

茨城県沿岸域の水温の長期トレンド

小日向 寿夫

Long-term trends in sea water temperature in the sea off Ibaraki.

Hisao KOBINATA

はじめに

我が国における沿岸海洋環境の把握は、全国の水産試験場を中心にして数十年単位で連綿と続けられてきた。これほど長期間に、かつ津々浦々に渡り観測網を維持している国は世界的にも極めて珍しいと言われる。本県でも海洋観測を月1回行って、データを蓄積するとともに、その結果を元に海況の特徴を明らかにしてきた。久保ら(1981)は本県海域の海況は水温フロントの位置によりOパターン(冷水舌型)、Wパターン(暖水舌型)、Kパターン(黒潮分派型)の3つに分類可能で、これらは季節によって出現頻度が異なるとした。また、例年と比べてOパターンがより多く出現する年は冷水年、Kパターンがより多く出現する年は暖水年と呼んで区別した。このように季節や年によって海況が大きく変動するのが本県海域の特徴であろう。さらに、武士(2001)や小日向(2008)は観測水温の主成分分析から、本県海域の海況は黒潮や親潮の影響を強く受けており、その結果、水温には周期性が内在することを明らかにした。

一方で、地球が温暖化している可能性が指摘されたことで、長期的な視点からみた解析が行われるようになった。高槻ら(2007)は日本周辺海域における2005年までの過去100年を超える海面水温年平均値のトレンドを解析した。その結果、日本周辺海域の広範囲で統計的に有意な昇温トレンドがみられる一方で、北海道から本県周辺海域ではトレンドはみられないと述べている。ただし、季節に分けると、本県海域を含む北緯35~38度、東経141度~145度の範囲の平均水温は、秋(10~12月)に昇温トレンドが認められるとしている。また、桑原ら(2006)は海洋の温暖化は水産生物に多大な影響を与えることを予測している。特に沿岸に生息するヒラメ、アワビ、ウニや海草などは影響が大きいとしており、本県の漁業生産にとってもかなりのインパクトを持つことが考えられる。本研究では本県沿岸域を対象エリアとして、海面だけでなく鉛直方向の水温がどのような長期トレンドを持つのかを明らかにすることを目的として解析を行った。

方 法

(1) 海域の分類とデータの前処理

毎月上旬に実施している沿岸海洋観測(東経142度まで実施)のうち、1973年1月から2008年12月の36年間(432か月)の水深0m、50m、100m、200mの観測水温値から月別に平年値を求め、観測値から除算することで平年偏差値を求めた。この平年偏差値をクラスター解析(最長距離法)により、図1のとおり水深別に5つの類似した海域に分類した。海域ごとに平均した平年偏差値または規格化値を解析に用いた。文章中の海域の表現方法は、分類した海域に番号を振り、クラスター1~クラスター5とする。なお、解析は①1973年1月~2008年12月の全期間のデータを用いた場合、②冬を1月~3月、春を4月~6月、夏を7月~9月、秋を10月~12月のように季節別のデータを用いた場合の2つのパターンで行った。

(2) トレンド解析手法

トレンド解析には線形回帰分析法(linear regression analysis)とマン・ケンドール検定法(Mann-Kendall rank statistic)の2種類の方法を用いた。これらの特徴は次のとおりである。線形回帰分析は簡単で、従来から良く用いられてきた一般的な解析手法である。ただし、外れ値に影響

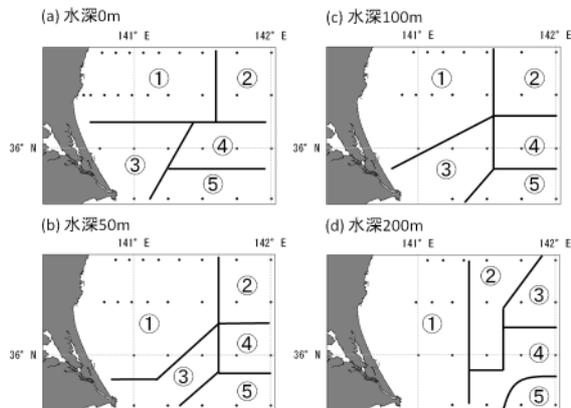


図1 水深別クラスター海域分類
黒点は観測点を示す。

響を受け易い欠点を持つ。一方で、松山ら（2008）によればマン・ケンドール検定法はノンパラメトリックな手法であり、外れ値に影響を受けにくく、より頑健であるとされている。そこで、この2種類の方法で同じ傾向を示したものと、統計的に有意であったものの両方を満たす場合をトレンドがあるものとした。なお、解析には年平均偏差値を用いて、水温の変化幅は回帰式から算出した。

(3) その他の指標値

水温の長期トレンドと比較する海況の指標値として、①気象庁が発表している水戸市における月上旬の平均気温、②海上保安庁発表の海洋速報から読み取った東経141度、142度、143度の経度上の黒潮北限緯度、③（独）東北区水産研究所が発表している親潮第1分子の南限緯度（水深100m5°C等温線）④親潮に連なる冷水の南限緯度（親潮から分離した水深100m5°C等温線）、⑤気象庁提供の親潮の面積（東経141度～148度、北緯43度以南の水深100m5°C以下の面積）を用い、指標値ごとにトレンド解析を行った。解析期間は水温と同様に1973年1月～2008年12月とした。さらに①については、水深0m水温と年平均偏差値の相関関係を検討した。また、②～⑤については水深100m水温と規格化値の相関関係を検討した。相関解析は相関図を作成して傾向を確認するとともに、エクセルのCORELL関数から求めた相関係数の符号から相関の正負を判断し、無相関の検定から求めた有意になる水準の大小により相関関係を比較検討した。

(4) 欠測値について

欠測値の取り扱い方針を表1に示す。海洋観測は気象や海象の条件が悪い場合や、測器の故障などによりしばしば欠測する。欠測値があると解析出来ない場合は欠測補間を行った。ただし、欠測補間は結果に大きな影響を与える可能性があるため、欠測補間をしなくても解析可能か、もしくは欠測補間が妥当かどうか判断出来ない場合は欠測補間を行わなかった。

結 果

(1) 水温のトレンド解析

トレンド解析の結果を表2に示す。全期間では、降温トレンドが水深50m及び100mのクラスター3～5、水深200mのクラスター4と5にみられた。また、降温幅は-2.04°C～-0.61°Cであった。一方で、水深0mや北部海域を中心とした沿岸域、または北部沖合域ではトレンドはみられなかった。

季節別では、降温トレンドが水深50mで春と夏のクラスター4、水深100mで春のクラスター4と5、夏のクラスター4、秋のクラスター5、水深200mで春と秋のクラスター4と5及び夏のクラスター3と4においてみられ、全ての水深で南部沖合域中心であった。また、降温幅は、春は-2.80°C～-2.09°C、夏は-2.52°C～-1.80°C、秋は-2.03°C～-1.56°C

表1 欠測値の取り扱い方針

A) 線形回帰分析法の場合

欠測値があると解析不可能なため、以下の手順で欠測補間を行う。

- ① 各水深及び各測点毎に、2か月以内の欠測の場合は、前後の月のデータから線形補間を行う。
- ② クラスタ解析により分類した海域別に1つ以上データがある場合は平均する。
- ③ それでも欠測値がある場合は「0」とする。特に1973年1月～2月、1981年4月～1983年3月までは欠測が多く、このケースが生じた海域がある。

B) マン・ケンドール検定法の場合

欠測値があっても解析可能なため、欠測補間を行わない。クラスタ解析により分類した海域別に1つ以上データがある場合は平均する。

C) その他の指標値及び水温との相関解析の場合

欠測補間の妥当性が不明なため、欠測補間を行わない。

で、春が最も大きかった。一方で、昇温トレンドが水深0mの夏と秋のクラスター3のみにみられ、その昇温幅は夏で+1.03°C、秋で+0.95°Cであった。冬は降温も昇温も全くトレンドがみられなかった。

(2) その他の指標値

① 水戸市の月上旬の平均気温

トレンド解析の結果を表3に示す。全期間は昇温トレンドで、昇温幅は+1.11°Cであった。また、季節別では昇温トレンドが夏と秋にみられ、昇温幅は夏に+1.81°C、秋に+1.22°Cであった。春や冬にはトレンドがみられなかった。

水深0m水温との相関解析の結果を表4に示す。全期間、季節別ともに全ての海域で正の相関がみられた（図2）。相関関係を比較すると、海域による差は全期間ではみられなかったが、季節別では差がみられた。すなわち、クラスター1は全ての季節で有意となる水準が小さくて、それにクラスター2, 3, 4が続き、クラスター5は秋と冬に有意となる水準が最も大きくなった。

表3 水戸市の月上旬の平均気温のトレンド解析結果

区分	変化幅
全期間	1.11***
春	0.45
夏	1.81***
秋	1.22***
冬	0.96

有意水準は、*** $P < 0.01$ 、** $P < 0.05$ 、* $P < 0.1$ として、灰色で示す。

表2 水温のクラスター-海域別水深別トレンド解析結果

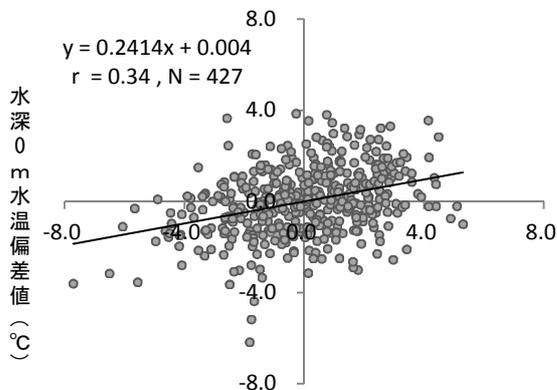
区分	水深	クラスター1	クラスター2	クラスター3	クラスター4	クラスター5
全期間	0m	0.58	0.20	0.45	-0.43	-0.06
	50m	0.03	-0.51	-0.81**	-1.82***	-1.02**
	100m	0.06	-0.59	-0.61*	-2.04***	-1.50***
	200m	-0.29	-0.36	-0.61	-1.68***	-1.82***
春	0m	0.34	-0.45	-0.05	-1.45	-0.47
	50m	-0.04	-0.72	-1.08	-2.62*	-1.64
	100m	0.06	-0.51	-0.62	-2.57*	-2.09*
	200m	-0.07	0.67	0.13	-2.34*	-2.80**
夏	0m	0.89	0.52	1.03*	0.34	0.22
	50m	0.12	-1.50	-0.73	-2.28*	-1.21
	100m	0.17	-1.49	-0.46	-2.52*	-1.35
	200m	-0.62	-1.15	-1.80*	-1.98*	-1.78
秋	0m	0.70	0.28	0.95*	0.58	0.23
	50m	0.32	-0.13	0.23	-0.86	-0.75
	100m	0.26	-0.48	-0.36	-1.55	-1.81*
	200m	-0.32	-0.30	-0.99	-1.56*	-2.03*
冬	0m	0.41	0.45	-0.14	-1.18	-0.18
	50m	-0.27	0.32	-1.64	-1.51	-0.47
	100m	-0.24	0.12	-1.02	-1.48	-0.72
	200m	-0.14	-0.64	0.21	-0.80	-0.68

数値は変化幅（有意水準は，***P<0.01，**P<0.05，*P<0.1として灰色で示す）で，マイナスは負のトレンドを示す。

表4 水戸市の月上旬の平均気温と各クラスター-海域における水深0m水温との相関関係

区分	クラスター1	クラスター2	クラスター3	クラスター4	クラスター5
全期間	◎	◎	◎	◎	◎
春	◎	◎	○	△	△
夏	◎	◎	△	△	○
秋	◎	○	◎	○	▲
冬	◎	○	◎	○	▲

有意水準は，◎：P<0.001，○：P<0.01，△：P<0.05，▲：P<0.1で示す。



水戸市の月上旬気温偏差値（℃）

図2 全期間の水戸市の月上旬の平均気温と水深0m水温との関係 クラスター1について示す。

②黒潮北限緯度

トレンド解析の結果を表5に示す。冬の東経141度上を除き、全期間、季節別ともに南偏トレンドがみられた。水深100m水温との相関解析の結果を表6に示す。東経141度上では負の相関が多く(図3)、東経142度上及び143度上では正の相関(図4)がみられた。相関関係を比較すると、東経141度上では、全期間と夏を除いた季節で、クラスター1~3を中心にして相関がみられた。特に全期間と秋のクラスター1~2はより有意となる水準が小さく、関係が強いと考えられた。一方で、東経142度上及び143度上で両方に相関がみられた海域を示すと、全期間ではクラスター2~5、季節別では、春はクラスター2~5、夏はクラスター3~5、秋はクラスター4~5、冬はクラスター5であり、春から冬にかけて相関関係がみられる海域が減って、南部沖合域のみに季節に関係なく相関関係がみられた。

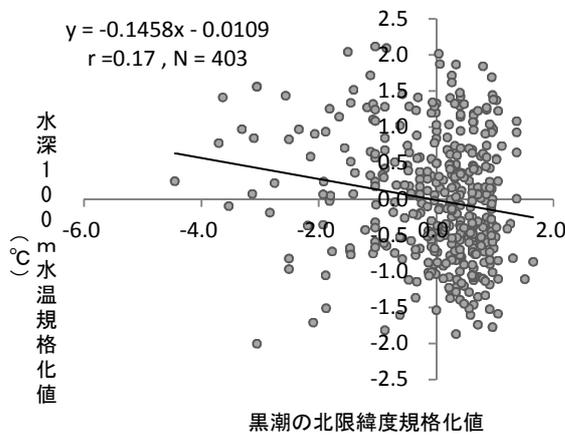


図3 全期間の黒潮北限緯度と水深100m水温との関係
141度上のクラスター1について示す。

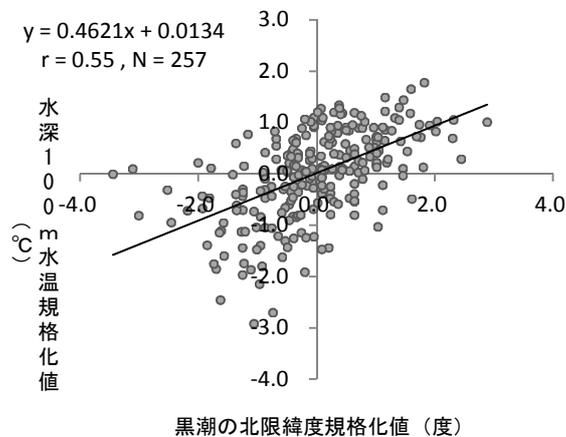


図4 全期間の黒潮北限緯度と水深100m水温との関係
143度上のクラスター5について示す。

表5 黒潮北限緯度のトレンド解析結果

区分	東経141°上	東経142°上	東経143°上
全期間	南偏***	南偏***	南偏***
春	南偏***	南偏***	南偏***
夏	南偏*	南偏***	南偏***
秋	南偏***	南偏***	南偏***
冬	南偏	南偏**	南偏***

有意水準は、*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ として、灰色で示す。

表6 黒潮北限緯度と各クラスター海域における水深100m水温との相関関係

区分	東経141°上	東経142°上	東経143°上
全期間			
クラスター1	◎		
クラスター2	◎	△	◎
クラスター3	△	◎	◎
クラスター4		◎	◎
クラスター5	○	◎	◎
春			
クラスター1	△		△
クラスター2	○	△	◎
クラスター3	▲	○	○
クラスター4		◎	◎
クラスター5		◎	◎
夏			
クラスター1			
クラスター2		○	
クラスター3		◎	△
クラスター4		◎	○
クラスター5	△	◎	◎
秋			
クラスター1	◎		
クラスター2	◎		
クラスター3	△		
クラスター4		◎	◎
クラスター5		◎	◎
冬			
クラスター1			
クラスター2	▲		
クラスター3	▲		
クラスター4			△
クラスター5		○	◎

有意水準は、◎： $P < 0.001$, ○： $P < 0.01$, △： $P < 0.05$, ▲： $P < 0.1$ で示す。また、負の相関を灰色で示す。

③親潮の指標値

トレンド解析の結果を表7に示す。全期間では、親潮第1分子の南限緯度は北退トレンド、親潮に連なる冷水の南限緯度は南進トレンド、親潮の面積は拡大トレンドがみられた。季節別では、親潮第1分子の南限緯度は春に北退トレンド、親潮に連なる冷水の南限緯度は夏と秋に南進トレンド、親潮の面積は夏と秋に拡大トレンドがみられた。水深100m水温との相関解析の結果を表8に示す。全期間、季節別ともに正の相関がみられた(図5)。相関関係を比較すると、全期間、季節別ともにクラスター5を中心に有意となる水準が他の海域よりも小さいか、もしくは全く相関がみられなかった。また、春には全ての指標値で相関がみられたものの、親潮第1分子の南限緯度では夏~冬、親潮に連なる冷水の南限緯度は秋、親潮の面積では夏~秋にあまり相関がみられないか、もしくは全く相関がみられなかった。指標値としては、親潮に連なる冷水の南限緯度との関係が最も強いと考えられた。

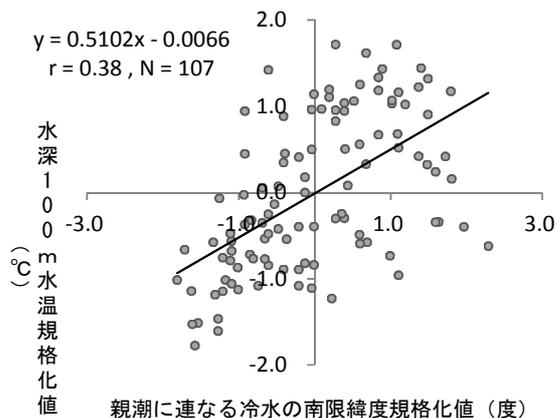


図5 春の親潮に連なる冷水の南限緯度と水深100m水温との関係 クラスター1について示す。

考 察

(1)全期間の結果

全期間のトレンドでは、水深50m以深の南部沖合域で降温トレンドがみられたこと、全てのクラスター海域の水深0mやクラスター1, 2の北部海域を中心とした全ての水深層でトレンドが全くみられなかったことなどが特徴としてあげられるだろう。

まず、水深50m以深の南部沖合域では降温トレンドがみられたことについて考える。南部沖合域は友定ら(1980)が本県海域の流れの観測から黒潮の流れが安定的に位置すると指摘したとおり、周年強い流れがみられ、南部沖合域以外の海域に比べて著しく黒潮の影響が大きい(図6)。この海域の黒潮北限緯度と水温は、黒潮が北偏(南偏)傾向の場合に水温は昇温(降温)する関係がみられ、黒潮流路

表7 親潮の各種指標値のトレンド解析結果

区分	親潮第1分子	親潮に連なる冷水	親潮の面積
全期間	北退*	南進***	拡大***
春	北退**	南進	拡大
夏	北退	南進***	拡大***
秋	南進	南進***	拡大**
冬	北退	南進	拡大

有意水準は、***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1として灰色で示す。

表8 親潮の各種指標値と水深100m水温との相関関係

区分	親潮第1分子	親潮に連なる冷水	親潮の面積
全期間			
クラスター1	◎	◎	◎
クラスター2	○	◎	◎
クラスター3	△	◎	△
クラスター4	△	◎	△
クラスター5		△	▲
春			
クラスター1	◎	◎	◎
クラスター2	◎	◎	○
クラスター3	○	◎	▲
クラスター4	○	◎	○
クラスター5		○	△
夏			
クラスター1		◎	
クラスター2		◎	
クラスター3		◎	
クラスター4		◎	
クラスター5		△	
秋			
クラスター1		△	
クラスター2	△	△	
クラスター3			
クラスター4			
クラスター5			
冬			
クラスター1		○	△
クラスター2		△	◎
クラスター3		◎	△
クラスター4		○	△
クラスター5			▲

有意水準は、◎: P<0.001, ○: P<0.01, △: P<0.05, ▲: P<0.1で示す。

が水温の変動に大きく影響を与えていることが分かる。伊藤ら (2006) は東経 146 度以西の黒潮北限緯度 (200m14°C 等温線) を用いたトレンド解析において黒潮流路が南偏トレンドであることを指摘しているが、今回の緯度上における解析でも黒潮北限緯度は南偏トレンドを示しており、南部沖合域の降温トレンドは、黒潮の南部沖合域への影響が弱まったことが大きく影響していると考えられる。一方で、本県海域に冷水を波及させて降温の要因となると考えられる親潮の影響は、全ての指標値で正の相関がみられ、特に親潮に連なる冷水の南限緯度とは相関関係が強く、南進トレンドであるため、北方からの冷水による影響も受けている可能性がある。ただし、南部沖合域は他の海域と比べて親潮の指標値と相関関係が弱かったことや、南部沖合域という黒潮の影響がかなり強い海域にトレンドがみられることから、黒潮の南偏トレンドの影響がより効いたと考えてもよいだろう。

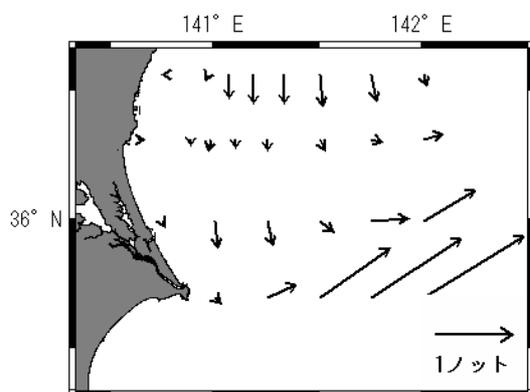


図6 犬吠埼沖合域における流向流速
1983年～2010年の観測点別平均値。

次に、全てのクラスター海域の水深 0m やクラスター 1, 2 の北部海域を中心とした全ての水深層ではトレンドが全くみられなかったことについて考える。この結果は 100 年超の海面水温を用いて解析した高槻ら (2007) の結果とも一致する。水深 0m は水戸市の月上旬の平均気温と広く正の相関がみられており、気温の影響を受けていると考えられるが、気温は昇温トレンドを示しており結果は一致していない。また、北部海域を中心とした水温は、東経 141 度上の黒潮北限緯度と負の相関で、黒潮が北偏 (南偏) すると降温 (昇温) する関係を示した。この原因として八木ら (2002) や小日向 (2010) は、黒潮が北偏傾向だと北方からの冷水の流入を励起し、南偏傾向だと冷水流入が弱まることを指摘している。この関係からすれば、東経 141 度上の黒潮北限緯度は南偏トレンドであるため、北部海域の水温は昇温トレンドになると考えられるが、トレンドがみられず結果は一致していない。一方で、北部海域の水温は親潮に連なる冷水と正の相関で、冷水の影響を受けていると

考えられる。この関係からすれば、親潮に連なる冷水は南進トレンドであるため、北部海域の水温は降温トレンドになると考えられるが、トレンドはみられず結果は一致していない。まとめると、水深 0m や北部海域を中心とした海域にとって、気温や東経 141 度上の黒潮のトレンドは昇温の圧力に、親潮由来の冷水のトレンドは降温の圧力となっており、これらが複合的に影響することでトレンドがみられなかった可能性があるだろう。

(2) 季節別トレンド解析結果

季節別トレンドでは、春～秋の南部沖合域において降温トレンドがみられたが、冬にはトレンドがみられなかったこと、夏と秋の南部沿岸域の水深 0m のみに昇温トレンドがみられたことなどが特徴としてあげられるだろう。

まず、冬にトレンドがみられなかったことについて考える。春～秋にかけてみられる降温トレンドは、全期間の結果で考察したとおり、黒潮の南偏トレンドの影響が大きいのであろう。一方で、冬は黒潮北限緯度が南偏トレンドであるにもかかわらず、降温トレンドはみられない。そこで、黒潮北限緯度の季節別トレンドを比較すると、冬は他の季節に比べて南偏トレンドが弱く推移していた (図 7)。このことから、冬は黒潮の南偏トレンドの影響が他の季節より小さく、冬にトレンドがみられにくくなったものと考えられる。親潮については、冬の親潮に連なる冷水や親潮の面積に相関がみられたものの、南進や拡大トレンドは見られておらず親潮の影響は考えにくい。また、気温についても、冬は全ての海域で相関がみられたものの、降温トレンドはみられず、気温の影響も考えにくい。このことから、冬にトレンドがみられないのは、この季節の黒潮の南偏トレンドが弱く推移したことが大きな要因と考えられる。

次に、夏と秋の南部沿岸域の水深 0m のみに昇温トレンドがみられたことについて考える。水戸市の月上旬の平均気温と水深 0m 水温の昇温トレンドがみられる季節は夏と秋で一致したが、両者の相関関係は南部沿岸域だけでなく海域全体で高く、南部沿岸域のみで昇温した理由はわからなかった。

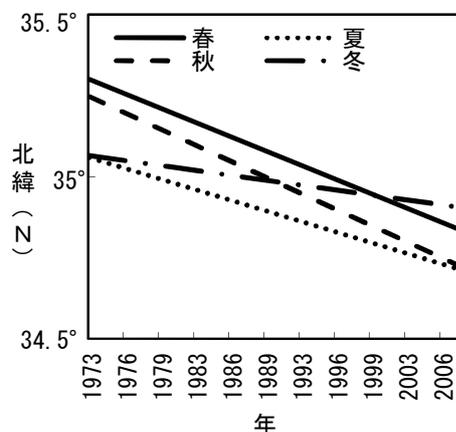


図7 黒潮北限緯度の季節別トレンド (東経 142 度上)

おわりに

本研究では、現在と同じ観測点となった 1973 年以降の 36 年間の水温データを使用して、水深 0m, 50m, 100m, 200m の長期トレンドを明らかにし、その原因解明を試みた。そしてこの期間の水温からは日本海を始めとする広い海域でみられている明確な昇温トレンドはほとんどみられず、逆に南部沖合域の下層域に降温トレンドがみられることが明らかになった。この原因として黒潮が南偏トレンドを持ち、南部沖合域への黒潮の影響が弱まったことが考えられた。しかしながら、まだ不明な点が多い。なぜ黒潮は南偏トレンドを示すのか。黒潮の南偏トレンドはこの解析期間内のみの事象で、さらに長期間観測すればこの傾向はみられなくなる可能性や、仮に南偏トレンドを持つとして、気候変動と関係があるのか。また、これが沿岸に生息する水産生物にどのような影響をあたえるのだろうか。これらの問いに答えるためにはさらに長期間観測や調査が必要である。現在、沿岸域のモニタリングとして連綿と続けられてきた海洋観測は、現在予算の縮減などの影響でその存亡が危惧されている。解析を通して、長期的にデータを収集して初めてわかることも多いと感じた。海洋観測を始めとする海洋モニタリングを続けることは必ずや貴重な資産となると確信している。

要約

- (1) 1973 年 1 月～2008 年 12 月までの 36 年間 (432 月) の沿岸海洋観測結果を用いて、全期間及び季節別に水温の長期トレンドを解析した。また、気温、黒潮北限緯度、親潮の各種指標値の長期トレンドの解析及び水温との相関解析も併せて行った。
- (2) 全期間の解析では、南部沖合域を中心にして降温トレンドがみられた。その変化幅は -2.04°C ～ -0.61°C であった。この降温トレンドの原因として黒潮北限緯度の南偏トレンドが強く影響している可能性が示唆された。一方で、海面や北部海域ではトレンドがみられなかったが、気温や黒潮の昇温圧力と親潮の降温圧力が複合的に影響したことが原因であることが推測された。
- (3) 季節別の解析では冬を除いて南部沖合域に降温トレンドがみられた。その変化幅は、春は -2.80°C ～ -2.09°C 、夏は -2.52°C ～ -1.80°C 、秋は -2.03°C ～ -1.56°C であった。この降温トレンドの原因も黒潮北限緯度の南偏トレンドが影響している可能性が示唆された。一方で、冬はトレンドがみられなかった。この原因として、他の季節に比べて黒潮北限緯度の南偏トレンドが弱かったことが影響している可能性が示唆された。
- (4) 季節別の解析では、夏と秋の南部沿岸域の海面に昇温トレンドがみられた。変化幅は夏に $+1.03^{\circ}\text{C}$ 、秋に $+0.95^{\circ}\text{C}$ であった。気温が昇温トレンドを示す季節と一致するが原因を断定できなかった。

謝辞

東北区水産研究所の伊藤進一博士には親潮第 1 分枝南限緯度値を提供して頂くとともに、トレンド解析手法についてご指導頂き深く感謝いたします。同じく東北区水産研究所の寛茂穂博士には海洋観測で取得した大量のデータをデータベース化するに当たり、エクセル VBA によるプログラミングをご指導頂き深く感謝いたします。気象庁海洋気象情報室の今泉孝男氏には親潮の面積値を快く提供して頂き深く感謝いたします。茨城県水産試験場回遊性資源部の海老沢良忠部長には多くの助言を頂き深く感謝いたします。

文献

- 久保治良・友定彰 (1981) 鹿島灘の海況-V 表面水温からみた近年の海況パターンの変動について、茨城水試創立 80 周年記念誌。
- 武士和良 (2001) 茨城県沿岸定線 100m 水温の経年変動特性について。平成 11 年度東北ブロック水産海洋連絡会, 30, 56-76。
- 小日向寿夫 (2008) 沿岸海洋観測鉛直データを用いた経年の海況変動特性の解明。平成 20 年度東北ブロック水産海洋連絡会, 39, 10-19。
- 高槻靖・倉賀野連・志賀達・分木恭朗・井上博敬・藤原弘行・有吉正幸 (2007) 日本周辺海域における海面水温の長期変化傾向。測候時報, 74 特別号 33-87。
- 桑原久美・明田定満・小林聡・竹下彰・山下洋・城戸勝利 (2006) 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測。地球環境, vol111, No. 1, 49-57
- 松山洋・谷本陽一 (2008) UNIX/Windows/Macintosh を使った実践! 気候データ解析。古今書院, 46-49。
- 友定彰・久保治良 (1980) 鹿島灘の海況-IV GEK 測流より。東海区水研報, 103。
- 伊藤進一・清水勇吾・寛茂穂 (2006) 親潮域・混合域における温暖化トレンド。平成 17 年度東北ブロック水産海洋連絡会, 36, 18-19。
- 八木 宏・身崎 成紀・灘岡 和夫・中山 哲徹・足立 久美子・二平 章 (2002) 黒潮流路変動と前線渦が鹿島灘の広域沿岸水挙動に与える影響について。土木学会論文集, No. 719/II-61, 81-91。
- 小日向 寿夫 (2010) 茨城県近海の黒潮位置と変動並びに水温環境との関係について。茨城県水産試験場研究報告, 41, 7-17。