

原著論文

# 稚アユ飼育における給餌量と飼料効率を用いた 新たな飼育重量推定法

岩谷芳自\*<sup>1</sup>・根本 茂\*<sup>1</sup>・中嶋 登\*<sup>1</sup>・富永 修\*<sup>2</sup>Estimating rearing of ayu fish *Plecoglossus altivelis* fry from amount fed and feed efficiencyHoji IWATANI\*<sup>1</sup>, Shigeru NEMOTO\*<sup>1</sup>, Noboru NAKAJIMA\*<sup>1</sup> and Osamu TOMINAGA\*<sup>2</sup>

In seed production of ayu fish *Plecoglossus altivelis*, growing fry up is necessary for good survival after release. Efficient growth of fry in rearing tanks can reduce rearing costs. We calculated feeding efficiency as weight gained divided by amount fed in each of 46 rearing periods at our seed production site. Feeding efficiency was almost constant in fry of <3 g, and then became lower above that size. We also calculated feeding rate as total amount fed divided by total weight. Feeding efficiency tended to increase as feeding rate increased to 3.5%–4.5% and then decreased. These results will be useful in the efficient seed production of ayu fish at rearing sites.

キーワード：稚アユ, 飼料効率, 給餌量, 飼育重量

2017年11月21日受付 2019年9月20日受理

全国で放流されている稚アユ *Plecoglossus altivelis* は、琵琶湖産アユが主流を占めてきたが、再生産に寄与しないこと（酒井1990）等により近年は海産稚アユに関心が持たれている。一方で、河川放流用アユとしては琵琶湖産稚アユのように友釣りによく釣れる性質が求められている。また、天然河川での放流時期は冷水病の発生防止のために遅くなってきており、解禁までに十分成長させるため河川放流時期の4、5月までに大きな稚アユが求められることから、種苗生産現場では成長を速くする飼育技術が必要になっている。

アユの人工種苗生産は昭和40年代から各地で本格的に行われるようになり（酒井1990）、現在では全国で放流用や養殖用の稚アユが生産されている。しかし、その飼育環境や餌料系列は生産現場の立地条件により異なっており（山野井ら1988）、広く共通した効率的生産方法を示す資料は見当たらない。各々の生産現場では、生産方法がマニュアル化されていると考えられるが、公表されているのは田畑・古塚（1994）の報告だけである。

福井県では1982年から放流用人工種苗の生産を開始

し、以前は継代した海産系人工アユや、友釣りなどで漁獲されなかったアユも混在する落ちアユ（産卵のために川を下るアユ）を親魚として用いていた。しかし、継代親魚由来のアユよりも、春に遡上する稚アユを養成して得た親魚に由来するアユの方が友釣りで釣れ易い可能性が示され（森山2013）、近年ではこの様にして得た親魚から早期に採卵して大型稚アユを生産している。

同県での稚アユ生産において岩谷（1988）は、生産年度でアユ仔稚魚の成長が異なり、その原因が給餌過程に起因することを明らかにした。また、種苗生産で得られるふ化仔魚数、生物餌料および配合飼料の給餌量と成長から、仔稚魚の生残状況の把握および給餌設計方法について提案した。さらに、魚体重2～3gまで飼育した場合は配合飼料給餌量の約90%が魚体重として増重することを見出し、そのように推定した飼育重量を元にして適切な給餌量を算定したり、出荷重量を事前に推定して配布計画を立てる等、効率的な稚アユ生産に活用してきた。

しかし、近年は出荷魚体重が4～5gと大きくなるの

\*<sup>1</sup> 福井県内水面総合センター

〒910-0816 福井県福井市中の郷町34-10

Fukui Prefectural Inland Water General Center, 34-10 Nakanogo, Fukui 910-0816, Japan

Hoji-31521@ wt.ttn.ne.jp

\*<sup>2</sup> 福井県立大学海洋生物資源学部海洋生物資源学科生物資源学研究所

に伴って、実際の出荷重量が推定値より低くなる事例が認められるようになり、飼育重量の推定方法を見直す必要が生じてきた。そこで本研究では、過去の稚アユ飼育事例での給餌量および成長のデータを解析することにより飼料効率を用いた大型種苗の飼育重量推定方法について検討を行ったので報告する。

## 材料と方法

**種苗生産** 供試した稚アユは、河川で漁獲したアユあるいは天然遡上稚アユや人工産稚アユを養成したものを親として人工採卵により生産した。生産中は、成長にともないS型シオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* およびアルテミア *Artemia salina* ふ化幼生等の生物餌料を与え、ふ化後約20日から3社（日本農産、日清丸紅、日本配合飼料）のアユ用配合飼料を等量混合したものを併用して与えた。

飼育水槽は50トンまたは100トン水槽を用いた。飼育水は、10～19℃の無加温海水または12～14℃にボイラーで加温した1/6アレン氏処方人工海水（1トン当たりNaCl：4.25kg、CaCl<sub>2</sub>：0.24kg、MgCl<sub>2</sub>：0.82kg、MgSO<sub>4</sub>：1.08kg、KCl：0.12kg、NaHCO<sub>3</sub>：0.03kg）を用い、ふ化後90日以降に3日程度かけて淡水に切り替えた。淡水飼育では14℃に加温調整した地下水を使用し、排水口付近の溶存酸素量が4mg/L以上になるように注水量を適宜増量した。

**取り上げまでの飼育方法** 100トンコンクリート水槽（10m×10m×1m：有効水深）を飼育水槽とし、地下水を無加温または必要に応じてボイラーで加温し、水温14℃に維持した。注水量は、排水口付近の溶存酸素量が4mg/L以上を保つように適宜増量した。飼料は上記の等量混合した配合飼料を飼育重量（収容時の飼育重量と累積した給餌量の90%の和で推定）に対して、取り上げまでの日数、取り上げ時の魚体重を考慮し、日間給餌量の90%が増重すると仮定して、1日4～6回に分けて2～5%の給餌率で与えた。なお、これら各メーカーの配合飼料について、解析に用いた飼育事例間における成分の差異は明らかにできなかった。

**データの構成** 解析には1984年から2015年の飼育事例のうち、疾病により大量斃死したり、途中で他の水槽へ稚アユを分けたり、他の水槽から稚アユを追加したり、放流のために途中で取り上げた飼育事例を除外した合計46例のデータを用いた（表1）。収容時と取り上げ時の魚体重は無作為に採集した30尾の平均値とした。一方、飼育重量は全量を計量して求めた。ただし、飼育期間中に斃死がなかった場合は、魚体重増加割合と飼育重量増加割合が等しいため、収容時の魚体重に対する取り上げ時の魚体重の増加割合を収容時の飼育重量に乗じることにより取り上げ時の飼育重量とした。

稚アユは給餌した配合飼料のほとんどを摂餌すること

から、飼料効率が分かれば給餌量から飼育重量の増加量を推定することが可能と考えられる。しかし、通常の飼育では毎日の飼育重量が計量できないために効率的な飼育を行うために必要な、正確な給餌率および給餌量が算定できない。そこで、収容時から取り上げ時までの飼育重量および稚アユの魚体重が指数関数的に増加すると仮定し、以下の方法で期間平均魚体重（g）、飼料効率（%）および平均給餌率（%）（以後、給餌率と記す）を算定した。

$$\text{期間平均魚体重} = \text{Exp} \left\{ \frac{\ln \left( \frac{\text{取り上げ時}}{\text{魚体重}} \right) + \ln \left( \frac{\text{収容時}}{\text{魚体重}} \right)}{2} \right\}$$

$$\text{飼料効率} = \frac{\left( \frac{\text{取り上げ時}}{\text{飼育重量}} - \frac{\text{収容時}}{\text{飼育重量}} \right) \times 100}{\text{給餌量}}$$

$$\text{平均給餌率} = \frac{\text{給餌量} \times 100}{\text{飼育日数} \times \text{Exp} \left\{ \frac{\ln \left( \frac{\text{取り上げ時}}{\text{飼育重量}} \right) + \ln \left( \frac{\text{収容時}}{\text{飼育重量}} \right)}{2} \right\}}$$

**統計解析** Kyplot 3.0（株式会社カイエンス社製）を用いて、期間平均魚体重、飼料効率、平均給餌率の相互関係を見るために、単回帰分析および二次回帰分析を行った。

## 結 果

**飼料効率、期間平均魚体重、給餌率および飼育日数の関係** 解析に用いた飼育事例の収容時平均魚体重は0.50～5.47g（全長約50～90mm）、水槽あたりの収容時飼育重量は81～750kg、取り上げ時飼育重量は126～1,288kgの範囲であった。これらから求めた期間平均魚体重は1.3～5.9g、給餌率は1.8～6.2%、飼育日数は5～81日の範囲であった（表1）。飼料効率と期間平均魚体重の関係について解析を進めた結果、飼料効率は期間平均魚体重が3g以下では約90%ではほぼ一定であったが（ $r^2 = 0.0650$ ,  $p > 0.05$ ）、3g以上では魚体重と飼料効率の間には、以下の式で示す有意な負の回帰関係が認められた（図1）。

$$\text{飼料効率} = -14.43 \times \text{期間平均魚体重} + 129.12 \\ (r^2 = 0.3025, p < 0.01)$$

次に、期間平均魚体重と給餌率の関係をみると、魚体重が大きくなるにしたがって給餌率が有意に低くなった。しかし、飼料効率で見られたような魚体重3g前後での急激な変化は認められなかった（図2）。

図3に、給餌率と飼料効率の関係を期間平均魚体重3g未満と3g以上に分けて示した。飼料効率が高くなる給餌率は3.5%から4.5%付近に認められ、給餌率がこの範囲から外れると飼料効率は低下した。

表1. 100トン水槽を用いた稚アユ飼育例

飼育日数 D (日)	収容時		取り上げ時		給餌量 F (kg)	給餌率 FR (%)	飼料効率 FE (%)	期間平均 魚体重 AW (g)	
	魚体重 Wi (g)	飼育重量 GWi (kg)	魚体重 Wf (g)	飼育重量 GWf (kg)					
1984	27	0.95	95	2.69	244	150	3.6	98.7	1.6
	28	1.02	86	2.53	216	139	3.7	93.5	1.6
	27	0.87	81	2.07	204	130	3.7	95.2	1.3
	26	0.94	94	2.03	210	130	3.6	89.5	1.4
1985	14	2.48	160	3.87	261	98	3.4	102.5	3.1
	14	2.48	147	4.07	248	104	3.9	97.1	3.2
	8	3.25	97	4.02	126	55	6.2	53.7	3.6
1987	18	1.75	273	3.67	556	288	4.1	98.0	2.5
	13	1.64	300	2.62	473	182	3.7	95.4	2.1
	15	2.29	301	3.57	520	238	4.0	92.3	2.9
1988	25	1.64	244	3.86	423	231	2.9	77.6	2.5
	32	1.62	236	3.26	510	350	3.2	78.1	2.3
1989	48	1.43	139	5.30	695	672	4.5	82.8	2.8
	31	2.26	313	5.45	768	530	3.5	85.8	3.5
	15	2.99	123	5.05	196	109	4.7	66.7	3.9
1991	16	2.39	288	3.58	490	214	3.6	94.3	2.9
1992	23	1.51	310	3.09	584	329	3.4	83.2	2.2
1993	53	0.70	109	5.31	602	650	4.8	75.9	1.9
2010	63	0.50	100	4.00	730	691	4.1	91.3	1.4
*	10	3.22	670	3.65	750	192	2.7	41.7	3.4
*	6	3.65	750	4.07	808	107	2.3	54.3	3.9
	63	0.50	114	4.07	808	771	4.0	90.0	1.4
2012	81	1.65	221	9.63	1288	1169	2.7	91.4	3.1
*	11	1.92	250	2.79	353	112	3.4	92.2	2.3
*	11	2.79	353	4.21	472	172	3.8	69.3	3.4
*	20	4.21	472	5.47	709	365	3.2	64.9	4.8
*	5	5.47	709	6.40	743	73	2.0	46.8	5.9
*	8	2.45	328	3.33	446	131	4.3	90.0	2.9
*	10	3.33	446	4.77	638	185	3.5	103.9	4.0
*	10	4.77	638	5.25	702	209	3.1	30.8	5.0
*	9	5.25	702	5.69	761	118	1.8	49.8	5.5
*	9	1.90	276	2.56	371	95	3.3	101.3	2.2
*	11	2.56	371	3.57	518	143	3.0	102.2	3.0
*	10	3.57	518	4.59	666	174	3.0	84.9	4.0
*	10	4.59	666	5.61	813	205	2.8	72.3	5.1
*	10	1.17	186	1.75	278	100	4.4	92.0	1.4
*	9	3.00	477	3.95	628	156	3.2	97.0	3.4
*	10	3.94	628	4.64	738	207	3.0	52.9	4.3
*	9	4.64	738	5.63	895	210	2.9	75.0	5.1
*	10	3.70	640	4.19	725	187	2.7	45.3	3.9
	40	1.90	276	5.61	813	617	3.3	87.2	3.3
	49	1.50	264	5.22	921	823	3.4	79.9	2.8
	47	1.92	250	6.40	743	721	3.6	68.4	3.5
2013	65	0.90	97	5.95	878	898	4.7	87.0	2.3
	66	0.72	97	5.34	812	824	4.5	86.8	2.0
2015	72	0.92	113	9.06	937	967	4.1	85.3	2.9

\*: 取り上げ時の飼育重量は魚体測定で求めた平均魚体重から求めたことを示す

$$FR: F \times 100 / D \times \text{Exp}(\ln(GW) + \ln(GWf)) / 2$$

$$AW: \text{Exp}(\ln(Wi) + \ln(Wf)) / 2$$

## 考 察

福井県の稚アユ飼育では、出荷魚体重が2～3gの場合に、配合飼料給餌量の約90%を増重量と見込むことにより出荷重量の推定が可能であった(岩谷ら 未発表)。しかし、放流用として魚体重が4～5g以上になると、実

際の出荷重量が推定した重量より低くなった。そこで本研究ではその原因と大型稚アユまで飼育する場合の飼育重量の推定方法について、過去の飼育事例から算出した飼育期間中の平均魚体重と飼料効率の関係等を元に検討した。その結果、アユ稚魚飼育における飼料効率は、魚体重が影響することが示された。さらに、飼料効率は平

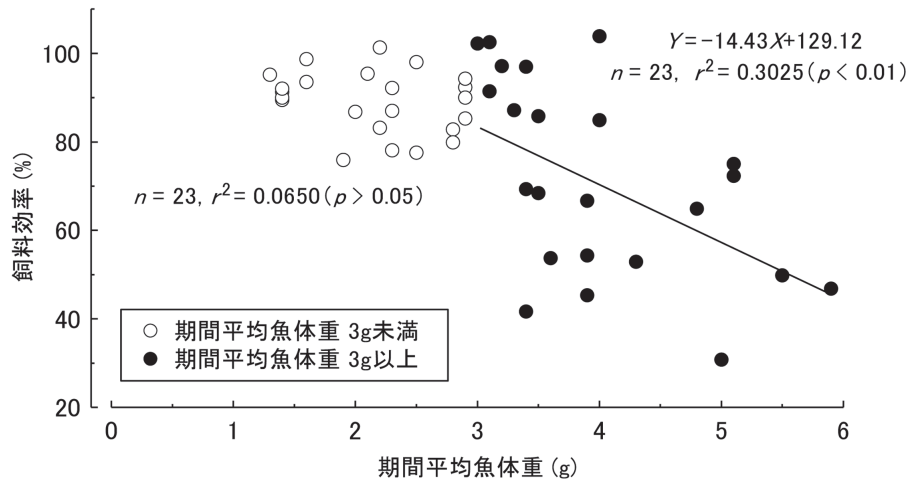


図1. 稚アユ飼育における期間平均魚体重と飼料効率の関係  
期間平均魚体重3g以上で相関が有意で、関係式を示した

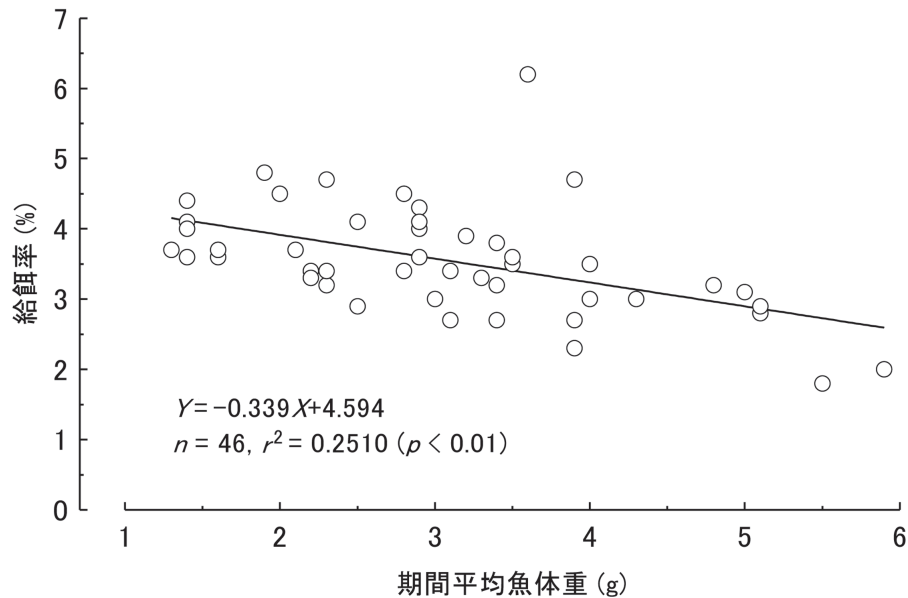


図2. 稚アユ飼育における期間平均魚体重と給餌率の関係

均魚体重が3g未満ではほぼ一定だが、3g以上になると魚体重と負の相関を示すことが分かり、その関係式を用いれば3g以上においても飼育重量が推定可能であると考えられた。具体的には、魚体重3g未満のうちは収容時飼育重量に給餌量の約90%が増重し、その数値から死亡重量を減量することにより飼育重量が推定される。魚体重3g以上からは、日間給餌量に、魚体重と飼料効率の関係式より求めた飼料効率を乗じた値を加えて飼育重量を推定することになる。

このような、給餌量と飼料効率から飼育重量を推定する方法は、アユ同様に摂餌が活発な他魚種においても活用できる可能性がある。筆者は実際にニジマスで確認している（未発表）ことから、本法により飼育重量が推定可能である。現に5g未満で稚アユを取り上げ出荷している当センターでは、本法により取り上げ重量を推定し、実際には推定値の10%未満の差で出荷が行われている。

また、アユの種苗生産においては飼育尾数の把握が困難であり、一つの方法としてアユ仔魚が摂餌したアルテミア数から算定する方法が報告されている（田畑・柄多1979）。本研究では、本種の摂餌が活発なことを利用して給餌量から飼育重量を推定することを提案したが、サンプリングによりその時の魚体重が把握できれば、飼育尾数も推定できることになる。また、飼料効率が低下する前の魚体重3g未満で稚アユを放流できれば、種苗生産現場では飼育期間が短くなり生産費の削減が期待され、内水面漁協では所定の尾数を放流するための放流量が少なくなることから経営改善に寄与することも期待される。しかし、3g未満の稚アユの放流については、アユ釣り解禁までの十分な成長に向けた早期放流の検討や放流後の冷水病対策等課題が多い。従って、アユの放流現場の要請に応えるとともに効率的な飼育を推進するためには、魚体重3g以上の稚アユ飼育における飼料効率

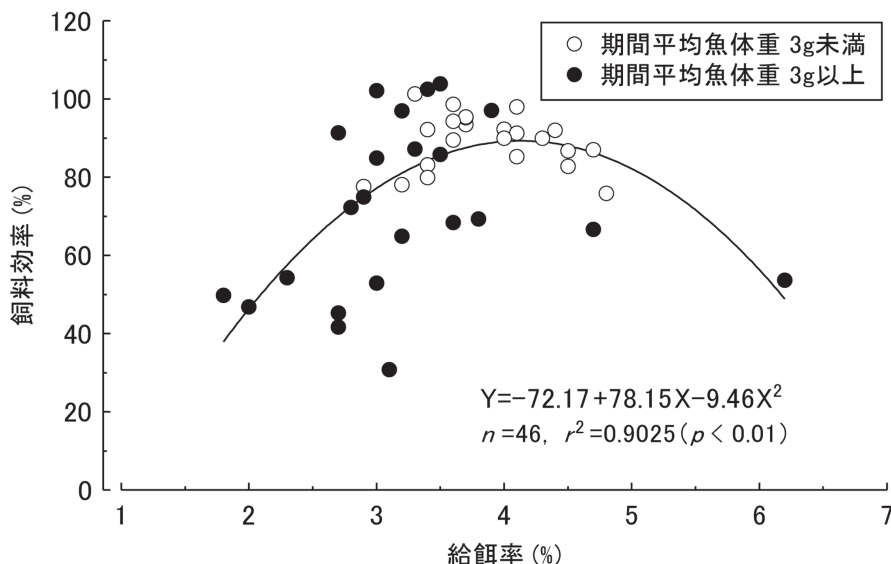


図3. 稚アユ飼育における給餌率と飼料効率の関係

を高める飼料等の開発も必要と考える。

また、図1に示した期間平均魚体重と飼料効率の相関図では、魚体重3g以上で特に飼料効率の変動幅が大きい。原因として、取り上げ時の飼育密度や溶存酸素量等の飼育環境が飼育例により異なっていたことなどが考えられるが、解析に用いた飼育例の飼育データからは明確にできなかった。今後はこの原因を解明して、飼料効率の推定精度を高める必要がある。

一方、魚体重別の飼料効率を元に給餌率を調節することで、疾病による死亡等で生残率が低くなる場合を除けば、計画的に成長や飼育重量が制御できることになる。また、本研究では稚アユ飼育における配合飼料の給餌率は飼料効率が高く維持される3.5～4.5%が推奨されることが示唆された(図3)。しかし、給餌率3.5～4.5%を出荷まで続けると、成長に伴い飼育重量が増加し、日間給餌量も増えることになる。それに応じた水質維持を図るには注水量を増加させる必要性も生じる。今回用いた飼育例では、期間平均魚体重が大きいくほど給餌率が低い値を示した(図2)が、給餌量の増加に伴い、飼育水が濁ったり溶存酸素量が低下したりするために、給餌量を減らす場合があったことが一つの要因であると考えられる。今後は安全な飼育管理を行うための水質、注水量および給餌量についても検討したうえで成長に応じた適切な給餌率を設定することが望まれる。

次に、本研究で魚体重3gを境に成長とともに飼料効率が低下することを確認したが、その要因を本種の成長に伴う消化生理の変化から検討する。まず、福井県の九頭竜川には、魚体重約2g前後の稚アユから遡上することが確認されている(吉村ら2002)。また、河川遡上したアユは動物性餌料から植物性餌料に変化することが知られているが、市販のアユ用配合飼料は魚粉を主原料に製造されており、稚アユ用から成魚アユ用まで組成には

ほとんど変化がない(青江1985)。したがって、魚体重3g以上の稚アユの飼料効率が低下する要因として、動物性から植物性へ変化するアユの消化生理に配合飼料が適合していないことが考えられる。

アユ用配合飼料の研究では、粗タンパク質51%の配合飼料において魚粉含量の約36%を大豆油粕やコーングルテンミールで置換してもアユの成長、摂餌量および飼料効率に遜色ないことも報告されている(中山ら2015)。アユが遡上の初期から河川内の珪藻や藍藻を摂餌しているとすれば、アユ用配合飼料の組成を魚粉から植物性タンパク質へさらに代替できることが推察される。また、魚粉から植物性タンパク質へ代替することは、配合飼料の製造原価の低減が期待でき、魚体重3g以上の稚アユを対象にした低魚粉飼料の開発が望まれる。

田中ら(1972)は、アユの発育成長と消化系の発達を組織学的に検討するとともに仔魚から稚魚への移行にともなう消化酵素活性の変化を調べている。これによるとアユ仔稚魚の消化系発達の大きな変化は、仔魚前期と稚魚期に見られるという。消化酵素については、植物性餌料を与えない全長25mm前後にすでにアミラーゼ活性が認められ、全長40mm以上の稚魚では全長25mmの約20倍の活性を示すことを明らかにしている。また、ペプシン様酵素活性は、全長25mmでは非常に微弱であるが胃腺が発達する全長35mm前後から急激に増大し、全長40mmを超えると全長25mmの約500倍になるといふ。一方、トリプシン様酵素活性の増大は顕著でないと報告している。本研究では市販配合飼料の飼料効率が魚体重約3g(全長約80mm)から低下することが示されたが、上記論文に基づけばこれは胃腺が発達し、アミラーゼやペプシン様酵素の活性が高くなる全長40mmを経過した後の現象であり、稚アユの成長とこれら消化酵素生成量の増減についてのさらなる知見を得ること等により、今

後その要因について検討する必要があると考えられた。また、古橋ら（2001）はクランブル型とディスク型の配合飼料を、魚体重11gのアユに与え、飼料効率とタンパク質効率は、消化時間の差もありディスク型配合飼料が高くなることを確認している。従って、市販アユ用配合飼料は、3gサイズからの稚アユにおいても、配合飼料の物性や消化時間を検討することにより飼料効率が高まる可能性があると考えられた。このように、今後は稚アユの飼料効率が魚体重以外のどのような要因に影響を受けているかを解明するとともに、飼料の組成や物性等についても再検討することで、アユ人工種苗生産のさらなる効率化が期待できる。

## 文 献

- 青江 弘（1985）淡水魚用飼料。「養魚飼料-基礎と応用」（米 康夫編），水産学シリーズ**54**，恒星社厚生閣，東京，p.129.
- 古橋 真・海野徹也・吉留尚子・中川平介・酒本秀一（2001）アユの消化管性状と消化システムに及ぼす飼料物性の影響。水産増殖，**49**，61-66.
- 岩谷芳自（1988）種苗生産におけるアユの成長について，福井県アユ種苗センター事業報告書（57-63）pp.28-31.
- 森山 充（2013）成群性の解析および釣獲試験による放流用アユ種苗性の評価。水産技術，**6**，39-43.
- 中山仁志・古板博文・天野俊二・奥 宏海・村下幸司・松成宏之・田上伸治・鈴木伸洋・山本剛史（2015）成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性。水産技術，**8**，19-24.
- 酒井典一（1990）アユの放流と内水面漁業。水産増殖，**38**，212-213.
- 田中 克・川合真一郎・山本章造（1972）アユ仔稚魚の消化系の発達と消化酵素活性について。日水誌，**38**，1143-1152.
- 田畑和男・古塚香織（1994）アユ種苗生産マニュアル，兵庫県水産試験場，62p.
- 田畑和男・柄多 哲（1979）アユ大量種苗生産池における中期以後の個体数推定の一方法（予報）。水産増殖，**27**，12-14.
- 山野井英夫・杉山瑛之・片山勝介（1988）アユの人工種苗生産における餌料と大量斃死に関するアンケート調査結果。水産増殖，**35**，213-222.
- 吉村祐一・石田敏一・岡部健一（2002）アユ資源増大対策事業 平成14年度福井県内水面総合センター事業報告書，pp.44-55.