

## 香川県東部沿岸域における表層海水中の従属栄養細菌数とその分布

多田邦尚・茂中浩司

## THE DENSITY AND DISTRIBUTION OF BACTERIA IN COASTAL SURFACE SEAWATER AT THE EASTERN PART OF KAGAWA.

Kuninao TADA and Koji MONAKA

The horizontal distribution of heterotrophic bacteria in coastal surface seawater was investigated at the eastern part of Kagawa. The density of bacteria of surface seawater ranged from 0.17 to  $1.9 \times 10^6$  cells/ml on July 1993. Furthermore, the density of bacteria was higher in coastal areas and estuary than off shore.

Although a review concerning the bacterial density for the estuary, coastal area, and off shore was made by van Es and Meyer-Reil (1982), from our and other reported values for the Seto Inland Sea, we concluded that they proposed higher density of bacteria for each area.

The relationship between the density of bacteria and chlorophyll *a* concentrations expressed a good correlation suggesting that phytoplankton biomass influenced the density of bacteria in coastal seawater.

**Key words :** bacteria, coastal seawater, Harima-Nada.

## 緒 言

海洋細菌はその大部分が従属栄養細菌であり、海水中の溶存あるいは粒状の有機物を栄養源として増殖すると同時にこれらを分解・無機化している。そのため海洋細菌は海洋生態系において有機物の分解者として重要な役割を果たしている。

海洋細菌は、その存在形態より、一細胞がそれぞれ単独に存在している浮遊細菌と、懸濁態有機物の表面に存在している付着細菌の2群に大きく分けられる。天然海水中の有機炭素濃度はわずか1 mg/l程度であり、細菌の活発な増殖をささえるとは考えにくいことから、従来は海水中の大部分の細菌は付着細菌であろうと考えられていた。しかし、Hobbieら(1977)<sup>(1)</sup>により蛍光顕微鏡による海水中の細菌の計数法が確立されて以来、海水中の細菌の存在形態に関する認識は大きく変化し、付着細菌よりも、浮遊細菌のほうが量的には圧倒的に多いことが判明した(例えばFukamiら1983<sup>(2)</sup>)。しかし、沿岸海域における細菌の現存量およびその分布についての情報は極めて不足している<sup>(3)</sup>。沿岸海水中の細菌の現存量とその分布を左右する要因を明らかにすることは、海洋の物質循環を考えるうえで大変重要であると考えられる。そこで本報告では、瀬戸内海の香川県東部海域において、化学的環境が異なると考えられるさまざまな海域で表層水中の細菌数とその分布に関する調査結果について述べる。

## 試料および方法

本研究に用いた試料は1993年7月21日から26日にかけてFig. 1に示した観測点において、香川

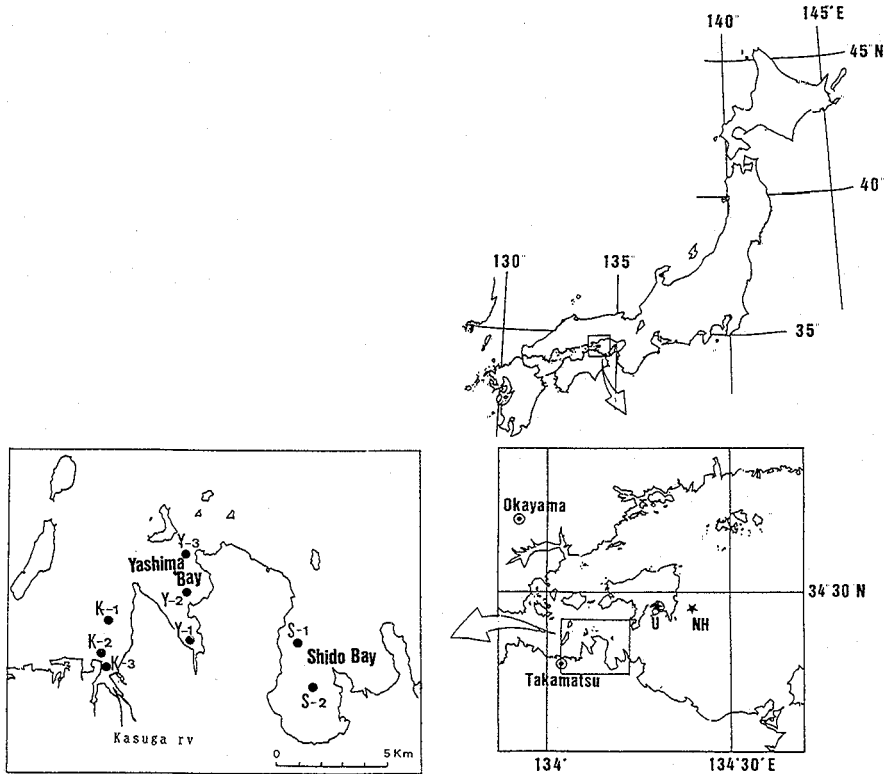


Fig. 1 Location of sampling stations in Harima-Nada

大学農学部調査船カラヌスを用いて採取した。各観測点では、CTD（アレック電子社製 Model AST-1000）による深度毎の水溫・塩分の観測の後、バンドーン型採水器あるいはバケツにより表層海水を採水し、採取した海水試料について従属栄養細菌の細胞数、植物色素（クロロフィル *a*）濃度およびリン酸態リン濃度を測定した。

従属栄養細菌の計数には、まず海水試料を採取後直ちにグルタルアルデヒドで固定（最終濃度 0.5%）して測定時まで冷蔵保存（5℃暗所）したものを、蛍光染料の DAPI（4'-6-diamidino-2-phenylindole）を用いて染色し、野村マイクロサイエンス社の黒色のヌクレポアーフィルター（孔径 0.2 μm）上に濾過捕集した。次にこのフィルターをスライドガラス上に置き、無蛍光イマージョンオイルとカバーガラスで封入した。これを落射型蛍光顕微鏡（ニコン Y-2F-E 型）下で直接計数した<sup>(4)</sup>。この細菌の細胞数の計数を同一の試料について 5 回測定を行ったところ、その相対標準偏差は 2.2% であった。

クロロフィル *a* 濃度は常法に従い<sup>(5)</sup>、Whatman GF/F フィルターを用いて適当量の海水を濾過し、得られたフィルターを 90% アセトンで抽出して分光法により測定した。

リン酸態リン濃度の測定には Whatman GF/F フィルターを用いて海水を濾過し、得られた濾液について Parsons ら（1984）の方法<sup>(5)</sup>で測定した。

### 結果および考察

Table 1 に、各観測点における表層水の水溫、塩分、クロロフィル *a* 濃度および細菌数を示した。

Table 1. Water temperature, salinity, chlorophyll *a* and phosphate concentration, and bacterial cell number in surface seawater.

Station	Date	W.T. (°C)	Sal. (psu)	Chl.a ( $\mu\text{g/l}$ )	PO <sub>4</sub> ( $\mu\text{M}$ )	Number of bacteria ( $\times 10^6$ cells/ml)
Y-1	July 21	22.88	29.69	6.36	1.09	1.9
Y-2	July 21	22.28	30.91	4.66	0.61	1.5
Y-3	July 21	22.26	30.88	3.43	0.48	1.2
S-1	July 22	22.29	30.77	5.47	1.12	1.2
S-2	July 22	23.07	30.79	7.94	4.06	1.6
K-3	July 21	26.41	13.31	3.77	5.37	1.5
K-2	July 21	23.20	30.65	4.88	1.01	1.6
K-1	July 21	22.39	30.85	4.70	0.42	1.1
NH	July 26	23.84	30.85	1.60	0.30	0.17
U	July 26	23.90	31.04	3.60	0.30	0.24

各観測点ともほぼ水温は22～23℃で塩分は29～31psuの範囲内で変動していたが、St.K-3については水温は26.41℃と高く、塩分は13.31psuと著しく低かった。このことから、St.K-3が春日川河口に位置しているため河川水の流入が大きく影響していると考えられる。細菌数は全観測点で $0.17 \sim 1.9 \times 10^6$  cells/mlの範囲であり、屋島湾の湾奥部 (St. Y-1, Y-2), 春日川の河口域 (K-3, K-2) および志度湾の湾奥部 (St. S-2) で $1.5 \times 10^6$  cells/ml以上の高い値を示した。また、これらの観測点ではいずれもクロロフィル *a* 濃度も3.77～6.36  $\mu\text{g/l}$  の高い値を示した。一方、播磨灘の沖合い域のSt.NHおよび小豆島の内海湾中央部のSt.Uでは、細菌数は前述の香川県沿岸部よりも一桁低く、クロロフィル *a* 濃度も1.60および3.60  $\mu\text{g/l}$  と今回の調査の観測点の中では低い値であった。

van Es and Meyer-Reil (1982)<sup>(6)</sup> は、さまざまな海域の海水中の細菌数についての報告をとりまとめ、河口域で $5 \times 10^6$  cells/ml以上、沿岸域で $1 \sim 5 \times 10^6$  cells/ml、沖合い域では $0.5 \sim 1 \times 10^6$  cells/mlであるとしている。今回得られた結果はこのvan Es and Meyer-Reil (1982) の値に比べると、河口域と考えられるSt.K-3およびK-2の細胞数はこれよりも低く、またSt.K-1, Y-1, Y-2, Y-3, S-1およびS-2は沿岸域の細菌数の範囲に入るもののかかなり低い値であった。さらに、St.NHおよびSt.Uの細菌数についてはどの海域の範囲にも属さない低い値であった。今井(1984)<sup>(7)</sup> は、瀬戸内海西部の周防灘において、また岩本ら(1993)<sup>(8)</sup>、Iwamotoら(1994)<sup>(9)</sup> は広島湾において海水中の細菌数の鉛直および水平的分布について詳しく調べており、周防灘では海水中の細菌数は $0.45 \sim 3.0 \times 10^6$  cells/ml、広島湾では $1.0 \sim 4.9 \times 10^6$  cells/mlと報告している。さらに、筆者らが瀬戸内海全域を調査したところ、表層水中の細菌数は $0.32 \sim 3.4 \times 10^6$  cells/mlであった(多田ら・1995<sup>(10)</sup>)。これらの値と比較すると、本研究で得られた細菌数は瀬戸内海のなかでも低い値であった。また以上のことから判断してもvan Es and Meyer-Reil (1982) が述べている河口域、沿岸域および沖合い域の細菌数の範囲は瀬戸内海では当てはまらず、それぞれの区分は高めの細菌数を定義していると考えられる。

今回の調査海域は比較的狭い範囲であり、調査も短期間で行っていることから、ここでは各観測点では、海水中の細菌および植物プランクトンの種組成あるいはその生理状態が大きく変わらないと仮定し、各観測点のリン酸態リン濃度、クロロフィル *a* 濃度および細菌数の三者の関係について考察する。

まず、クロロフィル *a* 濃度とリン酸態リン濃度との関係について見てみると (Fig. 2a), 両者の相関は高く ( $r=0.907$ ), リン酸態リン濃度の増加にともない植物プランクトン量も高くなってい

ることがわかる。さらにその関係式は、従来より考えられている植物プランクトンの栄養塩の取り込み速度と栄養塩濃度との関係式によく似た双曲線であらわされた。このことは植物プランクトンの栄養塩取り込み速度が栄養塩の濃度が低い範囲ではその濃度にほぼ比例して増大するが、やがて最大速度に達した後は栄養塩濃度がそれ以上増加してもはや速度は増大しないことをあらわしている<sup>(11)</sup>。但し、春日川河口のSt.K-3については、リン酸態リン濃度が $5.37 \mu\text{g-at/l}$ と今回の観測では最も高いにもかかわらずクロロフィルa濃度は $3.77 \mu\text{g/l}$ とさほど高くはなく、前述の両者間の関係式から大きく隔たっており、Fig. 2には水温および塩分が他の観測点と著しく異なるSt.K-3の値を除いたものを示した。リン酸態リン濃度と細菌数の間にもFig. 2bに示すように高い相関関係が認められ ( $r=0.720$ )、さらにクロロフィルa濃度と細菌数の間にも高い相関関係 ( $r=0.809$ ) が認められた (Fig. 3)。Lancelot (1983)<sup>(12)</sup>は、植物プランクトンは生産した有機物を鞭毛藻類では最大80%を、珪藻類では14%までを細胞外へ排洩すると報告しており、今回の観測・調査においてクロロフィルa濃度と細菌数との間に高い相関関係が認められたことは、植物プランクトンが排洩した有機物を現場の細菌が主なエネルギー源として増殖しているとの考え<sup>(13)</sup>を支持するものである。

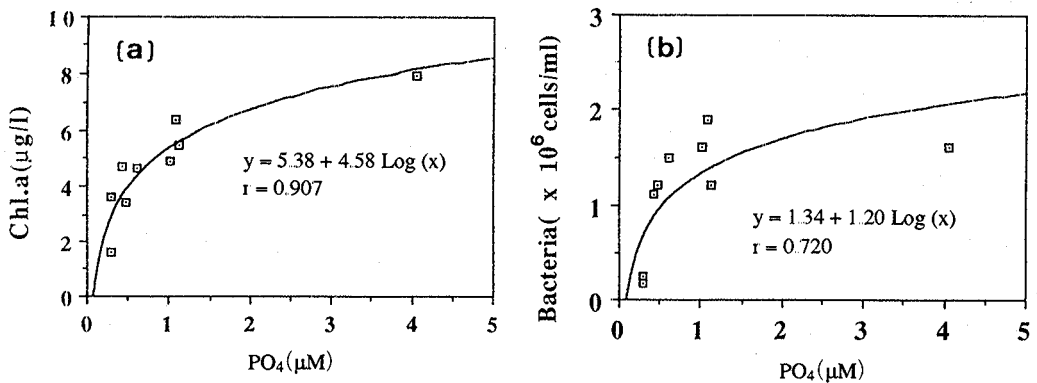


Fig. 2 (a) Correlation between phosphate and chlorophyll a concentrations in surface seawater  
(b) Correlation between phosphate and density of bacteria in surface seawater

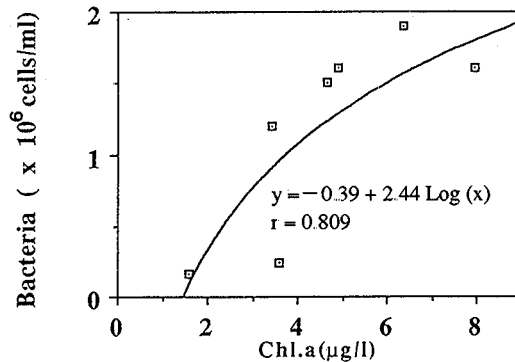


Fig. 3 Correlation between chlorophyll a concentration and density of bacteria in surface seawater

今後、海洋細菌の細菌数とその時空間的変動あるいは細菌密度と植物プランクトン量や溶存有機物濃度との関係についてさらに詳しく調べる必要があると考えられる。

## 要 約

香川県東部沿岸域の7月における海洋細菌の細胞数は $0.17 \sim 1.9 \times 10^6$  cells/mlの範囲であり、屋島湾の湾奥部、春日川の河口域および志度湾の湾奥部で $1.5 \times 10^6$  cells/ml以上の高い値を示した。一方、播磨灘の沖合い域および内海湾中央部では、細菌の細胞数は香川県沿岸部よりも一桁低かった。

本研究で得られた表層水中の細菌数および瀬戸内海の他の海域で報告されている細菌数の値から判断して、van Es and Meyer-Reil (1982) が河口域、沿岸域および沖合い域に分けて示した各海域の細胞数は高めの値を定義していることが考えられた。

また、現場のクロロフィルa濃度と細菌数との間には高い相関関係が認められ、海中の細菌の増減には現場の植物プランクトン量が大きく関与していることが推察された。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、試料採取に御協力頂いた香川大学農学部附属浅海域環境実験実習施設の浜垣孝司技官に深く感謝致します。また、従属栄養細菌数の計数について御指導、御助言を頂いた東京大学海洋研究所の木暮一啓助教授に深く感謝致します。

さらに、貴重な御意見を賜った香川大学農学部越智正教授、門谷茂教授に深く感謝いたします。

## 引 用 文 献

- (1) Hobbie, J.E., Daley, R.J., and Jasper, S. : Use of nucleopore filter for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 1225-1228 (1977).
- (2) Fukami, K., Shimizu, U., and Taga, N. : Distribution of heterotrophic bacteria in relation to the concentration of particulate organic matter in seawater. *Can. J. Microbiol.*, 29, 570-575 (1983).
- (3) 今井一郎：沿岸域における微生物の生態。沿岸海洋研究ノート, 27, 85-101 (1989)。
- (4) 木暮一啓：全菌数計数法。沿岸環境調査マニュアルII [水質・微生物篇] (日本海洋学会編), pp.269-272. 恒星社厚生閣, 東京 (1990)。
- (5) Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, G.M. : A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. 173pp. Pergamon Press, Oxford (1984)。
- (6) van Es, F.B. and Meyer-Reil, L.A. : Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In Marshall, K.C. (ed), *Advance in Microbial Ecology* vol. 6 pp.111-170. Plenum Press, New York (1982)。
- (7) 今井一郎：周防灘における海洋細菌の粒子径組成と現存量。南西水研報, 17, 183-196 (1984)。
- (8) 岩本典子・今井一郎・上 真一：夏季の広島湾における細菌と従属栄養性微鞭毛虫類の出現密度の変動。日本プランクトン学会報, 40, 55-66 (1993)。
- (9) Iwamoto, N., Imai, I. and Uye, S. : Seasonal fluctuation in abundance of bacteria, heterotrophic nanoflagellates, autotrophic nanoflagellates and nanodiatoms in Hiroshima Bay, the Inland Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 41, 31-42 (1944)。
- (10) 多田邦尚・茂中浩司・森下政和・多田充利：瀬戸内海における細菌の水平分布 1995年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 (印刷中)。
- (11) Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B. : *Biological Oceanographic Processes* 3rd Edition. pp.100-108. Pergamon Press, Oxford (1984)。
- (12) Lancelot, C. : Factors affecting phytoplankton extracellular release in the Southern Bight of the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 12, 115-121 (1983)。
- (13) Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meyer-Reil, L.A. and Thingstad, F. : The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, 257-263 (1983)。

(1994年11月30日受理)