

サンマの成熟過程の解明：飼育実験の果たす役割

巢山 哲^{*1}, 森岡泰三^{*2}, 中屋光裕^{*2}, 中神正康^{*1}, 上野康弘^{*1}

The Study of the Maturation Process of the Pacific Saury, *Cololabis saira*: The Role of the Rearing Experiments

Satoshi SUYAMA^{*1}, Taizo MORIOKA^{*2}, Mitsuhiro NAKAYA^{*2},
Masayasu NAKAGAMI^{*1}, and Yasuhiro UENO^{*1}

Abstract To clarify the maturation process of Pacific saury, *Cololabis saira*, by surveying in the field is difficult because the hatching period extends from autumn to spring, and the life history of each individual varies depending on their hatch period. Rearing experiments are considered to be very effective for the elucidation of the maturation process, but to breed Pacific saury from eggs to adults in a rearing tank has been successfully carried out only at the Marine Science Museum, Fukushima Prefecture. We are planning to elucidate the maturation process through our rearing experiments; therefore, we reviewed past rearing experiments and field studies of the maturation process. We also introduced our rearing experiments and their objectives.

Key words: Pacific saury, maturation process, rearing experiment, spawning period

サンマ *Cololabis saira* は北太平洋の亜熱帯海域から亜寒帯海域に広く分布し (Hubbs and Wisner, 1980), 日本, ロシア, 韓国, 台湾などが漁獲を行っている (水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総合研究センター, 2005) 重要な浮魚資源の 1 つである。日本においてサンマは TAC 魚種に指定され, 毎年生物学的許容漁獲量 (ABC) を算出することが求められている。このために, 資源動向予測に必要な生物学的な知見, すなわち成長や成熟, 産卵特性 (初回成熟時の年齢や年齢別の産卵魚の割合, 個体別の産卵間隔および一生における総産卵数) を明らかにすることが急務である。

サンマは夏季に親潮域まで北上し, 冬季には黒潮域に南下するため (福島, 1979 など), 季節の違いによる生息環境の変化が大きい。産卵は主に 9 月から翌年 6 月に行われるが, 冬季を中心にほぼ一年中行われてい

る (Watanabe and Lo, 1989)。そのため, ふ化時期の違いは, 初回産卵の年齢や産卵回数に影響を与えていると考えられる。また, 同じ時期に同じ海域で採集された群でも, 成熟段階に個体差が見られる (小坂, 2000 など) ため, 産卵期が短い魚種に比較して個体間における成長様式や成熟特性の変異は非常に大きいと考えられる。しかし, 野外において特定の個体を追跡することはできないため, 個体ごとの生活履歴を明らかにすることは不可能である。そのため, ふ化時期や生まれた海域の違いが, その後の成長, 初回産卵時の年齢に与える影響はほとんど解明されていない。

成長に関しては, 耳石日周輪による日齢査定 (西村ら, 1985; Watanabe *et al.*, 1988; 巢山ら, 1992; Suyama *et al.*, 1996; 根本ら, 2001; Kurita *et al.*, 2004) が行われるようになり, 寿命は 2 年程度である

2006年1月6日受理 (Accepted on January 6, 2006)

^{*1} 東北区水産研究所八戸支所, 〒031-0841 青森県八戸市大字鮫町下盲久保25-259 (Hachinohe branch, Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 25-259, Shimomekurakubo, Same, Hachinohe, Aomori, 031-0841, Japan)

^{*2} 厚岸栽培漁業センター, 〒088-1108 北海道厚岸郡厚岸町筑紫恋2-1 (Akkesi Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, 088-1108, Japan)

こと (Suyama *et al.*, 1996) や、ふ化時期によって成長様式が異なること (根本ら, 2001; Kurita *et al.*, 2004) が明らかになっている。しかし、耳石日周輪の観察では、日齢が推定できるのはおおむねふ化後1年後まで (Suyama *et al.*, 1996) で、産卵を開始する1歳以上の個体の日齢を耳石日周輪に基づいて明らかにすることは非常に困難である。

成熟過程についても卵巣内の卵径組成 (久保, 1954; Hatanaka, 1955) や、卵巣の組織切片標本に基づく詳細な研究 (堀ら, 1969; Sato, 1981; 小坂, 2000; 巢山ら, 1996; 巢山, 2002; 栗田ら, 2002) から、多回産卵を行うことや、成熟体長が海域や時期によって異なること (栗田ら, 2002) が明らかになってきた。さらに、産卵後の個体の卵巣内には排卵後濾胞が観察されること (巢山ら, 1996; 巢山, 2002; 小坂, 2000; 栗田ら, 2002) や、産卵後には多数の閉鎖濾胞 (退行卵) が出現すること (巢山ら, 1996; 巢山, 2002; 小坂, 2000), また少なくとも一部の個体が産卵後に生き残っている可能性があること (巢山ら, 1996; 巢山, 2002) もわかってきた。このため、産卵直後は排卵後濾胞や閉鎖濾胞を、経産魚と未産魚を区別する指標として用いることができる。しかし、卵巣内に残る排卵後濾胞は数日内で消失し (栗田ら, 2002), 産卵後に現れる閉鎖濾胞もやがて完全に吸収されると考えられる (巢山, 2002)。このため、時間の経過とともに、経産魚と未産魚の区別をすることが困難になる。

飼育下でサンマを成熟、産卵させ、産卵前後に生殖腺に起こる変化や各成熟段階の進行に要する時間を明らかにすることができれば、以上の課題を解決するための重要な知見を得ることができる。さらに、異なった水温や餌条件の下で飼育をすることによって、外部環境が成長や成熟、産卵特性に与える影響を評価できる。そして、野外で採集された個体と比較することによって、サンマの成熟特性の理解が進むと期待される。しかしながら、過去に行われたサンマの飼育実験は、その多くがふ化後数ヵ月目までにとどまり、長期間飼育した記録はほとんどない。特に、卵から成魚まで飼育を行い、産卵をさせた例は、財団法人ふくしま海洋科学館による記録があるのみである (津崎, 2000a,b, 2001a,b,c)。

本稿では過去に行われてきたサンマの飼育実験を紹介する。次に、これまでに、野外あるいは飼育下で得られているサンマの成熟に関する知見の整理を行うとともに、サンマの成熟特性解明のために、飼育実験が果たす役割についても記す。最後に我々が平成16年から開始したサンマの飼育についても紹介を行う。

1. これまでに行われた飼育実験

卵発生の観察

遊佐 (1958) は、サンマの卵発生の観察は戦前から行われているものの、これらは卵発生後期の観察にとどまり、一部は他種の卵を観察した可能性もあることを述べている。Yusa (1960) は人工授精によって得られた卵を13.5~15.7 の飼育水温で発生させ、17日目に孵化するまでの過程を詳細に記録している。また、堀田と福島 (1963) は野外で採集された卵を、5, 10, 15, 20, 25 の計5段階の飼育水温で飼育し、孵化までの日数を推定した。孵化までの日数は、10 で33日、25 で8日であったが、5 では孵化しなかった。

仔稚魚の飼育記録

前述のYusa (1960) は、観察に用いた卵を孵化させ、その後も観察を継続している。ふ化仔魚は3~4日後に卵黄を吸収したが、その後適当な餌がなかったために12日目までに全て死亡したと報告している。谷本ら (1968) は流れ藻に付着した卵を採集し、孵化仔魚をシオミズツボウムシ、アルテミア幼生、人工配合餌料およびエビの肉などを与えて、最長で70日間飼育し、47 mmまで成長させている。また、Watanabe and Kuji (1991) は宮城県沖で流れ藻に付着していたサンマ卵を採集して飼育し、定期的に標本を採集してその耳石の観察を行った。そして、孵化時に4~5本の微細な輪紋が形成されていること、そしてその輪紋が30日目までは1日1本ずつ形成されることを確認し、この輪紋が日周輪であると結論している。さらに、Oozeki and Watanabe (2000) は水温と成長の関係を調べるために、ふ化仔魚を飼育水温16, 20, 24 の3つの水温で、ふ化後10日目および20日目の仔魚を14, 18, 22 でそれぞれ飼育した。実験を行った水温の範囲では飼育水温が高いほど、仔稚魚の成長が速いことを示した。

幼魚期以降の飼育記録

堀田 (1958) は大謀網で採集されたサンマ幼魚をいけすに収容して、最長で80日間の飼育を行い、採集時の3月28日に体長 (= 肉体長 (木村, 1956), 以下同様) の平均が11.61 cmであったサンマが、実験終了時の6月18日には平均体長が17.47 cmに達していたことを報告している。また、堀田はこの飼育中にサンマの最大摂餌量や消化に要する時間を明らかにするための実験を行い、最大摂餌重量は体重の約13%であること、摂餌後3時間では摂餌した餌の約1/3を、9~10時間後にはほぼ全てを排泄したことを報告している。

一方、福島県いわき市に開設された財団法人ふくし

ま海洋科学館（以下ふくしま海洋科学館）においては、野外で採集した卵を孵化させて成魚まで育て、水槽内で産卵させることに成功した（津崎, 2000a,b, 2001a,b,c）。さらに、水槽内で得られた卵も孵化させて成魚まで飼育を行い、水槽内での完全飼育を成し遂げた。これらのサンマは現在まで継代飼育されているが、展示用の魚を常に確保するために必要な時に卵を得ることを目的として、世代あるいは水槽別に水温条件を変えて飼育を行っている（津崎, 2001c）。水温19 以上の高水温で飼育を続けた場合（Fig. 1, Expt-3）では、約半年で産卵を開始し、産卵開始時の全長は25cm（肉体長に換算すると約23.4 cm（木村, 1956）以下であった（津崎*, 私信）。一方、孵化後3ヵ月目頃から飼育水温を10~12 に下げると半年後も産卵せずに成長を続け、その後に飼育水温を17

以上まで徐々に上昇させると、昇温開始1ヵ月から3ヵ月後に産卵した（Fig. 1, Expt-1, 2）。このように、サンマの成長や初回産卵は飼育水温によって大きく変化することが飼育下で証明された。

巢山と津崎（2004）は、Fig. 1におけるExpt-1で飼育されたサンマのうち30個体について、光学顕微鏡および電子顕微鏡で耳石を観察した。光学顕微鏡では、野外で採集される個体で年輪とされる透明帯（巢山と桜井, 2000）が観察された（Fig. 2-A）。電子顕微鏡に

よる観察では、7個体で耳石中心（核）から131~170本の日周輪状の微細輪紋が見られたが、その外側では輪紋が不明瞭になるために計数ができなかった。また、耳石核から輪紋が不明瞭になる位置までの距離と、光学顕微鏡で観察された透明帯の半径はほぼ一致した。Expt-1では孵化から140日目まで飼育水温を16 以上に設定し、その後30日間で11 以下まで下げている。この微細輪紋を日周輪と仮定した場合、16 以上の飼育水温では輪紋が形成されていたが、飼育水温の低下に伴い微細輪紋も不明瞭になり透明帯が形成されたと考えられた（Fig. 2-B）。

2. これまでに得られた成熟に関する知見

性成熟に伴う生殖腺の発達については、生殖腺重量の季節変化や組織切片の標本観察に基づいて詳しく調べられている。卵巣中の卵母細胞は卵黄が蓄積されるとともに卵径を増し、この時に生殖腺重量の急激な増加が起こる（小坂, 2000; 巢山, 2002）ことが分かっている。卵母細胞中に卵黄が出現しはじめると、まもなくそれらは融合を開始し卵黄塊を形成するため、核の偏在が早くから起こることが特徴（巢山ら, 1996; 巢山, 2002; 小坂, 2000）である。このような卵黄形成

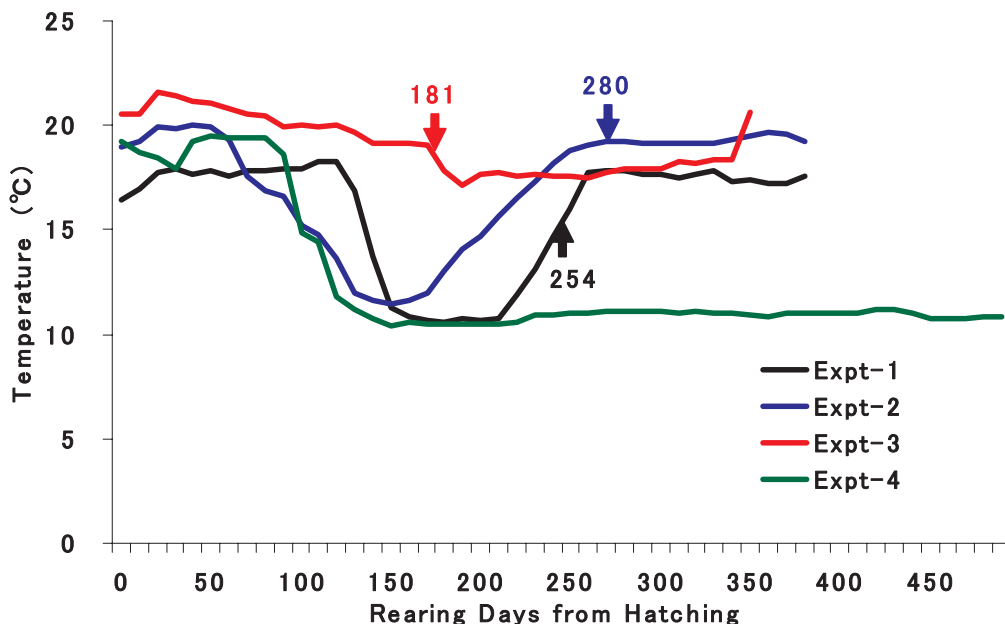


Fig. 1. Age in days at which the first spawning occurred in different ambient temperatures for Pacific saury under rearing experiments in Marine Science Medium, Fukushima Prefecture. Arrows and numbers show the ages in days at which the first spawning occurred in each experiment. Fish did not spawn in experiment-4.

過程はメダカ *Oryzias latipes* (Yamamoto and Yoshioka, 1964) やグッピー *Poecilia reticulata* (Takano, 1964) で知られている。卵黄蓄積の開始から産卵まで、どれくらいの時間がかかるかを、野外において検証するのは難しい。飼育下では水温を10℃台から徐々に上げることにより、水温上昇開始後1月あまりで産卵を行っている(津崎, 2003c)。野外においては表面水温12℃以下では、卵黄形成中の個体が採集されていない(小坂, 2000; 巢山, 2002)ので、飼育下においても11℃以下の低水温下では卵黄の蓄積が起きていたとは考え難い。従って、卵黄蓄積の開始は水温を上昇させた後に開始したと考えられ、成熟開始から産卵までは1月程度であったと推定される。野外においても、卵黄球を蓄積開始した個体が多く採集される

のは産卵期が始まった10月以降であり、卵黄の形成から産卵にいたる期間はごく短いものと考えられる。しかし、水温によって成熟の進行がどのように変化するかは分かっていない。

野外における産卵行動の観察としては、池原(1999)が石狩湾において水中カメラを用いて行った記録がある。産卵は数尾から10数尾の群れで行われることや、産卵に要する時間は10分程度であることが報告されている。一方、津崎(2001c)は飼育下での産卵行動を観察しており、繁殖活動が盛んな時には親魚は雌雄ともに尾鰭の基部付近が山吹色に変化すると述べている。三重県沖で流れ藻の周りで産卵しているサンマを観察した例(山田*, 私信)では、尾鰭の基部が黄色く見える個体と変化していない個体が混泳しており(Fig. 3)、尾鰭基部の体色変化によって産卵中の個体を識別できる可能性がある。

サンマは1産卵期に複数回産卵を行う多回産卵型であることが、卵母細胞の卵径組成や卵巣の組織標本の観察によって明らかになっている(久保, 1954; Hatanaka, 1955; 堀ら, 1969; Sato, 1981; 巢山ら, 1996; 巢山, 2002; 小坂, 2000)。野外における産卵間隔については、栗田ら(2002)が排卵直後の濾胞の出現に基づき2.9~5.6日と見積もっている。一方、飼育下の観察では数日おきに3~4ヵ月間産卵が続いたと報告されているが(津崎, 2003)、個体識別を行っていないために個体別の産卵頻度と産卵継続期間はわからない。

排卵後の個体には排卵後濾胞が観察されるが、他の浮魚類(Hunter and Macewicz, 1985)と同じくその吸収・消失は早いと考えられる。サンマでは排卵後濾胞が完全に吸収されるまでの日数は産卵間隔より短いので、通常の組織切片の観察によって排卵後濾胞を指標に産卵回数を推定することは不可能である。産卵期が終わると、他の多回産卵を行う魚種と同じように卵巣に閉鎖濾胞が観察される(巢山ら, 1996; 小坂, 2000)。閉鎖濾胞は卵黄蓄積が始まった卵母細胞からの閉鎖濾胞と、卵黄蓄積前の卵母細胞からの閉鎖濾胞に区別でき(巢山ら, 1996; 巢山, 2002)、前者は経産魚の指標になると考えられるが後者については産卵終了とともに生じたものと、産卵に関係なく生じたものがあるようである。また、卵黄蓄積が始まった卵母細胞からの閉鎖濾胞は吸収が早いため、経産魚の指標として使える期間は限られる。漁期は最初の9月には閉鎖濾胞を持つ個体の割合は非常に低いため(巢山, 2002)、6月頃までにほとんどの個体が産卵を終了したと考え、その後3ヵ月以内に閉鎖濾胞がほぼ消失すると推定さ

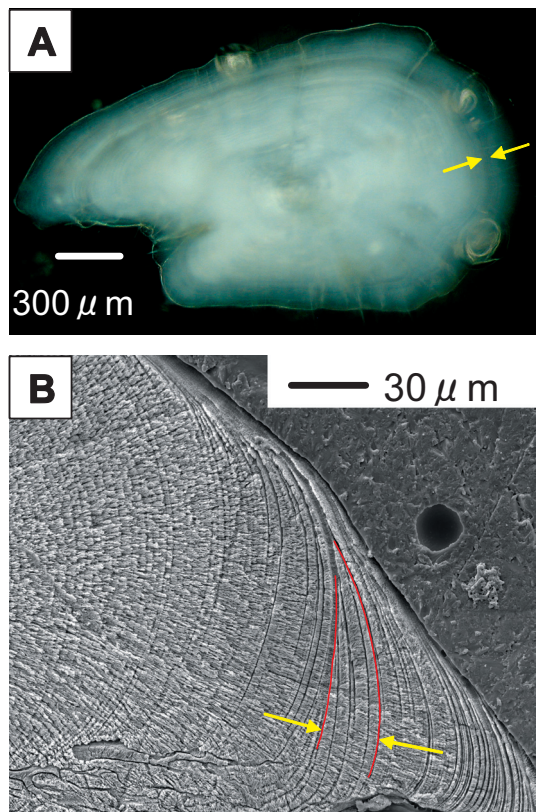


Fig. 2. Otolith of the Pacific saury reared in experiment-1 (see fig.1). A, Light microscope photograph of the otolith of a Pacific saury (Body length = 30.5cm). Arrows show the hyaline zone that formed when ambient water temperature was less than 12℃. B, Scanning electron microscope photograph of the otolith of the same individual as in A. Arrows show the area that corresponds to the hyaline zone. Growth increments were not observed in this area.

* 山田浩且 三重県科学技術振興センター水産研究部 志摩市浜島町浜島3564-3



Fig. 3. Spawning fish observed off Mie prefecture in 23 Apr. 2005, at 34-03.5°N, 136-58.9, °E (by K. Yamada, Fisheries Research Division, Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center). Arrows show the spawning fish in which the base of the caudal fin has changed to yellow.

れる。従って、8月以降の漁期中に採集されるサンマについて、閉鎖濾胞に基づいて経産魚と未産魚の区別はできないと考えられる。また、卵黄蓄積前の卵母細胞からの閉鎖濾胞については、産卵との関係も明らかになっていない。排卵後濾胞および閉鎖濾胞の吸収に要する過程と特徴およびその期間が明らかになれば、野外においても経産魚と未産魚を明確に区別できる指標を得ることができ、閉鎖濾胞を指標とした産卵終了後の経過時間が明らかになると期待される。

3. 飼育下と野外における生態の違い

飼育実験下で得られた知見は野外における生態の解

明につながると期待されるが、その一方で飼育下においては野外と異なる現象もいくつか見られた。

まず、飼育下における成熟体長は、野外より小さかった。ふくしま海洋科学館での飼育結果では、19以上で飼育を継続した場合には、体長が25cmに達する前に産卵を開始していた。一方、野外において産卵を行っている個体は一般的に27cm以上とされ、20cm前後で産卵するのは日本海や駿河湾の定置漁場(堀田, 1960)、冬季の黒潮域など(栗田ら, 2002)などのごく限られた海域から報告されているのみである。飼育下においては回遊を行わないため一定の高水温で過ごしたために成熟体長が変化した原因の一つと考えられるが、餌条件など他の要因の影響は明らかにされていない。

次に、透明帯の形成は、野外において10月から2月に起こるとされる(巢山と桜井, 2000)。サンマは夏季にはおおむね15 未満の海域に、冬季には15 以上の海域に移動するため、透明帯は低水温域から高水温へと回遊した時に形成される。一方、飼育下のサンマ透明帯は16 以上の飼育水温を11 以下に下げた後に形成されたと考えられたことから、野外における結果と対照的である。

以上の違いは水温以外の環境、例えば餌条件などの違いが考えられる。飼育下では常に十分な給餌が行われているが、野外では初夏の親潮域では低水温下であるものの餌となる動物プランクトンが豊富であるが、南下回遊後の黒潮域では高水温で動物プランクトンが少ない。このような環境変化が飼育下と野外の生態の違いを生じる原因となっていると考えられ、飼育実験下で成長や成熟の実験を行う場合は水温以外の条件も重要であることを示唆している。

4. 今回の飼育実験の目的

飼育実験下では、同一の条件下で飼育した群れの成長や成熟過程を観察することができるため、各成熟段階の進行に要する時間や、1 個体の産卵がどれくらいの頻度でどれくらいの期間継続するかなどの基礎的な知見が得られると期待される。さらに、閉鎖濾胞の消失過程を明らかにすることによって、これを基準とした経産魚の識別ができる期間が明らかにできる。これらの情報は、年齢別の産卵魚の比率を推定する上で重要である。また、水温以外の外部条件、例えば投餌量の変化が、成熟にどのような影響を与えているかを調べることによって成熟、産卵に必要な条件を明確にできれば、外部環境の変化が成熟魚の割合や産卵の継続期間にどのような影響を与えるかをシミュレーションすることも可能であろうと考えている。

これまで行われてきた生殖腺の組織切片標本に基づく研究は、卵巣重量だけではわからない成熟途上の個体と産卵後の個体を区別したり、排卵後濾胞によって産卵頻度を推定する上で有効であった。しかし、組織切片標本上の生殖腺の変化は、真の意味での成熟開始からやや遅れて発現するものである。成熟開始の引き金となる外部環境要因や栄養状態などの内部要因を明らかにするためには、さらに早い段階で成熟開始の兆候を把握する必要がある。近年では他の魚種で成熟に伴う内分泌物質の支配器官や内分泌物質の挙動が明らかになってきており、脳下垂体からの生殖腺刺激ホルモンの分泌や卵黄蛋白の前駆物質の合成開始など、成熟時のごく初期における変化も明らかになりつつある。

サンマにおいてもこうした変化が明らかになれば、これまで卵母細胞への卵黄蓄積でしかわからなかった成熟の開始をより早い段階で把握できると考えられ、成熟開始に必要な条件を知る手がかりになる。そのため水槽内で成熟開始から産卵、産卵後に至る内分泌支配器官とそれに伴う内分泌物質の変化を明らかにし、野外において採集された標本との比較を行いたいと考えている。

サンマにおいては低次生態系モデルと魚類生物エネルギーモデルを結合させることにより構築されたNEMURO. FISHモデルが開発されており(Ito *et al.*, 2004), サンマの成長を正確に再現できるようになっている。しかし、呼吸量、代謝量などのパラメータは他魚種で得られた値を利用しているため、サンマの固有値を飼育実験で明らかにすることであれば、さらに精度を上げることができる。さらにこのモデルに資源尾数の変動モデルを組み合わせることによって、資源変動要因の解明や資源管理への応用も期待されているが、個体ごとの産卵数、産卵期間および産卵頻度やこれらに外部環境が及ぼす影響は必要不可欠なパラメータである。

平成16年から、水産総合研究センター東北区水産研究所と栽培漁業部厚岸栽培漁業センターは共同で、サンマの飼育を開始した。平成16年は6月～7月に宮城県沖で流れ藻に付着したサンマ卵を採集し厚岸栽培漁業センターの飼育施設に搬送したが、未受精の卵が多く孵化しなかった。また、8月には、北海道東沖でサンマ卵を採集し飼育を行ったが、33日後までに全て死亡した。平成17年は4月21日から23日には三重県沖において流れ藻に付着したサンマ卵27万粒を飼育施設に輸送することができた。これらは9月8日現在で約2,800個体が生残しており最大の個体は17cmを超え、今後水槽内で産卵することが期待されている。今回の飼育実験によって、資源変動要因の解明に必要な知見を得られることを期待している。

謝 辞

サンマの飼育にあたり、ふくしま海洋科学館の津崎順氏には、飼育技術について懇切な指導をして頂き、飼育データや飼育したサンマを提供頂いた。宮城県水産研究開発センター永島宏氏、東京都島嶼農林水産総合研究センター米沢純爾氏および安藤和人氏、三重県科学技術振興センター水産研究部山田浩且氏および調査船あさまの船長および乗組員各位、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場武田保幸氏、中地良樹氏および北海道水産研究所探海丸の本間盛一船長以

下乗組員の皆様には、サンマ卵の採集に多大なご協力をして頂いた。また、三重県科学技術振興センター水産研究部山田浩且氏には卵の採集時に撮影した写真を提供して頂いた。青森県三戸地方農林水産事務所八戸水産事務所涌坪敏明氏、岩手県水産技術センター清水勇一氏、静岡県水産試験場近藤 優氏、三重県科学技術振興センター水産研究部藤田弘一氏からは、サンマ卵や成熟親魚について、出現情報の提供や採集に関する助言を頂いた。以上、記して感謝申し上げます。

文 献

- 福島信一, 1979: 北西太平洋系サンマの回遊機構の綜観的解析. 東北水研報, **41**, 1-70.
- Hatanaka M., 1955: Biological studies on the population of the saury, *Cololabis saira* (Brevoort) Part 1 Reproduction and growth. *Tohoku J. Agr. Res.*, **6**, 227-312.
- 堀 義彦, 高橋 惇, 田村和子, 1969: 終漁期のサンマについて. 茨城県水試報告, 昭和43年度, 9-17.
- 堀田秀之, 1958: 飼育実験によるサンマの成長について. 東北水研報, **11**, 47-64
- 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. 東北水研報, **16**, 41-64.
- 堀田秀之, 福島信一, 1963: 東北海区に於けるサンマ資源の数量変動に関する研究. 東北水研報, **23**, 61-72.
- Hubbs C. L. and Wisner R. L., 1980: Revision of the sauries (Pisces, Scombersocidae) 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 R. Lasker 編, 渡邊良朗, 辻 祥子 共訳, 総産卵量による浮魚類の資源推定法 - 北米カタクチイワシへの適用 -, 147-148, 東北区水産研究所 (1989)]
- 池原宏二, 1999: 日本海の流れ藻に産卵するサンマの産卵行動. 平成11年度日本水産学会春季大会要旨集, p.70.
- Ito S., Kishi M. J., Kurita Y., Oozeki Y., Yamanaka Y., Megrey B. A., and Werner F. E., 2004: Initial design for a fish bioenergetics model of Pacific saury coupled to a lower trophic ecosystem model. *Fish. Oceanogr.*, **13(Suppl. 1)**, 111-124.
- 木村喜之助, 1956: 標準体長として測るべき魚体の部位に就いて. 東北水研報, **7**, 1-11.
- 小坂 淳, 2000: 北西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. 東北水研報, **63**, 1-96.
- 久保雄一, 1954: 太平洋産サンマ *Cololabis saira* (Brevoort) の生態学的研究- 生殖腺について. 茨城県水試研報 (昭和25・26年度), 87-97.
- 栗田 豊, 巢山 哲, 上野康弘, 2002: 環境変動に対するサンマの繁殖特性の応答. 我が国周辺海域における漁業資源の変動予測技術の開発 - 環境変動が生物生産力と漁業資源に及ぼす影響の解明 -, 農林水産技術会議事務局編, 研究成果第402集, 農林水産技術会議事務局, 東京, pp.60-63.
- Kurita Y., Nemoto Y., Oozeki Y., Hayashizaki K., and Ida H., 2004: Variations in patterns of daily changes in otolith increment widths of 0+ Pacific saury, *Cololabis saira*, off Japan by hatch date in relation to the northward feeding migration during spring and summer. *Fish. Oceanogr.*, **13 (suppl-1)**, 54-62.
- 根本 豊, 栗田 豊, 大関芳沖, 本間隆之, 林崎健一, 井田 齋, 2001: サンマ耳石微細輪紋の形成様式. 東北水研報, **64**, 69-78.
- 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. 東北水研報, **47**, 33-35.
- Oozeki Y. and Watanabe, Y., 2000: Comparison of somatic growth and otolith increment growth in laboratory-reared larvae of Pacific saury, *Cololabis saira*, under different temperature conditions. *Mar. Biol.*, **136**, 349-459.
- Sato M., 1981: Some considerations on the "North to south turning migration" mechanism of the Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort). *Res. Inst. N. Fish., Hokkaido Univ.*, **Spe. vol.**, 73-78.
- 水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総合研究センター, 2005: 我が国周辺水域の漁業資源評価 第一分冊, 水産庁増殖推進部, 水産庁独立行政法人水産総合研究センター編, 495pp.
- 巢山 哲, 桜井泰憲, 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.
- Suyama S., Sakurai Y., and Shimazaki K., 1996: Age and growth of Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort) in the western North Pacific Ocean estimated from daily otolith growth increments. *Fish. Sci.*, **62**, 1-7.
- 巢山 哲, 桜井泰憲, 島崎健二, 1996: 夏季の中部北太平洋におけるサンマの成熟と日齢について. 日水誌, **62**, 361-369.
- 巢山 哲, 桜井泰憲, 2000: 西部北太平洋におけるサン

- マの耳石透明帯の形成時期. 東北水研報, **63**, 97-108.
- 巢山 哲, 2002: 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. 水研センター研報, **5**, 68-113.
- 巢山 哲, 津崎 順, 2004: アクアマリンふくしまで飼育されたサンマの耳石日周輪について. 第52回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告, 224-228.
- Takano K., 1964: On the egg formation and the follicular changes in *Lebistes reticulatus*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **15**, 147-155.
- 谷本尚則, 中村和夫, 松岡正義, 1968: 海産魚類の種苗生産技術試験 - I. 徳島水試事業報告, 30-37.
- 津崎 順, 2000a: サンマの飼育と展示 - . AMF NEWS, **2(2)**, 2-3.
- 津崎 順, 2000b: サンマの飼育と展示 - . AMF NEWS, **2(3)**, 1-2.
- 津崎 順, 2001a: サンマの飼育と展示 - . AMF NEWS, **3(1)**, 1-2.
- 津崎 順, 2001b: サンマの飼育と展示 - . AMF NEWS, **3(2)**, 1-2.
- 津崎 順, 2001c: サンマの飼育と展示.
<http://www.marine.fks.ed.jp/frame.html>
- Watanabe Y., Butler J. L., and Mori T., 1988: Growth of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the Northwestern and northeastern Pacific Ocean. *Fish. Bull. U.S.*, **88**, 489-498.
- Watanabe Y. and Lo C. H., 1989: Larval production and mortality of the Pacific saury *Cololabis saira*, in the Northwestern Pacific Ocean. *Fish. Bull. U.S.*, **87**, 601-613.
- Watanabe Y. and Kuji Y., 1991: Verification of daily growth increment formation in otolith by rearing larvae from hatching. *Jpn. J. Ichthyol.*, **38**, 11-15.
- Yamamoto K. and Yoshioka H., 1964: Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 5-19.
- 遊佐多津雄, 1958: サンマとサヨリの魚卵と稚魚の主な相違点について. 北水試月報, **15**, 249-256.
- Yusa T., 1960: Embryonic development of the saury *Cololabis saira* (Brevoort). 東北水研報, **17**, 1-14.