

# 志津川湾における湾水交換の現地観測

堀井久義\*・田中 仁\*\*・渡邊健二\*\*\*・首藤伸夫\*\*\*\*

## 1. はじめに

魚貝類養殖が盛んに行われている三陸沿岸では、外洋水の侵入により急激に漁場環境が変化することがある。養殖の投餌・残餌や排泄物による養殖漁場の自家汚染対策を講じる際には、この湾水交換による自浄作用の程度を十分に把握し、その上で計画立案を行う必要がある。

現在までに、水温急変の観測例は既にいくつか報告されており、その報告のリストは武岡・永田(1992)に詳しい。しかし、そのメカニズムは十分に解明されていない。そのため、上記の様な湾水環境問題と関連して定量的な議論を行う域には達していない。

本研究では、宮城県南三陸・志津川湾において流況および水温変化の観測を行い、これをもとに水温変化の予測手法の検討を行った。観測された水温変化は、外力として主に風と潮汐に起因することが観察されたので、それらを変数とする水温急変の予測式を導出した。また、湾水交換発生時の溶存酸素(DO)変化の観測も行ったので、これについても報告を行う。

## 2. 調査方法

本研究の対象となった志津川湾は、宮城県の南三陸に位置し、湾の長さが東西に約10 km、幅約5 kmの中規模の湾で、湾口は東を向いている。ここでの観測成果の一部はすでに長尾ら(1992, 1993)により報告されている。

観測地点および期間は図-1に示すように、A地点(水深22 m)において1992年8月18日～9月16日、1993年5月15日～6月12日、またB地点(水深17 m)において1993年7月29日～8月26日である。湾水交換現象を把握するためのデータとして、各地点の上層(A・B地点とも水表面下1 m)・下層(A地点では海底上7 m、B地点では海底上1 m)に自記式の電磁流速計および水温計を係留して、流速(東西および南北成分)、水温を15分おきに測定した。また潮位を知るために、志津川港(図-

1のC地点)には5分おきに測定できる自記潮位計を設置した。気象条件として、志津川町内のアメダス地点における風向・風速・雨量・気温などの各種データも入手して用いた。特に風向・風速データは重要なので、日平均のみならず、時間平均のものも入手した。また、1993年7月29日からの観測では、B地点において同時にDO(溶存酸素)の測定も行った。

## 3. 観測結果

### 3.1 水温急変の実測結果

観測結果から、水温急変現象は次の3種類に分類された。すなわち、

- 上げ潮時で潮位差が大きく、かつ西風が卓越しているときに見られる2～4日程度の継続期間を有する水温低下
- 潮位変動に対応して生じる12時間あるいは24時間周期の水温変動
- 極めて強い東風時に見られる全層混合型である。

a) 型の水温急変の一例を図-2および図-3に示す。図は、上から順に、実測潮位、風速ベクトル、東西方向流速(正值が東へ向かう流速)、下層での水温、および後に述べる予測式から計算した水温低下量である。図-3の最下段には3.2に述べる溶存酸素の測定結果も示した。

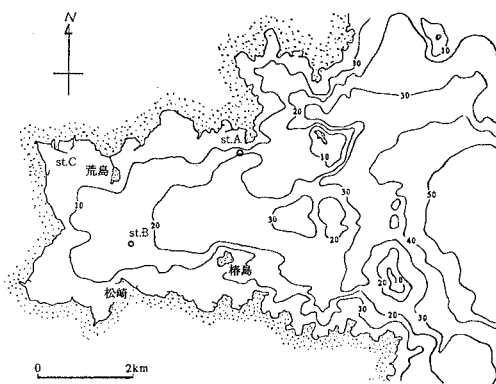


図-1 観測場所

\* パシフィックコンサルタンツ株式会社 東北支社  
 \*\* 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科  
 \*\*\* 学生会員 東北大学大学院 工学研究科  
 \*\*\*\* 正会員 工博 東北大学教授 工学部災害制御研究センター

この両図の風速ベクトルの図からうかがわれるように、この湾では東風が吹いていることが多い。例外的に西風が吹くと、それに対応するかのように下層での水温低下が生じている。例えば、図-2の1992年9月2日～5日には、2°C程度の水温急変が見られる。また、図-3の1993年7月31日～8月2日、8月11日～16日などもそうである。

西風が止むと、その後水温は徐々に元に戻る。こうした水温低下発生時の流速計データを見ると、底層水は湾奥に向かい、表層水は湾口に向かうことが確認される。図に示したものの以外の観測期間にも同様な現象がいくつか確認された。

以上より、この水温低下は湾奥から湾口に向けて吹く

風による吹送流に呼応して生じた湧昇流によるものであることがわかった。なお、田中ら (1992) も紀伊半島・浦神湾において同様なメカニズムによる湾水交換が見られることを報告している。

b) 型の潮位変動に起因した水温変化の例も図-2に見られる。すなわち、1992年8月29日～9月5日に見られるように、潮汐変動に対応した水温の変動が見られる。これは、潮位変動に伴い温度フロントが観測点を通過することによるものであると推測される。ただし、温度の低下量は先のa) 型の場合に比べて微小で、せいぜい0.5～1°C程度である。

c) 型の水温低下を図-4に示す。なお、今回の一連の観測中でこれに分類されるイベントが生じたのは、図示

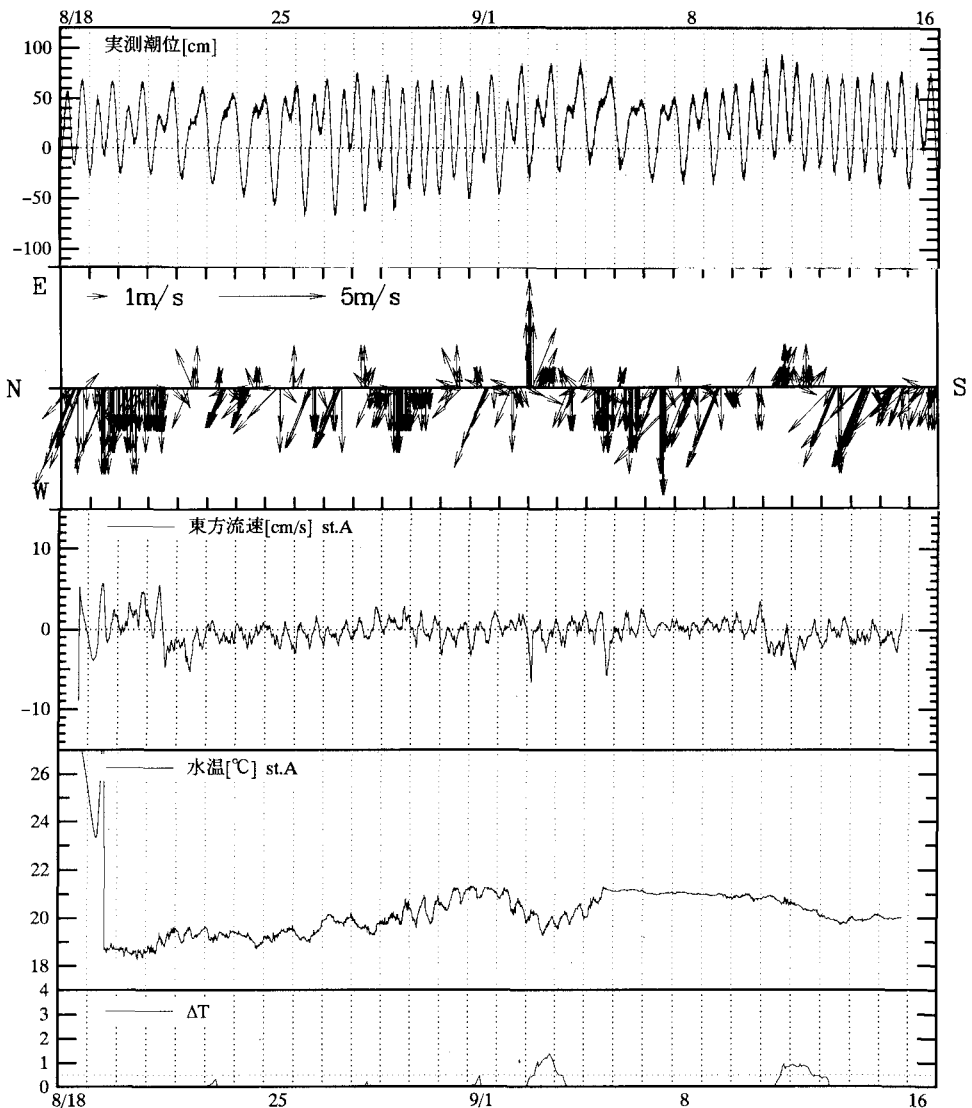


図-2 観測結果 (1992年8月18日～9月16日)

した一度のみであった。上から順に、A 地点における水温・時間降水量、時間平均風速ベクトル、流速ベクトル（上層および下層）である。1993年6月2日～4日に下層の水温（破線）が急上昇し、上層の水温（実線）もやや低下し、上下層で全く同じ温度になった。上下層の観測点の鉛直距離は14mあったのであるが、その間で3°Cの温度差のあった成層構造が破壊され、上下層の別なく同

じ水温の混合状態へと移行したのである。この日の天気は雨、日降水量は50mm弱であり、最大で9m/sの東南東の強風が吹いていた。その水温急変の中心となる6月3日には流速も著しく変化した。±5cm/sで振動していた東方流速は西向き10cm/s弱にまで増加した。特に、この時期、下層での流速が他の時点に比べ格段に大きいことが注目される。6月3日22時に風が止むとともに再

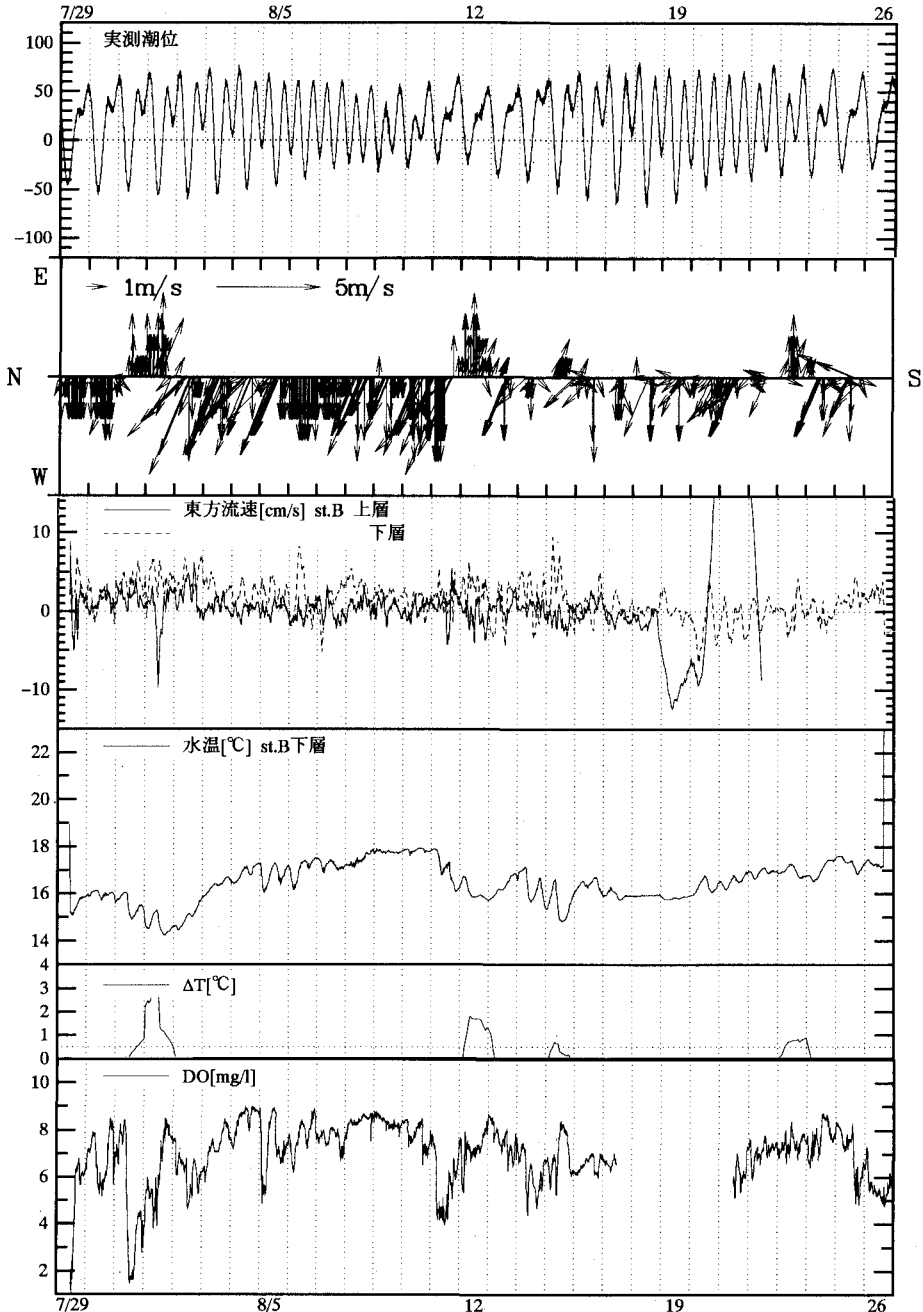


図-3 観測結果 (1993年7月29日～8月26日)

び成層化が見られるようになり、約半日で水温は元の状態に戻った。この水温変化の発生機構については現在のところ不明である。この期間、雨が降ってはいるものの、水深15mの下層の測点にまで及ぶほどの水温変化を生ぜしめるとは考えにくい。Kundu (1980) や田中 (1993) は連続成層場の風による混合の計算を行い、風の影響により大規模な成層破壊が生じる可能性を示している。Kunduの計算例によると、1.5 dyn/cm<sup>2</sup>のせん断力を有する風により20m程度の水深にわたり成層が破壊されている。今回の実測時の風速よりせん断力を推定すると1.1 dyn/cm<sup>2</sup>となり、同様な現象が生じた可能性もある。ただ、今回の実測風速は地上観測によるものであり、海上の実際の風速ではないので、この点を含め、さらに検討を重ねる必要がある。

3.2 海水交換とDOの変化

図-3 最下段に溶存酸素濃度の観測結果を示している。1993年7月31日、および8月11日から、数日間にわたる水温低下が発生し、その原因は西風であることは上に論じたところであるが、こうした水温低下のごく初期の段階で、DOにも急激な低下が観測されている。調査対象である志津川湾ではギンザケ養殖が盛んに行われており、いけす周辺の海底には残餌および排泄物に起因するヘドロが堆積している。このため、夏場には海底近くに貧酸素水塊が形成されることが多い。今回観測された海水交換開始直後のDO低下は、それまでとは異なった流動が始まったため、流速流向の変化が貧酸素水塊を観

測地点へと移動させた事によるものであると考えられる。ただし、DO低下は1-2日で終息し、水温よりも早く元のレベルに回復した。このことは、関係した貧酸素水塊の寸法が、西風による水交換の寸法に比べ小さかった事を意味している。このように、湾水交換によりいつも綺麗な水が現れるとは限らず、場所的には水質が悪化する場合もあり得る点に注意しなくてはならない。それとともに、湾内に滞留している貧酸素水塊が、このような湾水交換の流れに乗って、最終的にはどのような経路を辿るのかを確かめる必要がある。

4. 水温低下の予測

すでに記したa)型の湾水交換には、西風の影響が大きい。また、ここに示した以外の実測結果によれば、上げ潮時の潮位差の影響も見られた。そこで、ここではa)型の水温急変に限定して、この水温低下量の予測式を考える。

まず、観測で得られたデータから、水温急変が明らかに見られるものを選定した。その選び方としては、各観測データの水温をそれぞれ24時間前の水温から引いた差で水温低下量  $\Delta T$  (正の値) を定義し、それが0.5°C以上に及ぶものを選び出した。この結果を図-5に示す。ここで、縦軸は  $\Delta T$ : 水温低下量、横軸は  $\Delta \zeta$ : 上げ潮の潮差であり、図中の数字は  $W$ : 水温低下発生24時間前の西風風速 (m/s) の平均値である。実線については後述する。図より、幾分ばらつきはあるものの、 $W$ の値が大きいデータほど左上に来る傾向がある。また、似たような風速であれば潮差の大きいものほど、水温低下量大きいという傾向がある。

そこで、まず、 $\Delta T$  と  $\Delta \zeta$  の関係を次式のように仮定した。

$$\Delta T = a \Delta \zeta \dots\dots\dots (1)$$

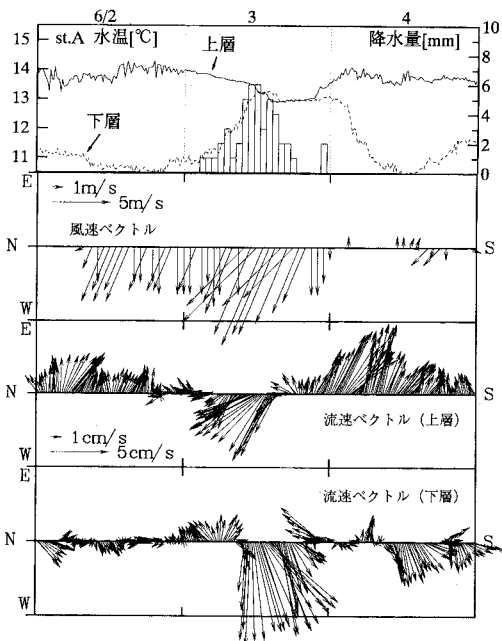


図-4 強い東風時の水温急変 (1993年6月2日~4日)

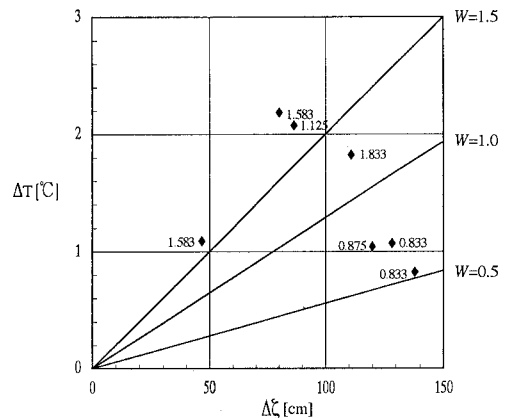


図-5 水温低下量  $\Delta T$  と西風  $W$ 、潮位差  $\Delta \zeta$  との関係

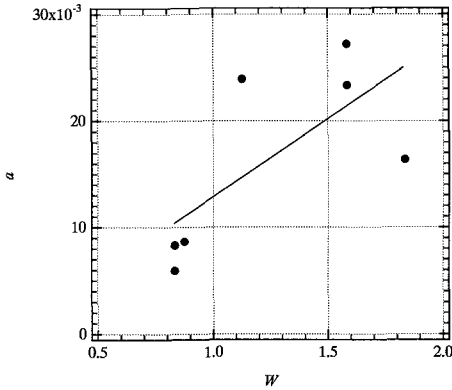


図-6 西風Wと比例定数aとの関係

傾きaを図-5に示したデータから計算し、Wとの関係を見たものが図-6である。Wの増加につれて勾配aが大きくなっている。図-6に示した回帰直線を式(1)に代入し、最終的に温度低下と風の強度および潮位差の関係を結び付ける式として次式が得られる。

$$\Delta T = (0.0146W - 0.00186)\Delta\zeta \dots\dots\dots (2)$$

図-5中の直線はこの式において、それぞれ、W=0.5 m/s, 1.0 m/s, 1.5 m/sの場合を示したものである。

この経験式にもとづいて水温低下量を予測した結果を、図-2および図-3の最下段に示した。これらの計算値は、ほぼ実測値に近い結果となっている。

5. ま と め

本研究で得られた主要な結果は以下の通りである。

- (1) 志津川湾における海水交換現象は大きく分けて3種に分類されることが判った。
- (2) 上記の3種の内、西風による吹送流が主要因と

なる現象について詳細な解析を行い、西風風速および潮位差から水温低下量を推定する式を得た。

(3) 湾水が常時とは異なる運動を開始した直後に、DOにも急激な変化が観測された。堆積したヘドロの影響で生じ滞留していた貧酸素水塊が運動を開始したためと考えられる。こうした貧酸素水塊がどのような経過を辿ってゆくかを求めることは、湾水の最終的な浄化の点から重要である。

謝辞：現地調査を行うに際して、志津川町・海浜センターおよび東北大学津波工学研究室学生諸君の協力を得た。DOデータは、共同で観測を行った東北大学水道研究室から提供頂いたものである。また、本研究に対して、「民間等との共同研究」および文部省科学研究費一般研究B（代表：東北大学助教授・真野 明）の補助を受けた。さらに、本論文の公表に際して、小川基金より補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

武岡英隆・永田 豊 (1992): シンポジウム「急潮—沿岸と外洋の相互作用—」のまとめ、沿岸海洋研究ノート, 第30巻, 第1号, pp. 1-3.

田中祐志・篠原潤・津田良平 (1992): 浦神湾の急潮, 沿岸海洋研究ノート, 第30巻, 第1号, pp. 37-44.

田中昌宏 (1993): 成層化した湾の風による混合と流れのモデル化について, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1096-1100.

長尾正之・橋元信裕・今村文彦・首藤伸夫 (1992): 衛星データを用いた湾内海水交換予測の可能性について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 921-924.

長尾正之・今村文彦・張旭紅・渡辺健二・首藤伸夫 (1993): 成層構造を有する内湾での水温急変についての現地観測, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 991-995.

Kundu, P. K. (1980): A numerical investigation of mixed layer dynamics, J. Phys. Oceanogr., Vol. 10, pp. 220-236.