

資料 1

2016 年（平成 28 年）生まれのアユの不漁原因解明検討結果報告書

担当者：太田滋規・亀甲武志・田中秀具・久米弘人・松田直往・孝橋賢一
・西森克浩・井出充彦・大山明彦

1. はじめに
 - (1) 検討会開催状況
 - (2) 検討結果の概要
2. 2016 年生まれのアユの不漁の状況
 - (1) 2016 年 12 月（解禁）から 2017 年 4 月まで
 - (2) 2017 年 5 月から 8 月まで
 - (3) 水産業への影響
3. 不漁原因の検討
 - (1) 調査データの整理
 - (2) 関連する既往知見
 - (3) 調査データから推測される 2016 年生まれのアユの不漁原因
 - (4) 次期への影響
4. 長期的な視点でみたアユ資源と餌料環境の変動傾向
 - (1) 環境収容力の変動
 - (2) 成長の長期的変動
 - (3) 琵琶湖の栄養塩（硝酸態窒素）の長期的変動
 - (4) 植物プランクトン（クロロフィル a）の長期的変動
 - (5) 甲殻類動物プランクトン現存量の長期的変動
 - (6) アユの資源量や成長と環境要因との関係
5. アユ資源の安定化を目指した今後の研究課題
 - (1) 資源量の推定精度の向上
 - (2) 成長変動と餌料環境との関係解明

1. はじめに

2016年12月から翌年4月までのアユ漁は記録的な不漁となり、琵琶湖漁業にとって大きな打撃となった。12月の不漁の原因についてはその月の下旬には過去の研究(田中、2003)と2016年の産卵調査結果から9月生まれのアユ(早生まれアユ)が少ないことであると推定し、10月以降生まれアユ(遅生まれアユ)が群れを形成する体長約4cmを超える2月中旬までは不漁になり、本格的に回復するには遅生まれアユのエリでの漁獲貢献度が高まる4月まで待たなければならないと予測していた。しかし、過去の事例と比較しアユの成長が鈍く、顕著な漁獲の増加は5月上旬以降となった。

その間、複数回開催された滋賀県漁業協同組合連合会(以下県漁連)の「アユ苗流通委員会」や2017年4月から年度末までおよそ2か月に1回の頻度で琵琶湖環境部と農政水産部水産課(以下水産課)、県漁連、滋賀県水産振興協会と合同で公開により開催した「アユ資源緊急対策会議」などで、過去の研究や事例と現在のアユ資源の状況から不漁を引き起こしたと考えられる直接的、間接的原因や、その時々のアユ資源の状況について繰り返し説明を行った。しかし、先行きへの不安からか漁業者による水産試験場(以下水試)への不信感を払しょくすることはできなかった。

このような中、漁業者の意見と水試の分析との乖離を重く受け止めた水産課からの強い要請のもと、アユの生態だけでなく餌環境を含めた琵琶湖の環境についても検討・評価する必要があると判断し、上記緊急対策会議とは別に、アユの資源や漁獲の状況を常時確認しながら、不漁に直結すると考えられる早生まれと不漁との関係のデータによる裏付けと、体長が例年より小さく推移している原因解明を主眼に、水試、水産課に加え、琵琶湖環境部局(以下琵琶幹部)の環境政策課、琵琶湖政策課、琵琶湖保全再生課、琵琶湖環境科学研究センター(以下琵琶環セ)とも連携し「アユ不漁原因解明に係る検討会」を立ち上げ、国立環境研究所琵琶湖分室や外部識者にも助言をいただきながら検討してきた。ここでは、この検討会での3年間にわたる経緯と検討結果の概略を報告する。(各年度、各検討会の出席者は別表にまとめた。)

(1) 検討会等開催状況

平成29年5月16日 第1回アユ不漁原因解明に係る検討会

(内容) 水試および琵琶環セから不漁の状況や餌環境等の調査結果説明。原因解明にはアユの生態と餌環境の両面について検討・評価する必要があることから、水産側から琵琶環セとの連携を要請した。

平成29年7月7日 第2回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 不漁原因のとりまとめについて、年内に原因の絞り込みを行い、これに基づき次シーズンのアユの追跡調査を行いつつ、原因解明を進め、3年以内に最終結論を出すことを了承。本検討会において餌が少なかったと断言できないとの意見が大勢をしめたことから、次回に植物プランクトン・動物プランクトンに異変がなかったか検討することとした。

平成29年9月25日 第3回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 2016年秋から2017年にかけて植物プランクトンや動物プランクトンなどアユの餌環境に特別な異常は見られなかった。アユからみた不漁原因としては2016年12月～翌年4月までの極端な不漁は、漁獲貢献度が高い9月生まれのアユが少なかったことや、9月生まれでもふ化日がやや遅めで12月時点でも小さかったこと、1月以降でも平均体長が例年より低く推移したことと推定した。

平成 29 年 10 月 20 日 川那部浩哉元琵琶湖博物館長との意見交換

(内容) 9 月生まれが少なく、10 月以降生まれがほとんどの資源状態のために 12 月の解禁時に漁獲体型に至らず不漁になったことや、初夏までの漁獲は 9 月生まれが重要であるという研究から 4 月中まで不漁になったという解析は納得。9 月生まれが少なかった背景に過去 10 年間の小型化の傾向が大きく反映している可能性があり、長期的な調査の継続が必要。

平成 29 年 11 月 水産研究・教育機構 内水面研究センター 鈴木俊哉前センター長との意見交換

(内容) データを見る限り、漁期早期の不漁原因は 9 月生まれが少なかったと考えられる。9 月に産卵数が少なかった原因の解明あるいは考察が必要。

平成 29 年 11 月 30 日 第 4 回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 12 月の不漁原因は、漁獲対象の 9 月生まれ（早生まれ）のアユが少なかったことと、12 月の平均体長が小さかったためと改めて確認した。4 月までの不漁原因はこの時期までの漁獲貢献度が高い早生まれのアユが少なかったこと、さらに成長の遅れによる群れ形成の遅れによると考えられた。成長の遅れは遅生まれが特に多かったことによる「密度効果」の影響も考えられる。ミクラステリアスの増加時期にアユ肥満度の異常低下はなく、アユ資源への直接の影響は認められなかった。また、長期的な体長の小型化傾向が明らかとなり、これが年間平均透明度や動物プランクトンの現存量と関係する可能性が示されたことから、長期的な体長変動の原因解明が必要。

平成 30 年 3 月 23 日 第 5 回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 文献調査では 2016 年級に生じた漁期前半の不漁・後半の小型魚出現は過去にも事例があり、初めての現象ではないことが確認された。成長生残モデルとふ化日推定モデルを作成して 1970 年代以降の資源動態を俯瞰した結果、アユの資源水準の低下傾向や琵琶湖のアユに対する環境収容力の低下の可能性が示唆された。

平成 30 年 8 月 31 日 平成 30 年度第 1 回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 2016 年生まれのアユのふ化日組成は 9 月 30 日から 10 月 6 日までの 1 週間の中に全体の 53% を占める集中した組成となっていた。ふ化時期別成長を 1999 年生まれと比較をしたところ、ふ化が集中した 10 月上旬から成長が鈍っていた。アユの体長や琵琶湖漁業に関連する環境要因を相関分析や重回帰分析により検討した。

平成 31 年 1 月 29 日 平成 30 年度第 2 回アユの不漁原因解明に係る検討会

(内容) 2007 年からの体長縮小傾向に着目し、回帰分析や主成分分析等により関係する要因を検討したところ、産卵遅延と集中に加えて、ヤマトヒゲナガケンミジンコの減少、大型植物プランクトンの大増殖といった要因が影響した可能性が示された。

令和 2 年 1 月 31 日 令和元年度アユの不漁原因に係る検討会

(内容) これまでに検討してきた 2016 年生まれのアユの不漁の状況、不漁原因の検討、長期的な視点で見たアユ資源と餌料環境の変動傾向、アユ資源の安定化を目指した今後の研究課題について報告書としてまとめた（当報告書）。

(別表)

平成 29 年度検討会出席者

所属名	役職名	氏名	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
国立環境研究所 琵琶湖分室	分室長	今井章雄	○		○	○	○
	フェロー	高村典子	○	○			○
	客員研究員	高村健二		○			
	主任研究員	馬淵浩司		○			
環境政策課	主席参事	三和伸彦	○	○		○	○
	主幹	奥田一臣	○	○		○	○
	副主幹	寺田剛史	○	○	○	○	○
琵琶湖政策課	課長補佐	浅見正人	○	○	○	○	
	主査	幡野真隆					○
琵琶湖環境科学 研究センター	副センター長	谷口良一	○	○	○	○	
	部門長	田中明夫		○	○	○	
	副部門長	早川和秀	○	○	○	○	
	専門研究員	東 善広	○				
	専門研究員	焦 春萌	○				
	専門研究員	石川可奈子	○				
	専門員	一瀬 諭	○	○	○	○	○
	主任研究員	井上栄壮	○				
	主任研究員	永田貴丸	○	○		○	○
	主任研究員	佐藤祐一	○				
	主査	池田将平					○
水産課	主査	高木康治	○	○	○	○	○
	主席参事	二宮浩司	○	○	○	○	○
	参事	西森克浩				○	○
	副主幹	亀甲武志			○		○
水産試験場	場長	遠藤 誠	○	○	○	○	○
	主任専門員	井出充彦	○	○	○	○	○
	主任専門員	鈴木隆夫		○	○		○
	専門員	孝橋賢一		○		○	○
	主任主査	田中秀具		○	○		○
	主任主査	大山明彦		○	○	○	
	主査	久米弘人				○	○
	主任技師	中嶋拓郎	○			○	

平成 30 年度検討会出席者

所属名	役職名	氏名	第1回	第2回
国立環境研究所 琵琶湖分室	分室長	今井章雄	○	○
	フェロー	高村典子	○	○
	客員研究員	高村健二	○	○
環境政策課	副主幹	寺田剛史	○	○
	主任技師	大屋匡範	○	○
琵琶湖政策課	主査	田仲輝子	○	○
琵琶湖環境科学 研究センター	副センター長	津田清和	○	○
	主任研究員	永田貴丸	○	○
	主査	池田将平	○	○
水産課	主査	野村俊夫	○	○
	主席参事	二宮浩司	○	○
	参事	井出充彦	○	○
	主査	幡野真隆	○	○
水産試験場	場長	遠藤 誠	○	○
	参事	西森克浩	○	○
	専門員	孝橋賢一	○	○
	主任主査	大山明彦	○	○
	主任主査	亀甲武志	○	○
	主任主査	田中秀具	○	○
	主任主査	森田 尚		○
主査	久米弘人	○	○	

令和元年度検討会出席者

所属名	役職名	氏名	第1回
国立環境研究所 琵琶湖分室	分室長	今井章雄	○
	フェロー	高村典子	○
	主任研究員	馬淵浩司	○
環境政策課	主席参事	海東 聡	○
	課長補佐	桐山徳也	○
	副主幹	寺田剛史	○
琵琶湖保全再生課	副主幹	佐野聡哉	○
	主査	藤原 務	○
琵琶湖環境科学 研究センター	副センター長	津田清和	○
	主任研究員	永田貴丸	○
	主査	池田将平	○
水産課	主査	野村俊夫	○
	参事	西森克浩	○
水産試験場	参事	井出充彦	○
	場長	遠藤 誠	○
	次長	酒井明久	○
	主任専門員	太田滋規	○
	専門員	孝橋賢一	○
	主任主査	亀甲武志	○
	主任主査	田中秀具	○
	主任主査	森田 尚	○
	主任主査	久米弘人	○
	主査	久米弘人	○
	技師	松田直往	○

(2) 検討結果の概要

2016年生まれのアユは、12月から翌年4月まで記録的な不漁となった。その原因を検討した結果、直接的には、①早期の漁獲に貢献する9月生まれのアユが少なかったこと、②ふ化時期が10月上旬に集中したことによりアユの成長が遅れ、これに伴い漁獲加入時期が遅れたことが、漁期前半の著しい不漁を引き起こしたと推定された。

2016年生まれのアユの成長の遅れは、親魚の小型化、さらには2017年の産卵量の減少につながり、次期の資源にも影響を与えた。しかし、人工河川を活用した増殖対策（仔魚放流）の追加措置により、資源量は回復傾向に向かった。

一方、長期的な視点でアユの資源量や体長の経年変化、これらと餌となる動物プランクトン等との関係を調べた結果、2007年以降は琵琶湖のアユに対するみかけの環境収容力が低下している可能性が見いだされた。今後は、アユの資源量や成長の変動と餌料環境との関係をより詳しく検討し、資源の安定化に必要な環境を明らかにするとともに、アユ資源の変動予測手法を開発する必要がある。

2. 2016年生まれのアユの不漁の状況

(1) 2016年12月（解禁）から2017年4月まで

① 活アユ漁業

エリ漁では、2016年12月1日（解禁日）のアユ苗漁獲量は1,162kgと平年6,364kg（12月1日漁期開始となった2009～2015年の平均）の6分の1となった。早期のアユ苗注文量20.2トンのところ、12月中の漁獲量は8.4トン（図1）、その後も低調で2017年4月末までの活アユの漁獲量は12.7トンに留まった。近年で最も不漁を記録した。

エリ漁の不漁を受け、2017年2月には沖曳網による活アユ集荷が十数年ぶりに行われたが、300kg程度と漁獲は低調であった。

ヤナ漁は、安曇川で3月から開始されたが、漁獲量は低調に推移した。

② 鮮魚アユ漁業

刺網漁では、早い年には3月から漁獲される年もあるが、聞き取り調査によると、2017年には4月になっても操業は始められていなかった。

(2) 2017年5月から8月まで

① 活アユ漁業

エリ漁では、2017年4月下旬から急激に漁獲が回復し、その後は平年並みで推移した。

ヤナ漁では、姉川、石田川、知内川では4月から操業が開始されたが、安曇川も含めて漁期当初は不漁で、6月までは低水準で推移し、7月以降の漁獲は平年並みから高水準で推移した。

活アユ漁は、12月からの漁期全体では76トンと平年の68%の漁獲量となった（図2）。

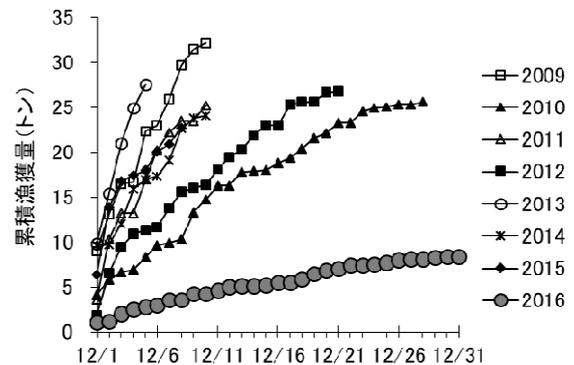


図1. 早期アユ苗漁獲量（12月エリ）の年別推移

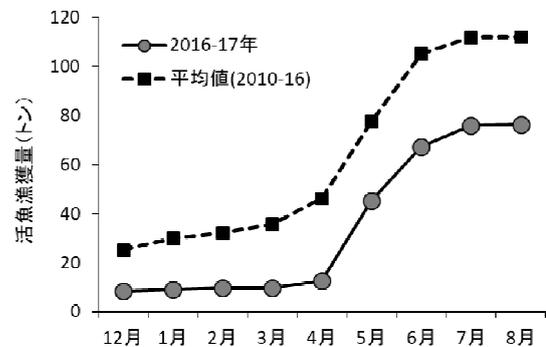


図2. アユ苗漁獲量（エリ、ヤナ等）の推移

② 鮮魚アユ漁業

刺網漁では、例年4月から操業されるが、2017年は5月から開始された。アユの体形が小さく、聞き取りや漁獲日誌調査では平年の3割程度の漁獲量であった。

あゆ沖すくい網漁は、極めて浅い水深の岸寄りで操業し、聞き取りや漁獲日誌調査では平年の3割程度の漁獲量であった。

(3) 水産業への影響

琵琶湖漁業では、魚価の最も高い早期のアユ苗漁が不漁となり、漁家経営に大きな打撃となった。アユ苗を全国へ供給する養殖業では、需要に見合う供給が困難となった。佃煮等の水産加工業では刺網漁、沖すくい網漁が不漁の上に体形が小さく、商品の品質的にも影響を受けた。さらに、河川漁業では春以降河川にはアユの遡上が多くみられたものの、不漁の報道により、アユ遊漁者が滋賀県内の川を敬遠するという風評被害も生じた。

不漁による影響の回復を図るため水産行政では漁業者や水産加工業者、養殖業者を対象とした実質無利子、無保証料の融資の「アユ漁業緊急特別対策資金」を創設した。

3. 不漁原因の検討

(1) 調査データの整理

① 産卵数

産卵調査では主要11河川における2016年のアユの総有効産卵数は、平年(2006年～2015年：106億粒)の2倍に相当する214億粒であった(図3)。

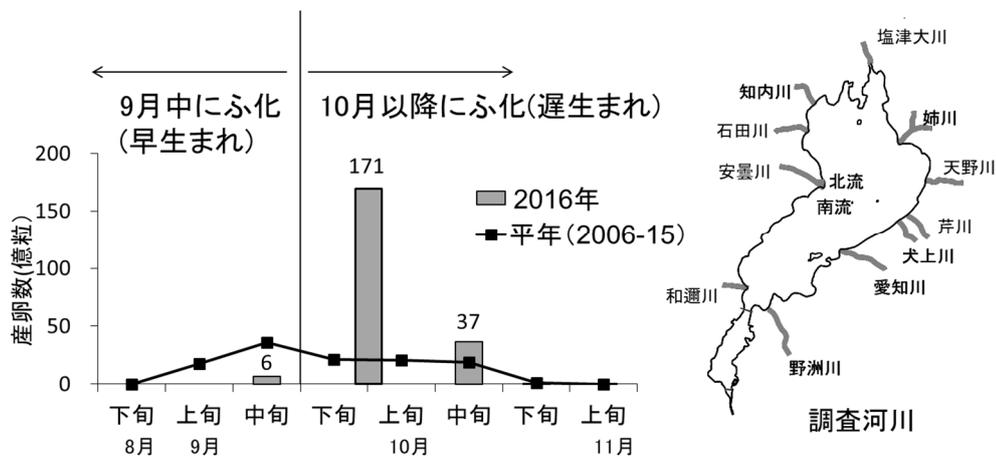


図3. 2016年産卵調査結果

② 産卵数の河川別割合

過去10年の産卵数の河川別割合の平均をみると、姉川が最も高く5割程度、知内川と石田川を含めた3河川で8割程度を占めた(図4)。2016年においても姉川が45%、3河川で79%を占めた。

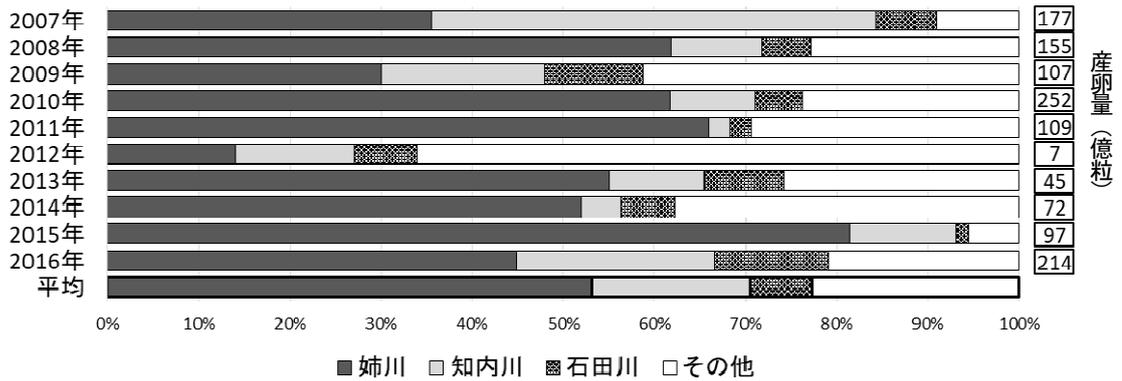


図4. 河川別産卵割合

③ 産卵時期

最も産卵が多い姉川では、2016年9月中旬まで河川の水量が少ないうえに水温が産卵適水温上限を超えており、アユの産卵環境としては不適であった。9月下旬には降雨による増水があり、水温も低下したため、産卵に適する環境となった(図5)。知内川、石田川でも9月中旬は水量が少なく、2016年のアユの産卵時期は、河川環境を反映して9月下旬に本格的な産卵が確認され、産卵量の約8割は9月下旬から10月上旬に集中した。

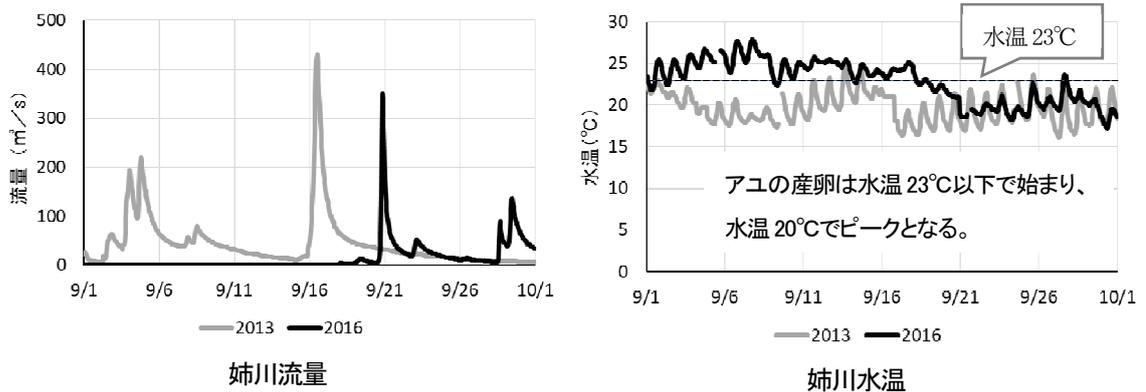


図5. 2016年(遅生まれ年)と2013年(早生まれ年)の姉川の水温と流量
(国土交通省 水文水質データベースより)

④ 仔魚生息密度

ヒウオ生息状況調査では2016年の仔魚生息密度(1曳網当たりヒウオ採集尾数)は、10月には平年を下回ったが、11月と12月には平年の2倍以上の水準であり、産卵状況を反映し

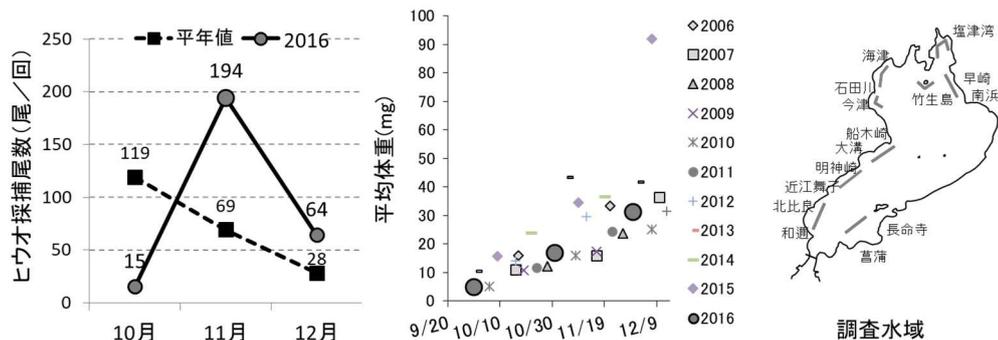


図6. 2016年のアユ仔魚生息密度

た結果であった。採集魚の平均体重はやや軽めであるが、過去の変動の範囲内であった(図6)。

ヒオオ生息状況調査で採集したアユ仔魚の耳石日輪解析によりふ化日組成を調べたところ、そのピークは10月3日で、9月30日から10月6日までの1週間の間に、全体の7割が集中していた(図7)。

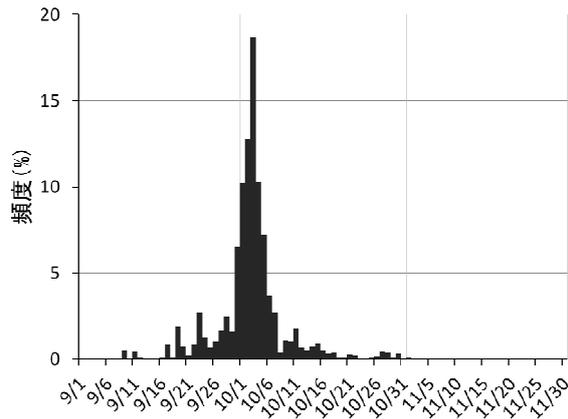


図7. 2016年生まれアユのふ化日組成

⑤ 漁獲サイズ・成長・肥満度

漁獲状況調査での体形測定では2016-2017年のエリ漁獲アユの平均体長は小さく推移し、6月以降では平年値と2か月以上に相当する差となった(図8)。肥満度(アユ肥満度=体重(g)/体長(cm)^{3.8}×10³)は、概ね平年値以上であった(図9)。

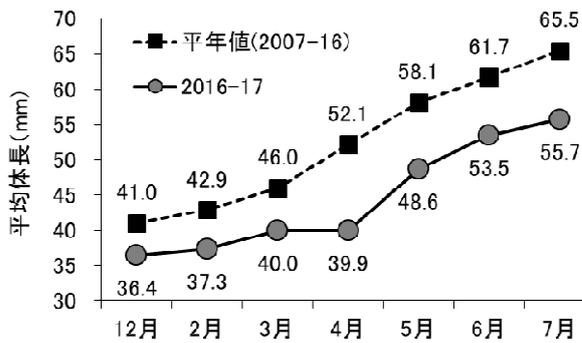


図8. エリ漁獲アユの平均体長の推移

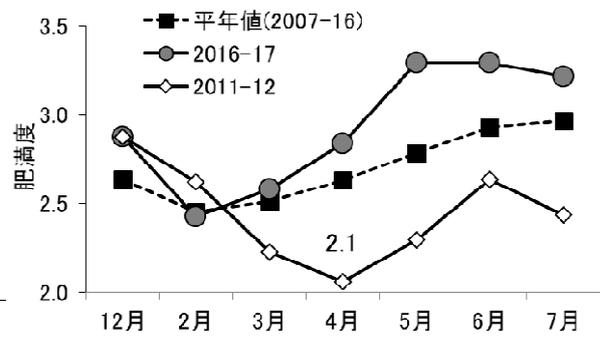


図9. エリ漁獲アユの肥満度の推移

⑥ 水温

定期観測調査での沿岸域を除いた北湖3地点の水深10m層の水温をみると、不漁であった期間(2016年12月~翌年4月)のそれは過去10年の平均値とほぼ同水準であり、特異的な水温低下は認められなかった(図10)。

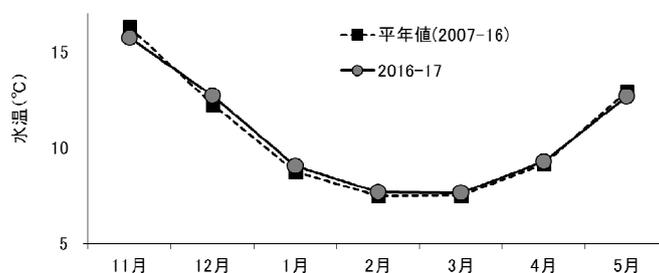


図10. 冬期の水温の推移

⑦ 植物・動物プランクトン(琵琶湖環境科学研究センター)

植物プランクトンでは、2016年10月から2017年3月にかけて大型緑藻のミクラステリアス・ハーディが大発生した。この期間中の1~3月にはミジンコが捕食可能な小型植物プラン

クトンが少なかった。ただし、この前年に当たる2015年の秋から冬にかけてはミクラステリアス・ハーディの大発生は認められていないが、2016年1~3月には小型植物プランクトンは同様に少なかった(図11)。

動物プランクトンについて、2016年10月から翌年夏までの現存量は、ヤマトヒゲナガケンミジンコでは低水準に推移し、ミジンコ類は例年と同程度かむしろ多かった。また、ヤマトヒゲナガケンミジンコの生産量は2016年12月以降低かったが、ミジンコ類の生産量は例年と同程度だった(図12)。

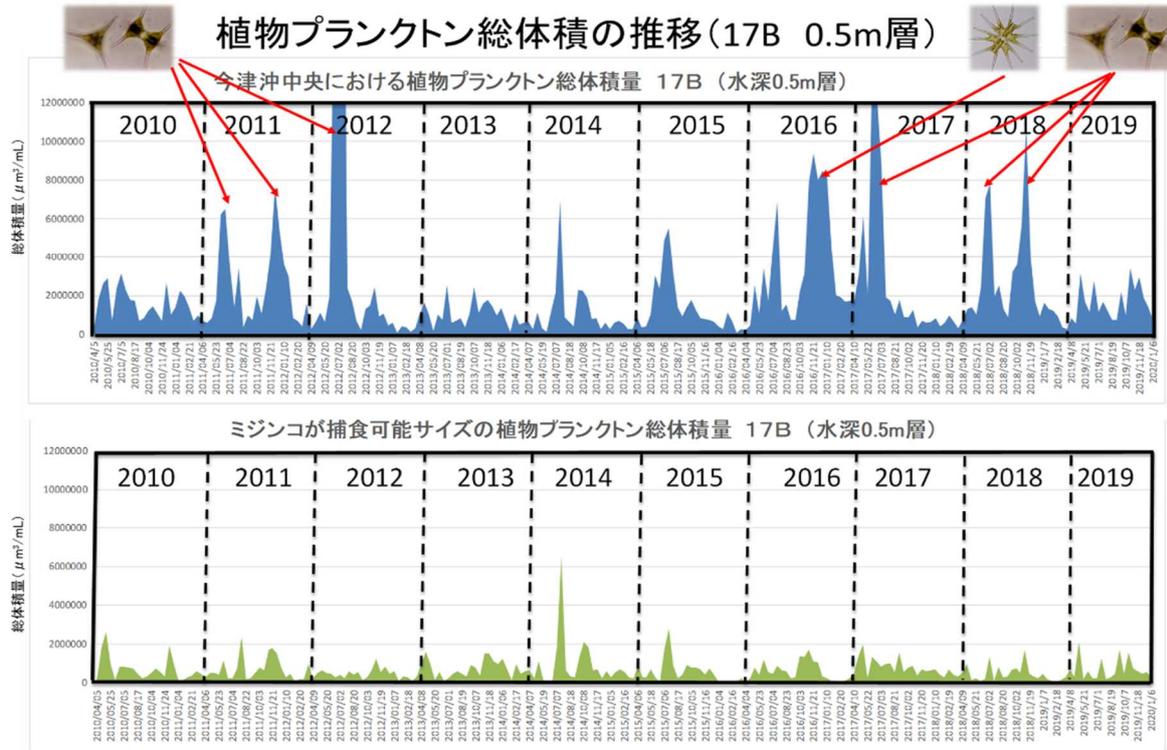


図11. 植物プランクトンの総体積の推移(琵琶湖環境科学研究センター提供)

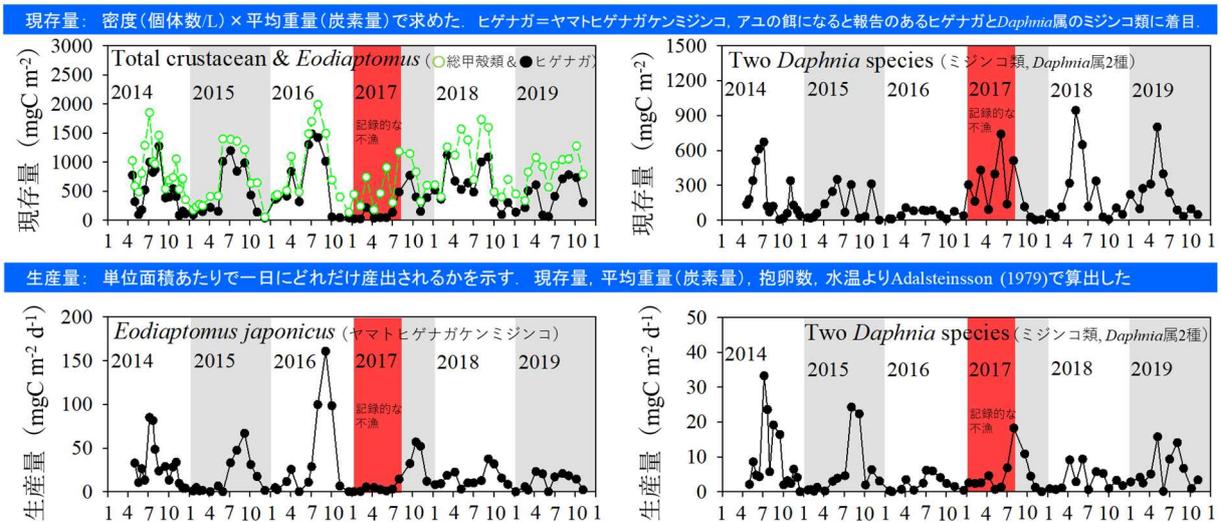


図12. 動物プランクトン(甲殻類, ミジンコ類+ケンミジンコ類)の出現状況: 今津沖中央(0-20m層)の現存量と生産量(琵琶湖環境科学研究センター提供)

(2) 関連する既往知見

① 過去の不漁原因

- 1966年 (S41)：厳冬による水温低下と餌不足による成長不良および減耗 (山村、1967)
 - ・前年9月の台風により琵琶湖全面の濁りが1月頃まで継続。2月の水深10m層の平均水温が6.7℃。動物性プランクトンの減少。4~6月の体重が例年の約半分。
- 2005年 (H17)：産卵期の台風による環境かく乱 (河川の増水・琵琶湖の濁り) による減耗 (酒井ほか、2008)
 - ・産卵盛期直後と産卵期終盤に台風の大雨に伴う河川の増水により卵の死亡、湖内での長期間の濁りによる仔魚の減耗。
- 2006年 (H18)：厳冬による水温低下と栄養状態悪化による減耗 (酒井ほか、2015)
 - ・2月の水深10m層の平均水温が6.6℃。プランクトン量が低水準であったことに加え、2月までのアユの資源水準が高く、餌をめぐる競争が激しかったためにアユの栄養状態が悪化。
- 2012年 (H24)：肥満度低下による減耗 (吉岡ほか、2016)
 - ・2月中旬から4月中旬にかけてアユ餌料生物が極めて少ない状況で推移。餌料不足の状況が長期間続いたため、肥満度が餓死レベルにまで低下し減耗。

② 産卵数・産卵時期と漁獲との関係

- 2月までに漁獲されるアユは9月生まれが多い (田中、2003)
 - ・9月生まれの貢献度は出現割合30%以上を基準とするとエリでは3月まで、ヤナでは4月までが高い (図13)。
 - ・生まれ日の違いでその後の成長速度が違い、遅生まれでは2月中旬でないと漁獲サイズの40mmに達しない (図14)。

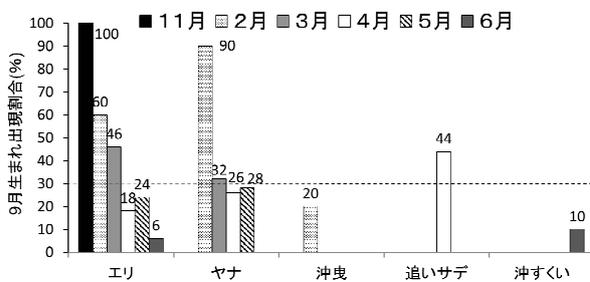


図13. 1999年生まれアユのふ化日組成による漁具・時期別9月生まれの出現割合

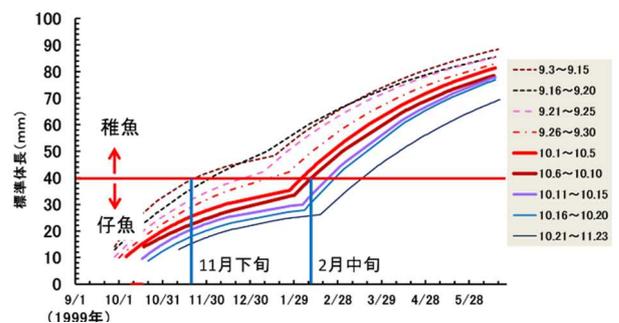


図14. 耳石日齢計数によるふ化日ごとの成長曲線 (1999年生まれ)

③ 成長と漁獲との関係

- 仔魚の成長が良好な年ほど解禁当初の漁獲量が多い (酒井ほか、2012)
 - ・2009年は9月生まれのアユの成長がはやく、より多くの個体の漁獲加入時期を早めることで解禁当初の漁獲量を増加させた。

④ 生息密度と成長との関係 (密度効果)

- アユの漁獲サイズの年変動には生息密度が減少要因として関係 (酒井、2011)
 - ・生活史初期の秋の生息密度が成長に対して抑制的に働き、2月の漁獲サイズに影響。春以降のアユの成長もアユ自身の生息密度に抑制的な影響。

(3) 調査データから推測される2016年生まれのアユの不漁原因

① 早期の漁獲に貢献する9月生まれのアユが少なかった。

2016年秋の河川環境を最も産卵の多い姉川を例にみると、9月中旬まで水量の減少と高水温でアユの産卵に適した条件が整っていなかった。そのため、主要産卵河川において9月中の産卵は極めて少なかった。産卵調査結果からふ化日組成を推定するふ化日モデルにより9月生まれの仔魚数を推定すると、天然河川と人工河川を併せて38億尾と推定され、過去10年平均の124億尾より少なかった。

既往の知見より12月の漁獲アユはほぼすべてが9月生まれ、3月までの漁獲アユでも9月生まれの貢献度が高いことを踏まえると、2016年に9月生まれのアユが少なかったことは、4月までの不漁の一因であったと考えられる。

② ふ化日が10月上旬に集中したことによりアユの成長が遅れ、漁獲加入時期が遅れた。

産卵調査の結果から2016年の産卵量は平年の2倍以上と多かったが、ヒウオのふ化日組成によるとそれらのふ化時期は約7割が10月上旬の1週間に集中した。

耳石日輪解析により2016年生まれのアユの成長をふ化から12月までの間でみると、成育が順調であった1999年と比べて遅れており、特にふ化が集中した10月上旬以降にそれが顕著であった(図15)。

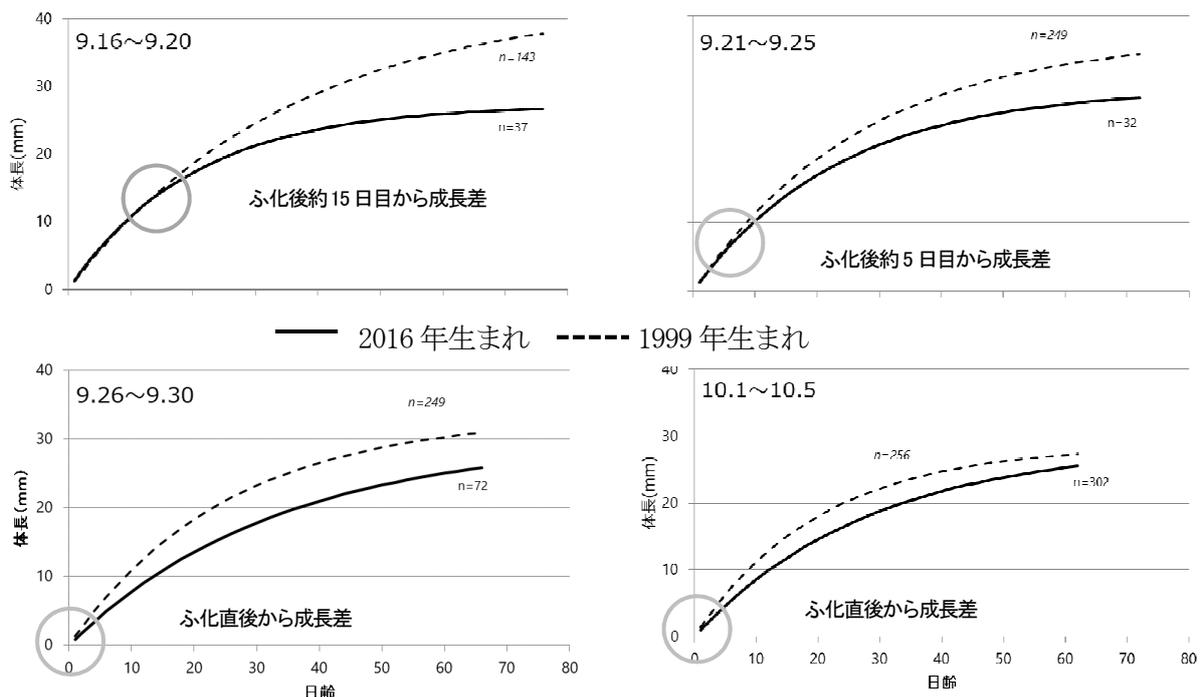


図15. 耳石日輪解析によるふ化時期別成長～1999年生まれとの比較

2016年生まれのアユの翌年2月から6月に漁獲されたアユについても耳石日輪解析によりふ化時期別に体長を算出したところ、生育が順調であった1999年生まれのアユと比べて小さく推移しており(図16)、成長が遅れた状況が継続していた。

ふ化以降、アユの生残に影響する栄養状態の悪化や冬季の極度の水温低下は起こらなかったことから、資源尾数は平年より多かったと推測される。

したがって、アユのふ化時期が10月上旬に集中したこと、さらに主要な餌であるヤマトヒゲナガケンミジンコの現存量および生産量が低水準であったことで密度効果が顕著に働いて

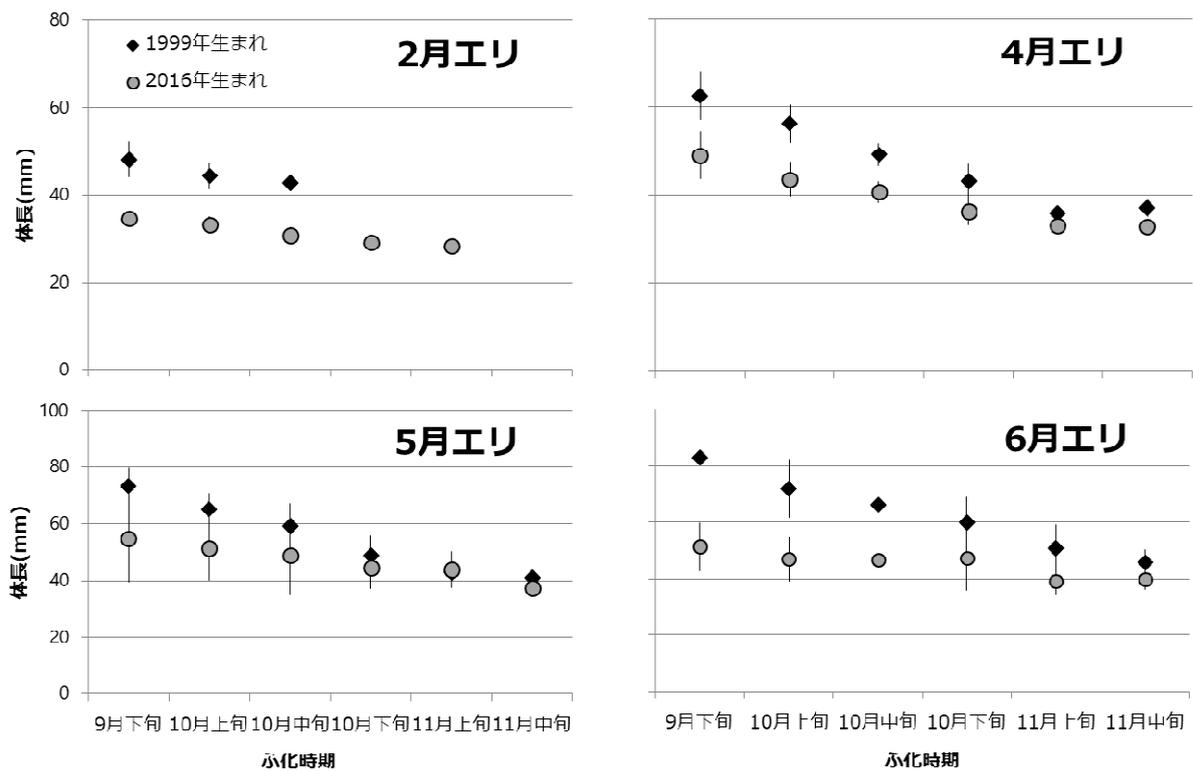


図 16. 耳石日齢解析による 12 月以降のふ化時期別成長～1999 年生まれとの比較

成長が遅れ、これに伴い漁獲加入時期が遅れたことが 4 月までの不漁を引き起こしたと考えられる。一方、5 月以降にはこれらがエリの漁獲サイズ、あるいは河川遡上サイズに達したことでエリやヤナの漁獲量は平年並みに回復したと考えられる。ただし、成長が遅れたことで刺網の漁獲サイズ（体長 60mm 前後）に達するアユは相対的に少なく、刺網漁は不漁となった。

(4) 次期への影響

① 2017 年の産卵状況

2017 年は、天然河川の状態にアユの産卵に不適な状況はみられなかったが、産卵数は平年の 2.2% の 2.7 億粒にとどまった（図 17）。これは、産卵期には資源尾数は多く残っていたにもかかわらず、成長が遅れていたことが、成熟サイズ（概ね 60mm 以上）に達しない、または抱卵数が少ないことに結び付き、産卵数が極めて少なくなったと考えられた。なお、魚探調査での 5 月周回魚群数と 6 月平均体長から重回帰式により産卵数を予測すると 3.7 億粒とな

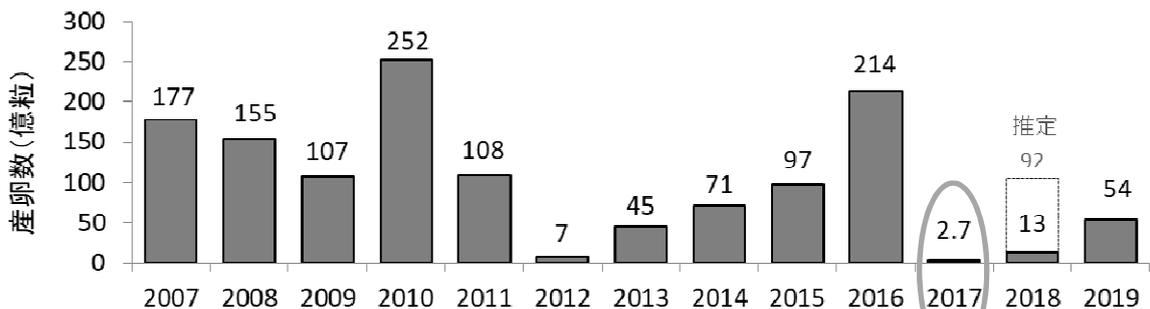


図 17 . 天然河川の産卵数の推移

り、結果的には2017年の産卵数の少なさは想定範囲内であった。

② 人工河川による増殖対策

2017年の産卵は少なくなることが予測され、また早期漁獲を確実にするために、安曇川人工河川に放流する養成親魚の量は、2017年には当初の8トンに10トンを追加し、合計18トンとされた。天然親魚を放流した姉川人工河川分を含め、2017年には例年より多い38.5億尾（9月中には約34億尾）の仔魚が、人工河川から琵琶湖に流下した（図18）。

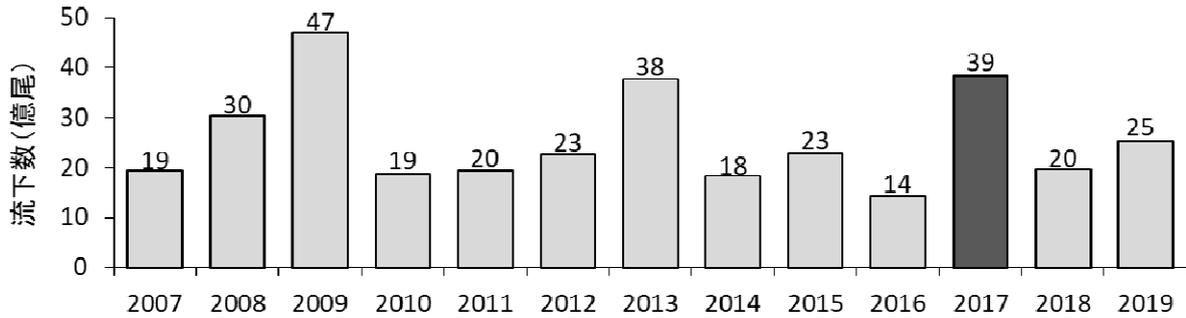


図18. 人工河川の流下尾数の推移

③ 2017年12月以降の漁獲状況

人工河川による増殖対策を強化したが天然河川の産卵量が極度に少なく、2017年のアユ苗の漁獲状況は12月のアユ苗注文量22.2トンに対し12月中に充足できず、1月15日まで延長した。ヤナは好調であったがそのほかは不漁（平年比：ヤナ155%、エリ43%、追いさで27%）となった。漁獲体形、肥満度は平年並みで推移した。その翌年の2018年のアユ苗の漁獲状況は12月のアユ苗注文量18.5トンを12月12日に充足した。その後、3月までは不漁となった。漁獲アユの平均体長は3月までは2017年とほぼ同じと平年より小さく推移したが、4月以降、急激に成長しほぼ平年並みとなった。

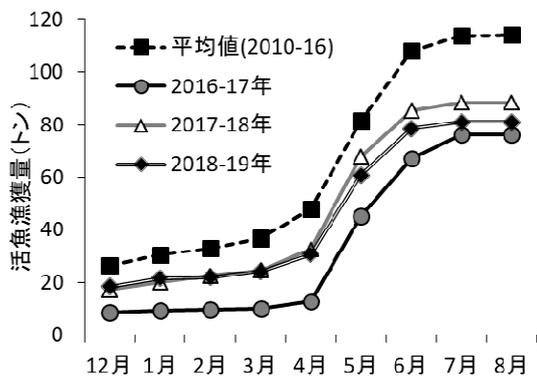


図19. アユ苗漁獲量（エリ、ヤナ等）の推移

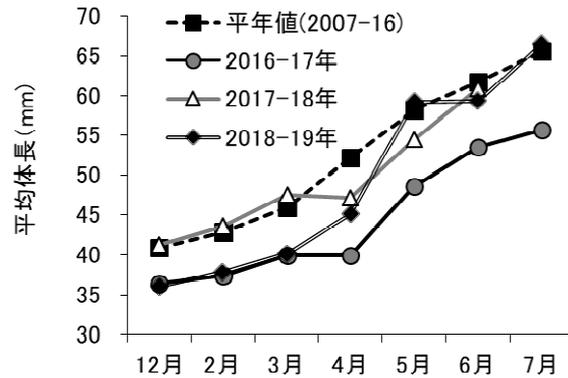


図20. エリ漁獲アユの平均体長の推移

4. 長期的な視点でみたアユ資源と餌料環境の変動傾向

(1) 環境収容力の変動

1974～2016年級を対象に、産卵調査データ、漁獲魚測定データ、および漁獲量統計を用いて過去の年級毎の成長生残モデルを構築し、各年級の資源量を推定した(図21)。各年級の資源変動に状態空間モデルをあてはめて時系列解析を行った結果、資源量は1974年級から1980年代まで増加して1990～93年級付近でピークを迎え、90年代後半に減少に転じたと推定された(図23)。

流下仔魚数と資源量との関係に修正指数曲線を当てはめると、流下仔魚数が多いほど資源量は多くなるが資源量が抑制的になる傾向が見られた。この抑制傾向を「琵琶湖のアユに対するみかけの環境収容力」と解釈すると環境収容力は時期別資源水準によって変化し、2008年以降の資源は低水準で、環境収容力は全期間を通じて最も低下している可能性がある(図22)。

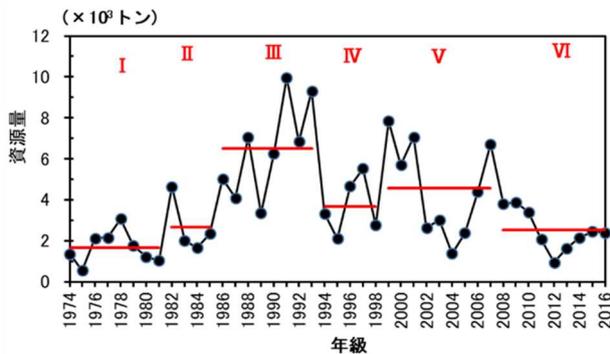


図21. 資源量と資源水準の推移

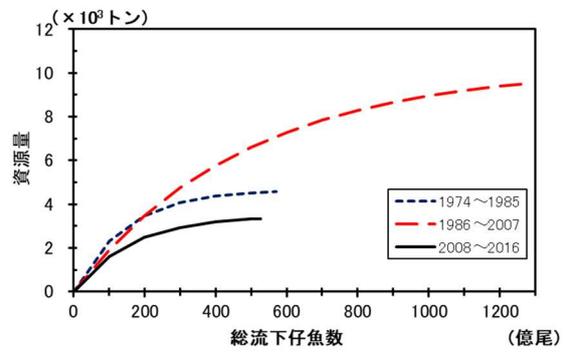


図22. 時期別修正指数曲線

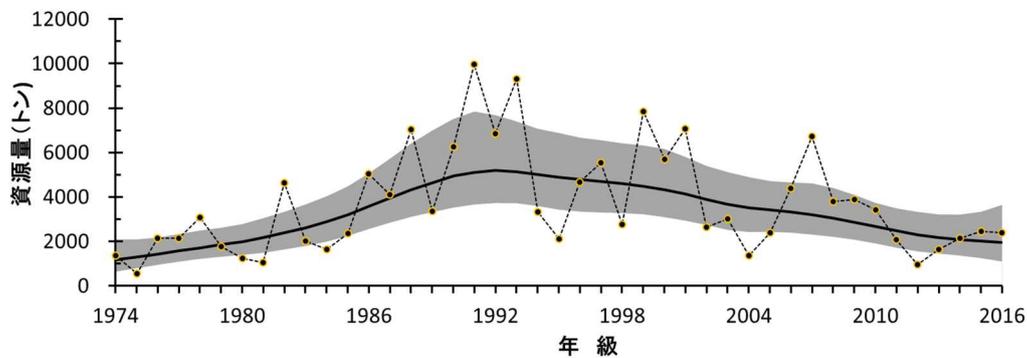


図23. 状態空間モデルによる時系列解析

(2) 成長の長期的変動

エリ漁獲物の月別の平均体長の年推移を1974年から長期的にみると、1990年ごろまでは横ばいから小型化傾向、その後2007年ごろまで大型化傾向、2007年(平成9年)から小型

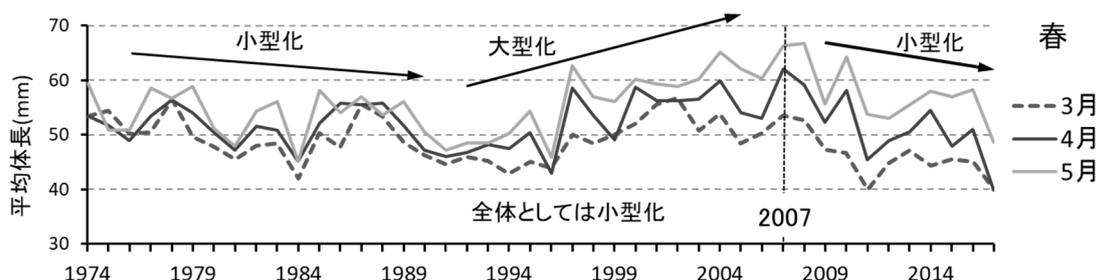


図24. エリ漁獲物平均体長の長期的推移(他の季節でも過去10年間では体長が小さくなる傾向)

化傾向となっている（図 24）。特に春季の平均体長の推移に傾向が強く、さらに4月の平均体長に近年10年での小型化の傾向が強い。

(3) 琵琶湖の栄養塩（硝酸態窒素）の長期的変動

長期的な硝酸態窒素の変動として定期観測での硝酸態窒素濃度の10m層の5地点平均値の1～3月平均値の推移をみると1970年以降1990年ごろまで増加傾向を示し、それ以降2006年まで横ばいの時期を経て、2007年以降急激な減少傾向を示している（図 25）。

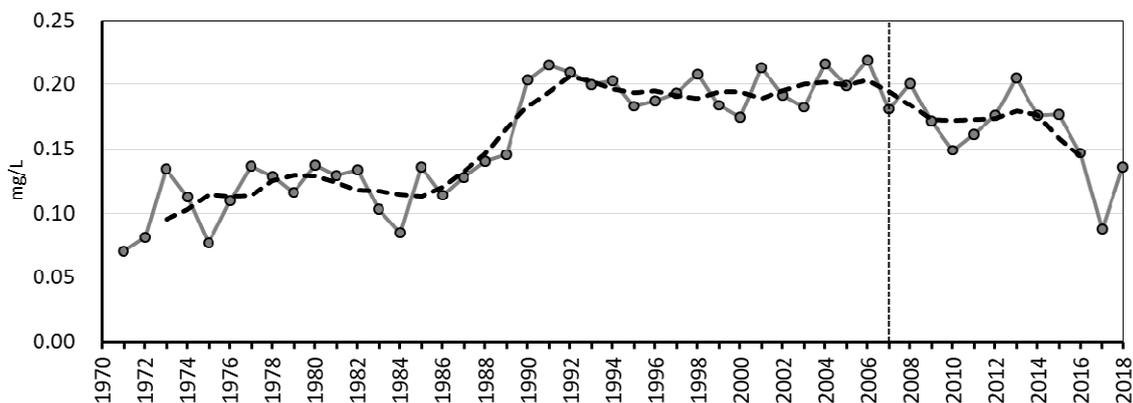


図 25. 硝酸態窒素の長期的変動

定期観測 I～V地点における10m層の平均値の1～3月の平均値
点線は5年移動平均

(4) 植物プランクトン（クロロフィルa）の長期的変動

長期的なクロロフィルaの変動として定期観測でのクロロフィルaの10m層の5地点平均値の1～3月平均値の推移をみると、データを取り始めた1989年以降から1999年ごろまで増加の後、減少に転じた。2007年以降は横ばいの後増加しているが、これは大型植物プランクトンによるものである（図 26）。

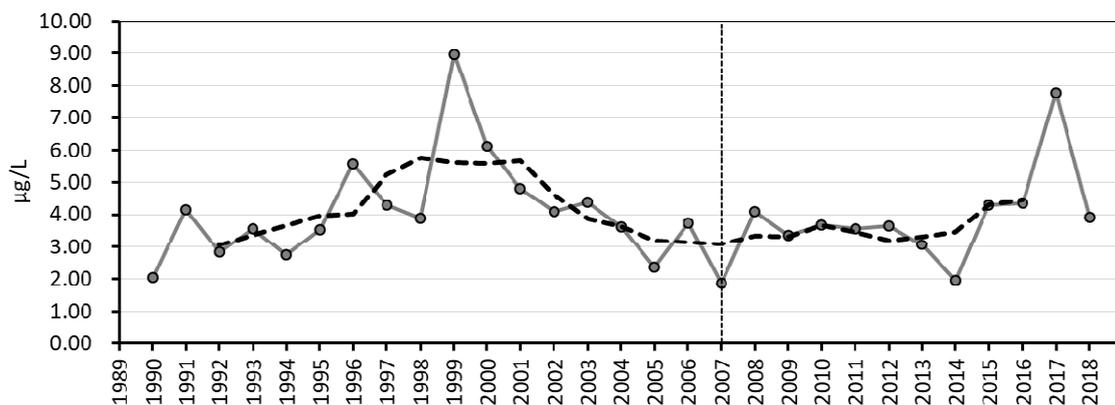


図 26. クロロフィルaの長期的変動

定期観測 I～V地点における10m層の平均値の1～3月の平均値
点線は5年移動平均

(5) 甲殻類動物プランクトン現存量の長期的変動（琵琶湖環境科学研究センター）

アユの餌となるケンミジンコやミジンコ類の現存量について、状態空間モデルで経年的な増減傾向みると、2006年までは増加傾向にあったが2007年以降は減少傾向に転じた（図27）。

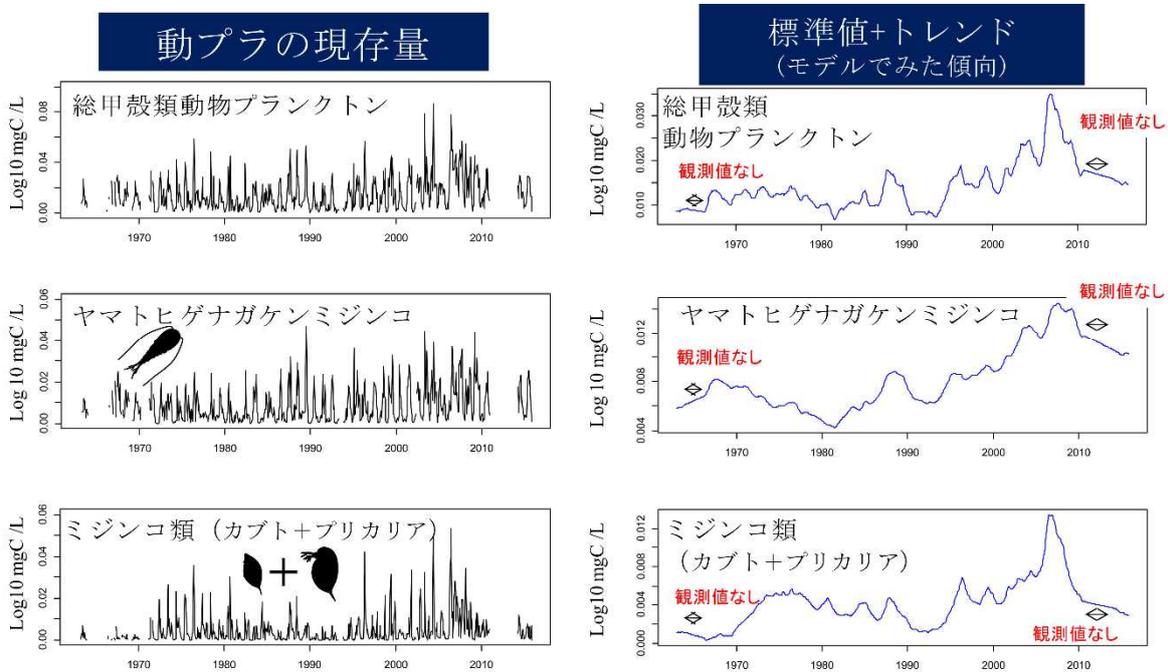


図27. 甲殻類動物プランクトンの現存量（左列）、および状態空間モデルで推定したトレンド（右列）（永田ほか、2017）

データ：1963-2010年は県大・伴教授、2014-2015年は琵琶湖センター。

(6) アユの資源量や成長と環境要因との関係

アユの資源量と漁獲サイズの経年変化をみると、2006年以前は資源量の増大期には漁獲サイズが小型化し、減少期には大型化する傾向にあった。一方、2007年以降には資源量が減少傾向にもかかわらず、漁獲サイズも小型化しており、これ以前と両者の変動傾向に変化がみられた。すなわち、2007年以降の漁獲サイズ（成長）の変動要因は、それ以前とは異なる可能性があることから、これに注目して以下の分析を行った。

① 硝酸態窒素

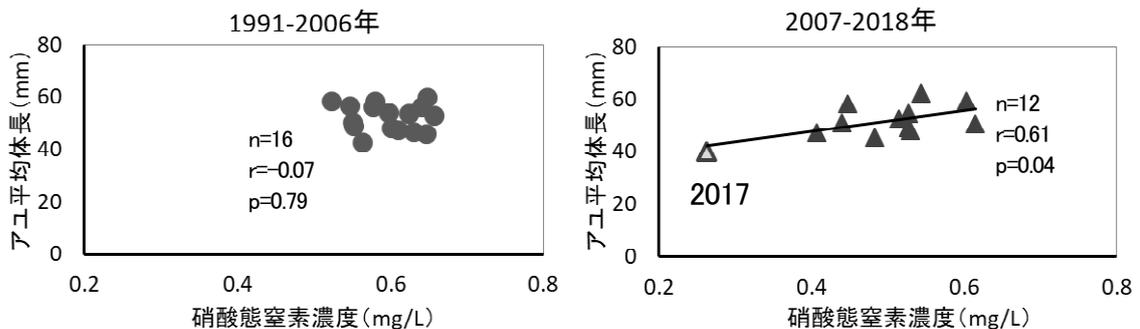


図28. 4月のエリ漁獲アユ平均体長と1-3月硝酸態窒素濃度(10m)との関係

1～3月の硝酸態窒素濃度の年変動を2007年の前後で区切り、それぞれの区間で4月のアユ漁獲サイズとの相関をみたところ、2007年以前には両者に相関関係は認められなかったが、2007年以降には有意な正の相関関係が認められた(図28)。

② 植物プランクトン(クロロフィルa)

1～3月のクロロフィルa濃度の変動を2007年前後で区切り、それぞれの区間で4月のアユ漁獲サイズとの相関をみたところ、2007年以前には両者に相関関係は認められなかったが、2007年以降には有意な負の相関関係が認められた(図29)。

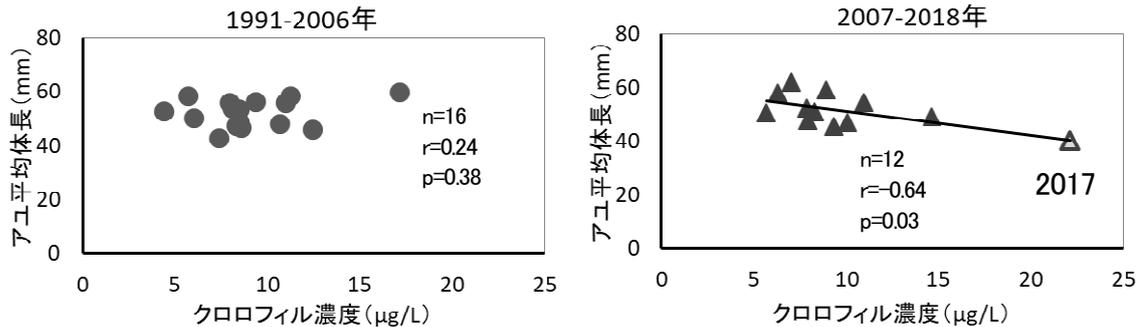


図29. 4月のエリ漁獲アユの平均体長と1-3月クロロフィル濃度(10m)の関係

③ ヤマトヒゲナガケンミジンコ

データのある2007年以降のヤマトヒゲナガケンミジンコ密度とアユの漁獲サイズとの関係を見たところ、両者には有意な正の相関関係が認められた(図30)。ヤマトヒゲナガケンミジンコは減少傾向にあり、同様にアユの漁獲サイズも縮小傾向にあった(図31)。

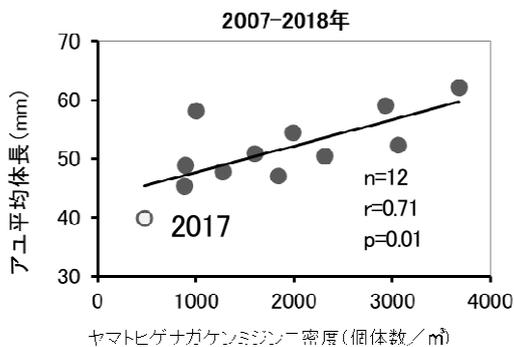


図30. 4月のエリ漁獲アユ平均体長とヤマトヒゲナガケンミジンコ密度の関係

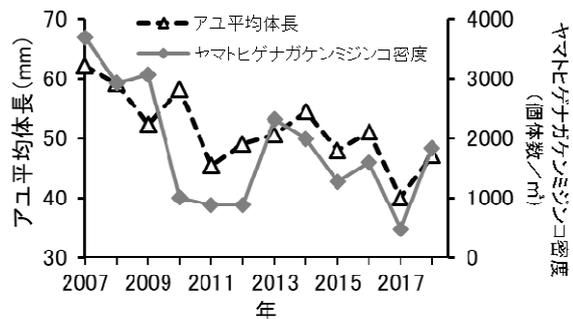


図31. 4月のエリ漁獲アユ平均体長とヤマトヒゲナガケンミジンコ密度の推移

ヤマトヒゲナガケンミジンコ密度: 定期観測I～V地点における10m層の個体数密度の平均値の1～3月の平均値

以上の分析により、アユの漁獲サイズ(成長)の経年変化と、栄養塩、植物プランクトンおよび動物プランクトンとの関係が、2007年以前とそれ以降では変化していることが明らかとなった。2007年以降には、アユに対する琵琶湖の環境収容力が1970年代以降で最も低い水準にあると推測され、この間にみられた動物プランクトンの減少は、アユの成長量を低下させている可能性が見いだされた。

一方、因果関係は不明であるが、漁獲サイズとクロロフィルa濃度と間に負の相関関係がみ

られたことは、近年、度々大発生する大型植物プランクトンが、アユの餌環境に影響を及ぼしている可能性がある。

環境収容力が示すものは餌環境だけではなく、様々な要因があると考えられるが、近年は環境収容力が最も低いと評価されることから、これまでより少しの変化で不漁といったことが起こりやすい状況になっていると考えられる。

5. アユ資源の安定化を目指した今後の研究課題

(1) 資源量の推定精度の向上

魚群探知機によるアユ魚群調査はこれまでの水深 30m 周回コースに加えて、琵琶湖横断 21 トランセクトラインによる調査を行っており、これにより時期ごとのアユの分布の把握と科学計量魚探によるアユ資源尾数の推定を行っている。統計的な資源量解析も合わせて精度向上を進めていく。

(2) 成長変動と餌料環境との関係解明

長期的な視点でアユの資源量や体長の経年変化、これらと餌となる動物プランクトン等との関係を調べた結果、2007 年以降は琵琶湖のアユの環境収容力が低下している可能性が見いだされた。

近年、度々みられる大型緑藻（ミクラステリアス、スタウラストルム）の大発生時には、アユの肥満度低下や成長不良が生じており、さらにセタシジミの肥満度低下やホンモロコの成長不良など、他の魚介類にも類似の現象がみられている。

今後は、アユの資源量や成長の変動と餌料環境との関係をより詳しく検討し、資源の安定化に必要な環境を明らかにするとともに、アユ資源の変動予測手法を開発する必要がある。

引用文献

- 山村金之助（1967）昭和 41 年アユ苗不漁原因について．滋賀県水産試験場研究報告，20，46-72.
- 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.
- 田中秀具（2003）琵琶湖産アユのふ化時期と成長・発育．滋賀県水産試験場研究報告，50，19-33.
- 酒井明久，片岡佳孝，西森克浩（2008）琵琶湖産アユにおける 2005 年漁期の不漁原因．滋賀県水産試験場研究報告，52，13-22.
- 酒井明久（2011）琵琶湖産アユにおける漁獲サイズの変動要因．水産増殖，59，299-306.
- 酒井明久，矢田 崇，井口恵一郎（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，78，885-894.
- 酒井明久，臼杵崇広，片岡佳孝（2015）琵琶湖産アユにおけるアユ資源の冬期減耗と環境要因．日本水産学会誌，81，667-673.
- 吉岡 剛・寺井章人（2016）平成 24 年湖中アユの肥満度低下について．平成 26 年度滋賀県水産試験場事業報告，p. 52.
- 永田貴丸，池田将平，一瀬 諭，伴 修平，藤原直樹，古田世子，木村道徳（2017）在来プランクトン食魚の餌資源評価に関する研究．滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書，13，47-60.