

様式-2 平成 26 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なう。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 2012 年漁期前調査で採集された 0 歳魚(2012 年級)について、東経 160 度以东および東経 170 度以西で採集された個体の耳石成長の比較を行った。また、熊野灘で 2013 年 2 月に採集された 2012 年級についても比較を行った。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)。0 歳魚の海域による成長差は 1 歳魚ほど明確ではないため、海域による 0 歳魚の成長差は、1 歳魚に比べ小さいと考えられた。成長のよい 0 歳が漁期前調査以降に西側に回遊している可能性が示唆された。これらの原因として、成長速度の違いが成熟に影響し、成長のよい個体が西側に回遊するため、翌年の 1 歳魚の成長の海域差が現

れる可能性が考えられた。

- (2) クロロフィル a 濃度積算量の経年変化を検討した。2004 年～2006 年のクロロフィル a 濃度積算量は 36～46mg/m²、2007 年～2014 年では 47～56mg/m²であり、2004 年～2006 年の積算量と 2007 年～2014 年の積算量には統計学的に有意な差が認められた (U 検定 ; p<0.05)。平均値は 2004 年～2006 年では 40mg/m²、2007 年～2013 年では 51mg/m²であった。2006 年以前に比べて 2007 年以降は高い値が認められた。また、クロロフィル a 積算量は年を経るごとに増加する傾向が見られた (rs=0.77, p<0.05)。一方、亜硝酸塩+硝酸塩の濃度の平均値は、2004 年と 2005 年において得られた値 (平均値 : 7.0μM) が 2006 年～2014 年の値 (平均値 : 4.1μM) に比べて高かった。
- (3) ビクトリアブルー-アゾカーミン染色を用いて漁期前調査で得られた天然サンマ卵巣標本の経産魚未産魚判別を行った。分布の西側では経産魚の割合が高くなる傾向が明らかとなった。また、体長別の経産魚割合にも海域差が認められ、東側では大型の 30cm 以上の 1 歳魚でも未産魚の比率が高かった。飼育実験で得られたサンマの生殖腺について、過マンガン酸カリウム酸化の有無と組み合わせたビクトリアブルー-アゾカーミン染色を行った結果、ビクトリアブルー陽性反応が血管の退縮と関係していることが確認された。
- (4) 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、産卵場への回帰率を解析し、西向き能動遊泳の導入は西経域で回帰率向上に、探索範囲拡大は東・西経両域での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。

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) 3030 の課題において、海域別の 1 歳魚の成熟割合が明らかになった。明らかに経産魚と考えられる特徴を持った個体の割合は海域によって大きく異なり、東経 150-160 度では 70.0%であったのに対し、西経 165-170 度ではわずか 3.7%であった。1 歳魚の成熟率は海域によって大きく異なることが示唆された。
- (2) 0 歳魚の成長を海域別に調べたところ、東経 160 度以西と、東経 170 度以東で大きな差は見いだされなかった。また、ふ化後 1 年目の成熟率が海域によって大きく異なったことを考慮すると、0 歳魚のうちふ化後 1 年目に産卵を行う個体は 1 歳魚と同じく西側への回遊を行っていることが推察された。

様式-1 平成 26 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) 2012年漁期前調査で採集された0歳魚(2012年級)について、東経160度以西および東経170度以东で採集された個体の耳石成長の比較を行った。また、熊野灘で2013年2月に採集された2012年級についても比較を行った。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)。0歳魚の海域による成長差は1歳魚ほど明確ではないため、海域による0歳魚の成長差は、1歳魚に比べ小さいと考えられた。成長のよい0歳が漁期前調査以降に西側に回遊している可能性が示唆された。これらの原因として、成長速度の違いが成熟に影響し、成長のよい個体が西側に回遊するため、翌年の1歳魚の成長の海域差が現れる可能性が考えられた。
- (4) サンマはオキアミ類やカイアシ類などの小型甲殻類を餌として利用しているが、海域によって両者への依存率が異なることが分かっている。しかし、サンマは消化速度が速く過去に利用した餌生物の種類を定量的に計測することが難しいため、安定同位体比による餌生物の依存率の違いを検出ができないか検討した。2013年及び2014年に漁期前調査で採集されたサンマの炭素($\delta^{13}\text{C}$)及び窒素($\delta^{15}\text{N}$)の安定同位体比を、海域別に調べて比較した。両年とも西経域の方が $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ともに高い値を示す傾向が見られた。餌生物の違いが安定同位体値の差に影響しているか検討するためには、環境中のプランクトンの分析と比較が必要である。

4. 具体的なデータ

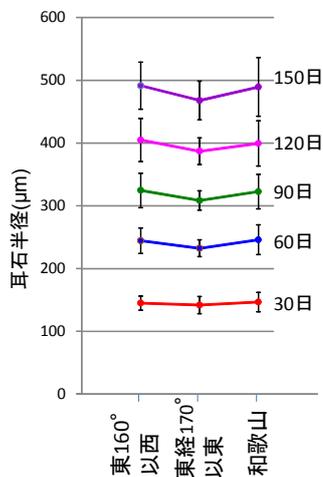


図1. 漁期前調査と12月に採集されたサンマ0歳魚の日齢別耳石径の比較。(縦棒は標準偏差)

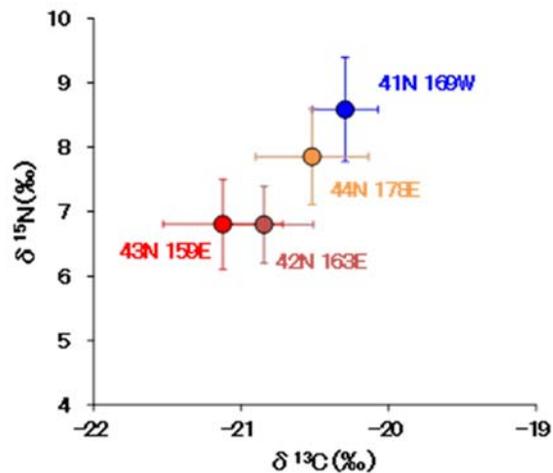


図2. 2014年に東西方向で比較したサンマの安定同位体比。平均値と±標準偏差で示している

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・上野 康弘 (印刷中) : 2005年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63回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書。

様式-1 平成 26 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（東北水研）・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する。今年度は、クロロフィル a 量及び亜硝酸塩＋硝酸塩濃度の経年変化をまとめ、サンマの分布を説明する要因探索の検討を始めた。

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）データも測定するほか人工衛星データも使用し双方のデータを比較する。また、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する。
- (2) 平成 26 年は 2004-2014 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）で実施された調査で得られた 0-150m 深までのクロロフィル a 積算量及び硝酸塩、亜硝酸塩の経年変化をまとめた。また、2003-2013 年 6-7 月調査における海洋観測データ（水温・塩分）とサンマ採集個体数を用いてサンマの在・不在を説明するロジスティック型一般線形モデル（GLM、応答変数の誤差分布は二項分布、リンク関数はロジット）の推定を行った。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 2003-2013 年 6～7 月の前線構造の分布は以下の特徴が見られた。亜寒帯前線及び亜寒帯境界は東経 151 度付近および東経 167～171 度付近では毎年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。サンマが毎年出現した東経 171 度線上の亜寒帯前線の平均緯度は 2011 年までは 44 度付近で変動が見られなかったのに対し、亜寒帯境界の平均緯度は年により異なり、2003-2007 年は北緯 41 度以南、2008～2011 年は北緯 43 度付近であった。従って、2008-2011 年には亜寒帯前線と亜寒帯境界間は狭くなった。また 2012 年以降は、亜寒帯前線が北上し、亜寒帯境界間は大きな南北変化が見られなかったことから、亜寒帯前線と亜寒帯境界間は広がった。亜寒帯前線と亜寒帯境界の間隔幅

の変化は黒潮続流勢力の変動による流軸の南北変化が関係していたのではないかと推察された。

- (2) クロロフィル a 濃度積算量の経年変化を検討した。2004 年～2006 年のクロロフィル a 濃度積算量は $36\sim 46\text{mg/m}^2$ 、2007 年～2014 年では $47\sim 56\text{mg/m}^2$ であり、2004 年～2006 年の積算量と 2007 年～2014 年の積算量には統計学的に有意な差が認められた (U 検定 ; $p<0.05$)。平均値は 2004 年～2006 年では 40mg/m^2 、2007 年～2013 年では 51mg/m^2 であった。2006 年以前に比べて 2007 年以降は高い値が認められた。また、クロロフィル a 積算量は年を経るごとに増加する傾向が見られた ($r_s=0.77$, $p<0.05$)。一方、亜硝酸塩 + 硝酸塩の濃度の平均値は、2004 年と 2005 年において得られた値 (平均値 : $7.0\mu\text{M}$) が 2006 年～2014 年の値 (平均値 : $4.1\mu\text{M}$) に比べて高かった。
- (3) サンマが出現した調査点で、モデルの応答変数を在 (値 1)、それ以外は不在 (値 0) とし、説明変数には、表面水温(T0)、10m 深水温(T10)、100m 深水温(T100)、10m 深塩分(S10) および 100m 深塩分値(S100)を使用した。先ず、説明変数間の共線性を Variance Inflation Factor : VIF(Zuur *et al.* 2009)に従って検討した結果、5 つの説明変数は T0、T100、S10 の 3 つに絞られた。AIC によるモデル選択を行った結果、最適モデルでは、変数は T0 のみが残し、その係数は負の値となった。応答変数を採集個体数とし、応答変数の誤差分布をポアソン分布と仮定した場合でも、表面水温 T0 のみが最適モデルの説明変数となり、係数は負という同様の結果となった。従って、水温・塩分観測値のみを用いた場合には、サンマの分布は水温が下がれば分布個体数が増すという単純なモデルしか得られず、東西の分布の差などを説明することはできなかった。次年度はクロロフィル濃度、海面高度、表層混合層の厚さ、表面の渦運動エネルギーなどを説明変数として取り込んでモデルの改善を図る。

4. 具体的なデータ

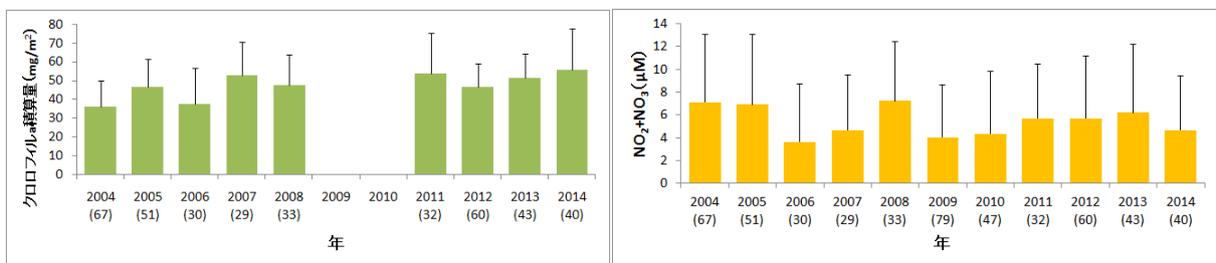


図 1. 0m～150m のクロロフィル a 積算量 (mg/m^2) の平均値と標準偏差 (左)。0m の亜硝酸塩 + 硝酸塩 (NO_2+NO_3) 濃度 (μM) の平均値と標準偏差 (右)。カッコ内の数字はいずれもデータ数。

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・上野康弘 (2014) 2003～2012 年の漁期前調査による海洋構造の特徴. 平成 26 年度日本水産学会春季大会要旨集.
- (2) 小山香菜・中神正康・塩本明弘 (印刷中) : 平成 25 年度基礎生産力調査において得られた結果の概要 : 北太平洋中高緯度海域におけるクロロフィル a のモニタリング. 第 63 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書.

様式-1 平成 26 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 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
◎26年度はルーチン的染色法についてさらに検討を行うとともに、漁期前調査で得られた天然魚の産卵履歴の推定を行う。

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) 飼育実験で得られたサンマの生殖腺について、過マンガン酸カリウム酸化の有無と組み合わせたビクトリアブルー-アゾカーミン染色を行った結果、ビクトリアブルー陽性反応が血管の退縮と関係していることが確認された。
- (2) ビクトリアブルー-アゾカーミン染色を用いて漁期前調査で得られた天然サンマ卵巣標本の経産魚未産魚判別を行った。分布の西側では経産魚の割合が高くなる傾向が明らかとなった。また、体長別の経産魚割合にも海域差が認められ、東側では大型の 30cm 以上の 1 歳魚でも未産魚の比率が高かった。

4. 具体的なデータ

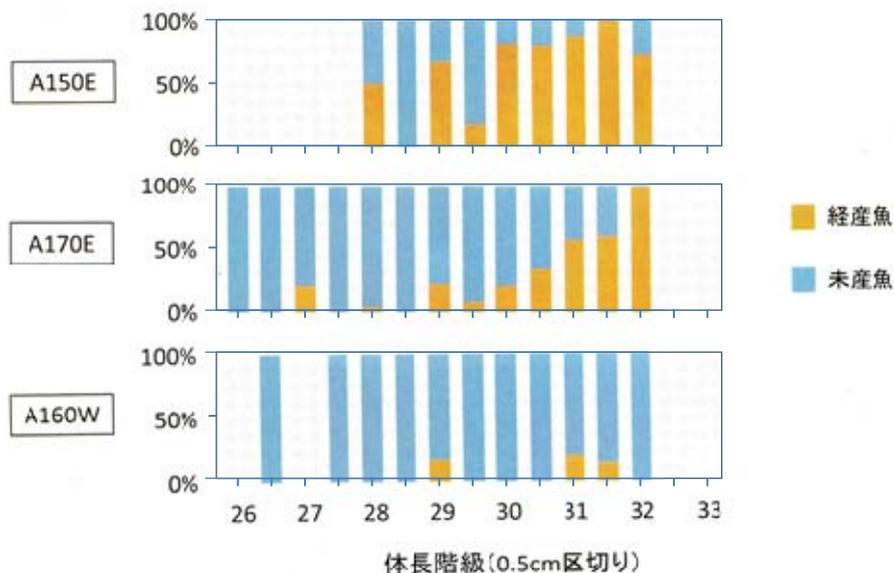


図 1：漁期前調査で得られた 1 歳魚における体長階級別経産魚割合の海域差

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：2013 年 6-7 月におけるサンマ 1 歳魚の海区別経産魚割合（予報）. 第 63 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告書

様式-1 平成 26 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
北海道大学大学院環境科学院生物圏科学専攻
担当者名 筧 茂穂・大野創介・伊藤進一（東北水研）
岸 道郎（北海道大学大学院環境科学院）

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、これまでの来遊シミュレーション結果から、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ることがわかっている。この結果は、サンマが能動的に西向きの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であるのか、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とを対比することによって、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。これらの成果を加えた上で、来遊する群の魚体組成などの再現精度を評価するとともに、0 歳魚、1 歳魚の産卵強度の変動を解析し、加入量への貢献度を推定する。平成 26 年度は、利用している環境データのうち流向・流速データの水平解像度が緯経度 1/4 度に変更されたのに対応し、計算期間を 2010 年の漁期前調査を初期値としたものまで拡張するため、モデルの水平解像度を 1/4 度に変更した。
- (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。平成 26 年度は、耳石データと類似した成長を示したモデル内でのサンマの成長を解析した。

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 SeaWiFS から MODIS/Aqua に変更し、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巡航遊泳速度と同じオーダーで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、産卵期西向き能動遊泳速度と海洋環境要素の相関解析

を行ない、8~10月の北西太平洋が高水温で北東太平洋が低水温のときに、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いため、計算期間の延長が必要となったが、利用している環境データのうち、流向・流速データの水平解像度が緯経度 1/3 度から 1/4 度に変更されたため、これに対応すべく 1/4 度モデルを平成 26 年度に作成した。1/4 度モデルを用いて東経 150 度を横切り日本近海に来遊する資源量を計算した結果、2007 年以降に来遊量が減少する傾向を示した。これは 2007 年以降、餌料環境が好転し、沖合でも十分に成長できるため、沿岸まで来遊する前に南下するためであることが考察された。

- (2) 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、産卵場への回帰率を解析し、西向き能動遊泳の導入は西経域で回帰率向上に、探索範囲拡大は東・西経両域での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

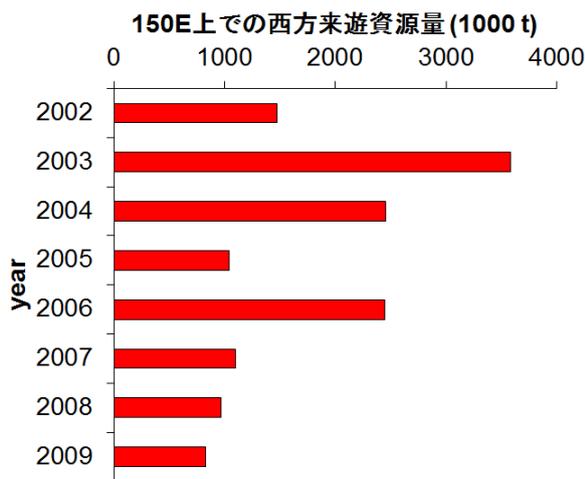


図 1. 1/4 度オイラー型モデルで計算された東経 150 度を横切り日本近海に来遊するサンマ資源量の経年変動。

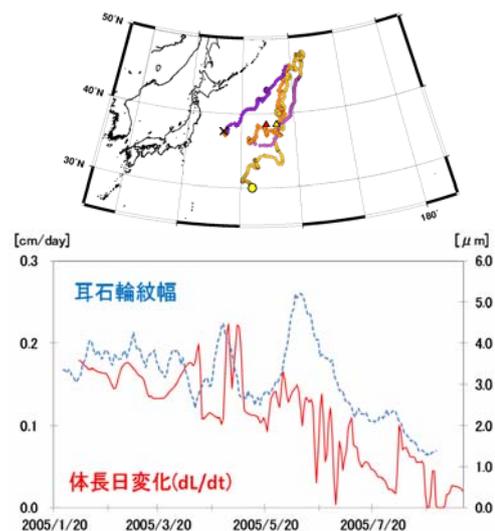


図 2. 2006 年に採集されたサンマの耳石鱗紋幅と類似した成長を示すモデルサンマの回遊経路（上）と日間成長の比較（下）。

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) 大野ほか (2014) 魚類成長過程を考慮した資源動態モデルの高精度化. 2014 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 164.
- (2) 小柳津ほか(2014) サンマの耳石日周輪形成と生物エネルギーモデルの融合・回遊経路の推定. 2014 年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 31. ほか 2 件。