

噴火湾とその周辺海域におけるソウハチ *Cleisthenes pinetorum* 仔魚の輸送栗藤亜希子¹, 平岡優子¹, 高津哲也^{†1}, 伊村一雄^{††1}, 小林直人², 亀井佳彦³Transportation of pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* larvae in Funka Bay and its vicinityAkiko KURIFUJI¹, Yuko HIRAOKA¹, Tetsuya TAKATSU^{†1}, Kazuo IMURA^{††1}, Naoto KOBAYASHI² and Yoshihiko KAMEI³

To clarify the early life history of pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum*, spatial distribution, diel vertical migration and transportation of pelagic larvae were investigated in Funka Bay and its vicinity off Hokkaido Island in summer during 2001–2003. Larvae were mainly collected by simultaneously horizontal hauls with MTD closing nets in the transition water mass (32.4–33.6 in salinity) between Summer Funka Bay Water (<32.4) originating from Oyashio Water and Tsugaru Warm Water (>33.6 and >6°C). The younger stage larvae without yolk-sac (stage A and stage B) collected by MTD hauls occurred in the layers of 7.4–18.2°C, but not in those of 18.3–20.7°C. In day and night, stages A and B larvae were concentrated in the 20–40 m depth layers where copepod nauplii as the initial food item for them were less abundant than 1–10 m layers. A small scale of nocturnal ascent was observed in the advanced larvae inclusive of notochord flexion stage (stages C–F grouped), and they were collected in the 30–40 m and 20–40 m layers in day and night, respectively. Tidal vertical migration was not observed. Pelagic larvae would be transported from the offshore spawning ground to the nursery area in the bay with the transition water mass.

Key words: *Cleisthenes pinetorum*, copepoda, diel vertical migration, flounder, horizontal distribution, larva, nauplius

はじめに

ソウハチ *Cleisthenes pinetorum* は、北海道南西部の太平洋海域において刺網漁業や沖合底曳網漁業の漁獲対象種となっており、重要な漁業資源の一つである。当海域において本種は水深300 mまで生息するが水深200 m以深では密度が低く(田中, 1999)、産卵盛期にあたる6~8月には成魚は苫小牧から室蘭の沖合、および噴火湾内の水深90 m

以浅の水域に集中する(北浜・林, 1967; 富永, 1991; 田中, 1999; 三原, 2002)。ソウハチ仔魚は、発育初期にはかいあし類ノープリウスを、やや発育の進んだ仔魚はかいあし類コペポダイトを摂餌する(永澤, 1990)。石狩湾ではソウハチ稚魚は8月下旬から9月に主に水深30~69 mに着底し、冬期に浅海域に移動して翌年の5月には水深20~30 mの海域に分布することが知られている(Tominaga *et al.*, 2000)。しかし北海道太平洋海域における浮遊期仔魚の水平分布や鉛直分布、輸送過程は不明である。

海産魚類の多くは生活史初期に日周鉛直移動を行い、生息水深が昼間に比べて夜間に浅くなる魚種と深くなる魚種が存在し(Ryland, 1964; Smith *et al.*, 1978; Yamashita *et al.*, 1985; Boehlert *et al.*, 1985; Brodeur and Rugen, 1994; Kendall *et al.*, 1994)。同種であっても生息環境が異なれば日周鉛直移動パターンは変化する(Kamba, 1977; Kendall *et al.*, 1987; 1994; Haldorson *et al.*, 1993)。また、伊村ほか(2004)はマガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini* 仔魚は主に水深20 m層に生息し、この層よりも照度も餌密度も高い10 m層にはあまり生息しないことを指摘しており、必ずしも仔魚は餌密度が高い層に集中するわけではない。このように様々な

2004年7月30日受付、2005年4月28日受理

¹ 北海道大学大学院水産科学研究科・研究院

Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

² 北海道大学水産学部練習船おしお丸

T/S *Ushio-maru* Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

³ 北海道大学水産学部練習船おしお丸

T/S *Oshoro-maru* Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

[†] takatsu@fish.hokudai.ac.jp

^{††} 現所属：根室支庁経済部水産課漁業管理係

Fisheries Division, Economic Affairs Department, Nemuro Subprefecture of Hokkaido Government, Tokiwa, Nemuro, Hokkaido 087-8588, Japan

鉛直分布パターンが存在する理由は、環境条件が変化すれば、摂餌、捕食者からの逃避、移送、乱流からの逃避、生息適水温探索といった様々な生理的要求の優先順位が変化するためと考えられている (Haldorson *et al.*, 1993; Champalbert and Koutsikopoulos, 1995).

また異体類の仔魚は潮汐選択的鉛直移動を行うことがあり、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* やイシガレイ *Platichthys bicoloratus* の変態期仔魚は、潮汐に合わせて鉛直移動を行い、潮流によって河口域の成育場へ加入する (清野ほか,

1977; Tsuruta, 1978; 乃一, 1995; 山下, 1995; Yamashita *et al.*, 1996). Common sole *Solea solea* 仔魚は潮汐の強弱によって鉛直移動が行われるようになる成長段階が異なるが、ヒラメやイシガレイと同様に潮汐選択的な鉛直移動を行う (Champalbert and Koutsikopoulos, 1995; Grioche *et al.*, 2000). しかし、ソウハチ仔魚の日周鉛直移動や潮汐選択的鉛直移動は、ソウハチが生息するいずれの海域でも明らかにされていない。海産魚類の加入量変動機構を解明するためには、相対的に死亡率が高い初期生活期の生残・減耗

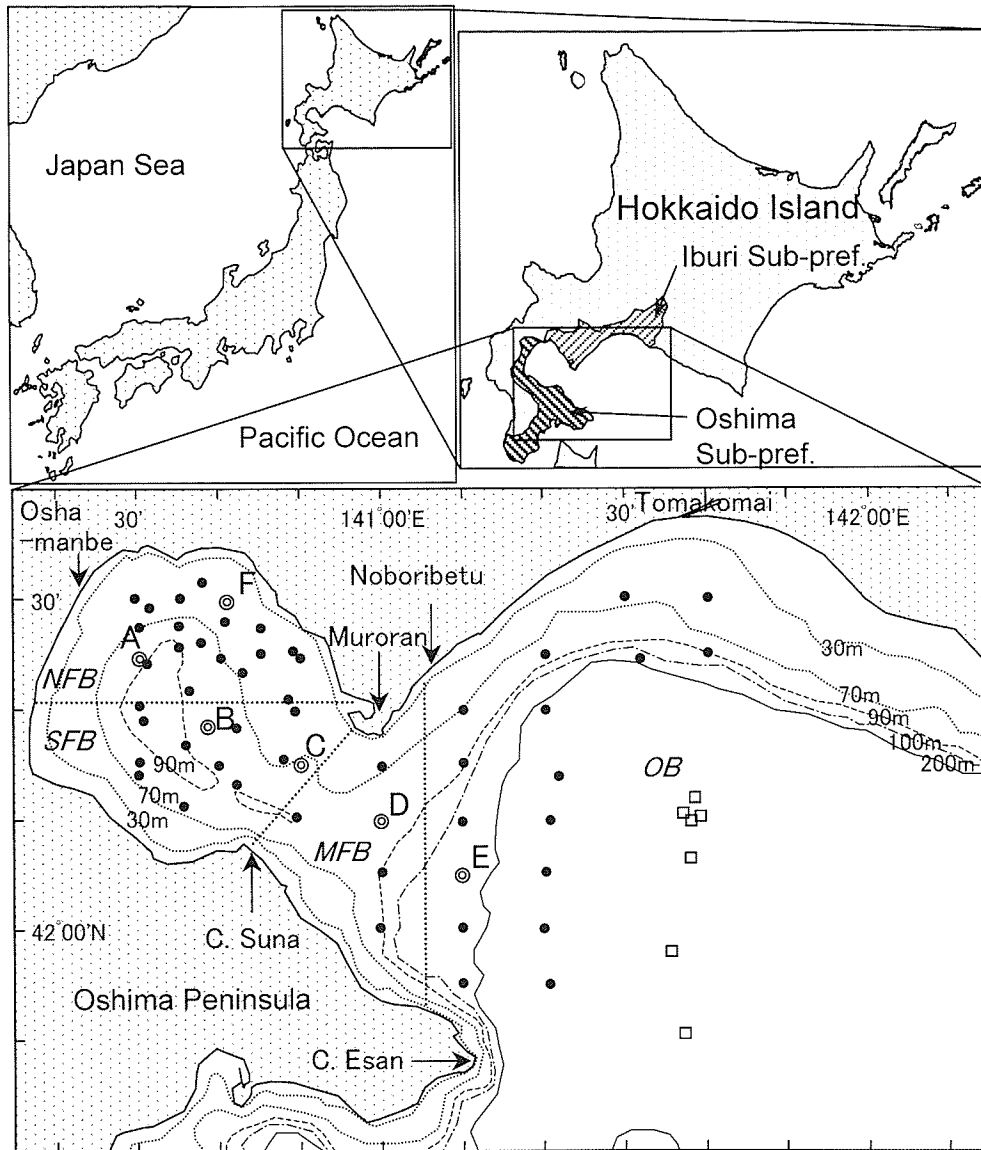


Figure 1. Location of Funka Bay, contours of depth and locations of sampling stations. Open squares show the locations of CTD casts. Solid and double circles show the locations of pelagic larval samplings by oblique hauls with a ring net, prey plankton samplings with a Van-Dorn bottle and CTD casts. At Stns. A–F shown by double circles, additional samplings were carried out for larval vertical distribution by simultaneously horizontal hauls with MTD closing nets. Sampling area was divided into following four regions, NFB: the northern part of Funka Bay, SFB: the southern part of Funka Bay, MFB: the mouth of Funka Bay and OB: the out of Funka Bay.

過程を明らかにする必要がある、そのためには遊泳力に乏しい卵や仔魚の鉛直・水平分布様式と輸送過程、餌生物の高密度域との遭遇を調べる必要がある。そこで本研究では、噴火湾を含む北海道南西部太平洋海域におけるソウハチ仔魚の空間分布と日周鉛直移動、餌生物環境を調べ、輸送過程を明らかにすることを目的とした。

試料および方法

調査は、北海道大学水産学部練習船北星丸（892トン）を用いて2001年8月10～20日に噴火湾内から恵山岬沖合および胆振沖合で行った。ソウハチ成魚は産卵期に苫小牧から室蘭の沖合、および噴火湾内の水深90m以浅の水域に集中するため（北浜・林, 1967; 富永, 1991; 田中, 1999; 三原, 2002）、陸棚上を中心として格子状に46調査地点を設定した（Fig. 1, Table 1）。調査水域は、例年8～9月に噴火湾内に流入する「津軽暖流水（大谷, 1985）」の流入特性を考慮して（水塊特性の概要は後述）、噴火湾内の室蘭以北を湾内北部（NFB）、噴火湾内の室蘭以南で室蘭と砂崎を結ぶ線以西を湾内南部（SFB）、登別以西水域を湾口部（MFB）、登別以東を湾外（OB）に区分した。

ソウハチ仔魚の水平分布を調べるために、沖合の7調査地点を除く39地点において、濾水計を取り付けた口径80cmのプランクトンネット（目合0.33mm）による水深60mからの、60mより浅い場合には海底直上からの傾斜曳き採集を昼間に限定して行った（Table 1）。得られたプランクトン標本は5%中性海水ホルマリン溶液で固定し、仔魚は調査期間中に船上で可能な限り抽出、計数した。また、湾内から湾外に至るStn. A-Eの5地点で昼間、濾水計を取り付けたMTDネット（口径56cm、目合0.33mm; Motoda, 1971）による10分間の各層同時採集を行った。曳網層は原則として1, 10, 20, 30, 40mとし、曳網索の長さ平均傾角によって曳網水深を推定した。さらに、水平分布調査によってソウハチ仔魚の密度が比較的高かった湾内北部のStn. F（水深61m）では、MTDネットによる5層同時採集を2001年8月19日15:00から8月20日15:00まで2時間おきに24時間にわたって行い、10分間の曳網中の中央時を採集時刻とした。なお、本論文では時刻の標記を5分単位で示した。

ソウハチ仔魚の餌生物である動物プランクトンを6l型バンドン採水器により採集した。採集はプランクトンネットの傾斜曳き採集を行った地点では水深20m層で、またMTDネット採集を行った6地点では各MTD曳網の直前に各曳網層で行い、採集された試水は目合40 μ mのハンドネットですり過して濃縮した後、5%中性海水ホルマリン溶液で固定した。

全46地点の各採集調査時にCTD（SeaBird Electronics社、SBE-9 plusおよびSBE-19）による水温、塩分の測定を行った。CTDによる海洋観測はプランクトンネット採集およ

Table 1. Number of samples in this study.

Date	Research ship*	Gear	Number of samples
Aug. 10–20, 2001	H	Ring net oblique	40
		Van-Dorn bottles	138
		MTD nets horizontal	85
		CTD	49
July 22–24, 2002	U	Ring net oblique	12
		CTD	12
Aug. 27–30, 2002	U	Ring net oblique	15
		CTD	15
Aug. 28–30, 2003	U	Ring net oblique	14
		CTD	15
Sep. 26–27, 2003	U	Ring net oblique	11
		CTD	12
Oct. 15–16, 2003	U	Ring net oblique	10
		CTD	10

* H: T/S *Hokusei-maru*, U: T/S *Ushio-maru*.

びMTDネット採集の直前あるいは直後に行い、24時間調査地点では8月19日の採集開始前と、8月20日の採集終了後に行った。

また以上のような2001年8月と同様な口径80cmのプランクトンネット傾斜曳き採集とCTD観測を、同練習船うしお丸（179トン）を用いて2002年7, 8月、2003年8, 9, 10月に噴火湾内の10～15地点で行った（Table 1）。

本研究ではカレイ科の属名はCooper and Chapleau (1998)にしたがって表記した。採集されたソウハチ仔魚は南(1988)に従って同定した。卵黄を持たない仔魚（以下本論文では後期仔魚とする）については永澤(1990)に基づいて以下のA-F期の発育段階に区分した。A期：消化管は回転をはじめているが1回転はしていない、B期：消化管は1回転し脊索末端が直線状である、C期：脊索末端はまだ屈曲せず下部がわずかにふくらむ、D期：脊索末端は屈曲中で尾鰭条が認められる、E期：脊索末端の屈曲がほぼ完了するが左眼は右側から観察できない、F期：頭部縁辺上部がわずかに窪み左眼が右側からその上縁を観察できる。仔魚は脊索長（notochord length; A–D期）および標準体長（standard length; E–F期）を接眼マイクロメーターおよびノギスを用いて0.1mm単位で測定した。なお本研究では、脊索長と標準体長の総称として体長（body length; BL）を使用する。また、噴火湾ではソウハチ仔魚と同時にマガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini* 仔魚が採集され、両種の卵は形態的に分離が困難であったため、卵の計数は行わなかった。

バンドン採水器により採集された動物プランクトンは、採集個体数の多寡に応じて適宜2分の1から8分の1まで分割し、その分割標本について個体数を計数し、全体の採集

個体数に引き伸ばした。ソウハチ仔魚は摂餌開始期に主にかいあし類ノープリウスを摂餌し(永澤, 1990), 当海域のA-C期仔魚もノープリウスを主食とするが *Microsetella* 属ノープリウスはほとんど摂餌しない(Hiraoka *et al.*, 2005)。そこでかいあし類ノープリウスは, *Microsetella* 属とそれ以外の2群に区分して計数した。また, D-F期仔魚は, かいあし類コペポダイト(同定できた個体の75%がカラヌス目の *Paracalanus* 属)と尾虫類 *Oikopleura* 属を主に摂餌するので(Hiraoka *et al.*, 2005), カラヌス目コペポダイトと *Oikopleura* 属についても計数した。

ソウハチ仔魚の密度は, 傾斜曳き採集では 1m^2 あたりの個体数, MTD ネット採集では 1000m^3 あたりの個体数で表した。24時間にわたるMTDネット採集によって, ある程度十分な個体数が得られたA-B期仔魚については, 採集時ごとに加重平均水深 ($\text{WMD} = \Sigma(A \cdot D) / \Sigma A$) を求めた。ただしAは各採集層における仔魚の密度 (個体 $\cdot 1000\text{m}^{-3}$), Dは採集水深 (m) を示す。バンドン採水器で採集された動物プランクトンの密度は 1l あたりの個体数で表した。24時間調査中の薄明時の採集 (03:05と19:00) は夜間に含めて解析した。

データの比較には, まず生データについて F_{\max} 検定により分散の等質性を調べ, 等分散が仮定できなかつたデータは $\log(x+1)$ 変換を行った後再び F_{\max} 検定を行い, さらに等分散が仮定できなかつたデータは順位への置き換えを行った。生データあるいは $\log(x+1)$ 変換によって分散の等質性が確かめられた場合には一元配置の分散分析を用い, 順位に置き換えたデータについては2標本間の比較には Mann-Whitney の U 検定を, 3標本間以上の比較には Kruskal-Wallis 検定を用いた。さらに3標本間以上の比較において有意差が認められた場合には, Peritzの方法(永田・吉田, 1997)による多重比較を行った。水域による仔魚の発育段階組成の比較には Kruskal-Wallis 検定を用いた(足立, 1998)。24時間採集で得られたかいあし類ノープリウスは, 昼夜, 採集水深 (1, 10, 20, 30, 40 m), 潮汐 (上げ潮, 下げ潮) の別に平均密度を求め, $\log(x+1)$ 変換後に繰り返しのない3元配置の分散分析によって比較した(Sokal and Rohlf, 1995)。

当海域の水塊区分は基本的に大谷(1985)に従い, 塩分33.6を超え 6°C 以上の「津軽暖流水」, 沿岸親潮系水に河川水が混合して変質した塩分32.4未満の「夏期噴火湾表層水」(水温は定義されていない), およびこれら両水塊の中間の塩分を示す「移行水」に区分した。また, 湾内中央部海底付近に存在し, 前年に流入した津軽暖流水から変質した塩分33.8を超え 6°C 以下の水塊は「冬期噴火湾水」とした。大谷ほか(1971)によれば湾口部に低温低塩分の沿岸親潮系水が流入しはじめるのは1~3月であり, 高温高塩分の津軽暖流水は8~9月に流入し, これらの水塊は湾内でそれぞれ変質を受けながらおよそ半年間湾内に滞留する。ま

た, 津軽暖流水は湾口部中央から湾の北側を通り, 湾周辺部を反時計回りに広がって流入し, その流入深度は中層以深の30~50 m, または50 mから海底までである。Kido and Ohtani(1981)および大谷(1985)によれば, 移行水は津軽暖流に押し出されるように9月以降湾口南側から渡島半島沿いに徐々に流出する。

結果

水温および塩分の水平分布

ソウハチ仔魚のうち最も多く採集されたA-B期仔魚は, 昼夜ともに主に水深30 mへ集中分布したため(後述), ここでは水深30 m層の水温および塩分の水平分布を示す(Fig. 2)。2001年8月の水深30 m層では, 塩分33.6を超える津軽暖流水は, 湾外から湾口部さらに湾内の一部にかけてみられたが, 湾内の大部分は塩分32.4以上33.6以下の移行水に占められていた(Fig. 2A)。2002年7月および2003年8月の水深30 m層では, 噴火湾内中央部に塩分32.4未満の夏期噴火湾表層水がみられ(Fig. 2B, D), その周辺部は塩分32.4以上33.6以下の移行水が分布し, 津軽暖流水の流入は認められなかった。2002年8月の水深30 m層は調査を行った湾内全地点が移行水によって占められていた(Fig. 2C)。2003年9月および10月には湾内に津軽暖流水の流入が認められたが(Fig. 2E, F), これら以外の水域は移行水が分布していた。

水深30 m層以外の水深では, 2002年8月の湾口部に近い室蘭沖1地点の水深42~43 m層で塩分33.61~33.64を示し, 2003年8月にも室蘭沖2地点の水深40 m前後で塩分33.66~33.67を示し, 津軽暖流水が認められたが, これらの地点と水深を除けば津軽暖流は観察されなかった。したがって今回調査を行った3年間の8月とともに, 津軽暖流水の噴火湾内への流入初期といえる。

2001年8月19~20日にStn. Fで行われた24時間採集の調査開始直前と調査終了直後の水温, 塩分の鉛直分布をFig. 3に示した。同一水深における水温, 塩分の差はともに水深27 mで最も大きく, それぞれ 3.5°C , 0.52であったが, 以下に述べる水塊構造は基本的に異ならなかった。表層から水深10 mまではほぼ水温, 塩分ともに一様で塩分32.4未満の夏期噴火湾表層水が占めたが, 水深の増加とともに水温は低下, 塩分は高くなり, 19日には30 m, 20日には29 mで塩分極大を示した(それぞれ33.38, 33.60)。30~40 m層では水深の増加とともに塩分は低下し, 42 m以深は再び高くなった。一方水温は, 40 m以深で 9°C 以下を示し鉛直的にあまり変化がなかった。このようにStn. Fでは19日の30 m層では津軽暖流水の指標の境界値である塩分33.60を示したが, 水深10 m以浅を除いてほぼ移行水に占められており, 水深30 m前後の塩分が高かった。

ソウハチ仔魚の水平分布と発育段階組成

卵黄囊仔魚は2001年8月に, 湾口部に近いStn. Cの水深

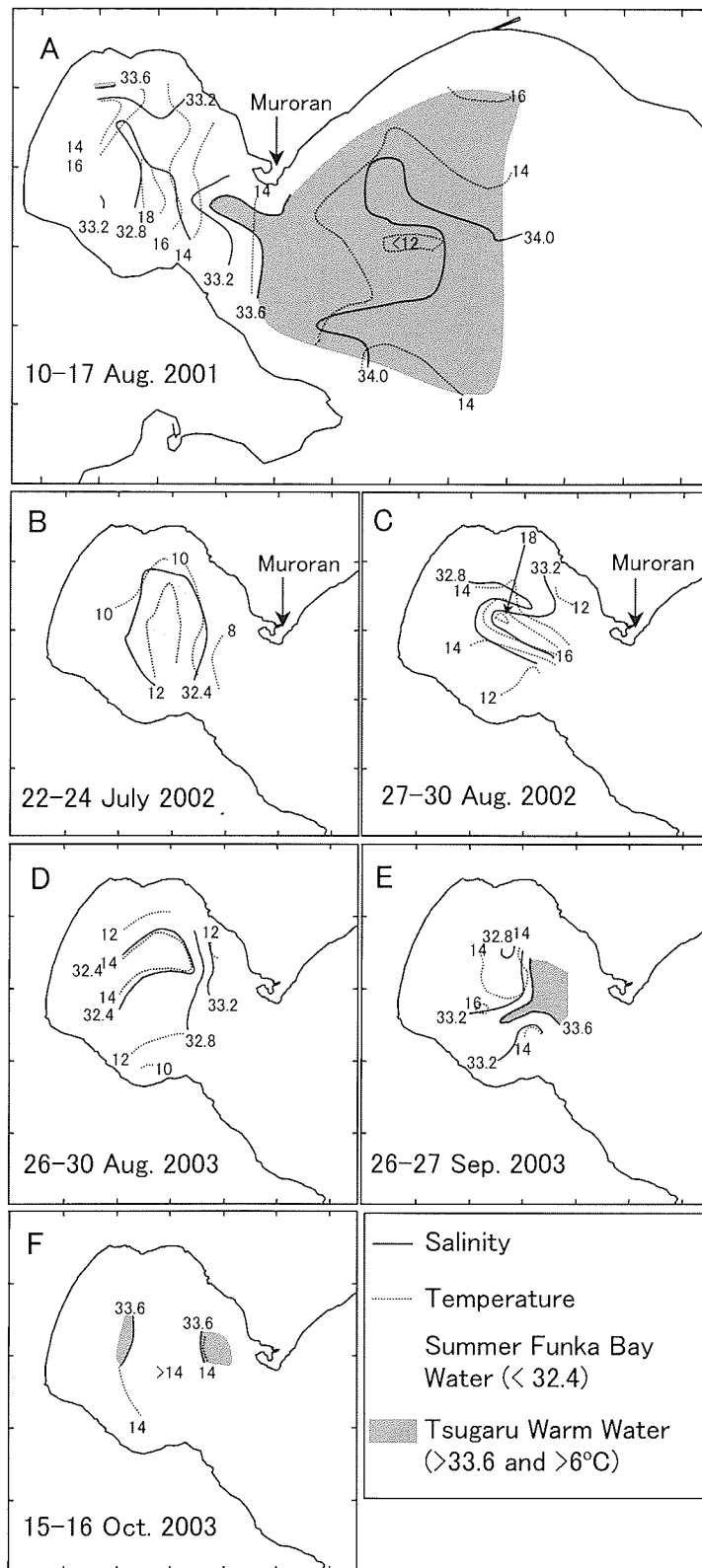


Figure 2. Horizontal distributions of salinity (solid lines), temperature (°C, broken lines) and water masses at 30 m depth in 2001 (A), 2002 (B-C), and 2003 (D-F).

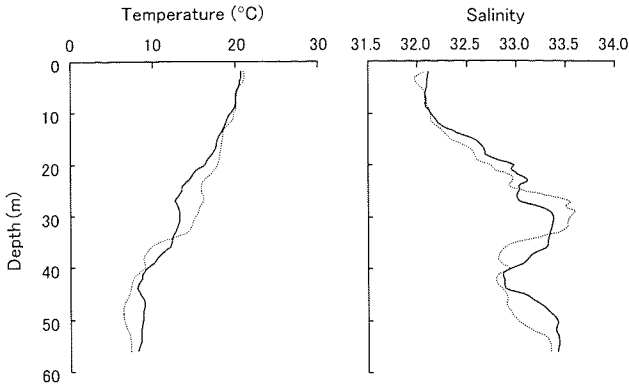


Figure 3. Vertical profiles of water temperature and salinity at Stn. F before (14:20 of 19 August 2001; solid lines) and after (15:10 of 20 August 2001; broken lines) the sampling for diel vertical distribution of *C. pinetorum* larvae for 24 hours.

60mからのプランクトンネット傾斜曳き採集と, Stn. Fにおける17:00のMTDネット30m層採集で, それぞれ1個体ずつ得られたが(それぞれ2.2, 2.0mm BL), その他の仔魚採集では全く採集されなかった. 一方, 後期仔魚は傾斜曳き採集によってA期からD期までの個体が, 水平各層曳き採集ではA期からF期までの個体が採集された.

2001年8月に口径80cmのプランクトンネット傾斜曳きによってソウハチの後期仔魚は合計107個体採集され, 湾内北部長万部沖で最大密度を示した(17.7個体 m^{-2} ; Fig. 4A). また, 水域ごとの密度の中央値には有意差がみられ(Kruskal-Wallis検定: $KW'=20.0, p<0.001$), 湾内北部(3.1個体 m^{-2}), 湾内南部(1.6個体 m^{-2}), 湾口部(1.5個体 m^{-2})で高く, 湾外(0.0個体 m^{-2})では低かった(Peritzの方法; $p=0.05$ 水準で湾外とその他の水域間の組み合わせにはすべて有意差がみられたが, 湾内北部, 湾内南部, 湾口部の3水域同士の組み合わせにはすべて有意差なし). 2001年8月の水深30m層における塩分とソウハチの後期仔魚の密度の関係をFig. 5に示した. 後期仔魚の密度が3.0個体 $\cdot m^{-2}$ 以上を示した地点は, 塩分範囲33.10~33.72に限られていた.

2002年7月にはソウハチの後期仔魚は湾内では傾斜曳き採集では採集されず(Fig. 4B), 同年8月には湾内中央部の2地点においてのみ, 合計5個体採集された(Fig. 4C). 2003年には傾斜曳きによって8月に2個体(全地点平均0.27個体 m^{-2} ; Fig. 4D), 9月に13個体(1.2個体 m^{-2} ; Fig. 4E)採集され, 10月には採集されなかった(Fig. 4F). この2003年9月には他の採集月と比較して, 湾内南部でも比較的多く後期仔魚が採集された(8地点中4地点で採集; Fig. 4E).

比較的多くの個体が採集された2001年8月には, 後期仔魚の発育段階は水域によって有意差はみられず

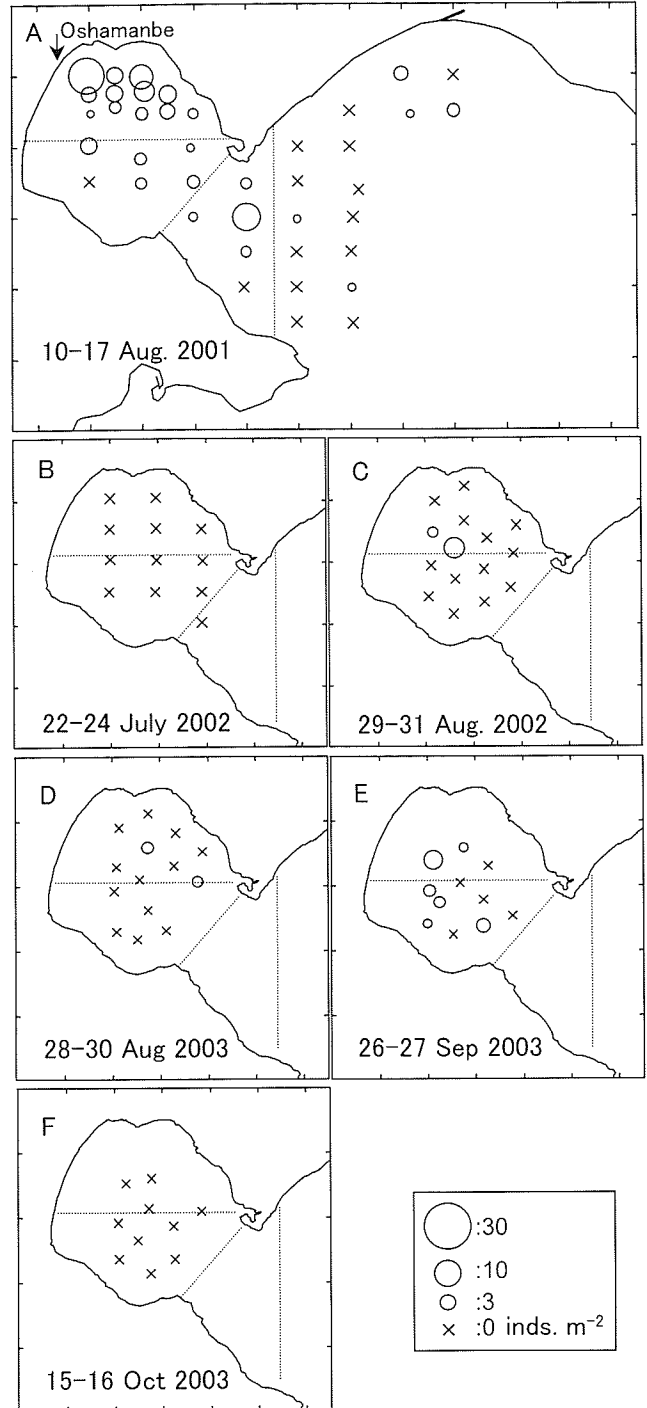


Figure 4. Horizontal distribution of *C. pinetorum* larvae (inds. m^{-2}) collected by oblique hauls with a ring net from 60 m depth layer in 2001 (A), 2002 (B-C), and 2003 (D-F). The area of each circle is proportional to the density.

(Kruskal-Wallis検定: $KW'=0.95, p=0.81$), A, B, C, D期の個体数割合はそれぞれ75, 20, 3.7, 1.9%を示し, 発育初期の後期仔魚が多く採集された. ただし湾外ではA-B期仔魚

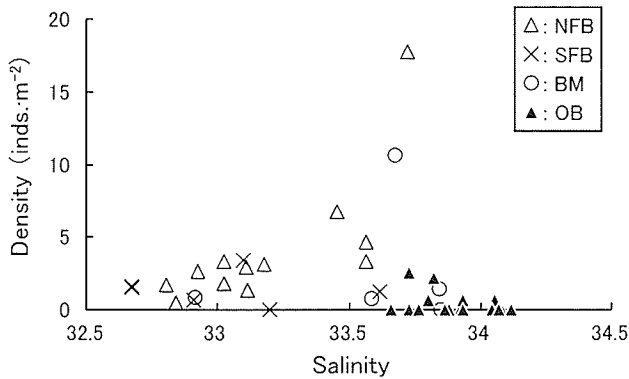


Figure 5. Relationship between densities of *C. pinetorum* larvae (inds. m⁻²) collected by oblique hauls with a ring net and salinities at 30 m depth in four regions in August 2001. Sampling regions are shown in Fig. 1.

のみ採集された。

餌生物の水平分布

後期仔魚が比較的多く採集された2001年8月について、仔魚が採集された地点の水深20m層における餌生物の密度を水域間で比較した。かいあし類ノープリウスのうち *Microsetella* 属は平均個体数割合で27%を占めた。この *Microsetella* 属を除くかいあし類ノープリウスの密度は水域によって有意に異なり (Kruskal-Wallis 検定: $KW^*=12.98, p=0.002$; Fig. 6), 湾内南部 (中央値 55.3 個体 l⁻¹) と湾内北部 (38.8 個体 l⁻¹) で高く、湾外 (20.9 個体 l⁻¹) と湾口部 (15.3 個体 l⁻¹) で低かった (Peritz の方法; $p=0.05$ 水準で湾内南部は湾口部や湾外に比べて高く、湾内北部も湾口部に比べて高かったが、湾内北部と南部の間および湾口部と湾外の間には有意差なし)。かいあし類カラヌス目コペポダイトと、尾虫類 *Oikopleura* 属の密度は、水域によって有意差は認められず ($KW^*=0.44, p=0.93$ および $KW^*=6.16, p=0.10$)。後期仔魚が採集された全地点の密度の中央値はそれぞれ 5.3 個体 l⁻¹ および 4.2 個体 l⁻¹ であった。

ソウハチ後期仔魚の日周鉛直移動

2001年8月19~20日の噴火湾内北部 Stn. Fにおける、ソウハチ後期仔魚の発育段階別水深帯別密度の時系列変化を Fig. 7 に示した。後期仔魚は主に水深20~40m層に出現し、全採集個体数のうち63%の後期仔魚 (242個体のうち153個体) が水深30m層で採集され、次いで24%が40m層で、12%が20m層で出現し、10m層では1個体しか出現しなかった (0.4%)。最も発育の進んだF期仔魚は夜間の30m層で2個体、17:00の40m層で1個体採集された。

A期仔魚は20~40m層で採集され、加重平均水深の中央値は昼間 (31m) と夜間 (29m) の間に有意差はみられず (U 検定, $U_s=25.0, p>0.20$)。上げ潮 (31m) と下げ潮 (25m) の間にも有意差は認められなかった ($U_s=30.0, p=0.20$)。B期

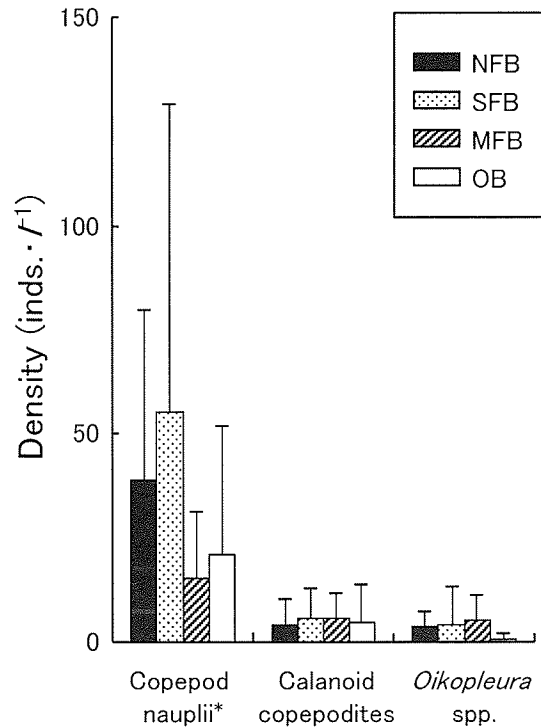


Figure 6. Median densities of copepod nauplii, calanoid copepodites and appendicularians at 20 m depth layer during 13–16 August 2001. Values are shown with 75 percentile error bars. An asterisk indicates copepod nauplii exclusive of *Microsetella* sp.

仔魚も19:00の10m層で採集された1個体を除いて20~40m層で採集され、加重平均水深の中央値は昼間 (33m) と夜間 (31m) の間に有意差はみられず ($U_s=20.0, p>0.20$)。上げ潮 (33m) と下げ潮 (32m) の間にも有意差は認められなかった ($U_s=16.0, p>0.20$)。つまり、A-B期では特定的水深 (本研究では主に水深30m) への分布の偏りは認められるが、日周のあるいは潮汐周期による鉛直移動は認められなかった。C-F期仔魚は昼間は30~40m層で、夜間は20~40m層で採集され、夜間に若干浮上する傾向がみられた。なお、各層、各発育段階をこみにした体長の中央値は昼夜の違いによって有意差は認められなかった (U 検定, $U_s=7,193.5, p=0.38$)。

かいあし類ノープリウスの日周鉛直移動

Microsetella 属を除くかいあし類ノープリウスの密度は、繰り返しのない3元配置の分散分析の結果、昼夜、採集水深、潮汐の3要因のうち、それぞれ2つを組み合わせた影響はすべて有意ではなく、3つの単独要因のうち水深のみ有意であり ($p=0.005$)。昼夜の違いおよび潮汐の影響は有意ではなかった (それぞれ $p=0.63, 0.27$; Table 2)。つまりノープリウスの日周のあるいは潮汐周期による鉛直移動は認められず、特定的水深への分布の偏りが認められた。平均密度は10m層で最大値を示し (46.1 個体 l⁻¹)。次いで

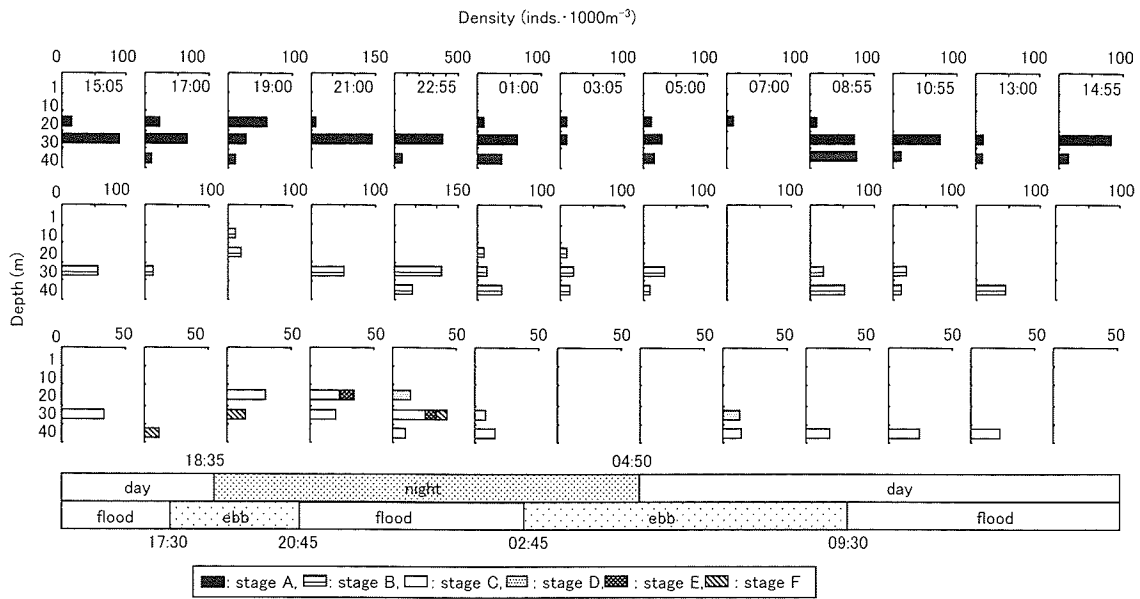


Figure 7. Diel vertical distributions of *C. pinetorum* larvae by developmental stage group during 19–20 August 2001. Upper, middle, and lower panels show the distributions of stages A, B, and C–F larvae, respectively. Median sampling time of each haul is shown in the upper panel. Day and night shift and tidal shift are shown below the panels. Development stages of larvae are followed; A: initial stage of larva without yolk-sac and the digestive tract begins to coil but unlooped, B: the digestive tract loops and the notochord tip is straight, C: preflexion but the hy-pural element begins to form, D: flexion and caudal fin ray appear, E: postflexion but left eye is not visible from the right side, and F: postflexion and upper edge of left eye is visible from right side.

Table 2. Three-way ANOVA without replication model: mean density of copepod nauplii as a function of day and night shift, sampling depth, and tide (ebb and flood) at Stn. F in August 2001.

Source of variation	df	Sum of squares	Mean square	F	p
Day and night shift (D&N)	1	0.00	0.00	0.27	0.63
Sampling depth	4	0.91	0.23	22.08	0.005
Tide	1	0.02	0.02	1.61	0.27
D&N shift×depth	4	0.04	0.01	0.89	0.54
D&N shift×tide	1	0.01	0.01	0.64	0.47
Depth×tide	4	0.02	0.00	0.36	0.82
D&N shift×depth×tide	4	0.04	0.01		
Total	19	1.03			

1 m層 (26.1 個体 l^{-1}) で高かったが, 20 m層 (10.6 個体 l^{-1}), 30 m層 (14.2 個体 l^{-1}), 40 m層 (17.0 個体 l^{-1}) では低かった (Fig. 8). Peritzの方法による多重比較では, 水深20~30 m層間と30~40 m層間では5%水準で有意差はなかったが, 他の水深間ではすべて有意差がみられた.

昼間におけるソウハチ後期仔魚の鉛直分布の地理的差異

2001年8月の昼間に, 噴火湾内から湾外に至る4地点で行ったMTDネットによる5層同時採集で得られたソウハ

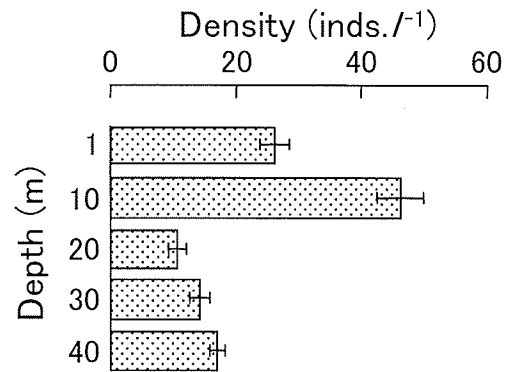


Figure 8. Mean density of copepod nauplii except for *Microsetella* sp. (\pm standard error) of 13 samples at 2 hours interval at Stn. F from 14:20 of 19 August to 14:30 of 20 August 2001.

チ後期仔魚の鉛直分布と, 水温, 塩分および *Microsetella* 属を除くかいあし類ノープリウス密度の鉛直分布を Fig. 9 に示す. なお, 湾外 Stn. E で行ったMTD採集では後期仔魚は採集されなかったので図示しない. ソウハチ後期仔魚は Stns. A, B, D では30 m層に Stn. C では水深20 m層に多く出現し, 全地点ともに1~10 m層には出現しなかった. すべての地点で鉛直的に水温変化が比較急な中層域に後期仔魚は多く出現し, 出現最低水温は Stn. C の40 m層の7.4

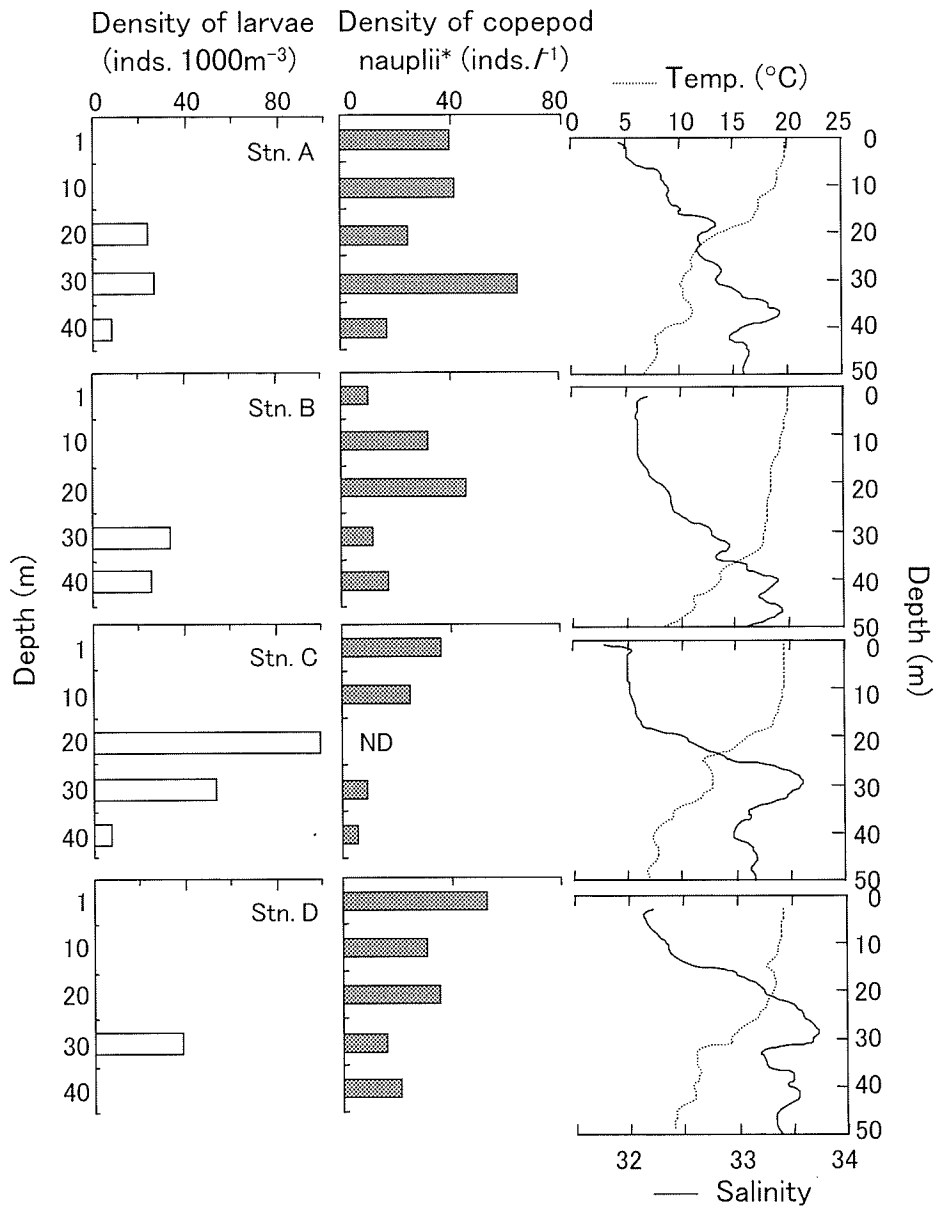


Figure 9. Vertical distributions of *C. pinetorum* larvae (open bars), copepod nauplii (shaded bars), water temperature (broken lines) and salinity (solid lines) at Stns. A–D during 10–17 August 2001. The results at Stn. E are not shown in this figure, because no larva was collected. The density of nauplii at 20 m depth layer on Stn. C was no data (ND) because of incomplete fixation. An asterisk indicates copepod nauplii exclusive of *Microsetella* sp.

°C, 最高水温は Stn. B の 30 m 層の 18.2°C であり, 18.3~20.7°C の水深層には出現しなかった (Fig. 10). また, 後期仔魚は塩分 32.51~34.01 の水深層に出現し, 32.01~32.50 の水深層には出現しなかった. つまり後期仔魚は, 各地点の表層から水深 10~21 m を占めていた塩分 32.4 未満の夏期噴火湾表層水の中には全く生息せず, Stn. D の 30 m 層で塩分 34.01 の津軽暖流水中に出現した例を除いて, すべて塩分 32.4 以上 33.6 以下の「移行水」中に出現した. かいあし類ノープリウスは地点によって高い密度を

示す水深が異なり, 1~30 m 層のいずれかで最も高い値を示したが, 40 m 層ではどの地点でも低かった (Fig. 9).

考察

噴火湾とその周辺海域におけるソウハチの後期仔魚は, 主として夏期噴火湾表層水と津軽暖流水の間の「移行水」に生息し, A–B 期仔魚は湾外でも採集されたが, 発育が進んだ C–F 期仔魚は湾口部および湾内のみで採集された. したがって後期仔魚は, 移行水によって噴火湾内へ移送される

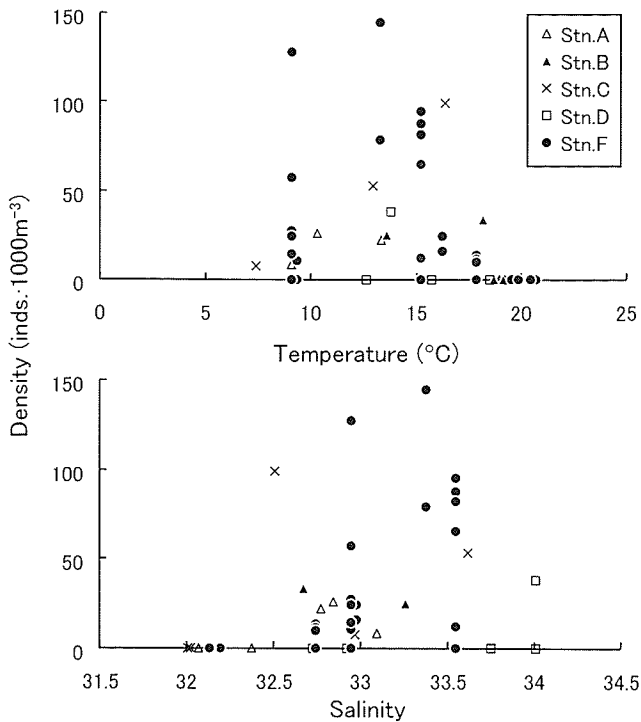


Figure 10. Relationship between densities of *C. pinetorum* stages A–B larvae grouped (inds. · 1000m⁻³) collected by horizontal hauls with MTD nets and temperature (°C) or salinity at MTD sampling depth in August 2001.

ものと考えられる。8月には噴火湾に津軽暖流が中層域を中心として反時計回りに流入しはじめ（大谷, 1985; Fig. 2）、津軽暖流の流入前面に位置する移行水も湾内へと流入し、9月以降移行水は湾口南側から渡島半島沿いに徐々に流出する（Kido and Ohtani, 1981; 大谷, 1985）。湾内中央部まで津軽暖流が流入した2003年9月には（Fig. 2E）、後期仔魚は、他の採集月には少ない湾内南部でも比較的多く採集されており（Fig. 4E）、水塊配置の季節変化を反映した水平分布を示しているものと考えられる。

ソウハチの後期仔魚は水温7.4~18.2°C、塩分32.51~34.01の水深範囲に出現し（Fig. 10）、18.3°C以上や塩分32.50以下の水塊には出現しなかった。他種の後期仔魚では、鉛直分布を適切な照度や餌密度によって選択することが観察されている（Ponton and Fortier, 1992; Gronkjar and Weiland, 1997; 日下部ほか, 2000）。しかし、夏期の噴火湾は鉛直的に複雑な水塊構造を示し、表層から底層までの水温、塩分差が比較的大きいため、ソウハチの後期仔魚は適切な照度や餌密度よりも水塊の選択を優先した鉛直分布様式を示すことが考えられる。噴火湾周辺に生息するソウハチは、当海域に生息する他の多くの異体類とは異なり、比較的水温の高い夏秋期に産卵を行う。またソウハチの産卵場の平均水温は5.6~15.4°Cであり（ペルツェワーストロモワ, 1961）、日本海南西部から北部での産卵水温は

10°C前後（永澤, 1990）と考えられている。従って、後期仔魚であっても5.6°C以下の低水温帯や15.4°Cを超えるような高水温帯を積極的に選択するとは考えにくく、餌であるノープリウス密度が高くて代謝量が増大する表面近くの夏期噴火湾表層水中（Figs. 3, 8, 9）には生息しないか、あるいは死亡するものと考えられる。本研究が行われた噴火湾中央部水深70m以深には、9月以降も6°C未満の冬期噴火湾水が存在する（大谷, 1985）。ソウハチ後期仔魚は津軽暖流水と夏期噴火湾表層水との間の移行水に分布し、結果として津軽暖流水および移行水の湾内への流入によって湾内へ移送され、生息に適する5.6°C以上の海底に着底するものと推察される。また、湾内北部には他の近隣水域に比べて水深30~69mの水域が比較的広範囲に存在することも（Fig. 1）、本種の移送、着底に適した条件の一つと考えられる。ところで、A–C期仔魚の主要餌生物でありD期までの仔魚が摂餌するかいあし類ノープリウス（永澤, 1990; Hiraoka *et al.*, 2005）は2001年8月に、湾内南部および北部で高い密度を示した（Fig. 6）。従って、後期仔魚は湾内へ移送されることで、高い餌豊度と遭遇する確率も高くなるものと考えられる。

本研究で採集されたF期までのソウハチ仔魚には、潮汐選択的な鉛直分布変化は認められなかった。このことは、ソウハチは潮汐選択的な移動は行わないか、今回採集された後期仔魚の発育段階では、まだ潮汐選択的な移動を行わないことが考えられる。

C–F期には日中に30~40m層で、夜間は20~40m層で採集され（Fig. 7）、日周鉛直移動は行うものの、昼夜ともに主に移行水中に生息した。日本海で夜間に採集されるソウハチ仔魚は3%の個体しか摂餌しておらず（永澤, 1990）、噴火湾周辺海域でも後期仔魚は主に昼間に摂餌を行うことから（Hiraoka *et al.*, 2005）、C–F期仔魚の生息水深が夜間に浅くなる現象は、少なくとも摂餌を目的としたものとは考えにくい。また、採集層をこみにした体長の中央値は昼夜で異ならなかったことから、照度の高い昼間の浅い採集層で網口逃避が生じていたために、この層で小型の後期仔魚のみ採集されていたことも考えにくい。しかし、後期仔魚の日周鉛直移動に影響を与えるその他の要因については、本研究では明らかにできなかった。

以上のように当海域のソウハチの後期仔魚は主に移行水中に生息し、その結果着底場所への移送が保障される再生産戦略を持っていることが考えられる。このような特徴は、成層が発達する夏秋期に産卵期を持つ当海域のソウハチに特徴的な初期生活様式と考えられる。今後、より発育の進んだ仔稚魚を採集し、潮汐選択的な鉛直移動を行うか否か確かめる必要がある。また、浮遊仔魚の鉛直、水平分布と、吹送流や渦の形成などの動的な水塊挙動（清水・磯田, 1997）との関係も検討する必要がある。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、ご意見、ご校閲を賜った高橋豊美教授、菅野泰次教授ならびに中谷敏邦助教授に深く感謝いたします。永澤 亨博士には仔魚の同定に関して有益な御助言をいただき、深く感謝いたします。また、標本採集にご協力戴いた北海道大学水産学部練習船北星丸目黒敏美船長、練習船うしお丸山口秀一船長をはじめ乗組員の方々、資源生産生態学講座大学院生ならびに4年生諸氏に対し心から感謝の意を表します。

引用文献

- 足立堅一 (1998) 分割表における χ^2 検定と U 検定—その実用的使い分け。ちくちく生物統計学。中山書店、東京、74-90。
- Boehrlert, G. W., D. M. Gadomski and B. C. Mundy (1985) Vertical distribution of ichthyoplankton off the Oregon coast in spring and summer months. *Fish. Bull.*, **83**, 611-622.
- Brodeur, R. D. and W. C. Rugeley (1994) Diel vertical distribution of ichthyoplankton in the northern Gulf of Alaska. *Fish. Bull.*, **92**, 223-235.
- Champalbert, G. and C. Koutsikopoulos (1995) Behavior, transport and recruitment of Bay of Biscay sole (*Solea solea*): laboratory and field studies. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **75**, 93-108.
- Cooper, J. A. and F. Chapleau (1998) Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification. *Fish. Bull.* **96**, 686-726.
- Grioche, A., X. Harlay, P. Koubbi and L. F. Lago (2000) Vertical migrations of fish larvae: Eulerian and Lagrangian observations in the Eastern English Channel. *J. Plankton Res.*, **22**, 1813-1828.
- Gronkjaer, P. and K. Weiland (1997) Ontogenetic and environmental effects on vertical distribution of cod larvae in the Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **154**, 91-105.
- Haldorson, L., M. Prichett, A. J. Paul and D. Ziemann (1993) Vertical distribution and migration of fish larvae in a Northeast Pacific bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **101**, 67-80.
- Hiraoka, Y., Takatsu, A. Kurifuji, K. Imura and T. Takahashi (2005) Feeding habits of pothead flounder *Cleisthenes pinetorum* larvae in and near Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Bull. Jpn. Soc. fish. Oceanogr.*, **69**, 156-164.
- 伊村一雄・高津哲也・南條聡聡・木村 修・高橋豊美 (2004) 陸奥湾におけるマガレイ卵・仔魚の空間分布。日本水産学会誌, **70**, 39-47.
- Kamba, M. (1977) Feeding habits and vertical distribution of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (PALLAS), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. *Res. Inst. N. Pac. Fish. Hokkaido Univ.*, *Spe. Vol.*, 175-197.
- Kendall Jr., A. W., M. E. Clarke, M. M. Yoklavich and G. W. Boehrlert (1987) Distribution, feeding, and growth of larval walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, from Shelikof Strait, Gulf of Alaska. *Fish. Bull.*, **85**, 499-521.
- Kendall Jr., A. W., L. S. Incze, P. B. Ortner, S. R. Cummings and P. K. Brown (1994) The vertical distribution of eggs and larvae of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in Shelikof Strait, Gulf of Alaska. *Fish. Bull.*, **92**, 540-554.
- Kido, K. and K. Ohtani (1981) Characteristics of the basin water in Funka Bay. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **32**, 138-151.
- 北浜 仁・林 清 (1967) ソウハチ。昭和36~40年度実施北海道沿岸漁業資源調査並びに漁業経営試験報告書。北海道立中央水産試験場、余市、104-130。
- 清野精次・坂野安正・浜中雄一 (1977) 若狭湾西部海域におけるヒラメ資源の研究—IV 浮遊期ヒラメ仔魚の輸送機構。昭和50年度京都府水試報告、16-26。
- 日下部敬之・中嶋昌紀・佐野雅基・渡辺和夫 (2000) 大阪湾におけるイカナゴ *Ammodytes personatus* 仔魚の鉛直分布と摂餌に対する水中照度の影響。日本水産学会誌, **66**, 713-718。
- 三原行雄 (2002) 北海道えりも以西太平洋海域に分布するソウハチの年齢と成長。北水試研報, **63**, 21-32。
- 南 卓志 (1988) ソウハチ。日本産稚魚図鑑 (沖山宗雄編)。東海大学出版、東京、935-936。
- Motoda, S. (1971) Devices of simple plankton apparatus V. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **22**, 101-106。
- 永澤 亨 (1990) 北部日本海域におけるソウハチ (*Cleisthenes pinetorum herzensteini*) の浮遊生活期。日本研報告, **40**, 15-25。
- 永田 靖・吉田道弘 (1997) ペリ (Peritz) の方法。統計的多重比較法の基礎。サイエンティスト社、東京、116-123。
- 乃一哲久 (1995) ヒラメの着底と被食。月刊海洋, **27**, 753-760。
- 大谷清隆 (1985) 第3章噴火湾の物理。日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会「沿岸海洋誌」編集委員会編)。東海大学出版会、東京、102-112。
- 大谷清隆・秋葉芳雄・伊藤悦郎・小野田 勝 (1971) 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。北大水産彙報, **22**, 221-230。
- ベルツェワ-オストロモワ、テ、ア (1961) 極東産カレイ類の繁殖と発育 (平野義見訳)。日ソ科学技術協力翻訳印刷文献 (カレイ篇の1), **2**, 1-690。
- Ponton, D. and L. Fortier (1992) Vertical distribution and foraging of marine fish larvae under the ice cover of southeastern Hudson Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **81**, 215-227。
- Ryland, J. S. (1964) The feeding of place and sand-eel larvae in the Southern North Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **44**, 343-364。
- 清水 学・磯田 豊 (1997) 冬季噴火湾におけるスケトウダラ卵の輸送過程。水産海洋研究, **61**, 134-143。
- Smith, W. G., J. D. Sibunka and A. Wells (1978) Diel movements of larval yellowtail flounder, *Limanda ferruginea*, determined from discrete depth sampling. *Fish. Bull.*, **76**, 167-178。
- Sokal R. R. and F. J. Rohlf (1995) A three-way factorial ANOVA. In: *Biometry* (3rd ed.), W. H. Freeman and Company, New York, 370-381。
- 田中伸幸 (1999) 北海道えりも岬以西太平洋におけるソウハチ成魚の分布と移動。水産海洋研究, **63**, 55-60。
- 富永 修 (1991) ソウハチ。北のさかなたち (永澤和也・島澤雅編)。北日本海洋センター。札幌。192-195。
- Tominaga, O., M. Watanabe, M. Hanyu, K. Domon, Y. Watanabe and T. Takahashi (2000) Distribution and movement of larvae, juvenile and young of the pothead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay and vicinity, Hokkaido. *Fish. Sci.*, **66**, 442-451。
- Tsuruta, Y. (1978) Field observations on the immigration of larval stone flounder into the nursery ground. *Tohoku J. Agri. Res.*, **29**, 136-145。
- 山下 洋 (1995) カレイ類の変態と接岸・着底。月刊海洋, **27**, 740-745。
- Yamashita, Y., D. Kitagawa and T. Aoyama (1985) Diel vertical migration and feeding rhythm of the larvae of the Japanese sand-eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **51**, 1-5。
- Yamashita, Y., Y. Tsuruta and H. Yamada (1996) Transport and settlement mechanisms of larval stone flounder, *Kareius bicoloratus*, into nursery grounds. *Fish. Oceanogr.*, **5**, 194-204。