

学 位 論 文 題 名

西部北太平洋におけるサンマ (*Cololabis saira*) の  
初期成長様式に与える経験水温の影響

学位論文内容の要旨

【はじめに】

日本におけるサンマ (*Cololabis saira*) 漁業の歴史は古く、現在も主要な沖合漁業の一つとして、毎年秋 (8 月後半から 12 月) に西部北太平洋の北部日本列島沿いを南下する個体を対象とした棒受網漁が行われている。漁獲物は、一般的に小型魚 ( $20 \leq \text{体長} < 24 \text{ cm}$ ), 中型魚 ( $24 \leq \text{体長} < 28\text{-}29 \text{ cm}$ ), 大型魚 ( $28\text{-}29 \leq \text{体長} < 32 \text{ cm}$ ) の 3 群に分けられ、このうち中型魚と大型魚が各年の漁獲物の主体となる。サンマの研究における問題の一つとして、中型魚と大型魚の年齢に関する統一した見解がないことが挙げられる。かつて、それぞれの年齢は 3 歳と 4 歳であると考えられていたが (Hatanaka 1955), その後徐々に短く考えられるようになり (堀田 1960; 小坂 1973), 福島ら (1990) は 0.75 歳と 1 歳である可能性が高いという見解を示した。ところが最近の研究では、再び福島ら (1990) の見解より長い年齢が推定されており (Suyama *et al.* 1996; 根本 1997), この議論は依然として続いている。本研究では、この問題を念頭に置き、サンマの生活史初期に注目して、産卵場および初期経験水温の推定と脊椎骨数の解析を行った。以下にその概略を示す。

【サンマの産卵場と初期経験水温の推定】

1 つ目の解析では、西部北太平洋におけるサンマの初期生息場の分布と水温環境の季節的な違いを明らかにすることを目的とした。西部北太平洋におけるサンマは、ほぼ年中産卵を行うことが知られているが、これまでに大規模な卵調査が行われたことはなく、産卵場分布は主に仔魚分布をもとに推定されてきた。サンマ卵は粘着糸を持ち (Yusa 1960), 流れ藻などの浮遊物に産み付けられる。そして、孵化するまでに少なくとも 1 週間 (堀田・福島 1963), 浮遊卵として西岸境界流やその周辺の複雑な流れのなかを漂流する。また、孵化仔魚も稚

魚へ成長する過程において、これらの流れによって他の場所へと輸送される。したがって、卵として産み放された場所と仔稚魚として生息する場所は異なっている可能性が高い。そこで、採集された仔稚魚をその時・その場の海洋表層の流れ場に応じて数値的に逆追跡する実験を行い、季節毎の産卵場分布と卵・仔稚魚の経験水温を推定した。

サンマ仔稚魚採集データ(1993-1996: 我が国周辺漁業資源調査(水産庁))をもとに、卵と遊泳能力の低い仔稚魚(体長<4.0 cm)の移動を、表層地衡流とエクマン流による輸送のみによると仮定して、仔稚魚が採集された地点(既知)から産卵された地点(未知)まで逆追跡するモデルを構築した。そして、産卵場分布と卵・仔稚魚が輸送される過程で経験する水温を推定した。表層地衡流は、TOPEX/POSEIDONにより観測された海面高度偏差データをもとに倉賀野・柴田(1997)と Kuragano and Kamachi(2000)が作製した $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ グリッドの海面力学高度データ(気象庁・気象研究所)を、時間解像度1日に線形内挿を施したデータから計算した。エクマン流はデータ同化手法により構築された $1.875^{\circ}\times 1.905^{\circ}$ グリッド、1日毎の海上風データ(NCEP/NCAR Reanalysis data)から計算した。卵・仔稚魚が経験する水温は、 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ グリッドの西部北太平洋海面水温データセット(気象庁・気象研究所)から1日毎に線形内挿を施して求めた。

その結果、秋から春にかけて継続するサンマの産卵期のなかで、秋と春は同じ混合水域に大規模な産卵場が形成される。このとき卵が経験する水温は、秋に約 $17-25^{\circ}\text{C}$ 、春に約 $9-19^{\circ}\text{C}$ と両季節間には差があった。その後、卵が孵化して仔稚魚へと成育する期間については、秋の個体は水温下降、逆に春の個体は水温上昇を経験していた。一方、冬は黒潮水域に大規模な産卵場が形成される。このとき卵が経験する水温は約 $17-22^{\circ}\text{C}$ であり、その後仔稚魚へと成育する期間も水温はほぼ一定に保たれていた。

#### 【サンマの脊椎骨数の解析】

2つ目の解析では、季節的な初期生息場の水温環境の違いがサンマの初期成長様式に与える影響を探ることを目的とした。魚類の脊椎骨数が生活史初期に経験した水温に逆比例することは、これまでに多くの実験研究やフィールド研究から示されている(例えば Tåning 1952; Blaxter and Holliday 1963; Garside 1966)。年齢が確定していない中型魚と大型魚も、生活史初期に経験する水温が異なっていれば、その影響により脊椎骨数が異なることが考えられ

る。そこで、秋に漁獲されたサンマ標本の脊椎骨数について解析を行った。中型魚と大型魚の脊椎骨数の間に差異があることはすでに認められているが(小達 1956; 小達 1962), 本研究が過去の研究と異なっている点は, i) 長期間にわたって蓄積された大量の標本(約 40000 個体)を扱ったこと, ii) サンマの体長だけでなく体重も考慮に入れた体型と脊椎骨数の関係を調べたことである。

秋の漁獲されたサンマ標本データ(1951-1989: 東北区水産研究所)を用いて、脊椎骨数の解析を行った。このデータには、サンマの体長・体重・脊椎骨数が記録されている。そこで、まず体長(19.0-35.8cm)と体重(22-186 g)を 2 軸とした体型平面上に体長 0.7 cm×体重 8 g 毎の格子を配置し、それぞれの格子に当てはまる標本の平均脊椎骨数( $\bar{X}$ )を求めた。つぎに、 $\bar{X}$ と全標本平均脊椎骨数( $\mu_v = 64.86$ )の比較を行い、 $\bar{X} < \mu_v$ となる上側信頼限界もしくは $\bar{X} > \mu_v$ となる下側信頼限界の信頼係数( $p$ : %)を求めた。

その結果、秋に漁獲されるサンマは、体型平面上で平均脊椎骨数が全標本平均脊椎骨数より少ないグループ( $\bar{X} < \mu_v$ :  $p > 95\%$ )と、多いグループ( $\bar{X} > \mu_v$ :  $p > 95\%$ )に 2 分されることが明らかとなった。平均脊椎骨数が少ないグループには体長 21-28 cm の個体が含まれ、平均脊椎骨数が多いグループには体長 26-30 cm で比較的体重が軽い個体と体長 30-33 cm の個体が含まれることが明らかになった。

#### 【結論】

秋に漁獲されるサンマの年齢は、近年体長約 20 cm の個体に関しては約 0.5 歳と一致して推定されているものの、大型魚になる段階では Watanabe *et al.* (1988)が 1 歳以下、根本(1997)が約 1.1 歳、そして Suyama *et al.* (1996)が 1.5 歳以上と推定年齢が異なっている。これら推定年齢の差は 1 歳未満であることから、推定発生季節の違いであると捉えることもできる。そこで、本研究で得られた季節による初期経験水温の違いと体型による平均脊椎骨数の違いをもとに、大型魚の年齢について考察を行った。

Gabriel(1944)は、*Fundulus* 属が胚発生期に経験する水温が低いほどは胚発生速度が遅くなり、脊椎骨数が多くなることを実験的に証明している。サンマの胚発生速度も、水温が低いほど遅くなることが実験により確かめられている(堀田・福島 1963)。サンマの脊椎骨数の決定に卵期水温の与える影響が大きいのであれば、本研究の結果から大型魚は、季節別の卵発生水温が一番低い春生まれが中心であると考えることができる。ただし、西部北太平洋の仔魚の成長

速度は秋にもっとも遅いことが指摘されている(Watanabe *et al.* 1997)。餌を十分に与えたサンマ仔魚の成長速度は、孵化後の経験水温が低いほど遅くなることが実験的に証明されている(Oozeki and Watanabe 2000)。一方、西部北太平洋において秋の初期成育場となる混合水域には、サンマ仔魚の餌(動物プランクトン)が充分でないことも知られている(小達 1994)。サンマの脊柱骨化作用は体長 $\approx 2.5$  cmまで続くことから(Hatanaka 1955)、孵化直後(体長 $\approx 0.7$  cm)に摂餌を開始するサンマの脊椎骨形成には、本研究では議論しなかった餌環境も影響する可能性が考えられる。

以上のように、西部北太平洋において、サンマ仔魚が産卵された場所の水温は、秋、冬、そして春の順番で低くなることが明らかとなった。また、秋に漁獲されるサンマの脊椎骨数は小型魚と中型魚に少なく、中型魚の一部と大型魚に多いことが明らかとなった。サンマの脊椎骨数を胚発生期の経験水温が決定するのであれば、本研究の結果から大型魚は春生まれが中心であると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 道 郎  
副 査 教 授 三 宅 秀 男  
副 査 教 授 渡 邊 良 朗 (東京大学海洋研究所)  
副 査 助 教 授 磯 田 豊  
副 査 助 教 授 桜 井 泰 憲

学 位 論 文 題 名

## 西部北太平洋におけるサンマ (*Cololabis saira*) の

### 初期成長様式に与える経験水温の影響

日本におけるサンマの研究は古くから行われてきているが、その寿命に関する研究にあっても1年から2年半と学説が多く、また、生活史の研究も論文が発表されているものの産卵場と索餌場との間をどのように回遊していくのか、その間、環境に対してどのような関係を保っていくのか、についての研究は数少なく、学説も定まっていない。

本研究では、日本におけるサンマ (*Cololabis saira*) の生活史初期に注目して、産卵場および初期経験水温の推定と脊椎骨数と環境の関係についての解析を行って新しい地検を数多く得ている。

まず、海流による移流を考慮したモデルを用い産卵場の推定と稚仔魚が経験した水温の解析を行っている。これは人工衛星による海面高度の情報から海面の流れを推定し、この流れを用いて、稚仔魚の分布から産卵場を逆追跡して産卵場を推定し、産卵場から稚仔魚になるまでに経験した水温を解析するというものである。その結果、秋から春にかけて継続するサンマの産卵期のなかで、秋と春は同じ混合水域に大規模な産卵場が形成され、このとき卵が経験する水温は、秋に約 17-25.0℃、春に約 9-19.0℃ と両季節間には差があること、その後、卵が孵化して仔稚魚へと成育する期間に秋の個体は水温下降、逆に春の個体は水温上昇を経験していたこと、一方、冬は黒潮水域に大規模な産卵場が形成される、このとき卵が経験する水温は約 17-22.0℃ であり、その後仔稚魚へと成育する期間も水温はほぼ一定に保たれていたことが分かった。このことは過去に経験的に言われてきたこととほぼ一致しており、このことを理論的に証明したことに大きな価値がある。

一方、脊椎骨数の解析では、秋に漁獲されるサンマは、体型平面上（縦軸に体長、横軸に体重をとった平面）で平均脊椎骨数が全標本平均脊椎骨数より少ないグループと、多いグループに2分されることが明らかとなり、平均脊椎骨数が少ないグループには体長 21-28 cm の個体が含まれ、平均脊椎骨数が多いグループには体長 26-30 cm で比較的体重が軽い個体と体長 30-33 cm の個体が含まれることが明らかになった。すなわち、この研究は、西部北太平洋において、サンマ仔魚が産卵された場所の水温は、秋、冬、そして春の順番で低くなることを明らかにし、秋に漁獲されるサンマの脊椎骨数は小型魚と中型魚に少なく、中型魚の一部と大型魚に多いことを示した。この結果はきわめてユニークな研究結果であり、サンマの脊椎骨数の研究に新たな知見を加えるものである。

以上の結果は、サンマの生態と生育環境に、従来にはない知見を与えたものであり、高く評価できる。よって審査員一同は本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。