

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06202

研究課題名（和文）異なる水温環境におけるサケの産卵および降海生態に関する比較研究

研究課題名（英文）Comparison of spawning and seaward-migration ecology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in different water temperature

研究代表者

青山 潤 (Aoyama, Jun)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：30343099

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：岩手県大槌町の小釜川と釜石市の鶴住居川におけるサケ野生魚の産卵床形成にかかる環境選択特性を明らかにした。地下水の湧昇が少ない鶴住居川では、サケの産卵期間にあたる10月-1月の下流部の水温は1.0-14.0℃であるのに対し、湧水の影響を強く受ける小釜川では4.6-15.8℃と有意に高かった。両河川におけるサケの産卵床の分布は、鶴住居川では湧水付近に集中するのに対し、小釜川では湧水付近を避けていることが明らかになった。このことは、サケの産卵場所選択において、低水温下では適切な水温を得るために湧水付近が選択されるのに対し、水温に問題のない環境では湧水による貧酸素条件が回避されるためと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

年間18億匹程度の稚魚を放流してきたにもかかわらず、我が国沿岸のサケ漁獲量は大きく増減を繰り返し、2000年頃からは顕著な減少傾向を示している。近年では人工孵化放流事業の弊害が指摘され、天然環境で産卵するサケ野生魚の重要性が指摘されている。三陸沿岸河川におけるサケ野生魚の実態は明らかでなく、生態学的情報の蓄積が急務である。本研究では、三陸沿岸河川におけるサケ自然産卵の時期や量などの基礎情報に加え、産卵場所選択にかかる環境条件について一定の知見を得ることができた。地球温暖化に伴い、三陸におけるサケ回帰資源は危機的に減少しているが、海洋だけでなく、河川環境も含めた管理・保全方策は不可欠である。

研究成果の概要（英文）：Environmental preferences of wild chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to make their spawning redds were studied in the Kozuchi River in Otsuchi Town and the Unosumi River in Kamaishi City, Iwate Prefecture, Japan. In the Unosumi River where groundwater upwelling is relatively low, the water temperature during the salmon spawning season from October to January ranged from 1.0 to 14.0°C, while the Kozuchi River, which has abundant groundwater upwelling was significantly warmer ranging from 4.6 to 15.8°C. Distribution of the spawning redds was found to be concentrated near upwellings in the Unosumi River, whereas the vicinity of upwelling was avoided in the Kozuchi River. It likely to be due the fact that salmon select areas near upwelling to obtain appropriate water temperatures under low water temperatures, whereas they avoid anoxic conditions caused by upwelling groundwater in environments where adequate water temperature is available.

研究分野：魚類生態学

キーワード：サケ 三陸沿岸河川 繁殖生態 産卵床

1. 研究開始当初の背景

1970年代以降の人工ふ化放流事業の発展に伴い、日本沿岸で漁獲されるサケ(*Oncorhynchus keta*)は、ほとんど全てが放流魚と考えられるまでになった。しかしながら、年間18億匹程度の稚魚を継続的に放流しているにもかかわらず、沿岸のサケ漁獲量は大きく増減を繰り返し、2000年頃からは顕著な減少傾向を示している。

サケマス類の中で進化的に最も進んだ生活史を持つサケは、淡水域への依存度が低く、稚魚は産卵床より浮上後(ふ化放流魚では放流後)ただちに降海し、生活史のほとんどを海で過ごす。このため資源変動の主要因は海洋生活期にあると考えられ、これまで沿岸から外洋へ至る様々なスケールで研究が行われてきた。現在では、降海後ベーリング海へ向かう前の沿岸域における稚魚の密度と4年後の回帰尾数に相関が認められることから、海洋生活初期に減耗するという説が有力視され、精力的な研究が進められている。一方、近年になって、スチールヘッド(*O. mykiss*)のスマルト個体が降海する際、河川の最初の3km区間で放流魚の30-40%、野生魚の7-13%が死亡することが報告された(Melnychuk et al. 2014)。また、北海道・千歳川で行われたサケに関する研究は、放流地点より10km下流の河川内での稚魚観察数や水温が当該世代の回帰率と相関することから、水温環境に起因する河川内での減耗の可能性について指摘している(Morita et al. 2015)。しかし、わずかな河川生活期を人工ふ化放流事業により制御されてきた我が国のサケでは、自然状態での産卵・降海生態およびそれらと環境との関わりに関する知見は乏しく、河川内での稚魚の減耗について詳しく検討することは困難である。

岩手県の大槌川(流路延長12.5km)、小槌川(11.8km)および鶴住居川(23.1km)は、いずれも大槌湾へ注ぐ2級河川である(図参照)。大槌川と小槌川の河口は隣接しており、ここから3km足らずのところに鶴住居川の河口がある。これら河川は地理的に近接するにもかかわらず、厳冬期(1月下旬)の下流部の水温は大槌川が最も高く11.2、小槌川が8.7、鶴住居川が2.7、逆に夏季(8月下旬)は大槌川が最も低く15.6、小槌川が18.4、鶴住居川が20.2と大きく異なる。これは大槌川が湧水河川、鶴住居川が非湧水河川、小槌川がその中間的な特徴を有するためと考えられる。なお、大槌湾内の表層水温は、厳冬期でおおむね7.6、夏季で20.1である。また、現在では大槌川と鶴住居川におけるサケのふ化放流事業は東日本大震災前のレベルまで復旧したものの、小槌川では中断されたままとなっている。さらにこれまでの予備調査により、いずれに河川においてもサケの自然産卵が確認されている(Aoyama 2017)。すなわち、数キロの範囲に近接する大槌湾水系の3河川は、異なる水温環境および人工種苗生産による放流魚と自然産卵により生み出された野生魚(親が放流魚か野生魚かの由来は問わない)を比較する研究に絶好の条件を備えた特異なフィールドとなっている。

2. 研究の目的

そこで本研究は、岩手県の大槌川(流路延長12.5km)、小槌川(11.8km)および鶴住居川(23.1km)をフィールドとし、(1)産卵床調査および稚魚調査を通じ、サケ野生魚の産卵・降海生態を明らかにするとともに、産卵床の時空間分布と河川環境から、各河川における稚魚の降海生態を明らかにする。(2)ふ化放流事業対象河川と非対象河川の比較により、放流魚と野生魚の降海行動の差異を明らかにする。(3)水温環境の大きく異なる河川の比較を通じ、(1)および(2)に対する水温の影響を明らかにする。あわせて、(4)ふ化放流魚を用いた標識-再捕試験を実施し、降海モデルの結果と比較することなどにより、河川での水温依存的な減耗を検証することを目

的とした。

3．研究の方法

環境調査：

対象 3 河川それぞれにおいて、数カ所に設置したデータロガーにより継続的な水温計測を行うとともに、湧水影響が顕著となる夏季（9月上旬頃）および冬季（2月上旬頃）に踏査を行い、サーモグラフィー、水温計、ピエゾメーターを使用して、詳細な湧水の噴出・流入状況とそれに伴う河川内の水温分布を調べた。

産卵床調査：

概ね 11 月から 1 月に及ぶ産卵期間中、各河川において各旬 1 回の踏査を実施し、目視による産卵床の計数を実施した。なお、主要な産卵場所については、GPS により全ての産卵床の位置を記録した後、水温、水深、粒度組成などを継続的に観察した。

降海稚魚調査：

2 月から 6 月にかけて感潮域の上流部にスマルトトラップを設置し、週 1-2 回の頻度で降海稚魚の定量採集を行った。トラップはコンパートメント連結型とし、流速、水深、河床形態、カバーの有無など、それぞれ異なる環境を網羅するように設置した。各回得られた稚魚は個体数を確認後、100 尾を上限に持ち帰り、放流魚/野生魚の判別（上述）およびサイズ測定、胃内容物調査を実施し、河川および放流魚と野生魚の降海時期、サイズ、回遊経路および初期成長や食性などを詳細に比較した。

4．研究成果

新型コロナウイルスの感染拡大により野外調査が制限されたこと、さらに本研究に参加していた大学院生が経済的理由により休学を余儀なくされたため、当初は 3 河川での実施を予定していたが 2 河川（小澁川と鶴住居川）とすることとなった。

初年度は、まずサケ産卵床形成場所にかかる環境特性を広く理解するため、産卵盛期にあたる 12 月に河口から約 1-4km の範囲を 10 区間に分け、各区間内に設定した 10 測点において河床下 20cm の水温を測定した。また、サケ産卵期間中（10~12 月）に各旬 1 回の踏査を実施し、調査区間における産卵床の位置と数をすべて記録した。続いて産卵床形成場所の環境特性を詳細に明らかにするため、産卵のピークと推定された 12 月下旬に、最も多く産卵床が確認された区間において、産卵床（小澁川 18 点、鶴住居川 10 点）とそこから数 m 程度離れた非産卵場所（小澁川 12 点、鶴住居川 10 点）の河床内水温、溶存酸素濃度（DO）、電気伝導度（EC）を測定した。以上の結果、調査区間全域の河床内水温は、小澁川で 4.6~15.8、鶴住居川では 1.0~14.0 だった。また、踏査期間中に小澁川で計 192 床、鶴住居川で計 360 床が確認された産卵床のほとんどは、河床内水温の中央値が 8 以上の区間に集中することが分かった。さらに、産卵床と非産卵場所の水温、DO、EC を比較したところ、鶴住居川では産卵床（10.5、7.6 mg/L、91.5 μ S/cm）と非産卵場所（8.5、7.4 mg/L、92.1 μ S/cm）に有意な差が認められなかったのに対し、小澁川ではそれぞれ産卵床が 10.0、8.0 mg/L、81.9 μ S/cm、非産卵場所が 10.7、5.2 mg/L、132.3 μ S/cm であり、産卵床内は DO が高く、EC が低いことが明らかになった。このことは、小澁川の産卵床が、周囲に比べて地下水の湧昇が弱い場所に形成されていることを示唆している。すなわち、サケの産卵床形成において、卵の育成に適した水温が確保できる場合、多量の地下水による貧酸素

条件が忌避されると考えられた。

2021年には、鵜住居川を対象としてサケの産卵環境の選択性に関する調査と降海稚魚の採集試験を実施した。河口から1 - 4.4 kmの区間(調査区間)を計10個に区分し、調査区域を設定した。産卵床の数と分布については、産卵期を網羅する9月から2月にかけて隔週で調査区間の踏査を実施し、新たに形成された産卵床の位置を記録、区域ごとに数を集計した。また、10月から12月にかけて、それぞれの区域内に設けた1測点において、ピエゾメーター法により河床内20 cmの水温を測定した。さらに、産卵床の環境特性を明らかにするため、新しく形成された産卵床(102床)とその近傍の非産卵場所(67点)の河床内及びそれぞれの表流水について、水温、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(EC)を測定した。また、Udden-Wentworth scaleに基づき、全ての測点の河床材料を分類・記録した。その結果、鵜住居川では11月下旬をピークに10月26日 - 1月20日に412床の産卵床が観察された。また、調査区間全体にわたる河床内水温(1.0-14.0 °C)および河床材料(Sand-Gravel)は区域ごとに大きく異なっていた。一方、産卵床内の水温、DO、ECは10.9 [8.6-12.0] °C、8.1 [6.8-10.8] mg/L、75.1 [69.9-85.6] mS/cmであり、産卵床内は、表流水よりも水温とECが高く、DOは低かったため、産卵床内は地下水湧出の影響を受けていると考えられた。産卵床内と非産卵場所の河床内環境を比較したところ、産卵床、非産卵場所の水温、DOに差はなく、産卵床のEC(75.1 mS/cm)は、非産卵場所(85.5 mS/cm)よりも有意に低かった。河床材料は、産卵床ではGravelが優占し、非産卵場所ではSandが優占していた。以上の結果から、昨年度明らかになった小槌川における多量の湧水を忌避する産卵環境選択と異なり、鵜住居川では湧水を選好することが示唆された。こうした産卵環境の選択性の差異は、豊富な湧水により河床内水温がおおむね8 °C以上に保たれている小槌川では貧酸素環境をもたらず湧水が忌避されるのに対し、河床内水温が1.0-14.0 °Cと大きく変動する鵜住居川では適水温を確保するため湧水が選好されていることを示唆する。

2022年度、岩手県では歴史的なサケの不漁に見舞われ、漁獲量はピーク時の1-2%程度にまで落ち込んだ。そこで、野生魚親魚の調査を継続するとともに、少数の稚魚サンプルからより大量の情報を抽出するため、個体識別のための遺伝子解析の基盤固めを行った。小槌川の河口から1 km-4 km程度上流の約3 kmを調査区間とし、2021年9月13日から2022年2月26日の間に産卵床の調査を実施した。週2回程度の踏査で遡上親魚を計数した。産卵床の計数は隔週で実施し、携帯型GPSで位置を記録し、2017年のデータと比較することにより経年変化を検討した。産卵床は10月4日から2022年2月8日までの間に49床が観察された。遡上親魚は11月以降増加し、12月下旬に最も多く確認された。産卵床は、河口から1 km-2 km程度上流の約1 kmの区間で最も多く観察された。2017年の記録と比較したところ、親魚の遡上時期および盛期、産卵床の分布は両年で同様であったが、親魚、産卵床の数はいずれも2021年は2017年の9-25%程度に減少したことがわかった。

また、サケ科魚類の既報のマイクロサテライトマーカー19個について、2017年に小槌川に回帰したサケ親魚48個体を用いてPCRおよびジェノタイプングを行った。その中から、アレルの判別がやすく、多型が見られたマーカーを14個選抜し、DNAマーカーの候補とした。その個体識別の精度を評価するため、集団中から任意に選んだ2個体間で遺伝子型が一致する確率(Probability of Identity, pi)を各遺伝子座で求め、各遺伝子座の pi を総乗して、遺伝子座全体で任意に抽出した2個体のジェノタイプが一致する確率(PI)を求めたところ、 7.09×10^{-29} であった。このことは、サケ野生個体群の中の任意の2個体の間において11座すべてで遺伝

子型が一致する確率が1種分の1であることを示す。過去10年間に日本から放流された稚魚の総和が約20億尾であることを考えると、本研究で構築したDNAマーカーセットは、高い精度で個体を識別できると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Aoyama Jun, Hyodo Susumu	4. 巻 17
2. 論文標題 Challenges to Make Salmon in Sanriku an Icon of the Region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NPAFC Technical Report	6. 最初と最後の頁 158-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23849/npafctr17/158.159.	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Minegishi Yuki, Kawakami Tatsuya, Aoyama Jun	4. 巻 17
2. 論文標題 Wild Population and Natural Spawning of Chum Salmon in the Kozuchi River on the Sanriku Coast, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NPAFC Technical Report	6. 最初と最後の頁 174-175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23849/npafctr17/174.175.	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Kawakami Tatsuya, Minegishi Yuki, Aoyama Jun	4. 巻 17
2. 論文標題 Downstream Migration and Spatial Distribution of Juvenile Chum Salmon in the Otsuchi Bay, the Sanriku Coast of Iwate, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NPAFC Technical Report	6. 最初と最後の頁 176-177
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23849/npafctr17/176.177.	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Oba Satoki, Kawakami Tatsuya, Minegishi Yuki, Aoyama Jun	4. 巻 17
2. 論文標題 Spawning Environment of Chum Salmon in the Coastal Rivers on the Pacific Side of Northern Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 NPAFC Technical Report	6. 最初と最後の頁 178-179
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23849/npafctr17/178.179.	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Oba S., Kawakami T., Minegishi Y., Aoyama J
2. 発表標題 Spawning environment of chum salmon in the coastal rivers on the Pacific side of northern Japan
3. 学会等名 The Third NPAFC-IYS Virtual Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minegishi Y., Kawakami T., Aoyama J.
2. 発表標題 Wild Population and Natural Spawning of Chum Salmon in the Kozuchi River on the Sanriku Coast, Japan
3. 学会等名 The Third NPAFC-IYS Virtual Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kawakami T., Minegishi Y., Aoyama J.
2. 発表標題 Downstream Migration and Spatial Distribution of Juvenile Chum Salmon in the Otsuchi Bay, the Sanriku Coast of Iwate, Japan
3. 学会等名 The Third NPAFC-IYS Virtual Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoyama J., Hyodo S.
2. 発表標題 Challenges to Make Salmon in Sanriku an Icon of the Region
3. 学会等名 The Third NPAFC-IYS Virtual Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大場理幹, 川上達也, 峰岸有紀, 青山潤
2. 発表標題 三陸沿岸河川におけるサケ(Oncorhynchus keta)の産卵環境に対する選択性
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大場理幹, 川上達也, 峰岸有紀, 青山潤
2. 発表標題 三陸沿岸河川におけるサケの産卵環境
3. 学会等名 日本水産学会東北支部大会
4. 発表年 2020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
---------	---------