

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：80122

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K15312

研究課題名（和文）炭素・窒素安定同位体比分析によるサケ資源減少要因の解明

研究課題名（英文）Understanding the factor of chum salmon decline using carbon and nitrogen stable isotope analysis

研究代表者

越野 陽介（KOSHINO, Yosuke）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・水産研究本部 さけます・内水面水産試験場・主査

研究者番号：20747092

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：北海道の網走地区と標津地区を対象として、海洋生活初期および索餌回遊期におけるサケの摂餌環境や栄養的地位の違いを調べた。網走地区で採集したサケ稚魚は、標津沿岸で採集した稚魚と比較すると利用している餌のサイズが大きく、成長速度が高かった。また、筋肉の炭素安定同位体比が低く、サケにとって好適な餌である冷水性カイアシ類の利用が多いと考えられた。2018年におけるサケ親魚鱗の最外年齢帯の炭素・窒素安定同位体比が低かったことは、この年に回帰したサケの肥満度が著しく低かったこととの関係が示唆された。これらの結果から、炭素・窒素安定同位体比は、サケの食性や栄養状態を調べる上で有用であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、サケの来遊数が過去にないレベルで減少しており、その減少要因の解明が強く求められている。本研究により、餌生物の種類が成長に影響する可能性があることが分かった。このことは、サケの増殖事業を行う上で、稚魚の放流タイミングの再検討に重要な結果となる。また、これまではサケは稚魚期に大きく減耗すると考えられていたが、外洋においても回遊経路あるいは餌生物が違うことなどで成長が停滞し、大きな減耗に繋がる可能性があることが、本研究で初めて示された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we studied differences in feeding habitat and the trophic status of salmon in early marine life and during foraging migration between Abashiri and Shibetsu area, northeastern Hokkaido. Juveniles collected in the Abashiri were larger in size and grew faster than those collected in the Shibetsu. The low carbon stable isotope ratio in muscle suggested that cold-water copepods, a preferred food source for salmon, were mainly used. The carbon and nitrogen stable isotope ratios in the outer age circuli of adults returned in 2018, were notably low. These results indicate that stable isotope analysis may be useful in assessing the diet and the trophic status of salmon in marine life stage.

研究分野：魚類生態学

キーワード：サケ 安定同位体 成長率 鱗

## 1. 研究開始当初の背景

サケ (*Oncorhynchus keta*) は、河川で生まれた後に3~5年の海洋生活を経て再び生まれた川に戻って産卵するという遡河型の生活史を持つ魚類である。2000年ころからのサケ稚魚放流数は一定(約10億尾)であるにも関わらず、その回帰資源量は減少傾向にある。これまでの研究結果から、サケの大きな資源の減少は幼稚魚期に相当する海洋生活初期に体サイズ依存的に起こると考えられてきた(Healey et al. 1982)。サケ幼稚魚が川から海に降河した直後の摂餌生態や栄養状態は、幼稚魚の体サイズを左右する要因の一つであると考えられており、国外における他のサケ科魚類の研究では、降海直後の成長率、餌生物の種類や量がその後の生残に影響することが知られている。しかし、北海道においてはこのような研究は乏しく、サケの生残機構を明らかにするためには情報が不足している。サケの資源状況に格差が生じている原因に関しても、回帰の好調なオホーツク海区は日本系サケが夏から秋を過ごすオホーツク海(生産性が高く競合種がない)に面しているため、他の海区に比べて死亡にかかるリスクが少ないためだと言われている。しかし、この“地の利”が現在の回帰状況に結びついているという確たる結果は得られていない。もし、“地の利”の優位性を明らかに出来れば、その点を補完できるようなふ化放流技術の向上や改良により資源の向上に繋げることが出来るかもしれない。稚魚の時の降海直後の環境が後の生残において重要であると同時に、資源の変動に影響する要因が上述した海洋生活初期だけでなく、外洋での索餌回遊期にも存在していることが明らかとなってきた。しかし、日本系サケの索餌回遊は日本から遠く離れた外洋で行われるため、標本を得て分析を行うことは非常に難しい。

そこで、サケの海洋生活初期および索餌回遊期における生残プロセス解明のために、炭素・窒素(CN)安定同位体比に着目した。炭素安定同位体( $^{13}\text{C}$ )はある生物が属している食物連鎖系の特有の値を、窒素安定同位体比( $^{15}\text{N}$ )は生物の栄養段階を示すことから、摂餌生態を解析するのに有用である。さらに生態系の一次生産者から高次捕食者までのCN安定同位体比を分析することで、捕食-被食関係を繋げた食物網構造として評価することが出来る。近年には魚類体組織の安定同位体比を利用し、過去に遡って魚類の食性や回遊を推定する手法も多く行われている。この手法を用いれば、サケ回帰親魚から索餌回遊期の栄養地位に関する情報を得ることが可能であると考えられる。以上の背景を踏まえて、本申請課題では、サケの漁獲量が最も多い北海道道東の網走地区および漁獲量減少が著しい標津地区において、CN安定同位体比分析の特性を駆使してサケの資源減少メカニズムの解明に関する新たな知見を得ることを目的として研究を行う。

## 2. 研究の目的

本研究では、サケ幼稚魚や餌生物ならびに同所性魚類のCN安定同位体比を分析して、サケ幼稚魚に貢献度の高い餌生物種や幼稚魚の競合種を把握し、サケを中心とした沿岸域の食物網構造を評価する。さらに、サケ親魚の鱗のCN安定同位体比を測定し、バックカリキュレーション法より推定した成長率と併せて、索餌回遊期における栄養レベルと成長の関係の年変動を調べる。以上のことから海洋生活初期および索餌回遊期の栄養動態や成長の違いが両地区の資源状況に影響しているのかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 2017年~2019年の4~7月(サケの降海時期)に北海道網走地区および標津地区で、海水温と塩分の観測、サケの餌生物となる動物プランクトンの採集および2艘曳き網によるサケ稚

魚とその他魚類の採集を行った。採集した生物はCN安定同位体比分析のため、-80℃で冷凍保存した。サケの稚魚からは耳石は取り出してから日周輪の解析を行い、降海日、降海時体サイズおよび降海後の成長速度を調べた。サケ稚魚の胃内容物を採取し、餌生物の個体数と重量の測定、優占する餌生物3種の体サイズ測定を行った。

(2) 網走および標津地区で採集したサケ稚魚、その他魚類および動物プランクトンは、乾燥させた後に脱脂してから粉末化し、錫カプセルに詰めてCN安定同位体比分析用の試料とした。 $^{13}\text{C}$ と $^{15}\text{N}$ は、Conflo +DeltaV plus (Thermo Fisher Scientific社)で測定した。安定同位体比混合モデルを使用し、分析したサケ稚魚と餌生物の同位体比值から餌生物の貢献率を推定した。

(3) 網走および標津地区に回帰したサケ親魚の鱗を採取した後で、顕微鏡下で年齢の確認と各年齢帯の幅の計測を行い、各年齢帯の相対的な成長率(各年齢帯の幅/鱗径 $\times 100$ )を推定した。その中から満4歳のサケ親魚の鱗の最外年齢帯(つまり4歳の時)をメスで切断し、安定同位体比分析用の試料とした。

#### 4. 研究成果

(1) サケ稚魚の胃内容物を分析した結果、網走地区では比較的大型な冷水性カイアシ類の出現頻度が高かったが、標津地区では小型動物プランクトン(ミジンコ類、汽水性カイアシ類、貝類の幼生など)が多く出現していた。標津沿岸ではこのような餌種が利用されていた理由として、水深が浅く、さらに塩分が低いという根室海峡特有の海洋環境の影響を受けている可能性がある。この結果を反映したためか、網走地区で採集したサケ稚魚の耳石の日周輪解析の結果、標津地区の稚魚よりも成長が速く、その傾向は沖側でより強まることが分かった。

(2) サケ幼稚魚の $^{13}\text{C}$ は網走沿岸では低く標津沿岸では比較的高い値を示したが、これはサケ幼稚魚が網走沿岸では沖合性の動物プランクトン(主として冷水性カイアシ類)、標津沿岸では沿岸性プランクトンをそれぞれ多く摂餌している結果であると考えられた。混合モデルを使った推定でも、網走地区のサケ稚魚は冷水性カイアシ類の利用率がおよそ50%以上であったが、標津沿岸では10%に満たなかった。 $^{13}\text{C}$ と $^{15}\text{N}$ の値から、網走沿岸のサケ幼稚魚はカラフトマス幼稚魚(サケと両同位体比値の差がほとんどない)、標津沿岸のサケ幼稚魚はチカやアイナメ科などのその他魚類とそれぞれ競合していると考えられた。

(3) 回帰したサケ親魚の鱗を分析した結果、網走・標津の両地区ともに、2018年の9月前期に回帰した個体の4年目(北海道へ回帰する年)の成長率が顕著に低かった。鱗の最外年齢帯における $^{13}\text{C}$ および $^{15}\text{N}$ も同様に、網走・標津地区ともに2018年9月に回帰した個体で特徴的に低かった。この結果は、サケ親魚が例年とは異なる餌を利用していた、あるいは異なる経路を回遊した可能性を示しており、2018年の来遊時期前半に全道的に見られた小型化(魚体重の減少)との関連性が示唆された。2018年はロシアのカラフトマスが大豊漁の年であったため、そのことと関係がある可能性がある。

(4) CN安定同位体比を利用した分析により、サケの稚魚期では餌生物の違いが成長速度に影響することによって海洋生活初期の生残に影響を与える可能性があることが分かった。

た。特に標津沿岸では、餌サイズが小さくサケにとって好適な餌環境ではないと考えられることから、放流にあたっては体サイズの再検討が必要かもしれない。さらに、サケ親魚の鱗の分析により、外洋におけるサケの成長停滞と安定同位体比の低さに関連があることを示すことができた。以上のことから、炭素・窒素安定同位体比分析は、サケの成長や食性あるいは栄養状態の指標として有用であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nobuto Kaneko, Mitsuru Torao, Yousuke Koshino, Makoto Fujiwara, Yasuyuki Miyakoshi, Munetaka Shimizu	4. 巻 274
2. 論文標題 Evaluation of growth status using endocrine growth indices, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-binding protein-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 General and Comparative Endocrinology	6. 最初と最後の頁 50-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.01.001">https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.01.001</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Junpei Okado, Yosuke Koshino, Hideaki Kudo, Yutaka Watanuki	4. 巻 222
2. 論文標題 Consumption of juvenile chum salmon by a seabird species during early sea life	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fisheries Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105415">https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105415</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 越野陽介, 宮下倭麻, 中村太郎, 橋本龍治, 實吉隼人, 春日井潔, 藤原真, 工藤秀明
2. 発表標題 北海道東部の非放流河川で採集されたサケ稚魚
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越野陽介
2. 発表標題 2018年春季の網走沿岸におけるサケ幼稚魚の摂餌と成長
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越野陽介, 中村太郎, 畑山誠, 虎尾充, 藤原真, 宮腰靖之, 隼野寛史
2. 発表標題 2017年春季の網走沿岸におけるサケ幼稚魚の分布と成長
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----