

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25840163

研究課題名(和文)サケは精子を節約するのか？ 行動・分子生物学的手法による精子節約の適応意義解明

研究課題名(英文)Sperm allocation in semelparous salmonid species

研究代表者

牧口 祐也(MAKIGUCHI, Yuya)

日本大学・生物資源科学部・助教

研究者番号：00584153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では繁殖後に死亡するシロザケにおいて雄が雌に提供する精子量を調節する現象を実証し、その生態学的な適応意義を解明することを目的とした。放精時の体側筋の収縮により生じる振動を装着した小型加速度計で記録し、放精量の指標として2つの実験を行った。1)振動時間と放精量の相関の検証、2)雌の大きさが放精量に与える影響について、2011-2012年に標津川河口で捕獲されたシロザケを用いて実験を行った。放精の振動時間と量には正の相関性がみられた。また、振動時間は雄に対する雌の体長の割合と正の相関性がみられた。つまりシロザケの雄は大きな雌に対してより多く放精していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We investigated sperm economy in semelparous salmonid species, chum salmon. We developed a method for determining the amount of sperm in milt and collecting volume of sperm released during spawns of the salmon using acceleration dataloggers and condoms. We also examined relationship between volume of sperm released and body size of paired female. The time length in vibration of trunk musculature at the moment of sperm release was positively correlated with the amount of sperm ejaculated, which indicated that the length of time in vibration at the moment of sperm release can be an indicator of the amount of sperm released. The vibration time at the moment of sperm release was positively correlated with a relative body size of paired female and was also negatively correlated with a body size of male. These results indicate that male salmon can allocate their sperm expenditure in accordance with paired female body size.

研究分野：行動生態学

キーワード：サケ バイオロギング 繁殖行動 配偶者選択

### 1. 研究開始当初の背景

一般に精子は卵に比べてエネルギーや時間といった生産コストが安いので、雄は有り余るほどの精子を使って多くの雌と繁殖する機会を増やそうとする。その結果、雄同士で雌を巡って闘争が起こるのに対して、雌は慎重により良い雄を選好するという違いが生じる。しかし、実際には精子の生産にかかるコストや時間はゼロではなく、雄が雌へ提供する精子量を制限することで精子を経済的に使用していることが魚類を含むさまざまな動物で報告されつつある。この“限りのある精子”という制約が雄の行動だけでなく雌の繁殖成功にも大きな影響を与え得るという現象は性淘汰研究を牽引する重要なテーマとなっている。

我が国の水産重要種であるシロザケの繁殖行動は野外での観察が容易であるという理由で、配偶者選択という観点から多くの研究がなされてきた。繁殖のために河川に遡上した雌は産卵に適切な場所をみつけると、尾鰭で河床を掘り産卵床を形成する。その間、雄は産卵床の形成には一切参加せずに雌に対して求愛行動を繰り返す。産卵床が完成すると、雄と雌が同時に放卵・放精し産卵行動が完了する。雌は約 3000 粒の卵を 3-5 回に分けて産卵するのに対して、雄は産卵が終わると次のパートナーを探索する。過去の研究から、小さな雄や求愛行動の回数が少ない雄が雌のパートナーになると産卵行動が完了するまでの時間が長くなることが報告されている(Berejikian et al., 2000)。これは雌が雄を慎重に選好し、より質の高い雄と繁殖機会を得ようとしているのである。一方、雄は多くの雌と繁殖の機会を得ようとするが、1 度きりの限られた繁殖期の中で放精量を節約して雌を選び好みしているのだろうか？申請者はシロザケ雄が体側筋を強く収縮させ大きな振動を伴って放精する特徴に着目し、加速度が測定可能な小型装置(以下、加速度データロガー)を雄に装着し産卵時における放精の振動時間を 25 組のペア、計 51 回の産卵行動について記録した。その結果、雄の放精時間は雌の体サイズが大きくなるほど長くなっていった。放精における振動時間と放精量には相関性があることが推測され、雄が雌の大きさを認識して精子量を調節している可能性が示された。しかし、本種のように繁殖後に死亡する種において、雄が雌に提供する精子量を調節する現象は報告がない。

### 2. 研究の目的

本研究では、まず(1)放精量と放精時における振動時間の相関関係について実証し、(2)雌の大きさが放精量にどのような影響を与えるのか、を明らかにした上で、シロザケにおける放精量節約の生態学的な適応意義を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 放精量と放精時の振動時間との関係

本実験は 2013 年 11 月に北海道標津サーモン科学館で行った。実験には標津川河口で捕獲されたサケ親魚の雄 8 尾、雌 9 尾を用いた。雄の背部に 2 軸加速度データロガー(D2GT-190L, リトルレオナルド社)を、ニードルおよび結束バンドを用いて固定した。さらに、コンドームを加工した採精装置を総排泄口の周辺を覆うように外科的に装着した。産卵行動観察水槽に雄・雌各 1 尾を入れ、産卵行動を観察した。行動は断続的な目視およびビデオカメラで記録した。加速度データロガーは放精時の体側筋の収縮により生じる振動を記録し、コンドームでは放出された精子を採取した。採取した精子は河川水と混合しているため、吸光度計(波長 410 nm)を用いて精子濃度を定量した。

#### (2) 雌の大きさと放精量の関係

本実験は 2012-2014 年 11 月に北海道標津サーモン科学館で行った。実験には標津川河口で捕獲されたサケ親魚の雄・雌それぞれ 34 尾を用いた。雄の背部に 2 軸加速度データロガーを、ニードルおよび結束バンドを用いて固定した。産卵行動観察水槽に雄・雌各 1 尾を入れ、産卵行動を観察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 放精量と放精時の振動時間との関係

加速度データロガーおよび採精装置を装着した実験魚すべてにおいて、産卵行動が観察された。精子濃度と吸光度については各個体でキャリブレーションを行った(図 1)。

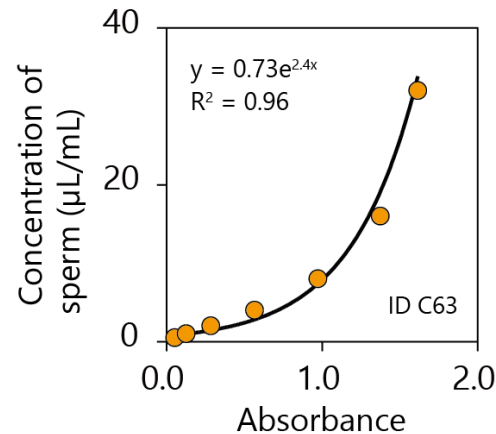


図 1 精子濃度と吸光度の関係

このキャリブレーション結果から得られた、放精量と放精時の振動時間には有意な正の相関がみられた(図 2)。つまり、放精時の振動時間は放精量の指標となることが示された。以下の実験ではこの放精時の振動時間から放精量を推定した。

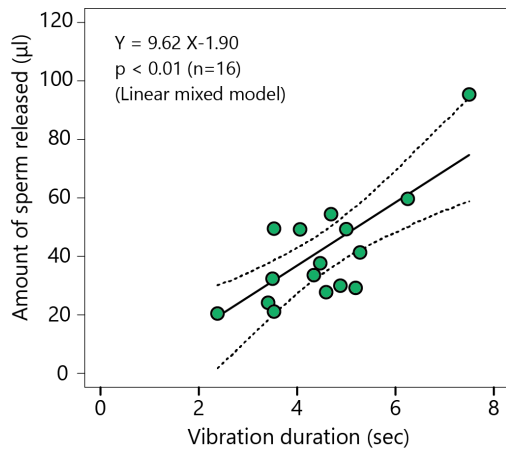


図2 放精時の振動時間と放精量の関係

(2) 雌の大きさと放精量の関係

加速度データロガーを装着した個体すべてで産卵行動が観察された。本実験では合計87回の産卵行動を観察・記録した。図3は産卵時における放精量とペア雌の雄に対する相対的な大きさを示している。雄は自分よりも大きな雌に対してはより多くの精子を、自分よりも小さな雌に対してはより少ない量の精子を放出していた。

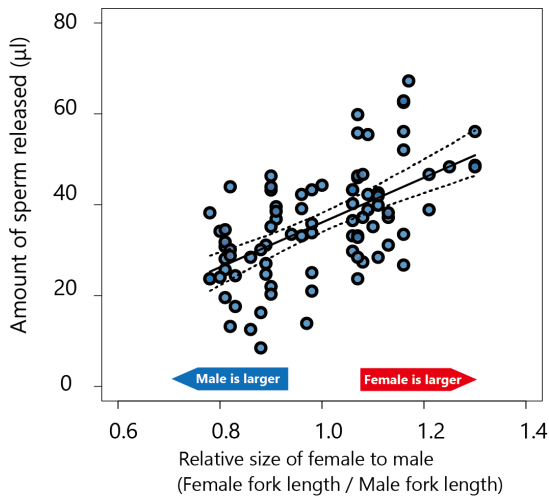


図3 放精量と相対的な雌の大きさの関係

つまり、雄は雌の大きさに合わせて放精量を調節していることが明らかになった。また、放精量は雄の大きさと有意な負の相関がみられた(図4)。これは大きな雌に対して放出する精子量が少ないことを意味している。これには2つの理由が考えられる。1つ目の理由として、雌より雄が大きいサケにおいて、相対的に大きな雄は自分より小さい雌とペアになる確率が高いことが考えられる。2つ目の理由として、大きい雄は潜在的により多くの雌と繁殖を行う傾向が強いため、次の雌との繁殖のために精子を節約していることが考えられる。

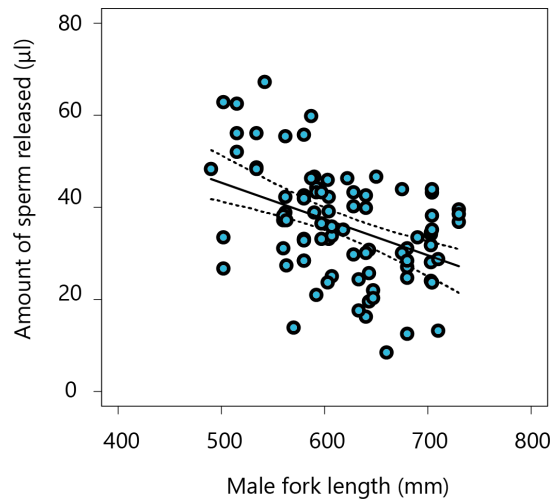


図4 放精量と雄の大きさの関係

次に、加速度データからサケの左右方向における傾き角度について解析した。すると、雌雄ともに産卵の瞬間に左右方向へ傾いていることが明らかとなった。さらに、雌の傾き角度は雄の大きさと関係性はみられなかったが(図5)、雄の傾き角度は雌の大きさと有意な正の相関がみられた(図6)。

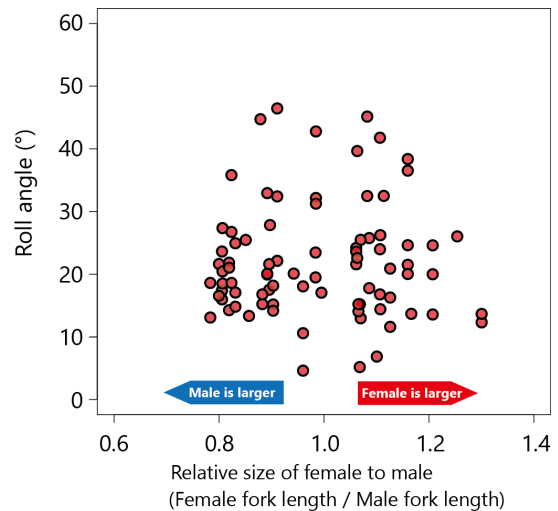


図5 雌の傾き角度と相対的な雄に対する雌の大きさ

サケは産卵の瞬間に体を左右に傾けることで、雌雄の総排泄腔の距離を近づけることが示唆された。さらに、雄は雌の大きさを正確に把握し、雄は雌の大きさに合わせて放精を行っていた。一方、雌は雄の大きさに合わせて傾くことは無く、配偶子の放出は雌主導的であることが示唆された。

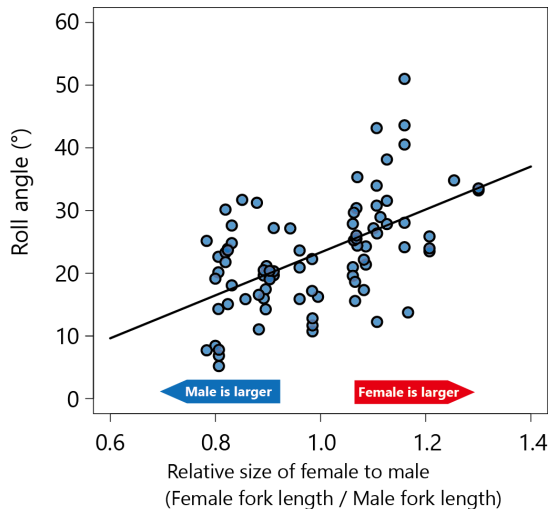


図 6 雄の傾き角度と相対的な雄に対する雌の大きさ

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

牧口祐也, 青木良徳, 北川貴士  
小型記録計・発信機を用いた魚類の行動・生理解析  
比較生理生化学 2014 31 113-118  
(査読有り)

〔学会発表〕(計 8 件)

牧口祐也, 大西美宇, 小橋史明, 小島隆人, 市村政樹  
カラフトマスの個体密度が雄の繁殖行動に与える影響  
平成 26 年度日本水産学会春季大会、東京海洋大学、平成 27 年 3 月 27-31 日  
口頭発表

牧口祐也, 市村政樹, 小島隆人  
サケ (*Oncorhynchus keta*) 雄の精子節約と雌の体サイズの関係  
第 8 回サケ学研究会、北海道大学、平成 26 年 12 月 21 日 口頭発表 (**サケ科学奨励賞受賞**)

Makiguchi, Y., Ichimura, M., Kojima, T.  
Sperm economy in semelparous salmonid species, chum salmon  
The 5th Bio-logging Sciecn Symposium, 22-27 Sep 2014 Strasbourg, France  
ポスター発表

Makiguchi, Y., Ichimura, M., Kitayama, T., Nemoto, T., Kitagawa, T., Kojima, T.  
Sperm economy associated with paired

female size in semelparous salmonid species  
Animal Behavior Society 2014 Conference,  
9-13 August 2014, Princeton, USA  
ポスター発表

牧口祐也, 豊嶋紘太, 小橋史明, 小島隆人, 市村政樹  
サケの婚姻色と精子の遊泳速度との関係  
平成 26 年度日本水産学会春季大会、北海道大学、平成 26 年 3 月 27-31 日  
口頭発表

小橋史明, 牧口祐也, 桑島悠平, 角井幸樹, 小島隆人  
日周変化がカラフトマスオスの求愛行動に与える影響  
平成 26 年度日本水産学会春季大会、北海道大学、平成 26 年 3 月 27-31 日  
口頭発表

Makiguchi, Y., Ichimura, M., Kitayama, T., Nemoto, T., Kawabata, Y., Kitagawa, T., Kojima, T.  
Sperm economy in relation to paired female size in semelparous salmonid species  
The 2nd Design Symposium on Conservation of Ecosystem(SEASTAR2000),  
18-19 March 2014, Kyoto, Japan  
ポスター発表

牧口祐也, 北山武憲, 根本武, 市村政樹, 小島隆人  
シロザケ雄は精子を節約するのか? -雌と雄の体サイズの関係について-  
日本動物行動学会 第 32 回大会、広島大学 東広島キャンパス、平成 25 年 11 月 29-12 月 1 日 ポスター発表

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧口 祐也 (MAKIGUCHI, Yuya)  
日本大学・生物資源科学部・助教  
研究者番号: 00584153

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: