

耳石微量元素から推定した屈斜路湖に生息する 湖沼型ベニザケの降海遡上履歴（短報）

春日井 潔*¹, 隼野寛史¹, 眞野修一², 渡辺智治², 吉川朋子³, 斎藤真美⁴, 脇元理恵⁵

¹北海道立総合研究機構さげます・内水面水産試験場, ²北海道立総合研究機構さげます・内水面水産試験場
道東内水面グループ, ³玉川大学農学部生物環境システム学科, ⁴日本エヌ・ユー・エス株式会社環境科学研究
所, ⁵日本電子株式会社

Upstream and downstream migration history of lacustrine sockeye salmon captured in Lake Kussharo estimated
from otolith microchemistry (Short Paper)

KIYOSHI KASUGAI*¹, HIROFUMI HAYANO¹, SHUICHI MANO², TOMOHARU WATANABE²,
TOMOKO YOSHIKAWA³, MAMI SAITO⁴, and RIE WAKIMOTO⁵

¹ Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido, 061–1433, Japan*

² Doto Inland Fisheries Group, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Abashiri, Hokkaido, 093–0131, Japan*

³ Department of Bioenvironmental Systems, College of Agriculture, Tamagawa University, *Machida, Tokyo, 194–8610, Japan*

⁴ Environmental Science Laboratory, Japan NUS Co. Ltd., *Yokohama, Kanagawa, 236–0004, Japan*

⁵ JEOL Ltd., *Akishima, Tokyo, 196–8558, Japan*

Extremely large lacustrine sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (fork length: 63.6 cm), was captured in Lake Kussharo, eastern Hokkaido, Japan. Initially, the average otolith strontium:calcium (Sr:Ca) ratio of large fish was 1.10 (range: 0 – 4.22), which then elevated to 4, after which fluctuated about between 6 – 8 (mean 6.54, range 2.84 – 9.25), and dropped to 4 before the fish was captured in the lake. This fluctuation in the Sr:Ca ratio demonstrated that the large sockeye salmon that was captured in Lake Kussharo had migrated to the ocean.

キーワード：Sr:Ca比, 屈斜路湖, 耳石, 微量元素, ベニザケ

屈斜路湖は北海道東部に位置する, 面積77.5km², 水深117 mを擁する国内6番目の面積規模の湖で, 南東端から流出する釧路川が太平洋に流入している。釧路川は魚の遡上を妨げる常時設置されている河川工作物がない。

屈斜路湖は1950–60年代の温泉開発による湖水の酸性化とアルミニウムイオンによる毒性化によって生息する魚類の大部分が死滅したと思われた(橋本, 1989)。湖水は1960年代には強い酸性を示していたが, 1980年代以降中性化が進み, 現在はほぼ中性を示している(福山・斉藤, 1994; 伴・鈴木, 2003; 田中, 2004)。水質の中性化および1968年以降の弟子屈町などによる魚類の放流事業によ

り魚類相の回復が見られ, 現在ではサクラマス *Oncorhynchus masou*, ヒメマス *O. nerka*, ニジマス *O. mykiss*, アメマス *Salvelinus leucomaenis*, オシヨロコマ *S. malma*, ワカサギ *Hypomesus nipponensis*, ギンブナ *Carassius auratus langsdorfii*, ウグイ *Tribolodon hakonensis*, エゾウグイ *T. ezoe*, イトヨ *Gasterosteus aculeatus*, ハナカジカ *Cottus nozawae*, ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*, フクドジョウ *Noemacheilus barbatulus toni*が確認されている(伴・鈴木, 2003; 北海道立水産孵化場未発表資料, 2004; 弟子屈町, 2010)。

屈斜路湖では, 1954年に魚類資源の減少により漁業協同組合が解散して以来, 漁業権が設定されていないため,

報文番号 A 513 (2014年8月6日受理)

*Tel: 0123–32–2135. Fax: 0123–34–7233. E-mail: kasugai-kiyoshi@hro.or.jp

2014年現在, 湖内で自由に釣りをすることが可能である。近年, 魚類相の回復とともにニジマス, アメマス, サクラマス, ヒメマスが釣り上げられるようになり, 大型サケ科魚類を釣ることのできる湖として人気が高い(堀内, 2006)。

ヒメマスはベニザケの陸封型である。ベニザケは, 湖沼で数年過ごした後, 降海/遡上して産卵する遡河型(降海型: anadromous type), 遡河型から生じ, 降海せずにそのまま淡水域で成熟する湖沼型(lacustrine type; 残留型 residual type), 全く降海せず淡水の湖沼で世代交代を繰り返すkokanee型に分けられる(Burgner, 1991; 帰山, 1991)。現在, 北海道で報告されてきたヒメマスは, 一部の個体が降海性を有することからkokanee型とは見なされず, 湖沼型であるとされる(帰山, 1991; 帰山ら, 2005)。

屈斜路湖にはヒメマス(ベニザケ)は元々生息していなかったが(北海道水産試験場, 1929), 1931年には生息が報告されている(高安・澤, 1931)。1934年には択捉島ウルモベツ湖からベニザケ卵25万粒が移植され(田中, 1937), 1938年の屈斜路湖地震後の調査で4歳のヒメマスが確認されている(五十嵐ら, 1938)。しかし, その後の水質悪化により絶滅したものと考えられる。1994, 1995年には弟子屈町が阿寒湖産のヒメマス稚魚を, 1995年から2000年にかけてさけます資源管理センター鶴居事業所(現北海道区水産研究所鶴居さけます事業所)が釧路川遡上魚由来のベニザケ稚魚を放流しており(伴・鈴木, 2003; 弟子屈町, 2012), それらが現在の屈斜路湖のヒメマスの起源になっていると思われる。一方, 釧路川においては現在も海洋から遡上してきたベニザケ親魚から採卵し, 成育したベニザケ幼魚を放流している。

サケ属魚類の6種(シロサケ *O. keta*, カラフトマス *O. gorbuscha*, サクラマス, マスノスケ *O. tshawytscha*, ギンザケ *O. kisutch*, ベニザケ)は水産資源保護法および北海道内水面漁業調整規則により内水面における親魚の採捕が禁じられている。ただし, サクラマスの淡水残留型であるヤマバヤ, ベニザケの湖沼型であるヒメマスはこの法や規則の対象外である。屈斜路湖に生息するヒメマスは釧路川を通じて太平洋に降海/遡上することが可能で, 降海/遡上したベニザケを採捕した場合, 上記法や規則に抵触する。そのため, 湖沼型か降海型かを判別することは資源管理を行う上で重要である。

魚類の降海遡上履歴を明らかにする方法として耳石の微量元素を解析する方法が用いられている(Campana, 1999; 新井, 2007)。耳石のSr濃度, もしくはSr:Ca比を調べることにより, 降海しているか否かが判断できる。屈斜路湖では, 湖内や湖への流入河川で採捕されたサクラマス親魚が, 耳石微量元素の分析から降海/遡上して

いないことが示されており(Kasugai *et al.*, 2014), ヒメマスの大型個体でも降海していない可能性がある。本研究では, 屈斜路湖で採捕された大型ヒメマスが降海/遡上しているか否かを明らかにするため, 耳石のSr:Ca比を分析し, 降海遡上履歴を推定した。

材料および方法

魚類の採捕は, 玉川大学と弟子屈町が2009年10月19日午後から20日午前にかけて, 目合い2寸5分(7.6cm), 長さ15mの刺網を湖内の6カ所(尾札部川河口付近: St.1, エントコマップ川河口付近: St.2, オンネシレト川河口付近: St.3, シケレベンベツ川河口付近: St.4, オンネナイ川河口付近: St.5, 仁伏の岬付近: St.6)に各1反ずつを設置して行った(Fig. 1)。採捕した魚類は尾叉長を測定し, その中から降海/遡上した可能性があった大型ヒメマス雄1個体から鱗と耳石を採取した。

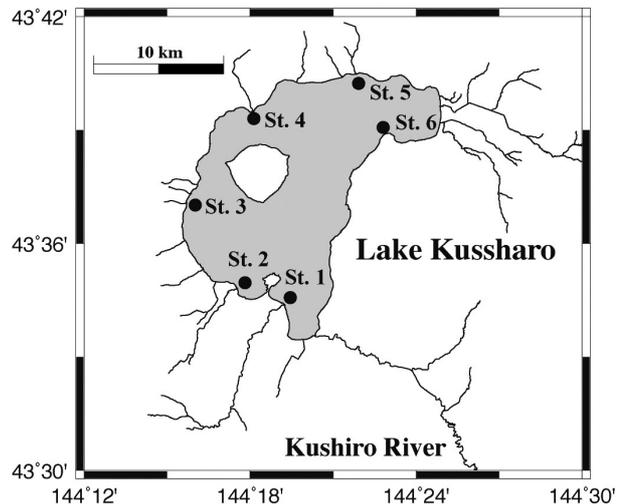


Fig.1 Location of capture of lacustrine sockeye salmon.

小型個体10個体と大型個体から採取した鱗については, 休止帯を計数して年齢査定を行った。

耳石は洗浄後, エポキシ樹脂に包埋し, スライドグラスに接着した。耐水研磨紙#1000, #1200で核が露出するまで研磨した後, 9- μm のラッピングフィルムとアルミナ懸濁液で鏡面仕上げし, 白金を蒸着した。電子プローブマイクロアナライザー(EPMA: JXA8100, JEOL)を用いて耳石の長軸上を核から縁辺にかけて, ビーム径3 μm , 加速電圧15kV, 照射電流200nAでSrとCaの濃度を測定した。SrTiO₃およびCaSiO₃をSr濃度とCa濃度の標準試料に用いた(Kasugai *et al.*, 2014)。算出されたSr:Ca比は1000倍にして示す。

結果

ヒメマスは全部で573個体の標本が採捕された。標本のほとんどすべてが平均尾叉長27-28cmの成熟雌雄個体であった。一方で、明らかにサイズの異なる大型成熟雄個体（尾叉長63.6cm, 体重3.12 kg）が定点5で1個体採捕された。

鱗による年齢査定では、10個体の小型個体の内、休止帯が9個体で3本、1個体で4本確認され、それぞれ4歳魚と5歳魚と推定された。大型個体では休止帯が3本確認され、4歳魚と推定された。

大型ヒメマスの耳石のSr:Ca比は、核から1,164μmの距離までの平均±SDは1.10±0.61 (n = 389, 範囲0-4.22)であったが、それ以降に値が急上昇した後、おおよそ6-8の範囲で変動し (平均±SD: 6.54±1.16, n = 236, 2.84-9.25), 採捕前の核から1,875μmの距離以降に急減していた (Fig. 2)。

耳石の核からSr:Ca比が大きく変化した地点までの距離と透明帯との位置関係から、大型個体は淡水域で2冬、海洋で1冬過ごした後、遡上したと推定された。

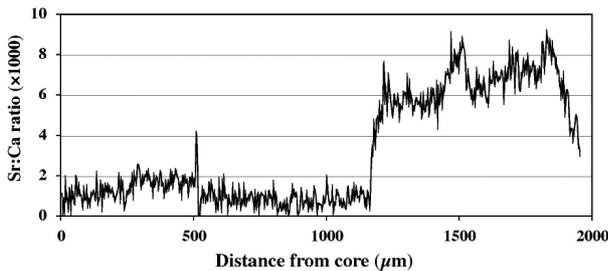


Fig.2 Change in Sr:Ca ratio in otolith of large lacustrine sockeye salmon captured in Lake Kussharo.

考察

降海／遡上したベニザケの耳石のSr:Ca比は、海水生活期においては3-5の範囲を取ることが示されている (Rieman *et al.*, 1994)。サクラマスでは、本州日本海側の沿岸域で採捕された幼魚および親魚、もしくは遡上を開始した親魚では、耳石のSr:Ca比は耳石の核から平均950μmで急上昇して4以上に達していたのに対し、淡水で飼育していた個体では上昇は見られず3以下の値で推移した (Arai and Tsukamoto, 1998)。サクラマスの亜種サツキマス *O. masou ishikawai* では、淡水飼育した個体では平均値で2以下、海水飼育した個体では平均で3以上を示した (海野ら, 2001)。一方、屈斜路湖とその流入河川で採捕されたサクラマス親魚の耳石Sr:Ca比はおおむね2以下であった (Kasugai *et al.*, 2014)。過去に屈斜路湖で採捕されたヒメマス大型個体では、アニサキスが寄生していたことから降海したことが示されている (伴・鈴木, 2003)。これらを考慮すると屈斜路湖で採捕されたヒメマス大型個体は降海した後、遡上したベニザケと判断される。

ベニザケにおいては、耳石の核付近のSr濃度が高い個体は、その親が降海していたと推測されている (Rieman *et al.*, 1994; Volk *et al.*, 2000)。釧路川に放流されているベニザケ幼魚は遡上親魚由来なので、それらが屈斜路湖まで遡上してきている可能性は低いものと思われる。屈斜路湖で採捕されたベニザケでは核付近のSr濃度は高くなかったため、ベニザケの親はヒメマス由来の可能性が高く、湖内のヒメマスは一定程度の降海個体が出現する湖沼型ベニザケの特徴を示していると思われる。このことは2012年に釧路川捕獲場に設置したロータリー式スクリーンでスモルトが採捕されたことから裏付けられる (さけます・内水面水産試験場未発表資料)。

Table 1 Number and fork length of lacustrine sockeye salmon captured in Lake Kussharo

Station	Small fish			Large fish	
	Number of fish	Mean ± SD (cm)	Range (cm)	Number of fish	Fork length (cm)
1	4	28.8 ± 2.1	26.4 – 31.6	-	-
2	46	28.1 ± 1.4	26.2 – 32.0	-	-
3	168	27.6 ± 0.8	25.5 – 31.1	-	-
4	105	27.6 ± 1.0	25.7 – 31.9	-	-
5	249	-	-	1	63.6
6	11	-	-	-	-
Total	583	27.7 ± 1.0	25.5 – 32.0	1	63.6

弟子屈町による屈斜路湖の魚類相調査では、1995年からヒメマスが採捕されているが、体長は14–35 cmと大きくはない(弟子屈町, 2012)。本研究におけるベニザケは尾叉長63.6 cm, 2000年に採捕されたベニザケは平均尾叉長が53.8 cmであり、湖内においてはサイズでおおよそ判別が付けられるものと考えられる。

屈斜路湖においては、ワカサギが1930–1934年に移入されたが(飛鳥ら, 1933; 田中, 1937), 定着は確認されなかった。しかし、ワカサギは近年再導入され(弟子屈町役場山口私信), 定着している可能性が高い(橋本ら, 2008; 弟子屈町, 2010)。ワカサギは同じように動物プランクトン食を主な餌とするヒメマスと競争関係にあり、一方の種の個体群密度は他方の種の個体群密度に非常に強く影響される(鈴木ら, 1999; 帰山, 1999)。ヒメマスは個体群が大きく、密度が高くなると降海型が出現しやすくなる(帰山, 1991)。ワカサギが増加することにより、湖内の摂餌環境が悪化し、降海個体が増加する可能性がある。

また、屈斜路湖には降海せず湖内で生活するサクラマスが報告されている(Kasugai *et al.*, 2014)。ワカサギが生息する湖においては、サクラマスはワカサギを主要な餌としていることから(長内, 1962; 山口ら, 2000; 坂本ら, 2002), 屈斜路湖においてもサクラマスの主要な餌はワカサギであると予想される。ワカサギはヒメマスと餌をめぐる競争することにより、ヒメマスの個体群密度、ひいてはワカサギを餌とするサクラマスの個体群密度にも影響を及ぼすことが予想される。現在、屈斜路湖では漁業が行われていないため、漁獲を通じた生息魚類の資源量の把握が行われていない。今後のベニザケの出現状況について注意深くモニタリングする必要がある。

謝辞

さけます・内水面水産試験場(当時の所属)の伊澤敏穂, 宮本真人, 坂本博幸; 玉川大学の中澤恒久, 上田 潤, 宮川 健, 大宮正博, 金井秀明; 弟子屈町の山口智明, 岡林正昭, 清水 均, 守屋憲一の諸氏には野外調査を手伝って頂いた。調査当時、さけます・内水面水産試験場所属の杉若圭一氏には、調査全体を取りまとめるとともに、本論文に対して貴重な意見を頂いた。ここに記して感謝します。

引用文献

新井崇臣. 耳石が解き明かす魚類の生活史と回遊. 日本水産学会誌 2007; 73: 652–655.
Arai T, Tsukamoto K. Application of otolith Sr:Ca ratios to estimate the migratory history of masu salmon,

Oncorhynchus masou. *Ichthyol. Res.* 1998; 45: 309–313.
伴 真俊, 鈴木俊哉. 屈斜路湖におけるベニザケの人工増殖. さけ・ます資源管理センター技術情報 2003; 169: 13–23.
Burgner, RL. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). In: Groot C, Margolis L (eds). *Pacific Salmon Life Histories*, UBC Press, Vancouver, Canada. 1991; 1–117.
Campana SE. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1999; 188: 263–297
福山龍次, 齊藤 修. pH変動に伴う湖底堆積物の生成と水質への影響. 北海道環境科学研究センター所報 1994; 21: 29–33.
堀内正徳. どうなる, どうする, 屈斜路湖. フライの雑誌 2006; 75: 48–55.
橋本昭彦, 片山知史, 池田 実 2008. 北海道太平洋沿岸におけるワカサギは移植由来か?—AFLP分析による検討—. 2008(平成20)年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 152.
北海道水産試験場. 屈斜路湖. 北水試旬報 1929; 74: 759.
五十嵐彦仁, 木村錠郎, 川内 滋. 屈斜路湖震災調査概要(其一). 北水試旬報 1938; 399: 168–171.
帰山雅秀. 支笏湖に生息する湖沼型ベニザケの個体群動態. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1991; 45: 1–24.
帰山雅秀. 十和田湖のヒメマス資源管理. 国立環境研究所研究報告 1999; 146: 36–40.
帰山雅秀, 眞山 紘, 加藤禎一, 小林哲夫, 河村 博. VI章 我が国におけるヒメマスの増養殖. 「湖沼環境の基盤情報整備事業報告書—豊かな自然環境を次世代に引き継ぐために—支笏湖(社団法人日本水産資源保護協会編)」社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2005; 123–155.
Kasugai K, Hayano H, Mano S, Watanabe T, Yoshikawa T, Saito M, Wakimoto R, Sugiwaka K. Preliminary study of migration history estimated from otolith Sr:Ca ratios of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Lake Kussharo. *Ichthyol. Res.* 2014; 61: 178–182.
長内 稔. 陸封型サクラマスの生態調査. I. 雨竜人工湖の湖況の遷移と湖産サクラマスの食性について. 北海道立水産孵化場研究報告 1962; 17: 21–29.
Rieman BE, Myers DJ, Nielsen RL. Use of otolith microchemistry to discriminate *Oncorhynchus nerka* of resident and anadromous origin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1994; 51: 68–77.

- 坂本博幸, 隼野寛史, 小島 博. 有珠山噴火後の洞爺湖サケ・マス類の生息状況について. 魚と水 2002; 38: 69-73.
- 鈴木俊哉, 長崎勝康, 水谷 寿, 婦山雅秀. 十和田湖におけるヒメマスおよびワカサギの個体群動態. 国立環境研究所研究報告 1999; 146: 27-35.
- 高安三次, 澤 賢蔵. 湖沼調査. 屈斜路湖調査. 北水試旬報 1931; 137: 1316-1324.
- 田中 敦. 屈斜路湖が自然に中性化した原因を探るには. 国立環境研究所ニュース 2004; 23: 6-7.
- 田中林蔵. 塘路湖, 屈斜路湖の養殖事業. 鮭鱒彙報 1937; 9: 19-24.
- 弟子屈町. “屈斜路湖フィッシングルール&マナー’10. 弟子屈町 2010” Internet web. URL: Download from: (https://www.town.teshikaga.hokkaido.jp/02_sougou/37_kankou/20_naisuimen/01_kussharo/files/2010-0909-0953.pdf) (2014.5.15)
- 弟子屈町. “屈斜路湖魚類放流, 採捕実績” Internet web. Download from: (https://www.town.teshikaga.hokkaido.jp/02_sougou/37_kankou/20_naisuimen/01_kussharo/files/2012-0730-1528.pdf) (2014.5.15)
- 飛島貫治, 小林教司, 中川数一. 屈斜路湖ワカサギ移植試験. 北海道水産試験場事業旬報 1933; 223: 181-183.
- 海野徹也, 清家 暁, 大竹二雄, 西山文隆, 柴田恭宏, 中川平介. 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定. 日本水産学会誌 2001; 67: 647-657.
- Volk EC, Blakley A, Schrodel SL, Kuehner SM. Otolith chemistry reflects migratory characteristics of Pacific salmonids: using otolith core chemistry to distinguish maternal associations with sea and freshwaters. *Fish. Res.* 2000; 46: 251-266.
- 山口一彦, 中村智幸, 丸山 隆. 人工湖における降湖型サクラマス, *Oncorhynchus masou masou*の天然魚と放流魚の年齢組成, 性比, 成長, 食性. 水産増殖 2000; 48: 615-622.