

学 位 論 文 題 名

Effect of winter meteorological conditions and tidal current
on the formation of cold bottom water and its influence on
the recruitment of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*)
in the eastern Bering Sea shelf

（東部ベーリング海大陸棚の底層冷水の形成に関わる冬期気象条件と
潮流の効果およびスケトウダラ加入量に与える影響）

学位論文内容の要旨

【はじめに】東部ベーリング海大陸棚域は南北約1000km、東西約500kmの世界でも広大な陸棚の一つであり、スケトウダラの好漁場として知られている。この陸棚域では流れのエネルギーのうち90%以上は潮流であり、潮流(20cm/s)は平均流速(2cm/s)より1オーダー大きいことが報告されている(Schumacher and Kinder, 1979, 1983)。しかし潮汐潮流の陸棚域における空間分布は詳細には明らかでない。したがって潮汐潮流分布から潮汐混合エネルギーを空間的に把握することは、成層構造の形成過程をこれまで以上に理解する上で重要である。

東部ベーリング海大陸棚域では冬期には流水がこの海域面積の半分以上を覆う。夏期になると陸棚中央域では、上層の昇温に伴って水温躍層が形成されている。そのため水温躍層下では冬期形成された結氷温度に近い海水が底冷水として残っている(Ohtani, 1973)。再び大気からの冷却がはじまり成層が破壊される秋まで、底冷水は陸棚中央域に舌状に存在する。この底冷水の存在はスケ

トウダラの索餌回遊の障害物となるためスケトウダラ資源量の変動に影響していると考えられる（小藤，前田，1965）。しかし、この海域での海洋環境とスケトウダラ資源量との関係はこれまでに得られていない。そこで本論では底冷水の経年変化と形成メカニズムを考察し、資源量変動との関係について解析した。

本論では、まず潮流混合エネルギーの空間分布を知るために、この海域の流れ場を支配している半日・日周潮汐について数値モデルを用いて潮汐潮流を再現した。次に底冷水の経年変化と形成メカニズムを調べ、スケトウダラの資源量との関係を統計的に調べた。

【方法・資料】数値モデルの計算に使用した東部ベーリング海大陸棚地形は水平メッシュサイズ50km×50kmで表現した実際の海底地形とした。モデルの潮汐強制は西側のベーリング海盆部と北側の北極海の開境界から水位強制を与えた。

1963-1992年の長年にわたる北海道大学練習船おしよろ丸による夏期の海洋観測資料から、東部ベーリング海大陸棚域の底冷水温の経年変化を調べた。さらに冬期(1,2,3月)の大気循環の時空間変動パターンと底冷水温との関係を調べるために、30°N~70°N, 110°E~110°Wにおける500hPa面高度についてEOF解析を行った。スケトウダラの尾数の資料はWespestad and Traynor(1990)を使用した。

【結果・考察】東部ベーリング海大陸棚における半日・日周潮についてのモデル計算結果はPearsonら(1981)による観測結果の潮汐潮流分布をよく再現した。Bristol湾とEtolin海峡では半日周潮の潮流振幅が40cm/s以上となる。一方、Norton Soundでは日周潮の潮流振幅が半日周潮のそれより卓越することも観測結果と一致している。この二つの湾において異なる潮汐成分の潮流の卓越は湾

のスケールと強制振動の周期に関係しており、共振潮汐によって生じていると考えられる。陸棚斜面に沿って日周潮の30 cm/s以上の潮流振幅がみられる。この大きな潮流は北西に伝播する陸棚地形に捕捉された地形性ロスビー波によって励起された変動として説明できる。潮汐混合エネルギーのパラメータ $\log(H/U^3)$ と成層度パラメータであるポテンシャルエネルギーアノマリーの空間分布より、この陸棚域におけるアラスカ沿岸の海洋構造は潮汐混合に依存しているが、St Lawrence島周辺では潮汐混合に依存していないことが確かめられた。

底冷水温の偏差は約10年の変動を持っており、70年代前半は負の偏差を示し、70年後半から80年前半には正の偏差を示している。この底冷水温は冬期(1, 2, 3月)の気温、そして底冷水層における塩分との間にそれぞれ相関が見られることから、底冷水は冬期の大气からの冷却だけでなく流水の融解に伴う冷却を受けていると考えられる。ボックスモデルを用い流水の融解による冷却を見積ると、底冷水は温暖年には流水の融解による冷却を受け、寒冷年には流水と大気との両者の冷却によって形成されていることが示唆される。

冬期の500 hPa面高度のEOF解析の結果、第1モード(寄与率25%)と第2モード(寄与率17.4%)は、この海域の気温、底冷水温との間に相関がなかった。一方、第3モード(寄与率14.5%)の空間パターンは負の変動の中心が北太平洋にあり、正の変動は北アメリカ西岸に分布するPNAパターンを表している。このモードの時間変動は底冷水温の経年変化と似ている。冬期においてPNAパターンが生じていると夏期の東部ベーリング海大陸棚域における底冷水温は高まる傾向がある。したがって赤道域のENSO現象の影響はテレ

コネクションによりこの海域の海況にまで及んでいることが示唆される。

Wespestad and Traynor(1990)によって得られた2~9才魚までのスケトウダラの尾数は2才からほぼ一定の死亡率で減少している。そのため卵から2才までの初期減耗が、2才以降の資源量をほぼ決定していると考えられる。そこで各年級群の2才魚尾数をその親のスケトウダラ尾数より算出される孕卵数で割ることで、卵から2才までの生残比を求めた。卵から2才までの生残比の経年変化は先に述べた底冷水温の経年変化とよい相関($R=0.78$ 水温がラグ1年)が見られた。したがってこの相関関係は1才時の底冷水温が高い場合、すなわち初めての越冬時が温暖であれば、2才までの生残比が高いことを意味している。結果的に大気と海洋を含めた環境変動がこの海域のスケトウダラ資源の変動に影響しているといえる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	大谷清隆
副査	教授	梶原昌弘
副査	助教授	三宅秀男
副査	助教授	磯田豊
副査	助教授	桜井泰憲

学位論文題名

Effect of winter meteorological conditions and tidal current
on the formation of cold bottom water and its influence on
the recruitment of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*)
in the eastern Bering Sea shelf

(東部ベーリング海大陸棚の底層冷水の形成に関わる冬期気象条件と
潮流の効果およびスケトウダラ加入量に与える影響)

ベーリング海東部には世界でも有数の広大な大陸棚があり、多くの生物資源を有している。これまではこの海域から底棲魚類をはじめ、甲殻類や貝類などの生物資源を各国の漁業が利用してきた。海洋生物資源の変動は過剰な漁獲圧などの人為的影響が主たる要因と考えられてきたが、大きな生物量をもつ種の数量変動にはそれ以外に海洋環境の長期的変動にもその要因があると考えられるようになってきた。一方この海域は北太平洋亜寒帯でオホーツク海同様に大陸棚上の過半が冬期に海氷に覆われる海域としても知られていて、海洋条件の資料も長期的変動をとらえ得る程度に蓄積されてきた。

本研究では夏期の東部ベーリング海大陸棚上に特徴的に存在する底層冷水の形成過程とその経年変化について、北海道大学水産学部練習船おしよる丸の30年に渡る夏期の観測資料および冬期の気象資料、海域の潮流分布の潮汐モデル計算等によって解析した。さらにアメリカ合衆国大気海洋庁から提出されている生物量資料を用いて、同海域の卓越資源生物群であるスケトウダラの加入量変動に与える海洋条件の影響について考察を加えている。本研究で得られた結果は以下のとおりである。

1) 大陸棚中央部に成層構造を保って夏期まで残る底層冷水とこれを仕切る潮汐フロントの形成について、潮汐モデルを用いて海域全体の詳細な潮流分布を計算し、海底摩擦エネルギーと成層した水柱のポテンシャルエネルギー

の大きさから底層冷水の維持機構を説明した。

2) モデル計算の結果から半日周潮流が卓越するブリストル湾と日周潮流が卓越するノートンサウンドの相違について湾の固有振動との共振効果で説明した。さらに大陸棚斜面を伝搬する地形性ロスビー波がスロープカレントの流速振動を生じることを示した。

3) 底層冷水の経年変動を継続して得られている南部海域の観測資料を用いて示した。指標とした底層冷水には10年規模の変動が認められ、1970年代前半に低温となり1970年代後半から1980年代前半に高温に転じる大きな変化がある。底層冷水の形成には冬期の気温と流水の融解の潜熱による冷却過程が影響していることを相関解析と海水の融解モデル計算で示し、冷水の先端部にあたる南部の底層水温が冬期の海況を反映していて長期変動の指標になることを確かめた。

4) 底層冷水の消長は冬期の大気循環の変動に関係していることを 500 hPa 面高度の EOF 解析で示した。ENSO 現象が始まる年の冬にベーリング海東部は寒冷化し、翌年 ENSO が終了して PNA パターンになる冬に温暖である例が多いことを延べ、ベーリング海東部の海洋条件の変動が大規模大気循環の変動に連動する現象であることを示した。

5) スケトウダラの加入量変動には親魚の抱卵数およびスケトウダラ幼魚が初めて越冬した年の底層冷水の変動とに正の相関関係のあることを見出した。底層水温との相関関係の内容について、スケトウダラ幼魚の初の越冬海域である大陸棚南部へ大量な流水が南下すると越冬可能な海域が狭まり、スケトウダラ成魚その他の捕食圧が増加することを要因とする仮説を提出した。

以上の成果は海洋条件の形成過程とその変動および資源生物の変動に関わる環境要因について新たな知見を加えるものであり、本研究は今後推進されるべき気候変動と海洋生物資源の応答過程に関して大きく貢献するものである。

審査員一同は参考論文4編をつけて提出された本論文を博士(水産学)に相当する内容をもつものであると判断した。