

令和元年6月18日現在

機関番号：11302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K07572

研究課題名(和文) タイハイヨウサケの降海期多型の指標探索と好適種苗生産への応用

研究課題名(英文) Clarification of physiological mechanism of fall smoltification in Pacific salmon and its application for screening of seedlings

研究代表者

棟方 有宗 (Munakata, Arimune)

宮城教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：10361213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：サクラマスなどの太平洋サケは一般に春にスモルト化した後に川から海に降りるが、近年ではこれらの一部が従来よりも半年早い10歳の秋にスモルト化することが示されており、早期の海面養殖開始に用いるといった産業的応用が期待されている。サクラマスやマスノスケを材料に秋スモルトの出現機構を調べたところ、これらは通常のスモルトと同様の生理的機構によってスモルト化するが、そのことには体成長が早いことや、水温変化などに対する感受性が関係する可能性が示された。また、秋スモルトを稚魚期に選抜する方法を検討した結果、水槽内の遊泳層(表層・底層)に応じて選抜した表層群の中に秋スモルト個体が含まれることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来よりも約半年程度早く銀化変態を行う秋スモルトを用いることで、サクラマスやマスノスケなどの海面養殖をより早期に開始することができ、これまでよりも短期間、かつ低コストで太平洋サケの中間育成を行うことができる。これにより、近年外国産サーモンに押されている国内サケ養殖の活性化に繋がることが期待される。また秋にスモルト化する太平洋サケは国内外の複数の河川に自然分布していることから、これらの出現の機構を知り、将来の保全や資源管理に資することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In general, Pacific salmon such as masu and Chinook salmon undergo smoltification and seaward migration in spring. Recently, however, some populations show such phenomena in fall. According to our studies, fall smolt masu salmon show high plasma thyroid hormone levels as well as spring smolt, suggesting that fall smolt undergo the smoltification using same physiological mechanisms. Since fall smolt masu salmon showed high growth rate, it is also suggested that growth system modulate early smoltification. In Chinook salmon, furthermore, fall smolts exhibited high levels of plasma cortisol levels and HSP70 gene expression in the liver against water temperature decrease and increase. Based on these results, it is indicated that water temperature changes modulate early smoltification. We also developed the selection methods of fall smolts by use of hatchery cultured juvenile masu and Chinook salmon.

研究分野：魚類行動生理学

キーワード：サクラマス マスノスケ 降海期多型 スモルト 銀化変態 サロゲート HSP70 コルチゾル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

サクラマスなどの太平洋サケは、一般に1歳半の春に銀化変態を行った後、川から海へと降海するが、近年、サクラマスやマスノスケなどではこれらよりも約半年早い0歳の秋～冬に銀化して降海する、降海期多型(以下、秋スマルト)が出現することが示されていた。そこで我々は、サクラマスの秋スマルトが出現するとされる宮城県広瀬川において、これらの基礎生物学的知見を収集するための海水適応試験や音波発信器によるバイオテレメトリー実験を行ったところ、これらの個体群が秋に海水適応能力を高めることや、一部の個体が海にまで降海することが実証された。将来的にはこれらの個体群は、太平洋サケが行動や生理学的な形質の変化を通じて降海期多型を生じる進化の過程を解明するためのモデル魚となると考えられる。また将来は、行動・生理学的な形質を指標として秋スマルト・春スマルトといった好適な種苗(surrogate)を選択的に増産し、適材適所で海面養殖等に用い、海水飼育への移行の早期化や飼育期間の短期化を達成するといった産業的な応用が期待される。また既に秋スマルトが自然分布するエリアや河川では、選択的に生産した秋スマルト種苗による適切な資源増殖や資源管理を行うこともできると考えられた。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、上記のタイヘイヨウサケの秋スマルト(降海期多型)がどのような外部環境要因や内的機構によって出現するかを解明するため、孵化後以降の諸行動(行動形質)やホルモン、ホルモン受容体、熱ショックタンパク(HSP70)などの生理学的な形質の変化を経時的に調べることを目的とした。これにより、降海期多型を評価するためのいくつかの指標を確立し、降海期多型が生じる機構や多型の適応的意義を解明することを目指した。また、こうして確立された行動・生理学的指標を用い、サクラマスやマスノスケの好適(合目的的)種苗(surrogate)を生産し、放流後の降海性や生残性を評価することをさらなる目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) サクラマスの降海期多型出現時に見られる生理学的指標の探索

サクラマスの降海期多型である秋スマルトの出現機構を明らかにするため、広瀬川の秋スマルト個体を定期的に採集し、血中の甲状腺ホルモン量やコルチゾール量、鰓中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>-ATPase(NKA)活性を測定した。また宮城県に自然分布する秋スマルト(大原川系群)と春スマルト(伊里前川系群)を宮城県内水面水産試験場の内の同一環境の飼育水槽で飼育するコモンガーデン実験を行い、甲状腺ホルモンやコルチゾール、NKA活性を比較した。中央水産研究所日光庁舎において、サクラマスの近縁種であるホンマスの銀化魚を用いて降河行動の約1ヶ月前の甲状腺・コルチゾール量とその後の実際の降河行動との発現性との相関関係を調べた。

#### (2) マスノスケの降海期多型出現時に見られる行動・生理的指標の探索

米国オレゴン州ウィラメット水系に生息しているマスノスケでは、同一系群の稚魚から秋・春スマルトが出現する。そこで両タイプの稚魚の降河行動や熱ショックタンパク質、コルチゾール、ならびにコルチゾール受容体(MR、GR)の発現量を比較した。

#### (3) マスノスケ・サクラマスの飼育環境制御による好適種苗(surrogate)の作出と評価

上記したオレゴン州ウィラメット水系のマスノスケの同一系群から生じる秋・春スマルトの降海多型を予め分離(選別)して評価するため、これらの水槽内での遊泳層に基づく選別が有効か否かを検証した。

サクラマスにおいては、基本的には多くの個体が春にスマルト化する宮城県伊里前川系群の人工種苗(発眼卵・ふ化稚魚)を、発眼卵重量ならびに水槽内での遊泳層によって選別可能か否かを検証した。

### 4. 研究成果

#### (1) サクラマスの降海期多型出現時に見られる生理学的指標の探索

従来知られているよりも約半年早くスマルト化すると考えられる宮城県広瀬川水系の銀化魚様個体の甲状腺ホルモンの血中量や鰓中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>-ATPase(NKA)活性を測定したところ、これらの魚の値は同じ河川に生息する非降海(河川残留)魚よりも高いことが示された。

次に、宮城県に自然分布する秋スマルト(大原川系群)と春スマルト(伊里前川系群)を宮城県内水面水産試験場の内の同一環境の飼育水槽で飼育する所謂コモンガーデン実験を行い、甲状腺ホルモンやコルチゾール、NKA活性等の生理的指標を比較した。その結果、秋スマルト(大原川系群)では秋に、春スマルト(伊里前川系群)では春に、それぞれ甲状腺ホルモンや(NKA)活性が昂進することが明らかになった。

また、中央水産研究所日光庁舎において、サクラマスの近縁種であるホンマスの銀化魚を用いて降河行動発現1ヶ月前の甲状腺ホルモン・コルチゾール量とその後の実際の降河行動の発現性との相関を調べたところ、降河行動を発現した銀化魚は降河行動を発現する1ヶ月前の時点で甲状腺ホルモン量が高かったことが判明した。

これらの実験結果から、広瀬川等のサクラマスの降海期多型(秋スマルト)は通常の春スマルトと同じ様に甲状腺ホルモンなどのスマルト化促進因子によって銀化変態を行うこと、また

秋・春スマルトの銀化変態の有無や降海性の昂進を甲状腺ホルモン量によって評価できることが示された。

なお、上記で実験に用いた大原川系群（秋スマルト）と伊里前川系群（春スマルト）の体サイズの変化を周年モニターしたところ、大原川系群の個体ではスマルトが多く出現する秋の時点の体サイズが伊里前川系群よりも大きいことが判明した。この結果から、秋スマルトと春スマルトは同じスマルト化促進機構によってスマルト化するが、その時季（秋・春）の決定には成長の善し悪しが関係している可能性が示された。

#### （２）マスノスケの降海期多型出現時に見られる行動・生理的指標の探索

オレゴン州のウィラメット水系に生息しているマスノスケの秋・春スマルトを判別する際の行動・生理的指標を探索するため、オレゴン州立大学に於いて下記の（３）の方法で選別した秋・春スマルトの降河回遊性を比較したところ、秋には秋スマルトがより多く降河回遊行動を発現することが明らかとなった。

次に、オレゴン州立大学で飼育しているマスノスケの秋・春スマルトの銀化変態時の熱ショックタンパク（HSP70）の挙動の相違を明らかにするための端緒として、秋スマルトの秋の飼育水槽の水温を低下、あるいは上昇させた際の鰓と肝臓の熱ショックタンパク（HSP70）の遺伝子発現量を定量PCRによって測定した。その結果、鰓のHSP70は水温の低下、上昇によっていずれも減少し、肝臓のHSP70は水温の低下、上昇によっていずれも増加することがわかった。これらのことから、秋スマルトでは水温変化に対するHSP70遺伝子の応答が鰓と肝臓で異なることが示唆された。本研究の最終年度にはあらためて秋・春スマルトの両群を用いて上記と同様の実験を行っていることから、今後、秋・春スマルトの銀化変態時特異的なHSP70の挙動を明らかにすることができると考えられる。

#### （３）マスノスケ・サクラマス飼育環境制御による好適種苗（surrogate）の作出と評価

上記したマスノスケやサクラマスなどの降海期多型を人工的に選別する方法の検討を行った。マスノスケでは、円筒形水槽内における稚魚の遊泳層（表層群・底層群）に応じて分離すると、表層群が秋に降海性が高まることや体型的にスマルトの特徴が示されたことから、表層群に秋スマルト、底層群に春スマルトが多く含まれることが示された。

次に、サクラマスでは、基本的には多くの個体が春にスマルト化する宮城県伊里前川系群の人工種苗（発眼卵）を、受精卵の時点で卵重量に応じて大卵群と小卵群に分類して飼育したところ、小卵群は大卵群よりも体サイズが大きいとともに、パーマークなどの体側の模様数が少なく、秋から冬に多くの個体がスマルト様の銀白色の体色を示すことが明らかとなった。また、同様に伊里前川系群のふ化種苗を円筒形水槽内の遊泳層（表層群・底層群）に応じて分離したところ、表層群は底層群よりも体サイズが大きいとともに、パーマークなどの体側の模様数が少なく、秋から冬に多くの個体がスマルト様の銀白色の体色を示すことが明らかとなった。これらの結果から、マスノスケやサクラマスでは卵重量や水槽内の遊泳層に応じて秋・春スマルトと言った異なる相の個体群を選別できる可能性が示された。

#### ５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 19 件）

1. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (11) サクラマスの保全. 海洋と生物 生物研究社, 2019, 41(2), 168-171 (査読無し).
2. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (10) サクラマスの利活用. 海洋と生物 生物研究社, 2019, 41(1), 72-76 (査読無し).
3. Herron C., Cogliati KM., Dolan BP., Munakata A., Schreck CB. Stress up-regulates oxidative burst in juvenile Chinook salmon leukocytes. *Fish and Shellfish Immunology*. 2018, 80, 655-659. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.06.038. (査読有り).
4. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (9) サクラマスの資源減少. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(6), 574-577 (査読無し).
5. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (8) サクラマス群の成魚の河川内における生態. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(5), 477-480 (査読無し).
6. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (7) サクラマス群の稚魚の河川内における生態. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(4), 368-372 (査読無し).
7. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (6) 遡上回遊・産卵行動の生理的調節機構. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(3), 251-254 (査読無し).
8. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (5) 降河回遊行動の生理的調節機構. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(2), 150-153 (査読無し).
9. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (4) 降河回遊期以降の生活史. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 40(1), 82-85 (査読無し).
10. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (3) サクラマスの河川残留型と降海型のバリエーション. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 39(6), 617-620 (査読無し).
11. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (2) サクラマスの降海回遊と環境要因. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 39(5), 479-482 (査読無し).

12. 棟方有宗, サクラマス その生涯と生活史戦略 (1) サクラマスの分類, 分布域, 回遊. 海洋と生物 生物研究社, 2018, 39(4), 376-379 (査読無し).
13. 棟方有宗, サクラマスの回遊多型と種苗生産. アグリバイオ 北隆館, 2018, 2(4), 62-63 (査読無し).
14. Munakata A., Ogiwara E., Schreck C.B., Noakes D.L.G. Effects of short term acclimation in cool and warm water and influent water temperatures on temperature selection behavior in juvenile steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. 2017, 467, 219-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.039>. (査読有り)
15. 棟方有宗, サケ科魚類の保全と放流. 札幌ワイルドサーモンプロジェクトニュースレター, 2016, 4, 39-45 (査読無し).
16. 棟方有宗, 安東宏徳, 小林牧人. 魚類行動生理学 体系化と水産科学としての発展を目指して. 海洋と生物 生物研究社, 2016. 37(6), 555-557 (査読無し).
17. 棟方有宗. サクラマスの降河回遊行動の生理的調節機構. 海洋と生物 生物研究社, 2016, 37(6), 558-562 (査読無し).
18. 棟方有宗. サケ科魚類の降河回遊行動とホルモン. 日本水産学会誌 2015, 81(5), 863 (査読有り).
19. 棟方有宗, 安東宏徳, 小林牧人. 魚類行動生理学の基礎と水産研究への応用, 日本水産学会誌 2015, 81(5), 862 (査読有り).

[学会発表](計 17件)

1. 棟方有宗, 佐藤大介, 高橋光太, 横山綾香, 鈴木章太郎, 長谷川竜也, 阿部嵩志, 工藤秀明, 廣井準也, 野知里優希, 梅野佑一郎, 山本直之, 村下幸司, 竹井祥郎, Gaute W. Seljestad, Malthe Hvas, Lukas Lorentzen, Angela Etayo, Ross Cairnduff, Endre Lygre, Ana S. Gomes, Lars O. E. Ebbesson, Tom O. Nilsen, 清水宗敬. サクラマス春・秋スモルトの生理的プロファイルの相違. 平成31年度日本水産学会春季大会. 2019.
2. 植松康成, 棟方有宗. サクラマスにおける好適種苗の選別方法開発の試み. 平成31年度日本水産学会春季大会. 2019.
3. 棟方有宗. 太平洋サケの銀化変態期可変性の機構を探る. 宮崎大学農学部主催サテライトワークショップ「サケマスの生理・生態学研究の最前線-基礎研究から増養殖事業の展開まで-」(招待講演). 2019.
4. 棟方有宗. 太平洋サケのストレス応答と回遊行動の分化. 第43回日本比較内分泌学会 大会実行委員会主催シンポジウム(招待講演). 2018.
5. 佐藤大介, 棟方有宗, 廣井準也, 阿部嵩志, 工藤秀明, 長谷川竜也, 清水宗敬, 梅野佑一郎, 山本直之, 村下幸司, 竹井祥郎, Lukas Lorentzen, Angela Etayo, Ross Cairnduff, Endre Lygre, Ana S. Gomes, Tom O. Nilsen. 春季におけるサクラマスの春・秋スモルトの塩類細胞、成長ホルモン、嗅覚、食欲指標. 第43回日本比較内分泌学会. 2018.
6. 高橋光太, 棟方有宗, 鈴木章太郎, 清水宗敬, 野知里優希, Gaute Wilhelmsen Seljestad, Malthe Hvas, Lars O.E. Ebbesson, Tom O. Nilsen. サクラマス秋スモルトの甲状腺ホルモン・IGF-1・NKA 活性の変動. 第43回日本比較内分泌学会. 2018.
7. Munakata A. Mechanisms and roles of body color changes during smoltification in Pacific salmon. 8th Intercongress Symposiums of the Asia and Oceania Society for Comparative Endocrinology (招待講演)(国際学会). 2018.
8. 棟方有宗, 新房由紀子, 佐藤大介, 矢田崇. 体型とホルモンによるホンマスの降河行動の事前予測. 平成30年度日本水産学会春季大会. 2018.
9. Munakata A., Yada A., Noakes D., Schreck C. Chinook salmon surrogate show different behavioral response to temperature decreases. 10th international workshop on salmon smoltification (招待講演)(国際学会). 2017.
10. 棟方有宗, 新房由紀子, 佐藤大介, 清水宗敬. 広瀬川のサクラマス秋スモルトの浸透圧調節能と降海性. 平成29年度日本水産学会春季大会. 2017.
11. 棟方有宗. 南限のサクラマスが示す太平洋サケの環境適応の可変域. 平成28年度東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会 南限のサケ研究 - 地域制に基づく新たな生物資源像 - (招待講演). 2016.
12. Munakata A., Schreck C., Noakes D. Minutes and slight water temperature decrease triggers hormone mediated downstream migratory behavior in Pacific salmon. 8th international symposium on fish endocrinology (招待講演)(国際学会). 2016.
13. 棟方有宗. サケ科魚類の保全と放流. 平成28年度日本生態学会自由集会(招待講演). 2016.
14. 棟方有宗, 石川陽菜, 大庭史織. スチールヘッドトラウトの降河行動の事前予測. 平成28年度日本水産学会春季大会. 2016.
15. 佐々木真鈴, 棟方有宗, Schreck C., Noakes D. マスノスケサロゲートの降河行動に対する水温低下の影響. 平成28年度日本水産学会春季大会. 2016.
16. 棟方有宗. 遡河性回遊魚サクラマスの降海期における河口汽水域の重要性の把握に向けた小中高大連携による行動生態学的研究. 平成27年度土木学会継続教育(CPD)(平成27年度河川整備基金助成事業成果発表会). 2015.

17. Munakata A., Schreck C., Noakes D. Effects of water temperature decrease on downstream movement and migratory behaviour in cultured Pacific Salmon. Aquaculture.2015.

〔図書〕(計 5件)

1. 棟方有宗 . 新・英和和英水産学用語辞典 . 日本水産学会編 . 恒星社厚生閣 . Total 592ページ . 2017 ( 著書・章分担 ) .
2. 棟方有宗 . コラム サケ科魚類のなわばり争いがもたらした新境地 —銀化変態・回遊はなわばり争いの産物か— . 「生体防御・社会性 - 守 - ( ホルモンから見た生命現象と進化シリーズ第7巻)」水澤寛太 , 矢田崇 編 . 裳華房 . pp 215-217. Total 258p. ISBN: 978-4-7853-5120-5 . 2016 ( 著書・章分担 ) .
3. 棟方有宗 . 魚類のなわばりと防御行動 . 「生体防御・社会性 - 守 - ( ホルモンから見た生命現象と進化シリーズ第7巻)」水澤寛太 , 矢田崇 編 . 裳華房 . pp 203-215. Total 258p. ISBN: 978-4-7853-5120-5. 2016 ( 著書・章分担 ) .
4. 棟方有宗 . 魚類の性行動とホルモン . 「求愛・性行動と脳の性分化 - 愛 - ( ホルモンから見た生命現象と進化シリーズ第4巻)」小林牧人 , 小澤一史 , 棟方有宗 編 . 裳華房 . pp 9-28. Total 130p . ISBN: 978-4-7699-1299-6 . 2016 ( 著書・章分担 ) .
5. 小林牧人 , 小澤一史 , 棟方有宗 . 序論 . 「求愛・性行動と脳の性分化 - 愛 - ( ホルモンから見た生命現象と進化シリーズ第4巻)」小林牧人 , 小澤一史 , 棟方有宗 編 . 裳華房 . pp 1-8. Total 130p . ISBN: 978-4-7699-1299-6 . 2016 ( 著書・章分担 ) .

〔産業財産権〕

出願状況 ( 計 件 )

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年 :

国内外の別 :

取得状況 ( 計 件 )

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 ( 8 桁 ) :

(2)研究協力者

研究協力者氏名 : 清水宗敬、矢田崇、廣井準也、Carl Schreck、David Noakes

ローマ字氏名 : Shimizu Munetaka、Yada Takashi、Hiroi Junya、Carl Schreck、David Noakes

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。