

長面浦における溶存酸素の変動機構

岡島直也* ・田中 仁**・金里 学***
高崎みつる****・山路弘人*****

閉鎖性水域はその静穏さを利用して養殖などに利用されることが多い。宮城県北東部に位置する長面浦においてもカキの養殖が盛んに行なわれているが、近年生産規模の拡大とともに底質の悪化に起因する貧酸素水塊が発生し、酸欠によるカキの斃死が見られる。そのため浦内の水質改善策の検討がなされている。しかし、水質浄化の効果は水域における流動特性に大きく依存されるにもかかわらず、浦内の水理特性を十分に把握できていない。そこで、本研究では現地観測を行ない、水理的な観点から海水交換のメカニズムを検討した。本研究の対象となる長面浦は北上川河口近くに位置し、狭水路により追波湾とつながる汽水域である。このため、長面浦内の水理・水質環境は北上川の流量の多寡に大きく支配されていることが明らかになった。

1. はじめに

閉鎖性水域では静穏さを利用して養殖などが盛んである。しかし、汚染負荷の増加や自浄能力を越す養殖などのために湾水の水質悪化が進み、湾水の水質の維持・回復をはかる必要に迫られている場所も見られる。これまでに、たとえば宮城県・志津川湾（永澤ら，1998）や青森県・小川原湖（長尾，1999）、青森県・陸奥湾（崔ら，1997）、鳥取県・中海（福岡ら，1998）など閉鎖性水域に関する研究は数多くされてきている。各々の閉鎖性水域は個性的でその形態は多様であるため、それぞれの地域特性を理解することは環境保全に不可欠であるといえる。したがって、個々の水域の特徴を評価するための現地観測を積み上げることが必要となる。

宮城県北東部に位置する長面浦は狭水路により追波湾とつながれている汽水域である。海域から隔てられていることによる水域の静穏な特徴を利用して、約 50 年ほど前からカキの養殖が盛んに行なわれている。ところが、近年生産規模の拡大とともに底質の悪化により貧酸素水塊が発生し、酸欠によるカキの斃死が底層で見られるようになった。また、狭水路内での土砂堆積により、海水交換による浄化能力が低下しているとの指摘もある。そのため、浦内の水質改善策の検討がなされている。しかし、水質浄化の効果は水域における流動特性に大きく依存するにもかかわらず、浦内の水理特性を十分に把握できていない。そこで、本研究では現地観測を行ない浦内における流動特性と水質特性を調査した、そして、浦内の環境に影響を及ぼす要因について検討し、水理的な観点から海水交換のメカニズムに関して検討を行った。

2. 長面浦の概要と調査内容

(1) 長面浦の概要

長面浦は宮城県北東部の北上川河口近くに位置し、周囲は約 8 km、その面積は 1.41 km²の海跡湖である。長さが 1.7 km、最大水深約 2 m の狭水路が長面浦と追波湾をつないでいる。その地形概要を図-1 に示す。長面浦を取り囲む集水域からは数本の沢を通じて淡水の流入はあるものの、狭水路を通じて潮汐による入退潮が浦内の流動を大きく支配することが、これまでの調査により明らかになっている（Tanaka ら，2004；高崎・田中，2004）。

(2) 調査内容

浦内底層では夏季に顕著な貧酸素状態になる（高崎・田中，2004）。そこで、観測は 2003 年 7 月 21 日から 8 月 15 日まで行なった。観測期間の大潮時（7 月 28 日，29 日）には浦内の流動特性を把握するために ADCP（超音波ドップラー流速計，RDI 社製）を図-1 に示す滞筋上で測

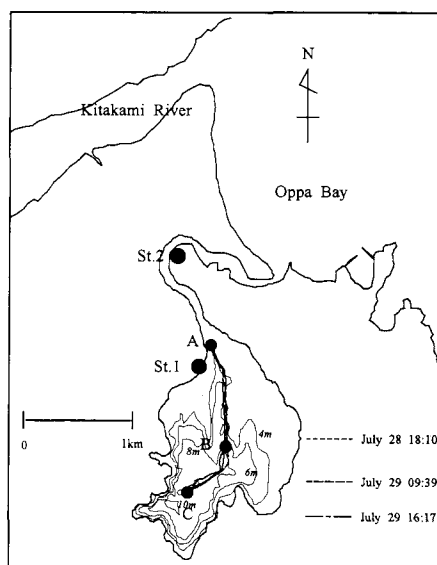


図-1 長面浦の概要と観測地点

* 正会員	修(工)	三井物産(株) 非鉄製品事業部プロジェクト室
** 正会員	工 博	東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
*** 学生会員		東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻
**** 正会員	工 博	石巻専修大学教授 理工学部生物生産工学科
***** 正会員		東北大学大学院教務職員 工学研究科土木工学専攻

定した。さらに、浦入口部（測点 A）には水温・塩分を、浦内部（測点 B）に水温・塩分・溶存酸素を測定した。測点 A、B における各水深の観測項目と機器の設置概要を図-2 に示す。

また、隣接河川である北上川河口部の風のデータと河口より 17.2 km 上流に位置する北上大堰の流量を国土交通省より入手した。観測期間の風の解析結果を図-3 に示す。これによると東向きの風の頻度が高く、高い風速もこの方向に集中する。また、時折西風が吹き、風は東西方向に卓越している。そこで風速 W を東西成分に分解して $W \cos \theta$ で表すことにする。なお、この時西風を正、東風を負の値とした。また、年間の風の変動は夏期に東風が、冬期に西風が卓越することが判明した。

3. 浦内の流動と水質の変動特性

(1) ADCP による流動特性調査結果

図-4 は、7 月 28 日の上げ潮時 (a) と 29 日の下げ潮時 (b)、および上げ潮時 (c) に ADCP によって測定した流速分布を示したものである。横軸は浦入口の測点 A を 0 m とした時の測定距離を表している。なお、測点 B は

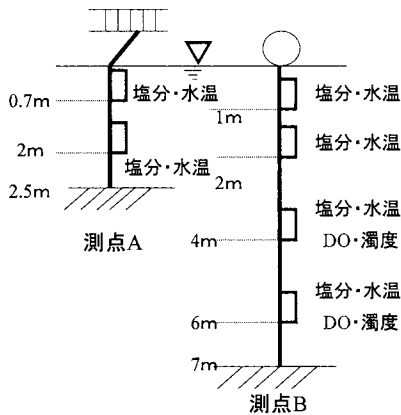


図-2 観測機器設置の概要

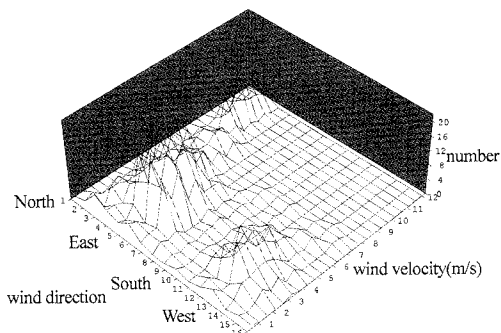
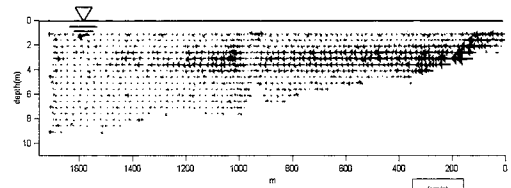


図-3 観測期間の風速・風向の結合頻度分布

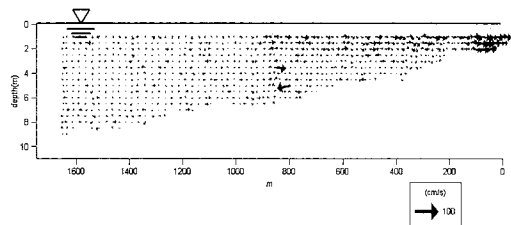
1100 m 付近となる。ADCP では海面および海底近傍 1 m 程度の流速を測ることはできない。図-4 において、(a) は入口部で底層に沿って流入し、深さ 4 m 付近に浦奥部まで流速を保ちながら貫入している様子がわかる。なお、900 m 付近では測定中に滞筋からずれてしまい流速が測定できていない。これから、顕著な流速分布を示すのは滞筋上と考えられる。今後の観測で横断方向の測定の必要性を示している。(b) では浦入口部の表層部では流出しているものの、(a) のように浦奥部に流出傾向は見られない。一方、(c) では流入水は水深 2 m 付近に貫入している。これより、上げ潮時では中層貫入して浦内に流入し、下げ潮時では表層のみが流出することが分かった。また、同じ上げ潮時でも (a) と (b) では貫入高さが異なっている。

(2) 大潮時の浦内の水質変動

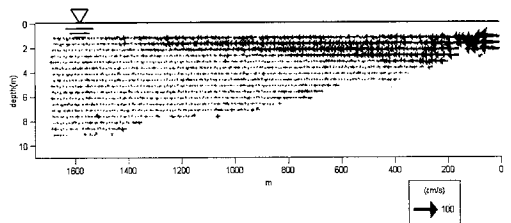
次に、潮汐に応じて貫入高さが異なる原因を検討するために、ADCP 測定を実施した 7 月 28 日、29 日の水位 η 、浦入口部と浦内部の水温 T 、塩分 S 、浦内部の溶存酸素 DO の変動分布を図-5 に示す。なお、図中に示した (a), (b), (c) は、図-4 の ADCP 観測時に対応してい



(a) 7 月 28 日 上げ潮時



(b) 7 月 29 日 下げ潮時



(c) 7 月 29 日 上げ潮時

図-4 ADCP による流速分布

る。

水位は基本的に潮位に対応しているが、低潮時には潮位ほど低下しない。これは水深の小さい狭水路を通っているため、干潮時に底面摩擦の効果が卓越することによる。海水交換の観点から見ると、潮位変動から見積もられるほどの流入量がないことを示している。

塩分の分布では28日の観測時(a)における密度が浦内の水深4mの塩分とほぼ同じ値を示している。すなわち、塩分の高い冷たい水塊が4mの層に貫入している。一方で、29日の観測時(c)の塩分は浦内の水深2mの塩分とほぼ同じ値となっている。これは、前節に示した各々の時期の貫入高さにほぼ一致している。これより、成層構造が発達した夏期では流入水の密度に対応した深度の層に貫入することがわかる。28日は水温も変化しており、低い水温の海水が流入していることがわかる。

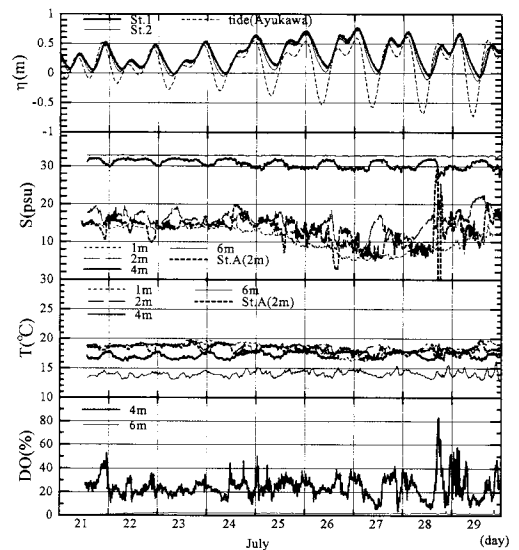
また、図-5最下段の溶存酸素の変動を見ると、28日には一時的に回復しており、狭水路を通じて追波湾の溶存酸素の高い海水が4mの層に貫入したために希釈されたものと考えられる。

(3) 全観測期間における水質変動

図-6は7月21日から8月6日までの水質変動分布である。塩分の変動を見ると7月25日から27日において塩分の低い海水が浦入口部に流入しおり、低い塩分が流入する時は表層部に貫入する。そのために浦内の表層部の塩分が低下している。そして、下げ潮時には表層部のみ流出するので、海水交換が行われるのは表層部のみで、浦の低層部における海水交換がほとんど行われない。これにより、深さ4mのDOに大きな変動は見られな

い。このように、低塩分の海水が流入した時は中層部から底層部にかけて酸素が供給されにくくなるので、貧酸素の回復が生じにくい状態になる。

一方で、7月28日以降では、前節に示した様に高塩分の海水が流入するようになり、これは中層部に貫入する。そして、貫入層では浦水が希釈され溶存酸素が一時的に回復する。また、下げ潮時には塩分の低い浦水の表層部が流出するので塩分の高い貫入層が表層へ上昇するため、表層部の塩分も高くなっている。これより貫入する層より上でのみ海水の交換が進む。一方で、底層では海



(a) 7月21日～29日

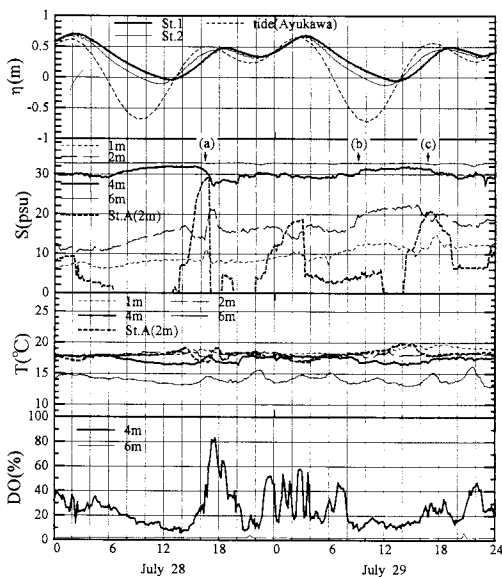
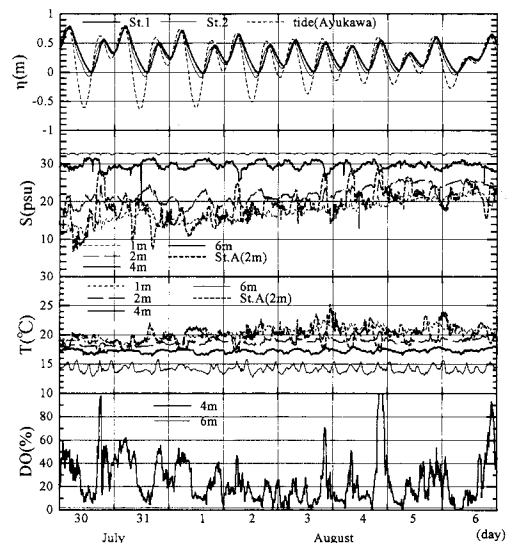


図-5 7月28日、29日における水質変動



(b) 7月30日～8月6日

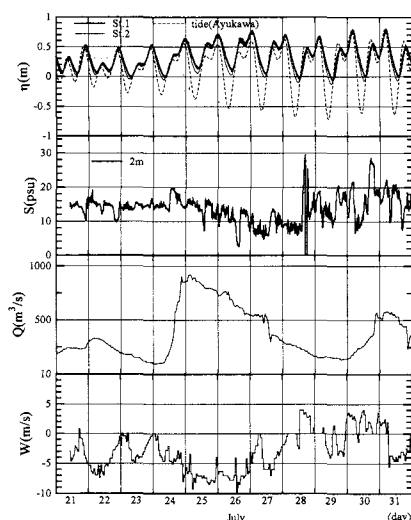
図-6 浦入口部と浦内の水質変動分布

水交換が行われないため常に貧酸素状態である。これより、浦内の環境を支配するのは浦内に流入する海水の密度であることがわかる。

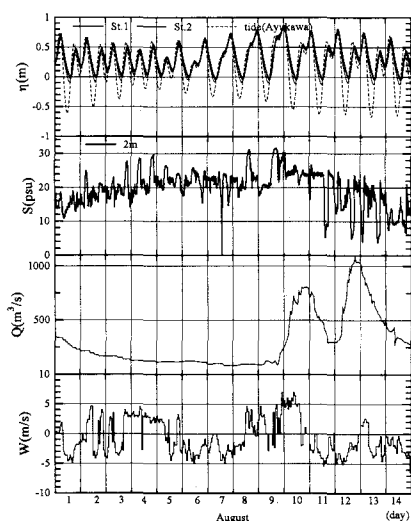
4. 浦内に流入する塩分の変動要因

前節に示したように、長面浦に流入する海水の密度には変動が見られ、それが浦内の貫入高さを規定している。そこで、以下では浦内への流入水密度の支配要因に関して検討を行う。

図-7 は 2003 年 7 月 21 日から 8 月 15 日までの St. 1 での水位の η ，浦入口部（測点 A）での水深 2 m における塩分，北上大堰の放流量，風の東西成分 $W \cos \theta$ の変



(a) 2003 年 7 月



(b) 2003 年 8 月

図-7 水位，流入塩分，北上川流量と風の変動

動を表したものである。西風が卓越する時は正の値をとる。これによれば、北上川の流量が増加した 7 月 25 日、26 日の直後では塩分が 10 psu 以下にまで減少していることがわかる。これは海水の塩分 36 psu の 3 分の 1 以下である。

さらに顕著な塩分低下が見られるのは、台風 10 号が通過した直後の 8 月 11 日以降である。流量の増加とともに急激に塩分が減少しており、塩分の低い海水が浦内に流入していると考えられる。一方で、8 月 2 日から 9 日では流量が減少すると塩分は増加している。これにより浦入口部の塩分は北上川の流量に大きく影響を受けていることがわかる。

次に、塩分に対する風の影響について考察する。図-7 において 8 月 3 日、4 日の変動分布を見ると、西風が卓越する時は東風が卓越する場合と比較して塩分が顕著に高くなっている。特に、図-5 の貫入高さの異なる 7 月 28 日と 29 日の観測時刻の風を比較すると、ともに流量は小さいが 28 日では西風が、29 日は東風が卓越している。これより東風が卓越する時は低い塩分が流入し、西風が卓越する時は高い塩分が流入するものと考えられる。しかし、8 月 13 日では西風が卓越しているものの流水の塩分は低い。これは台風 10 号により北上川の流量が増加しているためで、流量の影響をより強く受けていることを示している。

西風は北上川から追波湾に流出する河川水を東方向に輸送し、淡水が長面浦の位置する南方に拡散することを抑制する。また、西風が引き起こす湧昇も長面浦河口水域での高塩分化を助長する。一方、東風は逆に河川水の追波湾への拡散を抑制し、河川水に起因する低塩分水が北上川河口からこれに続く海滨、長面浦入口付近に滞留することとなると考えられる。長面浦に流入する海水の塩分が風向と密接な関連を有するのはこの様な機構によ

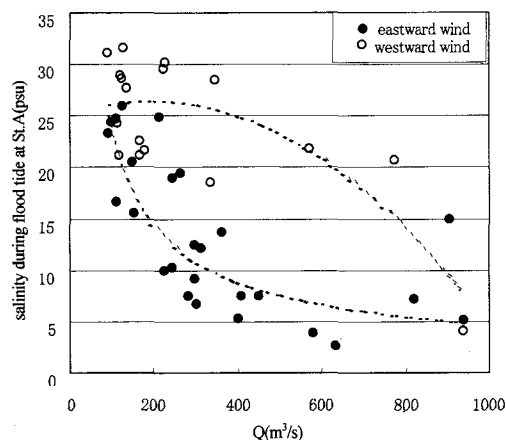


図-8 北上川流量，風向と浦入口（測点 A）の塩分との関係

るものと推測される。

そこで、次にこれらの関係を定量的に評価するために、図-8に流量と塩分の関係を風の成分を東西成分別に示す。なお、塩分としては測点Aで観測された値の内、上げ潮時の最大値を用いている。これを見ると、前述の検討の通り、流入水の塩分が北上川の流量に依存していることがわかる。また、東風が卓越している時は流量が増加すると顕著に塩分は低くなる。一方、西風が卓越する時は流量がある程度大きくても東風の時ほど塩分は低くならない。すなわち、西風が卓越し北上川の流量が小さい時は塩分の高い海水が流入し浦の中層部に貫入するため浦内の水が浄化されやすくなる。一方東風が卓越し、流量が増加する夏期では顕著に低い塩分の海水が浦内に流入するので、表層部付近にしか貫入しないため、浦内部が貧酸素状態に陥りやすくなる傾向となる。

5. 結 論

南三陸長面浦における水理・水質に関する現地観測より以下のことがわかった。

(1) 低層における貧酸素水の存在が顕著である夏季では長面浦内に成層構造が発達し、狭水路を通じて流入した海水は中層に貫入する。これは、北上川の河川水などの影響を受けて、通常の海水よりも低い塩分を有する水が流入しているためである。

(2) このため、貫入する高さの変化に応じて、浦内において海水交換によって水質が改善される層の高さが変化する。

(3) 長面浦に流入する海水の塩分は北上川の流量と風

の影響を受けている。このため、浦内には河川などの淡水の流入がほとんど無いにもかかわらず北上川の影響により低塩分の海水が中層に流入するため、これより、底層での貧酸素の解消が起こりにくい。

謝辞：本研究を行うに際し、貴重な現地データを提供頂いた国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所にて深謝する。また、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、東北大学環境水理学研究室の諸兄、石巻専修大学・高崎研究室卒研究生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

- 崔 成烈・入江政安・福島博文・西田修三・中辻啓二 (1997): 陸奥湾湾口部における流動・密度構造—1996年夏の観測—, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 381-385.
- 高崎みつる・田中 仁 (2004): 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.
- 長尾正之 (1999): 小川原湖の塩水傾斜ブルームに関する研究, 東北大学大学院工学研究科, 博士学位論文, 228 p.
- 永澤 豪・田中 仁・松村勝之・山路弘人 (1998): ADCPを用いた志津川内流動の観測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 396-400.
- 福岡捷二・鈴木 篤・黒川岳司・中村 剛・上原 浩 (1998): 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.
- Tanaka, H., M. Takasaki, H.S. Lee, and H. Yamaji (2004): Field observation of salinity intrusion into Nagatsura-ura Lagoon, Proceedings of 4th Congress of Environmental Hydraulics, 2004. (in press)