

湾外水の差し込みに伴う流れ構造と 浮遊物質の挙動について

田 村 圭 一*・宗 景 志 浩**

1. はじめに

浦の内湾では、夏季を中心に湾外水が湾内底層へ流れ込む差し込み現象 (Intrusion) が発達する。この現象が起こると、底泥の巻き上げや赤潮の発生 (宗景ら, 1992), 大規模な貧酸素化 (宗景ら, 1991) が生じ、湾内の水質環境は大きく変化する。本研究では、ADCP (ドップラー流速計) を用いて、差し込み時の流速分布と Relative Backscatter (BS) 分布とを測定し、差し込みに起因する湾内の流れ構造の特性とその流れがプランクトンや底泥由来の浮遊物質の挙動に及ぼす影響を調べた。

2. 観測内容

差し込みの起こっていた 1992 年 9 月 10~11 日 (大潮時) に、浦の内湾の横浪半島側 (S side) と対岸 (N side) とを結ぶ 6 本の観測定線を設定し (図-1), ADCP (RD Instrument 社製: S・E・A (株) より借用) を用いて各断面の流速分布と BS 分布の観測を行った。観測は 10 日の干潮時と上げ潮時, および 11 日の下げ潮時に行った。なお, 11 日の干潮時には湾軸に沿った縦断観測も行った。さらに, BS 値が浮遊物質量と比例するとし, 浮遊物質分布に対する流れの影響を調べた。

3. 海 象

(1) 降 水 量

8 月は台風や南海上からの暖湿気の影響で降水量が多かった。とくに 8 月 20 日頃は、県中部、北部に集中豪雨があり、仁淀川から大量の淡水が流出したため、浦の内湾の湾口部から湾央付近にかけて塩分や密度の著しい低下が生じた。しかし、8 月下旬から天気は回復し、9 月 23 日まではほとんど降雨量がなかったため、とくに湾外では急速に塩分、密度が回復した。

(2) 水 質 構 造

図-2 に、Ocean Seven (IDRANOUT 社製) を用い

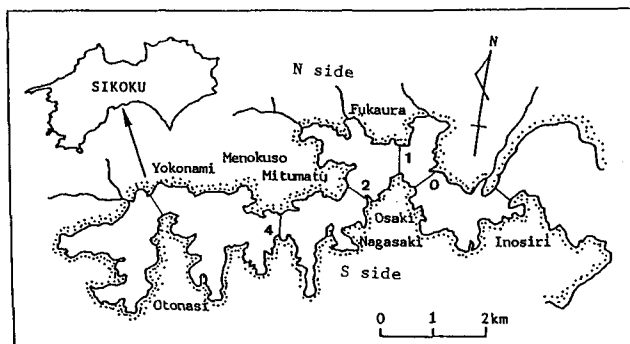


図-1 浦の内湾の地形図と観測定線

て観測した 9 月 9 日と 16 日の湾内の塩分濃度分布を示した。8 月 20 日頃の豪雨の影響で湾内外とも表層部の塩分低下が著しく、その後回復はしたものの、9 日には 26 ‰以下の低塩分水が表層部にみられ、30 ‰以上の海水が 10 m 以深に存在した。このことから、9 日の湾内は湾外に比較して塩分濃度が低い傾向にあり、まだ降雨の影響が残っていたといえる。

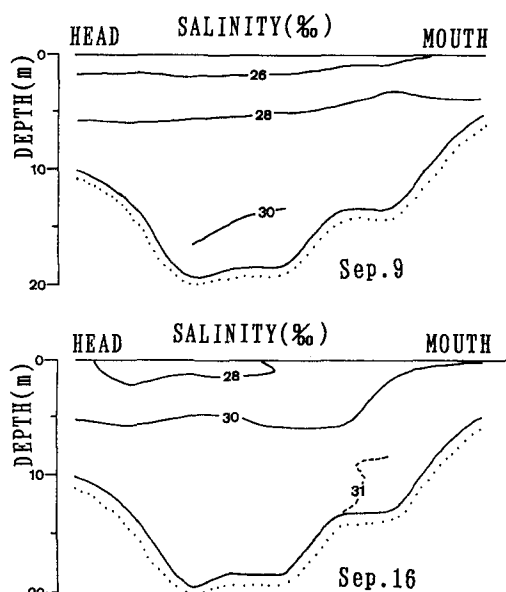


図-2 浦の内湾の塩分濃度分布 (1992 年 9 月 9, 16 日)

* 学生会員 高知大学院 農学部栽培漁業学科
** 正 会 員 農 博 高知大学助教授 農学部生産環境工学科

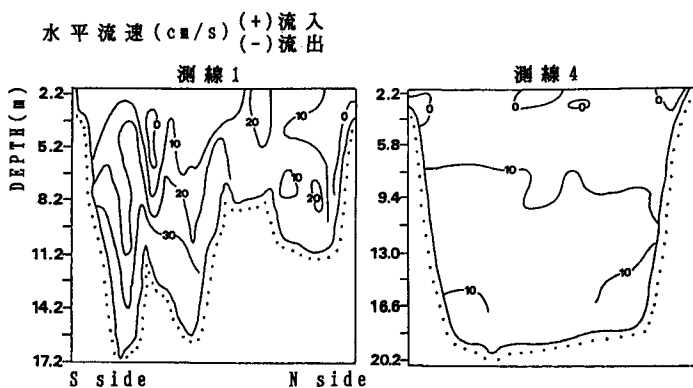


図-3 測線1, 4における水平流速分布 (上げ潮時)

16日になると, 27%以下の海水はなくなり, 30%の等塩分線は5m付近にまで上昇し, さらに湾口側では31%の分布がみられるようになった。これより, 9日から16日の間に湾内底層から高塩分, 高密度化していったことがわかる。

4. ADCPの観測結果

各測線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, 水平流速は流入成分を正,

流出成分を負の値で示し, 鉛直成分は上向き成分を正, 下向き成分を負の値で示した。

(1) 上げ潮時

図-3に大崎付近(測線1)と目ノ糞付近(測線4)における10日の上げ潮時の水平流速分布を示した。この時は湾内底層を中心として湾奥方向の流れが卓越する傾向がみられた。その流速は, 大崎付近で30 cm/s, 湾中央部の目ノ糞付近でも10 cm/s以上に達した。

また, この時の鉛直流速分布をみると, 岩ヶ崎付近(測線0)と大崎付近(測線1)で特徴のある分布を示していた。

図-4は岩ヶ崎付近の鉛直流速分布とBS分布を示している。このとき, ほぼ観測断面の全域で上向きの流れ(ハッチした部分)がみられる。また, その時のBS値は底層ほど高い分布を示した。このことは, ここで底泥の巻き上げが起っていたことを示唆している。また, 水平流速分布(図-5)をみると, 測線中央部の水深10m付近に40 cm/sを越える流入成分が存在しており, 岸に近づくにつれてこの流れが弱くなっている。そして, 岸付近で流れが反転していた(ハッチした部分)ことから, 渦流の存在が考えられ, 巻き上げられた浮遊物質の滞留が示唆された(図-4下段)。

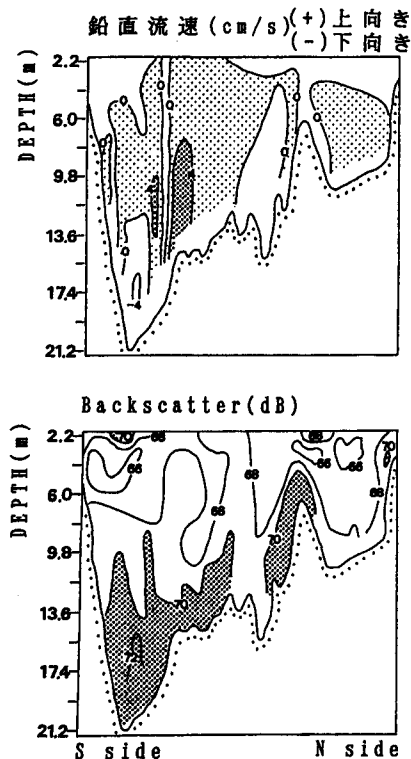


図-4 鉛直流速分布とBS分布 (測線0, 10日上げ潮時)

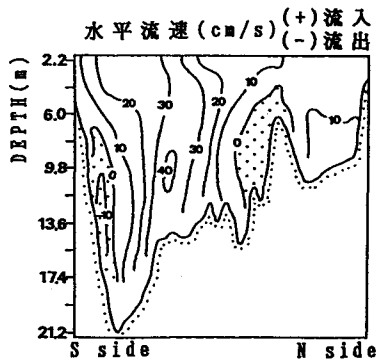


図-5 測線0における水平流速分布 (上げ潮時)

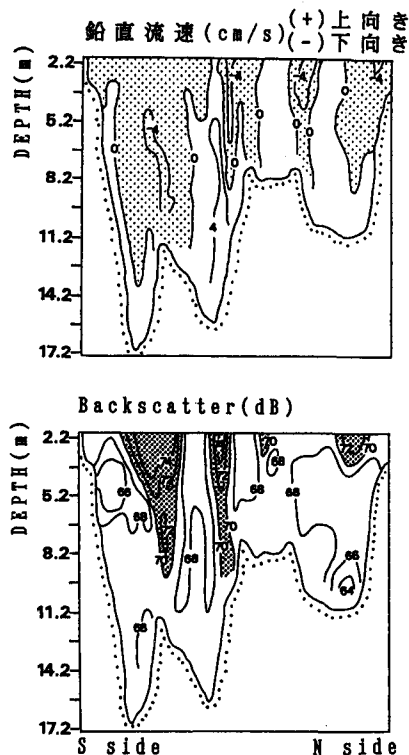


図-6 鉛直流速分布とBS分布 (測線1, 上げ潮時)

大崎付近 (測線1) では (図-6), 上向きと下向きの流速分布が交互に存在していた。BS分布をみると, 下向きの流れ分布 (ハッチした部分) のところで表層から下層へ浮遊物質が沈降しており, 表層付近での収束の存在が示唆された。このことから, 湾口側表層の浮遊物質は上げ潮時にも湾内側には侵入しにくく, この付近にトラップされていたと考えられる。

また, どちらの測線でも底層から中層にかけて 4 cm/s を越える上向きの流速分布がみられた。その分布はいずれも N side 側に浅くなる急斜面上に局所的に存在して

いた。これは, 湾軸方向が湾口から南西→西→北西へと曲がって測線0,1へと続くため, 底層を流れ込んできた差し込み流が測線0,1において N side 方向成分を持ち, これが N side の急斜面に衝突することによって生じた, 地形的要因によるものと考えられる。

(2) 下げ潮時

図-7に大崎付近 (測線1) と長崎付近 (測線2) の11日の下げ潮時の水平流速分布を示した。ほぼ全層で流出しているが, とくに表層部で流出する流れが卓越しており, 流速 20 cm/s 以上の分布がみられる。また, 湾中央部の目ノ糞付近 (測線4) でも, 表層部の流速は 10 cm/s に達していた。

(3) 干潮 (憩流) 時

10日の観測定線における結果では, 干潮 (憩流) 時にも, 底層で流入 (流速 10 cm/s 程度), 表層で流出 (流速 $10 \sim 20 \text{ cm/s}$) する, 上下層で逆向きの流れ分布となっていた。この流れ分布は, 湾中央部の目ノ糞付近 (測線4) でもみられた。

11日の縦断観測の結果 (図-8) でも, 同様の分布を示した。底層の流入 (ハッチした部分) は大崎付近の浅部やそれより湾奥 (横浪付近まで) にも分布していた。このことから, 差し込み流は湾口浅部の斜面をはい上がり, さらに水深の深い湾奥へと, 海底をうように侵入していた様子がうかがえる。

(4) 湾内表層部におけるBS分布

図-8のように湾内表層 (3m以浅) には, 潮時にかかわらず浮遊物質のとくに多い水塊 (70 dB 以上) がパッチ状に存在していた。差し込みに起因して, 湾内表層水が下げ潮時を中心に流出する傾向にあったことと, 上げ潮時を中心として, 岩ヶ崎 (測線0) ~ 大崎 (測線1) 付近に渦流や収束が生じることによって, これらの浮遊物質はこの付近に集積するものと考えられる。このことは, しばしば差し込み時に発生する赤潮がこの付近に滞留することと一致している (宗景ら, 1992)。

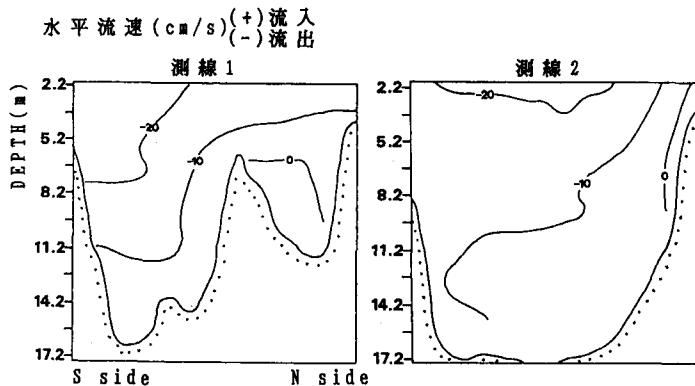


図-7 測線1, 2における水平流速分布 (下げ潮時)

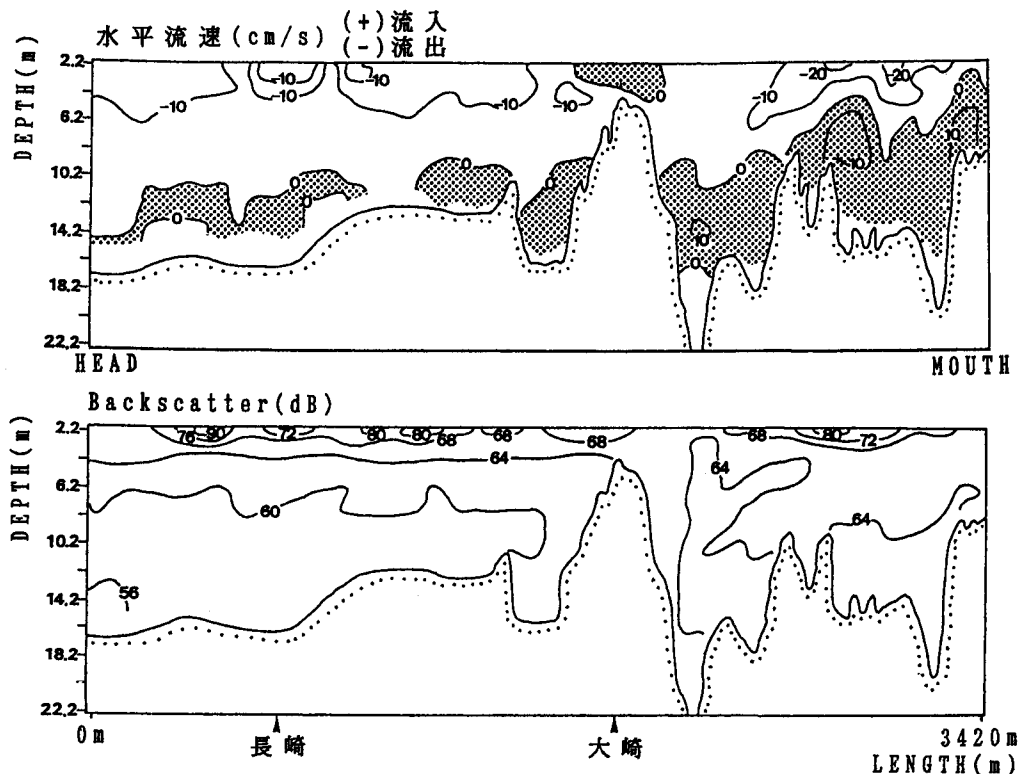


図-8 水平流速とBS分布の縦断観測結果 (11日, 干潮時)

(5) 湾央部におけるBS分布

図-9は図-8よりさらに湾奥(図-1の目ノ糞よりや湾奥まで)のBS分布を示している。また、図には示さなかったが、さらに湾奥の鳴無付近まで(約2km)のBS分布は、一様に成層化した図-9の左端の様な分布を示していた。

図-9を湾奥側からみていくと、湾内底層に存在する56 dB以下の水塊(網目の部分)が、目ノ糞付近で乱れ、中層にやや持ち上げられたような分布を示している。こ

の付近は、差し込みに伴う上向きの移流や湾奥斜面先端部での水深急変に伴う水塊の乱れの結果生じた湧昇域と考えられる。さらにこのことは、この付近で赤潮プランクトンの増殖水深が差し込みに対応して上昇すること(宗景ら, 1992)と関連しているかも知れない。

5. 潮汐フロントの発達域

Simpson & HunterおよびFearnheadによれば、海底摩擦による潮流のエネルギー逸散に伴う乱れによっ

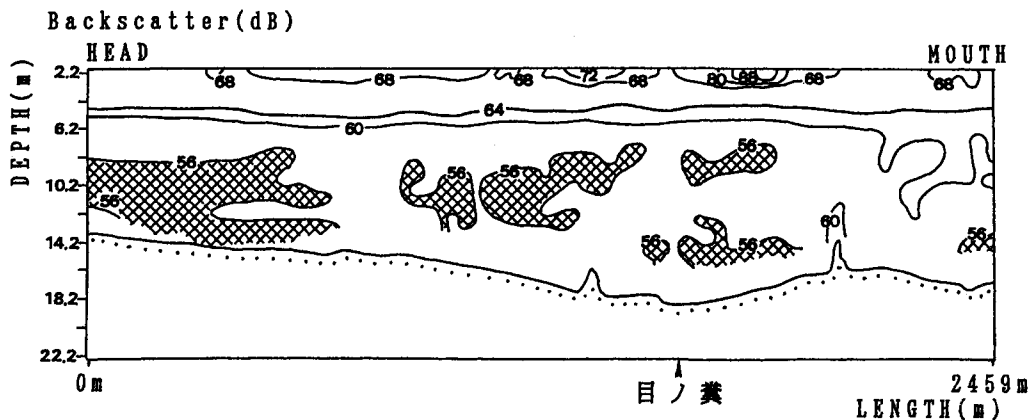


図-9 BS分布の縦断観測結果 (光松以奥)

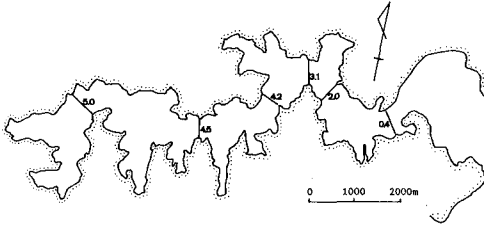


図-10 上げ潮時の測線における $\log_{10}(H/u^3)$ の分布

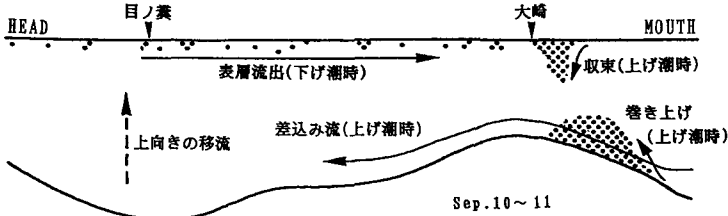


図-11 差し込み時の流れ機構と浮遊物質分布の特徴

て、成層化が抑えられる条件は

$$H/u^3 \ll P_{crit} \cong 70 \sim 100 \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$$

となる (Bowden, 1983). ここで, H は水深, u は水平流速である.

柳ら (1990) は瀬戸内海の M_2 潮流を用いて $\log_{10}(H/u^3)$ の分布を推算し, これらの値が 2.5~3.0 の範囲でフロントが形成されることを明らかにした.

図-10 に, 浦の内湾の測線上に沿う流速 (上げ潮時) を用いて推算した $\log_{10}(H/u^3)$ の分布を示す. これによると $\log_{10}(H/u^3)$ は, 岩ヶ崎付近 (測線 0) で 2.0, それより湾奥側で 3~5, 湾口側, 井の尻付近で 0.4 である. 岩ヶ崎付近は, 潮流の大きい時にはフロント域となり, 湾口側は混合域, 湾内は成層の発達域となっていることが分かる.

6. 結 論

塩分 (密度) 分布や流速分布の結果から, 9 月 10~16

日の期間は湾外水の差し込み (Intrusion) が発達していたことが明らかとなった. 以下に差し込み時の湾内の流れ構造と浮遊物質分布の特徴を挙げ, 図-11 に模式的に示した.

① 上げ潮時を中心に底層で流入, 下げ潮時を中心に表層で流出が卓越する傾向がみられた. 憩流時においても, 底層で流入, 表層で流出していた. これらの傾向は湾中央部を越え, 目ノ糞付近でもみられた.

② 上げ潮時には, 岩ヶ崎~大崎付近の底層部で, 上向きの流れが局所的に存在し, 浮遊物質の巻き上げが起こる. 一方, 表層部では下降流が局所的に存在し, これに沿って浮遊物質の収束がみられた.

③ 湾内表層では, 潮位にかかわらず浮遊物質の多い水塊がパッチ状に存在し, 流れの流出成分に乗っていた.

④ BS 分布の結果から, 目の糞付近は差し込みに伴う湧昇域となっているようである.

⑤ 以上の①②③ から岩ヶ崎~大崎の付近に湾内の浮遊物が集積すると考えられた.

最後に, 本研究の一部は文部省科学研究費 (一般 C, No. 04650465) の補助を受けたことを付記する.

参 考 文 献

- 宗景志浩・木村晴保・村田 宏・森山高光・田島健司 (1991): 浦の内湾における湾外水の差し込み現象と貧酸素水塊の消長について, 日本水産学会誌, 第 57 巻, 第 9 号, pp. 1635-1643.
- 宗景志浩・村田 宏・森山高光・土居 聡 (1992): 湾外水の差し込みが浦の内湾の鞭毛藻赤潮の発生に及ぼす影響, 海岸工学論文集, 第 39 巻 (2), pp. 986-990.
- 柳 哲夫 (1990): 潮目の科学, 恒星社厚生閣, pp. 25-28.
- Bowden, K. F. (1983): Physical Oceanography of Coastal Waters, Halsted Press, pp. 230-234.