

様式-2 平成 27 年度資源変動要因分析調査課題報告書（中課題）

課題番号 3000
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 サンマ太平洋北西部系群
担当機関 東北区水産研究所資源海洋部浮魚・いか資源グループ
担当者名 巢山 哲

1. 調査・研究の目的

サンマ (*Cololabis saira*) は日本のほか、ロシア、台湾、韓国の 3 カ国の漁船が漁獲しているが、ロシア、台湾の漁獲量は近年増加している。日本の漁船はおもに 8~12 月に東経 150 度以西の日本近海で漁獲を行っているが、台湾と韓国は公海域で 5 月下旬から漁業を行っている。東北区水産研究所では、サンマの資源量を把握するために、2002 年から、漁期前 (6~7 月) に日本近海から西経 165 度までの海域で中層トロールを用いた資源量調査を実施し、西経域まで連続してサンマが分布していることが明らかになった。しかし、日本近海に来遊して漁獲対象となるサンマは、漁期前調査時にどこに分布していた魚群であるか、また来遊するサンマの分布域の東限はどこであるのかは明らかになっていない。そのため、本種の資源評価を行う際に調査海域をどこまで設定すべきか、また、公海で行っている外国船の漁獲量が増大した場合に、日本に来遊する資源にどのような影響があるのかは明らかになっていない。

このように北太平洋に広く分布するサンマであるが、東シナ海、日本海や北米沿岸に分布するものを含めて、集団遺伝学的には変異がきわめて小さいと考えられている。ところが、耳石による成長の解析から、沿岸域および沖合域では成長に差が見られることが明らかになってきた。また、漁期前調査時には沿岸 (西側) にサンマが多い年と少ない年があり、この分布様式の変化がその年の日本近海の漁場への来遊時期や量に影響を及ぼす可能性が指摘されている。

そこで、本課題では漁期前調査で採集された標本を主体に解析することにより、各海域で採集されたサンマの成長や摂餌生態、成熟過程にどのような差があるのかを調査する手法を開発し、海域および年による生活史の差を明らかにする。これらの差は餌生物や海洋環境に影響されていると考えられるので、海洋物理学的環境や植物・動物プランクトンの分布特性やその年変化を明らかにし、これらの年変動がサンマの生活史にどのような影響を与えているのかを検討する。さらに、漁期に採集されたサンマと漁期前調査で各海域において採集されたサンマと生物学的な特性を比較し、日本近海に来遊するサンマの漁期前調査時における分布の東限や、日本近海に来遊するまでの過程を推定する。得られた結果を資源変動要因分析調査において開発してきたサンマ成長・回遊モデルに反映して高度化し、漁期前調査から漁場に回遊するまでの過程を再現する。そして、漁期前調査結果を初期値として漁期の日本近海への来遊シミュレーションを行う。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 2010~2014 年のサンマ 1 歳魚の耳石年輪径を海域別に比較したが、東経 160~170 度を境界として西側で大きく東側で小さい傾向は例年見られた。両群では、産卵を経験した個体の割合が異なるほか、餌生物が異なり東経域ではカイアシ類、西経域ではオキアミ類を捕食していた個体が多いこと、さらに餌生物の違いを反映したと考えられる炭素 ($\delta^{13}\text{C}$) 及び窒素 ($\delta^{15}\text{N}$) 安定同位体比も異なることが示された。0 歳魚の耳石成長速度も海域差が見られ、東より西、北より南でよかったため、孵化後 1 年目を過ごした海域によって成長の良否が変わると推測された。

- (2) 2004 年以降のクロロフィル a 濃度積算量の経年変化を検討した。平均値は 2004 年～2006 年では 40mg/m²、2007 年～2015 年では 50mg/m² で、2007 年～2015 年の方が高かった。また、サンマの漁獲調査点でも 2004 年～2006 年と 2007～2015 年には有意差がみられ (U 検定 ; p<0.05)、後者の方が高かった。2006-2007 年に NPI が負から正に転じており、その影響が示唆された。夏季の北太平洋中高緯度海域の植物プランクトン現存量は、2007 年以降、2006 年以前に比べて高い傾向であることが示された。
- (3) 経産魚と未産魚の判別技術を確立するために、卵巣をビクトリアブルー-アゾカーミンで染色したところ、長期間産卵を継続した個体では卵巣内にビクトリアブルーに陽性の小血管が多数観察されたのに対し、未産魚では高齢であっても観察されず、本染色法が経産魚未産魚の判別に有効であることが示された。
- (4) 経産魚と未産魚の判別技術を用いて、漁期前 (6～7 月) および産卵期 (2 月) に採集されたサンマの観察を行った。漁期前に採集した 1 歳魚では経産魚の割合が海域によって異なること、1 歳になったばかりの個体のうち未熟の個体には経産魚と判断されるビクトリアブルー陽性血管を持つ個体が存在せず、初回成熟群であることが組織学的にも支持された。この手法は野外標本の解析でも有効であると考えられた。
- (5) オイラー型モデルを基にサンマの西方回遊を再現できるモデルを開発した。この結果では 2010 年に突出して日本近海への来遊量が減少したが、モデルの初期値を全て同じにすると来遊量が 2010 年に突出して低くなることはなく、漁期前調査時の分布が 2010 年の来遊量が減少の原因であることが示唆された。
- (6) 初期値を全て同じにすると 2010 年は突出して来遊量が低くなることはなく、漁期前調査時の分布によって 2010 年の来遊量が減少することが決定されていることが示唆された。
- (7) サンマの西方回遊モデルに各年の漁期前一斉調査時の分布を初期値として与え、環境条件を 2002 年のものに固定して計算すると、2007 年以降、来遊量が減少し、2006/2007 年のレジームシフト以降、サンマの分布が日本近海に来遊しにくくなっていることがモデル実験でも確認された。
- (8) さらに、モデル来遊資源量指数が標準化 CPUE と同じ年々変動をするよう、産卵期西方回遊強度を変化させたところ、2005 年以降西方回遊強度が強くなった。西方回遊強度の年変動に影響する環境要素を調べた結果、北緯 30 から 50 度、東経 150 から 180 度の 8 月の雲量と負の相関があり、産卵回遊時初期に雲量 (光量) によって西向き能動遊泳が変化する可能性があることが示唆された。

3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 漁期前調査によって採集したデータに依存する課題が多いため、この調査を継続することが重要である。
- (2) それぞれの小課題の中で、海洋環境や餌料生物、サンマの成長などの海域差が明らかになってきた。また、モデル課題においても個体や個体群の移動や成長を再現できるようになってきている。今後は各小課題で得られた課題を比較し、結果に整合性がとれない部分について研究を進める必要がある。

4. 特筆すべき成果

- (1) 3010、3020 および 3030 の課題において、海域別の 1 歳魚の耳石年輪径、成熟割合、利用している餌生物の違いがあることが示された。耳石年輪径の海域差は 2010 年の資源尾減少した前後の期間で同様な特徴がみられることから、その他の特徴も例年見いだされると考えられる、また、0 歳魚の成長も海域差が見られ、この違いが 1 歳魚の海域別の特徴の違いに反映していると考えられた。

様式-1 平成 27 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 3010
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 サンマ太平洋北西部系群
小課題名 北上期における成長および摂餌生態の地理的経年的変動
担当機関 東北区水産研究所資源海洋部浮魚・いか資源グループ
担当者名 巢山 哲・中神正康・納谷美也子（東北水研）・清水昭男（中央水研）

1. 調査・研究の目的

東北区水産研究所では、2003年から毎年6～7月に北太平洋においてサンマの漁期前調査を行っているが、分布するサンマの密度や体長、年齢組成、摂餌する餌生物は海域によって異なることが分かってきた。特にこの時期は活発な摂餌を行い、体長も急速に成長する時期であるため、成長の年変動や海域差が出やすい時期と考えられる。これらの年変動は、8月以降日本近海に形成される漁場への来遊時期や漁獲物の体長組成および肥満度、さらに秋以降の産卵期における産卵数に影響する可能性が考えられる。そこで、本課題では漁期前調査で得られたサンマの栄養状態や成長、分布の把握とその年変動の実態を明らかにし、漁期に漁獲されたサンマと比較することによって、北上期の生物学的特性の年変動が漁獲物の特性や再生産に及ぼす影響を検討する。

2. 調査・研究方法

漁期前調査によって、6～7月におけるサンマの年齢別分布尾数やその体長組成とその年変動が明らかになっている。また、耳石による成長の解析からは、沿岸で成長した個体は沖合で過ごした個体よりも成長がよい可能性が示されている。1歳魚の耳石を観察すると、透明帯（年輪）の半径や、耳石タイプが海域によって異なり、調査海域の東側では年輪の半径が小さく透明帯は不透明帯には含まれた明瞭な帯として現れる耳石（タイプ III）を持つ個体の割合が高いのに対し、西側では年輪半径が大きく透明帯は耳石縁辺部に広く出現する耳石（タイプ II）を持つ個体が多いことが報告されている。さらに、東側と西側では、餌生物の量や種類に違いがあることが分かっており、餌となるプランクトンの密度も、両海域で異なっていることが示されている。そこで本課題では

- (1) 耳石の年輪の半径や耳石タイプは、2006年には東経 160 度付近を境界として東西で差が見られたが、このような地理的変化が毎年観察されるのか、その境界位置には年変化があるのかを明らかにする。また、ふ化時期や耳石の成長を比較することによって、両海域で成長差を生じる原因を推定する。
- (2) 日本近海の漁場で漁獲されるサンマについても耳石の観察を行い、漁獲の対象となっているサンマが漁期前調査時にどの海域に分布していた個体群に特徴が近いかを明らかにする。
- (3) 餌料生物となるプランクトンの採集を行うとともに消化管内容物を分析し、摂餌重量や餌となる動物プランクトンの海域差の年変動を評価する。
- (4) 耳石以外に調査海域西側で成長した群と東側で成長した群の差を示す形質がないかを探索する。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 2006年に採集された1歳魚(2005年級)の耳石の成長速度を、東経 160 度以西と、東経 170 度以东で採集された群で比較すると、成長速度が異なることが示された。

- (2) 2005年に採集された0歳魚について、海域別に耳石成長の比較を行った。比較は、漁期前調査時に東経159度上調査線(34個体)および西経域で(採集43個体)した2群に加え、漁期に日本近海で漁船によって漁獲された0歳魚(27個体)も加えた3群で行った。漁期前調査時に採集した2群では、ふ化時期は9~2月で、海域による耳石成長の違いは見られなかった($P > 0.05$ t test)。
- (3) 2013年および2014年に採集し、経産魚と未産魚の判別を行った1歳魚について海域ごとに耳石径を比較した。各海域とも経産魚の年輪径が大きかった。経産魚については年輪径の有意差がなかったが、2013年の未産魚は西側の個体の年輪径が有意に大きかった。経産魚では海域差は現れなかった。0歳時の成長の良否が当年の成熟に影響を及ぼしている可能性が示唆された。
- (4) 2012年の漁期前調査で採集された0歳魚(2012年級)について、海域による耳石成長の比較を行った。2012年では11月に採集した個体も解析に加えた。統計的な差異が出なかったものの、0歳時の成長は東より西、北より南でよかった。0歳時を過ごした海域によって成長の良否が変わると推測された。これらの環境による成長の違いが、初回成熟に影響している可能性が示唆された。
- (5) 東経域ではカイアシ類、西経域ではオキアミ類を捕食していた個体が多いことが示唆されている。海域による餌生物の違いが累積的に反映されるのかどうかを、炭素($\delta^{13}\text{C}$)及び窒素($\delta^{15}\text{N}$)安定同位体比を指標として検討した。2015年は西経域3点、東経域2点で分析を実施した。 $\delta^{13}\text{C}$ も $\delta^{15}\text{N}$ も東経域に比べて西経域では高い値が多かった。特に $\delta^{15}\text{N}$ は西経域の北の地点では高かった。西経域でオキアミを捕食したとしても栄養段階が異なるほど大きく $\delta^{15}\text{N}$ が変わることは、海域のベースとなる $\delta^{15}\text{N}$ が異なる可能性がある。植物プランクトンや動物プランクトンの海域による $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ との比較が必要である。

4. 具体的なデータ

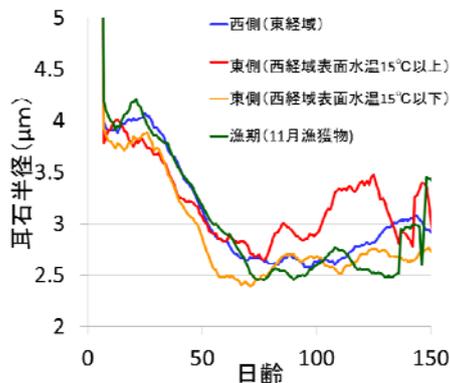


図1. 2012年漁期前調査で東経域、西経域(15°C未満、15°C以上)と11月の漁期に採集されたサンマ0歳魚の日齢別耳石径の比較。

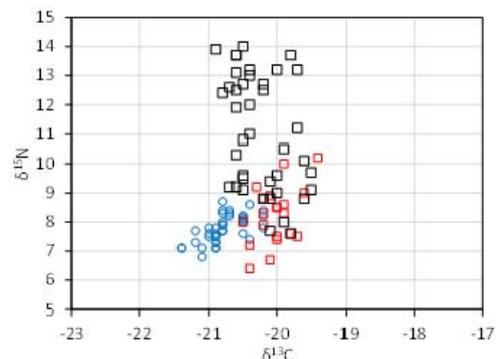


図2. 2015年に東経域(青)と西経域(赤: 39-10N、黒: 41-34~55N)で採集されたサンマ筋肉中の安定同位体比分析結果。

5. 調査・研究推進上の課題

特になし。

6. 調査・研究発表

- (1) 巢山 哲・中神正康(印刷中): 2012年6~7月に採集されたサンマ0歳魚の海域および採集時期による成長速度の比較. 第64回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書.
- (2) 中神正康・巢山 哲・納谷美也子(印刷中): 2013年及び2014年の安定同位体分析の東西比較. 第64回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書.

様式-1 平成 27 年度資源変動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 | サンマ太平洋北部系群 |
| 小課題名 | 海洋環境の経年変動と分布様式に及ぼす影響 |
| 担当機関 | 東北区水産研究所資源海洋部浮魚・いか資源グループ、海洋動態グループ |
| 担当者名 | 中神正康・納谷美也子・巢山 哲・伊藤進一・塩本明弘（東京農業大学） |

1. 調査・研究の目的

東北水研が6～7月に行っている東経 143 度～西経 165 度の調査結果から、サンマの分布量は、東経 160 度より西では変動が大きいこと、東経 160 度以東では変動が少ないことが明らかとなっている。また相対的に調査海域の西側では 1 歳魚が多く、東側では 0 歳魚が多い傾向が見られる。これらサンマの分布様式の違いは海洋物理学的環境や基礎生産力など生物学的環境の違いが反映していると考えられる。

そこで、本調査では毎年 6-7 月に行われているサンマの漁期前調査で得られたサンマの分布と海洋物理学的データ及び基礎生産力の指標となるクロロフィル a 濃度などを対応させることで、サンマの分布に影響する要因を検討した。今年度は水温塩分とサンマの分布との関係、クロロフィル a 量の経年変化をまとめた。

2. 調査・研究方法

- (1) 2003 年以降に行われたサンマ漁期前調査で得られた海洋観測データ（各層の水温・塩分躍層水深など）を整理し、年による海洋物理学的環境の特徴を把握する。基礎生産力データは、6-7 月の調査において、表面から 150m までのクロロフィル a 濃度及び栄養塩類（アンモニア、硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸）も測定した。これら環境要因とサンマの分布量、海域別の体サイズなどを照合し、サンマの分布を説明する要因を検討した。
- (2) 27 年は 2003～2015 年 6～7 月調査で得られた表層の水温（表面水温、以下 SST）と塩分（10m 深塩分、S10m）を説明変数とし、応答変数に年齢別にサンマの在・不在を説明するロジスティック型一般化加法モデル（GAM、応答変数の誤差分布は二項分布、リンク関数はロジット）により年齢別にサンマ分布確率の高い水温・塩分環境を推定した。2004～2015 年（2009 及び 2010 年は除く）6～7 月の北太平洋中高緯度海域（北緯 35～50 度、東経 143 度～西経 165 度）の調査で得られた 0～150m 深までのクロロフィル a 積算量の経年変化及び水平分布の年変化をまとめた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 2003～2015 年 6～7 月の前線構造の分布は以下の特徴が見られた。東経 151 度付近および東経 167～171 度では毎年亜寒帯前線（SAF）及び亜寒帯境界（SAB）が調査海域内で確認されたが、両者の南北位置には年による違いが見られた。毎年サンマの分布が確認された東経 167 度、171 度では、2003～2007 年には、167E に移行域（TD）の南北幅の狭い領域が 41N 付近に見られたが、2008 年以降は 167E 上の移行域の南北幅の狭い領域がさらに東の 171E まで広がった。これは、171E 上の SAB が北上したためであった。この構造は、2011 年まで継続したが、2012 年以降 2015 年まで再び 171E の移行域の南北幅は拡大した。これは、2012 年以降 171E で SAF が北上、SAB が南下傾向にあるためであった。亜寒帯前線帯の変動（TD の南北幅の変動）は、この海域の南西から北東に向かう流れの強さとの関わりがあると考

えられ、サンマの東西分布に影響をもたらす可能性がある。

- (2) サンマ出現確率に対する好適 SST は、0 歳魚では 10~15°C 台、1 歳魚は 8~14°C 台であり、0 歳魚よりも 1~2°C 低温域であった (図 1)。最適水温のピークはいずれも年齢もほぼ 13°C であった。好適 S10m は 0 歳が 33~34psu であったのに対し、1 歳魚はこれよりやや低塩側 (~32.9psu) に広がっていた。以上のことは、SAF より北側の低温・低塩の亜寒帯系水の領域では、1 歳魚に比較して 0 歳魚の分布が少ない特徴を示すものである。なお、調査範囲全体および有漁獲点の水温・塩分レンジには 13 年間で年変化は見られなかった。
- (3) 0~150m 深までのトータルクロロフィル a 濃度 (全サイズの合計) 積算量 (以下、クロロフィル a 積算量) の平均値の年変動を図 2 に示す。2004 年~2006 年は 36~47mg/m² であったが、2007 年~2015 年では 47~56mg/m² であった。2004 年~2006 年の積算量と 2007 年~2015 年の積算量には有意差が認められた (U 検定; p<0.05)。平均値は 2004 年~2006 年では 40mg/m²、2007 年~2015 年では 50mg/m² で、2007 年~2015 年の方が高かった。また、サンマの漁獲調査点でも 2004 年~2006 年と 2007~2015 年には有意差がみられ (U 検定; p<0.05)、後者の方が高かった (2004 年~2006 年の平均値: 41mg/m²; 2007~2015 年の平均値: 52mg/m²)。
- (4) 夏季の北太平洋中高緯度海域の植物プランクトン現存量は、2007 年以降、2006 年以前に比べて高い傾向であることが示され、この時期に NPI (北太平洋指数) が負から正に転じており、関連が示唆された。0~150m までのクロロフィル a 積算量の全データの水平分布の平均値は 47mg/m²、標準偏差は 18 mg/m² であった。平均値+1 σ 値は 65 mg/m² となる。そこで基準として 60 mg/m² よりも高い値をみると、2004 年以外は日本近海の北緯 40°、東経 150° 以西にみられた。また、2012 年以降は、西経域の北緯 40~45°、西経 170° あたりにも 60 mg/m² を超す値がみられた。北太平洋の中高緯度海域において、植物プランクトンの現存量は、北緯 40° 付近、経度が東経 150° 以西と西経 170° あたりで高いことがうかがわれた。

4. 具体的なデータ

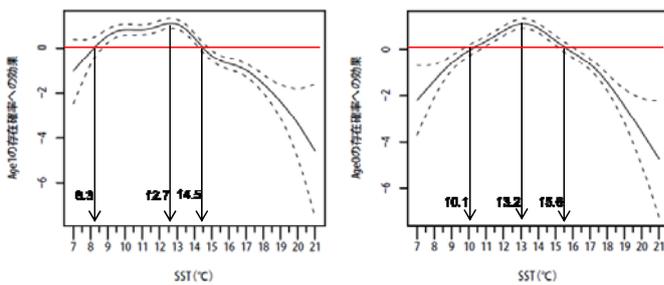


図 1. GAM で推定した表面水温の年齢別のサンマ存在確率への効果 横軸は、表面水温 (SST°C)。縦軸は SST のスプライン関数で 1 歳魚の存在確率への効果 (左) と 0 歳魚の存在確率への効果 (右) を表す。

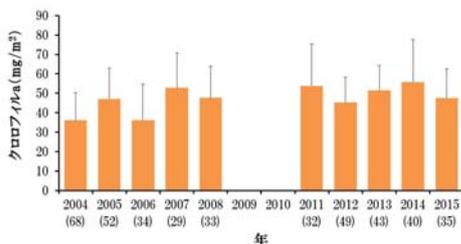


図 2. 0m~150m のクロロフィル a 積算量 (mg/m²) の平均値と標準偏差 (左)。カッコ内の数字はいずれもデータ数。

5. 調査・研究推進上の課題

なし。

6. 調査・研究発表

- (1) 納谷美也子・中神正康・巢山 哲 (印刷中): サンマ漁期前調査データによるハビタットモデル特徴. 第 64 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書. 他

様式-1 平成 27 年度資源変動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 | 年齢別成熟割合を求める簡易標準手法の高度化と応用 |
| 担当機関 | 中央水産研究所水産遺伝子解析センター機能研究グループ 東北区水産研究所資源海洋部浮魚・いか資源グループ |
| 担当者名 | 清水昭男（中央水研）・巢山 哲（東北水研） |
| 協力機関 | 北海道大学水産学部 |

1. 調査・研究の目的

サンマの資源評価を行う上で親魚量及び産卵数の推定は重要であるが、親魚量の推定に必要な年齢別の成熟度に関しては未だに信頼できる推定方法が存在しない。この課題について、これまで行われてきた飼育実験で得られた標本や産卵場調査によって得られる多様な親魚標本を詳細に解析し、経産魚・未産魚の判別技術の高度化を図るとともに、毎年の変動が容易に判別できるように簡易な手法を開発する。これらの知見をもとに、サンマの資源評価および資源予測の高度化を図る。

既存の知見として、飼育実験下において群としての産卵数や産卵期間が明らかになっている。また、産卵後の個体には卵巣中に特異な細血管が観察されることから、これが経産魚の指標となる可能性が示されている。一方、野外調査で得られた1歳魚の卵巣の細血管を観察したところ、血管の量や分布様式には変異が大きく、経産魚と未産魚判別の確実な指標とするためには、さらに解析が必要なが分かった。また、産卵期間の長短が、血管の分布様式に影響を及ぼしている可能性も指摘されている。

2. 調査・研究方法

(1) 経産・未産魚判別技術の高度化

卵巣組織について様々な染色法や、免疫組織化学など生化学的手法を用いた染色等を検討し、さらには脳下垂体、肝臓等の生殖関連組織の観察等を行うことにより、産卵履歴評価手法の正確化、高度化をはかる。

(2) 産卵量の変化が卵巣中の血管分布様式に及ぼす影響

厚岸栽培技術開発センターでの飼育により蓄積された、群産卵履歴の明らかな魚の卵巣サンプル、及び産卵場調査や産卵期の漁獲物調査によって得られた様々な時期の多様な卵巣サンプルを解析することにより、産卵量と卵巣内血管との関係をより精密に検討する。

(3) 経産・未産魚判別技術の簡易的・標準的手法の確立

簡便かつ安定した染色法の開発や、卵巣組織データの数値化等を行うことにより、経産・未産魚判別を簡易・標準化する。ホルマリン固定標本を用いたルーチン業務として行える手法を目指す

(4) 27年度は判別法のマニュアル化を行うとともに、初回成熟群と思われる天然魚の経産魚未産魚判別を行う。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- ・昨年度までの成果

- (1) サンマ卵巣、特に卵巣内血管の様々な染色法を試みた。ビクトリアブルー-アゾカーミン二重染色法は、手法が簡便かつ染色液の全てが市販のものを利用することが出来るため、ルーチン的解析に適すると思われた。
- (2) 飼育サンマの卵巣標本についてビクトリアブルー-アゾカーミン二重染色を行ったところ、長期間産卵を継続した経産魚では卵巣内にビクトリアブルーに陽性の小血管が多数観察されたのに対し、若齢魚や高齢未産魚ではほとんど観察されず、本染色法が経産魚未産魚の判別に有効である可能性が高いと考えられた。
- (3) 卵巣内細動脈は成熟に伴い発達し、アルデヒドフクシン陽性の弾性繊維も同時に増加するが、産卵期終了後、卵巣の退行に伴って、弾性繊維が分断や凝縮等の退行的兆候をみせることが明らかとなった。
- (4) 細動脈の弾性繊維のうち、退行変性したもののみがビクトリアブルー陽性となることから、未発達の卵母細胞のみを持つが、ビクトリアブルー陽性の血管を多数もつものは、過去に産卵してその後退縮した経産魚とみなせることが示された。

・当該年度の成果

- (1) サンマ経産魚・未産魚判別法をさらに改良し、マニュアルを作成した。
- (2) ビクトリアブルー-アゾカーミン染色を用いて初回成熟群と思われる天然魚サンマ卵巣標本の経産魚未産魚判別を行った。未熟魚には経産魚と判断されるビクトリアブルー陽性血管を持つ個体が存在せず、組織学的にも初回成熟群であることが支持された。

4. 具体的なデータ

サンマ経産魚・未産魚判別マニュアル

1. 切片染色

染色手順

キシレン（またはレモゾール）1：20分
 キシレン（またはレモゾール）2：20分
 キシレン（またはレモゾール）3：20分
 100%エタノール（または変性アルコール）1：5分
 100%エタノール（または変性アルコール）2：5分
 90%エタノール（または変性アルコール）：5分
 70%エタノール（または変性アルコール）：5分
 水洗：10分
 ビクトリアブルー液：1晩
 70%エタノール（または変性アルコール）1：3分、カゴを上下させながら
 70%エタノール（または変性アルコール）2：2分、カゴを上下させながら
 70%エタノール（または変性アルコール）3：2分、カゴを上下させながら
 水洗：5分
 アゾカーミン液：3分
 水洗：2分
 アニリンアルコール：約5分、カゴを上下させながら、切片がピンク色になるまで
 水洗：5分
 100%エタノール（または変性アルコール）1：5分
 100%エタノール（または変性アルコール）2：5分
 100%エタノール（または変性アルコール）3：5分
 ブタノール1：5分
 ブタノール2：5分
 キシレン（またはレモゾール）1：5分
 キシレン（またはレモゾール）2：5分
 エンテランニューまたはカナダバルサムで封入

各液の作り方と保存

ビクトリアブルー液、アゾカーミン液：市販のものを使う。使用後は密閉でき

表 1: 初回成熟群と思われる天然サンマの卵巣組織

| 成熟状態 | 陽性血管の有無 | 個体数 |
|------|---------|-----|
| 未熟 | あり | 0 |
| 未熟 | なし | 23 |
| 成熟 | あり | 8 |
| 成熟 | なし | 57 |

図 1：サンマ経産魚・未産魚判定マニュアル（部分）

5. 調査・研究推進上の課題

特になし

6. 調査・研究発表

- (1) 小澤 瞳・巢山 哲・清水昭男・桜井泰憲（印刷中）：サンマの年齢別経産魚割合の海域による違い. 第 64 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書.

様式-1 平成 27 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 サンマ回遊モデルの高度化と漁期前調査データを用いた漁況の予測の試行
担当機関 東北区水産研究所資源海洋部海洋動態グループ
担当者名 笥 茂穂・大野創介（東北水研）

1. 調査・研究の目的

これまで開発してきたサンマ成長・回遊モデルを高度化し、漁期前調査結果を初期値として漁期の日本近海への来遊シミュレーションを行ない、その問題点の抽出からサンマ回遊と海洋環境との関係を推定・検証する。

2. 調査・研究方法

資源動向要因分析調査において開発したサンマ成長・回遊モデルを、同調査で得られている飼育実験結果、野外調査結果などの情報を取り入れて高度化する。このモデルを、漁期前調査結果から得られるサンマの分布を初期値として、できるだけ現実的な海洋条件のもと駆動し、漁期中の日本近海への来遊シミュレーションを行う。

- (1) オイラー型モデルでは、絶対来遊量を計算することが可能である。一方、これまでの結果から、通常の回遊アルゴリズムでは、日本近海への来遊量が極端に過少評価されている。この結果は、サンマが能動的に西向き遊泳を行っていることを示唆する。本課題では、能動的な遊泳がどの程度必要か、また、その遊泳速度がどのような年々変動をしているのかを調べる。西向き能動遊泳の年々変動と海洋環境を対比し、どのようなメカニズムで西向き能動遊泳の変化が起きているのかを明らかにする。平成 27 年度は、水平解像度を 1/4 度にした回遊モデルの改良を進め、計算期間を 2011 年の漁期前調査を初期値としたものまで拡張し、産卵期の西向き能動遊泳の年々変動と海洋環境とを対比した。
- (2) 上記のオイラー型モデルは、個々のサンマの回遊経路や成長履歴を追うことができないため、Individual Based Model (IBM)を用いて、沿岸と沖合を回遊するサンマに生じる成長差の原因を探求する。また、日本周辺海域に来遊するサンマの回遊経路を推定する。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) オイラー型モデルでは、平成 23 年に海色衛星データを MODIS/Aqua に変更、計算期間を 2009 年まで延長し、現実的なサンマの産卵場を再現するためには、産卵期に西向き能動遊泳を与える必要があることを示した。平成 24 年度は、モデル内での日本近海への来遊量の年々変動が、実際の来遊資源量指数と同期するために必要な産卵期の西向き能動遊泳速度を求め、2004 年に低く、2008 年に高い結果を得た。平成 25 年度は、8～10 月に北西太平洋が高水温で北東太平洋が低水温のときに、産卵期の西向き能動遊泳速度が強まる関係にあることを示した。これらの解析はデータ数が少なく、計算期間延長が必要となったが、利用している流向・流速データの水平解像度の変更のため、1/4 度モデルを平成 26 年度に作成した。
- (2) 平成 27 年度は、モデル内でのサンマの成長が現実的になるよう、産卵期西向き能動遊泳による消費エネルギーを考慮するよう改良した。さらに計算期間を 2011 年の漁期前調査を初期値としたものまで拡張した結果、2010 年に突出して日本近海への来遊量が減少する

結果を得た。初期値を全て同じにすると2010年は突出して来遊量が低くなることはなく、漁期前調査時の分布によって2010年の来遊量が減少することが決定されていることが示唆された。また、各年の漁期前一斉調査時の分布を初期値として与え、環境条件を2002年のものに固定して計算すると、2007年以降、来遊量が減少する結果を得た。このことから、2006/2007年のレジームシフト以降、サンマの分布が沖合化していることが再確認された。さらに、標準化 CPUE の時系列とモデル結果を比較するため、モデル内で標準化 CPUE に対応するよう指標を構築した。具体的には、モデル内のサンマ資源密度分布のうち、高濃度上位 20% の分布を示すと漁場位置との対応がよいことから、上位 20% の資源密度を各旬で積算し、モデル来遊資源量指数とした。このモデル来遊資源量指数が標準化 CPUE と同じ年々変動をするよう、産卵期西方回遊強度を変化させたところ、2005 年以降西方回遊強度が強くなった。この西方回遊強度と環境要素との関係を調べた結果、北緯 30 から 50 度、東経 150 から 180 度の 8 月の雲量と負の相関があり、産卵回遊時初期に雲量（光量）によって西向き能動遊泳が変化する可能性があることが示唆された。

- (3) IBM を用いた数値実験から、平成 23 年度には西向き能動遊泳と中規模渦よりも広い探索範囲をモデル内で与えることで、日本沿岸にも産卵場が形成されることを示した。平成 24 年度は、西向き能動遊泳の導入は西経域で産卵場回帰率向上に、探索範囲拡大は東・西経両域での産卵場回帰率向上に貢献することを示した。平成 25 年度は、海域毎に成長をモデル内で比較し、東経 160～西経 170 度で生まれて産卵するサンマが 1 年目に成長は悪いが、2 年目に成長が良いことを示した。平成 26 年度は、耳石サンプルから推定された成長と類似した成長を示すモデル内のサンマを耳石採集地点付近から抽出し、成長の比較を行った結果、耳石成長の二次極大は餌料環境の好転によって形成されること、東経 160 度以西の方が以東の海域に比較して餌料環境が良く成長が促進されることを示した。

4. 具体的なデータ

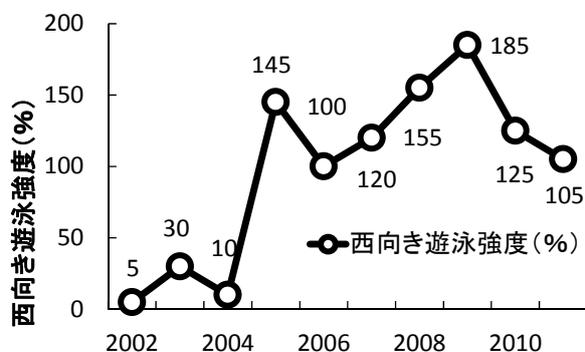


図 1. 標準化 CPUE とモデルで計算された来遊資源量指数の年々変動が一致するために必要な産卵期西向き遊泳強度の年々変動。

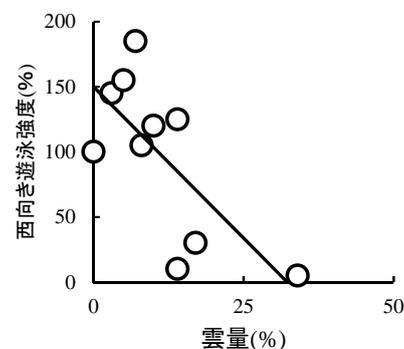


図 2. 北緯 30 から 50 度、東経 150 から 180 度の 8 月の雲量とモデルで必要とされた産卵期西向き遊泳強度の散布図 ($r = -0.713$, $p < 0.05$)。

5. 調査・研究推進上の課題

モデルの 1/4 度化におけるサンマの成長が過大評価となっているため、モデルの調整が必要である。また、時系列を延長した解析が求められている。

6. 調査・研究発表

- (1) 伊藤進一ほか (印刷中) : サンマ成長-回遊モデルを用いた来遊資源量の経年変動実験. 第 64 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書. 他