

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：11302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580257

研究課題名(和文) タイハイヨウサケ属サクラマスの降海回遊期の若齢化とその要因の解明研究課題名(英文) Lowering trend in the age of seaward migration and its relationship to environmental and physiological factors in masu salmon *Oncorhynchus masou*

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)：東北地方の広瀬川において、サクラマスが従来よりも半年早い0歳魚の秋に川から海に降海すること、またこれらの降海魚は、仙台沿岸域を回遊し、翌春に河川に遡上することが示された。この現象の機構を解明するため、類縁種であるスチールヘッドトラウトを用いた行動解析を行ったところ、本種は水温が上昇した際に高水温域を忌避して移動することが示された。このことから、降海期の若齢化には河川内の水温環境が関係することが示唆された。また、同じく類縁種であるマスノスケの稚魚を円筒水槽で飼育し、上層・下層の魚を分離したところ、上層の魚がより若齢で降河行動を起こすことが示され、若齢降河魚を人為的に作出し得ることも示された。

研究成果の概要(英文)：In Hirose River, major part of masu salmon *Oncorhynchus masou* showed seaward migration in under yearling fall, which is 6 months earlier than the migrants inhabit in other rivers. Also, such under yearling migrants undertake half year migration in coastal area and show upstream migration in yearling spring. In order to reveal the mechanism modulating such migratory pattern, we investigated the effects of water temperature changes on swimming behavior of under yearling steelhead trout. As a result, we found that steelhead juveniles avoid high water temperature zone. Hence, it appears that increase of water temperature influences habitat choice and migratory patterns. We also found that under yearling Chinook salmon which stayed in upper and lower column of an aquarium showed downstream migratory behavior during under yearling fall and yearling spring, respectively. Such phenomenon implied that we can enhance migration during under yearling stage by modulating rearing conditions.

研究分野：魚類行動生理学

 キーワード：サクラマス *oncorhynchus masou* 広瀬川 回遊 降河行動 スチールヘッドトラウト マスノスケ
行動

1. 研究開始当初の背景

タイヘイヨウサケ属の一種であるサクラマス *Oncorhynchus masou* には、近縁種のサツキマスが存在する。日本列島では、サクラマスは主に東日本以北に、サツキマスは中部以南に分布している。一般に、サクラマスは1歳半の春にスモルト化を起こして川から海に下り、その後、海洋生活を経て全長60cm程度となり、降海から約1年後の春に産卵のために母川に遡上する(Munakata, 2012)。一方、サツキマスはサクラマスよりも半年早い0歳の秋に海に下り、半年後の春に母川に遡上する。つまり、サツキマスの降海タイミングはサクラマスよりも約半年早く、また海にいる期間は半年間短いため、一般に親魚の体サイズは40~50cm程度と小さい。

2004年から2010年にかけて、岩手県南部の気仙川では春に採捕されるスモルトの個体数が減少していることが示された。しかしこの間、遡上親魚の数は比較的多いままであったと考えられている(新聞発表)。また宮城県広瀬川では、かつては春に多くのスモルトがみられたとされるが、近年ではほとんどみられないことが示唆されている。しかし、本河川では近年、体サイズが比較的小さい(40~50cm)サクラマス親魚が採捕されている。

これらの事実は、特にサクラマスの生息域の南部において、スモルトの降海生活がより南方に分布するサツキマス型にシフトしている可能性を示唆する。しかし、これらは実証されていないのが実情であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、サクラマスの生息域の中では南部にあたる岩手・宮城県において、サクラマスの稚魚の降海期の若齢(秋季)化が起こっているか否か、また、従来よりも小型のサクラマスの回帰親魚が上記の早期降海群に由来するか否かを、フィールドサンプリングに基づく河川内分布域調査、バイオテレメトリー、筋肉中の放射性セシウム量によって明らかにすることを目的とした。

また本研究では、サクラマスの一部個体群の降海期の若齢化がどのような外的・内的要因によって起こっているのかについても、解明することを目指した。申請者はこれまで、サクラマススモルトの春の降河行動が、河川水温の低下によって誘起されることを示している。また申請者らは、この現象をサクラマス、米国産ギンサケ、ならびにスチールヘッドトラウトにおいて確認している。そこで本研究では、サクラマスに加え、スチールヘッドトラウトやマスノスケなどの太平洋サケをモデルに、降海行動の若齢化に関する外的・内的機構を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) サクラマスの降海期の若齢化の検証
宮城県広瀬名取川水系(以下、広瀬川)等

において、河川の上・中・下流域に調査定点を設置し、サクラマス0歳魚の浮上(冬)以降の春、夏、および秋季にそれぞれ0歳魚の採集調査を行い、採集尾数の変動に基づいて0歳魚の秋季の降河行動の可能性について調べた。

また、これらの0歳魚が実際に海にまで降河する性質を持っているかを確認するため、体型(肥満度、ヒレ先のツマ黒、表皮へのグアニン色素の沈着)、生理(海水適応能)等を形態観察やSea water challenge test等によって検討することとした。

また一部の個体に音波発信器やピットタグなどの個体標識を施し、流域に設置した受信機によりこれらの魚が実際に川から海に降海するか否かを確認した。

また、春に広瀬川の下流域で採捕される銀化個体が降海魚ではないことを確認するため、これらの魚に電波発信機を装着し、放流後の行動を追跡した。

(2) サクラマス回帰親魚の降海範囲の推定

上記の様に、広瀬川においては一部のサクラマスの稚魚の降海期が本種より南方に棲む近縁種サツキマスのように、前年の秋にシフト(若齢化)していること、また降海期間が従来の春~春の1年間から、~春の半年に短縮していることが推察された。そこで、春に河川に遡上するこれらのサクラマス親魚をサンプリングし、筋肉中の放射性セシウム量を測定することによってこれらの魚が実際に降海したか否か、またどのような海域を回遊したかを類推することとした。

(3) 他のタイヘイヨウサケ属との比較

本研究の結果は、一般に春に降海するとされるタイヘイヨウサケ属の一部が、従来よりも半年早い秋にも降河する、可変的な生理的機構を内在することを示唆する。そこで本研究ではサクラマスに系統的に近いとされる北米産のスチールヘッドトラウトやマスノスケ稚魚にも秋に降河行動を発現する生理的機構が内在するかどうかを、行動実験によって調べることにした。

4. 研究成果

(1) サクラマスの降海期の若齢化の検証

広瀬川における定点調査の結果、夏季にはサクラマスの稚魚が見られなかった中流域において、秋季に0歳の稚魚が見られるようになった。これらは、外見的には体高が低く、体色が銀白色の銀化魚の特徴を備えていた。そこで、これらの銀化魚様稚魚の一部を研究室に持ち帰り、海水適応能をSea water challenge testによって検討した。その結果、これらの稚魚は、十分な海水適応能を備えていることが明らかとなった。

そこで次にこれらの銀化魚様稚魚12尾の腹腔内に小型音波タグ(Vemco V6)を装着して放流したところ、12尾中2尾が11月下旬

に海に降河したことが明らかとなった。

また、春に広瀬川の下流域で採捕された銀化魚様稚魚が降海魚ではないことを確認するため、これらの魚に電波発信機を装着し、放流後の行動を追跡したところ、5尾中4尾が調査期間内に遡上行動を発現した。以上の知見から、広瀬川のサクラマスの一部は0歳の秋に降海し、1歳半の春に河川に遡上することが示唆された。

(2) サクラマス回帰親魚の降海範囲の推定

次に、上記した、秋に降海し翌春に遡上すると考えられるサクラマスの降海後の回遊エリアを推察するため、春に広瀬川の下流域で採集された体長40~50cm程度の小型のサクラマス遡上親魚の筋肉組織中の放射性セシウム量を測定した。その結果、これらの放射性セシウム量は、オホーツク海まで回遊したと考えられる大型のサクラマス遡上親魚(体長50~60cm)よりも高く、かつ河川残留型の個体よりも低い値を示したことから、これらの小型のサクラマスは海域には降河したものの北洋までは移動せず、広瀬川河口周辺の沿岸域を回遊していたものと考えられた。以上の結果を総合すると、広瀬川のサクラマスは0歳の秋に降海し、沿岸域を半年間と短い期間回遊して翌春に遡上すること、すなわち近縁種のサツキマスに近い回遊形質(降海期の若齢化)を発現することによって体サイズも従来のサクラマスよりも小型化しているものと考えられた。

(3) 他のタイヘイヨウサケ属との比較

上記の研究で明らかとなった、サクラマスの降海期の若齢化に関わる外的、内的機構を明らかにするため、サクラマスの近縁種であるスチールヘッドトラウトならびにマスノスケを用いた行動実験を行った。

まず、スチールヘッドトラウトの0歳稚魚とY字上水路を用いた実験により、本種稚魚では水路内の水温が上昇した場合、水温が上昇した水域を忌避して移動することが明らかとなった。この結果から、スチールヘッドトラウト稚魚は河川の水温が通常よりも上昇した場合、より水温が低い上流域に移動すること、またこのような移動が稚魚の生息密度の上昇を介してその後の回遊行動の発現に影響を及ぼす可能性が考えられた。

一方、マスノスケでは0歳稚魚を円筒形の水槽に収容し、上層、下層に分布した稚魚をさらに別々の水槽に収容して飼育を続けた。その後、0歳の秋にこれらの稚魚を回流水槽に収容し、冷却した飼育水を導水してその後60分間の回流行動を観察したところ、上層魚は下層魚よりも活発に水槽内を降下することが判明した。これらの結果から、降河回遊行動の若齢化には孵化後以降の成長プロファイルやそれに伴う生理的、形態的变化が関係している可能性が示唆された。また、こうした降海期の多型を人為的に選抜し得るこ

とも示唆され、将来の種苗生産への応用の可能性が考えられた。

<引用文献>

Munakata, A. Migratory behaviors in masu salmon (*Oncorhynchus masou*) and the influence of endocrinological factor. *Aqua BioScience monograph*. 2012, 5(2), 29-65.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Munakata A., Miura G., and Matsuda, H.

Evaluation of seasonal and daily changes of plasma thyroxine and cortisol levels in wild masu salmon *Oncorhynchus masou*, sampled by a Japanese fishing method. *Journal of Fish Biology*. 査読有り. 2014, 85, 1253-1262.

DOI:10.1111/jfb.12510.

Yada T., Miyamoto K. Miura G., and

Munakata A. Seasonal changes in gene

expression of corticoid receptors in anadromous and non-anadromous strains of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *The journal of Fish Biology*. 査読有り. 2014, 85, 1263-1278. doi:10.1111/jfb.12521.

Miura G., and Munakata A. Changes in

plasma cortisol and thyroxine levels before, during, and after downstream migratory period in masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist., Res. Bulletin*. 査読無し. 2013, 77, 35-40.

Miura G., Munakata A., Yada T., Schreck C.,

Noakes D., and Matsuda H. Effect of short-term decrease in water temperature on body temperature and involvement of testosterone in steelhead and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative*

Biochemistry and Physiology part A. 査読有り. 2013, 166, 112-118.

棟方有宗. サケ科魚類の回遊行動とホルモン. 日本水産学会誌. 査読無し. 2012, 78(5), 1035.

棟方有宗. 水産資源管理に向けた魚類の行動研究. 日本水産学会誌. 査読無し. 2012, 78(5), 1034.

[学会発表](計 14 件)

棟方有宗・石川陽菜・荻原英里奈・菅原正徳. 宮城県広瀬川のサクラマスは秋に降海回遊を行う. 平成 27 年度日本水産学会春季大会. 東京海洋大学. 東京都品川区. 2015 年 3 月 31 日.

棟方有宗. 日本水産学会シンポジウム 魚類行動生理学の基礎と水産研究への応用. 「 - 1 .サケ科魚類の降河回遊行動とホルモン 」 平成 27 年度日本水産学会春季大会. 東京海洋大学. 東京都品川区. 2015 年 3 月 27 日.

Schreck, C.B., Billman, E.J. Unrein, J., Chitwood, R., Whitman, L.D., Schroeder, R.K., Sharpe, C.S., Kimmel, C., Brignon, B., Munakata, A., and Noakes, D.L.G. Is Juvenile migration phenotype established by recent stimuli or much earlier in life and can they be affected by hatchery practices? Hatchery vs. Wild salmonid Symposium, Portland, USA, 22 Jan. 2015.

Munakata A. Migration behavior in Japanese Salmonid Fishes. Twenty-fourth Annual Meeting of the Gilbert Ichthyological Society. H.J. Andrews, USA. 20 Sep. 2014.

荻原英里奈・棟方有宗・Carl Schreck・David Noakes. スチールヘッドトラウト稚魚の実験水路における水温選択. 平成 26 年度日本水産学会春季大会. 北海道大学. 北海道函館市. 2014 年 3 月 29 日.

棟方有宗・荻原英里奈・三浦剛・松田裕之. 宮城県広瀬川におけるサクラマスの回遊行動多型. 平成 26 年度日本水産学会春季大会. 北海道大学. 北海道函館市. 2014 年 3 月 28 日.

Munakata A., Miura G., Yada T, Matsuda H., Noakes D., and Schreck C. Downstream migratory behavior as negative response to some environmental factors. 9th International Workshop on Smoltification. Reykjavic, Iceland. 13 August, 2013.

Yada T., Abe M., Miura G., and Munakata A. Expression of cortisol receptor genes during smoltification of steelhead trout, with reference to rainbow trout. 9th International Workshop on Smoltification. Reykjavic, Iceland. 14 August, 2013.

Munakata. A., Miura G., and Matsuda H. Migratory behavior of resident masu salmon in a coastal river. Second international conference on fish telemetry, Grahams town, South Africa, 15 July. 2013.

矢田崇・三浦剛・棟方有宗. ニジマスとスチールヘッドトラウトにおけるコルチゾール受容体遺伝子発現動態の比較. 平成25年度日本水産学会春季大会. 東京海洋大学. 東京都品川区. 2013年3月28日.

棟方有宗・三浦剛・松田裕之. 東北地方広瀬川におけるサクラマス河川型魚の河川

内回遊の観察 .平成25年度日本水産学会春季大会 .東京海洋大学 .東京都品川区 .2013年3月27日 .

Munakata A., Miura G., Noakes D., and Schreck C. Water temperature decrease triggers hormone mediated downstream migratory behavior in Pacific salmon. 7th International Symposium on Fish Endocrinology, Buenos Aires Argentina, 6 Sep. 2012.

Miura G., Munakata A., Yada T., Schreck C., Noakes D., and Matsuda H. Inhibitory effects of testosterone on the sensitivity to short-term decrease in water temperature in Steelhead, *Oncorhynchus mykiss*. 7th International Symposium on Fish Endocrinology, Buenos Aires, Argentina, Sep. 3 2012.

Yada T., Miyamoto K., Miura G., and Munakata A. Difference in stress responses between immune and endocrine systems in rainbow trout. 7th International Symposium on Fish Endocrinology, Buenos Aires, Argentina, Sep. 1-6 2012.

〔図書〕(計2件)

Makito Kobayashi, Seiji Saoshiro, Yutaro Kawaguchi, Youichi Hayakawa, and Arimune Munakata. Sexual Plasticity of Behavior in Goldfish. in: Balasubramanian Senthilkumaran (Eds). Sexual plasticity and gametogenesis in fishes. Nova Science Publishers Inc. 2013, total 456p (pp 183-201) ISBN: 978-1-62618-848-8

棟方有宗, 小林牧人 .サケ科魚類の回遊・産卵行動におけるホルモンの役割 .「魚類の行動研究と水産資源管理」棟方有宗, 小

林牧人 ,有元貴文編 .恒星社厚生閣 2013 , Total 143p (pp 9-27) . ISBN : 978-4-7699-1299-6 .

6 . 研究組織

(1)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