚染を間接的に示唆する大腸菌群などは、水質検査において化学試験と共に重要な一項目を占めている。この他、種々の菌類、藻類、原生動物等々が汚染指標生物として研究されてきた。

* 衛生工学科衛生学水質学講座

** 札幌市施設局

一般的にはこれら指標生物を大きく二つに分けることができる。

一つは衛生学的観点からとりあげられたもので、水系伝染病の病源体の存在を示唆する生物がこれに含まれる。水系伝染病のほとんどが消化器系のものであることから、衛生学的指標は糞便汚染を証明するものであればよいことになる。

いま一つは水源の確保、公共水域の水質管理等水利用の観点からとりあげられたもので、これは大まかにいって有機汚染の程度を定量的に示唆する生物であることが必要である。

衛生学的にみて、河川水なり井戸水が安全であるか否かを判定する場合、水によって媒介される伝染病の大部分が消化器系のものであることから、腸内性病源菌が存在するか否かが主要な問題となる。しかし、腸内性病源菌のすべてについて試験を行なうというのはいかにも煩雑であり、特に簡便性が要求される日常試験には全く不向きである。しかも腸内性病源菌のすべてについて陰性の結果を得たとしても、その結果から直ちにその水が衛生学的に安全であるとは断定しがたい。なぜなら、腸内性病源菌はある限られた患者、保菌者の糞便からのみ供給されるため、水中における存在数は少なく、しかも水中での寿命もきわめて短いということをあわせ考えると、通常の試験方法で用いられる程度の量の検水から必ず検出できるとは限らないからである。

そこで、腸内性病源菌の存在ないしは存在の可能性を間接的に示唆するものとして、糞便に多量に含まれ、水中である程度生存することのできる腸内細菌が汚染指標として価値があることになる。すなわち、そういった腸内細菌が検水から検出されれば、糞便がその水中に混入していることが明らかになり、そのことによって腸内性病源菌による感染の危険性を知ることができる。

しかし、この目的に合致する腸内細菌はそれほど多くはない。古くから用いられ、最も信頼し得る糞便汚染の指標とされているのが大腸菌群であるが、大腸菌群を構成する細菌が全て糞便性のものであるとは限らない。このことが明らかにされて以来、果して大腸菌群が糞便汚染の指標としてふさわしいものかという疑問が生じてきた。著者らは、この通常の大腸菌群の試験方法の欠陥を補うものとして IMViC 反応の併用が望ましいという知見を得たので、大腸菌群については IMViC 反応を中心に考察を加えた結果を報告する。

糞便以外の試料からはほとんど検出されない腸内細菌として、最近糞便性の連鎖球菌が注目されてきた。今世紀の初頭からこの糞便性連鎖球菌の存在は明らかにされていたが、その検出に使用するための簡便な分離培地の開発が遅れたため、糞便汚染の指標として大腸菌群と対等に比較、対照されるようになったのはごく最近のことである。糞便性連鎖球菌は、大腸菌群と異なり非糞便性の細菌をほとんど含まないという点が長所とされ、一方水中においては多くの場合大腸菌群より存在数が少ないという点が短所とされている。さらに進んでいずれがすぐれた汚染指標かという判定を下すには、両細菌の水中での消長を究明する必要がある。著者らは両細菌の水中での消長について実験を試み若干の知見を得たので、これをもとに両細菌の汚

染指標としての優劣について検討した結果を報告する。

また、煩雑で日数を要する細菌試験によらないで糞便汚染を証明しようという試みも種々発表されている。尿中の尿酸、糞便中のステリン等がその代表的なものであるが、いずれも現在の段階では細菌試験に比して感度が劣り、高価な実験装置を必要としたり、また、実験手順が煩雑である等の欠陥があり細菌試験にとって代るには至っていない^{(1),(2),(3)}。

一方、有機汚染の程度を定量的に示唆する指標は、衛生上の汚染を示唆する指標と異なり非常に多彩な汚染源の総合的な指標でなければならない。それは、糞便汚染と腸内細菌というような直接的な関係というよりも、有機汚染の結果、その影響を全面的にうける指標でなければならない。このような観点から、著者らは家庭下水等によって徐々に進行する有機汚染水中にきわめて多数出現する真菌類と線虫類に注目して検討をおこなってきた。得られた若干の知見を次に述べる。

2. 大腸菌群細菌

2.1 大腸菌群細菌と IMViC 反応の重要性について

大腸菌群は細菌学的には腸内細菌科 (Family *Enterobacteriaceae*) に入るある属 (genus)、ある種 (species) の混合名称である。

水質試験において大腸菌群とは要約すれば次のような形態的、生化学的性状をもった細菌群をさしている。

- (1) 乳糖を分解して酸とガスを出すこと。
- (2) グラム陰性菌であること。
- (3) 芽胞を形成しない。
- (4) 桿菌であること。
- (5) 好気性あるいは通性嫌気性の菌であること。

1958 年における International Association of Microbiological Societies の *Enterobacteriaceae Subcommittee* によると、腸内細菌は生化学的・血清学的性状により 11 群に分類されるが⁴⁾、水質試験で大腸菌群とされる細菌は、*Escherichia*, *Klebsiella* と *Citrobacter*, *Cloaca* のある種のものである。

多くの属、種の集合体である大腸菌群を、IMViC 反応によって分類すると第 1 表のごとく大きくは 3 つに、細分して 6 つに分けられる。このいずれにも属さないものは Irregular Type に入れられる。このうち Intermediate に属するものは *Enterobacteriaceae Subcommittee* の分類では *Citrobacter* のことで、同様に *Aerobacter aerogenes* (以下 *A. aerogenes* と略称) は *Klebsiella* に属するものである。また、*A. aerogenes* I と称されるもののなかには若干の *Cloaca* が入っている可能性がある。

衛生学的観点からはどの菌が糞便性であるか否かが重要な問題となってくるが、米国の

Standard methods⁵⁾によれば、第1表のように *Escherichia coli* I, II (以下 *E. coli* I, II と略称) が糞便性で他は非糞便性となっている

IMViC 反応による大腸菌群細菌の分類は種々の試料について多くの研究が行なわれてきたがその一部をまとめたものが第2表である。この表から糞便中より分離された大腸菌群は

第1表 IMViC 反応による大腸菌群の分類

菌 型	試 験				由 来	
	Indol	methyl red	Voges Proskauer	Citrate		
<i>Escherichia coli</i>	I	+	+	-	-	糞 便 性
	II	-	+	-	-	糞 便 性
Intermediate	I	-	+	-	+	非糞便性
	II	+	+	-	+	非糞便性
<i>Aerobacter aerogenes</i>	I	-	-	+	+	非糞便性
	II	+	-	+	+	非糞便性

第2表 種々の試料から得た大腸菌群の分類

試 料	菌 型								
	<i>E. coli</i>		Intermediate		<i>A. aerogenes</i>			Irreg.	
	I	II	I	II	I	II	<i>Cloaca</i>		
人間の糞便	160	4	2	1	9	2	0	MacConkey ⁶⁾	
動物の糞便	145	0	1	0	2	0	6		
下水	5	0	0	0	1	0	0		
水	11	2	1	4	2	0	29		
土 壌	10	1	0	0	0	4	1		
殺物その他	24	5	10	0	6	3	23		
人間の糞便	90.5%		3.6%		4.3%			1.6%	岡本ら ^{7),8)}
下水(糞便混入)	83.0%		2.7%		4.9%			9.4%	
人間の糞便	94.1%					5.9%		Levine ⁹⁾	
土 壌・殺物	13.5%					86.5%			
幼児の糞便	87.6		4.7		39.0			8.9	Papavassiliou ¹⁰⁾ (すべて%)
成人の糞便	80.0		7.5		42.5			25.0	
動物の糞便									
モルモット	22.2		38.8		64.4			33.3	
マウス	56.0		20.0		24.0			16.0	
ラット	68.0		16.0		40.0			24.0	
ウサギ	70.0		5.0		10.0			10.0	
人間の糞便	448	21	6	6	14	6	0	19	桑原ら ¹¹⁾
イヌの糞便	200	0	0	0	0	0	0	0	
ウサギの糞便	135	35	5	21	2	1	0	1	

E. coli I あるいは *E. coli* (I, II を区別せず) が圧倒的多数を占めていることがわかる。また、*E. coli* 以外の菌型は、糞便以外から多数発見されることも明らかである。

このことから糞便汚染の判定には、大腸菌群の存否だけでは不十分で、*E. coli* が含まれているか否かを問題にしなければならないことがわかる。

しかし、土壌に由来するとされている Intermediate、植物に由来するとされている *A. aerogenes* が通常は非糞便性であるからとされているからといって、その存在が糞便汚染と全く無関係であるとするのも行き過ぎであろう。第2表にも明らかのように僅かではあるが糞便中にも含まれており、Parr らによれば、低温で糞便を保存すると *Aerobacter* と Intermediate が優勢になってくること¹²⁾ などから、少なくとも遠い過去の糞便汚染の指標としての意義は無視し得ないわけで、Intermediate ないしは *A. aerogenes* が検出された場合には他の諸状況を考慮して慎重な判断を下すことが必要であると考ええる。

2.2 飲料適否の判定と大腸菌群

水の飲料適否の判定において大腸菌群が存在するか否かは決定的な要素である。水質基準に関する省令¹³⁾ には「大腸菌群は 50 cc 中に検出してはならない」と明記され、飲料水検査指針¹⁴⁾ には「大腸菌群試験においては常に検水 10 cc ずつ 5 本とも陰性であること」が飲料水の条件の一つになっている。しかしながら試験結果が化学試験においても、一般細菌数においても良好で、ただ大腸菌群だけが 50 cc 中に見出された場合、その水を飲料不適とすべきであろうか。この場合、飲料水検査指針の判定基準によれば次のようなただし書きに従うことになっている。「ただし、10 cc ずつ 5 本のうち 1 本が大腸菌群陽性のとき連続 10 回以上の試験成績において陽性率が 10% を越えないときは飲料にさしつかえない (以下略)」この条項を適用すれば 10 cc ずつ少なくとも 50 本の検査をし、そのうち陽性が 5 本以下であればよいということになる。しかし、これは再度採水に行かねばならないし、50 本以上の検査はいかにも煩雑である。しかもたとえただし書きに適合したからといってその大腸菌群が非糞便性という保証があるわけでもない。

著者らはこういった場合、IMViC 反応を試み、出現した大腸菌群の分離菌株がすべて *E. coli* 以外の菌型であった場合飲料適とすべきであることを主張したい。

2.3 河川汚染と大腸菌群

河川の汚染調査の場合、大腸菌群の試験は飲料水検査におけるほど決定的な地位を占めるものではない。なぜならば飲料水の場合は大腸菌群の存在そのものが飲料としての適否を左右するのに対し、河川においては大腸菌群はふつうに存在するものであり、その定量によって、他の検査とともにその河川の水質を総合的に判定する一項目に過ぎないからである。とはいえ河川調査における大腸菌群の定量検査はその河川の汚染状況を知るうえに重要な検査項目であることはもちろんであり、大腸菌群の菌型分を知ることによって種々の判断を下すことができる。

第3表 定山溪温泉の汚染有無によって分けた大腸菌群菌型分布

採 水 点	菌 型				計
	<i>Escherichia coli</i> I 及び II	Intermediate I 及び II	<i>Aerobacter aerogenes</i> I 及び II	Irregular types	
定山溪温泉の影響なき場所	17 (24.3±6.4)	27 (38.6±5.8)	17 (24.3±5.1)	9 (12.8±4.0)	70 (100.0)
定山溪温泉の下流	31 (51.6±5.1)	20 (33.4±6.1)	4 (6.7±3.3)	5 (8.3±3.5)	60 (100.0)
計	48	47	21	14	130

数字は菌株数 ()内は%

第4表 豊平川流水の細菌学的検査

試料番号	採 水 場 所	一 般 細菌数 (1 cc 中)	大腸菌群 最 確 数 (100cc中)	試料番号	採 水 場 所	一 般 細菌数 (1 cc 中)	大腸菌群 最 確 数 (100cc中)
1	豊 羽 鉦 山 上 流 (白井川本流)	60	20	9	銚 子 口 取 水 口	1,220	61
2	大江沢豊羽救護隊横 (白井川支流)	670	490	10	定山溪発電所放水水路 (発電用水)	940	640
3	鉦山沈殿池下流 300m	40	(-)	11	定 山 溪 発 電 所 横 本 流	2,420,000	92,000
4	湯沢合流前 100m	80	(-)	12	白 井 川 合 流 前	295,000	11,000
5	時雨橋上流 200m	60	(-)	13	一の沢発電所 着水井	9,300	1,000
6	白井川合流前 200m (小樽内川)	530	490	14	黄 金 ダ ム 取 水 口 (百松沢合流後)	4,600	1,300
7	豊平川出合上流 (100 m 砂防ダム薄別川)	570	110	15	簾 舞 発 電 所 (放 流 口)	6,190	1,700
8	豊 橋 下 流 50 m (豊平川本流)	2,420	460	16	簾 舞 取 水 口 (上水道水源)	24,600	3,500

つぎに著者らの行った一例を示そう¹⁵⁾。

第3表は第4表に掲げた豊平川についての細菌学的検査をもとに定山溪温泉より下流(試料番号11~16)と同温泉より上流および温泉街汚染の影響を受けない支流(試料番号1~10)とに分けて、大腸菌群の菌型分布を示したものである。

E. coli の出現の比率をみると、定山溪温泉の下流は同温泉の影響を受けない上流や支流に比して圧倒的に高率であり、定山溪でかなり濃厚な糞便の汚染を受けていることを示唆している。

この一例からも明らかのように、従来は大腸菌群数が増加した場合、ただちに糞便汚染が増大したと断定してきたが、IMViC 反応による菌型分布を知ることによってさらに厳密な判断を下すことが可能となるわけである。

3. 糞便性連鎖球菌

3.1 糞便性連鎖球菌とその検査法

糞便性連鎖球菌が汚染指標として用いられる場合、人間および他の温血動物の糞便に通常

多数存在する連鎖球菌のすべてを包含するのが普通である。Bergy's manual によれば、Family *Lactobacillaceae*, Genus *Streptococcus* の中に Enterococcus Group として次の 4 species がまとめられている¹⁶⁾。

Streptococcus faecalis

Streptococcus faecalis var. *liquefaciens*

Streptococcus faecalis var. *zymogenes*

Streptococcus durans

冒頭に述べた趣旨に従えば、糞便性連鎖球菌とはこれら species の総称であり（厳密にはこの他に *Streptococcus faecium*, *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equinus* 等も加えられる）Enterococcus ないしは fecal Streptococcus と呼称すべきであり著者らもこの説をとるが、4 species のうち主要なものは *Streptococcus faecalis* であるためこの種名をもって糞便性連鎖球菌の意味をもたせている報告も散見される¹⁷⁾。

1906 年、Andrew と Holder によって人間の腸内に多数の糞便性連鎖球菌が存在することが明らかにされて以来¹⁸⁾、これを水中の糞便汚染の指標として用いることがさまざまに試みられたが、最近すぐれた分離培地が開発され、新しい汚染指標として注目されてきた。

糞便性連鎖球菌は高い食塩濃度下で増殖することができ、また、他の *Streptococcus* に比して penicillin に対する耐性があるなどの生理的特性を有している²⁰⁾、この特性を利用して種々の方法が発表・使用されてきたが、Litzky, Mallman によって開発された方法²¹⁾が従来法に比して簡便であることから、米国の Standard methods にも採用され²²⁾一般化してきているので著者らも実験においてこの方法を採用した。

この方法は Azide dextrose broth (ADB) を用いて推定試験を行ない、Ethyl violet azide broth (EVA) を用いて確定試験とする方法で、細菌数は大腸菌群と同様に MPN 法によって求められる。

3.2 糞便性連鎖球菌の存在数

人間・動物の糞便にどの程度の糞便性連鎖球菌が存在するかを大腸菌群と比較しながらみてみよう。

第 5 表は人間と動物の糞便中の両細菌の数である。表からも明らかなように人間では大腸

第 5 表 人間および他の動物の糞便中の大腸菌群数、
糞便性連鎖球菌数¹⁹⁾

	人	間	牛	豚	羊	鶏
大腸菌群	13		0.23	3.3	16	1.3
糞便性連鎖球菌	3		1.30	84	38	3.4
大腸菌群/ 糞便性連鎖球菌	4.3		0.18	0.039	0.42	0.38

(単位 10⁶ 個/gr)

菌群の方が多いが、他の動物ではむしろ糞便性連鎖球菌の方が多。Slanetz も比率は異なるが同様の結果を得ている¹²⁾。すなわち、enterococci 対 coliform の比が人間の糞便では 1:1.6、動物のそれでは 15:1 と報告している。

両細菌数の差の意義については 4・3 に述べる

4. 大腸菌群と糞便性連鎖球菌の比較

大腸菌群、糞便性連鎖球菌について個々に述べてきたが、河川水中の両細菌数の関係、水中での消長の比較、指標としていずれが優れているか等について、著者らの知見を中心に考察を加えてみた。

4.1 両細菌数の相関関係

まず両細菌の河川での出現の様子からはじめたい。第 6 表は著者らが豊平川について調査した結果で²³⁾、糞便性連鎖球菌は大腸菌群の増減に忠実に従っているが、おおまかにみてオーダーが一つ下である。この傾向は著者らが調査した他の河川についても一貫してみられた。

第 6 表 豊平川における大腸菌群、糞便性連鎖球菌数

	採 水 点	大腸菌群数 (MPN/100mℓ)	大腸菌群菌型							糞便性連鎖 球 菌 数 (MPN/100mℓ)
			<i>E. coli</i>		Intermediate <i>A. aerogenes</i>			Irreg.		
			I	II	I	II	I		II	
1	白井川時雨橋	20	0	0	0	0	0	2	0	49
2	小樽内川	45	0	4	0	0	0	0	0	7.8
3	豊平川定山溪発電所	<180	0	0	0	0	0	0	0	<2
4	" 玉川荘前	54,000	11	0	0	0	2	0	1	1,700
5	" 錦橋	7,900	6	1	0	3	3	1	0	490
6	" 黄金湯	11,000	8	0	2	0	2	2	0	230
7	" 籠舞	3,300	5	0	0	1	6	0	0	460
8	" 藻南橋	7,900	4	0	1	2	4	0	3	230
9	" 南 22 条橋	3,300	10	0	0	0	2	0	0	680
10	" 雁米橋	17,000	9	3	2	0	0	0	0	780

(昭 40, 11. 16, 気温 5.3~8.5°C, 水温 3.2~5.5°C)

次にこの調査も含めて過去に著者らが調査した、豊平川、創成川における大腸菌群数と糞便性連鎖球菌の対数値をとってその間の相関関係を示したものが第 1 図である。相関係数を求めたところ $r=0.90$ というきわめて高い正の相関が得られた。

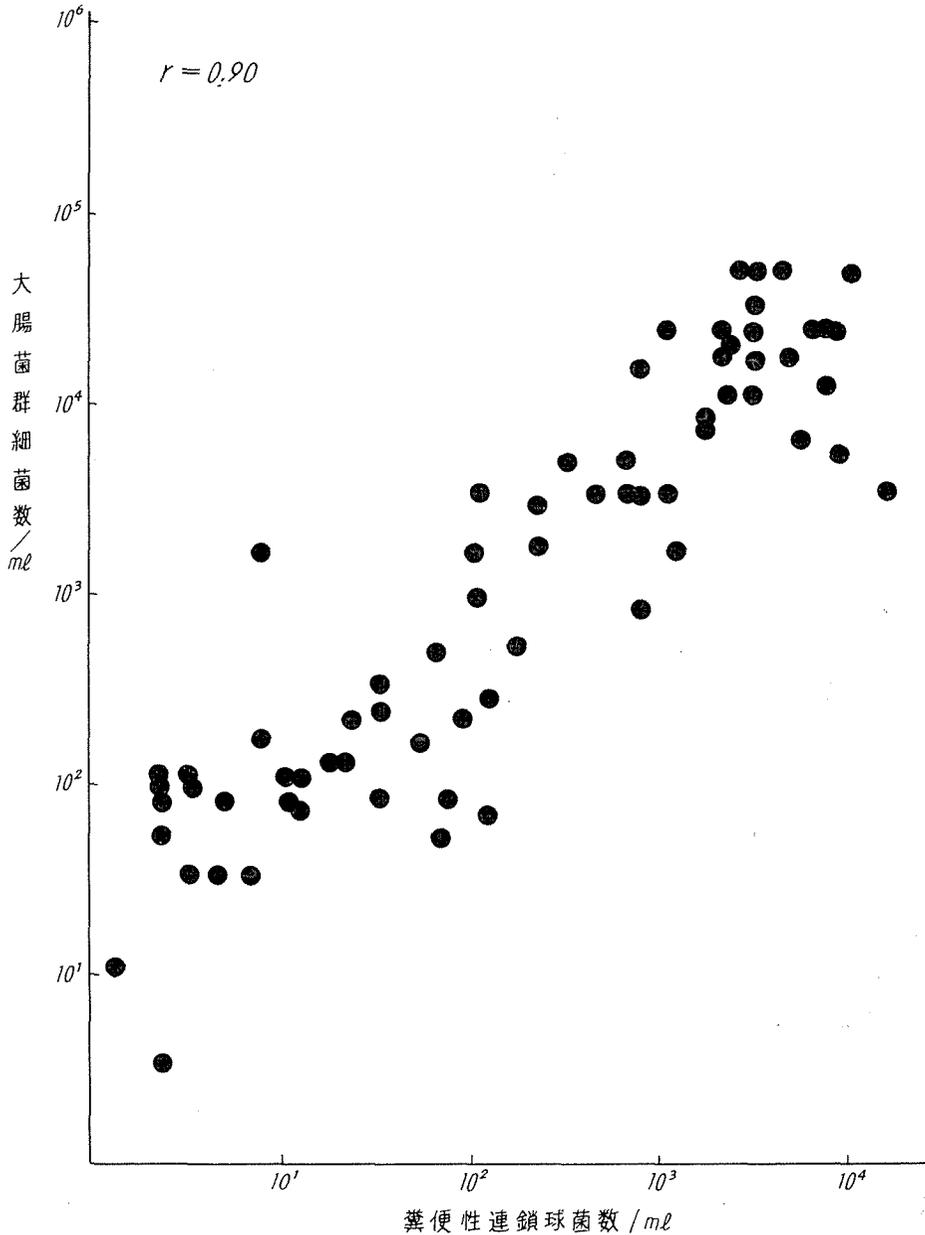
Lattanzi ら (1951) は汚染された海水中の両細菌数を求め、それをもとに両細菌間の相関関係を調べている²⁴⁾。彼らによれば、 $r=0.7$ で両細菌数の関係を式化すると次のようになる。

$$y = 2.2 + 0.014 x$$

なお式中 y =enterococci 数

$x = E. coli$ 数

Ostrolenk ら (1946) は食品衛生の指標として *E. coli* と enterococci の比較研究を行なっているが、カニ缶詰工場の各工程に出現した両細菌について第7表のような結果を得た¹⁷⁾。彼らはこの結果から、*E. coli*, enterococci の両者とも陽性、あるいは両者とも陰性という例が圧倒的に多く (あわせて 86.2%)、両者間に高い相関があると報告している。



第1図 大腸菌群と糞便性連鎖球菌の相関関係

第7表 カニ缶詰工場の各施設における *Escherichia coli* と enterococci の出現 (Ostrolenk ら)

所 見	試 料 数
<i>Escherichia coli</i> - : enterococci -	45 (38.4%)
<i>Escherichia coli</i> - : enterococci +	12 (10.3%)
<i>Escherichia coli</i> + : enterococci -	4 (3.5%)
<i>Escherichia coli</i> + : enterococci +	56 (47.8%)
試 料 合 計	117
enterococci によって汚染された試料数	68 (58.1%)
<i>E. coli</i> によって汚染された試料数	60 (51.3%)

4.2 両細菌の水中での消長

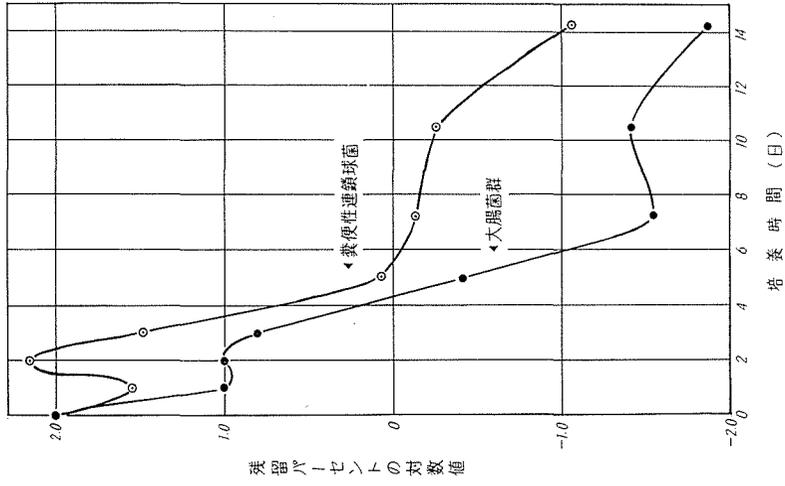
(1) 水温による影響 著者らは汚染の著しい河川の例として札幌市内を貫流する創成川から採水した試水を用い、種々の温度条件においた場合の大腸菌群と糞便性連鎖球菌の消長を調べた。第2図はその結果を示したもので、大腸菌群、糞便性連鎖球菌ともに温度が上昇するにつれて死滅速度が増加している。しかし、その減少速度にはかなりの差があり、全体としての傾向はたとえば第3図に示したごとく大腸菌群の死滅速度の方が大きい。この傾向は本節で以下述べる種々の条件下での両細菌の消長の中でも一貫して指摘しうる点で、両細菌の汚染指標としての価値に大きな意味をもってくる興味深いものである。

(2) pH による影響 Allen ら (1952) は培養液の pH を約 5, 6, 7, 8 に変化させた時の *E. coli* と *Streptococcus faecalis* (以下 *S. faecalis* と略称) の消長を調べた²⁵⁾。第4図はその結果で両細菌とも pH 5~6 の間の変動が大きく、pH 6~7 の間の差がほとんどない点で一致している。しかし、同じ pH で両細菌の減少数を比較すると大きな差があり、すべての pH について *E. coli* の減少速度の方が大きくなっている。

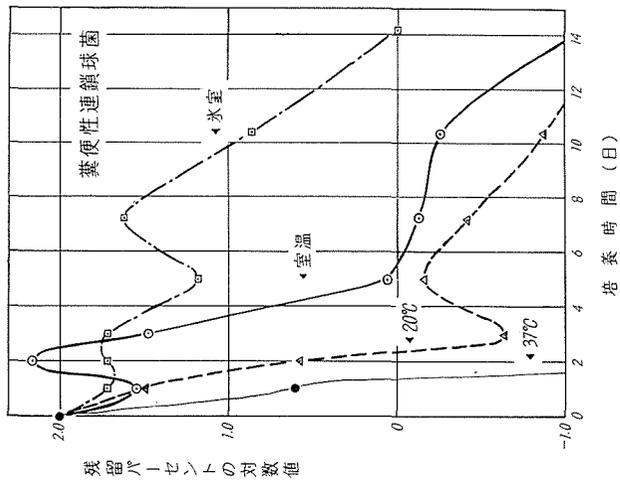
(3) 溶存酸素の影響 Allen らは好氣的条件下と嫌氣的条件下での両細菌の死滅速度についても比較している。第5図はその結果であるが、これによると *E. coli* は好氣的条件下よりも嫌氣的条件下で急速に減少するが、*S. faecalis* については両条件下の死滅速度に有意の差異はみられない。

(4) 細胞の年齢の影響 両細菌が培養基準で培養された時間と、その細菌が pH の緩衝液中で 99% 死滅するに要する時間との関係から細胞の年齢による影響についても Allen らが実験を行なっている。結果は第6図に示してある。この結果からも *S. faecalis* の方が *E. coli* より抵抗性のあることがうかがえる。

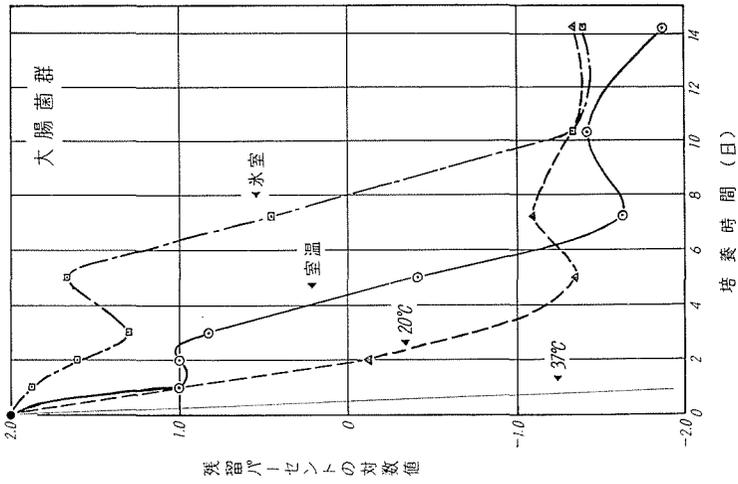
(5) 土壌・動物の糞便・食品中の両細菌の消長 Ostrolenk らは食品衛生の観点から土壌、動物の糞便、食物中での両細菌の消長(水質衛生の立場からは水に細菌が混入する以前の履歴とも考えられる)について実験をしている。その細菌を見出すことができる最小の検体の

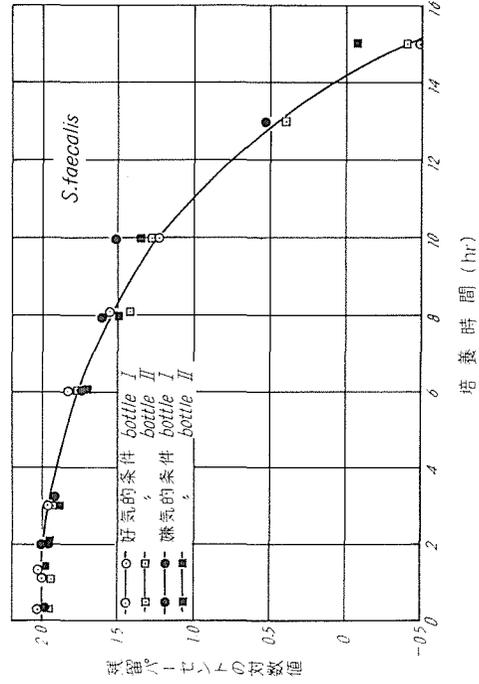
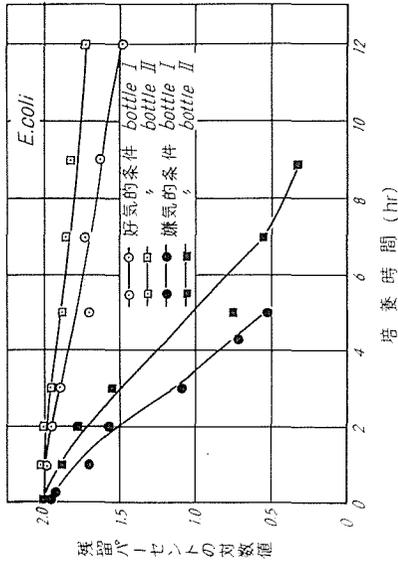


第3図 同一条件下(室温)での両細菌の比較

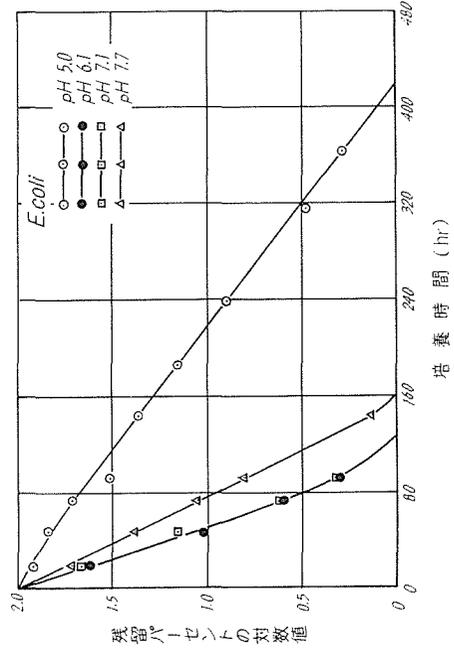
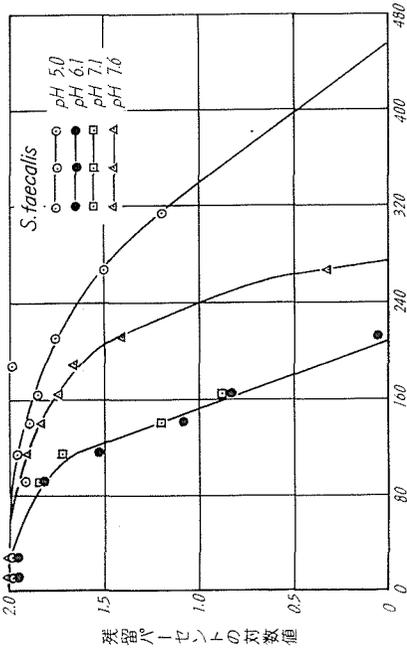


第2図 温度による死滅速度の変化



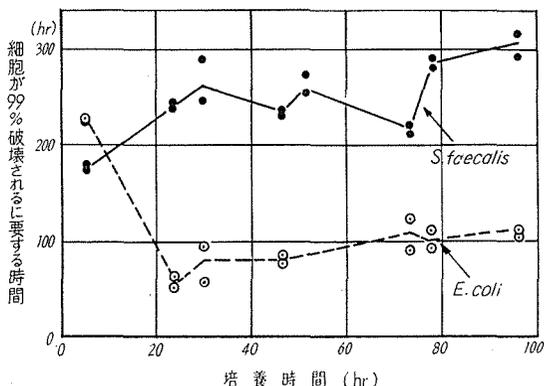


第5図 好氣的、嫌氣的条件下での死滅速度 (Allen ら)



第4図 pHによる死滅速度の変化 (Allen ら)

希釈率で結果を示したものが第8表である¹⁷⁾。たとえば Soil “A-1” の66日の試験結果は enterococci については検体 10⁻² g から検出し得たのに *E. coli* については検体 10 g 試験に供してはじめて検出されたことを意味している。なお、Soil A は普通の土壌、Soil B は鶏糞を添加した土壌、Soil C, Pecans “P” はそれぞれ土壌、Pecan (Hickory の一種の食用果実) に両菌を人工的に加えて汚染



第6図 細胞年齢による残留期間の変化 (Allen ら)

されたものであり、“A-1” “R-1” など -1 のついているものは 7.2°C に放置した試料で、これのついていないものは室温に放置したものである。一部に例外はあるが全体を通じて同じ条

第8表 土壌、動物の糞便、食物中での enterococci と *E. coli* の生存 (Ostrolenk ら)

試料名	細菌	実験日数											
		0	7	21	28	40	66	84	109	123	130	160	
Soil “A”	enterococci	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 g	10 ⁻¹	1 g	1 g	0	0	0	
	<i>E. coli</i>	10 g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Soil “A-1”	enterococci		10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	0	0	
	<i>E. coli</i>		0	1 g	1 g	0	10 g	0	0	0	0	0	
Soil “B”	enterococci	10 ⁻²	10 g	10 ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>E. coli</i>	10 ⁻³	10 ³	0	0	10 g	10 g	0	0	0	0	0	
Soil “B-1”	enterococci		10 g	10 g	0	10 ⁻¹	10 g	1 g	1 g	0	0	0	
	<i>E. coli</i>		0	1 g	0	10 ⁻¹	0	10 g	10 ⁻¹	0	0	0	
Soil “C”	enterococci	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³		10 ⁻²	
	<i>E. coli</i>	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³		10 ⁻²	
Pecans “P”	enterococci	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻¹	10 ⁻¹	1 g	1 g		10 ⁻¹	
	<i>E. coli</i>	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷		10 ⁻⁶					
Rat feces “R”	enterococci	10 ⁻⁶	10 ⁻¹	10 ⁻³	10 ³		0		1 g		10 ⁻²	10 ⁻¹	
	<i>E. coli</i>	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻¹	10 ⁻³		10 ⁻²		10 ⁻³		0	0	
Rat feces “R-1”	enterococci		10 ⁻³	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴		10 ⁻⁴		10 ⁻¹		10 ⁻¹	10 ⁻²	
	<i>E. coli</i>		10 ⁻³	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵		10 ⁻⁵		10 ⁻⁵		10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	
Mouse feces “M”	enterococci	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶		10 ⁻⁵		10 ⁻⁵		10 ⁻⁴	10 ⁻²	
	<i>E. coli</i>	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻²		10 ⁻⁵		0		0	0	
Mouse feces “M-1”	enterococci		10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵		10 ⁻⁶		10 ⁻⁶		10 ⁻⁵	10 ⁻³	
	<i>E. coli</i>		10 ⁻³	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻²	10 ⁻²	

(0 は 10 g 中に発見されなかったもの)

件では *E. coli* より *S. faecalis* の方が長く生存するという結果が得られた。

4.3 汚染指標としての両細菌の比較

4.2 に述べたごとく少なくとも室内実験の結果からは、糞便性連鎖球菌の方が大腸菌群より水中における抵抗力が大きいことは明らかである。なお、著者らと Allen らの研究は前者が両細菌の混合培養、後者が純粋培養という点で実験条件が若干異なるが結果は一致した。

ところが第9表に示したように水中に実際存在する両細菌の比率をとってみると例外もあるが多くは人間の糞便中に存在する比率のままか、それ以上に大腸菌群数の方が勝っている。これは実験室内では大腸菌群より抵抗力の大きな糞便性連鎖球菌が自然水中で何らかの因子によって抵抗力を喪失するものか、あるいは大腸菌群は土壌、植物等から非糞便性のものが自然水中に供給されるか、糞便性連鎖球菌については、基本的にはそういったものがないことによるのか原因は明らかでない。両細菌の水中における消長について若干の知見を得たが、未だ不明の点も多いのでいずれがすぐれた汚染指標であるかをにわかに断定するのはむずかしい。

Slanetz は糞便性連鎖球菌を大腸菌群の代りに汚染指標として採用すべきだと主張し、その根拠として、「(1) 糞便性連鎖球菌の存在は直接糞便汚染を証明する。(2) 汚染源が人間によるものか動物によるものかの区別も最近の研究によって可能になってきた。」をあげている。しかし、Savage らは糞便性連鎖球菌が存在しないからといって *E. coli* が存在しない場合ほど安心はできないと述べている。Mallman は下水の混入するような水源からの飲料水基準には大腸菌群が最良の指標であるが、プール、浅井戸、かなりの生物活性をもった湖等では球菌が指標として勝れていると述べている¹²⁾。

第10表は Ostrolenk らが市販食品に出現した *E. coli* と *S. faecalis* を比較したものであるが *E. coli* が検出されないのに *S. faecalis* が存在したという例が各試料ともきわめて多く、逆の例は無視し得るほど少ない。もちろん水中での両菌の動向はまた異なったものであろうが

第9表 水中における両細菌の出現の比率

			Coliform (<i>E. coli</i>)	enterococci	
河	川	水	(1)	7.6	Leinigers ¹³⁾
汚	濁	海	(63)	1	Lattanzi ¹⁶⁾
河	川	水	1	1.9	} Slanetz ¹³⁾
		下	1.7	1	
河	川	水	5	1	} Croft ¹³⁾
		湖	4	1	
		沼	2.5	1	
		井	10	1	
河	川	水	5~10	1	桑 原 ¹²⁾

第10表 市販食品における enterococci と *E. coli* の出現 (Ostrolenk ら)

所 見	食 品 名							
	くるみの実		果 実 類		冷 凍 野 菜		生のカニ肉	
	(No.)	(%)	(No.)	(%)	(No.)	(%)	(No.)	(%)
enterococci - ; <i>E. coli</i> -	24	16.0	22	84.6	6	13.0	24	25.0
enterococci 数 = <i>E. coli</i> 数	11	7.3	0	0	1	2.2	9	9.5
enterococci + ; <i>E. coli</i> -	80	53.3	3	11.5	38	82.6	56	58.3
enterococci - ; <i>E. coli</i> +	3	2.0	1	3.9	0	0	2	2.0
enterococci 数 > <i>E. coli</i> 数	24	16.0	0	0	1	.22	4	4.2
enterococci 数 < <i>E. coli</i> 数	8	5.3	0	0	0	0	1	1.0
計	150		26		46		96	

この場合は腸内球菌が優れた汚染指標とすることができる。

著者らは両細菌の優劣をにわかには断定し、いずれかを捨てるというのではなく、実験の対象に合った選択、さらにでき得れば両者の併用を提案したい。そうすることによって対象とする水の細菌学的衛生学的把握はさらに正確で内容豊かなものになるであろう。

5. 真 菌 類

5.1 水中に出現する真菌類

水中真菌類についての研究というよりも、全ての真菌類についての研究が(特殊な種を除いて)十分行われているとはいえない。

淡水に棲息する真菌類は、藻菌類と不完全菌類とが殆んどを占め、稀には子のう菌が見出される事もある。

藻菌類の菌糸には通常隔壁がなく、全体が一個の細胞をなしている。生殖は有性・無性の2通りの生殖法がある。水中に最も多く発見される真菌類は藻菌類である。藻菌類は水性藻菌類と陸性藻菌類とに分けられるが、後者もしばしば水中に発見される。一般的に、藻菌類は清浄な水中に棲息するが、有機物による汚染を受けた水域に限って出現するものもある^{26),27)}。

真菌類は元来好気性生物であるので、好気性処理の散水濾床や、活性汚泥中の真菌類は、好気性条件のもとに豊富な栄養を摂取し活発に活動しているものと思われる。著者らは尿処理消化施設内の散水濾床について研究を行ない第11表に示したような結果を得、濾床生物膜に多数の真菌類が見出されることを明らかにした。

真菌類のある種のものが、特に汚染指標になるか否かについては、目下のところはっきりした結論は下せない。Cooke²⁸⁾は、米国 Ohio 州の Little creek で、下水による汚染を受けた川水中の真菌類を、8採水箇所を選んで、1年間にわたり毎月検査した。その結果、105種の真菌類を分離したが、そのうち *Aspergillus fumigatus*, *Geotrichum candidum*, *Penicillium funiculosum*, 同 *lilacum*, 同 *ochrochloron*, および *Trichoderma viride* の6種だけが、8採

第 11 表 散水濾床に設置したスライド生物膜とその生物変化 (数/スライド 1 cm²)

週	スライド付着物乾燥重量 (g/スライド 1 cm ²)	細菌数		真菌類数	
		一般細菌数	嫌気性細菌数	カビ数	総真菌類数
第 2 週	—	2520	1560	493	102
第 3 週	0.00038	13200	3070	974	1300
第 4 週	0.00058	—	—	938	1170
第 5 週	0.00087	39700	6010	34900	43300
第 6 週	0.00115	46300	7210	565	1120
第 7 週	0.00120	53400	17300	4210	4570
第 8 週	—	—	—	—	—
第 9 週	0.00123	57100	9620	300000	337000
第 10 週	—	54100	9620	18000	42000
第 11 週	0.00762	—	—	133000	156000
第 12 週	0.00757	216000	60700	10800	13200

水筒所全てに毎月発見され、一般には清浄な水中に不完全菌は少なく、汚染に伴って増加すると述べている。

中村ら²⁹⁾は、パルプ廃水によって汚染された川の河床に発生する“みずわた”は *Geotrichum candidum* であり、ある季節には *Candida* 属の種によって優占種が変わると述べている。

椿³⁰⁾もまた石狩川で“みずわた”を作る生物は *Geotrichum candidum* であると述べている。鈴木³¹⁾は、普通の川と廃水の流入をうける川とでは、真菌類の種類に大きな差があり、普通の川に見られる *Penicillium* 属や *Aspergillus* 属が、酒精工場廃汚染によって *Monilla* sp. や *Mucor* sp. に変わると述べている。

著者らは、札幌市を南北に貫流し、主として家庭下水によって汚染されている創成川において、真菌類、特に不完全真菌類の数と種についての調査を行ない、同時に調査した一般細菌数および大腸菌群数と比較検討し、若干の知見を得たので以下に述べる。

5.2 試験方法

不完全真菌類の試験方法は次に述べる方法によった。これは、桑原によって紹介されたものである¹⁸⁾。

i) 原水あるいはその 10 倍稀釈液をシェーカーに 30 分間 (150 振動/分) かけ、これを 10 倍段階で適当に稀釈する。

ii) ローズベンガル・ネオペプトン・デキストロース寒天培地を試験管に正確に 10 ml ずつ分注し、45°C に保つ。これにオーレオマイシン (0.033 mg/ml) を加えた後検水を 1 ml 加え、直にペトリ皿に移す。これを同一稀釈液について 5 枚ずつ作り、そのまま室温に放置する。

iii) 約 10 日後、一面にコロニーができるので、コロニーを mold と yeast とに分け、数

を記録し、mold については各々の特徴を記録して次の作業にうつる。

iv) mold の各々の集落を、ネオペプトン・デキストロース斜面寒天培地に分離培養して 7~10 日間室温に放置する。

v) ペトリ皿に 10~15 ml のネオペプトン・デキストロース寒天培地を流しこんで固める。これを火焰滅菌したメスで、1 cm 角に切り培地片をつくる。

vi) 他のペトリ皿の底に直径約 1 cm のガラス管を V 字型にしたものをおき、その上に 2 枚のスライドガラスをおき、蓋をして滅菌する。

vii) 蓋をとって、2 枚のスライドガラス上の中央に、火焰滅菌したピンセットで、V) 項の培地片をのせる。

viii) この培地片に L 型白金耳で iv) 項の分離したコロニーを塗抹し、上にカバーガラスをのせて約 10 日間放置する。この場合、培地片の乾燥を防止するために、ペトリ皿内に滅菌水を 2~3 ml 注入する。

ix) スライドガラス上の培地片を除き、アマンの溶液を 1 滴たらし、カバーガラスでおおう。培地片にのせてあったカバーガラスは別のスライドガラス上にアマンの溶液を滴落し、その上におく。すなわち、1 つの培地片から、夫々 2 枚の標本が得られる。これを検鏡し同定する。

ネオペプトン・デキストロース寒天培地

デキストロース	10 gr
ネオペプトン	5 gr
寒 天	20 gr
蒸 留 水	1000 ml

これにローズベンガルを 0.035 gr 加えるとローズベンガル・ネオペプトン・デキストロース・寒天培地が得られる。

5.3 実験結果および考察

創成川の汚染状況

札幌市内を南北に貫流する小河川、創成川の汚染については、著者らの研究の外に、中村・遠藤³²⁾、玉置³³⁾らの報告があるが、いずれにも札幌市の中心部を通過した北 18 条~北 10 条付近での汚染が最もはげしいことがみられる。

これらの汚染と真菌類との関係について著者らの行なった研究結果の 1 例を示したものが第 12 表である。一般細菌類、大腸菌群数とも下流になるにしたがって増加の一途をたどり、多くの場合採水点 5 の北 18 条付近で、一般細菌数、大腸菌群数は最大となる。採水点 6 の北 24 条ではやや減少しているが、その程度は極めて小さい。これは、一般の家庭下水、市場廃水、一部工場廃水等の流入が採水点 5 の北 18 条付近で最も多い事実と一致している。

真菌類に注目すると、総真菌数はいずれの場合も採水点 1 の創成川の豊平川からの取水口

第12表 創成川各採水点における真菌類、一般細菌
および大腸菌群数 (1 ml 中)

採水日	項目	採水点					
		1	2	3	4	5	6
37.12.18	真菌類総コロニー数	100	216	2,040	8,400	12,400	8,000
	mold コロニー数	60	56	440	2,600	2,000	3,200
	大腸菌群数	160	92	1,600	54,000	10,000	17,000
38. 4.22	直菌類総コロニー数	20	38	180	1,400	3,600	2,800
	mold コロニー数	16	28	80	800	2,800	1,800
	一般細菌数	110	210	890	3,200	67,000	37,000
	大腸菌群数	49	110	220	1,700	33,000	3,300
38. 5.10	真菌類総コロニー数	25	34	88	860	520	680
	mold コロニー数	20	24	40	460	160	280
	一般細菌数	120	250	1,400	32,000	18,500	20,500
	大腸菌群数	13	11	330	7,000	11,000	3,300
38. 5.23	真菌類総コロニー数	50	58	560	1,320	2,600	860
	mold コロニー数	42	38	480	420	1,800	460
	一般細菌数	44	970	1,140	69,000	99,000	77,500
	大腸菌群数	33	220	220	24,000	24,000	4,900
38.12. 6	真菌類総コロニー数	50	520	660	10,600	7,000	12,800
	mold コロニー数	20	200	200	1,800	1,400	1,200
	一般細菌数	410	540	540	65,000	130,000	28,000
	大腸菌群数	240	92	920	17,000	24,000	780

付近が最も少ないが、流下するにしたがい大腸菌群数、一般細菌数とほぼ平行して次第に増加している。この事は、汚染がはげしくなるにつれて、真菌数もまた増加している事を示している。これ等の真菌類の内 yeast 以外のものを同定した結果を第13表に示す。すなわち、分離された真菌類の内藻菌類 *Mucor fragilis* 以外のほとんど全ては、不完全菌類と Yeast であった。各採水点の出現種を検討してみると全ての採水点に出現したという種はなく、また、汚染に対してとくに優占すると断定すべき種も見出す事は出来なかった。比較的頻度が高く出現したものとしては、*Penicillium veltutinum* で、属としての *Penicillium* はどの採水点にも出現した。また、*Sphaerosidales* が6点中4点にみられ集落も多かった事が特徴的と思われぬでもない。これまでの研究で第13表以外に出現したものを挙げると、*Aspergillus versicolor*, *Aspergillus* sp., *Phialophora fastigata*, *Sporotrium* sp., *Candida* sp., *Oospora* sp., *Cladosporium* sp., *Chrysosporium* sp., 等である。

第13表 創成川各採水点の各種別真菌類集落数
(第1回調査試料 1962, 12, 18)

(1 ml 中)

種 名	採 水 点					
	1	2	3	4	5	6
<i>Alternaria</i> sp.					200	
<i>Cephalosporium</i> sp.				200		400
<i>Fusarium</i> sp.		2	40	200		
<i>Marganiomyces</i> sp.	2					
<i>Penicillium roqueforti</i>	6				400	
<i>Penicillium velutinum</i>	2	8	20		400	
<i>Penicillium commune</i>		4		200		
<i>Penicillium cyclopium</i> var. <i>echinulatum</i>			20			400
<i>Penicillium</i> sp.	2					
<i>Phialophora</i> sp.	14		120			
<i>Sporotrichum roseum</i>			80			
<i>Sporotrichum</i> sp.			60			
<i>Tubercularia</i> sp.	2					
SPHAEROSIDALIS		42		1,800	200	2,200
<i>Mucor fragilis</i>				200		
Unknown species (no spore)	32		100		800	200
計	60	56	440	2,600	2,000	3,200
yeast	40	160	1,600	5,800	10,400	4,800
総 計	100	216	2,040	8,400	12,400	8,000

真菌類, 一般細菌, 大腸菌群の関係について

実験により得られた真菌類数と大腸菌群数, 真菌類数と一般細菌数, 一般細菌数と大腸菌群数とをとりて両対数グラフにプロットしたものが第7, 8, 9図である。いずれの場合も, ほぼ平行して増加し, 正の相関を示している。これらの数の対数値の相関係数は夫々次の値が得られた。

$r_{F.G.} = 0.956$; 真菌類と一般細菌

$r_{F.C.} = 0.803$; 真菌類と大腸菌群

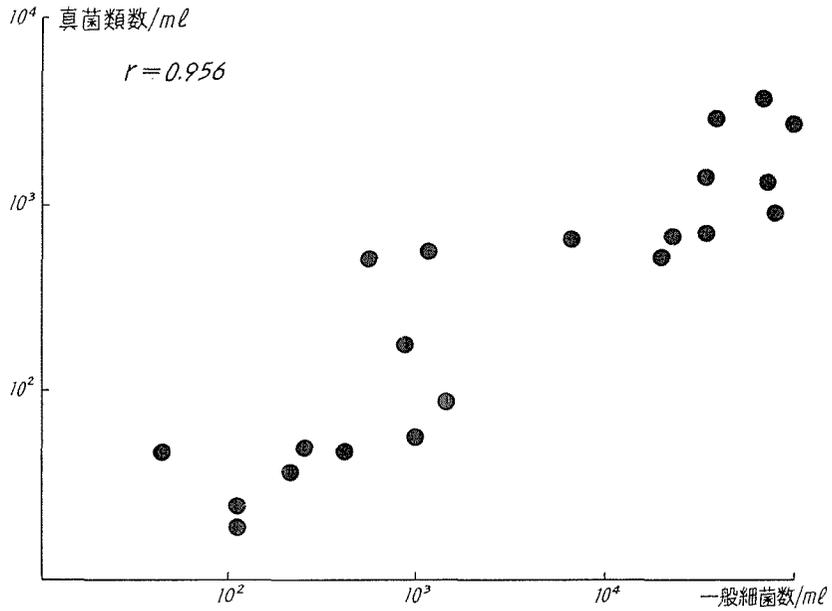
$r_{G.C.} = 0.745$; 一般細菌と大腸菌群

いずれも高度の正の相関を示している。この事は, 水の汚染指標としての一般細菌や大腸菌が多くなる環境の水中では, 同様に真菌類も多数存在する事を意味している。

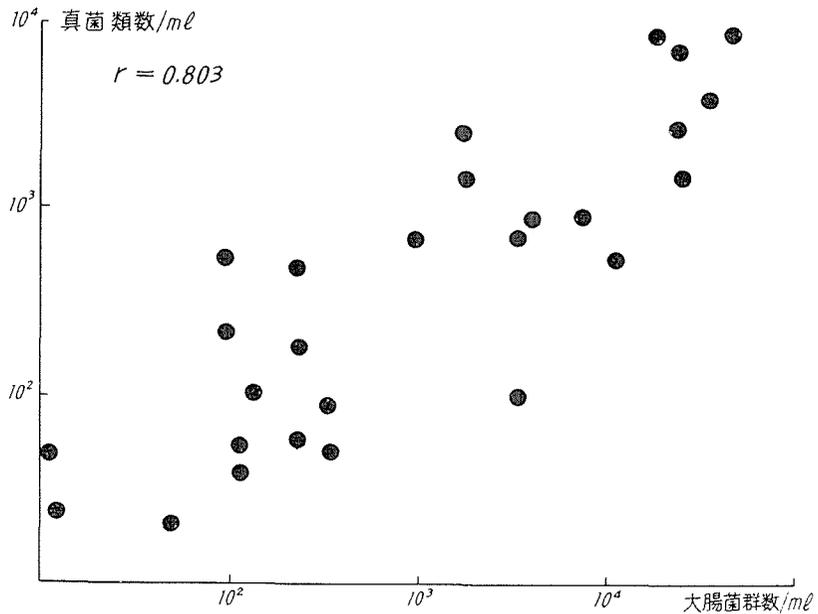
すでに述べたように創成川の汚染は高濃度の特殊な物質が多量に流入するような工場廃水による汚染ではなく, 主として家庭下水, 市場廃水, その他不法に投棄された塵芥などによって, 徐々に進行する有機汚染である。このような家庭下水による汚染水域では一般細菌数は,

その水中の有機物濃度をも代表し得るであろう。したがって、 $r_{F.G.}$ が 0.956 という値をとることは、真菌類数と一般細菌数との相関関係だけではなく、真菌類数と水中有機物濃度との相関関係をも表現しているものと考えられる。

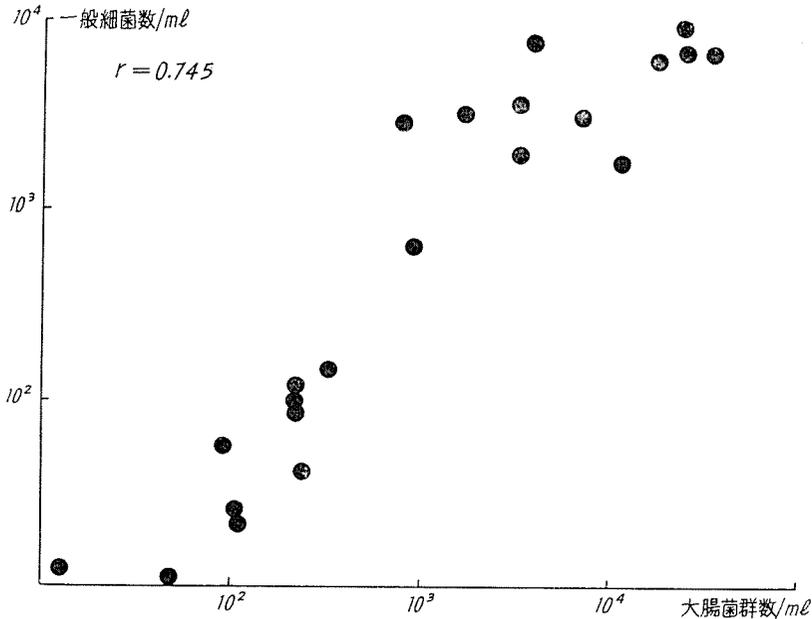
一般細菌数が徐々に進行する有機汚染の程度と密接な関係があるのに対して、大腸菌群数



第7図 真菌類数と一般細菌数の相関関係



第8図 真菌類数と大腸菌群数の相関関係



第9図 一般細菌数と大腸菌群数の相関関係

はその値の大きさにしたがって、大腸菌群を含むその水がどの程度の糞便汚染をうけた可能性があるかを示すものである。水域の糞便による汚染も有機物による水の汚染の1種ではあるがこの場合は有機汚染としてではなく、衛生学上で重要である。したがって、創成川における場合も、一般細菌数と大腸菌群数との相関係数は、 $r_{G.C.} = 0.745$ の値をとり、 $r_{F.G.}$ よりも小さな値を示すものと思われる。

以上の考察を通じて、創成川のように主として家庭下水による有機汚染をうける河川に出現する真菌類は、不完全菌類がほとんどを占めていることが観察され、汚染水中の真菌類数は一般細菌数と極めて高い正の相関関係にあることが明らかになった。

6. 線虫類

6.1 水中に出現する線虫類

線虫類は、その名の示す如く虫体は細い糸状、またはまるい棒状である。哺乳動物に寄生する蛔虫、鉤虫等も線虫であるが、一般に虫体は微細であり顕微鏡的生物である。動物寄生性のもの以外に植物に寄生する一群の線虫もあり、時折農作物に大被害をもたらすことがある。この他に、土壌や水中にも多数みられる。土壌線虫も、その生活には高い湿度を必要とし、土壌、水中間の移動は普通に行なわれているものと思われる。

浄水場、下水処理場での自由遊泳性の線虫の出現に就ては多くの報告がある^{35), 36), 38), 39), 40)}。清水性の線虫類が緩速濾過池の表面から数インチの箇所にも多数存在する事は、1918年に Cobb³⁴⁾によって報告された。Cobb はこれらの線虫類の排泄物が上水に不快な味や臭が生ずる可能性

があるといっている。また Chang³⁷⁾らは、線虫類が、*Pseudomonas* や *Aerobactor* や *Proteus* 等の細菌を培養した培地の上で非常に多く増殖する事ができ、さらに線虫類は、*Salmonella* や *Shigella* 属の病原菌、あるいは腸内ウイルスを捕食し、しかも捕食されたこれらの病原体の6~16%が、24時間この線虫の体内で生存していることを見た。さらになお実験的に線虫類が塩素消毒に非常な抵抗力を示すことを確めた。

これらの線虫のある種のもは、原生動物、輪虫、他の線虫等を捕食して生活している。また、他の種のもは、水中の細菌、藻類、水中に存在する生物体の残骸等により生きている。

多くの報告でも述べられているが、これらの自由遊泳性の線虫類は、下水処理施設や汚染をうけた水中に、実に多数見出す事ができる。著者らは、有機汚染をうけた水域の指標生物として、これらの自由遊泳性の線虫類を検討してきた。

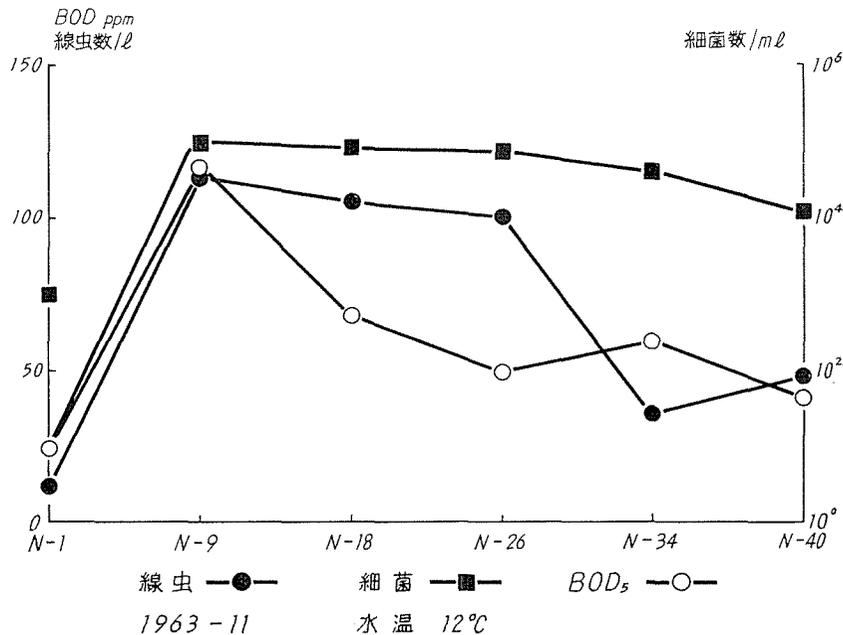
6.2 試験方法

線虫類の試験方法としては、Shin. L. Chang の提唱する次のような方法を採用した⁴⁵⁾。

1ℓの試水をミリポアフィルター (ss. type, 約3μ) で濾過し、フィルター上の残渣を、その量に応じて2~4mlの蒸留水で時計皿上に洗い落とす。これをカウンターセル (1ml) に入れ検鏡し、その結果を1ℓ中の線虫数に換算する。

6.3 結果および考察

第10図は、札幌市内の小河川である創成川における自由遊泳性線虫類と一般細菌数およびBOD₅との関係の一例を示したものである。いずれも創成川においては、上流から下流に至



第10図 創成川における線虫、細菌、BOD₅の推移

るまで、線虫数、一般細菌数、BOD₅は、ほぼ平行して増減している結果が得られた。

これらの実験を通じて見出し得た線虫は、いずれも *Rhabditis* 属と、*Diplogaster* 属の種であったが、一般的には後者の方が多く出現する。

河川水中に存在する線虫類の起源については明らかにされていないが、最近の Chaudhri³⁹⁾らの報告によると、河川に流入する一般の地表排水や、開渠からの流入水、下水処理施設からの放流水等が、河川水中の線虫類の大きな供給源であると述べている。また、田園地帯よりも都会の地表排水の方がより多くの線虫を河川水に供給しており、下水処理場放流口の直下で急激に河川水中の線虫類は増加し、流下するにしたがい漸次減少すると述べている。

Chang, Kabler³⁸⁾が散水濾床について行なった研究によると、2つの濾床からの流出水中の線虫数は1ガロン当り2500匹と2000匹であった。その内、最も多かったものは *Diplogaster* 属と *Rhabditis* 属の種であった。また、線虫一匹当りの細菌数は105と92、同じく大腸菌群数は9.3と4.5であったと述べている。同じく著者ら^{41),42),43)}が、散水濾床にガラススライドを放置してスライド上の生物相の変化を追跡した実験によると、スライドをセットした後2週間目までは入念な探究にもかかわらず、スライド上に線虫類は発見できなかったが、3週間目に至り始めて出現し、以後10週間目まで急激に増加し、その後は増殖と減衰をくり返しながら18週目に最高値を示した。この事から著者らは次の様な考察をした。すなわち、線虫類が細菌を餌として増殖している以上、細菌がある程度増加しなければ線虫類は出現し得ず、その増殖は細菌の増減に左右されるのは当然であり、若干の変動はあるが、線虫類の増加曲線は、細菌のそれに2~3週間遅れてこれに平行していると考えられる。第14表、この場合も出現した線虫はいずれも *Diplogaster* 属と *Rhabditis* 属の種であった。この他、著者らの行なった実験を通じて、汚水中に出現する線虫は、いずれも *Diplogaster* 属と *Rhabditis* 属のいずれかの種であった。

第14表 散水濾床に設置したスライド生物膜上の線虫類数
および一般細菌、大腸菌群数 [N/cm²]

日 時 1965, 8, 5 より	一 般 細菌数 ×10 ⁴	大腸菌 群 数 ×10 ³	線虫数	線虫一匹 当りの細 菌数 ×10 ⁴	日 時 1965, 8, 5 より	一 般 細菌数 ×10 ⁴	大腸菌 群 数 ×10 ³	線虫数	線虫一匹 当りの細 菌数 ×10 ⁴
第1週	12.0	1.63	—	—	第11週	571	1.37	7.99	71
第2週	17.2	2.05	—	—	第12週	1370	1.37	11.42	120
第3週	74.4	3.09	0.57	130	第13週	1140	2.80	5.71	200
第4週	91.5	1.37	1.14	80	第14週	1710	0.97	12.6	135
第5週	171	—	5.71	30	第15週	8180	1.26	22.8	360
第6週	—	—	—	—	第16週	686	2.29	26.3	26
第7週	—	1.37	—	—	第17週	15.4	5.26	18.3	0.8
第8週	288	5.26	11.4	25	第18週	14.8	1.37	39.3	0.4
第9週	429	1.26	16.0	27	第19週	8.0	2.63	27.8	0.3
第10週	544	2.05	22.9	24	第20週	5.0	0.47	11.4	0.4

第13表の右端の項は、スライド上に出現した線虫一匹当りの一般細菌数であるが、 0.3×10^4 から 3.6×10^6 とその変化は大きい。これは、細菌と線虫との増殖速度の相違であろう。Nielsen⁴⁴⁾によると淡水中の線虫が孵化した後、成熟して生殖可能となるまでに要する時間は、*Prismatolaimus dolichurus*、*Plectus cirratus* 等では約25日間、*Tripyla setifera* では30~40日間で、大体20~30日間に要する。したがって、水中の線虫は、細菌の増殖と密接な関係をもって変動してゆくであろうが、必ずしも、細菌の増減と平行して線虫数も変化するとは限らないであろう。第11表中、16週目以後の線虫一匹当りの細菌数の減少は、これ等両者の増殖速度の相違の結果の影響が大きいと思われる。

有機汚染をうけた水中での線虫類の生態については、まだ不明な点が多く、線虫類が汚染水中で影響をうける諸因子についての十分な検討が得られるまでは早急な判断はさけたが、線虫が汚染をうけた水中に多数出現し、その種が限られており、また、細菌との関係等も考えると、有機汚染の指標生物としての有用さが思惟され、今後の研究課題となろう。

7. 結 語

水質汚濁の指標生物について著者らの知見を中心に述べてきたが、まだ解決されていない問題の多いことを痛感する。

衛生学的観点から採用された指標生物についてみると、いずれも水の衛生学的安全度を100%保障ものではない。たとえばつぎのような例が報告されている。

1955~56年にかけてインドのデリー市でビールス性肝炎が続発し170万人の人口のうち7000~29000人が感染した。調査の結果原因はデリー市の水道であることが明らかにされたがその水道の水質は大腸菌群試験の上では全く安全なものであった。このような例は米国、カナダ等でも散見される。報告はないが我が国でも調査すればその例は見出されるのではあるまいか。

すなわち、現在の大腸菌群基準は(この場合は糞便性連鎖球菌でも同じことである)、ビールス、その他塩素に強い抵抗性を有するcystを形成するアメーバ赤痢病原体などの指標としては全面的に信頼し得ないのである。さりとて日常的に大腸菌群の他にこれらを試験することは技術的にきわめてむずかしいというのが現状である。

このようにこれが最良という指標が見出されていない現状では、各指標の長所と短所を十分理解して調査の性質に応じた選択、適用という道しかない。本稿でとりあげた指標にさらに新たなものを加えて衛生学的汚染指標の内容を豊富にし、それらを縦横に駆使して水の衛生学的安全度の証明をさらに完璧なものに近づけるのが今後の課題であろう。

同様に、水利用や水質保全の観点に立った水質汚濁の指標生物についてもまだ体系的理論が確立されていない。

汚染による水質の変化は、その水中に棲息する生物にとっては環境の変化を意味し、特に

徐々に進行する有機汚染をうけたような水域では、その汚染の質と程度にしたがって生物相が変化して行く。また、指標生物による水質判定によって水質変化が水中世界の環境として生物に与える影響の総和が得られる利点がある。ここに指標生物による水質判定の意義がある。

地域によって生物種の分布が異なる事、また、生物種によって環境変化に対する適応能力に差がある事などの理由で、水質変化は生物相の変化を一義的に規定するとは限らないとする批判もあるが、元来生物は夫々特有の分布範囲を持つものである。それよりもここで注目しなければならぬ事は、夫々の水域は夫々の特性を持つ事であろう。水質変化に影響を与える因子は、単に水塊自体にだけあるのではなく、その水塊を内包する地形の影響も大きい。例えば底質、水深、河川ならばその勾配などである。したがって指標生物を考えるにあたってはその水域内での指標も限定してもよいのではなからうか。極言すれば夫々の水が夫々の指標生物を有するであろう。

さらにもう一つの生物学的な水質判定の利点を挙げると、水質変化を過渡現象として理解することができる事であろう。すなわち、徐々に進行する有機汚染によって水質が変化する場合は生物の水質変化に対する反応は緩慢に行なわれる。したがって新しく変化した水質に適応した生物と変化する以前の水質に適応していた生物とが同時に観察されるであろう。この事は換言すれば対象となる水域の近い将来の水質をも推定することが可能であるといえる。

以上述べたようは生物学的指標は化学試験によっては得ることがむずかしい水質汚濁の側面について貴重な示唆を与えてくれる。しかしその内容は充分豊富なものとはいえず、また現在すでにとりあげられている個々の生物についてもその水中における生理的、生態的特性が充分解明され、データが豊富に蓄積されているとはいえない。

今後ともこの方面の研究が広く行なわれ、水質汚濁が人間生活や産業活動に及ぼす危険をすみやかにしかも完璧に予知し、さらに進んで水域の水質管理に広く用いられるようになることを期待して本報告をおわる。

最後に、文献の整理等に協力してくれた中村正久君に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) Kupchik, G. J. and Edwards, G. P.: Uric acid as a measure of water pollution J.W.P.C.F. 34 (1962), p. 376.
- 2) O'Shea, J. and Bunch, R. L.: Uric acid as a pollution indicator J.W.P.C.F. 37 (1965), p. 1444.
- 3) Murtaugh, J. J. and Bunch, R. L.: Sterols as a measure of fecal pollution J.W.P.C.F. 39 (1967), p. 404.
- 4) 長木大三・久保田好之: 詳解腸内細菌 (1960), p. 1, 北里研究所.
- 5) APHA, AWWA and WPCF: Standard methods for the examination of Water and Wastewater, 12 th Ed., (1960), p. 622, A.P.H.A. Inc.
- 6) MacConkey, A: Further observation on the differentiation of lactose fermenting bacteria with special reference of those of intestine origin J. Hyg., Camb. 9 (1909), p. 86.

- 7) 岡本 啓：大腸菌群試験に関する諸問題，水道協誌 (1943), 177, p. 48.
- 8) 岡本 啓・志村武雄・辻 達彦：糞便並びに下水より分離された所謂遠藤赤変菌の分類学的研究，厚生科学，2 (1941), p. 162.
- 9) Levine, M.: (Taylor, E. W.: The examination of waters and water supplies (1948), p. 426 より引用).
- 10) Papavassiliou, J.: *Aerobacter* (*Enterobacter*) *cloacae* in human and animal feces J. Bacteriol. (1963), p. 1176.
- 11) 桑原麟児・立花一豊・喜納政修・厚谷純吉・佐藤 章：糞便より得た大腸菌群 (Coliform group) の菌型分布に関する研究，衛生工学 (1965), 11, p. 37.
- 12) Committee on Public Health Activities: Coliform organisms as an index of water safety. Proc. of A. S. C. E. 87 (1961), SA 6, p. 54.
- 13) 厚生省編集：水質基準の検査法注解 (1959), 日本水道協会.
- 14) 厚生省編集：衛生検査指針 IV. 飲料水検査指針 (1950), p. 4, 協同医書出版社.
- 15) 桑原麟児：汚染指標としての水中大腸菌群の水質衛生学的考察，用水と廃水，4 (1962), p. 99.
- 16) Breed, R. S., Murray, E. G. D. and Smith, N. R.: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* 7 th. Ed. (1957), p. 511. The Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- 17) Ostrolenk, M., Kramer, N. and Cleverdon, R. C.: Comparative studies of Enterococci and *Escherichia coli* as indices of pollution J. Bacteriol., 53 (1947), p. 197.
- 18) 桑原麟児：衛生工学入門 (水質衛生) (1964), p. 29, 績文堂.
- 19) 18) と同書, p. 30.
- 20) 16) と同書, p. 523.
- 21) Litsky, W., Mallman, W. L., and Fifield, C. W.: A new medium for the detection of enterococci in water A. J. P. H. 43 (1953), p. 873.
- 22) 5) と同書, p. 618.
- 23) 桑原麟児・斎藤 優・芦立德厚：汚染指標としての糞便性連鎖球菌，水処理生物学会誌，2 (1967), 2.
- 24) Lattanzi, W. E. and Mood, E. W.: A comparison of Enterococci and *E. coli* as indices of water pollution. S. I. W. 23 (1951), p. 1154.
- 25) Allen, L. A., Pasley, S. M. and Pierce, M. A. F.: Some factors affecting the viability of faecal bacteria in water J. gen Microbiol. 7 (1952), p. 36.
- 26) Harvey, J. V.: Relationship of Aquatic Fungi to Water Pollution., S. I. W. 24 (1952), 9.
- 27) 鈴木静夫：有機質廃水の微生物学的研究 (相生川の汚濁と微生物群)，水道協誌 (1960), 74, p. 314.
- 28) Cooke, W. B.: Fungi in Polluted Water and Sewage, III Fungi in a small polluted stream, S. I. W. 26 (1954), p. 790.
- 29) 中村俊男・井上勝弘・千葉善昭・椿 啓介：河川に発生した“みずわた”に関する研究，第1報～第3報，水処理技術，2 (1961) 6, 3 (1962), 7, 8.
- 30) Tsubaki, K.: Studies on a slimeforming fungus in Polluted Water, Trans. Mycol. Soc. J. 3 (1962), p. 29.
- 31) 鈴木静夫：工場有機廃水による汚濁河川の菌類について，用水と廃水，3 (1961), p. 351.
- 32) 中村俊夫・遠藤良作：札幌市における下水道水ならびに河川水の汚染度について，道立衛生研究所報，9 (1958), p. 73.
- 33) 玉置俊夫・井上勝弘：札幌市の下水放流による市内河川の汚染についての調査，道立衛生研究所報，3 (1952), p. 41.
- 34) Cobb, N. A.: Nematodes of Slow Sand Filter Beds of American Cities, Contrib. Sci. Nematol. 7 (1918), p. 189.
- 35) Chang, S. L. et al: Occurrence of Nematode Worm in City Water Supply, J. A. W. W. A. 51 (1959), p. 671.
- 36) Chang, S. L., Woodward, R. L. and Kabler, P. W.; Survey of Free-Living Nematodes and Amebas in Municipal Supplies, J. A. W. W. A. 52 (1960), p. 613.
- 37) Chang, S. L.: Survival and Protection Against Chlorination of Human Enteric Pathogens in

- Free-Living Nematodes isolated from Water Supplies, *J. Trop. Med. Hyg.* 9 (1960), p. 136.
- 38) Chang, S. L. and Kabler, P. W.: Free-Living Nematodes in Aerobic Treatment Plant Effluent, *J.W.P.C.F.* 34 (1962), p. 1256.
- 39) Chaudhuri, R. Siddiqi et al: Source and Persistence of Nematodes in Surface Waters, *J. A. W. W. A.* 73 (1964), 1.
- 40) Calaway, W. J.: Nematodes in Waste Water Treatment, *J.W.P.C.F.* 35 (1963), p. 1006.
- 41) 桑原麟児・他: し尿消化処理施設の散水濾床の生物学的研究 (序報), *水処理技術*, 5 (1964), 3.
- 42) 桑原麟児・他: 同上 (第2報), *水処理技術*, 5 (1964), 12.
- 43) 桑原麟児・他: 同上 (第3報), *水処理技術*, 8 (1967), 3.
- 44) Goody, T.: *Soil and Fresh Water Nematodes*, Methern & Co, Ltd., London.
- 45) Chang, L. S.: Proposed Method for Examination of Water for Free-Living Nematodes, *J. A. W. W. A.* 52 (1960), 6.