

## 九州南方での水温前線北上に伴う海況変動と海水交換に関する研究

齊藤 勉 (中央水産研究所)

九州南方の黒潮前線周辺域は、マアジの主産卵場である東シナ海から、仔稚魚が太平洋側沿岸域へ海流により輸送される際の通過点となる。本研究においては、その仔稚魚輸送という観点から、九州南方での水温・流速変動と海水交換に着目した。

この海域において20日程度の周期で起こる現象として、鹿児島-名瀬間のフェリー航路周辺において20日程度の周期で水温前線が北上することが知られている。また、暖水舌の形成とその北東方向への移動、中之島の水位の周期的な変動、および大隅海峡における東向流の形成が報告されている。さらに、トカラ海峡西方において高気圧性渦あるいは低気圧性渦に伴う黒潮北縁部の蛇行が交互に発達することが報告されている。これらの現象は相互に関連して起こっていると考えられるが、これまでは、個々の現象についての主として表層に関する断片的な描像しか得られていなかった。

そこで本研究では、九州南方での水温前線の北上に伴う水温・流速場の変動を、はじめて三次元的かつ時間発展的に記述することを試みた。フェリー航路周辺の82測点 (15 km 間隔で格子状に配置) において、海面から海底付近までのCTD/LADCP観測を2000~2003年に計6回実施した。いずれの観測時にも20日程度の周期で水温前線の北上が起こっていた。水温・流速場の変動を時間発展的に追うために、それらの結果をフェリー航路上での水温前線の南北位置を指標として並べ替えた。並替えで得られた水温・流速場のデータセットは、これまでに得られている表層の断片的な描像と整合的であった。

並べ替えられた水温・流速場のデータセットから、水温前線の北上に伴う水温・流速変動の実体は以下のとおりであることが分かった。黒潮北縁部の蛇行の峰が西から東に移動して、屋久島の西方に近づくのに伴い、水温前線は屋久島近くまで北上する。黒潮北縁部の蛇行の峰がさらに屋久島に近づくと、蛇行の峰の北側に高気圧性渦が発生し、暖水域が形成される。この高気圧性渦は薩摩半島南方の大陸棚斜面上で発達し、蛇行の峰から北西方向に伸びる暖水舌が形成される。この暖水舌 (高気圧性渦) は300 m 深に及ぶ構造をもち、高気圧性の黒潮前線渦と考えられる。この黒潮前線渦 (暖水舌) が北東方向に移動するのに伴い、フェリー航路付近での水温前線は屋久島から佐多岬まで北上する。黒潮前線渦は最終的に薩摩半島近くまで達し

て消滅する。その間に、黒潮北縁部の蛇行の峰は屋久島の南まで移動する。また、この高気圧性渦に伴い、その西・南西側に低気圧性渦が、また大隅海峡に100 cm/sec 以上の流速をもつ東向流が形成される。なお、上記の黒潮北縁部の蛇行の峰の西から東への移動に伴い、中之島の水位は前半上昇し後半下降する。このように、九州南方での水温前線の北上は、薩摩半島南方の大陸棚斜面上に形成された高気圧性の黒潮前線渦 (暖水舌) が、北東方向に移動して消滅する過程の一側面であることが分かった。

また、大隅海峡に100 cm/sec 以上の流速をもつ東向流が形成されていたときのCTD/LADCP観測データを使用して九州南方の水塊分布を調べた結果、この東向流が東シナ海系水を九州南西方の沿岸域から太平洋沿岸域へ輸送していることが分かった。また、大隅海況に東向流が形成されているときに曳航式ADCPにより測定した九州南方の種子島・屋久島周辺の大陸棚上を通過する流量は、対馬暖流の流量と同程度であった。水温前線が屋久島から佐多岬まで北上する過程に見られた大隅海峡の東向流の強化が、当海域における20日程度の周期での流速変動の一部であるとすると、この流速変動に伴って、九州南西方の沿岸域から太平洋沿岸域への東シナ海系水の輸送が増加し、その強弱が、東シナ海を主産卵場とするマアジの仔稚魚の太平洋側への輸送量に影響を及ぼすことが考えられる。

No.27, 1-41 (2009)

## 海水が根室海峡の海洋構造と植物プランクトン現存量に与える影響に関する研究

清水幾太郎 (中央水産研究所)

北海道東部のオホーツク沿岸域と根室海峡は、周辺河川からのふ化放流サケ稚魚の成育場として重要な海域であり、秋季に母川に回帰する成熟サケマス類が沿岸に来遊する。これらの海域では毎年、冬季にオホーツク海北部で生成された海水が接岸し、春季の海水退行期に植物プランクトンの増殖が起きる。植物プランクトンの春季増殖は、海洋生活初期のサケ稚魚の成長を支える餌料としての動物プランクトンの生産を導くために重要と考えられる。しかし、海水が北海道沿岸域の低次生産に与える影響に関する知見はベーリング海や北極海の研究に比べて極めて少ない。沿岸海域の生物生産機構を考慮したサケ資源の生産管理戦略を構築するという究極の目標に向け、本研究では、海水が根室海峡の海洋構造と植物プランクトン生産へ与え

る影響を明らかにすることを目的とした。さらに、本研究結果をベーリング海の水氷—低次生産関係と比較し、ベーリング海との共通点と根室海峡の特異点を考察した。

根室海峡北部の羅臼沖を定線として、1998年から2002年の冬季から夏季にかけて水温・塩分を測定し、栄養塩類（硝酸態窒素、リン酸塩、ケイ酸塩）およびクロロフィル a 量を各層採水試料から分析した。分析結果と既知の水塊指標を比較した結果、海水下の水柱は栄養塩の豊富な水塊で覆われていることが明らかになった。栄養塩組成 (N:P=11.2, Si:P=23, モル比) から判断して、海水下の水塊はオホーツク中冷水起源と考えられた。さらに東サハリン海流は初冬にその勢力が増大しオホーツク沿岸域に接岸することから判断して、オホーツク中冷水起源の水は根室海峡に海水が接岸するよりも早い時期に流入すると考えられた。一方、高塩分で貧栄養の宗谷暖流水が夏季に根室海峡に流入することによって水塊交代が起きることも明らかになった。これらの結果から、根室海峡におけるサケ稚魚の成育期間は海水退行後から宗谷暖流水が流入するまでと考えられた。

羅臼沖定線における海水の退行と植物プランクトンの増殖との関係を明らかにするため1998年に観測を行った結果、3月下旬に海水が退行し4月中旬に植物プランクトンの大増殖が確認された。2002年では海水退行直後の4月上旬にベーリング海と同様に ice-edge bloom が起こり、続いて海水が消失した4月下旬に open sea bloom が観察された。また窒素が増殖の制限要因になっていることもベーリング海と同様であった。植物プランクトンのサイズ分画から、大増殖期は10  $\mu\text{m}$  以上の大型の植物プランクトンで構成され、時期が進むにつれ2~10  $\mu\text{m}$  あるいは2  $\mu\text{m}$  以下の小型の植物プランクトンに遷移することが明らかになった。2001年に根室海峡南部の標津沖水深15 m 層にセジメントトラップを設置し、海水接岸前の1月から宗谷暖流水流入期の7月にかけて2週間毎に沈降物を採集した。セジメントトラップによって捕集された動物プランクトン個体数は海水下で徐々に増加し始め植物プランクトンの春季増殖終息後の5月上旬にピークを示し、その後減少傾向が観察された。ピーク時の個体数はカイアシ類が最も多く、続いてヤムシ類、クラゲ類であった。

1998年から2002年の調査期間中に1999年を除いて海水退行後に植物プランクトンの大増殖が観察された。海水の退行時期の変動と植物プランクトンの大増殖との関係を明らかにするため、3月下旬に海水が退行した1998年と海水の退行時期が4月下旬と遅かった1999

年とを比較した。植物プランクトン増殖の引き金は、融氷による臨界深度以浅での混合層の発達と鉛直安定度の増加であり、これは根室海峡においてもベーリング海と同様にスベルドリップモデルで説明できた。1998年と1999年の海水退行後の有光層内の栄養塩濃度と日数との関係式から、減少した栄養塩濃度を植物プランクトンによる消費量と見なして期待されるクロロフィル濃度の増加を算出した。その結果、計算されたクロロフィルの値は両年とも実測値とほぼ一致したことから、1998年と1999年の相違は有光層内で利用可能な栄養塩量によると推定された。海水の退行時期が早かった1998年は混合層深度(30 m)が臨界深度(29 m)とほぼ同じであった。一方、植物プランクトンの大増殖が見られなかった1999年では海水退行期が遅れ、融氷により表層低密度層が発達し混合層深度が極めて浅かった(13 m) ことにより植物プランクトンが利用できた栄養塩量が1998年に比べて少なかったためと説明される。

根室海峡における海水の退行時期が植物プランクトンの増殖に与える影響に関する本研究結果は、ベーリング海における Hunt ら(2002)の「海水の退行時期が遅い年は海水退行後の早期に植物プランクトンの生産が高まる」という仮説と一致しなかった。根室海峡とベーリング海における海水退行時期と植物プランクトン増殖との関係の相違は、同時期における両海域の海水を融解させる日々の日射量の違いによって生ずると考えられた。北半球においてベーリング海は根室海峡よりも高緯度に位置しているため、冬季の日々の日射量は根室海峡よりも少ない。したがって、ベーリング海では海水の早い時期の退行は融氷が鉛直安定度の増加に寄与せず、日射量が増加する遅い時期の退行によってのみ混合層が形成され植物プランクトンの増殖が促進されると考えられた。一方、根室海峡では海水の早い時期の退行に伴う融氷によって鉛直安定度が増加するが、遅い時期の退行では日射量の増加が急激な融氷を引き起こし、混合層が浅くなり栄養塩利用が制限される結果、植物プランクトン増殖の規模も小さくなる。

北海道のオホーツク沿岸の漁業に与える海水の影響について長期間の統計データを分析した結果、海水積算密度と漁業生産量との関係について、スケトウダラとカレイ類では正の相関、ホタテガイとホッケでは負の相関がみられた。サケとカラフトマスではオホーツク沿岸への回帰率に与える海水の影響について、サケ、カラフトマスとも海水積算密度の減少にともない回帰率は増加した。特にサケでは沿岸域から海水が完全に退行した後に稚魚が放流された年級群ほど回帰

率が増加した。一方、1980年代に放流された年級群は回帰率が低かった。無給餌放流から給餌飼育放流への移行期間であった1980年代はサケ稚魚の放流開始日が早かったのに対して、海水の積算密度が増加傾向にあった年代であり、沿岸域での海洋生活初期に海水の影響を受けたことが示唆された。1990年代以降のサケの高回帰率は給餌飼育がもたらした効果と考えられるが、回帰率の年変動には現在未解明の要因が影響していると考えられる。

ふ化放流サケ稚魚の回帰率向上の視点から、本研究成果を基盤として、海水の勢力と放流直後の稚魚の生残に直接関わる餌料環境との関係、特に海水退行期の餌料動物プランクトンの変動を詳細に評価することが将来必要である。また、沿岸域からオホーツク海へ回遊する海洋生活初期のサケ幼魚の生残に影響を与える餌料環境についてはオホーツク海における動物プランクトンの生産サイクルを解明することも今後重要となる。

No.27, 43-94 (2009)

#### 気候変化に対するスルメイカの日本海での分布回遊と資源量変動に関する研究

木所英昭 (日本海区水産研究所)

本研究では、日本海を対象として、CRSによってスルメイカの資源構造(主に発生時期組成)、分布回遊特性、および資源量がどのように変化するかを明らかにし、資源変動過程を検討するとともに、資源動向の予測および資源管理方策の検討に資することを目的とした。特に、1988年と1989年の境に起きたCRS(88/89CRS)によって資源が回復した1980年代から1990年代の分布回遊、産卵時期および資源量の変化に注目して検討した。なお、スルメイカの資源構造は季節別発生群が想定されているが、資源管理単位としての具体的な区分基準は曖昧である。そこで、CRSによる資源管理方策および資源構造の変化を明らかにする前に、日本海を中心にスルメイカの資源構造の再整理も行った。

1993年～1996年の6月下旬から7月上旬に、沖合、沿岸および道北で採集したスルメイカを試料に用い、平衡石による日齢査定手法を用いてふ化後の日数および発生時期を推定した。資料に用いた個体の外套背長は、沖合では主に200 mm～250 mm(平均222.5 mm)であった。沿岸では沖合よりも小さく、主に180 mm～220 mm(平均197.8 mm)であった。道北ではさらに小さく、主に160 mm～190 mm(平均174.2 mm)

であった。沖合と沿岸では、ふ化後210～260日、11月中旬をピークに10月下旬から12月上旬に生まれた個体が多かった。道北では、ふ化後180日～220日、12月中旬をピークに11月下旬から12月下旬に生まれた個体が多かった。

ふ化後の日数と外套背長から成長率を計算すると、沿岸は平均0.86 (mm/d)、道北は平均0.85 (mm/d)であり、有意な差はなかった。しかし、沖合は平均0.96 (mm/d)であり、沿岸と道北とは有意な差が認められた。海域間で成長率に差が生じた要因として、分布海域における水温構造および餌生物の分布密度の違いが想定された。成熟との関係では、雄ではふ化後210日を越えるとTSIが0.5%を超える個体が多くなり、240日以降では2.0%を越え、成熟する個体もあった。雌は、ほとんどの個体のGSIが低く、ふ化後の日数との関係は検討が困難であった。ただし沿岸では、ふ化後280日以降にGSIが9%に達し、成熟した個体もあった。

1992年～2005年の6月下旬～7月上旬に実施した標識放流調査を用いて日本海の沖合、沿岸、道北の各海域に分布する群の移動および交流状況を調べた。沿岸および沖合で放流したスルメイカは、主に7月～8月に再捕されたが、放流海域付近で再捕された個体が多く、海域間の交流はほとんどなかった。10月には産卵場である山陰から対馬海峡付近で再捕された。道北で放流した個体は、7月～8月は再捕数が少なかったが、9月に道北で再捕数が多くなり、10月以降に産卵場に南下した。

平衡石による日齢査定結果、および標識放流調査結果をもとにすると、日本海では海域によって発生時期や成長が異なる複数の群が分布しており、これまで想定されてきた季節別発生群よりも発生時期や分布海域を用いて資源構造を区分することができた。過去の資源評価において、日本海の沿岸は冬生まれ群、沖合は秋生まれ群として系群区分されたこともあったが、この区分方法は適当でないと判断された。

日本海において、分布域や発生時期が異なるスルメイカ各群のCRSに対する応答を明らかにするために、88/89CRSを境とした分布状況(外套背長範囲別の分布状況)の変化を調査船による試験操業結果を整理して調べた。その結果、12月に生まれたと推定される外套背長19 cm未満のスルメイカは、道北海域を中心に増加した。外套背長19 cm以上21 cm以下のスルメイカは、津軽海峡西および北緯40度以南の対馬暖流域で増加した。10月～11月に生まれたと推定される外套背長21 cm以上のスルメイカは、温暖期には北緯40度、東経134度の海域で多く分布していた。

調査船調査結果から資源量指数（各外套背長範囲別に算出）を算出し、資源量の経年変化を調べるとともに、CRSによる資源構造の変化を調べた。日本海におけるスルメイカの資源量は、1980年代前半は減少傾向にあり、1980年代後半以降に増加した。しかし、外套背長範囲によって資源量指数の変化傾向はやや異なっていた。外套背長が21 cm以下では1990年以降に増加したが、外套背長が21 cm以上では1987年以降に増加した。外套背長21 cm以下では、88/89CRSを境に資源量指数の平均値に有意差が認められたが、外套背長階級が21 cm以上では有意差は認められず、明瞭な資源量水準の増加は検出されなかった。

各外套背長階級範囲の個体が全体に占める割合もCRSによって変化した。88/89CRS以前は、外套背長が19 cm未満の個体の割合は、概ね20%以下であった。しかし、1990年以降は、概ね30~40%に増加した。外套背長21 cm以上の割合は、88/89CRS以前の1980年代は、概ね50%前後であったが、88/89CRS以降は減少し、概ね30%~40%となった。88/89CRS以前の1980年代は外套背長21 cm以上の大型の個体の占める割合が高かったのに対し、1990年代以降は大型の個体の占める割合が低下し、外套背長19 cm未満の小型の個体の占める割合が増加した。

1984年~1991年の7月下旬~9月上旬に日本海沖合で実施した標識放流調査結果を用いて、CRSによるスルメイカの産卵回遊経路の変化を調べた。8月には、どの年も魚群の大きな移動は見られなかった。9月には、88/89CRS前の1984年~1988年は、日本海沖合に加え、兵庫県を中心とした山陰沿岸でも多く再捕された。しかし、CRS以降の1989年~1991年は日本海沖合で多く再捕されたものの、山陰沿岸では再捕されなかった。10月は再捕報告数が大きく減少したが、1984年~1988年は山陰沿岸の暖水域での再捕数の割合が高かった。一方、1989年~1991年では、日本海沖合に加え、10月には山陰沿岸域でも再捕された。しかし、1984年~1988年と異なり、兵庫県沿岸に再捕報告が集中しなかった。

標識放流個体の再捕位置の旬別の平均緯度を用いて、CRSによる沖合からの南下時期の変化を調べた。8月下旬は88/89年のCRSを境とした差は見られなかった。しかし、9月上旬 ( $p < 0.05$ ) および9月中旬から10月上旬 ( $p < 0.01$ ) では再捕位置の平均緯度に差が認められた。しかし、10月中旬および下旬では、1989年以降の平均緯度も低下し、再び有意差が認められなくなった。以上のように、88/89CRSを境に、9月~10月中旬におけるスルメイカの再捕緯度が異なっており、沖合から産卵場へ南下する時期が異なることが示

された。

日本海のスルメイカの産卵場の形成位置は、資源水準によって拡大、縮小したことが観察されている。産卵場の変化は、日本海におけるスルメイカの回遊経路の変化と同調しており、スルメイカの産卵場の変化には、水温の直接的な影響ばかりでなく、産卵回遊経路の変化が深く関係していると考えられた。

日本海において10月~12月に生まれた群（秋季発生系群）を対象として1979年以降の資源量を推定した。また、CRSによって再生産関係が変化することを想定して最大持続生産量（MSY）の推定、およびCRSによる変化を検討した。資源量は、1980年代は主に20億個体（50万トン）前後、1990年代の平均資源個体数は38.8億個体（108.7万トン）、2000年前後には主に60~70億個体（150万~200万トン）と推定された。

Beverton-Holt型の再生産関係にあてはめて推定すると、寒冷期の持続生産量は、資源量が16.71億尾の時に最大値（16.85万トン）、温暖期では資源量が40.11億尾の時に最大値（37.74万トン）になると推定された。つまり、持続生産量はCRSによって変化し、温暖期のMSYは寒冷期のMSYと比較して約2倍と推定された。

日本海におけるスルメイカのCRSに対する応答として、次のようなことが想定された。まず、CRSによって海洋環境が温暖化すると、産卵回遊経路が変化するとともに主な産卵時期と幼生の発生時期は10月~12月に長くなり、その産卵場も対馬海峡まで拡大し、道北域を中心に資源量は増加する。逆に、CRSによって海洋環境が寒冷化すると、産卵回遊経路が変化するとともに主な産卵時期および幼生の発生時期は、10月を中心に山陰沿岸域に縮小し、道北域を中心に資源量は減少する。

太平洋側の冬季発生系群も含めてスルメイカ資源全体のCRSに対する応答については、以下のように考えられた。CRSによって海洋環境が寒冷化すると、太平洋における冬季発生系群が崩壊し、前年の10月に生まれた日本海に分布するスルメイカが中心となる。また、CRSによって海洋環境が温暖化すると、日本海における主発生時期が10月~12月と長くなり、産卵場も対馬海峡まで拡大し、さらに東シナ海にも産卵場が形成される。その結果、太平洋側の冬季発生系群の資源量も大きく増加した。つまり、寒冷期においては、日本海に分布する秋（10~11月）に生まれた群を中心とした資源構造であるが、温暖期においては、日本海と太平洋に分布する秋から冬（10月~3月）に生まれた群を中心とした資源構造に変化する。

カナダイレックスおよびアルゼンチンイレックスの

資源管理の事例から、資源管理によってアカイカ類の資源量を高位に安定して保つことは困難であり、年々の加入量によって資源量および漁獲量は大きく変動する。したがって、日本におけるスルメイカの TAC 管理でも、資源管理の限界をあらかじめ認識しておく必要がある。また、スルメイカは年々の加入量に加え、CRS によって平均的な持続生産量が 2 倍程度変化することが予想される。したがって、適切な努力量管理が実施された場合でも、CRS による海洋環境の変化によってスルメイカの漁獲量は、年々の加入量の変化に加え、中長期的なスケールでの平均値が 2 倍程度変化することになる。

スルメイカでは産卵親魚量と翌年の加入量の間には正の相関関係が見られ、過剰な漁獲によって産卵親魚量が適正水準以下に低下すると、CRS によって海洋環境が好転した場合でも、資源が速やかに回復しない危険性を含んでいる。したがって、今後のスルメイカの適切な利用および管理方策を検討する際の要点として、特に太平洋側の冬季発生系群が崩壊すると予想される寒冷期において、日本海のスルメイカに対する漁獲努力を適正水準の範囲内に抑えて利用していく必要がある。

No.27, 95-189 (2009)

