

## 超音波テレメトリーによる イトウ (*Hucho perryi*) 成魚の季節的移動パターンの解明

本多 健太郎<sup>\*1)</sup>・野田 裕二<sup>\*</sup>・津田 裕一<sup>\*\*</sup>・安間 洋樹<sup>\*\*\*</sup>・宮下 和士<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 北海道大学大学院環境科学院

<sup>\*\*</sup> 近畿大学水産研究所

<sup>\*\*\*</sup> 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

Tracing the seasonal migration of adult Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, using acoustic telemetry. Kentaro Honda, Yuji Noda (Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University), Yuichi Tsuda (Fisheries Laboratory, Kinki University), Hiroki Yasuma, Kazushi Miyashita (Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University)

要旨: 現在、絶滅危惧種イトウ (*Hucho perryi*) の日本における生息分布域は、北海道の一部の河川と湖沼に限られている。本種成魚の生態は、産卵習性に関する知見以外はほとんど知られていない。そこで、本研究では超音波テレメトリー手法を用いてイトウ成魚の季節的な移動パターンを明らかにする野外調査を実施した。北海道東部の別寒辺牛川 (べかんべうしがわ) 水系において、2007年4月下旬から11月下旬の間、超音波受信機・発信器により5個体のイトウ成魚の行動を追跡した。放流後、5個体すべてからデータが得られ、総受信回数は37,683回であった。上流域で放流した標識個体は、1~4日かけて平均  $33.4 \pm 12.5$  km (Mean  $\pm$  SD) を降下した。降下後、調査期間にわたってほとんど移動しない個体と広範囲に移動する個体がみられたが、全体として、春季(5~6月)は中流域から下流域、夏季(7~8月)は中上流域から下流域、秋季(9~11月)は下流域に主に生息する傾向を示した。ロジスティック回帰分析の結果、夏季に下流域に生息する標識魚の上流側への移動は現場の日最高水温の影響を強く受け、春季および秋季における中上流域の日最低水温は標識魚の下流への移動を促すことが明らかとなった。本魚による河川内の季節的回遊行動には、河川の水温レジームが関与することが示唆された。

キーワード: 絶滅危惧種、別寒辺牛川、水温レジーム

Abstract: At present, the distribution of endangered Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, in Japan is limited to several rivers and lakes in Hokkaido. Although field studies of adult *H. perryi* have focused on spawning habits, other ecological information is lacking. Here, we report on field research conducted to elucidate the seasonal migration patterns of adult *H. perryi* in the Bekanbe-ushi River system in Hokkaido using acoustic telemetry. From early May to late November 2007, we tracked five taimen with acoustic tags using 13 acoustic receivers. We detected the tagged fish a combined total of 37,683 times. The fish migrated an average of  $33.4 \pm 12.5$  (SD) km downstream from their spawning area over 1-4 days. They primarily resided mid-downstream in the spring, upper-downstream in the summer, and downstream in the autumn. Logistic regression analysis revealed that the upward migration by tagged fish living downstream was affected by ambient daily maximum water temperatures in the summer, whereas spring and autumn downward migrations were facilitated by ambient daily minimum water temperatures in mid-stream areas. These results suggest that the seasonal migration patterns of adult *H. perryi* are closely associated with the water temperature regimes of this river system.

Keywords: Bekanbe-ushi River, endangered species, water temperature regime

2009年1月13日受付、2009年8月6日受理

1) e-mail: fbmods@fish.hokudai.ac.jp

## はじめに

イトウ (*Hucho perryi*) は、サケ科イトウ属の魚で、ロシア沿海州、サハリン、千島列島、北海道に分布する (木村 1966; グリツェンコほか 1974)。本種は、イトウ属の中で唯一降海性を有し、成長すると全長 1.5 m 以上に達する日本最大の淡水魚である (グリツェンコほか 1974; Holicik et al. 1988)。本種の産卵は一生の間に複数回 (成熟後 2~3 年に 1 度) 行われ (福島 1998)、北海道の河川では主に雪解け後の 4 月中旬から 5 月中旬に河川上流の浅瀬で行われる (Fukushima 1994, 2001; Edo et al. 2000)。成熟には長い年月を要し (オス: 4~6 年、メス: 6~7 年)、成長と共に分布域を河川上流から下流、さらには海洋の沿岸域にまで拡大する (木村 1966; 川村ほか 1983; 佐川ほか 2002; Edo et al. 2005)。

本種は、近年の急激な個体数の減少を受け、国際自然保護連合 (IUCN) が発行するレッドリストにおいて、2006 年以降「絶滅危惧種 IA 類 (CR)」に指定されている (www.iucnredlist.org, 2009 年 11 月 28 日確認)。個体数減少の背景には、近年の河川改修など、人為的影響による生息環境の悪化が挙げられている (江戸 2002; 佐川ほか 2002; 森・野本 2005)。従って、本種の保全計画策定は急務であり、同時に本種の生活史についての知見や環境の変化に伴う本種の分布域の変動に関する知見が求められている。

本種の主な生息河川は、一般に泥炭地帯を流れ、茶褐色の濁水の影響により透明度が低いため、上流部を除いて魚の行動を目視で追うことは困難である。過去の知見は初期および繁殖期の生活史に関するものが多く、その他の期間においても、沿岸域で捕獲された成魚や、夏季の生息場所利用に関する断片的な情報があるのみである (木村 1966; 川村ほか 1983; Fukushima 1994; Edo et al. 2000, 2005; 江戸 2002; 佐川ほか 2002, 2003; Arai et al. 2004)。とりわけ、本種成魚の個体レベルでの季節的回遊行動に関する知見は現在まで得られていない。

そこで、本研究では、個体群が安定して存在し、産卵期の知見が入手可能な北海道道東別寒辺牛川水系を調査河川に選定し、超音波テレメトリー手法によりイトウ成魚の産卵場からの降下行動および季節的な回遊行動を個体レベルで明らかにすることを目的とした。また、移動パターンを河川内の生息水温環境と関連付けることで、水温変動に応じたイトウ成魚の流程内分布の季節的变化にも着目した。

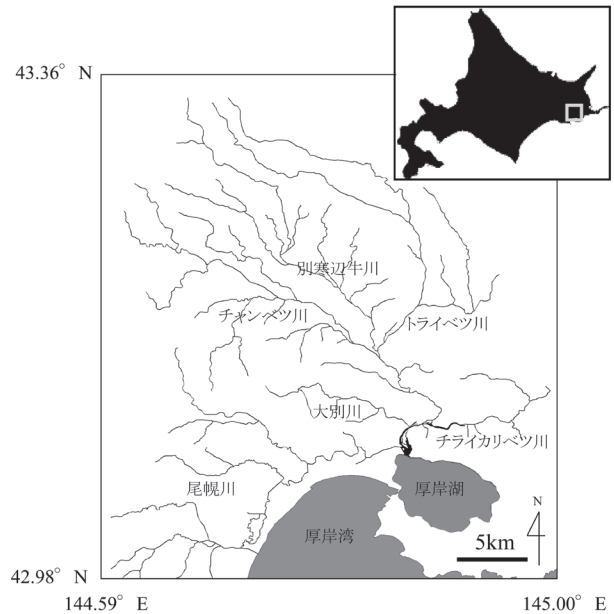


図 1. 北海道東部に位置する別寒辺牛川水系。

## 材料と方法

## 調査水域

調査は、北海道厚岸郡厚岸町および川上郡標茶町に跨って流れる別寒辺牛川水系で行った (図 1)。本水系のうち、支流の尾幌川および大別川を除く、本流・支流を調査水域に設定した。調査期間はイトウの産卵期から河川が凍結するまでの 2007 年 4 月 28 日から 11 月 25 日に実施した。

本論文では、個体群保護の観点から魚の捕獲場所並びに受信機の設置場所は明記せず、受信機設置場所については河口からの距離と本流・支流の区別のみを記した。また、Rosgen (1994) の分類法に従い、本調査水域を上流から順に E、C、F に分類し、さらに以下の基準と合わせて 5 つの流程区に分類した。E の流程区間は本流・支流ともに河口からの河道距離にして 30 km の地点より上流部に相当し、流程区 1 とした。そこから別寒辺牛川と 2 支川 (トライベツ川とチャンベツ川) の各合流点までを C と分類し、この区間を河口からの河道距離にして 20 km の地点で区切り、上流側を流程区 2、下流側を流程区 3 とした。最下流に位置する F の区間は、潮汐による流速の変化を基準に二分した。潮汐により流速の変化しない別寒辺牛川とトライベツ川の合流点から河道距離 8 km 地点までの区間を流程区 4、潮汐により流速が変化する河道距離 8 km 地点から河口までを流程区 5 とした。なお、トライベツ川については、平水時の川幅が半分以下

表 1. 発信器装着魚の性別、体サイズおよび放流日時。

個体No.	性別	尾叉長 (cm)	体重 (kg)	発信器No.	放流日時
1	オス	54.5	1.67	1039353	2007/5/9 08:00
2	メス	76.2	4.54	1039354	2007/5/9 08:03
3	メス	77.0	3.87	1039355	2007/5/9 08:03
4	オス	52.2	1.43	1039356	2007/5/10 10:07
5	オス	57.6	1.67	1039357	2007/5/13 06:43

に減少する河口から 6.8 km の地点より上流側を流程区 4 とした。

### 観測機器

本研究では、イトウの行動追跡に超音波発信器 (V13-1L, VEMCO 社製 以下、発信器) および設置型超音波受信機 (VR2, VEMCO 社製 以下、受信機) を用いた。発信器の電池寿命は約 1 年であり、直径、長さ、水中重量はそれぞれ 13 mm、36 mm、6 g である。発信器は、6 回のパルス (周波数 69 kHz) を 1 組とし、それを 20 ~ 60 秒の間に一度ランダムに発信し、信号を受けた受信機が個体 ID と受信時刻を内部メモリに記録する。受信機の受信範囲は、水域や天候、設置深度などにより大きく変動するが (Finstad et al. 2005; Mitamura et al. 2005)、河川で使用した場合、流れ・水温・水質・蛇行・障害物などの影響を受けて受信範囲が縮小すると考えられる。様々な場所に設置した各受信機の受信範囲の確認を行った結果、川幅約 5 m・平均水深約 1 m の上流部では受信半径約 10 ~ 20 m、川幅約 100 m・平均水深約 2 m の下流部では受信半径約 100 ~ 200 m であり、川幅に対して十分な受信範囲があることを確認した。これは、受信機設置地点を通過した標識魚が河道のいかなる部分を移動しても確実に補足可能であることを意味する。

また、河川水温を計測するため、水温ロガー (StowAway TidbiT Vr.1, Onset Computer 社製) を用いた。水温ロガーは、受信機とともに係留し、15 分間隔で水温 (精度:  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ) を記録した。

### 発信器装着

イトウへの発信器の内部装着によるストレスの影響を検証するため、2007 年 4 月 19 日、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター七飯淡水実験所において、成魚 4 個体を用いて発信器装着の予備実験を行った。

Peake et al. (1997) による方法に従い、実験魚に麻酔 (2-phenoxyethanol 0.04%、河川水で希釈) を施した。麻酔が完全に効いたことを確認した後、手術台に乗せて腹部

を医療用メスで約 1 cm 切開し、腹腔内にダミー発信器 (発信器と同サイズのものを) を挿入した。切開部の縫合には、生体分解性の糸・生体用ステイプラー・縫合なしの 3 種の方法を用いた。ダミー発信器は、腹腔内に挿入した際に魚体内部を傷付けないようにラテックスで包み、切開部には化膿止め用抗生物質を塗布した。所要時間は、麻酔槽から引き揚げた後、ダミー発信器を取り付けて飼育水槽 (直径 150 ~ 132 cm、高さ 130 cm の円筒型) に移すまでに 20 ~ 89 秒を要した。飼育時の餌には、マス類育成用配合飼料 (オリエンタル酵母工業社製) を使用し、1 日に 1 回適量を与えた。

装着実験を開始してから 20 日経過後も、与えた餌を残さず食べ、正常な遊泳行動を示すなど、装着による影響は全ての個体で観察されなかった。また、装着から約 1 年後の、2008 年 3 月 31 日時点で 4 個体全てが外見上、良好な栄養状態を維持していたため、装着のストレスによる死亡の可能性は限りなく小さいと判断した。

2007 年 5 月 1 ~ 23 日にイトウの産卵場となる河川支流上流域 (流程区 1 に位置する河口から約 51 km の地点) に網を設置し、オス 3 個体、メス 2 個体の計 5 個体 (No. 1 ~ 5) のイトウ成魚を捕獲した (表 1)。網は、地曳網 (縦×横 1.0 m × 28.1 m、網目 40 mm) を小型定置網状に改良して用い、遡上する魚が通過できるように川岸に魚道を設けた。また、網口を上流側に向けることで、上流側から下流方向に移動するイトウのみを捕獲対象とした。なお、今回の調査は標識魚の長期追跡の可否を確認することが第一の目的であったため、個体群保護の観点から必要最小限の個体数を用いることに努めた。イトウの捕獲は北海道釧路支庁より特別採捕の許可を得た上で実施した (釧内特採第 2, 3 号)。

雌雄の判別は、以下の外見的特徴を基に行った。オスは、産卵期になると雌を獲得するために互いに激しく争いをするため (江戸 2002)、背鰭から尾鰭にかけて鱗の欠損、もしくは、体に目立った傷がみられ、雌より婚姻色が強く出る (川村ほか 1996) などの特徴を有する。メスは、腹部を軽く絞った際に卵が数粒排出されることから判別

表2. 各ステーションにおける受信機および水温ロガーの設置期間、流程区および位置情報。本流は別寒辺牛川を示す。

ステーション No.	受信機設置期間		流程区No.	水温ロガー	河口からの 距離 (m)	流域	本流分岐点からの 距離 (m)
1	5/9-5/23	11/2-11/23	1		30736	支流	16365
2		11/2-11/23	2		28763	本流	
3	4/29-5/21	11/4-11/23	2		25093	支流	10721
4	7/12-8/23	8/25-11/23	2		22405	本流	
5	4/29-5/23	11/2-11/23	2		22393	支流	8021
6	4/29-7/8	11/5-11/23	3		18284	支流	3913
7	5/22-7/9	7/11-11/24	3		15055	本流	
8	11/4-11/24		3		14817	支流	446
9	4/29-5/22		3		14580	本流	
10	5/22-7/9		4		14082	本流	
11	4/29-7/9	11/4-11/24	3		13780	支流	113
12	4/29-7/9	7/11-11/24	4	○	13623	本流	
13	4/30-7/9	11/4-11/24	4		11468	本流	
14	5/24-7/8	10/30-11/23	4		8476	支流	4286
15	4/30-7/10		4		8097	本流	
16	5/24-11/25		5		6947	本流	
17	5/24-7/8		5		5871	本流	
18	4/30-11/25		5		4648	支流	457
19	4/30-7/10	10/27-11/25	5	○	3624	本流	
20	5/9-7/10	10/30-11/25	5		2036	本流	

可能である。

なお、北海道に生息するイトウの産卵期は一般に4月から5月と考えられており、網を設置した時期は産卵後期に当たる(野本和宏 未発表)。そのため、捕獲個体は産卵を終えていた、もしくは、産卵終了間近な個体であった可能性が高い。

捕獲した成魚5個体には、前述の予備実験と同様の麻酔処理を施し、腹腔内部に発信器を装着し、生体分解性の糸により縫合した。本研究において内部装着を採用したのは、外部に発信器を装着した場合、機器が水中の倒木に掛かり、脱落してしまう危険性が高いためである。

発信器の装着を終えた個体は、体長・尾叉長・全長・体重を測り、その後直ちに籠(60 cm × 60 cm × 100 cm)内に移して1時間以上の馴致を行った。麻酔の影響から十分に回復したことを確認した後、網のすぐ下流で放流した。なお、麻酔槽から引き上げてから再び籠に戻すまでの作業には2分程度を要した。

### 標識魚の追跡

流程区1～5の各ステーションに13個の受信機を土囊、ロープ、係留ブイを用いて設置した(表2)。受信機を設置したステーションは、後述のカヌーを用いた本種の追跡結果から、標識個体の移動・滞在をより適切に観察できる場所へ適宜変更したため、述べステーション数は計

20地点に及んだ(表2)。また、St. 12およびSt. 19に設置した受信機には水温ロガーを係留した。ただし、St. 19では7月11日～10月29日は受信機を設置しなかったため、その期間中は水温ロガーのみを係留した。なお、20地点のステーション番号は上流から順にSt. 1～20とした。

設置型受信機で得られるデータからは、受信した個体の正確な方角・距離は把握できない。つまり、受信機を1台のみ設置しても、イトウが河川の上・下流のどちらへ移動したのかは判別できない。そこで、受信機の非設置区間を補うため、また、リアルタイムでイトウの追跡を可能にするために、受信機をカヌーに取り付けて河川内を移動しながら曳航した。受信機曳航中は、GPS受信機(etrex LEGEND、GERMIN社製)により位置を記録し、受信のあった位置を発信器装着魚が存在する位置とした。なお、カヌーによる追跡で得られる魚の位置情報は、中・下流域の流路にして約10～500 mの範囲であり、受信された範囲の中心点を魚が存在した位置と定義した。受信機の曳航は、流程区2の一部から流程区5までにおいて5月から11月まで毎月1回以上適時実施した。

### データ解析

カシミール3D(DAN杉本作)を用いて受信機間の河道距離および各位置の河口からの河道距離を計測した。

それを基に、河川内における降下・遡上時の移動距離を求めた。移動所要時間は、受信のあった2つの受信機の最初の受信終了時刻から次の受信開始時刻までにかかった時間を基に求めた。

移動頻度を見積もるために、受信データの標準化を行った。各受信機の受信開始時刻および受信終了時刻は、イトウが受信機による捕捉可能距離（10～100 m）を移動したとみなし、全受信データから連続受信の最初と最後のデータを抽出し、これを移動回数と定義した。また、受信が途絶えた後180秒間同受信機で受信がなかった場合、その個体は受信範囲外に移動したと判断し、180秒以内の受信を連続受信と定義した。これは、発信器からの発信（最長発信間隔60秒）を3回連続して受信し損ねる可能性が限りなく小さいとの仮定に基づいたものである。

本研究では、河川流程における標識個体の生息位置の季節的变化を記述するために、5つの流程区のそれぞれにおける「滞在率」を定義した。滞在率は、各個体が一日の間に各流程区に滞在した時間の割合として計算される。受信数が0の期間は、最後の受信が記録された流程区と再び受信が記録された隣接する流程区の間滞っていたとみなせることから、2つの流程区間内での滞在時間をそれぞれの流程区に50%ずつ割り振った。さらに、全標識魚のデータをプールすることによって、各流程区における「月平均滞在率」を計算した。

先行研究によると、イトウは他のサケ・マス類に比べて高水温ストレスに弱く、養殖環境下では、飼育水温が20℃を超えると斃死個体が急増することが報告されている（福田ほか1992）。そこで、生息水温環境が本魚の季節的な流程分布変化に与える影響について検討した。水温環境データとして、St. 19（流程区5）に設置された水温ロガーの日最高水温をイトウの生息限界水温上限の指標として使用した。統計解析ソフト（S-Plus Ver. 6.2 数理システム社）を用い、生息水温環境の変化に対する標識魚の上流への回避行動の有無を検討するためにロジスティック回帰分析を行った。St. 19における各日の日最高水温を説明変数とし、各標識魚が流程区5に滞在していたか否かを従属変数とするモデルを作成した（ $\log \frac{p}{1-p} = \beta_0\chi + \beta_1$ ：ここで、 $\chi$ は日最高水温、 $p$ は滞在確率、 $1-p$ は上流への移動確率）。ただし、本分析ではイトウ成魚の産卵期後の季節移動と水温変動の関係を理解することが目的であるため、産卵場からの降下行動が終了したと判断される時点からのデータのみを用いた。

また、春季および秋季における標識魚の中上流域から

下流への回遊行動に及ぼす低水温の影響を検討するために、同様のロジスティック回帰分析を行った。St. 12（流程区4）に設置された水温ロガーの日最低水温を説明変数とし、中上流域（流程区1～4）に生息する標識魚の下流への移動の有無（ $p$ は滞在確率、 $1-p$ は下流への移動確率）を従属変数とするモデルを作成した。

## 結 果

### 産卵降下行動

回収した受信機からデータを読み出した結果、放流した全個体の受信が確認され、総受信回数は37,683回であった。

上流域の産卵場で捕獲された標識個体は、放流後直ちに降下行動を開始した。降下開始から終了までの平均降下距離は $35.3 \pm 10.4$  km（以下全てMean  $\pm$  SD）であり、降下に要した時間は平均 $50.0 \pm 28.2$ 時間であった。5個体の平均降下速度は $1.00 \pm 0.59$  km/hで、これは1秒間に体長の4割ほどの距離を遊泳する速さ（ $0.43 \pm 0.22$  単位魚体長/s）に相当した。No. 2、No. 4の2個体は、中流域に位置する河川合流点周辺域（St. 8～12）において降下行動を終了した。No. 1は、降ってきた支流とは別の支流に少なくとも100 m以上遡上し、約3時間後に再び合流点に戻った後、流程区5のSt. 18まで降下した。No. 3は、流程区4～5の境界付近に位置するSt. 15まで降下した。No. 5は、放流の約90時間後に流程区1のSt. 1で受信された後、発信が途絶えた。各個体とも降下後しばらくは降下地点周辺に滞在した。

### 季節的移動

以後の解析では、St. 1での受信後のデータが得られなかったNo. 5を除く、No. 1～4の4個体のデータを使用した。設置型受信機による受信データにカメラによる受信データを加え、標識魚が存在した位置を河口からの距離として時系列で図2に示した。放流後から11月下旬までのほとんどを下流域の流程区5で過ごした個体（No. 1）がいる一方で、春季は主に下流域の流程区5、夏季は主に中流域から中上流域の流程区2～3、秋季は中流域から下流域の流程区3～5と河川を幅広く利用する個体（No. 3）も確認された。また、No. 2は、春季から8月中旬までを流程区3～4の中流域で過ごし、8月21日に流程区4から5まで降下した後は流程区5に滞在した。しかし、11月14日には再び流程区4まで遡上した。No. 4は、降下が終了した後、流程区3～4の合流点付近に滞在し、6

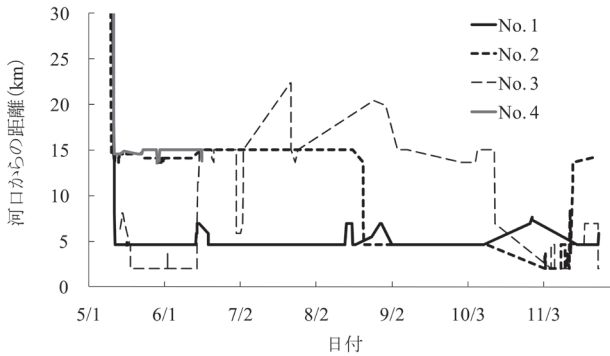


図2. 調査期間中の各標識個体の推定生息位置（河口からの河道距離に換算）。

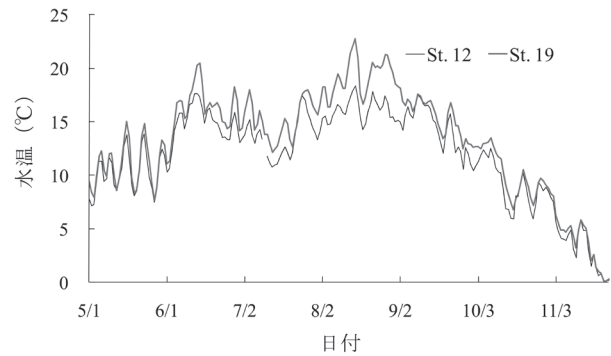


図4. St. 19 および St. 12 の毎日の平均水温の推移。

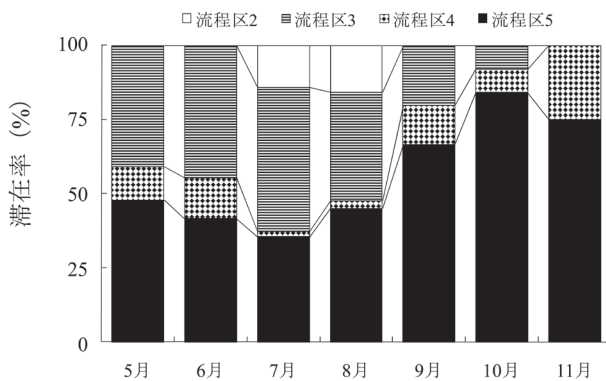


図3. 各流程区における平均滞在率の月変化。

月16日にSt. 7での受信を最後に発信が途絶えた。

図3には、産卵場からの降下を終了してから発信が途絶えるまでの期間における4個体の月平均滞在率を示した。春季（5～6月）には、4個体とも流程区3から5の間に滞在した。夏季（7～8月）には、流程区5に引き続き滞在する個体があった一方、上流域の流程区2に滞在する個体を確認された。秋季（9～11月）になると、滞在場所が再び下流側へシフトし、11月は流程区4から5に滞在が集中した。

### 標識魚が滞在した流程区と水温の関係

St. 12 および St. 19 の日平均水温の変化を時系列で図4に示した。St. 19 (流程区5) の水温は常に St. 12 (流程区4) の水温より高く推移し、各季節での平均水温差は、春季：1.0℃、夏季：2.4℃、秋季：0.9℃であった。また、St. 19において最高水温が20℃を超えた日は6月から9月にかけて34日記録されたのに対し、St. 12では一日も記録されなかった。St. 19における日最高水温を説明変数としたロジスティック回帰分析の結果、下流域の日最高水温

が高くなると下流域から中上流域へ遡上する有意な傾向が確認された ( $\beta = -0.102$ , Wald = 36.83,  $P < 0.05$ ; 図5a)。一方、St. 12における日最低水温を説明変数としたロジスティック回帰分析の結果、イトウ成魚は春季および秋季に中流域の日最低水温が低くなると、下流域へ降下する有意な傾向が見られた ( $\beta = 0.076$ , Wald = 14.44,  $P < 0.05$ ; 図5b)。

### 考 察

本研究は、北海道別寒辺牛川水系におけるイトウ成魚の長期に亘る超音波テレメトリー追跡調査によって、河川内での季節的な移動実態を個体レベルで明らかにすることに成功した。また、本研究結果より、本種は産卵場のある上流域から河口域までの幅広い空間を利用していることが明らかとなった。しかしながら、本研究で使用した受信機の設置台数では、受信機の非設置区間である上流域や厚岸湖における標識魚の移動を把握するまでには至らなかった。したがって、No. 5とNo. 4からの発信が途絶えた理由としては、これら2個体が受信機の設置されていない上流・支流へ移動したこと、もしくは、釣獲された可能性が考えられる。

産卵を終えたイトウ成魚は産卵場となる上流域から1～4日で一気に下流に降下する行動を示すことが本研究により初めて明らかとなった。本種以外の多回産卵性のサケ科魚類においては、ブラウントラウト (*Salmo trutta*) とタイセイヨウサケ (*S. salar*) で産卵後の降下行動について報告されており (Bendall et al. 2005; Hubley et al. 2008; Östergren and Rivinoja 2008)、Hubley et al. (2008) は、タイセイヨウサケの降下速度は1.61～16.2 km/day (中央値：3.7 km/day) と幅広いことを報告している。本研究で追跡した個体は、産卵後期の下流側に降下する個体を選

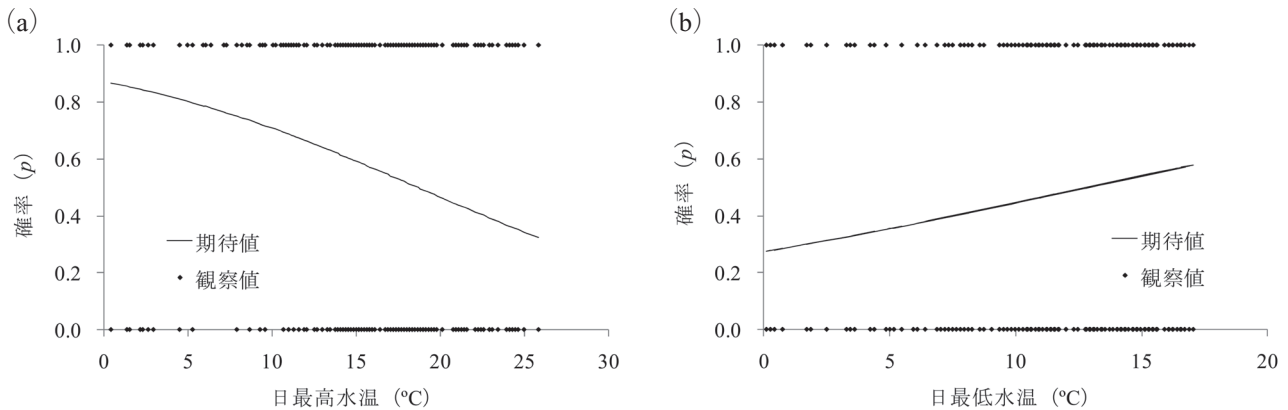


図5. ロジスティック回帰分析の結果。下流域 (St. 19) における日最高水温 (a) および中流域 (St. 12) における日最低水温 (b) に対して標識魚が現場に滞在する確率の期待値と観察値。

択的に捕獲したものの、どの個体についても外見的特徴から産卵を終了したと判断することはできなかった。従って、捕獲および発信器装着によるストレスが降下行動を誘発した可能性も否定できない。今後、産卵期の前に発信器を装着した個体を用いて産卵前後における行動変化を確認することが求められる。

多回産卵性のサケ科魚類による産卵後の生息場については数種で報告されているものの (Aarestrup and Jepsen 1998; Jakober et al. 1998; Bendall et al. 2005; Hubley et al. 2008; Östergren and Rivinoja 2008)、そこでの行動生態を把握するまでには至っていない。本研究の調査地である別寒辺牛川水系では、春季になると、イトヨ (*Gasterosteus aculeatus*)、ウキゴリ (*Gymnogobius* spp)、ウグイ (*Tribolodon hakonesis*)、キュウリウオ (*Osmerus eperlanus*)、シラウオ (*Salangichthys microdon*)、チカ (*Hypomesus japonicus*)、ヌマガレイ (*Platichthys stellatus*)、ワカサギ (*H. nipponensis*)、など、イトウ成魚の捕食対象に成り得る魚種が中流域から河口域にかけて多く生息するため (岡田ほか 1981; 川村ほか 1983; 浅見 2003; 武藤 2003; 村上 2003; 山口 2003; Kume et al. 2005; 向井 2007; 本多 未発表)、産卵場から下流への移動にはこれら餌生物の分布が影響していた可能性が考えられる。越冬期・産卵期を経て、エネルギーを消耗したイトウは、直ちに栄養状態を回復させる必要があり、そのためには休息地と好環境の餌場が同時に必要になるだろう。産卵場からの降下を終えて各々の生息域に移動した後、どの個体も少なくとも3日間は特定の流程区に滞在した。このことより、降下したイトウは、降下先において休息或いは狭範囲での索餌を行っていたと推察され、本研究結果は本種の産卵・回遊習性を知る上で貴重な生態情報を提供するだろう。

また、本研究結果より、夏季になると、水温の高い下流域から比較的水温の低い中上流域に滞在域を変化させる個体の存在が示された。サケ科魚類は一般に冷水性であることが知られており、北太平洋に分布するシロザケ (*Oncorhynchus keta*) では、夏季に水温の低い高緯度域へ回遊することが知られている (浦和 2000)。また、本水系においては、中上流域に河畔林が多く存在し、下流域の河畔にはほとんど樹木は見られない (本多 未発表)。樹木の樹冠被覆には水温の抑制効果があることが知られており (中村・百海 1989; Sugimoto et al. 1997)、佐川ほか (2002) によると、イトウ成魚は夏季の生息域として、樹冠被覆によるカバーが多く、且つ、流れが緩い水底面積の大きい淵を選択することが報告されている。したがって、夏季の高水温時に上流側に移動したイトウ成魚は、河川内において比較的水温が低く、河畔林が多く存在する中上流域に滞在することで代謝を抑え、エネルギーの浪費を防いでいた可能性が示唆された。

一方、秋季に下流域に滞在した個体については、越冬・翌春の産卵を控え、河川中流域から厚岸湖にかけて分布すると考えられる、イトヨ、ウキゴリ、ウグイ、シシャモ (*Spirinchus lanceolatus*、森 2003)、シラウオ、チカ、ヌマガレイ、ワカサギなどを狙って索餌回遊していると推察される。また、本結果より、春季および秋季の低水温時に中上流域から下流域へ降下する傾向がみられたことは、代謝効率の良い時期と下流域に餌となる生物が豊富に分布する時期が重なったことがその理由であると考えられる。

今後、本種の行動生態をより詳細に把握するためには、本研究結果によって明らかになった産卵場からの降下行動や季節的移動に関する情報を経年的に蓄積していくこ

とが求められるだけでなく、日周行動や水温以外の環境要因との関係に関する知見が必要不可欠である。また、本研究で用いた超音波テレメトリー手法以外のテレメトリー手法として、現在までに数種のサケ属魚類において、データロガーによる行動追跡・実験が行われている (Naito et al. 2000 ; Tanaka et al. 2001 ; Kawabe et al. 2003 ; Tsuda et al. 2006)。厚岸湖や下流域では、イトウ成魚の背部に機器を装着したとしても、それが倒木に掛かる恐れは少ない。そのため、厚岸湖で捕獲したイトウにポップアップ式の加速度データロガーを装着し、それを追跡することで、湖内から下流域を遊泳する個体の遊泳深度や選好水温などの知見が得られるだろう。また、同時に電波・超音波テレメトリー手法を併用することで、追跡個体の水平位置を知ることにも可能になる。一方で、降海型個体の耳石を採取し、ストロンチウムやカルシウムなどの微量元素の解析を行うことにより、採取個体の降海時期・頻度などを明らかにすることもできる (Arai et al. 2004)。今後は、以上のような複数の研究手法を、超音波テレメトリー手法に複合的に組み入れることで、イトウ成魚の行動生態がより明らかなものになると期待される。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター山羽悦郎博士、同技術職員の木村志津雄氏には、実験魚の提供、飼育等多大なご協力をいただいた。厚岸水鳥観察館学芸員の澁谷辰生氏を始めとする職員の方々並びに北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所の向井宏元教授を始めとする職員の方々には調査地の情報提供や現地でのサポートをしていただいた。北海道大学大学院環境科学院の野本和宏氏並びに文化庁文部科学技官の江戸謙顕博士には、調査を行うに当たり有益なご助言をいただいた。以上の諸氏に深謝の意を表す。本研究は、平成 19 年度科学研究費補助金 (萌芽研究) 課題番号 18651110 および平成 19 年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助制度厚環水第 19 号の補助を受けて行われた。

## 引用文献

Aarestrup K, Jepsen N (1998) Spawning migration of sea trout *Salmo trutta* (L.) in a Danish river. *Hydrobiologia* 371/372:275-282  
 Arai T, Kotake A, Morita K (2004) Evidence of downstream

migration of Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, as revealed by Sr:Ca ratios of otolith. *Ichthyol Res* 51:377-380  
 浅見大樹 (2003) ワカサギ *Hypomeses nipponensis* (McAllister) (水島敏博・鳥澤 雅監修, 上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編) 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp 94-99  
 Bendall B, Moore A, Quale V (2005) The post-spawning movements of migratory brown trout *Salmo trutta* L. *J Fish Biol* 67:809-822  
 江戸謙顕 (2002) 希少種保全のための調査研究—イトウを例として—. (多賀光彦監修) 生物と環境. 三共出版, 東京, pp 67-117  
 Edo K, Kawaguchi Y, Nunokawa M, Kawamura H, Higashi S (2005) Morphology, stomach contents and growth of the endangered salmonid, Sakhalin taimen *Hucho perryi*, captured in the Sea of Okhotsk, northern Japan: evidence of an anadromous form. *Environ Biol Fishes* 74:1-7  
 Edo K, Kawamura H, Higashi S (2000) The structure and dimensions of redds and egg pockets of the endangered salmonid, Sakhalin taimen. *J Fish Biol* 56:890-904  
 Finstad B, Okland F, Thorstad EB, Bjorn PA, McKinley RS (2005) Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild anadromous brown trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *J Fish Biol* 66:86-96  
 福田 裕・松坂 洋・松田銀治・菊谷尚久 (1992) 親養殖魚生産技術開発試験. 平成2年度青森県内水面水産試験場事業報告書, pp 29-35  
 Fukushima M (1994) Spawning migration and redd construction of Sakhalin taimen, *Hucho perryi* (Salmonidae) on northern Hokkaido Island, Japan. *J Fish Biol* 44:877-888  
 福島路生 (1998) イトウの生態と生息環境. (森 誠一編) 魚から見た水環境—河川編—復元生態学に向けて—. 信山社サイテック, 東京, pp 120-130  
 Fukushima M (2001) Salmonid habitat-geomorphology relationships in low-gradient streams. *Ecology* 82:1238-1246  
 グリツェンコ OF・マルキン EM・チウリコフ AA (1974) (大屋善延訳, 1976) ボガタヤ川 (サハリン東岸) のサハリンイトウ *Hucho perryi* (BREVOORT). 魚と卵 143:25-34  
 Holicik J, Hensel K, Nieslanik J, Skacel L (1988) Taxonomy and systematics. In: The Eurasian Huchen, *Hucho hucho*, largest salmon of the world. Dr. Junk W publishers, Dordrecht, pp 2-12  
 Hubley PB, Amiro PG, Gibson AJF, Lacroix GL, Redden AM (2008) Survival and behaviour of migrating Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) kelts in river, estuarine, and coastal habitat. *ICES J Mar Sci* 65:1-9  
 Jakober MJ, McMahon TE, Thurow RF, Clancy CG (1998) Role of stream ice on fall and winter movements and habitat use by bull trout and cutthroat trout in Montana headwater streams. *Trans Am Fish Soc* 127:223-235  
 Kawabe R, Kawano T, Nakano N, Yamashita N, Hiraishi T, Naito Y (2003) Simultaneous measurement of swimming speed and tail beat activity of free-swimming rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* using an acceleration data-logger. *Fish*



- Sci 69:959-965
- 川村洋司・原 彰彦・寺西哲夫 (1996) 北海道編. (野村稔監修) イトウの養殖技術. 新魚種開発協会, 東京, pp 1-29
- 川村洋司・馬淵正裕・米川年三 (1983) 道東の汽水湖・厚岸湖で漁獲されるイトウ*Hucho perryi* (Brevoort). 北海道立水産孵化場研究報告 38:47-55
- 木村清朗 (1966) イトウ*Hucho perryi* (Brevoort) の生活史について. 魚類学雑誌 14:17-25
- Kume M, Kitamura T, Takahashi H, Goto A (2005) Distinct spawning migration patterns in sympatric Japan Sea and Pacific Ocean forms of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus*. Ichthyol Res 52:189-193
- Mitamura H, Arai N, Mitsunaga Y, Yokota T, Takeuchi H, Tsuzaki T, Itani M (2005) Directed movements and diel burrow fidelity patterns of red tilefish *Branchiostegus japonicus* determined using ultrasonic telemetry. Fish Sci 71:491-498
- 森 高志・野本和宏 (2005) 斜里川におけるイトウ稚魚の成長と分散—2002・2003年の調査報告—. 知床博物館研究報告 26:9-14
- 森 泰雄 (2003) シシヤモ*Spirinchus lanceolatus* (Hikita) (水鳥敏博・鳥澤 雅監修, 上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編) 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp 86-89
- 向井 宏 (2007) 魚類・動物・植物. 自然. 新厚岸町史—資料編3 自然・統計編—. 厚岸町, 厚岸郡, pp 80-84
- 武藤卓志 (2003) チカ*Hypomesus japonicus* (Brevoort) (水鳥敏博・鳥澤 雅監修, 上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編) 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp 92-93
- 村上 修 (2003) ヌマガレイ*Platichthys stellatus* (Pallas) (水鳥敏博・鳥澤 雅監修, 上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編) 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp 238-239
- Naito Y, Tanaka H, Ueda H (2000) Preliminary report of swimming behavior and the response to temperature of lacustrine masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort, monitored by data logger during the spawning migration in Lake Toya. Polar Biosci 13:87-94
- 中村太士・百海琢司 (1989) 河畔林の河川水温への影響に関する熱収支的考察. 日本林学会誌 71:387-394
- 岡田鳳二・工藤 智・杉若圭一 (1981) シシヤモの性成熟に伴う鱗の形態変化とその生殖行動における役割. 北海道立水産孵化場研究報告 36:1-10
- Östergren J, Rivinoja P (2008) Overwintering and downstream migration of Sea sea trout (*Salmo trutta* L.) kelts under regulated flows — northern Sweden. River Res Appl 24:551-563
- Peake S, McKinley RS, Scruton DA, Moccia R (1997) Influence of transmitter attachment procedures on swimming performance of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. Trans Am Fish Soc 126:707-714
- Rosgen DL (1994) A classification of natural rivers. Catena 22:169-199
- 佐川志朗・山下茂明・中村太士 (2002) 北海道天塩川水系一支流におけるイトウ成魚の夏季生息場所利用—イトウ生息地保全事項の提示—. 日本生態学会誌 52:167-176
- 佐川志朗・山下茂明・佐藤公俊・中村太士 (2003) 北海道北部の河川支流域における秋季イトウ未成魚の生息場所と摂餌様式. 日本生態学会誌 53:95-105
- Sugimoto S, Nakamura F, Ito A (1997) Heat budget and statistical analysis of the relationship between stream temperature and riparian forest in the Toikanbetsu River basin, northern Japan. J For Res 2:103-108
- Tanaka H, Takagi Y, Naito Y (2001) Swimming speeds and buoyancy compensation of migrating adult chum salmon *Oncorhynchus keta* revealed by speed/depth/acceleration data logger. J Exp Biol 204:3895-3904.
- Tsuda Y, Kawabe R, Tanaka H, Mitsunaga Y, Hiraishi T, Yamamoto K, Nashimoto K (2006) Monitoring the spawning behaviour of chum salmon with an acceleration data logger. Ecol Freshw Fish 15:264-274
- 浦和茂彦 (2000) 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース 5:3-9
- 山口幹人 (2003) シラウオ*Salangichthys microdon* (Bleeker) (水鳥敏博・鳥澤 雅監修, 上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編) 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌, pp 104-107

