

琵琶湖におけるアユ仔稚魚期の成長と 動物プランクトン量との関係

久米弘人・森田尚・寺井章人*・酒井明久

Relationship between growth of larval and juvenile ayu *Plecoglossus altivelis altivelis*
and the zooplankton density in Lake Biwa

Hiroto Kume・Takashi Morita・Akito Terai*・Akihisa Sakai

キーワード：アユ、成長、耳石解析、動物プランクトン

琵琶湖におけるアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は、琵琶湖漁業にとって最も漁獲量の多い魚種である。アユ漁は、12月から8月にかけて「エリ」(小型定置網の琵琶湖での呼び名)、やな、刺網、追いさで網、沖すくい網など、アユの生態や時期に応じて多種多様な漁法で漁獲されている。漁期当初の12月は「エリ」により、「ヒウオ」と呼ばれるアユの仔稚魚が活魚として、養殖用や河川放流用の種苗を生産する養殖業者からの注文量を充足するまで漁獲される。その活魚は需要が大きく、単価も高いことから、その漁獲状況は漁家経営に大きな影響を与える。

琵琶湖産アユの産卵は主に9月から10月に琵琶湖流入河川で行われ、12月のエリで漁獲されるアユは9月にふ化したものが主体であることがわかっており、¹⁾²⁾ 井出³⁾ は9月中の流下仔魚数と12月のエリ1統あたりの漁獲量との間に正の相関関係があることを報告している。また、滋賀県漁業調整規則では、12月から2月までの小型定置網の網目は0.8 cm以上に決められており、おおむね体長30 mm未満のアユは漁獲されない。そのため12月のエリ漁における漁獲量の多寡は、9月生まれの生息密度だけでなく、漁期までの成長の程度も重要な要素である。実際に、仔稚魚期の成長速度が高い年あるいは成長速度が高い地域において、漁獲量が多くなることが示唆されている。²⁾⁴⁾⁵⁾

酒井ら²⁾ はアユの仔稚魚期の成長速度の変動は、水温や動物プランクトン密度の変動と同調していること、ふ化後12~20日の後期仔魚期の成長速度と動物プランクトン密度の間に正の相関があることを明らかにし

たが、ふ化から漁獲までの成長速度と動物プランクトン量との関係は明らかになっていない。

本研究では、漁期前にアユの成長過程を予測することを目的に、2012年から2019年(2015年を除く)の12月におけるエリ漁獲アユの耳石解析からふ化時期別に各年の成長速度を算出し、月ごとの平均成長速度の変動を比較するとともに、動物プランクトン量との関係を調べた。

材料と方法

供試魚および耳石解析

供試魚は2012年から2019年(標本未収集の2015年を除く)の12月上旬に琵琶湖の北中部のエリ(図1)で漁獲されたアユを用い、漁獲後冷凍保存した。耳石解析に供したアユは解凍後、地点ごとに30~60個体を無作為に抽出し、ノギスで標準体長(以下、体長:SL)を測定後、実体顕微鏡下で耳石(扁平石)を摘出し、標本用封入剤(マルチマウント480 松浪硝子工業株式会社製)で封入し、耳石標本とした。

アユの耳石には1日1本の輪紋が形成されることがわかっており、耳石日輪計測システム(ラトックシステムエンジニアリング株式会社)を用いて、耳石核から体軸後方の最大半径上に計測線を引き、倍率200倍で輪紋数および輪紋間隔を計数した。ふ化日の推定には、Tsukamoto and Kajihara⁶⁾の方法に従い、耳石核から14 μm付近に見える最も明瞭な輪紋をふ化時とし、ふ化日を推定した。これにより得られた輪紋数と輪紋

* 現所属：滋賀県農政水産部水産課

間隔から Biological intercept 法⁷⁾により体長を逆算推定した。アユの耳石径-体長の関係式は、アロメトリー式⁸⁾⁹⁾や一次式¹⁰⁾の報告があるが、本研究では、酒井¹¹⁾の耳石径（以下、OR）が 400 μm 未満の個体はアロメトリー式で、400 μm 以上の個体はアロメトリー式と 1 次式の複合式で算出した。

$$SL = a \times OR^b \quad (400 \mu\text{m} > OR)$$

$$SL = a \times OR^b, \quad SL = c \times OR + d \quad (400 \mu\text{m} \leq OR)$$

パラメータ (a-d) の推定は、MS-Excel（マイクロソフト社）のソルバー機能を利用し、最小二乗法により行った。複合式には OR が 400 μm 時の体長の値が等しくなるように制約条件を付して算出した。なお、ふ化時の体長および耳石径は 5 mm と 14 μm とした。⁶⁾ 日ごとに算出した逆算体長との差から 1 日あたりの成長量 (mm/日（以下、成長速度）) を算出し、ふ化日別に 9 月上旬（1～10 日）、中旬（11～20 日）、下旬（21～30 日）に区分し、旬別に月ごとの平均成長速度を算出した。

動物プランクトン量

動物プランクトン量は、滋賀県水産試験場が毎月 1 回、彦根沖から安曇川沖にかけての 5 定点（図 1: St.1～5）で行っている琵琶湖定点定期観測の動物プランクトン計数結果のデータを用いた。^{12)～18)} 河川でふ化後流下した仔魚は河口域から琵琶湖沖合に分布していくとともに、¹⁹⁾ その生息水深は表水層から水温躍層までのおおむね水深 21 m 以浅（水深 7～14 m が中心）であることがわかっているので、²⁰⁾ 各年 9 月から 11 月の水深 0～10 m 層（St.1～5）と 10～20 m 層（St.2～4）の動物プランクトンの合計数（個体数/8 L）を指標とした。なお、動物プランクトンは、アユ仔稚魚期の餌料として利用されることが知られているカイアシ類のノープリウス幼生の合計数（以下：ノープリウス量）、コペポディド期以降のカイアシ類（*Copepodid*, *Cyclops vicinus*, *Eodiaptomus japonicus*, *Mesocyclops leuckarti*）の合計数（以下、ケンミジンコ量）、枝角類の *Daphnia* 属、*Diaphanosoma* 属の合計数（以下、ミジンコ量）¹⁹⁾²¹⁾ の 3 つに分類し、成長速度との比較を行った。

統計解析

旬別の年間での月ごとの平均成長速度は、Kruskal-Wallis 検定により差があることを確認したのち、Steel-Dwass 法により多重比較を行った。また、平均成長速度と動物プランクトン量の関係は、ピアソンの相関係数の検定を行った。なお、これら統計解析には、4step エクセル統計の Statcel4 を使用した。

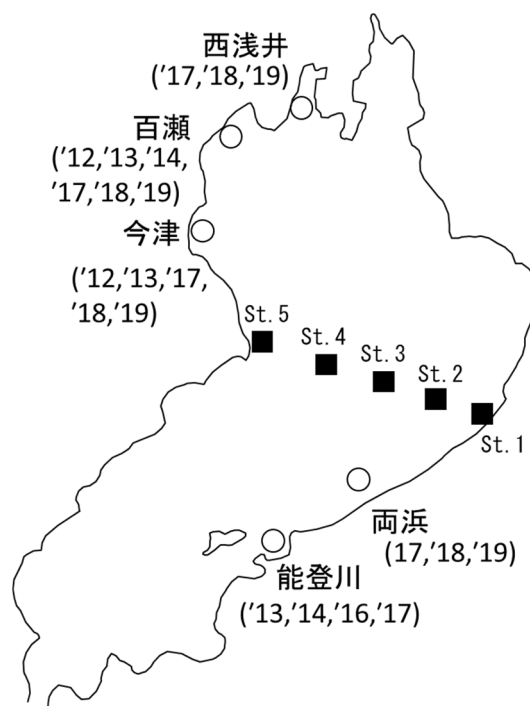


図 1. 供試魚採集エリ地点および琵琶湖定点定期観測調査地点

○: エリ ■: 琵琶湖定点定期観測
() 内の数字は供試魚採集年

結 果

各年のふ化日組成を図 2 で示す。各年のふ化日は、2012 年が 9 月 10 日～10 月 8 日、2013 年が 9 月 2 日～9 月 27 日、2014 年が 9 月 4 日～10 月 1 日、2016 年が 9 月 10 日～9 月 29 日、2017 年が 9 月 11 日～10 月 6 日、2018 年が 9 月 2 日～9 月 29 日、2019 年が 9 月 11 日～9 月 30 日となり、すべての年ではほぼ 9 月生まれであった。

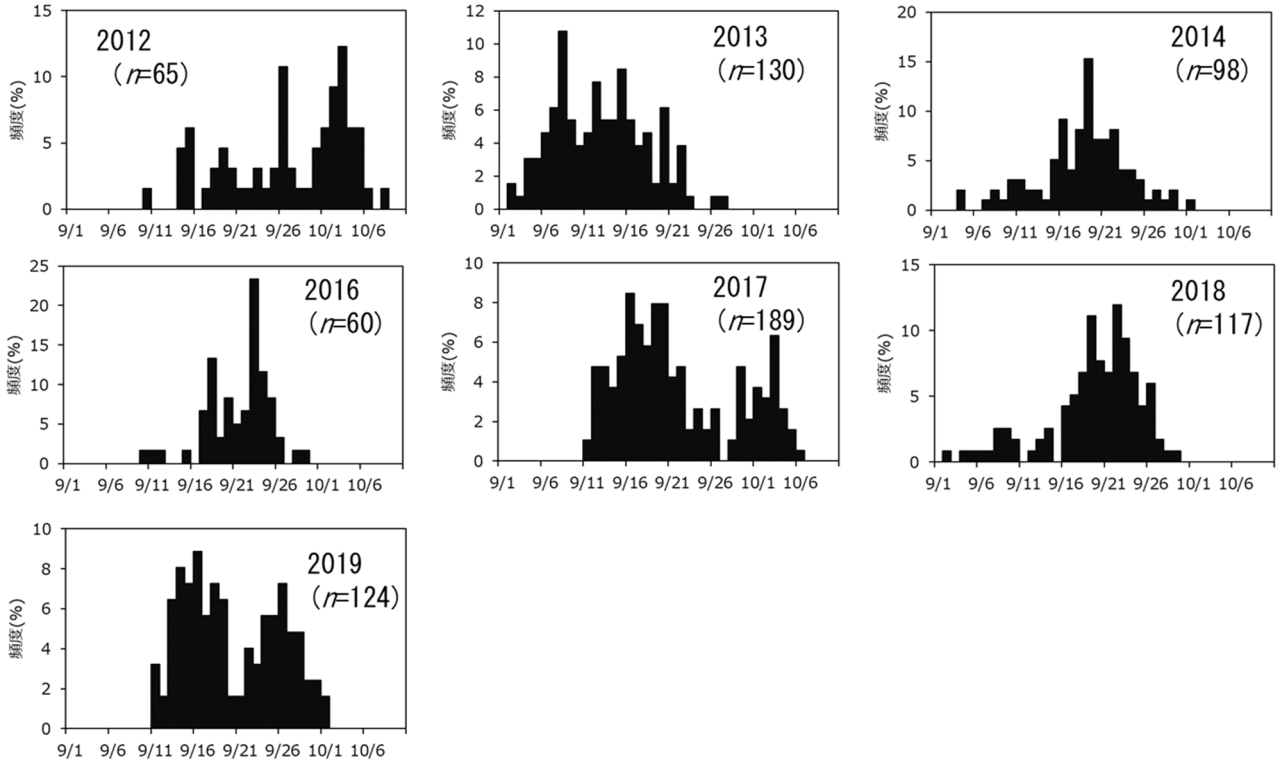


図2. 12月にエリで漁獲されたアユ仔稚魚のふ化日組成各年のふ化日組成

表1. ふ化時期別の各月の成長速度

ふ化時期		成長速度 (mm/日)							最大-最小
		2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	
9月中旬	(n)	15	69	56	22	107	47	70	
	9月	0.613±0.048	0.506±0.028	0.528±0.047	0.510±0.051	0.543±0.021	0.506±0.038	0.512±0.023	0.107
	10月	0.641±0.040	0.449±0.029	0.427±0.038	0.406±0.025	0.519±0.050	0.426±0.036	0.521±0.039	0.235
	11月	0.502±0.032	0.346±0.017	0.362±0.028	0.317±0.041	0.369±0.035	0.322±0.020	0.424±0.057	0.185
9月下旬	(n)	21	10	32	37	48	57	52	
	9月	0.620±0.057	0.468±0.042	0.525±0.017	0.516±0.033	0.534±0.020	0.475±0.018	0.541±0.028	0.152
	10月	0.588±0.039	0.444±0.044	0.432±0.056	0.418±0.034	0.520±0.041	0.415±0.044	0.524±0.032	0.173
	11月	0.454±0.033	0.305±0.035	0.354±0.037	0.330±0.044	0.357±0.045	0.335±0.021	0.402±0.057	0.149

(平均±標準偏差)

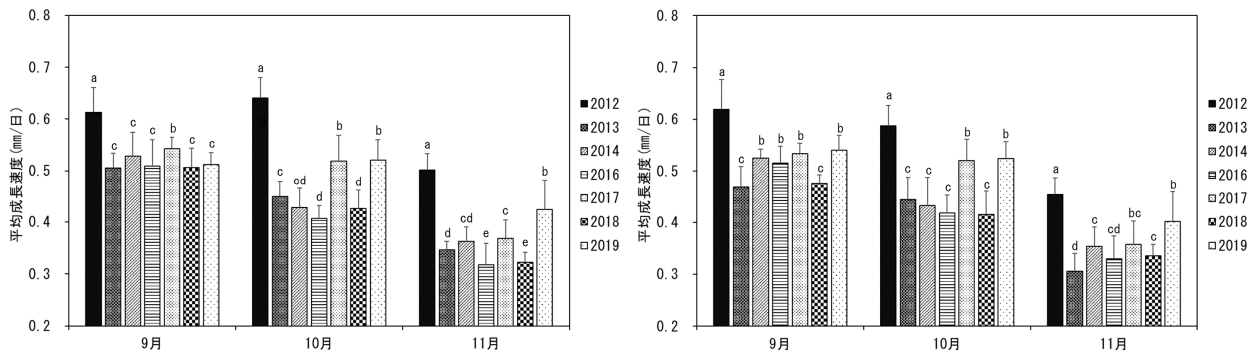


図3. 各月の平均成長速度比較(左: 9月中旬生まれ、右: 9月下旬生まれ).

図中の異なる符号は、月間平均成長速度に年間で差があることを示す(Steel-Dwass test, $p < 0.05$)

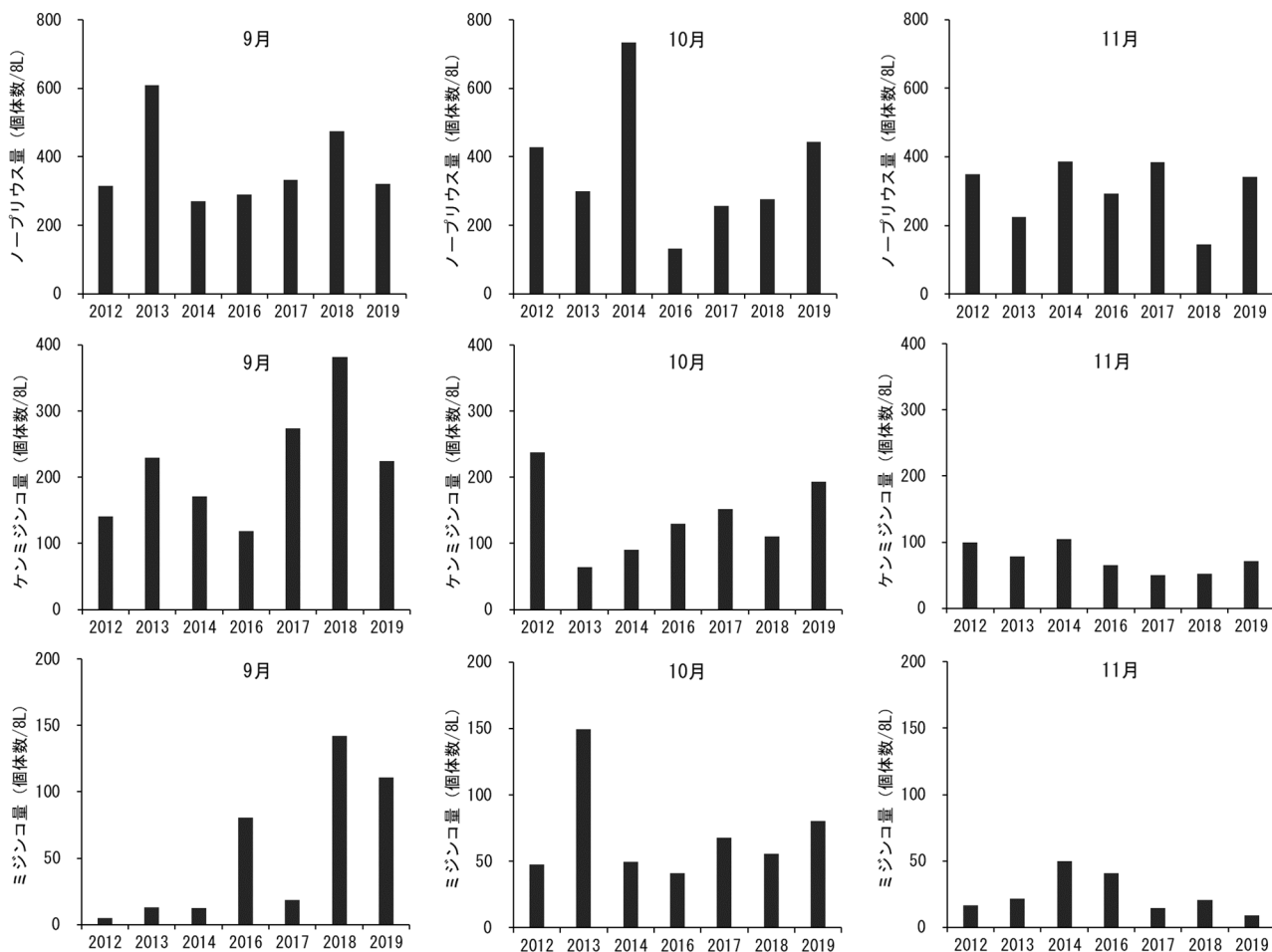


図4. 各月の動物プランクトン量（上：ノープリウス、中：ケンミジンコ、下：ミジンコ）

すべての年で10個体以上の標本がある、9月中旬生まれと9月下旬生まれについて、各年の月ごとの平均成長速度を表1に、平均成長速度の比較結果を図3に示す。9月中旬生まれ、9月下旬生まれのアユに共通して、各月の平均成長速度には年間で有意な差が認められ、2012年のそれが3か月とも7年間で最も高かった（図3）。また、月間平均成長速度の年変動は、10月において最も大きかった（表1）。年ごとに月間成長速度の経月変化をみると、一部を除き（9月中旬生まれの2012年と2019年）、9月から11月にかけて低くなった（表1、図3）。

各年の月ごとの動物プランクトン量を図4に示す。ノープリウス量、ケンミジンコ量、ミジンコ量を月ごとに比較したところ、どの年においてもノープリウス量がすべての月で最も多かった。次に多かったのは、ケンミジンコ量で、ミジンコ量は3つの分類の中で最も少なかった（2013年10月期を除く）。また、年ごとに動物プランクトン量の経月変化をみると、どの分類

の動物プランクトン量も大きく増減しており、すべての年で共通した傾向は把握できなかったが、ケンミジンコ量やミジンコ量は10月から11月にかけて減少する傾向にあった（2013年、2014年のケンミジンコ量および2014年のミジンコ量除く）。

月ごとの平均成長速度と動物プランクトン量の関係を、9月中旬生まれは図5に、9月下旬生まれは図6に示す。9月中旬生まれ、9月下旬生まれとも10月のケンミジンコ量と10月の平均成長速度の間に有意な正の相関がみられた。（9月中旬生まれ： $r=0.860, p=0.013$ 、9月下旬生まれ： $r=0.871, p=0.011$ ）。しかし、ノープリウス量やミジンコ量とはどの月においても有意な相関はみられなかった。

考 察

本研究結果から琵琶湖のアユ仔稚魚期における年による成長の変動は、10月期が最も大きく、その要因は、

琵琶湖におけるアユ仔稚魚期の成長と動物プランクトン量との関係

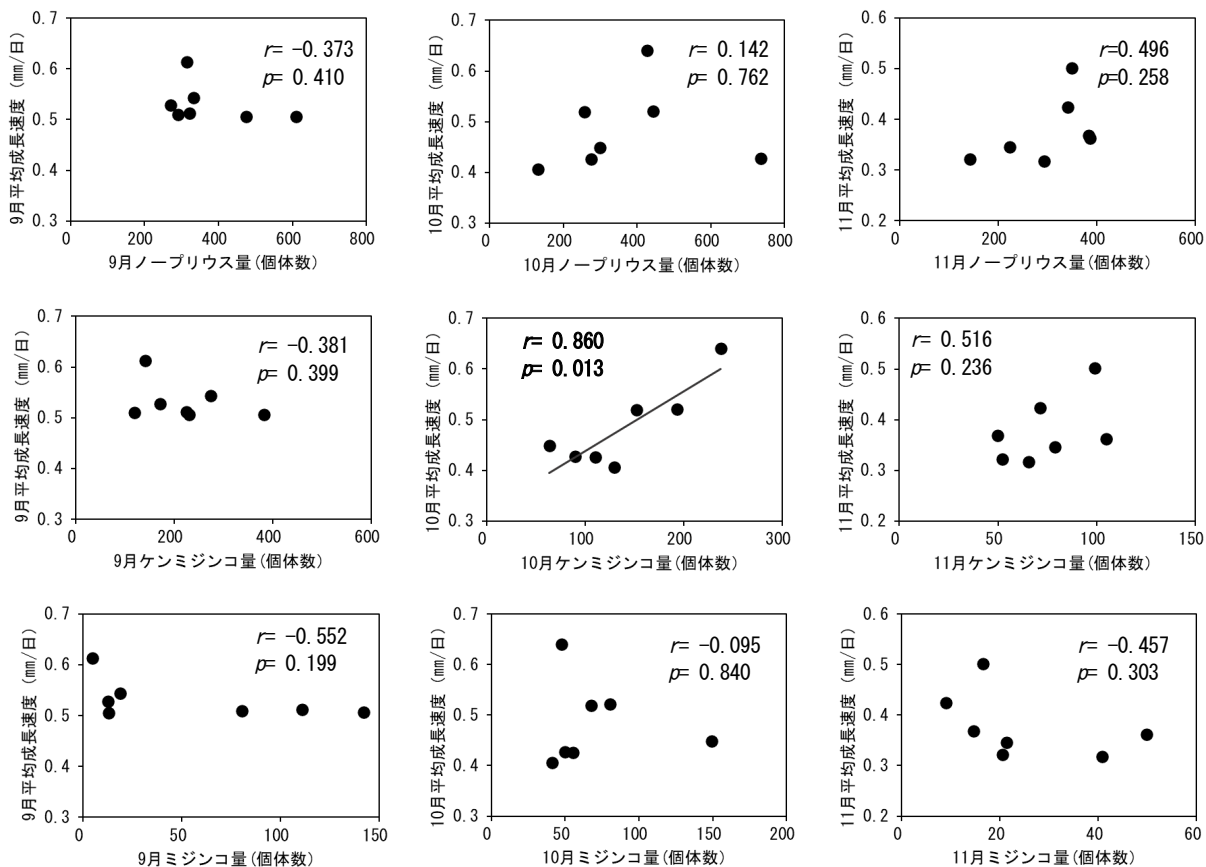


図5. 9月中旬生まれのアユ仔稚魚の平均成長速度と動物プランクトン量との関係

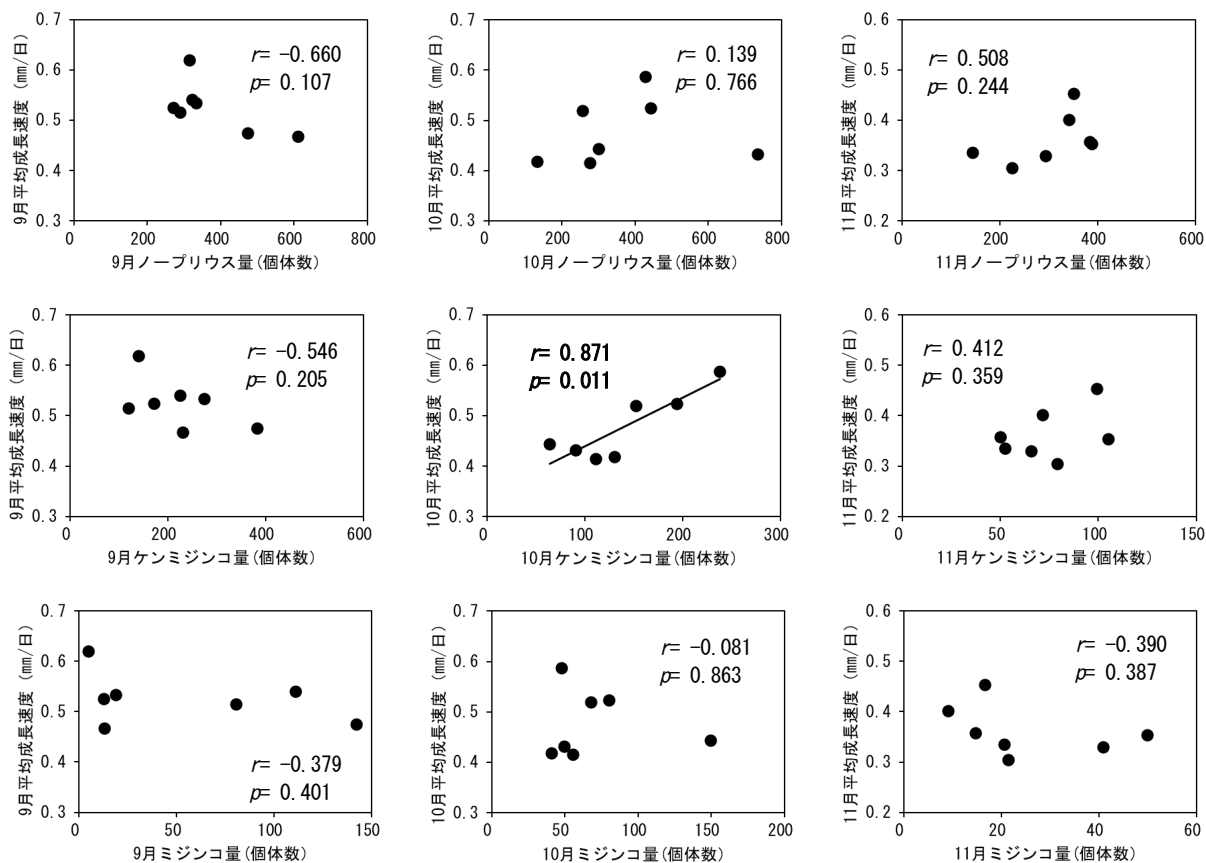


図6. 9月下旬生まれのアユ仔稚魚の平均成長速度と動物プランクトン量との関係

動物プランクトンのカイアシ類のコペポデイド期および成体の量が大きく関係していることが明らかになった。

海域のアユ仔魚は、主にカイアシ類を摂餌し、その主体は発育に伴いノープリウス期幼生から、コペポデイド期以降の幼生や成体を摂餌するようになる。²²⁾ 和歌山県沿岸の海域では、11月のノープリウス期幼生、12月のコペポデイド期以降のカイアシ類の密度の変動が、それぞれのアユの成長に大きく影響することが明らかにされている。²³⁾ 琵琶湖においても、全長10mmから30mmまでのアユ仔稚魚の食性はカイアシ類のノープリウス幼生やコペポデイド期および成体が多く摂餌されており、²¹⁾ その大きさは9月生まれの個体にとって10月の時期にあたる。このことから10月の成長速度とケンミジンコ量との間に強い相関がみられたものと考えられる。酒井ら²⁾はふ化後12~20日の後期仔魚期のアユの成長速度が、ケンミジンコと枝角類のミジンコをあわせた密度と正の相関関係にあることを報告しているが、本研究では9月中旬生まれと9月下旬生まれのアユについて、10月のケンミジンコ量のみでも10月の成長速度と有意な正の相関がみられた。

一方、全長15mm未満のアユ仔魚の餌生物にはノープリウス期幼生の占める割合が高く、²¹⁾ 酒井ら²⁾も9月中旬から10月下旬生まれの後期仔魚期のアユの成長とノープリウス期幼生の密度との間に正の相関があったことを報告している。本研究では、ノープリウス期幼生の密度と全長15mmまでの大きさと思われる9月期の成長については、有意ではないものの9月中旬生まれ、9月下旬生まれとも負の相関関係になった(9月中旬生まれ: $r=-0.37, p=0.41$ 、9月下旬生まれ: $r=-0.66, p=0.11$)。この要因については今後もデータを蓄積して関係性を判断する必要がある。

11月の成長速度にはどの動物プランクトン量との間にも相関はみられなかった。9月にふ化したアユの仔稚魚は11月になると水深5m前後の沿岸域で採捕されており、²⁴⁾ 9月生まれのアユは、11月には沿岸域に生息していると思われる。このことから、琵琶湖定点定期観測における動物プランクトンの採集場所と11月のアユの生息場所が異なっていることが11月の成長速度と動物プランクトン量との関係は見いだせなかったことに関係しているのかもしれない。

また、11月なるとすべての年で成長速度が低下した。このことは、酒井ら²⁾が報告しているとおおり、水温低

下の影響が大きいと思われる。本研究で対象とした2012年から2019年の各年10月の水深5mの平均水温は、19.2~23.6°Cであったが、11月の同水温は、14.7~17.8°Cであった。^{12)~18)} 坂野ら²⁵⁾が15°C、20°C、25°Cの水温で行った飼育試験では15°C区のアユの成長は他の2区(20°C、25°C)に比べて有意に低かったことが報告されており、2012年から2019年においても水温の低下によって11月の成長速度が低下したと考えられる。

本研究では、動物プランクトン量の観測場所の関係から琵琶湖北中部のエリ漁獲アユを対象に成長速度との関係を解析したが、琵琶湖南部のエリ漁獲アユの成長と動物プランクトン量の関係については不明である。琵琶湖南部(堅田、守山)の12月のエリ漁獲アユの成長は北部(西浅井、百瀬、今津)で年変動が確認された2017年と2018年を比較しても成長速度に違いはみられておらず、⁵⁾ 2018年12月のエリによる漁獲量は北部では不漁であったが、南部では豊漁であった。また、2008年秋に南部の守山沖と北部のマキノ沖で採捕されたアユの成長速度の違いは、ふ化後約1か月後に現れており、南部のほうが成長がよい。²⁶⁾ アユの産卵の多くは琵琶湖北中部の流入河川に集中しており、²⁷⁾ 南部で漁獲されるアユは琵琶湖の北中部の河川でふ化し流下したのち、琵琶湖の南部まで移動していることになる。上記のように、琵琶湖北湖の北部と南部では、アユの産卵状況、成長速度および漁獲状況などに相違が認められている。したがって、南部のエリ漁獲アユの成長要因の把握については、漁獲されるまでの移動の状況や、動物プランクトンの採集地点などを考慮して検討する必要がある。

謝 辞

エリ漁獲アユ標本の収集には能登川漁協、両浜漁協、西浅井漁協、百瀬漁協および今津漁協の皆様にご協力いただいた。動物プランクトンの収集および計数、同定には滋賀県水産試験場の歴代の職員がご尽力された。逆算体長の算出には滋賀県水産試験場の小林里美氏の手を煩わせた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

摘 要

1. 2012年から2019年(標本未収集の2015年除く)の12月のエリで漁獲されたアユの耳石解析から Biological intercept 法を用いて、ふ化から11月末までの月ごとの成長速度を算出した。
2. 9月中旬生まれ、9月下旬生まれのアユに共通して、各月の平均成長速度には年間で有意な差が認められ、2012年が3か月とも7年間で最も高かった。
3. 各月の成長速度は9月から11月にかけて低くなり、月間平均成長速度の年変動は、10月が最も大きかった。
4. 各月の平均成長速度と動物プランクトン量を比較したところ、10月の平均成長速度と、10月のケンミジンコ量との間には有意な正の相関がみられた。
- 10) 梅澤彰馬・塚本勝巳(1990): 耳石微細構造による湖産・海産アユの判別法. 日本水産学会誌, **56**, 1916-1926.
- 11) 酒井明久(2018): 琵琶湖産アユの耳石径と体長との関係に及ぼす成長速度の影響. 水産増殖, **66(2)**, 133-135.
- 12) 大山明彦・大前信輔・森田尚・太田滋規・金辻宏明・山本充孝・岡村貴司(2014): 琵琶湖定点定期観測データ(平成24年度). 平成24年度滋賀県水産試験場事業報告, 88-131.
- 13) 大山明彦・中嶋拓郎・森田尚・太田滋規・金辻宏明・岡村貴司(2015): 琵琶湖定点定期観測データ(平成25年度). 平成25年度滋賀県水産試験場事業報告, 97-155.

文 献

- 1) 田中秀具(2003): 琵琶湖産アユのふ化時期からみた漁期・漁法別特徴. 滋賀県水産試験場研究報告, **50**, 1-17.
- 2) 酒井明久・矢田崇・井口恵一朗(2012): 琵琶湖におけるアユ仔稚魚の成長速度の変動と環境要因. 日本水産学会誌, **78(5)**, 885-894.
- 3) 井出充彦(2018): 今季アユの早期漁獲不振の原因と過去知見からの漁獲見込み. 平成28年度滋賀県水産試験場事業報告, p.63.
- 4) 酒井明久・矢田崇・井口恵一朗(2013): 琵琶湖におけるアユ仔稚魚の体長組成および成長履歴の地域差. 水産増殖, **61(3)**, 253-259.
- 5) 久米弘人(2020): 早期エリにおけるアユ漁獲量の地域差要因の検討. 平成30年度滋賀県水産試験場事業報告, p.64.
- 6) Tsukamoto K and Kajihara T. (1987): Age determination of ayu with otolith. Nippon Suisan Gakkaishi, **53**, 1985-1997.
- 7) Campana SE.(1990): How reliable are growth back-calculations based on otoliths? Can. J. Fish. Aquat. Sci. **47**, 2219-2227.
- 8) 荒山和則(2009): 茨城県沿岸域におけるアユ仔稚魚の成長相違要因. 海洋と生物, **31**, 495-500
- 9) 間野静雄・淀大我・石崎大介・吉岡基(2014): 長良川におけるアユの由来別の成長特性. 水産増殖, **62**, 89-97.
- 14) 鈴木隆夫・中嶋拓郎・森田尚・金辻宏明・岡村貴司(2016): 琵琶湖定点定期観測データ(平成26年度). 平成26年度滋賀県水産試験場事業報告, 85-143.
- 15) 藤岡康弘・中嶋拓郎・鈴木隆夫・金辻宏明・竹上健太郎(2018): 琵琶湖定点定期観測データ(平成28年度). 平成28年度滋賀県水産試験場事業報告, 99-148.
- 16) 鈴木隆夫・中嶋拓郎・藤岡康弘・金辻宏明・山本充孝(2019): 琵琶湖定点定期観測データ(平成29年度). 平成29年度滋賀県水産試験場事業報告, 101-150.
- 17) 孝橋賢一・森田尚・藤岡康弘・金辻宏明・山本充孝(2020): 琵琶湖定点定期観測データ(平成30年度). 平成30年度滋賀県水産試験場事業報告, 111-163.
- 18) 孝橋賢一・森田尚・藤岡康弘・金辻宏明・山本充孝(2021): 琵琶湖定点定期観測データ(令和元年度). 令和元年度滋賀県水産試験場事業報告, 123-184.
- 19) 東 幹夫(1964): びわ湖におけるアユの生活史一発育段階研究の試み一. 生理生態, **12**, 55-71.
- 20) 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.
- 21) 大前信輔, 太田豊三, 酒井明久(2011): 姉川河口沖で採取されたヒウオの消化管内容物組成. 平成21年度滋賀県水産試験場事業報告, p.62.
- 22) 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**, 1057-1067.

- 23) 原田慈雄・高橋芳明・藤井久之(2009): 和歌山県日高川における近年のアユ資源変動メカニズム. 海洋と生物, **31**, 508-514.
- 24) 久米弘人・田口貴史・大山明彦・亀甲武志・田中秀具・孝橋賢一・松田直往・太田滋規・井出充彦・西森克浩(2021): 秋の沖曳網で採捕された琵琶湖産アユ仔稚魚の体長とふ化日. 滋賀県水産試験場研究報告, **57**, 19-26.
- 25) 坂野博之・内田和男(2011): 異なる給餌と水温条件が汽水環境下で飼育したアユふ化仔魚の成長に与える影響. 日本水産学会誌, **77(2)**, 237-239.
- 26) 酒井明久(2010): 2008 年秋におけるアユの成長の地域差. 平成 20 年度滋賀県水産試験場事業報告, p.53.
- 27) 藤岡康弘・久米弘人・孝橋賢一・亀甲武志・西森克浩(2020): 琵琶湖産アユの産卵数の長期変化と資源変動. 滋賀県水産試験場研究報告, **56**, 21-42.