

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月10日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2018

課題番号：25450293

研究課題名(和文) サケ科魚類の個体数変動：資源の変動幅を規定する要因の抽出

研究課題名(英文) Population dynamics of salmonid fishes: factors affecting the variation in population fluctuation

研究代表者

森田 健太郎 (Kentaro, Morita)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・北海道区水産研究所・主任研究員

研究者番号：30373468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：降海直後の沿岸海洋の環境条件がサケ属魚類の生存率を左右することが多くの研究で示唆されているが、本研究ではサケの生存率の変動は川の環境条件によって説明されることを明らかにした。さらに、サケ放流魚の回帰率は、単に降海時期の水温が高い(あるいは低い)ほど高くなるのではなく、最適水温期間が長いほど生き残りが良いことを明らかにした。現在の放流を止めた場合、自然産卵によってサケの回帰が維持されるかどうかは分からない。そこで、放流数を削減した場合の応答を見ながら、サケを減らさずに放流魚割合を減らすというフィードバック方式の順応的管理方策を提案し、その妥当性をシミュレーションにより検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化は、単に平均気温が高まるというだけではなく、集中豪雨や竜巻などの異常気象の頻度が増したり、季節の移り変わりのパターンにも変化をもたらすことが懸念されている。例えば、春が短くなる、すなわち、冬が終わるとすぐに夏がやってくるという“二季化”という言葉も最近では聞かれるようになった。本研究では、汎用性のある二季化の強さを示す指標を開発し、ある時期の平均温度だけではなく、季節の移り変わりのパターンについても着目する必要性をアピールした。また、外来種の増加、河川工作物による分断化、種苗放流がサケ科魚類の個体数変動に及ぼす効果に関する知見も蓄積することができた。

研究成果の概要(英文)：Early life is believed to be a critical stage for determining survivorship in all fish. Many studies have suggested that environmental conditions in the ocean determine the total survival rate of Pacific salmon, however, we found that the variation in survivorship of chum salmon was explained by river environmental conditions. In additions, survival rates of hatchery-reared chum salmon was positively correlated with the length (in days) of the fry out-migration period with temperatures suitable for migration. Recent studies have suggested that hatchery releases may exert negative effects on wild salmon productions. However, it is unclear whether the salmon population would persist without hatchery supplementation. We proposed a management procedure for determining the stocking efforts of salmon fry with a feedback control loop to reduce the risk of population decline.

研究分野：魚類生態学

キーワード：サケ科魚類 個体群動態

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、地球環境の変動は、気候変動に伴う気温の上昇だけにとどまらず、集中豪雨や渇水、寒波など、気象要因の変動幅が大きくなるという現象が見られている。実際、温暖化が進行すれば、平均気温が上昇するだけでなく、極端な気象現象も増加すると予測されている (IPCC 2007)。このような中、漁獲圧の高い魚種では、漁獲量の低迷に加え、漁獲量の年変動の増大も認められている (Anderson et al. 2008; Rouyer et al. 2012)。

(2) サケ科魚類においては、漁獲圧が高い個体群ほど年齢組成は単純化するが、漁獲圧の強弱と資源の変動幅に関連性は見られず、むしろ、河川流量の変動パターンが加入量変動の重要な要因となっているという指摘がある (Lobón-Cerviá 2011)。このように資源変動の増大と環境変動との関係については未だ議論があり、さらなる知見の蓄積が期待されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、サケ科魚類が生息し、漁業と独立した継続的なモニタリング調査が行われている河川を対象として、サケ科魚類の年齢別個体数のデータと環境要因 (水温・流量など) の時系列データを分析することにより、サケ科魚類の資源の変動幅を規定する要因を抽出する。

(2) 種苗放流が行われている河川では、放流が資源変動の幅を減少させる効果について分析するとともに、環境変動に柔軟な放流数を算出するための順応的管理方を提案する。

(3) 移入サケ科魚類が定着している河川においては、環境変動と種間の相互作用が在来種の個体数変動に与える効果について調べる。

3. 研究の方法

(1) 研究期間全体を通して、複数の自然河川に生息する複数のサケ科魚類を対象として年齢別個体数及び環境パラメータ (温度、流量、自種及び競争種の密度等) のモニタリング調査をおこなった。また、既存のモニタリングデータも整理した。得られた野外データから、個体数変動に影響を及ぼす環境要因の抽出をおこなった。

(2) 札幌市内を流れる豊平川は、サケのふ化放流が実施されるとともに、豊平川さけ科学館によって 1990 年から産卵床数のモニタリングが実施されている。既存のデータを参考にして、放流魚と野生魚 (自然卵卵由来の魚) の双方を組み入れた個体群動態モデルを構築するとともに、管理目標に応じて放流数をコントロールする管理方式の開発をおこなった。

4. 研究成果

(1) 千歳川のふるさと館の観察窓で目視されたサケ稚魚のデータを分析することにより、千歳川のサケの回帰率の年変動をもたらす要因として降下時期の稚魚目視数や河川水温が重要であることを明らかにした (図 1)。これまでは、降海直後の沿岸域で大きな死亡があると考えられてきたが、海に到達する前に、河川内でも大きな減耗がある可能性が示唆された。

(2) 伊茶仁川および徳志別川において耳石温度標識されたサケ放流魚の河川回帰率と降海時期の水温の関係について分析し、単に降海時期の水温が高い (あるいは低い) ほど河川回帰率が高くなるのではなく、最適水温期間が長い年ほどサケの回帰率が高いことを明らかにした (図 2)。さらに、冬が終わるとすぐに夏がやってくるという“二季化”の強さを示す指標を開発し (図 3)、サケ稚魚の

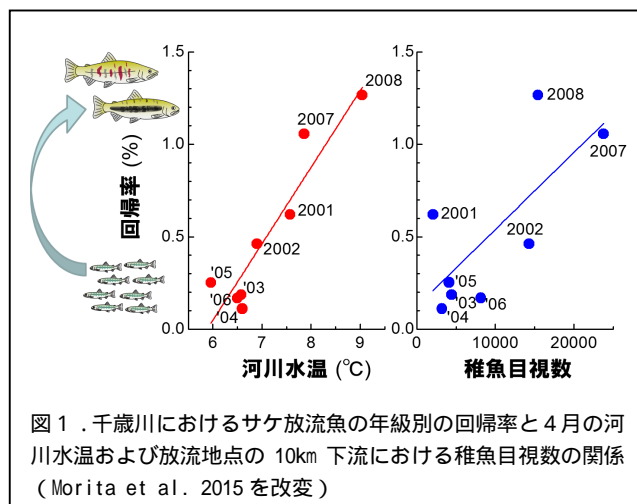


図 1. 千歳川におけるサケ放流魚の年級別の回帰率と 4 月の河川水温および放流地点の 10km 下流における稚魚目視数の関係 (Morita et al. 2015 を改変)

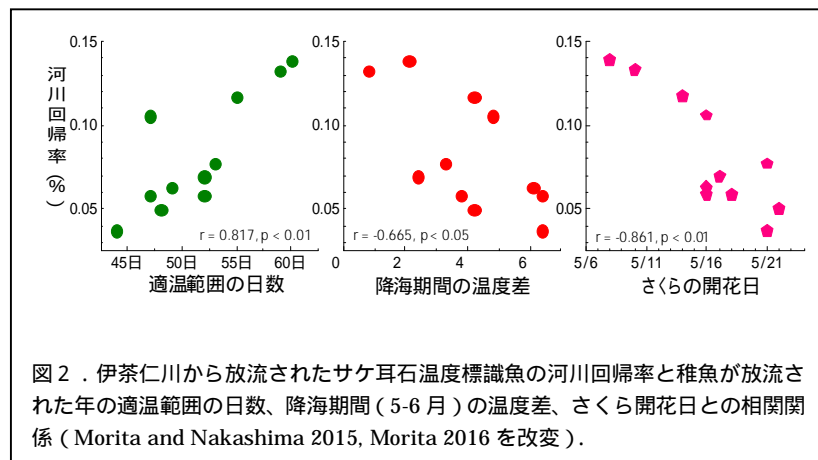


図 2. 伊茶仁川から放流されたサケ耳石温度標識魚の河川回帰率と稚魚が放流された年の適温範囲の日数、降海期間 (5-6 月) の温度差、さくら開花日との相関関係 (Morita and Nakashima 2015, Morita 2016 を改変)。

降海時期の最適温度範囲の推定もおこなった。

(3) 季節の移り変わりを総合的にとらえた生物季節の情報もサケの来遊予測に有益であると考えられる。放流河川近郊のさくらの開花日とサケの河川回帰率の相関関係を調べた結果、さくらの開花日が高い年に稚魚が放流された年級群ほど河川回帰率が高い傾向が認められた(図2)。このように、さくら開花日などの生物季節の情報も、サケ資源の豊凶を予測するのに役立つ可能性が示唆された。

(4) 戸切地川における在来種のイワナと外来種のニジマスおよびブラントラウトのモニタリングデータを分析した(図4)。ニジマスの再生産効率は7月の降水量と負の相関が認められ、稚魚が浮上する時期の出水が少なかった年ほど、初期減耗が低くなることが示唆された。3種の個体数変動を規定する要因を明らかにするため、近年開発された Convergent Cross Mapping 法(時系列データから因果関係を解明する統計手法)を用いて解析を行った。その結果、在来種のイワナは、外来種のニジマスやブラントラウトからの影響を有意に受けるが、逆に、外来種のニジマスやブラントラウトは在来種のイワナには影響を受けず、非対称の競争関係にあることが示唆された。外来種の個体数変動は、環境要因と相関関係が認められたことから、本河川では、外来種の個体群動態は環境支配であるのに対し、在来種の個体群動態は外来種との競争支配であることが明らかとなった。

(5) 居麻布川では、調査を開始した2002年はヤマメ(サクラマスの幼魚)が生息しなかったが、外来種のニジマスが減少した2005年頃より徐々にヤマメの個体数が増加し、遡上が不可能であった2基の治山ダムに魚道が設置されて以降は、ヤマメの生息個体数が10倍以上に増加した(図5)。また、2015年の調査において同河川でスマルト標識放流されたサクラマスが回帰親魚として6尾再捕され、迷込を起源として母川回帰する自然個体群が再生していることも確認された。居麻布川では、種苗放流は一切行われていないにもかかわらず、外来種とダムの問題が克服されたならば、種苗放流がなくても短期間で自然に個体群が再生するという、興味深いデータが得られた。

(6) 豊平川におけるサケ個体群動態に関する研究については、放流魚と野生魚(自然卵卵由来の魚)の双方を組み入れたオペレーティングモデルを構築し、個体数水準に応じて放流数をコントロールするフィードバック管理方式の妥当性をシミュレーションにより検討した。この研究成果に基づき、豊平川では実際に放流数を順応的に削減することが決まった。

(7) 1999年にイワナの生息調査を実施した北海道南部の30河川に設置された砂防堰堤上流において2014年に再調査をおこなった。その結果、河川規模が小さな3河川でイワナが生息せず、15年間で約1割の河川で絶滅が生じたことが確認された。環境収容力の大きさが個体数変

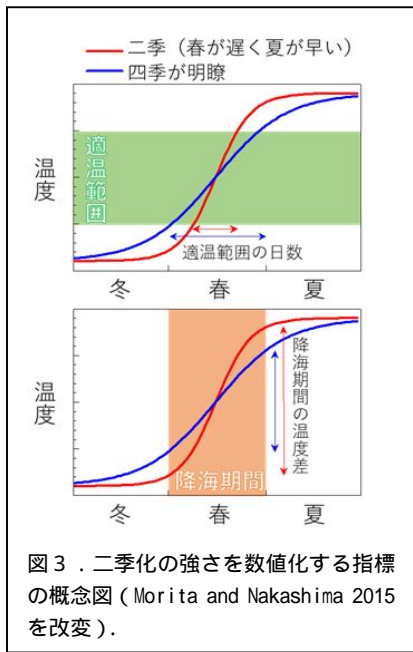


図3. 二期化の強さを数値化する指標の概念図(Morita and Nakashima 2015を改変)。

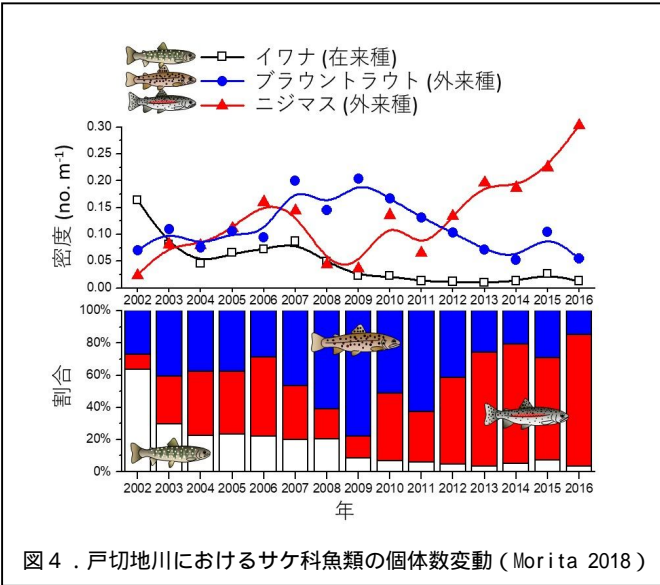


図4. 戸切地川におけるサケ科魚類の個体数変動(Morita 2018)

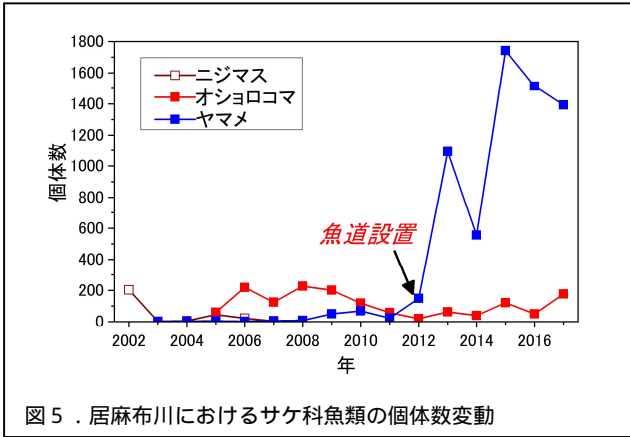


図5. 居麻布川におけるサケ科魚類の個体数変動

動を左右する要因であることが明らかとなった。また、イワナの生息密度が最も低い河川では、外来種のニジマスが高密度で生息しており、種間競争が個体数変動に影響を及ぼすことも示唆された。一方、田沢川（江差町）の砂防堰堤上流域では、1999年の調査ではサケ科魚類は皆無であったが、その後に魚道が設置され、2014年の時点ではイワナおよびヤマメが高い密度で確認され、個体群の連結性が個体数変動を左右することも示された。

<引用文献>

- IPCC (2007) Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge.
- Anderson, C.N.K., Hsieh, C., Sandin, S.A., Hewitt, R., Hollowed, A., Beddington, J., May, R.M. and Sugihara, G. (2008) Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. *Nature* 452: 835-839.
- Rouyer, T., Sadykov, A., Ohlberger, J. and Stenseth, N.C. (2012) Does increasing mortality change the response of fish populations to environmental fluctuations? *Ecology Letters* 15: 658-665.
- Lobón-Cerviá, J. (2011) Why fishing does not magnify temporal fluctuations in the population abundance of stream-living salmonids. *Reviews in Fisheries Science* 19: 246-256.

5. 主な発表論文等

(研究代表者は下線)

[雑誌論文](計7件)

Kentaro Morita, Genki Sahashi, Masaki Miya, Shouko Kamada, Takashi Kanbe, Hitoshi Araki, Ongoing localized extinctions of stream-dwelling white-spotted charr populations in small dammed-off habitats of Hokkaido Island, Japan, 査読有, In press, 2019, published online.

DOI: doi.org/10.1007/s10750-019-3891-1

Genki Sahashi, Kentaro Morita, Daisuke Kishi, Spatial expansion and increased population density of masu salmon parr independent of river restoration, *Ichthyological Research*, 査読有, Vol.65, 2018, 496-501

DOI: doi.org/10.1007/s10228-018-0628-5

Kentaro Morita, Assessing the long-term causal effect of trout invasion on a native charr, *Ecological Indicators*, 査読有, Vol.87, 2018, 189-192

DOI: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.058

森田健太郎、有賀望、オペレーティングモデルを用いた豊平川のサケ放流数を決める管理方式の検討 野生魚保全と個体数維持の両立を目指して、保全生態学研究、査読有、22巻、2号、2017、275-287

DOI: doi.org/10.18960/hozen.22.2_275

Kentaro Morita, Cherry blossoms predict chum salmon survival, *NPAFC Newsletter*, 査読無, No.39, 2016, 22-23

<https://npafc.org/wp-content/uploads/2017/09/nwsl39.pdf>

Kentaro Morita, Ayumi Nakashima, Temperature seasonality during fry out-migration influences the survival of hatchery-reared chum salmon *Oncorhynchus keta*, *Journal of Fish Biology*, 査読有, Vol.87, 2015, 1111-1117

DOI: doi.org/10.1111/jfb.12767

Kentaro Morita, Ayumi Nakashima, Motohiro Kikuchi, River temperature drives salmon survivorship: is it determined prior to ocean entry? *Royal Society Open Science*, 査読有, Vol.2, 2015, 140312

DOI: doi.org/10.1098/rsos.140312

[学会発表](計5件)

Kentaro Morita, Genki Sahashi, Masaki Miya, Shouko Kamada, Takashi Kanbe, Hitoshi Araki, Ongoing localized extinctions of stream-dwelling charr populations in small dammed-off habitats, *The 9th International Charr Symposium*, 2018

佐橋玄記、森田健太郎、岸大弼、サクラマスの分布拡大と生息密度の上昇：河川環境の復元や放流とは独立して、第65回日本生態学会大会、2016

Kentaro Morita, Long-term (2002-2016) change in population densities of native white-spotted charr, and introduced brown and rainbow trout in a Japanese stream, 第32回個体群生態学会大会、2016.

森田健太郎、有賀望、豊平川のサケの放流数を決める管理方式の検討-サケを減らさずに野性味を増すために-、第63回日本生態学会大会、2016

Kentaro Morita, Long-term (2002-2014) change in population densities of native white-spotted charr, and introduced brown and rainbow trout in a Japanese stream,

The 8th International Charr Symposium, 2015

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。