

福島県沿岸の水温データ解析—Ⅲ.

吉田 哲也

Analysis of Sea Temperature off Fukushima Prefecture —III.
Tetsuya Yoshida

まえがき

当県海域の海洋構造は、親潮系水、黒潮系水及び暖水塊等に支配され、短期・長期的に複雑に変動し、サンマ、イワシ、サバ等浮魚類の漁場形成や沿岸域の生産力に大きな影響を及ぼしている。このため、海洋観測は古くから行われ、そのデータはイワシ、サバ等の各種予報会議や漁海況速報等に活用されている。しかし、海況予測、水温予測手法についての検討は充分とは言えない。近年、東北区水産研究所が中心となり、東北ブロック水産海洋連絡会のテーマとして東北各県の水産研究機関が統一した手法で、地先の水温変動特性の解析に取り組んでいる。その結果については、前報¹⁾、前々報²⁾において、観測定点間の相関関係、当県沿岸域の地理的区分、平年的な季節変動特性として報告した。今回は、今後の解析の基礎資料とするため当県沿岸域の経年変動特性について検討したので報告する。

材料および方法

1. 材料

データセットを以下の手順で行った。①解析データは実測データではなく100 m深水温平年偏差を用いた。②比較的欠測の少ない1973年以降については、欠測期間が2ヶ月以内についてのみ観測点毎に線形内挿を行い補完し、補完できないデータ(欠測間隔が3ヶ月以上)が存在する定点は除いた。③次に、可能な限り長期間の変動を解析するため、1972年以前は欠測期間が比較的長期にわたるものの、②で抽出された定点を対象に、線形内挿可能な期間のみ補完し、補完できない場合はこの期間の全定点データを削除した。この結果、塩屋埼定線(S3、S4、S5)、富岡定線(T4、T5)、鵜ノ尾埼定線(U5)の計6定点が残り(図1)、データ解析期間は1962～1997年となった。

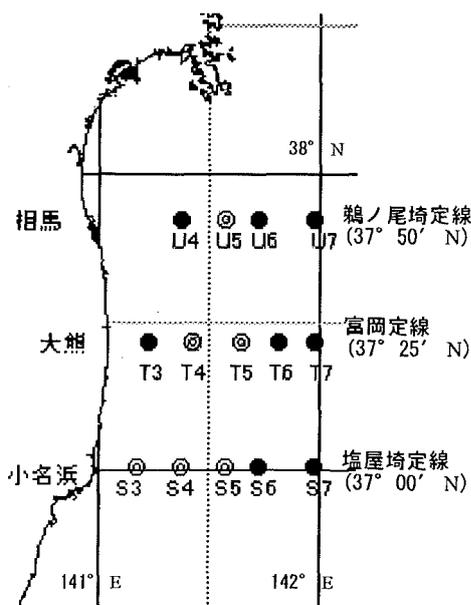


図1 観測定点図

(◎: 今回の解析に用いた定点)

2. 解析方法

解析は、共分散行列を用いた主成分分析により以下の手順で行った。まず、共分散行列を計算し、固有値、固有ベクトル（主成分）を求め、固有値の寄与率から第何成分までが必要かを判断した。次に、主成分の振幅を確認し、寄与率から判断した主要成分のスコアから時間変動を求めた。さらに、このスコアの時間変動要因を検討するため、事例解析、コンポジット解析を行った。両解析には、スコアに13ヶ月移動平均を施し平滑化したデータのうち、欠測期間が少ない1976年以降を用いた。事例解析では、正負両スコアがピークとなる年の東北海区100m深水温図、当県海域の鉛直断面図を比較検討した。コンポジット解析では、正負両スコアが大きな値をとる期間の東北海区水温偏差合成図を作成し比較検討した。なお、主成分分析には統計解析ソフト systat ver.5 を用いた。

結 果

1. 主成分分析結果

各主成分の寄与率は、第1主成分69.34%、第2主成分12.12%、第3主成分6.68%であった。寄与率の落ち方から、第2主成分までが有意と考えられ、第2主成分までの変動要因を検討した。第1主成分は、符号が全て同じ（正）であり、当県沿岸域は一様に水温が上下する全体変動を示し、県南沖合の振幅が大きかった。スコアの変動は、1979年頃に正符号の、1984年頃に負符号のピークが見られ、1988年以降約2～3年毎に正負の小変動を示した。第2主成分は、符号が県南沖合が正、県中・県北が負であり、これら海域間のシーソー変動を示し、スコアの変動は、第1主成分と比べ短期間かつ小さな変動であった（図2、3、4）。

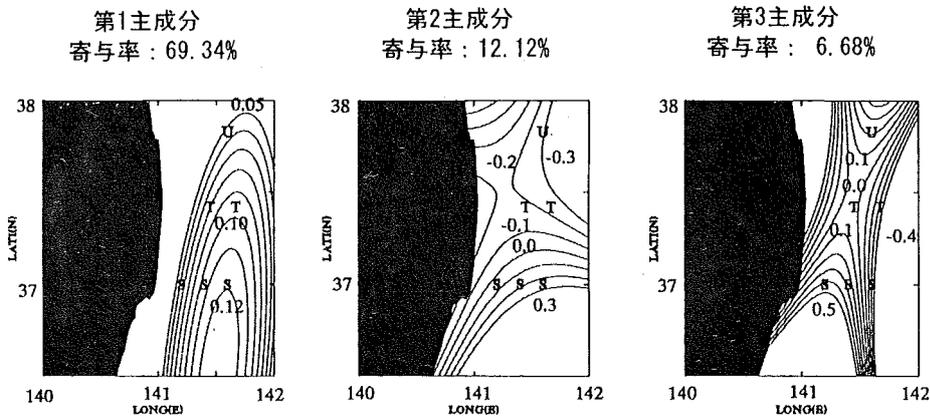


図2 各主成分の水平分布図

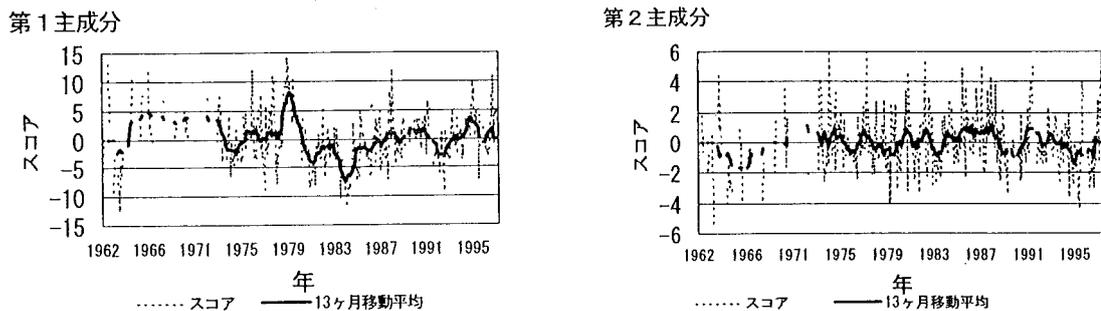
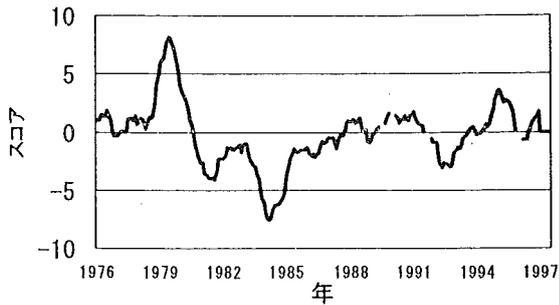


図3 各主成分スコアの時系列

第1主成分



第2主成分

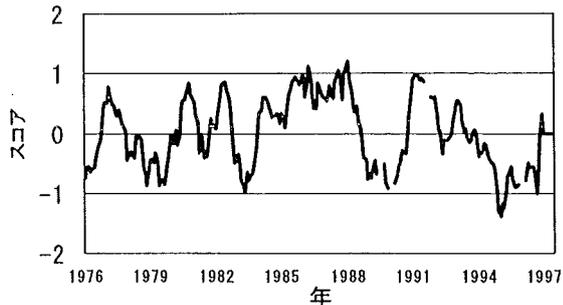


図4 各主成分スコアの時系列 (13ヶ月移動平均、1976年以降)

2. 第1主成分の解析

(1) 事例解析 第1主成分のみを明確にするため、第1主成分スコアの正負の値が最大となり、かつ第2主成分の影響を受けない(スコアが0付近にある)年を選び、その年の6月の海況図(東北海区100m深水温図、当県鉛直水温・塩分図)を比較検討した。6月を選んだのは季節的な影響が他の月に比べ少ないと判断したためである。この結果、正年では1979年、負年では1984年が選択された。

東北海区100m深水温図(図5)から、正年(1979年6月)は、親潮、黒潮の位置が北偏し、親潮第1分枝の指標となる100m 5℃等温線は39° 30' N程度までしか南下しておらず、黒

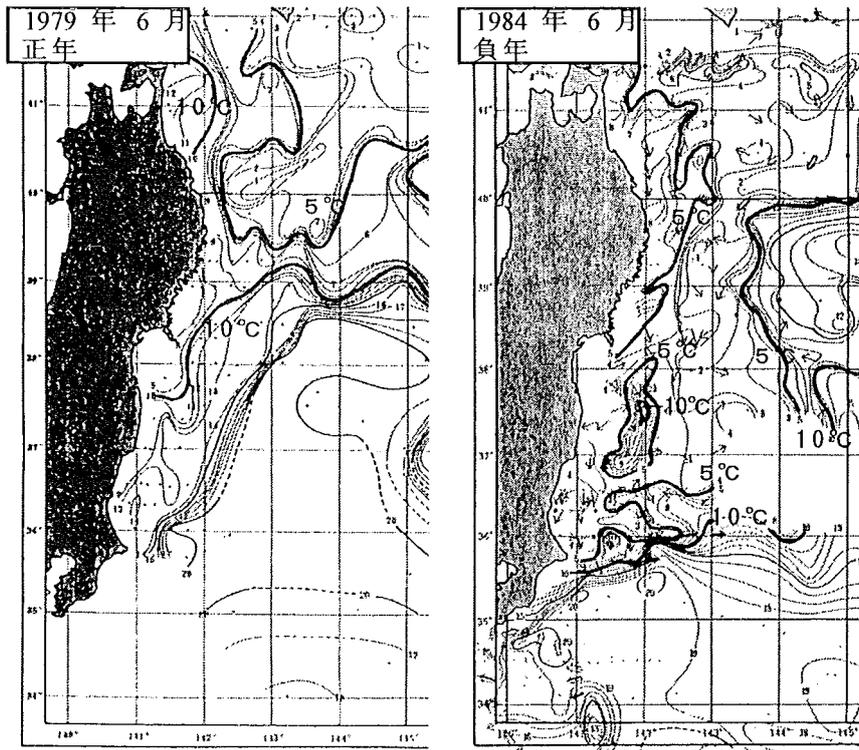


図5 東北海区100m深水温図(第1主成分)

潮続流の指標となる100m 10℃等温線は39° N付近まで達していた。負年(1984年6月)は、親潮、黒潮の位置は南偏傾向で、100m 5℃等温線は36° 30' N付近まで南下し、10℃等温線は房総沖36° E付近までしか達していなかった。しかし、当県沖142° E付近には中心部が10℃台の小規模な暖水域が見られた。

当県の鉛直水温・塩分図(図6)から、正年(1979年6月)は、5℃以下の層は全く見られず、負年

(1984年6月)は、表層付近では10℃以上であったが、沿岸部の中・下層は5℃以下の冷水が分布し親潮系冷水が支配した。塩分も同様の傾向で100m深で正年は、ほぼ34.0~34.5以上、負年は県南の一部を除き33.5以下であった。

また、近海黒潮の北限緯度、親潮第1分枝先端緯度並びに親潮第1分枝に連なる冷水の南限緯度のデータを平年偏差に計算し、13ヶ月移動平均を施した時系列データとスコアの変動との対応を検討した。相関係数は順に0.569、0.647、0.773であった。近海黒潮の北限緯度では1993～1995年に、親潮第1分枝先端緯度では1985～1988年に対応が悪い期間も見られたが、親潮第1分枝に連なる冷水の南限緯度との対応が比較的良好であった(図7)。

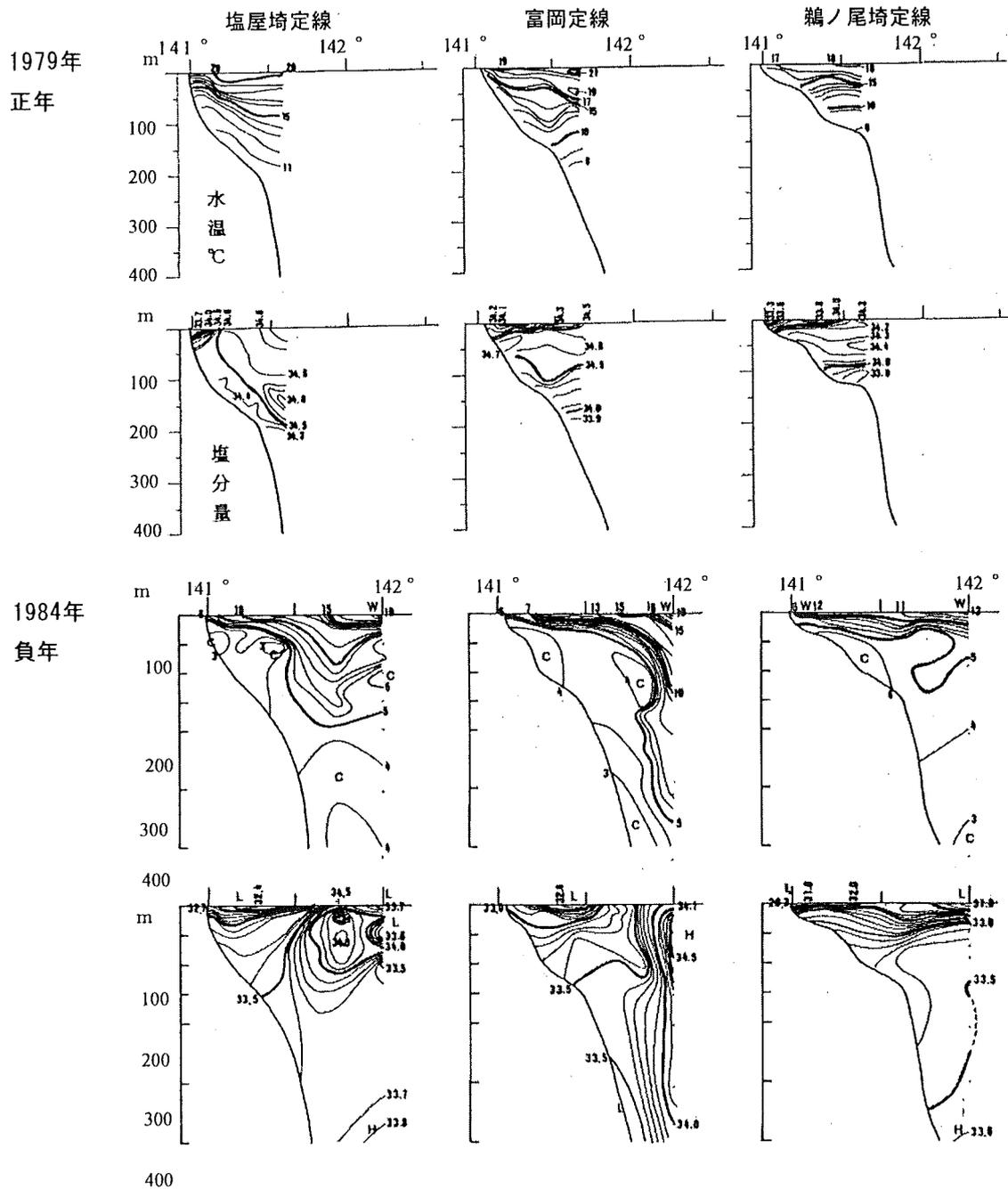


図6 福島県沿岸定線鉛直水温・塩分分布

塩屋埼定線 : 37° 00' N
 富岡定線 : 37° 25' N
 鵜ノ尾埼定線 : 37° 50' N

(2) コンポジット解析 解析に用いた期間は、スコアの標準偏差が± 2.736 であり便宜上± 3 以上を示す期間とし(表 1)、この期間の東北海区における各観測点の平年偏差を平均して合成図を作成した(図 8)。正スコアの大きい期間の合成図は、東北海区全体が正偏差で水温が高めであった。特に、三陸中部から常磐南部の偏差が大きかった。負スコアの大きい期間の合成図は、東北海区全体が負偏差で水温が低めであった。特に、三陸中部から常磐南部の負偏差が大きく、正負の期間でまったく逆のパターンとなった。

表 1 コンポジット解析に使用した期間

正を示す期間	負を示す期間
1978.11 ~ 1980.02	1981.02 ~ 1981.09
1994.12 ~ 1995.03	1983.07 ~ 1985.01

3. 第2主成分の解析

(1) 事例解析 第1主成分と同様の手法で、第2主成分のみが大きい年を選び(正年: 1988、1991年、負年: 1989 ~ 1990年)、海況パターンを比較検討した。正年(1988、1991年)は、黒潮続流が当県沿岸域を迂回するように北上し、 $142^{\circ} E$ 以西では $36^{\circ} 40' N \sim 37^{\circ} 10' N$ 付近に位置した。1988年6月は三陸沖に大規模な暖水塊が存在し、1991年6月は沖合から三陸中部に黒潮系暖水の波及が見られ、これらの影響で親潮第1分枝から離切された小規模な冷水域が三陸南部に見られた。一方、負年(1989 ~ 1990年)は、黒潮続流が $142^{\circ} E$ 以西では $38^{\circ} N$ 近辺に位置した。1989年6月は、親潮系冷水の南下を阻むように黒潮系暖水が沿岸部まで波及し、1990年6月は三陸南部に小規模な暖水域が存在した。また、第1主成分と大きく異なる点は、三陸海域に暖水塊、三陸南部 ~ 常磐北部海域に暖水域、冷水域が存在したことである。

当県の鉛直水温・塩分図に、正負両年のうち特徴的な事例が見られた正年の1991年6月と負年の1989年6月を図10に示した。水温では、100m深で見ると正年(1991年6月)の塩屋埼定線では、 $8 \sim 13^{\circ} C$ 台で $10^{\circ} C$ 等温線は比較的下層までであったが、富岡、鵜ノ尾埼定線では $8^{\circ} C$ 台

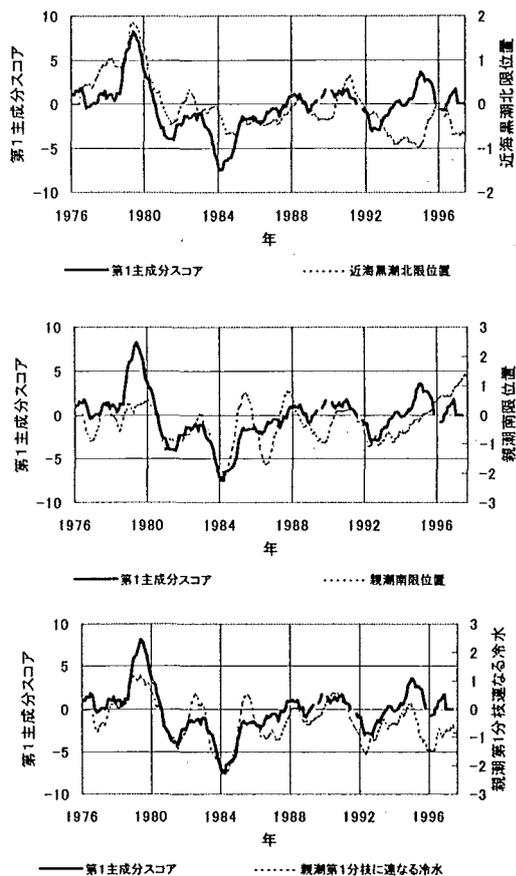


図7 スコアと黒潮等位置の関係

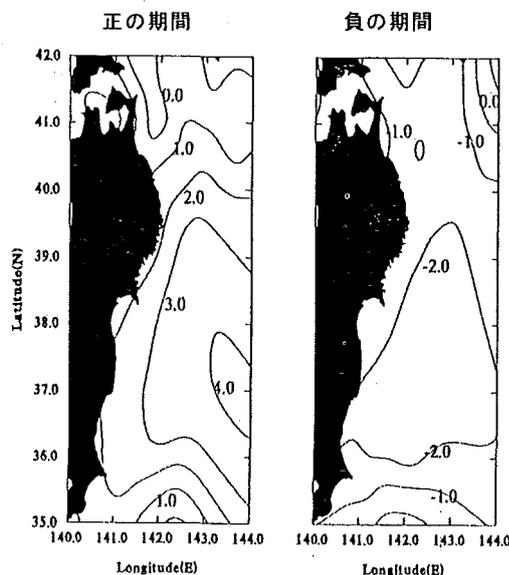


図8 東北海域の水温偏差合成図

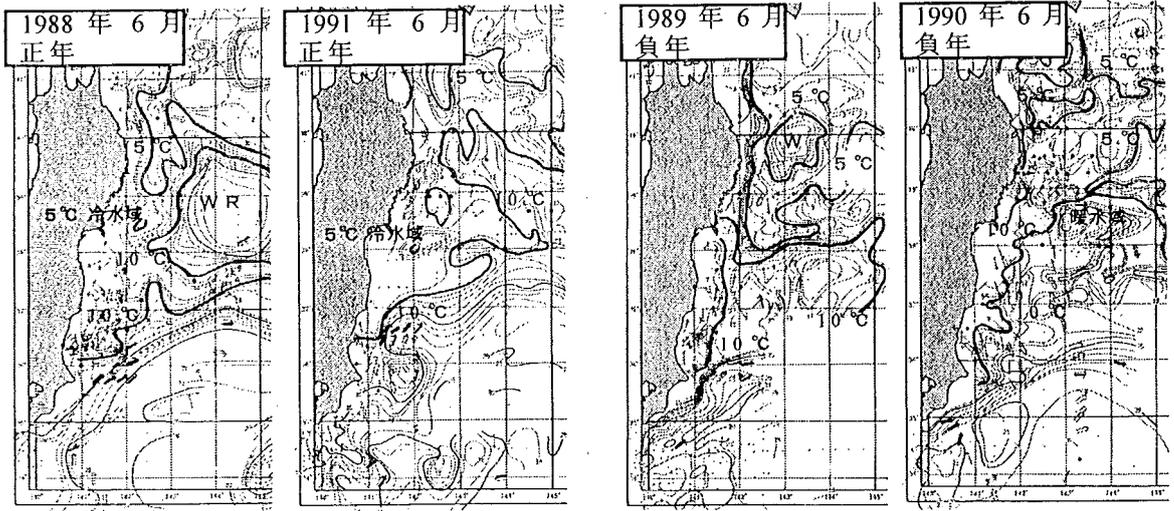


図9 東北海区100m深水温図 (第2主成分)

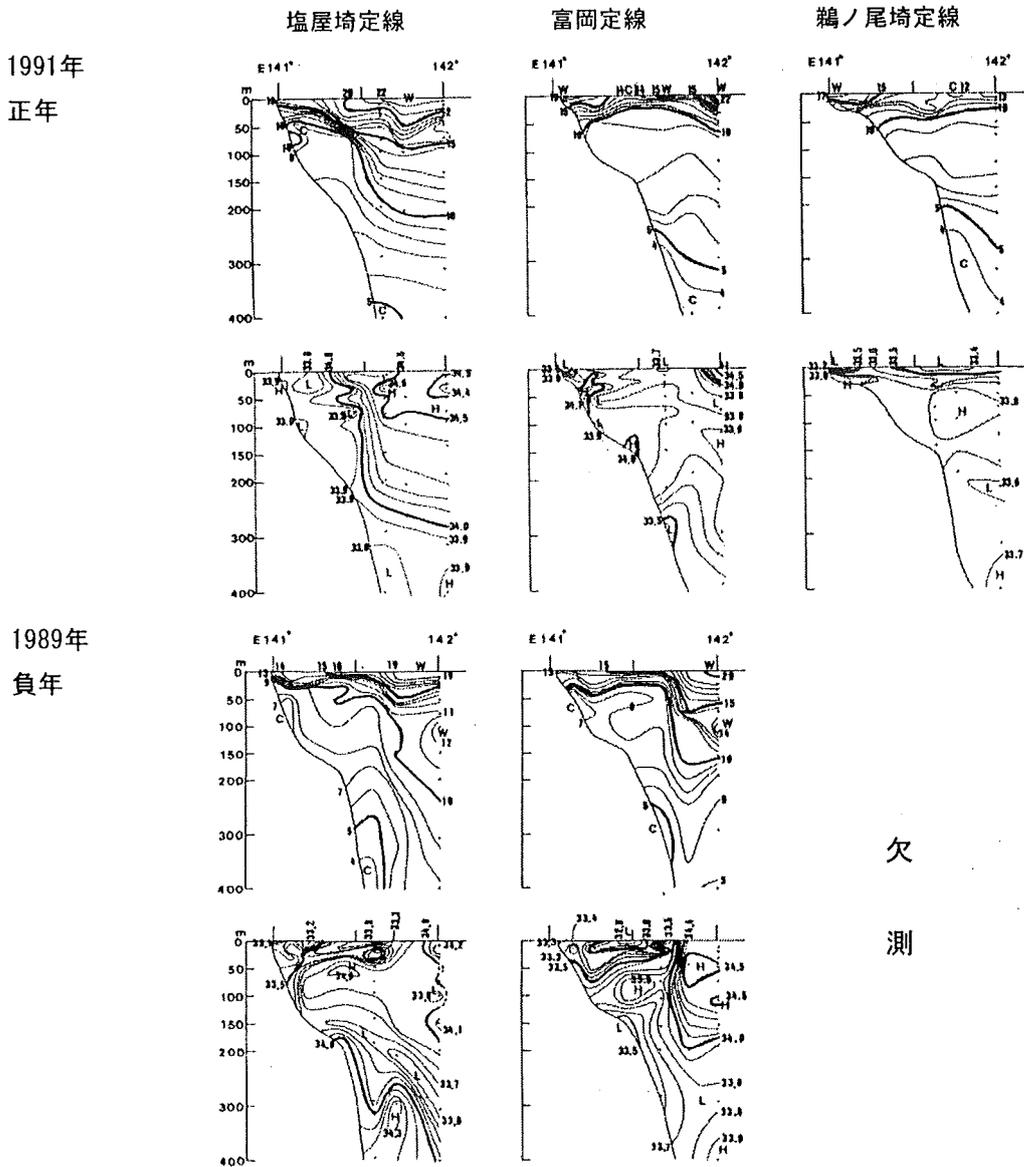


図10 東北海区100m深水温図 (第2主成分)

で 10℃等温線は約 50 m 深付近で上層であった。塩分では、正年のうち 1991 年 6 月は塩屋埼定線で 34.0 以上の高塩分水が広範囲に分布したが、富岡、鶯ノ尾埼定線では 33.4 ~ 33.5 台の低塩分水が 200 m 以深で局所的に見られた。負年の 1989 年 6 月は塩屋埼定線で 34.0 以上の高塩分水が約 200 m 以深に限って分布しているものの、富岡定線では沖合から 34.0 ~ 34.5 の高塩分水が表層から 200m 深付近まで分布した。

また、塩屋埼からの黒潮離岸距離とスコアの関係を検討したが、第 1 主成分のような高い相関は見られなかった。

(2) コンポジット解析 解析に用いた期間は、スコアの標準偏差が ± 0.629 であり便宜上 ± 0.7 以上を示す時期とし (表 2)、第 1 主成分と同様にこの期間の合成図を作成した (図 11)。

表 2 コンポジット解析に使用した期間

正を示す期間	負を示す期間
1982. 04~1982. 07	1978. 11
1985. 07~1986. 05	1979. 06~1979. 09
1987. 03	1983. 03~1983. 05, 07, 08
1987. 06~1987. 09	1989. 02, 10, 11
1987. 11~1988. 01	1990. 03, 04
1991. 01~1991. 07	1994. 11~1995. 05, 08~11

正スコアの大きい期間の合成図は、三陸中部から常磐北部が負の偏差、常磐南部は正偏差を示し、負スコアの大きい期間の合成図は、三陸南部から常磐北部が正偏差の値が比較的大きく、正負いずれの期間も宮城県沖に変動の中心が見られた。

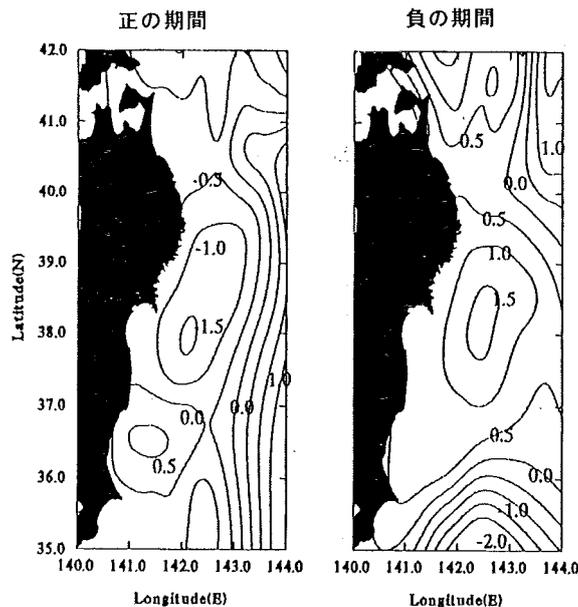


図 11 東北海域の水温偏差合成図

考 察

1. 第 1 主成分

事例解析から、親潮、黒潮の位置は、スコアが正年では北偏傾向、負年では南偏傾向で、当県の鉛直水温・塩分分布からも両年の差異は明らかであった。コンポジット解析からは、正スコアが大きい時期は、東北海区全域が正の平年偏差を、負スコアが大きい時期は東北海区全域が負の平年偏差を示した。以上から、第 1 主成分の全体変動は、東北海域全体における広範囲なスケールでの黒潮系水、親潮系水の変動により引き起こされていることが推測された。また、伊藤³⁾も

データ内挿法は異なるものの東北海区全体で同様の解析を行っており、1980年付近に正のピーク、1984年付近に負のピークが認められ、その変動要因は黒潮続流、親潮第1分枝の大循環系の変動の影響によって引き起こされているとしており、本解析と同様であった。スコアと黒潮等の位置との関係からは、親潮第1分枝に連なる冷水の南限緯度との相関係数がより高かったことから、当県沿岸域での影響は、黒潮系暖水より親潮系冷水の影響がより強いものと思われた。

2. 第2主成分

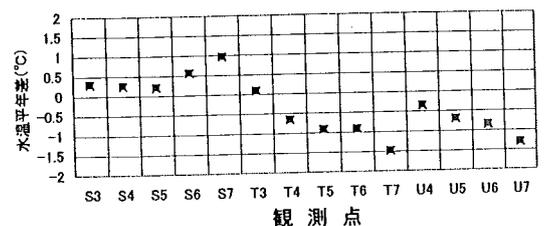
事例解析から、沿岸部での黒潮続流の位置は、正の年が37°N付近、負の年が38°N付近であった。正年は、三陸海域に暖水塊や沖合からの暖水波及、また、三陸南部には小規模な冷水域が存在した。負年は、沿岸域まで黒潮系暖水に覆われ、小規模な暖水域が存在した。当県の鉛直水温図からは、南北シーズン変動に関連する明確な事例は見だしにくい、鉛直塩分図からは比較的明瞭な事例が得られた。例えば、正年(1991年6月)では、富岡、鵜ノ尾埼定線の下層に低塩分水が見られ、県中、県北海域まで親潮系冷水の差込、または停滞があったと推測される。負年(1989年6月)は各定線とも同じような分布様式だが、塩分では塩屋埼定線より富岡定線で沖合から黒潮系暖水の波及が見て取れる。水温のみでは把握しきれない事例であり、今後深部までの解析にも注意する必要がある。さらに、事例解析の結果を裏付けるようにコンポジット解析からは、正スコアが大きい時期は三陸中部から常磐北部に冷水域や親潮系冷水の差込が、負スコアが大きい時期は同海域に暖水域の存在が示唆された。

これらのことから、第2主成分のシーズン変動は、三陸南部から常磐北部海域に一時的に形成される小規模な冷水域、暖水域が影響していることが示唆され、このようなスポット的な水塊形成が、第1主成分より短期的な変動を示す原因と思われた。また、これらからの影響は県北・県中のやや沖合までは比較的大きく、県南海域では小さいことが考えられる。図12はコンポジット解析に使用した期間(表2)の水温偏差を当県の観測点毎に示したものが、正の期間は塩屋埼定線がプラス基調、富岡、鵜ノ尾埼定線がマイナス基調、一方、負の期間は、全ての観測点でプラス基調を示し、富岡のT6、T7、鵜ノ尾埼定線のU6、U7が+1を越えている。明らかに県中、県北沖側は正の期間は冷水の、負の期間は暖水の影響が見られた。

3. まとめ

今回は、主要成分のスコア時系列から事例解析、コンポジット解析によりその変動要因を検討した。事例解析は、事例を多くとれないことや、その事例も代表性が低い場合が想定され、これを補うためコンポジット解析を行った³⁾。第1主成分については、各データの裏付けから明らかにできた。しかし、第2主成分に関してはその変動要因がスポット的な暖水塊、暖水域、冷水域が関係していることが示唆され、事例解析、コンポジット解析には現れにくかったことが考えられる。また、これらが形成される要因は、最終的には黒潮、親潮の変動が関与することから、より広範囲なデータを解析する必要がある。これ以外に、第2主成分の変動要因はローカルの黒潮続流の沿岸部への波及状況(東西変動)も1要因と思われ、塩屋埼からの黒潮離岸距離との関

第2主成分(正の期間)



第2主成分(負の期間)

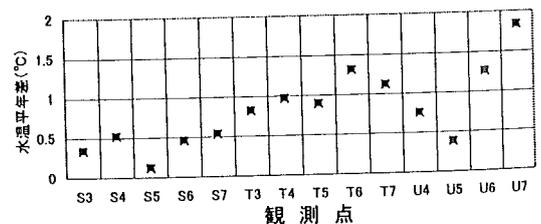


図12 福島県沿岸定線観測点の年平均偏差

係を6ヶ月後までのラグ相関も試みたが、東西変動の関係は見いだせなかった。しかし、近海黒潮北限位置が高緯度にあったとしても、沿岸部への暖水波及が弱ければ、陸地と黒潮統流の間隙に親潮系冷水が差し込み、南北シーソー変動が起こりやすい海況パターンになるところが想定され、別の指標での解析も必要と思われた。

これら解析の最終目標は、浮魚を中心とした漁況予測となるが、そのためには当然水温予測が重要である。今回の解析で、当県沿岸域の水温変動は、広範囲な東北海域全体の親潮、黒潮の南北変動で約70%が、宮城県沖に形成される小規模な水塊からの影響で約12%が説明できると考えられた。今後は、第2主成分の変動要因の再解析を進めるとともに、抽出された要因に重点を置いて、その変動の時間スケールを解析し、当県海域の水温予測（自己回帰予測）の可能性を検討する予定である。最後に、解析全般にわたりご指導いただき、近海黒潮の北限緯度、塩屋埼からの黒潮離岸距離等の貴重なデータを提供いただいた、東北区水産研究所伊藤進一氏に謝意を表します。

要 約

- 1.当県海域の経年変動特性を主成分分析から導出されたスコアの時系列から、事例解析、コンボジット解析を用い検討した。
- 2.主要成分は、各主成分の寄与率の落ち方から第2主成分までと判断し、第1、2主成分について変動要因を考察した。
- 3.第1主成分（寄与率約70%）は、全体変動を示し、東北海域全体における黒潮系水、親潮系水の変動（主に南北変動）により引き起こされていることが、また、当県沿岸域での影響は、黒潮系暖水より親潮系冷水の影響がより強いものと思われた。
- 4.第2主成分（寄与率約12%）は、南北シーソー変動を示し、三陸南部に一時的に形成される小規模な冷水域、暖水域が影響していることが推測された。しかし、広範囲なデータを利用した解析により再度確認する必要がある。

文 献

- 1)吉田哲也：福島県沿岸の水温データ解析Ⅱ、福島水試研報、9、1-6、(2000)。
- 2)松本育夫：福島県沿岸の水温データ解析Ⅰ、福島水試研報、8、59-67、(1999)。
- 3)伊藤進一他：東北海区沿岸定線100m水温および定地水温の経年変動特性について、平成10年度東北ブロック水産海洋連絡会報、29、41-54、(2000)