

マダコのみ化稚仔サイズに影響をおよぼす要因ならびに 雌の体重と卵巣卵数の関係

坂口秀雄^{†1}, 荒木 晶², 中園明信³

Factors Influencing Body Size of Hatchlings, and Relationship between Fecundity and Body Weight of Female, *Octopus vulgaris*

Hideo SAKAGUCHI^{†1}, Akira ARAKI² and Akinobu NAKAZONO³

Factors influencing the body size of *Octopus vulgaris* hatchlings were investigated using mature females individually reared in 1,000 l tanks under natural seawater conditions at the Ehime Prefectural Chuyo Fisheries Experimental Station. We also investigated the relationship between the weight of mature females and the fecundity (number of eggs in the ovary), using octopus captured in northeastern Iyo-Nada of the Seto Inland Sea, Japan. A multiple linear regression between the mantle area index (MAI) of the hatchlings calculated as mantle length (distance from the mantle end to the midpoint between eyes, mm) × mantle width (maximum width of the mantle, mm), female body weight (BW, g) and water temperature (T, °C), was estimated as: $MAI = 0.000254BW - 0.041T + 3.210$ ($N = 12$, $r = 0.932$, $P < 0.001$). The relationship between the body weight of the female (X, g) and the fecundity (Y) was estimated based on the current and previously published data of Hyogo Prefecture as: $Y = 1098X^{0.655}$ ($N = 21$, $r = 0.934$, $P < 0.001$). Our conclusions include that the female body weight and the water temperature influence egg size and that the early settlement of the paralarvae reduces the high mortality rate observed during the planktonic phase.

Key words: fecundity, hatchlings, mantle area index, *Octopus vulgaris*

はじめに

マダコ *Octopus vulgaris* の主産卵期は、瀬戸内海では春と秋の2回あると報告されており (田村, 1973; 川本, 1978; 日本栽培漁業協会, 1988; 坂岡ほか, 1996; 坂口ほか, 1999a, b), 個体当たりの産卵数は井上 (1951, 1969) が10万~15万個, 川本 (1978) が5万~20万個と推定している。しかしながら, 親ダコの体サイズと卵巣卵数 (卵巣中の成熟卵数) の関係を回帰式を用いて述べた報告は, 兵庫県 (1984) 以外にはみあたらない。兵庫県 (1984) は, 親ダコの体サイズにかかわらず卵のサイズは一定であることを前提

として, 親ダコの体重と卵巣卵数の関係を一次回帰式により推定している。しかしながら, 春に産出された卵およびそれらからふ化した稚仔は, 秋のものよりも大型であることが近年指摘されており (日本栽培漁業協会, 1988; 坂岡ほか, 1996; 坂口ほか, 1999a), 親ダコの体重と卵巣卵数の関係には直線回帰が当てはまらない可能性がでてきた。伊予灘東部海域ではマダコ浮遊期稚仔の分布密度は6月と10月にピークがみられる (坂口ほか, 1999a)。そして, 6月にふ化する稚仔のふ化日数は水温17°C前後で約2ヶ月, 10月にふ化する稚仔のそれは水温23°C前後で約1ヶ月であり, 春に産卵する親ダコは秋のものに比べて大型であることが報告されている (坂口ほか, 1999b)。さらに, 伊予灘東部海域で水揚げされたマダコの外套腹面長組成から, 夏~秋季産卵群は満1歳であるのに対し, 春季産卵群の主体は1.3歳であり, 体のサイズも後者の方が大きいことが報告されている (坂口ほか, 2000)。

著者らは, 春季と秋季でマダコの卵およびふ化稚仔のサイズに違いがみられる原因として, つぎの二つの可能性を考えた。①卵およびふ化稚仔のサイズは親のサイズを反映している。②環境水温により卵およびふ化稚仔のサイズが

2001年9月27日受付, 2002年3月26日受理

¹ 愛媛県中予水産試験場

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

² 水産大学校生物生産学科

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

³ 九州大学大学院農学研究院動物資源科学部門

Department of Animal and Marine Bioresource Science, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Hakozaki, Higashi, Fukuoka 812-8581, Japan

[†] hsakagti@lime.ocn.ne.jp

異なる。そこで、本研究では、親ダコの体重および環境水温とふ化稚仔サイズの関係、ならびに成熟したマダコの体重と卵巣卵数の関係について検討を行った。

試料と方法

ふ化稚仔サイズに影響を与える要因

1996年から1998年の間、伊予灘において、たこつぼおよび小型底びき網により漁獲されたマダコの中から、外套後部が十分に肥大し成熟していると思われる12個体の雌を愛媛県中予水産試験場に持ち帰った (Table 1)。供試個体は体重を測定後、室内の1,000 lパンライト水槽に1個体ずつ収容し、飼育海水は無調温自然海水の流水式とした。水槽内には、産卵床として市販のプラスチック製のたこつぼを1個ずつ設置した。毎日、午前9時に飼育水の水温を測定し、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。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)。そこで、産卵開始日からふ化開始日までの日数をふ化日数とし、ふ化日の異なる稚仔が混ざらないように、ふ化開始初日の稚仔のみを5%ホルマリンで固定した。後日、各群30個体の外套長 (ML , 外套後端から眼の中心までの長さ) および外套幅 (MW , 外套の最大幅) を実体顕微鏡下で測定した。さらに、外套部の大きさを表す指標として、外套面積指数 ($MAI, ML \times MW$) を求めた。

雌ダコの体重と卵巣卵数の関係

中予水産試験場では、伊予灘におけるマダコの漁獲実態を把握するために、毎月マダコを購入し、精密測定を行っている。そのうち、1998年から1999年にかけて測定したマダコの中で、 GSI 値が10以上の完熟と考えられる9個体の卵巣を5%ホルマリンで固定し、後日、卵巣卵数を計数した。

$$GSI = (OW/BW) \times 100$$

OW : 輸卵管を含む卵巣重量 (g)

BW : 体重 (g)

卵巣卵数は、卵巣の部分標本を約1g切り取り、標本の卵数を計数し、重量比により全体の卵数を推定した。

結 果

ふ化稚仔サイズに影響を与える要因

マダコは飼育開始から1~18日で産卵を開始した。4~5月に産出された卵はすべて6月にふ化し、ふ化日数範囲は48~57日 (平均51日) で、平均飼育水温範囲は17.0~18.3°Cであった。8~10月に産出された卵は8~11月にふ化し、ふ化日数範囲は22~30日 (平均27日) で、平均飼育水温範囲は21.7~25.2°Cであった (Table 1)。

本研究により得た12組のデータについて (Table 1)、親の体重 (BW) とふ化稚仔の外套長 (ML) および外套幅 (MW) の間の相関関係を調べた結果 (Table 2)、親の体重とふ化稚

Table 1. Body weight of mothers (BW) and body size of hatchlings of *Octopus vulgaris*. The mothers were individually reared in 1,000 l tanks under flowing, natural seawater conditions at the Ehime Prefectural Chuyo Fisheries Experimental Station, after measurement of the total body weight (BW). Mantle length (ML) and width (MW) of hatchlings are shown as a mean value of thirty specimens. BW : body weight of mothers in g, ML : distance from the mantle end to the midpoint between eyes in mm, MW : maximum width of the mantle in mm, MAI : mantle area index is calculated as $ML \times MW$.

Year	Spawning date (A)	Hatching date (B)	Incubation days (A-B)	Mean water temp. (°C)	BW (g)	Hatchlings			
						Number of specimen	ML (mm)	MW (mm)	MAI
1996	Sep. 17	Oct. 14	27	23.11	460	30	1.75	1.52	2.66
	Sep. 30	Oct. 28	28	22.14	230	30	1.71	1.28	2.19
	Sep. 30	Oct. 30	30	22.05	420	30	1.73	1.34	2.32
1997	Apr. 17	June 13	57	17.03	2860	30	1.94	1.67	3.24
	Sep. 7	Oct. 2	25	24.33	940	30	1.79	1.39	2.49
	Sep. 11	Oct. 6	25	23.99	480	30	1.71	1.40	2.39
	Oct. 5	Nov. 4	30	21.67	290	30	1.74	1.34	2.33
1998	May 2	June 21	50	17.92	1150	30	1.77	1.53	2.71
	May 3	June 22	50	18.00	2320	30	1.85	1.66	3.07
	May 5	June 22	48	18.05	820	30	1.91	1.46	2.79
	May 9	June 26	48	18.28	1350	30	1.87	1.51	2.82
	Aug. 7	Aug. 29	22	25.22	1790	30	1.95	1.32	2.57

Table 2. Correlation coefficient between the body weight of mothers (*BW*) and the mantle size of hatchlings of *Octopus vulgaris* (*ML*, *MW*, *MAI*). *ML*: mantle length, *MW*: mantle width, *MAI*: mantle area index.

Correlation	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>BW-ML</i>	0.790	<0.01
<i>BW-MW</i>	0.729	<0.01
<i>ML-MW</i>	0.437	>0.05
<i>BW-MAI</i>	0.872	<0.001

仔の外殻長の間 ($r=0.790$) および親の体重とふ化稚仔の外殻幅の間 ($r=0.729$) に正の相関がみられた ($P<0.01$). しかしながら、ふ化稚仔の外殻長と外殻幅の間には相関はみられなかった ($r=0.437, P>0.05$). これらのことから、ふ化稚仔のサイズは親ダコのサイズを反映しているものの、ふ化稚仔の外殻の形状は、必ずしも相似形ではないと考えられた。つぎに、外殻面積指数と親ダコの体重との間の相関関係を調べたところ、外殻長と外殻幅それぞれ単独の場合よりも高い相関 ($r=0.872, P<0.001$) を示した (Table 2). そこで、親ダコの体重 (*BW*, g) と外殻面積指数 (*MAI*) について、つぎの回帰式を得た (Fig. 1).

$$MAI=0.000325BW+2.277 \quad (N=12, r=0.872, P<0.001)$$

つぎに、ふ化稚仔サイズと水温の関係について検討を行った。6月ふ化個体と8~11月ふ化個体を比較すると、前者の親ダコの体重範囲は820~2,860 g、後者の親ダコの体重範囲は230~1,790 gで、親の平均的なサイズは6月ふ化個体の方が明らかに大きく、大きい親から産まれた稚仔の *MAI* は、小さい親から生まれた稚仔よりも大きい傾向にあった (Fig. 1). しかしながら、同程度の体重の親ダコでも、稚仔の *MAI* 値は8~11月ふ化個体よりも6月ふ化個体の方が大きい傾向がうかがえ、ふ化稚仔サイズに水温が関与している可能性も示唆された (Fig. 1). そこで、親の体重 (*BW*, g) と飼育水温 (*T*, °C) を説明変数、稚仔の *MAI* を基準変数として重回帰分析を行い、つぎに示す重回帰式を得た。

$$MAI=0.000254BW-0.041T+3.210$$

$$(N=12, r=0.932, P<0.001)$$

ここで、偏回帰係数および定数項の有効性の検定を行ったところ、有意水準0.05~0.001で帰無仮説は棄却され、偏回帰係数および定数項は有効であった。また、標準偏回帰係数は、親の体重にかかるものが0.681、水温にかかるものが-0.381となり、ふ化稚仔のサイズは水温よりも親の体重の影響をより強く受けていた。

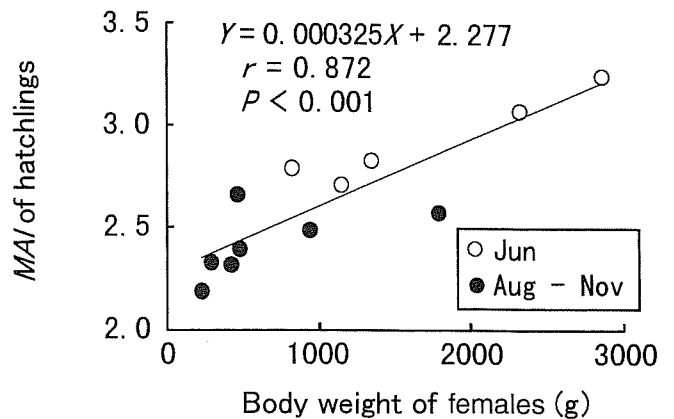


Figure 1. Relationship between the body weight of females and the mantle area index (*MAI*) of hatchlings of *Octopus vulgaris* by hatching month. *MAI* was simply calculated as mantle length (distance from the mantle end to the midpoint between eyes, mm) × mantle width (maximum width of the mantle, mm).

Table 3. Body weight and fecundity (number of eggs in the ovary) of mature *Octopus vulgaris*, which were captured using octopus pots in northeastern Iyo-Nada of the Seto Inland Sea, Japan. The ovary weight includes the weight of the oviducts.

Year	Date	Body weight (A, g)	Ovary weight (B, g)	Gonadal somatic index (B/A · 100)	Fecundity
1998	May 20	1638	2470	15.1	120258
	June 17	973	104.6	10.8	118500
	Sep. 11	1755	221.4	12.6	135125
1999	Feb. 5	1588	227.3	14.3	121743
	Mar 17	2050	364.5	17.8	140968
	Mar. 23	830	136.9	16.5	81984
	Mar. 23	1620	178.5	11.0	132665
	Mar. 23	1780	244.8	13.8	146118
	Mar. 23	1794	334.5	18.6	166963

雌ダコの体重と卵巣卵数の関係

9個体の完熟した雌ダコについて、体重、卵巣重量および卵巣卵数のデータを得た (Table 3). 親のサイズとふ化稚仔のサイズとの間に正の相関がみられることから (Table 2, Fig. 1), 卵巣卵についても親のサイズに対応してサイズが変異しているものと考えられる。そのため、親のサイズと卵巣卵数との関係は、「一次関数」ではなく「べき関数」で表すべきであろう。

そこで、本研究により得たデータを用いて、体重 (*X*, g) と卵巣卵数 (*Y*, 個) 関係をべき関数 $Y=bX^a$ により求め

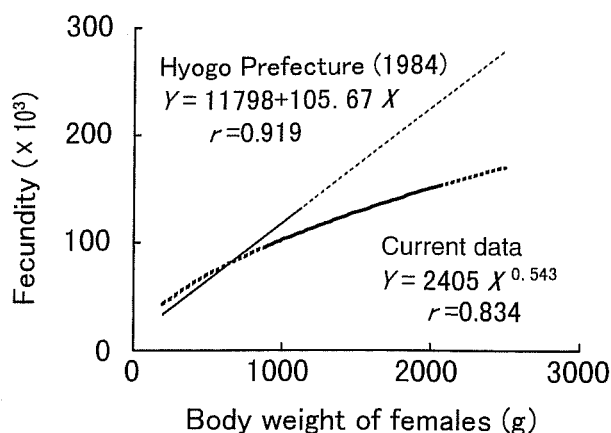


Figure 2. Relationships between body weight of mature females and the fecundity (number of eggs in the ovary) of *Octopus vulgaris* based on the current data and Hyogo Prefecture (1984). Broken lines indicate extrapolation.

(Fig. 2), つぎの回帰式を得た.

$$Y = 2405X^{0.543} \quad (N=9, r=0.834, P<0.001).$$

これによると、卵巣卵数は、体重 200 g で 4.3 万個、体重 1,000 g で 10.2 万個、体重 2,000 g で 14.9 万個、体重 3,000 g で 18.6 万個、体重 3,500 g で 20.2 万個となり、兵庫県 (1984) の結果と比べると、体重 664 g 未満では卵数は多く、体重 664 g 以上では卵数は少なく算出された (Fig. 2)。本研究で使用した試料の体重範囲は 830~2,050 g で、ほとんどは体重 1,500 g 以上の個体を使用しており、小型個体の卵巣卵数を推定するにはこの回帰式は適さない (Fig. 2)。

兵庫県 (1984) は熟卵を有する雌 12 個体について、体重と卵巣卵数の関係を一次関数により求めている (Fig. 2)。しかしながら、兵庫県 (1984) が使用した試料のほとんどは体重 1,000 g 未満の個体であり、大型個体の卵巣卵数を推定するには、この回帰式は適さない。そこで、兵庫県 (1984) が示した体重-卵巣卵数関係図から、そこで用いられている試料 12 個体の体重と卵巣卵数の値を読み取り、それらを本研究のデータに加え、べき関数によりつぎの回帰式を得た (Fig. 3)。

$$Y = 1098X^{0.655} \quad (N=21, r=0.934, P<0.001).$$

この回帰式によると、卵巣卵数は、体重 200 g で 3.5 万個、体重 1,000 g で 10.1 万個、体重 2,000 g で 16.0 万個、体重 3,000 g で 20.8 万個、体重 3,500 g で 23.0 万個と算出された。田中 (1959) は、体重 3,350 g のマダコが産出した卵塊について卵数を計数し、卵数を約 21 万個と報告している。本研究で得た回帰式により同体重の雌ダコの卵巣卵数を求めると 22.4 万個となり、田中 (1959) の結果とほぼ一致した。

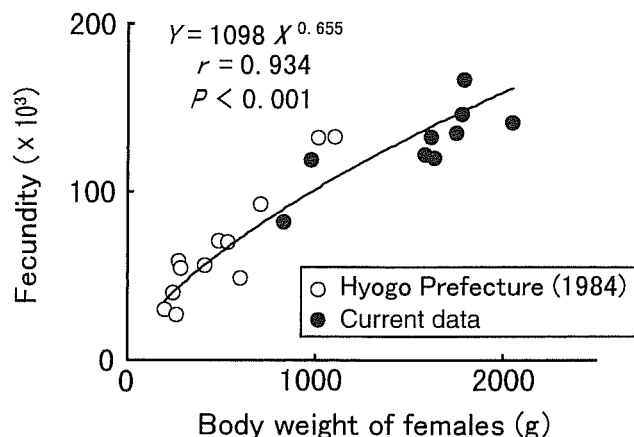


Figure 3. Relationship between body weight of mature females and the fecundity of *Octopus vulgaris*. Solid circles indicate the current data; open circles indicate data recalculated from Fig. 15 of Hyogo Prefecture (1984).

考 察

本研究により、ふ化直後のマダコ稚仔の外套長と外套幅の比率は一定しないものの、相対的な稚仔のサイズは親ダコの体サイズを反映していること、および発生時の水温とふ化稚仔の体サイズの間には負の相関がみられることが明らかとなった。カタクチイワシ *Engraulis japonicus* などの浮性卵を産む魚類では、水温が低いほど卵内発生時間が長く、他生物からの食害を受け生残率が低下するため、卵が大型化する傾向にあることが報告されている (今井, 2001; 原田・酒井, 2001)。また、アユ *Plecoglossus altivelis* では、地理的、時期的に水温が低い生息環境ほど低水温耐性の高い大型卵を産むことが報告されている (井口, 2001)。このように、水生動物は、生息が不利な環境に置かれると、卵サイズが大型化する傾向にあることが知られている (山本, 2001)。しかしながら、マダコの場合、卵がふ化するまで親が卵を保護するため、産卵時期が異なっても、ふ化までの生残率はほぼ 100% であり、卵サイズの変異を卵の生残率から説明することはできない。星野・西村 (2001) は、稚魚にとって餌料生物の多い環境は同時に捕食生物の多い環境であることが多く、稚魚の生残率を高める戦略として大型卵を産む可能性を指摘している。マダコでは、春季に産出される大型卵は初夏 (6~7 月) にふ化するが (坂口ほか, 1999a, 1999b)、当海域ではこの時期に産卵する魚類が多いことから (愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場, 2000, 2001)、この時期にはマダコ稚仔の潜在的捕食者が多いものと考えられる。また、坂口ほか (1999a) は、マダコ稚仔の浮遊期間について、秋季発生群は約 2 ヶ月であるが、初夏発生群については不明であると報告している。しかしながら、Villanueva (1995) は、マダコ稚仔が底生に移行する時期は、日齢に関係なく、外套長が 7.5 mm に達

した時点であることを報告していることから、秋季発生群よりもサイズの大きい初夏発生群の浮遊期間は、2ヵ月よりも短いものと考えられる。これらのことから、マダコは初夏には稚仔を大型化し、捕食される確率を減少させるとともに、速やかに底生生活に移行することにより（坂口ほか、2000）、最も死亡率の高い浮遊期間を短縮しているのであろう。一方、低水温になるほどふ化稚仔サイズが大きくなる現象については、水温が低いほど稚仔の成長速度は小さくなり、浮遊期間が長くなると考えられることから、浮遊期間を短縮するための適応かもしれない。

謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、有益なご助言とご校閲をいただいた水産大学校生物生産学科浜野龍夫博士ならびにマダコの飼育および測定にご協力いただいた愛媛県中予水産試験場職員の皆様に深謝する。

引用文献

- 愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場 (2000) 平成9年漁海況予報事業結果報告書。愛媛県, 134 pp.
- 愛媛県中予水産試験場・愛媛県水産試験場 (2001) 平成10年漁海況予報事業結果報告書。愛媛県, 127 pp.
- 原田泰志・酒井聡樹 (2001) 卵サイズモデル：子の保護と親のサイズ。水生動物の卵サイズ, 後藤 晃・井口恵一郎編, 海游舎, 東京, 209-233.
- 星野 昇・西村欣也 (2001) 水圏生物種に共通の一般原則：モデル

- で考える。水生動物の卵サイズ, 後藤 晃・井口恵一郎編, 海游舎, 東京, 103-128.
- 兵庫県 (1984) 大規模増殖場造成事業調査結果報告書, 47 pp.
- 井口恵一郎 (2001) 個体から集団レベルの適応：アユ。水生動物の卵サイズ, 後藤 晃・井口恵一郎編, 海游舎, 東京, 43-64.
- 今井千文 (2001) 水温と孵化後の生き残り：カタクチイワシ。水生動物の卵サイズ, 後藤 晃・井口恵一郎編, 海游舎, 東京, 22-42.
- 井上喜平治 (1951) タコの養殖。水産界, **802**, 46-63.
- 井上喜平治 (1969) タコの増殖。水産増殖叢書, 20, 日本水産資源保護協会編, 50 pp.
- 川本信之 (1978) 養魚学各論。恒星社厚生閣, 東京, pp. 685-692.
- 日本栽培漁業協会 (1988) 昭和61年度日栽協年報, 84-86.
- 日本栽培漁業協会 (1991) 平成元年度日栽協年報, 74-77.
- 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (1999a) 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.
- 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (1999b) マダコ卵のふ化日数と水温の関係。水産海洋研究, **63**, 188-191.
- 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (2000) 水揚げ組成からみたマダコの個体群構造。水産海洋研究, **64**, 224-234.
- 坂岡 賢・峠 恭雄・橋本博明・具島健二・渋谷拓郎 (1996) 瀬戸内海中部域における浮遊期マダコの出現について。平成8年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 731.
- 田村 正 (1973) 浅海増殖学。恒星社厚生閣, 東京, 167-173.
- 田中二良 (1959) タコの増殖に関する基礎研究。博士論文, 東京大学, 東京, 66 pp.
- 山本祥一郎 (2001) 孵化日と生活史変異：イワシ。水生動物の卵サイズ, 後藤 晃・井口恵一郎編, 海游舎, 東京, 87-102.
- Villanueva, R. (1995) Experimental rearing and growth of planktonic *Octopus vulgaris* from hatching to settlement. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **52**, 2639-2650.