

石狩川本流と三日月湖間を繋ぐ水路内におけるシラウオ稚魚の移動

山口幹人^{†1}・藤岡 崇²Movement of the Juvenile Shirauo (*Salangichthys microdon*) in a Canal between the Main Stream of the Ishikari River and an Oxbow LakeMotohito YAMAGUCHI^{†1} and Takashi FUJIOKA²

Shirauo *Salangichthys microdon* inhabiting the Ishikari River hatched in the estuary during May and June, and migrated upstream on the salt wedge. It seemed that juvenile Shirauo moved to the oxbow lake through the Shibi Canal after reaching the mouth of the canal located 5.5 km from the river mouth in July. To reveal the immigration processes of juvenile Shirauo to the oxbow lake through the canal, water current and daily change in fish distribution in the canal were observed in July, 1995–1997. Vertical and horizontal distributions of juvenile Shirauo changed mainly with the flow directions and daily change, and two immigration processes were suggested from the changes of juvenile distribution. One process was that juveniles stayed around the canal mouth in the main stream during ebb tide, and they were carried to the oxbow lake by the fast flood tide in the deeper layer at center of the canal. The other process was that juveniles distributed near the bank in the canal to avoid the fast flow during the ebb tide and concentrated in the center with fast flow during the flood tide. These processes would be reasonable for immigration into the oxbow lake.

Key words: *Salangichthys microdon*, migration, movement mechanism, the Ishikari River, oxbow lake

はじめに

シラウオ (*Salangichthys microdon* Bleeker) は日本各地の河口周辺 (千田, 1973a, 1973b; 小谷, 1988; 桑村, 1993) や汽水湖 (Saruwatari, 1988; 三浦, 1992; Arai *et al.*, 2003) に分布する全長約 10 cm, 細長く半透明の体を持つ年魚である (猿渡, 1994)。石狩川では, 5~6 月に河口周辺の沿岸域で産卵親魚を対象に刺網漁業が営まれ, 9~10 月には河口から約 7 km 上流に位置する三日月湖内で体長 4~6 cm の未成魚が地びき網によって漁獲されている (Fig. 1)。この水域における本種の回遊については, 5~6 月に河口の底質が砂の浅瀬でふ化した仔稚魚が (山口, 1994)、6~7 月に本流底層の塩水楔内を上流方向に移動する (山口ほか,

1998)。そして 7~10 月には餌環境が良好で (岡田ほか, 2003) 重要な成育場である三日月湖に分布した後に降海すると推定され (山口・渡辺, 1994)、この回遊は耳石の Sr:Ca 比分析からも確認された (Yamaguchi *et al.*, 2004)。

ウナギ類 (Creutzberg, 1958, 1959) や異体類 (清野ほか, 1977; Weinstein *et al.*, 1980; 高橋ほか, 1986; Yamashita *et al.*, 1996) では, 仔稚魚が潮汐を利用して成育場に移動したり分布域を広げることが知られており, また由良川においてシラウオが塩水楔の進入と同調して河川内への分布を広げることが報告されている (桑村, 1993)。石狩川においても, シラウオ稚魚が潮汐や塩水楔を利用して三日月湖に移動していると考えられるが, 移動の可否を左右する三日月湖入口に当たる志美運河の通過メカニズムについては不明である。そこでシラウオ稚魚の志美運河における移動機構を解明するため, 1995~1997 年の 7 月に運河内における分布状況の調査を実施し, 日周および流向流速の変化との関係について検討した。

材料と方法

茨戸川 (一部は真勲別川) と名付けられた三日月湖へ流入する河川はいくつかあるが, 流出路は志美運河のみである (Fig. 1)。志美運河の全長は約 1,400 m で, 本流側入口から

2003 年 3 月 3 日受付, 2004 年 3 月 8 日受理

北海道立中央水産試験場

Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, 238 Hamanaka-cho, Yoichi-cho, Yoichi-gun, Hokkaido 046-8555, Japan

¹ 現所属 北海道立網走水産試験場

Present address: Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, 1-1-1 Masu-ura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan

² 現所属 北海道立栽培漁業総合センター

Present address: Hokkaido Institute of Mariculture, 539-112 Honbetsu, Shikabe-cho, Kayabe-gun, Hokkaido 041-1404, Japan

[†] yamaguchim@fishexp.pref.hokkaido.jp

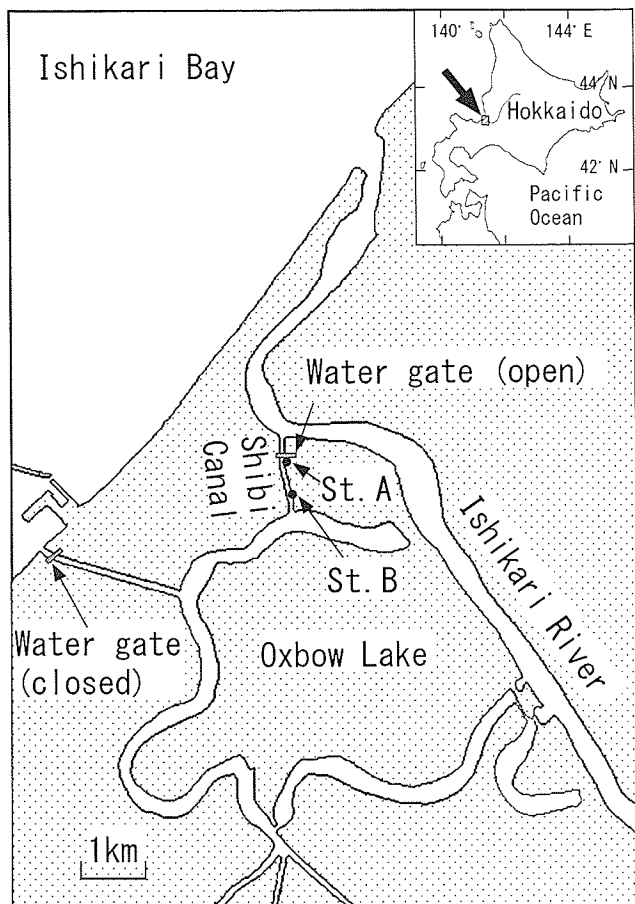


Figure 1. Map showing the survey site in the lower reaches of the Ishikari River. St. A: Site of collection. St. B: Site of measurements of flow speeds at each distance from the bank.

約300m地点に通常は開放された水門がある。水門の前後約100mは水深2.2~2.3m、幅約40mの長方形断面となっているが、その他は中央が深く、岸に近づくほど浅くなる断面構造を持つ。

1995年7月6~7日、1996年7月15~16日および1997年7月14~15日の3回、志美運河の水門付近 (Fig. 1, St. A) の右岸側において、干満1周期分のシラウオ稚魚の移動状況を把握するために24時間以上の連続採集調査を実施した。1996年の調査は新月の大潮時 (月齢29~0日) に、1995年と1997年のそれは小潮時 (月齢8~9日と9~10日) に行った。

1995年の調査では、流向、流速と採集個体数の関係およびその日周変化を明らかにするため、口径130cm、側長450cm、コットエンドが網地GG54の稚魚ネット2基をそれぞれ本流および三日月湖側に向け、岸に接した上層 (リング上端が水面直下) に設置し、1時間毎に計24回揚網してシラウオを採集した (Fig. 2-I)。1996年の調査では、流向、流速、日周性に加えて水深と採集個体数の関係を明らかに

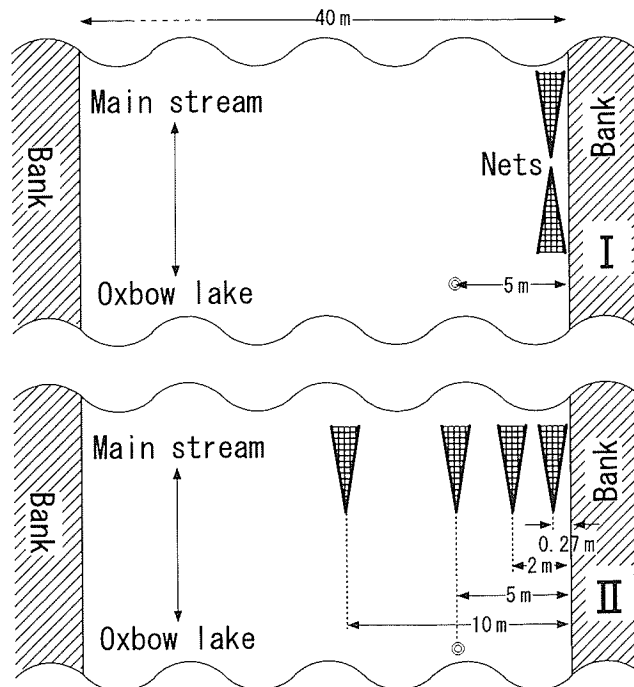


Figure 2. Collection of Shirauo juvenile with larva nets at St. A in the Shibi Canal. I: Two nets were set in the upper layer in 1995. Two sets of three nets for vertically discrete layers (upper, middle and lower) were set in 1996. II: Four nets were set in the upper layer and another net was set at 1 m below the surface at 10 m from the bank wall in 1997. Those five nets faced toward the main stream or the oxbow lake by tidal flow.

するため、口径56cm、側長172cm、網地NGG52の稚魚ネットを1995年と同じ位置および方向に3基ずつ鉛直方向に並べて設置し、2時間毎に計13回揚網してシラウオを採集した (Fig. 2-I)。なお上層ネットの上端は水面直下、下層ネットの下端を水面から2mとし、3つのネットの間隔は等間隔とした。1996年は6月15日23時の採集時に三日月湖方向に開口させた上層ネットのコットエンドが流失して採集に失敗した。1997年の調査では、流向、流速、日周性に加えて、岸からの距離と採集個体数の関係を明らかにするため、1996年と同仕様のネット1基を岸に接した上層に、3基を岸から2、5、10mの上層に設置した。加えて、岸から離れた位置での水深と採集個体数の関係を解明するため、岸から10m点では下層にもネット1基を、その上端が水面下1mとなるよう設置した (Fig. 2-II)。そして全ネットを1.5時間毎に計17回揚網してシラウオを採集した。1997年は前2ヶ年と異なり、開口方向を固定せず水門近くの橋の上から垂下する形で設置し、流れの変化に伴って各ネットの開口方向が変化するようにした。

採集物を10%ホルマリンで固定して持ち帰り、シラウオ稚魚を選別し、それらの個体数を数えた。シラウオ稚魚の

標準体長は、1995年が 18.67 ± 2.02 mm ($n=2,131$)、1996年が 19.78 ± 3.11 mm ($n=763$)、1997年が 17.04 ± 3.81 mm ($n=1,473$) であった。

調査中、河岸から約5m、水門から三日月湖方向に約50mの中層 (Fig. 2, ◎印) に流向流速計 (アーンデラー社製RCM-7) を設置し、10分毎の流向流速を記録した。またメモリーSTD (アレック電子社製) を用いて、1995、1996年に各1回、1997年には2回、運河の三日月湖側と本流側入口付近で水深1m毎に水温、塩分を計測した。さらに各年とも揚網時に調査点である水門部の水温、塩分を計測した。その他、1997年7月14日14時30分~15時に、志美運河内水門と三日月湖の間 (Fig. 1, St. B) で、岸から約1、2、5、15mの上層流速をPOCKET TACHOMETER MODEL 3631によって計測した。各点の水深はそれぞれ、約0.5、0.7、1.1および2.6mであった。

採集数を積算流速値とネット開口面積の積で割った値を計算密度とした。水深別の流速差は、1996年9月に上層と下層に設置した流向流速計 (アーンデラー社製RCM-7) による観測結果 (山口ほか、1998) から予測して、無視できるものとして取り扱った。岸からの距離別の流速差は水門部のような長方形断面の水路でも、接岸域と中央で最大0.7:1.0程度の流速差があることが知られている (富永・江崎、1985)。しかし、水門部の岸からの距離別の流速観測を行っていないので、便宜的に一律な流れとして取り扱った。またネット地の抵抗も勘案しなかった。1995年と1996年の計算密度の小計は、流れに向かって開口していた採集時間帯のみを通算した。

結果

流向流速

運河内の流れは基本的に潮の干満に従い、本流方向に流れる順流と三日月湖方向に流れる逆流を繰り返していた (Fig. 3)。その最速値は順流速をプラス、逆流速をマイナスとして、大潮であった1996年には順流で $64.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 逆流で $-67.7 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ に達し、1995年でも $41.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ と $-35.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、1997年は $48.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ と $-46.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。また潮汐周期成分の他に約120分の周期成分が認められたので、13点移動平均をFig. 3に示した。各年のネット採集中の積算流速値は1995年では $+3,869 \text{ m}$ 、1996年は $+518 \text{ m}$ 、1997年は $-1,397 \text{ m}$ となり、必ずしも順流が優勢ではなかった。

1997年に行ったSt. B (Fig. 1) における岸からの距離別の流速観測結果は、岸から約1mで $6.8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、2mで $8.3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、5mで $14.5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、15mで $31.8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ と、岸から離れるほど流れが速かった。

水温、塩分

運河両側入口における塩分は、本流側の2m以浅と三日月湖の全層でほぼ淡水といえる1PSU前後あるいはそれ以下

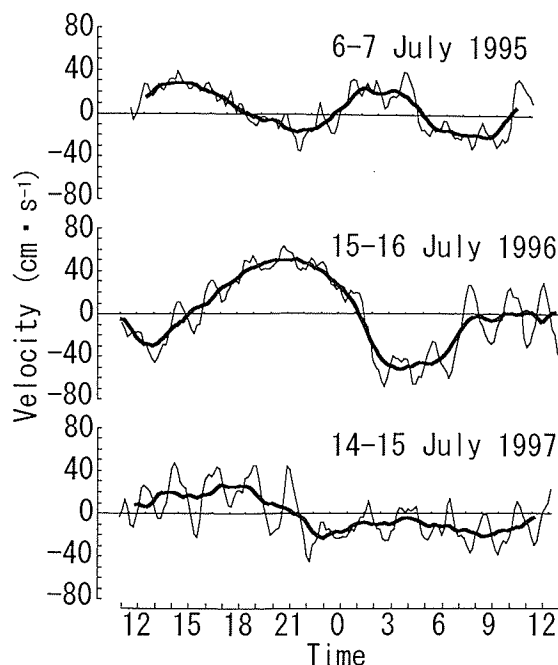


Figure 3. Velocity of water flow in the Shibi Canal in July 1995, 1996 and 1997. Thin and thick lines show the observed values and the 13 points running mean, respectively.

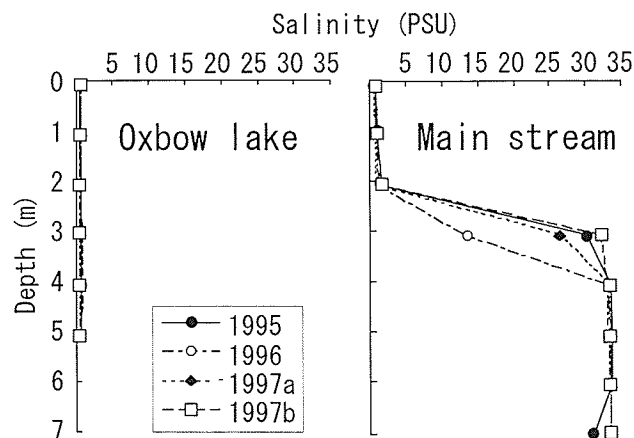


Figure 4. Vertical profiles of salinity in the oxbow lake and the main stream in 1995-97.

であったが、本流の3m以深では塩水楔を示す高塩分が観測された (Fig. 4)。一方、淡水と塩水楔それぞれの水温は1995年では $18 \sim 20^\circ\text{C}$ と $14 \sim 18^\circ\text{C}$ 、1996年は $20 \sim 23^\circ\text{C}$ と $16 \sim 22^\circ\text{C}$ 、1997年には $21 \sim 25^\circ\text{C}$ および $16 \sim 20^\circ\text{C}$ と各年とも淡水の方が高温であった。ネット採集中の運河内でのメモリーSTDによる観測において、3ヶ年とも流向にかかわらず塩水楔を示す低温あるいは高塩分は観測されなかった (Table 1)。

Table 1. Temperature and salinity ranges at St. A in Shibi Canal in 1995, 1996 and 1997.

Year	Tide	Range of temperature (°C)	Range of salinity (PSU)
1995	Ebb	19.68–20.77	0.50–0.71
	Flood	19.58–20.38	0.43–0.71
1996	Ebb	20.35–22.07	0.38–0.62
	Flood	21.27–22.17	0.65–0.95
1997	Ebb	21.63–23.45	0.39–0.90
	Flood	22.37–24.03	0.50–1.37

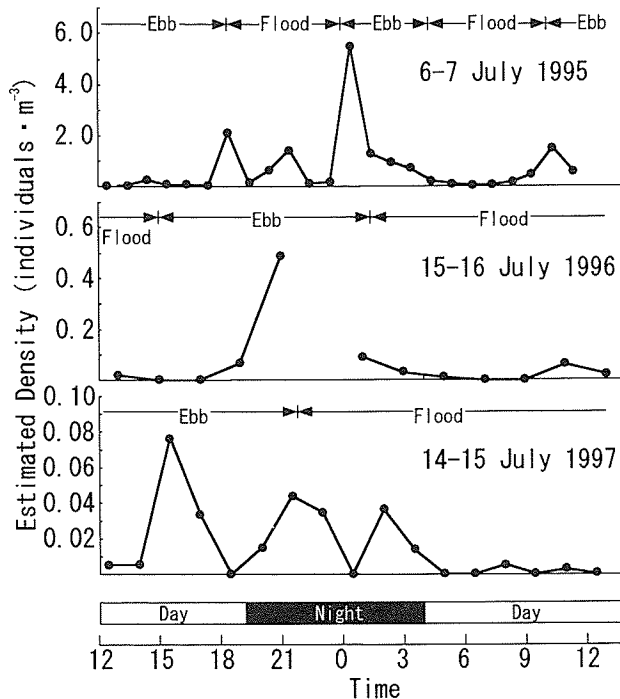


Figure 5. Estimated density of Shirauo juveniles in the upper layer near the bank in 1995, 1996 and 1997.

分布状況

3年の調査を通してネットを設置した河岸直近の上層において採集されたシラウオ稚魚は、1995年には三日月湖方向および本流方向に開口したネットでそれぞれ7,035個体と2,279個体、1996年には516個体と41個体であった。また1997年にもネットが三日月湖方向に開口する順流時に59個体が、逆流時に20個体が採集された。1回の調査の通算密度（採集個体数の合計／ネット開口面積／積算流速値の絶対値の合計）は、1995年が0.45個体・m⁻³、1996年は0.11個体・m⁻³、1997年は0.02個体・m⁻³と年の間の差が大きかったが、3年とも最も高い密度は順流時に認められた

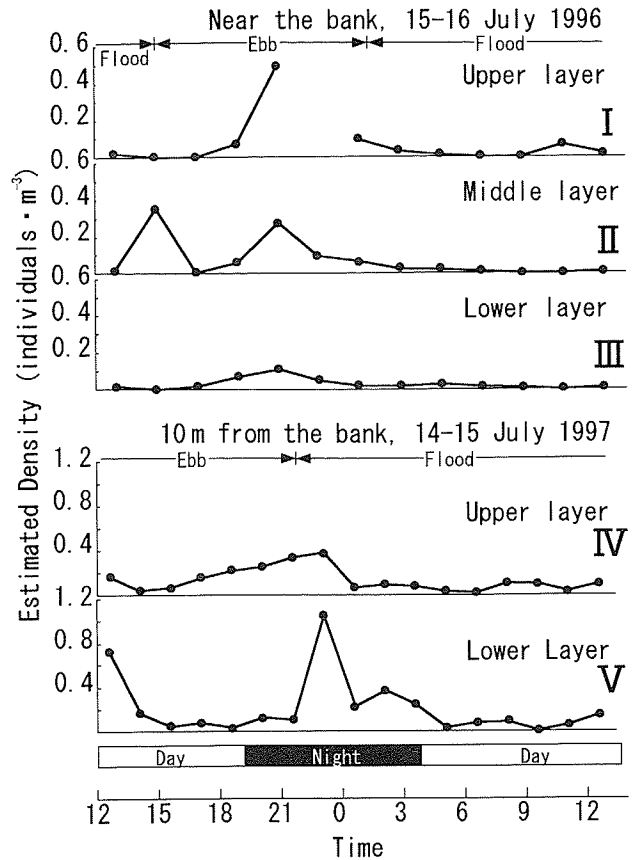


Figure 6. Estimated density of Shirauo juveniles in the upper, middle and lower layers near the bank in 1996 are shown in I, II and III, respectively. Those in upper and lower layers at 10 m from the bank in 1997 are shown in IV and V, respectively.

(Fig. 5). 日周的には、最も密度が高かったのは1995、1996年は夜間であったが、1997年は日中であった。

鉛直分布状況の変化をみると、河岸直近では1996年7月15日21時~16日1時にかけて、層別の採集個体数に有意な差が認められ (χ^2 -検定, $p < 0.001$)、その間、採集に失敗した6月15日23時の上層を除いて、密度は上層、中層、下層の順に高かった (Fig. 6-I II III)。一方、岸から10mの点では、1997年7月14日15時30分~21時30分に上層の密度が下層を上回り、対照的に23時~15日3時30分には下層の密度が上層を上回った (Fig. 6-IV V)。その他、14日12時30分にも下層における密度が高かった。これは日周的には、岸近くでは夜間に上層に分布が偏り、運河中央付近では同じ夜間に下層に分布が偏るという結果である。また流向別には、岸近くと運河中央付近ともに順流時に上層に偏る傾向が、運河中央付近で逆流時に下層に偏る傾向を示している。

水平的な分布状況を見ると、1997年の各ネットの合計採集個体数は、上層の岸に接した位置で79個体、岸から

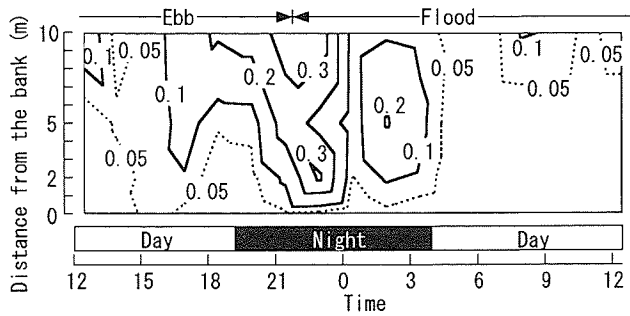


Figure 7. Horizontal distribution of estimated density of Shirauo juveniles (individuals · m⁻³) in the upper layer during 6 and 7 July in 1997.

2 mで261個体、5 mで314個体、10 mで608個体と、ネット間に有意な差が認められた (χ^2 -検定、 $p < 0.001$)。また岸から10 mの下層でも872個体が採集され、採集数は岸から10 mの下層、上層、5 m、2 m、岸に接したネットの順に多かった。上層における密度は、時間的には7月14日23時を中心に高く、また多くの時間帯で岸から遠いほど採集個体数が多かった (Fig. 7)。これは日周的には夜間に、流向別には順流が逆流に転じた直後に運河中央を中心に分布密度が高くなったことを示している。

考察

シラウオ成魚の持続できる遊泳速度は秒速で体長の約2倍であり (山口・高谷, 2000)、今回採集された稚魚の体長 (約2 cm) に当てはめるとほぼ $4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ になる。運河内において絶対値 $4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下の流速が観測された回数は、1995年で144回中10回 (6.9%)、1996年で156回中2回 (1.3%)、'97年は153回中18回 (11.8%) であり、ほとんどの時間帯において稚魚は流れに定位することが困難と考えられる。よって分布調査 (山口・渡辺, 1994) や、Sr:Ca比分析から確認された7月における稚魚の志美運河を通過しての三日月湖への移動は、環境水の三日月湖への流入に伴う受動的輸送として行われていると考えられる。その観点から結果をみると、1997年の岸から10 m点下層において順流から逆流に変化した直後に密度が高くなっており、稚魚が逆流時に主として運河の中央下層を通過して三日月湖に移動したことが推察される。この岸から10 mの下層における高い密度は、逆流に転じた直後である7月14日23時から15日3時30分まで低下しつつも持続していた。また運河の本流側入口から調査点までの距離が約300 mであるのに対して、逆流に転じてから3時30分までの積算流速値は-3,715 mに達する。つまり高密度に分布した稚魚の大部分が、本流から運河に入って採集されたものと考えられる。なお7月の本流においては稚魚の多くは塩水楔内に分布していることから (山口ほか, 1998)、塩水楔内に分布していた稚魚が連続して運河に進入していた可能性があ

る。そして稚魚が塩水楔内から上昇して運河に入っすぐに採集されたことが、1997年の逆流時に岸から10 m点下層の密度が上層より高かった結果をもたらしたのかもしれない。以上から順流時に運河の本流側入口付近の塩水楔内に滞留していた稚魚が、逆流時に運河中央部下層を通過して三日月湖に移動するという移動過程が考えられる。

一方、3年間の調査を通して岸近くの上層においては、分布密度が順流時に高く、逆流時に低いという運河中央部下層とは逆の傾向を示している。その理由として、結果で述べた順流時には上層に、逆流時には下層に稚魚の分布が偏る傾向が挙げられる。しかし1996年には岸近くの中、下層とも上層と同様に、順流時に分布密度が高く、逆流時に低い傾向が認められており、流向による鉛直的な分布の偏りの変化のみが原因とは考えられない。筆者らは、この分布密度が運河中央部下層と岸近くにおいて流向に対して逆の変化傾向を示す説明として、運河内において稚魚が順流時に岸近くに分布し速い流れを避けるという行動を想定した。この行動は三日月湖への移動に中央と岸近くの流速差が利用できる点で、合理的なものと考えられる。しかし1997年の水平的な分布状況では、稚魚の順流時における岸近くへの明らかな偏在傾向は認められず、運河中央への偏在の度合いの強弱がみられるのみであった。シラウオ稚魚には運河中央に偏って分布する傾向があり、順流時における岸近くへの移動がその傾向を弱めているのかもしれない。

以上のように三日月湖への移動を中心にみると、シラウオ稚魚の分布状況は基本的に流向によって変化していると考えることが可能である。同時に、結果を俯瞰すると多くのケースで日中より夜間において密度が高い傾向が認められ、シラウオ稚魚の移動が夜間を中心に行われていることも示唆された。

今回、遊泳力が弱いシラウオ稚魚が河口域でふ化した後、約7 km上流に位置する三日月湖まで分布域を広げる過程で、どのようにして志美運河を通過するかについて検討した。そして、稚魚が順流時に本流の運河入口付近の塩水楔内に滞留し、逆流時に運河に入り、水に運ばれる形で三日月湖に移動するという可能性、さらに順流時に流れが緩やかな岸近くに、逆流時に流速の速い運河中央付近に分布し、流速差を利用して三日月湖へ移動している可能性が示された。しかし、前者については順流時における本流の運河入口付近の塩水楔内での滞留が確認されておらず、後者は現在のところ仮説の域を出ない。今後、シミュレーションモデルを用いて、これら二つの可能性についてさらに検討する必要がある。

謝辞

本稿について適切なアドバイスをいただいた東北大学大学院農学研究科の大森迪夫教授に深謝する。3年間の調査に

ご協力いただいた石狩漁業協同組合の鈴木隆夫氏, 仙石昭彦氏, 石狩市役所の高松幸二氏, 石井悟氏, 三上雅光氏, 石狩支庁石狩地区水産技術普及指導所の渡辺雄二氏, 菊池肇氏, 水産資源開発研究会の福田敏光氏, 故永井雄幸氏に深謝する。また調査の計画, 準備, 実施にご助力いただいた北海道立中央水産試験場資源管理部の諸氏に感謝する。

引用文献

- Arai, T., H. Hayano, H. Asami and N. Miyazaki (2003) Coexistence of anadromous and lacustrine life histories of shirauo, *Salangichthys microdon*. Fish. Oceanogr., **12**, 134–139.
- Creutzberg, F. (1958) Use of Tidal Streams by Migrating Elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.). Nature, **181**, 857–858.
- Creutzberg, F. (1959) Discrimination Between Ebb and Flood Tide in Migration Elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) by Mean of Olfactory Perception. Nature, **184**, 1961–1962.
- 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年度京都府水産試験場報告, 16–26.
- 小谷正幸 (1988) シラウオの生態学的研究-I 室見川河口域におけるシラウオ *Salangichthys microdon* の出現と成長, 九州大学農学部修士論文, 20 pp.
- 桑村勝士 (1993) 由良川河口域に出現するシラウオ (*Salangichthys microdon*) の生活史, 京都大学修士論文 19 pp.
- 三浦雅大 (1992) 小川原湖におけるシラウオの資源生態学的研究, 東北大学農学部修士論文, 38 pp.
- 岡田のぞみ・浅見大樹・山口幹人 (2003) 石狩川水系および河口周辺におけるシラウオ仔稚魚の分布と摂餌, 2003年度日本水産学会大会講演要旨集, 78.
- Saruwatari, T. (1988) Studies on the reproductive biology of Japanese Salangid fishes. Ph. D. Thesis, University of Tokyo, Tokyo, 221 pp.
- 猿渡敏郎 (1994) シラウオ—汽水域のしたたかな放浪者, 後藤 晃, 塚本勝巳, 前川光司編: 川と海を回遊する淡水魚—生活史と進化, 東海大学出版会, 74–85.
- 千田哲資 (1973a) 岡山県高梁川におけるシラウオの産卵場, 魚雑, **20**, 25–28.
- 千田哲資 (1973b) 岡山県高梁川における産卵期のシラウオ, 魚雑, **20**, 29–35.
- 高橋清孝・星合愷一・阿部洋士 (1986) 石巻湾および万石浦におけるマコガレイ浮遊期仔魚の分布と移動, 水産増殖, **34**, 1–8.
- 富永章宏・江崎一博 (1985) 長方形断面開水路流の三次元乱流構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, **357**, 81–88.
- Weinstein, M. P., S. L. Weiss, R. G. Hodson and L. R. Gerry (1980) Retention of three taxa of postlarval fishes in an intensively flushed tidal estuary, Cape Fear River, North Carolina. Fish. Bull., **78**, 419–436.
- 山口幹人 (1994) 石狩川水系のシラウオ産卵場を発見, 北水試だより, **27**, 40–42.
- 山口幹人・渡辺安廣 (1994) シラウオ資源調査, 平成5年度北海道中央水試事業報, 252–263.
- 山口幹人・藤岡 崇・渡辺安廣 (1998) シラウオ資源調査, 平成8年度北海道中央水試事業報, 315–324.
- 山口幹人・高谷義幸 (2000) シラウオの遊泳速度 (短報), 北水試研報, **57**, 31–32.
- Yamaguchi, M., S. Katayama and M. Omori (2004) Migration pattern of shirauo, *Salangichthys microdon* Bleeker, in the Ishikari River system and adjacent nearshore sea area, Japan, as estimated by otolith microchemistry analysis. Fish. Sci., (in press).
- 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.