

(14) 下水処理場における指標微生物の除去

REMOVALS OF INDICATOR MICROORGANISMS IN SEWAGE TREATMENT PLANTS

大村達夫*, 海田輝之*

Tatsuo Omura*, Teruyuki Umita*

相沢治郎*, 八木徹*, 大沼正郎*

Jiro Aizawa*, Tohru Yagi*, Masao Onuma*

ABSTRACT; Removals of coliform bacteria, enterococcus bacteria and coliphages in sewage treatment plants using activated sludge and trickling filter processes were investigated over a period of one year. Coliform and enterococcus bacteria were removed at almost equal efficiency, while coliphages were removed more efficiently by the activated sludge process.

Experimental results on the elution of coliphages from the activated sludge and the trickling filter slime concluded that more removal of coliphages in the activated sludge process was mainly due to the difference between their adsorptive affinity for the activated sludge and that for the trickling filter slime.

The treated sludge was disinfected by the chlorine prior to discharge into the receiving water. No coliform bacteria were detected in the chlorinated discharge when it had chlorine residuals in the range of 0-0.52mg/l, while enterococcus bacteria were detected when chlorine residuals dropped below 0.59mg/l. However, coliphages were generally detected throughout the range of chlorine residuals.

KEYWORDS; Coliform bacteria, Enterococcus bacteria, Coliphages, Sewage treatment plants, Removal efficiency.

1 はじめに

社会活動より排出された病原性微生物を含む排水は下水処理場に集められ、処理され受容水域へ放出されるのが通常である。しかし今日、社会の高度化・高密度化に伴い水資源としての処理水の再利用の可能性や、生活環境の向上のために受容水域のレクリエーションの場としての活用などが活発に議論されている。言い換えれば、これは下水処理場を経由した水が再び我々の生活に直接的に係わりを持つようになってきていることを示している。このような観点から、下水処理場からの処理水が衛生学的に健全に保持されているかどうかということが以前にもまして重要な意味を持つことになる。現在、処理水の衛生学的な判断基準は大腸菌群数によっているけれども、この大腸菌群数による基準の設定には疑問である^{1), 2), 3)}という研究結果が発表されているし、今まで見過ごされている病原性ウイルスの存在も多く研究者によって指摘されており^{4), 5)}、上記問題点を考慮した新しい指標微生物の開発と選定が大いに望まれている。

したがって、本研究においては、上記の観点より指標微生物と考えられる大腸菌群、腸球菌群及びコリファージについて、下水処理場内すなわち活性汚泥処理及び散水ろ床処理におけるこれらの微生物の挙動を調べることに、各処理方式における除去効率の比較及び除去機構について検討を行なった。ただし、本研究の一部は IAWPRC ブライトン会議においてすでに発表している。

* 岩手大学工学部土木工学科 Dept. of Civil Engineering, Iwate University

2 調査方法

2.1 調査対象処理場の概況

調査は Fig.1 に示されるように、活性汚泥処理を行なっている A 処理場及び散水ろ床処理を行なっている B 処理場でそれぞれ約 1 年間にわたって行なわれた。A 処理場は標準活性汚泥処理、B 処理場は高速散水ろ床処理となっている。Table 1 に A, B 処理場のそれぞれの概況が示されている。計画処理水量から見れば、A 処理場は小規模で B 処理場は中規模と考えられる。また集水方式は A 処理場は分流式であり、また B 処理場は一部分流式となっている。約 1 年間の調査によって得られた流入水と最終沈殿池越流水との間の BOD 除去率は A 処理場及び B 処理場でそれぞれ 92.2%, 85.9% であり、処理方式からみればほぼ良好な運転が行なわれていると考えられる。ただ一つ注意しておかなければならない点は、A 処理場において、余剰汚泥が最初沈殿池に返送され、最終的に最初沈殿池から汚泥が引き抜かれ処分されていることである。これは、最初沈殿池の越流水中の指標微生物濃度に大きな影響を与えるものと考えられ、この点については調査結果のところで説明する。

2.2 調査方法

調査は 1987 年 8 月から、1988 年 6 月まで約 1 年間にわたって、月 1~2 回の頻度で A 処理場及び B 処理場において行なわれた。採水時刻は午前 10 時 30 分とし、Fig.1 に示される採水点すなわち流入水、最初沈殿池越流水、最終沈殿池越流水及び塩素消毒後の放流水についてサンプルが採取された。採取されたサンプルは、ただちに実験室に持ち帰り、指標微生物濃度（大腸菌群数、腸球菌群数及びコリファージ数）が測定された。また、同時に溶存酸素濃度（現場で固定して実験室で滴定）、水温、pH 及び BOD₅ が測定され、放流水については残留塩素濃度も測定された。

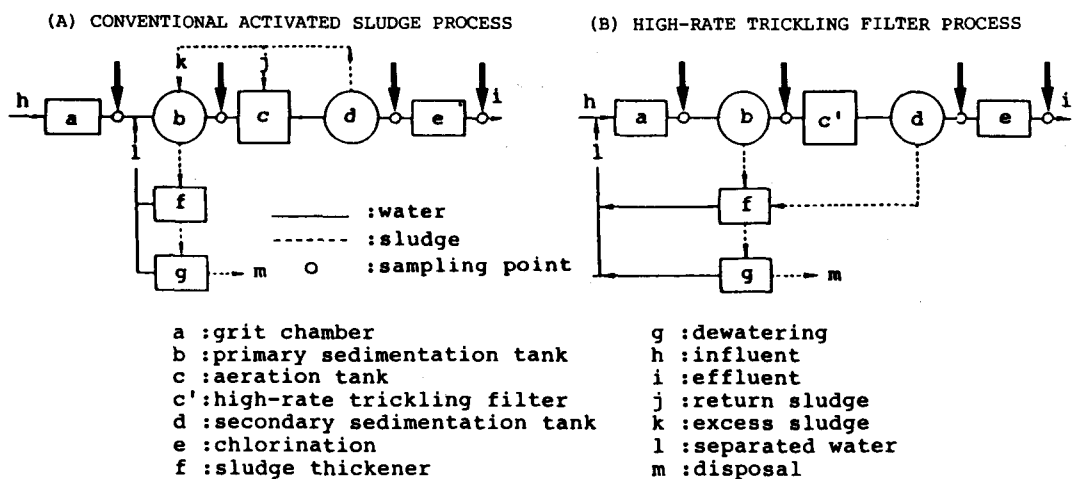


Fig.1 Schemes of sewage treatment plants

TABLE 1 A,B sewage treatment plant description

	A sewage treatment plant	B sewage treatment plant
Sewage collection system	Separate system sewerage	Partly separate system sewerage
Designed population for sewage	21,500	42,000
Designed sewage discharge	10,120m ³ /day	25,000m ³ /day

2.3 大腸菌群数及び腸球菌群数の測定法

大腸菌群数及び腸球菌群数の測定は、Standard method⁶⁾に準拠して行なわれ、大腸菌群数はデスオキシコレート培地（栄研）、腸球菌群数はE F培地（ニッスイ）を用いた平板法で行なわれた。また、測定に際しては、各希釈段階ごとに5個のプレートが用意された。そしてそれぞれのカウント数がt分布するものとして、有意水準 5%で信頼区間外のカウント数を除いたカウント数の平均値を細菌数とした。

2.4 コリファージの測定法

コリファージの測定は大腸菌群及び腸球菌群数の測定と同様に Standard method⁶⁾に準拠して行なわれたが、宿主株としては E.coli B（岩手大学農学部応微研より提供された）が用いられた。コリファージ数のサンプルは、測定前に 13,000rpm（15,500gal）で遠心分離され、その上澄液についてコリファージ数が測定された。また、コリファージ数は大腸菌群や腸球菌群の場合と同様に統計的に処理されている。なお、ファージの測定に用いられた E.coli B はコリファージの宿主としての範囲が広く、コリファージのうちT系ファージ、 λ 、 ϕ_2 などのファージの宿主として有効であるといわれている⁷⁾。Ketratanakul⁸⁾らは E.coli K12 の変異株を宿主に用いて活性汚泥中のF特異RNAファージの測定を行っており、ある種の宿主株にのみ特異的に作用するファージの方が現象をより正確に把握できる可能性があり今後の検討課題と考えられる。

2.5 活性汚泥及び散水ろ床生物膜からのコリファージの誘出法

コリファージは活性汚泥及び散水ろ床生物膜に吸着し、見かけ上、水中から消失している可能性がある。そこで、活性汚泥及び散水ろ床生物膜からのコリファージの誘出を行ない、どの程度のコリファージが吸着しているか調べた。誘出剤⁹⁾には pH 9~11.5 でリン酸トリブトース、グリシン緩衝液、肉エキス等が使用されてきている。本調査においては、誘出剤として肉エキスをを用いることとし、誘出実験に最適な pH 及び肉エキス濃度を決定するために、A 処理場より得られた活性汚泥を用いて誘出実験を行なった。誘出実験は、活性汚泥 30ml を 3,000rpm で 10 分間遠心分離し、上澄液を捨てた後に肉エキス溶液を加えて 30ml とし、よく攪拌した後しばらく静置し、さらに遠心分離を行ないその上澄液のコリファージ数を測定することにより行なった。この操作はコリファージが誘出されなくなるまで繰り返された。Table 2 は、肉エキス 3% 溶液を用い、pH を 5~13 まで変化させた時の結果であり、pH 10 がもっとも良くコリファージを誘出させることができた。pH 5 以下及び pH 13 以上ではほとんど誘出されず、pH が極端に高い場合及び酸性側ではコリファージの不活性化がおこっている可能性もある。Table 3 は pH を 10 とし、肉エキスの濃度を 1~5% に変化させて行なった実験結果であり、ほとんど差がないことが明らかになった。そこで本調査の誘出実験では肉エキス 1% 溶液を誘出剤として用い、pH は 10 とすることに決定した。

TABLE 2 Effect of the pH on the elution of coliphage from the activated sludge when beef extract concentration was 3%.

Number of elution	1	2	3	Total
pH=5	1	0	1	2
pH=7	4	1	2	7
pH=9	6	3	1	10
pH=10	17	4	2	23
pH=11	8	5	4	17
pH=13	0	0	0	0

TABLE 3 Effect of the beef extract concentration on the elution of coliphage from the activated sludge when the pH was 10%.

Number of elution	1	2	3	Total
1%	32	11	4	47
3%	32	8	6	46
5%	31	4	1	36

3 調査結果および考察

3.1 A 処理場及び B 処理場における指標微生物の挙動

Fig. 2, 3 に A 処理場及び B 処理場の流入水中の大腸菌群数、腸球菌群数及びコリファージ数をそれぞれ

れ示している。これより、大腸菌群及び腸球菌群数には季節的变化はあまり見られないが、コリファージ数は冬期間に減少が若干見られるようである。A処理場の年幾何平均で大腸菌群数が 1.0×10^5 cfu/ml, 腸球菌群数 5.3×10^4 cfu/ml, コリファージ 6.5×10^2 pfu/ml であり、一方B処理場では 2.1×10^5 cfu/ml, 6.7×10^4 cfu/ml, 1.2×10^2 pfu/ml となった。これより、A、B両処理場の流入水中の大腸菌群、腸球菌群及びコリファージ数の比較において、それぞれほぼ同濃度で存在していることが明らかにになった。

Fig. 4 及び 5 に、A処理場及びB処理場の約1年間を通じた最初沈殿池越流水、最終沈殿池越流水中の流入水に対する大腸菌群、腸球菌群およびコリファージの残存率がそれぞれ示されている。また、同時に放流水中のこれら指標微生物の濃度も示されている。これらの図から、最初沈殿池越流水に着目すると、A処理場では、しばしば残存率が 100% 以上となっている。すなわち、大腸菌群数、腸球菌群数及びコリファージ数とも流入水濃度より高い値となっている。これは、余剰汚泥が最初沈殿池へ返送されているため、汚泥に吸着された微生物が脱着により、水中へ回帰した可能性を示唆している。また、大垣ら¹⁰⁾は酸化池内の

藻類や他の粒子状物質へのコリファージの吸着を溶存酸素濃度を变化させて調べた結果、溶存酸素濃度が低下するにしたがって、コリファージの脱着が起こることを明らかにしている。本調査においても、Fig. 4 の中に示されているとおり、最初沈殿池越流水の溶存酸素濃度は年間を通じて、無酸素または低溶存酸素濃度を示し、この効果が微生物の水中への回帰を助長しているものと考えられる。また、最終的に廃棄されている汚泥の脱水に伴う分離液は最初沈殿池に戻されるが、脱水前に石灰処理されているため大腸菌群数、腸球菌群数及びコリファージ数とも無視できるほど小さな値であった。

B処理場においては、A処理場でみられたような余剰汚泥の最初沈殿池への返送がないので、コリファージの2ケースを除いて残存率は 100% 以下であり、大腸菌群、腸球菌群及びコリファージの年平均除去率は、それぞれ 62.2%、50.5%、34.9% であった。したがって、一次処理においては、大腸菌群及び腸球菌群は平均で 50% 以上の除去が可能であるがコリファージは両細菌群ほど除去が期待できない。

最終沈殿池越流水中の大腸菌群、腸球菌群及びコリファージのA、B各処理場における残存率をみると (Fig. 4 及び 5)、A処理場においては、大腸菌群、腸球菌群及びコリファージの年平均残存率はそれぞれ 8.4%、3.0%、3.4% であった。すなわち、活性汚泥処理の場合は最終沈殿池までで大腸菌群、腸球菌群

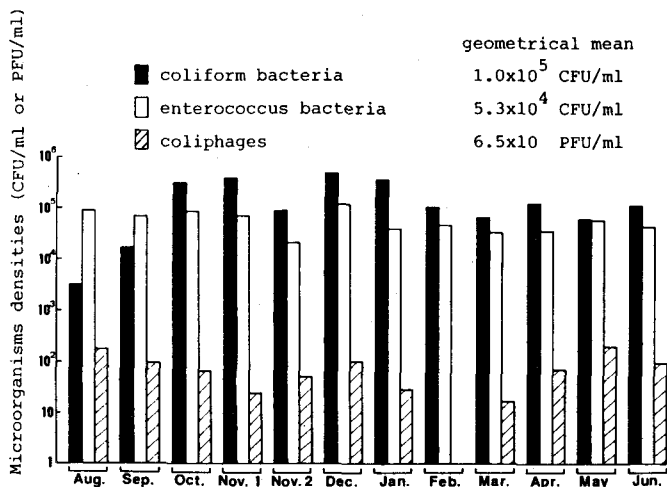


Fig.2 Microorganisms densities in the influent of activated sludge process

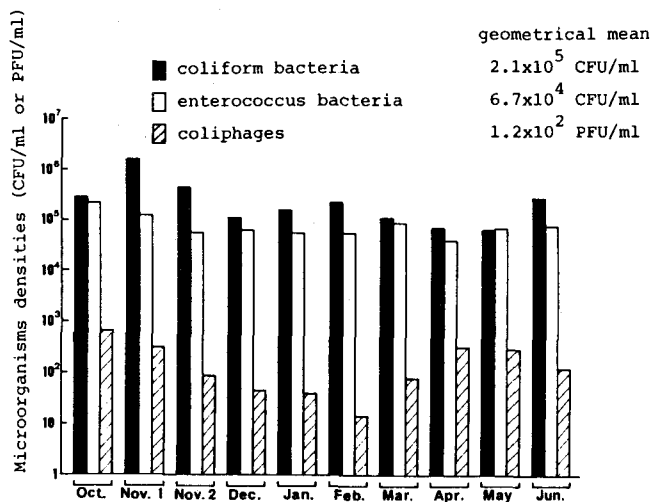


Fig.3 Microorganisms densities in the influent of trickling filter process

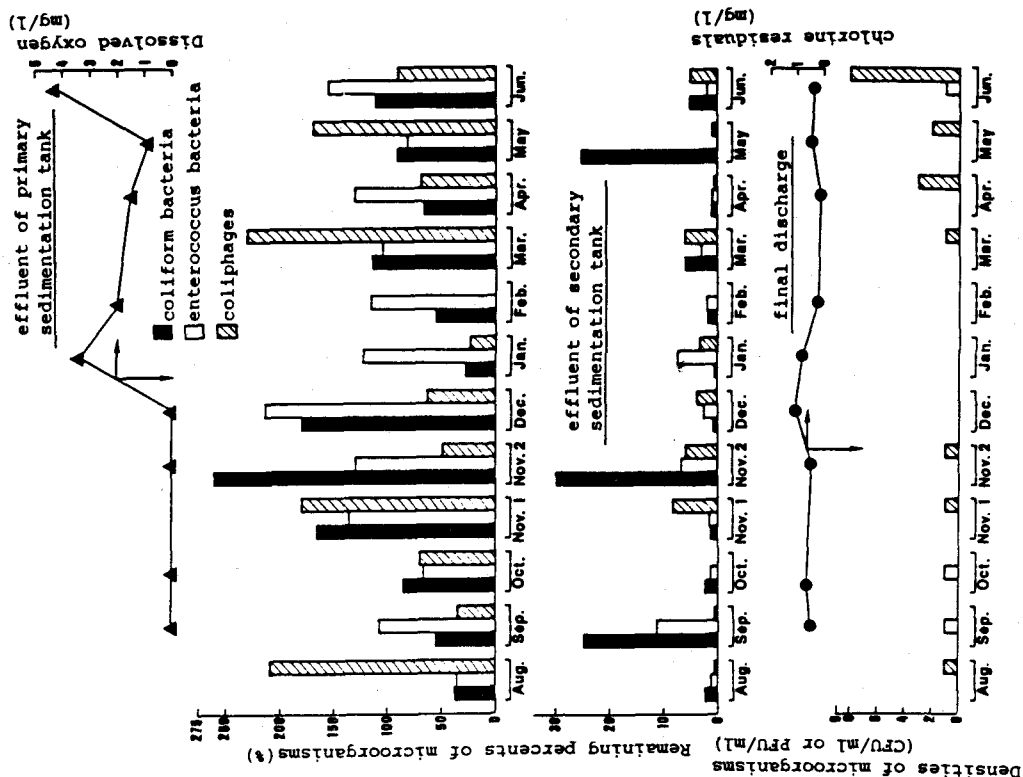


Fig.4 Behaviours of microorganisms in the activated sludge process

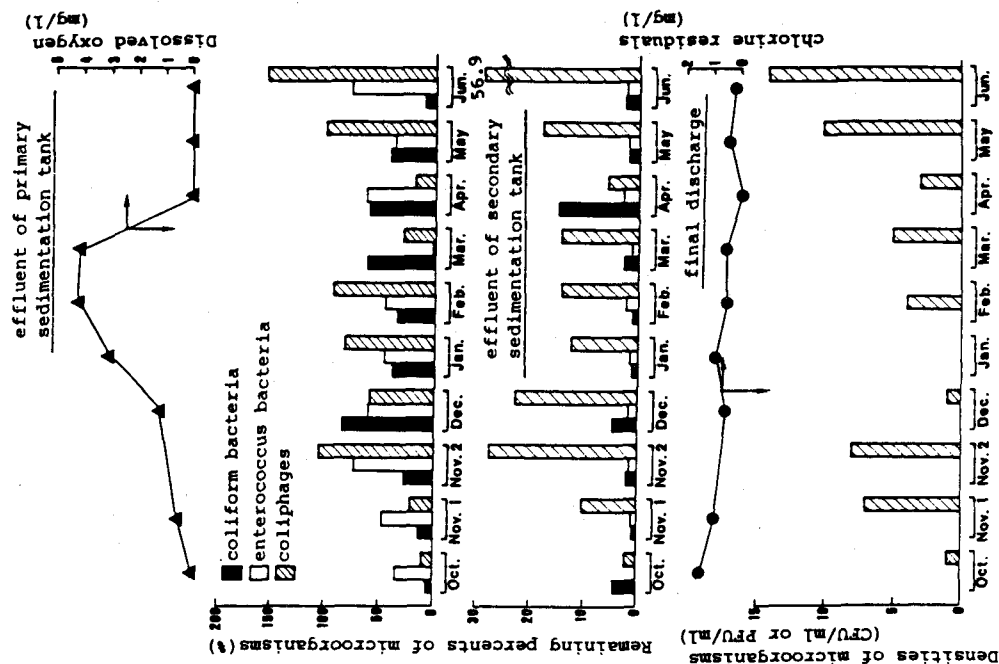


Fig.5 Behaviours of microorganisms in the trickling filter process

及びコリファージの年平均除去率はそれぞれ 91.6%, 97.0%, 96.6%であった。大腸菌群の除去率が最も低い値となったが除去率の算出において, Sep., Nov. 2 及び May の3 ケースが年平均除去率に影響を与えており, 大腸菌群の除去率が低くなった原因とも考えられる。しかし, 本調査結果は限られた約一年間のものであり, これらの値は特異的なものとして考察するには十分でないと考えられるので, これらの除去率も含めて平均除去率も求めた。次にB処理場における年平均残存率は大腸菌群, 腸球菌群及びコリファージでそれぞれ 3.6%, 1.7%, 18.5%であった。したがって年平均除去率は, それぞれ 96.4%, 98.3%, 81.5%となる。

以上の除去率をA処理場(活性汚泥処理)とB処理場(散水ろ床処理)と比べてみると, 大腸菌群及び腸球菌群については除去率に差はないが, コリファージに関してはA処理場に比べてB処理場の方が除去率は15%程度小さくなった。A処理場の場合, 最初沈殿池の越流水での大腸菌群数, 腸球菌群数及びコリファージ数が流入水よりしばしば高い値となった点, またB処理場においてはすでに最初沈殿池で大腸菌群及び腸球菌群が50%以上, コリファージが34.9%除去されていることを考慮すると活性汚泥処理の方が散水ろ床処理に比べて, これら指標微生物を処理水中から除去するより大きな能力を持っていることがわかる。また, 特にコリファージに関しては活性汚泥処理の方が散水ろ床処理よりすぐれた除去能力を持っており, この差はコリファージの活性汚泥への吸着能力と散水ろ床生物膜への吸着能力の差によるものと考えられる。Ketratanakul⁸⁾らは, 活性汚泥混合液中のコリファージの存在形態を調べ, ほとんどのコリファージが活性汚泥に吸着していることを明らかにしており, このようなコリファージの活性汚泥への親和性がコリファージの除去に大きく貢献しているものと考えられる。この点について, 著者らも本調査において活性汚泥及び散水ろ床生物膜からのコリファージの誘出実験を行っており後述する。

A処理場及びB処理場の放流水中の大腸菌群数, 腸球菌群数及びコリファージ数(Fig.4 及び5)を見ると, 年間を通じて大腸菌群数は検出限界以下であり, 腸球菌群は時々検出され, コリファージはほとんどのケースで検出された。また, 調査期間における残留塩素濃度はA処理場では0.23~1.11mg/l, B処理場では0~1.52mg/lであった。日本における下水処理水の消毒に関する排水基準は大腸菌群数で3,000個/m³であり¹¹⁾ A, B両処理場とも大腸菌群は検出されていないので基準は当然達成されている。

また, 腸球菌群は残留塩素が0.59mg/l以下において検出されており, 塩素に対して大腸菌群より抵抗性があり, 放流水の排水基準としてより優れた指標となる可能性があり, より詳細な塩素に対する抵抗性についての研究が望まれる。コリファージは, 明らかに上に述べた範囲の残留塩素に対して抵抗性を持っており, 塩素消毒のみによる完全なコリファージの不活性化は出来ないように思われる。すなわち, コリファージと形態学的に似かよっている動物の病原性ウイルスも, 塩素消毒過程を通過する可能性があり, 放流水の受容水域がレクリエーションなどの場や直接人間生活に係わるような水域の場合は今後十分注意する必要がある。

3.2 プラークサイズによるコリファージの分類

コリファージの測定の節でも述べたけれども, 本調査に使用された宿主株はE.coli Bであり宿主範囲が広いので, E.coli Bに感受性のある種々なコリファージが検出されている可能性がある。そこで, Fundenberg¹²⁾らが調べたと同様に, コリファージのプラーク数を計数する時すなわちサンプル培養20時間後に平板に生じたプラークの直径を1mm以下, 1mm~3mm および3mm以上に分類することにより, 大まかなコリファージのタイプの分類をすることが出来るかどうか検討を行なった。

Fundenberg¹²⁾によれば, 3mm以上のプラークをつくるコリファージが腸内ウイルスと相関があり, 良いウイルスの指標となりうると指摘している。本調査で得られたプラークの大きさによる分類結果がTable 4, 5 に示されている。ただし, これらは調査日とは別に行なった2~3回の調査結果を一緒に表にしたものである。これらの表より, A処理場においては, 流入水から放流水までで1mm~3mmのプラークが40~60%程度と多数を占めている。一方, B処理場においては, 必ずしも1mm~3mmのプラークが多数をしめているとはかぎらずほぼ均等に分布している。しかし, 最終沈殿池及び放流水についてはコリファージ数が少なく正確な傾向はつかめないし, 平板上に出現するプラーク数によって, プラークの大きさも影響を受ける可能性があり, プラークの大きさによってファージの分類ができるかどうか疑問である。

そこで, A処理場の最初沈殿池越流水より得られた大きさ1mm~3mmのプラークを白金耳にとり, 宿主

TABLE 4 Classification of coliphage by plaque size in activated sludge process

		Small size ~1mm	Middle size 1mm ~3mm	Large size 3mm~
Influent	Number of plaque(PFU/ml)	149	122	141
	Percentage(%)	36.2	29.6	34.2
Primary sedimentation tank	Number of plaque(PFU/ml)	151	129	88
	Percentage(%)	41.0	35.1	23.9
Secondary sedimentation tank	Number of plaque(PFU/ml)	18	15	15
	Percentage(%)	37.4	31.3	31.3
Final discharge	Number of plaque(PFU/ml)	4	9	5
	Percentage(%)	22.2	50.0	27.8

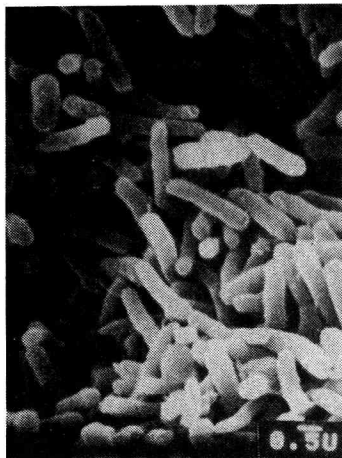
TABLE 5 Classification of coliphage by plaque size in trickling filter process

		Small size ~1mm	Middle size 1mm ~3mm	Large size 3mm~
Influent	Number of plaque(PFU/ml)	59	82	53
	Percentage(%)	30.4	42.3	27.3
Primary sedimentation tank	Number of plaque(PFU/ml)	40	87	41
	Percentage(%)	23.8	51.8	24.4
Secondary sedimentation tank	Number of plaque(PFU/ml)	2	5	1
	Percentage(%)	25.0	62.5	12.5
Final discharge	Number of plaque(PFU/ml)	0	6	7
	Percentage(%)	0	46.2	53.8

株 (E. coli B) を含む培養液に植種した後培養し、走査型電子顕微鏡により、培養液中のファージの検索を行なった。その結果の電顕写真を Fig. 6 に示している。Fig. 6-A はコリファージを植種していない E. coli B のみの電顕写真であり、Fig. 6-B 及び 6-C はそれぞれコリファージを植種したものである。Fig. 6-B には T 系ファージと思われるファージが E. coli B に吸着していることをよく示しており、Fig. 6-C には T 系ファージ以外のファージ、おそらく f2 ファージなどの T 系ファージより小さいファージが E. coli B に多数吸着していることがわかる。また、E. coli B のみの電顕写真には E. coli B のバーストによるデトリタスは見られないが、ファージを植種した電顕写真はかなり E. coli B のデトリタスが見られる。このように、同じ大きさ (1mm ~ 3mm) のプラークより得られたファージでも、異なったタイプのファージが検索されたことから、プラークの大きさによるコリファージの分類には充分注意を必要とする。しかし、コリファージをプラークの大きさによって分類することができるならば、それはたいへん簡便な方法であるので今後よりくわしく検討を行ないたい。

3.3 活性汚泥及びろ床生物膜からのコリファージの誘出

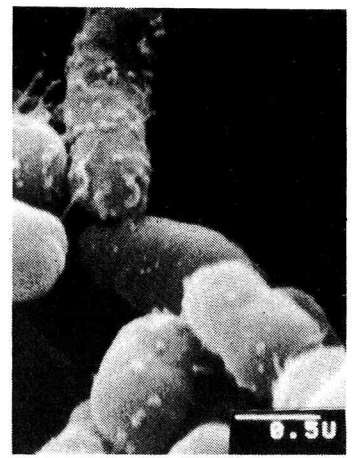
次に、コリファージの活性汚泥及び散水ろ床生物膜からの誘出実験結果が Table 6 に示されている。誘出実験は前述した方法で行なわれた。Table 6 より誘出実験が活性汚泥については 3 回行なわれ、散水ろ床については 1 回行なわれた。活性汚泥について見ると、活性汚泥 1ml 当たり平均で 125 PFU のコリファージが誘出された。活性汚泥混合液中で吸着されていないコリファージは、あらかじめ 3,000rpm で遠心分離された上澄液のコリファージ数を調べることににより、1ml 当たり数プラークと確認されており、活性汚泥混合液中においては無視できるほどの値である。(これは Ketratakala ら⁸⁾の実験に一致する。) また、最初沈殿池越流水中に含まれるコリファージ数は 1ml 当たり誘出されたコリファージ数にほぼ等しく、最終沈殿池越流水で約 10 PFU/ml を考慮すると、コリファージは活性汚泥処理において、汚泥への吸着のみによって除去されており、不活性化されて除去されているのではないことを示している。また、散水ろ床生



A: *E. coli* B



B: T group phage



C: Smaller phage different from T group phage

Fig.6 Scanning electron microphotographs

物膜乾燥重量 1mg当り33.4 PFU吸着しており、活性汚泥乾燥重量 1mg当り61 PFUに比べると 1/2程度小さな値となっている。この結果は、活性汚泥処理よりも散水ろ床処理においてコリファージの除去率が小さい結果と一致している。いずれにしてもコリファージは、活性汚泥またはろ床生物膜に吸着されて水中から除去されるのであって、不活性化によるものではないことが明らかになった。したがって、下水処理場からの汚泥の処分については、細菌学的な面からは言うに及ばず、ウイルス学的な面からも充分注意を必要とする。

TABLE 6 Summary of experiments on the elution of coliphages

	activated sludge			trickling filter
Coliphages density in the effluent of primary sedimentation tank (PFU/ml)	135	103	—	167
Number of coliphages eluted from activated sludge mixed liquor (PFU/ml)	137	114	109	—
Coliphages density in the effluent of secondary sedimentation tank (PFU/ml)	11	12	10	62
Number of coliphages eluted per mg-SS (PFU/mg)	68.5	57.0	57.5	33.4

4 要約

本調査結果を要約すれば次のようになる。

(1) 活性汚泥処理において、最終沈殿池越流水までの年平均除去率は大腸菌群、腸球菌群及びコリファージでそれぞれ 91.6%、97.0%及び 96.6%であった。一方、散水ろ床処理においては、それぞれ 96.4%、98.3%及び 81.5%となった。この結果より、コリファージの除去については、活性汚泥処理の方がより効果的であることがわかった。

(2) 両処理場からの放流水においては、残留塩素が 0mg/l～1.52mg/lの範囲において、コリファージはほとんどのケースで検出され、もっとも塩素に対して抵抗性をもっている。また、腸球菌群も残留塩素が 0.59mg/l以下において検出されており、大腸菌群より塩素に対して抵抗性があり、放流水の指標細菌としてより有効と思われる。このように、放流水中に大腸菌群が検出されなくても、腸球菌群やコリファージが検出されており、放流水受容水域の公衆衛生学的な見地からの水質保全には注意を払う必要がある。

(3) 検出されるコリファージのプラークの大きさにより、コリファージを分類する試みは電顕写真による検索の結果疑問であり、今後の検討課題である。

(4) 活性汚泥及びろ床生物膜からのコリファージ誘出実験により、活性汚泥混合液中においては、コリファージがほとんど汚泥に吸着して存在していることが明らかになった。また、コリファージは活性汚泥及びろ床生物膜乾燥重量 1mg 当りそれぞれ 62.8 PFU, 33.4 PFU 吸着していた。したがって、コリファージは散水ろ床生物膜に比べて活性汚泥への吸着の親和性がより大きいことがわかった。

おわりに、E. coli B の提供をいただいた岩手大学農学部応微研若尾先生に謝意を表します。また、本調査において、多大な御協力をいただいた、当時岩手大学学生 川村潤君、藤野敏彦君及び岩手大学学生 佐々木賢一君、柴田隆之君に心より感謝致します。なお、本研究の一部は文部省科研費（試験研究課題番号 62850101）の補助を受けて行なったものである。

<参考文献>

- 1) 金政泰弘ほか：全国アンケートによる大腸菌群測定法の評価，Vol. 9, No. 5, pp314～318, 1986
- 2) 川村清史ほか：HGMF 法糞便性大腸菌群試験方法についての検討，第40回土木学会年次学術講演会，pp799～800, 1985
- 3) 芦立德厚ほか：糞便性大腸菌群の迅速試験法（m-7-h FC法）の評価，第40回土木学会年次学術講演会，pp801～802, 1985
- 4) Study group IAWPRC: The health significance of viruses in water, Water Research, NO. 17, pp 121～132, 1983
- 5) 大村達夫ほか：水環境におけるウイルス汚染の実態とその社会的影響，第15回環境問題シンポジウム講演論文集，pp60～65, 1987
- 6) Standard method: For the examination of water and wastewater, 16th edition, APHA-AWWA-WPCF, 1985
- 7) 石本真，堀内忠郎編，微生物学 I，南光堂，p109
- 8) Ketratanakal A. et al.: Indigenous coliphages and RNA-F-specific coliphages associated to suspended solids in activated sludge process, Discussion paper series. No. 32, Dept. of Urban Engg., Univ. of Tokyo, 1987
- 9) Irving L.G.: Viruses in wastewater effluent, Proc. of Inter. Symposium held at the University Survey, 1982
- 10) Ohgaki S. et al. Effluent of sunlight on coliphages in an oxidation pond, Wat. Scie. Tech, Vol. 18, No. 10, pp37～46, 1986.
- 11) 日本下水道協会(1984)，下水道施設設計と解説—1984年版，第4編第7節
- 12) S.W. Funderburg et al (1985) "Coliphages as indicators of enteric virus in activated sludge", Water Research, Vol. 19, No. 5, pp547～555