

学 位 論 文 題 名

冬季の噴火湾周辺海域における海況と
スケトウダラ卵輸送過程に関する研究

学位論文内容の要旨

【 緒 言 】

噴火湾周辺海域にはわが国の沿岸漁業を支える重要な魚種であるスケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) の漁場が形成され、その年間漁獲量は4~11万トンにも達している。漁獲対象となるスケトウダラは、例年10~3月までの期間に噴火湾沖の陸棚域へ産卵のために来遊した4才以上の産卵親魚が大部分を占めている。卵・仔魚は遊泳力に乏しいため、産卵海域である陸棚域から噴火湾内の流れ場に大きく影響されながら、成育場(主として噴火湾内)へと輸送されている。従って、噴火湾周辺の流れ場の年による違いが卵の輸送量、しいては資源量の経年変化に直接影響を与えている可能性が推測される。今後スケトウダラ資源量変動の予測を行なうためにも、まず産卵期における本海域の物理的な海洋環境を支配する物理素過程を十分把握し、理解しておくことが重要であると考えらる。

噴火湾周辺海域における過去の研究は主に水温・塩分値の資料を用いた水塊分析の手法から沿岸親潮流入に伴う水塊交替が議論されてきた。本論文で注目するスケトウダラ卵の輸送過程を把握する際、このような既存の観測資料だけでは流れ場の情報を十分に得ることはできない。なぜならば、まず時間スケールの問題が挙げられる。冬季における本海域の海洋調査は1~2ヶ月毎という観測間隔で行なわれ、卵から仔魚に至る数週間の時間経過を調べるのには非常に粗い観測資料である。そして、二つめに空間スケールの問題がある。噴火湾内の観測点は多いときで10点程度、湾口沖の陸棚上の海洋観測

点は数点しかなく、陸棚域から湾内に至る海洋構造の情報が大きく欠けている。また、冬季における流れの直接観測は、残念ながらほとんど行なわれていない。そこで、本研究では上記の海洋観測資料の欠点を補うために数値モデルを併用し、更に沿岸親潮の流動構造を捉えるための集中観測から、本海域における物理素過程を明らかにし、そしてスケトウダラ卵輸送過程の時空間変化の詳細を調べることを目的とした。

本研究では、冬季の噴火湾周辺海域で卓越していると考えられる吹送流・海面冷却に伴った密度流・沿岸親潮の各物理素過程について、海洋観測と数値モデル計算との比較を行ない、各流動場の力学構造及び時空間変化について記述した。なお、冬季の噴火湾周辺海域は、例年2～3月に流入してくる沿岸親潮によって水塊構造が大きく変化することから、沿岸親潮流入前と後の海況に分けて、以下に本研究の成果についてその概要を記す。

【 冬季の噴火湾周辺海域における物理環境 】

沿岸親潮流入前の海況

冬季に卓越する北西季節風によって励起される吹送流は、噴火湾内に時計廻りと反時計廻りの渦対を形成する。この湾内の渦対は、浅い沿岸域の風応力と海底摩擦力が主にバランスした境界流と湾中央部の風応力と湾内外の圧力勾配力が主にバランスした補償流から成る。また、冬季の強い海面冷却により湾内と湾外の貯熱量の違いによって噴火湾湾口部には水温フロントが形成されている。モデル計算では、この水温フロントを挟んだ湾内と湾外との間で密度差が生じ、噴火湾湾口部では流速値 $5\sim 10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の弱い密度流が発生する。しかし、この密度流に伴い形成された水温フロントは上述の季節風による流速値 $15\sim 30\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ の吹送流の影響を受け易く、水平的にも鉛直的にもそのフロント構造及び形成位置を大きく変化させられることがわかった。以上の結果から、沿岸親潮流入前の噴火湾周辺海域の流れ場には、主として季節風によって励起される吹送流が支配的であると考えられる。そこで、卓越する吹送流によって湾内に輸送されたスケトウダラ卵の平均滞留時間（卵が湾内に留まることのできる代表的な時間スケール）を計算すると、約40日であることがわかった。

沿岸親潮流入後の海況

1996年3月にCTDとADCPを用いた集中観測を行ない、沿岸親潮は日高湾の陸棚斜面上に捕捉され、海底近傍においても約 $10\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ の流速値を持った順圧的な流れであることがわかった。さらに、流入流出を考慮した診断モデル計算を行ない、沿岸親潮の流量は $0.4 \sim 0.5\text{sv}$ 程度と推測された。このように陸棚斜面上に主流域をもち南下する沿岸親潮は、噴火湾内へ直接流入しているようにはみえず、湾内への流入流速は $5\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下の非常に微弱なものであった。

【噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ卵輸送過程】

沿岸親潮流入前の卵輸送過程

湾口部陸棚域で産卵されたモデル卵粒子は、湾中央部から湾口部にかけて形成される渦対の風向とは逆向きの流れに従って湾内に侵入し、湾中央を真っ直ぐ湾奥に達した後、渦対に取り込まれて次第に分散していく。そして、陸棚域から湾内へ輸送される卵は、湾口南部陸棚上の約 80m 等深線に沿った比較的狭い海域に産卵されたものであることが推測された。

沿岸親潮流入後の卵輸送過程

沿岸親潮は陸棚斜面上に捕捉された流れであることから、陸棚上で産卵された卵の多くは成育場の噴火湾に輸送されず、津軽海峡の沖合い域へと流されてしまう。モデル計算は、沿岸親潮流入後においても、北西風の季節風による吹送流が産卵場から成育場への卵輸送に重要な役割を果たすことを示した。さらに沿岸親潮の存在によって、浅い陸棚上の吹送流と沖合いの沿岸親潮流の間に流れの弱い海域が形成され、噴火湾内だけでなく湾口部北側の陸棚上にも卵が広く分散させられることが示唆された。

スケトウダラ初期生残率の経年変化

過去21年間の海洋及び気象観測資料の解析より、スケトウダラの初期生残率の指標と考えた L/A (年級群量/産卵親魚量) の経年変化を最もよく説明できる物理的な環境要因は、冬季卓越する3月の北西風の経年変化であることが示唆された。そこで、沿岸親潮と3月の北西風を強制力としたモデル計算を

行ない、スケトウダラ卵輸送パターンの経年変化を調べた。その結果、L/Aの大きな値を示す1980年は北西季節風が特に強い年であり、この風により励起された吹送流によって、スケトウダラ卵及び仔魚は効率良く成育場である噴火湾内と湾口部の陸棚域へと輸送された。逆に、L/Aが小さな値を示す1978年と1985年は季節風が比較的弱い年であり、成育場へ輸送される卵及び仔魚も少ない結果となった。加えて、L/Aの大きい値を示した1980年は、その前後の年と比べて沿岸親潮の本海域への流入時期が遅く4月であり、噴火湾内の水温値が比較的高い年であった。

【まとめ】

これまで、噴火湾周辺海域のスケトウダラ卵輸送に係わる物理的な環境要因として、水塊交替から判断される沿岸親潮のみが注目され、沿岸親潮に伴う流れによって産卵場から成育場へ輸送されると考えられてきた。しかし、本研究で行なった噴火湾及び陸棚上の集中観測と数値モデル計算から、沿岸親潮の流れは陸棚上で産卵された卵を噴火湾沖合い域へ輸送し、湾内への流れは冬～春季に卓越する北西風によって励起された吹送流が支配的であることが示唆された。このことから、産卵場から成育場へのスケトウダラ卵の輸送過程においては沿岸親潮の存在よりも、むしろ北西風によって励起される吹送流が重要な役割を果たしていることが推測される。ただし、沿岸親潮と吹送流との相乗効果によって、卵および仔魚は噴火湾内だけでなく日高湾の岸沿いの陸棚域にも輸送され、この陸棚域も成育場として重要となる可能性が示唆された。それ故、今後は噴火湾だけでなく陸棚域をも含めた卵仔稚分布調査及び海洋観測が必要と考える。本研究では卵輸送過程にのみ注目したが、資源量変動予測のためには卵輸送後の餌環境や捕食圧などの生態学的な環境要因を調べていかなければならないと考える。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 谷 清 隆

副 査 教 授 岸 道 郎

副 査 助 教 授 磯 田 豊

副 査 助 教 授 中 谷 敏 邦

学 位 論 文 題 名

冬季の噴火湾周辺海域における海況と スケトウダラ卵輸送過程に関する研究

北海道南東部に位置する恵山岬から襟裳岬に至る海域は沿岸漁業の重要資源であるスケトウダラの漁場として知られているが、特に噴火湾周辺海域と噴火湾内は産卵場および孵化後の稚仔魚の生育場として重要な存在であることが指摘されている。スケトウダラの親魚は11月から3月の期間に噴火湾口近くの大陸棚斜面に沿う海域で産卵するが、受精後発生段階の進んだ卵は噴火湾内に多く分布し、孵化後の稚仔魚も湾内に初夏まで滞在している。したがって、当海域には湾外から湾内に受精後の浮遊卵を輸送する物理機構があるものと考えられるが、この期間の流動場の詳細と流動を生起する要因については不明なままに置かれていた。

本研究はスケトウダラの再生産過程における卵稚仔の初期生残に関する海水の流動に焦点を置いて、数値モデル計算の手法を用いて研究したものである。本研究ではまず既往の海洋構造に関する知見と対象海域の海洋観測結果から当該海域の数値モデルを作り、産卵場である大陸棚斜面海域から孵化・育成場である噴火湾内へ卵を輸送する海水流動場と流動を生じる要因について解析した。ついで、既に報告されている噴火湾海域のスケトウダラ卵の発生段階ごとの分布に適合する輸送モデルを作り、湾外から輸送される卵の輸送過程におけるこの期間に卓越する北西季節風の効果を明らかにした。数値モデル解析は冬期噴火湾水が滞在している期間とこの時期に進行する親潮系水との水塊交替後の海洋構造について行っている。本研究で得られた結果は以下の通りである。

1) まず噴火湾海域の海底地形を取り入れた水平2次元数値モデルを作り、産卵期に卓越する北西季節風の効果を計算した。その結果、北西風によって湾内北側に時計回り、南側に反時計回りの1対の渦流が発生し、これにより風向と反対向きの湾外から湾奥に向かう流れが湾中央部に出来ることを示し、流速計による測流結果を再現した。この渦対は湾内の浅い沿岸に形成される境界流の補償流とし

て生じるとの解釈を新たに示した。

2) ついで冷却期の海面冷却による湾内外の海水の密度変化に伴う密度流とさらに北西風の外力を加えた場合について3次元6層モデルを作り計算した。海面冷却のみを外力とした場合、湾口部に湾口を斜めに横切るフロントが形成され、湾口部北側表層から流入し、南側底層から流出する結果が得られたが流速値は測流結果より小さく底層のフロント形状も観測結果を再現していなかった。そこでこれに北西風を外力としてつけ加えさらに計算を行った結果、観測値と同程度の流速値が得られ、北西風が生起する流動場が噴火湾の海水交換に主要な働きをしていることを示した。

3) おしよ丸搭載のADCPとCTDを用いて噴火湾海域の沿岸親潮の流動を観測し、沿岸親潮が大陸棚斜面に沿って流れる順圧的流れであることを明らかにし、これに基づいて3次元9層の流況診断モデルにモデル境界からの流出入条件を加えて計算を行った。沿岸親潮の流出入流量を0.45 svとしたとき計算結果はADCPによる測流結果を良く再現し、沿岸親潮の流動構造を明らかにした。

4) それぞれの流動モデルに、輸送過程で卵発生が進むことを考慮したモデル粒子を産卵海域に投入し、発生段階別のモデル粒子の輸送経路と分布を計算した。いずれのモデル計算においても、北西風が吹いている条件下で湾外の産卵場から育成場である噴火湾内に卵が効果的に輸送され、発生段階別の空間分布も観測結果を良く再現した。

5) 噴火湾海域の年級別スケトウダラ漁獲量の統計値から求めた各年級群の生残比と北西風の風応力の統計値とを比較し、3月に北西風が卓越し、沿岸親潮の流入が遅かった1980年級群の加入量がその後の資源を維持したことについて、再生産過程の初期生残に関わる季節風によって生起される流動場の変化が重要な要素になっていることを示した。

以上の結果は実測結果の乏しい当該海域の流動場とこれを生起する要因に付いて新たな成果を提出したものであり、かつスケトウダラ資源の再生産過程における初期生残に関わる流動場と気象変動の物理過程の重要性を示したものである。

この研究成果は現在GLOBEC(Global Ocean Ecosystem Dynamics) 研究として各国で進められている、気候変動と海洋生物資源の応答を主題とする研究の発展に貢献する成果であると評価し、審査員一同は参考論文9編を付けて提出された本論文を博士(水産学)の学位に相当する内容をもつものであると判断した。