

〔醸酵工学 第58巻 第3号 131-138. 1980〕

生物ろ床の浄化特性と優勢バクテリアフローラの変遷*

吉原 一年**・箴島 克裕・藤尾 雄策・上田 誠之助

九州大学農学部食糧化学工学科

Purification properties and change of dominant bacteria flora in the biological filter.*
YOSHIMOTO, K.,** K. OSAJIMA, Y. FUJIO, and S. UEDA (*Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Higashiku, Fukuoka 812*) *Hakkokogaku* 58: 131-138. 1980.

Three biological filters different only in the depth—1, 2 and 3 m—were seeded with *Flavobacterium* sp. S78 which grows well around the polypropylene filter media (average diameter of 25 mm) used in this study. To develop and maintain the biological film, fresh synthetic wastewater consisting of glucose, Polypepton, and KH_2PO_4 had been recirculated every day on a batch basis keeping several controllable factors constant as follows; ambient air temperature of 25°C, wastewater temperature of 20°C, applied organic loading of 1.4 kg COD/m³/day, recirculation flow rate of 180 m³/m²/day and forced ventilation flow rate of 180 m³/m²/day from the top of the filter.

During the course of operation, the changes of the dominant bacteria flora in the biological film were investigated in connection with the purification properties of biological filters.

It took about two weeks for the purification capacities of each biological filter to reach nearly constant levels after the fluctuation of the early working-in period, which was attributable to the following fact; the biological film developed early by the forced inoculation of *Flavobacterium* sp. S78 was dislodged from the media and new film was successively regenerated by different types of bacteria.

The relationship between two variables—filter depth and hydraulic loading—and purification efficiency was followed with the general form ($C_e/C_i = 10^{-kD^m/Q^n}$) of the removal equation developed by Howland and Schulze. The rate coefficient k , and the exponents m and n , which are considered to depend on the nature of wastewater and the other conditions, were 0.49, 1.34 and 0.69, respectively, under the conditions established in this study. It was found as well that COD removal capacity could be related linearly to the COD loading applied to the filter (COD removal capacity = 0.135 COD loading + 1.5), assuming the removal capacity by biosorption to be about 1.5 kg COD/m³/day. These results suggest that the three biological filters used in this study had closely similar properties from the viewpoint of purification.

Sixty one strains were isolated from various levels of each filter, with members of the genera *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes* and *Bacillus* as the predominant types. The apparent changes had been effected in the dominant bacteria flora established in the biological film of each filter throughout the operation. *Flavobacterium*, which was used as the inoculated source, was detectable only within the first two weeks and subsequently there were changes to other dominants: *Pseudomonas* and *Alcaligenes* via *Klebsiella* and *Arthrobacter* for a 1 m depth biological filter; unidentified genus, *Klebsiella*, *Alcaligenes*, and *Bacillus* for

* 充てん塔式ろ床法による有機性廃水の処理 (第4報)

Treatment of organic wastewater by tower-type packed biofilter (IV)

** 現在, 工業技術院四国工業技術試験所 〒761 高松市花の宮町2-3-3

Government Industrial Research Institute, Sikoku 2-3-3, Hananomiya-cho, Takamatu, Kagawa 761

both 2 and 3 m depth biological filters. The changes from *Flavobacterium* to the other bacteria corresponded closely with the dislodgment of biological film developed in the early period from the media. Members of the genus *Klebsiella* and *Alcaligenes* were more prevalent bacteria than the others for all filters.

自然の生態系では、優位性が存在し変遷しているのが一般であり、¹⁾ 生物学的 廃水処理系の場合もこの例に洩れない。ろ床生物膜を構成している生態系は、他の生物学的廃水処理法の場合と同様に、バクテリア、原生動物、輪虫、線虫、昆虫など、種々の生物種によって構成されており、これらの全てが、何らかの形で廃水の浄化に関与している。このうち、廃水中の溶解性有機物は、主として、従属栄養型バクテリア群によって直接に摂取除去されており、生物膜を構成する優勢バクテリアは、ろ床生態系において重要な位置を占めている。²⁾ しかしながら、これら優勢バクテリアについては、ほとんど知られていないのが現状であり、優勢バクテリアフローラの動態と浄化特性の関連について検討を加えることは、単に生態学的面からのみならず、設計面、維持管理面においても重要である。

前報³⁾ では、ろ床に接種する種菌の選別を行い、人工接種における接種効果、あるいは、ろ床の運動初期におけるバクテリアフローラの検索、ろ床の浄化能力の挙動などについて検討した。

本報では、ろ床の深さのみが異なる3種のろ床に、*Flavobacterium* sp. S78 株を種菌として接種し、一定の制御された運転条件下でこれら3種のろ床を約2か月間運転し、この間ろ床中に付着生育した生物膜を構成する優勢バクテリアフローラの変遷を、ろ床の浄化特性と関連づけて追跡検討した。

実験方法

実験装置と運転方法 ポリプロピレン製の球形ろ材(平均径 25 mm)を、充てん深さが 1 m, 2 m, 3 m になるよう、各々内径 100 mm の透明アクリル樹脂製の円筒に充てんした3種のろ床を使用した。装置の概略は、通気方式が上部よりの気液並流方式(180 m³/day)である点を除いては、既報⁴⁾ のものと同じであった。実験は、25℃で行い、廃水の温度は20℃とした。3種のろ床は、いずれも運転開始24時間のみ、合成廃水で培養した *Flavobacterium* sp. S78 株の菌体を、ろ床単位容積(1 l)当たり 100 mg (乾燥重量)接種した。

ろ床は、いずれも再循環流量 180 m³/m²/day のバッチ方式により、24時間を1サイクルとして約2か月間運転を続けた。また、ろ床の有機物負荷は、浄化効率、浄化特性を調べる時以外は、すべて 1.4 kg COD/m²/day と一定にした。なお、3種のろ床における有機物負荷の調節は、バッチ量をかえることにより行い、合成廃水の初発 COD は一定とした。

合成廃水 グルコース、ポリペプトン、リン酸第1カリウムを各々 1 g/l になるよう水道水に溶かし、1 N NaOH にて pH 7.0 に調整したものを合成廃水とし、必要に応じて適宜水道水で希釈して使用した。なお、合成廃水、あるいは処理水中の有機物量は、COD (JIS K 0102, K₂Cr₂O₇ 法⁵⁾) により分析した。

ろ床の浄化効率の追跡 3種のろ床の各々について、その浄化効率を約2か月間にわたって追跡した。各々のろ床について、各サイクルの運転終了後、初発 COD 200 mg/l の合成廃水を、水量負荷 45 m³/m²/day で6時間流下し、流出水の COD を測定してろ床の浄化効率を求めた。

ろ床の浄化特性 3種のろ床の浄化効率が一定となる約1か月後から、各々のろ床の浄化特性を調べた。各々のろ床について、水量負荷約 20~180 m³/m²/day にて初発 COD 200 mg/l の合成廃水を流下し、浄化効率に及ぼす水量負荷の影響を調べた。

生物膜を構成する優勢バクテリアの分離同定 予備実験において、分離計数用培地として良好であったグルコース・ブイオン寒天培地(肉エキス, 10 g; ポリペプトン, 10 g; 塩化ナトリウム, 5 g; グルコース, 10 g; 寒天, 15 g; 脱イオン水, 1,000 ml; pH 7.0~7.2)を用いて、生物膜より優勢バクテリアの分離同定を以下の方法で行った。

各サイクルの運転開始後、4~5時間の間に、1 m のろ床では 0.25 m と 0.75 m, 2 m のろ床では 0.30 m, 0.90 m と 1.75 m, 3 m のろ床では 0.25 m, 1.25 m, 1.75 m と 2.75 m の各深さに設けたサンプリング孔(内径 34 mm)より生物膜を 1~3 白金耳量採取し、殺菌水 5 ml に懸濁した。このものを氷冷しつつ約5分間激しく振とうし、生物膜をできるだけ破壊分散した後、平板希釈法により優勢バクテリアの分離を行っ

た。30℃で3～5日間培養後、平板上に出現したコロニーについて、主にその形態学的特徴により類似菌の検索を行い、グルコース・ブイオン寒天での出現率を求めた。同一プレートについて、全出現菌数の約30%以上を占めるものを優勢菌種とみなし、そのうちの代表的コロニーを釣菌し、グルコース・ブイオン寒天斜面培地に移植した。これらの分離菌は、平板希釈法あるいは平板塗抹法を繰り返して純粋分離菌株を得た。分離菌株は、グルコース・ブイオン寒天斜面培地に植菌後、5℃で保存した。

純粋分離菌株について、形態学的性状、生化学的試験などの結果より、⁶⁾ Bergey's Manual (8訂版)⁷⁾に従って、属レベルまでの同定を行った。

以上の分離同定の操作は、5～10日間隔で約2か月間繰り返して、優勢バクテリアの変遷を追跡した。

実験結果と考察

ろ床の浄化特性 深さ1m, 2m, 3mの各ろ床を用いて、運転開始後1か月から2か月の間に、水量

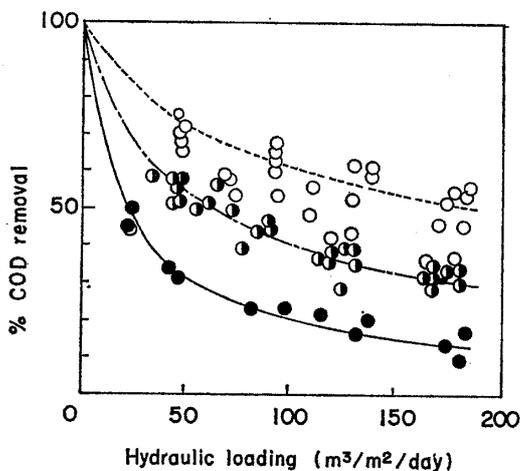


Fig. 1. Plot of percent COD removal vs. hydraulic loading for each biological filter.

The synthetic wastewater with a COD of 200 mg/l was applied to each biological filter at hydraulic loading ranging from 20 to 180 m³/m²/day. Data (●, 1 m; ●, 2 m; and ○, 3 m depth filter) had been obtained from about one to two months after the beginning of operation. Three curves show the theoretical relationship between hydraulic loading and % COD removal as the parameter of filter depth (—, 1 m; ---, 2 m; ----, 3 m depth filter) according to the experimental equation obtained from Fig. 2.

負荷とCOD浄化効率との関係を調べた。各ろ床で得られた結果をFig. 1に示した。散水ろ床の浄化効率に及ぼす種々のパラメータの影響については、これまでいくつかの関係式が報告されている。^{8,9)} Velzは¹⁰⁾、ろ床深さのみをパラメータとした設計式を報告しているが、SchulzeとHowland⁸⁾は、ろ床深さの他に水量負荷をも考慮した設計式(1)を報告した。

$$C_e/C_i = 10^{-kD^m/Q^n} \quad (1)$$

ここで、 C_e 、 C_i は各々、流出廃水と流入廃水のBODであり、 D はろ床深さ、 Q は水量負荷、 k 、 m 、 n は定数である。(1)式は、定性的には多くのデータによって支持されている。¹¹⁻¹⁵⁾ 本実験で得られたデータを(1)式によって解析し(Fig. 2)、(2)式を得た。

$$C_e/C_i = 10^{-0.49D^{1.34}/Q^{0.69}} \quad (2)$$

なお、(2)式における C_e と C_i は、各々流出廃水と流入廃水のCODを示している。

また、ろ床深さ(D)が1, 2, 3mの場合における水量負荷(Q)とCOD残存率(C_e/C_i)との関係を(2)式に従って求め、Fig. 1に示した。

家庭下水などでは、 $m=1$ 、 $n=2/3$ の値が多くの研究者によって支持されているが、 k の値をも含めたこれらの定数値は、廃水の種類、温度、運転方式などの相違によってかなり変動することが予想される。

Fig. 2の解析結果は、任意の再循環流量(180 m³/m²/day)で運転したろ床について、浄化効率に及ぼ

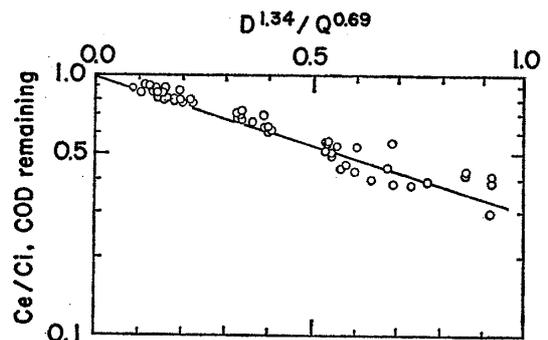


Fig. 2. Correlation of biological filter performance data.

Relationship between filter depth (D), hydraulic loading (Q) and COD remaining (C_e/C_i) was analyzed according to the general form of the removal equation developed by Howland and Schulze⁸⁾ ($C_e/C_i = 10^{-kD^m/Q^n}$). Under the conditions established in this study, the following experimental equation was obtained ; $C_e/C_i = 10^{-0.49D^{1.34}/Q^{0.69}}$.

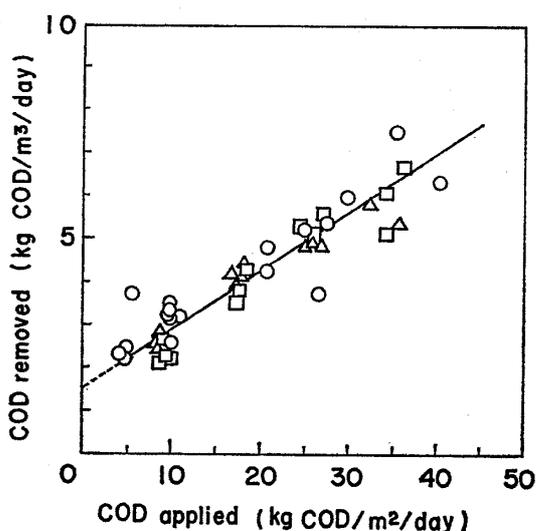


Fig. 3. Relationship between COD loading and COD removal capacity.

For three different biological filters (○, 1 m; △, 2 m; □, 3 m depth filter), it was apparent that COD removal capacity was related linearly to COD loading: COD removal capacity = 0.135 COD loading + 1.5. The extrapolated value (1.5 kg COD/m²/day) to the vertical axis is possibly indicative of the removal capacity by biosorption.

す水量負荷とろ床深さの影響を調べた結果であり、設計式としての意義より、運転開始後1か月から2か月の間におけるろ床生物膜の浄化特性を示す一つの指標として解釈するべきである。

Fig. 3は、COD平面負荷(COD loading)とCOD浄化能力(COD removal capacity)との関係を見たものである。これらの間には、ほぼ直線関係が成立し(COD removal capacity = 0.135 COD loading + 1.5)、COD浄化能力が、実験に使用したろ床の深さに依存せず、いずれのろ床においてもCOD平面負荷に依存していることが明らかである。直線の勾配0.135は、ろ床長を1m増したときの浄化効率の増加率(13.5%)を示し、直線を外挿したときの縦軸切片1.5 kg COD/m²/dayは、COD平面負荷がないときのろ床生物膜のみかけの浄化能力を示している。散水ろ床法や活性汚泥法などの生物学的処理法では、浄化の一部が生物学的吸着(biosorption)によってなされており、^{8,16-18)} 上述の切片値は、本実験で用いたろ床の生物学的吸着による浄化能力値を示していると解釈できる。

生物膜を構成する優勢バクテリアの分離同定 深

さ1m, 2m, 3mのろ床より、優勢バクテリアとして、計61株の純粋分離菌を得た。これら各々の代表菌株の形態学的特徴、生化学的試験の結果と、Bergey's Manual (8訂版)⁷⁾による属レベルまでの同定結果をTable 1に示した。優勢菌は、未同定菌(Table 1のX)を除くと、*Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Alcaligenes*, *Bacillus*の6属に分類できた。

*Arthrobacter*は、土壌、下水、活性汚泥から分離されている。¹⁹⁻²¹⁾ 本菌は、グラム陽性菌であるが、一般に、グラム陰性菌に比べると、グラム陽性菌が活性汚泥やろ床生物膜から分離されることは少ない。²²⁻²⁵⁾ 本実験で分離された*Klebsiella*は、Bergey's Manual (7訂版)²⁶⁾では、*Aerobacter*属の菌であった。*coli-aerogenes*群の細菌は、活性汚泥やろ床生物膜の優勢バクテリアとしては、あまり分離されていない。^{22,23,25,27)}

Flavobacterium, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*は、活性汚泥、ろ床生物膜、汚水、下水、河川、海水などから、かなり頻りに分離報告されている。^{20,22,24,27-30)}

未同定菌(Table 1のX)は、グラム陽性で好気性の非芽胞桿菌であることから、Bergey's Manual (8訂版)⁷⁾では、Part 17 Actinomycetes and related organismsに属すると考えられる。

活性汚泥や生物膜から、それらの構成バクテリアを分離する場合、それらの破壊方法、分離計数用の培地などの実験的技法については、現在までのところ決定的な方法はない。³¹⁻³⁴⁾ また、ろ床生物膜を構成するバクテリアとしては、好気性のものとともに、嫌気性のものも存在し、浄化に関与していると考えられている。^{35,36)} 本報では、グルコース・ブイヨン平板寒天に出現する好気性と通性嫌気性のバクテリア群のみを対象としたが、分離の手法をも含めた生物膜構成バクテリアについてのさらなる検討は、今後に残された重要な課題である。

生物膜を構成する優勢バクテリアフローラの変遷と浄化効率の変動 各ろ床における優勢バクテリアの垂直分布と時間的変遷の経過を、COD浄化効率の変動とともに、各々、Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6に示した。

いずれのろ床も、前報³⁾の場合と同じく、1週間以内に浄化効率の明瞭な低下が認められた。また、浄化効率が低下したとき、生物膜の脱落がかなり認められ

Table 1. Identification of dominant bacteria in biological film.

Characteristic	Dominant bacteria isolated from biofilm						
	pleomorphic	short rod	short rod	short rod	long rod	long rod	long rod
Form	variable	0.3×2	1.0×0.5—3.2	1.0×1.5	1.5×6.0	1.0×8—15	0.3×1.7
Size (μm)	variable	0.3×2	1.0×0.5—3.2	1.0×1.5	1.5×6.0	1.0×8—15	0.3×1.7
Gram stain	+	-	-	-	-	+	+
Oxygen ^a	aerobic	facult. ^f	aerobic	facult.	aerobic	aerobic	aerobic
Motility	-	-	polar	-	peri.	-	+
Spore	-	-	-	-	-	central	-
Appearance	pink	orange	straw	pale olive	straw	gray	olive
Catalase	++	+	++	+	+	++	+
Oxidase	-	+	-	weak	+	++	-
NO ₃ to NO ₂	weak	-	-	+	-	+	n.d.
NO ₂ to N ₂	-	-	-	-	-	-	n.d.
Gelatin ^b	-	weak	+	-	-	-	-
MR	+	n.d.	-	-	-	+	-
VP	-	n.d.	-	+	-	+	-
Citrate ^c	-	-	-	+	-	-	-
OF (glucose) ^d	acid	alkali	acid, oxi. ^h	acid, gas	alkali	acid, ferm. ⁱ	acid
H ₂ S	-	-	-	-	-	-	-
Starch ^e	-	weak	-	-	-	+	-
Indol	n.d. ^g	+	-	-	-	-	-
Identified genus	<i>Arthro-</i> <i>bacter</i>	<i>Flavobac-</i> <i>terium</i>	<i>Pseudo-</i> <i>monas</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Alcaligenes</i>	<i>Bacillus</i>	X

^a oxygen requirement^b gelatin liquefaction^c citrate utilization^d OF test by Hugh, R. & Leifson, E. (*J. Bact.*, 66, 24 (1953))^e starch utilization^f facultative anaerobic^g not determined^h oxidativeⁱ fermentative

The dominant bacteria which occupied more than 30% of total colony counts on a nutrient agar plate (glucose, 10 g; meat extract, 10 g; Polypepton, 10 g; NaCl, 5 g; agar, 15 g; deionized water 1,000 ml; pH 7.0—7.2) were isolated from biological film during the course of operation. All morphologically different colonies were taken and purified by repeating streaking or dilution techniques. Several representative strains of all isolates were tentatively identified on the basis of their characteristics tabulated above.

た。初期の生物膜は、主として接種に用いた *Flavobacterium* から構成されているが、²⁾ Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 から明らかなように、運転開始後約10日ほどすると、いずれのろ床においても *Flavobacterium* の占める場合は急速に減少した。特定の微生物種を人工的に強制接種した場合、外部より混入する微生物との競合に負ければ、接種菌はろ材上に定着できず脱落するものと考えられる。本実験で観察された脱落現象と浄化効率の低下現象も、このような背景によるものであろう。

いずれのろ床の場合でも、浄化効率の低下は、約5日ほどで回復し、運転開始後2~3週間経過すると、各ろ床の浄化効率には大きな変動は認められず、ほぼ安定となった(1mろ床、25~35%; 2mろ床、45~55%; 3mろ床; 60~70%)。しかしながら、このように浄化効率が安定している期間においても各ろ床の生物膜を構成する優勢バクテリアは、以下のように変遷した。

1mのろ床では、Fig. 4からも明らかなように、約2週間後に *Arthrobacter* と *Klebsiella* がろ床上

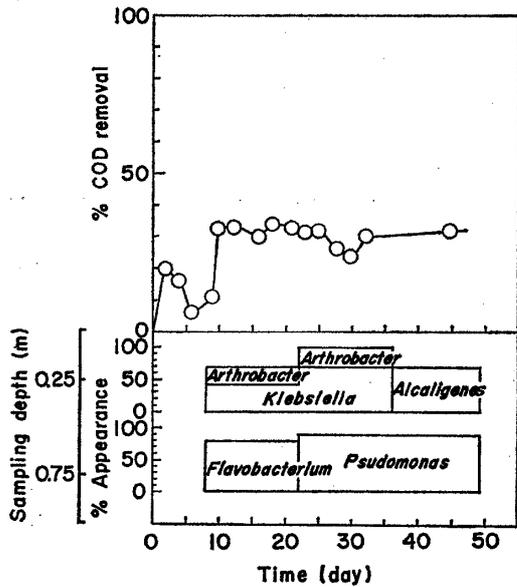


Fig. 4. Change of dominant bacteria flora and purification efficiency for 1m depth filter. The dominant bacteria were isolated from the biological film at sampling depths of 0.25 and 0.75 m. Synthetic wastewater (200 mg/l of initial COD) was applied to the filter at a flow rate of 45 m³/m²/day and the COD of the effluent was assayed to obtain the purification efficiency.

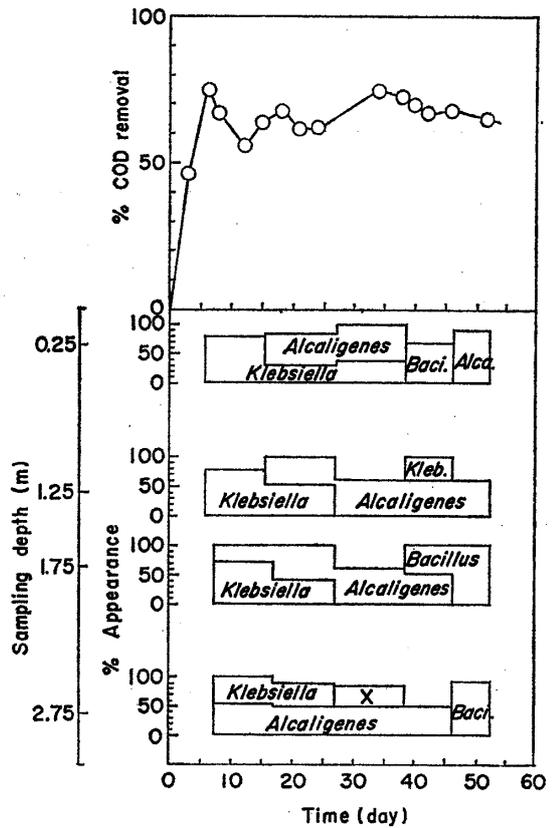


Fig. 6. Change of dominant bacteria flora and purification efficiency for 3m depth filter. The dominant bacteria were isolated from the biological film at sampling depths of 0.25, 1.25, 1.75 and 2.75 m. Purification efficiency was obtained by the same procedure as in Fig. 4.

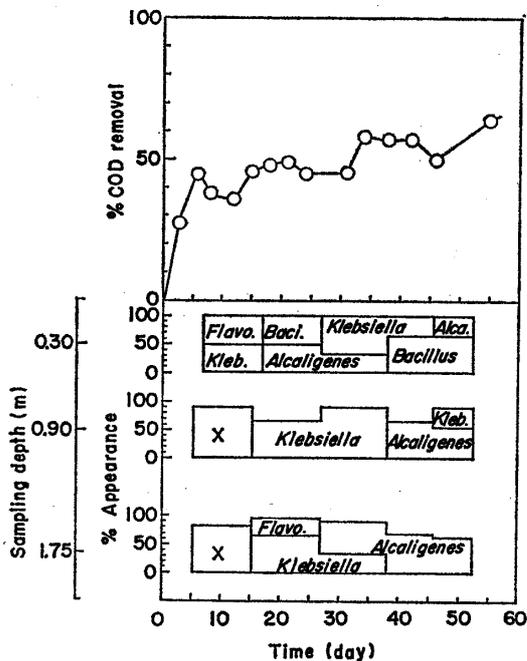


Fig. 5. Change of dominant bacteria flora and purification efficiency for 2m depth filter. The dominant bacteria were isolated from the biological film at sampling depths of 0.30, 0.90 and 1.75 m. Purification efficiency was obtained by the same procedure as in Fig. 4.

部に、*Flavobacterium* がろ床下部で優勢であったが、約20日後には、*Pseudomonas* がろ床下部に、また約35日後に *Alcaligenes* がろ床上部に出現し、各々優勢となった。約40日以後は、*Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Flavobacterium* は、ほとんど優位性を示さず、明らかに優勢バクテリアフローラの変遷が認められた。

2mのろ床では、Fig. 5からも明らかなように、*Bacillus* がろ床上部より分離されたが、*Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Alcaligenes* などでは、ろ床の垂直分布に一定の傾向は認められなかった。*Flavobacterium* は、1mのろ床の場合と同様、運転開始後約1か月間は優勢バクテリアとして出現したが、それ以後は出現しなかった。*Klebsiella* は、20~40日の間で優勢であったが、約40日以後からは *Alcaligenes* と *Bacillus* が優勢バクテリアであった。

3mのろ床では、Fig. 6からも明らかなように、

約25日目までは、ろ床の各々の深さから *Klebsiella* が優勢バクテリアとして出現したが、約25日以後は、同じく初期にろ床下部に出現していた *Alcaligenes* に交代した。 *Bacillus* は、約40日目から出現し、以後優勢バクテリアとなった。3mのろ床の場合には、 *Flavobacterium* は優勢バクテリアとして出現しなかった。

Arthrobacter と *Pseudomonas* は、1mのろ床のみから分離された。一方、 *Alcaligenes* と *Klebsiella* は、いずれのろ床からも優勢バクテリアとして分離された。 *Bacillus* は、2mと3mのろ床において比較的後半になって優勢となり、1mのろ床からは分離されなかった。未同定菌Xは、2mのろ床では初期の2週間、3mのろ床では約1か月目に出現したが、いずれの場合も、それ以後の優勢バクテリアにはならなかった。

生物膜を構成する優勢バクテリアフローラのろ床垂直方向の分布と、時間的変動の要因については、さらに詳細な検討が必要である。

要 約

1. ろ床深さの異なる3種のろ床浄化特性を調べた結果、COD残存率 (C_e/C_i) に及ぼす床深さ (D) と水量負荷 (Q) の影響は、Schulze と Howland の設計式の一般形によって解析でき、実験式として $C_e/C_i = 10^{-0.49D^{1.34}/Q^{0.69}}$ を得た。

2. 生物学的吸着による浄化能力を約1.5kgCOD/m²/day と仮定すれば、COD平面負荷とCOD浄化能力との間には直線関係が成立した。直線の勾配と切片値は、いずれも本実験で使用したろ床の浄化特性を示している。

3. 3種のろ床の浄化能力は、いずれも運転開始後約2週間は不安定であったが、以後は大きな変動は認められなかった。この初期の浄化能力の変動は、強制接種した特定菌種 (*Flavobacterium* sp. S78) からなる生物膜の脱落と、それ以降の系外由来の他菌種による新生物膜形成の結果生じたものと推察された。

4. 3種のろ床の種々の深さより、優勢バクテリアとして、 *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Alcaligenes*, *Bacillus* などを分離同定した。また、生物膜を構成する優勢バクテリアフローラは、約2か月間のろ床運転中、明確に変遷

することがわかった。

本研究の一部は、文部省特定研究「微生物による環境浄化」の科学研究費でなされた。

文 献

- 1) 植村：微生物の生態（微生物生態研究会編），第1巻，p. 1，東京大学出版会，東京（1975）。
- 2) Metcalf & Eddy, Inc. : *Wastewater Engineering ; Collection, Treatment, Disposal*, p. 378, McGraw-Hill, New York (1972).
- 3) 吉原，大久保，藤尾，上田： *醸酵工学*, 57, 475 (1979).
- 4) 吉原，宇都，三分一，藤尾，上田： *醸酵工学*, 55, 129 (1977).
- 5) JIS K 0102, p. 76 (1971).
- 6) Cowan, S. T., Steel, K. J. : *Manual for the Identification of Medical Bacteria*, Cambridge University Press, London (1965).
- 7) Buchanan, R. E., Gibbons, N. E. (ed.) : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th ed., Williams and Wilkins Co., Baltimore (1974).
- 8) Eckenfelder, W. W. Jr., O'Conner, D. J. (岩井訳) : *廃水の生物学的処理*, p. 215, コロナ社，東京（1962）。
- 9) 長谷川，松本： *水処理技術*, 7, 29 (1966).
- 10) Velz, C. J. : *Sewage Works J.*, 20, 607 (1948).
- 11) 左合： *水道協会雑誌*, 239, 30 (1954).
- 12) Schulze, K. L. : *J. WPCF*, 32, 245 (1960).
- 13) Keefer, C. E., Kratz, H. : *Sewage Works J.*, 12, 477 (1940).
- 14) Horton, R. K., Porges, R., Baity, H. G. : *Sewage Works J.*, 20, 818 (1942).
- 15) Bloodgood, D. E., Teletzke, G. H., Pohland, F. G. : *Sewage and Industrial Wastes*, 30, 1308 (1958).
- 16) Heukelekian, H. : *Sewage Works J.*, 17, 269 (1945).
- 17) Heukelekian, H. : *Sewage Works J.*, 20, 1032 (1948).
- 18) Sorrels, J. H., Zeller, P. J. A. : *J. WPCF*, 35, 419 (1963).

- 19) Laskin, A. I., Lechevalier, H. A. (ed.) : *Handbook of Microbiology*, Vol. 1, p. 257, CRC Press, Ohio (1973).
- 20) Adamse, A. D. : *Water Research*, 2, 665 (1968).
- 21) Adamse, A. D. : *Water Research*, 4, 797 (1970).
- 22) Ueda, S., Earle, R. L. : *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 18, 239 (1972).
- 23) Dias, F. F., Bhat, J. V. : *Appl. Microbiol.*, 12, 412 (1964).
- 24) Gils, Ir. H. W. (須藤監訳) : 活性汚泥の細菌学, 第2版, 産業用水調査会, 東京 (1974).
- 25) Dias, F. F., Bhat, J. V. : *Appl. Microbiol.*, 13, 257 (1965).
- 26) Breed, R. S., Murray, E. G. D., Smith, N. R. (ed.) : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 7th ed., Williams and Wilkins, Baltimore (1957).
- 27) McKinney, R. E., Howood, M. R. : *Sewage and Industrial Wastes*, 24, 117 (1952).
- 28) Kiuchi, K., Kuraishi, H., Muraoka, H., Aida, K., Uemura, T. : *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 14, 399 (1968).
- 29) Tezuka, Y. : *Appl. Microbiol.*, 17, 222 (1969).
- 30) Unz, R. F., Dondero, N. C. : *Water Research*, 4, 575 (1970).
- 31) Prakasam, T. B. S., Dondero, N. C. : *Appl. Microbiol.*, 15, 461 (1967).
- 32) Yin, S. C., Moyer, J. E. : *Appl. Microbiol.*, 19, 1790 (1968).
- 33) Gayfold, C. G., Richards, J. P. : *J. Appl. Bact.*, 33, 342 (1970).
- 34) Williams, A. R., Stafford, D. A., Calley, A. G., Huges, D. E. : *J. Appl. Bact.*, 33, 656 (1970).
- 35) Hotchkiss, M. : *J. Bact.*, 9, 455 (1924).
- 36) 桑原, 大島, 谷口, 高桑 : 水処理技術, 5, 45 (1964).

(昭55. 1. 31受付)