



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	噴火湾における津軽暖流水の流入期の濁度分布
Author(s)	三宅, 秀男; MIYAKE, Hideo; 梶原, 昌弘 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 28(3), 154-164
Issue Date	1977-08
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/23615">https://hdl.handle.net/2115/23615</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	28(3)_P154-164.pdf



噴火湾における津軽暖流水の流入期の濁度分布\*

三宅秀男\*\*・梶原昌弘\*\*・  
藤芳義裕\*\*・松岡光明\*\*

Turbidity Distribution in the Funka Bay for the Period  
of Inflow of the Tsugaru Warm Water\*

Hideo MIYAKE\*\*, Masahiro KAJIHARA\*\*, Yoshihiro FUJIYOSHI\*\*  
and Mitsuaki MATSUOKA\*\*

Abstract

An attempt was made to obtain the relationship between the turbidity and the structure of water mass in the Funka Bay in September 1975 and 1976. In the Funka Bay, two different natures of waters; the Oyashio Water and the Tsugaru Warm Water flow into the Bay once in a year periodically. These waters are reformed to another natures of waters due to cooling, heating and fresh water supply during their stay in the Bay. Our survey was carried out just for the typical period of inflow of the Tsugaru Warm Water.

Results of the vertical profile of turbidity coincided with temperature in regard to the vertical change, although turbidity profiles were more sensitive. In the vertical section, close agreement between the turbidity distribution and water masses was observed. Values of the extinction coefficient for the Funka Bay Water formed in summer ( $F_S$ ), the Tsugaru Warm Water ( $T_W$ ) and the Bottom Water ( $B_W$ ) were ranged 0.5, 0.3-0.5 and 0.5-1.2 ( $m^{-1}$ ) respectively. The Bottom Water of high turbidity occupied from 50 m layer to the bottom just inside a sill in 1975 was seemed to be stagnated by the dynamical equilibrium of waters, however in 1976 the Bottom Water which lay above 10-15 m from the bottom was flowing to the out of the Bay over the sill.

Dominant layers of high turbidity in the vertical profile were found both near the pycnocline and the boundary layer of two different waters in the case of 1975. But in 1976, vertical changes of turbidity were smaller than those in 1975 except in the bottom layer. Taking the vertical stratification into consideration, it appeared that the vertical mixing was developed in the process of inflow of the Tsugaru Warm Water in the case of 1976.

緒 言

噴火湾には特性を全く異にする外洋水が流入し、湾内で固有の水型に変質することが知られている。すなわち春には親潮系水が、秋には津軽暖流水がそれぞれ流入し、これらの外洋起源地は湾内で滞留

\* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績第77号  
(Contribution No. 77 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

\*\* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設  
(Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

する間に主に淡水流入と加熱あるいは冷却とによって変質され、いわゆる夏期噴火湾水および冬期噴火湾水と呼ばれる特有な湾水を形成する<sup>1)-3)</sup>。さらに最近の観測によれば、高栄養塩濃度の底層水が外洋水の流入に伴って Sill から間欠的に流出するらしいことが報告されている<sup>6)</sup>。また湾水は主に外洋水の流入、滞留時期とその流入量によって季節的に規定されるそれぞれの水温、塩分値を有し、水塊分析の指標となっている。

一方濁度は単に水塊の差異によるだけではなく、時空間的な生物生産の変動にも大きく影響される。しかし噴火湾では基礎生産力において対照性の著しい親潮系水と津軽暖流水とが交互に流入すること、底層は高栄養塩濃度であることなどを考慮するとき、濁度分布が水塊構造の指標ともなり得るものと考えられる。そこでこの報告では特徴的な海況を呈する津軽暖流水の流入期である 1975 年および 1976 年の 9 月に鉛直濁度分布を測定し、水塊と濁度分布の対比、暖流水の流入の様相、底層水の分布等について比較検討した。これらの濁度分布の測定は、海洋環境の基礎資料としても重要であることは言うまでもない。

### 測定方法

観測点は図 1 に示したように、湾口を縦断する白尻沖から森沖にかけて最深部に沿う測線上に 5 点、湾内の森沖から室蘭沖にかけて 5 点とをそれぞれ 5 マイル間隔で設定した。このうち St. 2, 3 は Sill に相当し、水深はおよそ 85 m である。観測は 1975 年 9 月 25, 26 日および 1976 年 9 月 7, 8 日に、本学部所属調査船 うしお丸 (98 トン) によって実施した。なお 1976 年の観測では St. 6 を 6' に移し、St. 10 は欠測した。

海洋観測は通常の Nansen Cast を 10 m 間隔の観測層で行ない、同時に BT またはサーミスター水温計を併用し、連続的な温度分布が得られるようにした。この他に Van Dorn 採水器による採水を適時実施し、懸濁物の乾重量等を求めたがこの結果についてはここでは述べない。

濁度の測定は光路長 50 cm、主波長 650 m $\mu$  のピンホール型光束透過率計<sup>6)</sup>を用い、次式<sup>7)</sup>によって消散係数  $a$  (m<sup>-1</sup>) を求めた。

$$a = \frac{1}{r} \ln \frac{I_A}{I_W} + \frac{2}{r} \ln \left( \frac{1-R_W}{1-R_A} \right)$$

ここで

$r$  : 光路長 (m)

$I_A, I_W$  : それぞれ空気中および水中での記録計の読み (mV)

$R_A, R_W$  : それぞれガラスと空気、ガラスと水の界面における平行光束の反射率

である。右辺第 2 項はガラス面での反射を補

正するための定数で、ここでは 0.23 である。以下濁度計並びに濁度とはこの光束透過率計及び消散係数を同意語として用いている。測定に際しては濁度計をおよそ毎秒 0.33 m の定速ウインチによって垂下させて連続記録を得た後に、線長計の読みと傾角から深度補正を行った。また塩分は Auto-Lab

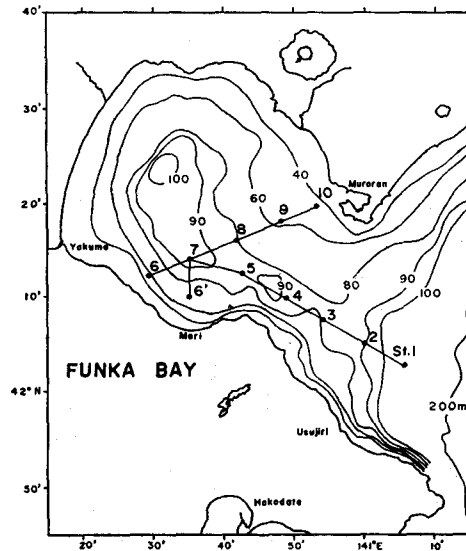


Fig. 1 Bathymetry of the Funka Bay and the location of oceanographic stations.

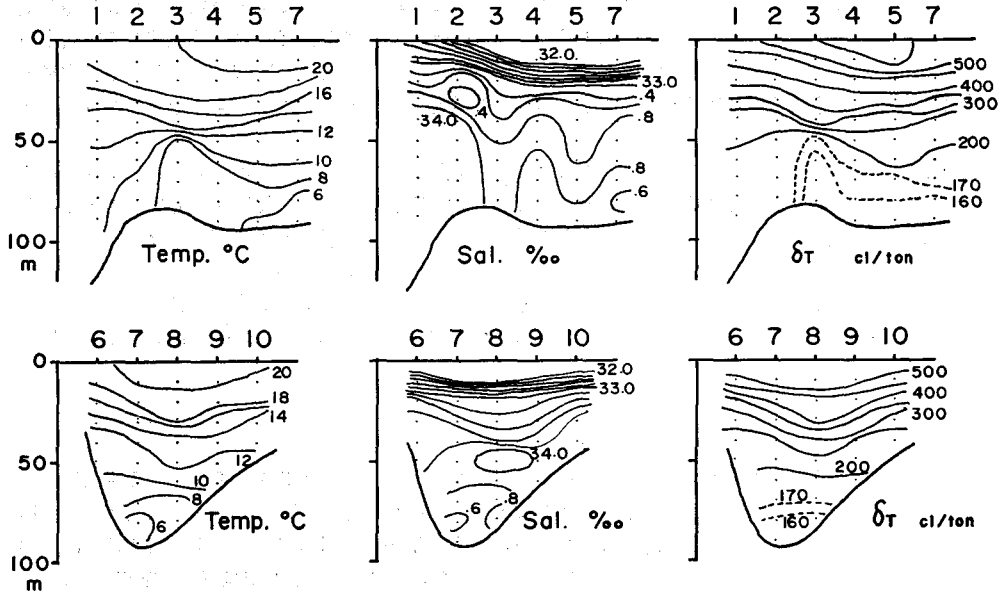


Fig. 2 Vertical sections of temperature, salinity and thermosteric anomaly on September 25 and 26 in 1975.

社のサリノメーターによって測定した。

### 結果および考察

#### 1 海況

図2に1975年9月の温度、塩分およびサーモステリックアナノマリーの湾口および湾内の断面を示した。湾口断面では Sill を境にして中層以深の分布が大きく異なっていることがわかる。すなわち温度では Sill の外側 St. 1, 2 の最深層が 9°C 以上であるのに対し、内側では 8°C の等温線が 50~70 m 深にあり、St. 5, 7 の海底近くでは 5°C 台にある。この 8°C 以下の水温は Sill の内側にしか見られない。またこの等温線は St. 3 で押し上げられているため、この測点の 40 m から 50 m にかけて 8°C もの急激な温度低下を生じている (図4参照)。塩分においても St. 1, 2 の中層以深では 34‰ 以上のほぼ一定した値を示すが、Sill の内側ではやや中層以深に 33.8‰ 以上の極大層が波状に存在し、この下層では塩分は再び低下している。密度分布では 50 m 以浅は等比容線が湾内にむけて傾き、しかも St. 3 では下方に向けて凸の形をとる。一方逆に 50 m 以深では同じ点で等比容面は上方に向け凸となり、この点では 50 m を中心として、上層、下層の等比容線の形は逆向きになる。また温度分布と同様、Sill の外側でない  $\delta T = 170 \text{ cl/ton}$  以下 ( $\sigma_t = 26.34$  以上) の重い水がおおよそ 8°C の等温線に一致して分布し、St. 3 ではおおよそ 50 m 以深の全層を占めていることが特徴的である。

湾内では 50 m 深を中心とする中層に 33.8‰ 以上の高塩分水があり、St. 8 では 34‰ 以上の値を示している。また 10 m から 20 m 深にかけて塩分躍層が極めて良く発達し、この間に 1‰ 以上の塩分差が見られる。このように温度、塩分、したがって  $\delta T$  において 50 m 以浅では中心部で深く、沿岸で浅いことは時計廻りの環流の存在を暗示している。後に述べるように水塊分布からみると津軽暖流水が St. 1, 2 では 20~30 m 以深の全層に、湾内では 30~70 m 深に広く分布しており、これまでに明ら

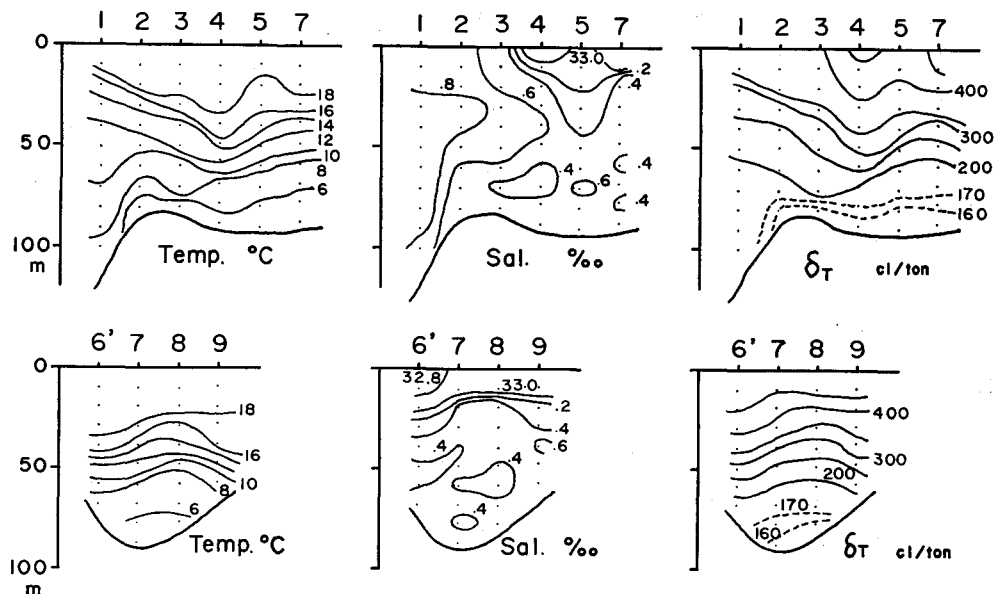


Fig. 3 Vertical sections of temperature, salinity and thermocline anomaly on September 7 and 8 in 1976.

かにされた暖流水の流入期の海況<sup>4)</sup> とほぼ一致している。

次に1976年9月の場合を図3に示した。湾口断面では33.6ないし33.8‰の等塩分線に見られるように40m深を中心に湾外からの高塩分水が舌状に貫入している。Sillの内側の深層には33.4‰以下の孤立した低塩分の水塊がいくつか存在する。一方湾内の33.6‰以上の高塩分値はわずかにSt.5の70m深とSt.9の40m深にしか見られず、1975年の観測に比べ塩分、水温ともに全体として低い値を示している。さらに塩分値は表層までほとんど33‰近くになっており、塩分躍層は弱い。したがって $\delta T$ の鉛直変化も前年に比べ小さい。 $\delta T$ の分布はほぼ等温線に沿っており、底層においても6°Cの等温線に一致して170 cl/tonの等比容線がSt.2から水平に延びている。しかし湾内の $\delta T$ の分布が前年と反対に中心部で凸になっており、従来の知見と一致しない。

この1976年の観測は1975年に比較して18日早く行なわれており、そのため暖流水がSillの中層を舌状にSt.4まで達しているものの、未だ湾内には流入していないようにみえる。しかしながら湾内の表層塩分が前年に比べ高いことは、すでに高塩な暖流水が前駆的に一部流入していたためと考えられる。ちなみに7月13,14日には、湾内の10m以浅は32‰前後ないしそれ以下であった。

この1976年の8月には2回にわたって大規模な急潮が起っており、例えば白尻沖の定置網の深さ10mに設置した水温計では8月17日を中心に19°Cから6°Cまで、8月30日から9月1日にかけて19°Cから10°Cまでそれぞれ温度が低下している。またこれらの温度低下の後には塩分が高くなり、表層から海底までよく混合された水塊となる。一つにはこのような現象が湾水の交替に部分的に寄与し、湾内の表層塩分の増加をもたらしたり、湾内の環流系の形成に影響を及ぼしていたとも考えられる。

## 2 濁度と温度、塩分の鉛直分布

図4には1975年の濁度、温度、塩分の鉛直分布を示した。この図から濁度が塩分値に良く対応し

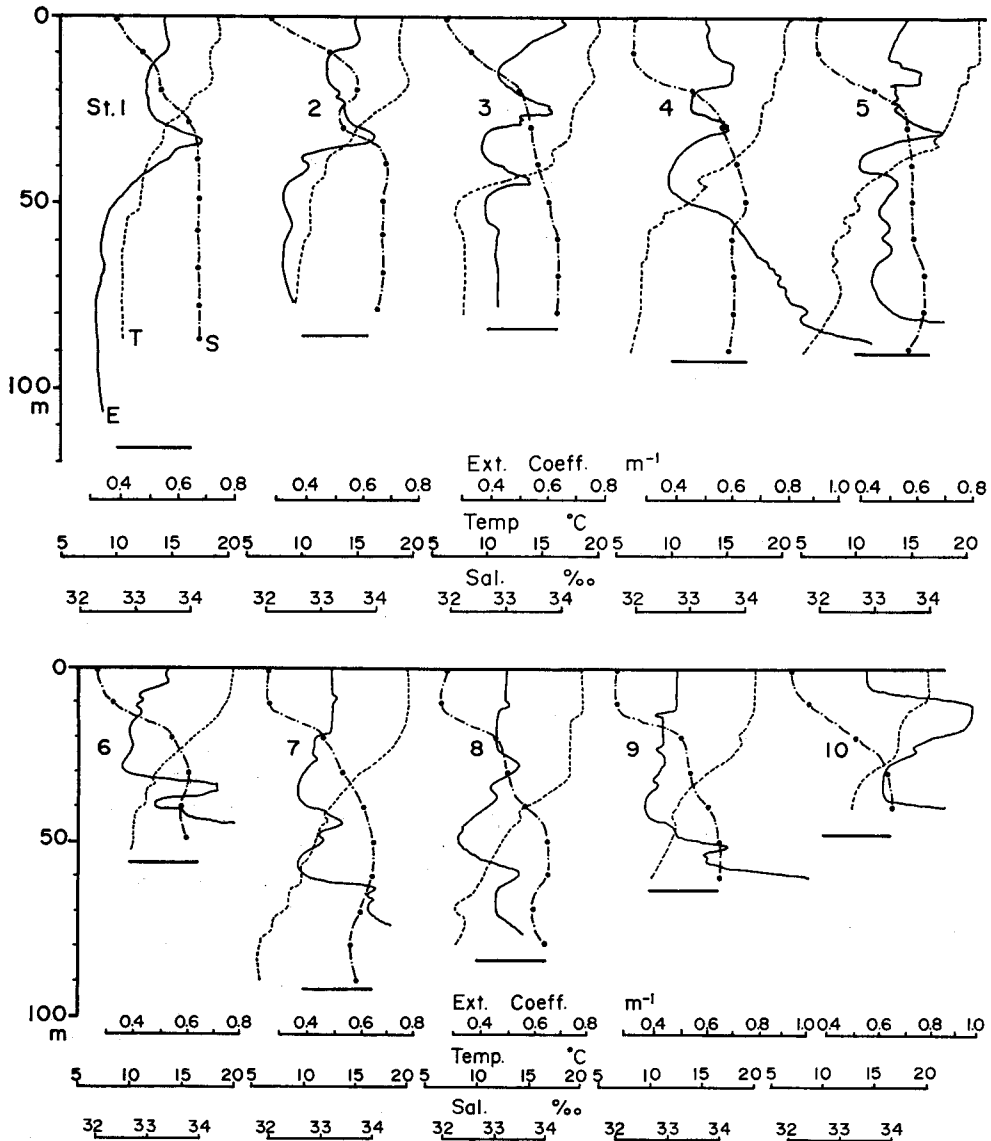


Fig. 4 Vertical profiles of extinction coefficient, temperature and salinity on September 25 and 26 in 1975.

で変動していることがわかる。すなわち St. 1, 2 では 40 m 以深の, St. 4~10 では中層の高塩水において一般に低濁 (清澄) であり, 塩分極大層にはほぼ濁度の極小値が対応する傾向がうかがわれる。しかし高塩分水中でも必ずしもその値は一定ではなく, St. 4~7 に見られるように高濁層の狭や大きな変動がある。また塩分が減少する層では急激な濁度の増大が伴う点が共通して見られる。

表層の低塩分水中では濁度が相対的に高く, St. 1~3 では, 躍層附近の高濁層に次いで高い。また湾内

三宅ら：噴火湾における津軽暖流水の流入期の濁度分布

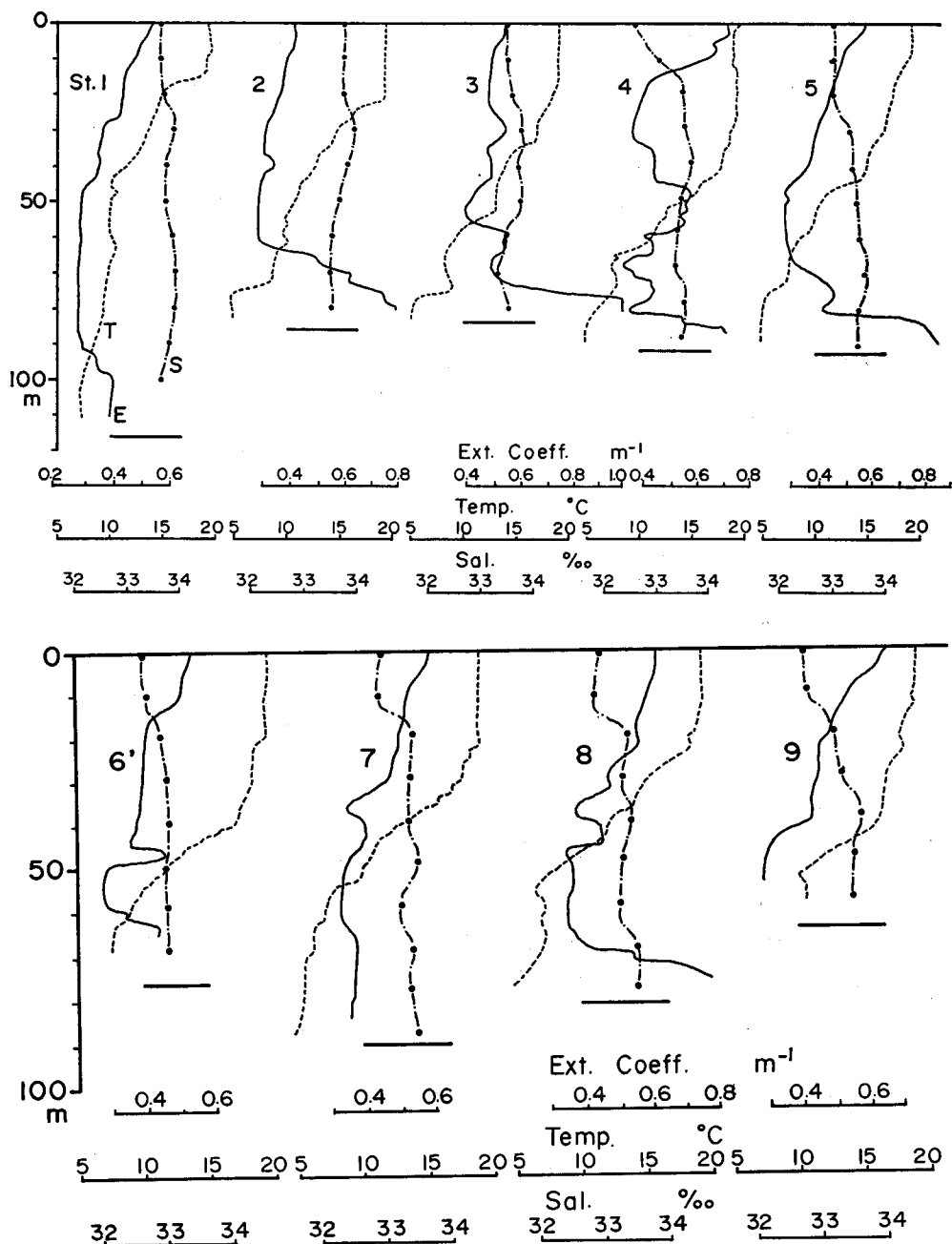


Fig. 5 Vertical profiles of extinction coefficient, temperature and salinity on September 7 and 8 in 1976

の St. 4~9 では 10~20 m 深に顕著な塩分躍層が存在するが、これ以浅では水温、塩分分布と同様に濁度の鉛直分布もほぼ一様であり、表層の混合層を形成していることがわかる。

一方湾内の St. 4~10 の底層は高濁であり、St. 4, 7 では海底から 30~40 m 上方まで消散係数で  $0.6 \text{ m}^{-1}$  以上である。St. 3 の 60 m 以深は温度、塩分、濁度とも差がなくきわめて均質な水塊である。St. 4~8 には水温の微細な変動が認められ、 $0.5^\circ\text{C}$  程度の温度の逆転層や階段構造が発達している。これらに対応して濁度にも微細な変化が生じていることが多い。Sill の外側 St. 1, 2 では、密度躍層附近に一つの鋭い濁度の極大層をもつ比較的単純な形であるが、湾内になるにしたがって次第に複雑かつ高濁になる傾向を示している。

1976 年の場合 (図 5) においても濁度と塩分の相関は、前年度同様に認められる。しかし塩分の鉛直勾配は極めて小さく、濁度の変動もまた底層を除いて小さい。密度躍層附近には、はっきりした濁度極大層は見られない、ここではむしろ海底から 10~15 m の高さにある温度の急低下によって、底層の高濁水が明白に区分されていることが特徴的である。

### 3 水塊構造と濁度分布

鉛直濁度分布を水塊構造と関連づけるために、大谷<sup>2)</sup> が用いた指標に準拠して整理してみる。津軽暖流水の流入期に現れる水塊、その表示記号および指標は次の通りである。

夏期噴火湾水 ( $F_S$ ): 塩分値が 32‰ 以下の水

津軽暖流水 ( $T_W$ ): 塩分値が 33.6‰ 以上で、170 cl/ton 以上のサーモステリックアノマリーを有する水

底層水 ( $B_W$ ): 170 cl/ton 以下のサーモステリックアノマリーを有する水

ここで底層水とは、湾外の相当する深さには見られない湾内特有の重い水で、その境界値を便宜的に  $\sigma_T=170 \text{ cl/ton}$  として区分した。底層水自体の特性は、季節的あるいは年毎の変動があり、一概には言えないが、この時期では主に暖流水が滞留し変質した冬期噴火湾水と親潮系水との混合水であると推定される。なお湾内の中層以深では 33.8‰ 以上の値が津軽暖流水を示す塩分値であるとした。

一例として図 6 に 1975 年 9 月の St. 1~5 までの TS 図を示した。図 6 によればそれぞれの観測点の各層毎の水塊の推移がよく読み取れる。いま St. 1~3 までについてみると、St. 1 では表層の  $F_S$  と  $T_W$  の混合水から始まり、深さ 30 m からは  $T_W$  となり 90 m 層まで同一水塊が占めていることがわかる。St. 2 では 20 m 層でいったん  $T_W$  となるが、30 m 層では再び  $F_S$  と  $T_W$  の混合水となり、40 m 層から海底までは  $T_W$  が占めている。一方 St. 3 では表層に  $F_S$  が現れる。 $T_W$  は 40 m 層だけに見られ、50 m 以深は全層  $B_W$  であって、この測点では  $T_W$  が 10 m 以内の厚さでしか存在していないことを示している。このように Sill の内外では水塊構造が全く異っている。St. 4 以降は表層から、 $F_S$ ,  $T_W$ ,  $B_W$  の多層構造が形成されている。

このようにして得られた水塊構造を濁度の鉛直断面に重ね合わせたものが図 7, 図 8 である。1975 年 9 月には St. 3 から夏期噴火湾水が表層の 10 m に分布し、消散係数ではおよそ  $0.5 \text{ m}^{-1}$  である。

津軽暖流水は Sill の外側 St. 1, 2 では、断面の 6~8 割を占めるが、St. 3 では中層にわずかしき見られない。しかし湾内では中層に厚く流入している。図 6 で明らかなように St. 2 の 20 m 層には暖流水が流入し、そのため鉛直濁度分布には二つの清澄層が存在する。暖流水自体は St. 3 ですではっきりしなくなるが、この清澄層は等密度線に沿って St. 5 まで追跡でき、主に暖流水を起源とした水からなっていると考えられる。暖流水中の消散係数は、St. 1, 2 で最も小さく  $0.3 \text{ m}^{-1}$  をわずかに越す程度であるが、Sill の内側においては変動が大きい。しかし St. 6, 7 の 30~40 m 層に広がる高濁層や海底近くの層を除けば、湾内でも  $0.5 \text{ m}^{-1}$  以下であり、鉛直分布中の最も清澄な層となっている。

この暖流水に接して下層には底層水が分布しているが、St. 3, 4 ではその厚さが 40 m にも達する。St. 3 を除けばこの水塊は最も高濁かつ変動が大きく、およそ  $0.5 \text{ m}^{-1}$  から海底直上では  $1.2 \text{ m}^{-1}$  にも

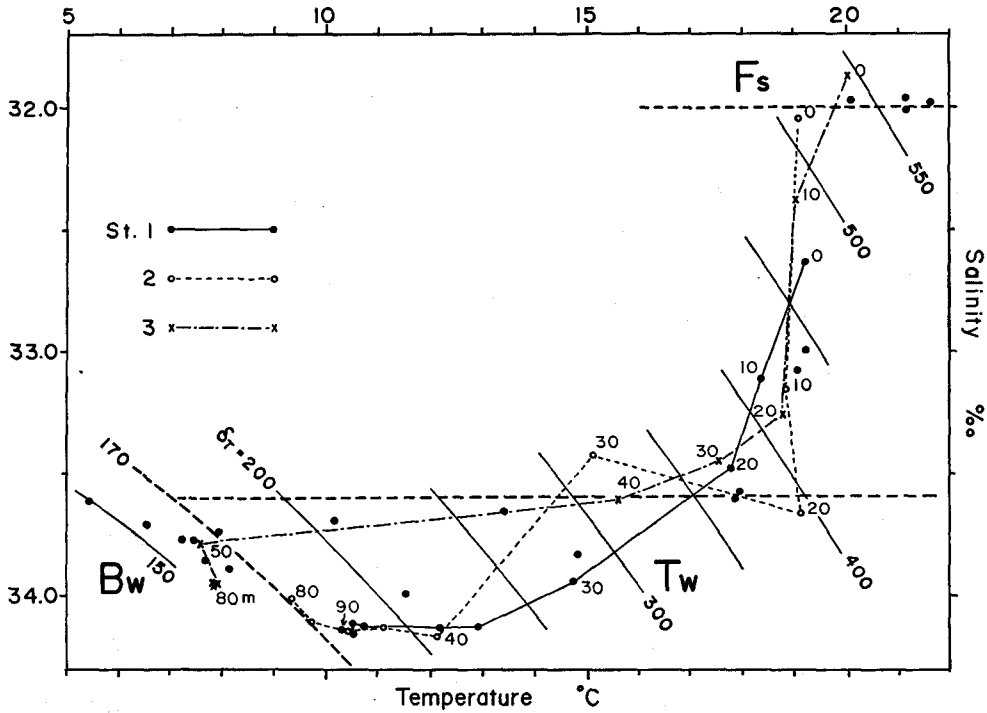


Fig. 6 Classification of water masses and T-S diagram for stations 1-5 in September 1975. ( $F_S$ : the Funka Bay Water formed in summer,  $T_W$ : the Tsugaru Warm Water,  $B_W$ : the Bottom Water).

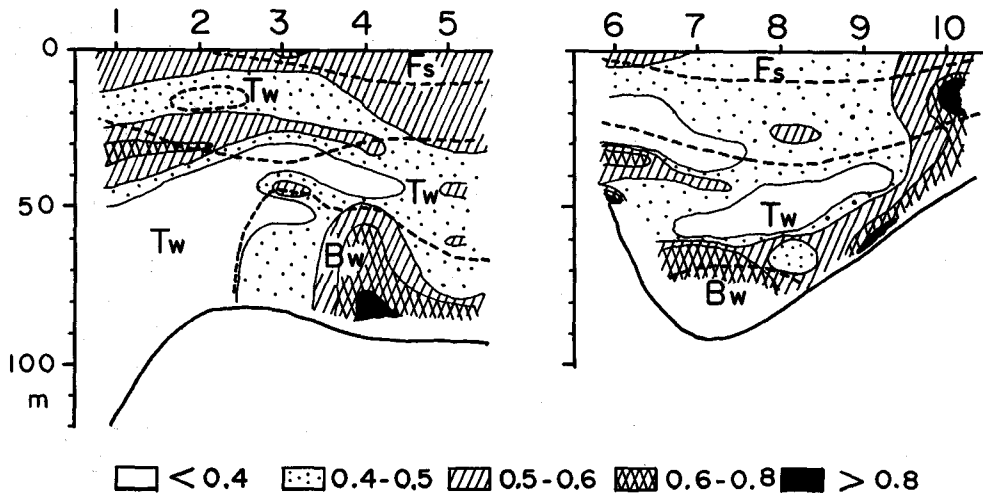


Fig. 7 Vertical sections of extinction coefficient ( $m^{-1}$ ) and the structure of water masses in September 1975.

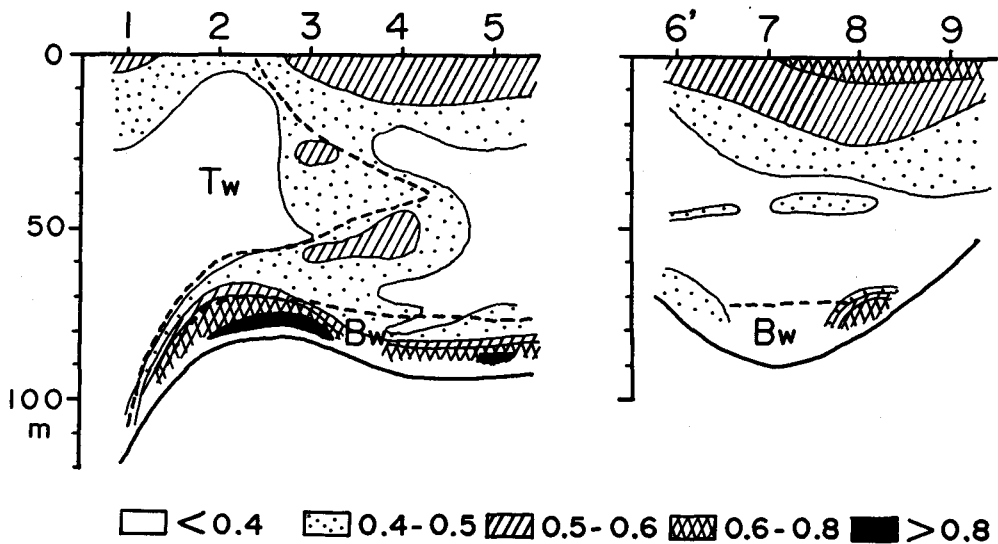


Fig. 8 Vertical sections of extinction coefficient ( $m^{-1}$ ) and the structure of water masses in September 1976

達する。しかし、St. 3の底層水は  $0.4 m^{-1}$  前後と例外的に澄んでおり、暖流水の値と変りない。 $\delta_T$ の分布からわかるように、この測点では力学的にも複雑な構造を示している(図2の $\delta_T$ の分布参照)。

これらの水塊のもつ固有の消散係数とは別に、鉛直分布中にはいくつかの鋭い極大層が存在する。このうち St. 1, 2, 3 (45m) は密度躍層の位置にはほぼ一致し、水柱の鉛直安定度が高いために懸濁物がこの層に集積したものと考えることができる。また St. 4, 5の深さ30mにある極大層は、高塩分値で示される暖流水の境界附近に相当し、鉛直的な潮境にあると言える。しかし湾内断面ではこのような関係は認められない。St. 6, 7の中層にある  $0.5 m^{-1}$  以上の値は、等密度線に沿っており、沿岸起源であるかあるいは湾内の環流系の方向がこの深さで変ることがあるため、鉛直方向の流速シアと関係していることも考えられる。

1976年9月(図8)には夏期噴火湾水は見られず、暖流水と底層水が水塊として区分される。暖流水は Sill 上の中層を舌状に St. 4まで流入しているが、消散係数から見ると大部分が  $0.4 m^{-1}$  以下の値を示している。しかし表層と流入水の先端部ではやや高い傾向が見られる。湾内の70m以浅は夏期噴火湾水と津軽暖流水の混合水によって占められ、およそ30m深を境にして表層では  $0.4 \sim 0.6 m^{-1}$ 、中層では  $0.4 m^{-1}$  以下の消散係数をそれぞれ示し、分布型は単調である。

底層水は湾内から Sill 上にかけての70~75mの深さに平坦に拡がっており、St. 2にも認められることから Sill を越えて底層水が流出しているものと考えられる。なお St. 2~5でいずれも  $0.8 m^{-1}$  以上に達する値を示しているが、St. 7では  $0.4 m^{-1}$  以下である。底層水中でのこのような消散係数の変動性は、いわゆる bottom nepheloid layer でも知られており、底層流の時空間変動と海底からの懸濁粒子の輸送に関係していると言われている<sup>9)</sup>。

このように兩年とも水塊構造が異なっているにもかかわらず、消散係数はおおよそ各水塊に対応した値をもち、このような海域では一つの有効な水塊分析の指標として用いることができることを示している。

底層水の分布型は既に述べたように兩年で全く異なっており、1975年には暖流水の流入に伴ない、Sill の内側に閉じ込められたように停滞しているが、力学的な均衡が破れることによって一気に流出

する可能性を含んでいると考えられる。これに対して1976年には既に流出している状態にあり、従って湾内の底層水の量も少ない。

さらに暖流水の流入に際して鉛直混合の強さに兩年では大きな差異があったと推定される。すなわち1975年には、暖流水が湾内断面の半分近くまで占めている時期にもかかわらず、水塊の境界が温度、塩分、濁度から比較的明瞭に区分され、夏期噴火湾水がほとんど変質を受けずに保存されている。このことは暖流水の流入が等密度線に沿って滑らかに行なわれ、湾内にあった水塊との鉛直混合が弱かったことに原因するものと考えられる。このためSt.2~4には二層にわたって暖流水起源の清澄な層が連続して見られ、また異水塊の境界附近や密度躍層の位置に見られる濁度極大層は、拡散過程によって説明されるような上下に対してやや指数関数的な分布をしていることから裏付けられる。一方1976年には、時期的に早い段階にあるにもかかわらず、夏期噴火湾水は既にその特性を失ない、塩分の鉛直変動および成層の安定度は小さい。また主に水温に起因する躍層や異水塊の境界附近に際立った濁度の極大層は見られず、鉛直的に変動の小さい分布を示している。これらの分布は暖流水の流入過程において鉛直混合が十分に発達していたことを示唆している。同時にまたこの鉛直混合は前述の8月中に出現した急潮とも深く関係しているものと思われる。

## 要 約

噴火湾において特性を異にするいくつかの水塊が出現する津軽暖流水の流入期である1975年および1976年の9月に、鉛直濁度分布を測定し、水塊構造との対応、底層水の分布、暖流水の流入状況等について次のような結果を得た。

- 1) 夏期噴火湾水、津軽暖流水、底層水の水塊分布におおよそ一致して、それぞれほぼ0.5, 0.3~0.5, 0.5~1.2 m<sup>-1</sup>の消散係数の値を示し、湾水の交替期には水塊分析の目安として役立てることが出来る。
- 2) 1975年には、高濁な底層水は暖流水に妨げられてSillの内側で海底から40m上方まで拡がった不安定な分布を示したが、1976年には海底から10~15mの高さに限られ、Sillを越えて湾外に流出している。
- 3) 暖流水の流入過程における鉛直混合の強弱によって、密度躍層附近における懸濁物の集積に大きな差異が生ずることが推定された。

## 謝 辞

本研究に際して、終始適切な御指導と原稿の後校閲をいただいた福岡二郎教授に厚く感謝します。観測に際しては、坂口船長を始めうしお丸乗船員御一同、竹田仁技官、当時大学院学生仲村俊毅氏（現在青森県水産増殖センター）の多大な助力を得た。謹んで感謝します。本研究の一部は文部省科学研究費補助金特定研究「海洋環境保全の基礎的研究」課題番号121302研究代表者西村雅吉教授によった。

## 文 献

- 1) 大谷清隆・秋葉芳雄(1970). 噴火湾の海況変動の研究. I. 湾水の周年変化 北大水産彙報 20, 303~312.
- 2) 大谷清隆(1971). 同上 II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性 同誌 22, 58~66.
- 3) 大谷清隆・秋葉芳雄・吉田賢二・大槻知寛(1971). 同上 III. 親潮系水の流入・滞留期の海況 同誌 22, 129~142.
- 4) 大谷清隆・秋葉芳雄・伊藤悦郎・小野田勝(1971). 同上 IV. 津軽暖流水の流入・滞留期の海況 同誌 22, 221~230.

- 5) 木戸和男 (1976). 噴火湾の水塊交替と底層水の滞留・流出. 昭和 50 年度北海道大学水産学研究科修士論文. p. 81.
- 6) Kawana, K. (1975). Turbidity distribution of the Bering Sea in the summer. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* **26**, 73~86.
- 7) 岡見 登・岸野元彰 (1972). 海中光の測定. p. 107~136. 黒木敏郎編, 海洋測定法. 214 p. 東京大学出版会, 東京.
- 8) Baker, E.T. (1976). Temporal and spatial variability of the bottom nepheloid layer over a deep-sea fan. *Marine Geology* **21**, 67~79.