

瀬戸内海沿岸海域における細菌叢

I. 福山湾における各種汚染指標菌数と有機汚濁の関係

川上英之・中野宏幸・大宅啓二・松谷市郎・林 則博・橋本秀夫

広島大学生物生産学部
1981年11月2日 受理

Bacterial Flora in the Seto Inland Sea

I. Relation of Viable Counts and Fecal Indicator Organisms with the Chemical Oxygen Demand as examined in the Coastal Sea Water of the Fukuyama Bay

Hideyuki KAWAKAMI, Hiroyuki NAKANO, Keiji OHYA,
Ichiro MATSUTANI, Norihiro HAYASHI and Hideo HASHIMOTO

Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Fukuyama, Japan

(Fig. 1; Tables 1-4)

かつては、魚介類などの生産の場として注目された瀬戸内海も、近年は有機物をはじめとする各種汚染物質による汚濁が急速に進行して来ている。このような状況の中で、我々はヒト、哺乳動物および鳥類の糞便による汚染の程度を知る目的で、瀬戸内海のうち福山市沿岸海域におけるサルモネラや大腸菌群などの分布状況を調査し報告した。^{1),2)}

しかし、各種汚染物質の瀬戸内海への流入の状況を知る1つの手掛りとして、瀬戸内海における生態系において、もっと広い視野に立った細菌叢の果す役割あるいは、その動静を知ることが必要と考える。海域の汚染の程度を示す指標として、COD、BOD、DO、pHなどが広く用いられている³⁾が、生物、殊に細菌学的な立場からの検討はほとんど行われていない。これら物理-化学的指標に加えて細菌学的な面からの検討を行うことは水質の評価にとってより有効であると考えられる。

以上のような理由から、我々は特定の細菌だけでなく、広く従属栄養細菌叢の分布状況を調べるとともに、各種汚染物質の瀬戸内海への流入に対して、細菌を中心とした微生物生態系の動静を考察しようと試みた。今回はその第1段階としてCODと大腸菌群などの汚染指標菌数との関係を主として検討した。

実験材料および方法

海水は福山湾内田尻町から芦田川を挟んで箕島町に至る沿岸に3定点を設け (Fig. 1), 1979年5月から12月までと、1980年5月から11月までの間、毎月1~2回採取し、直ちに実験室に持ち帰り試験に供した。

検査は細菌学的な面から、一般生菌数、大腸菌および大腸菌群数それに腸球菌数について、それぞれMPN法によって求めた。このうち腸球菌数は橋本⁴⁾の方法により、その外のものについては常法⁵⁾に従った。

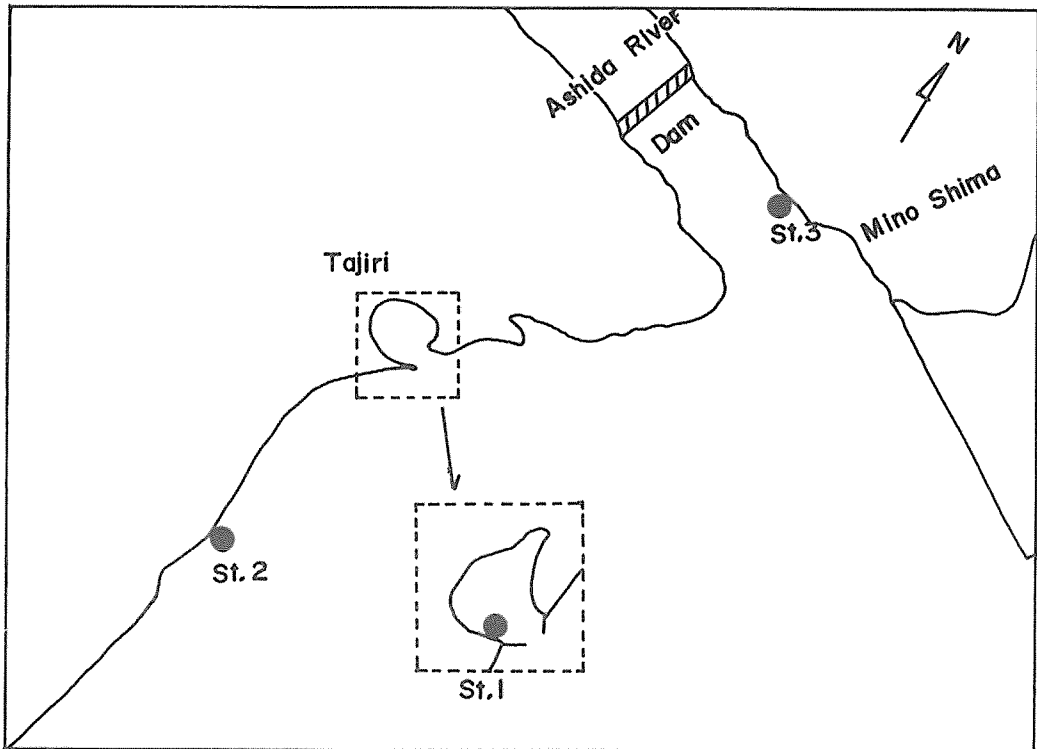


Fig. 1. Sampling stations at Fukuyama bay in the Seto Inland Sea

一般生菌数検査用培地には、ろ過海水にポリペプトン 10 g, 酵母エキス 5 g を溶かし、pH 7.6 に調整したものを用い、培養は 25 °C で 7 日まで行った。

物理-化学的性状については、COD, pH, 水温を測定した。このうち COD はアルカリ性過マンガン酸法⁶⁾によって求めた。

結果および考察

結果を Table 1~4 に示す。このうち、先ず物理-化学的性状についてみると、COD は 5 ppm を越えたのは 1979 年が 4 回、1980 年が 6 回で、いずれも 5 月~7 月および 9 月に集中していた。このうち赤潮が観測されたのは 6 回であった。水温が最も高かった 7 月後半から 9 月初めにかけては、逆に低く、1.5~3.4 ppm であった。さらに 10 月後半から 12 月にかけての水温が 20 °C 以下の時期にはさらに低く 2.6 ppm 以下であった。

pH は COD が 5 ppm 以上の時期にやや高い傾向を示したが、それ以外の時期には 7.8~8.3 の範囲内であった。このように、ほとんどの調査例が水質汚濁に係わる環境保全の基準にほぼあてはまっていた。

一方、細菌学的な面からみると、全体を通じて、一般生菌数は、ほぼ $2.8 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^6$ の範囲内であった。しかし大腸菌群数は $6.8 \times 10 \sim 5.4 \times 10^4$ 、大腸菌数は $0 \sim 1.1 \times 10^4$ 、腸球菌数は $0 \sim 5.4 \times 10^3$ と、一般生菌数に比べて、汚染指標菌数の変動が大きく、下水などを通じて陸上からの糞便などの有機物の流入の程度が採水地点や時期によって差があることを示唆していた。

しかし、これらの細菌数を COD と対比させて検討してみると、COD が高い時期に細菌数は必ずしも高くなり、COD との間に比例関係は認められなかった。例えば、1980 年 5 月の Station 1 のように、COD は 18.6 ppm と最も高かったが、細菌数は一般生菌数 2.8×10^5 、大腸菌群数 6.8×10 、大腸菌数

Table 1. The physico-chemical properties and bacterial counts in the surface sea water at station 1 (1979)

Sampling date	5	6*	7*	8	9	*	10	11	12		
Items	16	30	13	11	25	22	12	26	24	7	4
Water temp.(C°)	17.4	20.8	23.0	25.6	29.0	30.0	27.8	26.8	21.2	19.2	12.5
pH	8.4	8.1	8.5	8.7	8.3	8.3	8.5	8.3	8.2	8.0	8.1
COD (ppm)	1.1	1.4	6.6	11.8	2.0	2.3	5.9	9.6	2.6	1.6	1.7
Viable counts (MPN)	-	2.8×10 ⁴	1.7×10 ⁵	1.7×10 ⁵	1.3×10 ⁴	3.5×10 ⁵	1.3×10 ⁵	9.2×10 ⁵	4.9×10 ⁴	1.7×10 ⁴	7.9×10 ⁴
Coliforms(MPN)	-	4.6×10 ²	4.5×10 ²	3.5×10 ²	4.6×10 ²	7.0×10 ²	3.3×10 ²	5.4×10 ²	3.3×10 ²	4.5×10 ²	9.2×10 ²
<i>E.coli</i> (MPN)	-	-	-	1.3×10 ²	6.8×10 ²	4.5×10 ²	4.5×10 ²	3.3×10 ²	2.0×10 ²	0	3.1×10 ²
Enterococci (MPN)	-	2.0×10	4.0×10	0	2.0×10	1.7×10 ²	0	3.5×10 ²	2.3×10 ²	0	3.3×10 ²

* Red tide was observed.

Table 2. The physico-chemical properties and bacterial counts in the surface sea water at station 1 (1980)

Sampling date	5*	6*	7	8	9	*	10	11				
Items	19	5	17	2	18	1	27	14	29	11	28	11
Water temp. (C°)	24.0	25.2	23.0	20.4	26.3	26.3	26.5	26.5	24.8	22.6	18.2	16.7
pH	8.5	8.9	8.5	7.8	-	8.2	8.2	8.3	8.4	8.3	8.2	8.3
COD(ppm)	18.6	14.6	7.8	1.4	2.3	1.9	1.9	2.6	5.5	4.3	1.4	2.6
Viable counts (MPN)	2.8×10 ⁵	2.2×10 ⁵	2.3×10 ⁵	3.5×10 ⁶	1.3×10 ⁵	7.9×10 ⁴	5.4×10 ⁵ >2.4×10 ⁷	2.3×10 ⁵	7.9×10 ⁵	1.7×10 ⁵	2.9×10 ⁵	
Coliforms(MPN)	6.8×10	2.0×10 ²	7.9×10 ²	9.2×10 ⁴	1.3×10 ³	3.3×10 ³	2.2×10 ²	3.3×10 ²	2.3×10 ³	4.9×10 ²	7.0×10 ²	4.9×10 ²
<i>E.coli</i> (MPN)	4.0×10	1.8×10 ²	1.1×10 ²	1.3×10 ⁴	1.8×10 ²	7.9×10 ²	3.3×10 ²	7.8×10	2.0×10 ²	4.5×10	1.1×10 ² <1.8×10	
Enterococci(MPN)	2.0×10	3.3×10 ²	5.4×10 ³	5.4×10 ³	2.0×10 ²	1.3×10 ²	3.3×10 ²	4.0×10	3.3×10 ²	2.4×10 ³	2.0×10	7.8×10

* Red tide was observed.

Table 3. The physico-chemical properties and bacterial counts in the surface sea water at station 2 (1980)

Sampling date	5	6	7	8	9	10	11					
Items	19	5	17	2	18	1	27	14	29	11	28	11
Water temp.(C°)	20.5	20.0	20.5	20.4	26.0	25.8	26.0	26.5	23.7	22.6	17.9	16.3
pH	8.3	8.4	8.3	8.3	-	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.4
COD(ppm)	6.6	2.1	4.4	2.2	1.8	1.5	1.9	3.4	1.7	4.4	1.4	2.4
Viable counts (MPN)	9.5×10 ⁴	1.7×10 ⁵	3.3×10 ⁵	4.9×10 ⁵	2.3×10 ⁵	4.6×10 ⁵	4.6×10 ⁴	3.3×10 ⁵	1.4×10 ⁵	4.9×10 ⁵	4.9×10 ⁴	3.5×10 ⁵
Coliforms(MPN)	3.5×10 ³	4.9×10 ²	7.8×10	3.5×10 ⁴	2.3×10 ³	1.7×10 ³	3.3×10 ²	1.7×10 ²	2.3×10 ²	3.3×10 ²	3.3×10 ²	1.3×10 ³
<i>E.coli</i> (MPN)	7.8×10	<1.8×10	2.0×10	2.8×10 ³	4.5×10 ²	1.7×10 ²	6.8×10	1.8×10	7.8×10	1.1×10 ² <1.8×10	2.0×10	
Enterococci(MPN)	1.8×10	1.3×10 ²	3.3×10 ²	1.8×10 ³	4.0×10 ²	7.8×10	6.8×10	2.0×10	4.5×10	2.4×10 ³	2.0×10	2.3×10 ²

Table 4. The physico-chemical properties and bacterial counts in the surface sea water at station 3 (1980)

Sampling date	5	6	7	8	9	10	11					
Items	19	5	17	2	18	1	27	14	29	11	28	11
Water temp.(C°)	20.0	23.9	26.5	21.6	25.0	24.6	26.2	25.8	24.1	22.7	17.2	17.3
pH	8.2	8.0	9.1	7.4	-	7.7	7.9	8.3	8.4	8.4	8.4	8.2
COD(ppm)	4.4	1.9	7.8	2.1	1.5	2.0	2.5	1.9	2.1	3.2	1.7	1.1
Viable counts(MPN)	1.6×10 ⁶	2.8×10 ⁵	4.9×10 ⁵	1.1×10 ⁶	7.9×10 ⁴	4.6×10 ⁵	2.3×10 ⁵	2.3×10 ⁵	1.4×10 ⁵	4.6×10 ⁵	7.9×10 ⁵	5.4×10 ⁵
Coliforms(MPN)	3.5×10 ³	1.1×10 ⁴	1.1×10 ⁴	5.4×10 ⁴	4.9×10 ³	5.4×10 ⁴	3.3×10 ⁴	4.9×10 ⁴	2.3×10 ³	3.3×10 ³	3.1×10 ³	4.4×10 ³
<i>E.coli</i> (MPN)	7.8×10	3.3×10 ³	4.9×10 ²	1.1×10 ⁴	3.3×10 ³	9.5×10 ³	7.9×10 ³	7.9×10 ²	1.7×10 ²	1.1×10 ²	4.5×10	2.0×10
Enterococci (MPN)	2.0×10	2.0×10	5.4×10 ³	5.4×10 ³	4.5×10	4.5×10	1.4×10 ²	1.8×10	2.0×10	2.3×10 ²	1.8×10	3.3×10 ²

4.0 × 10², 腸球菌数 2.0 × 10² と低い値を示した。これとは逆に、7月のようにCODが1.4 ppmと低い時でも細菌数はそれぞれ 3.5 × 10⁶, 9.2 × 10⁴, 1.3 × 10⁴, 5.3 × 10³ と高い値を示した。

次に、これらの細菌数について1980年の結果を採水地点別に平均値をとってみると、Station 1では、一般生菌数 5.9 × 10⁵, 大腸菌群数 8.6 × 10³, 大腸菌数 1.3 × 10³, 腸球菌数 1.2 × 10³ であった。

Station 2では、それぞれ 2.7 × 10⁵, 3.8 × 10³, 4.2 × 10², 4.6 × 10², Station 3ではそれぞれ

5.1×10^5 , 1.7×10^4 , 3.4×10^3 , 1.1×10^3 と一般生菌数は3地点とも大体一定の菌数を示した。しかし、糞便による汚染を示唆する大腸菌および大腸菌群数、それに腸球菌数には地点間に差があり、これらを合わせると、Station 3が最も高く、次いで Station 1 および 2 の順であった。

季節別にみると、一般生菌数は季節による特徴ある変動は示さなかったが、各種汚染指標菌数は明らかに差があり、最も高い値を示したのは、7～8月の夏季で、この時期はCODが低い時期であった。

以上のように、年間を通じて各採水地点とも、一般生菌数は $10^4 \sim 10^6$ のレベルを維持し、CODの変化に対応した変動は示さなかった。一方、各種汚染指標菌数は、季節や採水地点によって変動したが、これらもCODの変化に対応したものではなかった。

常識的には、CODが高い場合は細菌数も高くなることが予測されるが、今回の結果からは、この予測とはかなり、かけはなれたものであった。特に、汚染指標菌数がCODの低い夏季に最高値を示したり、採水地点間で差があったことは、単にCODをはじめとする物理-化学的要因だけで水質の評価をすることには疑問が残る。そこに分布している細菌叢も合わせて考えなければ真の水質評価を行うことは出来ないと考えられる。この観点に立って、最近芳倉ら^{7),8)}も巾広い細菌叢に注目して水質の評価を試みようとしている。

最後に、Station 1だけの結果であるが、1979年と1980年の結果を比較してみると(Table 1, 2), COD, 細菌数ともに1980年の方が高く、現在でも年々瀬戸内海の汚濁が進んでいる一端を示唆している。

要 約

瀬戸内海の水質を評価するために、そこに分布している微生物叢、特に細菌叢の動静を知る必要があると考え、従属栄養細菌全体に注目して、その動静を調べることを試みた。

今回はその第1段階として、福山市沿岸海域に3定点を設けて、一般生菌数を調べ、CODとの関係を検討した。その結果を以下に要約する。

1. CODは赤潮発生時を除くと、1.1～7.8 ppmと8 ppm以下であった。
2. pHは全体を通じて7.8～8.5の範囲にあった。
3. これらの結果から、赤潮発生という、異常な時を除けば、各採水地点の海水はpH 7.8以上8.3以下、COD 8 ppm以下という環境保全の基準にほぼあてはまっていた。
4. CODを季節別にみると、5月～6月に1.9～18.6 ppmと高く、7～8月の夏季には3.4 ppm以下と逆に低かった。
5. 一方、細菌学的な面から検討すると、一般生菌数は $10^4 \sim 10^6$ と大体一定のレベルにあったが、汚染指標菌数は変動が大きく、特に大腸菌数は $0 \sim 1.1 \times 10^4$ と大きかった。
6. CODが3.4 ppm以下と低い夏季でも、一般生菌数は 10^5 、大腸菌群数は $10^3 \sim 10^4$ と高いレベルを維持している。
7. CODと細菌数との間には、特に比例関係はみとめられなかった。
8. 以上の結果から、瀬戸内海に流入する各種汚染物質の濃度に関係なく、一般細菌や汚染指標菌は常にあるレベル以上の量が存在しており、水質評価に物理的-化学的要因の外に、細菌学的な面からの検討を加える必要があることが示唆された。

参 考 文 献

- 1) 橋本秀夫・平田泰治・原田 慧・清水 健：広大水畜産学部紀要，10，153-160 (1971)。
- 2) 橋本秀夫・川上英之・村田昌芳・牛島治義・中尾典隆・柳 加起・河野光貴：広大水畜産学部紀要，15，207-218 (1976)。
- 3) 野村好弘他編：環境公害六法，学陽書房，P. 405-410，昭和53年。
- 4) 橋本秀夫：メディアサークル，No. 41，1-9 (1963)。
- 5) 厚生省環境衛生局監修：食品衛生検査指針 I，P. 103-119 (1973)。

- 6) 日本水産保護協会編：新編水質汚濁調査指針，P. 244 - 245 (1980).
- 7) 芳倉太郎・小田国雄・飯田戈一：日水誌，47，183 - 189 (1981).
- 8) 同 上：日水誌，47，769 - 775 (1981).

SUMMARY

For the evaluation of the sea water in the Seto Inland Sea, we thought it necessary to investigate first the microbial ecosystem of sea water. Therefore we attempted to check the distribution of heterotrophic bacteria and their activities in the coastal sea water of the Fukuyama bay. The MPN values of viable counts, *E. coli*, coliforms and enterococci were calculated first then the relation of these values with the COD values in the sea water of three other stations of Fukuyama bay were discussed in this paper.

The results obtained in 1980 have been summarized:

1. The pH values were between 7.8 and 8.5 in almost all the sea water samples.
2. The COD values stayed within 8ppm except for the times red tide occurred.
3. From these results, it appeared that the quality of the sea water under investigation conformed to the official in Japan of sea water analysis. Indeed this criterion requires a pH amount between 7.8 and 8.3, and COD value within 8 ppm.
4. The seasonal changes of COD values were discussed. It appeared that in May to June the values were higher (1.9 to 18.6 ppm), while those in July to September were within 3.4 ppm.
5. On the other hand, when our bacteriological investigations were made, we found that the viable counts were in levels of 10^4 to 10^6 MPN per 100 ml, while the values of most of the *E. coli*, coliforms and enterococci showed in large variation, *E. coli*, that is, 0 to 1.1×10^4 .
6. Although the COD values were within 3.4 ppm, the viable counts and coliforms remained in 10^5 and $10^3 - 10^4$ MPN ranges respectively in the hot summer (July to September).
7. The proportion between the COD values and the MPN values of these bacteria was very small.
8. From these results, it could be deduced that considerable numbers of bacteria, mostly fecal indicator organisms, thrown away in the Seto Inland Sea had no relations with quantity of all sorts of contaminants, and consequently a bacteriological investigation was required together with a physico-chemical one for the evaluation of the sea water.