

宮城県女川湾小乗浜および宮城江の島 における水温の変動について*

桜井仁人,** 永田 豊,*** 関野清成,**** 伊達大喜*****

要旨: 湾外の海況変動の湾内への伝わり方を知ることは非常に難しい問題であるが, 一つの方法としてわれわれは水温の変動に注目し, 宮城県女川湾小乗浜と湾沖の宮城江の島に水温計を設置し連続観測をして両測点の比較を行なったのでその結果を報告する。

- (1) 日変動幅(日最高水温と日最低水温の差)の解析期間の平均値は江の島 1.4°C , 小乗浜 0.7°C で江の島の水温変動が2倍大きい。
- (2) 日変動幅と日平均水温の前日との差がそれぞれ 3°C を越える場合の頻度を数えると, 前者が江の島62回, 小乗浜7回, 後者が江の島6回, 小乗浜1回であり, 江の島が圧倒的に多い。また, 水温ジャンプ現象については江の島102回に対し小乗浜は29回であり, やはり江の島が圧倒的に多い。
- (3) しかし, (1) で述べた日変動幅の平均値の比2:1を変動の基準として江の島の日変動幅と日平均水温の前日との差が 3°C 以上に対し小乗浜を 1.5°C 以上にすると両測点ともほぼ同様の頻度となる。このようなことから湾内の変動は振幅は小さいが湾外と同程度の頻度で起っていると考えられる。
- (4) 季節的には小乗浜で5, 6月に変動の頻度が多いのに対し, 江の島では6, 7, 8月に多い。つまり, 水温上昇時には湾内へ侵入しやすく, 水温最大の夏季には侵入することが少ないような傾向がみられた。

1. はじめに

沿岸, 湾内の水温の変動現象は, 沿岸水の交換の指標として重要であると共に, 栽培漁業等, 実用的な面でも重要であり, その予報は非常に望まれる所である。しかし, 沿岸海域の特性には強い地域性があり, 空間的スケールが数メートル程度の特定の沿岸海域, あるいは特定の小湾における変動現象を論じる事は非常に難しい。これは第1には, 主要な外部的要因である沖合の海況の変動に関して, この様なメソスケールの現象については, 予報はもちろんの事として観測資料もほとんどなく, われわれの知識が非常に限られているためである。しかし, たとえもしこの湾口, あるいは湾

沖の海況変動が既知のものであったとしても, その変動が湾内にどの様に伝わり, 侵入してくるかを予報することも現在のわれわれの知識では不可能に近い。

観測技術上比較的容易に長期に亘る連続観測が行なえる事から, 沿岸水温に関する測定そのものはかなり行なわれている。田辺湾における国司らの結果^{1), 2)}によると, 湾内外の水の交換はかなり突発的に, 短い時間スケールのうちに行なわれる事のあることが示されている。その様な現象の一例として, 大船渡湾の長周期波の観測中³⁾にたまたま得られた水温の急変現象を第1図に示す。この時, 湾の最奥部のA点(第2図)の海底に設置された長波計に水温計が取り付けであったが, この水温計の示度が1964年12月4日の11時10分頃, それまでの水温約 14°C から 7°C 以上の突然の昇温を記録した。その後若干のジグザグの複雑な変動を伴いながら 18°C まで温度が下り一旦落着

* 1973年3月22日受理

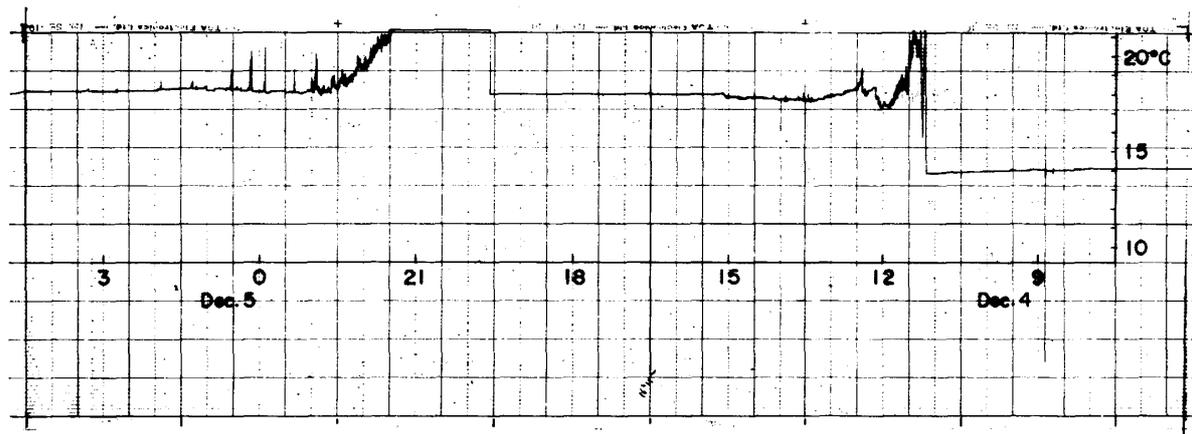
** 東京大学海洋研究所

*** 東京大学理学部地球物理学教室

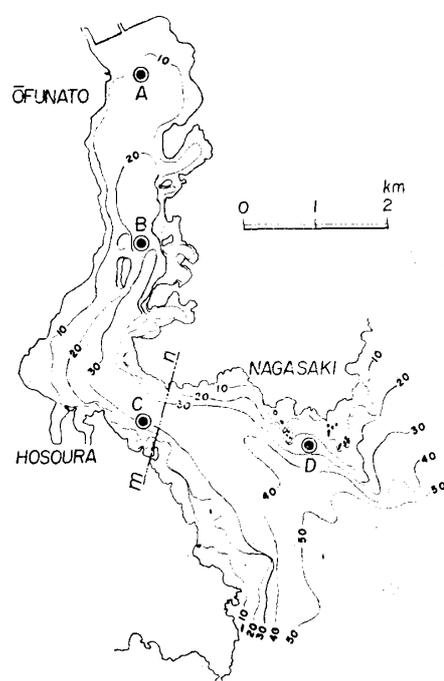
**** 東北大学農学部付属水産実験所

***** 東京大学地震研究所江の島津波観測所

桜井仁人, 永田 豊, 関野清成, 伊達大喜



第1図 大船渡湾で観測された水温ジャンプの例

第2図 大船渡湾の地形および観測点
水温観測はA点で行われた

いたかに見えたが、19時35分頃再び突然の昇温を記録し、(振り切れたため、最高温度は不明である。) やがて、またこまかい変動を伴いながら約 18°C の安定した水温値にもどり、その後の水温はゆっくり下ってゆく傾向を示した。当日前後に大量のいわしが大船渡に水揚げされた事から考えて、おそらく大船渡湾内外の冷水が津軽暖流系の暖水におきかえられたものと見られ、それに伴い平均水温が 14°C から 18°C に変化したものと考えられる。ここで興味をもたれるのは、この水温記録がこの時の湾の水の入れ替りが非常に短時間に行なわれた事を示すと共に、先端に非常にはっ

きりとしたフロントを伴った暖水が湾内に浸入してきた事を示すと考えられる事である。急昇温時に一旦大きく高温側に偏差を示したのは、浸入した暖水塊がかなりの温度の鉛直構造をもち、先端付近では表面に近い水が下部に引き込まれたためではないかと思われる。この突然の昇温に伴っては長波計の水圧記録には何らの対応する異常は認められず、また第1の昇温、第2の昇温はそれぞれが上げ潮時、下げ潮時にあっていた。これだけの資料からはこれ以上の事は何も結論を出す事は出来ないが、この大船渡で観測された水温の変動の例は、外洋の海況変動が内湾に伝えられる機構について、種々興味ある現象のある事を示唆している様に思われる。

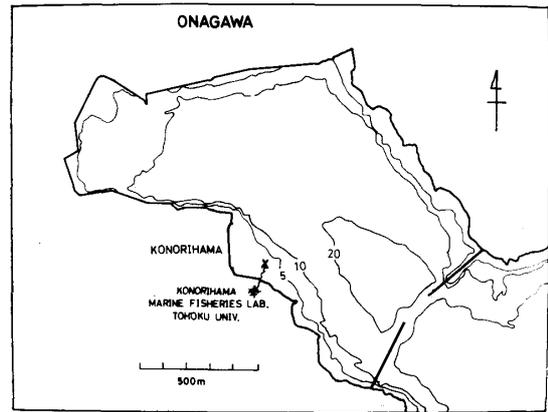
この様な外洋の海況変動の内湾への伝わり方とその特性を明らかにする事が出来れば、比較的観測の容易な内湾における水温の測定から、逆に湾外、あるいは外洋におけるメソスケールの変動現象を調べる手段を提供する事にもなるわけである。われわれはこの様な観点から1967年7月から宮城県の女川湾奥の小乗浜に、1967年9月から湾沖の宮城江の島に温度の測定点を設けて、水温変動の比較を試みてきた。女川沖は親潮の第1分枝と、その西側海岸沿いに南下する津軽暖水、北上する黒潮系の水の影響をうけて、海況にかなりの変動が認められる海域である。しかし、現在までの所では、第1図に示した大船渡に見られた様な激しい水温変動は見つかっていない。これは、大船渡湾沖ほどには津軽暖流系の水と親潮系の水のコントラストが女川湾沖には認められない事、湾

宮城県女川湾小乗浜および宮城江の島における水温の変動について

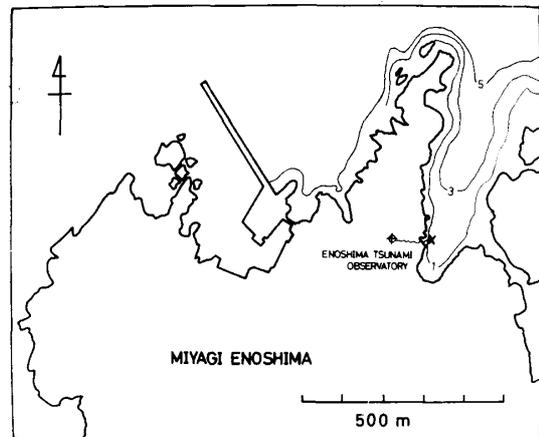
内小乗浜の測点が 1967 年 3 月に完成した津波防波堤の内側に存在する事等がその原因と考えられる。ここでは、この 1967 年 7 月から 1970 年 5 月までの測定結果から、女川湾内外の両地点における水温と水温変動のそれぞれの平均的な特性と相互の関係、およびその季節変化を述べる。また、観測期間中に認められた二、三の興味ある水温変動の例を示す。1970 年以後においては、水産庁東海区水研が出島付近に水温測点を設けているが、われわれの結果が今後のこの海域での海況の研究に何らかの参考になれば幸である。

2. 観測方法と記録の整理

女川湾付近の地形を第 3 図に、女川湾内の小乗浜および湾沖の宮城江の島の水時計設置点付近の詳細な地形を第 4 図、第 5 図にそれぞれ示す。小乗浜の温度センサーは東北大学農学部附属水産実験所前約 50 m、水深約 3 m の所に実験筏の支索を利用して海底近くに設置* した。第 4 図に示す様に設置点は 1967 年 4 月に完成した津波防波堤の内側にあたり、防波堤完成後の開口部垂直断面は以前の約 1/5 になり、その後内側の水がかなり汚くなった事から考えても、堤防の影響をかなりうけていると見られる。江の島の温度センサーは、東京大学地震研究所江の島津波観測所の海中



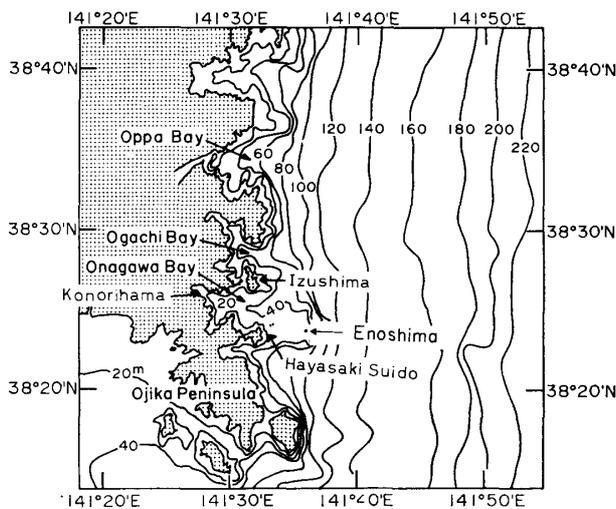
第 4 図 女川湾内の観測点小乗浜付近の地形



第 5 図 宮城江の島の観測点付近の地形

に造られた検潮井戸の外側、平均水面下 2.25 m の所に設置した。第 5 図に示す様に、外洋に面した小さい湾の中で、外洋水との水の交換はかなり良い様に思われる。

水時計としては抵抗線式のセンサーを用い、陸上において自動平衡式の記録計で記録した。今回解析したのは小乗浜のものについては 1967 年 7 月から 1970 年 5 月まで、江の島については 1967 年 9 月から 1970 年 5 月までのものであるが、温度センサーの故障や断線のためそれぞれ若干の欠測期間がある。記録は 30 分ごとの水温値を 0.1°C まで読み取り、それをもとにして日平均水温を計算した。(ペンのひっかかりや停電等のため記録がとぎれた場合にも、6 時間以上の記録があれば出来るだけ資料に加えた。) 各 30 分の間隔の中に水温の最大、または最小が現われた場合にはその値を読み取り、30 分ごとの読取值と合せて 1 日の最高と最低の水温を決定した。このほか、水温記録に



第 3 図 女川湾付近の地形と観測点

* 1971 年 10 月 8 日以後は筏から吊り下げ、水面下 1 m の水温測定を行なっている。

あらわれるジャンプその他の特異現象についてもチェックした。

3. 観測結果

3.1 日平均水温の季節変化

小乗浜, 江の島両地点での日平均水温の変化を第6図に示す. 大まかに見ると両観測点における水温は, ほぼ平行した季節変化を示しており, 8月に最高の水温を, 2月ないし3月に最低水温を示す. 一般に小乗浜における水温は, 江の島の水温に比べて高い温度を示す事が多い. (ただし, ここで扱っている期間の記録に関しては, 当初変動現象に注目して観測を計画したため, 絶対温度に対する精度にそれぞれ 1°C 程度の不明確さがある.)

季節変化の中で注目されるのは, 両観測点で5月と12月の平均水温を比べてみると, 欠測は多いが一般に12月の平均水温は5月の平均水温よりも高い傾向がはっきり見られる事である(第1表). この傾向は宮古, 釜石の表面水温についてもしばしば見られるもので, 三陸地方沿岸の特性と考え

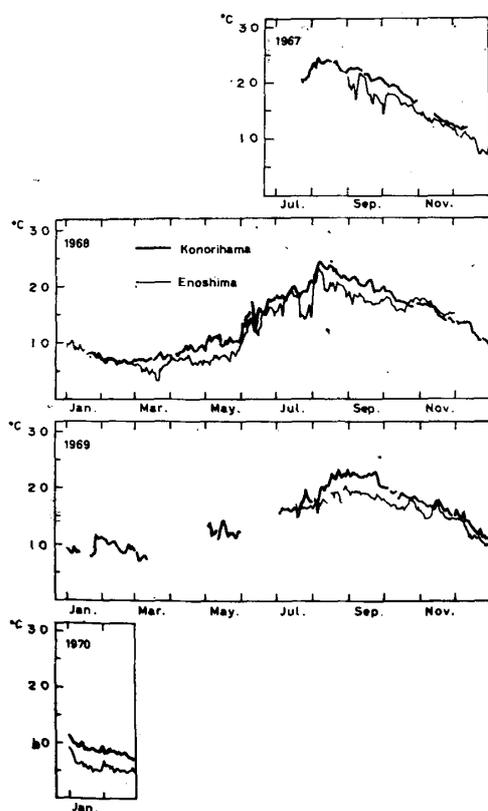
られる. これは, 三陸沿岸近くの沖合冷水の消長に季節変化があり, 5月を中心として春季に冷水が現われる事が多いのに対して, 12月には冷水が現われる事がほとんどない事と関係しているものと考えられる⁴⁾.

3.2 水温の短周期変動の季節変化

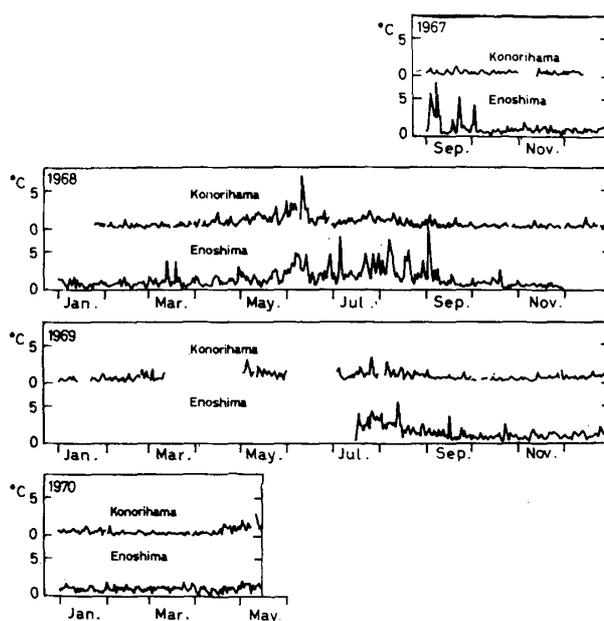
第6図の日平均水温の変化をみると, 上述の季節的なゆるやかな変動の上に短周期の変動が重なっている. 1日程度の周期の水温変動を見るために第7図に水温の日変動幅(日最高水温と日最低水温の差)の変化を示してある. 第6図, 第7図から短周期変動について, (1) 一般に外洋に面した江の島での水温変動が大きく, 湾内小乗浜での水温変動は小さい. (両地点の水温の日変動幅の平均値は江の島が 1.4°C, 小乗浜が 0.7°C で,

第1表 5月の平均水温と12月の平均水温の比較

| | 小 乗 浜 | | 江 の 島 | |
|------|--------|--------|-------|--------|
| | 5月 | 12月 | 5月 | 12月 |
| 1967 | — | 12.1°C | — | 9.7°C |
| 1968 | 10.6°C | 11.4°C | 7.5°C | — |
| 1969 | 12.3°C | 13.1°C | — | 12.0°C |
| 1970 | 11.3°C | — | 7.6°C | — |



第6図 小乗浜, 江の島での日平均水温の変化



第7図 小乗浜, 江の島での水温の日変動幅の変化

宮城県女川湾小乗浜および宮城江の島における水温の変動について

江の島の変動が約2倍である。) (2) 水温の短周期変動にもはっきりした季節変動が認められ、両地点とも冬季に小さく、夏季に大きい傾向がある。両点の比較では、変動の大きな期間が江の島では6月～9月と長いのに対して、小乗浜では夏の初め6月頃に限られ短い様である。以下にこの短周期変動について若干の考察を試みる。

3.3 水温変動のパターン

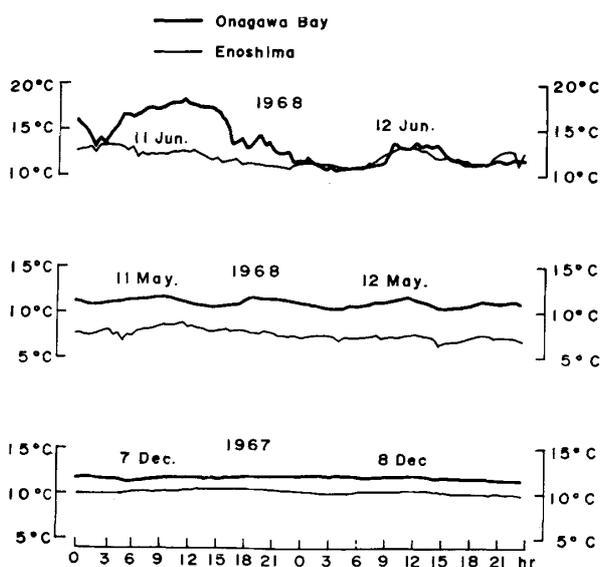
第8図に夏季、春季(秋季)、冬季のそれぞれの季節における典型的な水温変動のパターンを30分ごとの読取值から示す。両地点とも気温の日変化に対応する様な小さな日周変化も認められるが、短周期変動のほとんどは上段の図に見られる様な不規則な変動である。

不規則な水温の変動を、その特性から幾つかの変動のパターンに分類する事が出来れば、その機構や湾内外の変動の関連づけに有効であると考えられる。しかし、実際の記録から変動のパターンを選び出す事は非常に難かしく、ここでは第9図にみられる様な水温記録に段階上の変化、水温のジャンプが認められる時、それを抜出して統計してみた。(1°C以下のジャンプについては選び方に若干の任意性がある。) 解析期間中に認められた最大のもは、江の島における6°C近くの昇温のものである。統計の結果は後に示すが、水温

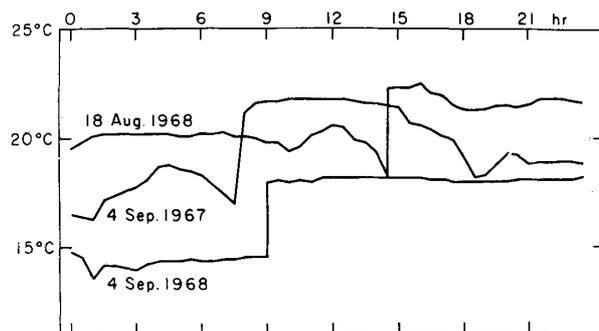
のジャンプは小乗浜よりも江の島の記録に多く現われる。この現象で特徴的なのは、ほとんどのジャンプが昇温のセンスで起り、降温の場合が非常に少い事である。ジャンプの起る前後の水温の変化には、一定の型を見出す事は難しいが、比較的大きな水温ジャンプが起った時には、1日以内の短時間で、その変化分のほとんどが回復する場合が多い様である。

このほか、江の島の水温記録に特徴的にしばしば見られるものに、非常に短周期のV字型の水温変動がある。その一例を第10図に示すが、江の島の小湾と湾外の水の交換に際して冷水がパッチ状になって入り込む事がしばしば起るものと考えられる。小乗浜においてこの様な変動が少いのは、津波防波堤の影響もあり湾奥に達するまでに平滑化されてしまっているためと考えられる。

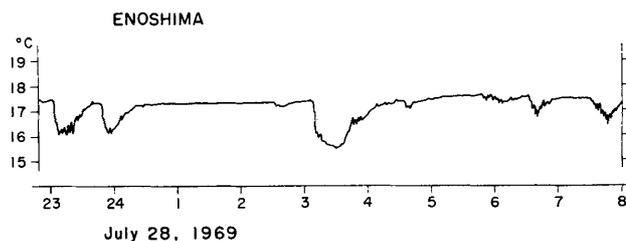
一方、江の島の水温記録にはほとんど見られず、小乗浜の記録にのみ見られる特徴的なものに15分ないし40分程度の周期をもつ、かなり正弦波に近い変動がある。その一例を第11図に示す。女川湾のセイシュの卓越周期は15分と40分であるので、この変動は湾内の水温に水平勾配のある場合にセイシュによる水の水平運動のために起るものである



第8図 夏季、春(秋)季、冬季におけるそれぞれの典型的な温度変動(30分ごとの読取りから)

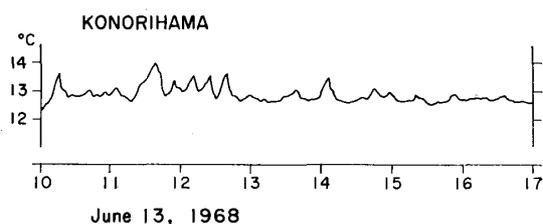


第9図 江の島の水温記録に現われるジャンプの例(30分ごとの読取りから)

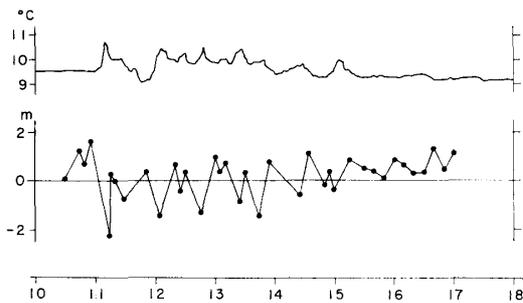


第10図 江の島の水温記録に現われるV字型の水温変動の例

桜井仁人, 永田 豊, 関野清成, 伊達大喜



第11図 小乗浜の水温記録に現われる15分ないし40分の振動の例.



May 16, 1968

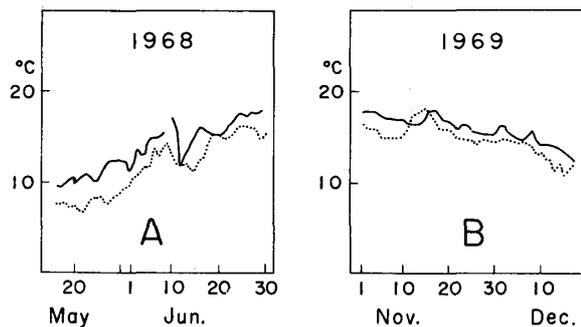
第12図 1968年5月16日の十勝沖地震に伴う津波によって起された水温変動(上段)と女川漁港における水位変化(下段)

う。これと同様の水温変化が1968年5月16日の十勝沖地震に伴う津波に際しても、津波に対応して観測されている。この時の小乗浜での水温変動の記録と、女川漁港出張所での目視観測による津波の水位変化⁵⁾を第12図に示す。湾内の水温分布が津波によってそれ程は乱されていないと考えられる津波の初期の部分で、両者の記録の相関が良い事は注目すべき事である。セイシュによる水の動きと、水温変動の相関については調べていないが*、この様な水温変動を調べる事により、一点の観測からもある程度の水温の水平分布の情報が得られるわけで、沿岸水温の詳しい解析に際しては有用であると考えられる。一般に、この短周期の変動の大きさ(あるいは湾内の水平温度勾配)は、もう少し長い日変化以上の変動の大きさと相関があるようで、セイシュの周期の温度変動の大きさも6月頃が最も大きい。

3.4 湾内外の水温変化の比較対応性

江の島の記録と小乗浜の記録とに現われる波形

* 1972年5月から1年間、東大地震研究所で小乗浜においてセイシュの観測を行なっているので、この対応性は別の機会に調べたい。



第13図 江の島と小乗浜の水温変化に対応の見られる例。実線が小乗浜、点線が江の島の水温を示す

を直接比較して、個々の変動の対応関係を見る事はかなり難しい。これは、水温変動の波形の細部を比較するには両測点が離れすぎている事、小乗浜が津波防波堤の内側に位置するため小乗浜の変動には防波堤の何らかの影響を受けている事等が原因と考えられる。もちろん、局部的には対応性が認めうる所もあり、その例を日平均水温について第13図A, Bに示すが、Aの6月10日前後の変動は両者が同時に起っており、Aの6月16日~18日の変動、およびBの11月15日~17日の変動は江の島の方が2~3日早く起っている様である。この様に位相関係が場合により異なる事も、対応関係をみにくくしている原因であろう。個々の変動の湾内への侵入を考えるにはもっと多くの測点が必要と考えられるので、ここでは統計的な立場で両者の比較を試みる事とする。

湾外の江の島の方が女川湾の湾奥の小乗浜に比べて変動が大きく、日変動幅の平均がそれぞれ 1.4°C 、 0.7°C である事はすでにふれた。これとは別に、小乗浜、江の島の両方に欠測のない時のみを選んで、日変動幅が 3°C を越す場合の頻度と、日平均水温の前日との差が同じく 3°C を越す頻度を調べてみると、前者が江の島62回に対して小乗浜7回、後者が江の島6回に対して小乗浜1回である。また、水温ジャンプの回数を比較すると江の島102回に対し、小乗浜が29回でやはり圧倒的に江の島が多い。しかし、両点の短周期変動の対応を調べる目的では、互に対応する変動に対しても、湾内の小乗浜の変動が著しく小さくなる可能性が高い。そこで、日変動幅の平均値の比

宮城県女川湾小乗浜および宮城江の島における水温の変動について

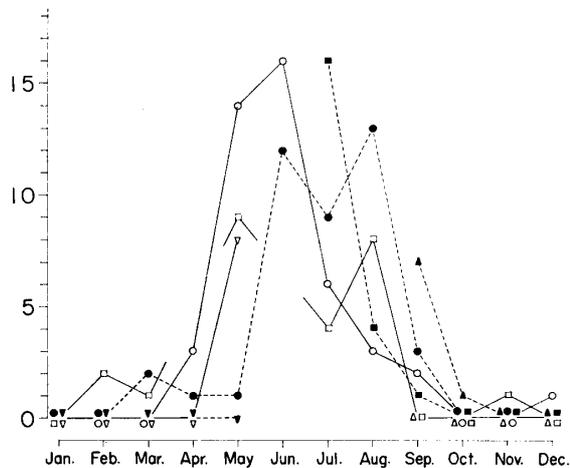
第2表 日変動幅の特に大きな日の月別頻度の両地点間の比較

| 小乗浜 | 江の島 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 0 | 10 | 2 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

江の島については日変動幅が 3.0°C を越す日数を、小乗浜については 1.5°C を越す日数を数えている。表に示すように、両地点で共に日変動幅がこれらの値を越す日が1回もない月が全体で10回あり、変動のあるなしについては両地点である程度の相関がある。しかし、一方の地点でそのような日数が多い時にも、もう一方の地点での日数が多いとは限らない。

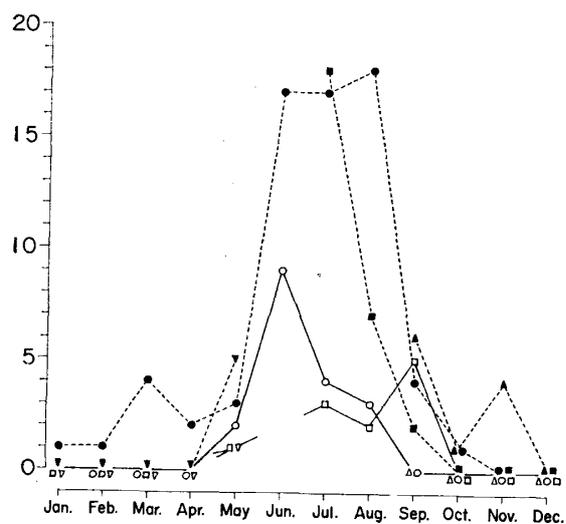
2:1 を顕著な変動を選ぶ基準にも適用し、小乗浜での頻度を江の島の 3°C に対して 1.5°C 以上のものについて数える事とすると、小乗浜で日変動幅がこれを越える頻度は61回、日平均水温の前日との差がこれを越える頻度は7回となり、上に述べた江の島のそれぞれ62回、および6回とほぼ同じになる。この事は湾内における水温の短周期変動はその振幅は小さいが、変動そのものは湾外と同程度の頻度で起っている事を示していると考えられる。

しかし、もちろん振幅比を考えるだけで湾内外の変動を対応させる程には現象は単純ではない。第2表に各月に対して江の島で日変動幅が 3.0°C を起した頻度と、小乗浜で 1.5°C を起した頻度とを対応させたものを示すが、この表でわかる様に湾外の江の島で変動が多かった月と、湾内の小乗浜で変動が多かった月との対応は必ずしも良くない。この事はある種の変動は湾内に入らず、またある種の変動は湾外ではめだたないか、あるいは江の島の水温に影響しない様な狭い道すじを通して侵入してくる事を示している様に思わ



第14図 両地点での日変動幅の特に大きな日の月別頻度の季節変化。江の島については 3.0°C 以上、小乗浜については 1.5°C 以上の日を数えている。実線でつないだ白抜き印で小乗浜を、点線でつないだ塗り潰した印で江の島を示す。△が1967年、○が1968年、□が1969年、▽が1970年を示す。

れる。このような道すじとしては、はっきりした実測例はないが、漁業者等によって経験されている早崎水道から大名計礁に向う北上流や、出島水



第15図 水温のジャンプの起る月別の頻度の季節変化。記号は第14図と同様である。

道からの南下流などが考えられる。第14図に江の島の日変動幅が 3.0°C 以上の月ごとの頻度と、小乗浜の日変動幅が 1.5°C 以上の月ごとの頻度の季節変化を示した。資料が少ないが、両点での変動の頻度の季節変化にはっきりとした差があり、小乗浜で5月、6月に多いのに対し、江の島では6月、7月、8月に多く、5月、6月の平均水温の上昇時に湾外の変動が湾内に侵入しやすく、平均水温が最大値に近い7月、8月の夏季には侵入する事が少ない傾向がある様に思われる。水温のジャンプの起る頻度について同様の季節変化を示したものを第15図に示すが、この場合もほぼ同じ傾向を示している。水温の上昇時に湾内外の水の交換が本当に起り易いのかどうかは、さらに詳しく調べてみる必要があるが、水温のジャンプの現象がほとんどが昇温のセンスで起る事と合せて、非常に興味深く感じられる。

4. おわりに

宮城県女川湾の湾沖の江の島と、湾奥の小乗浜での沿岸水温の連続記録をもとに、水温変動の平均的な特性を調べ、その季節変化や相互関係に幾つかの興味ある現象が認められた。しかし、はじめに述べた大船渡湾の例の様な非常にはっきりとしたパターンをもった現象が見付からなかった事と、両観測点の距離がはなれすぎている事、女川

湾の地形がかなり複雑である事、小乗浜の観測点が津波防波堤の内側にある事等のため、個々の変動について両点の記録を対応させる事が出来なかった。従って、ここで指摘した事柄の多くはそれを確言するためには、さらに多くの資料を加えて検討する必要があると考えられる。このためには、水温観測点を増す事も重要であるが、生物現象を含め幅広い観点から沿岸現象を解析していく必要があると考えられる。たとえば、江の島における水温の日変動幅と潮影の出現頻度との間にはっきりとした相関がある事を木村⁶⁾が指摘している。われわれは可能な限り水温の連続観測を継続し、その資料も出来る限り利用し易い形にする事に努めるつもりである。種々の現象の解明に関連して水温記録を必要とされる場合、御連絡いただければ幸いである。

最後に長期に亘る観測と資料の整理に関係して、ここに名前をあげきれない程多くの方の理解ある御援助を頂いた事を付記して感謝の意を表したい。また、この研究の一部は文部省科学研究費によった事を付記する。

参 考 文 献

- 1) 国司秀明, 西 勝也, 由佐悠紀 (1965): 白浜海洋観測塔における水温変動について. 京大防災研年報 8号, 479-493.
- 2) 国司秀明, 西 勝也, 鈴木 徹 (1968): 田辺湾における海況変動の観測 (第2報). 京大防災研年報 11号B, 327-335.
- 3) 高橋龍太郎, 相田 勇, 永田 豊 (1966): 海底設置用長波計による大船渡湾の静振観測結果について. 日本海洋学会誌, 22(1), 7-16.
- 4) 桜井仁人, 永田 豊, 渡辺正昭, 寺本俊彦 (1973): 日本沿岸水温の地域的特性 (I)——5月と12月の平均水温について——. 昭和48年度日本海洋学会春季大会.
- 5) 岸 力 (1969): 津波——北海道東北沿岸——. 北海道大学工学部, 1968年十勝沖地震調査報告, 207-256.
- 6) 木村喜之助 (1972): 宮城県江の島周辺の潮影発生状況と東北海区海況との関連. 昭和47年度日本海洋学会春季大会.