

## 開放系砂浜の物質循環機能の生態学的評価について

浜田 篤信・安川 隆宏・岩崎 順・外岡 健夫

水圏と地圏、あるいは気圏が互いに接する境界領域は、エコトーンと呼ばれその重要性が指摘されつつある (Hansen et.al,1988, 栗原, 1986)。著者等は湖沼の砂浜の物質循環が生態系へ与える影響について検討を行い、それが生態系へ無視することのできない影響を与えていることを明らかにした (Hamada, et.al, 1966, 浜田, 1966)。その中で著者等は湖沼において砂浜を浸透する水量や水質の調査手法を開発し、砂浜の物質循環機能の重要性を指摘したが、同様の手法を用いて典型的な開放系水域である鹿島灘砂浜域を調査対象水域に選んで砂浜が浅海域の生態系に及ぼす影響について若干の検討を行ったので報告する。

最近、外海砂浜域を利用目的に見合った状態に管理しようとする試みが盛んに検討されている。ヘッドランドの造成は洗掘が卓越する場において堆積を促進させようとする試みであり、ポケットビーチや潜堤は砂浜域の漁獲対象種である二枚貝類の定着、生息量増大等の制御を目的として検討されている (中村, 1988)。鹿島灘砂浜域はわが国の代表的な外洋性砂浜域である。その沖合では10cm/sec程度の南流が卓越し (草野, 1983)、砂浜域は常に波浪に洗われている。このような激しい流動を巧みに利用してチョウセンハマグリやコタマガイが生息し好漁場が形成される。漁業振興対策の一環として人工構築物の設置が検討されてもきた (茨城県, 1985)。

一方、鹿島灘砂浜の多目的利用の一形態として海水浴場を中心に砂浜の函養が人工構築物の設置によって進められている。このような外洋砂浜域の環境管理は、広大な自然を対象としているだけに造成される人工構築物もそれに見合った規模が要求される。もし、事前調査に手違いがあれば、事業の実施は周辺環境を予測外の方向へ大きく変化させることになる。したがって、事業の実施にあたっては、物理環境については当然のことであるが、生態系に与える影響についても十分な調査研究が必要である。砂浜域が物質循環に与える影響の大きさについては、既に指摘されているところである (Ollif, 1970, 坂本, 1976)。波浪や潮汐によって砂浜域に送り込まれた海水が砂表面積に付着したバクテリアによって分解を受ける等の変化である。しかしながら、砂浜における物質循環と付近の生物分布との関係についての検討やそれが生態系へ及ぼす影響についての検討は見あたらない。このような観点からの研究は、砂浜域の環境保全と望ましい利用を考える上で極めて重要であるが、前述したように研究手法、例えば波浪によって砂浜に打ち上げられ砂浜に浸透する海水の量や質的变化の総合的な調査方法が確立されておらず、少ない。本章では、この系全体の構造をマクロに取り上げ開放系水域においても閉鎖水域と同じように砂浜が系全体に影響を及ぼす可能性があるかどうかについて検討を行うこととする。

### 方 法

#### 1. 調査の方法、資料及び調査地点

底生生物の採集は、4.99トンの漁船で幅2mの貝桁網を5分間曳網し、その個体数組成を取り上げた。底質は、スミスマッキンタイアー採泥器によって採

集した。

海水の流動については、比較的多数の地点の比較検討が重要であるところから、鉄板減量(松平・浜田, 1963)による海水流動評価法を使用した。水温の影響を勘案し、 $Q_{10}=2.0$ で補正を行い水温 $20^{\circ}\text{C}$ における値(L20)として表現した(浜田・岩崎, 1992)。波浪によって砂浜に打ち上げられた海水の浸透水量の測定は、浜田(1966)の方法で測定した。直径76mmのネットを備えた蓋付ポリエチレン製浸透水量測定用容器(直径76mm, 高さ230mm容量2.3L)を汀線から4m間隔に埋設し、内部の指標物質(フルオレッセン・ナトリウム)の濃度変化から求めた。測定時間は、潮汐による影響をできるだけ小さくする目的で15分間隔とした。

浸透水の採水は、2Lの褐色ポリエチレン製容器を埋設して注射器をも用いて行った。

水質分析については、Strickland & Parsons(1972)によった。

浅海域と沖合との海水交換の算定し使用したDinophysis fortii及び貝毒の毒力については茨城県水産試験場(1982)の資料を使用した。

調査地点は、図1に示した通りで北から大洗、玉田、大竹、鹿島、鹿島港の5地点である。これらの5地点の内、大洗及び鹿島港は図1中に示したようにそれぞれ堤防が張り出しており他の3地点に比較すると静穏な条件下にある。調査の期間は、同一ではなく生物分布及び底質調査は1985年、流動調査が1999年10月、砂浜における浸透水の調査は1991年11月22日及び1992年8月24日に行った。

## 結果と考察

### 1. 外洋砂浜域における底生動物の分布と環境

#### (1) 底生動物の分布

1983年3月のSt.3(大竹)における底生動物の分布の1例を図2に示した。汀線寄りにはコタマガイが生息しており、これよりやや沖側の水深3.0mを

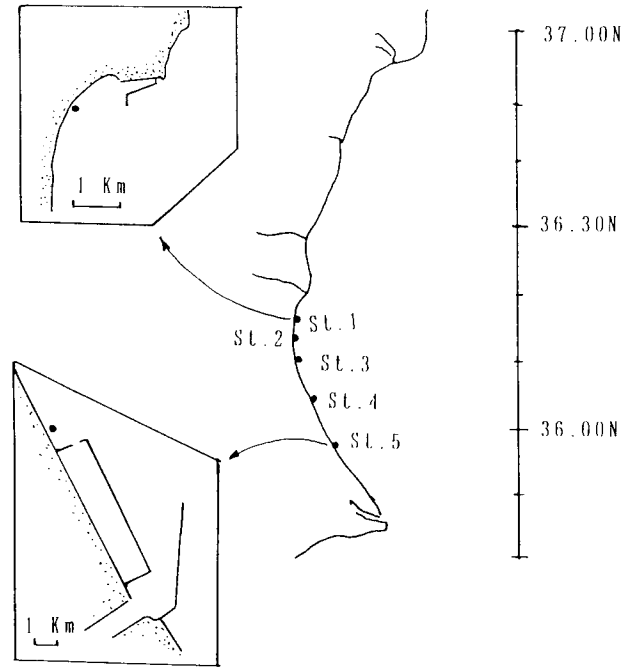


図1 調査地点 Study sites

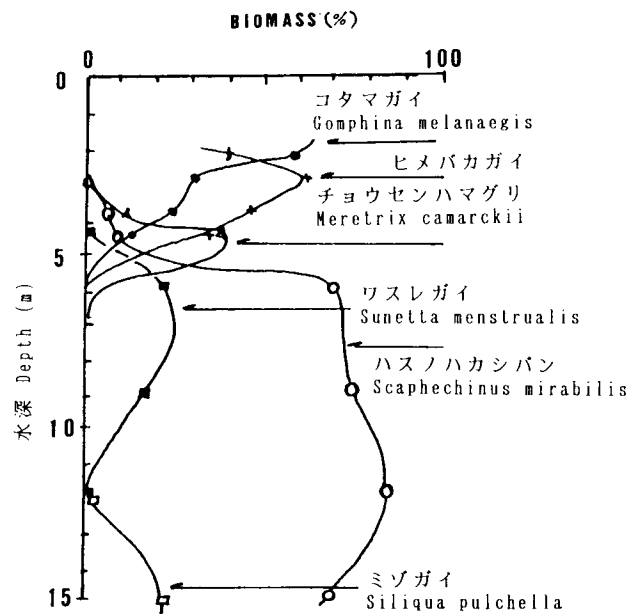


図2 底生動物の分析 (Jan., 1983, St.3)  
Biomass of Macro Benthos around  
Kashimanada Beach.

中心とする水域にチョウセンハマグリが分布している。この2種は若干の水深の差はあるが6m以浅に生息している。この地点より沖側の水深6-15mの水深帯にはハスノハカシバンが優占種となって分布しているが、水深5-12mにはワスレガイが、12以

深にはミゾガイが混在している。ここでは出現していないが、本海域沖合が親潮系水で被われ水温が下降している条件下ではウバガイが水深8-10m付近に分布するようになる。又、図2で明らかなようにコタマガ、チョウセンハマグリとハスノハカシパン、ワスレガイ、ミゾガイ、ウバガイの2群の分布の谷間を埋めるようにヒメバカガイの分布が見られる。

(2) コタマガイ帯とカシパン帯の境界深度

以上のように水深約5mを境として、汀線近くにはコタマガイとチョウセンハマグリが、沖寄りにはハスノハカシパン、ワスレガイ、ウバガイ等が生息していることが分かった。そこでチョウセンハマグリやコタマガイの分布と環境の関係についての検討を進めるうえで、次のような単純化を行った。即ち、チョウセンハマグリとコタマガイを1グループとして、それらが生息する場を「コタマガイ帯」と、ハスノハカシパン、ウバガイ等をもう一つのグループとして、それらが生息する場を「カシパン帯」と定義する。更に、これら2グループの勢力が入れ替わる水深を、これらの2グループの境界深度を定義する。このような整理の方法にしたがって、各地点のこれら2グループが全体の底生動物の中で、それぞれが占める割合を図示したものが図3である。ここで2グループの分布曲線が交差する点の水深が境界深度である。境界深度は鹿島灘砂浜域の中央部付近のSt.2,3,4では、それぞれ5.5,4.9及び5.2mでおおよそ5mであるのに対して、人工構築物が設置されていて比較的静穏なSt.1と5では、それぞれ2.6及び3.2mと前者の約1/2の水深で、地点によって明かな差が認められる。このことは静穏な水域では、何等かの原因によってコタマガイ帯が縮小し、代わってカシパン帯が拡大したことを示唆している。そこで両帯を支配している要因についての手がかりを得る目的で、この境界深度とその地点の環境との関係を検討してみる。

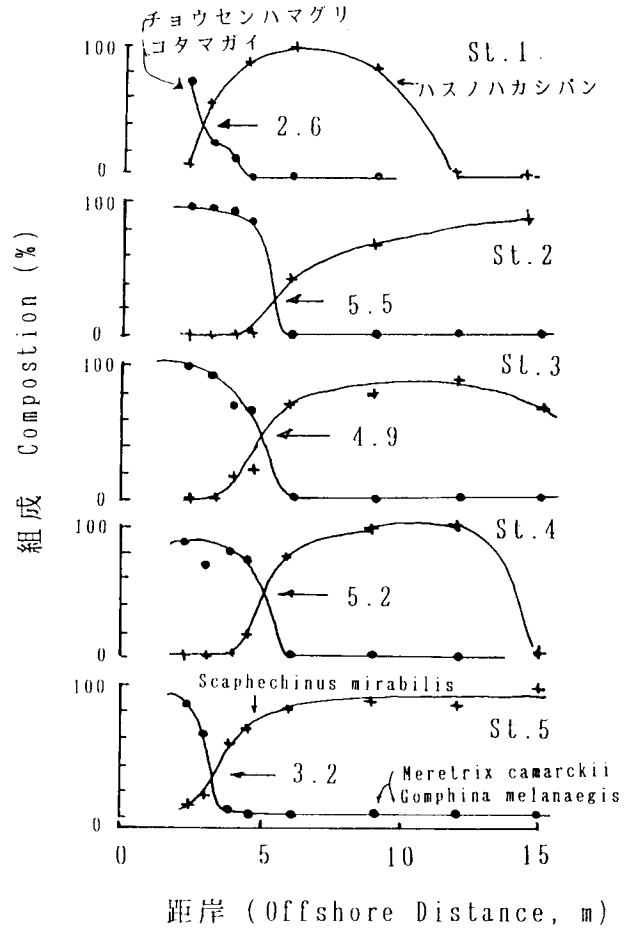


図3 コタマガイ帯及びカシパン帯の境界深度の推定  
Estimation of the Boundary Depth between the Beneficial Clams and Scaphechinus.

(3) 境界深度の環境……砂粒子の中央粒径値と海水流動

各地点の水深別の底質の粒度組成を測定して中央粒径値を求め、その結果を図4に示した。水深5m以上の沖側では、堆積物の粒度組成は0.12-0.15の範囲にあって、各地点とも同程度の値を示している。これに対し、コタマガイ帯の範囲に当たる5m以深では近くに人工構築物が設置してある地点(St.1及び5)と鹿島灘砂浜の中央部(St.2,3,4)との間に差が認められる。即ち、人工構築物が存在するSt.1,5では中央粒径値が水深が小さくなるのともなって極わずかず上昇しているのに対し、中央部付近では汀線に近づくのにしたがって中央粒径値が急激に上昇している。この水深と中央粒径値の関

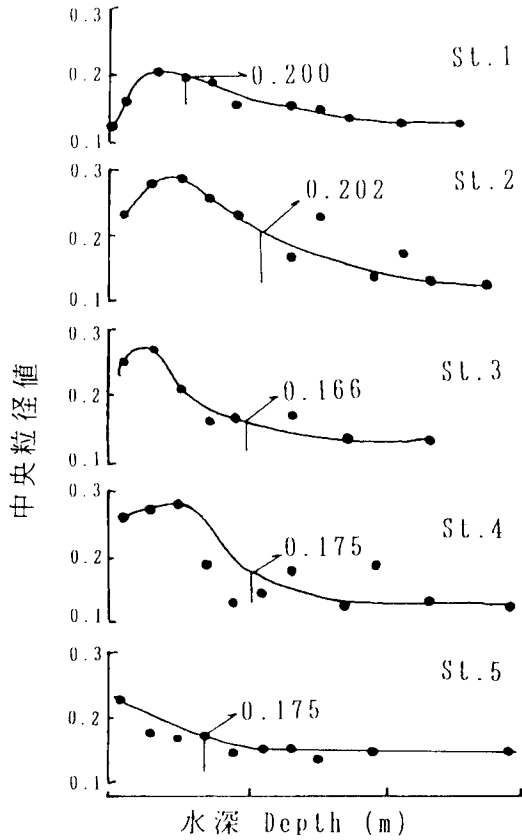


図4 境界深度地点の中央粒径値の推定  
Estimation for the Medium Grain Size of the Sand at Boundary Depth.

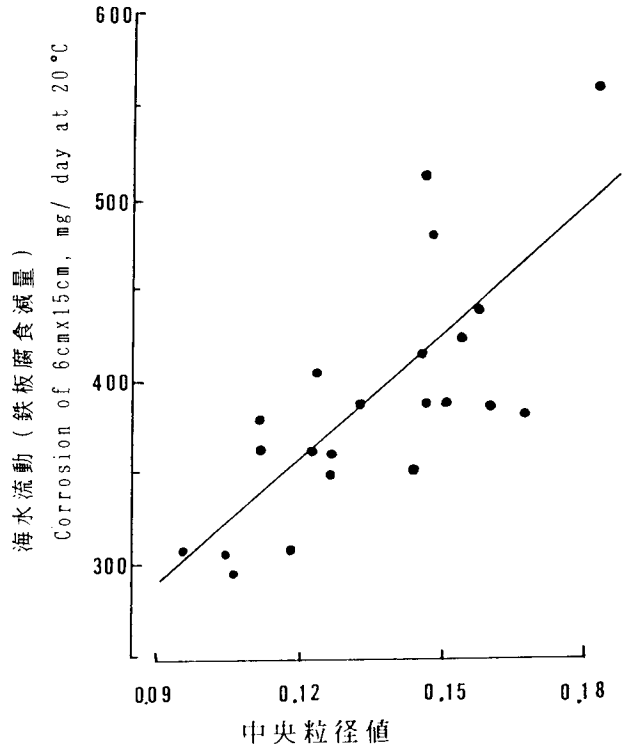


図5 中央粒径値と海水流動の関係  
Relationship between the Medium Grain Size of the Sand and the Turbidity around the area of St.1 to St.2.

係を示す図4に、前述の境界深度の値を代入して、境界深度の中央粒径値を求めると、St.1からSt.5の順に、0.200、0.202、0.166、0.175、0.180mmを得る。境界深度の中央粒径値は、0.17-0.22mmの範囲にあって地点間の差は比較的小さい。このことはコタマガイやチョウセンハマグリはの分布は、水深ではなくて中央粒径値と関係が深いことがわかる。それでは、砂床環境の「何」が、これらの動物の分布を支配しているのであろうか。一般的に、底質の粒度組成は海水の流動の大きさに関係しているといわれる。この点を確認する目的で、St.1及び2で中央粒径値と海水流動の大きさ（鉄板減量、L20）を同時に測定し、両者の関係を求めたものが図5である。流動の大きさを表す指標として20℃に於ける鉄板減量（松平・浜田，1963，浜田・岩崎，1992）が用いられている。両者の間には、比較的高い( $r=0.753$ )相関関係が認められ、中央粒径値が海水流動の大き

さを反映するものであることを示している。即ち、コタマガイ帯は、ある程度以上の大きさの海水流動によって維持されていて、何等かの原因によって、流動の水準が低下するとコタマガイ帯の環境条件が失われ、カシパン帯がこれに代わるものと推定される。

## 2. 砂浜域に於ける物質循環

砂浜域では波浪は砂浜に海水を打ち上げる。海水は砂浜に浸透し、再び碎波帯へ還流していく。かくして、海水は水圏、気圏、地圏を経て再び水圏へ戻るが、この過程で海水は質的变化を受けるものと考えられる。その規模が大きいものであれば、このことが砂浜域の生物の分布に影響を与える可能性が考えられる。そこで以下に浸透水量と浸透過程における水質の変化について検討する。

(1) 波浪によって砂浜に打ち上げられた海水の浸透水量

波浪によって砂浜に打ち上げられた海水の浸透水量の測定結果を図6に示した。浸透水量は当然のことながら、汀線に近い程高く、汀線から2-3mの地点では0.67ton/h/m<sup>2</sup>の値を示しているが汀線から遠ざかるにしたがって、指数曲線にしたがって急激に減少し、両者の関係は

$$Q=a \cdot \exp(-bl) \quad \dots\dots(1)$$

で近似できる。浸透水量を地点別に見ると汀線近くでは、大きな差は認められないが、勾配に大きな差が認められ、St.3では0.255であるのに対し、St.1及び5では、それぞれ0.549及び0.415と約2倍の値を示した。このことは、砂浜域の中央部では波浪が砂浜に打ち上げられる際に汀線から遠い部分まで打ち上げられるのに対し、比較的静穏な条件下にあるSt.1及び3では、汀線から遠い部分には波浪による

海水の打ち上げ量が少ないことを示している。砂浜に打ち上げられる海水の総量は、(1)式を1について積分することによって得られるが、中央部のSt.3で170ton/m・dayでSt.1及び5の86及び124ton/m・dayに比較して約2倍多いことが分かる。なお、このSt.3で得られた値は測定方法は異なるが、これまでに報告されている上限値の200ton/m/day(浜田・岩崎, 1992, Riedl et.al,1972)に近い値である。

浸透水量は波浪の大きさ、砂の粒度や砂浜の勾配によって異なり、同時に3地点の調査を行った訳ではないので相互比較を行う上で十分とは云えないが、鹿島灘砂浜域中央部に比較すると人工構築物が設置されていて、比較的静穏な水域では波浪によって打ち上げられ砂浜に浸透する水量は少なく、汀線から遠くへ運ばれて長い距離を逆方向に浸透還流される頻度が低下することになる。

以上の検討から、外洋砂浜域を静穏化した場合には、その大きさによって砂浜に打ち上げられる水量や砂浜を浸透して還流してくる水量が減少し、このことが汀線に近い浅海域の水質に、従って生物の分布にも影響を与える可能性が生じる。そこで、次に砂浜に打ち上げられて砂浜を浸透する過程における浸透水の質的变化を取り上げる。

(2) 波浪によって砂浜に打ち上げられた海水の浸透過程における水質変化

採水用容器内の浸透水の溶存酸素量はSt.3では、汀線から4mの地点で4.9mg/l,7mの地点で、3.6mg/lであった。St.1では、これより低く汀線から2, 4, 6, 8mの地点でそれぞれ3.2, 2.8,2.4,4.6mg/lであった。このことは比較的豊富に酸素を含む海水(水深1m付近で7.1mg/l)が、砂浜に打ち上げられ後に砂浜を流下する過程で酸素を消費して、有機物が分解されていて、しかも、その規模が比較的大きいことを示している。その大きさは、地点によって異なり浸透水量の少ない静穏域であるSt.1で大きいようである。しかし、ここではSt.5について

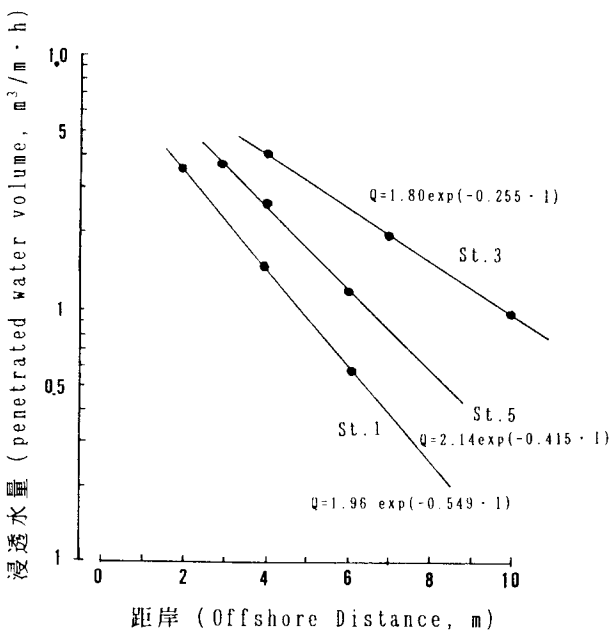


図6 波浪によって砂浜に打ち上げられた海水の砂浜への浸透水量の測定

Estimation for the Volume of the Penetrated Sea Water via the Sandy Layer after being Swashed onto Sandy Shore by Wind Wave.

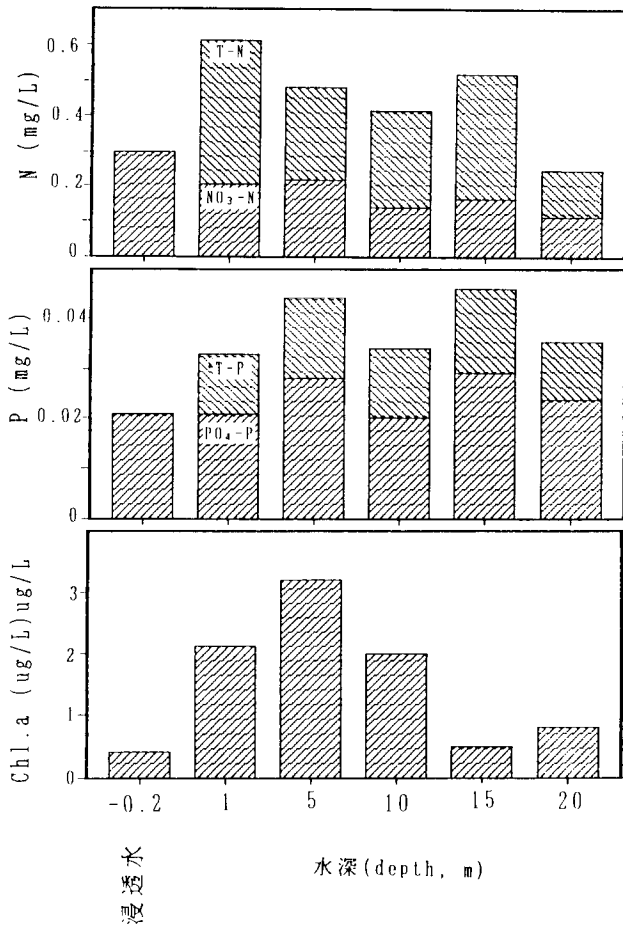


図7 浅海域及び浸透水の水質  
Water Quality of shore water and penetrated water.

浅海域及び浸透水の水質を比較検討し、砂浜における物質循環の機能と構造について考察を加えることとする。

図7に浅海域及び汀線から3m地点の浸透水のchl.a, リン及び窒素の分析結果を示した。

まず、T-Pについて見ると、砂浜へ打ち上げられる直前の水深1m地点の値は、0.02mg/lで、このうち約1/2が有機態である。これに対し、浸透水ではT-Pでは殆ど打ち上げ直前の値と同じであるが、有機態が殆どなく打ち上げられて砂浜に浸透した有機物が完全に無機化されて還流されることを示している。

これに対して、窒素で違った傾向が認められる。即ち、打ち上げ直前の海水は0.6mg/lのT-Nを示

し、このうち62%が有機態であるが、浸透水ではT-Nは約0.3mg/lと1/2に減少し、しかも殆どが硝酸態窒素で存在する。このことは、波浪で打ち上げられた海水が砂浜を浸透し、汀線に還流する過程で、分解され、しかも全体の1/2に相当する0.3mg/lが、その間で失われている。この原因については、浸透水の溶存酸素量が、前述のように比較的lowく、しかも硝酸態窒素が豊富であることを考慮すると脱窒によって気圏へ放散されているものと考えられる。

以上のように波浪によって砂浜へ打ち上げられ、砂層を浸透する過程で分解等の変化を受けた海水は硝酸態やリン酸態リンの形態で碎波帯へ還元される。更に、リンが殆ど完全に還元されるのに対して、窒素は一部が脱窒によって海水中から失われ、還流していく海水のN/P比も打ち上げ前後で違い、これらのことが、碎波帯での一次生産の質と量に影響を与えるものと考えられる。chl.aの値を見ると水深5m付近に大きなピークがあり15m付近で一時低下した後沖よりの水深20mの地点で再び上昇している。このことは沖寄りの水深20mの地点のchl.aの担い手と水深5m以浅のそれが異なるものであることを示唆している。即ち、波浪によって打ち上げられ様々な変化を受けた海水が碎波帯へ還流し、そこで沖合いに容易に拡散せず滞留し、固有の生産系を形成しているのではないかと考えられる。珪藻類が碎波帯に集積され、粘液を生産することによって砂浜と海水中を交互に行き来する等、碎波帯固有の生産系の存在が報告されている (McLachlan, 1989)。ここでは、浸透水及び碎波帯の観測結果の一例を示したに過ぎないが、砂浜が、波浪による海水の打ち上げ、浸透の過程において質的变化を受けて碎波帯へ還流し、そこに固有の生産系を形成しているのではないかと考えられる。以上のような検討結果から、砂浜帯の静穏化に伴う打ち上げ水量の低下は、そこにおける物質循環の機能をとうして砂浜帯の底生動物の分布にも影響を与えることになる。鹿島灘砂浜の中央部付近ではコタマガイ帯の分布範囲が水深5

mに及ぶが人工構築物が存在し比較的静穏な大洗 (St.1) や鹿島港 (St.5) では、その分布範囲が狭く、その限界が水深2-3m以浅に限られるのは、このような砂浜における物質循環機能が関係しているのではないかと考えられる。

(3) 砂浜における物質循環が生態系へ与える影響  
鹿島灘砂浜域は外洋に開かれた典型的な開放系であり、沖合いではマクロに見れば10cm/secの南流が卓越し、しかも波浪によって激しく洗われている。この水量に比較して砂浜に打ち上げられ浸透して砂浜を浸透して還流する水量が無視できない場合にのみ、生態系全体への影響が問題となる。従って、この生態系の空間的な広がり、ここへ流入する沖合いから流入する沿岸水の量と前述の砂浜における浸透水量を比較検討する必要がある。

砂浜における物質循環の生態系全体への影響を問題にしようとする、「系」の実体の捉え方が重要である。ここで問題としている系は、コタマガイ帯であり、境界深度が示すように、その範囲は5m以浅の海域に相当している。砂浜の勾配を10/1000とすると、距岸500mの範囲が対象水域となる。この水域は、碎波帯であって極めて海水流動が大きい。又、陸水の影響も大きく、その規模や環境も季節によって異なることが明らかにされている(久保, 1985)。しかし、ここでは全体の構造をマクロに捉えるという考えから、砂浜域が距岸500m, 10/1000の勾配で構成されているものと考えることとする。

この水域のある物質の濃度をC, 水容積をV, 沖帯からの海水供給量を $Q_0$ , その水質を $C_0$ , 浸透水量を $Q_i$ , 浸透水の水質を $C_i$ , 系内における沈澱や溶出等の代謝総量を $\sum P_i$ とすると、碎波帯のある物質の濃度変化 $dC/dt$ は、次式で表すことができる。なお、移流については南北方向の水質変化が沖灘方向の水質変化程には大きくないものとして無視する。

$$V \cdot dC/dt = Q_0 C_0 + Q_i C_i - (Q_0 + Q_i) C + \sum P_i \dots (2)$$

平衡状態では、

$$C = (Q_0 C_0 + Q_i C_i + \sum P_i) / (Q_0 + Q_i) \dots (3)$$

(2)式から明らかなように、もし浸透水量が沖合いからの海水供給量に比較して無視できない大きさであり、且つ沖合いから供給される海水の水質と浸透水の水質との間に差が認められる場合には、砂浜の物質循環機能が碎波帯の水質、引いては生物生産に影響を与えることになる。この2つの条件、浸透水の水質と量の相対的大きさの内、浸透水質については既に検討したように窒素やリンで無視できない程の大きさの変化が起こることを確認したので、ここでは浸透水量が沖帯から碎波帯へ供給される水量に比較してどの程度のものであるかどうかを検討する。

この水域と沖合いとの沖合いの水域との海水交換を推定するのに次のような方法を採用した。

この海水交換は、この水域には通常は存在しないが、何等かの条件によって、断続的に沖合や陸域から短期間に供給され沖合い水の供給によって希釈され変化する指標物質の密度変化を追跡することによって求めることができる。著者等は沖合から断続的に供給されてる貝毒プランクトン *Dinophysis fortii* の密度の減少速度からコタマガイ帯における沖合いから供給される沿岸水の量、あるいは交換率を推定した。交換率は0.13~0.2の範囲にあって鹿島灘中央部付近では0.2と高い海水交換率を示すことを明らかにした。このことは、1日に碎波帯水域の全水容積の20%の水量が沖合いから供給される沿岸水で置換されることを示している。碎波帯あるいはコタマガイ帯の水容積(単位汀線当たり)は前述の仮定から1250 $m^3$ となるから、250 $m^3$ の海水が沖合いから碎波帯に供給されることになる。この水量を、先に求めた浸透水量、約100 $m^3$ と比較すると、浸透水量の約2.5倍であり、浸透水量は無視できない値となる。

砂浜の物質循環機能は、前述したように局所的には砂浜を浸透して生化学的に変化を受けた海水が汀

線よりの水域に還流することによって付近生息している生物の分布や生産に影響を及ぼしているものと考えられるが、砕波帯という系全体の物質収支を考える場合にも無視できないものと考えられる。海水流動の大きい鹿島灘砂浜の中央部付近ではコタマガイ帯が水深6 m付近まで張り出しているが、静穏な大洗や鹿島ではコタマガイ帯が水深3-4 m付近に限定され沖合いからカシパン帯が2-3 m付近にまで差し込んできている。即ち、静穏であるが故にコタマガイ帯が縮小し、コタマガイやチョウセンハマグリの生息範囲が3 m以浅の狭い範囲に限られ、代わってハスノハカシパンが沖合から水深3 m付近まで勢力を広げてくることになる。カシパン帯には、ハスノハカシパンの他にウバガイやワスレガイ等が生息しているから、鹿島灘が親潮系水で被われる条件下では有用種であるウバガイの生息域が拡大することになるのかもしれないが、そうした検討は今後の課題である。

#### (4) コタマガイ及びハスノハカシパンの生き残り戦略に関する考察

コタマガイ及びチョウセンハマグリは、極めて海水流動の激しい外海砂浜に生息している。しかも、その外海砂浜の中でも、もっとも流動の激しい砕波帯という生存の危険をとまなう環境条件下である。事実、真岡ら(1982)は高密度の条件下に生息しているウバガイが波浪によって砂浜陸域に打ち上げられへい死した事例を報告している。それでは、これらの二枚貝は、なぜ、そのような危険な水域を生息の場として選んだのだろうか。

砕波帯の沖側の水域の植物プランクトンの量は、クロロフィル量が示すように砕波帯よりも低い。これに対して砕波帯では水深5m付近のクロロフィル量が比較的高い値を示しているように、砕波帯の沖側よりも高いものと考えられる。その原因は、前述したように、一つには砂浜の物質循環機能によるものと考えられる。又、河川水の流入にとまなう栄養塩

類の供給が考えられる。さらに、砕波帯は流動が激しく懸濁物質の沈澱を許さない。基礎生産によって合成された有機物は、生死にかかわらず常時懸濁状態におかれ全ての有機物が水中に存在し、海底には移行しない。したがって、この空間条件でもっとも効率よく有機物を取り込める摂食形態はろ過摂食である。

更に、このように恵まれた栄養条件を備えているにもかかわらず、波浪による砂浜への海水の打ち上げが活発で、多くの動物の生息を許さない。チョウセンハマグリやコタマガイは波浪による陸域への打ち上げから自己を防衛する潜砂能力を獲得ことによって初めて比較的栄養条件に恵まれた砕波帯へ進出でき、ろ過摂食というもう一つの適応の為に有機物摂取の能力を得て砕波帯に生息できるようになったものと考えられる。

一方、ハスノハカシパンは、コタマガイ及びチョウセンハマグリが生息している水域の沖側、砕波帯の外側に生息している。コタマガイ帯が流動の激しい水域であるのとは対称的に静穏な水域である。この水域では海水流動が穏やかであるために水中の藻類は死後、沈降し海底に堆積する。潜砂能力に乏しいハスノハカシパンは、流動の小さい水域に留まり、海底に堆積するdetritusを利用する方向に適応してきたものと考えられる。

以上のように考察してみると、チョウセンハマグリやコタマガイは外洋性砂浜の激しい海水流動を巧みに利用して生存を可能にした種と言えるだろう。最近、二枚貝類の増殖を目的に静穏化を高め幼生をその近くに滞留、沈着させようという試みがあるが(中村, 1988)、対象とする種の生態特性を十分に考慮しないと目的を達成することができないことを示唆している。静穏域の造成は海水流動を抑制することによって、不用の種には好適な環境を提供することにはなるが、目的とする増殖対象種には不適な環境を提供することになる場合もあるからである。



## 引用文献

- Hansen, A.J., F. di Castri and R.J. Naiman (1988) Ecotones: What and Why. in Castri, A.J. Hansen and M.M. Holland (eds). A new look at ecotones-emerging international projects on landscape boundaries. 9-46. *Biology International* (The magazine of the IUBS)
- 栗原康 (1986) 海・陸境界面の生態学的諸問題. 沿岸海洋ノート24, 21-32.
- Hamada, A., M. Sasaki, T. Tonooka and J. Iwasaki (1966) Changes in water quality via the metabolic process while penetrating a sandy shore in a shallow, eutrophic lake.
- 浜田篤信 (1996) 波浪によって砂浜に打ち上げられた湖水の水収支. 用水と排水, 38, 911-918.
- 中村充 (1988) 環境設計—保全と対策—, 栗原康編「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」東海大学出版会, 212-237.
- 草野和之 (1983) 沿岸と沖合い—現象の時間スケールをみなおす—, 水産科学, 26, 21-35.
- 茨城県 (1985) 鹿島灘北部海域総合開発調査報告書.
- Ollif, W.D. (1970) The chemistry of the interstitial water as a measure of conditions in a sandy beach. *Water Res.* 4, 179-188.
- 坂本市太郎 (1976) 養浜工計画基礎調査報告(II)運輸省第五港湾建設局.
- 林孝市郎 (1979) 砂浜の海水浄化作用, 日本水産学会編, 水域の自浄作用と浄化, 恒星社厚生閣, 112-124.
- 松平近義・浜田篤信 (1963) 鉄板腐食減量による海水の流動の簡易測定法. 日仏海洋学会誌, うみ4, 8-13.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. (1972) A practical handbook of sea-water analysis 167. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, Ottawa.
- 茨城県水産試験場 (1982) 昭和56年度貝毒プランクトン調査報告書.
- 浜田篤信・岩崎順 (1992) 海水電池の原理を利用した海水流動測定法, 茨城水試研報, 29, 89-92.
- Riedl, R.J., N. Huang and McMahan (1972) The subtidal pump. a mechanism of interstitial water exchange by wave action. *Mar. Biol.* 13, 210-221.
- McLachlan, A., I.G. Elot and D.J. Clarke (1985) Water filtration through reflective microtidal beaches and shallow sublittoral sands and its implications for inshore ecosystem in western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 21, 91-104.
- McLachlan, I. (1989) Water filtration by dissipative beaches. *Limnol. Oceanogr.* 34, 774-780.
- Talbot, M.M.B, G.C. Bate and E.E. Campbell (1989). Brown, A.C. Brown and A. McLachlan 編「Ecology of Sandy Shores」より引用.
- 久保治良 (1985) 常磐南部から鹿島灘における沿岸水の季節変動, 茨城水試研報, 25, 57-74.
- 岩崎順 (1986) 茨城県沿岸域における *Dinophysis fortii* の大量発生機構, 東北水研研報, 48, 125-136.
- 浜田篤信・岩崎順 (1993) 貝毒プランクトンおよび毒力の挙動による茨城県浅海域の流動評価, 茨城水試研報, 27, 79-86.
- 真岡東雄他 (1982) コタマガイの砂浜への大量打ち上げ現象について, 茨城水試研報, 24, 117-132.
- 中村充 (1988) 人工入り江, 栗原康編著「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, 248-251.