

浦の内湾湾口部砂浜の微生物の分布とその活性

柴田克己・五島明日香・三好英夫
高知大学海洋生物教育研究センター
高知県土佐市宇佐町井尻194

Bacterial distribution and their decomposing activity in a intertidal sandy beach at the mouth of Uranouchi Bay

Katumi SHIBATA, Asuka GOTO, and Hideo MIYOSHI

Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Usa-cho, Tosa, Kochi 781-11, Japan

Abstract : To elucidate the mechanisms of bacterial attack of organic matter in a intertidal sandy beach, bacterial distribution, *in situ* decomposing activities and several environmental factors were investigated in Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. In the beach viable bacteria were more abundant at the surface and decreased with increasing core depth, but seasonal variation of bacterial numbers was not clear. The same distribution pattern described above was observed for proteolytic and amylolytic groups of bacteria but *in situ* proteolytic and amylolytic activities in the beach are declined markedly with increasing depth and toward winter. Electron transport system (ETS) activity was also low in winter. In addition, low COD values and low ratios of total amino acids to total carbohydrates in the beach sands were observed. These facts strongly suggested that the biodegradation of particulate matter on and in the sand occurs in the early stage after deposition and controlled by ambient temperature rather than by microbial biomass.

Key words : Sandy beach ; Bacterial distribution ; Decomposition

緒 言

海と陸との境界となっている潮間帯は、潮汐周期や波浪作用などにより、海と陸それぞれの影響が卓越する時期が交互に訪れ、環境変動の大きい所であるにもかかわらず、各種の微生物活動は活発なことが知られている(林, 1983)。そのため最近では潮間帯特に砂浜は、沿岸海水浄化の場として注目されるようになり、そこに生息している微生物についてもかなりの知見が集積されつつあるが、多様な海浜環境下でのその挙動を完全に把握するには到っていない。

そこでそのような特異な環境に関する基礎的な知見を収集するため、周年にわたって比較的高温で、漁業活動も活発な、高知県浦の内湾湾口部に位置する砂浜を対象として取り上げ、砂浜の微生物の分布とその活性を調査したのでその結果を報告する。

調査対象海浜

調査は高知県土佐市浦の内湾の湾口部南岸に広がる砂浜で行った(Fig. 1)。浦の内湾は土佐湾に開口する長さ12km、幅0.3-1.4kmの細長い内湾で、近くにある仁淀川に由来する漂砂のため、湾口付近にはかなりの規模の砂州が発達しており、湾は全般的に閉鎖性が強く、海水交換も必ずしも十分ではない。またこの湾は大きな流入河川もなく集水域もせまいが、湾周辺部に点在する小集落よりの生活排水と、湾内での給餌養殖に由来する残餌などの汚染により、近年急激に富栄養化が進んでおり、昨今では例年夏期に底層に無酸素水塊が出現する。従って湾口部の砂浜にも、特に高水温期の引き潮時にはかなりの有機物負荷が起こっている。

る。今回主として試料を採取した地点は、宇佐大橋の真下の潮間帯中央部に位置する Sta. 2 で、この付近の浜の潮間帯は約20mに達し、導流堤と、砂浜を分断している小規模の突堤の影響で、湾口部ではあるが強い波浪の影響は比較的受けにくい所である。なお一部の調査は冠水条件の違いを考慮して、Sta. 2 から10mほど陸側に寄った平均高潮線上のSta. 1 と、逆に10mほど海側に位置する平均低潮線付近の Sta. 3 と、さらにそこより10m程沖に位置する Sta. 4 においても実施した。

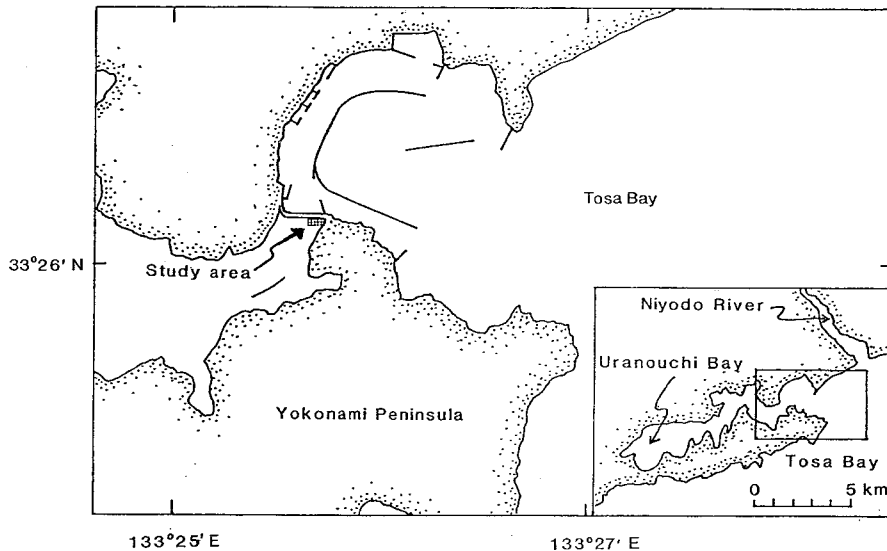


Fig. 1. Map showing the present survey was carried out.

材料と方法

砂試料 試料の採取はプラスチック製柱状採泥管、或いは滅菌したステンレス製薬匙を用いて行った。

化学分析 COD：アルカリ性過マンガン酸カリウム法（日本海洋学会，1979）によった。

全炭水化物含量：風乾試料に少量の72%硫酸を加え、40–45℃で1時間処理し、更に1 N硫酸の存在下で100℃に7時間保ち、炭水化物を単糖にまで分解し（鶴崎・石渡，1986）、生じた単糖をフェノール硫酸法（小山ら，1972）で定量した。

全アミノ酸含量：風乾試料に6 N塩酸を加え、封管中で100℃、24時間加水分解したのち、ニンヒドリン法（小山ら，1972）により定量した。

ATP含量：砂試料にpH7.7のMcIlvaine緩衝液を添加、3分間沸騰水中で加熱、冷却後遠心して得られた上澄液をATP抽出液とした。この抽出液にルシフェリンとルシフェラーゼを加え、生じた蛍光をATPフォトメーター（S A I社製2000型）により測定し、予め作成しておいた標準曲線よりATP濃度を求めた（Jones，1979 a）。なお、同様の操作で行った予備実験において98%の回収率が得られたため、測定値にたいする特別な補正は行わなかった。

水分含量測定 常法に従い105℃で恒量になるまで乾燥を繰り返し、その減量を百分率で表した。

粒度分析 標準ふるいをを用いる常法（日本水産資源保護協会，1980）によった。

細菌の培養計数 ZoBellの2216 E培地の有機栄養素のみを1/10に減じた培養基を用い、常法に従って塗抹平板をつくり、25℃または15℃で2週間培養し、生じたコロニーの数から生菌数を推定した。

細菌の有機物加水分解能 カゼイン及びでんぷん加水分解能は、上述の計数平板よりの単離菌について林（1985）の記述に従い判定を実施し、セルロース分解能はKadotaの培地中での濾紙片の崩壊によって判定した（Kadota，1956）。

現場に於ける有機物の分解能 アズール色素で標識したhide powder (Sigma社製) またはstarch (Sigma社製) をモデル基質として用い、その10mg を20μmの網目のアッセイバックに封入、現場の砂中に埋め一週間後に回収、残存している基質を定量して分解量を算出した (三好ら, 1986)。

E T S 活性の測定 E T S 活性の測定はOlanczuk-Neyman & Vosjan (1977) の方法を一部改変して行った。すなわち、特に断らない限り、砂試料0.5g にTriton X-100を含むリン酸緩衝液 (pH 8.0) 5 mlを加え、ボルテックスミキサーで1分間強く攪拌、次いで2000rpmで10分間遠心処理し、得られた上澄液にN A D H、N A D P H及びI N Tを添加、35℃で30分間インキュベートし、生成されたI N T-formazan量を求めた。これをオートクレイブした試料で得られたブランク値で補正、更にWiezer & Zech (1976) の提案に従って湿砂1gあたりの酸素消費速度に換算、ついでArrheniusの式にしたがって現場温度下での活性に換算し (Packard *et al.*, 1971)、現場における無機化速度を推定した。

結 果

砂浜における細菌の分布

砂浜の物質代謝特に分解の主役は、おそらく好気性の有機物利用菌であろう。そこで、先ずこれらの菌の砂浜での分布状況を改変marine 2216E培地を用いる塗抹培養法によって調査した。結果はTable 1に示した通りで、この改変培地上で生育可能な菌は鉛直的には浅層部に多く、場所的には潮間帯の最深部に近いSta. 3でやや少なく、季節的には10月にやや多くなる傾向が認められたが、いずれも特に顕著なものではなかった。

Table 1. Seasonal and vertical distribution of viable bacteria in the beach sands and overlying water

Sample	Station	Core depth (cm)	Viable bacteria (cfu / g wet sand or ml water)			
			Aug.7	Oct.28.	Dec.10	Feb.24
Sand	1	0-1	1.7×10^6	8.1×10^6	1.3×10^6	8.5×10^5
		5-6	—	4.9×10^5	4.8×10^5	1.4×10^6
		10-11	8.1×10^4	1.1×10^5	2.6×10^5	6.6×10^5
		20-21	1.5×10^5	4.5×10^5	4.6×10^5	1.0×10^5
	2	0-1	4.9×10^5	9.5×10^5	4.7×10^5	3.6×10^5
		5-6	—	2.1×10^5	3.8×10^4	3.4×10^5
		10-11	3.0×10^4	4.3×10^5	5.3×10^4	5.1×10^4
		20-21	5.0×10^4	9.0×10^4	1.8×10^4	1.4×10^4
	3	0-1	2.0×10^6	4.5×10^6	1.9×10^6	3.2×10^6
		5-6	—	2.0×10^6	6.0×10^5	1.8×10^5
		10-11	1.4×10^6	1.0×10^6	1.9×10^5	9.0×10^4
		20-21	1.5×10^5	4.5×10^4	4.0×10^4	9.1×10^4
Water	3	—	3.0×10^5	1.6×10^5	—	

なお、培養可能な細菌を、砂の中の主要な有機成分の分解者という観点から、カゼイン分解菌、でんぷん分解菌、及びセルロース分解菌の3群に区分すると、Table 2に示した結果がえられた。改変 marine 2216E培地からの単離菌の20-30%がカゼインまたはでんぷんを分解する能力を有していたが、セルロース分解能を有する菌のみはかなり少なく、その分布も低潮線付近の表層部でやや多くなったことの外には、特に有意な傾向は認められなかった。

砂浜の環境特性

細菌の計数と並行して、その分布と活性に影響していると考えられる砂の特性を調査した。そのうち有機物の指標として汎用されているC O Dの分析値はTable 3に示したように、2, 3の例外的なケースを別に

すれば、鉛直的には砂の表層部でやや大きく、場所的には潮間帯中央部で幾分小さく、季節的には低水温期に向けてやや小さくなる傾向が認められた。

Table 2. Numbers of viable bacteria having several hydrolytic abilities in the beach sands and overlying seawater

Date	Sample	Station	Core depth (cm)	Caseinolytic bacteria (cfu/g or ml)	Amylolytic bacteria (cfu/g or m)	Cellulolytic bacteria (MPN/g or ml)
Oct. 28, 1988	Sand	1	0-1	4.3×10^6	7.4×10^6	9.0×10
			5-6	1.5×10^5	1.2×10^5	7.5×10^2
			10-11	2.6×10^4	2.4×10^4	4.0×10
			20-21	1.3×10^5	6.6×10^4	4.3×10^2
		2	0-1	1.7×10^5	2.8×10^5	9.3×10
			5-6	3.1×10^4	2.5×10^4	1.5×10
			10-11	1.0×10^5	1.4×10^5	9.0
			20-21	7.9×10^3	2.6×10^3	9.0
		3	0-1	2.0×10^6	2.0×10^6	2.4×10^3
			5-6	1.2×10^5	5.3×10^4	2.4×10^3
			10-11	1.3×10^5	1.9×10^4	9.3×10^2
			20-21	—	4.2×10^3	9.0×10
Water	3		5.3×10^4	1.5×10^5	4.3	
Dec. 10, 1988	Sand	1	0-1	3.0×10^4	1.0×10^6	4.3×10^2
			5-6	3.0×10^4	4.0×10^5	9.3×10^2
			10-11	1.4×10^4	4.0×10^5	4.3×10^2
			20-21	2.6×10^4	1.2×10^5	7.5×10^2
		2	0-1	3.0×10^4	3.0×10^5	6.4×10^2
			5-6	3.0×10^3	2.0×10^4	9.0×10
			10-11	—	1.4×10^4	1.5×10^2
			20-21	2.0×10^3	1.4×10^4	4.0×10
		3	0-1	9.0×10^4	7.5×10^5	4.6×10^3
			5-6	5.0×10^3	2.5×10^5	3.9×10^2
			10-11	1.0×10^3	1.0×10^4	2.1×10^2
			20-21	3.0×10^3	2.0×10^4	9.0×10
Water	3		1.0×10^4	2.5×10^4	4.6×10	

Table 3. Chemical oxygen demand and water content of beach sand

Station	Core depth (cm)	Sampling date in 1988 - 1989							
		Aug. 7		Oct. 28		Dec. 10		Feb. 24	
		COD*	Water content**	COD*	Water content**	COD*	Water content**	COD*	Water content**
1	0-1	0.54	11.1	0.71	2.0	0.42	3.5	0.39	9.7
	5-6	—	—	0.89	6.2	0.22	2.5	0.32	6.8
	10-11	0.38	9.7	0.72	4.5	0.38	6.3	0.37	11.4
	20-21	0.32	10.4	0.68	4.8	0.30	4.3	0.23	11.0
2	0-1	0.65	20.9	0.47	21.6	0.24	17.5	0.16	7.2
	5-6	—	—	0.35	20.1	0.10	15.8	0.36	15.7
	10-11	0.51	22.8	0.14	19.2	0.11	15.5	0.29	18.5
	20-21	0.42	21.6	0.14	19.6	0.45	19.2	0.69	20.5
3	0-1	0.70	20.9	0.46	20.3	0.62	21.6	0.49	21.0
	5-6	—	—	0.64	22.3	0.61	21.9	0.46	21.1
	10-11	0.74	21.4	0.70	22.5	0.37	20.4	0.36	21.6
	20-21	0.73	22.5	0.40	21.0	0.25	17.0	0.43	21.3

* mg O₂/g wet sand

** %

砂の中の生物及びその遺骸の主要構成部分を占めると考えられる炭水化物及びアミノ酸の含量は、Table 4に示したように、両者とも鉛直的には有意な一定の分布傾向は認められず、場所的には潮間帯中央部で幾分小さく、季節的には低温期に小さくなる傾向が認められた。砂の炭水化物対アミノ酸含量の重量比は、0.3-1.1 (平均0.6) にわたって変化し、低水温期にやや小さくなる傾向が認められた。

砂の粒度はFig. 2に示したように、潮間帯中央部の砂表層部で粗い画分の比率が高くなった。

Table 4. Content of total amino acids and total carbohydrates in the beach sands

Station	Core depth (cm)	Sampling date											
		Aug.7,1988			Oct.28,1988			Dec.10,1988			Feb.24,1989		
		Total amino acids* (a)	Total carbo-hydrates** (b)	a/b	Total amino acids* (a)	Total carbo-hydrates** (b)	a/b	Total amino acids* (a)	Total carbo-hydrates** (b)	a/b	Total amino acids* (a)	Total carbo-hydrates** (b)	a/b
1	0-1	1.38	1.68	0.82	1.66	4.05	0.41	1.29	2.50	0.52	0.89	2.15	0.41
	5-6	—	—	—	1.78	2.67	0.67	1.14	2.23	0.51	0.72	1.42	0.50
	10-11	1.11	1.20	0.93	1.25	2.17	0.58	0.81	1.54	0.53	0.77	1.52	0.51
	20-21	0.92	1.15	0.80	1.41	2.60	0.54	0.80	1.97	0.44	0.52	1.26	0.41
2	0-1	1.04	1.35	0.77	1.16	2.52	0.46	0.88	1.75	0.50	0.53	0.62	0.85
	5-6	—	—	—	0.81	2.28	0.36	0.55	1.16	0.47	0.53	1.00	0.53
	10-11	1.53	1.67	0.92	0.55	1.47	0.37	0.48	1.23	0.39	0.58	1.31	0.44
	20-21	1.67	1.55	1.08	0.64	1.55	0.41	1.24	1.64	0.35	0.74	1.45	0.51
3	0-1	1.39	1.63	0.85	1.57	2.67	0.59	1.33	2.05	0.65	0.79	1.40	0.56
	5-6	—	—	—	1.42	2.53	0.56	1.57	1.82	0.86	0.58	1.39	0.42
	10-11	1.49	1.58	0.94	1.58	2.57	0.61	1.44	1.87	0.77	0.52	1.61	0.32
	20-21	1.51	1.70	0.89	0.88	2.29	0.38	1.37	1.98	0.77	0.47	1.62	0.29

* Expressed as mg glutamic acid equivalent/g dry sand.

** Expressed as mg glucose equivalent /g dry sand.

なおデータは少ないが、試みに生菌密度と幾つかの測定値即ちCOD、炭水化物含量、アミノ酸含量、及びコア深度との相関を、直線回帰分析法によって調べてみたところ、有意な相関は僅かに生菌数の対数とコア深度との間のみ認められた ($r = -0.671$, $p < 0.001$).

現場に於けるポテンシャルな有機物加水分解活性

砂浜に浸透した海水中の有機物の一部は、そこに生息している微生物の分解、無機化作用を受けているものと考えられる。そこで砂浜に於けるこの様な微生物の役割を明らかにするために、アズール色素で標識したタンパク質とでんぷんを用い、そのポテンシャルな加水分解活性を調査した。結果はTable 5に示した通りで、市販のモデル基質を用いた場合には、タンパク質の分解活性がでんぷんのそれよりも大であった。また両基質とも12月の分解活性が9月のそれを大きく下回ったが、測定した範囲内では、砂の深度や場所の違いによる有意な開きは認められず、その上部をおおう水柱のそれと大差のない値となった。

Table 5. *In situ* proteolytic and amyolytic activities per unit gram of sand or ml of water.

Sample	Station	Depth	Sep. 26~Oct. 3	Sep. 26~Oct. 10	Dec. 1~Dec. 8	Dec. 1~Dec. 15
			Proteolytic activity (mg/day)	Amyolytic activity (mg/day)	Proteolytic activity (mg/day)	Amyolytic activity (mg/day)
Sand core	1	0-5 cm	1.43	0.52	0.51	0.12
		20-25cm	1.40	0.51	0.63	0.02
	2	0-5 cm	1.41	0.49	0.87	0.06
		20-25cm	1.37	0.41	0.80	0.03
Overlying water	4	Surface	1.34	0.22	—	—
		Bottom	1.41	0.40	—	—

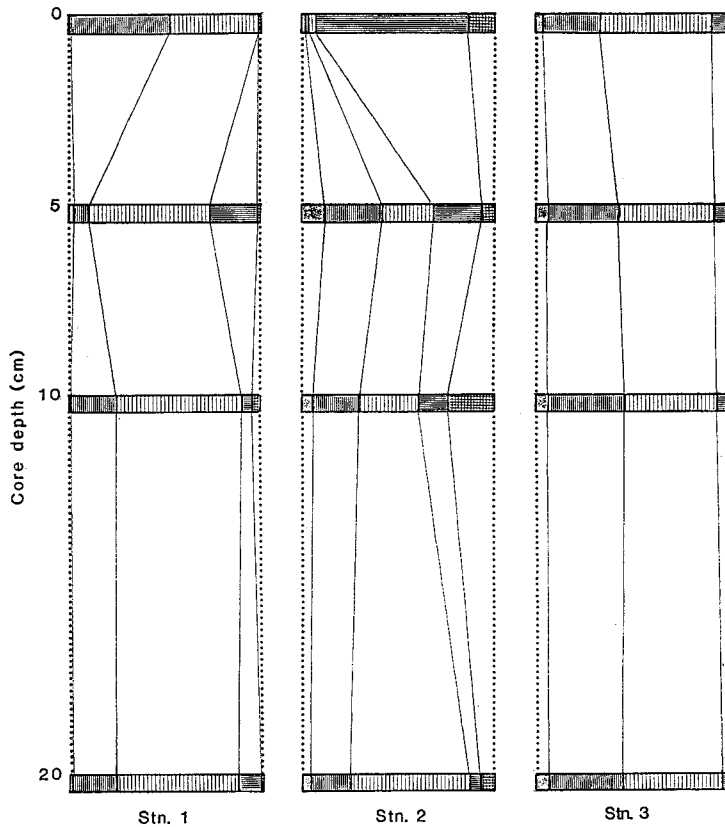


Fig. 2. Grain size analyses of beach sands. Grain size (μm); \blacksquare , <125 ; \square (vertical lines), $125-212$; \square (horizontal lines), $212-500$; \square (diagonal lines), $500-1000$; \square (grid), >1000

砂のETS活性

砂浜に生息している微生物のポテンシャルなETS活性は、INTを電子受容体として用いる事により、比較的容易にかつ高い精度で推定できるものと予想される。ただこの方法の砂試料への適用例は僅かであり、その方法も研究者によって開きがあり、その記述も必ずしも完全ではない。そこで先ず予備的に、試料の保存方法、供試量、反応時間などの諸因子が、砂のETS活性の測定結果にどのような影響を及ぼすかを調査した。

採取した砂試料を低温（ 4°C と -20°C ）で数日間貯蔵し、経日的にそれらの一定量を用いて測定したETS活性は、Fig. 3に示したように、貯蔵期間の経過にともなういずれの場合にも活性に変化が生じた。

測定に供試する砂の量を、数段階にわたって変えた場合の見かけのETS活性の変動は、Table 6に示した通りで、供試量を増やすと単位重量あたりの活性はかえって低下した。

反応時間を変化させた場合のformazan生成量は、Fig. 4に示したように、測定を行った範囲内ではほぼ直線的に増加した。

以上の検討結果を踏まえ、夏季と冬季にSta. 1, 2, と3に於いて、ETS活性と生菌数の調査を行った。結果はFig. 5に示した通りで、この海浜の砂の持つポテンシャルなETS活性は、時期的には高水温期に大きく、砂の深度との関連では生菌の分布と同様、総じて表層部が高く、深さを増すにつれて低下する傾向が認められた。ただし干出時間の異なる地点間での有意な差は認められなかった。

Table 6. Effect of increasing weight of sand employed for the determination of ETS activity

Sample weight (g wet sand)	Volume of phosphate buffer(ml)	Apparent ETS activity at 35°C	
		($\mu\text{gO}_2/\text{h}$)	($\mu\text{gO}_2/\text{g/h}$)
0.5	5	2.78	5.56
1.0	5	5.52	5.52
2.5	5	10.80	4.32
5.0	5	16.66	3.33

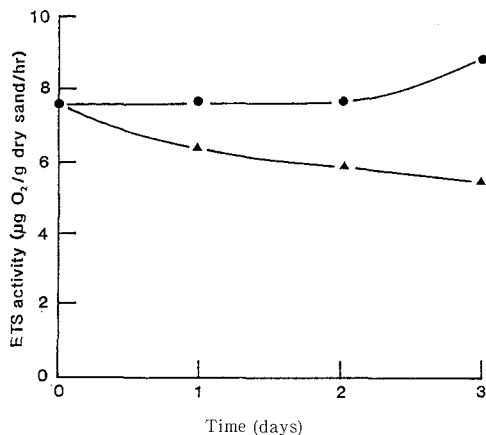


Fig. 3. Changes of apparent ETS activity in the course of storage at 4°C or -20°C. The activity was monitored at 35°C. Symbols : ●, 4°C ; ▲, -20°C.

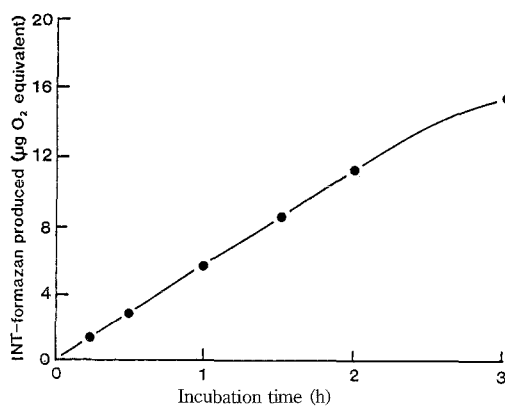


Fig. 4. Increase of INT-formazan in the course of incubation with unit gram of wet sand and INT at 35°C.

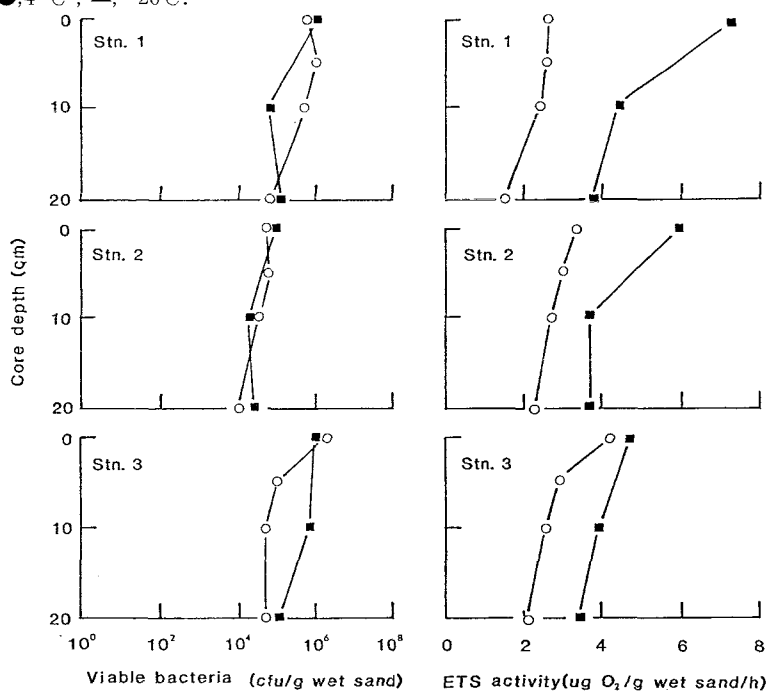


Fig. 5. Vertical profiles of viable bacteria and ETS activity in the beach sands. Symbols : ■, collected on Aug. 7, 1988 ; O, collected on Feb. 24, 1989.

考 察

浦の内湾湾口部から採取した砂試料を用いた調査では、細菌の培養計数値は鉛直的には砂の深度が増すと幾分減少する傾向が認められた。同様な傾向は林 (1976) と Pugh *et al.* (1974) らによっても報告されている。これらの傾向は、砂浜では細菌の増殖に必要な各種の栄養素の補給が、主として砂の表層を通じて行われており、表層には細菌の利用し得る栄養素が相対的に豊富なためと考えられる。場所による違いとしては Sta. 2 でやや減少する傾向が認められた。これは恐らく、Fig. 2 から分かるように、この場所の砂が粗い分画の比率が高かったためと考えてよからう。海浜の砂の粒子サイズと細菌密度の間に負の相関が認められる事は、既往の研究でもしばしば指摘されている (Longbottom, 1970; Hargrave, 1972; Dale, 1974)。

季節的な細菌密度変動も大きいものではなかった。一般に海浜の細菌密度は季節的には顕著な消長が認められない事が多いとされているが (林, 1976; Schroder & Van Es, 1980; 林, 1983; Imai, 1987)、例外もある (Van Es *et al.*, 1980)。この事は、高水温期には細菌の増殖速度が大きくなり、かつそれを支える栄養素の供給量も多くなるが、捕食者の数も増え、かつその単位細胞あたりの捕食速度も大きくなり、増殖速度の増加が必ずしも細菌密度の増大にそのまま結びつかない事が多いためと考えられる。

海浜細菌の場所的な分布傾向に関する既往の研究を調べてみると、例えば林 (1976) は、津市松屋浦では汀線に近づくほど生菌密度が増大する事を見ており、Andrews *et al.* (1976) は海水を導入できる室内モデルを用いて、潮間帯中央部付近で生菌密度が小となる事を見ている。この様に細菌の分布傾向に開きが認められた理由は明かでないが、恐らく (1) 砂の粒子サイズとその表面の性状、(2) 供給される栄養素の種類とその濃度、(3) 既に生息している、或いは新たに供給される細菌の種類とその密度、(4) 波浪などによる洗い出し効果、(5) 砂の中での細菌の増殖速度、(6) 他の動物による捕食速度、などの諸々の因子に支配されて生じたものと考えられる。

浦の内湾湾口部の砂浜の COD 値は、0.1–0.9 mg O₂/g wet sand で、当然の事ながら一般の海底底土のそれと比較するとかなり小さくなった。この事には、砂浜では粒子サイズが大きいこと、波浪による有機物粒子の砂の中からの洗い出しが起きていること、などが寄与しているものと考えられる。

なお、この浜の砂の炭水化物とアミノ酸含量はいずれもかなり低く、両者の比も平均 0.56 であった。勿論用いる分析方法が異なればこれらの値にある程度の開きの生じる事は避けられないであろうが、従来から報告されている植物プランクトン、水中懸濁物、新生堆積物、及び底泥などで得られた値と比べるとかなり小さい。この事からタンパク質などの易分解性の分画は、水中や砂浜のごく浅い部分で分解され、比較的難分解性の分画のみが砂中に蓄積する傾向が強いものと考えられる。このため砂の生菌密度は COD 値、アミノ酸含量或いは炭水化物含量などと有意な相関を示さなかったのであろう。同様な傾向は既往の報告にも見られる。(Pugh *et al.*, 1974; Meyer-Leil *et al.* 1978; Anderson *et al.* 1981)。

また、COD 値、炭水化物含量、及びアミノ酸含量が鉛直的に不規則な分布傾向を示したのは、恐らく波浪と底生動物による砂層の攪拌作用の影響が大であったためであろうと考えられる。

砂の表層に沈積したり、或いは海水と一緒に更に深い砂層に浸透した生物遺骸等の粒状有機物は、そこに生息している微生物の分泌する加水分解酵素の作用を受け低分子化される。この場合、関係する微生物としては、砂浜が海水の洗う酸化的な環境が卓越しているため、好気性の海洋性細菌がその主体をなすものと考えられるが、この様な菌群の密度は、先述したように季節的には大差が認められなかった。しかし、現場の砂及びその上部をおおう水の中での有機物加水分解能は、低温期のそれが高温期のそれを大きく下回った。これは有機物の分解活性が環境温度に強く依存している事を反映したためと考えられる (三好ら, 1986)。

ある程度分解を受けた有機物の大部分は、砂浜に生息している好塩性の微生物体内に取り込まれ、更に低分子化が進み、体内のミトコンドリア内膜、細胞質膜等の膜構造中で脱水素され、生じた水素は H⁺ (proton) と e⁻ (electron) に分けられ、e⁻ はそれぞれの膜構造の外側に近いところにある酸化還元電位のより高い電子伝達体へと順次移動し、つまり一連の電子伝達系 (electron transport system, ETS) を経て、最終的には分子状酸素を還元する。このような反応に共役してナトリウムイオン或いはプロトンが膜構造の外側に排出され、生じたナトリウムイオン或いはプロトンの濃度勾配を解消するために、それぞれのイオンの膜内への再流入が起る。その時生じるエネルギーが微生物に広く利用されるとされている。

勿論、還元的な環境下では、最終的な電子受容体には硝酸根、硫酸根などもなり得るため、常に ETS 活性が無機化活性と同義語とは限らないが、この調査を行った砂浜のように酸化的な環境が卓越する所では、

両者はほぼ同じ値になると考えられる。そこで、E T S 活性測定で得られた結果を、ここでは酸素消費速度即ち無機化活性として示した。

砂の E T S 活性の測定に先だつ予備的な検討を通じて、採取試料の貯蔵は避けるほうが望ましいことと、供試砂量を増やすと反応に関係した酵素系の砂粒子からの溶脱効果が低下することと、反応時間は30分程度が妥当なことが明かとなった。

これらの検討結果を踏まえて測定した E T S 活性は、季節的には低温期に小さくなり、鉛直的には総じて表層部で大きくなる傾向が認められた。

E T S 活性が鉛直的に底土表層部で高くなるという報告は幾つかある。(Wieser & Zech 1976, Vosjan & Olanczuk-Neyman 1977, 林 1979, Jones 1979 b). これらの報告では表層部で著しく高く、深さを増すにつれて急減している。また、水平的には汀線に近いほど E T S 活性が高いという報告もある(林 1979)。浦の内湾湾口部で得られた調査結果の傾向と、これらの既往の研究結果のそれとは厳密には幾分開きがあるが、種々の環境条件が異なる砂浜で得られた結果に、この程度の開きがあるのはむしろ当然であろう。

要するに浦の内湾湾口部では、高温期に砂浜と接している水塊の生産が大きくなるため、当然砂層に対する有機物負荷も増大するが、他方では砂層中の分解、無機化速度も増大し、低温期にはそれらがともに低下するという季節的な推移が起こり、これが砂層の有機物濃度と生菌密度の極端な変動を抑えていると考えて良からう。

引用文献

- ANDERSON, J. G., P. BOONRUNANG and P.S.MEADOWS, 1981. Interrelationships between chlorophylls, carbon, nitrogen and heterotrophic bacteria in an intertidal sediment transect. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 6, 277-283.
- ANDREWS, A. R., G. D. FLOODGATE and K. B. PUGH, 1976. An annual cycle at constant temperature, in a model sandy beach. II. Microbial ecology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 24, 61-72.
- DALE, N. G., 1974. Bacteria in intertidal sediments: Factors related to their distribution. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 505-518.
- 林孝市郎, 1976. 砂浜内の細菌群と有機質分解活性, 養浜工計画基礎調査報告書, 運輸省第五港湾建設局, 225-237
- 林孝市郎, 1979. 砂浜による浄化, 水域の自浄作用と浄化, 恒星社厚生閣, 112-124
- 林孝市郎, 1983. 潮間帯周辺海域における浄化機能と生物生産に関する研究, 昭和57年度研究成果報告書, 東海水研・南西水研, 69-81
- 林孝市郎, 1985. 海洋微生物研究法, 門田 元・多賀信夫編, 学会出版センター, 69-80.
- HARGRAVE, B. T., 1972. Aerobic decomposition of sediment and detritus as a function of particle surface area and organic content. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 583-596.
- IMAL, I., 1987. Size distribution, number and biomass of bacteria in intertidal sediments and sea water of Ohmi Bay, Japan. *Bull. Jap. Soc. Microb. Ecol.*, 2, 1-11.
- JONES, J. G., 1979 a. A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh water. *Fresh-water Biological Association, Scientific Publication*, No 39. pp 65-71.
- JONES, J. G. 1979 b. Microbial activity in lake sediments with particular reference to electrode potential gradients. *J. Gen. Microbiol.*, 115, 19-26.
- KADOTA, H., 1956. A study on the marine aerobic cellulose-decomposing bacteria. *Mem. Coll. Agr. Kyoto. Univ.*, 74, 1-128.
- 小山忠四郎・半田暢彦・杉村行勇編、湖水・海水の分析, 講談社, 1972, pp.135-138.
- LONGBOTTOM, M. R., 1970. The distribution of *Arenicola marina* (L.) with particular reference to the effects of particle size and organic matter of the sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 5, 138-157.
- MEYER-REIL, L.-A., R. DAWSON, G. LIEBEZEIT and H. TIEDGE, 1978. Fluctuation and interaction of bacterial activity in sandy beach sediments and overlying waters. *Mar. Biol.*, 48, 161-171.
- 三好英夫・山本正揮・畑 幸彦, 1986. 沿岸海域における有機物の加水分解活性測定法, 高知大学術研報, 34, 79-91

- 日本海洋学会編、海洋環境調査法、恒星社厚生閣、1979, pp.295-300.
- 日本水産資源保護協会編、水質汚濁調査指針、1980. 恒星社厚生閣、240-242.
- OLANCZUK-NEYMAN, K.H. and J.H. VOSJAN, 1977. Measuring respiratory electron-transport system activity in marine sediment. *Neth. J. Sea Res.*, 11, 1-13.
- PACKARD, T. T., M. L. HEALY, and F. A. RICHARDS, 1971. Vertical distribution of the activity of the respiratory electron transport system in marine plankton. *Limnol. Oceanogr.* 16. 60-70.
- PUGH, K. B., A. R. ANDREWS, C. F. GIBBS, S. J. DAVIS and G. D. FLOODGATE, 1974. Some physical, chemical, and microbiological characteristics of two beaches of Anglesey. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 15, 305-333.
- SCHRODER, H. G. J and F. B. VAN ES, 1980. Distribution of bacteria in intertidal sediments of the Ems-Dollard estuary. *Neth. J. Sea Res.*, 14, 268-287.
- 鶴崎 実・石渡良志、1986. 日光湯ノ湖堆積物中の炭水化物、*Jap. J. Limnol.*, 47, 257-267.
- VAN ES, F. B., M. A. VAN ARKER, L. A. BOUWMAN and H. G. J. SCHRODER, 1980. Influence of organic pollution on bacterial, macrobenthic and meiobenthic populations in intertidal flats of the Dollard. *Neth. J. Sea Res.*, 14, 288-304.
- VOSJAN J. H. and K. M. OLANCZUK-NEYMAN, 1977. Vertical distribution of mineralization processes in a tidal sediment. *Neth. J. Sea Res.*, 11, 14-23.
- WIESER, W. and M. ZECH, 1976. Dehydrogenase as tools in the study of marine sediments. *Mar. Biol.*, 36, 113-122.

(Received 11 January, 1992; Accepted 4 March, 1992)