

令和 4 年 5 月 11 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22338

研究課題名(和文) 小型水槽で海産仔魚飼育を実現するための生物流体力学

研究課題名(英文) Integration of biology and fluid dynamics for marine fish larviculture in small scale tanks

研究代表者

阪倉 良孝 (Sakakura, Yoshitaka)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授

研究者番号：20325682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：小型水槽で海産仔魚飼育を実現するために、流体力学と生物科学を統合して、小型水槽での海産仔魚飼育のための条件を可視化・定量した。50 Lの水量では水槽の形状によらず、水槽底中央に通気装置を1個おき、通気量を100 mL/minにする。クロマグロのような沈降死を起こす魚種については、矩形水槽ではなく円筒形水槽が推奨される。10 L未満の水量には改良型クライゼル水槽が推奨される(通気量15-150 mL/min)。ただし、いずれの場合も水表面の流速が速くなるために、仔魚の鰾開腔が阻害される傾向を認めた。今後は、仔魚が鰾開腔のための水面での空気呑み込み行動を誘導する方法を検討する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海産魚類の種苗生産の効率を上げて高度化するためには、繰り返しを設けた統計学的実験計画に基づく仔魚飼育実験が必要で、数リットルから数十リットルの小型水槽での仔魚飼育を実現しなければならない。本研究によって50Lであれば汎用水槽でも、またさらに小規模でも特殊な形状の小型水槽で海産仔魚飼育を実現することができたことから、その意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：We evaluated the condition for larviculture in small scale tanks integrating bioscience and fluid dynamics. For 50-L volume, one aerator should be set at the center of the bottom with flow rate at 100 mL/min. Cylindrical but not rectangular tank is recommended for the species such as bluefin tuna in which sinking syndrome occurs during larviculture. For less than 10-L volume, plankton Kreisell tank is recommended at 15-150 mL/min aeration rate. However, in both tanks, we observed the trend of failure in swimbladder inflation of larvae. Future consideration is that seeking the timing and condition enhancing the air gulping behavior of larvae.

研究分野：水産増養殖

キーワード：種苗生産 海産魚 仔魚 小型水槽 流場 流体力学

1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループは、海産魚の種苗生産(仔魚飼育)における飼育水槽内の流場を最適化するための研究を先導し、異なる通気量によって生じる流れと仔魚の飼育実験の結果を照合することで最適な流場形成の条件を探ってきた。本課題開始前の段階で我々は、円筒形水槽および8角形水槽など、水面が中央から対称の形をしている水槽を用いてきた。これらの水槽の水槽底中央に通気装置を置いて形成される流れは、鉛直方向には同じ形の循環流になる。したがって、二次元方向を無視して、鉛直方向の流れを代表させることができた。ところが現実には、円筒形以外にも正方形から長方形、ガラス水槽からコンクリート製の大型水槽まで、実に様々な形と大きさの角型水槽(矩形水槽)がある。さらに、それらの水量も数百トンから数リットルに至るまで様々である。国内外の学会でも汎用されている矩形水槽の流れについての質問が殺到した。また、魚種によってはクロマグロやブリのように雌1尾が百万を超える卵を産むものもあれば、代表的な観賞魚・水族館展示魚であるスズメダイ類のように数十から数百の卵しか産まない種もある。いずれも卵径が小さく、特に観賞魚の対象種は著しく小さい。これらの初期飼育に共通して起こる夜間の沈降死は種苗生産の大きな障害となっている。現状では水量1Lに対して孵化仔魚10尾前後というのが飼育開始密度であるため、これらの全ての魚種に対して量産規模の容量の大きな飼育水槽で仔魚飼育を実施するのは現実的ではない。また、産卵数の多い魚種であっても、繰り返しを設けた科学的な設定で実験を実施するためには、小型水槽での仔魚飼育は必須となる(Sakakura et al. 2019)。

以上の背景をもとに我々は、魚種の孵化仔魚の性状によらず、かつ、汎用小型水槽で効率的な種苗生産を実施できる体制を整えることが必要であると考えに至った。

2. 研究の目的

天然資源に依存することなく水産資源を持続的に利用するために、人為管理下で親魚から採卵し、仔魚(卵から孵化して稚魚に発達するまでの幼期)を稚魚に養成して肥育する、いわゆる完全養殖の重要性が急激に増している。ここで、仔魚飼育(種苗生産)が最も重要なプロセスとなるが、海産魚の仔魚は水流や水温などの環境の変動に対して極めて脆弱で、数百リットルから数百トンの水量の大型水槽でなければ飼育は難しいというのが一般論である。海産魚の孵化仔魚の全長は、たとえばクロマグロのような大型種でも4mmと小さく、ハタ類やスズメダイ類は2mmに満たず、1回に産卵する卵数が数十と少ないものもある。種苗生産の効率を上げて高度化するためには、繰り返しを設けた統計学的実験計画に基づく仔魚飼育実験が必要で、数リットルから数十リットルの小型水槽での仔魚飼育を実現しなければならない。ところが、一部の海産仔魚は物理的な刺激に対して極めて脆弱で、夜間の沈降死を起こすという特性をもち、小型水槽での飼育は極めて難しいものとされてきた。この問題解決に挑戦するために、生物分野と物理分野の研究者が協働してシナジーを起こし、海産仔魚の生残率を高める水槽内の流場の最適モデルを構築し汎用化することで、小型水槽で海産仔魚飼育を実現するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 50 L 水槽 (矩形水槽と円筒形水槽)

基本的な仔魚飼育の条件と実験方法を先に述べる。水量(50L)とアスペクト比(水槽面積/水深=1.3)を等しくした円筒形水槽(直径46cm×30cm)と矩形水槽(60×30×28cm:いわゆる60cm水槽)を用いて海産仔魚の初期飼育を行った(図1)。仔魚が開口してから市販のDHA強化クロレラ(スーパー生クロレラV12, クロレラ工業)で培養したシオミズツボウムシを10個体/mLの密度となるように与え、飼育水にスーパー生クロレラV12を50万細胞/mLの密度となるように1日1回調整した。基本的に飼育終了まで水換えは行わず、水面の油膜除去も実施しなかった。飼育最終日に全個体を取り揚げて水槽毎に生残尾数を計数し、MS222で麻酔した。そのうち30個体について実体顕微鏡の透過照明下で鰾の開腔の有無を確認して鰾開腔率を算出した。さらに全ての個体を5%ホルマリンで固定して全長等の形態計測と乾燥重量測定を行って水槽毎の平均値(n=3)を求め、これらを飼育成績のパラメータとした。

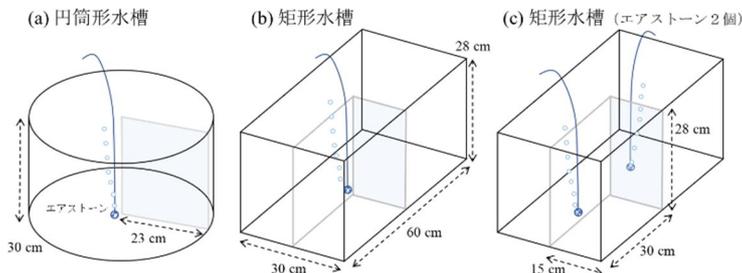


図1. ①の実験で使用した水量50Lの円筒形水槽 (a) と矩形水槽 (b) の通気装置の配置。これらに加えて、②の実験には (c) も使用した。

①水槽の形状が海産仔魚の飼育成績に与える影響

【クロマグロ】 円筒形および矩形水槽の水槽底面中央に通気装置(エアストーン)を1基設置し(図1(a),(b)), 予備的に通気量を50, 100, 300 mL/minとしてクロマグロを8日齢まで飼育した。その結果, 300 mL/minでは仔魚が全滅し, 100 mL/minで生残率が最も安定しかつ高くなった(33%)。予備実験の結果を受けて, 通気量を100 mL/minとし, クロマグロの受精卵を各水槽に500粒収容し, ふ化後8日齢まで飼育して飼育成績を比較した。光条件は全明とした。

【マダイ】 円筒形および矩形水槽の水槽底面中央にエアストーンを1個設置したものと(図1(a),(b)), 矩形水槽の底面を2分した各々中央にエアストーンを1個ずつ計2個設置したものを設けた(図1(c))。通気量は図1の(a),(b)の水槽は100 mL/min, 図1(c)の水槽はエアストーン1個当たり50 mL/minとし, 全体の通気体積を統一した。各々の水槽にマダイの受精卵を500粒ずつ収容し, ふ化後14日齢まで飼育して飼育成績を比較した。光条件は自然日長とした。

矩形水槽内の通気装置の配置がクロマグロ仔魚の飼育成績に与える影響

4種類の通気装置を設定した矩形水槽を使用してクロマグロの飼育成績の比較を行った(図)。ここで棒状のエアストーンとはいわゆるユニホースを指す。通気量は図2中に示したが, 仔魚の分布の具合を見て(c)および(d)は記載の通りに調整した。光条件は全明とした。

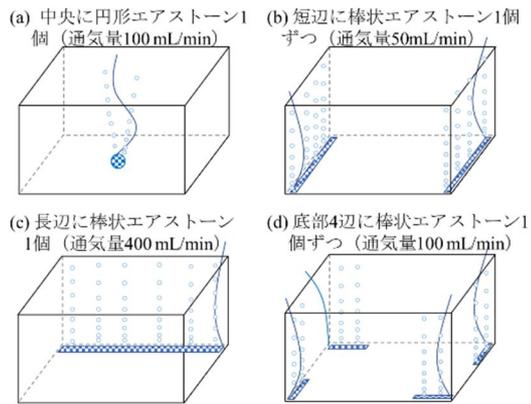


図2. ②の実験で使用した水量50Lの矩形水槽の4通りの通気装置の配置。

(2) 10 L 未満の水槽(改良型クライゼル水槽と円筒形水槽)

【クロマグロ】 円筒形的水槽(直径21.5 cm)と改良型クライゼル水槽(直径34.5 cm, 幅9 cm)に8Lの飼育水を入れて(各n=3), 各水槽にクロマグロの受精卵を40粒収容し, ふ化後10日齢までの飼育を行い飼育成績を比較した。通気量は両水槽ともに仔魚の成長に合わせて15-85 mL/minに調節した。光条件は全明とした。

【マダイ】 改良型クライゼル水槽に8.2Lの飼育水を入れて, 水面の油膜を除去しない水槽(対照区)と油膜除去区に分けた(各n=4)。各々の水槽にマダイのふ化仔魚(0日齢)を40個体ずつ収容して, 13日齢まで2週間の飼育を行い, 飼育成績を比較した。通気量は仔魚の成長に合わせて15-150 mL/minに調節した。なお, 油膜除去区では3~12日齢の期間の16:30~17:00の時間帯に, 水面の油膜をキムワイプで吸着した。3日齢より12日齢までの間, 仔魚が空気呑み込み様行動を示した17:00-18:00の間に水流を停止させた。光条件は自然日長とした。

(3) 流場の可視化と定量

(1)および(2)の飼育実験と同様の水槽および通気条件下で, 水槽内流れ場の定量的な物理量を測定するためにPIV計測を用いて調査を行った。微小粒子の移動軌跡を撮影し, PIV解析することにより流れ場計測を行った。シートレーザー光源(DPGL-2W)を水槽中央断面に照射し, 追跡粒子にはガラス粉を用いた。数値流体解析においては, 液相および気相をそれぞれ連続体として扱う分散流モデルを採用し, 解析手法としてSMAC法を用いた。

4. 研究成果

(1) 50Lの水槽

①【クロマグロ】円筒形水槽の生残率が圧倒的に高かったが, 成長に差は見られなかった。また, 矩形水槽の方が鰓開腔率の高い傾向が見られた(表1, Aung Naing Win et al. 2020a)。

表1. 50L水槽の仔魚の飼育成績(n=3, *は統計的な有意差を示す)

水槽	エアストーン	クロマグロ(8日齢)			マダイ(14日齢)		
		生残率(%)	体長(mm)	鰓開腔率(%)	生残率(%)	全長(mm)	鰓開腔率(%)
円筒形	1	52.7±5.1	4.1±0.3	16.5±14.5	54.7±11.0	4.7±0.2	58.9±28.3
矩形	1	0.8±0.7*	3.9±0.2	56.9±37.4	55.3±6.0	4.9±0.1	94.4±6.9
矩形	2	n.d.	n.d.	n.d.	29.6±9.3*	4.7±0.2	92.2±10.7

【マダイ】エアストーンを1個設置した場合には水槽の形状によらず生残率は安定した。ところが矩形水槽にエアストーンを2個置くと, 生残率は有意に低下した。一方, 鰓開腔率は通気装置の配置によらず, 矩形水槽の方が円筒形水槽よりも高い傾向を示した(表1, Aung Naing Win et al. 2020b)。

矩形水槽内の通気装置の配置がクロマグロ仔魚の飼育成績に与える影響

矩形水槽の底面中央に1個の球形エアストーンを置いた場合には10日齢に4.6±3.9%の生残率を示す場合もあった。一方, 矩形水槽に棒状のエアストーンを置いた場合は, いずれの場合も6日齢でほぼ全滅した。

50 L の水槽の流場

円筒形水槽と矩形水槽ともに、水槽底のエアストーンから吐出される気泡により上昇流が起こり、これが水面に到達すると水槽壁面に向かう水平方向の流れとなり、次に水槽壁面から水槽に至り水槽底で中央に向かうという循環流が形成される。しかし、水面の平均流速は円筒形水槽 (24.6 mm/s) の方が矩形水槽 (19.3-22.1 mm/s) よりも速

いことが明らかになった。このことが、鰾開腔時の仔魚の空気呑み込み行動に影響を与え、クロマグロとマダイの2種の仔魚ともに円筒形水槽で鰾開腔率の低い傾向が見られた原因になったと考えられる (Aung Naing Win et al. 2020b)。

矩形水槽内に異なる通気装置を配置した場合の流場を図4に示した。長いエアストーン (60 cm, 図4(c)) から様に空気を吐出するためにはより多くの通気を必要とするため、結果的に流速が他の水槽より速くなった。Nakagawa et al (2011) にならい、推定快適領域 (Estimated Comfort Zone = ECZ) を、仔魚平均遊泳速度を閾値としてそれよりも水槽内の流速が遅い領域として定義した。既報 (Sabate et al. 2010) に基づきクロマグロ仔魚 (6日齢, 体長 4.2 mm) の平均遊泳速度を 9.2 ± 6.0 (mm/s) とした。その結果、底部短辺通気 (図4(b)) では ECZ の分断があり、仔魚がエネルギー消費なく活動できる領域が制限されたと考えられた (ECZ は総体積の 13%)。最も ECZ の割合が低かった通気設定は底部長辺通気 (1%, 図4(c)) であり、通気量が明確に大きかったことが原因であろう。ECZ の小さな水槽では仔魚の生残が低くなると考えられる。最も生残率が高かった底部中央通気 (図4(a)) の水槽内の ECZ の割合 (57%) と、仔魚の全滅した底部四辺通気 (図4(d)) の ECZ の割合 (50%) に大きな差はなかった。しかし、水槽底面の流れを見ると、底部四辺通気では通気装置付近ではそれらに誘引される形で 10 mm/s 程度の水平方向流れが発生しているように見えるが、中央部では通気装置の向きではなく中央部や2つの渦の方向に水平方向流れが発生していた。水槽底面を斜めに分断する低流速領域に仔魚が移動すると、そこから脱出できる可能性は少ないと推測できる。このことが底部四辺通気は底部中央通気と同等に ECZ の最大ブロック割合が高かったにもかかわらず、生残率が低かった原因であると考えられる。

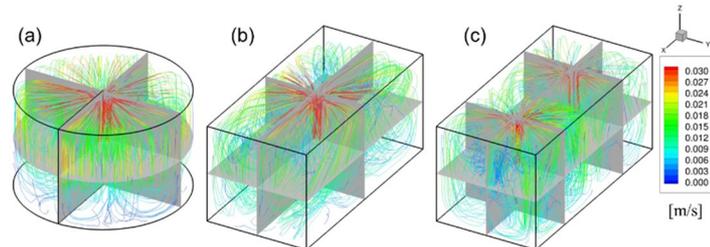


図3. 円筒形および矩形水槽の水槽中央底面に1個のエアストーンを置いた場合 (a, b) と、矩形水槽の底面に2個のエアストーンを置いた場合の流場の3次元モデル。

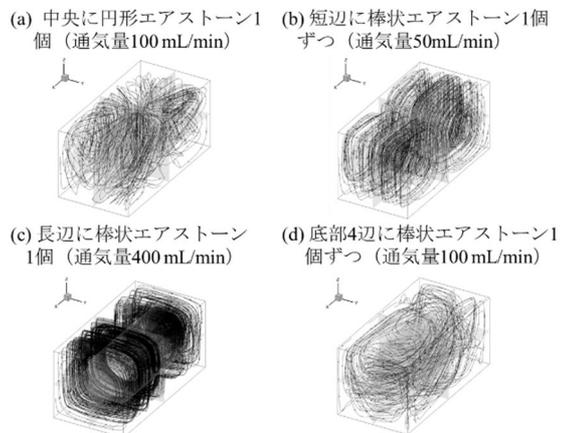


図4. 水量50Lの矩形水槽に4通りの通気装置を配置した場合 (図2) の3次元流線。

(2) 水量 10L 未満の水槽

① 仔魚飼育実験の結果

【クロマグロ】 計2回の試行を行ったが、円筒形水槽は1回目は5日齢で全滅し、2回目は $5.0 \pm 7.1\%$ (10日齢) であった。改良型クライゼル水槽の場合は、1回目は $24.2 \pm 2.4\%$ (5日齢) で、2回目は $10.8 \pm 4.2\%$ (10日齢) といずれも円筒形水槽の2倍以上の生残率であった。円筒形水槽ではクロマグロ仔魚の鰾開腔は確認できなかった。一方、改良型クライゼル水槽の場合、1回目は $12.8 \pm 11.2\%$ (5日齢) で、2回目は $5.6 \pm 7.9\%$ であった。

【マダイ】 対照区の生残率 ($39.4 \pm 7.2\%$) と油膜除去区のそれ ($38.1 \pm 7.2\%$) との間に差は検出されなかった。一方、油膜除去区の鰾開腔率 ($54.8 \pm 16.0\%$) は対照区 ($23.1 \pm 10.6\%$) よりも有意に高かった。

改良型クライゼル水槽内の流場

解析は、クロマグロとマダイ仔魚の飼育時に等しかった通気量の 60 mL/min で行った。各水槽の鉛直断面の流場を図5に示した。円筒形水槽内の流れは1渦対系の流場であるが、水槽底端部に主要な渦とは考えにくいコーナー渦が存在する。本研究の円筒形水槽の AR は 1.62 であり、Sumida

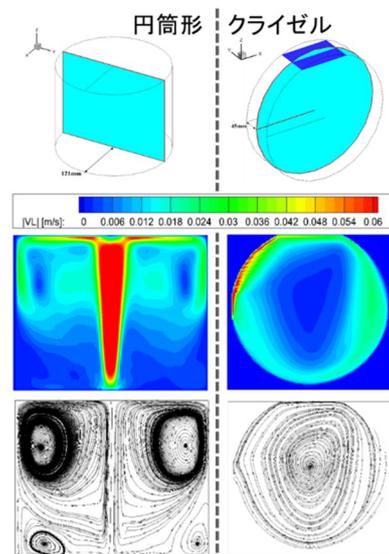


図5. 円筒形水槽 (左) と改良型クライゼル水槽 (右) の鉛直断面の流場を可視化したもの (中段) と数値解析によるモデル (下段)。

et al. (2013) の示した AR が 1 以上の水槽では 2 渦対系に遷移するという結果と一致する。円筒形水槽では水槽中央部付近には通気装置に向かう水平方向流れが 10-15 mm/s 程度の強さで発生しているが、水槽底端部において水平方向流れはほとんど発生していないことから、クロマグロ仔魚が水槽底端部に移動した場合、通気装置に向かう水平方向流れがほとんどなく、沈降死を起こしたものと推察された。

一方、改良型クライゼル水槽内の流場は外側の水槽壁面から中央部に向かって流速が減少する単純な一渦流であることが示された。改良型クライゼル水槽の場合、水槽底面に仔魚が沈降しても、水槽壁面に沿った 10 mm/s 上向きの流れが常に発生しているために水槽底に留まるということがない。このことにより、沈降死しやすいクロマグロ仔魚であっても円筒形水槽と異なり生残できる仔魚がいたのであろう。

(3) まとめと今後の展望

流体力学によって水槽内の流場を明らかにし、仔魚飼育の成績との照合をすることで、小型水槽での海産仔魚飼育のための条件を可視化・定量することができた。

①50 L の水量では水槽の形状によらず、水槽底中央に通気装置を 1 個おき、通気量を 100 mL/min にする。マダイのような沈降死をしない魚種であればいわゆる 60 センチ水槽（矩形水槽）で仔魚飼育が可能である。この場合、水槽表面の両端付近に生じる流れの弱い水域（10 mm/s 未満）が仔魚の鰾開腔を助けるようで、油膜除去をすることでさらに鰾開腔率を上げられると考えられる。一方、クロマグロのような沈降死を起こす魚種については、矩形水槽ではなく円筒形水槽が推奨される。ただし、水面付近の流れは矩形水槽よりも速く滞留域がないことが原因で、仔魚の鰾開腔率が非常に低くなる。

10 L 未満の水量では円筒形水槽でも飼育は困難で、あまり流通してはいないがドラム型の改良型クライゼル水槽が推奨される。この水槽は、通気によって起こる循環流が水槽底でも滞留することがないため、仔魚が沈降死を起こしにくい。ただし、水表面の面積が狭く、水流も速い（60 mL/min の通気で流速 40 mm/s 前後）ために、仔魚の鰾開腔を阻害するようである。

今後は、仔魚が鰾開腔のための水面での空気呑み込み行動をするときを見定めて、通気を弱めるあるいは止める等の操作をすることで鰾開腔が誘導されるかを検討する必要がある。

< 引用文献 >

- Sakakura Y, Yamazaki W, Takakuwa Y, et al (2019) Flow field control in marine fish larviculture tanks: lessons from groupers and bluefin tuna in Japan. *Aquaculture* 498:513–521. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.012>
- Aung Naing Win, Yamazaki W, Hasegawa T, et al (2020a) Effect of tank shape on survival and growth of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* larvae. *Aquaculture* 524:735283. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735283> **(本課題による成果)**
- Aung Naing Win, Yamazaki W, Sumida T, et al (2020b) Effects of tank shapes and aerations on survival, growth and swim bladder inflation of red seabream *Pagrus major* larvae. *Aquac Reports* 18:100451. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100451> **(本課題による成果)**
- Nakagawa Y, Kurata M, Sawada Y, et al (2011) Enhancement of survival rate of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) larvae by aeration control in rearing tank. *Aquat Living Resour* 24:403–410. <https://doi.org/10.1051/alr/2011150>
- Sabate F de la S, Sakakura Y, Tanaka Y, et al (2010) Onset and development of cannibalistic and schooling behavior in the early life stages of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Aquaculture* 301:16–21. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.01.023>
- Sumida T, Kawahara H, Shiotani S, et al (2013) Observations of flow patterns in a model of a marine fish larvae rearing tank. *Aquac Eng* 57:24–31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.06.002>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Aung Naing Win, Yamazaki Wataru, Sumida Tetsuya, Hagiwara Atsushi, Sakakura Yoshitaka	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of tank shapes and aerations on survival, growth and swim bladder inflation of red seabream <i>Pagrus major</i> larvae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquaculture Reports	6. 最初と最後の頁 100451 ~ 100451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aqrep.2020.100451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aung Naing Win, Yamazaki Wataru, Hasegawa Takamasa, Higuchi Kentaro, Takashi Toshinori, Gen Koichiro, Sumida Tetsuya, Hagiwara Atsushi, Sakakura Yoshitaka	4. 巻 524
2. 論文標題 Effect of tank shape on survival and growth of Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> larvae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 735283 ~ 735283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2020.735283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山崎 渉, 山口勝海, 角田 哲也, 阪倉良孝
2. 発表標題 数値流体解析を用いた仔魚飼育水槽の流れ場評価
3. 学会等名 令和元年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口勝海, 山崎 渉, 角田 哲也, 阪倉良孝, 高志利宣, 玄 浩一郎
2. 発表標題 改良型クライゼル水槽内流れ場の可視化と考察
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮崎悠暉, 阪倉良孝, 萩原篤志, 林田貴雄, 沖田光玄, 樋口健太郎, 高志利宣, 玄 浩一郎
2. 発表標題 卵管理水温および飼育水温がクロマグロ仔魚の生残, 成長, 摂餌に与える影響
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角田哲也, 山崎 涉, 阪倉良孝
2. 発表標題 正方形水槽内の流れの可視化実験
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aung Naing Win, Hasegawa T., Higuchi K., Takashi T., Gen K. Hagiwara A., Sakakura Y.
2. 発表標題 Effect of tank proportions on survival and growth of Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> larvae.
3. 学会等名 12th Asian Fisheries and Aquaculture Forum (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎涉, 山口勝海, 角田哲也, 阪倉良孝, 高志利宣, 玄浩一郎
2. 発表標題 改良型クライゼル水槽内の数値流体解析とその考察
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会中部支部大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山崎 渉 (Yamazaki Wataru) (50598696)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授 (13102)	
研究 分担者	角田 哲也 (Sumida Tetsuya) (00163056)	大島商船高等専門学校・商船学科・教授 (55502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------