

## 根室管内におけるサケの放流場所と河川回帰の関係

春日井 潔<sup>\*1</sup>, 佐々木義隆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

<sup>2</sup>北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東支場

Relationship between release sites and return of adult chum salmon to the rivers in the Nemuro Region, eastern Hokkaido

KIYOSHI KASUGAI<sup>\*1</sup> and YOSHITAKA SASAKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido, 061–1433*,

<sup>2</sup> Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Nakashibetsu, Hokkaido, 086–1164, Japan*

The relationships between the release sites of chum salmon *Oncorhynchus keta* fry and the return of adult salmon to the river was examined by comparing the number of released chum salmon fry from 1984 to 2012 (brood years) and that of returned adult salmon four years after their release in the 11 rivers of the Nemuro Region, eastern Hokkaido, northern Japan, where fry were stocked and adults were captured. A significant positive correlation was observed between mean river return rates and downstream distances in each river—shorter the downstream distance, the lower the river return rate. Moreover, a significant negative correlation between the coefficient of variation for river return rate and downstream distance indicated that these rates might fluctuate considerably in rivers with short downstream distances.

キーワード：回帰，河川，降河距離，サケ，放流場所

北海道ではサケ *Oncorhynchus keta* はおもに人工ふ化増殖事業によって回帰資源が維持されていると考えられている。人工ふ化増殖事業においては，河川に遡上し，捕獲した親魚から採卵し，放流種苗を生産している。そのため，安定的に親魚を捕獲することが求められる。

サケを含むサケ科魚類は生まれた河川あるいは放流された河川に親魚として回帰するが，いくらかの個体は他の河川に迷入することが知られている (e.g. Quinn, 1984; 1993; 2005; Hendry *et al.*, 2004; Pess, 2009; Keefer and Caudill, 2012)。サケのふ化放流事業が盛んに行われている南東アラスカのふ化場は大部分が沿岸に設置され，サケ稚魚は多くが入江や海中飼育の生け簀から放流されている (石黒・田宮, 2000)。アラスカではサケの迷入する個体の比率は放流場所から離れるほど少なくなる一方で，放流場所から 50 km 以内で高く，90% 近くに達することが報告されている (Piston and Heinl, 2012a; 2012b)。また，

ギンザケ *O. kisutch* やマスノスケ *O. tshawytscha* は沿岸に近い河川で放流された場合，迷入が多いことが報告されている (Shapovalov and Taft, 1954; Quinn *et al.*, 1991; Heard, 1996; Marston *et al.*, 2012)。北海道においても，海岸線近くに設置されたふ化場は多く，河口から数百 m 上流から放流しているふ化場もある。河口の近くから放流された場合，他河川への迷入が多くなることが予想され，放流河川への遡上が少なくなる結果，採卵用の親魚確保に支障を来す可能性がある。本報告では，河川回帰状況を放流場所の観点から検討した。

### 材料および方法

サケの放流数および河川捕獲尾数 北海道東部の根室管内の 11 放流・捕獲河川 (北部地区：羅臼川，春荊古丹川，元崎無異川，薫別川，伊茶仁川，標津川；南部地区：当

幌川, 床丹川, 西別川, 風蓮川, 別当賀川) における1984~2010年に採卵された年級群を解析の対象とした (Fig. 1)。

根室管内の標津沿岸では2011~2014年に漁獲したサケ親魚および標津川に遡上したサケ親魚の平均年齢はそれぞれ4.24~4.46歳, 4.41~4.56歳であったことから (春日井ら, 2015), 平均的な回帰年齢を4歳とし, 採卵した年の4年後の沿岸漁獲尾数および河川捕獲尾数を当該年級の回帰と見なした。

$$C_{tj} = C_{cj} + C_{rj} \quad (1)$$

$$R_j = C_{tj} / N_{rj} \quad (2)$$

ここで,

$i$ : 河川 ( $i = 1-11$ ),

$j$ : 採卵した年 ( $j = 1984-2010$ ),

$Cr_{ij}$ :  $i$ 河川の $j$ 年級の河川捕獲尾数 ( $j+4$ 年の河川捕獲尾数),

$C_{rj}$ : 根室管内全体の $j$ 年級の河川捕獲尾数 ( $j+4$ 年の河川捕獲尾数), ;

$C_{cj}$ : 根室管内全体の $j$ 年級の沿岸漁獲尾数 ( $j+4$ 年の沿岸漁獲尾数),

$C_{tj}$ : 根室管内全体の $j$ 年級の来遊数 ( $j+4$ 年の来遊数), ;

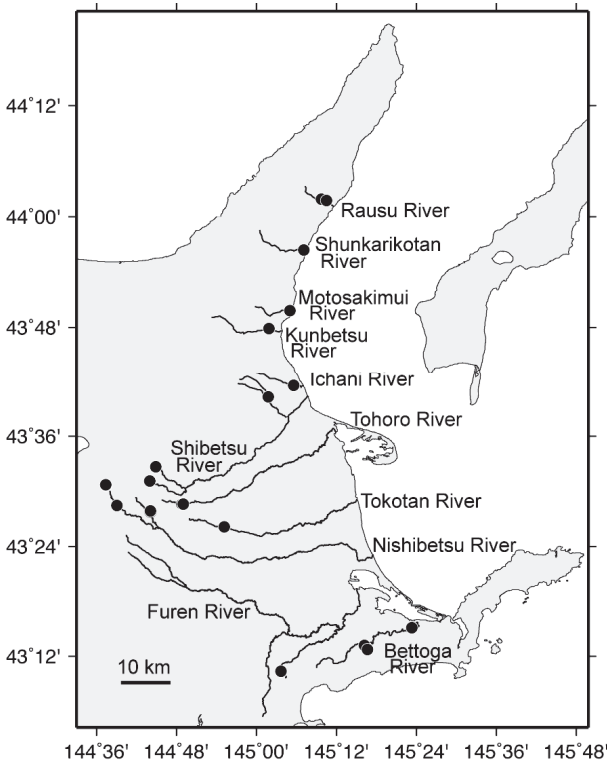


Fig.1 Location of the release sites of chum salmon fry in each river, where fry were stocked and adult salmon were captured, in the Nemuro Region. Closed circles indicate the release sites of chum salmon fry.

$R_j$ : 根室管内全体の $j$ 年級の単純回帰率,

$N_{rj}$ : 根室管内全体における $j$ 年級の放流尾数。

サケは降海直後に大きな減耗が起こっていると推測されている (Parker, 1962; Bax, 1983; Pearcy, 1992; Karpenko, 1998; Wertheimer and Thrower, 2007)。沿岸環境の変動にともない各年級の豊度は年によって異なるため、サケの回帰率は年級によって変化する。河川への遡上状況を年間で比較するため、根室管内全体の平均回帰率と当該年の回帰率の差を用い、河川捕獲尾数を以下の式によって補正した。各河川の河川への回帰状況を示す河川回帰率を以下の式によって算出した。

$$RCr_{ij} = Cr_{ij} \cdot (1 - (R_{mean} - R_j)) \quad (3)$$

$$Rr_{ij} = RCr_{ij} / N_{rj} \quad (4)$$

ここで,

$RCr_{ij}$ : 回帰率で補正した河川 $i$ の河川捕獲尾数,

$R_{mean}$ : 根室管内全体の1984~2010年級の回帰率の平均,

$N_{rj}$ : 河川 $i$ における $j$ 年級の放流尾数,

$Rr_{ij}$ : 河川 $i$ の $j$ 年級の河川回帰率。

河川遡上に影響を及ぼす要因 根室管内の各捕獲河川 (羅臼川, 春苺古丹川, 元崎無異川, 薫別川, 伊茶仁川, 標津川, 当幌川, 床丹川, 西別川, 風蓮川, 別当賀川) の放流場所から河口までの距離 (以下, 降河距離) を, フリーソフトのカシミール3D Ver. 9.2.0 (<http://www.kashmir3d.com/>) 上で, 国土地理院の電子地図 (<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>) から測定した。一つの河川に複数のふ化場がある場合, 降河距離はそれらの平均を代表値とした。降河距離は対数変換した後, 解析を行った。

1984~2010年のそれぞれの年において河川回帰率と降河距離の対数値の間で相関分析を行った (Pearsonの積率相関)。有意水準は5%とした。

## 結果

降河距離は0.33~100.48 kmと非常に大きな範囲を示し, 平均±標準偏差は28.4 ± 32.8 kmであった (Table 1)。

各河川の放流尾数は1,020,000~54,836,000尾 (平均±標準偏差=14,553,000 ± 13,159,000尾), 捕獲尾数は51~439,893尾 ( $n = 27, 39,605 \pm 70,084$ 尾)であった (Table 1)。各河川の補正河川回帰率は0.000~1.536% (0.213 ± 0.206) の範囲をとった (Table 2)。河川間で補正河川回帰率の平均値が最も高かったのは標津川で0.486 ± 0.185%, もっとも低かったのは元崎無異川で0.076 ± 0.148%であった。

1984~2010年級群の年級ごとに降河距離と補正河川回

**Table 1** Number of stocked chum salmon fry, number of adults caught four years after release, and downstream distances in the river in the Nemuro Region from 1984 to 2010.

River	Number of stocked fry (thousand fish) Mean $\pm$ SD (Range)	Number of adult catch in the rivers Mean $\pm$ SD (Range)	Distance between release site and river mouth (km)
Rausu	9,836 $\pm$ 1,782 (3,726–14,301)	15,693 $\pm$ 26,819 (1,662–139,630)	2.56
Shunkarikotan	9,797 $\pm$ 3,363 (2,495–12,957)	8,544 $\pm$ 6,193 (705–27,405)	0.58
Motosakimui	12,343 $\pm$ 2,033 (6,023–13,995)	7,050 $\pm$ 9,752 (51–45,132)	0.33
Kunbetsu	10,355 $\pm$ 2,504 (7,165–16,854)	15,716 $\pm$ 13,665 (1,384–58,786)	3.50
Ichani	9,514 $\pm$ 1,812 (7,302–14,207)	15,022 $\pm$ 10,157 (4,237–39,547)	3.24
Shibetsu	41,781 $\pm$ 4,448 (37,078–54,836)	208,800 $\pm$ 97,593 (80,210–439,893)	32.03–39.00*
Tohoro	11,639 $\pm$ 2,732 (9,341–22,400)	32,578 $\pm$ 12,220 (14,876–64,132)	64.73
Tokotan	6,994 $\pm$ 1,602 (4,207–9,475)	16,538 $\pm$ 11,959 (2,185–43,440)	49.87
Nishibetsu	44,025 $\pm$ 3,068 (39,491–51,290)	118,176 $\pm$ 73,538 (42,706–321,771)	100.48
Furen	8,328 $\pm$ 2,496 (2,300–13,280)	15,065 $\pm$ 6,225 (6,003–26,131)	39.17
Bettoga	7,490 $\pm$ 1,262 (4,950–9,767)	9,104 $\pm$ 5,837 (1,488–25,040)	15.45

\* From 2005 brood year onwards, fry were stocked from the Kamishibetsu hatchery, which is located in the upper reaches of the Shibetsu River.

**Table 2** Estimated river return rates of the Nemuro Region from 1984 to 2010.

River	Mean $\pm$ SD (%)	Range (%)
Rausu	0.188 $\pm$ 0.358	0.018–1.536
Shunkarikotan	0.133 $\pm$ 0.177	0.005–0.719
Motosakimui	0.076 $\pm$ 0.148	0.000–0.758
Kunbetsu	0.138 $\pm$ 0.092	0.014–0.353
Ichani	0.147 $\pm$ 0.076	0.053–0.326
Shibetsu	0.486 $\pm$ 0.185	0.207–0.980
Tohoro	0.287 $\pm$ 0.103	0.120–0.545
Tokotan	0.228 $\pm$ 0.154	0.043–0.653
Nishibetsu	0.264 $\pm$ 0.162	0.109–0.754
Furen	0.216 $\pm$ 0.174	0.057–0.956
Bettoga	0.120 $\pm$ 0.068	0.019–0.306

Estimated return rates in the rivers (%) = adults caught in the rivers four years after the brood years/number of stocked fry in the rivers  $\times$  100

帰率の間の関係を見ると、27年級群中15年級群（1993–2000年、2002年、2004–2007年、2009–2010年）で有意な正の相関を示した（Table 3）。全年級をまとめた各河川の河川回帰率の平均値と降河距離との間には有意な正の相

**Table 3** Results of correlation analyses between estimated river return rates and distances from the release site to the river mouth in the Nemuro Region.

Brood year	df	t	p-value	Correlation coefficient
1984	9	-1.811	0.104	-0.517
1985	9	-0.445	0.667	0.147
1986	9	0.613	0.555	0.200
1987	9	1.766	0.111	0.507
1988	9	1.591	0.146	0.469
1989	9	1.322	0.219	0.403
1990	9	0.129	0.901	0.043
1991	9	2.088	0.066	0.571
1992	9	0.346	0.738	0.114
1993	9	2.796	0.021	0.682
1994	9	2.362	0.042	0.619
1995	9	3.716	0.005	0.778
1996	9	3.722	0.005	0.779
1997	9	3.794	0.004	0.784
1998	9	2.938	0.017	0.700
1999	8	2.915	0.019	0.718
2000	9	2.492	0.034	0.639
2001	9	1.757	0.113	0.505
2002	9	2.911	0.017	0.696
2003	9	1.867	0.095	0.528
2004	9	4.457	0.002	0.830
2005	9	2.939	0.017	0.700
2006	9	2.288	0.048	0.606
2007	9	2.851	0.019	0.689
2008	9	1.258	0.240	0.387
2009	9	3.691	0.005	0.776
2010	9	2.383	0.041	0.622

関が認められた ( $t = 2.593$ ,  $df = 9$ ,  $p = 0.029$ ,  $r = 0.654$ ; Fig. 2A)。また、河川回帰率の変動係数と降河距離との間には有意な負の相関が認められた ( $t = -3.349$ ,  $df = 9$ ,  $p = 0.0085$ ,  $r = -0.745$ ; Fig. 2B)。

## 考 察

本解析により、根室管内においては放流場所から河口までの距離が短いほど河川回帰率が低く、年変動が大きいことが明らかになった。

サケは匂いを頼りに生まれた／放流された河川に回帰すると考えられている (Wisby and Hasler, 1954)。匂いの記録にはスモルト化にともなうホルモン分泌の変化が関係していると推測されており (Rousseau *et al.*, 2012; 上田, 2015)、スモルト変態前やスモルト変態中に記録が行われると考えられている (Hasler and Scholz, 1983; Dittman *et al.*, 1996)。サケは体長 80 mm くらいでスモルト化するとされている (埴山, 1986)。根室管内の1984–2010年級の

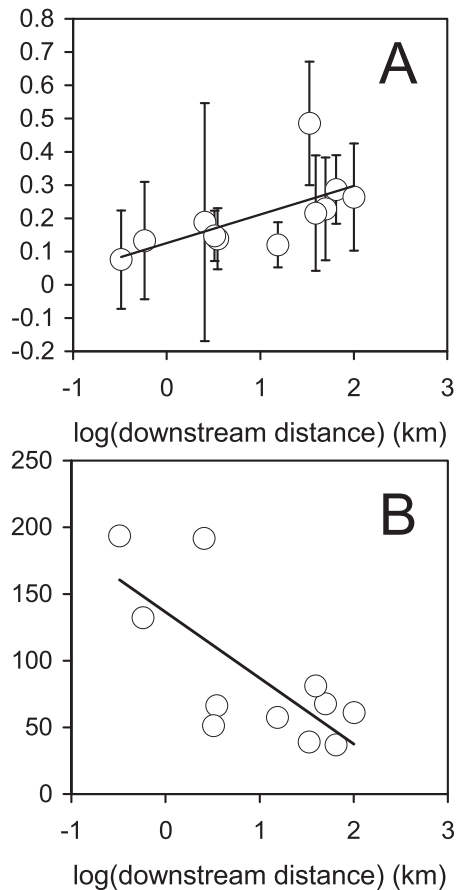


Fig.2 Relationship between downstream distance and river return rate in the Nemuro Region. A: relationship between downstream distance and mean river return rate; B: relationship between downstream distance and coefficient of variation for river return rate. Error bars indicate standard deviation.

放流時の平均体長および体重は4.57~5.47 cm, 0.87~1.35 gで, 体サイズの点ではスモルト化は十分ではないと思われるが, 記録は十分行われており親魚として回帰している。しかし, 流程の短い河川では, 非常に短時間で放流されたサケ稚魚は降河してしまうことが報告されていることから(永田・宮本, 1986), 降河距離が短い河川では河川内における滞在時間は短く, 記録が可能な時間も短いことが予想される。降河距離の短い河川において河川回帰率が低いのは, 降河中の記録期間の長さによることが要因の一つと考えられた。

根室管内ではサケの捕獲場は河口から0.08~12.37 km(平均2.47 km)に位置し, 降河距離と河口から捕獲場までの距離との間には有意な正の相関がある(春日井, 未発表データ;  $t = 6.375$ ,  $df = 9$ ,  $p < 0.001$ ,  $r = 0.905$ )。サケは河川を探索するため一時的に生まれた/放流された河川以外に遡上することが知られている(Griffith *et al.*, 1999)。河川下流で親魚の捕獲を行っている場合, 一時的に探索のために遡上した魚を捕獲する可能性が高くなる

と考えられる。このため, 降河距離の短い河川では長い河川より河川回帰率の年による変動が大きくなったと考えられた。

本研究では, 根室管内における放流場所と河川回帰率との関係を見てきたが, 他の地域においてもこのような現象が観察されるのか, つまり普遍的な現象であるのかを確認する必要がある。また, 放流場所以外にも, 河川遡上に影響を及ぼす他の要因についても検討を進める必要がある。

## 引用文献

- Bax NJ. Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1983; 40: 426-435.
- Dittman AH, Quinn TP, Nevitt GA. Timing of imprinting to natural and artificial odors by coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996; 53: 434-442.
- Griffith JN, Hendry AP, Quinn TP. Straying of adult sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, entering a non-natal hatchery. *Fish. Bull.* 1999; 97: 713-716.
- Hasler AD, Scholz AT. *Olfactory Imprinting and Homing in Salmon*, Springer-Verlag, Berlin. 1983.
- Heard WR. Sequential imprinting in chinook salmon: is it essential for homing fidelity? *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult.* 1996; Suppl. 2: 59-64.
- Hendry AP, Castric V, Kinnison MT, Quinn TP. The evolution of philopatry and dispersal: homing versus straying in salmonids. In: Hendry AP, Stearns SC (eds). *Evolution Illuminated: Salmon and Their Relatives*, Oxford University Press, New York, USA. 2004; 52-91.
- 石黒武彦, 田宮文彦. アメリカ合衆国アラスカ州及びワシントン州におけるさけ・ます増殖. さけ・ます資源管理センター技術情報 2000; 167: 9-20.
- 帰山雅秀. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1986; 40: 31-92.
- Karpenko VI. Ocean mortality of northeast Kamchatka pink salmon and influencing factors. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Bull.* 1998; 1: 251-261.
- 春日井 潔, 安藤大成, 宮腰靖之, 虎尾 充. 標津沿岸および標津川におけるサケの年齢組成変化. 北水試研報 2015; 88: 55-58.
- Keefer ML, Caudill CC. A review of adult salmon and

- steelhead straying with an emphasis on Columbia River populations. University of Idaho, Technical Report 2012-6 to the U.S. Army Corps of Engineers Walla Walla District, Moscow. 2012; 78 pp.
- Marston D, Mesick C, Hubbard A, Stanton D, Fortmann-Roe S, Tsao S, Heyne T. Delta flow factors influencing stray rate of escaping adult San Joaquin River fall-run chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *San Francisco Estuary Watershed Sci.* 2012; 10: 1-23.
- 永田光博, 宮本真人. 歌別川におけるサケ稚魚の降下移動とハナカジカによるサケ稚魚捕食量の推定. 北海道立水産孵化場研究報告 1986; 41: 13-22.
- Parker RR. A concept of the dynamics of pink salmon populations. In: Wilimovsky NJ (ed). *Symposium on pink salmon*, University of British Columbia, Vancouver. 1962; 203-211.
- Pearcy WG. *Ocean ecology of north Pacific salmonids*, University of Washington Press, Seattle. 1992.
- Pess GR. Patterns and processes of salmon colonization. Ph. D. Thesis, University of Washington, Seattle. 2009.
- Piston AW, Heintz SC. Hatchery chum salmon straying studies in Southeast Alaska, 2008-2010. Fishery Manuscript Series No. 12-01, Alaska Department of Fish and Game, Anchorage. 2012 a; 35 pp.
- Piston AW, Heintz SC. Hatchery chum salmon straying studies in Southeast Alaska, 2011. Fishery Manuscript Series No. 12-45, Alaska Department of Fish and Game, Anchorage. 2012 b; 29 pp.
- Quinn TP. Homing and straying in Pacific salmon. In: McCleave JD, Arnold GP, Dodson JJ, Neill WH (eds). *Mechanisms of Migration in Fishes*. Plenum Press, New York. 1984; 357-362.
- Quinn TP. A review of homing and straying of wild and hatchery-produced salmon. *Fish. Res.* 1993; 18: 29-44.
- Quinn TP. *The Behavior and Ecology of Pacific Salmon and Trout*, University of Washington Press, Seattle. 2005.
- Quinn TP, Nemeth RS, McIsaac DO. Homing and straying patterns of fall chinook salmon in the lower Columbia River. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1991; 120: 150-156.
- Rousseau K, Martin P, Boeuf G, Dufour S. Salmonid smoltification. In: Dufour S, Rousseau K, Kapoor BG (eds). *Metamorphosis in Fish*, CRC Press, Boca Raton. 2012; 167-215.
- Shapovalov L, Taft AC. The life history of the steelhead rainbow trout (*Salmo gairdneri gairdneri*) and silver salmon (*Oncorhynchus kisutch*) with special reference to Waddell Creek, California, and recommendations regarding their management. *Fish Bull.* 98, California Dept. Fish Game, Sacramento. 1954; 375 pp.
- 上田 宏. サケの母川回帰性に関する生理学. 「三陸のサケ-復興のシンボル (上田 宏編)」北海道大学出版会, 札幌. 2015; 73-84.
- Wertheimer AC, Thresher FP. Mortality rates of chum salmon during their early marine residency. In: Grimes CB, Brodeur RD, Haldorson LJ, McKinnell SM (eds). *The ecology of juvenile salmon in the Northeast Pacific Ocean: Regional comparisons*. American Fisheries Society Symposium 57, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 2007; 233-247.
- Wisby WJ, Hasler AD. Effects of olfactory occlusion on migrating silver salmon *Oncorhynchus kisutch*. *J. Fish. Res. Board Can.* 1954; 11: 472-478.