

養成クロマグロの産卵に及ぼす水温の影響

升間主計^{*1,6}, 手塚信弘^{*2}, 小磯雅彦^{*2}, 神保忠雄^{*3}, 武部孝行^{*1}, 山崎英樹^{*4}, 尾花博幸^{*5},
井手健太郎^{*1}, 二階堂英城^{*1}, 今泉均^{*1}

Effects of Water Temperature on Bluefin Tuna Spawning Biology in Captivity

Shukei MASUMA^{*1,6}, Nobuhiro TEZUKA^{*2}, Masahiko KOISO^{*2}, Tadao JINBO^{*3},
Takayuki TAKEBE^{*1}, Hideo YAMAZAKI^{*4}, Hiroyuki OBANA^{*5},
Kentarou IDE^{*1}, Hideki NIKAIDO^{*1}, and Hitoshi IMAIZUMI^{*1}

Abstract Effects of water temperature on the periodicity of spawning, egg size, and spawning time were examined for the bluefin tuna *Thunnus orientalis* in captivity. Spawning of bluefin tuna was observed for the period between May 13 and November 10, which is a longer spawning duration than the previous reports for bluefin. The spawning pattern suggested that the initiation and duration of spawning are affected by a rapid change of water temperature (WT) from 23 °C before spawning. The quick increase in the WT from 23 °C induces early spawning and it continues for a longer duration. Mean egg diameter ranged from 0.90 ~ 1.06 mm and the minimum egg size was 0.83 mm. There was a strong inverse relationship between egg diameter and WT. In this study spawning was observed between 17:31-23:36. Spawning of bluefin as late as 23:30 has not been reported in past studies. A strong correlation between WT and spawning time was observed (as WT increased the time of spawning became later). In this study, it was apparent that water temperature strongly influenced the periodicity of spawning, egg size, and spawning time of bluefin. This information could be vital for managing broodstock of bluefin tuna.

Key words: bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, spawning in captivity, spawning duration, spawning initiation, egg size, spawning time, water temperature

我が国にとってマグロ類は極めて重要な水産資源であるとともに、広域回遊魚として広く世界に分布するため、関係各国からも強い関心が示されている。特にクロマグロ *Thunnus orientalis* は他のマグロ類に比べ

て大型で魚価が高いため、国際的な漁業資源として位置付けられ、その保存・管理措置について厳しい議論がある。このようにマグロ漁業への規制が提唱される一方で、日本は世界的規模で本種の漁業を行い、最も

2006年1月6日受理 (Accepted on January 6, 2006)

*1 奄美栽培漁業センター 〒894-2414鹿児島県大島郡瀬戸内町依崎山原955-5 (Amami Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Setouchi, Oshima, Kagoshima 894-2414)

*2 能登島栽培漁業センター 〒926-0216石川県七尾市能登島曲町15-1-1 (Notojima Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Notojimagari, Nanao, Ishikawa, 926-0216)

*3 南伊豆栽培漁業センター 〒415-0156静岡県賀茂郡南伊豆町石廊崎183-2 (Minamiizu Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Minamiizu, Kamo, Shizuoka, 415-0156)

*4 屋島栽培漁業センター 〒761-0111香川県高松市屋島東町234 (Yashima Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Yashimahigashi, Takamatsu, Kagawa, 761-0111)

*5 水産総合研究センター本部 〒220-6115神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3 (Fisheries Research Agency, Minatomirai, Nish, Yokohama, Kanagawa, 220-6115)

*6 現所属: 宮津栽培漁業センター 〒626-0052京都府宮津市小田宿野1721 (Miyazu Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Odashukuno, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan. TEL: 0770-25-1306. Fax: 0772-25-1307. Email: masuma@fra.affrc.go.jp)

消費が多いことから、資源保護に関して責任ある立場を求められている。その意味においても、日本がクロマグロ資源管理の一環として、栽培漁業を用い本種の資源増大へ貢献することは非常に重要な意義があると考えている。

(独)水産総合研究センター奄美栽培漁業センターでは、栽培漁業を進める上で重要である養成クロマグロの成熟・産卵生態について把握し、良質な卵を安定的かつ大量に採卵する技術の開発を進めている。親魚の成熟、産卵に関して、環境要因が大きく関わっていることが知られているが(古川, 1991), 以下、養成クロマグロの産卵に関して、特に、産卵期間、卵径および産卵時刻に対する水温の影響を検討したので報告する。

材料および方法

親魚

本研究に用いた養成クロマグロの親魚群をTable 1に示す。1987年と1988年に高知県沖で7～8月に漁獲され、奄美大島の民間養殖業者によって育てられた群を、1997年3月に奄美栽培漁業センター(当時、日本栽培漁業協会)地先の直径40m円型生簀網(Fig. 1)に收容して飼育を行った(G-1)。なお、年級群の混合比率は不明である。G-2及びG-3は1993年に高知県沖で8月に漁獲され、沖縄県本部町の民間養殖業者によって約1年間育てられ、1994年6月に189尾を当センター地先の40m円型生簀網に收容して飼育を開始した。1995年9月に95尾を湾の奥と沖側を網で仕切った飼育施設(以下、仕切網)へ移し、これをG-3とし、生簀網に残った群れをG-2として飼育を継続した。G-4は1996年8月に高知県沖で漁獲され、10月に当センター地先の40m円型生簀網に收容して飼育を開始した。G-5は1999年8月に高知県沖で漁獲され、9月に122尾を20m円型生簀網へ收容して飼育し、2003年4月に40m生簀網へ移して飼育を継続した。なお、伊藤(2004)が耳石日輪の解析から求めた日齢と尾叉長の関係に基づき、高知県沖で漁獲されるヨコワ(クロマグロ幼魚)は孵化時期が約2～2.5ヵ月前と推定されることから、6月1日を誕生日とし、便宜的に親魚群の年齢を決めた。しかし、産卵が5月から開始された場合には混乱を避けるために、加齢後の年齢で示した。

産卵の確認と採卵方法

産卵の確認は5月初旬から開始した。午後6時頃から9時頃まで筏上に待機し、親魚の行動を観察しつつ、適宜、表層をタモ網で掬い、浮上した卵の確認等を行いながら産卵の開始を待った。なお、予め生簀網内で産卵された卵が浮上して生簀網の網目から流出しない

ように、生簀網の内側に深さ約2mのビニールシートを張った。仕切網ではそのようなことは行わなかった。生簀網では産卵後に海表面に浮いた卵をタモ網(テトロン布製)または巻き網(ナイロン製ネット[70メッシュ]、深さ55cm、長さ53m、上部に発泡製丸棒フロート[直径30mm]、下部に鉛入りロープ[80g/m])を用いて採取した(Fig. 2)。また、仕切網での採卵は、目視で産卵を確認した後、曳き網(枠の大きさ:130×70cm、網の長さ:180cm、網はナイロン製ネット[50メッシュ])をボートの舷側に取付け、微速で前進しながら表層に浮いた卵を採取した(Fig. 2)。

卵径の測定

採取した卵から浮上卵のみを採り、産卵親魚群毎に17～242粒の卵径を、ビデオマイクロメーター(VM-30、オリンパス(株)、東京)を用いて光学顕微鏡(BX-40、オリンパス(株)、東京)下で測定し、平均値をその卵径とした。

産卵の観察と産卵時刻の推定

産卵を開始する前に筏で待機し、親魚の行動を観察したが、2～3カ所に親魚を養成していた年では、1カ所の採卵が終了して次の親魚群へ移動した時には既に産卵が終わっている場合もあった。産卵は激しい追尾行動の後、生簀網または仕切網内の表層で観察され、その直後に卵が認められた場合に、その時刻を産卵時刻とした。1回目の産卵後も産卵が断続的に観察される場合もあったが、今回の検討では最初に観察した産卵行動をその日の産卵時刻とした。また、前述のように産卵確認が遅れた場合や生簀網内の低層から中層で産卵が行われ明確な産卵行動が観察されず、表層に浮上した卵で産卵を確認した場合には、その時の表面水温をもとに、受精から観察時の発生段階までの時間を以下の式を用いて算出し、産卵時刻を推定した(升間, 未発表)。

$$2 \text{ 細胞期: } Y = 198.8e^{-0.0584X} \quad r = -0.966 \quad P < 0.05 \quad n = 4$$

$$4 \text{ 細胞期: } Y = 365.9e^{-0.0707X} \quad r = -0.983 \quad P < 0.05 \quad n = 4$$

$$8 \text{ 細胞期: } Y = 598.3e^{-0.0799X} \quad r = -0.997 \quad P < 0.01 \quad n = 4$$

$$16 \text{ 細胞期: } Y = 898.4e^{-0.0875X} \quad r = -0.983 \quad P < 0.05 \quad n = 4$$

$$32 \text{ 細胞期: } Y = 854.9e^{-0.0798X} \quad r = -0.995 \quad P < 0.01 \quad n = 4$$

$$\text{初期桑実期: } Y = 1084.2e^{-0.0817X} \quad r = -0.998 \quad P < 0.01 \quad n = 4$$

$$\text{後期桑実期: } Y = 1345.6e^{-0.0810X} \quad r = -0.996 \quad P < 0.01 \quad n = 4$$

Xは表面水温、Yは受精からの経過時間(分)を示す。

環境測定

環境観測は朝9時から10時の間に行った。水温はメモリー水深・水温計(ABT-1, アレック電子(株), 東京)を用いて1m毎に測定した。なお、日照、天候等の影響を受けやすい表面水温でなく、比較的安定し

Table 1. Age, size, and collection information for bluefin broodstock.

Year class	Broodstocks	Facilities for captivity	Date	Age	Number (inds.)	At commencement		Remarks
						Body weight (kg)		
1987, 1988	G-1	ø 40m Circular sea pen	1997. 3.23	8+9	17	250*		Before introduction to our sea pen, this group had been captured on the offshore of Kochi in 1987 and 1988, after that maintained for 8-9 years by marine farmer of Amami
1993		ø 40m Circular sea pen	1994. 6. 8	1	189	8.3		Before introduction to our sea pen in 1994, this group had been captured on the offshore of Kochi in 1993 and maintained at a private farm in Okinawa for one year. After about 16 months after introduction, 95 out of 172 fishes survived till then were moved to the barrier net closed cove
	G-2	Ditto	1994.10.16	2	77	46*		
	G-3	Barrier net closed cove			95			
1996	G-4	ø 40m Circular sea pen	1996. 9. 3	0	291	0.3		Before introduction to our sea pen, this group had been captured on the offshore of Kochi
1999	G-5	ø 40m Circular sea pen	1999. 9. 7	0	122	0.5		Ditto

* body weight estimated

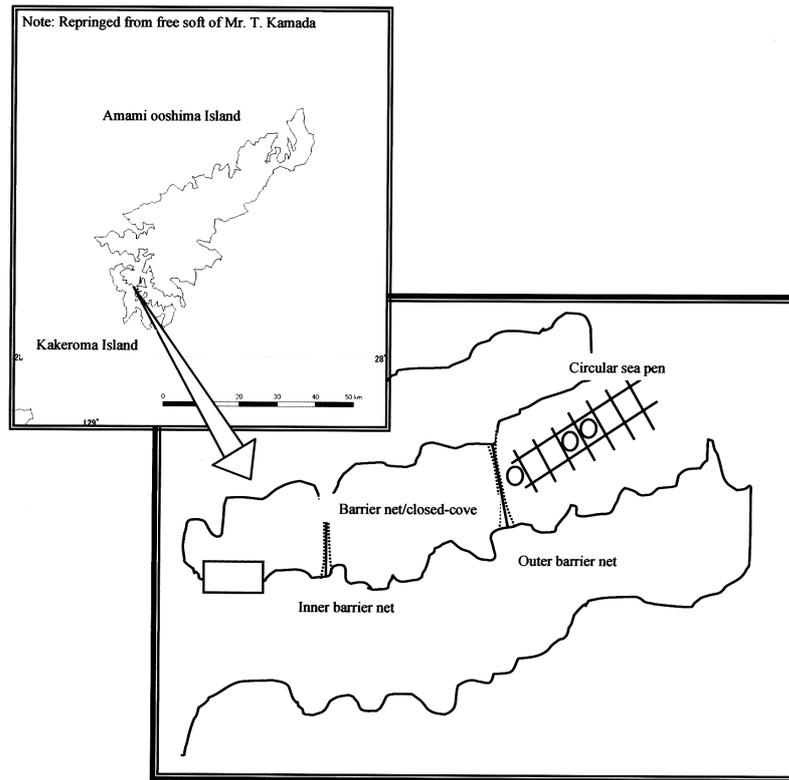


Fig. 1. Location of the Amami Station of National Center for Stock Enhancement.

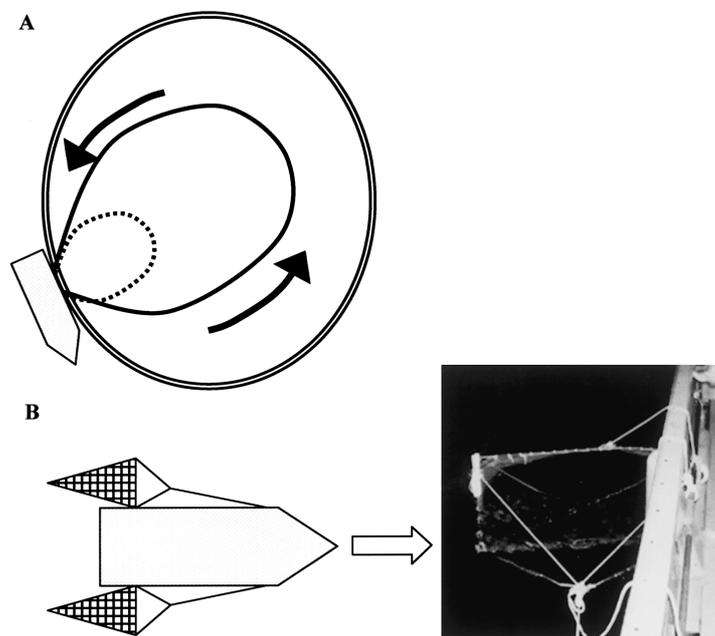


Fig. 2. A: Method of egg collection at the circular sea pen with the long egg seine and dip net. B: Egg collection at the barrier net closed cove by towing two nets attached to both sides of a boat just after spawning. A dip net also has been used. This method has been using for collecting eggs since 2002. From 1999 - 2002, a single towing net was used. In 1998, when spawning first occurred in the barrier net closed-cove, we used an egg seine and dip net to collect eggs.

ている水深10mでの測定値をその時の水温とした。

統計解析

統計解析には統計ソフトStatViewを用い、回帰分析、フィッシャーの r の Z 変換による相関係数の検定を行った。時刻を検討する際はMicrosoft Excel (Microsoft Office XP Personal) の時刻形式を標準に変換した数値を用いて、回帰分析等の解析を行った。この場合、回帰式で得られた数値を時刻形式に変換することで時刻が得られる。統計的な有意差は危険率 0.05以下で評価した。

結 果

産卵期間

クロマグロ養成海域 (Fig. 1) での水温変化をFig. 3に示した。年平均は23.7~24.9℃, 最低が19.2℃, 最高が29.8℃であった。年によるばらつきが大きく、各年間では季節によって約1~4.5℃の差があり、特に、8月の温度差が大きかった。次いで、9月、6月が大きく、この時期は台風と梅雨の時期にあたっている。

Table 2 に産卵状況を示した。産卵開始日は5月13日から8月3日、産卵終了日は7月6日から11月10日と年や親魚群により異なった。また、1シーズンの産卵日数も2~74日とばらつきがあった。産卵開始時の水温は23.5~29.0℃, 終了時水温は24.3~29.6℃であった。

産卵開始日、産卵期間および産卵日数と水温の関係

を調べるために、その年に初めて21℃, 22℃, 23℃に水温が達した日からそれぞれ22℃, 23℃, 24℃に達するまでの日数と、産卵が23℃以上で行われたことから、23℃から産卵を開始するまでの日数、さらに産卵期間、産卵日数についてそれぞれ回帰分析、相関係数の検定を行った。なお、産卵の多くが夜暗くなってから行なわれていることから、産卵された卵を全て回収しておらず、また、卵の採集には天候条件 (風雨など) の影響を大きく受ける他、生簀網内に侵入したミズン *Herklotsichthys quadrimaculatus* (平均体重31.8g) が産卵直後に1尾当たり3,000~4,800粒を摂餌しているなど、小魚による食害が多く、採卵数が産卵数を正確に反映していないため、採卵数については解析を行わなかった。

Fig. 4 に水温23℃から産卵開始までの日数と、22℃および23℃から24℃に達するまでの日数との関係を示した。22℃から24℃に達するまでの日数との間に有意な相関は認められなかったが ($P > 0.05$), 相関係数は0.539と、両者に正の相関が窺えた。23℃から24℃に達するまでの日数との間には強い正の相関が認められ ($P < 0.01$), 23℃に達してから24℃までの水温上昇が短い日数であるほど、産卵開始までの日数が短く、長くかかるほど産卵開始が遅れることが示唆された。なお、他の解析結果ではいずれも相関が認められなかった。また、23℃から産卵開始までの日数と産卵期間、産卵日数との間の相関を調べたところ、産卵日数との間には有意な

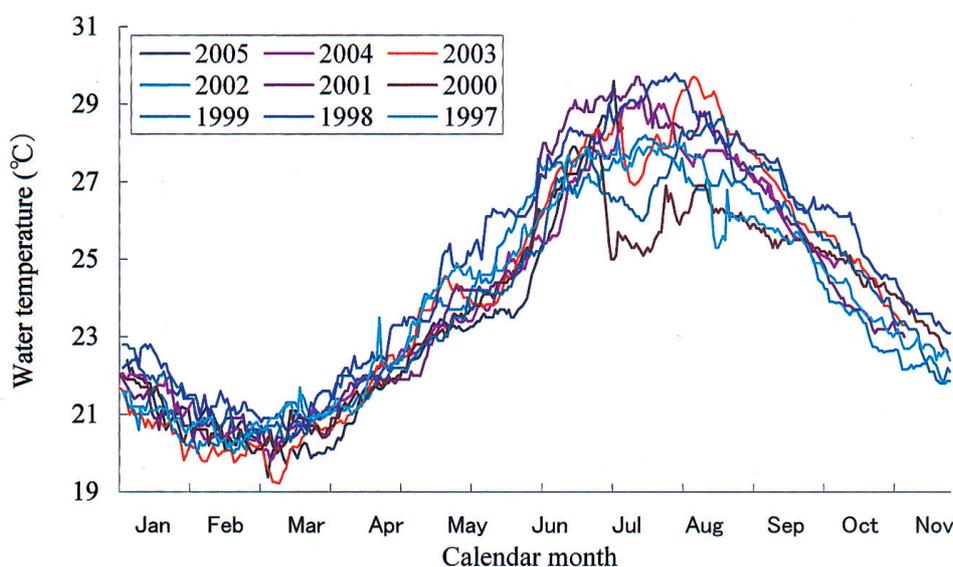


Fig. 3. Seasonal changes of water temperature at 10 m depth around the broodstock sea pen.

Table 2. Summary of results for bluefin tuna spawning.

Year	Group names	Ages estimated	Spawning period (Days)	Number of broodstock ¹	Total eggs collected (X10 ⁴)	Mean percentage of buoyant eggs (Ranges %)	Mean percentage of eggs hatching normally (Ranges %)
1997	G-1	9 + 10	5.13 ~ 7.12 (25)	17	433	99.1 (68.6 ~ 100)	83.3 (58.3 ~ 100)
1998	G-1	10 + 11	5.23 ~ 8.13 (49)	7	17,430	98.1 (89.7 ~ 100)	87.6 (26.3 ~ 100)
	G-2	5	7.28 ~ 8.24 (19)	48	1,256	99.1 (88.2 ~ 100)	91.1 (65.6 ~ 100)
	G-3	5	8.3 ~ 8.22 (8)	74	435	100 (96.7 ~ 100)	83.6 (23.8 ~ 98.5)
1999	G-1	11 + 12	6.21 ~ 8.7 (13)	3	2,028	93.3 (71.9 ~ 100)	58.3 (26.1 ~ 90.4)
	G-2	6	6.29 ~ 9.14 (45)	45	480	96.7 (0 ~ 100)	83.9 (46.6 ~ 97.1)
	G-3	6	5.27 ~ 9.14 (32)	73	1,750	97.6 (88.2 ~ 100)	64.9 (7.1 ~ 96.5)
2000	G-2	7	6.22 ~ 10.27 (32)	35	1,994	99.2 (92.9 ~ 100)	81.3 (0 ~ 96.8)
	G-3	7	6.10 ~ 9.29 (19)	68	2,218	96.6 (79.2 ~ 100)	72.9 (2.8 ~ 94.2)
2001	G-2	8	5.25 ~ 7.18 (17)	32	1,633	87.7 (40.0 ~ 100)	82.9 (41.1 ~ 97.6)
	G-3	8	5.28 ~ 11.10 (22)	63	1,246	97.1 (88.9 ~ 100)	75.3 (20.8 ~ 95.2)
	4	S	5.27 ~ 8.28 (23)	96	54	94.5 (59.1 ~ 100)	79.6 (31.1 ~ 96.8)
2002	G-2	9	6.3 ~ 7/6(10)	22	823	88.8 (62.5 ~ 100)	86.3 (77.1 ~ 93.0)
	G-3	9	5.13 ~ 9/29 (44)	54	36,392	94.9 (46.1 ~ 100)	79.2 (11.1 ~ 98.4)
	G-4	6	5.14 ~ 9/17 (74)	75	10,998	93.2 (51.3 ~ 100)	76.0 (0 ~ 95.7)
2003	G-2	10	-	10		No spawning	
	G-3	10	5.19 ~ 6.23 (8)	53	1,175	94.4 (78.9 ~ 100)	65.4 (5.6 ~ 90.2)
	G-4	7	6.30 ~ 8.26 (41)	65	5,308	96.0 (78.9 ~ 100)	78.8 (40.8 ~ 90.7)
2004	G-2	11	-	2		No spawning	
	G-3	11	6.6 ~ 7.18 (5)	53	555	100.0	69.6 (52.6 ~ 83.7)
	G-4	8	-	55		No spawning	
	G-5	5	7.16 (1)	49	152	100.0	65.1
2005	G-3	12	-	ca. 20 ²		No spawning	
	G-4	9	-	12		No spawning	
	G-5	6	7.15 ~ 7.16 (2)	40	8	100.0	85.2 (83.2 ~ 87.2)

¹ shows number of fish in broodstock shows it at date started to spawn.² shows number determined with scuba diving.

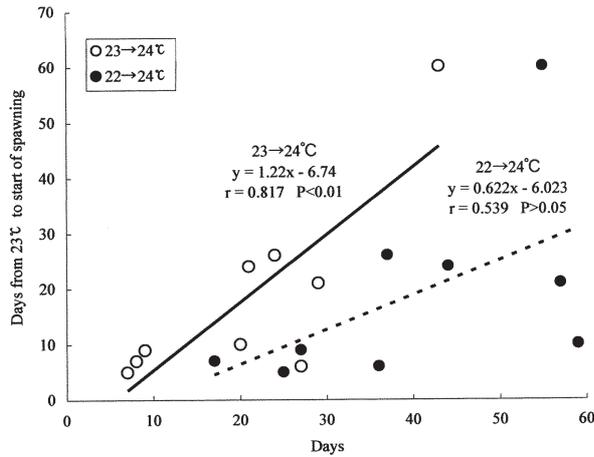


Fig. 4. Relationships between days elapsed from the first occurrence of water temperatures of 23 to start of spawning and elapsed days from 22 or 23 to 24 .

相関が認められなかったが ($P > 0.05$), 産卵期間との間には有意な負の相関が認められた ($P < 0.05$) (Fig. 5). すなわち, 23 に達した後, 短期間に産卵に達したとき, 産卵期間が長くなることが示唆された。

卵径の変化

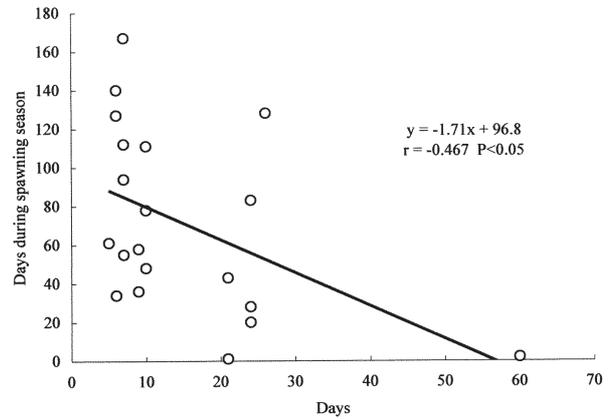


Fig. 5. Relationship between duration of the spawning season and days elapsed from 23 degrees at the start of spawning.

Fig. 6 に全ての卵径データを示した。ばらつきは見られるものの, 卵径は産卵初期に大きく, 産卵の進行に伴い徐々に小型化し, その後再び大きくなる傾向が認められた。卵径の範囲は0.90 ~ 1.06mmであった。測定した卵の内, 最小は0.83mm, 最大は1.16mmであった。

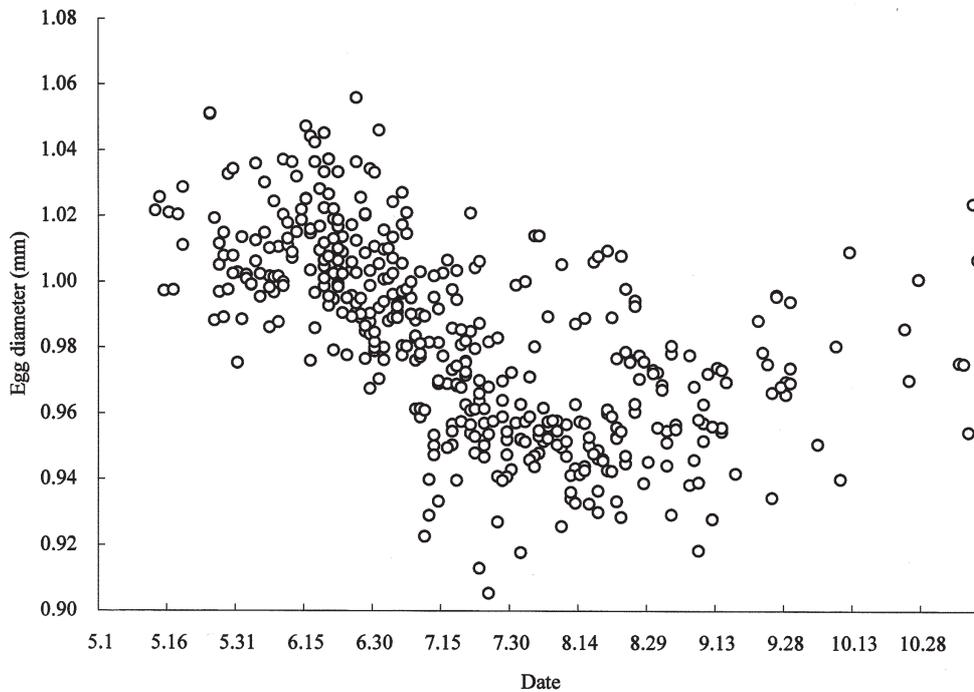


Fig. 6. Egg diameter for each spawning event of bluefin tuna.

Table 3. Results of simple regression analysis between water temperature and mean egg diameter at each data sets obtained from bluefin spawning in captivity.

Year	Group names	Ages estimated	Correlation coefficients	Number of data sets	Slopes	Intercepts	Value of probability	Remarks
1998	1	10 + 11	0.795	39	- 0.0150	1.39	< 0.01	**
	2	5	0.482	10	- 0.0125	1.31	0.16	NS
	3	5	0.206	5	0.0057	0.787	0.74	NS
1999	1	11 + 12	0.802	13	- 0.0150	1.38	< 0.01	**
	2	6	0.789	43	- 0.0235	1.62	< 0.01	**
	3	6	0.712	29	- 0.0135	1.32	< 0.01	**
2000	2	7	0.416	33	- 0.0136	1.35	0.016	*
	3	7	0.370	16	- 0.0049	1.11	0.159	NS
2001	2	8	0.908	14	- 0.0160	1.42	< 0.01	**
	3	8	0.722	21	- 0.0159	1.39	< 0.01	**
	4	5	0.862	16	- 0.0216	1.57	< 0.01	**
2002	2	9	0.384	8	- 0.0051	1.14	0.348	NS
	3	9	0.769	38	- 0.0136	1.34	< 0.01	**
	4	6	0.844	61	- 0.0246	1.63	< 0.01	**
2003	3	10	0.334	8	- 0.0239	1.61	0.419	NS
	4	7	0.786	40	- 0.0192	1.50	< 0.01	**
		Whole	0.753	394	- 0.0150	1.38	< 0.01	**

Note: ** significant at the 1% probability level
 * significant at the 5% probability level
 NS not significant

水温を説明変数、卵径を目的変数として、各年度、親魚群別に行った単回帰分析の結果をTable 3に示した。16例の内5例を除いて、水温と卵径の間に高い負の相関関係が認められた ($P < 0.05$) (Fig. 7)。相関が認められなかった5例はG-3(7歳)を除いて、いずれもサンプル数が少ないか、あるいは産卵期間が短く、水温範囲が狭かった。有意差の認められた11例の回帰直線について回帰直線の比較 (Snedecor and Cochran, 1988) を行ったところ、各回帰直線の回帰係数間に有意差が認められたことから ($P < 0.05$)、産卵群・産卵年度において水温と卵径との回帰関係がそれぞれ異なることが示唆された。このことは同じ水温の変化でも卵径の小型化の傾向に違いがあることを示している。

産卵時刻の変化

水温と産卵時刻の関係を調べる前に、産卵時刻の推定方法の確かさを検討するために、実際に産卵を確認した58例を用いて、その時刻と実験室で卵の発生段階を調べ、採卵時の水温から推定した産卵時刻との誤差を観察時の発生段階毎に検討した (Fig. 8)。その結果、産卵後から発生が進むほどに、誤差が大きくなる傾向が認められたが、ほぼ20分前後の誤差で推定できることが確認できた。そこで、実際の産卵時刻および推定

産卵時刻を区別せず、込みにして以下の検討を行った。

水温と産卵時刻の相関および回帰を調べ、Fig. 9 ~ 12に示した。なお、親魚群G-1では1997、1998年と1999年、G-3では1998~2001年と2002、2003年の産卵時刻で2つの回帰が想定されたことから、それぞれ別々に検討した。図に示されたように、全ての産卵において、産卵時刻と水温に強い正の相関関係が認められた ($r = 0.593 \sim 0.839$, $P < 0.01$)。なお、G-1とG-3で1つの回帰を想定した時の相関係数はそれぞれ0.522と0.650でいずれも高い相関が認められた ($P < 0.01$)。しかし、G-1、G-3それぞれ2本の回帰式を推定した時の残差平方和の合計は0.0279、0.0905で1本の回帰式を推定した場合の残差平方和0.122、0.359に比べて小さく、2本の回帰を想定する方が妥当であると考えられた。

考 察

産卵期間

本種の産卵期間については、生殖腺熟度指数や仔稚魚の分布から、日本の南方海域では4月下旬から5月上旬に始まり、6月中旬までが盛期で、6月下旬には産卵活動は低下し、7月には終息すると考えられる (藤

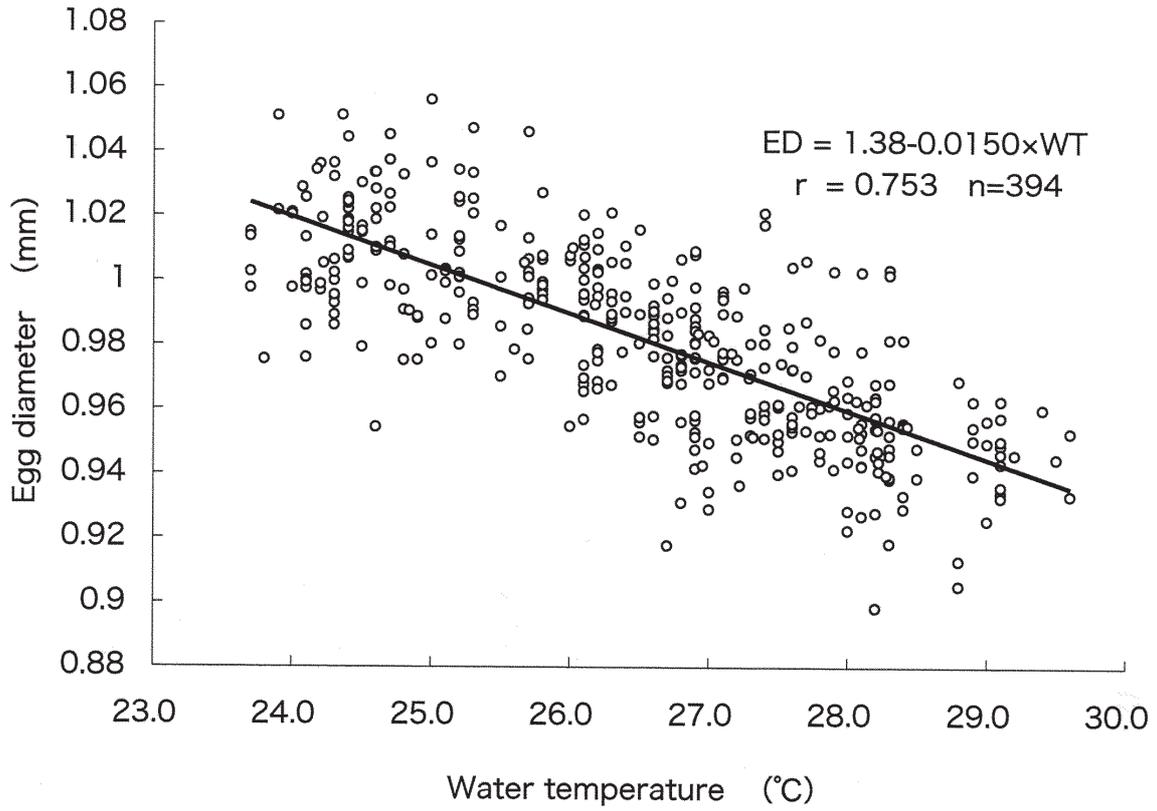


Fig. 7. Relationship between egg diameter and water temperature for bluefin tuna.

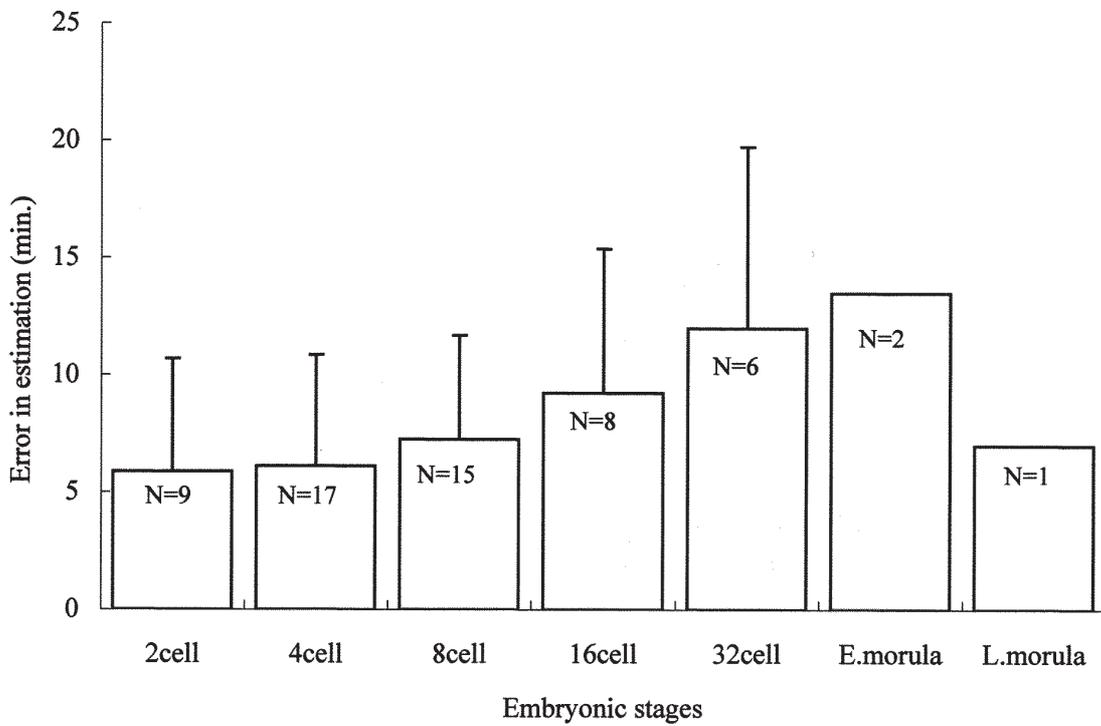


Fig. 8. Errors in estimation of spawning time at each embryonic stage observed. Vertical bars are standard deviations.

田, 1998)。また, 伊藤 (2004) は, 4 ~ 5 月に中型魚が黒潮反流域に集中して産卵した後, 6 月に急速に逸散すること, 7 ~ 8 月に日本海に來遊した中型成魚は北上しながら産卵することなどを報告している。産卵水温に関しては, 南西諸島周辺の主産卵場における表面水温は18.6 ~ 30.0 で仔魚の出現した水温範囲は23.5 ~ 29.5, 日本海での仔魚が多く出現する水温範囲は24 ~ 27 であった, などの報告がある (西川, 1990)。

養成魚の産卵期間とその時の水温は, 和歌山において, 6月20日から7月16日で水温21.8 ~ 25.6 (原田ら, 1979), 6月中旬から8月中旬までの2ヶ月間で21.9 ~ 29.2 (宮下ら, 2000), 愛媛県宇和島において, 6月5日から8月25日で20.0 ~ 26.5 (遠藤, 1995), 奄美大島では6月29日から8月4日で25 ~ 29 (瀬岡ら, 2004), などの報告がある。

本研究では年, 親魚群によって異なるが, 9年間では, 5月13日から11月10日に産卵が認められ, この時の水温は23.7 ~ 29.7 であった。産卵開始がこれまでの報告よりも早く, 終了時期は既報より2ヵ月以上も長かった。産卵水温は既往の天然および養成における産卵水温の報告と一致した。

天然での産卵開始水温に関する報告はないが, 南西諸島および日本海での仔魚の出現水温の下限がそれぞれ23.5および24 であることから, この値を天然での産卵開始水温とすると, 奄美での産卵開始水温とほぼ一致する。串本では21.8 で産卵を開始した例があり, 天然での観察や我々の結果と比べて低い (宮下ら, 2000)。しかし, 産卵は6月23日で, 奄美での産卵開始期間 (5月13日から8月3日) の範囲内にあった。

産卵の開始要因について, 宮下ら (2000) は水温の上昇と光周期の長日化と考えた。また, 開始条件として, 5月中旬に21.5 以上に上昇し, それより低下しない場合, 5月に20 以上の水温を経験した後, 6月に21.5

以上の日が2週間以上連続した場合, および7月中旬から8月にかけて23 以上を保った場合を挙げている。

本研究でも水温上昇に着目して検討したところ, 産卵開始時期, 産卵期間と23 からの水温上昇の状況との間に強い相関を示すことが分った。すなわち, 23 からの水温上昇が急であるほど, 産卵開始が早まり, 産卵期間も延長し, 逆に, 水温上昇が緩慢であれば, 産卵開始時期が遅れることが示唆された。2005年の例は, 23 から24 に達した期間が43日と最も長く, このように長すぎる場合には, ほとんど産卵しない場合もありうることを示唆している。この年の死亡魚の卵巣観察から, 卵黄形成が進行した卵巣卵が最終成熟せずに, そのまま退行した可能性が推測された。また,

産卵期間が延長されるのは, 適切な水温上昇によって, 5月から6月初旬の早い時期に産卵が始まり, 健全な成熟状態が維持されるために期間が延長されるためであろうと考えられた。

産卵の終了について, 宮下ら (2000) は産卵開始とは逆に, 水温の下降と光周期の短日化が要因であると考へた。一方, 伊藤 (2004) は耳石日輪による産卵日の推定から, 水温の下降と短日化が進んでいる9月以降での産卵を示唆している。本研究においても, 7月から8月中旬までに産卵を終了した例があり, 他の要因の可能性も考へる必要がある。

本研究では年, 親魚群別を含めて20例の産卵例があり, その内7例が9月以降も産卵し, 4例は8月下旬まで産卵が続いた。特に, 2001年の親魚群G-3では11月10日まで産卵が続いた。この時の水温は産卵を開始した水温と同じ24.3 であった。この結果から, 本種の産卵の終了が主に水温の下降と光周期の短日化にあることが想定されるが, 短日化要因は水温の下降要因に比べて産卵抑制への影響が弱い可能性がある。

卵径の変化

本種の卵径について, 生簀網内で養成した親魚では, 0.93 ~ 1.02mm (宮下ら, 2000), 0.95 ~ 1.05mm (遠藤, 1995), 天然の地中海クロマグロでは0.94 ~ 1.1mm (Fritzsche, 1978) と報告されている。今回の平均卵径は0.90 ~ 1.06mmで, やや小型の卵径も含まれるが, ほぼこれらの結果と一致した。また, これまで本種において0.8mmサイズの卵の報告はないが, 今回の結果によって本種が0.8mmサイズの小型卵を産卵することが示された。

多くの海産魚類において水温の変化に伴って卵径が変化することが報告されている (浅見, 1953; Imai and Tanaka, 1987; 柏木ら, 1985; Knutsen and Tilseth, 1985; Lee, 1981; Southward and Demir, 1975; 霧田, 1992; Ware, 1977)。Imai and Tanaka (1987) は水温制御または自然条件下でカタクチワシを飼育し, 産卵させて得た卵サイズを比較して得た結果から, 水温が卵サイズをコントロールする主要な要因であると結論付けている。クロマグロでは, 遠藤 (1995) は卵径と水温に関係を認めなかったが, 宮下ら (2000) は負の相関が見られることを報告している。今回, 宮下ら (2000) と同様に, 水温の変化に伴い卵径が変化し, 両者には負の相関関係が認められた (Fig. 7)。さらに, 産卵が9月以降にも見られたG-2 (7歳), G-3 (7歳), G-3 (8歳) (Fig. 6) 及びG-3 (9歳) の例では, 水温の低下により卵径が再び大きくなる傾向が認められた。この結果は, 水温が本種の卵径を決定する要因の一つであることを強く支持していると考

えられる。Imai and Tanaka (1987) は、カタクチイワシの卵サイズが年によって異なるのは、春の水温上昇のタイミングとその大きさに関係しているのではないかと述べている。

回帰分析、回帰直線の比較の結果から、卵径と水温との関係を示す回帰係数が、親魚群、年齢、産卵年により違いのあることが示された。この結果は、卵径をコントロールするとされる水温の影響 (Imai and Tanaka, 1987) が卵径の決定 (変化) に一様に作用していないことを示唆している。卵径に影響を及ぼす要因として、各年による水温上昇のタイミングや大きさの違い (Imai and Tanaka, 1987) と共に、これまでいくつかの海産魚について報告されているように、親魚の年齢とサイズ (Bagenal, 1971; 柏木, 1989)、産卵数 (Imai and Tanaka, 1994, 1997; 柏木, 1985)、栄養状態 (靄田, 1992; Watanabe *et al.*, 1985) なども要因の一つとして推察される。また、養成クロマグロの産卵において、個体によって産卵期間を通して産卵が継続する個体、1回から数回のみ産卵する個体など、産卵期間、産卵頻度及び産卵数に違いの見られることがミトコンドリアDNA分析から推定されている (升間ら, 2003)。このような産卵群や年度による個々の親魚の産卵パターンの違いが、同じ環境条件にありながら卵径の違いを生じさせているものと考えられる。本研究によって、多回産卵魚であるクロマグロは、卵

サイズの決定に産卵水温の影響を強く受けていることが示唆された。しかし、G-3 (7歳) のように、水温との関係が明確でなかった例もあるので、水温以外の要因についても今後検討する必要がある。

産卵時刻の変化

産卵期間中の産卵時刻についてはこれまで断片的な報告しかない (宮下ら, 2000; 遠藤, 1995)。遠藤 (1995) は日没を中心とした時刻に産卵を観察している。宮下ら (2000) も日没を挟んで約2時間前後を産卵時刻とし、暗くなってからの産卵の可能性は少ないと考えた。また、奄美大島で養殖している3歳魚が12~15時の昼間産卵しているのが確認されている (山本, 私信)。天然での産卵では、地中海リバリ島東方の海域で7~11時に産卵行動が観察されている (藤田, 1998)。近縁種のメバチ *Thunnus obesus* (二階堂ら, 1991) はインド洋のジャワ沖水域、ハワイの南西水域で19:00~24:00、キハダ *T. albacares* (Schaefer, 1996) では東部太平洋のClipperton Atoll 周辺で22:30~03:30、東部太平洋全体 (Hotta *et al.*, 2001) で22:00~06:00と夜間の産卵が推定されている。マルソウダ *Auxis rochei* (新谷, 2001) では1:00~3:00と推定されている。

本研究では17:31~23:36の間で産卵が認められ、主に、G-1では18:00~21:00、G-2では21:00~23:00、G-3では18:00~19:00、20:00~22:00、G-4では

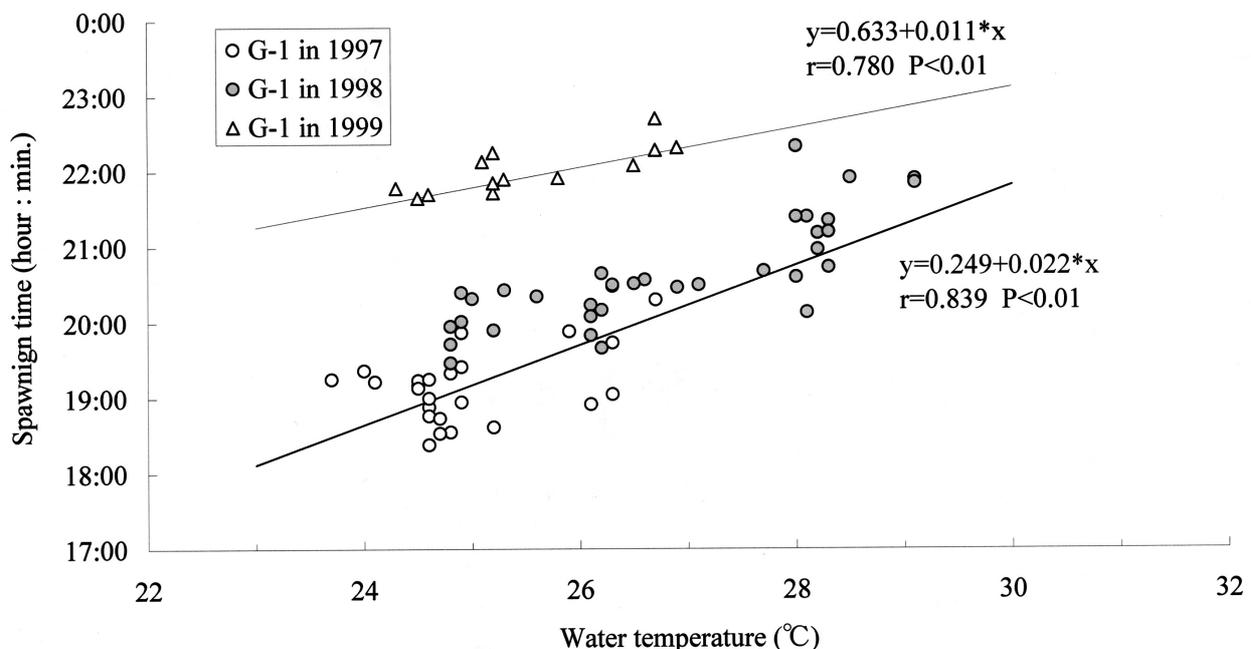


Fig. 9. Relationships between spawning time and water temperature for captive bluefin tuna in G-1.

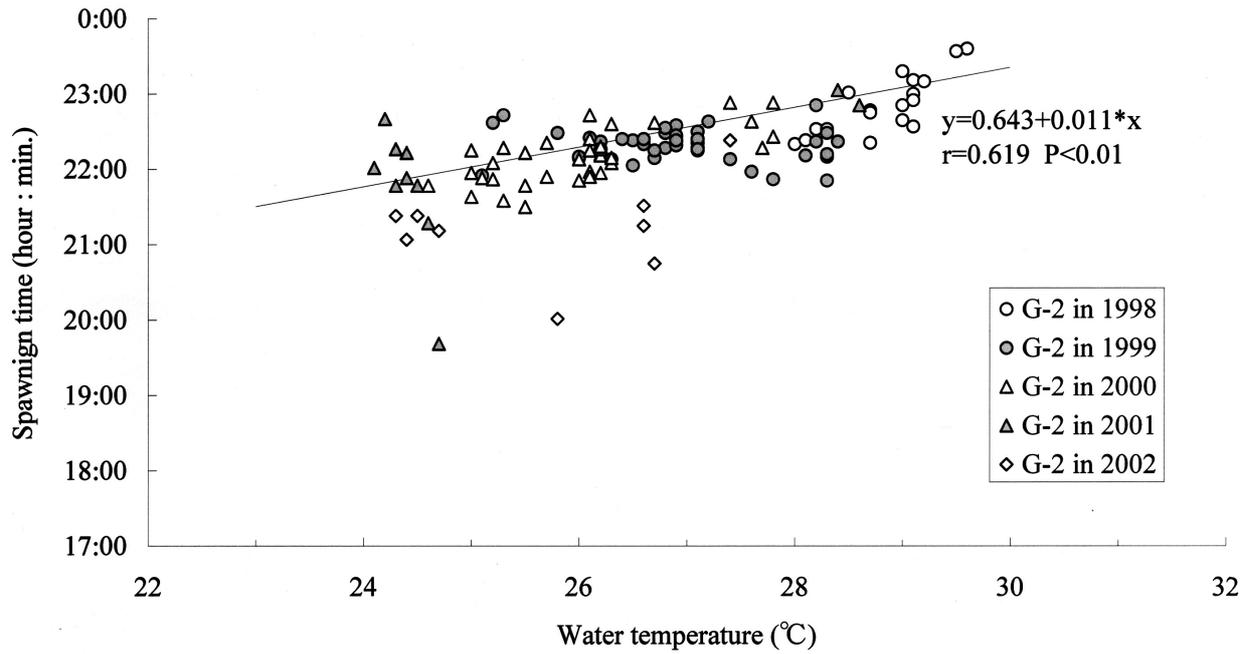


Fig. 10. Relationship between spawning time and water temperature for captive bluefin tuna in G-2.

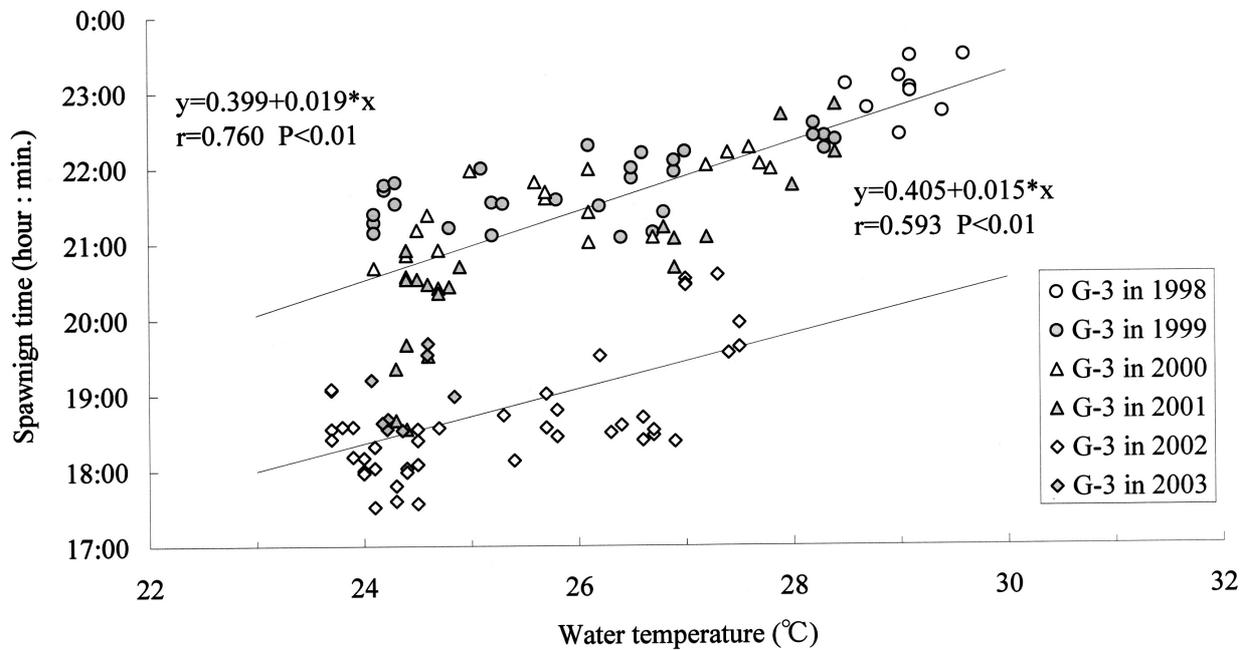


Fig. 11. Relationships between spawning time and water temperature for captive bluefin tuna in G-3.

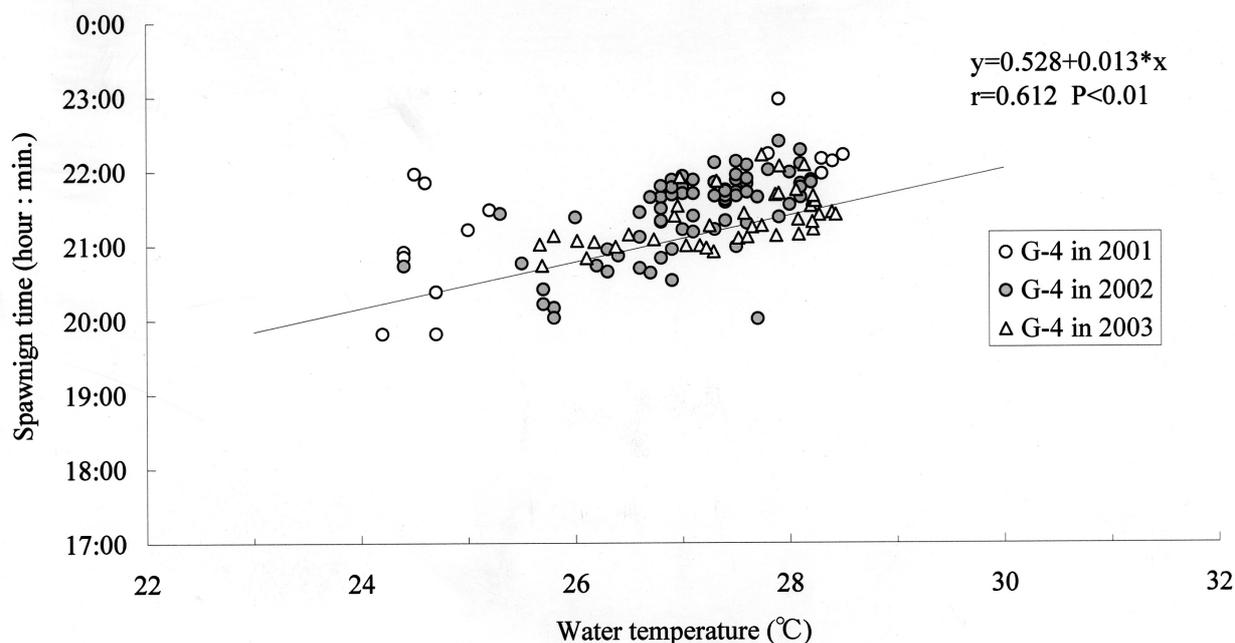


Fig. 12. Relationship between spawning time and water temperature for captive bluefin tuna in G-4.

20:30～21:30の時間帯であった (Fig. 9～12)。これらの結果はこれまでに報告されたクロマグロの産卵時間帯と一致し、さらに、メバチ、キハダのように夜間の遅い時間帯での産卵も確認された。

Kashiwagi *et al.* (1984) はシロギス *Sillago japonica* の産卵時刻の変化と水温の間に強い相関があることを報告した。古川ら (1991) は光周期を一定にし、水温を変化させてシロギスを飼育し、産卵時刻が低水温では早く、高水温では遅くなり、水温が一定では変化しないことを実験的に示し、水温と産卵時刻の関係を確認した。Hotta *et al.* (2001) もシロギスを用いて、実験的に飼育水温を上昇させ、上昇させた後の産卵時刻がその前に比べて遅れることを示し、水温が卵細胞の発達、あるいはまた、性ステロイドホルモンの産生を調節することによって産卵時刻に影響すると推察している。本種の奄美大島での産卵は水温が23.7～29.7 の範囲で認められ、産卵期間中の産卵時刻は水温の影響を受けて変化した。産卵時刻と水温の間には一次回帰で示される強い相関が認められた。G-2とG-4では産卵時間帯に違いがあるものの毎年ほぼ同じ時間帯で産卵し、回帰直線の傾きもほぼ一致している。すなわち、産卵時間帯は違って、水温変化に対する反応は同じであることを示唆し、今回得た回帰係数0.011～0.022 ($P<0.01$) は本種の産卵周期と水温との関係を示す生物学的パラメーターとして捉えられるものと考えられる。一方、G-1では1997、1998年と1999年で、

G-3では1998～2001年と2002、2003年の2つの異なった傾向を示した。いずれの親魚群でも前者の年に比べて後者の年で産卵時刻が早まることが示唆された。

卵の発生と水温の情報から産卵時刻を推定する今回用いた方法は、モルラ期の卵でも20分以内の精度で推定することが可能であり、最初に産卵された卵を発見することで、その後の採卵を効率的に行う方法を提供している。

本研究によって、産卵期間、卵径および産卵時刻などの養成クロマグロの生態に養成時の水温が強く影響していることが示され、さらに、親魚養成に関して重要な情報が提供された。しかし、このように産卵が水温の影響を強く受けることは、栽培漁業にとって不可欠な安定採卵にも影響を与えることを意味し、このような中で本種の安定採卵技術の開発に向けた取り組みが今後必要となる。

謝 辞

本研究をするにあたり、クロマグロの親魚養成、採卵、資料の整理など多大なご協力を頂いた現在の奄美栽培漁業センター職員および既に転勤された職員の皆様全てに心より感謝する。(株)拓洋の山本 宇宙社長には養殖3歳魚の産卵に関する貴重な情報を提供して頂いた。ここに厚くお礼を申し上げます。

要 旨

養成クロマグロの産卵に関して、産卵期間、卵径および産卵時刻に対する水温の影響を検討した。産卵期間は5月13日～11月10日で、既報より長く産卵が続くこと示された。また、23℃からの水温上昇が急であるほど産卵開始が早まり、産卵期間も長くなることが示唆された。平均卵径の範囲は0.90～1.06mm、最小卵径は0.83mmであった。水温と卵径の間に高い負の相関関係が認められた。産卵は17:31～23:36の間で認められ、これまでの報告になかった夜間での産卵も確認された。産卵時刻の変化は水温との間に強い相関が認められた。

キーワード：クロマグロ，産卵，卵径，産卵時刻，水温，養成

文 献

- 浅見忠彦，1953：カタクチイワシ *Engraulis japonicus* T. et S. の浮遊卵に関する研究。南西海区水産業績集，**1**，1-7。
- Bagenal T. B., 1971: The interrelation of the size of fish eggs, the date of spawning and the production cycle. *J. Fish Biol.*, **3**, 207-219.
- 遠藤文則，1995：クロマグロ種苗生産における現状-総説-。水産増殖，**43**，263-267。
- Fritzsche R. A., 1978: Development of fishes of the Mid-Atlantic bight. An atlas of egg, larval and juvenile stages. Vol. . Chaetodontidae through Ophididae. Biological Service Program, Fish Wildl. Serv., pp.1-340. 178 figs.
- 藤田 清，1998：マグロの種類と生態。「マグロの生産から消費まで」(小野征一郎編)，成山堂書店，東京，1-49。
- 古川 清，1991：.成熟・産卵リズム 5. シロギス等。「海産魚の産卵・成熟リズム」(広瀬慶二編)恒星社厚生閣，東京，65-77。
- 古川 清，會田勝美，吉岡 基，佐藤英雄，羽生 功，1991：シロギスの産卵リズムに及ぼす光周期と水温の影響。日水誌，**57**，2193-2201。
- 原田輝男，熊井英水，村田 修，中村元二，岡本 茂，乗田孝雄 1979：.クロマグロの人工種苗生産の研究-養成クロマグロの成熟と産卵。昭和54年度日本水産学会秋季大会講演要旨集，1979，85。
- Hotta K., Tamura M., Watanabe T., Nakamura Y., Adachi S., and Yamauchi K., 2001: Changes in spawning characteristics of Japanese whiting *Sillago japonica* under control of temperature. *Fish. Sci.*, **67**, 1111-1118.
- Imai C. and Tanaka S., 1994: Analysis of ovarian egg size frequency distribution of Japanese anchovy using computer graphics. *Fish. Sci.*, **60**, 695-701.
- Imai C. and Tanaka S., 1997: Effect of sea water temperature on the variability of batch fecundity of Japanese anchovy around Miura peninsula, Central Japan. *Fish. Sci.*, **63**, 489-495.
- 伊藤智幸，2004：太平洋クロマグロの回遊生態に関する研究。博士論文，東京大学，東京。
- Imai C. and Tanaka S., 1987: Effect of sea water temperature on egg size of Japanese anchovy. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 2169-2178.
- 柏木正章，中村総之，岡田芳和，山田直博，1985. シロギスの卵径の産卵期間中の周期的変化。水産増殖，**33**，134-138。
- Kashiwagi M., Yamada N., Okada Y., and Nakamura F., 1984: A periodic variation of spawning time of Japanese whiting *Sillago japonica* during the spawning season. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **50**, 2135.
- 柏木正章，1989：発生のふ化管理。「水族繁殖学」(隆島史夫，羽生 功 編)，緑書房，東京，195-238。
- Knutsen G. M. and Tilseth S., 1985: Growth, development, and feeding success of Atlantic cod larvae *Gadus morhua* related to egg size. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **114**, 507-511.
- Lee C. S., 1981: Factors affecting egg characteristics in the fish *Sillago shihama*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **4**, 361-167.
- 升間主計，手塚信弘，尾花博幸，鈴木伸明，野原健司，張 成年，2003：ミトコンドリアDNA分析から推定した養成クロマグロの産卵生態。水研センター研報，**6**，9-14。
- 宮下 盛，村田 修，澤田好史，岡田貴彦，久保喜計，石谷 大，瀬岡 学，熊井英水，2000：養成クロマグロの成熟と産卵。水産増殖，**48**，475-488。
- 二階堂英城，宮部尚純，上柳昭治，1991：メバチ *Thunnus obesus* の産卵時刻と産卵多回性。遠水研報，**28**，47-73。
- 西川康夫，1990：クロマグロの主産卵場。水産技術と経営，**36**，13-21。
- Schaefer K. M., 1998: Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm.*,

- Bull.* **21**: 201-272.
- Schaefer. K. M., 1996: Spawning time, frequency, and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, near Clipperton Atoll in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, **94**, 98-112.
- 瀬岡 学, 家戸敬太郎, 村田 修, 岡田貴彦, 八木洋樹, 宮下 盛, 坂本 亘, 熊井英水, 2004 : 串本および奄美大島におけるクロマグロの産卵. 平成16年度日本水産学会大会講演要旨集, 158
- 新谷淑生, 2001 : 高知県足摺岬周辺海域におけるマルソウダの成熟周期と産卵数. 日水誌, **67**, 10-16.
- Snedecor G. W. and Cochran W. G., 1988: 回帰直線の比較. 「スネデカー・コ克蘭 統計的方法 原書第6版」, (畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳), 岩波書店, 東京, 405-408.
- Southward A.J. and Demir N., 1975: Seasonal changes in dimensions and viability of the developing eggs of Cornish pilchard (*Sardina pilchardus* Walbaum) off Plymouth, In: "The Early Life History of Fish" (ed. by Blaxter J. H. S.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 53-58.
- 鶴田義成, 1992 : カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調整に関する研究. 水工研報, **13**, 129-168.
- Ware D. M., 1977: Spawning time and egg size of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, in relation to the plankton. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **34**, 2308-2315.
- Watanabe T., Koizumi T., Suzuki H., Satoh S., Takeuch T., Yoshida N., Kitada T., and Tsukishima Y., 1985: Improvement of quality of red sea bream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefishmeal or on raw krill shortly before spawning. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 1511-1521.