

学 位 論 文 題 名

The Effect of Sea Ice on the Oceanographic Structure
and Phytoplankton Biomass in Nemuro Strait,
a Nursery Area of Salmon

(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)

学位論文内容の要旨

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海水—低次生産関係と比較し、根室海峡の共通点と特異点を考察した。

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 *N* 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 $2\text{--}10\ \mu\text{m}$ 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 $15\ \text{m}$ 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優占し、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年を除いて海氷退行後に植物プランクトンの大増殖が観察された。海氷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月下旬に海氷が退行した1998年と海氷の退行時期が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ラップモデルで説明できた。1998年と1999年の海氷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。海氷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年では海氷退行期が遅れ、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氷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「海氷の退行時期が遅い年は海氷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氷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氷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氷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、根室海峡では海氷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氷の影響について長期間の統計データを分析した結果、海氷積算密接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氷の影響について、サケ、カラフトマスとも海氷積算密接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氷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、海氷の積算密接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氷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、海氷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、特に海氷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。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 池 田 勉

副 査 教 授 齊 藤 誠 一

副 査 教 授 志 賀 直 信

学 位 論 文 題 名

The Effect of Sea Ice on the Oceanographic Structure and Phytoplankton Biomass in Nemuro Strait, a Nursery Area of Salmon

(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)

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。

根室海峡北部の羅臼沖に定点を設け、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。その結果、海水下の水塊はオホーツク中冷水起源と考えられた。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。2002年では海水退行直後の4月上旬に 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。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優占し、続いてヤムシ類、クラゲ類であった。

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。この相違は、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。すなわち、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氷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と考えられた。一方、根室海峡では海氷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氷の影響について長期間の統計データを分析した結果、海氷積算密接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氷の影響について、サケ、カラフトマスとも海氷積算密接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氷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、海氷の積算密接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氷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、海氷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、特に海氷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。

以上の研究成果は、これまで知見が少なかった海氷と沿岸生態系の関わりを長年にわたる野外調査資料から解析したものとして高く評価される。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。