



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | し尿消化処理施設における高速散水ろ床生物膜の基礎的研究   |
| Author(s)        | 橘, 治国   |
| Citation         | 衛生工学, 17, 65-74   |
| Issue Date       | 1970-03   |
| Doc URL          | <a href="http://hdl.handle.net/2115/36203">http://hdl.handle.net/2115/36203</a> |
| Type             | bulletin (article)  |
| File Information | 17_65-74.pdf  |



[Instructions for use](#)

# し尿消化処理施設における 高速散水ろ床生物膜の基礎的研究

橋 治 国\*

## A Fundamental Study of Trickling Filter Films

Harukuni TACHIBANA

### ABSTRACT

By observation of the film biota of a High-rate Trickling filter in the K nightsoil disposal plant, Hokkaido, the author obtained information about the relation of the biota to each other, the changes they underwent, the time required for the perfection of the films, etc. In this paper, the results of these observation are reported.

In addition, by comparing the biota of glass-slides and of stones, the author confirmed the usefulness of glass-slides for film observation.

### 1. はじめに

し尿消化処理施設における散水ろ床のろ材に付着する生物膜の研究は、桑原ら<sup>1,2,3,4)</sup>によってなされているが、まだ充分とは言えない。桑原らは、ガラススライド装置<sup>3)</sup>を用い、これに付着する生物膜をろ材のものと同じであると仮定し、生物膜の観察を試み一応の成果を得た。著者はこのガラススライド装置を用い、これまで桑原らが研究を続けてきた同じ札幌市K屎尿処理場の高速散水ろ床で、生物膜に生育する細菌およびプランクトンの観察を中心に、生物膜形成過程、とくに生物膜完成時期や各種微生物の変遷について長期的な研究をおこなった。また、著者は桑原らがガラススライド装置の生物膜について実際のろ材の場合との比較をおこなっていないので、ろ材である碎石の生物膜についても同時に観察をおこない、スライド装置の有用性について検討した。

この研究は、昭和41年8月下旬より昭和42年2月上旬までの24週間にわたっておこなった。

### 2. 処理施設について

#### 2.1 処理施設の概況

札幌市K屎尿処理場は、札幌市内の家庭から排泄され

る屎尿の処理を中心とし、その処理能力は342 kl/日である(34万人分相当)。図-1は処理場配置図、図-2はフローシートである。処理場の主な施設は次の通りである。

- 屎尿消化槽(5槽)：直径19.8m, 側壁水深7.1m, 容量2,270m<sup>3</sup>。加温式(35°C~37°C)で平均30日間貯留する。
- 汚泥消化槽(1槽)：直径9.0m, 側壁水深5.2m, 容量330m<sup>3</sup>。
- 曝気槽(1槽)：容量115m<sup>3</sup>, 12時間曝気
- 第一次沈殿槽(1槽)：直径14.4m, 側壁水深3.5m, 容量570m<sup>3</sup>, 滞留時間12時間。

(ここで河水によって約20倍に稀釈されるほか、同量の返送水によって稀釈され、水量において脱離液の約40倍となったものがろ床にかけられる。)

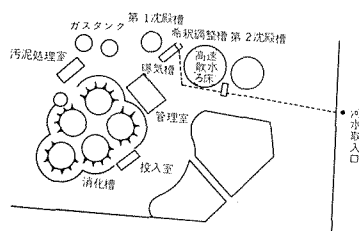


図1 K屎尿処理場配置図

\* 衛生学水質学講座大学院博士過程 学生

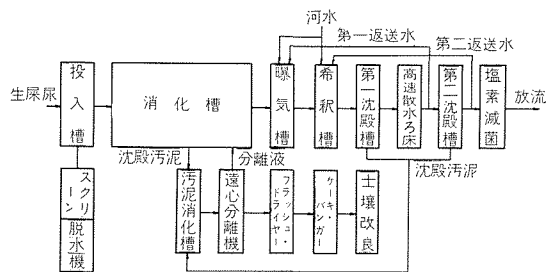


図2 フローシート

● 高速散水ろ床(1基)：直径24.0m、石積深さ1.5m、容量680m<sup>3</sup>。石英安山岩をろ材として使用した回転式散水法である。冬期間、ろ床の温度を保つため、パネルヒーティングの設備がある。

2.2 実験期間中の散水ろ床運転状況

K処理場散水ろ床は寒冷地にあるため、パネルヒーティング設備と上屋をもつが、冬期間はかなりの低温になり、処理効率の低下が予想される。さらに、ろ床に流入する消化脱離液は河水で希釈されているので、パネルヒーティングによる加温効果はかなり妨げられると思われる。

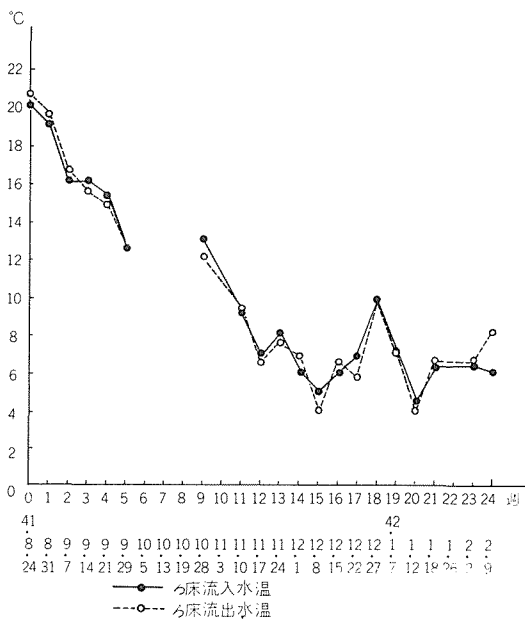


図3 ろ床流入水温、流出水温の変化

図-3に散水ろ床流入水と流出水の温度変化、表1に散水ろ床の処理成績をしめす。Hawks<sup>5)</sup>は散水ろ床の温度について、10°C～30°Cでは目立った効率上の差はな

表-1 散水ろ床の処理成績

| 日 時                | 試 料     | 水 温<br>°C | pH  | DO<br>O <sub>2</sub> mg/l | BOD<br>O <sub>2</sub> mg/l | COD<br>O <sub>2</sub> mg/l | 蒸発残留物<br>g/l | 一般細菌数<br>Nr/ml       |
|--------------------|---------|-----------|-----|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|
| 昭41.9.29<br>(第5週)  | 散水ろ床流入水 | 12.5      | 7.5 | 9.5                       | 24.3                       |                            |              |                      |
|                    | " 流出水   | 12.5      | 7.4 | 9.5                       | 16.3                       |                            |              |                      |
| 11.7<br>(第12週)     | " 流入水   | 6.8       | 7.4 |                           | 73.0                       |                            |              |                      |
|                    | " 流出水   | 6.5       |     |                           | 71.0                       |                            |              |                      |
| 11.24<br>(第13週)    | " 流入水   | 8.0       | 8.1 | 6.9                       | 69.3                       | 82.6                       | 0.82         | 1.73×10 <sup>5</sup> |
|                    | " 流出水   | 7.5       |     | 6.1                       | 60.8                       | 70.9                       | 0.86         | 1.41×10 <sup>5</sup> |
| 12.15<br>(第16週)    | " 流入水   | 6.6       | 8.1 |                           | 84.0                       | 150                        |              |                      |
|                    | " 流出水   | 6.5       |     |                           | 69.5                       | 131                        |              |                      |
| 昭42.1.14<br>(第20週) | " 流入水   | 3.8       | 8.0 | 7.5                       | 107                        |                            |              |                      |
|                    | " 流出水   | 3.3       | 7.8 | 9.1                       | 95.0                       |                            |              |                      |
| 2.9<br>(第23週)      | " 流入水   | 6.0       | 8.2 | 6.1                       | 145                        | 175                        | 1.16         | 1.46×10 <sup>5</sup> |
|                    | " 流出水   | 5.8       | 8.2 | 5.6                       | 120                        | 158                        | 1.15         | 1.34×10 <sup>5</sup> |

いが、10°C以下になるとかなりの影響を及ぼすとし、生物膜の増加はほとんどないとしている。また桑原<sup>1)</sup>は、微生物活動に必要な最低温度を8°Cとした場合、辛うじて処理効率が保たれるとしている。11月～2月にかけては、パネルヒーティングが施されており、また日中(午後1時～2時)の測定であるにもかかわらず、ろ床流入、流出水温が10°Cを起えたことはなく、8°Cを越えたことも稀であった。このことは、良い処理効率を得難いことを意味しており、実際に表1に示したような低い処理効

率であった。しかし実験開始前約10日間、上屋内塗装のため、ろ床への通水が中止され、碎石の生物膜が(剥離はしていなかったが)ほとんど乾いた状態にあったほか、実験当初、第6～8週にかけて、時折り数時間各種工事のため通水が中止されたことがあった。これらのことは水温低下以外にも生物膜形成上にかなり不利な因子であったと思われる。

### 3. 実験方法

ろ床碎石上の生物膜を観察するため、必要個数のガラススライド装置を実験開始時にろ床上に設置し、以後毎週無作為にそのうち1個をとりだし、実験に供した。この装置は図-4のようなもので、網目1cmの金網(20cm×15cm)に、4枚のガラススライド(2.58cm×7.48cm, 厚さ0.15cm)をニクロム線で縛りつけてある。著者は、碎石についても、ガラススライド装置との比較をおこなうために観察したが、碎石の場合については、隔週ごとに任意の2個をろ床表面からとり、実験に供した。

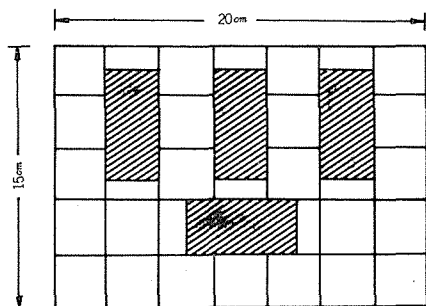


図4 ガラススライド装置

ろ床上よりとりだしたガラススライド装置は、1時間以内に研究室に持ち帰り、ガラススライド4枚を100mlの蒸留水に投入し、付着物である生物膜を洗い落したのち、直ちに細菌試験をおこなった。碎石の場合は、2個の碎石を100mlの蒸留水で洗い落したのち、同様に実験をおこなった。

碎石の表面積測定については、コロジオン塗布による方法、市販流動パラフィンによる方法等があるけれども、これらの方法による操作が面倒であるので、著者は市販されている家庭用アルミホイルを用いて表面積を測定した。まず、アルミ箔で碎石の表面を正確に覆い、それに要したアルミ箔重量を、碎石表面積に換算した。

以下、ガラススライド装置による方法をスライド法、碎石による方法を碎石法と記す。

実験項目は、次の通りである。

#### a) 蒸発残留物、強熱残留物

ガラススライド、および碎石から付着物を洗い落した溶液100mlから20mlをとり、蒸発残留物と強熱残留物の重量を2回ずつの測定の平均として求めた。蒸発残留物重量を生物膜乾燥重量として表わした。また強熱残留物は生物膜中の無機物質を表わすものと考えた。

#### b) 一般細菌、嫌気性細菌

一般細菌数の定量は、下水試験方法<sup>7)</sup>によった。嫌気性

細菌数については、大型デシケータを用意し、一般細菌同様に接種したペトリー皿を容器内に入れたのち、器内の空気を窒素ガスに置換した。窒素ガスは市販のボンベ入りガスをピロガロール溶液に通して用いた。この容器を孵卵器に入れ、一定時間経過後、菌の計数をおこなった。培地にはあらかじめ少量のL-アスコルビン酸を加え、培地中に残存する微量の酸素を除いた。

#### c) プランクトン

適当に稀釈した前記の試料を、正確に1ml入るようにつくられたSedgwick-Ruffler Counting Cellに入れ、顕微鏡で観察した。プランクトン数は図-5のように、Cellを任意に横方向に一往復(重複しないように)観察して認めたものとした。すなわち、縦方向の長さか顕微鏡視野でa視野であり、1往復中にみたプランクトン数をxとすると、プランクトン数は $x \cdot \frac{a}{2} / \text{ml}$ となる。顕微鏡の倍率は、線虫の観察の場合40倍、プランクトンの観察の場合100倍とした。



図5 Counting Cell

a)~c)の各値は、表面積1cm<sup>2</sup>当り、生物膜乾燥重量1g当りとして表現した。しかし、両者の間での傾向はほぼ同じであったので、前者についてのみ図示することにした。

嫌気性係数(%)と無機物質質量(%)は次のようにもとめた。

$$\text{嫌気性係数}(\%) = \frac{\text{嫌気性細菌数}}{\text{一般細菌数}} \times 100$$

$$\text{無機物質質量}(\%) = \frac{\text{生物膜強熱残留物}}{\text{生物膜乾燥重量}} \times 100$$

各週ごとに、散水ろ床流入水と流出水の温度、pH、室内の温度を、不定期に、生物化学的酸素要求量(BOD)、過マンガン酸カリウム酸素消費量(COD)、溶存酸素(DO)、懸濁物質(SS)を測定した。この結果の一部は図-3、表-1にしめた。

### 4. 実験結果とその考察

#### 4.1 ガラススライド装置について

ガラススライド装置を利用する方法(スライド法)は、Cooke<sup>8)</sup>の方法を改良した桑原ら<sup>2)</sup>の方法に従った。桑原ら

は、ガラススライドは、その材質が極めて滑らかであるため、ろ材に用いる表面の粗な碎石とは異質ではないかと考えたが、Cooke<sup>8)</sup>が Dayton<sup>9)</sup>での実験で成功したことによって、またガラススライド上での生物が生成、増殖すれば、当然碎石上でも同様におこなわれるのではないかと仮定して実験をおこなった。しかし実際のろ床碎石との比較をおこなっていないので、この際ガラススライドと似たプラスチックろ材が開発されていることもあり、ガラススライド装置に検討を加えておくこともあながち無駄とも思われない。

著者は、スライド法と碎石法の両法で同時に生物膜の観察をおこない、若干の知見を得たので報告する。各実験結果の詳細については、4.2以降で述べる。

生物膜形成時の生物膜重量や生物相は、生物膜をつくるろ材の吸水率や形状等の相違が問題になると考えられる。左合<sup>9)</sup>は、吸水率はろ材の表面に対する水の付着性とろ材の組織、即ち耐久性に關係するから、吸水率の小さいものは水の付着性が小さく、生物膜形成に不利であり、また反対に大きいものは耐久性が小さいことをしめすとし、ろ材として石英粗面岩がもっとも優れ、安山岩がこれにつぐとしている。この点、ガラススライドは、碎石に較べ吸水率が小さいので、生物膜形成にはかなり不利であると言えよう。またガラススライドは、碎石のように凹凸がなく、微生物の残存ということにも不利である。さらに、ガラススライド上の生物膜の生物相は、ガラススライドの厚さが0.15 cmと薄いため、流入水温、室温等に影響されやすいと考えられる。

図-6に、生物膜乾燥重量の経時変化をしめす。生物

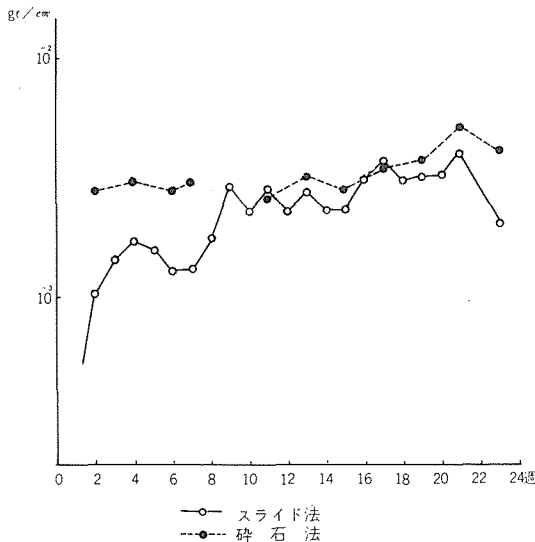


図6 生物膜乾燥重量の経時変化

膜乾燥重量は、第9週辺りから、碎石法とスライド法ともほぼ同じ値になり、以後同様の傾向で増減した。碎石法ではその値が幾分安定しているようである。図-7に無機物質量をしめすが、碎石法では、スライド法より、生物膜中の有機物含量が多いことがわかったが、理由は明らかでない。図-8には、表面積1 cm<sup>2</sup> 当りの一般細菌数の経時変化をしめた。碎石法では測定回数が少いので、両方を比較する上で幾分明確でないところがある。けれども、スライド法と碎石法による一般細菌数の変化は、初期に増加し以後に減少・安定するというほぼ同様な傾向をしめしている。碎石法で、幾分一般細菌数が少

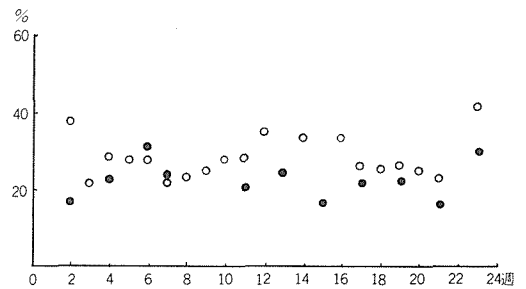


図7 無機物質量の経時変化

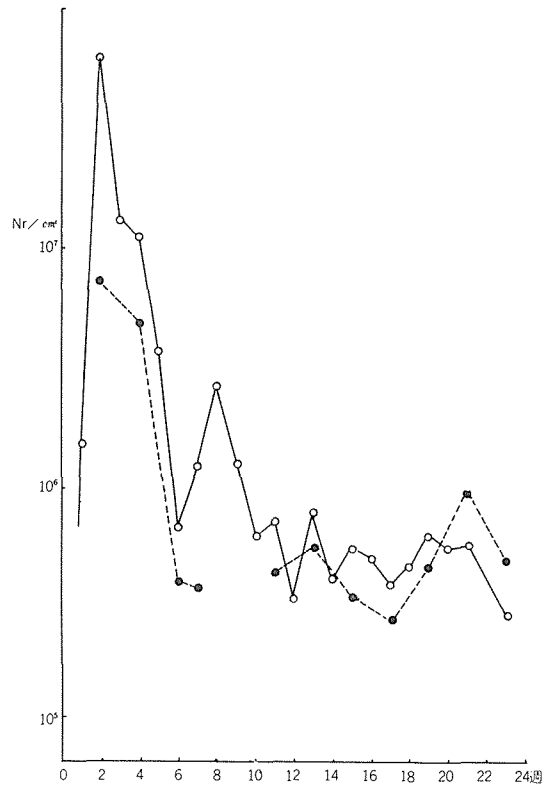


図8 一般細菌数の経時変化

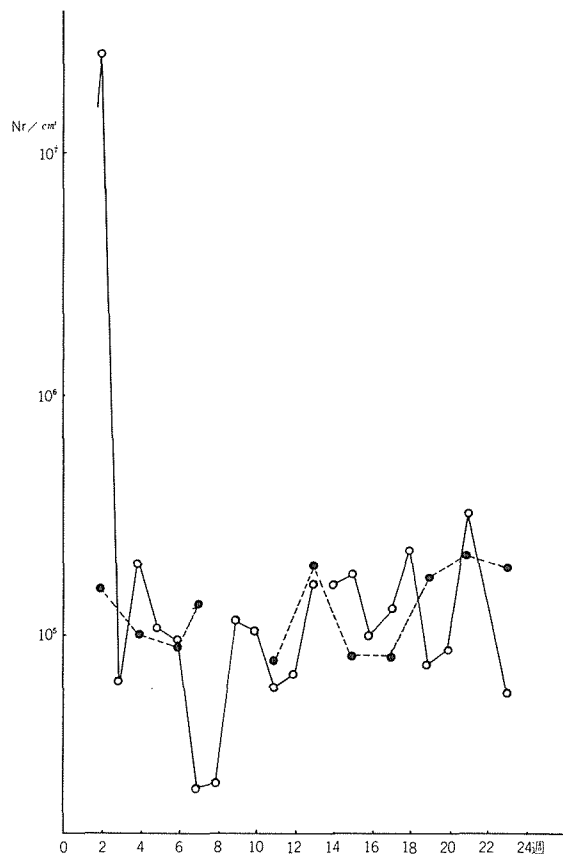


図9 嫌気性細菌数の経時変化

いようである。図-9の、表面積1 cm<sup>2</sup> 当りの嫌気性細菌数の経時変化より、嫌気性細菌は、一般細菌と同様の傾向をしめす場合もあるが、その値はスライド法の第2週を除いて常に低いことがわかる。さらに碎石法での嫌気性細菌数の変化の程度は、スライド法より少い。このことは、生物膜乾燥重量1g 当りの嫌気性細菌数を求めてみると顕著であった。プランクトン(表-2, 3)については、両法において、ともに出現したプランクトンの種類と数が少なかったけれども、両法のプランクトン相には大差はないようである。スライド法で、幾分種類数が多いようである。線虫類(図-10)は、実験初期では、碎石上に出現する線虫類の増加の様子が、ガラススライド装置によるものに常に遅れ、かつ生物膜乾燥重量1g 当りの線虫数は少なかった。(生物膜乾燥重量1g 当りの線虫数は第7週では、スライド法で $5.89 \times 10^4$ 、碎石法で $4.24 \times 10^4$ であった)。第11週以後は、初期のようなことは観察できなかったが、他の実験結果と同様、線虫数の変動は碎石において少いようである。

以上より、生物膜重量や生物相は、スライド法と碎石

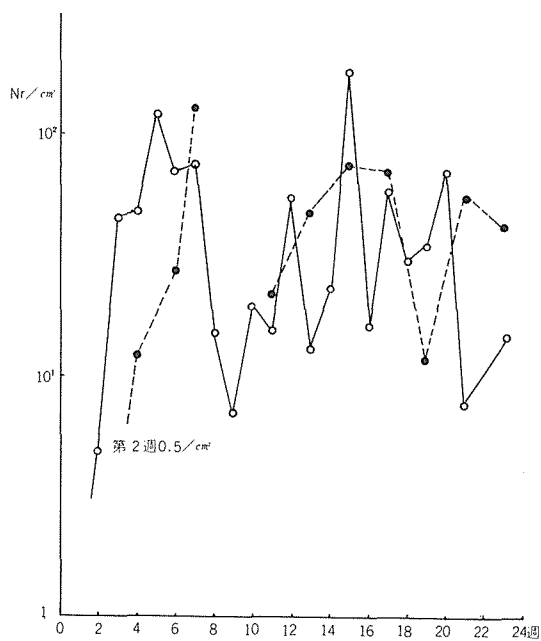


図10 線虫数の経時変化

法とも、ほぼ同じであるが、スライド法は、温度や負荷等の環境条件に影響を受け易いと考えられる。このことは、逆にスライド法によると運転状況がよくわかり好都合である。

#### 4.2 生物膜重量について

流入水中の有機・無機物質は、ろ床上で吸着あるいは吸収されて生物膜を形成する。その生物膜の形成は、流入水の有機物濃度、接触時間、温度等に左右される。<sup>10)</sup> 高速散水ろ床での生物膜の形成は、普通散水ろ床法にくらべ、季節的消長が少いと考えられ、とくに屎尿消化槽脱離液による場合は顕著であると考えられる。経時的な成長の割合については、Cooke<sup>11)</sup>が、普通散水ろ床で、時間に逆比例するとしている。

図-6より明らかのように、スライド法での生物膜乾燥重量は、初期に急激に増加するが(第1~4週)、以後2週間程度、減少あるいは平衡状態となり(第5~7週)、第9~10週に碎石法による生物膜乾燥重量とほぼ同じ値をとるようになった。第11週まで、碎石の生物膜乾燥重量はほとんど変わらず、一応完成しているものとする、この時点でスライド法における生物膜が完成したと考えられる。なお、第5~7週の間に観察された現象は、著者が10月中旬より別におこなった実験でも認められたので、原因として、正常でない運転とも考えられるが、生物膜形成上での過渡的現象とも考えられ明らかでない。

表-2 スライド法におけるろ床生物の消長 (表中-は、測定を行わなかったことをしめす。)

| 日 時                         | 昭41.8.24<br>設 置 | 8.31<br>(第1週) | 9.7<br>(第2週) | 9.14<br>(第3週) | 9.21<br>(第4週)   | 9.29<br>(第5週)      | 10.5<br>(第6週)   | 10.13<br>(第7週) | 10.19<br>(第8週) | 10.28<br>(第9週)  | 11.3<br>(第10週)  | 11.10<br>(第11週) |
|-----------------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Zooglea ramigera            |                 | ++            | +++++        | +++           | ++              | +                  | ++              | -              | -              | +               | +               |                 |
| Sphaerotilus sp.            |                 | -             | ++           | ++            | ++              | +                  | +               | -              | -              | +               | -               | -               |
| 根足虫類                        |                 | -             | -            | -             | 10 <sup>2</sup> | 10 <sup>2</sup>    | 10 <sup>3</sup> | -              | -              | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>4</sup> |
| 繊毛虫類                        |                 |               |              |               |                 |                    |                 |                |                |                 |                 |                 |
| Colpidium sp.               |                 |               |              |               |                 | 59                 |                 |                |                | 84              | 126             | 252             |
| Paramecium sp.              |                 |               |              |               |                 | 93                 |                 |                |                |                 | 42              |                 |
| Vorticella sp.              |                 |               |              |               |                 |                    |                 |                | 126            | 126             |                 |                 |
| Unknown sp.                 |                 |               |              |               | 17              | 50                 | 4               |                |                |                 |                 | 337             |
|                             |                 |               |              |               |                 | Glaucoma sp.<br>17 |                 |                |                |                 |                 |                 |
| 鞭毛虫類                        |                 |               |              |               |                 |                    |                 |                |                |                 |                 |                 |
| Bodo sp. &<br>Oikomonas sp. |                 |               | 25           | 46            | 55              | 185                | 379             |                | 269            | 1800            | 4750            | 13700           |

| 日 時                         | 昭41.11.17<br>(第12週)    | 11.24<br>(第13週) | 12.1<br>(第14週)      | 12.8<br>(第15週)                   | 12.15<br>(第16週) | 12.22<br>(第17週) | 12.27<br>(第18週)                  | 昭42.1.7<br>(第19週) | 1.12<br>(第20週)                   | 1.18<br>(第21週)  | 2.2<br>(第23週)   |
|-----------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Zooglea ramigera            |                        | +               | +                   |                                  |                 | +               |                                  |                   | +                                | +               |                 |
| Sphaerotilus sp.            | -                      | -               | -                   | ++++                             | ++++            | ++++            | +++                              | +++               |                                  |                 |                 |
| 根足虫類                        | 10 <sup>4</sup>        | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>5</sup>     | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>5</sup> | 10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup>   | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>5</sup> |
| 繊毛虫類                        |                        |                 |                     |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| Colpidium sp.               | 84                     |                 | 84                  |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| Paramecium sp.              |                        |                 | 84                  |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| Vorticella sp.              | 168                    |                 | 841                 |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| Unknown sp.                 | 883                    | 84              |                     | 421                              |                 | 2360            | 673                              | 1880              |                                  | 673             |                 |
|                             | Amphileptus sp.<br>210 |                 | Aspidisca sp.<br>84 |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| 鞭毛虫類                        |                        |                 |                     |                                  |                 |                 |                                  |                   |                                  |                 |                 |
| Bodo sp. &<br>Oikomonas sp. | 5890                   | 8360            | 29000               | 8710                             | 9420            | 25900           | 7540                             | 2540              | 942                              | 9880            | 3300            |
|                             |                        |                 |                     |                                  |                 |                 | Paranema sp.<br>168              |                   |                                  |                 |                 |

表-3 碎石法におけるろ床生物の消長

| 日 時                      | 昭41.9.21<br>(第4週) | 11.10<br>(第11週) | 11.24<br>(第13週)                  | 12.8<br>(第15週)                   | 12.22<br>(第17週)                  | 昭42.1.7<br>(第19週) | 1.18<br>(第21週)  | 2.2<br>(第23週)                    |
|--------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|
| Zooglea ramigera         | +                 |                 |                                  |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Sphaerotilus sp.         | ++                | -               | -                                | ++++                             | ++++                             | +++               |                 |                                  |
| 根足虫類                     | 10 <sup>2</sup>   | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup>   | 10 <sup>5</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> |
| 繊毛虫類                     |                   |                 |                                  |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Colpidium sp.            |                   | 76              |                                  |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Paramecium sp.           |                   |                 |                                  |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Vorticella sp.           |                   |                 | 151                              |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Unknown sp.              |                   |                 | 635                              | 1090                             | 255                              | 2150              | 2060            |                                  |
|                          |                   |                 |                                  |                                  | Opercularia sp.<br>85            |                   |                 |                                  |
| 鞭毛虫類                     |                   |                 |                                  |                                  |                                  |                   |                 |                                  |
| Bodo sp. & Oikomonas sp. | 193               | 4070            | 13700                            | 623                              |                                  | 1350              | 10500           | 5690                             |

これらの結果は、桑原らと同様な生物膜の実験をおこない、第1週より第10週まで生物膜乾燥重量が漸次増加し、以後は部分的脱落現象と仮定した横ばい状態が続いたとしたことにはほぼ一致する。

これらのことより、生物膜が一応完成するのは、散水ろ床の運転状況によっていくらか異なると思われるが、7\*~10週間位と考えられる。( \* 碎石法とスライド法での生物膜乾燥重量がほぼ同じ値になるのに要した9週間から、運転状況等を考慮して2週間を差し引いた。)生物膜が安定したと考えられる状態での生物膜乾燥重量は、桑原ら<sup>3)</sup>は0.002~0.003 gr/cm<sup>2</sup>としており、著者の場合は碎石法、スライド法とも0.002~0.004 gr/cm<sup>2</sup>とほぼ一致した。ただ、碎石法ではスライド法より全体的に生物膜乾燥重量が多く、生物膜形成に有利になるようである。桑原らは、第19週に大きな脱落現象があったとしているが、今回の実験では認められなかった。著者の観察では、尿尿処理のための高速散水ろ床の生物膜は、特別な事情がない限り、脱落と形成が平衡ないし、いずれかに少し片寄っており、大きな脱落現象はないものと考えられた。

図-7にしめすとおり、無機物質量は、20~30%位で、ほぼ一定している。碎石ではその値が若干低い。碎石上の生物膜が以前からあったためか、材質のためかは明らかでない。

### 4.3 生物相の経時変化について

#### 1) 細菌について

一般細菌数および嫌気性細菌数の経時変化を図-8にしめす。スライド法による一般細菌数の経時変化は次のように分けてみることができる。①第2週までの急激な増加、②第3週から第6週までの急激な減少、③第10週から第23週に到る安定した時期。①、②の一般細菌数の急激な増加とその後の減少は、初期のろ床運転状況や水温によるものと考えられる。第1~2週の増加は、好適な温度と栄養条件により、細菌数が増加したものと考え

られる。第2週の最大値は、桑原ら<sup>3)</sup>の場合の最大値3.58 × 10<sup>9</sup>/cm<sup>2</sup>には達しなかった。②の現象は、水温の低下とかなり対応しているので、温度の影響は大きいものと考えられる。③の段階は、一応生物膜が安定したためと、冬期間に入り、安定した低温状態(10℃以上になることはなかった)になったためであろう。この時期では細菌数が表面積1 cm<sup>2</sup> 当り10<sup>5</sup> のオーダーになった。一般細菌数の経時変化が、碎石法とスライド法において、同様の傾向をしめすことは、既に述べた。全体的に、碎石法では、スライド法にくらべ、表面積1 cm<sup>2</sup> 当り、生物膜乾燥重量1 gr 当りとも、一般細菌数が少なかった。

嫌気性細菌数について、図-9にしめす。嫌気性細菌は、その多くが通性嫌気性細菌と考えられる。第2週にスライド法で著しく高い値をみた以外は、スライド法、碎石法とも、ほぼ表面積1 cm<sup>2</sup> 当り、10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup> のオーダーで安定している。Mckinney<sup>12)</sup>は、運動開始のときは、生物膜は好氣的であるが、生物膜が形成されるにつれて、碎石の生物膜表層部では好氣的、また生物膜の下部すなわち石面と生物膜の接するところ、およびその付近では空気が遮断されて嫌氣的になるとしているが、嫌気性係数(表-4)は、桑原ら<sup>3)</sup>の結果と同様、後期に嫌気性係数が大となる場合が多い。スライド法による第2週を除くと、嫌気性細菌数が比較的安定していることから、好気性細菌が温度や負荷に左右されやすいのではないかと考えられる。また、碎石法では嫌気性係数が安定していることは、碎石の生物膜が安定していることをしめしている。嫌気性係数は、第10週以後、スライド法で10~60%、碎石法で20~40%であった。

細菌については、さらに Zooglea ramigera と Sphaerotilus sp. について顕微鏡で観察し、表2、3にしめした。1コロニーを1個として計数したのち、その値を+の記号を用い、相対的な比較ができるようにした。Sphaerotilus sp. は、比較的冬期間に多くみられた。一方、Zooglea ramigera は冬期間ほとんどみられなかった。津田<sup>3)</sup>は、散水ろ床でもっとも重要な働きをするもの

表-4 嫌気性係数

| 方法 \ 週 | 第1週  | 第2週  | 第3週  | 第4週  | 第5週  | 第6週  | 第7週  | 第8週  | 第9週  | 第10週 | 第11週 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| スライド法  | 0.0  | 40.9 | 0.5  | 1.7  | 2.8  | 13.5 | 1.9  | 0.9  | 8.8  | 16.2 | 8.2  |
| 碎石法    |      | 2.1  |      | 2.0  |      | 22.0 | 35.0 |      |      |      | 18.0 |
|        | 第12週 | 第13週 | 第14週 | 第15週 | 第16週 | 第17週 | 第18週 | 第19週 | 第20週 | 第21週 | 第23週 |
|        | 19.8 | 20.6 | 38.6 | 31.8 | 19.2 | 33.3 | 46.9 | 12.0 | 15.3 | 57.0 | 19.4 |
|        |      | 34.0 |      | 23.0 |      | 28.4 |      | 38.1 |      | 22.3 | 38.7 |



として *Zooglea* をあげており、<sup>11)</sup> Cooke; <sup>9)</sup> 巖もこれを優占種としている。Bergey's Manual<sup>14)</sup>によれば、*Zooglea ramigera* は、至適温度28°C~30°Cで、20°Cや37°Cでもよく増殖し、最低温度4°C、至適 pH 7.0~7.4 としている。これらのことから、尿尿処理という特殊性はあるものの、冬期間の処理効率の低下は、低温によると断定でき、寒冷地での処理は、根本から考え直さねばならない。

## 2) プランクトンについて

著者が対象とした散水ろ床が、尿尿処理用のうえ、寒冷地にあるため、一般に報告されているプランクトン相とは、かなりその様相を異にするものと考えられる。

### a) 動物性プランクトン

表-2, 3に、表面積1cm<sup>2</sup> 当りに出現したプランクトンの種類と、各々の数をあげた。(表中、unknown sp. は、大きさ(20~30μ 程度)、形状から Colpoda の一種と考えられたが、明らかでない)。

桑原ら<sup>2), 3)</sup>が、同じ処理散水ろ床でプランクトン相について若干報告しているが、今回の観察では、プランクトンの種類、数とも少いようである。全体的に目立った特徴として、次のことが考えられた。①根足虫類が多く、第9週以後、大体10<sup>4</sup>~10<sup>6</sup>/cm<sup>2</sup>であったこと(検鏡の際の倍率が100倍のため、属名を断定することが難しい場合があったので総数だけでしめた)。②第15週以後、Unknown sp. と一、二の例外を除いて、目立った繊毛虫類がいなかったこと。③ *Bodo* sp. や *Oikomonas* sp. などの小さな鞭毛虫類が多数出現したこと、④全体的に、一時に出現したプランクトンの種類が少なかったこと。以上、根足虫類や鞭毛虫類が占める割合が異常に大であったこと、普通散水ろ床で中心的な存在である繊毛虫類が少なかったことは、このろ床の特殊条件をしめしていると言えよう。ここで出現した動物性プランクトンは、下水試験方法に従うと、強汚水域... *Amoeba* sp. *Amphileptus* sp., *Arcella* sp., *Aspidisca* sp., *Bodo* sp., *Oikomonas* sp., *Colpidium* sp., *Epistylis* sp., *Glaucoma* sp., *Paramecium* sp., *Peranema* sp., 中汚濁水域に居るもの、*Opercularia* sp., *Vorticella* sp. が認められた。これらは、Sramek-Husek の分類によると、α, β 強腐水域、α 中腐水域に入る。この分類は、表-1のBOD値、一般細菌数からも、β 強腐水域から α 中腐水域に入る。

中島は、移動散水機を用いた普通散水ろ床で、固着性繊毛虫類が、他の型の繊毛虫類に対して占める割合が90

%になったとき、ろ膜の完成としている。著者の場合、11月(第10週)以後はスライド法では、*Vorticella* sp., を第10, 12, 14週、*Epistylis* sp. を第12週に、碎石法では、第21週に、*Opercularia* sp., を認めたにすぎない。この点からも、生物膜は、冬期間、不良である。

図-11に、表2, 3より計算しなおしたスライド法と碎石法における動物性プランクトン数の変化をしめす。スライド法により、まず鞭毛虫類が出現し、ついで繊毛虫類が出現すること、そして第5週を除き鞭毛虫類が優位をしめしていることがわかる。また繊毛虫類数の変動が大きい。碎石法については、初期の観察がないので充分なことは言えないが、第15~21週にかけて繊毛虫類の方が多かったものの、傾向としては鞭毛虫類の方が多いようである。盛下は、一般的な立場からみると、出現する原虫には、その処理装置内の系において種属の遷移があることは事実であって、運転開始時には根足虫類が多く、ついで植物性鞭毛虫類、動物性鞭毛虫類、自由遊泳性繊毛虫類、固着性繊毛虫類に変化してゆくこと述べている。以上のことからこの実験における生物膜の状態は良好でないといえる。

スライド法において、第11週まで急激な動物性プランクトン数が増加し、以後、一応落ち着いた状態になったことは、運転状況等を考慮しても、生物膜の完成に約10

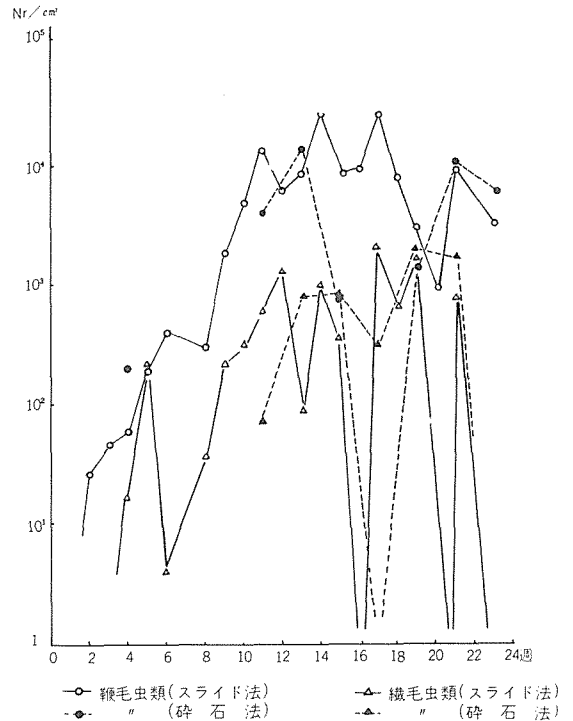


図11 動物性プランクトン数の経時変化

週間内外の期間が必要なことを示していると思われる。

#### b) 植物性プランクトン

植物性プランクトンは、処理場の屋上で太陽光線から遮られるので、少く、出現したものも、尿尿脱離液と希釈する際使用された河水中に含まれていたものと考えられる。そして、多くのものは、ろ床上で変形していた。藍藻類では、*Melosira* ., *Naviculla* ., *Synedra* ., *Cymbella* ., が時折り認められたが、緑藻類はほとんど認められなかった。出現数は、各々表面積  $1\text{ cm}^2$  当り  $1\sim 100$  であった。

藻類の働きについて、Parlmer は光合成によって発生した酸素によって好気性微生物の働きを活発ならしめるとしている。しかし、藻類の働きは表面だけであり、予備曝気された流入水には、 $5\sim 10\text{ mg/l}$  の酸素が含まれているので、それほど影響はないと考えられ、かえって目詰まりがなくなるため、都合がよいのではないだろうか。

#### 3) 線虫類について

本試験では、生物膜で増殖する後生動物の代表として線虫類を選んだ。結果を図-10. にしめす。(線虫数も、細菌数の場合に従って片対数の図とした)。

線虫について、Chang<sup>18)</sup> らは、汚水中の細菌が増殖すれば、それにとまって線虫類が増加するとしている。すなわち、酸素の存在下で、汚水中の有機物質を好気性細菌が利用して増殖し、この細菌を餌とする後生動物の線虫類が増殖する。

桑原<sup>3)</sup>らは、線虫と細菌の増殖時期のずれを2~3週間とした。また、線虫は、ガラススライド上に第3週に出現したと報告している。著者の場合、線虫類は第2週に、スライド法で  $4.8/\text{cm}^2$ 、碎石法で  $0.5/\text{cm}^2$  であり、細菌の急激な増殖の結果2週間で出現したものと考えられる。スライド法では、線虫数のピークが細菌数のピーク後、1~4週間後にくるようである。第5、12、15週の線虫数がこのことをしめしていると思われる。これより、線虫数が細菌数の増減に従うことがわかる。碎石法において、初期の線虫数の増加の程度が、スライド法より低いこと(もっとも、数値は割愛したが、第6週までの線虫一匹当りの細菌数は両法においてほぼ等しいので、主として細菌数に影響されているものと思われる)、スライド法で第15週に幼虫の大量発生をみたが、碎石法でほとんどみられなかったことは、碎石が緩衝作用をもつことをしめしている。

細菌数が一応安定した第10週以後、表面積  $1\text{ cm}^2$  当り

の線虫数の値は、スライド法で  $7.2\sim 1.8\times 10^2$  であった。この値は、桑原らが同様に測定した値の  $5.7\sim 3.98\times 10$  よりかなり高い。プランクトンの発育が悪かったこととくらべると、線虫は低温という悪条件下でも、細菌に維持され、比較的生存できるようである。

なお、線虫の種類について、桑原らがこのろ床で、*Diplogasteridae* sp., *Rhabdilica* sp., に属するもののみたと報告している。

## 5. まとめ

著者は、札幌市の尿尿処理用の高速散水ろ床の生物学的な研究をおこない、次のような結論を得た。

### 1) スライド法について

- 生物膜形成と生物相の増殖過程の変遷をみるには、スライド法は極めて有用である。
- しかし、ガラススライド装置の生物相は、その時の温度や負荷等に影響されやすい。一方、碎石における生物相は、温度や負荷にある程度の抵抗性がある。よってスライド法では、碎石そのままにおける状態を知ることは無理と思われるが、逆に運転状態を知るのに都合よいと考えられる。

### 2) 生物膜重量について

- 生物膜は、7~10週間でほぼ完成すると考えられる。これは、著者が碎石法とスライド法で同時に観察することにより明確になった。その生物膜乾燥重量は、 $0.002\text{ gr}/\text{cm}^2\sim 0.004\text{ gr}/\text{cm}^2$  で桑原<sup>3)</sup>らの報告とほぼ一致した。
- 生物膜の無機物質量は生物膜乾燥重量の20~30%であった。碎石では幾分低い値をしめした。

### 3) 生物相について

- 一般細菌数は、今回の観察では、初期の急激な増加後、減少・安定し、ほぼ  $10^5\sim 10^6/\text{cm}^2$  であった。第2週後の一般細菌数の減少の様子は、温度変化と対応しているようである。
- 生物膜の完成は、動物性プランクトンの観察からも10週間内外と考えられた。
- Zooglea ramigera* は、温度が高かった観察初期に多く認められたが、水温の低い冬期間(12月以降)は、ほとんど認められなかった。*Zooglea* が処理の1次的な役目をなすとすれば、冬期間、寒冷地の尿尿処理は、問題が多い。
- 根足虫類が多かった。また鞭毛虫類は、繊毛虫類より先に出現し、数においても優位であった。鞭毛虫類で

は、Bodo sp. や Oikomonas sp. 等、小さなものが多いとんどであった。冬期間、第15週以後、散水ろ床に主要なプランクトンはあまりみられなかった。

- 植物性プランクトンは、河水より流入したものと考えられ、上屋内では藻類の繁殖はみないようである。
- 全体的に、強汚濁水域のプランクトンを主とし、中汚濁水域のものが従であった。
- 線虫は、運動開始後、2～3週間遅れて出現する。細菌と線虫との増減の間には、1～4週間のずれがあると考えられる。

本研究の御指導を載いた故桑原驍児教授、原稿の校閲と有益な批判を賜った那須義和助教授に心から御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 桑原驍児, 高桑哲男, 谷口尚弘, 犬島和夫「尿尿処理施設における散水ろ床の生物学的研究(序報)」水処理技術 5 No. 3, 21, 昭39
- 2) 桑原驍児, 高桑哲男, 谷口尚弘, 犬島和夫, 同上(第二報)水処理技術 5 No. 12, 45, 昭39
- 3) 桑原驍児, 桃井勲, 同上(第三報)水処理技術 8 No. 3, 25, 昭42
- 4) 巖靖子「尿尿処理用散水ろ床の生物相の研究」日本生態学会誌 10 No. 5, 207, 昭35
- 5) Hawks, H. A.: The ecology of Waste Water Treatment, Pergamon Press, Oxford, 1963
- 6) 左合正雄「散水ろ床の基本問題に関する実験的研究(II)」水道協会雑誌 No. 240, 25, 昭29
- 7) 日本水道協会編「下水試験法昭39年版」日本水道協会 昭39
- 8) Cooke, Wm. B.: Continuous sampling of trickling filter pollution, I. Procedures, Sew. & Ind. Wastes, 30 Nos. 1 & 2, 21, 1958
- 9) 左合正雄「散水ろ床の基本問題に関する実験的研究(I)」水道協会雑誌 No. 239, 30, 昭29
- 10) 長谷川信夫, 松本順一郎「散水ろ床の機能について」水処理技術 7 No. 4, 29, 昭41
- 11) Cooke, Wm. B.: Trickling filter ecology, Ecology, 40, No. 2, 273, 1959
- 12) Mckinney, R. E.: Microbiology for Sanitary Engineers, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1962
- 13) 津田松苗「水質汚濁の生物学(その4)」水処理技術 2, No 7, 73, 昭36
- 14) Breed, R. S., Murray, E. G. D., Smith, N. R.,:

Bergey's manual of determinative bacteriology 7-th edition, William & Wilkins., Baltimore, 1957

- 15) 中島文夫「散水ろ床に関する研究(第5報)」水道協会雑誌 No. 230, 39, 昭28
- 16) 盛下勇「污水汚物処理装置に出現する原生動物」用水と廃水, 5 No. 4, 63, 昭38
- 17) Palmer, C. M.: Algae in water supplies, U.S. P.H.S Publication, No. 657, 1959
- 18) Chang, S. L. and Kabler, P. W.: Free Living Nematodes in aerobic treatment plant effluent, J.W.P.C.F. 34 No. 12, 1256, 1962