黒潮圏科学（Kuroshio Science），**4**－2，153－158，2011

土佐湾に加入するトノサマダイ稚魚の浮遊期間

小栗聡介[1)]・平田智法[2)]・中村洋平[3)]・山岡耕作[3)]＊

要　旨

高知県横浪半島にある横浪林海実験所前海面において、2007年８月～12月と2008年６月～９月の各月に、着底してくるトノサマダイ稚魚を採集し、標準体長30mm以下の96個体について、耳石の礫石の日周輪を解析した。ふ化から着底までの浮遊期間の日数は23～43日となり、個体ごとにその値は大きく異なった。浮遊期の日数は季節や年によっても違いが認められ、2007年の方が2008年より、水温が高い時期ほど、また、黒潮の流路が岸に近づくほど浮遊期が短くなる傾向が認められた。

キーワード：トノサマダイ稚魚、浮遊期間、横浪林海実験所、耳石日周輪

高知県須崎市横浪半島にあるサンゴ群集域には、夏季になると数多くのサンゴ礁魚類の稚魚が加入する。中でもトノサマダイ *Chaetodon speculum* を中心としたチョウチョウウオ科魚類が最も多くみられ、出現個体数の約3割を占める（Yamaoka, 2008）。このように本海域においてはチョウチョウウオ科魚類が数多く存在するものの、本科魚類がいつ、どのようにして来遊・着底しているのかという加入機構については全くわかっていない。

トノサマダイは中部日本～オーストラリアの造礁サンゴ群集域に主に生息することが知られるが（井田，1997）、日置・松永（2003）によると、トノサマダイは沖縄を中心とした南西諸島など南方地域に起源を有する。したがって、高知県沿岸に出現するトノサマダイは南西諸島で産出され、黒潮によって運ばれてきたものと考えられる。

一般に、サンゴ礁魚類の浮遊期の長さは同種でも地域や季節の違いによって異なる（Wellington and Victor, 1992; Searcy and Sponaugle, 2000; Bergenius *et al*., 2005; Bay *et al*., 2006）。その要因の一つとして浮遊期の成長があげられ、浮遊期の水温環境や餌環境が良く、成長が速い個体はそうでない個体よりも浮遊期間が短い（Meekan *et al*. 2003; Sponaugle *et al*. 2006）。例えば、Meekan *et al*.（2003）がオーストラリアのExmouth Gulfで行った研究では、春から夏にかけて水温が高まることで浮遊期が短くなることが明らかにされている。これは水温の上昇によって仔稚魚の餌であるプランクトンの量が増えることで成長が促進され、短期間で着底サイズに達したためと考えられている。一方、Hinrichsen *et al*.（2001）がバルト海で行った研究では、岸向きの風が強まると、そうでない時よりも速く仔魚が沖合域から沿岸域に輸送されるという。したがって、風送流や海流も浮遊期の長さに影響を与えると考えられる。

調査地である高知県横浪半島では季節によって水温が大きく異なるため、浮遊期の成長は季節間で異なる可能性がある。したがって、浮遊期の長さも季節間で異なる可能性がある。また、本海域に加入するトノサマダイが黒潮に乗って運ばれてくるとするならば、黒潮流軸の離接岸によって仔稚魚の岸までの到達距離に変化が生じ、その差異が着底までの浮遊期の長さに影響を及ぼす可能性もある。

そこで本研究では、高知県横浪半島沿岸の土佐湾に加入してくるトノサマダイ稚魚の耳石日周輪を分析することにより、本調査海域に加入するトノサマダイの浮遊期間の季節や年による違いと、水温と黒潮の離接岸と浮遊期間との関係について明らかにすることを目的とした。

調査場所と方法

調査地　本研究は高知県須崎市池ノ浦横浪林海実験所前の海面（北緯33°24’、東経133°24’）で行った（図１a）。調査地は東向きに開いた湾口約500 m、最大水深12 mの入り江で、湾内の南側にはミドリイシ属を中心とした造礁性イシサンゴ類が良く発達したサンゴ

2011年１月５日受領；2011年１月17日受理
１）高知大学農学部水族生態学研究室
783-8502 高知県南国市物部乙200
２）松下パール
798-0082 愛媛県宇和島市長堀1-1-7
３）高知大学大学院黒潮圏科学部門
783-8502 高知県南国市物部乙200
＊連絡責任者　e-mail address: yamaoka@kochi-u.ac.jp

群集域（図１b）、北側には岩礁域・礫域、中央部には砂地が存在している。夏季は台風の接近によりしばしば荒れるが、冬季は半島の山で北西の季節風が遮られて穏やかである。

調査地の水温は季節によって大きな違いが認められ、１月～３月に最低（15～16℃）を、７月～９月にかけて最高（28～29℃）を記録した（図２）。

調査地のサンゴ群集域には、エンタクミドリイシ *Acropora solitaryensis*、スギノキミドリイシ *Acropora formosa*、クシハダミドリイシ *Acropora hyacinthus*、シコロサンゴ *Pavona decussata*、ハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis*、キクメイシ *Favia speciosa*、トゲイボサンゴ *Hydonophora exessa* など約50種のイシサンゴ類が確認されており（深見、未発表）、その中でもクシハダミドリイシが被度で優占している。

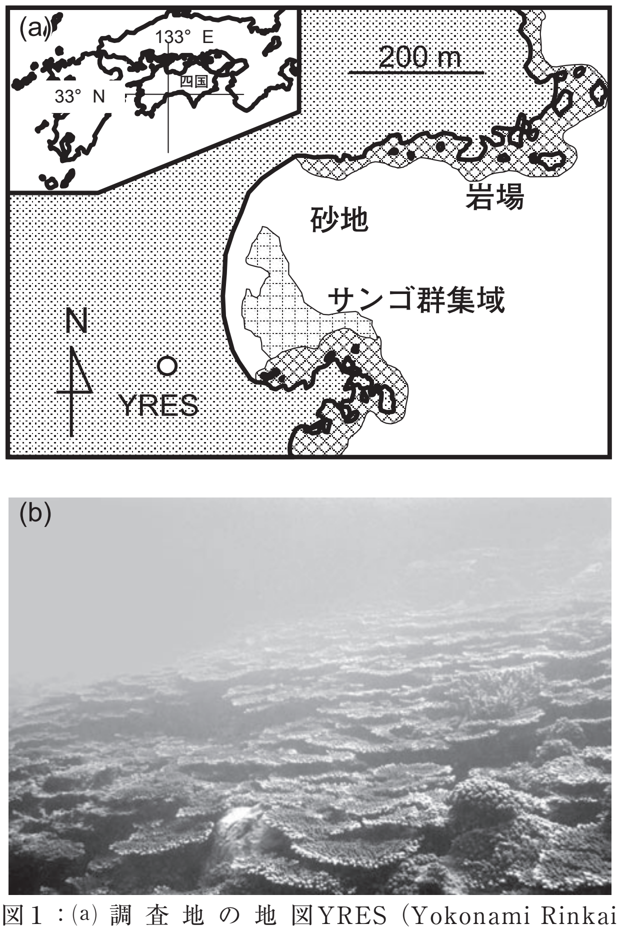

図１：(a) 調査地の地図 YRES（Yokonami Rinkai Experimental Station），(b)調査地点の水中景観

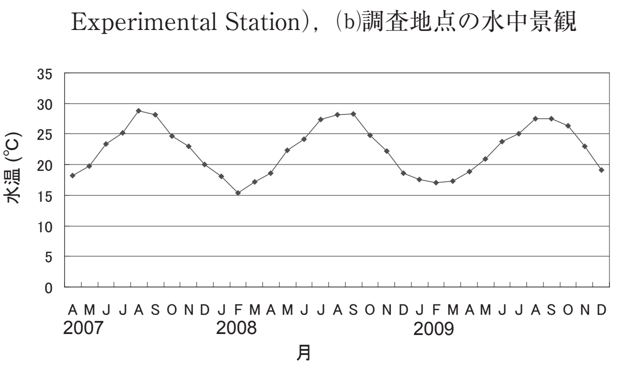

図２：調査地点における水温の経月変化

採集方法と耳石切片の作成　供試魚には本海域に出現するトノサマダイのうち30 mm SL 以下の個体を用いた。採集は2007年８月～12月と2008年６月～９月の各月にSCUBAを用いて行った。採集にはタモ網を使用した。採集された稚魚は麻酔剤で麻酔後アルコールで固定し、実験室に持ち帰り、体長を測定した。礫石は次亜塩素酸ナトリウムを用いて頭部の肉を溶かすことで取り出した。取り出した礫石を樹脂（日新EM）を用いてスライドグラス上に固定した。そして、研磨紙（400番から1500番）を用いて礫石の凸部分から中心部に見られる核の表面まで削り、横断面を作成した。仕上げに0.3 μｍの研磨剤（BUEHLER, MICRO POLISH）を用いて研磨し、日輪を明瞭にした。

日周輪の解析　耳石解析装置（RATOC）を用いて、浮遊期の長さを調べた。耳石にみられる輪紋はFowler（1989）に従い、以下の様に定義した。白い層である成長層と黒い層である不連続層を一組として１輪とした。中心部の核から一輪目にみられる太い輪紋を孵化輪とした。着底リングは孵化輪から数十輪目に見られる他のリングよりも太いリングであり、そのリングから外側の輪紋間隔は急に狭くなっている（図３）。浮遊期の日数は、着底リングが観察されない個体では孵化輪から末端までの輪紋数とし、着底リングが観察されるものでは孵化輪から着底リングまでの輪紋数とした。また、着底リングから縁辺部までの輪紋数を着底後の日数とした。なお、着底直後のトノサマダイ稚魚には、着底リングは観察されない（小栗、未発表）

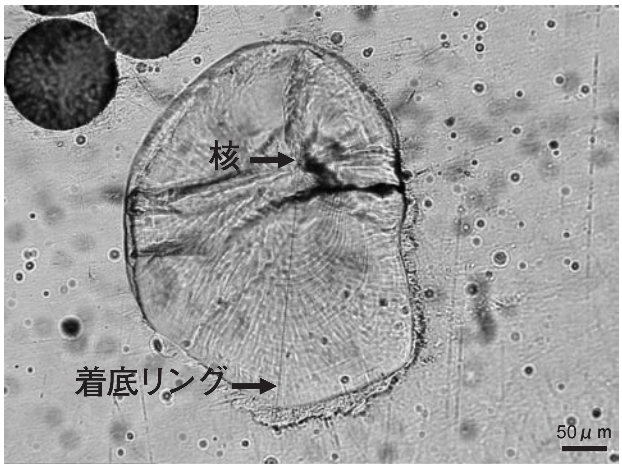

図３：トノサマダイ稚魚の礫石断面

データ解析　1．浮遊期間の月と年の違い　合計96個体のトノサマダイの浮遊期の日数を調べた。個体ごとに採集日から着底後の日数を引くことで着底日を求め、着底した月ごとのグループにわけた。さらに、2007年と2008年においてそれぞれ一元配置分散分析を用いて着底月間で浮遊期の日数に違いが認められるかどうかを調べた。違いが認められた場合、どの月に違いが認められるのかをTukey検定を用いて調べた。また、2007年７月と2008年７月、および2008年９月と2008年９月の間で浮遊期の日数に違いがみられるかどうかを*t* 検定を用いて調べた。

２．水温と浮遊期間の関係　個体ごとに孵化してから着底するまでの間の全ての日の水温の平均値を求めた。そして、水温と浮遊期の日数との関係について月ごとに調べた。水温は黒潮牧場12号ブイで測定した表面水温を用いた（http:// www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/kurosio/indexnew.html）。

３．黒潮の離接岸と浮遊期間の関係　個体ごとに孵化してから着底するまでの間のすべての日の足摺岬から黒潮流軸までの距離の平均値を求めた（http://www1.kaiho. mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/kuroshio_axis.xls）。そして、その平均値によって個体を大きく６つのグループに分けた（10～20マイル、20～30マイル、30～40マイル、40～50マイル、50～60マイル、60～70マイル）。次にグループごとに各月の浮遊期の日数の分布を調べ、黒潮の離接岸と浮遊期の長さの関係について月ごとに比較した。また、浮遊期の長さに有意な違いがみられた月について、足摺岬から黒潮流軸までの平均距離に違いがみられるかどうかをMann-Whitney*U*検定を用いて調べた。

結果

浮遊期間の月と年の違い　浮遊期の日数には月によって有意な違いが認められ（一元配置分散分析, 2007年, $p < 0.01$; 2008年, $p < 0.05$, 図４）、2007年では８月と９月の浮遊期は10月に比べて有意に短かった（表１）。2008年では９月の浮遊期は６月よりも短い傾向がみられた。また、浮遊期の日数には年によっても有意な違いが認められ、2007年の７月と９月の浮遊期は2008年の同じ月よりも短かった（*t*検定, 2007年７月 vs 2008年7月, $p < 0.05$; 2007年9月 vs 2008年9月, $p < 0.01$）。

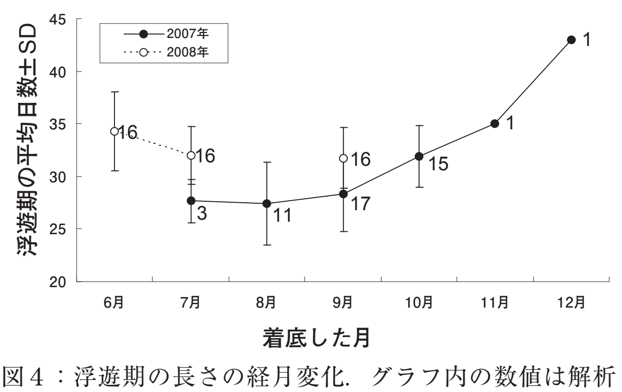

図４：浮遊期の長さの経月変化．グラフ内の数値は解析個体数を示す

表１：2007年および2008年における浮遊期の長さに関する月別比較（Tukey test）

	比較月		有意確率
2007年	7	8	1.00
	7	9	0.99
	7	10	0.20
	8	9	0.92
	8	10	< 0.01
	9	10	< 0.02
2008年	6	7	0.11
	6	9	0.07
	7	9	0.97

水温と浮遊期間の関係　水温は６月から９月まで上昇し、10月以降低下した（図５a）。2007年の８月～10月は11月と12月よりも水温が高く、浮遊期の日数は短かった（図５b）。同様に、2008年の９月は６月よりも水温が高く、浮遊期の日数は短かった。一方、2007年

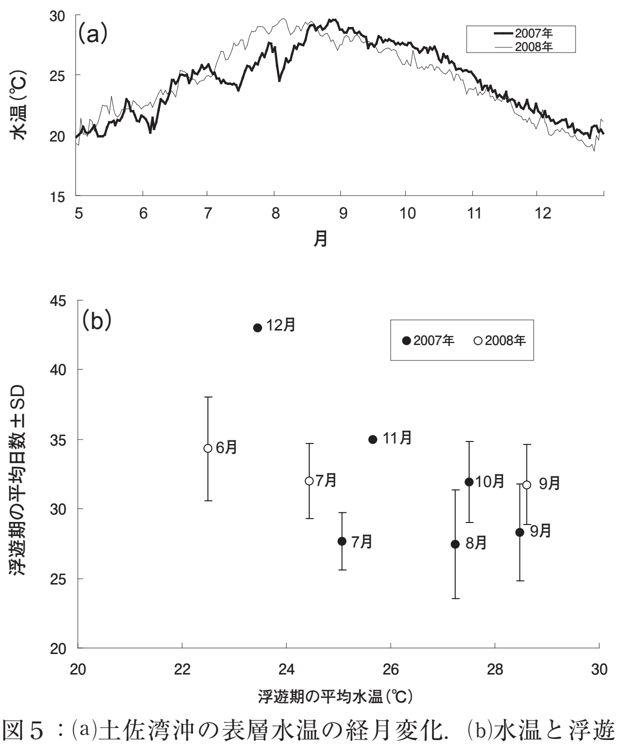

図５：(a)土佐湾沖の表層水温の経月変化．(b)水温と浮遊期の長さの関係

の８月と10月、2007年の７月と2008年の７月、および2007年の９月と2008年の９月の水温はほとんど同じであったものの、浮遊期の日数においてはそれぞれ前者の方が有意に短かった。

黒潮の離接岸と浮遊期の長さとの関係　足摺岬と黒潮の流軸との距離は季節や年によって変動し、2007年の６～９月は2008年の同月の1／2～1／4であった（図６）。また、2007年の個体は足摺岬と黒潮流軸との平均距離が10～20と20～30マイルのグループにのみみられ、2008年は30～70マイルのグループに多くみられた（図７）。黒潮の離接岸と浮遊期の日数との関係についてみてみると、足摺岬と黒潮流軸との平均距離が10～20マイルのグループの浮遊期は他のグループよりも短い傾向を示した（図７）。2007年の８月と10月、2007年

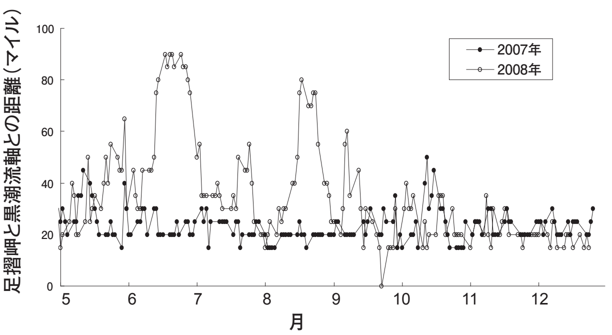

図６：足摺岬と黒潮流軸までの距離の変化

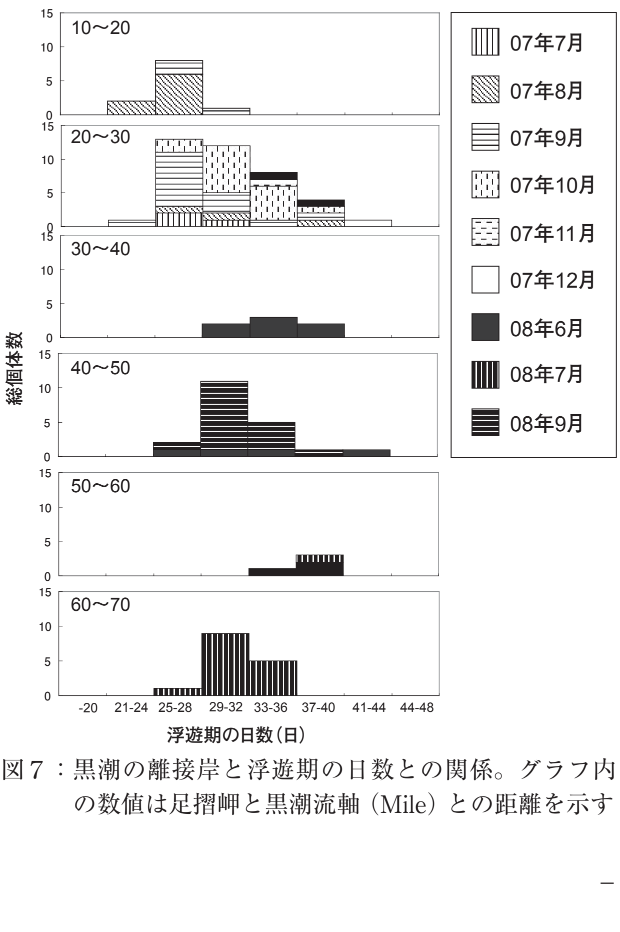

図７：黒潮の離接岸と浮遊期の日数との関係。グラフ内の数値は足摺岬と黒潮流軸（Mile）との距離を示す

表２：黒潮流軸と足摺岬との月別平均距離の比較（Mann-Whitney *U* test）

	黒潮流軸と足摺岬との平均距離（マイル）±SD			黒潮流軸と足摺岬との平均距離（マイル）±SD	有意確率
2007年8月	19.9± 0.69	<	2007年10月	24.0± 1.75	<0.01
2007年9月	21.0± 1.12	<	2007年10月	24.0± 1.75	<0.01
2007年7月	23.73± 0.17	<	2008年7月	63.7± 2.61	<0.01
2007年9月	21.0± 1.12	<	2008年9月	42.8± 1.13	<0.01

の７月と2008年の7月、および2007年の９月と2008年の９月の足摺岬と黒潮流軸との平均距離はそれぞれ前者の方が有意に短く（表２）、また、浮遊期の日数においても有意に短かった（図５）。

考察

トノサマダイの浮遊期間は季節や年によって異なることが明らかとなった。また、本種の浮遊期間は水温が高いほど短い傾向がみられた。その理由として、南日本の太平洋側の沿岸域では水温が高い夏の方が秋よりも餌となる動物プランクトンの生物量が多いことや（Hirota, 1995）、水温が高い方がそうでない時よりも仔稚魚の代謝が良い（Houde, 1974）ことが影響して成長が促進され、短い期間で着底サイズに至ったためと考えられる。しかしながら、水温が同じでも浮遊期間が大きく異なる月もあった。これらの月について、黒潮の離接岸と浮遊期間との関係についてみてみると、黒潮が接岸している時期のトノサマダイの浮遊期間は離岸している時期よりも短いことが明らかとなった。これは、黒潮の接岸時は離岸時と比べて仔稚魚の岸までの到達距離が短くなることが、浮遊期間に影響を及ぼしていると考えられる。例えば、2007年９月は2008年９月よりも浮遊期の日数が約3.45日短く、また、足摺岬と黒潮流軸との平均距離は約21.8マイル短い。トノサマダイと着底時のサイズが似ているスミツキトノサマダイの平均遊泳速度｛約25.1 cm/s（Leis *et al.*, 2003)｝からこの距離の違いを泳ぐのにかかる日数を算出すると、夜間浮遊と過程しておよそ3.7日かかり、これは浮遊期の日数の違いとおおむね一致する。また、黒潮が足摺岬と室戸岬に接岸すると、そうでない時よりも土佐湾内に強い左遷流が生じる（吉田、2002)。この流れが仔稚魚を直接沿岸域に輸送したことも考えられる。

近年、日本の温帯域に来遊するサンゴ礁魚類は海洋環境の変化やサンゴの発達度合いを知る指標生物として扱われることが多い（益田、2009; 田和・竹垣, 2009)。彼らを指標生物とする上で、どのような環境条件の時に稚魚の着底が成功しやすいかを把握することは重要であるものの、これまで日本の温帯域に来遊

するサンゴ礁魚類の加入機構に関する研究はみられなかった。本研究によって、温帯域に来遊するサンゴ礁魚類の浮遊期間は、水温や黒潮の離接岸などによって違いがみられたことから、これらの条件によって稚魚の着底の成功率が異なる可能性が考えられる。今後、温帯域に来遊するサンゴ礁魚類を用いた海洋環境の評価がより正確に行われるためにも、これらの点についても明らかにする必要がある。

以上の結果より、土佐湾沿岸部に加入してくるトノサマダイの浮遊期間は季節や年によって異なり、水温が高いほど、また、黒潮が接岸するほど短い傾向があることが明らかとなった。

謝辞

本研究を実施するにあたり、耳石切片の作成法を教授頂いた西海区水産研究所石垣支所山田秀秋博士に深謝します。耳石解析装置RATOCの使用および横浪林海実験所の使用に関して協力を頂いた高知県水産試験場の皆様に謝意を表します。研究を纏める際に適切な助言を頂いた、稚魚研究会の方々に心から感謝します。

引用文献

Bay, L. K., Buechler, K., Gagliano, M., and Caley, M. J. 2006. Intraspecific variation in the pelagic larval duration of tropical reef fishes. Journal of Fish Biology, 68, 1206-1214.

Bergenius, M. A. J., MxCormick, M. I., Meekan, M. G., and Robertson, D. R. 2005. Environmental influences on larval duration, growth and magnitude of settlement of a coral reef fish. Marine Biology, 147, 291-300.

Fowler, A. J., 1989. Description interpretation and use of the microstructure of otoliths from juvenile butterfly fishes（family Chaetodontidae）. Marine Biology, 102, 167-181.

Hinrichsen, H. –H., John, M. S., Aro, E., Grongkjaer, P., and Voss, R. 2001. Testing the larval drift hypothesis in the Baltic Sea: retention versus dispersion caused by wind-driven circulation. ICES Journal of Marine Science, 58, 973-984.

日置 勝三・松永 正光. 2003. 本邦太平洋および東シナ海沿岸におけるチョウチョウウオ科魚類の分布. 海・人・自然（東海大博研報）, 5, 37-42.

Hirota, Y. 1995. The Kuroshio part Ⅲ. Zooplankton. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review, 33, 151-220.

Houde, E. D. 1974. Effect of Temperature and Delayed Feeding on Growth and Survival of Larvae of Three Species of Sub tropical Marine Fishes. Marine Biology, 26, 271-285.

井田 齊. 1997. 日本の海水魚, 岡村収・尼岡邦夫編, 東京, 山と渓谷社 pp.392-393.

Leis, J. M., Brooke, M., and Carson-Ewart, B. M. 2003. Orientation of pelagic larvae of coral-reef fishes in the ocean. Marine Ecology Progress Series, 252, 239-253.

益田 玲爾. 2009. 若狭湾沿岸の定例潜水でみられる魚類相の季節変化. 日本魚類学会講演要旨, 2009年度日本魚類学会シンポジウム～迫り来る温暖化から魚類を救え！. 148-149.

Meekan, M. G., Carleton, J. H., McKinnon, A. D., Flynn, K., and Furnas, M. 2003. What determines the growth of tropical reef fish larvae in the plankton: food or temperature? . Marine Ecology Progress Series. 256, 193-204.

Searcy, S. P. and Sponaugle, S. 2000. Variable larval growth in a coral reef fish. Marine Ecology Progress Series, 206, 213-226.

Sponaugle, S., Grorud-Colvert, K., and Pinkard, D. 2006. Temperature -mediated variation in early life history traits and recruitment success of the coral reef fish *Thalassoma bifasciatum* in the Florida Keys. Marine Ecology Progress Series, 308, 1-15.

田和 篤史・竹垣 毅. 2009. 長崎県野母崎沿岸の浅海魚類相. 長崎大学水産学部研究報告, 90, 9-18.

吉田 尚郁. 2002. 回転水槽実験から見た黒潮沿岸域の流況変動と海水交換. 海洋. 号外31－黒潮の生物輸送と生産機能, 66-71.

Wellington, G. M., and Victor, B. C. 1992. Regional differences in duration of the planktonic larval stage of reef fishes in the eastern Pacific Ocean. Marine Biology, 113, 491-498.

Yamaoka, K. 2008. Interrelationships among seaweed, fish, hermatypic coral and sea urchin in the Yokonami research site near Kochi city. Kuroshio Science. 2, 73-76.

Pelagic larval duration of juveniles of *Chaetodon speculum* recruiting to Tosa Bay

Sosuke OGURI[1], Tomonori HIRATA[2],
Yohei NAKAMURA[3] and Kosaku YAMAOKA*[3]
[1]Laboratory of Aquatic Ecology, Faculty of Agriculture,
Kochi University, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan
[2]Matsushita Pearl, 1-1-7 Nagahori, Uwajima,
Ehime 798-0082, Japan
*[3]Graduate School of Kuroshio Science,
Kochi University, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan

Abstract

Juveniles of *Chaetodon speculum* were sampled at the water in front of Yokonami Rinkai Experimental Station facing Tosa Bay during August to December, 2007 and June to September, 2008. Daily rings of the lapillus of 96 individuals smaller than 30mm SL were analyzed. The number of the daily rings before settlement was from 23 to 43, showing high individual variation regarding the pelagic larval duration. The pelagic duration differed seasonally and annually, and the duration in 2007 was shorter than in 2008. The higher the water temperature was and the nearer the Kuroshio Current was to the coast, the shorter the pelagic larval duration became.

Key word:
Juveniles of *Chaetodon speculum*, Pelagic duration, Tosa Bay, Daily ring