

# 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

岸 田 達

## Time of Day of Spawning in Japanese Spanish Mackerel in the Seto Inland Sea

Tatsu KISHIDA

The time of day of spawning in Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* was investigated. Three investigations were made in the Seto Inland Sea during 1987 and 1989. Relative intensity of spawning at each hour of the day was determined by the number of eggs in early molura and younger stages collected by two plankton nets.

The highest peak of spawning appeared within four hours before and after sunset, and the second peak was observed at or shortly after sunrise. The highest peak occurred at 15:00, 18:00–20:00, and 22:00–23:00, respectively. The surface water temperature when the highest peak occurred ranged between 19 and 20°C, though it fluctuated widely during afternoon and night. It is concluded, therefore, that the fluctuation in time of spawning may be caused by the diurnal fluctuation of surface water temperature.

サワラ *Scomberomorus niphonius* (CUVIER) は瀬戸内海における重要な漁業資源の一つである。本種が瀬戸内海において再生産を行うことは良く知られており、その産卵生態については、かなりの見解が得られている (岸田・会田1989)。しかし産卵時刻については明らかにされていない。本研究では、本種の再生産機構を解明する研究の一環として天然海域で採集された卵を用いて産卵時刻の推定を行った。

本論に入るに先立ち、本稿の校閲を賜った東京大学名誉教授羽生 功博士に深謝する。また、調査に協力頂いた前南海海区水産研究所内海資源部第一研究室長上田和夫博士 (現養殖研究所大村支所長)、調査船せと船長後藤幹夫氏に御礼申し上げる。

## 材 料 と 方 法

### 1. 産卵後経過時間と発生段階

天然で採集した卵の産卵時刻を推定するには、あらかじめ卵の発生段階と産卵後経過時間の関係を把握しておく必要があったが、卵の発生速度は水温によって異なるため、以下の方法で水温の差異を考慮したものとした。

孵化時間と水温に関しては、日暮・田内 (1925) の式

$$T=C \exp (-aQ) \quad (1)$$

が存在する。ここで  $T$  は孵化日数,  $Q$  は温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a$  は温度恒数,  $C$  は定数である。(1)式は孵化時間についてだけでなく, すべての発生段階における産卵後 (実験では受精後) の経過時間と水温との関係として成り立つと仮定すれば, 卵発生途上のある段階までの孵化後経過時間と水温の関係については, 下式のように表せる。

$$T'=C' \exp (-aQ) \quad (2)$$

ここで  $T'$  は産卵後経過時間,  $C'$  は発生段階によって異なる定数である。したがって, 実験によって水温  $Q_1$  におけるある発生段階の受精後経過時間  $T_1$  がわかれば, 水温  $Q$  におけるその発生段階の産卵後経過時間  $T$  は,

$$T=T_1 \exp \{-a(Q-Q_1)\} \quad (3)$$

で求められる。

サワラについての温度恒数  $a$  は, 既往の孵化実験の結果, すなわち  $18.5^{\circ}\text{C}$  で66時間 (神谷 1922),  $19^{\circ}\text{C}$  で63時間 (丹下ほか 1969),  $21.5^{\circ}\text{C}$  で48時間で孵化 (樋口・大島 1974) という3組の資料を用い, (1)式から求めた。

実験による各発生段階と産卵後経過時間の資料からみると, サワラでは, 桑実胚期以降になると発生段階を時間単位で詳細に区分することが難しかったため, 桑実胚初期より若い卵を用いて両者の関係を求めた。孵化実験におけるこの発生段階については, 神谷 (1922) が報告しているので, これを用いた。

## 2. 卵採集

卵の採集は南西海区水産研究所々属調査船せと (7.9トン) を用い, 1987年6月25-26日に広

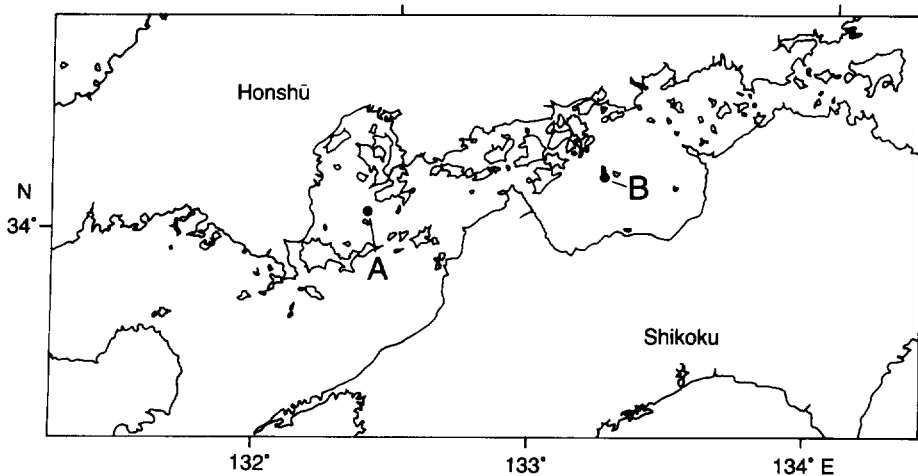


Fig. 1. Location of stations for the observation of spawning time. A; June 25-26, 1987. B; May 26-27, 1988 and May 31-June 1, 1989.

島湾々口部, 1988年5月26~27日と1989年5月31日~6月1日に燧灘において行った (Fig. 1)。採集は, 船を錨で固定した上で, 水深5mと7mの2層に口径45cm, 網地NGG54のNOR-PACネットをロープで吊るし, 潮流を利用した曳網を行った。採集は各調査とも約3時間おきに8回行った。ネットの設置時間は1回当り1987年の調査では30分~60分, 1988, 1989年は1~3時間程度であった。1988, 1989年には, 網口に低速用流量計 (General Oceanics社モデル2030R2) を装着し, 濾水量を計測した。また, 各調査時ともほぼ6時間おきに表層と5m層の水温をT-Sメーター (東邦電探社モデルSTC-2D) で測定した。

採集された試料は, 船上で直ちに7~8%ホルマリン溶液で固定し, 後日研究室でサワラ卵を選び出し, 発生段階を調べた。

### 3. 産卵時刻の推定

卵の採集時刻は採集物をホルマリン固定した時刻とし, この時刻からそれぞれの産卵後経過時間を遡った時刻をその卵の産卵時刻とした。ただし, 29分以下は切り捨て, 30分以上は切り上げた。

各年の調査ともそれぞれ8回分の結果を総計して1日を通しての産卵活動状況を検討したが, 結果の項で述べるように, 各回の単位濾水量当たり卵採集数には大きなばらつきがあったため, 8回分を総計する時には, 発生段階別採集卵数はそれぞれの回の全採集卵数に対する百分率で表した値を用いた。

## 結 果

### 1. 産卵後経過時間と発生段階の関係

サワラについての孵化時間  $T$  (日数ではなく時間を用いた) と水温  $Q$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) に関する既述の3報告の値を用い,  $Q$  と  $\log T$  についての直線回帰式を求め,

$$\log T = 6.172 - 0.1070 Q \quad (r = -1.00)$$

を得た。これから

$$T = 479 \exp(-0.107 Q)$$

となり, 温度恒数  $a$  として0.107が得られた。

神谷 (1922) の実験における桑実胚初期より若い各段階の受精後経過時間, 並びにこれを基に (3) 式から推定した今回の卵採集時の5m層平均水温における発生段階別の産卵後経過時間を Table 1 に示した。

### 2. 産卵時刻

各調査時における採集時刻, 曳網時間, 卵の発生段階別採集数を Table 2~4 に示した。これ

**Table 1.** Elapsed time (hours) after spawning for each developmental stage in different water temperatures observed by Kamiya (1922) and estimated from formula (3) (see text) and Kamiya (1922).

Stage	observed		estimated	
	15.5°C after Kamiya (1922)	17.2°C 26-27 May 1988	18.5°C 31 May-1 June 1989	19.5°C 25-26 June 1987
no germ disc	—	0	0	0
germ disc	1	0.8	0.7	0.7
2 cells	2.2	1.8	1.6	1.4
4 cells	3	2.5	2.2	2.0
8 cells	3.7	3.1	2.7	2.4
16 cells	4	3.3	2.9	2.6
early morula	5	4.2	3.6	3.3

**Table 2.** Number of eggs sampled on 25-26 June 1987 classified by developmental stage. Percentages to the total number sampled are shown in parentheses.

No.	time sampled	collected time (min.)	stage									total	
			germ	disc	2	4	8	16	early morula	morula	over blastula		
			—	+	cells								
1	10:43	10*	—	—	—	—	—	—	—	3 (27)	1 (9)	7 (64)	11
2	14:05	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 (100)	1
3	17:17	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 (100)	4
4	20:20	30	—	—	—	—	4 (50)	2 (25)	—	—	—	2 (25)	8
5	23:15	40	—	—	—	—	—	—	1 (50)	—	—	1 (50)	2
6	2:05	30	—	—	—	—	1 (8)	—	—	2 (17)	—	9 (75)	12
7	5:30	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 (100)	4
8	8:15	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 (100)	10

\* Hauled at velocity of two knots.

らの表では、上下2層のネットの採集物は込みにして扱った。8回の採集による総採集卵数は1987年以降順次52, 816, 728個で、そのうち桑実胚初期より若い卵はそれぞれ11, 154, 209個であった。すなわち5月下旬から6月上旬の燧灘における採集(1988, 1989年)は2回とも700~800程度のサワラ卵が採集されたのに対し、6月下旬の広島湾における採集(1987年)ではその1割以下と少ない量であった。

1988, 1989年調査時については各回の濾水量当り採集数を求めたが、時間帯によって最高1988年で5.0倍、1989年で7.3倍の開きがあった。

発生段階別採集卵数をそれぞれの回の全採集数に対する百分率で表した値もTable 2~4に示した。この値を用いて各回ごとに時刻別産卵量を求め、それを全部(8回分)加算して1日の産

瀬戸内海におけるサワラの産卵時刻

**Table 3.** Number of eggs sampled on 26-27 May 1988 classified by developmental stage. Percentages to the total number sampled are shown in the parentheses.

No.	time sampled	collected time (min.)	stage									total	no. per m <sup>3</sup> ( $\times 100$ )	
			germ -	disc +	2	4	8	16	early morula	morula	over blastula			
1	13:42	64	—	—	—	—	—	—	—	—	9 (41)	13 (59)	22	8.4
2	16:03	113	—	7 (20)	—	—	—	—	—	—	1 (3)	27 (77)	35	20.5
3	19:00	137	—	—	—	—	2 (2)	5 (5)	7 (7)	5 (5)	86 (82)	105	13.8	
4	22:00	173	—	—	—	—	1 (2)	2 (3)	6 (9)	1 (2)	55 (85)	65	8.2	
5	1:00	173	—	2 (2)	1 (1)	1 (1)	6 (5)	2 (2)	1 (1)	16 (12)	100 (78)	129	15.2	
6	4:00	173	1 (1)	5 (7)	1 (1)	3 (4)	—	9 (12)	2 (3)	1 (1)	51 (70)	73	40.6	
7	7:00	170	—	2 (1)	59 (20)	3 (1)	10 (3)	2 (1)	14 (5)	19 (7)	183 (63)	292	29.0	
8	10:00	173	1 (1)	2 (2)	—	—	—	—	—	—	2 (2)	89 (94)	95	16.7

**Table 4.** Number of eggs sampled on 31 May and 1 June 1989 classified by developmental stage. Percentages to the total number sampled are shown in the parentheses.

No.	time sampled	collected time (min.)	stage									total	no. per m <sup>3</sup> ( $\times 100$ )	
			germ -	disc +	2	4	8	16	early morula	morula	over blastula			
1	14:05	118	—	—	—	—	—	—	—	1 (2)	3 (5)	54 (93)	54	3.5
2	16:59	168	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8 (100)	8	1.8
3	19:58	173	—	—	—	—	2 (2)	—	—	7 (5)	120 (93)	129	4.8	
4	23:00	174	2 (1)	6 (4)	26 (17)	3 (2)	2 (1)	4 (3)	4 (3)	14 (9)	91 (60)	152	9.3	
5	1:58	170	—	1 (0)	—	4 (2)	9 (4)	62 (26)	66 (27)	18 (7)	83 (34)	243	13.2	
6	5:00	175	—	—	—	—	—	—	—	—	23 (100)	23	3.1	
7	7:55	167	—	—	—	4 (5)	5 (7)	2 (3)	6 (8)	6 (8)	51 (69)	74	4.1	
8	10:29	148	—	—	—	—	—	—	—	—	41 (100)	41	4.1	

卵活動状況をみた (Fig. 2)。

これによると、1987年6月は卵採集数は少なかったが日没前後の18、20時に産卵のピークがみられ、日の出約2時間後の7時に再び小さなピークがみられた。1988年5月は日没より約4時間前の15時に大きなピークが出現し、夜間は大きなピークはみられないものの産卵は継続し、日の

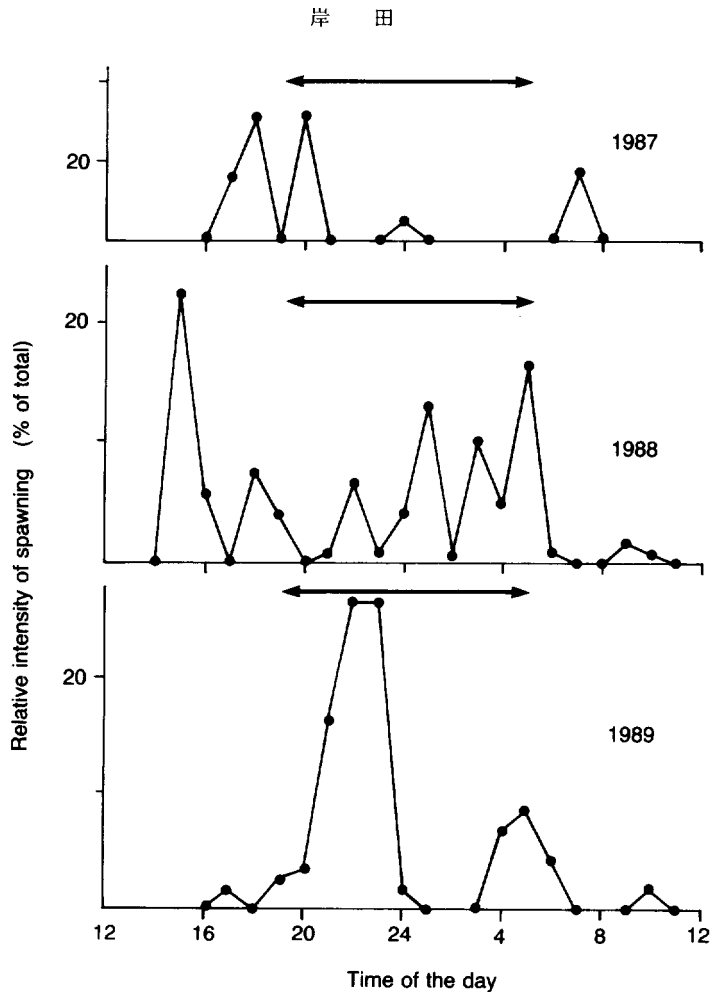


Fig. 2. The diurnal patterns of spawning of Japanese Spanish mackerel. Arrows indicate the time between sunset and sunrise.

出時の5時に再びピークがみられた。1989年5～6月は日没後3～4時間経過した22～23時に最大のピークが出現し、翌朝5時頃にも小さなピークが出現した。

すなわち各調査時とも日没前後数時間内に最大の産卵ピークが出現し、日の出時にも小さなピークが見られるという結果が得られた。

しかし日没時前後の1回目、すなわち最大のピークについては、出現時刻の最も早かったのは1988年の15時、最も遅かったものは1989年の22～23時と日没をはさんで約7～8時間の差があった。

### 3. 産卵と潮流及び水温の関係

調査水域付近の潮位表（日本気象協会広島支部1986, 1987, 1988）によれば、1987年（干潮およそ15時、満潮21時40分）、1988年（干潮およそ13時40分、満潮19時40分）の調査時には上げ潮時（外洋方向から内海奥部に向けて潮が流れる）に、1989年（満潮およそ20時20分、干潮2時30分）については下げ潮時に最大の産卵ピークが出現しており、今回の調査に関しては潮流と産卵

の関係は特に見られなかった。なお、調査時の気象は、3回ともほぼ晴れ、波浪は概ね0.5 m以下であった。

水温と産卵の関係を見るために、各調査時における表層と5 m層水温の日変動および産卵ピークの時刻を Fig. 3 に示す。これによると、5 m層では、水温の日変動は小さく、調査時ごとにはほぼ一定していた。各調査時の水温と産卵時刻の間には特に関係は見られなかった。表層では、燧灘で調査を行った1988, 1989年については、第1の産卵ピークの出現時間帯である午後から日没後にかけては、表層水温が5 m層水温を最大で3°C前後上回り、夜間には低下して差がほとんどなくなる傾向がみられた。両年の第1の産卵ピークは、それぞれ水温の上昇時と下降時に出現した。広島湾で調査を行った1987年には日変動は19.8~20.9°Cの間であり相対的に小さかった。このように表層水温の日変動と産卵時刻の関係については一定の関係はみられないものの、第1の産卵ピーク出現時刻における表層水温は、ほぼ一定していた。観測時と観測時の間の水温を線形補間によって求めると、第1の産卵ピーク出現時の表層水温は3回とも19~20°Cの間であった。

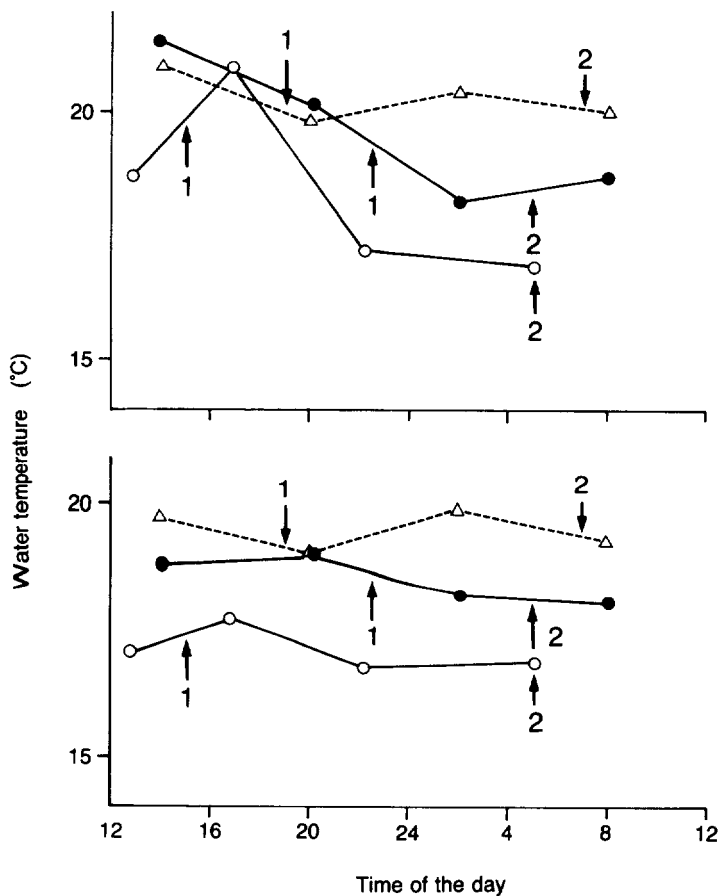


Fig. 3. Diurnal changes of water temperature at the surface (upper panel) and at the depth of five meters (lower panel) on the observed day. The first and second spawning peaks were indicated by arrows and figures.  $\triangle$ ; 1987,  $\circ$ ; 1988,  $\bullet$ ; 1989.

## 考 察

サワラの産卵時刻については、日没前後に大きなピークがあり、日の出時にも小さなピークがあるということが明らかになったが、他魚種での研究例と比較検討を行うと以下ようになる。

親魚の卵巣の成熟状態から、northern anchovy *Engraulis mordax* (HUNTER and MACEWICZ 1980), Hawaiian anchovy *Encrasicholina purpurea* (CLARKE 1987), queenfish *Seriphus politus* (DEMARTINI and FOUNTAIN 1981), Pacific sardine *Sardinops sagax* (COELLO 1988) などで、午後遅くから真夜中の間に1回ピークがみられるとされている。天然での卵採集結果からは、sardine *S. caerulea* (AHLSTROM 1950), jack mackerel *Trachurus symmetricus* (FARRIS 1961) などで日没後数時間ないし真夜中にピークがみられている。飼育環境下で自然産卵させた例では、マダイ *Pagrus major* で、産卵期初期の4月上～中旬に日没2～3時間前、4月下旬から5月上旬に日没前後、5月下旬に日没2～3時間後と、次第に遅い時間帯に移行することが知られている(古賀ほか 1971)。カタクチイワシ *E. japonica* (高尾ほか 1983) では22～23時に大きなピークがあり、翌朝5時前後に再び小さなピークがあるようである。

以上のように分離浮性卵を産む海産魚類の産卵時刻は、主なピークが1日に1回、午後遅くから夜中の間に存在するのが一般的である。サワラについても日没前後に大きなピークがある点は、それらの魚種と共通していた。日の出時を中心にした2番目のピークについては、カタクチイワシの飼育例(高尾ほか 1983)でその存在がうかがえるだけで、今のところ知られていない。しかし、サワラでは、3回の調査とも2回目のピークの出現が観察されており、本種ではかなり普遍的な現象ではないかと思われる。

群としての産卵時間帯をみると、サワラでは午後の産卵開始から翌朝の第2のピークが終了するまでの時間は3回とも13～14時間であった。天然海域で採集された卵の研究では、既出の sardine (AHLSTROM 1950), jack mackerel (FARRIS 1961) では、数は少ないがピーク時以外でも、産卵は1日中続いていた。また、plaice *Pleuronectes platessa*, dab *Limanda limanda*, sprat *Sprattus sprattus* でも半日以上ないし1日中産卵がみられる(SIMPSON 1971)など、群としての産卵が長時間にわたる魚種は珍しくないようである。

今回の3回の調査で第1の産卵ピーク時刻が日没をはさんで最大8時間程度ずれていた原因については、調査例が少ないため断定的なことは言えないが、環境要因をみる限り表層水温の日変動が、影響を及ぼしているのではないかと考えられる。すなわち、第1の産卵ピーク出現時の水温は3回とも19～20°Cの間であったことから、この範囲が産卵に適した表層水温ではないかと考えられるが、燧灘においては午後から日没後にかけての表層水温の変動が大きかったため、産卵に適した時間帯に差が生じたものではないかと考えられる。



文 献

- AHLSTROM, 1950: U. S. Dept. Int. Fish and Wildlife Service, Spec. Sci. Rep. -Fisheries, **15**, 135-137.
- CLARKE, T. A., 1987: Fecundity and spawning frequency of the Hawaiian anchovy or nehu, *Engrasicholina purpurea*, *Fish. Bull. U. S.*, **85**(1), 127-138.
- COELLO, S., 1988: Time of day of spawning in *Sardinops sagax* (JENYNS), *J. Fish. Biol.*, **33**, 655-656.
- DE MARTINI, E. E. and R. K. FOUNTAIN, 1981: Ovarian cycling frequency and batch fecundity in the queenfish, *Seriphus politus*: attributes representative of serial spawning fishes, *Fish. Bull. U. S.*, **79**(3), 547-560.
- FARRIS, D. A., 1961: Abundance and distribution of eggs and larvae and survival of larvae of jack mackerel (*Trachurus symmetricus*), *U. S. Dept. Int. Fish and Wildlife Service, Fish. Bull.* **187**, vol. **61**, 247-279.
- 樋口正毅・大島泰雄, 1974: 瀬戸内海におけるサワラとその種苗放流に関する予察, 栽培技研, **3**(1), 43-60.
- 日暮 忠・田内森三郎, 1925: 魚卵ノ孵化日数ト温度トノ関係, 水講試報告, **21**, 11-16.
- HUNTER, J. R. and B. J. MACEWICZ, 1980: Sexual maturity, batch fecundity, and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season, *CalCOFI Rep.*, **21**, 139-149.
- 神谷尚志, 1922: 瀬戸内海ニ於ケル浮性魚卵並ニ其稚仔, 水講試報告, **18**(3), 23-39, 2 pls.
- 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, 日水誌, **55**(12), 2065-2074.
- 古賀文洋・田中義興・中園明信, 1971: 水槽内におけるマダイ, クロダイの産卵について, 九州大学農学部 附属水産実験所報告, **1**, 83-89.
- 日本気象協会広島支部, 1986, 1987, 1988: 広島県の暦象と潮位1987, 1988, 1989年, 日本気象協会広島支部, 広島, pp. 40, 40, 40.
- SIMPSON, A. C., 1971: Diel spawning behaviour in populations of plaice, dab, sprat and pilchard, *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **34**(1), 58-64.
- 高尾亀次・岸田 達・上田和夫, 1983: 飼育実験によるカタクチイワシの雌1尾当り年間産卵数の推定, 南西水研報, **15**, 1-11.
- 丹下勝義, 竹田文弥, 岩井昌三, 1969: サワラのふ化飼育試験, 兵庫県立水試報告 昭和43年度, 119-120.