

入退潮に伴う長面浦の水質変動機構 に関する現地観測

FIELD OBSERVATION OF WATER QUALITY CHANGE IN RESPONSE TO TIDAL VARIATION IN NAGATSURA-URA LAGOON

金里 学¹・田中 仁²・高崎 みつる³・山路弘人⁴

Manabu KANESATO, Hitoshi TANAKA, Mitsuru TAKASAKI and Hiroto YAMAJI

¹学生会員 東北大学大学院博士前期課程 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

²フェロー会員 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

³正会員 工博 石巻専修大学教授 理工学部 (〒986-8580 宮城県石巻市南境新水戸 1 番地)

⁴正会員 東北大学大学院教務職員 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

In semi-enclosed water areas, aquaculture has been performed actively in many places in Japan by utilizing their calm environment. In case of overproduction of culturing, however, aggravation of water quality environment, such as eutrophication and appearance of anoxic water, is inherent problem in semi-enclosed areas. Nagatsura-ura Lagoon, the study area of the present study, is also one of the typical semi-enclosed brackish-water areas. Nagatsura-ura Lagoon has been used mostly for cultivating oyster for these several decades. In the recent years, however, the appearance of anoxic water causes severe damage to the fishery industry. In this study, field observation has been carried out during summer of 2003. The salinity, water temperature, dissolved oxygen and water level were measured in the study area. Through these measurements, the characteristics of water quality change in response to tidal variation were investigated to clarify the mechanism of sea water exchange in the lagoon area.

Key words : Nagatsura-ura Lagoon, semi-enclosed water area, stratification, salinity, field observation

1. はじめに

地形的に閉鎖性の強い浦や内湾では、波が穏やかで栄養塩の豊富な環境を利用して、全国各地で養殖などが盛んに行われている。しかし近年、長年の使用による水域の老化や周囲の様々な環境の変化によって、水域内の水質環境の悪化が認められる場所が増えてきている^{1), 2)}。このような水域は、周辺住民にとって生活の基盤となる重要な場所であり、今後も継続して使用していくために、水質環境を改善していく必要性が高い。

本研究で対象とする長面浦でも、豊富な栄養塩と海から隔てられた静穏な環境を生かしてカキの養殖が行われている。しかし、数十年にわたる水域の使用と養殖の生産拡大に伴い、浦内の水質環境が悪化し、貧酸素塊の出現とともにカキの斃死が問題となっている。この問題を解決していく上で、この水域での水質変動特性を解明していくことが不可欠である。そこで、本研究では現地でのデータを収集し、入退潮による浦内の水質特性についての考察を行うとともに、海水交換のメカニズムの解明を試みた。

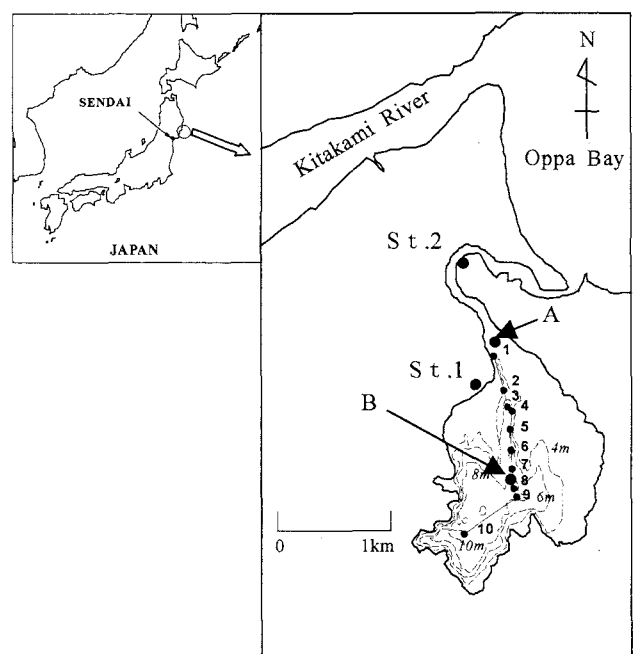


図-1 長面浦の概要

2. 長面浦の概要

調査対象である長面浦の概要を図-1 に示す。長面浦は宮城県河北町の北上川河口近くに位置する海跡湖であり、追波湾と狭水路でむすばれた汽水域である。長面浦の周囲は約 8km、浦面積は 1.41km² である。最大水深は約 10m であるのに対して、狭水路の長さは約 1.7km、最大水深は約 2m と、水深の浅い入り口をもつ閉鎖性の強い水域である。また浦内には海水交換を促進するための滞筋がある。長面浦には数本の沢を通じて淡水の流入があるがその流量は微量で、浦内の流動特性は潮汐による狭水路からの入退潮により大きく支配されている³⁾。カキの養殖が行われている浦奥部では 7m から 10m の水深を有するが、5m 以深では夏期に溶存酸素の不足によるカキの斃死が確認されている。

3. 調査内容

(1) 水位変動観測

外海とつながる水域において、潮汐による水位の変動と水域内の流動・水質特性とは、密接な関係がある。よって、狭水路によって追波湾とむすばれている長面浦においても、水位変動を考慮することは不可欠である。そこで図-1 において浦内にあたる St.1 と狭水路にあたる St.2 に自記式水位計を 2002 年 10 月から設置し、浦内外の水位を測定した。

(2) 定点観測

水質環境の悪化が懸念される夏期の 2003 年 7 月 21 日から 8 月 15 日にかけて集中観測を行った⁴⁾。図-1 に示す測点 A (浦入り口) の水深 0.7m と 2m で塩分を、7 月 21 日から 8 月 15 日まで計測した。また測点 B (浦内部) の水深 1, 2, 4, 6m で塩分を、水深 4, 6m で DO を、表層から 0.5m おきに水温を 7

月 21 日から 8 月 7 日まで測定した。機器の設置方法としては、測点 A では狭水路にかかる橋梁に観測機器を取り付けたロープを係留し、測点 B ではエンビパイプで作られたやぐらに機器を結びつけたロープを固定する方法を採用した。

(3) 多項目水質計による観測

より詳細な浦内の水質環境を知るために、集中観測期間の 2003 年 8 月 2 日に、浦内滞筋上にあたる Point 1~10 での水温、密度、塩分、濁度、クロロフィル a の各鉛直方向の空間分布を、多項目水質計(アレック電子製)を用いて測定した。測定ポイントの位置は、GPS を用いて確認した。

4. 水質変動特性の観測結果とその考察

(1) 浦内水質環境

図-2 に定点観測における 7 月 28 日から 8 月 2 日までの測点 B (浦内) での塩分 S_B 、水温 T 、溶存酸素 DO の時系列変化を、同時刻の St.1、St.2 の水位 η とともに示す。まず塩分を見ると、観測期間を通して表層の塩分が低く、底層の塩分が高い成層状態になっていることが読み取れる。また水深 1m から 4m までは塩分濃度の変動が確認できるが、水深 6m になるとほとんど変化が見られない。この現象は、6m 以深では滞留していることを示している。

次に水温の変動を見ると、表層で水温が高く、底層で低い成層状態であることが塩分と同じく読み取れる。表層にあたる 1m の水温に着目すると、観測初期から全体的に水温の上昇が見られ、8 月に入ると上昇が顕著である。また 6m の水温は、塩分の場合とは違い変動が大きい。この変動は潮汐には対応していないため、福岡ら⁵⁾ によって風による境界面の変動が確認されている中海の観測と同様で、内部静振の可能性を示唆している。

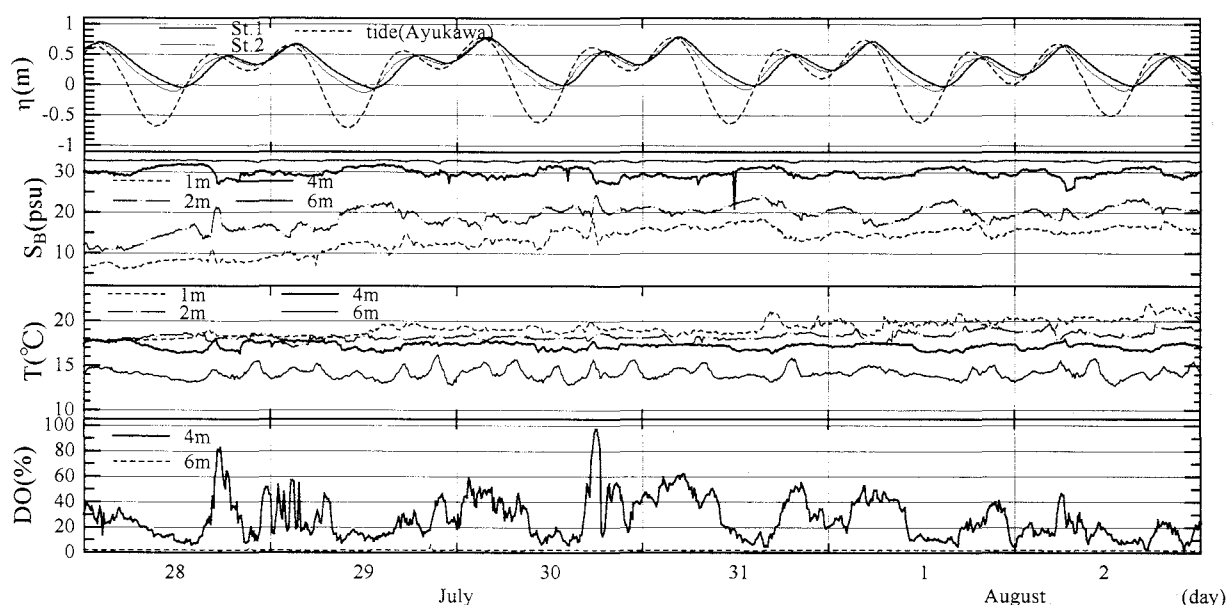


図-2 測点 B での塩分、水温、溶存酸素の時系列変化

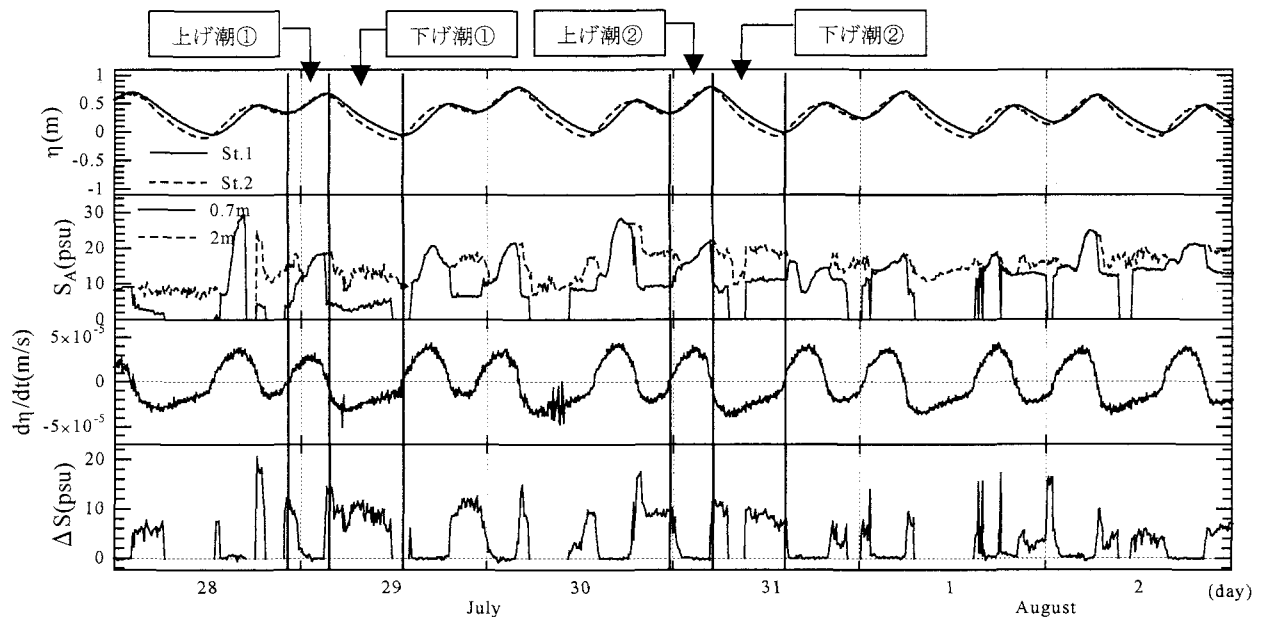


図-3 測点 A での塩分, ΔS , 水位, $d\eta/dt$ の時系列変化

DO の変動分布を見ると, 水深 6m ではほぼ 0 で, DO が回復する時期は見られず, 常に堅固な貧酸素状態である. 一方 4m の層では全体を通して変動を繰り返して, 上げ潮時には弱いながら DO の回復傾向を見せており, 潮汐に対応している. よって流入する外海水がこの DO 変動に影響していると考えられる. さらに 7 月 28 日, 7 月 30 日には劇的な DO の回復を見せている.

(2) 水位変動と浦入り口 (測点 A) での水質変動

図-3 に, 7 月 28 日から 8 月 2 日までの測点 A (浦入り口) における水深 0.7m と 2m の塩分濃度 S_A の時系列変化を, 同時刻の St.1, St.2 の水位 η , $d\eta/dt$, ΔS とともに示す. ここで, $d\eta/dt$ は St.1 での水位変化速度 (上昇を正とする) であり, ΔS は底層水深 2m の塩分から表層水深 0.7m の塩分を差し引いたものである.

測点 A での塩分を見ると, 水深 0.7m の塩分濃度の値が 0 になるところが何ヶ所も見られる. これは下げ潮時に水位が下がり, 表層の塩分計が水面より出てしまったためである. また, 表層の塩分と底層の塩分が同じ値をとる時 (例えば, 図中の「上げ潮①」, 「上げ潮②」) と, 異なる値をとる時 (同じく, 「下げ潮①」, 「下げ潮②」) が交互に存在し, 明らかに潮の上げ下げに対応していることがわかる. そこで, 次に ΔS と水位との関係について検討を行う.

$d\eta/dt$ と ΔS に着目すると, $d\eta/dt > 0$ の時, つまり上げ潮の時に ΔS は 0 の値をとり, 表層と底層で塩分が等しい海水が流入していることを意味している. これより上げ潮時には塩分が鉛直方向に一樣な海水が流入していることがわかる. 一方, $d\eta/dt < 0$ の時, つまり下げ潮のとき ΔS は 0 より大きい値を示している. これは浦内の水が流出している時は成層状態であることを意味している. この現象は他の日時でも確認されている.

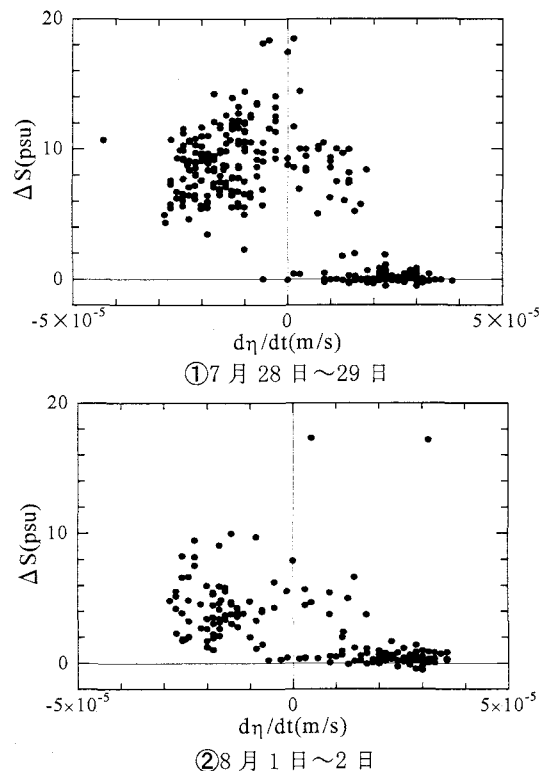


図-4 $d\eta/dt$ と ΔS の関係

次に, ΔS の変動時期に着目すると, 水位が下がり始める時期と $\Delta S > 0$ になる時期がほぼ一致していることが図-3 よりわかる. よって, 下げ潮になると同時に成層状態である浦内の水が水平方向と平行に流れ出していて, 浦内の表層部の水のみが流出していると考えられる. しかしながら, 上げ潮 ($d\eta/dt > 0$) の開始時期と $\Delta S = 0$ となる時期は一致せず, ΔS が 0 になる時刻の方が上げ開始時刻より常に遅い. これは水位が上がり始めるとき, 流入水は浦に到達するまで狭水路を通るため, その分混合水が追波湾

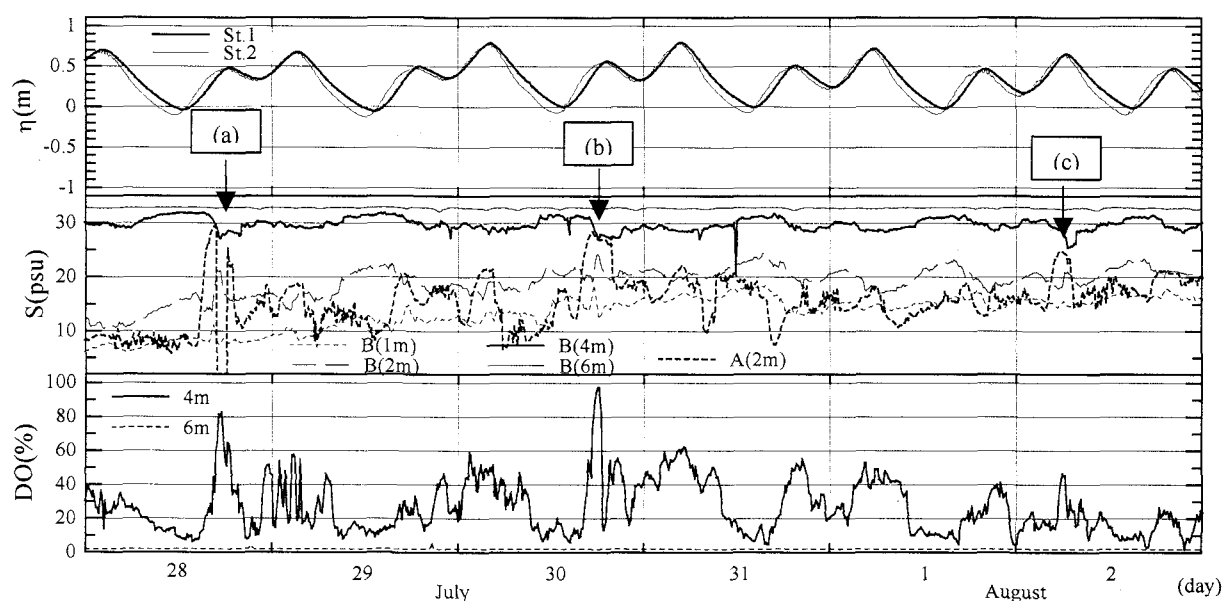


図-5 測点 A での塩分と測点 B での塩分、溶存酸素の時系列変化

から測点 A に到達するまでに時間がかかり、上げ開始時刻と $\Delta S=0$ になる時刻が異なると結論付けられる。

図-4 では横軸に dn/dt を、縦軸に ΔS をとり、両者の関係を見た。①は大潮である 7 月 28 日と 29 日のデータを、②は小潮である 8 月 1 日と 2 日のデータをプロットしたものである。この図から dn/dt が正の上げ潮時は塩分が鉛直に一樣であることから $\Delta S=0$ となり、 dn/dt が負の時は $\Delta S>0$ となる関係が明確に確認出来る。また、 dn/dt が大きいほど、 ΔS は 0 付近の分布が多くなっている。これは、上げ最強流速が大きいほど、一樣に混合された海水が流入することを示す。ただし、 dn/dt が正でもその値が小さい時は $\Delta S>0$ となる場合が見られる。これは狭水路の存在により、混合した外海水の浦内への到達の遅れを示している。

(3) 流入水と浦内部の水質の関連性

図-2 に示したように、DO は潮汐の影響を受けて変動している、つまり浦内へ流入する外海水の影響を受けていると予想される。そこで流入する海水の性質と浦内へ及ぼす影響について考察する。

図-5 に 7 月 30 日から 8 月 2 日の St.1 と St.2 の水位と測点 A における塩分、測点 B における塩分、DO の時系列変化を示す。これを見ると測点 A (浦入り口) の塩分が、急激に上昇している時期(a), (b)に、DO が劇的に回復していることがわかる。この時、測点 A の塩分は測点 B の水深 4m の値まで上昇している。他の時期にも上げ潮に対して溶存酸素の回復が見られるものの、このような劇的な溶存酸素の回復は、測点 A の塩分が急激に上昇したときしか見られない。以上より、流入する外海水は浦内の同じ塩分濃度の層へ貫入すると結論出来る。その DO の高い海水の貫入によって、貫入した層の水が海水で希釈され DO が回復する。ところが図-5 の(c)で

は、流入水の塩分値が測点 B の 4m の塩分値とほぼ等しいにも関わらず、浦内の DO が回復していない。これは(c)の時期には潮位差が小さいために、浦内の測点 B まで流入水が十分に到達していないためだと考えられる。これより、流入水の塩分と浦内の成層状態との関係が浦内の水質環境を支配していることがわかる。

(4) 多項目水質計観測結果

2003 年 8 月 2 日の多項目水質計の観測期間を図-6 に示す。代表的な例として下げ潮時の (A) と、上げ潮時の (B) を選んだ。

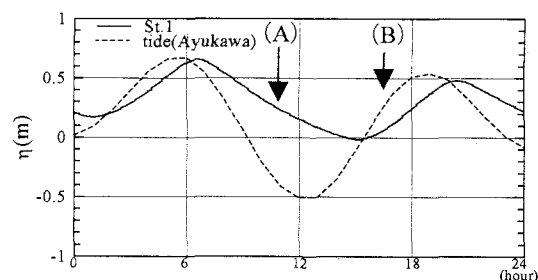


図-6 多項目水質計測定期間 (2003 年 8 月 2 日)

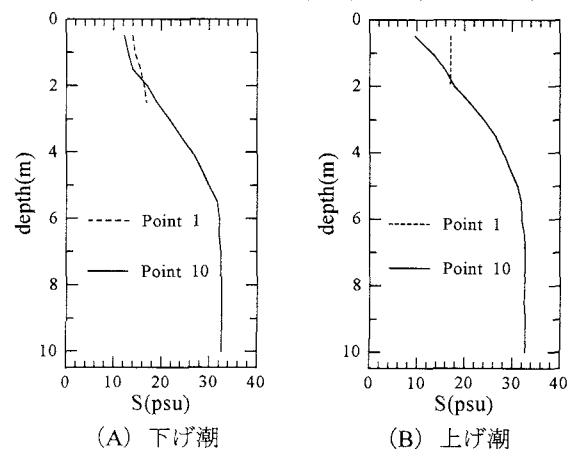


図-7 塩分鉛直分布 (2003 年 8 月 2 日)

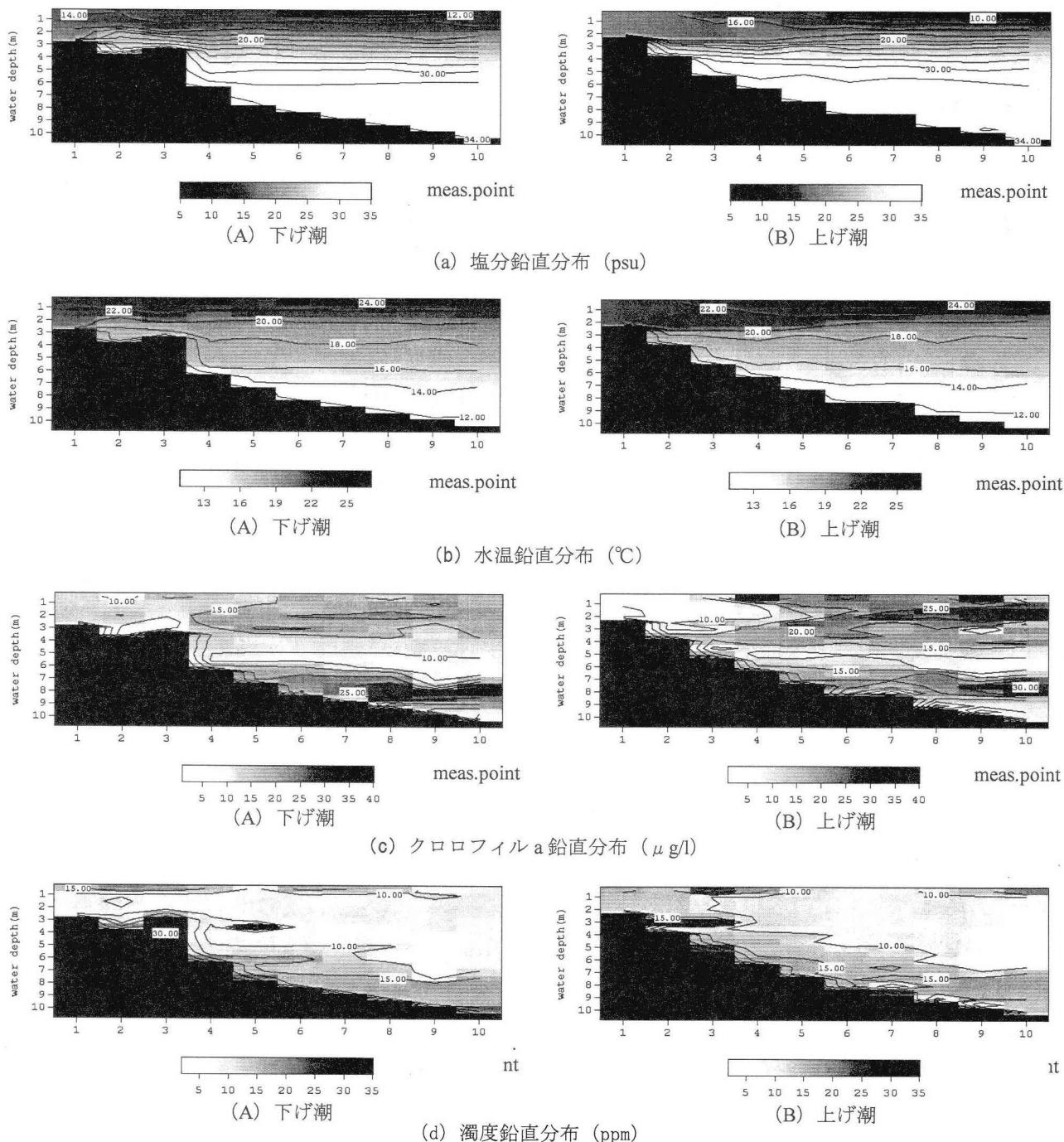


図-8 滞筋断面の各水質鉛直分布 (2003 年 8 月 2 日)

図-7 に時刻 (A), (B) における Point 1 (浦入り口) と Point 10 (浦奥) の塩分の鉛直分布をそれぞれ示す。これらの図から上げ潮、下げ潮どちらにおいても浦内では成層状態になっていることがわかり、Point 10 では水深 2~5m に塩分躍層が存在している。また上げ潮時には、Point 1 では鉛直方向に一樣に分布し、その塩分は Point 10 の水深 2m と一致している。よって、水深 2m の層に混合された外海水が貫入することになる。逆に下げ潮時には、Point 1 でも成層状態であり、浦内の表層部のみが成層状態のまま流出している。

次に Point 1~10 の水質観測結果を測点毎に並べることによって、滞筋上における水質特性の空間分

布を検討する。滞筋上における塩分、水温、クロロフィル a、濁度の各鉛直断面分布を図-8 の (a), (b), (c), (d) にそれぞれ示す。横軸が Point 1~10 に、縦軸が水深に対応している。図-8 の (a) を見ると、

(A) の下げ潮時には塩分コンターが水平方向に平行で、顕著な成層状態がはっきり見て取れる。これは浦入り口にあたる Point 1 まで続いていて、浦の表層部が成層状態のまま流出している様子が確認できる。(B) の上げ潮になると、浦内の成層状態は変わらないが、Point 1 で鉛直方向に一樣な分布をしている。外海水が 2m の層へ貫入していることがわかる。貫入層より低層では変化が見られず、水深 5m 以下では塩分の高い水塊が滞留している。

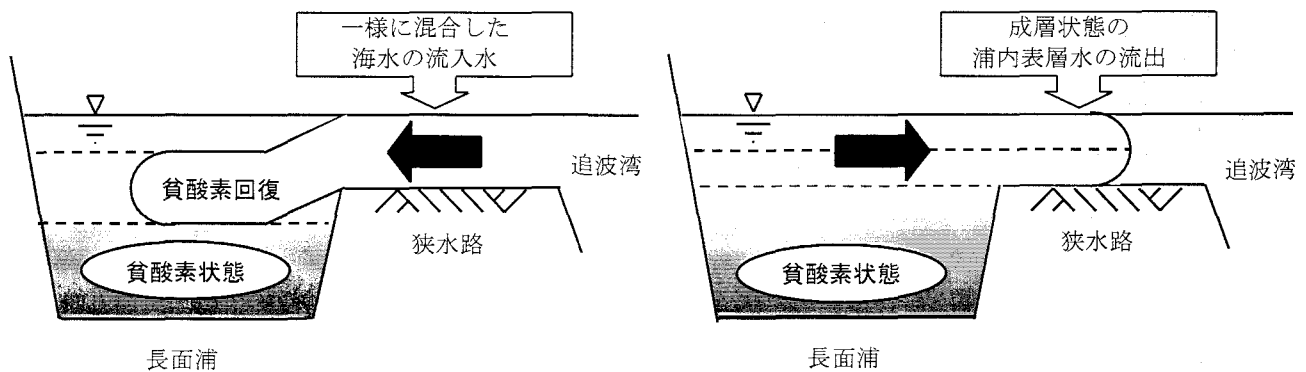


図-9 長面浦における水質変動のメカニズム

図-8 (b) の水温分布を見ても、同様に 2m の層への貫入現象が見られる。また表層では、日射による水温の上昇が認められ、底層の滞留も影響して表層と底層で 10 度以上の水温差が生じている。

(c) のクロロフィル a の分布を見ても、クロロフィル a の低い海水が 2m 層へ貫入している様子が明瞭な形で表されている。

(d) の濁度の鉛直断面分布を見ると、成層状態の浦内水の流出の様子がみられる。流入については、流入水の濁度が高いため底層にそって流動し、沈降してしまうため浦奥まで流入できない。そのために浦内の底層で常に値が高くなっているが、逆に浦奥の水深 3m から 6m の中層では値の低い水塊が存在している。

以上の考察より、長面浦における水質環境は図-9 に示すメカニズムによって変動していると結論出来る。すなわち、上げ潮時には海水が狭水路を通り鉛直方向に一様な状態で浦入り口へ流入し、等密度層へ貫入する。下げ潮時には、浦内の表層水が成層状態のまま平行に流れ、狭水路を通じて追波湾へ流出する。ここで流入水の貫入高さは、海水の塩分濃度に影響され、さらに流入水の塩分濃度は隣接する北上川の流量に支配されている。

なお、同様な閉鎖性水域への海水浸入に関する現地調査は小川原湖¹⁾や網走湖⁶⁾などにおいても行われている。これらの報告では低層への海水の貫入が報告されている。長面浦においては北上川の影響で海域の塩分が低下しており、中層に貫入する点が大きな相違点である。

5. おわりに

本研究では、閉鎖性の強い長面浦で夏季に 3 週間にわたる集中観測を行い、その実態の把握とともに水質変動についての考察を行った。得られた成果を以下に示す。

- (1) 塩分分布・密度分布・水温分布から、夏期における長面浦では顕著な成層状態であり、6m 以深では滞留していることがわかる。

- (2) 上げ潮時に追波湾から流入する外海水は、水深の浅い狭水路を通ることにより鉛直方向に混合した状態で浦入り口へ到達する。この狭水路によって水位が上がり始めてから海水が浦内へ到達するまでに時間遅れが生じる。
- (3) 浦内へ侵入した外海水は、同じ塩分の層へ貫入し、貫入した層の溶存酸素が回復する。よって流入水の塩分濃度と浦内の成層状況との関係から貫入深さが決定される。
- (4) 下げ潮時では、表層部の浦内水が水平方向に移流し、狭水路を通じて追波湾へ流出する。
- (5) 長面浦の水質環境は、上記のような上げ潮時・下げ潮時の流動により支配されている。

謝辞：本研究の現地調査を実施するに当たり、(株)ヤマニシ・菅野孝一郎氏、アレック電子(株)三木聖彦氏ならびに河北町漁業協同組合の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤原広和・桃沢正樹・石川忠晴・西田修三・沢本正樹・西塚淳一：小川原湖の塩分鉛直分布と河口水位変動に関する現地観測，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.416-420, 1999.
- 2) 山本 潤・時吉 学・佐伯信哉・上野成三：閉鎖性内湾における秋季の水止まり現象に関する現地観測，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.941-945, 2003.
- 3) 高崎みつる・田中 仁：南三陸長面浦における溶存酸素濃度の変動に関する現地調査，水工学論文集，第 48 巻，pp.1411-1416, 2004.
- 4) 岡島直也・田中 仁・金里 学・高崎みつる・山路弘人：長面浦における溶存酸素の変動機構，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.936-940, 2004.
- 5) 福岡捷二・鈴木 篤・黒川岳司・中村 剛・上原 浩：中海における流れと貧酸素水塊の消長，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.976-980, 1998.
- 6) 池永 均・山田 正・内島邦秀・大島伸介・向山公人・平野道夫・井出康郎・田村圭司：網走湖における塩淡水成層の形成と挙動に関する研究，水工学論文集，第 40 巻，pp.589-594, 1996.

(2004. 9. 30 受付)