

令和 6 年 5 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03647

研究課題名（和文）野生サケ資源の増加に資する河川環境の再生に関する研究

研究課題名（英文）River restoration aiming at an increase of wild salmon resources

研究代表者

中村 太士（Nakamura, Futoshi）

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：90172436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：知床ルシャ川において、ダムを部分撤去した場合の河道変化を、シミュレーションで再現し、産卵環境が再生できることを明らかにした。また、カラフトマス、サケ、サクラマスについて、全道レベルの産卵適地マップを構築し、ダムによる分断化ならびにダム改良による効果を評価した。さらに、カラフトマスを対象とし、流域地形特性が再生産効率に与える影響を検討した結果、流域平均斜度、stream power、流域平均最大24時間雨量が有意な変数となった。豊平川において、サケの遡上時期と産卵する河川地形の違いについて調べた結果、前期群は砂礫堆の前縁湧昇部に多く産卵され、後期群は2次流路に産卵することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ダム改良がサケの産卵環境に与える意義を数値シミュレーションによって明らかにした。また、広域解析からサケ類の産卵適地の分布と、ダムによる分断化を定量的に示し、野生個体群を維持、保全するためには、分断化の解消と、流域特性に規定される再生産効率を検討することがきわめて重要であることを明らかにし、優先的に保全・再生すべき流域を抽出する手法を提案した。さらに、人間生活の影響を大きく受ける都市河川において、野生魚の繁殖特性、産卵環境、生存率、河川地形の経年変化から、野生サケ個体群の存続可能性を検証し、将来に向けたサケの保全対策についても提言した。

研究成果の概要（英文）：In the Shiretoko Rusha River, iRIC simulations reproduced the changes in the river channel after the partial removal of the dam, and showed that the spawning environment could be restored. In addition, spawning habitat maps were constructed for pink salmon, chum salmon, and cherry salmon over the Hokkaido Island, and the effects of dam fragmentation and dam improvement were evaluated. Furthermore, the effects of watershed topography on reproduction efficiency were examined for pink salmon, and the results showed that the watershed mean slope, stream power, and watershed mean maximum 24-hour rainfall were significant variables. In the Toyohira River, we investigated the difference between the timing of salmon runs and the stream topography in which they spawn. The results showed that the early season group spawned mostly in the upwelling area at the downstream edge of sand and gravel deposits, while the late season group spawned in the secondary stream channel.

研究分野：生態系管理学

キーワード：自然再生 ダム改良 野生サケ 産卵適地 産卵環境 稚魚降海数 再生産効率 親魚遡上数

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本のサケ資源はふ化事業に支えられて順調に伸びてきたと思われてきたが、その傾向は1996年くらいまでで、それ以降は減少傾向に転じ、近年の来遊数は2000万尾程度で、1980年の水準に落ち込んでいる。この理由については、気候変動による海洋環境の変化、漁獲量の過多、種苗放流による適応度低下が挙げられている。本研究で注目するのは、この要因であり、近年サケ類の一種であるスチールヘッドでは、ふ化放流魚の自然繁殖力が人工飼育世代数の増加とともに急激に低下することが明らかになるなど、日本のふ化事業がサケの遺伝的特徴へ与える負の影響についても議論されている。このような中で、近年、自然産卵を利用した持続可能な資源管理の必要性が指摘されている。

海域から河川に遡上する生活史を有するサケ類は、ダム建設により産卵場所への移動が制限されるなどの直接的な影響を受ける。一方で、1997年の河川法改正以降、ダムへの魚道の設置、治山・砂防ダムのスリット化等が実施されるようになった。こうした事業の結果、サケ類や他の回遊魚の移動が可能になり、産卵環境の拡大に寄与したことは間違いないが、事業評価がダム上流域へ遡上できたか否か、もしくは産卵床がダム上流域に形成されたかどうかなどにとどまり、魚類個体群や漁業資源量の維持の観点からは全く評価されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、河川構造物の改修が継続的に行われている知床世界自然遺産地域および北海道の他河川を対象に、河川環境の改善がサケ資源に及ぼす影響を、河川地形・粒径変化、親魚遡上数、産卵床数、稚魚降海数から定量化し、自然産卵によるサケ資源管理の意義を明らかにする。

具体的には、河川環境の修復や復元事業における河川地形ならびに河床材料の変化を、二次元河床変動計算によって明らかにすること、サケ類の産卵に適した河川地形、河床材料、ならびに水理条件から、サケの産卵適地、復元事業前後の産卵環境の改善を明らかにすること、サケ類の遡上数、産卵床数、ならびに降海稚魚数から、再生産効率(親魚密度に対する降海稚魚数)を明らかにする。～を統合し、ダム改良によって得られる産卵適地ならびに再生産効率の増大を明らかにし、ダム改良効果をサケ資源量の増加の観点から評価し、自然産卵による持続可能な管理手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 河川環境の修復・復元事業による地形変化予測と検証(目的に対応)

現在、知床半島ルシャ川では、国際自然保護連合(IUCN)ならびにユネスコからの勧告を受けて、治山ダム(低ダム群)の改良工事が実施されている。2024年には、3つのダムすべてについて、40m幅の完全撤去を実施する予定である。河川の流れ・河床変動解析に関しては、公開ソフトiRICによるシミュレーションを実施、ダム改良による河川地形ならびに粒径の変化を予測し、産卵環境の評価につなげる。

(2) 河川環境の修復・復元事業による産卵環境の拡大予測と検証(目的に対応)

北海道の他地域で実施された調査により、サケの産卵床に必要な粒径は22.0-43.0mm程度、カラフトマス場合は17.2-34.5mm程度であることがわかっている。そのため、粒径を推定できる統計モデルを作成し、全道において、ダム改良後における産卵床の拡大範囲を予想する。

(3) 親魚遡上数・産卵床数、降海稚魚数による再生産効率の把握(目的に対応)

知床世界自然遺産区域を流れる川を中心に、降海稚魚数を測定する。また、産卵床の数、親魚の遡上数を把握し、両者の関係から調査河川における再生産効率を推定する。広域を網羅できる環境パラメータを使って、これら再生産効率を推定できる統計モデルを構築する。

4. 研究成果

知床世界自然遺産地域のルシャ川において、3基のダム部分撤去した場合の河道変化、産卵環境の再生をiRICシミュレーションで再現できるようになった。今後は、モニタリング結果と比較し、ダム改良がサケの再生産効率に与える影響を明らかにしたい。

カラフトマス、サケ、サクラマスについて、河床粒径による産卵適地の推定を全道レベルで行った。既存研究より、カラフトマス: 17.2-34.5 mm、サケ: 22.0-43.9 mm、サクラマス: 25.4-69.5 mmが産卵床に適していることが明らかになった。粒径データについては北海道の12水系で北海道開発局が実施した1996年～2019年河川調査結果から入手した。粒径を応答変数、説明変数を標高や勾配、流域面積などの環境要因として、Neural Network, GLMなどでモデル解析を行い、3種の全道レベルの産卵適地マップを構築した。また、ダムによる分断化を評価するために、ダムの位置データを入手し、産卵適地マップとのオーバーレイを行った。

豊平川において、サケの遡上時期と産卵する河川地形の違いが、産卵環境と卵の死亡率に与える影響について調べた。河川地形は、砂礫堆、瀬、淵、二次流路、砂礫堆沿いの浸透域、砂礫堆沿いの湧出域、人工構造物とした。産卵床の分布頻度は、特定の地形と関係が見られ、砂礫堆沿いの湧出域に約6割が集中していることが明らかになった(図1)。豊平川の河川地形は、サケの産卵に適さない環境へ経年的に変化していることが明らかとなり、次世代の野生魚の個体群が減少するリスクがあることがわかった。サケの産卵環境復元工事で、短期的な初期生存率の向上は期待できるが、サケの産卵環境が維持されるためには経年的な地形発達プロセスを再生する必要性があり、河道設計の見直しを提案した。これらの成果の一部は、論文投稿され、Environmental Biology of Fishes に受理された。

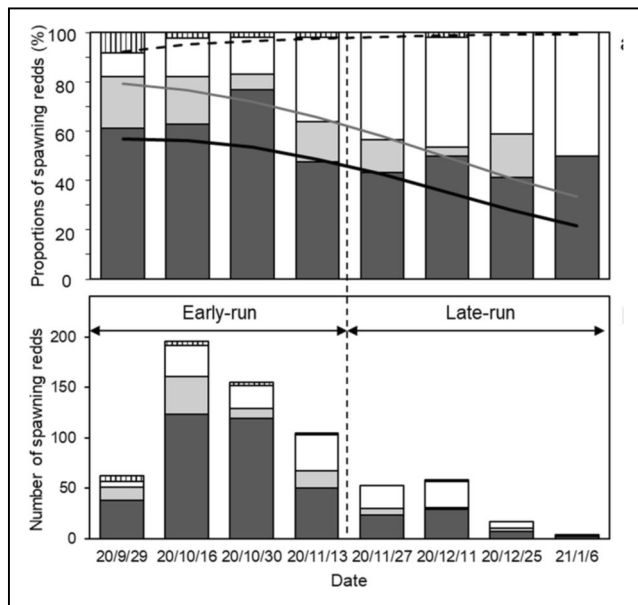


図1 一産卵期にわたって実施された各調査で記録された、地形ユニットごとのシロザケの産卵赤堤の割合 (a)と数(b)。シロザケの産卵に適した地形単位は、砂礫堆の湧出域(濃い灰色)、瀬(薄い灰色)、二次水路(白抜き)またはその他の形態(縦縞)に分類された。適合させたロジスティック回帰は、砂礫堆の湧出域(黒実線)、瀬(灰色実線)、二次流路(黒破線)という生息域の累積確率を示している。

知床半島において、再生産効率を評価するために必要なカラフトマス稚魚の降下移動パターンを調査し、カラフトマス稚魚の約90%が18時台から22時台の間に移動していることを明らかにした。最後に、この降下移動パターンの結果を踏まえ、カラフトマスの再生産効率について調査・解析した結果、再生産効率が流域平均傾斜、stream power、流域平均最大日降水量によって負の影響を受けることを明らかにした(図2)。これらの成果の一部は、論文投稿され、Freshwater Biology に受理された。

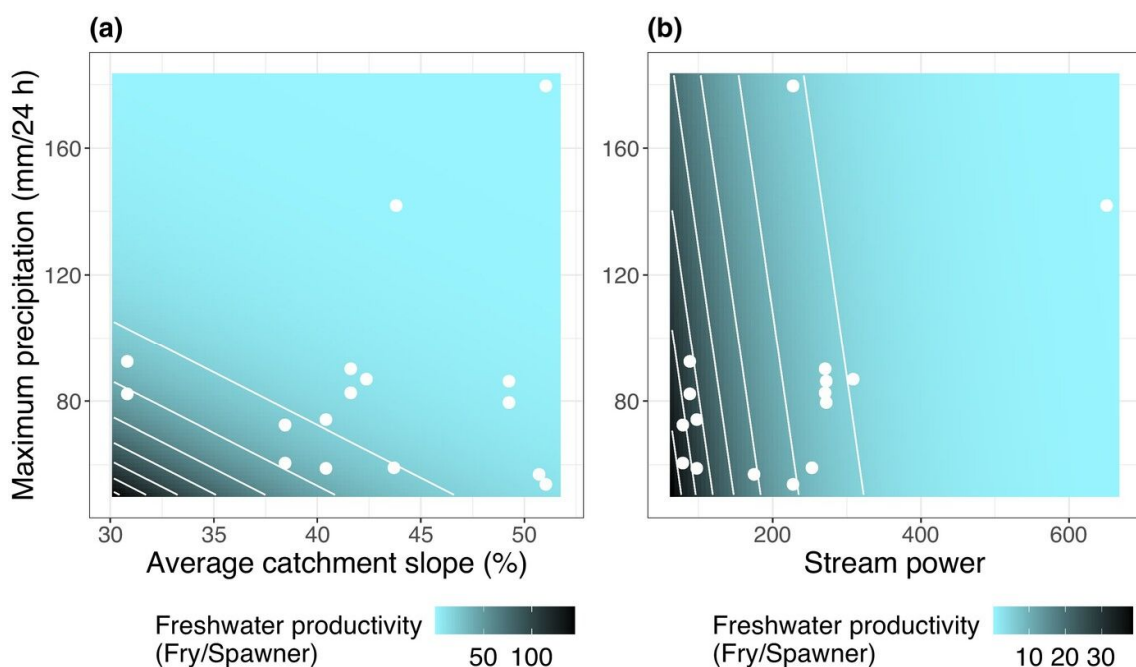


図2 日最大降水量と(a)平均流域勾配、(b)流水力がカラフトマスの再生産効率に与える影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Yamada Taihei, Urabe Hirokazu, Nakamura Futoshi	4. 巻 69
2. 論文標題 Pink salmon productivity is driven by catchment hydrogeomorphology and can decline under a changing climate	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Freshwater Biology	6. 最初と最後の頁 376 ~ 386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fwb.14217	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 Aruga Nozomi, Morita Kentaro, Aruga Makoto, Ueda Kazutoshi, Fujii Kazuya, Orito Kiyoshi, Watanabe Keizo, Nakamura Futoshi	4. 巻 106
2. 論文標題 Spawning habitat characteristics and egg mortality in relation to river geomorphology and run-times of chum salmon (<i>Oncorhynchus keta</i>) in a metropolitan river system, northern Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental Biology of Fishes	6. 最初と最後の頁 1277 ~ 1293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10641-023-01415-z	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 Yamada Taihei, Katahira Hirotaka, Miura Kazuki, Nakamura Futoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Relationship between salmon egg subsidy and the distribution of an avian predator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.9696	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 Aoki Yuh, Nakajima Souta, Nakamura Futoshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Genetic structure and diversity of amphidromous sculpin in Shiretoko, a mountainous peninsula in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Conservation Genetics	6. 最初と最後の頁 1063 ~ 1071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10592-022-01472-4	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 Yamada Taihei, Urabe Hirokazu, Nakamura Futoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Diel migration pattern of pink salmon fry in small streams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fish Biology	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) 10.1111/jfb.15007	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 ARUGA Nozomi, MORITA Kentaro, ARUGA Makoto, UEDA Kazutoshi, WATANABE Keizo, NAKAMURA Futoshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Decadal changes in river geomorphology, and its effect on chum salmon spawning habitat, Toyohira River, Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecology and Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 295 ~ 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3825/ece.20-00025	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 山田太平・ト部浩一・中村太士
2. 発表標題 カラフトマスの再生産効率に 対する攪乱の影響は 流域の地形によって左右されるか？
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山田太平・片平浩孝・三浦一輝・中村太士
2. 発表標題 サケの産卵は鳥類捕食者の分布を規定するか？
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田太平・卜部浩一・中村太士
2. 発表標題 湖河性サケ科魚類の再生産効率と流域地形特性の関係
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taihei Yamada, Hirokazu Urabe, Futoshi Nakamura
2. 発表標題 A broad-scale prediction of reduction in spawning habitats for salmonids by dams
3. 学会等名 International Year of the Salmon Synthesis Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Urabe, Shuichi Mano, Yosuke Koshino, Kiyoshi Kasugai, Hajime Omori, Hiroaki Suzuki, Kenji Nishina, Toshikazu Kizuka, Satoru Ono, Yasuhito Uchida, Kazuhiro Hamahara, Akane Nishi, and Satoshi Katayama
2. 発表標題 Environmental characteristics of lagoons as a nursery habitat for juvenile chum salmon in eastern Hokkaido, Japan
3. 学会等名 International Year of the Salmon Synthesis Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Urabe, Mitsuru Torao, Kazutaka Shimoda, Hiroshi Kawamura
2. 発表標題 Effects of stream habitat restoration through fishway construction on masu salmon population in a small tributary in Hokkaido, Japan
3. 学会等名 International Year of the Salmon Synthesis Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有賀望・森田健太郎・中村太士
2. 発表標題 大都市の扇状地河川におけるサケの産卵特性と自然再生産
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田太平・ト部浩一・中村太士
2. 発表標題 ダムによるサケ科魚類の産卵環境減少の広域的予測
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2022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
研究分担者	渡邊 康玄 (Watanabe Yasuharu) (00344424)	北見工業大学・工学部・教授 (10106)	
研究分担者	森田 健太郎 (Morita Kentaro) (30373468)	東京大学・大気海洋研究所・教授 (12601)	
研究分担者	ト部 浩一 (Urabe Hirokazu) (30442669)	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 げます・内水面水産試験場・研究主幹 (80122)	

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
---------	---------