

魚種交替のメカニズムとその理解に基づく社会への貢献

○齊藤宏明¹・見延庄士郎²・桜井泰憲³・牧野光琢⁴

(1 水研セ東北水研, 2 北大院理, 3 北大院水産, 4 水研セ中央水研)

キーワード： 魚種交替・黒潮続流・生態系・レジームシフト・環境変動

[はじめに]

マイワシ、カタクチイワシ、マサバ、ニシンといった広域を回遊する多獲性小型浮魚類は、大漁・不漁を数十年の周期で交互に繰り返す。大漁となれば、それを利用するための漁業や関連産業に多くの設備投資がなされるが、不漁となれば、漁業および関連産業従事者のみならず地域全体に大きな影響を与える。マイワシの漁獲量は1980年代に年間400万トンに達した。この豊富な資源を利用するために、漁船、漁網、魚油採取、漁獲物取り扱いのために大きな投資がなされたが、1989年以降の突然の資源崩壊によって、マイワシ資源に依存する産業は大きな打撃を受け、巻き網漁業は減船を余儀なくされた。また、資源高位期に大型化された船団が、マイワシ資源崩壊後は過剰な漁獲能力となってマサバ弱齢魚へ向けられた。このことは資源の有効利用の観点からも問題となっている。

これら浮魚類の大漁・不漁には気象・海洋物理現象との間の相関関係が見られることから、海洋環境の変動が生態系を変化させることによって浮魚類の加入が大きく変化することが原因であると推察されてきた。しかしながら、どのような物理環境変化がどのように生態系を変化させ、その変化がどのように加入に影響したかに関する過程については不明である。今日我々が解明すべきは、気象・海洋物理現象によって浮魚資源が変動するメカニズムである。

魚種交替に関しては、水産海洋研究へ社会から強い要請がある。それは、魚種交替の予測ができないかということである。前述のように、魚種交替は気象変動が原因であるため、それを制御することは困難である。しかし、予測が可能であれば、それに対応した設備投資や、新たに増加する資源をよりよく利用するための資源管理方策の策定が可能であり、漁家経営および関連産業経営の安定化に寄与するとともに、水産資源の安定供給にも有効である。

[SUPRFISH]

このような背景の下、農林水産省農林水産技術会議は、魚種交替が生じる過程と要因を解明し、発生を予測する技術について検討することにより、水産資源の持続的な確保と安定的な水産業経営に資することを目的とした研究プロジェクト「魚種交替の予測・利用技術の開発」(Studies

on prediction and application of fish species alternation: SUPRFISH) を2007年から2012年にかけて実施した。SUPRFISHでは、魚種交替現象が気象・海洋物理環境の変化によって引き起こされる海洋生態系構造の遷移現象であるという仮説の下、4つの研究テーマ(系)を設けて研究を行った。それらは、

1系 生態系遷移を引き起こす海洋物理環境変動とその要因の解明

2系 環境変動に伴う低次生態系構造変化機構の解明

3系 魚種交替機構に関与する生理生態要因の解明

4系 魚種交替モデルの構築と資源管理への展開

であり、それぞれの系は3-6つの小課題を設けて研究を実施した。SUPRFISHの研究テーマは、気象学、海洋物理学、生物海洋学、魚類生理学、魚類生態学、水産資源学、社会科学等の様々な学術分野にまたがっているため、それぞれの研究分野の専門家約60名が参集した、学術分野横断プロジェクトとなった。

[シンポジウムの目的]

本シンポジウムは、SUPRFISHにおいて得られた多くの成果を基に

- 1) 気象変動が日本の魚種交替を引き起こすメカニズムに関する知見の統合と共有
- 2) 日本の浮魚資源を変動させる気象・海洋物理機構が、カリフォルニア等他の海域の資源に与える影響の検討
- 3) 魚種交替研究の残された課題の把握
- 4) 資源変動・魚種交替を前提とした漁業管理方策の検討

を目的として実行する。1)から3)に関しては、得られた成果を取りまとめ、新たな魚種交替シナシスの作成を目指す。また、4)に関しては、自然科学の知見を用いた、より安定的な漁業経営や食料供給を可能とする政策を検討するとともに、自然科学成果の社会科学への応用に関して、SUPRFISHにおける解決の過程や、問題点について議論し、自然科学研究成果をよりよく社会に貢献させるために有用となる総括を行う。

魚種交替につながる海洋物理環境の変動メカニズムと予測可能性

○野中 正見・田口 文明・佐々木 英治

海洋研究開発機構

キーワード: 黒潮続流前線・経年/十年規模変動予測可能性・渦解像海洋大循環モデル

1. はじめに

数十年の時間規模で大規模な資源量変動を示すマイワシの生残には黒潮・黒潮続流の流軸上での水温、混合層深の変動が強い影響を及ぼすことが最近の研究から明らかにされて来た (Nishikawa et al. 2011, *FO*)。更にこれらの海洋物理環境の変動には、大気への熱放出の強弱とともに、黒潮・黒潮続流の流軸上の流速変動が顕著な影響を及ぼすことが示された (Nishikawa & Yasuda 2011, *JO*)。そこで、これらの要因の変動メカニズムと予測可能性に注目した解析を行った。

黒潮・黒潮続流の流軸上の流速について観測データが連続的に得られるのは人工衛星による海面高度観測が開始された 1992 年後半以降であり、変動メカニズムを調べるには未だデータの蓄積が十分ではない。そのため、本研究ではそれらの経年から十年規模変動をかなり良く再現する渦解像海洋大循環モデル (OFES) の出力を用いた。

2. OFES (地球シミュレータ用海洋大循環モデル)

GFDL-MOM3 を基にした OFES を NCEP/NCAR 再解析データの 1950~2010 年の日平均値を用いて駆動した。モデル海域は 75°N/S 間の準全球で、水平解像度 0.1°、鉛直 54 層。上記再解析データの風応力、水 flux を与え、熱 flux はバルク法で決定し、更に海面塩分を月毎気候値へ緩和した (Masumoto et al. 2004, *J. Earth Simulator*; Sasaki et al. 2008, *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*)。年平均気候温度塩分場の静止状態から月毎気候値で 50 年積分した後、上記 61 年間の過去再現積分を行った。

3. 結果

3-1. 黒潮・黒潮続流流速の変動メカニズム

OFES 経年変動積分において、黒潮続流上流部での黒潮続流の流軸上の流速変動を 1960 年~2010 年の期間で調べると、地衡流の関係と合致して流軸南側の海面高度偏差と高い正相関を持つ。流軸北側の海面高度偏差も流速と負の相関を持つが、変動は南側に比べて小さく、南側の海面高度偏差が主に影響する。

黒潮続流流軸の南側で、海面高度偏差の経度-時間断面を描くと、この黒潮続流南側の海面高度偏差は北太平洋中央部で生じ、西方へ伝播し、数年かけて西岸付近へ至ることが分かる。この海面高度偏差の伝播は、風に駆動される線形ロスビー波のみを考慮した極めて単純化されたモデルの結果と良く一致することから、上の海面高度偏差は風変動によって駆動されたロスビー波が伝播することで生じているものと考えることが出来る。この結果は、衛星観測データ解析からの結果 (Qiu & Chen 2005, *JPO*) とも合致する。

3-2. 黒潮・黒潮続流流速変動の予測可能性

上の結果から、ロスビー波の伝播時間を用いて黒潮続流変動の予測が出来る可能性がある。実際、西部北太平洋の

領域平均海面水温変動には、同じメカニズムで数年の予測可能性があることが示されている (Schneider & Miller 2001, *JC*)。しかし、マイワシの変動へ結びつくのは黒潮続流の流軸上の流速であり、これが大きな難しさを生む。

流速の大きい黒潮や黒潮続流の変動には非線形性が強く、大気場外力に経年変動が含まれていない場合にも、経年変動が生じうる。黒潮続流流速には、このように海洋内で勝手(自励的)に生じる経年変動が含まれていると考えられ、この成分は外力に依らない故に予測不可能である。一方で、上記の様にロスビー波伝播に伴って生じる経年変動も見られ、この成分については予測可能性が期待される。

そこで OFES 経年変動積分のある時点 (例えば 1990 年 1 月 1 日) から、長期平均大気場を与え続けた場合に、(初期値が持っていた偏差がロスビー波として伝播することで) その後の黒潮続流流速の変動を予測する実験を 6 ケース行った。13 ヶ月の移動平均を施して渦の影響を除去した後に、この予測結果と元の経年変動積分の黒潮続流流速変動を比較すると、6 ケース平均では、予測 3 年目でも経年変動の分散の半分以上が予測実験で説明可能であった。

更に 60 年間の経年変動積分において黒潮続流流速と北太平洋の海面高度偏差のラグ相関分布を見ると、北太平洋中央部 (30~34°N, 170°E~175°W) で領域平均した海面高度偏差の時系列は (13 ヶ月移動平均した) 3 年後の黒潮続流流速と 0.68 の相関を持つ。これは予測実験の結果を支持し、黒潮続流流速変動には予測可能な成分があることを示す。海面高度の衛星観測データとそこから地衡流的に計算された黒潮続流流速の間にも同様なラグ相関が見られるが、時系列の長さがまだ限られるため、確かな統計的関係を得るには更に観測データの蓄積が必要である。

以上では外力に依る経年変動成分にのみ注目したが、自励的変動の影響を明に考慮するために、それが生じ得るよう僅かに条件が異なる幾つもの同等の実験 (アンサンブル積分/予測実験) を行うことも今後進めて行く必要がある。

3-3. 大気への熱放出の経年変動メカニズム

マイワシの生残に対しては黒潮及び黒潮続流の流軸上での海面熱フラックスも顕著な影響を及ぼす (Nishikawa & Yasuda 2011, *JO*)。OFES における、この流軸上の海面熱フラックスの経年変動には年々変動が卓越し、大気変動の直接的な影響が強いことが示唆された。大気場との関係を見ると、海洋から大気への熱放出が大きい年には北太平洋西部でアリューシャン低気圧が南下し、シベリア高気圧が発達する傾向が見られた。この大気変動の分布は Western Pacific パターンと呼ばれる大気のテレコネクションパターンと良く似ており、実際、Western Pacific パターンの指数と流軸上の海面熱フラックスの間には、相関係数 0.60 の同時相関が見られ、流軸上での熱放出に強く関与する。Western Pacific パターンの形成・変動メカニズムは、しかし、未解明であり、今後の研究の進展が待たれる。

1. はじめに

海洋の物理環境変動と生態系変動との関係に関する研究は、過去十年で大きく進んだ。しかしなお未解明の点も多い。この発表では、生態系変動と海洋物理環境変動との関係の理解そしてその関係に立脚した予測について、いくつかのポイントを整理したい。

2. 鍵となる物理パラメータ

まず、海洋生態系にどの領域で何の物理パラメータが影響するのかを明らかにすることが重要である。たとえば、日本のマイワシについては、黒潮続流南部領域の水温 (Noto and Yasuda 1999) や混合深度 (Nishikawa and Yasuda 2008) が提案されている。これらのパラメータ変化は、表層への栄養塩供給を介しマイワシ仔稚魚に影響が及ぶことを想定している。一方食餌を通じてではなく、水温が生理学的な経路で影響するという提案もある (Takasuka et al., 2008)。

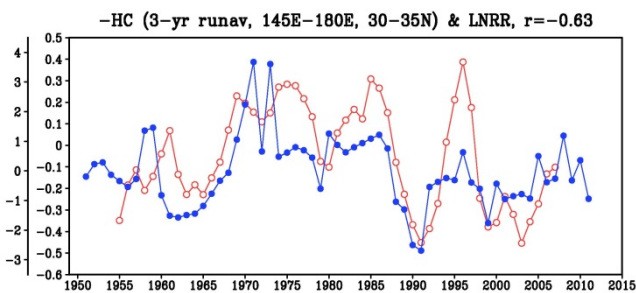


図 1. 再生産成功率対数残差 (●, 外側軸) と、符号を反転し 3 年の移動平均で平滑化した黒潮続流域南部海域 (140–180°E, 30–35°N) での 0–400 m 水温偏差時系列 (○, 内側軸) との比較。両者の相関係数は -0.63 である。

我々も SUPRFISH の研究の一環として、独自に格子化した水温データセットを用いて、水温とマイワシの再生産成功率対数残差 (再生産関係にリッカー型再生産曲線を当てはめて得られる対数残差) との関係を解析した。再生産成功率対数残差は、Yatsu et al. (2005) に従って本田氏が計算したものを、同氏より提供いただいた。この再生産成功率対数残差と、0–400 m 平均水温偏差との相関係数は、日本の南から黒潮続流の南にかけての領域で顕著な負の相関を示す。Noto and Yasuda (1999) が注目した黒潮続流南部海域 (140–180°E, 30–35°N) の 0–400 m 平均水温と再生産成功率対数残差は、1980 年代の減少期だけでなく、上記先行研究 (Noto and Yasuda 1999; Nishikawa and

Yasuda 2008) で扱われていない 1960 年代の増加期にも対応が見られる (図 1)。これらの増加期と減少期は、20 世紀後半の 2 回のマイワシのレジームシフトに対応する。

3. 予測

鍵となる物理パラメータが明らかになれば、それがどの程度事前に予測できるのか、が問題となる。物理環境の予測で今日注目を集めているのが、適切な初期値から気候モデルの積分を初めて数年から十年程度の予測を可能としようとする decadal prediction である。

しかし残念ながら、北太平洋での予測のスキルは北大西洋でのそれよりも遙かに小さい。Kim et al. (2012) が IPCC AR5 用に計算された複数の気候モデル計算を Pacific Decadal Oscillation (PDO) について解析したところ、予測開始から 1–4 年後、2–5 年後、3–6 年後、4–7 年後、5–8 年後の平均値で、複数モデル平均 (multi model ensemble) およびほぼすべてのモデル結果が、単純に初期状態が持続するという仮定での予測に比べて予測能力が低かった。これは、大西洋の大西洋数十年振動 (Atlantic Multidecadal Oscillation) では 2–5 年平均以降は、常に複数モデル平均が持続予測を予測能力で上回っているのと対照的である。これらの気候モデルには潮汐混合の 18.6 年変調などは導入されていないので、その効果がより強い予測可能性をもたらすことはあり得るが、今後 5 年程度でその点で国際的なコンセンサスが形成されることはおそくない。したがって当面は PDO などを予測するというに、大きな望みを持つことはできない。PDO 自体は予測できなくとも、PDO を生じさせるアリューシャン低気圧の変動やあるいは他の大気変動は、海洋中のロスビー波などの伝播現象を引き起こして、西部北太平洋に 1–数年の予測可能性をもたらし得る。この点では、本シンポジウムの野中氏の講演を参照されたい。

4. 議論

現時点での予測手法としては、ロスビー波伝播を含めた海洋のメモリー効果による予測を、適切なモニター手法と結びつけて実行することが有望であろう。ただこの場合でも、どの物理パラメータが鍵となるかが決着していないという問題は残る。より詳細な解析・観測・実験で、その問題の解決を図るとともに、海洋物理モデルと海洋生態系モデルを結合して予測実験を行うことも、今後の重要な方向となるだろう。

黒潮続流の海洋物理構造とマイワシ加入との関係

安田一郎¹・西川悠²・伊藤幸彦¹・小松幸生^{1,3}

1: 東大大気海洋研, 2: JAMSTEC, 3: 東大院新領域

キーワード: マイワシ、黒潮、黒潮続流、混合層深度、水温、鉛直混合

【はじめに】マイワシ太平洋系群の資源変動は、後期仔魚から1歳魚までの生残が年によって大きく変動するために生じることが1979-1992年における卵仔魚-1歳魚量データから示された(Watanabe 他 1995)。

マシラスから1歳魚までの死亡係数が、黒潮続流域とその南側再循環域(KESA: 145-180E, 30-35N)における冬季から4月の海面水温と正の相関があり、マイワシの急激な減少を引き起こした1988-1994年の生残の悪化はKESAの水温上昇に指標される環境変動が引き起こした(Noto・Yasuda1999)。マイワシの長期変動は、密度効果を考慮し、KESAでの冬季海面水温を入力値とする経験的資源モデルで再現された(Noto・Yasuda2003FOG)。マイワシとカタクチイワシの仔魚の成長速度と水温との比較から、マイワシの最適成長水温が約16°Cでカタクチイワシに比べて高く、仔魚の生息水温が低い環境でより仔魚の成長が良いことから、生き残りも良くなる可能性が示唆された(Takasuka 他 2007)。観測された産卵場からの輸送経路に沿った平均水温とマイワシとカタクチイワシの生残率を比較した輸送実験からは、カタクチイワシは卵仔魚の初期における最適水温に明確に影響されるが、マイワシについては水温と生残率との関係はカタクチほど明確ではない(Itoh 他 2009FOG)。

黒潮続流域(140-160E, 32-35N)付近の冬季混合層深度とマイワシのシラス期から1歳魚までの死亡係数の間には負の相関関係があり、1988-1994年の冬季混合層深度の浅化に伴い春季の仔稚魚に対する餌環境が悪化した可能性が示唆された(Nishikawa・Yasuda2008FOG)。黒潮続流域に投入され1.5年2冬に渡って混合層とクロロフィルの変化を追尾したフロート観測により、黒潮続流の南側海域では、クロロフィル濃度は季節的には冬季に最大となり、鉛直積算したクロロフィル量は、混合層深度が200m未満の場合は混合層深度にほぼ比例して増加、250m以上になると急減していた(Yasuda・Watanabe2007FOG)。このように混合層深度は栄養塩濃度と光環境を通じて、餌環境に影響することが示唆されている。Takahashi 他(2008;2009)は混合水域でのマイワシ稚魚期の成長が大きく変動し生残と関連し、分布や成長速度が水温と餌密度に関連することを示した。

以上のように過去の研究からは、黒潮続流域

冬季の水温または混合層深度の変動、あるいは、混合水域の環境変動が、マイワシの生き残りに影響することが示唆されてきた。

【本州南岸黒潮流軸とマイワシ生残変動】

過去の研究では、観測あるいはモデルのデータを用いて環境変動とマイワシ生き残りの関係が調べられてきた。一方、その南北で環境が激変する黒潮は、流軸位置の変動が大きいために、黒潮流軸付近に現れる変動が流軸位置の変動によるものなのか流軸付近の環境変動によるものなのか見分けることができないため、流軸付近の環境変動とマイワシ生残との関係が見逃されてきた可能性がある。

Nishikawa・Yasuda・Itoh(2011FOG)では、観測された大気場で駆動した海洋高解像度モデルの出力を用い、黒潮流軸に相対的な緯度座標を適用することによって、黒潮流軸に相対的な場所での環境変動を取り出し、マイワシ生残と比較した。その結果、四国沖から房総沖160E付近までの黒潮・黒潮続流流軸付近の冬季・春季の表層水温及び冬季の混合層深度とマイワシln(RPS)の間に明瞭な相関関係があり、水温が低く混合層深度が深い年に生残が良いことを示した。本州南岸から房総沖の黒潮流軸付近は、1980年代のマイワシ高水準期には、主要な産卵・輸送海域となっており、その場所でマイワシの生残と相関関係が見られたことは、黒潮流軸近辺の水温・餌環境がマイワシの資源変動に関わっていたことを示唆している。

このような黒潮流軸付近の水温・混合層深度の変動は、黒潮の強弱(流速)と冬季の冷却の強弱で決まる(Nishikawa・Yasuda2010JO)。東シナ海から本州南岸を黒潮が流れる間に受ける積算された冷却は、冷却自体の強度と冷却を受ける時間の積に比例し、冷却時間は流路長に比例し流速に反比例する。マイワシの生き残りが悪かった1988-1994では、黒潮流速が強まり、冷却が弱かったことが、水温上昇・冬季混合層浅化をもたらした。

同化モデルと衛星水色画像を併せ、四国南黒潮流軸付近に冬季に投入した仮想卵仔魚追跡解析から、黒潮流軸北側の黒潮前線域で冬季の混合層深度が大きい年に、春季の植物プランクトン濃度が高いという正の相関関係があり、高解像度生態系モデルの解析から、深い混合層の形成に伴う栄養塩の取り込みによって春季黒潮続流域での餌環境が維持されることが示唆された。(Nishikawa 他 MEPS印刷中)。

【さいごに】

黒潮続流流軸付近で春季高いクロロフィル濃度が持続することは、2009年春季にSUPRFISHプロジェクトで投入したクロロフィルセンサ付きのプロファイリングフロートの観測(Itoh 他投稿中)でもみられ、黒潮前線付近での強い鉛直混合(Kaneko 他 GRL2012)によって持続的に栄養塩が供給されることも明らかとなった(Keneko 他 2013投稿中)。本州南岸から黒潮続流・混合水域にかけてのマイワシ卵稚仔輸送経路に沿った、冬季から春季の環境変動がマイワシ資源変動に重要であると考えられ、これらの海域・季節での生物と環境、マイワシ生残との関連の実態の解明が期待される。

黒潮続流域とカリフォルニア海域の物理環境の相互関係

○田口文明・野中正見・中村尚・Emanuel Di Lorenzo

海洋研究開発機構 東大先端研 ジョージア工科大

キーワード: 北太平洋十年規模変動・North Pacific Gyre Oscillation・資源変動

1 はじめに

北太平洋の西岸に位置する黒潮続流域と東岸のカリフォルニア海流域で、マイワシやカタクチイワシなどの資源変動量が数十年の時間スケールで同期的に変動することが知られている。農林水産省のプロジェクト研究「魚種交替の予測・利用技術の開発」により、太平洋中央～東部の海上風変動の影響が海洋ロスビー波で西岸域に伝播することで、黒潮続流域の物理環境、生態系及びマイワシ資源の変動を引き起こすことが明らかになった。また近年の研究から、この風系変動はカリフォルニア海流域の物理・生態系環境にも影響を及ぼすこともわかってきた。本講演では、北太平洋東西の資源変動の同期性・非同期性のメカニズム解明に資することを目的として、太平洋中央～東部の風系変動が太平洋の東西の海洋物理環境に及ぼす影響について既往研究のレビューを行うとともに、筆者らの最近の研究から、北太平洋で卓越する十年規模変動が数十年のスケールで入れ替わる長期変動について紹介する。

2 北太平洋十年規模変動: PDO vs NPGO

北太平洋の海盆スケールの十年規模変動を表現する指数として、Pacific Decadal Oscillation (PDO, Mantua et al. 1997) が良く知られている。PDOは、北緯20度以北の海面水温 (SST) 偏差 (月平均気候値からのずれ) の経験直交関数 (EOF) 第1モードで定義され、黒潮続流域とカリフォルニア海流域では、逆位相の SST 偏差を伴うが、その時系列は小型浮魚類資源量の両海域での同期的変動と良く一致する (例えば Takasuka et al. 2008, Fig.1)。最近になって、もう一つのモード North Pacific Gyre Oscillation (NPGO) が注目されている。NPGOは、東部北太平洋の海面高度偏差の EOF 第2モードで定義され、その時系列は、PDOでは十分に説明がつかなかったカリフォルニア海流域の塩分、栄養塩、クロロフィル濃度の観測時系列を良く説明することができる (Di Lorenzo et al. 2008, 2009)。これは NPGO と相関する海上風の分布が、カリフォルニア海流域で湧昇を促す海岸に沿った北西風偏差を伴うことと春先の湧昇開始期の1-2か月の変動を伴う (Chenilhat et al. 2012) ことと関係している。この沿岸風偏差は North Pacific Oscillation (NPO) と呼ばれる対流圏下層の大気循環偏差の一部であり、NPOは北緯40度付近に節を持ちその南北で逆符号の回転成分を持つ空間分布を示す。NPGOはまた、NPOに伴う海面風応力カールによって駆動された東部北太平洋の亜熱帯/亜寒帯循環とその循環境界に沿う北太平洋海流の強度変化を表す (Chhak et al. 2009)。

3 NPGO と黒潮続流流速変動

Taguchi et al. (2007) では、高解像度海洋循環モデル OFES による50年以上に及ぶ過去再現実験の結果を解析し、続流の変動をその南北変位と流速変化の2つのモードで記述した。南北変位の時系列は1976/77年の気候シフトに伴うアリューシャン低気圧の強化に

対する海洋応答 (Miller and Schneider, 2000) と整合的であり、また流速変化の時系列は10-15年の規則正しい振動を示す。これらのモードの時間変動は、海上風変動に対する海洋の傾圧ロスビー波応答で説明できる。Ceballos et al. (2009) は、NPGOの時系列が黒潮続流変動の第2モードである流速変化の時系列と3-4年の遅れで良く相関することに着目し、NPOによって駆動された NPGO に伴う北太平洋東部の海洋循環の変動と、黒潮続流の流速変動が、太平洋東部から西岸に伝わる傾圧ロスビー波によってリンクしていることを示した。すなわち、NPOに伴う海上風変動は、カリフォルニア沖で湧昇を促し栄養塩やクロロフィルに変動をもたらすと同時に、北太平洋東部の亜熱帯/亜寒帯循環の強化とそれに伴う密度躍層の変動の西への伝播により黒潮続流の流速変動を引き起こす。黒潮続流の流速変動はマイワシ稚魚の生残率と密接に関連していることから (Nishikawa and Yasuda, 2011)、大気強制と海洋ロスビー波を介したカリフォルニア沖と黒潮続流域のリンクは、小型浮魚類の東西で同期する資源変動量と関係しているかもしれない。NPGOと黒潮続流の流速変動の共通の大気強制である NPO は、ストームトラック変動に伴う大気の内変動 (Linkin and Nigam, 2008) と、一部は熱帯中央部の対流活動変動からの遠隔影響によって変動していると考えられている (Di Lorenzo et al. 2010)。熱帯からの遠隔影響は、NPGOに伴う太平洋全域の SST 偏差分布が赤道を挟んでほぼ南北対称であることと整合的であり、南米沖のフンボルト海流域への影響も興味深い。

4 北太平洋十年規模変動の数十年変動

1990年代以降、長期間では第2モードとして現れる NPGO の変動の振幅が増し、第1モードの PDO の変動振幅と同等かそれ以上になることが報告されている。このことは、北太平洋で卓越する十年規模変動のモードが、着目する年代によって入れ替わり得ることを示唆する。そこで、OFESとそれを駆動した大気再解析データを用いて、この海盆スケール卓越モードの長期変動と海洋前線変動との関係を調べた。その結果、海盆スケールの SST 変動に PDO 的な分布が卓越する年代においては、大気循環の変動はアリューシャン低気圧の強弱を伴い、黒潮続流域の海洋前線の南北変位を示すこと、また一方で、SST/高度変動に NPGO 的な分布が卓越する年代は、大気循環変動は NPO 的な南北双極子分布を伴い、黒潮続流域では続流の流速変動が卓越することが分かった。海洋前線変動を表現する大気海洋結合モデル CFES の長期積分においても、同様の北太平洋十年規模変動の卓越モードの入れ替わりが確認できた。この数十年変動とレジームシフトとの関係や、この変動と北太平洋東西の資源変動の同期性・非同期性との関係については、今後の課題である。**謝辞:** OFES の出力は佐々木英治博士から提供を受けた。CFES の積分は地球シミュレータで実行した。

太平洋の東西における浮魚資源の変動と生物特性

○高須賀明典・青木一郎・大関芳沖

(水研セ中央水研)(東大院農)(水研セ中央水研)

キーワード：魚種交替・生物特性・環太平洋海域・海流域間比較

1. 魚種交替様式

カタクチイワシ (*Engraulis* spp.) とマイワシ (*Sardinops* spp.) の間で優占魚種が入れ替わる魚種交替は、黒潮海流域、カリフォルニア海流域、フンボルト海流域、ベンゲラ海流域で顕著に見られ、変動様式は1サイクル約50年である。太平洋東西間では、海表面の水温レジームが逆転しているにもかかわらず、魚種交替は同期する傾向があった(図1)。一方、環太平洋海域と南アフリカ沖では魚種交替は逆になる傾向があった。ただし、カリフォルニア海流域の1970年代後半からのマイワシ増加はカリフォルニア湾内の個体群増加によるところが大きい。そして最近数十年は黒潮-カリフォルニア海流域の同期は崩壊している。一方、黒潮-フンボルト海流域の同期性は極めて高い。ただし、直近年、黒潮海流域で見られたようなマイワシ加入量増加の兆しはフンボルト海流域では見られていない。資源水準は、黒潮海流域のマイワシとフンボルト海流域のカタクチイワシが群を抜いて高く、両海域ではカタクチイワシとマイワシの資源水準最大値に大きな差がある。一方、カリフォルニア海流域では魚種間差が大きくない。

2. 資源変動と空間利用

異なる4つの海流域において、カタクチイワシとマイワシの分布域は資源変動に伴って拡大・縮小する。資源水準、分域、個体群密度の関係を見ると、資源水準に対して分布面積や密度はアロメトリー関係にあったが、資源水準に伴う空間利用や密度変化には魚種間差・海域間差が見られた。また、黒潮海流域では沖合方向の拡大・縮小が顕著であるのに対して、カリフォルニア海流域では南北方向の拡大・縮小が顕著である。カリフォルニア海流域では産卵場ホットスポットが複数あることや遺伝的な個体群分離の可能性が指摘されており、資源変動の複雑さを招いていると考えられる。

3. 生物メカニズムの仮説

湧昇域では、カタクチイワシとマイワシの摂餌戦略の違いによって魚種交替を説明する生物メカニズムの仮説が最も有力である。カタクチイワシの方が粗い鰓耙を持ち、つばみみ摂餌に有利なのに対し、マイワシの方が細かい鰓耙を持ち、

濾過摂餌に有利であることは異なる海流域に共通である。ただし、黒潮海流域では実際の消化管内容物や安定同位体比特性に大きな魚種間差が見られなかった。そして、沖合生育場での混合層の深化、表面水温低下、プランクトン生産量増大がマイワシ加入成功につながることを示す研究成果が積み重ねてきている。従って、プランクトン生産量自体や季節変化の方が重要である可能性が高い。一方、水温は初期成長や産卵に直接的にも影響する。初期生活史における成長速度最適水温はカタクチイワシとマイワシ間で約6°C異なり、魚種間での水温特性の相似性・相違性は資源変動の相似性・相違性を良く反映している。

4. 産卵応答特性の海域間比較

複数の環境要因に対する産卵応答特性を魚種間・海流域間で比較すると、生物特性は属特有ではなく種特有であることが明瞭に示される。物理要因(水温・塩分)に対する産卵応答においては、黒潮海流域のカタクチイワシは高温性・広温性、低塩性・広塩性、マイワシは低温性・狭温性、高塩性・狭塩性であったが、この魚種間関係は黒潮海流域とカリフォルニア海流域間で逆転していた。これは逆転した水温レジームの下で魚種交替が同期した一つの要因となり得る。生物要因(動物プランクトン・クロロフィル)に対する産卵応答においても大きな魚種間差・海域間差が見られ、産卵におけるエネルギー投資戦略の違いで解釈された。黒潮海流域のカタクチイワシは産卵エネルギーを産卵時の餌に依存する“income breeder”の特性を示したのに対し、マイワシは産卵前の蓄積エネルギーに依存する“capital breeder”の特性が強かった。一方、カリフォルニア海流域のカタクチイワシとマイワシは共に“capital breeder”の特性を示した。生物特性の魚種間差異はカリフォルニア海流域よりも黒潮海流域の方が遥かに大きく、これが黒潮海流域に特異的な資源変動レベルの魚種間での桁の違いを生む一因であると考えられた。さらに、フンボルト海流域のカタクチイワシも“capital breeder”の特性を持つ可能性が高いことから、カタクチイワシが“income breeder”の特性が強いのは黒潮海流域に特異的である可能性が考えられた。

黒潮続流低次生態系の特性と変動機構

○ 高橋一生 (東大院農学生命)

キーワード： 黒潮続流・低次生態系・動物プランクトン・浮魚餌料

小型浮魚類の魚種交替現象は海洋物理構造の変化に伴う、生態系遷移現象であることが示唆されている。海洋物理構造の変化に起因する低次生態系構造の応答、すなわち浮魚類の初期餌料であるプランクトンの生物量・生産量・群集構造の変化は生態系遷移を説明する上で重要な過程であるが、その理解は乏しく、魚種交替現象の予測にとって大きな障壁となっている。2007年から2012年まで行われた農林水産省のプロジェクト研究「魚種交替の予測・利用技術の開発」では、マイワシ、カタクチイワシ、サバ類の加入量決定の場となっていると考えられる黒潮および黒潮続流域とその周辺海域において、物理環境変化に伴う低次生態系構造の変動機構を明らかにすることを目的として研究が進められた。以下に、プロジェクトで明らかにされた黒潮続流低次生態系の特性と変動機構の概要、とくに基礎生産と主要な餌料性動物プランクトンであるカイアシ類群集の特徴について述べる。

黒潮続流域の基礎生産：過去の海色衛星データの解析から黒潮続流域の海面クロロフィル分布には明瞭な季節変化が認められ、3月から5月にかけてブルームが形成されること、南北方向では、その範囲は北緯35°～37°であること、北緯35°以南ではブルーム形成が弱いこと、東西方向には最も顕著なブルームは東経144°～147°の範囲で起こること、ブルーム形成は154°以東にも及ぶことが明らかになった。ほとんどの場合、植物プランクトンは黒潮流軸の北側で高く、南側で低い。一方同時期の混合層深度は黒潮流軸の北側で浅く、南側で深くなる分布となり、北側では混合層深度の浅化によって光制限が解除されることにより、植物プランクトンのブルームが起こっていることが示唆された。ブルーム形成は年1-3回程度発生し、1回の持続期間が8日～40日程度であると見積もられた。

2008-2011年に行った7回の現場観測により、春季ブルーム前から春季ブルーム期に至る黒潮・黒潮続流域植物プランクトン群集の基礎生産速度と群集動態を把握した。ブルーム期にはブルーム前後に比べ3-4倍の基礎生産量の増加が認められた。全期間を通して主要な基礎生産者は10 μm以下の小型群集であったが、ブルーム期には珪藻類を主体とする大型種が相対的重要性を増した。一方海域全

体としてはクリプト藻類およびブラシノ藻類現存量が高く重要な餌料となっている可能性が示唆された。

黒潮続流域の動物プランクトン群集：春季における黒潮続流周辺海域では主に親潮域、移行域北部、移行域南部、亜熱帯域の環境に対応したカイアシ類群集が認められた。さらに移行域南部の群集は黒潮続流ブルーム期前、黒潮続流ブルーム期、黒潮続流ブルーム期後の3つのグループに分けられた。混合域南部群集はいずれの群集でも *Paracalanus parvus*, *Ctenocalanus vanus*, *Clausocalanus* spp., *Oithona* spp., *Oncaea* spp., 等が優占種となるが、個体密度は黒潮続流ブルーム期群集 (平均9200個体/m³) で最も高く、次いでブルーム期前 (平均6100個体/m³)、ブルーム期後 (平均4200個体/m³) 群集の順で低くなった。

マイワシ、カタクチイワシ等の主餌料となっているカイアシ類 *Paracalanus parvus*, *Oncaea venusta*, *Corycaeus affinis* はいずれもブルーム期群集の主要構成種であり、とくに *P. parvus* は、ブルーム期前・後の群集でも最優占種であった。本種は、珪藻だけでなく小型藻類を摂食し、広い温度範囲で安定的な再生産を行う性質をもつため、黒潮続流～移行域にかけて常に優占種となっていると考えられる。しかしながら船上実験の結果から珪藻等大型藻類への摂食選択性が強い事、現場の珪藻類の増加は卵生産速度上昇をもたらす事、栄養段階を示す窒素安定同位体比は10 μm以上の画分の基礎生産速度と負の有意な相関がある事が示され、ブルーム期の大型藻類の増加が本種の個体数増加に寄与していると考えられる。本種個体密度は栄養塩供給があり、大型藻類の増殖しやすい続流峰北縁や蛇行の谷内側で高く、物理構造に基づく基礎生産が浮魚の餌料環境形成に重要であることが裏付けられた。一方、*O. venusta* は尾虫類ハウスを主餌料とするデトリタス食者、*C. affinis* は他動物プランクトンを主餌料とする肉食者であることが明らかになった。種類毎の炭素・窒素安定同位体比マッピングは、黒潮続流域には植物プランクトンと、尾虫類のハウスを起点とした食物連鎖が存在している可能性を示唆しており、このような異なる系から構成される食物網構造が、環境変動の激しい黒潮続流における浮魚仔稚魚の餌料供給をある程度保証していると考えられる。

マイワシ、マサバの加入過程と 生残機構の解明に向けて

○川端 淳・高橋正知・須原三加・渡邊千夏子・本田 聡・久保田洋
(中央水研)

キーワード：太平洋系群・加入量・再生産成功率・RPS

日本周辺のマイワシ、マサバ資源の変動は、おもに加入量の変動に因るものであり、太平洋系群で顕著である。両種の太平洋系群は、いずれも主な産卵場が本邦南岸の黒潮内側域であり、ふ化した稚仔魚は沿岸への流れに取りこまれて沿岸域で成長するものと黒潮に運ばれて黒潮統流～移行域～亜寒帯域で成長するもの（以下、沖合加入群）に大きく分けられる。沖合加入群の出現状況は、親魚量や産卵量とはリンクせずに毎年大きく変化し、それはその後の漁場への来遊量や漁況とよく対応することから、加入量の多寡は沖合加入群の生残率に大きく依存する。

沖合加入群は、分布範囲が海流の移送に依存するため、資源量を反映せずに少ない年でも広域に拡がる。広大で餌密度が（時期、場所によって）高いが環境の変化の大きい外洋域を生育場として利用するため、空間や餌をめぐる競争は低減して資源量の増大が可能である反面、移送のされ方のわずかな違いによって全く性質の異なる水塊へと運ばれるなど様々な環境の影響を受け、毎年変化する海洋環境において生残率が大きく変化していると考えられる。

太平洋系群の産卵は、マイワシは11～6月に亘り、産卵量は2～3月に多い。マサバは4月中心で3～6月である。沖合加入群のふ化時期は、耳石輪紋解析による推定結果から、いずれも4月を中心とした春季に限られ、マイワシでは3～5月、マサバでは3～6月である。春季のブルーミング期の、且つカツオ、ビンナガといった生物量の多い暖水性捕食者の来遊前の移行域で生育可能な、限られた時期にふ化した個体だけが生残可能であることが想定される。

沖合加入群の加入量は、マイワシでは夏秋季の亜寒帯域、マサバでは春夏季の移行域、それぞれにおける幼魚（若魚）の出現状況でよく指標され、いずれも稚仔魚期までの生残率によっておもに決まると考えられる。稚仔魚期は、マイワシでは数ヶ月に及び、産卵場から黒潮に移送されて移行域に分布する時期にあたる。マサバでは1ヶ月弱であり、伊豆諸島周辺を中心とする産卵場から移行域への移動時期にあたる。これらの時期、海域における経験環境が生残に大きく影響すると考えられる。

生残率は、再生産成功率（加入量／親魚量、RPS）で指標される。近年では、マイワシは2005、2010年、マサバは2004、2009年が高く、両種とも2006年が低かった。沖

合加入群の主体となる4月ふ化個体で見た場合、両種とも稚仔魚期の成長率が高い（低い）年はRPSが高い（低い）関係が見られ、成長と生残の関係が示唆される。

稚仔魚の成長、生残と経験環境との関係について、現場での採集調査結果と衛星観測結果による環境場（流れ・水温・Chl-a（餌指標））を用いた卵・稚仔魚の移送・回遊モデルによる検討が進められている。マサバは、稚仔魚期の経験水温が20℃程度と高い（2004年）と成長率、生残率が高くなり、18℃程度と低い（2006年）と低くなることが示唆された（高橋ほか2010）。稚仔魚期の成長が生育水温に大きく影響されることは飼育実験によって明らかにされている（米田ほか2010）。マイワシは、稚仔魚期に好適水温（17℃前後）と高密度Chl-aを経験した個体は成長率が高く、亜寒帯域の索餌場への回遊が可能となって生残することが示唆された（Okunishi et al. 2012）。マイワシ稚仔魚の餌環境については、黒潮統流～移行域における主要な餌生物組成や、稚仔魚が遭遇する餌環境が細かな時空間スケールで変動することが明らかにされており（岡崎ほか2010）、餌環境と成長の変動を比較する際にはそれぞれの時空間変動性を考慮することが必要である。

加入における母性効果も示唆されている。マイワシは、1980年代の資源高水準期には密度効果による索餌期の親魚の肥満度低下がみられ、それによって卵質が低下して1980年代末の環境変化における極めて低いRPSにつながったとの考えがある。マサバは、資源水準が高く4歳以上の経産魚の割合が高かった1970年代～80年代前半では、産卵は4月に集中し、RPSの年変動は小さかった（CV50%）が、資源が減少し産卵期が遅れる傾向にある初回産卵魚の割合が高くなった1980年代末～2000年代前半では、産卵のピークが不明瞭で5～6月の産卵の割合が相対的に高くなり、RPSの年変動は非常に大きく（CV134%）なった。親魚の減少と若齢化による産卵量の減少や産卵期の遅延、卵質の低下などが影響して環境の変化に対する加入動向の応答が大きくなったと考えられる。これらに関しては飼育産卵実験によっても明らかにされてきており、高齢経産魚による好適期の良質の産卵は、卵・稚仔魚期の生残率を高めて年々の加入の環境変化への耐性を高める効果を持ち、資源の増加、維持を図る上で重要であると考えられる。

マサバの加入機構に関する実験アプローチ： 初期生態に及ぼす母性効果と水温影響

○米田道夫・北野 載・松山倫也・高橋正知・川端 淳・清水昭男
(水研セ瀬戸内水研) (九大院農) (水研セ中央水研)

キーワード：産卵経験，卵質，成長率，年齢構成

【目的】

近年、複数の水産重要魚種において産卵親魚群の繁殖能力と初期生態の関係、いわゆる母性効果、の理解が加入量変動機構を解明する上で重要であることが認識されている。マサバ太平洋系群では資源水準によって産卵親魚群の年齢構成や産卵期間（盛期）などが変化していることが報告されている。このため、それら生物特性の変化が加入量の多寡にも影響を及ぼしている可能性が示唆されているが、具体的な検証はこれまでなされていない。本研究では、マサバの初期生態に及ぼす母性効果や水温影響を明らかにすることを目的として、卵サイズや仔魚の生残率に及ぼす影響、仔稚魚の成長率と水温の関係などを飼育実験により調べた。さらに、黒潮移行域で採集された加入魚の成長率（経験水温）や既往知見などを統合し、親魚群の繁殖能力に基づいたマサバ太平洋系群の加入機構を考察した。

【方法】

2010, 2011 年にマサバ 1~3 歳魚を九州大学大学院附属水産実験所へ搬入し、3~20 トン水槽複数基にそれぞれ収容した。生殖腺のバイオプシーにより個体の成熟状況を把握した後、GnRHa を背筋部に投与することにより産卵を誘導させた。実験期間中、親魚は自然日長・水温にて飼育し、約 1% 体重/日の配合飼料を給餌した。産卵期間中、受精卵を毎日採取し、その一部を 10% ホルマリンで固定した。卵体積と油球体積をそれぞれ求め ($4/3\pi r^3$, r = 半径 (mm)), 卵黄体積を次式により求めた: 卵黄体積 (mm^3) = 卵体積 - 油球体積。産卵直後の受精卵を複数の異なる恒温水槽へ収容し、仔魚の成長と生残を調べた。卵サイズ、生残率、成長率に及ぼす影響を一般化線型モデル (GLM) により評価した。発育初期の成長率と水温の関係を調べるため、受精卵を 17, 20, 23°C の水温区に収容し、ワムシ、アルテミアを給餌しながら 25 日齢まで飼育した。

【結果と考察】

- 卵サイズに及ぼす水温と年齢（産卵経験）の影響
受精卵（卵黄・油球体積）は、雌個体の年齢に拘わらず、水温上昇および産卵経過に伴って小さくなった。一方、1 歳魚（初回産卵）の受精卵は、産卵期間中の

いずれの水温帯においても、3 歳魚（経産卵）に比べて有意に小さかった。

● 卵・仔魚の生残に及ぼす影響

無給餌飼育により卵発生~孵化後数日の仔魚の生残率を調べたところ、同じ発育水温では、大型卵由来ほど経過時間当たりの生残率が小型卵由来に比べて高いことが示された。また、各水温における孵化時の生残率を比較したところ、同じ卵サイズ由来でも発育水温が高くなるにつれて生残率が減少し、特に小型卵ではその減少が顕著であった。

● 孵化~摂餌開始時における成長率

孵化仔魚の日間成長率は孵化時の卵黄量と発育水温によって影響を受けることが明らかとなった。すなわち、孵化時に卵黄量が多い個体ほど成長率が高くなり、また、一定の卵黄量であれば高温の個体ほど成長率が高くなるものがそれぞれ示された。

● 仔稚魚の成長・発育と水温の関係

孵化後 25 日目の体長（発育段階）は水温によって異なり、20°C 区と 23°C 区（稚魚~若魚期）は 17°C 区（仔魚期）に比べて約 6, 9 倍の差違がそれぞれ認められた。

● 加入主群の経験水温

黒潮移行域で採集された稚魚の平均日間成長率（25 日齢まで）と飼育実験から求められた孵化後 25 日までの日間成長率と水温の関係式から、加入主群が経験した発育初期の水温は 18~21°C であると推定された。

以上の結果から、マサバの初期生態には雌親魚の年齢・産卵経験が重要な役割を果たしていることが明らかとなり、高齢魚（経産卵）は若齢魚（初回産卵）に比べて良質の卵を産むと考えられた。また、同年齢群でも、低水温時に産み出される受精卵は高温時に比べて卵質が良いことが示された。一方、加入主群が発育初期に経験したと考えられる水温は、太平洋系群の主要産卵場（伊豆周辺海域）における 4~5 月上旬（産卵期前半）の水温に相当することが判明した。これらの結果と既往知見から、産卵期前半（低水温）から産卵を開始する経産卵（高齢）魚は、産卵期後半（高温）に産卵のピークを迎える初回産卵（若齢）魚に比べて、加入成功の貢献度が極めて高いと推察された。

魚種交替に伴う生態的特性の変化

○渡邊良朗*・勝川木綿*・渡邊千夏子**

*東大大気海洋研・**水研セ中央水研

キーワード: 小型浮魚類・生態的特性変化・補償的応答

【目的】 資源量変動に伴って魚類資源は生態的特性を変化させる。たとえば、1980年代の高水準から90年代の低水準への移行に伴って、マイワシの年齢別体長は大きくなり、半数成熟年齢・体長は低下した。このような生物学的特性変化の実態を明らかにするために、イワシ類とマサバの1960年代以降のデータを収集し、年齢別データとして構造化して、資源量変動に伴う生態的特性変化を具体的に記述した。記述された変化が、可塑的な補償的応答(compensatory response)として捉えられるのか、遺伝的变化に伴う進化的応答(evolutionary response)と考えられるのか、高水準期あるいは低水準期の生態的特性が資源量変動の要因としてどのような意味を持つかを考察した。

【材料と方法】 マイワシ、カタクチイワシ、マサバの太平洋系群に関する1960年代以降の体長、体重、年齢、生殖腺重量の資料を収集・整備して時系列データを構築した。各魚種について、成熟♀の体長組成、肥満度、体生殖腺指数(GSI)、半数成熟体重・体長などの生態的特性値が、資源量(漁獲量)変動に伴ってどのように変化したのかを記述し、太平洋側の海域間で変化傾向を比較した。また、生態的特性変化が密度依存的な応答として理解されるかを検討した。

【結果と考察】 マイワシ繁殖特性の海域差: 南区(日向灘・土佐湾、11~1月)と中区(外房~熊野灘、2~4月)における繁殖特性を比較した結果、黒潮域に滞留する群と考えた南区では、若齢時から繁殖への投資比(GSI)が高く、2歳以降ほぼ一定となった。この傾向は、80年代から90年代を通して保持された。これに対して、親潮域まで北上する群と考えた中区では、繁殖への投資比が80年代を除いて年齢とともに直線的に増加した。両海区間でこのような繁殖特性の違いについて、生産力の大きい移行域以北で索餌する北上群は大型で晩熟となったのに対して、相対的に餌が少ない黒潮域に生息する滞留群は若齢時からエネル

ギーの多くを繁殖に投資して若齢で成熟すると考えた。

マイワシの生物学的特性の年代差: 1970年代以降の資源量増加にともなう、中区の北上群では、年齢別平均体長・体重と繁殖投資量および肥満度が減少し、半数成熟年齢が上昇した。1990年代以降の資源量減少に対応してこれらのパラメタが元に復した。このような変化は資源密度変動に応じて補償的に起こる変化と考えられた。これに対して、南区の滞留群では、肥満度および0、1歳の平均体長とGSIは資源密度変動に応じた変化を示さなかった。

カタクチイワシの生態的特性値: 北区と中区におけるカタクチイワシの産卵盛期は4~6月で差がなく、年代による変化がなかった。また、繁殖投資量も資源量変動に対応した変化を示さなかった。カタクチイワシは寿命が短く資源量変動幅が小さいこと、蓄積エネルギーをすぐに繁殖に投資するincome breederであることから、資源密度変化に対応した生活史特性変化が現れにくいと考えられた。

マサバ太平洋系群の体長・肥満度・生殖腺重量: 1960年代以降の産卵量増加にともなう、年齢別平均体長・肥満度が減少した。1990年代以降の資源量減少に対応してこれらのパラメタが復元した。マサバのGSIは資源量に対する補償的応答を示さなかった。

表 資源量と生態学的特性値の変動係数。資源量Bに対して補償的応答が見られる特性値を*で示す。*では、資源密度が増加すると体長BL、肥満度CF、卵巣重量GW、繁殖への投資比率GSIが減少する。

	期間	B	BL	CF	GW	GSI
マイワシ 滞留群2歳	1978 -2008	0.41	0.05*	0.07	0.51*	0.40*
マイワシ 北上群3歳	1963 -2006	1.16	0.06*	0.08*	0.67*	0.55*
マサバ 3歳	1970 -2009	0.96	0.03*	0.06*	0.27*	0.15
カタクチ イワシ	1963 -2004	0.51	0.09	0.08	0.33	0.14

マイワシ資源変動機構の理解への数値モデルによる試み

○奥西 武(1)・安倍大介(2)・伊藤進一(1)

(1) 水研セ東北水研, (2) 水研セ中央水研

キーワード: マイワシ、資源変動、数値モデル

1) はじめに

マイワシ、カタクチイワシは気候変動指数と同期して逆位相に資源が数十年スケールで大きく変動する。北西太平洋では、寒冷期にマイワシ資源が増大し、温暖期にカタクチイワシ資源が増大することが知られている。マイワシ仔魚の成長速度の好適水温帯は、カタクチイワシ仔魚より低いと報告されており、種間の生態的特徴と海盆スケールの水温変動からこの2種の数十年スケール資源変動を説明することに矛盾はない。しかし、マイワシ当歳魚の加入率は年変動が大きく、仔魚生息域の水温変化のみで、その変動を説明することは困難である。著者らは、北西太平洋のマイワシを対象として成長と回遊を表現した数値モデルを開発し、環境因子の時空間変動を考慮した数値実験を実施することにより、マイワシ資源変動機構の理解を試みている。

2) 数値モデルの開発

生物エネルギーモデルおよびラグランジェモデルを含むマイワシ成長一回遊モデルを開発した。生物エネルギーモデルは水温、餌密度の関数とし、代謝過程による成長を表現した。魚の移動はオイラー・ラグランジェモデルを基本とし、海流による受動的な輸送と良好な生息環境を探索する索餌回遊を表現した。この開発したマイワシ成長一回遊モデルを1997~2010年の環境場(表面水温、表面流速場、Chl-a)で駆動し、卵発生から10月末まで西部北太平洋のマイワシ当歳魚の成長を計算した。モデル出力の解析するに当たり、日本南岸の産卵域を4海域に区分し、産卵月を1~4月の各月に区分し、各年で16コホートに区分した。150日年齢の体サイズ9cm以上のモデル魚($BL > 9$ cm)を加入成功できる成長個体と仮定し、全個体との割合から、モデル上における加入率の評価する指標(RI : Recruitment Index)を定義し、高加入年のマイワシの成長と海洋環境の特徴を調べた。

$$RI_{year} = \sum_{area=1}^4 \sum_{month=1}^4 w_{year,area,month} N_{BL>9[year,area,month]} / N_{ALL[year,area,month]}$$

ここで、 RI_{year} は各年の RI 、 w は卵密度の観測結果より計算される各年のコホート別の産卵強度を示す重み関数で各年の16コホートの合計は1となる。また、 $N_{BL>9}$ は各コホートにおける $BL > 9$ cm のモデル魚の数、 N_{ALL} は各コホートにおける全モデル魚の数を示す。

3) 結果および考察

モデル結果から推定した RI および資源評価表で報告されている再生産成功率 (RPS) について、それぞれ標準化(平均0, 標準偏差1)を行った(図)。近年で高加入年(高 RPS) の2005年は、モデルの RI も高い値を示した。これは、100~130日齢に良好な餌環境(高 Chl-a)を経験しているためであった。現場観測では既に示されているが、モデル結果からも仔魚~稚魚期の餌環境、そして成長が加入増大を起因させる重要な過程であると理解できる。一方、2010年も高加入年であるが、モデルの RI は低い値を示した。2010年は70日齢までは高 Chl-a 濃度を経験するが、その後、急速に Chl-a 濃度は低下したため、モデルにおけるマイワシの成長は悪くなった。しかし、70日齢までの経験 Chl-a 濃度は他年より明らかに高く、当年の仔魚期の餌環境が加入増大に重要な因子であった可能性がある。モデルでは餌環境の評価として植物プランクトン現存量の指標である Chl-a 濃度を使用している。そのため、実際の海域で起きている植物プランクトンから動物プランクトンへのエネルギー伝達される時間的なずれが表現されておらず、実際のマイワシの餌料となっている動物プランクトンの密度の変動を的確に評価していない可能性があり、資源変動機構の理解を進める上で大きな問題が残されている。また、2008年も資源評価表では高 RPS を示している。これは、沿岸群の加入が良かったためと考えられている。本研究の数値モデルの空間解像度では、沿岸群は評価できないため、沿岸群の加入機構の検討方法もこれからの課題である。

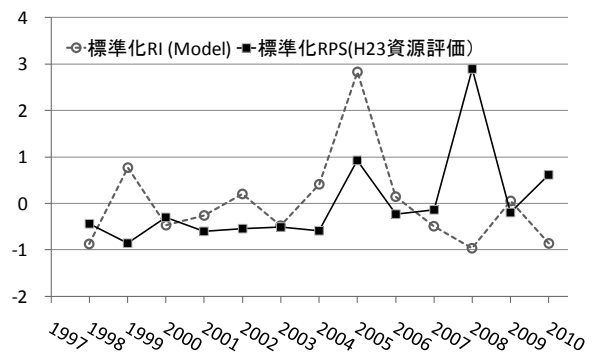


図 加入率の指標 (RI) と再生産成功率 (RPS) の推移 (標準化値)

魚種交替を前提とした漁業管理制度の提言

○牧野光琢・金子貴臣

(水研セ・中央水研)

キーワード：漁業経営・漁船新造・管理オプション・産業連関表

太平洋北西部海域における多獲性浮魚類（マイワシ・カタクチイワシ・マサバ）の魚種交替は、気象のレジーム・シフトに起因する海洋物理構造の変化と、それに伴う生態系構造の遷移と認識されている。1950～60年代のカタクチイワシ、1970年代のマサバ、1980年代のマイワシ、1990年代のカタクチイワシにつづき、2000年代以降はマサバ資源の増大・豊漁が期待されていたが、いまだ観測されていない。

諸外国と比べ、施策執行の多くの部分を資源利用者団体に委任することで行政コストを節減している日本の漁業管理制度下では、漁業経営に過度の負担を強いる施策の実施が困難である。よって本研究では、北部太平洋まき網漁業（北まき）経営が赤字にならない範囲で魚種交替現象を実現するための漁業管理施策について、レトロスペクティブ分析に基づく考察をおこなった。

水産資源学分野の研究では、期待されていたマサバ資源増大が観測されない原因について、1990年代に卓越年級群若齢個体を加入乱獲したことの影響が指摘されている。この乱獲が発生した経済的原因について、統計資料等を用いて検討した。その結果、1980年代のマイワシ豊漁期（特に1984年に単価が下落した後）に、北まき経営体は船団規模を大型化することで対応したため操業コストが増大し、マイワシの資源水準が急激に低下した1989～90年以降は、経営破たんを避けるため、マサバ若齢個体に漁獲圧を集中せざるをえなかったことが示唆された。

北まき経営を考慮しつつ、魚種交替（マサバ資源量と漁獲量の増大）を実現しうる条件を明らかにするため、公的資源評価と同等のマサバ資源動態モデルを用いて、様々な水準の資源保護施策の効果と、その下での漁獲金額を推定した。その結果、1992年の漁業許可一斉更新以降の総漁船数を十分に低い水準に抑制できていれば、平均的な船団に赤字を強いることなく（損益分岐操業）、魚種交替を実現できたことが示された。

なお、北まきの漁業経営は、マサバのみではなく、マイワシ等も含めた複数魚種を対象として成り立っている。また、太平洋北西部におけるマイワシとマサバの資源変動・海洋環境変動には、相互関係が存在することが指摘されている。よって、海洋環境（水温）・2魚種の資源量・漁獲量・漁獲金額の関係を再現する数理モデルを作成した。続いて、粗利益、漁獲量、再生産成功率（RPS）を説

明変数として、北まき経営者による新船建造への投資意思決定関数を推定し、1982年の漁業許可一斉更新以降の漁船数動態を再現した。これらを用いて、1) 公費減船+TAC、2) 政府による新船建造禁止+TAC、3) 従量課税+TAC、4) ITQ、という4つの管理オプションについて、施策の規模と効果を検討した。さらに、北まき関連産業を対象とした産業連関表を作成し、上記の管理オプションが地域社会に与える経済的影響を比較した。

各管理オプションによる生産金額の変化

1985年の関東圏への経済波及効果

直接効果、一次波及効果、二次波及効果の内訳

新船建造禁止（単位：百万円）

魚種	規制前	規制後	減少額
マイワシ	19,600	14,600	5,000
マサバ	24,200	18,000	6,200
			11,200

→ -263億円

直接効果	-150.9億
一次波及	-83.4億
二次波及	-29.1億

従量課税（単位：百万円）

魚種	規制前	規制後	減少額
マイワシ	19,600	13,000	6,600
マサバ	24,200	16,100	8,100
			14,700

→ -346億円

直接効果	-198.2億
一次波及	-109.5億
二次波及	-38.2億

ITQ導入（単位：百万円）

魚種	規制前	規制後	減少額
マイワシ	19,600	19,600	0
マサバ	24,200	10,100	14,100
			14,100

→ -271億円

直接効果	-153.1億
二次波及	-30.1億

* 公費減船オプションでは、1991年まで実際と同じ生産と仮定。 → 変化なし

その結果、1) 大発生するマイワシ資源を十分に漁獲し、それを社会が活用することで地域経済の活性化を図るという方針であれば、マイワシ資源減少直後の大規模公費減船が有効な施策であること、2) 公費支出を出来るだけ縮小する方針（小さい政府）であれば、マイワシ資源増大期の途中で新船建造の禁止あるいは課税措置を導入する必要があること、ただしその場合は経済波及効果が小さくなり、また十分な確度を持つ魚種交替予測情報が必要となること、3) 大規模変動を繰り返す資源の場合、ITQのみでは自律的な資本調整機能（漁船数制御機能）が十分に発揮されない可能性があること、などが示された。

以上より、大規模変動を繰り返す資源を対象とする今後の漁業管理においては、増大する資源を社会がどのように活用するべきかに関する社会的合意と、魚種交替の予測可能性に関する科学的検討という、二つの作業が重要であることが示唆された。