

## 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 6000  
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  
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 高橋素光

### 1. 調査・研究の目的

東シナ海大陸棚域におけるマアジの加入量変動には、仔魚後期から稚魚初期の成長の良否が大きく関わっていることが明らかになりつつある。本調査では、対馬暖流域全体におけるマアジの加入量変動要因を解明するために、東シナ海に加えて日本海西部において研究を展開する。成長の良否を決定する要因として、発育初期に経験する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全体の加入量予測精度の向上を図る。特に東シナ海～日本海西部における海洋動態モデルを利用することにより、仔魚の輸送・生残実態を明らかにし、これらの成果をもとにマアジ対馬暖流系群の加入量予測精度の向上を目指す。

### 2. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 東シナ海～日本海西部のマアジ稚魚の主たる餌生物は、表層において *Paracalanus parvus*、*Calanus sinicus*、*Corycaeus affinis*、近底層において *Calanus sinicus*、*Paracalanus parvus*、*Paraeuchaeta* 属カイアシ類であり、中でも *P. parvus* と *C. sinicus* が重要であった。
- (2) 東シナ海～日本海西部における主要な餌生物の水平分布を解析した結果、*P. parvus* の分布密度は東シナ海中央部で特に高く、*C. sinicus* は東シナ海中央部西端と日本海西部で特に高いことを明らかにした。
- (3) 東シナ海における *P. parvus* の分布様式を、水温・塩分・クロロフィル濃度および混合層深度を用いてモデル化した。
- (4) 東シナ海～日本海西部における主要な餌生物の鉛直分布を解析した結果、*P. parvus* は昼夜ともに表面近傍で最も高密度で 150 m 以深では出現しなかったのに対し、*C. sinicus* は表面と近底層にピークを持つ二峰型の分布様式を示すことが明らかになった。
- (5) 東シナ海大陸棚域における餌密度の季節変化を解析した結果、*P. parvus* と *C. sinicus* の分布密度は共に春～初夏にかけて高い値を示し、*P. parvus* の個体数変動はクロロフィル濃度で説明できることが明らかになった。
- (6) 東シナ海大陸棚近底層におけるマアジ稚魚の分布密度は、仔魚期後半から稚魚初期に餌となる *P. parvus* のコペポダイト幼生密度が高く成長が速かった年級ほど高いことが明らかになった。
- (7) 春季(5～6月)の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、同時期の日本海西部に分布する稚魚の孵化日組成は主に4月であり、両海域に分布する稚魚は異なる発生群であることが明らかになった。
- (8) 夏～秋季(8～10月)の日本海西部の漁場に加入するマアジ未成魚の孵化日を解析した結果、同海域の春季に採集した稚魚の孵化日組成(主に4月)と近似したことから、日本海西部に加入する未成魚は春季に同海域に分布する稚魚と同じ発生群と考えられた。
- (9) 春季に日本海西部で採集したマアジ稚魚の成長速度を逆算推定し、2011～2014年の間で比較した結果、稚魚初期における成長速度は、2011年から2014年にかけて有意に増加する傾向にあり、加入量指標値の年変動と同じ位相を示した。

- (10) 春季の日本海西部における仔稚魚の成長年差の原因を明らかにするために、孵化から採集時までの表面水温とクロロフィル濃度を衛星データに基づいて観測し、採集時に観測した水温と主な餌となるパラカラヌス科カイアシ類密度に基づいて環境履歴を推定した。その結果、仔稚魚期の成長が遅く加入水準が低かった 2011・2012 年の環境条件は、2013・2014 年よりも、それぞれ水温と餌密度が低いことが明らかになった。これらから、良好な環境条件であった年級群の成長は速く、加入水準が高いことが示唆された。
- (11) 卵稚仔データベースに用いて、冬～春季の東シナ海および日本海西部におけるマアジ孵化仔魚の出現様式を解析し、FRA-ROMS 再解析値を用いた粒子追跡実験における追跡開始位置を確認した。
- (12) 調査船調査によって明らかになった東シナ海における発生時期の年変動、好適水温条件、成長速度の違いによる生存条件を考慮して 2005・2008～2013 年において粒子追跡実験を行った結果、生残粒子数の年変動は、生残条件を与えない場合よりも加入量指標値の年変動をよりよく再現した。
- (13) 日本海西部における生存水温条件を考慮して 2011～2014 年において粒子追跡実験を行った結果、環境水温条件が 16～20℃において加入量指標値の年変動がよりよく再現されることが明らかになり、東シナ海南部における好適水温条件よりも低い水温帯に適応していることが明らかとなった。

### 3. 調査・研究推進上の課題

- (1) 本調査によって、東シナ海だけでなく日本海西部においても、マアジ対馬暖流系群の加入量変動は発育初期の成育条件に強く依存することが明らかになりつつある。現段階における海洋動態モデルを用いた粒子追跡実験は、好適水温や発生時期の違いに基づく生残率を考慮しているが、餌環境やその他の生残要因を考慮していないため、加入量推定精度に課題が残る。今後、仔稚魚が経験する水温に加えて餌環境や被捕食回避要因となる流れ藻量なども考慮して生残率を推定する方法を開発し、加入量モデル精度を高度化する必要がある。
- (2) 本調査において、東シナ海と日本海西部における加入状況の違いを産卵場と輸送環境の違いをもとに説明することができたが、東シナ海南部で発生した群れの日本海西部や太平洋側への資源加入割合については検討できていない。今後、太平洋側沿岸域や日本海西部に加入する未成魚と東シナ海に加入する未成魚との間で、発育初期における耳石成長様式や経験水温指標となる耳石酸素同位対比を比較することによって、マアジ資源全体に対する東シナ海南部発生群の貢献度を明らかにする必要がある。

### 4. 特筆すべき成果

- (1) 東シナ海大陸棚域だけでなく日本海西部においても、マアジの加入量指標値は仔稚魚期における成長速度に強く影響されることが明らかになった。日本海西部において加入量水準の高い成育条件の良好な年級群は、孵化時から好適な水温と餌環境を経験していることが、衛星データと採集時の観測を組み合わせることによって浮き彫りにすることが出来た。
- (2) 加入量推定調査で採集された稚魚の孵化時期と卵稚仔調査結果に基づいて推定された産卵海域から粒子追跡実験を実施した。この経験水温に基づく生残率を考慮したシミュレーション結果は、東シナ海と日本海西部で推定されている加入量指標値の年変動と概ね一致したことから、加入量変動は発育初期における成育条件によって決まることがモデル解析によっても支持された。

## 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 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  
担当者名 北島聡・西内耕・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する。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) 東シナ海～日本海西部の調査船調査で餌料生物・仔稚魚分布に関する資試料を得る。
- (2) 調査船調査で得た試料に過年度に東シナ海北部～日本海西部で採集された資試料を併せて、マアジ仔稚魚の餌生物を特定し、次いで餌生物の分布を把握する。得られた成果は 6020・6060 番課題に引き渡し、成長・生残および加入量変動との関係を検討する。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 東シナ海～日本海西部のマアジ稚魚の主たる餌生物を把握した。  
表層では *Paracalanus parvus*、*Calanus sinicus*、*Corycaeus affinis* が、近底層では *Calanus sinicus*、*Paracalanus parvus*、*Paraeuchaeta* 属カイアシ類が主要であり、中でも *Paracalanus parvus* と *Calanus sinicus* が重要な餌生物であった。
- (2) 春季東シナ海～日本海西部における主要餌生物の水平分布を把握した（図 1）。  
*Paracalanus parvus*：東シナ海中央部で特に高密度であった。この高密度分布は低水温水塊に沿って出現した。  
*Calanus sinicus*：東シナ海中央部西端と日本海西部で特に高密度であった。東シナ海の高密度分布は黄海・大陸沿岸由来と考えられる低塩分水塊に沿って認められたが、日本海西部では塩分依存の分布傾向は認められず、異なる環境特性をもつことが示された。
- (3) 春季東シナ海における *Paracalanus parvus* の水平分布を、海域の水温・塩分・クロロフィル濃度・混合層深度で説明するモデルを構築した。個体数変動の 33% を説明できた。
- (4) 東シナ海における主要餌生物の鉛直分布を把握した。  
*Paracalanus parvus*：昼夜ともに表面近傍で最も高密度であり、深くなるにつれて減少、150 m 層以深では皆無であった。  
*Calanus sinicus*：表面および海底近傍にピークを持つ二峰型の分布となった。
- (5) 東シナ海の北緯 31 度 45 分定線上の大陸近傍（東経 126 度 30 分以西）、陸棚中央部（東経 126 度 30 分～128 度）、九州近傍（東経 128 度以東）における、主要餌生物の季節変化を把握した（図 2）。  
*Paracalanus parvus*：大陸近傍～陸棚中央部では 3 月ないし 4 月～7 月、九州近傍では 3～5 月に最も個体数が高かった。個体数変化はクロロフィル濃度でよく説明できた。  
*Calanus sinicus*：大陸近傍～陸棚中央部では 1～7 月に個体数が高かった。各月とも個体数には西高東低の傾向が認められ、九州近傍では年間を通じて個体数密度が低かった。

#### 4. 具体的なデータ

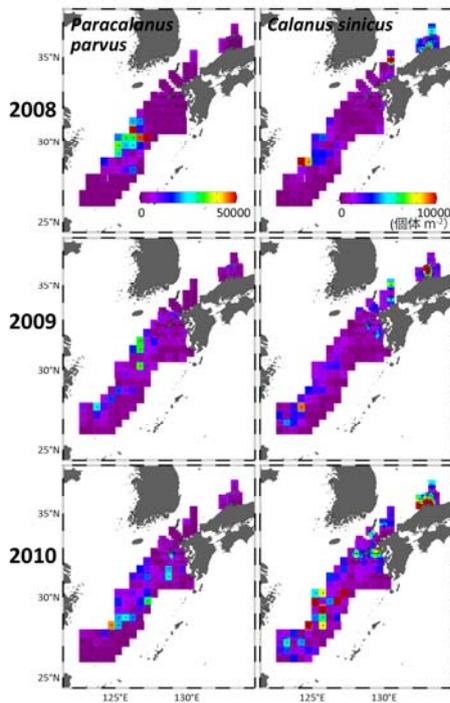


図1 春季の東シナ海～日本海西部における *Calanus sinicus* (成体+CV期)・*Paracalanus parvus* (成体)の分布

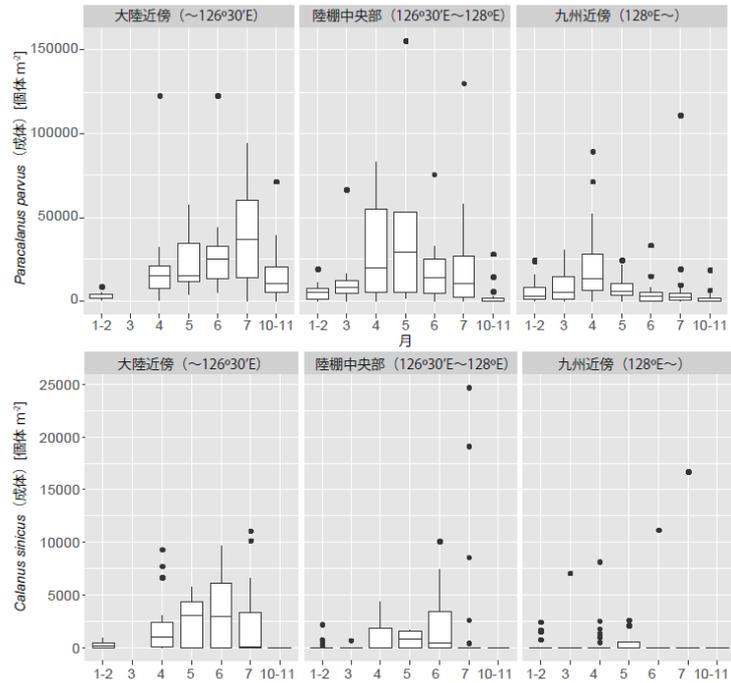


図2 *Paracalanus parvus* (上段)と *Calanus sinicus* (下段)の季節変化(北緯31度45分, 2009~2011年) 箱ひげ図の中央線は中央値、箱の上端と下端は第1および第3四分位、ひげは四分位範囲の1.5倍(外れ値を除いたデータの範囲)、黒丸は外れ値。

#### 5. 調査・研究推進上の課題

本課題では主要な餌生物を特定し、さらに餌生物の分布を明らかにした。この成果を餌量の正確な予測に繋げるためには、今後主要餌生物の個体数変動要因について、より詳しく調べる必要がある。

#### 6. 調査・研究発表

##### 論文発表

- (1) Takahashi, M., Sassa, C., Nishiuchi, K., and Tsukamoto, Y. (2016) Interannual variations in rates of growth and development during larval stage of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the East China Sea: Implications for juvenile survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73:155-162.
- (2) 高橋 素光, 佐々 千由紀, 西内 耕, 塚本 洋一 (2015) 餌環境がマアジの成長・生残に与える影響. *海洋と生物* 35(5):445-450.

##### 口頭発表

- (3) 北島 聡, 西内 耕 (2015) 卵稚仔調査の残渣を活用した動物プランクトンの分布研究, 第103回対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁況海況予報会議
- (4) Takahashi, M., Sassa, C., Kitajima, S., and Tsukamoto, Y. (2015) Interannual variations in growth trajectories of juvenile jack mackerel *Trachurus japonicus* in the Tsushima Warm Current, PICES Annual Meeting 2015 in Qingdao, China.
- (5) 高橋 素光, 佐々 千由紀, 北島 聡, 塚本 洋一 (2016) 対馬暖流域におけるマアジ稚魚の成長過程と加入量変動. 平成28年度日本水産学会春季大会

## 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 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・資源管理グループ  
日本海区水産研究所資源管理部 資源管理グループ  
九州大学大学院農学研究員資源生物科学部門 海洋生物学研究室  
担当者名 高橋素光・佐々千由紀・青沼佳方・酒井猛・依田真里（西水研）・  
木所英昭（日水研）・松山倫也（九州大学）

### 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、対馬暖流域において実際に漁場へ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化して新規加入量推定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) 春季の加入量推定調査において、東シナ海で採集されるマアジ稚魚の孵化日組成は 2～3 月であるのに対し、日本海西部で採集される稚魚の孵化日組成は主に 4 月である。
- (2) 春季の東シナ海陸棚縁辺域近底層におけるマアジ稚魚の分布密度の年変動は、表層（特に仔魚期後半～稚魚初期）における餌料生物密度と成長速度の関数で表される。
- (3) 春季の九州北西沖合域から日本海西部で採集されるマアジ稚魚の成長速度は、孵化直後から 2013・2014 年が 2011・2012 年よりも速く、加入量指標値の年差と近似する（図 1）。
- (4) 春季の九州北西沖合域から日本海西部において、マアジ稚魚が分布する海域の水温が低い年（2011 年）や餌環境が悪い年（2012 年）の成長速度は遅く（図 1、2）、衛星データを用いた仔魚から稚魚初期（4～5 月）の九州北西沖合域における表面水温とクロロフィル濃度の年変化と一致する。
- (5) 夏～秋季に日本海西部の漁場へ加入するマアジ未成魚の孵化日組成は、2～5 月の範囲にあり、春季の同海域における稚魚の孵化日組成と近似する（図 3）。春季に日本海西部で採

集されるマアジ稚魚は九州北西沖合域で発生し、対馬暖流によって東へ輸送されると考えられることから、夏～秋季に漁獲される未成魚は春季に採集される稚魚と同じ孵化群と考えられる。

#### 4. 具体的なデータ

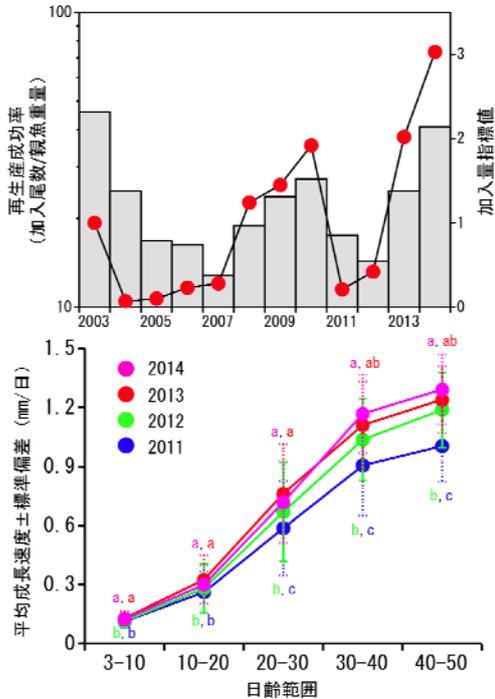


図1. マアジ対馬暖流系群の再生産成功率(棒)と九州北西沖合域から日本海西部における加入量指標値(赤丸)の経年変化(上)と2011~2014年におけるマアジ稚魚の成長速度の年差(下)。異なる文字は、統計的に有意に異なることを示す。

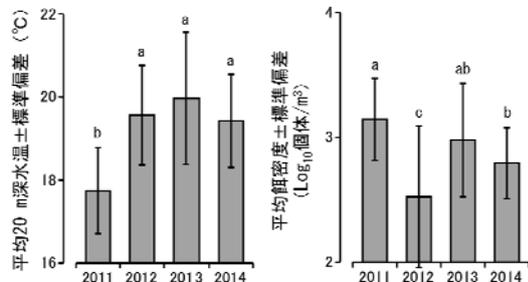


図2. 九州北西沖合域における20 m深水温(左)とパラカラヌス科カイアシ類密度(右)の年変化。異なる文字は、統計的に有意に異なることを示す。

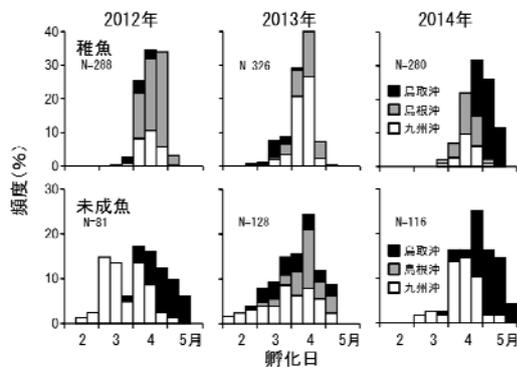


図3. 九州北西沖合域から日本海西部において採集されたマアジ稚魚(上)と未成魚(下)の孵化日組成。調査海域を九州沖・島根沖・鳥取沖の3海域に分けて示す。

#### 5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 東シナ海表層における仔魚の成長速度は水温よりも餌環境に強く影響を受けるが、九州北西沖合域における仔稚魚の成長速度は水温と餌環境の両方に影響を受けており、加入量推定モデルの構築において両海域を区別して考える必要がある。

#### 6. 調査・研究発表

##### 論文発表

- (1) Takahashi, M., Sassa, C., Nishiuchi, K., and Tsukamoto Y. (2016) Interannual variations in rates of larval growth and development of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the East China Sea: implications for juvenile survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73:155-162.

他 1 件

##### 口頭発表

- (2) Takahashi, M., Sassa, C., Kitajima, S., and Tsukamoto Y. (2015) Interannual variations in growth trajectories of juvenile jack mackerel *Trachurus japonicus* in the Tsushima Warm Current, PICES Annual Meeting 2015 in Qingdao, China.
- (3) 高橋 素光・佐々 千由紀・西内 耕・塚本 洋一 (2015) 東シナ海におけるマアジ仔稚魚の成長・生残戦略, 2015 年度東京大学大気海洋研究所共同利用シンポジウム, 講演要旨集.

p.17

他 2 件

## 様式-1 平成 27 年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）

課題番号 6060  
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 輸送・生残過程を考慮した 加入量変動要因の解明  
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・依田真里（西水研）  
井桁庸介・阿部祥子（日水研）

### 1. 調査・研究の目的

東シナ海大陸棚域におけるマアジの加入量変動は、仔稚魚の成育条件に影響されることが明らかになりつつあるが、日本海西部における漁場への加入過程や加入量変動要因は未解明である。本調査では、マアジ対馬暖流系群全体の加入過程および加入量変動要因を理解するために、東シナ海から日本海西部までを一貫して扱える高精度海洋環境モデル上において、他の小課題で得られた生態学的知見に基づいて生残を加味した粒子追跡実験を実施し、発育初期における輸送過程を把握して加入量変動要因を検討する。

### 2. 調査・研究方法

- (1) 東シナ海南部発生群をについて、他小課題において得られるマアジの各種生態的情報をもとにモデルによる生残条件を加味した粒子追跡実験を行い、発育初期における輸送過程を把握して加入量変動要因を検討する。
- (2) 九州西方海域発生群について、他小課題において得られるマアジの各種生態的情報を基にモデルによる生残条件を加味した粒子追跡実験を行い、発育初期における輸送過程を把握して加入量変動要因を検討する。

### 3. 今年度までの調査・研究成果の概要

- (1) 東シナ海南部発生群について、仔稚魚調査から得られた発生時期の違い、好適水温条件、成長速度の違いによる生存条件を考慮した粒子追跡実験を行い、東シナ海から九州西方への輸送・生残割合を検討した（図 1）。表層から底層へ向かう目安となる孵化後 40 日における粒子の残存数（生残粒子数）は、好適水温条件を加えることによって、加入量指標値の年変動に近似することが確認された（図 2）。一方、これらの条件で変動が説明できない部分については、被捕食回避要因となる流れ藻量など他の生存条件の影響が大きいと考えられた。
- (2) 卵稚仔データベースを用いて、早春から初夏の対馬海峡～日本海西部において孵化仔魚が出現する海域を検討した。孵化仔魚は、五島～対馬周辺海域に高い確率で出現したことから、五島周辺海域を粒子追跡実験における産卵域とした（図 1）。その後、採集時に観測した環境条件から推定した生存水温条件を考慮して、粒子追跡実験を行った。環境水温条件の下限を 16℃と 17℃とした実験結果を比較すると、16℃とした条件の方が加入量指標値の年変動の再現性がよく、東シナ海南部における好適水温条件よりも低い水温帯に適合していることが明らかとなった。

#### 4. 具体的なデータ

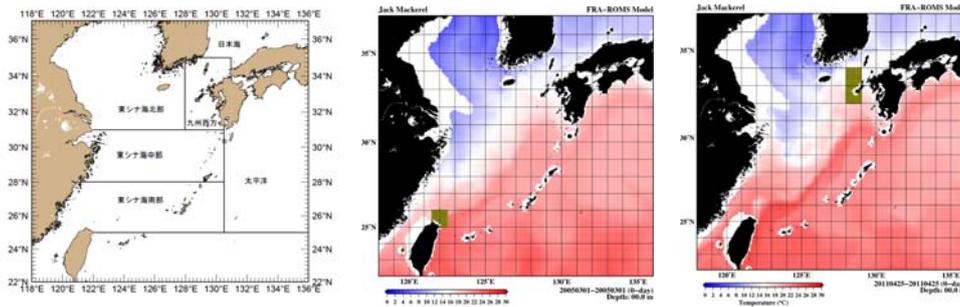


図1. 粒子追跡実験に用いた海域区分(左)と粒子初期海域(中：東シナ海南部、右：九州西方)

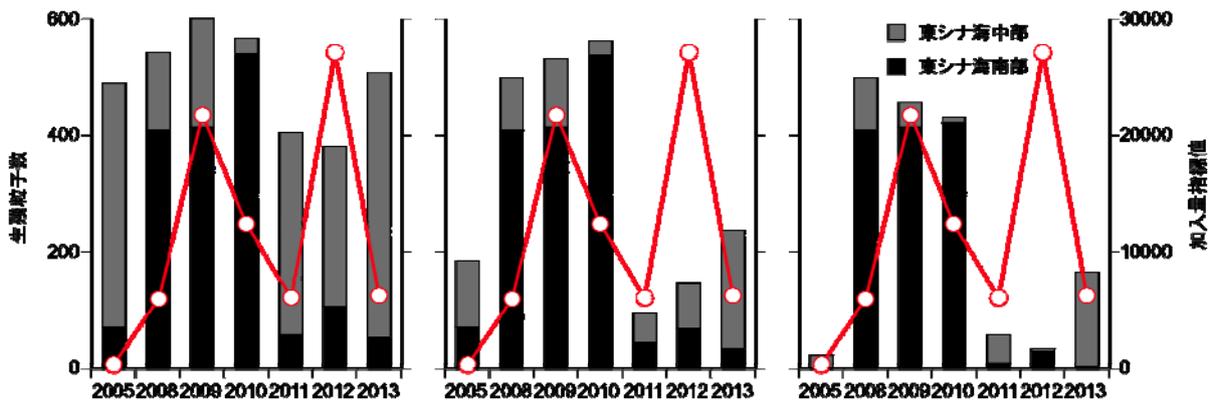


図2. 東シナ海における発生日を考慮した粒子追跡実験結果による40日後の海域別生残粒子数(左：水温などの生残条件無、中：好適水温条件(18-22°C)、右：成長条件(19-22°C)、赤線：東シナ海における加入量指標値)

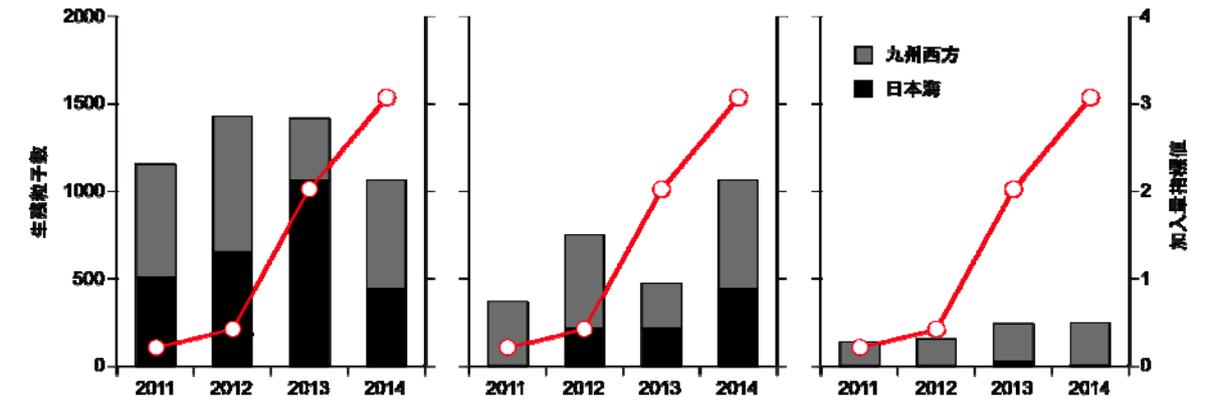


図3. 九州西方における発生日を考慮した粒子追跡実験結果による50日後の海域別生残粒子数(左：水温などの生残条件無、中：水温条件(16-20°C)、右：水温条件(17-20°C)、赤線：日本海における加入量指標値)

#### 5. 調査・研究推進上の課題

- (1) 水温や餌料環境と成長速度との関係を精査し、加入量推定モデルの高精度化を図る必要がある。

#### 6. 調査・研究発表

- (1) 特になし