

# ADCP観測による浦の内湾の流れ構造と浮遊物質分布の特性

田村 圭一・宗景 志浩  
(農学部海洋環境工学講座)

## Characteristics of Current Structure and Suspended Matter Distribution by ADCP Observation in Uranouchi Bay

Keiichi TAMURA and Yukihiro MUNEKAGE  
*Chair of Marine Environmental Engineering, Faculty of Agriculture*

**Abstract :** One of the estuarine circulation pattern and distribution of suspended matter are discussed. Measurements have been carried out in Uranouchi Bay in the spring tide from 25 to 27 September 1992 using ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), with current velocity and suspended matter (Relative Backscatter) profile. The characteristics of the distributions of horizontal current velocity and suspended matter were investigated. At the flood tide in September 25, the inflow current was dominated in the lower layer in the mouth side of the bay and in the middle layer in the bay center. At the flood tide in September 26, the outflow was dominated in the bottom layer, and at the ebb tide, the inflow was dominated in the upper. At the ebb tide of September 27, the outflow was dominated in the bottom and surface layer. The suspended matter was upwelled from the bottom at the mouth and trapped by the eddy current. In the period, the structure of current in the bay was changed day by day. The distribution of suspended matter was greatly affected by the water current.

### 緒 言

内湾における潮の流れは海水交換や底泥の巻き上げ、プランクトンの集積など、物理的な環境変化のみならず水質変化や赤潮の発生・消滅にも大きな影響を及ぼすといわれている<sup>1)</sup>。浦の内湾では、潮汐に起因する流れが卓越するが、湾の閉鎖性と複雑な形状のため、その流れは複雑である。また、夏季には潮汐流の他に、内部波<sup>2)</sup>による流れや、湾外水が湾内底層に侵入する流れ(差し込み)が存在する<sup>3)</sup>ことも確認されている。

本研究では、ドップラー流速計(ADCP)を用いて、浦の内湾の流速分布と浮遊物質分布とを観測し、湾内の流れ構造、流速分布の日変化、およびこれらがプランクトンなどの浮遊物質分布に及ぼす影響について調べた。また、同時に水温、塩分、溶存酸素(DO)などを観測し、湾内の水質構造についても解析した。

### 観測方法

1. ADCP ADCP (RD Instrument 社製) は、水中へ音波を発信し、水中に存在している微粒子から反射されてくる音波を受け、その発射音と反射音の周波数のずれから水平および鉛直流速分

布を求めるものである。また、このとき同時に反響音強度 (Echo Intensity) も測定し、水中音の発散や吸収などを補正して Relative Backscatter (BS) 分布を求める。この BS 値 (単位 dB) が浮遊物質の量と比例すること<sup>4)</sup>から、浮遊物質分布を求めることができる。

この ADCP を高知大学海洋生物教育研究センターの観測船「ネレード」の左舷に固定し、約 2 knot で曳航しながら横断面の流速分布と BS 分布を観測した。

2. 観測場所および観測期間 観測は、浦の内湾の横浪半島側 (S side) と対岸 (N side) とを横断する4本の観測線 (line 1~4) を定め (Fig.1.), 1992年9月25日~27日 (大潮時) の期間に7回, Fig.2. の潮位図に示した時間に行った。

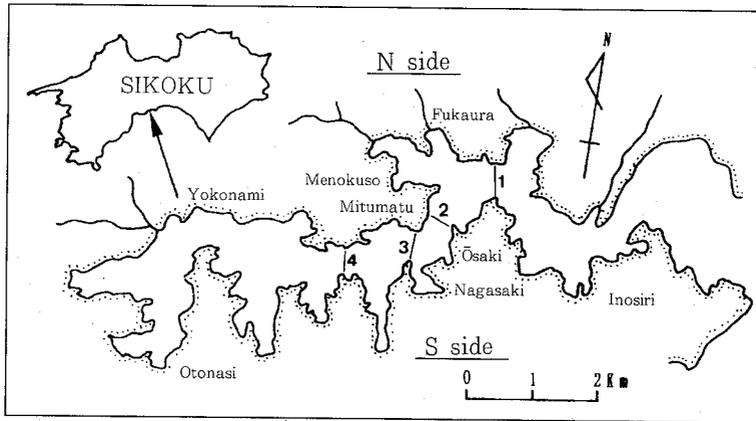


Fig.1. Observation line in Uranouchi Bay.

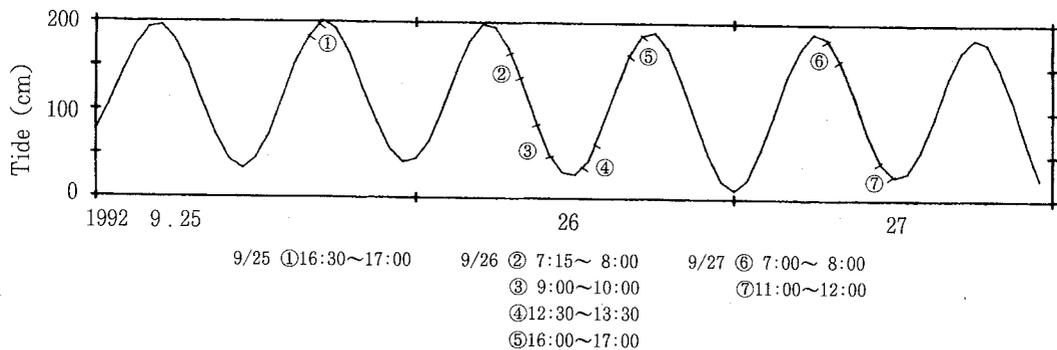


Fig.2. Tidal level and observation time.

各lineの観測結果はすべてS sideを左, N sideを右に, すなわち, 湾口側から湾奥方向を見た図として示した。また, 流速分布の結果は湾軸方向の水平流速で表し, 流入成分を正, 流出成分を負の値で示した。湾軸方向はline 1, 2, 3, 4でそれぞれ北から80°, 20°, 70°, 70°とした。

9月26, 27日には, 同時に OCEAN-SEVEN (IDRANOUT 社製) を用いて, 水温, 塩分, DOなどを観測した。

## 結果と考察

1. 気象 9月22日から23日にかけて、四国沖に秋雨前線が停滞し、高知市で22日は3mm、23日には11mmの降水があった。24日から25日の午前中にかけては台風19号の影響で、24日に30mm、25日には53mmのまとまった降水があった。その後、観測期間中の25日後半から27日にかけては晴天が続いた。

## 2. 流速分布

(1) 9月25日上げ潮時 Fig.3. に各lineの水平流速分布を示した。このときは大潮の上げ潮時であり、いずれのlineにおいても湾内に流入する流れが卓越しており、line 4のような湾中央部においても20cm/sに達する流入成分がみられた。

line 1では、底層付近と断面中央部付近に20cm/sに達する流速分布がみられた。また、line 2では、底層付近から中層（水深5m付近）にかけて流れの速い傾向があった。これより、大崎付近の湾口側では底層を中心に流入する流れが卓越していたと考えられる。一方、湾中央部のline 3, 4では、断面中央部（中層）で卓越していた。

① FLOOD TIDE 16:30~17:00

HORIZONTAL VELOCITY(cm/s) (+)INFLOW (-)OUTFLOW

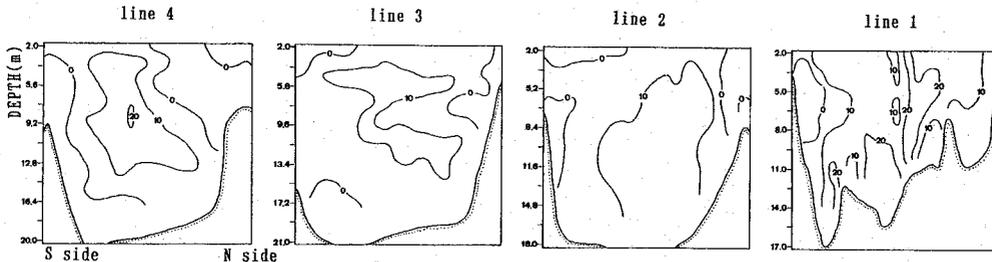


Fig.3. Distribution of horizontal velocity at the flood tide in September 25.

(2) 9月26日下げ潮時 Fig.4. に各lineの水平流速分布を示した。大崎付近（line 1）より湾奥側では、底層で10~20cm/sの流出する流れが卓越する傾向があった。また、表層付近では下げ潮時にもかかわらず流入する流れ分布（流速は数cm/s）がみられた。川端ら<sup>5)</sup>は愛媛県の遊子湾で急潮に伴って海水が底層から流出する例を報告しているが、浦の内湾での現象はこれとは異なる機構と思われる。このような流れは、昭和62年のボックスモデルによる推算でも降水量の多い時期に報告されている<sup>6)</sup>。今回もまとまった降雨の直後であったことから同様の流れ機構と考えられる。

line 1では、流出成分の流れが、下げ潮初期（Fig.4.上段）にはS side表層付近で、下げ潮後期（Fig.4.下段）には断面中央付近で卓越しており、その流速は20cm/sを超えていた。このことから、この場での流れ分布は一定でなく、短時間の間に変化していることがわかった。また、下げ潮後期の結果では岸近くで流れが反転しており、渦流の生じていることが示唆された。

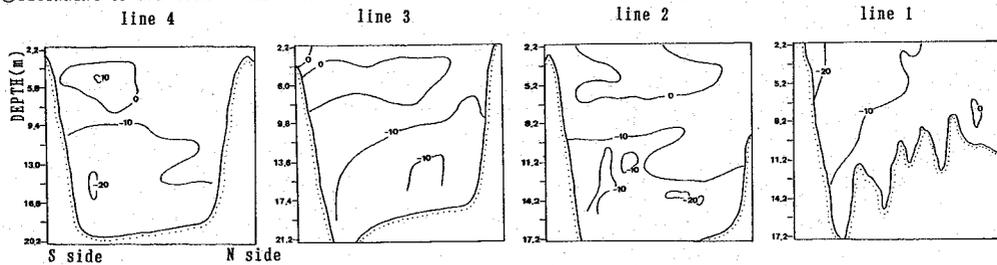
(3) 9月26日上げ潮時 表層付近を中心に流入する流れが卓越した。とくに上げ潮の後期にはline 1, 2で30cm/s, line 3, 4でも20cm/sを超える分布がみられた（Fig.5.下段）。

line 1では、上げ潮後期（Fig.5.下段）にはS side底層に渦流と考えられる反流がみられた。このような渦流は下げ潮時にもみられたことから、この付近では地形が複雑で流れが速いために渦流が起りやすいのではないかとと思われる。

(4) 9月27日下げ潮時 27日には下げ潮時に2回の観測を行ったが、いずれの場合も同じ傾向の分

HORIZONTAL VELOCITY(cm/s) (+)INFLOW (-)OUTFLOW

②BEGINNING OF EBB TIDE 7:15~8:00



③END OF EBB TIDE 9:00~10:00

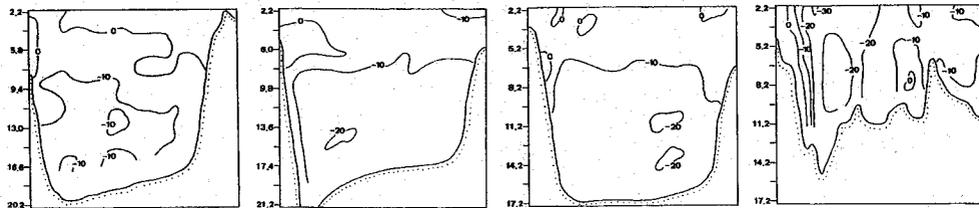
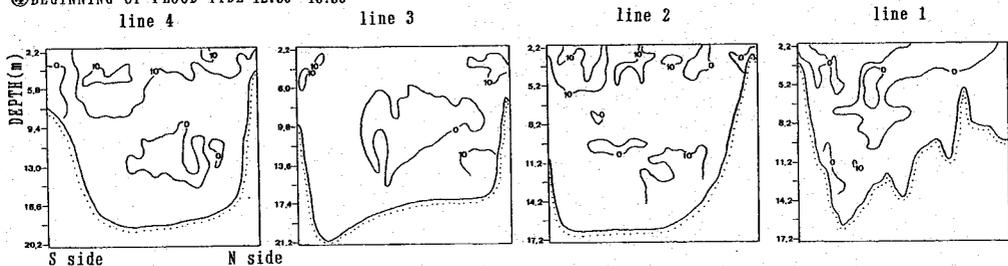


Fig.4. Distribution of horizontal velocity at the ebb tide in September 26.

Upper figures are at the beginning of ebb tide and lower ones the end.

HORIZONTAL VELOCITY(cm/s) (+)INFLOW (-)OUTFLOW

④BEGINNING OF FLOOD TIDE 12:30~13:30



⑤END OF FLOOD TIDE 16:00~17:00

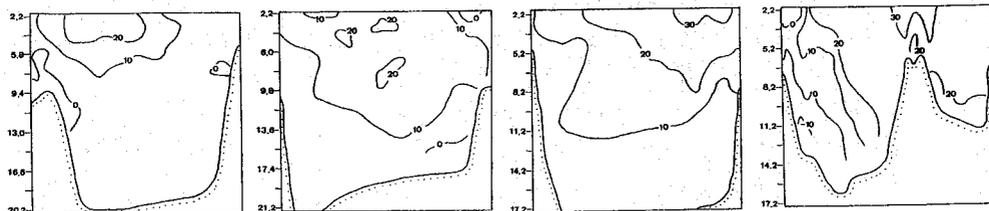


Fig.5. Distribution of horizontal velocity at the flood tide in September 26.

Upper figures are at the beginning of flood tide and lower ones the end.

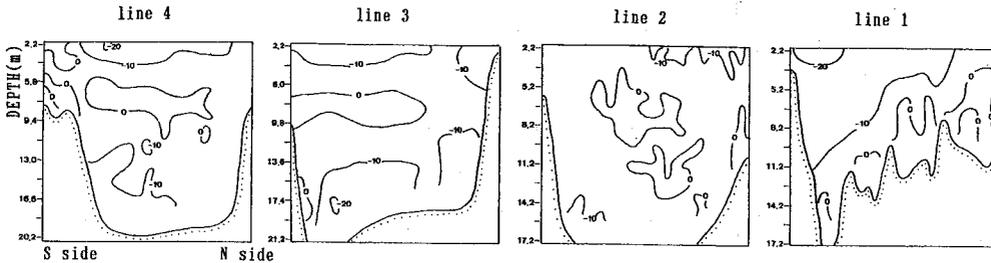
布を示した (Fig.6).

line 1ではS side表層で流出成分の流れが卓越しており、26日の下げ潮時(初期)と同じような流れ分布であった。しかし、line 1より湾奥側では26日の分布とは異なり、底層とともに表層も流出する傾向がみられた。その流速は10cm/s以上であった。また、中層付近では流れが遅く、逆向き

の流れ (流入) 分布もみられた。

HORIZONTAL VELOCITY(cm/s) (+)INFLOW (-)OUTFLOW

⑥BEGINNING OF EBB TIDE 7:00~8:00



⑦END OF EBB TIDE 11:00~12:00

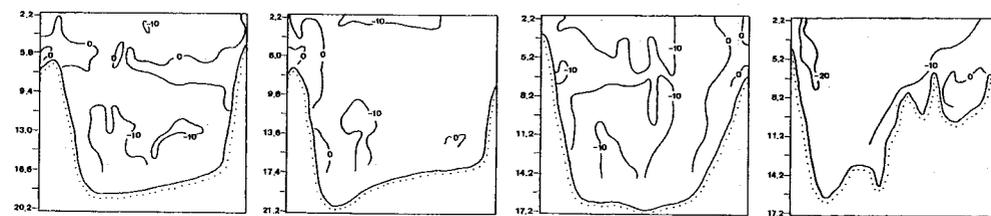


Fig.6. Distribution of horizontal velocity at the ebb tide in September 27.

Upper figures are at the beginning of ebb tide and lower ones the end.

### 3. 浮遊物質分布

(1) 9月25日上げ潮時 Fig.7. に各 line の BS 分布の結果を示した。底層付近で流れが卓越していた line 1, 2 では、底層付近で BS 値の高い分布がみられた (line 1 では70dB, line 2 で66dB)。このような底層付近の高い BS 分布は、底層付近で流れの弱い line 3, 4ではみられなかったことで、卓越した底層付近の流れによって底泥由来の物質が巻き上げられたものと考えられる。

①FLOOD TIDE 16:30~17:00

Backscatter(dB)

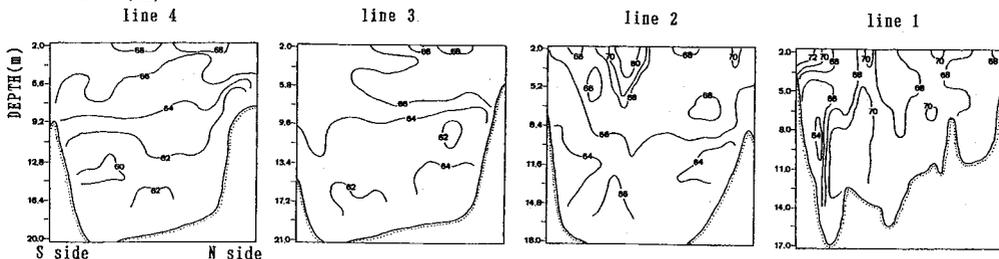


Fig.7. Distribution of backscatter in each section at the flood tide in September 25.

Fig.8. は満潮時の小島付近 (line 3付近) から岩ヶ崎付近 (line 1よりやや湾口側) までの BS 値の縦断面分布である。ここでは分かりやすくするために、66dB以上の分布を網目で示した。鉛直方向にみると表層の方が、水平方向にみると湾口側の方が BS 値の高くなる傾向があった。また、湾口側では底層付近で高い値の BS 分布がみられた。この結果からも、湾口側で底泥由来の物質の巻き上げが起こっていたことが考えられる。さらに、それより湾奥側の中層付近 (6m付近) に66

dB以上の高いBS値の分布がみられたことと、上げ潮時に湾内中央部で中層付近の流れが卓越していたこと (Fig.3.) から、湾口側で巻き上げられた浮遊物質が流入する流れに乗って、湾内の中層付近に広がっていったことが示唆される。

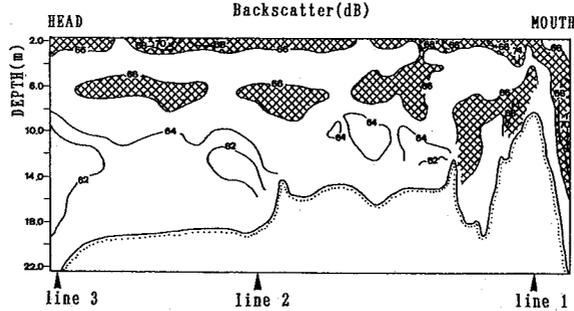
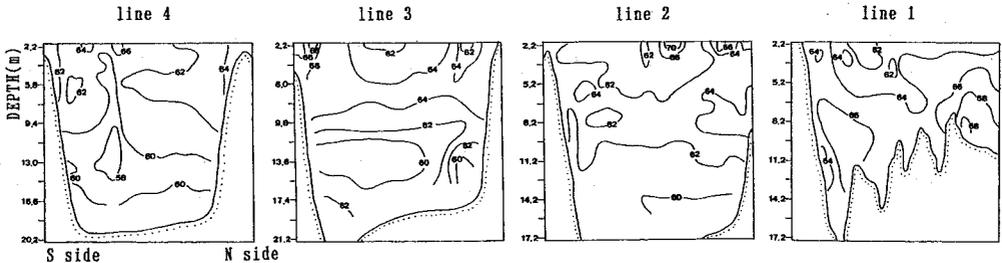


Fig.8. Distribution of backscatter in the longitudinal section at the high tide in September 25.

(2) 9月26日下げ潮時 Fig.9. に各測線のBS分布を示した (上段—下げ潮初期, 下段—下げ潮後期). 下げ潮初期には, line 1では全体的にBS値が高く, また底層ほど高い値 (66dB以上) を示す傾向があった. これは, このとき湾内底層で流出する流れが卓越していたことから, line 1とline 2の間の斜面で底泥物質が巻き上げられたためと考えられる. line 2, 3, 4では6~8m付近の中層に62~64dBの相対的にやや高い値のBS分布がみられたが, 流れ分布とは対応していなかった. 流れによって形成された分布でないことや, 分布が湾中央部の広範囲にわたることから, プラントン由来の分布と考えられる. 鞭毛藻などの植物プランクトンは夜間下層へ移動し, 日照とともに表層へ移動する日周鉛直運動を行う. このときの時刻は午前7時ごろであり, まさに植物プランクトンが表

Backscatter (dB)

②BEGINNING OF EBB TIDE 7:15~ 8:00



③END OF EBB TIDE 9:00~10:00

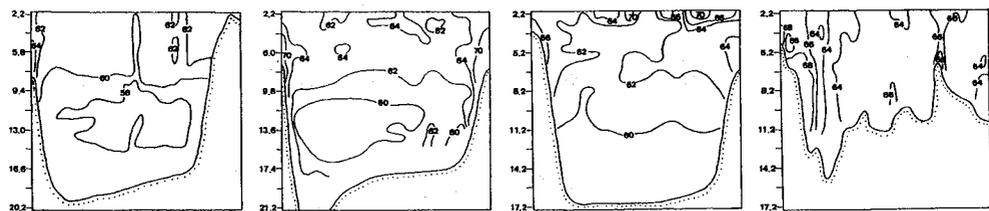


Fig.9. Distribution of backscatter in each section at the ebb tide in September 26.

Upper figures are at the beginning of ebb and lower ones the end.

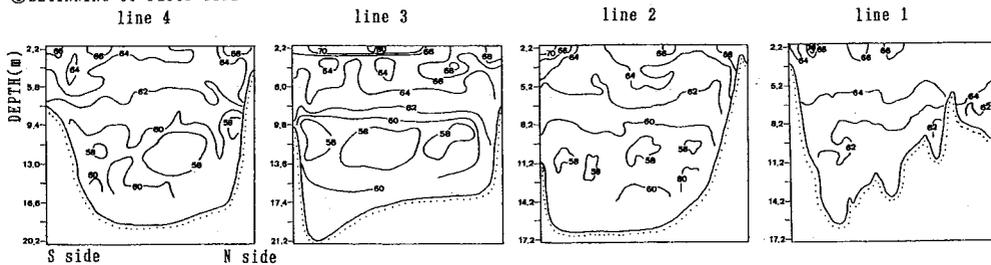
層へ向かって上昇している最中であつたとも考えられる。

下げ潮後期には、line 1ではほぼ断面全体が64dB以上の分布を示した。さらに、渦流の生じていたS side付近 (Fig.4.下段) でとくに高いBS値 (66~68dB) を示したことから、ここで浮遊物が滞留していたと考えられる。line 2より湾奥側では、下げ潮初期の時と比べて底層から中層にかけてBS値がやや低くなっていた。これは湾奥のBS値の低い水塊が流出する流れによって運ばれたことや、前回の観測で中層に存在していた植物プランクトンの鉛直移動が表層まで達したことなどが考えられる。

(3) 9月26日上げ潮時 上げ潮初期 (Fig.10.上段) には、line 1では7m以浅に64dB以上の分布がみられたが、底層では62dB以下となっており、全体的に前回より低い分布を示した。これは、底層付近の流れが弱まり、底泥の巻き上げが治まったためと、巻き上げられた浮遊物がさらに湾口側まで運ばれたためと考えられる。また、これより湾内全体にわたって、表層のBS値が前回よりも高く (BS値64dB以上) なっていた。この表層を中心とした高BS値の分布は、上げ潮後期 (Fig.10.下段) の観測時には湾内全体に広がった。とくにline 1では70dBを超える高いBS値の分布が断面のほとんどを占めていた。これは、表層の流入が卓越していたことや、湾口側にいくほどその分布が広がっていたことから、下げ潮時に湾口側 (line 1と2の間) で巻き上げられていた浮遊物質が、表層を中心とする流入成分の流れに乗って湾内表層へ広がっていったものと考えられる。

Backscatterer (dB)

④ BEGINNING OF FLOOD TIDE 12:30~13:30



⑤ END OF FLOOD TIDE 16:00~17:00

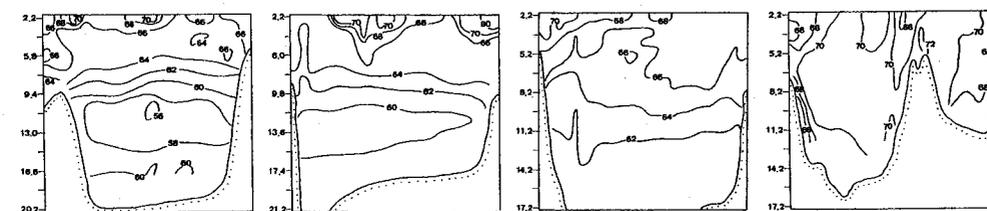


Fig.10. Distribution of backscatter in each section at the flood tide in September 26.

Upper figures are at the beginning of flood and lower ones the end.

(4) 9月27日下げ潮時 26日と同様、1回目の観測 (Fig.11.上段) のときにline 1の底層でBS値が高く (64~66dB)、line 1とline 2の間で底泥の巻き上げのあることが示唆された。

line 3, 4の表層では、ほぼ同時刻である26日の1回目 (下げ潮初期) の観測時よりもやや高い分布がみられた。これは前日に湾奥へ浮遊物質が流れ込んでいたためと思われる。また、line 2, 3, 4の中層付近に相対的に高いBS分布 (62~64dB) が存在した。この分布は状況が前日26日と似ていることから、前日と同じく植物プランクトン由来のものと考えられる。

下げ潮後期の観測 (Fig.11.下段) ではline 2, 4の表層付近において、浮遊物 (BS値、および64

dB以上の分布域)が増えていた。植物プランクトンが日照とともに表層へ上昇した影響もあろうが、このとき表層も流出傾向にあったことから、この原因は湾奥表層に存在していた浮遊物質が湾口方向へ運ばれたためと考えられる。

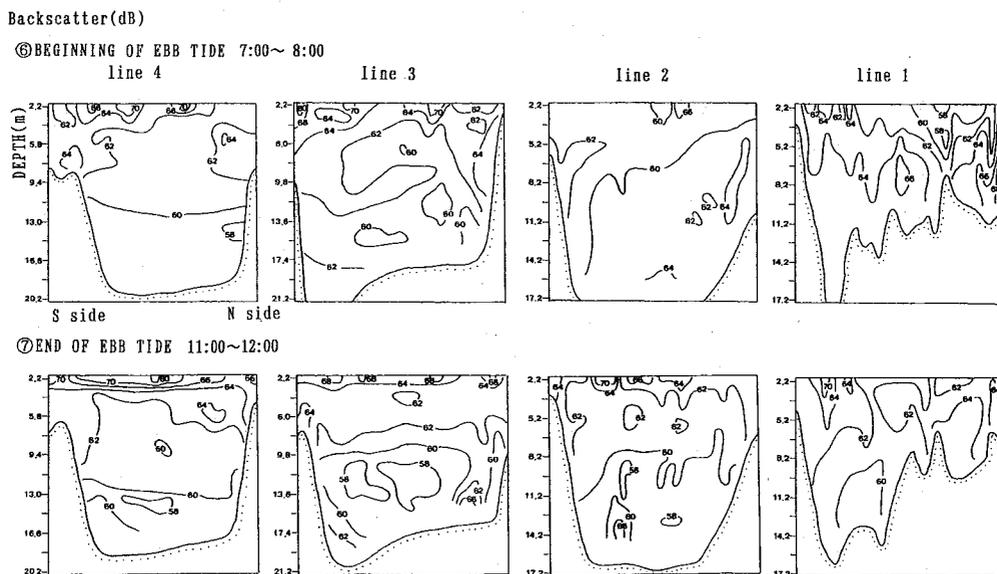


Fig.11. Distribution of backscatter in each section at the ebb tide in September 27. Upper figures are at the beginning of ebb and lower ones the end.

4. 水質構造 Ocean Seven による観測は、26日に4回、27日に2回の ADCP 観測と同時 (Fig.2.) に行った。

(1) 26日の観測結果 Fig.12. は湾内の塩分濃度分布を示す。測定点は、湾口側の岩ヶ崎から湾奥側の鳴無付近までである。26日には前日までの降雨のため湾奥表層に塩分濃度の低い水塊が存在していた。この水塊は下げ潮後期には湾央まで広がり、次の上げ潮時には湾奥へ押し込まれており、潮汐とともに移動していたと考えられる。

また、31‰の分布が1回目の下げ潮初期 (Fig.12.,②) の観測では湾内に閉じこめられた分布であるのに対して、2回目の下げ潮後期 (Fig.12.,③) 以降の観測では湾外側 (ここでは岩ヶ崎付近より湾口を指す) へ連続しており、底層水の流出があったと考えられる。また、4回目の観測 (Fig.12.,⑤) では、30~31‰の塩分等値線分布には内部波に起因した波動がみられる。水深10m付近は弱い密度躍層となっており、内部潮汐が生じていることも考えられる。

(2) 27日の観測結果 27日は前日と比べ、湾内表層の塩分濃度の値が高くなっており、表層部の高塩分化が急速に進んでいた。しかし、塩分濃度の低い水塊が湾奥に押し込まれているようにもみえる。これは26日の底層部で流出、表層部で流入の卓越した流れの結果と考えられる。一方、底層水は26日同様湾外方向へ若干移動した分布を示した (Fig.13.).

## 要 約

9月25日から27日にかけてわずか3日間であるにもかかわらず、湾内の流れ構造は同じではなく、日に日に変化していたことが明らかとなった。そこで流れ構造、浮遊物質分布、水質分布の特徴を

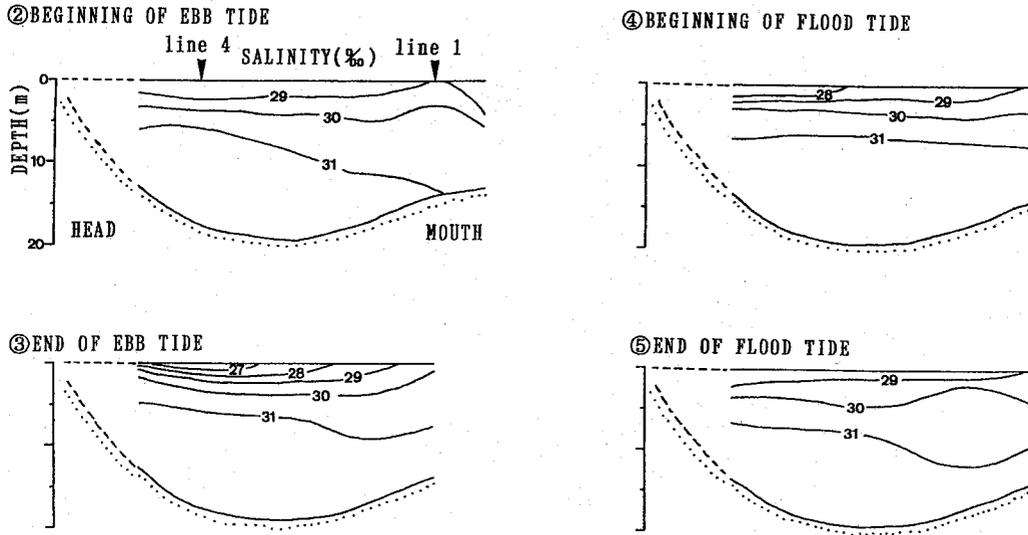


Fig.12. Distribution of salinity in the longitudinal section in September 26.

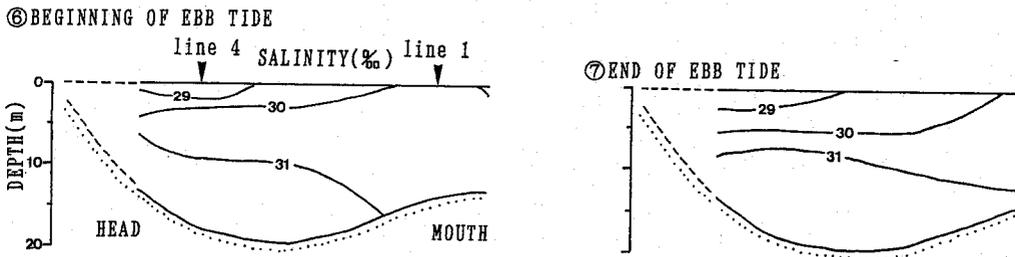


Fig.13. Distribution of salinity in the longitudinal section in September 27.

観測日ごとに以下にまとめた。

### 1. 9月25日

(1) 大崎付近の湾口側 (line 1,2) では、底層付近で流入成分の流れが卓越した。一方、湾奥部では断面中央部を中心に流れが卓越した。

(2) 湾口側では底層付近の流入にともない底泥物質の巻き上げが起こっていた。また、この巻き上げられた浮遊物質は、卓越する流入成分の流れによって湾内中層へ広がった。

### 2. 9月26日 (Fig.14.模式図のドットは浮遊物を示す。)

(1) 大崎付近 (line 1) より湾奥側の流れ構造は、表層は流入し、底層は流出する傾向があった。

(2) 下げ潮時に湾内底層を中心に流出成分の流れが卓越したため、line 1とline 2の斜面上で底泥物質の巻き上げが起こった。また、このときline 1付近では渦流による浮遊物質の滞留があった。

(3) さらに、巻き上げられた浮遊物質が湾外方向へと運ばれた。そして、次の上げ潮時には、表層で湾内方向の流れが卓越したため、湾口付近の浮遊物質が湾内表層へ流れ込み、湾奥まで広がった。

(4) 植物プランクトンの日周鉛直運動もBS分布に影響を及ぼしていた。

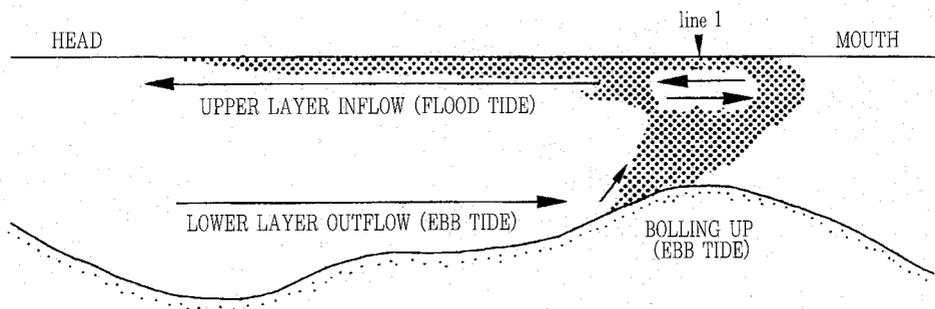


Fig.14. Schematic representation of velocity structure and movement of suspended matter in September 26.

### 3. 9月27日

- (1) 27日は26日の下げ潮時と比べて、底層だけではなく表層付近も流出が卓越する傾向がみられた。
- (2) 25日,26日同様, その流れは浮遊物質の挙動に影響を及ぼしていた。
- (3) 一方, 塩分濃度の分布を26日と比べると, 1日の間に湾内表層が急激に高塩分化していた。このように水質(とくに密度分布)の変化と流れ分布の変化とが密接に関連していた可能性がある。おそらく, 湾奥表層部への淡水の流入が26日のような流れを引き起こし, その流れにより湾内表層部が高塩分(高密度)化し, また, それに伴う密度変化によって27日のような流れに変化したと思われる。

キーワード: ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), エスチュアリー,  
流速分布, 浮遊物質

### 引用文献

- 1) 坂本 巨: 赤潮生物の物理学的集積, 赤潮, p.63-85, 水産学シリーズ34, 恒星社厚生閣, 東京(1980).
- 2) 宗景志浩・木村晴保・村田 宏・森山高光・田島健司: 浦の内湾における湾外水の差込み現象と貧酸素水塊の消長について, 日水誌, 57(9), 1635-1643(1991).
- 3) 田村圭一・宗景志浩: 湾外水の差込みに伴う流れ構造と浮遊物質の挙動について. 海岸工学論文集, 40(1), 236-240(1993).
- 4) CHARLES, N.F. and SHARON, L.S.: On the use of the acoustic doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Deep-Sea Research*, 36(3), 455-474(1989).
- 5) 川端善一朗・佐竹宗徳: 急潮による湾内の物理構造・栄養塩・植物プランクトンの変化. 沿岸海洋研究ノート, 30(1), 27-36(1992).
- 6) 高知県水産試験場: 昭和62年度赤潮調査事業調査資料, 146 pp. (1979).

平成5年(1993)9月30日受理  
平成5年(1993)12月27日発行