短 報

サクラマス¹の海洋生活期における
成長様式の地域間変異福井 翔,^{1*} 大熊一正,¹ 下田和孝,² 長谷川 功¹

(2021年6月3日受付, 2021年11月6日受理,

2021年12月29日早期公開)

¹(国研)水産研究・教育機構 水産資源研究所, ²(地独)

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場

Regional differences of marine growth pattern in
masu salmon *Oncorhynchus masou masou*SHO FUKUI,^{1*} KAZUMASA OHKUMA,¹KAZUTAKA SHIMODA² AND KOH HASEGAWA¹¹Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research
and Education Agency, Sapporo, Hokkaido 062-0922,²Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hok-
kaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061-1433,
Japanキーワード: 降海型, 個体群間移殖, サケ科, 地理的変
異, 標識放流, 放流魚, ヤマメ

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* は、北日本における重要な沿岸漁業の対象種である。^{1,2)} その体サイズは地域間変異に富み、例えば、各地域の河川に遡上する親魚の最大体サイズの範囲は、尾叉長でおよそ40 cmから80 cmにまで及ぶ。³⁾ 体サイズの地域間変異は、成長様式も地域ごとに異なることを意味する。

本種の海洋生活期における成長様式については、1962年から日本海で流し網調査によって調べられていた。しかし、そのデータは様々な地域に由来する野生魚や放流魚が混在していたため、成長様式の検討に不可欠な地域(放流あるいは降海した地域)の情報が考慮されていない。⁴⁾ また、真山⁵⁾と真山ら⁶⁾を除き、成長様式の地域間変異の検討が不十分である。⁷⁻¹⁶⁾ さらに、真山⁵⁾では、放流した地域間で放流種苗の海洋生活期前半における成長様式の違いを示しているが、同期後半については検討されてこなかった。

サクラマスの主要産地である北海道では、親魚の体サイズが日本海と太平洋では大型、オホーツク海と根室海峡では小型であることが知られている。⁶⁾ 本種と同じく北海道沿岸で漁獲されるホッケ *Pleurogrammus azonus* では、日本海側と太平洋側で成長速度に違いがあることが示唆されている。¹⁷⁾ このことから、先行研究において、⁶⁾ 大型として一括りにされている太平洋と日本海のサクラマスの間でも成長様式が異なる可能性がある。そこで本研究では、大型である太平洋と日本海、小型であるオホーツク・根室海峡の3地域に放流されたサクラマスの成長様式を比較した。

成長様式の比較には、1996年から2004年にかけて北海道の25河川および6港湾に標識放流された計816,042個体のサクラマス(スモルト)の再捕獲データを用いた(Fig. 1)。本種は、飼育下では1+または0+の春にスモルト化しスモルト放流用の種苗として用いら

れるが、いずれの海洋生活期間も約1年とされている。^{2,4,11)} したがって、放流時の年齢によって降海時期や海洋生活期間が異なるため、本研究では双方を区別せずに解析対象とした。標識放流魚には、河川回帰した親魚から得られた受精卵に由来する場合と、養殖池で継代飼育した親魚から得られた受精卵に由来する場合があった。前者の場合は、基本的に両親が捕獲された河川へ放流されたが、後者の場合は複数の河川または港湾に放流された。また、同一地域だけでなく、地域を跨ぐ移殖放流も行われていた(電子付録, Table S1)。放流地域を特定できるように、放流魚には各河川や港湾ごとに異なるリボンタグを施した。放流地域は、放流した河川の河口と港湾の位置情報から、太平洋[258,547個体(うち養殖池由来が103,776個体)], 日本海[361,709個体(同121,822個体)], オホーツク・根室海峡[195,786個体(同0個体)]の3つに区別した(Fig. 1)。なお本研究では、襟裳岬を境に太平洋沿岸の東側では標識放流がほとんど実施されておらず、使用可能なデータがないため、太平洋については襟裳岬以西のみを対象とした。放流時の尾叉長と体重(最小-最大値)は、太平洋が12.6-17.8 cm, 20.3-57.0 g, 日本海が10.6-15.7 cm, 13.2-40.1 g, オホーツク・根室海峡が9.9-14.3 cm, 9.6-31.0 gであった。

放流魚の再捕獲データは、サクラマスの回遊域にある北海道沿岸の漁業協同組合および本州北部(青森県, 秋田県, 岩手県, 新潟県, 石川県, 宮城県, 茨城県)の公的研究機関によって収集された。これらのリボンタグ, 尾叉長, 体重, 再捕獲された月と道県, 海域および性別のデータを解析に用いた。

成長様式の比較には、線形混合モデルを用いた。再捕獲時の尾叉長または体重の自然対数を目的変数に、再捕獲月(連続変数)の自然対数, 放流された地域とその交互作用項を説明変数とした。なお、説明変数のうち放流された地域については、太平洋を基準に、日本海およびオホーツク・根室海峡と比較した。また、放流された河川や港湾ごとの条件の違いを考慮するため、ランダム効果に放流河川または港湾の情報を用いた。再捕獲月が不明な個体(9個体)と尾叉長と体重の関係式(指数関数)から明らかに外れた個体(2個体)は、測定ミスが疑われたため、解析から除外した。統計解析には、ソフトウェアRを使用し、¹⁸⁾ その際の有意水準は、0.05とした。

統計解析の結果、尾叉長と体重ともに、放流された地域と再捕獲月の間に交互作用が検出された(Table 1)。つまり、回帰直線の傾き、すなわち成長様式は地域によって異なることが示唆された(Fig. 2)。回帰直線の傾きは、尾叉長と体重ともに日本海よりも太平洋の方が大きく、海洋生活期前半の体サイズは太平洋の方が小さかったものの、その差は同期後半には解消された。一方、オホーツク・根室海峡の回帰直線の傾きは、太平洋よりも小さく、海洋生活期の後半になっても、他の2地域との体サイズ差は解消されなかった。

本研究では、サクラマスの海洋生活期における成長様式は地域間で異なることが示された。これまで大型と一括りにされてきた太平洋と日本海⁶⁾の間で成長様式の違いを見出した点は新知見といえる。

本研究と先行研究⁶⁾の結果を踏まえると、北海道で放流されているサクラマスには、少なくとも3パターンの成長様式が存在する。地域間移殖があったにもかかわらず

Fig. 1 Locations of the mouths of rivers (circles) and ports (triangles) where tagged masu salmon were released. Solid symbols denote the Pacific Ocean, open symbols denote the Sea of Japan, and gray symbols denote the Sea of Okhotsk & Nemuro Strait.

Table 1 Linear mixed model results for growth patterns

Factor	Estimate	SE	t-Value	p-Value
<i>log fork length model</i>				
intercept	0.91	0.02	53.2	<0.001
month	0.7	0.01	52.1	<0.001
month × group (Sea of Japan vs Pacific Ocean)	-0.22	0.04	-6.06	<0.001
month × group (Sea of Okhotsk & Nemuro Strait vs Pacific Ocean)	-0.35	0.11	-3.23	0.001
group (Sea of Japan vs Pacific Ocean)	0.24	0.04	5.86	<0.001
group (Sea of Okhotsk & Nemuro Strait vs Pacific Ocean)	0.27	0.12	2.3	0.021
<i>log body weight model</i>				
intercept	-2.35	0.05	-49.24	<0.001
month	2.26	0.03	74.94	<0.001
group (Sea of Japan vs Pacific Ocean)	0.83	0.13	6.53	<0.001
group (Sea of Okhotsk & Nemuro Strait vs Pacific Ocean)	0.77	0.29	2.65	0.008
month × group (Sea of Japan vs Pacific Ocean)	-0.71	0.11	-6.52	<0.001
month × group (Sea of Okhotsk & Nemuro Strait vs Pacific Ocean)	-0.83	0.26	-3.19	0.001

“×” means interaction term. Estimated values of “month” and “intercept” indicate slopes and intercepts of regression equations in the standard group (i.e., “Pacific Ocean”), respectively. As an example of interpretation using *log fork length model*, the estimated value (i.e., -0.22) of “month × group (Sea of Japan vs Pacific Ocean)” means that the slope of the “Sea of Japan” regression equation is lower than that of the “Pacific Ocean” by -0.22.

らず、本研究では成長様式の違いが検出された。また、放流魚に含まれていた養殖池由来の継代魚は、降海直後に晒される海流と水温に応じた回遊経路を示すことが報告されている。¹⁹⁾したがって、海洋環境は親魚の体サイズ変異を生み出す一因と考えられる。本研究では、海洋生活期の後半には、前半に見られた太平洋と日本海の間の体サイズ差が解消していた。太平洋側と日本海側に放流された両種苗は、両者が晒される海洋環境（餌条件、海流、水温など）の違いが、成長様式にも反映された可能性がある。

一方、サクラマス成長様式は、海洋環境だけでなく、遺伝的影響も受ける。例えば、異なる遡上河川由来の発眼卵を同一条件下で飼育しても、由来ごとに成長様式が異なることや、²⁰⁾異なる遡上河川由来の魚を移植にしても、成熟時には由来元の河川と同等の体サイズを示す場合もある。²¹⁾本研究で扱った放流魚には、地域間移植された個体が含まれていたが、本研究では、成長様式への遺伝的影響については考慮できなかったため、今後検討する必要がある。

本研究の結果から、個体の成長は、放流された地域の影響も受けることが示唆された。一方、成長は放流魚の遺伝的特性の影響も受けることが知られており、^{20,21)}近年のさけます資源管理では、地域ごとの遺伝的特性への配慮から、²²⁾遺伝的攪乱を招く地域間での移植放流は控えることが推奨されている（さけ・ます増殖事業における種卵の長距離移植に対する考え方：<http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/isyoku.pdf>、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 さけます資源研究部, 2021年2月9日）。したがって、放流魚が放流先の地域と同様の体サイズを示すようであっても、安易な地域間移植は避けるべきであろう。

また、本研究では性別の情報が限定的であったことから、各地域の性比や性差について十分な検討はできなかった（性差は未検出：電子付録, Fig. S1, Table S2）。成長様式や体サイズの性差も地域間で異なるため、^{5,23)}今後は性別も考慮した分析が必要である。

謝 辞

各道県の研究機関および漁業協同組合には、標識個体の再捕獲情報を提供して頂いた。国土交通省北海道開発局と公益社団法人北海道栽培漁業振興公社には、データの使用許可を頂いた。水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門の江田幸玄主任技術員、佐藤俊平グループ長には、本研究に便宜を図って頂いた。ここに記してお礼申し上げる。

文 献

- 宮腰靖之・種苗効果と資源増殖—北海道のサクラマス事例として—。「水産資源の増殖と保全」（北田修一、浜崎活幸、谷口順彦、帰山雅秀編）成山堂書店、東京、2008；48-65。
- 長谷川 功、佐橋玄記、福井 翔。サクラマス 日本系。

Fig. 2 Relation between monthly age and (a) fork length and (b) body weight, and relation between log monthly age and (c) log fork length and (d) log body weight, in recaptured hatchery fish of masu salmon. Diamond symbols and dotted line denote individuals released in the Pacific Ocean; square symbols and solid line denote those released in the Sea of Japan; triangle symbols and bold solid line denote those released in the Sea of Okhotsk & Nemuro Strait. Regression equations of each line estimated by the general linear model are indicated by arrows.

- 令和2年度国際漁業資源の現況（詳細版），水産庁・国立研究開発法人 水産研究・教育機構，東京・横浜．2021；**63**：1-9.
- 3) 長谷川 功，佐橋玄記，福井 翔．サクラマス 日本系．令和2年度国際漁業資源の現況（要約版），水産庁・国立研究開発法人 水産研究・教育機構，東京・横浜．2021；**63S**：1-2.
 - 4) 待鳥精治，加藤史彦．サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活．北太平洋漁業国際委員会研究報告 1985；**43**：1-118.
 - 5) 真山 紘．サクラマス生態ノート パート2．さけ・ます資源管理センター技術情報 2005；**171**：1-13.
 - 6) 真山 紘，小野郁夫，平澤勝秋．北海道の河川に放流された標識サクラマスの海洋における回遊生態．さけ・ます資源管理センターニュース 2005；**14**：1-9.
 - 7) 真山 紘，大熊一正，野村哲一，松村幸三郎．尻別川におけるサクラマスのスモルト放流試験—1981年春放流標識魚の回帰—．北海道さけ・ますふ化場研究報告 1985；**39**：1-16.
 - 8) 大熊一正，真山 紘．サクラマスの成長と鱗相に関する研究2．1982年に回帰したスモルト放流魚の鱗相と成長．北海道さけ・ますふ化場研究報告 1985；**39**：17-25.
 - 9) 黒川忠英，小島 博，中島幹二．池中継代飼育サクラマスの回遊と成長．北海道立水産孵化場研究報告 1987；**42**：45-52.
 - 10) 真山 紘．サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究．北海道さけ・ますふ化場研究報告 1992；**46**：1-156.
 - 11) 小林美樹，宮腰靖之，中島美由紀，藤原 真，工藤智，坂井勝信，永田光博，楠田 聡，岡田鳳二，小山達也，小出展久，竹内勝巳．継代飼育作出0+サクラマス・スモルトの海水馴致放流による沿岸への回帰．魚と水 1994；**31**：219-226.
 - 12) 宮本真人，平野和夫，大久保進一，浅見大樹．信砂川および風連別川に放流したサクラマスの回遊と回帰．魚と水 1994；**31**：227-231.
 - 13) Kasugai K, Naito K, Misaka N, Kudo S, Aoyama T. Individual growth of released masu salmon, *Oncorhynchus masou*, in sea water. *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery* 1997; **51**: 53-56.
 - 14) Shimoda K, Naito K, Nakajima M, Sasaki Y, Misaka N, Imada K. Marine survival and growth of masu salmon *Oncorhynchus masou*, in relation to smolt size. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2003; **69**: 926-932 (in Japanese with English abstract).
 - 15) 宮腰靖之．北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究．北海道立水産孵化場研究報告 2006；**60**：1-64.
 - 16) 佐藤正人，渋谷和治．米代川から放流されたサクラマスの回遊経路の推定，成長速度および回帰魚の母川選択率．水産増殖 2015；**633**：283-290.
 - 17) 星野 昇，高嶋孝寛，渡野達雅道，藤岡 崇．北海道南部沿岸域におけるホッケ資源の年齢構造および漁獲動向．北海道水産試験場研究報告 2009；**76**：1-11.
 - 18) R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015; URL: <https://www.r-project.org/>.
 - 19) 杉若圭一，田中寿雄，笠原 昇，新谷康二．標識放流からみた1+ 池産サクラマススモルトの回遊．北海道立水産孵化場研究報告 1981；**36**：11-31.
 - 20) Nagata M. The occurrence of bimodality in the length frequency distribution, and its relation to growth and density in a juvenile masu salmon population in a Hokkaido stream. *Physiol. Ecol. Jpn.* 1989; **1**: 141-150.
 - 21) 宮腰靖之．北海道北部河川に移殖放流されたサクラマスの回帰魚体サイズ．北海道立水産孵化場研究報告 1999；**53**：59-66.
 - 22) Hasegawa K, Kitanishi S, Miyamoto K, Tamate T, Nomura K, Takagi Y. A proposal for the comprehensive management of masu salmon *Oncorhynchus masou masou*, a resource fish for coastal commercial fisheries and inland leisure fishing. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2020; **86**: 2-8 (in Japanese with English abstract).
 - 23) Tamate T. Interpopulation comparison of sex-biased mortality and sexual size dimorphism in sea-run masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Zool. Sci.* 2015; **32**: 364-371.