

## マダコ卵のふ化日数と水温の関係

坂口秀雄<sup>†1</sup>, 浜野龍夫<sup>2</sup>, 中園明信<sup>3</sup>Relationship between Incubation Days and Rearing Temperature of *Octopus vulgaris* EggsHideo SAKAGUCHI<sup>†1</sup>, Tatsuo HAMANO<sup>2</sup> and Akinobu NAKAZONO<sup>3</sup>

Relationship between the number of days required for hatching of *Octopus vulgaris* and the water temperature was examined in laboratory reared specimens from 1996 to 1998. The cumulative temperature was not suitable for estimating the incubation period, because the incubation period inversely varied with the rearing temperature. However, the effective cumulative temperature (day · degrees) showed good agreement. A regression formula for the relationship between the mean water temperature ( $X$ , °C) and the relative growth rate ( $Y$ ) as the reciprocal of the incubating period:  $Y=0.0032X-0.0395$ , and 11.9°C was estimated as the critical lower temperature for embryonic development. The mean effective cumulative temperature was 299.4 days · °C.

**Key words:** *Octopus vulgaris*, incubation days, effective cumulative temperature

## はじめに

マダコ *Octopus vulgaris* は水産上重要な生物であることから、卵のふ化速度に関する報告も多い (Naef, 1923; Rees, 1950; 井上, 1969; 川本, 1978; 田中, 1959; 伊丹ほか, 1963; 日本栽培漁業協会, 1996)。しかしながら、休眠しない無脊椎動物について一般に広く使用されている有効積算温度則を適用した報告はみられない。有効積算温度則は、一定の発育には一定の有効積算温度が必要であるというもので、それ以下の温度では発育がおこらない点である発育臨界温度以上の毎日の温度を発育日数だけ加算したものが有効積算温度である (野村, 1960; 伊藤, 1994)。したがって、発育臨界温度を考慮しないで求めた積算温度は、環境温度に依存して変動するために汎用性に欠けると考えられる。そこで本研究では、春から秋にかけて産出されたマダコ卵のふ化日数と水温の関係について、有効積算温度則を適用して解

析をおこなうとともに、その結果を海域における稚ダコの出現状況と対比させて考察をおこなった。

## 試料と方法

伊予灘においてたこつぼまたは小型底びき網により漁獲されたマダコ成体から、生殖腕の有無および吸盤の形状により雌を選別し、さらに外套後半部が十分に肥大している個体を成熟した雌とみなして使用した。各成熟雌について体重を測定し、愛媛県中予水産試験場内の1000 l パンライト水槽に1個体ずつ収容して無調温流水飼育とした。水槽内には、産卵床として市販のたこつぼを1個ずつ設置した。1996年には、餌として活きたシャコまたは活きたフタホシイシガニを適宜与えた。産卵後、摂餌行動がみられなくなった時点で給餌は中止した。1997年および1998年には、産卵を確認するまで冷凍エビを適宜与え、産卵後は無給餌とした。毎日、午前9時に水温を測定し、午前中に供試個体の産卵の有無および産出された卵のふ化状況を観察した。飼育水は、中予水産試験場地先 (水深約5 m) の海底から取水しているため、その水温は水深5 m層付近の水温とほぼ一致している。

**ふ化日数の定義** マダコは数日かけて産卵し、稚仔のふ化も数日間にわたることが知られている (井上, 1969; 日本栽培漁業協会, 1991)。ここでは、産卵開始日を基準とし、稚仔のふ化開始日までの日数をふ化日数とした。

**積算温度の定義** 産卵開始日からふ化開始前日まで毎日午

1999年2月1日受付, 1999年9月8日受理

<sup>1</sup> 愛媛県中予水産試験場

Ehime Prefectural Chuyo Fisheries Experimental Station, Iyo, Ehime 799-3125, Japan

<sup>2</sup> 水産大学校生物生産学科

National Fisheries University, P. O. Box 3, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan

<sup>3</sup> 九州大学農学部水産学科

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan

<sup>†</sup> hsakagti@lime.ocn.ne.jp

**Table 1.** Incubation days, water temperature and body size of female *Octopus vulgaris*. Spawning and hatching dates are recorded as the date of the beginning of spawning and hatching, respectively.

Year	Spawning date (a)	Hatching date (b)	Incubation days (a-b)	Water temperature over period from a to b (°C)			Body weight of female (g)
				Max	Min	Mean	
1996	Sep. 17	Oct. 14	27	24.4	22.1	23.1	460
	Sep. 30	Oct. 28	28	23.0	20.1	22.1	230
	Sep. 30	Oct. 30	30	23.0	20.1	22.1	420
1997	Apr. 17	June 13	57	19.1	14.3	17.0	2860
	Sep. 7	Oct. 2	25	25.8	23.0	24.3	940
	Sep. 11	Oct. 6	25	25.5	23.0	24.0	480
1998	Oct. 5	Nov. 4	30	23.7	18.3	21.7	290
	May 2	June 21	50	19.8	16.2	17.9	1150
	May 3	June 22	50	20.1	16.3	18.0	820
	May 5	June 22	48	20.1	16.3	18.1	2320
	May 9	June 26	48	20.1	16.3	18.3	1350
	Aug. 7	Aug. 29	22	26.5	24.3	25.2	1790

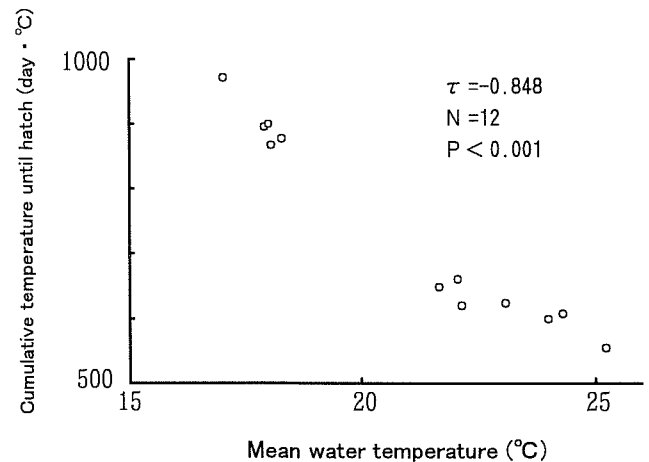
前9時に測定した水温 (°C) を積算したものを「積算温度 (日・°C)」とし、毎日の水温 (°C) から発育臨界温度 (°C) を引いた値を積算して「有効積算温度 (日・°C)」とした (伊藤, 1994)。ここで、発育臨界温度とは、それ以下の温度では胚発生が進行しない温度のことである。

#### 結果および考察

1996年から1998年までに12組のデータが収集できた (Table 1)。マダコの体重範囲は、4月に産卵を開始した個体が2860 g ( $N=1$ ); 5月が820~2320 g ( $N=4$ ); 8月が1790 g ( $N=1$ ); 9月、10月が230~940 g ( $N=6$ ) で、4月に産卵を開始した個体が最も大きく、産卵期の進行に伴って徐々に小型化した。マダコは飼育開始から1~18日で産卵を開始した。1996年には、摂餌行動は産卵開始後、7~12日目までみられたが、その後はみられなくなった。平均ふ化日数は、4月に産卵を開始した個体が57日 ( $N=1$ ), 5月が49日 ( $N=4$ ), 8月が22日 ( $N=1$ ), 9月が27日 ( $N=5$ ), 10月が30日 ( $N=1$ ) であった。ふ化開始から8~48日後に親ダコは死亡した。産卵開始日からふ化開始日までの飼育水の平均水温が最も低かったのは1997年4月に産卵されたもので17.0°C、最も高かったのは1998年8月に産卵されたもので25.2°Cであった。

伊丹ほか (1963) は、春季に産出されたマダコの卵について、ふ化日数を積算温度で794.7日・°C (水温15.3~20.0°C) としている。しかし、本研究では、飼育水温が高くなるほど積算温度が減少した (Kendallの順位相関係数  $\tau = -0.848$ ,  $P < 0.001$ )。得られた積算温度は555~971日・°Cと大きく異なっており (Fig. 1)、マダコにおける積算温度はふ化日数を汎用的に表す指標にはならない。

また、日本栽培漁業協会 (1996) は、産卵開始日からふ



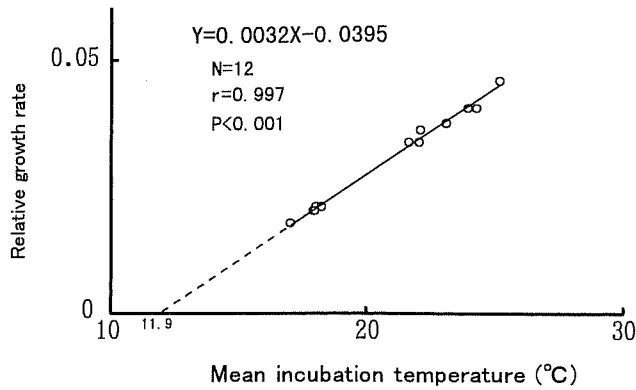
**Figure 1.** Relationship between the mean incubation temperature and the cumulative incubation temperature of *Octopus vulgaris*. Cumulative incubation temperature was calculated as  $\sum$  (incubation period (day)  $\times$  daily water temperature (°C)).

化開始日までの日数と水温の関係を、両対数式を用いて算出している。今回著者らが得たデータを用い、同じ方法により関係式を算出すると、

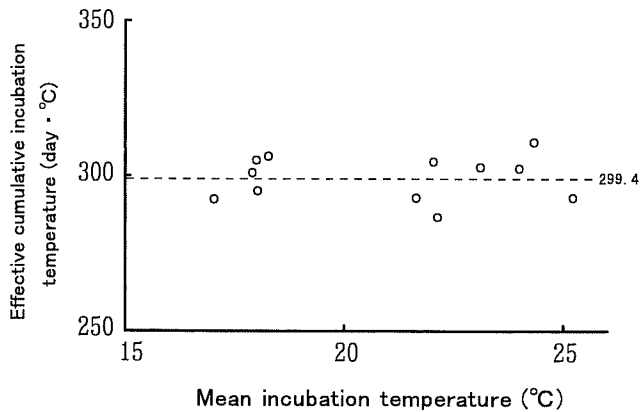
$$\ln(D) = 10.856 - 2.409 \ln(T) \quad r = 0.996 \quad (1)$$

となった。ここで、 $D$ は産卵開始からふ化開始までの日数で、 $T$ は飼育期間中の平均飼育水温 (°C,  $17.0 \leq WT \leq 25.2$ ) である。式 (1) は日本栽培漁業協会 (1996) が算出した関係式  $\ln(D) = 10.991 - 2.458 \ln(T)$  とほぼ一致する。

ふ化までの日数の逆数を伊藤 (1994) にしたがって相対発育速度とみなし、飼育期間中の平均水温 ( $X$ , °C) と相対発育速度 ( $Y$ ) に対し、



**Figure 2.** Relationship between the mean incubation temperature and the relative growth rate of *Octopus vulgaris*. The relative growth rate was the reciprocal of the number of incubation days. The critical lower temperature for embryonic development of *O. vulgaris* was estimated as 11.9°C.



**Figure 3.** Relationship between the mean incubation temperature and the effective cumulative incubation temperature of *Octopus vulgaris*. Broken line indicates the mean effective cumulative incubation temperature (299.4 day · °C)

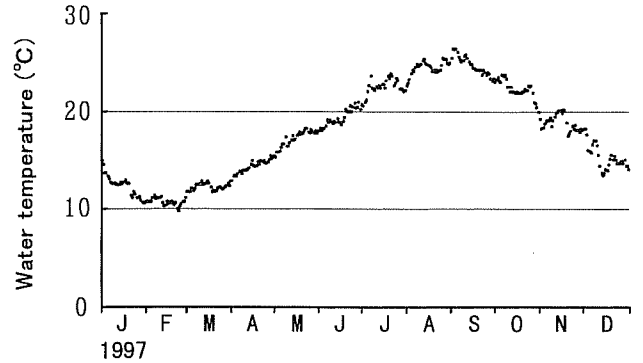
$$Y=0.0032X-0.0395 \quad (r=0.997, P<0.001) \quad (2)$$

を求めた (Fig. 2). 式 (2) の  $X$  軸切片である発育臨界温度を求めると, 11.9°C となった (Fig. 2). つぎに, 産卵開始日からふ化開始前日までの毎日の水温から 11.9°C を引いた値を積算すると, 有効積算温度は 299.4 日 · °C でほぼ一定となった (Fig. 3). 以上のことから, 水温 ( $T$ , °C) とふ化までの日数 ( $D$ ) の関係は,

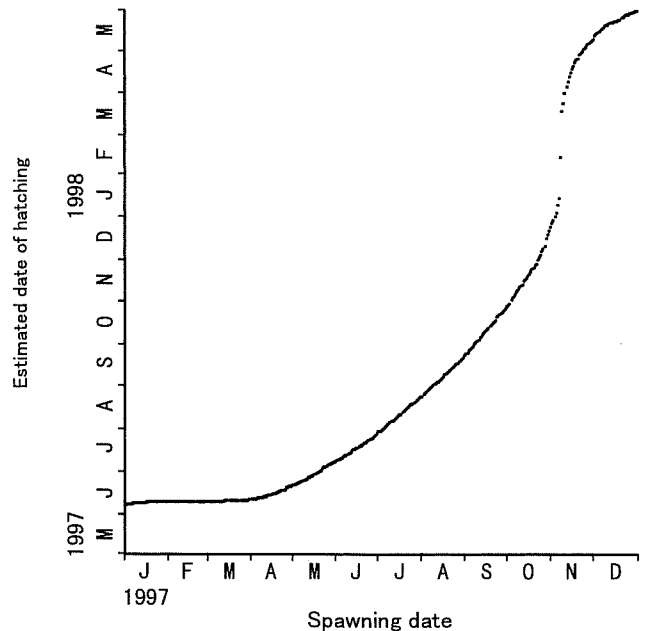
$$D=299.4/(T-11.9) \quad (3)$$

と表すことができる.

1997年1月1日~12月31日における毎日の飼育水の水温 (Fig. 4) と有効積算温度 299.4 日 · °C を用いて, 各日に産卵した場合のふ化推定日を求めた (Fig. 5). 伊予灘東部海域沿岸では, 水深 5m 層 (飼育水を取水) と底層 (水深



**Figure 4.** Daily water temperature in the rearing tanks, which is almost equal to that of the coastal waters of eastern Iyo-Nada of the Seto Inland Sea, Japan.



**Figure 5.** Relationship between the spawning and hatching dates of *Octopus vulgaris* estimated from the mean effective cumulative temperature (299.4 day · °C) and daily water temperature in the rearing tanks.

10~30 m) の水温差は, 6月が 0.1°C; 7月, 8月が 0.5°C; 9月が 0.2°C; 10月が 0.1°C 程度, それぞれ水深 5m 層の方が高く, その他の月は両層の水温差はないと考えられる (愛媛県中予水産試験場, 1997; 愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場, 1998). したがって, ここで求めたふ化予定日は, 当海域沿岸におけるものよりも 7月, 8月が 1~2日短く算出されている可能性がある程度で, 伊予灘東部海域のマダコに適用することが可能であろう. 当海域における夜間調査では, ふ化直後のマダコ浮遊稚仔は, 3月, 4月を除くすべての月で採集されており, 6月を中心とした小規模な個体数密度の増加と, 10月を中心とした大規模な増

加が観測されている（坂口ほか，1999）。これらの調査結果を、今回得られたふ化推定日（Fig. 5）と照らし合わせてみると、6月に小規模な発生群として現われたふ化稚仔は、1月～5月中旬に産出された卵から発生したことになり、複数の発生群が含まれている可能性が高い。そして、その主体は、坂口ほか（1999）が報告しているように、4月を中心に産出された卵からふ化した個体であろう。また、10月に大規模な発生群として現われたふ化稚仔は、9月上旬～10月上旬に産出された卵から発生したものであると推定される。産卵範囲が1ヵ月と短いことから、この時期のふ化稚仔は、ほぼ単一の発生群で構成されているものと考えられる。また、1月、2月に少数の稚仔が観察されているが、これらの個体は11月上旬に産出された卵から発生したことになる。3月、4月には浮遊稚仔は観察されていないことから、11月中旬～下旬の産卵はないものと考えられる。

マダコは水温が7°C以下になると越冬回遊するという報告がある（井上，1969；秋元・佐藤，1980）。また、本研究において、マダコの飼育水の水温が発育臨界温度である11.9°C以下に低下する時期は、1997年、1998年ともにおおよそ1月中旬から3月上旬の間であった。この時期の伊予灘東部海域は、沿岸域（水深20–35 m）と沖合い域（水深32–60 m）、表層と底層、の水温差はほとんどみられず、しかも、水温が7°C以下に低下することはない（愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場，1998）。また、冬季もたこつぼや小型底びき網などによりマダコは漁獲されており、一部の雌には卵巣の成熟が認められる（坂口ほか，未発表）。したがって、当海域では、マダコは1月中旬から3月上旬にかけても越冬回遊をおこなわず、一部の個体は産卵していると推定される。しかしながら、冬季の伊予灘東部海域の水温は本研究で求めた発育臨界温度よりも低いこ

とから、産出された卵の発生は進まず、3月中旬以降になって水温が上昇したのちに発生を開始するものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を円滑におこなうことのできる環境を提供していただいた愛媛県中予水産試験場の菊地 弘 前場長および池田 毅 場長ほか中予水産試験場の皆様に深謝する。

## 引用文献

- 秋元義正・佐藤 照（1980）マダコの生態—I. 漁獲量の変動と移動. 福島水試研報, 6, 11–19.
- 愛媛県中予水産試験場（1997）平成8年度愛媛県中予水試事業報告, 48–51.
- 愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場（1998）平成7年度漁況予報事業結果報告書, 60–71.
- 井上喜平治（1969）タコの増殖. 水産増養殖叢書, 20, 日本水産資源保護協会編, 東京, 50 pp.
- 伊丹宏三・井沢康夫・前田三郎・中井 昊（1963）マダコ稚仔の飼育について. 日本誌, 29, 514–520.
- 伊藤嘉昭（1994）生態学と社会. 東海大学出版会, 東京, pp. 10–11.
- 川本信之（1978）養魚学各論. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 685–692.
- Naef, A. (1923) Die Cephalopoden. Fauna et Flora del Golfo di Napoli, 35, Part I, 1–148.
- 日本栽培漁業協会（1991）平成元年度日裁協年報, 74–77.
- 日本栽培漁業協会（1996）平成6年度日裁協年報, 69–74.
- 野村健一（1960）生物と環境. 細川隆英・加藤陸奥雄・北沢右三・野村健一・田口亮平・鳥居酉蔵, 生態学汎論, 養賢堂, 東京, pp. 23–60.
- Rees, W.J. (1950) The Distribution of *Octopus vulgaris* LAMARCK in British waters. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 29, 361–378.
- 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信（1999）伊予灘東部海域におけるマダコ浮遊期稚仔の出現状況. 水産海洋研究, 63, 181–187.
- 田中二良（1959）タコの増殖に関する基礎研究. 東京大学博士論文, 66 pp.