

# 北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* (Brevoort)の年齢, 成長および成熟に関する研究<sup>\*1</sup>

巢山 哲<sup>\*2</sup>

## Study on the age, growth, and maturation process of Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) in the North Pacific<sup>\*1</sup>

Satoshi SUYAMA<sup>\*2</sup>

**Abstract** The Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) is widely distributed in the sub-arctic and sub-tropical North Pacific Ocean and is one of the most important commercial fish species in Japan. However, biological information on this fish has been scarce, especially theories about age and growth, lifespan, and reproduction process are not yet established. This study aims to reveal the life history of this species in the western North Pacific.

*Estimation of the age and growth of Pacific saury based on the daily otolith growth increments*: Growth of Pacific saury was studied based on counting daily growth increments with a scanning electron microscope (SEM). The Pacific saury caught from the western North Pacific were divided into three groups; the small-size group (knob length: 200-240 mm), medium-size group (knob length: 240-280 mm) and large-size group (knob length: >280 mm), and showed increments of  $256 \pm 26.0$  (S.D.),  $405 \pm 76.1$  and  $566 \pm 48.2$ , respectively. Based on daily growth increment formation, we determined that the ages of the 3 groups were about 8, 13, and 19 months. Small- and large-size fish were considered to have hatched from autumn to winter and medium-size fish from spring to summer. The oldest specimen of Pacific saury examined in this study was about 23 months of age; thus, the lifespan of Pacific saury in this area seems to be at least 1.5 years. No difference in growth rate between fish from the central and western North Pacific were observed in the present study.

*Formation period of otolith hyaline zones of Pacific saury in the western North Pacific*: The formation period of hyaline zones in the otoliths of the Pacific saury (n=1,106) collected from the western North Pacific during February 1991 to December 1992 were examined. Five types of otoliths were observed: type I (no hyaline zone), type II (incomplete hyaline zone along the outer otolith edge), type III (one complete hyaline zone), type IV (two hyaline zones) and another type. Approximately 80% of the small- and medium-sized fish (<280 mm) exhibited type I otoliths, and 15.8% and 65.4% of the large-sized fish (>280 mm) showed type II and type III otoliths, respectively. Most type IV otoliths were observed in larger fish (>314 mm). The first hyaline zone in the otoliths of small- and medium-sized fish was estimated to form during winter.

2002年7月26日受理 (Received on July 26, 2002)

水産総合研究センター業績 A 第28号 (Contribution No. A 28 from the Fisheries Research Agency)

\*1 北海道大学審査学位論文 (掲載するに際し, 投稿規定に沿って一部修正した)

\*2 東北区水産研究所八戸支所 〒031-0841 青森県八戸市鮫町字下盲久保25-259 (Hachinohe Branch, Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory, 25-259, Shimomekurakubo, Same-cho, Hachinohe, Aomori 031-0841, Japan)

*Maturity, spawning and ovarian cycle of Pacific saury*: The reproductive biology of Pacific saury were studied by using histological observation of gonads, collected during 1991 to 1992 from the western North Pacific (n=606). Pacific saury were multiple spanner with asynchronous oocytes developments. The smallest matured fish was 253 mm and most large-size fish (>280 mm in knob length) were considered to have spawned. Atretic oocytes of yolked and /or late stage cortical alveoli oocytes were observed in the gonad of post-spawning fish. Since, perinucleolus and early stage cortical alveoli oocytes would remain in the gonad of post-spawning fish and their fat condition recovered the same level of immature fish. These atretic oocytes would disappear until the next spawning season. Pacific saury survive after the first spawning. The large-size fish were estimated to be more than one and half years in the former study, which means they become mature fish within 1.5 years after hatching.

**Key words:** Pacific saury, age, growth, maturation process, North Pacific

## 第1章 緒言

## 第2章 耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定

### 1. 材料と方法

### 2. 結果

#### 1) 体長組成

#### 2) 体長と輪紋数の関係

#### 3) ふ化輪とふ化輪内の輪紋数

#### 4) 日齢と体長の関係

#### 5) 耳石日周輪に基づくふ化時期の推定

#### 6) 耳石日周輪に基づく初期成長の比較

#### 7) 耳石透明帯と日周輪の関係

### 3. 考察

## 第3章 耳石透明帯に基づく加齢の推定

### 1. 材料と方法

### 2. 結果

#### 1) 耳石のタイプ区分

#### 2) 透明帯の形成時期

#### 3) 耳石タイプと体長の関係

#### 4) 耳石タイプの季節的变化

#### 5) 耳石透明帯形成時の体長

#### 6) 耳石透明帯の形成と水温の関係

### 3. 考察

## 第4章 組織学的観察に基づく雌の成熟過程

### 1. 材料と方法

### 2. 結果

#### 1) 卵形成の区分

#### 2) 排卵後濾胞および退行卵の消長

### 3) 卵巣卵の発達様式と成熟度の設定

### 4) 各成熟度の外見的観察

### 5) 成熟体長の推定

### 6) 卵巣卵組成および卵径頻度分布

### 7) バッチ産卵数の推定

### 8) 肥満度

### 9) 成熟度と水温の関係

### 3. 考察

## 第5章 サンマの回遊、成長と成熟の関係

### 1. 材料と方法

### 2. 結果

#### 1) 1991年から1992年における採集点の推移

#### 2) 体長組成の推移

#### 3) 体長組成と耳石タイプ

#### 4) 体長組成と成熟度

#### 5) 成熟と耳石透明帯の関係

#### 6) 産卵海域とその水温

#### 7) 日齢と成熟度

### 3. 考察

### 摘要

### 謝辞

### 引用文献

## 第1章 緒言

サンマ科 (Scomberesocidae) 魚類は全世界で4属4種分布しており, 日本周辺に分布するサンマ *Cololabis saira* は日本沿岸から北米カリフォルニア

沿岸に至る北太平洋の亜熱帯から亜寒帯海域にかけて広く分布している (Hubbs and Wisner, 1980)。我が国ではサンマは重要な漁獲対象種とされ、おもに棒受け網による漁獲が行われているが、その漁獲量と漁獲物の体長組成は年ごとに大きく変動している (福島ら, 1990)。この変動の要因を明らかにするためには、その生活史、特に年齢と成長および再生産過程の解明が最も重要な課題と言えよう。

サンマの年齢と成長の研究は、鱗、耳石等を用いて比較的早くから行われてきた。例えば、久保、武藤 (1955)、Hatanaka (1956) は鱗の輪紋の観察から体長 300mm に達するまでの年齢を 5 歳とした。安田ら (1961) は、鱗の輪紋が年 2 回形成されるとして、300mm の個体の年齢を 3 歳とした。一方、堀田 (1960) は本種の発生時期が春と秋の 2 回に分かれるとして、漁期中に採集される体長 210~240mm、270~280mm および 300mm 台のいわゆる小型群、中型群および大型群の年齢をそれぞれ 1.0、1.5 歳として 2.0 歳とした。その後、小坂 (1979) は鱗の隆起線間隔の解析から、1 年以内に中型群までに成長すると結論している。このようにサンマの年齢に関する見解は、研究者によって様々であった。

こうした中で、Pannella (1971) は硬骨魚類の耳石に日周的な輪紋が形成されることを発見し、以後この輪紋をもとに魚類の日齢を推算する研究がいくつか行われている (例えば、Nishimura and Yamada, 1984; Tabeta *et al.* 1987)。サンマにおいても、耳石に微細な輪紋が発見され (西村ら, 1985)、Watanabe *et al.* (1988) はこの輪紋から 1 年以内にサンマは大型魚に達するであろうと推測し、さらに、飼育実験によってこの輪紋が 1 日に 1 本ずつ形成される日周輪であることが証明された (Watanabe and Kuji, 1991)。一方、中部北太平洋において本種の耳石を電子顕微鏡で観察し耳石日周輪を計数した結果から、大型群と呼ばれる体長 291mm 以上にモードを持つ群は、ふ化後 1.5 年以上であろうと推定されている (巢山ら, 1992)。そして、中部北太平洋および日本のサンマ漁業の漁場となっている西部北太平洋で採集されたサンマには、耳石透明帯が大型群のみに観察され中型群には認められない (菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b)。このようなことから、巢山ら (1992) は、両海域のサンマに成長の違いがあることに疑問を示し、西部北太平洋における耳石日周輪に基づく日齢と成長についても再検討の必要があると述べている。

一方、資源解析に重要な課題である再生産過程の研究は、その大半が仔稚魚の豊度水準から行われている (例えば、小達, 1962a; 林, 小達, 1981; Watanabe and Lo, 1989)。これはサンマの詳しい産卵習性に未

だ研究の余地があること (福島, 1981; 小西, 1981; 庄島, 1981)、および産卵期の成魚がほとんど漁獲の対象になっていないため、その繁殖生態に不明な点が多いことなどによる。そのため、成魚の成熟過程の研究は、多くが生殖腺重量および卵径の変化のみから扱われてきた (久保, 1954; Hatanaka, 1956; 小達, 1956a)。一方、他の魚種においては生殖腺の組織学的な観察から、より詳細な生殖周期の研究が行われている (例えば、Yamamoto, 1956)。これらの研究では、卵黄の形成開始時期など外見的变化ではつかめない質的な変化を把握できること、排卵後濾胞の有無や退行卵によって未産卵魚と経産魚を見分けることが出来るなどの利点がある。サンマにおいても卵巣卵の組織学的な観察が行われている (堀ら, 1969; Sato, 1981; 小坂, 1989, 1991) が、一生の間の産卵回数および産卵後の消長など具体的な産卵特性の解明には不十分である。さらに、前述のようにサンマについては年齢がはっきりしないために、ふ化から成熟に達するまでに要する期間も不明である。

そこで、本研究では西部北太平洋におけるサンマの年齢と成長の関係を耳石日周輪の計数によって算定し、そのふ化時期を逆算した。そして、これらの結果を中部北太平洋における結果と比較し、両海域での成長様式およびふ化時期の比較を行った。また、耳石透明帯の形成時期についても耳石日周輪から推定を行い、この形成時期における成長の変化を推定するため、耳石透明帯内外の日周輪の状態および輪紋間隔の比較を行った。

この耳石透明帯は主に冬季に形成されることが知られており、これに基づく年齢査定も行われている (堀田, 1960, 1964)。一方、耳石透明帯にあたる部分では、日周輪が不明瞭であるために計数できないことが多いことも知られている (巢山ら, 1992)。そのため、一年を通して得られた標本から透明帯が形成される時期と体長を検討し、これに基づき透明帯が形成される小型群以上についての成長を検討し、日周輪から得られた結果との比較を行った。

さらに、サンマの成熟特性を明らかにするために、一年を通して得られた雌の生殖腺を組織学的に観察した。その上で組織学的観察に基づく成熟度を設定し、各個体の質的な成熟状態を明確に表わした。そして、成熟度と体長、肥満度、卵巣重量および GSI などとの関係を検討することによって、成熟にともなう外見的变化や産卵後の消長についても検討した。

最後に、調査を行った期間の体長組成の変化の追跡、耳石のタイプや成熟度および採集海域の季節変化、日齢と成熟度の関係など、得られた知見を総合することによって、年齢と成長、産卵海域や初回成熟の年齢、

それともなう回遊など本種の生活史の推定を行った。

## 第2章 耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定

サンマの年齢と成長に関する研究は古くから行われているが(久保, 武藤, 1955; Hatanaka, 1956; 堀田, 1960; 松宮, 田中, 1974; 小坂, 1979; 小坂, 1991; Watanabe *et al.*, 1988; 巢山ら, 1992), 未だに結果の一致を見ていない。これは, 本種の産卵時期がほぼ周年にわたる上にその産卵海域が広く(小達, 1956a; Watanabe and Lo, 1989), 発生時期と季節的な発生水準の把握が充分とは言えないこと, またサンマ漁業が7月から12月と一年のうちでも限られた時期しか行われないうちにそれ以外の時期の知見が不足していること, その結果各季節ごとの発生群と体長群との関連が不明であることが原因となっていると考えられる。

一方, 硬骨魚類の耳石には微細な輪紋が日周期的に形成されることが発見され(Pannella, 1971), 日齢の査定が可能になってきている。サンマにおいても耳石日周輪による日齢査定技術の確立が試みられ(西村ら, 1985; Watanabe *et al.*, 1988; Watanabe and Kuji, 1991), ほぼ1年で体長300mm以上の大型魚に達すると推定されている。産卵期がほぼ周年にわたる本種においては, 体長組成による成長の解析や年齢形質のみによる日齢査定が困難なため, 耳石日周輪に基づく日齢査定から成長様式を調べることは非常に有効であるといえる。

一方, 中部北太平洋で採集したサンマの耳石輪紋を走査型電子顕微鏡で観察した巢山ら(1992)は, 大型群と言われる体長280mm以上の個体で最大781本の輪紋を計数し, この体長に達するまで1.5年以上かかると推定した。さらに, 光学顕微鏡で観察される耳石透明帯と日周輪の計数結果の比較から, 透明帯は主に冬季に形成されると考えている。そして, この透明帯は中部および西部北太平洋の両海域において, 大型群には存在するが中型群以下の個体では観察されないこと(菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b)から, この2つの海域でサンマの成長に差があるとは考え難い。

このため, 本研究では中部および西部北太平洋で採集されたサンマの耳石輪紋の観察を行い, 日齢と成長の関係を求めた。この解析の結果に基づきふ化時期の推定を行い, 両海域における発生時期の違いや成長様式の比較・検討を行った。

### 1. 材料と方法

耳石日周輪の解析に用いたサンマは, 中部北太平洋

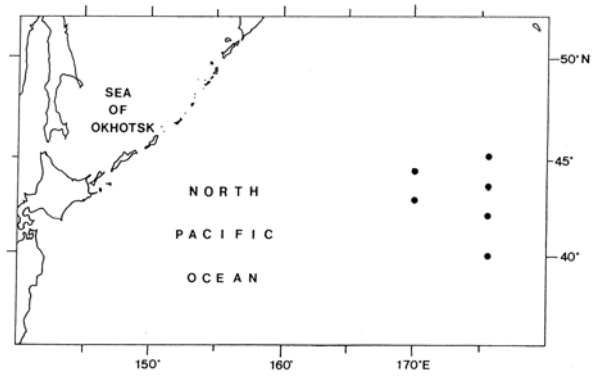


Fig. 1. Study area and sampling locations in central North Pacific in 1989

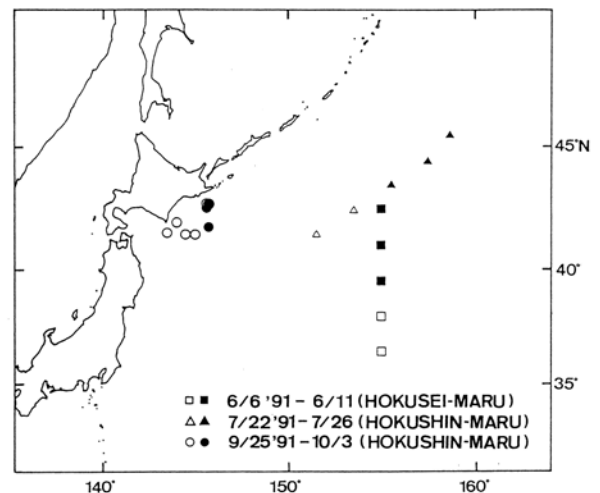


Fig. 2. Study area and sampling locations in western North Pacific in 1991

および西部北太平洋で採集された (Fig. 1, 2, Table 1)。中部北太平洋の個体は, 1989年7月から8月に北海道大学練習船北星丸の第39-3次練習航海で, 調査用流し網で採集されたものである。西部北太平洋の個体は, 1991年6月の北星丸の第50-2次航海, 同年7月に行われた北海道道立釧路水産試験場北辰丸にサンマ北上期調査, および同年9月から10月の間のサンマ南下期調査において, 調査用流し網, たも網および棒受網で採集された。

採集したサンマは, 船上において個体数の計数と体長の測定を行った。体長は下顎先端から肉質部末端までの肉体長 (knob length; 木村, 1956a) とした。このうちの一部を耳石日周輪を観察するために, 船上で冷凍保存して持ち帰った。これらの標本を実験室において解凍し, 再度体長を測定してから耳石 (扁平石) を取り出して, 耳石輪紋の観察に供した。観察は原則として左側の耳石で行ったが, 紛失, 破損または奇形と判断した場合には, 右側の耳石を用いて, 既往の方法(西村ら, 1985; Watanabe *et al.*, 1988; 巢山ら, 1992)

**Table 1.** Collection records of saury samples to analyze the daily otolith growth increments

Station	Date	Location		Sampling* <sup>1</sup> gear	No. samples
		Lat. (N)	Long. (E)		
central North Pacific in 1989					
1	Jul. 19-20	44° 30'	170° 00'	G	1
2	Jul. 20-21	43° 00'	170° 00'	G	8
3	Jul. 26-27	40° 01'	175° 30'	G	4
4	Jul. 28-29	42° 15'	175° 30'	G	4
5	Jul. 29-30	43° 45'	175° 30'	G	10
6	Jul. 30-31	45° 15'	175° 32'	G	12
Subtotal					39
western North Pacific in 1991					
1	Jun. 8- 9	39° 30'	155° 01'	G	9
2	Jun. 9-10	41° 00'	155° 02'	G	4
3	Jun. 10-11	42° 31'	155° 00'	G	1
4	Jul. 22-23	45° 30'	158° 30'	G	5
5	Jul. 23-24	44° 30'	147° 30'	G	6
6	Jul. 24	43° 30'	155° 30'	G	2
7	Jul. 26-27	41° 30'	151° 30'	G	1
8	Sep. 25-26	42° 30'	145° 00'	G	3
9	Sep. 26	41° 47'	145° 38'	D, S	1
10	Oct. 2	42° 55'	145° 00'	D	1
11	Oct. 2	42° 30'	145° 30'	D	2
Subtotal					35
Total					74

\*<sup>1</sup> G; gill nets, D; dip net, S; Stick-held net.

に準じて観察用標本を作成した。すなわち、摘出した耳石を蒸留水で洗浄してから乾燥させ、長径と短径を接眼マイクロメーターで計測した。次いで、エポキシ樹脂に包埋して半日以上乾燥させ、炭素紙#1,500および硬組織用研磨紙(9 $\mu$ m, 3 $\mu$ m)を用いて研磨した。研磨は、耳石扁平短軸方向に対して約60°の角度で、かつ長軸に対し平行の方向に耳石核の中心まで行った。この耳石を0.1mol EDTA-2Na溶液で50秒間エッチングし、白金パラジウムを蒸着した後、走査型電子顕微鏡(日立S-2300型)で観察した。検鏡は15KVで行い、倍率1,000倍で写真を撮影した。この写真を最終倍率1,000倍で焼付け、耳石輪紋の計数と計測を行った。なお、西部北太平洋で採集した標本については、電子顕微鏡用資料の作成に先立ち、光学顕微鏡を用いて落射条件下のもとで、40倍で写真の撮影を行った。

耳石輪紋は、これまで報告されているように(西村ら, 1985; Watanabe *et al.*, 1988; 巢山ら, 1992), 耳石核を中心として同心円状に観察された(Fig. 3-A)。輪紋は翼(rostrum)の反対側の方が明瞭であったため、この部分で計数を行った。観察された輪紋はすべて計数したが、輪紋計数に先だて各輪紋を明瞭、不

明瞭および輪紋計数不能帯に分けた。このうち、輪紋が鮮明に読み取れるものを明瞭輪紋(Fig. 3-B)、輪紋が不鮮明であるが計数可能な輪紋を不明瞭輪紋(Fig. 3-C)として扱い、輪紋が計数不能な部分がまとまって出現した部分は計数不能帯(Fig. 3-D)とした。この輪紋計数不能帯では、前後10本ずつの平均輪紋幅を1本の輪紋間隔と推定して、この中の輪紋数を推定した。なお、一部の個体ではEDTAにより深くエッチングされた欠刻状の輪紋(Fig. 3-D)がみられることがあったが、この輪紋も輪紋一本として扱った。そして、総輪紋数は明瞭および不明瞭な輪紋数に、計数不能帯の推定輪紋数を加えた数とした。しかし、総輪紋数のうちほとんどの輪紋が、不明瞭または計数不能である個体も多数現われた。これらの個体は、計数値の信頼性が低いと考えられたため解析の対象から除外し、日齢解析には明瞭な輪紋数が総輪紋数に対して過半数を占める個体のみを用いた。その結果、北西太平洋で採集された142個体のうち39個体、西部北太平洋で採集された208個体のうち35個体で輪紋の計数が可能であった。本研究では、これらの輪紋を日周輪とみなし、以下の解析を行った。

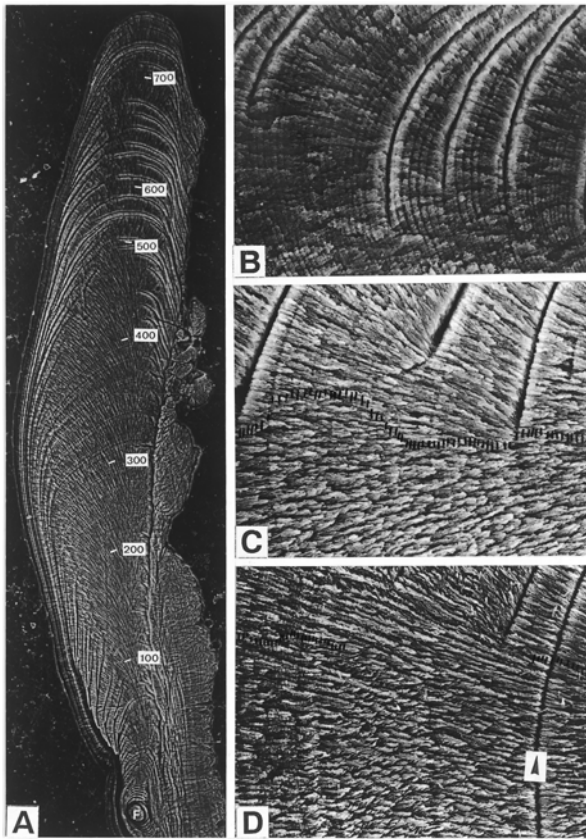


Fig. 3. Scanning electron micrographs of an otolith section of Pacific saury

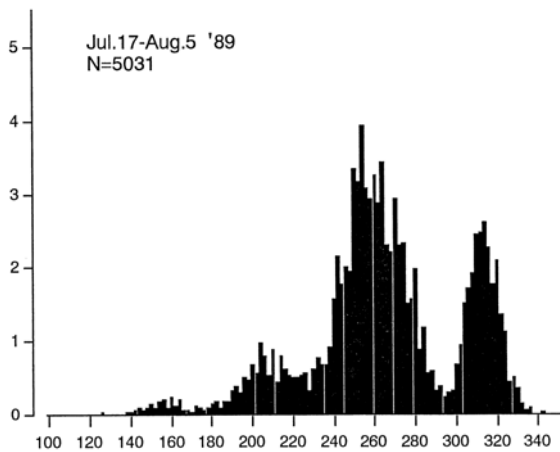


Fig. 4. Size composition of Pacific saury collected from central North Pacific during from July to August in 1989

## 2. 結果

### 1) 体長組成

1989年に中部北太平洋で採集された群の体長組成には、210mm、260mmおよび315mmを中心とする3つの顕著なモードがみられた (Fig. 4)。一方、1991年の西部北太平洋の群では、6月に210mmおよび300mm

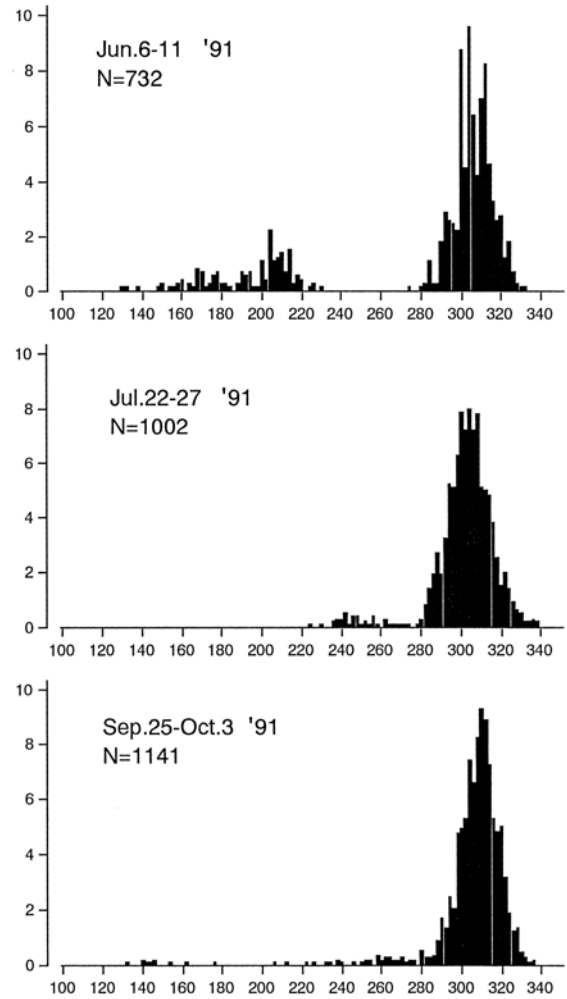


Fig. 5. Size composition of Pacific saury collected from western North Pacific during from June to October in 1991

を中心としたモードがみられたが、7月および9～10月では300mmを中心とするモードのみの群が採集された (Fig. 5)。

### 2) 体長と輪紋数の関係 (Table 2)

中部北太平洋において輪紋数の計数が可能であった39個体の中で、最も輪紋数が多かったのは体長314mmの個体の781本であり、輪紋数の最も少なかったのは体長245mmの297本であった。また、これらの標本のうち体長が最大の個体は329mmでその輪紋数は677本であったのに対し、最小の個体は243mmで319本であった。

一方、西部北太平洋において輪紋数の計数が可能であった35個体の中で、最も輪紋数が多かったのは体長319mmの個体の689本であり、輪紋数の最も少なかったのは体長200mmの209本であった。また、これらの2個体は輪紋数が計数できた個体の中で、体長がそれぞれ最大、最小の個体であった。

### 3) ふ化輪とふ化輪内の輪紋数

耳石日周輪の形成が始まる時期は、魚種によって異なっている。サンマにおいては、飼育実験下においてふ化当日の仔魚に、光学顕微鏡で4~5本の輪紋が観察されること、これらの輪紋の外側に明瞭な輪紋が認められることが報告されている (Watanabe and Kuji, 1991)。そこで、走査型電子顕微鏡を用いて行った今回の研究でも、この明瞭な輪紋が観察されるか、存在する場合はふ化輪の内側の輪紋数に違いがないかを検討した。その結果、中部北太平洋では39個体のうち18個体で核付近に明瞭な輪紋が観察され (Fig. 6), 耳石核中心からこの輪紋まで6.1 (S.D.=1.5: 以下同様) 本の輪紋が観察され、耳石核中心からの距離は28.1 (5.1)  $\mu\text{m}$ であった (Table 2)。一方、西部北太平洋では35個体のうち21個体でこの輪紋が観察され、その内側には5.6 (1.4) 本の輪紋が観察され、耳石核中心からの距離は25.8 (3.9)  $\mu\text{m}$ であった。この本数は両海域の標本で有意な差はなく (*t*-test,  $P>0.05$ ), 以下の解析ではこれらの輪紋をふ化輪とみなし、日齢は総輪紋数からふ化輪までの輪紋数を差し引いた値とした。ふ化輪が観察されなかった個体では、ふ化輪までの輪紋数をその平均値 (6) とした。

### 4) 日齢と体長の関係

以上の結果に基づき、日齢と体長の関係を求め、両海域での日齢と体長の関係を比較した (Fig. 7)。

中部北太平洋におけるサンマの日齢と体長 (範囲: 243~329mm) の関係式は、

$$L = 0.19D + 196.8 \quad \text{①式}$$

$$r^2 = 0.806 \quad N = 39$$

$L$  = 肉体長,  $D$  = 日齢

で表された。



Fig. 6. Scanning electron microscope (SEM) photographs of Pacific saury otoliths (292mm). Arrow shows distinct increments considered to be the hatch ring.

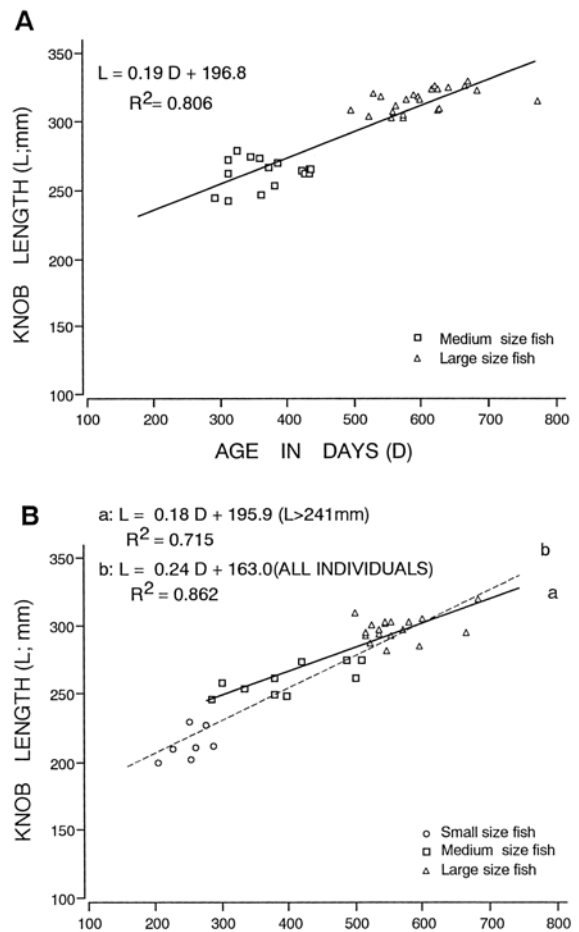


Fig. 7. Relationship between age in days and knob length of the Pacific saury. A, central North Pacific; B, western North Pacific.

一方、西部北太平洋における日齢と体長 (範囲: 200~319mm) の関係式は

$$L = 0.24D + 163.0 \quad \text{②式}$$

$$r^2 = 0.862 \quad N = 35$$

となった。

さらに、中部北太平洋と西部北太平洋での成長の比較を行うために、両海域で採集された中型群以上について成長を比較した。このために、西部北太平洋の個体の中型群以降の日齢と体長 (範囲: 246~319mm) の関係を求めたところ、その関係式は

$$L = 0.18D + 195.9 \quad \text{③式}$$

$$r^2 = 0.175 \quad N = 28$$

で表された。

両海域での成長を比較するため、①式と③式を共分散分析を用いて傾きと高さの検定を行った。その結果、

0.1%水準で両直線には有意差がなかった。したがって、中部北太平洋と西部北太平洋においては、中型群以降の成長に顕著な差はないものと考えられた。

Table 2. The number of otolith growth increments of the Pacific saury collected from central North Pacific in 1989

No.	Sampling date	Knob length (mm)	Location		The number of otolith growth increments			Hatch ring		Estimated age in days	
			Lat.(N)	Long.(E)	Total	Clear	Unclear	Estimated	Distance from center (in $\mu$ m)		
1	Jul. 31	243	45° 15'	175° 32'	319	272	47	0	7	24.9	312
2	Jul. 30	245	43° 45'	175° 30'	297	234	63	0	—	(29.4)	291
3	Jul. 31	247	45° 15'	175° 32'	366	284	82	0	—	(33.0)	360
4	Jul. 30	254	43° 45'	175° 30'	387	339	48	0	—	(21.0)	381
5	Jul. 21	262	43° 00'	170° 00'	317	256	61	0	—	(35.6)	311
6	Jul. 31	262	45° 15'	175° 32'	430	406	24	0	4	25.7	426
7	Jul. 30	266	43° 45'	175° 30'	428	365	63	0	—	(28.4)	422
8	Jul. 30	266	43° 45'	175° 30'	441	332	109	0	8	33.1	433
9	Jul. 30	267	43° 45'	175° 30'	444	427	17	0	9	25.9	435
10	Jul. 31	270	45° 15'	175° 32'	377	334	43	0	5	19.6	372
11	Jul. 30	272	43° 45'	175° 30'	392	278	70	44	—	(35.2)	386
12	Jul. 29	273	42° 15'	175° 30'	319	244	75	0	8	34.6	311
13	Jul. 31	275	45° 15'	175° 32'	367	294	73	0	8	39.5	359
14	Jul. 29	279	42° 15'	175° 30'	352	284	68	0	6	27.6	346
15	Jul. 30	302	43° 45'	175° 30'	331	253	78	0	—	(22.1)	325
16	Jul. 21	302	43° 00'	170° 00'	565	376	50	139	8	34.4	557
17	Jul. 31	302	45° 15'	175° 32'	584	520	64	0	10	24.8	574
18	Jul. 31	303	45° 15'	175° 32'	528	353	70	105	—	(20.9)	522
19	Jul. 21	304	43° 00'	170° 00'	580	406	87	87	—	(29.9)	574
20	Jul. 31	307	45° 15'	175° 32'	565	475	22	68	7	29.6	558
21	Jul. 29	308	42° 15'	175° 30'	502	366	80	56	—	(24.2)	496
22	Jul. 31	308	45° 15'	175° 32'	631	474	66	91	—	(29.4)	625
23	Jul. 21	309	43° 00'	170° 00'	640	448	102	90	5	33.0	635
24	Jul. 21	311	43° 00'	170° 00'	570	335	60	175	—	(24.6)	564
25	Jul. 27	314	40° 01'	175° 30'	781	665	116	0	—	(22.9)	775
26	Jul. 20	315	44° 30'	170° 00'	584	385	79	120	—	(32.1)	578
27	Jul. 29	315	42° 15'	175° 30'	606	423	72	111	6	22.1	600
28	Jul. 31	318	45° 15'	175° 32'	546	349	73	142	—	(17.0)	540
29	Jul. 21	318	43° 00'	170° 00'	604	391	91	122	—	(30.6)	598
30	Jul. 31	319	45° 15'	175° 32'	595	470	47	78	6	22.4	589
31	Jul. 30	320	43° 45'	175° 30'	536	387	32	117	—	(29.4)	530
32	Jul. 27	322	40° 01'	175° 30'	690	443	164	83	5	19.1	685
33	Jul. 31	323	45° 15'	175° 32'	624	411	126	87	7	29.3	617
34	Jul. 21	323	43° 00'	170° 00'	632	477	112	43	—	(18.6)	626
35	Jul. 30	324	43° 45'	175° 30'	647	498	88	61	—	(24.9)	641
36	Jul. 27	325	40° 01'	175° 30'	628	465	163	0	—	(23.9)	622
37	Jul. 27	325	40° 01'	175° 30'	672	358	70	244	6	31.0	666
38	Jul. 21	329	43° 00'	170° 00'	677	553	74	74	—	(21.1)	671

\* The number of increments inside of the hatch ring



**Table 2.** (continued)  
Western North Pacific in 1991

No.	Sampling date	Knob length (mm)	Location		The number of otolith growth increments				Hatch ring		Estimated age in days
			Lat.(N)	Long.(E)	Total	Clear	Unclear	Estimated	Inside*	Distance from center (in $\mu$ m)	
1	Jun. 8	200	39° 30'	155° 01'	209	184	25	0	—	(34.3)	203
2	Jun. 8	202	39° 30'	155° 01'	258	209	49	0	5	24.4	253
3	Jun. 8	209	39° 30'	155° 01'	232	160	72	0	5	27.5	227
4	Sep. 26	210	42° 30'	145° 00'	265	197	68	0	—	(34.9)	259
5	Jun. 8	212	39° 30'	155° 01'	292	241	58	0	5	22.6	287
6	Jun. 23	227	45° 30'	158° 30'	280	207	73	0	5	24.1	275
7	Jul. 23	229	45° 30'	158° 30'	256	226	30	0	—	(33.0)	250
8	Jul. 23	246	45° 30'	158° 30'	291	247	44	0	6	28.9	285
9	Oct. 2	248	42° 45'	145° 30'	403	258	145	0	5	22.8	398
10	Jul. 23	249	45° 30'	158° 30'	385	333	52	0	6	23.7	379
11	Jul. 24	253	43° 30'	155° 30'	341	263	78	0	7	34.4	334
12	Jul. 23	258	45° 30'	158° 30'	306	180	116	0	—	(23.1)	300
13	Sep. 26	261	42° 30'	145° 00'	385	440	60	0	—	(23.2)	379
14	Oct. 2	261	42° 55'	145° 00'	503	325	63	0	3	24.5	500
15	Oct. 2	273	42° 45'	145° 30'	426	330	96	0	—	(22.9)	420
16	Jul. 23	274	45° 30'	158° 38'	514	350	81	83	5	24.7	509
17	Jun. 10	275	41° 00'	155° 02'	496	384	112	0	10	27.4	486
18	Jul. 23	281	45° 30'	158° 30'	553	321	85	144	5	37.0	548
19	Jul. 23	284	45° 30'	158° 38'	602	453	79	70	—	(33.8)	596
20	Jul. 23	287	45° 30'	158° 38'	528	431	32	92	—	(29.9)	522
21	Jul. 23	292	45° 30'	158° 38'	520	447	60	53	5	23.4	515
22	Jun. 11	292	42° 31'	155° 00'	560	362	67	91	—	(34.1)	554
23	Jul. 23	293	45° 30'	158° 38'	541	374	79	88	—	(40.2)	535
24	Jun. 10	294	41° 00'	155° 02'	524	374	76	74	8	24.3	516
25	Jun. 10	294	41° 00'	155° 02'	672	417	60	195	5	18.1	667
26	Jun. 10	297	41° 00'	155° 02'	541	362	35	144	—	(28.6)	535
27	Ini. 24	297	43° 30'	155° 30'	576	339	68	171	6	18.1	570
28	Jun. 8	300	39° 30'	155° 01'	531	312	76	143	6	27.9	525
29	Jul. 27	301	41° 30'	151° 30'	550	389	61	100	5	17.4	545
30	Sep. 26	302	42° 30'	145° 00'	551	466	40	48	—	(21.2)	545
31	Jun. 8	302	39° 30'	155° 01'	560	332	67	187	—	(25.1)	554
32	Jun. 8	302	39° 30'	155° 01'	586	399	78	74	5	21.0	581
33	Jun. 8	304	39° 30'	155° 01'	606	478	61	64	5	20.9	501
34	Jun. 8	309	39° 30'	155° 01'	507	283	56	168	—	(29.3)	501
35	Sep. 26	319	41° 47'	145° 38'	689	388	71	230	5	17.7	684

\* The number of increments inside of the hatch ring

そこで、今回解析に用いた74個体すべてについて体長と日齢の関係を求めたところ、

$$L = 0.22D + 175.1 \quad \text{④式}$$

$$r^2 = 0.817 \quad N = 74$$

となった。

②式および④式の傾き0.22および0.24から、小型群から大型群までの日間成長率は0.22~0.24mm/日と見積られた。そして、中型群から大型群の日齢と体長の関係を求めた①式および③式の傾きから、この間の日間成長は0.17~0.18mm/日と推定された。

#### 5) 耳石日周輪に基づくふ化時期の推定

前項で示した74個体の日齢査定の結果に基づき、採集日から日齢を差し引くことにより体長群ごとのふ化時期を逆算した。

中部北太平洋 (N=39) において、大型群 (体長281mm以上) は12月に5個体、1月および11月に4個体、2月および9月に3個体がふ化しており、全体の91%にあたる22個体が9月から翌年3月にかけてふ化していた。一方、中型群 (体長241~280mm) 16個体では、5月および9月にそれぞれ4個体、7月および8月に3個体づつふ化したと推定され、そのふ化時期は、5月から10月にわたっていた (Fig. 8-A)。

西部北太平洋 (N=35) においては、大型群は12月に6個体、1月および2月にそれぞれ4個体ふ化していた。このうち全体94%にあたる18個体が、10月から翌年3月にかけてふ化していた。一方、中型群10個体では、8月に3個体、2月および9月にそれぞれ2個体がふ化していた。このうち2月にふ化した中型群は、体長が274mmおよび275mmで比較的大型の個体であった。小型群 (体長200~240mm) の推定ふ化月は、10月および11月にそれぞれ2個体、1月、8月および9月にそれぞれ1個体であった (Fig. 8-B)。

中部および西部北太平洋あわせた結果 (Fig. 9) では、大型群は12月に11個体、1月に8個体、そして2月に7個体であった。中型群では、8月および9月に6個体づつ、5月に5個体であった。

ふ化時期はほぼ周年にわたっていたが、大型群では11月から2月、中型群は5月から9月、小型群は10月、11月を中心とした時期にふ化した個体であると推定された。

#### 6) 耳石日周輪に基づく初期成長の比較

今回得られた西部北太平洋における成長に関する結果を Watanabe and Kuji (1991) による飼育実験の成長と比較するため、耳石輪紋から初期成長の比較を行った (Fig. 10)。この比較には、計数を行った35個

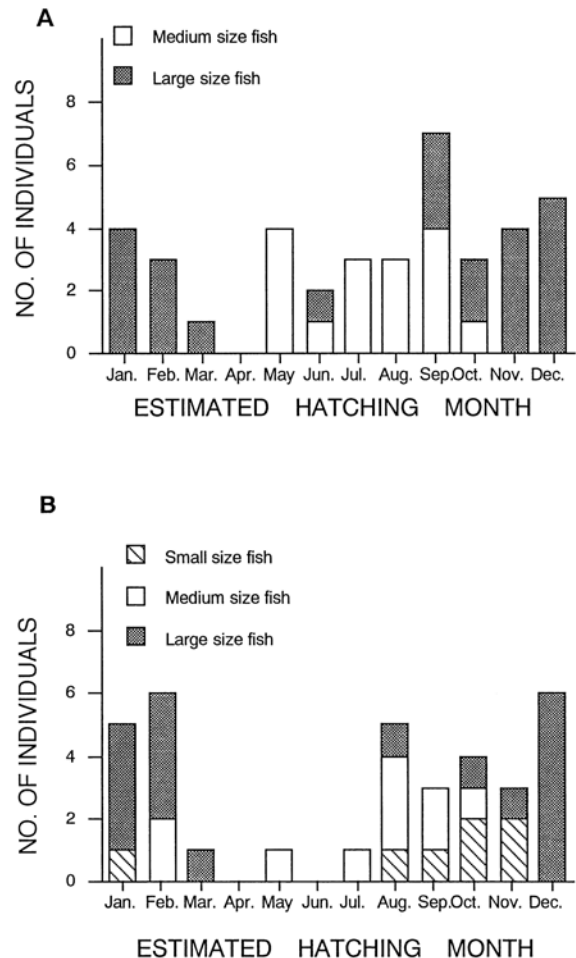


Fig. 8. Estimated month of hatching based on the number of otolith increments. **A**, central North Pacific; **B**, western North Pacific.

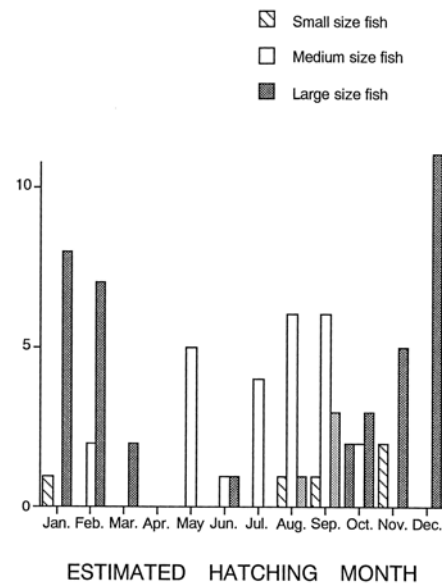


Fig. 9. Estimated month of hatching based on the number of otolith increments collected from central and western North Pacific

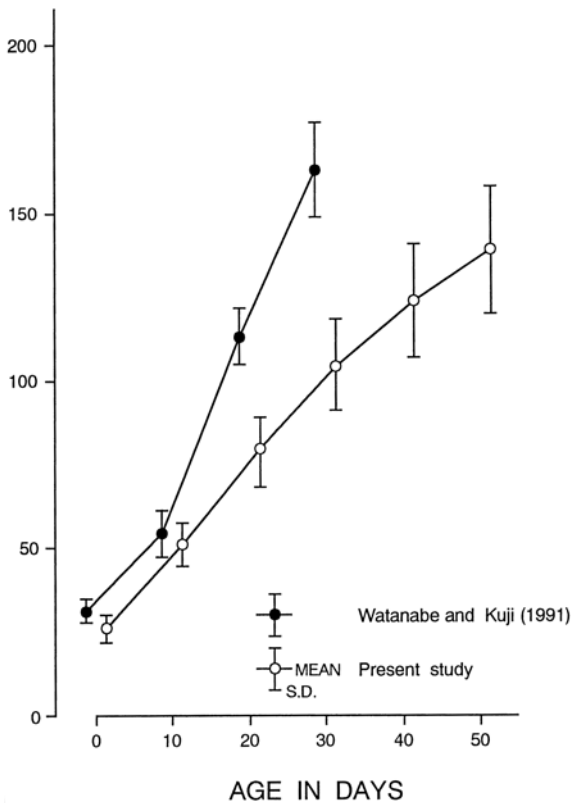


Fig. 10. Relationship between age in days and otolith radius

体のうち、前述のふ化輪と推定された明瞭な輪紋が観察された21個体のみを用いた。その結果、本研究ではふ化輪から30本目までの距離は、 $104.8 \pm 13.8 \mu\text{m}$ 、50本目では $138.9 \pm 19.0 \mu\text{m}$ であった。

この結果をWatanabe and Kuji (1991)の結果と比較すると、飼育実験では30日で耳石半径が $162.8 \mu\text{m}$ に達しているのに対し、今回の結果では $104.8 \mu\text{m}$ であり、飼育実験よりもおよそ35%成長が悪いという結果が得られた。

#### 7) 耳石透明帯と日周輪の関係

本章で耳石日周輪に観察に用いた北西太平洋で採集された35個体について、耳石透明帯と耳石日周輪の関係を比較するため、双方の関係を検討した。観察を行った35個体のうち、体長274mm以上の全個体(20個体)で透明帯が1本観察された。そこで、これらの個体について耳石半径(翼(rostrum)の $180^\circ$ 反対側における耳石核から縁辺部を結ぶ直線)上で透明帯の位置および幅を計測して電顕写真上の最大距離を耳石半径に換算して比較したところ、1個体を除いて透明帯にあたる部分は輪紋計数不能帯の位置とほぼ一致した。そこで、透明帯と輪紋計数不能帯がともに出現した19個体について、この輪紋不明帯を透明帯とみなして、形成

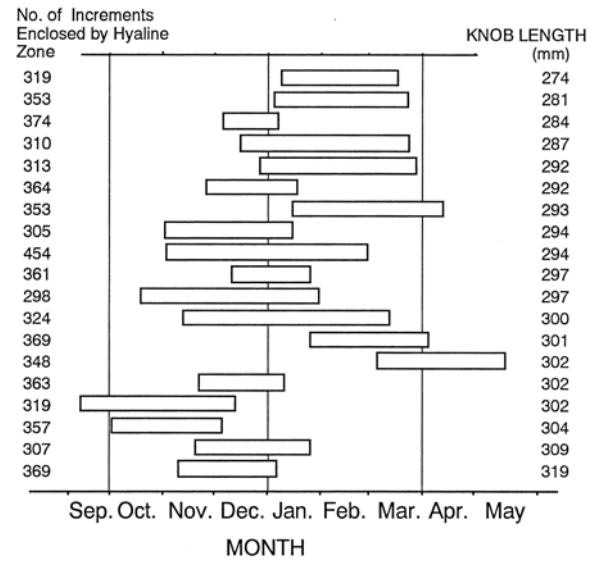


Fig. 11. Estimated formation period of the hyaline zones in otoliths

時期を輪紋数から逆算した。なお、輪紋不明帯が2箇所以上現れた個体については双方の位置を比較し、透明帯に最も近い輪紋計数不能帯を透明帯とみなした。その結果、透明帯の形成時期は11月中旬から3月中旬を中心に9月から翌年5月頃にわたっていると推定された (Fig. 11)。

さらに、透明帯の内側の日周輪を計数することによって、透明帯の形成が始まる日齢を推定した。計数の結果、透明帯の内側には298~345本の輪紋が計数された。この輪紋数を、先に得られた西部北太平洋における日齢と体長の関係式に当てはめると、透明帯形成時の体長は233~270mmと推定された。

そして、透明帯が形成されると推定された冬季における耳石の成長を検討するために、透明帯が観察された個体のうち輪紋計数不能帯が現われなかった中部北太平洋の体長302mmと314mmの2個体について、月ごとの耳石成長を計測した。これには、各月の日数分の輪紋間隔を電顕写真上で計測し、耳石半径に換算した上で30日あたりの成長した間隔を求めた (Fig. 12)。この結果、302mmの個体は11月から翌年3月、314mmの個体では9月から翌年1月にかけて成長が低下しており、透明帯が形成される時期とほぼ一致していた。

本種において、耳石長-体長の関係は、高い相関を示すことが知られている (Watanabe *et al.*, 1988)。そのため、耳石日周輪の間隔の変化は、体成長の良否を示していると考えられる。そこで、この成長の低下率を求めるために、輪紋の間隔が最も広がった月の平均輪紋間隔 (302mmの個体では5月、314mmでは4月) と最も狭かった月 (302mmの個体では1月、314mmでは12月) における、一日当りの平均輪紋幅を求

めた。この値から以下の式によって成長の低下率を求めた。

$$\text{低下率 (\%)} = (\text{WH} - \text{WL}) \times 102 / \text{WH}$$

(WH: 輪紋間隔が最も広がった月における一日当りの平均輪紋幅, WL: 輪紋間隔が最も狭かった月における一日当りの平均輪紋幅)

この結果、314mmの個体の低下率は48.9%であったのに対し、302mmの個体では35.3%であった。したがって、冬季における成長の低下率には10%以上の違いがあり、個体差が大きいと考えられた。

以上の結果から、大型群のみで観察される透明帯はおもに冬季に形成され、この時期には耳石の成長が低下しているために日周輪が不明瞭になっていると考えられた。

### 3. 考 察

今回得られた結果をまとめると、小型群と大型群はいずれも秋から冬に生まれたものであり、両者の年齢差は1歳であると推定できた。一方、中型群は春から夏に生まれており、明らかに小型群および大型群とはふ化時期が異なっていた。したがって、終漁期である12月頃に漁獲されるサンマは、小型群で1歳、中型群で1.5歳、大型群で2歳と考えられた。なお、本研究ではこれら各体長群をこれまでに行われた研究に準じて、小型群を体長200~240mm、中型群を241~280mm、そして大型群を281mm以上と定義した。しかし、西部北太平洋で採集された体長274および275mmの2個体は、耳石に透明帯が観察されたこと、体長組成のモードおよび日齢が509および486と見積られていることから、大型群に含まれるべき個体のうち成長が悪かったものと推定された。

サンマの年齢と成長に関する研究は、これまでに数多く行われてきている。そして、その論点は寿命が何年であるか、主要な発生時期がいつであり、それが年に何回あるのかということが重要な焦点となってきた。久保、武藤(1955)やHatanaka(1956)が行った鱗による年齢査定では、大型群の年齢を4歳としている。しかし、小達(1956b, 1962b)、菅間(1957, 1959)、相沢(1967)などによって、中型群と大型群では耳石、脊椎骨、鱗条数などに差があることが知られるようになり、これらは発生時期が異なることが示唆されるようになってきた。深瀧(1959)は日本海において一年に2回の産卵期があることを報告し、堀田(1960)は大型群と中型群はそれぞれ別の時期に発生した群で産

卵期は晩秋から冬季および初春から初夏の年2回であり、大型群は2歳、中型群は1.5歳であると述べている。この中で示された成長曲線によれば、半年で体長20~50mm、1年で150~200mm、1.5年で230~250mm、2年で300mm程度に成長するとされている。松宮、田中(1974)は産卵期を1年に2回とした上で体長組成の解析を行い、0.5、1.0、1.5および2.0歳での体長をそれぞれ182、223、266および338mmとし、ふ化後半年間の堀田の見積りが低すぎると指摘している。一方、小坂(1979)は鱗の隆起線の間隔の変化から、ふ化後1年以内に中型魚に達し、大型魚は1.5歳未満であるとしている。さらに、本研究と同じく耳石日周輪の計数から日齢査定を行ったWatanabe *et al.* (1988)は、1年以内に大型魚に達すると述べている。そして、Watanabe and Lo (1989)は本種の産卵期は冬季が主産卵期であり、秋が前期産卵期、春が後期産卵期とする見解を示した。福島ら(1990)はこれら2つの報告から、漁期中の大型魚は前年の秋に、中型魚は冬季にそして小型魚は春季にふ化したものと推論している。

以上のように、サンマの寿命、成長および発生時期については、研究者によって異なる見解が示されてきた。そこで、本研究と既往の研究の知見の比較を、小型群と呼ばれる体長200mm程度に達するまでの成長の比較、その後の中型群から大型群への成長と加齢様式および季節的発生時期とその盛期の3つの課題について、それぞれ検討した。

最初に、小型群に達するまでの成長様式に関して比較・検討した。堀田(1960)ではふ化後半年までの成長を20~50mmとしており、その後約半年で150~200mmに達すると報告している。このふ化後半年間の成長は、ふ化仔魚の1ヵ月にわたる飼育実験と稚魚ネットの採集標本の体長組成の時間的な推移に基づいている。一方、Watanabe and Kuji (1991)による飼育実験では、ふ化後30日で30mm以上に達していることから、この間の堀田(1960)の見積りは低すぎることになる。また、産卵期が長期にわたる本種では、稚魚ネットによって経時的に得られた標本が成長を反映しているかについては疑問が残る。一方、松宮、田中(1974)は、ふ化後半年で182mm、Watanabe *et al.* (1988)は200mm程度と報告しており、本研究でも約半年で200mm前後と推定された。これらの知見には大きな違いはみられず、ふ化後半年に体長200mm程度に成長するという試算はほぼ妥当であろう考えられる。

なお、本研究で、耳石日周輪の初期の輪紋の幅を比較したところ、初期成長はWatanabe and Kuji (1991)による飼育実験の成長の値より約35%低い値が得られた。この原因として飼育実験と天然での生息水温の条

件が異なっていたためと考えられる。つまり、天然の仔魚の場合は主に15~21°Cで採集されているが(小達, 1956a, 1962a; 林, 小達, 1981), この飼育実験では18.5~24.1°Cで行われている。このため、飼育下での成長が天然条件より良好であった可能性が考えられた。

次に、ふ化後半年以降の成長について、本研究と既往の知見を比較・検討する。本研究では体長200~240mmの小型魚が翌年大型魚となる可能性を示したが、この推定は、堀田(1960)の結果とほぼ一致する。そして、小型魚と体長241~280mmの中型魚に区分されるグループはほぼ半年の年齢差があると推定された。松宮, 田中(1974)の結果では満1年で体長223mmの小型魚に達するとしているため、小型群が翌年大型群に達する点では一致するものの、その年齢には約半年分のずれが生じている。また、本研究と同様に耳石日周輪から成長を推定したWatanabe *et al.* (1988)のふ化後半年以降の結果と比較すると、本研究では小型群から大型群に達するまでの期間をほぼ1年と推定したのに対し、Watanabe *et al.* (1988)では約半年と見積もっている。このため、本研究ではサンマの寿命は2年以上であるとみなされるのに対し、Watanabe *et al.* (1988)では、1年程度であろうとしている。この2つの研究では同様の解析手法を用いているにもかかわらず異なった結果が出ていることは、サンマの資源研究において極めて重要な見解の相違である。

そこで、次に耳石日周輪に基づく中型群以降の成長解析の上での問題点として、輪紋が不明な耳石透明帯の出現をどのように解釈するかが挙げられる。この透明帯の部分は日周輪が不明瞭なことが多く、明瞭な個体においても輪紋間隔が狭くなっている。この透明帯が形成が開始され始めたときの日齢は300~450、体長230~270mm程度であると推定された。すなわち、透明帯が形成される時期すなわち秋季から春季にかけて、小型群から大型群に達する間に成長の停滞が起こっていることが考えられる。さらに、日本近海で漁獲されるサンマでは、10月以降大型群および中型群で生殖腺重量の増加が観察されることが知られている(久保, 1954; Hatanaka, 1956; 小達, 1956a; 堀田, 1960; 三島ら, 1981)。したがって、中型群以降の成長の解析には成熟が生殖に及ぼす影響を考慮する必要がある。したがって、本研究において示されたように、小型魚に達した後に成長停滞が起こること、その時期に透明帯が形成されることを考えあわせると、Watanabe *et al.* (1988)による大型魚に達するまで1年とした結果は説明ができない。

Watanabe *et al.* (1988)との結果の相違にはこの透明帯中の輪紋の計数方法の差異が関係していること

も考えられる。しかし、本研究における輪紋計数不能帯中の輪紋数は48~244本と見積もられているため、この輪紋計数不能帯の中の本数だけでは、半年すなわち180本以上のWatanabe *et al.* (1988)との差を完全に説明することは不可能である。

本研究では、中型群の年齢が1歳以上であると推定されたが、耳石に透明帯は観察されなかった。しかし、堀田(1960)は中型群においても透明帯が観察されることを報告している。今回の結果では、中型群の耳石は中心付近が透明に観察されるのみで、はっきりした透明帯は観察されなかった。耳石の透明帯の形成については、主に冬季に形成されることが、周年にわたる耳石縁辺部の観察から報告されており、本研究でも同様な結果が得られた。しかし、その形成の要因については報告がなく、生息水温との関連、餌料環境、成熟にともなう成長率の低下などとあわせて詳細に検討する必要がある。

最後に、サンマのふ化時期に関する本研究の結果と既往の知見の比較検討する。これまでの報告では、堀田(1960)、松宮, 田中(1974)が春季から夏季および秋季から冬季の年2回の産卵を想定しているのに対し、福島ら(1990)は秋季、冬季および春季の年3回を産卵期としている。今回の結果では大型群と小型群のふ化時期が重なり、中部北太平洋の群では体長モードも分離していたことから、年2回と考えた方が妥当と思える。しかし、本研究の中では産卵水準が低いと考えられた夏季にも多くの個体がふ化したと推定されること、そして前述のように耳石日周輪の計数結果には誤差を含む可能性が示されているため、今回の結果からのみでふ化時期を決めるのは危険であろう。

サンマにおける耳石日周輪に基づく日齢査定では、特に小型群以降の成長に大きな課題を残していると思われた。すなわち、Watanabe and Kuji (1991)によって証明された耳石日周輪の形成はふ化後30日までであり、その後も日周輪の形成が形成されるかは証明されていない。特に、小型群以降に成長停滞が起こるため、日周輪が非常に密または不明瞭になり、耳石日周輪が計数できる個体が全体の17~27%程度と非常に低いことなどである。これまでに、飼育実験で耳石輪紋の日周性を検討した結果では、すべての魚種でその日周的な形成が証明されている(麦谷, 1988)。しかし、飼育実験下で日周性が証明されたことと、野外で採集された全ての個体においてその日齢を正確に把握できることは別の問題であろう。そのため、サンマにおいても中型群以降の成長は、成熟、回遊とそれにとまなう水温、餌生物の変化を考慮した上で、今回の結果を検証してゆく必要がある。

### 第3章 耳石透明帯に基づく加齢の推定

前章において、サンマの日齢を耳石日周輪を計数することによって推定した。しかし、電子顕微鏡による耳石日周輪の計数は観察を行うまでに手間がかかり、大量の標本の解析には適さない。さらに、この方法では電子顕微鏡標本を作成して観察を行っても、計数不能な輪紋が多いために日齢の計数が出来ない個体も多数出現する。これらの日齢査定が出来なかった個体についても、日齢査定ができた個体と年齢・成長が同じであるか、検証を行う必要がある。一方、サンマの耳石には透明帯が観察され(菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960, 1964; 今井, 1993a, 1993b), この透明帯が冬季を中心に小型群に達した以降に形成されたものであるものと、前章において推定された。透明帯が小型群に達してから一年に一回形成されるのであれば、前章で輪紋の計数不能帯が現れるために、その齢査定に関して検討を要するとされた小型群以降の成長を推定することができる。そこで、本章では周年を通して採集されたサンマの標本の耳石透明帯を観察することによって、透明帯の形成時期とその時の体長を明らかにし、齢査定としての有効性を調べた。さらに、透明帯の形成要因を推定するため、採集点における表面水温と耳石透明帯が形成されているか否かを比較・検討した。そして、これらの観察と解析から、透明帯が形成されると考えられている小型群以降の成長について検討を行った。

#### 1. 材料と方法

本章で用いた材料は、1991年2月から1992年12月にかけて、西部北太平洋の北緯32°50′~45°50′, 東経140°50′~160°00′の61の採集点において、調査用流し網、棒受け網、たも網および定置網で採集した1,106個体である(Table 3)。採集した個体は採集後に凍結保存し、実験室に持ち帰ってから解凍して、体長および体重を測定し、耳石の摘出を行った。摘出した耳石は、蒸留水で洗浄し室温で乾燥させ、右側の耳石をスライドグラス上に滴下した標本用封入剤(MGK-S)に封入し、耳石偏平面が観察できるようにした。この封入剤が乾燥してから光学顕微鏡を用いて、落射光または透過光条件下で、40倍または100倍で観察した。また、耳石半径の計測には、接眼マイクロメーターを使用した。さらに、一部の個体については左側の耳石の薄片標本を作成してから観察を行った。薄片標本の作成は、スライドグラス上にエポキシ樹脂を一滴落とし、この中に耳石を包埋してから半日以上乾燥させ、炭素紙#1500および硬組織用研磨紙(9μm, 3μm)を用いて研磨し

た。研磨は耳石偏平面短軸方向に対して垂直に、かつ長軸に対し平行の方向に耳石核の中心付近まで行った。この後、スライドグラスから樹脂を剥し、これまで研磨を行った面を再度スライドグラスに張り付け、炭素紙および硬組織用研磨紙を用いて耳石核中心まで研磨を行った。この薄片標本を光学顕微鏡を用いて40~100倍で落射光または透過光条件下で観察を行った。

## 2. 結果

### 1) 耳石のタイプ区分

耳石の透明帯のパターンにはいくつかのタイプがあることは、これまでにいくつか報告がある。(菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b)。今回、落射光条件下で観察した結果では、耳石の透明帯のパターンは以下の5タイプに区分された。

#### (1) 透明帯なし I タイプ

耳石全体が白色に観察された個体(Fig. 12-A, B)。耳石中心部付近が透明な場合があるが、このタイプに含めた(Fig. 12-C)。このうち、耳石の最縁辺部が透明な個体をI'タイプ(Fig. 12-B, C)とした。

#### (2) 縁辺半透明 II タイプ

耳石縁辺部が広く半透明であるが、この中に明確な透明帯が認められない(Fig. 12-D)。

#### (3) 透明帯一本タイプ III タイプ

耳石縁辺部が広く半透明であり、この中に1本の透明帯が認められる(Fig. 12-E)。Iタイプと同様に、耳石の最縁辺部が透明な個体をIII'タイプとした。

#### (4) 透明帯2本タイプ IV タイプ

耳石縁辺部が広く半透明であり、この中に2本の透明帯が認められる(Fig. 12-F)。やはり、耳石の最縁辺部が透明な個体IV'タイプとした。

#### (5) その他 以上の4タイプには含まれないタイプ。

これには主に2つのタイプがあり、多数の輪紋が観察されるタイプ(Fig. 12-G)と、耳石の一部または全部が非常に薄くなっており透明帯とは明らかに異なる透明な部分を形成しているタイプ(Fig. 12-H)があった。

全個体に占める各タイプの個体数は、IおよびI'タイプ 210個体(19.0%)、IIタイプ 149個体(13.5%)、IIIおよびIII'タイプ 618個体(56.0%)、IVおよびIV'タイプ74個体(6.7%)、その他のタイプが53個体(5.8%)であった。

次に、I, II, III, IVタイプについて、各3個体の耳石の薄片標本を作成し、落射光および透過光条件下で観察した。

I'タイプ(Fig. 13-A, B)では、落射光下で白く不

**Table 3.** Collection records of samples to analyze the otolith hyaline zone

Sampling date	Location		SST (°C)	Sampling* gear	No. of individuals	Knob length in mm (range)
	Lat.(N)	Long.(E)				
Feb. 14, '91	34° 00'	143° 30'	16. 0	D	10	253 - 301
Feb. 15, '91	33° 29'	143° 30'	17. 7	D	2	269 - 283
Feb. 15, '91	33° 00'	143° 30'	17. 3	D	1	300
Feb. 18, '91	33° 00'	142° 00'	17. 3	D	3	265 - 307
Feb. 19, '91	34° 51'	141° 16'	17. 3	L	1	263
Feb. 20, '91	33° 00'	140° 30'	17. 1	D	3	253 - 259
Feb. 20, '91	32° 30'	140° 30'	16. 7	L	1	271
Feb. 20, '91	33° 00'	140° 30'	17. 1	D	4	278 - 293
Feb. 20, '91	32° 30'	140° 30'	16. 7	D	1	293
Feb. 21, '91	32° 30'	140° 31'	15. 2	D	3	243 - 271
Feb. 21, '91	33° 29'	139° 30'	14. 3	D	1	272
Feb. 21, '91	32° 30'	140° 31'	15. 2	D	2	277 - 280
Feb. 27, '91	34° 00'	138° 00'	14. 0	D	1	280
Jun. 6, '91	36° 32'	155° 01'	17. 4	G	12	280 - 324
Jun. 7, '91	38° 01'	154° 59'	16. 6	G	17	286 - 321
Jun. 8, '91	39° 00'	155° 01'	15. 5	G	19	284 - 313
Jun. 9, '91	41° 00'	155° 02'	14. 2	G	19	275 - 307
Jun. 10, '91	42° 31'	155° 00'	11. 8	G	2	291 - 292
Jul. 22, '91	45° 30'	158° 38'	8. 8	D	5	280 - 299
Jul. 22, '91	45° 30'	158° 38'	8. 8	G	25	272 - 310
Jul. 23, '91	44° 30'	157° 30'	10. 5	G	28	227 - 315
Jul. 24, '91	43° 30'	155° 30'	17. 1	D	15	284 - 331
Jul. 24, '91	43° 30'	155° 30'	17. 1	G	33	251 - 331
Jul. 25, '91	42° 31'	153° 31'	18. 1	G	17	228 - 331
Jul. 26, '91	41° 30'	151° 30'	18. 4	G	27	279 - 336
Sep. 26, '91	41° 10'	143° 52'	16. 4	S	30	266 - 330
Sep. 26, '91	41° 47'	145° 38'	15. 9	S	8	263 - 312
Sep. 26, '91	41° 45'	145° 45'	15. 9	G	25	251 - 326
Sep. 29, '91	41° 30'	144° 30'	14. 3	D	4	266 - 336
Sep. 29, '91	41° 30'	144° 30'	14. 3	G	30	213 - 321
Sep. 30, '91	41° 30'	143° 30'	16. 0	G	5	228 - 333
Oct. 1, '91	41° 30'	145° 00'	15. 4	D	11	273 - 318
Oct. 2, '91	42° 55'	145° 50'	13. 8	D	22	194 - 290
Oct. 2, '91	42° 45'	145° 30'	14. 5	D	10	213 - 296
Oct. 23, '91	36° 10'	141° 21'	18. 4	S	28	297 - 325
Oct. 31, '91	36° 15'	141° 46'	18. 1	S	30	293 - 327
Nov. 1, '91	40° 00'	143° 00'	16. 4	G	14	244 - 323
Nov. 1, '91	40° 00'	145° 15'	14. 2	L	11	256 - 309
Nov. 1, '91	40° 00'	145° 00'	14. 2	G	22	253 - 329
Nov. 2, '91	40° 00'	145° 45'	19. 0	G	19	274 - 317
Nov. 3, '91	40° 00'	145° 15'	17. 5	G	5	288 - 314
Nov. 4, '91	38° 30'	153° 30'	19. 5	G	10	273 - 321
Nov. 7, '91	38° 30'	146° 00'	19. 0	G	11	288 - 320

\* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

Table 3. (continued)

Sampling date	Location		SST (°C)	Sampling* gear	No. of individuals	Knob length in mm (range)
	Lat.(N)	Long.(E)				
Nov. 7, '91	38° 30'	143° 00'	16.5	G	24	271 - 324
Nov. 7, '91	38° 30'	143° 00'	16.5	L	1	310
Nov. 12, '91	37° 30'	144° 52'	14.9	S	30	280 - 321
Nov. 12, '91	35° 00'	142° 00'	23.3	G	14	300 - 325
Nov. 15, '91	35° 00'	148° 00'	23.6	G	3	296 - 317
Nov. 16, '91	35° 40'	148° 00'	23.4	G	4	294 - 326
Nov. 16, '91	37° 40'	148° 00'	18.0	G	10	271 - 311
Nov. 18, '91	35° 40'	152° 00'	21.0	G	10	302 - 327
Nov. 19, '91	33° 40'	136° 00'		G	30	300 - 336
Nov. 22, '91	35° 50'	141° 15'	16.5	S	30	290 - 327
Nov. 24, '91	39° 00'	150° 30'	15.2	G	7	297 - 311
Nov. 27, '91	36° 09'	141° 52'	17.5	S	27	253 - 313
Dec. 4, '91	33° 40'	136° 00'		S	30	289 - 29
Dec. 6, '91	36° 17'	140° 50'	16.0	S	31	279 - 329
Dec. 16, '91	33° 40'	136° 00'	18.5	S	27	288 - 335
Jan. 23, '91	33° 40'	136° 00'		T	60	284 - 340
Feb. 20, '91	33° 40'	136° 00'		T	13	291 - 318
May 14, '91	37° 00'	144° 00'	16.2	G	20	272 - 317
May 24, '91	37° 00'	160° 00'	16.0	G	30	290 - 324
Jun. 14, '91	39° 00'	154° 00'	16.2	G	27	308 - 336
Nov. 5, '91	36° 43'	141° 13'	16.3	S	28	271 - 324
Nov. 19, '91	36° 30'	141° 31'	15.7	S	47	244 - 331
Nov. 30, '91	36° 34'	141° 17'	15.1	S	28	219 - 321
Dec. 10, '91	36° 34'	141° 06'	15.2	S	28	234 - 310

\* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

透明に見える耳石の中心側は透過光下で黒く観察され、耳石最縁辺部は透明な部分は、落射光で黒く観察された。

II タイプ (Fig. 13-C, D) では、落射光下で白く不透明に見える耳石の中心側は透過光下で黒く観察され、耳石外周部の透明な部分は、やや黒く観察された。このうち、1 個体では不明確ながら透明帯が観察された (Fig. 13-G)。

III タイプ (Fig. 13-E, F) では3 個体のうち2 個体で、落射光下で透明帯が確認できたが、透過光では透明帯の部分の透明度が、他の部分よりやや高かった。これらの観察では、透明帯の位置や範囲は薄片標本の作成前より不明瞭であり、残りの1 個体では、薄片標本では透明帯の確認は出来なかった。

IV タイプでは1 個体で透明帯が2 本確認できた (Fig. 13-H)、残りの2 個体はやはり耳石外周部全体が半透明に観察されたのみであった。

サンマでは、耳石の薄片標本を作成しても透明帯はかえって不明瞭になり、そのままの状態を観察する方が適切であろうと思われた。

## 2) 透明帯の形成時期

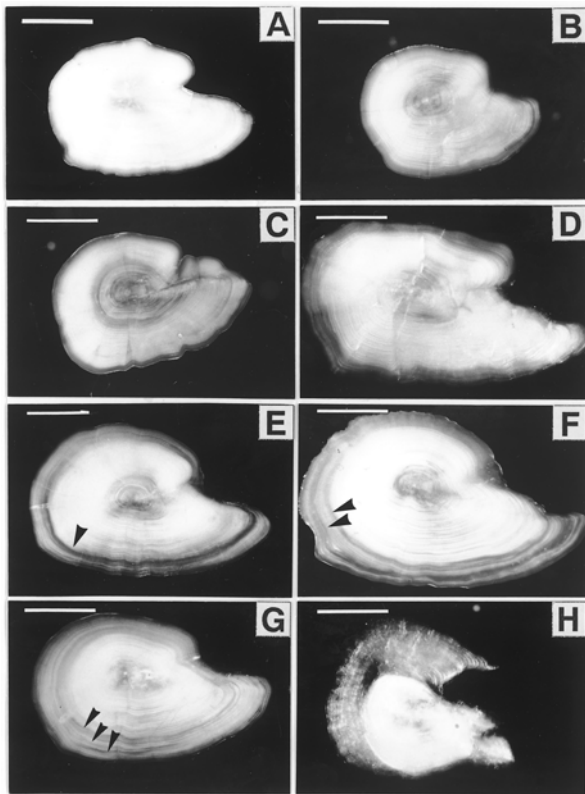
透明帯の形成時期を検討するため、耳石の最縁辺部が透明帯である個体の割合を月ごとに求めた。この解析には、I ~IV タイプの1,083 個体を用いた。なお、3 月、4 月および8 月には標本が採集できなかったため、以上の月の解析は行っていない。

透明帯が形成されている個体数を月ごとにみると (Fig. 14)、その割合が多かった月は1 月に87.9%、12 月に85.3%、11 月に75.6%、2 月に73.3%の順であった。一方、透明帯が形成されていない個体の割合が少ない月は、7 月が7.1%、9 月が11.3%、5 月が31.1%であった。

透明帯が形成されている個体の割合は、9 月以降増加し、10 月にはほぼ半数の50.5%に達し、さらに12 月から翌年1 月にピークを迎えた。そして、2 月から透明帯形成中の個体の割合は徐々に減少し7 月から9 月に最低になり、7 月にはほとんどの個体で透明帯の形成が行われていなかった。

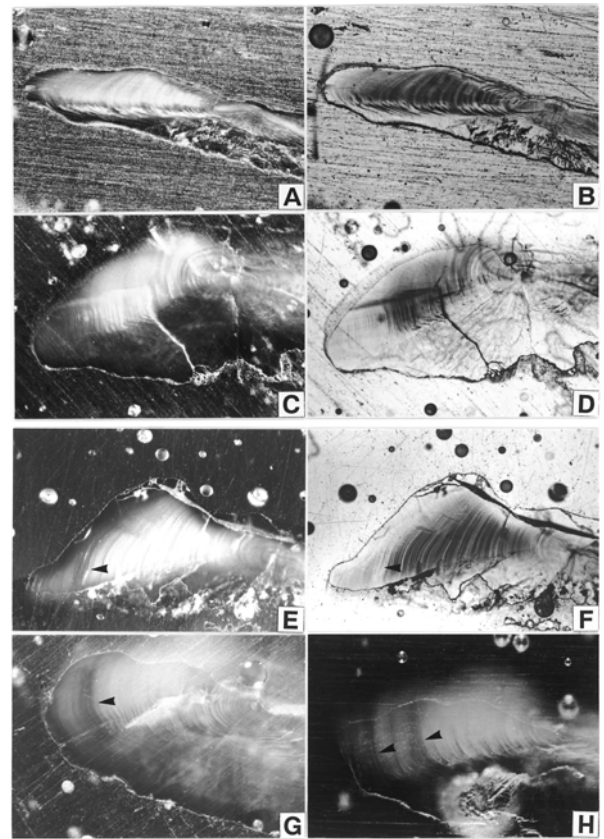
次に、耳石タイプごとに透明帯の形成時期が異なっていないかを検討するため、出現個体数が多かった I



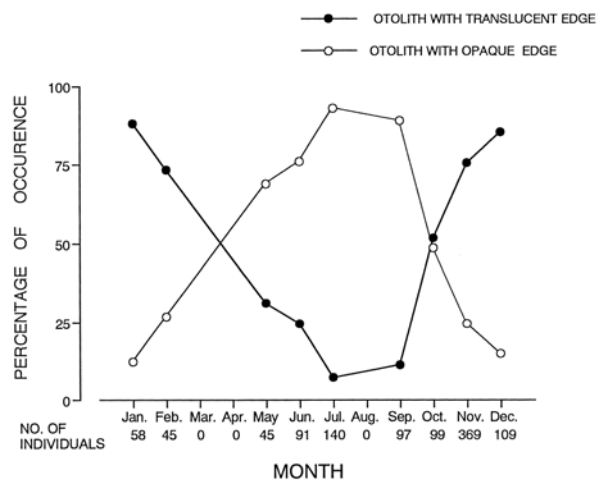


**Fig. 12.** Photomicrograph of representative otoliths in the Pacific saury. **A**, Type I otolith: this type showed no hyaline zones, knob length (KnL)=262 mm, sampled from 36°34'N, 141°17'E on 30 November, 1992; **B**, Type I with transparent edge, KnL=245mm, sampled from 36°34'N, 141°06'E on 10 December, 1992; **C**, Type I otolith: a hyaline zone was observed near the center of the otolith, but this example was considered type I, KnL=259mm, sampled from 42°45'N, 145°30'E on 2 November, 1991; **D**, Type II otolith: this example showed a wide translucent zone at its edge, KnL=310mm, sampled from 37°00'N, 160°00'E on 24 May, 1992; **E**, Type III: otolith with one hyaline zone, KnL=274mm, sampled from 45°30'N, 158°38'E on 22 July, 1991, Arrow shows hyaline zone; **F**, Type IV otolith: otolith with two hyaline zones, KnL=323mm, sampled from 40°00'N, 143°00'E on 1 November, 1991; **G**, otolith observed having more than 3 hyaline zones, KnL=286mm, sampled from 38°30'N, 143°00'E on 7 November, 1991; **H**, unusual otolith type, KnL=295mm.

タイプ (N=201) およびⅢタイプ (N=618) で、月ごとの耳石最縁辺部が透明である個体の割合、すなわちⅠタイプの前個体数に占めるⅠ'の個体数の割合およびⅢタイプに占めるⅢ'の割合を調べた。Ⅰタイプは、1月および5月、6月には採集個体数が10個体以下であったため、解析から除いた。この結果、Ⅰタイプでは9月に透明帯が形成中の個体が全く現れなかったのに対し、2月には100%の個体で耳石透明帯が形成中であっ



**Fig. 13.** Photomicrograph of sections from the otoliths in the Pacific saury. **A**, Type I otolith with transmitted light; **B**, Type I otolith with reflected light; **C**, Type II otolith with transmitted light; **D**, Type III otolith with transmitted light; **E**, Type III otolith with transmitted light; **F**, Type III otolith with reflected light; **G**, Type IV otolith with transmitted light; **H**, Type IV otolith with reflected light.



**Fig. 14.** Monthly changes in occurrence of otoliths with transparent edges in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean

た。9月から透明帯が形成されている個体の割合は増加し、10月で9.4%、11月で68.1%、12月には85.7%となり、2月には100%となった (Fig. 15-A)。

一方、Ⅲタイプでは透明帯が形成されている個体が100%になった月はなく、最もその割合が高い12月で96.9%、1月に95.0%、11月に84.4%の個体で透明帯が形成されていた。反対に、7月には8.2%、9月には14.6%と透明帯形成中の個体の割合は低かった。(Fig. 15-B)

### 3) 耳石タイプと体長の関係

耳石タイプと体長の関係を明らかにするために、各体長群ごとに耳石タイプの割合を調べた (Table 4, Fig. 16)。

その結果、体長240mm以下の計17個体では、すべてがⅠタイプであった。241~280mmの中型群178個体では、Ⅰタイプの割合が最も多く141個体 (79.2%)、次いでⅢタイプが23個体 (12.9%) 次いでⅡタイプが5個体 (2.8%) であった。

281mm以上の大型群910個体では、Ⅲタイプの割合

が最も多く565個体 (65.4%)、次いでⅡタイプが144個体 (15.8%)、そしてⅠタイプが53個体 (5.8%) であった。

Ⅲタイプは体長280mm以上の個体で多く現れ、288~314mmでは各体長組成の中の60%を超えていた。また、Ⅳタイプは314mm以上に多く現れ、Ⅳタイプ全体の58.1%がこの中に含まれた。

中型群以下の個体ではⅠタイプが中心となっていたのに対し、大型群ではⅡタイプとⅢタイプで全体の81.2%を占めた。このように、中型群以下では透明帯が既に形成されている個体の割合が非常に低かったのに対し、大型群では透明帯が1本形成されている個体が主体となっていた (Fig. 16,17)。

### 4) 耳石タイプの季節的変化

前項で得られた結果の月ごとの変化を見るため、中型群と大型群について月別の耳石タイプの変化を調べた (Fig. 17)、中型群では10~12月には90%以上の個体がⅠタイプであった。しかし、この中のⅠ'タイプの割合は月ごとに増え、10月にはⅠタイプ中のⅠ'タイプの割合は8.3%、11月には68.8%、そして12月には78.9%に達した。それとともにⅢタイプの割合が増え、11月には全体の7.2%、12月には4.8%、2月には33.3%に達した。7月には再びⅠタイプが増加して全体の60.0%、9月には73.7%を占めた。この時期にはⅢタイプは減少しそれぞれ26.7%、26.3%となった。

大型群では年間を通してⅢタイプの割合が多かったが、やはり10月以降Ⅲ'タイプの割合が急激に増加した。9月には14.0%であったⅢタイプの中に占めるⅢ'タイプの割合は、10月~2月にかけて、65.3%、84.5%、96.9%、95.0%、100.0%と増加した。その後5、6、7月と透明帯形成中の個体の割合は減少し、それぞれ41.7%、23.9%、8.6%であった。1月以降はⅣタイプも10%以上出現し、1月に10.2%、2月に9.52%、5月に15.2%、7月に10.7%であった。9月以降はⅣタイプは減少し、9月に6.4%、10月に5.6%、11月に4.3%そして12月には3.4%であった。Ⅱタイプは年間を通して10~20%出現した。

これらのうち、Ⅱタイプ、ⅢタイプおよびⅣタイプの体長を比較するため、耳石縁辺部に透明帯が形成されていない7月および9月に採集された大型群について、Ⅱタイプ、ⅢタイプおよびⅣタイプの体長の平均値をStudentの*t*-testまたはcochran-Cox testを用いて検定を行ったところ、全ての組み合わせについて有意差はみられなかった ( $P > 0.01$ )。

このように、Ⅱタイプ、ⅢタイプおよびⅣタイプではその体長組成に差がみられず、異なった年級群であるという明確な証明は出来なかった。

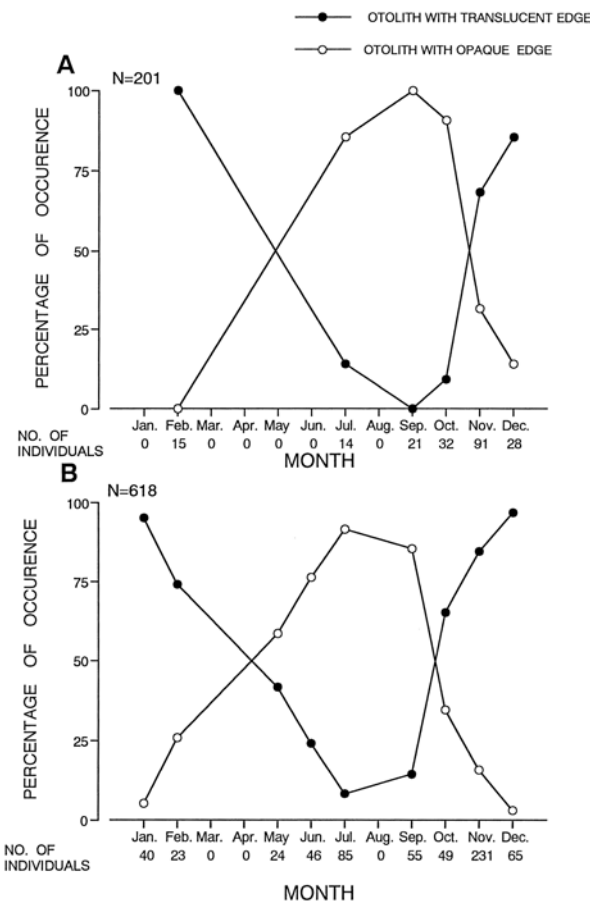
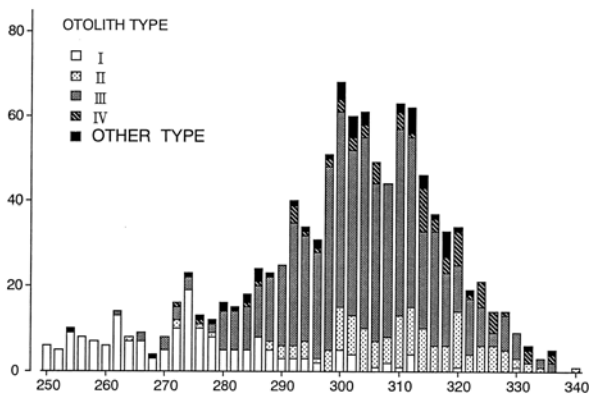


Fig. 15. Monthly changes in occurrence of otoliths with transparent edges in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean. A, type I; B, type III.

**Table 4.** Occurrence of otolith in each size group Pacific saury from February 1991 to December 1992

Otolith type	Less than small size (<240mm)		Medium size (241-280mm)		large size (>281mm)	
	No. of individuals	(%)	No. of individuals	(%)	No. of individuals	(%)
I	16	100.0	141	79.2	53	5.8
II	0	0.0	5	2.8	144	15.8
III	0	0.0	23	12.9	595	65.4
IV	0	0.0	2	1.1	72	7.9
Other type	0	0.0	7	3.9	46	75.1
Total	16	100.0	178	100.0	910	100.0



**Fig. 16.** Relationship between knob length and otolith type

5) 耳石透明帯形成時の体長

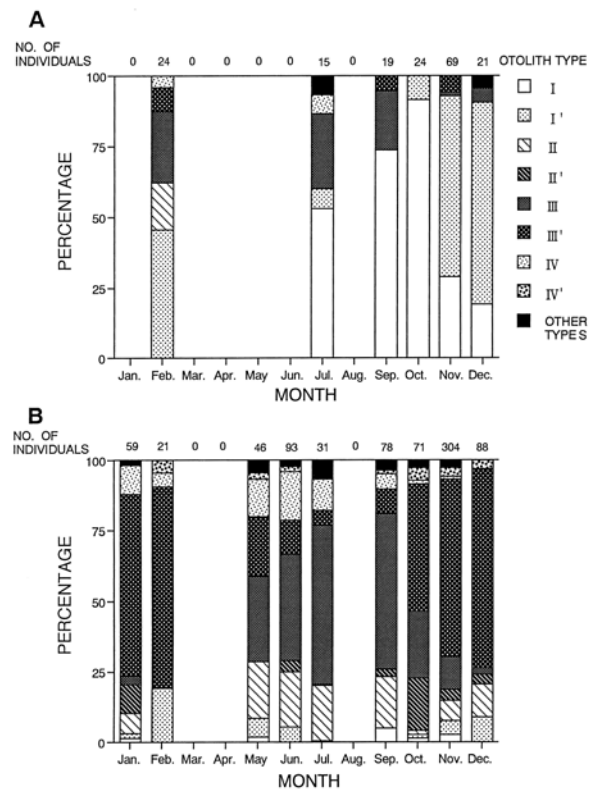
耳石に透明帯が形成される時の体長を推定するため、透明帯が形成されている最中の個体、すなわち I'タイプおよび III'タイプの体長組成を推定した。

最初の透明帯が形成される体長を推定するために、I'タイプの体長組成を検討した (N=124)。体長組成は、280mmを中心とした220~320mmに出現し、小型群4個体3.2%、中型群79個体63.7%そして大型群39個体31.5%であった (Fig. 18-A)。

次に2番目の透明帯が形成される体長を推定するために、III'タイプの体長組成を検討した (N=381)。これらの個体は310mmを中心とした270~336mmに出現し、中型群3個体0.8%、大型群99.2%であった (Fig. 18-B)。

最初の透明帯が形成される時の体長は主に中型群に、2番目の透明帯は大型群に達してから形成されると考えられた。

6) 耳石透明帯の形成と水温の関係



**Fig. 17.** Monthly changes of occurrence of each otolith type in Pacific saury collected from the western North Pacific Ocean. **A**, medium-size group (240-280 mm); **B**, large-size group (>280 mm). Otoliths with transparent edges were separated from each original otolith types (Types I II III and IV).

耳石透明帯と水温との関係を比較するため、表面水温と透明帯が形成されている個体の割合を調べた結果、13℃までで採集された個体は透明帯形成中の個体は11%以下であったのに対し、19℃以上では80%以上の個体が透明帯が形成されている個体であった (Fig. 19)。

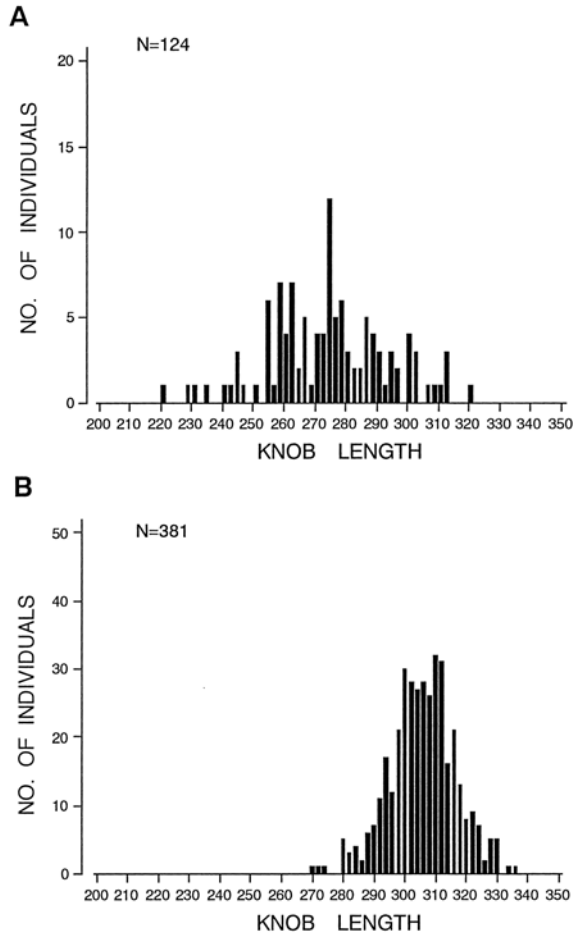


Fig. 18. Size composition of Pacific saury that have I and III type otolith. A, I type; B, III type.

また、14~18℃で採集された個体では、耳石縁辺部が透明な個体は40.4~57.7%とほぼ半数であった。

表面水温が高いほど、特に19℃以上の海域で採集された個体に透明帯が形成されている割合が高かった。

### 3. 考 察

以上の結果をまとめると、小型群および中型群では耳石に透明帯が完全に形成されていない個体、すなわちIタイプが主体であったのに対し、大型群ではIIIタイプの透明帯が1本観察される個体が過半数を占め、この他に縁辺部に広い半透明な部分見られるIIタイプ、または2本の透明帯がみられるIVタイプが出現した。また、透明帯は主に冬季を中心として形成されることが、耳石縁辺部の観察で明らかになった。そして、最初の輪紋が形成されているときの体長は、275mmを中心とした220~320mmの間であり、秋季に小型群以上に達している個体には、最初の透明帯が形成されると考えられた。

今回の観察の結果、7月以降の中型群には透明帯が

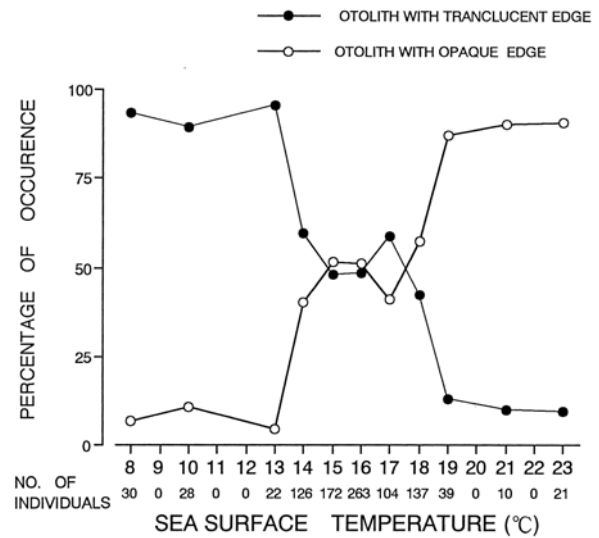


Fig. 19. Relationship between sea surface temperature and the edge of otolith conditions

観察されない個体が主体であった。また、漁期が始まる8月以降の中型群にも、その耳石には透明帯が観察されない(菅間, 1957, 1959; 堀田, 1960; 今井, 1993a, 1993b)ことが知られている。このことは、冬季に透明帯の形成が始まった小型群は翌年の漁期が始まる8月には透明帯が観察されない中型群ではなく、透明帯が観察される大型群に達していることを示している。

大型群に多くみられたIIIタイプにおいても、11月から透明帯の形成されている個体の割合は多くなり、2月にはほとんどの個体の耳石縁辺部に透明な部分が観察された。IIIタイプの耳石にも冬季には2本目の透明帯が形成されると考えられたが、2本目の輪紋が形成されたIVタイプの個体は、大型群の中の約8%と割合が少なかったことから、多くは再び不透明帯が形成される前に死亡したものと考えられた。また、7月から9月におけるIIタイプ、IIIタイプおよびIVタイプの体長組成を見ると、各群の平均値には有意差がみられなかった。そのため、IVタイプの個体の全てがIIIタイプと年齢が1歳異なった個体であるかについては、疑問の余地がある。

菅間(1957, 1959)および堀田(1960)によれば、Iタイプを持つ小型群と中型群が翌年IIIタイプとIIタイプの大型群としてそれぞれ出現し、これらは孵化時期が異なるグループであろうと述べ、今井(1993a)もこれを支持している。このIIタイプは、IIIタイプとともに5月頃から出現するが、その体長の平均値には有意差が認められず、IIタイプおよびIIIタイプの2群が孵化時期や年齢が異なるという明確な証拠は得られなかった。また、薄片を作成して観察した結果、IIタイプ3個体のうち1個体で不鮮明な透明帯が観察されている

ことから、Ⅱタイプは表面観察で透明帯が確認できなかった可能性も考えられる。

前章での耳石日周輪の解析の結果、透明帯は冬季を中心に形成されると推定されたが、耳石縁辺部の観察からもこれが裏付けられた。しかし、大型群で日周輪が計数された個体はすべてⅢタイプであり、ⅡタイプおよびⅣタイプでは日周輪が計数された個体はなかった。この耳石タイプと日周輪の明確さについては今後検討を要する問題であろう。

これまで耳石の透明帯による年齢査定はカサゴ *Sebasticas marmoratus* (水江, 1958), アカアマダイ *Branchiostegus japonicus* (林, 1976a, 1976b), マコガレイ *Limanda yokohamae* (Solomon *et al.*, 1987), アカガレイ *Hippoglossoides dubius* (中谷ら, 1990), マダラ *Gadus macrocephalus* (服部ら, 1992) などで行われている。これらではいずれも冬季に透明帯が形成され、輪紋の形成時には成長が低下することが知られている。サンマでも、透明帯が形成されている個体は、11月から2月にかけて採集され、この時期には成長率が低下することが、耳石日周輪の輪紋間隔から前章で示唆されている。

これらの成長の低下の要因として、生息水温、餌料環境および成熟などが考えられる。生息水温に関しては、透明帯が形成される冬季にサンマは南方海域に南下するため、透明帯が形成されている個体は高温域で採集されている。そのため、透明帯の形成については、餌料環境やその他の外部要因および成熟等の内部要因もあわせてさらに詳しく検討する必要があるであろう。漁期中の中型群が満1歳以上と推定されているにもかかわらず透明帯が見られないのは、単に冬という季節のみが原因で透明帯が形成されるということを示していない。したがって、透明帯が形成されている群と、されていない群での冬季の分布およびその外部環境、成熟等の関係をさらに検討する必要があると考える。

今回の結果から、小型群以上では冬季に透明帯が形成されるため年齢の目安となると考えられたが、その一方でⅣタイプの一部やⅡタイプ、およびこれらに属さない不規則な透明帯の形成をするものも見られ、全個体については耳石透明帯から年齢を明らかにすることは不可能であろうと思われた。しかし、多くの個体で冬季には小型群と中型群で初めての透明帯が形成されること、Ⅲタイプの耳石を持った大型群には冬季に再び2本目の透明帯が形成される個体がいることが明らかになった。2本目の透明帯が形成されている個体は、その形成が完全に終了する前にすなわちⅣタイプになる前に寿命を迎えると考えられた。耳石日周輪から、Ⅲタイプは2年前の秋から前年の冬季に孵化した

群と考えられているので、サンマの寿命はおそらく2歳程度であろうと思われた。また、透明帯が2本観察されたⅣタイプの中にⅢタイプの生き残りの個体がいるとすれば、その寿命は2年半程度ということになる。

#### 第4章 組織学的観察に基づく雌の成熟過程

これまでサンマの産卵期に関する研究は、稚魚ネットによって採集された仔稚魚の採集個体数の季節的变化に基づいて論じられているもの(小達, 1956a, 1962a; 深滝, 1959; Watanabe and Lo, 1989など)がほとんどで、産卵期における親魚の成熟状態に関する詳細な報告は少ない(小達, 1956a; 小坂, 1991)。そのため、サンマの繁殖特性、すなわち年齢と成熟の関係、一生の間の産卵回数および産卵後の親魚の消長など水産資源学的に重要な課題は未解決のままである。

これらの産卵様式や産卵前後の内的変化を明らかにするためには、生殖腺の組織学的な観察を行うことによって、生殖腺重量や生殖腺重量指数(GSI)等の外面的変化だけでは捉えられない質的な変化を把握する必要がある。本種に関する生殖腺の組織学的な研究はこれまでも行われてきている(堀ら, 1969; Sato, 1981; 小坂, 1991)が、いずれも断片的なものであり、前述の課題を明らかにするには至っていない。

そこで、本研究では中部北太平洋および西部北太平洋において採集されたサンマについて、卵巣の組織学的観察を行い、成熟度を設定して各個体の成熟状態の質的な指標を作成した。この成熟度と、生殖腺重量、GSI および肥満度などの指数を対応させ、成熟に伴うこれらの指数の変化を明らかにした。また、卵巣卵組成や卵径頻度分布から組織学的観察で得られた卵発達の様式を裏付けた。そして、成熟度と体長および採集点の水温との比較を行い、本種の成熟・産卵に至るまでの過程とその後の消長などの繁殖特性を解明した。

##### 1. 材料と方法

本研究で用いた標本は、1989年2月から1992年12月に、北緯30°~45°30'、東経133°30'~158°38'の計71点の採集点において、調査用流し網、定置網、高速ネット、稚魚ネット、釣り、たも網および棒受け網で採集された雌570個体である(Table 5)。採集した個体は生殖腺を取り出してブアン氏液に固定し、魚体は冷凍して保存した。これらの標本は、研究室に持ち帰ってから肉体長、体重および固定した生殖腺の重量を測定した。固定した生殖腺の重量は、生の状態と異なることが予想されるため、これらの補正係数を求めて固定前

の重量に換算した。この補正係数は、北海道茅部郡南茅部町で定置網によって採集された雌38個体の生殖腺を、固定前とブアン氏液固定後に計測して求めた。その結果、固定によって卵巢重量は増大し、補正係数は0.96となった。したがって、固定後の重量に補正係数を乗じた値を卵巢補正重量として用いた。体重は、解凍後計測した重量にこの卵巢補正重量を加えた値とし、この値をもとにGSI (生殖腺重量 (g)×10<sup>2</sup>/体重 (g))、および肥満度 (体重 (g)×10<sup>6</sup>/体長<sup>3</sup> (cm))を目黒ら(1987)に従って求めた。なお、体長161mm以下の20個体は魚体ごと固定し、体断面が観察できるような切片を作成した。そのため、これらについては体重および生殖腺重量は不明である。

卵巢の組織標本は、通常のパラフィン法により作成し、1個体に2本ある生殖腺のうちの1本の中位部分を切り出して行った。組織標本は、厚さ8μmの連続切片として、デラフィールドのヘマトキシリンおよびエオシンによって二重染色を施した。作成した切片は、光学顕微鏡を用いて40~400倍で観察した。卵巢卵組成の計数は組織標本をもとに行い、卵径の計測は接眼マイクロメーターを用いて卵細胞の直径と単径を計測し、半径=((長径<sup>2</sup>+短径<sup>2</sup>)/2)<sup>1/2</sup>とした。

卵径頻度分布および一回に産卵される産卵数、すなわちバッチ産卵数の計数は、組織標本に用いなかった側の生殖腺で行った。卵径頻度分布の計測は、生殖腺の中位から無作為に100の卵母細胞を選び、光学顕微鏡のもとで接眼マイクロメーターを用いて、それぞれの長径と単径を計測した。バッチ産卵数の計数には、最初に計数する側の生殖腺の重量(G)を再度計測した後、前位、中位および後位から各5mm程度を切り出した。そして、切りだした部分の重量(g)を計測してから、この中の第3次卵黄球期の卵細胞の数(n)を実体顕微鏡のもとで計数し、以下の式でバッチ産卵数(N)を推定した。

$$N = n \times G \times 2 / g$$

計数した第3次卵黄球期の卵細胞の見分け方については、結果の中で述べる。

## 2. 結 果

### 1) 卵形成の区分

サンマの卵巢卵の発達の特徴を明らかにするため、小坂(1991)に準じて卵細胞の発達段階の区分を行った。以下に周辺仁期以降の卵細胞の各期の概要を述べる。

卵原細胞から発達した卵は、細胞質が次第に増加してヘマトキシリンに濃染するようになり周辺仁期(Fig. 20-A)になる。周辺仁期の後期になると細胞質

が増加しヘマトキシリン好染性は薄れ、濾胞細胞の厚さが増す。この時の卵母細胞の直径(以下卵径)は、0.06~0.18mmである。卵径が0.15mmに達する頃から、細胞質内に卵黄胞が出現する。卵黄胞は、はじめ細胞質中に少数出現し並び方も不規則であるが、次第にその数を増すとともに、濾胞細胞に沿って核を中心とした同心円上に2~3列に並ぶ。この時期を卵黄胞前期(Fig. 20-B)とし、その卵径は、0.15~0.34mmである。卵黄胞は、さらに数を増して核周辺に集まり、細胞質の半分以上を占めるようになった卵を卵黄胞後期(Fig. 20-C)とした。卵径は、0.31~0.39mmに達する。

次に、卵細胞中に卵黄顆粒が出現する。卵黄物質は、メダカ *Oryzias latipes* において報告されている(Yamamoto and Yoshioka, 1964)のと同様に、蓄積とともに融合する。この融合した卵黄球が、核の大きさを超えない程度の時期を第1次卵黄球期(Fig. 20-D)とした。この時期の卵径は、0.30~0.45mmである。卵黄球は次第に大きさを増し核径を超えるが、核は極端な遍在はしない。この時期を第2次卵黄球期(Fig. 20-E)と呼び、卵径は、0.41~0.71mmである。やがて、卵黄物質は細胞質のほとんどを占めて大きな塊となるが、一部は濾胞細胞周辺に小塊として存在する。この時期の核は濾胞細胞寄りに片寄るが核膜は認識できる(第3次卵黄球期, Fig. 20-F) 卵径は、0.80~1.62mmである。

卵黄は完全に融合し、核膜が消失した時期を成熟期(Fig. 20-G)し、その卵径は、0.90~1.52mmであった。最後に完熟期に達した卵は、排卵されて卵巢腔に集まる(完熟期, Fig. 20-H)。この時期には、排卵後濾胞が卵巢中に観察される。完熟期の卵径は、1.02~1.81mmである。

### 2) 排卵後濾胞および退行卵の消長

今回観察した個体のうち、第2次卵黄球期以降の卵を持つ個体の143個体で排卵後濾胞が観察された(Fig. 20-I)。

また、今回の観察では、卵巢中に退行卵が観察される個体が現れた。サンマの退行卵については、すでに報告されているが、その明確な位置づけと消長の過程が明らかではないため、本研究ではその分類と吸収過程について検討した。

観察された退行卵は、核が変形または消失して、細胞質が濾胞細胞に吸収されていた。また、退行卵中に残存している卵黄胞および卵黄球の位置や数から、退行の開始時期は卵黄胞前期から卵黄球期までにわたっていると判断された。そのため、退行の開始時期を細胞質内に残存している卵黄胞、卵黄球の位置と数および卵径をもとに分類した。卵黄胞期からの退行卵

**Table 5.** Collection records of samples to analyze the histological observation of gonads

Sampling date	Location		SST (°C)	Sampling* gear	No. of individuals	Knob length in mm (range)
	Lat.(N)	Long.(E)				
Feb. 7, '89	30° 00'	135° 30'		D	2	301 - 311
Feb. 7, '89	31° 30'	135° 30'		D	1	312
Feb. 8, '89	33° 00'	134° 20'		K	1	280
Feb. 9, '89	33° 24'	134° 20'		K	1	313
Feb. 10, '89	32° 45'	133° 30'		K	1	298
Feb. 10, '89	30° 00'	134° 00'		K	1	298
Feb. 14, '89	34° 00'	143° 30'	16. 9	D	4	253 - 282
Feb. 15, '89	33° 29'	143° 30'	17. 7	D	1	283
Feb. 18, '89	33° 00'	142° 00'	17. 7	D	1	270
Feb. 19, '89	34° SI'	141° IS'	17. 3	L	2	209 - 261
Feb. 20, '89	32° 30'	140° 30'	16. 7	L	1	293
Feb. 20, '89	33° 00'	140° 30'	17. 1	L	4	269 - 285
Feb. 21, '89	32° 30'	140° 31'	15. 2	G	2	243 - 261
Jnn. 6, '91	36° 32'	155° 01'	17. 4	G	6	280 - 324
Jun. 7, '91	38° 01'	154° 59'	16. 6	G	15	286 - 321
Jun. 8, '91	39° 00'	155° 01'	15. 5	G	12	284 - 313
Jun. 9, '91	41° 00'	155° 02'	14. 2	G	8	275 - 307
Jun. 10, '91	42° 31'	155° 00'	11. 8	G	1	291
Jul. 22, '91	45° 30'	158° 38'	8. 8	D, G	17	272 - 307
Jul. 23, '91	44° 30'	157° 30'	10. 5	G	14	227 - 315
Jul. 24, '91	43° 30'	155° 30'	17. 1	D, G	20	251 - 324
Jul. 25, '91	42° 31'	153° 31'	18. 1	D	11	288 - 331
Jul. 26, '91	41° 30'	151° 30'	18. 4	D	17	293 - 336
Sep. 25, '91	42° 30'	145° 00'	14. 6	G	10	210 - 334
Sep. 25, '91	42° 27'	144° 53'	14. 6	D, F	13	121 - 227
Sep. 26, '91	41° 47'	145° 38'	15. 9	D, G	11	263 - 321
Sep. 26, '91	41° 45'	145° 45'	15. 9	G	16	251 - 326
Sep. 29, '91	41° 30'	144° 30'	14. 3	D, G	25	93 - 325
Sep. 30, '91	41° 30'	143° 30'	16. 0	G	2	240 - 333
Oct. 1, '91	41° 30'	145° 00'	15. 4	D	4	309 - 318
Oct. 2, '91	42° 55'	145° 50'	13. 8	D	8	231 - 267
Oct. 2, '91	42° 45'	145° 30'	14. 5	D	5	213 - 296
Oct. 2, '91	42° 45'	145° 30'	14. 5	D	1	132
Oct. 3, '91	42° 00'	144° 00'	15. 4	D	6	139 - 161
Oct. 23, '91	36° 10'	141° 21'	18. 4	S	18	297 - 325
Oct. 31, '91	36° 15'	141° 46'	18. 1	S	9	300 - 327
Nov. 1, '91	40° 00'	145° 15'	14. 2	L	6	263 - 309
Nov. 1, '91	40° 00'	143° 00'	16. 4	G	2	244 - 309
Nov. 1, '91	40° 00'	145° 00'	14. 2	G	12	263 - 329
Nov. 2, '91	40° 00'	145° 45'	19. 0	G	11	292 - 314
Nov. 3, '91	40° 00'	145° IS'	17. 5	G	3	300 - 314
Nov. 4, '91	38° 30'	153° 30'	19. 5	G	8	273 - 328
Nov. 7, '91	38° 30'	146° 00'	19. 0	G	7	292 - 337
Nov. 7, '91	38° 30'	143° 00'	16. 5	G	11	279 - 324

\* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

Table 5. (continued)

Sampling date	Location		SST (°C)	Sampling* gear	No. of individuals	Knob length in mm (range)
	Lat.(N)	Long.(E)				
Nov. 12, '91	35° 00'	142° 00'	23. 3	G	4	314 - 325
Nov. 12, '91	37° 30'	144° 52'	14. 9	S	17	289 - 321
Nov. 15, '91	35° 00'	148° 00'	23. 6	G	1	309
Nov. 16, '91	37° 40'	148° 00'	18. 0	G	3	292 - 309
Nov. 16, '91	35° 40'	148° 00'	23. 4	G	2	323 - 326
Nov. 18, '91	35° 40'	152° 00'	21. 0	G	2	316 - 327
Nov. 19, '91	33° 30'	136° 00'		G	20	300 - 336
Nov. 22, '91	35° 50'	141° 15'	16. 5	S	14	293 - 320
Nov. 24, '91	39° 00'	150° 30'	15. 2		7	297 - 311
Nov. 27, '91	36° 09'	141° 52'	17. 5	S	11	282 - 313
Dec. 4, '91	33° 30'	136° 00'		S	20	300 - 328
Dec. 6, '91	36° 17'	140° S0'	16. 0	S	18	284 - 329
Dec. 16, 91	33° 30'	136° 00'	18. 5	S	20	302 - 333
Jan. 23, '92	33° 30'	136° 00'		T	25	298 - 340
Feb. 20, '91	33° 30'	136° 00'		T	7	292 - 318
May 14, '92	37° 00'	144° 00'	16. 2	G	9	286 - 317
May 24, '92	37° 00'	160° 00'	16. 0	G	13	298 - 320
Jun. 14, '92	39° 00'	154° 00'	16. 2	G	15	308 - 336
Nov. 5, '92	36° 43'	141° 13'	16. 3	S	16	272 - 324
Nov. 19, '92	36° 30'	141° 31'	15. 7	S	27	249 - 331
Nov. 30, '92	36° 34'	141° 17'	15. 1	S	17	219 - 315
Dec. 10, '92	36° 34'	141° 06'	15. 2	S	13	254 - 310

\* G; gill nets, D; dip net, S; stick-held net, T; set nets, L; larvel net.

(Fig. 20-J) は、細胞質中に卵黄物質らしいものが見られない点から判断した。一方、卵黄球期から退行した退行卵 (Fig. 20-K) は、卵黄物質が観察された。

なお、細胞質の吸収が進んだ退行卵 (Fig. 20-L) では、退行開始の時期が特定できなかったため、これらは退行時期不明の不明退行卵として扱った。

### 3) 卵巣卵の発達様式と成熟度の設定

卵巣卵には、これまで報告されてきたように、様々な発達段階の卵が見られ、非同期発達型の卵発達を示した。なお、退行卵は、卵黄胞後期および卵黄球期の卵では卵巣内にまとまって出現することが多かったのに対し、卵黄胞前期の退行卵は卵巣中に少数出現することが多かった。以上の知見から、卵巣内で最も発達した卵の発達段階および退行卵の出現を指標として、卵黄胞前期以降の組織学的な成熟度を設定した。以下に各成熟度の特徴を述べる。

I. 周辺仁期 (Fig. 21-A) 卵巣内の卵細胞は、周辺仁

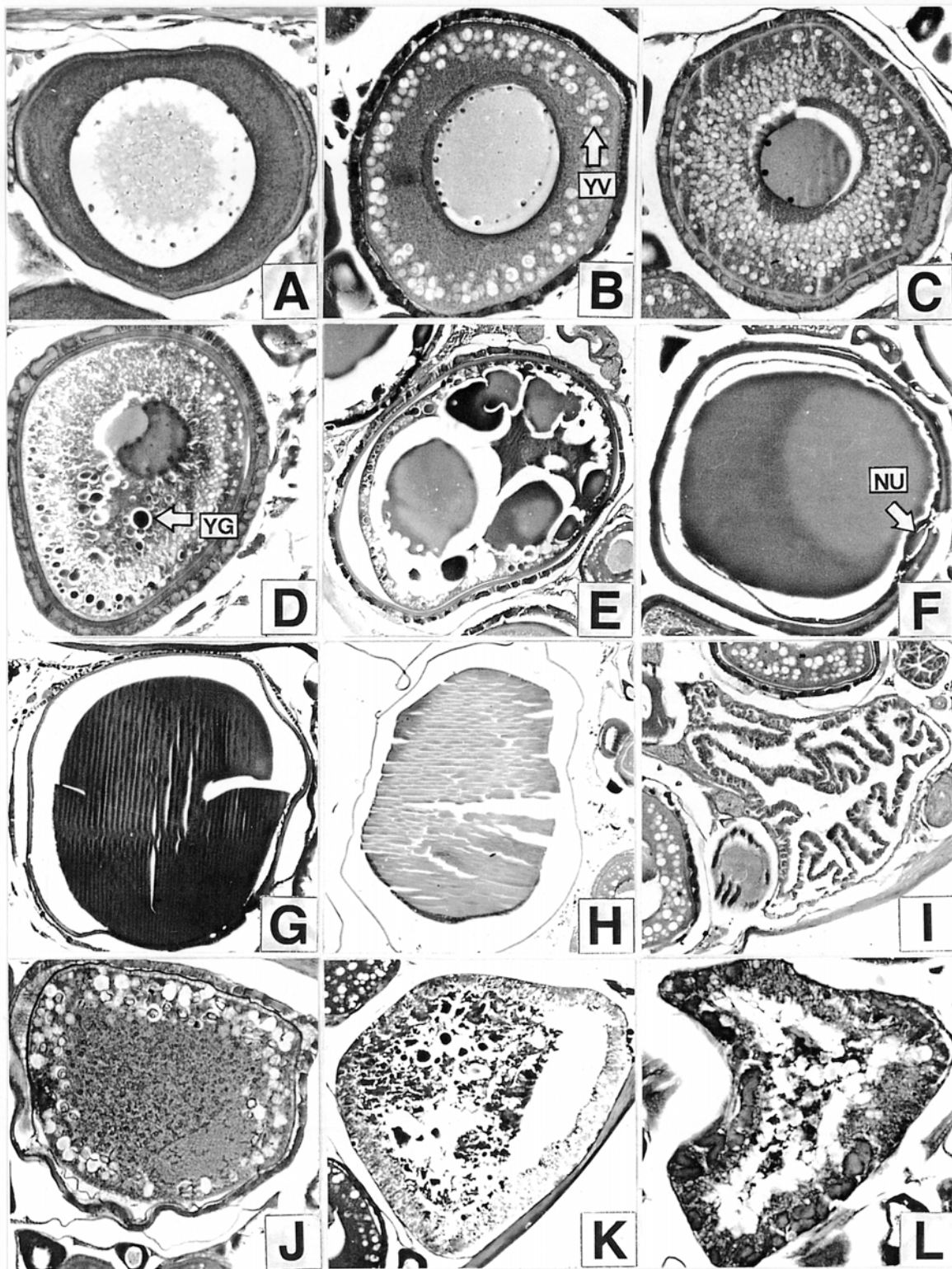
期までしか見られない。周辺仁期の個体は体長93~251 mmの27個体 (4.7%) で、その生殖腺重量は平均0.09 (S.D.=0.02; 以下同様) gであった。

II. 卵黄胞前期 (Fig. 21-B) 最も発達した卵は卵黄胞前期までであり、かつ卵黄胞後期以降の退行卵は存在せず、一部の個体で卵黄胞前期または退行開始時期不明の退行卵が観察された。この成熟度の個体は、体長が213~334mmまでの161個体 (28.2%) で、生殖腺重量は0.41 (0.18) gを示した。

III. 卵黄胞後期 (Fig. 21-C) 最も発達した卵が卵黄胞後期に達しており、卵黄胞前期と同様に一部では卵黄胞前期または不明退行卵が見られた。卵黄胞後期の個体は、体長が209~321mmの73個体 (12.8%) で、生殖腺重量は0.53 (0.22) gであった。

IV. 卵黄形成期 第1次卵黄球期から第3次卵黄球期の卵を持つ個体を、卵黄形成期とした。この成熟度の個体は、108個体 (18.9%) 出現したが、卵形成の過程を詳細に検討する際には、さらに3期に区分した。





**Fig. 20.** Photomicrographs of sections from the ovary of the Pacific saury fixed in Bouin's fluid and stained with haematoxylin and eosin. **A**, oocyte in the pre-nucleolus stage  $\times 270$ ; **B**, oocyte in the early cortical alveoli stage. YV yolk vesicles.  $\times 190$ ; **C**, oocyte in the late cortical alveoli stage.  $\times 120$ ; **D**, oocyte in the primary yolk stage. YG yolk globules.  $\times 170$ ; **E**, oocyte in the secondary yolk stage.  $\times 135$ ; **F**, oocyte in the territory yolk stage. NU nucleus  $\times 75$ ; **G**, oocyte in the pre-maturation stage.  $\times 60$ ; **H**, oocyte in the maturation stage.  $\times 50$ ; **I**, empty follicle.  $\times 170$ ; **J**, atretic egg from the yolk vesicle stage.  $\times 190$ ; **K**, atretic egg from the yolk stage.  $\times 15$ ; **L**, atretic egg in advanced stage of degeneration.  $\times 170$ .

すなわち、卵巣内で最も進んだ卵が第1次卵黄球期に達している個体を成熟度IV-1 (Fig. 21-D) とし、体長266~313mmの10個体 (1.7%)が、この成熟度に該当した。なお、これらの個体の中で、排卵後濾胞が観察された個体はなく、生殖腺重量は0.87 (0.20) gであった。

第2次卵黄球期の卵細胞をもつ個体は、成熟度IV-2 (Fig. 21-E) と区分した。この成熟度の個体は体長292~321mmの8個体 (1.4%)で、生殖腺重量は顕著に増加し、2.09 (1.04) gであった。

これらのうち3個体では排卵後濾胞が観察された。卵発達が進み、卵巣内で最も進んだ卵が第3次卵黄球期に達している個体を、成熟度IV-3 (Fig. 21-F) とした。この成熟度の個体は体長270~336mmの90個体 (15.8%)であり、このうちの48個体では排卵後濾胞が観察された。この時期生殖腺重量は3.32 (1.22) gに達した。

V. 成熟・完熟期 卵巣中に成熟した卵が観察される。

この成熟度についても、卵巣中に排卵前の成熟期の卵が存在する成熟期 (V-1, Fig. 21-G), および排卵排卵された卵を持つ完熟期 (V-2, Fig. 21-H) の2期に分けた。

成熟期の個体は、体長269~336mmの36個体 (6.3%)が出現し、生殖腺重量は5.63 (1.94) gに達し、9個体で排卵後濾胞が観察された。

完熟期の個体は、体長308~330mmの56個体 (4.4%)が出現し、生殖腺重量は5.13 (2.24) gを示した。なお、成熟期および完熟期の個体にごく少数の退行卵がみられる場合があったが、これらについては退行期とはしなかった。VI. 退行期 I (Fig. 21-I) 卵黄形成中の卵が退行卵を主体とする個体で、卵巣内の卵黄形成中の卵の過半数が退行しており、卵黄物質が多く蓄積されている卵ほど明瞭な退行像を示していた。なお、排卵後濾胞は観察されなかった。これらは体長261~340mmの98個体で全標本中の4.4%で、生殖腺重量は1.46 (0.77) gであった。

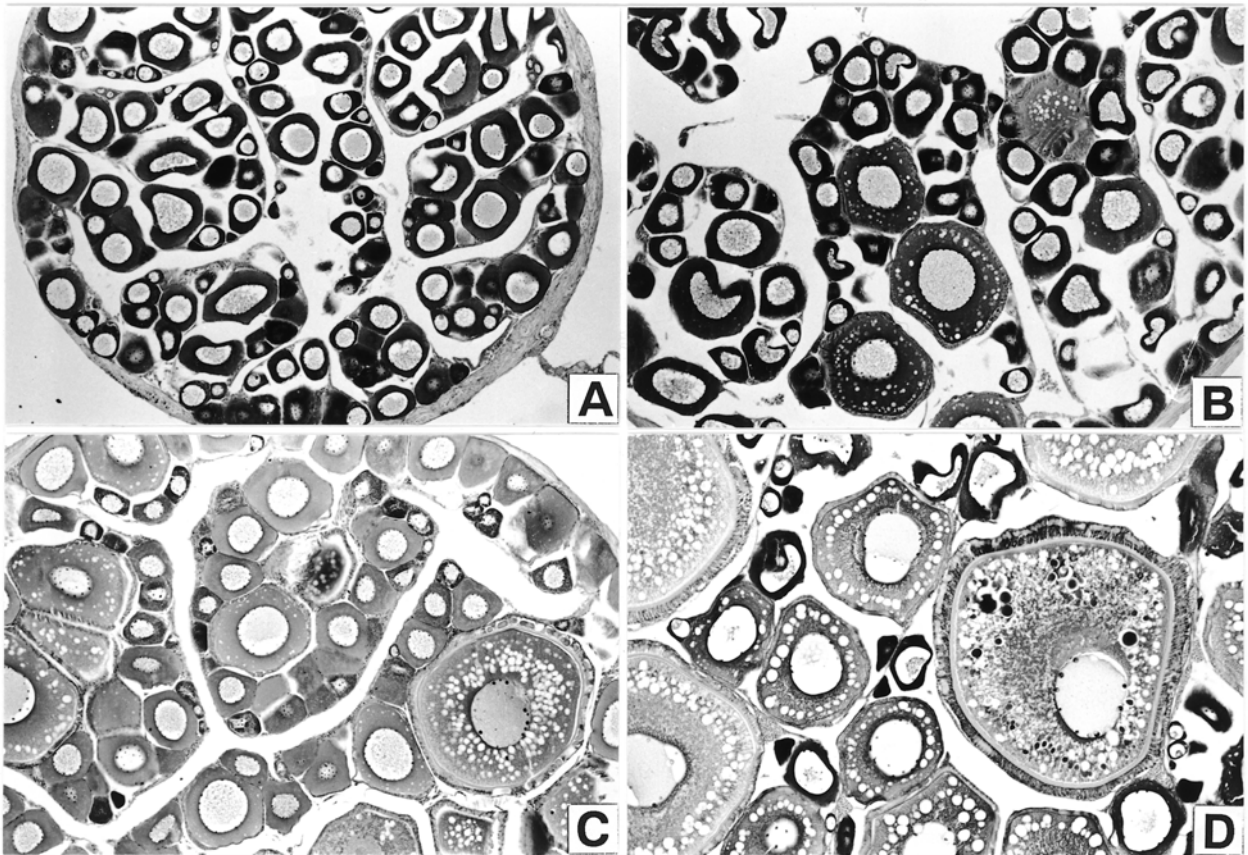


Fig. 21. Photomicrographs of sections from the ovary of the Pacific saury fixed in Bouin's fluid and stained with haematoxylin and eosin. **A**, ovary of the maturity stage I. Advanced oocyte is in the pre-nucleolus stage; **B**, ovary of the maturity stage II. Advanced oocyte is in the early yolk vesicle stage; **C**, ovary of the maturity stage III. Advanced oocyte is in the late yolk vesicle stage; **D**, ovary of the maturity stage IV-1. Advanced oocyte is in the primary yolk stage; **E**, ovary of the maturity stage IV-2. Advanced oocyte is in the secondary yolk stage; **F**, ovary of the maturity stage IV-3. Advanced oocyte is in the tertiary yolk stage; **G**, ovary of the maturity stage V-1. Advanced oocyte is in the maturation stage; **H**, ovary of the maturity stage V-2. Advanced oocyte is in the ripe stage; **I**, ovary of the atretic stage I; **J**, ovary of the atretic stage II; **K, L**, The ovary which does not belong to the above maturity stage. Most of oocytes in the gonad were absorbed.

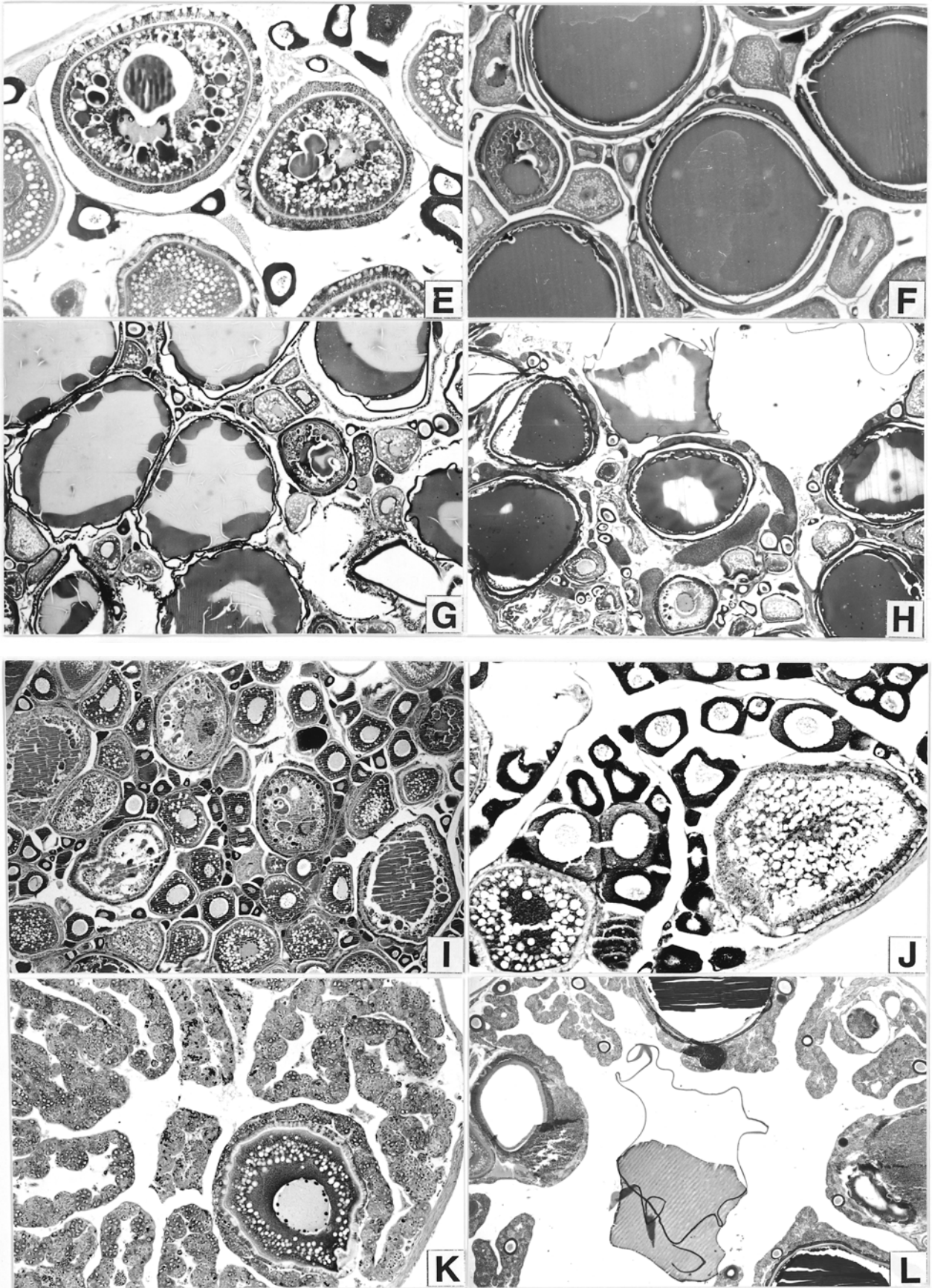


Fig. 21. (continued)

VII. 退行期Ⅱ (Fig. 21-J) 卵巣中の卵黄胞後期の卵の一部が退行像を示している個体で、最も発達した正常卵は卵黄胞前期または卵黄胞後期の卵であった。これらは、体長258~324mmの51個体で全標本中28.9%であった。退行期Ⅱでは生殖腺重量は再び減少し0.67 (0.28) gを示した。なお、卵黄胞前期または後期の個体においても卵巣中に吸収の進んだ不明退行卵が観察される個体が現れたが、退行卵の退行開始時期が特定できなかったため、これらは退行期には含めていない。

生殖腺重量は卵黄の形成が進んだ成熟度Ⅳの時期に急激に増加し、産卵後は再び低下することが示された (Fig. 22, Table 6)。一方、GSIも生殖腺重量と同様に、周辺仁期から成熟期にかけて増加し、成熟期には4.33 (1.33) に、完熟期は4.32 (2.22) に達した後、退行期Ⅰ以降減少していた。

このほかに、以上の成熟度に属さない個体が2個体現れた。これらは卵巣膜および卵巣薄板が肥厚して卵巣中の卵が極端に少なく、他の成熟度と明らかに異なった。その体長は328mmおよび337mmであり、前者では周辺仁期から卵黄胞後期 (Fig. 21-K), 第3次卵黄球期および完熟期の卵が観察された (Fig. 21-L) が、その数は極めて少なく卵巣重量が1.50 gで低値を示した。後者では、周辺仁期および卵黄胞前期の卵が極く少数観察され、卵巣重量は0.33 gと非常に小さかった。

この2個体は、産卵が終わって卵原細胞から卵黄胞期以降の卵の補給が停止しているか、卵原細胞そのものを使い果たした個体であると推定された。

#### 4) 各成熟度の外見的観察

ここまで設定した組織学的成熟度の外見的变化を検討するため、組織学的成熟度を設定した個体の生殖腺を肉眼的および実体顕微鏡 (6.6~40倍) によって観察を行い、両者の比較・検討を行った。

その結果、成熟度Ⅳ-1, Ⅳ-2, Ⅳ-3, Ⅴ-1, Ⅴ-2およびⅥについては、外見から成熟度の判断がほぼ可能であった。しかし、成熟度Ⅱ以前とⅦについては外見には差が見られないため、生殖腺の外見上からは明確な区別ができなかった。以下に各成熟期の外見的特徴を述べる。

##### (1) 成熟度Ⅲ以前およびⅦ

卵巣の直径は1~2 mm程度で、外見からは均一に黄色く見える。卵巣卵は不透明で、卵径のばらつきは若干見られるが明確ではない。

##### (2) 成熟度Ⅳ-1

卵巣の太さは2~3 mm程度に達し、卵巣卵の一部は径を増すとともに透明感が出て、卵巣膜の外側からも確認できるようになる。

##### (3) 成熟度Ⅳ-2

卵巣の太さは3~5 mm程度に達し、発達を始めた卵巣卵は透明感が一層増し、卵巣膜の外側からも明瞭になり、卵巣全体に斑点状となって観察される。

##### (4) 成熟度Ⅳ-3

卵巣の太さは4~6 mm程度になり、発達を始めた卵巣卵の透明感はさらに増す。この頃、卵巣卵には纏絡糸が形成され始めるが、卵巣卵をほぐしてもお互いに絡み合うことはない。

##### (5) 成熟度Ⅴ-1

卵巣の太さは太いもので10mm以上に達するものも現れ、成熟して透明感を増した卵が卵巣膜の外側からもはっきりわかるために、全体が網目状に見える。この卵巣卵は1 mmを越えてほぼ透明となり、纏絡糸が発達してお互いに絡み合うようになる。しかし、完熟期の卵は卵巣薄板に付着しているため、卵巣断面全体にわたって存在している。

##### (6) 成熟度Ⅴ-2

排卵が起きているため、完熟卵が卵巣腔中すなわち

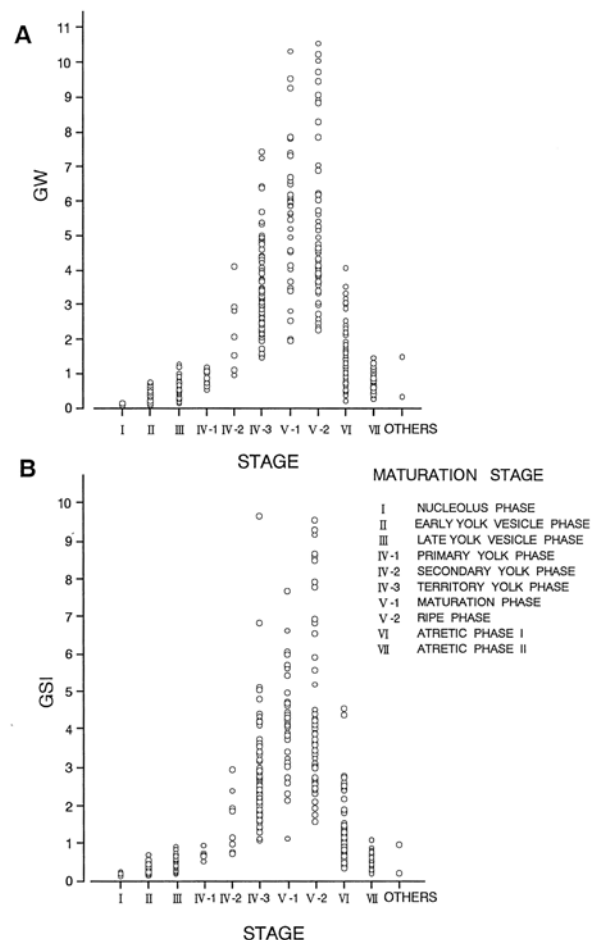


Fig. 22. Relationship between knob length and otolith type

**Table 6.** Knob length (KnL), body weight (BW), gonad weight (GW), gonad somatic index (GSI) and condition factor (CF) at each maturity stage of the Pacific saury

Maturity stage	No. of individuals	KnL (mm)	BW (g)	GW (g)	GSI	CF
I	27	154.81 ± 43.58 <sup>*1</sup> (93 - 251) <sup>*2</sup>	47.94 ± 9.87	0.09 ± 0.02	0.19 ± 0.03	4.45 ± 0.23
II	161	288.06 ± 23.35 (213 - 334)	122.70 ± 37.47	0.41 ± 0.18	0.33 ± 0.09	4.95 ± 0.66
III	73	288.11 ± 22.65 (209 - 321)	113.50 ± 33.51	0.53 ± 0.22	0.46 ± 0.13	4.58 ± 0.55
IV-1	10	300.70 ± 13.01 (266 - 313)	130.90 ± 21.70	0.87 ± 0.20	0.67 ± 0.12	4.77 ± 0.40
IV-2	8	305.13 ± 9.88 (292 - 321)	131.27 ± 14.51	2.09 ± 1.04	1.60 ± 0.76	4.61 ± 0.38
IV-3	90	312.08 ± 12.13 (270 - 336)	129.50 ± 19.83	3.32 ± 1.22	2.66 ± 1.26	4.25 ± 0.49
V-1	36	312.81 ± 14.58 (269 - 336)	130.36 ± 20.92	5.63 ± 1.94	4.33 ± 1.33	4.23 ± 0.45
V-2	56	307.63 ± 15.12 (253 - 330)	125.21 ± 24.03	5.13 ± 2.24	4.32 ± 2.22	4.26 ± 0.53
VI	98	306.32 ± 14.88 (261 - 340)	126.59 ± 25.15	1.46 ± 0.77	1.22 ± 0.79	4.37 ± 0.62
VII	51	299.69 ± 12.67 (258 - 324)	131.51 ± 25.15	0.67 ± 0.28	0.51 ± 0.18	4.83 ± 0.48
		(328 - 337)	(157.9 - 172.4)	(0.33 - 1.50)	(0.18 - 0.95)	(4.47 - 4.50)

\*<sup>1</sup>average ± S. D., \*<sup>2</sup>(Minimum - Maximum).

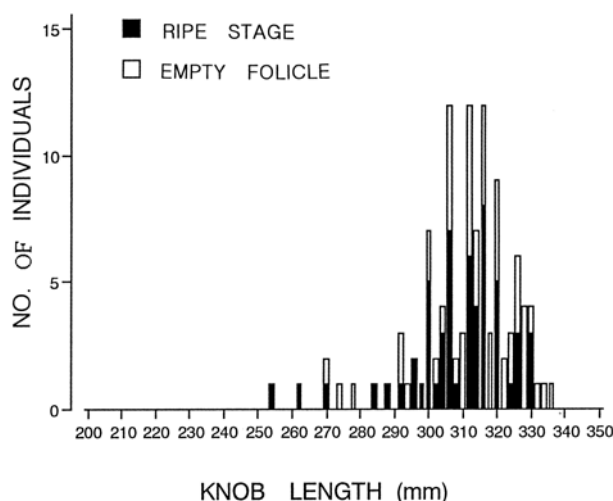
卵巣断面の中心部に集まり、纏絡糸でお互いにつながっている。中心の完熟卵を取り囲むように未発達な卵が見られ、卵巣膜は成熟期にみられた編目状の模様は消えて、第3次卵黄球期にみられたような斑点状となる。

#### (7) 成熟度VI

外見は成熟度IV-3に酷似するが、卵径が大きな卵はこれより少なく透明度も薄いため、卵巣膜の斑点状の模様は少なく、吸収とともに不明確となっていく。実体顕微鏡で観察すると、しばしばつぶれたボール状の卵巣卵が観察される。しかし、吸収が進んだ個体では成熟度I, II, IIIおよびVIIの個体との区別は困難である。

#### 5) 成熟体長の推定

産卵個体の体長を明らかにするため、卵巣内に完熟卵または排卵後濾胞を持っている個体の体長を調べた (Fig. 23)。今回採集された個体の中で、成熟期で最小の個体は253mmであった。しかし、完熟卵をもつ成熟期の個体のうち、体長280mm以下の中型群は3個体のみであり、他は体長281mm以上の大型群であった。



**Fig. 23.** Size composition of Pacific saury in running spawning phase

また、排卵後濾胞が観察された155個体のうち、6個体は中型群であったが、それ以外は大型群であった。このように、一部の個体は中型群で成熟するが、産卵魚

Table 7. Stage composition in each maturity stage

KnL (mm)	Sampling date	Location		Maturity stage	No. oocyte												
						N	YV1	YV2	Y1	Y2	Y3	M	R	ATI	ATII*		
294	Sep. 12 '91	37° 30'	144° 52'	II	156	74	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
312	Sep. 12 '91	37° 30'	144° 52'	III	250	88	9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	
295	Sep. 12 '91	37° 30'	144° 52'	III	179	85	15	1	—	—	—	—	—	—	—	—	
308	Sep. 22 '91	35° 50'	141° 15'	IV-1	242	80	17	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
301	Oct. 6 '91	36° 17'	140° 50'	IV-2	178	60	18	3	4	15	—	—	—	—	—	—	
325	Oct. 23 '91	36° 10'	141° 21'	IV-3	147	54	16	10	3	—	16	—	—	—	—	—	
313	Oct. 23 '91	36° 10'	141° 21'	V-1	56	46	14	13	—	14	—	13	—	—	—	—	
305	Oct. 31 '91	36° 15'	141° 46'	V-2	71	65	8	13	4	—	6	—	4	—	—	—	
298	Oct. 6 '91	36° 17'	140° 50'	VI	116	66	17	5	—	—	—	—	—	—	11	—	
301	Oct. 6 '91	36° 17'	140° 50'	VII	88	82	10	2	—	—	—	—	—	—	—	—	6

\* : N; nucleous stage, YV1; early corycal alveoli stage, YV2; late corycal alveoli stage, Y1; primary yolk stage, Y2; secondary yolk stage, Y3; tertiary yolk stage, M; maturation stage, R; ripe stage, AT I; atretic stage I, AT II; atretic stage II.

の主体は大型群であると推定された。

#### 6) 卵巣卵組成および卵径頻度分布

サンマの卵発達の特徴を調べるため、卵巣卵組成および卵径頻度分布を調べた。

卵巣卵組成の検討には、成熟度II（卵黄胞前期）以降の6期10個体を用いた（Table 7）。成熟度IV-1（第1次卵黄球期）までは各成熟度の卵が連続して観察されたが、IV-2（第2次卵黄球期）以降は不連続となっていた。V-1（成熟期）の個体では、第1次卵黄球期の卵は観察されなかったが、V-2（完熟期）では第2次卵黄球期を除く全ての発達段階の卵が見られた。成熟度VII（退行期I）では、卵黄胞期の卵と退行期の卵で組成されていた。

卵径頻度分布は、IV-1（第1次卵黄球期）までは0.6 mm以下の単峰型であるが、IV-2（第2次卵黄球期）以降は卵型頻度にモードが現れ、IV-3（第3次卵黄球期）とV-1（完熟期）では2峰型を示し、さらに完熟期では3峰型を示した。VI（退行期I）では再びなだらかな単峰型を示し、VII（退行期II）では再び0.6 mm以下の卵のみとなる（Fig. 24）。

以上の結果より、サンマにおいては卵黄の蓄積が開始すると、その卵群は急速に卵径を増し排卵にいたること、成熟または排卵された卵を持つ個体においても、卵黄形成中の次の卵群が現れることが明らかになった。

#### 7) バッチ産卵数の推定

一回の産卵で産出される卵の数、すなわちバッチ産卵数を推定するために、成熟度が分かっている個体を

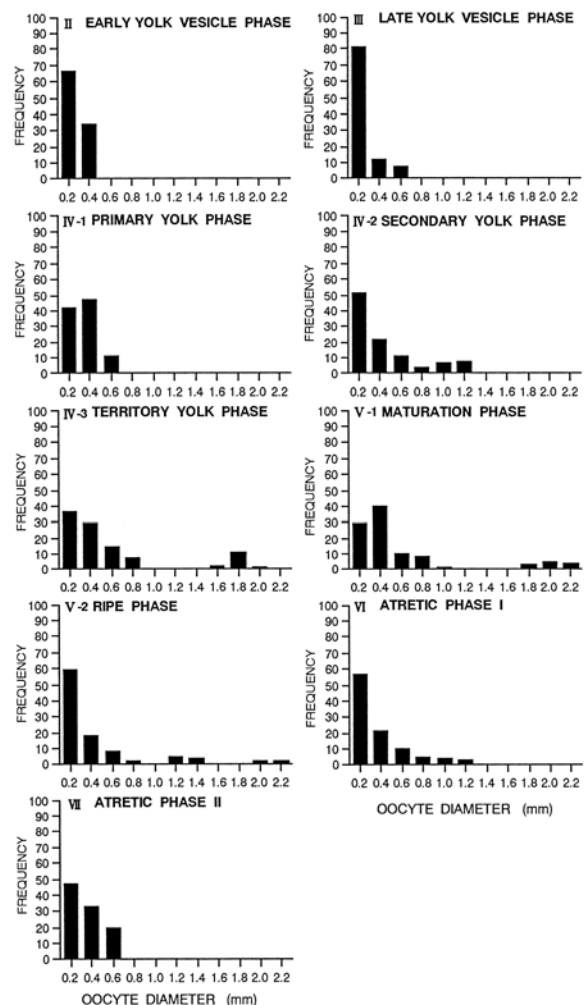


Fig. 24. Oocyte diameter distributions in each stage of maturity of Pacific saury

用いて推定を行った。卵巢卵組成および卵径頻度分布より、成熟度IV-3（第3次卵黄球期）以降の個体では、産卵される卵は未発達な卵とは明確に区別できる卵群を形成することが示されたため、計数には、体長273~336mmのIV-3の51個体を用いた。

成熟度IV-3期からV-2（完熟期）に至る間に退行卵がほとんど見られないため、この時期に顕著に現れた分離した卵径モードを持つ卵細胞の卵数を、バッチ産卵数とした。なお、V-2期の個体では、排卵された卵の一部が体外に出ている可能性が考えられるため、バッチ産卵数の計数は不可能と考え除外した。

計数の結果（Fig. 25）、体長273~336mmの51個体の卵巢中には、491~3,920個（平均=1,934.21 S.D.=808.75）の第3次卵黄球期の卵巢卵が存在した。また、排卵後濾胞が観察された個体には成熟期の卵が残っていないことから、この数が一回の産卵における産卵数であると推定された。

なお、標本中の最小個体（273mm）の卵数は1,461個、最大の個体（336mm）では3,920個で、計数した標本中では最も多かった。しかし、計数した卵数と体長を直線回帰させたところ、相関関係は認められなかった（ $r^2=0.128$ ）。サンマでは体長がバッチ産卵数に及ぼす影響は少ないと考えられた。

8) 肥満度

成熟に伴う肥満度の推移を明らかにするため、すべてが未熟魚と考えられた中型魚を除き、大型群のみで成熟度と肥満度の関係を比較した（Fig. 26）。その結果、卵黄胞前期では $5.73 \pm 0.65$ 、卵黄胞後期では $5.12 \pm 0.38$ であったが、産卵が近いと思われる卵黄形成期（4.25）および成熟・完熟期（ $4.35 \pm 0.13$ ）の個体では肥満度は低くなり、退行期Iでは $5.38 \pm 0.10$ 、退行期IIでは $5.42 \pm 0.38$ と再び高い値を示した。

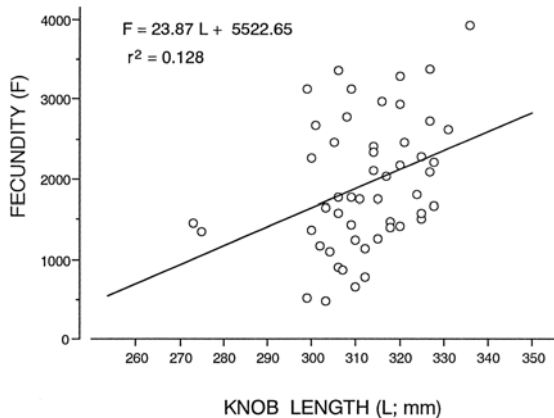


Fig. 25. Relationship between knob length and the number of oocyte in the territory yolk stage

9) 成熟度と水温の関係

最後に各成熟期の個体が採集された採集点の表面水温を検討した（Fig. 27）。今回サンマが採集された採集点の表面水温は、8.4~23.6 °Cであった。成熟度V

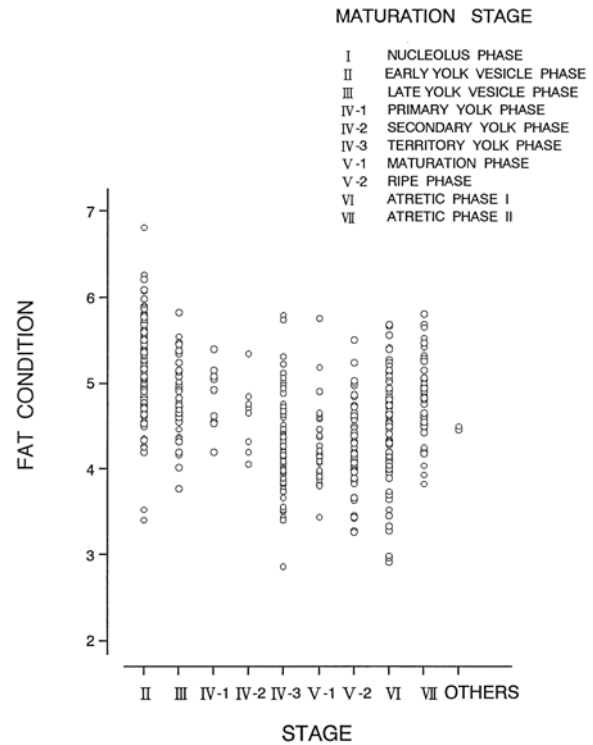


Fig. 26. Relation between stage of maturity and condition factor in female large-size Pacific saury

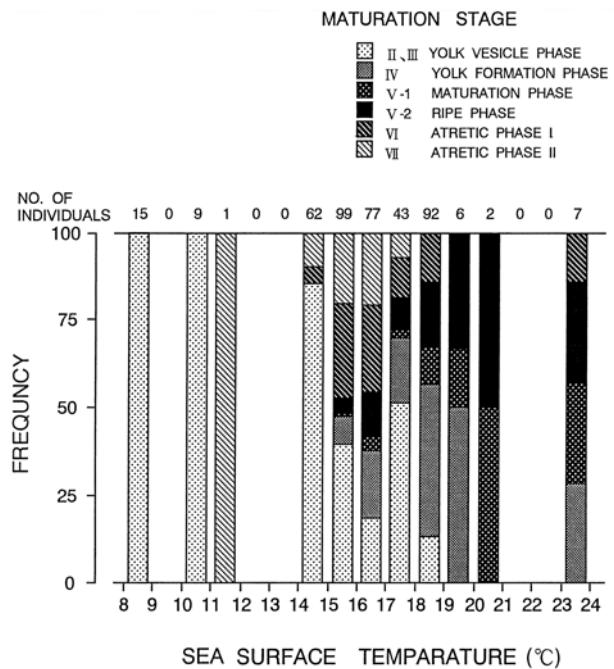


Fig. 27. Relation between sea surface temperature at sampling stations in the central North Pacific Ocean and stage of maturity

の産卵中の個体は、表面水温が15.2°Cから23.3°Cで採集された。成熟度IV以降の個体も15°C台以上の海域で採集されているが、23°C台では成熟度IV-3（第3次卵黄球期）、成熟度V（成熟期、完熟期）および成熟度VI（退行期I）の個体が採集された。成熟度VIの個体は14°C台から採集されているが、成熟度VII（退行期II）の個体は11.8°Cから17.5°Cで採集されている。また、卵黄胞前期と後期の個体は8.8°Cから17.1°Cの幅広い水温帯で採集されている。

### 3. 考 察

本章ではサンマの成熟特性を明らかにするため、卵巣の組織学的な観察を行った。その結果、サンマの卵発達様式は典型的な非同期発達型であった。このタイプの卵発達を示す魚種は一般に産卵期が長く、その間に発達した卵細胞から卵黄形成期への卵の補充が起こることが知られている。今回の観察でも、完熟卵を持った個体の卵巣中には周辺仁期から卵黄胞後期、卵黄が形成され始めたばかりの第1次卵黄球期および卵黄蓄積が進んだ第3次卵黄球期の卵が同時に観察された。ただし、卵巣卵組成、卵径頻度分布とも、未発達な卵から最も発達した卵にかけて、2から3つのモードが認められた。このことから、サンマは一産卵期に数回産卵するタイプであると考えられる。

サンマは一産卵期に複数回産卵するであろうことは、生殖腺の卵径頻度分布、あるいは生殖腺の組織学的観察から、古くから知られてきた（Hatanaka, 1956; 久保, 1954; Sato, 1981; 小坂, 1980, 1991; 小坂ら, 1976）。これらの産卵魚の体長は280mm以上の個体が主体であり、中型群では卵黄胞前期までの個体が主体であったのに対し、大型群では卵黄胞前期以降の各成熟度の個体がみられた。つまり、調査を行った海域では、一般に中型群と言われるサイズから大型群と言われるサイズに達する間に初回成熟に達すると推定された。

サンマの成熟体長については、中型魚と大型魚が主体であることは既に知られている（Hatanaka, 1956; 堀田, 1960）が、その一方で、日本海（菅間, 1957）や駿河湾（堀田, 1960）では、体長 200mm前後の個体が産卵を行っていることを報告している。今回の結果では、最も小さな産卵あるいは排卵後濾胞が観察され経産と推定された個体の体長は 253mmであり、小型群以下の個体では全てIII（卵黄胞後期）以前であった。そのため、初回成熟は中型群以降に起こると思われる。調査海域では小型の成熟魚は出現しないと考えられた。小型で成熟する個体については、その分布を詳しく調査した上で成熟過程についても年齢や成長とと

もに詳細な研究が望まれる。

卵黄が形成され始めた卵細胞は急激に径を増し、外見的には透明感を増すようになるため、未熟な卵と容易に区別ができた。成熟度と卵径頻度分布を対応させると、未熟な卵群と卵黄蓄積が進んでいる卵群の、明瞭な2つのモードが見られた。このことから、サンマでは産卵期に入っても卵黄胞期の卵細胞から完熟卵に向かう卵群が形成され、一産卵期に数回の産卵を行うことがわかる。排卵後濾胞は第2次卵黄球期以降の個体で観察されたことから、排卵が起きた時点で、次に産卵される卵は第2次卵黄球期以降に達していると推定された。したがって、卵径頻度分布に明確な2つのモードが出来た時点で卵の計数を行うこと、計数の際に退行期の個体が混入しないよう注意すること、および排卵が起きた個体では腹部を圧迫した際に卵が搾出されることを注意することによって、サンマのバッチ産卵数は比較的容易に把握できるものと思われた。このバッチ産卵数に関しては、Hatanaka (1956) がその卵数を 300~4,500個、久保 (1954) が120~1,720個、小坂 (1991) が947~2,547個と報告している。今回の結果では平均2,000程度であり、その範囲は500から4,000程度と推定された。久保の報告に関しては、バッチ産卵数の見積りが若干低いとも考えられるが、いずれの報告でも成熟直前あるいは成熟魚から卵数を計数しており、その計数方法には大きな問題がないと思われる。サンマのバッチ産卵数は、久保 (1954) も指摘しているように体長との相関関係は非常に低く、今回の結果 ( $r^2=0.128$ ) では産卵数は体長以外の要因に大きく左右されると思われる。この要因については産卵期、産卵海域、および産卵回数に影響とともに検討する必要がある。

成熟の主体となっている大型群の肥満度を成熟度ごとに比較すると、V-2（完熟期）、VI（退行期I）、VII（退行期II）、III（卵黄胞期II）の順に増加しており、産卵後の個体で肥満度が回復していることが確認できた。これは、産卵後にも摂餌して生残する個体が存在する可能性が考えられた。産卵終了間際の個体には、卵黄形成中の卵から退行した退行卵が観察された。これは、産卵が終了する間際まで卵形成が継続されるが、産卵終了とともに発達途上の卵群が退行・吸収されてしまうと推定された。退行卵の出現は、非同期発達型を示す他の魚種、例えばメダカ（Yamamoto and Yoshioka, 1964）、北米カタクチイワシ *Engraulis mordax*（Hunter and Macewicz, 1985）、マイワシ *Sardinops melanostictus*（村山ら, 1990; Mastuura et al., 1991）シマガツオ *Brama japonica*（尹, 島崎, 1981）でも知られている。これらの退行卵は、最終的



には吸収が進んで確認が出来なくなるものと思われる。メダカでは卵黄形成中の卵が観察されない10月から2月の間の卵巣内組成は、周辺仁期、卵黄胞期および少数の退行卵からなると報告されている (Takano, 1964)。サンマにおいては、大型魚の中に、卵黄胞前期の未熟な成熟度に相当する個体が出現した。これら個体は、産卵後の退行卵や明確な痕跡は認められないが、一部の個体では肥満度も低いことから、産卵を経験した個体である可能性も推定される。

本研究では、卵巣薄板が肥厚し、卵巣中の卵が極端に少ない個体が2個体現れた。この個体は、体長が328および337mmと大型群の中でも大型に属し、生殖腺の状態は明らかに成熟度Ⅰ～Ⅶの個体とは明らかに異なっていた。この2個体は、産卵が終わって卵原細胞から卵黄胞期以降の卵の補給が停止しているか、卵原細胞そのものを使い果たした、産卵を完全に終了した個体であると推定される。しかし、卵巣中には退行卵が観察されず、成熟度Ⅵ (退行期Ⅰ) およびⅦ (退行期Ⅱ) の個体とは異なっていた。産卵が完全に終了した個体は、生殖腺がこのような状態になると推定されるが、この状態の個体はわずか2個体しか現れなかったことから、多くの個体では、卵巣中の卵細胞を使い果たす前に死亡すると推定される。

なお、排卵後濾胞が産卵後も卵巣中に長期にわたって観察される種、たとえばスケトウダラ *Theragra chalcogramma* (尹, 1981) などでは、経産魚を卵巣中の排卵後濾胞によって推定できる場合がある。しかし、今回の観察では、完熟期の個体でも排卵後濾胞が観察される割合が低かったことから、本種の排卵後濾胞は、メダカ (香川, 高野, 1979) や北米カタクチイワシ (Hunter and Macewicz, 1985) などと同じく、産卵後は比較的早い時期に吸収・消失すると推定された。したがって、排卵後濾胞の有無による経産魚の推定は困難であろう。

未熟個体と成熟個体では、採集海域の表面水温に明確な差が認められた。すなわち、成熟した個体は15.2℃以上、特に18℃以上の採集点で多く採集されたが、15℃以下では卵黄胞期および退行期Ⅱのみ採集されている。サンマは、脂質を体腔や腹部普通肉および皮下に蓄えることが知られている (原ら, 1982a)。これらの脂質は卵巣の発達、特に卵黄形成に寄与しているため、肥満度が急激に低下すると考えられた。また、サンマは大型群の中でも16～17℃付近を境に高水温域と低水温域で成熟の状態が大きく異なっていることは、高水温域で産卵し海域として、低水温域で活発に索餌し、一部は産卵後の回復のための栄養蓄積の場として利用しているものと推定される。目黒ら (1987) は、亜寒

帯海洋前線を横断するよう設定された採集点でサンマを採集し、肥満度および生殖腺重量の南北差を比較したが、南側では肥満度が低く生殖腺重量が高い個体、北側では肥満度が高く生殖腺重量が低い個体が採集され、前者を産卵群、後者を索餌群とみなしている。本研究の結果では、この索餌群の中にも産卵後の退行期の個体が含まれることが示唆され、本種は南側の海域で産卵を行った後に北側海域で索餌し、産卵後の疲弊した状態が回復したのちに南下して産卵する可能性が示された。

## 第5章 サンマの回遊、成長と成熟の関係

サンマが春季から夏季にかけて北上し、8月から漁獲される個体は南下の途中であることは多くの報告がある (小林ら, 1968; 福島, 1979など)。福島 (1979) は、回遊過程を北上期、南下期および越冬期の3期に分けて、それぞれの魚群の分布、移動と環境条件の関連を述べている。しかし、本種に関する年齢の知見が充分ではなかったため、回遊に伴う成長および成熟の関連は明確になっていない。また、本種では産卵期にいくつかのピークがあることは明らかになったが、各季節ごとに再生産サイクルが独立して、春生まれ群、秋生まれ群などの季節別系統群 (堀田, 1960) が存在するのについても、不明である。

そこで、本章では前章までに得られた成長および成熟特性の知見を、海域別、時期別に検討することにより、時空間的にサンマの成長と成熟過程をとらえ、回遊との関係を検討した。そして、サンマの年齢、成長および成熟の関係を包括した生活環を明らかにすることを目的とした。

### 1. 材料と方法

本章で用いた材料は、本研究の第2章から第4章で用いた標本である。すなわち、1991年2月に本州南方海域、1991年6月から12月および1992年5月から12月に本州東方から北海道東方海域、および1991年11月から1992年2月に和歌山県那智勝浦周辺海域で採集された個体である。ここでは、5月から7月に本州東方から北海道東方海域で採集された個体を北上群、9月から12月に同海域で採集された群を南下群、1991年2月および1991年11月から1992年2月に本州南方海域および和歌山県那智勝浦周辺で採集された群を冬季群と便宜的に3つの群に分けて扱った。

耳石日周輪による日齢査定および耳石タイプの区分には、第2章および第3章の結果に従った。

## 2. 結 果

## 1) 1991年から1992年における採集点の推移

本研究でサンマが採集された採集点の月別推移を検討することにより、この時期におけるサンマの移動を推定した (Fig. 28-A~L)。

1991年2月 (Fig. 28-A) には、北緯 35°以南の本州南方海域で採集されているが、6月 (Fig. 28-B) には採集点が北に移り北緯 35°以北の海域で採集されている。7月 (Fig. 28-C) および9月 (Fig. 28-D) には採集点はさらに北上して北緯 40°以北に移ったが、10月 (Fig. 28-E) からは南下して北緯 35°付近で再び採集されている。11月 (Fig. 28-F) に入ると北緯40°以南で採集され、和歌山県那智勝浦でも採集されている。

1992年6月 (Fig. 28-J), 11月 (Fig. 28-K) および12月 (Fig. 28-L) には、前年の同月とほぼ同様な海域で採集されている。

本研究では、冬季に本州の南方の海域で、夏季に北海道から東方の北方海域で、春季と秋季には本州東方沖でサンマが採集されていた。

## 2) 体長組成の推移

本研究で採集されたサンマの体長組成の経時的変化を見るため、1991年冬季群 (本州南方), 1991年北上群, 1991年南下群, 1991~1992年冬季群 (那智勝浦), 1992年北上群, 1992年南下群の6群に分けて、体長組成を示した (Fig. 29)。

サンマの体長組成は、280~290mmおよび240mmを境に、一般的に大型、中型および小型などのモードに分けられている (堀田, 1960; 松宮, 田中, 1974) が、本州南方海域で1991年2月に採集された個体はモードが260~270mmの中型に属する群であった。一方、1991年北上群から1991年冬季群までは体長モードが300mm前後にある大型群のみが採集され、その体長組成は単峰型を示した。

これらの体長組成のモードは、1991年の北上期には290~300mmを中心としていたが、南下期には300mm付近、那智勝浦では300~310mmにあり、調査を行った約半年の間にモードの中心は約20mm上がっていた。

## 3) 体長組成と耳石タイプ

体長組成の項で検討した体長組成を、さらに耳石タ

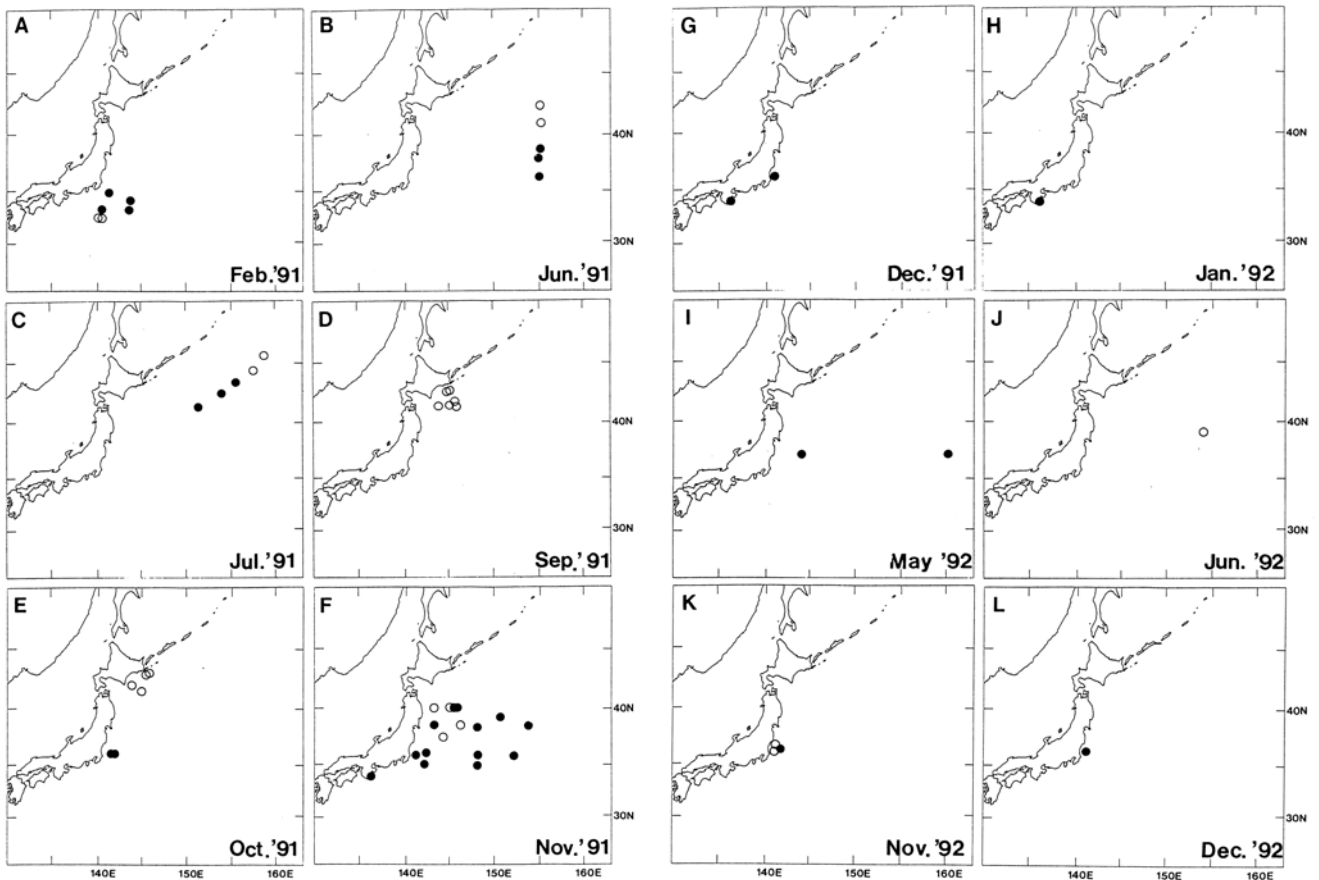


Fig. 28. Sampling locations where the sauries caught. ● show the locations where the running spawning sauries caught.

イブ別に検討した (Fig. 30)。1991年2月にはモードの中心が275~280mmにあったが、300mm以下の30個体のうち14個体がⅢ'タイプで最も多かった。6月および7月にはモードの中心は290~300mmに現れたが、耳石タイプはⅣタイプが主体となり、6月には33.3% (N=69)、7月には52.0% (N=150)であった。11月以降はモードの中心が300mm以上に達し、耳石タイプは2本目の輪紋が形成されているⅣ'タイプが主体であり、11月に57.8% (N=218)、12月に74.34% (N=152)、1月に63.3% (N=60)であった。

1991年6月から7月の北上期に採集された体長290~300mmにモードを持つ群は、9月以降の南下期および冬季群の耳石がⅢ'タイプを主体とする群と同一であり、10月以降に耳石に2本目の透明帯が形成され始めたものと推定された。すなわち、前項の結果とあわせて、北上期から南下期に大型群はおよそ20mm成長したと考えられた。

なお、1992年の5月から12月の体長組成と耳石タイプの関係も検討したところ (Fig. 31)、中型群には11月以降最初の透明帯が形成されているⅢ'の耳石を持つ個体が、11月に71.1%、12月に76.1%現れた。この時

期に、体長280mm以下の個体には、最初の透明帯が形成されることが明らかになった。

#### 4) 体長組成と成熟度

季節ごとの体長組成と成熟度の関係を明らかにするため、1991年2月から1992年1月 (Fig. 32) および1992年5月から12月 (Fig. 33) にかけての体長組成と成熟度を検討した。

1991年2月から1992年1月の体長組成と成熟度を見ると、2月には成熟度を調べた15個体のうち体長250mm以上の13個体全てが成熟度Ⅳ (卵黄形成期) から成熟度Ⅵ (退行期Ⅰ) の個体であった。6月および7月には成熟度Ⅴ (産卵期) の個体は281mm以上の個体に現れたが、この月には成熟度Ⅱ (卵黄胞前期) から成熟度Ⅶ (退行期Ⅱ) の個体まで含まれていた。6月の42個体および7月の79個体における成熟度Ⅴはそれぞれ19.0%、17.7%、成熟度Ⅵ 19.0%、1.3%、成熟度Ⅶは16.7%、0%であった。9月 (N=77) には成熟度Ⅱの卵黄胞前期、すなわち未熟な個体が最も多く63.3%に達しており、次いで成熟度Ⅲ (卵黄胞後期) 7.8%、成熟度Ⅵ (退行期Ⅰ) および成熟度Ⅶ (退行期Ⅱ) が1.3%で各1個体であった。そして、10月から産卵中の成熟度Ⅴの個体の割合が増加し、10月は3.9% (N=51)、11月に20.1% (N=139)、12月32.8% (N=58)、そして1992年1月には28.0% (N=25)であった。また、1月にはすべての個体が成熟度Ⅳ (卵黄形成期) から成熟度Ⅵ (退行期Ⅰ) であった。

1992年5月~11月の体長組成と成熟度の比較では、5月には採集された284mm以上の個体は成熟度Ⅳ~Ⅶであり、全てが産卵直前から産卵後の個体であった。一方、6月に採集された個体は、全てが300mm以上であったにもかかわらず、1個体を除いて成熟度ⅡまたはⅦであった。11月以降には、大型群のほか中型群でも産卵または産卵中の個体が現れ、11月には、体長267mmの個体が1個体のみ成熟度Ⅵであり、12月には中型群のうち成熟度Ⅳが1個体、成熟度Ⅵが2個体、そして成熟度Ⅶが4個体であった。

5月~7月の北上期には、大型群の多くが卵黄形成中から産卵後であったが夏季には未熟な状態になっていた。10月以降の南下期には、卵黄形成中から産卵後の個体の割合が再び増加しており、この時期には中型群の一部も成熟を開始していた。

#### 5) 成熟と耳石透明帯の関係

前章までに、透明帯が主に冬季を中心に形成されることが明らかになっている。しかし、その一方でこの時期以外にも透明帯が形成されている個体が存在する。

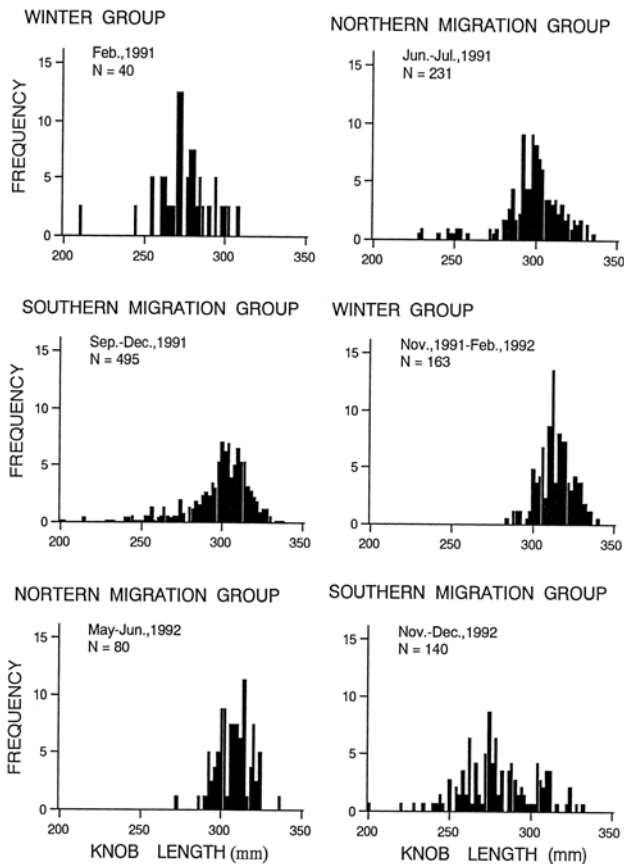


Fig. 29. Change of the size compositions from February 1991 to December 1992

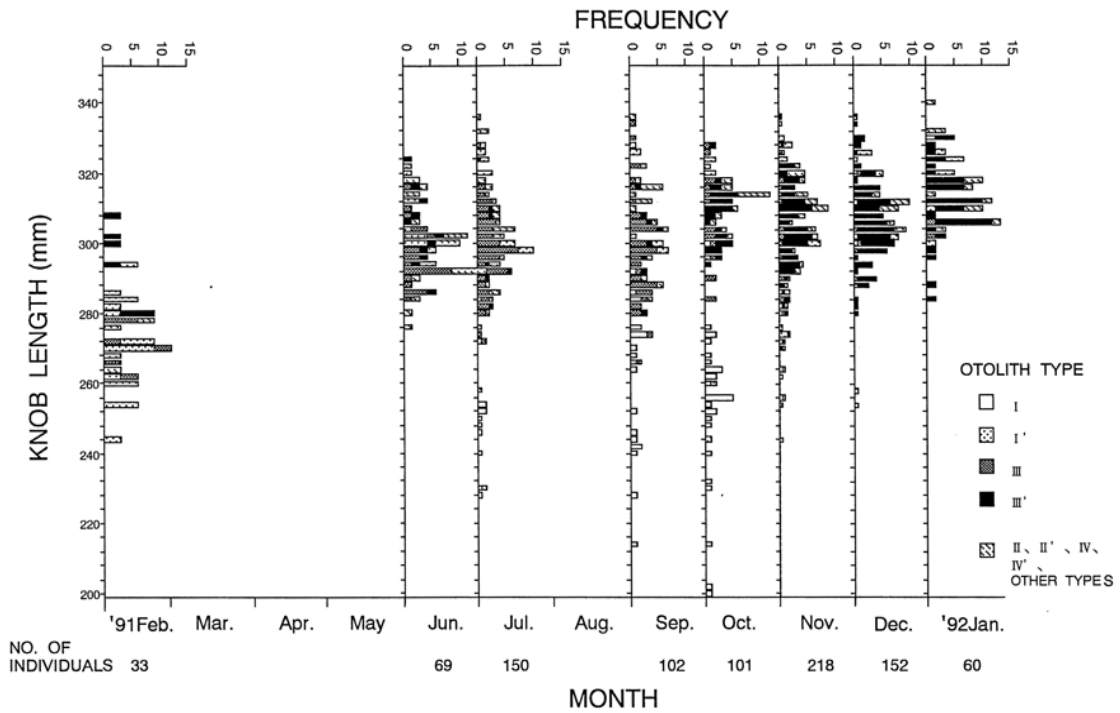


Fig. 30. Monthly change in size composition and occurrence of type I, type I', type III, and type III' otoliths in Pacific saury in the western North Pacific Ocean from February 1991 to January 1992

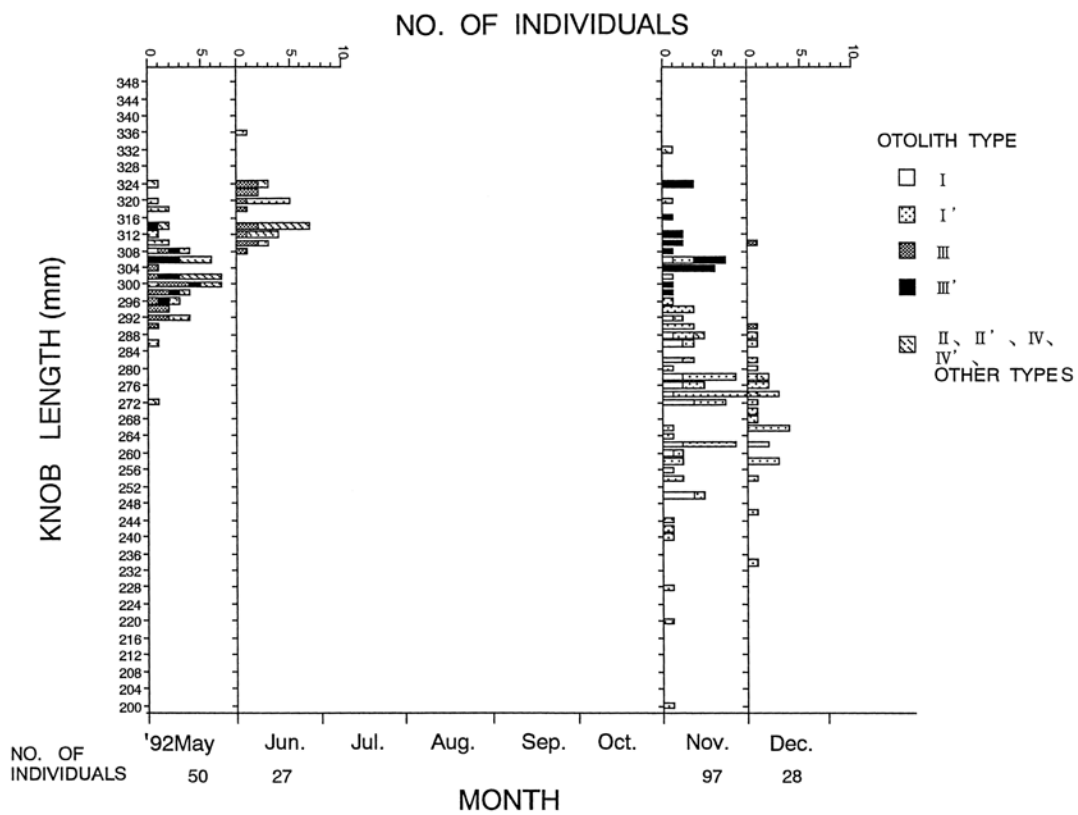


Fig. 31. Monthly change in size composition, and occurrence of type I, type I', type III and type III' otolith in Pacific saury in the Western North Pacific Ocean from May to December in 1992

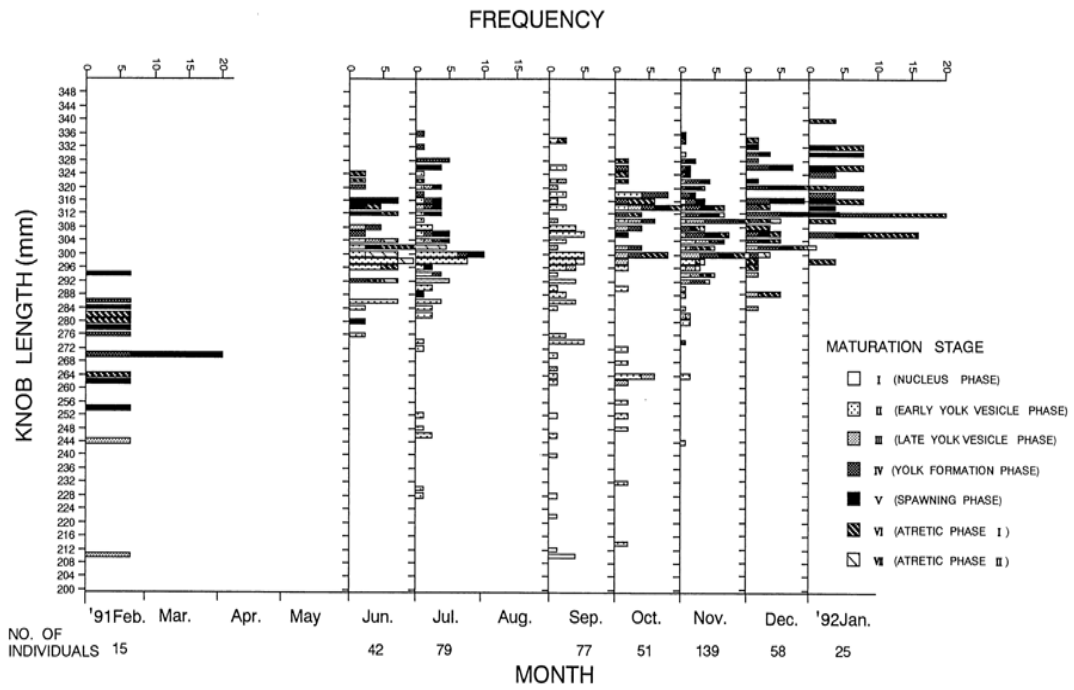


Fig. 32. Monthly change of size composition, maturity stage from February in 1991 to January in 1992

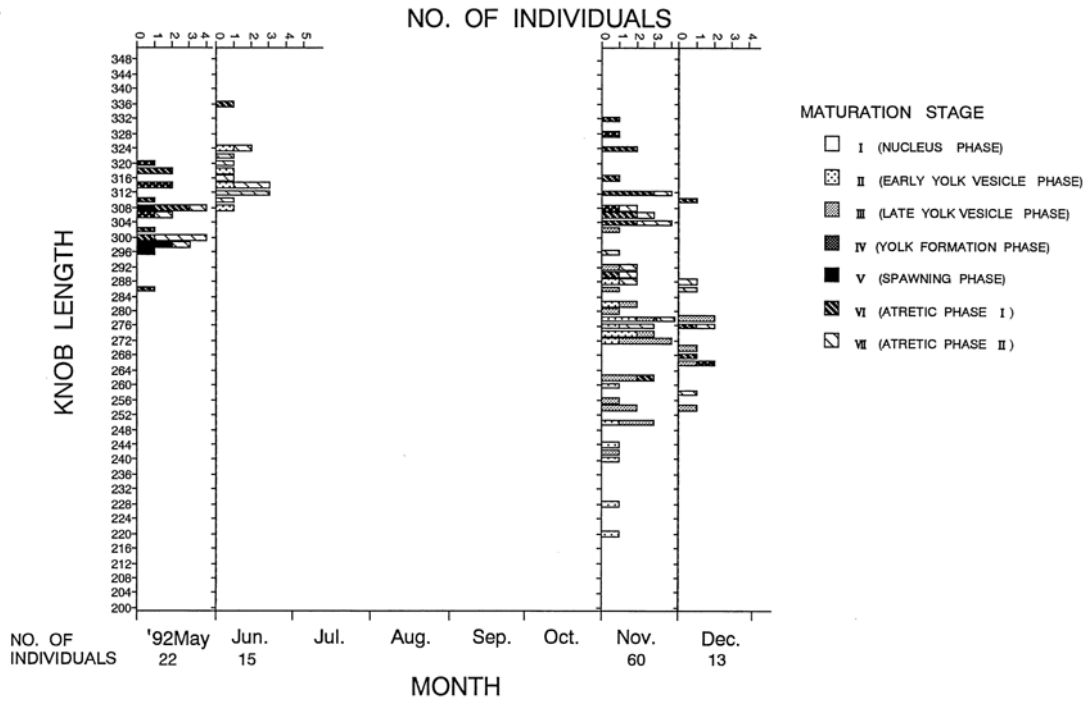


Fig. 33. Monthly change of size composition, maturity stage from May to December in 1992

そこで、耳石透明帯形成要因として、季節的要因以外に考えられる成熟と耳石透明帯の形成と成熟との関係を調べた。

そのため、産卵の中心となっている大型群について、成熟度Ⅲ、Ⅳ～Ⅴ、ⅥおよびⅦの4段階に分け、それぞれ月ごとに耳石の各タイプの割合を比較した (Fig. 34)。その結果、どの成熟段階でも12月から2月には、いずれも80%以上の個体に透明帯が形成されていた。

さらに、生殖腺重量および肥満度と透明帯の形成の関係を検討した。その結果、生殖腺重量または肥満度の大小にかかわらず、耳石縁辺部に透明帯が観察される個体とされない個体が出現した (Fig. 35)。

このように、成熟と耳石透明帯の形成の間には明確な関係はないと思われた。

6) 産卵海域とその水温

各月ごとの産卵海域およびその海域の水温を検討するために、1991年にサンマが採集された採集点 (Fig.

28) および月ごとの成熟度と水温の関係を示した (Fig. 36)。

1991年の2月には、北緯35°以南の南方海域で産卵中の成熟度Ⅴの個体が採集され、採集点の表面水温は16.7～17.7℃であった。北上期の6月および7月には、サンマが採集された採集点は北に移り、それぞれ北緯36.2度および40.0度以北であった。また、各月の採集点の南側の採集点で産卵魚が採集されており、その水温は15.5～18.4℃であった。9月には北海道近海の水温14.3～16.4℃の海域で採集を行っているが、産卵中の個体は出現しなかった。10月以降では、北緯35度付近の水温18度台の高水温域で採集された標本中に、ふたたび産卵中の個体が出現した。11月には本州東方で採集を行った16点のうち12点で成熟度Ⅴの個体が出現し、その表面水温も15.2～23.4℃の広範囲にわたった。また、11月から那智勝浦周辺でもサンマが採集されて

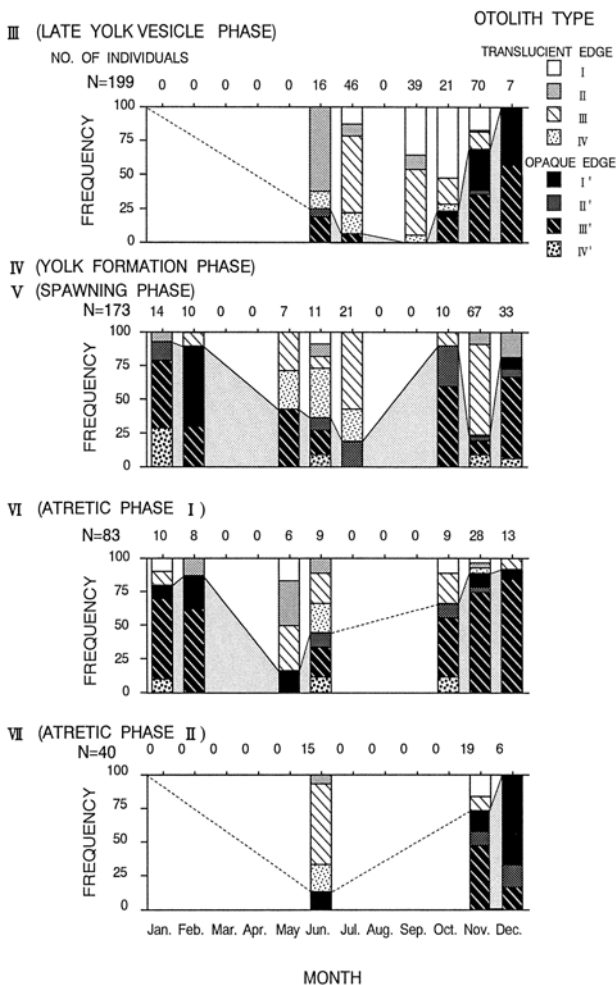


Fig. 34. Monthly change of maturity stage in each otolith type

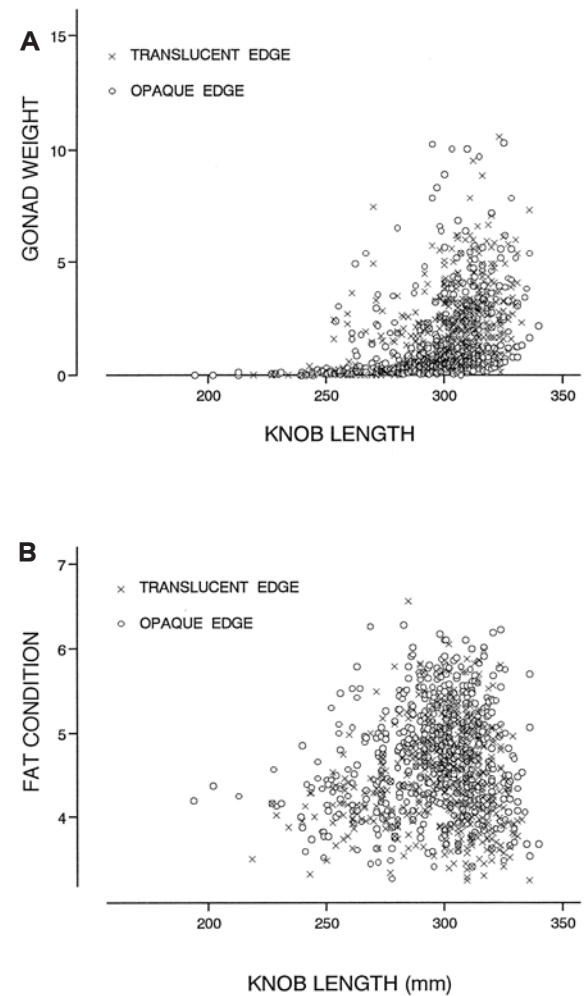


Fig. 35. Examination of a formation factor of otolith hyaline zone. A, Relationship between the condition of otolith edge and gonad weight. B, Relationship between the condition of otolith edge and fat condition.

いる。12月は茨城県沖の1点（表面水温16.0℃），および那智勝浦で採集を行っているが，いずれも産卵中の個体が採集されている。

7) 日齢と成熟度

最後に，成長と成熟の関係を検討するために，日齢と成熟度を対応させた（Fig. 37, Table 8）。北西太平洋で日周輪が計数できた35個体のうち，体長210~302 mmの16個体が雌であり，その成熟度はI（周辺仁期）からVII（退行期II）にわたっていた。

これらを，ふ化時期に対応させると（Fig. 38），体長292mmの産卵期（成熟度V）の1個体は，日齢が554（18.5ヵ月）で前年（1990年）の2月に生まれたと推定された。また，成熟度IV（卵黄形成期）の個体も301mmの個体では，日齢は545（18.1ヵ月）であり，そのふ化時期は前年の1月であった。また，退行期（成熟度VIまたはVII）の個体は，体長が302~304mmであり，日齢は551（18.4ヵ月）~601（20.0ヵ月），ふ化時期は前々年（1989年）の10月から前年の2月であった。これ以外の大型群は成熟度II（卵黄胞前期）であった。

一方，前年の8月以降に生まれた261mm以下の個体の成熟度はIまたはIIであり，すべてが未熟な個体で日齢は最高で500（16.6ヵ月）であった。

このように，産卵を行っている個体は前年の2月以前に生まれたふ化後1年半以上を経過した個体と推定された。また，産卵中の個体の年齢が1.5歳以上である点については，中部北太平洋における結果と同様であった。

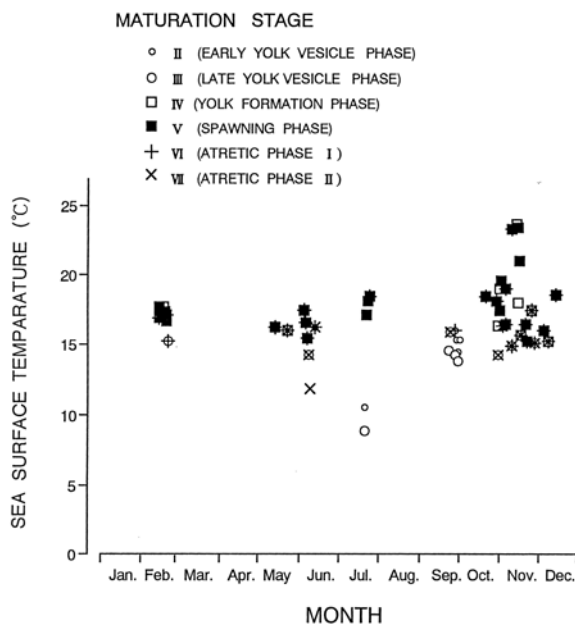


Fig. 36. Monthly changes of sea surface temperature at the sampling locations where Pacific sauries were caught, and stage of maturity of female Pacific saury

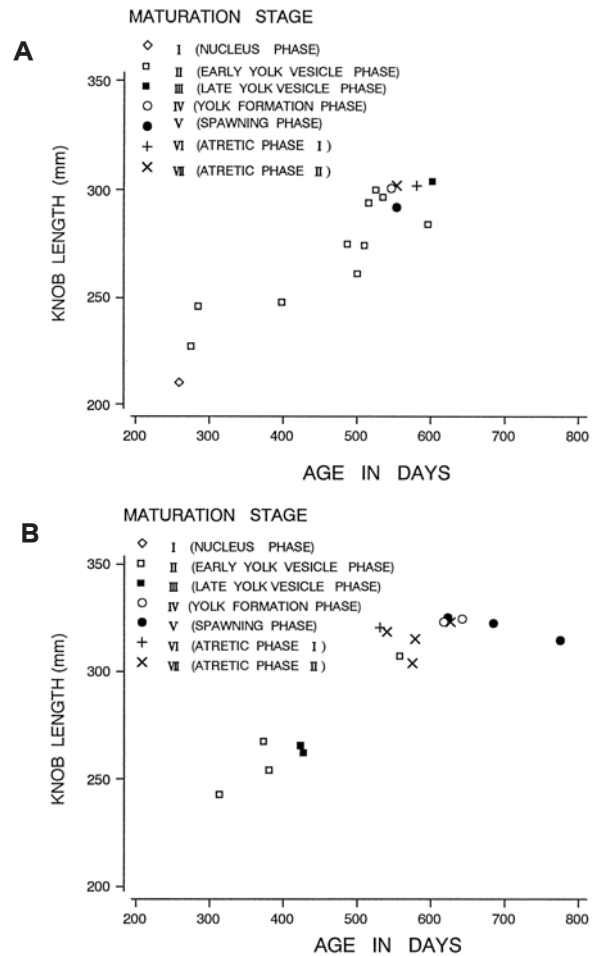


Fig. 37. Age in days, knob length, and stage of maturity of female Pacific saury. A, western North Pacific in 1991; B, central North Pacific in 1989.

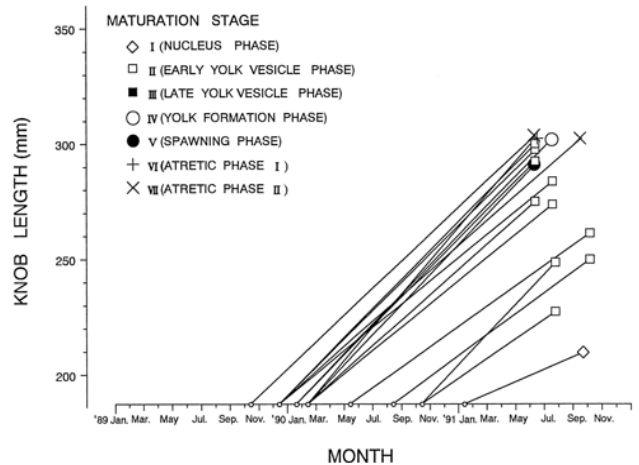


Fig. 38. Estimated month of hatching, knob length, and stage of maturity of female Pacific saury in western North Pacific in 1991

**Table 8.** Relationship between age in days, maturation stage, in the central and western North Pacific  
Central and western North Pacific

Sampling date	Knob length (mm)	No. increments	Estimated age in days	maturity stage
Jul. 31 '89	243	319	312	II
Jul. 30 '89	254	387	381	II
Jul. 31 '89	262	430	426	III
Jul. 30 '89	265	428	422	III
Jul. 31 '89	267	377	372	II
Jul. 21 '89	304	580	574	VII
Jul. 31 '89	307	565	558	II
Jul. 27 '89	314	781	775	V-1
Jul. 20 '89	315	584	578	VII
Jul. 31 '89	318	546	540	VII
Jul. 30 '89	320	536	530	VI
Jul. 27 '89	322	690	685	V-2
Jul. 31 '89	323	624	617	IV-1
Jul. 21 '89	323	632	626	VII
Jul. 30 '89	324	647	641	IV-3
Jul. 27 '89	325	628	622	V-2

## Western North Pacific

Sampling date	Knob length (mm)	No. increments	Estimated age in days	maturity stage
Sep. 25 '91	210	265	259	I
Jul. 23 '91	227	280	275	II
Jul. 23 '91	246	291	285	II
Oct. 2 '91	248	403	398	II
Oct. 2 '91	261	503	500	II
Jul. 22 '91	274	514	509	II
Jun. 9 '91	275	496	486	II
Jul. 22 '91	284	602	596	II
Jun. 10 '91	292	560	554	V-1
Jun. 9 '91	294	524	516	II
Jun. 9 '91	297	541	535	II
Jun. 8 '91	300	531	525	II
Jul. 26 '91	301	550	545	IV-3
Sep. 25 '91	302	586	581	VI
Jun. 8 '91	302	560	554	VII
Jun. 8 '91	304	606	601	II

## 3. 考 察

本研究の結果、漁期が始まっている9月以降に採集された個体のうち、大型群と称される体長280mm以上の個体には、耳石の透明帯が1本形成されていた。そして、漁期が始まる前の6月には、体長モードが

300mmよりやや小さい群には既に透明帯が1本形成されていたことから、この群が漁期中に大型群として現れると考えられた。さらにこの群は、6月にその日齢が500~550日すなわち1.5歳程度であること、そして産卵中の個体を含んでいたことから、本種は成熟までにおよそ1年半を要すると考えられた。一方、9月に



は産卵中の個体が出現せず、大型群の成熟度は過半数がⅡ（卵黄胞前期）であった。これは、産卵後に生じた退行卵が、北上海域での索餌期にはほとんど完全に吸収され、卵巣中は卵黄胞期以前の卵細胞のみになるためと考えられた。

一方、中型群と称される体長240~280mmの個体の耳石には、9月にはその耳石に透明帯が観察されなかった。そして、11月以降にこの群にも産卵中あるいは産卵後の個体が現れること、また前章で産卵魚の主体は体長280mm以上であると推定されていることから、秋季に入ってから中型群は初回成熟を迎え、その時点での年齢はおよそ1.5歳であると考えられる。すなわち、大型群と中型群では、ふ化時期および初回成熟の時期がおよそ半年ずれているものと考えられた。

福島（1979）によれば、サンマ群は4月頃から黒潮勢力の増加とともに北上し、夏季に千島東方海域で索餌してから8月上旬から南下を開始し、8月以降の漁期に漁獲されることを述べている。この回遊様式は、本研究で示された体長組成や耳石タイプの解析からも矛盾していない。

南下期初期の9月には卵黄胞前期の個体が主体で卵黄形成中の個体が出現なかったのに対して、10月以降では卵黄形成期から退行期までの個体が出現している。これは、卵黄形成が始まって産卵までの期間が非常に短いか、あるいは今回の調査海域の外側から経産の個体が加わったという2つの可能性が考えられる。しかし、8月から9月にはサンマの産卵水準が低いことが

知られており（深滝，1959；小達，1956a, 1962a；林，小達，1981；Watanabe and Lo, 1989），10月になってそれ以前に産卵を行った個体が，調査海域の外側から加わったとは考え難い。したがって，卵黄蓄積の開始から産卵まではおそらく1~2ヵ月以内であろうと思われる。

本研究を行った西部北太平洋においては，11月以降に中型群および大型群といわれる群が同海域で産卵していると考えられる。そして，南下回遊は成熟が進んだ個体および大型の個体が先行することが知られている（福島，1979）。本研究においてもその傾向は見られたが，大型群と中型群の成熟時期に若干のずれがあるにしても，両群は同時期に同海域で産卵を行う可能性が高く，堀田（1960）が述べているように，春生まれた群と秋生まれた群が互いに系群として独立する可能性は低いと考えられる。これは，サンマの集団遺伝学的研究から，両群に大きな差がないとする結果（Numachi, 1971；原ら，1982c）からも矛盾せず，独立した再生産サイクルがあるとは考え難い（Fig. 39）。

一方，冬季におけるサンマの分布の知見としては，千葉県から四国沿岸の定置網でサンマが漁獲されていること（木村，1956b），和歌山県の沿岸定置網では240~340mmの個体が漁獲され，12月~2月にかけて産卵するとみなされており（阪本ら，1989），この海域での漁獲量は東北海区のサンマ漁獲量と相関が高いこと（小坂，丹野，1984）などが知られている。さらに，冬季の黒潮以北の低水温域ではサンマがほとんど見られ

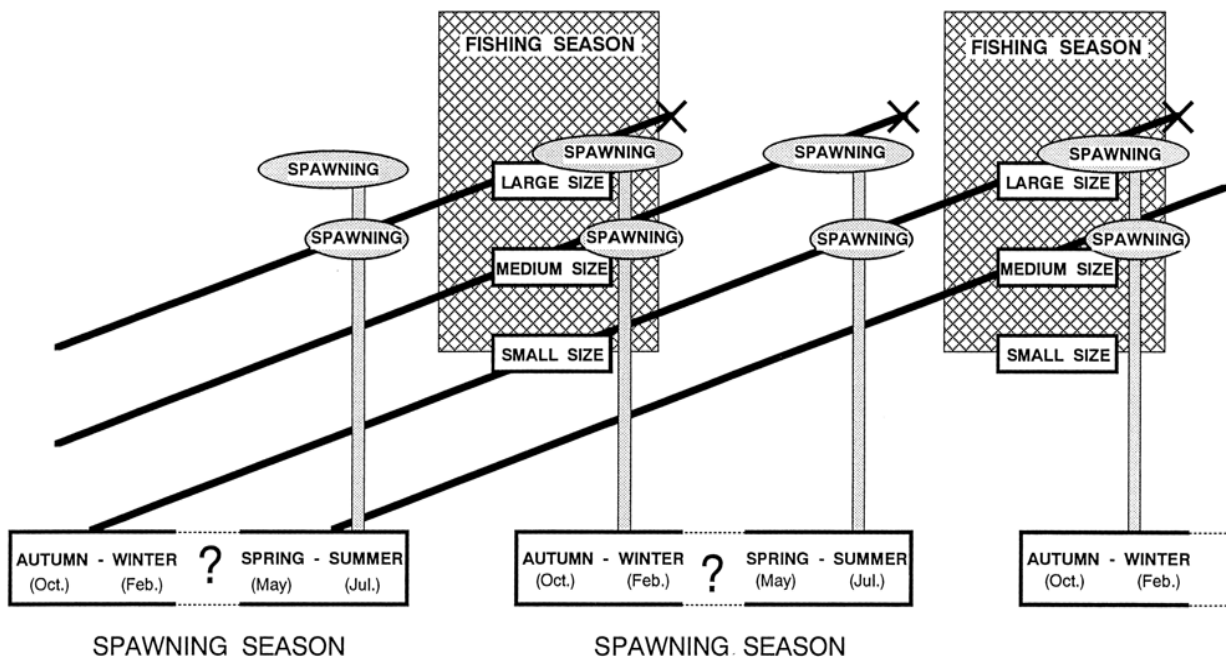


Fig. 39. Diagrammatic representation of the life history of Pacific saury which presumed in this study

ないこと(福島, 1979), 逆に黒潮周辺から反流域で稚魚が多数採集されること(福島ら, 1990)等が報告されている。以上の既往の知見からも, 本種は冬季間黒潮が影響する海域に南下しており, それよりも北の海域には分布していないことが想定される。本研究においても, 1991年2月に北緯35°以南の海域で, 1991年11月から1992年2月には和歌山県那智勝浦周辺海域で本種を採集できたが, これらはすべて産卵中もしくは産卵直後であった。このうち, 1991年2月に採集された標本は, モードが260~270mmにあり, 耳石には1本目の輪紋が形成中または形成後の個体であった。これらの個体は, 漁期中に耳石に透明帯が観察されなかった中型群に, 11月以降1本目の透明帯が形成されたと考えられる。一方, 1991年11月から翌年2月に那智勝浦周辺で採集された群は, モードの中心が310mmを越えていること, 耳石に2本目の透明帯が形成されているⅢ'タイプであったことから, これらは漁期中の大型群であろうと思われる。なお, 例年この海域では体長300mm以下の個体が主体となっている(阪本, 私信)。しかし, 1991年は漁期中の漁獲物に大型群が85%以上を占めた特異な年であり(東北区水産研究所, 1992), 那智勝浦で体長300mm以下の個体が非常に少なかったのも, 小坂, 丹野(1984)が指摘しているように, 熊野灘と東北海区の漁獲の関連性を示しているとも考えることもできる。これら冬季に採集された個体は, すべて産卵直前から産卵直後であり明らかに未熟である個体が出現しなかったことが, 顕著な特徴であった。

なお, 第2章において中部北太平洋と西部北太平洋のサンマ群の日周輪による日齢査定の結果を比較し, 両海域ではその成長に大きな差がないことが示唆された。同時に成熟に関しても, 両海域とも夏季の中型群は未熟で大型群が経産魚である点で一致しており, 日本海等で一部見られる小型で成熟する群(菅間, 1957; 堀田, 1960)を除き, 中部から西部北太平洋でのサンマの年齢, 成長およびその成熟には大きな差がないと考えられた。小達(1977)は, 東経160°を境として西側を北西太平洋群, 東側を中央太平洋群として一応分けているが, アイソザイムによって日本近海に來遊するサンマをいくつかの群に分けその移動を追跡した報告(原ら, 1982b, 1982c; 木島ら, 1984)や, 寄生虫 *Pennella* sp. の寄生状態から移動経路を推定した結果(Nagasawa *et al.*, 1985; 小坂ら, 1985; 渡辺ら, 1985)では, いずれも東経160°以東の沖合に分布する群が日本近海にも來遊する可能性を示している。以上のことから, 少なくとも東経175°以西の太平洋においては, サンマの群構造は分離できないと考えられ, 広範囲で回遊し, 生殖的に混合している可能性は高いと推定される。

今回の結果では, 北上期, 南下期および冬季のいずれの時期にも産卵中の個体が採集された。採集を行わなかった3月, 4月以外では, 9月を除く全ての月で産卵していることが, 組織学的に裏付けられた。これらのサンマの産卵期に関しては, 堀田(1960), 小坂(1991)および本研究で想定されたように年2回のピークがあるのか, あるいは Watanabe and Lo (1989)が報告したように冬季が産卵のピークであるのかについて, 明確な結論は出せなかった。本研究では, 12月から翌年2月までに本州南方海域および那智勝浦周辺で採集された個体の成熟度はⅣ~Ⅵであり, 産卵中から産卵直後であった。しかし, 那智勝浦で採集された標本は12月から2月にかけて退行期の個体の割合が増加していた。この時期が Watanabe and Lo (1989)による冬季の主産卵期であるのか, あるいは堀田(1960)や, 小坂(1991)による秋季から冬季の産卵期の終了時期にあたるのかは, 3月および4月の標本が入手できなかったために明らかではない。また, この他の海域にサンマが分布しているのか, またその場合には成熟状態についても問題となってくる。また, 本研究では標本を採集した方法が一樣ではなく, その採集海域もサンマの分布からみるとごく一部であるため, 本研究で示した月別の成熟度の割合が, その月のサンマ全体の成熟度の割合を表していると考えられることには問題があろう。これまで, サンマの産卵水準については稚魚の豊度(深滝, 1959; 小達, 1962a; 林, 小達, 1981; Watanabe and Lo, 1989), あるいは生殖腺重量の季節的变化(小達, 1956a)のみから行われている。今回の組織学的手法は, 標本の解析には手間がかかるが, その反面, 生殖腺重量やGSIのみではわからない卵黄形成開始直後や産卵の終了直後の個体を正確に見分けられることが示された。この手法によって, さらにサンマの産卵期および成熟開始と産卵終了の機構について詳細な研究が可能であることが示され, 今後は光周期や水温変化などの外部環境の変化との関連を明らかにすることが必要であろう。

福島ら(1990)は, 漁期中の大型群, 中型群および小型群がそれぞれ1歳以下であり, それぞれ前年の秋, 当年の冬および春にふ化した群であると考えている。そして, 現在北西太平洋のサンマの資源予測は, 福島ら(1990)が考えている体長群と発生時期の関係に基づいて行われている(渡辺, 1990)。しかし, 本研究の結果, 耳石日周輪や透明帯からは1年で大型に達するとは考え難いことが示された。今後のサンマの資源予測の方法についても, 今後再検討の必要があると考えられる。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究を通して終始懇切なる御指導と御鞭撻を賜り、本論文の御校閲の労をとられた元北海道大学水産学部教授島崎健二博士および麦谷泰雄博士、現北海道大学小城春雄教授ならび桜井泰憲助教教授に対し、心からの感謝の意を表します。

また、本研究をまとめるための貴重なお時間を頂き、心身ともに御協力を惜しまれなかった、元国際農林水産業研究センター所長貝沼圭二博士、および元水産部長福所邦彦博士ならびに職員の皆様に謝意を表します。

研究を行った当時の東北区水産研究所資源部第一研究室室長であった渡辺良朗博士（現東京大学海洋研究所）、北川大二博士（現東北区水産研究所八戸支所）、大関芳冲博士（現中央水産研究所）、および研究員高橋章策氏、高橋祐一郎氏（現農林水産政策研究所）、元和歌山県水産試験場故阪本俊雄氏、北海道立釧路水産試験場本間隆之氏（現中央水産試験場）、茨城県水産試験場二平章博士には、サンマの採集に際して多大なご協力頂き、また有益なご助言を多数いただきました。なお、耳石の日周輪の観察に関しては、遠洋水産研究所西村明博士（現北海道区水産研究所）に適切な御助言をいただきました。謝意を表します。

北海道立釧路水産試験場北辰丸、北海道教育庁実習船管理局若竹丸および北海道大学水産学部練習船北星丸の船長ならびに乗組員一同の方々には標本の採集にあたって、多大な御協力を頂きました。本研究を進めるにあたり、北海道大学水産学部北洋研究施設の服部努博士（現東北区水産研究所八戸支所）、山村織生博士（現北海道区水産研究所）をはじめ、大学院生諸氏には適切な御助言を頂き、試料の解析や標本の測定にあたり御協力を頂きました。以上、記して感謝申し上げます。

## 引用文献

- 相沢幸男, 1967: サンマの鰭条数. 東北水研研報, **27**, 11-20.
- 深滝 弘, 1959: 日本海産重要魚類卵・稚子の周年にわたる出現および生態について—II. 日水研研報, **7**, 17-42.
- 福島信一, 1979: 北西太平洋系サンマの回遊機構の縦観的解析. 東北水研研報, **41**, 1-70.
- 福島信一, 1981: サンマ卵についての既往知見の総括. 昭和55年度漁業資源研究会議事録, 第13回浮魚部会議事録, 74-85.
- 福島信一, 渡辺良朗, 小川嘉彦, 1990: 北西太平洋におけるサンマの季節別発生群と大型魚, 中型魚, 小型魚との対応. 東北水研研報, **52**, 17-27.
- 原素之, 伊藤孝一, 秦 満夫, 1982a: サンマの各組織における脂質の特性. 東北水研研報, **44**, 25-32.
- 原素之, 木島明博, 藤尾芳久, 1982b: サンマ群のアイソザイムによる集団遺伝学的研究. 東北水研研報, **45**, 1-18.
- 原素之, 木島明博, 藤尾芳久, 1982c: 日本近海および沖合に分布するサンマ群の集団構造に関する遺伝学的研究. 東北水研研報, **45**, 19-32.
- Hatanaka M., 1956: Biological studies on the population of the saury, *Cololabis saira* (Brevoort). *Tohoku J. Agr. Res.*, **6**, 227-268.
- 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二, 1992: マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日水誌, **58**, 1203-1210.
- 林 小八, 小達 繁, 1981: サンマ仔魚の分布様式について. 日水誌, **47**, 705-712.
- 林 泰行, 1976a: 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究—I. 年齢表示形質としての耳石の検討. 日水誌, **42**, 1237-1242.
- 林 泰行, 1976b: 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究—II. 耳石による年齢と成長の推定. 日水誌, **42**, 1243-1249.
- 堀 義彦, 高橋 惇, 田村和子, 1969: 終漁期のサンマについて I. 卵巣に関する二・三の観察. 茨城水試研報, 昭和43年度, 9-17.
- 堀田秀之, 1960: 鱗・耳石によるサンマのポピュレーション構造の分析とその成長. 東北水研研報, **16**, 41-64.
- 堀田秀之, 1964: サンマ資源, 水産資源保護協会, 東京, 96pp.
- Hubbus C. L. and Wisner R. L., 1980: Revision of the saury (pisces, Scomberesocidae) with descriptions of two new genera and one new species. *Fish. Bull. U. S.*, **77**, 521-566.
- Hunter J. R. and Macewicz B. J., 1985: 多回産卵魚における産卵頻度の算定(渡辺良朗, 辻 祥子訳)「総産卵量による浮魚類の資源量推定法—北米カタクチイワシへの適用—」(Lasker R., 編), 東北区水産研究所 (1989), pp.147-178.
- 今井義弘, 1993a: 北海道東部沖合における耳石型からみたサンマの耳石と鱗の特性. 北水試研報, **43**, 1-10.
- 今井義弘, 1993b: 北海道東部沖合におけるサンマの体長, 肥満度, 成熟度. 北水試研報, **43**, 11-24.
- 香川浩彦, 高野和則, 1979: メダカの排卵前後にお

- る卵濾胞，特に顆粒膜細胞の電顕ならびに酵素組織学的観察。北大水産彙報，**30**，191-204。
- 木島明博，原 素之，藤尾芳久，1984: サンマ群の集団構造および回遊経路についての遺伝学的研究。東北水研研報，**46**，39-52。
- 木村喜之助，1956a: 標準体長として測るべき魚体の部位に就いて。東北水研研報，**7**，1-11。
- 木村喜之助，1956b: 定置網のサンマに就いて。東北水研研報，**7**，184-238。
- 小林 喬，若生 允，内藤政治，1968: サンマの生活史に関する研究（第Ⅰ報），秋生まれ系統群の成魚の集合特性について。北海道立水産試験場報告，**9**，1-45。
- 小西芳信，1981: 南西海区におけるサンマ卵の採集について。昭和55年度漁業資源研究会議議事録，第13回浮魚部会議事録，85-89。
- 小坂 淳，1979: サンマの年齢・成長について（要旨），第11サンマ及びサバ共同研究会議経過報告，水産庁研究部，118-122。
- 小坂 淳，1980: サンマの卵巣卵についての若干の知見。第29回サンマ研究検討会議議事録，昭和54年度，94-97。
- 小坂 淳，1989: サンマの成長と再生産を中心とした生活史の概要。第37回サンマ研究討論会報告，昭和62年度，189-203。
- 小坂 淳，1991: 北太平洋におけるサンマの生活史とそれに基づく資源変動の考察。学位論文，東北大学，仙台，113pp。
- 小坂 淳，白土悦子，石田力一，1976: サンマの卵巣卵の発達について。第25回サンマ研究会議議事録，昭和50年度，102-104。
- 小坂 淳，丹野信一，1984: 熊野灘におけるサンマ漁獲量の変動についての一，二の知見。東北水研研報，**46**，21-26。
- 小坂 淳，渡辺良朗，谷津保夫，高橋章策，1985: 寄生虫ペンネラ *Pennella* sp.の分布からみたサンマ *Cololabis saira* Brevoortの生態。東北水研研報，**47**，79-91。
- 久保雄一，1954: 太平洋サンマ *Cololabis saira* (Brevoort)の生態学的研究－Ⅱ。生殖腺について。茨城水試研報，昭和25・26年度，87-97。
- 久保雄一，武藤康博，1955: 太平洋サンマの漁業生物学的研究－Ⅰ，年令査定について－Ⅰ。茨城水試研報，昭和27年度，56-71。
- 松宮義晴，田中昌一，1974: 体長組成解析によるサンマのいわゆる大型・中型等の検討。東北水研研報，**33**，1-18。
- Mastuura S., Mastumiya M., Ostuka T., Takeshita K., Minami T., and Ogawa N., 1991: Histological maturity scales, maturation and spawning in Kyusyu-subpopulation sardine, *Sardinops melanostictus*. Long-Term Variability of Pelagic Fish Population and their Environment (ed. by Kawasaki T., et al.). Proc. Int. Symp. Programon Press, Oxford, pp.221-228.
- 目黒敏美，安間 元，梶原善之，山口秀一，山本昭一，島崎健二，1987: 北西太平洋におけるサンマの南北分布。北大水産彙報，**38(2)**，126-138。
- 三島清吉，小城春男，島崎健二，大迫正尚，1981: 亜寒帯海洋前線周辺海域における浮魚群集の類型化。北大水産彙報，北洋研業績集特別号，105-118。
- 水江一弘，1958: カサゴの研究Ⅲ。カサゴの耳石に顯れる輪紋及びカサゴの成長について。Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., **7**，1-9。
- 麦谷泰雄，1988: 魚類耳石の日周リズム，「水産動物の日周活動」（羽生 功，田畑滿生編），恒星社厚生閣，東京，pp.35-46。
- 村山 司，青木一郎，石井丈夫，1990: 土佐湾における産卵期のマイワシ親魚の成熟状態と分布について。水産海洋研究，**54**，357-363。
- Nagasawa K., Imai Y., and Ishida K., 1985: Distribution, abundance, and effect of *Panella* sp. (Copepoda: Pannellidae), parasitic on the saury, *Cololabis saira* (Brevoort), in the Western North Pacific Ocean and adjacent seas, 1984. *Bull. Biogeogr. Soc. Jap.*, **40**，35-42。
- 中谷敏邦，小泉広明，横山信一，前田辰昭，高橋豊美，松島寛治，1990: 噴火湾産アカガレイの年齢と成長。日水誌，**56**，893-901。
- Nishimura A. and Yamada J., 1984: Age and growth of larval and juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), as determined by otolith daily growth increments. *J. Exp. Biol. Ecol.*, **82**，191-205。
- 西村 明，渡辺良朗，山田寿郎，1985: サンマ耳石の日周輪様微細輪紋構造。東北水研研報，**47**，33-35。
- Numachi K., 1971: Genetic polymorphism of  $\alpha$ -glucyrophosphate dehydrogenase in saury, *Cololabis saira*-I. Seven variant forms and genetic control. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **37**，391-396。
- 小達 繁，1956a: 東北海区に於けるサンマ稚魚の分布と産卵魚の成熟状態。東北水研研報，**7**，70-102。

- 小達 繁, 1956b: サンマの脊椎骨数. 東北水研研報, **8**, 1-14.
- 小達 繁, 1962a: 日本近海におけるサンマ稚仔の分布. 東北水研研報, **20**, 67-93.
- 小達 繁, 1962b: 脊椎骨数からみたサンマ魚群集団の構造 1. 秋季漁獲サンマの脊椎骨数. 東北水研研報, **21**, 38-49.
- 小達 繁, 1977: 北太平洋におけるサンマの分布. 北大水産彙報, 北洋研業績集特別号, 353-381.
- Panella G., 1971: Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, **173**, 1124-1127.
- 阪本俊雄, 竹内淳一, 吉村晃一, 武田保幸, 1989: 紀伊のサンマ漁業. 第37回サンマ研究討論会報告, 昭和62年度, 232-237.
- Sato M., 1981: Some considerations on the North to South turning migration mechanism of the pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort). *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ.*, **Spe. Vol.**, 73-78.
- Solomon G., Sano M., Makoto S., and Y. Nose Y., 1987: Age and growth of the Pleuronetid Flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 711-716.
- 菅間慧一, 1957: 耳石の性状からみたサンマのポピュレーション構造-I. 北水研研報, **16**, 1-12.
- 菅間慧一, 1959: 耳石の性状からみたサンマのポピュレーション構造-II. 北水研研報, **20**, 175-190.
- 巢山 哲, 桜井泰憲, 目黒敏美, 島崎健二, 1992: 中部北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* の耳石日周輪に基づく年齢と成長の推定. 日水誌, **58**, 1607-1614.
- 庄島洋一, 1981: 九州近海・東シナ海におけるサンマ卵の採集について. 昭和55年度漁業資源研究会議事録, 第13回浮魚部会議事録, 89-102.
- Tabeta O., Tanaka K., J. Yamada J., and W. Tzeng W., 1987: Aspect of the early life history of the Japanese eel *Anguilla japonica* determined from otolith microstructure. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 1727-1734.
- Takano K., 1964: On the egg formation and the follicular changes in *Lebistes reticulatus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 147-155
- 東北区水産研究所, 1992: 第42回サンマ資源研究会議報告, 東北区水産研究所, 塩釜, 293pp.
- 渡辺良朗, 小坂 淳, 谷津保夫, 高橋章策, 1985: 1983年における寄生性橈脚類ペンネラのサンマへの寄生状況. 東北水研研報, **47**, 37-46.
- Watanabe Y., Builer J. L., and Mori T., 1988: Growth of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the northeastern and northwestern Pacific Ocean. *Fish. Bull., U. S.*, **86**, 489-498.
- Watanabe Y. and Lo N. G. H., 1989: Laval production and mortality of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the north-western Pacific Ocean. *Fish. Bull., U. S.*, **87**, 601-613.
- 渡辺良朗, 1990: 北太平洋におけるサンマ資源の研究と予測の方法. 水産海洋研究会報, 54, 419-425.
- Watanabe Y. and Kuji Y., 1991: Verification of daily growth increment formation in saury otoliths by rearing larvae from hatching. *Jap. J. Ichthol.*, **38**, 11-15.
- 安田秀明, 藤田四郎, 赤池清人, 苅部信二, 木本清暉, 春原 弘, 浜田悦之, 羽山泰夫, 1961: 日本産重要魚類の成長-VI. サンマ. 日水誌, **27**, 217-219.
- 尹 泰憲, 1981: 北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期. 北大水産彙報, **32**, 22-38.
- 尹 泰憲, 島崎健二, 1981: 北太平洋におけるシマガツオ *Brama japonica* Hilgendorfの卵巣卵の発達過程からみた生殖周期. 北海道大学水産学部, 北洋研業績集, 特別号, 79-90.
- 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. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI*, **12**, 375-390.
- Yamamoto k. and H. Yoshioka H., 1964: Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 5-19.

#### 摘 要

サンマ *Cololabis saira* (Brevoort) は北太平洋全域に分布し、日本では重要な漁獲対象種となっている。しかしながら、これまで本種についての生物学的研究は少なく、年齢、成長については研究者によってその見解は異なっており定説はない。また、繁殖生態についても不明な点が多く、一生における産卵回数や、産卵後の消長についても明確にされていない。

そこで本研究では、中部北太平洋および西部北太平洋において採集されたサンマについて、成長様式および成熟過程を調べた。これらの結果を両海域で比較す

るとともに、北太平洋におけるサンマの生活史を明らかにすることを目的とした。

### 1. 耳石日周輪に基づく日齢と成長の推定

(1) 年齢推定の方法として信頼性が高いと考えられる耳石日周輪を、走査型電子顕微鏡で観察・計数し、成長様式とふ化時期の推定を行った。この結果、小型群(200~240mm)に達するまでに半年以上、中型群(241~280mm)に達するまで1年以上、大型群に達するまでに1年半以上かかり、そのふ化時期は小型群および大型群は秋季から冬季、中型群は春季から夏季であると推定された。

(2) 大型群の耳石には、光学顕微鏡で透明帯が観察され、この部分では日周輪が計数不能または非常に密になっていた。日周輪の計数と輪紋の幅の計測から、透明帯は冬季を中心として形成され、この時期は成長率が低下していると考えられた。また、透明帯の形成が開始された時点で、小型群以上に達していると推定された。

(3) 中部北太平洋および西部北太平洋におけるサンマの成長を比較したところ、両海域では顕著な差は認められなかった。

### 2. 耳石透明帯に基づく加齢の推定

(1) 耳石透明帯形成後の成長が耳石日周輪によって正確に推定されているかを検討するため、周年にわたって採集された標本の耳石を光学顕微鏡で観察した。そして、耳石縁辺部の観察から透明帯の形成時期およびその体長を検討し、小型群以上の加齢様式についての検証を行った。

(2) 小型群および中型群では、耳石透明帯が観察されない個体が主体であった。一方、大型群では透明帯が1本観察される個体が最も多く、次いで耳石縁辺部が幅広く半透明になっているタイプが最も多く、透明帯が2本あるいはそれ以上観察される個体も出現した。1本目の透明帯は280mm前後で、2本目の透明帯は310mmを中心として形成されていた。

(3) 透明帯が形成されている個体は10月以降増加し、12月から1月にピークを迎えた。一方、7月から9月には透明帯が形成されている個体の割合は低かった。小型群以上では冬季に透明帯が形成されており、この群が翌年には大型群に達していると推定できた。

### 3. 組織学的観察に基づく雌の成熟過程

(1) サンマ雌の生殖腺の組織学的観察を行い、これに基づいて組織学的成熟度を設定した。この結果、周辺仁期から退行期Ⅱまでの7期に区分できた。

(2) 卵巣の組織学的観察では卵発達は非同期型を示し、また卵径頻度分布が多峰型であったことから、一産卵期に数回産卵を行うものと推定された。また、産卵後の個体には退行卵が多く現れたが、これらの個体は肥満度が回復していたことから、産卵後も生残するものと考えられた。産卵を行っている個体は体長253mmの中型群以上の個体であり、水温15℃以上の高水温の海域で採集された。

### 4. サンマの回遊、成長と成熟の関係

(1) サンマは冬季には本州の南方の海域で、夏季には道東などの北方の海域で、春季および秋季にはその中間の本州東方海域で採集された。

(2) 6月から7月に採集された個体の体長組成には290~300mmのモードがみられたが、耳石タイプから漁期にはこの群が大型群として出現すると考えられた。この中には産卵中の個体が含まれていた。9月にはこれらの群には産卵中の個体は現れず、10月以降成熟が進んでいた。このことから、漁期中に大型群として漁獲される群は、春季の北上時に産卵を行っている経産魚であろうと考えられた。秋季に南下する中型群には11月以降成熟している個体が現れ、この時期に初回産卵を行っていると考えられた。この時点で、大型群は2歳、中型群は1.5歳に達していると推定された。また、成長と成熟の関係は、中部北太平洋および西部北太平洋では差がないと考えられた。