

関東沿岸域に回遊するマンボウ *Mola mola* の産卵期の推定

中坪俊之¹・川地将裕²・間野伸宏²・廣瀬一美²

Spawning Period of Ocean Sunfish *Mola mola* in Waters of the Eastern Kanto Region, Japan

Toshiyuki NAKATSUBO¹, Masahiro KAWACHI², Nobuhiro MANO² and Hitomi HIROSE²

Abstract: The spawning period of ocean sunfish *Mola mola* was estimated using changes in gonad index (GI) and histological observations of gonads. GI was calculated for 183 ocean sunfish, captured from 1981 to 2006 in the waters off eastern Japan's Kanto region. GI maximum value occurred in August for both sexes of wild specimens. Gonads of 9 female specimens (total length 185–272 cm) and 4 male specimens (168–190 cm) were examined histologically. Oocytes in the ovaries revealed four distinct maturational stages. Based on the seasonal changes of GI and the gonad maturational phases, the spawning period for ocean sunfish is estimated to occur from August to October. The discovery of asynchronous oocyte development in the ovaries also suggests that ocean sunfish are multiple spawners.

Key words: *Mola mola*; Gonad index; Spawning period; Oocyte maturation

マンボウ *Mola mola* は、全長 3 m、体重 2000 kg を超えることから世界で最も重い硬骨魚類と言われており (Matsuura and Tyler 1998; Steelman et al 2003)、房総半島鴨川沖の定置網で混獲された全長 2.7 m、体重 2.3 t の雌が、現在までの信頼できる報告の中で最重個体である (Roach 2003)。マンボウは尾鰭を欠く独特の形態を有していることから、古くから水族館において飼育や展示が試みられており、アメリカでは 1919 年から、日本では 1960 年から飼育された記録が残っている (末広・堤 1973; 金銅 1986)。現在では飼育技術もある程度確立したため、飼育している水族館も増え、最も人気の高い魚種の一つとなっている。しかし、マンボウの成熟・産卵過程や産卵期については不明な点が多く (Martin and Drewry 1978; 藤田 1988)、これまで、飼育環境下でマンボウの繁殖に成功した事例はない。

通常、魚類の産卵期の推定は、研究対象種を定期的に一定量採捕した上で、生殖腺組織の成熟指数、卵径、または組織学的観察による成熟度判定などの結果を複合的にみることによって行われる。しかし、マンボウ

はその巨体のために採捕が困難であり、繁殖活動が可能な個体を十分に揃えることが難しい魚種の一つである。また設備の問題で体重を正確に測定することができず、体重を基準とした生殖腺体指数 (GSI) を算出できなかった事例も見受けられたため、著者らは、全長を基準とした熟度指数 (KG) が GSI と同様にマンボウの成熟評価に有効であることを確認し、体重の記録がない個体についても成熟評価を可能にした (中坪ら 2007)。本研究では、生殖腺指数 (GI) の季節変化や組織学的観察手法を用いて、関東沿岸域で採捕された 183 尾のマンボウの解析を行い、我が国の太平洋沿岸に回遊してくる本種の産卵期を推定したので報告する。なお、マンボウのミトコンドリア DNA (mtDNA) の D-loop 領域を対象とした系統解析の研究により、日本近海に生息するマンボウには 2 つの系統集団が存在するとの報告 (相良ら 2005) や太平洋系群と大西洋系群に分ける報告 (Bass et al. 2005) があるが、本研究ではマンボウを 1 つの分類群として扱った。

2007年7月16日受付：2007年10月9日受理。

¹ 鴨川シーワールド国際海洋生物研究所 (International Marine Biological Institute, Kamogawa Sea World, Kamogawa, Chiba 296-0041, Japan).

² 日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科 (Department of Marine Science and Resources, College of Bioresource Science, Nihon University, Kameino, Fujisawa, Kanagawa 252-8510, Japan).

材料および方法

供試魚

供試魚には、1981年12月から2006年12月までに南房総沿岸ならびに三浦半島沿岸の定置網にて漁獲された天然魚183個体（雄72個体、雌111個体；全長25～272 cm；体重1～2300 kg）を用いた。天然魚には飼育環境に馴化せず、1～6日間で死亡した飼育魚を含めた。また、飼育環境下における本種の成熟状況に関する知見を得るため、天然魚と同様に定置網で漁獲された後、鴨川シーワールドにて1週間以上飼育されていた飼育魚151個体（雄64個体、雌87個体；全長42～194 cm；体重4～497 kg）も用いた（Table 1）。飼育水温は周年20℃前後に調節し、室内の水槽にて人工照明下にて飼育した。餌料はホッコクアカエビ、ウシエビ、マガキ、マグロ（種不明）、スルメイカ等1～数種類のすり身に魚類用総合ビタミン剤を添加し、推定魚体重の1～2%を目安に1日3回（朝、昼、夕）に分け、手元給餌により与えた。

供試魚は全長（TL）および体重（BW）を測定した後、開腹して生殖腺を摘出した。得られた生殖腺組織を肉眼観察により個体の雌雄を判定後、生殖腺重量（GW）を計量した。なお、肉眼観察では判定が困難だった個体

はパラフィン薄切標本観察により雌雄判定を実施した。

GIの算出

中坪ら（2007）の報告に基づき、マンボウのGIを次式により求めた。なお、本報告で用いるGIは、中坪ら（2007）のKGと同様のものである。

$$GI = GW / TL^3 \times 10000$$

生殖腺組織の観察

切り出した生殖腺組織の一部はホルマリンまたはブアン液で固定し、定法に従いパラフィン薄切標本を作製した。ヘマトキシリン-エオシン二重染色（HE染色）を施した後、光学顕微鏡下で観察を行い、特に大型の個体（雄：165 cm以上の4個体、雌：185 cm以上の9個体）については成熟段階の判定を行った。

卵巣の成熟段階の判定

卵巣は、まず松山・松浦（1982）の報告を参考に細胞形態から卵母細胞の成熟段階を分類した。なお、供試魚数が少なく参照できる本種の生殖腺組織に関する既報もないことから、周辺仁期や卵黄球期における細分化した卵母細胞の分類は実施しなかった。

周辺仁期：細胞質が増大し核内に大小の仁が核膜に接して並ぶ。

Table 1. A list of ocean sunfish *Mola mola* used in this study

Location	Collecting date	Number of fish			Captive term (days)	Total length (cm)	Body weight (kg)
		Female	male	Total			
Wild specimens*1							
Chiba							
Kamogawa	Nov. 18, 1993 – Dec. 18, 2006	46	21	67	0 – 6*3	36 – 272	2 – 2300
Iwai	May 14, 1994 – May 22, 2001	3	3	6	0 – 6	62 – 100	11 – 50
Hasama	May 25, 1995 – Jun. 26, 1995	5	0	5	2 – 3	83 – 88	26 – 32
Chikura	Oct. 24, 1997 – Nov. 12, 1997	1	1	2	1 – 5	76 – 77	23 – 25
Wada	Dec. 27, 1992 – Apr. 29, 1995	1	1	2	3 – 6	45 – 78	5 – 27
Okitsu	Jun. 04, 2006	0	1	1	2	41	3
Tomuira	Oct. 30, 2005	1	0	1	1	41	4
Hota	Jan. 10, 2006	0	1	1	1	42	4
Kanagawa							
Sajima	Apr. 11, 2005 – Oct. 31, 2006	54	44	98	0	25 – 191	1 – 305
Captive specimens*2							
Chiba							
Kamogawa	Dec. 24, 1981 – Dec. 24, 2006	63	45	108	7 – 2993	42 – 187	4 – 325
Iwai	May 14, 1994 – May 21, 2002	15	15	30	7 – 560	56 – 143	9 – 155
Chikura	Nov. 03, 1993 – Nov. 12, 1997	4	2	6	12 – 1556	69 – 194	17 – 497
Hasama	May 06, 1995 – Jun. 27, 1995	2	1	3	8 – 24	78 – 96	23 – 39
Koyatsu	May 27, 1993 – May 23, 1994	2	1	3	77 – 137	76 – 95	26 – 57
Okitsu	Mar. 14, 1993	1	0	1	37	51	8
Total	Dec. 24, 1981 – Dec. 24, 2006	198	136	334	0 – 2993	25 – 272	1 – 2300

*1 Including the captive fish kept for under a week in the Kamogawa Sea World.

*2 Kept more than a week in the Kamogawa Sea World, Chiba, Japan.

*3 Min - Max.

卵黄胞期：細胞質に卵黄胞が出現する。
 卵黄球期：細胞質に卵黄球が認められる。
 核移動期：核が細胞質の縁辺部に移動している。
 最終成熟期：卵黄球の癒合が見られ、卵が透明化する。

次に村山ら（1995）に準拠し、観察した卵母細胞の中で最も成熟が進んだ卵母細胞の成熟段階をその観察個体の卵巣組織における成熟段階とした。

結 果

供試魚の TL

GI の基準となる TL について、天然魚および飼育魚

をそれぞれ雌雄毎に月別にまとめた結果を Fig. 1 に示す。

天然魚では、雌の TL が 89.3 ± 50.6 cm (25.2~272 cm : Fig. 1-A) であったのに対し、雄が 68.2 ± 36.1 cm (29.1~190 cm : Fig. 1-B) と、雌の方が雄よりも大型の個体が多い傾向がみられた (t-test, $P < 0.01$)。大型の個体は雌雄共に 4~12月に採捕され、最大の個体が採捕された月も雌雄共に 8月であった (Fig. 1-A, B)。なお、飼育魚では捕獲時に飼育に適したサイズのマンボウを選択採集していることもあり、雌の TL は 85.1 ± 21.2 cm (43.0~193.5 cm : Fig 1-C)、雄が 83.2 ± 22.6 cm (42.0~187.0 cm : Fig. 1-D) と雌雄の間で明瞭な差異は認められなかった (t-test, $P > 0.05$)。

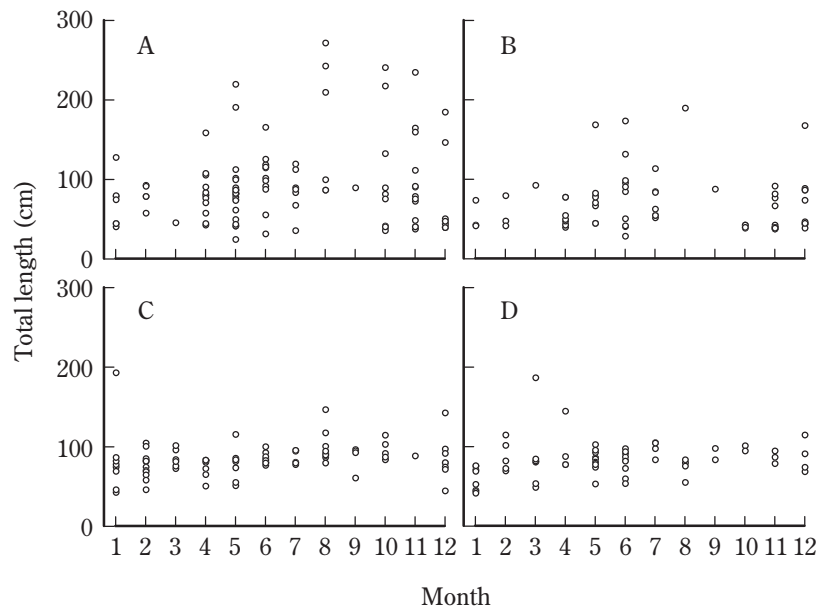


Fig. 1. Monthly changes in the total length of wild and captive ocean sunfish *Mola mola*. A: Wild females, B: Wild males, C: Captive females, D: Captive males.

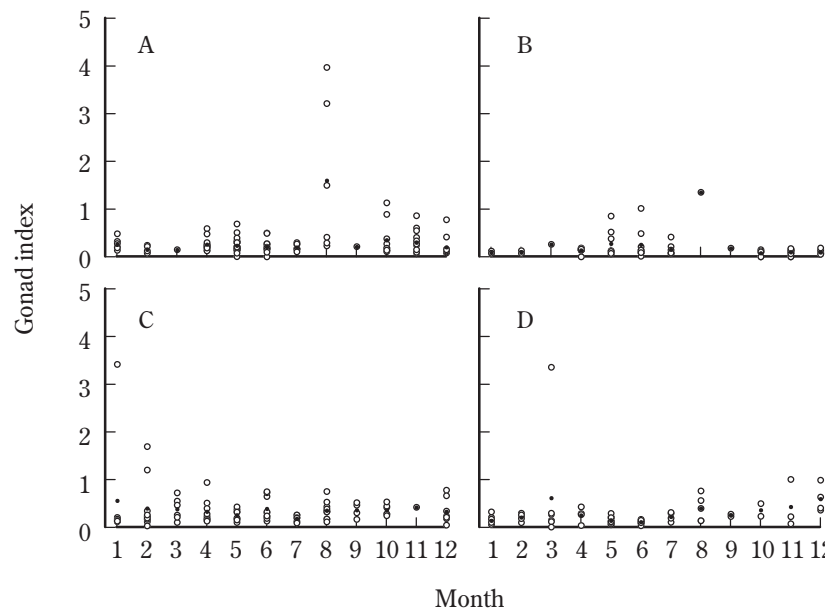


Fig. 2. Monthly changes in the Gonad index (GI) of wild and captive ocean sunfish *Mola mola*. A: Wild females, B: Wild males, C: Captive females, D: Captive males. Solid circle indicates mean of the month.

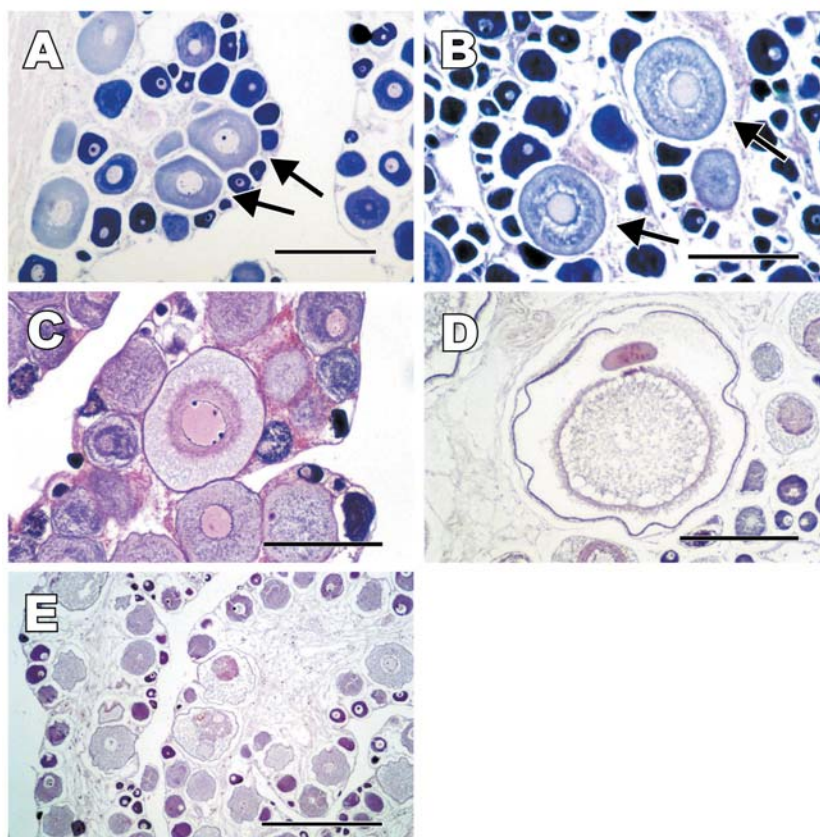


Fig. 3. Histological observations of oocyte and ovary in ocean sunfish *Mola mola*. A: Perinucleolus stage, B: Yolk vesicle stage, C: Yolk globule stage, D: Migratory nucleus stage, E: Ovary of migratory nucleus phase. Bar scales = 200 μm in A–D, and 500 μm in E.

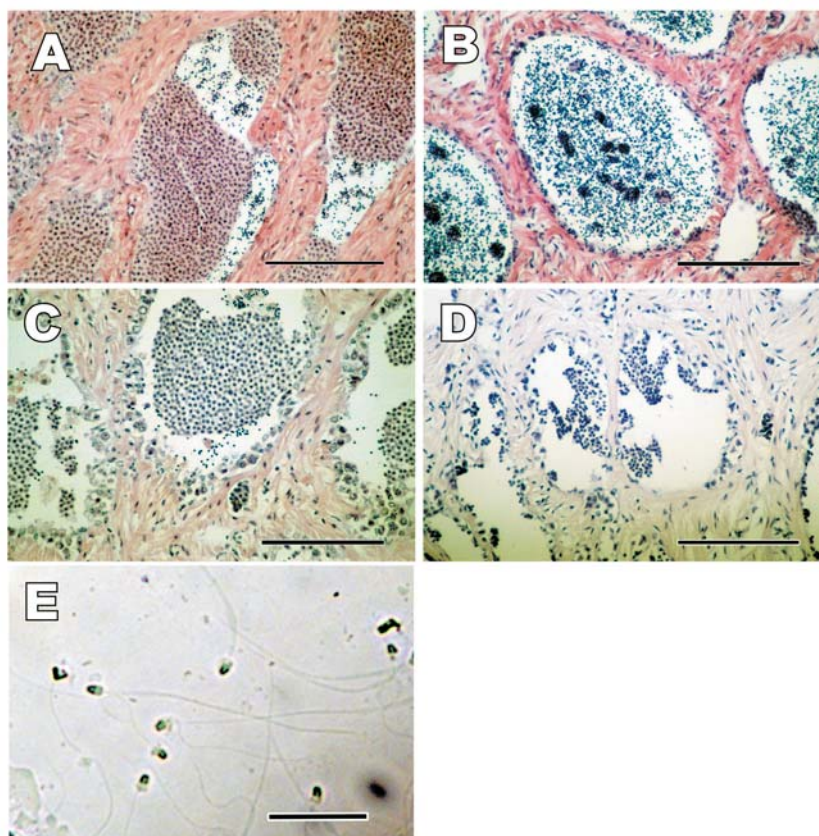


Fig. 4. Histological observations of testes in ocean sunfish *Mola mola*. A: May (TL 169 cm), B: June (TL 174 cm), C: August (TL 190 cm), D: December (TL 168 cm), E: Sperm collected from testis of same specimen as C. Scale bars = 100 μm in A–D, and 20 μm in E.

GIの季節変化

天然魚のGIは、雌が0.008~3.975 (Fig. 2-A), 雄が0.006~1.359 (Fig. 2-B)であった。天然魚の雌では1~7月はGIが全体的に低く、すべての個体が1.0未満を示したが、8月にピークが見られ、最高値を示した。10~12月は1~7月と比べ若干高い傾向が見られたが、ほとんどが1未満を示し、8月と比べ低い値を示した (Fig. 2-A)。一方、雄は1~4月にほとんどの個体のGIが0.2未満と低い値を示したが、5月から徐々に増加する傾向が見られ、8月にピークを示した。9~12月までの間、すべての個体が0.2未満を示した。(Fig. 2-B)。

飼育魚では、雌のGIは0.036~3.423 (Fig. 2-C), 雄では0.012~3.364 (Fig. 2-D)であった。雌雄ともに最高値は、長期飼育された個体が示した (雌:1月, 飼育1556日; 雄:3月, 飼育2993日)。この2個体を除いて見ると、雌では2月前後、雄では8~12月に高い値を示す傾向が見られた (Fig. 2-C, D)。

生殖腺組織の観察

TLが雄および雌でそれぞれ165 cmおよび185 cm以上の天然魚の卵巣および精巣のパラフィン薄切標本の観察を行った。

卵巣: 本研究では、周辺仁期、卵黄胞期、卵黄球期、核移動期の卵母細胞が認められた (Fig. 3-A~D)。最終成熟期の卵母細胞を有する卵巣組織は認められなかった。各個体の卵巣において卵母細胞の成熟は同期しておらず、成熟段階の異なる卵母細胞が同時に観察された (Fig. 3-E)。

精巣: 4個体より得られた観察結果を Fig. 4-A~E に示す。

5月に採捕された TL 169 cm の個体は GI が0.386を示し、精小嚢内腔がほぼ精母細胞に埋め尽くされ、一部に精細胞が観察された (Fig. 4-A)。6月に採捕された TL 174 cm の個体は GI が1.019を示し、精小嚢内腔に多数の精細胞が観察された (Fig. 4-B)。包嚢には包まれていないようにみえるが、精巣切断面から採取した組織液中には精子は認められなかった。8月に採捕された TL 190 cm の個体は GI が1.359を示し、精小嚢内腔がほぼ精母細胞の塊に埋め尽くされ、隙間に少数の精細胞がみられた (Fig. 4-C)。この雄の精巣から採取した組織液からは、運動性のある精子が認められた (Fig. 4-E)。一方、GI が0.147であった12月に採捕された TL 168 cm の個体の精巣では、採取した組織液中には精子は認められず、精小嚢内腔には隙間が目立ち、一部に精母細胞の塊が観察された (Fig. 4-D)。

卵巣の成熟状況

採捕した月ごとに、全長185 cm を超える天然雌のGIおよび卵巣の成熟段階をまとめた結果を Table 2 に示す。

最も成熟が進んでいたのは8月に採捕された TL 210 cm の個体で、卵巣の成熟度は核移動期であった。同じく、8月の TL 272 cm の個体は GI が3.975と最大を示したが、卵巣の成熟度は卵黄球期であり、GIと卵巣の成熟度は必ずしも一致しなかった。10月の2個体は、卵巣の成熟度は卵黄球期であり、8月の個体に比べ退行していた。5月の個体は、卵巣の成熟度は周辺仁期~卵黄球期、11~12月の個体は、卵巣の成熟度が周辺仁期と最も成熟が進んでいなかった。

考 察

まず、全長組成について調べたところ、天然魚のTLに雌雄差が認められたことから、雌の方が雄よりも大型化することが推測された。これまでマンボウを飼育展示している水族館の間では、大型の雄は珍しく、2 m を超える個体のほとんどが雌であることは周知のことであったが、今回、初めて数値的に雌雄差があることが明らかになった。この雌雄差については成熟状況を検討する上で考慮する必要があり、今後、さらに調査を進めていきたい。

GIの季節変化について、天然魚では8月にGIが高い値を示す個体が多く採捕される傾向が認められた。一方、5月や10~11月に採捕された体長が2mを超える大型の個体は、それより低い値を示していたため、このGIの季節変化は本種の繁殖周期を反映しているのではないかと推察される。飼育魚では、長期飼育個体が死亡した月に雌雄ともGIが高い値を示した。ま

Table 2. Changes in gonad index (GI) and maturity phase of ovary of large female ocean sunfish *Mola mola*

Month	Collecting date	TL (cm)	BW (kg)	GI	Maturity phase
May	May 12, 2004	220	510	0.695	PN
	May 25, 2006	191	305	0.515	YG
Aug.	Aug. 16, 1996	210		3.220	MN
	Aug. 16, 1996	272	2,300	3.975	YG
	Aug. 19, 1996	243		1.505	MN
Oct.	Oct. 25, 2005	241	960	1.136	YG
	Oct. 30, 2005	218	600	0.898	YG
Nov.	Nov. 14, 2006	235	800	0.867	PN
Dec.	Dec. 08, 2006	185	320	0.783	PN

PN: Perinucleolus stage, YG: Yolk globule stage, MN: Migratory nucleus stage.

た、この2個体を除いてみても、雌では2月、雄では8～12月にGIが増加する傾向がみられており、どちらも夏季に増加傾向を示す天然魚とは異なる傾向を示した。中坪ら(2007)は、水温や餌料、日照などの環境条件が安定している飼育環境下では、マンボウの成熟が自然界と比べて早まる可能性を示唆しているが、今回の結果から、繁殖周期にも影響をおよぼしていることが示唆された。

次に、組織学的に生殖腺の発達状況を調べたところ、天然雌では、最終成熟卵は観察されなかったものの、GIが3を超えた8月の大型個体では核移動期の卵が観察された。天然雄でも、8月に得られた大型個体の精巣からは運動性のある精子が確認されている。残念ながら、雌では9月、雄では9～11月に大型の個体が得られていないが、10月に採捕された大型の天然雌の卵巣はGIおよび卵巣組織共に8月の大型個体と比べて退行しており、南房総や三浦半島沿岸などの関東沿岸域に回遊してくるマンボウの産卵期は8月下旬から10月中旬までの間ではないかと推定された。なお、成熟が進んだマンボウの卵巣では、成熟段階の異なる卵母細胞が同時に観察されたことから、マンボウの卵発達の様式は非同期発達型(高野1989)と考えられた。この型の魚類は多回産卵で産卵期が比較的長いとされており、本種の産卵期間は比較的長く、何回かに分けて行われているのではないかと推察される。

要 約

マンボウの産卵期を調べるために、1981年から2006年までの間に関東沿岸で捕獲された183尾のマンボウを用い、生殖腺指数(GI)の変化を調べた。同様に、9個体の天然雌(TL 185–272 cm)と4個体の天然雄(TL 168–190 cm)の生殖腺を組織学的に調べ、GIの変化とあわせて産卵期を推定した。天然魚のGIの最大値は雌雄ともに8月に認められ、組織学的な観察から卵母細胞は4つの成熟段階に分類された。卵巣のGIおよび成熟段階の季節的変動から産卵期は8月から10月の間に認められるものと考えられた。また、卵巣の成熟様式が非同期発達型であったことから、マンボウは多回産卵魚であると考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、鴨川シーワールド国際海洋生物研究所所長祖一 誠氏、鴨川シーワールド館長荒井一利氏には研究の機会を頂いた。また、鴨川シーワールド魚類展示課係員の皆様には、マンボウの計測に当たりご協力を頂いた。鴨川市漁業協同組合および

定置部坂本年壺漁労長、渡邊良浩氏を始め鴨川定置乗組員の方々、横須賀市大楠漁業協同組合、(有)いずみや原田裕光氏にはマンボウの収集に当たり、並々ならぬご協力を頂いた。Sea Studios FoundationのTierney Thys博士には英文校閲をしていただいた。皆様に対し篤く御礼申し上げる。

文 献

- Bass, A. L., H. Dewar, T. Thys, J. T. Streefman and S. A. Karl (2005) Evolutionary divergence among lineages of the ocean sunfish family, Molidae (Tetraodontiformes). *Marine Biology*, **148**, 405-414.
- 藤田矢郎(1988)マンボウ科. 日本産稚魚図鑑(沖山宗雄編), 東海大学出版会, 東京, pp. 993-998.
- 金銅義隆(1986)マンボウ(*Mola mola*)の飼育と展示. ミュージアムちば, **17**, 253-260.
- Martin, F. D. and G. E. Drewry (1978) Family Molidae. In "Development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. An atlas of egg, larval and juvenile stages. VI. Stromateidae through Ogcocephalidae.", U. S. Fish Wildl. Serv., Biol. Serv. Prog. FWS/OBS, 78/12: pp. 313-338.
- Matsuura, K. and J. C. Tyler (1998) Triggerfishes and their allies. In "Encyclopedia of fishes" (ed. by J. R. Paxton and W. N. Eschmeyer), Academic Press, San Diego. pp. 227-231.
- 松山倫也・松浦修平(1982)組織学的観察に基づく筑後川産両側回遊型アユの成熟・産卵様式. 日水誌, **48**, 1573-1582.
- 村山 司・三谷 勇・青木一郎(1995)卵巣成熟度および卵巣組織像に基づくマサバ太平洋系群の産卵期の推定. 水産海洋研究, **59**, 11-17.
- 中坪俊之・川地将裕・間野伸宏・廣瀬一美(2007)飼育下および自然環境下におけるマンボウ *Mola mola* の成熟評価. 水産増殖, **55**, 259-264.
- Roach, J (2003) World's Heaviest Bony Fish Discovered?. National Geographic News, http://news.nationalgeographic.com/news/2003/05/0513_030513_sunfish.html.
- 相良恒太郎・吉田有貴子・西堀正英・国吉久人・海野徹也・坂井陽一・橋本博明・具島健二(2005)日本周辺海域に出現するマンボウ *Mola mola* にみとめられた2つの集団. 魚類学雑誌, **52**, 35-39.
- Streefman, J. T., C. Puchlutegui, A. L. Bass, T. Thys, H. Dewar and S. A. Karl. (2003) Microsatellites from the world's heaviest bony fish, the giant *Mola mola*. *Molecular Ecology Notes* **3**, 247-249.
- 末広恭雄・堤 俊夫(1973)マンボウの飼育について. 京急油壺マリナパーク水族館年報, **5-6**, 12-15.
- 高野和則(1989)卵巣の構造と配偶子形成. 水族繁殖学(隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, pp. 3-34.
- 渡辺憲一(2006)天然および養成オニオコゼ *Inimicus japonicus* 雌の成熟. 水産増殖, **54**, 495-503.