

日本海におけるサワラ雌の成熟と産卵

藤原邦浩, 佐藤翔太, 戸嶋 孝, 木所英昭

Maturity and spawning of female Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* in the Sea of Japan

Kunihiro Fujiwara*¹, Shouta Satou*², Takashi Tojima and Hideaki Kidokoro*¹

Maturity and spawning of female Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* in the Sea of Japan were examined based on histological observation of the ovaries and an analysis of catches around the spawning season, from May to July in 2010.

The ovaries of most individuals failed to mature in the Sea of Japan. Just one spawning fish was identified during this examination. Also, the number of mature individuals in the Sea of Japan is very limited in the spawning season. These results suggest that *S. niphonius* leave the Sea of Japan for spawning, although more than ten years have passed since a marked increase in catches.

キーワード：日本海, サワラ, 成熟, 産卵, 退行

日本周辺海域におけるサワラ *Scomberomorus niphonius* は、瀬戸内海系群と東シナ海系群に区分されており（高橋ら, 2011；石田, 片町, 2011）、そのうち、東シナ海系群が日本海で漁獲されている個体群と深く関連するとされる。1999年以降の日本海での漁獲量の急増（戸嶋ら, 2013；木所ら, 2013）は、東シナ海系群の分布域が日本海へ拡大したことによるものと示唆されている（井上ら, 2007）。日本海でサワラが多く漁獲されるようになってから約10年経過し、日本海における再生産の可能性についての議論が、日本海サワラ資源の今後の動向を把握する上で不可欠となった。そこで、本研究では、京都府沿岸で本種の産卵期とされた春～初夏（井上ら, 2007）に、日本海各地で漁獲された個体の卵巣を組織学的に観察し成熟状況を調べるととも

に、成熟サイズに達したとされた個体の漁獲状況を把握し、日本海におけるサワラの産卵と本資源再生産への貢献度について検討した。

なお、本研究は農林水産技術会議の新需要創成実用化事業（平成21-23年度）の一環として行った。

材料と方法

2010年4～7月に日本海沿岸の各府県（長崎県, 山口県, 鳥取県～新潟県および青森県）で漁獲された尾叉長50 cm以上のサワラの雌個体について、吸水卵の体外流出の有無を確認するとともに、尾叉長 FL (cm)・体重 BW (g)・卵巣重量 GW (g)を測定し、生殖腺熟度指数 GI （以下、 GI とする）を以下の式により算出した。各府県の標本数と標本の尾叉長についてTable 1に示

Table 1 The number (n) of specimens and fork length (FL) range of females of *Scomberomorus niphonius* collected from April to July 2010.

Prefecture	April		May		June		July	
	n	(FL (cm))	n	(FL (cm))	n	(FL (cm))	n	(FL (cm))
Aomori	-		18	(52.6 - 73.6)	5	(50.4 - 52.1)	6	(53.7 - 73.0)
Niigata	12	(60.0 - 65.1)	28	(61.0 - 70.3)	10	(51.0 - 75.6)	-	
Toyama	10	(65.0 - 78.0)	28	(60.5 - 71.5)	1	(68.0 - 68.0)	6	(53.0 - 75.0)
Ishikawa	24	(62.8 - 88.6)	13	(63.9 - 95.7)	15	(59.6 - 92.5)	4	(54.6 - 70.4)
Fukui	12	(61.3 - 77.3)	5	(50.0 - 70.8)	16	(61.7 - 70.3)	33	(50.0 - 94.0)
Kyoto	31	(50.0 - 77.8)	14	(50.9 - 76.4)	33	(50.1 - 78.2)	28	(50.2 - 85.5)
Hyogo	11	(62.5 - 74.1)	16	(51.2 - 63.6)	2	(50.9 - 65.0)	4	(51.1 - 56.5)
Tottori	17	(61.8 - 72.3)	6	(50.0 - 62.9)	9	(52.6 - 73.2)	28	(50.0 - 65.2)
Yamaguchi	6	(50.3 - 54.5)	10	(51.0 - 70.8)	12	(50.3 - 86.6)	30	(51.5 - 66.1)
Nagasaki	-		1	(50.1)	-		26	(52.6 - 71.8)
Total	123	(50.0 - 88.6)	139	(50.0 - 95.7)	103	(50.1 - 92.5)	165	(50.0 - 94.0)

*1 独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所（Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suidocho, Niigata 951-8121, Japan）

*2 水産庁（Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Kasumigaseki, chiyoda, Tokyo 100-8907, Japan）

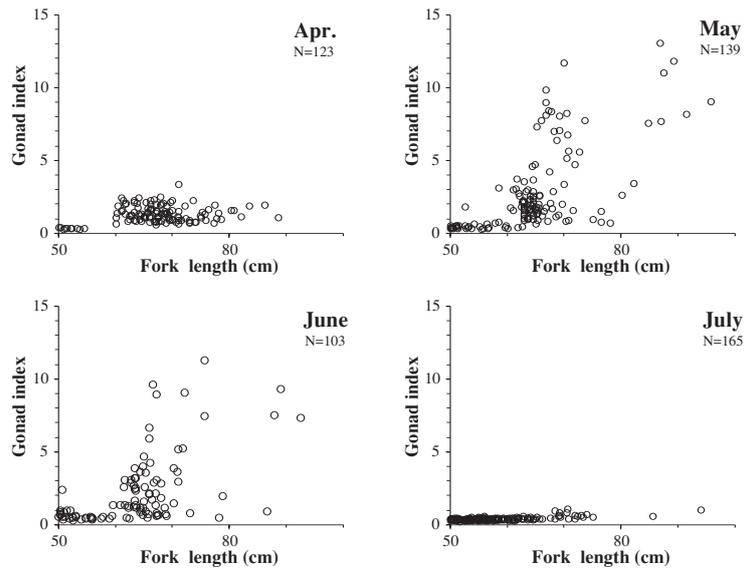


Fig. 1 Relationship between the fork length and *GI* (gonad index) of *S. niphonius* from April and July 2010.

した。

$$GI = \frac{GW}{FL^3} \times 10^4$$

各府県で2010年5～7月に測定されたサワラ雌から、井上ら(2007)により京都府沿岸で成熟サイズと示唆された尾叉長60 cm以上の個体を、任意に計82個体(FL60～94 cm)抽出し、それらの卵巣を10%ホルマリン溶液で固定した。各卵巣の中央部から1 cm角片を切り出し、パラフィン法により厚さ8～16 μmの切片を作成後、ヘマトキシリン・エオシン(HE)染色を施し、光学顕微鏡で観察した。

観察では、まず、卵母細胞の発達段階を判別した。卵母細胞の発達段階はYamamoto(1956)や岸田、会田(1989)に準じ、周辺仁期(perinucleolus stage)、卵黄胞期(yolk vesicle stage)、卵黄球期(yolk globule stage)、核移動期(migratory nucleus stage)、成熟期(maturation stage)とした。次に、退行変性卵(degenerative egg)の有無を確認した。さらに、産卵を経験した指標となる排卵後濾胞(post-ovulatory follicle)および不明瞭であるがその可能性のある細胞塊の有無を確認した。細胞塊があった標本については、PAS染色した試料を作製して再度観察した。

卵巣の熟度について、各標本の中で最も発達の進んだ卵母細胞の発達段階および退行変性卵の有無をもとに、以下のように区分した。周辺仁期のみ見られるものを「未熟(Immature)」、卵黄胞期までみられるものを「発達(Development)」、卵黄球期までみられるものを「卵黄蓄積(Vitellogenic)」とした。「発達」や「卵黄蓄積」では、退行変性卵(degenerative eggs)の有無をさらに区別した。核移動期や成熟期のみ見られるものを「完熟(Mature)」とした。周辺仁期と退行変性卵だ

けのものは「退縮(Involution)」とした。

2010年5～7月について、長崎県、山口県、鳥取県～新潟県および青森県における尾叉長階級(1 cm間隔)別漁獲尾数を調べた。使用したデータは、2010年5～7月における各府県のサワラ漁獲量と市場測定に基づく尾叉長組成(雌雄込み、銘柄不明)および全調査府県の精密測定データに基づく月別の尾叉長-体重関係(雌雄込み)である。尾叉長-体重関係式は、以下の通りである。

$$2010年5月: BW = 0.37 \times 10^{-2} \times FL^{3.132} \quad (r^2 = 0.98, n = 351)$$

$$6月: BW = 1.37 \times 10^{-2} \times FL^{2.826} \quad (r^2 = 0.96, n = 298)$$

$$7月: BW = 2.91 \times 10^{-2} \times FL^{2.657} \quad (r^2 = 0.95, n = 247)$$

基本的には、月別漁獲量、月別尾叉長組成、尾叉長-体重関係式により得られた各尾叉長階級の体重から、月別尾叉長階級別漁獲尾数を求めた。銘柄別に漁獲量が集計された府県については、月別銘柄別漁獲量とおよその銘柄基準(井上ら, 2007)も併せて用い、月別尾叉長階級別漁獲尾数を求めた。

以上の計算をもとに、尾叉長60 cm以上のサイズ群について、5月、6月、7月の漁獲尾数を比較した。比較では、5月の漁獲尾数に対する6月および7月の漁獲尾数の比率を計算した。なお、この数値は、雌雄は判別せずに測定した尾叉長組成に基づいており、雌雄は不問とした。

結 果

2010年4～7月までのサワラ雌の尾叉長とGIの関係を図1に示した。尾叉長50～60 cmのほとんどの個体のGIは、調査期間を通して1以下であった。一方、尾叉長60 cm以上のGIは、4月は全ての個体が4以下であったが、5月および6月は4以上の数値を示す個体がみ

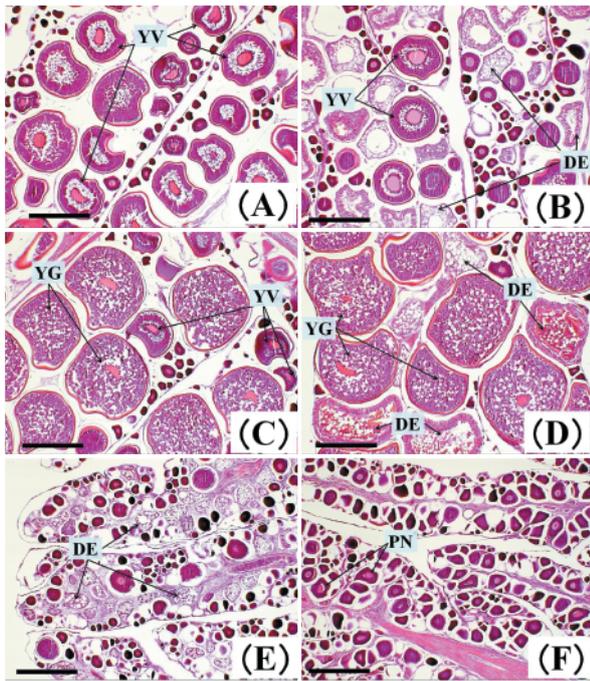


Fig. 2 Pictures of tissue sections of ovaries of *S. niphonius* at maturity. Bar=500 μ m.

- (A) Ovary in a 67.8 cm FL female caught off Kyoto pref. in May 2010.
 (B) Ovary containing degenerative eggs from a 62.9 cm FL female caught off Tottori pref. in May 2010.
 (C) Ovary at the vitellogenic phase of a 62.7 cm FL female caught off Fukui pref. in June 2010.
 (D) Ovary at the vitellogenic phase containing degenerative eggs from a 65.4 cm FL female caught off Niigata pref. in June 2010.
 (E) Ovary at involution of a 69.1 cm FL female caught off Kyoto pref. in July 2010.
 (F) Ovary in the immature phase of a 69.0 cm FL female caught off Aomori pref. in July 2010.
 PN=ooocyte at the peri-nucleolus stage. YV=ooocyte at the yolk vesicle stage. YG=ooocyte at the yolk globule stage. DE=degenerative egg.

られた。7月はほぼ全てが1以下の低い値を示した。

卵巣の各成熟度の組織切片写真をFig.2に、2010年5月、6月前半（1～15日）、6月後半（16～30日）、7月の熟度別の出現個体数および出現頻度をTable 2に示し

た。5月は「発達」（4%）と「卵黄蓄積」（96%）のみが出現した。6月前半は「発達」と「卵黄蓄積」が90%を占めた。両者の出現割合は6月後半には56%、7月には11%と低下した。7月の「卵黄蓄積」の出現は0%であった。6月後半から7月には「退縮」と「未熟」の出現割合が、それぞれ31%から58%および13%から32%と高くなった。「完熟」はいずれの期間においても認められなかった。「発達」や「卵黄蓄積」で退行変性卵が確認されたものは、5月では26個体中22個体（85%）、6月前半では19個体中16個体（84%）、6月後半は9個体中7個体（78%）、7月は2個体中1個体であった。

6月後半の「卵黄蓄積・退行変性卵あり」で排卵後濾胞の可能性のある細胞塊がみられたものが1個体あり、PAS染色により観察した結果、排卵後濾胞が確認された（Fig.3）。この個体は6月17日に新潟県沿岸で漁獲されたものであり、尾叉長65.4 cm、体重1,773 g、GI 3.6で、市場測定中に卵径1.3 mmの吸水卵の体外流出が確認されていた。本調査期間中に、吸水卵（流出の肉眼観察）および排卵後濾胞が認められたのはこの1個体のみであった。

2010年5～7月における熟度別のGIの平均、標準偏差、最小値、最大値をTable 3に示した。各熟度間でGIの平均を比較すると、「卵黄蓄積」が最も高く、「退行変性卵なし」で3.9、「退行変性卵あり」で6.4であった。「卵黄蓄積」以外のGIは最大値でも4以下であり、GI 4以上のものはすべて「卵黄蓄積」であった。また、「発達」と「卵黄蓄積」のいずれでも、退行変性卵のある方が高い値を示した。

長崎県、山口県、鳥取県～新潟県および青森県における2010年5月、6月および7月の尾叉長60 cm以上の個体の月別漁獲尾数は、それぞれ35.5万尾、6.04万尾および1.83万尾であった。5月に対する比率は、6月が17.0%、7月が5.2%であった。

考 察

瀬戸内海東部におけるサワラ雌では、GIと卵径組成の関係から、GI 4を境として、4未満のものは未成熟群、4以上のものは成熟群に分かれるとされる（篠

Table 2 The number of individuals and frequency at each maturity phase from May to July 2010.

Maturity phase	May	June		July
		1st-15th	16th-30th	
Development	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	1 (6.3 %)	1 (5.3 %)
Development containing degenerative eggs	1 (3.8 %)	7 (33.3 %)	4 (25.0 %)	1 (5.3 %)
Vitellogenic	4 (15.4 %)	3 (14.3 %)	1 (6.3 %)	0 (0.0 %)
Vitellogenic containing degenerative eggs	21 (80.8 %)	9 (42.9 %)	3 (18.8 %)	0 (0.0 %)
Mature	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)
Involution	0 (0.0 %)	2 (9.5 %)	5 (31.3 %)	11 (57.9 %)
Immature	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	2 (12.5 %)	6 (31.6 %)
Total	26 (100.0 %)	21 (100.0 %)	16 (100.0 %)	19 (100.0 %)

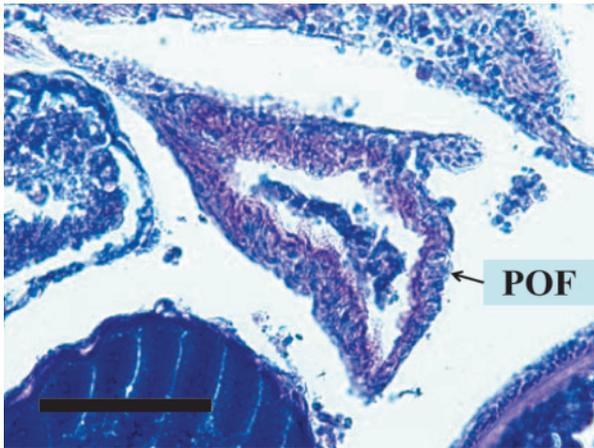


Fig. 3 Pictures of post-ovulatory follicle of ovaries, at the vitellogenic phase, of a 65.4 cm FL female caught off Niigata Pref. in June, 2010. Bar=100 μ m. POF=post-ovulatory follicle.

原, 1991)。本報で調査した日本海のサワラ雌のGIは4~6月にかけて上昇し、GI 4以上の個体が5月および6月に尾叉長60 cm以上で多く出現した (Fig.1)。この結果は、東シナ海・黄海 (濱崎, 1993) や京都府沿岸 (井上ら, 2007) における結果と同様であった。GI 4以上の個体は、卵巣の組織学的観察では「卵黄蓄積」であった。「卵黄蓄積」の個体は5月および6月前半に出現割合が高かったことから、日本海に分布するサワラが産卵する可能性のある時期は6月中旬であったと推察される。6月17日に卵流出個体が漁獲されたことは、推察された産卵時期が妥当であることを支持するものと言える。この卵流出個体の卵巣には排卵後濾胞が存在し (Fig.3)、その流出卵の卵径は産卵される卵径と同等であった (岸田, 会田, 1998)。このような個体は、岸田, 会田 (1998) の指摘によれば、1日以内に産卵した可能性がある。以上のことから、日本海においても一応に6月ごろ産卵が行われていると考えられる。しかし、それと同時に、産卵魚の発見は調査期間中わずか1個体にとどまったことから、日本海における産卵魚は非常に少ないことも示唆される。

日本海での産卵期と推察された6月およびその前月の5月に、「発達」や「卵黄蓄積」の個体の多くには退行

変性卵が確認された。また、退行変性卵のある個体は、それがない個体よりもGIは高い傾向があった。これらのことは、日本海のサワラ雌では、成熟は一応に進むものの卵の最終成熟 (放卵しうるまで) に達するまでに退行し始めることがあり、その頻度も高い可能性があることを示唆している。靄田 (1992) は、カタクチイワシで、産卵の臨海水温以下では卵黄球期であっても排卵および産卵は行われなかったことを示し、最終成熟と産卵には水温が引き金として必要であることを推察した。岸田 (1989) は、瀬戸内海におけるサワラの分布と回遊を調べ、ごく隣接海域において産卵開始時期が異なったことについて、表層水温の1~2°Cの差と関連させて検討した。また、岸田 (1990) は、サワラの産卵に適した表層水温を19~20°Cとし、表層水温の日変動が産卵ピーク時刻に影響を及ぼすとした。これらの知見からは、サワラの卵の最終成熟の水温に関する条件として、比較的限定された時間帯に表層水温が適水温となる必要があると想定される。一方、岸田 (1990) で示された産卵のための適水温19~20°Cに注目するならば、6月の表層であれば日本海でもみられることが知られており、卵の最終成熟には水温以外の条件もあると思われる。志村ら (2008) は、春季の鳥取県沖におけるカタクチイワシでは、栄養状態の低下が産卵抑制に影響していると考えた。また、飢餓状態が卵巣卵の再吸収を引き起こすことも知られている (Hunter and Macewicz, 1985)。日本海でサワラの卵の最終成熟が進まない理由の解明には、産卵行動と水温条件の詳細な関係や摂食もしくは栄養状態と卵成熟との関連および日本海沿岸における春から初夏にかけての餌環境について検討する必要がある。

尾叉長60 cm以上の個体群について、5月の漁獲尾数に対する産卵期と推察された6月およびその直後の7月のその比率は17%および5%であった。この値は、雌雄不問としており、厳密には雌のみでの値ではない。ただし、対象としたサイズ群では5月における雌雄比が著しく雄に偏ることはなく、より厳密に計算しても今回と同様に低い値になるとと思われる。計算結果は、尾叉長60 cm以上の雌は産卵期前には日本海に多く分布するが、そのほとんどは産卵期を境に姿を消してし

Table 3 The mean, standard deviation (SD), minimum and maximum of the Gonad Index (GI) at each maturity phase from May to June 2010.

Maturity phase	n	GI			
		Mean	SD	Minimum	Maximum
Development	3	0.90	0.69	0.47	1.69
Development containing degenerative eggs	13	1.84	1.11	0.51	3.89
Vitellogenic	7	3.85	1.50	1.97	7.00
Vitellogenic containing degenerative eggs	33	6.43	2.75	2.57	11.84
Mature	0	-	-	-	-
Involution	18	0.83	0.22	0.56	1.34
Immature	8	0.53	0.10	0.41	0.68

まうことを示している。

6月後半および7月に、漁獲尾数は非常に少ないが「退縮」の個体が出現した (Table 2)。これらの個体が、「発達・退行変性卵あり」や「卵黄蓄積・退行変性卵あり」から移行したもので、日本海で産卵した後のもの、あるいは、日本海以外で産卵して再び戻ってきたもの、いずれの可能性が高いか、本報では産卵の有無を定量的に判断するには至らず特定できなかった。「完熟」個体の発見は標本の採集時刻に影響されやすく (岸田1990)、排卵後濾胞は時間が経つと収縮し確認しづらい (成松ら, 2004; 清水, 2006)。つまり、それらが無いことを明らかにすることは難しい。今後、日本海のサワラ雌の卵の退行変性過程の解明や、ブリ *Seriola quinqueradiata* で実施されたようなデータロガーを用いた標識放流調査 (井野ら, 2008) がサワラでも可能となり、成熟サイズの産卵期前後の分布特性が解明されると、さらに有意義な検討ができると思われる。

本報により、サワラ雌の日本海での産卵を確認したが、それはごく一部であることが示唆された。また、サワラ雌の多くは、卵が最終成熟する前に退行しており、産卵期には日本海からほとんど移出すると考えられた。以上のことから、日本海での産卵の本資源再生産への貢献度は非常に低く、漁獲が急増して10年経過しても、依然として、日本海以外にある主産卵場が日本海のサワラ資源を支えていると考えられる。日本海における漁獲動向を検討する際などには、今後も東シナ海の資源状況が有益な情報となるであろう。

謝 辞

本研究は、「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」により、青森県産業技術センター水産総合研究所、新潟県水産海洋研究所、富山県農林水産技術センター水産研究所、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、兵庫県立農林水産技術総合センター、鳥取県栽培漁業センター、山口県水産研究センター、長崎県総合水産試験場と共同で実施したものである。各機関の担当者の方々に、この場を借り、心よりお礼申し上げます。

新潟県農林水産部水産課丸山克彦氏と新潟県内水面水産試験場中島一恵氏、(独)水産総合研究センター岸田 達博士、同センター中央水産研究所清水昭男博士、同センター開発調査センター廣瀬太郎博士には、多くのご指導とご助言を賜りました。ここに、深く感謝申し上げます。

また、匿名の査読者の方々から多くのご指摘ならびにご助言を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

文 献

- Hunter J.R., Macewicz B.J. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull. U. S.*, **83**: 119-136.
- 濱崎清一. 1993. 東シナ海・黄海に分布するサワラの年齢と成長. *西水研研報*, **71**: 101-110.
- 井野慎吾, 新田 朗, 河野展久, 辻 俊宏, 奥野充一, 山本敏博. 2008. 記録型標識によって推定された対馬暖流におけるブリ成魚の回遊. *水産海洋研究*, **72**: 92-100.
- 井上太郎, 和田洋蔵, 戸嶋 孝, 竹野功爾. 2007. 京都府沿岸で漁獲されるサワラの年齢および移動について. *京都海洋セ研報*, **29**: 1-6.
- 石田 実, 片町太輔. 2012. 平成23年サワラ瀬戸内海系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第3分冊, 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 1330-1329.
- 木所英昭, 戸嶋 孝, 奥野充一, 児玉晃治, 藤原邦浩, 浅野謙治. 2013. 日本海におけるサワラの漁況予測手法. *京都海洋セ研報*, **35**: 19-24.
- 岸田 達. 1989. 漁場の移動からみた瀬戸内海中西部におけるサワラの分布と回遊. *南西水研研報*, **22**: 13-27.
- 岸田 達. 1990. 卵採集結果からみた瀬戸内海におけるサワラの産卵時刻. *南西水研研報*, **23**: 43-51.
- 岸田 達, 会田勝美. 1989. 瀬戸内海中西部域におけるサワラの成熟と産卵. *水産学会誌*, **55**: 2065-2074.
- 岸田 達, 上田和夫, 高尾亀次. 1985. 瀬戸内海中西部域におけるサワラの年齢と成長. *日水誌*, **51**: 529-537.
- 成松庸二, 北川大二, 服部 努. 2003. ミギガレイの繁殖生態. *東北底魚研究*, **23**: 6-20.
- 清水昭男. 2006. 生殖生理に関する研究手法と水産重要魚種の再生産研究高度化への応用. 水産総合研究センター研究報告, 別冊第4号, 63-70.
- 志村 健, 山本 潤, 森本晴之, 大下誠二, 下山俊一, 桜井泰憲. 2008. 春季の日本海鳥取沖におけるカタクチイワシの成熟と産卵. *水産海洋研究*, **72**: 101-106.
- 篠原基之. 1991. 瀬戸内海東部におけるサワラの産卵と成熟について. *岡山水誌報*, **6**: 28-34.
- 高橋素光, 塚本洋一, 由上龍嗣. 2012. 平成23年サワラ東シナ海系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第3分冊, 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 1318-1329.
- 戸嶋 孝, 太田武行, 児玉晃治, 木所英昭, 藤原邦浩.

2013. 漁獲状況および標識放流試験からみた近年の日本海におけるサワラの分布・移動. 京都海洋セ研報, **35** : 1-12.

靄田義成. 1992. カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調整に関する研究. 水工研報, **13** : 129-168.

Yamamoto K. 1956. Studies on the formation of fish eggs, I. Annual cycle in the development of ovarian eggs in the flounder, *Liopsetta obscura*. *J. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, Ser.VI, Zool., **12** : 362-373.