

増殖場における日中のアユ仔魚の分布水深 —アユ仔魚は河口海域で日中に底に沈降するか—

田子 泰彦・粕谷 貴史・安井 慶亨

(2009年8月5日受理)

Observations on the vertical distributions during daytime of early larvae of ayu reared under equal brackish water densities in the hatchery

Yasuhiko TAGO^{*1}, Takashi KASUYA^{*2} and Yoshitaka YASUI^{*2}

Vertical distributions of early larvae of ayu *Plecoglossus altivelis* reared in brackish water in a pond during daytime were observed for 18 days from hatching in 2005. Water temperature ranged from 22.9 to 25.4°C at the surface, and from 23.1 to 25.6°C at the bottom. Salinity ranged from 8 to 9 PSU from the bottom to the surface. Ayu larvae distributed from middle layer to surface layer, but did not gather at the bottom. It is considered that ayu larvae do not sink to the bottom by utilizing decrease of swimming ability and increase of their own specific gravity under equal brackish water density during the daytime.

Key words: Equal brackish water density, Larvae of ayu, Specific gravity, Vertical distribution

土佐湾の碎波帯におけるアユ*Plecoglossus altivelis*仔魚の発見 (Senta and Kinoshita 1985) 以降、日本のいくつかの海域でアユの生態調査が行われるようになり、海域におけるアユの生態に関する知見が得られてきた。しかし、海域での生態については、各海域で共通する部分も多いものの、その違いが際だっている部分もみられる。特に、体長20mmまでの仔魚の日中の生息水深については、富山湾などの日本海側の海域では塩分躍層より上層の汽水域であると考えられているのに対して (田子 2002)、熊野灘に面する熊野川河口域では体長8~12mm (日齢5~10日) (塚本 1988, 塚本ら1989)、伊勢湾に面する宮川河口海域 (大竹 2006) では体長11~20mmおよび土佐湾に面する四万十川河口域 (高橋ら1990, Takahashi et al. 1998) では体長8~10mmのサイズのアユ仔魚は日中に底層に生息 (移動) すると推測されている。特に、四万十川河口部ではアユ仔魚は卵黄の吸収後に遊泳能力が落ちること (Tsukamoto and Kajihara 1984) や比重が大きくなること (北島ら1998) を利用して底層へ沈降すると考えられており、底層で採集された仔魚のデータが示されている (Takahashi et al. 1998)。

本研究では、アユ仔魚 (ここでは体長約20mm以下の個体; 以下同じ) の生息場所が決定される要因を絞るために、汽水で飼育されているアユの増殖場において、体長8~12mm (日齢5~10日) の仔魚が日中に一様に底層に沈降する現象が起こるか否かを重点に観察を行った。

*1 富山県農林水産総合技術センター水産研究所 (Fisheries Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center, Namerikawa, Toyama 936-8536, Japan)

*2 富山漁業協同組合 (Toyama Fishery Cooperation, 1-6-1 Marunouchi, Toyama, Toyama 930-0085, Japan)

材料と方法

アユ仔魚の分布水深の観察は、富山市吉倉にある富山漁業協同組合神通川アユ・マス増殖場の飼育池（ほぼ正方形の100トン水槽：10m×10m×1m）において行った。同増殖場では、飼育水は、地下水と富山湾から取水した海水を混合した汽水を用いている。増殖場側面のすべての窓は遮光ネットで覆われており、照度は屋外よりも低く保たれていた（光が当る水面で約1000Lux，その他の水面は約300Lux以下）。仔魚には飼育1日目からシオミズツボムシのS型を水面上に如雨露で散布することによって与え、11日目からは配合餌料も給餌した。

アユ仔魚の観察期間は、仔魚が孵化した2005年9月13日から9月30日までの18日間で、9時から17時までの間、1時間ごとに水面上（飼育池壁面の上部）から表層付近の仔魚の観察を行った。また、午前の給餌（9時30分、10時30分）の間である午前10時頃に、水陸望遠鏡（潜望鏡：陸上から水中を見ることができる機器；水陸望遠鏡CX，Vixen）を用いて飼育池の上面から仔魚の分布水深を観察した。仔魚の分布水深の観察は、水陸望遠鏡を水深約10cmごとに上下左右を移動させながら、池の壁面の対面方向の仔魚を確認することによって行った。

飼育水温は飼育池に設置された水温計と棒状水銀温度計により午前10時に測定した。また、9月16日（飼育4日目）からは池中央部において水面近くと、底層にデータロガー式の水温計（おんどとりJr）を設置し、10分ごとの水温を記録した。9月16日と30日には池中央部と池の4角において、塩分計（Kent，EIL5005）にて水深10cmごとの塩分を測定するとともに、表層の3箇所において採水し、富山県水産試験場（現富山県農林水産総合技術センター水産研究所；以下同じ）において、電気伝導度法（サリノメーターYEO-KAL 601MKIII）により塩分を測定した。

結 果

水温と塩分 水温計と棒状水銀温度計により午前10時に測定された水温をFig. 1に示した。水温の範囲と平均値は、表層では22.9～25.4℃と24.4℃，底層では23.1～25.4℃と24.5℃にあり，両者の平均値の差は0.1℃であった。飼育4日目からデータロガーにより測定した10分ごとの水温の範囲と平均値は，表層では23.7～25.4℃と24.8℃，底層では23.9～25.6℃と25.0℃にあり，両者の平均値の差は0.2℃であった。

飼育池表層3箇所における塩分の平均値は，9月16日では8.6PSU，9月30日では8.8PSUであった。また，水深10cmごとの塩分濃度は，9月16日と9月30日では，上層から下層にかけて，すべて同じ値であった。

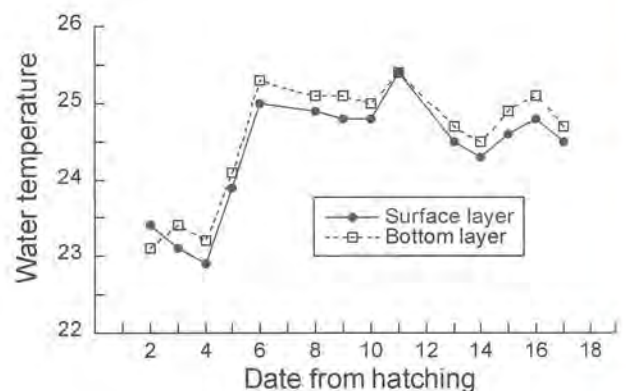


Fig. 1 Daily changes of water temperature in the pond from on second day to 17th day from hatching. Closed circles and open squares indicate at the surface and at bottom layer respectively.

飼育池における水温の日変化。●は表層，□は底層の水温。

なお、塩分8PSU、水温25°Cの水の密度は、 $1.0031\text{g}/\text{m}^3$ と算出された。

仔魚の分布水深 水面上（飼育池壁面の上部）から表層付近の観察では、2日目以降の観察期間をとおして、アユ仔魚は日中には水面付近の表層に集中し、連続遊泳しながら盛んに摂餌行動するのが確認された。

仔魚の垂直方向の分布状態をFigs. 2, 3に示した。飼育初日では、発眼卵が付着していたプラスチック塊（サランロック）が吊されていた池中央部の中層付近を中心に仔魚は分布していた。2日目以降、仔魚は成長とともに中層から水面近くの表層にも分布を広げ、飼育4～5日目のように、

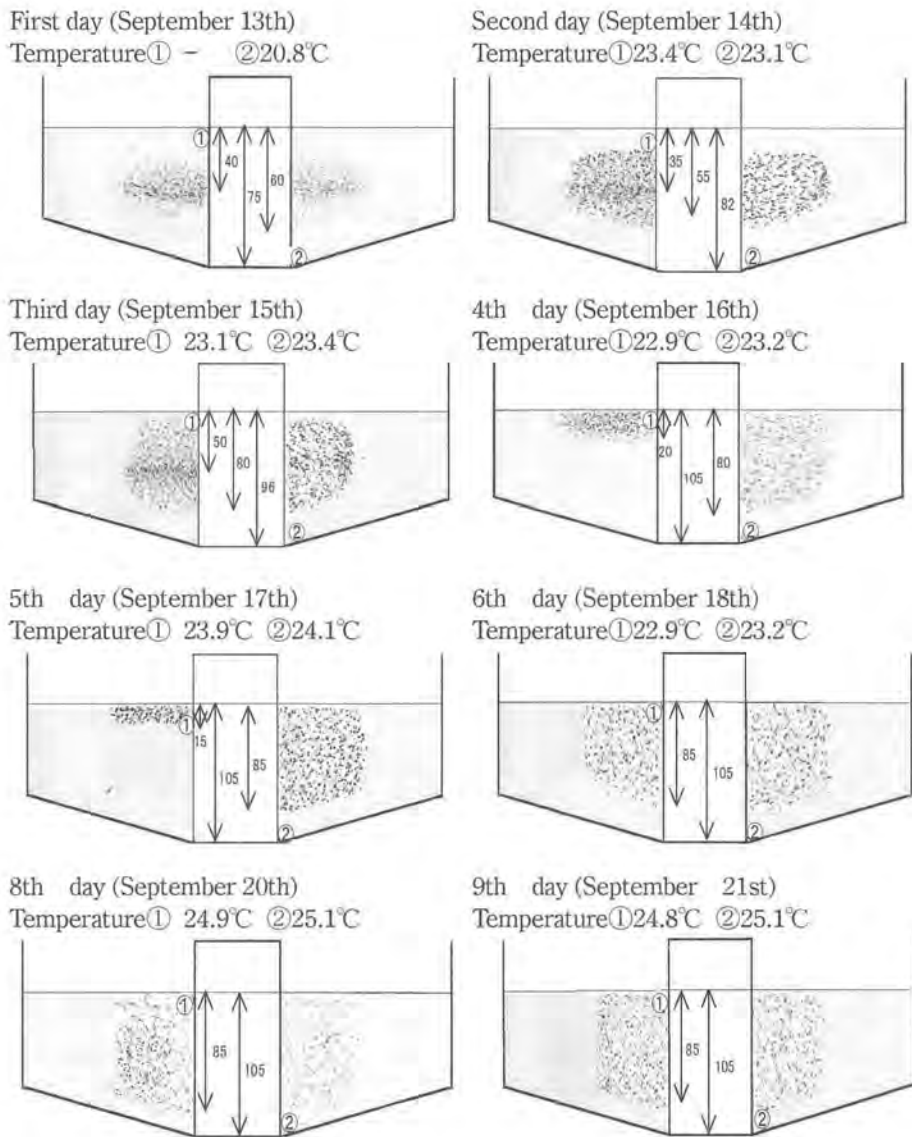


Fig. 2 Vertical distribution of early larvae of ayu reared in brackish water in the pond from on first day to 9th day from hatching. Dots indicate ayu larvae.

飼育池（汽水）におけるアユ仔魚の分布（飼育1日目～9日目：黒い点が仔魚の位置を示す）

時に水面近くの表層に強く蟻集することがあった。また、光の当たる水面近くの箇所には常に仔魚の蟻集（集中）がみられた。13日目以降には、仔魚は平面的には池中央部から壁面方向にも分布範囲を広げていった。16日目から仔魚は水流に頭を向けて壁面に沿った形で泳ぐ姿が認められた。仔魚は期間を通して飼育池表層から中層に分布し、底層にはほとんど分布しなかった。仔魚の体長は、10日目では11mm（無作為に採取した10尾の平均値）、18日目では14mm（同）であった。体長8~12mmにおいても、仔魚は一様に底層に沈降するという現象はみられなかった。

なお、観察期間中には仔魚の大きな斃死はみられなかった。

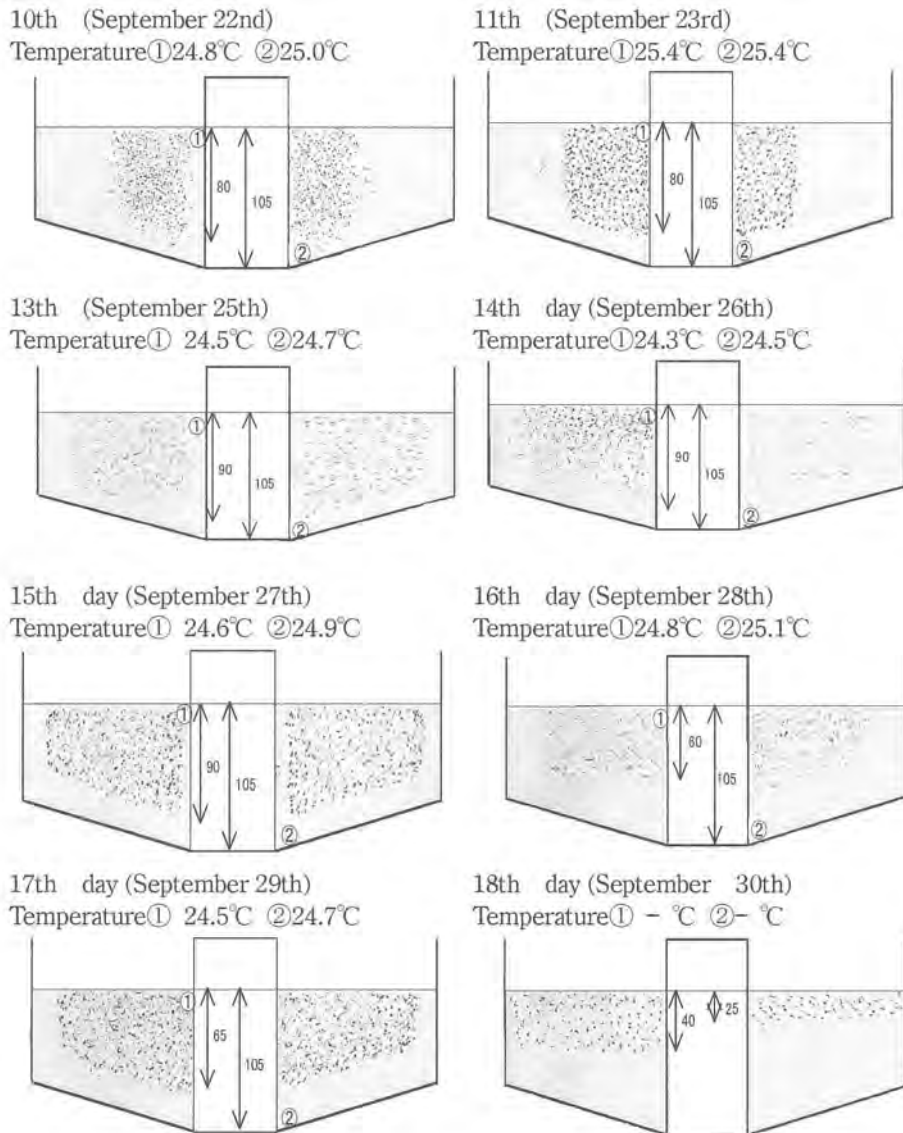


Fig. 3 Vertical distribution of early larvae of ayu reared in brackish water in the pond from on 10th day to 18th day from hatching. Dots indicate ayu larvae.
飼育池（汽水）におけるアユ仔魚の分布（飼育10日目～18日目：黒い点が仔魚の位置を示す）

考 察

水温と塩分 観察を行った飼育池では、水温と塩分は表層と底層で差がほとんどみられず、飼育池の水は淡水と海水が混合して等密度の汽水となって、ほぼ均一に分布していたと考えられる。本飼育池の水温（約25℃）はアユ仔魚の飼育環境としては高い値にあり（伊藤ら 1971, 田端・東 1986）、塩分も均一であったことから、観察を行った飼育池の環境は、日本海側よりも水温が高く、海流の流れや大きな潮位差のために海水が鉛直混合する場合がある、太平洋側の河口海域の状況（強混合型：柳 1988, 宇野木 2008）に似ていたと想定される。

飼育池での仔魚の分布水深 伊藤ら(1965)は屋外にある正方形の約2トン水槽(1.8m×1.8m×0.8m, 水深0.6m)において、淡水で飼育されているアユ仔魚(1~2.5万尾)の分布水深の詳細な観察を行い、体長17mmまでの仔魚は、日中には表層付近(0~0.3m)に集中分布し、連続遊泳しながら盛んに摂餌行動をすると報告している。今回の研究では、100トン水槽において等密度の汽水下で飼育したアユ仔魚の観察を行ったが、伊藤らと同じ結果を得た。飼育水の密度が1.0031g/m³という比較的軽い中でも、遊泳能力が最も落ちる4日目や(Tsukamoto and Kajihara 1984)、比重が大きくなる4日目以降においても(北島ら 1998)、アユ仔魚が一樣に底層に沈降するという現象は一度も確認できなかった。これは北島ら(1998)も指摘するように、アユ仔魚が絶え間なく遊泳して自らの沈降を防いでいるためと考えられる。

また、星野ら(1967)は、直径105cm, 深さ60cmの円形の塩化ビニール水槽を用いて汽水でアユ仔魚を15~17日間飼育した際の観察では、アユ仔魚は日中には水槽の周囲と中央を問わずにほぼ全体に一樣に分布し、水面の近くを活発に遊泳すること、および餌であるシオミズツボムシや橈脚類も同じような分布を示したと報告している。伊藤ら(1965)、星野ら(1967)および今回の観察では、餌となる動物プランクトンを水面上から散布している。アユ仔魚は初期には比較的弱い光には正の走光性が認められ(伊藤ら 1965)、照度10Lux以上の明るさで摂餌をすることからも(山本 2008)、日中には餌の密度の高い表層付近に仔魚が集中するのは自然であると考えられる(田中 1981a, 坂本 2007)。

2005~2008年に富山県水産研究所の屋内において、アクリル水槽(長さ60cm×幅30cm×高さ36cm)を用いて等密度水(汽水および海水)下で、仔魚を孵化から15日間飼育した際に、計78水槽で同様な観察を行ったが、星野らと同様に、仔魚は水面近くを活発に遊泳し、一樣に底層に沈降するという現象はどの水槽においても見られなかったことから(田子 未発表)、等密度の汽水下においても仔魚が自身の遊泳能力が減退することや比重が大きくなることを利用して、一樣に底層に沈降(移行)することはないと考えられる。

確かに、野外と飼育池ではスケールが違うので、要因によっては野外で起こったことが必ずしも飼育池でも起こるとは限らない。しかし、仔魚の比重や遊泳能力などの普遍的な要因の場合は、野外で起こるなら飼育池でも起こるはずである。このことから、等密度水の汽水下で起こらなかった一樣に底層に沈降(移行)する現象は、塩分躍層などの密度躍層のある水域ではさらに起こりにくくなるものと考えられる。

野外での仔魚の分布水深 河川中・下流域の産卵場で夕刻に孵化したアユ仔魚は、水面近くに浮上して夜間に川を降り、産卵場近辺では日中にはほとんど降下しない(田子 1999)。淡水(河

川水)を降下中に、仔魚が中底層に沈降する現象は、アユだけでなく(兵藤ら 1984, 荒山ら 2008), 同じく両側回遊魚のヨシノボリ *Rhinogobius brunneus*でも報告されている(Iguchi and Mizuno 1990, 1991). これは日中の強い日光や他魚種による捕食を避けるためと考えられる. しかし, 河口海域に達した河川水は, 海域では海水に乗る形で表層を拡散するため(柳 1988, 宇野木 2005), アユ仔魚も川水とともに表層を拡散していく(田子 2002). 富山湾奥部海域では, 比較的濁度の高い塩分躍層以浅の表層にアユ仔魚は分布しており, 昼間は正の走光性により生息深度を上昇させ, 夜間は分散分布していると推定される. その際塩分躍層は, 密度躍層でもあるので仔魚の降下速度を遅くしたり, 零に近づけることで分布の下限を決める大きな要因となっていると考えられる. 一方, 淡水湖である琵琶湖では, 河川水と水温が等しい中層(等密度)に河川水が入り込むため, 河川水とともにアユ仔魚は中層を拡散していく. このように, 富山湾では塩分躍層が, 琵琶湖では水温躍層が仔魚の初期の分布の下限を決めていると考えられる(Figs. 4, 5; 田子2002, 2008, 田中ら 2002).

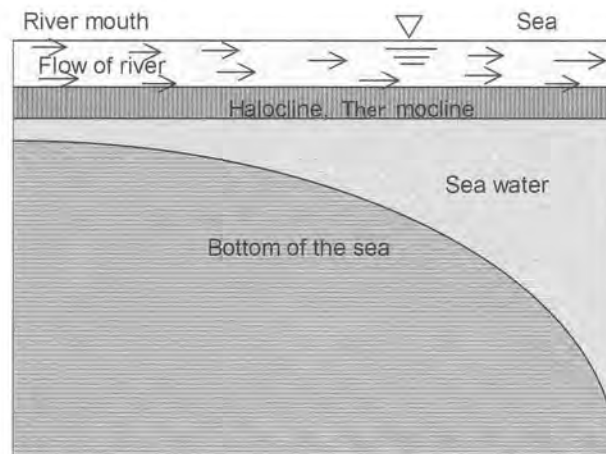


Fig. 4 Schema showing distribution patterns of early larvae of ayu in Toyama Bay, the Sea of Japan.
日本海に面する富山湾でのアユ仔魚の初期の分布様式

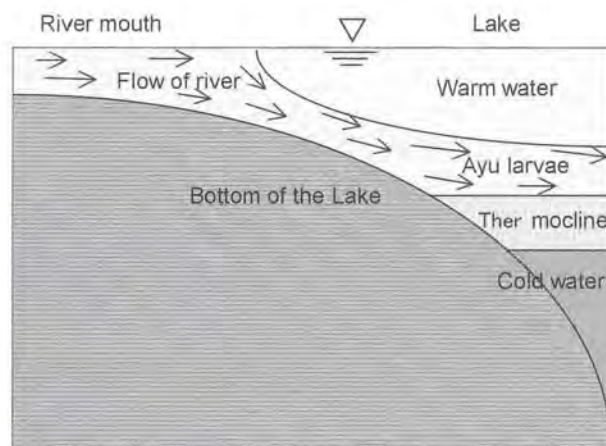


Fig. 5 Schema showing distribution patterns of early larvae of ayu in Lake Biwa.
琵琶湖でのアユ仔魚の初期の分布様式

土佐湾では、塩分躍層形成期にはアユ仔魚は表層に集中分布したが、寒候期に入った12月の鉛直混合期には中層から底層にも仔魚が分布したことがあったと報告されている(八木ら 2006)。このことから、アユ仔魚の分布水深は、水の密度等の物理環境要因に支配されるところが大きいと考えられる。

日本海側では干満(潮位)の差が最大でも20~30cmしかなく、富山湾の河口海域では、仔魚が降海する暖候期の秋頃には水深1m前後に顕著な塩分(密度)躍層が形成される(田子 2002)。河川水の注ぐ河口周辺の汽水海域では表層付近にアユの餌となる動物プランクトンが多く出現する。一方、太平洋側では干満の差が2~3mと大きく、日本海側に比べて鉛直混合が起こりやすい(柳 1988, 宇野木 2008)。例えば、大きな河川の流入がない長崎県平戸島志々伎湾では、表層・中層よりも底層に橈脚類が高密度に生息することが報告されている(首藤・田中 2008)。しかし、底層に餌が豊富となる箇所への出現は、この例のように表層付近に河川水の流入がなく、塩分躍層が形成されにくい箇所に限られると推測される。

河口海域で特定サイズの仔魚が底層に沈降する要因は何か 特定サイズ(体長11~20mm)の仔魚が底層に移行するとされる宮川河口海域は表層から底層まで等塩分であると報告されている(大竹 2006)。また、熊野川と四万十川河口部では、水面近くの表層付近に水温・塩分躍層が認められている(塚本ら 1989, Takahashi et al. 1998)。

しかし、物理的、生理的、餌環境的要因として、そのサイズの仔魚が底層に移行するのは困難ではないかと考えられる以下の報告がある。例えば、潮位差の大きい太平洋側であっても、河川の河口内は河川流量により潮位の影響が抑えられ、河口海域よりも塩分等の躍層は安定する(宇野木 2008)。淡水の水槽で行われた観察では、アユの孵化仔魚は水温が高いほど水面近くまで浮上する個体の割合が高くなる(荒山ら 2008)。また、塩分が高いほど、水温が高いほどアユ仔魚の生残率は低くなる(田子・渡辺 2009)。増殖場の飼育池においては、人為的に塩分躍層を作出すると、体長20mmまでのアユの仔魚は塩分躍層の上側に集まる(余語 2008)。岸野ら(2008)も平均体長6.2mm, 10.7-12.1mmおよび17.0mmのリュウキュウアユ*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*仔魚を用いて塩分別の絶食飼育試験を行ったところ、体長17.0mmの仔魚になって初めて高塩分(30PSU)での生残率が向上したとし、それは鰓弁などの器官の発達により、浸透圧調整能力が高くなったためとしている。さらに、河川水の影響が強く及ぶ河口近辺に位置する塩分躍層より上層の表層付近の汽水域は、アユ仔魚の生残や成長には好都合で(伊藤ら 1971, 田子・渡辺 2009)、餌となる橈脚類の動物プランクトンも多く(田中 1981b, 柳 1988, 小磯 2000, 余語 2008)、濁り(濁度)も高くてアユ仔魚のカバーの役割も果たしている(魚谷ら 1993, 田子 2002)。

これらの好条件に反して、四万十川などの太平洋側の一部の河口海域において、特定サイズ(8~12mm)のアユ仔魚が底層(高塩分、高水温)に沈降(移行)するメカニズムには非常に興味を持たれる。海域におけるアユの生態の総合的な理解を深めるためにも、このメカニズムの解明が待たれる。

謝 辞

本論文を取りまとめるに際しては、独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所内水面

研究部の井口恵一朗博士，和歌山県農林水産総合技術センターの原田慈雄博士および豊田市矢作川研究所の山本敏哉博士の査読並びにご助言をいただいた。富山県農林水産総合技術センター水産研究所の辻本 良主任研究員および飯田直樹主任研究員には水質環境に関するご助言をいただいた。本研究の一部は先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（農林水産省技術会議）によった。ここに心を込めて感謝の意を表す。

文 献

- 荒山和則・須能紀之・山崎幸夫 2008. 流下仔魚の鉛直分布-フィールドと水槽実験での検証-. pp. 22-23, 平成19年度アユ資源研究部会研究発表報告書, 全国湖沼河川養殖研究会アユ資源研究部会.
- 星野 暹・直江知也・山本喜久蔵・安家重材・和田 功 1967. 海水によるアユ種苗の人工生産に関する研究. pp. 701-722, 木曾三川河口資源調査報告 3.
- 兵藤則行・関 泰夫・小山茂生・片岡哲夫・星野正邦 1984. 海産稚仔アユに関する研究-I. -仔アユの降下状況について-. 新潟県内水面水産試験場研究報告 11:41-50.
- Iguchi, K. and N. Mizuno 1990. Diel changes of larval drift among amphidromous gobies in Japan, especially *Rhinogobius brunneus*. *J. Fish Biol.* 37 : 255-264.
- Iguchi, K. & N. Mizuno 1991. Mechanisms of embryonic drift in the amphidromous goby, *Rhinogobius brunneus*. *Env. Biol. Fish.* 31 : 295-300.
- 伊藤 隆・岩井寿夫・古市達也・鈴木惇悦 1965. アユ種苗の人工生産に関する研究-XIII, 飼育池におけるアユ仔魚の分布・行動・摂餌活動および消化管内食物量の日周変化. pp. 971-1022, 木曾三川河口資源調査報告 2.
- 伊藤 隆・富田達也・岩井寿夫 1971. アユ種苗の人工生産に関する研究-LXXIV, 人工ふ化仔魚の絶食生残に対する塩分濃度および水温の影響. pp. 143-163, アユの人工養殖研究 1.
- 岸野 底・四宮明彦・寿 浩義 2008. リュウキュウアユ仔魚の水温・塩分耐性に関する生残実験. 魚類学雑誌 55(1):1-8.
- 北島 力・山根康幸・松井誠一・吉松隆夫 1998. アユ仔魚の発育に伴う比重の変化. 日本水産学会誌 64(5):822-829.
- 小磯雅彦 2000. 海産ワムシ類の培養ガイドブック, 4-2 塩分濃度. pp. 13-16, 栽培漁業技術シリーズ 6, (社)日本栽培漁業協会.
- 大竹二雄 2006. 海域におけるアユ仔稚魚の生態特性の解明. (独)水産総合研究センター 研究報告 5:179-185.
- 坂本 亘 2007. 仔稚魚の日周活動リズムと生残り過程. pp. 101-116, 水産学シリーズ69, 水産動物の日周活動(オンデマンド版). 恒星社厚生閣, 東京.
- Senta T. and I. Kinoshita 1985. Larval and juvenile fishes occurring in surf zones of Western Japan. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 114:609-618.
- 首藤宏幸・田中 克 2008. マダイ稚魚と餌生物たち. pp. 12-22, 稚魚学(田中 克・田川正明・中山耕至 編). 生物研究社, 東京.

- 田端和男・東 幹夫 1986. 海産, 湖産系および湖産アユ仔魚の海水飼育における生残特性. 兵庫水試研報 24, 29-34.
- 田子泰彦 1999. 庄川におけるアユ仔魚の降下生態. 日本水産増殖学会誌 47(2):201-207.
- 田子泰彦 2002. 富山湾の河口域およびその隣接海域表層におけるアユ仔魚の出現・分布. 日本水産学会誌 68(1):61-71.
- 田子泰彦 2008. 湖産アユと対比した海産アユ仔稚魚の生態特性 pp.160-166, 稚魚学(田中克・田川正明・中山耕至 編). 生物研究社, 東京.
- 田子泰彦・渡辺孝之 2009. 異なる塩分で飼育したアユ仔魚の初期の生残率と大きさ, 富山県農林水産総合技術センター水産研究所研究報告 1:23-31.
- 高橋勇夫・木下 泉・東 健作・藤田真二・田中 克 1990. 四万十川河口内に出現するアユ仔魚. 日本水産学会誌 56(6):871-878.
- Takahashi I., K. Azuma, S. Fujita and I. Kinoshita 1998. Spatial distribution of larval ayu *Plecoglossus altivelis* in the Shimanto estuary, Japan. *Fisheries Sci.* 64(4):522-525.
- 田中 克 1981a. 海産仔魚の摂餌と生残-V. 魚卵・仔魚の垂直分布と垂直移動. 海洋と生物 16:379-386.
- 田中 克 1981b. 海産仔魚の摂餌と生残-IV. 天然海域における餌生物の密度. 海洋と生物 15:293-299.
- 田中秀具・片岡佳孝・井出充彦・太田滋規・氏家宗二・酒井明久 2002. 琵琶湖産アユの仔稚魚期における分布. 滋賀県水産試験場研究報告 49:1-15.
- Tsukamoto K. and T. Kajihara 1984. On the relation between yolk absorption and swimming activity in the ayu larvae *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 50(1):59-61.
- 塚本勝己 1988. アユの回遊メカニズムと行動特性 pp.100-133, 現代の魚類学(上野輝弥・沖山宗雄 編). 朝倉書店, 東京.
- 塚本勝己・望月賢二・大竹二雄・山崎幸夫 1989. 川口水域におけるアユ仔稚魚の分布・回遊・成長. 水産土木 25(2):47-57.
- 魚谷逸朗・岩川敬樹・川口弘一 1993. イワシラス漁場形成機構に果たす濁度の重要性. 日本水産学会誌 60(1):73-78.
- 宇野木早苗 2005. 川が養う海水と生命 pp.34-42, 河川事業は海をどう変えたか. 生物研究社, 東京.
- 宇野木早苗 2008. 川が海の物理環境に与える影響 pp.19-35, 川と海(宇野木早苗・山本民次・清野聡子 編). 築地書館, 東京.
- 八木佑太・美藤千穂・舟越 徹・木下 泉・高橋勇夫 2006. 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性. 日本水産学会誌 72(6):1057-1067.
- 柳 哲雄 1988. 海の科学. 恒星社厚生閣. 東京, 117pp.
- 山本章造 2008. 飼育実験によりアユの摂餌生態を探る pp.167-173, 稚魚学(田中 克・田川正明・中山耕至 編). 生物研究社, 東京.
- 余語 滋 2008. 人工種苗の管理方法. 特許第4091965号, 日本国特許庁.