

## 研究成果情報

## アーカイバルタグを利用した回帰サケの行動解析

はせがわ えいち

長谷川 英一 (水産工学研究所 水産業システム研究センター)

## はじめに

日本のサケ (シロザケ) *Oncorhynchus keta* は、早いものでは2才、遅いものでは8才、平均4才で子孫を残すために自分の生まれた川に帰ってきます。なぜ、自分が生まれた川 (母川) に帰ってくるができるのでしょうか?

サケが匂いを記憶して、それを手がかりにして母川に帰ってくることはよく知られており、反応 (母川の匂いを覚える) が不可逆的 (元に戻ることがない) に生物に固着することを刷り込み (imprinting) と言います。

しかし、母川の匂いを認識できるのは、母川にかなり近づいてからと考えられます。

それでは、大洋ではどうやって帰るべき場所を知ることができるのでしょうか? 地磁気を感じて方向を知るという説 (Quinn 1980; Quinn and Brannon 1982; Hasler and Scholz 1983; Quinn and Groot 1983)、地形の特徴を覚えているという説や太陽コンパスを用いているという説など (Quinn and Groot 1984; Quinn et al. 1989) さまざまな説が唱えられています。

超音波発信装置ピンガーをサケに取り付けて行動を調べたバイオテレメトリー研究 (Soeda et al. 1987; Ogura 1994) によると、サケは昼間は深いところを、夜間は浅いところを遊泳する日周鉛直移動を行っていることが明らかにされています。夜間浅いところを遊泳するのであれば、月齢によって月照時間や明るさが変わる月明かりは、サケの水平・鉛直行動や遊泳水深に対して影響を及ぼすということはないのでしょうか?

この疑問に答える研究成果 (Hasegawa 2012) と本州太平洋沿岸に回帰するサケに対する津軽暖流の影響 (長谷川 2010) についてご紹介します。なお、本稿の主要部分は、前者 (英語論文) を日本文に書き改めたものです。

## 月明かりと回帰行動の関係

まず、調査海域を図1に示します。1988年から2001年までの間に、ディスクタグを装着したサケ (合計10,871尾) の試験放流が実施されました。

試験魚は産卵のために日本に回帰してきた集団です。この試験によって、サケの回遊ルートを解

析した結果も報告されています (長谷川 他 2004)。また、2001年と2002年に水温と水深が記録されるアーカイバルタグ (8 mm × 16 mm × 27 mm; 水中重量; 2 g; 水圧精度; ±1%) を装着して放流された総計260尾のサケが解析に利用されました。

日本に回帰したサケは北海道や本州沿岸の定置網などで漁獲されます。日本に回帰するサケの約90%が沿岸の定置網で漁獲されるので、タグを付けて放流されたサケの再捕率は高く、アーカイバルタグを付けたサケの再捕尾数は130尾、50%の再捕率でした。

この再捕されたサケの中で、1ヶ月間の月齢を4区分したときの満月期を含み、しかも放流から再捕されるまでの日数が10日間以上であったサケについて解析を試みました。解析条件に適合する個体数は2001年が4個体、2002年が6個体でした。月齢と遊泳水深の関係を調べた結果の一例を図2に示します。

1ヶ月は新月期、上弦期、満月期そして下弦期の4つの月齢を含みます。1ヶ月間のサイクルは28日ですので、例えば、新月の日を中心とした前後7日間が新月期となります。日没後の月照時間帯の遊泳水深が4つの各月齢毎にタグのデータから抽出されました。表1にその結果を示します。

10例のうち、満月期の平均遊泳水深が他の月

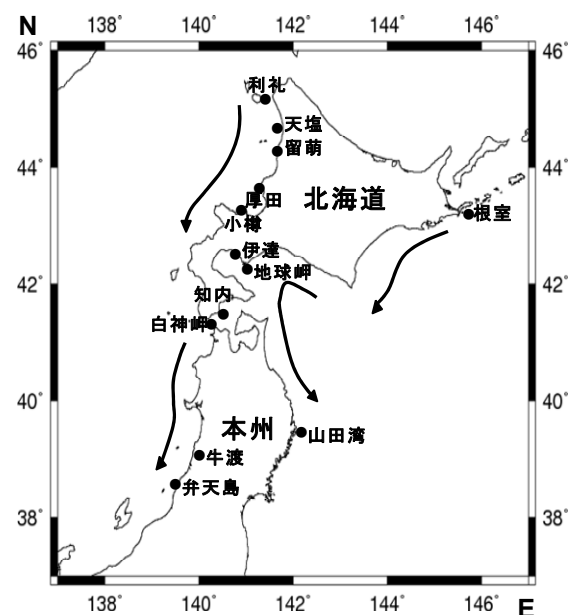


図1. 調査海域. 矢印は回帰サケの遊泳方向の概略を表します. (Hasegawa 2012 を改変)

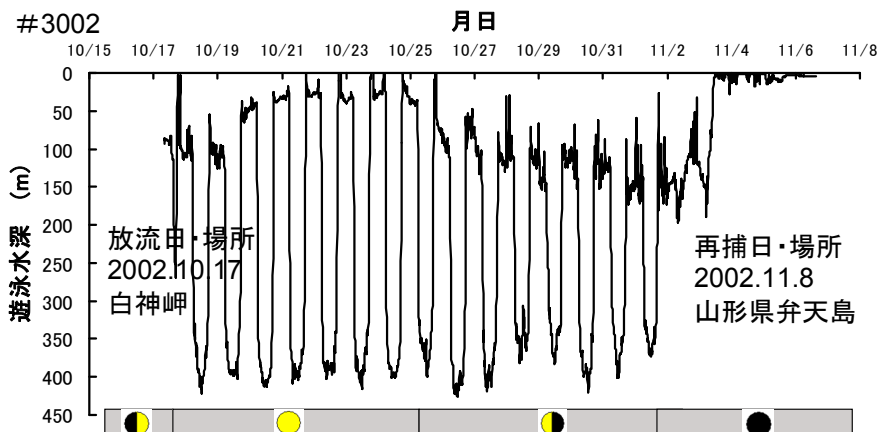


図2. 遊泳水深の変化. 図下方の棒表示は上弦, 満月, 下弦および新月の各月齢時期を表します. (Hasegawa 2012 を改変)

齢と比較して浅かったのが7例あり, 各種統計検定を行ったところ, この差は有意でした.

新月は夜間見えません. 上弦月は真夜中から日出時まで見えません. また, 下弦月は日没時から夜中まで見えません. 一方, 満月は一晩中見えています.

そのため, サケは東の水平線から表れ, 西の水平線に沈む満月の時に遊泳方向を選択する機会が多くなると考えられます.

満月の光が届く水深では, サケは遊泳方向を選択し易くなるため, 水平方向の遊泳速度が速くなると考えられます. 月齢毎の遊泳速度を調べるために, 北海道でディスクタグを付けて放流されて10日間以上経ってから本州で再捕されたサケ81個体について, 遊泳速度と再捕されるまでの期間で満月期を含む割合との関係調べました(図3).

ここで遊泳速度は, 放流地点から再捕地点までの直線距離と再捕までに要した日数から求めました. 図から満月期を多く含む場合ほど遊泳速度が速い傾向にあることがわかり, 満月の存在が遊泳方向を見極めるのに役立つ, その結果として遊泳速度が速くなることが示唆されました.

表1. 月照時間帯における平均遊泳水深±標準偏差. (Hasegawa 2012 を改変)

タグ番号 #	水深 (m)			
	新月期	上弦期	満月期	下弦期
127	79.9 ± 143.3	105.6 ± 122.7	26.7 ± 40.0	70.3 ± 43.0
106	132.8 ± 103.8	48.0 ± 62.5	4.5 ± 0.1	
168		29.5 ± 9.8	11.0 ± 10.1	
228		18.3 ± 12.3	13.3 ± 11.4	
2884			31.8 ± 21.2	11.8 ± 7.3
3002	118.8 ± 63.0	102.1 ± 48.0	49.5 ± 46.0	108.5 ± 43.0
3004		81.2 ± 18.4	50.2 ± 39.1	
10	90.6 ± 12.2	77.5 ± 18.8	10.8 ± 23.5	
166	31.6 ± 20.7	28.7 ± 23.1	29.4 ± 18.9	39.3 ± 21.4
2757	63.2 ± 17.1	27.6 ± 29.2	52.0 ± 18.2	40.0 ± 11.5

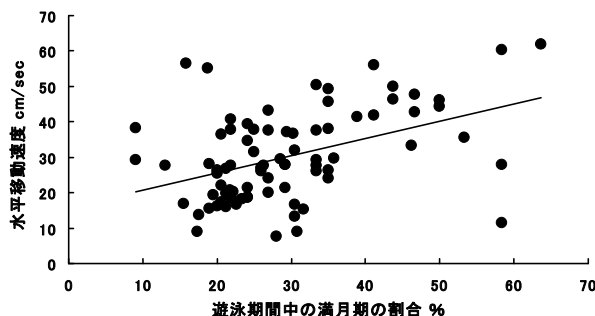


図3. 再捕されるまでの満月期の割合と水平方向の移動速度との関係. 直線は  $y=0.484x + 15.934$  に回帰しています. (Hasegawa 2012 を改変)

### サケの生物時計の確認

2003年10月31日に北海道の地球岬沖でアーカイバルタグを付けて放流されたサケが同年11月27日に岩手県の田老川で再捕されました. このサケは11月8日から13日の間水深114m以深のところで浅深移動を繰り返し行っていました(図4). 恐らく表層の暖かい水で浮上行動が阻害されたのだと考えられます. 昼間の平均遊泳水深は  $293.9 \pm 39.0$  m, 夜間の平均遊泳水深は  $254.6 \pm 23.4$  mで, この差は統計上有意なものでした.

この行動の繰り返し周期を統計学的に求めたところ24時間でした. なお, このサケの昼夜間の

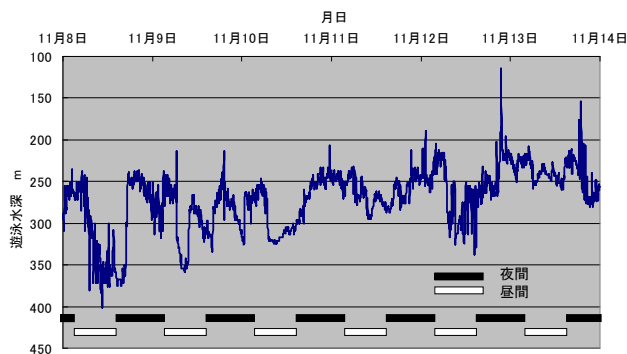


図4. 水深114m以深で繰り返されたサケの浅深移動. (Hasegawa 2012 を改変)

時間帯については当時の函館の日出時刻、日没時刻から求めました。昼間であっても光がほとんど届かない水深で昼夜間の規則的な浅深移動を行っていることから、サケは一日間のサイクルに応じた生物時計を持っているのではないかと考えられました。

## 本州太平洋岸に回帰するサケに対する津軽暖流の影響

2001 年 11 月 7 日に根室半島沖で放流し、同年 11 月 29 日に岩手県の山田湾にて再捕されたサケ（表 1. #127）と上述の地球岬沖で放流し岩手県の田老川にて再捕されたサケの 3 次元的な遊泳行動をアーカイバルタグデータから得られる水温・水深情報、海底水深図（TopoView）及び海洋観測データなどを利用して解析しました。

その結果、津軽海峡東部海域を通過するのに要した日数は、2001 年がほぼ 1 週間、2003 年がほぼ 2 週間と見積もられました。両年の同時期同海域における水温分布構造を図 5 に示します。

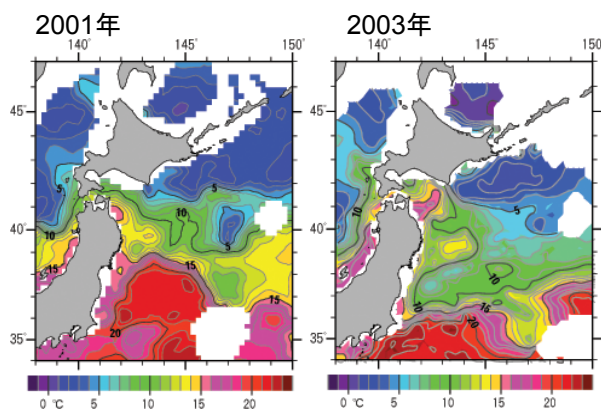


図 5. 水深 100m における水温分布（函館海洋気象台提供）。

図から明らかなように、2003 年の方が 2001 年よりも津軽暖流が強勢であったことが視えます。両年の岩手県へのサケの来遊（河川捕獲尾数、沿岸漁獲尾数の旬別推移）は、2003 年の方が遅くなりました。

この回帰時期の遅れが北海道沿岸でも同様に見られるとしたら、来遊の遅れは津軽海峡東岸海域を通過する以前にすでに起こっていたことになり、えりも以西海域での河川捕獲時期には両年で差がないどころか、沿岸漁獲時期はむしろ 2003 年の方が早いことがわかりました。

また、この両来遊群の採卵時期に差があれば、回帰時期にもそれが反映することが考えられます。しかし、主群である 4 年前の採卵時期には差は見られませんでした。

すなわち、アーカイバルタグデータから推測された通過日数の違いは両年の津軽暖流の強勢の差の影響と考えられます。

## おわりに

日中の太陽光は夜間の月明かりよりも明るい。最も清澄な消散係数（光が吸収・散乱されて弱まっていく度合い）が 0.033 の海における水深 400 m の太陽光の明るさは  $10^{-1} \mu W cm^{-1}$  です。この値は満月の時の海面の明るさと同じです（Clarke and Denton 1962）。

魚の鉛直移動の規則的リズムは適当な環境光の明暗サイクルに従い、Godin (1981) はカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の日中の活動リズムが明暗サイクルと明らかに同調していることを観察しました。

一方、餌生物の分布の変化（Shimazaki and Mishima 1969）や外敵の出現（Ohman et al. 1983; Ohman 1990）、あるいは水温変化（Walker et al. 2000）や海潮流などがこのリズムに影響することもあります。

満月期の夜間の月明かりは最も明るく、また最も長く水面を照らします。サケは恐らく回帰する方位を定めるためにこれを有効に利用しているものと思われませんが、様々な外部要因にも左右されるようです。



（イラスト提供：田杭佳純氏）

## 引用文献

- Clarke, G. L. and Denton, E. J. 1962. Light and animal life. In *The sea*, Vol. 1 (ed. M. V. Hill), 456-468. Interscience, New York.
- Godin, J. G. 1981. Circadian rhythm of swimming activity in juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Marine Biology*, 64: 341-349.

- Hasler, A. D. and Scholz, A. T. 1983. Olfactory imprinting and homing in salmon, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- 長谷川英一. 2010. サケ採卵時期の津軽暖流による影響. Promotional Report of Research and Development Projects for Application in Promoting New Policy of Agriculture Forestry and Fisheries, grant number 1916, Development of Quality Evaluation System and Advancement of Stocking Technology for Salmon Export Promotion, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, 67-72.
- Hasegawa, E. 2012. Chum salmon *Oncorhynchus keta* respond to moonlight during homeward migrations, *Journal of Fish Biology*, 81: 632-641.
- 長谷川英一・奈良和俊・広井修. 2004. 親魚標識放流結果を利用した網揚げ規制効果の見積もり方法についての一考察. さけ・ます資源管理センター技術情報, 170: 17-49.
- Ogura, M. 1994. Migratory behavior of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the open sea. *Bulletin of National Research Institute of Far Seas*, 31: 1-139.
- Ohman, M. D., Frost, B. W., and Cohen, E. B. 1983. Reverse diel vertical migration: an escape from invertebrate predators. *Science*, 220: 1404-1407.
- Ohman, M. D. 1990. The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. *Ecological Monographs*, 60: 257-281.
- Quinn, T. P. 1980. Evidence for celestial and magnetic compass orientation in lake migrating sockeye salmon fry. *Journal of Comparative Physiology*, 137: 243-248.
- Quinn, T. P. and Brannon, C. L. 1982. The role of celestial and magnetic cues by orienting sockeye salmon smolts. *Journal of Comparative Physiology*, 147: 547-552.
- Quinn, T. P. and Groot, C. 1983. Orientation of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) after internal and external magnetic field alteration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 1598-1606.
- Quinn, T. P. and Groot, C. 1984. Pacific salmon (*Oncorhynchus*) migrations: orientation versus random movement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41: 1319-1324.
- Quinn, T. P., TERHart, B. A. and Groot, C. 1989. Migratory orientation and vertical movements of homing adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in coastal waters. *Animal Behaviour*, 37: 587-599.
- Shimazaki, K., and Mishima, S. 1969. On the diurnal change of the feeding activity of salmon in the Okhotsk Sea. Contribution No. 29 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University (in Japanese).
- Soeda, H., Yoza, K., Shimamura, T., and Hasegawa, E. 1987. On the swimming behavior of chum salmon in early migratory season off the coast of Hokkaido, Okhotsk Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53: 1827-1833.
- Walker, R. V., Myers, K. W., Davis, N. D., Aydin, K. Y., Friedland, K. D., Carlson, H. R., Boehlert, G. W., Urawa, S., Ueno, Y. and Anma, G. 2000. Diurnal variation in thermal environment experienced by salmonids in the North Pacific as indicated by data storage tags. *Fisheries Oceanography*, 9: 171-186.