

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 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 渡邊 千夏子

1. 調査・研究の目的

マイワシ、マサバ太平洋系群は、毎年の加入量の変動が大きく、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。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）の加入量の推定精度、予測精度に大きく依存する。これらのことから、本調査では、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、昨年度に引き続き、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) マイワシおよびマサバの生活史段階に対応する海域として黒潮内側域～黒潮域（産卵場）、黒潮～黒潮続流域（生育場）、黒潮続流域～混合域（生育場・索餌場）の海洋観測資料を計画にそって収集・解析した。近年、道東近海以外の海域での平均水温の低下傾向にあること、春季ブルームの時期が早まっていることなどが明らかになり、近年のマイワシ・マサバの資源の増加との関係が示唆された。整備した海洋観測情報をもとに構築した物理モデルをもとに粒子追跡により、北上期に採取されたマサバ稚魚が発生した海域と経験水温を推定し、成長との関係を解析した。海洋環境と餌料環境の間の統計的関係を解析し、5005 課題へ成果を提供した。太平洋海面水温指標のおよび大気強制場の解析により、2014 年/2015 年にレジーム・シフトが発生した可能性が高いことを指摘した。
- (2) 長期的に継続されている海洋環境調査およびその結果の収集・整理、B-VPR を用いた動物プランクトン分析により、亜寒帯域・混合域および黒潮周辺海域におけるマサバ・マイワシの餌料環境の情報収集・解析、および食性解析を行った。食性解析から、小型カイアシ類 *Paracalanus. parvus* がマイワシ・マサバ両種にとって特に重要な餌生物であることを示した。亜寒帯域・混合域で餌料生物の経年的・季節的変動を解析し、*P.parvus* の変動がマイワシ資源量変動とよく一致することを示した。黒潮周辺海域では、餌料環境がマイワシの資源増大期と同等に高まっていることを指摘した。マサバの産卵場・生育場である 4 月の伊豆諸島海域について細かい空間解像度で採集された試料を分析し、伊豆諸島海域の基礎生産量は他の海域とくらべ必ずしも高くないことを示した。
- (3) マサバのホルモン等を利用した産卵誘導法、仔稚魚の餌料系列などマサバの繁殖特性と生残過程の解明に求められる飼育実験技術を確立した。実験を通じて、マサバの親魚の産卵

経験および水温が卵やふ化仔魚のサイズ、仔魚の生残率におよぼす影響を明らかにした。水温がマサバの成長に強い影響を与えることを実験により示し、天然海域においても水温がマサバの成長・生残に強く影響する可能性を指摘した。産卵経験のある親由来の卵のサイズ、ふ化仔魚のサイズがともに大きく、生残率が高いなど、浮魚類の母性効果を初めて実証し、親魚の保護など質的管理の重要性の認識を深めた。マイワシについても飼育実験に必要な技術をほぼ確立し、仔魚～若魚（幼魚）の飼育餌料系列が開発された。産卵誘導で得た受精卵をふ化させ、若魚（145日齢）までの飼育に成功し、成長式を得た。

- (4) 計画に従い、マイワシ・マサバ仔稚幼魚について調査船調査を実施し、標本の収集とそれらの解析、資料の蓄積を行った。また、長期的な産卵特性把握のため、歴史的産卵調査資料の整備・電子化を進めた。卵仔稚資料と結合する海洋情報の充実化、水塊判別を行い、海域間比較可能なデータセットとした。マイワシは黒潮内側域で産卵・ふ化したのち産卵場周辺海域に滞留する沿岸加入群と、黒潮～黒潮続流域を経て北上し、索餌期を亜寒帯域で過ごした後南下回遊する沖合加入群が存在し、沖合加入群の秋季現存尾数とマイワシ加入量の間には正の関係が認められた。このことから沖合加入群がマイワシ資源変動の主体であることが示され、沖合加入群秋季現存尾数を加入量指標値として資源評価に用いた。仔魚～幼魚期の成長・ふ化日解析から、成長速度に依存した生残過程がある可能性が示された。マサバは体長 35mm までの成長速度が加入量・再生産成功率と高い相関が認められ、生活史のごく初期に加入量が決定することが示された。体長 35mm までの標本を複数の漁具で採集し初期成長を検討したところ、ふ化後 2 週間程度の仔魚期において高い選別・淘汰が生じて加入量水準が決定していることがわかった。このことは、産み出された海域の水温および親魚の年齢・産卵経験が、加入過程に強く影響することを示すと考えられた。
- (5) マサバについて、5003 課題の飼育実験結果を基に水温を説明変数とした成長関数を構築し、仔魚期の輸送および成長を推定するマサバ加入量予測モデルを構築した。このモデルから推定される 5 日齢までの平均成長速度とマサバ再生産成功率 (RPS) の間には有意な正の相関性 ($r=0.72$, $p<0.05$) が認められ、年々の変動パターンをよく予測できた。高加入年と低加入年の予測確率は 58% となった。マイワシについて、餌料環境を説明変数とした成長関数を構築した。モデルを駆動する餌料環境は、人工衛星データから見積った基礎生産量と動物プランクトン生物量の関係から、動物プランクトン生物量を推定するアルゴリズムを作成し、これを基に再現した。モデルから推定した平均体長およびマイワシ RPS の平均値を基準とした高加入年と低加入年の予測確率は 63% であり、モデルは加入量の高低を比較的表現できた。しかし、モデルの平均体重と RPS の間には有意な相関性は認められず ($r=0.37$, $p>0.1$)、モデルによる年々の変動パターンの表現は難しかった。高・低加入年の予測確率は 62% であった。マイワシについてはよりシンプルなモデルも検討した。3 月～5 月の黒潮続流域において表面水温が 14～20℃となる海域の面積比、および同海域の基礎生産量の年変動を加味した指標 (IPP index) を用いたモデルは、年々の RPS と高い相関が認められ、水温と海域の基礎生産量の年変動の両因子が加入に重要であることが示唆された。

3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 産卵場である春季黒潮域の水温特性について、レジーム・シフトが生じた可能性を念頭に置いて水温変化との対応を見ていく必要がある。
- (2) 餌料環境解析の対象とする海域や時期・生物群について他課題との連携を密にするとともに、副次的な分析として (加入後の) 索餌場の餌料プランクトン試料の分析に取り組む。
- (3) マイワシについては産卵生態を反映した飼育が可能になったとは言い難く、さらに産卵誘導技術の開発が求められる。

- (4) マイワシについて加入量決定時期の特定に至らず、今後、加入量と餌料環境の解析、飼育実験による仔稚魚の生残に与える因子の抽出などの解析を進めて加入量決定に重要な時期・要因を明らかにしていく必要がある。マサバ・マイワシとも資源の増加にともなって低水準期とは異なる加入過程を取ることも考えられる。

4. 特筆すべき成果

- (1) 黒潮域～混合域についての中長期的な物理環境情報について整備された。中長期的な資源変動に関係すると考えられる、黒潮統流南方域の冬季海面水温変動について理解が進み、約 10 年規模の変動とその要因が示された。
- (2) 黒潮域～混合域～亜寒帯域の低次生産に関する情報が整備・蓄積された。マイワシ・マサバとも、仔魚期の餌料が、カラヌス目カイアシ類に大きく依存していることが示唆された。*P.parus* の年変動がマイワシ資源変動とよく一致することが示された。
- (3) マサバについて飼育実験に必要な技術が開発・確立された。マサバについて母性効果を確認した。母性効果の飼育実験での実証は浮魚では初の事例である。マイワシの飼育下での産卵誘導、受精卵の確保、ふ化仔魚～若魚の飼育が可能となり、飼育下で孵化後 145 日の若魚までの育成に初めて成功した。今後、卵仔稚魚の成長、生残と環境条件との関係や母性効果に関する実験の展開が可能となる。
- (4) マイワシ、マサバについて調査を通じて加入量の早期把握が可能となった。マサバについては成長速度を加入量指標値として使用できるようになり、資源評価精度の向上に貢献した。マサバはふ化後のごく短い期間の成長率に依存した加入過程が示され、加入量水準の決定において産卵場所や母性効果が強く影響する可能性が示された。
- (5) マサバについて水温を説明変数とする加入量予測モデルが構築され、加入量指標となりうる結果がえられた。マイワシについては餌料環境を人工衛星データから予測するモデルを構築し、その出力結果である餌料環境を説明変数とする加入量予測モデルの改良が進んだ。

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 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・日下 彰・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～ふ化～初期生残場となる春季黒潮内側域において、両種の加入に影響を与えると考えられる春季ブルームの発生タイミングの年々変化を、人工衛星水色センサー観測資料である MODIS-AQUA データ（クロロフィル a 濃度）から調べた。
- (2) マサバの孵化海域と水温-成長間の応答関数を推定するために、北西太平洋海況予測システムの再解析値に基づく粒子追跡実験を実施した。その際、5004 課題で実施された 2012-2014 年 4-5 月の北鳳丸による、伊豆諸島～房総沖でのサバ属（2012 年はマサバ）稚仔魚の耳石成長解析結果を用いた。耳石から推定した産卵日に大凡の産卵場周辺に粒子を配置し、日齢日の間、10m 流速で粒子を追跡し、稚仔魚の採取された観測点付近に到達した粒子の輸送経路と経験水温を見積った。さらに、水温-成長間の関係式については、5005 課題の個体ベースモデルに基づき、成長速度を体長依存の最大成長速度と経験水温依存の 0～1 の値をもつ関数（以下、応答関数）の積で定義し、粒子追跡に基づく経験水温と耳石解析に基づく成長記録から応答関数を推定した。
- (3) マイワシ・マサバ太平洋系群の生育・成長にとって最重要である海水温に着目し、その時間変動特性を調べた。とくに、最近 5 年間でのレジームシフトの発生の有無に着眼し研究を行った。そして、大気再解析資料を用いることで、海水温変動におよぼす大気強制の影響を調べた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 中央水研 138°E 観測定線の調査船による実観測データとの比較を念頭に、ダウンロードした MODIS-AQUA データ（クロロフィル a 濃度）から、138°±0.5°E の範囲で概ね黒潮内側域に該当する 33.5°N から北に向かって 0.5°N ずつ 3 つのマス目（138°E±0.5°E の範囲で (1)33°30'N～34°N, (2)34°N～34°30'N, (3)34°30'N～沿岸までの 3 海域）に入る 2003 年～2014 年のデータを 8 日ごとに切り出して平均した。各マス目で月平均を取ると 3 月か 4 月に最大値を取ることが分かったので（図 1-1）、3～5 月の間のクロロフィル濃度最大値を与え

る時期を春季ブルームのピーク到達期と定義し、その年々変化を調べたところ、いずれの海域でもブルームピーク到達期が早まる傾向が見られた（図 1-2）。

- (2) 全ての年において、推定孵化海域の黒潮流軸からの距離に対する頻度分布（図 2-1 は 2012 年）は二峰型で特徴づけられ、黒潮内側域のごく沿岸近くと黒潮流軸から 70-80km 北側で孵化する可能性が示唆された。また、年別の粒子追跡結果に基づき応答関数を推定したところ、二つの傾きをもつ L 字型の直線式が推定された（図 2-2）。しかし、L 字型の直線関係は、主に 2013 年と 2014 年の水温-成長の関係から構成されており、経験水温-成長の年較差を表現しているにすぎない。本解析の結論として、今後、加入に成功したマサバ稚仔魚に限定して、同様の解析を実施することが有効であると期待される。
- (3) 北太平洋海水温の時間変動特性を調べるために、太平洋海面水温指標（北太平洋海面水温の経験的直交関数解析の第一モードの時係数）を使用した（図 3-1）。この指標の振る舞いから、2014 年から 2015 年にかけて符号が大きく反転していることがわかり、これは過去のレジームシフト（図 3-1 中黒矢印）と同程度の振幅であった。そこで、2014 年/2015 年の海水温の符号反転要因を同定するために大気強制場を調べた。その結果、2014 年・2015 年を境にアリューシャン低気圧が東偏強化していることがわかった（図 3-2）。このアリューシャン低気圧の東偏強化は、1976/77 年などのレジームシフトを起こした主因であるとされている。以上のことから、現在、レジームシフトが約 20 年ぶりに発生した可能性が高い状況であると結論づけた。

4. 具体的なデータ

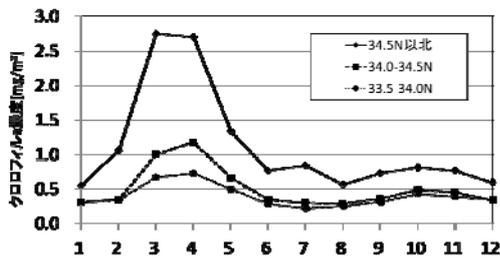


図 1-1 138E 線上各緯度帯での AQUA-MODIS クロロフィル濃度 (mg/m³) の月平均値。

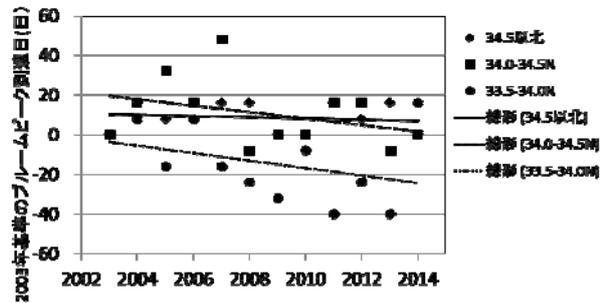


図 1-2 2003 年を基準とした各海域の春季ブルームピーク到達期の年々変化 (日)

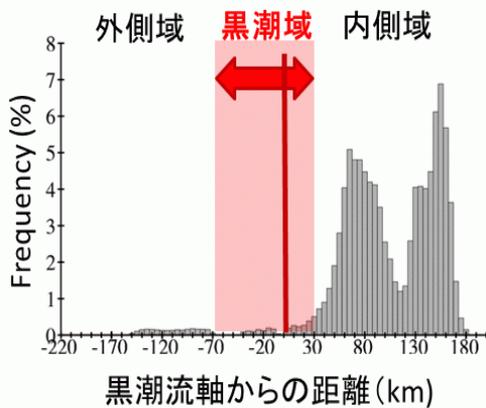


図 2-1: 推定孵化海域の黒潮流軸距離に対する頻度分布

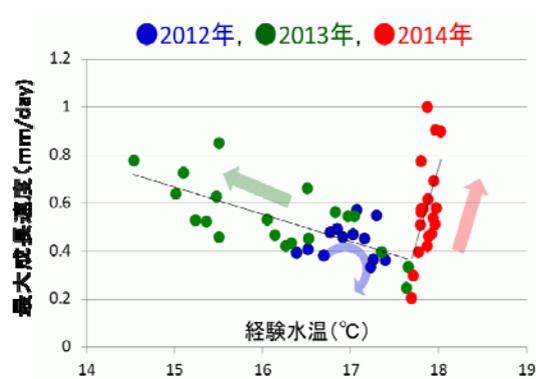


図 2-2: 年別経験水温-成長間の応答

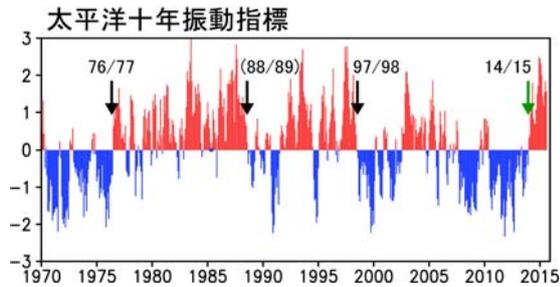


図 3-1：太平洋十年変動指標の時系列。図中黒矢印は既に同定されているレジームシフトの発生年。緑矢印は本研究課題が新たに指摘したレジームシフト発生候補年。

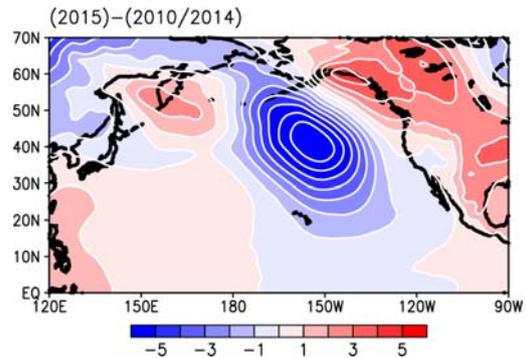


図 3-2：2015 年冬季（12-2 月）海面気圧とその前 5 年間（2010 年～2014 年）の冬季海面気圧の差 [hPa].

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 近年はマイワシ資源が増大しつつあるが、春季ブルームの早期化と関連があるかどうかを今後検討する。
- (2) 5004 課題の調査で採取された稚仔魚が、その年の加入に成功あるいは失敗した个体であるかを、成長速度などの解析から今後明らかにする必要がある。
- (3) 2014/2015 年にレジームシフトが起こった可能性が高い状況ではあるが、これをレジームシフトと断定するためには、今後数年間にわたり符号状態を監視する必要がある。これを果たすことで、レジームシフトに伴う資源変動の実態に迫れると期待される。

6. 調査・研究発表

- (1) 清水勇吾, 瀬藤聡, 日高清隆, 村上浩 (2016)：人工衛星海色資料に基づく黒潮内側域春季ブルームの経年変化. 2016 年度日本海洋学会春季大会.
- (2) Hiroshi Kuroda, Yugo Shimizu, 他 4 名 (2015) : Particle tracking experiments to specify hatching areas of the Pacific stock of chub mackerel off the southeastern coast of Japan. PICES Annual Meeting 2016, China, Poster.
- (3) Sugimoto, S., and S.-I. Kako, (2016) : Decadal variations in wintertime mixed layer depth south of the Kuroshio Extension and its influence on winter mixed layer temperature. J. Climate, in press.
- (4) 杉本周作, 上野洋路, 星直樹 (2015)：おしよろ丸東経 155 度定線で観察される移行領域モード水水温の長期変動特性. 2015 年度日本海洋学会秋季大会.

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 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
東北水産研究所資源海洋部 資源生態 G、海洋動態 G
担当者名 小笠恒夫・市川忠史・田所和明・岡崎雄二・日高清隆・寛 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、生残への影響が大きいと推定される低次生物生産過程は、数十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、過去に蓄積された日本周辺海域の動物プランクトンの現存量データおよび標本の整理・解析を進める。今年度は亜寒帯域・混合域で採集された試料について、カイアシ類種組成の解析を行う。さらに、亜寒帯域・混合域におけるメソ動物プランクトン組成の季節変動について解析を行う。また、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。今年度は既往データの統計解析を進めるとともに、房総沖の高クロロフィル海域の形成過程に着目した調査・解析を行う。
- (3) 調査航海で採集されたマサバ・マイワシ仔稚魚の胃内容を分析し、生活史段階や海域による食性の違いや重要な餌生物、摂餌選択性等についての知見を得る。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 亜寒帯域・混合域 1：マイワシ餌料として重要な *Paracalanus parvus* の個体数密度の変動を調べ、その変動パターンがマイワシ資源変動と一致していたことから、東北沖における本種の生産量の変動がマイワシ仔稚魚の餌料環境に影響した可能性が考えられた
- (2) 亜寒帯域・混合域 2：昨年度までに、約 40 年分のプランクトン湿重量データを解析し、親潮域では 1970 年代後期～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等を明らかにした。今年度は、種レベルの解析を行い、餌料生物として重要なカイアシ類の中でも種ごとに変動パターンが異なることを明らかにした(図 1)。

- (3) 亜寒帯域・混合域3：2010年～2013年に年5回（1月、3月、5月、7月、10月）に採集したサンプルを用いて、亜寒帯域・混合域のメソ動物プランクトン組成の季節変動を明らかにした（図2）。その結果、いずれの水域でのカイアシ類が主要な組成であったが、5月～10月にかけては、それ以外のヤムシ類・オキアミ類・タリア類・クラゲ類の組成も上昇することが明らかとなった。また1月～3月にかけては何れの水域でも亜寒帯種が多かったが、5月以降では亜熱帯種も増加することが明らかとなった。
- (4) 黒潮周辺海域1：昨年度までに、卓上式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年代前半と同水準であると示した（図3-1）。また、静岡県および千葉県産卵調査試料の分析により、駿河灘でのカイアシ類現存量ピークが4月であるのに対し、房総沖の海域では約1ヶ月遅いことを示した（図3-2）。
- (5) 黒潮周辺海域2：昨年度までに、駿河灘・伊豆海嶺周辺・房総沖それぞれの衛星クロロフィル濃度の季節変動を調べ、マサバの産卵場となる伊豆海嶺海域の基礎生産は、周辺海域と比べて必ずしも高くはないことを示した。今年度は、より細かい空間解像度で測点が配置された北鳳丸による観測データを解析し、産卵場周辺での栄養塩・カイアシ類密度は周辺の黒潮内側域と有意差はなく、クロロフィル濃度において上流の駿河灘よりも有意に低いことを明らかにした（図4-2）。2015年の観測では、犬吠埼の周辺に設けられた観測点において、鹿島灘から房総半島北部にかけての沿岸域の表層に、周辺に比べて σ_θ が0.25-0.5 kg m⁻³高密度な海水が分布し、その周辺で栄養塩濃度とクロロフィル濃度がともに高くなっていた。これらは、亜表層からの高栄養塩な海水の湧昇と、それに伴う生物生産の増加を示しており、移流によって黒潮続流域の動物プランクトン生産に寄与している可能性が考えられた。（図4-3）
- (6) 仔稚魚の食性：2013年4月に房総沖で採集されたサバ属仔魚の食性を調べた。カラヌス目カイアシ類が標準体長10mm以下の個体で約8割、10mm以上の個体で約9割を占め、10mm以下の個体で尾虫類が約1割を占めた以外は他の分類群の寄与は少なかった（図5）。

4. 具体的なデータ

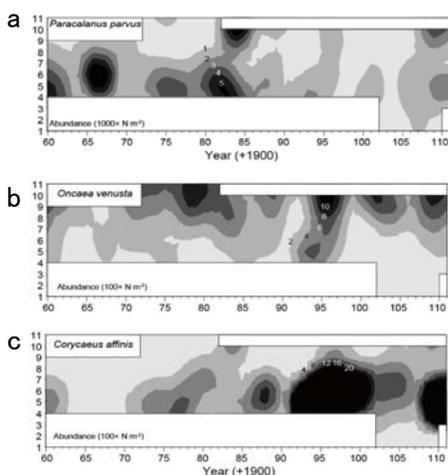


図1 混合域におけるカイアシ類分布量の月別経年変動

a: *Paracalanus parvus* ,
b: *Oncaea venusta* c: *Corycaeus affinis*

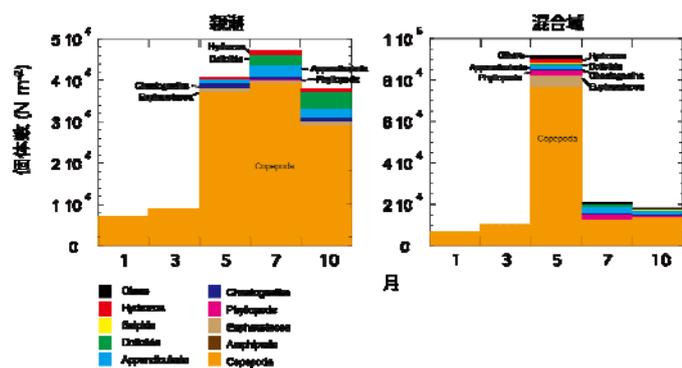


図2 亜寒帯域（親潮）および混合域におけるメソ動物プランクトン個体数の季節変動

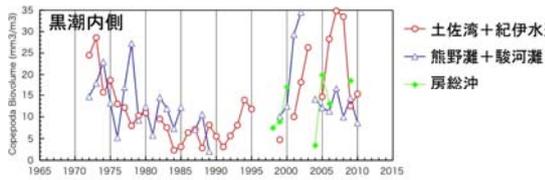


図 3-1 2月の産卵調査で採集された黒潮内側域カイアシ類現存量の経年変動

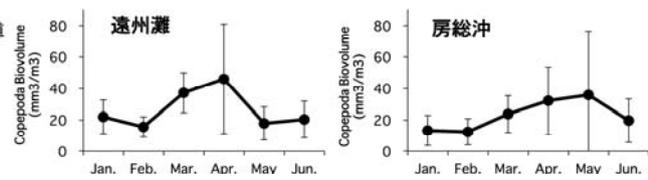


図 3-2 静岡県（左）および千葉県（右）の産卵調査で採集された黒潮内側域カイアシ類現存量の季節変動（2001-2010年の平均）

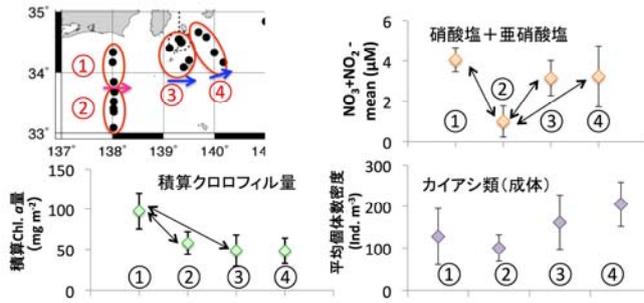


図 4-1 2013年4月の調査での栄養塩・クロロフィル濃度・カイアシ類分布密度の海域間比較

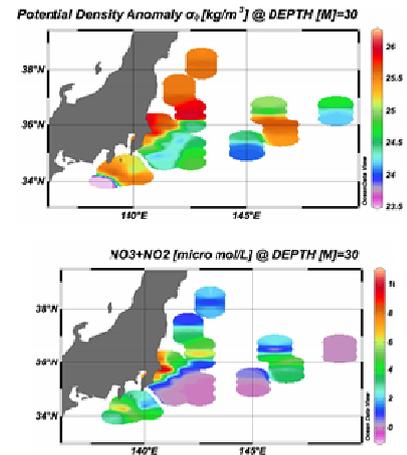


図 4-2 2015年4月の調査での30m層の海水密度（左）および栄養塩濃度（右）の水平分布

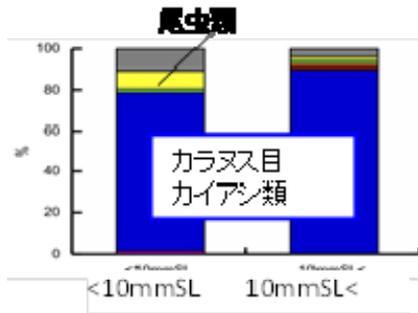


図 5 2012年4月の房総沖でのサバ属仔魚の胃内容物の

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 対象とする海域や時期・生物群について、他課題との連携を密にする。
- (2) 副次的な分析として、索餌場の餌料プランクトン試料の分析に取り組む。

6. 調査・研究発表

- (1) 田所 和明, 岡崎 雄二, 葛西 広海, (2015), Seasonal variation of mesozooplankton community in the Oyashio and Kuroshio-Oyashio Transition waters, western North Pacific, PICES2015, 中国・青島.
- (2) 高橋 一生, 市川 忠史, 田所 和明, (2015), カイアシ類 *Sapphirina nigromaculata* 雄における体色の日周変化, 日本海洋学会 2015年度秋季大会, 愛媛大学
- (3) 永井直樹, 田所和明, 黒田一紀, 杉本隆成, (2015), Latitudinal distribution of chaetognaths in winter along the 137° E meridian in the Philippine Sea, Plankton Benthos Research, 10, 141-153.
- (4) 高橋 一生, 市川忠史, 田所和明, (2015), Diel colour changes in male *Sapphirina nigromaculata* (Cyclopoida, Copepoda), Journal of Plankton Research, 0, 1-9.

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 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。マサバの課題は平成 25 年度まででほぼ終了した。平成 26 年度からはマイワシのみを対象とし、飼育実験系の確立を目的とした実験を行った。

2. 調査・研究方法

- (1) マサバの産卵誘導および仔稚魚の飼育：マサバの産卵用親魚には大分県の養殖業者が蓄養している 0+~2+歳魚を用いた。産卵期直前の 3 月に購入し、九州大学附属水産実験所に搬入した。4 月下旬に生殖腺のバイオプシーにより、雌雄判定した後、排精雄および卵径 $>650\mu\text{m}$ の雌を選別した。背筋部に合成 GnRH (GnRH α) $400\mu\text{g}/\text{kg}$ を注射投与し、複数の 3 トン水槽に收容した。得られた受精卵を孵化させ、成長段階に応じてワムシ、アルテミア、配合飼料を給餌した。
- (2) マイワシの産卵誘導および仔稚魚の飼育：マイワシの産卵用親魚は高知県の業者（水族館展示用）から購入した。11~12 月に購入し、九大水産実験所の屋内円形 7 トン水槽に收容した。自然水温あるいは 15°C で飼育し、毎月 1 回定期採集し、生殖腺の発達度をモニターした。卵黄形成がほぼ終了した 4 月上旬、生殖腺のバイオプシーにより、雌雄判定した後、排精雄および卵径 $>600\mu\text{m}$ の雌を選別した。これらの個体の背筋部に GnRH-a ($400\mu\text{g}/\text{kg}$) を注射投与し、複数の水槽に收容した。得られた受精卵を孵化させ、成長段階に応じて、ワムシ、アルテミア、配合飼料を給餌した。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

マサバの産卵誘導および仔稚魚の飼育

- (1) 卵サイズ、孵化仔魚のサイズ、仔魚の生残率に及ぼす水温と親年齢の影響：1 歳魚（初回産卵）および 3 歳魚（経産卵）の受精卵では、両者とも産卵水温の上昇に伴って卵黄体積と油球は小型化した。3 歳魚の卵黄体積と油球は、同水温でも 1 歳より大型であった。1 歳魚および 3 歳魚ともに、低水温ほど仔魚の生残率が高く、体長も大きかった。3 歳魚の仔魚は 1 歳魚のものより孵化時の体長が大きく、生残率が高かった。
- (2) 仔稚魚の発育・成長と水温の関係：受精卵を孵化後 25 日目まで、それぞれ水温 17°C 区、 20°C 区、 23°C 区で飽食給餌のもと飼育し、体長、体重を比較した。 17°C 区は仔魚期 (Mean BL, BW= 6.3 mm , 0.009 g)、 20°C は稚魚期 (37.8 mm , 0.584 g)、 23°C は稚魚~若魚期 (55.2 mm , 1.913 g) に成長し、孵化後の成長・発育は環境水温に強く影響されることが明らかとなった。

- (3) 母性効果の実証および加入機構に関する考察: マサバでは経産卵魚由来の仔魚は初回産卵魚由来の仔魚と比較して、卵径(卵黄体積、油球)、孵化仔魚のサイズが大きく、生残率も高いことが実証された。この結果は、低水温時から産卵を開始する経産卵魚は、初回産卵魚に比べ加入成功の貢献度が高いことを示し、近年のマサバ太平洋系群についての“産卵量が少なく水温も低い4月の発生群が加入に重要であるのは何故か?”という疑問への一つの解答を与え、マサバ太平洋系群の加入量の安定・増加には質的管理(高齢魚保護)が必須であるという管理方策の提言に繋がった。

マイワシの産卵誘導および仔稚魚の飼育

- (1) 飼育下での性成熟過程: 1月上旬に、3トン水槽に親魚(BL:130-170mm)数百尾を收容し、自然水温・日長で配合餌料0.5%/BW/Dayを給餌して5月中旬まで飼育した。雄は3月下旬以降、ほぼすべての個体で成熟・排精が進行した。雌では3月中旬以降、卵黄形成後期(卵径600 μ m以上)の卵をもつ個体が出現したが、飼育下では卵の最終成熟は起こらず、水温が18 $^{\circ}$ Cを超える5月になると退行卵をもっていた。
- (2) マイワシの産卵誘導: 自然水温下で飼育した親魚(平均BL:202mm)を用い、4月に雄15尾と雌5尾の背筋部にGnRHaを投与した後、3トン水槽に收容し産卵をモニターした。GnRHa投与の翌日より5日目にかけて、計4回の産卵が認められ、産卵時間帯は23:00~05:00であった。総産卵数は約26,400個で、産卵量、受精率および孵化率は産卵開始2日目に最も高い値を示した。冬季に水温15 $^{\circ}$ Cを維持した親魚(平均BL:173mm)を用い、4月に雄10尾と雌7尾にGnRHaを投与した後、2基の1トン水槽にそれぞれ1組ずつ收容し、産卵をモニターした。2日目および3日目の夜間に産卵があり、23:00~05:00に産卵量のピークが確認された。マイワシ仔稚魚の飼育:受精卵は平均水温15.7 $^{\circ}$ Cで57時間以内に孵化(全長3.8mm)し、4日齢で前期仔魚(全長5.7mm)、15日齢で後期仔魚(全長10.6mm)、47日齢で稚魚(全長33.2mm)に変態し、145日齢で平均全長が92.1mmに達した(図1)。

4. 具体的なデータ

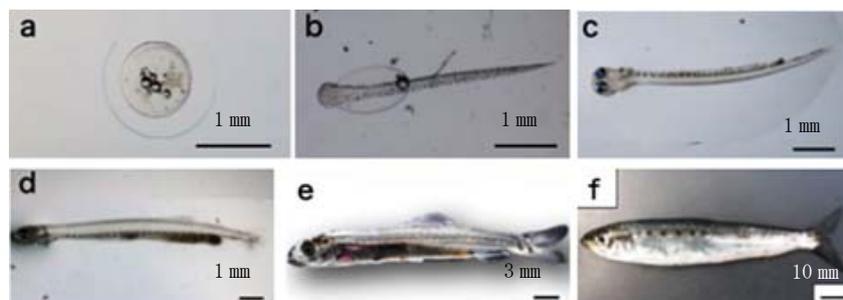


図1. 飼育下におけるマイワシ受精卵から稚魚の発達段階

a. 受精卵, b. 油球期(~3日), c. 前期仔魚(4日), d. 後期仔魚(15日), e. 稚魚(47日), f. 稚魚(145日).

5. 調査・研究推進上の課題

飼育下でマイワシ受精卵の確実な確保は可能になったが、水槽内での産卵は天然海域における産卵生態を必ずしも反映しておらず、今後より詳細な繁殖生理機構の解明ならびに成熟・産卵誘導技術の開発が求められる。

6. 調査・研究発表

- (1) 松山倫也, 田口伸剛, 五十嵐修吾, 田和篤史, 米田道夫, 田中寛繁, 山口明彦, 北野 載, 長野直樹 (2015) マイワシの産卵誘導実験系と仔稚魚の育成. 2015年度水産海洋学会大会

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 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 渡邊千夏子・上村泰洋・須原三加・奥村大志・由上龍嗣・高須賀明典・入路光雄

1. 調査・研究の目的

マイワシ、マサバ太平洋系群について、移行域以北の海域へ北上したのち、漁場に参加する群（沖合加入群）の変動を資源変動の主体ととらえる。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する。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。加入途上にあるマサバ仔稚魚標本採集に主眼を置いた調査を含めた、各発育ステージにおける調査船調査による生物試料、観測データ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との比較検討に資する。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、産卵量集計を行う卵稚仔データベースの拡張を進めると共に、卵稚仔データに対応した海洋情報を充実化した。
- (4) (1)～(3)の結果を他課題と連携させ、再生産成功率、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。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) マイワシ：沖合加入群の加入動向は秋季北西太平洋亜寒帯域に分布する当歳魚現存量で指標され、これを加入量指標値として用いることにより資源評価精度が向上した。沖合加入群のふ化時期は3～5月（4月中心）であること、春季稚魚（加入途上）と秋季幼魚（加入成功）の成長の比較から成長速度に依存した生残が生じていることが示された。3～4月に発生した個体の成長速度が高い年は加入量が高く（2005～2014年： $r=0.72$ 、図1）、成長速度が加入豊度の指標となる可能性が示された。しかし2015年の調査では、推定された現存尾数が2014年以前より一桁多く、2015年級群は極めて加入量が多いことがわかつ

た一方、3~4月に発生した個体の成長速度は2010、2014年級群を下回った。2013年以降、2~3月に発生した個体が多くみられるようになっており、ふ化時期も早まっていることが示された。卵の分布にも変化がみえており、マイワシ資源の増加にともなって、加入過程に変化が生じている可能性が示唆された。

(2) マサバ：主産卵期の4月ふ化個体の仔稚魚期の成長速度が加入量の指標となることがわかり、これを加入量指標値として用いることにより資源評価精度が向上した。加入量の決定時期は体長35mmに到達以前であることが示されたことから、産卵場~生育場で仔魚標本を得て、成長等の解析を進めた。2012~2014年の同一時期ふ化個体の仔魚期成長率を仔魚標本と稚幼魚標本（生残個体）で比較したところ、仔魚標本では稚幼魚標本にはみられないほど低く、同じ日齢時での体長も小さかった（図2）。3カ年すべての年で、同時期にふ化した個体でもわずか2週間程度の仔魚期において成長に大きな差が生じ、それにより高い選別、淘汰が起きていることが示唆された。このことは、ふ化後のごく短期間で加入量水準が決定する可能性を示す。5003番課題の成果として、高齢で産卵経験のある雌から生まれる卵のサイズが大きくふ化率が高い、ふ化仔魚のサイズも大きく油球が大きいなど成長・生残に有利であること、仔魚の成長には水温が強く影響することがわかっており、親魚の年齢や産卵経験、産卵場の水温環境がマサバの生残に強く影響して加入量が決定される可能性が示唆された。

(3) 研究期間を通じて、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1) 海洋生態系間比較を行うことを想定したフンボルト海流域への拡張、2) 卵の魚種査定技術の進展に伴う魚種対応の改修、3) 卵稚仔データに結合する海洋情報の充実化などの改修を行った。

4. 具体的なデータ

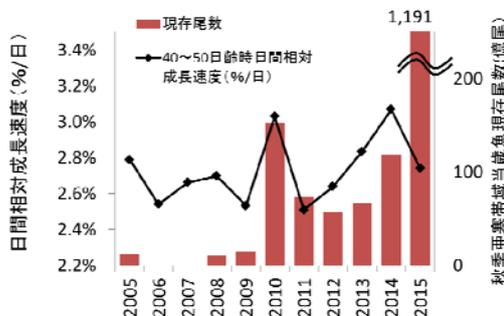


図1. 2005~2014年のマイワシ3~4月ふ化・5~6月採集稚魚標本の40~50日齢時日間相対成長速度と亜寒帯域当歳魚現存尾数

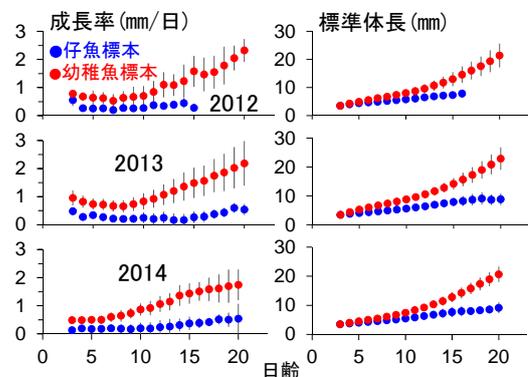


図2. 採集時期（发育ステージ）の異なるマサバ標本の20日齢まで（おもに仔魚期）の平均成長速度（左列）と体長履歴（右列）、（2012~2014年級群）

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) マイワシの資源増加にともなって加入過程に変化が生じている可能性が示唆されており、マイワシの生態の変化を踏まえて加入量指標値を検討する必要がある。
- (2) マサバ・マイワシとも、食性解析、餌料環境と成長・生残の関係について検討を進める必要がある。

6. 調査・研究発表

- (1) Kamimura, Y., et al. (2015) Larval and juvenile growth of chub mackerel *Scomber japonicus* in relation to recruitment in the western North Pacific. *Fish. Sci.* 81: 505-513

様式-1 平成 28 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・桑田 晃・岡崎雄二・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。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。

2. 調査・研究方法

- (1) 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。
- (2) 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。
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し、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(1)で開発するアルゴリズム、水温、流速などの環境場は(2)の長期再解析値を利用する。マイワシおよびマサバの加入量予測モデルの予測可能性を検証する。
- (3) 黒潮続流海域の海洋環境の変動とマイワシ加入量変動と関係について解析を行う。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 人工衛星データから見積った基礎生産量と動物プランクトン生物量の関係から、動物プランクトン生物量を推定するアルゴリズムを作成した。このアルゴリズムにおいて、基礎生産量と動物プランクトン生物量の関係式は、 $Biomass(wet-mg\ m^{-3})=24.97 * IPP(mg-C\ m^{-2}\ day^{-1})^{1.14}$ と示され、人工衛星データから見積った基礎生産量を説明変数として動物プランクトン生物量の推定が可能である。ここで、Biomassは動物プランクトンの密度、IPPは基礎生産量を示す。また、説明変数 IPP は動物プランクトンの輸送過程を考慮するために、粒子の逆追跡解析を行い 30 日間の軌跡上の平均基礎生産量とした。このアルゴリズムで推定した動物プランクトン密度の推定精度は、黒潮続流付近で平均誤差は 18%であった。
- (2) 飼育実験の結果を基にして水温を説明変数とした成長関数を構築し、仔魚期の輸送および成長を推定するモデル（マサバ加入量予測モデル）を構築した。このモデルから推定される年々の成長速度と資源評価の加入量の関係より、高加入年および低加入年の何方に区分されるかを予測した。モデルの 5 日齢までの年々の平均成長速度とマサバ再生産成功率（RPS）の間には有意な正の相関性（ $r=0.72, p<0.05$ ）が認められ、モデルは加入量の年々変動パターンを概ね再現していた（図 1）。本年度は計算期間を 2013 年までに延長したところ、モデルの成長速度およびマサバ RPS の平均値を基準とした高加入年と低加入年の予測確率は 58%となった。モデルは RPS の変動傾向を捉えているにもかかわらず、予測確率

が比較的低い値となるのは、多くの年の RPS が平均値に近い値を示し、高低の分ける境界域にデータが多く存在するためである。

- (3) マイワシの仔魚、幼魚期の成長を表現する数理モデルを構築し、モデルから推定された年々の成長の相違により、マイワシ加入が高加入年または低加入年となるかを予測した(マイワシ加入量予測モデル)。このモデルは、人工衛星データから推定した動物プランクトン密度を餌料環境としてモデルを駆動した。モデルから推定した平均体長およびマイワシ RPS の平均値を基準とした高加入年と低加入年の予測確率は 63%であり、モデルは加入量の高低を比較的表现しうるものであった。しかし、モデルの平均体重と RPS の間には有意な相関性は認められず ($r=0.37$, $p > 0.1$)、モデルによる年々の変動パターンの表現は難しかった。
- (4) 3月～5月の黒潮続流域(東経 142-160 度、北緯 34-37 度)において表面水温が 14～20℃となる海域の面積比を算出し、マイワシ RPS の年変動と比較したところ、有意な正の相関性を示した ($r=0.60$, $p < 0.05$)。この水温帯はマイワシ仔魚の分布水温域と整合的であり、黒潮続流域においてマイワシ仔魚の好適水温域の広狭変化がマイワシの加入量に大きな影響を与えることが示唆された。また、この海域の基礎生産量の年変動を加味した指標 (IPP index = (SST が 14～20℃となる海域面積の比) × (SST が 14～20℃の海域の平均基礎生産量)) を作成し、RPS と比較したところ、さらに高い正の相関係数 ($r=0.67$, $p < 0.05$) を示し、水温と海域の基礎生産量の年変動の両因子が加入に重要であることを示唆した(図 2)。この IPP index の変化を利用した場合、高、低加入年の予測可能性は 80%と高い値を示し、複雑な定式を持つマイワシ加入量予測モデルより予測可能性は高かった。ただし、解析域の設定は相関性が高くなるように恣意的に設定してのものであり、その根拠は乏しい。過去の知見から、この海域が仔魚分布域となる可能性が高いと判断できるが、黒潮続流の流路変動に伴い仔魚分布域の年変動が大きいことが予想される。今後、年々のマイワシ仔魚の輸送域を明示的に推定し、その環境変化とマイワシの加入量の関係について調べる必要がある。

4. 具体的なデータ

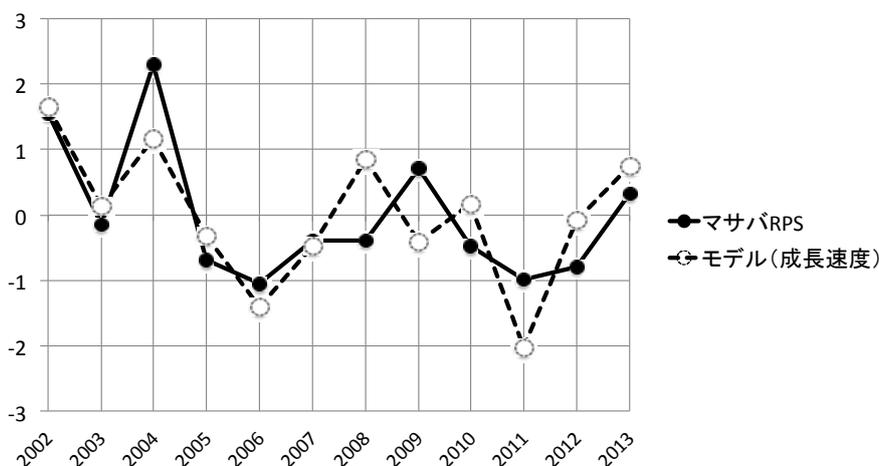


図 1. マサバ加入量予測モデルによって推定された 2002～2013 年級の 4 月生まれ群の 5 日齢の平均体長とマサバ太平洋系群の再生産成功率 (RPS)

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。

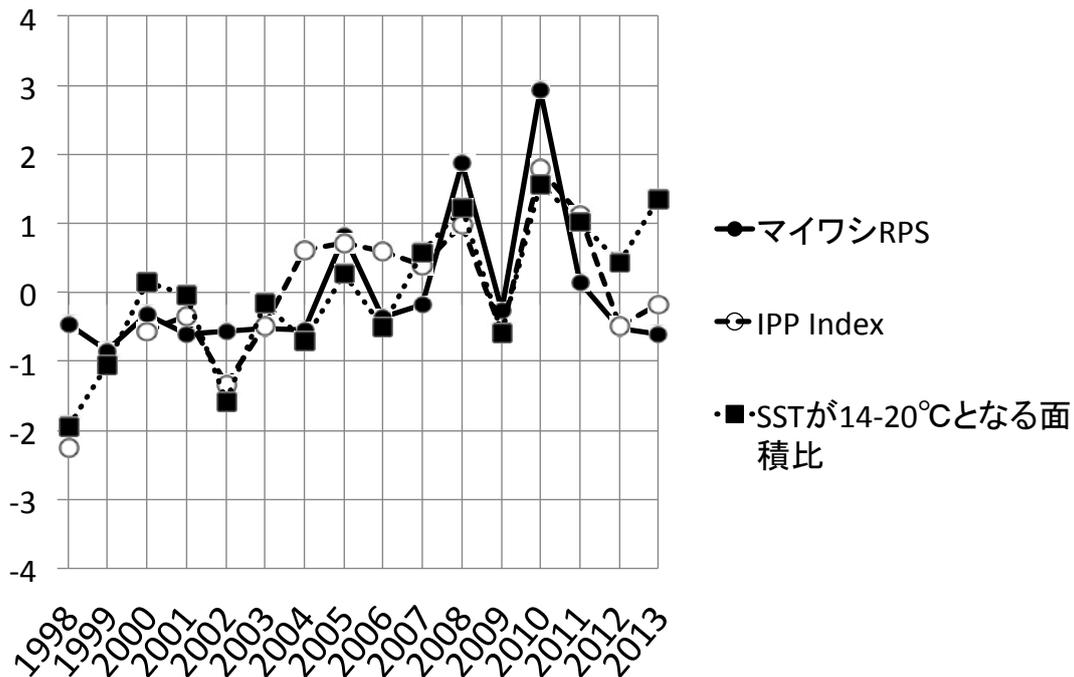


図2. マイワシ太平洋系群の再生産成功率（RPS）と黒潮続流の海洋環境との関係
 ■は3月～5月の黒潮続流域（東経142-160度、北緯34-37度）において表面水温（SST）が14～20℃となる海域面積比、○は水温と基礎生産量の変動を考慮した環境指標（IPP index=SSTが14～20℃となる海域面積の比×SSTが14～20℃の海域の平均基礎生産量）である。X軸は各年を示し、y軸は平均0、偏差が1となるように規格化している。基礎生産量はKameda & Ishizaka (2005)のモデルに基づいて推定した。

5. 調査・研究推進上の課題

特に問題なし。

6. 調査・研究発表

- (1) 奥西 武・長谷川大介・笈 茂穂（東北水研）・黒田 寛（北水研/中央水研）・瀬藤 聡・安倍大介・清水勇吾（中央水研）・高橋正知・米田道夫（瀬戸内水研）（2015）FRA-ROMS 利用によるマサバ加入量予測と今後の展望，平成27年度 中央ブロック資源海洋調査研究会、口頭発表
- (2) その他、学会発表等（口頭6件）