

# 海洋地域における細菌の分布とその活動

三田直樹<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

一般に「細菌」という言葉を聞くと、すぐに「コレラをはじめとする病原菌」といった悪いイメージを連想する人が多いと思われる。しかし、多くの細菌は悪者ではない。例えば、河川や湖沼の水質が自然に浄化されるのは有機物を分解する細菌の働きであり、動植物の死骸を分解して自然界を浄化してくれるのも彼らのお蔭である。そして動物の腸内に住んで、食物を消化する手助けもしているのである。0.3~数μm程度の大きさの微生物である細菌は、第1図に示すように地球が誕生してから最初の細胞性生物と考えられている。長い進化の過程を経て、様々な機能を得た多様な種類の細菌が存在しており、地球環境のコントロールにも貢献してきた。

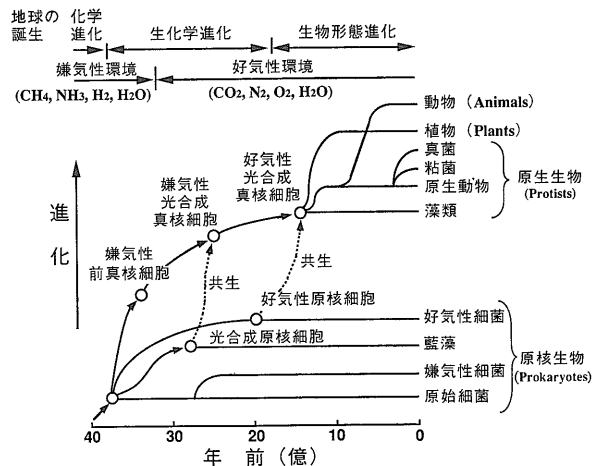
海洋に棲息する細菌ともなれば、ますます一般の人には馴染みが薄い存在かもしれないが、彼らは有機物を分解して海洋を浄化し、あるいは原生動物や動物プランクトンの餌料となって、海洋の物質循環や生態系に重要な役割を果たしているのである。海は生命の母とも言われ、人類は古くから魚介類や海草類を採って生活し、海洋の恩恵に浴してきたが、それも我々の目に見えない細

菌をはじめとする微生物群の働きが支えていると言えるだろう。ここでは、「海の化学者ともいわれる海洋細菌」について、その分布と活動の一端を紹介する。

## 2. 海は生命にとって厳しい場所?

生命がどこからどのようにして誕生したかは今だに未解明であるが、海洋が生命誕生の場所ではないかとも言われている。だが、海は多くの生物にとって住みごころが良い場所だろうか。

水中では10m深くなるに従って水圧が約1気圧増大し、水温層躍以下のところ(海洋の90%を占める)では5℃以下の低温である(ZoBell, 1961)。しかもこの深度の大半の部分には光は届かず、闇の世界になる。さらに海水の塩分濃度は外洋で33~37% (濃度単位‰は、パーミルとよみ、海水1kg中に含まれる塩類のg数をいう)で、第1表の化学組成(半谷, 1960)からもわかるようにその主成分(塩類の約80%)は塩化ナトリウムである。特にベルシャ湾や紅海では強い日射のために水分の蒸発が激しく、表面海水の塩分は約40%にも達している。更に、有機物を栄養源とする細菌(従属栄養細菌)にとって、特に外洋は



第1図 高等生物と微生物群の進化の仮説(堀内ほか, 1986).

第1表 海水の化学成分(半谷, 1960). 塩素量 Cl=19‰の海水1kgに含まれるイオンのg数およびその百分率.

イオン	g / kg	%
Cl <sup>-</sup>	18.980	55.04
Br <sup>-</sup>	0.065	0.19
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.649	7.68
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.140	0.41
F <sup>-</sup>	0.001	0.00
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.026	0.07
Mg <sup>2+</sup>	1.272	3.69
Ca <sup>2+</sup>	0.400	1.16
Si <sup>2+</sup>	0.007	0.02
K <sup>+</sup>	0.380	1.10
Na <sup>+</sup>	10.556	30.61
計	34.476	99.97

1) 地質調査所 地殻化学部

キーワード: 海洋, 細菌, 細菌現存量, リポ多糖, LPS, 炭素循環

栄養源に乏しい場所でもある。

このような環境では、海はとても普通の生物には生き難いと思われる。しかし細菌をはじめとする海洋生物たちはそのような厳しい環境に適応して、たくましく棲息しているのである。

### 3. 海洋での細菌の適応性

海洋生物は塩分に敏感に反応するが、それぞれの生育に適した塩分濃度（いわゆる至適塩分濃度）があることは古くから知られている。ZoBell (1959) は種々の試料を用いて、塩分濃度を 0.5~25% の範囲で変えた寒天栄養培地に生育する細菌数を比較している。それによると、海水及び海底泥試料中の細菌は 3.5% の塩分の培地中にその最大数が生育し、塩田や塩湖試料中の細菌は 25% 塩分濃度で、土壌と下水中の細菌は 0.5% 塩分濃度でそれぞれが生育最大となったという。すなわち、細菌の至適塩分濃度は生育する環境と一致する傾向にあることが認められた。

また、光の届かない低温と極度の高圧下にある深海底においても、海域による差はあるが、表層堆積物中で生きた細菌が検出されている。ZoBell and Morita (1957) はフィリピン海溝の水深およそ 10,000m から採取した海底堆積物を、3~5℃ において現場と同様の圧力条件（1,000 気圧）で培養した場合、1 気圧での培養条件下よりも細菌がよく増殖することを報告している。

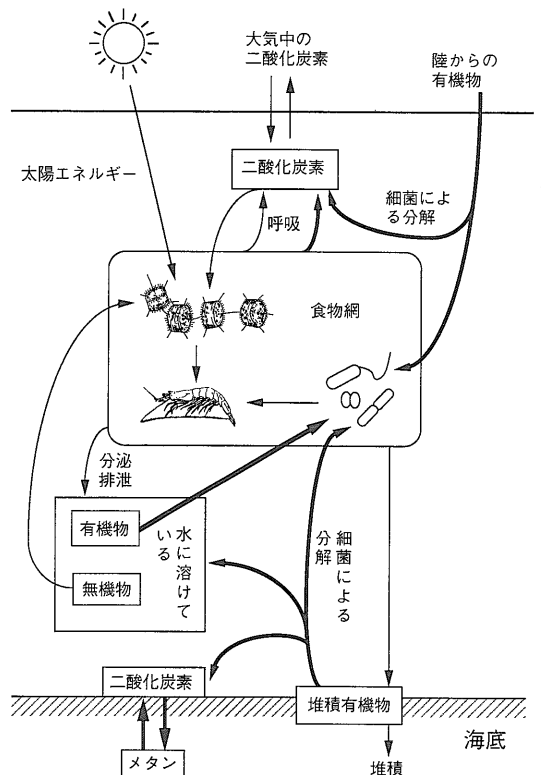
一方、海底拡大部や海底火山周辺における海底熱水活動が盛んな海域では、水深 2,000 m ~ 3,000 m 台の海底から噴出する熱水中の高濃度な無機化合物を主栄養源とし、高熱を好条件として繁殖する化学無機栄養細菌（化学合成細菌とも呼ばれる）の存在が知られている。これらの細菌は熱水の流れに沿って群棲する特異な動物達の餌料源、あるいはその共生体としての役割を担っている。ガラパゴス沖の深海熱水（周辺海水が約 2℃ に対し、17℃）からは、Corliss ら (1979) が、硫黄を酸化する高濃度 ( $10^8 \sim 10^9$  cells/ml) の細菌群の存在を報告している。Baross and Deming (1983) はチムニー（海底から突き出した、金属硫化物から成る構造物。煙突状の構造からチムニー Chimney と呼ばれる）から採取した 306℃ の噴出水を、現場圧の 265 気圧で培養したところ、少なくとも 250℃ で成長する好熱細菌が確認されたと報告して話題となったが、これには微粒子混入などの疑問も投げかけられた。これらの細菌の役割については、Jannasch and Mottl (1985)、三田・前田 (1988) らの総説、および Jannasch (1989) の報告を参考にされたい。

### 4. 海洋におけるミクロの化学者「細菌」

微小サイズの細菌たちは海洋においても陸上と同じ様に、有機物の生成と分解の過程に貢献しており、清水 (1982) は彼らを「海の化学者」と呼んでいる。海洋における複雑な物質の循環に、このミクロの化学者たちほどのように関与しているのだろうか。

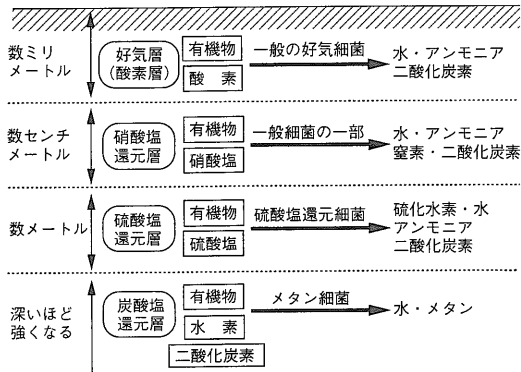
有機物の主要な構成元素である炭素を中心にした、清水 (1982) による循環図（第 2 図、第 3 図）が理解を容易にしてくれる。第 2 図からは以下のことがらが説明できる。

- (1) 海水に溶けている二酸化炭素が、植物プランクトンなどの光合成によって、有機物（炭水化物）となり生物に吸収される。
- (2) 植物体の有機物は動植物の代謝により、一部が二酸化炭素として体外に放出され、一部はそのまま有機物として分泌・排泄される。
- (3) 細菌は、動植物の死骸や分泌・排出された有機物を分解し、体内にとりこむ。
- (4) 細菌の活動によって、多くの有機炭素は最終的に二酸化炭素になる。
- (5) 水中で分解を免れた動植物の死骸は、海底に堆積し



第 2 図 海洋における炭素サイクル（清水，1982）。太い線で示したものは細菌の働きを意味する。

海 底



第3図 海底での有機物の分解 (清水, 1982).

て細菌に分解される。

(6)海底に酸素が充分にある時には、分解の結果、二酸化炭素となる。

というプロセスを得て炭素は変化しているが、湾内のように海底の酸素が消費されつくしている時には、第3図のプロセスを通して二酸化炭素とメタンになる。即ち、

(7)有機物の分解に必要な酸素がない所では、硝酸塩・硫酸塩・炭酸塩に含まれている酸素が、気体の酸素の代りに使用される。

そして、これらの分解を免れた堆積物中の有機物は海底に埋もれて、海洋の物質循環から去って行くのである。

5. 海水中の細菌現存量の測定

一般に海洋の細菌はどのくらいの大きさだろうか。

Maeda and Taga (1983) が沿岸及び外洋域で調査した

第3表 海水中の細菌現存量の測定方法 (三田・前田, 1988)

測定方法	特 徴
1. 直接計数法	
1) 落射型蛍光顕微鏡法	蛍光染色を用いる。標準的方法で、2),3)の装置より安価で手軽。
2) 画像処理装置法	1)の撮影写真をコンピュータ解析。形状分類・体長・体積測定可能。
3) 走査型電子顕微鏡法	高分解能。細菌の微細構造の観察に優れている。
4) フローサイトメトリー	直接計数法の中で最も迅速。
5) 蛍光抗体法	特定の菌に特異的で迅速・高感度。抗体作成に手間を要する。
2. 培養計数法	
6) 寒天培地平板法	目的菌の分離培養に適する。直接法より約1~2桁低い計数値。
7) 段階希釈法	同上(液体培養)。6)で培養不可の菌も一部可。計数値は6)より約1桁高い。
3. 生体物質による測定法	
8) 核酸(特にDNA)	生存細胞の指標。細菌と他の微生物との分別が困難。
9) アデニン三リン酸(ATP)	同上。
10) 脂肪酸	細菌に固有な構造を保有。大量の試料必要。抽出に時間を要す。
11) ムラミン酸*	グラム陰性菌に対し藍藻は500倍、グラム陽性菌は3倍多く含まれる。
12) リボ多糖*	グラム陰性菌に固有で、測定は迅速・高感度。構造により若干活性に差を生ず。

\* 海洋細菌の大部分がグラム陰性菌である。

第2表 海水中の細菌の大きさの分布 (Maeda and Taga, 1983).

水 域	細菌の最大長 (μm)				
	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
東京湾 (Station T-2)	1.4%	90.9%	6.9%	0.6%	0%
相模湾 (Station A-1)	1.2	58.9	29.4	9.1	1.6
大植湾 (Station O-6)	1.0	48.3	37.4	9.4	2.4
小笠原海溝水域 (Station P-8)	2.2	73.7	22.6	1.6	0

海水中の細菌のサイズ分布を第2表に示す。また木暮(1985)によると天然海水中の細菌は、沿岸部でもほとんどが0.8μm以下、外洋では0.5μm以下の自由遊泳型のものであるという。

このように微小な海水中の細菌の現存量を測定するには、第3表に示した方法(三田・前田, 1988)が主に用いられている。いずれの方法でも、測定値を炭素量に換算して細菌の現存量として求めることができる。例えば、直接計数法で求めた細菌数の場合、大半の海洋細菌が平均直径0.6μmの球菌とみなせば、細胞1個当たりの体積は0.2μm<sup>3</sup>、湿重量は約2×10<sup>-10</sup>mg、有機炭素にして2×10<sup>-11</sup>mgに相当する。また、LPSは海洋細菌に特異的な物質であり、迅速かつ高感度に測定できることから、現在のところ生体成分のなかで最も良い指標と考えられている。細菌炭素量は、1mgのLPSが11.7mgの有機炭素量に相当するとした指数を用いる。

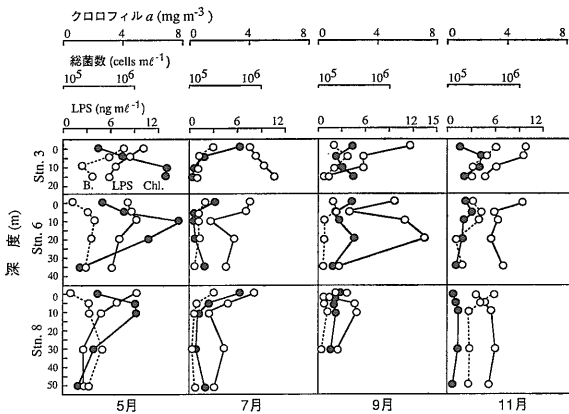
6. 海水中の細菌の分布

細菌の海洋環境における分布は、一般の微生物と同様に、

微視的・巨視的に不均一である。特に栄養分の多い表層では細菌数が多く、深層部になるにつれて減少する傾向にある。海域による違いも大きく、表層海水において比較すると、細菌数は河川からの栄養分の供給が多い河口周辺では沿岸よりも多く、栄養の少ない外洋域では沿岸よりも更に少なくなる。このことは、第4表を見るとよくわかる。また前田(1982)により、細菌と植物プランクトンの棲息場が異なることが

第4表 河口・沿岸・外洋域における海水中の細菌の総数 (van Es and Meyer-Reil, 1982 から抜粋).

海 域	採水深度 (m)	細菌数 (cells/ml)	文 献
河口 北海 (Elbe河口, 低塩濃度)	1	$115 \times 10^5$	Saltzman (1980)
沿岸 米国東海岸	0~50	$21 \times 10^5$	Ferguson and Palumbo (1979)
	5	$18 \times 10^5$	Johnson and Sieburth (1979)
オーストラリア海岸 (珊瑚礁上)	表層	$2 \sim 5 \times 10^5$	Moriarty (1979)
	表層	$6.5 \times 10^5$	Fuhrmann and Azam (1980)
外洋 北太平洋 (30°37-39'N, 155°22'W)	1	$1.4 \times 10^5$	Carlucii and Williams (1978)
	75	$0.5 \times 10^5$	
	500	$0.2 \times 10^5$	
	1,500	$0.07 \times 10^5$	
	5,500	$0.05 \times 10^5$	



第4図 大槌湾海中における総菌数 (B.), 細菌バイオマスの指標となる LPS 量, および植物プランクトンの指標となるクロロフィル a (Chl.) 量の分布 (前田, 1982). LPS は, 海洋細菌の細胞壁構成成分であるリポ多糖 lipopolysaccharide の略号である.

示唆されている. 第4図にその分布を示す. さらに, 海底熱水活動域における深海水中の異常に高濃度な細菌現存量の分布に着目し, 海水中の LPS 濃度分布から熱水活動域を迅速に探査する方法も試みられている (三田・前田, 1988).

### 7. おわりに

海洋の細菌は種類が多く, その機能も多岐にわたっている. ここでは海洋の物質循環 (即ち地球環境のコントロール) に寄与している「細菌の分布」という観点に絞って概観した. 海水及び海底堆積物における水平・鉛直方向の細菌現存量は, 海洋での有機物質の生産・分解バランスを考察するための基礎情報となる.

細菌現存量の測定については LPS 測定法によって随  
1992年4月号

分と迅速定量が可能となってきた. しかし, 現場でどのような種類の細菌がどの程度棲息しているかを知るには, 今のところ培養法に頼らざるを得ず, 多くの労苦を必要とする. 今後, 簡便な生化学的手法が出現することを期待したい. なお, 水産庁養殖研究所の前田昌調博士には, 本稿の執筆にあたって助言を戴いた. ここに謝意を表します.

### 文 献

Baross, J. A. and Deming, J. W. (1983): Growth of 'black smoker' bacteria at temperature of at least 250°C. *Nature*, **303**, 423-426.

Corliss, J. B., Dymond, J., Gordon, L. I., Edmond, J. M., von Herzen, R. P., Ballard, R. D., Green, K., Williams, D., Bainbridge, A., Crane, K. and van Andel, T. H. (1979): Submarine thermal spring on the Galapagos Rift. *Science*, **203**, 1073-1083.

Ferguson, R. L. and Palumbo, A. V. (1979): Distribution of suspended bacteria in neritic waters south of Long Island during stratified conditions. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 697-705.

半谷高久 (1960): 水質調査法. 丸善. p. 69.

堀内忠郎・尾辻望・深沢義村・桐谷和文・福田鎮雄・稲森善彦・澤井哲夫 (1986): 新版現代微生物学. 朝倉書店, p. 79.

Jannasch, H. W. (1982): Chemolithotrophic productivity at deep-sea hydrothermal vents. Recent advances in microbial ecology, *Proceedings of the International Symposium on Microbial Ecology (ISME 5)*. Japan Scientific Societies Press, 23-27.

Jannasch, H. W. and Mottl, M. J. (1985): Geomicrobiology of deep-sea hydrothermal vents. *Science*, **23**, 717-725.

Johnson, P. W. and Sieburth, J. McN. (1979): Chromococoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 928-935.

木暮一啓 (1985): 直接計数法, 海洋微生物研究法 (門田元・多賀信夫編). 学会出版センター. 33-40.

前田昌調 (1982): 海水中の細菌現存量の測定とその意義. 微生物の生態10 (日本微生物生態学会編), 学会出版センター, 33-44.

Maeda, M. and Taga, N. (1983): Comparison of cell size of bacteria from four marine localities. *La mer*, **21**, 207-210.

三田直樹・前田昌調 (1988): 海底熱水活動に伴う細菌の存在とその現存量の測定方法. *地球化学*, **22**, 106-113.

Moriarty, D. J. W. (1979): Biomass of suspended bacteria over coral reefs. *Mar. Biol.*, **53**, 193-200.

清水 潮 (1982): 科学全書2, 海の微生物たち. 大月出版.

van Es, F. B. and Meyer-Reil, L. A. (1982): Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In: *Advances in microbial ecology*, (ed. Marohall, K. C.), **6**, 111-170.

ZoBell, C. E. (1959): *N. Z. Dep. Sci. Industr. Res. Inf. Ser.*, **22**, p. 7.

ZoBell, C. E. (1961): Importance of microorganisms in the sea, *Proc. Low Temp. Microbiol. Symp., Campbell Soup Comp.*, 107-132.

ZoBell, C. E. and Morita, R. Y. (1957): Barophilic bacteria in some deep sea sediments. *J. Bact.*, **73**, 563-568.

MITA Naoki (1992): Distribution and activities of bacteria in the ocean.

<受付: 1992年1月29日>