

I 論 文

1. オホーツク海の移行層について

On the Transitional Layer in the Okhotsk Sea

木 谷 浩 三 (遠洋水産研究所)

Kozo KITANI (Far Sea Fisheries Research Laboratory)

1. ま え が き

オホーツク海の海洋構造あるいは海況については、今日までにいくつかの研究報告がなされているが、日本周辺の他海域に比較してその数はきわめて少なく不明確な点が多い。これは、カムチャツカ西岸域など一部の陸棚海域を除いて、オホーツク海漁業の占める地位が低いため、漁場学的な立場での海洋研究が要求されなかったことがあげられる。また、オホーツク海は高緯度海域であるため冬季を中心とした海洋観測が、きわめて困難であることも大きな原因となっている。

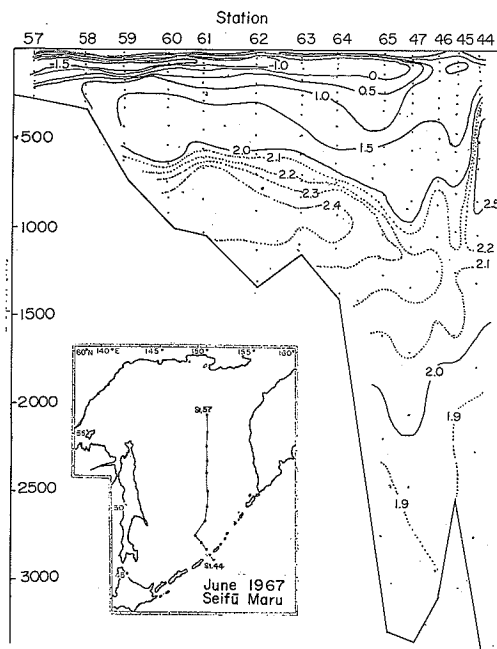
しかし道東から三陸沖海域にかけての漁場形成において重要な環境要因となっている親潮は、その何割かがオホーツク海から流出してくる冷水を起源としており、この親潮との関連においてもオホーツク海の海洋構造を明らかにすることは必要であろう。

本報告では、オホーツク海の海洋構造、特に親潮と密接な関係が考えられる移行水について述べる。

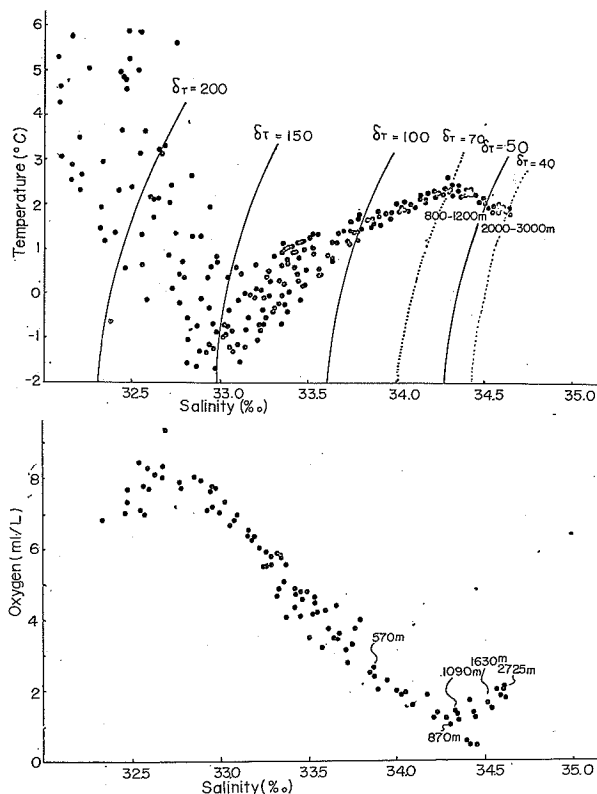
資料としては、主に親潮丸(1969年8月, 1970年9月), 清風丸(1967年6月), Argo(1966年2月, 3月)による観測結果を使用した。

2. オホーツク海の層重と移行水の特性について

夏季オホーツク海の南北断面における水温分布は、第1図に示すとおりである。千島列島沿い海域や樺太北東海域など一部を除いて夏季の表層水は低鹹で、水温は 10°C 以上を示す。このため表層下30m~50m層に水温・塩分・密度の顕著な躍層が形成される。この躍層下には極小水温層すなわち中冷層が存在する。北部陸棚上では、この極小水温層が海底付近に見られることが多い(底冷水とよぶ)。中冷水の下層、約1000m層付近には、水温極大層(オホーツク海下層暖水とよぶ)が認められる。また、1000m層付近の中冷水からこのオホーツク海下層暖水の間には約900mにもおよぶ移行層が存在する。オホーツク海南域の深海には、下層暖水の下に深層水が存在する。この図からも明らかなように夏季の層重状態は、海域によって異なっている。すなわち、北部陸棚上では表層水と底冷水の二重構造として考えることができるが、水深約2000m以浅のオホーツク海中央域では、表層水、中冷水、移行水、下層暖水の4層、南域の水深2000m以深ではこの他に深層水が見られる。



第1図 オホーツク海南北断面における水温の分布



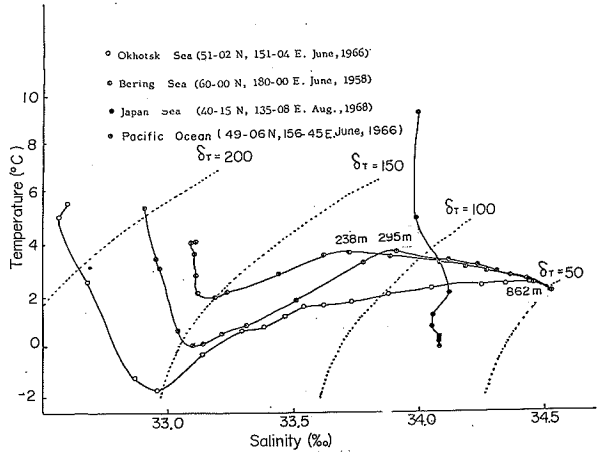
第2図 オホーツク海南域におけるT-S関係(上図)および O_2 -S関係(下図)

第2図は、オホーツク海南域のT-S関係、 O_2 -S関係を示している。比容アノマリー $\delta_T = 150 \text{ cl/ton}$ 付近に顕著な中冷水が見られ、 $\delta_T = 70 \text{ cl/ton}$ 付近に下層暖水が認められ、 $\delta_T = 150 \text{ cl/ton}$ から 70 cl/ton の間には低温、低鹹から高温、高鹹に変化する移行水が認められる。また 2000 m から 3000 m の $\delta_T = 40 \text{ cl/ton}$ 付近で深層水がみられる。

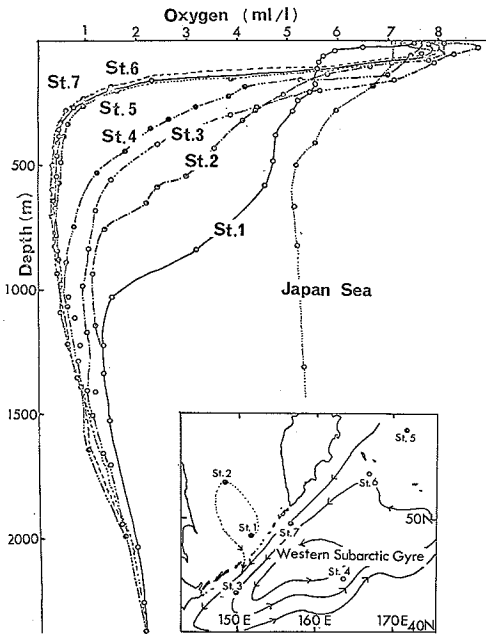
O_2 -Sダイアグラムにおいて、塩分 32.7 ‰ 付近で 8 ml/L 以上の極大溶存酸素となるが、この層は中冷水の上方の躍層付近にあたる。中冷水の溶存酸素量は、比較的高くおよそ 6 ml/L 以上飽和度は 70 ‰ 以上である。下層暖水では溶存酸素量は極小となり約 1 ml/L を示す。図中、 1 ml/L より低い点は北樺太東方の 1500 m 以深の海盆にみられるものである。深層水は 2 ml/L 以上の溶存酸素量を示す。

第3図はオホーツク海およびオホーツク海に隣接する海域のT-S曲線を示している。ベーリング海、北太平洋北西域、オホーツク海には中冷水があり、概して似た曲線であるが、日本海はこれら海域と全く異なった形となり、他海域から孤立していることが示唆される。

ベーリング海や北太平洋北西域では、オホーツク海にくらべて、きわめて浅い層に水温の極大層が認められる（これを中暖水とよぶ）。一方、オホーツク海に見られる極大水温層は深度が大きく、この水はベーリング海や北太平洋北西域では中暖水と深層水の間の水となっている。このことは、オホーツク海下層暖水は、オホーツク海固有の水ではなく、太平洋側海域を起源とする水であることを示している。この図からも明らかなようにオホーツク海の中冷水は他海域にくらべ概して低温であるが、さらに中冷水以深の移行水も低温であり、その層は極めて厚い。



第3図 オホーツク海および隣接海における代表的T-S曲線



第4図 オホーツク海および隣接海域における溶存酸素の鉛直分布

第4図は、オホーツク海と隣接海域の溶存酸素量の鉛直分布を示している。

日本海は、500mから1000m層に酸素極小層があるが、その溶存量は極めて高く5ml/L以上を示している。また鉛直変化も小さく2000m以深まで5ml/L以上となっており、T-S曲線と同じく隣接海域と全く異なった分布を示す。

図中、St.1に示されるオホーツク海の南域では、700m付近まで4ml/L以上の高い溶存酸素量を示し、約2000mから1000m付近までの移行水にあたる深度では、日本海を除く他の隣接海域では見られない高い値を示している。

オホーツク海中央域(St.2)の移行層も高い溶存量を示すが、St.3、St.4では、中冷水の下層における溶存酸素量は小さい。ベーリング海(St.5)やカムチャッカ半島東方域(St.6)、南方域(St.7)では、中冷水の下方で著しく低

溶存酸素となり、300mから1400mまでの厚い層で1.0 ml/L以下となっている。300m以深の溶存酸素量が高い海域は、オホーツク海から南千島南域、さらにその東方域と拡がりを示すが、この拡がりは、ちょうどWestern Subarctic Gyreと一致している。このgyreの北東部にあたるカムチャッカ半島東方域では、中層の溶存酸素量は低く、水温は比較的高いが、gyreの南西部では、オホーツク海から流出してくる移行水のため溶存酸素量は高くなり、水温は低くなる。

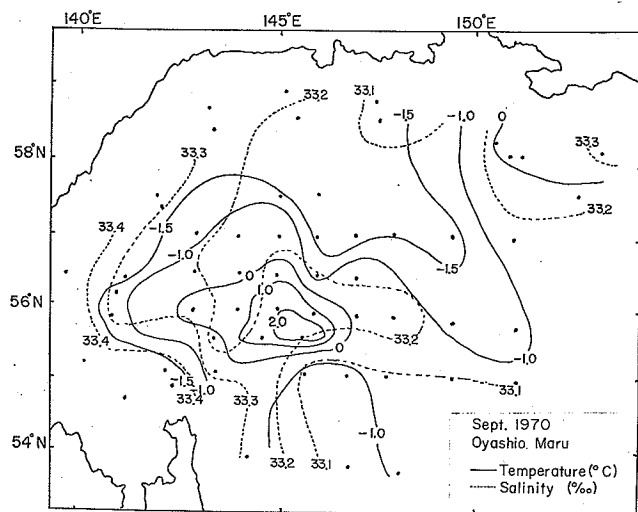
このように北太平洋北西域の中層水と密接な関連があるオホーツク海の移行水は、他海域には見られないオホーツク海特有の水である。

前述のごとく、移行水は低水温、高酸素量でその厚さはきわめて厚いが、この移行層の中には、しばしば水温の極大、極小が認められる。すなわち、水温鉛直分布において100m層付近の極小水温層の下方に、もう一つの極小水温層が見られる。

また溶存酸素量の鉛直分布においても、この極小水温層付近に極大の酸素量がしばしば認められる。

3. 移行水の形成機構について

オホーツク海で最も極小水温の低いのは、北部陸棚海域で、秋季にも -1.7°C 以下の冷水が広くみられる。ここに、北部オホーツク海の100m層における水温、塩分の分布をみると第5図のようになる。樺太北東海域は、オホーツク海の中では、特異な海域で(木谷・島崎, 1971)この海域の水温、塩分などは複雑な分布を示すが、ここで注目されることは、冷水の卓越する陸棚海域特に北北海域で塩分が高いことである。この高鹹底冷水は、冬季この海域で多量に海水が形成され塩分濃縮が行なわれることによってつくられると考えられる。



第5図 北部オホーツク海の100m層における水温・塩分の水平分布(木谷・島崎, 1971より)

第6図に、北部オホーツク海の陸棚から沖合にかけての断面の水温、塩分の分布を示した。前述のように、この断面の中央部は、鉛直混合の発達した特異な海域で、中冷水は全く見られない。陸棚上のSt. 117にみられる高鹹底冷水は、海底面上に沿って深い海域に拡がる分布を示している。海水の形成機構から考えると概して深度の浅い沿

岸域ほど高鹹な低冷水が形成されることになる。従って、深度の浅い海域ほど低比容の冷水がつくられることになるが、これらは比容が小さいため、当然、陸棚上を降下する。St. 117の底冷水が陸棚上を拡がるのは、このためであろう。

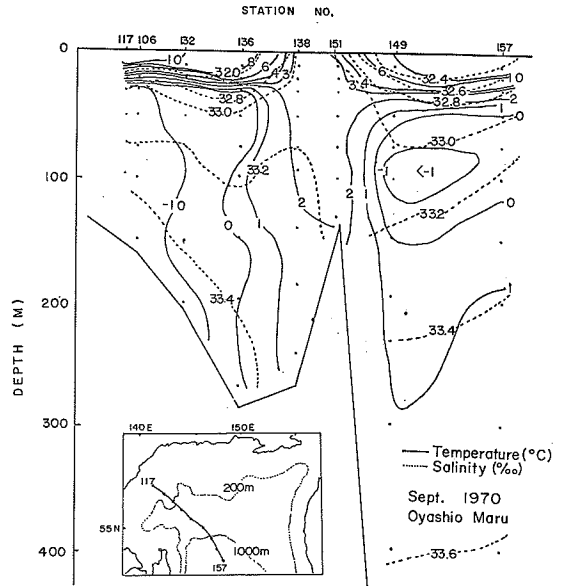
オホーツク海の北部陸棚上にみられる高鹹底冷水のうち、最も低比容のものは、1970年8月、 $57^{\circ}22'N$ 、 $142^{\circ}07'E$ の海底近くで観測された $\delta_T = 102 \text{ cl/ton}$ (水温 $-1.76^{\circ}C$ 、塩分3.359‰)の水である。実際に冬季の結氷によって形成される高鹹冷水には、 $\delta_T = 102 \text{ cl/ton}$ よりも低いものもあるが、大部分の底冷水は、 $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以上と考えられる。

今、冬季の状態を考えると北部オホーツク海では、表層からの冷却と蒸発によって対流混合が起り、いくつかの条件がそろって結氷が始まる。この結氷によって海水下の海水の塩分は高くなるため、さらに対流混合が進み、結氷前よりも混合深度は増加する。このようにして形成される混合均一水は、北部陸棚上では、ほとんど海底に達する。すなわち、冬季海水下の北部陸棚水は、T-Sダイアグラム上では、ほとんど一点で示される均一水となっている。

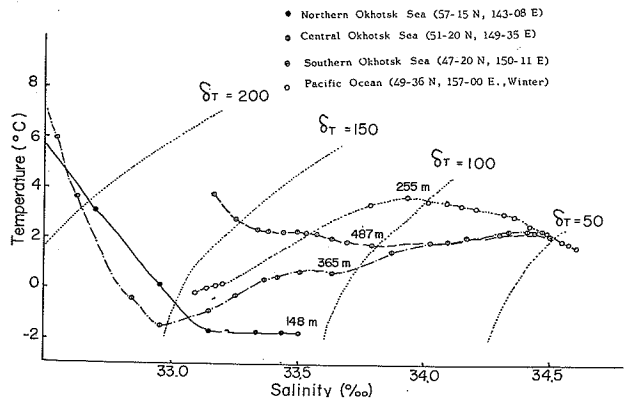
第7図は、オホーツク海の北部、中央部、南部さらにカムチャッカ半島南域におけるT-S曲線を示している。

夏季の北部陸棚上には、ほとんど結氷点に近い冷水があるが、この冷水は海底に近いところで高鹹となっている。

これは、冬季この海域で形成された均一水が、そこより深い海域の海底面に流出し、この海域の底層には、浅い海



第6図 北部オホーツク海の北西-南東断面における水温・塩分の分父(木谷, 島崎, 1971より)



第7図 オホーツク海の北部、中部、南部およびカムチャッカ南域の水温-塩分曲線

域で形成された低比容冷水が流動してくるためと考えられる。すなわち、このT-S曲線にみられる塩分値の異なる底冷水は、すべて冬季の結氷による対流混合水を起源としており、海底近くにみられる高鹹な冷水ほど浅い海域から流動してくる水である。それぞれ異なる比容の底冷水は陸棚面を降下した後は、オホーツク海の中層の等比容面上を水平拡散すると考えられる。

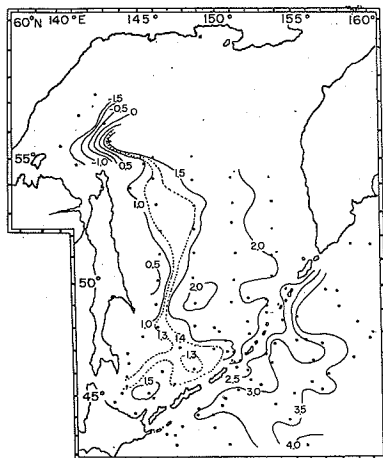
第7図の $\delta T = 1.05 \text{ cl/ton}$ 付近の等比容面上には、 -1.7°C 以下の北部オホーツク海の底冷水と 3.5°C 以上の太平洋の中暖水がみられる。この等比容面上におけるオホーツク海中央域、および南域のT-Sは、前述の底冷水、中暖水の間に見られる。また中央域のT-S曲線には、わずかであるが、水温の極大、極小が認められる。

今、北部大陸棚上を起源とする低比容冷水の移流、拡散を見るため $\delta T = 1.05 \text{ cl/ton}$ 等比容面上における水温、溶存酸素量および深度の分布を示すと第8図のようになる。

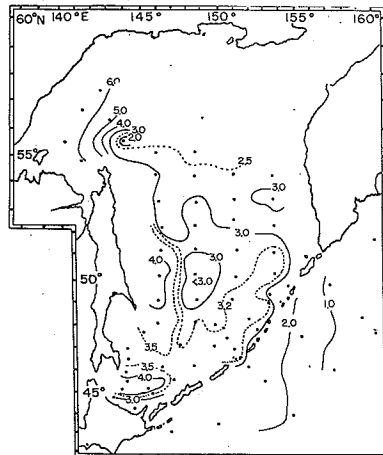
前述のように中暖水の溶存酸素量は、極めて低く、一方底冷水は 6 ml/L 以上と高い。

このように、底冷水と中暖水は、水温、溶存酸素量において対比しやすく、これらの特質の分布を見ると、底冷水は樺太沿いのオホーツク海西方域を南下し、中部千島列島沖合域に達している。

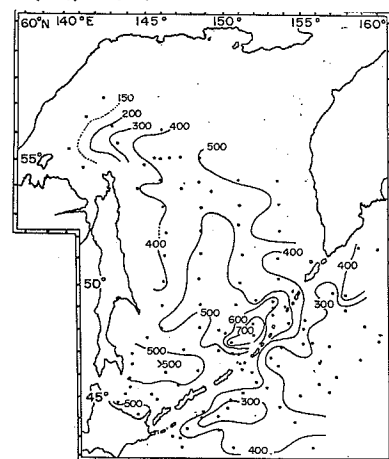
一方中暖水は、北千島の列島間よりオホーツク海に流入し、その特質は大きく変質するが、ほぼオホーツク海東方域を



第8図 a $\delta T = 1.05 \text{ cl/ton}$ 等比容面上における水温($^\circ\text{C}$)分布



第8図 b $\delta T = 1.05 \text{ cl/ton}$ 等比容面上における溶存酸素(ml/L)分布



第8図 c $\delta T = 1.05 \text{ cl/ton}$ 等比容面の深度(m)分布

北ないし北西方向に拡がる。

以上のような異なる二水型の水平混合は、中冷水の下方の約 $\delta_T = 140 \text{ cl/ton}$ から $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ までの層で行なわれていると考えられる。

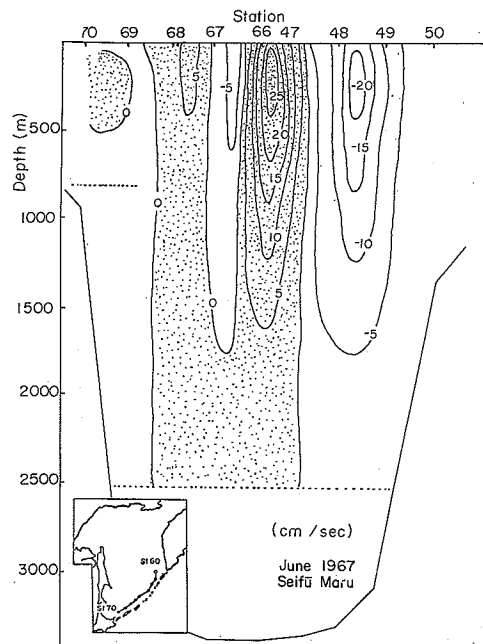
このことは、中冷水の下方にしばしば認められる小さな極大水温層、極小水温層が約 $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以上であることと矛盾しない。

$\delta_T = 105 \text{ cl/ton}$ の深度は、異なる二水型の起源海域である北部オホーツク海（150 m以浅）と、太平洋側（300 m以浅）とでは浅く、混合の進む海域での深度は大きくなる。中部千島列島北方域では、この比容面は、広い海域にわたって500 m以深にも達し、特に列島近くの海域では700 m以深まで、この比容の水がみられる。

第9図は、千島列島沿い海域における断面の流速分布で、正の流速は手前から背面に向う流れである。図からも明らかなように、1000 m以深でも流向の異なる10 cm/sec以上の流速が見られる。この海域は、北方から順に右旋流と左旋流が交互に形成され、湧昇、沈降などが生じている。

特に、中部千島列島北方域では、300 mから1500 m以深までの大規模な沈降がみられ、これにともなう鉛直混合が、かなりあるものと考えられる。

以上述べた移行水の循環を模式的に示すと第10図のようになる。太平洋から流入する暖水型の水は、オホーツク海東側海域を北上し、一方北部オホ



第9図 千島列島北方沿い断面における流速分布

ーツク海陸棚上を起源とする低比容冷水は、陸棚上を降下し、中冷水の下層をそれぞれの比容面に沿って水平流動をする。この場合、陸棚上の浅い海域で形成された底冷水ほど深い層を流動し、深い海域で形成された底冷水ほど比容が大きいので、上層を流動する。

この南下移流の過程において太平洋起源の水と水平混合を行ない、その特質を変えながら、中部千島列島海域まで達する。この海域では、大きな鉛直混合があるため、溶存酸素量の高い底冷水起源の冷水は、1000 m以深にまで攪拌されると考えられる。

第7図からも明らかなように $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以上の移行水は、北部陸棚上の底冷水と太平洋側の中暖水の等比容面上での水平混合によって形成されることが考えられるが、 $\delta_T = 100 \sim 70 \text{ cl/ton}$ の移行水は、この水平混合では形成されない。この移行水は、中部千島列島北方域にお

ける大規模な鉛直混合によって形成されるものであろう。

移行層の中にみられる第2の極小水温層(第2中冷水とよぶ)は、季節が進むにつれてその比容は小さくなり、水温、塩分は高くなる傾向があるが(木谷, 1972), これは北部陸棚上で形成されるおよそ $\delta_T = 140$

cl/ton から $\delta_T = 100$ cl/ton までの間の底冷水が, それぞれの等比

容面を拡散, 混合する過程で起きる現象であると考えられる。

ま と め

以上, オホーツク海特有の移行水について, その海洋構造上の特性およびその形成機構について述べてきたが, その結果をまとめると次のとおりである。

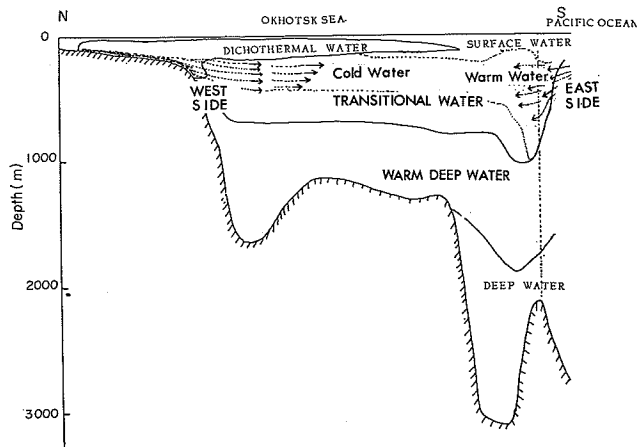
まず, 移行水の大きな特徴は, 比較的低温, 高溶存酸素量の水で, しかもこの層がきわめて厚いことである。このためオホーツク海は隣接する他の亜寒帯域にくらべ著しく寒冷な海となっている。

この移行水は, 北部大陸棚海域の冬季の結氷によって形成される高鹹冷水と, 太平洋から流入する中暖水の異なる二水型の混合によってつくられる。

移行水のうち約 $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以上の低比容水は, 主にオホーツク海中央域など二水型の接合する海域での水平混合によって形成され, また約 $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以下の移行水は主に中部千島列島北方域の大規模な鉛直混合によって形成される。

約 $\delta_T = 100 \text{ cl/ton}$ 以上の移行層内に, しばしば認められる第2中冷水は, 北部陸棚上の高鹹底冷水が陸棚斜面を降下し, 中冷水の下層の等比容面上を移流, 拡散する過程において出現するものであろう。

移行水の一部は, オホーツク海から太平洋にたえず流出して, 親潮の一部となると考えられるため, この水が親潮の勢力(水温, 流速など)変化を知る上で一つの重要な水となるであろう。



第10図 オホーツク海の南北断面における海洋構造の移行水流動の模式図

文

献

- 1) 赤川正臣(1958): オホーツク海の海況と海水について. 函館海洋気象台研究時報, 5, 91-104.
- 2) DODIMEAD, A. J., F. FAVORITE and T. HIRANO, (1963): Salmon of the North Pacific Ocean-II, Review of oceanography of the subarctic Pacific region. Bull. Int. North Pacific Fish. Comm., 13, 195.
- 3) 梶浦欣二郎(1949): オホーツク海の夏季海況について. 日本海洋学会誌, 5(1), 19-26.
- 4) 木谷浩三・島崎健二(1971): 北部オホーツク海の夏季の海況について. 北大水産彙報, 22(3), 231-242.
- 5) KITANI, K. (1972): On the variability of dichothermal water in the Okhotsk Sea. Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean, 45-62.
- 6) 倉品昭二他(1967): オホーツク海の海氷及び冬から初夏における千島列島間の海流. 日本海洋学会誌, 23(2), 57-62.
- 7) 大谷清隆(1969): Bering 海東部の陸棚水の海洋構造と海水について. 北大水産報, 20(2), 94-117.
- 8) 田畑忠司(1953): 千島列島およびオホーツク海南部の海況について. 低温科学, 9, 159-170.
- 9) 宇田道隆(1935): 東北海区における中冷水の分布, 成因, 運動について. 海と空, 15(12).
- 10) UDA, M. (1955): Researches on the fluctuation of the North Pacific circulation. Rec. Oceanogr. wks. Japan, 2(2), 1-13.
- 11) YASUOKA, T. (1967): Hydrography in the Okhotsk Sea(1). Oceanogr. Mag., 19(1), 61-72.
- 12) YASUOKA, T. (1968): Hydrography in the Okhotsk Sea(2). Oceanogr. Mag., 20(1), 55-63.
- 13) ZENKEVITCH, L. (1963): The Sea of Okhotsk. The Biology of the Seas of U. S. S. R., 783-817.