

学位論文題名

Ocean Life History of Japanese Chum Salmon
Oncorhynchus keta

(日本系サケの海洋生活史)

学位論文内容の要旨

日本では、サケ属魚類の中でサケ (*Oncorhynchus keta*) が最も多く生息し、古代から漁獲対象となっている。サケ成熟魚は、繁殖のために海から河川へ回遊することから、河川や沿岸で漁業が行われてきた。沖合域では、第二次世界大戦後に日本の公海流し網漁業が発展したが、「北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約」が発効した1993年以降、日本のサケ漁業の主対象は日本沿岸水域の資源に移った。最近の日本の多くのサケ資源は人工増殖により維持されている。さけ類(サケのほか少量のベニザケ *O. nerka*, ギンザケ *O. kisutch*, マスノスケ *O. tshawytscha*を含む)の水揚げ金額は、2006年では793億円(海面漁業全水揚げ金額の5%)に上り、海面漁業対象魚種の中で最も高かった。

生活史を通じた成長と死亡率は、漁業資源の評価と管理に必要な基礎的な情報である。しかし、日本系サケ資源では海洋生活期を通じた生活史パラメータに関して得られた情報が少ない。そこで本研究では、日本系サケ資源の管理方策を検討するため、体成長や死亡率などの生活史パラメータを推定した。それを用いてサケの生活史を予測し、公海流し網漁業の停止の影響を考察した。

【材料及び方法】

1. 鱗と耳石を用いた成長速度推定法

サケ属魚類の成長速度推定法を検討するため、サケおよびベニザケの鱗隆起線と耳石微細構造の形成機構について調べた。鱗隆起線については、飼育実験と沿岸採集幼魚の鱗の観察により、鱗チェック形成機構、鱗径-体長関係、隆起線形成速度・間隔と体成長の関係を推定した。耳石微細構造は、飼

育実験により耳石径-体長関係と微細構造形成の周期性を検証した。

2. 海洋生活期のサケの減耗過程

サケ海洋死亡率とそれに及ぼす環境の影響を調べるため、海洋生活初期における幼魚の分布と死亡率、沖合域での死亡率を推定し、回帰率と沿岸環境との関係を調べた。海洋生活初期の分布については、本州日本海沿岸域で曳き網による調査を行い、海洋環境とサイズクラス別分布の関係を推定した。海洋初期死亡は、本州日本海沿岸域で行われた沿岸県と国による共同鰭切り標識放流実験結果を用いて、放流直後の死亡率を推定した。ベーリング海海盆域におけるトロール調査結果と年齢別回帰数から、catch-at-age モデルによる沖合域での死亡率を推定した。さらに、本州日本海沿岸の放流数、回帰数および沿岸環境データに基づいて、海洋死亡率への環境の影響を推定した。

3. 海洋環境と漁業の影響下でのサケ生活史の変化

海洋成長の年変化を調べるため、沖合調査漁具のサイズ選択性を検討するとともに、漁獲統計や孵化場における生物学的モニタリング結果を用いて、サケの豊度と生活史形質のトレンドに及ぼす環境の影響を調べた。また、成熟サイズに及ぼす公海流し網漁業の影響を検討するために、これまで検討してきた体成長速度、死亡率などの生活史パラメータ推定値を用いて、孵化場産サケの最適成熟閾値サイズを予測した。

【結果と考察】

1. 成長速度推定

サケ属魚類では、鱗や耳石を用いた成長履歴解析が可能と判断された。この中で、サケ耳石微細構造における日輪形成の周期性を確認した。また、耳石径と体長の間には、アロメトリー関係が得られた。このことから、海洋生活初期のサケ幼魚では、アロメトリー関係を仮定した成長逆算が可能と判断した。孵化場産サケ幼魚では、放流時に鱗チェックが形成されることがある。これを用いた放流体長の逆算が可能であり、標識サケ幼魚の放流後の成長速度が計算できた。個別標識されたベニザケの飼育実験から、隆起線形成速度と鱗成長の間には、体成長と正の相関関係が求められた。これら三者の相互関係から、鱗隆起線間隔と体成長間には正の相関関係が認められた。これらことから、鱗隆起線間隔を用いても体成長速度は推定できた。しかし、個成長を推定するには、鱗径を用いた成長逆算の精度の方が高かった。これらの鱗隆起線の形成機構から、年輪の特徴である狭い隆起線間隔や不連続な隆

起線は、冬季の成長停滞と春季の成長再開により形成されると推察された。

一般に、サケ属魚類では鱗年輪を用いた成長逆算が行われている。本研究では、鱗による成長逆算法の再検討を行った。しかし、海洋生活初期では年輪が未形成のため、年輪を用いた成長逆算ができない。海洋生活初期の成長速度推定には、耳石日輪や鱗放流チェックを用いた成長逆算、あるいは隆起線間隔からの成長推定が有効と判断された。

2. 海洋生活期の減耗過程

サケ小型幼魚 (≤ 75 mm FL) と大型幼魚 (> 75 mm FL) は沿岸域での分布が異なり、小型幼魚は海洋環境にかかわらず海岸付近にとどまり、大型幼魚は塩分などを指標に、すみ場所選択を積極的に行っていることが分かった。放流直後数日から数週間までの死亡率は極端に高かったが、それに比べ沖合回遊中の未成魚の死亡率は低かった。放流から回帰までの海洋死亡率は、放流時の沿岸環境と放流数に相関していた。これらのことから、孵化場産サケでは、放流直後の数週間の海洋生活初期に沿岸環境の影響を強く受けて死亡率が高くなっており、この時期が年級群豊度レベルの決定期と判断された。

3. 生活史特性の変化

漁具間比較試験により、10 種目合で構成された調査流し網のサケのサイズ選択性を調べたところ、体サイズが大きいほど選択強度が高かった。サイズ選択性によるバイアスを補正して、1971 年以降のサケの沖合域での年齢別平均体長を計算した。補正した平均体長は、漁獲魚の平均体長よりも小さかったが、その経年変動は同様であった。このことから、経年変動の観察に漁獲魚の平均体長を用いても、その経年トレンドが追跡できることが分かった。

サケの漁獲数、海洋成長、成熟体長・年齢などの経年トレンドを調べた。サケの漁獲数は、1930 年代にロシア沿岸で多かったが、その後各国の沿岸水域では減少し、1950-1980 年代まで北太平洋・ベーリング海など沖合水域で多かった。1990 年代初めに公海漁業が停止されたが、日本の沿岸漁獲数は 1980 年代以降に増加し、現在は歴史的な高水準にあり、北太平洋沿岸国の中で最も多い。沿岸漁獲数の増加と同時に、海洋成長と成熟体長は低下し、成熟年齢は高くなった。これは、海洋環境の変化により幼魚期の生残率が高まったため、沖合のサケ密度が増加し、密度依存的に成長速度が低下したためと考えられている。しかし、1990 年代中盤以降、漁獲数は依然として高い水準にあるが、海洋成長と成熟サイズは回復しており、沖合域の海洋環境もサケにとって好転したと考えられている。

推定された生活史パラメータを用いて、サケ成熟閾値サイズを予測した結果、公海流し網漁業も成熟サイズを減少させる選択圧として働いていたことが分かった。公海漁業の停止は、この選択圧の緩和として働き、沖合環境の好転による海洋成長の増加とともに成熟サイズの回復に寄与したと考えられた。溯河性サケ科魚類に対する遠洋域のサイズ選択的漁業の停止は、母川内や河口周辺沿岸域での成熟魚対象の終端漁業への加入群の体サイズ回復をもたらす可能性が高い。この停止は、産卵親魚生物量増加のための有効な管理方策と考えられた。

【総合考察】

公海漁業の停止に加え、日本系サケ資源の管理方策として自然産卵群の再生が必要と考えた。その理由は、(1) 将来の環境や人為的かく乱に対して頑健にするため、(2) 増殖事業のコストを軽減するため、および(3) 生態系サービスとしての公共的な付加価値を高めるためである。資源水準が高く、成熟サイズが回復しつつある今こそ、サケ自然再生産を復活させる好機であり、その具体的対策を図る必要がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 帰 山 雅 秀
副 査 教 授 桜 井 泰 憲
副 査 教 授 五 嶋 聖 治
副 査 准教授 工 藤 秀 明

学 位 論 文 題 名

Ocean Life History of Japanese Chum Salmon *Oncorhynchus keta*

(日本系サケの海洋生活史)

日本ではサケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp.) の中でサケ (*O. keta*) が最も多く生息し、古代から漁業の対象となっている。わが国における最近のサケ資源は人工孵化放流により維持されており、海面漁業対象魚種の中で最も多い。生活史を通じた成長と死亡率は、水産資源の評価と管理に必要な基礎的な情報であるが、日本系サケでは海洋生活期を通じた生活史パラメータについて得られた情報がきわめて少ない。そこで本研究では、日本系サケ資源の管理方策を確立するため、体成長や死亡率などの生活史パラメータを明らかにすることを目的とした。

材料及び方法

1. 鱗と耳石を用いた成長速度推定法

サケ属魚類の成長速度推定法を検討するため、サケおよびベニザケの鱗隆起線と耳石微細構造の形成機構を、鱗隆起線、鱗チェック形成機構、鱗径-体長関係、隆起線の形成速度・間隔と体成長の関係、耳石径-体長関係と耳石の微細構造形成の周期性から検討した。

2. 海洋生活期のサケの死亡スケジュール

サケ海洋死亡率とそれに及ぼす環境の影響を明らかにするため、海洋生活初期における幼魚の分布と死亡率、沖合域での死亡率の推定、海洋生活期の死亡率に及ぼす環境の影響を、本州日本海沿岸域における標識放流試験と沿岸調査、ベーリング海海盆域におけるトロール調査および年齢別回帰数から catch-at-age モデルによる沖合域での死亡率の推定を行った。

3. 海洋環境と漁業の影響下でのサケ生活史の変化

海洋成長の年変化を調べるために沖合調査漁具のサイズ選択性を検討するとともに、漁獲統計や生物学的モニタリング結果を用いてサケの豊度と生活史形質のトレンドに及ぼす環境の影響を調べた。また、成熟サイズに及ぼす公海流し網漁業の影響を

検討するために、体成長速度、死亡率などの生活史パラメータ推定値を用いて、孵化場産サケの最適成熟閾値サイズを推定した。

結果と考察

1. 成長速度推定法

サケ属魚類の鱗隆起線および耳石微細構造の形成機構を、鱗チェック形成機構、耳石日輪形成速度および鱗隆起線形成過程などから明らかにした。サケの放流時の鱗チェック形成、鱗隆起線の形成速度と間隔、鱗の年帯形成メカニズムを明らかにするとともに、鱗径-体長のアロメトリー式から鱗による成長バックカリキュレーション法を確立した。

2. 海洋生活期の死亡スケジュール

サケ小型幼魚 (≤ 75 mm FL) と大型幼魚 (> 75 mm FL) は沿岸域での分布が異なり、小型幼魚は海洋環境にかかわらず海岸付近にとどまり、大型幼魚は塩分などを指標にすみ場所選択を積極的に行っていることが分かった。放流直後数日から数週間の間では死亡率が極端に高かったが、それに比べ沖合回遊中の未成魚の死亡率は低かった。放流から回帰までの海洋死亡率は、放流時の沿岸環境と放流数に相関していた。これらのことから、孵化場産サケの放流直後数週間の海洋生活初期は、死亡率が高く沿岸環境の影響を強く受け、年級群強度を決定している危険期であることが分かった。

3. 生活史特性の変化

漁具間比較試験により 10 種目合調査流し網のサケのサイズ選択性を調べたところ、体サイズが大きいほど選択強度が高いことが分かった。サケ漁獲数は、1930 年代はロシア沿岸で多かったが、その後減少し、1950-1980 年代は沖合水域で多かった。1990 年代初めまでに公海漁業が停止されたが、サケ沿岸漁獲数は 1980 年代以降に増加し、現在では歴史的な高水準にある。沿岸漁獲数の増加と同時に海洋成長と成熟体長は低下し、成熟年齢は高くなった。これは、海洋環境の変化により幼魚期の生残率が高まったため沖合のサケ密度が増加し、密度依存的に成長速度が低下したためと考えられている。しかし、1990 年代中盤以降、漁獲数は依然として高い水準にあるが、海洋成長と成熟サイズは回復しており、沖合域の海洋環境もサケにとって好転したと考えられている。

推定された生活史パラメータを用いてサケ成熟閾値サイズを予測したところ、公海流し網漁業も成熟サイズを減少させる選択圧として働くことが分かった。公海漁業の停止はこの選択圧の緩和として働き、沖合環境の好転とともに成熟サイズの回復に寄与したと考えられた。

以上のように、本研究ではオホーツク海、北太平洋およびベーリング海に広く分布する日本系シロザケの海洋生活史パラメータを明らかにすることにより、海洋環境収容力をベースとした持続可能な資源管理の重要性を指摘した。また、将来の環境変動や人為的攪乱に対して頑健であることや生態系サービスへの貢献等から、サケ自然産卵群の再確立を提言したい。本研究成果は、水産資源管理において今後重要と考えられ

ている順応的管理と予防原則からなるリスク管理に大きく寄与するものと考えられる。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。