

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450279

研究課題名(和文) シロザケを例とした魚類の環境履歴推定法の開発

研究課題名(英文) The development of the method to estimate the experienced environment by fish using stable isotope analysis

研究代表者

林崎 健一 (HAYASHIZAKI, Ken-ichi)

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号：80208636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：安定同位体比によるサケ科魚類の餌料環境評価のための基礎的パラメータを得る目的で、餌の切り替え実験により、ヤマメおよびイワナ若齢魚の炭素・窒素安定同位体の濃縮係数と半更新時間を求めた。1975年から2014年に岩手県に回帰したシロザケ3歳魚の炭素窒素安定同位体比の変化を調べたところ餌組成に変化があった可能性が示された。岩手県のシロザケの北洋への1歳加入尾数は、高資源水準期においても低加入であった年級が少なくなかった。最近の低資源水準期においても高水準期と同程度の回帰魚の小型・高齢現象が見られた。岩手県のシロザケ資源は限られた年代の卓越年級の出現によって形成・維持されていた可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The isotopic fractionation factors and turnover rates of young landlocked masu salmon and young char were determined. Carbon and nitrogen stable isotope ratios of age 3 chum salmon scales are measured using archived scales collected from 1975 through 2014 in Iwate prefecture. The variation of both stable isotope ratios tended to be high in recent years, which suggested that the composition of available food items for chum salmon in Bering and Gulf of Alaska from Iwate prefecture could be shifted in the period. The recruitment of age 1 chum salmon from Iwate prefecture was estimated by VPA like method. Even in the period of high abundance of Iwate chum salmon the recruitment levels could be low as in the low abundance period. Moreover the density effect on Iwate chum salmon seems to be still exist even in the recent year.

研究分野：水産資源解析学

キーワード：サケ 安定同位体 環境変動 魚類 年齢 成長 生残 鱗

1. 研究開始当初の背景

わが国のシロザケふ化放流事業の本格的な立ち上がりから 50 年近くが経過した。この間には急速な資源の増加、高位安定期、減少期といったサイクルを経験した。この間に起こった小型化・高齢化は、シロザケ自身の密度効果によると考えられている。レジームシフトにより、環太平洋規模のサケ生残好転がもたらされ資源の高密度化が起こったとされている。しかし、近年は小型化高齢化が続いたままで回帰率の低下が起こっている。この現象の原因は不明である。鱗の安定同位体分析により、海洋生活期中の生活史を過去に振り返って検討することで、シロザケ不漁の原因究明の一助としようというのが本研究である。

2. 研究の目的

本研究では近年回帰量の低下が著しい岩手県のシロザケを主な解析対象とし、種々の生態学的パラメタや環境要因の長期的な変動を解析することにより、その不漁の要因を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 岩手県への親魚の回帰率およびサイズ・年齢の経年変化

岩手県に回帰したシロザケの年齢査定を岩手県さけます増殖協会・岩手県水産技術センターと共同で行った。河川ごとの旬別回帰年齢組成を、各河川の遡上尾数に割り振って河川ごとの年齢組成を求めた。これを岩手県の沿岸回帰尾数に引き伸ばし、岩手県全体の回帰魚の年齢組成を求めた。放流年、回帰年齢ごとの回帰率を求めた。また、岩手県全体の平均回帰年齢を求めた。体長、体重、肥満度を蓄積されている現場観測のデータから求め、主に 2000 年以降に注目し解析を行った。

(2) 北洋での資源量とその成熟率の経年変化

シロザケ資源の高水準期においては、北洋におけるサケの密度効果が成長の低下と成熟の遅れを引き起こし、回帰魚の小型化・高齢化が起こったとされる。岩手県においては高水準期の 1/3 程度の回帰量となっている。したがって、北洋における岩手のシロザケ資源現存量は大きく低下しているものと考えられる。この北洋のシロザケ資源量を岩手県への回帰尾数から回帰まで死亡尾数を年ごとに足しあわせて逆算することにより年度ごとの北洋での現存資源量を推定した。これから年齢ごとの成熟率を計算し、経年変化を検討した。

(3) 安定同位体比分析による生態の経年的分析

年齢査定用に用いられ保管されているシロザケの鱗の有機物には、筋肉など他の組織

と同様に餌の履歴情報が残っていると考えられる。また、年輪帯ごとに分けて同位体比測定を行うことにより、海洋生活年による影響も評価できる可能性がある。しかし、鱗の構造から最外輪より内側の年齢帯は、より高齢の年齢帯が上に重なっている。この影響を除いた上で海洋生活年齢間の比較を行うべきである。今回はこの影響がより少ない若齢魚(3歳魚)に標本を限定し、主に経年変化を比較した。

(4) サケ科魚類の摂餌による炭素・窒素安定同位体比の濃縮係数と半更新時間

安定同位体比を用いて摂餌生態を研究する際に、餌から捕食者への濃縮係数と半更新時間を考慮することが重要であるが、これらの情報は乏しい。長期飼育が困難なシロザケの代わりに複数のサケ科魚類を用いて、複数魚種を比較することにより、シロザケの炭素・窒素安定同位体比の濃縮係数と半更新時間を類推可能か検討する。本研究では、ヤマメおよびイワナを材料として、配合餌料からオキアミに餌を切り替え、その後の安定同位体比の変化から炭素・窒素安定同位体比の濃縮係数と半更新時間を求める。

(5) 安定同位体比分析による北洋の生息域の環境変化

炭素安定同位体比と北洋の表面水温との相関：植物プランクトンの炭素安定同位体比は水温との相関があることが知られている。従って、シロザケの餌の炭素安定同位体比の経年変化が、水温変化による植物プランクトンの炭素安定同位体比の変化に大きく依存しているならば、シロザケ自身の炭素安定同位体比の経年変化も摂餌海域の水温の経年変化と相関が見られるはずである。NOAA から 1981 年から最近までの海洋の水温データ(1度メッシュの週平均値)を得て、夏(6月~11月)と冬(12月~5月)の表面水温の年平均値を求めた。これら 1度メッシュごとの表面水温年平均値と、シロザケの鱗を海洋生活年に分けて炭素安定同位体比の年平均値との相関を求めた。

酸素安定同位体比分析による環境履歴の推定

鱗の主成分はリン酸塩で、耳石において環境水温の推定に用いられる炭酸塩は微量である。骨や鱗形成時のリン酸の酸素安定同位体比の水温に対する応答は、耳石に沈着する炭酸の酸素安定同位体比のそれと同じであることが知られている。一般の燃焼型前処理装置(元素分析計)では酸素安定同位体比を測定することはできないが、熱分解装置を前処理装置として用いればサンプル中の酸素安定同位体比を計測することができる。本分析法はサンプルの熱分解の容易さにより測定の成否が異なることが知られている。本研究ではシロザケ鱗のほか分解が容易とされ

海藻等を分析に供し、本手法の評価を行った。

北洋の生息域の生産力

シロザケの夏季の生息域であるベーリング海は、生産力が高いことが知られている。しかし、本海域内の生産力は一様ではない。さらに、日本系シロザケ資源の高水準期においてその分布が以前と変化したという報告がある。本研究では、ベーリング海とより南の海域との生産構造の違いを現場観測の結果から検討し基礎的な情報を得ることを目的とした。

4. 研究成果

(1) 岩手県への親魚の回帰率およびサイズ・年齢の経年変化

岩手のシロザケ資源は 1990 年代後半からそれ以前の高水準から低水準期に移行した。さらに近年では回帰が極めて少ない年度が出現している(図 1)。東日本大震災の前から回帰率の低下が見られたため、震災による放流尾数の減少が主要因とは考えられない。放流年ごと回帰年齢ごとの回帰率の経年変化を見ると、2006 年級以降で大幅な回帰率の低下が見られる。ただし、5 歳魚においてのみこの期間に大きな変動がみられ(図 2)、この影響で岩手県への年度別回帰量は大きな年変化があったと考えられる。

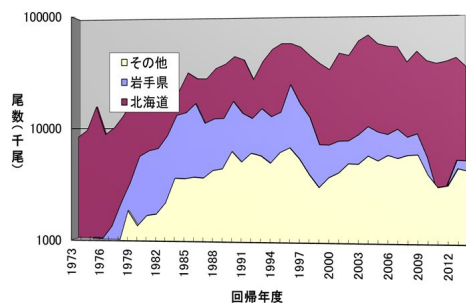


図 1. 岩手県と北海道のシロザケの回帰尾数 (1973 年 ~ 2014 年)

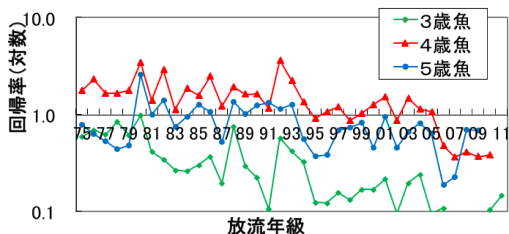


図 2. 岩手県の年齢別年齢別シロザケ回帰率

岩手県南部の 3 河川において体サイズの経年変化を調べたところ、岩手県のシロザケ資源量が減少した 2000 年以降も資源量の減少に応じた回復は見られなかった。また、岩手県全体のシロザケ平均回帰年齢は、高水準期と最近の低水準期で差は見られなかった。また、肥満度も低水準期における回復は見られなかった。これらの結果から、岩手のシロ

ザケ資源には最近の低水準期においても高水準期と同程度の密度効果が働いている可能性があると考えられる。

(2) 北洋での資源量とその成熟率の経年変化

岩手県シロザケの 1 歳魚北洋現存量推定値の経年変化を見ると、高水準であった 1980 ~ 1992 年級の間でもその現存量は毎年大きく変動しており、後の低水準期と同程度の年級もあった。低水準に切り替わった 1990 年中盤の年級からの現存量は一様に低く 2006 年級ではさらに低下した。1980 年代から震災前までは一様に 4 億尾以上の稚魚放流を行っていた。レジームシフトによる北洋サケマスの生産力上昇が起こっていた高水準期においても低水準期と同程度の加入尾数しか見られなかった年も少なからずあった。このことは、北洋への加入の時点までの生残率が例外的に極めて高い卓越年級が 10 年以上短い周期で連続的に発生し、岩手シロザケの高い回帰量を支えていたと解釈することができる。北洋での年齢別成熟率推定値を見ると、4 歳魚における変動が最も大きく、毎年のように変化した。1970 年代のレジームシフト以前の若齢での回帰率が高かった年級を除けば、高水準期と低水準期の間で明瞭な差は見られなかった。このことは、1970 年代後半のレジームシフト以降、自身の資源密度のみならず他資源の密度効果の影響も大きく働いていた可能性を示唆するものと考えられた。

(3) 安定同位体比分析による生態の経年的分析

1975 年から 2014 年に岩手南部河川に回帰した 3 歳魚の鱗の炭素・窒素安定同位体比を分析した。その結果、海洋生活 2 年目において炭素・窒素安定同位体比とも低い傾向を示した。各海洋生活年とも比較的類似した変動傾向を示した(図 3, 4)。

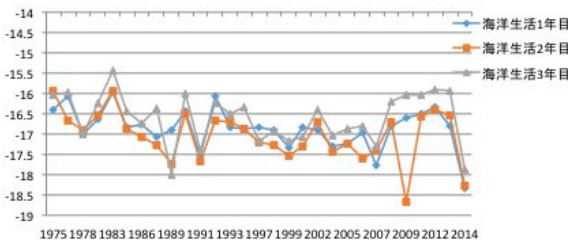


図 3. 岩手県のシロザケ鱗の炭素安定同位体比

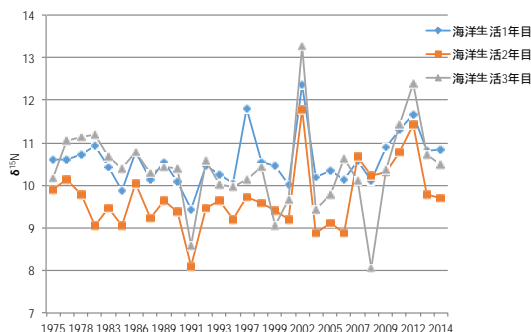


図 4. 岩手県のシロザケ鱗の窒素安定同位体比

炭素安定同位体比に関しては 2000 年代中盤まで振動しながら若干の低下傾向を見せたが、それ以降は大きな変動を示した。一方、窒素安定同位体比に関しては、1990 年代中盤以降 1~2% 上昇する年度があった。これらの変動が主に餌生物組成の変化に由来するとすれば、近年の組成変化が大きいものと判断される。

(4) サケ科魚類の摂餌による炭素窒素安定同位体比の濃縮係数と半更新時間

ヤマメ、イワナの初期サイズはそれぞれ 42.7 ± 4.5 、 33.4 ± 2.2 g であった。餌をオキアミに切り替えて後 112 日で、ヤマメは 212.8 ± 22.3 g、イワナは 191.4 ± 2.2 g に成長した。両魚種とも筋肉、肝臓、脂鱗、尻鱗の 4 組織を採取し、分析に供した。ここでは、魚類の同位体分析でよく用いられる筋肉の同位体濃縮係数と半更新時間を示す。

ヤマメの濃縮係数は、炭素安定同位体比で 1.73‰、窒素安定同位体比で 3.72‰ であった。イワナでは、炭素安定同位体比で 1.31‰、窒素安定同位体比で 3.35‰ であった。

半更新時間は、ヤマメの炭素安定同位体比で 21.7 日、窒素安定同位体比で 30.2 日、イワナの炭素安定同位体比で 24.0 日、窒素安定同位体比で 32.6 日であった。

魚類の安定同位体比の濃縮係数に関して、Fry(1988) は炭素で 1.5-1.6‰、窒素で 3.4-3.8‰ と報告している。また、Hessline et al.(1993) はサケ科のコレゴヌスにおいて炭素で 2.0‰、窒素で 3.0-3.8‰ としている。今回得たヤマメおよびイワナの濃縮係数は、多少の差はあるものの既報のものに近い値であった。一方、半更新時間は魚類において情報に乏しい。Hessline et al.(1993) はコレゴヌスにおいて 1 年間、あるいはハゼの筋肉で 28 日(高井・富永 2008) という報告もある。同位体の回転率は成長による影響が大きいと、幼魚と成魚では同種でも異なる。本研究に用いた魚は幼魚で成長がよかったため、その影響で半更新時間が短かったものと考えられる。今回の実験で、各組織における半更新時間に差が見られた。この現象を利用して、複数の組織において安定同位体比を分析することにより、餌の切り替わりの時間をより詳細に推定することが可能となるものと考えられる。

(5) 安定同位体比分析による北洋の生息域の環境変化

炭素安定同位体比と北洋の表面水温との相関

分布が想定される海域とは大きく異なった海域で相関が高くなった。このことは、シロザケの炭素安定同位体比が、水温変化による基礎生産者の炭素安定同位体比変動のみに依存するものではないことを示すものと考えられる。

酸素安定同位体比分析による環境履歴の推定

少数のシロザケ鱗サンプルの酸素安定同位体比を分析したところ、サンプル間でのばらつきが極めて大きかった。鱗サンプルは完全に粉末化することは困難なため、サンプルによる熱分解の程度の差が大きかった可能性がある。今後、分析に供するサンプル処理の方法を検討する必要がある。

また、大槌湾の 4 箇所から採取した 3 種の高藻の酸素安定同位体比を測定した。種によって場所間の値の高低や差の有無は様ではなかった。高藻の生理・生態によって酸素安定同位体比は変動するものと考えられる。

北洋の生息域の生産力

シロザケの夏季の生息域であるベーリング海は、夏季に高い生産力を持つ。クロロフィルのモニタリングから東西方向に生産力の差があることは知られている。ベーリング海の南北方向でも生産力に差があるのみならず、生産の構造に差があった(Shiozaki et al. 2016)。

シロザケ資源の高水準期においては、それ以前と比べてベーリング海中央から西部に分布域を拡大したことが報告されている(Ogura and Ishida 1994)ことから、(5)の結果とも関連し、安定同位体比と環境要因との相関を手掛かりに地理的分布をさらに詳細に検討する必要があるものと考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Shiozaki, T., Ijichi, M., Isobe, K., Hashihama, F., Nakamura, K., Ehama, M., Hayashizaki, K., Takahashi, K., Hamasaki, K., Furuya, K. (2016) Nitrification and its influence on biogeochemical cycles from the equatorial Pacific to the Arctic Ocean. ISME J. online publication 26 February 2016.

<http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2016.18>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林崎 健一 (HAYASHIZAKI, Ken-ichi)

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号：80208636

(4) 研究協力者

塩崎 拓平 (SHIOZAKI, Takuhei)

東京大学・大気海洋研究所・特別研究員

研究者番号：90569849

井塚 隆 (IZUKA, Takashi)

神奈川県水産技術センター内水面試験場・主任研究員
研究者番号：なし