

台風の通過に伴う津軽暖流水の流入と 噴火湾奥部静狩での沿岸環境の急変について

奥村裕弥*, 吉村圭三*², 宮園 章*, 稲村明宏*³, 木戸和男*⁴, 磯田 豊*⁵

Inflow event of the Tsugaru Warm Water due to the passage of Typhoon and rapid change in the costal environment at Shizukari, located in the bay-head of Funka Bay

Hiroya OKUMURA*, Keizou YOSHIMURA*², Akira MIYAZONO*,
Akihiro INAMURA*³, Kazuo KIDO*⁴ and Yutaka ISODA*⁵,

Funka Bay is one of the popular scallop breeding grounds in Hokkaido. Funka Bay Summer Surface water (Fs), which is transformed from the Oyashio water in early summer and higher temperature and lower salinity than the underlying Oyashio water, occupied the upper layer in the Bay. Usually during August to September, the Tugaru Warm water (TW) originated from Kuroshio and of higher temperature and salinity than the Oyashio water, enters into the bay. In 2003 summer, fishermen working near the bay-head of bay at Shizukari reported that curiously clear water appeared at the sea surface and many scallop's juveniles were dead. We suppose that death of scallop juveniles is attributed to rapid environmental change accompanied with inflow of TW, and to investigate the environmental change in the bay accompanied with TW inflow, we carried out hydrographic observation by a ship and mooring instruments in 2004. When Typhoon 0416 passed near Hokkaido in 31 August 2004, the salinity and temperature off Shizukari locating in the head of the bay were rapidly changed and strong north-westward current flowed across the coastline was observed. In 1 September 2004, the current speed off Shizukari amounted to maximum, 50cm/sec and mean speed during 31 August to 1 September was about 20cm/s corresponding to the speed at which TW could flow form the mouth of the bay to the head of the bay. When Typhoon 0418 passed in 8 September 2004, similar rapidly environmental change could be observed. TW reached to Shizukari shore in 13 September and flowed westward across the shore at the scallop-breeding zone. At that time, vertical sections at Yakumo and Ootshibe also showed that TW flowed at the depth deeper than the scallop-breeding zone. It is inferred that such a rapid inflow of TW occur after severe weather condition like a Typhoon, and that the basin water which has a temperature-salinity characteristic similar to TW and is low in oxgen concentration, has possibility to contain harmful substances such as hydrogen sulfide.

キーワード：台風，津軽暖流水，潜流，ホタテガイ養殖，噴火湾

報文番号 A408 (2007年2月16日受理)

* 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Hokkaido, 042-0932, Japan)

*² 北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Hokkaido, 051-0013, Japan)

*³ 渡島北部地区水産技術普及指導所 (Fisheries Technical Office Northern area of Oshima subprefecture, Hokkaido, 049-2313, Japan)

*⁴ 北海道立地質研究所 海洋地学部 (Department of Marine Geoscience, Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido, 047-0008, Japan)

*⁵ 北海道大学大学院水産科学研究院 (Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University, Hokkaido, 041-0821, Japan)

まえがき

噴火湾は特徴的な水塊交替と湾固有の水塊形成が行われることがよく知られている海域である¹⁾。春には、沿岸親潮水と親潮系水が流入し、冬季に形成された重い冬季噴火湾水が底層に滞留する²⁾。春季から夏季にかけて河川水による表層の低塩分化和日射等による昇温により、高温・低塩分な固有水である夏季噴火湾表層水が生成され、湾内に時計回りの渦が発達する³⁾。初秋には、中層に暖かく高塩分な津軽暖流水（以下、暖流水とする）が流入することで湾内水が高塩分化し、海面冷却によって鉛直混合が始まる。冬季には冷却が進んでより重い冬季噴火湾水が形成される⁴⁾。

これまで噴火湾での水塊交替メカニズムとして、反時計回りに地球自転が作用する回転系密度流として流入することが知られている^{5,6)}。気象擾乱に伴う流入メカニズムとしては親潮系水の流入時に、風により形成される渦対が海水交換に重要である事が唆されている⁷⁾。しかしながら、暖流水の流入時については、気象擾乱に伴う流入にふれた記述はこれまでなく、そのメカニズムも知られていない。

暖流水の流入時期は台風等の強い気象擾乱が見られる時期である。2003年9月には、台風14号通過後に湾奥の静狩地区を中心としたホタテガイ稚貝の大量斃死が発生し、ホタテガイ養殖業に多大な影響を与えた。このとき、ホタテガイ養殖業者から台風の通過に伴い「透明な水」と呼ぶ透明度の高い海水が沿岸域に現れること⁸⁾、ホタテガイ稚貝の斃死する水深と位置があることを聞かされた。

2003年に発生したホタテガイ稚貝の大量斃死が最も早く始まりかつ被害が最も大きかった長万部町静狩地区で、強い気象擾乱の通過時に生じる沿岸域での環境変化を、2004年に定期的な沿岸域の海洋観測と沖合域の海洋観測、自記式係留観測機器の観測によって調査した。

これらの調査によって得られた観測記録から明らかとなった気象擾乱による暖流水の流入現象について報告する。

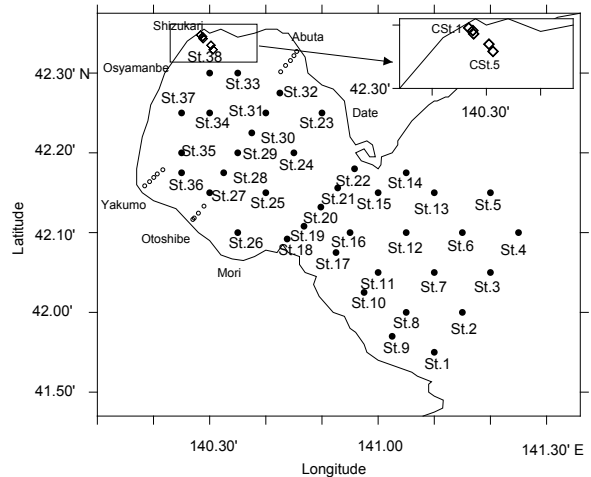


Fig. 1 Location of observation points

◇: coastal observation points, ●: ship observation points, ○: coastal environmental observation points

材料及び方法

断面調査

Fig.1に示した静狩地区の水深10m, 20m, 30m, 40m, 50m地点をCSt.1からCSt.5とし、2004年8月25日、9月1日の2回にわたり断面観測を実施した。各調査では各観測点でSTD (AST-1000M, アレック電子, 神戸) によって水温・塩分の鉛直分布を観測した。

渡島北部水産技術普及指導所（渡島北部）と胆振地区水産技術普及指導所（胆振地区）はSTDによる沿岸環境調査を実施している。渡島北部は9月17日に落部地先距岸0.5, 1, 2, 3マイルで、9月13日に八雲地先距岸1, 2, 3, 4, 5マイルで、9月14日には静狩地先CSt.1から5で観測を実施した。胆振地区は9月13日に洞爺湖町虻田地先距岸1, 2, 3, 4, 5マイルの5点で観測を実施した。これらで得られた観測記録も沿岸域の環境を把握するために用いた。

全湾観測

8月19日は用船によって、湾内のSt.14~38の観測点について、STDによる水温・塩分の鉛直分布を観測した。9月13日は函館水産試験場試験調査船金星丸によって、観測点全点について、CTD (SBE-9, SeaBird Electronics

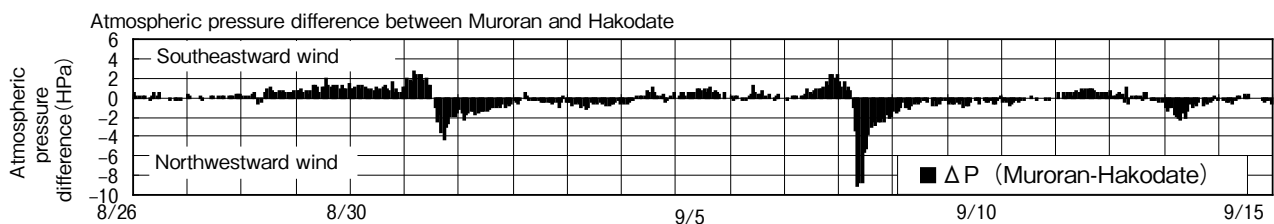


Fig. 2 Temporal change of atmospheric pressure difference between Murooran and Hakodate. Positive value indicate southeastward wind. Negative value is indicated northwestward wind.

Inc., USA) による水温・塩分の鉛直分布を観測した。

係留観測と気象データ

経時的な環境変化を把握するため、自記式観測機器による係留観測を8月23日から12月7日の期間実施した。CSt.2の水深15m, CSt.4の水深15mと30mに電磁式流向流速計 (ACM16M-332, アレック電子, 神戸) を設置し、毎時の流向・流速の他に水温・塩分・濁度の各項目を測定した。

観測と同期間の室蘭地方気象台と函館海洋気象台との毎時の観測データを気象庁ホームページから引用し、海面気圧差を湾軸方向に吹く風の指標として用いた。

結果

観測期間中に噴火湾近傍を強い気象擾乱が通過した。Fig.2に示した函館と室蘭の気圧差から台風16号接近時には南東向き成分が生じており、室蘭では東から南東にかけて平均8 m/secの風が吹いた。台風の通過と共に急激に北西向き成分に変化した。これは室蘭の風の状況とよく一致していた。台風18号では、特に台風が通過した9月8日には20m/secを超える南南西の風と平均で10m/secを超える西風が観測されている。これらの気象擾乱の通過に伴う環境変化について以下に示す。

水温、塩分、流れの時系列変化

静狩のCSt.2水深15mとCSt.4水深15m及び30mに設置した自記式観測機器の水温、塩分の時系列記録をFig.3に示し、毎時の流れをスティックダイアグラムとしてFig.4に示した。

水深15mに設置した各観測機器は、台風16号の接近によって南東向き成分が強くなる8月28日から水温が上昇すると共に塩分値が低下し、通過後に塩分値が33.5まで急激に上昇した。水温・塩分値とも次の台風が接近する9月6日まで33.5程度、18℃以上に維持された。CSt.4の30mでは、8月26日から31日にかけて水温が14℃から18℃まで徐々に上昇した。塩分値は8月28日まで33.4を上回るが、それ以降31日にかけて32.5まで低下した。台風の通過後の9月1日に33.5まで急激に上昇し、9月6日まで塩分値が維持された。観測された流れも南東向き成分が強い28日から渡島側からの流れが卓越しているが、台風通過後の北西向き成分になるとCSt.4の下層から上層、CSt.2の上層の順に流向が沖から岸に向かう流向に転じた。特にCSt.4の下層では、50cm/sec近い流れが観測された。

9月8日以降の台風18号通過時も台風16号と同様な傾向を示し、水深15mの各点では塩分が低下、水温が上昇すると共に渡島側からの流れが卓越し、台風通過後数日

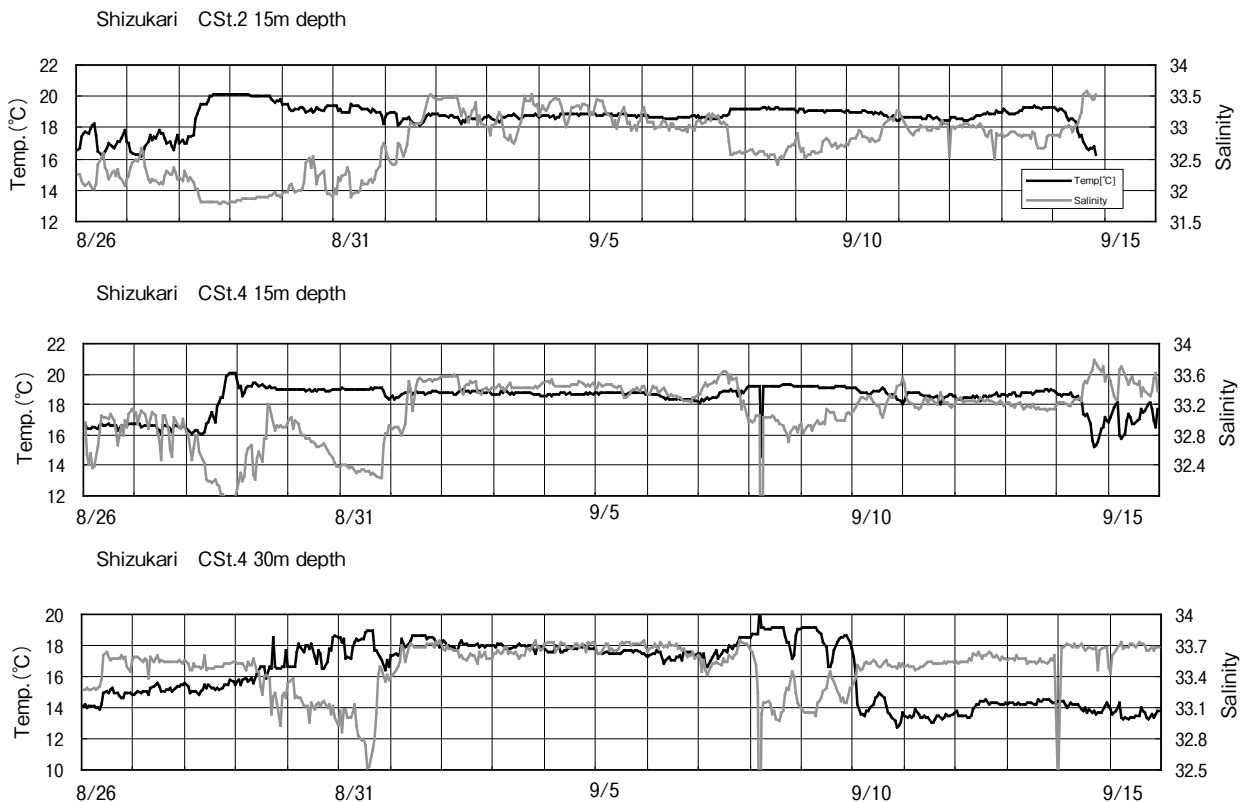


Fig. 3 Time series of salinity and temperature measured at CSt.2 and CSt.4 in Shizukari during 26 August to 15 September. Measured depths were 15m depth in CSt.2, 15m and 30m depth in CSt.4.

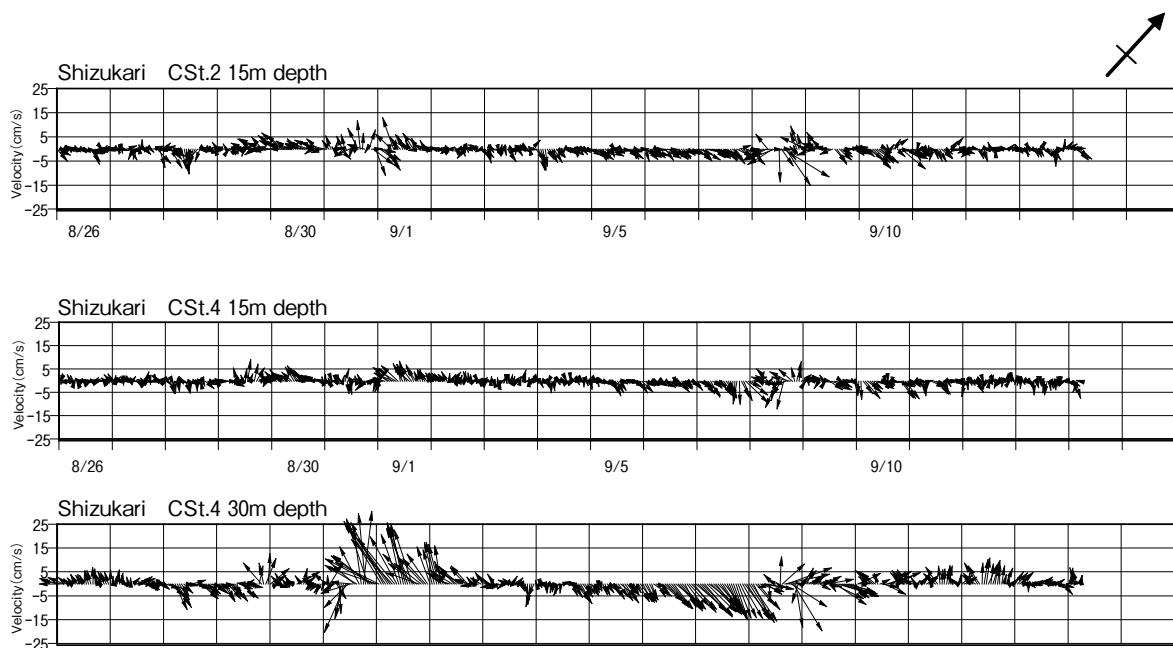


Fig. 4 Stick diagram of current vector at Shizukari during 25 August to 15 September 2004.

で水温・塩分共に台風接近以前の値まで回復し、塩分変化共に流向が等深線に沿う方向から陸に向かう方向に変化した。CSt.4の30mでは温帯低気圧の通過後に塩分の上昇とともに水温が12℃台まで急激に低下し、その後13~14℃台で推移した。

断面観測 (沿岸環境調査資料を含む)

静狩地先の水温・塩分・密度の鉛直断面図をFig.5に示した。8月25日時点では、表層水に覆われており、高温・低塩分な環境下にあった。33.0の等塩分線の深度が水深20m付近、33.1の等塩分線の深度は約35mであった。

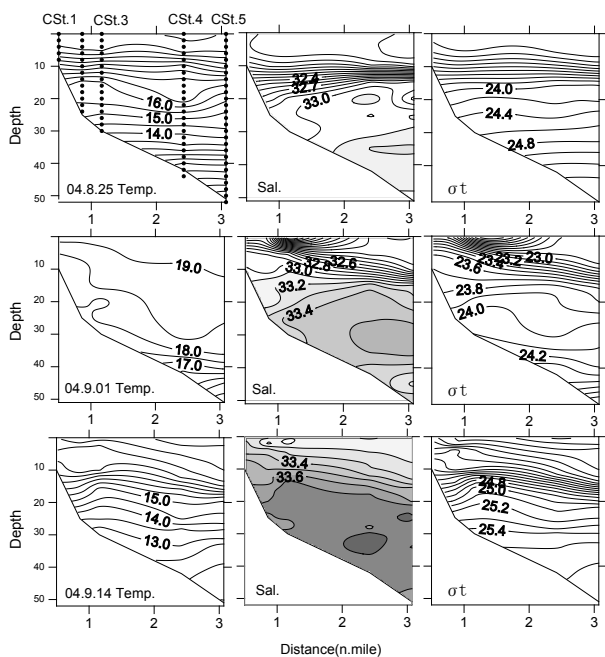


Fig. 5 Vertical distributions of temperature(°C), salinity and sigma-t (kg/m^3) across the coast line at Shizukari on 25 August, 1 and 14 September 2004. Shaded area contour indicate over 33.1 until 34.0.

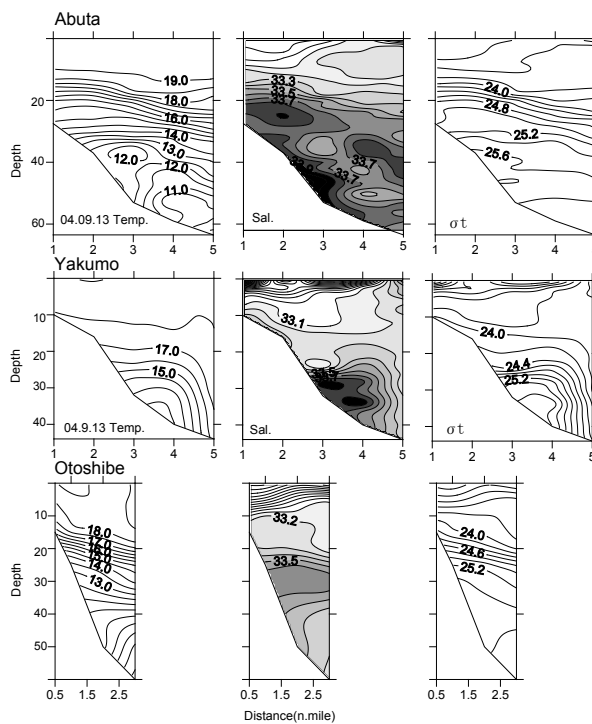


Fig. 6 Vertical distributions of temperature(°C), salinity and sigma-t(kg/m^3) across the coast line at Abuta, Yakumo and Otoshibe. Shaded area indicate over 33.1 until 34.0.

等温線・等密度線共にはほぼ水平であり、連続成層の状態であった。台風16号通過後の9月1日では、表層では混合による等温層が40m付近まで及びその下層に水温躍層が存在する。水温は40m付近まで18℃台であった。塩分断面は前回の調査に比べて大きく変化し、津軽暖流水に相当する33.6以上の高塩分な海水が30m付近を中心に分布した。塩分躍層・密度躍層共に岸に向かって深度が浅くなる形状であった。9月14日には、水温は鉛直方向に連続成層しており、15℃の等温線が1回目の観測と同様な水深20m付近に位置した。塩分断面では、これまで

の調査で見られた塩分躍層は無く40m付近を中心に、岸近く水深10m付近まで塩分33.7以上の暖流水が広く分布した。密度断面では、これまでの調査で見られなかった25.4kg/m³以上の密度の海水が分布しており、密度躍層は岸に向かって浅くなる形状であった。

虻田地区・八雲地区・落部地区の鉛直断面図をFig.6に示した。台風通過後の9月13日の虻田地区での鉛直断面図では、水温8℃以上、塩分33.6以上の暖流水が20m以深に広く分布した。塩分33.8以上の海水は岸に近い20m付近と30~50m付近の海底に沿うように分布した。

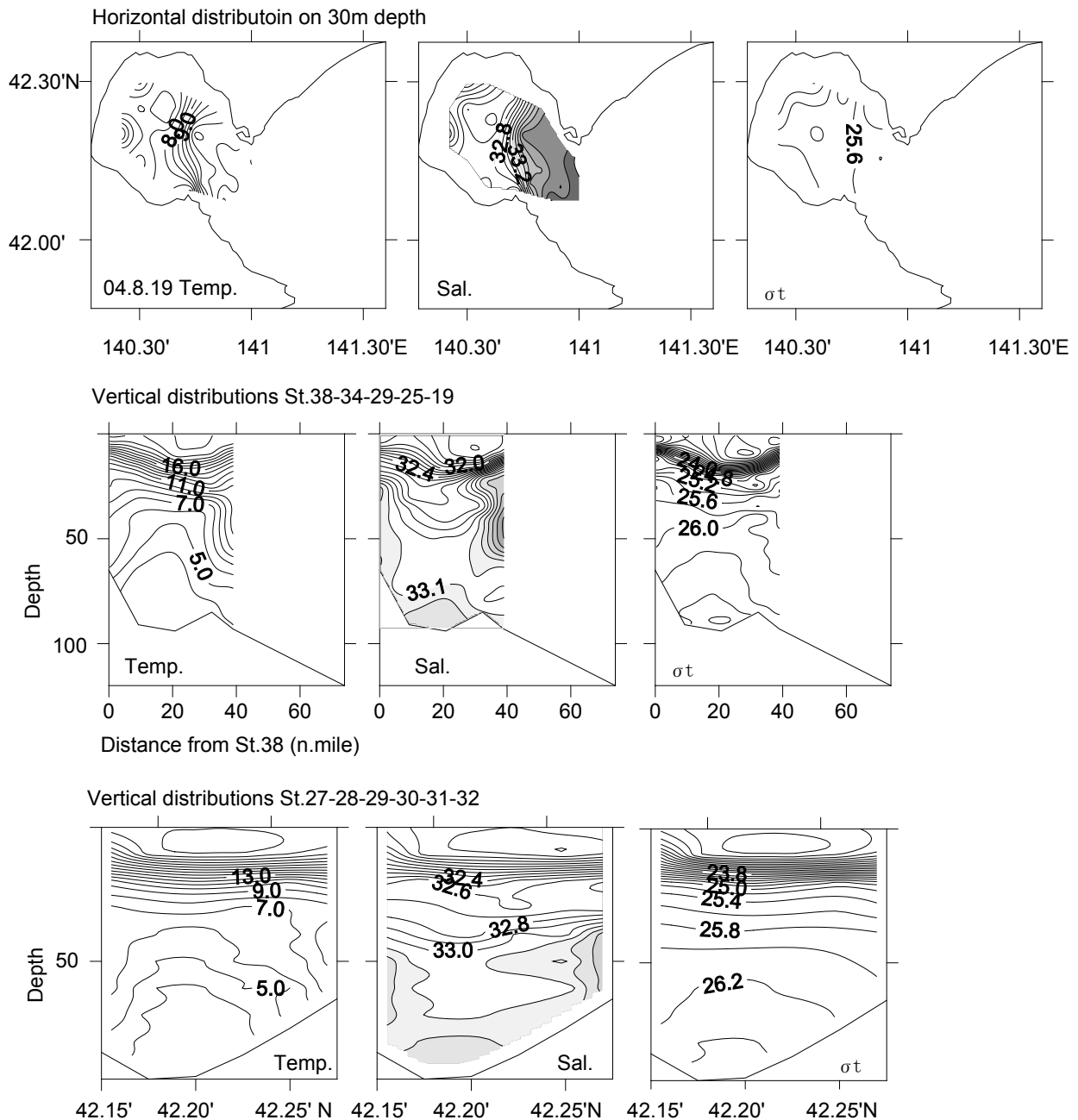


Fig. 7 Horizontal distribution and Vertical section of temperature (°C), salinity, Sigma-t (kg/m³) upper figure horizontal distribution at 30m depth, middle figure vertical distributions along Bay Axis, lower figure is vertical section across Bay Axis form Otoshibe to Abuta.

八雲地区の鉛直断面図では、距岸3~4mile付近の海底付近に周りとは異なる水温11~13℃・塩分33.4~33.7の海水が存在していた。密度でも25.6kg/m³を上回っており、等密度線が閉じたドーム状の形状であった。落部地先での断面観測でも水深30m付近を中心にして、33.5以上の高塩分水が分布した。水温は11~13℃の範囲で、八雲地区の断面で現れた海水と水温・塩分値が一致した。

全湾観測

8月の30m平面分布図と湾軸に沿う南西方向鉛直断面図と湾中央部を横断する北西方向の鉛直断面図をFig.7に示した。平面図から北側(胆振側)から噴火湾内への暖流水の流入がすでに始まっており、湾口から湾内に向かって水温・塩分フロントが存在した。湾軸方向の断面では、湾口の水温塩分フロントが水深70mまで及び、等

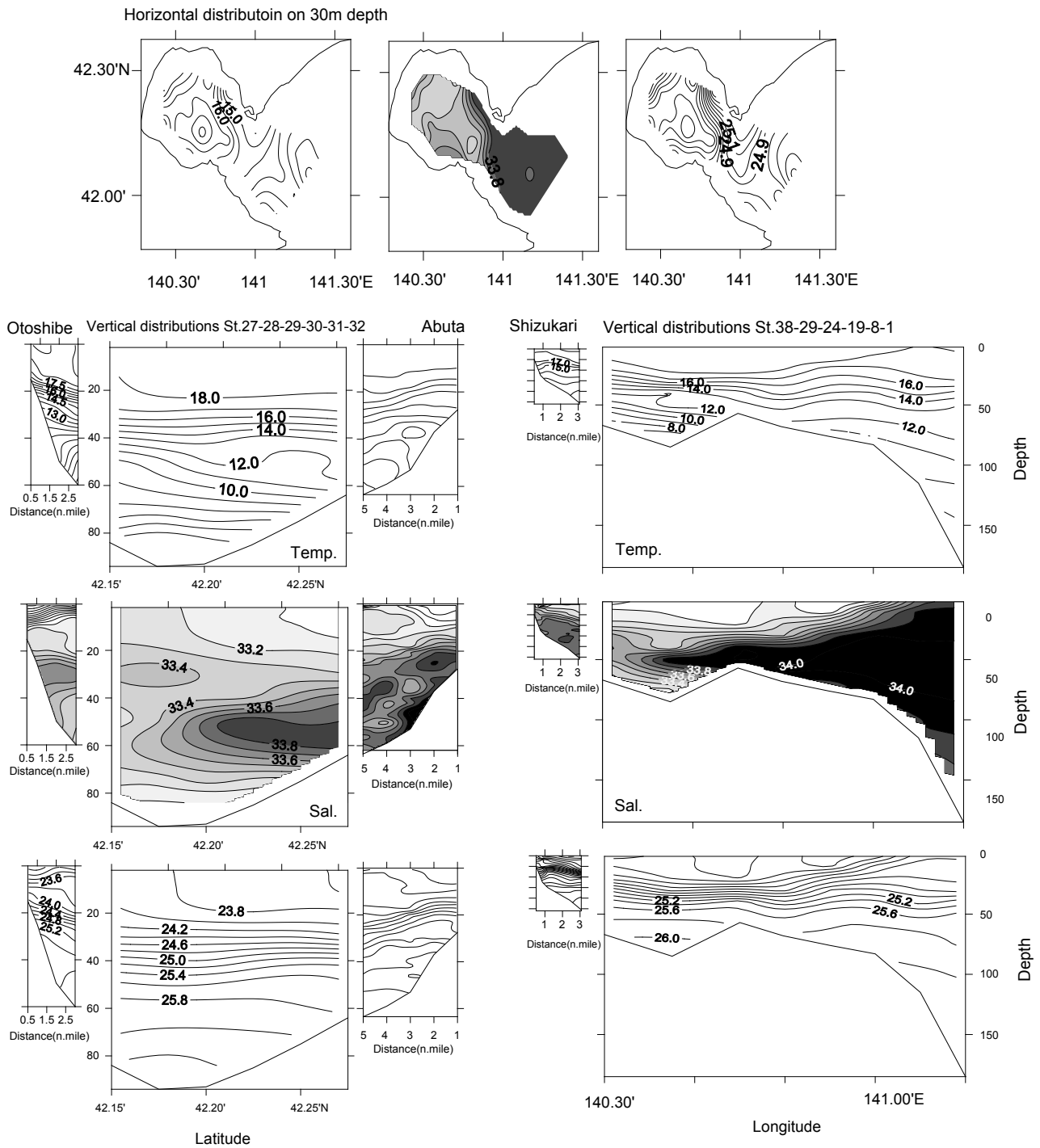


Fig. 8 Horizontal distributions of temperature(°C), salinity, Sigma-t(kg/m³) at Funka bay at 30m depth in September 2004 (top), and vertical distributions of same factors along two sections, including coastal sections shown in the former figures.

温線・等塩分線共に湾奥で水深が浅くなる形状であった。特に塩分では33.1の等塩分線が20m以浅まで達していた。湾中央部を横断する鉛直断面図から湾内に流入した暖流水は胆振側水深50m付近に偏在した。

9月13日に観測した湾内の水深30m平面図、湾中央部を横切る鉛直断面図、湾軸方向の鉛直断面図をFig.8に示した。湾を横切る断面図には、ほぼ同時期の9月中旬に観測した落部地先、虻田地先の鉛直断面図を沿岸域の海洋構造を補うため併せて示し、静狩地先の断面図を湾軸方向の沿岸域の海洋構造を補うため併せて示した。平面図から湾口から湾内に向かって暖流水が反時計回りに胆振側から流入していることと、同心円上の等密度線から夏期噴火湾表層水が渦運動していることがわかる。水深50mを中心として流入している暖流水は水温13℃、塩分33.6以上であり、同様な水温・塩分を示す海水が渡島側沿岸部と胆振側沿岸部の水深30m付近に存在する。

湾軸方向の断面では、等温線の舌状の形状から湾口から湾内中層に暖流水が貫入しており、同様な高塩分水が湾奥岸近くに存在した。

考察

噴火湾では、春の沿岸親潮の流入や陸水の流入などにより秋まで湾内の表層水の塩分値が低下する。湾内の表層水の塩分値が増加するのは暖流水の流入と冷却による鉛直混合進む秋以降である。そのため、冷却が進んでいない8月から9月にかけての沿岸域での高塩分化は暖流水の流入を意味する。

Fig.3に示した水温・塩分記録では、Fig.2に示した台風の接近に伴う南東向きの成分の増加によって、噴火湾内の表層を覆う夏期噴火湾表層水（高温・低塩分）が湾奥に集められ厚みが増す^{9,10}ため、高温・低塩分化した。しかし、北西向きの成分に転じた8月31日後半から一気に塩分値が33.5以上まで上昇した。塩分上昇は、CSt.4の下層が最も早く、次にCSt.4の上層、最後にCSt.2の値が上昇する。このことは、沖側下層から岸に向かって暖流水が流入したことを示している。台風18号通過時も温帯低気圧通過時にも同様な変化が生じており、気象擾乱の通過に伴って沿岸部に暖流水が供給されることがわかる。

Fig.4に示した静狩地先の流れの記録から、Fig.2に示した南東向き成分の時は、胆振側に向かう弱い流れが生じており、台風通過後北西向き成分の増加と共に渡島側の岸に向かう強い流れが生じた。8月31日から9月1日にかけての岸に向かう流れの2日間の平均流速が21cm/secであり、流程では30kmを上回る。これは湾口部から湾奥までの距離に相当し、2日間で海水が湾口部から湾

奥まで到達できる事を示している。各気象擾乱の通過時の流速を見てみると、台風16号通過時には50cm/sec近い流れが見られているが、台風18号は20cm/sec程度、温帯低気圧通過時では10cm/sec程度の流れとなり、湾内水と密度差が大きい早い流入時期のイベントほど強い流れが伴う可能性がある。

この流入イベントは次のように解釈される。まず、湾の長軸方向の風が卓越する噴火湾¹¹では南東向きの成分の応力によって表層水である夏期噴火湾表層水が湾奥に蓄積されて、気象擾乱が通過して北西向き成分となると、湾奥に蓄積された表層水が岸を右手に見て渡島側に移動する^{9,10}。その補償流として沖側の中層以深の湾内水が沿岸部に供給される。それによって、ホタテガイ養殖が行われている沿岸域で気象擾乱通過毎に表層水から暖流水への水塊変化が発生する。

暖流水の流入時の湾内の水温・塩分環境は湾外の暖流水に対して低温・低塩分であり、そのため湾口部の混合や水平拡散により暖流水が沈降していくことが考えられる。Fig.8に示した湾軸方向の断面では、流入した暖流水の下面の等塩分線の間隔が広がることから暖流水が沈降していることを示している。大谷らは¹¹水平拡散が底層水の水塊交替に重要であることを指摘しており、この流入イベントでは中層以深に分布する暖流水が補償流として沿岸に供給されることから、水平拡散により噴火湾底層水の一部が暖流水に取り込まれて、噴火湾底層水を含む暖流水が沿岸部に供給される可能性もある。噴火湾底層水は初秋最も低酸素であり¹²、堆積物あるいは低酸素由来の有害物質（例えばH₂S）を含んでいる可能性も考えられる。噴火湾底層水の塩分値は33.4程度あり、塩分値だけで暖流水との判別は困難である。ホタテガイ稚貝の斃死を引き起こす「透明な水」は、透明度の高い海水であり、気象擾乱通過後に生じることから、暖流水である可能性が高い。しかし、外海水由来である暖流水が斃死を引き起こすとは考えがたく、噴火湾底層水の関与が疑われる。

静狩地先に流入した暖流水は噴火湾の沿岸域の虻田沖、八雲沖、落部沖のホタテ養殖施設下層で潜流として存在していた。これは、暖流水の流入量の増加（大規模なイベント）によって分布水深が変化し、流入イベントが広範な海域に及ぶ可能性がある。

今後、今回の観測と同時に観測した溶存酸素、栄養塩、クロロフィルaのデータから、沿岸域での詳細な環境変化について検討をすると共に、生物的なストレスとの関連や表層水の発達による流入イベントの発生の違いを明らかにしていく必要がある。

要 約

1. 風応力によって湾奥に堆積した表層水（夏期噴火湾水）が風応力の低下により、移流することにより、湾奥沿岸部に暖流水が供給される。その流速は20cm/sec（2日間平均値）を上回る。
2. 沿岸部への暖流水の供給により水温・塩分環境が大きく変化する。この変化は、気象擾乱通過毎に発生する。
3. ホタテガイの斃死原因となった「透明な水」は噴火湾底層水が関与する可能性がある。

謝 辞

この調査を実施するに当たり、御協力いただいた栽培水産試験場河野象威主任普及指導員、利尻地区水産技術普及指導所坂本樹則所長、胆振地区水産技術普及指導所の新田専門普及員、野又専門普及員をはじめ皆様、調査補助や海況について助言をいただいた長万部漁業協同組合青年部の皆様に感謝致します。

そして、採水などの船外作業やより良い観測をするために助力いただいた試験調査船金星丸の乗組員の皆様に感謝致します。

文 献

- 1) 大谷清隆・木戸和男, 噴火湾の海洋構造, 北大水産学部彙報, 31, 84-114 (1980)
- 2) 大谷清隆, 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 (1971)
- 3) 大谷清隆・秋葉芳雄・吉田賢治・大槻知寛, 噴火湾の海況変動の研究Ⅲ親潮系水の流入・滞留期の海況, 北大水産学部彙報, 22, 129-142 (1971)
- 4) 大谷清隆・秋葉芳雄・伊藤悦郎・小野田勝, 噴火湾の海況変動の研究Ⅳ津軽暖流水の流入・滞留期の海況, 北大水産学部彙報, 22, 221-230 (1971)
- 5) 大谷清隆, 噴火湾の物理環境, 沿岸海洋研究ノート 19, 68-80 (1985)
- 6) 三宅秀男・川北倫正・柴沼成一郎・齋藤誠一, 親潮流入時における噴火湾湾口部の海洋構造と流れについて, 水産海洋研究61, 123-133 (1997)
- 7) 高橋大介・木戸和男・西田芳則・三宅秀男, 冬季の噴火湾における季節風による湾内循環について, 海と空80-3, 125-138 (2004)
- 8) 伊藤義三, 1995年噴火湾養殖ホタテガイ稚貝の斃死について (速報), 北水試だより, 31, 32-33 (1995)
- 9) 大谷清隆・出口良二, 渡島半島東岸の沿岸湧昇 I 北大水産学部彙報, 32, 77-96 (1981)
- 10) 大谷清隆, 短時日吹く風によって生じる沿岸湧昇,

沿岸海洋研究ノート, 23, 155-165 (1986)

- 11) 三宅秀男・柴田耕一郎・檜垣直幸, 噴火湾の循環流について, 海と空 74, 13-23 (1998)
- 12) 米田義昭, 噴火湾における酸欠原因の解明に関する沈降粒子と堆積物の研究, 財団法人北水協会水産学術・改良事業報告, 26-30 (2001)