

## 瀬戸内海備讃瀬戸のサツパの年齢と成長・成熟

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	小田, 直樹
巻/号	73巻2号
掲載ページ	p. 233-243
発行年月	2007年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 瀬戸内海備讃瀬戸のサッパの年齢と成長・成熟

小田直樹\*

(2006年5月24日受付, 2006年10月2日受理)

備南測量設計株式会社

Age, growth and maturity of the Japanese sardinella *Sardinella zunasi*  
caught in Bisan Seto of the Seto Inland Sea, Japan

NAOKI ODA\*

Binan Surveying and Designing K.K., Tamano, Okayama 706-0021, Japan

Age, growth and maturity of the Japanese sardinella *Sardinella zunasi* were estimated from scale readings, observations and measurements of gonads. Specimens were collected by angling and set net as well as from commercial landings. Scale rings were found to be formed once a year from September to October. The matured are at least 9.5 cm in standard length for both sexes and the spawning season extends from June to September and its peak is in August. By applying the maximum likelihood method to the standard length-at-age data, we found that von Bertalanffy's growth equation with seasonal changes is a better fit than any other type of growth model, i.e.  $SL_t = 12.53[1 - \exp\{-0.6254(F(t) + 0.534)\}] F(t) = t - (1/2\pi) \sin 2\pi(t - 0.259)$  for males, and  $SL_t = 13.42[1 - \exp\{-0.4990(F(t) + 0.713)\}] F(t) = t - (1/2\pi) \sin 2\pi(t - 0.287)$  for females, where  $SL_t$  is standard length in cm and  $t$  is age in year. The growth of females is statistically higher than that of males.  $SL_t$ s at which 50% of specimens attain maturity were estimated by logistic analysis as 10.11 and 10.32 cm for males and females respectively.

キーワード：鱗, 最尤推定, サッパ, 産卵期, 成熟, 年齢と成長, 備讃瀬戸

サッパ *Sardinella zunasi* はニシン科 Clupeidae に属し, 通常漁獲される標準体長 (SL) の最大が約 13 cm の浮魚で, 北海道以南, 黄海, 台湾に分布し, 河口・内湾や砂泥質の沿岸に生息している。<sup>1,2)</sup> 本研究の対象海域の瀬戸内海の備讃瀬戸は, 大小 80 近くの島が散在し, 島の密集する海域には水深 50 m の深所や 1 m 以下の浅瀬や州が存在するが, 全体では水深 5~20 m の部分が約 50% を占める岡山, 香川両県に挟まれた海域である。<sup>3)</sup> 本種は当該海域において周年漁獲されており, さらに夏から秋にかけて多獲されることから漁業上重要な地位を占めている。<sup>4)</sup> 岡山, 香川, 広島など近隣の県では, 隣人から飯を借りて食するほどおいしいという意味の「ままかり」と呼ばれ, 焼き魚, 酢漬け, 味りん干しにして好んで賞味されるほか, 土産品としても有名である。<sup>5)</sup> 漁法は, 小型定置網の壺網 (柵網), 刺網, 敷網の一種の袋網 (込網) および釣りであり, 一部小型底曳網にも混獲される。また遊魚の釣りの対象としても人気がある。

ある。岡山県の漁獲量は最近の 13 年間の年平均が約 84 トンであり, 以前の半分以下に減少している。<sup>6-8)</sup>

本種は瀬戸内海の漁業資源として重要であるにもかかわらず年齢, 成長, 成熟などの資源特性を把握する上で, 基礎となる資源生物学的研究が十分になされているとは言い難い。備讃瀬戸における本種の卵・仔魚の出現時期と分布域, 産卵の時期と親魚の体長についての唐川の研究報告,<sup>4)</sup> 有明海における本種の産卵, 卵発生および仔魚についての田北の研究報告<sup>9)</sup> があるが, 当該海域における年齢査定と雌雄別の成長, 成熟体長などに関しては明らかにされていない。

本研究では, 備讃瀬戸の鱗によるサッパの年齢査定に基づいて個体の年齢・体長データから成長式のパラメータ推定を行なうとともに, 生殖腺の観察と計量により成熟と産卵期を明らかにして, 資源管理に必要なサッパの資源生物学的特性の基礎的知見を得ることを目的とした。

**Table 1** Sample sizes and the minimum and maximum of the standard length for the Japanese sardinella, *Sardinella zunasi*, collected from Bisan Seto of the Seto Inland Sea from May 2003 to December 2005

Date	Sample size				Minimum-maximum standard length in cm			Fishing area (gear)	
	Male	Female	ND* <sup>1</sup>	Total	Male	Female	ND		
May 5	2003	0	0	2	2		7.1- 7.5	Kojima Bay (angling)	
May 7		43	41	19	103	10.6-12.0	10.2-12.8	10.2-12.0	near Shimotsui (CC* <sup>2</sup> )
Jun. 7		41	45	4	90	10.8-12.5	10.0-12.6	9.8-11.0	near Shimotsui (CC)
Jun. 18		9	12	0	21	11.1-12.1	11.7-13.5		Yura (angling)
Jul. 2		4	8	1	13	11.4-12.2	9.7-12.8	9.8	Yura (angling)
Jul. 7		61	61	1	123	9.4-12.3	9.3-12.3	9.8	near Shimotsui (CC)
Aug. 7		39	73	0	112	9.6-12.2	9.5-13.4		near Shimotsui (CC)
Sep. 9		35	64	0	99	9.3-12.8	10.2-13.0		near Shimotsui (CC)
Oct. 9		27	31	52	110	9.9-11.5	9.4-12.0	9.7-11.7	near Shimotsui (CC)
Nov. 13		19	33	37	89	9.4-12.2	9.6-11.3	9.7-11.5	near Shimotsui (CC)
Dec. 4		52	66	22	140	9.5-11.8	9.3-12.1	8.8-11.8	near Shimotsui (CC)
Jan. 8-23	2004	28	12	18	58	9.3-11.7	9.3-11.3	9.7-10.6	Okayama Pref. (CC)
Feb. 12		40	67	6	113	9.3-11.9	9.7-11.3	9.9-10.6	near Shimotsui (CC)
Apr. 16		38	43	1	82	9.9-12.9	10.2-13.2	10.2	near Shimotsui (CC)
Feb. 3-28	2005	16	27	18	61	9.1-12.8	8.1-12.1	7.5-10.8	near Okayama City (CC)
Apr. 30		14	11	2	27	9.6-11.6	10.5-12.1	8.3- 8.4	Muneage (set net)
May 7		7	5	1	13	9.7-12.3	8.9-10.0	9.4	near Uno port (CC)
May 11-26		17	27	1	45	7.9-12.0	7.7-11.9	8.6	Kojima Bay (angling)
Jun. 24		11	30	0	41	11.2-13.0	11.0-13.4		Muneage (set net)
Jul. 9		4	28	0	32	10.4-12.6	10.7-12.9		Yura (angling)
Jul. 17		8	9	0	17	10.0-11.0	10.7-12.2		near Shimotsui (CC)
Aug. 11		53	34	0	87	9.5-12.2	10.6-13.5		Muneage (set net)
Sep. 21		6	9	5	20	10.2-11.2	10.8-12.2	9.3-11.1	near Shimotsui (CC)
Sep. 24		15	13	0	28	10.0-11.5	10.2-12.8		off Hibi port (angling)
Oct. 7-12		10	19	13	42	8.8-12.6	7.6-12.2	7.0- 9.3	Kojima Bay (angling)
Oct. 21		4	5	0	9	11.0-11.7	11.0-12.9		near Uno port (CC)
Oct. 25		5	5	0	10	10.7-11.0	10.9-11.5		near Okayama City
Nov. 26		6	4	0	10	11.7-12.8	11.6-13.5		Muneage (set net)
Nov. 26		10	9	0	19	8.4-11.8	8.9-12.1		near Ogiijima (CC)
Nov. 29		6	7	0	13	10.5-11.4	10.3-11.6		near Shimotsui (CC)
Dec. 16		20	12	0	32	10.0-12.2	10.2-12.0		near Okayama City (CC)
Dec. 17		10	12	0	22	9.9-12.8	10.7-13.5		near Uno port (CC)
Total		658	822	203	1683	7.9-13.0	7.6-13.5	7.0-12.0	

\*<sup>1</sup> Not distinguished (Immature or sex unknown) \*<sup>2</sup> Commercially caught

### 材料および方法

本研究は、2003年5月から2005年12月の間に、毎月1~3回、備讃瀬戸の海域で漁獲された個体を入手し、試料とした (Table 1)。2003年5月から2004年4月については、岡山市中央卸売市場にて下津井産表示のものを毎月1箱 (3 kg) の割合で入手した。本卸売市場へ入荷される下津井産のサッパの主たる漁獲海域は、備讃瀬戸に属する岡山県倉敷市下津井地先と水島灘、笠岡諸島などの岡山県海域、および香川県丸亀市の本島などの塩飽諸島周辺である (Fig. 1)。<sup>3)</sup>

2005年については、4, 6, 8, 11月の試料を玉野市の胸

上漁業協同組合の壺網の漁獲物から譲り受け、5, 7, 9, 10, 12月は岡山、玉野両市の魚市場やスーパーマーケットの岡山産、下津井産と表示された入荷物を用いた。そのほか2003年6, 7月、2005年7, 9月に玉野市日比地先の由良とその沖合いで漁船により釣獲したもの、2003年の5月および2005年5, 10月に児島湾奥部の岡山港と新岡山港で釣獲したものも用いた。2004年1月、2005年2月は播磨灘北西部の岡山県海域の漁獲物も一部含まれる岡山県産のものを代用した。各年3月は標本の入手ができなかった。

雌雄別試料数は、雄 658, 雌 822, 雌雄不明 203 の計 1683 個体で、体長範囲は 7.0~13.5 (cm) であった。

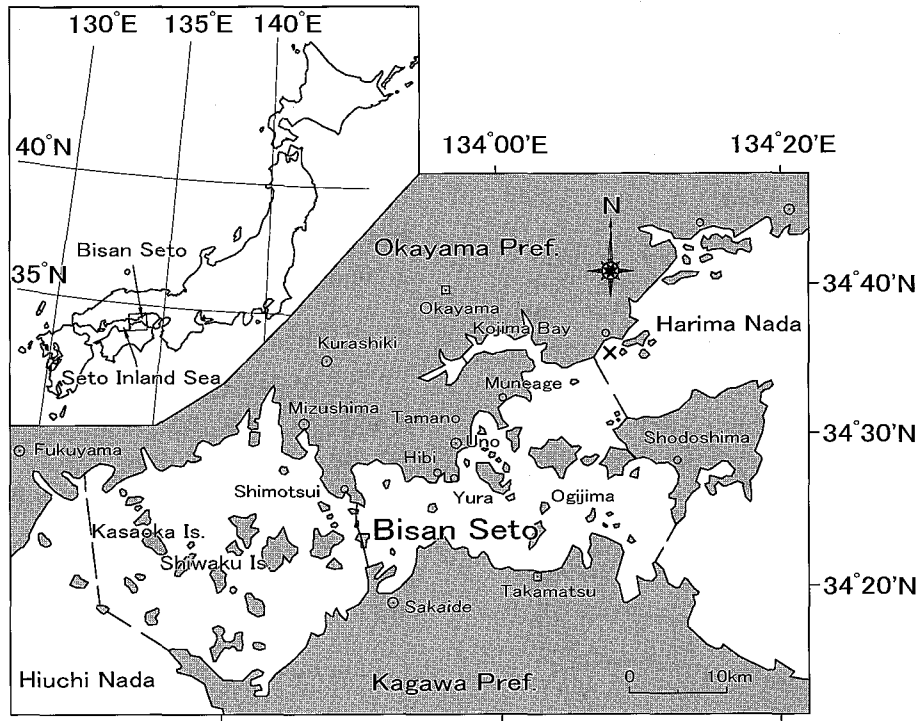


Fig. 1 The fishing ground of the present study. Samples of *Sardinella zunasi* were collected largely in Bisan Seto and partly in north western Harima Nada, of the Seto Inland Sea, Japan. The cross mark indicates the station of the telemetric buoy for measuring water temperature.

体長は標準体長 (SL : cm) を使用した。

当該海域の海水温については Fig. 1 の × 印で示した位置にある岡山県水産試験場の牛窓沖のテレメーター水温ブイによる 2003 年～2005 年の水温の旬別記録のデータを使用した (Fig. 2)。<sup>10,11)</sup> [2005 年は「牛窓沖海水温」(岡山県水産試験場) <http://www.dopa1.net/ushimado.htm> を参考にした。]

採集した試料は、研究室にてその日のうちか、氷蔵後数日以内に、SL および体重 (BW : g) の測定、採鱗、性判定と生殖腺の重量 (GW : g) の測定を行なった。また一部は冷凍保存の後、数日ないし数週間以内に解凍して測定した。

鱗の採集と測定 鱗の採集部位を決めるため、2003 年 5 月 7 日に採集された体長 11.3 cm の雌と、同年 6 月 7 日の体長 11.6 cm の雄の 2 個体について A～D の異なる 4 部位 (Fig. 3) から鱗を 10 枚ずつ採取した。十分水洗いした後、2 枚のスライドガラスで封じてプレパラートとし、10 分の 1 mm の目盛りのある拡大率 10 倍のスケール・ルーペにて観察・測定した。鱗の中心 (焦点) から、縁辺の曲がりの緩やかな側の上基側角の頂点までを鱗長 (OR : mm) とし、この線分上で各輪紋までの長さを測定し輪径 ( $or_i, i=1, 2, 3, \dots$ , mm) とした (Fig. 4)。ここで輪紋とは、規則性をもって現れる

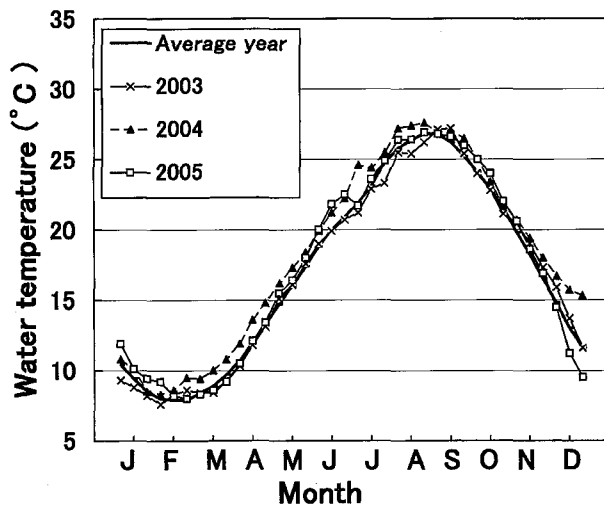


Fig. 2 Seasonal changes in 2-meter-underwater temperature at 200 meters off Ushimado, Setouchi, from 2003 to 2005, observed by the telemetric data buoy system of the fisheries experiment station of Okayama Prefecture.

曲線で、反射光では細くて暗く、透過光では細い隙間が明るい線となって見えるものを指している。

結果で後述するように、部位 C, D の鱗が部位 A, B

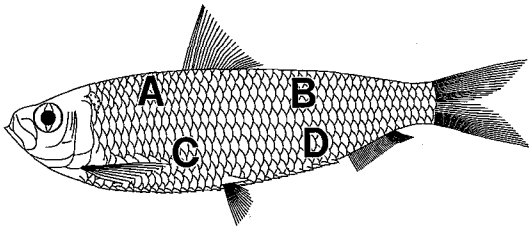


Fig. 3 Four parts of the fish body to decide the sampling parts of scales of *Sardinella zunasi* (SL: 11.0 cm). Part C was selected for the age determination.

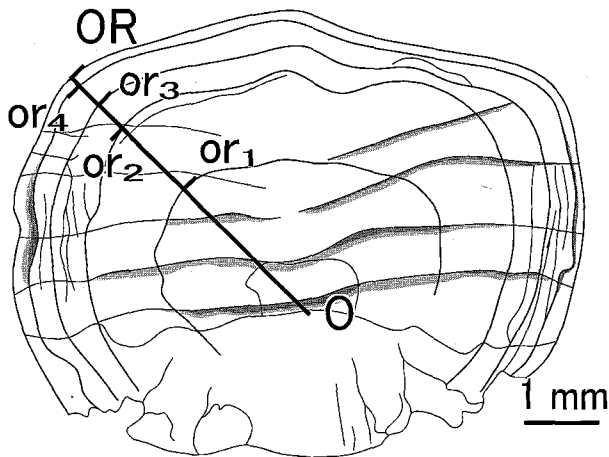


Fig. 4 Measuring parts of scales of *Sardinella zunasi*. The pictorial illustration shows an example from a specimen (SL: 12.3 cm), caught in Bisan Seto on July 2, 2003. O, focus (the center of the scale); OR, scale length (mm). OR=4.4,  $or_1=2.3$ ,  $or_2=3.4$ ,  $or_3=3.9$ ,  $or_4=4.2$  (mm).

に比べて大きく、形状が整っており、中でも胸鰭後端上方の部位Cが値のばらつきが小さかったことから、部位Cを年齢査定用の鱗の採取部位に選んだ (Fig. 3)。

各個体につき6~10枚の鱗を採取して上記同様の処理をし、それらの中から、形が整い輪紋の明瞭な2~3枚を選んで測定し、これらの測定値のモードないし平均値を求めて代表値とした。

月別に鱗の縁辺成長率 (MI) を次式により求めた。

$$MI = (OR - or_{i+1}) / (or_{i+1} - or_i) \quad (i=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

OR: 鱗長 (mm),  $or_{i+1}$ : 最外輪の径 (mm)

GSIとM(SL)の計算式 生殖腺熟度指数 (GSI) を以下の式により算出した。<sup>12)</sup>

$$GSI = GW / (BW - GW) \times 100 \quad (2)$$

生殖腺は肉眼による発達程度の観察を行ない、成熟度の判定基準を設定した。SLとGSIの関係について、結果で後述するように産卵期とその前後の月に当たる5~10月の試料の雌雄それぞれ289, 374個体、計663個体を調べ、試料中の最小成熟体長を求めた。また熟度基

準に基づいて雌個体の各成熟度の割合を各年合わせて月別に月平均約60尾ずつ計606個体について調べた。

産卵期に当たる7~8月の試料の雌雄それぞれ161, 110個体、計271個体について、SLに対する成熟率M(SL)の関係を調べ、<sup>13)</sup> MS-Excelの“ソルバー”により、式(3)のSLに関するLogistic式のパラメータa, bを推定し、<sup>14)</sup> 50%成熟SLを試算した。ここで尤度関数は二項確率モデルに従った。

$$M(SL) = \frac{1}{[1 + e^{-a(SL-b)}]} \quad (3)$$

さらに雌雄のGSIを各年、月別に集計し、平均値と標準偏差を求め産卵期を推定した。試料数の合計は雄502, 雌606, 計1108であった。

最尤法による成長式のパラメータ推定 個体の年齢および実測体長から雌雄別に、von Bertalanffy, Gompertz, Logisticの各成長式のパラメータを推定した。季節変化を考慮した式は下記の(4), (5)式である。

$$L_t = L_\infty \frac{1}{[1 + re^{-K(F(t) - F(t_0))}]^{1/r}} \quad (4)$$

$$F(t) = t + \frac{A}{2\pi} \sin 2\pi(t - t_1) \quad (5)$$

(4)式中、LはSLを用いた。また $r=-1$ : von Bertalanffy,  $r=-1/3$ : von Bertalanffy (3乗式),  $r=0$ : Gompertz,  $r=1$ : Logisticの各式を表す。<sup>15)</sup>

パラメータの推定はMS-Excelの“ソルバー”を用いて正規分布型の尤度を最大化する方法で求めた。<sup>15)</sup> ここで、体長の標準偏差 $\sigma$ は体長 $L_t$  (=SL)に関して直線的に変化すると仮定した。

$$\sigma_t = \sigma_0 + \alpha L_t \quad (6)$$

ただし、 $\sigma_0, \alpha$ は定数で、他のパラメータと同時に推定する。

計算の初期値として、 $or_i$ からSLへのバックカルキュレーションにより年齢ごとの推定体長を求めてWalfordの定差図を描き、<sup>16)</sup> K,  $L_\infty, t_0$ を求めた。季節変化を考慮した場合の雌雄別の3つの成長式について、パラメータを推定するとともに、AIC (Akaike Information Criterion) によってモデルの妥当性を比較した。<sup>17)</sup>

## 結 果

ORとSLの関係 ORとSLとの関係は雌雄別に

$$\text{雄: } SL = 1.952OR + 3.276 \quad (n=232, R^2=0.8172) \quad (7)$$

$$\text{雌: } SL = 2.090OR + 2.797 \quad (n=278, R^2=0.8797) \quad (8)$$

となった。さらに(7), (8)式について共分散分析の結果、<sup>18)</sup> 傾きおよび高さとも有意差がなかったため、雌雄共通の回帰式として

$$SL = 2.044OR + 2.952$$

$$(n = 510, R^2 = 0.8588) \quad (9)$$

が求められた (Fig. 5)。

**輪紋測定の結果** 鱗の採集部位を決めるための測定の結果, 平均鱗長は体長 11.3 cm の個体が 2.97~4.45 mm, 体長 11.6 cm の個体が 3.38~4.12 mm で, どちらの個体も部位 D の臀鰭基底上前方が最も大きく, 部位 A の背鰭基底下方が最も小さく, 大きさの順に D>C

>B>A であった (Table 2)。鱗長のばらつきを示す標準偏差は, 2 個体ともに部位 C, D が小さく, 部位 A, B が大きかった。輪径については, 第 1 輪径 ( $or_1$ ), 第 2 輪径 ( $or_2$ ) の大きさは, 鱗長と同様に, どちらの個体も D>C>B>A の順であり, 値のばらつきを示す標準偏差は,  $or_1$  では 2 個体ともに部位 C が最も小さく,  $or_2$  はそれぞれの個体について部位 C, D が最も小さかった。輪径比 ( $or_i/OR$ ) は体長 11.3 cm, 11.6 cm それぞれについて第 1 輪が 64~67% で等しく, 第 2 輪は 94~96%, 93~94% であり, これらの値は個体内で部位によらずほぼ一定であることから, 各輪紋の相似性が確かめられ, 輪紋としての有効性が確認できた。

輪紋測定の結果を雌雄別に Table 3 に示した。測定個体数は, 雄 460, 雌 579, 雌雄不明 134, 合計 1173 個体であった。それ以外に輪紋が鮮明に判読できないものが 23 個体あった。各輪径の平均値について輪群ごとに t 検定を行なった結果, 第 1, 第 2, 第 4 輪では雌雄間に有意差はないものの, 第 3 と第 5 輪に高い有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められ雌の方が大きかった。

また, 雄は第 1 輪, 雌は, 第 1, 第 2 輪において高齢になるほど同一輪径  $or_i$  の平均値が低くなり, 推定体長が低く算出される現象が見られた。

このことを輪紋数に対する  $or_i$  の平均値の母回帰係数  $\beta = 0$  の帰無仮説を立てて検定した結果,<sup>18)</sup> 雌雄の第 1 輪, すなわち  $or_1$  と雌の第 2 輪,  $or_2$  において回帰が有意となり仮説が否定され (それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ), 下降傾向 ( $\beta < 0$ ) が存在すること, つまり

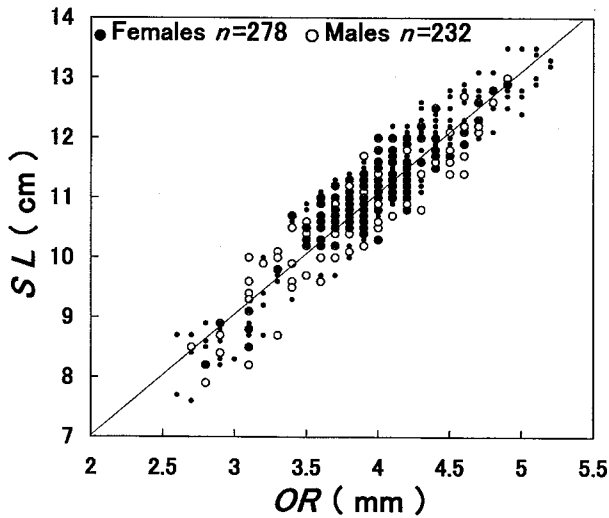


Fig. 5 Relationships between the scale radius (OR) and the standard length (SL) of *Sardinella zunasi* in Bisan Seto of the Seto Inland Sea. The fitted line shows the common regression line,  $SL = 2.044OR + 2.952$ .

Table 2 The mean and the standard deviation of scale lengths (OR) and annual ring radii ( $or_1, or_2$ ) which were calculated on about ten scales each for part A to D of the fish body from two samples of *Sardinella zunasi*

Part		OR (mm)		$or_1$ (mm)		$or_2$ (mm)		$or_1/OR$		$or_2/OR$	
		mean	SD*	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
1) SL 11.3 cm, female, caught in Bisan Seto on May 7, 2003											
A.	Anterior part below the dorsal fin base	2.97	0.296	1.98	0.231	2.79	0.333	0.67	0.066	0.94	0.033
B.	Posterior part below the dorsal fin base	3.58	0.454	2.40	0.287	3.45	0.455	0.65	0.033	0.96	0.021
C.	Part above the posterior edge of the pectoral fin	4.06	0.165	2.60	0.082	3.90	0.231	0.64	0.015	0.96	0.026
D.	Anterior part above the anal fin base	4.51	0.218	2.95	0.118	4.34	0.207	0.65	0.019	0.96	0.018
2) SL 11.6 cm, male, caught in Bisan Seto on June 7, 2003											
A.	Anterior part below the dorsal fin base	3.38	0.382	2.22	0.211	3.17	0.374	0.66	0.036	0.94	0.009
B.	Posterior part below the dorsal fin base	3.84	0.313	2.58	0.235	3.62	0.308	0.67	0.051	0.94	0.011
C.	Part above the posterior edge of the pectoral fin	4.08	0.230	2.59	0.110	3.79	0.192	0.64	0.025	0.93	0.016
D.	Anterior part above the anal fin base	4.12	0.225	2.62	0.282	3.84	0.237	0.64	0.058	0.93	0.020

\* standard deviation

**Table 3** Mean annual ring radii and their standard deviations (SD) of the scales of male and female *Sardinella zunasi* in Bisan Seto by ring group, and the standard lengths at the ring formation, back-calculated from the mean weighted ring radii

Males		Mean ring radius $\pm$ SD (mm)				
Ring group	Sample size	$or_1$	$or_2$	$or_3$	$or_4$	$or_5$
1-ring	$n=89$	$2.69 \pm 0.218$				
2-ring	$n=239$	$2.54 \pm 0.255$	$3.60 \pm 0.277$			
3-ring	$n=111$	$2.49 \pm 0.234$	$3.45 \pm 0.218$	$3.98 \pm 0.269$		
4-ring	$n=17$	$2.37 \pm 0.153$	$3.32 \pm 0.239$	$4.04 \pm 0.242$	$4.41 \pm 0.247$	
5-ring	$n=4$	$2.42 \pm 0.126$	$3.45 \pm 0.191$	$4.02 \pm 0.299$	$4.30 \pm 0.258$	$4.55 \pm 0.173$
Weighted mean		$n=460$ $2.55 \pm 0.251$	$n=371$ $3.54 \pm 0.271$	$n=132$ $3.99 \pm 0.234$	$n=21$ $4.39 \pm 0.247$	$n=4$ $4.55 \pm 0.173$
Back-calculated length: $SL_i$ (cm)		8.16	10.19	11.11	11.93	12.25
Females		Mean ring radius $\pm$ SD (mm)				
Ring group	Sample size	$or_1$	$or_2$	$or_3$	$or_4$	$or_5$
1-ring	$n=102$	$2.63 \pm 0.240$				
2-ring	$n=278$	$2.51 \pm 0.248$	$3.63 \pm 0.243$			
3-ring	$n=167$	$2.49 \pm 0.203$	$3.51 \pm 0.256$	$4.08 \pm 0.234$		
4-ring	$n=25$	$2.39 \pm 0.202$	$3.35 \pm 0.276$	$4.01 \pm 0.253$	$4.43 \pm 0.278$	
5-ring	$n=7$	$2.34 \pm 0.336$	$3.31 \pm 0.406$	$3.96 \pm 0.237$	$4.57 \pm 0.263$	$4.90 \pm 0.153$
Weighted mean		$n=579$ $2.52 \pm 0.240$	$n=477$ $3.57 \pm 0.266$	$n=199$ $4.06 \pm 0.237$	$n=32$ $4.46 \pm 0.277$	$n=7$ $4.90 \pm 0.153$
Back-calculated length: $SL_i$ (cm)		8.10	10.25	11.25	12.07	12.97

Lee 現象<sup>12)</sup>が見られることがわかった。原因として鱗の既成部分の収縮や,<sup>19)</sup> 同一年齢群の中でも大型の魚ほど先に獲られる傾向があることなどが考えられるが,<sup>12)</sup> 原因が特定できないため、Table 3 の雌雄それぞれの最下欄に輪数別の平均輪径による輪紋形成時の推定体長を列記するにとどめた。

**輪紋形成時期**  $MI$  を月別、輪数別に求めた (Fig. 6)。1 輪を持つ群では  $MI$  の値の高い個体が 8、9 月に多く集中しており、この時期を過ぎると 9、10 月に新しく輪紋が形成され、2 輪をもつ群の 9 月以降の  $MI$  の値の低い部分へと遷移すると考えられる。11 月以降、翌年の 5~6 月頃まで低い値が続き、ほとんど鱗の成長がみられない。2 輪群および 3 輪以上の群についても秋冬季および翌春から初夏までの 10 月~5、6 月は  $MI$  の値が低く、夏季になると徐々に上昇して 7~8 月にピークに達する。その後 9 月から 10 月にかけて急激に減少する。各輪群とも輪紋は 9 月から 10 月にかけて年 1 回形成されると判断された。

**成熟度の基準と成熟体長および産卵期** 田北<sup>9)</sup> は有明海奥部で 1961 年 5 月に漁獲されたサッパ成魚の雄は、すべての個体が完熟であり  $SL$  6.5~10.5 cm、雌は 80

尾中 14 尾が大きな卵巣で透明卵をもった完熟個体 ( $GW$  2 g 以上) で、 $SL$  8.6~9.6 cm と報告している。このことから本研究においても雌の完熟の基準を  $GW$  2 g 以上と設定した。これは  $GW$  と  $GSI$  の関係から  $GSI$  5 以上に相当する。

一方、試料中雌 289 尾、雄 222 尾について  $GSI$  の頻度分布を調べた結果、雌雄とも  $GSI$  4~5 を境に分布の山が分けられた。それぞれの山に属する個体の生殖腺を観察して得られた様相の違いから、雌雄とも  $GSI$  4.5 以上が成熟魚であると判断できた。これは、ほぼ  $GW$  1 g 以上に相当する。

上記の数値の日安と肉眼による観察結果を合わせて、次のような成熟度の判定基準を設定した。<sup>12,13)</sup>

**未熟 (Immature)** : 生殖腺は透明な紐状で、著しく小さいため雌雄の判別ができない個体を含む。判別できる場合、個体の特徴は、精巣一縁辺が平らで薄くナイフ形。色は淡い桃色。血管が縁辺に対し垂直に放射状に分布し、横じまを成している。卵巣一縁辺は丸い。卵粒は認められない。赤味を帯びた桃色か酒赤色。血管は網状に分布。精巣、卵巣ともに  $GW$  は 0.5 g に満たない。

**半熟 (Maturing)** : 雌雄の判別は容易である。精巣一

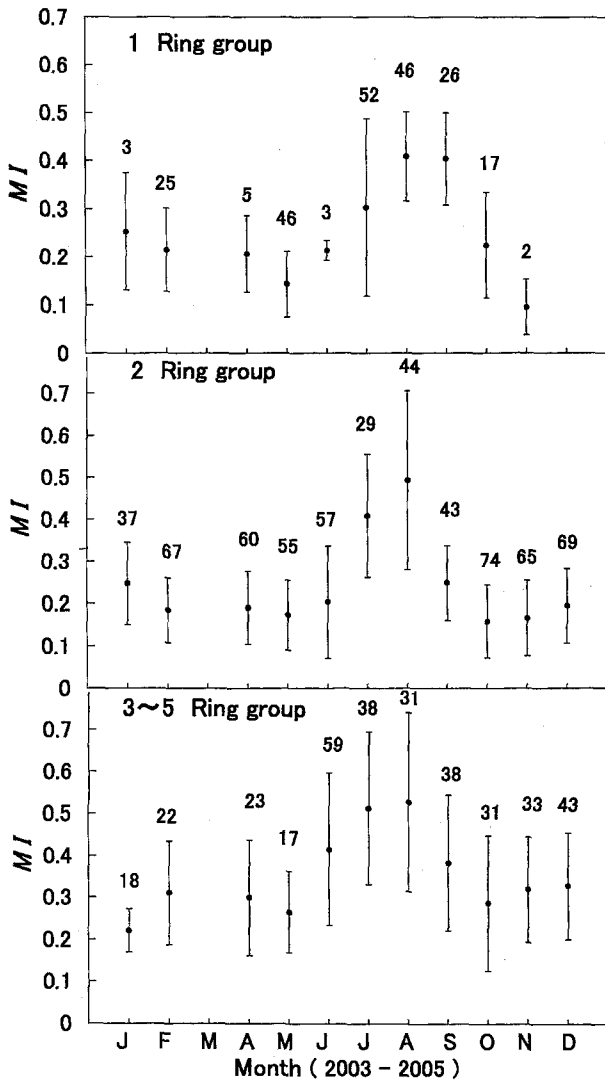


Fig. 6 Monthly changes in the mean marginal increment (MI) of scale rings of *Sardinella zunasi* in Bisan Seto by ring group. Vertical lines show standard deviations. Figures indicate sample sizes.

ナイフ形。全体に白味を帯び、縁辺部は淡い桃色。血管は放射状に分布するが、判然としない。卵巣一膨張し、縁辺の丸味が増す。卵粒がまばらに認められるが、透明卵は認められない。黄味を帯びた桃色か酒赤色で、血管が網状に発達している。GW 1g 未満, GSI 4.5 未満である。

成熟 (Matured) および完熟 (Ripe) : この段階に達すると開腹後直ちに雌雄の判別ができる。精巣一縁はナイフ形。白みを帯びた淡い赤褐色ないし赤紫色。血管は判然としない。卵巣一膨張し、縁は丸く柔らかな触感。卵粒は分離して卵巣全体を占め、透明卵が認められる。ヤマブキ色、黄味を帯びた淡い酒赤色、赤橙色を呈する。太い血管から毛細血管が網目状に伸びている。精巣、卵巣ともに GW 1g 以上かつ GSI 4.5 以上であり、

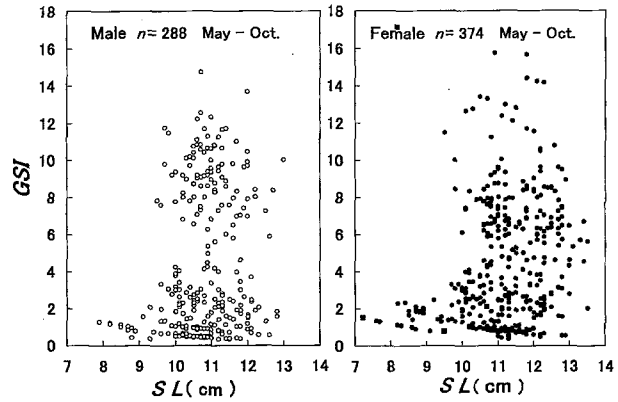


Fig. 7 Relationships between the standard length (SL) and the gonadosomatic index (GSI) for *Sardinella zunasi* in Bisan Seto of the Seto Inland Sea.

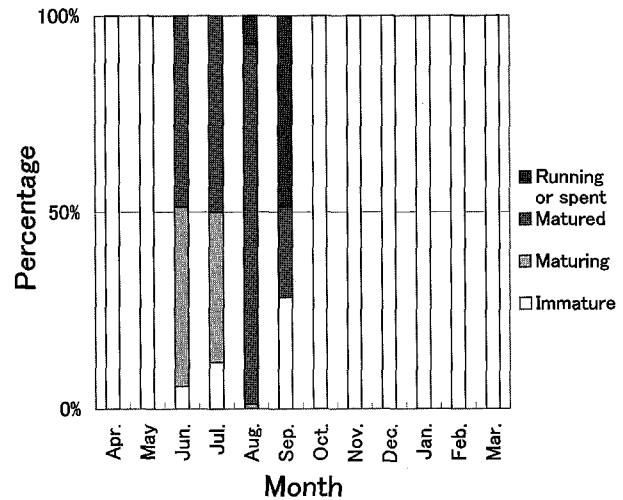


Fig. 8 Monthly changes of percentage of female *Sardinella zunasi* in Bisan Seto at each stage of maturity. Total sample size  $n=606$ .

完熟は GW 2g 以上かつ GSI 7 以上である。

放卵, 放下後 (Running or spent) : 精巣一やや赤褐色を帯びた乳白色で、容易に溶け出す。縁は丸くなく、血管は判然としない。卵巣一よく膨張し、極めて柔らか。卵粒はよく分離し、透明卵が流れる (水子) ようになっているものや、萎縮し白い粒となっているものがある。全体の色は透明感のある黄橙色や酒赤色または血赤色。放出により GW, GSI の低下した個体が多い。

次に、産卵期とその前後の 5~10 月の試料から SL に対する GSI の値を雌雄別に Fig. 7 に示した。GSI が 4.5 以上が成熟魚であるから、少なくとも SL 9.5 cm 以上の個体は成熟している。試料から判断される成熟最小体長は雌雄とも SL 約 9.5 cm (全長 11.9 cm) であると考えられた。

また熟度基準により、雌の各成熟度の割合を月別に調



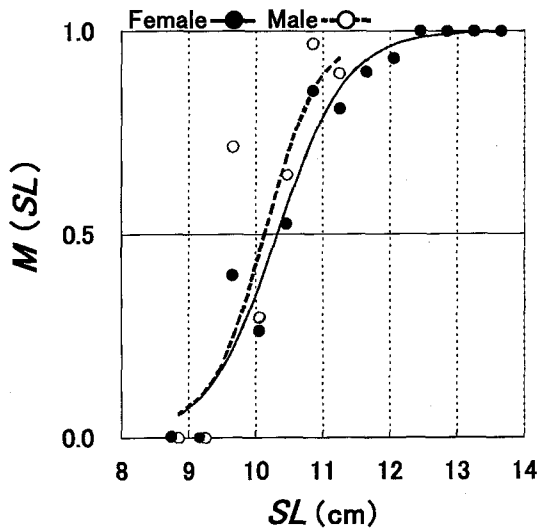


Fig. 9 Logistic curves by sex fitted by the maximum likelihood method in maturation rate  $[M(SL)]$  versus  $SL$  class (cm) of *Sardinella zunasi*. Males,  $n = 110$ ; females,  $n = 161$ .

べた結果、成熟魚は6月～9月に現れ、その割合は6月から8月にかけて約49%から約92%に増加したが、9月には産卵直後の個体が多くなり23%に低下した(Fig. 8)。

産卵期に当たる7～8月の試料の雌雄それぞれについて、 $SL$ に対する成熟率  $M(SL)$  の関係の Logistic 式(3)のパラメータ  $a, b$  を推定した結果、

$$\text{雌: } M(SL) = 1/[1 + \exp\{-1.934(SL - 10.318)\}] \quad (n = 161) \quad (10)$$

50% 成熟  $SL$  10.32 cm となり、

$$\text{雄: } M(SL) = 1/[1 + \exp\{-2.377(SL - 10.106)\}] \quad (n = 110) \quad (11)$$

50% 成熟  $SL$  10.11 cm となった (Fig. 9)。

また2003～2005年の  $SL$  9.4 cm 以下を除いた雌雄の  $GSI$  を月別に集計し、平均値と標準偏差を図示した (Fig. 10)。2004年は5～12月の測定値が欠けているため、縦の破線で仕切った。

2003年では  $GSI$  の平均値は雌雄とも7月から8月の水温上昇<sup>10,11)</sup>に伴って、雌は2.80から8.91、雄は2.76から9.55へと急に高くなったが、逆に9月には雌は4.28、雄は2.46へと急減した。その後10月以降、水温の低下とともに翌年2月までは雌雄とも平均値が0.54～1.47の範囲の極めて低い値に留まった。2005年は4月、5月は0.92～1.74と低く、6月の水温上昇に伴い、雄8.15、雌6.05に急増し、雄は8月に9.02のピークに達し、雌は7月、8月がそれぞれ7.63、7.49で極めて高くなったが、9月以降2003年と同様に急に低下し、12月まで雌雄とも0.39～0.85の極めて低い値が続いた。以上のことから、産卵期は6月～9月で8月が盛期

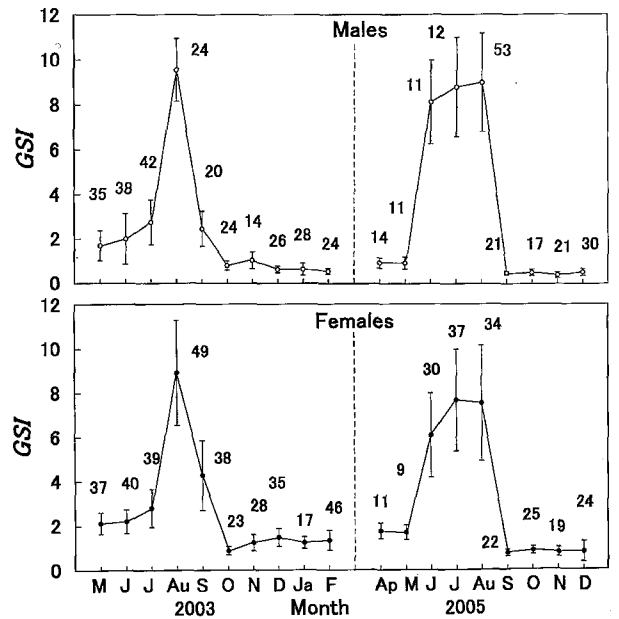


Fig. 10 Monthly changes in the mean gonadosomatic indices ( $GSI$ ) of *Sardinella zunasi* larger than 9.4 cm  $SL$  in Bisan Seto of the Seto Inland Sea from May 2003 to Dec. 2005. Vertical lines show standard deviations. Figures indicate sample sizes.

であると判断された。

成長式 上記の結果から平均的なふ化日を8月15日、輪紋形成日を9月15日と仮定し、個別の年齢別体長を求めた。ただし9月の試料中、 $MI$ が特に大きい3個体と特に小さい2個体は例外として、それぞれ形成前、形成後と考えて年齢を定めた。成長式の推定結果を Table 4 に示す。未熟・性別不明の個体については、 $GSI$  から見た最小成熟体長  $SL$  9.5 cm 未満の34個体を乱数表により1:1に振り分け、雌雄それぞれに加えて成長式の推定を雌雄別に行なった。いずれの式においても季節変化を考慮した成長式の方が、しない場合より  $AIC$  の値が格段に小さく、妥当性が高いと判断された。また3つの成長式の中では von Bertalanffy 式の対数尤度が最も大きく ( $AIC$  が最も小さく)、妥当性が高いと考えられたため、以下の検討を von Bertalanffy の成長式で行なった。<sup>17)</sup>

季節変化を考慮したサッパの von Bertalanffy の成長式は以下のようになる。

$$\text{雄: } L_t = 12.53[1 - \exp\{-0.6254(F(t) + 0.534)\}] \quad (n = 467)$$

$$F(t) = t - (1/2\pi) \sin 2\pi(t - 0.259)$$

$$\sigma_t = 1.1027 - 0.05692L_t \quad (12)$$

$$\text{雌: } L_t = 13.42[1 - \exp\{-0.4990(F(t) + 0.713)\}] \quad (n = 598)$$

**Table 4** Results of the estimation of parameters in the basic (without seasonal changes) and the modified (with seasonal changes) growth equations for male and female *Sardinella zunasi* in Bisan Seto of the Seto Inland Sea, Japan

Males (n=467)											
Model		Parameter							Number of parameters	ln $L_{max}^{*1}$	AIC <sup>*2</sup>
Base	Type	$K$	$L_{\infty}$	$t_0$	$t_1$	$A$	$\sigma_0$	$\alpha$			
Bertalanffy	Basic	0.6254	12.53	-0.399		0	1.1027	-0.0569	5	-392.448	798.896
Gompertz	Basic	0.7383	12.40	-0.140		0	1.0847	-0.0552	5	-371.458	756.917
Logistic	Basic	0.8159	12.35	0.257		0	1.9358	-0.0559	5	-364.533	743.066
Bertalanffy	Modified	0.6254	12.53	-0.399	0.262	-1	1.1027	-0.0569	6	-329.448	672.587
Gompertz	Modified	0.7383	12.40	-0.140	0.271	-1	1.0847	-0.0552	6	-329.843	673.686
Logistic	Modified	0.8159	12.35	0.255	0.261	-1	1.9358	-0.0559	6	-330.838	675.677

Females (n=598)											
Model		Parameter							Number of parameters	ln $L_{max}^{*1}$	AIC <sup>*2</sup>
Base	Type	$K$	$L_{\infty}$	$t_0$	$t_1$	$A$	$\sigma_0$	$\alpha$			
Bertalanffy	Basic	0.4990	13.42	-0.710		0	1.0070	-0.0480	5	-453.211	920.423
Gompertz	Basic	0.3811	14.34	-0.706		0	1.2799	-0.0721	5	-450.409	914.818
Logistic	Basic	0.6151	13.39	0.148		0	1.0840	-0.0548	5	-471.545	957.090
Bertalanffy	Modified	0.4990	13.42	-0.710	0.287	-1	1.0070	-0.0480	6	-409.997	833.995
Gompertz	Modified	0.3811	14.34	-0.706	0.298	-1	1.2799	-0.0721	6	-416.584	847.169
Logistic	Modified	0.6151	13.39	0.148	0.289	-1	1.0840	-0.0548	6	-412.444	838.889

\*1 ln  $L_{max}$ : maximum log-likelihood

\*2 AIC =  $-2 \times \ln L_{max} + 2 \times \text{number of estimated parameters}$

$$F(t) = t - (1/2\pi) \sin 2\pi(t - 0.287)$$

$$\sigma_t = 1.0070 - 0.04797L_t \quad (13)$$

(12), (13)式で表される雄と雌について季節変化を考えた von Bertalanffy の成長曲線と、それらの標準偏差の2倍を示す破線を Fig. 11 に示した。年齢が高くなるにつれて雌の方が雄より徐々に大きい値に移行しており、雌の方の成長が速い。雌雄の成長式の差を雌雄の合計の残差分散に対し、全体の分散の合計からの増加の程度を検定した結果、 $F$  値が 5.96 の有意な ( $p < 0.01$ ) 差が認められ、雌の成長の方が速いことがわかった。<sup>15)</sup> なおパラメータ中、(5)式の  $A$  は3つの式とも同じであるため、パラメータ数は  $K, L_{\infty}, t_1, t_0, \sigma_0, \alpha$  の6個として  $F$  検定を行なった。

### 考 察

**成長** 本研究の標本中の雄と雌の最大体長はそれぞれ 13.0 と 13.5 cm であった。極限体長  $L_{\infty}$  はそれぞれ 12.53, 13.42 cm と算出された。雄の値が小さいのは雌に比べ高齢での成長の伸びが小さいためである。最大体長に結論を下す前に、さらなる試料を採集する必要があるが、本種の通常の漁獲物中の最大  $SL$  が 13 cm 程度<sup>1)</sup>であることを考慮すれば、現段階の資源生物学的特性値として実用上問題は無いであろう。

唐川<sup>4)</sup>は 2000 年 6 月に本種の体長組成に関して備讃瀬戸の倉敷市下津井地先の袋待網で漁獲された 390 尾

について調べた結果、尾叉長組成が単峰型で、モードは 98 mm ( $SL$  88 mm) と述べている。これは Fig. 11 から 1 歳に相当し、また同年 9 月は 271 尾については二峰型でモードが 108 mm ( $SL$  98 mm) と 128 mm ( $SL$  116 mm) とされているのは、ふ化月の 8 月を越えていることから、それぞれ 2 歳と 3 歳に相当すると考えられる。

季節変化を考慮した雌雄の成長式(12), (13)から年齢別に体長の日間成長量  $\Delta SL$  ( $10^{-3}$  cm/day) を求め、その旬別変化および平年水温の 10 日間毎の変化量  $\Delta T$  ( $^{\circ}C/10$  days) を Fig. 12 に示した。 $\Delta SL$  は雌雄および 1 齢から 3 齢の各齢とも極大に達するのは 4 月中旬から 5 月中旬で、極小に低下するのは 11 月下旬から 12 月上旬頃であった。極大期は産卵期より前、極小期は産卵期より後に見られることから、生殖腺の発育に先立って体長が大きく伸長し、その後産卵活動が止んだ後、徐々にその伸びが停止すると推察される。また水温の増加量  $\Delta T$  が最も大きいのは 5 月上旬から 6 月上旬および 7 月下旬であり、前の期間は成長量の極大期とほぼ一致している。逆に  $\Delta T$  の減少量が最も大きい時期の 11~12 月は、成長量の極小期に一致する。しかし(5)式において成長の季節変化の周期を 1 年と固定する制約条件のもとでの計算結果であり 6 か月毎に山と谷が現れることを考慮すると、温度上昇の大きな時期に成長が活発となり、温度下降の大きい時期に成長が鈍化すると推察でき

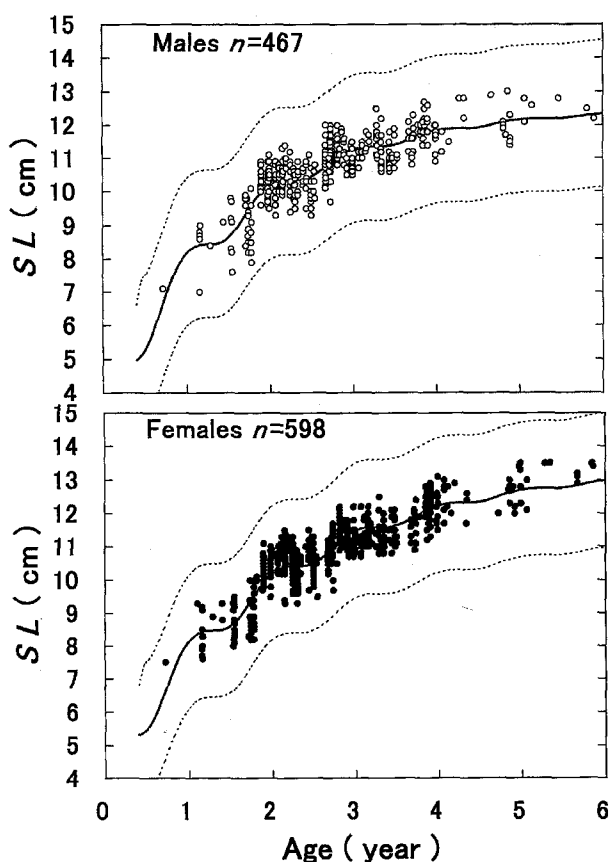


Fig. 11 Von Bertalanffy's growth curve with seasonal growth of *Sardinella zunasi* for males (above) and females (below) in Bisan Seto of the Seto Inland Sea, Japan. Dotted lines show  $\pm 2 \times$  standard deviation.

よう。上記のことから、水温変化と産卵がサッパの成長の季節変動に大きな影響を与える要因であると考えられた。

**産卵と成熟** 本研究では産卵期は6月～9月で8月が盛期と判断されたが、これは、唐川<sup>4)</sup>の備讃瀬戸のサッパのとする7～9月(8月が中心)という報告とほぼ一致しており、沖山<sup>20)</sup>の瀬戸内海のサッパの6～9月という報告と一致する。田北<sup>9)</sup>の有明海のサッパの4～8月、盛期は5～6月(年により約1か月あとにずれることがある)に比べると、備讃瀬戸の産卵期のほうが遅い。

ところで、成熟最小SLは約9.5 cmと推定したが、これは満1歳に相当する。また50%成熟SLは雌雄それぞれ10.32 cm, 10.11 cmとなったが、これは(12), (13)の成長式から、ともに満2歳に相当することがわかった。

しかし、成熟の判定基準にはもっと厳密な生殖腺の組織学的観察<sup>12)</sup>が必要である。

田北<sup>9)</sup>によると有明海でのサッパの産卵盛期に当たる6月の水温は21～22℃と述べている。備讃瀬戸におい

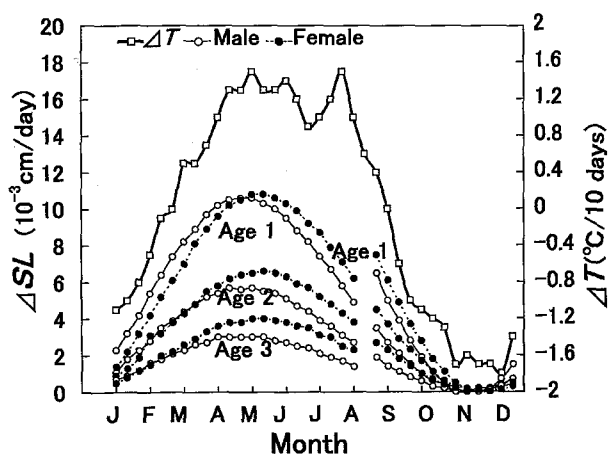


Fig. 12 Graphical comparison between the rate of change of water temperature ( $\Delta T$ ) with time ( $^{\circ}\text{C}/10$  days) and that of standard lengths ( $\Delta SL$ ) with time ( $10^{-3}$  cm/day) by age for *Sardinella zunasi* in Bisan Seto of the Seto Inland Sea, Japan. Rectangles, rate of change of water temperature; open circles, rate of change of SL for males; solid circles, rate of change of SL for females.

て2004年の2～7月と2005年の5～6月は平年よりも平均で1.1～1.2℃高かった(Fig. 2)。そのため2005年の水温は平年より20日ほど早い6月中旬に21℃となった。この早期の水温上昇が2005年の産卵の時期を2003年のそれよりも約1か月早めたと考えられる。しかし短期の現象だけでなく、もっと長期の観察が必要であろう。

**産卵と輪紋形成** 産卵が鱗の成長に停滞をもたらすため、約1か月ずれて9月～10月に輪紋が形成されると推察できる。ここでMIの月別変化(Fig. 6)と雌雄別GSIの変化(Fig. 10)との関連を調べるとGSI, MIともに8月にピークがあり、10月から12月、さらに1月から6月はGSI, MIともに低い値となっている。このようにGSIとMIの変動のパターンが一致していることから、産卵が鱗の輪紋形成の重要な要因の一つであると考えられた。

## 謝 辞

本研究を行なうにあたり、最尤法による成長式とLogistic式モデルの推定計算、文献収集と本論文の校閲など、ご指導とご助力をいただいた東京大学大学院農学生命科学研究科助教教授山川 卓博士に厚くお礼申し上げます。標本採集にご協力をいただいた株式会社岡山県水の藤田 茂氏、玉野市胸上漁業協同組合の小原重人氏、測量調査船孝栄丸の使用による標本採集にご助力いただいた備南測量設計株式会社代表取締役難波孝彰氏、同社難波勝次郎氏およびご協力いただいた関係各位の皆様

謝の意を表する。

文 献

- 1) Whitehead PJP. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei), Part 1—Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fisheries Synopsis No. 125, Vol. 7. FAO, Rome. 1985; 113-114.
- 2) 中坊徹次. 「日本産魚類検索 全種の同定 (第2版)」。東海大学出版会, 東京. 2000; 245.
- 3) 西川 太. 「岡山の漁業」。日本文京出版, 岡山. 1980; 1-174.
- 4) 唐川純一. 瀬戸内海備讃瀬戸およびその周辺海域におけるサッパ卵・仔魚の出現と分布域. 月刊海洋 2001; 33: 263-268.
- 5) 松下克己. サッパ. 「魚の事典」(能勢幸雄監修). 東京堂出版, 東京. 1989; 183.
- 6) 平成8年岡山県漁業の動き. 中四国農林統計協会, 岡山. 1998; 40.
- 7) 平成14年岡山県漁業の動き. 中四国農林統計協会, 岡山. 2004; 40.
- 8) 全国の地方設定魚種の漁獲量 (増補版). 水産庁資源生産推進部, 東京. 2000; 23.
- 9) 田北 徹. 有明海産サッパの産卵, 卵発生および仔魚について. 長崎大水産研報 1966; 21: 171-179.
- 10) 小橋啓介, 難波洋平, 藤澤邦康. 平成15年度自動観測装置による水温. 岡山水試報 2004; 19: 42-44.
- 11) 小橋啓介, 難波洋平, 藤澤邦康. 平成16年度の自動観測装置による水温の推移. 岡山水試報 2005; 20: 63-65.
- 12) 久保伊津男, 吉原友吉. 「水産資源学 (改訂版)」。共立出版, 東京. 1969; 129-140.
- 13) 上原伸二, 清水 誠. 東京湾におけるイシガレイの成熟とそれに伴う肥満度, 摂餌強度などの変化. 日水誌 1999; 65: 209-215.
- 14) 東海 正. MS-Excelのソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究 1997; 61: 288-298.
- 15) 赤嶺達郎. 魚類の成長式における検定とモデル選択. 水産海洋研究 2004; 68: 44-51.
- 16) Walford LA. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.* 1946; 90: 141-147.
- 17) Kiso K, Akamine T, Ohnishi S, Matsumiya Y. Mathematical Examinations of the Growth of Sea-Run and Fluvial Forms of Female Masou Salmon *Oncorhynchus masou* in Rivers of the Southern Sanriku District, Honshu, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1992; 58: 1779-1784.
- 18) Snedecor GW, Cochran WG. 「スネデカー統計的方法 (改訂版)」(畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳) 岩波書店, 東京. 1962; 1-478.
- 19) 麦谷泰雄. 魚類年齢形質の形成と輪紋性状. 「水産動物の成長解析」(赤嶺達郎, 麦谷泰雄編) 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 9-16.
- 20) 沖山宗雄. 「日本産稚魚図鑑」。東海大学出版会, 東京. 1988; 1-5.