

様式-2 平成 23 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資源管理グループ
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) 実施初年であるが、個々の小課題においてサンマの分布している海域の海洋環境やクロロフィルの分布特性、分布するサンマの生物学的な特性に東西で海域差があることが明らかになってきた。また、モデルによる再現実験では、漁期前調査から漁期までの魚群の回遊状況の再現性が徐々に向上している。また、漁期前調査時に沖合にいたサンマが西向きに回遊するためには、海流の影響だけでは西向きの移動が再現できないため、サンマ自身の能動的な遊泳が必要であることが明らかになった。一方、成熟特性の海域差を明らかにするためには過去の産卵履歴を多数の個体で明らかにする必要があるが、この手法は従来煩

雑なものであった。しかし、今年度試行を行った結果簡便な手法が開発されつつある。今後は各小課題で得られた結果をお互いに比較して、分布の年変動を引き起こす過程を明らかにし、漁期前調査時の分布状況の年変化が漁況にどのように影響しているかを明らかにしていく必要がある。

- (2) 2002年～2004年、2006年および2010年の漁期前調査で採集されたサンマの1歳魚について、経度10度ごとに区切った海域ごとの年輪半径の平均値や耳石タイプの組成を調べた。特に2010年は東経165度以西のサンマの分布量が非常に少なかったため、これらを調べることによって、観察結果に基づき、西側に分布する個体が少なかったのか、あるいはサンマの分布域全体が東側に移動したのかを推定した。2010年の海域ごとの年輪径の平均値を過去の値と比較したところ、東経160度～東経170度、東経170度～180度における年輪径は他の4年の結果より高い値を示した。また、耳石タイプの組成を比較したところ、東経160度～東経170度におけるタイプIIの割合は63%に達し、他の年が20%以下であったのに比較して非常に高かった。これらのことから、2010年はサンマの分布域全体が東側にシフトした可能性が示唆された。
- (3) 2011年におけるサンマの分布は、東経160度以西では極端に少ないが、この海域では、TD (Transition Domain: 亜寒帯前線と亜寒帯境界の間) の南側～SAB(亜寒帯境界)付近の亜熱帯系水にのみ見られ、TDの北側～SAF付近における亜寒帯系水領域での分布はみられなかった(報告書3020の図1)。東経163度では、SAB付近の亜熱帯系水に多く分布していたが、これより北側のTD内では漁獲はみられなかった。東経167度では、SAB(亜寒帯前線)付近の亜熱帯系水～TD南側の亜寒帯系水の両方に分布していた。東経171度以东ではTDの南側の亜熱帯系水の調査点では分布はみられず、TD北側～SAFにおける亜寒帯系水で分布していた。
- (4) 2011年の漁期前調査時における表面から150mまでの全クロロフィルa濃度の積算量の分布は、東経150度以西と東経175度以东に高い値がみられ、東経160度付近では少なかった。全クロロフィルa濃度の積算量に対する大型の割合はクロロフィルa濃度の東西方向の違いと同調していた。
- (5) サンマは産卵期が長いため、経産魚と未産魚の判別が難しい。両者の差として卵巣内血管の有無が指標となると考えられている。しかし、現在行っているアルデヒドフクシンーオレンジG重染色は染色液の保存可能期間が短く染色方法も熟練が必要なため、大量の標本を処理することが難しい。そこで簡便な卵巣内血管等の観察をルーチン業務で可能とすることを目標に、サンマ卵巣切片の様々な染色法の検討を行った。ビクトリアブルー染色法は、市販の染色液があり染色法も簡便なため、ルーチン手法の候補の一つに挙げられた。本染色の染色時間を検討した結果、染色性、簡便さから考えて一晩が最も適切と考えられた。脱パラフィンした切片をビクトリアブルーで一晩染色した後、ヘマトキシリンーエオシン染色を行ったところ、卵巣の発達段階と卵巣内血管の両方を同一切片で観察することが可能であった。この手法によって経産魚と未産魚の判別をより簡便に行うことができる可能性が開かれた。
- (6) 2010年7月に東北水研が行ったサンマ漁期前調査において、中層トロールで漁獲された1歳魚69個体についてパラフィン切片を作成し、アルデヒドフクシンーオレンジG重染色を行った。これを用いて、卵巣内血管、特に内弾性板の発達した小血管の出現を指標として経産魚未産魚の判別を試みた。69個体のうち、経産魚と判定されたものが40個体、未産魚と判定されたものが11個体、残る18個体は判定保留となった。これにより、現在の方法でもある程度の経産魚未産魚判別が可能と思われるが、正確な判断にはより詳細な指標が必要と考えられ、次年度以降、さらなる検討を行う。特に飼育によって生活履歴が明らかになっている個体を用いることにより、経産魚と未産魚の判別手法の精度を上げる。

- (7) これまで開発してきた Super Individual Based Model (SIBM) モデルの改良を行った。改良点は SIBM の駆動外力として用いる表面水温と表面クロロフィルのデータに含まれている欠損値を他の領域データを外挿して補った(直線外挿)。また、沿岸の境界条件が不適切(水温が 0 °C、クロロフィルも 0 mg/L)であったのを改善した(水温もクロロフィルも沖側と同じ値にする)。さらに、適水温の探索方法をこれまでの緯度経度 1/3° から 1° に拡大した。これらの改良を行った上で、2002 年 02 月 01 日から 2004 年 01 月 31 日までの回遊計算を行い、2 年後の産卵場の分布を推定した。また、西向き能動遊泳を加えた実験も行い、産卵場の変化を調べた。具体的な、西向き能動遊泳の入れ方は、回遊速度に回遊速度の絶対値の 0.5 倍分、もしくは 1 倍分の西方速度を加えてから、再度、遊泳速度の絶対値が所定の値(体長の 2 倍)になるように調整して、西向き能動遊泳を加えた。モデル外力、境界条件、アルゴリズムの改良によって、緯度が若干北に偏っていることを除いて妥当な産卵場分布を得ることができた。西向き能動遊泳を加えたことで産卵場が拡大したが緯度方向の問題は解決されなかった。
- (8) 計算期間を延長するために、海色衛星データを SeaWiFS から MODIS/Aqua に変更した。両者の比較を行うため、2002 年の回遊計算を行った結果、相対的な組成と分布密度はかわらないことが確認された。ただし、MODIS/Aqua の方が相対的にクロロフィルが小さいため、重量と資源量は SeaWiFS よりも小さくなることがわかった。また、西向き能動遊泳を SIBM と同様の方法で導入した場合、来遊量がむしろ減少する年も発生した。これは南向き回遊速度が小さくなるために、不適水温帯に取り残されたサンマが死亡するためである。そこで、単純に西向き能動遊泳を加算する方法を導入したところ、死亡するサンマの問題は解決された。さらに産卵回遊の開始時期を 1 ヶ月早めた結果、日本周辺への来遊量は若干増加した。

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) 2012 年度は、漁期前調査の調査海域をさらに東に広げる予定であり、この調査で得られる標本やデータは本課題の遂行上重要な知見になると期待される。その一方で、処理すべき標本やデータが増加するので、効率的な作業が求められる。
- (3) モデル課題においては再現される産卵場が実測値より北側に形成されたり、局所的な好適条件に魚群が捕捉されるケースがあるので、さらに改良が必要である。

4. 特筆すべき成果

- (1) 小課題 3030 における経産魚と未産魚の判別手法。これまでサンマの年齢別成熟率は調査する方法が全くなかったが、本手法が確立されれば成熟率とその海域差が明確になる可能性がある。
- (2) 小課題 3040 における Super Individual Based Model (SIBM) の来遊シミュレーション結果。この結果により、サンマは能動遊泳しなければ日本近海に到達せず、漁期前調査時に沖合に分布していたサンマは漁期に日本近海に来遊しないことを示した。漁期前調査時の 6、7 月から漁期にかけて西側に能動遊泳していることをモデルで実証した点で特筆される。

様式-1 平成 23 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資源管理グループ
担当者名 巢山 哲・中神正康・納谷美也子・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) 2002 年～2004 年、2006 年および 2010 年の漁期前調査で採集されたサンマの 1 歳魚について

て、経度 10 度ごとに区切った海域ごとの年輪半径の平均値や耳石タイプの組成を調べた。特に 2010 年は東経 165 度以西のサンマの分布量が非常に少なかったため、これらを調べることによって、西側に分布する個体が少なかったのか、あるいは西側と東側の群が存在したにもかかわらずサンマの分布域全体が東側に移動したのかを推定した。2010 年の海域ごとの年輪径の平均値を過去の値と比較したところ、東経 160 度～東経 170 度、東経 170 度～180 度における年輪径は他の 4 年の結果より高い値を示した。また、耳石タイプの組成を比較したところ、東経 160 度～東経 170 度におけるタイプ II の割合は 63%に達し、他の年が 20%以下であったのに比較して非常に高かった。これらのことから、2010 年はサンマの分布域全体が東側にシフトした可能性が示唆された。なお、2011 年も東経 163 度以西の分布量が非常に少なかったため、現在同様の解析を行っている。

(2) 漁期に漁獲されるサンマの脊椎骨数は大型群(29cm 以上；おもに 1 歳魚)と中型群(24cm 以上 29cm 未満)でその平均値が異なることが報告されている。この特徴が孵化した海域の差に起因するものであれば、回遊ルートを推定する手がかりになると考え、2009 年に東経 150 度以西で採集された 1 歳魚(27cm 以上)119 個体、東経 170 度以東で採集された 0 歳魚(26cm 未満)87 個体および東経 170 度以東で採集された 1 歳魚(27cm 以上)152 個体で脊椎骨数を比較した。平均脊椎骨数は順に 65.8 個、65.9 個および 65.9 個であり、平均値の差は見いだされなかった(Tukey の多重比較、 $p < 0.05$)。海域による平均脊椎骨数の差は見いだされなかった。

4. 具体的なデータ

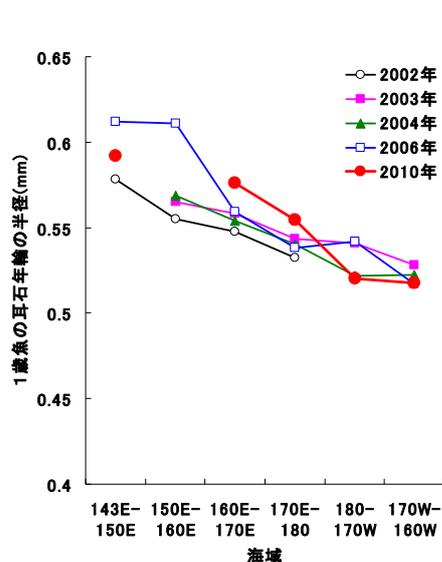


図 1. 漁期前調査で採集されたサンマ 1 歳魚の海域ごとの耳石半径の平均値。

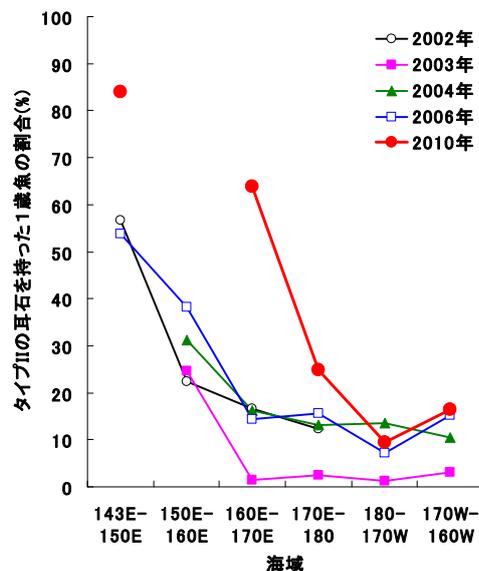


図 2. 海域ごとの耳石タイプ組成。グラフはタイプ II (透明帯が耳石縁辺部に広く形成されている耳石) を持つ個体の割合を示す。

5. 調査・研究推進上の課題

(1) 耳石の摘出・計測に時間が掛かるため、効率的な作業が必要。

6. 調査・研究発表

(1) Suyama et al., (in press), Comparison of the growth of age-1 Pacific saury *Cololabis saira* in the Western and the Central North Pacific. Fish. Sci.

様式-1 平成 23 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 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資源管理グループ、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 度より西では毎年少ないか変動が大きいこと、東経 160 度以东では変動が少ないことが明らかとなっている。また、東経 160 度を境にして東西方向でサンマのサイズ組成の違いもみられる。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の東西方向で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23年6-7月に行った調査からサンマの分布と海洋物理学的環境及びクロロフィルa濃度の関係を検討した。

2. 調査・研究方法

- (1) 2002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、サンマの漁期前調査において、表面から150mまでのクロロフィルa濃度及び人口衛星データも使用する。また栄養塩類（アンモニア、硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸）データも測定する。これら環境要因とサンマの年齢別分布量、海域別の体サイズなどを照合する。
- (2) 23年は当年の漁期前調査で得られたデータを用いて、サンマ漁獲点での海洋環境の特徴を調べた。水温・塩分値は東西方向に経度間隔約4度ごとに南北9断面（東経145度～西経177度）の鉛直断面図を作成し、Favorite et al. (1976)の定義に従い、亜寒帯前線（SAF）と亜寒帯境界（SAB）の位置を決定し、①亜寒帯前線の北（NSAF）、②亜寒帯前線と亜寒帯境界の間（Transition Domain: TD）③亜寒帯境界の南（SSAB）の海域の区分を行った。クロロフィルa濃度は32調査点で表面から150m深までの6層で採水しサイズ別（ $>10\mu\text{m}$ 、 $2-10\mu\text{m}$ 、 $<2\mu\text{m}$ ）に測定した。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) サンマの分布は、東経 160 度以西では極端に少ないが、この海域では、TD の南側～SAB 付近の亜熱帯系水にのみ見られ、TD の北側～SAF 付近における亜寒帯系水領域での分布はみられなかった（図 1）。東経 163 度では、SAB 付近の亜熱帯系水に多く分布していたが、これより北側の TD 内では漁獲はみられなかった。東経 167 度では、SAB 付近の亜熱帯系水～TD 南側の亜寒帯系水の両方に分布していた。東経 171 度以东では TD の南側の亜熱帯系水の調査点では分布はみられず、TD 北側～SAF における亜寒帯系水で分布していた。
- (2) 表面から 150m までの全クロロフィル a 濃度の積算量の分布は、東経 150 度以西と東経 175 度以东に高い値がみられ、東経 160 度付近では少なかった（図 2）。このような東西方向の

クロロフィル a 濃度の違いは、全クロロフィル a 濃度の積算量に対する大型の割合と同調していた。

4. 具体的なデータ

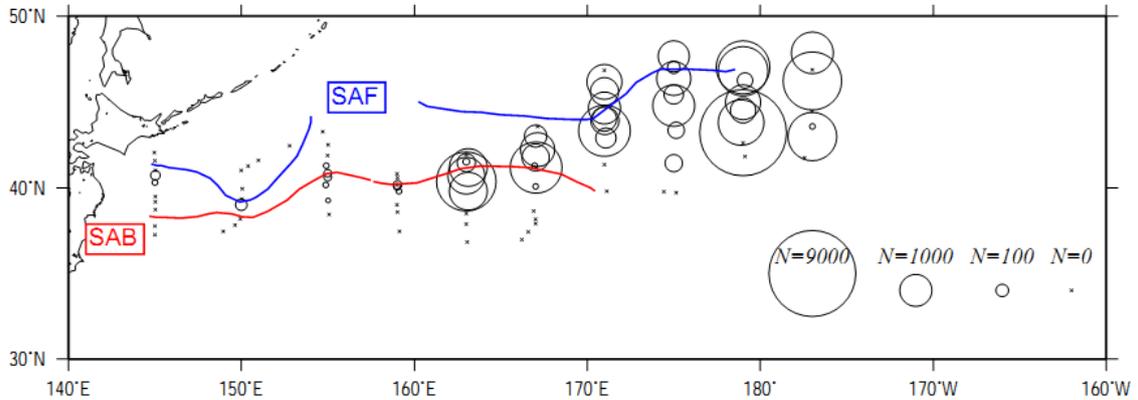


図1. トロール調査によるサンマの分布（尾数）と前線位置

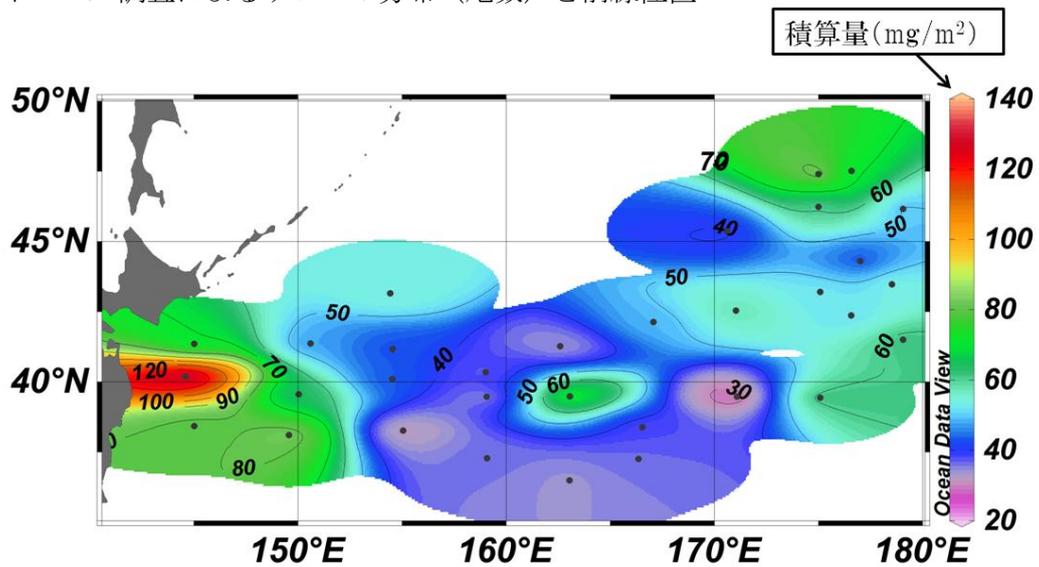


図2. 表面から150mまでの全クロロフィル a 濃度の積算量 (mg/m²) の分布

5. 調査・研究推進上の課題

現状ではなし。

6. 調査・研究発表

様式-1 平成23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 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資源管理グループ
担当者名 清水昭男（中央水研）・巢山 哲（東北水研）

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割合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野外の産卵海域におい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に血管の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

より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。

23年度はサンマ卵巣切片の、ルーチン業務でも利用できる染色法の検討と、野外採集サンプルの予備的な経産魚未産魚判別を試みる。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 卵巣内血管等の観察をルーチン業務で可能とすることを目標に、サンマ卵巣切片の様々な染色法の検討を行った。ビクトリアブルー染色法は、市販の染色液があり染色法も簡便なため、ルーチン手法の候補の一つに挙げられた。本染色の染色時間を検討した結果、染色性、簡便さから考えて一晩が最も適当と考えられた。脱パラフィンした切片をビクトリアブルーで一晩染色した後、ヘマトキシリン-エオシン染色を行ったところ、卵巣の発達段階と卵巣内血管の両方を同一切片で観察することが可能であった（図1）。
- (2) 2010年7月に東北水研が行ったサンマ漁期前調査において、中層トロールで漁獲された1歳魚69個体についてパラフィン切片を作成し、アルデヒドフクシン-オレンジG重染色を行った。これを用いて、卵巣内血管、特に内弾性板の発達した小血管の出現を指標として経産魚未産魚の判別を試みた。69個体のうち、経産魚と判定されたものが40個体、未産魚と判定されたものが11個体、残る18個体は判定保留となった。これにより、現在の方法でもある程度の経産魚未産魚判別が可能と思われるが、正確な判断にはより詳細な指標が必要と考えられ、次年度以降、さらなる検討を行う。

4. 具体的なデータ

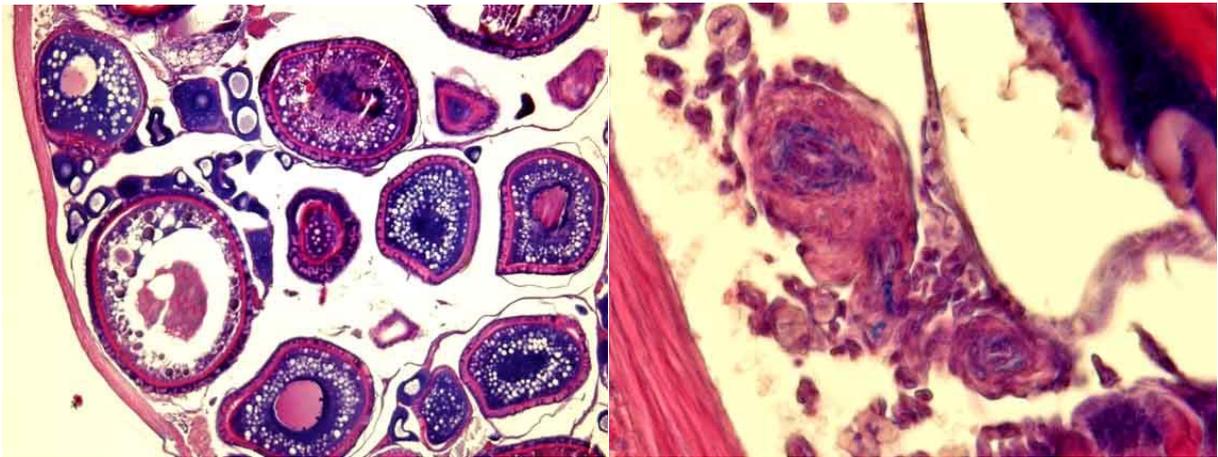


図1：ビクトリアブルー-ヘマトキシリン-エオシン三重染色を行ったサンマ卵巣切片。左、弱拡大像；右、小血管の強拡大像。卵母細胞の発達段階と卵巣内血管の内弾性板がともに観察可能である。

5. 調査・研究推進上の課題

特になし

6. 調査・研究発表

井須小羊子・巢山哲・清水昭男・桜井泰憲（2011）：1年目の産卵後のサンマは栄養状態を回復するか？ 2011年度水産海洋学会講演要旨。

様式-1 平成 23 年度資源変動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 回遊モデルの高度化と漁期前調査結果を用いた漁況予測手法の開発
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 伊藤進一・笥 茂穂・佐藤政俊
岸道郎

1. 調査・研究の目的

これまで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

資源変動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) これまでの Super Individual Based Model (SIBM) 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、日本近海への相対来遊量が極端に小さくなってしまってい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遊泳を行っていることを示唆するが、その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。平成 23 年度は、モデルの駆動外力およびアルゴリズムを改良し、強度の違う西向き能動遊泳を加え、サンマの産卵場の変化を調べた。
- (2) 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なことから、上記 SIBM の回遊メカニズムや他課題における成果を取り入れつつ日本近海への漁期来遊量シミュレーションを行い、来遊する群の魚体組成などの再現精度を評価する。また、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 23 年度は、計算期間を延長するために、駆動外力となる海色衛星データの整備を行い、2009 年の来遊までの計算を行った。また、西向き能動遊泳を加え、漁期来遊量の変化を調べた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) Super Individual Based Model (SIBM) の駆動外力として用いる表面水温と表面クロロフィルのデータに含まれている欠損値を他の領域データを外挿して補った（直線外挿）。また、沿岸の境界条件が不適切（水温が 0 °C、クロロフィルも 0 mg/L、）であったのを改善した（水温もクロロフィルも沖側と同じ値にする）。さらに、適水温の探索方法をこれまでの緯度経度 1/3° から 1° に拡大した。これらの改良を行った上で、2002 年 02 月 01 日から 2004 年 01 月 31 日までの回遊計算を行い、2 年後の産卵場の分布を推定した。また、西向き能動遊泳を加えた実験も行い、産卵場の変化を調べた。具体的な、西向き能動遊泳の入れ方

は、回遊速度に回遊速度の絶対値の0.5倍分、もしくは1倍分の西方速度を加えてから、再度、遊泳速度の絶対値が所定の値（体長の2倍）になるように調整して、西向き能動遊泳を加えた。モデル外力、境界条件、アルゴリズムの改良によって、緯度が若干北に偏っていることを除いて妥当な産卵場分布を得ることができた（図1）。西向き能動遊泳を加えたことで産卵場が拡大したが緯度方向の問題は解決されなかった（図2）。

(2) 計算期間を延長するために、海色衛星データを SeaWiFS から MODIS/Aqua に変更した。両者の比較を行うため、2002年の回遊計算を行った結果、相対的な組成と分布密度はかわらないことが確認された。ただし、MODIS/Aquaの方が相対的にクロロフィルが小さいため、重量と資源量は SeaWiFS よりも小さくなることがわかった。また、西向き能動遊泳を SIBM と同様の方法で導入した場合、来遊量がむしろ減少する年も発生した。これは南向き回遊速度が小さくなるために、不適水温帯に取り残されたサンマが死亡するためである。そこで、単純に西向き能動遊泳を加算する方法を導入したところ、死亡するサンマの問題は解決された。さらに産卵回遊の開始時期を1ヶ月早めた結果、日本周辺への来遊量は若干増加した。

4. 具体的なデータ

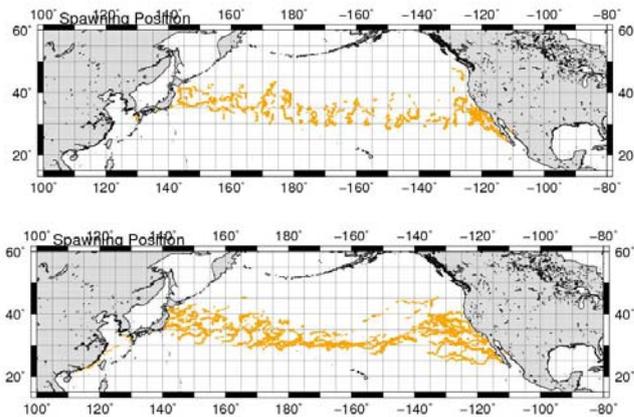


図1. SIBMで計算された2年後の産卵場の分布（上：西向き能動遊泳なし、下：1.0倍の西向き能動遊泳成分を考慮した場合）。

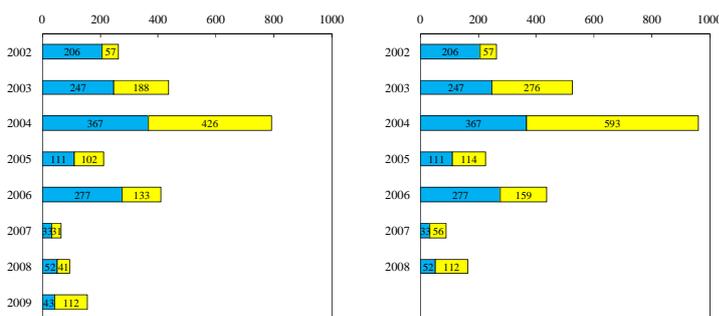


図2. オイラーモデルで計算された漁期中の日本周辺への来遊量（左：西向き能動遊泳なし、右：0.4倍の西向き能動遊泳を加算した場合）。水色は7月31日時点で150°Eより西方の資源量、黄色は8月1日～10月31日に150°E以西に移動した来遊量（千トン）。

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) SIBM内で産卵場が現実よりも北側に計算される問題点の改善が必要。
- (2) 局所的な好適環境条件に捕捉されずに日本周辺に回遊するためのアルゴリズムが必要。

6. 調査・研究発表

- (1) Ito et al., 2011, Euler-type and Individual Based modeling approaches for fish migration: an example of Pacific saury. PICES-2011 Program & Abstracts, 102.
- (2) Ito et al., 2011, Evaluation of uncertainty of Pacific saury (*Cololabis saira*) responses to future climate change. PICES-2011 Program & Abstracts, 153.