

2. 北洋の冬季表層水

蓮 沼 啓 一

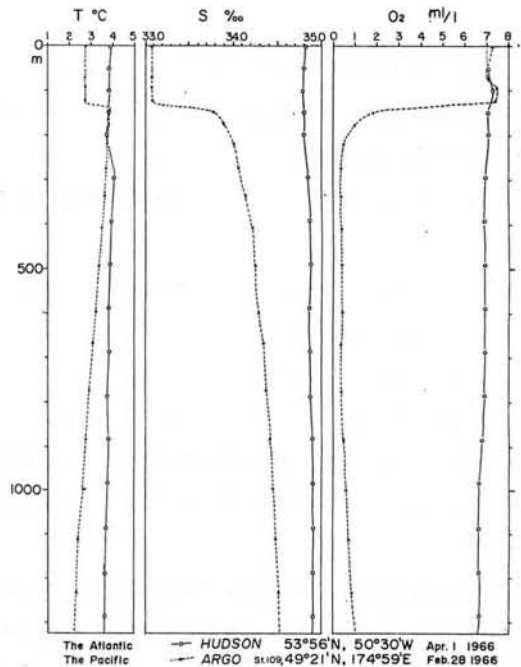
(東京大学・理学部)

北洋での冬季の観測はこれまでも何回が断片的に行なわれて来ているが、1966年1月～4月に米国の観測船“ARGO”によって行なわれたほど大規模かつ明確な目的をもった観測はない。この観測の主要な目的は、中層水(塩分極小水)というものが冬季の亜寒帯表層水が沈降することによって形成されるのか否か——表層水の密度がどの程度まで重くなるのかを確かめることにあった。またこの航海の一つの大きな特色はSTD(温度、塩分を深さに対して連続的に測定記録する装置)が西太平洋で初めて本格的に使用された点にある。ここでは1966年冬の“ARGO”, “G.B. KELETZ”の観測結果を中心に、亜寒帯水域の冬季の表層状態をまとめて見た。

注;文中の図に引用した観測点の位置はオ12図として最後に一括して示してある。

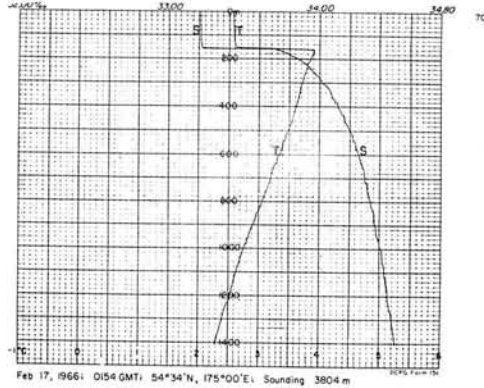
大きな目で見ると、太平洋と大西洋はいろいろな点で実によく似た特徴を持っている。しかし、北太平洋と北大西洋の亜寒帯水域に限って比較するなら、両者は全く異った様相を示し、とりわけ冬にはそうである。オ1

図に冬季の両大洋亜寒帯水域の各特性の鉛直分布を一例として示した。両者の大きな相異は、北大西洋では混合層が極めて発達しているのに対し、北太平洋では200メートル程度の厚さしかない点にある。この混合層の厚さのちがいは、両水域の塩分のちがいによって引き起されている。つまり北太平洋の亜寒帯水域では表層の塩分が極めて低いため、水温が結氷温度(約 $-1.8^{\circ}\text{C}$ )まで下ったとしても $\sigma_t=26.8$ より重い水は海面ではめったに形成されず、表層の水が直接沈降出来るのはたかだか200m程度にすぎないのである(REID, 1965)。従って北太



オ1図 太平洋、大西洋の冬季亜寒帯水域における諸特性鉛直分布の比較。

平洋では豊酸素状態もごく表層に限られている。北太平洋冬季亜寒帯水域の典型的な水温・塩分の鉛直構造をSTDで連続的に記録した一例を才2図に示す。およそ150mの厚さを持った均質で低温、低塩な表層水が注意をひく。この表層水は鋭い水温（逆転）および塩分躍層によって、下層の比較的高温高塩分な水から切りはなされた格好になっている。STD観測によると、混合層の厚さは多くが100メートル程度で200メートルを越える所は一点もなかった。

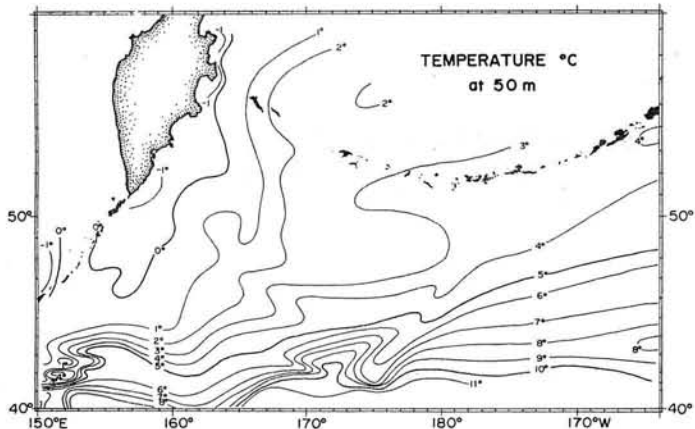


才2図 北太平洋亜寒帯水域に於ける水温および塩分の典型的鉛直構造。STD観測記録から転写。Argo St.70

才3図と4図に50メートル深での水温、塩分の分布を示した。これは冬季表層混合層の水温、塩分分布を示していると考えてよい。まず表層の水温分布から検討すると、180°E以東では厳冬期であっても混合層の温度は3°C以上あり、アラスカ海流続流域ではアッツ島の西でも200~300m深で4°C以上の水温が認められる。混合層水温が2°C以下となるのは170°E以西の東カムチャッカ沖から千島列島ぞいに限られている。つまり亜寒帯表層水は西端で最も温度が低く、東に行くに従って水温は上昇する。夏季に海面付近の水温が上昇することによって、中冷水と呼ばれる温度極小層が形成されることはよく知られている。従って、夏の中冷水の温度分布から冬の混合層水温を推定することが可能だとされている

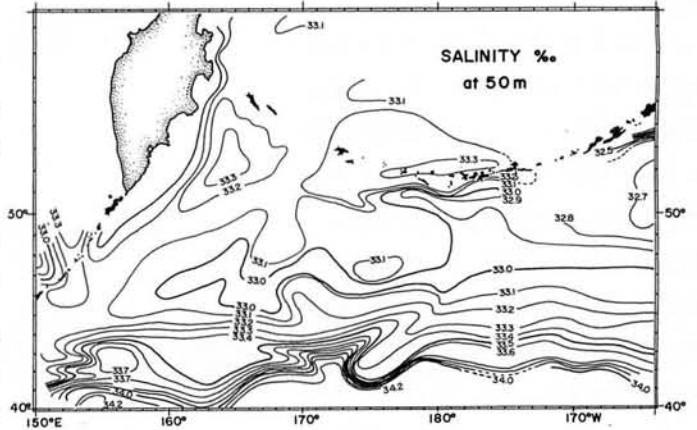
(UDA;1935)が、1955~58年までの夏の中冷水温度分布(UDA;1962)とこの50メートル層温度分布とを比較すると、温度およびその分布の特徴ともによく一致しており、中冷水温度が冬季の北洋の状態を知る有効な指標であることが確認される。

一方塩分の分布は水温に示されるようなはっきりした東西変化は認め難く、む



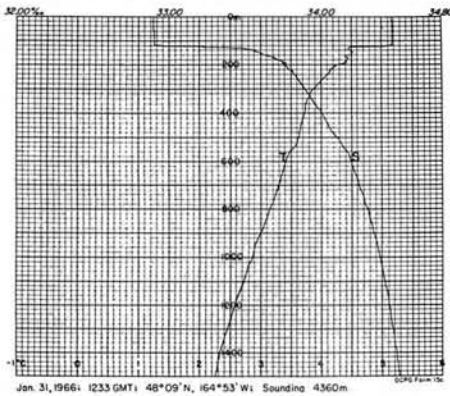
才3図 50m深温度分布 CSK ATLAS vol.2の図に基づいて書き直してある。

しる南北の変化に特徴があ  
って、およそ  $47^{\circ}N - 48^{\circ}N$  の緯度に最低塩分  
水帯が認められる。この低  
塩分帯は300メートル深  
でもはっきり認められる。  
50メートル深で  $4^{\circ}C$  以上  
の水温のあるところではオ  
2図に示したような大規模  
な表層水温の逆転は認めら  
れなくなり、深さと共に水  
温の減少する構造となる。  
しかし極前線以北での塩分  
の鉛直構造には大きな変化  
は認められない(オ5図, オ2図と比較のこと)。

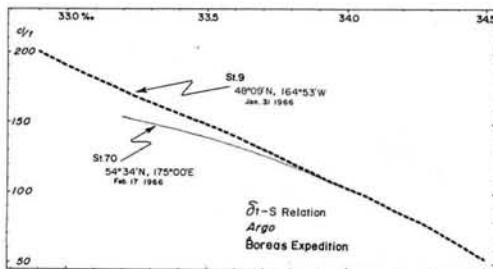


オ4図 50m深塩分分布

CSK ATLAS vol.2 の図に基づいて  
書き直してある。



オ5図 東部亜寒帯水域における水温塩分の鉛直構造。STD観測記録から転写。Argo St. 9



オ6図  $\delta t-S$  diagram  
密度に対する塩分分布

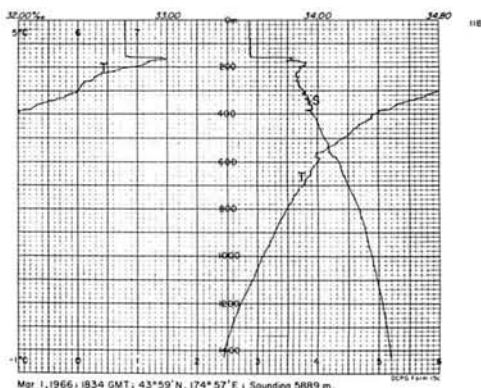
これまで深さに対する水温や塩分の構造  
を検討して来たが、海水はある一定の深さ  
にそって運動するのではなく、等密度面に  
そった運動の方が卓越していると考えられ  
る。このことから塩分の鉛直構造を“深さ”  
ではなしに“密度”(実際にはサーモステ  
リック・アノマリ  $\delta t$ ) に対して描いたも  
のがオ6図である( $\delta t-S$  diagram)。  
この図にはオ2図とオ5図に用いたと同じ  
資料が用いられている。これによると、亜  
寒帯水域の密度に対する塩分の鉛直構造は  
一つの直線で示され、東西方向の水塊の相  
違がこの直線の傾きの違いとなって示され  
る(東部の方が水温が高いことによる)。  
この図の意味する重要な点は、深さに対す  
る構造から見ると、顕著な水温及び塩分躍  
層によって下層から切り離されたように見  
える表層水も、密度に対する構造から見な  
おすと明らかに下層と連続していることで  
ある。また場所場所によって密度の変化量

に対する塩分の変化量  $\partial s / \partial p$  が一定に保たれている点も注目値する。

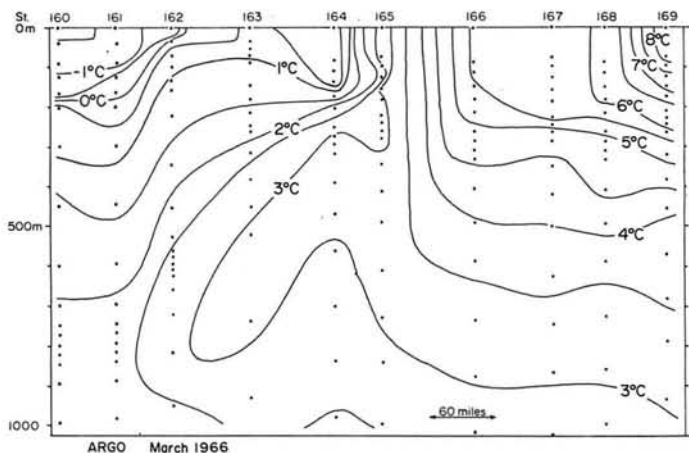
しかしながら、極前線域北縁では様子がやや異っていて、混合層直下に薄い高温層の存在することが STD 記録からわかる。そしてこの高温層は多くの場合上下層よりも高塩分になっている(オ7図)。165°E 線に沿っての温度断面をオ8図に示した。この図によると、上に述べた高温層が極前線帯から約200m深にそって、46°N 以北までのびていて、顕著な温度逆転層に

よって表層水は下層からはっきりと切り離されている。

オ7図に示した観測も含めて、175°E 線で観測された STD の結果を数点  $\delta t - s$  diagram に描くとオ9図のようになる。この図で注意しなければならないのは高温高塩分層の直下に出来る小規模な塩分極小が、もっと大規模な「中層水」と呼ばれる塩分極小と本質的に同一の構造をしている

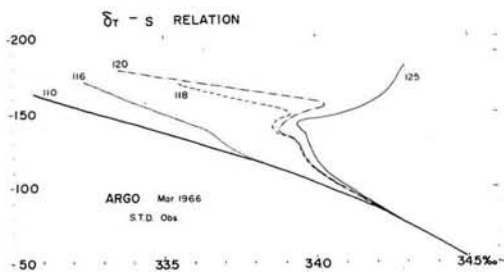


オ7図 極前線の北側での水温塩分の構造 STD観測記録からの転写。 Argo St. 118



オ8図 165°E 線にそった温度断面図 Argo St. 130 ~ St. 143

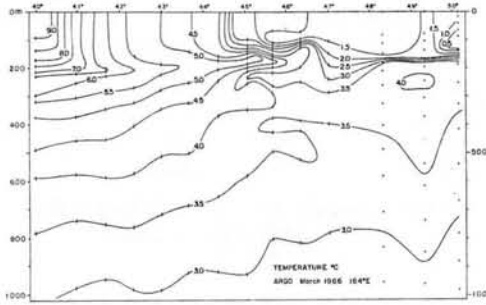
ことだ。また表層水の特性と中層水の特性が全く異っていることもわかる。つまり中層水と呼ばれる塩分極小は亜寒帯表層水が直接沈降して形成されるものでも、また REID (1965) の主張するように水平混合の結果形成されるものでもなく、横からの移流によって形成されるものであると考えられる。またオ8図



オ9図  $\delta t - s$  diagram 極前線域での密度に対する塩分構造の変化。塩分極小の形成に注意。

の温度断面などを見ると高温層の水がけが特異な水であるかのように見えるが、事実はそのようでなく、この高温層はむしろ二水塊の境界に対応していることもオ9図は物語っている。

話をさらに西、ウルップ水道から南東にのびる断面図(オ10図)に移す。ここでは温度逆転の様子が一変する。温度逆転の見られるのは上層にある強い温度前線の北側だけで、しかも



オ10図 ウルップ水道から南東にのびる温度断面図。

300~700mという深いところでゆるやかな逆転が観測されるにすぎない。力学計算によって海水の運動を調べると、前線の北縁(St, 164)を境として、北側は千島列島を南下して来る水であり、南側は北上し亜寒帯表層流を形成する水であることがわかる。(オ11図参照)。この北上部分に温度

逆転は見られない。しかし165°Eあたりまで来ると、表層にはっきりと亜寒帯表層水が到来、温度逆転が見られることはオ8図ですでに示した。亜寒帯環流にそって北上するに従い、表層水は次々に発達し、オ2図に示した様な構造となる。つまりこの断面図では、新しく亜寒帯域に加入して来て、まだ冬季亜寒帯表層水のほとんど形成されていない部分と、最も冬季表層水が発達し、深いところからうじて温度逆転の残っている部分とが隣り合っていることになる。亜寒帯環流にそっての水塊の変質はHIRANO(1957), REID(1965)によって論じられている。

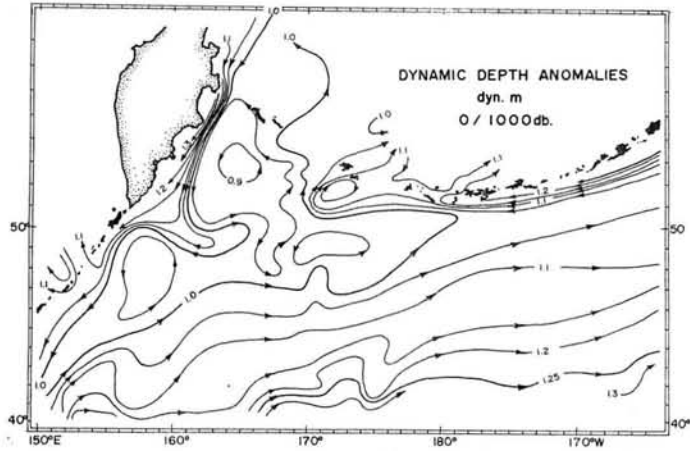
表層混合層を形成している水について書いて来たが、この表層水の形成機構自体まだよく分っていない。例えば、およそ40マイル離れた二点St.69とSt.70は共に150メートルの混合層があって、下記のような特性を持っている。

	混合層	温度	塩分	$\sigma_t$
St.69	150m	1.84°C	33.05‰	26.45
St.70	150m	2.60°C	33.20‰	26.51

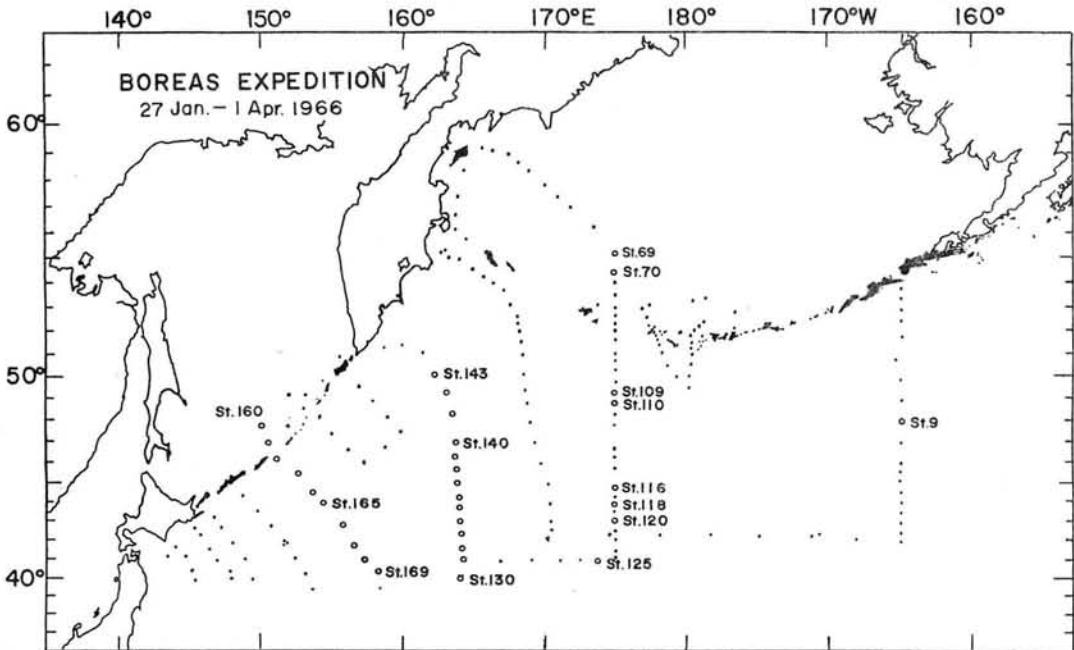
かなり近い二点でありながら水温、塩分にはっきりと差が認められる。しかし密度はほとんど同じである。塩分には0.15‰の差があり150メートルの混合層の塩分をこれだけひき下げるには少なくとも年間に単位面積あたり920mmの淡水加入(降水または陸水流入)の相違がこの二点間になければならぬ。100メートルの混合層の塩分を0.1‰かえるにも300mmの降水差が要求される。しかしわずか40マイル程度離れた二点でこれだけの降水差を期待するのは無理であろう。にもかかわらずこの程度の塩分差は特に前線域でなくとも北洋ではよく見られることである。混合層は上下には一様でありながら、水平方向にはかなり異質の水塊

が隣り合っていることになる。冬のチモール海の観測から、こういった事実に最初に注目したのは STOMMEL & FEDROV (1967) である。もっと冬季表層水の研究がなされねばならない。

オ11図に海面に於ける力学高低図を示した。この結果はこれまでに知られている夏の亜寒帯環流の様子 (UDA; 1962), とよく似たものであるが, REID (1966) は東カムチャッカ海流が非常に発達している点 (1 kt 以上) に注目している。季節変化の有効に及び得る深さが 10.0 m 程度であるので、力学計算によって海流を推測するかぎり、どの季節であってもほぼ同じよ



オ11図 1000デシバール等圧面に相対的な海面の力学高低図。



STATION POSITION CHART • referred station

うな結果になってしまうことは十分考えられる。力学計算(地衡流近似)によって示される流れの様子は、あくまでも非常に長い時間の平均的運動を示しているのであって、直接風の影響を強く受ける海面から数十メートルの表層水の運動はこの図に示されたものとはちがってかなり複雑なものとなる。初夏の風系が著るしく変化し、海面が不均一に熱せられる時はとりわけ複雑なものとなるだろう。

参 考 文 献

DODIMEAD, A. J., F. FAVORITE & T. HIRANO, 1963:

Oceanography of the Subarctic Pacific Ocean. Bull. int. N. Pacif. Fish. Comm., 13.

STOMMEL, Henry & K. H. FEDROV, 1967:

Small scale structure in temperature and salinity near Timor and Mindanao. Tellus, 19(2), 306-325.

HIRANO, Toshiyuki, 1957:

The Oceanographic study on the subarctic region of the northwestern Pacific Ocean (Parts I and II). Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 15, 39-69.

Japanese Oceanographic Data Center, Maritime Safety

Agency, Tokyo, Japan, 1968: Provisional CSK ATLAS, vol. 2

REID, J. L., Jr., 1965: Intermediate Waters of the Pacific Ocean. Johns Hopk. Oceanogr. stud., 2, 85P.

, 1966: Zetes Expedition. Trans. Ame. Geophys. Un., 47(4), 555-561.

Scripps Institution of Oceanography, University of

California, 1966: Data Report, Boreas Expedition 27

January - 1 April 1966, SIO Ref. 66 - 24, 164P.

UDA, Michitaka, 1935; On the distribution, formation and movement of the dichothermal water to the northeast of Japan (in Japanese). Umi to Sora, 15, 445 - 52.

, 1963: Oceanography of the Subarctic Pacific Ocean. J. Fish. Res. Bd. Can., 20, 119-179.