

## 様式-2 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（中課題）

課題番号 3000  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
担当機関 東北区水産研究所八戸支所資源生態研究室  
担当者名 上野康弘（課題代表者）

### 1. 調査・研究の目的

サンマの分布や生活史には不明な部分が多く、資源変動についても正確には把握されていないが、過去の研究や平成 16～21 年度の資源動向要因分析調査の結果から北太平洋移行域、特に北上期の亜寒帯前線付近や産卵盛期である冬季の混合水域南部の水温・餌環境などが資源変動に大きな影響を与えている可能性が高いことが分かってきた。本調査では、飼育試験・成熟研究により生物学的パラメータを充実させ、資源動態モデル・成長モデル・回遊モデルを組み合わせた資源変動モデルの精度を上げて、近年の年級別資源豊度の変化と環境要因がどのように関連しているかを検証する作業を通じて、資源変動メカニズムの基本的な構造を明らかにする。また、同時に資源と環境に関するレトロスペクティブな解析を行い、モデルで抽出された要因との整合性を検討する。

### 2. 今年度までの調査・研究成果の概要

#### (1) 「飼育による資源生物学的パラメータの推定」課題の成果

- 1) 回遊範囲の非常に広い天然のサンマを全生活史にわたって観察することはできないので、本研究では生活史を通じた飼育を行い、成長、成熟、代謝等に関する基本的なパラメータを得ることを目的とした。
- 2) ふ化・飼育方法を開発し、周年飼育を達成し、養成親魚により受精卵を安定的に得る技術を開発した。
- 3) 仔魚の死亡はふ化前後と変態期(10～40 日齢)に集中しており、変態期の死亡魚はふ化時から成長が遅れていることを明らかにした。
- 4) 12～20℃の条件下で、餌の量をコントロールした飼育を行い、成長速度、餌料効率、個体の熱量等を測定した。また、17℃と 20℃飼育下における産卵量を明らかにした。
- 5) 飼育魚を用いて、水温と遊泳速度との関係を未成魚と成魚で明らかにした。
- 6) 飼育により測定した成長・餌料効率等のデータを基に 12～20℃の条件における体重－熱量関係や、食べた餌に対する糞の割合等を明らかにした。サンマの日間成長率(DGR、%)と肉体長(KnL、cm)、水温(WT)、摂餌率(P、摂餌量 g/魚体重 g×100)との間には、湿重量ベースで  $DGR = -0.039 \cdot KnL - 0.077 \cdot WT + 0.733 \cdot P$  の関係式が得られ、熱量ベースで  $DGR = 0.196 \cdot KnL - 0.162 \cdot WT + 0.508 \cdot P$  の関係式が得られた。一方、排泄速度は主に摂餌量に依存していることが判明した。

#### (2) 「成熟生理の研究」課題の成果

- 1) 本研究では、サンマの成熟過程を飼育魚において観察し、成熟の指標となるものを特定し、それを天然魚に適用して、自然状態における成熟過程と産卵量のインデックスを見出すことを目標とした。
- 2) 孵化後、約 10 ヶ月飼育して成魚に育てたサンマを 2 月下旬より加温により成熟促進させて 8 月下旬まで飼育し、生殖腺等の変化を調べた。
- 3) 最初の産卵は加温開始後約 1 ヶ月で認められた。孵化 1 年後の 4 月下旬には大部分の個体

が成熟状態にあり、血中ビテロジェニン量も高い値を示した。8月下旬にはビテロジェニン量が比較的低い個体が約半数を占め、産卵活性の低下が示唆された。

- 4) 長期間産卵を継続した飼育魚では卵巣中に排卵後濾胞の残存物であると考えられるアルデヒドフクシン陽性小塊が多数存在するとともに血管束が豊富に存在した。前者は産卵終了後3ヶ月を大幅に超える個体では退行変性卵の残滓との区別が困難となるため、経産魚の指標としてはあまり適切でないと考えられた。一方、後者は産卵後も長期間残るものと判断されることから、経産魚の指標となる可能性が示されたので、卵巣の血管束の状態を天然魚で観察してみることにした。
  - 5) 2007年6月3日から6月27日にかけての漁期前調査、及び2007年9月4日から2007年12月3日にかけての標本船調査によって得られた雌サンマの卵巣について、卵巣内血管の豊富さを指標にしてタイプ分けを行った。明らかな未産魚、経産魚の他に中間的なタイプの個体が多数存在し、血管束だけによる天然魚の未産魚・経産魚の判別は難しいことが分かった。
  - 6) さらに未産魚・経産魚の判別法の開発を目的として、卵巣切片に対して様々な染色法を試みた。アルデヒドフクシン-オレンジG重染色が、血管の詳細な構造把握が可能であり、最も適した方法の一つと考えられた。
  - 7) 長期間産卵を継続した飼育魚の卵巣についてこの方法で染色を行ったところ、卵巣内の細動脈の内側部にはアルデヒドフクシン強陽性の内弾性板の顕著な発達が見られた。
  - 8) 産卵せずに日齢を重ねた場合の卵巣変化を観察することを主目的として、産卵を抑制して約9ヶ月飼育したサンマについてサンプリングを行った。その結果、卵巣内に小血管束が認められる個体が存在し、未産魚においても日齢が進むと血管の増殖が起こることが判明した。しかしながら、これらの血管には内弾性板は未発達であった。
  - 9) 卵巣動脈においても経産魚においては弾性繊維の発達が顕著であり、これら卵巣内外の血管系の詳細観察が未産魚・経産魚判別に有効であると考えられた。
- (3) 「硬組織による成長・ふ化時期研究」課題の成果
- 1) 本研究では、耳石日周輪および透明帯の観察からサンマのふ化時期、成長速度、年齢、成熟時期などに関する検討をおこなうことを目的とした。
  - 2) 電子顕微鏡による観察から、8月には透明帯の形成が始まっており、10月には全ての個体で年輪が形成されていると考えられた。このことからサンマの寿命は2年であることが分かった。
  - 2) 耳石日周輪の観察により0歳魚の日齢査定を行った。体長6.5~29.8cmの個体では日齢が70~335日であり、これらのふ化時期は前年7月から当年の4月にわたっていたことが分かった。
  - 3) 0歳魚の体長-耳石径関係を6月~12月まで、月ごとに比較した。この結果、南下期に採集された個体の耳石半径は北上期のものに比べ大きかった。このため、耳石径から体長を推定する場合、目的とする月の体長-耳石径関係を用いる必要があることが分かった。
  - 4) ふ化時期が0歳魚越冬期での産卵(初回産卵)に及ぼす影響を明らかにするため、2003年から2007年(2006年を除く)の漁期前調査で採集された1歳魚について、耳石日周輪を観察し、2<sup>nd</sup> peak法によりふ化時期を推定した。同時に卵巣内の毛細血管量により産卵経験の有無を判定した。その結果、ふ化時期と0歳魚の産卵には、明確な関係が見られないことが分かった。したがって、0歳魚で比較的早めに生まれていたものについても必ず産卵しているとは限らず、0歳魚の産卵量については、さらに慎重な検討を要するものと考えられた。また、この過程で経産・未産の判別の指標に用いた卵巣中の毛細血管の量および様式は個体による変異が大きく、判別しにくいものが多かった。従って、判別の精度を

上げる必要もあると思われた。

- 5) 漁期前調査時に採集される1歳魚では、日本に近い海域に分布するものは沖の個体より体長モードが大きいことが経験的に知られている。そこで、2006年に採集された1歳魚について、東経160°以西で採集された群(以西群)と以东(以东群)の体長を比較し、ふ化時期の違い、1年目の成長の違いを調べ、モードが異なる原因を調べた。体長モードは以西群では31cmであったが、以东群は29cmであった。このうち、以西群48個体、以东群89個体の耳石輪紋を計数・計測した結果、2<sup>nd</sup> Peakまでの輪紋数は以西群では平均141.5±標準偏差40.9(以下同)、以东群では146.7±37.6で差はなかった(t検定p<.05)。2<sup>nd</sup> Peakまでの本数から以西群は10-3月、以东群は10-4月に孵化したものと推定された。また、透明帯形成時の日齢も、両海域で差がなかった。一方、年輪半径は以西群では0.61mm±0.068であったのに対し以东群では0.54mm±0.067mmで、以西群は有意に大きかった。以上のことから体長モードの大きい東経160°以西に分布した1歳魚は、0歳の時から成長が良かったことが示唆された。

(4) 「サンマ資源モデルの高精度化とモデル活用による資源変動要因の推定」課題の成果

- 1) 本研究では、他の課題および資源評価調査から得られた成果を数値モデルに取りこんで、資源動態を再現することにより、資源変動を起している環境要因を考察・特定することを目標にした。
- 2) 既存の成長-資源動態結合・回遊モデルを用いて、漁期前調査時のサンマの分布を初期値とし、各年における来遊量、魚体組成の変動を計算し、実データと比較した。この際、環境条件ができるだけ現実的なものになるよう衛星データを用いて計算を行った。流動場には、中央水産研究所海洋データ解析センターで整備された表面流速(Ambe09)を用いた。水温場としては、課題10040で整備されたMODIS Terraの海面水温を用いた。また、餌条件としては、課題10040で整備された海面衛星データから、池田ら(2008)のプランクトン組成比を用いて、動物プランクトン量を推定し、モデルの駆動に用いた。
- 3) 漁期前調査で得られた体長別分布密度を初期値とし、成長-資源動態結合・回遊モデルを駆動し、漁期に日本周辺(150E以西)に来遊するサンマの資源量・魚体組成について計算した。これらは資源・漁況調査による来遊資源量指数や魚体組成と整合した。
- 4) 上記のシミュレーション結果から1歳魚および0歳魚の産卵量の比較を行った。その結果、9月から翌年2月までの産卵量では、90%以上が1歳魚であった。また、産卵期全体にあたる9月から5月までの産卵量においても、2002年が例外的に0歳魚の産卵量が50%以上になったが、他の年は1歳魚が主であった。この結果から1歳魚の親魚量が加入量には重要であることが示唆された。また、モデルの産卵量の計算結果の順位が、翌年の漁期前調査による加入量と整合的であることがわかった。モデルの産卵に係わるパラメータは改善の余地はまだあるが、産卵量が加入量変動に直接的に影響していることが示唆された。
- 5) 産卵場を過去の研究例から水温で推定し、これを初期位置として、2002年冬生まれのサンマの回遊経路の推定をSuper-Individual-Based-Model(SIBM)を用いて行った。この際、索餌回遊は自身の最大成長方向へ、産卵回遊は仔漁の最大成長方向へ向かうと仮定し、2年後の2004年冬における産卵場を評価した。その結果、2年後の産卵場は沖合に形成され、日本沿岸には形成されなかった。南下回遊時に強制的に西方への回遊を取り入れることによって日本沿岸での産卵場が形成された。これらのことから、サンマは、南下回遊時には西向きに遊泳する特性を持っていることが示唆された。

(5) 「資源水準指標と環境要因のレトロスペクティブ解析」課題の成果

- 1) 本研究は資源量変動とよく整合した資源量指標を見出し、環境変動との照合を行い、資源

変動に影響を与えた環境要因を絞り込むことを目的とした。

- 2) サンマ資源量は、2003 年以前については推定されていないので、資源の長期変動について検討する場合には、資源量の変動とよく一致する指標を見出す必要がある。そこで、2003 年以降の 1 歳魚の漁期前の分布密度（資源量に対応）と来遊資源尾数指数（1 歳魚）および漁期の CPUE（40 トン以上の漁船による 1 操業当たり 1 歳魚漁獲尾数）の年変動を比較した。その結果、漁期前分布密度と CPUE の関係については、漁期前分布密度が高いはずの 2003 年が CPUE では低くなるなど、両者は異なった変動傾向を示した。一方、漁期前分布密度と漁期の来遊資源尾数指数はよく一致した年変動傾向を示した。従って漁期における資源量指標としては来遊資源尾数指数の方が適当であると考えられた。
- 3) 来遊資源尾数指数の長期変動から、資源水準の変動は以下のように記述できた。1950 年代に高く、1960 年代後半には大きく低下した。その後 1980 年代後半に上昇し 1990 年代前半にピークとなり、1990 年代後半には一時低下した。2000 年代になってからは再び 1990 年代前半並みの水準となっている。過去 60 年間に於ける最低水準期は 1960 年第後半から 1970 年代始めまでであった。来遊資源尾数指数は産卵期の亜熱帯前線域の水温および北上期の亜寒帯前線域の水温と関連性があることが分かった。

#### (6) 総合的な成果

- 1) 飼育試験においては、概ね自然の生活史に沿った成長、成熟などの過程を再現できた。
- 2) 飼育魚の産卵過程の研究から産卵履歴を反映している指標として卵巣動脈の弾性板が有効であることが分かった。
- 3) 耳石日周輪の解析から海域・時期によって成長速度が異なることが分かって来た。
- 4) 数値モデルには回遊モデル・資源動態モデル・成長モデルの統合が進み、資源変動を検討するための基礎ができた。

### 3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 自然状態では 0 歳と 1 歳で産卵があるものと想定されているが、本研究の飼育試験では 1 回しか産卵させられず、自然状態を完全に再現することはできなかった。
- (2) 天然魚でも卵巣動脈の弾性板が有効な指標となるかどうか、さらに検討が必要である。
- (3) 海域・時期によって成長速度が異なる原因について環境要因を考慮に入れた解析が必要である。
- (4) 数値モデルへの生物学的パラメータの組み込みや環境変動の取り込みには、まだ考慮すべき要素が多く、今後長期的な視点で継続的に改良していく必要がある。

### 4. 特筆すべき成果

- (1) サンマの周年飼育、採卵技術などを確立し、飼育による生態解明に道を開いた。
- (2) サンマの成熟過程を明らかにし、親魚量評価の基礎となる知見が得られた。
- (3) 硬組織の精査により年齢（寿命）、成長速度などが解明された。
- (4) 回遊・資源動態・海洋モデルを合体された数値モデルの開発により、サンマの資源全体を再現する数値モデルの基礎が構築された。

## 様式-1 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3010  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
小課題名 飼育による資源生物学的パラメータの推定  
担当機関 北海道区水産研究所海区水産業研究部栽培技術研究室・屋島栽培漁業センター・東京農業大学生物産業学部  
担当者名 中川亨（北水研）・森岡泰三（屋島栽培漁業センター）・塩本明弘（東京農大）

### 1. 調査・研究の目的

サンマの資源が変動する要因を解明する際には生活史に関する情報が不可欠である。しかし本種は広域を回遊し産卵期間も長いので特定の発生群を追跡し続けることが難しい。そこで生活史を通じた飼育を行い、成長に影響を与える諸要因の解明、成熟生態や産卵数、産卵と死亡との関係、基礎代謝量の測定など生物学的パラメータの推定を行う。さらに硬組織や成熟生理に関する共同研究を行い、グループ全体の研究の推進に貢献する。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 受精卵の確保と飼育法の開発（平成 16～19 年）
- (2) 成長、産卵等に関する基本的パラメータの取得（平成 17～19 年）
- (3) 代謝関係パラメータの推定（平成 18～22 年）
- (4) 成熟生理、硬組織に関する共同研究（平成 17～22 年）

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 天然卵と養成親魚による受精卵の安定確保を実現した。仔魚の死亡はふ化前後と変態期（10～40 日齢）に集中しており、変態期の死亡魚はふ化時から成長が遅れていること等が判明（図 1）、ふ化や管理方法を改善し、周年飼育を可能にした。
- (2) 20℃飽食条件下の成長や個体の熱量等に関するパラメータを取得し（図 2）、NEMURO. FISH のパラメータを一部更新した。17℃と 20℃飼育下における産卵量を明らかにした（図 3）。
- (3) 水温と遊泳速度との関係を未成年と成魚で明らかにした（図 4）。また、12～20℃の条件下でエネルギー収支に関する実験を行い、サンマの体重－熱量関係（図 5）や、食べた餌に対する糞の割合（図 6）等を明らかにした。サンマの日間成長率（DGR, %）と肉体長（KnL, cm）、水温（WT）、摂餌率（P、摂餌量 g/魚体重 g×100）の間には、湿重量ベースで  $DGR = -0.039 \cdot KnL - 0.077 \cdot WT + 0.733 \cdot P$  の関係式が得られ、熱量ベースで  $DGR = 0.196 \cdot KnL - 0.162 \cdot WT + 0.508 \cdot P$  の関係式が得られた。一方、排泄速度は主に摂餌量に依存していることが判明した。

### 4. 具体的なデータ

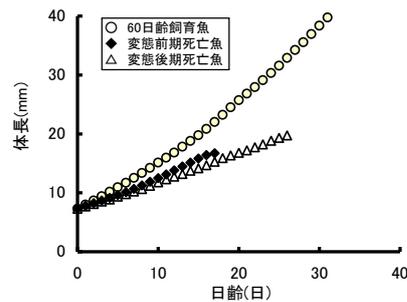
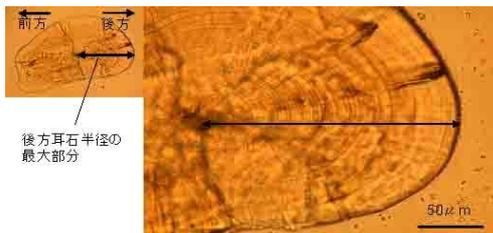


図 1 耳石の日周輪(左)から推定したサンマ飼育魚(60 日齢生残魚、変態期前期と後期の死亡魚)の成長履歴

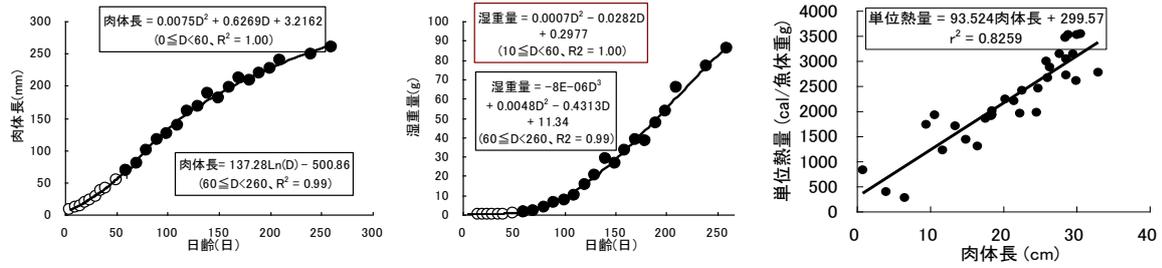


図2 サンマの成長に関するパラメータ(左、中) および肉体長と熱量との関係(右)

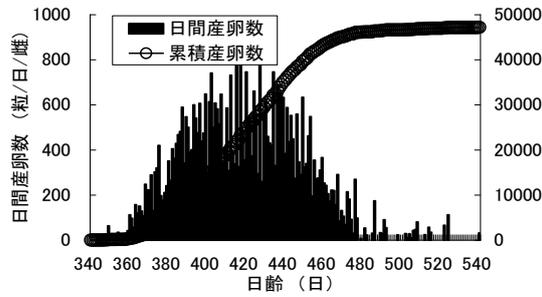


図3 飼育サンマの雌1尾当たり産卵数(17℃)

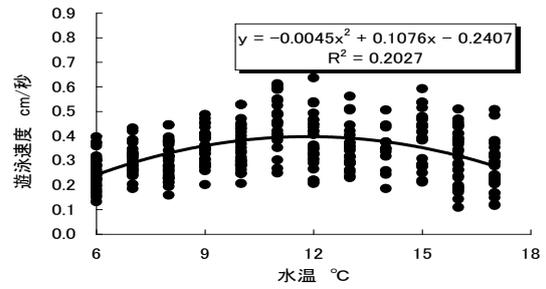


図4 サンマ成魚の水溫と遊泳速度との関係

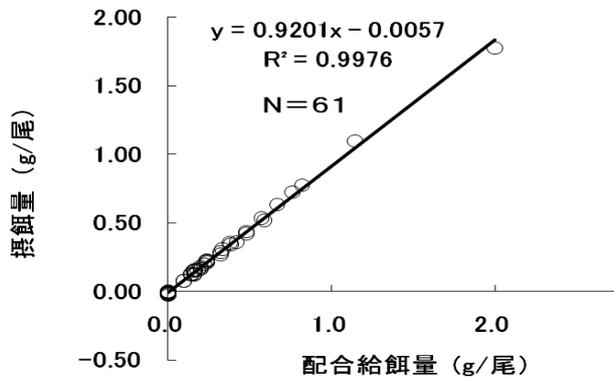


図5 配合給餌量と摂餌重量との関係

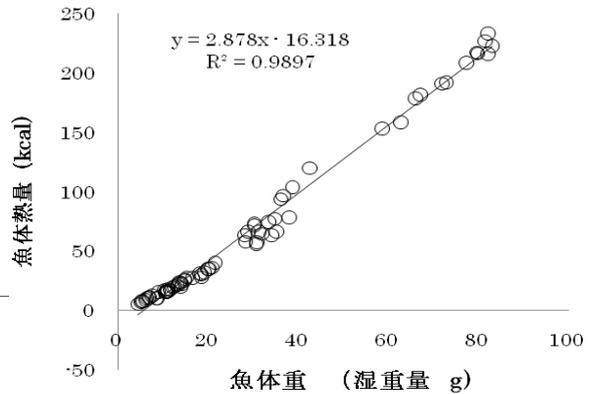


図6 魚体重と熱量との関係

## 5. 調査・研究推進上の課題

## 6. 調査・研究発表

(1) Nakaya *et. al.* (2008) : Validation of otolith daily increments for larval and juvenile Japanese halfbeak *Hyporhamphus sajori*. *Fish. Res. USA*. 93. 186-189. 他2点  
 その他、報告書19点、学会口頭発表8点、FRAニュース、新聞、テレビ報道等14点

## 様式-1 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3020  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
小課題名 成熟生理の研究  
担当機関 中央水産研究所資源評価部生理特性研究室・東北区水産研究所八戸支所資源生態研究室  
担当者名 清水昭男（中央水研）・巢山 哲（東北水研）・宇田川 美穂（中央水研）  
協力 松原孝博（北水研）・原 彰彦（北大）

### 1. 調査・研究の目的

サンマの再生産に関しては、産卵回数・産卵数などの大まかな推定がなされており、また、15℃以上で産卵可能であると推察されているが、産卵後の死亡まで考慮に入れた総産卵量、詳しい成熟・産卵のメカニズムや成熟・産卵のタイミング、卵質がどのように資源動態に影響するか等については分かっていない。本研究では成熟メカニズムの生理学的解析を行い、成熟を誘導する要因の特定を目指す。また、産卵回数、産卵数、卵質の評価など資源生物学的パラメータの詳細な把握とそれに影響を与える要因を解明する。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 東北水研で行う天然親魚調査において、組織学的観察用のサンプルを採取し、各種成熟パラメータ推定のための基礎データを得る。脳下垂体中の2種類の生殖腺刺激ホルモン(FSH及びLH)の分泌活性の評価、肝臓における卵黄タンパク合成活性の評価等を行い、生殖機能全体を総合した生殖活性評価を行う。
- (2) 飼育条件下にある親魚について、バッチ産卵数や産卵回数等の解析を行い、さらに、定期サンプリングによって、生殖腺、内分泌中枢、卵黄タンパク合成活性等の変化を調べる。また、餌や水温条件等による各種再生産パラメータの変化を解析する。
- (3) 天然魚で得られた、各種再生産形質と生殖内分泌中枢の活性や卵黄タンパク合成活性との関連を飼育魚における結果と比較検討し、これらの活性を具体的な再生産パラメータに反映させるための検証を行うとともに、天然条件における変動要因を推定・解析する。
- (4) H22年度においては、厚岸栽培技術開発センターでの飼育サンマを用いて、より天然に近い条件で飼育した雌魚の卵巣を観察し、経産魚・未産魚判別法について検討する。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

前年度までの概要

- (1) 漁期前調査で採集されたサンマについて、生殖腺、肝臓、及び脳下垂体の切片を作成し、観察した。肝臓及び脳下垂体については同様な成熟状態の魚においてもそれぞれ蛋白合成活性やLH細胞の量に顕著な差が認められ、これらの組織観察の併用によって生殖活性や成熟履歴をより適切に評価できると考えられた。
- (2) 厚岸栽培技術開発センターで孵化後、約10ヶ月飼育して成魚に育てたサンマを2月下旬より加温により成熟促進させて8月下旬まで飼育し、生殖腺等の変化を調べた。
- (3) 最初の産卵は加温開始後約1ヶ月で認められた。孵化1年後の4月下旬には大部分の個体が成熟状態にあり、血中ピテロジェニン量も高い値を示した。8月下旬にはピテロジェニン量が比較的低い個体が約半数を占め、産卵活性の低下が示唆された。この時期には脳下

垂体における血管の増生や充血・鬱血の著しい個体が認められ、脳下垂体の組織学的観察によって生殖履歴等の把握が行える可能性が示された。

- (4) 長期間産卵を継続した飼育魚では卵巣中に排卵後濾胞の残存物であると考えられるアルデヒドフクシン陽性小塊が多数存在するとともに血管束が豊富に存在した。前者は産卵終了後3ヶ月を大幅に超える個体では退行変性卵の残滓との区別が困難となるため、経産魚の指標としてはあまり適切でないと考えられた。一方、後者は産卵後も長期間残るものと判断されることから、経産魚の指標となる可能性が示された。
- (5) 2007年6月3日から6月27日にかけての漁期前調査、及び2007年9月4日から2007年12月3日にかけての標本船調査によって得られた雌サンマの卵巣について、卵巣内血管の豊富さを指標にしてタイプ分けを行った。明らかな未産魚、経産魚の他に中間的なタイプの個体が多数存在し、天然魚の未産魚・経産魚の判別にはさらなる改良が必要と考えられた。

#### 今年度の成果

- (1) 未産魚・経産魚の判別法の改善を目的として、卵巣切片に対して様々な染色法を試みた。アルデヒドフクシン-オレンジG重染色が、血管の詳細な構造把握が可能であり、最も適した方法の一つと考えられた。
- (2) 長期間産卵を継続した飼育魚の卵巣についてこの方法で染色を行ったところ、卵巣内の細動脈の内側部にはアルデヒドフクシン強陽性の内弾性板の顕著な発達が認められた。
- (3) 産卵せずに日齢を重ねた場合の卵巣変化を観察することを主目的として、2009年6月下旬に孵化後、産卵を抑制して約9ヶ月飼育したサンマについてサンプリングを行った。その結果、卵巣内に小血管束が認められる個体が存在し、未産魚においても日齢が進むと血管の増殖が起こることが判明した(図1)。しかしながら、これらの血管には内弾性板は未発達であった(図2)。
- (4) 卵巣動脈においても経産魚においては弾性繊維の発達が顕著であり、これら卵巣内外の血管系の詳細観察が未産魚・経産魚判別に有効であると考えられた。

#### 4. 具体的なデータ

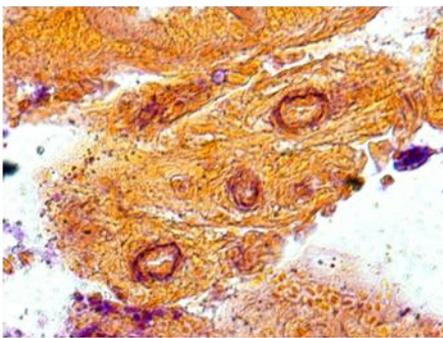


図1. 経産魚の卵巣内血管束. 内弾性板が顕著に発達している.

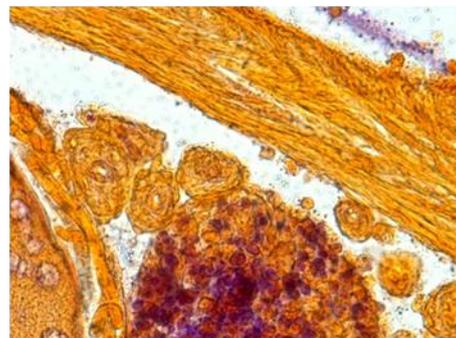


図2. 未産卵で日齢を重ねたサンマで認められた卵巣内血管束. 内弾性板は未発達.

#### 5. 調査・研究推進上の課題

特になし。

#### 6. 調査・研究発表

## 様式-1 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3030  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
小課題名 硬組織による成長・ふ化時期研究（硬組織研究）  
担当機関 東北区水産研究所八戸支所資源生態研究室・中央水産研究所資源評価部生理特性研究室  
担当者名 巢山 哲（東北水研）・清水昭男（中央水研）  
協力 松原孝博（北水研）・原 彰彦（北大）

### 1. 調査・研究の目的

サンマの資源変動を明らかにするためには、成長やふ化時期を詳細に追跡し、長期的な変動を明らかにした上で影響を与える要因を明確にする必要がある。しかし、本種に関しては成長や寿命など基本的な生活史に不明な点が多く残されており、これらを明らかにした上で長期的な変動の状況やその要因を解明する必要がある。そのため、耳石日周輪に基づき日齢査定を行い、ふ化時期や成長速度の変化とその要因を明らかにすることを目的とした。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 当歳魚の耳石日周輪を観察・計数する。この結果から、日齢査定やふ化時期を推定し、さらに輪紋間隔の解析や耳石と体成長の関係を詳細に検討することによって、成長様式を明らかにする。
- (2) 日齢査定が困難な 1 歳魚については、体長組成の変化から成長の良否を評価する。また、年輪（耳石透明帯半径）に基づいて前年の体長を逆算し、成長の良否がいつ決まるのかを明らかにする。また、年輪（耳石透明帯半径）に基づいて前年の体長を逆算するために必要なデータ（透明帯の形成時期、耳石長－体長関係など）を収集する。
- (3) 成長に年変動が見られる場合、この要因を明らかにする。
- (4) 他の小課題による成熟過程の解明結果と合わせ、サンマの生活史全体を明らかにし、最終的に資源量変動の機構を明らかにすることを目的とする。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

#### 前年度までの概要

- (1) 0 歳魚の日齢査定を行った。日齢査定を行った体長 6.5～29.8cm の個体では日齢が 70～335 であった。これらのふ化時期は前年 7 月から当年の 4 月にわたっていた。
- (2) 電子顕微鏡による観察から、8 月には透明帯の形成が始まっており、10 月には全ての個体で年輪が形成されていると考えられた。
- (3) 0 歳魚の体長－耳石径関係を 6 月～12 月まで、月ごとに比較した。この結果、南下期に採集された個体の耳石半径が北上期のものに比べ有意に大きかった。このため、耳石径から体長を推定する場合、目的とする月の体長－耳石径関係を用いる必要がある。
- (4) 2003 年および 2006 年漁期に採集されたサンマ 1 歳魚（それぞれ 2001-02 年級および 2004-05 年級）のふ化時期の違いを調べた。その結果からは、2004-05 年級のふ化時期が 2001-02 年級に比べ遅かったという明確な証拠は得られなかった。
- (5) 2005 年に採集された 1 歳魚 336 個体のうち、産卵の痕跡が認められない個体 10 個体中輪紋が計数・計測できた 7 個体について耳石輪紋幅の解析（2nd Peak の特定）を行い、ふ化日

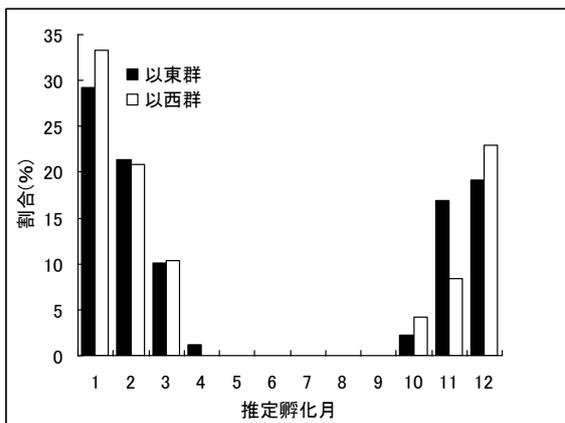
を推定した。推定ふ化日は 2003 年 10 月～04 年 1 月であり、産卵期の前半に生まれた個体と判断された。

(6) 2003 年から 2007 年 (2006 年を除く) の漁期前調査で採集されたサンマについて、ふ化時期が初回産卵に及ぼす影響を検討した。経産魚・未産魚とふ化時期の関係には明確な関係が見られなかった。また、経産・未産の判別の指標に用いた卵巣中の毛細血管の量および様式は個体による変異が大きく、判別の精度を上げる必要がある。

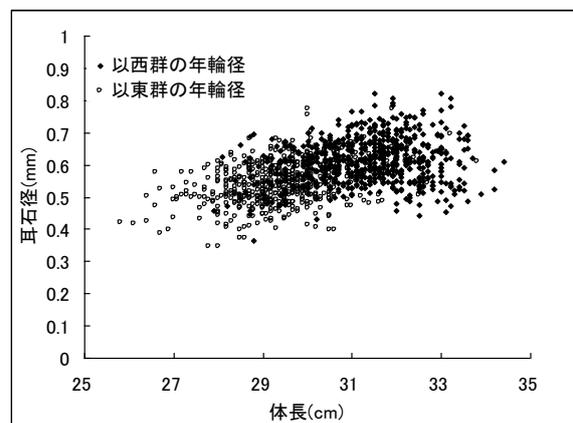
#### 今年度の成果

漁期前調査時に採集される 1 歳魚では、日本に近い海域に分布するものは沖の個体より体長モードが大きいことが経験的に知られている。そこで、2006 年に採集された 1 歳魚について、東経 160° 以西で採集された群 (以西群) と以东 (以东群) の体長を比較し、ふ化時期の違い、1 年目の成長の違いを調べモードが異なる原因を調べた。体長モードは以西群では 31cm であったが、以东群は 29cm であった。このうち、以西群 48 個体、以东群 89 個体の耳石輪紋を計数・計測した結果、2nd Peak までの輪紋数は以西群では平均 141.5 ± 標準偏差 40.9 (以下同)、以东群では 146.7 ± 37.6 で差はなかった (t 検定  $p < .05$ )。2nd Peak までの本数から以西群は 10-3 月、以东群は 10-4 月に孵化したものと推定された。また、透明帯形成時の日齢も、両海域で差がなかった。一方、年輪半径は以西群では 0.61mm ± 0.068 であったのに対し以东群では 0.54mm ± 0.067mm で、以西群は有意に大きかった。以上のことから、体長モードの大きい東経 160° 以西に分布した 1 歳魚は、0 歳時から成長が良かったことが示唆された。

#### 4. 具体的なデータ



以西群と以东群の孵化月の比較



以西群と以东群の体長—耳石年輪径の比較

#### 5. 調査・研究推進上の課題

研究機関をとおして、サンマの日齢とふ化時期を推定する技術が確立されたが、年変動や環境との関連を明らかにすることはできなかった。これは、耳石日周輪の輪紋解析に時間がかかるのが原因である。耳石日周輪の輪紋解析に基づいて、ふ化時期の大まかな推定ができる簡便な方法の開発が必要である。

#### 6. 調査・研究発表

(1) 巢山 哲・清水昭男 (印刷中) : サンマの初回成熟にふ化時期が及ぼす影響. サンマ等浮魚資源研究会議報告.

## 様式-1 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3040  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
小課題名 サンマ資源モデルの高精度化とモデル活用による資源変動要因の推定  
担当機関 東北区水産研究所混合域海洋環境部海洋動態研究室・北海道大学水産学部  
担当者名 伊藤進一・笈茂穂・佐藤政俊（東北水研）・岸道郎・照井健志（北大）

### 1. 調査・研究の目的

16～20 年度の資源動向要因分析調査により NEMURO.FISH（成長モデル）を個体数（資源）動態モデルおよび回遊モデルと結合させ、資源変動を表現するモデルを構築した。構築されたモデルを用いて、近年の年級別資源豊度の変動をもたらした環境要因が何か推定・検証する。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 既存の成長-資源動態結合モデル、回遊モデルを用いて資源変動の要因解析を行う（21-22 年度）。
- (2) 産卵日別コホートモデルの開発を進め、年齢別産卵貢献度を計算可能なモデルを構築する（21-22 年度）。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 既存の成長-資源動態結合・回遊モデルを用いて、漁期前調査時のサンマの分布を初期値とし、各年における来遊量、魚体組成の変動を計算し、実データと比較した。この際、環境条件ができるだけ現実的なものになるよう衛星データを用いて計算を行った。流動場には、中央水産研究所海洋データ解析センターで整備された表面流速（Ambe09）を用いた。水温場としては、課題 10040 で整備された MODIS Terra の海面水温を用いた。また、餌条件としては、課題 10040 で整備された海色衛星データから、池田ら（2008）のプランクトン組成比を用いて、動物プランクトン量を推定し、用いた。
- (2) 漁期前調査で得られた体長別分布密度を初期値とし、体長 1cm 毎に成長-資源動態結合・回遊モデルを駆動し、漁期に日本周辺（150E 以西）に来遊するサンマの資源量を計算した。その結果、2002 年から 2005 年の 4 年間を比較すると、2003→2004→2002→2005 年の順になり、漁期の CPUE から推定されている来遊資源量（東北水研 2008）と比較すると 2005 年がモデルで過小評価になっている以外は整合的であることがわかった。また、魚体組成については、2003 年および 2005 年が大型主体という計算結果になり（図 1）、漁期前調査の結果があれば魚期の魚体組成が予測できることが示唆された。
- (3) 上記のシミュレーション結果から 1 歳魚および 0 歳魚の産卵量の比較を行った。9 月から翌年 2 月までの産卵量では、90%以上が 1 歳魚であった。また、産卵期全体にあたる 9 月から 5 月までの産卵量においても、2002 年が例外的に 0 歳魚の産卵量が 50%以上になったが、他の年はほとんどが 1 歳魚であった。この結果から 1 歳魚の親魚量が加入量には重要であることが示唆された。また、モデルの産卵量の計算結果の順位が、翌年の表層トロール加入量と整合的であることがわかった（図 2）。モデルの産卵に係わるパラメータは改善の余地がまだあるが、産卵量が加入量変動に直接的に影響していることが示唆された。
- (4) 産卵場を過去の研究例から水温で推定し、これを初期位置として（図 3a）、2002 年冬生まれのサンマの回遊経路の推定を Super-Individual-Based-Model (SIBM) を用いて行った。この

際、策餌回遊は自身の最大成長方向へ、産卵回遊は仔魚の最大成長方向へ向かうと仮定し、2年後の2004年冬における産卵場を評価した。その結果、2年後の産卵場は沖合に形成され、日本沿岸には形成されなかった（図 3b）。南下回遊時に強制的に西方への回遊を取り入れることによって日本沿岸での産卵場が形成された（図 3c）。これらのことから、サンマは、南下回遊時には西向きに遊泳する特性を持っていることが示唆された。

#### 4. 具体的なデータ

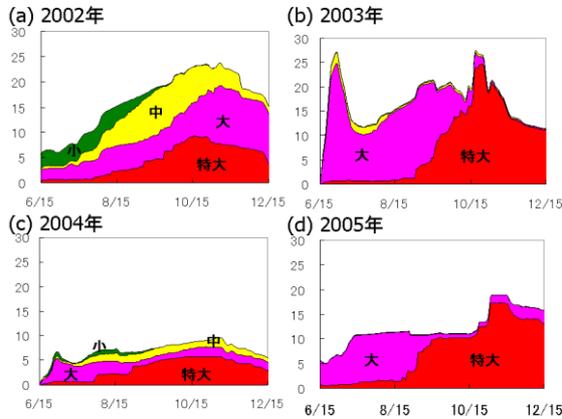


図 1. 漁期中に 148E 以西に分布したサンマの資源量 (万トン)。赤：特大(32cm-)，ピンク：大型(29-32cm)，黄色：中型(24-29cm)，緑：小型(20-24cm)。

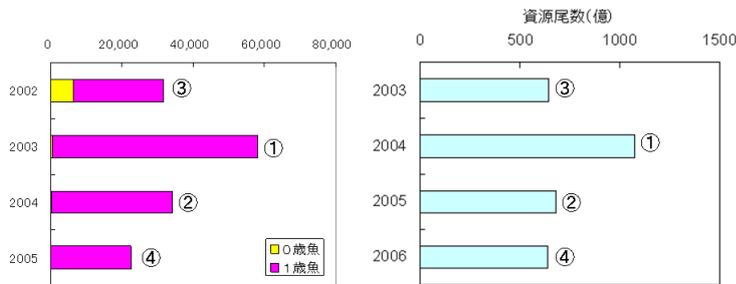


図 2. 右：各年 9 月～翌年 2 月までに日付変更線以西で産卵に使われたエネルギーの大きさ(魚体重換算、トン)。左：漁期前調査を元に見積もられた 0 歳魚の加入尾数。

#### 5. 調査・研究推進上の課題

用いている衛星データを更新し、2010 年の不漁についての考察を行う必要がある。2010 年は今世紀最大の北極振動偏差を示した年であり、且つエルニーニョ年であったため、沖向きへの仔魚の輸送が強化された可能性がある。この仮説を示すことができるような数値実験が必要である。

#### 6. 調査・研究発表

- (1) 伊藤進一 (2010)：低次生態系モデル NEMURO の開発の歴史。水産資源管理談話会報, 44, 1-20.

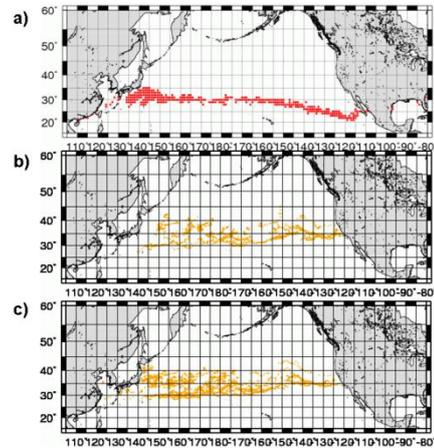


図 3. SIBM を用いた回遊シミュレーションの a) 初期位置、b) 2 年後の産卵場、c) 西方産卵回遊を組み込んだ場合の産卵場。

## 様式-1 平成 22 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3050  
大課題名 資源動向要因分析調査  
中課題名 サンマ太平洋北西部系群  
小課題名 資源水準指標と環境要因のレトロスペクティブ解析  
担当機関 東北区水産研究所八戸支所資源生態研究室  
担当者名 中神正康・納谷美也子・巢山 哲・上野康弘

### 1. 調査・研究の目的

サンマ棒受網船漁獲データ及び漁獲物測定データは 1951 年以降蓄積されている。サンマ棒受網漁場はサンマの分布の西端で行われていると考えられており、漁期のデータがサンマ資源の変動を示しているかどうかは不明確であった。

2003 年以降、サンマの資源調査は漁期前（6～7 月）に日本近海から西経 165 度までを調査範囲として行っており、この調査結果により資源量を推定している。近年、漁期前調査結果は秋季のサンマ棒受網漁期における漁況や体サイズを良く反映している。そこで、まず漁期前調査結果と漁期における資源水準指標や体サイズがどのように対応しているのかを明確にする。

そして長期のサンマ棒受船データから、漁獲データや漁獲物の体長・肥満度などの生物学的データを整理する。さらに環境要因指標との関係を照合し、その変動特性を解析する。またモデル研究結果との整合性を検討して、資源動向要因を明らかにする。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 近年の研究結果からサンマの年齢は 0 及び 1 歳の 2 年級で構成されていることが明らかとなったので、生活史との関連を明確にするために年齢別漁獲尾数データを基に解析を行う。ただし中層トロール及び棒受網での 0 歳魚の漁獲は少なく不安定なので、解析には 1 歳魚を対象とする。
- (2) 漁期前（6～7 月）に行われている中層トロール調査結果から得られた 1 歳魚分布密度（資源量に対応：尾数/1km<sup>2</sup>）に整合するような漁期の資源水準指標を探索した。漁期の資源水準指標としてはサンマ棒受網大型船（40 トン以上船）の CPUE（1 歳魚漁獲尾数/1 網）及び漁場面積を考慮した来遊資源尾数指数（各旬 30 分マス目ごとに算出した CPUE）の漁期累積値及び旬別の最大値を使用した。
- (3) 1951 年以降の体長階級別漁獲尾数データをもとに、①体長頻度分布を正規分布に分解する方法、②2003 年以降の耳石透明帯の有無の観察結果による体長階級別 1 歳魚割合の平均値を適用する方法により 1 歳魚漁獲尾数を推定した。これから CPUE 及び来遊資源尾数指数を算出した。また 1 歳魚の平均体長、肥満度の長期変動も調べた。この中で比較的資源変動をよく反映していると考えられる来遊資源尾数と環境要因の照合を行った。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 漁期前分布密度と漁期の CPUE、来遊資源尾数指数

2003～2008 年の漁期前分布密度（1 歳魚尾数/km<sup>2</sup>）と漁期の CPUE（1 歳魚漁獲尾数/40 トン以上船 1 網）の年変動を比較すると、漁期前分布密度が高い 2005 年が CPUE では最低値となる等、異なった年変動傾向を示した。一方、漁期前分布密度と漁期の来遊資源尾数指数は同様な年変動傾向を示した。サンマ漁場は年により漁場が集中、分散することで漁場面積が大きく変化することから、漁場面積を考慮しない CPUE では漁期前の分布密度の変動と

整合しないと考えられた。従って漁期における資源変動指標としては来遊資源尾数指数の方が適当であると考えられた。

(2) 漁期前と漁期での1歳魚の割合

2003～2008年の漁期前と漁期の1歳魚の割合を比較すると、毎年漁期前よりも漁期の方が高くなること、同様な年変動が見られることが明らかとなった。また有意な正の相関関係が見られた。このことから漁期前調査結果から1歳魚の割合は予測できると考えられる。

(3) 1歳魚漁獲尾数の長期変動

1950年代に多く1960年代後半には大きく減少した。その後1980年代後半に増加し1990年代前半にピークとなり、1990年代後半には一時減少した。2000年代になってからは再び1990年代前半並みの水準となっている。過去60年間における1歳魚漁獲尾数の最低水準期は1960年第後半から1970年代始めまでであった。

(4) 来遊資源尾数指数の長期変動と環境要因の照合

来遊資源尾数指数は1歳魚漁獲尾数と同様な長期変動傾向を示した(図1)。しかし漁獲量が過去最高を示した1950年代は1990年代前半や2000年代と比べて相対的に低くなった。1960年代後半から1970年代前半が過去最低水準となった。来遊資源尾数指数は産卵期の亜熱帯前線域の水温および北上期の亜寒帯前線域の水温と関連性があることが分かった。

(5) 体長及び肥満度の長期変動

1歳魚体長の平均値には大きな変化は見られなかった。一方1歳魚の肥満度は来遊資源尾数指数と同様な変動を示した。

4. 具体的なデータ

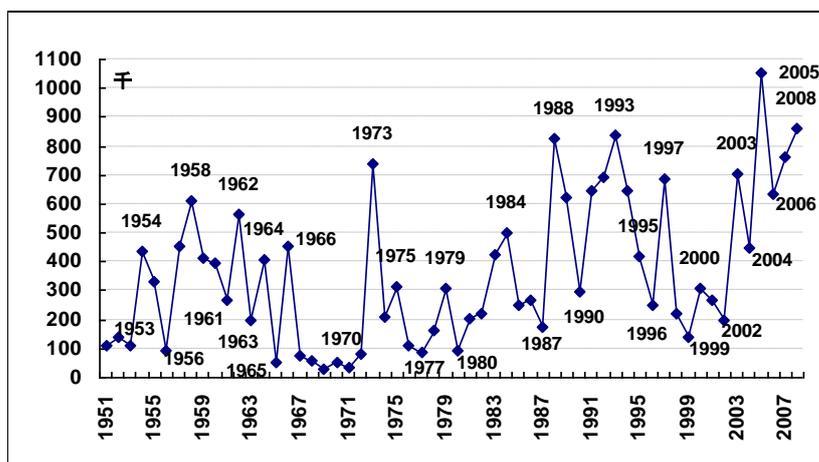


図1.来遊資源尾数指数の長期変動

5. 調査・研究推進上の課題

6. 調査・研究発表

- (1) 中神正康・納谷美也子・上野康弘・巢山 哲 (2011) : 資源水準指標と環境要因のレトロスペクティブ解析—漁期前と漁期における資源量指標の比較—, 第59回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告).

