

道東沿岸流の水塊の季節変化

永田 豊¹⁾・小熊 幸子²⁾・長瀬 桂一³⁾・相川 公洋³⁾・田中 伊織⁴⁾・
中多 章文⁴⁾・夏目 雅史⁴⁾

Seasonal variations of the water mass of the East Hokkaido Coastal Current

Yutaka NAGATA¹⁾, Sachiko OGUMA²⁾, Keiichi NAGASE³⁾, Kimihiro AIKAWA³⁾,
Iori TANAKA⁴⁾, Akifumi NAKATA⁴⁾, and Masashi NATSUME⁴⁾.

Abstract: In our previous paper (NAGATA *et al.*, 2009), we concluded that the depth range from 50 to 75m is the best level to analyze the revolution of the East Hokkaido Coastal Current and its water mass properties. We used in this paper the same data base of the Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station as in the previous paper. We selected two stations nearest to the coast, of the north-south observation lines P1, PK0, P2, PK1, P3. These stations are located inside of the current zone. We used the temperature and salinity data at 50m depth in order to analyze seasonal variations of the water mass of the East Hokkaido Coastal Current. We classified the data into three groups: case (1) that the East Hokkaido Coastal Current can be recognized both in the temperature and salinity cross-sections, case (2) that the Coastal Current can be recognized in either of the temperature and salinity cross-section and case (3) that no Coastal Current can be recognized both in the temperature and salinity cross-sections. However, the distribution areas of the water type of three cases for each month are well overlapped with one another on the TS surface, and the distribution natures of three cases appear to be almost identical. So, the distributions of two extreme cases (1) and (3) were examined. The distribution of case (1) is overlapped with that of case (3) for each month, but the overlapping manner is different one another. In the first half of the year (the season of the Coastal Oyashio), the area of overlapping is minimum in February when the Coastal Oyashio is strongest, is a little smaller in April, and is maximum in June. In the second half of the year (season of the East Hokkaido Warm Current), the areas are almost separated in October, indicating that the East Hokkaido Warm Current is strongest in October. The considerable overlapping area is seen in August, and two distributions are almost identical in December. The distribution of the water type of case (1) in the first half of the year is well separated to that of the second half of the year; the temperature value in the first half is higher than 4°C, and

¹⁾ : 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第一統合ビル6F
Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association

²⁾ : 北海道水産研究所 : 〒085-0802、北海道釧路市桂恋116
Hokkaido National Fisheries Research Institute

³⁾ : 根室市水産研究所 : 〒087-0166、北海道根室市温根元168
Nemuro City Fisheries Institute

⁴⁾ : 北海道立中央水産実験場 : 〒046-8555、北海道余市郡余市町浜中町238
Hokkaido Central Fisheries Experiment Station

that in the second half is lower than 4°C. The results obtained here indicate that the east Hokkaido Coastal Current Water cannot be generated by the water mass which has been carried directly from the Okhotsk Sea.

Keywords: the East Hokkaido Coastal Current, the Coastal Oyashio, the East Hokkaido Warm Current, water mass analysis, seasonal variations

1. はじめに

KURODA *et al.* (2006) は、日高湾沖を中心に沿岸親潮の流速場を数値実験をもとにして論じており、沿岸親潮がその沖合部に顕著なフロントを持ち、そこに速い流速場が存在することを示し、それをADCPによる実測流速場と対比している。また、坂本圭（私信）も道東沖についても同様のフロント構造が認められることを示している。前回の論文（永田ら、2009：以下では前論文と呼ぶ）において、水温・塩分の鉛直断面に現れる等値線の形状だけから、道東沿岸流の出現状況の季節変化を考察したが、沿岸親潮の外縁にフロント構造が見られることは、水温・塩分の鉛直断面から容易に沿岸親潮の存在・非存在を判定できることを示唆している。前論文では、水温・塩分の鉛直断面に現れる形状に、沿岸に接して低温・低塩分の帯が現れている場合を沿岸親潮が出現しているとし、高温・高塩分の帯が現れている場合を道東暖流が出現しているとして、その現れる頻度を調べ、年の前半（2月、4月、6月）は沿岸親潮の現れる季節であり、年の後半（8月、10月、12月）は道東暖流の現れる季節であることを示した。このように鉛直断面に現れる等値線の形状だけに焦点を絞ったのは、小笠原（1990）が指摘しているように、道東沿岸流の水の水温・塩分値が、非常に大きな季節変化を示すために、一年を通しての水塊特性を系統的に議論することが難しかったためである。しかし、前論文において、道東沿岸流の厚さは、沿岸親潮の場合も道東暖流の場合も、100m程度であり、75m深を超すと出現頻度が減少することが示された。また、道東暖流の場合、夏季においては、この海域を広く覆う高温・低塩分の表層水が出現するために、30m以浅ではその構造が見難くなることが多いことが示された。そこで、この論文では一年を通して道東沿岸流の構造が見易い50m深を選んで、その季節変化を論ずることにする。

2. 使用したデータと解析方法

年6回観測が実施されている北海道立釧路水産実験所の定期観測資料の中から、1990年から1996の7年間のデータを使用した。観測は原則として、2月、4月、6月、8月、10月、12月に行われる

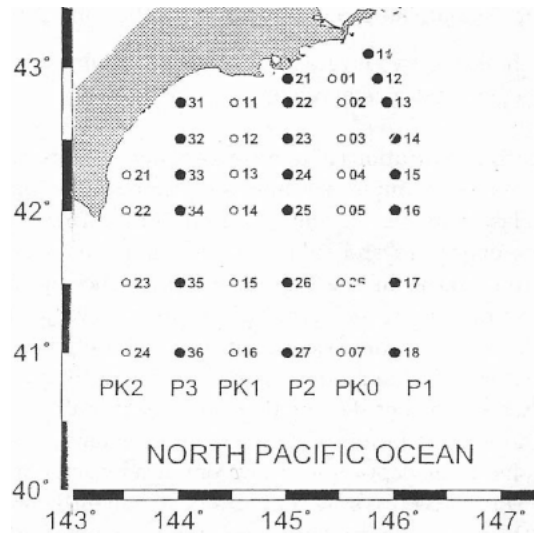


Fig. 1. Routine observation network of the Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station. Oceanographic observations are conducted six times per year: basically in February, April, June, August, October and December. P1, PK0, P2, PK1, P3, and PK2 are the names of the north-south observation lines from east to west.

が、この期間では1990年から1992年の3年間は、6月の代わりに5月に、1992年には8月の代わりに7月に観測されている。これらについては便宜上翌月に観測されたものとして取り扱う。測点の配置はFig. 1に示すが、PK2測線は42°N以北には2測点しかなく、欠測も多いため、この論文では、P1、PK0、P2、PK1、P3の南北測線における水温・塩分の断面分布を中心に検討する。前論文で、一年を通して道東沿岸流の特性が最もよく現れることが示された50m層の水温・塩分値を解析の対象に選び、各測線で最も岸よりの2測点のデータを選び出して用いる。これらの測点は、水温・塩分断面形状に道東沿岸流が現れる場合には、ほとんど例外なしに、道東沿岸流域内に含まれる。なお、本論文においても、前論文同様、断面図における等値線は、水温の場合には1°C間隔で、塩分の場合には0.1間隔で引き、その形状から、道東沿岸流の存否を判断した。

出現状況の分類は、前論文の場合よりも簡略化し、場合（１）水温・塩分の断面の双方に沿岸親潮あるいは道東暖流が現れており、選ばれた観測点の50m層がその内部に含まれている場合、場合（２）水温・塩分の断面の片方だけに沿岸親潮あるいは道東暖流が現れており、選ばれた観測点の50m層がその中に含まれている場合（沿岸親潮型では塩分分布に注目、道東暖流型では水温分布に注目する）、場合（３）水温・塩分の断面の双方に沿岸親潮あるいは道東暖流が現れていないか、現れていても選ばれた観測点の50m層がその外部にある場合に分けた。最初、これらの場合それぞれについて、月別にデータを一枚のTS図上にプロットして見たが、データの存在範囲はどの月でも互いに大きく重なり合っており、明確な差は認め難かった（NAGATA, 2009）。このことは、道東沿岸流の有無によっては水塊特性がほとんど変わらないことを意味し、他の海域（例えばオホーツク海）から特徴的な水塊特性を持つ海水の流入によって道東沿岸流が形成されるとは考え難いことを示唆している。

3. 道東沿岸流の水塊の季節変化

沿岸親潮の水はその沖合の水に比べてより低温・低塩分であり、道東暖流の沖合の水に比べてより高温であり高塩分である。もしも、道東沿岸流のすぐ沖側の水が、道東沿岸流水が流入してこない場合の、この海域に特徴的な水であるとすると、場合（３）の水塊特性は、この海域に特徴的な水であるはずである。上述のように、道東沿岸流が存在する場合と、存在しない場合で、沿岸流の位置の水塊の性質があまり変わらないことは何を意味するのであろうか。そこで、上記に分類で、両極端である場合（１）と場合（３）の場合を比較して、道東沿岸流の有無によって、道東沿岸流域の水塊特性にどのような差が現れるかを詳細に検討して見よう。

沿岸親潮

沿岸親潮の季節である２月、４月、６月の場合について（前論文参照）、TS図上に水型の分布をそれぞれFig. 2、Fig. 3、Fig. 4に示す。これらの図では、沿岸親潮が水温・塩分の両方の断面に明確に現れた場合（１）を●で、両断面の両方に認められない場合（３）を△で示している。それぞれの図において、●のデータ点の分布が△の分布に比べて低塩分側に偏っていることが認められる。しかし、いずれの月でも分布域は互いに重なっていることは注目すべきである。前論文で、２月が沿岸親潮の最強期であり、ほぼ100%その出現が認められること、出現率は４月から６月に向かっ

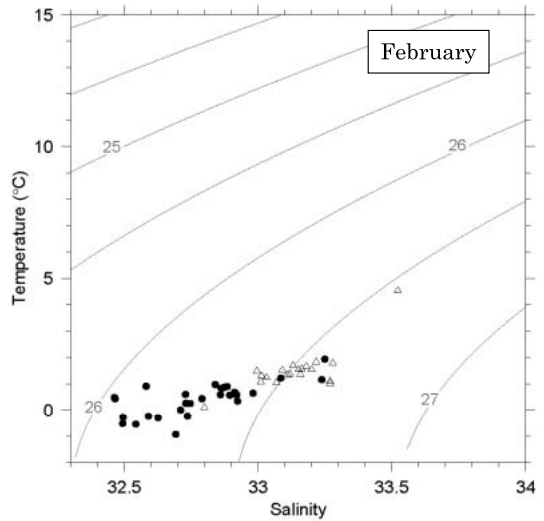


Fig. 2. Scatter diagram of water types on TS surface in February: solid circles (●) indicate the case (1) when cold and fresh water belt (the Coastal Oyashio) can be seen along the coast on both of temperature and salinity cross-sections, and open triangles (△) the case (3) when cold and fresh belt cannot be seen on both of temperature and salinity cross-section. Numerals attached on curves indicate density σ .

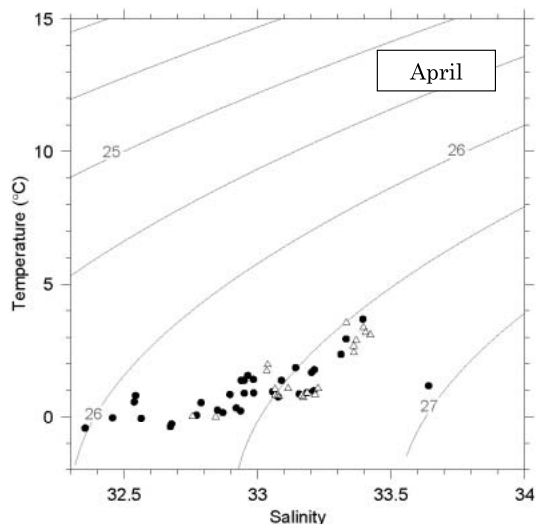


Fig. 3. Same as in Fig. 2 except for April.

て順次減少していくことを示したが、面白いことに、分布域の重なりは２月で最も少なく４月から６月に向かって順次重複域が増大していく。６月

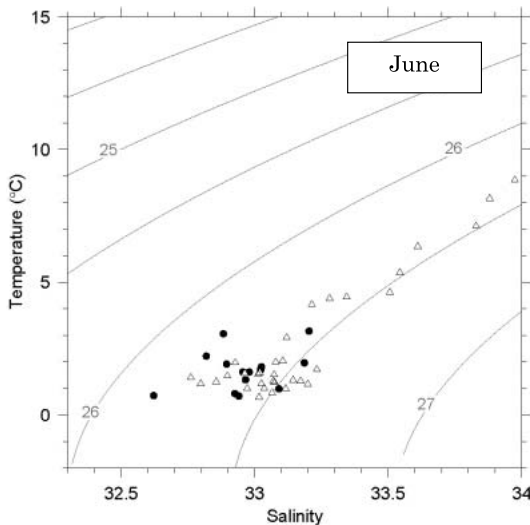


Fig. 4. Same as in Fig. 2 except for June.

では、場合(3)のデータ(Δ)が、33.2以上の高塩分側に分布域を伸ばしているが、この部分を除くと、両者の分布域は全く重なっている。分布域は全体として4月から6月に向かって高塩分側にシフトする傾向があるが、分布域の重複の度合いが沿岸親潮の強度と逆相関を示すことは興味深い。

Fig. 2、Fig. 3の水型の分布(場合(1))は、いわば沿岸親潮の内部の水型をランダムに採集したものである。もしも水塊特性が季節によってさまざまであるならば、水型の分布は沿岸親潮の中の水塊分布をあらわしていることになり、データ点とその周りに分布する右上がりの直線は、平均的な水塊分布を示すことになる。右上がりということは、沿岸親潮内で岸から沖に向かって水温・塩分が増加していくことに対応していると考えられる。大谷(1971)は沿岸親潮の水塊を水温 2°C 以下、塩分33.0以下で定義しているが、これは2月と4月の場合(1)のデータ分布に対応すると考えられるが、今回の解析結果では、より高塩分側にもデータ点が存在する。33.3以下ではデータ点は1つのやや右上がり直線周りに分布するが、塩分33.3以上ではこの直線から離れるように見える。典型的な親潮水の定義には33.3以下に取るべきかもしれない。しかし、場合(3)のデータもほぼ同じ範囲に現れるから、沿岸親潮の水塊を水温・塩分の範囲を与えて定義出来るかどうか、かなり疑問がある。

前論文で、水温、塩分の等値線をそれぞれ 1°C 、0.1の間隔で引いた場合、沿岸親潮は水温断面よ

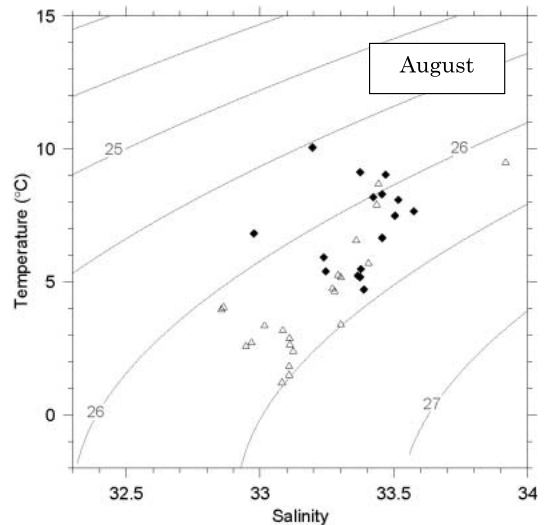


Fig. 5. Scatter diagram of water types on TS surface in August: solid diamonds (\blacklozenge) indicate the case (1) when warm and saline water belt (the East Hokkaido Warm Current) can be seen along the coast on both of temperature and salinity cross-sections, and open triangles (Δ) the case (3) when warm and saline belt cannot be seen on both of temperature and salinity cross-section.

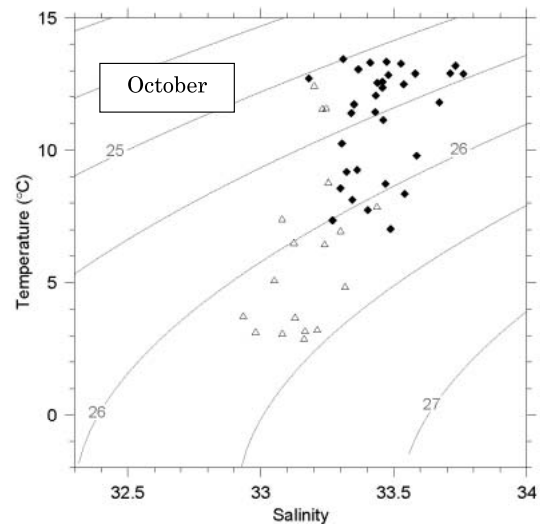


Fig. 6. Same as in Fig. 5 except for October.

りも塩分断面により明確に現れることを示した。データ点の分布が、若干右上がりであるが、かなり塩分軸に平行な直線の付近に分布することに対応していると考えられる。また、沿岸親潮の力学

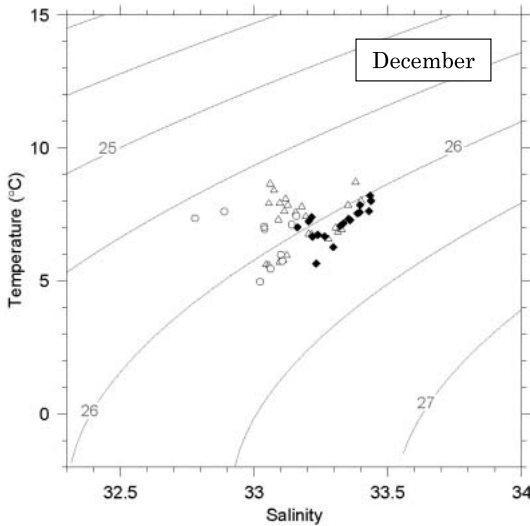


Fig. 7. Same as in Fig. 5 except for December. Water types for the case when cold and fresh water belt (the Coastal Oyashio) can be seen along the coast both on temperature and salinity cross-sections are also plotted with open circles.

を考慮する場合、密度構造に注目する必要があるという指摘があるが（河野時廣：私信）、この分布特性は沿岸親潮が明確な密度構造を伴っていることを示唆している。

6月の水型の分布では塩分が33.3以下の部分では、場合（1）と場合（3）のデータの分布範囲がほぼ完全に重なっている。33.3以上の部分では、場合（3）のデータの存在範囲が高温・高塩分側に等密度線に沿うような形で伸びている。この分布特性の意味合いは良く分からないが、6月は沿岸親潮の季節から、道東暖流の季節への遷移時期に当たっており、道東暖流的な構造が現れ始めているのかもしれない。遷移時期の水塊変化については、さらに検討する必要がある。

道東暖流

道東暖流の季節である8月、10月、12月の場合について、TS図上に水型の分布をそれぞれFig. 5、Fig. 6、Fig. 7に示す。これらの図では、道東暖流水温・塩分の両方の断面に明確に現れた場合（1）を◆で、両断面の両方に認められない場合（3）を△で示してある。前論文で示したように12月には、岸沿いに低温度・低塩分の沿岸親潮に対応するような水の帯が現れる場合がある。12月のFig. 7には、その場合の水型を、○で合わせて示してある。

場合（1）と場合（3）の水型の分布範囲は各

月ともに、相互に重なり合っている。しかし、その重なり方は月によって大きく異なり12月（Fig. 5）では全く重なり合っているのに対して、8月（Fig. 7）においては、場合（3）のかかなりの数のデータ点が場合（1）のデータ域よりも低温・低塩分側に存在しており、分布域に若干の違いが見られる。10月（Fig. 6）では、一部に重複する部分はあるが、場合（1）のデータは、場合（3）のデータとはほとんど分離されている。前論文では8月も、10月も同様に道東暖流が強勢となる時期と判断したが、この水塊分析の結果は、10月に道東暖流が最も強勢になる時期と考えるべきことを示している。

12月を除くと、場合（1）のデータ点（◆）は、低温（低塩分）側から高温側（高塩分側）に伸びている。沿岸親潮の場合に比べて、データの散らばりが大きく、ある直線の周りに集まっているとは言えないが、塩分変化よりも水温変化が大きく、全体として温度軸に平行する形になっている。前に述べたように、これを道東暖流内の水塊構造を表すものと考え、道東沿岸流が、塩分断面よりも水温断面に現れやすいという、前論文の結論を支持する形になっている。データの分布する高温部分では、等密度線の傾きが小さくなっており、塩分軸にかなり平行する形になっているため、データ分布は道東暖流は、沿岸側（高温側）から、沖合（低温側）に密度が増大することになり、沿岸親潮の密度構造の場合と同様の密度構造を示すことになる。道東沿岸流域の水深が浅いので、完全に地衡流とみなせるかどうか分からないが、道東沿岸では1年を通して南西流が卓越していること（日下ら、2009）と整合性がある。

12月の水型の分布（Fig. 7）は、8月、10月の分布とは、非常に違っている。場合（3）のデータ点（△）は、場合（1）のデータ点（◆）より僅かであるが、高温側、低塩分側に現れる傾向があるが、ほとんど重なっている。また、場合（1）のデータ点は、温度軸に平行に分布するのではなく、むしろ塩分軸に平行（ないしは等密度線に平行）に分布している。前論文で、12月は全体として道東暖流の季節であると考えられることを述べたが、この分布形状は沿岸親潮の分布形状に対応している。12月には、時として、沿岸親潮の形状（岸沿いに低温・低塩分の帯）が認められることがあるが、その場合の水型のデータを○で示してある。この場合の水は、場合（1）に比べても、明らかに低塩分側に現れる。しかし、その水温値は5℃以上あり、通常の沿岸親潮の水温よりはるかに高温である。前論文で、12月には沿岸親潮の前駆現象が現れることがあると考察したが、水温

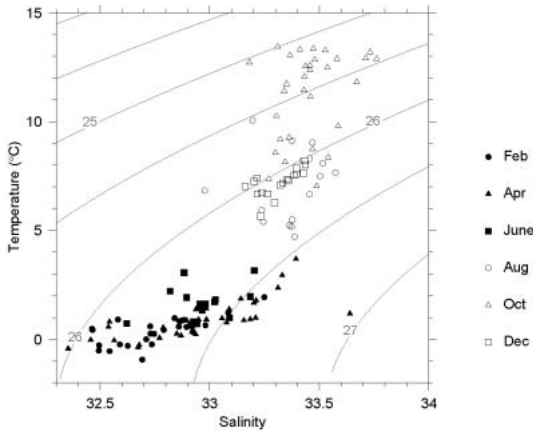


Fig. 8. Scatter diagrams of water types on TS surface in the case (1) that the Coastal Oyashio (solid symbols) or the East Hokkaido Warm Current (open symbols) can be seen both in temperature and salinity cross-sections. Solid circles (●) are for February, solid triangles (▲) for April, solid squares (■) for June, open circles (○) for August, open triangles (△) for October and open squares (□) for December.

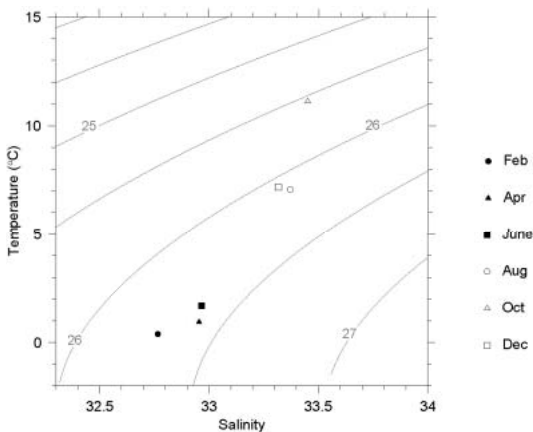


Fig. 9. Seasonal variation of the water type averaged for each month. Same symbols are used just as same as in Fig. 8.

値が非常に高いことには留意すべきであろう。

水型の季節変化

道東沿岸流の水塊の季節変化を見るためFig. 2からFig. 7の場合(1)の水塊分布を1枚の図に示したものがFig. 8である。また、各月について、場合(1)の水温・塩分の平均値から平均的な水塊の季節変化を示したものがFig. 9である。

まず注目すべきことは、沿岸親潮の季節である年の前半(2, 4, 6月)と、道東暖流の季節である年の後半のデータが4°Cを境に完全に分離されていることである。上述のように転換期の6月あるいは12月の分布特性が同じ季節の他の月に比べて若干異なった特性を持っているものの、やはり6月は沿岸親潮の季節に属し、12月は道東暖流の季節に属していると考えるのが自然であろう。Fig. 9の結果は、道東沿岸流の水塊特性は平均的にはTS図上を一定の曲線上を往復するように変化することを示している。(曲線の形状を決定するには、月別のデータを使用して分解能を細かく、せめて一か月にすることが望ましい。)

ここで注意しておきたいのは、水温・塩分の両断面に道東沿岸流が認められた場合(1)と両断面ともに認められなかった場合(3)を比較して、両者の差異が全般的に小さかったことである。実際には、水温・塩分の断面の一方(沿岸親潮では塩分断面、道東暖流では水温断面)のみに認められる場合(2)があり、この場合のデータはTS図上では場合(1)、場合(3)の中間にあり、両者と非常に重なって分布する。そのため、全体は1つのグループに属するようには見えない。また、Fig. 8, Fig. 9に見られるように、2か月ごとに見た季節変化は、各月の場合(1)の水型分布範囲に匹敵するか、それ以上に変化している。言いかえれば、道東沿岸流域水の水塊特性は、沿岸流の有無よりは、季節によって決まる傾向にあることを示す。前論文で示したように道東沿岸流の厚さは100m程度であるから、道東沿岸流水は、その源泉水の特性よりは、この海域にもたらされる途中での、大気との相互作用や、陸水の影響で決まっていることが強く示唆されていると考えられる。

4. 道東沿岸流の水塊の形成機構に関する考察

この研究は根室市水産研究所とロシアのサハニロ(SakhNIRO)研究所との共同研究ハナサキ・プログラムの一環として実施されたものである。このプログラムの中で、東北大学のグループは、ハナサキガニのDNAの解析を通して、知床半島の西側の斜里で得られるハナサキガニがサハリンで得られたカニと同じ集団に属するが、根室周辺および国後島と色丹島・歯舞諸島に挟まれたユジノクリリスク海峡(通常三角領域と呼ばれる)に生息するハナサキガニとは異なった集団に属することを示している(池田実:私信)。しかも、この2つの集団は遺伝学的に見て数万年前に分離させられたと推定される。このことは道東沿岸流水が、その源泉を直接オホーツク海に直接求め得る

かどうか疑問を与えるものである。また、三角領域でハナサキガニの幼生が多数補足されるが、そこでの循環流の中にトラップされた形になっており (N. GALANIN: 私信)、そのため、根室周辺ではほとんど捕捉されないことが示されている。このことは、根室水道あるいは三角領域から道東沿岸流を形作るような海水の供給が行われていないことを示している。

現在資料の整理中であるが、ハナサキ・プログラムの中で、根室の太平洋側の落石岬の近くの三里浜沖にあるハナサキガニ試験操業地で水深5mから60m至る8点の海底水温の連続観測を行っている。その結果によると、沿岸親潮の最盛期にあたる2月を中心とする冬季には、海底水温は沖に向かって増加し、道東暖流期に対応する晩春から夏季にかけての海底水温は沖に向かって低下するという結果が得られている。記録の回収作業時にSTD観測を実施しているが、この両時期においては、極表面層を除いて、水温は鉛直方向にほぼ一様であり、これらの水温の岸一沖変化は、水温場の水平構造に起因していることが示される。これらの水温の水平構造は、そのまま沿岸親潮または道東暖流の水温の水平構造につながっているようである。このような構造が出現する時期は、浅海部のほうが、沖合の沿岸親潮・道東暖流の出現する時期よりも1ヶ月くらい先行する。もしも、一般的に道東沿岸流の水平温度勾配が岸近くまで続いているとするならば、他の海域の特徴的な水塊特性を持つ水の流入によっては、道東沿岸流の水塊を形成するとは出来ないことになる。

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線沿いに根室沖の領域AIからAVまで東方へ並ぶ5つの領域で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し、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、道東沿岸流の特性的な構造を説明できる。

例えば、道東沿岸流の水の起源がオホーツク海の水であっても、根室水道や、三角領域を通るような短い道筋を通らないとすると、道東に至るまでに、水塊の性質が大きく変質することは十分予想できる場所である。明確な結論を得るには、直接的な海況観測を含めた更に多くの研究が必要とされようが、そのような研究に対して、この論文の成果がよい指針を与えようと信じる次第である。

謝辞

本研究に用いた資料は全て、北海道立釧路水産実験場の北辰丸による観測データである。困難な観測作業に献身的な努力をして頂いた北辰丸の船長を初めとする船員の方々に心からの感謝の意を表します。また、根室市水産研究所とロシアのサハニロ (SakhNIRO) 研究所との共同研究ハナサキ・プログラムの一環として実施されたものである。

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.
- 小笠原惇六 (1990): 北海道東部・南部沿岸海域II。続日本全国沿岸海洋誌, 473-483.
- KURODA, H., Y. ISODA, H. TAKEOKA, and S. HONDA (2006): Coastal Current on the Eastern Shelf of Hidaka Bay. *J. Oceanography*, 62, 731-744.
- 日下彰・小埜恒夫・東屋知範・葛西広海・小熊幸子・川崎康寛・平川和正 (2009): 北海道東部太平洋域における海洋構造の季節変化。海の研究 (印刷中).
- 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 (2009): 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.
- NAGATA, Y. (2009): Outflow of Okhotsk Sea Water and Oceanic Condition of the Sea East of Hokkaido. Proc. 4th Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Area, PICES Sci. Rep. No. 36. (in press)

受付 2009年5月11日

受理 2009年7月9日