

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 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
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、TAC 設定の基礎となる 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中課題 10000 番で整備される海洋物理場の解析値などに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、これまで得られた成果や資料をもとに、本調査で対象とする加入変動の主体となる群を明確にし、加入量変動に関わる生物特性や環境要因を整理するとともに資料の蓄積と解析を進め、加入量推定精度の向上と加入量予測モデル開発への着手を目的とした。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 日本南岸～黒潮域について 1998～2011 年の水温塩分データと小型カイアシ類密度データを収集・整理し、海洋環境－餌料環境間の統計的関係を再検討した。マサバ産卵場である伊豆諸島海域の 4 月水温の年変動を 71%説明する、気温と水位による重回帰モデルを作成した。黒潮続流域以北について各深度水温を整理、検討した。レジーム・シフトがあったと言われる 1999 年を境に道東近海以外の海域で年平均水温は低下しており、近年のマイワシの RPS の高い傾向と東北沖の水温低下傾向との関連が示唆された。
- (2) 昨年度までに、栄養塩の供給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を提起した。冬季黒潮域のカイアシ類現存量の水平分布の特性を示した。B-VPR を用いて 1960 年代から最近までのプランクトン標本の分析を進め、冬季本州南方のふ化仔稚魚に対する餌料遭遇確率が、近年、マイワシ資源増大期の 1970 年代と同等あるいはそれ以上のレベルに高まっている可能性を示唆した。今年度も継続して B-VPR での解析を進めた。出現する主要なカイアシ類の出現の経年変動を解析した結果、小型植物プランクトンを主要な餌料とする *Paracalanus parvus* の混合域や黒潮域における変動とマイワシ資源変動のタイミングは良く一致した。
- (3) マサバの産卵飼育実験系が確立した。卵の油球体積および卵黄体積は産卵水温上昇に伴って小さくなり、産卵水温が低いほど卵に占める油球の割合が高くなった。仔魚の生残率は、低い産卵水温(大型卵)由来の仔魚が高温(小型卵)由来に比べて高かった。また、同じ卵サイズ由来の仔魚では、発育水温が上昇するにつれて生残率は減少した。孵化後 25 日目の体サイズは水温によって異なり、水温高い(20、23℃区)方が低い(17℃区)方に比べて大きかった。長期の野外観測資料を整理、解析した。1947～1977 年の卵稚仔調査票の電子化作業を進めた。マサバでは、親魚の減少、若齢化によって RPS の変動大きく、かつ、ごく低い年が多く

なり、環境の年変化に対する資源の再生産としての耐性が低下したという母性効果が示唆された。

- (4) マイワシには沿岸加入群と移行域を生育場とする沖合加入群が存在し、両者はふ化時期や生育場が異なり、後者が資源変動の主体である。沖合加入群は3～5月(4月中心)にふ化し、移行域～亜寒帯水域を回遊、成長する。秋季索餌場(亜寒帯水域)の現存量が加入量指標として適当であり、2010年級群が加入豊度高いことを示した。沖合加入群の4月ふ化個体の成長履歴を整理した結果、仔稚魚期の成長率高い年は加入豊度高い関係が窺えた。マサバについて、昨年度までに縦断薄片法を導入して幼魚期まで日齢査定可能とした。この手法では成長率推定はできないことから、今年度は飼育個体の観察結果などをもとに幼魚標本の初期成長率の推定手法を開発した。昨年度までにふ化日組成を反映する北上期幼魚の平均体長を加入量指標値として資源評価に導入し、加入量推定精度が向上した。今年度は仔稚魚期の成長率とRPSとの相関を指摘し、資源評価に用いた。昨年度までに、主要な捕食者であることが示されたカツオ、ビンナガについて、今年度は、より時空間的に詳細な情報を用いてイワシ類との分布の重複度を検討し、6～7月で最も高く(高い捕食圧示唆)、9～10月では非常に低いという結果を得た。
- (5) 加入量予測モデルの基礎となる、1993～2010年の海面流速データを整備した。関係式作成のため、クロロフィルと動物プランクトン炭素量データを整理し、関係を調べた。マサバの仔魚を想定した粒子追跡実験を2002～2008年で実施し、仔魚期の経験水温と加入量関係を調べ、高豊度年は経験水温が高く、経験水温の年変動が加入過程に重要な因子であることが示唆された。尾叉長と水温を説明変数としたマサバ仔魚の成長関数を推定し、加入量予測モデルのプロトタイプを作成し、2002～2008年級群の4月生まれの仔魚の分布と成長履歴の計算を行った結果、25日齢までの平均成長速度の年変動は、再生産成功率の年変動と有意な相関性を示した。

3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 日本南岸～黒潮域のカイアシ類密度と混合層深度の関係の近似曲線や、伊豆諸島付近の4月平均水温の重回帰モデルについて、さらに検討を進める必要がある。近年の太平洋マイワシ沖合系群の動態と変動機構を解明するためには、2月以外の餌料環境資料の解析が必要であるなど、課題間の連携を強化し、より詳細に調べる必要がある。
- (2) これまで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、引き続き県の試験研究機関の協力を得て、調査情報などを入手し解析を進める必要がある。他課題との連携を強化して、必要なプランクトン情報を迅速に提供できる体制を維持する必要がある。
- (3) 飼育実験において、親、仔稚魚および初期餌料の飼育・管理が中・長期間にわたることから、作業の効率化が不可欠である。
- (4) 加入豊度決定に強く関係する発育ステージと考えられる仔稚魚の標本が少なく、解析データが十分ではない。これをターゲットとした採集調査を実施してデータを増やす必要がある。
- (5) 構築したマサバ加入量予測モデルのプロトタイプについて、今後、成長に関与する水温以外の要因を評価する方法を検討して改良を進める必要がある。

4. 特筆すべき成果

- (1) 近年のマイワシのRPSの高い傾向と東北沖の水温低下傾向との関連が示唆された。
- (2) 主要なカイアシ類の出現の経年変動を解析した結果、マイワシ仔稚魚の主要な餌である *Paracalanus parvus* の混合域や黒潮域における変動とマイワシ資源変動のタイミングは良く一致した。
- (3) マサバの産卵飼育実験系を確立し、水温と卵質、初期成長、生残の関係について知見を得

た。産卵水温低い方が卵質良く、ふ化仔魚の生残率高く、仔稚魚は生育水温高い方が成長良かった。

(4) マサバ幼魚の初期成長率推定手法を確立した。成長率と加入豊度との関係を示した。マイワシ沖合加入群のふ化時期を明確にするとともに、仔稚魚期の成長と加入豊度との関係を示唆した。

(5) 各課題の成果を受け、マサバ加入量予測モデルのプロトタイプを作成した。

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 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 東北区水産研究所資源海洋部海洋動態グループ
担当者名 清水勇吾・黒田 寛（中央水研海洋・生態系研究センター生態系モデルグループ）

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、(1)日本南岸～黒潮域、(2)黒潮続流域以北の2つの海域に分けながら、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)日本南岸～黒潮域：海洋観測・衛星観測資料、海洋・気象再解析値などを収集、整理、解析する。マイワシについては、海洋環境、餌料環境（5002 課題で作成）、卵稚仔分布間の関係解析を実施する。マサバについては、春季の主産卵場（伊豆諸島）周辺における海洋環境を中心にその変動特性を明らかにする。今年度は基礎データの収集と整理を行い、上記二つの視点から、一部のデータを解析した。
- (2)黒潮続流域以北：初年度なので、広い海域の中からマイワシ、マサバ太平洋系群の加入に影響を及ぼす水温条件を調べた。東北水研が関係協力機関から収集・処理し、毎月の水温図作成に用いている東北海区水温データベース（緯経度 5 分間隔で格子化）から、図 2-1 の①～⑧の各領域で 1992～2009 年間の 0、100、200、400m 深の毎月平均値を作成した。また水産庁 H22 資源評価結果では、マイワシの再生産成功率（RPS）の高い年は 1996・2005・2008 年であり、近年 RPS の高い傾向がある。一方、マサバは 1992・1996・2002・2004 年で RPS が高い。上記水温データを用いて、これら RPS の高い年で特徴的な水温変動を示したかどうかを調べた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1)日本南岸～黒潮域：1998 年から 2011 年までの卵稚仔調査（2 月）で計測された水温塩分データと本年度までに 5002 課題がまとめた 100-500 μm の小型カイアシ類密度データを収集・整理した。その後、本長期データを用いて、昨年度までの資源動向要因分析調査で見出された海洋環境-餌料環境間の統計的関係を再検討した。次に、 $1/4^\circ$ 格子の衛星海面水温資料を用いて、マサバの主産卵場（伊豆諸島の陸棚）付近の産卵期（4 月）における海面水温の年々変動特性について調べた。図 1-1 に表層混合層深度とカイアシ類密度の散布図を示し、階級別平均（赤丸）と標準偏差（赤縦棒）、3 次の近似曲線（青線）を示している。これによると、深い混合層ほどカイアシ類密度が低く、密度の標準偏差は小さくなる傾向があり、昨年度までに見いだされた結果と定性的に一致する。図 1-2 に、1986 年から 2010 年までの 4 月平均の衛星海面水温（赤線）、三宅島の気温と水位の重回帰による推定値（青線）を示す。前者は大気-海洋間の加熱冷却の指標、後者は黒潮流軸位置の指標とみなすことが

でき、本モデルは4月平均水温の年々変動の71%を説明することができる。

(2) 黒潮続流域以北：図2-1の①～⑧各領域の100m深水温の年平均値の時系列を図2-2に示す。各深度の水温年平均値とマイワシ・マサバのRPSと直接的に比較したが、明瞭な相関は見られなかった。ただし、レジーム・シフトがあったと言われる1999年を境に、道東近海（領域①）以外の海域で年平均水温は低下しており、特に常磐沖（領域⑦）の水温減率は $-0.27^{\circ}\text{C}/\text{年}$ に達した。マイワシはレジーム・シフトに連動して増減する魚種であり、近年マイワシのRPSの高い傾向は、これら東北沖の水温低下傾向と関連があるのかもしれない。マサバについては、産卵場に近い房総近海（領域⑤）の3-5月の水温上昇率を調べたところ、水温上昇が低いほどRPSが高い傾向があるように見えた（図2-3）。つまり、マサバにとって、産卵域周辺の水溫上昇が少ない時にRPSが高くなることを意味するのかもしれないが、詳細は今後の課題としたい。

4. 具体的なデータ

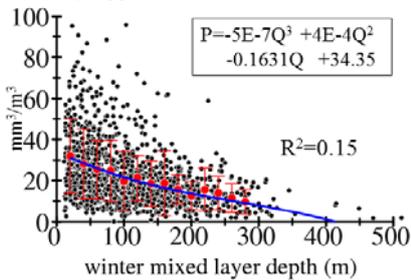


図1-1: カイアン類密度と混合層深度の散布図

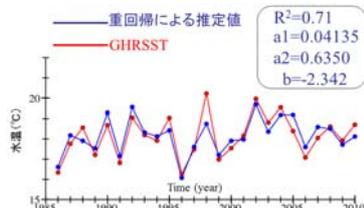


図1-2: 伊豆諸島付近の4月平均水温と重回帰による推定値

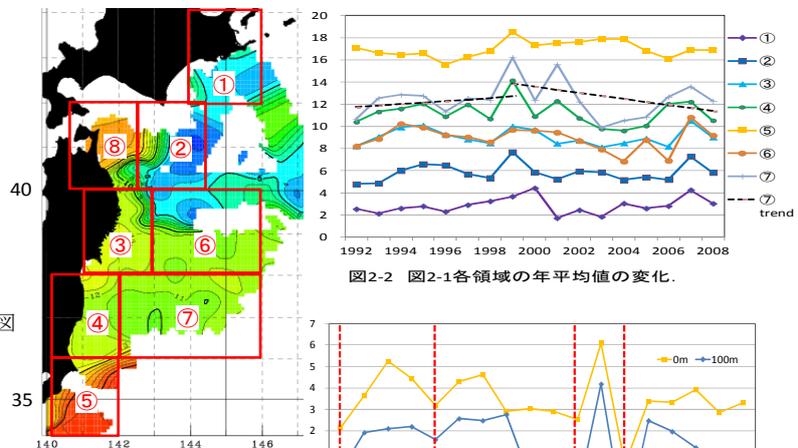


図2-1 東北水研が公開している東北海区水温図の例(2011年10月)と月平均水温を作成した各領域(赤い枠)。

図2-2 図2-1各領域の年平均値の変化。

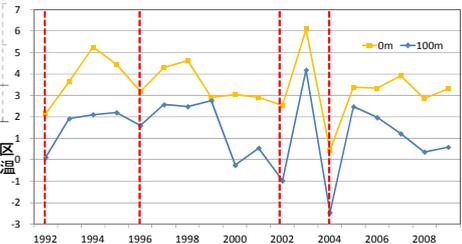


図2-3 房総近海(図2-1における領域⑤)の5月水温-3月水温(表層、100m)とマサバRPS高い年(赤い破線)との関係。

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 日本南岸～黒潮域：図1-1の近似曲線からのばらつきを説明する必要がある。図1-2では三宅島の気温を説明変数として用いたが、次年度以降、海面熱フラックスと気温の関連を調べる必要がある。また、近年の太平洋マイワシ沖合系群の動態と変動機構を解明するためには、2月以外の餌料環境資料の解析が必要であり、5002 課題からのデータ提供が欠かせない。
- (2) 黒潮続流域以北：2008年にマイワシRPSが高かったのは沿岸域の群の資源量たくさん増えたのが主要因であり、沖合を回遊する群を反映してないと指摘を受けた。今後は他課題との連携を強めつつ、より詳細な物理環境および各魚種のRPS変動との対応を調べる必要がある。

6. 調査・研究発表

- (1) 黒田寛他 (2011)：ROMS を基盤とする北西太平洋渦解像モデルの構築 2. ハインドキャスト実験, 2011 年度日本海洋学会秋季大会, 九州大学.
- (2) Kuroda et al. (2012)：Intrusion of the Oyashio water into the eastern mouth of Tsugaru Strait in early summer, 2003. Continental shelf research, 32, 36-46.
- (3) 清水勇吾他(2011)：北海道厚岸沖親潮流量を用いた三陸～常磐近海の親潮系冷水出現の予測. 2011 年度水産海洋学会, 函館市.
ほか論文1編, 口頭発表3件, その他報告

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 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
モニタリンググループ、資源環境グループ、モデリンググループ、
上席研究員
東北区水産研究所資源海洋部資源生態グループ
担当者名 杉崎宏哉・田所和明・市川忠史・廣田祐一・岡崎雄二・日高清隆

1. 調査・研究の目的

マイワシ太平洋系群は 1970 年代前半以来の資源回復期にある可能性が指摘されている。また低水準が続いていたマサバについて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、資源生残に大きな影響を与えると推定される海洋の低次生物生産については画像解析技術などの分析設備も近年急速に整ってきたため、資源調査などで大量に採集されたプランクトン標本を迅速に処理して、資源加入変動に重要とされる時期と場所を正確に選んでプランクトンの分布や組成を解析することが可能となってきた。このような背景より、マイワシ、マサバの資源変動機構に及ぼす餌料環境変動の影響を詳細に明らかにすることを目的とする。

特に当該年度においては、これまでマイワシ産卵場として重点的に解析を進めてきた土佐湾のみならず、他小課題により資源加入に重要である可能性を指摘されているより東側の海域も含めた広域の解析に着手することを目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) 全期間を通じ、マイワシおよびマサバ資源の初期生残に重要な海域および季節の海洋モニタリング調査を継続的に行い、得られた環境データおよびプランクトン標本を検鏡、B-VPR（卓上式ビデオプランクトンレコーダー）等を用いて詳細に解析する。
- (2) 全期間を通じ、マイワシやマサバの資源変動に大きな影響を与えると想定されるホットスポットとなる時期と海域に焦点を当てて、生活史初期の餌料環境変動に着目した生物量、プランクトン群集組成の変動などの解析を行う。特にマイワシ加入量が増加している 2008 年以降に着目し、仔魚が遭遇した餌料環境を明らかにする。
- (3) 長年蓄積され水研センターおよび自治体試験研究機関で管理されているホルマリン固定されたプランクトン標本を用いて、資源の低水準と高水準のレジームの餌料環境を比較する。
- (4) 今年度はこれまで長年観測されたデータを元に、マイワシの索餌場となる東北沖合域においてはカイアシ類の種ごとの特性をふまえた長期変動解析を行う。
- (5) 更に、これまでデータの少なかった潮岬以東のプランクトン標本を各県の協力を得て B-VPR 等により解析する。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 昨年度までに、東北沖において一次生産を支える、栄養塩類の一つであるリン酸塩について長期的な濃度の変動を解析した結果、表層の減少トレンドや約 20 年の周期変動が観察されマイワシの重要な餌プランクトンである *P. parvus* 個体数の変動は表層のリン酸濃度とよく似た変動パターンを示したことから、栄養塩の供給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を提起した。
- (2) 昨年度までに、冬季黒潮域のカイアシ類現存量の水平分布について経年的に解析した結果、各年ともカイアシ類体積は黒潮内側域で多く、黒潮外側域で少なく、特に混合層の厚い海域でさらに少ない傾向が認められた。
- (3) 昨年度までに B-VPR を用いて、日本列島南方から続流域で 1960 年代から最近までに行われた 2 月の観測によって得られた約 2000 測点の動物プランクトン標本からカイアシ類のサイズ別個体数密度および現存量の分析を行い、明瞭な年々変動が見られた。この結果から冬季に本州南方で産卵された黒潮内側域に分布する仔稚魚にとって、近年マイワシ資源の急激な増大期であった 1970 年代と同等あるいはそれ以上のレベルで餌料遭遇確率が近年高くなっている可能性が示唆された。
- (4) 今年度、出現する主要なカイアシ類を食性等の生態により 3 グループに分け、それぞれの出現の経年変動を解析した結果、小型植物プランクトンを主要な餌料とする *Paracalanus parvus* の混合域や黒潮域における変動とマイワシ資源変動のタイミングは良く一致したが(図 1, 2)、ゼラチン質プランクトンや微小プランクトンを補食するグループの変動とは明瞭に一致しないことが確かめられた。
- (5) 昨年度までの課題から継続して B-VPR の解析を進めている(図 3)。これまで冬季の土佐湾を産卵場と想定した解析が中心であったが調査海域を春季の潮岬より東の海域に延伸し、過去に採集された各県の標本の解析にもアプローチを開始した。年々の変動や月別の変動は明瞭ではないが、マイワシの仔稚魚の生息域として重要と考えられる 3 月においては、水温が低いほどカイアシ類の現存量が高いことが見停まれた(図 4)。

4. 具体的なデータ

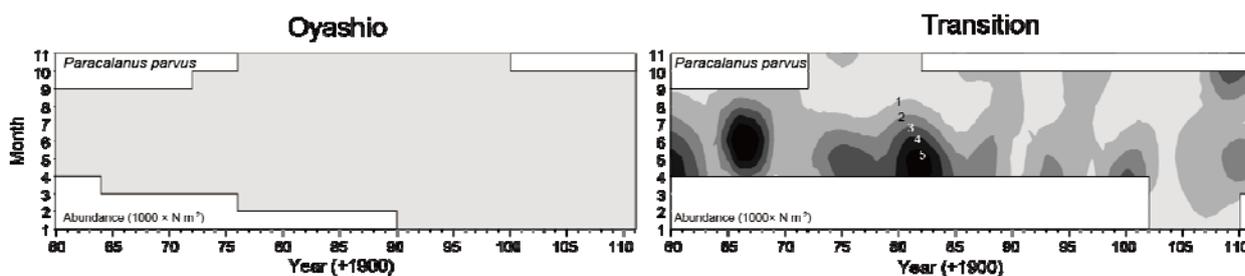


図 1. 東北沖における *Paracalanus parvus* の密度の季節・経年変動

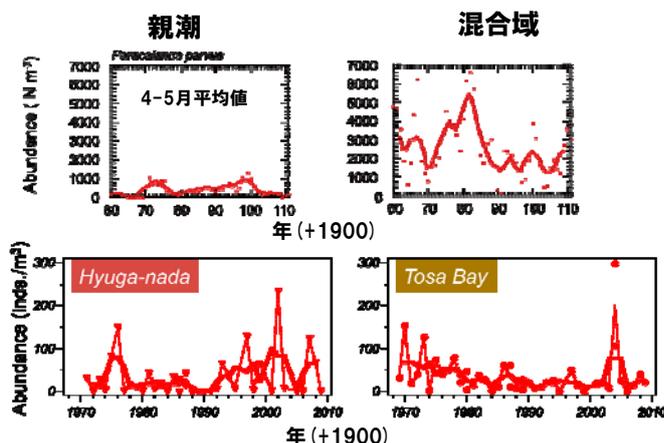


図 2. マイワシ産卵期(冬季:日向灘、土佐湾)と仔稚魚の北上期(春季:混合域、親潮域)における *P. parvus* の密度の経年変動

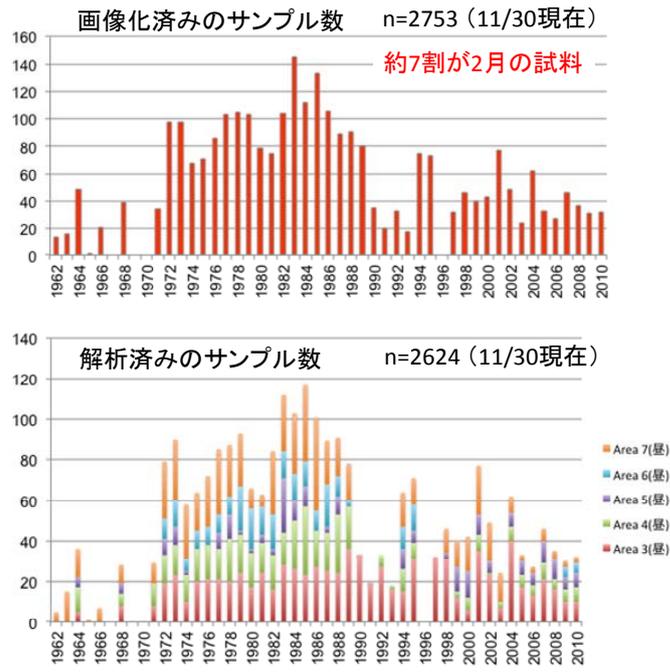


図3. B-VPRでこれまでに解析が行われた年別、海域別の標本数

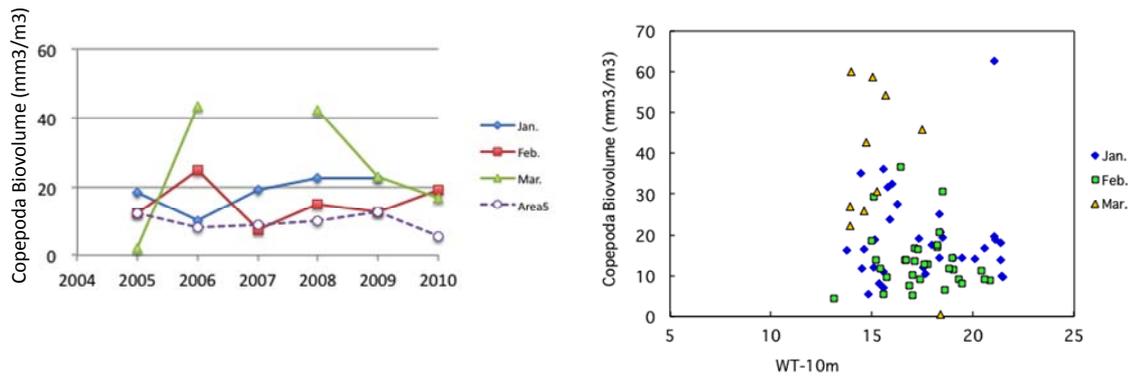


図4. 静岡県の沿岸定線で採集されたノルパックネット標本をB-VPRで解析して得られたカイアシ類の現存量(体積)の月別経年変動(左)と水温と現存量の関係(右)

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) これまでのマイワシやマサバの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に協力いただき、調査情報などを入力し解析を進める必要がある。
- (2) 他小課題との連携を密にして、必要なプランクトン情報を迅速に提供できる体制を維持する。

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 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生育環境の解明
担当機関 中央水産研究所資源管理研究センター、西海区水産研究所資源海洋部、九州大学大学院農学研究院資源生物科学部門海洋生物学研究室
担当者名 高須賀明典・米田道夫・川端淳・渡邊千夏子・高橋正知（中央水産研究所）・田中寛繁（西海区水産研究所）・松山倫也・北野載（九州大学）

1. 調査・研究の目的

マイワシ・マサバの親魚群の年齢構成や肥満度等は資源水準に伴って劇的に変化する。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した上で、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。同時に、飼育実験と連携しつつ、野外調査に基づく産卵・初期生態特性と産卵・生育場環境の関係を調べることで、加入量変動機構の解明に資する。今年度は、マサバの産卵・初期生態特性を調べるための実験系の整備を行うとともに、卵サイズおよび仔稚魚の成長・生残に及ぼす水温の影響を調べる。また、マサバの産卵生態の長期変動を調べると共に親魚特性等の資源変動との関係を検討する。歴史的産卵調査資料の電子化を進める。

2. 調査・研究方法

- (1) マイワシ・マサバは水槽内では自然産卵しないため、ホルモン等を利用した産卵誘導法を確立する。また、仔稚魚の初期餌料系列の開発により飼育実験系の基盤技術を整備する。今年度は、マサバの産卵誘導法の確立と仔稚魚の初期餌料系列の把握を行った。
- (2) 餌の量・質を調整した複数の処理区を設け、親魚群の産卵開始前後の摂取エネルギー量や肥満度が産卵特性に及ぼす影響を調べる。また、産卵特性を年齢や産卵経験で比較する。今年度は、飽食条件下において飼育された2歳親魚の産卵特性と水温の関係を調べた。
- (3) 各環境調整処理区の親魚群から得られた受精卵を複数の一定水温区へ収容し、無給餌下における卵～孵化仔魚の生残率を調べる。同様に、得られた受精卵を複数の環境条件（水温・餌）下で飼育し、仔稚魚期の成長・生残に及ぼす生息環境の影響を明らかにする。今年度は、2歳親魚の受精卵を用いて初期生残に及ぼす水温の影響、孵化後25日までの成長率と水温の関係などを調べた。
- (4) 飼育実験結果に基づき、野外調査の長期蓄積データを用いて産卵親魚・仔稚魚の生態特性や産卵・生育環境の変化と加入量変動の関係を明らかにする。今年度は、マサバの産卵期や再生産成功率（RPS）の年変動を親魚量や年齢組成との関係から検討した。また、過去のマイワシ復活期に相当する1977年以前の歴史的産卵調査資料を収集し、電子化を進めた。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 飼育実験成果-1：生殖腺のバイオプシーにより卵黄形成が終了（卵径 $>600\mu\text{m}$ ）したマサバ雌魚と精巣内に多量の精子を有する雄魚に対して、それぞれGnRHaを背筋部に $400\mu\text{g/kg}$ 投与したところ、2～4週間の継続した産卵が確認された。孵化は水温 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ において産

卵後約 48 時間でピークを迎えた。孵化後 2 日目からクロレラで栄養強化した S 型ワムシ、孵化後 7 日目からアルテミア、15 日目以降では配合飼料やカタクチイワシ受精卵を与えたところ、給餌から数時間後において仔稚魚の消化管からそれらが確認された。

(2) 飼育実験成果-2: マサバの油球体積と卵黄体積の関係は産卵水温によって変化し、水温上昇に伴い油球体積および卵黄体積が小さくなった。また産卵水温が低いほど卵に占める油球の割合が高くなることが示された。

(3) 飼育実験成果-3: マサバの無給餌生残実験から、同じ発育水温では、産卵水温が低温 (大型卵) の仔魚ほど経過時間当たりの生残率が高温 (小型卵) 由来に比べて高いことが示された (図 1)。また、同じ卵サイズ由来の仔魚では、発育水温が上昇するにつれて生残率は減少した。飽食条件下のマサバの孵化後 25 日目の体サイズは水温によって異なり、20°C 区と 23°C 区は 17°C 区に比べて体長で約 6、9 倍、体重で約 58、190 倍の差が認められた (図 2)。

(4) 野外研究: 親魚量が減少し、4 歳以上の高齢親魚の割合が低下した 1980 年代末以降は 5~6 月の後期産卵が相対的に増加し、RPS の年変動が大きく、ごく低い RPS 年がみられるようになった。これは、親魚の減少、若齢化によって環境の年変化に対する資源の再生産としての耐性が低下したという母性効果を示唆する。また、1947~1977 年の和歌山以西海域の調査綴・卵稚仔定量票約 2,000 ページ (約 10,000 件) の電子化作業を進めた。

4. 具体的なデータ

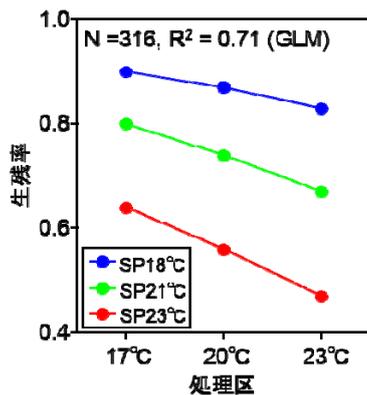


図1. マサバの孵化時の生残率に及ぼす産卵水温(SP)と発育水温の影響。一般化線形モデル(GLM)で得られた解析結果を示す。平均卵体積比はSP18°C:21°C:23°C=1.00:0.87:0.77。

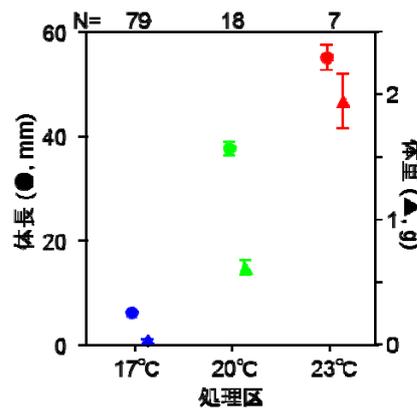


図2. マサバの各水温区における孵化後25日目の体長と体重 (平均±標準誤差)。

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・管理が中・長期間にわたることから、人員の確保と作業の効率化が不可欠である。

6. 調査・研究発表

(1) Okamura, H., Takasuka, A. (2012): A bootstrap method for testing equality of peak months. *Population Ecology*, 54, 169–176. [原著論文]

(2) 高橋正知・高須賀明典・川端淳 (2011) マイワシ・マサバ・カタクチイワシ太平洋系群の産卵と初期生残メカニズム. 2011 年度水産海洋シンポジウム ―近年の海洋環境とマイワシ等の動向: 魚種交替の予兆か?― 講演要旨集 [口頭発表]

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 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
担当者名 川端 淳・高橋正知・渡邊千夏子・西田 宏・本田 聡・久保田 洋

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、仔稚魚の生残に影響を与える捕食者や競合者の影響を評価し、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（加入後）における仔稚幼魚採集標本の耳石解析によって日齢、ふ化日、成長履歴を推定する。今年度は、加入後の成長の進んだマサバ幼魚の初期成長履歴の推定を可能とするために、5003 課題の飼育実験で得た標本等の解析によって、変態時期と耳石構造の関係に着目した仔稚魚期の成長率推定手法を確立した。この手法も用いて、移行域～亜寒帯水域における稚幼魚標本について解析を進め、データを蓄積した。
- (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。(1)の結果と合わせてふ化時期別の加入量、および 5003 課題と連携して産卵時期別の親魚量（産卵量）を推定し、ふ化時期別の再生産成功率（RPS）を推定する。推定した RPS を加入豊度の指標とし、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、ここまで得られている知見、資料を整理し、沖合加入群の加入量指標値を検討し、その推定を進めた。
- (3) フィールド調査資料や漁業情報を解析して、仔稚魚と捕食者や競合者の分布状況を整理して遭遇率などを分析し、被食等の影響を評価する。今年度はマイワシ（イワシ類）稚幼魚と捕食者であるカツオ、ビンナガとの分布の重複度（遭遇率）を季節別に検討した。
- (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、ここまで得られている知見、資料を整理、検討した。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 昨年度までの本調査（資源動向要因分析調査）において、一般的な耳石平面研磨観察による日齢査定の困難な幼魚期（ふ化後おおむね 1 ヶ月以上）のマサバについて縦断薄片法を導入して日齢査定可能とした。ただし、縦断薄片法では成長率推定はできない。今年度は、5003 課題で得られた飼育個体の観察などから、仔～稚～幼魚（若魚）の変態時期が体長依存であること、変態に伴って耳石構造が変化することを発見し（図 1）、これらの特性を用いることによって幼魚についても中心部の平面研磨観察で仔稚魚期の成長率を推定可能とした。この手法も用いてマサバのふ化日、成長に関するデータ蓄積を進めた。

マイワシには沿岸域で成長、加入する群（沿岸加入群）と移行域を生育場とする沖合加入

群が存在する。移行域～亜寒帯水域で6～10月に採集した沖合加入群の稚幼魚のふ化日、成長履歴推定を進めた。沖合加入群のふ化日は、昨年度までの本調査や関連研究の結果から、1997年以降では、加入豊度が高い2010年も含め、3～5月で主に4月であった。沿岸加入群のふ化日は、産卵量の多い2月も含め、冬～夏季に亘る（落合 2010, 長谷川 2010）。

(2) (1)の通り、沿岸加入群と沖合加入群のふ化時期は一致せず、生育場も異なり、異なる加入過程であることから、両者を分けて加入変動を検討しなければならない。沿岸加入群の多い年（最近では2008年）はシラス～幼魚が関東以西沿岸各地で好漁となる特徴がある。沖合加入群の加入量指標としては、分布回遊特性から秋季索餌場（亜寒帯水域）における0歳魚現存量が適当と判断され、資料のある2005年以降について推定を進めた。2010年級群は現存量が非常に多く、卓越年級群と判断された。これが沿岸に来遊した2010年冬季以降、各地で豊漁となり、2011年夏季には、1994年以降マイワシ1歳以上の資源減少・索餌回遊域の縮小に伴って漁場が形成されなかった道東海域に索餌回遊してまき網漁場を形成した。2010年の産卵量はとくに増加しておらず、生残率が高かったと判断される。この秋季索餌場における現存量を指標として漁場加入前に沖合加入群の加入量水準が推定可能と考えられる。

マサバについて、昨年度までにふ化日組成を反映する北上期幼魚の平均体長が加入量と相関高いことを示し、資源評価における加入量指標値に用いられて加入量推定精度が向上した。今年度は仔稚魚期の成長率とRPSとの相関を指摘し、資源評価に用いられた。

(3) 昨年度までに、カツオ、ビンナガは移行域（生育場）における主要な捕食者であることが示された。今年度はこれら2種について昨年度までよりも時空間的に詳細な漁業情報を用いてイワシ類と捕食者との分布の重複度の季節変化を検討した。6～7月で最も高く、9～10月では非常に低いという結果が得られ、北上期移行域で被食圧が高いが、秋季にこれら暖水性捕食者の分布しない亜寒帯水域索餌場に到達することで加入に成功することが示唆された。

(4) 昨年度までに、マサバでは仔稚魚期の成長、経験水温等環境履歴および加入豊度の関係が示唆され、今年度もその観点から資料の蓄積、解析を進めた。マイワシでは近年は成長と加入量との関係が不明瞭としていたが、これは沖合加入群の成長と太平洋系群全体のVPAによる沿岸・沖合加入群合わせた加入量とで検討していた。今年度は(1)の結果に関連研究の資料も合わせ、沖合加入群の4月ふ化個体の成長履歴を整理し、秋季索餌場の現存量と比較した(図2)。2006年以降では、加入豊度高い2010年級群の仔稚魚期の成長率は明瞭に他の年級群より高く、既往の報告で指摘されているように初期成長率と加入豊度との関係が窺えた。

4. 具体的なデータ

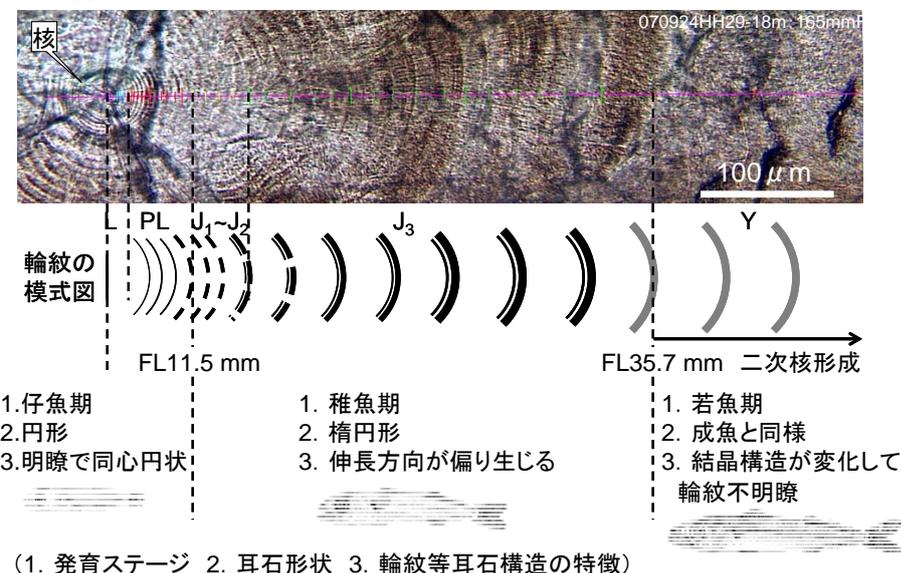


図1. マサバの変態時期と耳石構造

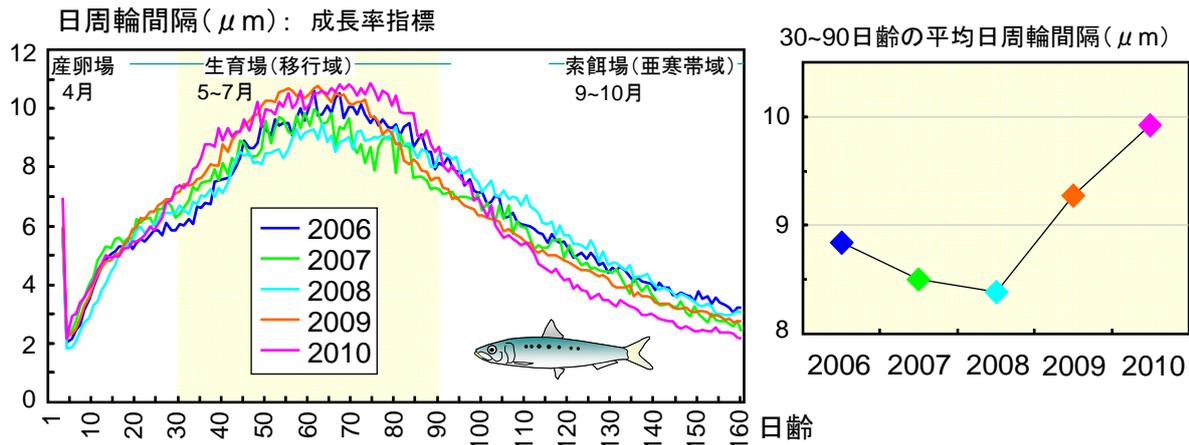


図2. マイワシの2006～2010年級群4月ふ化個体群の平均初期成長

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 加入豊度決定に強く関係する発育ステージと考えられる、ふ化後1ヶ月以内の仔稚魚（産卵場周辺～移行域に分布）の標本が少なく、加入過程を検討するための解析データが十分ではない。これをターゲットとした採集調査を実施してデータを増やす必要がある。

6. 調査・研究発表

- (1) 本田聡・田中寛繁・西田宏・大下誠二・谷津明彦（2011）マイワシ太平洋系群と対馬暖流系群の資源動態と環境要因との関係. 海洋と生物, 33 (1), 37-43.
- (2) 川端淳・渡邊千夏子・由上龍嗣（2011）日本周辺のマサバ資源の長期変動と近年の動態. 海洋と生物, 33 (1), 55-61.
- (3) 本田聡・西田宏・谷津明彦（2011）マイワシ太平洋系群の近年の動態. 水産海洋地域研究集会「黒潮域における近年の海洋環境と水産資源の動向」要旨集, 4.
- (4) 川端淳・渡邊千夏子・高橋正知（2011）マサバ太平洋系群の長期変動と近年の動態. 水産海洋地域研究集会「黒潮域における近年の海洋環境と水産資源の動向」要旨集, 8.
- (5) 本田聡・西田宏・谷津明彦（2011）マイワシ太平洋系群の近年の資源動態と1970年前後との比較. 2011年度水産海洋シンポジウム「近年の海洋環境とマイワシ等の動向：魚種交替の予兆か？」要旨集, 9.
- (6) 川端淳・渡邊千夏子・由上龍嗣（2011）マサバ太平洋系群・対馬暖流系群の資源の長期変動と近年の動態. 2011年度水産海洋シンポジウム「近年の海洋環境とマイワシ等の動向：魚種交替の予兆か？」要旨集, 13.
- (7) 高橋正知・川端淳・上野康弘・本田聡・渡邊千夏子・西田宏・森賢・山下紀生・斉藤真美（2011）：マサバ太平洋系群の加入成功にかかわる初期成長特性. 2011年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 110.
- (8) 川端淳・中神正康・巢山哲・上野康弘（2011）2005～2011年秋季の千島列島東方沖亜寒帯水域におけるマイワシ0歳魚の現存量と加入豊度. 2011年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 56.
- (9) Kawabata, A, M Nakagami, S Suyama and Y Ueno (2011): Migration of juvenile Japanese sardine during the recent low biomass period. CalCOFI Annual Conference 2011 Program and Abstracts, 21.
(含む、18件)

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 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 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、
東北区水産研究所資源海洋部生態系動態グループ
担当者名 奥西 武・安倍大介
齊藤宏明・佐々木裕愛

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、既往知見を基にして、マサバの加入量予測モデルの基本式の構築を中心に実施する。

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、高解像度海面流速データの整備を行うとともに、マサバの仔魚を想定した粒子追跡モデルの実験を開始した。
- (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、クロロフィルから微小動物プランクトンおよびメソ動物プランクトン量に変換する関係式を作るための、クロロフィル、メソ動物プランクトン炭素量等の既存データの整理を開始すると共に、調査船観測で得られた粒状有機炭素・窒素の化学分析およびクロロフィル分析を行い、亜熱帯から亜寒帯に至る海域のデータを蓄積した。
- (3) マイワシおよびマサバの仔稚魚期の成長、生残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。マイワシの加入量予測モデルは、既存のマイワシ成長・回遊モデル (Okunishi et al., 2012) の改良により開発する。マサバの加入量予測モデルは、既往知見を基にして新規に開発に取り組む。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、マサバを対象として、現場調査および飼育実験結果から得られている既往知見を基に、マサバ成長モデルの基本式を構築し、マサバの加入量予測モデルのプロトタイプを作成した。
- (4) 海洋環境の長期再解析値を外力として、加入量予測モデルを駆動し、加入量の予測可能性を調べる（平成 26 年度以降に実施予定）。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 海面高度計と漂流ブイのデータから推定した 1993～2010 年の期間の海面流速データ (1/4° 格子、7 日間隔) を整備した。

- (2) クロロフィルからメソ動物プランクトン量に変換する関係式を作るための、クロロフィルとメソ動物プランクトン炭素量データの整理を開始した。また、クロロフィルと微小動物プランクトン炭素量データとの関係を、本州東方海域について調べた。
- (3) マサバの仔魚を想定した粒子追跡実験を 2002～2008 年の期間で実施し、仔魚の経験水温とマサバの加入量関係を調べた。高加入年である 2002 年、2004 年は、他年より仔魚期の経験水温が高く、仔魚期の経験水温の年変動が加入過程に重要な因子であることが示唆された。
- (4) 現場観測および飼育実験の結果を用いて、尾叉長と水温を説明変数としたマサバ仔魚の成長関数を推定し、マサバ加入量予測モデルのプロトタイプを作成した (図 1)。
- (5) 作成したマサバ加入量予測モデルを用い 2002～2008 年級の 4 月生まれの 25 日齢まで仔魚の分布と成長履歴の計算を行った。25 日齢までの平均成長速度の年変動は、資源評価で示されている再生産成功率の年変動と有意な相関性 ($r^2=0.62$, $p<0.05$) を示した (図 2)。

4. 具体的なデータ

$$GR = G_{\max}(FL) \cdot f(T) \quad (\text{式 1})$$

$$G_{\max}(FL) = 0.000008 \cdot FL^3 - 0.0019 \cdot FL^2 + 0.1585 \cdot FL - 0.11 \quad (\text{式 2})$$

$$f(T) = 0.14 \cdot T - 2.14 \quad (\text{式 3})$$

図 1. マサバ成長モデルの基本式。ここで、 GR は成長速度(mm day^{-1})、 G_{\max} は最大成長速度、 FL は尾叉長 (mm)、 T は水温 ($^{\circ}\text{C}$) を示す。 G_{\max} は FL の関数であり、 $f(T)$ は水温依存による成長速度の変化を表す重み関数である。ただし、 $f(T)>1$ の場合の場合は $f(T)=1$ 、 $f(T)<0$ の場合の場合は $f(T)=0$ とする。

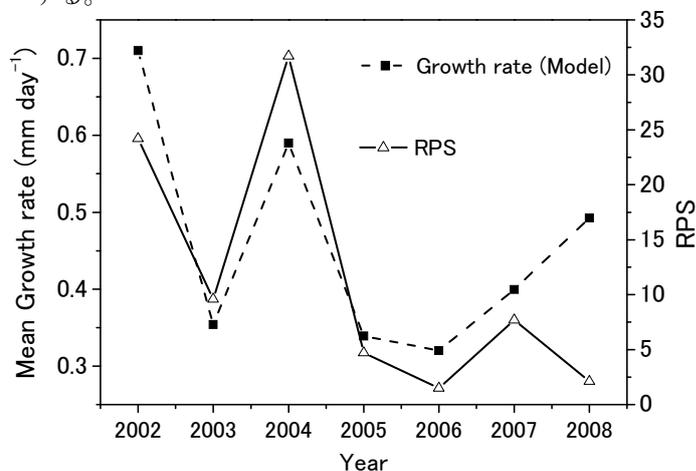


図 2. マサバ加入量予測モデルによって推定された 2002～2008 年級の 4 月生まれの平均成長速度 (0～25 日齢) とマサバ太平洋系群の再生産成功率: RPS (H22 年度水産庁・水研センター)

5. 調査・研究推進上の課題

マサバ仔魚の成長が水温及び尾叉長に依存する関数の定式化によって、マサバ加入量予測モデルのプロトタイプを構築した。今後、成長に関与する水温以外の要因を評価する方法を検討し、モデルの改良を進める必要がある。

6. 調査・研究発表

- (1) 安倍大介・小松幸生・奥西武・奥野章・清水学・高須賀明典 (2011) 日本近海における海面水温変動とマイワシの産卵場形成の特徴, 2011 年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集. p112.
- (2) その他、学会発表 (口頭 1 件、ポスター 2 件)