

キジハタの卵発生及びふ化仔魚の発育に及ぼす水温の影響

萱野 泰久・尾田 正

Effect of Water Temperature on the Egg Development and
Early Larval Growth of Red Spotted Grouper *Epinephelus akaara*

Yasuhisa KAYANO and Tadashi ODA

キジハタ *Epinephelus akaara* は本州中部以南から瀬戸内海、さらに、朝鮮半島南部や中国沿岸まで広く分布する磯魚で、主として刺網や釣りによって漁獲される。近年、漁獲量の減少が著しいことから増殖技術開発も進められている。

本種の産卵習性と初期生活史¹⁾、幼期の形態²⁾、仔稚魚期の鰭及び鱗の形成³⁾、口器の発達と摂餌⁴⁾等、成長過程における大きさや形態の変化についてはすでにいくつかの知見が得られている。一方、本種の卵発生あるいはふ化仔魚の発育初期の生理生態的研究は、人工種苗の生産、あるいは天然資源の増殖技術開発を行う上でも重要であるにもかかわらず、これまでほとんどされていない。本研究では卵発生、ふ化仔魚の発育に及ぼす水温の影響について調査し、発生及び発育速度、積算水温、温度恒数等の生理特性について明らかにした。

材料と方法

供試卵 1982年から'84年の間に、岡山県東部海域において刺網、釣りで漁獲されたキジハタを陸上水槽中で養成し採卵に供した。親魚は雌25尾、雄11尾、性不明5尾の計41尾で、'88年9月における雌の全長は29.5~43.0 (平均37.1) cm、体重は510~1,580 (平均894) g、また雄の全長は35.5~45.5 (平均40.6) cm、体重は600~1,630 (平均1,220) gであった。採卵は'88年7月14日から20日までの間、連続して7回にわたり行い、自然産出卵のうち浮上卵(受精卵)を観察に供した。採卵時刻はいずれも午後4時30分から6時までの間で、採卵時の水温は21.9~22.7°Cであった。なお、採卵期間中の浮上卵率は23.5~30.0%であった。

卵は20, 23, 25, 28°Cの4段階に調温した恒温槽中の、1あるいは3リターに300~500粒程度收容し

た。海水は砂ろ過海水とし、卵收容時の塩分は約30であった。ビーカー内での通気は行わず、また、死卵はスポイドで取り除き、海水が少しでも白濁するような場合は同一水温のろ過海水と適宜交換した。卵收容時から調査終了時までの各温度段階の水温は、20°C区が19.8~20.5°Cの範囲を推移し、日平均水温は20.0°Cで、同様に、23°C区が22.8~23.5°C, 23.1°C, 25°C区が24.7~25.4°C, 25.1°C, 28°C区が27.6~28.6°C, 28.0°Cであった。

收容時の卵は2~16細胞期で、ほとんどが4~8細胞期であった。発生、発育ステージの観察は、各水温区の採卵月日の異なる7種の発生、発育段階について、7月20日午後6時から21日午後5時までの間、1時間ごとに実体顕微鏡下で行った。任意に取り出した5~10粒(尾)について、ステージ別出現状況を観察し、各ステージへの到達時間は、約半数がそのステージに達した時間とした。また各水温区の水化及び開口直後の仔魚についてはその全長を3~5尾測定し、20, 25°C区ではさらにその他のステージについても適宜測定した。

受精時刻は産卵行動あるいは收容時の卵発生ステージから午後4時と仮定した。

結 果

卵発生、ふ化時間に及ぼす水温の影響 付表1に卵の各ステージへの温度別到達時間を、図1に水温と卵の各ステージへの到達時間の関係を示した。自然産出卵を調査に供したこともあり、モルラ期までの到達時間には差がなかったが、胞胚形成以降の各ステージへの到達時間は水温が高まるにつれ、指数関数的に短くなる傾向にあった。受精からふ化までの到達時間は20.0°Cで41時間、23.1°Cで29時間、25.1°Cで25時間、28.0°Cで23時間であった。

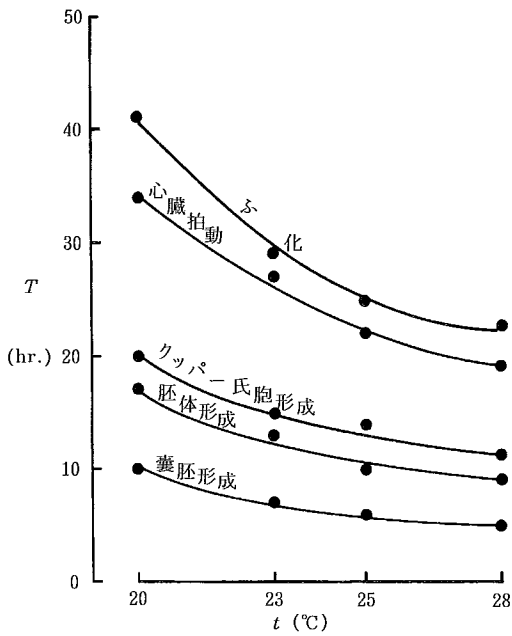


図1 水温(t)と卵の各ステージへの到達時間(T)の関係

表1 ふ化仔魚のステージ別全長 (平均値±標準偏差, mm)

試験区	ふ化直後	開口時	油球消失時
20℃区	1.55±0.060	2.48±0.098	2.35±0.087
23℃区	1.53±0.068	2.50±0.102	—
25℃区	1.57±0.065	2.43±0.053	2.29±0.102
28℃区	1.59±0.070	2.44±0.074	—
平均	1.56	2.46	2.32

ふ化仔魚の発育に及ぼす水温の影響 付表2にふ化仔魚の受精から各ステージへの温度別到達時間を、図2に水温とふ化仔魚の各ステージへの到達時間の関係を示した。卵発生と同様に到達時間は水温が高まるにつれ、やはり指数関数的に短くなる傾向にあった。ふ化から開口までの到達時間は20.0℃で84時間、23.1℃で71時間、25.1℃で53時間、28.0℃で46時間であった。いずれの水温区でも開口時には卵黄をほとんど吸収しており、開口から油球を完全に吸収するまでの時間は、20.0℃で18時間、23.1℃で16時間、25.1℃で13時間、28.0℃で11時間と極めて早かった。

ふ化仔魚の時期別全長 表1に各水温区のステージ別全長を、図3に20及び25℃区のふ化仔魚の時期別全長を示した。ふ化直後の平均全長は1.53~1.59mmで、その後卵黄の吸収とともに経時的に尾部が伸長し急速に全長が増加した。胸鰭が形成される頃には成長速度がやや緩やかになり、開口時の平均全長は2.43~2.50mmとふ化

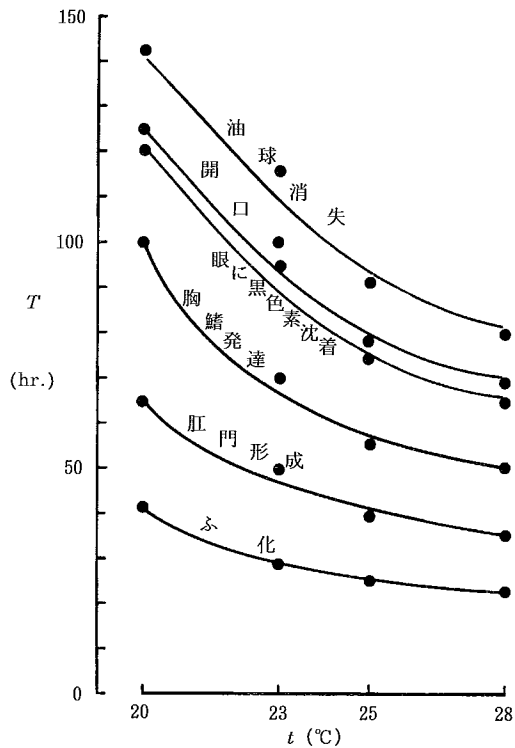


図2 水温(t)とふ化仔魚の各発育ステージへの到達時間(T)の関係

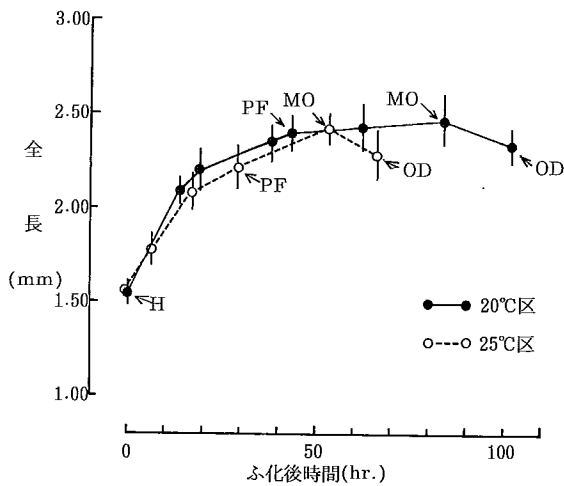


図3 ふ化仔魚の時期別全長(平均値±標準偏差)の変化
H:ふ化直後, PF:胸鰭形成, MO:開口, OD:油球消失

直後の約1.58倍になった。しかし、その後は次第に全長が小型化し、油球消失時の平均全長は2.29~2.35mmとなった。

表2 水温と卵, ふ化仔魚の各ステージへの到達時間と積算温度

試験区	温度範囲 (°C)	平均水温 t (°C)	受精~胚体形成		胚体形成~ふ化		受精~ふ化		ふ化~開口		開口~油球消失		受精~開口	
			T	T · t	T	T · t	T	T · t	T	T · t	T	T · t	T	T · t
20°C	19.8~20.5	20.0	17	340	24	480	41	820	84	1680	18	360	125	2500
23°C	22.8~23.5	23.1	13	300	16	370	29	670	71	1640	16	370	100	2310
25°C	24.7~25.4	25.1	10	251	15	377	25	628	53	1330	13	326	78	1958
28°C	27.6~28.6	28.0	9	252	14	392	23	644	46	1288	11	308	69	1932

T: 到達時間 (hr.), T · t: 積算温度 (°C · hr.)

表3 卵, ふ化仔魚の発生, 發育速度の温度恒数とQ₁₀

ステージ	20°C - 25°C			25°C - 28°C			20°C - 28°C		
	μ	α	Q ₁₀	μ	α	Q ₁₀	μ	α	Q ₁₀
受精~胚体形成	17,700	0.106	2.89	7,100	0.035	1.42	14,100	0.079	2.20
胚体形成~ふ化	15,400	0.094	2.56	4,600	0.023	1.26	11,800	0.067	1.95
ふ化~開口	15,400	0.092	2.51	9,400	0.047	1.60	13,400	0.075	2.12
平均	16,200	0.097	2.65	7,000	0.035	1.43	13,100	0.074	2.09

μ: ARRHENIUS の式の恒数, α: 日暮・田内の式の恒数, Q₁₀: log Q₁₀=4.343αから算出

発生, 發育速度と積算温度 表2に水温と卵, ふ化仔魚の各ステージへの到達時間と積算温度を, 図4に水温とふ化, 開口時間並びにふ化開口積算温度の関係を示した。水温(t, °C)とふ化時間(TH, hr.), 開口時間(TO, hr.)の対数値との関係は, いずれも25°Cに変曲点が認められ, それぞれ2本の回帰式で表せた。tとlogTHの関係は20~25°CでlogTH=2.46-0.04t, 25~28°CではlogTH=1.71-0.01tと表せた。また, tとlogTOの関係は20~25°CでlogTO=2.89-0.04t, 25~28°CではlogTO=2.35-0.02tと表せ, 20~25°Cの回帰式の傾きは, ふ化, 開口とも0.04で等しかった。

次に, tとふ化積算温度(TH · t, °C · hr.), 開口積算温度(TO · t, °C · hr.)の対数値との関係は, やはり25°Cを変曲点にそれぞれ2本の回帰式で表せた。tとlogTH · tの関係は20~25°CでlogTH · t=3.37-0.02t, 25~28°CではlogTH · t=2.70で一定となった。また, tとlogTO · tの関係は20~25°CでlogTO · t=3.81-0.02t, 25~28°CではlogTO · t=3.34で一定となった。

発生, 發育速度の温度恒数とQ₁₀ 表3に20~25°C, 25~28°C, 並びに20~28°Cの温度恒数とQ₁₀を示した。温度恒数はARRHENIUSの式の恒数μと日暮・田内の式の恒数αの両方で示した。同一水温範囲でも卵発生, 仔魚の發育過程で恒数及びQ₁₀は多少異なったが, 低水温下(20~25°C)の恒数及びQ₁₀は高水温下(25~28°C)より明らかに大きく, 前者のμ, α, Q₁₀の平均値はそれぞれ16,200, 0.097, 2.65, また, 後者ではそれぞれ7,000, 0.035, 1.43であった。

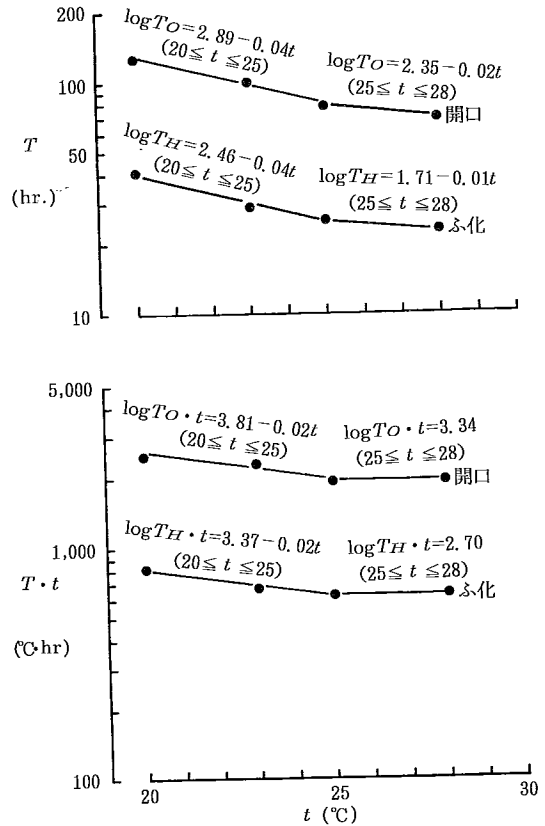


図4 水温(t)とふ化, 開口時間(T)及びふ化, 開口積算温度(T · t)の関係

考 察

20~28℃の範囲における4段階の水温下では、いずれも卵発生が進み、ふ化、開口まで至った。本種の発生速度は極めて速く、28.1℃ではわずか23時間でふ化した。そして開口時にはほとんど卵黄を吸収し、油球も小型化していた。開口後11~18時間で油球もほぼ消失し、完全に外部栄養に依存するようになる。飢餓に対する耐久時間は魚種により卵黄の量によって異なるが、開口から内部栄養消費までの時間は、生育適温下のマダイ *Pagrus major*⁶⁾、イシガレイ *Kareius bicoloratus*⁶⁾、ヒラメ *Paralichthys olivaceus*⁷⁾ 等の1~2日に比べ、本種の場合極めて短い。このことは資源の繁殖、あるいは人工種苗の生産においても、仔魚の生き残り上、不利と思われる。とくに、キジハタの種苗生産においては、このような生理特性を考慮して給餌等を行う必要があると思われる。

次に、水温和発生、発育速度の関係はいずれも25℃を変曲点として変化率が異なり、水温和上昇に伴って必ずしも一定の比率で各ステージへの到達時間が短縮されないことが明らかとなった。このような変曲点の存在は、メダカ *Oryzias latipes*⁸⁾、サバ *Scomber scombrus*⁸⁾、ヒラメ⁷⁾ 等でも知られているが、境界温度の前後では卵内の酵素あるいは触媒反応系に質的な変化が生じるためと考えられている。なお、本調査では、ふ化仔魚の発育速度においても同様に25℃に変曲点が認められた。

発生、発育速度の温度恒数も25℃を境界として、低水温(20~25℃)側と高水温(25~28℃)側とで著しく異なった。 μ 及び α の水温範囲別平均値は、高水温に比べ低水温の方がそれぞれ2.3及び2.8倍大きかった。また、20~28℃の水温下における本種の μ 、 α は、マダイ($\mu=20,400$ 、 $\alpha=0.115$ 、12~20℃)⁸⁾、サバ($\mu=24,900$ 、15~20℃)⁸⁾、ヒラメ($\mu=27,700$ 、12~20℃)⁷⁾より小さく、ブダイ *Calotomus japonicus* ($\mu=12,400$ 、 $\alpha=0.071$ 、15.6~29.5℃)⁸⁾ とほぼ一致する。また、25~28℃における胚体形成からふ化までの μ 、 α は、その他のステージ間の恒数に比べ特に小さく、水温の影響をほとんど受けないものと考えられた。温度恒数の変化については、卵内の生理機構の変化を反映していると考えられるが、その具体的過程については明らかでない。

Q_{10} は一定でなく、一般によく知られているように低水温で大きく、高水温で小さかった。 Q_{10} の値は代謝の対温度性状を示しており、本種の場合、各ステージとも20~25℃では25~28℃に比べ高く、後者で前者の約1/2の値となり、低水温下では代謝生理上の変化が生ずるこ

とが推察される。

今回の調査では水温別のふ化率、異常ふ化率は明らかでなかったが、20及び23℃では採卵水温と比較的にかつたにもかかわらず、25及び28℃に比べ卵のへい死率が高い傾向が観察された。卵のへい死はモルラ期あるいは胚体形成までに多かった。今後、本種のふ化、並びに仔魚の生育適水温の詳細について明らかにするとともに、正常な発生、ふ化、発育を可能にする卵内及び仔魚の生化学的変化と水温との関連についても解明する必要がある。

要 約

1. キジハタ自然産出卵を用い卵発生及びふ化仔魚の発育に及ぼす水温の影響について検討した。
2. 20, 23, 25, 28℃の4段階の水温においては、いずれの水温区でもふ化、開口まで至った。
3. 本種の発生速度は極めて速く、28.1℃では受精後23時間でふ化した。
4. 卵発生、ふ化仔魚の発育とも、各ステージへの到達時間は水温の増加とともに指数関数的に減少した。
5. 水温和発生、発育速度の関係は25℃を変曲点として変化率が異なった。
6. 発生、発育速度の温度恒数並びに Q_{10} は卵発生あるいは仔魚の発育段階でやや異なり、さらに、25℃を境界として低水温側と高水温側とでは、著しく異なった。

文 献

- 1) 鶴川正雄・樋口正毅・水戸 敏, 1966: キジハタの産卵習性と初期生活史, 魚類学雑誌, 13, 156-161
- 2) 水戸 敏・鶴川正雄・樋口正毅, 1967: キジハタの幼期, 内水研報, 25, 337-347
- 3) O. FUKUHARA and T. FUSHIMI, 1988: Fin differentiation and squamation of artificially reared grouper, *Epinephelus akaara*, Aquaculture, 69, 379-386
- 4) 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
- 5) 福原 修, 1969: マダイの卵発生と初期における形態の変化についての観察, 水産増殖, 17, 71-76
- 6) 水戸 敏・鶴川正雄・樋口正毅, 1969: イシガレイの卵発生、ふ化仔魚の飼育及び陸上池内における産卵, 南海海区水研報告, 1, 87-102
- 7) 安永義暢, 1988: ヒラメ仔稚魚の生理生態に関する研究, 水工研報告, 9, 9-164
- 8) 山本時雄, 1943: 魚類の発生生理, pp.221, 養賢堂, 東京

付表1 卵の各ステージへの温度別到達時間

ステージ	温度別到達時間 (hr.)			
	20℃	23℃	25℃	28℃
32 細胞期	3 ^{*1} (2~3) ^{*2}	— ^{*3}	—	—
モルラ期	4 (3~4)	4 (3~4)	3	3
胞胚形成	8 (4~11)	6 (4~8)	5 (4~7)	4 (3~7)
囊胚形成	10 (7~15)	7 (6~12)	6 (6~8)	5 (5~8)
胚体形成	17 (16~18)	13 (12~13)	10 (10~12)	9 (8~10)
胚体に3体節出現	18 (17~19)	—	12	10
体節増, 眼胞分化	19 (18~19)	14 (13~14)	13	11 (9~11)
クッパー氏胞形成	20 (19~20)	15	14 (13~18)	11 (11~12)
耳胞形成	—	—	—	16
尾部形成	(24~34)	(21~)	(19~)	(20~)
心室形成	(24~)	(20~)	—	(21~)
心臓拍動	34 (30~35)	27 (25~30)	22 (21~24)	19 (19~20)
ふ化	41 (39~44)	29 (29~31)	25 (25~27)	23 (23~25)

*1 観察個体の約50%が各ステージに到達した時間

*2 各ステージに到達した時間範囲

*3 欠測

付表2 ふ化仔魚の各ステージへの温度別到達時間

ステージ	温度別到達時間 (hr.)			
	20℃	23℃	25℃	28℃
ふ化	41 ^{*1} (39~44) ^{*2}	29 (29~31)	25 (25~27)	23 (23~25)
膀胱形成	(55~60)	— ^{*3}	(35~40)	—
肛門形成	65 (63~77)	50 (45~56)	40 (38~45)	35 (35~40)
胸鰭基底発現	(70~)	(58~)	(40~)	(40~)
胸鰭発達	100 (95~110)	72 (70~80)	56 (50~60)	52 (50~60)
口器(下顎)形成	(104~110)	(85~88)	(62~64)	(60~61)
眼に黒色素沈着	(110~126)	(75~97)	(64~78)	(57~67)
口が開	125 (115~126)	100 (94~102)	78 (78~79)	69 (64~74)
油球消失	143 (143~146)	116 (110~120)	91 (90~95)	80 (80~83)
卵黄1/3程度吸収	—	(40~45)	—	(25~30)
同 1/2程度吸収	—	(50~53)	(40~50)	(32~50)
同 2/3程度吸収	(70~75)	(65~70)	—	(55~70)
同 ほぼ吸収	(125~130)	(88~100)	(80~88)	(74~80)

*1, *2, *3 付表1に同じ