

博士学位論文

カンパチの種苗量産技術の開発
に関する研究

平成 26 年度

(2015 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

応用生命科学専攻

橋本 博

博士学位論文内容要旨
Abstract

専攻 Major	応用生命科学	氏名 Name	橋本 博
論文題目 Title	カンパチの種苗量産技術の開発に関する研究		

カンパチ *Seriola dumerili* はブリ *S. quinqueradiata* と同様に、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖対象種となっている。しかし、本種はブリに比べて国産天然種苗の捕獲量が少ないことから、養殖用種苗は海外産に依存せざるを得ないのが現状である。このような状況の中、2005年に中国で中間育成された後に、養殖用種苗として輸入されたカンパチの大型種苗（体重500~1,000g）で *Anisakis* I型幼虫の大量寄生が確認され、大きな社会問題となった。これを機に、カンパチ養殖用種苗の国産化が強く求められるようになっている。しかし、本種の種苗生産においては、飼育初期の仔魚の摂餌不良による減耗や飼育中期以降の共食いによる減耗という問題点を抱えており、大量の種苗を安定的に生産する技術は確立されていない。

本研究は、カンパチの種苗量産技術の開発とそれに基づく養殖技術を進展させる基礎として、筆者が取り組んだ研究成果をとりまとめたものであり、序論（第1章）に続く第2章~第6章と総合考察（第7章）よりなる。第2章では、仔魚の浮力に関わる鰾の開腔状態と摂餌および成長の関係を調査した。第3章では、仔魚の摂餌リズムを調査するとともに、異なる日長条件下で種苗生産試験を実施し、適正な日長条件を明らかにすることを試みた。第4章では、カンパチ仔稚魚の成長、死亡状況、攻撃行動および捕食魚と被食魚の体サイズの関係性を調査し、共食いの実態を明らかにした。第5章では、攻撃行動を惹起する仔稚魚の成長変異を抑制する飼育手法を開発する基礎として、仔稚魚の成長に及ぼす餌料系列（アルテミア給餌時期）の影響について検討した。続く第6章では、別途開発されたカンパチの周年採卵技術によって得られた仔魚を用い、種苗量産に取り組み、そこで生産された種苗を用いて実用的な養殖試験に取り組んだ。

第2章 仔魚の鰾の開腔状態と摂餌および成長の関係を把握する目的で、未開腔仔魚、開腔個体のうち海水面に浮上する仔魚（浮上仔魚）とそれ以外の正常開腔仔魚を類別し、その成長、鰾体積および摂餌数を調査した。浮上仔魚の鰾は正常開腔仔魚に比較して肥大しており、未開腔仔魚と浮上仔魚の成長と摂餌数は正常開腔仔魚に比較して劣っていた。以上のことから、鰾の異常で浮力を調節できない仔魚は十分に摂餌できず、低い成長率を示すことが明らかになった。

第3章 実用レベルでの初期飼育における適正な日長条件を明らかにする目的で、24時間連続照明とした条件下で仔魚の摂餌リズムを調査した。また、飼育初期の日長を6時から20時までの14時間照明と6時から24時までの18時間照明の異なる日長条件で種苗量産飼育を実施した。カンパチ仔魚の摂餌には概日リズムが認められ、24時間連続照明下において、仔魚は0時から6時の間には積極的に摂餌しない内因性リズムを示した。このような仔魚の摂餌リズムを背景とし、種苗量産飼育における仔魚の生残率は18時間照明とした飼育事例で高く、初期成長も良いことが明らかになった。

第4章 カンパチ仔稚魚の攻撃行動および共食いの実態を把握するため、成長、死亡状況、追尾行動とつつき行動および捕食魚と被食魚の体サイズの関係性を調査した。カンパチ仔稚魚の追尾行動は大型個体が稚魚期へ変態する18~19日齢頃から発現することが確認された。仔稚魚の体高、口径および口幅から推定した捕食可能サイズと、実際の攻撃個体と被攻撃個体、捕食魚と被食魚、および共倒れが起こった捕食

魚と被食魚の全長の関係より，“攻撃行動および共食い”を許す体サイズ差を理論値または実測値として推定した。これらのことから、飼育中期以降の減耗は、飼育魚の体サイズ差および大型個体の稚魚期への変態により攻撃性が発現し、小型個体が死亡に至ることが明らかになった。

第5章 カンパチの種苗生産では、仔稚魚の体サイズ差が原因で攻撃行動および共食いが起こることから、攻撃行動および共食いによる減耗の防除策を開発する基礎として、仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミアの給餌時開始時期の影響を調査した。その結果、大型餌料生物に対する捕食能力が低い仔魚群に対してアルテミアを給餌することは、その後の成長変異の原因になることが明らかになった。カンパチ仔稚魚の成長変異を抑えるためには、アルテミアの給餌は仔稚魚の平均全長が9 mm程度となる20日齢頃から開始することが望ましいと考えられた。

第6章 カンパチの親魚養成・採卵技術の向上により、5～6月の通常産卵期以外でも受精卵の確保が可能となったことから、その技術を応用して6月の通常産卵期に加え8月、11月、12月および3月に採卵を行い、第5章までに明らかにした減耗要因に対する防除対策を講じて種苗量産に取り組んだ。その結果、2010年度の1年間の種苗生産数は42万尾に達し、平均生残率は16%で、これまでの結果と比較して大幅に向上した。このように、周年にわたる人工種苗生産の可能性が見出された。そこで、人工種苗を用いた養殖体制を構築する基礎として、魚病発生リスク、生残および成長に影響すると考えられる人工種苗の適正な沖出し時期を把握するため、鹿児島県鹿児島湾において養殖試験を実施した。8月、10月、1月および4月に人工種苗を養殖場の生簀に収容して約1～2年間飼育し、生残と成長を調べた。その結果、出荷開始までの育成期間は10月沖出し群が最短で617日であり、生残率も高かったことから、人工種苗の適正な沖出し時期は水温下降期である10月であることが考えられた。

カンパチの種苗量産技術の開発に関する研究

第1章 序論

1.1 養殖対象種としてのカンパチの重要性および国産人工種苗の必要性 -----	1
1.2 カンパチの種苗生産と養殖 -----	4
1.2.1 種苗生産の現状と問題点 -----	5
1.2.2 養殖の現状 -----	7
1.3 本論文の構成 -----	9
1.4 引用文献 -----	10

第2章 鰾の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長

2.1 はじめに -----	14
2.2 材料および方法 -----	15
2.3 結果 -----	18
2.4 考察 -----	20
2.5 引用文献 -----	22

第3章 カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討

3.1 はじめに -----	30
3.2 材料および方法 -----	31
3.3 結果 -----	35
3.4 考察 -----	36
3.5 引用文献 -----	38

第 4 章 カンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連

4.1	はじめに	48
4.2	材料および方法	49
4.3	結果	53
4.4	考察	56
4.5	引用文献	60

第 5 章 カンパチ仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミア給餌時期の影響

5.1	はじめに	73
5.2	材料および方法	74
5.3	結果	76
5.4	考察	77
5.5	引用文献	81

第 6 章 鹿児島湾のカンパチ養殖場における人工種苗の適正な沖出し時期の検討

6.1	はじめに	92
6.2	材料および方法	93
6.3	結果	97
6.4	考察	99
6.5	引用文献	101

第7章 総合考察

7.1	カンパチの種苗量産技術 -----	108
7.2	人工種苗を用いたカンパチ養殖 -----	112
7.3	引用文献 -----	114
	要約 -----	116
	謝辞 -----	120

第1章 序論

1.1 養殖対象種としてのカンパチの重要性および国産人工種苗の必要性

アジ科 Carangidae, ブリ属 *Seriola* のカンパチ *Seriola dumerili* は, 東部太平洋を除く全世界の温帯・熱帯海域に生息し, 我が国では東北地方以南, 特に南日本の太平洋沿岸に多く分布する回遊魚である (落合・田中 1986)。本種の頭頂部にある黒色縞が「八」の字型に見えることから「カンパチ」という名がついたといわれている。地方名では, 北陸では「アカイオ」, 西日本では「アカハ(バナ)ナ」, 関西では「シオ」と呼ばれている (高岡 2005)。本種は成長すると全長 1.8m, 体重 80kg にまで達するといわれているが, 最も美味で商品価値が高いのは, 体重 2~3kg のものである。しかし, 体重 3kg 以下では頭部の割合が高く肉の歩留まりが悪くなるので, 市場では体重 3~3.5kg が好まれている。本種は同属のブリ *Seriola quinqueradiata* よりも美味と言われ, 養殖魚として出荷されるのは, 体長 60cm 前後で体重 3~4.5kg である (宮下・熊井 2000 ; 高岡 2005)。本種の養殖の歴史を振り返ると, もともと国内で採捕される種苗が少ないことからブリに混じって養殖されていたが, 古くから有用魚種として注目されていた。養殖試験としては, 1955 年に近畿大学実験場で開始されたのが最初といわれており, 次いで 1959 年に宮崎県沿岸漁業指導所でも試験が行われ, 養殖種として有望なことが明らかとなった (原田 1969)。本種の適水温はブリよりも高く, 冬季に 12℃以下の低水温が長期間続く地方では不適であることから, 三重県, 和歌山県, 高知県, 徳島県, 愛媛県, 大分県, 宮崎県, 鹿児島県および長崎県など, 直接黒潮の影響を受ける太平洋側の各県で養殖されるようになった。養殖用種苗が国内産に限られていた頃は, 稚魚の確保が容易な高知県須崎地区が中心であった生産地は, 輸入種苗の増加とともに, 種苗の輸送や水温環境に恵まれた鹿児島県に移行し, 現在では我が国のカンパチ生産量の約 60%が鹿児島県で生産されている (図 1.1-1)。

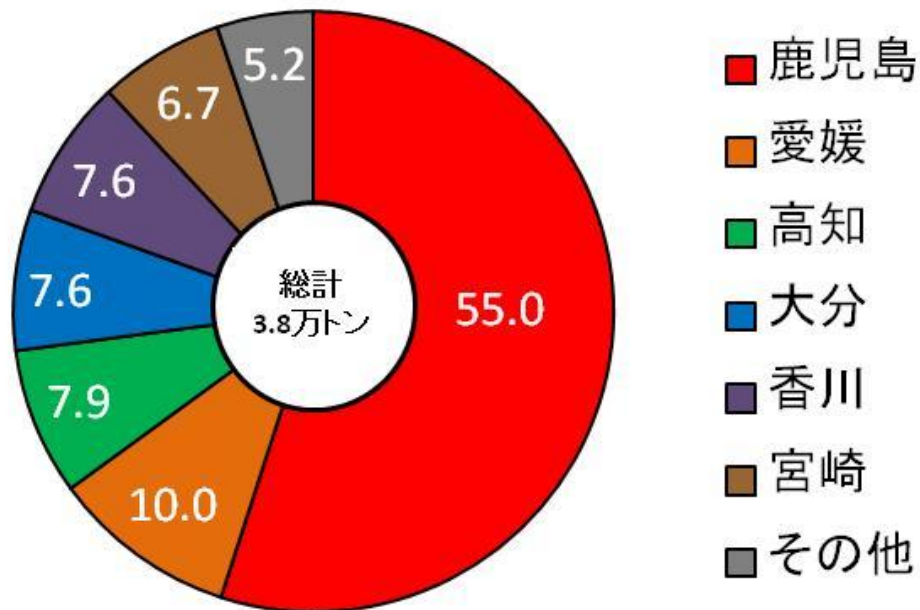


図 1.1-1 2011 年度の我が国におけるカンパチの県別生産量

図中の数字は全体に占める割合 (%) を示す。

(平成 23 年度農林水産省漁業・養殖業生産統計年報より作成)

カンパチの養殖用種苗は、当初、ブリのモジャコと混獲される天然種苗を使用していたが、需要が増加するにつれ必要量がまかなえなくなり、1986年に台湾以南の海域で採捕された天然種苗が導入された。現在、カンパチ養殖に用いられている種苗のほとんどが中国の海南島周辺からの輸入種苗に依存している(高岡 2005; 山下 2013)。輸入種苗は、2011年までは関税が免除されている 15cm 以下の稚魚が主流であった。輸入される稚魚は、中国で選別を繰り返し、成長の良いものから搬出されるため、輸入時期が遅いものは成長が遅く、健病性に問題のある稚魚を養殖する危険性があった。2012年5月から輸入割当制度が変わり、30cm までは関税が免除されるようになったため、現在では、18~28cm の稚魚が輸入され、稚魚の大型化が顕著になっている(山下 2013)。

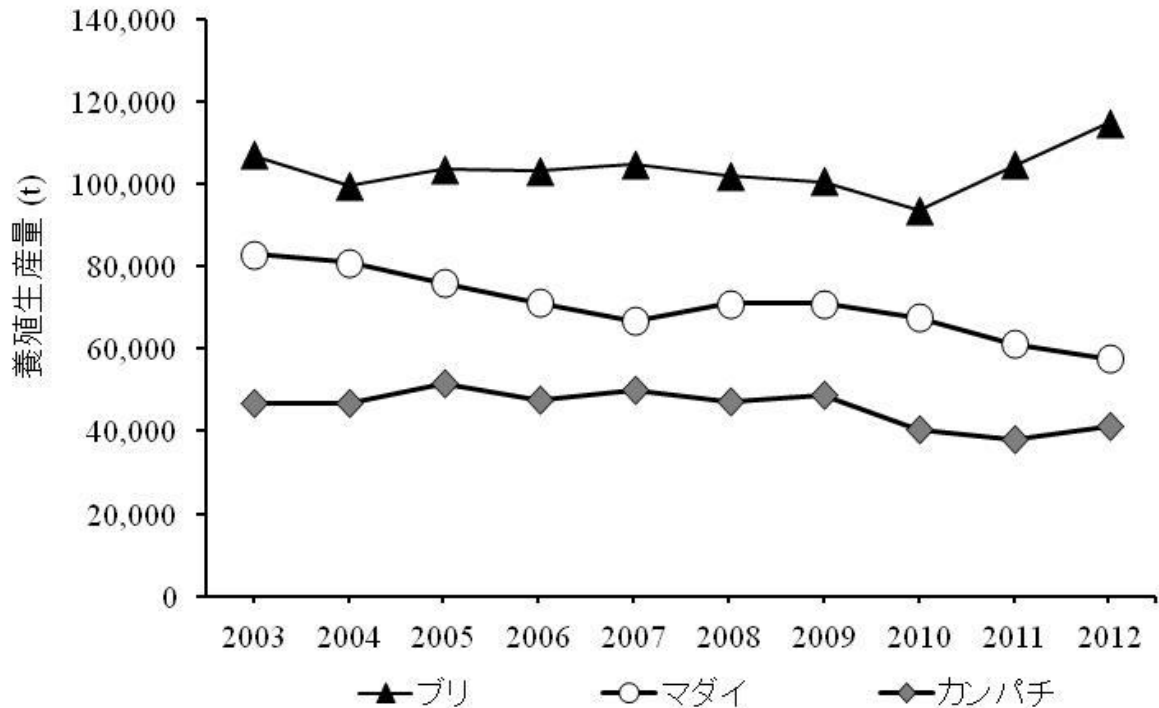


図 1.1-2 我が国のブリ，マダイおよびカンパチの養殖生産量の推移

(平成 15～24 年度農林水産省漁業・養殖業生産統計年報より作成)

最近の我が国のカンパチの養殖生産量をみると(図 1.1-2), 養殖生産量は 2003 年から 2012 年までほぼ 4 万トンで推移しており, その海面養殖生産量は, ブリ, マダイについて第 3 位となっている。水揚げ金額は約 400 億円と推定されており, カンパチ養殖は日本の海面養殖業において一大産業にまで発展している。このような状況の中, 2005 年に中国で中間育成された後に, 養殖用種苗として輸入されたカンパチの大型種苗(体重 500～1,000 g)で *Anisakis* I 型幼虫(以下, アニサキス)の大量寄生が確認され, 大きな社会問題となった(虫明 2006; Yoshinaga et al. 2006)。これまでも, 外国からの養殖用種苗の輸入は未発生の疾病を持ち込む可能性が高いことが強く懸念されており, 事実, マダイのイリドウイルス病(反町・中島 2005), クルマエビの急性ウイルス血症(中野 2005) およびコイのヘルペスウイルス病(飯田 2005)のように多くの魚種で外来の疾病による被害が顕在化していた(若林 2002)。カンパチで確認された人魚共通病原体のアニサキスは, これまでにマサバ *Scomber japonicus* やスケトウダラ

Theragra chalcogramma などの天然魚では寄生が知られていたが (Nagasawa1990) , 養殖魚からの寄生については報告例がなかった。これらの報道を受けて、カンパチ養殖を実施している県等では、ホームページで安全性を強調する一方、冷凍など死滅処理をするよう関係団体に通知した。この事態は、養殖カンパチ全体への信頼性にも波及し、業界関係者に大きな不安をもたらした。事態を重くみた社団法人全国海水養魚協会などでは、今後、これら中国産天然種苗の導入を控えることを決議するとともに、カンパチ養殖用種苗を確保するため、人工種苗の大量生産による養殖種苗の国産化に関する要望等が国に提出された。この要望を受け、独立行政法人水産総合研究センターでは、現在、輸入に依存している養殖用カンパチ種苗を国産化する種苗生産技術を開発するとともに、消費者である国民に安全・安心な養殖カンパチを提供し、カンパチ養殖、ひいては養殖魚全般の安全に関する信頼性を回復することを目的とした研究・技術開発を、平成 18 年度（2006 年度）先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（平成 20 年度から新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）に提案した。その結果、「カンパチ種苗の国産化及び低コスト・低環境負荷型養殖技術の開発」という課題名で新たにカンパチプロジェクト（以下、カンパチ 21）を立ち上げ、2006 年度から 2009 年度までの 4 年間で取り組むこととなった（虫明 2006）。筆者はカンパチ 21 発足当初からメンバーとして参画し、本研究はカンパチ 21 の活動の一環として実施したものである。

1.2 カンパチの種苗生産と養殖

前述のように、カンパチは日本国内で重要な養殖対象種であるが、養殖用種苗のほとんどは天然から採捕された種苗に依存している。さらに天然種苗は海外、主に中国からの輸入種苗に依存している状況であり、輸入種苗でアニサキスの大量寄生が確認されて以降は、カンパチ養殖業者から国産の人工種苗の生産を求める声が高くなった。本研究はカンパチの人工種苗の安定した生産技術

の開発について検討したものである。本論に入る前に、カンパチのこれまでの種苗生産の現状と問題点を整理し、養殖の現状を概観する。

1.2.1 種苗生産の現状と問題点

カンパチの種苗生産の歴史は、1969年に近畿大学水産研究所において、我が国で初めて養成親魚からの採卵に成功し、その後人工ふ化や仔稚魚の飼育方法に取り組み始めたのが始まりである（宮下・熊井 2000；瀬岡ら 2000）。また、各都県の水産試験場や社団法人日本栽培漁業協会（以下、日裁協）も積極的にカンパチの種苗生産の研究を実施し、日裁協は1988年に当時の八重山事業場において養成親魚からの自然産卵に成功し、得られたふ化仔魚を用いて種苗生産技術開発を開始した（升間 1990）。その後、1997年にブリの飼育手法を参考に、飼育初期の通気方法の改良、配合飼料への早期餌付けおよび共食いの起こる時期にブリで開発された夜間小割網での選別などを取り入れて試験を行ったところ、平均全長 29mm の種苗を 12 万尾生産することに成功している（日本栽培漁業協会 2003；塩澤ら 2003）。しかし、その後の種苗生産では数千尾程度の生産に留まり、安定した種苗生産技術の開発に至っていないのが現状である（浅見 2000；中野 2002）。

カンパチの種苗生産では、他のブリ属と同様に、10日齢頃までの初期減耗が激しく、また稚魚期の共食いによる減耗が大きく、この2つの減耗が種苗生産における大きな問題点として認識されてきた（塩澤ら 2003）。種苗生産技術の向上には、この2つの減耗の防除が必須である。魚類の種苗生産における初期減耗には、卵質・ふ化仔魚の活力、餌料、水温、塩分、光、水質、飼育水の流動など様々な要因が影響を及ぼすものと考えられるが、ブリの種苗生産では開口前後の仔魚が水槽底に沈降して大量に死亡する現象いわゆる沈降死が知られており（山崎ら 2002；塩澤 2005）、カンパチ種苗生産においても沈降死による初期減耗が想定されている（塩澤ら 2003；塩澤 2005）。そこで、照屋ら（2009）は、飼育したカンパチ仔魚の初期減耗要因の一つに想定されている沈降死現象

を理解する一助として、仔魚を 10 日齢まで飼育して体密度を測定し、さらに通気量が 0.1~2.0L/分の 500L 水槽で、仔魚の鉛直分布、生残、成長、摂餌、鰾の開腔状況を調べている。その結果、仔魚は負の浮力を示し、0.1~1.0L/分の水槽では 3 日齢以降の仔魚は、昼間は上層に夜間は底に分布していることを明らかにしている。また、過度の通気 (2.0L/分) は仔魚を分散させるが、摂餌数は減少し、生残、成長および開腔率は大幅に低下することを示している。この結果は、通気が弱いと夜間仔魚は沈降するが、過度の通気は仔魚に対して悪影響を及ぼすことを示唆している。また、鰾が開腔したカンパチ仔魚 (5~10 日齢) の比重は海水の比重に近い値で推移すること、未開腔個体の比重は成長に伴い増加することも報告している。この結果から、未開腔個体は開腔個体に比べ沈降しやすくなるものと考えられ、沈降死現象を防ぐためには、できるだけ早期に仔魚へ開腔させることが重要であることが示唆された。そこで、今井ら (2011) はカンパチ仔魚の鰾の開腔メカニズムと仔魚が開腔しやすい飼育環境について調査している。調査の結果、カンパチ仔魚は、開口後の 3~4 日齢にかけて、水面からの空気呑み込みによって鰾に最初のガスを導入し開腔することを示した。さらに、開腔を促すには水面の油膜の除去を行う必要があることを明らかにしている。次に、岩崎ら (2011) はカンパチ仔魚の鰾の開腔を促す飼育方法を明らかにすることを目的として、カンパチ仔魚の開腔時間帯を調査している。その結果、半日から 1 日半程度の短期間で開腔すること、仔魚の開腔を促すためには、水温 24℃以上で連続照明による飼育が適していることを明らかにしている。このように、初期減耗要因の一つとされている沈降死に対する研究は近年進展している。また、カンパチ仔魚の飼育技術を改善する一環として、Hamasaki et al. (2009) は仔魚のワムシに対する摂餌生態、平田ら (2009) は小型水槽を用いて仔魚の飼育に適正な光周期と水温条件、Matsunari et al. (2012, 2013a,b) はカンパチ仔魚へ給餌するワムシへの DHA およびタウリンの栄養強化濃度、飼育水に添加する藻類が仔魚の生残と成長に及ぼす影響について検討している。

魚類における共食い現象は広く知られており、種苗生産や養殖では仔稚魚の

大きな減耗要因になっている (Smith and Reay 1991; Baras and Jobling 2002)。カンパチの共食い現象について、Miki et al. (2011) は 19～23 日齢以降のカンパチ仔稚魚の攻撃行動に及ぼす体サイズ、飼育密度、給餌量の影響について、小型水槽を用いて実験的に調べ、給餌を制限した条件で体サイズ差が大きい場合に大型個体による小型個体への攻撃行動の頻度が高くなり、小型個体が死亡して生残率が低下することを報告している。

以上のようにカンパチ種苗生産において大きな問題である沈降死などの初期減耗の要因とその対策方法および稚魚期の共食い現象について、主に小型水槽を用いた試験・調査によって明らかにされつつある。しかしながら、明らかになった防除方法などを応用したカンパチの種苗生産の実施例および実際の種苗生産水槽での共食い行動の実態の把握など詳細に調査されていないのが現状であり、カンパチの種苗生産では未だに初期減耗率および共食いでの死亡率が高く、安定した種苗生産技術は確立されていない。

1.2.2 養殖の現状

現在、我が国でカンパチ養殖に用いられている種苗のほとんどは海南島周辺からの輸入稚魚である。カンパチ稚魚の輸入数は、かごしま JF 販売 (株) の調査では、2011 年に 1,094 万尾、2012 年に 857 万尾、2013 年が 751 万尾といわれている (原口 2014)。輸入サイズは、2011 年までは関税が免除されている 15cm 以下が主流であったが、2012 年 5 月から輸入割当制度が変わり、30cm までは関税が免除されるようになったため、現在では、18～28cm の稚魚が輸入され、種苗の大型化が顕著になっている (山下 2013)。輸入した稚魚は、魚体重が約 200g までは 7m の方形で深さ 4～6m、目合い 1～2cm の化繊網で育成され、その後目合いが 2.5～6cm の金網生簀で育成される。使用する生簀網については、カンパチは特にハダムシなどによる被害が大きいことから、ハダムシの被害を低減できる亜鉛メッキ金網が多く使用される。輸入稚魚の導入から出荷サイズまでの歩留まりは 80～95%といわれている。育成用の飼餌料には、いわし類や

サバなどの生鮮または冷凍品，あるいはこれら生餌と配合飼料を9：1から5：5で混合したモイストペレット，および配合飼料（EP）が用いられている。養殖場では様々な病気が発生し，ビブリオ病，滑走細菌症，類結節症，連鎖球菌症，ノカルジア症，ベネデニア症，ネオベネデニア症，ヘテラキシネ症，血管内吸虫症，イリドウイルス症などブリ養殖と同様の病気が知られている。これら病気の対策として，薬事法によって規定されている水産用医薬品を使用して投薬，治療される。上記の病気のうち，イリドウイルス症および連鎖球菌症についてはワクチンが開発され病気の抑制に効果をあげている。ベネデニア症やネオベネデニア症などのハダムシは，淡水浴および過酸化水素剤による薬浴およびプラジクアンテルの経口投与により駆除する。カンパチはブリと比較してハダムシの寄生が多く，放置するとスレにより他の病気を引き起こす原因になるので日常の観察を怠らないことが必要である（高岡 2005）。養殖カンパチは東京方面で珍重され，大阪に比べ需要も多く高値で取引されている。輸送方法はスチール箱の氷詰めトラック輸送か，最近では大型活魚船で九州・四国方面から東京近郊の港まで輸送し，「活メ」で中央卸売市場へ出荷か，一部は「泳ぎ」のまま活魚運搬車で出荷されるものと，市場到着後刺殺“せり”にかけられるものがある。カンパチ養殖の採算分岐点は地方により異なるが，幼魚から養殖した場合は1,100～1,200円/kg，中間育成魚を購入して養殖した場合はそれより200円高といわれている。カンパチ養殖の生産コストのうち餌料費が最も大きく50～60%を占める。次いで，種苗費が25%前後で他の養殖魚種と比較すると高い。しかし，この2つは流動的要素が強いので，これらを如何に効率良く購入するかに経営のポイントがある（熊井 1993）。最近のカンパチ養殖における導入種苗の取り組みとして，自県で生産した人工種苗の利用拡大の流れが出てきている。この背景には，様々な不安定要素がある中国産種苗から依存および脱却するだけでなく，“地場産生まれ，地場産育ちのカンパチ”として消費者へ訴求し，他県と差別化した国産地場カンパチとしてブランド化していくことが検討されている（原口 2014）。

1.3 本論文の構成

本論文は、カンパチの種苗量産技術の開発とそれに基づく養殖技術を進展させる基礎として、筆者が取り組んだ研究成果をとりまとめたものであり、序論（第1章）に続く第2章～第6章と総合考察（第7章）よりなる。

序論に続く第2章では、仔魚の浮力に関わる鰾の開腔状態と摂餌および成長の関係を調査した。第3章では、仔魚の摂餌リズムを調査するとともに、異なる日長条件下で種苗生産試験を実施し、適正な日長条件を明らかにすることを試みた。第4章では、カンパチ仔稚魚の成長、死亡状況、攻撃行動および捕食魚と被食魚の体サイズの関係を調査し、共食いの実態を明らかにした。第5章では、攻撃行動の発現につながる仔稚魚の成長変異を抑制する飼育手法を開発する基礎として、仔稚魚の成長に及ぼす餌料系列（アルテミア給餌時期）の影響について検討した。続く第6章では、別途開発されたカンパチの周年採卵技術によって得られた仔魚を用い、種苗量産に取り組み、そこで生産された種苗を用いて実用的な養殖試験に取り組んだ。最後の第7章では、本研究で得られた結果を要約して示し、種苗生産期間におけるカンパチの減耗期を2期に分け、各期間における減耗要因と防除対策について考察し、安定した種苗生産手法について議論した。また、人工カンパチ種苗の適正な沖出し時期を整理し、減耗要因とその対策について考察するとともに、今後の国産人工カンパチ種苗の養殖場への利用について議論した。

なお、本論文は、第1章、第6章および第7章を除き、既に学術論文4編 [橋本ら 2012, 2013, 2014 ; Hashimoto et al. 2015] として公表済みである。

1.4 引用文献

- 浅見公雄（2000）カンパチ 種苗生産技術の開発．日本栽培漁業協会事業年報 平成10年度，日裁協，東京，pp. 202.
- Baras, E. and M. Jobling (2002) Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquacult. Res.*, **33**, 461-479.
- Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K. Mushiake (2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, **288**, 216-225.
- 原田輝雄（1969）カンパチ．養魚講座4ハマチ・カンパチ（大島泰雄・稲葉伝三郎監修），緑書房，東京，pp. 189-201.
- 原口欣一（2014）“情報公開”が実現するカンパチの価格安定．アクアネット，**191**，42-43.
- 橋本 博・今井彰彦・岩崎隆志・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一（2012）鰺の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長．水産増殖，**60**，99-106.
- 橋本 博・松田圭史・増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・照屋和久・浜田和久・虫明敬一・浜崎活幸（2013）カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討．水産増殖，**61**，95-102.
- 橋本 博・林 知宏・浜崎活幸・甲斐 勲・外菌博人・中村章彦・岩崎隆志・照屋和久・浜田和久・虫明敬一（2014）カンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連．水産増殖，**62**，259-271.
- Hashimoto, H., T. Hayashi, K. Hamasaki, H. Matsunari, T. Iwasaki, K. Teruya, K. Hamada and K. Mushiake (2015) Effects of different *Artemia* feeding schedules on body size variation in greater amberjack, *Seriola dumerili*, larvae. *Aquacult. Sci.*, in press.
- 平田喜郎・浜崎活幸・今井彰彦・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一（2009）カンパチ仔魚の生残，成長，摂餌および鰺の開腔に及ぼす光周期と水温の影響

- 響. 日水誌, **75**, 995-1003.
- 飯田貴次 (2005) コイヘルペスウイルス病. 日水誌, **71**, 632-635.
- 今井彰彦・岩崎隆志・橋本 博・平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 飼育試験と鰾の個体発生から推察したカンパチ仔魚の鰾開腔メカニズム. 日水誌, **77**, 845-852.
- 岩崎隆志・今井彰彦・橋本 博・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 異なる水温および光環境で飼育したカンパチ仔魚の鰾の開腔時期. 水産増殖, **59**, 637-640.
- 熊井英水 (1993) カンパチ養殖の現状と課題. 養殖, **30(10)**, 52-56.
- 升間主計 (1990) かんぱち類 種苗生産技術の開発. 日本栽培漁業協会事業年報昭和 63 年度, 日裁協, 東京, pp. 209-212.
- Matsunari, H., H. Hashimoto, K. Oda, Y. Masuda, H. Imaizumi, K. Teruya, H. Furuita, T. Yamamoto, K. Hamada and K. Mushiake (2012) Effect of different algae used for enrichment of rotifers on growth, survival, and swim bladder inflation of larval amberjack *Seriola dumerili*. *Aquac. Int.*, **20**, 981-992.
- Matsunari, H., H. Hashimoto, K. Oda, Y. Masuda, H. Imaizumi, K. Teruya, H. Furuita, T. Yamamoto, K. Hamada and K. Mushiake (2013a) Effects of docosahexaenoic acid on growth, survival and swim bladder inflation of larval amberjack (*Seriola dumerili*, Risso). *Aquac. Res.*, **44**, 1696-1705.
- Matsunari, H., H. Hashimoto, K. Oda, Y. Masuda, H. Imaizumi, K. Teruya, H. Furuita, T. Yamamoto, K. Hamada and K. Mushiake (2013b) Effect of feeding rotifers enriched with taurine on the growth and survival of larval amberjack *Seriola dumerili*. *Fish. Sci.*, **79**, 815-821.
- Miki, T., H. Nakatsukasa, N. Takahashi, O. Murata and Y. Ishibashi (2011) Aggressive behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquacult. Res.*, **42**, 1339-1349.

- 宮下 盛・熊井英水 (2000) 適地選定から出荷・販売まで. カンパチ. 海産魚の養殖 (熊井英水編), 湊文社, 東京, pp. 78-88.
- 虫明敬一 (2006) カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, **72**, 1158-1160.
- Nagasawa K. (1990) *Anisakis larvae* in intermediate and paratenic hosts in Japan. In: H. Ishikawa and K. Kikuchi (eds). *Intestinal anisakiasis in Japan*. Springer Verlag, Tokyo. 23-29.
- 中野平二 (2005) クルマエビの急性ウイルス血症. 日水誌, **71**, 639-644.
- 中野昌次 (2002) カンパチの種苗生産試験 五島事業場. 日本栽培漁業協会事業年報平成 12 年度, 日裁協, 東京, pp. 325-327.
- 日本栽培漁業協会 (2003) カンパチ 種苗生産技術開発. 日本栽培漁業協会 40 年史, 日裁協, 東京, pp. 60-61.
- 落合 明・田中 克 (1986) 新版魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 814-815.
- 瀬岡 学・高岡 治・滝井健二・中村元二・熊井英水 (2000) カンパチ仔稚魚の体成分および消化酵素活性. 近大水研報, **7**, 59-68.
- 塩澤 聡・竹内宏行・廣川 潤 (2003) カンパチ種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 塩澤 聡 (2005) ブリ類の種苗生産の現状と今後の展望. アクアネット, **88**, 42-47.
- Smith, C. and P. Reay (1991) Cannibalism in teleost fish. *Rev. Fish Biol. Fish.*, **1**, 41-64.
- 反町 稔・中島員洋 (2005) マダイイリドウイルス病. 日水誌, **71**, 636-638.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増養殖システム 1. 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, **75**, 54-63.

- 若林久嗣 (2002) 魚類の感染症－我が国の現状と課題－. 日水誌, **68**, 815-824.
- 山崎英樹・塩澤 聡・藤本 宏 (2002) 日本栽培漁業協会におけるブリ種苗生産の現状. 水産増殖, **50**, 503-506.
- 山下亜純 (2013) 中国から日本へのカンパチ稚魚の流通～採捕・育成から輸入・流通まで～. 養殖ビジネス, **50(10)**, 10-12.
- Yoshinaga, T., R. Kinami, K. A. Hall and K. Ogawa (2006) A preliminary study on the infection of anisakid larvae in juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* imported from China to Japan as mariculture seedlings. *Fish Pathol.*, **41**, 123-126.

第2章 鰺の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長

2.1 はじめに

カンパチ *Seriola dumerili* は、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖対象種となっており (Nakada 2002 ; 高岡 2005 ; 虫明 2006), その種苗生産技術の確立が求められている。しかし、カンパチの種苗生産においては、他のブリ属と同様に初期減耗や共食いという問題点を抱えており、大量の種苗を安定的に生産する技術は確立されていない (塩澤ら 2003 ; 照屋ら 2009 ; Hamasaki et al. 2009 ; 平田ら 2009)。

魚類種苗生産における初期減耗は現象的には浮上死と沈降死に大別されており (宮下 2006), このうち沈降死は主に夜間に仔魚が水槽底に沈降して死亡する現象とされる。筆者らは、仔魚の沈降死に関わる浮力 (体密度) や仔魚の水槽内における分布について調査し、5~10 日齢における鰺が開腔した仔魚の体密度 ($1.021\sim 1.027\text{ g/cm}^3$) は未開腔仔魚 ($1.033\sim 1.039\text{ g/cm}^3$) よりも有意に小さく、海水の比重 (1.0236) に近い値で推移することを明らかにした (照屋ら 2009)。また、浮力調整に関わる鰺の開腔メカニズムを飼育試験と鰺の組織学的調査によって検討したところ、カンパチ仔魚は開口後の 1~2 日の間に水面からの空気呑み込みによって鰺に最初のガスを導入し開腔することが示唆された (今井ら 2011)。さらに、水温 (22, 24, 26°C) と光環境 (連続照明, 14 時間照明) の異なる水槽で飼育したカンパチ仔魚の開腔時期を詳細に調査した結果、仔魚の開腔を促すためには、開腔可能時期に水面の油膜を除去する必要があること、また水温 24°C 以上で連続照明による飼育条件が適していることを明らかにした (岩崎ら 2011)。

以上の研究成果によって、飼育現場においては開腔した鰺をもつ仔魚の割合が増加し、初期生残率も向上している。しかし、7~8 日齢頃から仔魚の平均ワムシ摂餌数が減少し、成長が停滞して生残率が低下するケースが多く、依然初期減耗が大きいのが実情である。仔魚の摂餌不良現象がみられる時期には、鰺が異様に大きい仔魚が観察されることから (橋本ら未発表), 鰺の肥大と摂餌不良現象には関連があるものと推察される。しかし、鰺が肥大したカンパチ仔魚の出現率、成長および摂餌状態について

調べた事例はない。また、未開腔仔魚は飼育初期のうちに死亡するものと推察されているが（今井ら 2011）、その成長や摂餌状態を報告した事例はない。

そこで本研究では、第一にカンパチ仔魚の鰾の開腔状態と摂餌および成長の関係を把握する目的で、500 l の小型水槽（試験 1）と 80 kl の大型水槽（試験 2）で仔魚を飼育し、鰾の開腔状態により仔魚を 3 型（未開腔仔魚、開腔仔魚のうち海水面に浮上する仔魚、それ以外の開腔仔魚）に類別し、それら仔魚の成長、鰾体積および摂餌数を調べた。また、鰾の肥大によるものと考えられる初期減耗現象の要因を探る一步として、「鰾肥大の要因の 1 つは開腔時期に仔魚が水面から空気を取り込み過ぎることである」との仮説の下に、仔魚が水面から空気を呑み込む行動に対する物理的攪乱の影響が異なるように、通気量が異なる 500 l 水槽で仔魚を飼育する試験も実施した（試験 3）。また、前報では未開腔仔魚と正常開腔仔魚の鰾の個体発生を組織学的に調査したが（今井ら 2011）、本報告では正常開腔仔魚と浮上仔魚の組織切片を作製し、鰾を観察・比較した。

2.2 材料および方法

試験 1

飼育試験は（独）水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎で実施し、採卵・ふ化の方法は既報（照屋ら 2009）に従った。飼育には 500 l 黒色ポリエチレン水槽 2 基を用い、2009 年 6 月 26 日に 2 日齢の仔魚を各水槽に 6,000 尾ずつ収容し、9 日齢まで飼育した。

飼育は無換水で行い、水温は 24～25℃になるよう調整した。通気は水槽底中央部に設置した小型のエアーストン 1 個で行った（通気量 100 ml/分）。餌料には L 型ワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex（飼育水中密度 10 個体/ml）を用い、各水槽にはワムシの餌料・栄養強化剤として毎日 6 時と 13 時にピペットを用いてスーパー生クロレラ V12（クロレラ工業）を 3.5 ml ずつ添加した。飼育水面の油膜を除去するため、油膜除去装置（塩澤ら 2003; 今井ら 2011）を 3 日齢の初回給餌時から連続して設置した。照明は 6～20 時まで 14 時間行った。水面照度は 2,000 lx に調整した。その他の飼育管

理は前報（今井ら 2011；岩崎ら 2011）の小型水槽を用いた飼育試験に従った。

仔魚の観察・測定は、毎日午後に各水槽から 50 尾以上の仔魚を採取して行った。採取した仔魚は m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔し、鰾内にガスを保有している個体を開腔仔魚、ガスを保有していない個体を未開腔仔魚として類別した。開腔仔魚については、麻酔したまま飼育水と同等の水温と比重の海水（水温 25℃、平均比重 1.0266）を入れた 200 ml ビーカーに収容し、水面に浮上する個体とそれ以外の個体を分別して、ここでは前者を浮上仔魚、後者を正常開腔仔魚として扱った。以上の調査に基づき、開腔率（開腔仔魚数/調査仔魚数×100）と浮上率（浮上仔魚数/正常開腔仔魚数×100）を求めた。さらに、未開腔、正常開腔、浮上仔魚について、それぞれ 10 尾を上限として、全長と鰾の長径・短径（開腔仔魚）を測定するとともに、既報（Hamasaki et al. 2009；平田ら 2009）に従って仔魚のワムシ摂餌数を調べた。鰾体積は、鰾を回転楕円体とみなし、鰾体積= $4/3\pi ab^2$ （ a =長径/2, b =短径/2）として算出した。

試験 2

飼育試験は（独）水産総合研究センター増養殖研究所志布志庁舎の 80 kl 八角型コンクリート水槽（実水量 70 kl）2 基を用いて行った。各水槽に 2010 年 6 月 9 日に得られた約 50 万粒の浮上卵を収容し、翌日にふ化した約 35 万尾の仔魚を飼育した。水温は 24～25℃になるよう調整した。餌料には 3 日齢の初回給餌時のみ S 型ワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex を与え、以降は 5 日齢から L 型ワムシを給餌した（飼育水中密度 10 個体/ml）。また、飼育水にはスーパー生クロレラ V12（クロレラ工業）を 6 日齢まで毎日午前と午後に 1 l ずつ、7 日齢以降は 1.5 l ずつ添加した。その際、クロレラは 200 l の淡水を入れた容器にいったん添加し、そこから内径 4 mm のビニールホースと定量ポンプを用いて飼育水に滴下した。収容から 4 日齢までは無換水とし、5 日齢から換水を始め、換水率は 5% から 10 日齢の 15% まで順次増やした。通気は、水槽底面に設置した散気管（直径 25 mm×1 m、大和実業製ユニホース）と水槽中央に設置した角型エアーストン（3×3×12 cm）1 個で行った。油膜除去装置（塩澤ら 2003；今井ら 2011）は 3 日齢から 5 日齢まで設置し、照明は 6～24 時の 18 時間

行った。水面照度は 3,000 lx とした。

仔魚の観察・測定は、5～10 日齢まで毎日 11 時～16 時に各水槽から 50 尾以上の仔魚を採取し、試験 1 と同様の方法で行った。

試験 3

飼育試験は志布志庁舎で実施し、採卵・ふ化の方法は既報（照屋ら 2009）に従った。試験区として、通気量を 0 ml/分（無通気区）、100 ml/分（100 ml 区）、250 ml/分（250 ml 区）に調整する区を設けた。なお、鰾は明期に開腔することから（平田ら 2009；今井ら 2011）、通気量別の設定は開腔率が上昇する 3～5 日齢（今井ら 2011；岩崎ら 2011）の照明時間帯のみ行い、夜間と収容から 3 日齢および 6 日齢以降の通気量はすべての水槽で 100 ml/分とした。各区とも 500 l 黒色ポリエチレン水槽 2 基を用い、2010 年 6 月 11 日に 2 日齢の仔魚を各水槽に 6,000 尾ずつ収容し、10 日齢まで飼育した。餌料には L 型ワムシ（飼育水中密度 10 個体/ml）を用い、その他の飼育管理は試験 1 に従った。

仔魚の観察・測定は、毎日 10～15 時に各水槽から 50 尾以上の仔魚を採取し、試験 1 と同様の方法で行った。

仔魚の組織切片の作製

試験 2 と 3 における 8～10 日齢の正常開腔仔魚と浮上仔魚をブアン液で 24 時間固定後、70% エタノールに置換・保存した。定法に従い、仔魚の縦断面と横断面のパラフィン連続組織切片（厚さ 6 μm ）を作製し、ヘマトキシリン・エオシン染色を施した。組織切片作製に用いた各日齢の仔魚数は、縦断面では正常開腔仔魚が 6～18 個体、浮上仔魚が 8～18 個体、横断面では正常開腔仔魚が 6～12 個体、浮上仔魚が 14～18 個体であった。

統計処理

試験区を設定した試験 3 では、開腔率（3～5 日齢）と浮上率（浮上仔魚出現日～）の区間差、および全長（浮上仔魚出現日～）の区間差と類別した仔魚の状態（正常開

腔，浮上)による差を検定した。なお，本試験では開腔率が 100%近くに達し，未開腔仔魚の全長を測定できた水槽数が少なかったため，仔魚の状態による差の検定には未開腔仔魚を含めなかった。開腔率，浮上率および全長（各水槽の平均値を代表値）は各水槽から経時的に得られたデータであることから，疑似反復を避けるために，検定には一般化線形混合効果モデル（generalized linear mixed effects model, GLMM）を用いた（Everitt and Hothorn 2010）。GLMM の目的変数を各区各水槽の開腔率（開腔仔魚数，調査仔魚数），浮上率（浮上仔魚数，開腔仔魚数），全長平均値とし，説明変数を開腔率と浮上率では試験区（カテゴリカル変数）と日齢，全長では試験区，日齢および仔魚の状態（カテゴリカル変数）とした。また，水槽 No.と日齢を変量効果とし，誤差分布に比率では二項分布を，全長では正規分布を指定した。仔魚の鰾体積と摂餌数の区間差と仔魚の状態（正常開腔，未開腔，浮上）による差についても同じ水槽から繰り返し得られたサンプルに基づいていることから，検定には GLMM を用いた。この場合，鰾体積，摂餌数とも成長にともない増加する傾向がみられたことから，説明変数を試験区，仔魚の状態および全長とした。その際，水槽 No.を変量効果とし，誤差分布に鰾体積では正規分布を，摂餌数ではポアソン分布を指定した。試験 1 と 2 では，成長（浮上仔魚出現日～，ただし試験 3 では 6 日齢の浮上仔魚が 1 尾であったので 7～10 日齢で比較），鰾体積および摂餌数の仔魚の状態（正常開腔，未開腔，浮上）による差を検定した。検定方法は試験 3 に準じた（ただし，説明変数に試験区を含まない）。検定は Everitt and Hothorn (2010) に従って統計解析ソフトウェア R2.11.1（R Development Core Team 2010）の *lmer* 関数を用いて行い，有意水準は 5%とした。なお，開腔率，浮上率および全長はほとんどの場合日齢にともない，また鰾体積および摂餌数は全長にともない有意に増加した。以下では，区間差および仔魚の状態による差の検定結果についてのみ記述した。

2.3 結果

開腔率と浮上率

試験 1 では，開腔仔魚は 4 日齢に初めて確認され，5 日齢以降は 70～80%程度で推

移した (Fig. 2-1a)。浮上仔魚は 7 日齢に初めて確認され、全水槽で出現した。2 水槽の平均浮上率は、9 日齢に最大 62% に達した。なお、本試験では、実際に飼育水面で浮漂しているような仔魚は観察されなかった。

試験 2 では、調査初日の 5 日齢の平均開腔率は 80% であった (Fig. 2-1b)。浮上仔魚は水槽 No.1 で 6 日齢に初めて確認された。7 日齢と 8 日齢には水槽 No.2 で、9 日齢と 10 日齢には両水槽で浮上仔魚が観察され、水槽間の変動が大きいものの、8~10 日齢の平均浮上率 (範囲) は 40% (36~45%) に達した。試験 1 と同様に、飼育水面で浮漂する仔魚は観察されなかった。

試験 3 では、開腔仔魚は 3 日齢に初めて確認され、開腔率は通気が弱い順に上昇する傾向がみられた (Fig. 2-1c)。3~4 日齢の開腔率は無通気区が 250 ml 区よりも有意に高い値を示したが、いずれの区も 5 日齢以降は 90% 以上を示した。浮上仔魚は 6 日齢に 250 ml 区で初めて確認され、7 日齢以降には全区で出現し、それ以降に浮上率は増加する傾向を示した。7 日齢以降の平均浮上率 (範囲) は、無通気区が 11% (3~20%)、100 ml 区が 20% (3~44%)、250 ml 区が 30% (11~57%) で、無通気区に比較して 100 ml 区と 250 ml 区の値が有意に高かった。試験 1 と同様に、飼育水面で浮漂する仔魚は観察されなかった。

仔魚の全長、鰾体積および摂餌

試験 1 では、未開腔仔魚の成長は停滞する傾向を示し、正常開腔仔魚よりも有意に小さかった (Fig. 2-2a)。また、浮上仔魚と正常開腔仔魚の全長に有意差は認められなかったものの、浮上仔魚の平均全長は減少する傾向を示した。試験 2 では、未開腔仔魚と浮上仔魚の全長は正常開腔仔魚よりも有意に小さかった (Fig. 2-2b)。試験 3 においても、浮上仔魚の全長は正常開腔仔魚よりも有意に小さかった (Fig. 2-2c)。また、測定できた未開腔仔魚の平均全長の推移をみると、7 日齢以降には負の成長を示した。

各試験とも浮上仔魚の鰾体積は正常開腔仔魚よりも有意に大きかった (Fig. 2-3)。また、未開腔仔魚と浮上仔魚の摂餌数は正常開腔仔魚に比較して有意に少なかった (Fig. 2-4)。なお、試験 3 における鰾体積と摂餌数に区間差はなかった。

鰾の組織像の観察

鰾腔は消化管の上部に体軸方向がやや長い楕円形を呈して存在した (Fig. 2-5)。ガス腺は浮上・正常開腔仔魚とも鰾上皮腹側の基底部に単列した状態にあり、その他の組織も含めて浮上仔魚の鰾に異常は観察されなかった。浮上仔魚の鰾は正常開腔仔魚と比べて大きく、鰾が体側方向に過剰に拡張していた。

2.4 考察

本研究では、麻酔したカンパチ仔魚をビーカーの海水に入れ、その浮き沈みを調べたところ、海水面に浮く仔魚は小型水槽および大型水槽とも早い場合には6日齢に出現し、その出現率は7~8日齢に増加した。また、全長と鰾体積の関係および組織切片像から、浮上した仔魚の鰾は正常開腔仔魚に比較して実際に肥大していることが確認された。さらには、鰾が肥大したカンパチ仔魚の摂餌数は正常開腔仔魚と比較して有意に少なく、成長も劣った。これは、鰾肥大仔魚では過剰な正の浮力がかかり、ワムシに対する摂餌行動が正常に行えないことによるものと推察される。また、鰾肥大仔魚の鰾の組織自体には特に異常は認められなかったが、体腔内で鰾は体側方向に拡張し、正常開腔仔魚に比較して消化管を圧迫しているように見え (Fig. 2-5)、このことも鰾肥大仔魚の摂餌数が少ない要因であるかもしれない。本研究では、未開腔仔魚についても初めて成長と摂餌数を調査したところ、いずれも正常開腔仔魚に比較して劣り、負の成長を示す場合もあった。これは、未開腔仔魚は、正常開腔仔魚に比較して体密度 (比重) が高く (照屋ら 2009)、そのために遊泳能力が劣り、ワムシに対する摂餌効率が低下することに加え、遊泳に多くのエネルギーを要するためにエネルギー効率が悪くなっていることに起因するものと考えられる。

以上のように、本研究によって初めてカンパチ仔魚の未開腔、正常開腔および鰾肥大個体の成長と摂餌状況が明らかになった。鰾の異常で浮力を調節できない仔魚は十分に摂餌できず、成長も悪く、早晚死亡するものと推察される。現在、カンパチ種苗生産では、適正環境条件下で開口日 (3・4日齢) から4・5日齢にかけて水面の油膜を除去することによって80%を超える開腔率が得られていることから (Fig. 2-1)、仔

魚の未開腔問題についてはほぼ解決されたものと考えている。一方、今回の小型水槽および実際の大型水槽を用いた種苗生産事例とも鰾肥大仔魚が出現し、大型水槽では平均肥大率は40%にも達した。したがって、この現象の防除技術開発がカンパチ種苗生産技術の確立に向けてきわめて重要な課題である。

仔魚期における鰾の異常膨満現象はいくつかの魚種で知られており、シマアジ *Pseudocaranx dentex* (荒川ら 1987)、ボラ *Mugil cephalus* (Nash et al. 1977)、European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Johnson and Katavic 1984; Villamizar et al. 2009) および sea bass *Lates calcarifer* (Bagarinao and Kungvankij 1986) ではふ化後 10 日から 2 週間前後に発生すると報告されている。また、鰾が肥大する要因あるいは飼育環境条件として、シマアジでは弱通気条件 (荒川ら 1987)、ボラでは水面からの空気の過剰呑み込み (Nash et al. 1977)、European sea bass では高塩分、昇温による水温変化、高照度への照度変化等の飼育環境の変化によるストレス (Johnson and Katavic 1984) および 24 時間連続照明条件 (Villamizar et al. 2009)、また sea bass では仔魚の移槽によるストレス (Bagarinao and Kungvankij 1986) が報告されている。本研究では、「鰾肥大の要因の 1 つは開腔時期に水面から空気を取り込み過ぎることである」との仮説の下、仔魚が水面から空気を呑み込む行動に対する物理的攪乱の影響が異なるように、通気量が異なる水槽で仔魚を飼育した。通気量は仔魚の開腔率に大きな影響を与えることが知られている。例えば、60 l 水槽で飼育した Australian bass *Macquaria novemaculeata* 仔魚の開腔率は 50 ml/分以下では高く、1,000 ml/分以上で低くなることが報告されており (Battaglione and Talbot 1993)、500 l 水槽で飼育したカンパチ仔魚においても、通気量 (100~2,000 ml/分) と開腔率に逆相関関係が認められている (照屋ら 2009)。本研究においても、通気が弱い順に開腔率が上昇する傾向がみられたことから (Fig. 2-1c)、今回の設定が仔魚の空気の呑み込みやすさに影響を与えていたものと考えられる。しかし、飼育水面の物理的攪乱がない無通気区で鰾が肥大した個体の出現率が高くなるようなことはなく、鰾の肥大要因を説明できるような結果は得られなかった。

鰾が開腔したカンパチ仔魚の体密度 (比重) は昼間高く、夜間に低くなることが知られている (照屋ら 2009)。この昼夜における仔魚の体密度の違いは、クロマグロ *Thunnus orientalis* (Takashi et al. 2006)、マダイ *Pagrus major* (Kitajima et al. 1993) およ

びクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* (北島ら 1994) でも報告されており、体密度の変化は鰾のガス交換に起因すると考えられる膨縮(昼間収縮, 夜間膨張)によることが知られている。したがって、鰾が肥大して過剰な正の浮力を示す個体は、鰾内のガス交換能に異常をきたしている可能性が考えられ、今回カンパチ仔魚では6日齢の早い時期から鰾肥大個体の出現が確認されたことから、鰾が開腔可能な開口から6日齢頃の短い期間に仔魚に何らかの異常が起きている可能性が考えられる。先述のように、これまでに報告されている研究事例では様々な環境要因が鰾肥大現象に影響を及ぼしているものと考えられていることから、今後カンパチ種苗生産においても、開口から6日齢頃を中心に、種々の飼育条件が仔魚の鰾膨縮に及ぼす影響を調査する必要がある。

2.5 引用文献

- 荒川敏久・高屋雅生・北島 力・吉田範秋・山下金義・山本博敬・Izquierdo Maria Soledad・渡辺 武 (1987) シマアジの種苗生産における 2, 3 の問題点について. 長崎水試研報, **13**, 31-37.
- Bagarinao, T. and P. Kungvankij (1986) An incidence of swimbladder stress syndrome in hatchery-reared sea bass (*Lates calcarifer*) larvae. *Aquaculture*, **51**, 181-188.
- Battaglione, S. C. and R. B. Talbot (1993) Effect of salinity and aeration on survival of and initial swim bladder inflation in larval Australian bass. *Prog. Fish-Cult.*, **55**, 35-39.
- Everitt, B. S. and T. Hothorn (2010) R による統計解析ハンドブック第2版 (大門貴志・吉川俊博・手良向 聡訳), メディカル・パブリケーションズ, 東京, pp. 223-261.
- Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K. Mushiake (2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, **288**, 216-225.
- 平田喜郎・今井彰彦・浜崎活幸・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰾の開腔に及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌, **75**, 995-1003.

- 今井彰彦・岩崎隆志・橋本 博・平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 飼育試験と鰾の個体発生から推察したカンパチ仔魚の鰾開腔メカニズム. 日水誌, **77**, 845-852.
- 岩崎隆志・今井彰彦・橋本 博・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 異なる水温および光環境で飼育したカンパチ仔魚の鰾の開腔時期. 水産増殖, **59**, 633-636.
- Johnson, D. W. and I. Katavic (1984) Mortality, growth and swim bladder stress syndrome of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae under varied environmental condition. *Aquaculture*, **38**, 67-78.
- 宮下 盛 (2006) 種苗生産における浮上および沈降死. 日水誌, **72**, 947-948.
- 虫明敬一 (2006) カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, **72**, 1158-1160.
- Nakada, M. (2002) Yellowtail culture development and solutions for the future. *Rev. Fish. Sci.*, **10**, 559-575.
- Nash, C. E., C-M. Kuo, W. D. Madden and C. L. Paulsen (1977) Swim bladder inflation and survival of *Mugil cephalus* to 50 days. *Aquaculture*, **12**, 89-94.
- Kitajima, C., Y. Yamane, S. Matsui, Y. Kihara and M. Furuichi (1993) Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 209-216.
- 北島 力・山根康幸・松井誠一 (1994) クロダイ仔稚魚の発育に伴う比重の変化. 日水誌, **60**, 755-762.
- R Development Core Team (2010) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 塩澤 聡・竹内宏行・廣川 潤 (2003) カンパチ種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増養殖システム 1 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- Takashi, T., H. Kohno, W. Sakamoto, S. Miyashita, O. Murata and Y. Sawada (2006) Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck

and Schlegel), larvae. *Aquacult. Res.*, **37**, 1172–1179.

照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬
— (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌,
75, 54–63.

Villamizar, N., A. García-Alcazar and F. J. Sánchez-Vázquez (2009) Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture*, **292**, 80–86.

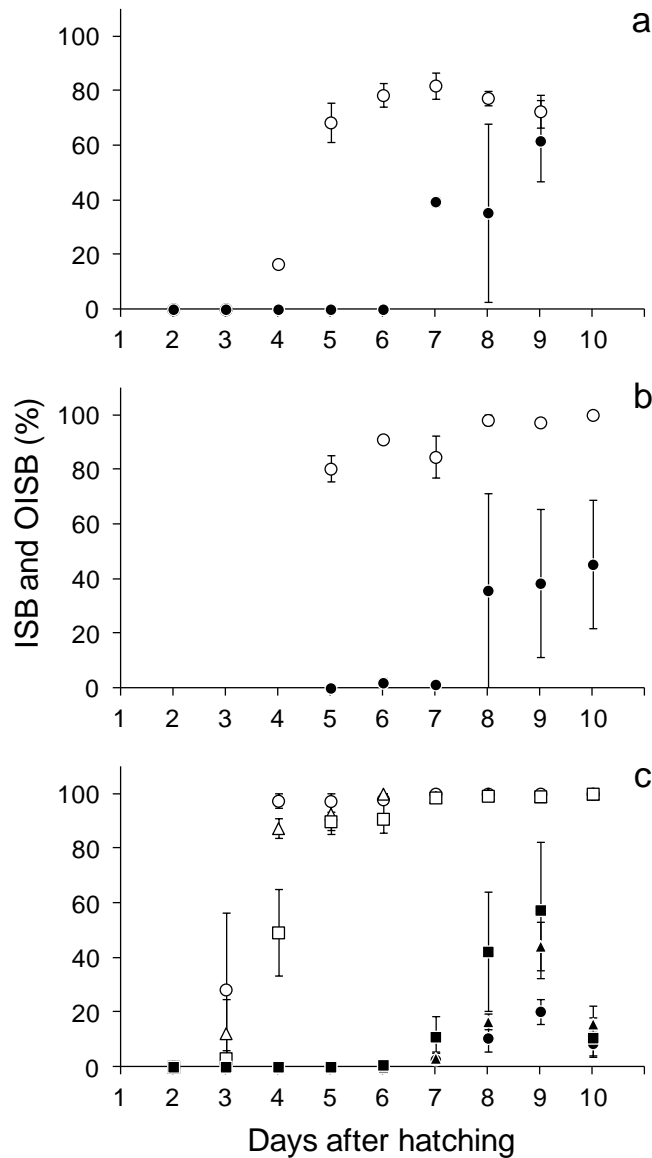


Fig. 2-1 Changes in mean proportion of greater amberjack larvae with inflated (ISB, white symbols) and over-inflated swim bladders (OISB, black symbols) reared in two 500 l tanks (a, trail 1), two 80 kl tanks (b, trail 2) and six 500 l tanks (c, trial 3). In trial 3, duplicate tanks were prepared for three different aeration conditions [0 (circle), 100 (triangle) and 250 (square) ml/min]. ISB (%) = (number of larvae with inflated swim bladders)/ (number of larvae examined) \times 100. OISB (%) = (number of larvae with over-inflated swim bladders)/ (number of larvae with inflated swim bladders) \times 100. Vertical bars indicate the standard errors.

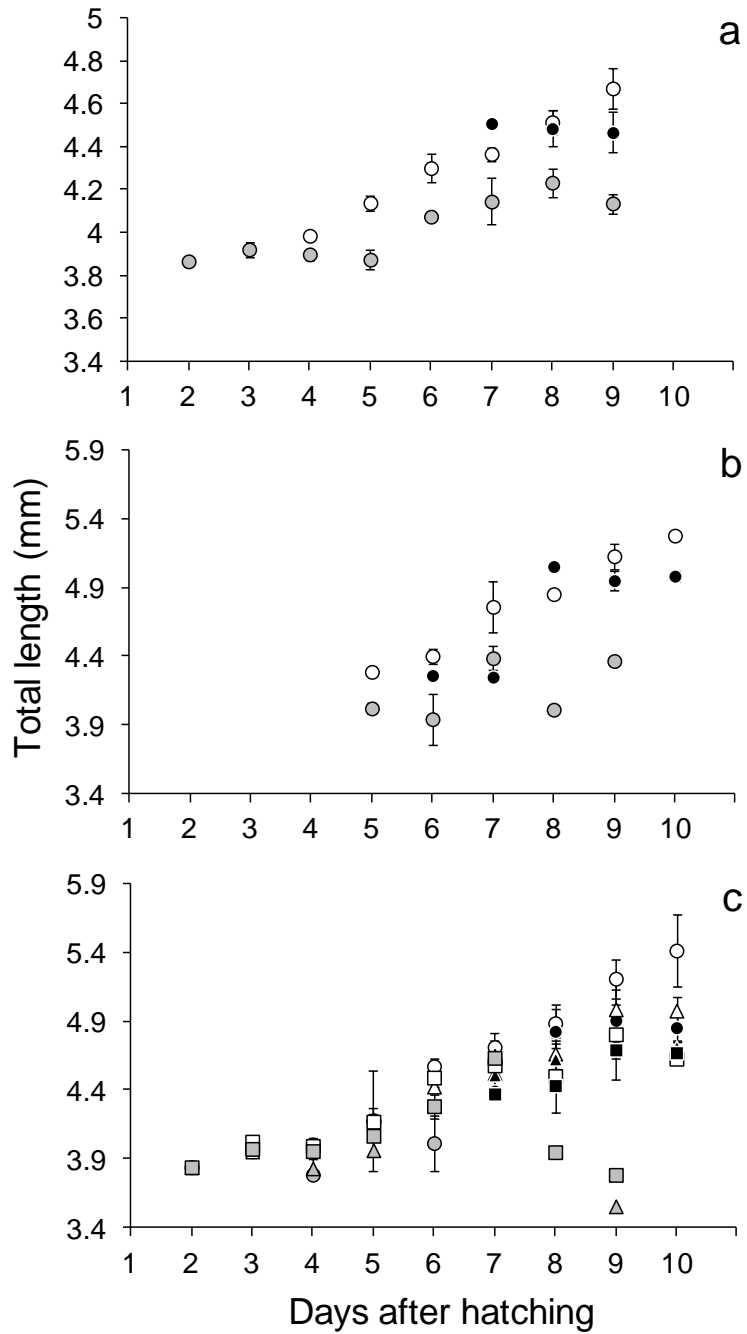


Fig. 2-2 Changes in mean total length of greater amberjack larvae with non-inflated (grey symbols), normal inflated (white symbols) and over-inflated swim bladders (black symbols) reared in two 500 l tanks (a, trail 1), two 80 kl tanks (b, trail 2) and six 500 l tanks (c, trial 3). In trial 3, duplicate tanks were prepared for three different aeration conditions [0 (circle), 100 (triangle) and 250 (square) ml/min]. Vertical bars indicate the standard errors.

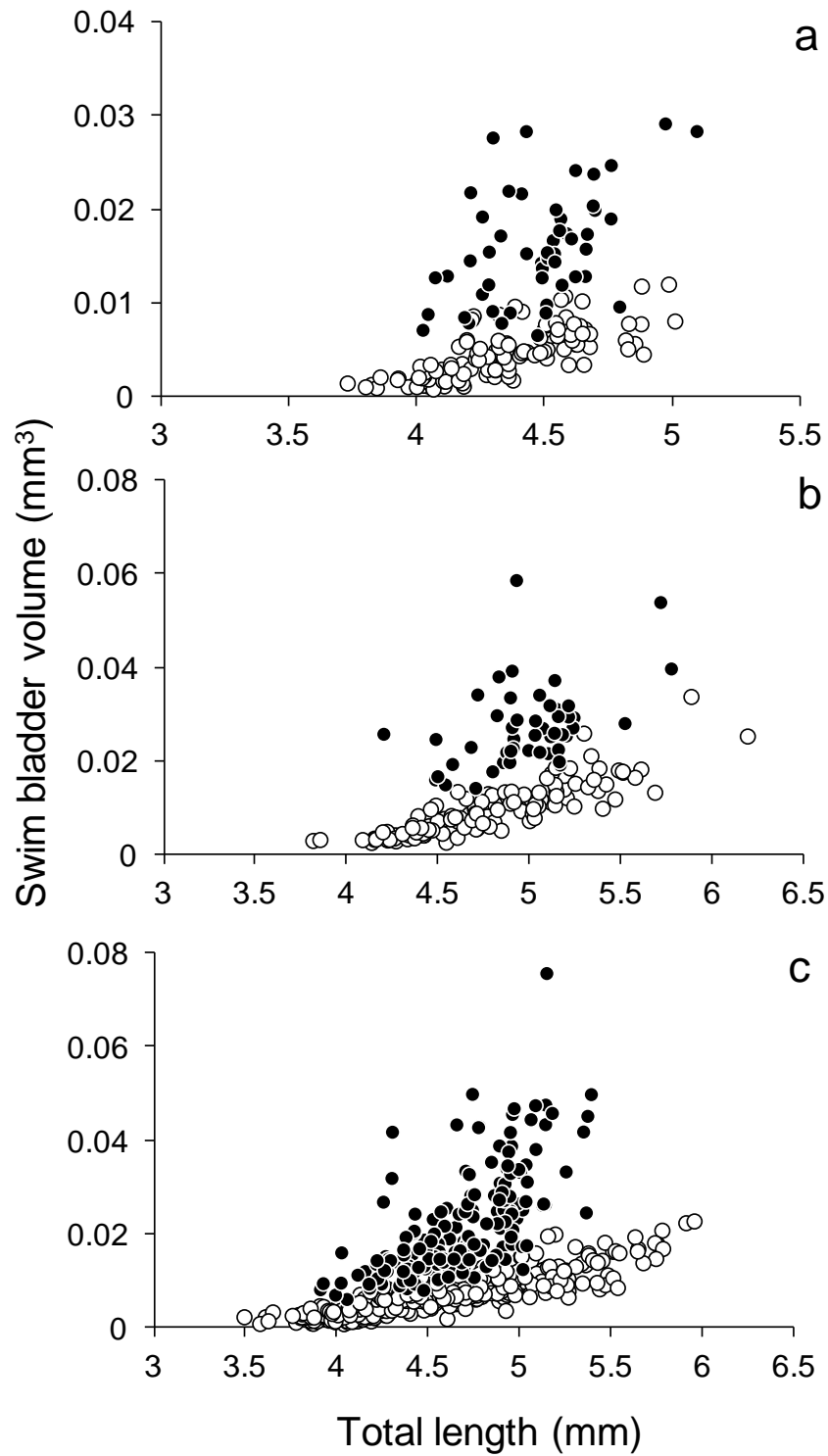


Fig. 2-3 Relationship between total length and swim bladder volume of greater amberjack larvae with normal inflated (white circles) and over-inflated swim bladders (black circles) in trails 1 (a), 2 (b) and 3 (c).

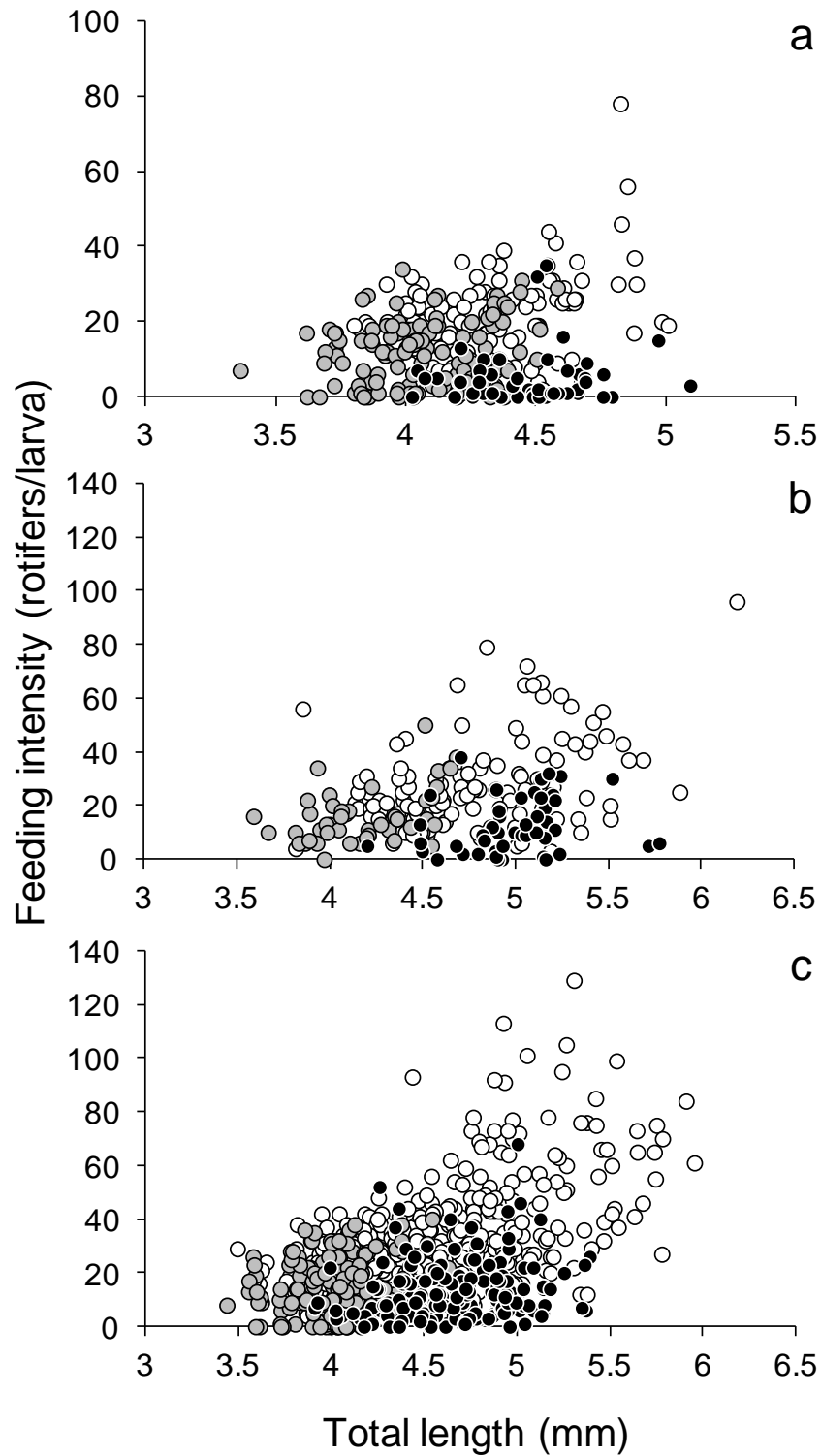


Fig. 2-4 Relationship between total length and number of rotifers in the gut of greater amberjack larvae with non-inflated (grey circles), normal inflated (white circles) and over-inflated swim bladders (black circles) in trials 1 (a), 2 (b) and 3 (c).

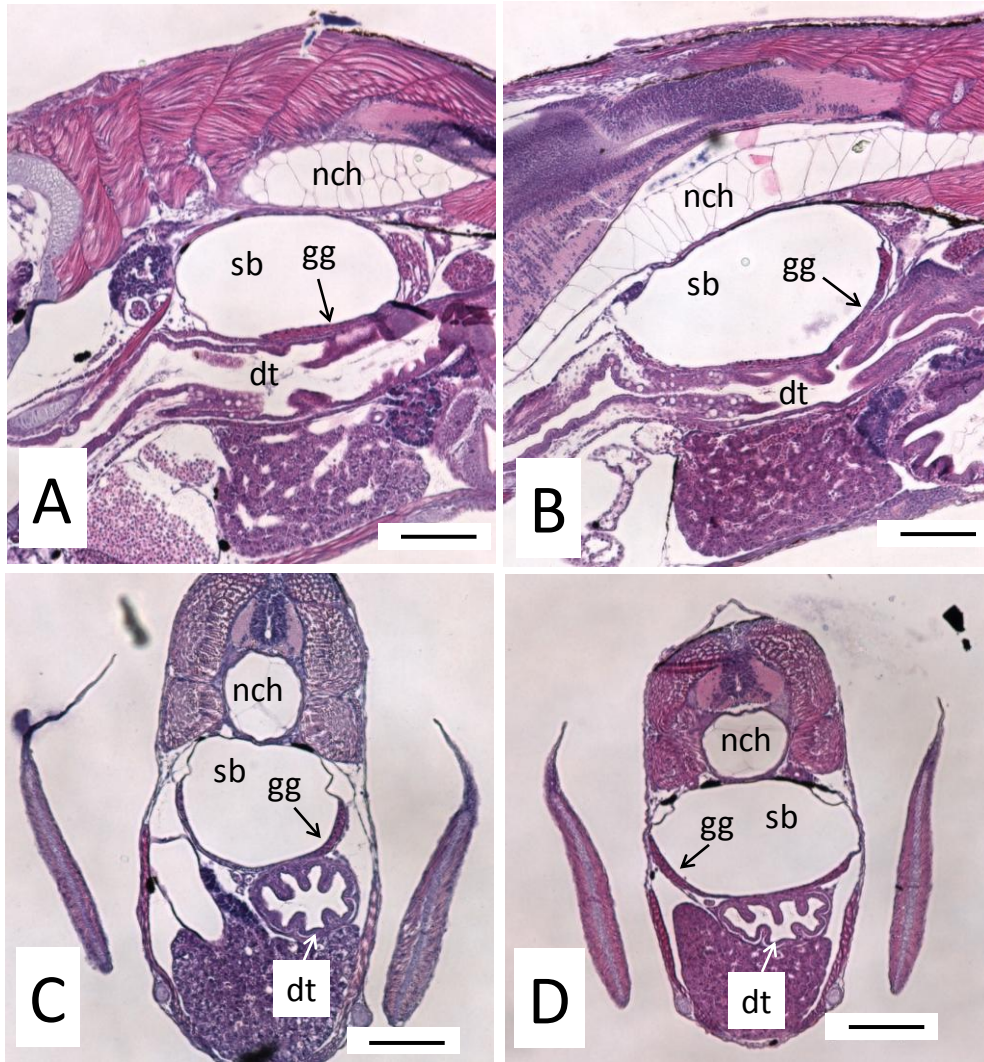


Fig. 2-5 Longitudinal (A, B) and serial (C, D) cross sections of the swim bladder in larval greater amberjack (8 days after hatching). A & C, normal inflated swim bladders; B & D, over-inflated swim bladders. Scale bars indicate 100 μ m. Abbreviations: dt, digestive tract; gg, gas gland; nch, notochord; sb, swim bladder. HE stain.

第 3 章 カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討

3.1 はじめに

カンパチ *Seriola dumerili* は熱帯・亜熱帯域に広く分布し、わが国では北海道を除く各水域に生息または来遊するアジ科ブリ属の大型魚類である（落合・田中 1986）。本種はブリ *S. quinqueradiata* と同様に、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖対象種となっている（Nakada 2002；高岡 2005；虫明 2006）。しかし、カンパチはブリに比べて国内産天然種苗の捕獲量が少ないことから（原田 1969）、本種の養殖用種苗は海外産に依存せざるを得ないのが現状である。このような状況の中、2005 年に中国で中間育成された後に、養殖用種苗として輸入されたカンパチの大型種苗（体重 500～1,000 g）で *Anisakis* I 型幼虫の大量寄生が確認され、大きな社会問題となった（虫明 2006；Yoshinaga et al. 2006）。これを機に、カンパチ養殖用種苗の国産化が強く求められるようになってきている。しかし、本種の種苗生産においては、他のブリ属と同様に初期減耗や共食いという問題点を抱えており、大量の種苗を安定的に生産する技術は確立されていない（塩澤ら 2003；Hamasaki et al. 2009；平田ら 2009；照屋ら 2009）。そこで、筆者らはカンパチ種苗生産における初期生残を改善する一環として、小型水槽を用いた飼育試験によって、仔魚のワムシに対する摂餌生態（Hamasaki et al. 2009）および仔魚の飼育に適正な光周期と水温条件（平田ら 2009）について検討した。このうち、光周期については、1 日あたり 0、12、18、24 時間の照明条件で検討したところ、14 日齢までの生残率と体長は 18 時間照明で最良であったことから、恒明ではない長日条件がカンパチ仔魚の初期飼育に適しているものと考えられた（平田ら 2009）。また、24 時間照明での生残と成長が 18 時間照明よりも劣った要因を明らかにするには、仔魚の摂餌リズムを調査する必要性を指摘した（平田ら 2009）。

そこで本研究では、24 時間連続照明下の 500 l 水槽と 140 kl 水槽で飼育したカンパチ仔魚の摂餌リズムを調査するとともに、実用レベルでの飼育初期における適正な日長条件を検討するために、14 時間照明（第 1 回飼育）と 18 時間照明（第 2 回飼育）

とした大型水槽（80 kl）による種苗量産飼育を実施したのでその概要を報告する。

3.2 材料および方法

供試卵

供試卵は、既報（照屋ら 2009）と同様に、（独）水産総合研究センター増養殖研究所古満目庁舎（高知県）で養成した親魚から採卵した。2009 年 6 月 11 日から 2011 年 6 月 1 日までの期間に得られた浮上卵を（独）水産総合研究センター増養殖研究所志布志庁舎（鹿児島県）に輸送し、各試験に用いた。

24 時間連続照明下における仔魚の摂餌リズム

小型水槽を用いた調査：古満目庁舎から輸送した浮上卵をアルテミアふ化槽（容量 1 kl）1 基に 20 万粒収容した。卵管理水温は 24°C とした。ふ化は翌日にみられ、ふ化率は 78.3% であった。ふ化仔魚は、そのままふ化槽で飼育し、2 日齢の仔魚を 500 l 黒色ポリエチレン水槽 3 基に、平田ら（2009）と同様に 10,000 尾ずつ収容した。

照明は、卵管理時から 24 時間連続して行い、飼育開始から終了まで水面照度を 2,000 lx に調整し、10 日齢まで飼育した。餌料には濃縮冷蔵淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12, クロレラ工業）で 6~12 時間栄養強化した L 型ワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex を用い、3 日齢から 8 時と 13 時に飼育水中のワムシ密度を調べ、不足する場合、10 個体/ml になるように給餌した。飼育水には水質改良剤（フィッシュグリーン、グリーンカルチャ）10 g を毎日 9 時と 15 時に添加した。また、毎日 6 時と 15 時に濃縮冷蔵ナンノクロロプシス（マリンフレッシュ、マリーンバイオ）を 12.5 ml 添加した。通気は水槽中央に設置したエアーストーン（AS-10, 田中三次郎商店）1 個を用いて行い、通気量は 0.5 l/min とした。換水量は 2~3 日齢は飼育水量の 30% とし、その後毎日 10% ずつ増加させた。油膜除去装置（塩澤ら 2003 ; 今井ら 2011）は 3~5 日齢に設置し、適宜回収された油膜を除去した。飼育水温は 500 W ヒーターを用いて 24°C に調整した。飼育期間中毎日 9 時と 15 時に測定した各水槽の水温、pH および溶存酸素量の平均値は、24.2~24.3°C, 7.86~7.90 および 7.68~7.85 mg/l であった。

仔魚の採取は3～10日齢まで3時間または6時間間隔で行った。各水槽から20尾を採取し、m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート (MS-222, SIGMA-ALDRICH) で麻酔後に、スライドガラス上で仔魚を軽く押し潰し、消化管内のワムシの咀嚼器数を光学顕微鏡下で数え、それをもって仔魚のワムシ摂餌数とした。

大型水槽を用いた調査：飼育は140 kl八角型コンクリート水槽（実容量120 kl）1基を用いて行った。古満目庁舎で得られた約70万粒の浮上卵を水槽へ直接收容し、翌日にふ化していた約36万尾の仔魚を飼育した。

卵管理時および0～2日齢は6～24時まで照明を行い、開口日である3日齢以降は24時間連続照明を行った。水面照度は3,000 lxに調整した。餌料には前述の方法で栄養強化したS型ワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex を用い、3日齢に飼育水中密度が10個体/mlになるように給餌した。また、飼育水には濃縮冷蔵淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12）を毎日午前と午後に2 lずつ添加した。通気は、照屋・與世田（2006）の方法を参考にして水槽の縁辺から通気管（直径25 mm×1 m, ユニホース, 大和実業株式会社）を用いて行い、通気によって発生する上昇流で飼育水を回転させた。水槽の中央にはエアーストーン（AS-200）1個を設置した。收容から5日齢まで毎日飼育水量の14%を換水した。油膜除去装置は3～5日齢まで設置し、昼間に装置内に集まった油膜をカップで適宜取り除き、飼育水面に油膜のない状態とした。飼育期間中毎日8時と13時に測定した水温、pH および溶存酸素量の平均値は、24.1℃、8.13 および 8.05 mg/l であった。

仔魚の採取は3～5日齢まで1～7時間間隔で行い、前述の方法で毎回10～25尾のワムシ摂餌数を計数した。

種苗量産飼育

照明時間の設定：第1回飼育では、志布志庁舎においてこれまで種苗量産試験の初期飼育で設定している14時間照明を採用した。第2回飼育では、平田ら（2009）の調査結果を受けて、18時間照明を採用した。

第1回飼育：古満目庁舎で得られた浮上卵を、80 kl八角型コンクリート水槽（実容量70 kl）2基に50万粒ずつ收容した。ふ化は翌日にみられ、各水槽のふ化仔魚数は

それぞれ 45.7 万尾と 44.1 万尾であった。

照明は、卵管理を含めて 20 日齢まで 6~20 時の 14 時間行なった。なお、カンパチと同属のヒラマサ *S. lalandi* では飼育仔魚の体サイズ変異と攻撃性の増加はアルテミア給餌開始と一致していることが報告されており (Moran 2007), カンパチにおいても同様の現象が観察されている (橋本ら未発表)。そこで、大型個体の小型個体に対する攻撃行動による減耗を防ぐ目的で、日中の活動時間、すなわち照明時間をアルテミアの給餌開始期 (20 日齢) から 1 日あたり 1 時間ずつ短縮し、22 日齢から試験終了まで 6~18 時の 12 時間照明とした。水面照度は 3,000 lx とし、点灯後の 1 時間および消灯前の 1 時間は 100 lx に設定した。

飼育はそれぞれ 35 日齢まで行った。餌料には前述の方法で栄養強化した S 型と L 型ワムシを使用し、8 時と 13 時に飼育水中のワムシ密度を調べ、不足する場合、20 個体/ml になるよう 3~6 日齢では S 型ワムシを、7~32 日齢では L 型ワムシを給餌した。また、19~33 日齢ではアルテミア幼生 *Artemia sp.* を、30 日齢から取り揚げ (35 日齢) では配合飼料 (海産仔稚魚用アンブローズ 400 および 600, 日本配合飼料) を給餌した。アルテミアの投与量は仔魚が 30~60 分で喰いつくすように調整し、配合飼料は手撒きおよび自動給餌機を用いて残餌が出ないように与えた。アルテミアは水温 28°C でふ化後 12 時間経過したものを、100~300 個体/ml の密度で 1 kl 水槽に収容し、スーパーカプセル A1 (添加量 300 ml/kl, クロレラ工業) で 12~18 時間栄養強化した。飼育水には、ワムシの給餌開始時から毎日 8 時と 16 時に濃縮冷蔵淡水クロレラ (ハイグレード V12, クロレラ工業) を 1~1.5 l ずつ添加するとともに、水質改良剤 (フィッシュグリーン) 400 g を毎日 8 時と 16 時に添加した。通気は、前述の 140 kl 水槽と同様に通気管を用いて行い、通気によって発生する上昇流で飼育水を回転させた。水槽の中央にはエアーストーン (AS-10) 1 個を設置した。飼育に用いる海水は電解殺菌装置 (ヤンマー船用システム) で処理した海水を貯水または掛け流しで使用し、卵収容時から 9 日齢まで無換水、10 日齢以降は 10%/日の換水を行った。その後、仔魚の成長とともに換水率を増加させ、最大 120%/日とした。油膜除去装置は、3~6 日齢の間設置した。平田ら (2009) と岩崎ら (2011) によれば、カンパチ仔魚の 10 日齢頃までの適正飼育水温は 22~24°C とされていることから、本試験での飼育水温は卵

管理から9日齢までは24℃とし、10日齢以降には1日1℃増加させ、35日齢まで26℃を維持した。

仔魚の測定は3～15日齢まで毎日14時に行った。各水槽から仔魚25尾を採取し、m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート（MS-222）で麻酔後に、仔魚を万能投影機で拡大し、デジタルノギス（CD-S20C, Mitutoyo）で全長を測定するとともに、9日齢まで鰾が開腔した個体の割合（開腔率＝開腔仔魚数/調査仔魚数×100）を調査した。さらに、前述の方法で仔魚のワムシ摂餌数を計数した。仔魚のワムシ摂餌数は14日齢まで調査した。仔魚の測定は25日齢および取り揚げ時にも行い、20～50尾を採取し、全長を測定した。生残仔魚数の推定は、9日齢と13日齢に行った。生残仔魚数の計数には、一端にボールバルブを取り付けた長さ2.2m、直径5cmの塩ビパイプを用い、照明が消灯した後に飼育水槽の8点から柱状サンプリングにより30～35lを採水し、採水中の仔魚数から容積法で生残仔魚数を推定した。取り揚げ時には全数計数により生産尾数を求めた。飼育期間中毎日8時と13時に測定した各水槽の水温、pHおよび溶存酸素量の平均値は、25.5℃、7.93～7.94および7.10～7.17mg/lであった。

第2回飼育：古満目庁舎で得られた浮上卵を、80kl八角型コンクリート水槽（実容量70kl）3基に50万粒、50万粒、40万粒ずつ収容した。ふ化は翌日にみられ、各水槽のふ化仔魚尾数はそれぞれ35.1万尾、31.9万尾および22.0万尾であった。

照明は卵管理を含めて15日齢まで6～24時の18時間行い、第1回飼育と同様にアルテミアの給餌開始に合わせて段階的に、アルテミア給餌前日の16日齢に6～20時の14時間、19日齢に6～19時の13時間、22日齢に6～18時の12時間とし、その後は試験終了までこの照明時間を保った。水面照度は3,000lxとし、点灯後の1時間および消灯前の1時間は100lxに設定した。

飼育は第1回飼育に準拠してそれぞれ35、36、34日齢まで行ったが、第1回飼育よりも仔魚の成長が良好であったことから、アルテミアの給餌は17日齢から行った。また、配合飼料には稚仔魚用配合飼料リッチE（科学飼料研究所）も使用し、飼育水への淡水クロレラ（ハイグレードV12）の添加量を2～3lとした。仔魚の測定は第1回飼育と同様に行った。生残仔魚数の推定は、照明が点灯する前に第1回飼育と同様の方法で行った。また、ワムシ摂餌数の調査は21時にも行い、各水槽から10～20尾

を採取した。飼育期間中毎日 8 時と 13 時に測定した各水槽の水温、pH および溶存酸素量の平均値は、25.1～25.4℃、7.46～7.50 および 7.64～7.66 mg/l であった。

統計処理

第 1 回飼育と第 2 回飼育における 15 日齢までと 25 日齢の全長の差および第 2 回飼育における 14 時と 21 時のワムシ摂餌数の差を Welch の *t* 検定により検定し、有意水準は 5% に設定した。

3.3 結果

24 時間連続照明下における仔魚の摂餌リズム

小型水槽を用いた調査：仔魚は 3 日齢の 9 時から摂餌し始め、摂餌数は 3 日齢では 21 時に最大値を示し、その後 4 日齢の 0 時にやや低下したものの、4 日齢の 3 時から再び増加し、9 時に最大値を示した (Fig. 3-1)。その後は、1 日に 1 度ずつ最小と最大を繰り返す摂餌リズムが認められ、5～10 日齢に摂餌数の最小値を示した時刻は、それぞれ 0 時、3 時、6 時、3 時、6 時、6 時、また最大値を示した時刻は、それぞれ 15 時、18 時、18 時、12 時、18 時、21 時であった (Fig. 3-1)。

大型水槽を用いた調査：仔魚は 3 日齢の 14 時から摂餌し始め、摂餌数は 21～22 時に高く推移した後、0 時にかけて減少した (Fig. 3-2)。その後、4～5 日齢には同じような摂餌リズムが認められ、摂餌数は 6 時から 21 時にかけて上昇し、22 時頃まで高く推移したが、それ以降減少した。

種苗量産飼育

取り揚げ時の平均生残率は、第 2 回飼育 (17.0%) が第 1 回飼育 (12.5%) よりも高かったが、いずれの水槽でも 4 万尾以上の種苗を取り揚げることができた (Table 3-1)。仔魚の全長は飼育初期から第 1 回飼育よりも第 2 回飼育で大きく推移する傾向を示し、7 日齢と 15 日齢で有意差が認められた (Fig. 3-3)。飼育回次間の仔魚の成長差は 25 日齢で顕著になり有意差が認められ、取り揚げ時の平均全長の差は最大で 16 mm に

達した (Fig. 3-4)。両飼育回次とも仔魚の鰓開腔状況は良好で、5~6 日齢にかけて 90% 前後に達した。次に、仔魚のワムシ摂餌数をみると (Fig. 3-5)、第 1 回飼育で 14 時に調査した摂餌数は、日齢にともない増加する傾向を示した。第 2 回飼育も 14 時の摂餌数は第 1 回飼育と同様に推移した。14 時と 21 時の摂餌数を比較すると、4~8 日齢では 21 時の摂餌数が 14 時よりも有意に多かった。また、3 日齢および 9 日齢以降では統計的に有意な差は認められなかったが、21 時の摂餌数が多い傾向を示した。

3.4 考察

今回の 24 時間連続照明とした小型水槽で飼育した 3~10 日齢のカンパチ仔魚の摂餌リズムには、24 時間程度で増減を繰り返す概日リズムが確認され、摂餌量は 0~6 時頃に最小値を示した (Fig. 3-1)。このような摂餌の概日リズムは、3~5 日齢のヤイトハタ仔魚 (Yoseda et al. 2006; Fujii et al. 2007) と 4~5 日齢のキジハタ仔魚 (與世田ら 2006) でも認められている。大型水槽では、仔魚がワムシを摂餌し始める時間は 6 時からであり、その後、仔魚のワムシ摂餌数は 21 時から 22 時頃まで高く推移し、それ以降には減少する傾向を示した (Fig. 3-2)。このように、小型水槽および大型水槽での調査結果から、カンパチ仔魚は 0 時から 6 時頃の間には積極的に摂餌しない内因性リズムを持つものと考えられる。恒明条件下において、仔魚がそのような摂餌の不活発な時間帯に遊泳などの活動を行うと、エネルギー収支が見合わず、成長や生残に負の影響を及ぼすものと考えられ、そのことが、平田ら (2009) のカンパチ仔魚の飼育試験において、24 時間照明区の生残と成長が 18 時間照明区 (6~24 時に照明) よりも劣った要因である可能性が考えられる。この仮説を証明するには、摂餌量が不活発な時間帯の仔魚の活動状況や明暗での仔魚の代謝量について明らかにすることが必要である。

これまでの魚類の種苗生産における光周期が仔魚の生残と成長に及ぼす影響を調べた研究によれば、ヘダイの一種 *Sparus aurata* (Chatain and Ounais-Guschmann 1991)、ゴマアイゴ *Siganus guttatus* (Duray and Kohno 1988)、大西洋マダラ *Gadus morhua* (Puvanendran and Brown 2002)、striped trumpeter *Latris lineata* (Trotter et al. 2003)、ス

ジアラ *Plectropomus leopardus* (與世田ら 2003), およびマハタ *Epinephelus septemfasciatus* (照屋ら 2008a) では長日または恒明条件が仔魚の生残や成長の改善に有効であったと報告されている。一方, 短日または中間的な日長条件下で仔魚の生残と成長が良好であった例が, sea bream *Archosargus rhomboidalis* (Dowd and Houde 1980) およびクエ *Epinephelus bruneus* (照屋ら 2008b) で報告されている。本研究では, カンパチ仔魚の初期飼育における照明時間が異なる飼育事例(第1回飼育, 20日齢まで14時間照明; 第2回飼育, 15日齢まで18時間照明)を比較したところ, 照明時間以外の飼育方法に異なる点はあるものの, 第2回飼育の方が取り揚げ時(35日齢前後)の平均生残率は高い傾向がみられ, 初期成長も良く, 15日齢および25日齢の全長は有意に大きかった。

平田ら(2009)は, カンパチ仔魚は暗黒条件下ではほとんど摂餌せず負の成長を示したことから, 他の多くの魚類仔稚魚(Blaxter 1986; Boeuf and Le Bail 1999)と同様に視覚による摂餌を行っているものと推察している。したがって, 今回の第1回飼育と第2回飼育の間には, 少なくとも15日齢までは摂餌可能な時間に1日4時間の差があったことになる。これに加え, 第1回飼育の照明時間では仔魚の摂餌が高く推移する21時はすでに暗黒条件となっており, 摂餌が不可能な環境であったのに対し, 第2回飼育では明条件とし, 実際に摂餌数は14時に比べて21時が多かった。この15日齢までのワムシに対する摂餌環境の差が仔魚の初期成長差をもたらし, アルテミア給餌以降の大きな成長差につながったものと考えられる。さらには, この摂餌環境の差に加え, 第2回飼育では第1回飼育で使用した配合飼料の他に異なる配合飼料を使用したこと, および飼育水中のワムシの餌料・栄養強化剤として添加した淡水クロレラ(n-3高度不飽和脂肪酸含有)の量を2倍にしたことも成長の改善に寄与した可能性が考えられる。飼育水中のワムシの脂肪酸組成は, 飼育水へ添加する植物プランクトンの脂肪酸組成を反映することが知られており(團・小磯 2008; Yamamoto et al. 2009), n-3高度不飽和脂肪酸含量の高いワムシを摂餌したカンパチ仔魚の成長と生残は改善されることが知られている(Matsunari et al. 2012a, 2012b)。

カンパチの種苗生産では, 塩澤ら(2003)が60kl水槽で平均全長30.5mm(38~46日齢)の種苗7万尾(生残率15.5%)を生産した事例を報告しているが, 種苗を生産

できない事例も多かった（外菌 2007）。本研究では、これまで筆者らが初期生残を改善する一環として行った飼育試験，すなわち仔魚のワムシに対する摂餌生態（Hamasaki et al. 2009），仔魚の飼育に適正な光周期と水温条件（平田ら 2009），および鰾開腔メカニズムの解明（今井ら 2011）やカンパチ仔稚魚の個体間の成長差の抑制技術（橋本ら未発表）を取り入れた結果，従来の 14 時間照明とした飼育においても 1 水槽あたり平均全長 27~28 mm（35 日齢）の種苗 4.3~6.9 万尾（生残率 9.3~15.6%）を取り上げることができた。さらには，日長を 18 時間とする種苗生産飼育の有効性が，本研究による仔魚の摂餌リズムから裏付けられた。今回の 18 時間照明とした種苗量産飼育では，成長が著しく改善され，平均全長 38~43 mm（34~36 日齢）の種苗 4.5~5.3 万尾（生残率 12.9~21.4%）を取り上げることができ，種苗生産の安定化に向けた足がかりが得られた。今後は本研究の種苗生産方法を基本にしながら，開腔仔魚の鰾肥大による摂餌不良現象（橋本ら 2012）や 20 日齢頃からみられる大型個体による小型個体への攻撃行動による減耗（橋本ら未発表）を防除し，さらに生残率を向上させる飼育手法について検討する必要がある。

3.5 引用文献

- Blaxter, J. H. S. (1986) Development of sense organs and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **115**, 98-114.
- Boeuf, G. and P. Y. Le-Bail (1999) Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, **177**, 129-152.
- Chatain, B. and N. Ounais-Guschmann (1991) The relationships between light and larvae of *Sparus aurata*. In " Larvi '91. Short communications and abstracts of contributions presented at the international Symposium on Fish and Crustacean Larviculture. Gent, Belgium, August 27-30, 1991" (ed. by P. Lavens, P. Sorgeloos, E. Jaspers and F.P. Ollevier), *EAS Special Publication*, **15**, European Aquaculture Society, Gent, pp. 310-313.
- 團 重樹・小磯雅彦（2008）種苗生産水槽へ添加した微細藻類のワムシ n-3 高度不飽和脂肪酸含量に及ぼす影響. *水産増殖*, **56**, 603-604.

- Dowd, C. E. and E. D. Houde (1980) Combined effects of prey concentration and photoperiod on survival of larval sea bream, *Archosargus rhomboidalis* (Sparidae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **3**, 181-185.
- Duray, M. and H. Kohno (1988) Effects of continuous lighting on growth and survival of first-feeding larval rabbitfish, *Siganus guttatus*. *Aquaculture*, **72**, 73-79.
- Fujii, A., Y. Kurokawa, S. Kawai, K. Yosedo, S. Dan, A. Kai, M. Tanaka and S. Tawada (2007) Diurnal variation of tryptic activity in larval stage and development of proteolytic enzyme activities of malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) after hatching. *Aquaculture*, **270**, 68-76.
- Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K. Mushiake (2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, **288**, 216-225.
- 原田輝雄 (1969) カンパチ. 養魚講座 4 ハマチ・カンパチ (大島泰雄・稲葉伝三郎監修), 緑書房, 東京, pp. 189-201.
- 橋本 博・今井彰彦・岩崎隆志・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2012) 鰾の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長. 水産増殖, **60**, 99-106.
- 平田喜郎・今井彰彦・浜崎活幸・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰾の開腔に及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌, **75**, 995-1003.
- 外菌博人 (2007) カンパチ種苗生産の現状と展望. 日水誌, **73**, 335-336.
- 今井彰彦・岩崎隆志・橋本 博・平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 飼育試験と鰾の個体発生から推察したカンパチ仔魚の鰾開腔メカニズム. 日水誌, **77**, 845-852.
- 岩崎隆志・今井彰彦・橋本 博・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 異なる水温および光環境で飼育したカンパチ仔魚の鰾の開腔時期. 水産増殖, **59**, 637-640.
- Matsunari, H., H. Hashimoto, K. Oda, Y. Masuda, H. Imaizumi, K. Teruya, H. Furuita, T. Yamamoto, K. Hamada and K. Mushiake (2012a) Effects of docosahexaenoic acid on

- growth, survival and swim bladder inflation of larval amberjack (*Seriola dumerili*, Risso). *Aquac. Res.*, in press.
- Matsunari, H., H. Hashimoto, K. Oda, Y. Masuda, H. Imaizumi, K. Teruya, H. Furuita, T. Yamamoto, K. Hamada and K. Mushiake (2012b) Effect of different algae used for enrichment of rotifers on growth, survival, and swim bladder inflation of larval amberjack *Seriola dumerili*. *Aquac. Int.*, **20**, 981-992.
- Moran, D. (2007) Size heterogeneity, growth potential and aggression in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi* Valenciennes). *Aquac. Res.*, **38**, 1254-1264.
- 虫明敬一 (2006) カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, **72**, 1158-1160.
- Nakada, M. (2002) Yellowtail culture development and solutions for the future. *Rev. Fish. Sci.*, **10**, 559-575.
- 落合 明・田中 克 (1986) 新版魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 814-815.
- Puvanendran, V. and J. A. Brown (2002) Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture*, **214**, 131-151.
- 塩澤 聡・竹内宏行・廣川 潤 (2003) カンパチ種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増養殖システム 1. 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- 照屋和久・與世田兼三 (2006) クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. 水産増殖, **54**, 187-194.
- 照屋和久・與世田兼三・岡 雅一・西岡豊弘・中野昌次・菅谷琢磨・浜崎活幸 (2008a) 光周期がマハタ仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響. 日水誌, **74**, 645-652.
- 照屋和久・與世田兼三・岡 雅一・西岡豊弘・中野昌次・森 広一郎・菅谷琢磨・藤井あや・黒川優子・川合真一郎・浜崎活幸 (2008b) 光周期がクエ仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響. 日水誌, **74**, 1009-1016.
- 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水

- 誌, **75**, 54-63.
- Trotter, A. J., S. C. Battaglione and P. M. Pankhurst (2003) Effects of photoperiod and light intensity on initial swim bladder inflation, growth and post-inflation viability in cultured striped trumpeter (*Latris lineate*) larvae. *Aquaculture*, **224**, 141-158.
- Yamamoto, T., K. Teruya, T. Hara, H. Hokazono, I. Kai, H. Hashimoto, H. Furuita, H. Matsunari, and K. Mushiake (2009) Nutritional evaluation of rotifers in rearing tanks without water exchange during seed production of amberjack *Seriola dumerili*. *Fish. Sci.*, **75**, 697-705.
- 與世田兼三・團 重樹・藤井あや・黒川優子・川合真一郎 (2003) 異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌, 初期生残および消化酵素活性に及ぼす影響. 水産増殖, **51**, 179-188.
- 與世田兼三・照屋和久・菅谷琢磨・関谷幸夫 (2006) 初回摂餌の遅れがキジハタ *Epinephelus akaala* 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. 日水誌, **72**, 702-709.
- Yoseda, K., S. Dan, T. Sugaya, K. Yokogi, M. Tanaka and S. Tawada (2006) Effects of temperature and delayed initial feeding on the growth of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) larvae. *Aquaculture*, **256**, 192-200.
- Yoshinaga, T., R. Kinami, K. A. Hall and K. Ogawa (2006) A preliminary study on the infection of anisakid larvae in juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* imported from China to Japan as mariculture seedlings. *Fish Pathol.*, **41**, 123-126.

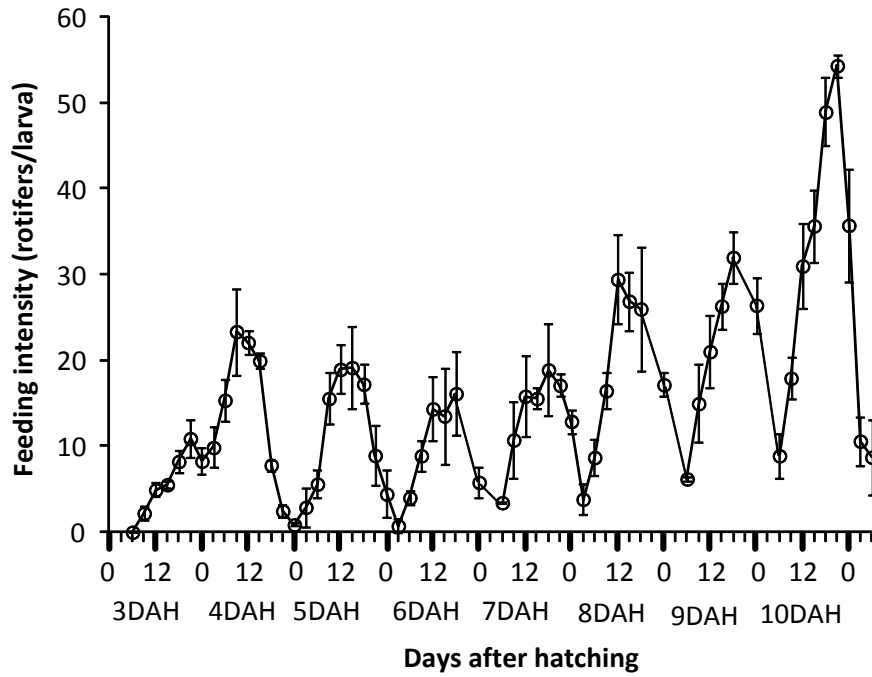


Fig. 3-1 Diurnal variation of number of rotifers in the guts of greater amberjack larvae reared in three 500 l tanks. Plot indicates the mean value of three replicate tanks. Vertical lines show standard deviations.

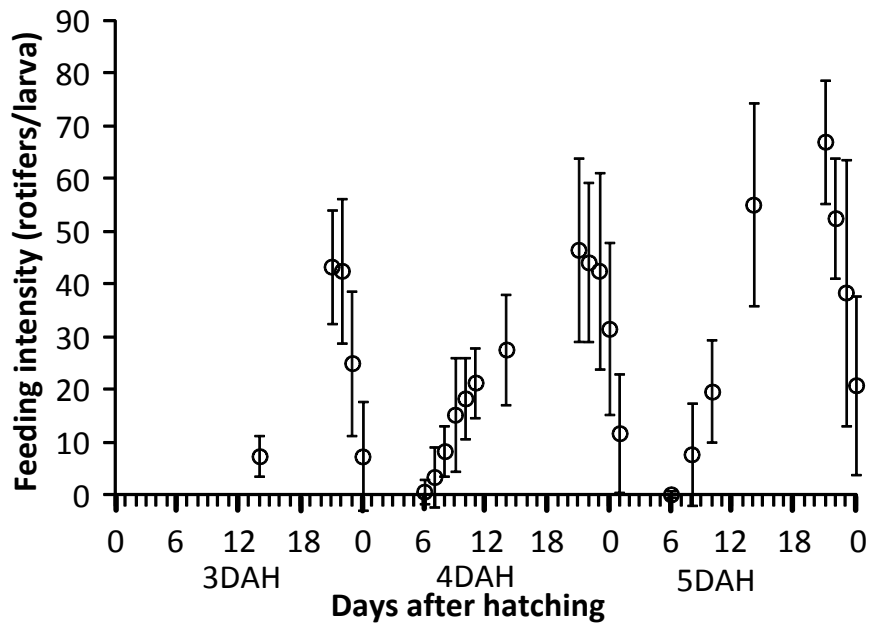


Fig. 3-2 Diurnal variation of number of rotifers in the guts of greater amberjack larvae reared in a 140 *kl* tank. Vertical lines show standard deviations.

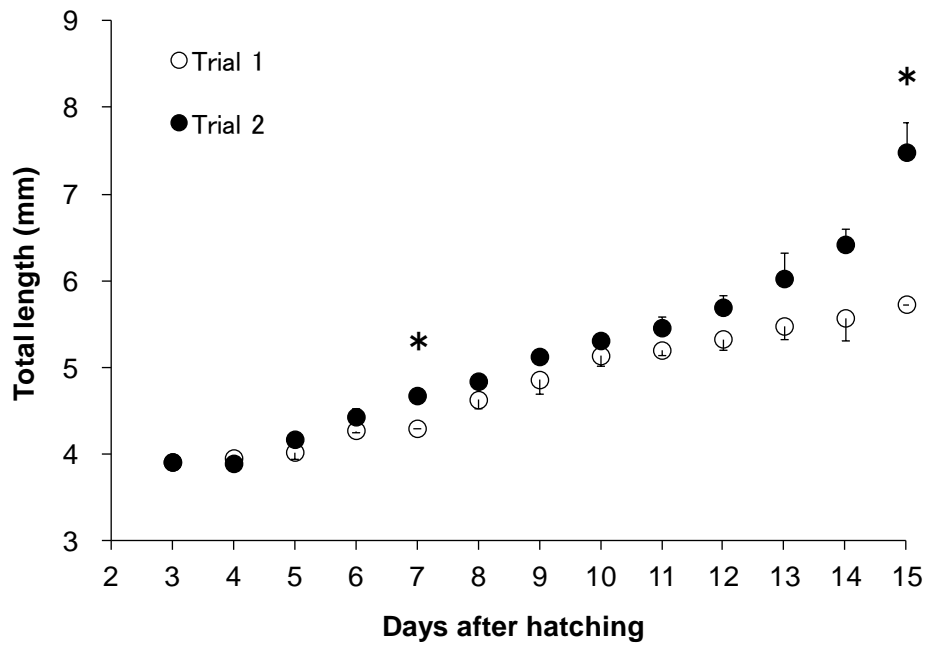


Fig. 3-3 Changes in total length of greater amberjack larvae reared until 15 DAH in each 80 *kl* tank under different photoperiods. Trial 1, 14L:10D; Trial 2, 18L:6D. Plot indicates the mean value of two (trial 1) and three (trial 2) replicate tanks. Vertical lines show standard deviations. Asterisk (*) indicates that the significant difference was found between trials.

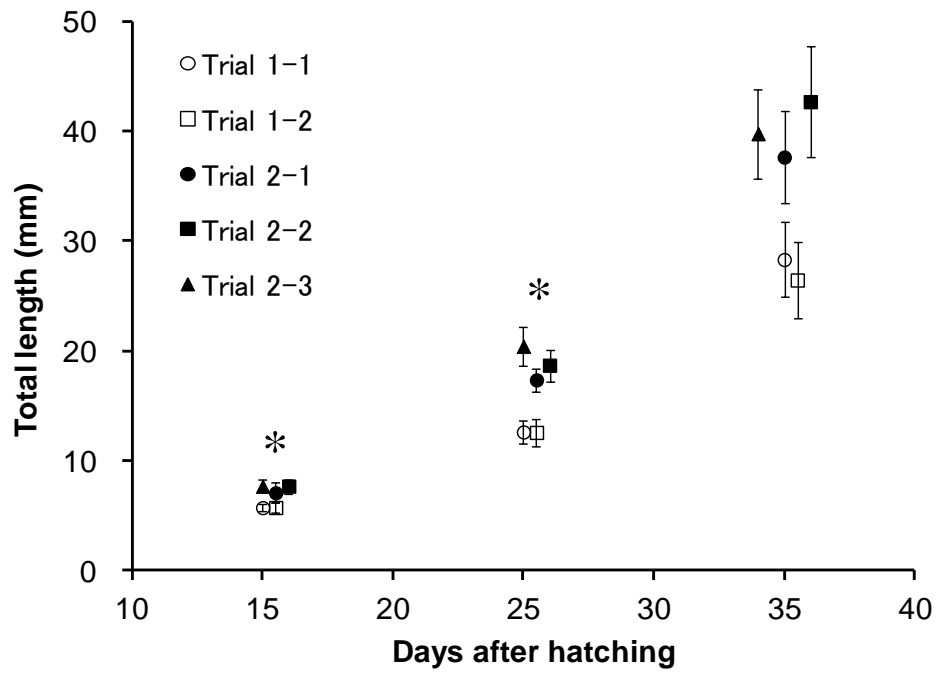


Fig. 3-4 Changes in total length of greater amberjack larvae reared until harvesting in each 80 *kl* tank under different photoperiods. Trial 1, 14L:10D; Trial 2, 18L:6D. Vertical lines show standard deviations. Asterisk (*) indicates that the significant difference was found between trials.

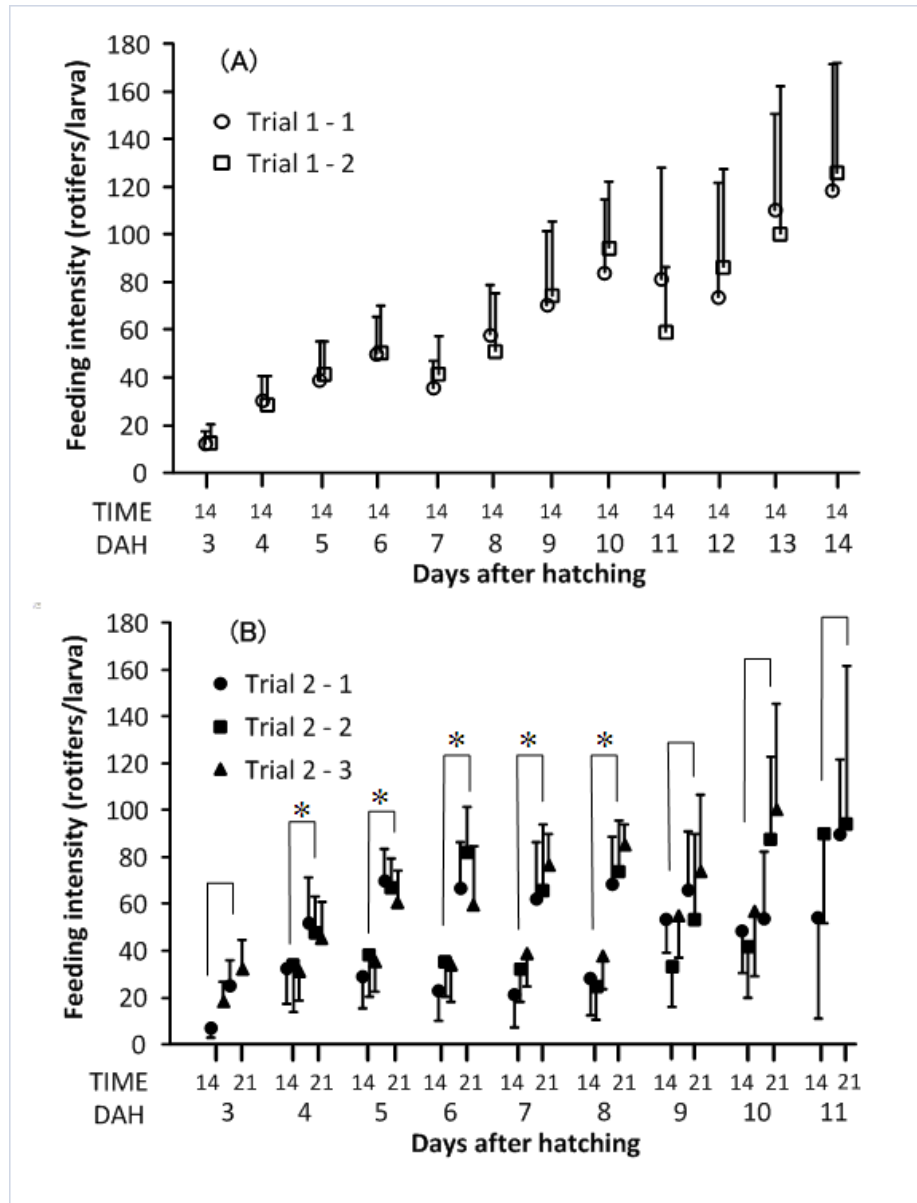


Fig. 3-5 Changes in number of rotifers in the guts of greater amberjack larvae reared in each 80 kl tank under different photoperiods. Trial 1, 14L:10D (A); Trial 2, 18L:6D (B). Vertical lines show standard deviations. Asterisk (*) indicates that the significant difference was found between times in the designated day.

Table 3-1 Survival rate of greater amberjack larvae reared in 80*kl* tanks under different photoperiods

Photoperiod	Trial. No.	Tank No.	Initial		Survival rate (%)			Final	
			Number of larvae (thousand)	9 DAH	13 DAH	DAH	Number of juveniles (thousand)	Survival rate (%)	
14L:10D	1	1	457	50.3	24.7	35	43	9.3	
		2	441	66.7	42.4	35	69	15.6	
Mean				58.5	33.6			12.5	
18L:6D	2	1	351	53.8	35.6	35	45	12.9	
		2	319	52.0	33.5	36	53	16.6	
		3	220	53.2	28.6	34	47	21.4	
Mean				53.0	32.6			17.0	

DAH, days after hatching.

第4章 カンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連

4.1 はじめに

アジ科ブリ属のカンパチ *Seriola dumerili* は熱帯・亜熱帯域に広く分布し、わが国では北海道を除く各水域に生息または来遊する（落合・田中 1986）。本種は全長 1.8 m、体重 80 kg にまで達する大型のブリ属魚類で、市場価値が高く、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖対象種となっている（Nakada 2002；高岡 2005）。そのため、これまでに多くの研究機関でカンパチの種苗生産技術開発研究が行われてきたが、他のブリ属の仔稚魚飼育と同様に初期減耗や共食いという問題点を抱えており（塩澤ら 2003）、安定した種苗量産技術の開発には至っていない（外菌 2007）。そこで、筆者らはカンパチ種苗生産における初期生残を改善する一環として、仔魚のワムシに対する摂餌生態（Hamasaki et al. 2009）、仔魚の浮遊性に関わる体密度の変化（照屋ら 2009）、仔魚の鰾の開腔（今井ら 2011；岩崎ら 2011；橋本ら 2012）、飼育に適正な光周期や水温条件（平田ら 2009；橋本ら 2013）について検討したところ、飼育開始2週間までの初期生残は改善され、種苗量産の安定化に向けた足がかりが得られている（橋本ら 2013）。

魚類における共食い現象は広く知られており、種苗生産や養殖では仔稚魚の大きな減耗要因になっている（Smith and Reay 1991；Baras and Jobling 2002）。共食いは捕食者が被食者の体の一部（I型）あるいは全部（II型、本報では“呑み込み”と定義する）を摂食する現象であるが（Baras and Jobling 2002）、ヒラマサ *S. lalandi*（蛭子・立原 1993）やブリ *S. quinqueradiata*（Sakakura and Tsukamoto 1996, 1999）では、大型個体が小型個体を口に咥えたまま呑み込むことができず窒息・衰弱して死亡する“共倒れ”現象も知られており、ブリでは日間死亡数の14%に達する事例が報告されている（Sakakura and Tsukamoto 1996）。カンパチの種苗生産においては、野元（2002）が18日齢頃（全長6 mm）から共食いが始まること、塩澤ら（2003）が60 l水槽で飼育した仔稚魚を観察し、20日齢頃（平均全長8.1～8.2 mm）から大型個体が小型個体を捕食しようと

する共食い行動がみられるようになり, 30 日齢以降に生残率が大きく低下したことを報告している。また, 塩澤ら (2003) は種苗生産水槽の底掃除によって回収された死亡魚には共倒れ個体はほとんどみられず, 大型個体からの攻撃によりショック死したと推測される小型個体が多かったことを報告している。さらに, Miki et al. (2011) は 19~23 日齢以降のカンパチ仔稚魚の攻撃行動に及ぼす体サイズ, 飼育密度, 給餌量の影響について, 小型水槽を用いて実験的に調べ, 給餌を制限した条件で体サイズ差が大きい場合に大型個体による小型個体への攻撃行動の頻度が高くなり, 小型個体が死亡して生残率が低下することを報告している。また, Miki et al. (2011) は, 共倒れ個体はほとんど発生しなかったことを報告しているが, 共倒れした 1 例における被食魚の体長は捕食魚の 57%であったことを記載している。このように, カンパチ種苗生産では 20 日齢頃から大型個体による小型個体への攻撃行動が始まり, 死亡数が増加する現象がみられており, カンパチ種苗量産技術を確立するには, この減耗を防除する必要がある。しかし, その基礎となる種苗生産水槽における仔稚魚の体サイズ組成や死亡魚に占める共倒れ個体の割合などの共食い現象の実態は不明確であり, また攻撃行動, 共倒れおよび呑み込みが生じる体サイズ差に関する情報はほとんどない。

そこで本研究では, カンパチ種苗生産における攻撃行動および共食いの実態を把握するために, カンパチ種苗生産水槽で仔稚魚の体サイズを測定し, ビデオ撮影または目視により攻撃行動の発現を観察した。また, 魚類が捕食可能な餌サイズは口サイズによって規定されることから (代田 1970), カンパチ仔稚魚の全長, 口サイズおよび体高の関係から捕食魚と被食魚の体サイズの理論的关系を求め, 実際の種苗生産水槽から得られた攻撃行動に関与した個体および共倒れ個体の体サイズの関係と比較し, “攻撃行動および共食い” (攻撃行動, 共倒れ, 呑み込み) に関連する体サイズ差を明らかにした。

4.2 材料および方法

調査の概要

水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎 (上浦庁舎), 宮崎県水産振興協会 (宮

崎県水産振興協会) および鹿児島県水産技術開発センターの3つの種苗生産施設から供試魚を採取し, (1) 体サイズ差の分散, (2) 攻撃行動の発現時期と攻撃行動に関与した個体の体サイズ, (3) 日間死亡率と死亡個体の体サイズ, (4) 捕食魚と被食魚の体サイズの関係を調べた。

飼育方法

1. 上浦庁舎 既報(岩崎ら 2011; 橋本ら 2012, 2013) に準じて 60~130 *kl* 水槽を用い, 2006 年に 1 回, 2007 年に 2 回の種苗生産試験を実施した。飼育水温は飼育開始時の 22~23°C から 1°C/日の割合で上昇させ, 26°C を維持した。2006 年の飼育では, L 型のワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex を 3 日齢から, 配合飼料(初期飼料協和 N-400, C-700, C-1000, 協和発酵工業) を 26 日齢から併用給餌した。2007 年に実施した 2 回の飼育では, S 型ワムシを 3 日齢から, L 型ワムシを 9 日齢から, アルテミア幼生 *Artemia* sp. を 21 日齢から, 配合飼料を 26 日齢からそれぞれ併用給餌した。S 型ワムシおよび L 型ワムシは, 8 時と 13 時に飼育水中のワムシ密度を調べ, 不足する場合, 10 個体/*ml* になるよう給餌した。アルテミア幼生の給餌量は仔稚魚が 30~60 分で喰いつくすように調整し(1,000~9,000 万個体/日), 午前と午後の 1 日 2 回給餌した。配合飼料は手撒きにより 1 時間に 1 回の間隔で残餌が出ないように給餌した(100~1,000g/日)。

2. 宮崎県水産振興協会 上浦庁舎の方法に準じ, 2007 年に 60 *kl* 水槽を用いて 2 回の種苗生産試験を実施した。餌料として, S 型ワムシを 3 日齢から, アルテミア幼生を第 1 回飼育では 12 日齢から, 第 2 回飼育では 11 日齢から, また配合飼料(ラブラバ No.2, No.3, No.4 および No.5, 林兼産業; えづけーる S, M, L および LL, 中部飼料) を 18 日齢から併用給餌した。S 型ワムシは, 午前中に 1 回, 1~3 億個体を給餌した。飼育水中のワムシの密度次第では, 給餌しない日もあった。アルテミア幼生は, 17 日齢までは午後に 1 回, 18 日齢以降は午前と午後の 2 回給餌し, 1 日あたりの給餌量は 800~15,900 万個体とした。配合飼料は 1 日あたり 3~8 回に分けて給餌し, 給餌量は 40~2,100g/日とした。第 1 回飼育では 21 日齢に, 第 2 回飼育では 19 日齢と 24 日齢に仔稚魚を大型群と小型群に選別した。選別は, 第 1 回飼育ではモジ

網製（160 径）の生簀網を飼育水槽内に設置し、生簀内に入ってきた小型魚をサイフォンで隣接する水槽に移す方法で行った。第 2 回飼育では 19 日齢に 180 径、24 日齢に 140 径の生簀網を用いて、第 1 回飼育と同様の方法で選別を行った。選別後の小型群の飼育は、大型群の飼育と同様とした。

3. 鹿児島県水産技術開発センター 上浦庁舎の方法に準じ、2006 年に 60 kl 水槽を用いて 3 回の種苗生産試験を実施した。

測定・観察項目および方法

1. 体サイズ差の分散 2007 年に上浦庁舎（2 飼育事例）と宮崎県水産振興協会（2 飼育事例）で調査した。上浦庁舎では、仔稚魚の採取は 1～13 日齢前後までは毎日、それ以降は 1～4 日おきに行い、ビーカーを用いて 20～100 尾を水槽内から採取した。採取した仔稚魚は m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート（MS-222, SIGMA-ALDRICH）で麻酔した後、万能投影機で拡大し、全長を測定した。宮崎県水産振興協会では、仔稚魚の採取はふ化日と 3～15 日齢までは毎日、それ以降は 3～7 日おきに行い、20～50 尾の全長を測定した。

2. 攻撃行動の発現時期と攻撃行動に関与した個体の体サイズ 2007 年に水面上から表層の仔稚魚をビデオ撮影し（上浦庁舎, 2 飼育事例）、または飼育期間中を通して目視観察し（宮崎県水産振興協会, 2 飼育事例）、仔稚魚の攻撃行動の発現状況を調べた。撮影は 14 日齢以降 2～3 日おきに実施し、人工照明の点灯を開始した午前 5 時から 1 時間程度行った。Sakakura and Tsukamoto (1996) はブリ仔稚魚で観察される攻撃行動を以下の 4 つのカテゴリーに分けている。1) aim : 体の向きを他個体に向けて一瞬定位する。2) chase : 1～10 秒間激しく追いかける。3) nip : 体の一部をつつく、噛みつく。4) ingestion : 捕食し、呑み込む。このうち、本研究では aim, chase, nip が観察されたが、ここでの攻撃行動の指標は観察が容易な chase（追尾行動）とした。また、上浦庁舎では、追尾行動と nip（つつき行動）に関与している 18 ペアを水槽から採取し、全長を測定した。鹿児島県水産技術開発センター（2006 年 3 飼育事例）では、追尾行動とつつき行動に関与している個体（95 ペア）および小型個体を啜えた大型個体（31 ペア）を採取し、各個体の全長を測定した。

3. 日間死亡率と死亡個体の体サイズ 上浦庁舎では、2007年の第1回と第2回飼育でそれぞれ32～39日齢と35～36日齢に水槽の底掃除を実施し、回収された死亡魚を計数した。また、第1回飼育では39日齢、第2回飼育では36日齢に種苗を取り上げ、その種苗数と死亡数から生残数を推定し、日間死亡率(死亡数÷前日の生残数×100)を求めた。さらに底掃除によって得られた死亡魚50尾の全長を測定した。宮崎県水産振興協会(2007年2飼育事例)では、水槽の底掃除を15～16日齢から行った。仔稚魚の選別前および選別後の底掃除によって得られた死亡魚と共倒れ個体を計数し、適宜全長を測定した(死亡魚、8～20尾/日;共倒れ、総計173ペア)。また、第1回飼育では33日齢、第2回飼育では35日齢と40日齢に種苗を取り上げ、上浦庁舎と同様に日間死亡率を求めた。さらに、死亡数に占める共倒れ個体数の割合を算出した。鹿児島県水産技術開発センター(2006年3飼育事例)では、底掃除で得られた共倒れ個体(27ペア)の全長を測定した。

4. 捕食魚と被食魚の体サイズの関係 上浦庁舎の2006年の飼育で得た仔稚魚をm-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート(MS-222, SIGMA-ALDRICH)で麻酔後、5～10%中性ホルマリンで固定したものをサンプルとして用いた。萱野(1988)に従い実体顕微鏡下で全長、体高(頭部を含む最大体高)、上顎長、口幅を測定し、上顎長から口径(代田1970)を求めた。また一部の個体については、標準体長も測定した。

全長と測定値との関係を相対成長式で解析した。相対成長式は以下のように表される。

$$y = ax^b$$

ここで、 x は全長(Total length, TL), y は体各部の測定値、すなわち体高(Body height, BH), 口径(Mouth height, MH), 口幅(Mouth width, MW)で、 a と b はパラメータである。ここでは相対成長式の両辺を対数に変換した以下の体各部の直線式に最小二乗法を適用してパラメータを推定した。

$$\ln BH = \ln a + b \ln TL \quad (1)$$

$$\ln MH = \ln a + b \ln TL \quad (2)$$

$$\ln MW = \ln a + b \ln TL \quad (3)$$

カンパチ仔稚魚が他個体を縦方向に捕食する場合、捕食魚の口径と被食魚の最大体高は一致するので式 (1) = 式 (2)、また、横方向に捕食する場合は捕食魚の口幅と被食魚の最大体高が一致することから式 (1) = 式 (3) となる。これらの式を用いて捕食魚の全長と被食魚の最大全長の関係式を算出した。また、既報との比較を可能にするために、標準体長 (SL) と全長 (TL) の関係を直線式 ($TL = -1.8447 + 1.4277SL$, $4.8 \text{ mm} < SL < 15 \text{ mm}$, $n=229$, $R^2=0.9968$, $P<0.0001$) で表した。

4.3 結果

体サイズ差の分散

上浦庁舎では、2回の飼育とも仔稚魚は同様の成長を示した (Fig. 4-1)。平均全長は開口時 (3日齢) の 4 mm から 20日齢前後で 8 mm に達し、それ以降は急激に成長して、36~39日齢に 25~32 mm に達した。また、成長とともに体サイズ差は大きくなり、変動係数 (標準偏差/平均値×100) は 18日齢前後に急激に増加し、それ以降はおおむね 15~25 の範囲で推移した。また、16日齢まで短峰型であった全長組成は、2峰型あるいは多峰型になる傾向がみられた (Figs. 4-2, 4-3)。

宮崎県水産振興協会においても、2回の飼育とも仔稚魚は同様の成長を示した (Fig. 4-4)。平均全長は開口時 (3日齢) の 4 mm から 18~21日齢で 7~10 mm に達し、それ以降は急激に成長して 30日齢には 20 mm を超えた。また、成長とともに体サイズ差は大きくなり、変動係数は 15日齢頃に急激に増加し、第1回飼育では 20~21日齢に、第2回飼育は 18日齢に 25 前後でピークに達した。第1回飼育では 21日齢に、第2回飼育では 19日齢に大小個体を選別したところ、それ以降の変動係数は低下し、おおむね 10~20 の範囲で推移した。全長組成をみると、選別作業によって大型群と小型群を分けることができたが、第1回飼育では 30日齢、第2回飼育では 35日齢に

は両群のサイズ差は縮小する傾向を示した (Figs. 4-5, 4-6)。

攻撃行動の発現時期

上浦庁舎では、追尾行動は 18 日齢 [平均全長 (範囲) : 第 1 回飼育, 8.5 mm (5.7 ~12.9 mm) ; 第 2 回飼育, 7.1 mm (5.6~9.0 mm)] から発現し、それ以降各撮影日とも確認された。大型個体からの攻撃が激しくなるにつれ、小型個体は水槽の端や、障害物の陰などに集まり密度の高い群れを作るようになった。また、大型個体は小型個体の群れを取り囲むようにして、群れからはぐれた個体に向かって攻撃を加えていた。

宮崎県水産振興協会では、追尾行動は 19 日齢 [平均全長 (範囲) : 第 1 回飼育 (18 日齢測定), 7.6 mm (5.1~11.7 mm) ; 第 2 回飼育 (18 日齢測定), 6.5 mm (4.7~12.2 mm)] から発現し、大型個体が小型個体を激しく追尾して攻撃する行動が観察された。追尾行動が観察された時の飼育密度は、第 1 回飼育で 1,062 尾/kl, 第 2 回飼育で 1,760 尾/kl であった。

日間死亡率と死亡個体の体サイズ

上浦庁舎では、底掃除から推定した日間死亡率は、第 1 回飼育では 2~9%, 第 2 回飼育では 2~3% であった (Fig. 4-7)。死亡魚には、共倒れ個体は認められなかった。同日齢で比較した死亡魚の全長は生存魚よりも有意に小さく (Welch の t 検定, $P<0.0001$)、その全長組成のほとんどは生存魚の最小クラスに相当した (Figs. 4-2, 4-3)。

宮崎県水産振興協会では、底掃除から推定した日間死亡率は、第 1 回飼育では 15 日齢の 0.5% から 21 日齢の 6.8% まで増加し、24 日齢まで 6% 前後で推移した。その後、各飼育群の日間死亡率はいったん 1% 前後に低下したが、30 日齢頃から最大 5.7% まで増加した (Fig. 4-8A)。第 2 回飼育における日間死亡率は、底掃除を開始した 16 日齢には 37.0% で高い値を示したが、それを除くと第 1 回飼育と同様に推移し、20 日齢にかけて増加し、それ以降、各飼育群ともいったん低下して 30 日齢頃から再び増加する傾向がみられた (Fig. 4-8B)。第 1 回飼育では 18 日齢、第 2 回飼育では 21 日齢から死亡魚には共倒れ個体が認められ、捕食魚は被食魚を頭から縦方向に啜っていた。共倒れ個体の死亡魚に占める割合は、第 1 回飼育では大型群が最大 8.3%、平均 1.7%

で、小型群が最大 2.3%、平均 0.8%、第 2 回飼育では大型群が最大 8.0%、平均 2.1%、1 回目選別小型群が最大 5.8%、平均 3.8%、2 回目選別小型群が最大 3.5%、平均 1.5%であった (Fig. 4-8)。死亡魚は生存魚よりも小型で、同日齢で比較した全長は生存魚よりも死亡魚が有意に小さかった (Welch の t 検定, $P < 0.0001$)。また、死亡魚の全長組成は生存魚の最小クラスに相当した (Figs. 4-5, 4-6)。

捕食魚と被食魚の体サイズの関係

全長と体高、口径、口幅の全長に対する比率の関係を Fig. 4-9A に、また自然対数に変換した全長と各部位長の関係を Fig. 4-9B に示す。Fig. 4-9A をみると、全長に対する体高と口径の比率は、全長 7 mm 程度まで増加した後 15 mm 程度まで減少し、その後ほぼ一定で推移する傾向がみられた。また、同様に口幅の比率は全長 7 mm と 19 mm 程度に変曲点がみられた。そこで、Fig. 4-9B の関係を 7 mm, 15 mm, あるいは 19 mm を変曲点として、各 3 本の直線式で表した (Table 4-1)。

体高は全長 7 mm まで優成長 ($b > 1$) を示し、7~15 mm では劣成長 ($b < 1$)、それ以降は等成長 ($b = 1$) に近い相対成長様式を示した。口径は全長 7 mm までは等成長を示したが、7~15 mm は劣成長に転じ、15 mm 以降は再び等成長に近い相対成長様式を示した。口幅は全長 7 mm まで優成長を示したが、7~19 mm は劣成長に転じ、19 mm 以降は再び優成長を示した。

以上の Table 4-1 の式から、捕食魚 (TL_{Cannibal}) と被食魚 (TL_{Prey}) の全長の関係式は以下のように求められた。

体高 - 口径

$$\ln TL_{\text{Prey}} = -0.1740 + 0.8508 \ln TL_{\text{Cannibal}} \quad (7 \text{ mm} \leq TL_{\text{Cannibal}} < 15 \text{ mm}) \quad (4)$$

$$\ln TL_{\text{Prey}} = -0.3954 + 0.9591 \ln TL_{\text{Cannibal}} \quad (15 \text{ mm} \leq TL_{\text{Cannibal}}) \quad (5)$$

体高 - 口幅

$$\ln TL_{\text{Prey}} = -0.8139 + 0.8046 \ln TL_{\text{Cannibal}} \quad (7 \text{ mm} \leq TL_{\text{Cannibal}} < 15 \text{ mm}) \quad (6)$$

$$\ln TL_{\text{Prey}} = -0.4906 + 0.7323 \ln TL_{\text{Cannibal}} \quad (15 \text{ mm} \leq TL_{\text{Cannibal}} < 19 \text{ mm}) \quad (7)$$

$$\ln TL_{\text{Prey}} = -1.6473 + 1.12151 \ln TL_{\text{Cannibal}} \quad (19 \text{ mm} \leq TL_{\text{Cannibal}}) \quad (8)$$

式 (4) ~ (8) から捕食魚と被食魚の全長の関係を計算し、Fig. 4-10A に黒色の実線（口径）と破線（口幅）で示す。また、宮崎県水産振興協会および鹿児島県水産技術開発センターにおける種苗生産水槽から採取された捕食魚とそれが啜っていた被食魚、および底掃除で得られた共倒れ個体の捕食魚と被食魚の全長の関係を Fig. 4-10A にプロットした。被食魚の理論的な最大全長は、口幅よりも口径から推定した値が大きく、口径から推定した捕食魚と被食魚の最大全長の関係は、実際にサンプリングした捕食魚と被食魚の全長の関係の上限によく一致した。また、共倒れが起こる上限値と下限値は、それぞれ捕食魚の全長の 63%（灰色の実線）と 35%（灰色の破線）になる被食魚の全長の範囲内にあった。次に、上浦庁舎および鹿児島県水産技術開発センターにおける水槽内で追尾行動とつつき行動に関与した攻撃個体と被攻撃個体の全長の関係を Fig. 4-10B にプロットした。その下限は捕食者の全長の 35% 以上にプロットされ、Fig. 4-10A の関係に類似した。一方、上限は口径から推定した捕食魚と被食魚の関係の理論値を超えたが、おおむね攻撃個体の全長の 75%（灰色の鎖線）以下にプロットされた。

4.4 考察

ブリの種苗生産では、飼育魚の発育段階が全長 10 mm を超えて仔魚期から稚魚期へ移行すると、攻撃性が発現することが知られている（Sakakura and Tsukamoto 1996, 1999）。本研究で飼育したカンパチの追尾行動は、18~19 日齢頃（それぞれの生産水槽の平均全長の範囲、6.5~8.5 mm；同最小の範囲、4.7~5.7 mm；同最大の範囲、9.0~12.9 mm）から発現し、塩澤ら（2003）が報告した発現時期（20 日齢頃、平均全長 8.1~8.2 mm）と同様であった。立原ら（1993）によると、飼育したカンパチは 18 日齢（体長 8.2 mm，換算全長 9.9 mm）になると背鰭と臀鰭が形成され、胸鰭が発達するとともに、尾鰭が湾入し始め、稚魚の形態に近づき、23 日齢（体長 11.2 mm，換算全長 14.1 mm）になると、腹鰭が発達して膜鰭が消失する。また、升間ら（1990）は

飼育した全長 9.6 mm のカンパチの各鰭条数は定数に達していたことを報告している。このように、飼育したカンパチの発育段階は、全長 10~14 mm 程度で仔魚期から稚魚期に移行したことが報告されており、本研究の 18~19 日齢頃の大型個体（全長 9~13 mm）は稚魚期に相当するものと推察される。したがって、カンパチはブリと同様に稚魚期へ変態した個体に攻撃性が発現するものと考えられる。

カンパチ仔稚魚の全長と体高、口径、および口幅の関係には全長 7 mm と 15~19 mm に変曲点が認められ、それらの相対成長式から捕食魚と被食魚の全長の理論的な関係を導き出した。升間ら（1990）および立原ら（1993）もカンパチ仔稚魚の全長あるいは体長に対する体高（頭高）と上顎長の比が成長にともない変化することを図示しており、今回と同様の変曲点が認められている。

種苗生産水槽で捕食魚の口に啜えられた被食魚および底掃除で得られた共倒れ被食魚の全長範囲は、捕食魚の口径から推定した被食魚の最大全長（捕食魚の全長の 63%）と捕食魚の全長の 35% の範囲によく一致した。一方、水槽内で追尾とつつき攻撃を受けた個体の全長は攻撃個体の全長の 63% を超えたが、その上限は攻撃個体の全長の 75% 以下であった。したがって、飼育したカンパチ稚魚は、全長の 75% 程度までの個体を攻撃し、63% 以下の個体を頭から縦方向に口で啜えることができる。しかし、全長の 35% までは呑み込むことができずに窒息・衰弱死する場合があります、それ以下では完全に呑み込むことが可能になるものと考えられる。ヒラマサ（蛭子・立原 1993）とブリ（Sakakura and Tsukamoto 1996）では、今回のカンパチと同様に、共倒れした個体では、被食魚サイズは捕食魚の体サイズにともない増大することが報告されている。また、ブリでは被攻撃個体の全長は攻撃個体の 80% 程度であったことが報告されている（Sakakura and Tsukamoto 1996）。

Sakakura and Tsukamoto (1997, 1998) はブリ稚魚の攻撃性を高める要因として、個体密度の減少、空腹時間の増大、一群内の体サイズ差、照度低下および水温上昇を挙げしており、その中でも体サイズ差が大きいときほど攻撃頻度が高いことを明らかにしている。実際に、Sakakura and Tsukamoto (1996, 1999) は、稚魚期に達し体サイズ差が顕著になったブリでは攻撃性が発現して攻撃頻度が増大し、共倒れ個体を含む死亡魚が増えることを報告している。また、Miki et al. (2011) は 19~23 日齢以降のカンパチ仔

稚魚の攻撃行動は体サイズ差が大きい場合に激しくなり、小型個体の死亡によって生存率が低下することを報告している。本研究のカンパチでも、稚魚期と考えられる個体が出現した 18～19 日齢頃には、体サイズ差も急激に大きくなり、宮崎県水産振興協会では小型魚の死亡により死亡率が高くなる状況が確認されるとともに、共倒れ個体も毎日の死亡魚の中に最大 2.3～8.0%、平均 0.8～2.1%の割合で認められた。

本研究では、カンパチ種苗生産における“攻撃行動および共食い”（追尾行動とつつき行動、共倒れ、呑み込み）を許す体サイズ差を、捕食魚と被食魚の全長比であらわすと、追尾行動とつつき行動が 0.75 以下、共倒れが 0.63 以下、呑み込みが 0.35 以下であると推定された。ここでは、この基準に照らして飼育したカンパチ仔稚魚の体サイズ差を評価する。まず、18 日齢以降の生存魚および死亡魚の最大個体と最小個体の全長比を算出すると最小でも 0.36（上浦庁舎の第 1 回飼育の 24 日齢）であった。このことから、今回の種苗生産では呑み込みは生じていないものと推察される。次に、死亡魚の全長モードを 0.75（追尾行動とつつき行動閾値）と 0.63（共倒れ閾値）で除した値を算出して、同日齢の生存魚の全長組成と比較してみる。上浦庁舎の第 1 回飼育の 32 日齢では、死亡魚のモードは 13～14 mm であり、攻撃する捕食魚は 17～19 mm 以上、共倒れする捕食魚は 21～22 mm 以上となり、それぞれ生存魚の全長組成に占める割合は 87%と 60%となる。同様に第 2 回飼育の 36 日齢では、死亡魚のモードは 20～21 mm、攻撃捕食魚は 27～28 mm 以上（生存魚の全長組成に占める割合、32%）、共倒れ捕食魚は 32～33 mm 以上（11%）となる。同様に宮崎県水産振興協会における死亡魚のモード、攻撃捕食魚と共倒れ捕食魚の全長（割合）は、第 1 回飼育の 18 日齢では 6 mm、8 mm ≤ (50%)、10 mm ≤ (30%)、21 日齢では 7 mm、9 mm ≤ (72%)、11 mm ≤ (58%)、25 日齢の小型群では 8 mm、11 mm ≤ (80%)、13 mm ≤ (42%)、大型群では 11 mm、15 mm ≤ (54%)、17 mm ≤ (16%)、30 日齢の小型群では 14 mm、19 mm ≤ (98%)、22 mm ≤ (58%)、大型群では 17～18 mm、23～24 mm ≤ (50%)、27～29 mm ≤ (22%)、第 2 回飼育の 21 日齢では 7 mm、9 mm ≤ (100%)、11 mm ≤ (66%) となった。このように今回のカンパチ種苗生産では、追尾行動とつつき行動あるいは口による捕捉を許す体サイズ差が存在したにもかかわらず、共倒れ個体の平均的な出現率は低かった。したがって、主に大型個体の追尾行動やつつき行動による小型個体

の死亡が 18～19 日齢以降の減耗要因であると考えられ、Miki et al. (2011) の結果と一致した。また、塩澤ら (2003) の報告、すなわち「共食い行動は 20 日齢で出現し、以降、共食い行動が頻繁に観察されたが、底掃除によって回収した死亡魚の中には共倒れ魚はほとんどみられず、大型個体からの攻撃によりショック死したと推測される小型個体が多かった」にも一致した。今回の結果および過去の知見から、カンパチ種苗生産で発生する共倒れの頻度は、既報のブリ (Sakakura and Tsukamoto 1996) に比較して低いことが示された。Miki et al. (2011) は、カンパチ稚魚の攻撃行動は基本的にブリ稚魚 (Sakakura and Tsukamoto 1996) と同様であるが、体の向きを他個体に向けて一瞬定位するときに (aim), しばしばお互いに顔を見合わせる行動を示し、追尾 (chase) と噛みつき (bite) を回避していると述べており、このカンパチに特有と考えられる行動が共倒れ率の低さに関連している可能性が考えられる。今後はそのような行動の発現を定量的に捉え、共食い現象との関連を明らかにする必要がある。

本研究の宮崎県水産振興協会では、飼育魚の体サイズ差を解消し、攻撃行動および共食いの抑止として、大小群の選別を実施した。選別後に全長の変動係数は低下したことから、選別処理は体サイズ差の縮小に寄与したものと考えられる。第 2 回飼育では選別後の死亡率が低下したことから、体サイズ差の縮小が攻撃行動および共食いの抑止に働いた可能性も考えられるが、第 1 回飼育では選別後 3 日間の死亡率は大きく変化していなかった。今回は、生存魚と死亡魚を同日齢に測定した事例数が少なかったことから、選別の効果を体サイズ差から議論することはできなかった。今後は、経日的な生存魚と死亡魚の体サイズ組成データと今回推定した攻撃行動および共食いを許す体サイズ差に基づき、選別の効果について評価する必要がある。

4.5 引用文献

Baras, E. and M. Jobling (2002) Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquacult. Res.*, **33**, 461-479.

蛭子亮制・立原一憲 (1993) ヒラマサ種苗生産における共食いによる減耗. 長崎水試研報, **19**, 1-7.

Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K. Mushiake (2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, **288**, 216-225.

橋本 博・今井彰彦・岩崎隆志・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2012) 鰺の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長. 水産増殖, **60**, 99-106.

橋本 博・松田圭史・増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・照屋和久・浜田和久・虫明敬一・浜崎活幸 (2013) カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討. 水産増殖, **61**, 95-102.

平田喜郎・今井彰彦・浜崎活幸・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一 (2009) カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰺の開腔に及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌, **75**, 995-1003.

外菌博人 (2007) カンパチ種苗生産の現状と展望. 日水誌, **73**, 335-336.

今井彰彦・岩崎隆志・橋本 博・平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 飼育試験と鰺の個体発生から推察したカンパチ仔魚の鰺開腔メカニズム. 日水誌, **77**, 845-852.

岩崎隆志・今井彰彦・橋本 博・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一 (2011) 異なる水温および光環境で飼育したカンパチ仔魚の鰺の開腔時期. 水産増殖, **59**, 637-640.

萱野泰久 (1988) キジハタ仔稚魚の口器の発達と摂餌. 岡山水試報, **3**, 55-60.

升間主計・兼松正衛・照屋和久 (1990) カンパチの卵発生と仔稚魚の形態. 魚類学雑誌, **37**, 164-169.

Miki, T., H. Nakatsukasa, N. Takahashi, O. Murata and Y. Ishibashi (2011) Aggressive

- behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquacult. Res.*, **42**, 1339-1349.
- Nakada, M. (2002) Yellowtail culture development and solutions for the future. *Rev. Fish. Sci.*, **10**, 559-575.
- 野元 聡 (2002) カンパチの「共食い」について. 鹿児島県水産技術開発センター機関誌うしお, **294**, p. 2
- 落合 明・田中 克 (1986) カンパチ. 新版魚類学(下), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 814-815.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto (1996) Onset and development of cannibalistic behaviour in early life stages of yellowtail. *J. Fish Biol.*, **48**, 16-29.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto (1997) Effects of water temperature and light intensity on the aggressive behavior in the juvenile yellowtails. *Fish. Sci.*, **63**, 42-45.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto (1998) Effects of density, starvation and size difference on aggressive behavior in the juvenile yellowtails (*Seriola quinqueradiata*). *J. Appl. Ichthol.*, **14**, 9-13.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto (1999) Ontogeny of aggressive behavior in schools of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Env. Biol. Fish.*, **56**, 231-242.
- 塩澤 聡・竹内宏行・廣川 潤 (2003) カンパチ種苗生産方法の改良. 栽培技研, **31**, 11-18.
- 代田昭彦 (1970) 魚類仔稚魚の口径に関する研究. 日水誌, **36**, 353-368.
- Smith, C. and P. Reay (1991) Cannibalism in teleost fish. *Rev. Fish Biol. Fish.*, **1**, 41-64.
- 立原一憲・蛭子亮制・塚島康生 (1993) カンパチの産卵, 卵内発生および仔稚魚の形態変化. 日水誌, **59**, 1479-1488.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増養殖システム 1 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明 敬一 (2009) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, **75**, 54-63.

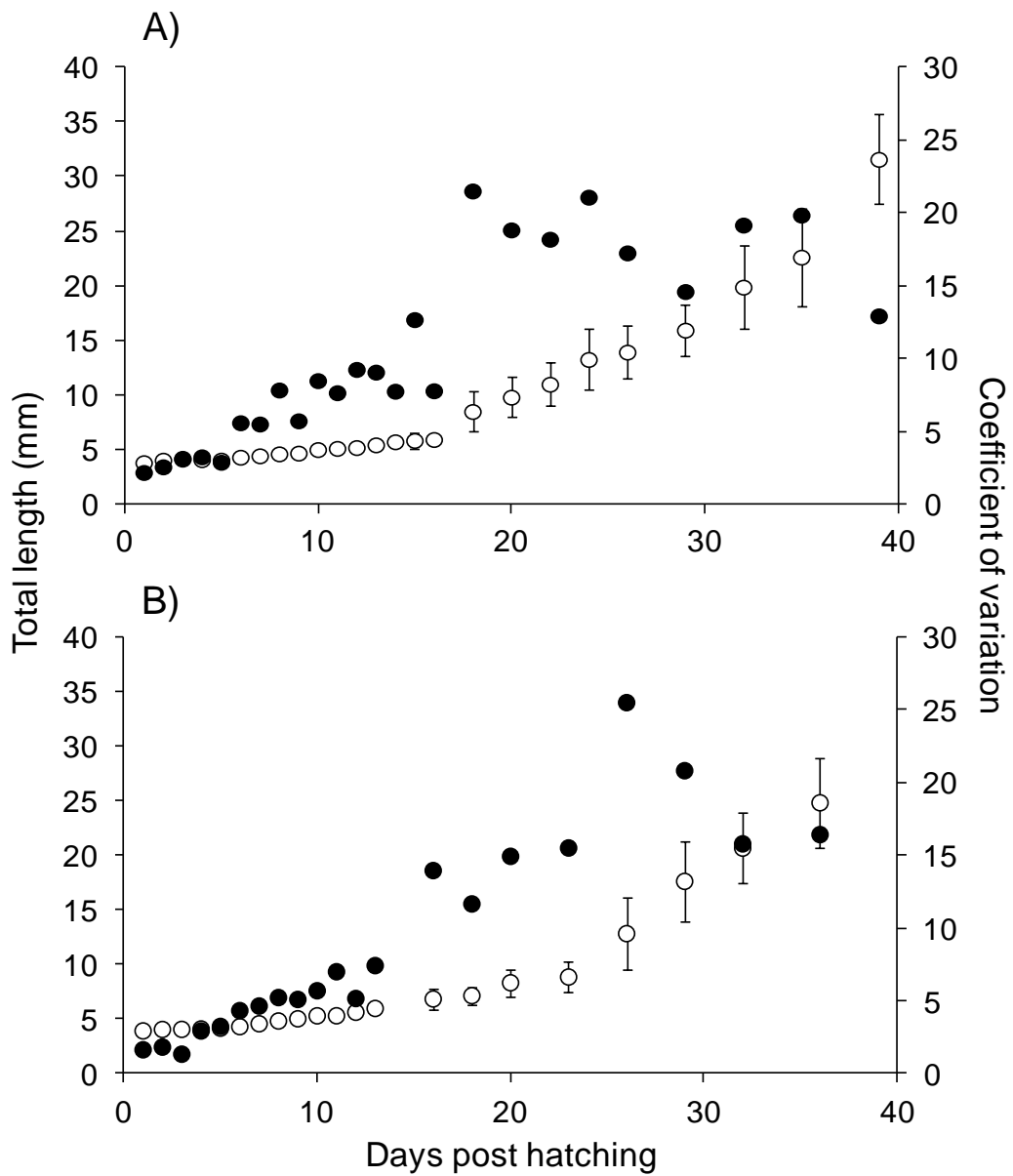


Fig. 4-1 Changes in total length (○) and coefficient of variation (●) in larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trials 1 (A) and 2 (B) conducted at the Kamiura Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency. Vertical bars indicate standard deviations.

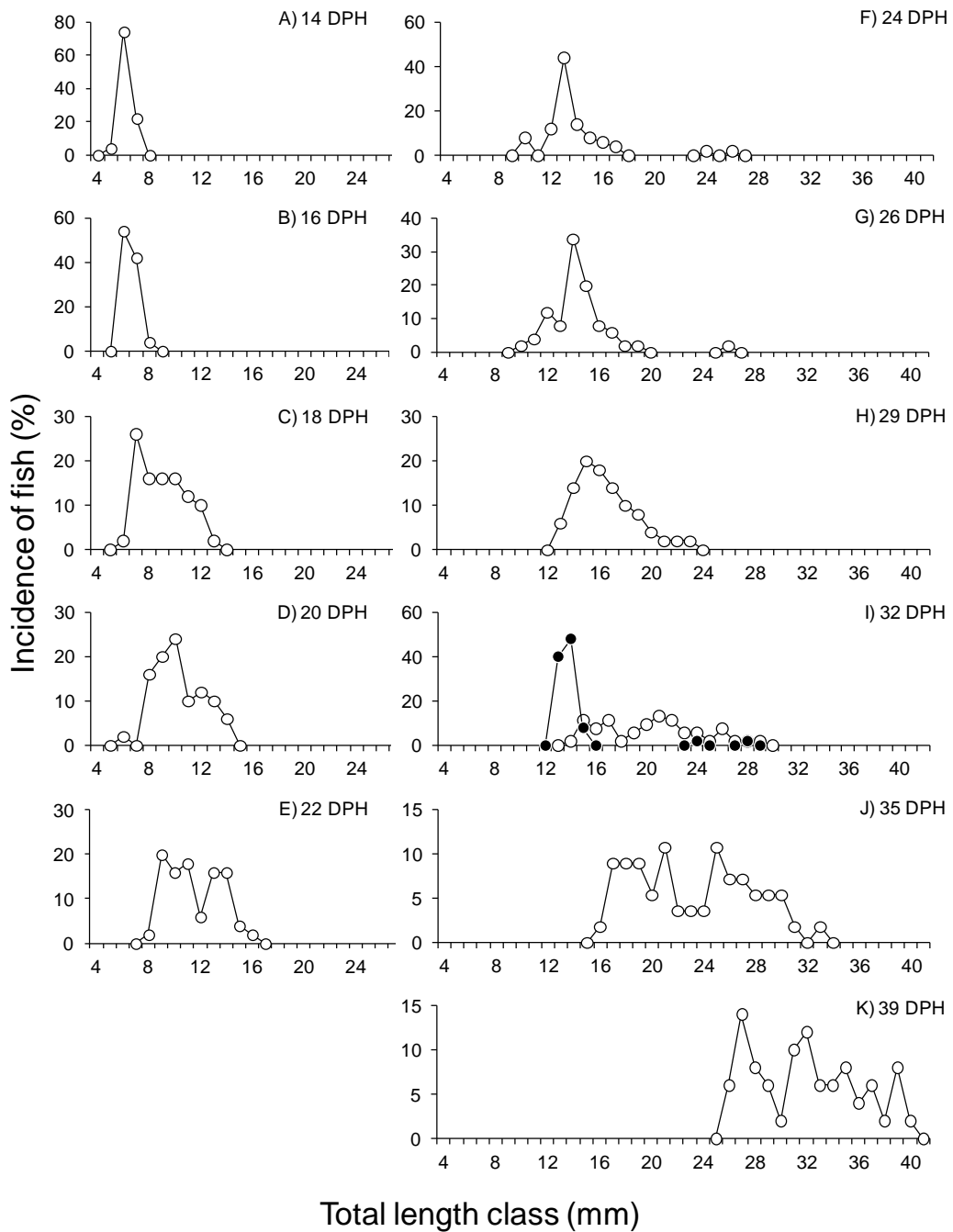


Fig. 4-2 Size-frequency distributions of larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trial 1 conducted at the Kamiura Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency. ○, live fish; ●, dead fish; DPH, days post hatching.

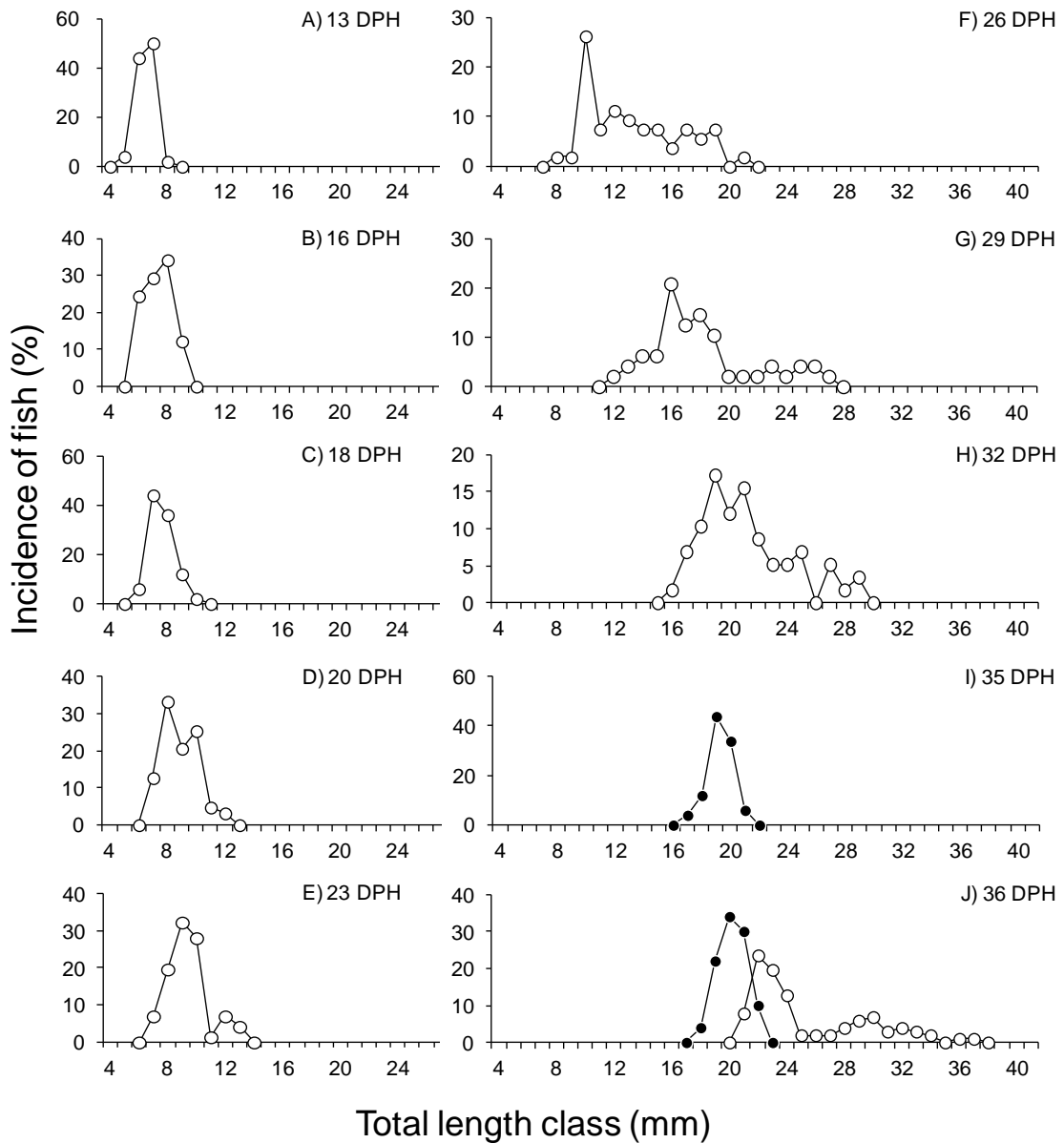


Fig. 4-3 Size-frequency distributions of larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trial 2 conducted at the Kamiura Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency. ○, live fish; ●, dead fish; DPH, days post hatching.

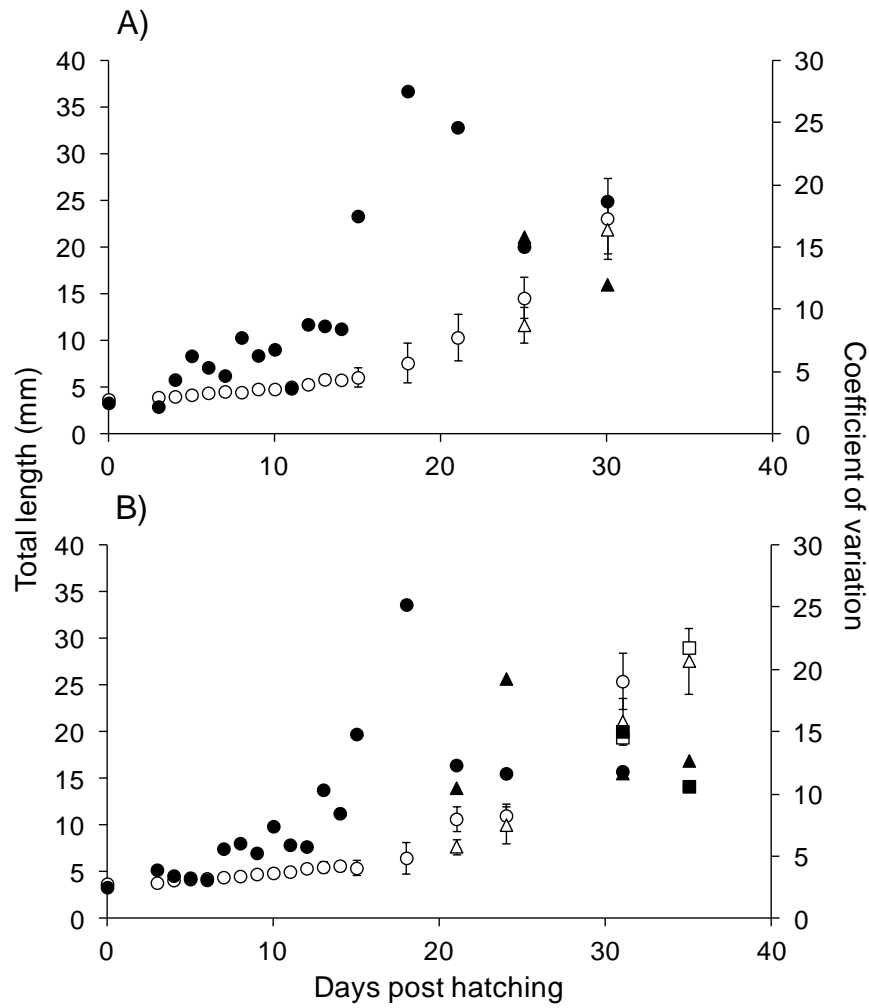


Fig. 4-4 Changes in total length (open symbols) and coefficient of variation (solid symbols) in larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trials 1 (A) and 2 (B) conducted at the Miyazaki Fisheries Promotion Association. Trial 1: ○, ●, fish from the initial tank before grading fish according to size, and large-size group fish after the grading treatment; Δ, ▲, small-size group fish after the grading treatment. Trial 2: ○, ●, fish from the initial tank before grading fish according to size and large-size group fish after the first and second grading treatments; Δ, ▲, small-size group fish after the first grading treatment; □, ■, small-size group fish after the second grading treatment. Vertical bars indicate standard deviations.

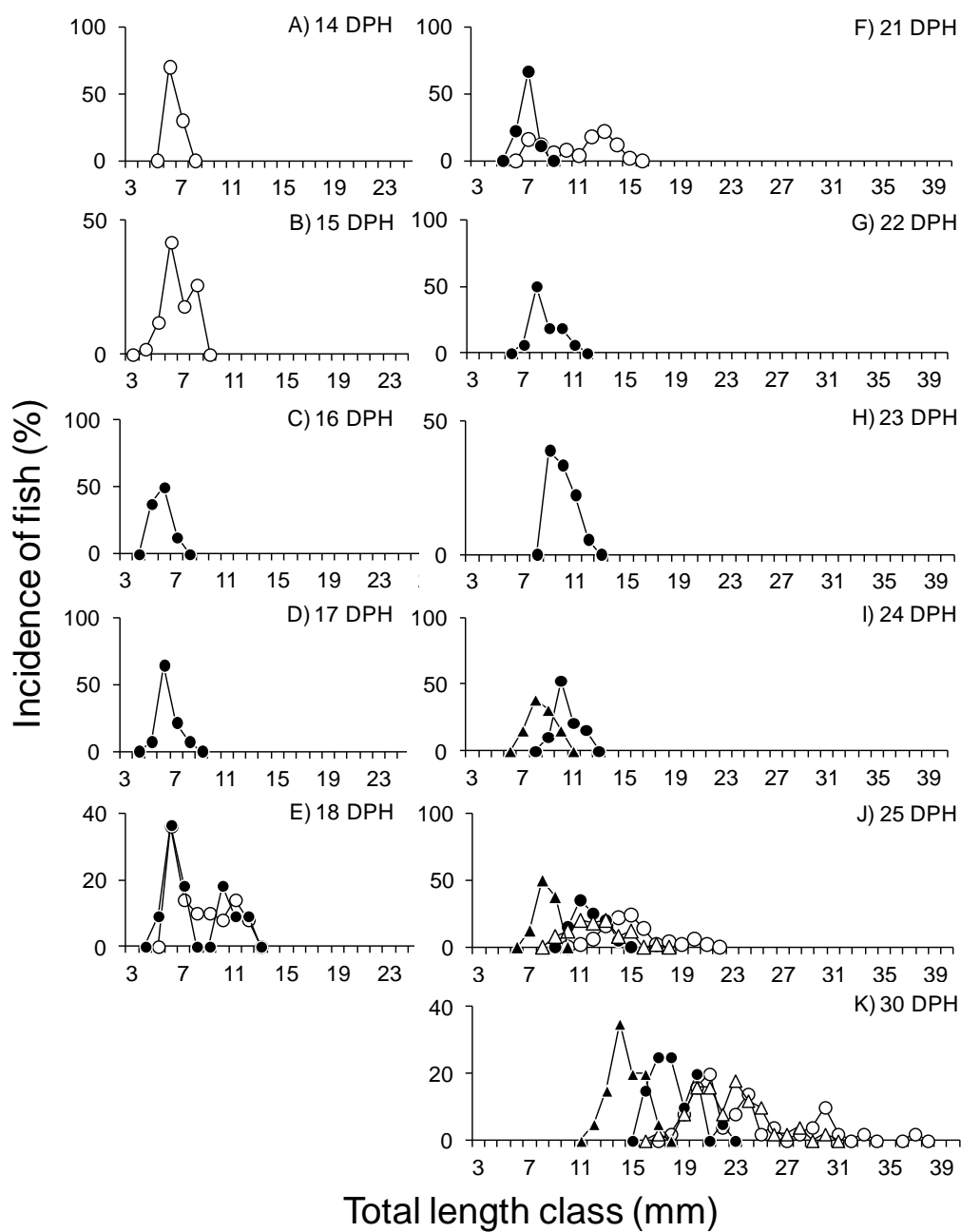


Fig. 4-5 Size-frequency distributions of larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trial 1 conducted at the Miyazaki Fisheries Promotion Association. Fish from the initial tank before grading fish according to size, and large-size group fish after the grading treatment: ○, live fish; ●, dead fish. Small-size group fish after the grading treatment: △, live fish; ▲, dead fish; DPH, days post hatching.

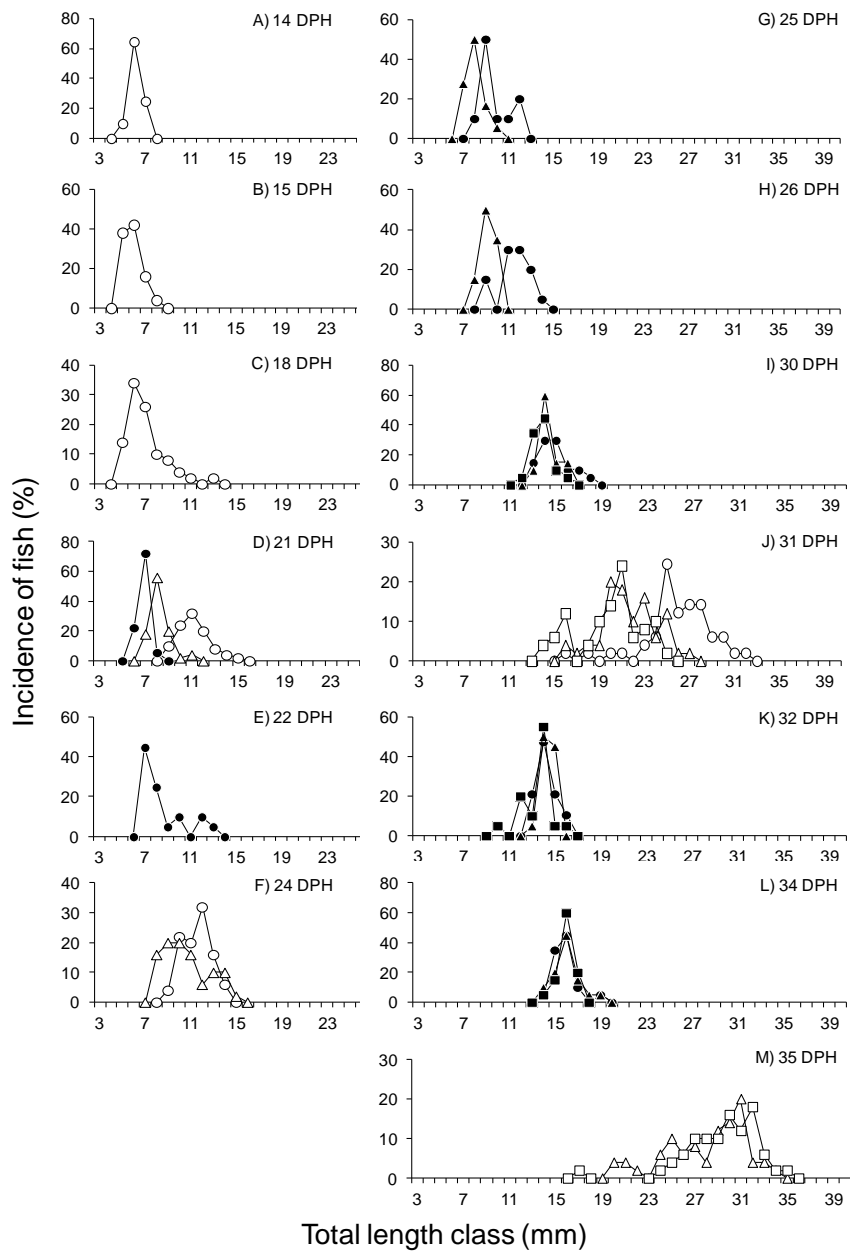


Fig. 4-6 Size-frequency distributions of larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trial 2 conducted at the Miyazaki Fisheries Promotion Association. Fish from the initial tank before grading fish according to size and large-size group fish after the first and second grading treatments: ○, live fish; ●, dead fish. Small-size group fish after the first grading treatment: △, live fish; ▲, dead fish. Small-size group fish after the second grading treatment: □, live fish; ■, dead fish; DPH, days post hatching.

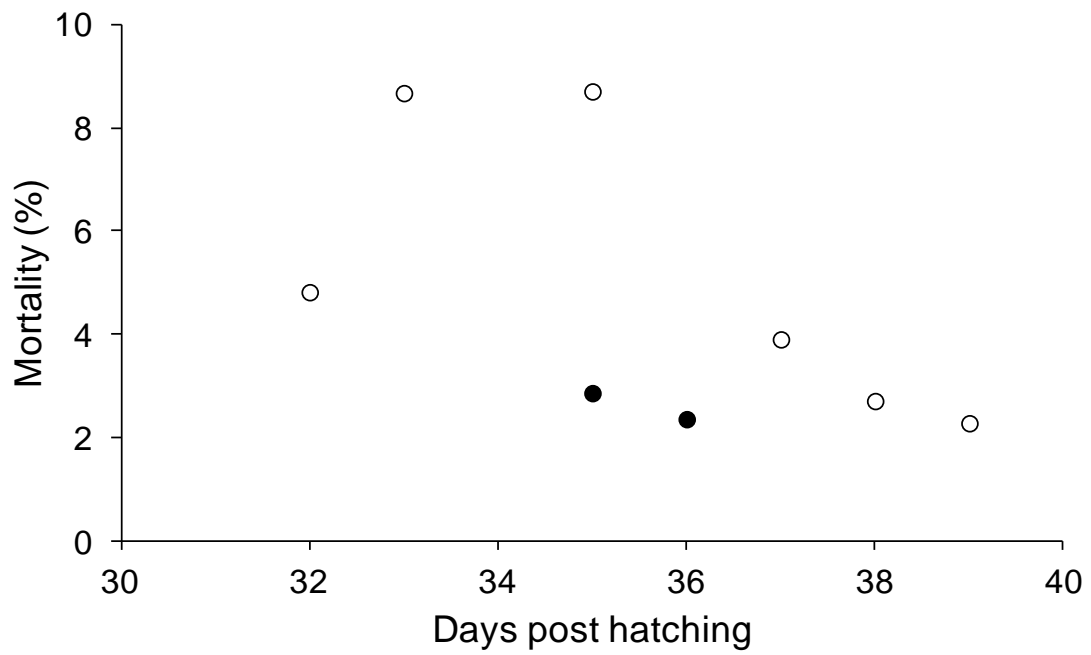


Fig. 4-7 Mortality of greater amberjack *Seriola dumerili* juveniles in culture trials 1 (○) and 2 (●) conducted at the Kamiura Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency.

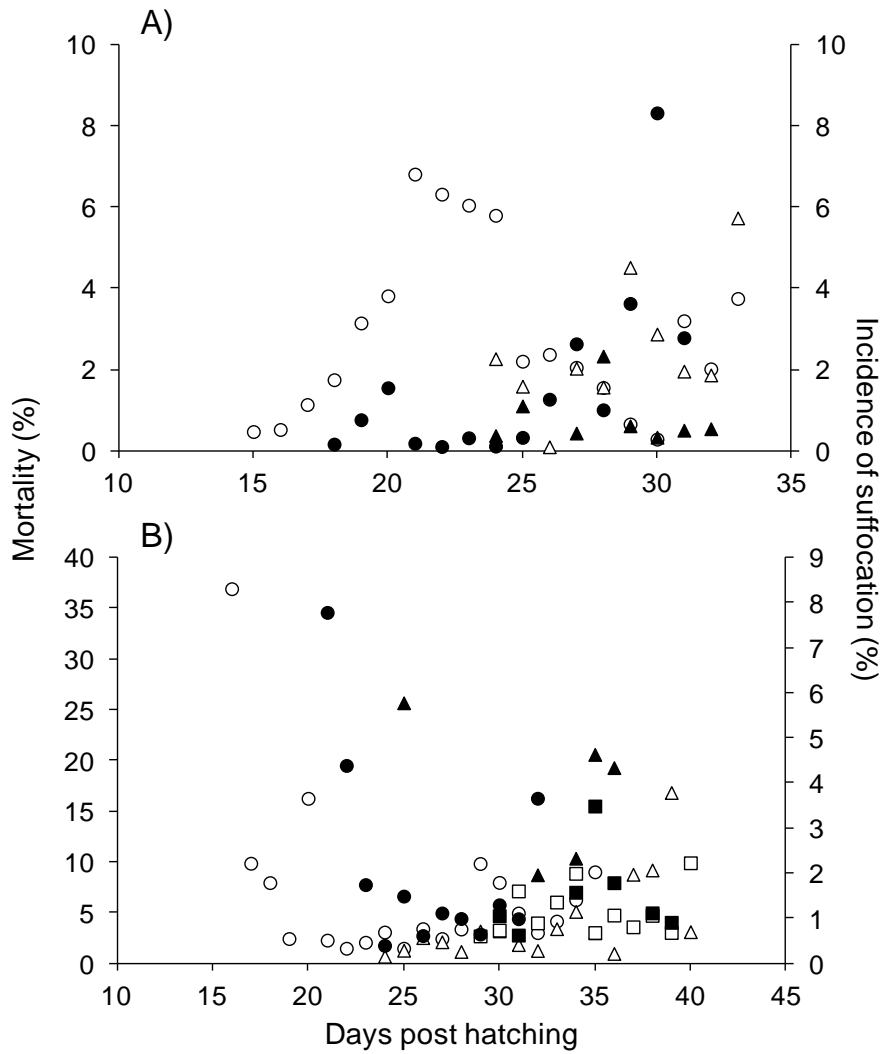


Fig. 4-8 Mortality (open symbols) and incidence of suffocated fish (solid symbols) among larvae and juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* in culture trials 1 (A) and 2 (B) conducted at the Miyazaki Fisheries Promotion Association. Trial 1: ○, ●, fish from the initial tank before grading fish according to size, and large-size group fish after the grading treatment; △, ▲, small-size fish after the grading treatment. Trial 2: ○, ●, fish from the initial tank before grading fish according to size and large-size group fish after the first and second grading treatments; △, ▲, small-size group fish after the first grading treatment; □, ■, small-size group fish after the second grading treatment.

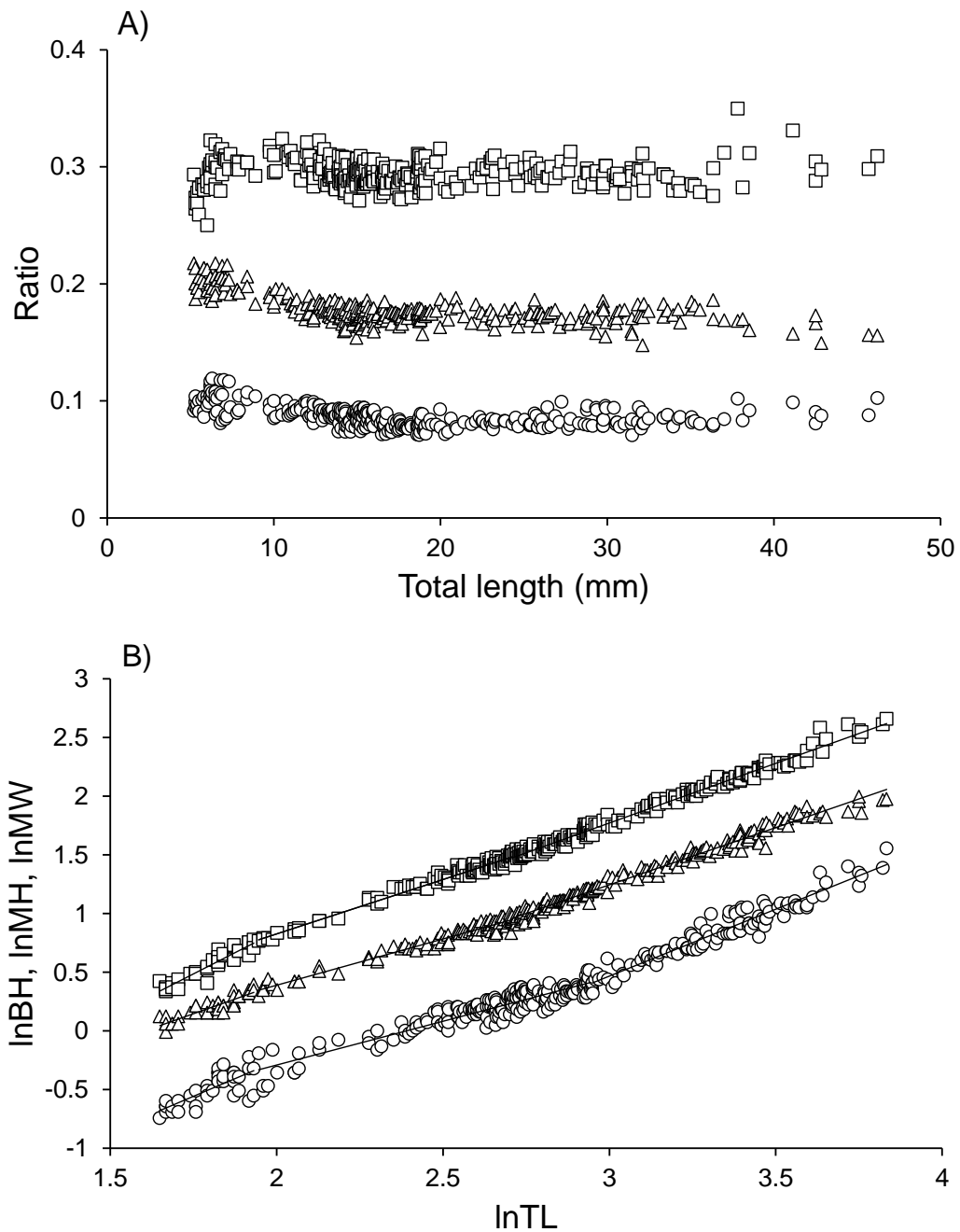


Fig. 4-9 Ontogenetic changes in the ratio of body height (BH, \square), mouth height (MH, \triangle), and mouth width (MW, \circ) relative to total length (TL) (A), and the relationships between the natural logarithm of TL and the natural logarithm of BH, MH and MW (B). Lines are plotted based on the variables shown in Table 4-1.

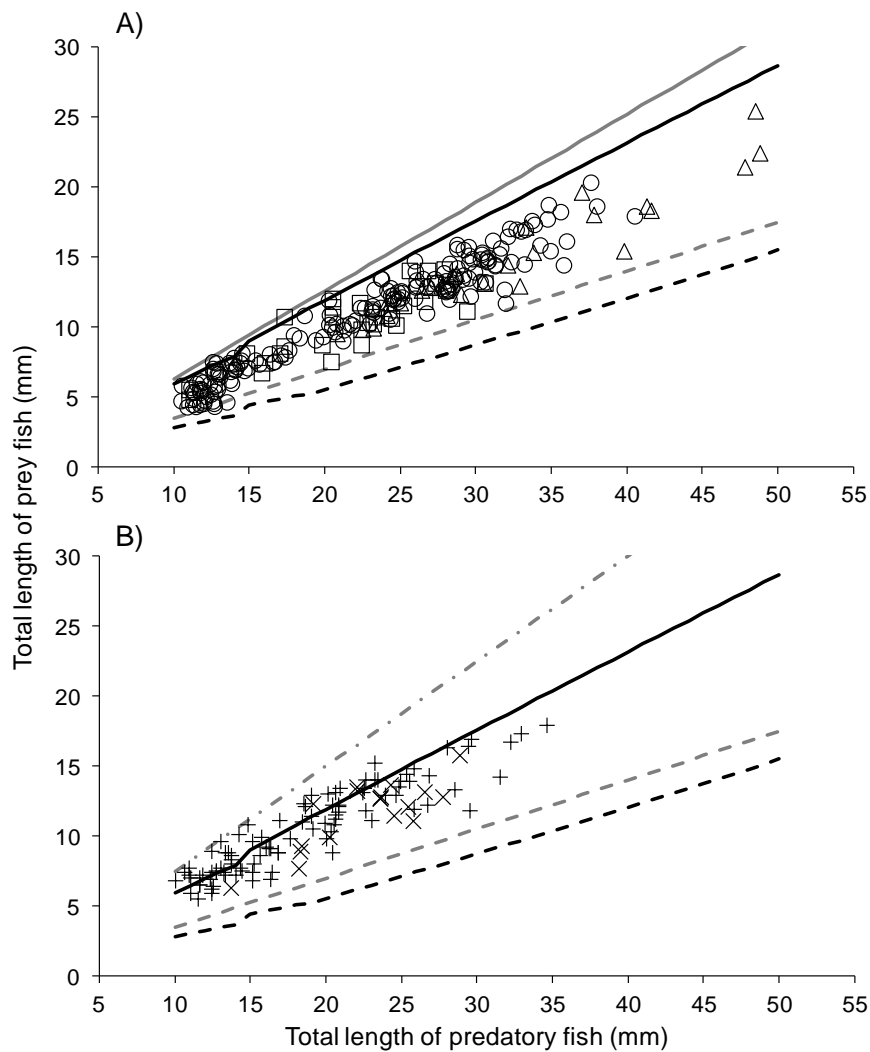


Fig. 4-10 Relationships between the total length of predatory and prey larvae, and juveniles of greater amberjack *Seriola dumerili*. Different symbols indicate instances where predatory fish partially swallowed prey fish and suffocated (A), and where predatory fish chased prey fish (B) in mass-culture tanks at the different hatcheries. Solid black lines and dashed black lines describe the maximum size of partially swallowed prey fish, inferred based on the body height of prey fish and the mouth height of predatory fish, and the body height of prey fish and mouth width of predatory fish, respectively. The grey dashed line, solid grey line, and grey dash-dotted line indicate prey fish to predatory fish size ratios of 0.35, 0.63 and 0.75, respectively.

Table 4-1 Allometric relationships ($\ln y = a + b \ln x$) between total length (x , TL), body height (y , BH), mouth height (y , MH), and mouth width (y , MW) of larvae and juveniles of greater amberjack *Seriola dumerili*

Body measurement	TL range	n	Parameters				R^2	P
			a	SE	b	SE		
BH	TL < 7	38	-2.0488	0.1554	1.4477	0.0861	0.8871 < 0.0001	
	7 ≤ TL < 15	100	-1.0274	0.0385	0.9266	0.0154	0.9738 < 0.0001	
	15 ≤ TL	192	-1.2823	0.0255	1.0177	0.0082	0.9879 < 0.0001	
MH	TL < 7	38	-1.6128	0.1533	1.0047	0.0849	0.7955 < 0.0001	
	7 ≤ TL < 15	100	-1.1887	0.0438	0.7884	0.0175	0.9541 < 0.0001	
	15 ≤ TL	192	-1.6847	0.0300	0.9761	0.0096	0.9818 < 0.0001	
MW	TL < 7	38	-2.6688	0.3186	1.2056	0.1765	0.5644 < 0.0001	
	7 ≤ TL < 19	185	-1.7816	0.0589	0.7453	0.0222	0.8603 < 0.0001	
	19 ≤ TL	107	-2.9588	0.0994	1.1415	0.0299	0.9328 < 0.0001	

第5章 Effects of different *Artemia* feeding schedules on body size variation in greater amberjack, *Seriola dumerili*, larvae

(カンパチ仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミア給餌時期の影響)

5.1 Introduction

The greater amberjack, *Seriola dumerili*, is a marine pelagic fish species with a circumglobal distribution throughout warm and tropical waters (Ochiai and Tanaka 1986; Thompson et al. 1999). This species is commercially important in Japan and the Mediterranean region because of its high growth rate and high commercial value (Mazzola et al. 2000; Nakada 2002). Consequently, a number of studies have focused on developing mass seed production technology for greater amberjack aquaculture. However, efforts to produce a large number of greater amberjack juveniles have been hindered (Hokazono 2007) because of early mass larval mortality (Shiozawa et al. 2003). Additionally, mass mortality occurs in smaller juveniles as a result of injuries caused by the aggressive behavior of larger juveniles (Shiozawa et al. 2003; Miki et al. 2011; Hashimoto et al. 2014). Miki et al. (2011) suggested that body size differences are a key factor inducing aggressive behavior in greater amberjack juveniles.

Both biotic and abiotic factors, including feeding regime, influence growth of fish larvae and juveniles. During greater amberjack seed production, larvae are fed the *Brachionus plicatilis* rotifer species complex when their mouths open; then, *Artemia* and formula feeds are offered in differing amounts based on larval size (Shiozawa et al. 2003; Hashimoto et al. 2013). Hokazono et al. (2011) examined the effect of different *Artemia* feeding schedules on body size variation in greater amberjack larvae and juveniles. However, those authors used two feeding schedules that initiated *Artemia* feeding from 10 days post hatch (dph) and 20 dph in large tanks without replication.

Our objective was to evaluate the effects of feeding schedule on body size variation. Greater amberjack larvae and juveniles were switched to an *Artemia* diet at several times post-hatch, and their body size was measured during early development.

5.2 Materials and Methods

Fish culture

The larvae were hatched and maintained according to the method of Hashimoto et al. (2013). The larvae were divided into four treatment groups (T1–T4) that were fed *Artemia* from 13 dph (T1), 16 dph (T2), 20 dph (T3), or not until the end of the experiment (T4). Each treatment group consisted of two 500 l black polyethylene tanks. Each tank was stocked with 9,000 larvae at 2 dph. The larvae were reared until 25 dph. Larvae in all treatment groups were fed S-type rotifers from 3 dph (larval mouth opening) and L-type rotifers from 4 dph until the end of the experiment. Rotifers were cultured with commercially available condensed freshwater *Chlorella vulgaris* (*Chlorella* V12, Chlorella Industry Co., Ltd., Tokyo, Japan) at about 30°C and 23°C for S- and L-type rotifers, respectively, and were enriched with commercially available condensed freshwater *C. vulgaris* containing n-3 highly unsaturated fatty acids (Super *Chlorella* V12, Chlorella Industry Co.) for 6–12 h prior to feeding. The density of each type of rotifer was maintained at 10 individuals/ml in the larval rearing tanks. *Artemia* cysts (Utah Strain, ISC Co. Ltd., Fukuoka, Japan) were hatched daily over 24 h at 28°C. They were enriched with a commercially available enrichment material containing n-3 highly unsaturated fatty acids (Bio-Chromis, Chlorella Industry Co.) for 6–12 h prior to feeding. Enriched *Artemia* nauplii (10,000–50,000 individuals) were added to each fish culture tank once per day in the T1, T2, and T3 groups at the appropriate concentration based on fish size. Super *Chlorella* V12 (3.5 ml) was also added twice daily as food for the rotifers in each tank. Aeration was provided to each tank at 0.1 ml/min using an air-stone. A surface skimmer was installed from 3–9 dph to maintain the surface free of lipidic film, which is a requisite for successful swim bladder

inflation in these cultured larvae (Kitajima et al. 1981; Shiozawa et al. 2003; Imai et al. 2011). Water temperature in the fish culture tanks was controlled at about 25°C using a water bath system. The photoperiod was 12 h light (6:00–18:00), 12 h dark, and light intensity on the surface of the rearing seawater was controlled at ~1000 lx using fluorescent lights.

Biological measurements

The total length (TL) of 10–20 individuals was measured every 2 days from 2 to 22 dph. The TL measurements were made using a profile projector (V-12BSC, Nikon Corp., Tokyo, Japan) after each fish was anaesthetized with ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonic acid (Sigma-Aldrich Japan K.K., Tokyo, Japan). The proportion of fish eating *Artemia* was determined by taking 10 individuals from each tank (after measuring TL) on the first (T2 and T3) or second (T1) day on which *Artemia* was offered. The number of *Artemia* in the gut of each fish was counted under a stereomicroscope. On the final day of rearing (25 dph), all survivors were individually counted, and the survival rate was calculated using the formula: (number of surviving individuals/number of stocked individuals) × 100. The TL of 100 individuals from each tank was measured. Additionally, we measured the whole-body RNA/DNA ratio and protein/DNA ratio as indicators of nutritional state (Buckley 1980) by collecting 10 individuals from each tank and storing them at –80°C after measuring TL. Crude protein content of each fish was analyzed following the method of Bradford (1976) with a commercially available kit (Quick start Protein Assay, BIO RAD Laboratories, Inc., Hercules, CA, USA). RNA and DNA contents were determined using a fluorescent technique, as described by Belchier et al. (2004). Whole fish were individually homogenized with Tris–HCl buffer (0.05 M Tris, 0.01 M EDTA, 0.1 M NaCl, pH 8.0, 0.01% SDS) using a microtube homogenizer or an ultrasonic homogenizer (Branson Sonifier model 150, Emerson Electronic Co., Ltd., St. Louis, MO, USA). The resulting homogenate was split in half and one half was centrifuged at 8,000 × g for 10 min at 4°C and the supernatant was collected for crude protein analysis. The other half was centrifuged at 5,800

× g for 8 min at -2°C , and the supernatant was collected for nucleic acid analysis.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed in R (R3.1.0; R Development Core Team 2014) with a 5% significance level. Differences in survival rate, TL, and RNA/DNA and protein/DNA ratios between the treatment groups were tested using a pairwise *t*-test on the average individual value from each replicate tank. The coefficients of variation (CVs; ratio of the standard deviation to the mean value) of TL were also compared. Survival values were arcsine-square root transformed prior to analysis.

We used a generalized linear model (GLM) (McCullagh and Nelder 1989; Everitt and Hothorn 2010) with the binomial family (logit link) to evaluate the effect of feeding treatment on the initial proportion of larvae eating *Artemia* by fish. The proportion of individuals consuming or not consuming *Artemia* was the two-vector response variable and treatment (T1, T2 and T3) was the categorical explanatory variable. The GLM analysis was performed with the *glm* function. Differences between treatments were tested with Tukey's method using the *glht* function implemented in the multcomp package (Hothorn et al. 2008) in R.

5.3 Results

Changes in mean TL of cultured fish are shown in Fig. 5-1. Mean TL of larvae after stocking was 3.9 mm, but the value increased up to 5 mm at 10 dph in all treatment tanks. Mean body size of fish in the T1, T2 and T3 groups was 5.5, 7 and 9 mm TL, respectively, when *Artemia* was first introduced.

The survival rate, TL, CV of TL, RNA/DNA ratio, and protein/DNA ratio for the respective tanks in each treatment group at the end of the experiment are summarized in Table 5-1. No significant differences in survival, TL or CV were observed between treatment groups ($P > 0.05$). However, TL values tended to be lower in T4, which was not

fed *Artemia*. Furthermore, CV values tended to be higher in T1, followed by T4. A significant negative correlation was observed between fish dph at the onset of *Artemia* feeding and the CV values from each replicate tank (Fig. 5-2), suggesting that earlier onset of ingesting *Artemia* is associated with increased variation in body size. Additionally, the variation in body size of T1 fish resulted in a size frequency distribution with three modes (Fig. 5-3).

The RNA/DNA ratio was not significantly different among treatment groups ($P > 0.05$), but tended to be higher in T3. The protein/DNA ratio was significantly higher in T3 compared with that in the other treatment groups ($P < 0.05$).

The mean proportion of fish eating *Artemia* was 35% in T1, but was significantly higher ($P < 0.02$) in T2 and T3 (80%; Fig. 5-4). Larvae > 4.97 mm TL preyed on *Artemia*, and the number of *Artemia* in the gut tended to increase with increasing TL, particularly after 6 mm TL (Fig. 5-5).

5.4 Discussion

Our results demonstrate that the *Artemia* feeding schedule affects the variation in body size in greater amberjack larvae and juveniles. Earlier feeding of a diet containing *Artemia* was associated with increased variation in body size. Hokazono et al. (2011) reported a similar phenomenon in cultured greater amberjack larvae and juveniles fed *Artemia* from 10 dph and 20 dph based on the size frequency distributions. We also found that the initial proportion of amberjack larvae eating *Artemia* was lowest in the treatment with the earliest onset *Artemia* feeding (13 dph). Greater amberjack larvae > 5 mm TL preyed on *Artemia*, and the number of *Artemia* consumed by individuals tended to increase after they reached 6 mm TL.

In the following discussion, we evaluate the relationship between the size frequency distribution in each treatment group and the occurrence of aggressive and cannibalistic behavior. We then discuss the cause of the body size variation in terms of the ontogeny of

the feeding habits in greater amberjack larvae and juveniles.

Occurrence of aggressive and cannibalistic behavior

Hashimoto et al. (2014) estimated the size of cannibalistic greater amberjack individuals based on body height of prey fish and mouth-size of the predatory fish, as well as by measuring the TL of the predatory and prey fish collected from mass-culture tanks. The body-size ratio for prey fish to predatory fish among fish exhibiting aggressive behavior (partially swallowed prey; cannibals occasionally suffocated because of an inability to swallow prey) or after swallowing prey whole, were ≤ 0.75 , ≤ 0.63 and ≤ 0.35 , respectively. The occurrence of aggressive and cannibalistic behavior was evaluated in each treatment group using these criteria.

The body-size ratios of the largest to smallest fish in the two replicate tanks of each treatment group were 0.45 and 0.48 in T1, 0.52 and 0.53 in T2, 0.51 and 0.53 in T3 and 0.47 and 0.48 in T4, suggesting that aggressive behavior and cannibalism may have occurred in all treatment groups. Next, we estimated the prey fish size threshold for the mean body size of fish that was within the upper 10% of the size frequency distribution based on criteria values for predator–prey fish ratios. We used this to calculate the percentage of fish that were vulnerable to predation based on the size frequency distribution. The mean TL of the largest 10% of fish in T1-tank 1 was 15.8 mm; these fish were expected to exhibit aggressive behavior against prey fish ≤ 11.9 mm TL and prey fish vulnerable to partial swallowing ≤ 10.0 mm TL, which represented 36% and 16% of the population, respectively. Similarly, the mean TL of the largest 10% of fish, the size of prey fish subject to aggressive behavior (% composition in the population) and the size of prey fish able to be partially swallowed (% composition) were estimated for each treatment tank, as shown in Table 5-2. A significant correlation was observed between the CV values and the estimates of the proportion of prey fish subject to aggressive behavior or partial swallowing by predatory fish (Fig. 5-6). This observation suggests that a variation in body size associated with dph at the onset of ingesting *Artemia* leads to increased mortality due to aggressive and

cannibalistic behavior. Hokazono et al. (2011) reported that aggressive behavior by larger fish on smaller fish was evident earlier in the tank with earlier feeding of *Artemia*.

Cause of body size variation

Hamasaki et al. (2009) reared greater amberjack larvae that were fed three types of rotifers differing in body size [super small (mean lorica length, 0.14 mm), small (mean lorica length, 0.14–0.17 mm) and large (mean lorica length, 0.20–0.21 mm) types] and examined their gut contents during growth. The authors noted that greater amberjack larvae preferred rotifers of a certain body size (approximate modal value of lorica length, 0.16–0.18 mm), which tended to be intermediate between the size ranges of S-type and L-type rotifers, but larvae selectively preyed on larger egg-bearing rotifers (modal values of lorica length, 0.24 mm for S-type rotifers and 0.32 mm for L-type rotifers) after they grew to 4.5 mm standard length (SL) [4.7 mm TL calculated using the allometric equation between SL and TL by Hamasaki et al. (2009)]. Hamasaki et al. (2009) also reported that greater amberjack larvae ≥ 4.5 mm SL begin to prey on copepods with a mean body length of 0.41 mm, and that the number of copepods in the gut tends to increase with larval growth. In the present study, greater amberjack ≥ 6 mm TL were better able to capture *Artemia* with a mean body length of 0.75 mm. Thus, greater amberjack larvae shifted prey from rotifers to larger sized prey, consistent with observations in marine fish, such as Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, > 3 mm TL (Yasunaga 1988), striped mullet, *Mugil cephalus*, > 4.3 mm TL (Oozeki et al. 1992) and greenback flounder, *Rhombosolea tapirina*, > 18 dph (Shaw et al. 2003). The shift in prey by greater amberjack larvae is likely closely related to their morphological and physiological development. Greater amberjack larval development shifts from the flexion to the postflexion stage at ~ 4.8 mm SL (5.0 mm TL) (Tachihara et al. 1993; Seoka et al. 2000). Oscillation of mouth parts progresses after larvae reach 5.6 mm SL (5.9 mm TL) (Tachihara et al. 1993), and pepsin-like enzyme activity increases significantly after 20 dph (7.2–7.4 mm SL; 8.5–8.8 mm TL) (Seoka et al. 2000) in cultured greater amberjack larvae.

It is thought that the small variations in growth during the early larval stages of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, are associated with larger variations in growth during late-larval and juvenile stages because of differences in the initial ability to capture fish for food (Tanaka et al. 2014). Supplying *Artemia* to culture tanks before some greater amberjack can capture the larger prey results in a lower proportion of individuals using *Artemia* in their diet. Larvae that successfully prey on *Artemia* will likely exhibit faster growth rates, leading to increased variation in growth in tanks supplemented with *Artemia* at an earlier stage before all fish can consume large prey. Larvae and juveniles exhibited relatively large variations in growth in the T4 tanks that were not fed *Artemia*. We speculate that this was caused by suppressed growth of fish < 10 mm TL (Fig. 5-3) because of their sole reliance on rotifers.

Many 20 dph larvae (9 mm mean TL) efficiently preyed on *Artemia*, resulting in a smaller variation in growth. Additionally, these larvae had higher RNA/DNA ratios and protein/DNA ratios. Improved nutritional condition can be achieved by increasing consumption of *Artemia* and improving protein digestive efficiency by increasing pepsin-like enzyme activity beginning at 20 dph (Seoka et al. 2000).

Our results suggest that *Artemia* supplementation should begin at 20 dph (mean TL, 9 mm) to reduce growth variations, leading to aggressive behavior and cannibalism of larvae and juveniles during seed production. The effects of *Artemia* concentration and feeding schedule on growth of larvae and juveniles must be determined before an optimal feeding schedule for greater amberjack mass seed production can be developed.

5.5 References

- Belchier, M., C. Clemmesen, D. Cortes, T. Doan, A. Folkvord, A. Garcia, A. Geffer, A. Hoie, A. Johannessen, E. Moksness, H. de Pontual, T. Ramirez, D. Schnack and B. Sveinsdo (2004) Recruitment studies: manual on precision and accuracy of tools. *ICES Tech. Mar. Environ. Sci.*, **33**, 9-22.
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal.Biochem.*, **72**, 248-254.
- Buckley, L. J. (1980) Changes in ribonucleic acid, deoxyribonucleic acid, and protein content during ontogenesis in winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, and effect of starvation. *Fish Bull., U.S.*, **77**, 703-708.
- Everitt, B. S. and T. Hothorn (2010) *A Handbook of Statistical Analyses Using R*. CRC Press, New York. 348 pp.
- Kitajima, C., Y. Tsukashima, S. Fujita, T. Watanabe and Y. Yone (1981) Relationship between uninflated swim bladders and lordotic deformity in hatchery-reared red sea bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **47**, 1289-1294 (in Japanese with English abstract).
- Hashimoto, H., K. Matsuda, Y. Masuda, T. Jinbo, H. Imaizumi, K. Teruya, K. Hamada, K. Mushiake and K. Hamasaki (2013) Optimal photoperiod condition for culturing early larvae of greater amberjack *Seriola dumerili* inferred from diurnal rhythm of feeding activity and mass seed production. *Aquacult. Sci.*, **61**, 95-102 (in Japanese with English abstract).
- Hashimoto, H., T. Hayashi, K. Hamasaki, I. Kai, H. Hokazono, A. Nakamura, T. Iwasaki, K. Teruya, K. Hamada and K. Mushiake (2014) Aggressive behavior and cannibalism among larval and juvenile size classes in mass-cultured greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquacult. Sci.*, **62**, 259-271 (in Japanese with English abstract).
- Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K.

- Mushiake (2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, **288**, 216-225.
- Hokazono, H. (2007) Current status and perspective of seedling production of greater amberjack. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **73**, 335-336 (in Japanese).
- Hokazono, H., Y. Imayoshi, A. Matsubara and Y. Ikeda (2011) Effect of different onsets of *Artemia* feeding on larval survival during the seed production of greater amberjack. *Bull. Kagoshima Pref. Fish. Tec. & Dev. Cen.*, **2**, 5-9 (in Japanese).
- Hothorn, T., F. Bentz and P. Westfall (2008) Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical J.*, **50**, 346-363.
- Imai, A., T. Iwasaki, H. Hashimoto, Y. Hirata, K. Hamasaki, K. Teruya, K. Hamada and K. Mushiake (2011) Mechanism for initial swim bladder inflation in larvae of greater amberjack *Seriola dumerili* inferred from larval rearing experiments and ontogenetic development of a swim bladder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **77**, 845-852 (in Japanese with English abstract).
- Mazzola, A., E. Favalaro and G. Sara (2000) Cultivation of the Mediterranean amberjack, *Seriola dumerili* (Risso, 1810), in submerged cages in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture*, **181**, 257-268.
- McCullagh, P. and J. A. Nelder (1989) *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, New York. 511 pp.
- Miki, T., H. Nakatsukasa, N. Takahashi, O. Murata and Y. Ishibashi (2011) Aggressive behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquacult. Res.*, **42**, 1339-1349.
- Nakada, M. (2002) Yellowtail culture development and solutions for the future. *Rev. Fish. Sci.*, **10**, 559-575.
- Ochiai, A. and M. Tanaka (1986) *Ichthyology, Second volume*. Koseisha Koseikaku, Tokyo, pp. 814-815 (in Japanese).
- Oozeki, Y., A. Hagiwara, H. Eda and C. S. Lee (1992) Development of food selectivity of striped mullet *Mugil cephalus* during the larval stage. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**,

1381.

- R Development Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
<http://www.r-project.org/>
- Seoka, M., O. Takaoka, K. Takii, M. Nakamura and H. Kumai (2000) Chemical constituents and digestive enzyme activities in developing larvae of purplish amberjack, *Seriola dumerili*. *Bull. Fish. Lab. Kinki Univ.*, **7**, 59-68 (in Japanese with English abstract).
- Shaw, G. W., P. M. Pankhurst and G. J. Purser (2003) Prey selection by greenback flounder *Rhombosolea tapirina* (Günther) larvae. *Aquaculture*, **228**, 249-265.
- Shiozawa, S., H. Takeuchi and J. Hirokawa (2003) Improved seed production techniques for the amberjack, *Seriola dumerili*. *Saibai Giken*, **31**, 11-18 (in Japanese with English abstract).
- Tachihara, K., R. Ebisu and Y. Tukashima (1993) Spawning, eggs, larvae and juveniles of the purplish amberjack *Seriola dumerili*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 1479-1488 (in Japanese with English abstract).
- Tanaka, Y., H. Minami, Y. Ishihi, K. Kumon, K. Higuchi, T. Eba, A. Nishi, H. Nikaido and S. Shiozawa (2014) Differential growth rates related to initiation of piscivory by hatchery-reared larval Pacific bluefin tuna *Thunus orientalis*. *Fish. Sci.*, **80**, 1205-1214.
- Thompson, B. A., M. Beasley and C. A. Wilson (1999) Age distribution and growth of greater amberjack *Seriola dumerili*, from the north-central Gulf of Mexico. *Fish Bull.*, **97**, 362-371.
- Yasunaga, Y. (1988) Studies of physiology and ecology of larvae and juveniles of plaice *Paralichthys olivaceus*. *Bull. Natl. Res. Inst. Fish. Eng.*, **9**, 9-164 (in Japanese with English abstract).

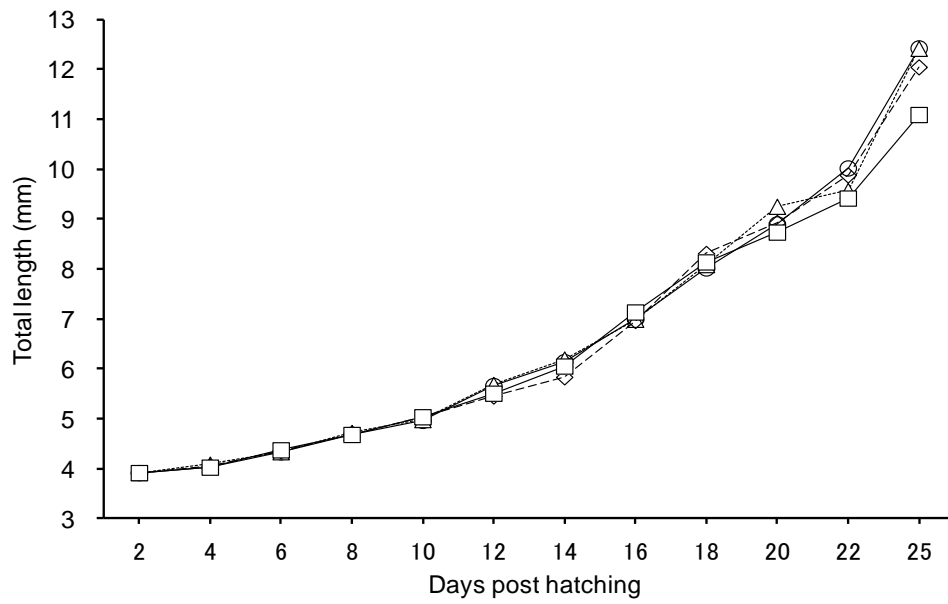


Fig. 5-1 Changes in total length of greater amberjack larvae and juveniles reared under different *Artemia* feeding schedules. Plot indicates the mean value of two replicates. Fish were fed *Artemia* beginning at 13 days post-hatch (dph) (T1, ○), 16 dph (T2, △) and 20 dph (T3, ◇), or not fed *Artemia* until the end of the experiment (T4, □).

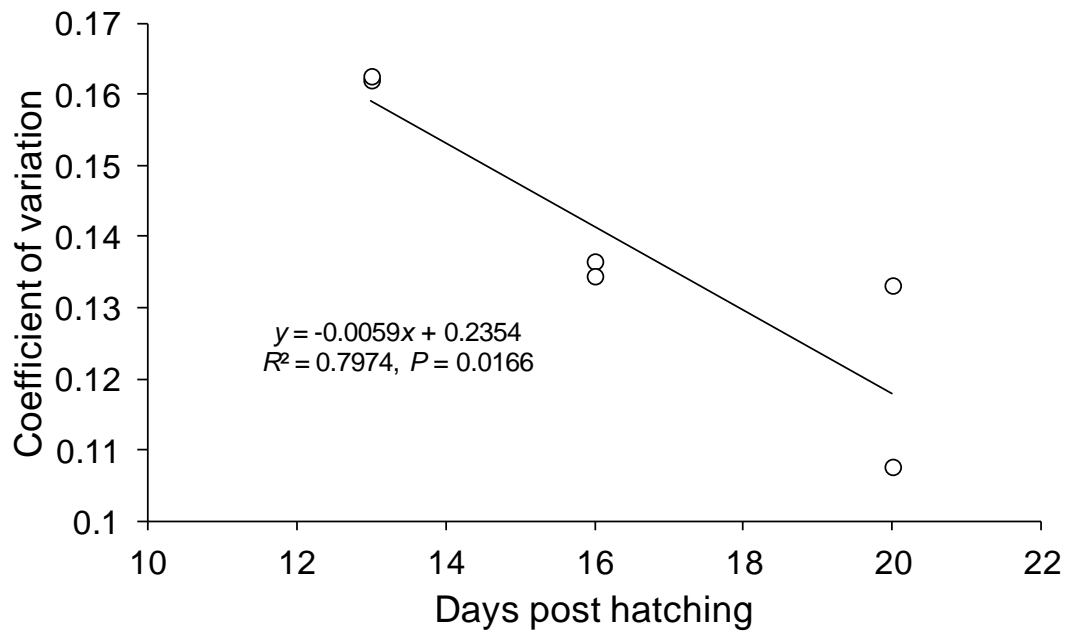


Fig. 5-2 Relationship between the onset of feeding *Artemia* and the variation in body size, as represented by the coefficients of variation of total length of greater amberjack larvae and juveniles at the end of the culture experiment.

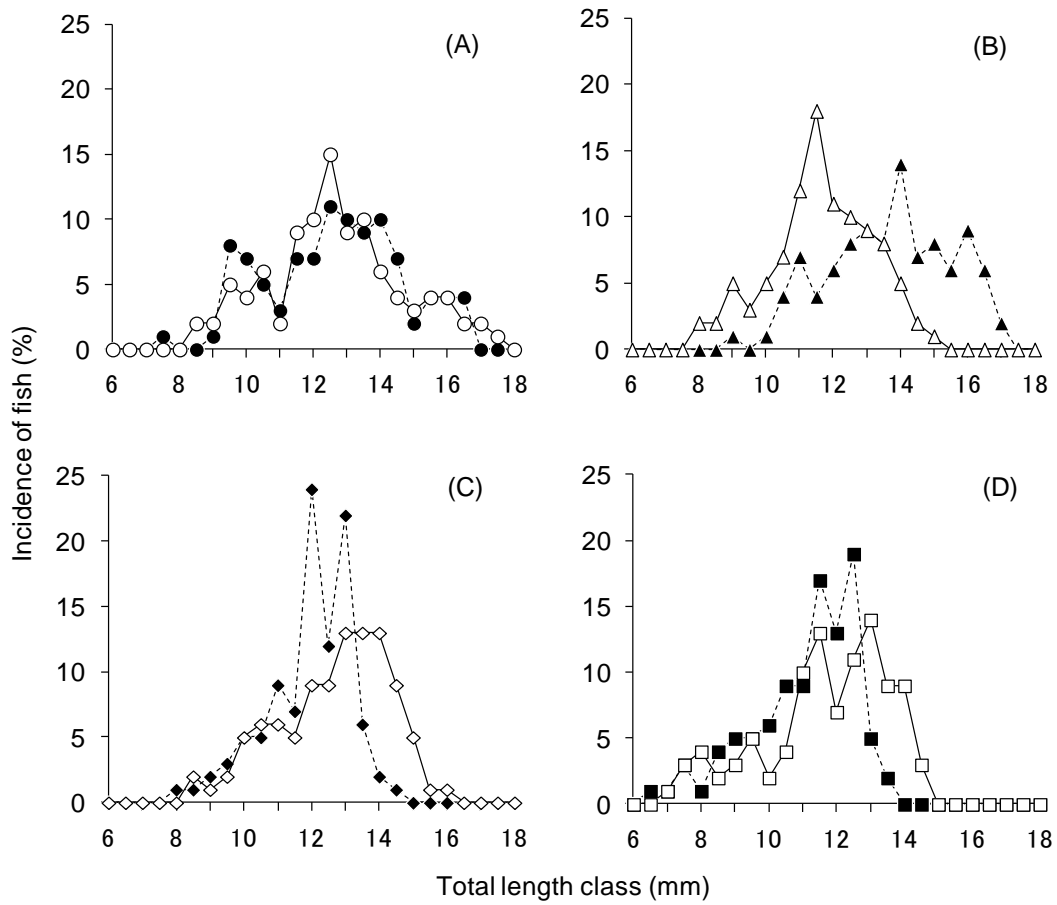


Fig. 5-3 Effect of *Artemia* feeding schedule on greater amberjack larvae and juvenile size frequency distributions reared in two replicate tanks (open and closed symbols). Fish were fed *Artemia* beginning at (A) 13 dph (T1, ○), (B) 16 dph (T2, △) or (C) 20 dph (T3, ◇) or (D) not fed *Artemia* until the end of the experiment (T4, □).

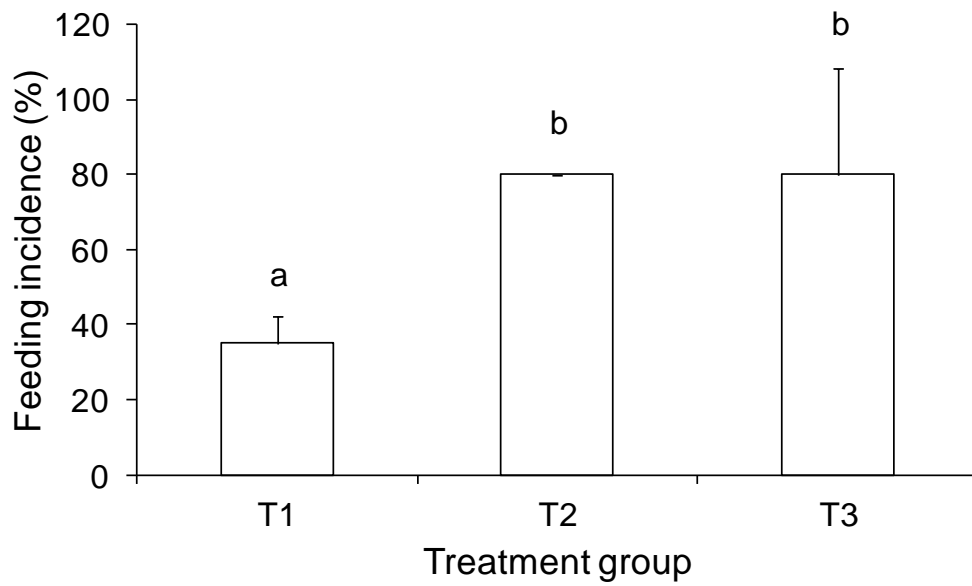


Fig. 5-4 Effect of *Artemia* feeding schedule on the proportion of greater amberjack larvae and juveniles eating *Artemia*. Fish were fed *Artemia* beginning at 13 dph (T1), 16 dph (T2) or 20 dph (T3). Bars indicate standard deviation. Different letters represent a significant difference between treatment groups by the GLM analysis with Tukey's test ($P < 0.02$).

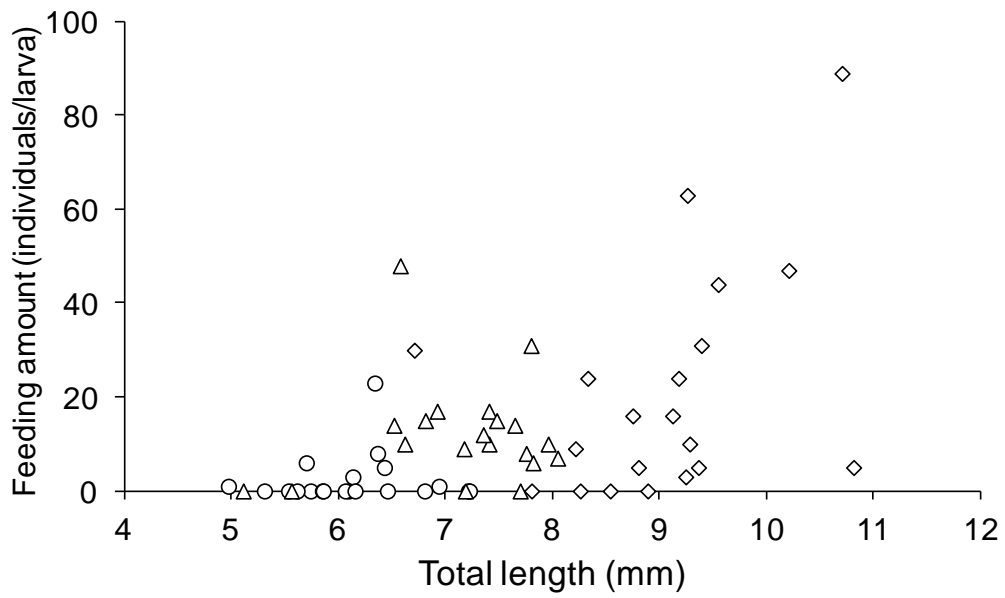


Fig. 5-5 Effect of *Artemia* feeding schedule on the relationship between total length and the proportion of greater amberjack larvae and juveniles eating *Artemia*. Fish were fed *Artemia* beginning at 13 dph (T1, ○), 16 dph (T2, △) or 20 dph (T3, ◇).

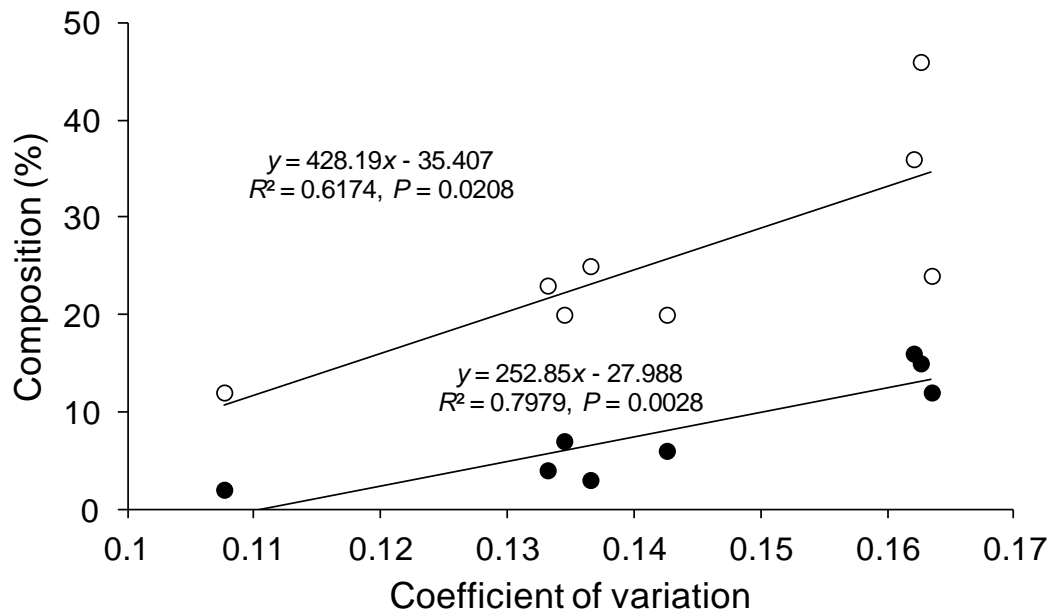


Fig. 5-6 Relationship between the coefficient of variation of total length and the proportion of the population subject to aggressive behavior or partial swallowing by predatory fish at 25 days post-hatch (dph). The threshold sizes were inferred from the predatory-prey body size ratios and the size frequency distribution of greater amberjack larvae and juveniles reared under different *Artemia* feeding schedules. ○, prey fish vulnerable to aggressive behavior; ●, prey fish vulnerable to partial swallowing.

Table 5-1 Survival rate, total length, RNA/DNA ratios, and protein/DNA ratios of greater amberjack, *Seriola lalandi*, larvae and juveniles at the end of the culture experiment (25 days post-hatch, dph) under different *Artemia* feeding schedules

Treatment group	Onset of <i>Artemia</i> feeding	Tank no.	Survival rate (%)		Total length (mm)		RNA/DNA ratio		Protein/DNA ratio	
			Mean	SD	Mean	CV	Mean	SD	Mean	SD
T1	13 DPH	1	5.4	2.0	12.4	0.162	2.2	0.3	37.9	2.6
		2	3.6	2.0	12.4	0.163	1.9	0.4	39.0	8.1
T2	16 DPH	1	3.2	1.8	13.4	0.137	2.1	0.3	36.9	3.2
		2	11.7	1.5	11.4	0.134	1.8	0.7	37.8	4.7
T3	20 DPH	1	6.2	1.3	11.7	0.108	2.0	0.4	48.7	8.5
		2	2.6	1.7	12.4	0.133	2.8	0.6	56.6	18.0
T4	Not feeding	1	6.6	1.5	10.8	0.143	2.3	0.4	38.3	5.9
		2	2.6	1.9	11.4	0.163	2.1	0.6	41.8	6.0

Total length was estimated from measurements of 100 individuals; RNA/DNA and protein/DNA ratios were measured in 10 individuals. SD, standard deviation; CV, coefficient of variation. Different lower-case letters in parentheses indicate a significant difference between treatment groups by a pairwise *t*-test ($P < 0.05$).

Table 5-2 Total length (TL) of prey fish vulnerable to aggressive behavior or partial swallowing by the large fish group within the upper 10% of the size frequency distribution and potential prey fish composition in the size frequency distribution of the tank inferred from the criterion values for predator-prey fish ratios in Hashimoto et al. (2014)

Treatment group	Tank no.	Mean TL (mm) of large fish group	TL (mm) of prey fish (% composition)	Aggressive behavior	Partial swallowing
T1	1	15.8	≤11.9 (36)	≤10.0 (16)	
	2	16.2	≤12.2 (46)	≤10.2 (15)	
T2	1	16.3	≤12.2 (25)	≤10.2 (3)	
	2	13.8	≤10.4 (20)	≤8.7 (7)	
T3	1	13.3	≤10.0 (12)	≤8.4 (2)	
	2	14.8	≤11.1 (23)	≤9.3 (4)	
T4	1	12.7	≤9.5 (20)	≤8.0 (6)	
	2	13.9	≤10.4 (24)	≤8.7 (12)	

第 6 章 鹿児島湾のカンパチ養殖場における人工種苗の適正な沖出し時期の検討

6.1 はじめに

アジ科ブリ属のカンパチ *Seriola dumerili* は東部太平洋を除く全世界の温帯・熱帯海域に生息し，わが国では南日本の太平洋沿岸に多く分布する（高岡 2005）。本種はブリ *S. quinqueradiata* よりも美味といわれ，わが国の養殖業で最も商品価値が高いのは 3.0～3.5 kg サイズとされている（宮下・熊井 2000；高岡 2005；虫明 2006）。本種の養殖は，1955 年に近畿大学実験場で試験的に開始され，その後 1959 年に宮崎県沿岸漁業指導所でも試験が行われた。それらの結果から養殖種として有望なことが明らかとなり，太平洋側の特に直接黒潮の影響を受ける海域で養殖されるようになった（原田 1969；高岡 2005）。

カンパチの養殖用種苗は，当初，ブリのモジャコと混獲される天然種苗を使用していたが，需要増加により必要量がまかなえなくなり，1986 年に台湾以南の海域で採捕された天然種苗の導入が始まった。現在，カンパチ養殖に用いられている種苗のほとんどが海南島周辺からの輸入種苗に依存している（高岡 2005；山下 2013）。このような状況の中，2005 年に中国で中間育成された後に，養殖用種苗として輸入されたカンパチの大型種苗（体重 500～1,000 g）で *Anisakis* I 型幼虫の大量寄生が確認され，大きな社会問題となった（虫明 2006；Yoshinaga et al. 2006）。これを機に，カンパチ養殖用種苗の国産化が強く求められるようになった。しかし，カンパチ種苗生産の試験研究は国内数機関で実施されていたが，安定した人工種苗生産技術の開発には至っていなかった（外菌 2007）。そこで，筆者らのグループは，本種の種苗量産技術開発に取り組み，10 万尾単位の種苗生産技術を開発した（照屋ら 2009a；橋本ら 2013）。また，カンパチ親魚の早期採卵技術にも取り組み，ブリの 12 月採卵技術（浜田・虫明 2006）をカンパチに導入することで養成環境下における自然産卵期（5～6 月）以外の時期に受精卵を得ることに成功した（浜田・征矢野 2009）。ここで得られた 12 月採卵の受精卵を使用し，種苗を生産することにも成功し（照屋ら 2009a），カンパチの人工種苗を

周年にわたり生産する可能性が見出された。さらに、12月採卵で得た人工種苗は中国から輸入した天然種苗の成長と比べて遜色ないことも確認された（浜田ら 2009）。このように我が国におけるカンパチの種苗生産技術は近年進展しており、人工種苗を用いた養殖体制を構築する段階に入っている。

カンパチの養殖場では、水温上昇にともない魚病発生リスクが高まり（柳 2011a,b,c）、養成魚の死亡率の上昇につながる。一方、水温はカンパチの成長に大きな影響を及ぼし、成長適水温は 20～31℃であることが知られており（高岡 2005）、出荷までの養成日数、すなわち養殖コストにも大きな影響を与える。水温は季節変化することから、養殖場に種苗を導入するいわゆる沖出し時期がその後の生残、成長およびコストに大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで、本研究では、周年にわたり生産した人工種苗を実際の養殖場（鹿児島県鹿児島湾）において飼育し、生残および成長の結果を指標として適正な沖出し時期を検討した。

本研究では、まず通常産卵期（6月）およびそれ以外の時期（8月、11月、12月および3月）にカンパチ親魚から採卵して得た仔魚を用い、種苗生産を実施した。次に、鹿児島湾の民間養殖場において人工種苗の適正な沖出し時期を把握するため、高水温期の8月、水温下降期の10月、低水温期の1月および水温上昇期の4月に人工種苗を陸上水槽から海上生簀へ移送して養殖試験を開始し、生残および成長を調査したのでその概要を報告する。

6.2 材料および方法

供試卵

供試卵は、既報（照屋ら 2009b）と同様に、（独）水産総合研究センター増養殖研究所古満目庁舎（高知県）で養成した親魚から採卵した。2010年6月から2011年3月までの期間に得られた浮上卵を（独）水産総合研究センター増養殖研究所志布志庁舎（鹿児島県）に輸送し、各飼育に用いた（Table 6-1）。ただし、2010年8月に使用した浮上卵については志布志庁舎で養成した親魚から採卵した。

種苗生産

6月採卵：飼育は80 kl八角型コンクリート水槽（実容量70 kl，以下80 kl水槽）3基および140 kl八角型コンクリート水槽（実容量130 kl，以下140 kl水槽）1基を用いて行った。古満目庁舎で得られた浮上卵を80 kl水槽3基にはそれぞれ50万粒，50万粒，40万粒，140 kl水槽には70万粒を直接収容し，翌日にふ化していた約35万尾，32万尾，22万尾および36万尾の仔魚を飼育した。その後の飼育方法は，既報（橋本ら2013）と同様とした。餌料にはS型とL型のワムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex を使用し，8時と13時に飼育水中のワムシ密度を調べ，不足する場合，20個体/mlになるよう3～4日齢ではS型ワムシを，5～28日齢ではL型ワムシを給餌した。また，17～32日齢ではアルテミア幼生 *Artemia* sp.を1～8回に分けて給餌し，給餌量は3,000～30,700万個体/水槽/日とした。24日齢から取り揚げ（33～35日齢）まで配合飼料（海産仔稚魚用アンブローズ400および600，日本配合飼料；稚仔魚用配合飼料リッチE，科学飼料研究所）を給餌した。配合飼料は1時間に1回の間隔で残餌が出ないように給餌し，給餌量は500～6,000g/水槽/日とした。飼育期間中毎日8時と13時に測定した水温，pHおよび溶存酸素量の平均値は，80 kl水槽3基でそれぞれ25.2℃，25.1℃および25.4℃，7.50，7.49および7.46，7.62 mg/l，7.66mg/lおよび7.65mg/l，140 kl水槽でそれぞれ25.1℃，7.59 および7.04 mg/lであった。取り揚げ時にそれぞれ生残数を計数し，30尾について全長の測定を行った。

8月採卵：飼育は80 kl水槽1基を用いて行った。志布志庁舎で得られた約38万粒の浮上卵を水槽へ直接収容し，翌日にふ化していた約22万尾の仔魚を飼育した。餌料にはS型ワムシを使用し，6月採卵と同様の基準で3～24日齢まで給餌した。また，16～33日齢ではアルテミア幼生を1～4回に分けて給餌し，給餌量は200～13,000万個体/日とした。24日齢から取り揚げ（36日齢）まで6月採卵と同様に配合飼料を給餌し，給餌量は150～1,900g/日とした。飼育期間中毎日8時と13時に測定した水温，pHおよび溶存酸素量の平均値は，それぞれ27.5℃，7.57 および7.82mg/lであった。取り揚げ時に生残数を計数し，50尾について全長の測定を行った。

11月採卵：飼育は80 kl水槽1基を用いて行った。古満目庁舎で得られた約40万粒の浮上卵を水槽へ直接収容し，翌日にふ化していた約16万尾の仔魚を飼育した。餌

料には S 型と L 型のワムシを使用し、前述の基準で 3～18 日齢では S 型ワムシを、5～30 日齢では L 型ワムシを給餌した。また、17～35 日齢ではアルテミア幼生を 1～3 回に分けて給餌し、給餌量は 800～9,000 万個体/日とした。25～35 日齢では冷凍コペポータ（中国産冷凍コペポータ M サイズ、アイエスシー）を 2 回に分けて給餌し、給餌量は 1 kg/日とした。28 日齢から取り揚げ（36 日齢）まで配合飼料（海産仔稚魚用アンブローズ 400 および 600）を給餌し、給餌量は 150～550 g/日とした。飼育期間中毎日 8 時と 13 時に測定した水温、pH および溶存酸素量の平均値は、それぞれ 23.8℃、7.65 および 8.36mg/l であった。取り揚げ時に生残数を計数し、50 尾について全長の測定を行った。

12 月採卵：飼育は 80 kl 水槽 1 基を用いて行った。古満目庁舎で得られた約 60 万粒の浮上卵を水槽へ直接収容し、翌日にふ化していた約 37 万尾の仔魚を飼育した。餌料には S 型と L 型のワムシを使用し、3～16 日齢では S 型ワムシを、5～25 日齢では L 型ワムシを給餌した。また、17～36 日齢ではアルテミア幼生を 1～4 回に分けて給餌し、給餌量は 2,600～53,800 万個体/日とした。24～37 日齢では冷凍コペポータを 1～5 回に分けて給餌し、給餌量は 1～5 kg/日とした。28 日齢から取り揚げ（38 日齢）まで配合飼料（海産仔稚魚用アンブローズ 200, 400 および 600）を給餌し、給餌量は 400～4,000 g/日とした。飼育期間中毎日 8 時と 13 時に測定した水温、pH および溶存酸素量の平均値は、それぞれ 23.7℃、7.54 および 9.71mg/l であった。取り揚げ時に生残数を計数し、50 尾について全長の測定を行った。

3 月採卵：飼育は 80 kl 水槽 2 基を用いて行った。古満目庁舎で得られた約 200 万粒の浮上卵を 2 基へ半分に分けて直接収容し、翌日にふ化していた約 31 万尾と 30 万尾の仔魚を飼育した。餌料には L 型ワムシを使用し、3～24 日齢まで給餌した。また、10～36 日齢ではアルテミア幼生を 3～5 回に分けて給餌し、給餌量は 1,000～48,000 万個体/水槽/日とした。12～36 日齢では冷凍コペポータを 1～3 回に分けて給餌し、給餌量は 0.25～3kg/水槽/日とした。20 日齢から取り揚げ（37 または 38 日齢）まで配合飼料（海産仔稚魚用アンブローズ 200, 400 および 600；稚仔魚用配合飼料リッチ E）を給餌し、給餌量は 100～4,000 g/水槽/日とした。飼育期間中毎日 8 時と 13 時に測定した 2 水槽の水温、pH および溶存酸素量の平均値は、それぞれ 23.6℃と 23.6℃、7.64

と 7.63 および 10.97 と 9.31mg/l であった。取り揚げ時にそれぞれ生残数を計数し、50 尾について全長の測定を行った。

取り揚げから沖出しまでの中間育成

中間育成は、6 月採卵では 80 kl 水槽 3 基および 140 kl 水槽 2 基を用いて 21～26 日間、8 月と 11 月採卵では、それぞれ 80 kl 水槽 1 基を用いて 21 日間と 24 日間、12 月採卵では 80 kl 水槽 2 基を用いて 18 日および 20 日間、3 月採卵では 140 kl 水槽 2 基を用いて 11 日および 12 日間行った。餌料には配合飼料（リッチ E とモジャコ EPO および EP1, 日清丸紅飼料）を使用し、1 日 3 回に分けて飽食になるまで給餌した。沖出し時には、30 尾（6～12 月採卵）あるいは 50 尾（3 月採卵）について全長および体重の測定を行った。

養殖試験

鹿児島県肝属郡錦江町にある民間の養殖場において人工種苗を用いた養殖試験を行った。志布志庁舎で種苗生産・中間育成を行った種苗を使用し、活魚車により養殖場まで輸送した。6 月採卵（5 水槽）の人工種苗を養殖場の生簀に収容した月日と尾数（日齢）は、それぞれ 8 月 2 日に 20,000 尾（53 日齢）、8 月 3 日に 20,000 尾（54 日齢）、8 月 16 日に 20,000 尾（58 日齢）、および 8 月 17 日に 21,000 尾（59 日齢）であった。同様に、8 月採卵（1 水槽）は 10 月 21 日に 4,500 尾（56 日齢）、11 月採卵（1 水槽）は 1 月 27 日に 9,800 尾（59 日齢）、12 月採卵（2 水槽）はそれぞれ 1 月 21 日に 15,000 尾（48 日齢）と 1 月 28 日に 28,000 尾（55 日齢）、3 月採卵（2 水槽）は 4 月 21 日に 20,000 尾（47 日齢）と 4 月 22 日に 20,000 尾（48 日齢）であった。3 月採卵の種苗については、養殖業者の都合により 7 月 28 日（145 日齢、沖出し後 99 日目）に大小 2 群（大群 5,137 尾、小群 12,036 尾）に分けて飼育を行った。養殖試験は、2013 年 1 月まで実施した。

養殖場の生簀サイズは、人工種苗を収容した直後は 3 m×3 m×2 m または 8 m×8 m×3 m で、その後成長に合わせて 8 m×8 m×5 m または 8 m×8 m×8 m へ変更した。収容密度は、収容直後が 250 尾/kl 以下、出荷開始の時点で 12 尾/kl 以下とした。飼餌

料には、生簀に収容直後は配合飼料（EP）を用い、その後成長に合わせて冷凍生餌（アジあるいはサバ）もしくは船上においてマッシュと冷凍生餌のミンチを混合して造粒したモイストペレット（MP）を用いた。1日あたりの給餌量は、1～11%（乾物換算）とし、1ヶ月あたりの平均給餌回数を調査した。人工種苗を生簀に収容後1～4ヶ月の間隔で20～100尾の全長および体重を測定した。また、死亡個体を回収し、生残数および生残率（ $(\text{収容数} - \text{累積死亡数}) / \text{収容数} \times 100$ ）を推定した。衰弱・死亡個体については、適宜養殖業者の専属の薬品メーカーを通じて鹿児島県水産技術開発センターにより魚病診断を受けた。ハダムシ症に対しては、夏場は1ヶ月に1回、冬場は2～3ヶ月に1回の間隔で淡水浴を行った。また、ゼウクサプタ症等の寄生虫性疾病が確認された際は、マリンサワー浴を行った。各沖出し群のうち複数回にわたって沖出しを行っている群の成長および生残率は、経過月別にまとめて整理した。なお、3月採卵の種苗については、2012年3月（366日齢、沖出し後320日目）に他業者へ種苗を譲渡したため、この時点で調査を終了した。

6.3 結果

種苗生産

取り揚げ時の生残数、生残率および平均全長を採卵時期・水槽別に Table 6-1 に示した。生残数、生残率および平均全長は 0.5～7.4 万尾、2.4～24.2% および 28.9～42.7mm であり、総生産数は 42.2 万尾、平均生残率は 15.6% であった。

取り揚げから沖出しまでの中間育成

沖出し数、沖出し時の平均全長および体重をとりまとめて Table 6-2 に示した。沖出し数は 0.5～2.8 万尾、平均全長は 51.7～118.1mm、平均体重は 1.9～19.9g であった。

養殖試験

6月採卵（沖出し時期：8月）：8月後半の沖出し31日目以降から死亡魚が増加し、その後9月中旬の43日目に全滅した（Fig. 6-1）。死亡状況および魚病診断結果から、

マダイイリドウイルスに感染し、全滅したと判断された。

8月採卵（沖出し時期：10月）：1月中旬の沖出し90日目に寄生虫により約3%の死亡が見られた。ここで見られた寄生虫疾病は、症状および外観からゼウクサプタ症と判断された。3月中旬の144日目以降にはビブリオ病、10月中旬の357日目以降にはノカルジア症によると見られる死亡が発生した。出荷を開始した617日目の生残率は88%であった（Fig. 6-1）。種苗は310日目（365日齢）に 44.0 ± 2.5 cm、体重 $1,129 \pm 199$ gに成育し、出荷を開始する1ヶ月前の579日目（634日齢）には全長 56.2 ± 2.5 cm、体重 $2,059 \pm 302$ g、出荷を開始した1ヶ月後の644日目（699日齢）には全長 59.2 ± 2.5 cm、体重 $2,688 \pm 336$ gまで成育した（Figs. 6-2, 6-3）。1ヶ月あたりの平均給餌回数は、 13.1 ± 3.0 回であった。

11月採卵（沖出し時期：1月）：3月中旬の沖出し54日目以降にビブリオ病によると見られる死亡が発生し、6月下旬までに生残率が約70%まで低下した。10月中旬の259日目以降にはノカルジア症によると見られる死亡が発生した。出荷を開始した713日目の生残率は68%であった（Fig. 6-1）。種苗は306日目（364日齢）に全長 43.6 ± 2.0 cm、体重 $1,258 \pm 174$ gに成育し、出荷を開始する3ヶ月半前の607日目（665日齢）には全長 56.4 ± 2.6 cm、体重 $2,290 \pm 343$ g、出荷を開始した半月後の726日目（784日齢）には全長 60.1 ± 2.3 cm、体重 $2,859 \pm 407$ gまで成育した（Figs. 6-2, 6-3）。1ヶ月あたりの平均給餌回数は、 14.0 ± 7.9 回であった。

12月採卵（沖出し時期：1月）：3月中旬の沖出し60日目以降にビブリオ病によると見られる死亡が発生し、6月下旬までに生残率が22%まで低下した。10月中旬の265日目以降にはノカルジア症によると見られる死亡が発生した。出荷を開始した743日目の生残率は21%であった（Fig. 6-1）。種苗は312日目（359日齢）に全長 41.2 ± 3.5 cm、体重 $1,018 \pm 258$ gに成育し、出荷を開始する半月前の732日目（779日齢）には全長 58.5 ± 3.8 cm、体重 $2,512 \pm 575$ gまで成育した（Figs. 6-2, 6-3）。1ヶ月あたりの平均給餌回数は、 13.2 ± 7.7 回であった。

3月採卵（沖出し時期：4月）：5月上旬の沖出し11日目以降にハダムシ症による死亡が見られ、7月下旬の319日目の生残率は42%まで低下した（Fig. 6-1）。種苗は、313日目（359日齢）に大群では全長 37.5 ± 2.6 cm、体重 749 ± 171 g、小群では全長 34.9 ± 2.9

cm, 体重 659 ± 142 g に成育し, 642 日目 (688 日齢) には大群で全長 57.6 ± 3.8 cm, 体重 $2,590\pm 448$ g, 小群で全長 49.1 ± 3.9 cm, 体重 $1,571\pm 351$ g まで成育した (Figs. 6-2, 6-3)。なお, 大群は 642 日目で出荷を開始した。1 ヶ月あたりの平均給餌回数は, 大群では 10.2 ± 2.9 回, 小群では 10.4 ± 4.9 回であった。

6.4 考察

本研究では, カンパチの周年採卵技術と種苗生産技術の進展によって, 年間の種苗生産数が約 42 万尾, 平均生残率は約 16% に達し, 人工種苗量産の可能性が示された。

高岡 (2005) は, 鹿児島県においてカンパチ天然種苗を導入してから出荷までの歩留まりは 80~95% 程度としている。今回行った養殖試験では, 10 月に沖出しした群の生残率は 88% であったことから, 人工種苗は天然種苗と同等の歩留まりを示すことが明らかとなった。

柳 (2011a,b,c) は鹿児島県内のカンパチの魚病発生件数を月別に示している。ここでは鹿児島湾内では 4 月~8 月の水温上昇に伴い寄生虫性疾病, 細菌性疾病, ウイルス性疾病の発症件数が増加し, 10 月になると水温が低下することもあり魚病が終息することが示されている。10 月沖出し群は魚病が終息した時期の沖出しとなり, 人工種苗にとって魚病発生リスクの低い最適の沖出し時期であったと考えられる。他の沖出し時期では, 特に 8 月沖出し群は水温が最も高くなる時期, すなわち鹿児島県内では魚病が蔓延している時期での沖出しとなり, 魚病の中でもマダイイリドウイルスに感染し, 全滅した。このことから, 水温が高い時期の沖出しは魚病の中でも特にマダイイリドウイルス感染症に注意する必要があることが明らかになった。次に 11 月採卵による 1 月沖出し群は 10 月沖出し群に次ぐ高い生残率となった。一方, 12 月採卵による 1 月沖出し群の Vibrio 病発生後の 6 月末での生残率は 22% で, 11 月採卵による 1 月沖出し群の 70% よりも低かった (Fig. 6-1)。天然種苗を用いたカンパチ養殖では, 養殖魚が 10 cm を超えると斃死数が顕著に減少することが知られている (高岡 2005)。11 月採卵と 12 月採卵による 1 月沖出し群の生残率の違いは, 沖出し時の全長

が前者では 8.3 cm, 後者が 6.7 cm であり, 全長 10 cm に達したのは前者が 1 ヶ月, 後者は 2 ヶ月を要していたことから, この体サイズ差の違いが生残率に反映されたものと考えられる。したがって, 今後は採卵時期と沖出しサイズを考慮した適正な沖出し時期について検討する必要があるものと考えられる。3 月採卵による 4 月沖出し群では, 沖出し直後のハダムシの寄生を起因とする死亡が発生し, 沖出し後約 3 ヶ月までの生残率は 42% で低い値となった。ハダムシ駆除として過酸化水素製剤による薬浴 (柳 2011b) や淡水浴 (小川 1983) が効果的であることが知られているが, まだ魚体サイズの小さい 4 月沖出し群に対して薬浴や淡水浴, そしてそれらに係る作業に対するストレスが魚体へ大きく影響し, 他の採卵群と比べて生残率が低くなった可能性が考えられる。

沖出しから出荷開始までの養殖期間は, 10 月沖出し群が最も短く 617 日であったのに対し, 11 月採卵による 1 月沖出し群は 713 日, 12 月採卵による 1 月沖出し群は 743 日, 4 月沖出し群の大群で 642 日であった。カンパチの成長好適水温は 20~31°C であり, 特に水温が 26°C 以上で成長がきわめて良く, 15°C 以下では停滞することが知られている (原田 1969; 高岡 2005)。特に成長が良好な水温である 26°C を超える前までに 10 月沖出し群の種苗は他の沖出し群と比べてより大きく成長していたことが (Fig. 6-2), 出荷までの育成期間の短縮につながったと考えられる。天然種苗の養殖場での成長は, 鹿児島県で 4 月に体重 50 g (本試験の成長結果から推定すると全長約 15 cm) の種苗を導入すると, 翌年の 6 月 (約 425 日) に出荷サイズになることが示されている (高岡 2005)。人工種苗の 10 月沖出し群と天然種苗の成長を比較すると, 養殖期間は人工種苗の方が約 200 日近く長い。それぞれの養殖業者で飼育管理の違いがあるため, 単純に比較はできないが, 今後は天然種苗と人工種苗を同じ条件のもとで養殖試験を行い, 生残や成長特性を比較検討する必要がある。

以上, 本研究では, 適正な沖出し時期を検討した結果, 鹿児島湾の養殖場において水温が下降する時期, すなわち魚病が終息する時期が (10 月) が, その後の高い生残率と良好な成長を見込める沖出し時期であると判断される。今後は, 養殖業者に対して人工種苗を普及していくうえで必要な情報, 例えば本研究で検討できなかった適正な沖出しサイズなどさらなる知見を蓄積していく必要がある。

6.5 引用文献

- 浜田和久・虫明敬一 (2006) 日長および水温条件の制御によるブリの 12 月産卵. 日水誌, **72**, 186-192.
- 浜田和久・征矢野清 (2009) カンパチ親魚の生殖周期の把握と早期採卵. 養殖, **46(13)**, 25-27.
- 浜田和久・虫明敬一・外菌博人 (2009) 成長性・抗病性・経済性に優れる人工種苗. 養殖, **46(13)**, 31-34.
- 原田輝雄 (1969) カンパチ. 養魚講座 4 ハマチ・カンパチ (大島泰雄・稲葉伝三郎監修), 緑書房, 東京, pp. 189-201.
- 橋本 博・松田圭史・増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・照屋和久・浜田和久・虫明敬一・浜崎活幸 (2013) カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件: 仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討. 水産増殖, **61**, 95-102.
- 外菌博人 (2007) カンパチ種苗生産の現状と展望. 日水誌, **73**, 335-336.
- 宮下 盛・熊井英水 (2000) 適地選定から出荷・販売まで. カンパチ. 海産魚の養殖 (熊井英水編), 湊文社, 東京, pp. 78-88.
- 虫明敬一 (2006) カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, **72**, 1158-1160.
- 小川和夫 (1983) ブリのベネデニア症. 魚病学 (感染症・寄生虫病篇) (江草周三編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 276-279.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増養殖システム 1. 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- 照屋和久・橋本 博・岩崎隆志・浜崎活幸 (2009a) カンパチ仔稚魚の減耗対策と早期種苗生産. 養殖, **46(13)**, 28-30.
- 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一 (2009b) カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, **75**, 54-63.
- 山下亜純 (2013) 中国から日本へのカンパチ稚魚の流通～採捕・育成から輸入・流通

- まで～. 養殖ビジネス, **50(10)**, 10-12.
- 柳 宗悦 (2011a) 養殖カンパチの魚病診断と対策 第 2 回 カンパチの魚病の種類と対処 (前編). 養殖, **48(10)**, 52-55.
- 柳 宗悦 (2011b) 養殖カンパチの魚病診断と対策 第 3 回 カンパチの魚病の種類と対処②. 養殖, **48(11)**, 58-60.
- 柳 宗悦 (2011c) 養殖カンパチの魚病診断と対策 第 4 回 カンパチの魚病の種類と対処③. 養殖, **48(12)**, 51-53.
- Yoshinaga, T., R. Kinami, K. A. Hall and K. Ogawa (2006) A preliminary study on the infection of anisakid larvae in juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* imported from China to Japan as mariculture seedlings. *Fish Pathol.*, **41**, 123-126.

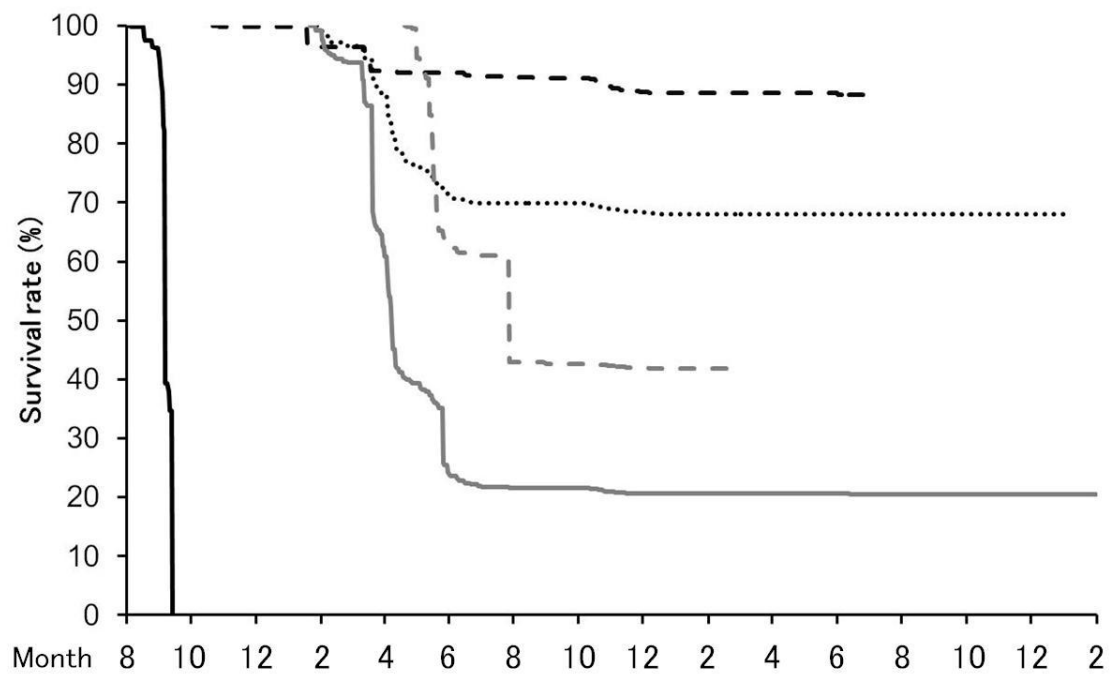


Fig. 6-1 Changes in survival rates of artificially produced juveniles of the greater amberjack *Seriola dumerili* cultured in sea cages. Solid black line, dashed black line, dotted black line, solid grey line and dashed grey line indicate fish groups transferred from indoor tanks to sea cages (production month) in August (June), October (August), January (November), January (December), and April (March), respectively.

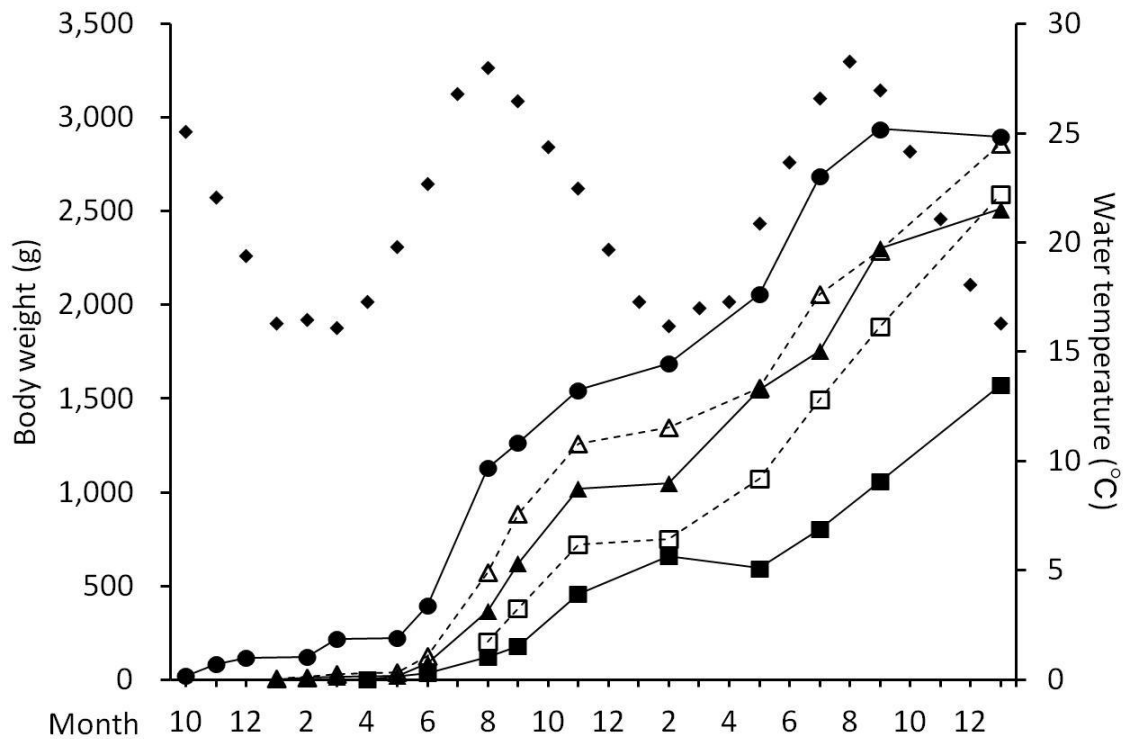


Fig. 6-2 Changes in body weights of artificially produced juveniles of the greater amberjack *Seriola dumerili* cultured in sea cages. Solid circles (●), open triangles (Δ), solid triangles (▲), solid squares (■) and open squares (□) indicate fish groups transferred from indoor tanks to sea cages (production month) in October (August), January (November), January (December), and April (March) with small-size and large-size fish groups after the grading treatment, respectively. Solid diamonds (◆) indicate water temperatures in Kagoshima Bay, Kagoshima Prefecture.

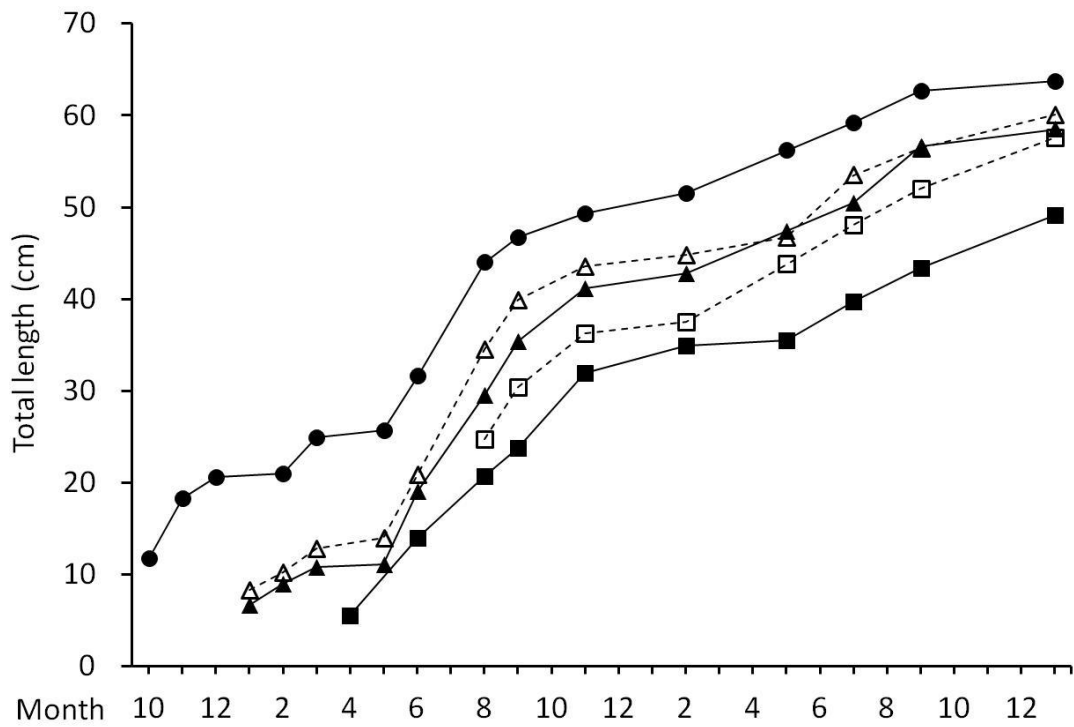


Fig. 6-3 Changes in total lengths of artificially produced juveniles of the greater amberjack *Seriola dumerili* cultured in sea cages. Solid circles (●), open triangles (Δ), solid triangles (▲), solid squares (■) and open squares (□) indicate fish groups transferred from indoor tanks to sea cages (production month) in October (August), January (November), January (December), and April (March) with small-size and large-size fish groups after the grading treatment, respectively.

Table 6-1 Survival rate and mean total length of greater amberjack juveniles reared in 80 kl and 140 kl tanks

Production month	Tank (kl)	Tank No.	Initial		Final		
			Number of larvae ($\times 10^3$)	DAH	Number of juveniles ($\times 10^3$)	Survival rate (%)	Mean total length (mm)
June	80	1	351	34	45	12.9	37.7
		2	319	35	53	16.6	42.7
		3	220	34	47	21.4	39.8
	140	1	357	33	47	13.2	37.4
August	80	1	220	36	5	2.4	39.3
November	80	1	156	36	11	7.2	28.9
December	80	1	370	38	70	18.9	29.5
March	80	1	305	37	74	24.2	38.5
		2	296	38	70	23.5	40.2
Total					422	15.6	

DAH, days after hatching

Table 6-2 Number of individuals, mean total length and mean body weight of greater amberjack juveniles transferred from indoor tanks to sea cages

Month of transferring from indoor tanks to sea cages (production month)	Transferring No.	Period of intermediate culture (days)	DAH	Number of juveniles ($\times 10^3$)	Total length (mm)	Body weight (g)
August (June)	1	21	53	20	81.3	6.6
	2	22	54	20	89.5	8.4
	3	25	58	20	95.6	9.4
	4	26	59	21	93.5	9.4
October (August)	1	21	56	5	118.1	19.9
January (November)	1	24	59	10	83.1	7.3
January (December)	1	18	48	15	51.7	1.9
	2	20	55	28	66.6	4.2
April (March)	1	11	47	20	53.8	2.0
	2	12	48	20	61.2	2.9

DAH, days after hatching

第7章 総合考察

本研究は、現在輸入に依存している養殖用カンパチ種苗の国産化を可能にする安定した種苗量産技術の開発について検討した。さらに、国産の人工種苗を用いた養殖体制を構築する基礎として、実際の養殖場において人工種苗の適正な沖出し時期について検討した。

本章では、まずカンパチの種苗量産技術として、飼育期間中の減耗の解明およびその防除方法に関して本研究で得られた結果を要約して示し、カンパチの安定した種苗量産手法について考察した。次いで、人工種苗を用いたカンパチ養殖に関する本研究の結果を要約した上で、人工種苗の養殖場における減耗について整理し、減耗要因とその防除方法について考察した。最後に、今後のカンパチにおける国産人工種苗の養殖場における活用について考察した。

7.1 カンパチの種苗量産技術

第2章では、仔魚の鰾の開腔状態と摂餌および成長の関係を把握する目的で、未開腔仔魚、開腔個体のうち海水面に浮上する仔魚（浮上仔魚）とそれ以外の正常開腔仔魚を類別し、その成長、鰾体積および摂餌数を調査した。浮上仔魚の鰾は正常開腔仔魚に比較して肥大しており、未開腔仔魚と浮上仔魚の成長と摂餌数は正常開腔仔魚に比較して劣っていた。以上のことから、鰾の異常で浮力を調節できない仔魚は十分に摂餌できず、低い成長率を示すことが明らかになった（橋本ら 2012）。

第3章では、実用レベルでの初期飼育における適正な日長条件を明らかにする目的で、24時間連続照明とした条件下で仔魚の摂餌リズムを調査した。また、飼育初期の日長を6時から20時までの14時間照明と6時から24時までの18時間照明の異なる日長条件で種苗量産飼育を実施した。カンパチ仔魚の摂餌には概日リズムが認められ、24時間連続照明下において、仔魚は0時から6時の

間には積極的に摂餌しない内因性リズムを示した。このような仔魚の摂餌リズムを背景とし、種苗量産飼育における仔魚の生残率は18時間照明とした飼育事例で高く、初期成長も良いことが明らかになった（橋本ら2013）。

第4章では、カンパチ仔稚魚の攻撃行動および共食いの実態を把握するため、成長、死亡状況、追尾行動とつつき行動および捕食魚と被食魚の体サイズの関係进行调查した。カンパチ仔稚魚の追尾行動は大型個体が稚魚期へ変態する18～19日齢頃から発現することが確認された。仔稚魚の体高、口径および口幅から推定した捕食可能サイズと、実際の攻撃個体と被攻撃個体、捕食魚と被食魚、および共倒れが起こった捕食魚と被食魚の全長の関係より、“攻撃行動および共食い”を許す体サイズ差を理論値または実測値として推定した。これらの結果から、飼育中期以降の減耗は、飼育魚の体サイズ差および大型個体の稚魚期への変態により攻撃性が発現し、小型個体が死亡に至ることが明らかになった（橋本ら2014）。

第5章では、カンパチの種苗生産では、仔稚魚の体サイズ差が原因で攻撃行動および共食いが起こることから、攻撃行動および共食いによる減耗の防除策を開発する基礎として、仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミアの給餌時開始時期の影響を調査した。その結果、大型餌料生物に対する捕食能力が低い仔魚群に対してアルテミアを給餌することは、その後の成長変異の原因になることが明らかになった。カンパチ仔稚魚の成長変異を抑えるためには、アルテミアの給餌は仔稚魚の平均全長が9 mm程度となる20日齢頃から開始することが望ましいと考えられた（Hashimoto et al. 2015）。

カンパチ種苗生産における大きな問題は、10日齢前後までの著しい飼育初期の減耗と20日齢以降に起こる共食いである。まず、飼育初期の減耗は、仔魚が水槽底に沈降し死亡する“沈降死”が起こる場合、および仔魚の鰓の状態が未開腔または開腔していても不適な場合に大きくなる。一方、10日齢以降の減耗については、20日齢頃からの仔稚魚の成長差による共食いが主要因として上げられる。以上のように、カンパチの減耗時期を整理すると、大きく2期に分け

ることができる。第 1 期は仔魚が開口する 3 日齢から 10 日齢まで、第 2 期は 20 日齢以降である。

以下では、これまでの知見と本研究で明らかになった知見および筆者の 10 年以上に及ぶ種苗生産現場での経験を併せ、各減耗期における主要な減耗要因とその防除方法について考察する。まず第 1 期の仔魚の主な減耗状況として、沈降死と鰓の異常による 2 つが挙げられる。仔魚が夜間に水槽底に沈降して死亡する直接的な原因はまだ明らかにされていないが、宮下 (2006) は水槽底との接触で生じる外傷や病原細菌の侵入により沈降した仔魚が死亡するものと推測している。したがって、仔魚の沈降死に対する対処方法として、特に仔魚が遊泳を止める夜間に沈降させないように飼育海水中で自らの体を中性浮力に保たせること、すなわち仔魚の比重と海水の比重が同じである状態を作ることが必要となる。照屋ら (2009a) は開腔した仔魚の比重は海水と同程度の比重であることを明らかにしていることから、仔魚に対して早期に開腔させることが沈降死を防止する重要な対策となる。今井ら (2011) は、仔魚は 3~4 日齢にかけて水面から空気を呑み込み鰓にガスを導入し開腔すること、さらに仔魚に開腔を促すためには水面の油膜の除去が必要であること示していることから、開口日である 3 日齢から消化管と鰓がつながっている気管が分離し、閉塞するとされている 6 日齢までの間は、油膜除去装置を使用した積極的な水面の油膜除去が仔魚に開腔を促すために必要な方法となる。また照屋ら (2009a) は水槽の流れを強くすると仔魚の開腔に影響が出ること示唆しており、筆者は仔魚に開腔を促す 3~6 日齢の間の日中の水面の水流はできるだけ緩やかな流れとした方がよいと考えている。一方、消灯後の夜間の通気は、未開腔仔魚を生存させる方法として、照屋ら (2006, 2009b) の通気方法により飼育水の上昇流を形成することによって、沈降した仔魚を分散させることが効果的であるものと考えられる。飼育初期の環境条件は、平田ら (2009) によって水温は 22℃、日長時間は 18 時間が適正であると小型水槽を用いた飼育試験の結果から明らかにされている。一方、岩崎 (2011) らは仔魚の開腔を促すためには、飼育初期の水温

は 24℃以上で日長時間は連続照明による飼育が適していると示唆している。以上のことから、飼育初期の水温は 22～24℃が適正であると考えられる。日長時間は、本研究の第 3 章で連続照明時の仔魚の摂餌リズムおよび異なる日長条件での大型水槽による種苗量産試験の成長および生残の結果から、平田ら (2009) の結果を支持する 18 時間照明が適正であることを明らかにしている。また、平田ら (2009) の小型水槽試験の成長および生残の結果では、恒明ではない長日条件が初期飼育に適していると指摘しており、仔魚の成長および生残を考慮した安定した種苗生産を行うためにはワムシ給餌期間中の日長時間は 18 時間照明とするのが良いと考えられる。

第 2 期の死亡要因である共食いについて、第 4 章ではカンパチ仔稚魚の追尾行動は大型個体が稚魚期へ変態する 18～19 日齢頃から発現することを確認した。さらに、飼育魚の体サイズ差および大型個体の稚魚期への変態により攻撃性が発現し、小型個体が死亡に至ることを明らかにした。第 5 章では大型餌料生物に対する捕食能力が低い仔魚群に対してアルテミアを給餌することは、その後の成長変異の原因になることを明らかにした。また、カンパチ仔稚魚の成長変異を抑えるために、アルテミアの給餌は仔稚魚の平均全長が 9 mm 程度となる 20 日齢頃から開始することが望ましいと考えられた。したがって、仔稚魚の成長差を抑える餌料系列は、20 日齢まではワムシ、特にサイズが大型の L 型ワムシを給餌し、アルテミアの給餌は小型の仔稚魚がアルテミアを摂餌可能となる大きさに達する 20 日齢から給餌することが、第 2 期の死亡を軽減する方法であると考えられる。配合飼料の給餌は、経験的にカンパチ稚魚は配合飼料に数日で簡単に餌付くことが知られており、30 日齢前後で問題ないと考えている。しかし、取り揚げ時に配合飼料に餌付いていない個体はハタ類で観察されるような“ショック死” (福永ら 1990) を引き起こすことから、取り揚げまでにはすべての個体を配合に餌付けさせる必要がある。

以上のように、種苗生産期間におけるカンパチの減耗期を 2 期に分け、各期間における減耗要因と防除方法について考察した。飼育初期の減耗および共食

いによる減耗の防除方法が本研究で明らかとなり、カンパチの種苗量産技術は進展した。第6章で触れているが、年間の生産数は約42万尾、平均生残率は約16%に達し、安定した人工種苗の量産の可能性を示すことができた。しかし、種苗量産技術が確立されたマダイ *Pagrus major* やヒラメ *Paralichthys olivaceus* と比較すると、カンパチのふ化から取り揚げまでの生残率は未だに低く、見落としている減耗要因があるものと考えられる。減耗要因の中で現在注目しているものは、第2章で述べているが、浮上仔魚の鰾の肥大現象である。鰾が肥大した仔魚は、浮力を調節できないため、水面付近に浮上し、十分にワムシを摂餌できず、低い成長率を示すことが明らかになっている。さらに、種苗生産中に浮上仔魚が確認された後は生残数が減少することから、鰾の肥大現象も仔魚期の大きな減耗要因になっている。しかし、なぜ鰾が肥大した浮上仔魚が出現するのか、現段階では把握できていない。浮上仔魚は6~7日齢に出現することは分かっていることから、今後開口から6日齢頃を中心に、種々の飼育条件が仔魚の鰾膨縮に及ぼす影響を調査することが必要である。

7.2 人工種苗を用いたカンパチ養殖

上述のように、カンパチの種苗量産技術は近年急速に進展しており、次は人工種苗を用いた養殖生産体制を構築する段階に入っている。そこで、第6章では人工種苗を用いた養殖体制を構築する基礎として、魚病発生リスク、生残および成長に影響すると考えられる人工種苗の適正な沖出し時期を把握するため、鹿児島県鹿児島湾において養殖試験を実施した。8月、10月、1月および4月に人工種苗を養殖場の生簀に収容して約1~2年間飼育し、生残と成長を調べた。その結果、出荷開始までの育成期間は10月沖出し群が最短で617日であり、生残率も高かったことから、人工種苗の適正な沖出し時期は水温下降期である10月であることが考えられた。

人工種苗を用いたカンパチ養殖試験を行った結果、大きな問題点は養殖場で

発生する魚病であることが分かった。養殖場で発生するカンパチの病気として、ビブリオ病、滑走細菌症、類結節症、連鎖球菌症、ノカルジア症、ベネデニア症、ネオベネデニア症、ヘテラキシネ症、血管内吸虫症、イリドウイルス症などが知られている。このうち、第6章では、高水温期に沖出しを行った人工種苗がイリドウイルス症に感染し、全滅した。イリドウイルス症への対策としては、現在ワクチンが開発されており、病気の抑制に効果があることがすでに知られている（室賀 2004）。イリドウイルス症を発症する恐れのある高水温期の人工種苗の沖出しについては、沖出し前にイリドウイルス症対策としてワクチン注射を行い、事前に予防することで被害を大幅に軽減することができると思われる。また、水温上昇期に発生したビブリオ病とみられる死亡に対しても、ワクチンが開発されていることから、対策として沖出し前の陸上水槽において事前にワクチン注射を行い、予防することで被害を軽減させるのも対策の1つとして考えられる。しかしながら、安易に予防免疫のみに頼ることはコストおよび労力も掛かることから、宿主本来の抵抗力が低下しないような飼育管理を模索していくことが今後重要になるものと考えている。

2005年に養殖用種苗として海外から輸入したカンパチ種苗のアニサキス寄生を発端に、人工種苗の大量生産による“養殖種苗の国産化”が求められてきた。本研究では、この要望を受け、まず種苗生産の問題点の抽出を行い、減耗に対する防除方法を検討した結果、年間数十万尾の人工種苗を生産できる種苗量産手法を開発した。さらに、生産した人工種苗を用いて実際の養殖場で飼育を行い、適正な時期に沖出しを行えば、従来の輸入種苗と遜色ない生残を示すことを明らかにした。現在、カンパチ21プロジェクトの成果により（公財）かごしま豊かな海づくり協会では数十万尾を生産する体制を構築している（外菌 2014）。これからのカンパチ養殖は、様々な不安定要素が多い海外からの輸入種苗からの脱却、そして生産履歴が明らかになっている安全・安心な国産人工種苗の利用拡大の時代となるだろう。2013年の全国の養殖カンパチ種苗の導入数は751万尾といわれており、このすべてを国産人工種苗へすぐに移行すること

は不可能であろうが、2005年に起きた海外から輸入したカンパチ種苗のアニサキス寄生の問題の二の舞を踏まないためにも、地道に国産人工種苗の利用を養殖業者とともに普及させていくことが必要である。

7.3 引用文献

福永恭平・野上欣也・吉田儀弘・浜崎活幸・丸山敬吾（1990）日本栽培漁業協会・玉野事業場における最近のキジハタ種苗生産量の増大と問題点について．栽培漁業技術開発研究，**19**，33-40.

橋本 博・今井彰彦・岩崎隆志・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一（2012）鰺の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長．水産増殖，**60**，99-106.

橋本 博・松田圭史・増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・照屋和久・浜田和久・虫明敬一・浜崎活幸（2013）カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討．水産増殖，**61**，95-102.

橋本 博・林 知宏・浜崎活幸・甲斐 勲・外菌博人・中村章彦・岩崎隆志・照屋和久・浜田和久・虫明敬一（2014）カンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連．水産増殖，**62**，259-271.

Hashimoto, H., T. Hayashi, K. Hamasaki, H. Matsunari, T. Iwasaki, K. Teruya, K. Hamada and K. Mushiake (2015) Effects of different *Artemia* feeding schedules on body size variation in greater amberjack, *Seriola dumerili*, larvae. *Aquacult. Sci.*, in press.

平田喜郎・浜崎活幸・今井彰彦・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一（2009）カンパチ仔魚の生残，成長，摂餌および鰺の開腔に及ぼす光周期と水温の影響．日水誌，**75**，995 - 1003.

外菌博人（2014）鹿児島県におけるカンパチの種苗生産技術開発と事業化 よくわかる！種苗生産と育種．養殖ビジネス，**51(4)**，60-62.

今井彰彦・岩崎隆志・橋本 博・平田喜郎・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・

虫明敬一（2011）飼育試験と鰾の個体発生から推察したカンパチ仔魚の鰾開腔メカニズム．日水誌，**77**，845-852.

岩崎隆志・今井彰彦・橋本 博・浜崎活幸・照屋和久・浜田和久・虫明敬一（2011）異なる水温および光環境で飼育したカンパチ仔魚の鰾の開腔時期．水産増殖，**59**，637-640.

宮下 盛（2006）種苗生産における浮上および沈降死．日水誌，**72**，947-948.

室賀清邦（2004）マダイイリドウイルス病 魚介類の感染症・寄生虫病（江草周三監修，若林久嗣・室賀清邦編集），恒星社厚生閣，東京，pp. 75-79.

照屋和久・與世田兼三（2006）クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験．水産増殖，**54**，187-194.

照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一（2009a）カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化．日水誌，**75**，54-63.

照屋和久・橋本 博・岩崎隆志・浜崎活幸（2009b）カンパチ仔稚魚の減耗対策と早期種苗生産．養殖，**46(13)**，28-30.

要約

第1章 序論

養殖対象種としてのカンパチの重要性について、日本の魚類養殖生産量の推移を漁獲統計から概観し、同属のブリと同様に本邦において重要な一大産業となっていることを指摘した。次いで、2005年に養殖用種苗として海外から輸入したカンパチ種苗のアニサキス寄生を発端に、人工種苗の大量生産による養殖種苗の国産化が求められてきた経緯について説明した。また、カンパチ種苗生産について、安定した生産ができない現状を示し、種苗生産で発生している大きな問題点である2つの減耗について説明した。次に、カンパチ養殖の現状を示し、本論文の内容、すなわち第2章では鰾の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長に関する研究、第3章ではカンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件に関する研究、第4章ではカンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連に関する研究、第5章ではカンパチ仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミア給餌時期の影響に関する研究、第6章では人工生産したカンパチ種苗の適正な沖出し時期について取り組んだ研究内容を説明した。そして、最後の第7章では、本研究で得られた知見を中心にカンパチの安定した種苗量産技術と人工種苗を用いた養殖について総合的に考察した。

第2章 鰾の開腔状態が異なるカンパチ仔魚の摂餌と成長

カンパチ仔魚の鰾の開腔状態と摂餌・成長の関係を把握する目的で、未開腔仔魚、開腔個体のうち海水面に浮上する仔魚（浮上仔魚）とそれ以外の正常開腔仔魚を類別し、その成長、鰾体積および摂餌数を調べた。仔魚は500 l水槽と大型水槽（80 kl）で9～10日齢まで飼育した。また、仔魚の組織切片を作製し、鰾を観察した。開腔率（開腔仔魚数/調査仔魚数×100）は70～100%を示した。小型水槽と大型水槽とも浮上仔魚は6～7日齢から出現し、大型水槽における平均浮上率（浮上仔魚数/開腔仔魚数×100）は40%程度に達した。浮上仔魚

の鰾は正常開腔仔魚に比較して肥大しており，未開腔仔魚と浮上仔魚の成長と摂餌数は正常開腔仔魚に比較して劣っていた。本研究では，鰾が肥大した仔魚の出現要因については明らかにできなかったが，鰾の異常で浮力を調節できない仔魚は十分に摂餌できず，低い成長率を示すことが示された。

第3章 カンパチ仔魚の初期飼育における適正な日長条件：仔魚の摂餌リズムと種苗量産飼育による検討

実用レベルでの初期飼育における適正な日長条件を明らかにする目的で，24時間連続照明とした小型水槽および大型水槽を用いて1～7時間間隔で仔魚のワムシ摂餌数を調査し，仔魚の摂餌リズムを把握した。また，異なる日長条件（第1回飼育，20日齢まで6～20時までの14時間照明；第2回飼育，15日齢まで6～24時までの18時間照明）で種苗量産飼育を実施した。カンパチ仔魚の摂餌には概日リズムが認められた。また，24時間連続照明下において，仔魚は0時から6時頃の間には積極的に摂餌しない内因性リズムを示した。その結果，種苗量産飼育における仔魚の生残率は18時間照明とした飼育事例で高い傾向がみられ，初期成長も良く，25日齢と取り揚げ時（34～36日齢）に測定した全長は著しく大きかった。したがって，6～24時までの18時間照明が仔魚の摂餌リズムに適合し，生残と成長が改善されたものと考えられた。

第4章 カンパチ種苗生産における仔稚魚の体サイズ差と攻撃行動および共食いの関連

種苗生産飼育におけるカンパチ仔稚魚の攻撃行動および共食いの実態を把握するため，カンパチ仔稚魚の成長，死亡状況，追尾行動とつつき行動および捕食魚と被食魚の体サイズの関係性を調べた。カンパチ仔稚魚の追尾行動は大型個体が稚魚期へ変態する18～19日齢頃から発現した。仔稚魚の体高，口径および口幅から推定した捕食可能サイズと，実際の攻撃個体と被攻撃個体，捕食魚と

被食魚，および共倒れが起こった捕食魚と被食魚の全長の関係より，“攻撃行動および共食い”（追尾行動およびつつき行動，共倒れ，呑み込み）を許す体サイズ差〔捕食魚（10.0～48.8mm）と被食魚（4.4～25.5mm）の全長比〕は，追尾行動およびつつき行動が 0.75 以下，共倒れが 0.63 以下，呑み込みが 0.35 以下であると推定された。飼育魚の体サイズ差および大型個体の稚魚期への変態により攻撃性が発現し，小型個体の死亡に至ることが確認された。

第 5 章 カンパチ仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミア給餌時期の影響

カンパチの種苗生産では，仔稚魚の体サイズ差が原因で攻撃行動および共食いが起こる。本研究では，攻撃行動および共食いによる減耗を防除する対策を明らかにすることを目的として，仔稚魚の体サイズ差に及ぼすアルテミア（以下，Ar）の給餌開始時期の影響を調べた。13，16 および 20 日齢から Ar を給餌する区〔それぞれ T1（平均全長 5.5mm），T2（同 7mm）および T3（同 9mm）〕と給餌しない区（T4）を設け，500 l 水槽で飼育実験を行った。その結果，給餌開始日齢と全長の変動係数の間に負の相関がみられた。T4 は T1，T2 および T3 と比べて成長が劣る傾向にあり，小型魚の割合が多かった。Ar 給餌開始時の摂餌率は T1 が低く，摂餌量は全長 6mm 以降に大幅に増加した。仔稚魚の栄養状態の指標となるタンパク質/DNA 比は T3 が高い傾向にあった。これらの結果から，大型餌料生物に対する捕食能力が低い仔魚群に対して Ar を給餌することは，その後の成長変異の原因になるものと考えられた。

第 6 章 鹿児島湾のカンパチ養殖場における人工種苗の適正な沖出し時期の検討

カンパチの種苗生産技術は近年進展しており，人工種苗を用いた養殖生産体制を構築する段階に入っている。本研究では，魚病発生リスク，生残および成長に影響すると考えられる沖出し時期について適正な時期を把握するため，鹿児島県鹿児島湾において養殖試験を実施した。6 月，8 月，11 月，12 月および

3月に生産した人工種苗をそれぞれ高水温期の8月、水温低下が始まる10月、低水温期の1月（11月と12月採卵の2群）および水温が上昇する4月に全長52～118 mm、体重1.9～19.9 gで養殖場に沖出しを行い、約1～2年間の飼育試験を行った。8月沖出し群は魚病の発症により1ヶ月後に全滅した。10月沖出し群、11月採卵による1月沖出し群、12月採卵による1月沖出し群および4月沖出し群の約1～2年後の生残率は、それぞれ88%、68%、21%、42%となった。出荷開始までの育成期間は10月沖出し群が最短で617日であった。以上の結果から、人工種苗の適正な沖出し時期は水温下降期となる10月と考えられた。

第7章 総合考察

7.1 カンパチの種苗量産技術

カンパチの種苗生産における減耗時期を整理し、大きく2期に区分した。第1期は仔魚が開口する3日齢から10日齢まで、第2期は20日齢以降である。この2期の減耗要因とその防除方法について第2章から第5章で得られた結果に基づき考察し、ここで提案した防除方法によって種苗量産技術が改善され、年間40万尾の種苗を生産できるような安定した種苗の量産が可能になった。また、さらなる種苗量産技術の改善として、仔魚の鰾の肥大現象の原因把握とその防除手法の検討が必要であることを指摘した。

7.2 人工種苗を用いたカンパチ養殖

人工種苗を用いたカンパチ養殖の大きな減耗要因は魚病であり、特に高水温期に発生するイリドウイルス症の被害とその対策について考察した。同様に水温上昇期に発生するビブリオ病と思われる被害とその対策について考察した。イリドウイルス症およびビブリオ病の予防策としてワクチン注射が有効と考えられるが、宿主本来の抵抗力が低下しないような飼育管理を今後模索していくことも重要である。本研究により、年間40万尾の人工種苗を生産できる安定した種苗生産手法が開発され、生産した人工種苗を用いて実際の養殖場で飼育を

行い、適正な時期に沖出しを行えば、輸入種苗と遜色ない生残を示すことを示した。今後は、国産人工種苗の利用を養殖業者と共に普及させていくことが必要である。

謝辞

本研究成果をまとめるにあたり、東京海洋大学の浜崎活幸准教授には終始暖かいご指導と適切なお鞭撻を賜った。ここに深甚なる謝意を表す。また、本論文の校閲ならびに貴重なご助言を賜った東京海洋大学の北田修一教授、ストルスマン・カルロス・アウグスト教授、竹内俊郎教授に深く感謝申し上げます。また、東京海洋大学大学院博士後期課程に同時期に所属した瀬戸内海区水産研究所玉野庁舎の團重樹研究員とは、ともに励ましあい執筆を進めてきた。この場を借りて心から感謝を申し上げます。

本研究は農林水産技術会議による新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「カンパチ種苗の国産化及び低コスト・低環境負荷型養殖技術の開発」における試験研究の一環として実施したもので、この研究総括者である西海区水産研究所まぐろ増養殖研究センター長の虫明敬一博士には叱咤激励を頂きながら、また、同事業のメンバーである西海区水産研究所亜熱帯研究センター長の照屋和久博士には種苗量産技術の基礎を、ならびに増養殖研究所古満目庁舎主幹研究員の浜田和久博士には親魚養成技術の基礎を教えていただき、西海区水産研究所亜熱帯研究センター八重山庁舎の岩崎隆志研究員、増養殖研究所玉城庁舎の松成宏之博士には有益なご意見と絶大なご協力を頂いた。この場を借りて心から感謝を申し上げます。また、鹿児島県水産技術開発センターの中村章彦氏、外菌博人氏、(財)宮崎県水産振興協会の甲斐勲氏の諸氏には研究を進めるにあたり、甚大なるご支援とご協力を頂いた。東京海洋大学大学院海洋生物資源学部の学生であった、鶴岡廣哉氏、片山俊之氏、平田喜郎氏、林知宏氏、今井彰彦氏らとは増養殖研究所上浦庁舎において寝食を共にし、日々の研究に

励んだ。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

生産したカンパチ人工種苗を用いた養殖試験を遂行するにあたり、かごしま JF 販売株式会社原口欣一代表取締役社長および樋口明雄販売事業部長、染川産業株式会社染川雄輔取締役をはじめとする社員の方々には一方ならぬお世話になり、この場を借りて心よりお礼申し上げる。

増養殖研究所志布志庁舎におけるカンパチの種苗生産・研究業務は、同庁舎の職員の協力により遂行されたものである。特に、小田憲太郎研究員（現、開発調査センター）、松田圭史博士（現、増養殖研究所日光庁舎）両氏の協力なしでは研究の完遂は不可能であった。また、当時志布志庁舎の場長であった薄 浩則博士（現、増養殖研究所上浦庁舎）をはじめ、藤本 博グループ長、今泉 均主任研究員、神保忠雄研究員（現、増養殖研究所志布志庁舎）、増田賢嗣博士（現、増養殖研究所南伊豆庁舎）、平井慈恵博士（現、瀬戸内海区水産研究所）職員各位の便宜と激励により執筆を進めることができた。また、志布志庁舎の山元栄一氏、恒吉守一氏、上野裕幸氏、清水武宏氏、春口嵩紘氏、湯地幸枝氏をはじめとする囑託職員各位、並びに桐原久子事務職員には種苗生産・研究業務の補助など大変お世話になった。ここに記して深謝する。

最後に、惜しめない助力と深い理解を下された両親、私を支え続けてくれた妻・香織、また心の支えになってくれた息子・群蔵と産まれたばかりの息子・淳治朗に対し心から感謝する。