

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：82708  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2019～2022  
課題番号：19K06215  
研究課題名（和文）黒潮続流域でのサンマ仔稚魚の生残過程：初期餌料と最適成長環境の探索

研究課題名（英文）pacific saury

研究代表者

宮本 洋臣（Miyamoto, Hiroaki）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(塩釜)・研究員

研究者番号：90582495

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：冬季の黒潮続流域は、サンマ仔稚魚の重要な生育場である。本研究では、冬季の黒潮続流域において東経140度から西経160度で調査船調査による海洋観測を行い、栄養塩やプランクトンの分布など低次生産機構を解明するとともに、サンマ仔稚魚の海域による食性や成長の違いを調べた。本研究により、サンマの仔稚魚が選択的に食べている餌生物の分布密度は、黒潮流路変化に応じた海洋環境の違いによって時空間的に変化し、それに伴ってサンマ仔稚魚の成長も異なることも示された。以上の結果は、仔稚魚の餌料環境は黒潮続流の流れの影響を強く受けており、さらにこのような環境の時空間的違いは仔稚魚の生残を左右する可能性を示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

黒潮続流域の海洋環境は水産資源の変動を理解する上で重要であるにも関わらず、海洋気象が悪いため、現場調査がほとんど実施されてこなかった。本研究では冬季黒潮続流域東経140度から西経155度において海洋観測を実施し、栄養塩や動物プランクトンの分布について知見を得ることができた。また、サンマ仔稚魚の分布や耳石日輪を調べることで、黒潮続流域の海洋環境とサンマ仔稚魚の生残との関係についても明らかになってきた。これらの結果は、サンマやその他浮魚の資源変動機構の解明に資するものであり、水産資源の持続的な利用・管理方策の策定に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：The Kuroshio Extension area is an important nursery grounds of larvae and juvenile fish of Pacific saury, *Cololabis saira*. The present study conducted the oceanographical observation in the Kuroshio Extension area between 140E to 155W by a research ship to clarify the spatio-temporal change of nutrient and plankton and also investigate the geographical variation of feeding and growth of Pacific saury larvae. The present study showed that the abundance of main prey (Calanoid copepods) for Pacific saury larvae were different by the ocean environments in response to the geographical change of the current speed and meandering. These results indicated that prey environments of larvae were influenced by the current, suggesting the survival rate of larva was influenced by such spatio-temporal change of ocean environment.

研究分野：fisheries oceanography

キーワード：サンマ仔稚魚 黒潮続流域 海洋環境 餌料環境 耳石日輪解析 粒子追跡実験 資源量変動

## 1. 研究開始当初の背景

北太平洋を代表する小型浮魚類の一つであるサンマは、我が国および近隣諸国の重要な水産資源である。水産資源研究所が行っている資源量調査によれば、サンマの資源量は 2010 年以降特に顕著な減少傾向を示すとともに、各国の漁獲量もここ数年で減少傾向となっており、大きな社会問題となっている。そのような中でサンマ資源は北太平洋漁業委員会 (NPFC) による国際的管理の対象となったが、資源管理方策を検討するうえで、加入メカニズムの解明が喫緊の課題となっている。

一般的にサンマのような小型浮魚類の資源量の変動は、仔稚魚期の生残率が強く関与していると考えられており、その生残率は成長の良し悪しに影響されると言われる。サンマの仔稚魚は冬から春にかけて黒潮続流域で過ごし、小型動物プランクトンを餌として成長する。そのため、黒潮続流域における動植物プランクトンの生産機構、仔稚魚の成長・生残との関係の解明は非常に重要な課題である。しかし、冬から春にかけて黒潮続流域の気象条件は非常に厳しく、現場へのアクセスは難しいため、現場観測をベースにした研究はほとんど行われてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、黒潮続流域におけるサンマ仔稚魚の成育・生残過程を解明するため、冬季黒潮続流域において過去に例のない規模の範囲をカバーした現場観測により得られた試料を分析し、基礎生産から仔稚魚の成長につながるエネルギー転送プロセスを解明することを目的とする。そのため、サンマ仔稚魚の食性、餌料環境、成長と環境との関連、輸送経路について調べ、冬季黒潮続流域の低次生産機構を明らかにするとともに、仔稚魚の最適成長環境の解明を試みた。

## 3. 研究の方法

東経 140 度から西経 155 度の範囲で 2018 年および 2020 年の 1 月と 2 月に水産庁所管開洋丸の調査航海において NORPAC ネットおよびニューストーンネットで得られたプランクトン試料およびサンマ仔稚魚を主に分析した。また、プランクトンネットの採集と同地点で行った CTD 観測および採水により、水温・塩分やクロロフィル *a* 濃度の鉛直プロファイルを得た。

### サンマ仔稚魚の食性

ニューストーンネットで得られたサンマ仔稚魚を 5% 中性ホルマリン海水あるいはエタノールで固定し持ち帰った。その後、陸上研究室において仔稚魚の体長の計測後、消化管内容物を取り出し、実体顕微鏡下で餌生物の同定と計数を行った。また餌をデジタルカメラシステムで撮影し、画像を基に餌の体長と体幅の計測を行った。

### 餌料環境

黒潮続流域において NORPAC ネット (目合 100  $\mu\text{m}$ ) を深度 150 m から海表面まで鉛直曳網し採集された動物プランクトン試料を分析し、浮遊性カイアシ類各種の現存量と種組成を調べた。得られた現存量と種組成から、各測点間の類似度指数 (Bray-Curtis 類似度指数) を算出し、その類似度指数をもとにクラスター解析を行った。クラスター解析により得られたデンドログラムを基に各測点をグループにまとめ、各グループの分

布や海洋環境との関連を解析した。

#### サンマ仔稚魚の成長と環境との関連

サンマ仔稚魚 881 個体の耳石(扁平石)を摘出し、マニキュアに包埋し、光学顕微鏡下で日周輪数を計数した。日周輪は孵化後 5 日目から形成されることから、輪紋数から 5 を引いた数を日齢とみなし、体長と日齢との関係を調べた。また、日齢が 3 日以上の個体(766 個体)について、RATOC 社製耳石日輪計測システムを用いて耳石縁辺部の日周輪 3 本分の輪紋幅を計測し、その平均値を採集直近 3 日間の成長速度の指標とした。この成長速度指標と海洋環境との関連を、体長 10mm 未満、10-20mm、20-30mm、30mm 以上に分けて一般化線形モデルにより解析した。

#### 輸送経路

日本南岸で産卵し、仔魚期に海流により輸送されるサンマを対象として、その輸送経路の 1993 年から 2018 年の経年変動特性を数値モデル(粒子追跡モデル)を利用して解析を行った。東経 130 度から 170 度の範囲で産卵に好適な水温帯である 11.7~21.3 の範囲にサンマ仔魚を模倣した粒子を緯経度 0.25 度間隔で配置し、40 日間の輸送実験を行った。そして、40 日後の輸送された粒子の到達海域、輸送量に注目して、その経年変動特性について調べた。また、人工衛星による海面高度、海面水温データを用い、黒潮続流から移行域への亜熱帯水の輸送量について解析した。

### 4. 研究成果

#### 仔稚魚の食性解析:

消化管内容物を分析した結果、体長によって餌のサイズや組成が異なっていることが明らかになった。体長 40 mm 以下では、カラヌス目カイアシ類、オンケア科カイアシ類、コリケウス科カイアシ類、オイソナ科カイアシ類、巻貝など多様な餌を食べていたが、40 mm 以上になると主にカラヌス目カイアシ類を主な餌になった。また 40 mm を境に餌サイズ変化していることも示された(図 1)。サンマ仔稚魚は 40 mm 前後で骨格の形成が終了し、群れをつくって遊泳することが知られている。このような形態や行動の変化に伴って食性も変化することが示唆された。

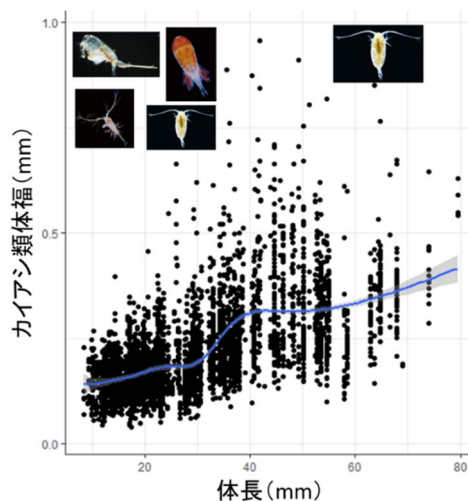


図 1. 消化管内のカイアシ類の体幅と体長との関係

餌料環境: 黒潮続流域でのカイアシ類の群集構造を解析した結果、測点は6つのグループに分けられた。6つのグループのうちの一つは、黒潮続流の流軸より北側に出現し、小型サイズのオンケア科やオイソナ科カイアシ類の他に中型サイズの *Clausocalanus* 属も多く出現した。それ以外のグループについては黒潮続流の流軸より南側に出現し、東経175度以西の黒潮反流域では小型サイズのカイアシ類の密度が高い傾向が認められ、下流部の東経175度以东では減少した。カイアシ類の密度が高かった黒潮続流北側や黒潮反流域では植物プランクトンの現存量が高い傾向があり、高い基礎生産がカイアシ類の増加につながっていることが示唆される。

成長と環境との関連: 仔稚魚の日齢と体長との関係を東西海域間で比較すると、西側の海域の個体群の方が同じ日齢であっても沖合に比べて体長が大きく、成長が早いことが示唆された(図2)。また、一般化線形モデルによる解析の結果、小型個体の成長には水温が重要な因子であったが、成長に伴って餌料環境の重要性が増すとともに、特に30mm以上では、より大型の餌(カラヌス目)の密度が重要になることが示された。

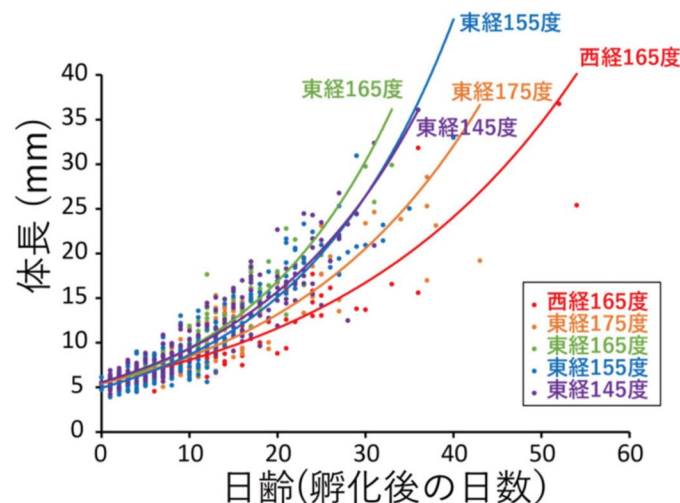


図2. サンマ仔稚魚の日齢と体長との関係

輸送経路の推定: 2010年から2015年の冬季は、日本近海の混合域に輸送される粒子が減少し(図3)、黒潮続流の南側に輸送される粒子が多かった。これは、黒潮続流の流路が安定していた期間と重なっていた。黒潮続流の安定期は、黒潮、黒潮続流流軸付近の海域で孵化したサンマの仔魚は混合域へ輸送されにくい傾向があることが示唆された。また、人工衛星データによる解析から、2010年以降の夏季は黒潮続流から混合域に亜熱帯水が多く流入している可能性が示された。つまり、2010年から2015年は、冬季に黒潮続流域から餌環境が良好と考えられる日本近海の混合域へ輸送される仔魚が少なく、夏季に混合域は亜熱帯水の流入量が増加している傾向があるため、混合域の餌環境も悪化していることが示唆された。これらの輸送条件と餌環境に与える環境要因がサンマ仔魚の成長や生残に影響与えている可能性がある。

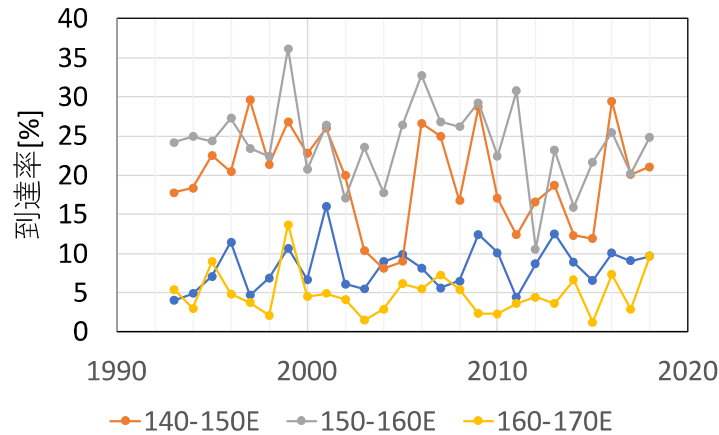


図 3. 日本近海の混合域への到達する粒子数。経度方向 10 度間隔で区分した初期位置から放出した粒子全数からの割合を到達率[%]とする。

本研究結果より、黒潮続流域における動植物プランクトンの分布や現存量は、流路の位置や流れに沿って変化する海洋環境の違いに関連して変動しており、この地理的な違いが仔稚魚の成長の海域差にも影響を及ぼしている可能性が示された。以上鑑みるとサンマ仔稚魚は、水温が高く餌料環境も良い日本沿岸に近い黒潮あるいは黒潮続流の近傍で孵化し、その後、カラヌス目が多い黒潮流軸北側に流されていくというプロセスを経たときに最も良い成長を遂げられることが想像できる。しかし、近年産卵場が沖合化している可能性が指摘されており、サンマ仔稚魚にとって最適な成長が望める環境に産卵場が形成されていない可能性がある。また輸送実験の結果から、近年北への輸送されるような物理場が形成されていないことも示された。近年の産卵場形成位置や海洋環境の変化はサンマ資源の減少に関与していることが予想され、今後継続したモニタリングを実施していく必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miyamoto Hiroomi, Takahashi Kazutaka, Kuroda Hiroshi, Watanabe Tsuyoshi, Taniuchi Yukiko, Kuwata Akira, Kasai Hiromi, Kakehi Shigeo, Fuji Taiki, Suyama Satoshi, Tadokoro Kazuaki	4. 巻 207
2. 論文標題 Copepod community structure in the transition region of the North Pacific Ocean: Water mixing as a key driver of secondary production enhancement in subarctic and subtropical waters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102865 ~ 102865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2022.102865	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyamoto Hiroomi, Vijai Dharmamony, Kidokoro Hideaki, Tadokoro Kazuaki, Watanabe Tsuyoshi, Fuji Taiki, Suyama Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Geographic variation in feeding of Pacific saury Cololabis saira in June and July in the North Pacific Ocean	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fisheries Oceanography	6. 最初と最後の頁 558 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fog.12495	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮本 洋臣、田所 和明、筧 茂穂、高橋 一生、富士 泰期、巢山 哲
2. 発表標題 北太平洋移行域におけるカイアシ類群集の経年変動： 小型浮魚類の資源変動と移行域餌料環境との関連について
3. 学会等名 水産海洋学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本 洋臣、田所 和明、筧 茂穂、高橋 一生、富士 泰期、巢山 哲
2. 発表標題 北太平洋移行域におけるカイアシ類群集の経年変動： 小型浮魚類の資源変動と移行域餌料環境との関連について
3. 学会等名 水産海洋学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本 洋臣
2. 発表標題 黒潮統流・移行域における 動物プランクトンの群集構造と その変動機構について
3. 学会等名 黒潮生態系とその変動を駆動する物理・化学・生物過程（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本洋臣
2. 発表標題 黒潮統流域でのサンマ仔稚魚の生残過程：初期餌料と最適成長環境の探索
3. 学会等名 第71回サンマ資源検討会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本洋臣・阿保純一・富士泰期
2. 発表標題 冬季黒潮統流域におけるサンマ仔稚魚の食性
3. 学会等名 2019年度水産海洋学会研究発表大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	富士 泰期  (Fuji Taiki)  (50792660)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(清水)・主任研究員   (82708)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	阿保 純一  (Abo Junichi)  (80456326)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(塩釜)・主任研究員   (82708)	
研究分担者	奥西 武  (Okunishi Takeshi)  (60374576)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(塩釜)・グループ長   (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関