

陸奥湾の水温予測について

仲 村 俊 毅

はじめに

陸奥湾では、昭和50年に出現した高水温と、一部はそれに原因するとみられるホタテガイの大量斃死が起ったが、これを一つの契機として海況に対する関心が急速に高まり、水温予測の必要を生じてきた。県水産増殖センターでは昭和51年7月より、陸奥湾海況月報という形で翌月の予測水温等の情報を湾内漁業者に提供してきた。もとより技術的な面での検討が充分でないままスタートしたために多くの問題点をかかえている。筆者は本報告において、この水温予測の主として技術的な面を紹介し、各方面の批判をあおぎたいと考えている。

本文では、まず水温変動の原因について、やや詳細に説明する。そして現在行っている陸奥湾の水温予測の技術的な面を紹介し、その問題点、今後の課題等について筆者なりの考え方を述べる。なお、昭和50年に出現した高水温については詳細な報告⁽¹⁾があるので参照されたい。

陸奥湾海況月報は多くの資料提供をうけて発行されている。すなわち、県水産増殖センターで行っている浅海定線観測の資料、ブイロボットによる観測資料、沿岸定置観測資料、県水産試験場による日本海海洋観測資料、青森地方気象台発行の長期予報等である。これら担当機関の方々にこの紙上を借りてお礼申しあげる。また、水温予測を始めるにあたっては函館海洋気象台赤川正臣主任技術専門官の御助言をいただいた。ここに付記し厚くお礼申しあげる。

水温変動の原因

水温変動の原因としては大別して(1)太陽からの輻射熱(日射)、(2)海洋と大気との間の熱交換、(3)移流、混合などの海水の動きによるもの等がある。

(1)の日射は海水中で容易に吸収される。Sverdrup, et, al. の見積りでは、1,000 calの熱が海中に入った時、沿岸水では0~1 m層内で7.72℃の水温上昇となるという。すなわち、入射した総日射量の77.2%が0~1 m層内で吸収され、日射による水温変動は表層付近に限られるということである。

(2)の海洋と大気との間の熱交換には、海面からの有効逆放射、蒸発による潜熱移動、海面と大気との温度差による顕熱移動等がある。これらは主として海を冷却する方向へ作用する。(1)、(2)を含めた、いわゆる熱収支の研究は主として気候学的な面での要請からきわめて多く⁽³⁾みられる。

(3)の移流、混合等による水温変動は、水温の異なる水が流れてきたり、混合したりすることによるもの、あるいは、内部潮汐、内部波による周期的な変動もある。この内部潮汐、内部波による水温変動は世界中の海洋で、もっとも普通に観察されている。⁽⁴⁾⁽⁵⁾

ここで陸奥湾を例にとって季節別に水温変動を概略してみる。

4~7月(加熱期) この時期は日射が日を追うごとに強くなり、そのピークは6月21日あるいは22日(夏至)となる。前述したように日射では表層付近しか昇温しないから、風などにより鉛直混合や流れが生ずると、表層水とより低温な下層水との混合、低温な下層水の浮上等より、表層水温は急激に低下する。したがって、この時期の表層水温は大きく変動をみせながら上昇する。一方、中、底層では、

表層に加えられた熱がなかなか伝播しないため、表層に比べ昇温しにくく、表層、中層、底層間に大きな水温差を生じ、いわゆる成層を成す。

8月 年間でもっとも高温となる時期であるが、水温はおおよそ安定し、加熱期と9月以降の冷却期の境にあたる。水温のピークは日射量のピークより約1ヶ月半遅れるが、これは海洋から大気へ出ていく熱量よりも海洋へ入ってくる熱量の方が大きいためである。

9～12月（冷却期） この時期は主として(2)の原因が大きく作用し、海から大気への熱の移動が大きく、海面は冷却される。冷却された表層水は、より下層の水よりも密度が大きくなり、鉛直混合、鉛直対流が起こりやすくなる。そのため、深さによる水温差はなくなり、中、底層の水温は9～10月頃に年間のピークをむかえる。鉛直的にも、また水平的にも水温差は小さくなるため、(3)の移流、混合による水温変動は相対的に小さくなり、この時期の水温は大きな変動をみせず徐々に低下していく。

1～3月（冬季） この時期は年間で最も低温となる時期である。東湾では3月に約3℃程度まで低下する。しかし、西湾はより高温な津軽暖流水の影響を受けて4～8℃の水温を保つ。水温は全体として安定し、著しい昇温傾向、あるいは降温傾向を持たない。

陸奥湾では、このほかに内部潮汐によるとみられる水温変動があり、特に夏季の湾口付近の底層では時により日間6～7℃に及ぶ変動のあることが報告されている。⁽⁶⁾

海岸線近傍の水温変動とその予測の可能性

最も簡便な海水温測定法は防波堤の突端などで、簡易採水器と棒状温度計を用いて測定する方法である。その簡便さのため、海岸線近傍の海水温に関しては古くから多くの資料があり、水温予測の可能性の検討、あるいは予測そのものために欠かせないものとなっている。しかしながら、本来予測が必要とされるのは沖合の表層、中層の水温であろう。しかし、沖合の水温は種々の制約により資料にとぼしいのが通例である。したがって、沖合の水温を予測するには、まず海岸線近傍の水温を予測し、それを利用して沖合の水温を予測するという2段階をふむことになる。

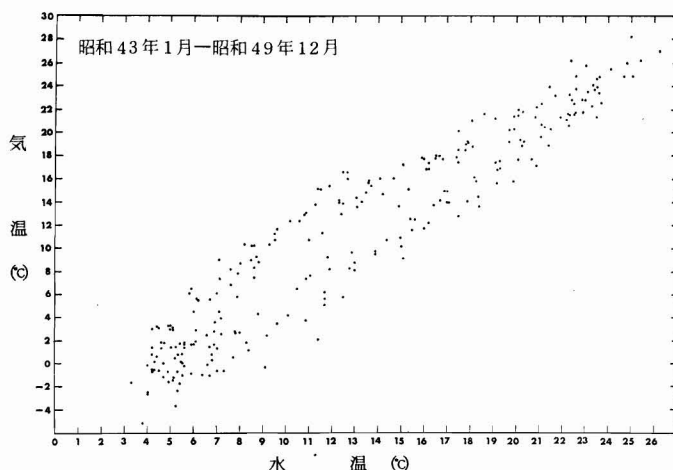
海岸線近傍の水温変動は、きわめて複雑、かつ急激である。その理由は海岸地形や海底地形により、流れや混合の様相が複雑になること、また、水深が浅いため気象変動に敏感に対応した変動が現われることなどによる。

海岸線近傍の水温変動を短期的にみた場合、海陸風による大きな水温変動の例⁽⁷⁾、強い潮流が海底地形により乱され、局所的な湧昇を生じることによる水温変動の例⁽⁸⁾、さらには表層においては河川水流入とその流路の移動に伴う水温変動の例などが報告されている。これらの例からも明らかのように、短期的にみた場合の海岸線近傍の水温変動はきわめて複雑であり、予測も困難である。しかし、一方、長期的にみた場合、あるいは適当な時間長での平均をとってみた場合、気象変動との対応が良いことから、気象要因の予測から水温を予測することが可能となろう。さらには海岸線近傍の水温で、わずかな誤差で沖合の水温を代表させ得る例も報告されており、沖合水温の予測もまた可能であろう。⁽⁹⁾

陸奥湾の水温予測の方法

現在行っている水温予測の方法は、気温の予測値を用いて水温を予測するという、いわゆる相関法である。

第1図は昭和43年1月から同49年12月までの茂浦午前9時観測の旬平均気温と水温の散布図である。

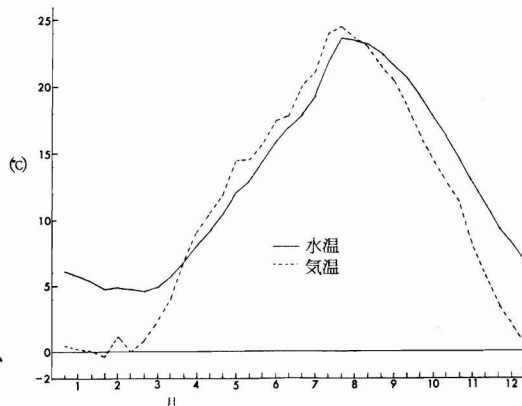


第1図 茂浦、旬平均の気温と水温の散布図

図から一見してわかるとおり、茂浦の表面水温は旬平均でみるならば、気温との間に良好な相関のあることがわかる。ちなみに、この相関係数は0.94と計算された。

第2図に茂浦の旬平均の気温と水温について、昭和43年から同51年までの9カ年平均を示した。図にあらわれた大きな特徴は、加熱期にあたる4月から8月上旬では気温が常に水温よりも高く、逆に、冷却期にあたる9月から12月、そして冬季1月から3月では気温が常に水温の変化が水温の変化に常に先行するために起こることごとく一般的にみられることである。

このようなことから、年間をいくつかに分けてそれぞれについて、気温と水温の相関を求めた方がより高い相関が得られる可能性がある。そこで便宜的に、年間を加熱期として4～7月、冷却期として8～12月、冬季として1～3月の3期にわけて、それぞれについて相関係数を計算した。その結果を第1表に示す。なお、加熱期、冷却期については直線回帰式をあわせて示した。計算に用いた資料は昭和43年から同50年までの旬平均の気温と水温である。この結果、加熱期、冷却期には、気温と水温の相関係数は0.98と高い値が得られ、この時期においては、気温の予測値を用いること



第2図 旬平均の気温と水温の9カ年平均

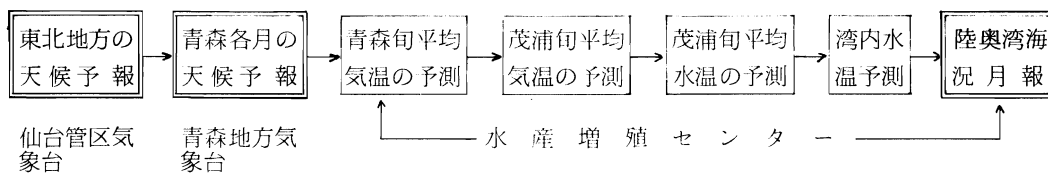
第1表 期間別の水温と気温の相関係数と直線回帰式

期 間	相 関 係 数	直 線 回 帰 式
周 年	0.94	
加熱期(4～7月)	0.98	(水温) = 0.880 × (気温) + 0.6
冷却期(8～12月)	0.98	(水温) = 0.704 × (気温) + 7.1
冬 季(1～3月)	0.45	

により、かなりの精度で水温の予測が可能となることが期待できる。

(1) 加熱期、冷却期の水温予測

以下に水温予測の手順を図示し、その手順にしたがって説明を加える。図中、2重の実線で囲んだ分は、何んらかの形で一般に公表されているものである。



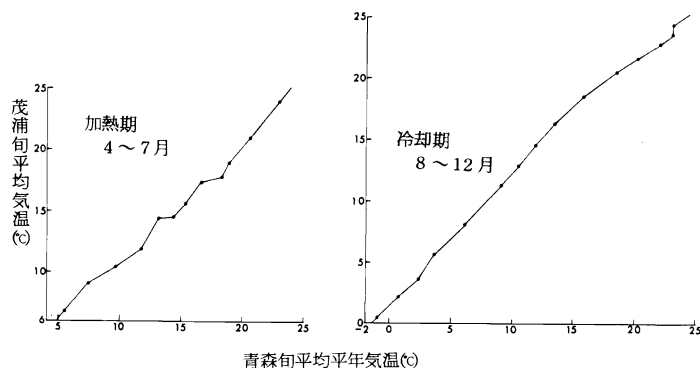
第3図 加熱期、冷却期の水温予測のフローチャート

水温予測に直接のつながりがあるのは、青森地方気象台から発行される各月の天候予報である。これには、各旬別に、旬平均気温を平年値に比べ「やや高め」、「平年並み」といった表現で青森の気温が予報されている。もちろんこのままでは予測値としては使えず、数値化する必要がある。このような予報の表現は平年値に対する範囲として数値化されているが、それについては気象台でも公表していないので、ここでも公表をさしひかえる。このようにして、まず青森の旬平均気温の予測値の範囲、すなわち、上、下限の値が得られる。

次の手順は、茂浦午前の時観測の旬平均気温の予測値を求めるのであるが、これには第4図を用いる。第4図は青森の旬平均気温の平年値と、茂浦旬平均気温の9カ年平均を示したものである。

この図を用いて、先に求めた青森の旬平均気温の上、下限の値から茂浦の旬平均気温の上、下限の値を求める。

次に、このようにして求めた茂浦の旬平均気温の予測値の上、下限の値について、それぞれ第1表に示した直線回帰式により茂浦の旬平均水温の予測値の上、下限の値を求める。



第4図 青森旬平均気温の平年値と茂浦9カ年平均の旬平均気温
湾内水温の予測については後述する。

(2) 冬季の水温予測

冬季間においては、第1表からも明らかなように気温と水温の相関はよくない。したがって前記、加熱期、冷却期におけるものと同一の方法で予測を行うことはできない。しかしながら現在のところ適当な方法がみあたらないので、各旬別に、昭和43年から同51年までの9カ年平均水温と、その標準偏差を用いて予測を行っている。すなわち、(9カ年平均水温±標準偏差)が予測値の上、下限の値

となる。第2表にその値を示した。ただし、ここでの標準偏差とは、母標準偏差のことである。

(3) 湾内の水温予測

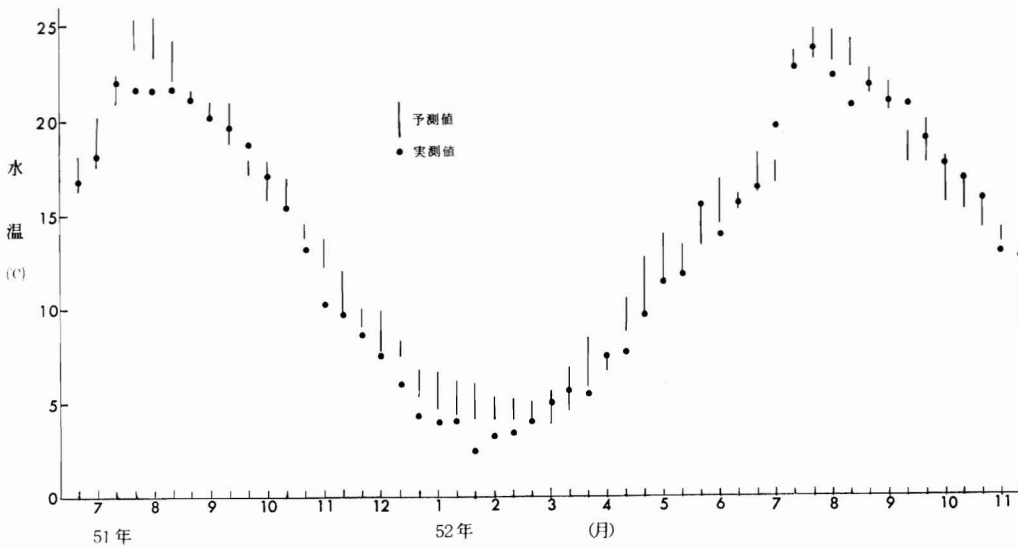
湾内水温の予測には現在適当な方法がない。現在は、過去のデータを参照して茂浦の水温との差をみて、大まかな予測を行っている。また、中層水温についても、過去の海洋観測のデータなどから大まかな予測を行っている。

予測の成績

第5図に昭和51年7月から同52年11月までの予測水温と実水温を示した。予測水温は、たての線でその範囲を示し、実水温は黒丸で示した。予測の検証の方法はいくつかあるが、ここでは単純に適中率を計算してみる。純粹に数値的に適中率を計算すると31%であった。また実水温と予測値とのズレが0.1℃以内のものも適中とみなして計算すると47%と大幅

第2表 冬季における9カ年平均水温と標準偏差、予測値℃

月日	平均	標準偏差	予測値
1 上	6.10	0.682	5.4～6.8
中	5.70	0.999	4.7～6.7
下	5.37	0.911	4.4～6.3
2 上	4.68	0.434	4.2～5.1
中	4.81	0.601	4.2～5.4
下	4.69	0.488	4.2～5.2
3 上	4.57	0.526	4.0～5.1
中	4.83	0.872	3.9～5.7
下	5.76	1.129	4.6～6.9



第5図 茂浦の旬平均の予測水温と実水温

に適中率がよくなる。特に成績が良くないのは、51年11月から52年3月にかけてであった。周知のように51年8月は異常に気温が低く、また、同年晩秋から52年2月までは低気温の続いた期間であった。もちろん、気温が水温を直接決定するわけではないが、低気温の原因は水温にも影響を及ぼし、低気温の時は水温も低くなるのである。水温だけをとりあげて、その異常性をみると、51年8月上旬の21.65℃

という水温は過去にもっとも低温であった44年8月上旬の22.34℃にくらべて0.69℃、また、52年2月上旬の2.56℃は過去にもっとも低温であった43年2月上旬の3.99℃にくらべて1.43℃それぞれ低かった。このような異常とも思える現象については、今の予測方式では全く予測できず、今後検討を要する課題となろう。

水温予測の問題点と今後の課題

(1) 予測の方法について

現行の水温予測の正確さは気温の予測値の正確さに大きく依存している。しかし、気温の予測をまたきわめてむずかしいものである。気温と水温の相関係数は0.98と自然現象としてはきわめて高い値ではあるが、これとでも100%ではなく、2%の不正確さを含む。今後の改善の方向としては、現在のような相関法に、周期法、あるいは類似法といったいくつかの方式の利点を加味して、より精度の高い予測方式を確立していくことである。

(2) 冬季間の水温予測について

冬季間の水温予測についてははまだ決め手がない。しかし、気温と水温の相関係数は0.45とよくないが、全く無相関というわけではなく、いくぶんかの手がかりは残されている。今後の課題としては、湾内の熱収支について検討を進め、その過程において予測方式を確立したいと考えている。

(3) 各月を独立に水温を予測していることについて

いうまでもなく、水温は連続的に変化するものであり、現在の水温は過去の水温により何んらかの影響を受けているはずである。現行の予測方式はこの点が全く加味されていない。この問題の解決には自己回帰型の予測方程式の検討、マルコフ連鎖を用いる予測方法等の統計的、確率論的予測方法があるが、これも今後の課題である。

(4) 湾内水温の予測について

陸奥湾では昭和46年からブイロボットにより湾内5ヶ所での水温資料が蓄積されている。これらの資料を用いて、茂浦の表面水温との相関をとっていくことにより湾内沖合、あるいは中層水温も、かなりの精度での予測が可能になるものと思われる。

(5) ホタテガイ養殖と水温予測について

水温はホタテガイにとっての重要な環境要因ではあるが、特に水温が注目されるのは産卵臨界温度である8～9℃、生存限界温度である23℃といった場合である。これらの問題は現行のような1カ月を単位とした周年の予測よりも、特定の時期をねらった短期の予測を検討する必要がある。このような問題に付随して、現在のような水温予測のあり方、しいては陸奥湾海況月報のあり方までも、再検討してみる必要があるのではなかろうか。

参 考 文 献

- (1) 伊藤 進・三津谷正(1977)昭和50年夏期陸奥湾に発生した高水温について 本誌第6号
- (2) Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming(1977)The Oceans. Prentice-Hall
- (3) 例えば Roden, G. I.(1959)On the heat and salt balance of the California current region. J. Mar. Res. 18, PP. 36 - 61
- (4) Arther, R. S.(1954)Oscillations in sea temperature at Scripps and Oceanside Piers.

- (5) Carsola, A. J. and E. B. Callaway (1962) Two short - period internal wave frequency spectra in the sea off Southern California. *Limnol. Oceanogr.* 7, PP. 115 - 120
- (6) 仲村俊毅 (1978) 水温観測値の統計処理 陸奥湾海域開発調査報告書
- (7) 仲村俊毅・梶原昌弘 (1975) 河川流入域における熱収支 北大水産彙報 25(4)PP.304 - 317
- (8) Leipper, D.F. (1955) Sea temperature variations associated with tidal currents in stratified shallow water over an irregular bottom. *J. Mar. Res.* 14, PP. 234 - 252
- (9) 稲葉栄生 (1973) 駿河湾三保半島汀線定点の水温塩素量 海と空48(4)PP.99 - 107
- (10) Roden, G.I. and G.W. Groves (1960) On the statistical prediction of ocean temperatures. *J. Geophys. Res.* 65(1) PP. 249 - 263