

気球とデジタルビデオカメラを用いた 浅海域の拡散係数の推定

ESTIMATION OF DIFFUSION COEFFICIENT IN SHALLOW WATER REGION
BY USING A VIDEO CAMERA AND BALLOON

重松孝昌¹・小池敏也²・矢持 進³

Takaaki SHIGEMATSU, Toshiya KOIKE and Susumu YAMACHI

¹正会員 博士(工学) 大阪市立大学助教授 大学院工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²大阪市立大学 事務局学術交流課技術支援係 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

³正会員 農学博士 大阪市立大学教授 大学院工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

In order to monitor the environment in the coastal zone, a monitoring system with a digital video camera, which moored to a balloon, is developed in this study. From some images captured by the developed monitoring system the diffusion coefficient over the artificial tidal flat of Hannan Second District in Osaka Bay, and the seawater purification system through use of biological intake of oyster growth promoted by bubbling in Katakami Bay in Nagasaki. The estimated values of the diffusion coefficients at the both observation sites have same order $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Key Words: diffusion coefficient, measurement method, artificial tidal flat, bubbling system, video camera, balloon

1. 研究の目的

自然再生法の施行によって、沿岸域、特に、閉鎖性海域の環境修復が事業として推進されることとなった。どのような理念に基づいて海域の自然再生を試みるかについては議論が必要であるが、夏季の閉鎖性水域の現状を見れば、貧酸素化を抑制することが重要な課題の一つであると思われる¹⁾。貧酸素化を抑制する一つの方策として、海域の水質浄化を目的とするような浅海域の造成が日本各地で試みられている。しかし、造成された浅海域上に貧酸素水塊の影響が及べば、底生生物が死滅し、それが新たな負荷源となることも考えられる。三河湾では、浅海域造成にあたり、予め候補地における溶存酸素の鉛直分布を推定し、貧酸素化が発生する海域については、その影響が回避できるように水深を決定する方法をとっている²⁾。三河湾で造成された浅海域では、アサリが優占種であることが周知の事実であるので、浅海域が有する機能およびその評価が比較的容易に推定できる。しかし、例えば大阪湾のようにそのほとんどが人工化されてしまった沿岸に、改めて浅海域を造成しようとする場合には、どのような

優占種が生息するかを予測し、かつ、造成する干潟がどのような機能を有するかを予測することは、それほど容易なことではない。このような浅海域の機能の予測には、浅海域上における物質の輸送に大きな影響を及ぼす拡散係数に関する知見が必要であるが、浅海域におけるその知見はそれほど多くはない^{3),4)}。現行の浅海域の水質浄化機能の評価は、そのほとんどが海洋あるいは内湾で過去に求められた拡散係数を用いてなされており、浅海域におけるそれを用いて行われている例は極めて少ないのが実情である。

拡散係数の計測は、実験室スケールでは流体の速度の計測結果を基に、乱流拡散係数を推定する手法がとられることが多い。しかし、実海域において拡散係数を推定するのに十分な精度で流速を測定することは難しい。一方、海洋においては、染料の拡散状況を航空写真に撮影し、これを基に拡散係数を推定する手法がとられることが多いが、経済的な負担は小さくない。

そこで、本研究は、比較的安価に染料の拡散過程などを撮影することができる計測システムを構築し、沿岸域における物質循環の推定・予測に必要な拡散係数を求めることを目的とするものである。

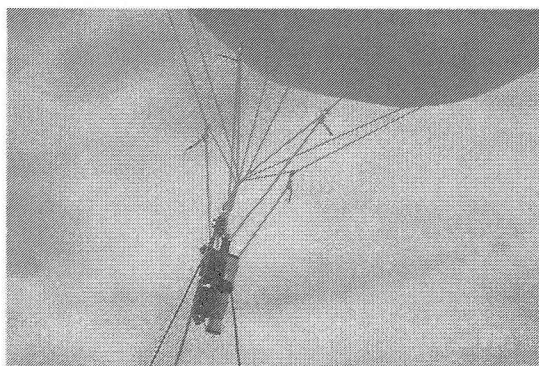


写真-1 気球に取り付けられたビデオカメラ

2. 計測システムの概要

計測システムは、デジタルビデオカメラと気球とから成る。デジタルビデオカメラは、直径約3mの気球に取り付け（写真-1参照）、高度 $L \approx 80\text{m}$ まで打ち上げた。カメラには、広範囲の撮影を可能にするためのワイドコンバージョンレンズと、太陽光による海水面のぎらつきを抑えるための偏光レンズを装着した。また、気球には3本の係留用ロープをとりつけ、2本を海域に設置されたブイに結びつけて固定し、1本を陸上部の任意地点に移動して固定することにより、対象海域が撮影範囲にはいるように調整した。

拡散係数の推定にあたって、可視化画像を得る染料として、ウラニン試薬（Uranine, Sodium Fluorescein, $\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{O}_5$ ）を用いた。画像上で識別不可能となる濃度と時間を事前に調べ、一度の観測に要する時間を10～20分間に設定した。0.5gのウラニン試薬を海域にて採取した海水1ℓに溶かして風船に入れ、針で風船を割ることによって、瞬間的に海域に染料を投入できるように工夫した。また、染料の投入位置は、気球のほぼ真下になるようにした。

ビデオカメラによって撮影された画像は以下の手順で解析した。

- ① コンピュータへのビデオ画像の取り込み
- ② 静止画像の作成
- ③ 赤（R）・緑（G）・青（B）三原色に分解
- ④ 各原色の輝度分布の解析
- ⑤ 染料以外のデータの除去
- ⑥ 座標系の設定および固定
- ⑦ 染料の分布を推定
- ⑧ 拡散係数の推定

潮上帯や土留堤、船などは、赤・緑・青のいずれの輝度値も比較的高い値を示すが、染料（ウラニン）は黄緑がかった色をしているため、染料が分布する領域では、緑色の輝度値は高く、赤および青色の輝度値は低い。このことを利用して、得られた静止画像から染料の分布域のみの情報を抽出し、その分布域から拡散

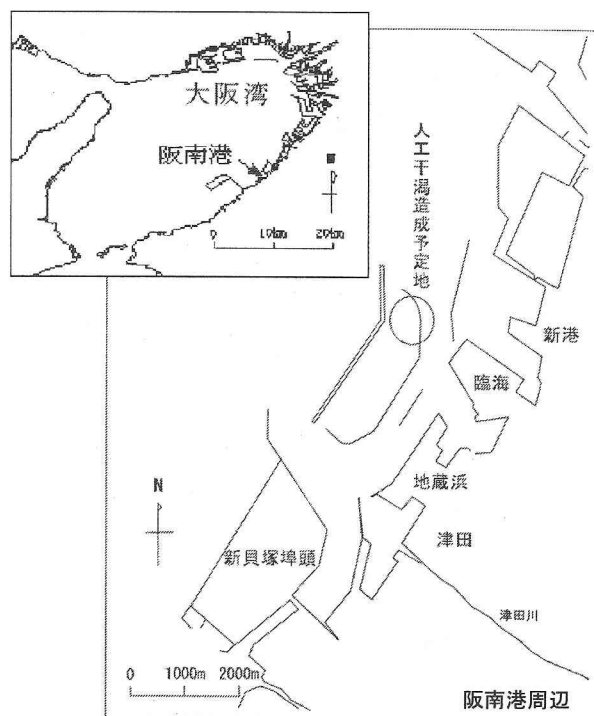


図-1 阪南2区人工干潟現地実験場の位置

係数を推定した。

3. 実験結果

(1) 人工干潟における拡散係数の推定

環境修復の手段として、人工干潟の造成が少なからず試みられている。人工干潟に関しては、波浪や潮流などの物理外力に対する安定性だけでなく、その水質浄化機能など、幅広く研究が活発に行われている。浅海域における水質浄化機能の推定には、物質の輸送過程に影響を及ぼすと考えられる拡散係数が必要であるが、十分な知見がないのが実情である。

そこで、本研究では、図-1に示す大阪府岸和田地先の阪南2区埋立造成地内に設けられた干潟実験場において、本計測システムを用いて拡散係数の推定を試みた。図-1に示すように、干潟実験場は防波堤および仮護岸で囲まれた静穏度の高い海域に設けられた幅80m、

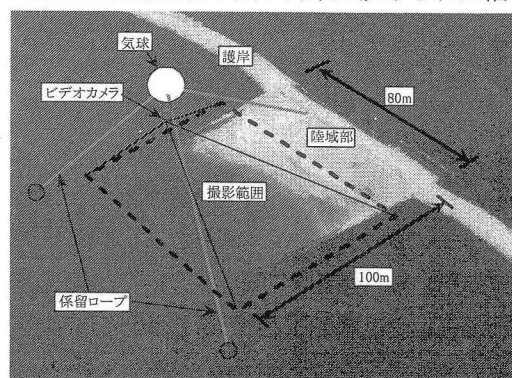
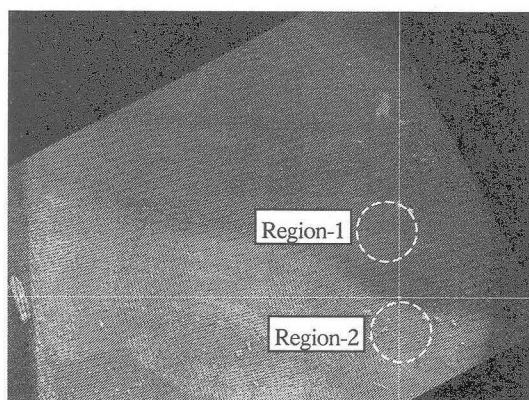
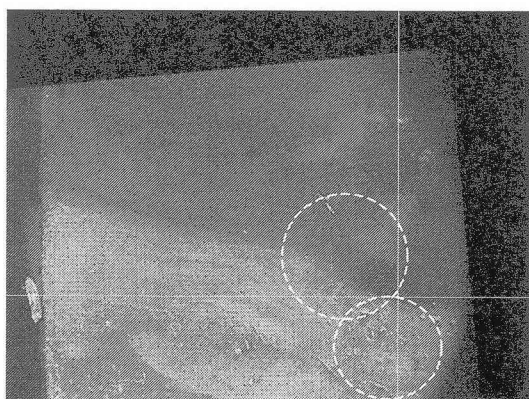


図-2 計測概念図



(a) 染料放出直後



(b) 放出 10 分後

図-3 撮影された染料の拡散過程

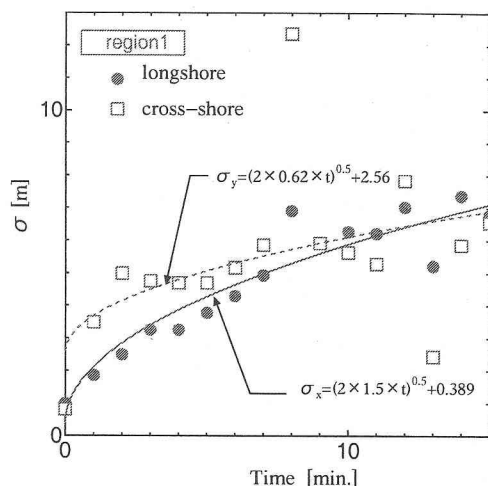
岸沖方向の長さ 100m, 平均勾配がおおよそ 5/100 の人工干潟である。当該海域において, 図-2 に示すような要領で本計測システムを適用し, 海面に放出された染料の拡散過程を撮影した。

図-3 は, 本計測システムによって撮影された染料の拡散過程の一例を示したものである。染料は, 水深 $h \doteq 1.5\text{m}$ の地点と $h \doteq 0.5\text{m}$ の二地点で放出した。いま, $h \doteq 1.5\text{m}$ で放出された染料の拡散領域を Region-1, $h \doteq 0.5\text{m}$ で放出された染料のそれを Region-2 と称することにする。撮影時は, 非常に静穏な天候であったので, 人工干潟実験上にはせいぜい 20~30cm 程度の波高の波が観測されたに過ぎず, 汀線の極近傍で小規模な碎波が観察される程度であった。

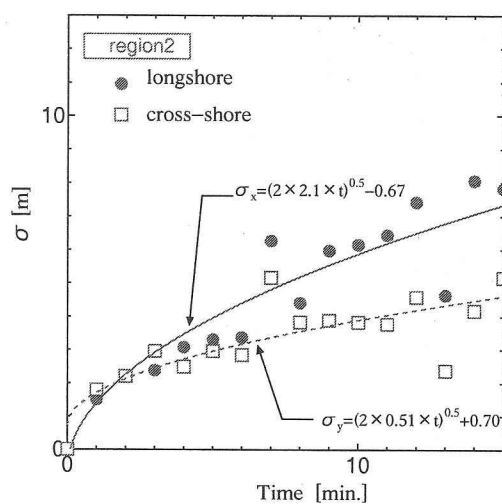
前述の手順に従って, それぞれの領域において沿岸方向および岸沖方向(図-3 中の白線で示した方向)の染料の分散幅 2σ を求めた後, 時間 t と σ との関係求めた。得られた結果を図-4 に示す。図中には, 拡散係数と分散幅との関係式

$$\sigma = \sqrt{2Dt} \quad (1)$$

を考慮して最小自乗法によって求められた曲線を記している。このようにして推定された拡散係数は, 表-1 のようにまとめられる。表中の D_x および D_y はそれぞれ, 沿岸方向および岸沖方向の拡散係数を表してい



(a) Region-1



(b) Region-2

図-4 染料の分散幅 σ の経時変化

表-1 人工干潟実験場における拡散係数の推定値

	D_x [m^2/s]	D_y [m^2/s]
Region-1	2.5×10^{-2}	1.0×10^{-2}
Region-2	3.5×10^{-2}	0.9×10^{-2}

る。表-1 によれば, 沿岸方向の拡散係数は約 $1.0 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$, 岸沖方向の拡散係数は約 $3.0 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ と推定される。本計測データと式(1)に基づいて推定される拡散係数は, 波浪や風に伴う擾乱など, さまざまな要因の影響を受けた見かけの拡散係数ととらえなければならない。

前述のように, 干潟のような浅海域で拡散係数を計測した事例は多くはない。松川(1984)は, 一色干潟で二日間の塩分の輸送量から求めた当該海域の拡散係数を $3.8 \times 10^0 \text{m}^2/\text{s}$ と求めている。この値と比較すると, ここで得られた拡散係数の値は2オーダー小さい値となっている。一方, 青山ら(1996)は, 伊勢湾東部に位

置する小鈴谷地先の干潟域（小鈴谷干潟と称する）において1996年5月20日の満ち潮最強流時に漂流クラゲの観測を行い、その移動分散により、水平拡散係数を $8.90 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ と見積もっている。今回の観測で得られた水平拡散係数は、この青山らが得た値と同じオーダーとなっていることがわかる。また、Takewakaら⁶⁾は、外洋性海浜である波崎で同様の計測および推定を行っている。彼等の観測によれば、岸沖方向の拡散係数は $1.0 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ であり、本研究による内湾成人工干潟上のそれと同じオーダーの拡散係数が推定されている。

(2) 生物浄化システムにおける拡散係数の推定

長崎県と海洋科学技術センターは、長崎県大村湾の支湾である形上湾で、次のような理念に基づいて生物利用浄化システムの開発に取り組んでいる。すなわち、

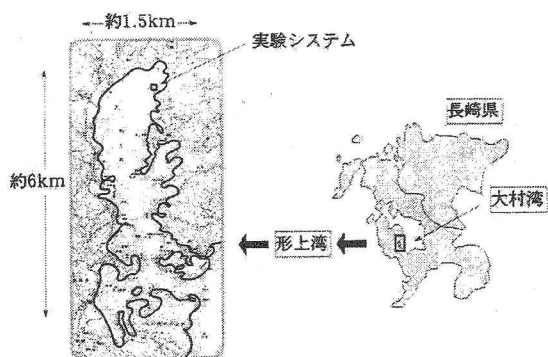


図-5 生物利用浄化システム実験施設の位置

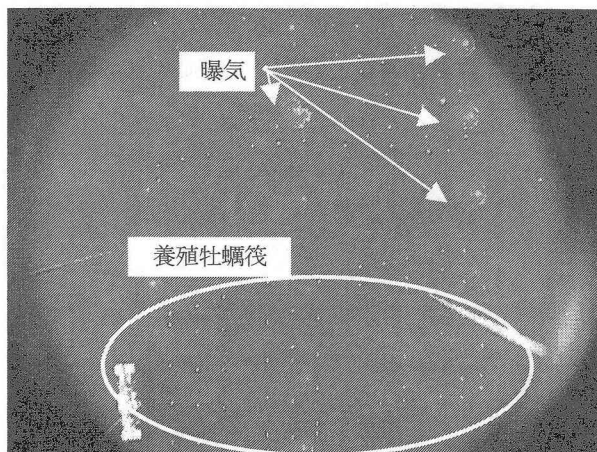


写真-2 生物利用浄化システムの概要

地形的要因によって極めて閉鎖性の強い当該海域（図-5参照）の水質浄化にあたっては、海水交換が悪いという条件は、与条件として受け入れざるを得ない。形上湾への流入負荷は、下水道整備などの対策をとってはいるが、顕著な減少傾向にはない。湾内に流入した栄養塩は生物にとっては有用であるが、その量が過度になれば海域の貧酸素化を招き、生物の生息環境を破壊することになる。そこで、湾内に流入した栄養塩は牡蠣を養殖して成長した牡蠣を取り上げることによって海域の栄養塩を系外に取り出し、夏季の貧酸素化が発生する期間には養殖牡蠣筏が設置されている海底上で曝気を行うことによって牡蠣の生息に必要な溶存酸素を確保する。そもそも栄養塩濃度の比較的高い海域であることから、給餌は行わない。このような無給餌型の牡蠣養殖と曝気とを組み合わせることで持続的に水質浄

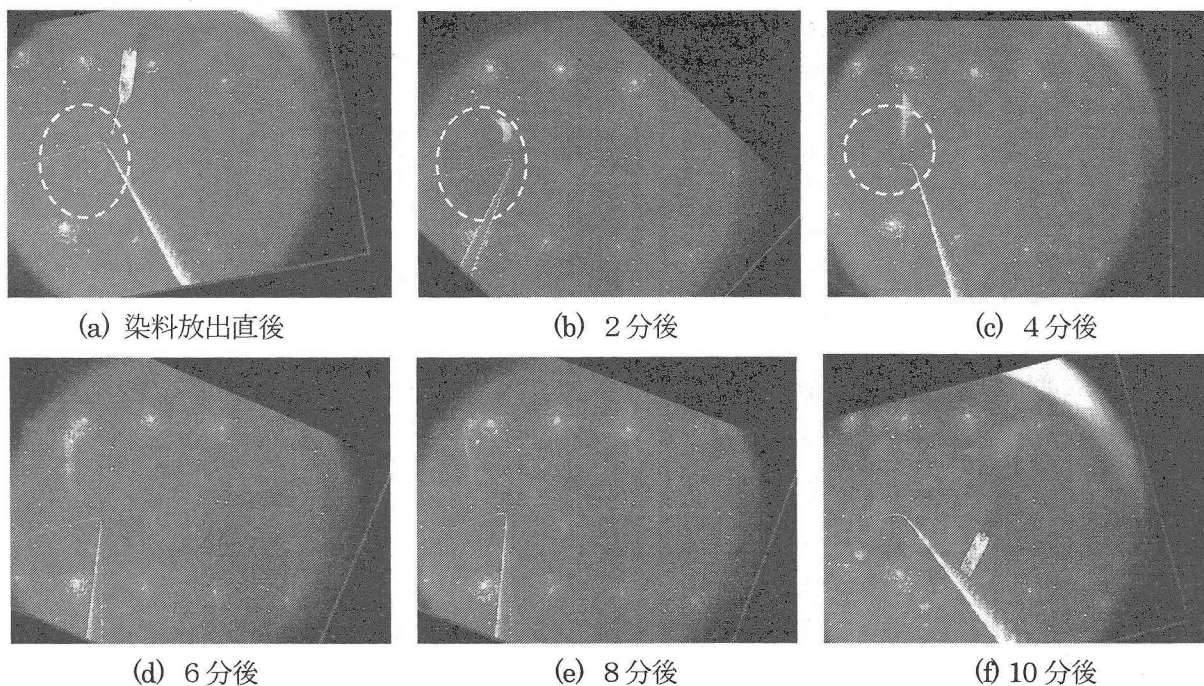


図-6 撮影された染料の拡散過程

化を行うシステム「生物利用浄化システム」の開発を進めている。気球に取り付けたビデオカメラで撮影された「生物利用浄化システム」の概要を写真-2に示す。写真-2中の白い点は養殖牡蠣筏のブイで、やや白い円形のものは水表面に現れた気泡である。当該海域の水深は4~5mである。

「生物利用浄化システム」では、曝気によって海域に酸素が供給されることが鉛直循環が促進されることが大きな特徴であるが、その効果および効果が及ぶ範囲の推定には当該海域の拡散係数の見積りが重要である。図-6は、本計測システムによって撮影された「生物利用浄化システム」内に放出された染料の拡散過程を示したものである。同図によれば、染料は同心円上に広がるのではなく直線的に染料が広がっていることがわかる。また、曝気による気泡が水表面に現れている場所に染料が到達すると、急激にその濃度が低下してしまうことがわかる。ビデオ画像を見る限りにおいては、気泡が観察される領域極近傍で下降流が形成され、この流れによって染料が水表面から水中へと取り込まれているように見える。このことを確認するためには、気泡が水面に到達する領域近傍における流れの構造を詳細に検討する必要があると考えられるが、ここでは流速の計測は行っていない。

図-7は、前述と同様にして染料の分布幅の経時変化を示したものである。ただし、 σ_x および σ_y はそれぞれ図-6中の横および縦方向の分散を意味している。このようにして推定された「生物浄化システム」内における拡散係数の推定値は、 $D_x=0.6 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ 、 $D_y=2.5 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ であった。これらの値は、人工干潟上における拡散係数、あるいは、外洋性海浜の沖で計測されたそれと同じオーダーである。

なお、染料の重心位置から求めた染料の移動流速は、2~6cm/s程度であった。

4. 結論

本研究では、気球と市販のビデオカメラを用いて、比較的安価で容易に沿岸域の拡散係数を推定することができる計測システムを構築した。本計測システムを用いて、大阪府岸和田地先の阪南二区埋立造成地内に設けられた干潟実験場、および長崎県形上湾における「生物浄化システム」内の水平拡散係数の推定を行った。その結果、推定された拡散係数はいずれも $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ のオーダーを有することがわかった。

ただし、本計測システムによる計測は、無風に近い静穏な天候の下で行われることが前提であるので、ここで得られた拡散係数の推定値も静穏時の値と解釈す

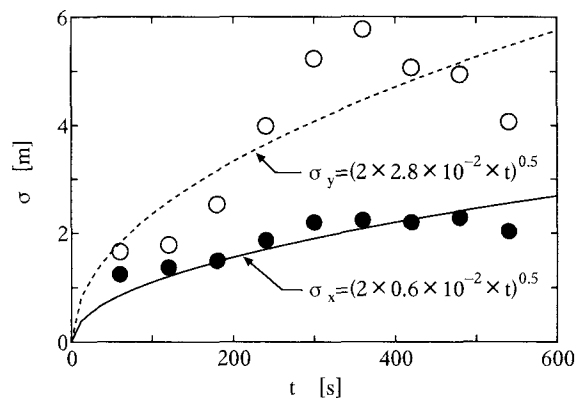


図-7 生物利用浄化システムの拡散係数の推定値

べきである。したがって、風の影響が大きくなり波高の大きな波が来襲するような状況下では、ここで得られた値とは異なる拡散係数が得られると考えられる。今後、検討が必要である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(B)：(課題番号 12480167, 研究代表者：矢持進)の補助を受けて行われたものであること、および、生物浄化研究委員会(海洋科学技術センター)における検討結果に基づいたものである。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 重松孝昌：大阪湾自然再生の考え方，第23回生態系工学研究会シンポジウム講演概要集，pp.3-1-3-12, 2003.
- 2) 今尾和正，鈴木輝明，青山裕晃，甲斐正信，伊藤永徳，渡辺淳：貧酸素化海域における水質浄化機能回復のための浅場造成手法に関する研究，水産工学，Vol. 28, No.1, pp.25-34, 2001.
- 3) 松川康夫：内湾域における物質輸送機構と窒素，隣の収支と循環に関する研究，中央水産研究所研究報告，Vol.1, pp.1-74, 1989.
- 4) 青山裕晃，鈴木輝明：干潟の水質浄化機能の定量的評価，愛知県水産試験場研究報告，Vol.3, pp.17-28, 1996.
- 5) 重松孝昌，小池 敏也，矢持 進：気球とビデオを利用した沿岸域の環境モニタリングの試み，環境アセスメント学会 2003 年度研究発表会要旨集，pp.99-102, 2003.
- 6) Takewaka, S., Misaki and S., Nakamura T. : Dye Diffusion Experiment in a Longshore Current Field, Coastal Engineering Journal, Vol.45, No.3, pp.471-487, 2003.