徳島県太平洋沿岸のアカアマダイの性分化, 成熟および産卵期

渡辺 健一, 鈴木 伸洋

(1995年5月15日受付)

Sex Differentiation, Sexual Maturity and the Spawning Season of the Red Tilefish
Branchiostegus japonicus on the Pacific Coast of Tokushima PrefectureKen-ichi Watanabe*¹ and Nobuhiro Suzuki*²

The one year-old red tilefish *Branchiostegus japonicus* (smaller than 20 cm in total length (TL)) possesses an intersexual gonad, in which primary oocytes and spermatogonia are observed. Thereafter, the gonad differentiates into either an ovary or testis. In the ovary, spermatogonia disappear and oocytes markedly increase in size and number, whereas in the testis, oocytes, although decreasing and degenerating, are observed to remain long. Most males over three years old (larger than 30 cm in TL) possess a complete testis.

Gonadal maturation is observed to occur from late May through late October in females, and from mid-May through late January in males. The biological minimum size is 21.4 cm TL in females and 23.7 cm TL in males. Most females and males mature at two and three years-old, respectively.

キーワード: アカアマダイ, 性分化, 成熟, 産卵期

アカアマダイの産卵期についてはいくつかの報告があり, 東シナ海では入江¹⁾が生殖腺熟度指数と卵径組成の季節変化からその産卵期を9~12月, 盛期を11月とし, 林²⁾は生殖腺熟度指数の季節変化から産卵期を6~11月, 盛期を高齢魚で7月と10月, 若齢魚で8月と11月の2回あると判断した。また, 若狭湾では清野³⁾が同様に生殖腺熟度指数の季節変化から産卵期が年齢により異なり, 3年魚で9~10月, 4年魚で8~10月, 5年魚以上で7~10月, 全体の盛期を9, 10月と推定した。日向灘では同じく生殖腺熟度指数の変化から黒木, 寺山⁴⁾が産卵期を5~10月, 盛期を7~9月としている。また, 雌の成熟は日向灘では1才後半から,⁴⁾ 若狭湾では2年魚(1才魚)終わり,³⁾ 東シナ海では2才以上(一部1才)²⁾とされ, 生物学的最小型は日向灘で体長180 mm前後,⁴⁾ 東シナ海で体長175 mm前後²⁾とそれぞれ推定されている。一方, 雄については生殖腺熟度指数の変化からその成熟盛期や成熟年齢などが推定されているが, 生殖腺が細く糸状であるものが多く, 雌ほどこれらについて明確な結論が得られていない。また, 本種の性分化過程を扱った報告は見られない。本報告では, 徳島県太平洋沿岸のアカアマダイについて生殖腺の組織観察により1才時の間性現象と2才以降の卵巣の

出現および間性生殖腺から精巣への移行過程が把握され, 雌雄の分化過程が明らかになったので報告するとともに, 雌雄の成熟開始年齢, 群成熟年齢および産卵期などを明らかにした。

材料および方法

調査海域はFig. 1に示す徳島県太平洋沿岸で, 標本採集は日和佐漁協と牟岐町漁協出羽島支所で行った。Fig. 1に示すように両漁協所属の標本船は牟岐大島周辺を主体に東は紀伊水道口にある伊島南部から西は高知県東洋町沖合いまでの海域でアカアマダイを漁獲しており, 標本はこの海域から漁獲されたものである。

雌の産卵期を把握するため, 1991年3月から1993年3月までに採集された標本を解剖し, 生殖腺の外観上明らかな卵巣を持つ508個体の生殖腺熟度指数(GSI)と1992年4月から1993年12月までの同様の419個体のうちの卵巣内の完熟卵保有個体の出現率の季節変化を調べた。GSIは次のとおり求めた。

$$GSI = [\text{生殖腺重量 (g)} / \text{体重 (g)}] \times 100$$

完熟卵は0.9 mm前後の透明卵で, 未熟卵との区別は容易であった。また, 年齢別成熟率を把握するため, 産卵期と判断された1993年6月から同年10月までの雌

*1 徳島県水産試験場 (Tokushima Prefectural Fisheries Experimental Station, Hiwasa, Kaihu, Tokushima 779-23, Japan).

*2 南海海区水産研究所 (Nansei National Fisheries Research Institute, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan).

Fig. 1. Sampling localities in the present study. Area marked by slanted lines indicates the fishing ground of *Branchiostegus japonicus* along the Pacific coast of Tokushima Prefecture.

109 個体について年齢別に熟卵保有個体の出現率を調べた。一方、雄の産卵期については1992年4月から1993年3月までの外観上卵巣と見なされない生殖腺を持つ321個体の生殖腺熟度指数を調べた。この中には精巣に分化した生殖腺と間性生殖腺を持つ個体が含まれている。

また、外観上卵巣および精巣と認められる生殖腺の一部と、そのどちらとも不明の細く糸状の生殖腺を主体に光学顕微鏡による組織観察を行った。生殖腺の組織観察を行った個体は、1992年10月から1993年12月までに採集された標本138個体である。組織は中性ホルマリン液で固定後、常法によりパラフィン切片を作成し、ヘマトキシリン・エオシンで染色した。

年齢査定は林²⁾に従って耳石の年輪を用いたが、高齢の雌で査定の困難な個体があった。したがって、雌の年齢別群成熟度を求める時に高齢魚については7才以上をひとまとめにし、査定の困難であった個体をその中に含めた。以下の年齢は、便宜的に8月を産卵の基準月として表した。

結 果

アカアマダイの年齢 年齢別成熟率および性分化過程などを把握するために標本の年齢査定を行った。耳石による年輪の読み取りは5才以上的高齢魚、特に成長が遅くて年輪間隔が狭い雌で難しく、7才以上の雌の一部で査定ができなかった。しかし、4才以下の個体の年齢査定は比較的容易で、本研究に十分利用できた。また、本海域のアカアマダイは雄が満1才で全長18 cm、2才で24 cm、3才で29 cm、4才で33 cm、5才で37 cm、8

才で45 cmに、一方雌が1才で15 cm、2才で19 cm、3才で22 cm、4才で25 cm、5才で28 cm、8才で34 cmにそれぞれ成長するものと推定された。

アカアマダイの性分化 本海域では、8月頃に満1才になったばかりの全長16 cmから19 cmまでのアカアマダイの未成魚が漁獲されるが、その生殖腺は極めて細い糸状を呈していた。顕微鏡による組織観察では、それらの生殖腺には染色仁期および周辺仁前期の卵母細胞が多数観察され、同時にヘマトキシリンに淡く染まってやや不定形の大きな核を持つ精原細胞と推定される生殖細胞の存在も認められた。この生殖腺には、卵母細胞を囲むように将来卵巣薄板を構成する繊維性結合組織によりゆるやかな小囊構造が形成されており、精原細胞はこの結合組織中に部分的に包囊状に集合していた (Fig. 2, A)。次に11月に採集された1才魚の生殖腺では全ての個体に間性現象が認められたが、その構造の変化から次の2つのグループに分けられた。一つは精母細胞の増加とともに結合組織の充実による明瞭な精小囊構造の形成、さらには退化的卵母細胞が観察されるようになった生殖腺 (Fig. 2, B) を持つグループで、もう一つは卵母細胞の成長と増数が認められるとともに間性未熟個体で見られた小囊構造の消失、卵巣薄板の形成 (Fig. 2, C) が認められたグループである。さらに、2年目の産卵期を迎えた2才魚では、色、形から見て外観上卵巣と判断される生殖腺を持つ個体が出現するが、最も小型の個体の生殖腺では染色仁期、周辺仁期および卵黄期にまで発達した第一次卵母細胞が観察された。また、卵巣薄板は明瞭に認められたが、薄板間の空隙はせまかった (Fig. 2, D)。この状態の生殖腺を持つ最小個体は全長20.1 cmの2才魚であった。また、卵巣を持つ大型の2才魚では、卵巣腔の形成とともに成熟卵の形成も認められた。一方、2才以上の個体において、上記の卵巣以外に外観上細い糸状で精巣と卵巣の区別がつかない生殖腺や精巣と判断される生殖腺を持つ個体があった。これらの生殖腺の組織観察では、個体の成長とともに結合組織の充実による明瞭な精小囊構造の形成とともに精母細胞の増加が認められ、さらには各成長段階の精母細胞の包囊が多数認められるようになった (Fig. 2, E)。さらに全長30 cm以上の大型魚ではそれまでの糸状の細い生殖腺から、幅広く外観上精巣と判断される生殖腺を持つ個体が多くなり、その生殖腺の精小囊中の卵母細胞の数は減少し、全長40 cm近くになった個体ではほとんど観察されなくなった (Fig. 2, F)。

雌の成熟と産卵期 外観上卵巣と判断される生殖腺を持った個体のGSIの月別変化をFig. 3に示した。3月から5月中旬までに採集された全ての個体のGSIは10以下であるが、5月下旬になると10以上の個体がか

Fig. 2. Light microscopic gonadal sections of *Branchiostegus japonicus*.

Oo, oocyte; Sg, spermatogonium; Sc, spermatocyte; Sm, spermatid; Sp, sperm; Sl, seminal lobule. A, Intersexual gonad of one year-old fish of 18.1 cm in total length (TL), $\times 200$. B, Intersexual gonad at the incipient stage of sex differentiation to testis, (one year-old fish of 19.8 cm TL), $\times 200$. C, Intersexual gonad at the incipient stage of differentiation to ovary (one year-old fish of 19.0 cm TL), $\times 100$. D, The ovary of a two year-old fish of 20.1 cm TL, $\times 100$. E, Intersexual gonad differentiating to testis (two year-old fish of 23.7 cm TL), $\times 200$. F, Developed testis of a four year-old fish of 38.7 cm TL, $\times 50$.

り出現し、30 近くの値を示す個体も認められた。GSI が 20 以上を示す個体は 10 月下旬まで見られ、11 月になるといずれの個体も 20 以下となった。これから GSI が高い個体は 5 月下旬から出現し、10 月下旬頃まで認められたことになる。完熟卵保有個体は Table 1 に示したように早い時で 5 月下旬から出現し、10 月中旬まで認められた。雌の完熟卵を持った最小個体（生物学的最

小型）は 8 月を基準月とした場合、満 2 才になったばかりの全長 21.7 cm の個体であった。

また、完熟卵を持った成熟した個体の年齢別成熟率は Table 2 に示した。2 才から成熟個体が出現し、その出現率（成熟率）は 61.1%, 3 才では 67.4%, 4 才で 92.9 % で、5 才以上ではほぼ 100% となった。

雄の成熟 上記の卵巣を持つ個体を除いた標本は、

Fig. 3. Relationships between total length and gonadosomatic index (GSI) in females of *Branchiostegus japonicus*.

- : Apr., 1991–Feb., 1992
 ● : Apr., 1992–March, 1993

Table 1. Seasonal changes in the ratio of mature females in *Branchiostegus japonicus*

Sampling date		Ratio (A/B) (%)	No. of mature females (A) * ¹	No. of females investigated (B) * ²
Mid	Apr., 1992	0	0	17
Late	May	0	0	9
Late	July	18.2	2	11
Late	Sep.	77.8	7	9
Early	Oct.	77.3	17	22
Mid	Oct.	16.7	1	6
Late	Oct.	0	0	11
Early	Nov.	0	0	17
Late	Nov.	0	0	21
Mid	Dec.	0	0	22
Late	Dec.	0	0	12
Mid	Jan., 1993	0	0	10
Late	Jan.	0	0	8
Early	Feb.	0	0	10
Mid	Feb.	0	0	12
Mid	Mar.	0	0	11
Mid	Apr.	0	0	15
Late	Apr.	0	0	5
Mid	May	0	0	12
Late	May	13.9	5	36
Early	June	50.0	2	4
Mid	June	40.0	2	5
Late	June	54.5	6	11
Early	July	100.0	10	10
Mid	July	47.4	9	19
Early	Aug.	80.0	4	5
Mid	Aug.	69.2	9	13
Late	Aug.	90.5	19	21
Mid	Sep.	72.7	8	11
Early	Oct.	68.4	13	19
Mid	Oct.	57.1	4	7
Late	Nov.	0	0	16
Late	Nov.	0	0	2

*¹ Females which have ripe eggs.*² All specimens are the fish over two years old.

Table 3 に示すように様々な成熟段階の間性生殖腺を持つ個体および卵母細胞が消滅した精巣を持つ完全な雄が含まれている。表中の I は、精小囊内腔が形成されてその中に精子が充満している状態が観察され、卵母細胞が消失した生殖腺を持つ個体、II は卵母細胞が認められるものの同様な精子の状態が観察されたもので、いずれも雄として完熟した個体と考えて良いと思われた。III は精子が観察されたにもかかわらず卵母細胞が多数観察された個体、IV は精子の形成は認められなかったものの精原

Table 2. Relationship between age and mature specimen in *Branchiostegus japonicus* females

Age (Year)	Ratio (%) (A/B)	No. of mature females (A) * ¹	No. of females investigated (B) * ²
2	61.1	11	18
3	67.4	31	46
4	92.9	26	28
5	100	6	6
6	85.7	6	7
7 <	100	4	4

*¹ Females which have ripe eggs.*² Specimens investigated from June to October in 1993.**Table 3.** Relationship between total length and phase of gonadal differentiation in *Branchiostegus japonicus* excepted for all specimens having complete ovaries

Total length (cm)	No. of Samples	Phase of gonadal differentiation			
		I	II	III	IV
<20	9				9
20 ≤ ~ <25	15		1	4	10
20 ≤ ~ <30	25	4	8	4	9
30 ≤ ~ <35	22	15	7		
35 ≤ ~ <40	35	24	10	1	
40 ≤	32	31	1		
Total	138				

I: Ripe testis; the gonad with neumerous sperm filling lobule lumen.

II: Ripe testis; the gonad with a few oocytes and neumerous sperm filling lobule lumen.

III: Gonad with many oocytes and some sperm in lobule lumen.

IV: Gonad with many oocytes, and some spermatogonia, spermatocytes and spermatids.

細胞、精母細胞、精細胞および各包囊のいずれかが認められ、かつ卵母細胞が多い個体である。したがって I が完全な雄、II—IV が間性個体と判断した。これらの割合は Table 3 に示したように 1 才魚を多く含む 20 cm 未満の個体では大部分 IV のみであるが、30 cm 以上で I と II が大部分となり 40 cm 以上ではほとんど I のみとなった。雄の生殖腺は小さく、Fig. 4 に示したように GSI が高い個体でも 1 を少し上回る程度である。GSI が 0.5 を上回る個体は、全長 30 cm 以上の個体に多く、年によりかなりの相違があるが、時期的には 5 月中旬から 1 月下旬までその出現が認められた。全長 30 cm 未満の個体の生殖腺は極めて細く線状を呈し、その重さは 0.1 g 未満が大部分であるが、30 cm 以上の個体で 0.1

Fig. 4. Relationships between total length and gonadosomatic index (GSI) in males of *Branchiostegus japonicus*.
 ○ : Apr., 1991–Feb., 1992
 ● : Apr., 1992–March, 1993

g 以上が大半となり, 40 cm を超える個体では 2 g を上回る個体が認められた。これらの大型個体の生殖腺は外観上幅が広くなり帯状になっていることが多かった。しかし, 雌の卵巢重量が 50 g 程度に増大するのに比べて精巣重量は小さくその相違は著しかった。

1992 年 8 月から 1993 年 12 月までの雄および間性個体の生殖腺組織観察では, 精小嚢内に内腔が認められ, その中に精子が集合している個体がほぼ周年にわたって観察された。また, 大型個体の帯状の生殖腺だけでなく小型個体の線状の細い生殖腺にも精子の形成が認められた。精子が形成されていた最小個体は全長 23.7 cm の 2 才魚であった。

考 察

満 1 才の 8 月頃の未熟魚において, ほとんどの個体の生殖腺に染色二期および周辺仁前期の卵母細胞とともに精原細胞が認められたことから, アカマダイは, この段階では間性現象を示すものと考えられた。しかし, 1 才の 11 月頃の標本は, 間性現象を示すものの, 精母細胞の増加とともに結合組織による明瞭な精小嚢構造の形成が認められる生殖腺を持つものと, 卵母細胞の成長と増数とともに小嚢構造の消失, 卵巢薄板の形成が認められる生殖腺に分けられた。したがってこの段階で前者は雄へ, 後者は雌への分化を始めているものと考えられた。その後, 満 2 才になる頃には周辺仁期の卵母細胞とともに卵黄胞期から中には完熟状態の卵母細胞を持ち, 外観上からも卵巢と判断される生殖腺を持つ雌が出現した。一方, 雄への分化を始めた生殖腺の間性現象はかなり長期間認められ, 間性生殖腺の卵母細胞は, その後の体成長と生殖腺内の各成長段階の精母細胞等とその包囊の増加とともに数を減少させるが, 大型個体の外観上精巣と認められる生殖腺の精小嚢内にも認められる例が多かった。しかし, 全長 30 cm 以上の大型個体では, 精小嚢内に精母細胞等の包囊の数が圧倒的となり, 卵母細胞が認められない個体も多くなった。また, 外観上からも精巣と判断される生殖腺を持ち, 精小嚢内に精子が充満している個体が多くなった。したがって, アカマダイは, 1 才時の産卵期頃 (8 月) には雌雄への分化が認められない間性現象を呈するが, その年の産卵期を過ぎた頃 (11 月) には生殖腺の組織において雌雄への分化を始め, 満 2 才になると, 成熟を開始した卵母細胞を有し, 外観上からも卵巢を持つ雌が出現させる。一方, 雄は 2 才でも間性現象を呈するが, 成長とともに生殖腺構造において雄への分化をより顕著にさせ, 3 才から 4 才になる頃にはほぼ完全な精巣を持つ雄が出現さ

せるものと考えられた。

奥村, 中園^{*3}は若狭湾産アカマダイの雌雄性について, 体長 5 cm までは未分化で, 以後卵巢様生殖腺が発達し, 体長 11 cm 頃から卵巢を持つ雌, 体長 17 cm 頃から両性生殖腺を持つ機能的な雄が出現し, 若狭湾では体長 15 cm 頃に機能的な雌雄への分化が始まり, 体長 20 cm までにはほぼ性分化を終えるとしている。本報告の天然魚の標本は延縄の漁獲物であり全長 15 cm 未満の小型魚は漁獲されず, その生殖腺の調査はできなかったが, 1 才時は全て間性現象を呈することを明確に示すことができた。また, 今回の調査では卵巢を持つ雌は全長 20.1 cm (体長 16.2 cm) で, 間性現象を示し, 精子形成が認められた機能的な雄は全長 23.7 cm (体長 19.1 cm) で出現しているところから, 性分化は奥村, 中園^{*3}の結果より遅くなっている可能性が考えられた。これは海域の差による違いかもしくは奥村, 中園^{*3}が天然魚とともに人工種苗を用いて生殖腺を観察しているところから, 人工種苗による違いとも考えられる。これについては今後詳細な検討をする必要があろう。

生殖腺の外観から雌に分化したと判断した個体について, 完熟卵保有個体の出現が 5 月下旬から 10 月中旬まで認められること, また, このころの GSI が高いことから, 徳島県太平洋沿岸のアカマダイの雌の産卵期は, 5 月下旬から 10 月中旬と推定した。これは日向灘のアカマダイの産卵期⁴⁾とはほぼ一致し, 若狭湾³⁾と東シナ海²⁾のものより若干早く始まっていると考えられた。雌の成熟開始年齢と生物学的最小型については, 林²⁾と黒木, 寺山⁴⁾がいずれも GSI 値の変化から生物学的最小型は体長が 175 mm 前後と 180 mm とし, それぞれ 1 才魚の一部あるいは 1 才後半からの成熟を推定している。本研究では, 生物学的最小型は全長 21.7 cm (体長 17.7 cm) であり, 8 月を産卵の基準月とした場合 2 才魚となることから, 卵巢が完熟するのは 2 才からと判断された。この判断は, 生殖腺中に完熟卵が保有されているかどうかで行ったが, 清野³⁾は類似の方法により生物学的最小型を 2 年後半 (1 才後半) とした。また, 今回の生物学的最小型は, 林²⁾と黒木, 寺山⁴⁾のいずれの結果ともほぼ一致し, 清野³⁾の結果も含め, アカマダイが産卵を開始するのは産まれてから 2 回目の産卵期からということを示している。したがって, ここでは群成熟年齢, つまり一つの発生群の産卵開始年齢を 2 才とし, 2 才で 61.1% が, 4 才で大部分の 92.9% が成熟し, 5 才で群成熟が完了するものと推定された。

雄は, 生殖腺組織の観察で精小嚢内に内腔が形成さ

*3 奥村重信, 中園明信: 平成 7 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 1995, p126.

れ、そこに精子が集合している個体が周年観察された。また、精子の形成が認められた最小個体は全長 23.7 cm の 2 才魚で、成熟は 2 才からと考えられた。しかし、精子の形成が認められたとしても、極めて細い線状の精巣しか持っていない雄が成熟した雌の産んだ卵を十分受精させることができるかどうかは疑問である。*GSI* の変化からは、*GSI* が高くなるのは全長 30 cm 以上の個体が大部分であった。この生殖腺はこれ以下の体長の個体の生殖腺が細く線状であるのに対して帯状に発達しており、精小嚢内もしくは輸精管に精子が充満していた。したがって雄の繁殖期は *GSI* の高い個体が出現する 5 月中旬から 1 才下旬で、繁殖盛期に至るのは外観からも精巣と判断され、*GSI* が 0.5 以上と高く、さらに精小嚢内や輸精管に精子が充満している精巣を持つ個体が多数観察されるようになる 3 才からと判断した。若狭湾のアカアマダイの雄については清野ら³⁾が *GSI* が高くなるのは全長 31~32 cm の 4 年魚 (3 才魚) からであり、雄の生物学的最小型は 4 年魚初めとし、東シナ海の雄では、林²⁾が生物学的最小型を体長 225 mm、

成熟年齢を 3 才としているが、今回の結果はこれらに一致するものであった。

謝 辞

本論文をまとめるに当たり、数々のご助言とご協力をいただいた鹿児島大学水産学部の中村 薫教授、四宮明彦助教授、調査にご協力をいただいた徳島県水産試験場の城 泰彦次長および同水産課上田幸男技術主任に感謝します。

文 献

- 1) 入江春彦：本邦産アマダイ属魚類に関する研究—Ⅲ アカアマダイの産卵期に就いて、長崎大学研報，3，6-9 (1955)。
- 2) 林 泰行：東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵に関する研究—I 生殖腺熟度指数の径月変化からみた産卵期の推定。日本誌，43，1273-1277 (1977)。
- 3) 清野清次，林 文三，小味山太一：若狭湾産アカアマダイの生態研究—I 産卵と性比。京都府立海洋センター研報，1，1-14 (1977)。
- 4) 黒木敏行，寺山誠人：日向灘海域におけるアカアマダイの生態と漁獲状況について。南西外海の資源・海洋研究，9，53-64 (1993)。