

ADCP を用いた志津川湾内流動の観測

永澤 豪*・田中 仁**・松村勝之***・山路弘人****

1. はじめに

近年, 沿岸域での産業・生活活動が活発化し, 特に活発な内湾は常に汚染の危機にさらされている。本研究の観測対象である南三陸の内湾では, 養殖業が非常に盛んである。しかし, 自浄能力を超す養殖量のため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。南三陸の沿岸は, 黒潮, 親潮のぶつかる潮目にあたり, 流況は複雑である。従って, 湾内外の水の交換・混合機構の解明は, 湾水の自然浄化能力を考える上で重要となる。

本研究の観測対象である宮城県・志津川湾では, 定点調査を中心とした観測が行われてきており, 西風による吹送流が湾の流動に強い影響を及ぼすことが報告されている(堀井ら, 1994)。しかし, 定点観測では, 複雑な湾内の流況を的確に捉えるのは困難である。そこで, 本研究では, 定点観測と ADCP (超音波ドップラー流速計) による現地観測を行った。これと各種機関から入手したデータを合わせて, 湾への外洋からの流入実態を明らかにすることを目的にする。

2. 観測概要

(1) 現地観測

ADCP による現地観測は, 水温鉛直分布が成層化する夏期から一様化する冬期にかけて, 各 2 日計 4 回(8 月, 9 月, 10 月, 11 月)実施した。志津川湾は静かな内湾であり, 観測される流速成分は平時で 5~15 (cm/s) と小さい。そこで, 観測日には, 潮汐成分の大きな大潮時と小さい小潮時を設定した。観測は ADCP を小型船に取り付け, 南北方向に設定した測線を一定の速度(4 ノット~5 ノット)で航行して測定した。これによって, 測線下の鉛直断面の流速分布を得ることができた。

この ADCP による現地観測に並行して湾口部(荒砥)



図-1 志津川湾

に水温計, 湾奥(荒島)に水温計と電磁流速計(水深 2 m, 17 m)を設置し, また, 湾奥で風速の測定を行った。湾内に設定した測線の位置と, 水温計と流速計の設置地点を図-1 に示す。

(2) 入手データ

湾内の状態を知るために気温・潮位データを志津川町から入手した。また, 湾水と湾外水の関係を知るために, 志津川高度海浜利用センターと宮城県水産研究開発センター, 及び, 東北大学理学部花輪研究室から湾内外の水温データを入手し, 湾外水の動きの考察に用いた。この内, 本学理学部による観測データは, フェリー航路上で得られるものである(花輪・岩坂, 1987)。合わせて, NOAA の衛星データを入手し, 三陸沿岸の複雑な外洋水の動きをモニターした。

3. 観測結果及び考察

(1) 水平構造

ADCP 観測による流況を見ると, 8 月・10 月・11 月の観測には, 共通の水平構造として, 湾北部流入・南部流出の傾向が観測された。中でも, 10 月と 11 月は水温鉛直分布が一様化していて流動の鉛直構造が弱いいため, この傾向がはっきりと観測された。そこで, 11 月の観測では, LineA を連続で周回しながら水平構造の変遷を観測した。この時の流況を図-2 に示す。干潮から上げ潮にかけ

* 学生会員	東北大学 大学院工学研究科 博士前期課程 土木工学専攻
** 正会員	工博 東北大学 大学院工学研究科教授 土木工学専攻
*** 学生会員	東北大学 大学院工学研究科 博士前期課程 土木工学専攻
**** 正会員	東北大学 大学院工学研究科 教務職員 土木工学専攻

て湾北部流入・南部流出の機構を保ちながら、流入流出成分の変化していくのが見て取れる。この志津川湾の北部流入・南部流出の流動特性は過去、小島ら（1992）や

志津川湾調査報告書（1994）にも報告されており、志津川湾の支配的な流動特性の一つといえる。

しかし、9月の観測では、湾の流況が逆転し、湾南部流入・北部流出の傾向が観測された。9月の観測時、潮汐は小潮であった。それに対して、8月・10月・11月は大潮時の観測であった。このことから、湾北部流入・南部流出の水平構造は、潮汐成分の大きい時の構造と考えられる。

（2）鉛直構造

湾内の鉛直分布が成層化している夏期と、一様化する冬期を代表する8月と11月を取り上げる。

まず、8月の観測時には、図-3に見られるように、上層から流出、中層から流入、下層から流出する3層構造が見られた（測定時間、図-4、III）。このような夏期の成層時の3層構造は青森県陸奥湾湾口部においても観測されている（崔ら、1997）。一般に湾内は、水深が浅いために熱容量が小さく、湾外よりその水温は高温になる。観測時は晴天で気温も高く、図-4に示すように水温鉛直分布は成層化していた。衛星データによれば、湾内の表面水温は26°Cまで達している。次に、宮城県水産研究開発センターから得た三陸沖の東西断面の水温鉛直分布を図-5に示す。志津川湾は北緯38.65°で2本の沿岸定線の間にある（図-6）。これによれば、外洋の下層には冷水塊があり、日射から上層は成層化している。また、沿岸域には暖水塊が上層に入り込んでいることが分かる。これから、志津川湾沖では、18~20°Cの水塊が水深5~25 mに分布している。この状況を図-7に示す。従って、潮汐に伴い湾外の水塊に接している18~20°C付近の

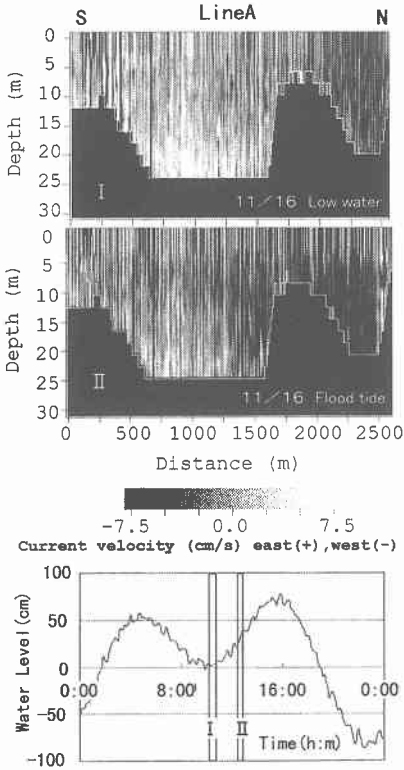


図-2 流速分布と潮位波形
(LineA, I 下げ潮, II 上げ潮, 1997年11月16日)

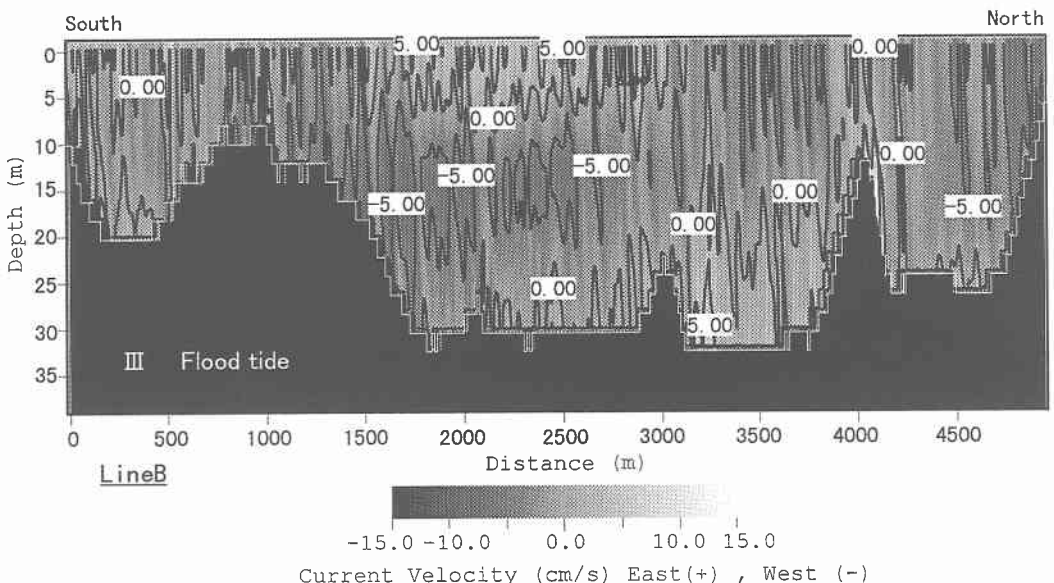


図-3 流速鉛直分布 (Line B, 上げ潮, 1997年8月4日)

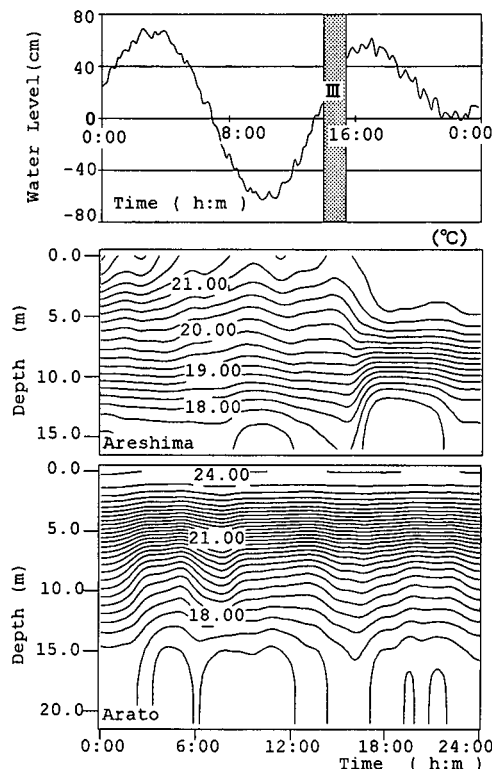


図-4 潮位波形と水温鉛直分布 (1997年8月4日)

海水は湾内の同温同密度層である中層(水深8~15 m)に流入する。その流入に対して、湾内の20~26°Cの軽い海水は上層(水深8 m以浅)から湾外へ流出し、18°C以下の重い海水は下層(水深15 m以深)から流出したと考えられる。次に、図-4を見ると、上げ潮時、水深8 m以深の等温線は変化が小さいのに対して、流入成分の強い中層(水深8~15 m)にあたる18~20°Cの等温線の間隔が広がっている。これからも潮汐に伴い、18~20°Cの中層に流入していることが推察できる。

11月の観測時には、水深20 m付近の湾中央部分に強い流出が観測された(図-2, 流速分布I)。その流出が観測された場所に水温計を投入すると0.7°Cほど低い水温が観測された。しかし、11月は8月と比較して、水温鉛直分布は一様化しており、鉛直構造は非常に弱く、その分、水平構造が強く見られる。よって、この流出は、水温の差による密度流が主な原因ではなく、湾北部流入・湾南部流出の流動の一部として行われたと考えるのが妥当である。

(3) 湾水交換

9月の観測では、8月・10月・11月の3回の観測とは逆の湾北部流入・南部流出という水平構造が観測された。観測時の湾内では、湾奥の荒島、湾口の荒砥ともに、水温成層構造が完全に崩壊して一様化しており、8月で

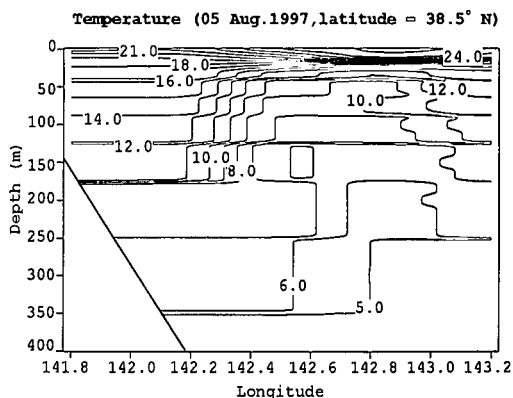
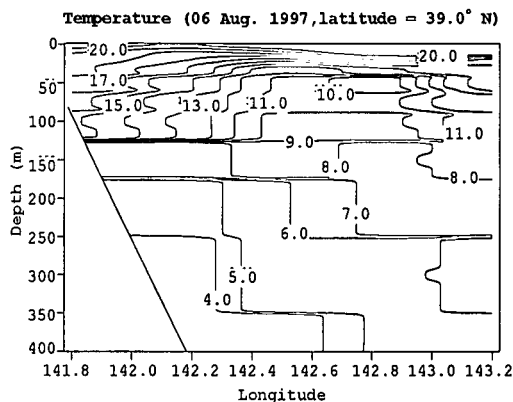
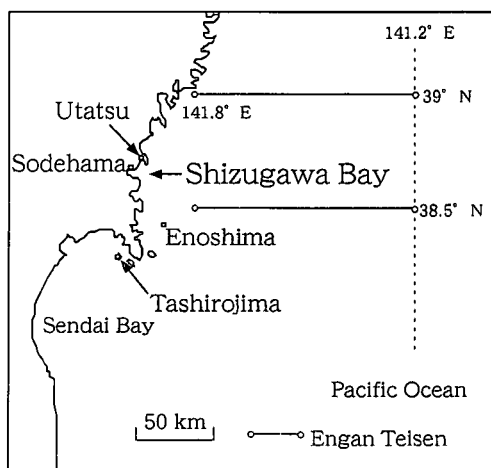
図-5 沿岸定線による水温鉛直分布
(1997年8月5, 6日)

図-6 志津川周辺図

も12.5 m以深では約18°Cで一定であった湾底部の水温が20~20.5°Cに上昇している。この時の水温はフェリーで観測した湾外の水温と一致する。また、定置調査と袖浜で観測されている表面水温データの水温変化を図-8に示す。これによると、9月22日~25日にかけて、志津

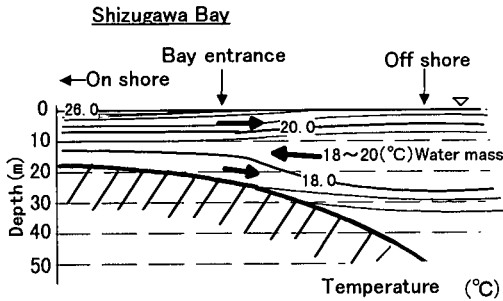


図-7 湾内と湾外の水温鉛直分布構造

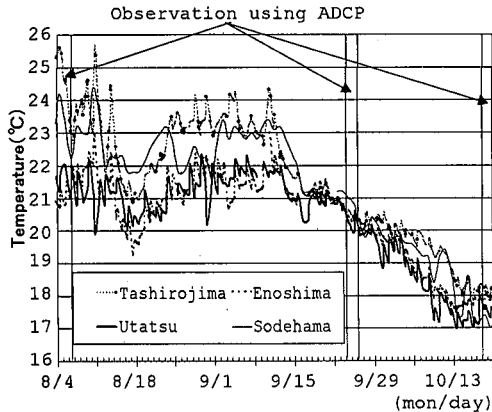


図-8 袖浜, 田代島, 江島, 歌津の表面水温変化

川湾の南部に位置する田代島と江島、湾口北部に位置する歌津(図-6参照)の表面水温が一致している。袖浜が一致していないのは、袖浜の採水地点が防波堤内で湾水の状態変化の影響が表れ難いからであろう。また、衛星データでは、9月の観測日は天候不順のために画像がとれていないが、観測日を挟む9月20日と28日の水温を比べると、湾口と湾奥で1°Cあった表面水温差が28日にはほぼ一致するという結果が得られた。これから、観測日の前後に湾水交換が行われたことが推察できる。

観測日を挟む9月上旬と10月上旬に行われた浅海定線調査と沿岸定線調査から得られた水温鉛直分布を図-9, 図-10に示す。これから、9月前半は、8月同様、下層(水深20m以深)に冷水塊があり、上層は日射量が大きいため、成層化している。10月の結果をみると、黒潮系の暖水塊が沿岸の表層を北上し、水深0~40m付近まで19~20°Cの海水で一様化している。これから推察すると、観測時、志津川沖には表層(水深0~40m)に20~21°Cの暖水塊が北上していた。そして、9月22日~25日にかけて、何らかの原因で20~21°Cの暖水塊が湾南部から流入し、湾水交換が起きて湾の水温鉛直分布が一様化したと考えられる。

湾水交換が起きた原因としては、9月23日から24日

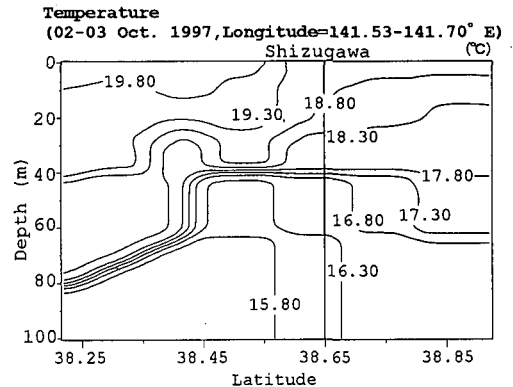
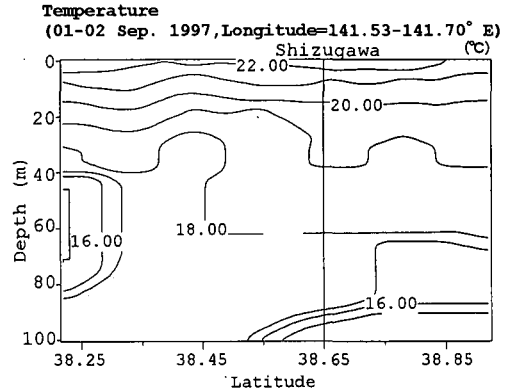


図-9 浅海定線調査による水温鉛直分布

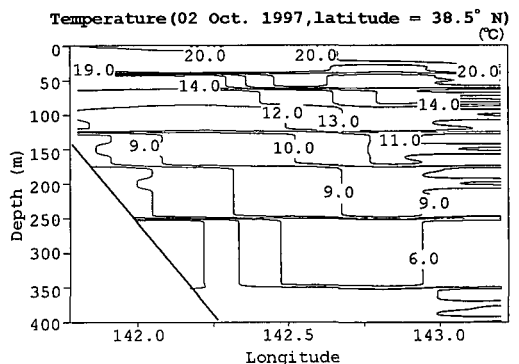
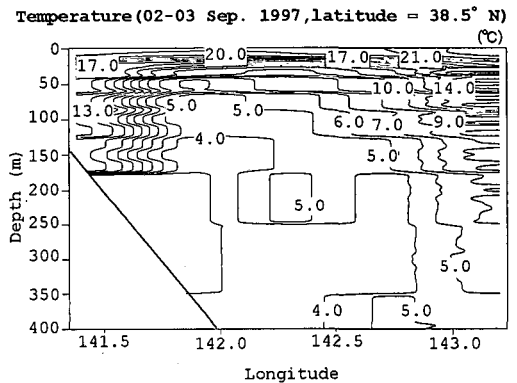


図-10 沿岸定線調査による水温鉛直分布

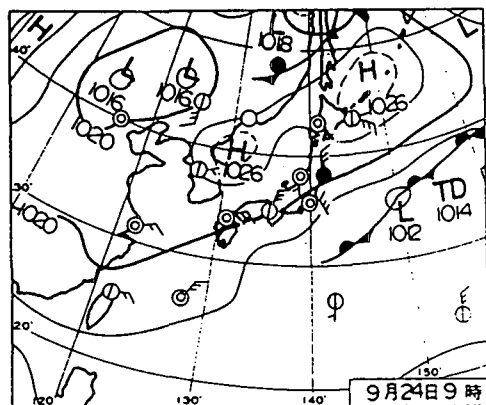


図-11 天気図 (1997年9月24日9時)

にかけて通過した低気圧の風によるエクマン吹送流の輸送によって、沖の暖水塊が湾へ運搬され、小潮時に北部流入・南部流出という普段の水平機構が弱まっていたのと重なり、湾水交換が起きたと考えられる。9月の天気図をみると、19日から20日にかけて台風20号が通過し、その後、21～25日にかけて関東の南に秋雨前線がのび、北海道付近を大陸からの高気圧が覆って日本付近は梅雨型の気圧配置になっていた。このような気象状態で、三陸沖では19～25日にかけて断続的に、北から南へ風が吹いており、観測日の24・25日も同様だったと推測される。24日の天気図を図-11に示す。この北風によって、沖から岸へエクマン輸送が起きたと考えられる。しかし、これは沖での風速の正確な観測データがないので、あくまで推測である。9月観測のADCPで観測された流況をみると、上げ潮時には水深10m以深の下層から強い流入がみられた。これは、普段の流況と完全に逆であり、潮汐起因の流動特性とは考えられない。また、湾底の水温が20～21℃まで上昇したことに対応する。小潮時に、湾北部流出・南部流入と流況が逆転して湾水交換が起きることは、長尾ら(1993)が以前、志津川湾で観測した湾水交換と同じである。また、25日以降、図-8によれば、9月22日～25日まで一致していた表面水温がまず歌津で下降し、江島、田代島の順に水温が下降する。これは、志津川湾沖の暖水塊が、親潮系の冷水塊に押されて南下し、北部の定置観測点から順に水温が低下したと考えら

れる。

4. まとめ

(1) 志津川湾では、流動の水平構造として湾北部流入・湾南部流出が観測された。その流動特性は、大潮の時に明らかで、小潮の時に不明瞭であることから潮汐に関係する流動特性と考察された。

(2) 志津川湾では、上層流出・中層流入・下層流出の3層の鉛直構造が夏期に観測された。これは、水温鉛直分布が成層化しているためである。したがって、冬期になり、水温鉛直分布が一様化すると鉛直構造は弱まった。よって、鉛直構造は湾水と湾外水の水温に起因する密度流によって決定されていると考えられた。

(3) 1997年9月のADCP観測時に、湾水交換が観測された。この原因として、小潮で普段の流動機構が弱まっていたことと低気圧通過時の風のエクマン吹送流による海洋水の岸への輸送があげられる。

謝辞: 本研究を行うにあたり、志津川町、同海浜高度利用センターの協力を頂いた。また、東北大学理学部花輪公雄教授及び宮城県水産研究開発センターからは、貴重な資料を提供して頂いた。そして、天気図は(財)日本気象協会から提供して頂いたものである。ここに記して謝意を表す。本研究に対して文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

参考文献

- 小島 優・長尾正之・首藤伸夫 (1992): 志津川湾における流況特性の現地観測, 土木学会東北支部技術発表会講演概要, pp. 170-171.
- 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, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 381-385.
- 財団法人建設工学研究振興会 (1994): 平成5年度志津川湾調査報告書, pp. 4-42.
- 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.
- 花輪公雄・岩坂直人 (1987): 冬期三陸沿岸域への親潮系の水の接岸と水温予報の試み, 月刊海洋科学, Vol. 19, pp. 53-59.
- 堀井久義・田中 仁・渡辺健二・首藤伸夫 (1994): 志津川湾における湾水交換の現地観測, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1091-1095.