

## 根室市三里浜沖海況の季節変化 I. 水温構造

長瀬桂一<sup>1)</sup>・相川公洋<sup>1)</sup>・博田功<sup>1)</sup>・永田豊<sup>2)</sup>

### Seasonal Variations of the oceanic condition off Sanrihama Beach, Nemuro I. Temperature structure

Keiichi Nagase<sup>1)</sup>, Kimihiro Aikawa<sup>1)</sup>, Isao Hakata<sup>1)</sup>, and Yutaka Nagata<sup>2)</sup>

**Abstract:** The Nemuro City Fisheries Research Institute installed bottom temperature measuring sensors off Sanrihama Beach, Nemuro, in order to know seasonal variations of environmental circumstance of Hanasaki crabs. We set 8 stations along a straight line extended offshore, and the observations were made from December 28, 2005 through May 13, 2009. Depths of stations are 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, and 60m. STD observations were made at the time of replacement of measuring systems or at that of exchange of data loggers. Though some of measuring systems were often lost due to severe storms or due to fishing activities, we could clarify peculiar seasonal variations of temperature structure in the sea under consideration. In “summer season” or in “winter seasons”, temperature is basically vertically uniform at each station, except in surface thermocline, but temperature decreases toward offshore in “summer season” and increases toward offshore in “winter season”. These horizontal temperature gradients are the same as those in the flow regions of the East Hokkaido Warm Current and of the Coastal Oyashio, respectively. The phases of “summer season” and “winter season” appear to advance by about 3 months than that of the East Hokkaido Warm Current or of the Coastal Oyashio, respectively. Besides, melted water of sea ice which originated from the Okhotsk Sea cannot produce very cold water (say below 0°C) in March or in April. These findings would give valuable suggestion for studies of the East Hokkaido Coastal Current.

**Keywords :** Sanrihama, Nemuro City: Continuous measurement of bottom temperature: STD observation: Seasonal variation of temperature structure: The East Hokkaido Coastal Current

#### 1. はじめに

根室市水産研究所は、ロシアのサハニロ

##### 1) 根室市水産研究所

〒087-0166 北海道根室市温根元 106  
Nemuro City Fisheries Research Institute

##### 2) (財) 日本水路協会海洋情報研究センター

〒144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-6 第一総合ビル 6F

Marine Information Research Center, Japan  
Hydrographic Association

(SakhNIRO) との共同研究プロジェクト「ハナサキ・プロジェクト」の一環として、ハナサキガニの成体や幼生の動向と周辺環境の関係を調べるため、根室市太平洋岸の落石岬西の三里浜の試験操業地で水深 5m から 60m に至る 8 点の測点を設けて、2005 年 12 月 28 日から 2009 年 5 月 13 日の間、周年にわたる底層水温の連続観測を行った。当海域をしばしば襲った嵐や、漁業活動によって計測装置が流し、全測点での完全な同時観測はほとんどできなかったが、3 年半に及ぶ測定結

果から、この海域の海況の特異な季節変化特性を明らかにすることが出来た。この結果は今後のハナサキガニの生態研究の周辺環境資料として役立つものと考えられる。また、道東沿岸流（沿岸親潮と道東暖流）の水の起源や、その形成メカニズ

ムの考察に対して重要な示唆を与えるものである。

## 2. 観測地点と観測機器、観測経過

水温測定的位置と、ハナサキガニ試験操業地付近の水深図を Fig. 1 に示す。観測点は、落石岬

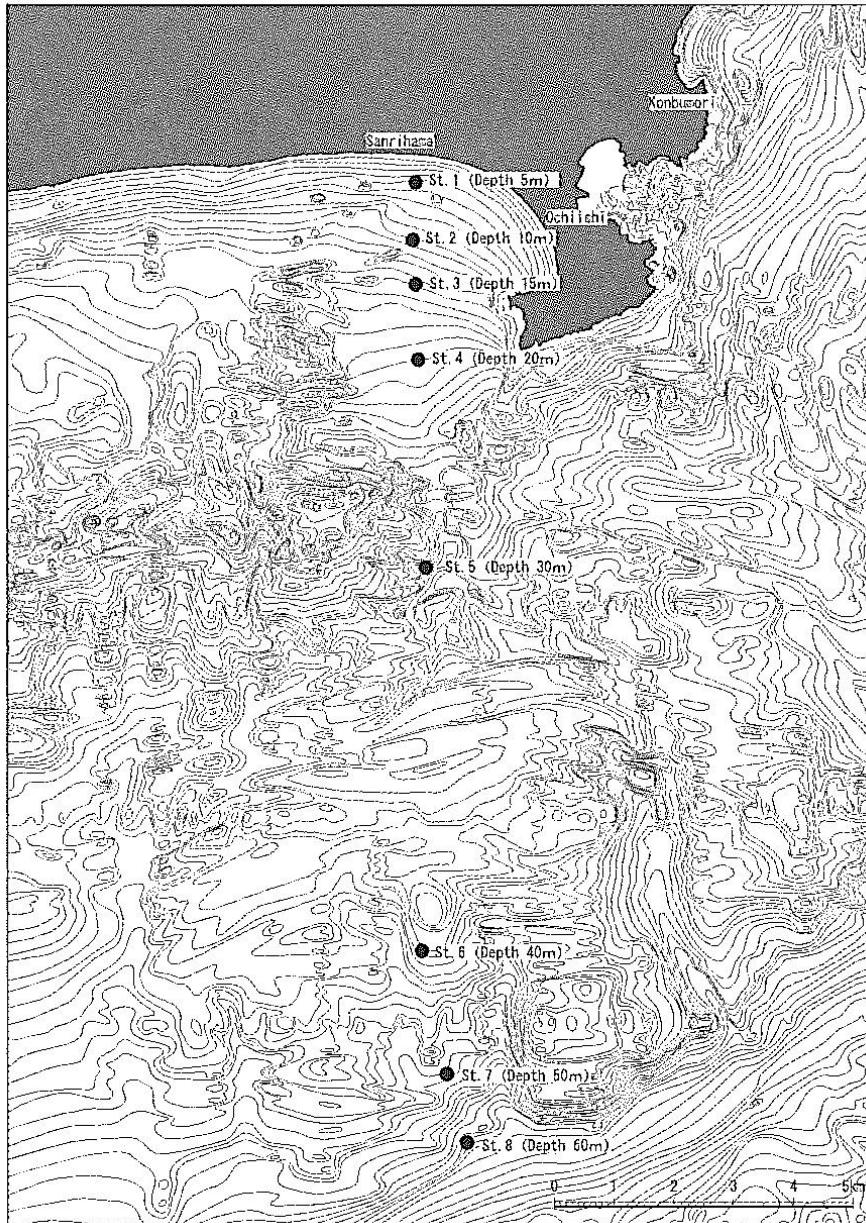


Fig. 1. Positions of the stations of bottom temperature measurement off Sanrihama Beach, Nemuro. The cape extending southward is Cape Ochiishi. Stations from St. 1 through St. 8 are set at depths of 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 40m, 50m, and 60m, respectively. Bottom contours are shown at interval of 1m. The horizontal scale is given at lower right corner.

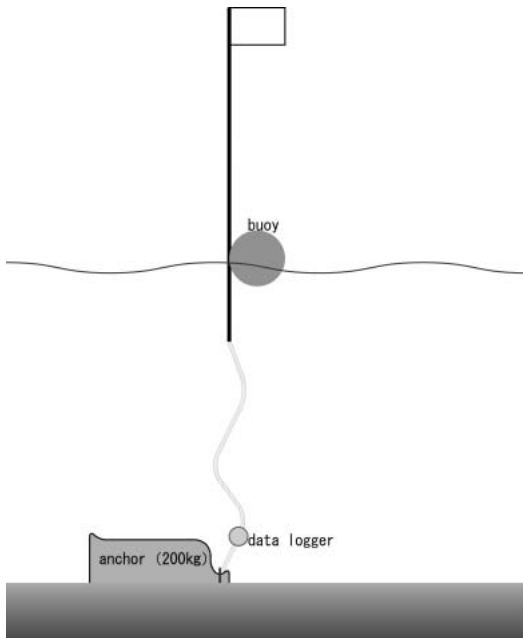


Fig. 2. Schematic view of the temperature measuring system. Temperature is measured about 50cm above the bottom.

西の三里浜から、ほぼ東経 145°29'E に沿って南に延びる線上に配置されている。一番岸よりの水深 5m のところに St. 1 が設けられ、St. 2 以下 St. 8 までの測点は、それぞれ水深 10m、15m、20m、30m、40m、50m、60m のところに設けられている。測点位置は最も岸よりの St. 1 が 43°

10.9'N、145°29.6'E、最も沖の St. 8 が 43°02'N、145° 02'E である。この海域では西向流が卓越することが知られており、St. 1 から St. 4 までは落石岬による流れの影の部分にあり、St. 5 より沖の測点とは若干海況特性が異なっている。

用いた観測装置を模式的に Fig. 2 に示す。水温測定には温度センサーの付いた Onset Computer Cooperation Co. 製のデータロガー (UA-001-08 または TBI32-05-37) を用いた。温度センサーは海底から約 50cm の高さにある。測定は 2005 年 12 月 28 日から 2009 年 5 月 13 日まで実施した。最初、一年間の連続記録を一気に取ることを計画したが、2006 年 10 月 7~9 日に当地を襲った嵐のため、岸よりの 2 点 (St.1 と St. 2) を除いて観測システムが流失し、測定記録も失われてしまった。2007 年からは、より太いロープを使うなど若干の改良を加えるとともに、データを頻繁に回収、再設置することにした。この作業等の際に、Alex Electronic Co.製の STD (ATS 200-PK) を用いて水温・塩分の鉛直プロファイルを測定した。しかし、その後も悪天候や、漁船の網に観測装置が引っかけられるなどの事故がしばしば発生した。データの取得状況を Fig. 3 に示すが、8 測点全てで同時計測ができたのは、2007 年 7 月 28 日から 12 月 1 日の期間のみであった。しかし、全期間について最低 2 測点での同時観測に成功している。データの取得状況から、St. 1 と St. 2 のみの観測が行われた 2005 年 12 月 28 日から 2006 年 12 月 7 日までを期間 I とし、St. 1 と St. 5 のみの観測が行われた 2006 年 12 月 7 日から 2007 年 7 月 26 日までを期間 II、St.

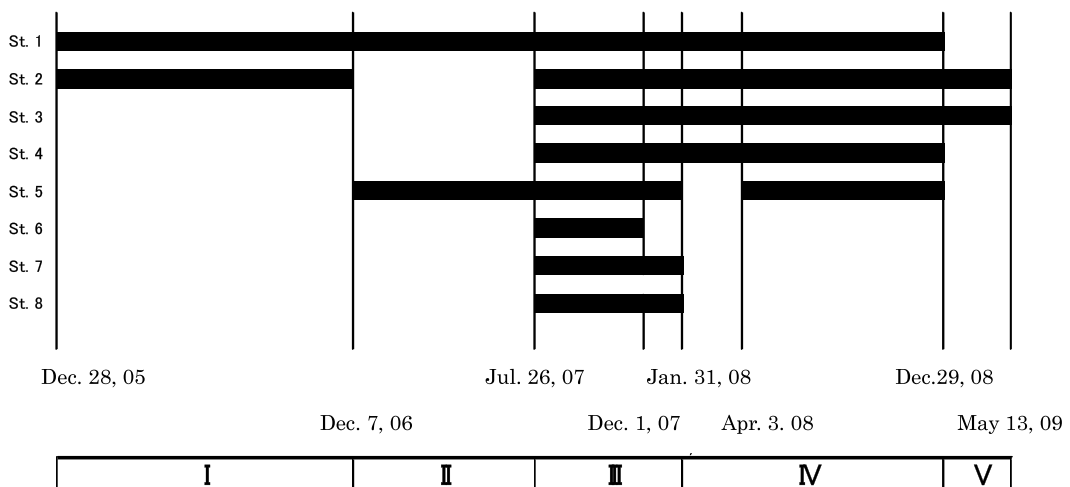


Fig. 3. Periods of data acquisition for each observation station. Roman numbers shown at the bottom of the figure indicate the periods from I to V, which are set in the text used for convenience sake.

1 から St. 8 (一部 St. 6 の記録を欠く) までの観測が成功した 2007 年 7 月 26 日から 2008 年 1 月 30 日までを期間 III とする。さらに St. 1 から St. 5 (一部 St. 5 記録を欠く) の記録の得られた 2008 年 1 月 30 日から 2008 年 12 月 29 日までを期間 IV、St. 2 と St. 3 のみの記録の得られた 2008 年 12 月 29 日から 2009 年 5 月 13 日までを期間 V と呼ぶことにする。これらの期間は Fig. 3 の下部に示してある。2008 年が閏年であるため、各年を全て 365 日と整えて、図の軸等の表記には、便宜上 2006 から 2008 年は各年の元日を 0 とし、2009 年については 2008 年 12 月 31 日を 0 とし、それから数えた日番号で表示する。(参考のため図の横軸下に月を示す。)

水温の記録間隔は 1 時間である。回収・再設置作業には約 2 時間を要する。この作業等のため欠測があった場合、3 時間までの欠測は、線形補間により内挿して連続記録にした。測定結果は、潮汐周期等の変動を除くため、各日について 0 時から 24 時までの 25 個のデータを平均して、各日の値として時系列を作成した。また、短周期変動を除去するため、さらに 15 日間の移動平均を求めて使用するが、日平均値が 1 日得られていない場合には、前後の日平均値の平均で代用して連続的な時系列を作成し、移動平均を行った。

STD 観測を実施した日を Table 1 に示す。この表の各欄には、日付 (日番号)、期間番号 (ローマ数字) が与えられている。水温・塩分は表面から 1m 間隔で海底近くまで観測されている。観測は底層水温の各観測点の近傍で実施したが、測点直上を避けて上記の各測点深度より、1~2m 深めまで観測するように努めた。観測実施は 2007 年 5 月からであり、観測実施間隔は作業の都合から一定ではないが、ほぼ周年にわたる観測を行うことができた。

### 3. 各年の季節変化と基準季節変化

最も長期の連続観測が得られている水深 5m の St. 1 の記録を用いて、各年の季節変化を比較したのが Fig. 4 である。St. 1 の記録が利用できない 2008 年 12 月 29 日以降については、St. 2 (水深 10m) の記録を代わりに用いた。日平均値の記録には、かなりの振幅の短周期変動が現れ季節変化の様相が分かりにくいので、この図では 15 日間の移動平均をかけたものを示している。各年の変動にはなおも比較的短周期の変動が残っているものの、かなりスムーズな季節変動が得られている。

季節変化は各年とも、正弦曲線からかなりはずれている。3 月初め (日番号 30 付近) から 7 月末 (日番号 210 付近) までの昇温期の水温上昇が直線的であるのに対して、9 月中旬 (日番号 260 付近) からの下降期の曲線が、高温側に膨らむ形をしている。北海道沿岸には多くの地点で、沿岸水温の周年観測が行われており、観測結果は北海道栽培漁業振興公社から、「北海道沿岸漁場観測取りまとめ」として毎年公表されている。根室市周辺の太平洋側でも、歯舞 (根室市) や厚岸、釧路に観測点があるが、これらの点での季節変化には、このような正弦波からの著しい歪みは認められない。恐らく、三里浜が外洋に開けており、外洋の条件に影響されやすく、海水の流動に伴う移流の効果が大きいことが原因であろう。年による変化は冬季水温の極小期と、夏季水温の極大期に大きく現れている。

各測点間の水温変動を比較するとき、振幅の大きな季節変動を除去しておくことが望ましい。各年について St. 1 の移動平均曲線からの差を用いることも考えたが、15 日の移動平均値に現れる短周期の変動の現れ方も見るためには、どの年に

Table 1. Dates of STD observations. Date, day number (in bracket), and period number (in Roman number) are given in each column in this order.

	2007	2008	2009
January		30 (29) III, IV	29 (29) V
February			26 (54) V
March			
April		3 (93), 30 (120) IV	
May	29 (147) II	28 (148) IV	
June		27 (178) IV	
July	28 (206) II, III	31 (211) IV	
August		28 (240) IV	
September		26 (269) IV	
October	1 (282) III	29 (302) IV	
November		26 (330) IV	
December	1 (334) III	29 (363) IV, V	



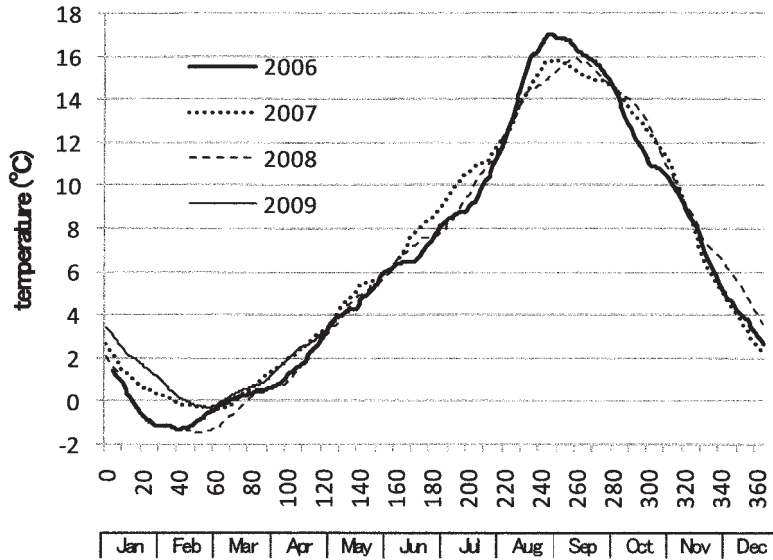


Fig. 4. Seasonal variations of the sea bottom temperature (15 days running mean) at St. 1, for 2006 (thick full line), for 2007 (dotted line), for 2008 (dashed line) and for 2009 (thin full line). The observation at St. 1 is not available after December 29, 2008, so the temperature values at St. 2 are used. The temperature (°C) is taken in ordinate, and the day number is taken in abscissa. The day number is counted from January 1 for 2006 through 2008, and from Dec. 31, 2008 for 2009.

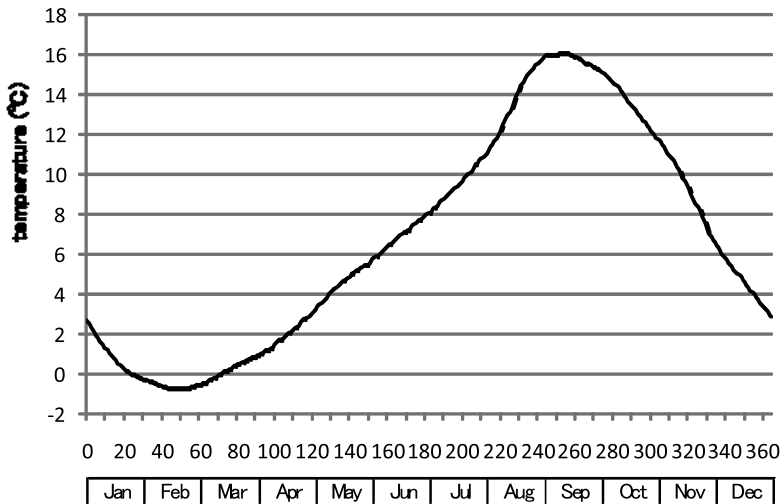


Fig. 5. Seasonal variation of the bottom temperature, which was obtained by averaging the variations at St. 1 over the period from 2005 to 2009. This curve is used as a reference curve in the following analysis.

についても同じ基準を取ることが望ましい。そこで、Fig. 4 に示された各年の測定値を平均した季節変動を基準にすることとした。平均した季節変動を Fig. 5 に示す。正弦波からの外れはこの図にも良く現れている。平均した年数は少ないが、短周期の変動も Fig. 4 に比べて小さくなっている。

#### 4. 各期間における底層水温変動特性

##### 4-1. 期間 I および期間 II における水温変動

期間 I (2005 年 12 月 28 日から 2006 年 12 月 7 日) では St. 1 (5m) と St. 2 (10m) との 2 点、期間 II (2006 年 12 月 7 日から 2007 年 7 月 26 日) では St. 1 (5m) と St. 5 (30m) との 2 点しか観

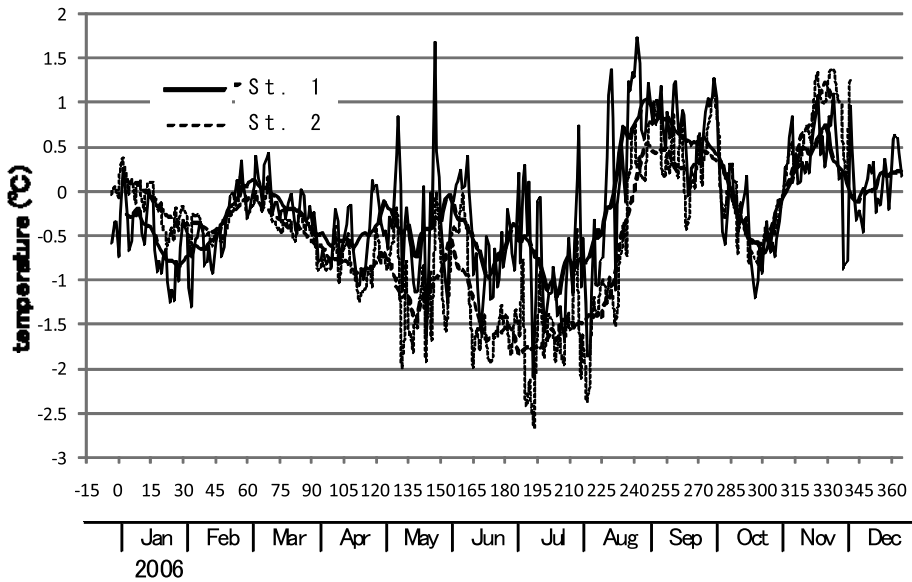


Fig. 6. Temporal variations of bottom temperature at St. 1 and St. 2 in the period I (from December 28, 2005 to December 7, 2006). Temperature values are shown as deviations from the reference curve shown in Fig. 5. Full lines indicate the temperature at St. 1 and dotted lines that at St. 2. Thin lines indicate the daily mean, and thick lines the 15 days running mean of the daily values. Temperature in  $^{\circ}\text{C}$  is taken in ordinate, and the day number counted from January 1, 2006 is taken in abscissa.

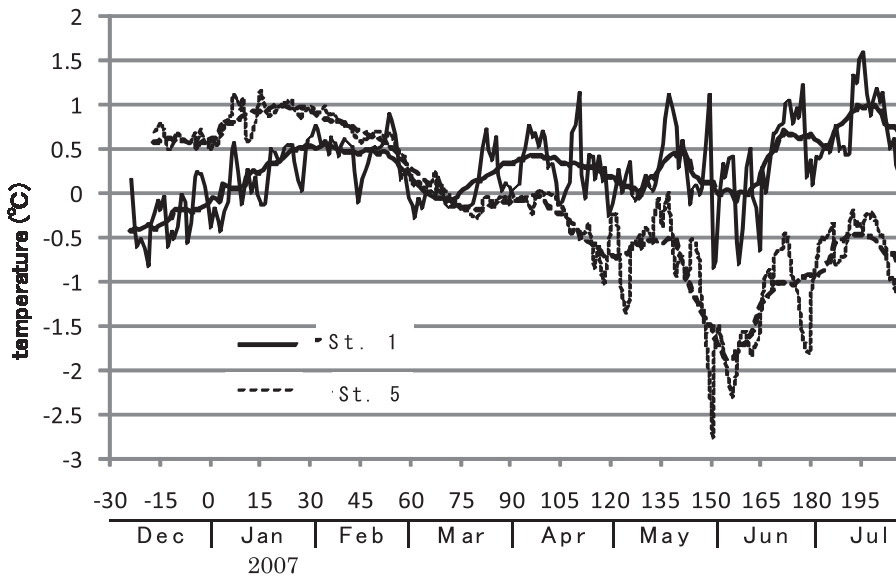


Fig. 7. Same as in Fig. 6 except for St. 1 (full lines) and St. 5 (dotted lines) in the period II (from December. 7 to July. 26, 2007). The day number is counted from January 1, 2007.

測されていない。それぞれの日平均観測値（細線）および15日間移動平均値（太線）について、基

準季節変化（Fig. 5）からの偏差を Fig. 6 と Fig. 7 に示す。St. 1 に対する曲線を実線で、St. 2 ま

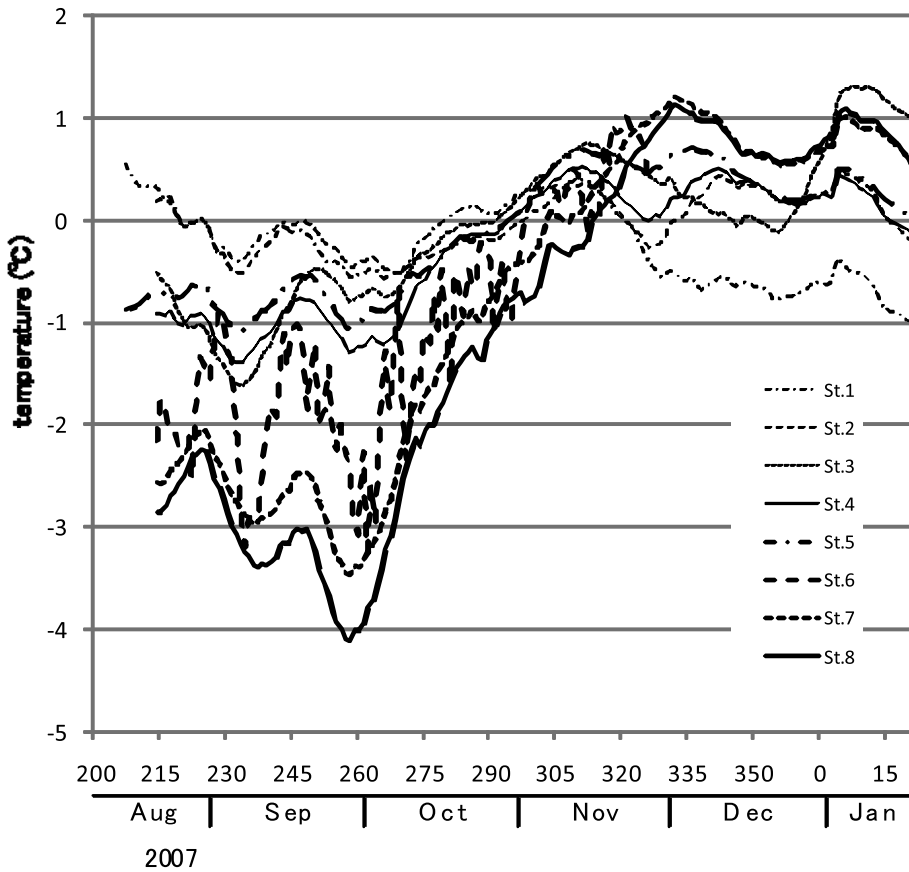


Fig. 8. Temporal variations of bottom temperature at St. 1 through St. 8 in the period III (from July 28, 2007 to January 30, 2008). Temperature values are shown as deviations from the reference curve shown in Fig. 5. Temperature in °C is taken in ordinate, and the day number counted from January 1, 2007 is taken in abscissa (it is reset to 0 on January 1, 2008). Thin curves indicate 4 inshore stations (dotted and dashed line is used for St. 1, dashed line for St. 2, dotted lines for St. 3 and full lines for St. 4). Thick curves indicates 4 offshore stations (dotted and dashed line for St. 5, dashed line for St. 6, dotted line for St. 7, and full lines for St. 8), respectively.

たは St. 5 に対する曲線を点線で示す。これらの図では、それぞれ、2006 年 1 月 1 日、2007 年 1 月 1 日を 0 とした日番号を横軸にとっている。水温差の値の範囲や、観測期間の違いから、両者の縦軸と横軸双方のスケールが違っていることに留意されたい。

Fig. 6 と Fig. 7 の図の日平均値の曲線には、短周期の変動が見られる。しかし、St. 1 と St. 2、あるいは St. 1 と St. 5 を比べた時、短周期変動間にはほとんど相関は認められない。15 日間移動平均した曲線にも若干のやや長い短周期変動が残っている。この変動については 2 地点間である程度の相関が認められるが、対応関係は明確とは言えない。季節変動に注目しているここでの議論

では、15 日移動平均値の変動を議論の対象とする。

期間 I (Fig. 6) を見ると、15 日移動平均が利用できる 2006 年 1 月 5 日 (日番号 4) から 2 月 14 日 (日番号 44) までの間は St. 1 の水温が St. 2 よりも低い。一方、2 月 26 日 (日番号 56) から 10 月 2 日 (日番号 274) までの間は St. 1 の方が高い。その後、11 月 13 日 (日番号 316) 以降になると、再び St. 1 の水温の方が低くなる。この岸側の水温が低い傾向は、そのまま期間 II の初期にも引き継がれる。期間 II (Fig. 7) では 2007 年 3 月 9 日 (日番号 67) まで St. 1 の水温は沖側の St. 5 より低い。3 月 17 日 (日番号 75) を過ぎると、St. 1 の水温は St. 5 より高くなっ

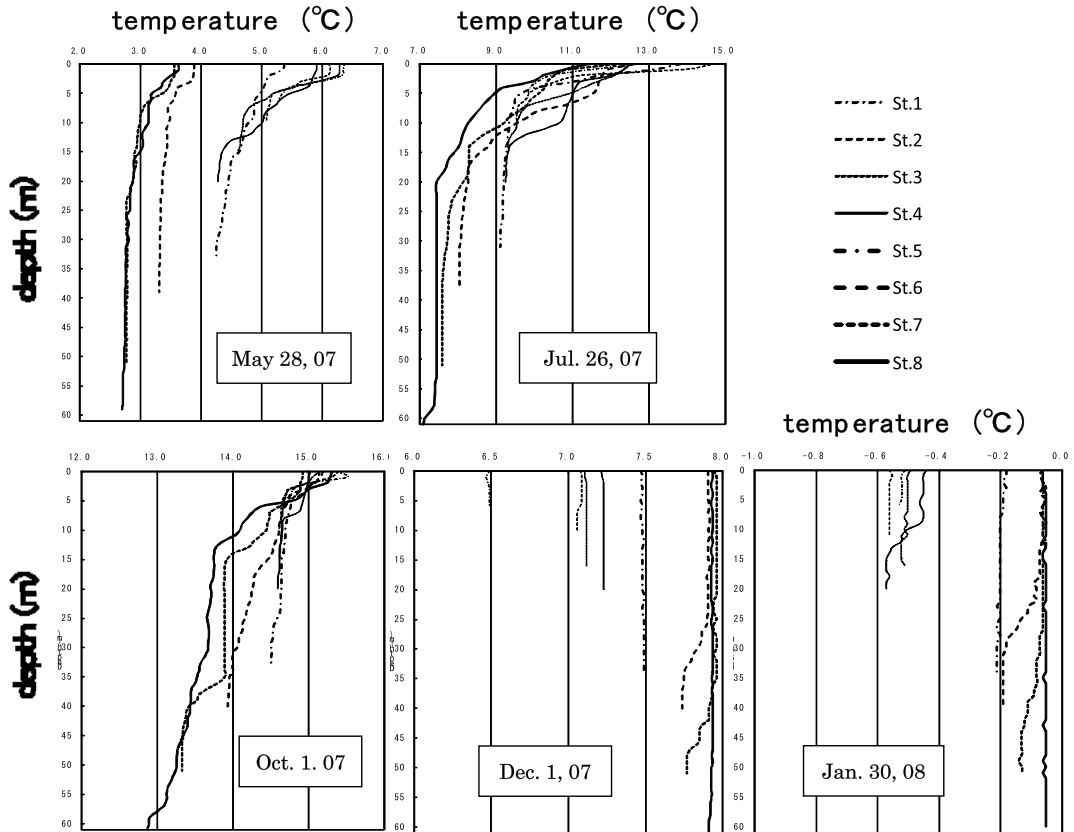


Fig. 9. Vertical temperature profiles measured with STD in the periods II (top figures) and III (bottom figures). Shown temperature range and interval of vertical lines are variable: range is from 2.0 to 7.0°C and interval is 1.0°C in top left figure (May 26, 2007), from 7.0 to 15.0°C and 2.0°C in top middle figure (Jul. 26, 2007), from 12.0 to 16.0°C and 1.0°C in bottom left figure (October 1, 2007), from 6.0 to 8.0°C and 0.5°C in middle bottom figure (June 31, 2008), and from -1.0 to 0.0°C and 0.2°C in bottom right figure (January 30, 2008), respectively. Depth range is from 0 to 61m for all figures. Thin curves indicate 4 inshore stations (dotted and dashed lines are used for St. 1, dashed lines for St. 2, dotted lines for St. 3 and full lines for St. 4). Thick curves indicate 4 offshore stations (dotted and dashed lines for St. 5, dashed lines for St. 6, dotted lines for St. 7, and full lines for St. 8), respectively.

ている。すなわち、両年とも初冬期から厳冬期にかけて（以下では簡単のため「冬季」と呼ぶ）深い方、沖側の水温の方が高くなり、春先から秋にかけて（以下では「夏季」と呼ぶ）は深い方、沖側の水温の方が低くなる。

温度成層が発達する亜熱帯域であるならば、水温は深さとともに低下するのが普通である。高緯度では、深さと共に水温が降下しても、塩分鉛直分布の効果で安定化されることが起こりやすい。しかし、現在検討している三里浜沖の状況は、次に論じる STD 観測の結果が示すように、水温・塩分の鉛直構造が主役を演じてはいなかった。表 1 に示すように期間 II の期間中に、5 月 28 日

（日番号 147）と 7 月 26 日（日番号 176、期間 II の終わり）に STD 観測を実施している。この測定結果をふくめ、期間 II と期間 III において得られた水温の鉛直分布を Fig. 9 に示す。期間 II にとられたものが上段の 2 つである。この両観測は、St. 1 の水温が St. 5 の水温より高い時期（「夏季」）にとられている。この両図ともに 15m 以浅に明瞭な水温躍層が現れている。したがって、水深の浅い方が高温であることには、水温躍層が寄与していることが考えられる。しかし、15m より深い躍層の下側では事情が異なる（St. 5 の水深は 30m）。そこでは等温層が発達しており水温の鉛直勾配は小さい。この等温層の各測点の水温を比



較すると、水温は沖に向かうほど低下する。すなわち、海底水温の沖方向への減少は、水温の鉛直勾配に起因するのではなく、主として水温の岸—沖方向の水平水温勾配に起因していることが示唆されている。

ただし、水温鉛直分布の曲線は、互いに交差する場合もあり、複数の測点の曲線がほとんど重なる場合もある。また、鉛直プロファイルは瞬間値であるのに対して、底層水温値は15日間の移動平均であるから、底層の水温記録と単純に比較することはできない。

4-2. 期間 III における水温変動

期間 III (2007年7月28日~2008年1月30日) では、2007年12月1日(日番号334)以降では St. 6 の記録が得られていないが、ほぼ全8測点

での水温記録が得られている。各測点の底層水温の変化を、基準季節変化 (Fig. 5) からの偏差として示したのが Fig. 8 である。最も沖の St. 8 の海底水温 (太い実線) に注目してみよう。その水温偏差値は11月11日(日番号314)に0となり、それ以前の期間では8点の中で最低の水温値を示しており、それ以後ではほぼ最高の水温値を示している。一方、St.1の水温値は、11月11日の前では最高値を示し、その後では最低値を示している。したがって、前節で述べた「夏季」で海底水温は沖に向かって低下する傾向は期間 III においても明らかに認められる。ただ、St. 5 の水温 (太い一点破線) が St.4 の水温 (細い実線) より高くなっていることに見られるように、水温は沖向きに単調に低下しているわけではない。この「夏季」の底層水温の変化特性は、次の4つの測

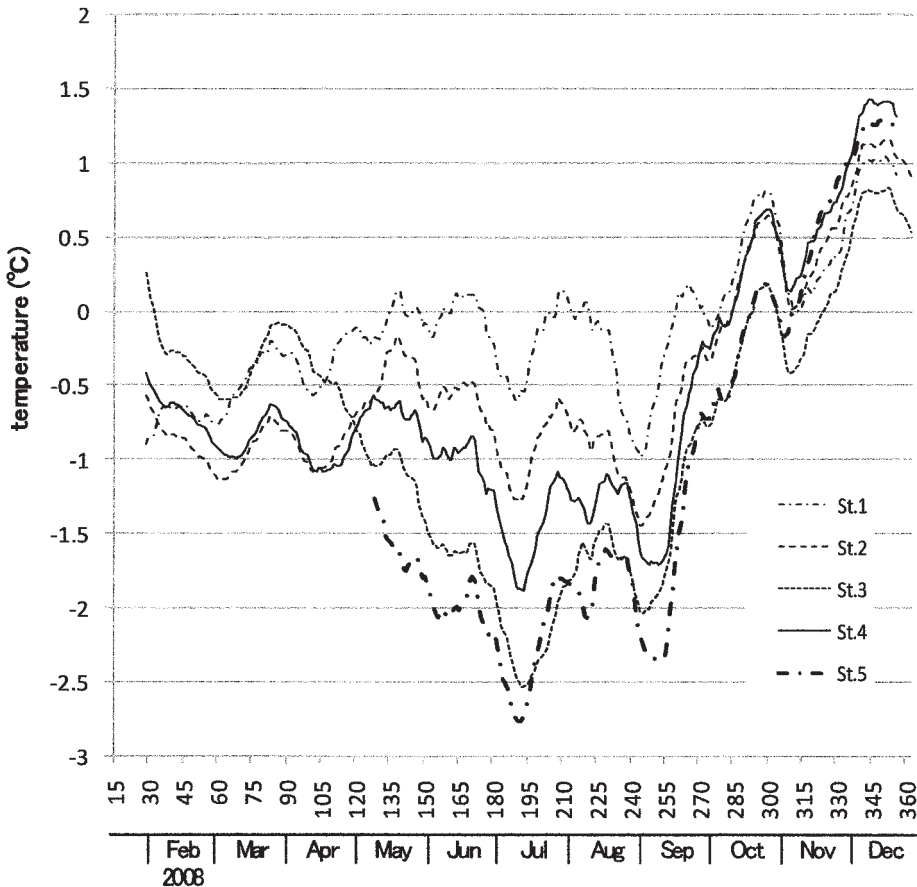


Fig. 10. Temporal variations of bottom temperature at St. 1 through St. 5 in the period IV (from January 30 to December 29, 2008). Temperature values are shown as deviations from the reference curve shown in Fig. 5. Thin dotted and dashed line is used for St. 1, thin dashed line for St. 2, thin dotted lines for St. 3 and thin full lines for St. 4, and thick dotted and dashed line for St. 5, Temperature in °C is taken in ordinate, and the day number counted from January 1, 2008 is taken in abscissa.

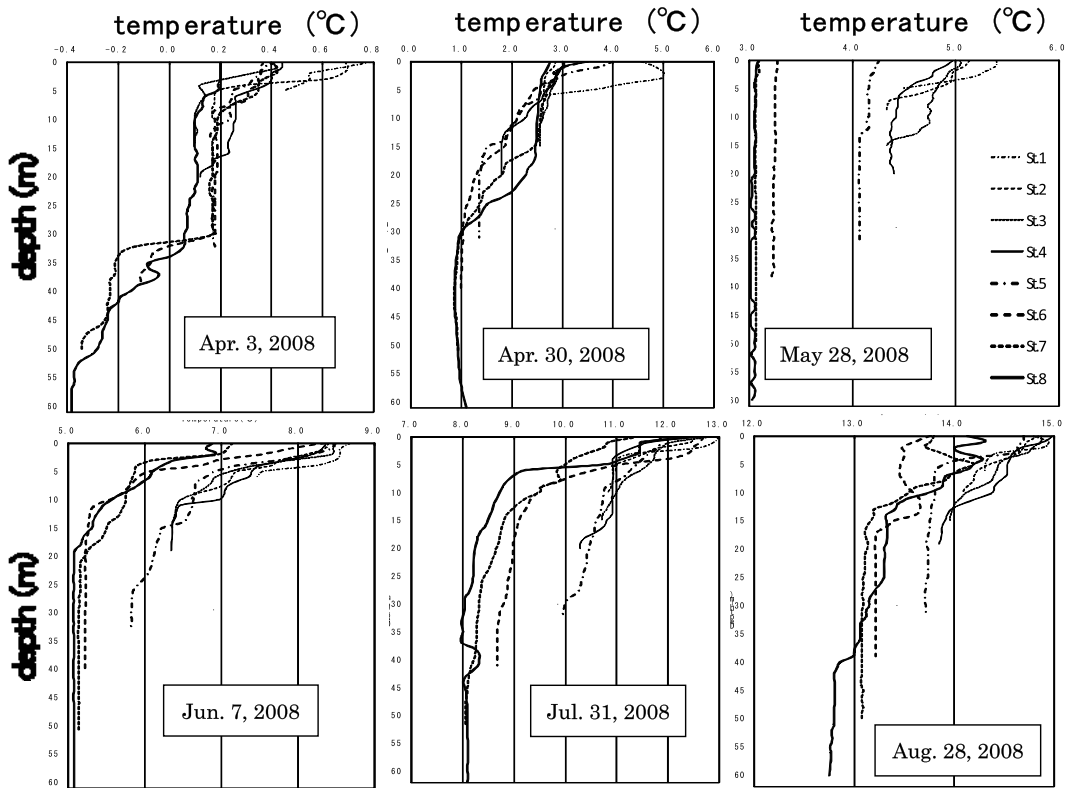


Fig. 11. Same as in Fig. 9, except for the period IV (April 3 to August 28, 2008). Temperature range is from  $-0.4$  to  $0.8^{\circ}\text{C}$  and interval of vertical lines is  $0.2^{\circ}\text{C}$  in top left figure (April 3, 2008), from  $0.0$  to  $6.0^{\circ}\text{C}$  and  $1.0^{\circ}\text{C}$  in top middle figure (April 30, 2008), from  $3.0$  to  $6.0^{\circ}\text{C}$  and  $1.0^{\circ}\text{C}$  in top right figure (May 28, 2008), from  $5.0$  to  $9.0^{\circ}\text{C}$  and  $1.0^{\circ}\text{C}$  in left bottom figure (June 7, 2008), from  $7.0$  to  $13.0^{\circ}\text{C}$  and  $1.0^{\circ}\text{C}$  in bottom middle figure (July 31, 2008), and from  $12.0$  to  $15.0^{\circ}\text{C}$  and  $1.0$  in bottom right figure (August 28, 2008), respectively.

点グループ、(1) St. 1~St. 2、(2) St. 3~St. 5、(3) St. 6、(4) St. 7~St. 8、に分けられる。Fig. 1の地形図から分かるように、St. 4より岸側は卓越する西向流に対して落石岬の影となる部分にあり、St. 5が境界で、St. 6~St. 8はほとんど落石岬の影響を受けない地点と考えられる。複数の測点を含むグループ(1)、(2)、(4)のそれぞれのグループ内での水温差は非常に小さい。グループ(2)とグループ(4)との間の水温差は大きい、その間のSt. 6(グループ(3))の水温は、短周期の振動に伴って(2)と(4)の水温の間を往復する形になっている。(2)と(4)の間に水温フロントが存在し、短周期の振動に伴って、このフロントがSt. 6の位置を繰り返して通過したものと考えられる。このようなグループ分けを行い、グループ内の小さな水温差を無視すると、水温は沖に向かってほぼ単調に低下している。11月11日(日番号314)以降については、St. 3の

水温が12月後半から著しい高温を示すのを除けば、St. 7とSt. 8が高い水温を、中間のSt. 2~St. 5が中位の水温を、最も岸よりのSt. 1が低い水温を示している。この場合も単調に水温が沖に向かって上昇しているわけではないが、グループ分けをしてみると、沖方向に水温が上昇するという「冬季」の特性を見てとれる。各測点における水温値偏差は1月に入ると低下を始め、期間IVの2月(Fig. 10)になると全て負になり、そのまま次の「夏季」の状態につながってゆく。この年の「冬季」の終期は2月頃と厳冬期に起こっている。

STD観測は期間IIIの「夏季」においては、2007年7月26日と、2007年10月1日の2回行われている。7月26日については期間IIとIIIの境目で期間IIの章ですでに述べた。10月1日の結果はFig. 9下段左に示してあるが、39m以深でSt. 7とSt. 8のプロファイルが、20m以浅

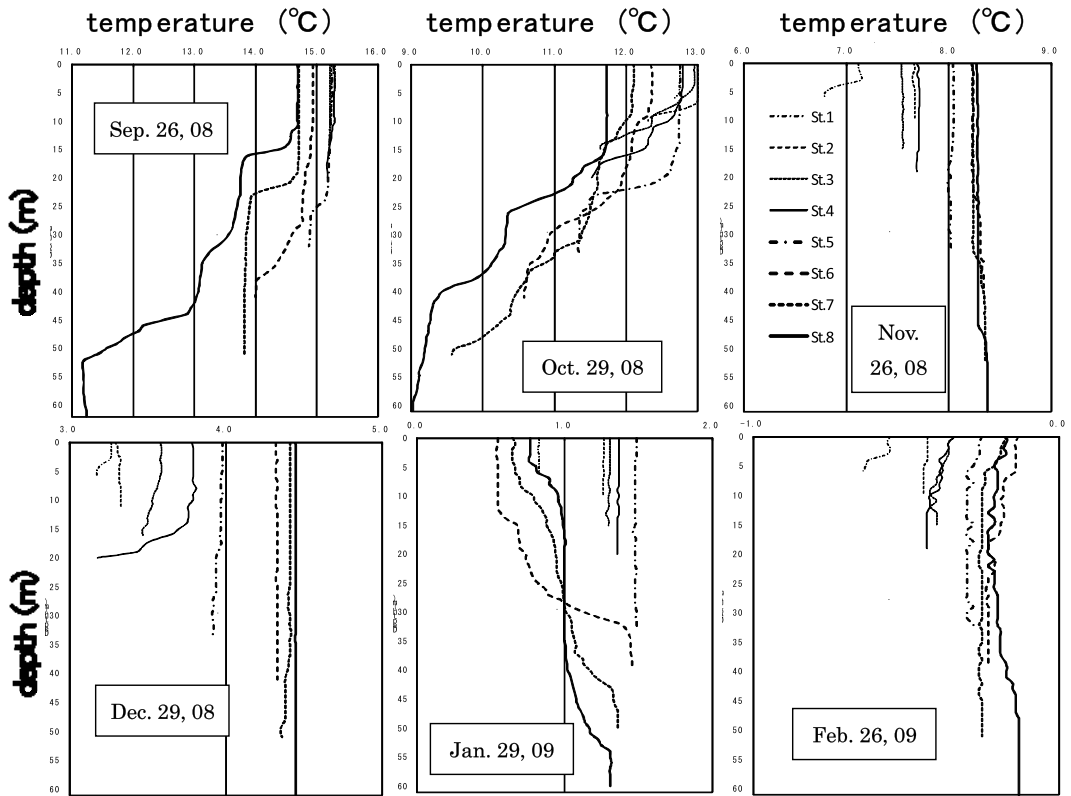


Fig. 12. Same as in Fig. 9, except for the period from September 26, 2008 to February 26, 2009 (period IV and period V). Temperature range is from 11.0 to 16.0°C and interval of vertical lines is 1.0°C in top left figure (September 26, 2008), from 9.0 to 13.0°C and 1.0°C in top middle figure (October 29, 2008), from 6.0 to 9.0°C and 1.0°C in top right figure (November 26, 2008), from 3.0 to 5.0°C and 1.0°C in left bottom figure (December 29, 2008), from 0.0 to 2.0°C and 1.0°C in bottom middle figure (January 29, 2009), and from 1-1.0 to 0.0°C and 1.0°C in bottom right figure (February 26, 2009), respectively.

で St. 4 と St. 5 のプロファイルが、それぞれ重なっているが、沖方向に水温が減少する傾向は明瞭に認められる。

「冬季」の時期にも 2007 年 12 月 1 日（日番号 334）および 2008 年 1 月 30 日（日番号 29）の 2 回の STD 観測が行われている。観測された水温鉛直プロファイルを Fig. 9 下段中と下段右にそれぞれ示す。「冬季」の水温プロファイルは、各測点において等温層が「夏季」よりも発達している。この等温層部分あるいは St. 6、St. 7、St. 8 では等温層より下の部分で、水温が沖に向かって上昇する傾向が明瞭に見られ、「冬季」の底層水温が沖に向かって上昇することの原因が、水温の水平勾配に起因することを示している。

#### 4-3. 期間 IV における水温変動

期間 IV (2008 年 1 月 30 日～12 月 29 日) では、

初めの 4 月 3 日までの St. 5 を除き、ほぼ St. 1～St. 5 までの記録が得られている。各観測点での、海底水温の基準季節変化 (Fig. 5) からの差をプロットしたのが、Fig. 10 である。St. 5 において 15 日移動平均値が利用できるのは 5 月 8 日（日番号 128）以降である。

期間 IV における St.3 における底層水温の変化は他の測点の変化に比べて特異である。4 月中旬頃（日番号 105）までは、St. 1 の水温とほぼ同じ値を示しているが、その後水温はどんどん降下していき、以降は St. 5 の水温に近い低い値で推移していく。その原因は分からないが、全体の特性を見ると、4 月中旬以降に異常に低い水温値を示す St. 3 の水温は考慮しないでおく。

期間 III の終わり頃から各測点の水温が低下しているが、期間 IV に入って、2 月 1 日（日番号 32）には、観測されている 4 測点全てで水温偏差

は負になっている。4月中頃までの部分で水温は沖に向かうほど低下する「夏季」の状態になっていたと考えられる。ただ、4月のSTD観測によると、30m水深に非常にシャープな水温躍層が見られており、少なくとも4月において、岸よりの4測点のデータから「夏季」の状態にあったと結論することは困難である。この現象については後に6章で論ずる。

St. 5の値が利用できる4月25日(日番号115)から9月末(日番号270)の期間では、異常なSt. 3を除き、St. 1からSt. 5まで水温は沖向きに単調に低下する典型的な「夏型」が現れている。それ以後も、St. 4とSt. 5の水温を比較してみると10月末(日番号300前後)までSt. 5の水温の方が低く「夏季」の特性が認められる。それ以後ではSt. 4とSt. 5の水温カーブは、ほとんど重なってしまうが、他の岸側の3点の水温よりは明らかに高く、「冬季」の特性が見られる。この年の「夏季」から「冬季」への移行は、10月下旬頃に起こったと考えられる。

期間IVとそれに続く期間Vにおいて、2008年4月3日から2009年2月26日までの約1年間の間にほぼ1ヶ月の間隔で12回のSTD観測を実施することができた(Table 1)。その結果をFig. 11とFig. 12に示す。Fig. 11の上段左の4月3日の水温プロファイルには明確なステップ構造が現れており、上段中央の4月30日のプロファイルにもその影響が残っている。このステップ構造については6章で改めて論じる。2008年5月28日(Fig. 11上段右)から、10月29日(Fig. 12上段中)までが、「夏季」の状態の時にとられたものであり、2008年11月26日(Fig. 12上段右)から2009年2月26日(Fig. 12下段右)までが「冬季」にとられたものである。STD観測は、全測点で実施されているので、海底水温が得られなかったSt. 6から沖の情報も得られている。「夏季」と「冬季」の全ての水温プロファイルに、等温層の発達が見られる。この部分に注目すると、「夏季」では測点が沖に向かうほど水温が低下し、「冬季」では上昇する傾向がみとめられる。

5月28日のSt. 3、St. 2のプロファイルを見ると底層に沿って低温水が侵入してきている。このため、底層近くでSt. 3、St. 2のプロファイルはSt. 4のそれと交わっている。このような現象が、水温の沖向きの低下が単調に起こらない原因の1つであろう。

#### 4-4. 期間Vにおける水温変動

期間V(2008年12月29日~2009年5月13日)ではSt. 2とSt. 3の記録しか得られていない。

両測点での海底水温の基準季節変化(Fig. 5)からの偏差値の変動をFig. 13に示す。この図では、2008年2月5日以降の期間IVの変化も含めてある。時期Vの少なくとも2009年2月頃までは、他の年であれば、「冬季」に当たる期間であるが、全期間にわたって、沖合のSt. 3の方が低温になっている。この傾向は、2008年の期間IVの「夏季」の状態がそのまま続いているように見える。

しかし、STD観測の結果を見ると、先に述べたように2009年11月26日(Fig. 12上段右)には「冬季」の水温構造になっていた。2008年11月26日ではSt. 2の水温プロファイルは、St. 3とSt. 4のプロファイルの間にあり、Fig. 13に示された沖側のSt. 3の水温が低かったことと整合性をもってはいる。しかし、2008年12月29日(Fig. 12下段左)と2009年2月26日(Fig. 12下段右)では、プロファイルの等温層の水温は沖に向かって上昇しており、沖側の方の水温が高い「冬季」の特性を示している。2009年1月29日の観測結果(Fig. 12下段中)は特異であり、St. 6、St. 7、St. 8の3つのプロファイルは約30mの深さで互いに交差している。この3測点で交差点より上では水温は沖向きに上昇しており、下では沖向きに低下している。これは上層では「冬季」の型であるが、下層では「夏季」の型を示していることになる。また、St. 1~St. 5までのグループは、その中で見る限り沖向きに水温が上昇しているが、より沖側の3点の水温よりも著しく高い。いわば、「夏季」の特性と、「冬季」の特性が入り混じった形になっている。このようにSTD観測で得られた水温構造は非常に変動している。これに対して、底層水温2測点の関係は長期にわたって維持されている。期間Vにおいては底層水温の変動特性と、STD観測の結果とを結び付けるのは困難である。しかし、期間VにおけるSTD観測の結果は、2009年1月29日の複雑な構造を除外すると、11月以降、他の年と同様に、「冬季」の状態にあったことを示している。

### 5. 得られた結果の総括と沖合海況との関連

#### 5-1. 水温の沖向きの水平勾配

三里浜沖の水深60m以下の極沿岸域の海況の季節変化を調べてきたが、その特徴の1つに、表層の季節水温躍層の部分を除くと、季節を問わず等温層が発達していることがあげられる。この等温層の水温は沖に向かって低下していく時期と、上昇していく時期があり、ここでは前者を「夏季」、後者を「冬季」と定義した。

三里浜を含む道東沿岸域の沖側には、道東沿岸

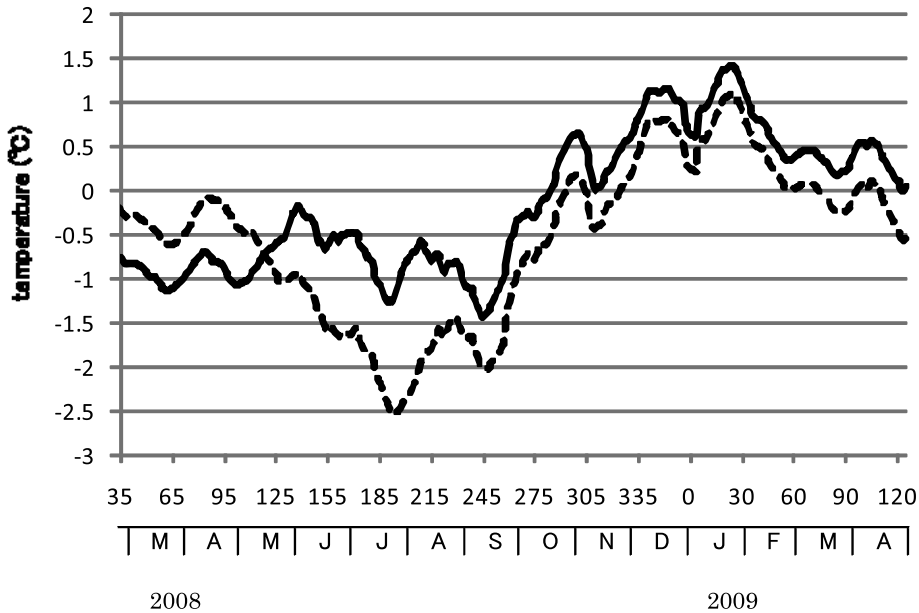


Fig. 13. Temporal variations of bottom temperature at St. 2 and St. 3 in period V (from December 29, 2008 to May 13, 2009). Variations at these points in period IV is also shown after February 5. Temperature values are shown as deviations from the reference curve shown in Fig. 5. Full lines indicate the temperature at St. 2, and dotted lines that at St. 3. Temperature in °C is taken in ordinate, and the day number counted from December 31, 2008 is taken in abscissa.

流（沿岸親潮・道東暖流）が流れており、冬季には低温・低塩分の水（沿岸親潮）が、夏季には高温・高塩分の水（道東暖流）が、岸に沿う形で南西方向に流れている。その出現状況の季節変化については永田ら（2009a）が、その水塊の季節変化については永田ら（2009b）が詳しく検討している。永田ら（2009a）は、水塊の季節変化を調べるのに、50m 深の水温・塩分を調べることを推奨している。この論文で扱っているのは極沿岸部ではあるが、最も沖の観測点 St. 8 の水深は 60m に達しており、沖合の流れとの関連をある程度は考察できるであろう。道東暖流の内部では、水温は沖向きに降下しており、沿岸親潮の内部では水温は沖向きに上昇している。「夏季」の沖向きの水温勾配は道東暖流のそれに連続する形になっており、「冬季」の水温勾配は沿岸親潮のそれに連続する形になっている。これまでの議論で、春後半から夏の期間を「夏季」、秋後半から冬の期間を「冬季」と呼んできたのは、夏を中心に現れる道東暖流と、冬を中心に現れる沿岸親潮を意識したためでもある。

5-2. 「冬季」・「夏季」の出現時期と沿岸親潮・道東暖流の出現時期

永田ら（2009a, 2009b）は、釧路水産実験場の 2 か月おきの観測資料を用いて、2 月～6 月が沿岸親潮の時期であり、8～12 月が道東暖流の時期であることを示している。また、沿岸親潮に関しては、1 月には発生していると一般に考えられている。

4 章の議論をもとに、「冬季」・「夏季」それぞれの各年でのおよその生起・消滅の時期をまとめたのが Table 2 である。4 章で論じてきたように、「夏季」から「冬季」へ、あるいは「冬季」から「夏季」への遷移の仕方は、年によって多様である。しかし、上述の各期間についての議論の中で考察したように、「冬季」、「夏季」の始まりと終わりのおよその時期を決めることができる。Table 2 では「冬季」、「夏季」の始期と終期を月の上旬、中旬、下旬あるいは何月頃という形で示してある。（この表で 2007 年秋から 2008 年に至る欄で、「夏季」の始まりを 1 月下旬としているが、4 月に、「冬季」とも「夏季」ともつかない構造が見られたので、その後を夏季の始まりと見れば、5 月中旬が始まりとすることもできる。ここでは 1 月末にすでに「夏季」的な構造が現れた



Table 2. Starting time and ending time of “winter season” and of “summer season”.

	“winter season”		“summer season”	
	start	end	start	end
2005~6		middle of February	late February	early November
2006~7	middle of November	early March	middle of March	middle of November
2007~8	late October	early February	end of January	around November
2008~9		early February		

ことを重視している。)

Table 2は「冬季」は11月頃に始まり2月頃に終わり、「夏季」は2~3月頃に始まり、11月頃に終わることを示している。この「冬季」・「夏季」の出現時期と、上に述べた沿岸親潮・道東暖流の出現時期との間にはかなりのずれがあり、沿岸親潮の始まりを1月とすると「冬季」の始まりは2か月程度ほど先行し、「道東暖流」の始まりを6月とすると「夏季」の始まりは4か月ほど先行していることになる。ただし、2か月、4か月といっても、その決定の精度は高いとはとても言えない。ここでは、「冬季」・「夏季」の出現時期は親潮・道東暖流の出現時期より早く、位相のずれは約3か月であると一応結論しておく。

### 5-3. 測点間に見られる位相差

岸一沖方向の位相の遅れは、三里浜沖の測点間にも見られる。例えば、Fig. 7において、2007年2月から3月に「冬季」から「夏季」に移る時期、St. 1とSt. 5の水温偏差値は互いに平行する形で減少するが、偏差値が0になるのは岸側のSt.1の方が早い。Fig. 8の10から11月、Fig. 10の9から10月の「夏季」の終末期に、各測点の水温偏差の曲線は平行する形で上昇するが、これらの曲線が0を切る時間は岸よりの測点の方が早く、沖の測点は遅くなっており、岸に近づくと位相が先行している。

季節変動を含めた2007年の生の水温変化をSt. 5~St. 8までの沖合4測点について、Fig. 14に太線で示す。上から下にSt. 5、St. 6、St. 7、St. 8の順に示すが、各図に比較のためSt. 1の水温変化を細線で示してある。St. 5では年間を通して観測が行われており、5月の初め頃から8月の初めごろまで、水温はSt. 1に比べて水温が低く、「夏季」の状態が生じていたことが分かる。St. 6以下では「夏季」の始まり部分の観測値は得られていないが、沖の測点ほど水温値が低下していく様子が見られる。「夏季」の終わりの時期に注目すると、測点の深さが増大するほど遅れる傾向が認められる。最も沖のSt. 8では11月になっても、僅かであるがSt. 1よりも低い水温値が認められる。

このような、測点間で生じる岸近くほど位相が先行するという現象は、「冬季」・「夏季」の出現時期が親潮・道東暖流の出現時期より約3か月先行することを直接説明するものではないが、関連する現象として興味あるところである。

### 5-4. 沿岸親潮水の起源について

従来から沿岸親潮は、その水の低温・低塩分性からその起源をオホーツク海の海水の融解水に求める見解がある(例えば、大谷、1971)。その根底には、沿岸親潮を涵養するに十分な量の一定の水塊特性を持つ低温・低塩分水が、海水の融解で作られ、作り出されることを前提としており、そのような水がオホーツク海から流出してくると考えている。しかし、均質な水が流出してきたとすると、三里浜の極沿岸域まで水温の水平勾配を持つような構造を作り出すことは考えにくい。

永田(2009)は道東海域を30分メッシュの領域にわけ、過去のデータからそれぞれの領域における水温の季節変化を調べている。42°N線沿いに東方へ並ぶ5つの領域AI、AII、AIII、AIV、AVの季節変化を比べると、2~3月の沿岸親潮期の最低水温は東に進むほど高くなる傾向を示す。また、8・10月の道東暖流期の水温は東に進むほど低くなる傾向を示す。この水温の東西勾配の特性が、東西に圧縮された形で道東沿岸域にもたらされるとすると、道東沿岸流の構造を説明できる。今後さらにアリューシャン列島南岸沿いの海況を調べる必要があると考えられる。池田実(私信)はDNAの解析から、知床半島の東西に住むハナサキガニは異なったグループに属していることを示し、この2つのグループは数万年前に分離されたことを示している。三里浜で見出された、極沿岸域においても沖向き水温勾配が存在するという特性も、根室水道等から流水の溶融水が直接この海域に流入してくると言う考えを否定していると考えられる。最近、根室水道が浅く、幅も狭いため、沿岸親潮水が、オホーツク海の水の直接的な流入によって形成されることに対して、否定的な見解が示されるようになってきている。特にOguma et al. (2008)は、化学物質の分析から、同様の結論を得ている。次に述べる2008

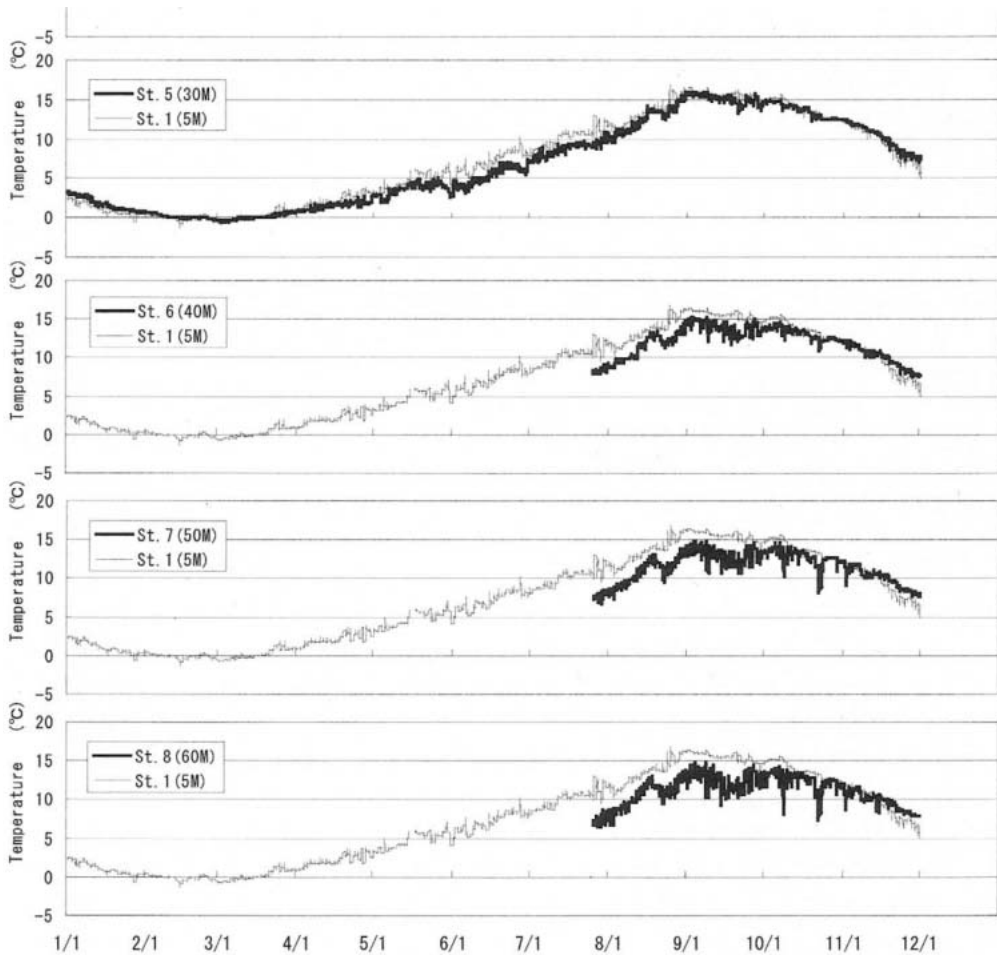


Fig. 14. Variations of bottom temperature measured at St. 5 through St. 8 (from top to bottom) in 2008. Thin curve drawn in each figure shows temperature variation at St. 1.

年4月3日に観測された事象も、海水の溶融水が沿岸親潮を作り出せないことを示唆している。

### 6. オホーツク海起源の海水の溶解水

2008年の3月、オホーツク海の流氷が大量に根室海峡を通過して太平洋に流出してきて、釧路周辺の海岸におびただしい流水が着岸した。このような流出は数年に1度くらいしか起こらない現象である。三里浜沖の観測域にも、3月3日に多量の流水が回遊してきて、沖側の4つの観測点 (St. 5 から St. 8) の底層水温測定システムが流失した。2008年4月3日に復旧作業を行い、その際に STD 観測を行っている。その時の水温プロファイルは Fig. 11 の上段左に示すが、30m 水深付近に非常にシャープな水温躍層が認められる。この水温躍層はシャープな塩分躍層をともなって

おり、最も躍層が発達している St. 7 では、31m 深では水温  $0.08^{\circ}\text{C}$ 、塩分 32.25 であるのに対して、32m 深では、水温  $-0.11^{\circ}\text{C}$ 、塩分 32.41 と急変している。この躍層から表層 10m の季節躍層季節躍層底部の間には水温  $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 、塩分が 32.2 前後の等温・塩分層が見られる。この層の水は、その低い塩分値から考え、太平洋に流出した海水の溶融水と推定される。躍層の下側では、St. 6 と St. 8 の水温プロファイルがほぼ重なりあっており、St. 7 の水温値がこれより低温側にある。したがって、「冬季」的な状態であったのか「夏季」的な状態であったかの判定できない。しかし、流水の溶融水の影響を受けていないと考えられる下層の水温が、流水の溶融水よりも低温であることは注目すべきであり、少なくとも 3~4 月においては、溶融水はそれほど低温の水を作りえ

ないことを示している。1例だけでは結論を得られないが、沿岸親潮の水が流水の溶融水でありえないことを示唆していると考えられる。

4月30日に観測された水温プロファイル (Fig. 11 上段右) では30m以浅に温度躍層が認められる。これは、溶融水による躍層の名残である可能性が高い。そうだとすると、4月3日に見られた流水溶融水層が4月30日にはほとんど消滅していることになる。したがって、流水溶融水から作られた層の寿命は高々1月と短いものであったと推定される。量的にも流水溶融水が沿岸親潮を形成するとは考え難い。

## 7. おわりに

この論文では、8地点に設置した海底水温計測装置による水温の連続測定の結果と、STD観測の結果を報告した。ハナサキガニが生息する三里浜沖の環境水温の周年的な変化特性を明確にすることを目的に行われたものである。ここでは水温構造の季節変化に焦点をあて、塩分構造・密度構造の検討は次の論文で扱う。3年間の成果は、初期の目的を十分果たすものであると考える。この結果は、ハナサキガニの生態・行動の研究に十分な指針を与えるものと確信している。さらに、ここで見出された三里浜沖に現れる特異な季節変化特性、「夏季」および「冬季」の水温鉛直プロファイルには表層を除き等温層が発達していること、この等温層の水温は、「夏季」では沖に向かって水温が低下し、「冬季」では沖に向かって水温が上昇すること、そうしてこれらの水温の水平勾配は、沖合を流れる道東沿岸流 (沿岸親潮と道東暖流) の特性にそのままつながっていると考えら

れること等の知見は、重要な成果と考える。また、「夏季」・「冬季」の発生時期は、沿岸親潮・道東暖流の発生時期に約3か月先行する。極沿岸水域内でも、「夏季」・「冬季」の現象は、岸近くが先行し、沖方向に遅れるという位相差が認められる。また、流水の溶融水はそれほど低温 (0°C以下) にならないことが示唆された。これらの知見は、道東沿岸流の起源水を求める研究に貴重な示唆を与えるものと考えられる。

## 引用文献

- 大谷清隆 (1971) : 噴火湾の海況変動の研究 II 噴火湾に流入、滞留する水の特性。北大水産彙報, 22, 58-66.
- 永田豊 (2009) : 根室周辺海域の海況の季節変化。うみ (La mer), 46, 135-140.
- 永田豊・小熊幸子・長瀬桂一・相川公洋・田中伊織・中多章文・夏目雅史 (2009a) : 道東沿岸流 (沿岸親潮・道東暖流) の季節変化。うみ (La mer), 47, 29-42.
- 永田豊・小熊幸子・長瀬桂一・相川公洋・田中伊織・中多章文・夏目雅史 (2009b) : 道東沿岸流の水塊の季節変化。うみ (La mer), 47, 67-73.
- Oguma, S., T. Ono, A. Kusaka, H. Kasai, Y. Kawasaki, and T. Azunaya (2008) : Isotopic Tracers for Water masses in the Coastal Region of Eastern Hokkaido. J. of Oceanography, 64, 525-539.

受付 2009年8月1日  
受理 2010年2月24日