

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 6010
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マアジ対馬暖流系群
小課題名 餌料生態調査
担当機関 西海区水産研究所資源海洋部 海洋環境グループ・資源生態グループ
資源生産部 藻類グループ
担当者名 北島聡・佐々千由紀・種子田雄・高橋素光・長谷川徹・清本容子

1. 調査・研究の目的

マアジ新規加入量の多寡を決定する要因について、仔稚魚期の摂餌生態および餌生物の動態の側面から解析を行う。仔魚期については資源動向要因分析調査で概ね明らかにできていることから、現課題では稚魚期に主眼を置いて研究を進める。

2. 調査・研究方法

- (1)（全期間）東シナ海大陸棚域で調査船を使った餌料生物調査・仔稚魚調査を実施する。新規に採集したデータと過去に西海水研などで実施した調査・分析の資試料を使い、マアジ仔稚魚の餌料生態および餌生物の分布動態を把握する。
- (2)（H23-H24）着底稚魚に関する解析を実施した。2005年・2008年・2009年5～6月の調査で得たマアジ着底稚魚の胃内容物を分析した。様々な調査で得た動物プランクトン試料、水温・塩分データを用いて、餌生物の分布動態を把握した。
- (3)（今年度）漂泳稚魚に関する解析を開始した。2005年・2008年・2009年4月にニューズトンネットにて採集した漂泳稚魚の胃内容物を分析し、餌生物を把握した。また、ノルパックネット・閉鎖式ネットにて採集した動物プランクトン試料を分析し、現場海域における餌生物の空間分布を把握した。
- (4)（今年度）東シナ海大陸棚上の物理場データの整理・解析をおこない、水温の長期的な動向を把握した。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1)（H23-H24）着底稚魚の主たる餌生物は *Calanus sinicus*、*Paracalanus parvus*、*Paraeuchaeta* 属カイアシ類、介形類および端脚類であり、中でも *Calanus sinicus* が重要であった。
- (2)（今年度）漂泳稚魚の主たる餌生物は *Calanus sinicus*、*Paracalanus* 属カイアシ類、*Corycaeidae* 科カイアシ類、オキアミ類幼生であり、中でも *Paracalanus parvus*、*Calanus sinicus*、*Corycaeus affinis* が重要であった（図1）。
- (3)（H23-今年度）稚魚（漂泳期・着底期）の主要餌生物の分布を整理した。*Calanus sinicus* は水平方向・鉛直方向ともに大陸沿岸起源の低水温・低塩分水塊で高密度となる分布をもった。*Paracalanus parvus* と *Corycaeus affinis* はいずれも表面近傍で高密度となる鉛直分布をもったが、両者はともに陸棚域から九州沿岸まで広範に分布しており、その水平分布は水塊構造だけでは十分に説明できなかった（図2）。
- (4)（今年度）九州沿岸～日本海西部における餌生物の分布を迅速に把握するため、ベンチトップ型ビジュアルプランクトンレコーダー（BVPR）を用いた卵稚仔調査の残渣サンプルの分析を開始した。測定条件の検討実験を行い、実サンプルの測定に着手した。
- (5)（今年度）1985年～2013年までの4月の東シナ海中南部の水温データセットを解析した。

1997年～2005年頃の表面水温が比較的高く、それ以降は低下傾向であることが示された。

4. 具体的なデータ

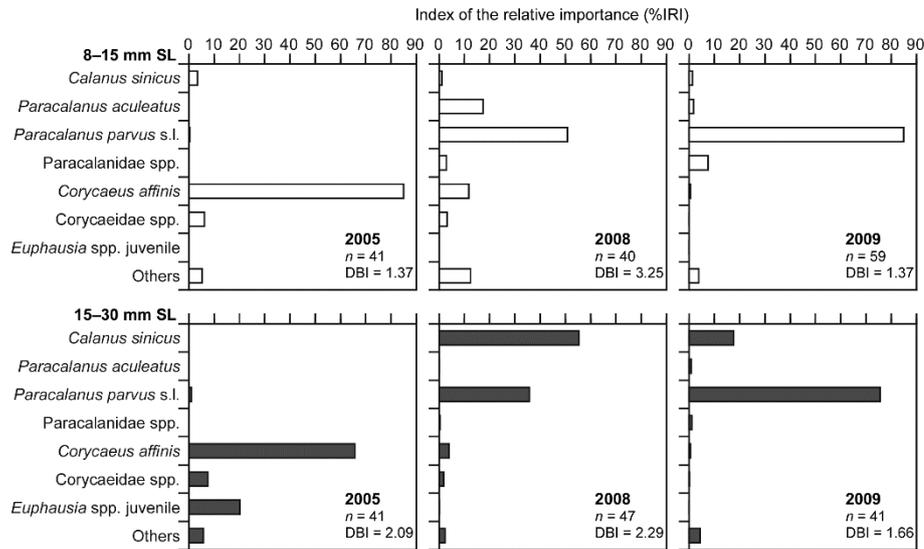


図1. マアジ漂流稚魚の胃内容物重要度指数(%IRI)^(*) 上が8-15 mmSL、下が15-30mmSL。

(*) $IRI_i = (Cn_i + WW) \times F_i$, Cn_i : 胃内に出現した全餌生物の個体数のうち、餌_iの個体数が占める割合 WW : 査定不能胃内容物を除いた胃内容物の総湿重量のうち、餌_iの湿重量が占める割合 F_i : 調査に用いたマアジのうち、餌_iが出現した個体の割合(出現頻度)

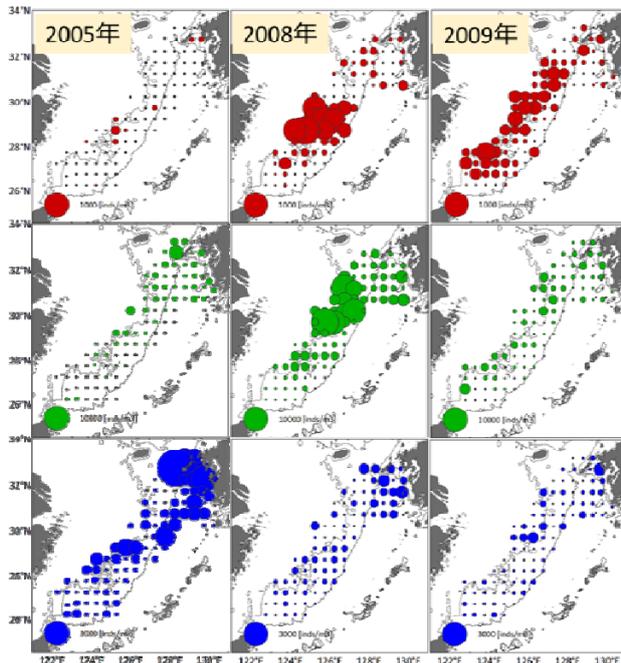


図2. 漂流稚魚の主要餌生物の水平分布(50m以浅)

上段: *Calanus sinicus* (成体メスとコペポダイトV期の合計)、中段: *Paracalanus parvus* (成体とコペポダイト期の合計)、下段: *Corycaeidae* 科カイアシ類 (成体とコペポダイト期の合計)

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) BVPRのデータは1検体あたり30ギガバイトと非常に大きく、データの保管スペース確保が喫緊の問題となっている。

6. 調査・研究発表

なし

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 6020
大課題名 資源変動要因分析調査
中課題名 マアジ対馬暖流系群
小課題名 生残要因解明調査
担当機関 西海区水産研究所資源海洋部資源生態グループ、九州大学
担当者名 高橋素光・佐々千由紀・塚本洋一・酒井猛・依田真理・木所英昭・松山倫也

1. 調査・研究の目的

冬～春季の東シナ海南部海域における大産卵場で発生したマアジは、成長に伴い東シナ海を北東方向へ輸送される。東シナ海におけるマアジ仔稚魚の生残過程は、マアジ対馬暖流系群の新規加入量に大きな影響を与えると推定される。しかし、マアジの産卵場は南日本の広範な暖水域にわたり、また産卵期もほぼ周年に及んでいる。これまでの調査・研究により、東シナ海域でのマアジの初期生残要因についてはかなりの部分が解明できた。そこで本研究では対象海域を日本海西部へと拡張し、対馬暖流域漁場へ実際に新規加入したマアジの加入様式を明らかにし、マアジ対馬暖流系群全体の資源動向をより正確に説明することを目的とする。

2. 調査・研究方法

- (1) 東シナ海～日本海西部におけるマアジ仔稚魚の時空間的な分布様式を解析するために、冬から初夏にかけて各種仔稚魚採集網を用いてマアジ仔稚魚標本を採集する。
- (2) 東シナ海～日本海西部に加入したマアジ未成魚の孵化日組成や初期成長様式を耳石日輪情報に基づいて明らかにする。
- (3) 同時期に孵化した仔稚魚と加入に成功した未成魚の初期成長様式を比較して、成長速度に依存した生残過程を明らかにする。
- (4) 加入成功に強く影響する発育段階における成長量と生息環境との対応関係をパラメータ一化して新規加入量推定の精度の向上を目指す。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) マアジの耳石には、核を中心に同心円状に日輪が形成され、日輪数や日輪幅を計数・計測することによって、孵化日や成長履歴の解析が可能である。
- (2) マアジの産卵は南日本の広範な暖水域でほぼ周年にわたり見られ、日本周辺海域の漁場に加入するマアジは複数の発生場所・発生日コホートを有する。
- (3) 冬～春季の東シナ海南部に大きな産卵場が形成され、この海域で発生したマアジ仔魚は海流等により北方へ輸送され、東シナ海や太平洋沿岸域および九州沿岸域へ加入する。
- (4) 春季において、マアジ稚魚は、東シナ海から日本海西部の広い範囲に分布する（図 1）。今年度から、島根沖と鳥取沖に分布する稚魚を新たに成長解析に加えた。
- (5) 春季に東シナ海に分布するマアジ稚魚の孵化日組成は、2～3 月であるのに対し、日本海西部に分布する稚魚の孵化日組成は、主に 4 月である（図 2）。
- (6) 東シナ海において、南部に分布するマアジ稚魚の耳石成長速度は、中・北部に分布する稚魚よりも速い。一方、日本海西部において、五島沖・対馬東に分布する稚魚の成長速度は、島根沖・鳥取沖に分布する稚魚よりも速い（図 3）。
- (7) 2012 年夏季に九州沿岸域に分布するマアジ未成魚は、2～3 月孵化群と 4～5 月孵化群で構成されており、昨年度に報告した 2009 年の結果と一致した（図 4）。新たに解析に加

えた 2012 年夏～秋季に鳥取沖に分布する未成魚は、4～5 月孵化群のみで構成されており、対馬海峡を境に未成魚の発生起源が異なることが示唆された。

4. 具体的なデータ

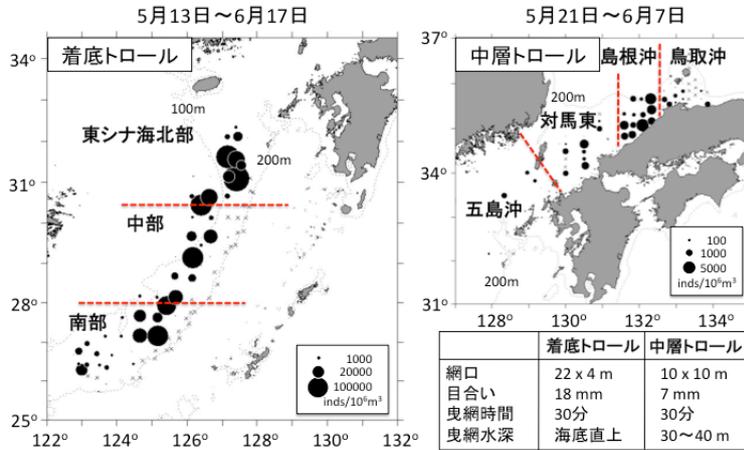


図 1. 2012 年春季の東シナ海（左）および日本海西部（右）におけるマアジ稚魚の分布密度. 右下に漁具・漁法の詳細を示す. 赤い点線は、海区の境界を示す.

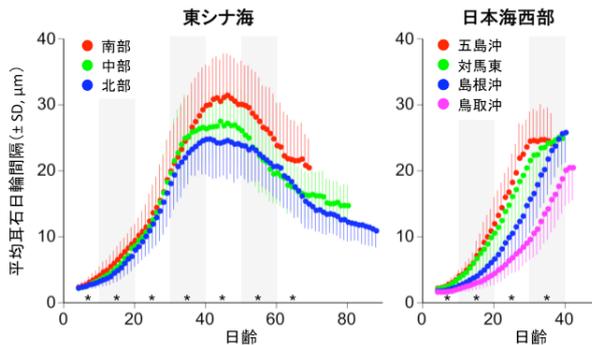


図 3. 2012 年春季に採集されたマアジ稚魚の日齢に伴う平均耳石日輪間隔. *は、海区间において、10 日齢毎の平均耳石日輪間隔が有意に異なることを示す.

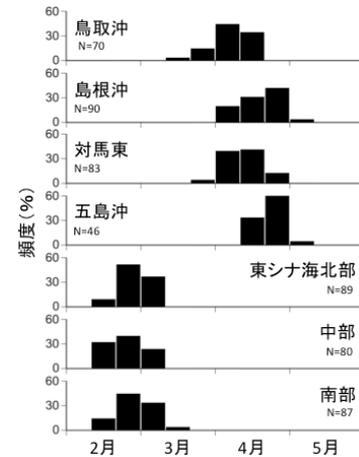


図 2. 2012 年春季に採集されたマアジ稚魚の孵化日組成. N は、耳石解析数を示す.

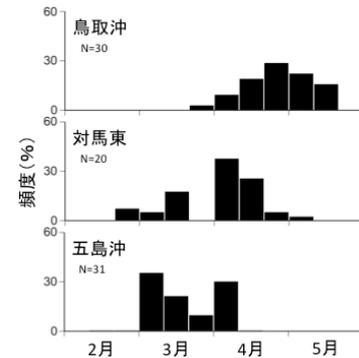


図 4. 2012 年夏～秋季に採集されたマアジ未成魚の孵化日組成. N は、耳石解析数を示す.

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 東シナ海～日本海西部における成長過程の経年変化を明らかにする。
- (2) 東シナ海と日本海西部において、加入量と仔稚魚期の成長速度との関係を検討する。東シナ海～日本海西部における成長過程の経年変化を明らかにする。

6. 調査・研究発表

- (1) Sassa, C., Konishi, Y., and Tsukamoto Y. (2013) Late winter larval fish assemblage in the southern East China Sea, with emphasis on the spatial relations between mesopelagic and commercial pelagic fish larvae. PICES annual meeting 2013 in Nanaimo, Canada.
- (2) 高橋素光・佐々千由紀・塚本洋一 (2013) 東シナ海および日本海西部におけるマアジ稚魚の成長様式. 2013 年度水産海洋学会研究発表大会, 講演要旨集. p.44

様式-1 平成 25 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 6050
大課題名 資源動向要因分析調査
中課題名 マアジ対馬暖流系群
小課題名 海洋環境変動分析調査
担当機関 西海区水産研究所資源海洋部海洋環境グループ・資源生態グループ・資源管理グループ 日本海区水産研究所資源環境部海洋動態グループ
担当者名 山田東也・北島聡・佐々千由紀・高橋素光・依田真理（西水研）
渡辺達郎・奥野章（日水研）

1. 調査・研究の目的

いままでの研究で、マアジの東シナ海大陸棚への着底の良否は、海洋環境変動による仔稚魚の成長の良否に影響されていることが示された。また、マアジ対馬暖流系群は複数の産卵群によって成り立っており、マアジの新規加入量予測精度向上のためには、マアジの初期成長に影響を及ぼす海洋環境について、より精度の高いモデルを日本海まで拡張して作成し、東シナ海南部～日本海にかけて時空間的に連続しているマアジの発生群に対して総合的な解析が必要である。特にマアジの初期成長に影響を及ぼす海洋環境（水温情報など）について、より精度の高いモデルを作成して、他の小課題より得られた各種生態的情報との関係を調べる。これらの年変動について分析を行うことにより、マアジ対馬暖流系群の新規加入特性を明らかにして、新規加入量の変動の機序について把握する。

2. 調査・研究方法

- (1) FRA-ROMS の再解析値を 2013 年まで更新し、他小課題において得られるマアジの各種生態的情報を活用しながら新規加入特性と加入量変動機序について検討する。
- (2) 東シナ海南部～日本海西部にかけての海況変動を検討するために開発された、日本海を対象として海況予測モデル JADE の東シナ海拡張版(JADE2)を用いて、マアジ対馬暖流系群の加入特性に影響を及ぼすと想定される九州西方海域の海況について検討を行う。平成 25 年度は、FRA-ROMS 再解析値を更新して解析を進めるとともに、日本海海況予測モデル(JADE)を東シナ海まで拡張させたモデル(JADE2)を用いてマアジ産卵海域として着目すべき九州西方海域における海況変動の解析を進める。

3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) FRA-ROMS の再解析値を 2013 年まで更新し、マアジ好適水温帯面積と着底トロール調査現存量推定値との関係を検討した。2013 年については、2 月 15 日における FRA-ROMS の 4 月 15 日水温予測値を用いてマアジ好適水温帯面積を予測した結果、2011 年と同じ低いレベルとなったが、その後の着底トロールの結果も 2011 年と同じ低いレベルの結果となっており、着底トロール調査現存量推定値を FRA-ROMS による水温予測値から求めたマアジ好適水温帯面積で推定することが可能である可能性が示された(図 1)。
- (2) 春季（5～6 月）の東シナ海および日本海西部における加入量指標値を、2005～2013 年の平均値と標準偏差で標準化し、年変動を検討した。日本海西部における加入量指数の年変動は、1 年前の東シナ海における加入量変動と近似し、両者は高い正の相関関係にあった(図 2)。

- (3) 餌環境の良否を考慮した粒子追跡実験を行うため、環境因子を用いた餌生物の分布推定を試行した。10m層の水温・塩分・クロロフィル濃度を説明変数として *Calanus sinicus*、*Paracalanus parvus*、*Corycaeus affinis* の分布を表現する一般化線形モデルを作成したところ、*Calanus sinicus* では水温和塩分を使った場合、*Paracalanus parvus* では水温和塩分・クロロフィル濃度を使った場合、*Corycaeus affinis* では水温のみを使った場合に尤も良いモデルが構築でき、特に *Calanus sinicus* については低塩分水塊で高密度であることを表現したモデルが作成できた。ただし、現時点ではいずれのモデルも分布の20%程度しか説明できていないことから、今後も改良をおこなう必要がある。
- (4) 日本海海況予測モデルの東シナ海拡張版(JADE2)について開発を進め、マアジの産卵海域の一つと考えられる九州西方海域について流況の再現性を検討した結果、季節変化については既存の知見を説明できる結果となっていた(図3)。また JADE2 の結果からは短期間に流れの場が変化していることも示され(図4)、流れの場の複雑な変化を考慮してマアジの資源変動について検討する必要性が確かめられた。今後は東シナ海～日本海にかけての海況環境変動について JADE2 を適用して解析を進めるとともに、蓄積されつつあるマアジ生態情報を整理して、対馬暖流域で漁獲されるマアジの発生場所の推定と新規加入特性を明らかにして加入量変動の機序を検討する。

4. 具体的なデータ

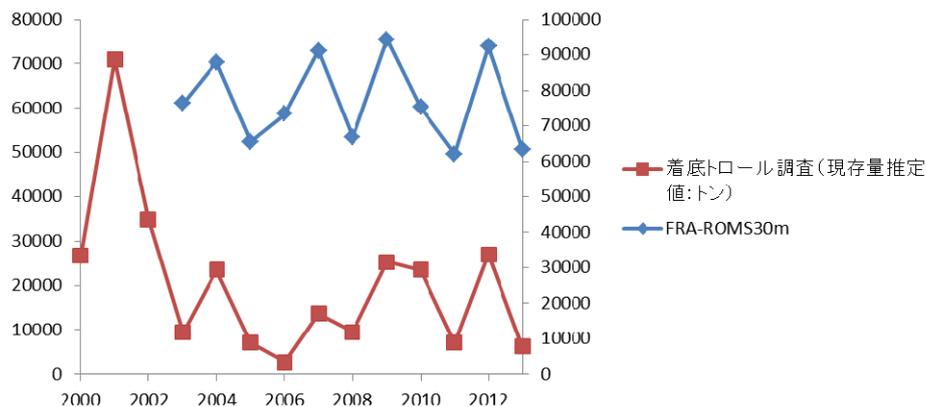


図1. マアジの好適水温帯面積(青：FRA-ROMSによる再解析値30m水温)と着底トロール調査現存量推定値(赤)の経年変化

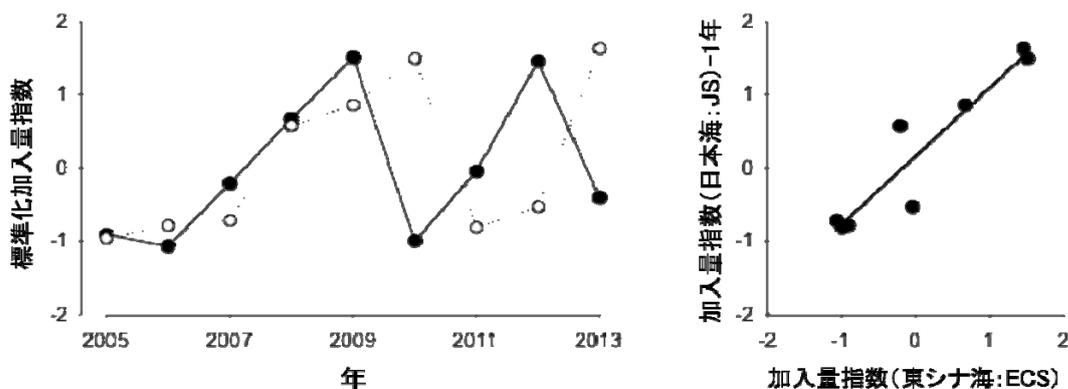


図2. 春季(5~6月)の東シナ海と日本海西部における標準化した加入量指数の年変動(左). 日本海西部の加入量指数と1年前の東シナ海における加入量指数との関係(右).

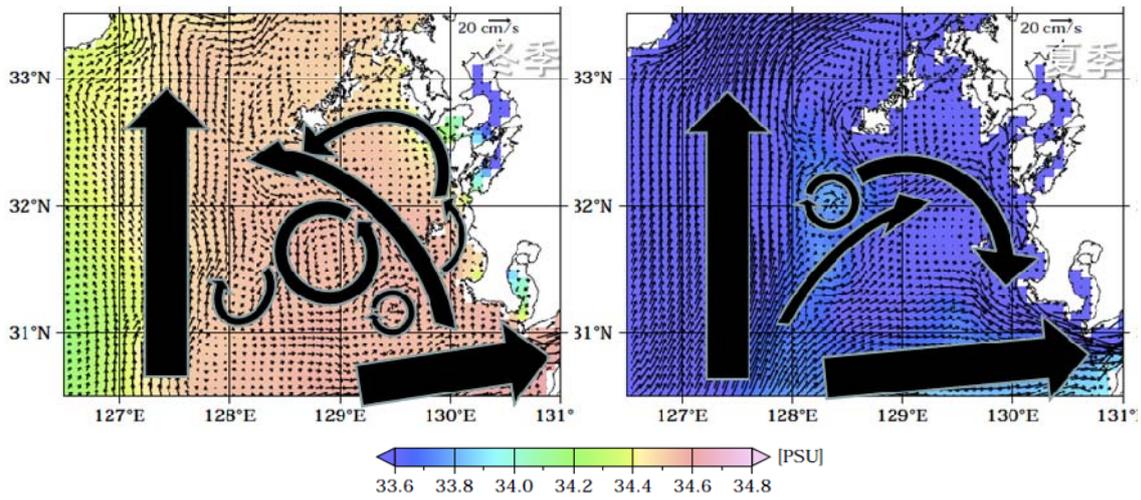


図3. 九州西方海域における流れの場の季節変化(左：冬季、右：夏季).

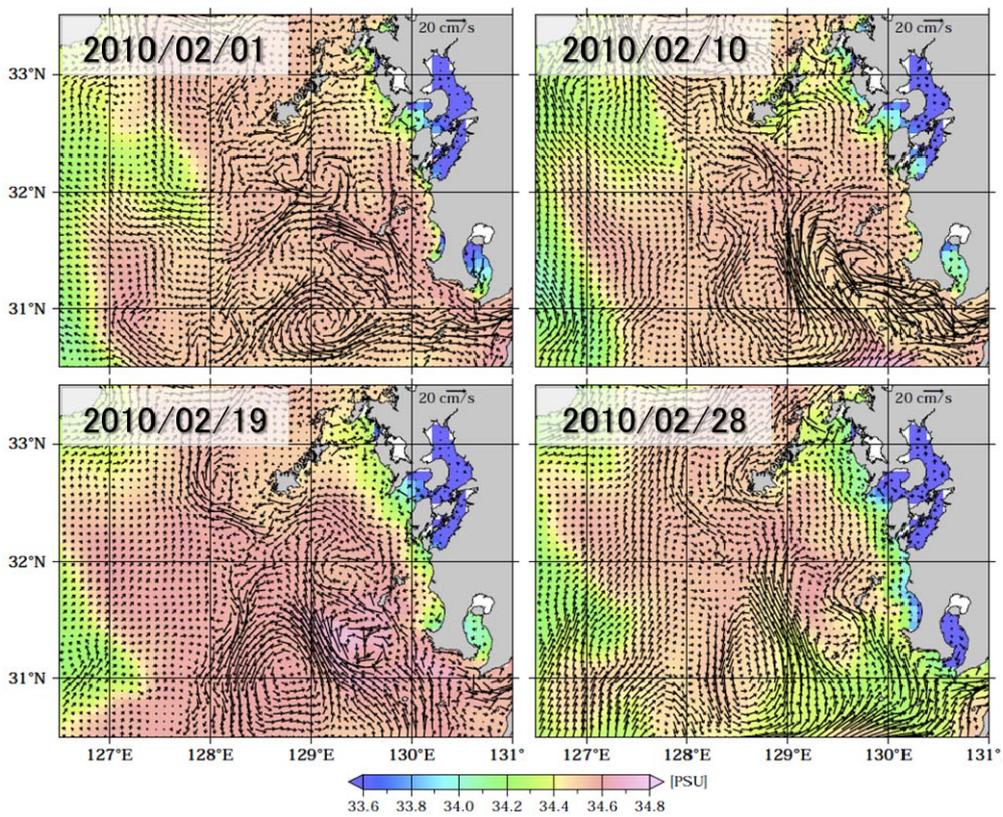


図4. 九州西方域 10m 深の流速と塩分(日平均)の変化

5. 調査・研究推進上の課題

- (1) JADE2 で精度良く海況場を再現するためには観測結果の同化と検証作業が不可欠であり、検討を進める人員の配置が課題となる。
- (2) マアジ資源の変動との海洋環境変動の関係について検討を進めるにあたって、それぞれの解析データを相互に活用するための情報交換が不可欠である。

6. 調査・研究発表

- (1) 高山勝巳・広瀬直毅・奥野章・渡邊達郎(2013) CTD データとの比較による JADE2 精度の検証. 2013 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集. ポスター発表.
- (2) 高山勝巳・広瀬直毅・渡邊達郎・山田東也(2013) 数値モデル結果からみた九州西方の海況場. 2013 年度九州沖縄地区合同シンポジウム「九州周辺沿岸域における海洋フロント」要旨集, P8.

様式-2 平成 25 年度資源動向要因分析調査課題報告書（中課題）

課題番号 6000
大課題名 資源動向要因分析調査
中課題名 マアジ対馬暖流系群
担当機関 西海区水産研究所資源海洋部資源生態グループ
担当者名 塚本洋一

1. 調査・研究の目的

前期に実施した資源動向要因分析調査においては、マアジの主な生息水域である東シナ海を研究対象海域として研究を行い、マアジの大陸棚域への加入には仔魚後期から稚魚期の成長の良否が大きく関わっていることが明らかにした。今期では、この成長の良否を決定する要因として餌料環境や水温など海洋環境に焦点を当てて研究を展開し、マアジ対馬暖流系群の新規加入量予測精度の向上を図る。

前期に行った資源動向要因調査の知見をブラッシュアップすると共に対象海域を東シナ海から日本海西部海域まで拡張することにより、対馬暖流域におけるマアジの新規加入量変動について研究を展開する。特に東シナ海～日本海西部まで連続した海洋動態モデルを作成・利用することにより、対馬暖流域におけるマアジ仔魚の輸送・生残実態を明らかにする。これらの成果をもとにマアジ対馬暖流系群の新規加入量予測精度の向上に寄与する。

2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 東シナ海大陸棚域において、マアジ漂泳稚魚の主たる餌生物は *Calanus sinicus*、*Paracalanus* 属カイアシ類、*Corycaeidae* 科カイアシ類、オキアミ類幼生であり、中でも *Paracalanus parvus*、*Calanus sinicus*、*Corycaeus affinis* が重要であった。
- (2) 東シナ海大陸棚域において、マアジ着底稚魚は *Calanus sinicus*、*Paracalanus parvus*、*Paraeuchaeta* 属カイアシ類、介形類および端脚類を主に摂餌しており、特に *Calanus sinicus* が主要な餌料生物であった。
- (3) 稚魚（漂泳期・着底期）の主要餌生物の分布を整理した。*Calanus sinicus* は水平方向・鉛直方向ともに大陸沿岸起源の低水温・低塩分水塊で高密度となる分布をもった。他方、*Paracalanus parvus* と *Corycaeus affinis* はいずれも表面近傍で高密度となる鉛直分布をもった。
- (4) 東シナ海で初期生活史を送るマアジ仔稚魚には、成長速度に依存した生残過程が認められ、成長速度による選択圧が強い年ほど加入量が少ない傾向にある。マアジ稚魚の仔魚期における平均成長速度は、4月に稚魚が分布していた海域における小型カイアシ類密度と正の相関関係にある。
- (5) 東シナ海から日本海西部海域に加入したマアジについて耳石日周輪の解析を行い、東シナ海に分布するマアジ稚魚の孵化日組成は、2～3月であるのに対し、日本海西部に分布する稚魚の孵化日組成は、主に4月であることを明らかにした。
- (6) 東シナ海において、南部に分布するマアジ稚魚の耳石成長速度は、中・北部に分布する稚魚よりも速い。日本海西部において、五島沖・対馬東に分布する稚魚の成長速度は、島根沖・鳥取沖に分布する稚魚よりも速い。
- (7) 耳石日周輪の解析から明らかにしたマアジの孵化日組成や成長様式によると、九州西岸に加入するマアジは、主に2～3月孵化群と4～5月孵化群で構成されており、これに対し日本海西部海域に加入するマアジ、4～5月孵化群のみで構成されており、加

えて、それぞれの成長様式も異なっていることから、マアジ対馬暖流系群では大別して対馬海峡を境に発生起源が異なることが示唆された。

- (8) 春季（5～6月）の東シナ海および日本海西部における加入量指標値を、2005～2013年の平均値と標準偏差で標準化し、年変動を検討した。日本海西部における加入量指数の年変動は、1年前の東シナ海における加入量変動と近似し、両者は高い正の相関関係にあった。
- (9) FRA-ROMSの再解析値を2013年まで更新した。更新した結果を用いて、マアジ好適水温帯面積と着底トロール調査現存量推定値との関係を検討した結果、2013年は2012年よりともに低い値となっており、その変動傾向はよく一致した。
- (10) 日本海海況予測モデルの東シナ海拡張版(JADE2)について開発を進め、九州西方海域の計算結果について、CTD観測結果を用いて同化することにより、その変動をよく再現していることが確かめられた。
- (11) マアジの産卵海域の一つと考えられる九州西方海域について流況変動を検討した結果、短期間に流れの場が変化していることが確かめられた。流況の季節変化についても既存の知見を説明できる結果となっており、今後は東シナ海～日本海にかけての海況環境変動についてJADE2を適用して解析を進める。

3. 調査・研究推進上の課題

- (1) マアジの産卵海域は東シナ海南部から日本海にかけ広域に及ぶ、また産卵期間もほぼ周年にわたる。このため、調査や研究の方向性が発散しやすく、各小課題としての成果が上がっている反面、中課題としての方向性やまとまりがかけている。
- (2) 先行して研究が進展している東シナ海大陸棚域においては、新たな海洋環境モデルの適応など取りまとめなどブラッシュアップを試みると同時に、九州西方海域から日本海西部海域へ加入するマアジについては、これまでに東シナ海域で得られた成果の流用の可能性など、効率化かつ焦点を絞った調査研究が必要である。
- (3) 対馬暖流域のマアジ新規加入量予測精度向上は海洋環境モデルの精度に強く依存する。今後の研究を展開するためには東シナ海域～日本海にいたる連続的な海流モデルを運用すること、および、これらのデータを適切に利用して最終の出口に向け解析作業を行うことが必要不可欠である。

4. 特筆すべき成果

- (1) 東シナ海大陸棚域におけるマアジの初期生残に強く影響を及ぼす時期を4～6月と特定し、この時期のマアジ稚魚の成長速度がその後のマアジ加入量と強い相関があることを明らかにし、成長速度を決定する要因として、同時期の東シナ海における好適水温帯面積およびキーとなる餌料生物の研究を展開した。今後は新たな海洋環境モデル等の適用を進めることにより、東シナ海大陸棚域におけるマアジ新規加入量の予測精度向上を目指す。
- (2) 九州西岸に加入するマアジは、主に2～3月孵化群と4～5月孵化群で構成されており、これに対し日本海西部海域に加入するマアジ、4～5月孵化群のみで構成されており、加えて、それぞれの成長様式も異なっていることから、マアジ対馬暖流系群では大別して対馬海峡を境に発生起源が異なることが示唆された。この結果をもとに本課題では、2～3月東シナ海中南部海域で発生して東シナ海大陸棚域に加入する群と4～5月に九州北西から対馬海域で発生して日本海西部海域に加入する群に焦点をあてて、成果の取り纏めに向け研究を行う。