

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

長尾正之*・橋元信裕**・今村文彦***・首藤伸夫****

1. はじめに

近年、三陸地方でも沿岸域の養殖場における自家汚染や流入水のもたらす負荷増加のため湾内水質問題が深刻化しつつあり、環境保全対策強化の必要性が叫ばれている。この時、水質改善方法の1つとして海水交換機能の向上が挙げられる。従来より湾内の海水交換に関する研究は進められており、最近、外海の流れなどの影響で湾内水温が急激に変化し、しかも高い交換率を示す現象（急潮）が報告されている（永田，1982；秋山・柳，1984；四竈，1986）。

本研究は、表面水温に注目し、三陸沿岸、志津川湾における湾内海水交換を衛星データや地上データを用いて時間的に解析し、湾内外の交換機構の解明を目的とする。特に、衛星データにより観測できる海流変動が海水交換にどのような役割を持つのかを検討する。

2. 対象地域と解析データ

2.1 志津川湾とその周辺特性

本湾は、図-1に示すように南三陸沿岸の南端部（北緯38.5°，東経141.5°）に位置し、湾長さ10 km，幅5 km，湾口での平均水深60 m，全湾内容積が $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ の三陸では中規模の湾である。集水面積は125 km²，年間平均降水量は1,200 mmであり，これは全湾内水容積の半分にあたる。湾内にそそぎ込む河川の中で最も長いものは延長8 km程度であり，到達時間（流下時間）は僅か2，3時間である。潮流は15 cm/s程度である。図-1には，志津川湾を取り巻く3つの海流，黒潮，親潮，津軽暖流，が示されており，三陸沿岸での水温は，この3つの海流の位置関係により左右されると言われる。特に，沿岸境界流としての特徴を持つ津軽暖流の影響が指摘されている（花輪，1984）。

2.2 解析に用いたデータ

湾内水に影響する要因として，気温，降雨，海上風，潮汐，海流が挙げられる。それぞれの項目に対し，宮城

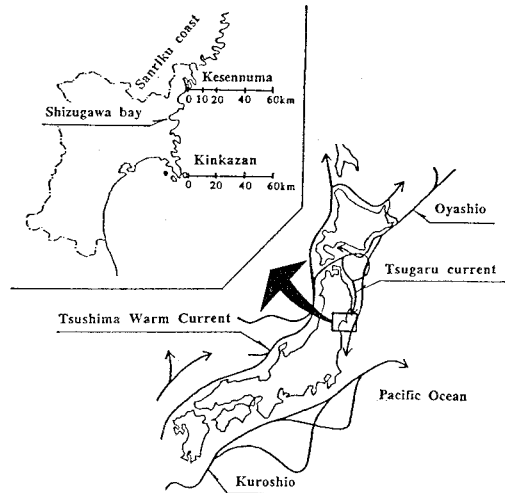


図-1 志津川湾の位置とそれをとりまく海流

県志津川湾を中心として以下のようにデータを収集した。(1) 気温，降雨，海上風に関してはアメダスより毎日の志津川でのデータを用いた。(2) 潮汐は鮎川での推算潮位を用いた。(3) 海流に関しては東北画像データベースを利用した（松沢ら，1991）。これには NOAA11号の可視画像と赤外画像とが登録されており，その水温分布から黒潮，親潮の位置が判断できる。画像範囲は，東北地方を中心とした約1000 km四方で，幾何補正済みである。なお，空間分解能は1.1 km，温度分解能は0.2 °Cである。(4) 湾内の水温は志津川湾内の袖浜地点の実測温度，湾口付近は衛星データの赤外画像で海面水温を判定した。

以上のデータを1990年の4月から翌年の3月までについて収集，整理した。水温の鉛直構造についての資料は，該当期間については入手することが出来なかった。参考資料として，1991年6月，7月に行った，自記式水温計による観測結果を考慮することにする。

3. 湾内外での水表面温の季節的变化

1990年から1991年に至る表面水温の季節的变化を図-2に示す。ここでは，湾内，湾口水温，気温のデータを

* 学生会員 東北大学大学院

** 正会員 JR 東日本

*** 正会員 工博 東北大学講師 災害制御研究センター

**** 正会員 工博 東北大学教授 災害制御研究センター

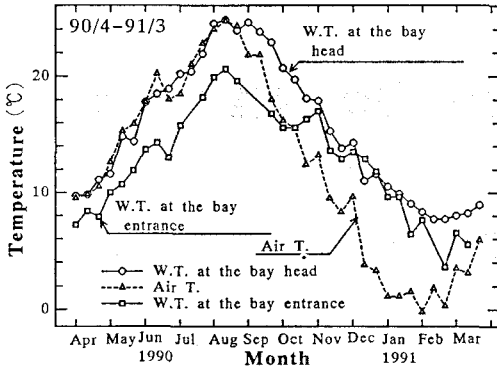


図-2 志津川湾での水表面温度の季節変化

10日間で平均し、1年間の経時変化を調べている。その結果、4月から8月にかけては気温上昇に対応して湾内水温は徐々に上昇し、ほぼ同じ値を示すが、湾口水温は3°Cから6°C低い。この中で、5月下旬には、気温、湾口水温ともに増加しているにもかかわらず、湾内水温が低下し湾口水温に近づいている。これは比較的大規模に湾内外の水交換が起きたことを示唆している。

これに対し、8月以降で気温は湾内水温に対し大きく低下する一方、湾口と湾内の水温の差は小さくなった。これは、日射や気温が湾内水温へ及ぼす影響を示すもので、8月以降では湾内湾口の水温差を基準として湾内水交換を判断することは困難である。

4. 急激な湾内水温変化の事象

1990年に観測された急激な水温変化の例を3つ取り上げ、気温、風、雨量、潮汐、海流などとの関連でその影響を論議する。

4.1 5月10日の例

図-3には、5月の湾内水温と他の要素を示している。5月10日には気温が増加しているにもかかわらず、湾内水温が3°Cも低下し、湾口水温にはほぼ一致していることが判る。2日前の8日に20mm程度の降雨が観測されているが、これは急変現象には直接関連がないものと思われる。一方、佐藤ら(1983)によれば、西からの20m/s以上の風速に起因した湧昇流により、底層での低温水塊が水表面に上昇されることが報告されているが、ここでは2m/s以下の微風のみ観測されているので、風速も原因とはならない。また、大潮でも一潮汐行程は2km程度であり、湾長10kmに比べて短いことから、1日程度の短期間での変化は潮汐だけで説明はできない。

最も可能性の高い原因として、NOAAデータに見られた黒潮の北上が考えられる。図-4は金華山沖(志津川から40km南)の東西線上(図-1に示す)での表面水温の空間的分布を示している。この図より、黒潮の北上により外海水が沿岸方向に押され、湾口付近の海水

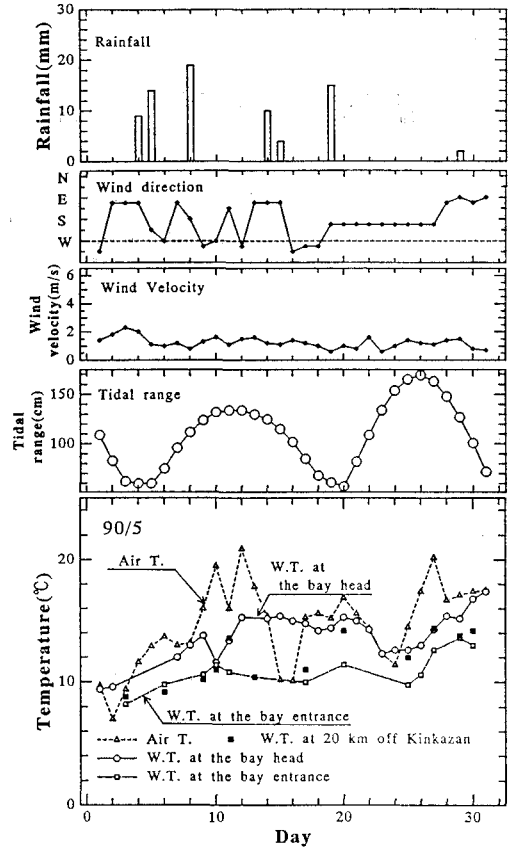


図-3 1990年5月における気象・海洋データ

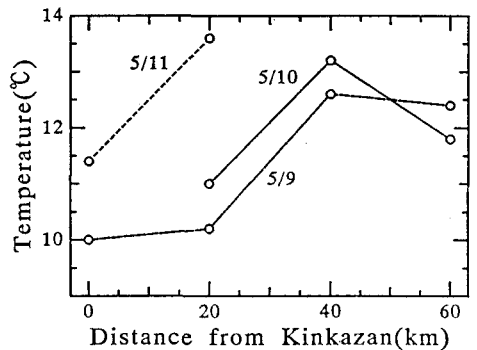


図-4 金華山沖での5月10日前後の水表面温度分布変化

が容易に押し込められて湾内水交換率を向上させたものと判断できる。この時には、潮汐振幅が1.2mと比較的高い値を示していることも、海流移動による可能性を示唆している。

4.2 5月23日の例

この事例でも2°C程度の湾内水温低下が見られ、その回復には4日間以上を要している。風向は南であり、風速も2m/s以下であるので、風の影響は無視できる。また、降雨もこの時期は殆どない。NOAAデータによ

と23日には、10日より大規模な黒潮の接近が見られ、10日と同様な海流移動の影響が考えられる。

この時の志津川湾口と金華山沖での表面水温の対応を調べた結果、湾口水温は金華山沖 20 km の地点での値(図-4)とよい相関を示すことが分かった。したがって、10日と同様に黒潮接近現象が生じたものと推定され、急激な湾内水温低下とともにその回復に時間を要したものと思われる。

4.3 8月25日の例

図-5 は8月のデータ経時変化を示す。25日以前では、 24°C から 26°C の範囲にあり、大きな気温の変動に多少連動しているものの、ほぼ一定値を示している。しかし、25日に突然 4°C 程度の低下が見られ、その低下の回復は遅い。8月は天候不順のため NOAA データがあまりとれず、湾口水温の詳細な時系列変化は捉えられないが、ほぼ一定であると推定される。なおこの時、潮汐振幅は 1 m 程度であり、風速も小さく、雨量も殆どない。

この事例においても海流の影響を受けたものと考えられるが、ここでは黒潮ではなく親潮の移動が見られている。そのために、気仙沼沖(志津川から15 km 北)で表

面水温の変化を調べた。図-5 中には気仙沼沖20 km の値を示しており、これが志津川湾口水温と対応している。したがって、この事例では親潮の南下に伴う海水交換が生じ、それによって水温低下が見られたことになる。

5. 湾外系海水の侵入過程

最近の研究(小泉, 1991)によると、下波湾での急潮時の海水交換過程は、湾外系暖水塊の侵入により引き起こされたもので、密度流的に湾内水表面から侵入し、厚みを増しながら下層の海水を湾外に流出させると説明している。今回の志津川湾における観測では、湾内での水温成層構造についての観測が衛星データに合わせて行われていないので、湾内の交換過程を詳細に論ずることはできない。しかし、湾外系海水の流入過程として、以下のような機構が考えられよう。

図-1 に示された津軽暖流は東岸境界流であるので、地衡流的バランスとしてコリオリ力と釣り合う水面勾配が働き、沖合に比べて沿岸部での水位は高い(花輪, 1984)。もし、黒潮が接近し、津軽暖流を北に押しやると今までの地衡流でのバランスが崩れると共に、今度は西境界流である黒潮が接近し、水面勾配が逆になる。そうすると、いままで沿岸に押しやられていた湾内水が流出し、外海水が流入し易くなる。このような津軽暖流の北上促進または南下阻害については、武藤ら(1969)が親潮系と黒潮系の両方について報告している。

6. 潮汐に関連した湾内海水交換

海水交換には潮汐も少なからず影響している。図-6 は、1990年4月から8月の、当日と前日との表面水温差 ΔT と潮位差の関係を示したものである。これを見ると、大潮の時には、湾口での潮流が大きくなり、湾内交換が進むのは常識的であるが、逆に小潮の時にも高い交換率を示す例のあることがわかる。特に、気温、降雨、海上風、海流の影響は小さいと見なされる場合にもこうした高い交換率の生じることがあった。この原因はまだ

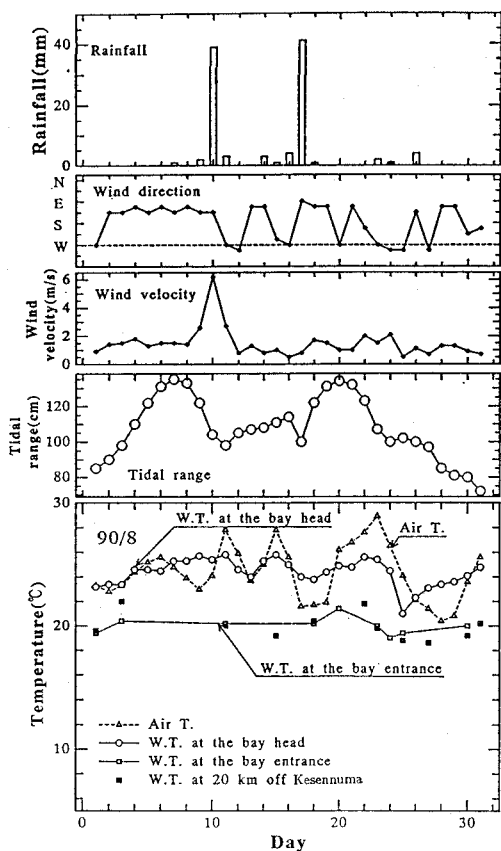


図-5 1990年8月における気象・海洋データ

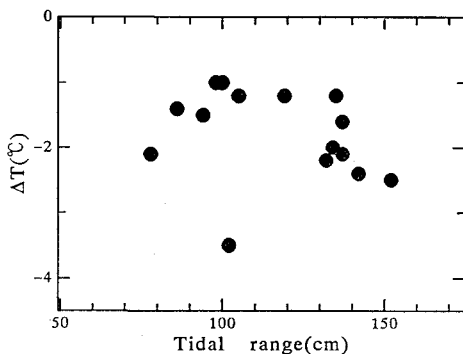


図-6 前日に対する水表面温度低下と潮差との関係

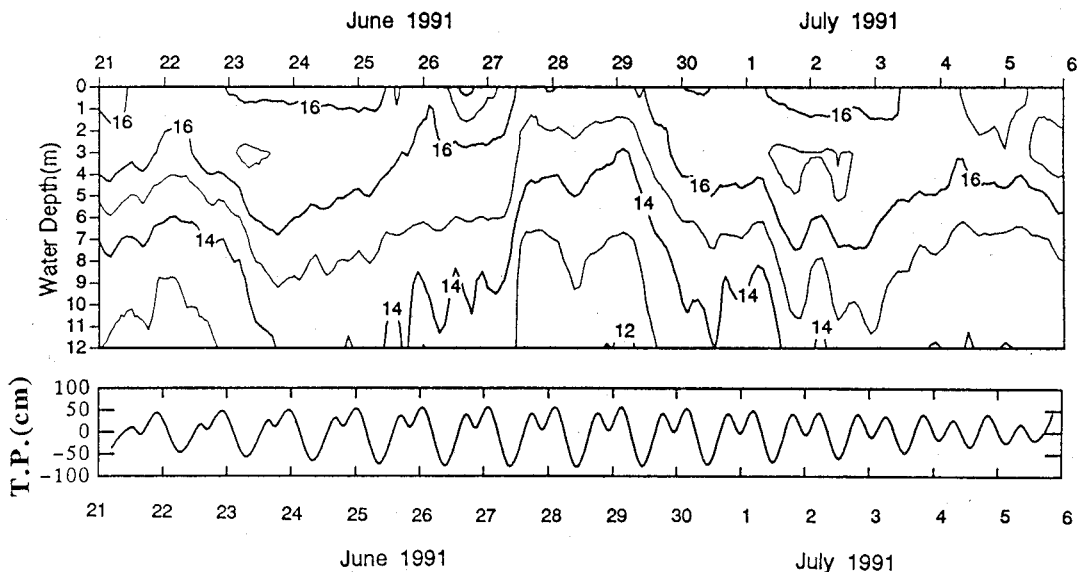


図-7 湾奥部（弁天崎）での水温鉛直分布と鮎川における推算潮位

特定できないが、湾内と外の水温差による密度差が生じて、外海水が密度フロントの挙動を示して湾奥へ侵入し、何かが引き金となって湧昇したことも予想される。

図-7 は、そのような密度フロント侵入の観測例である。これは1991年6、7月の観測例であり、湾奥（弁天崎）での1点について、水温成層変化と鮎川における推算潮位を示したものである。残念ながら、この現象に対応する衛星による表面水温分布は得られていない。このとき、大潮時に低温の水塊が下層から、潮汐の上げ下げに対応するように振動しながら侵入し、このため、6月27日から28日にかけて、一気に湾内の水温が低下していることが分かる。

7. おわりに

衛星データや地上データを用いて、三陸沿岸における海水交換が予測できるかを検討した。以下に、得られた主要な結論を示す。

4月から8月にかけて、湾内と外洋の水温は 3°C から 6°C の温度差があり、これを利用して湾内水交換を判断することができる。

急激な海水交換の例を示し、それらが海流の変動とも関連が大きいことを見出した。これら海流の動きを予測するには、対象湾の北と南に、沖に向かって測線を設け、それに沿って表面水温を観察すればよいことがわかった。特に急激な変化の原因としては、東岸境界流としての津軽暖流の存在が影響しているものと思われる。

湾内での海水交換現象を検討するには、密度流的な解

析が今後必要になる。このため、衛星データに現地データを加え、湾内への外洋水の進入条件を調べる必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、宮城県志津川町から全面的な協力を得た。アジア工科大学田中仁助教授からは、適切な御助言を頂いた。本論文の公表にあたり小川記念基金の補助を受けた。ここに、記して感謝する。また、本研究の一部は、文部省「民間などとの共同研究」の成果であることを付記する。

参考文献

- 秋山秀樹・柳 哲雄 (1984)： 宿毛湾における水温急変現象の機構，沿岸海洋研究ノート，第22巻，第1号，pp. 61-66.
- 小泉喜嗣 (1991)： 急潮時の下波湾における海水交換過程，沿岸海洋研究ノート，第29巻，第1号，pp. 82-89.
- 佐藤孝三・五十嵐輝夫・武川治人・飯塚晃朗・俣山雅秀・文谷俊雄 (1983)： ギンザケ養殖自家汚染対策調査報告書，宮城県気仙沼水産試験場，pp. 4-14.
- 四竈信行 (1986)： 三陸の湾の海水交換，水産海洋研究会報，50，pp. 170-174.
- 永田 豊 (1982)： 湾内水温の急変現象と外洋条件，沿岸海洋研究ノート，第19巻，第2号，pp. 103-111.
- 花輪公雄 (1984)： 沿岸境界流，沿岸海洋研究ノート，第22巻，第1号，pp. 67-82.
- 松沢 茂・川村 宏・小畑征二郎 (1991)： 東北画像データベース TIDAS の利用法 (1)，東北大学大型計算機センター広報 SENAC，Vol. 24，No. 1，pp. 32-46.
- 武藤清一郎・佐野 孝・平井正夫・工藤英郎・八百和子・山村弥六郎 (1969)： 東北水研報告，29，pp. 93-123.