

学位論文題名

ベーリング海アリューシャン海盆における
スケトウダラの資源生物学的特性

学位論文内容の要旨

スケトウダラは北太平洋亜寒帯域に分布し、その資源量の大きさから漁業資源として非常に重要な魚種である。ベーリング海東部大陸棚では、1950年代半ばからトロールによる漁業が行われ、大量のスケトウダラが漁獲されてきた。しかし、1977年の米国の200海里水域設定以降、徐々に漁場をアリューシャン海盆地に移し、1986年からその海域での漁業が本格化した。1989年には、全漁獲量は140万トンに達したが、その後減少して1992年には僅か1万トンになった。そのため、漁業関係国は、資源量が回復するまで自主的な漁業の停止（モラトリアム）を実施したが、13年経った現在でも、資源は回復していない。しかし、アリューシャン海盆のスケトウダラ（以下、海盆群）は、生物学的な特徴から東部大陸棚や西部大陸棚系群とは異なる系群との見解があり、一系群として扱うには問題点が多い。また、一系群である場合の陸棚—海盆間での全生活史を通じた移動回遊や遺伝的交流の有無などを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、海盆地に生息するスケトウダラの遺伝的、資源生物学的解析方法により、その資源の独立性の有無、生物学的特性、陸棚—海盆間での移動・交流と海洋環境との関係などを調べ、資源動向要因と予測のための基礎的知見を得ることを目的とした。具体的には、海盆群の系群構造を明らかにするため、DNA分析により地理的な遺伝的変異性を検討した。また、1988年から実施している水産庁による海盆群の音響資源調査と生物採集データを用いて、スケトウダラの生物学的特性、移動・回遊や資源動向と海洋環境との関係を調べた。これらの解析結果に基づいて、海盆群の資源回復の可能性について考察した。

【材料及び方法】

1. DNA 分析

スケトウダラの遺伝的な変異性を検討するため、北太平洋の主産卵場から産卵時期のスケトウダラ親魚を採集した。筋肉を採取した後、常法にて粗 DNA を抽出した。粗 DNA から、mtDNA の全塩基配列を決定して変異性の高い部位を探索した。特定した領域の PCR-RFLP 分析を行い、その地理的な変異性を検討した。すでに他魚種などで報告されている核 DNA について、スケトウダラの分析に適用が可能か検討した。有効な領域については、その変異性を SNaPshot 分析にて検討した。

2. 生物学的特性変化

1988 年から 1994 年の夏季、1989 年から 2002 年の冬季に行われた調査からスケトウダラの SA(面積散乱強度)分布図を作成し、分布の特徴を調べた。また、トロールで採集したスケトウダラの生物測定を実施した。耳石を採取してブレイクアンドバーン法により年齢査定、卵巣の一部を採取して孕卵数の測定を行った。これらのデータをまとめて、経年別の特性変化を検討した。

3. 海洋環境との関連

調査で得られた水温や塩分、動物プランクトン量などと、スケトウダラ密度を比較検討した。また、過去の漁業データからスケトウダラの CPUE 分布図を作成し、JODC の表面水温データ、米国の海氷データ NSIDC から海氷指数を求め、これらの経年変化を比較検討してその関連性を調べた。

【結果と考察】

1. スケトウダラの遺伝的変異性

スケトウダラの遺伝的変異性の検討には、佐渡沖とベーリング海ボゴスロフ島沖で採集した標本を用い、それぞれ 5 個体の mtDNA 全塩基配列を決定して比較した。その結果、D-Loop 領域などで変異性が高いことが明らかになった。この変異性の高い領域を用いて、PCR-RFLP 分析による地理的変異性を検討した結果、海域内では変異がないが、日本周辺とベーリング海で有意な差があった。次に、海域内での遺伝的変異性の有無について、他魚種で用いられている核 DNA の分子遺伝学的マーカーがスケトウダラに応用可能かを調べた。その結果、カルモジュリン遺伝子のイントロン領域がスケトウダラ分析に利用できた。本領域には、TA の繰り返し回数が 1 回 (S 型) と 2 回 (L 型) の遺伝子型があり、この遺伝子型頻度を SNaPshot 分析で調べた。S 型はベーリング海から日本にかけて増加する傾向があり、遺伝的にクラインがあった。海域間の比較から、ベーリング海と日本周辺のいくつかの海域間で有意差があった。

mtDNA 分析とカルモジュリン分析結果から得られた採集海域間の F_{ST} 値と距離の関係から、ベーリング海や日本周辺ではそれぞれ一つの大きなメタ集団を形成し、また、二つの海域間には緩やかな遺伝的交流が存在すると考えられた。

2. 生物学的特性変化

1980 年代に多かった海盆群の資源が減少し、生物学的特性がどのように変化したかについて検討した。1988-91 年の夏季にスケトウダラは海盆中央部に分布していたが、それ以降分布しなくなった。一方、1989 年の冬季にはスケトウダラは海盆中央部にも分布していたが、それ以降分布しなくなり、アリューシャン列島沿いのみに分布していた。分布域の縮小とともに、密度依存型の体長の大型化や高成長などが確認され、資源量減少に伴う 1 尾あたりの餌生物量が増加していると考えられた。

3. 分布と海洋環境との関連

冬季のスケトウダラ分布と海洋環境の関係から、産卵群の主分布域はアラスカ沿岸流 (Alaska Coastal Current) に強く影響を受け、高温低塩分の混合層が形成されているフォーマンウンテン諸島周辺であった。この海域では、動物プランクトンが少なく、捕食による減耗が少ないと考えられる。また、周辺には Aleutian North Slope Current が流れており、卵仔魚を産卵場から離れた場所へ移送させて、産卵後のスケトウダラの活発な捕食を回避していると推定された。一方、夏季の海盆群の分布と海洋環境の関係から、年別のスケトウダラ密度と動物プランクトン量の関係には正の相関があり、分布は動物プランクトン量に影響されると推定された。

4. 経年的な資源変動と海洋環境との関係

過去の漁業の CPUE 分布では、大陸棚から海盆へ連続的な分布があり、スケトウダラが移動・交流していると判断される。ベーリング海における冬季の表面水温は、1977~1986 年頃まで表面水温が暖かくなっていた。海盆の年級群豊度は、1970 年代の年級が多かった。海氷は、1976 年まで大陸棚に広く覆われていたが、1977 年以降少なくなっている。ベーリング海には水深 100-200m に中冷水があり、その発達に冬季の表面水温が影響している。夏季の海盆にほぼ同じ水深にスケトウダラが分布することから、冬季の表面水温と分布に関連があると考えられる。冬季の表面水温が高い年 (中冷水が発達していない年) と海盆に出現している年級群との間に 5 年程度の時間差がある。スケトウダラは 5 歳ですべての個体が産卵を開始する。スケトウダラは、産卵後のエネルギーを回復させるため活発な摂餌を行うことから、中

冷水が発達していない海域に餌を求めて海盆へ移動したと推測される。

海氷は東部大陸棚に冷水塊を形成し、その規模によりスケトウダラ幼魚の分布が左右される。すなわち、海氷が少なく冷水塊が少ない時、幼魚は大陸棚の浅い海域に分布する。親魚は大陸棚斜面域に分布するため、生息域の重複による共食いによる加入魚の減耗が少なくなり、卓越年級群が発生しやすい。これらのことから、温暖年が続く場合は、生息域が陸棚—陸棚斜面—海盆と拡大し、陸棚斜面の親魚群の一部（特に高齢魚）が海盆地に分布を広げた可能性がある。しかし、海氷が少ない近年でも海盆地の出現が認められない。この要因として、東部大陸棚におけるスケトウダラ資源は高位で安定しているものの、その資源を米国が適正に管理を行っているため、余剰資源の発生とその群れの海盆への移動がなくなっていると推測される。

【総合考察】

ベーリング海におけるスケトウダラはメタ集団を形成しており、海盆地は集団間の遺伝的な交流に重要な役割を占める海域と考えられる。また、海盆地はベーリング海全体の多様性の維持、および種の分布の拡大に大きな役割を果たしているものと考えられる。海盆地資源が低位であることは、多年級群による群構成の若齢化、生息域と遺伝的多様性の縮小を促進する恐れがあり、今後のベーリング海全体のスケトウダラ資源にとって悪影響を及ぼす可能性がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 桜 井 泰 憲
副 査 教 授 阿 部 周 一
副 査 教 授 梶 山 雅 秀
副 査 助 教 授 綿 貫 豊

学 位 論 文 題 名

ベーリング海アリューシャン海盆における スケトウダラの資源生物学的特性

ベーリング海アリューシャン海盆の公海域におけるスケトウダラのトロール漁業は、1986年から行われ、1989年には全漁獲量は140万トンに達したが、その後減少して1992年には僅か1万トンになった。そのため、漁業国は、資源量が回復するまで自主的な漁業の停止（モラトリアム）を実施したが、13年経った現在でも、資源は回復していない。アリューシャン海盆のスケトウダラ（以下、海盆群）は、生物学的な特徴から東部大陸棚や西部大陸棚系群とは異なる系群との見解があるが、一系群として扱うには問題点が多い。また、一系群である場合の陸棚—海盆間での全生活史を通じた移動回遊や遺伝的交流の有無などを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、海盆域に生息するスケトウダラの遺伝的、資源生物学的解析方法により、その資源の独立性の有無、生物学的特性、陸棚—海盆間での移動・交流と海洋環境との関係などを調べ、資源動向要因と予測のための基礎的知見を得ることを目的とした。具体的には、海盆群の系群構造を明らかにするため、DNA分析により地理的な遺伝的変異性を検討した。また、1988年から実施している水産庁による海盆群の音響資源調査と生物採集データを用いて、スケトウダラの生物学的特性、移動・回遊や資源動向と海洋環境との関係を調べた。これらの解析結果に基づいて、海盆群の資源回復の可能性について考察した。

1. スケトウダラの遺伝的変異性

スケトウダラの遺伝的変異性の検討には、佐渡沖とベーリング海ボゴスロフ島沖で採集した標本を用い、それぞれ5個体のmtDNA全塩基配列を決定して比較した。その

結果、D-Loop 領域などで変異性が高いことが明らかになった。変異性の高い領域を用いて、PCR-RFLP 分析により地理的変異性を検討した結果、海域内では変異がないが、日本周辺とベーリング海で有意な差があった。次に、核 DNA のカルモジュリン遺伝子のイントロン領域を用いて、地理的な変異性を検討した。本領域には、TA の繰り返し回数が 1 回 (S 型) と 2 回 (L 型) の遺伝子型があり、この遺伝子型頻度を SNaPshot 分析で調べた。S 型はベーリング海から日本にかけて増加する傾向があり、遺伝的にクラインがあった。海域間の比較から、ベーリング海と日本周辺のいくつかの海域間で有意差があった。

mtDNA 分析とカルモジュリン分析結果から得られた採集海域間の F_{ST} 値と距離の関係から、ベーリング海や日本周辺ではそれぞれ一つの大きなメタ集団を形成し、また二つの海域間には緩やかな遺伝的交流が存在すると考えられた。

2. 生物学的特性変化

1980 年代に多かった海盆群の資源が減少し、生物学的特性がどのように変化したかについて検討した。1988-91 年の夏季にスケトウダラは海盆中央部に分布していたが、それ以降分布しなくなった。一方、1989 年の冬季にはスケトウダラは海盆中央部にも分布していたが、それ以降出現せず、アリューシャン列島沿いのみ分布していた。分布域の縮小とともに、密度依存型の単一の体長組成の大型化や高成長などが確認され、資源量減少に伴う 1 尾あたりの餌生物量が増加していると考えられた。また、大陸棚からの移動加入がなかったものと推測される。

3. 分布と海洋環境との関連

冬季のスケトウダラ分布と海洋環境の関係から、産卵群の主分布域はアラスカ沿岸流 (Alaska Coastal Current) に強く影響を受け、高温低塩分の混合層が形成されているフォーマンウンテン諸島周辺であった。この海域では、動物プランクトンが少なく、捕食による減耗が少ないと考えられる。また、周辺には Aleutian North Slope Current が流れており、卵仔魚を産卵場から離れた場所へ移送させて、産卵後のスケトウダラの活発な捕食を回避していると推定された。

4. 経年的な資源変動と海洋環境との関係

過去の漁業の CPUE 分布では、大陸棚から海盆へ連続的な分布があり、スケトウダラが移動・交流していると判断される。表面水温や海水の変動から、1976/77 年のレジームシフト後、ベーリング海の海盆の中冷水と大陸棚の底水温は暖かくなっていた。また、海盆の年級群豊度は、1970 年代の年級が多かった。海盆では若齢個体が分布しておらず、大陸棚で若齢期を過ごした成魚が海盆へ移動すると推測される。そのため、大陸棚で過ごした個体が、1977 年以降大陸棚-海盆に連続した暖かい水塊が形成される際に生じる様々な要因により、海盆へ移動してきたと考えられた。

しかし、近年も大陸棚－海盆には連続した暖かい水塊があると考えられるが、海盆群の出現が認められない。この要因として、東部大陸棚におけるスケトウダラ資源は高位で安定しているものの、その資源を米国が適正に管理を行っているため、余剰資源の発生とその群れの海盆への移動がなくなっていると推測される。

【総合考察】

ベーリング海におけるスケトウダラはメタ集団を形成しており、海盆は集団間の遺伝的な交流に重要な役割を占める海域と考えられる。また、海盆群はベーリング海全体の多様性の維持、および種の分布の拡大に大きな役割を果たしているものと考えられる。海盆群資源が低位であることは、多年級群による群構成の若齢化、生息域と遺伝的多様性の縮小を促進する恐れがあり、今後のベーリング海全体のスケトウダラ資源にとって悪影響を及ぼす可能性がある。

本研究は、ベーリング海におけるスケトウダラの資源構造を明らかにし、アリューシャン海盆の資源変動要因を明らかにしている。これらの成果は、アリューシャン海盆におけるスケトウダラの資源管理に大きく寄与するものと評価される。審査員一同は、本論文が博士（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。