

学位論文題名

Study on influence of environment on recruitment of
the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*,
and walleye pollock, *Theragra chalcogramma*

(スルメイカおよびスケトウダラの加入に対する環境の影響に関する研究)

学位論文内容の要旨

【目的】

海洋生物の資源変動は、その再生産—加入過程の成否によって生ずることが多い。この再生産—加入過程の成否には、産卵場から育成場の物理・化学・生物環境の変化、例えば風、気温、流れ、水温、鉛直混合、密度躍層、基礎生産や餌環境の季節・経年変化などが影響している。

単年性のスルメイカは日本と韓国の重要な水産資源であり、北緯 25-50 度の北西太平洋に分布し、日本列島周辺および韓国沿岸に沿って南北回遊している。本種の季節別発生系群の中で、秋、冬生まれ群が卓越し、漁業対象となっている。秋生まれ群の主な産卵場は、対馬海峡から日本海沿岸に沿った大陸棚—斜面域であり、ふ化後の幼生の育成場は日本海である。また、冬生まれ群の主な産卵場は東シナ海の大陸棚—斜面域で、ふ化後の幼生は、薩南海域から黒潮内側域に沿って黒潮続流以北の移行領域に輸送される。その後、北上しながら索餌・成長し、秋以降には北海道沿岸から宗谷海峡、津軽海峡を経て日本海を南下する。本種の経年的な資源変動は、1970年代までの温暖レジーム期に増加、70年代後半・80年代後半の寒冷レジーム期に冬生まれ群が減少し、1980年代後半からの温暖レジーム期には、秋・冬生まれ群とも増加している。この現象は、海洋環境変化に応答する再生産過程の成否を通して、寒冷・温暖レジーム期に漁獲量の変化があったとされている。しかし、70年代から現在までの秋・冬生まれ群の産卵場面積の変化と環境変化を解析した研究は行われていない。

一方、スケトウダラは、亜寒帯海域に生息する魚類の中でも最大の資源量を誇

り、その資源変動と環境変化との関係については、重要な研究課題である。スケトウダラ太平洋系群の主な産卵場は噴火湾およびその周辺海域であり、産卵期は 12 月から 3 月である。卵、仔稚魚は噴火湾内で幼魚まで成長し、湾内の海水温の上昇に伴って幼魚は湾外へと移動する。その後幼魚は、数ヶ月間をかけて日高湾沿岸に沿って襟裳岬を経て育成場である道東海域まで北上回遊する。日高湾は、高温・高塩分の津軽暖流(対馬暖流の分枝流)と低温・低塩分の親潮の影響を受けて複雑な水塊構造であることが知られている。しかし、スケトウダラ幼魚がこの複雑な水塊構造や流れ場をどのように利用して育成場である道東海域まで移動できるのかについては謎のままである。

そこで、本研究では、水産資源として重要な異なる 2 種(スルメイカ、スケトウダラ)を対象として、物理環境要因が、この 2 種の加入までのプロセスに与える影響を調べた。スルメイカについては、主な産卵期(秋・冬)の日本海から東シナ海の産卵場における海面水温(SST)と海底地形と各年の推定資源量と漁獲量の関係を精査した。一方、スケトウダラでは噴火湾を産卵場とする太平洋系群について、産卵場からの幼魚の北上回遊経路である北海道日高湾の季節的な流れ場の変動について精査した。

【スルメイカ】

1. 解析方法

スルメイカについては、1970 年—2007 年の間の、再生産に適した水温条件から推定される秋・冬の産卵場の変化を、冬季モンスーンインデックス(WMI)および風力と風向との関係で調べ、さらに漁獲量と推定資源量との関係を求めた。産卵場は、Sakurai 他(2001)および Sakurai(2006)による「スルメイカの産卵場は、水深 100-500m の大陸棚—斜面上の、SST が 19.5-23°C の海水が覆う海域」を適用した。なお、一部の解析には、ふ化幼生が生残できる 18-24°C も用いた。この解析には、気象庁作製が作製した SST データセットを用いて、21~40°N, 121~143°E の範囲の海域を、東シナ海南部(A)、東シナ海中央部(B)、対馬海峡—薩南海域(C)、および日本海(D)の 4 海区に分け、産卵場の面積変化を調べた。WMI は、Zhou 他(2007)の指数を採用し、風のデータは、米国海洋大気庁が公開している NCEP/NCAR 再解析データを用いて各 4 海区の平均値を求めた。産卵場面積と推定資源量/漁獲量の関係は、直線単回帰および重回帰を用いて解析した。

2. 結果と考察

各年の産卵場面積の変化と資源量/漁獲量には、面積が拡大(縮小)すると資源量/漁獲量が増加(減少)するという関係が認められた。しかし、統計的な有意差($p<0.1$)は、4海区全体の面積と、その年の10月から翌年1月までの日本の漁獲量の関係のみであった。同様の関係は、海区Cの北風と6-9月の日韓総漁獲量の間にも見られた。特に、海区Aにおける1-4月の冬季季節風の強さと韓国の6-9月の漁獲量の間、統計的な有意差($p<0.05$)が得られた。さらに、この関係に産卵場面積変化などを加えた関係式から、韓国の6-9月の漁獲量で $p<0.001$ と高い相関関係が得られた。これは、冬季季節風が強かった年代(70年代半ば~80年代後半)には、韓国東岸を冷水が覆い、その海域に索餌・産卵回遊が少なかったという知見と一致している。

以上のことから、秋・冬生まれ群の産卵場面積の変化が、再生産—加入過程の成否を通して、その後に漁獲されるスルメイカの資源量に影響していることは明らかである。また、冬季季節風の強さは、海面冷却を通して産卵場の拡大・縮小に影響するばかりでなく、その索餌・産卵回遊経路を変化させることによって、日本と韓国の漁獲量にも影響を与えていると推定された。特に、1988/89までの寒冷レジーム期には、東シナ海中央部での2月の産卵場の分断が認められており、これが日本の冬生まれ群の顕著な漁獲減に強く影響したと考えられる。

【スケトウダラ】

1. 解析方法

日高湾内の季節的な海流パターン変化を調べるために、陸棚沖における海洋観測データ(24観測点, 15水深別)を用いた水塊(モード水として定義)の時空間分布解析から沖合流を推定し、係留系を用いた陸棚上の流速直接観測(臼尻, 白老, 新冠, 冬島)から沿岸流を捉えた。なお、推定した沖合流の季節変化を確認するため、予備的に、1983-88年間のGEKと、1987-2002年間のADCPの表層流速データも使用した。本解析における季節区分は、海面加熱・冷却期をもとに、冷却期-1(10-12月), 冷却期-2(1-3月), 加熱期-1(4-6月), 加熱期-2(7-9月)の4季節とした。

2. 結果と考察

陸棚沖の水塊解析から、津軽暖流が渦流まで発達する時期は、加熱期-1から

冷却期-1 にあり、その渦流の一部が襟裳岬西側で分岐し、渦流とは逆向きである噴火湾へ向かう流れの存在をみつけることができた。冷却期-1 では、海面冷却による渦流の密度増加とその主流域が南下するため、冷却期-2 に入ると、日高湾の陸棚斜面上には親潮系の水塊が次第に流入できるようになる。本研究では、陸棚上で観測された流速値と風速値の振幅比を風強制解析モデルに組み合わせて、吹送流成分を推定する方法を新しく提案した。この方法により、陸棚上の流速観測結果から上述の陸棚沖の流れの季節変化を再確認でき、冬季から春季の沿岸流は吹送流が支配的であることがわかった。

日高湾内の流れ場の季節変化をまとめると次のようになる。冬季の北西季節風により駆動される沿岸流成分(吹送流成分)を推定すると、それは日高湾陸棚上の強い時計回り循環流となる。しかし、実際に観測された流速は推定された吹送流よりも十分に小さく、これは吹送流に対して逆向き流(反時計回り循環流)となる陸棚に捕捉された沿岸親潮流との重ね合わせの結果と理解される。夏季に入ると、日高湾の北東側陸棚域では沿岸流の二分岐が生じる。一つは津軽暖流の時計回り渦流形成に伴う南東流、もう一つはこの渦流から分岐した北西向きの分派流である。このような沿岸流の季節変化をもとに、スケトウダラ幼魚の輸送過程を考察する上での新しい知見を提示することができる。(1)冬季から春季の東向き平均流は微弱であるために、日高湾陸棚に沿った幼魚輸送は非常にゆっくりとしたものになること、(2)初夏から始まる沿岸流の二分岐化によって、産卵時期が早い幼魚ほど東道海域(成育場)に輸送され易くなることが推測され、幼魚の生き残りに対して産卵時期の選択が生じること、である。

【結語】

以上のように、本研究では、スルメイカとスケトウダラの再生産—加入過程に対する物理環境変化の影響に焦点をあてた解析結果から、今後の再生産—加入過程に対する物理環境の影響を研究する上での新しい手法を提案できた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	桜井	泰憲
副査	教授	帰山	雅秀
副査	准教授	綿貫	豊
副査	准教授	磯田	豊
副査	助教	山本	潤

学位論文題名

Study on influence of environment on recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, and walleye pollock, *Theragra chalcogramma*

(スルメイカおよびスケトウダラの加入に対する環境の影響に関する研究)

【目的】海洋生物の再生産—加入過程の成否には、産卵場から育成場の環境変化、例えば風、流れ、水温などの季節・経年変化などが影響している。スルメイカは日韓の重要な水産資源であり、日本列島と韓国沿岸に沿って回遊している。本種は、秋・冬生まれ群が卓越し、秋生まれ群は対馬海峡から日本海沿岸、冬生まれ群は東シナ海の大陸棚—斜面域で産卵している。本種資源は、1970年代までの温暖期に増加、70年代後半・80年代後半の寒冷期に冬生まれ群が減少し、1980年代後半からの温暖期には、秋・冬生まれ群とも増加している。しかし、1970年代から現在までの環境変化に伴う両生まれ群の産卵場面積の変化と漁獲（資源）量の経年変化との関係を解析した研究は行われていない。一方、スケトウダラは、亜寒帯海域でも最大の資源量を誇る重要な水産資源である。本種太平洋系群の主な産卵場は噴火湾周辺海域で、産卵期は12-3月である。卵・仔稚魚は噴火湾内で成長し、その後幼魚は日高湾沿岸から襟裳岬を経て道東海域の育成場まで移動する。日高湾は、津軽暖流と親潮の影響を受けて複雑な水塊構造とされている。しかし、幼魚がこの複雑な水塊構造や流れ場の中で、育成場である道東海域までどのように移動するかは不明である。

そこで本研究では、スルメイカとスケトウダラを対象として、再生産—加入過程の成否に与える物理環境要因の影響を調べた。スルメイカでは、主産卵期（秋-冬）の日本海から東シナ海の産卵場面積の変化と各年の漁獲（資源）量との関係、スケトウダラ太平洋系群については、産卵場からの幼魚の北上回遊経路である北海道日高湾の季節的な流れ場の変動を精査した。

【スルメイカ】

1. 解析方法

スルメイカでは、1970年-2007年間の、再生産に適した水温条件から推定される秋-冬の産卵場の変化を、冬季モンスーンインデックス(WMI)および風力・風向との関係で調べ、さらに漁獲量と推定資源量との関係を求めた。産卵場は、「スルメイカの産卵場は、水深100-500mの大陸棚—斜面上の、SSTが19.5-23°Cの海水が覆う海域(Sakurai, 2006)」を適用した。この解析には、気象庁のSSTデータセットを用いて、東シナ海南部、中央部、対馬海峡—薩南海域、および日本海の4海区に分け、産卵場の面積変化を調べた。WMIは、Zhou他(2007)の指数を採用し、風は米国海洋大気庁が公開するNCEP/NCAR再解析データを用いた。産卵場面積と漁獲(資源)量の関係の解析には、直線単回帰と重回帰を用いた。

2. 結果と考察

各年の産卵場面積の変化と漁獲(資源)量には、面積が拡大(縮小)すると漁獲(資源)量が増加(減少)するという関係が認められた。特に、1-3月の東シナ海の産卵場が縮小して分断する年の冬生まれ群の漁獲量は極端に減少し、1970-80年代の寒冷期に頻繁に生じていた。また、1-4月の冬季季節風の強さに産卵場面積変化などを加えた関係式から、風が強く産卵場が縮小した年の韓国の漁獲量(6-9月)が顕著に減少する関係($p < 0.001$)が得られた。これは、冬季季節風が強かった年代(1970-80年代)には、韓国東岸を冷水が覆い、その海域にイカの来遊が少なかった既往の知見と一致した。以上のことから、秋-冬生まれ群の産卵場面積の変化が、再生産—加入過程の成否を通して、その後に漁獲されるスルメイカの資源量に影響していることが明らかにできた。また、冬季季節風の強さは、海面冷却を通して産卵場の拡大・縮小に影響するばかりでなく、その回遊経路を変化させることによって、日韓の漁獲量にも影響を与えていると判断された。

【スケトウダラ】

1. 解析方法

日高湾内の季節的な海流パターン変化を調べるために、陸棚沖における海洋観測データを用いた水塊の時空間分布解析から沖合流を推定し、係留系を用いた陸棚上の流速直接観測(臼尻など4ヶ所)から沿岸流を捉えた。なお、推定した沖合流の季節変化を確認するため、予備的に、1983-88年間のGEKと、1987-2002年のADCPの表層流速データも使用した。本解析では、海面加熱・冷却期をもとに、4季節に区分して調べた。

2. 結果と考察

本研究による解析に基づいて日高湾内の流れ場の季節変化を以下のように概観した。冬季北西季節風により駆動される沿岸流(吹送流)成分は、日高湾陸棚上の強い時計回り循環流となる。しかし、実測

流速は推定された吹送流よりも小さく、これは吹送流に対して逆向き流（反時計回り循環流）となる陸棚に捕捉された沿岸親潮流との重ね合わせの結果と判断した。夏季には、日高湾の北東側陸棚域では沿岸流の二分岐が生じる。一つは津軽暖流の時計回り渦流形成に伴う南東流、もう一つはこの渦流から分岐した北西向きの分派流であった。この沿岸流の季節変化をもとに、スケトウダラ幼魚の噴火湾から襟裳までの移動は、(1)冬—春の東向き平均流は微弱であるため、日高湾陸棚に沿った幼魚輸送は非常にゆっくりとしたものになること、(2)初夏から始まる沿岸流の二分岐化によって、産卵時期が早い幼魚ほど道東海域（成育場）に輸送され易いと推定された。

以上のように、本研究では、スルメイカとスケトウダラの再生産—加入過程に対する物理環境変化の影響に焦点をあてた解析結果から、今後の海洋生物の再生産—加入過程に対する物理環境の影響を研究する上での新しい手法を提案している。よって審査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。