

河口干潟による栄養塩負荷の緩衝機能の 定量的評価

水産総合研究センター中央水産研究所 海洋生産部 物質循環研究室
児玉 真史
水産総合研究センター西海区水産研究所 東シナ海海洋環境部 生物環境研究室
田中勝久
愛知県水産試験場 漁業生産研究所(再委託)
調査実施年度：平成14年度～16年度

緒言

干潟は陸域から運ばれた栄養塩をダムのように貯留し、少しずつ環境中に供給することにより、海域の環境を安定化させる機能を持っている。河川から負荷された土壌懸濁物は波・潮汐作用により沈降・堆積を繰り返す浮泥となり、有明海では最大干満差6m近くに達する潮汐によって底泥表層から巻き上がり、潮汐周期に伴って干潟浅海域一帯に高濁度域を形成する¹⁾。浮泥中の大量の無機リンはリン酸吸着平衡作用により溶存リン酸濃度の調節・安定化に寄与する²⁾。一方、大規模な埋立、干拓等で干潟・浅海域が消失し、貧酸素水塊が発達する内湾では河川から負荷された土壌物質中のリンは直接、嫌気的な海底に沈降・堆積し、貧酸素環境下で海底から一挙にリン酸塩が溶出することになる³⁾。また、干潟では底生藻類によって取り込まれた窒素・リンは浮泥とともに巻き上がり貝類の餌料として利用される。天然海域のアサリは底生藻類を主な餌料としていると報告されているが⁴⁾、濾過食性のアサリが底生藻類を利用するためには巻き上がりにより浮泥とともに海底直上水中に底生藻類が懸濁する必要がある。しかし、干潟域における浮泥の挙動について検討した例はほとんどない。

このように干潟やその周辺の浅海域は栄養塩の浮泥による吸着や底生藻類による吸収と、貝類などの底生生物による底生藻類の取り込みを通じて、水中の栄養塩濃度を抑える作用を持ち、これらは干潟・浅海域の浄化機能の重要な一面である。しかし、河口干潟の浄化能について底生藻類や浮泥の重要性についての客観的評価例はほとんどない。そこで、代表的河口干潟域(有明海・三河湾)をモデルとし、浮泥や干潟表層泥のリン保留量、および底生藻類の現存量、生産量、栄養塩除去能力などの評価を行い、干潟の持つ総合的な浄化機能を定量化することをねらいとしている。

調査方法

2002年7月に有明海西部から湾奥部において、干潟域とその沖合域全59点でコアサンプラーまたはエクマンバージ採泥器を用いた採泥を実施した。得られた底泥堆積物(0-1cm層)は酸化還元電位の測定、含泥率(粒径64 μ m以下)、底泥中の植物色素量、有機炭素・窒素・形態別リン組成などの分析を実施するとともに、リン保留量・底生藻類現存量

と酸化還元電位，含泥率等の環境要因との関連を検討した。

有明海湾奥部の浮泥の現存量とリン保留量を解明することを目的とし，有明海湾奥部の干潟縁辺部の4定点（図1，定点 T1～T4）において2003年11月上旬から2004年4月上旬までの約5ヶ月間，クロロフィル蛍光・濁度計（COMPACT CL/W ALEC 電子等）を表層（海面下1.0 m）および底層（海底上0.5 m）に設置し，クロロフィル蛍光強度・濁度の連続観測を実施した。また，2004年7月に同じく干潟縁辺部の定点において大潮時に浮泥サンプルを採取し，形態別リンの分析を実施した。

有明海湾奥部の底泥堆積物によるリン保留量の変動特性の把握を目的として，湾奥干潟縁辺部の定点 T1（図1）において2004年4月下旬から10月にかけてエクマンバージ採泥器を用いた採泥を実施し，得られた表層泥堆積物（0-1 cm）について酸化還元電位の測定，形態別リン等の分析を実施した。

アサリおよび微細藻類による窒素固定量の算定を目的とし，三河湾矢作川河口干潟域（図6）において2004年7月21日にアサリの現存量調査を実施するとともに，堆積物中（0-1 cm）の微細藻類について同7月21日，12月16日に現存量・種組成の調査を実施した。

調査結果および考察

有明海湾奥部干潟表層泥の CDB-P 濃度および底生藻類現存量と環境要因

図2に有明海湾奥部の表層泥(0-1cm)中の CDB-P (Citrate, Dithionite, Bicarbonate 抽出リン)の濃度と底生藻類現存量の指標として表層泥中のクロロフィル *a* (Chl.*a*) 濃度の分布を示した。CDB-P は河川から負荷される懸濁態リンの主成分であり，溶存リン酸濃度の調節・安定化に寄与する海域で循環可能な無機態リン（可給態無機リン）に当たる⁵⁾。CDB-P 濃度とその割合は有明海湾奥部の干潟域で高く，特に筑後川・六角川などの河口で高濃度となっているが，沖合では低濃度で，河川から負荷されたリンが干潟域で CDB-P として保留されていることを示している。湾奥部底泥のリン保留量（CDB-P 濃度）は干潟域で 120～200 μg/g 乾泥，干潟周辺浅海域で 80～120 μg/g 乾泥，沖合域で 80 μg/g 乾泥以下であり，有明海干潟底泥の高いリン保留能が確認された。一方，諫早湾内から湾口部においても CDB-P 濃度は 200 μg/g 乾泥以上に達する高い濃度を示しており，諫早湾干拓調整池排水門から排出された土壌懸濁物が大量に蓄積していることが伺える。排水門からの懸濁物の排出量は概算で年間数万トンのオーダーに達し，それらが常時諫早湾に負荷されて集積しているものと考えられる。この水域では夏季に底層の貧酸素水塊の発達が報告されており⁶⁾，貧酸素状態ではこのようにして蓄積した CDB-P が一挙に可溶化して溶存リン酸として海水に排出される恐れがある。

一方，底生藻類現存量（Chl.*a* 濃度）は含泥率の高い佐賀県の干潟域で含泥率の低い福岡県側より高い値を示した。底泥の形態別リン濃度・クロロフィル *a* 濃度と他の環境要因との相関を表1にまとめた。CDB-P は水深の浅い泥質干潟・浅海域，特に陸上起源有機物の影響（河川負荷粒子の影響： $\delta^{13}\text{C}$ ）の強い水域で高い傾向が認められる。底生藻類現存

量(Chl.*a*量)は含泥率との相関が高く有機物濃度の高い泥質干潟で高濃度となる傾向が認められた。

有明海湾奥部干潟域の浮泥現存量と化学組成

図3に湾奥部干潟縁辺部4定点の浮泥濃度の変動を示した。T1~T4のすべての定点で大潮時には浮泥の巻き上がりによる高濁度が観測され、小潮時には浮泥の沈降により低濁度となった。各測点における大潮時(2004年3月22日)の日平均SS濃度の最高値(T1: 463 mg/l, T2: 635 mg/l, T3: 100 mg/l, 以上佐賀, T4: 297 mg/l, 福岡)と干潟の平均水深(3mと仮定)、さらにそれぞれの干潟面積(佐賀: 9585 ha, 福岡: 1956 ha)を用いて有明海湾奥部における大潮時の干潟域における平均的な浮泥現存量を算出し約13万tonの値を得た。図4に2004年7月30日に干潟縁辺部で採取した浮泥のSS濃度および浮泥中CDB-P濃度を示した。SS濃度とCDB-P濃度の間には明瞭な関係はみとめられず、いずれのサンプルについても全リン(T-P)の40~50%をCDB-Pが占めた。また、SS全体の平均値は $458 \pm 53 \mu\text{g/g}$ (n=7)であった。これを用いて有明海干潟域に存在する浮泥中のCDB-P現存量を算出すると約61tonとなった。

2003年2月18日(大潮時)に実施した調査時の採水試料の植物色素濃度(Chl.*a*: $\mu\text{g/l}$)と浮泥濃度(SS: mg/l)には直線関係が認められ($\text{Chl.}a = 0.011 \times \text{SS} + 9.7$)、浮泥中には浮泥に付着して潮汐に伴って沈降堆積を繰り返す藻類がChl.*a*として約 $11 \mu\text{g/g}$ 、フェオ色素類は約 $70 \mu\text{g/g}$ 含まれているものと推定された。また、CDB-Pと同様にして浮泥中のChl.*a*量を計算すると、約1.4tonとなった。

有明海湾奥部干潟域のリン保留量とその変動特性

2002年7月の調査結果から佐賀および福岡県の干潟域における表層泥(0-1cm)の平均のCDB-P濃度はそれぞれ $159 \mu\text{g/g}$ (n=5)、 $112 \mu\text{g/g}$ (n=6)であり、それぞれの干潟面積から湾奥部干潟全域の表層泥に保留されているCDB-P量を計算すると約72tonとなる。これに浮泥に保留されているCDB-P量(約61ton)を合わせると約133tonとなった。この量は有明海全域へのリン負荷量(6ton/day)の16日分にあたり、湾奥部のDIP現存量平均値67tonの2倍近い。さらに干潟周辺の浅海域底泥や1cm以深の干潟底泥に含まれるCDB-Pを合わせれば干潟域のCDB-P蓄積量はさらに高いものと推定される。同様に干潟表層泥(0-1cm)のChl.*a*現存量は4.8tonと推定され浮泥中のChl.*a*量を合わせて約6.2tonの底生藻類現存量となった。

図5に有明海湾奥部干潟縁辺部(定点T1)における表層泥の酸化還元電位(mV)の変動およびCDB-PのT-Pに対する含有率(%)の変動を示した。酸化還元電位は6月以降急激に低下し、8月初旬に0mV以下、8月下旬には200mV近くと著しく還元的な環境となった。その後台風による攪乱の結果9月上旬には一時的に好転したが、10月に入って再び悪化し0mV以下となった。このような底質の変動と対応して周辺域では8月下旬には貧酸素水塊の発生とともにサルボウの大量斃死が観察された。一方、還元溶出性のリンであるCDB-Pの含有率は、6月以降の酸化還元電位の低下にともなって徐々に低下し、9月に最低となった。その後、酸化還元電位の回復とともに増加した。このようなCDB-P濃度の変動は本来干潟域が有する健全なリン保留機能も貧酸素水塊の発生による底質環境の悪化によって失われることを明瞭に示している。

三河湾矢作川河口干潟の窒素固定量

図6に矢作川河口干潟域における2004年7月21日のアサリ稚貝の生息密度を示した。アサリ生息密度は測点間で大きく異なり、最も高い点では 7.23×10^3 inds./m²（窒素換算で10.2 gN/m²）に達した。得られた各測点の生息密度から見積もったアサリ個体数は 7.93×10^8 個体、殻長 - 湿重量関係式から見積もった湿重量は240 ton、資源量は窒素換算で1.08 tonNと推定された。さらに、本河口域のアサリの日間殻長成長率（0.126mm/day）を用いて見積もったアサリによる窒素固定速度は34.5 kgN/dayと推定された。矢作川からの日平均Chl.a負荷量は約100 kgN/dayであり、本調査で得られたアサリによる窒素固定速度はその約3割に相当する。一方、堆積物中の表層0-1 cmにおけるChl.a現存量は単位面積当たりで、40 mgN/m²、河口干潟全域で22 kgNと見積もられた。また、12月のChl.a現存量はそれぞれ5.6 mgN/m²、3.0kgNと夏季よりも低い結果となった。

図7に矢作川河口干潟域で採取した堆積物中の微細藻類の存在量を淡水性、海水・汽水性、その他の3種類に分けて示した。全細胞数はChl.a現存量と同様に夏季に多く、冬季に少ない傾向を示した。夏季には*Skeletonema costatum*, *Pleurosigma* spp.などの海水性の浮遊性珪藻類が多く堆積しているが、淡水性の珪藻類（*Melosira varians*, *Flagilaria* spp.など）も約18%存在している。一方、冬季には淡水性珪藻類が約48%と高い割合を占め、これらが底生生物の餌料として一定の役割を果たしている可能性を示唆している。

摘要

- ・ 有明海を対象として、自動観測機器を用いた浮泥の現存量把握と化学成分分析ならびに表層堆積物の調査によって河口干潟浅海域が有するリン保留機能を明らかにするとともにその定量化手法を確立した。この成果は干潟造成・環境改善事業計画の策定に利用が可能である。
- ・ 矢作川河口干潟を対象としてアサリおよび微細藻類による窒素固定量を算定するとともに、河川より供給された淡水性珪藻類がアサリの餌料として一定の役割を果たしていることを示唆する結果を得た。
- ・ 本調査で示唆された河川・淡水起源の微細藻類のアサリ等底生生物への餌料としての重要性の実態解明は今後に残された課題である。

引用文献

- 1) 代田昭彦・田中勝久(1981): 有明海における懸濁物質の研究 - I. 筑後川懸濁粒子の河口域への輸送, 西水研研報, 56, 27-38.
- 2) 田中勝久・浜田七郎(1987): 高濁度域における栄養塩の調査. - 浮泥によるリン酸塩濃度の緩衝作用, 沿岸海洋研究ノート, 24, 125-133.
- 3) Watanabe, Y. and Tsunogai, S. (1984): Adsorption-desorption control of phosphate in anoxic sediment of coastal sea, Funaka Bay, Japan, *Mar. Chem.*, 15, 71-83.
- 4) 小池裕子・斎藤徹・小杉正人・柿野純(1992): 東京湾小櫃川河口干潟におけるアサリの食性と貝殻成長, 水産工学, 29, 55-59.

- 5) 井澤博文・清木徹（1983）：海底泥中のリンの挙動に関する CDB（Citrate, Dithionite, Bicarbonate）抽出の評価，広島県環境センター研究報告, (5), 44-47.
- 6) 木元克則・西内耕・岡村和磨（2003）：有明海における溶存酸素分布，月刊海洋，35, 261-265.

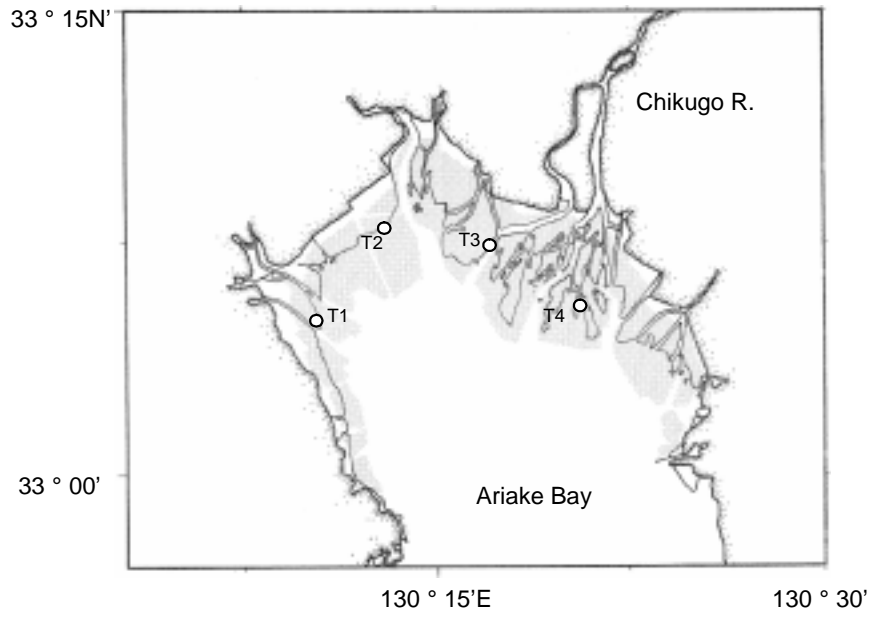


図1. 有明海湾奥部の調査定点図

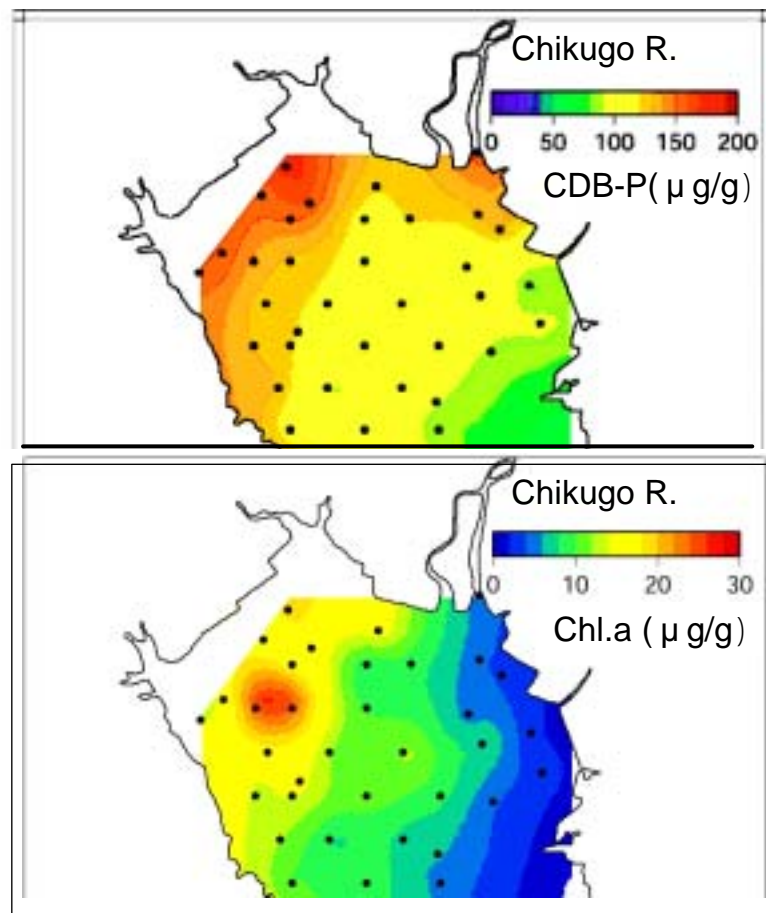


図2. 有明海湾奥部 (33° N 以北) の表層泥 (0-1cm) の CDB-P 濃度 , クロロフィル a 濃度

表1. 有明海湾奥部(33°N以北)の表層泥(0-1cm)のCDB-P濃度, クロロフィル a 濃度と環境要因との相関

	CDB-P	Chl. <i>a</i>
Depth	-0.382*	-0.146
Mud content	0.806**	0.533*
Eh (mv)	-0.307	-0.188
Chl. <i>a</i>	0.335	1.000
Phaeo-pigments	0.455*	0.728**
¹³ C	-0.406*	-0.005
¹⁵ N	-0.306	0.094
Org-C	0.832**	0.526*
Total-N	0.838**	0.589*

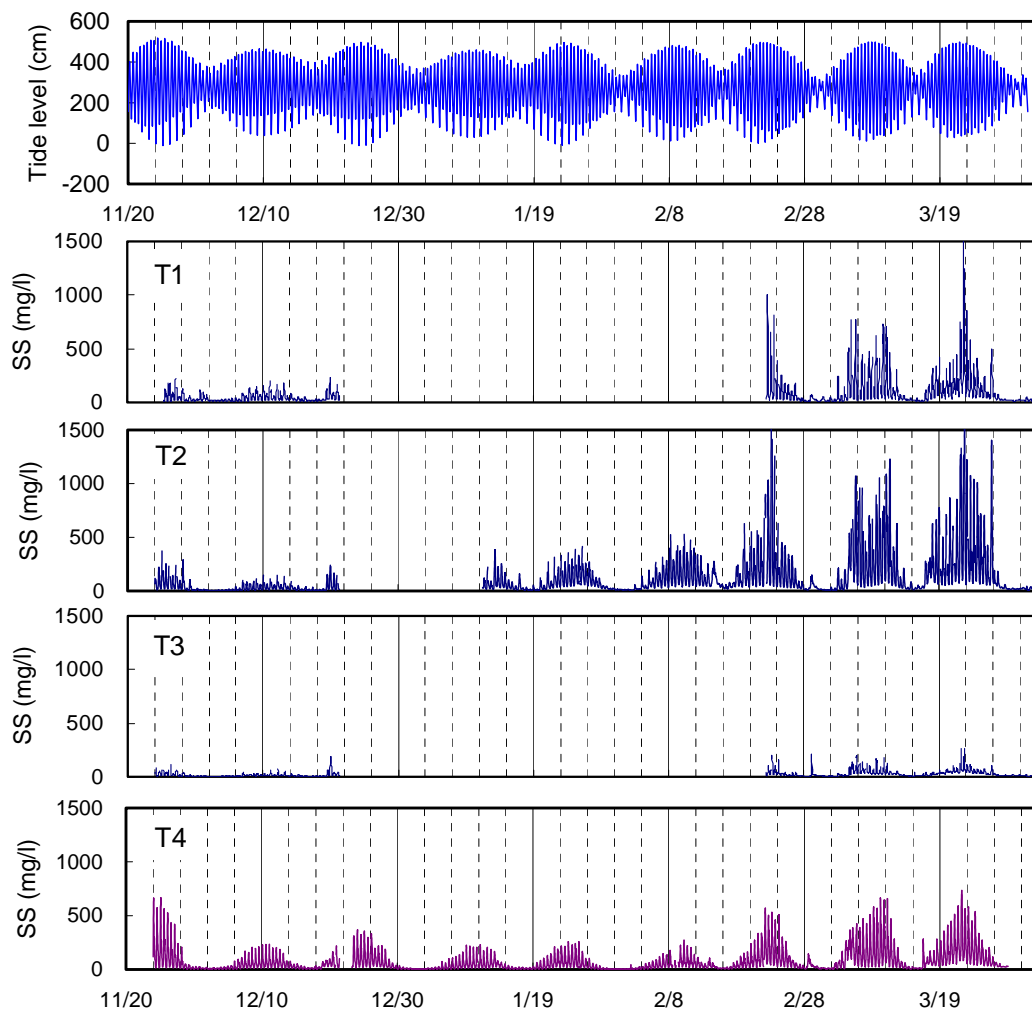


図3 2003年11月24日~2004年4月1日における三池港の潮位と各定点におけるSS濃度の変動(海面下1.0mと海底上0.5mの平均)。

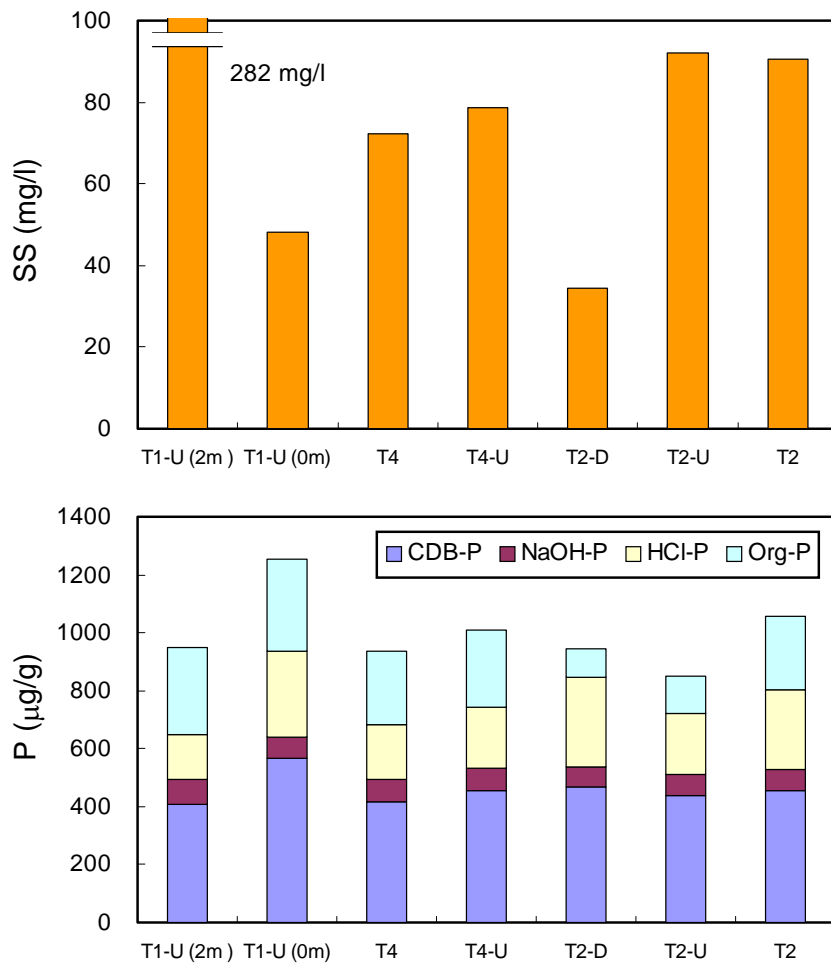


図4 有明海湾奥部干潟縁辺部における浮泥中の SS および形態別リン濃度 (2004年7月30日) .

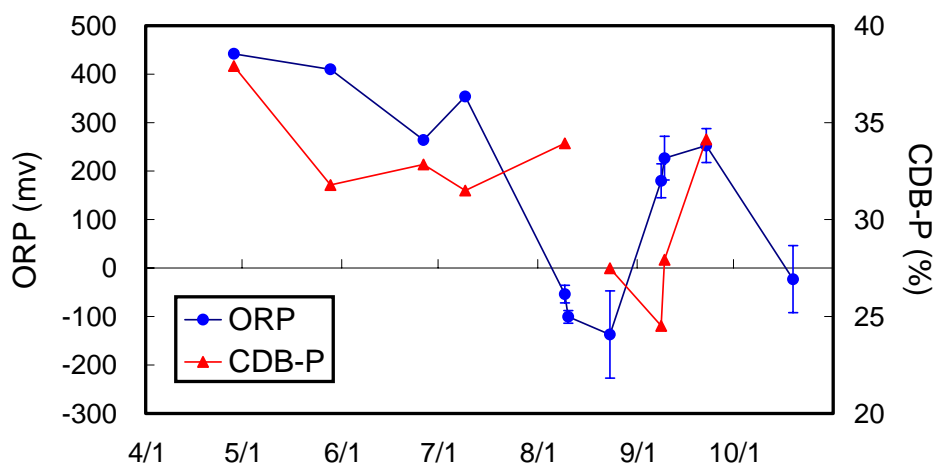


図5 有明海湾奥部干潟縁辺部 (定点 T1) における表層泥 (0-1 cm) の酸化還元電位と Total-P に対する CDB-P の割合の変動 (2004年4月~10月) .

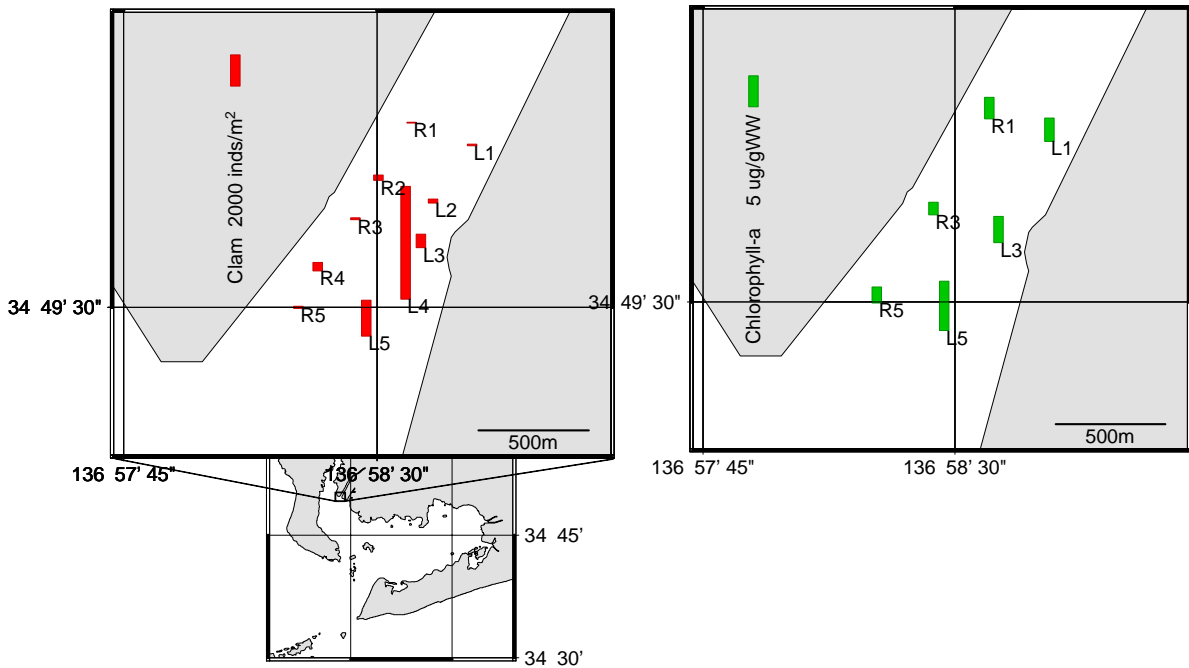


図6 矢作川河口干潟域におけるアサリ稚貝生息密度および堆積物中(0-1 cm)のChl.a量

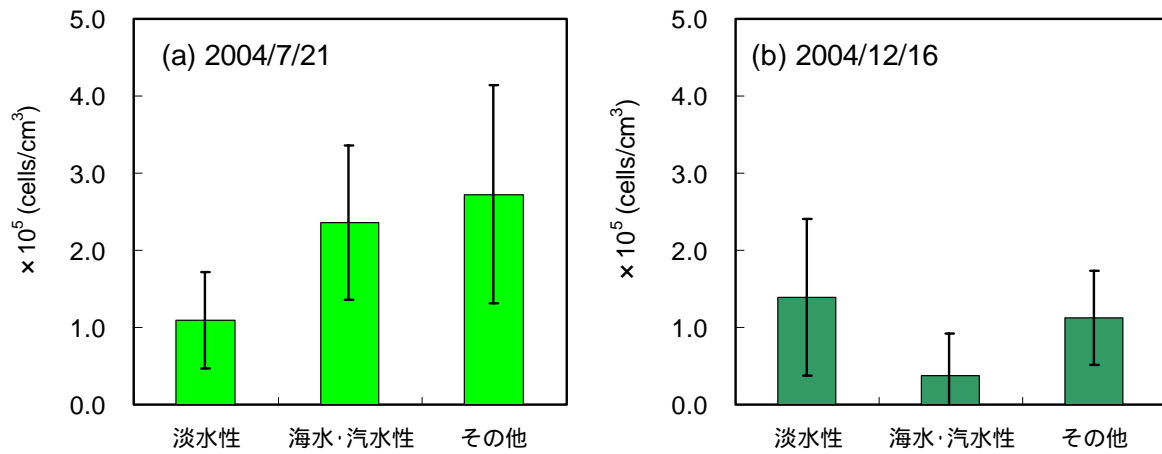


図7 矢作川河口干潟域における表層堆積物中(0-1 cm)の微細藻類細胞密度