

平成 25 年度

# 博士 学位 論文

内容の要旨  
および  
審査結果の要旨

(平成 26 年 3 月)

近畿大学大学院  
農学 研究科

# 農 学 研 究 科

平 成 25 年 度

(論 文 提 出 に よ る)

(平 成 26 年 3 月)

倉 田 道 雄

小 宮 正 文

城 智 也

菊 田 幸 雄

# 学位論文審査結果の報告書

氏 名 倉田 道雄

---

生 年 月 日 (昭和)・平成 30年 4月 25日

本 籍 (国籍) 大阪府

---

学位の種類 博 士 ( 農 学 )


学位記番号 農 第**190**号

学位授与の条件 学位規程第5条2項該当  
(博士の学位)


論 文 題 目 Study on prevention of sinking death  
in the fingerling production of Pacific bluefin tuna  
(クロマグロ仔魚に多発する沈降死の防除に関する研究)

---


## 審 査 委 員

(主 査) 滝井 健二 教授 

---

(副主査) 石橋 泰典 教授 

---

(副主査) 澤田 好史 教授 

---

(副 査) 

---

(副 査) 

---

## 論文内容の要旨

クロマグロの養殖は経済的に重要な産業に発展した。しかし、天然のクロマグロ稚魚を養殖用の種苗として供給されており、天然資源に依存しない持続的なクロマグロ養殖を行うには、人工種苗に依存する完全養殖技術を確立させる必要がある。近年、クロマグロ種苗生産技術の開発が多くの国々で進められている。しかし、太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* (PBT) の生残率は依然として低い。その主な原因の一つとして、初期仔魚期に発生する沈降死や浮上死が挙げられ、とりわけ、沈降死は重大な減耗を引き起こす深刻な問題として認識されている。

PBTの沈降死は仔魚の体比重が飼育海水より大きいことから、遊泳活動を休止する夜間に発生する (Takashi et al. 2006)。また、鰾は仔魚の体比重を調節する重要な役割を持つ。従って、飼育水中に仔魚を浮遊させる夜間の流場制御と鰾の開腔促進は、仔魚の沈降を抑制し、沈降死の防除につながると考えられるが、仔魚飼育槽における夜間の流場制御が、生残率の改善に効果があるのか否かについては実証されていない。更に、鰾開腔不全と生残との明確な関係はもとより、鰾開腔の促進方法についても明らかにされていない。さらに、また、開腔不全が成長の低下や脊椎骨の変形を引き起こし、生産効率に負の影響を与えることが他の増養殖魚種で報告されているが、PBTの鰾開腔不全と成長、脊椎骨の変形 (前彎症) との関係は未だに解明されていない。

本研究では、PBTの種苗生産技術の改善を図る目的で第1~4章の研究を行った。第1章では、沈降死による仔魚の減耗を防除するため、夜間の通気量が仔魚の生残と飼育水の循環流に及ぼす影響を検討し、仔魚の沈降速度についても明らかにした。第2章では、鰾の開腔不全が仔魚の生残と鉛直分布に及ぼす影響を検証した。第3章では、仔魚の鰾開腔の適切な促進技術を開発するため、鰾開腔のための促進と阻害条件、鰾開腔の促進のための至適日令や時間帯、鰾開腔と浮上死の発生との関係などについて検討した。第4章では、PBTの種苗生産技術の改善に資する知見を得るため、鰾開腔不全が屈曲後期仔魚および稚魚の生残、成長、脊椎前彎症発症に及ぼす影響について検討した。

### 第1章：沈降死防除のための飼育水通気による流場制御と仔魚の沈降速度

飼育水の流場制御が仔魚の生残におよぼす効果を検討するため、0.5 m<sup>3</sup>容円型水槽を用い、夜間における3段階 (0 ml/min・300 ml/min・900 ml/min) の飼育水通気量を設定して生残を比較した。また、0.5 m<sup>3</sup>容円型水槽の流場を300 ml/minと900 ml/minの通気量のもとで測定した。生残と循環流は通気量の増加に伴って増加し、900 ml/minで生残率が最大となった。次いで、夜間における仔魚の沈降速度を鰾開腔仔魚 (WIS) と鰾非開腔仔魚 (WOIS) を供試して測定した。5 dphからの夜間の仔魚の沈降速度は、WOISがWISより有意に速かった。本章の結果から、夜間の通気量の増加によって、循環流速が増大して仔魚の沈降が防除され、生残率が改善されること、および鰾の開腔に

よる仔魚の沈降の抑制が示唆された。

## 第2章：鰾開腔不全が仔魚の生残と鉛直分布におよぼす影響

沈降死による大量減耗を防除するため、鰾開腔不全が仔魚の生残と鉛直分布におよぼす影響について調べた。

量産槽で、飼育水面の油などの被膜をスキマーで除去（スキミング）した鰾開腔促進（PS）区と、スキミングを行わなかった非促進（NPS）区を設け、夜間の通気量を増加させて飼育試験を行い、鰾開腔率と生残率を比較した。ふ化後9日令（dph）でPS区ではNPS区より有意に高い鰾開腔率と生残率が得られ、鰾開腔率と生残率の間強い有意な相関が見られた。また、5 dphの仔魚を水槽水と共に上、中層および水槽底からサンプリングし、夜間の鉛直分布と鰾開腔率について調べた。水槽底に分布していた仔魚は上、中層に比べて分布密度が高く、鰾開腔率は有意に低かった。

本章の結果から、仔魚飼育において夜間の通気量を増加させても、鰾開腔の促進は、沈降死の防除を通じて仔魚の生残を改善することが示唆された。

## 第3章：鰾開腔の促進

沈降死による生残率を改善するため、異なる水面処理が鰾開腔に及ぼす効果や促進の至適期間について検討し、有効な鰾開腔促進方法や鰾開腔と浮上死との関係を明らかにしようとした。

### 3.1 鰾開腔の促進・阻害条件と促進の至適期間

飼育水面に対し、スキミングする区（SS）、液状パラフィン（LP）と油膜（OF）の被膜形成区および無処理の対照区（NT）を設けて仔魚飼育を行った。SS区の鰾開腔率は、NT区・LP区・OF区より有意に高かった。スキミングがPBT仔魚の鰾開腔を促進し、被膜形成で阻害されたことから、鰾開腔には飼育水面での空気の呑み込が必要であることが示された。次いで、スキミングを3～8 dph（SF3D）、4～8 dph（SF4D）、5～8 dph（SF5D）および6～8 dph（SF6D）で行い、鰾開腔促進の至適開始日令を明らかにしようとした。SF3D区の鰾開腔率がSF4D区・SF5D区・SF6D区より有意に高かった。さらに、スキミング期間を3 dphの1日（SF3）、3～4 dph（SF3-4）、3～5 dph（SF3-5）および3～8 dph（SF3-8）に設定し、鰾開腔促進のための必須期間について調べたところ、8 dphにおけるSF3区の開腔率とSF3-4、SF3-5、SF3-8区の間有意差はなく、スキミングによる鰾開腔促進の至適期間は3 dphの1日間であることが示された。

### 3.2 鰾開腔の促進の至適時間帯

仔魚の有効な鰾開腔促進方法を明らかにするために、スキミングの適正な時間帯について検討した。まず、スキミングを05:00～19:00（明期：S. 5-19）、19:00～05:00（暗期：S. 19-5）、08:00～19:00（S. 8-19）そして全日（S. 24）の4段階に設定し、3～9 dphの間で飼育したところ、鰾開腔率はS. 24およびS. 5-19とS. 8-19がS. 19-5より有意に高かった。次いで、08:00～19:00（S. 8-

19-E2), 08:00~13:00 (S. 8-13) および 13:00~19:00 (S. 13-19), そして 13:00~16:00 (S. 13-16), 16:00~19:00 (S. 16-19) および 18:00~19:00 (S. 18-19) に設定して飼育したところ, 鰓開腔率は S. 8-19-E2 と S. 13-19 が S. 8-13 より高く, また, S. 16-19 と S. 18-19 が S. 13-16 より有意に高かった。

本章の結果から, スキミングによる鰓開腔促進の至適日令と時間帯は, 3 日令の 16:00~19:00 であることが明らかになった。

#### 第 4 章：鰓開腔不全が屈曲後期仔魚と稚魚の生残, 成長および前彎症発症に及ぼす影響

鰓開腔不全が屈曲後期仔魚と稚魚の生残, 成長および前彎症発症に及ぼす影響を検討した。屈曲後期仔魚から稚魚 (18~30 dph) の期間において, 死亡率は WIS と WOIS の間で差異はなかった。しかし, WIS の標準体長 (SL) と魚体重 (BW) は WOIS のそれらより有意に小さかった。さらに, WOIS では鰓開腔が後期屈曲期以降にも観察された。この鰓開腔は空気の呑み込みに依存しない, いわゆる二次的な鰓の開腔と考えられた。次いで, 稚魚期における鰓開腔と脊椎の変形および成長について検討したところ, WIS および WOIS に前彎症はみられなかった。しかし, 22 dph では WIS の SL と BW は WOIS よりも有意に大きかったが, 37 dph 以降に差異はなかった。

本章の結果から, PBT の鰓開腔不全は他の増養殖魚種と同じく, 仔魚期の成長を遅滞させるが, 屈曲後期仔魚から稚魚への移行期以降の斃死や, 稚魚期における成長の遅滞と脊椎前彎症の発症を伴わないなどの違いも示された。PBT は, 稚魚期以降に遊泳速度を増加させるとともに巡航遊泳へと遊泳モードを変化させ, 他のサバ科魚類と同様に, 海水より大きな体比重を巡航遊泳に伴って胸鰭などで発生させた揚力で支持する。この特性が鰓開腔不全による更なる体比重増加の影響をも補償しているのかもしれない。

本研究によって, PBT 仔魚期における沈降死は, 夜間における飼育水への通気量の増加や鰓開腔の促進で防除できることが明らかになった。また, 鰓開腔は飼育水面のスキミングで効果的に促進でき, その最適な実施日令と時間帯は 3dph の 1 日間, 16:00~19:00 と極めて限定的であることも明らかになった。したがって, 沈降死の防除は, 夜間の飼育水の流場制御と至適期間を逃さないスキミングによる鰓開腔の促進の併用で行うことを提案する。一方, PBT では鰓開腔不全は仔魚期の沈降死や仔魚~早期稚魚期にかけて成長の遅滞を起こすが, 他の多くの増養殖対象魚種とは異なり, 屈曲後期仔魚から稚魚への移行期以降の斃死や, 稚魚期における成長の遅滞と脊椎前彎症の発症を伴わないことも示された。

本研究の成果が, PBT 種苗量産技術の確立に大きく貢献出来ると共に, 世界のマグロ類の持続的養殖生産の発展に大きく寄与し, 食文化を多少とも豊かにすることに繋がれば至上の喜びである。

## 論文審査結果の要旨

クロマグロの養殖は経済的に重要な産業に発展した。しかし、天然のクロマグロ稚魚を養殖用の種苗として供給されており、天然資源に依存しない持続的なクロマグロ養殖を行うには、人工種苗に依存する完全養殖技術を確立させる必要がある。近年、クロマグロ種苗生産技術の開発が多くの国々で進められている。しかし、太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* (PBT) の生残率は依然として低い。その主な原因の一つとして、初期仔魚期に発生する沈降死や浮上死が挙げられ、とりわけ、沈降死は重大な減耗を引き起こす深刻な問題として認識されている。

本研究では、PBTの種苗生産技術の改善を図る目的で、第1章では、沈降死による仔魚の減耗を防除するため、夜間の通気率が仔魚の生残と飼育水の循環流に及ぼす影響を検討し、仔魚の沈降速度についても明らかにした。第2章では、鰾の開腔不全が仔魚の生残と鉛直分布に及ぼす影響を検証した。第3章では、仔魚の鰾開腔の適切な促進技術を開発するため、鰾開腔のための促進と阻害条件、至適日令や時間帯、鰾開腔と浮上死の発生との関係などについて検討した。第4章では、種苗生産技術の改善に資する知見を得るため、鰾開腔不全が屈曲後期仔魚および稚魚の生残、成長、脊椎前彎症に及ぼす影響について明らかにした。

### 第1章：仔魚の沈降速度と沈降死防除のための飼育水通気による流場制御

飼育水の流場制御が仔魚の生残におよぼす効果を検討するため、0.5 m<sup>3</sup>容円型水槽を用い、夜間における3段階(0 ml/min・300 ml/min・900 ml/min)の飼育水通気量を設定して生残を比較した。また、0.5 m<sup>3</sup>容円型水槽の流場を300 ml/minと900 ml/minの通気量のもとで測定した。生残と循環流は通気量の増加に伴って増加し、900 ml/minで生残率が最大となった。次いで、夜間における仔魚の沈降速度を鰾開腔仔魚(WIS)と鰾非開腔仔魚(WOIS)を供試して測定した。5 dphからの夜間の仔魚の沈降速度は、WOISがWISより有意に速かった。次いで、仔魚の生残と槽内の循環流との関係を明らかにするため、上向流速成分が仔魚の沈降速度より小さい領域を仔魚沈降の推定危険ゾーン(EDZ)とし、各通気量で水槽のクロス断面での領域を算出した。通気量を増加させることで、クロス断面の循環流速は増加し、EDZの領域は大きく減少した。

本章の結果から、夜間の通気量の増加によって、仔魚の沈降速度より大きな上向流の発生域が拡大し、沈降死が減少することが示唆された。

### 第2章：鰾開腔不全が仔魚の生残におよぼす影響

沈降死による大量減耗を防除するため、鰾開腔不全が仔魚の生残におよぼす影響について調べた。

量産槽で、飼育水面の油などの被膜をスキマーで除去（スキミング）した鰾開腔促進（PS）区と、スキミングを行わなかった非促進（NPS）区を設け、夜間の通気量を増加させて飼育試験を行い、鰾開腔率と生残率を比較した。ふ化後9日令（dph）でPS区ではNPS区より有意に高い鰾開腔率と生残率が得られ、鰾開腔率と生残率の間強い有意な相関が見られた。また、5 dphの仔魚を水槽水と共に上、中層および水槽底からサンプリングし、夜間の鉛直分布と鰾開腔率について調べた。水槽底に分布していた仔魚は上、中層に比べて分布密度が高く、鰾開腔率は有意に低かった。

本章の結果から、仔魚飼育において夜間の通気量を増加させても、鰾開腔の促進は、沈降死の防除を通じて仔魚の生残を改善することが示唆された。

### 第3章：仔魚における鰾開腔の促進

沈降死による生残率を改善するため、異なる水面処理が鰾開腔に及ぼす効果や促進の至適期間について検討し、有効な鰾開腔促進方法や鰾開腔と浮上死との関係を明らかにしようとした。

#### 3.1 仔魚における鰾開腔の促進・阻害条件と促進の至適期間および鰾開腔と浮上死との関係

飼育水面に対し、スキミングする区（SS）、液状パラフィン（LP）と油膜（OF）の被膜形成区および無処理の対照区（NT）を設けて仔魚飼育を行った。SS区の鰾開腔率は、NT区・LP区・OF区より有意に高かった。スキミングがPBT仔魚の鰾開腔を促進し、被膜形成で阻害されたことから、鰾開腔には飼育水面での空気の呑み込が必要であることが示された。次いで、スキミングを3～8 dph（SF3D）、4～8 dph（SF4D）、5～8 dph（SF5D）および6～8 dph（SF6D）で行い、鰾開腔促進の至適開始日令を明らかにしようとした。SF3D区の鰾開腔率がSF4D区・SF5D区・SF6D区より有意に高かった。さらに、スキミング期間を3 dphの1日（SF3）、3～4 dph（SF3-4）、3～5 dph（SF3-5）および3～8 dph（SF3-8）に設定し、鰾開腔促進のための必須期間について調べたところ、8 dphにおけるSF3区の開腔率とSF3-4、SF3-5、SF3-8区の間有意差はなかった。

#### 3.2 仔魚における鰾開腔の促進の至適時間帯

仔魚の有効な鰾開腔促進方法を明らかにするため、スキミングの適正な時間帯について検討した。まず、スキミングを05:00～19:00（明期：S. 5-19）、19:00～05:00（暗期：S. 19-5）、08:00～19:00（S. 8-19）そして全日（S. 24）の4段階に設定し、3～9 dphの間で飼育したところ、鰾開腔率はS. 24およびS. 5-19とS. 8-19がS. 19-5より有意に高かった。次いで、08:00～19:00（S. 8-19-E2）、08:00～13:00（S. 8-13）および13:00～19:00（S. 13-19）、そして13:00～16:00（S. 13-16）、16:00～19:00（S. 16-19）および18:00～19:00（S. 18-19）に設定して飼育したところ、



鰓開腔率は S. 8-19-E2 と S. 13-19 が S. 8-13 より高く、また、S. 16-19 と S. 18-19 が S. 13-16 より有意に高かった。

本章の結果から、スキミングによる鰓開腔促進の至適日令と時間帯は、3日令の 16:00~19:00 であることが明らかになった。しかし、S. 24 区では 18:00 に浮上死がピークに達したことから、鰓開腔のための空気の飲み込み行動は浮上死と関連することが示唆された。

#### 第 4 章：鰓開腔不全が屈曲後期仔魚と稚魚の生残、成長および前彎症発症に及ぼす影響

鰓開腔不全が屈曲後期仔魚と稚魚の生残、成長および前彎症発症に及ぼす影響を検討した。屈曲後期仔魚から稚魚（18~30 dph）の期間において、死亡率は WIS と WOIS の間で差異はなかった。しかし、WIS の標準体長（SL）と魚体重（BW）は WOIS のそれらより有意に小さかった。さらに、WOIS では鰓開腔が後期屈曲期以降にも観察された。この鰓開腔は空気の呑み込みに依存しない、いわゆる二次的な鰓の開腔と考えられた。次いで、稚魚期における鰓開腔と脊椎の変形および成長について検討したところ、WIS および WOIS に前彎症はみられなかった。しかし、22 dph では WIS の SL と BW は WOIS よりも有意に大きかったが、37 dph 以降に差異はなかった。

本章の結果から、鰓開腔不全は他の増養殖魚種と同じく、仔魚期の成長を遅滞させるが、屈曲後期仔魚から稚魚への移行期以降の斃死や、稚魚期における成長の遅滞と脊椎前彎症の発症を伴わないなどの違いも示された。PBT は、稚魚期以降に遊泳速度を増加させるとともに巡航遊泳へと遊泳モードを変化させ、他のサバ科魚類と同様に、海水より大きな体比重を巡航遊泳に伴って胸鰭などで発生させた揚力で支持する。この特性が鰓開腔不全による更なる体比重増加の影響をも補償しているのかもしれない。

このように、本研究によって、PBT 仔魚期における沈降死は、夜間における飼育水への通気量の増加や鰓開腔の促進で防除できることを示した。また、鰓開腔は飼育水面のスキミングで効果的に促進でき、その最適な実施期間と時間帯は 3dph の 1 日間、16:00~19:00 と極めて限定的であることも明らかにした。したがって、沈降死の防除は、夜間の飼育水の流場制御と至適期間を逃さないスキミングによる鰓開腔の促進の併用で行うことを提案している。一方、鰓開腔不全は仔魚期の沈降死や仔魚~早期稚魚期にかけて成長の遅滞を起こすが、他の多くの増養殖対象魚種とは異なり、屈曲後期仔魚から稚魚への移行期以降の斃死や、稚魚期における成長の遅滞と脊椎前彎症の発症を伴わないことも示した。よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、審査にあたっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経たうえ、平成 26 年 2 月 7 日、農学研究科教授会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認められた。