

干潟底生生物の生息環境に関する現地調査

朴 鍾和*・中山哲厳**・瀬口昌洋***

1. はじめに

生物の生息場など種々の機能を持つ自然の干潟がどのような環境であり、どのように変化するかを検討・予測することは、干潟を造成したり保全して行く上で重要である(山本ら, 1995)。特に潟土中の温度や栄養塩が干潟生物の生息環境に与える影響は大きい。しかしながら、これら物理・化学的環境特性を定量的に検討した研究は少ない。また、物質循環に関する予測モデルも開発されてはいるものの、基礎的な物理・化学量の定量化が充分でないことからその適用には多くの問題を抱えている(中田, 1997)。本研究は、こうした背景を踏まえて、干潟域の物理・化学的要素(潟の基礎的物性、潟土中温度、水位変動、栄養塩、酸化還元電位)に関して著者が現地観測で取得したデータを検討し、干潟底生生物の生息環境の把握及び干潟の環境変動予測のための基礎的知見を得ることを目的とした。

2. 観測及び実験の概要

現地観測は佐賀県東与賀町六角川河口域の東岸側の干出する地点(D.L.=+4 m)で行った(図-1)。測定項目は水位変動、潟土中温度及び栄養塩濃度である。水位変動、潟土中温度(深さ0, 5, 10, 15, 20, 30 cmの6地点)についてはほぼ1年間連続観測を行った。栄養塩濃度及び酸化還元電位(深さ5, 10, 15, 20, 30 cmの5地点)はほぼ1週間毎に観測を行った。なお、日射量及び雨量の測定は佐賀大学構内で併せて行った。また、日照時間、気温、風速はAMEDASデータより、湿度は地方気象台のデータより入手した。また、潟土の物理的特性、温度特性及び栄養塩濃度特性等の関連性を調べるために、各測点から底質を採取し、種々の室内実験を行った。各測点で採取した底質から物性値(比重、粒径分布、強熱減量 L 、透水係数 k)を求め、潟土の熱伝導特性との関連性を検討した。検討した栄養塩の項目はNaCl、全リン(T-P)、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、全窒素(T-N)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 NO_3^-

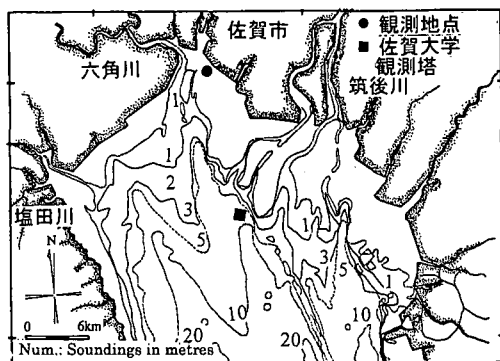


図-1 観測地点

$-N$ 、 NO_2^-N である。さらに、沿岸域干潟中の温度、栄養塩条件とその時空間分布及びその変化を定量的に把握し、それらの相互関係と干潟の底生生物の生息環境について検討を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 潟土の物性

潟土中の温度分布及び栄養塩濃度分布特性は、潟土の物理的特性と深い関連性をもつものと考えられる。潟土の深度ごとの基本的物性(土粒子密度、強熱減量 L 、透水係数 k 、中央粒径 $\overline{D_m}$)は表-1に示した。底質は粘土成分(51.2%)とシルト成分(45.6%)が多い。 L は表層から深層に行くほど高い値を示し、 k は表層で大きく、深層で小さい。このことから表層より深層ほど高濃度の有機物や栄養塩が集積し、深層では物質が輸送し難い環境になっていると考えられる。逆に、表層付近は海水の出入りが頻繁で、物質の移流拡散も盛んに行われる。また、干出時は太陽エネルギーを直接受けるため、カニ類や線虫などの多くの底生動物が生息し、多くの干潟生物の巣穴も多数存在する(栗原, 1991)。これらは有機物を消費分解しているばかりでなく、潟土中に巣穴を掘ったり、移動することにより底質を攪乱する。それによって底質表層における各種微生物は活性化され、物質循環が促進し、潟土の各深度に伝わる温度の伝達や栄養塩の循環に大きく影響を及ぼしているものと考えられる。

* 正会員 農博 水産工学研究所(現 韓国忠北大学校農科大学)

** 正会員 工修 水産工学研究所

*** 正会員 農博 佐賀大学農学部

表-1 潟土の基本的物性

Depth (cm)	Soil density (g/cm ³)	I_L (%)	k (cm/s)	$\overline{D_m}$ (μ m)
0	2.643	10.06	0.0001280	14
5	2.633	10.99	0.0013400	11
10	2.628	11.16	0.0001880	90
15	2.625	11.65	0.0001040	11
20	2.630	11.25	0.0000156	15
30	2.630	11.24	0.0000017	16

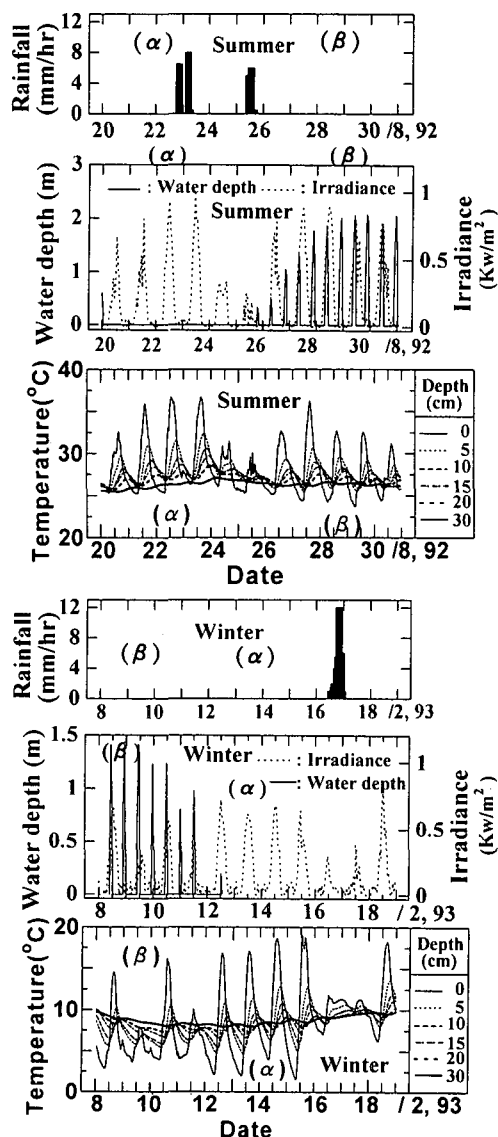


図-2 計測地点の雨量、水深、日射量及び潟土中の温度分布

3.2 潟土中の温度分布と気象条件との関係

干潟域における熱エネルギー交換は大気・海水・潟土の三者間の相互関係により行われ、潮汐や気象条件の影響

により複雑に変化する。特に、潮位が潟土面以上の場合の熱エネルギー交換は、大気と海水間並びに海水と潟土間で行われるが、干出時の場合は大気と潟土間で直接熱エネルギーの交換が行われるため、その交換形態は大きく異なる。

図-2に現地観測で得られた潟土中の温度分布、計測地点の水深、日射量及び雨量の時間的変化、またそれらの季節的変化の一例を示す。図示したように観測期間中の天気は、夏季で雨天の8月25日と曇天の8月24日、冬季で雨天の2月16日、17日を除いて概ね晴天日であった。この期間中の日射量は曇天日と雨天日を除いて比較的高く、正午前後の最大日射量は0.9 KW/m²前後の高い値を示す。

計測地点の水深は、有明海奥部の潮位変動に応じて周期的な変化を呈する。小潮時には一日中海底が干出し、大潮に近づくにしたがい冠水時間は増加する。一日の温度分布の時間的及び空間的変化は、その日の天候と潟面の冠水状況によってかなり大きく変化している。なお、干潟の表層及びそれに近い深さ5 cmにおける温度の時間的変化は、気象の変動に追従し、日射量の変動に伴いその層の温度も変動する。このように潟土の表面や浅い層の温度は、日射量と干潟域の水位によって大きく影響される。

雨天時または曇天時には、雨や雲の影響により日射量は非常に低く、ほぼ全深度において同様な温度分布を呈する。しかし、晴天時には、目まぐるしく変化する日射量の変化に応じて潟面およびその近辺の温度は激しく変化している。特に、日中日射量の急増し始める10時頃から潟面およびその近辺の温度は上昇し、次第に下層へと伝導する。しかし、日射量の減少する18時頃から再び日射量の増大し始める翌日の8時頃までは、潟面から深さ20 cm付近までの温度は減少の一途をたどっている。このことから一日の中で大気と干潟域との間の激しいエネルギー交換が行われていることが理解される。このように潟面近傍の環境を形成する要素・要因は互いに深くつながっている。特に、放射、日射、温度、水分環境は独立して存在するのではなく互いに密接につながっていることがわかった。干潟域潟土の温度変動の季節的特徴としては、夏季には表面や浅い層の温度が深層より著しく高くなり、冬季には深層よりやや低くなる。また、温度較差の年変化は4月が最も大きく、日較差による不易層も50 cm程度であった。これらの関係を明らかにするため、図-2で特徴を持つ2日づつを選び、潟土表層の温度分布と気象条件との関係について図-3に示した。ここでの検討事項は潮汐の影響が無く底面が干出した場合(α)と潮汐の影響を受けて日射量が多いとき(β)である。まず、潮汐の影響が無く干出した場合(α)、潟土表層の

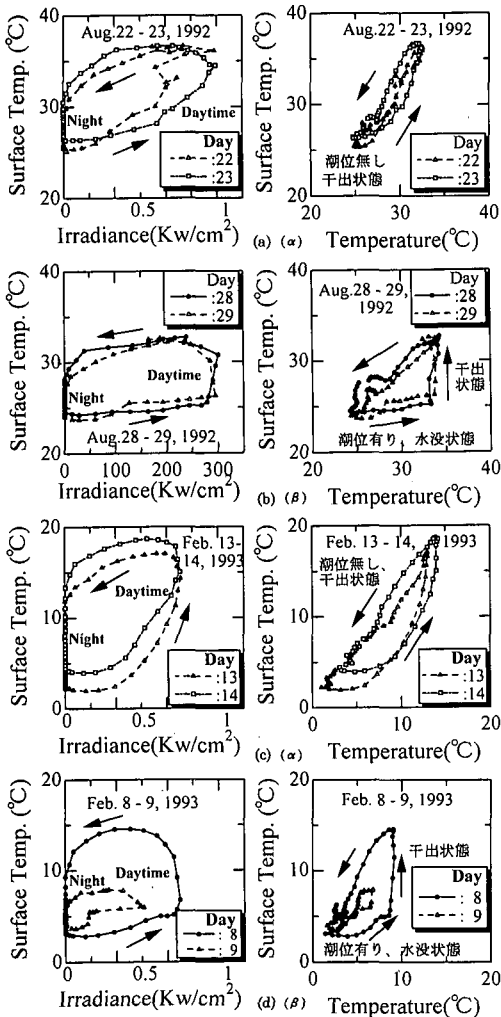


図-3 潟土表層の温度分布と気象条件との関係

温度と日射量または気温とでヒステリシス曲線を形成する (a)。潟土表層の温度と気温とで形成されるヒステリシス曲線は、夏季において上昇曲線と下降曲線がほぼ一致する。しかし、冬季のヒステリシス曲線は上昇と下降時のヒステリシス曲線の履歴経路で若干の差がみられる (c)。これは干潟域周辺の気象条件の影響により生じるものと考えられる。

また、日射量が多いときで潮汐がある場合 (b)、潟土表層の温度と気温とで形成されるヒステリシス曲線は、潮位の変動によって曲線が急変する。特に、日射量のピーク時刻と干潟の冠水時刻とがほぼ一致するとき、潟土の表面や浅い層の温度の時間的変動は抑えられる傾向を示す (b), (d)。日射量と気温とのヒステリシス曲線で上昇曲線の場合にその傾向が強い。

このように干潟域は底生生物の生活環境場を形成する要素・要因が互いに深くつながって、物質循環やエネルギー

ギー交換を活発にさせるものと言える。

3.3 温度拡散率、体積熱容量及び熱伝導率の関係

潟土中の温度分布または熱の輸送では潟土の温度拡散率と体積熱容量及び熱伝導率が重要であるため、その特性を的確に把握する必要がある。まず、温度拡散率は測定された温度が 24 時間の間で周期的に変動する 2 地点を選びその温度の振幅差に注目したもの (K_1) と、24 時間の間の温度変動の位相差に注目したもの (K_2) がある (土壌物理測定法委員会, 1972)。いずれも次式の温度の拡散方程式に対する同一の解から求められる。

$$\frac{\partial T_{zt}}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T_{zt}}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここに、 z は潟土表面からの深さ、 t は時間、 T_{zt} は深さ z 、時間 t における温度、 K は温度拡散率である。

まず、 K_1 は異なる 2 つの深さの日最高 (最低) 温度を測ることにより次式の関係が成り立つ。

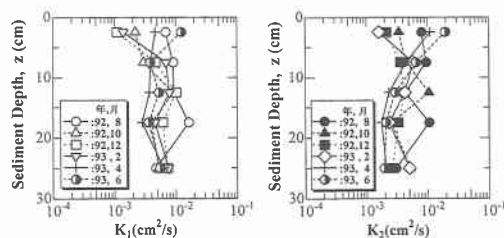
$$K_1 = 6.86 \times 10^{-6} \times \frac{(z_2 - z_1)^2}{(\log_{10} R_1 - \log_{10} R_2)^2} \quad (\text{cm}^2/\text{s}) \quad (2)$$

ここに、 R_1 , R_2 は深さ z_1 , z_2 における温度較差である。

また、 K_2 は、深さ z_1 及び z_2 における温度のピーク時刻をそれぞれ t_1 , t_2 とすると次式の関係になる。

$$K_2 = 6.88 \times 10^{-3} \times \frac{(z_2 - z_1)^2}{(t_2 - t_1)^2} \quad (\text{cm}^2/\text{s}) \quad (3)$$

図-4 は、それぞれ (2) 式及び (3) 式より算出した温度拡散率 K_1 , K_2 の平均値を各深さ毎にプロットしたものである。図示されるように各深さにおける K_1 , K_2 の値は、日によってかなりバラツキが見られる。その主な原因としては潮汐作用や気象の変動の影響に起因するものと考えられる。特徴として、表層の温度拡散率は夏季に広範囲で分布するが、冬季のそれはある程度集中している。なお、深度 10 cm 前後の層において K_1 及び K_2 の値は、季節の変化に応じて一定値に近づく特徴が見られる。これはこの海域で棲息する干潟生物が潟土中の温度変化に応じて、季節的に適した生息環境に移動して生活することと密接な関係があるものと考えられる。すなわち、カニ類や線虫などの多くの干潟底生生物は春から夏季において表層付近を、秋から冬季には 5~15 cm 域を生活環境の場としていることから推測できる。そのため春から夏季において温度拡散率の変化は表層で大きく、深層の変化は小さい。その反面、秋から冬季の温度拡散率の変化は 5~15 cm 層で大きく、表層付近では差はほとんどない。これら底生動物による生物的攪乱などは潟土の各深度の温度の伝達へ及ぼす影響は大きいものと考えられる。しかし、各深さにおける K_1 及び K_2 の平均値は、互いに比較的類似した分布となっている。この図から、潟土中の平均的な温度拡散率は $4 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$

図-4 温度拡散率 K_1 , K_2 の平均値

程度と考えられる。

さらに、渦中の温度分布とその変動特性を把握することや渦中における熱の流れ、貯留、放熱などの関係を得るためには、渦土の比熱及び熱伝導率を知る必要がある。

温度拡散率 K と体積熱容量 ($C \cdot \rho$) 及び熱伝導率 λ_T の関係を示すと次式のようにになる。

$$K = \frac{\lambda_T}{C \cdot \rho} \quad \text{..... (4)}$$

ここに、 K は温度拡散率 (cm^2/s)、 λ_T は熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$)、 C は渦土の比熱 ($\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$)、 ρ は渦土の密度 (g/cm^3)、 $C \cdot \rho$ は体積熱容量 ($\text{cal}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) である。

ここで、土壌の比熱 c_s は、混合法による実験で求めると $0.4 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$ で、計測地点での平均塩分濃度 16 ‰ の時の海水の比熱 $c_w 0.98 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$ の値が得られた。また、土粒子の密度 ρ_s は実験より求め、海水の密度 ρ_w は計測地点での平均塩分濃度 16 ‰ より $1.013 \text{ g}/\text{cm}^3$ を得た。

これらの値を用いた結果、本研究で得られた平均的な体積熱容量は $1.14 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ であった。ここで、(4) 式から熱伝導率は水分量の増加にともない増加するが、体積熱容量 $C \cdot \rho$ は減少する。したがって、温度拡散率 K は水分量の増加に伴い増加することがわかる。本研究で得られた平均的な体積含水率は特に 10 cm 層で高く、深層ほど低い傾向を示した。よって、平均的な体積熱容量は $1.14 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 、平均的な温度伝導率は $4.6 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ と推測される。

以上のことから、渦土中の $5 \sim 10 \text{ cm}$ 層付近で水分量は高く、その結果温度拡散率も増加するものと推測される。これは温度拡散率の月変化において、温度拡散率の増加や突出する現象と深い関連をもつものと考えられる。しかし、渦土の熱力学的特性は水分量ばかりでなく、構成粒子や孔隙の配置状態、渦を構成する粒子の熱力学的性質など複雑な要素の相互関係から成り立つ。したがって、今後さらにこれらに関する実験及び理論的検討を必要とする。

3.4 栄養塩濃度の変動特性

底質間隙水中の栄養塩濃度は図-5 のように季節的・空間的に変化する。底質間隙水中の栄養塩濃度は酸化還元電位の変化と同様に特徴的な鉛直分布を示す。酸化層

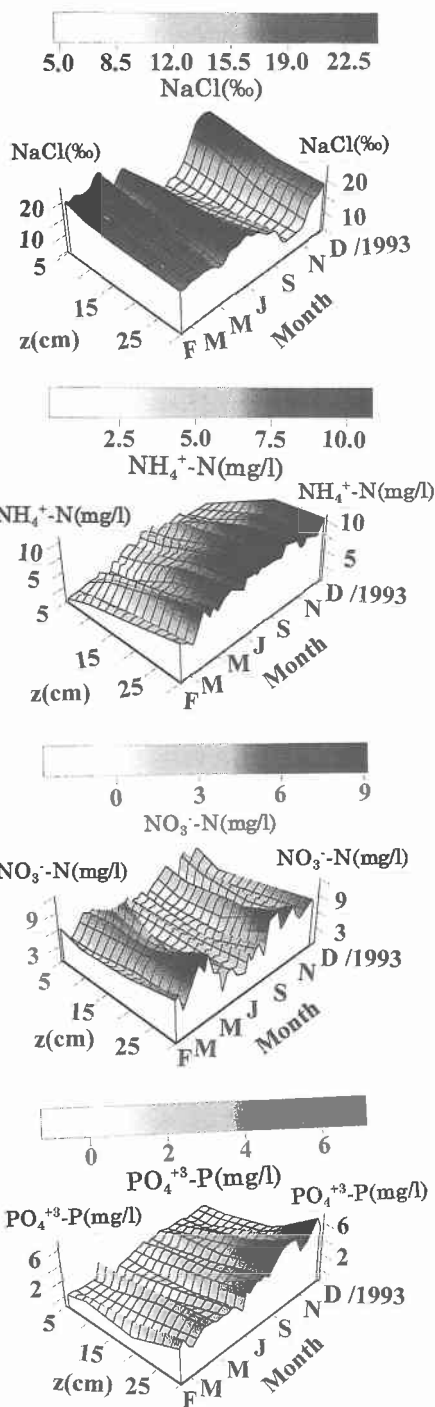


図-5 底質間隙水中の栄養塩濃度

から還元層への栄養塩の鉛直的变化は酸化還元電位のレベル（酸化還元状態）に応じて様々な酸化還元反応を示し、段階的に変化する。その環境要因としては流れと波による巻き上げ、降雨などによる水の移動、船の出入り

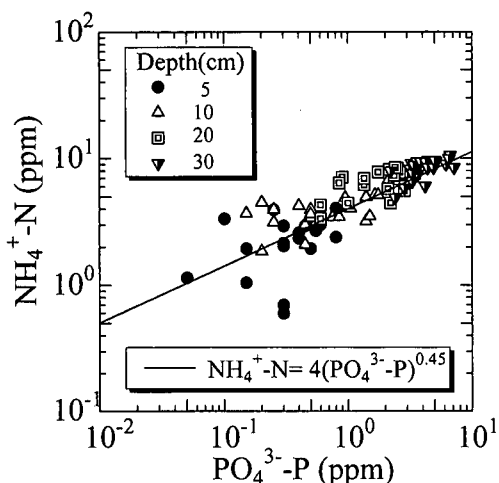


図-6 間隙水中のリンと窒素との関係

による攪乱及び底生動物やバクテリアの攪乱などがある。これらの要因の作用により溶存酸素 (DO) の補給、栄養塩 (窒素とリン) の底質からの溶出、移流、拡散などが行われる。その結果、潟間隙水中の窒素態は大部分アンモニア態窒素 (NH_4^+-N) 状態で存在し、リンは硫酸態リンの状態で分布する。

ここで、 NH_4^+-N の濃度は深層で高く表層付近で低い。これは年間を通してほぼ一定な濃度分布を呈する。また、分解・無機化過程は底質の深さ 10 cm 前後で行われているものと考えられる。これらの関係を気温分布と照らし合わせてみると、春・夏季は気温が上昇し生物の活動が盛んな時期で、有用生物からの排せつ物や死骸により NH_4^+-N 濃度が上昇し、間隙水中に存在する窒素態のほとんどは NH_4^+-N となる。しかし、硝酸態窒素 (NO_3^--N) と亜硝酸態窒素 (NO_2^--N) の濃度分布は気温の上昇と水分量の増加に伴い急激に低下する。気温の低下と水分量の減少は春と夏季に潟土中で有機物を無機化する。また、それにより生成された NH_4^+-N の一部は水中に溶出し海苔などの養殖の栄養塩として使用される。残りの一部は DO の供給や潟土中の硝化菌の作用により NO_3^--N や NO_2^--N に変化するものと考えられる。

NH_4^+-N の濃度と間隙水中の塩分濃度との関係は NH_4^+-N が低いほど NaCl は大きい。この関係は塩分濃度分布からも分かるように夏季の降水により NaCl が 5 %前後の低濃度となる。生物群によって生成された

NH_4^+-N の一部は底泥に吸着され、間隙水中のアンモニア態窒素の濃度は低下し、見かけ上の濃度は安定した形となる。このように栄養塩濃度の変化は気温や降水量及び塩分濃度と密接な関係をもつ。リン及び窒素の溶出速度は温度が上昇するほど増大する (細川ら, 1981)。このリンの溶出は主に $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ で行われており、窒素化合物の溶出は NH_4^+-N による。さらに、間隙水中のリンと窒素との間では図-6 のように高い正の相関関係がみられた。

以上のことから温度変化及び栄養塩濃度の変動特性は干潟底生生物の生息環境と密接な関係を持つことが把握できた。

4. おわりに

干潟底生生物の生息環境の把握や干潟の環境変動予測のための影響因子 (特に、干潟潟中の温度及び間隙水中の栄養塩濃度) について検討、考察を行った。その結果、潟土中の温度と間隙水中の栄養塩濃度は干潟域の水位や気象条件の影響を強く受けることが確認できた。

また、潟中の温度変化及び栄養塩濃度の変動特性は干潟底生生物の生息環境と密接な関係を持つことが把握できた。しかし、干潟域は物理的・化学要素に加え生物学的要素の複雑な相互関係から成り立つ。したがって、今後さらなるこれらに関する実験及び理論的検討を必要とする。

最後に、現地観測および室内実験においては、熊井雅邦 (現国土防災 (株)) と沖本知俊 (現福岡県庁) 各氏のご協力を得た。また、これらのデータ解析を進めるにおいては、佐賀大学農学部加藤治教授、水工研山本正昭部長、漁港水理研究室のスタッフより多くの助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 山本正昭・萩野静也・石田宏一 (1995): アサリ漁場造成計画のための物理環境調査, 水工研報告, 第 16 号, pp. 1-28.
- 中田喜三郎 (1997): 沿岸生態系モデルの問題点, 第 17 回 ECO-SYSTEM ENGINEERING シンポジウム, 生態系工学研究会, p. 3.
- 栗原康編著 (1991): 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.
- 土壌物理測定法委員会 (1972): 土壌物理測定法, 資賢堂, pp. 287-289.
- 細川恭史, 三好英一, 堀江 毅 (1981): 栄養塩溶出速度の温度 DO 依存性について, 港研資料, 第 405 号, pp. 3-39.