

栃木県那珂川における両側回遊型アユの 遡上日と遡上群数の予測

中村 智幸,^{1*} 糟谷 浩一²

(2003年4月9日受付, 2003年10月29日受理)

¹(独)水産総合研究センター中央水産研究所内水面研究部, ²栃木県水産試験場

Forecasting of the first ascending day and the number of ascending schools
of amphidromous ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Naka River,
Tochigi Prefecture, central Japan

TOMOYUKI NAKAMURA¹ AND KOICHI KASUYA²

¹Freshwater Fisheries Research Division, National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Nikko, Tochigi 321-1661, ²Tochigi Prefectural Fisheries Experiment Station, Yuzukami, Tochigi 324-0404, Japan

Forecasting of the first ascending day and the number of ascending schools of juvenile amphidromous ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* were examined in the Naka River, Tochigi Prefecture, central Japan. We analyzed the relationships among 4 parameters (cumulative sea water temperature from October to March near the estuary of the Naka River, the day of the first observation of an ascending school, the number of ascending schools observed from March to June and the average body weight in late October) over a period of 7-21 years between 1979 and 1999. The first observation day of a school was significantly earlier when the cumulative water temperature from February to March was higher. The number of schools was larger both when the cumulative water temperature in March was higher and the first observation day of a school was earlier. The body weight in late October was smaller when the number of schools was larger. The results show that the first observation day of a school and the number of schools can be forecasted from the cumulative water temperature from February to March, and the cumulative water temperature in March and the first observation day of a school, respectively.

キーワード: アユ, *Plecoglossus altivelis altivelis*, 両側回遊型, 海産アユ, 遡上, 海水温, 予測

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は内水面漁業上重要な魚種である。本種は自然分布河川では両側回遊型の生活を送り,^{1,2)} 漁獲物は天然アユとして市場価値も高い。また, 自然分布河川だけでなく, 自然分布以外の河川や自然分布河川の分布域より上流において種苗放流が行われ, 資源利用が図られている。アユの漁業者は減少傾向にあるが, 遊漁者は現在でも多く, 資源の増大が期待されている。しかし近年では, 生息環境の悪化³⁻⁶⁾ や冷水病の発生,^{7,8)} カワウ *Phalacrocorax carbo* による食害⁹⁾ などのために, アユの資源量は減少傾向にあると考えられている。

アユは生活史の側面から大きく次の5つのタイプに

分けられる。すなわち, 両側回遊型である海産アユ, 琵琶湖を代表とする湖産アユ, 海産アユを捕獲後放流した放流海産アユ, 湖産アユを捕獲後放流した放流湖産アユ, 人工採卵により種苗生産し放流した人工産アユである。このうち, 琵琶湖の湖産アユは全国各地で大量に放流されているが, 再生産に寄与していないと考えられている。¹⁰⁻¹⁴⁾ また, 琵琶湖の湖産アユと人工産アユは, 最近では冷水病のために放流種苗として敬遠されている。これらのことから, 海産すなわち両側回遊型アユの増殖を望む声大きい。

両側回遊型アユの再生産については, 産卵期,¹⁵⁾ 産卵環境,¹⁶⁻¹⁸⁾ 産卵行動,^{19,20)} 仔魚の降下生態,²¹⁻³¹⁾ 河口付

近あるいは海における仔稚魚の生態,³²⁻⁴⁵⁾ 稚魚の遡上生態^{29,42,46,47)}に関する多くの知見がある。しかし、再生産に関するこれら個別の情報を統合するなどして、両側回遊型アユの遡上予測を試みた例は相模川²⁹⁾の他に見当たらない。資源の状態を予測することは資源管理上重要である。⁴⁸⁾ アユの種苗放流はおもに漁業協同組合（以下、漁協と略す）によって行われているが、遡上量を予測できれば、漁協は遡上量の多い年には放流量を少なくしたり、少ない年には放流量を多くするように放流計画を検討することができる。

本研究では、関東地方北部の那珂川の両側回遊型アユについて、仔稚魚の生活場所である海における冬の積算海水温ならびに栃木県における稚魚の遡上初認日・遡上稚魚の観察群数・秋における成魚の平均体重に関するデータを収集し、これら4要因の関係を解析することにより、栃木県におけるアユの遡上日と遡上群数の予測方法を検討したので報告する。

調査場所および方法

調査場所 那珂川とその河口付近において調査を行った (Fig. 1)。那珂川は栃木県北部の那須岳に源を発し、栃木県と茨城県を流下して太平洋に注ぐ、流程約 150 km、流域面積約 3,270 km² の河川である。全流程のうち、上流の約 100 km が栃木県を流れ、そのうち下流の約 80 km とそれに続く茨城県地先がアユの漁場としておもに利用されている。なお、栃木県の那珂川では、遊漁者へのアンケート調査とその解析により、^{49,50)} 1994～1999 年の間に毎年 26 万～45 万人の遊漁者が入漁し、150 万～570 万尾 (115～251 トン) のアユが友釣りで漁獲されたと推定されている。⁵¹⁾

調査方法

1. 遡上群の観察 1980～1999 年の 3 月 1 日～6 月 30 日に、河口から約 48 km と約 60 km 上流の栃木県の 2 カ所の定点 (Fig. 1 の A, B) において、おもに午前中の約 10 分間に観察された遡上群数を記録した。アユ稚魚は帯状あるいは塊状の群れで岸沿いに遡上する。群れによって個体数は異なるが、個体数を計数あるいは推定することは困難なため、本研究では個体数の多少に関係なく、群数を記録した。また、那珂川では例年 4 月以降にアユ稚魚の種苗放流が行われるが、放流直後の種苗は両側回遊型アユに比べて体色が薄く、動きも敏捷性に欠けるので、このような特徴を示した群れは放流種苗とみなして記録しなかった。2 定点ともに、栃木県内の那珂川流域の 4 漁協のひとつである茂木町漁協の組合員各 1 名 (可能な限り同一人物) に日誌を預け、調査を依頼した。

2. 海水温データの収集 那珂川を降下したアユ仔稚魚の生息場所の環境要因として、河口付近における海水

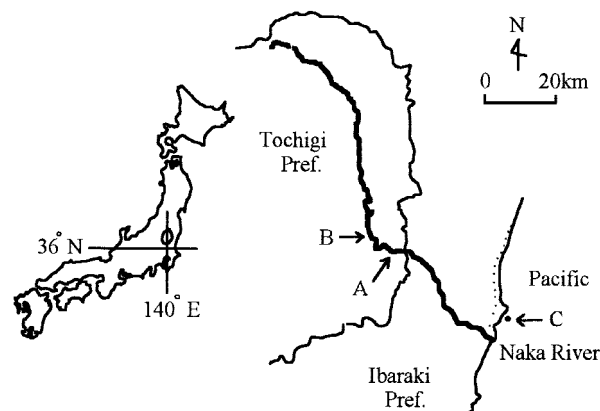


Fig. 1 Map of the study area. A and B indicate the locations where the observations of ascending juvenile ayu schools were conducted between 1980 and 1999. C indicates the location where the daily sea water temperature was measured from October 1 to March 31 between 1979 and 1999.

温のデータを収集した。海水温のデータとして、茨城県漁業無線局が公表している同県ひたちなか市沿岸の毎日午前 10 時の水深 1～2 m の水温を使用した。計測場所は那珂川河口の北方約 4.3 km であった (Fig. 1 の C)。那珂川では、仔魚の降下は例年 9 月中旬に始まり、⁵²⁻⁵⁹⁾ 稚魚の遡上は後述のように 3 月下旬以降に始まる。このことから、10 月 1 日～3 月 31 日を秋から冬にかけてのアユ仔稚魚のおもな海域生活期として、1979～1999 年の水温データを収集した。

3. 体重データの収集 1993～1999 年に、河川生活期終盤の 10 月下旬 (10 月 16～31 日) におけるアユの平均体重を求めた。1993～1997 年については、栃木県内の那珂川流域の 4 漁協 (那珂川北部、那珂川南部、那珂川中央、茂木町) に、おもに友釣りで採集を依頼し、漁獲物の体重を計測した。1998 年と 1999 年については、上記の 4 漁協の組合員各 1 名に日誌と秤 (はかり) を預け、友釣りによる漁獲物の体重の記録を依頼した。

4. 相関と回帰式の推定 10 月 1 日～3 月 31 日の間の積算海水温と遡上初認日 (3 月 1 日を起点とした遡上初認日までの経過日数) との関係、積算海水温と遡上観察群数との関係、遡上初認日と遡上観察群数との関係、遡上観察群数と 10 月下旬の平均体重との関係についてそれぞれ相関を求めた。

積算海水温と遡上初認日および遡上観察群数との関係については、10 月 1 日～3 月 31 日の 6 ヶ月間について、1～6 ヶ月の月刻みで積算海水温を求めてそれぞれの要因との間の相関を求め、相関が最も高く、なおかつ有意 (Bartlett の検定, $p < 0.05$) な期間を求めた。そして、月刻みで求めた有意な期間について、さらに日刻みで積

算海水温を求めて要因との相関を解析し, より早い時期に有意な相関が認められる最短期間を求めた。その期間について回帰式を求め, 回帰係数の有意性を分散分析によって検定した。

遡上初認日と遡上観察群数との関係および遡上観察群数と10月下旬の平均体重との関係については, 相関が有意であった場合にそれぞれ回帰式を求め, 回帰係数の有意性を検定した。

5. 予測の精度評価 解析の結果求められた回帰式に基づいて, 2000~2002年の遡上初認日と遡上観察群数の予測値を求め, 観測値と比較した。予測値を求めるため, 1999年10月1日~2002年3月31日の海水温と2000~2002年の遡上初認日のデータを, 1999年までと同様の方法で収集した。秋の平均体重については, データを収集しなかった。

結 果

海水温 海水温の平均値 $\pm$ 標準偏差は, 10月には $19.5\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ であったが, 3月にかけて徐々に降下し, 4月に $11.7\pm 2.1^{\circ}\text{C}$ に上昇した (Fig. 2)。水温が最も低下したのは2~3月 ($9.6\pm 1.4\sim 9.8\pm 1.9^{\circ}\text{C}$) であった。

遡上初認日 遡上初認日は, 最も早かった1999年に3月23日, 最も遅かった1984年に5月1日であった。17年間の初認日の平均は4月8 $\pm$ 12日であった。

遡上観察群数 2地点における遡上観察群数の合計は, 最も多かった1982年に77群, 最も少なかった1984年に2群であった。17年間の平均は 34.6 ± 23.7 群であった。

体重 10月下旬の平均体重は, 最も小さかった1996年に $31.9\pm 12.9\text{ g}$, 最も大きかった1998年に $88.0\pm 16.5\text{ g}$ であった。7年間の平均は $56.4\pm 19.6\text{ g}$ であった。

相関と回帰式

1. 海水温と遡上初認日との関係 10月1日~3月31日の間の月刻みの積算海水温と遡上初認日との間には, 有意な負の相関が散見され (Table 1), 10~3月の積算海水温が高い年ほど遡上が早く始まるという傾向が認められた。また, 有意な相関が認められた期間には, いずれも1~3月のいずれかの月が含まれており, 最も相関が高かったのは2~3月の積算海水温についてであった ($r = -0.821, p < 0.0001$)。

2~3月の積算海水温と遡上初認日との関係をみると (Fig. 3A), 直線的な相関の他に, 指数的な相関の可能性が考えられた。そこで, 単回帰分析と指数回帰分析をそれぞれ行ったところ, 決定係数は単回帰分析では0.674, 指数回帰分析では0.621であった。このことから, 積算海水温と遡上初認日との関係は直線的であると考えられた。

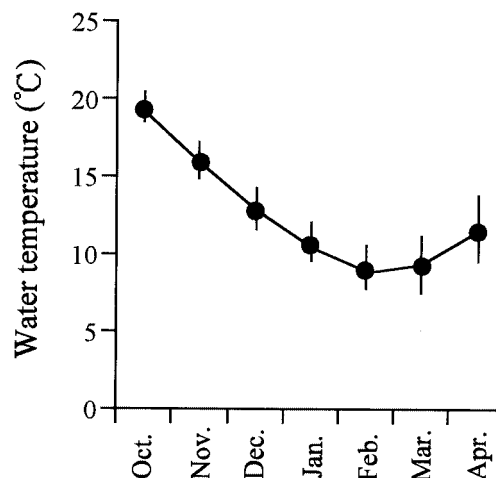


Fig. 2 Changes in the average sea water temperature near the estuary of the Naka River from October to March between 1980 and 1999. Vertical bars show the standard deviations.

Table 1 Correlation between the cumulative sea water temperature in winter near the estuary of the Naka River, and the duration*1 and the number of observed ascending schools of juvenile ayu in the Naka River

Period	Duration (days)		Number of schools	
	<i>r</i>	<i>p</i> *2	<i>r</i>	<i>p</i> *2
Oct.-Mar.	-0.696	0.0036	0.396	n.s.
Oct.-Feb.	-0.556	0.0377	0.307	n.s.
Oct.-Jan.	-0.428	n.s.*3	0.247	n.s.
Oct.-Dec.	-0.344	n.s.	0.232	n.s.
Oct.-Nov.	-0.234	n.s.	0.202	n.s.
Oct.	-0.105	n.s.	0.152	n.s.
Nov.-Mar.	-0.743	0.0011	0.412	n.s.
Nov.-Feb.	-0.627	0.0143	0.322	n.s.
Nov.-Jan.	-0.494	n.s.	0.258	n.s.
Nov.-Dec.	-0.401	n.s.	0.243	n.s.
Nov.	-0.303	n.s.	0.219	n.s.
Dec.-Mar.	-0.776	0.0004	0.417	n.s.
Dec.-Feb.	-0.674	0.0058	0.316	n.s.
Dec.-Jan.	-0.547	0.0489	0.249	n.s.
Dec.	-0.464	n.s.	0.251	n.s.
Jan.-Mar.	-0.775	0.0004	0.425	n.s.
Jan.-Feb.	-0.641	0.0112	0.297	n.s.
Jan.	-0.431	n.s.	0.174	n.s.
Feb.-Mar.	-0.821	<0.0001	0.474	n.s.
Feb.	-0.720	0.0020	0.363	n.s.
Mar.	-0.801	0.0002	0.500	0.0495

*1 Number of days from March 1 to the day of the first observation of an ascending school of juvenile ayu

*2 Bartlett's test

*3 Not significant ($p < 0.05$)

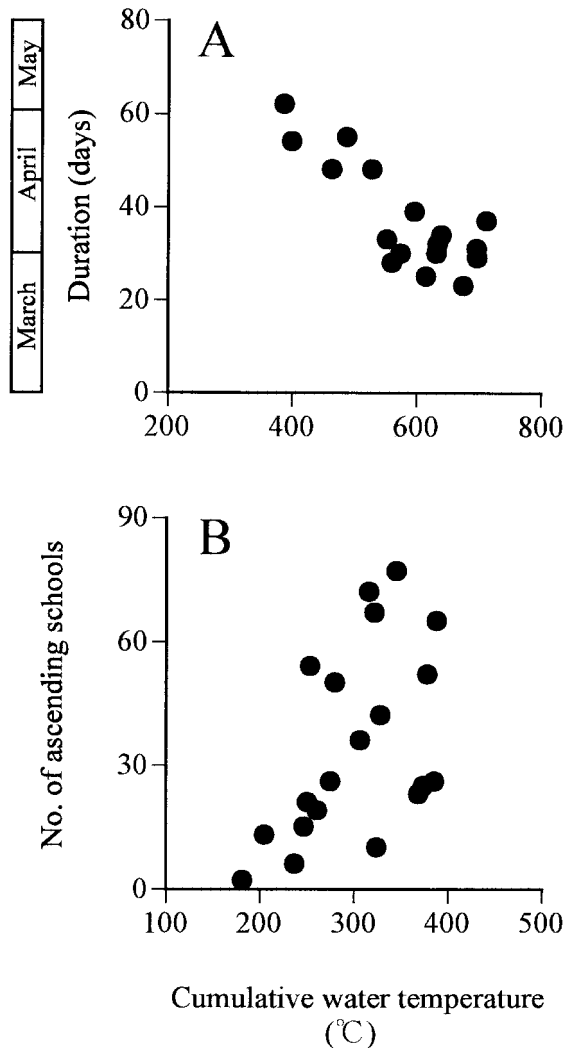


Fig. 3 Relationships between the cumulative sea water temperature from February 1 to March 31 and the duration (number of days from March 1 to the day of the first observation of an ascending juvenile ayu school) between 1982 and 1999 (A) and relationships between the cumulative sea water temperature from March 1 to 31 and the number of ascending juvenile ayu schools observed between 1980 and 1999 (B) in the Naka River.

積算海水温と遡上初認日との間で、月刻みで最も早い時期に有意な相関が認められたのは12～1月であり (Table 1), この期間について日刻みで相関を解析したところ、最も早くかつ短い有意な期間は12月14日～1月19日であった ($r = -0.548$, $p = 0.0480$)。この期間の積算海水温と遡上初認日について、次の回帰式が求められた (Fig. 4A)。

$$D = -0.186T_1 + 114.146 \quad (1)$$

(D : 遡上初認日, ただし3月1日からの経過日数;
 T_1 : 積算海水温)

決定係数は0.300であり, 回帰係数は有意であった (p

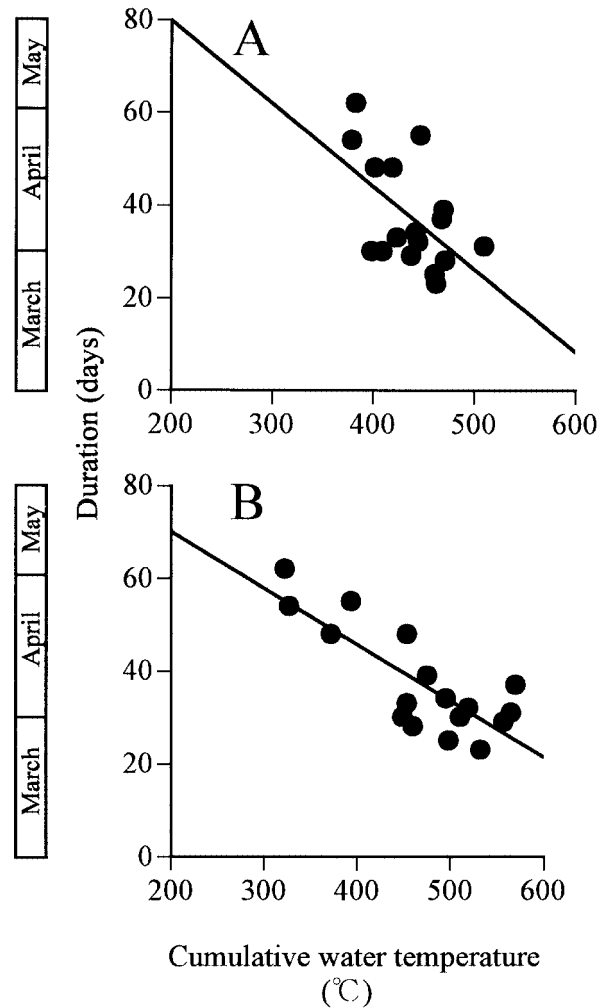


Fig. 4 Relationships between the cumulative sea water temperature from December 14 to January 19 and the duration (number of days from March 1 to the day of the first observation of an ascending juvenile ayu school) (A) and relationships between the cumulative sea water temperature from February 1 to March 20 and the duration (B) between 1982 and 1999 in the Naka River.

$= 0.0252$)。

(1)式の決定係数は0.300と低かった。前述のように, 遡上初認日の調査を行った17年間の中で最も早い初認日は3月23日であった。そこで, 3月20日以前には遡上はないものと仮定し, 月刻みの積算海水温と遡上初認日との相関が最も高かった2～3月の間の2月1日～3月20日の期間について, 回帰式を求めた (Fig. 4B)。

$$D = -0.122T_2 + 94.404 \quad (2)$$

(D : 遡上初認日, ただし3月1日からの経過日数;
 T_2 : 積算海水温)

決定係数は0.652であり, 回帰係数は有意であった ($p < 0.0001$)。

2. 海水温と遡上観察群数との関係 積算海水温と遡上観察群数との間には、3月について有意な正の相関が認められ ($r=0.500$, $p=0.0495$: Table 1), 3月の積算海水温が高い年ほど遡上観察群数が多いという傾向が認められた。3月の積算海水温と遡上観察群数との関係をみると (Fig. 3B), 直線的な相関の他に、指数的な相関の可能性が考えられた。そこで、単回帰分析と指数回帰分析をそれぞれ行ったところ、決定係数は単回帰分析では0.250, 指数回帰分析では0.449であり、積算海水温と遡上観察群数との関係は指数的であると考えられた。そこで、遡上観察群数を対数変換して、日刻みで積算海水温との相関を解析したところ、最速・最短の有意な期間は10月1日～12月4日であった ($r=0.449$, $p=0.0473$)。この期間の積算海水温と遡上観察群数について、次の指数回帰式が求められた (Fig. 5A)。

$$S = \exp(0.006T_3 - 3.963) \quad (3)$$

(S: 遡上観察群数; T_3 : 積算海水温)

決定係数は0.202であり、回帰係数は有意であった ($p=0.0473$)。

(3)式の決定係数は0.202と低かった。そこで、相関が最も高かった3月の積算海水温と遡上観察群数について回帰式を求めた (Fig. 5B)。

$$S = \exp(0.009T_4 + 0.154) \quad (4)$$

(S: 遡上観察群数; T_4 : 積算海水温)

決定係数は0.377であり、回帰係数は有意であった ($p=0.0040$)。

3. 遡上初認日と観察群数との関係 遡上初認日と遡上観察群数との間には、有意な負の相関が認められ ($r=-0.618$, $p=0.0167$: Fig. 6), 遡上初認日が早い年ほど遡上観察群数が多いという傾向が認められた。遡上初認日と遡上観察群数との関係についても、単回帰分析と指数回帰分析をそれぞれ行ったところ、決定係数は単回帰分析では0.382, 指数回帰分析では0.541であり、遡上初認日と遡上観察群数との関係は指数的であると考えられた。遡上初認日までの経過日数と遡上観察群数について、次の回帰式が求められ、回帰係数は有意であった ($p=0.0008$)。

$$S = \exp(-0.064D + 5.653) \quad (5)$$

(S: 遡上観察群数; D : 遡上初認日)

4. 遡上観察群数と体重との関係 遡上観察群数と10月下旬の平均体重との間には、有意な負の相関が認められ ($r=-0.912$, $p=0.020$: Fig. 7), 遡上観察群数が多い年ほど10月下旬の体重が小さいという傾向が認められた。遡上観察群数と体重との関係についても、単回帰分析と指数回帰分析をそれぞれ行ったところ、決定係数は単回帰分析では0.832, 指数回帰分析では0.856であり、遡上観察群数と体重との関係は指数的であると考えられた。遡上観察群数と10月下旬における平均体

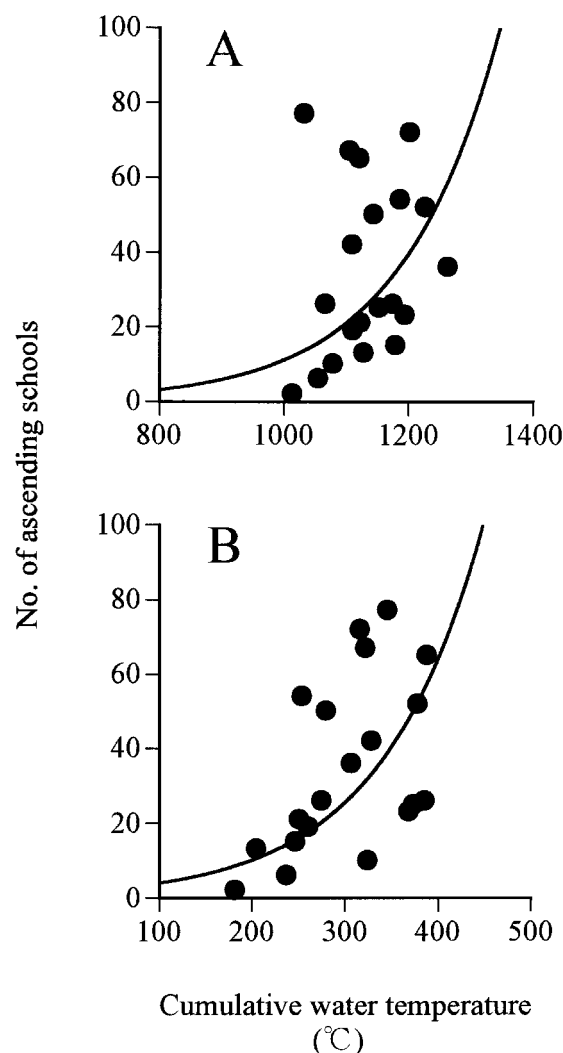


Fig. 5 Relationships between the cumulative sea water temperature from October 1 to December 4 and the number of observed ascending juvenile ayu schools from March 1 to June 30 (A) and relationships between the cumulative sea water temperature from March 1 to 30 and the number of ayu schools observed from March 1 to June 30 (B) between 1980 and 1999 in the Naka River.

重について、次の回帰式が求められ、回帰係数は有意であった ($p=0.0028$)。

$$W = \exp(-0.016S + 4.595) \quad (6)$$

(W: 10月16～31日の平均体重; S: 遡上観察群数)

5. 重回帰分析 3月の積算海水温および遡上初認日と遡上観察群数との間にそれぞれ有意な相関が認められたことから、積算海水温と遡上初認日を独立変数、遡上観察群数を従属変数として重回帰式を求めた。

$$S = -0.026T_5 - 1.433D + 98.382 \quad (7)$$

(S: 遡上観察群数; T_5 : 積算海水温; D : 遡上初認日までの経過日数)

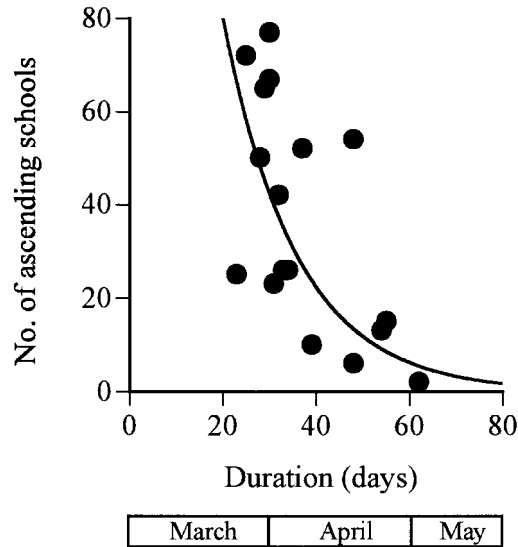


Fig. 6 Relationships between the duration (number of days from March 1 to the day of the first observation of an ascending juvenile ayu school) and the number of ayu schools observed from March 1 to June 30 between 1980 and 1999 in the Naka River.

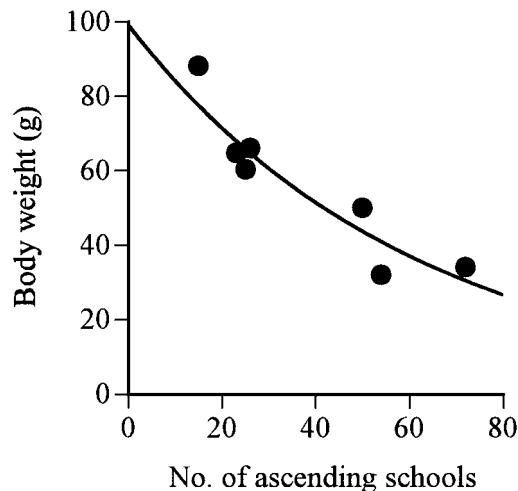


Fig. 7 Relationships between the number of ascending juvenile ayu schools observed from March 1 to June 30 and the average body weight of adult ayu from October 16 to 31 between 1993 and 1999 in the Naka River.

決定係数は 0.384 であり、回帰係数は有意であった ($p = 0.0338$)。

予測値と観測値の誤差 遡上初認日の予測について、(1) 及び (2) 式が求められたが、決定係数がより大きい (2) 式 (2 月 1 日～3 月 20 日の積算海水温との関係) によって予測値を求めたところ、予測値と観測値との誤差は 2000 年と 2001 年にそれぞれ 12 日、2002 年に 7 日であった (Table 2)。

遡上観察群数の予測については、(3)、(4)、(5) 及び (7) 式が求められたが、決定係数が最も大きい (5) 式 (遡上初認日との関係) によって予測値を求めたところ、観測値との誤差は 2000 年と 2001 年にそれぞれ 16 群、2002 年に 2 群であった (Table 2)。

考 察

海水温と遡上日との関係 栃木県的那珂川におけるアユ稚魚の平均遡上初認日 (4 月 8 日) は、京都府の大雲川⁶⁰⁾や神奈川県の相模川、²⁹⁾ 富山県の庄川や神通川⁶¹⁾ とほぼ同じであった。また、新潟県の信濃川大河津分水路⁶²⁾ に比べて約 1 ヶ月早く、和歌山県の日高川^{63,64)} や宮崎県の上瀬川⁶⁵⁾ に比べて半月ほど遅かった。海から河川へのアユの遡上は海水温と河川水温がほぼ同じになった時期に始まり、その水温は約 10℃ とされている。^{60,61)} 那珂川では、河口付近の平均海水温は 2～3 月に 10℃ を下回るが、4 月に 10℃ を越える。我々の研究では、那珂川の河川水温のデータはないが、アユの遡上は例年 4 月上旬に初認されることから、那珂川においても水温の上昇とともにアユは遡上を開始し、その際の海水温は他の研究例と同様におよそ 10℃ であると考えられる。

海水温と遡上観察群数との関係 那珂川では、3 月の積算海水温が高い年ほど遡上観察群数が多いという傾向が認められた。アユは冷水を好む魚類であるが、那珂川はアユの自然分布域の中では比較的北方に位置している。那珂川の河口付近では、2～3 月の平均水温は 10℃ を下回り、低水温の年にはさらに低下する。両側回遊型アユの稚魚を使用した実験では、水温 10℃ 以下の河川水に接すると、水温が低いほど、また低水温にさらされる時間が長いほど稚魚の死亡率は増大する。⁶⁶⁾ これらは

Table 2 Forecasted and actual values of the day first observation of a school and the number of observed schools of juvenile ayu in the Naka River

Year	The day of the first observation of a school			Number of schools		
	Actual	Forecasted	Disparity (days)	Actual	Forecasted	Disparity (no.)
2000	April 14	April 2	-12	32	16	-16
2001	April 11	March 30	-12	35	19	-16
2002	March 22	March 29	+7	68	70	+2

河川水に対する稚魚の反応であるが、海においても稚魚の生残は水温に強く影響され、低温時に生残が悪化すると考えられる。多くのアユの種苗生産施設において、加温するなどして仔稚魚期の水温をおよそ 15℃ 以上に保つようにしていることはこのことを支持する。海におけるアユ仔稚魚の生残については、10~11 月に海水温が 20℃ を越えるような高温であると、死亡率が増大する可能性が指摘されているが、⁶⁷⁾ この他にも 3 月の海水温が低い年には海における生残が悪く、その結果遡上量が減少し、反対に 3 月の海水温が高い年には生残が良好で遡上量が多くなるということが考えられる。

なお、那珂川では遡上初認日が早い年ほど遡上観察群数が多いという傾向が認められた。初認日と観察群数との間の直接的な関連は不明であるが、遡上が早ければ海における他の魚種の捕食等による減耗が少なく済むので、遡上数も多く、観察群数も多くなるということが考えられる。また、2~3 月の積算海水温が高い年ほど、遡上初認日が早いという傾向が認められたが、海水温が高い年には全般的に気温も高く、そのため河川水温も高いので、遡上が早く始まるのかもしれない。

秋の平均体重と遡上観察群数との関係 那珂川では、遡上観察群数が多い年ほど、秋における体重が小さいという傾向が認められた。アユは摂餌のために「なわばり」を作る。⁶⁸⁻⁷⁰⁾ 個体数が少なくて密度が低い場合には、多くの個体がなわばりを作ることができ、いずれの個体も成長は良好であるが、密度が高くなるにつれてなわばりを持たない個体が増加し、そのような個体は「群れアユ」となって成長は良くない。⁷⁰⁾ アユでは、海からの遡上数と河川における生息数との間に正の相関があり、河川に遡上してからの死亡率はそれほど高くない。⁷¹⁾ 那珂川では琵琶湖産アユや人工産アユの放流も行われているが、耳石の形態を指標とした系統の判別調査の結果、那珂川では両側回遊型アユの割合が高く、栃木県の中・下流部で漁獲されるアユの 90% 以上が両側回遊型であると推定されている。⁷²⁾ このことから、両側回遊型アユの遡上量が多い年には「群れアユ」が増加し、その結果成長が停滞すると考えられる。

遡上予測の利用 アユの場合、前述のように、海から河川への遡上後の生残はそれほど悪くないことから、遡上量が多ければ、河川における個体数は多いことになる。したがって、遡上量を予測できれば、漁協は遡上量の多い年には放流量を少なくし、遡上量の少ない年には放流量を多くするように放流計画を検討できる。しかし、那珂川のような大規模河川において、アユの遡上量を実測することはおそらく無理であろう。また、推定や予測も現時点では困難である。その一方で、本研究により (5) 式によって遡上観察群数がある程度予測できると考えられた。遡上観察群数が多い年ほど秋の平均体重が

小さいという密度依存的な成長の抑制現象が見られたことから、遡上観察群数は遡上量を比較的良好に反映していると考えられる。(5) 式の決定係数は 0.541 であり、予測は確実であるとは言い難い。そのため、今後さらに精度の高い予測方法を検討することは言うに及ばないが、現時点で最も予測精度の高いこの式によって得られた遡上観察群数の予測値を遡上量の指標のひとつとしてアユの資源管理に利用するというのも考えられる。以下に、遡上観察群数の予測に基づいた、那珂川におけるアユの種苗放流方法等について述べる。

1982~1999 年の 17 年間 (1983 年を除く) についてみると、遡上初認日は最も早い年に 3 月 23 日、最も遅い年に 5 月 1 日、平均 4 月 8 日であった。(5) 式では、遡上観察群数を遡上初認日から予測できることから、予測は早くて 3 月下旬以降に可能となる。栃木県の那珂川流域の漁協におけるアユの種苗放流計画策定の最終期限はおおよそ 4 月中旬である。したがって、遡上初認日が平年並みであれば、遡上観察群数の予測結果を漁協の種苗放流計画に反映させることができる。すなわち、遡上観察群数が多いと予測された年には放流量を少なくし、少ないと予想された年には多くする。放流量が少なければ、種苗の購入費は少なくて済み、その差額を秋におけるアユの産卵場の造成や他の魚種の増殖に充てることができる。また、放流量を多くする際には、他の魚種の増殖費用とのバランスも考慮しつつ、なるべく多くのアユ種苗を放流する。一方、那珂川水系では両側回遊型アユの遡上量は相対的に本流で多く、支流群で少ないと推定されている。⁷²⁾ このことから、遡上観察群数が多いと予測された年には、支流群に種苗放流を多く行う。那珂川本流では遡上観察群数が多い年ほど、秋における平均体重が小さいという傾向が認められたことから、遡上観察群数の多い年に本流に多量の種苗を放流しても、密度効果による成長停滞のため、大型のアユの漁獲を望めない。したがって、遡上観察群数が多いと予測された年には、支流群に種苗を多く放流することにより、本支流ともにアユの漁場として活用することができる。

本研究では、2 月 1 日~3 月 20 日の積算海水温から遡上初認日を予測できることが明らかになった (決定係数は 0.652)。遡上初認日については、アユの資源管理や漁場管理に直接反映させることはできないかもしれないが、漁業者への漁況予報や遊漁者への釣り情報として役立つ。また、遡上観察群数から秋の平均体重を予測できることが明らかになったが (決定係数は 0.856)、秋の平均体重は遡上初認日と同様に漁況予報や釣り情報として役立つ。さらに、遡上観察群数が多い年には漁期終盤の秋までアユの体サイズが小さく、そのような魚は市場価値も低いことから、観察群数が多いと予測された年には例えばテンカラ網⁷³⁾ のように小型のアユを多量に

漁獲する方法を許可して，“間引き”を行うという資源管理方法も考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、栃木県那珂川漁業協同組合連合会の4漁協（那珂川北部漁協、那珂川南部漁協、那珂川中央漁協、茂木町漁協）の皆様大変お世話になった。茂木町漁協の生井 実氏と矢野敏行氏には長年にわたり遡上群の観察を行っていただいた。論文をまとめるにあたり、富山県水産試験場田子泰彦博士と水産総合研究センター中央水産研究所内水面研究部阿部信一郎博士にご指導をいただいた。また、栃木県水産試験場ならびに栃木県農務部生産振興課水産担当の職員の皆様にご助言をいただいた。これらの方々に深く感謝する。

文 献

- 1) 塚本勝巳. アユ回遊のメカニズム「現代の魚類学」(上野輝弥, 沖山宗雄編) 朝倉書店, 東京. 1988; 100-133.
- 2) 井口恵一郎. アユ—両側回遊から陸封へ「川と海を回遊する淡水魚—生活史と進化—」(後藤 晃, 塚本勝巳, 前川光司編) 東海大学出版会, 東京. 1994; 128-140.
- 3) 水野信彦. 中流域（アユ漁場）での河川改修の問題点と改善策. 淡水魚 1980; 6: 1-7.
- 4) 中村俊六. 河川の人工化に伴う生態環境変化「河川生態環境工学」(玉井信行, 水野信彦, 中村俊六編) 東京大学出版会, 東京. 1993; 155-160.
- 5) 田子泰彦. 神通川と庄川におけるサクラマス親魚の遡上範囲の減少と遡上量の変化. 水産増殖 1999; 47: 115-118.
- 6) 田子泰彦. 神通川の中流域における最近の淵の消長. 水産増殖 2001; 49: 397-404.
- 7) Iida Y, Mizokami A. Outbreaks of coldwater disease in wild ayu and pale chub. *Fish Pathol.* 1996; 31: 157-164.
- 8) Izumi S, Wakabayashi H. Use of PCR to detect *Cytophaga psychrophila* from apparently healthy juvenile ayu and coho salmon eggs. *Fish Pathol.* 1997; 32: 169-173.
- 9) 全国内水面漁業協同組合連合会. 野鳥の食害いよいよ深刻化. 広報ないすいめん 1997; 9: 10-13.
- 10) 東 幹夫. コアユ—一代限りの侵入者「日本の淡水魚—侵略と攪乱の生態学」(川合禎次, 川那部浩哉, 水野信彦編) 東海大学出版会, 東京. 1980; 154-161.
- 11) 谷口順彦, 関 伸吾, 稲田善和. 両側回遊型, 陸封型および人工採苗アユ集団の遺伝変異保有量と集団間の分化について. 日本誌 1983; 49: 1655-1663.
- 12) 関 伸吾, 谷口順彦. アイソザイム遺伝標識による放流湖産アユの追跡. 日本誌 1988; 54: 745-749.
- 13) Azuma K, Kinoshita I, Fujita S, Takahashi I. GPI isozymes and birth dates of larval ayu, *Plecoglossus altivelis* in the surf zone. *Japan. J. Ichthyol.* 1989; 35: 493-496.
- 14) Seki S, Taniguchi N, Murakami N, Takamichi A, Takahashi I. Seasonal changes in the mixing rate of restocked ayu-juveniles assessment of native stock using an allozyme marker. *Fish. Sci.* 1994; 60: 31-35.
- 15) 白石芳一, 鈴木規夫. アユの産卵生態に関する研究. 淡水研報 1962; 12: 83-107.
- 16) 石田力三. アユの産卵生態—Ⅱ. 産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ. 日本誌 1961; 27: 1052-1057.
- 17) 石田力三. アユの産卵生態—Ⅲ. 産卵場の水深と産卵魚の体型. 日本誌 1962; 28: 399-404.
- 18) 石田力三. アユの産卵生態—Ⅳ. 産卵水域と産卵場の地形. 日本誌 1964; 30: 478-485.
- 19) 石田力三. アユの産卵生態—Ⅰ. 産卵群の構造と産卵行動. 日本誌 1959; 25: 259-268.
- 20) 宮地伝三郎. アユの生活史—川と海を往来する—「アユの話」岩波新書, 東京. 1960; 77-140.
- 21) Komada N. The number of segments and body length of *Plecoglossus altivelis* fry in the Nagara River. *Copeia* 1977; 3: 573-574.
- 22) 小山長雄. 仔アユの章—川をくだるアユ—「アユの生態」中公新書, 東京. 1978; 3-38.
- 23) 兵藤則行, 関 泰夫, 小山茂生, 片岡哲夫, 星野正邦. 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. 新潟内水試研報 1984; 11: 41-50.
- 24) 兵藤則行, 関 泰夫. 海産稚仔アユに関する研究—Ⅱ. 流下仔アユの生残に及ぼす絶食の影響(1). 新潟内水試研報 1985; 12: 15-22.
- 25) 森 直也, 関 泰夫, 星野正邦, 佐藤雅彦, 鈴木惇悦, 塚本勝巳. 信濃川水系を流下する仔アユの日令とさいのう堆積. 新潟内水試研報 1989; 15: 1-7.
- 26) 塚本勝巳. 長良川・木曽川・利根川を流下する仔アユの日齢. 日本誌 1991; 57: 2013-2022.
- 27) 田子泰彦. 庄川におけるアユ仔魚の降下生態. 水産増殖 1999; 47: 201-207.
- 28) 田子泰彦. 庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定. 水産増殖 1999; 47: 215-220.
- 29) 相澤 康, 安藤 隆, 勝呂尚之, 中田尚宏. 相模川におけるアユ, *Plecoglossus altivelis* の遡上生態について. 水産増殖 1999; 47: 355-361.
- 30) 田子泰彦. 庄川におけるアユ降下仔魚量の推定. 日本誌 1999; 65: 718-727.
- 31) 東 健作, 平賀洋之, 木下 泉. 降下仔アユの海域への分散に及ぼす降水量の影響. 日本誌 2003; 69: 352-358.
- 32) 堀木信男. 和歌山県沿岸域における稚アユの生態. 水産増殖 1988; 35: 229-235.
- 33) 浜田理香, 木下 泉. 土佐湾の碎波帯に出現するアユ仔稚魚の食性. 魚類学雑誌 1988; 35: 382-388.
- 34) 塚本勝巳, 望月賢二, 大竹二雄, 山崎幸夫. 河口水域におけるアユ仔魚の分布・回遊・成長. 水産土木 1989; 25: 47-57.
- 35) 高橋勇夫, 木下 泉, 東 健作, 藤田真二, 田中 亮. 四万十川河口域に出現するアユ仔魚. 日本誌 1990; 56: 871-878.
- 36) Saruwatari T. Temporal utilization of a brackish water lake, Lake Hinuma, as a nursery ground by amphidromous ayu *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) larvae. *Env. Biol. Fish.* 1995; 43: 371-380.
- 37) Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I. Spatial distribution of larval ayu *Plecoglossus altivelis* in the Shimanto estuary, Japan. *Fish. Sci.* 1998; 64: 522-525.
- 38) Takahashi I, Azuma K, Hiraga H, Fujita S. Different mortality in larval stage of ayu *Plecoglossus altivelis* by birth dates in the Shimanto estuary and adjacent coastal waters. *Fish. Sci.* 1999; 65: 206-210.
- 39) Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Hiraga H. Differences in larval and juvenile development among monthly cohorts of ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, in the Shimanto River. *Ichthyol. Res.* 2000; 47: 385-391.
- 40) 田子泰彦. 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. 日本誌 2002; 68: 61-71.
- 41) 田子泰彦. 富山湾の砂浜域砕波帯周辺におけるアユ仔魚の出現, 体長分布と生息場所の変化. 日本誌 2002; 68:

- 144-150.
- 42) 田子泰彦. 富山湾の湾奥部で成育したアユ稚魚の河川への回遊遡上. 日水誌 2002; **68**: 554-563.
 - 43) Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I. Habitat shift of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in early stages from waters adjacent to the bank to the center of flow in the Shimanto estuary. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 554-559.
 - 44) 東 健作, 平賀洋之, 堀木信男, 谷口順彦. 和歌山県中部の砕波帯におけるアユ仔魚の分布. 水産増殖 2002; **50**: 9-15.
 - 45) Takahashi I, Azuma K, Fujita S, Kinoshita I, Hiraga H. Annual changes in the hatching period of the dominant cohort of larval and juvenile ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Shimanto estuary and adjacent coastal waters during 1986-2001. *Fish. Sci.* 2003; **69**: 438-444.
 - 46) 楠田理一. 海産稚アユの遡上生態—I. 大雲川における遡上群の日週変化. 日水誌 1963; **29**: 817-821.
 - 47) 小山長雄. 稚アユの章一川をのぼるアユ—「アユの生態」中公新書, 東京. 1978; 77-168.
 - 48) 田中昌一. 資源管理「水産資源学総論」恒星社厚生閣, 東京. 1985; 342-370.
 - 49) 北田修一. 水産学におけるサンプリング理論の応用. 計量生物学 1999; **20**: 1-29.
 - 50) Kitada S, Tezuka K. Longitudinal logbook survey designs for estimating recreational fishery catch, with application to ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Fish. Bull.* 2002; **100**: 228-243.
 - 51) 中村智幸. 那珂川におけるアユ資源の現況と資源予測「アユの増殖研究 (アユ増殖研究部会平成9~平成11年度のとりまとめ)」全国湖沼河川養殖研究会アユ増殖研究部会, 米沢. 2001: 62-68.
 - 52) 沢田守伸, 石島久男, 大森勝夫. 那珂川アユ資源調査—流下状況調査—. 栃木水試研報 1994; **38**: 75-78.
 - 53) 沢田守伸, 石島久男, 大森勝夫. 那珂川アユ資源調査—アユ流下量調査—. 栃木水試研報 1996; **39**: 73-74.
 - 54) 糟谷浩一, 石島久男, 大森勝夫. 那珂川アユ資源調査—仔魚流下量の調査—. 栃木水試研報 1997; **40**: 68-69.
 - 55) 糟谷浩一, 手塚 清. 那珂川アユ資源調査—仔魚流下量の調査—. 栃木水試研報 1998; **41**: 77-78.
 - 56) 中村智幸, 手塚 清, 大友時夫. 那珂川アユ資源調査—仔魚の流下量推定—. 栃木水試研報 1999; **42**: 84.
 - 57) 中村智幸, 鈴木正臣. 那珂川アユ資源調査—仔魚の流下量推定—. 栃木水試研報 2000; **43**: 101.
 - 58) 中村智幸, 鈴木正臣. 那珂川アユ資源調査—仔魚の流下量推定—. 栃木水試研報 2001; **44**: 107-108.
 - 59) 尾田紀夫, 鈴木正臣. 那珂川アユ資源調査—仔魚の流下量推定—. 栃木水試研報 2002; **45**: 132-133.
 - 60) 楠田理一. 海産稚アユの遡上生態—II. 大雲川における遡上群の季節的变化. 日水誌 1963; **29**: 822-827.
 - 61) 田子泰彦. 富山湾産アユの生態, 増殖および資源管理に関する研究. 富山水試研究論文 2002; **1**: 1-151.
 - 62) 兵藤則行, 小山茂生. 海産稚仔アユに関する研究—III. 遡上稚アユの日令とそのふ化日について. 新潟内水試研報 1986; **13**: 1-7.
 - 63) 中西 一, 藤井久之. 日高川におけるアユ遡上量. 平成2年度和歌山県内水面漁業センター事業報告 1992; **16**: 33-36.
 - 64) 中西 一, 藤井久之. 日高川における稚アユ遡上状況. 平成3年度和歌山県内水面漁業センター事業報告 1993; **17**: 47-51.
 - 65) 平野克己, 岩槻幸雄, 三村文孝, 八木征雄, 尾田成幸. 岩熊井堰中央魚道におけるアユ遡上について. 水産増殖 1996; **44**: 1-6.
 - 66) 小泉清明, 松浦庚一. 稚アユの低水温に対する抵抗力「木曾三川河口資源調査報告1」木曾三川河口資源調査団, 上田. 1964; 103-106.
 - 67) Takahashi I, Azuma K, Hiraga H, Fujita S. Different mortality in larval stage of ayu *Plecoglossus altivelis* by birth dates in the Shimanto estuary and adjacent coastal. *Fish. Sci.* 1999; **65**: 206-210.
 - 68) 水野信彦, 川那部浩哉. なわばりの密集した地域におけるアユの行動. 日生態誌 1957; **7**: 26-30.
 - 69) 宮地伝三郎. “なわばり”の社会—アユの友釣り—「アユの話」岩波新書, 東京. 1960; 27-58.
 - 70) Iguchi K, Hino T. Effect of competitor abundance on feeding territoriality in a grazing fish, the ayu *Plecoglossus altivelis*. *Ecol. Res.* 1996; **11**: 165-173.
 - 71) 川那部浩哉. アユの社会構造と生産Ⅱ—15年間の変化をみて—. 日生態誌 1970; **20**: 144-151.
 - 72) 沢田守伸, 石島久男, 大森勝夫. 那珂川アユ資源調査—アユ遡上量の推定—. 栃木水試研報 1996; **39**: 67-69.
 - 73) 田子泰彦. 庄川で友釣りとテンカラ網で漁獲されたアユのCPUEと大きさ. 水産増殖 2001; **49**: 285-292.