

大阪湾における海洋細菌の現存量と生産量

今井 一郎・山口 峰生

Abundance and Productivity of Bacteria in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan

Ichiro Imai and Mineo Yamaguchi

Abundance and productivity of marine bacteria were investigated in Osaka Bay, eastern Seto Inland Sea, from September 1984 to June 1985. The mean cell volume of bacteria measured by image analysis ranged between 0.041 and 0.107 μm^3 (mean of total measurements = 0.073 μm^3 , $n = 6900$). Bacteria determined with DAPI-staining and epifluorescence microscopy were $0.40 \times 10^6 \sim 5.08 \times 10^6$ cells $\cdot\text{ml}^{-1}$ in number and 2.30~37.78 $\mu\text{gC} \cdot\text{l}^{-1}$ in biomass. Integrated biomass in the water column varied from 0.04 to 0.93 $\text{gC} \cdot\text{m}^{-2}$ (mean of total measurements = 0.28 $\text{gC} \cdot\text{m}^{-2}$, $n = 72$). Total biomass in the whole of Osaka Bay was estimated to be 237~662 tonC (mean = 428 tonC). Bacterial productivity measured by FDC (Frequency of Dividing Cells) method ranged between 0.17 and 136.38 $\mu\text{gC} \cdot\text{l}^{-1} \cdot\text{day}^{-1}$. Mean bacterial productivity in water column varied from 0.06 to 0.95 $\text{gC} \cdot\text{m}^{-2} \cdot\text{day}^{-1}$ (mean of total measurements = 0.43 $\text{gC} \cdot\text{m}^{-2} \cdot\text{day}^{-1}$). Total bacterial productivity in the whole of Osaka Bay was calculated to be 95~1447 tonC $\cdot\text{day}^{-1}$, and annual production was estimated to be 2.4×10^5 tonC. Bacterial abundance and productivity tended to be higher in the warmer season. The mean ratio of bacterial productivity to primary productivity of phytoplankton was 16.3%, suggesting that bacteria utilize about one-third of primary production in the water column of Osaka Bay.

Key words: Osaka Bay, Bacteria, Biomass, Productivity

海洋の低次生物生産過程において、細菌は有機物を分解・無機化すると同時に、自身の増殖によって粒状態有機物の生産を行っている。溶解態有機物（原生生物の一部を除き、殆どの生物にとって利用不能）を始まりとし、まず最初に細菌を経由して、高次の生物へと転送されて行く有機物の流れは微生物ループ（Microbial loop）と呼ばれ（Azam *et al.* 1983）、海洋の生物生産過程における重要性が、1980年代以降認識されるようになった（Sherr *et al.* 1986、今井 1989, 1990、谷口 1990、永田 1993、木暮 1994）。

海洋細菌は、微生物ループの起点を成す重要な生物群である。しかしながら、我が国の周辺海域において、海洋細菌の現存量や生産量を定量的に求めた研究は極めて少ない。そこで本報

では、瀬戸内海東部に位置する大阪湾において、季節的に、海洋細菌の細胞密度、現存量、細菌増殖速度、ならびに生産量を求めた。そして、大阪湾における生物生産過程の中での細菌の役割について定量的に論じた。

材料および方法

海洋細菌の細胞密度と現存量

1984年9月16~17日、12月4~5日、1985年3月20~21日、および6月17~18日の4回、水産庁南西海区水産研究所の調査船しらふじ丸を用いて、Fig. 1に示す大阪湾の18定点を調査した。大阪湾は面積1529 km^2 、平均水深27.5 mの著しく富栄養化した内湾水域である（村上

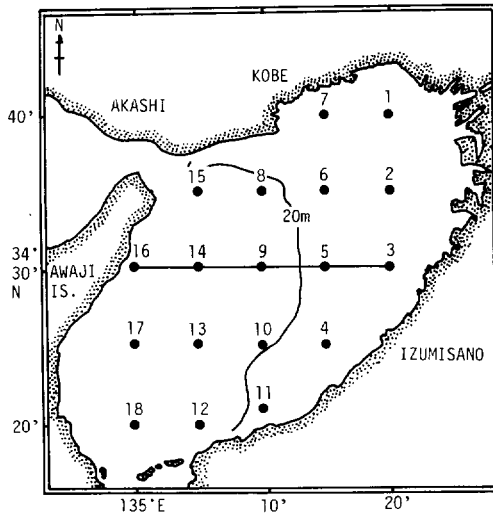


Fig. 1. Location of sampling stations in Osaka Bay, eastern Seto Inland Sea. East-west section is shown by a solid line.

1976, 城 1985)。各定点においてバンドーン採水器により, 0, 5 m, および 10 m 以深は 10 m 間隔の各層, さらに海底上 1 m (B-1 m) から採水を行った。得られた試水はねじ口試験管に入れ, グルタルアルデヒドで固定し (最終濃度 0.5%), 冷蔵庫に保存した。

試水中の総細菌数の計数は, 直接検鏡法によった (Porter and Feig 1980, 今井 1984)。すなわち, 固定した適量の試水を, 蛍光染料 DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole) によって染色し, Sudan black B で染めた孔径 0.2 μm の Nuclepore filter (Zimmermann *et al.* 1978) 上に濾過捕集後, 無蛍光イマージョンオイルで封入して, 落射蛍光顕微鏡を用いて紫外線励起光下で観察計数するという方法である。

各調査時の細菌細胞の平均体積は, Fig. 1 の東西線上の定点 3, 5, 9, 14, 16 の各層の試水を用いて, カラーズライドフィルム上に DAPI 染色した細菌を写真撮影し, フィルム上の細菌細胞像を画像解析することによって求めた (今井 1984, Imai 1987)。各試水について 60 細胞の細菌の体積を測定し, その平均値を各々の試水における細菌の平均体積とした。各調査時の大阪湾全体における細菌の平均体積は, 画像解析で

測定した全細胞の平均値をもってあてた。東西線上の 5 定点では各試水の平均体積の値を現存量の算出に用いたが, 他の定点においては, 上述の全体の平均細胞体積の値を使用した。これらの平均細胞体積に, 炭素量変換係数 0.087 $\text{gC} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Ferguson and Rublee 1976) を乗じて細菌細胞の平均炭素含量を求め, これに各試水中の総細菌数を乗じて炭素量としての細菌現存量を計算した。

海洋細菌の生産量

海洋細菌の増殖速度は, FDC 法 (Hagström *et al.* 1979, 今井・山口 1996) によって求めた。FDC 法 (分裂細胞頻度法) は, 細菌総数に対して細胞分裂が進行中の細菌数が占める割合 (FDC; %) を測定することにより, 試水中の細菌群の増殖速度を推定する方法である。この方法によって, 細菌の増殖速度を推定し, 現存量を乗じて生産量を求めた。FDC と細菌の増殖速度 (μ) の関係式は, 今井・山口 (1996) で報告されたものを用いた。各温度における FDC と μ の関係式は以下に示す通りである。

$$10^{\circ}\text{C} : \mu = 0.0174\text{FDC} - 0.0421 \quad (n = 10, r = 0.83)$$

$$15^{\circ}\text{C} : \mu = 0.0296\text{FDC} - 0.0615 \quad (n = 10, r = 0.93)$$

$$20^{\circ}\text{C} : \mu = 0.0395\text{FDC} - 0.0249 \quad (n = 10, r = 0.96)$$

$$25^{\circ}\text{C} : \mu = 0.0731\text{FDC} - 0.0507 \quad (n = 10, r = 0.89)$$

任意の温度における FDC と μ の関係式は, その温度に近い 2 式の傾きと切片を比例計算して求めた。なお, 水温が 10°C 以下の場合は 10°C の関係式を, 25°C 以上の場合は 25°C の関係式を用いて μ を算出した。炭素量としての生産量は, 現存量と μ を乗じて計算した (Es and Meyer-Reil 1982)。大阪湾における細菌生産量の測定には, Fig. 1 の東西線上の 5 定点の各層から得た試水を用い, FDC を調べて μ を算出し, 現存量から生産量を求めた。

結果および考察

海洋細菌の細胞密度と現存量

1984年 9 月, 12 月, 1985年 3 月, 6 月の, 4 回にわたる各調査で得られた結果を取りまとめ

Table 1. Mean cell volume, number, and biomass of bacteria in Osaka Bay.

Date		Mean cell volume	Number	Biomass		
		(μm^3)	($\times 10^6$ cells $\cdot\text{ml}^{-1}$)	$\mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$	$\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$	tonC (whole area)
Sep.'84	Min. - Max.	0.065 - 0.107	0.91 - 5.08	6.80 - 37.78	0.21 - 0.93	
	Mean	0.086 (n = 1740)	1.99	14.70	0.43	662
Dec.'84	Min. - Max.	0.045 - 0.081	0.43 - 1.54	2.30 - 8.46	0.04 - 0.33	
	Mean	0.062 (n = 1740)	0.90	4.84	0.16	237
Mar.'85	Min. - Max.	0.057 - 0.098	0.40 - 2.13	2.66 - 14.07	0.11 - 0.55	
	Mean	0.076 (n = 1680)	1.15	7.57	0.23	358
Jun.'85	Min. - Max.	0.051 - 0.098	0.78 - 4.31	3.99 - 28.50	0.15 - 0.67	
	Mean	0.069 (n = 1740)	1.71	10.42	0.30	454
Average		0.073 (n = 6900)	1.44	9.38	0.28	428

て Table 1 に示した。細菌数は $0.40 \times 10^6 \sim 5.08 \times 10^6$ cells $\cdot\text{ml}^{-1}$ の範囲の値を示し、概略的に表層付近で細胞密度の高い傾向が認められた。一般に沿岸水域では、 $1 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6$ cells $\cdot\text{ml}^{-1}$ の密度で細菌が生息するとされており (Es and Meyer-Reil 1982, 今井 1989)、大阪湾の細菌は概ねこの範囲の密度で分布していると見なすことができよう。また総細菌数の季節的な変化をみると、9月、6月、3月、12月の順で細胞密度が高かった (Table 1)。この傾向は、高水温期に細菌数が多いことを示している。このような季節的傾向は、温帯水域であるドイツの沿岸 (Zimmermann 1977)、米国東部沿岸のチェサピーク湾 (Ducklow and Shiah 1993)、そして我が国では広島湾 (Iwamoto *et al.* 1994, 今井・山口 1996) および高知県浦ノ内湾 (Fukami *et al.* 1996) 等において観察されている。

大阪湾の水柱における海洋細菌の平均細胞密度の水平分布を Fig. 2 に示した。全般的に、湾の東部に高密度で存在しており、湾の西部～南部にかけて細菌密度は低かった。湾奥部は、流入する淀川系水の影響によって富栄養化しており、一方、湾の西部～南部は外洋系水の影響で比較的貧栄養であり (城 1985)、今回の調査結果はこのような傾向を反映しているものと考えられる。我が国の周辺海域において、広域的に海洋細菌の分布が調べられた例は殆ど無いが、瀬戸内海西端の周防灘における細菌の分布調査の結果 (今井 1984) を見ると、灘東部～中央部にかけての貧栄養水域で低密度、沿岸の富栄養

水域に高密度で分布していた。このように両水域共に、細菌密度の水平的分布傾向は富栄養化の程度を反映しているという点で類似していた。

各試水中の細菌の平均体積は、 $0.045 \sim 0.107 \mu\text{m}^3$ の範囲の値であった (Table 1)。4回の各調査時の細菌の平均体積は、 $0.062 \sim 0.086 \mu\text{m}^3$ (総平均 $0.073 \mu\text{m}^3$ 、総数 6900 細胞の体積を測定) で、季節的にはさほど大きな変動は示さなかった。本報で用いた画像解析と同じ手法で、周防灘、山口県大海湾、および広島湾における試水中の細菌の平均体積が測定されており、それぞれ、 $0.041 \sim 0.126 \mu\text{m}^3$ (平均 $0.098 \mu\text{m}^3$)、 $0.083 \sim 0.091 \mu\text{m}^3$ (平均 $0.088 \mu\text{m}^3$)、 $0.074 \sim 0.115 \mu\text{m}^3$ (平均 $0.094 \mu\text{m}^3$) の値が報じられている (今井 1984, Imai 1987, 今井・山口 1996)。沿岸海域における細菌の平均体積の測定例を見ると、概ね $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}^3$ の範囲にあるようである (今井 1989)。

大阪湾における水柱の単位容積当たりの細菌現存量は、 $2.30 \sim 37.78 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ (総平均 $9.38 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$) であった (Table 1)。同じ手法と炭素量変換係数を用いて測定された細菌現存量の報告例を参照すると、周防灘において $3.8 \sim 25.5 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 、山口県大海湾で $4.8 \sim 21.1 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 、広島湾では $7.6 \sim 40.4 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ の値が報告されている (今井 1984, Imai 1987, 今井・山口 1996)。大阪湾の細菌現存量も、これらの水域と同様な範囲にあるといえよう。

Fig. 3 に、単位面積当たりの細菌現存量 (炭素

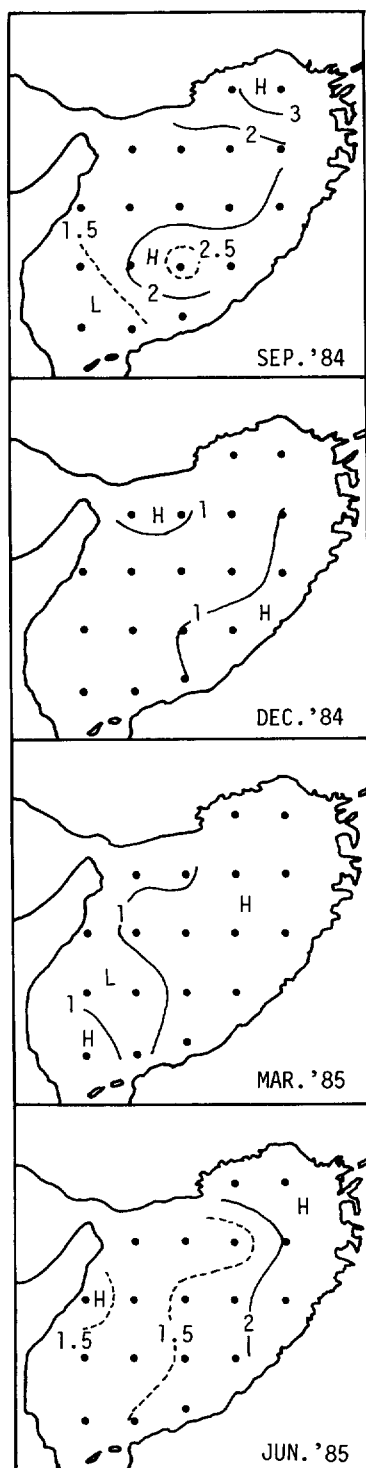


Fig. 2. Horizontal distribution of mean cell number ($\times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) of bacteria in the water column.

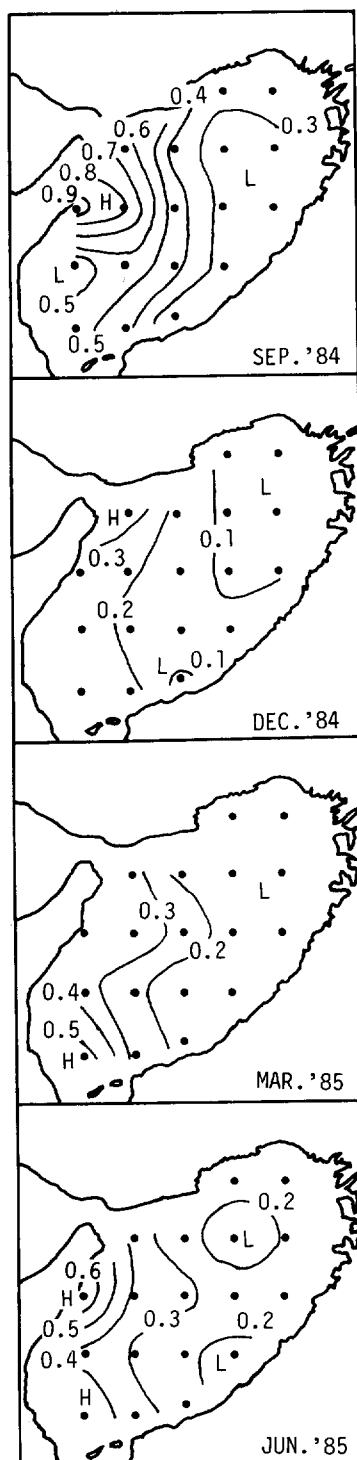


Fig. 3. Horizontal distribution of the bacterial biomass assessed as the amount of carbon ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$).

量)を示した。現存量は、 $0.04 \sim 0.93 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲の値であり、総平均は $0.28 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ であった (Table 1)。湾東部の浅海域においては、細菌密度は相対的に高い (Fig. 2) が水深が小さいため単位面積当たりの現存量はさほど小さくなく、一方、水深の大きい湾の西部～南部水域では比較的低密度であったが、水柱当たりの現存量は大きくなった。同様の傾向は周防灘においても観察されている (今井 1984)。なお大阪湾全体の細菌現存量は、炭素量として 237～662 tonC の間で季節的に変動し、年の平均値は 428 tonC と見積もられた。

同時期に基礎生産者である植物プランクトンの現存量が測定され、湾全体の平均として $7.8 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ という値が報じられている (Yamaguchi and Imai 1996)。細菌の現存量は平均 $0.28 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、植物プランクトンの値と比較す

ると、約 3.5% となった。同様の比率を見ると、1982年 5月と 7月の周防灘で平均 20% (今井 1984, 山口・安楽 1984), 1984～1985年の広島湾において 5～31% (平均 15%) の値が報じられている (山口他 1995, 今井・山口 1996)。植物プランクトンに対する細菌現存量の比は、貧栄養な水域になるほど高くなるといわれており (Simon *et al.* 1992), 大阪湾は富栄養化が著しい水域であることを考えると、そのような傾向と良く合っているといえよう。

海洋細菌の生産量

Fig. 1の東西線上において測定した細菌生産速度の鉛直分布図を Fig. 4に、測定値の最大値と最小値および平均値を Table 2に示した。細菌生産速度は $0.17 \sim 136.38 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ の間で変動した。全般的に表層付近で生産量は大きく、下層になるに従って小さくなる傾向が明らか

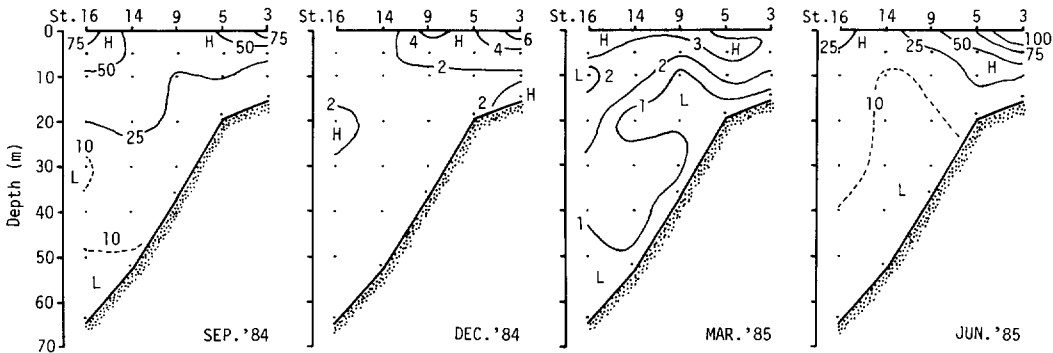


Fig. 4. Vertical profiles of bacterial productivity along the east-west section (see Fig. 1).

Table 2. Bacterial productivity in Osaka Bay.

Date		$\mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$	$\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$	$\text{tonC} \cdot \text{day}^{-1}$ (whole area)
Sep. '84	Min. - Max.	6.89 - 82.40	0.48 - 1.50	
	Mean	24.90	0.95	1447
Dec. '84	Min. - Max.	0.75 - 6.73	0.04 - 0.09	
	Mean	1.64	0.06	95
Mar. '85	Min. - Max.	0.17 - 3.84	0.03 - 0.10	
	Mean	1.62	0.06	96
Jun. '85	Min. - Max.	4.09 - 136.38	0.44 - 0.87	
	Mean	17.30	0.66	1002
Average		11.36	0.43	660

かである。また、湾の東部沿岸域と、西部の淡路島沿岸の定点 (St. 16) で高い生産量が認められた。生産量の季節的な変化は、現存量の変化に比べて著しく大きいのが特徴的であり、1桁以上変動する。すなわち、高水温期に生産速度は高く、低水温期に低かった。このような季節変化を調べた研究は極めて少ないが、同様の傾向は、米国チェサピーク湾 (Ducklow and Shiah 1993) や広島湾において (今井・山口 1996) 観察されている。この理由としては、高水温期に細菌の生産量は高くなるが同時に細菌に対する捕食圧も高くなるので、見かけ上の現存量が生産量の大きさを反映しないためと考えられる。

大阪湾における年間の細菌生産速度は、 $0.17 \sim 136.38 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (平均 $11.36 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) と見積もられた (Table 2)。本報と同様に、FDC法を用いて調査研究された他の水域における細菌生産速度の報告を見ると、春季の米国ジョージア州沿岸水域で $19 \sim 178 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (Newell and Christian 1981)、夏季のバルト海沿岸域で $10 \sim 30 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (Larsson and Hagström 1982)、9~10月のデンマークのリムフィヨルドで $2.6 \sim 14.5 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (Rieman *et al.* 1984)、1983年7月の周防灘で $3.6 \sim 19.2 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (今井 1985)、北部広島湾において季節的に測定された $5.5 \sim 63.3 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (平均 $24.7 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) (今井・山口 1996) 等の値が報じられている。また Cole *et al.* (1988) の総説によると、場所と測定法は様々であるが、水界における細菌生産量の範囲は概ね $0.4 \sim 150 \mu \text{gC} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ であるとされている。

大阪湾全体の細菌生産速度を求めると、 $95 \sim 1447 \text{tonC} \cdot \text{day}^{-1}$ で季節的に1桁以上変動し、現存量に比べると季節変化の幅は極めて顕著である。湾全体における年間の平均値は $660 \text{tonC} \cdot \text{day}^{-1}$ である。1年間の細菌生産量を計算すると、 $2.4 \times 10^5 \text{tonC}$ と算出される。同一時期に大阪湾で基礎生産量が ^{13}C 現場吊り下げ法によって測定され、その値は湾全体で年間 $14.8 \times 10^5 \text{tonC}$ と見積もられている (Yamaguchi and Imai 1996)。この値は、報告されたものとしては世界的にも珍しい高い値である (西沢 1986, 安

楽・西沢 1987)。細菌の生産量を基礎生産量と比べると16.3%となり、細菌による有機物同化効率を約50%とすると (Payne 1970)、基礎生産の約1/3が細菌を経由することになる。広島湾では、この比率が約50%であった (今井・山口 1996)。

細菌の現存量や生産量を求めるために今回用いた炭素量変換係数は、 $0.087 \text{gC} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Ferguson and Rublee 1976) であるが、この値は報告されているものの中では小さい方になる。Nagata and Watanabe (1990) が天然細菌から求め提唱している $0.14 \text{gC} \cdot \text{cm}^{-3}$ という係数を用いるならば、大阪湾において細菌を経由する基礎生産の割合は52%と見積もられる。

大阪湾の平均基礎生産量は、ナノプランクトンとマイクロプランクトンとを合わせて $971 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (前者が646, 後者が325) である (Yamaguchi and Imai 1996)。これら植物プランクトンを直接摂食すると考えられる微小動物プランクトンとネット動物プランクトンの生産量は、それぞれ $11.3 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (会沢 1987) および $23 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (古賀 1987) と見積もられている。動物プランクトンの摂食量は少なくとも生産量の約3倍あるので (西沢 1986)、その量は $102.9 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ と計算される。しかしながら、この被摂食量は基礎生産の高々10.6%を占めるに過ぎず、膨大な基礎生産は動物プランクトンによる生産 (二次生産) へと有効に転送されていないと言えよう (西沢 1986, 安楽・西沢 1987)。これに比べ、細菌の生産は $157 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ であり、上述のように基礎生産の約1/3が細菌を経由することになる (高い炭素量変換係数を用いれば約1/2と計算される)。今回の細菌生産量の測定には、海底面や底泥中の試料は含まれていない。干潟や浅海域の底泥表層堆積物中には、細菌が概ね $10^9 \text{cells} \cdot \text{cm}^{-3}$ のオーダーの密度で生息していることが知られている (Meyer-Reil 1983, Imai 1987)。すなわち、このことは底泥1cm深で水柱10m分のオーダーに相当する細菌が存在することを意味している。それゆえ、基礎生産者によって生産された有機物の大部分は細菌を経由し、微生物ループへと参入しているものと考えられる。微生物ループ

へと入った有機物は、最終的には捕食食物連鎖へと合流することになるが、そこに至るまでの食段階数が多いので、効率が悪いと推察される (Ducklow *et al.* 1986, 谷口 1990, 今井 1990)。以上のように、大阪湾における高い基礎生産力は、安楽・西沢 (1987) の指摘するように、高次の生物生産へとは効率的に転送されず、微生物ループの中で消費されている可能性が大きいと推論される。また、海底に沈降した有機物の行方においても、細菌が重要な役割を演じているものと考えられる。このような観点から、生物生産過程における微生物ループの役割を定量的に明らかにすることが将来重要な研究課題であろう。

摘 要

1984年9月から1985年6月までの間4回、東部瀬戸内海に位置する大阪湾において調査を実施し、海水中の海洋細菌の全細菌数、平均細胞体積、現存量、および生産量を測定した。細菌数の計数には DAPI 染色と落射蛍光顕微鏡による直接鏡法を用いた。細菌の細胞体積の測定は画像解析によった。細菌の増殖速度は、FDC法 (分裂細胞頻度法) によって求めた。

総細菌数は、 $0.40 \times 10^6 \sim 5.08 \times 10^6$ cells \cdot ml⁻¹ (平均 1.44×10^6 cells \cdot ml⁻¹) の値を示し、高水温期に多く、また表層付近および湾東部の沿岸域で高密度である傾向があった。試水中の細菌の平均体積は、 $0.041 \sim 0.107 \mu$ m³ (総平均 0.073μ m³, n=6900) の値であった。細菌現存量は、 $2.30 \sim 37.78 \mu$ gC \cdot l⁻¹ (総平均 9.38μ gC \cdot l⁻¹) であった。また単位面積当たりの現存量は、 $0.04 \sim 0.93$ gC \cdot m⁻² (総平均 0.28 gC \cdot m⁻²) であった。大阪湾全体の細菌現存量は、237~662 tonC (総平均 428 tonC) で季節的に変動した。

細菌の生産速度は $0.17 \sim 136.38 \mu$ gC \cdot l⁻¹ \cdot day⁻¹ (総平均 11.36μ gC \cdot l⁻¹ \cdot day⁻¹) の間で変動し、表層付近、および沿岸域で高い傾向が認められた。また季節的には高水温期に高く、季節変化の度合いも1桁以上もあった。大阪湾全体の生産量は $95 \sim 1447$ tonC \cdot day⁻¹ (平均 660 tonC \cdot day⁻¹) であり、年間の生産量は 2.4×10^5

tonC と見積もられた。基礎生産の 1/3 以上が細菌を経由することが示唆された。

謝 辞

本研究に対し有益なご助言と激励を賜った、元南西海区水産研究所赤潮部長の安楽正照博士、同研究所元赤潮生物研究室長の伊藤克彦博士 (現在養殖研究所環境管理部長)、ならびに同研究所元赤潮発生予察研究室長の古賀文洋博士 (現在新日本気象海洋株式会社) に、心から感謝の意を表します。また調査にあたって、採水等の洋上作業にご協力いただいた南西海区水産研究所調査船しらふじ丸の乗員各位に深謝します。本研究は、科学技術庁振興調整費による「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」の一貫として実施したものである。

文 献

- 会沢安志, 1987: 微小動物プランクトン. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究 (第II期) 成果報告書. 科学技術庁研究開発局, 313-316.
- 安楽正照・西沢 敏, 1987: 生物生産の動態. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究 (第II期) 成果報告書. 科学技術庁研究開発局, 388-389.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J. S. Gray, L.-A. Meyer-Reil and F. Thingstad, 1983: The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**, 257-263.
- Cole, J. J., S. Findlay and M.L. Pace, 1988: Bacterial production in fresh and seawater ecosystems: a cross-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **43**, 1-10.
- Ducklow, H. W., D. A. Purdie, P. J. LeB. Williams and J. M. Davies, 1986: Bacterioplankton: A sink for carbon in a coastal marine plankton community. *Science*, **232**, 865-867.
- Ducklow, H. W. and F. K. Shiah, 1993: Bacterial production in estuaries. In "Aquatic Microbiology - An ecological approach" (ed. by Ford, T. E.), Blackwell Sci. Publ., Oxford, 261-287.
- Es, F. B. and L.-A. Meyer-Reil, 1982: Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In "Advances in microbial ecology vol. 6" (ed. by Marshall, K. C.), Plenum Press, New York, 111-170.
- Ferguson, R. L. and P. Rublee, 1976: Contribution of bacteria

- to standing crop of coastal plankton. *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 141-145.
- Fukami, K., N. Murata, Y. Morio and T. Nishijima, 1996: Distribution of heterotrophic nanoflagellates and their importance as the bacterial consumer in a eutrophic coastal seawater. *J. Oceanogr.*, **52**, 399-407.
- Hagström, A., U. Larsson, P. Horstedt and S. Normark, 1979: Frequency of dividing cells, a new approach to the determination of bacterial growth rates in aquatic environments. *Appl. Environ. Microbiol.*, **37**, 805-812.
- 今井一郎, 1984: 周防灘における海洋細菌の粒子径組成と現存量. 南西水研研報, **17**, 183-196.
- 今井一郎, 1985: 微生物の動態. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究(第I期)成果報告書. 科学技術庁研究開発局, 233-236.
- Imai, I., 1987: Size distribution, number and biomass of bacteria in intertidal sediments and seawater of Ohmi Bay, Japan. *Bull. Jpn. Soc. Microb. Ecol.*, **2**, 1-11.
- 今井一郎, 1989: 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.
- 今井一郎, 1990: 海洋における従属栄養性微小鞭毛虫類の細菌捕食者としての役割. 月刊海洋, **22**, 60-66.
- 今井一郎・山口峰生, 1996: 北部広島湾における海洋細菌の現存量と生産量, および従属栄養性微小鞭毛虫類の季節変化. 南西水研研報, **29**, 75-86.
- Iwamoto, N., I. Imai and S. Uye, 1994: 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.
- 城久, 1985: 大阪湾. 日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編集委員会編, 東海大学出版会, 642-655.
- 古賀文洋, 1987: ネット動物プランクトン. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究(第II期)成果報告書. 科学技術庁研究開発局, 317-321.
- 木暮一啓, 1994: 微生物を介した物質循環. 現代の水産学, 日本水産学会出版委員会編, 恒星社厚生閣, 181-190.
- Larsson, U. and A. Hagström, 1982: Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and bacterial production in a Baltic eutrophication gradient. *Mar. Biol.*, **67**, 57-70.
- Meyer-Reil, L.-A., 1983: Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow water station in the western Kiel Bight II. Analysis of benthic bacterial populations. *Mar. Biol.*, **77**, 247-256.
- 村上彰男, 1976: 瀬戸内海の海域生態と漁場, フジ・テクノシステム, 415 p.
- 永田俊, 1993: 微生物ループと水圏物質循環-溶存態有機物の生成と分解をめぐって-. 日本微生物生態学会報, **8**, 149-155.
- Nagata, T. and Y. Watanabe, 1990: Carbon- and nitrogen-to-volume ratios of bacterioplankton grown under different nutritional conditions. *Appl. Environ. Microbiol.*, **56**, 1303-1309.
- Newell, S. Y. and R.R. Christian, 1981: Frequency of dividing cells as an estimator of bacterial productivity. *Appl. Environ. Microbiol.*, **42**, 23-31.
- 西沢敏, 1986: プランクトンフィーダー. 漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制, 村上彰男編, 恒星社厚生閣, 12-18.
- Payne, W. J., 1970: Energy yields and growth of heterotrophs. *Ann. Rev. Microbiol.*, **24**, 17-52.
- Porter, K. G. and Y. S. Feig, 1980: The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 943-948.
- Rieman, B., P. Nielsen, M. Jeppesen, B. Marcussen and J. A. Fuhrman, 1984: Diel changes in bacterial biomass and growth rates in coastal environments, determined by means of thymidine incorporation into DNA, frequency of dividing cells (FDC), and microautoradiography. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **17**, 227-235.
- Sherr, E. B., B. F. Sherr and G. A. Paffenhofer, 1986: Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs? *Mar. Microb. Food Webs*, **1**, 61-80.
- Simon, M., B. C. Cho and F. Azam, 1992: Significance of bacterial biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **86**, 103-110.
- 谷口旭, 1990: 微小動物プランクトン研究の歴史と将来の展望(I). 月刊海洋, **22**, 3-9.
- 山口峰生・安楽正照, 1984: 瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について. 南西水研研報, **17**, 135-149.
- Yamaguchi, M. and I. Imai, 1996: Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity in Osaka Bay, eastern Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.*, **29**, 59-73.
- 山口峰生・今井一郎・松尾豊, 1995: 広島湾における植物プランクトンの現存量と光合成速度の季節変化. 南西水研研報, **28**, 63-72.
- Zimmermann, R., 1977: Estimation of bacterial number and biomass by epifluorescence microscopy and scanning electron microscopy. In "Microbial ecology of a brackish water environment" Ecological studies 25 (ed. by Rheinheimer, G.), Springer-Verlag, Berlin, 103-120.

Zimmermann, R., R. Iturriaga and J. Becker-Birck, 1978:
Simultaneous determination of the total number of

aquatic bacteria and the number thereof involved in
respiration. *Appl. Environ. Microbiol.*, **36**, 926-935

1996年12月13日受理 (Accepted on December 13, 1996)

南西海区水産研究所業績 A 第60号 (Contribution No. A60 From the Nansei National Fisheries Research Institute)

今井一郎：京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻海洋環境微生物学研究室 〒606-01 京都市左京区北白川追分町 (I. Imai: Laboratory of Marine Environmental Microbiology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Sakyou, Kyoto 606-01, Japan)

山口峰生：南西海区水産研究所赤潮環境部 〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石 2-17-5 (M. Yamaguchi: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)