

# 広島湾における海水中のキシラン 分解細菌の分布と環境因子\*

村上 正忠・藤沢 浩明

## Distribution of Xylan-decomposing Bacteria and Environmental Conditions of Seawater in Hiroshima Bay

By

Masatada MURAKAMI and Hiroaki FUJISAWA

Many workers have reported about organic pollutants and their influences on fishery in the area just in front of Iwakuni city at the southwest coast of the entrance of Hiroshima Bay in Setonaikai, for this area is taken to be one of the model areas to examine the influence of pulp mill effluent. Although bacteriological work is indispensable for clarifying the self-purification in polluted areas, little has been known of it. Therefore a series of studies has been made on the bacterial decomposition of organic pollutants such as hemicellulose and cellulose of pulp mill effluent.

This work was undertaken to estimate statistically the influences of environmental factor complex on the population density of heterotrophic bacteria, xylan-decomposing bacteria and cellulose-decomposing bacteria, on the records collected in the above-mentioned area in the seven surveys from 1973 to 1975.

The results obtained can be summarized as follows :

1. The population density of xylan-decomposing bacteria along Iwakuni city was estimated to be  $10^3$  to  $10^5$  per ml of seawater, which was 100 to 1000 times as high as that in the control area (Yoshimi Bay). And the population density of heterotrophic bacteria, cellulose-decomposing bacteria and agar-decomposing bacteria per ml of seawater, were estimated to be  $10^3$  to  $10^6$ ,  $10^0$  to  $10^2$  and  $10^3$  to  $10^4$  respectively.
2. The peak at 280 nm in absorption spectrum of seawater collected just in front of a pulp mill suggested that organic pollution in this area was derived from the pulp mill effluent.
3. Upon common coefficient regression analysis in which temperature as the factor for stratification and one of the environmental factors as independent variable were used, a close relationship was found out between the population density of xylan-decomposing bacteria and the concentration of dissolved carbohydrate.
4. Correlation analyses revealed that the population density of heterotrophic bacteria and of cellulose-decomposing bacteria increased with increase in the values of COD and ultraviolet absorption which are the indication of organic pollution.

---

\* 水産大学校研究業績 第853号, 1979年9月25日受理。

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 853. Received Sept. 25, 1979.

## 1. 緒 言

広島湾は瀬戸内海のうちで、有数の有機汚濁海域として知られている。とくにこの海域の西部、岩国沿岸海域はパルプ工場廃水流入海域として著名であり、環境汚濁や汚染物質の水産生物に対する影響などに関する研究が数多くなされている<sup>1-4)</sup>。

海洋における有機汚濁の解明には、細菌群の有機物分解者としての役割を見逃すことはできず、これらの細菌群の自浄作用の追求は漁場保全上きわめて重要であるにもかかわらず、この海域における微生物学的研究は少なく、わずかにセルロース分解細菌<sup>5)</sup>および硫酸還元細菌<sup>6)</sup>に関する報告がみられるのみである。したがって、パルプ廃水中に含まれるヘミセルロースやセルロースなどの多糖類の微生物分解を解明する第1段階として、岩国沿岸海域の従属栄養細菌、キシラン分解細菌およびセルロース分解細菌の分布を調べ、これらの細菌群の密度に及ぼす環境因子の影響について、推計学的に検討した。また、対照海域として吉見湾の海水についても細菌群の密度および環境因子を調べ、パルプ汚染海域の結果と比較した。これらの結果について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試料の採取

広島湾における試料採取定点を第1図に、吉見湾における定点を第2図に示す。海水は北原式採水器を用い、各定点の1 m層を主に採取し、底泥はエクマンバジ式採泥器を用いて採取した。各試料を滅菌したポリ瓶に入れ、氷蔵して研究室へ持ち帰り、細菌数、CODなどの測定に供した。

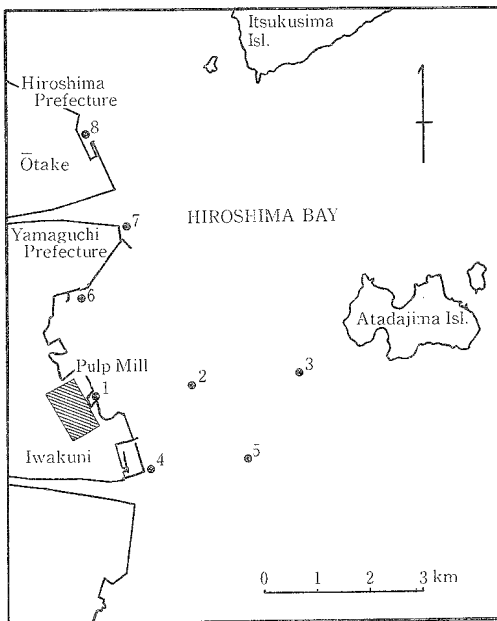


Fig. 1. Location of sampling stations in Hiroshima Bay.

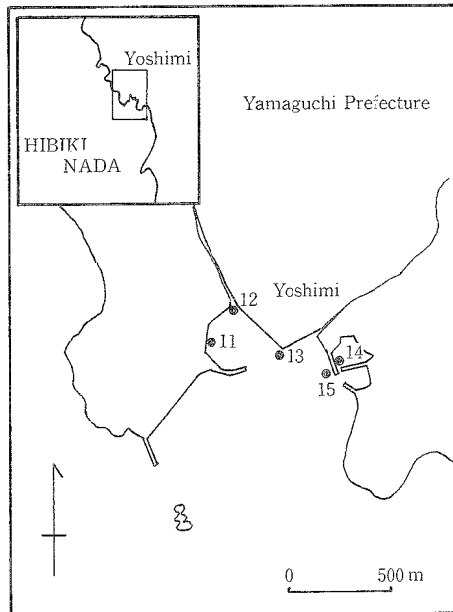


Fig. 2. Location of sampling stations in Yoshimi Bay.

## 2.2 細菌数の測定

従属栄養細菌数は ZoBELL 2216E 培地を用いる平板計数法により、キシラン分解細菌数は既報の方法<sup>7)</sup>により、セルロース分解細菌数は KADOTA の培地<sup>8)</sup>を用いる MPN 法により、それぞれ測定した。さらに、寒天分解細菌数を上述の従属栄養細菌計数用平板培養におけるヨード呈色法<sup>9)</sup>により計数した。

## 2.3 環境因子の測定

海水および底泥の温度、pH、COD ならびに海水の塩素量はそれぞれ常法によって測定した。海水の溶存炭水化物量はフェノール・硫酸法<sup>10)</sup>により、UV 吸収は 250 および 280 nm における吸光度を 10 mm セルを用いて測定した。また、グラスファイバーフィルター (孔径 1 μm) により集めた海水中の懸濁物について、有機炭素量および有機窒素量を柳本製 CN コーダーによって測定した。さらにリグニン量はニトロソリグニン法<sup>11)</sup>により、リグニンスルホン酸カルシウム量として求めた。

## 2.4 推計学的処理

第 1 表、第 2 表および第 3 表における 1 m 層海水試料の測定値ならびにこれらの変数変換値を用いて、環境因子と細菌数との間および環境因子相互間の相関係数を検定した。なお、測定値のうち塩素量 (Cl, ‰) および各細菌数 ( $d_i$ , cells/ml) は既報<sup>12)</sup>に述べたように、それぞれ  $\sqrt{19-Cl}$  および対数 ( $\log d_i$ ) に変換して用いた。また、測定点数が少ないため、各調査ごとの測定値および変数変換値の分布状態の正規性の検定はできないが、これらの数値はそれぞれの平均値を中心にして、その前後にほぼ均等に散らばっていたので、各数値の分布状態は正規分布であるとみなして、計算処理した。このうち、一部の測定値は棄却検定<sup>13)</sup>をし、異常値を示す測定点を除いて計算に用いた。

さらに、第 2 表に示した、3 つの異なる温度時期における調査結果については、各環境因子と各細菌数との関係が名時期ごとにどのように変化しているかを調べるため、それぞれの時期を層別因子とし、共通の回帰係数をとるが定数項は時期によって異なることを考えた回帰分析<sup>14)</sup>によって解析した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 海水中の従属栄養細菌、キシラン分解細菌およびセルロース分解細菌の分布

広島湾における海水中の従属栄養細菌数、キシラン分解細菌数、セルロース分解細菌数および環境因子について、1973年から1975年にかけての7回の調査結果を第1表、第2表および第3表に示した。なお、対照海域として吉見湾の結果もこれらの表に併記した。

これらの表から、広島湾における海水中の従属栄養細菌数は  $10^3 \sim 10^6$  cells/ml、キシラン分解細菌数は  $10^3 \sim 10^5$  cells/ml、セルロース分解細菌数は  $10^0 \sim 10^2$  cells/ml、寒天分解細菌数は  $10^3 \sim 10^4$  cells/ml であった。これらの結果を吉見湾における調査結果 (従属栄養細菌数  $10^3 \sim 10^5$  cells/ml、キシラン分解細菌数  $10^0 \sim 10^2$  cells/ml、セルロース分解細菌数  $10^0 \sim 10^2$  cells/ml) と比較してみると、広島湾では従属栄養細菌数が約 10 倍、キシラン分解細菌数は実に 100~1,000 倍と多く、このキシラン分解細菌数の従属栄養細菌数に対する存在比も約 1/10 と高いことがわかった。これに対してセルロース分解細菌数は両湾ともほぼ同程度の数値であった。

広島湾における COD および UV 吸収の測定値はパルプ工場の排水口に近い定点 1 で高く、しかもその 0 m 層では 1 m 層の値の 10~50 倍の高数値を示している。さらに、第 3 図に示すように、定点 1 の 0 m 層海水の UV 吸収曲線は 280 nm 付近に極大吸収を有し、これは小倉<sup>15)</sup>の UV 吸収曲線の結果と同様な傾向を示していた。これらのことから、定点 1 の海水中には廃水成分のリグニンが多量に含まれており、この海域にパルプ廃水が流入していることが明らかに認められた。

Table 1. The population density of bacteria and the environmental conditions of the seawater sampled from Hiroshima Bay and Yoshimi Bay in winter of 1972 to 1973

| Area          | Date          | St.           | Sampling depth (m) | Temp. of water (°C) | pH    | COD (ppm) | Absorbance at 250 nm | Absorbance at 280 nm | Heterotrophic bacteria (cells/ml) | Xylan-decomposing bacteria (cells/ml) | Cellulose-decomposing bacteria (cells/ml) |
|---------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|-------|-----------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Hiroshima Bay | Jan. 18, 1973 | 1             | 0                  | —                   | 6.9   | 102.6     | 2.077                | 1.402                | —                                 | —                                     | —   |
|               |               | 1             | 1                  | 12.7                | 8.2   | 5.1       | 0.092                | 0.062                | $1.7 \times 10^6$                 | $3.8 \times 10^5$                     | $1.6 \times 10^2$                         |
|               | Feb. 15, 1973 | 4             | 1                  | 11.2                | 8.3   | 3.7       | 0.036                | 0.024                | $1.7 \times 10^6$                 | $2.2 \times 10^5$                     | $2.8 \times 10$                           |
|               |               | 6             | 1                  | 11.5                | 8.4   | 0.6       | 0.011                | 0.007                | $9.1 \times 10^5$                 | $4.1 \times 10^4$                     | $1.7 \times 10$                           |
|               |               | 7             | 1                  | 11.2                | 8.4   | 1.3       | 0.018                | 0.010                | $1.2 \times 10^6$                 | $2.6 \times 10^5$                     | $1.4 \times 10$                           |
|               |               | 8             | 0                  | —                   | 8.1   | 19.7      | 0.251                | 0.210                | —                                 | —                                     | —   |
|               | 1             | 1             | 12.6               | 8.4                 | 3.5   | 0.022     | 0.010                | $4.1 \times 10^5$    | —                                 | 7.9                                   |   |
|               | Yoshimi Bay   | Nov. 16, 1972 | 1                  | 0                   | 12.3  | 6.9       | 174.8                | 1.989                | 1.315                             | —                                     | —   |
| 1             |               |               | 1                  | 12.0                | 8.3   | 6.7       | 0.152                | 0.101                | $8.5 \times 10^5$                 | $4.6 \times 10^5$                     | $5.4 \times 10$                           |
| 2             |               |               | 1                  | 11.0                | 8.5   | 0.9       | 0.025                | 0.015                | $1.5 \times 10^5$                 | $6.9 \times 10^4$                     | 3.3                                       |
| 3             |               |               | 1                  | 11.0                | 8.5   | 0.8       | 0.017                | 0.010                | $1.9 \times 10^5$                 | $8.3 \times 10^4$                     | 7.9                                       |
| 4             |               |               | 1                  | 11.0                | 8.3   | 3.7       | 0.081                | 0.050                | $1.7 \times 10^6$                 | $2.2 \times 10^5$                     | $2.8 \times 10$                           |
| 5             | 1             | 11.0          | 8.5                | 0.7                 | 0.017 | 0.009     | $8.3 \times 10^4$    | $2.6 \times 10^4$    | 1.7                               |                                       |   |
| Yoshimi Bay   | Dec. 21, 1972 | 11            | 1                  | 18.0                | —     | 2.8       | —                    | —                    | $3.9 \times 10^4$                 | $2.6 \times 10$                       | $4.1 \times 10$                           |
|               |               | 12            | 1                  | 18.0                | —     | 3.2       | —                    | —                    | $6.6 \times 10^4$                 | $2.2 \times 10$                       | $2.2 \times 10$                           |
|               |               | 13            | 1                  | 18.0                | —     | 2.1       | —                    | —                    | $1.0 \times 10^4$                 | $1.1 \times 10$                       | 6.4                                       |
| Yoshimi Bay   | Dec. 21, 1972 | 11            | 1                  | 13.2                | —     | 0.3       | —                    | —                    | $5.0 \times 10^3$                 | $1.7 \times 10$                       | $5.4 \times 10$                           |
|               |               | 15            | 1                  | 14.0                | —     | 0.7       | —                    | —                    | $3.3 \times 10^3$                 | $2.4 \times 10$                       | $1.6 \times 10^2$                         |

Table 2. The pupulation density of bacteria and the environmental conditions of the seawater sampled from Hiroshima Bay and Yoshimi Bay in the three surveys in 1973 to 1974

| Area          | Date          | St. | Sampling depth (m) | Temp. of water (°C) | pH    | Chlorinity (%) | COD (ppm) | Dissolved carbohydrate (Glucose mg/l) | Absorbance at 250 nm | Absorbance at 280 nm | Particulate organic-C (C mg/l) | Particulate organic-N (N mg/l) | Heterotrophic bacteria (cells/ml) | Xylan-decomposing bacteria (cells/ml) | Cellulose-decomposing bacteria (cells/ml) |
|---------------|---------------|-----|--------------------|---------------------|-------|----------------|-----------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Hiroshima Bay | Sept. 5, 1973 | 1   | 0                  | 28.9                | 6.8   | 13.28          | 80.4      | 41.95                                 | 1.650                | 1.112                | 9.65                           | 0.81                           | 1.4×10 <sup>6</sup>               | 1.6×10 <sup>5</sup>                   | —   |
|               |               | 1   | 1                  | 26.0                | 8.0   | 16.51          | 5.4       | 1.81                                  | 0.112                | 0.080                | 2.01                           | 0.18                           | 1.3×10 <sup>6</sup>               | 3.7×10 <sup>4</sup>                   | 5.4×10                                    |
|               |               | 2   | 1                  | 25.8                | 8.1   | 17.41          | 1.8       | 1.41                                  | 0.064                | 0.052                | 0.64                           | 0.05                           | 2.0×10 <sup>2</sup>               | 3.0×10                                | 0   |
|               |               | 3   | 1                  | 25.6                | 8.2   | 17.52          | 0.9       | 0.53                                  | 0.043                | 0.033                | 0.42                           | 0.03                           | 1.2×10 <sup>6</sup>               | 3.3×10 <sup>3</sup>                   | 3.5×10                                    |
|               |               | 4   | 1                  | 25.8                | 8.0   | 16.99          | 2.8       | 0.73                                  | 0.058                | 0.042                | 0.71                           | 0.04                           | 1.3×10 <sup>5</sup>               | 2.9×10 <sup>4</sup>                   | 3.3                                       |
|               | Nov. 13, 1973 | 1   | 0                  | 20.0                | 6.8   | 13.98          | 96.5      | 73.06                                 | 2.312                | 1.398                | 5.97                           | 0.09                           | 1.8×10 <sup>6</sup>               | 5.0×10 <sup>4</sup>                   | 4.3×10                                    |
|               |               | 1   | 1                  | 18.0                | 8.1   | 17.77          | 3.1       | 1.13                                  | 0.087                | 0.060                | 1.04                           | 0.11                           | 1.3×10 <sup>6</sup>               | 2.7×10 <sup>5</sup>                   | 4.9                                       |
|               |               | 2   | 1                  | 19.0                | 8.3   | 17.89          | 1.9       | 1.03                                  | 0.058                | 0.040                | 0.55                           | 0.07                           | 6.5×10 <sup>5</sup>               | 9.0×10 <sup>4</sup>                   | 1.3                                       |
|               |               | 3   | 1                  | 19.0                | 8.3   | 17.88          | 1.2       | 0.70                                  | 0.036                | 0.024                | 0.37                           | 0.03                           | 4.5×10 <sup>5</sup>               | 5.0×10 <sup>4</sup>                   | 2.2                                       |
|               |               | 4   | 1                  | 19.0                | 8.3   | 17.96          | 1.1       | 0.36                                  | 0.040                | 0.029                | 0.40                           | 0.06                           | 5.8×10 <sup>5</sup>               | 4.0×10 <sup>4</sup>                   | 7.0                                       |
|               | Jan. 21, 1974 | 1   | 0                  | —                   | 7.2   | 11.55          | 87.7      | 54.68                                 | 2.382                | 1.560                | —                              | —                              | 1.1×10 <sup>6</sup>               | 7.0×10 <sup>4</sup>                   | 2.2×10 <sup>2</sup>                       |
|               |               | 1   | 1                  | 11.0                | 7.8   | 16.25          | 36.0      | 17.50                                 | 0.722                | 0.450                | —                              | —                              | 2.4×10 <sup>5</sup>               | 6.0×10 <sup>4</sup>                   | 2.3                                       |
|               |               | 2   | 1                  | 10.0                | 8.5   | 18.21          | 1.1       | 1.59                                  | 0.034                | 0.016                | —                              | —                              | 9.0×10 <sup>4</sup>               | 9.0×10 <sup>4</sup>                   | 3.3                                       |
|               |               | 3   | 1                  | 9.8                 | 8.5   | 18.37          | 0.9       | 0.72                                  | 0.016                | 0.013                | —                              | —                              | 2.6×10 <sup>5</sup>               | 7.0×10 <sup>4</sup>                   | 9.2×10                                    |
|               |               | 4   | 1                  | 9.8                 | 8.3   | 18.12          | 3.8       | 1.38                                  | 0.086                | 0.044                | —                              | —                              | 1.5×10 <sup>5</sup>               | 1.9×10 <sup>3</sup>                   | 1.3×10                                    |
| Oct. 15, 1973 | 11            | 1   | 20.5               | 8.3                 | 18.31 | 0.4            | 0.74      | 0.030                                 | 0.020                | 0.34                 | 0.14                           | 2.1×10 <sup>4</sup>            | 4.0                               | 3.3                                   |   |
|               | 14            | 1   | 21.5               | 8.3                 | 18.34 | 0.3            | 0.67      | 0.021                                 | 0.013                | 0.53                 | 0.08                           | 2.8×10 <sup>4</sup>            | 4.0                               | 4.9                                   |   |
| Yoshimi Bay   | Dec. 4, 1973  | 11  | 1                  | 13.0                | 8.0   | 18.86          | 0.7       | 0.23                                  | 0.017                | 0.012                | —                              | —                              | 1.8×10 <sup>5</sup>               | 2.1×10 <sup>2</sup>                   | 1.7×10                                    |
|               |               | 14  | 1                  | 13.0                | 8.0   | 18.57          | 1.6       | 0.78                                  | 0.016                | 0.012                | —                              | —                              | 6.4×10 <sup>5</sup>               | 8.0                                   | 9.2×10                                    |
| Feb. 18, 1974 | 11            | 1   | 11.0               | 8.3                 | —     | 0.7            | —         | —                                     | —                    | —                    | —                              | —                              | 1.4×10 <sup>4</sup>               | 2.1×10                                | 2.1×10 <sup>2</sup>                       |
|               | 14            | 1   | 10.3               | 8.4                 | —     | 0.8            | —         | —                                     | —                    | —                    | —                              | —                              | 6.0×10 <sup>3</sup>               | 1.4×10 <sup>2</sup>                   | 2.6                                       |

Table 3. The population density of bacteria and the environmental conditions of the seawater and mud sampled from Hiroshima Bay in winter of 1974 to 1975

| Date             | St.      | Sample          | Sampling depth (m) | Temp. of water or mud (°C) | pH    | Chlorinity (‰) | COD* <sub>1</sub> (ppm) | Dissolved carbohydrate (Glucose mg/l) | Lignin content* <sub>2</sub> (mg/l) | Hetero-<br>phic bacteria* <sub>3</sub> (cells/ml) | Xylan-decom-<br>ing bacteria* <sub>3</sub> (cells/ml) | Cellulose-decom-<br>ing bacteria* <sub>3</sub> (cells/ml) | Agar-decom-<br>ing bacteria* <sub>3</sub> (cells/ml) |
|------------------|----------|-----------------|--------------------|----------------------------|-------|----------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|--|
| Dec. 16,<br>1974 | 1        | Seawater        | 0                  | 17.5                       | 7.5   | 12.44          | 90.7                    | 32.52                                 | 44.9                                | $2.1 \times 10^5$                                 | $3.0 \times 10^4$                                     | 9.3   | $1.6 \times 10^4$                                    |
|                  |          |                 | 1                  | 14.2                       | 8.3   | 17.64          | 3.4                     | 1.48                                  | 3.1                                 | $2.2 \times 10^5$                                 | $4.0 \times 10^4$                                     | $1.1 \times 10^2$   | $4.1 \times 10^4$                                    |
|                  |          |                 | 2                  | 14.2                       | 8.4   | 17.65          | 3.2                     | 0.86                                  | 2.1                                 | $1.5 \times 10^5$                                 | $7.0 \times 10^4$                                     | $4.8 \times 10$   | $3.0 \times 10^4$                                    |
|                  | Mud      | 1 m from bottom | 13.8               | 8.5                        | 17.82 | 4.9            | 0.48                    | 0.7                                   | $1.8 \times 10^5$                   | $1.5 \times 10^3$                                 | $4.8 \times 10$                                       | $6.0 \times 10^2$   |  |
|                  |          |                 | 15.0               | 8.8                        | —     | 83.8           | —                       | $5.1 \times 10^6$                     | $1.8 \times 10^3$                   | $1.4 \times 10^2$                                 | $2.2 \times 10^3$                                     |   |  |
|                  |          |                 | 14.2               | 8.2                        | 17.77 | 1.5            | 0.42                    | $6.1 \times 10^4$                     | $2.0 \times 10^4$                   | $1.5 \times 10$                                   | $9.0 \times 10^3$                                     |   |  |
| Feb. 14,<br>1975 | 1        | Seawater        | 1                  | 14.5                       | 8.4   | 17.78          | 2.1                     | 0.40                                  | 0.6                                 | $5.2 \times 10^4$                                 | $2.0 \times 10^4$                                     | 7.5   | $2.2 \times 10^4$                                    |
|                  |          |                 | 2                  | 14.0                       | 8.3   | 17.80          | 1.3                     | 0.43                                  | 0.6                                 | $6.8 \times 10^4$                                 | $1.1 \times 10^4$                                     | $2.4 \times 10$   | $1.9 \times 10^4$                                    |
|                  |          |                 | 1 m from bottom    | 14.0                       | 8.5   | 18.08          | 1.1                     | 0.29                                  | 0                                   | $2.1 \times 10^4$                                 | $2.4 \times 10^3$                                     | 9.3   | $2.5 \times 10^3$                                    |
|                  | Mud      | 1 m from bottom | 14.9               | 8.4                        | —     | 26.2           | —                       | $5.6 \times 10^5$                     | $3.4 \times 10^3$                   | $2.4 \times 10^3$                                 | $4.0 \times 10^3$                                     |   |  |
|                  |          |                 | 12.7               | 7.2                        | 14.05 | 53.2           | 34.74                   | —                                     | —                                   | —   | —   |   |  |
|                  |          |                 | 9.5                | 8.1                        | 17.06 | 7.3            | 1.31                    | $1.5 \times 10^5$                     | $3.1 \times 10^3$                   | $1.5 \times 10$                                   | $2.1 \times 10^3$                                     |   |  |
| 2                | Seawater | 1               | 9.8                | 8.2                        | 17.90 | 1.2            | 0.29                    | 0.8                                   | $5.2 \times 10^4$                   | $9.0 \times 10^2$                                 | 1.4   | $1.0 \times 10^3$   |  |

Note : \*1 The value in each mud sample is shown in mg per g dry mud.

\*2 Computed as calcium lignosulfonate

\*3 The value in each mud sample is shown in cells per g wet mud.

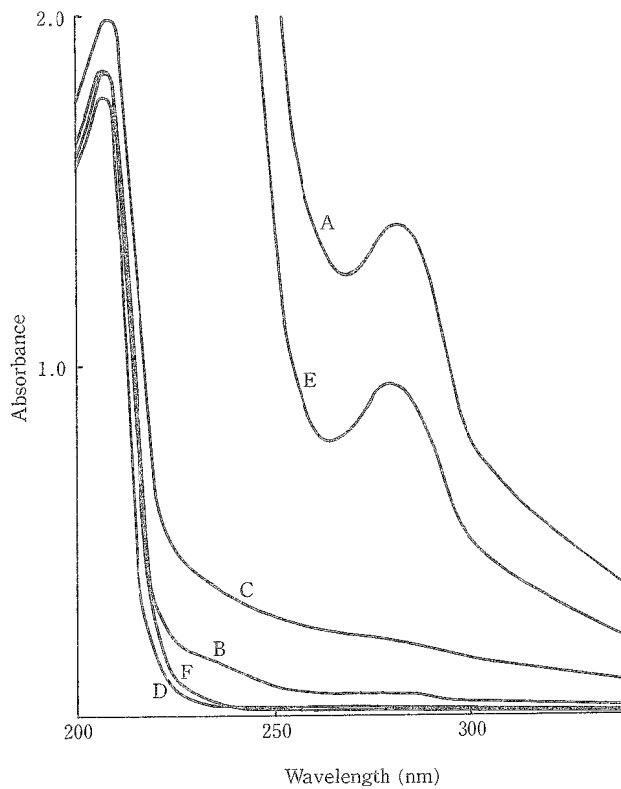


Fig. 3. Typical ultraviolet absorption spectra of the seawater sampled from Hiroshima Bay in January of 1973.

A, 0 m sample of St. 1; B, 1 m sample of St. 1;  
 C, 0 m sample of St. 8; D, 1 m sample of St. 8;  
 E, calcium lignosulfonate solution (100 mg/l);  
 F, 1 m sample of St. 11 in Yoshimi Bay

また、広島湾の有機汚濁指標値はいずれも吉見湾の値より高く、有機汚染が進行していることを示した。しかし、COD から判断すると、今回の調査は1952年当時のこの海域における調査結果<sup>1)</sup>より汚濁濃度および影響範囲ともにはるかに低くかつ狭いことを示している。このことは近年の水質規制の強化による効果があったものと考えられる。

### 3.2 各細菌数に及ぼす環境因子の影響

従属栄養細菌数、キシラン分解細菌数およびセルロース分解細菌数に及ぼす各環境因子の影響を調べるため、第1表、第2表および第3表ごとの各細菌数と各環境因子との相関関係を検定し、この結果を第4表に

Table 4. Correlation coefficients between the population density of bacteria (in logarithmic value of cells per ml) and the environmental conditions in seawater of Hiroshima Bay

| Factors                                     | Table no. | Temp.                  |        | $\sqrt{19-Cl}$ | COD   | DCh | $A_{250}$            |                      | POC   | PON   | $\log d_n$ |
|---|-----------|------------------------|--------|----------------|-------|-----|----------------------|----------------------|-------|-------|------------|
|   |           | Water temperature (°C) |        |                |       |     | Absorbance at 250 nm | Absorbance at 280 nm |       |       |            |
| $\log d_h$ : Heterotrophic bacteria         | 1         |                        | 0.57   |                |       |     | 0.44                 | 0.45                 |       |       |            |
|   | 2         | 0.61*                  | 0.47   | 0.62*          | 0.23  |     | 0.65*                | 0.72*                | 0.29  | 0.39  |            |
|   | 3         |                        | 0.72*  | 0.67*          | 0.75* |     |                      |                      |       |       |            |
| $\log d_x$ : Xylan-decomposing bacteria     | 1         |                        | 0.84** |                |       |     | 0.74*                | 0.74*                |       |       | 0.75*      |
|   | 2         | 0.02                   | 0.21   | 0.03           | 0.41  |     | 0.33                 | 0.28                 | 0.21  | 0.41  | 0.20       |
|   | 3         |                        | -0.10  | 0.19           | 0.39  |     |                      |                      |       |       | 0.31       |
| $\log d_c$ : Cellulose-decomposing bacteria | 1         |                        | 0.76*  |                |       |     | 0.70*                | 0.71*                |       |       | 0.87**     |
|   | 2         | 0.04                   | 0.81** | 0.35           | 0.36  |     | 0.73*                | 0.64*                | 0.71* | 0.65* | 0.33       |
|   | 3         |                        | 0.39   | 0.30           | 0.61  |     |                      |                      |       |       |            |

Note : Sample size in Tables 1, 2 and 3 was 9, 13 (9 for POC and PON) and 8 respectively.

\* significant at 0.05 level

\*\*significant at 0.01 level



示した。第4表から、従属栄養細菌数は温度や塩素量のほかに、一般の有機汚濁の指標値であるCOD、溶存炭水化物量、 $A_{250}$  および  $A_{280}$  に対し有意な相関を示した。このことから、広島湾では従属栄養細菌数は有機汚濁の影響を受けて増加していると考えられる。これに対してキシラン分解細菌数は環境因子との相関が1973年の結果では認められたものの他ではみられず、有機汚濁との関係が明確でなかった。一方、セルロース分解細菌数は吉見湾の菌数と同程度であった。この細菌数にはCOD、UV吸収値および懸濁性有機炭素量との相関が認められた。このことから、セルロース分解細菌は、セルロース成分の多い浮遊懸濁物質に付着して海域に存在する傾向の強い細菌群であることを示唆していると考えられる。

### 3.3 層別因子を含む回帰分析による各細菌数に及ぼす環境因子の影響

多変量解析を行なう場合独立変数の数は少ないほどよく、また、それら相互に相関がみられることは好ましくない。そこで独立変数を選ぶため考えられる環境因子相互間の相関係数を求め、これらの結果を第5表に示した。

第5表から、温度因子には他の因子との有意な相関が認められにくいことがわかった。また、従属栄養細菌数には温度因子との相関が認められる(第4表)ので、温度因子と他の環境因子のいずれか1つとの、2つの独立変数を組み入れた偏回帰分析を行なえばよい。しかし、今回の結果では温度因子が他の因子と異なりそれぞれの測定時期の違いにより3群にかたまっていた。そこで、この温度因子の代りに調査時期を層別因子とした回帰分析により、温度因子の影響を分離しながら、各細菌数に及ぼす各環境因子の影響を調べた。これらの結果を第6表に示した。

第6表から、従属栄養細菌数についてみると、 $A_{250}$  に対する場合だけが層別因子の差異が有意であり、しかも、各層で共通の回帰係数を有することがわかった。このように温度因子の影響を分離してみると、一般の有機汚濁の指標として多用されているCODよりUV吸収値のほうが従属栄養細菌の増殖に影響する要因を反映していると考えられる。さらに、UV吸収値のうちではパルプ廃水の影響の強い $A_{280}$ より、有機汚濁全般に通じるとみられる $A_{250}$ が適当であることを示している。また、MIYOSHIら<sup>16)</sup>の偏回帰分析によっても、今回の結果と同様に、CODは一般細菌数に影響する因子のなかに含まれず、UV吸収値が影響因子の1つとしてあげられていた。これらから、海水中の細菌数測定の際には、UV吸収値の測定が必要であると考えられる。

キシラン分解細菌数では、各環境因子との回帰関係はデータをこみにした場合、いずれも有意とみなせなかった。しかし、この時期による層別処理によって、溶存炭水化物量との回帰係数が有意( $F_0 = 9.37^*$ )となり、しかも時期の違い  $b_0^{(k)}$  の差が有意( $b_0^{(k)}$ の項の $F_0 = 4.29^*$ )となることが認められ、それぞれの時期で異なった  $b_0^{(k)}$  の値をとる3本の平行な回帰直線が存在することになる。この関係を図示したものが第4図である。このことから、キシラン分解細菌数は有機汚濁のなかで、とくに溶存炭水化物量の増加とともに増加しており、各調査時期で共通の定数項をとらないのは、時期に関連のある因子(この中には温度だけでなく、それぞれの時期における炭水化物の質的な差異、分解細菌の菌叢の差異などが考えられる)の影響が強いためと考えられる。いずれにしてもキシラン分解細菌が溶存炭水化物量の影響を強く受けていることは、他の細菌群とは大きく異なり特筆すべきことと思われる。

一方、セルロース分解細菌数では各環境因子との回帰関係が有意であったが、層別因子による差異はいずれの場合にも有意とならず、温度因子の影響が認められなかった。

Table 5. Correlation coefficients between the environmental factors in seawater of Hiroshima Bay estimated from the data in Table 2

| Factors        | $\sqrt{19-Cl}$ | COD   | DCh   | $A_{250}$ | $A_{280}$ | POC    | PON   |
|----------------|----------------|-------|-------|-----------|-----------|--------|-------|
| Temp.          | 0.91**         | 0.36  | 0.16  | 0.45      | 0.65*     | 0.53   | 0.00  |
| $\sqrt{19-Cl}$ |                | 0.66* | 0.40  | 0.67*     | 0.80**    | 0.79** | 0.37  |
| COD            |                |       | 0.65* | 0.94**    | 0.88**    | 0.97** | 0.70* |
| DCh            |                |       |       | 0.67*     | 0.60*     | 0.83*  | 0.50  |
| $A_{250}$      |                |       |       |           | 0.96**    | 0.92** | 0.74* |
| $A_{280}$      |                |       |       |           |           | 0.92** | 0.70* |
| POC            |                |       |       |           |           |        | 0.70* |

\* significant at 0.05 level      \*\* significant at 0.01 level

Table 6. Examination of seasonal difference found in population density ( $y$ ) - environmental factor ( $x$ ) relation under the null hypothesis of the equations taking common constant

| $x$            | $y$        | Data pooled |       |         | Common regression coefficient in various surveys |             |       |             |             |       |      |
|----------------|------------|-------------|-------|---------|--|-------------|-------|-------------|-------------|-------|------|
|                |            | $a_0$       | $a_1$ | $F_a$   | $b_0^{(k)}$                                      | $b_1^{(k)}$ | $F_b$ | $F_0$       |             |       |      |
|                |            |             |       |         |  |             |       | $b_0^{(k)}$ | $b_1^{(k)}$ |       |      |
| $\sqrt{19-Cl}$ | $\log d_h$ | 4.40        | 1.17  | 6.83*   | 3.08   | 3.79        | 3.52  | 2.00        | 3.71        | 3.58  | 0.26 |
|                | $\log d_x$ | 4.52        | 0.09  | 0.01    | 1.76   | 2.82        | 2.81  | 1.93        | 0.82        | 1.12  | 0.28 |
|                | $\log d_c$ | -0.06       | 0.89  | 1.50    | -5.35  | -4.24       | -3.00 | 4.66        | 7.49*       | 3.42  | 0.90 |
| COD            | $\log d_h$ | 5.36        | 0.16  | 3.16    | 5.42   | 5.67        | 4.98  | 0.15        | 4.34        | 6.18* | 0.34 |
|                | $\log d_x$ | 4.42        | 0.09  | 0.51    | 3.92   | 4.59        | 4.17  | 0.17        | 1.42        | 1.21  | 0.08 |
|                | $\log d_c$ | 0.17        | 0.36  | 21.65** | -0.08  | 0.05        | 0.30  | 0.40        | 20.97**     | 1.01  | 0.68 |
| DCh            | $\log d_h$ | 5.46        | 0.23  | 0.60    | 5.34   | 5.60        | 4.79  | 0.41        | 3.18        | 7.40* | 0.35 |
|                | $\log d_x$ | 4.06        | 0.55  | 2.18    | 3.11   | 4.08        | 3.36  | 1.04        | 9.37*       | 4.29* | 0.57 |
|                | $\log d_c$ | 0.44        | 0.48  | 1.59    | 0.63   | 0.43        | 0.58  | 0.38        | 0.62        | 0.09  | 0.39 |
| $A_{250}$      | $\log d_h$ | 5.13        | 10.34 | 8.09*   | 5.29   | 5.49        | 4.92  | 8.12        | 6.63*       | 4.78* | 0.36 |
|                | $\log d_x$ | 4.23        | 7.14  | 1.38    | 3.76   | 4.37        | 4.09  | 9.70        | 2.05        | 1.13  | 0.34 |
|                | $\log d_c$ | 0.08        | 15.80 | 12.72** | -0.19  | -0.25       | 0.27  | 18.62       | 16.01**     | 1.83  | 0.26 |
| $A_{280}$      | $\log d_h$ | 5.08        | 16.48 | 11.76** | 5.13   | 5.41        | 4.93  | 13.97       | 7.07*       | 3.50  | 0.12 |
|                | $\log d_x$ | 4.29        | 8.69  | 0.94    | 3.58   | 4.29        | 4.11  | 16.18       | 1.98        | 1.30  | 0.44 |
|                | $\log d_c$ | 0.19        | 19.90 | 7.47*   | -0.52  | -0.41       | 0.31  | 31.11       | 15.06**     | 3.28  | 0.73 |

Note :  $y = a_0 + a_1x$ ,  $y = b_0^{(k)} + b_1^{(k)}x$  ( $k = 1, 2, \text{ and } 3$ ; Sept., Nov., and Jan.)  
 $F_a$  ..... The Snedecor's  $F$  for  $a_1$  with 1 and 11 degrees of freedom  
 $F_b$  ..... The Snedecor's  $F$  for  $b_1^{(k)}$  with 1 and 9 degrees of freedom  
 $F_0$  ..... Difference of coefficients in various surveys for  $b_0^{(k)}$  with 2 and 9 degrees of freedom, and for  $b_1^{(k)}$  with 2 and 7 degrees of freedom  
\* significant at 0.05 level      \*\* significant at 0.01 level

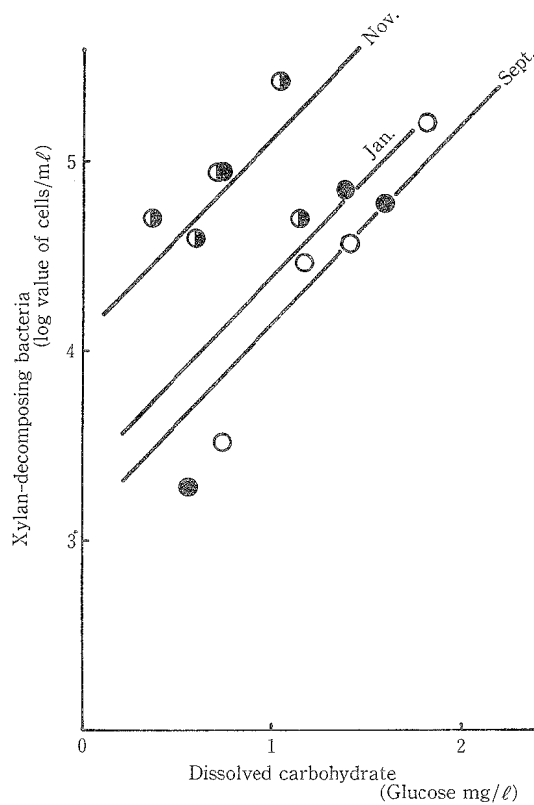


Fig. 4. The relations between population density of xylan-decomposing bacteria and dissolved carbohydrate.

○, in September ; ◐, in November ;  
◑, in January

Solid lines show the regression lines with common coefficient but seasonally different constant (in Table 6).

#### 4. 要 約

広島湾、とくに岩国沿岸のパルプ廃水流入海域における、従属栄養細菌、キシラン分解細菌およびセルロース分解細菌の生態を明らかにする研究の一環として、海水中のこれら細菌の分布を環境因子とともに調べた。さらに、これらの細菌数に及ぼす環境因子の影響について、推計学的に検討し、次の結果を得た。

1. 広島湾における、海水中の従属栄養細菌数は  $10^3 \sim 10^6$  cells/ml、キシラン分解細菌数は  $10^3 \sim 10^5$  cells/ml、セルロース分解細菌数は  $10^0 \sim 10^2$  cells/ml、寒天分解細菌数は  $10^3 \sim 10^4$  cells/ml であった。これらの細菌数を対照海域（吉見湾）と比較すると、従属栄養細菌数は約10倍、キシラン分解細菌数は実に100~1,000

倍と多かったが、セルロース分解細菌数はほぼ同程度であった。

2. UV 吸収曲線の傾向から、排水口に近い定点 1 の表層水中にはリグニンスルホン酸を含む廃水が多量に流入していることが認められた。

3. キシラン分解細菌においては、単相関分析の結果、細菌数とここで取りあげたいずれの環境因子との間にも有意な相関が認められにくいことがわかった。しかし、時期の違い（温度因子）を層別因子として、他の環境因子に対する回帰分析を行なうと、細菌数は溶存炭水化物量に対して有意な相関を示すことがわかった。

4. 従属栄養細菌数およびセルロース分解細菌数は一般に有機汚濁の指標である COD, UV 吸収値などの相関関係が有意であり、有機汚濁の影響が細菌数に及んでいることが認められた。

終わりに、本研究の推計学的処理について懇切にご指導いただいた水産大学校前田 弘教授に心から謝意を表す。

さらに、本校微生物学研究室の卒論学生であった林 光隆、佐藤千尋、清水虎見、新津和雄および志賀和明の諸君が実験に協力された。併記して謝意を述べる。

## 文 献

- 1) 新田忠雄・荒川 清・杉本仁弥・藤谷 超, 1953: 内海区水研報告, 第 3 号, 1-84.
- 2) 新田忠雄・荒川 清・杉本仁弥・藤谷 超・伊賀原弥一郎・竹内 脩, 1955: 内海区水研報告, 第 7 号, 1-52.
- 3) 新田忠雄・荒川 清・杉本仁弥・藤谷 超・伊賀原弥一郎・千国史郎, 1957: 内海区水研報告, 第 10 号, 57-135.
- 4) 杉本仁弥・鈴木正也・竹内 脩, 1964: 内海区水産研究所刊行物 C 輯, No. 1, 1-114.
- 5) KADOTA, H., 1956: *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.*, No. 74, 1-128.
- 6) KIMATA, M., H. KADOTA, Y. HATA, and T. TAJIMA, 1955: *Rec. Oceanogr. Works Japan*, 2, 85-93.
- 7) 藤沢浩明・村上正忠・浜田盛承・瀬良 洋, 1967: 日水誌, 33, 438-447.
- 8) KADOTA, H., 1951: *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.*, No. 59, 54-67.
- 9) 藤沢浩明, 1964: 日水誌, 30, 506-515.
- 10) HANDA, N., 1966: *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 22, 79-86.
- 11) 多賀信夫, 1966: 水処理技術, 7 (8), 1-19.
- 12) 村上正忠・藤沢浩明, 1978: 水大研報, 26, 299-311.
- 13) 鳥居敏雄・高橋暁正・土肥一郎, 1970: 医学・生物学のための推計学, pp. 2-19, 東京大学出版会, 東京.
- 14) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉澤 正, 1977: 多変量解析法, pp. 112-128, 日科技連, 東京.
- 15) 小倉紀雄, 1963: 水処理技術, 4 (9), 45-52.
- 16) MIYOSHI, H. and K. NAKAMOTO, 1975: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 41, 645-652.