

干潟の汀線付近における水質及びプランクトン群集の特徴的な分布

鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信

The characteristic distributions of water quality and plankton community near the shoreline on the tidal flat
SUZUKI Teruaki, AOYAMA Hiroaki and KAI Masanobu

Abstract

The micro-distributions of water quality and plankton community were investigated near the shoreline including a tide pool on Isshiki tidal flat in Mikawa bay. The tide pool water was characterized by high temperature, high DIN conc. and contrarily low PON conc., low standing stocks of plankton community. The shoreline water on the edge of tidal flat has both property of water mass on tidal flat and outer sea water, that extent of mixing was expressed by salinity, and is additionally affected with resuspension from the sediment on the tidal flat by wave movement. Consequently, non-dominant phytoplankton and some weak-motile zooplankton was positively correlated with salinity due to filter-feeding by macrobenthos on tidal flat, but unexpectedly, PON and dominant phytoplankton was negatively correlated with salinity, that seemed to be caused by resuspension.

キーワード；干潟，渚，プランクトン群集

方 法

一般に砂浜海岸の碎波帯ないしは汀線付近の水域(以降、渚域と称する)は魚類の生活史、特に幼稚魚期において重要な生活場所であるとされている。¹⁾ 三河湾における干潟縁辺部の渚域も、干潟上及び沖合海域に比べ、ろ過食性マクロベントスの現存量やカレイ類、ハゼ類のような魚類の幼稚魚の出現量が多い。このことは今後十分な観測により定量的に評価する必要があるが、それと並行して、その要因の解明が重要である。干潟域全体の水質及びプランクトンに関する調査²⁾ はなされているものの干潟縁辺部の渚域の微細な水質、生物分布についての知見は極めて少ない。

このため、筆者らは三河湾一色干潟の大潮最干潮時の汀線付近において水質及び水中生物の分布調査を実施し、その微細分布について若干の知見を得たので報告する。

1. 観測点、測定項目およびサンプリング方法

調査は図1に示す三河湾北部の一色町地先の干潟域で大潮の1997年6月19日に行った。調査は干潮時の午前10時20分から11時35分にかけて干潟縁辺部の10点でほぼ同時に行った(最干潮時：午前10時53分)。この中でSt.10だけは周辺海域とは隔絶された干潟上のタイドプールである。

St.10を除く観測測点はすべて約100m×100mの中にあり、観測時の水深は10cmから50cmであった。

測定項目は水温、塩分、無機三態窒素(NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N)、溶存態総窒素(DTN)、懸濁態有機窒素(PON)、懸濁態有機炭素(POC)、バクテリア全菌数、クロロフィルa(Chl.a)、植物プランクトン、動物プランクトンである。

採水は乾電池式の小型水中ポンプ(工進社製EP-10X)を使用し、10ℓmin⁻¹の速度で底質を攪乱しないよう慎重に行った。

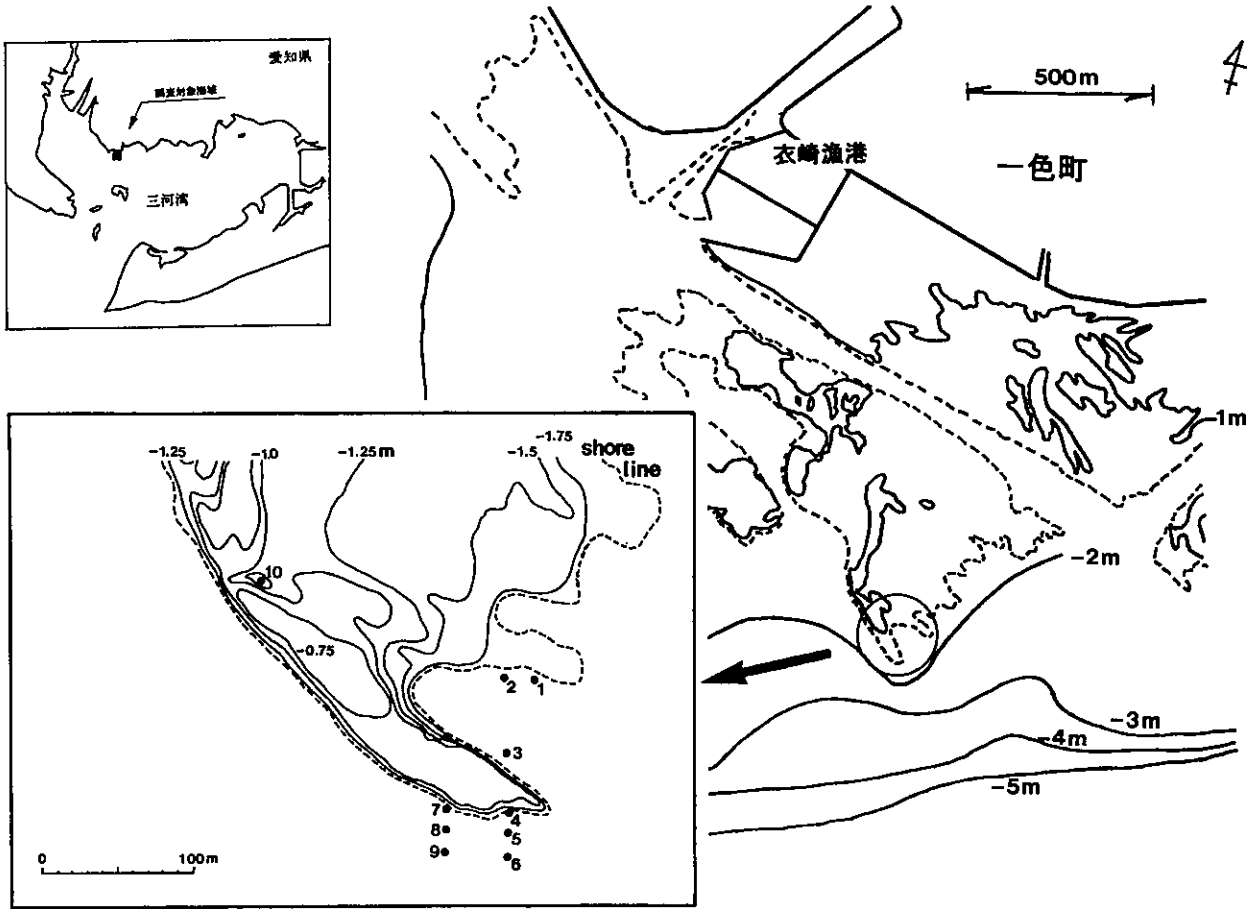


図1 調査対象海域と調査点（水深は東京湾中等潮位面を基準とする。）
●採水地点

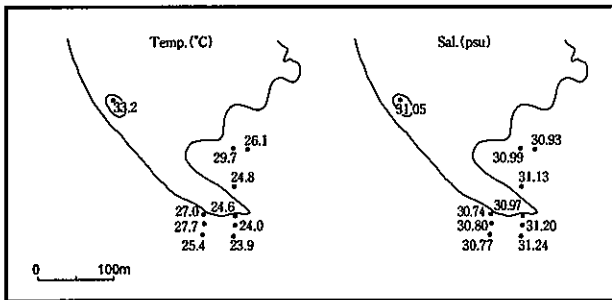


図2 汀線付近における水温・塩分の分布

2. 分析方法

水温、塩分は有線式水温・塩分計（アレック電子社製 AC-10D）によった。NH₄-NはSasaki and Sawada (1980)³⁾ NO₂-N, NO₃-Nは日本海洋学会 (1979)⁴⁾に基づいてそれぞれ測定した。DTNはJISK0102に基づく過硫酸カリウム加熱分解法、PONはDTNで用いたろ紙 (Whatman GF/C) を60℃で通風乾燥後、CHN自動分析器 (YANAKO製MT-3型) でそれぞれ分析した。Chl.aはアセトン抽出蛍光法 (日本海洋学会 (1990)⁵⁾ で分析した。

海水中のバクテリアは試水をグルタルアルデヒドで1%になるよう添加固定した後、DAPI法⁵⁾による蛍光染色法で全菌数の測定を行った。

植物、動物プランクトンは試水を中性ホルリン5%になるように固定した後、光学顕微鏡下で種別細胞数を測定した。

表1 渚 (St.1~9の平均) とタイドプール (St.10) との水質の対比

項目	渚 St.1~9の平均	タイドプール St.10
水温 (°C)	25.5	33.2
塩分 (PSU)	30.97	31.05
NH ₄ -N (μg l ⁻¹)	124	2178
NO ₂ -N (μg l ⁻¹)	3	11
NO ₃ -N (μg l ⁻¹)	16	22
Chl.a (μg l ⁻¹)	6	1
Pheo色素 (μg l ⁻¹)	11	9
PON (μg l ⁻¹)	155	48
POC (μg l ⁻¹)	919	254
C/N比	5.92	5.28
Bacteria (× 10 ⁶ cells ml ⁻¹)	2.78	3.65

結 果

1. 水温、塩分及び各水質項目の分布

図2に水温、塩分の水平分布を示す。測点間の距離が短いにもかかわらず、水温は23.86℃から33.22℃の間で大きく変化し、9℃以上の差があった。タイドプールのSt.10の水温が他の測点に比べ特に高いこともあるが、

それ以外の測点間でも約3℃の相違があり、複雑かつ急激な温度変化が汀線付近で起こっていた。塩分は30.74 psuから31.24psuの間で変化したが、その測点差はSt.10を含めても水温に比べ小さく0.5psuであった。

表1にタイドプールのSt.10とそれ以外の測点における平均値を対比する。タイドプールではNO₂-N、NO₃-Nは他の測点よりもやや高い程度であるが、NH₄-Nは約

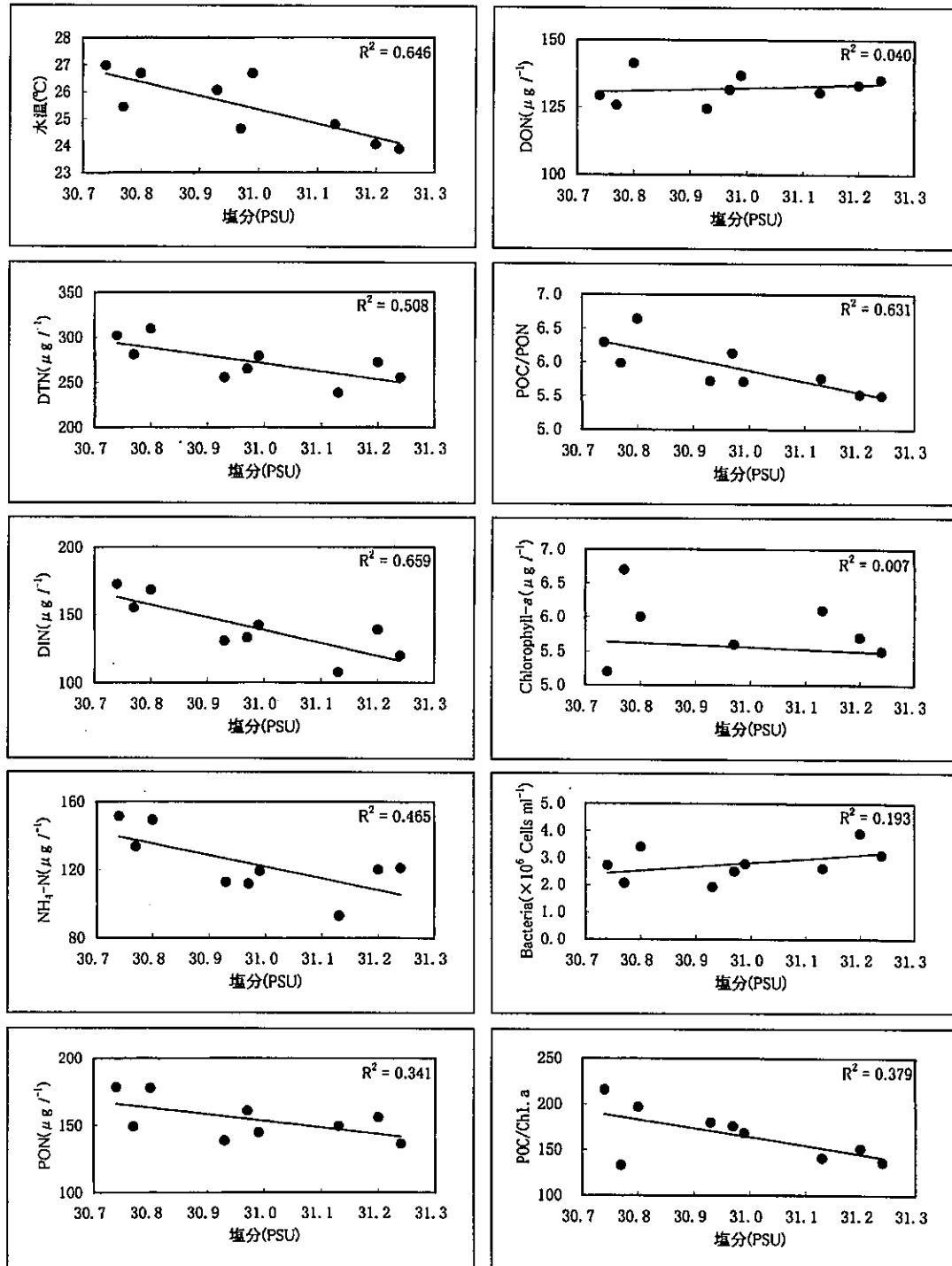


図3 渚(St.1~9)における塩分と水温、DTN、DIN、NH₄-N、PON、DON、POC/PON比、クロロフィルa、バクテリア及びPOC/クロロフィルa比との相関

表2 渚 (St.1~9の平均) とタイドプール (St.10) とのプランクトン出現状況の対比

科名	渚 St.1~9の平均	タイドプール St.10	タイドプール/渚 %
植物プランクトン (Cells l⁻¹)			
Thalassiosiraceae	62,373	25,120	40
Euglenophyceae	45,253	0	0
Prorocentraceae	18,667	3,840	21
Epithemiaceae	15,200	960	6
Cryptophyceae	7,600	800	11
Rhizosoleniaceae	5,573	160	3
Peridiniaceae	3,120	160	5
Naviculaceae	2,533	7,040	278
Protoperidiniaceae	1,760	0	0
Ceratiaceae	1,307	160	12
Melosiraceae	1,173	0	0
Gymnodiniales	187	0	0
Chaetoceraceae	187	0	0
Biddulphiaceae	320	0	0
Dinophysiaceae	53	0	0
Coscinodiscaceae	27	0	0
Diatomaceae	0	320	-
Scenedesmaceae	213	0	0
Noctilucaeae	373	0	0
Unidentified flagellata	907	320	35
動物プランクトン (Inds l⁻¹)			
Codonellidae	2619	65	2
Copepodite of Oithona	595	10	2
Nauplius of Copepoda	495	15	3
Oikopleuridae	39	0	0
Oithonidae	33	0	0
Umbo larva of Pelecypoda	22	5	23
Polychaeta larva	22	5	23
Egg of Copepoda	18	0	0
Podonidae	16	0	0
Ptychocylididae	10	0	0
Djidiidae	8	0	0
Codonellopsidae	8	5	60
Harpacticoida	8	0	0
Copepodite of Harpacticoida	2	5	225
Pseudodiatomidae	2	0	0
Metacyclididae	2	0	0
Acartiidae	2	0	0
Copepodite of Acartia	2	0	0
Gastropoda larva	2	0	0
Cyclopoida	1	0	0
Nauplius of Balanomorpha	1	0	0

18倍高かった。また、Chl.a, PON, POCはいずれも他の測点よりも低く、それぞれ14%, 31%, 28%であった。バクテリアはタイドプールが約1.3倍高かった。

図3にタイドプールのSt.10を除いた測点における水温と塩分の相関を示す。測点間の塩分差は極めて小さいにもかかわらず水温と塩分とは高い負の相関関係 ($R^2 = 0.646$) にあった。

次に各水質項目についてタイドプールのSt.10を除いた測点における塩分との相関を同じく図3に示す。

塩分とDIN ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) との負の相関 ($R^2 = 0.659$) は高く、これはDINの主体を占める $\text{NH}_4\text{-N}$ が塩分と負の相関があることによっている。PONは塩分と弱い負の相関がみられた。DONは塩分には無関係に約 $130 \mu\text{g l}^{-1}$ で、ほぼ一定であった。バクテリアと塩分との間には有意な相関は見られず、 $1.9 \times 10^6 \text{cells ml}^{-1}$ ~ $3.9 \times 10^6 \text{cells ml}^{-1}$ の間で変動した。

2. 植物プランクトンの分布

タイドプールのSt.10は他の測点と大きく異なり、表2に示すように、出現した種類数、全細胞数ともに全測

点中最も低かった。種類数では種が同定不能な鞭毛藻類を除いてSt.1からSt.9までの平均出現数(科単位で集計)は19科であったが、St.10では9科であった。全細胞数で見た現存量でも、St.10はSt.1からSt.9までの平均全細胞数の23%で、出現したほとんどの種類で3%から40%と非常に少なかった。例外的に付着藻類のNaviculaceaeがSt.1からSt.9までの平均細胞数の約2.8倍高く、僅かではあるがDiatomaceaeがこの測点のみに出現した。

細胞数で優占した上位10種類は珪藻類のThalassiosiraceae, ユーグレナ藻類(Euglenophyceae), 渦鞭毛藻類のProrocentraceae, 珪藻類のEpithemiaceae., クリプト藻類(Cryptophyceae), 珪藻類のRhizosoleniaceae, 渦鞭毛藻類のPeridiniaceae, 珪藻類のNaviculaceae, 渦鞭毛藻類のProtoperidiniaceae, Ceratiaceaeであった。植物プランクトンの分布の特徴を見るため塩分との相関をとった結果を表3に示す。塩分との相関の傾きは正, 負はほぼ半々であり, 相関の高さも種類によって異なり一定の傾向は見られなかった。上記10種類の中で $R^2 = 0.36$ ($R = 0.6$) 以上の比較的高い相関があった種類は図4に示すようにThalassiosiraceae, Euglenophyceae, Peridiniaceae, Protoperidiniaceae, Ceratiaceaeの5種類であり, その内第1優占種であるThalassiosiraceaeを除き, 他はすべて塩分との相関式の傾きは正であった。

表3 渚 (St.1~9) において出現した植物プランクトン上位10種(科単位)の平均細胞数と塩分との相関

種名	平均細胞数 Cells l ⁻¹	相関係数 (R^2)	傾きの符号
Thalassiosiraceae	62,373	0.393	-
Euglenophyceae	45,253	0.511	+
Prorocentraceae	18,667	0.244	-
Epithemiaceae	15,200	0.027	+
Cryptophyceae	7,600	0.313	-
Rhizosoleniaceae	5,573	0.259	+
Peridiniaceae	3,120	0.750	+
Naviculaceae	2,533	0.331	-
Protoperidiniaceae	1,760	0.428	+
Ceratiaceae	1,307	0.433	+

3. 動物プランクトンの分布

植物プランクトンと同様にタイドプールのSt.10は他の測点と大きく異なり, 出現した種類数, 全個体数ともに全測点中最も低かった(表2)。種類数(成体は科単位, 幼生・卵は綱単位で集計)では, St.1からSt.9までの平均出現数は21種類であったが, St.10では7種類であった。現存量も全個体数ではSt.1からSt.9までの平均全個体数の3%であった。

個体数で優占した上位10種類は繊毛虫類のCodonellidae, かいあし類OithonidaeのCopepodite幼生, かいあし類

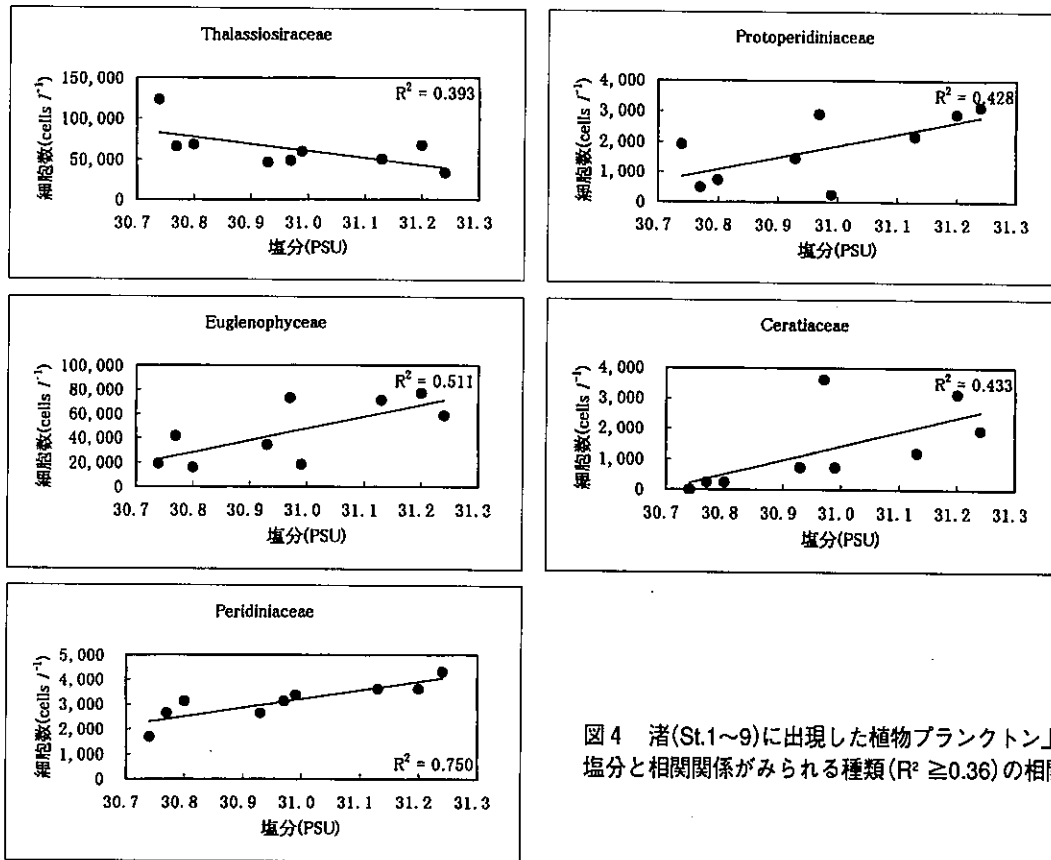


図4 渚(St.1~9)に出現した植物プランクトン上位10種類の内、塩分と相関関係がみられる種類(R² ≥ 0.36)の相関

のNauplius幼生, 尾虫類のOikopleuridae, かいあし類のOithonidae, 二枚貝類のumbo期幼生, 多毛類の幼生, かいあし類の卵, 枝角類のPodonidae, 繊毛虫類のPtychocyliidaeであった。水平分布の特徴を見るため個体数と塩分との相関をとった結果を表4に示す。植物プランクトンと同様に塩分との相関の傾きや相関の高さも種類によって異なり一定の傾向は見られず, 植物プランクトンよりも正の相関を示すものは少なかったが, 中には高い相関を示すものも見られた。

表4 渚(St.1~9)において出現した動物プランクトン上位10種(成体:科単位, 幼生:卵:綱単位)の平均個体数と塩分との相関

種名	平均個体数 Inds l ⁻¹	相関係数(R ²)	傾きの符号
Codonellidae	2,619	0.124	-
Copepodite of Oithona	595	0.293	+
Nauplius of Copepoda	495	0.209	+
Oikopleuridae	39	0.827	+
Oithonidae	33	0.013	+
Umbo larva of Pelecypoda	22	0.044	-
Polychaeta larva	22	0.617	+
Egg of Copepoda	18	0.529	-
Podonidae	16	0.194	+
Ptychocyliidae	10	0.306	+

上記10種類の中でR²=0.36 (R=0.6) 以上で塩分と相関があった種類は図5に示すOikopleuridae, Polychaeta

larva, かいあし類の卵であり, Oikopleuridae, Polychaeta larvaは塩分と正の相関, かいあし類の卵は負の相関があった。

考 察

タイドプールは隣接する海域とは無機有機的環境が大きく異なり, Chl.a, PON, POC, 植物プランクトン, 動物プランクトンが特異的に低く, それとは逆にNH₄-Nは極めて高く, バクテリアも高かったことは, 一時的に隔離されたことにより, 水温が上昇するだけでなく, 干潟域の特徴的な物質循環である底生生物による有機懸濁物の摂食とそれに伴う排泄及び排泄物の分解が極めて明瞭に現れたものと推測された。

タイドプール以外の測点間でも数十メートル程度の短い距離であるにもかかわらず, 水温は大きく変化し, その変動は塩分との負の相関が高かったこと, さらに汀線の法線方向に変化が大きかったことから, 今回観測した汀線付近では干潮時に干潟で昇温し, 河川水との混合により低塩分化した干潟系水と沖合系水との混合がマイクロなスケールで起こっており, 塩分がその混合程度の指標となることを示している。

DINが塩分と負の相関が高かったことはタイドプール

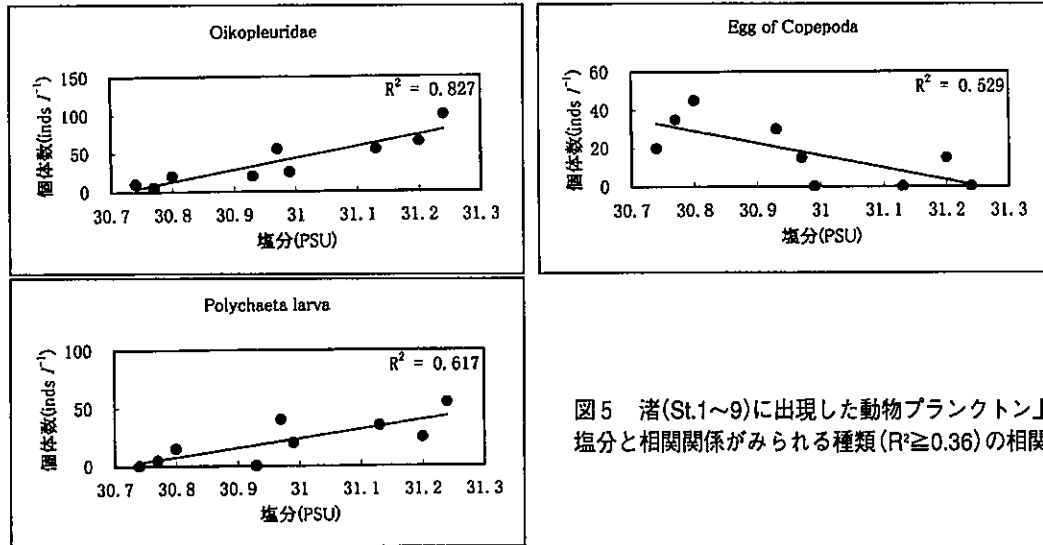


図5 渚(St.1~9)に出現した動物プランクトン上位10種類の内、塩分と相関関係がみられる種類($R^2 \geq 0.36$)の相関

で顕著に見られたように干潟における底生生物の代謝により生じた高濃度な $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む干潟系水が低濃度の沖合系水と混合希釈されているためと考えられる。PONは干潟における従来の観測例⁶⁾や今回のタイドプールで見られたように、底生生物による摂食により干潟ではその濃度が通常低下しているため、塩分と正の相関があると推測されたが、逆に汀線付近では塩分とは負の相関傾向にあった。この理由として図3に示すように、POC/PON比が塩分と負の相関が高い($R^2 = 0.631$)こと、Chl.aはほぼ一定で、かつPOC/Chl.a比が塩分と負の相関($R^2 = 0.379$)があることから、この時のPONの由来は主として底泥表面のデトリタスであると思われる。潮位の低下による汀線の沖への移動に伴い底泥表面に一時的に堆積したデトリタスを中心とした有機物が波浪により巻き上げられ、汀線付近の狭い水域で沖合系水と混合しているものと推測される。

汀線付近の植物プランクトン及び動物プランクトンの分布は群集全体としては塩分との間に一定の関係が見られずランダムな分布をしているように見えるが、群集を構成する種類ごとに見ると、塩分との相関が見られるものがある。しかし、その相関関係は種類によって正・負が混在しておりその明確な理由はこの調査では不明であるが、水質分布から考察されたように、汀線付近は干潟上におけるろ過摂食と波浪による巻き上げの両者の影響が混在することから次のように考察される。一般的に干潟域の水質分布の特徴として、沖合に比べPONやChl.aの値が低く、逆にDTNやフェオ色素が高いことが知られており、これは潮汐により沖合から輸送された植物プランクトンやデトリタスがマクロベントスによる摂食により急速に減少したため²⁾と考えられている。今

回見られた植物プランクトンと塩分との正の相関についてはそれにより説明しうる。植物プランクトンの場合、正の相関が強いものは優占した上位10種類の中でも現存量が比較的低いもの(Euglenophyceae:第2位, Peridiniaceae:第7位, Protoperidiniaceae:第9位, Ceratiaceae:第10位)に見られることから、このような干潟上でのろ過摂食の影響が強く出ているのではないだろうか。一方、負の相関が見られるものは現存量が高い種類(Thalassiosiraceae:第1位)であること、相関はやや低いものの同様な傾向が付着性の種類(Naviculaceae:第8位)に見られることから、摂食の影響による干潟上での減耗以上に、汀線という特殊性から波浪による巻き上げの影響をより強く受けているためと推測される。

このように種類によって塩分との関係が異なることが塩分とChl.aとの相関が無い理由でもありと思われる。

動物プランクトンの場合、植物プランクトンよりも塩分との正の相関が高い種類が少なく、特に優占上位種に見られなかった理由は、植物プランクトンより運動性が高いため、マクロベントスによる捕食から逃れ易く、干潟上での減耗が植物プランクトンよりも少ないためと思われる。著者ら²⁾は同じ一色干潟において、PON中の植物プランクトン態N、動物プランクトン態Nの割合を調べ、干潟域では沖合域に比べ、植物プランクトンは低く、逆に動物プランクトンは高くなり、この傾向はろ過食性マクロベントスからの逃避能力の差によって減耗に差が生じた結果と考察したが、今回の結果と一致している。その中でも正の相関の強い種類は優占した上位10種類の中でも現存量が比較的低く、かつ相対的に運動性の弱いと思われる種類(Oikopleuridae:第4位,

Polychaeta larva：第7位)であり，植物プランクトン同様，潮汐により沖合から輸送された後，干潟におけるマクロベントスによる摂食により減少したと推測される。かいあし類の卵のように塩分と負の相関がある理由は不明であるが，干潟上に沈降していたものが汀線における碎波によって巻き上げられた可能性が高い。

今回のように干潟域の中の汀線付近をマイクロに見た場合，その海水は，マクロベントスのろ過摂食，碎波による物理的な巻き上げ，および沖合系水との混合といった様々な影響を受けていることが明らかとなった。現存量の低い植物プランクトンや運動性の弱い一部動物プランクトンにはろ過食性マクロベントスによる減耗の影響が強く出ているものの，優占した植物プランクトン，動物プランクトンおよびPONでは減耗しておらず，総体として，汀線付近は干潟域の中でも魚類幼稚魚の餌となるこれら懸濁態有機物質が局所的に高く保たれている特殊な水域であると推測された。

謝 辞

本報を稿するにあたり，丁寧な査読と有益な助言を賜りました中央水産研究所海洋生産部物質循環研究室佐々木克之博士並びに，種類の同定に協力していただいた日本海洋生物研究所今尾和正氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 千田哲資・木下泉(1998)砂浜海岸における仔稚魚の生物学. 水産学シリーズ116, 恒星社厚生閣, pp136
- 2) 青山裕晃・今尾和正・鈴木輝明(1996)干潟域の水質浄化機能. 月刊海洋「プランクトンと河口域生態系」, 28, 178-188.
- 3) Sasaki K. and Y. Sawada(1980) Determination of ammonia in estuary. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46, 319-321.
- 4) 日本海洋学会(1979)海洋環境調査法, pp666.
- 5) 日本海洋学会(1990)沿岸環境調査マニュアルⅡ 水質・微生物編, pp379.
- 6) 青山裕晃・鈴木輝明(1996)干潟の水質浄化機能の定量的評価. 愛知水試研報告, 3, 17-28.

