

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K15308

研究課題名（和文）海鳥を幼魚サンプラーとして用いた魚類研究 - サケ幼魚期生活史の包括的説明 -

研究課題名（英文）Using birds as juvenile fish samplers: a comprehensive study of the life history of juvenile Chum salmon.

研究代表者

伊藤 元裕 (Ito, Motohiro)

東洋大学・生命科学部・准教授

研究者番号：80612332

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：降海後に外洋を回遊する10-15cm程度のサケ幼魚の捕獲は困難であり、サケの生活史はブラックボックスとなっていた。本研究では減耗の激しい幼魚期の詳細な生態情報の一部を魚食性海鳥をサケ幼魚のサンプラーとして用いることで明らかにした。海鳥類から採集したサケ幼魚の耳石からは、由来河川を判定可能な温度標識を多数得たとともに、耳石の輪紋解析を行うことで、降海直後のサケの成長量を明らかにすることが出来た。また、サケの筋肉片のDNA解析を行うことでその系群を明らかにするとともに、鳥類がサケを捕食した場所をGPSで特定できた。更に、放流後北日本近海を回遊する間に海鳥によって消費されるサケ稚魚の量を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サケ *Oncorhynchus keta* は重要な漁業資源であるが、近年、資源量の減少と母川への回帰率の低下が報告される。しかしながら、その原因は未だによくわかっていない。その理由の一つに、降海した個体の内9割が減耗するとされる1年目の幼魚期の生態がほとんど分かっていないということが挙げられる。本研究が明らかにした、サケ幼魚の初期生活史に関する様々な情報は、今後のサケ研究や資源評価、保全に有用な情報を付加することが期待される。さらに、困難だったサケ幼魚の安価な捕獲方法を提示し、海鳥類の魚類幼魚のサンプラーとしての有用性を明らかにしたことで、今後の魚類の幼魚研究の進展に対して大きな可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Capturing juvenile salmon (10-15 cm) migrating in the open ocean after their first year is difficult and has been a black box in the life history of salmon. In this study, we revealed a part of the detailed ecological information of juvenile salmon during the period of high depletion by using fish-eating seabirds as samplers of juvenile salmon. Otoliths of juvenile salmon collected from seabirds revealed a significant number of thermal signatures that can determine the river of origin, and otolith rings were analyzed to determine the growth rate salmon just after their seaward migration. DNA analysis of salmon muscle samples revealed the source of salmon population, and GPS logger data from seabird identified the locations where the juvenile salmon were foraged; the location of juvenile salmon's distribution during migration. Furthermore, we estimated the amount of juvenile salmon consumed by seabirds, during salmon's first year migration around northern Japan after release.

研究分野：海洋生態学

キーワード：サケ幼魚 魚食性海鳥 サンプラー ウトウ 初期生活史 由来河川

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サケ *Oncorhynchus keta* は、北日本の河川において孵化後、春に降海し、オホーツク海を通り遠くベーリング海まで索餌回遊した後、平均 4 年で自らが生まれた母川に回帰する。その中でも、オホーツク海に達する孵化後 1 年未満の幼魚期までに全資源量の 9 割が自然死亡により減耗すると推定される(浦和 2000)。そのため、この時期のサケ幼魚の基礎的知見は資源管理の観点から非常に重要である。しかし、こうしたサケ幼魚の生活史情報は大きなブラックボックスになっており、ほとんど調べられておらず(長沢・帰山 1995)、由来河川毎、来遊経路、幼魚期の成長速度や餌の違いのほか、捕食者による捕食圧の重要な基礎的情報が十分であるとは言えない。

この問題の最大の原因は、降海後の 10-15cm 程度の幼魚がどこに棲息しているかについての情報すら乏しく、そのサンプリング手法が確立されていないことにある。サケは重要な漁業資源であることもあり、最も減耗の激しい幼魚期までのサンプリング方法を確立し、その分布や成長、餌、またそれらを決める物理的要因やその年変動、自然死亡の主要因である捕食圧等、包括的かつ詳細な生態情報を得ることは資源量の増減メカニズムの解明のためにも急務であると言える。

海鳥は、海洋における主要な最上位捕食者の一つであり、海洋を広く 3 次元的に利用して餌を能動的に探索して得ることが出来ることから、海洋環境や海洋生物資源変動の優れたインジケーターになることが近年指摘されている(Furness & Camphuysen 1997)。さらに、最上位捕食者として、魚類資源に対して大きな捕食圧を与えうる存在である。

2. 研究の目的

本研究では魚食性海鳥をサケ幼魚のサンプラーとして用いることで、これまでサンプリングが困難であったサケ幼魚を採集し、その生活史を包括的かつ詳細に明らかにすることを目的とする。北海道や青森県沿岸の島々に繁殖するウトウをサケの幼魚のサンプラーとして活用し、サンプリングが非常に困難であるとされてきたサケの幼魚を多数収集する。更に、サケ幼魚を運んでくるウトウに GPS、深度・温度ロガーを装着してその採餌場所や深度、水温環境を特定する。このデータを複数年得て分析することで、サケ幼魚の初期成長、餌、回遊ルート、回遊ルートに影響を及ぼす物理海洋環境、また他種生物によるサケ幼魚に対する捕食圧を評価する。

3. 研究の方法

本研究では 2016 年から 2019 年の 5-7 月に北海道天売島、大黒島、礼文トド島、松前小島、青森県弁天島、鯛島において調査を行い、そこで繁殖するウトウの雛の餌から得られたサケ幼魚、301 個体をサンプルとした。収集したサケ幼魚は尾叉長、体重を計測した後、頭部から耳石を 1 対(2 個)取り出し、一方の耳石は中心(核)まで研磨して温度標識を観察し、母川の特定を行った。もう一方の耳石は、同様に研磨を行った後、耳石の日周輪の間隔を計測することで日間成長率(mm/day)を算出した。また、筋肉片を 99.5%エタノール中に保存し、ゲノム DNA を抽出した。高多型性マイクロサテライト DNA マーカー 10 座(Tsukagoshi et al. 2015)を用いて遺伝子型を決定した後、遺伝的集団構造を推定するため STRUCTURE2.3.4 を用いて最適クラスター数を求め、サンプルを北海道系群と東北系群に分けることを試みた。

松前小島以外の全ての島で、GPS データロガー (Gypsy-Remote, Technosmart) を防水テープを用いて装着した。回収した GPS 測位記録からウトウの移動履歴を解析し、着水場所を採餌場所と定義してカーネル密度推定によって主要な採餌海域を推定した。松前小島については、GPS 装着が出来なかったため、松前小島周辺海域において目視調査を行い、採餌場所を推測した。採餌

場所における環境は、SST は NEARGOOS (JODC)、chl a 濃度は Ocean Color (NASA)、風速風向は気象庁から入手したほか、海域の詳細な水深についても入手した。これらの情報を統合し、ハビタットモデリングを行うことで、ウトウが採餌のために先行した環境を調べた。

更に、全ての島でのウトウの繁殖期の食性情報をもとに、バイオエナジェティックモデルを用いて、餌種毎、特にサケの捕食量の推定を行った。

4. 研究成果

調査期間の内、ウトウからサケ幼魚を回収できたのは、2016年、2017年、2018年であった。温度標識が確認されたものは53個体であった。特定された由来河川は、釧路川、静内川、遊楽部川、十勝川、広尾川など全て北海道の河川で、全14河川であった(図1)。ウトウから得られたサケの尾又長は、2016年、2017年、2018年においてそれぞれ、 92.1 ± 10.5 mm、 93.5 ± 10.3 mm、 82.5 ± 10.5 mm であり差は見られなかった。

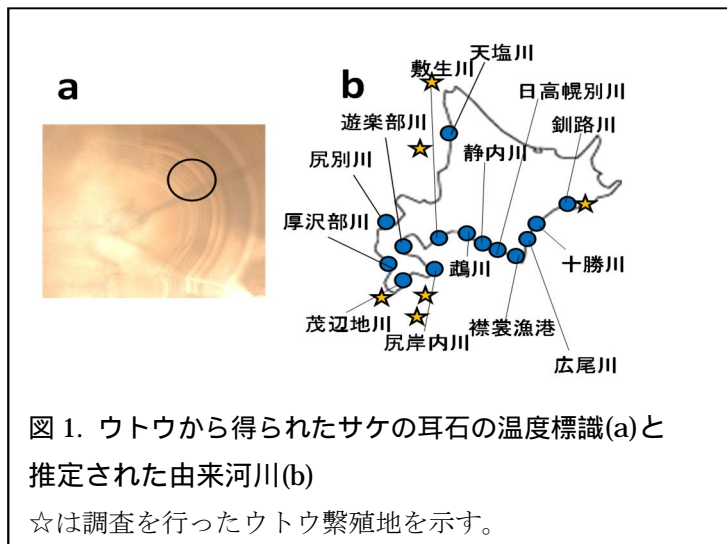
サンプル数に限りはあるものの、成長解析の結果、2016年と2017年の成長率はそれぞれ、 0.69 ± 0.13 mm/day(n=33)、 0.59 ± 0.12 mm/day(n=29)となり、また由来地

域別でも 0.69 ± 0.15 mm/day(n=6、襟裳以西)、 0.67 ± 0.11 mm/day(n=8、襟裳以東)とそれぞれ有意な差は見られなかった。これらの尾又長、成長率は、北海道区水産研究所が道東海域において引き網によって得たサケ幼魚の成長率とも大きな差はなかった。

遺伝的集団構造を解析した結果、そのクラスター数は1であったことから、北海道系群予測に反し、収集したサケ幼魚は一つの集団から構成されていることが示唆された。全サンプルを一つの集団、さらに幼魚採集年ごとにも一つの集団ととらえて HWE 検定を行うと、2016年のみ僅かな逸脱 ($P < 0.05$) がみられたが、2017年、2018年、および全体では HWE の逸脱は認められなかった。前述の通り、耳石の温度標識の分析から明らかになった由来河川も全てが北海道の河川において放流された個体であった。これを加味すると本研究で、ウトウから得られた集団は全て北海道由来のサケである可能性が高い。これまで、北日本で降海するサケは、浦和(2000)が示した通り、全てが東北、北海道のごく沿岸を北上し、陸地に沿って移動した後、秋ごろにオホーツク海に入ると考えられていた。しかしながら、本研究の結果は、北海道と本州のサケでは回遊ルートもしくは回遊時期が大きく異なっている可能性を示唆した。

各繁殖地において GPS でその採餌場所を明らかにした結果、全ての個体群において、その主要な採餌場所は島から最大で 50-150 km 離れた、水深 200m 以浅(特に 100m 以浅)の海域に集中していることが明らかとなった。採餌域の範囲は特に天売島で南北に広く、津軽暖流域と一部がオホーツク海の寒流域を利用したほか、礼文トド島は天売島よりも北部の津軽暖流域およびオホーツク海等の寒流域、大黒島は親潮域など各繁殖地の周辺を広く利用していた。このごく沿岸のみを利用するという性質が、東北系群が得られたサケ幼魚のサンプルから一切出現しなかったという結果と関連するかもしれない。

津軽海峡内にある弁天島、鯛島の個体、松前小島の個体の採餌域は特定の海域に採餌が集中し、



恵山岬付近(津軽海峡域)のほか、鯛島の個体は繁殖地付近の海域(陸奥湾)を強く選好していた。また、年による採餌域の微細な差が見られ、2019年の弁天島の個体は、上記の海域に加え、少しそれよりも遠い、噴火湾湾口部の沿岸(太平洋側)を強く選好していた。採餌場所を決定する環境要因は、鯛島では SST、Chl a、水深、2019年の弁天島では SST、Chl a、2021年の弁天島では SST、水深が選択されたが、Chl a は採餌場所選択に影響する傾向であった。SST は年・繁殖地によらず選択されたが、2019年の弁天島の個体の方が2021年の両島の個体よりも低い SST を選好していた(2019年弁天島; 8 以下、2021年弁天島・鯛島; 16-18)。また、2019年の弁天島の個体は、Chl a が高い場所を選好したが、2021年の弁天島の個体は2019年よりやや低い Chl a の場所を選好していた。これは2019年の個体は、低水温で生産性が高い親潮域に強く影響された海域を選択的に利用したが、2021年には、高水温で生産性が比較的低い津軽暖流の影響を強く受けた海域を選択的に利用していたことを示唆した。さらに、松前小島周辺海域における目視調査では、松前小島周辺の津軽海峡域において多数のウトウが採餌していた。また、飛翔個体の飛翔方向は、南東、北東、東が全体の81.6%を占めており、津軽海峡域の方角へと飛翔していた。松前小島のウトウは、松前小島周辺に加え、他の島の個体と同様の津軽海峡の東部海域を主に利用していることが示唆された。2021年に行った調査では津軽海峡の全ての繁殖地において、カタクチイワシ *Engraulis japonicus* が最も多く雛に給餌されていた一方、2019年はマイワシ *Sardinops melanostictus* が主要な餌であった。カタクチイワシはウトウにとって最も好適な餌であると考えられており、2021年には好適な餌が津軽海峡の一部に多く来遊したため採餌域に微細な差が生まれたと考えられた。

サケ幼魚は、これらの GPS 記録において、寒流の影響下にある繁殖地において特に多く利用されており、また、好適な餌とされるカタクチイワシが出現しない年に特に多く得られる傾向があった。サケは、好適水温が8度程度と言われており、好適な暖海性のカタクチイワシが十分にとれない年や繁殖地において、寒流域を利用することで捕食されるものであると考えられた。

また、全ての島のウトウの餌にしめるサケ幼魚の割合から、夏季におけるウトウによるサケ幼魚の消費量を推定したところ、全サケ系群の資源量の0-10%程度であることが示された。ただし、消費量は年や繁殖地により大きく異なるとともに、ウトウの親鳥の餌と雛の餌を同じとするか別々に調べるかによってこの推定値が大きく変化する(雛と親の餌を個別に調べない場合、消費量は過大評価される恐れがある)ことが明らかとなった。

本研究では、ウトウをサンプラーとしてサケ幼魚を収集し、網羅的に上記の内容についての解析を行った。研究遂行の中で、ウトウの餌の選好性や海域の選好性というバイアスがあり、年によってまた繁殖場所によってサケ幼魚の収集量に大きな差が出た。これは、ウトウを簡便な魚類サンプラーとして利用する問題点を提起した。しかし、本研究でサケ幼魚の基礎情報について重要な基礎情報を得られるとともに、サケの地域個体群ごとに回遊経路をより詳しく検討する必要があることを示すことができた。また、ウトウをサンプラーとするアイデアは、魚類研究者の間でも関心をよび、本研究で収集されたサンプルを使って別の種の幼魚期の生態を明らかにする研究が始まりつつあり、今後の発展に寄与できたものと考えている。

【参考文献】

浦和茂彦 (2000) 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース 5 : 3-9.

長澤和也 & 帰山雅秀 (1995) 日本沿岸水域における魚類と海鳥類によるサケ幼稚魚の捕食. さけ・ます
ふ化場研報. 49 : 41-53.

Furness RW & Camphuysen CJ (1997) Seabirds as monitors of the marine environment. ICES J. Mar. Sci. 54: 726-737

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 平田和彦、小澤光莉、田上陸、伊藤元裕	4. 巻 26
2. 論文標題 青森県におけるマガモ <i>Anas platyrhynchos</i> の繁殖記録：大間弁天島における抱卵と孵化の状況証拠	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 青森自然誌研究	6. 最初と最後の頁 4 - 5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 J Mark Hipfner, Marie M Prill, Katharine R Studholme, Alice D Domalik, Strahan Tucker, Catherine Jardine, Mark Maftei, Kenneth G Wright, Jessie N Beck, Russell W Bradley, Ryan D Carle, Thomas P Good, Scott A Hatch, Peter J Hodum, Motohiro Ito et al.	4. 巻 15(11)
2. 論文標題 Geolocator tagging links distributions in the non-breeding season to population genetic structure in a sentinel North Pacific seabird.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PloS one 15 11 e0240056	6. 最初と最後の頁 e0240056
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0240056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Okado Jumpei, Ito Motohiro, Watanuki Yutaka	4. 巻 51
2. 論文標題 Status of Seabirds on Daikoku Island, Hokkaido	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Yamashina Institute for Ornithology	6. 最初と最後の頁 95 ~ 104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3312/jyio.51.95	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 小澤光莉、大島康平、平田和彦、伊藤元裕	4. 巻 27
2. 論文標題 青森県におけるマガモ <i>Anas platyrhynchos</i> の継続的繁殖：大間町弁天島における繁殖追加記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 青森自然誌研究	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 諏訪浩貴、佐藤信彦、渡邊俊、北川貴士、伊藤元裕
2. 発表標題 ウミネコの夜間採餌と中深層性マイクロネクトン
3. 学会等名 2020年度日本バイオリギング研究会シンポジウム サテライトワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motohiro Ito, Hiroki Suwa, Hikari Ozawa, Nobuhiko Sato
2. 発表標題 DIET FROM DEEP-SEA utilization of mesopelagic micronekton by Black-tailed gull
3. 学会等名 Pacific Seabird Group 2021 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hikari Ozawa, Motohiro Ito
2. 発表標題 Foraging area selection of Rhinoceros auklet breeding on Benten island, Japan, in the Tsugaru Strait
3. 学会等名 Pacific Seabird Group 2021 annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junpei Okado, Kentaro Kazama, Akiko Shoji, Motohiro ito, Yutaka Watanuki
2. 発表標題 Foraging, diet and breeding of rhinoceros auklets at two colonies in the different current systems
3. 学会等名 Pacific Seabird Group 2021 annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大門純平、庄子晶子、伊藤元裕、綿貫豊
2. 発表標題 北海道天売島で繁殖するウトウの採餌場所
3. 学会等名 日本鳥学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大門純平・伊藤元裕・長谷部真・庄子晶子・林はるか・佐藤信彦・越野陽介・島袋羽衣・高橋晃周・渡辺謙太・桑江朝比呂・綿貫豊
2. 発表標題 北海道対馬暖流域の3つのウトウ繁殖地における餌の利用可能性と雛の肥満度の関係
3. 学会等名 日本鳥学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤信彦・伊藤元裕・北川貴士
2. 発表標題 鳥類によるサケ稚魚食害の実態解明
3. 学会等名 日本鳥学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jumpei Okado, Motohiro Ito, Makoto Hasebe, Akiko Shoji, Haruka Hayashi, Nobuhiko Sato, Yosuke Koshino, Ui Shimabukuro, Akinori Takahashi, Kenta Watanabe, Tomohiro Kuwae, Yutaka Watanuki
2. 発表標題 Local forage fish availability and the reproductive performance of Rhinoceros Auklets in Hokkaido, Japan
3. 学会等名 PICES (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大門純平・伊藤元裕・綿貫豊
2. 発表標題 北海道天売島で繁殖するウトウとウミウのレジームシフトに伴う餌消費量の変化
3. 学会等名 日本鳥学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤元裕・阿部貴晃・佐藤信彦・北川貴士
2. 発表標題 大槌川および大槌湾における鳥類による サケの人工孵化放流魚の捕食
3. 学会等名 日本鳥学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jumpei Okado, Motohiro Ito and Yutaka Watanuki
2. 発表標題 Climate and prey consumption by Rhinoceros Auklets and Japanese Cormorants breeding in Teuri Island, Hokkaido, Japan
3. 学会等名 PICES (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuhiko Sato, Motohiro Ito, Takashi Kitagawa
2. 発表標題 Salmon fingerlings predation by avian predators near a salmon hatchery in Ohtsuchi, the Sanriku region, Japan
3. 学会等名 Pacific seabird Group (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大門純平・伊藤元裕・長谷部真・庄子晶子・林 はるか・佐藤信彦・越野陽介・島袋羽衣・高橋晃周・渡辺謙太・桑江朝比呂・綿貴豊
2. 発表標題 地域的な餌魚の利用可能性と海鳥雛の肥満度
3. 学会等名 日本水産学会
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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	Environment and Climate Change Canada	University of Lethbridge	Dalhousie University	他3機関
米国	Oikonos Ecosystems Knowledge	Point Blue Conservation Science	Northwest Fisheries Science Centre	他5機関
オーストラリア	University of Tasmania			