

様式-2 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（中課題）

課題番号 5000
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ、マサバ太平洋系群
担当機関 中央水産研究所 資源管理研究センター 資源評価グループ
担当者名 川端 淳

1. 調査・研究の目的

本調査では、毎年の加入量変動が大きく、資源を適切に管理する上で早期かつ高い精度での加入量推定と中長期的な加入動向の把握が求められているマイワシ、マサバ太平洋系群を対象とする。両系群とも若齢時から漁獲対象となるため、ABC は資源評価実施年および翌年（ABC 算定年）の加入量の推定、予測精度に大きく依存することから、①資源評価実施年の加入量の推定精度をフィールド調査資料および飼育実験に基づく物理・低次生態系・母性効果・加入過程の研究を進めて向上させる。②毎年の加入量変動の要因を①の成果を受けて分析し、要因と効果を直接的かつ具体的に把握し、加入量変動機構の仮説を構築する。③海洋物理場の解析値を整備し、①②の成果を適用して加入量の予測モデルを開発・検証し、加入量予測の高精度化を進める。これらの成果によって中長期的な加入動向を把握するとともに ABC 算定年における加入量の予測可能性を明らかにする。

今年度は、加入量変動の主体である沖合加入群の変動に関わる生物特性や環境要因についての資料の蓄積と解析を行い、変動機構において鍵となる物理過程、餌料環境、生物特性の具体化を進めること、ならびに予測モデルの改良を進めることを主たる目的とした。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 中長期的な資源変動との関係の観点から北西太平洋表層水温の変動として、日本-ハワイ間 XBT モニタリング資料、海面高度計資料や Argo フロートを用いて、6 月の亜熱帯モード水のコア水温の時間変動を調べた。本邦近海（145E～150E）では北西季節風に伴う熱交換による経年変動が卓越することがわかった。東方沖（160E～165E）では、黒潮続流再循環流が東方まで発達する（しない）時期に低温（高温）になるという約 10 年周期の長期変動を示した。
- (2) 生育場である黒潮続流域の理解を得るため、人工衛星資料を用いて過去 30 年の冬季黒潮続流の変動を調べた結果、冬季アリューシャン低気圧の南北変化が海洋に励起するロスビー波が西方伝播してタイムラグ 3 年で続流の南北位置が変化したこと、続流の流路長が長い時には続流から切離した暖水塊が存在したため続流より北の海域で高温・高塩となることがわかった。
- (3) おもな産卵・ふ化場、時期である春季（3～5 月）の黒潮域における運動エネルギーや黒潮流軸位置、流速の変化特性など物理環境の特性を、人工衛星資料などを用いて調べた結果、潮岬以東と以西では表面水温、黒潮の離接岸、渦の活性など、毎年の物理環境が対照的に変化することが分かり、この対照的な変化が再生産、加入に影響している可能性が示唆された。
- (4) マサバ卵～稚魚期の輸送経路とふ化海域を推定するために稚魚耳石解析データと海況の長期再解析値を用いて粒子追跡実験を実施した。特定されたふ化海域は主産卵場の伊豆諸島近傍よりもむしろ伊豆諸島の上流と下流側に形成される傾向があった。
- (5) 長期のプランクトン標本の解析を進めた。経年的には、湿重量は親潮域および黒潮・黒潮続流域では 1970 年代後期から 80 年代後期まで低い傾向を示した。季節的には、湿重量は親潮域ではピークが 4～7 月（生育期と一致）に亘るのに対し、黒潮～黒潮続流域では 2 月から増加し 4 月（産卵期と一致）にピークを示した。カイアシ類個体数密度および現存量のピークは、

- 静岡県海域では3~4月および4月にあったが、房総沖の海域では約1ヶ月遅く、いずれも4~5月の2ヶ月に亘り、それぞれの海域の主な産卵・ふ化時期と一致した。
- (6) カイアシ類の地理的分布の解析の結果、冬季黒潮域の現存量は、内側域で高く、外側域や混合層が厚い海域では低くなる傾向が認められた。マイワシ餌料として重要な *Paracalanus parvus* は黒潮内側域で強く優占し、産卵海域よりもそのやや下流で分布密度が高かった。
 - (7) マイワシの各種繁殖パラメータを得るための飼育産卵実験方法の確立のため、前年度までに親魚へのホルモン投与方法などの検討・開発、および予備試験を実施した。本年度は、開発した実験方法に基づき、卵成熟・排卵タイムコースの詳細を明らかにするとともに、新たに親魚を導入し、各種繁殖パラメータ（産卵数等）の情報を得るための飼育実験を継続した。
 - (8) マサバの母性効果検証のために飼育産卵実験を実施した。初回産卵魚と経産卵魚の再生産力の個体レベルでの評価を行った結果、経産卵魚は初回産卵魚と比較して、バッチ産卵数や孵化仔魚数が多く、仔魚の無給餌生残率が有意に高いなど、再生産力が高かった。また、餌切り換えによる産卵投資栄養源の検証を行った結果、産卵開始から一週間程度は主に産卵期間前に蓄積したエネルギーを利用するが、その後次第に産卵期間中に摂取したエネルギーを利用するように変化していき、その変化の速度は経産卵魚のほうが速いことが示唆された。
 - (9) 異なる採集時期（発育ステージ）の稚魚~未成魚の耳石を使った成長履歴解析を進めた。マイワシでは、春季生育場の稚魚標本でみられた稚魚期に低成長率の個体が秋季索餌場の幼魚~未成魚標本では出現せず、成長率に依存した選択的な生残過程が示唆された。マサバでは、暫定的な結果ではあるが、春季の稚魚標本とその後の幼魚標本では仔稚魚期の成長率に明瞭な差がみられなかった。
 - (10) 加入量予測モデルを駆動するための海況の長期再解析値の整備を進めた。海洋のメソスケールの変動を再現可能となる水平解像度1/10度の長期再解析値データを整備した。
 - (11) 加入量予測モデルに導入するため、餌料環境パラメータを人工衛星データから推定するアルゴリズムの開発を進めた。現場の動物プランクトンが輸送されてきた経路を海面流速データにより推定し、経路上の基礎生産量を人工衛星データから見積もった。動物プランクトン量は30日間の輸送期間の平均基礎生産量と有意な相関性があり、輸送域の基礎生産量を反映していることが示唆され、人工衛星データから推定できる可能性が示された。
 - (12) 成長履歴の解析から成長と生残、加入の関係が明らかになってきており、仔稚魚期の成長等を表現する数理モデル構築により加入量を予測するモデルの開発を進めた。(10)で整備した長期再解析値の水温、流速場を用いて加入量予測モデルを駆動し、マサバの過去の再生産成功率（加入量/親魚量：RPS）とモデルによる成長速度との関係を調べた。過去11年のうち8年について観測値（RPS）およびモデル結果から示される加入の高低が整合的であった。

3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 2-(1)から、両系群の大きな産卵場として考えられる潮岬以西（土佐湾など）と以東（伊豆諸島周辺など）では対照的な物理環境の変化が起こるため、とくにマイワシでは年代・資源状態によって産卵の重心が東西で変化することもあり、これら産卵場の物理環境特性と加入変動とを比較して検討を進める必要がある。
- (2) 本課題参画調査で得られるプランクトン標本は季節や海域に偏りがあるため、餌料環境把握のためには、引き続き自治体試験研究機関との調査連携を継続することが不可欠である。
- (3) 飼育実験については、親、仔稚魚および初期餌料の飼育・管理が長期間に亘ることから、作業の効率化と人員の確保が不可欠である。
- (4) マイワシの加入豊度は春季の生育場では確定しておらず、春季の分布密度など量的指標に基づく豊度評価は誤差が大きいと考えられ、資源評価における加入量評価の精度向上のためには、春季に得られる質的指標を見出す必要がある。2-(9)から、春季の採集標本における高成

長率個体の割合を指標とできる可能性がある。

- (5) 構築中のマイワシ加入量予測モデルは、現段階では加入量の予測が難しい状況であり、2-(11)などにより、今後の改良が必要である。

4. 特筆すべき成果

- (1) 中長期的な資源変動に関係すると考えられる北西太平洋表層水温の変動に関して理解が進み、本邦近海での北西季節風に伴う熱交換による経年変動の卓越や東方沖での黒潮続流再循環流の発達度合いに伴う約10年周期の長期変動が示された。
- (2) 動物プランクトンの時間的・水平的分布について理解が進んだ。動物プランクトン量はその輸送域の約1ヶ月間の基礎生産量を反映し、加入量予測モデルの改良につながる、人工衛星データからの動物プランクトン量の高時空間解像度での推定可能性が示された。
- (3) 飼育実験によりマサバ親魚の再生産力を個体レベルで評価することに成功し、経産卵魚の再生産力は初回産卵魚より有意に高く、経産卵魚由来の仔魚は初回産卵魚由来に比べて不適な環境への耐性が強いことが明らかとなった。このことは昨年度までに本課題の長期蓄積資料の解析結果から示された仮説：RPSは親魚が減少・若齢化した1990年代～2000年代では極めて低い年がしばしば出現するなど年変動が大きかったが、高齢親魚（経産卵魚）の割合が高かった1970年代～1980年代前半では年変動が比較的小さく、経産卵親魚の増加は資源の再生産の環境変動への耐性を高める、を支持し、親魚の年齢構成を考慮した資源管理の重要性を示す。
- (5) マイワシでは、稚魚期にある程度以上の高成長率個体だけが秋季まで生残して加入するという成長率に依存した選択的な生残過程が示唆された。これは、本課題で加入量予測モデルの基礎としているOkunishi et al. (2012)の加入過程の仮説を支持する。
- (6) 加入量が平年より高いか低いかの予測は、資源を適切に管理する上で重要な情報となるが、改良を進めているマサバ予測モデルでは、過去11年における高低年の予測確率が約73%を示し、有効なものとなってきている。

様式-1 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 5001
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ・マサバ太平洋系群
小課題名 加入量予測に関わる物理過程の解明
担当機関 中央水産研究所 海洋・生態系研究センター 資源環境グループ
北海道水産研究所 生産環境部 生産変動グループ
東北大学大学院理学研究科
担当者名 清水勇吾・黒田 寛・花輪公雄・須賀利雄・木津昭一・杉本周作

1. 調査・研究の目的

マイワシ、マサバ（太平洋系群）はともに冬春季に日本南岸域で産卵し、ふ化後の仔稚魚は黒潮・黒潮続流に乗って黒潮-親潮移行域へ運ばれて成育場に達するが、仔稚魚の生残には、各海域での水温、流れなどの物理条件が直接的に、あるいは餌料環境などを通じて間接的に大きく影響すると考えられる。本調査では上記それぞれの海域および年々～数10年のタイムスケールにおいて、水温、流れ等の観測資料を収集、整理、解析を行い、本系群の加入量・再生産成功率などと比較を行い、加入量予測に関わる物理過程を明らかにすることを目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) マイワシ・マサバの産卵場周辺の物理環境の変化特性を明らかにするため、人工衛星の海面高度偏差資料などを用いて春季（3～5月）の黒潮内側域の運動エネルギーの変化特性を調べたほか、ふ化後仔魚の輸送に重要な黒潮流軸位置、流速の変化特性を調べ、昨年度得た黒潮内側域の水温変化特性の結果と比較しながら、日本南岸での黒潮内側域～黒潮強流帯域の春季の物理環境の特性を調べた。
- (2) マサバ卵～稚魚期の輸送経路と孵化海域を推定するために、H25年度までに5004課題で分析を行った2012年5-6月の蒼鷹丸による移行域マサバ稚魚耳石データと交付金課題（1BD104）で作成したFRA-ROMSの長期再解析値を用いて、粒子追跡実験を実施した。
- (3) 日本と米国ハワイを結ぶ航路で行っているXBT（投棄式水温計）の観測継続と過去の資料の整理・解析を実施することで、マイワシ・マサバ太平洋系群の資源・加入量変動と密接に関連する海洋表層水温の中長期変動を調べた。
- (4) マイワシ・マサバ太平洋系群の存在海域に位置する黒潮続流の理解を得るために、人工衛星観測に基づく高解像度海面水温観測資料を用い、過去30年にわたる冬季黒潮続流の流路を推定した。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) Ambe et al. (2004, J. Oceanogr.)の方法を用いて、日本南岸131°E～140°Eの間で幅1°ごとの経度帯A-I（図1-1）において、1993年～2011年まで1週間に一度の間隔で黒潮流軸位置を抽出し、各年春季の平均緯度を算出して解析を行った結果、高知県室戸岬の西側と東側で流軸緯度が負の相関をもって変動していること、すなわち室戸岬の西側で黒潮が接（離）岸すれば東側では離（接）岸するというシーソー変動をしていることが分かった（表1-1, 図1-2）。また、131.5°E～140.5°Eの間で幅1°ごとの経度帯A1-A9において、海面高度偏差からと上記黒潮流軸位置から黒潮内側域の流速分布（ V ）を求め（図1-1）、運動エネルギー（ $V^2/2$ ）を計算し、その分布を調べたところ、和歌山県潮岬を境とするシーソー変動が見

られた (表 1-2, 図 1-3)。また図 1-2 と図 1-3 の比較より、黒潮が接岸すると運動エネルギーも高まる傾向も見られる。運動エネルギーは渦活動の活発さを間接的に表すため、黒潮の離接岸に伴い、渦活動の活性が変化することを示している。昨年度の本課題報告書において、春季黒潮内側域の表面水温は、潮岬を境にして西側が 1℃以上高いことをすでに示している。したがって、マイワシ・マサバの大きな産卵・ふ化場である土佐湾と伊豆諸島周辺域では表面水温、黒潮の離接岸、渦の活性など、毎年春季の物理環境が対照的に変化することが分かり、この対照的な変化が両種の再生産、加入に影響している可能性が高い。

- (2) 粒子追跡実験の結果、おおよその孵化海域を伊豆諸島周辺の 10m 深に仮定し、耳石から推定された孵化日に粒子を配置した。その後、日齢期間、粒子を追跡し、蒼鷹丸で採取された調査点近傍に分布している粒子の初期位置を孵化海域とした。特定された孵化海域は、主産卵場の伊豆諸島近傍というよりもむしろ伊豆諸島の上流と下流側に形成される傾向がある (図 2-1)。また、伊豆諸島の上流側では孵化海域は黒潮内側域に分布する傾向があるが、下流側では黒潮流軸付近に分布する傾向がある (図 2-2)。
- (3) 1998 年以来実施している日本-ハワイ間高密度 XBT モニタリング資料を用い、6 月の亜熱帯モード水 (STMW) のコア水温の時間変動を調べた。その結果、比較的日本近海 (東経 145 度から 150 度) では、経年変動が卓越することがわかった (図 3-1)。そして、この変動は、北西季節風に伴う熱交換によることがわかった。一方で、日本東方沖 (東経 160 度から 165 度) では、観測開始の 1999 年に水温が高く、次第に低温化し、2003 年頃に低温、2007 年頃に高温、2012 年頃に低温と、約 10 年周期をうかがわせる長期変動を示した (図 3-1)。そこで、この要因を同定するために、海面高度計資料や Argo フロートを用いた結果、黒潮再循環流との関係が指摘された。すなわち、黒潮続流再循環流が東方まで発達する (しない) 時期に低温 (高温) になる関係がわかった。今後、再循環流とモード水水温を結ぶ物理機構を解明する必要がある。
- (4) 黒潮続流の流路形態やその時間変動特性について、より精密で広範な理解を得るためには、過去にさかのぼって流路の時系列を用意することが望ましい。そこで、亜表層の情報を反映する冬季の海面水温 (SST) 場から流軸を推定する手法を開発し、過去の流路情報を再現した。図 3-2 に、1982 年から 2011 年までの期間で、142°E から 155°E の間で推定した流路情報から求めた流路の平均緯度と、流路長の時系列を示す。図には衛星高度計資料から求めた情報も記した。流路の南北位置は、SST 勾配を指標として用いているので、衛星高度計資料から求めた緯度よりも北に推定することになるが、双方の比較から、SST 場からも十分な精度で推定できることがわかった。次に流路の南北位置の変動の要因を調べた結果、冬季のアリューシャン低気圧の位置の南北変化が海洋にロスビー波を励起し、そのロスビー波が西方伝播することで、3 年のタイムラグを持って続流の南北位置の変化をもたらすことがわかった。一方で、続流の流路長と続流域の表層海況の関係を調べたところ、流路長が長い時には、続流より北の海域で高温・高塩で特徴づけられる水塊が分布していることがわかった。この状況は、流路長が長い時には、続流から切離した暖水塊が存在したためであった。

4. 具体的なデータ

表1-1 春季黒潮流軸緯度の経度帯Gに対するその他の経度帯の相関係数.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
-0.50	-0.57	-0.47	0.32	0.89	0.98	1.00	0.88	0.65

表1-2 春季黒潮内側域運動エネルギーの経度帯A8に対するその他の経度帯の相関係数.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
-0.34	-0.21	-0.46	-0.39	-0.49	0.24	0.70	1.00	0.68

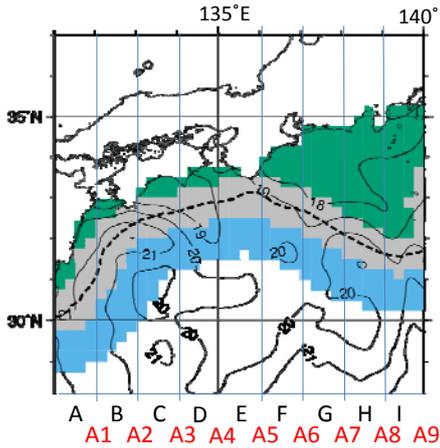


図1-1 Ambe et al.(2004)の方法で抽出した黒潮流軸(破線)によって定義した黒潮内側域(緑)、強流帯(灰)、外側域(水色)。経度帯A-Iで水温、流軸位置、A1-A9で流速、運動エネルギーの解析を行った。

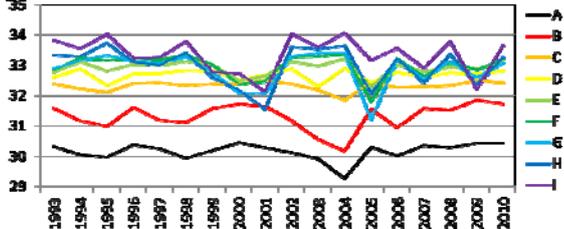


図1-2 各経度帯の春季黒潮流軸緯度の年々変化。

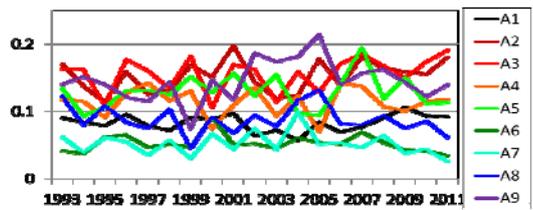


図1-3 春季黒潮内側域運動エネルギーの年々変化。

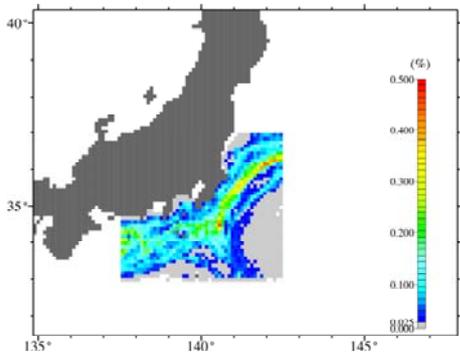


図2-1 孵化海域の頻度分布。

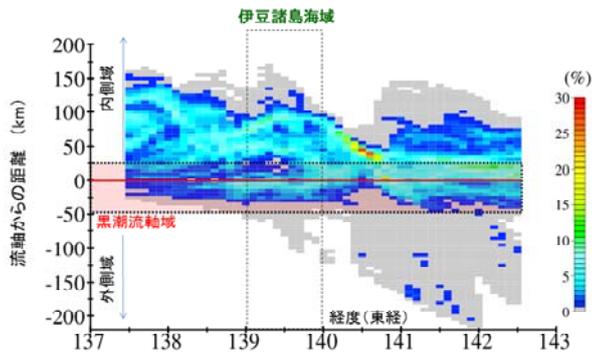


図2-2 黒潮流軸位置で分類した孵化海域の経度

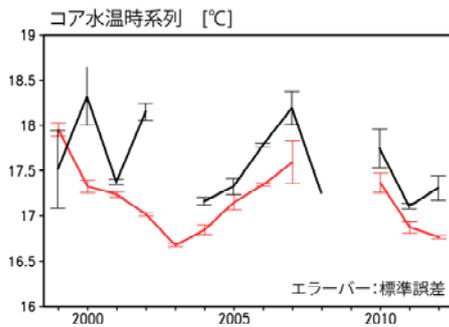


図3-1 6月の日本-ハワイ間XBTモニタリング資料から得たSTMWコア水温時系列:
(黒線)日本近海平均(145-150°E平均),
(赤線)日本東方沖平均(160-165°E平均)

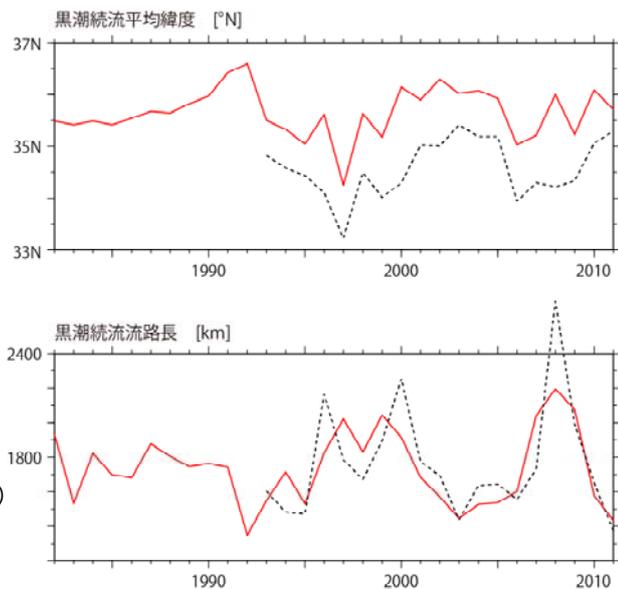


図3-2 (上)142-155°E間平均の冬季黒潮流統緯度の時系列。
(下)同経度間の流路長時系列。(赤線) SST南北勾配から求めた時系列。(黒線)衛星高度計資料から求めた時系列。

5. 調査・研究推進上の課題

上記 4-(1)については、両浮魚の大きな産卵場として考えられる土佐湾と伊豆諸島周辺では対照的な物理環境の変化が起こるため、これら産卵場の物理環境特性とマイワシ・マサバの再生産成功率などと比較する必要がある。上記 4-(1) (2)については、マサバ仔稚魚の輸送経路や経験水温解析を進める必要があり、また、5004 課題で実施した 2012 年 4 月のマサバ卵仔魚調査結果との整合性を検討する必要がある。

6. 調査・研究発表

Kuroda, H., T. Setou and K. Aoki: Development of a submesoscale model of the Kuroshio south of Japan based on a scale-selective data assimilation method. Ocean Science Meeting 2014, Hawaii USA.

清水 勇吾, 奥西 武, 安倍 大介, 黒田 寛, 瀬藤 聡, 廣江 豊, 市川 忠史, 日高 清隆, 日下 彰, 児玉 武稔(2013): 人工衛星資料を用いた黒潮強流帯流速の 20 年間の変化. 2013 年度日本海洋学会秋季大会, 札幌.

清水 勇吾, 奥西 武, 安倍 大介, 黒田 寛, 瀬藤 聡, 廣江 豊, 市川 忠史, 日高 清隆, 日下 彰, 児玉 武稔(2013): 人工衛星資料に基づく直近約 20 年の黒潮の昇温と加速. 2013 年度水産海洋学会, 京都.

瀬尾康晴 他(2013): 1982 年から 2011 年の黒潮続流流路の時間変動特性とその要因について. 2013 年度日本海洋学会秋季大会, 札幌.

Seo et al. (2014): Long-term variations of Kuroshio Extension path in winter: Meridional movement and path state change. Ocean Science Meeting 2014, Hawaii USA.

様式-1 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 5002
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ、マサバ太平洋系群
小課題名 加入量予測に関わる低次生物生産過程の解明
担当機関 中央水産研究所海洋・生態系研究センター モニタリングG、生態系モデルG
東北区水産研究所資源海洋部 資源生態G、海洋動態G
担当者名 市川忠史・田所和明・日高清隆・岡崎雄二・笥 茂穂・廣田祐一（客員研究員）

1. 調査・研究の目的

マイワシ太平洋系群は卓越年級群が出現するなど資源回復期に入りつつある可能性が指摘され、低水準が続いていたマサバも資源加入の成否に関わる時期や場所が特定されてきた。一方、生残に大きな影響を与えると推定される低次生物生産過程は、数10年に及ぶ解析の蓄積が進み、長期・広域スケールではその関係が徐々に明らかになりつつある。しかし、資源変動の鍵となる海域・季節と密接にリンクした情報の蓄積はまだ不十分である。本課題ではマイワシ、マサバの資源変動機構に及ぼす餌料環境をより深く把握し、その影響を明らかにするとともに、餌料環境に関する情報量を増やすことによって加入量の推定精度の向上に貢献することを目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) 全期間を通じ、マイワシ、マサバ資源の初期生残に重要な海域のモニタリング調査により餌料環境データの取得と解析を進める。また資源調査と連携しつつマイワシ、マサバの生活史初期に重要な海域・季節、あるいは再生産成功率に特徴がある年に焦点を当て、餌料環境変動に注目した生物量、プランクトン群集組成の変動などを解析する。
- (2) 長期プランクトンデータの解析において、今年度は過去に蓄積された日本周辺海域の湿重量データの整理・解析を進める。また黒潮域における冬春季のカイアシ類変動を把握するため、昨年度実施した遠州灘に続き房総沖の過去10年の試料の分析・解析を進める。
- (3) マサバ主産卵場海域であり近年はマイワシ沖合加入群にとっても重要性が指摘されている伊豆諸島～房総周辺海域に注目し、サバ属卵稚仔調査と連携を取りながら低次生物生産の特徴と変動を把握する。今年度は伊豆諸島周辺（産卵場海域）の海洋環境の特徴を整理し、2012年に実施した調査結果についても分析・解析を進める。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 長期変動解析から餌料環境が資源に及ぼす影響を把握するため、東北沖における栄養塩（リン酸塩）の供給量の変動が植食性のカイアシ類（*Neocalanus plumchrus*）を通してマイワシ仔稚魚の餌料環境に影響した可能性を指摘した。またマイワシ餌料として重要な *Paracalanus parvus* の個体数密度の変動はマイワシ資源変動と一致していたこと、同種の地理的分布の解析結果からマイワシ北上期の6～7月は西部北太平洋亜寒帯域で高い値を示し、マイワシ南下期の秋～冬に沿岸域（仙台湾）で高い値となる事が確認された。
- (2) 冬季産卵調査において採集された黒潮域のカイアシ類現存量の水平分布は、黒潮内側域で高く、外側域で低くなり、混合層が厚い海域では現存量が低くなる傾向が認められた。卓上式VPR(B-VPR)を用いた過去40年間における冬春季の黒潮周辺海域の標本解析の結果、遠州灘沖以西の海域における2000年代以降の2月のカイアシ類現存量は、マイワシ資源

増大期であった 1970 年代前半と同水準にあることが示された。

- (3) 伊豆諸島～房総周辺海域における 2 回の調査航海の結果では、仔稚魚の餌料として重要なカイアシ類 (*P. parvus*) が黒潮内側域で強く優占し、マサバ産卵海域よりもそのやや下流で分布密度が高いという結果になった (図 1)。
- (4) 今年度実施した約 40 年分のプランクトン湿重量の解析では、親潮域は 4～7 月まで湿重量ピークが続くのに対し、黒潮～黒潮続流域では 2 月から増加し 4 月にピークを示すこと、また長期変動解析の結果、親潮域では 1970 年代後期から 80 年代後期まで低く、黒潮・黒潮続流域においても同様の傾向を示すことが明らかになった。また、湿重量と比較するため同期間・同海域の環境要因としてクロロフィル濃度と硝酸塩濃度のデータ整理をした。
- (5) マサバの産卵場となる伊豆海嶺海域の海洋環境について数十 km スケールで整理した結果、衛星クロロフィル濃度からみた生物生産は、周辺海域と比べて必ずしも高くはないことが示された。今後より小さいスケールでの解析が必要である。
- (6) 千葉県が沿岸定線で採集した 2001 年以降の標本を B-VPR で分析した。昨年度報告した静岡県ではカイアシ類個体数密度は 3～4 月、現存量は 4 月にピークがあったが、房総沖の海域では約 1 ヶ月遅く、個体数、現存量いずれのピークも 4～5 月の 2 ヶ月に渡っていた。

4. 具体的なデータ

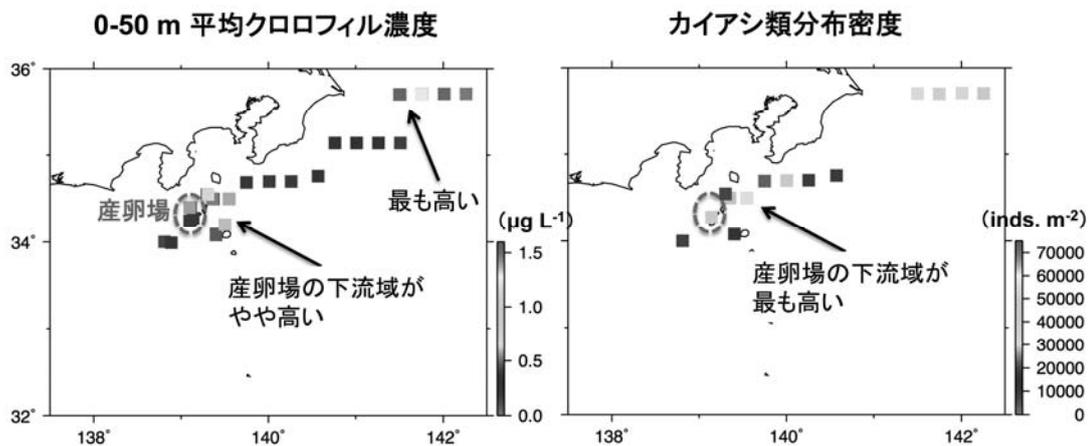


図1 2009年4月の伊豆諸島～房総周辺海域における0-50m平均クロロフィル濃度(左)とカイアシ類分布密度。クロロフィル濃度、カイアシ類分布密度ともにマサバ産卵場(破線円内)の下流域で高くなっていることが分かる。

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 他課題との連携を密にし、資源の初期生残や加入にとって重要な海域における観測や海洋環境データ、プランクトン標本の共有と解析を進めていくことが必要である。
- (2) これまでのマイワシ、マサバ調査と連携して得られているプランクトン標本は季節や海域に偏りがあるため、引き続き自治体試験研究機関との連携を継続することが不可欠である。

6. 調査・研究発表

- (1) 御前崎沖定線における黒潮域低次生産調査 (1月、3月、5月)
- (2) Tadokoro, K. et al. (2013) : Geographical and temporal variations in mesozooplankton biomass around Japan, western North Pacific, 2013 PICES annual meeting.
- (3) 市川忠史 他 (2014) : 卓上型 VPR による動物プランクトン標本の大量解析. 日本プランクトン学会報, 61(1), 1-5.
- (4) 田所和明 (2013) : 太平洋の海洋環境とプランクトン、地球環境の事典, 朝倉書店, 170-171.

様式-1 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 5003
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ、マサバ太平洋系群
小課題名 仔稚魚の生残に関わる母性効果および成育環境の解明
担当機関 九州大学大学院農学研究院、北海道区水産研究所資源管理部
担当者名 松山倫也（九州大学）・田中寛繁（北海道区水産研究所）

1. 調査・研究の目的

マイワシ・マサバの親魚群の繁殖能力が初期生残に及ぼす影響（母性効果）は加入量変動評価・予測に不可欠な要素であるが、我が国周辺海域のマイワシやマサバにおける情報はほとんどない。本小課題では、飼育実験によって初期生残に及ぼす母性効果の有無を検証するとともに、複数の環境条件下において仔稚魚を飼育し、生育環境が初期成長・生残に及ぼす影響を明らかにする。今年度はマサバの母性効果について親魚の個体レベルでの検討を行うとともに、マサバ経産卵魚の卵生産に利用されるエネルギー獲得のタイミングを把握する。また、昨年度に引き続きマイワシの飼育実験系の確立を目的とした実験を行う。

2. 調査・研究方法

- (1) **マイワシ飼育実験**：飼育下における成熟・産卵誘導法を確立し、本種の各種繁殖パラメータを明らかにするとともに、仔稚魚を生産し、成長・生残過程の解析実験系を開発する。今年度は確実な人工授精を行うために必要な卵成熟・排卵のタイムコースを明らかにするために、卵黄形成が終了した親魚を選別し、GnRHa を投与した後、経時的採集を行う。雌 4 雄 8 から成る実験区を複数設け、GnRHa により産卵誘導し、各種繁殖パラメータ（産卵数、産卵回数、産卵間隔、産卵時刻、受精率等）の情報を得る。
- (2) **マサバ飼育実験**：マサバの母性効果検証のため、初回産卵魚（満 1 歳）と経産卵魚（満 3 歳）を対象にした実験系を構築する。今年度は雌の個体別に人工授精し、受精率、孵化率、無給餌生残率を比較し、年齢による母性効果を検証する。また、産卵誘導した経産卵魚を対象に、餌を産卵開始と同時に切り換え、受精卵の安定同位体比分析により、卵生産に利用されるエネルギー獲得のタイミングを比較する。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) **マイワシ飼育実験**：前年度までに、親魚の入手、取り扱い、ホルモン投与方法などを検討・開発するとともに、成熟・排卵タイムコースを明らかにするための予備試験を行った。本年度は、これまでに開発した実験方法に基づき、卵成熟・排卵タイムコースの詳細を明らかにした。平成 25 年 12 月 1 日に、土佐湾産マイワシ親魚約 700 尾を九大水産実験所に搬入し、15°C に設定した恒温水槽で飼育した後、定期的に卵径モニターを行った。平成 26 年 1 月 16 日に雌親魚 42 尾を選別し、GnRHa (400 μ m/kg) を投与した後、経時的に採集し、卵巣成熟度を調べた。
- (2) **マサバ飼育実験-1**：前年度までに、産卵中の産卵群から得られた受精卵、孵化仔魚について比較を行い、経産卵魚の卵黄・油球体積は初回産卵魚に比べて大きく、仔魚の生残率もよいことを明らかにした。本年度は、人工授精を行い、初回産卵魚と経産卵魚の再生産力の個体別評価を行った。その結果、1 回当たりの産卵において経産卵魚は初回産卵魚と比較して、バッチ産卵数が多く（3.8 倍）、孵化率も高く（1.6 倍）、孵化仔魚数も多い（5.6 倍）

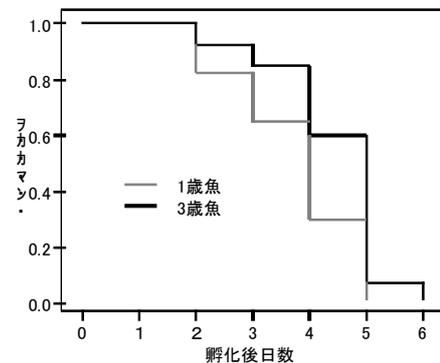
ことが明らかとなった（表 1）。さらに、経産卵魚の方が、卵径、油球径、孵化仔魚の脊索長も大きく、無給餌生残率でも有意に高く（図 1）、劣悪な餌環境への耐性が強いことが明らかとなった。

- (3) マサバ飼育実験-2：前年度までに、初回産卵魚における餌切り換えによる産卵投資栄養源の検証を行った。本年度は経産卵魚を対象にして、炭素・窒素安定同位体比の値が異なる 2 種類の餌を準備し、それぞれ産卵前と、産卵誘導後（GnRHα 投与後）に与えた。生み出された受精卵の安定同位体比の経日変化から、産卵開始から一週間程度は主に産卵期間前に蓄積したエネルギーを利用するが、その後次第に産卵期間中に摂取したエネルギーを利用していくことが明らかとなった。また前年度の初回産卵魚の結果と比べると、経産卵魚のほうが変化の速度が速いことが示唆された。

4. 具体的なデータ

表1. 人工授精による初回産卵魚(1歳)と経産卵魚(3歳)の卵質の比較

	個体 No.	尾叉長 (cm)	体重 (g)	総卵数 (1000)	受精率 (%)	ふ化率 (%)	孵化仔魚数 (1000)
1歳	1	25.2	252.9	50	60.0	0	0
	2	23.2	173.6	24	83.3	0	0
	3	23.8	189.1	27	63.0	80.9	13.8
	4	25.4	232.0	14	78.6	86.5	9.5
	5	25.8	263.9	30	60.0	78.8	14.2
	平均	22.2	222.3	19.2	69.0	49.2	7.5
3歳	1	32.6	453.1	64	64.1	76.6	31.4
	2	32.2	446.5	71	69.0	86.0	42.1
	3	35.4	573.3	82	85.4	75.7	53.0
	平均	33.4	491.0	72.8	79.6	79.4	42.2



5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 本課題では親、仔稚魚および初期餌料の飼育・管理が長期間にわたることから、作業の効率化ならびに人員の確保が不可欠である。

6. 調査・研究発表

1) 学会誌

- (1) Selvaraj S, Ohga H, Kitano H, Nyuji M, Yamaguchi A, Matsuyama M. (2013): Peripheral administration of Kiss1 pentadecapeptide indices gonadal development in sexually immature adult scombroid fish. *Zoological Science*, 30, 446-454.

2) 学会発表

- (1) Adachi H, Kodama R, Ohga H, Nyuji M, Selvaraj S, Yamamoto M, Ikeda A, Kato K, Yamamoto S, Yamaguchi A, Matsuyama M. (2013): Temporal expressions of Kisspeptins, Kisspeptin receptors, GnRHs and GtHs during the pubertal process of chub mackerel, *Scomber japonicus*. 10th Asian Fisheries and Aquaculture Forum, Yosu, Korea
- (2) 北野 載, 長野直樹, 坂口圭史, 松山倫也 (2013): 稚魚期マサバの成長に及ぼす海水塩分濃度の影響. 因島種苗生産技術交流会
- (3) Nagano N, Sakaguchi K, Kitano H, Matsuyama M. (2014): Effect of broodstock age of female chub mackerel *Scomber japonicus* on egg and larval quality. *Aquaculture America* 2014.

様式-1 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 5004
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ、マサバ太平洋系群
小課題名 加入過程の解明
担当機関 中央水産研究所 資源管理研究センター 資源評価グループ・資源生態グループ
担当者名 川端 淳・高橋正知（※8月以降は瀬戸内水研）・須原三加・上村泰洋
高須賀明典・渡邊千夏子・本田 聡

1. 調査・研究の目的

マイワシ、マサバ太平洋系群について、移行域以北を経て加入する群（沖合加入群）の変動を資源変動の主体ととらえ、年々の加入量の早期の推定と精度の向上、さらには加入量の予測や中長期的な加入動向の把握を目標として、フィールド調査による採集標本の成長履歴解析や観測資料等の解析、ならびに長期の産卵調査資料の解析によって加入量を決定する発生時期、発育段階や海域を明らかにし、産卵・初期生態特性を把握して仔稚魚の生残に影響を与える産卵・生育環境等の影響を評価し、加入量推定精度を向上させる。これらの結果を他課題と連携させて分析し、加入過程を明らかにする。

2. 調査・研究方法

- (1) 産卵場、生育場および索餌場（加入量決定後）において調査船調査を実施し、仔稚幼魚採集標本の耳石解析によって日齢、ふ化日、成長履歴の推定、生息環境の把握を行う。今年度は、調査船調査による観測データ、標本の収集とそれらの解析、資料の蓄積を継続するとともに、過去資料も合わせた検討を進めた。
- (2) フィールド調査資料および漁業情報などを解析して加入量を推定する。漁獲加入前の加入量推定を可能とする指標値等を探索、導入する。加入群の生残率の指標（再生産成功率（RPS））を推定し、加入豊度の指標として他課題結果との比較検討、とくに 5005 課題のモデルの検証に資する。今年度は、加入量の推定、指標値の導入、ならびに他課題と連携した RPS、加入量決定に重要な発育ステージ、時期・海域において生残に影響を与える要因の検討を進めた。
- (3) 調査船調査による長期データから得られた産卵親魚・仔稚魚の生態特性や産卵・生育環境の変化と加入量変動との関係を明らかにする。今年度は、昨年度に引き続き、歴史的産卵調査資料の電子化を進めると共に、産卵量集計を行う卵稚仔データベースの拡張を行った。
- (4) (1)～(3)の結果を他課題と連携させ、RPS、母性効果、経験環境、成長等の関係を分析し、加入過程を記述する。今年度は、ここまで得られた知見、資料の整理、検討を進めた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) マイワシ：前年度までの結果で、ふ化時期は3～5月（4月中心）であり、加入豊度と稚魚期成長率とに相関が窺われた。今年度の検討の結果、個体間成長差が顕著に生じ始める稚魚期50～60日齢時の平均成長率の出現個体頻度は、5、6月生育場の採集標本では、低成長率個体の頻度が高く、年による組成の違いも大きい。9～10月索餌場（加入成功個体）では、どの年も概ね0.8mm/日以上の高成長率の個体が主体であった（図1）。このことは、春季生育場でみられた低成長率の個体が秋季索餌場では出現しない、すなわち、稚魚期にある程度以上の高成長率個体だけが秋季まで生残して加入するという成長率に依存した選択的な生残過程を示唆し、5005 課題のモデルの基礎としている Okunishi et al. (2012) の加入過程の仮説を支持する。

(2) マサバ：前年度までの結果で、加入豊度は主産卵期の4月ふ化個体の仔稚魚期の生残率に大きく依存すると考えられ、生残(加入)過程にある仔稚魚標本の分析が重要であることから、前年度に引き続き今年度も4月の伊豆諸島周辺～常磐海域においてネット採集調査を実施し、多数の仔稚魚標本を得てそれらのふ化日推定、成長解析を、その後の調査で採集される幼魚標本と共に進めた。これまでの解析の結果では、4月採集の仔稚魚標本とその後の幼魚採集標本の仔魚期成長率を同様のふ化時期個体で比較したところ、両者の差は明瞭ではなかった(図2)。

(3) 歴史的産卵調査資料として発掘した調査綴・卵稚仔定量票の対照を行い、整備・電子化を進めた。卵稚仔データベースは、将来、海洋生態系間比較により、我が国周辺海域の産卵状況の特性を理解することを想定して、フンボルト海流域に拡張した。また、卵の魚種査定技術の進展に伴い、卵稚仔データベースの魚種対応の改修を進めた。

4. 具体的なデータ

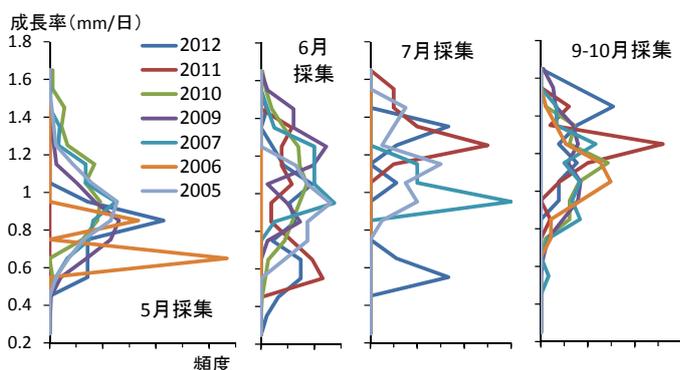


図1. 採集時期(発育ステージ)の異なるマイワシ3-4月ふ化標本の50-60日齢時の平均成長率の出現頻度



図2. 採集時期(発育ステージ)の異なるマサバ標本の仔魚期の平均成長率

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) マイワシ：加入豊度は春季の生育場では確定しておらず、春季の分布密度など量的指標に基づく豊度評価は誤差が大きいと考えられ、資源評価における加入量評価の精度向上のためには、春季に得られる質的指標を見出す必要がある。今年度の結果から、春季の採集標本における高成長率個体の割合を指標とできる可能性があり、検討を進めていく。
- (2) マサバ：4月の採集調査で得られた仔稚魚標本は、その後の5～7月の調査で得られた(加入群の主体と考えられる)幼魚標本よりもふ化時期の早い個体が多かった。主目的である両者の成長履歴の比較が出来るように、仔稚魚採集調査時期の変更(遅らせる)の必要がある。

6. 調査・研究発表

- (1) Takahashi, Masanori et al. (2014) Growth of juvenile chub mackerel *Scomber japonicus* in the western North Pacific Ocean: with application and validation of otolith daily increment formation. Fisheries Science, 80, DOI 10.1007/s12562-013-0698-2.
 - (2) 川端淳・高橋正知・須原三加・渡邊千夏子・本田聡・久保田洋(2013) マイワシ、マサバの加入過程と生残機構の解明に向けて. 水産海洋研究, 77, 353-354.
 - (3) 須原三加・他(2013) 黒潮親潮移行域以北に出現するマイワシ太平洋系群当歳魚の孵化日組成と成長. 平成25年度中央ブロック資源・海洋調査研究会.(9月、高知市)
 - (4) 上村泰洋・高橋正知・他(2014) 黒潮親潮移行域におけるマサバ太平洋系群当歳魚の成長と資源加入尾数との関係. 平成26年度日本水産学会春季大会講演要旨集.(3月、函館市)
- (ほか、学会・シンポジウム・研究会等口頭発表6件、その他報告2件)

様式-1 平成 25 年度資源変動要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 5005
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マイワシ、マサバ太平洋系群
小課題名 加入量予測モデルの構築
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
東北区水産研究所資源海洋部生態系動態グループ
中央水産研究所海洋・生態系研究センター 放射能調査グループ
中央水産研究所海洋・生態系研究センター 生態系モデルグループ
担当者名 奥西 武
齊藤宏明
安倍大介
瀬藤 聡

1. 調査・研究の目的

マイワシ、マサバ太平洋系群等の小型浮魚の加入量は、年変動が大きく、資源を適切に管理する上で早期かつ高い精度で加入量推定が求められている。加入量は仔稚魚期の成長に依存していることが指摘されている。この成長は経験する水温、餌料環境等に関係し、このような環境条件の変化が加入量変動をもたらしていると考えられる。本課題では、現場観測および飼育実験の成果から得られた加入機構の仮説を反映したマイワシ、マサバ加入量予測モデルを開発し、加入量の予測可能性を調査する。本年度は、マイワシおよびマサバ加入量予測モデルの改良を行い、年々の加入量の推定を試みた。

2. 調査・研究方法

- (1) 高解像度海面流速データを利用した粒子追跡モデルを用いて、マイワシおよびマサバの仔魚期の輸送環境変動の特徴を明らかにする。また、推察されたマイワシおよびマサバの仔魚期の輸送環境と加入量との関係について解析を行う。本年度は、マイワシおよびマサバの仔魚を想定した粒子追跡モデルの結果と人工衛星による水温データより、仔魚の経験水温と加入量の関係について解析を行った。
- (2) 人工衛星リモートセンシングで得られるクロロフィルデータおよび水温データから、魚類餌料環境を推定するアルゴリズムを開発する。本年度は、衛星データから動物プランクトン生物量を指定するアルゴリズムのプロトタイプを作成した。また、クロロフィル、動物プランクトン生物量等のデータを継続して取得し、環境データと合わせてデータ整備を図った。
- (3) マイワシおよびマサバ加入量予測モデルを駆動するため、海況の長期再解析値を整備する。本年度は、海洋のメソスケールの変動を再現可能となる水平解像度 1/10 度の長期再解析値のデータ（1993～2012 年）を整備した。
- (4) マイワシおよびマサバの仔稚魚期の成長等を表現する数理モデルを構築により、加入量を推定するモデルを開発する。また、モデルで必要となる餌料環境は、(2)で開発するアルゴリズムを利用する。本年度は、(3)で整備した長期再解析値の水温、流速場を用いて、マイワシおよびマサバの加入量予測モデルを駆動し、加入量の推定を試みた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) マイワシおよびマサバの仔魚を想定し、海面流速データ（1993-2010年）を用いて実施した粒子追跡実験の結果から、経験水温と加入量の関係を調べた。30日間の経験水温と再生産成功率（RPS）との相関関係はマイワシで $r=-0.12$ 、マサバで $r=-0.29$ となり、経験水温のみで単純に解析期間の加入量の変動を説明することは、困難であった。
- (2) 現場採取された動物プランクトンが輸送されてきた経路（0~40日間）を海面流速データの利用により推定し、この輸送経路上の平均基礎生産量を人工衛星データから見積った。30日間の輸送期間の平均基礎生産量と動物プランクトン湿重量の間は、有意な相関性 ($r=0.46$, $p<0.01$) が認められ、他の輸送期間に比べて相関性が最も強かった。この結果は、動物プランクトン生物量がその輸送域の約1ヶ月間の基礎生産量を反映していることを示唆し、人工衛星データから動物プランクトン生物量を高時空間解像度で推定できる可能性を示した。
- (3) マイワシ加入量予測モデルを海況の長期再解析値を用いて駆動し、モデルのマイワシの平均体長と再生産成功率の関係（1998~2010年）を調べた。両者には有意な相関性は認められず、現段階のモデルから加入量の予測は困難であり、今後のモデル改良が必要である。
- (4) マサバ加入量予測モデルを海況の長期再解析値を用いて駆動し、モデルのマサバの平均成長速度と再生産成功率の関係（2002~2012年）を調べた（図1）。2002~2012年における両者の相関関係は $r=0.44$ ($p=0.17$) と統計的には有意性は認められなかったが、2008年を除外すると、強い相関関係 ($r=0.73$, $p=0.017$) を示した。また、2002~2012年の資源評価で示されている再生産成功率の平均値を基準にして、平均値より高い年（低い年）を高加入年（低加入年）と定義し、モデルの成長速度から再生産成功率の高低年の予測の可能性を調べた。その結果、2008年、2010年、2012年以外の8カ年のモデル結果から示される高（低）加入年は、再生産成功率から示される高（低）加入年と整合的であり、約73%の予測確率を示した。

4. 具体的なデータ

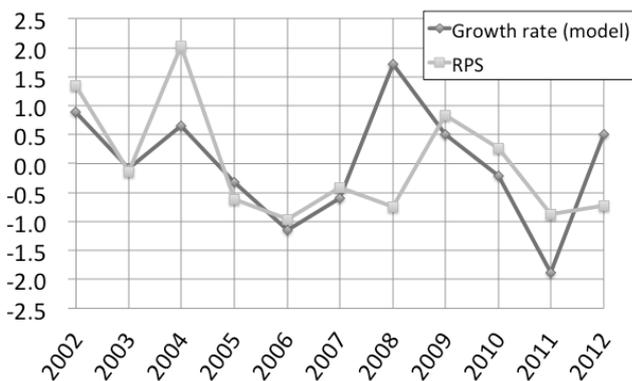


図1. マサバ加入量予測モデルによって推定された2002~2012年級の4月生まれの0-25日齢の平均成長速度（Growth rate）とマサバ太平洋系群の再生産成功率（RPS）。X軸は各年を示し、Y軸は平均0、偏差が1となるように規格化している。

5. 調査・研究推進上の課題

順調であり、課題は特になし。

6. 調査・研究発表

- (1) 奥西 武・田所和明・齊藤宏明・安倍大介・亀田卓彦（2014）経験的モデルによるメソ動物プランクトン生物量の推定，2014年度日本海洋学会春季大会（発表予定）
- (2) その他、学会発表等（口頭7件、ポスター2件）