

摂餌活性から見たアマゴのスモルトとバーの違い

徳原哲也, 加島隆洋*, 荻谷哲治

Difference of demand-feeding between smolt and parr individuals in Amago salmon (*Oncorhynchus masou ishikawai*)

TETSUYA TOKUHARA, TAKAHIRO KASHIMA*, TETSUJI KARIYA

アマゴ (*Oncorhynchus masou ishikawai*) は主に西日本の太平洋側に流れ込む河川に生息するサケ科の魚であり、食用や遊漁用として利用される水産有用種である（桑田・徳原 2005）。本種は自然河川ではふ化後 1 年たった晩秋から初冬にスモルト化し降河する（加藤 1973）。スモルト化した魚は海域で甲殻類や魚類を捕食し大型化し、翌春 5 月頃に遡上してくることが知られている（加藤 1973；日本水産資源保護協会 1975）。一方で、バーはそのまま河川内にとどまるものの、その冬期の生態についてはよくわかっていない。柳井ら（2001）は同種別亜種のヤマメ *O. m. masou* のバーについて流速の緩いカバーの下で、摂餌をあまりせず越冬することを報告している。もし、アマゴのバーがヤマメのそれと同様であるなら、アマゴのスモルトとバーでは摂餌活性は異なることが推測されるが、今まで摂餌活性についての調査はなされていない。

近年、魚の学習能力を利用して魚自身の食欲を検知して給餌する自発摂餌法が開発され、これにより魚の摂餌生態をモニタリングすることが可能となり、多くの魚種で摂餌パターンの調査が行われている（田畠編 2001）。この技術を利用すればバーとスモルトの摂餌活性の違いを調査することができる。

今回、自発摂餌システムを使い、バーとスモルト摂餌活性の違いを調査したのでその結果を報告する。また同時にバーとスモルトの筋肉組織内の含有脂質量についても測定したので併せて報告する。

キーワード：*Oncorhynchus masou ishikawai*、ソックスレー法、自発摂餌、全雌魚

材料と方法

供試魚と飼育水

供試魚には岐阜県河川環境研究所下呂支所において継代飼育されたアマゴの全雌魚のスモルト群とバー群の 2 系統を使用した。この 2 系統は 1980 年に同一のアマゴ母群のスモルトとバーからそれぞれ第一極体放出阻止型の雌性発生技術を用いて分離していったもので、スモルト群はスモルトが多く出現し、バー群はバーが多く出現する（桑田 未発表）。飼育水は飛騨川の河川水を加温減温することなく使用した。水温は 2.0°C (2007 年 1 月 7 日) から 24.7°C

(2007 年 8 月 16 日) の間で推移し、2006 年 12 月から 2007 年 4 月までは月平均水温が 10°C を越えなかった。

試験

2006 年 6 月 1 日に、コンクリート製の飼育池（長さ 180 cm × 幅 135 cm × 水深 40 cm）6 池を使用し、スモルト群の魚を 1 池に 165 尾ずつ 3 池、同様にバー群の魚を 165 尾ずつ 3 池収容し試験区とした。2006 年 6 月 1 日、6 月 26 日、7 月 24 日、8 月 29 日、9 月 26 日、10 月 30 日、11 月 28 日、12 月 27 日、2007 年 1 月 29 日、2 月 23 日、3 月 28 日、4 月 26 日、5 月 28 日、6 月 29 日、7 月 31 日、9 月 27 日に各池の魚を取り上げて体重を測定した。また、

*岐阜県産業技術センター

2006年12月27日に全て個体を色彩色差計(MINOLTA CR-300)で測定し、桑田ら(2000)の判別式に基づきスマルト状況を調査した。

自発摂餌については小西ら(2001a)を参考に、プルダウン型の自発摂餌システムを制作した。ただし、小西ら(2001b)では夜間の給餌はできないようにコントロールユニットで制限してあったが、当所のシステムではコントロールユニットは付けず、夜間でもスイッチを引けば給餌ができるようにした。餌は市販の養魚用配合飼料を用い、初期設定は魚放養重量kgあたり0.1g/回に設定し、試験末まで変更しなかった。月に10日間システムにデータロガー(米国onset社製HOBOevent)を接続し、魚がスイッチを引いた時間と回数を記録した。

脂質測定

アマゴのスマルト期間である2006年12月28日、2007年3月29日、6月29日にスマルト群はスマルトを、ペー群はペーを各池1尾ずつ取上げ、頭部、内臓、真皮、背骨を除去し、残った筋肉をミキサーにかけてミンチにした。そのミンチ肉5gを、恒温乾燥機で105°C、5時間乾燥させた後、シリカゲルデシケーターに入れて1時間保存後、ソックスレー法を用い含有脂質量(%表示)を測定した。

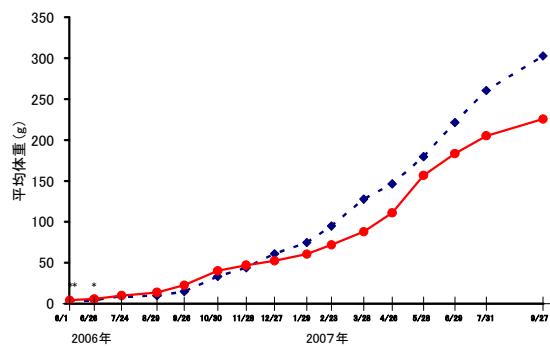
結果

最終生残率についてはスマルト群平均49.5%（範囲24.2-66.1%；以下括弧内同様）ペー群平均54.9%（29.1-70.3%）であり、有意差はなかった。（一元配置分散分析 $p = 0.78$ ）

両群の体重の成長について試験当初はスマルト群平均3.9g（3.9g）ペー群平均4.2g（4.1-4.2g）、期末はスマルト群平均302.7g（137.0-520.4g）ペー群平均225.7g（128.2-363.3g）であり、2006年6月1日、6月26日を除いて両群に有意差は認められなかった。（第1図）スマルト時期の12月27日の体重ではスマルト群平均61.1g（58.1-65.0g）ペー群平均52.5g（31.5-64.8g）であり、スマルト群の方が大きかったが有意差はなかった（一元配置分散分析 $p = 0.47$ ）。

スマルト化率についてはスマルト群平均65.3%（範囲47.2-78.7%）ペー群平均0.6%（範囲0.0-1.7%）であり、スマルト群で有意にスマルト化していた（一元配置分散分析 $p = 0.002$ ；第2図）。

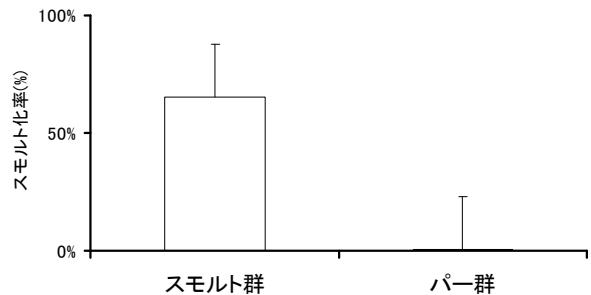
スマルト群とペー群別の1日における1尾当たりの摂餌回数（スイッチオン回数/池の魚数）の平均の推移を第3図に示す。ペー群は2006年の10、11月と摂餌頻度が上昇



第1図 両群の平均体重の推移

破線；スマルト群、実線；ペー群

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

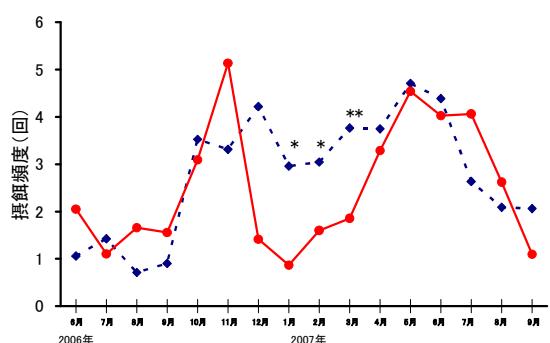


第2図 両群のスマルト化率

ペー上部の縦線は標準誤差

した後、2007年の3月までは摂餌頻度は2回/尾以下と低迷した。その後、2007年の4月から上昇したが、8、9月に再び低下した。スマルト群はペー群とは異なり、摂餌頻度の上昇は2006年の10月に上昇した後、12月になってしまても摂餌頻度は低下せず、冬期間も3回以上/尾を維持した。その後、摂餌頻度は2007年7-9月に低下した。2006年11月と12月はスマルト群1池の自発摂餌装置の故障のためデータが取れなかつたため、その2か月を除き各月毎にスマルトとペーの摂餌頻度を解析したところ、2007年1-3月にかけてスマルト群の方が有意に高い摂餌頻度であった（一元配置分散分析 1月 $p = 0.04$ ；2月 $p = 0.04$ ；3月 $p = 0.002$ ）。

スマルト群とペー群で摂餌頻度に有意差がある2007年1-3月および両群で摂餌回数に大きな差がある2006年12月について、便宜的に朝昼夕夜の4つの時間帯に分けるため、研究所の日の出日の入り時刻を参考に24時間を4時以降10時未満、10時以降16時未満、16時以降22時未満、22時以降4時未満までの6時間毎の4時間帯に区切り、スマルトとペー間の各時間帯における摂餌頻度（そ



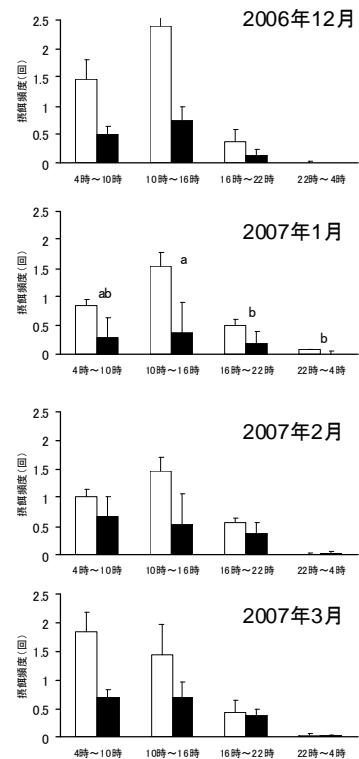
第3図 両群の摂餌頻度の推移
破線；スモルト群、実線；パ一群
*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

の時間帯のスイッチオング回数/池の魚数)を繰り返しのある二元配置分散分析で解析した。結果、各月においてスモルト群とパ一群では有意差が認められ(12月 $p = 0.04$; 1月 $p = 0.04$; 2月 $p = 0.04$; 3月 $p = 0.002$)、各時間帯で摂餌頻度が異なった。また、2007年1月を除き交互作用が認められ、スモルト群とパ一群で摂餌時間帯に差が見られた(第4図)。

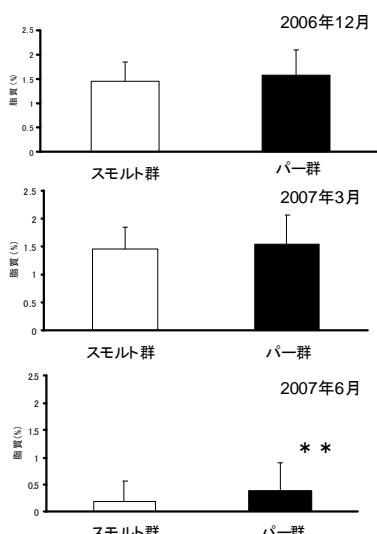
脂質の測定結果は2006年12月がスモルト群平均1.45%(1.17-1.92%) パ一群平均1.58% (1.00-1.93%)、2007年12月がスモルト群平均1.45% (1.28-1.54%) パ一群平均1.58% (1.30-2.06%)であり両群に有意差はなかった(一元配置分散分析 12月 $p = 0.75$; 3月 $p = 0.74$)。一方、2007年6月では両群で差が出た(一元配置分散分析 $p < 0.001$; 第5図)。

考 察

スモルトになる個体はパーより成長が良いことがアマゴを含め他のサケ科魚類で明らかとなっている(Hirata et al. 1988; Saunders et al 1994; Takami et al 1998; Kuwada et al 1999; 下田 2002)。今回、摂餌活性においてパーは冬季に摂餌活性が低下するのに対して、スモルトの摂餌活性は低水温で淡水中というスモルトにとって悪条件下でありながらパーよりも高く維持されていた。このことはアマゴのスモルトは環境条件にかかわらず生理的に摂餌活性を維持し、高成長を支えていることと示している。ただし、今回の体重の結果はスモルト群の方が大きいもの有意差はでなかった。しかしながら、これは各池の分散が大きく、一元配置分散分析では有意差をなくしてしまったものと考えられ、実際スモルト群・パ一群の魚をそれぞれまとめて2群間比較するとスモルト群の方が有意



第4図 両群の冬季における摂餌頻度の推移
白抜きバー；スモルト群、黒塗りバー；パ一群
バー上部の縦線は標準誤差
(多重比較検定はTukey-Kramer法による。異なるアルファベットは有意差があることを意味する。)



第5図 両群の脂肪量の推移
バー上部の縦線は標準誤差
**: $p < 0.001$

に大きいものであった（マン・ホイットニ検定 $p < 0.0001$ ）。

田畠（2001）によるとニジマス (*O. mykiss*) の自発摂餌の試験では明期摂餌を主とするがその摂餌リズムには個体差があり、環境によっても変化するとされる。今回のアマゴの試験でも少數夜間（22-4 時）摂餌する個体もいるが、多くは明期摂餌であり、ニジマスと同じ特性を示した。また、スマルトとバーにおける摂餌頻度の二元配置分散分析結果は 12 月、2 月、3 月に交互作用を持ち、スマルトとバーで摂餌時間帯が異なることを示している。このことから、同一環境においても相分化状況で摂餌リズムに差がある可能性が示唆された。

自然界のサクラマスにおいてスマルト期のスマルトの脂質含有量は減少することが報告されている（太田・山田 1974）。その一方、他魚種では絶食時のエネルギー源として体脂肪が重要であるという報告がある（Shimeno et al. 1990）。今回の結果は摂餌活性が異なる冬季間に有意差が無く摂餌活性が同じになる 6 月に異なっていた。その理由については不明であるが、養殖アマゴでは 11 月終わりにスマルトとバーでは脂質割合に差がないという報告もあり（Fujioka et al. 1991）、測定個体も少なく、バーもスマルトも同種の配合飼料を食べている今回の設定では差が出なかつたのかもしれない。

今回の摂餌活性調査の比較結果から、スマルトは摂餌活性を保ち高成長をする型、アマゴのバーは摂餌活性を抑え越冬する型であることが示された。これは柳井ら（2001）が報告しているヤマメのバーが冬季に流れの緩やかな場所で摂餌を抑制して越冬するという戦略をアマゴのバーもとっていることを間接的に示していると考えられる。

要 約

1. 自発摂餌システムを使用し、アマゴのスマルトとバーの摂餌特性の違いを調査した。
2. 冬季（1-3 月）までの摂餌活性はスマルトの方がバーより有意に高いものであった。
3. スマルトとバーの筋肉中の脂質含有割合について冬季には違いは認められなかったが、1+魚の 6 月ではバーの方が有意に高かった。
4. スマルトは摂餌活性が高く高成長をする型、バーは摂餌活性を抑え河川内で越冬する型であると考えられた。

文 献

- Fujioka Y, T. Katoh, S. Fushiki & H. Nakagawa. 1991. Changes in Fatty Acid Composition Associated with Body Silvering in Biwa Salmon *Oncorhynchus rhodurus* and Amago salmon *Oncorhynchus rhodurus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 2313-2320.
- Hirata T, A. Goto & F. Yamazaki. 1988. Individual growth and Smoltification of juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort, under rearing conditions. J. Fish Biol., 32: 77-84.
- 加藤文男. 1973. 伊勢湾に降海するアマゴ (*Oncorhynchus rhodurus*) の生態について. 魚類学雑誌, 20: 225-233.
- 小西浩司・清水延浩・手島千里. 2001a. 自発摂餌の実用化に関する研究-I : 自発摂餌と従来型給餌の比較飼育試験. 群馬県水産試験場研究報告, 7: 60-62.
- 小西浩司・清水延浩・手島千里. 2001b. 自発摂餌の実用化に関する研究-II : 適正報酬量の検討. 群馬県水産試験場研究報告, 7: 63-64.
- Kuwada T, Y. Kawase & H. Usuda. 1999. Relationships between growth and smoltification Amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawai* (basic studies towards establishing a parr strain). Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult., Suppl., 1: 45-48.
- 桑田知宣・松田宏典・都竹仁一. 2000. 色彩色差計によるアマゴのスマルト化の定量的測定について. 岐阜県水産試験場研究報告, 45: 23-31.
- 桑田知宣・徳原哲也. 2005. アマゴ. 隆島史夫・村井 衛編, pp57-67. 水産増養殖システム 2 淡水魚. 恒星社厚生閣, 東京.
- 中野 繁・田口茂男・柴田勇治・古川哲夫. 1989. サツキマス・アマゴ. 川那部浩哉・水野信彦(編), pp. 169-179. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京.
- 日本水産資源保護協会. 1975. 水産増殖叢書 34 降海性アマゴの増殖 (本荘鉄夫監). 日本水産資源保護協会, 東京. 101 pp.
- 太田 亨・山田 実. 1974. サクラマスの脂質-II 河川で生活するサクラマス幼魚の筋肉脂質の季節的変動. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries., 40: 699-706.
- Saunders R. L, P. R. Harmon & D. E. Knox. 1994. Smolt development and subsequent sexual maturity in previously mature male Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 121: 79-93.
- Shimeno S, D. kheyali & M. Takeda. 1990. Metabolic adaptation to prolonged starvation in carp. Nippon

Suisan Gakkaishi, 56: 35-41.
下田和孝. 2002. 春期の成長率および体サイズがサクラマス 0+スマolt化に与える影響. 北海道水産孵化場研究報告, 56 : 97-105.
田畠満生. 2001. 自発摂餌のリズム. 田畠満生編, pp 61-69.
魚類の自発摂餌-その基礎と応用. 恒星社厚生閣, 東京.
田畠満生編. 2001. 魚類の自発摂餌-その基礎と応用. 恒星社厚生閣, 東京. 127 pp.

Takami T, T. Aoyama, M. Nagata, M. Miyamoto, S. Ohkubo & H. Kawamura. 1998. Individual growth and life-history divergence of juvenile masu Salmon (*Oncorhynchus masou*) in a northern Japanese stream. Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery, 52: 21-29.
柳井清治・永田光博・長坂 有・佐藤弘和・宮本真人・大久保進一. 2001. サクラマス幼魚の越冬場を形成する河畔樹木の役割. 日本森林学会誌, 83 : 340-346.