

自然産卵するサケにおける脊椎骨数の遡上時期による違い (短報)

安藤大成^{*1}, 佐藤俊平²

¹北海道立総合研究機構 水産研究本部,

²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

Variation in the vertebral number of naturally spawning chum salmon among migrating seasons (Short paper)

DAISEI ANDO^{*1} and SHUNPEI SATO²

¹ Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046–8555,

² Hokkaido National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Sapporo, Hokkaido 062–0922, Japan

Naturally spawning chum salmon *Oncorhynchus keta* adults were collected from three rivers in Hokkaido during three different migrating seasons to represent early, middle, and late migrating populations. Vertebral numbers were then measured; the highest mean vertebral number was observed in the early migrating population. Remarkably, the difference in the mean vertebral number was larger between the (naturally spawning) early and late migrating populations than the differences reported in previous studies of hatchery-reared chum salmon populations. These results suggest that the vertebral number is useful to estimate the spawning environments of chum salmon.

キーワード：サケ, 自然産卵, 遡上時期, 脊椎骨数

サケ *Oncorhynchus keta* は北海道における重要な沿岸漁業対象種であり, 全道各地で100年以上も前から本種を対象とした増殖事業 (人工ふ化放流) が行われてきた。サケにおいて, 計数形質の一つである脊椎骨数は, 同一環境下では遺伝的要因が強く, 地域集団により特有の値を示すことから (安藤ら, 2015; Ando *et al.*, 2017), 遺伝的集団構造の解析に有用な形質であると考えられてきた (Ando *et al.*, 2010; 安藤ら, 2017)。遺伝子解析の結果から北海道には5つのサケ地域集団が存在することが知られているが (Beacham *et al.*, 2008; 佐藤・浦和, 2015), 実際に, これら5地域の集団間では平均脊椎骨数が最大で0.7~0.8異なることが報告されている (安藤ら, 2017)。一方で, サケの脊椎骨数は胚発生時の水温によっても変化することが知られており (Ando *et al.*, 2011), 環境要因に左右される形質であるとも推測される。

北海道におけるサケの遡上期間は, 9月から翌年の2月までに渡ることが知られているが (佐野, 1947), 同一河川内であっても, 遡上する時期によりサケの脊椎骨数

は異なっており, 早い時期の遡上群の方が遅い時期の遡上群よりも脊椎骨数が多いことが報告されている (安藤ら, 2014)。また, この遡上時期による脊椎骨数の差異は, 人工ふ化放流が行われている河川のサケよりも, 自然産卵しているサケの方が大きいことが北海道の一河川で報告されている (安藤ら, 2014)。人工ふ化放流魚と9月頃に産卵する自然産卵魚の卵期の生育環境を例にとると, 前者は事業期を通しほぼ一定水温で管理されるが, 後者は秋から冬に向かい変化する河川水温下で生育する (ト部ら, 2013)。これらのことは, 自然産卵魚由来のサケの脊椎骨数は, 人工ふ化由来のサケよりも環境変化による影響を受けていることを示している。したがって, 河川における水温等の環境調査とともに, 異なる時期に遡上するサケの自然産卵群の脊椎骨数の差異を調査することは, 遡上群の産卵生態 (利用する環境) の違いを推測する上で有用な情報になると考えられる (安藤ら, 2014)。

本研究では, サケ自然産卵魚の脊椎骨数に関する知見

を更に蓄積するために、北海道の石狩川水系3支流を対象に、遡上するサケの脊椎骨数及び河川水温を調査した。

試料および方法

調査河川として石狩川支流の厚別川、長都川、および島松川の3河川を選定した (Fig. 1)。厚別川は豊平川の、長都川、島松川は千歳川の支流であるため、調査河川は石狩川の2次支流にあたる。なお、島松川では1948～1951年に親魚の捕獲や採卵が行われていた記録があり (北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 1988)、事業規模での放流は行われていないものの自然産卵しているサケが確認されている (宮腰ら, 2011)。また、厚別川や長都川でも事業規模での放流は行われていないものの、自然産卵しているサケが確認されている (宮腰ら, 2011; https://salmon-museum.jp/data/sake_kanpou18.pdf, 2018年7月26日)。これら河川内の1.5～1.8 kmを調査区間に設定し、2011年9月から同年12月まで旬1回の頻度で調査区間を踏査し、排卵・排精後と思われる形態の損傷が少なくサケ死骸を回収した。なお、各河川の調査開始日および終了日はサケ死骸の分布状況を見ながら決定した。実験室 (さけます・内水面水産試験場, 北海道恵庭市) に持ち帰ったサケは、雌雄を記録し、眼の後端から尾鰭の付け根までの長さ (postorbital-hypural length, 以下 POH) を0.5 cm単位で測定した後、鱗を数枚採取し、後日、年齢査定に用いた。年齢は小林 (1961) に従い、冬季帯の数に1を足した値を年齢とした。魚体の不要部分は包丁により切り取り、更に煮沸して肉を取り除き、椎骨の数を計数した。脊椎骨数の計数は久保・小林 (1953) に従い、頭部直後の椎骨から第1尾鰭椎までとした。サケの増殖事業では遡上時期を3期に区分し、10月10日までに捕獲したサケを前期遡上群、10月11日～11月5日までに捕獲したサケを中期遡上群、11月6日以降に捕獲したサケを後期遡上群としている (北海道さけ・ます増殖事業協会, 2007)。本研究で採集したサケは排卵・排精後の死骸であるが、この増殖事業の区分に従い、期別に POH, 年齢, 脊椎骨数の平均値を算出したうえで、各形質について Tukey-Kramer法により期別の差の有無を多重比較検定した (有意水準 5%)。調査期間中は各河川に水温の自記記録計 (HOBO pendant temp/light data logger, UA-002-64, ONSET社) を設置し、1時間に1回の頻度で水温を記録した (ただし、測定は12月中旬まで)。なお、解析には1日 (24時間の観測値) の平均水温を使用した。

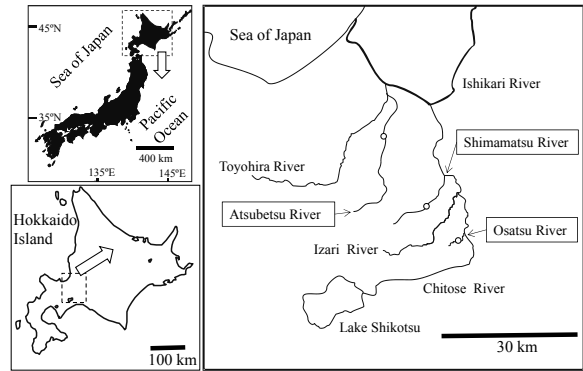


Fig. 1 Map of relevant rivers and places in this study. Places indicated using squares are the surveyed rivers, and the circles indicate the surveyed points.

結果および考察

期間中に厚別川では10回の調査を行い、計9尾 (前期4尾, 中期3尾, 後期2尾) のサケ死骸を回収し、長都川では11回の調査で計21尾 (前期3, 中期5尾, 後期13尾) のサケ死骸を回収した。また、島松川では12回の調査を行い、計19尾 (前期2尾, 中期4尾, 後期13尾) のサケ死骸を回収した。各河川から採集した個体の採集月日, 性別, POH, 年齢, 脊椎骨数を遡上時期別にまとめ Table 1 に示す。3河川合計で49尾 (前期9尾, 中期12尾, 後期28尾) のサケを採集したが、後期遡上群の回収尾数が最も多かった。3河川合計の採集尾数に占める雌の比率は前期遡上群で77.8%, 中期遡上群で66.7%, 後期遡上群で75.0%であり、いずれも雌の比率が高かった。年齢は再生鱭のため査定が不可能な1尾を除き、3～6歳であった。平均年齢は前期遡上群で4.2歳, 中期遡上群で4.3歳, 後期遡上群で3.9歳であり、後期遡上群で3年魚が多い傾向を示したものの、平均年齢に有意差は認められなかった ($P=0.12\sim 0.98$)。POHは43.0～60.5 cmの範囲にあり、平均値は前期, 中期, 後期遡上群でそれぞれ52.8 cm, 52.5 cm, 52.6 cmとほぼ同サイズを示し、有意差は認められなかった ($P=0.99\sim 1.00$)。脊椎骨数は65～68の範囲にあり、調査期間全体の河川毎の平均脊椎骨数 \pm 標準偏差 (以下, 同様) は厚別川で 66.7 ± 1.12 , 長都川で 66.0 ± 0.95 , 島松川で 65.9 ± 0.71 となり、厚別川の平均値が高かった。3河川を合わせた遡上時期別の脊椎骨数は、前期遡上群で 67.2 ± 0.67 , 中期遡上群で 66.2 ± 0.72 , 後期遡上群で 65.7 ± 0.76 であり、前期から後期になるにつれて脊椎骨数は少なくなる傾向が見られ、前期と後期遡上群の平均脊椎骨数には1.5の差が見られた。脊椎骨数は前期と中期遡上群で有意差が認められ ($P=0.006$)、前期と後期遡上群の間にも有意差が認められたが

Table 1 Sampling date, sex, and morphometric data of chum salmon adults collected from three rivers in the Ishikari River basin, in 2011.

Season	River	Date	Sex	POH ^{*1,*2} (cm)	Age ^{*2}	Vertebral number ^{*2}
Early	Osatsu R.	Sep. 28	Male	51.0	4	67
	Atsubetsu R.	Sep. 29	Female	54.0	5	67
	Osatsu R.	Oct. 4	Female	53.0	4	66
	Osatsu R.	Oct. 4	Female	52.5	4	68
	Shimamatsu R.	Oct. 4	Female	60.0	5	67
	Shimamatsu R.	Oct. 4	Female	53.0	4	67
	Atsubetsu R.	Oct. 6	Male	54.0	4	68
	Atsubetsu R.	Oct. 6	Female	49.0	4	67
	Atsubetsu R.	Oct. 6	Female	48.5	4	68
	Mean			52.8 ^a	4.2 ^a	67.2 ^a
Middle	Osatsu R.	Oct. 12	Male	55.0	5	67
	Osatsu R.	Oct. 12	Female	49.5	4	66
	Osatsu R.	Oct. 12	Male	60.5	4	66
	Atsubetsu R.	Oct. 14	Female	50.5	4	66
	Osatsu R.	Oct. 25	Female	46.5	3	66
	Osatsu R.	Oct. 25	Male	57.0	4	67
	Shimamatsu R.	Oct. 27	Female	54.5	4	65
	Shimamatsu R.	Oct. 27	Female	55.0	6	66
	Shimamatsu R.	Oct. 27	Female	49.5	4	66
	Shimamatsu R.	Oct. 27	Female	51.0	Unknown	67
	Atsubetsu R.	Oct. 28	Female	52.0	5	65
Atsubetsu R.	Nov. 4	Male	49.5	4	67	
	Mean			52.5 ^a	4.3 ^a	66.2 ^b
Late	Shimamatsu R.	Nov. 7	Female	59.0	4	65
	Shimamatsu R.	Nov. 7	Male	53.0	4	65
	Osatsu R.	Nov. 7	Male	53.0	4	66
	Osatsu R.	Nov. 7	Female	51.0	4	65
	Osatsu R.	Nov. 7	Female	54.0	4	65
	Osatsu R.	Nov. 7	Female	54.0	4	65
	Osatsu R.	Nov. 7	Female	44.0	3	66
	Osatsu R.	Nov. 7	Male	43.0	3	65
	Osatsu R.	Nov. 7	Male	44.5	4	66
	Osatsu R.	Nov. 7	Male	56.0	4	65
	Osatsu R.	Nov. 15	Female	44.5	3	68
	Osatsu R.	Nov. 15	Female	55.0	4	66
	Osatsu R.	Nov. 15	Female	55.0	4	66
	Osatsu R.	Nov. 15	Male	45.5	3	65
	Shimamatsu R.	Nov. 15	Female	53.0	4	66
	Shimamatsu R.	Nov. 15	Female	58.0	4	66
	Shimamatsu R.	Nov. 15	Female	55.0	4	65
	Shimamatsu R.	Nov. 15	Female	47.0	3	66
	Atsubetsu R.	Nov. 18	Female	51.0	3	67
	Atsubetsu R.	Nov. 18	Female	51.5	4	65
	Shimamatsu R.	Dec. 14	Female	57.0	4	66
	Shimamatsu R.	Dec. 14	Male	53.5	4	65
	Shimamatsu R.	Dec. 14	Female	57.0	4	66
	Shimamatsu R.	Dec. 14	Female	57.5	5	66
	Osatsu R.	Dec. 14	Female	52.0	4	65
	Shimamatsu R.	Dec. 21	Female	58.0	5	66
Shimamatsu R.	Dec. 21	Female	56.0	4	67	
Shimamatsu R.	Dec. 21	Female	53.5	4	66	
	Mean			52.6 ^a	3.9 ^a	65.7 ^b

^{*1} Postorbital-hypural length (POH) is the distance measured from the rear of the eye to the base of the tail (hypural bone).

^{*2} Identical letters on the mean value of each trait indicate that differences are not statistically significant according to Tukey-Kramer multiple comparison test ($P = 0.05$).

($P < 0.001$), 中期と後期遡上群の間には有意差は認められなかった ($P = 0.19$).

調査対象とした3河川の調査期間中の水温および採集尾数をFig.2に示す。期間中の水温は、厚別川と島松川では9月下旬の調査時で13.9°Cおよび12.8°Cであったが徐々に低下し、12月上旬には4°C以下にまで低下した。一方、長都川の水温は9月下旬の調査時で他の2河川より低い10.3°Cであったが、12月上旬の調査時には6.1°Cと他の2河川よりも高かった。採集尾数について、厚別川が11月下旬以降、採集がないのに対して、島松川および長都川では12月まで採集があった。各河川の遡上盛期は個体数が少ないため明らかではないが、厚別川は概ね前期から中期、島松川および長都川では中期から後期と推測された。

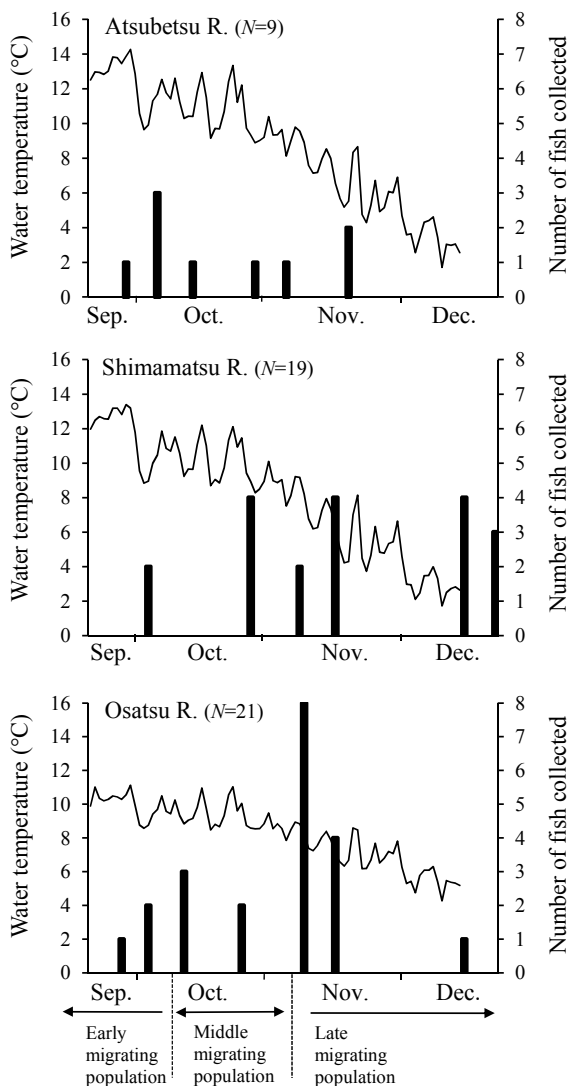


Fig.2 Water temperature and number of fish collected from three rivers in the Ishikari River basin. Lines and bars indicate water temperature and number of fish collected, respectively.

これまで、千歳川支流の漁川 (Fig.1) で自然産卵するサケにおいて脊椎骨数が期別の遡上群で異なることが確認されており、遡上時期の早い群の脊椎骨数が多かったことが報告されている (安藤ら, 2014)。本研究でも同様の結果が得られており、自然産卵するサケの脊椎骨数は遡上時期が早い群が遅い群よりも多いことが確認された。また、本研究における前期遡上群と後期遡上群のサケ親魚の平均脊椎骨数の違いは1.5であり、人工ふ化放流が行われている千歳川の親魚で報告された9月遡上群と12月遡上群の差異0.4 (安藤ら, 2014) よりも大きい。本研究では調べたサケの由来 (自然産卵魚あるいはふ化放流魚) は明らかではないが、遡上時期別の脊椎骨数の差異が過去に調査された人工ふ化放流が行われている河川の差異よりも大きかったことから、それぞれの河川で自然産卵由来の個体が、親世代と同時期に回帰している可能性が高いと推測される。また、脊椎骨数の違いは遺伝的要因の他に、胚発生時の水温条件でも左右されると考えられており (Beacham and Murray, 1986), 12~16°Cで胚発生したサケ稚魚では8~9°Cで発生させたサケ稚魚と比較し、脊椎骨数が増えることが報告されている (Ando *et al.*, 2011)。本研究では9月下旬から12月下旬までサケが採集され、この期間の水温は概ね1~14°Cの範囲にあり (Fig.2), 遺伝的要因の他に胚発生時の水温が、その脊椎骨数に影響を与えた可能性がある。これらの結果は、サケの脊椎骨数は自然産卵しているサケの産卵環境を推測するのに有用な形質であることを示している。

Miyakoshi *et al.* (2012) は自然産卵するサケの遡上動向を沿岸漁業の操業時期との関係で説明しており、調査後半 (11月) になるにつれて遡上尾数が増加する河川については沿岸漁業の操業終期との関連を指摘し、一方、河口からの距離が長い河川における早い時期 (9月中旬) での遡上盛期については、漁業が始まる前の遡上と関係している可能性を示唆している。ト部ら (2013) は石狩川水系漁川でサケの産卵場所を調べ、前期遡上群は冬季に水温が低下する河川浸透流が卓越する場所を選択するのに対し、後期遡上群では逆に地下水が卓越し冬季にも高い水温が維持される場所を選択する傾向があることを示している。これらのことから、自然産卵するサケは、個体数において漁業の影響を受けながらも、その遡上時期と河川水温の関係において、生育に適した環境に定着するものと考えられる。今回の調査河川の河口からの距離は厚別川で約30 km, 島松川で約50 km, 長都川で約65 kmであった。厚別川は河口からの距離が3河川の中では短く、前期遡上群の採集割合が比較的高く、平均脊椎骨数については他の2河川よりも多かった。本研究で

は採集個体数が少なく、各河川の遡上動向を把握することは困難だが、自然産卵するサケの脊椎骨数は前期遡上群で多く、後期遡上群で少ないのは石狩川水系で自然産卵するサケで共通に見られる現象であり、その差異には遺伝的要因の他、発生環境の違いが関与していると考えられる。したがって、北海道の他の河川で自然産卵するサケの発生環境を推定する際にも脊椎骨数の解析は有用な手法となることが考えられる。

謝辞

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の長谷川功博士、佐藤智希博士、高橋悟氏、岡本康孝氏（現水産庁）にはサンプリングにご協力頂いた。研究を進めるにあたり北海道立総合研究機構 網走水産試験場の佐々木義隆博士、さけます・内水面水産試験場の神力義仁氏、安富亮平氏に有益な助言を頂くと共に、サンプリングにご協力頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Ando D, Shimoda K, Shinriki Y, Urabe H, Aoyama T, Nakajima M. Inflexibility of vertebral number in chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fish. Sci.* 2010 ; 76 : 761-767.
- Ando D, Shinriki Y, Miyakoshi Y, Urabe H, Yasutomi R, Aoyama T, Sasaki Y, Nakajima M. Seasonal variations in and effect of incubation water temperature on vertebral number in naturally spawning chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fish. Sci.* 2011 ; 77 : 799-807.
- 安藤大成, 神力義仁, 下田和孝, 安富亮平, 佐々木義隆, 宮腰靖之, 中嶋正道. サケの産卵時期が脊椎骨数の変異に及ぼす影響. *日水誌* 2014 ; 80 : 191-200.
- 安藤大成, 神力義仁, 佐々木義隆, 安富亮平, 三坂尚行, 水野伸也, 宮腰靖之, 中嶋正道. サケ稚魚の脊椎骨数における地域差. *日水誌* 2015 ; 81 : 843-845.
- Ando D, Murooka M, Shimoda K, Hayano H, Sasaki Y, Miyakoshi Y, Nakajima M. Estimation of heritability of vertebral number in chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fish. Sci.* 2017 ; 83 : 413-423.
- 安藤大成, 渡辺智治, 下田和孝. 北海道のサケ稚魚にみられた脊椎骨数の地理的変異. *水産増殖* 2017 ; 65 : 89-91.
- Beacham TD, Murray CB. The effect of spawning time and incubation temperature on meristic variation in chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *Can. J. Zool.* 1986 ; 64 : 45-48.
- Beacham TD, Sato S, Urawa S, Le KD, Wetklo M. Population structure and stock identification of chum salmon *Oncorhynchus keta* from Japan determined by microsatellite DNA variation. *Fish. Sci.* 2008 ; 74 : 983-994.
- 北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会. 河川別サケ・マス捕獲, 採卵, 放流数. 「北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史統計編」, 札幌. 1988 ; 45-350.
- 北海道さけ・ます増殖事業協会. 親魚の捕獲と運搬, 蓄養. 「さけ・ますふ化放流事業実施マニュアル」, 札幌, 2007 ; 1-16.
- 小林哲夫. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の年齢, 成長並びに系統に関する研究. *北海道さけ・ますふ化場研報* 1961 ; 16 : 1-102.
- 久保達郎, 小林哲夫. 石狩川のサケの二三の魚群と脊椎骨数及びウロコの数について. *日水誌* 1953 ; 19 : 297-302.
- 宮腰靖之, 卜部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博. 北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布 (資料). *北水試研報* 2011 ; 80 : 51-64.
- Miyakoshi Y, Urabe H, Saneyoshi H, Aoyama T, Sakamoto H, Ando D, Kasugai K, Mishima Y, Takada M, Nagata M. The occurrence and run timing of naturally spawning chum salmon in northern Japan. *Env. Biol. Fish.* 2012 ; 94 : 197-206.
- 佐野誠三. 遡河鮭中通称ギンケ鮭に関する調査 (2). *北海道さけ・ますふ化場研報* 1947 ; 2 : 41-45.
- 佐藤俊平, 浦和茂彦. 日本系サケの遺伝的個体群構造. *水産総合研究センター研究報告* 2015 ; 39 : 21-47.
- 卜部浩一, 三島啓雄, 宮腰靖之. 十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価 (資料). *北水試研報* 2013 ; 84 : 47-56.