

アユ種苗生産における初期成長予測モデルの作成（令和5年度）

高木優也・野中信吾・船山光弘¹

目的

栃木県漁業協同組合連合会種苗センター（以降『種苗センター』）は、河川放流や養殖のためのアユ種苗を県内向けに一手に生産しており、その生産量は年間800~900万尾で全国2位である。¹⁾アユ種苗は、継代するほど生産が容易となるが、遺伝的多様性の低下や河川での定着率低下が懸念されるため、²⁾天然親魚の導入が定期的に行われる。その結果、成長が予測しがたい種苗に対して勘と経験を頼りに採卵日を調整し、注文通りの時期とサイズで出荷するという高度なスキルが求められている。しかし、人材確保が難しくなり、働き方改革が求められる昨今、個人スキルに依拠しない生産のマニュアル化が求められている。

そこで、アユの初期成長への各種要因の影響をデータにより可視化することを目的に、出荷目安サイズまでの成長予測モデルを作成した。

材料および方法

種苗生産の流れ 種苗センターでは、長日処理によって親魚の成熟をコントロールし、8月から10月の期間中に採卵が実施される。人工授精させた卵は縦型ふ化槽で管理され、1池60万尾を目安に収容される。その後、出荷目安サイズである平均体重0.5gを超えると12月末から2月にかけて順次出荷されることになるが、その間に1次選別、2次選別と最低2回の網選別が実施される。サイズが大きくなるにしたがって分養されたり、選別や池清掃のタイミングで池が変更されたりするので、収容から出荷まで同じ池で成長するロットは少ない。飼育水は井戸水であり、水温が低下する冬期にはボイラーによって水温が維持される。

データ収集と予備解析 現在の施設で生産がなされるようになった2014年から2022年までの9年間の池ごとの平均体重データを収集した。種苗センターでは、ふ化後30日目から10日おきに池ごとに平均体重が測定されているが、150日目以降のデータは仕向け先によって給餌量に違いが出ることから著しくばらつきが大きくなるので解析対象としなかった。

また、種苗センターでは複数の系統を生産しているが、そのうち3系統を解析の対象とした（表1）。具体的には、最も継代が進んでいて非常に生産しやすいと評価されている鹿児島県鶴田ダム湖由来の「鶴田ダ

ム湖系」、野性味が強く生産しづらいと評価されている那珂川の天然遡上アユ由来の「那珂川系」、やや生産しづらいが冷水病耐性が強く釣れやすいと評価されている三重県七色ダム湖由来の「七色ダム湖系」である。ふ化後日数と平均体重には指数関数的な関係性が見られたが、150日目に近づくほど体重の増加が緩やかになる傾向があったので、予測式にはふ化後日数だけでなく、その二乗項も加えた。採卵時期が遅くなるほど、同じふ化後日数で比較したときの平均体重が小さくなる関係性が見られたため、採卵時期を示す指標として、それぞれのロットのふ化日を9/1からの日数に変換して予測式に加えた。

表1 種苗センターにおける系統別生産状況

生産年	種苗の系統		
	鶴田ダム湖系	那珂川系	七色ダム湖系
2014	鶴田ダム湖 F6	那珂川 F4	
2015	鶴田ダム湖 F7	那珂川 F5	
2016	鶴田ダム湖 F8	那珂川 F1	七色ダム湖 F2
2017	鶴田ダム湖 F9	那珂川 F2	七色ダム湖 F3
2018	鶴田ダム湖 F10	那珂川 F3	七色ダム湖 F4
2019	鶴田ダム湖 F11	那珂川 F4	七色ダム湖 F5
2020	鶴田ダム湖 F12	那珂川 F5	七色ダム湖 F6
2021	鶴田ダム湖 F13	那珂川 F6	七色ダム湖 F7
2022	鶴田ダム湖 F14	那珂川 F7	七色ダム湖 F2
2023	鶴田ダム湖 F15	那珂川 F8*	七色ダム湖 F3
		那珂川 F1	七色ダム湖 F4

注) 那珂川 F8*: かけ戻し (F7×F0)、栃木: 鶴田ダム湖×七色ダム湖、新栃木: 那珂川×七色ダム湖
天然種苗はF0、それを親にして作成した種苗がF1となり、以降、F2、3と続く

統計解析 前述の条件を満たし、かつ説明変数に欠損値の無い平均体重データは1,253個であった。このデータに対して、平均体重と説明変数の関係を下記式で仮定し、平均体重はガンマ分布に従うとして最尤法によってパラメーター (a1~a6) を推定した。

$$\begin{aligned} \text{平均体重} = & \exp (a1 \times \text{ふ化後日数} + \\ & a2 \times \text{ふ化後日数の二乗} + \\ & a3 \times \text{ふ化日} + \\ & a4 \times \text{系統} + \\ & a5 \times \text{継代数} \\ & + a6 \times \text{年}) \end{aligned}$$

解析には、統計ソフト R (version4.3.2) を用いた。

結果および考察

アユの初期成長への各種要因の影響可視化 得られた予測式で、データのばらつきの96%を説明できており、図示した結果からもあてはまりのよい予測式が得られたと考えられた（図1）。全ての説明変数が有

意に影響（尤度比検定 $p < 0.001$ ）しており、その係数値と95%信頼区間は図2のとおりであった。係数値の比較から、ふ化日が10日遅いと平均体重は4.3%小さくなり、鶴田ダム湖系の平均体重と比べて七色ダム湖系が2%、那珂川系が24%大きく、系統に関係なく1世代継代すると平均体重が4.4%大きくなると言える。また、平均体重が小さめ、あるいは大きめの年があり、生産年による違いは最大10%ほどであることがわかった。加えて、継代するほど成長が良くなっていることが確かめられた。ふ化日が遅いほど成長が悪い理由は不明だが、早期採卵群ほど卵質が良い可能性、早期ほど水温が高く日照が長いことなどが影響している可能性が考えられる。那珂川系については、特に2代目までは1次選別までの歩留りが悪いことがわかっており、³⁾密度が薄くなることで見かけの成長が良くくなっている可能性が高いと考えられる。

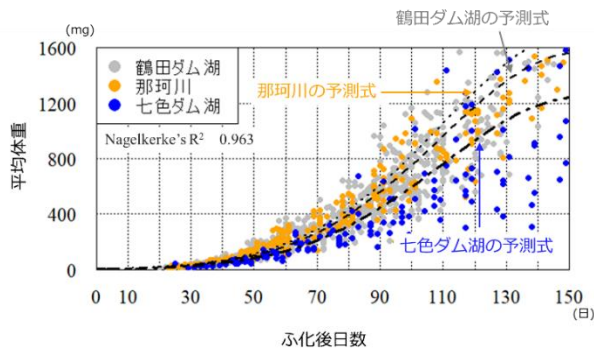


図1 予測式のあてはまり
(ふ化日・継代数・生産年は平均的な値を使用)

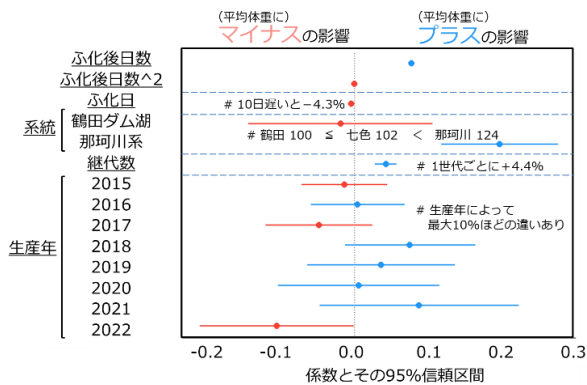


図2 予測式の係数とその95%信頼区間
(系統については七色ダム湖の係数をゼロ、生産年については2014年の係数をゼロとして算出される)

データに基づく成長予測 得られた予測式を用いて、出荷目安サイズである平均体重0.5gまでの成長予測を実施した。

その結果、ふ化日が20日遅れると(9/20⇒10/10)、出荷目安サイズへの到達が3日遅くなり(図3)、出荷目安サイズへの到達は那珂川系が一番早く、鶴田ダム湖系、七色ダム湖系は5~6日遅れる(図4)、継代が3世代(F1⇒F4)進むと、出荷目安サイズへの到達が4日早くなる(図5)、と予測された。

この成長予測の結果は、種苗センターでこの9年間一貫して生産責任者を務めてきた熟練職員の感覚に反しないとのことであった。したがって、おおむね妥当な予測となっており、勘と経験をデータ化できたと考えられる。これによって、注文通りの時期とサイズでの出荷に向けた成長予測が簡単となることで生産者の負担軽減が見込まれる。さらに、成長予測が見える化されたことで状況認識の共有が容易となった。また、成長予測と現状値を比較したり、各種要因を変化させてシミュレーションを行ったりすることで、種苗生産における生産効率化と高品質化が期待される。

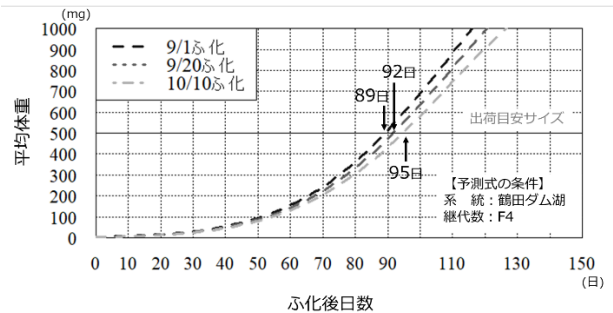


図3 ふ化日と出荷目安サイズ到達日数の関係

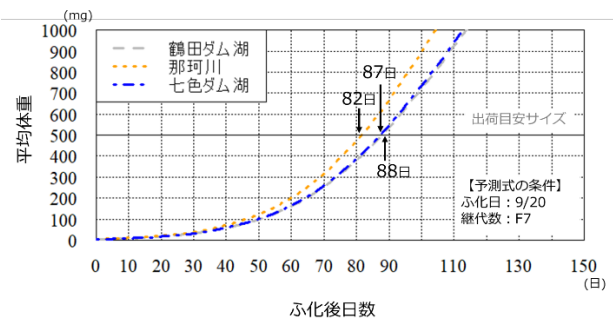


図4 系統と出荷目安サイズ到達日数の関係

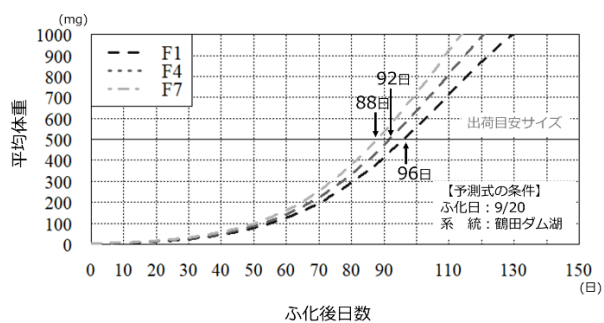


図5 継代数と出荷目安サイズ到達日数

引用文献

- 1) 令和3年漁業・養殖業生産統計.
- 2) Jun-ichi Tsuboi, Kohichi Kaji, Shinya Baba, Robert Arlinghaus. Trade-offs in the adaptation towards hatchery and natural conditions drive survival, migration, and angling vulnerability in a territorial fish in the wild. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2019 ; 76(10) 1757-1767.
- 3) 高木優也・野中信吾・小堀功男. 那珂川系アユ種苗の作出. 栃木県水産試験場研究報告 2024; 68: 12-14.

(水産研究部)