

マツカワ稚魚の体成分に及ぼす遊泳運動の影響

高谷義幸*¹, 佐藤敦一²

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場, ²北海道立総合研究機構水産研究本部

Influence of swimming on the chemical constituents of juvenile barfin flounder, *Verasper moseri*

YOSHIYUKI TAKAYA*¹ and NOBUKAZU SATO²

¹ Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046–8555, Japan

² Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046–8555, Japan

We suggested a method for estimating the growth rate on the basis of the biochemical constituents of the liver or trunk in juvenile barfin flounder. The method can be applied to predict the growth rate of the recaptured fish after its release in the field. However, these experiments were conducted in the indoor tanks, where the experimental fish had little space for swimming compared with the wild fish. Therefore, the growth rate estimated for several indices may be either too high or too low than that in the wild fish. Change of the biochemical constituents when fish swim compulsorily was investigated and the influence of swimming in fish on biochemical indices was confirmed.

キーワード：運動，成分，マツカワ，遊泳

人工種苗にとって、放流場所の餌料環境は生き残りを左右する上で重要なファクターとなる（古田ら，1997; Watanabe *et al.*, 2006）。摂餌によって得られた栄養は成長に向けられ、余剰は体内に蓄積するため、ヒラメでは、体成分分析値を利用して稚魚の成長率を評価しようという試みが行われている（Fukuda *et al.*, 2001）。私たちは、マツカワで給餌量を段階的に変化させて飼育試験を行い、これまでに成長率と相関が高い10項目を指標として提案した（高谷・佐藤，2013；高谷・佐藤，2014）。しかし、これらの関係を求めるための実験はいずれも飼育水槽内で行われており、実験魚は摂餌のためなどに緩やかに運動することはあってもその活動量は少ない。実際の放流魚は、摂餌、食害動物からの逃避、環境中の海水流動などにより、放流された天然海域での活動量が飼育環境よりも相当大きくなっていることが予想される。飼育実験で得られた体成分指標と成長率の関係を放流再捕魚に適用した場合、このような運動量の違いによって、過大あるいは過小評価を招く可能性がある。そこで、これまで提案してきた成長率推定指標の基となる体成分値が運動負荷によりどのような影響を受けるのかを飼育実験により調べた。

試料および方法

既報（高谷・佐藤，2013）の実験と同時に設置した別の2水槽に収容したマツカワ稚魚を、飼育期間中に断続的に強制遊泳させて運動負荷をかけた（以下、運動群と表す）。飼育期間、飼育方法、給餌率は既報（高谷・佐藤，2013）と同じである。すなわち、個体別に標識をしたマツカワ0歳魚20尾（実験開始時全長85.6 mm±3.0，開始時体重8.1 g±0.9）を用い、2010年9月24日から10月19日まで、2段階の給餌率（1日あたり魚体重の0.5%および2%の配合飼料を給餌、各10尾）で飼育を行い、1週間のうち1～3日の割合で小型振動流水槽（ジャパンアクアテック社製）に入れて振動流を与えて強制的に遊泳させた。その際、通常底面に位置しているマツカワは流速を与えても泳ぐことはないため、橋本ら（1996）がヒラメで行った実験を参考に実験水槽内に斜めに網仕切りをもうけて無眼側から流れを当てることで強制的に泳がせた（Fig.1）。また、付与する流速はマツカワ放流場所近傍の平均的な流速が10～20 cm/sである（堀井，1996）ことから、周期20秒、最大流速20 cm/sとした。このようにして実験魚を飼育期間25日間のうち延べ8日間にわたって1日に8時間

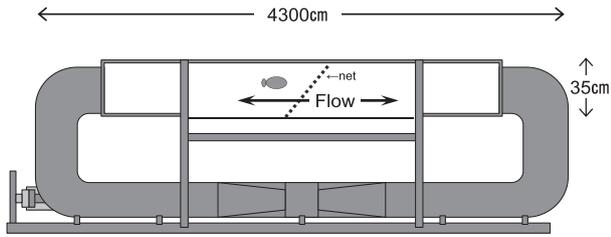


Fig. 1. Vertical circulating water channel for compulsory swimming.

遊泳させた。また、10月4日から5日にかけては24時間遊泳させた。10月21日に、これらを取り上げ、体測定の後、既報（高谷・佐藤，2013；高谷・佐藤，2014）と同様に体成分分析を行った。強制遊泳をさせない群（以下、非運動群と表す）は既報（高谷・佐藤，2014）の分析値を用いた。瞬間成長率（Specific Growth Rate, 以下SGRと表す、計算式は既報（高谷・佐藤，2013）参照）との関係を検討した項目は、既報によりSGRと相関が高いことがわかっている各成分値、すなわち、体型的変化として肥満度と比肝重、また、肝臓成分からはRNA/DNA、リン脂質/DNAおよびタンパク質/DNA、さらに、躯幹成分からは水分、粗脂肪、RNA/DNA、リン脂質/DNAおよびタンパク質/DNAとし、運動群と非運動群とを比較した。なお、実験終了時における両群の各項目の平均値の差は t 検定（ $P < 0.05$ ）で検出した。また、SGRと各成分の回帰分析は単回帰により行い、非運動と運動群の回帰係数の差は F 検定（ $P < 0.05$ ）により検出した。

結果

運動負荷の有無が魚体の成長等に与える影響をFig.2に示した。0.5%給餌区の伸長量は、非運動群：運動群でそれぞれ平均値 $2.2\text{mm} \pm$ 標準偏差 1.5 ：平均値 $1.7\text{mm} \pm$ 標準偏差 1.2 （以下、配列同じ）であり、増重量（ $0.5\text{g} \pm 1.1$ ： $0.4\text{g} \pm 0.3$ ）およびSGR（ $0.18\% \pm 0.44$ ： $0.22\% \pm 0.16$ ）とともに平均値に有意差は認められなかった。これに対して、給餌率を2%とした場合では、伸長量（ $10.4\text{mm} \pm 1.8$ ： $8.0\text{mm} \pm 1.8$ ）、増重量（ $4.44\text{g} \pm 0.82$ ： $3.17\text{g} \pm 0.61$ ）およびSGR（ $1.71\% \pm 0.11$ ： $1.33\% \pm 0.20$ ）のいずれも非運動群で有意に大きかった。

運動負荷の有無が体型的変化に与える影響をFig.3に示した。0.5%給餌区では肥満度（ 1.25 ± 0.13 ： 1.26 ± 0.04 ）と比肝重（ 1.15 ± 0.24 ： 0.92 ± 0.25 ）のいずれも平均値に有意差は認められなかった。これに対して、2%給餌区では肥満度（ 1.43 ± 0.05 ： 1.36 ± 0.09 ）には有意差は認められなかったが、比肝重（ 3.53 ± 0.44 ： 1.92 ± 0.32 ）については非運動群で高い値となった。

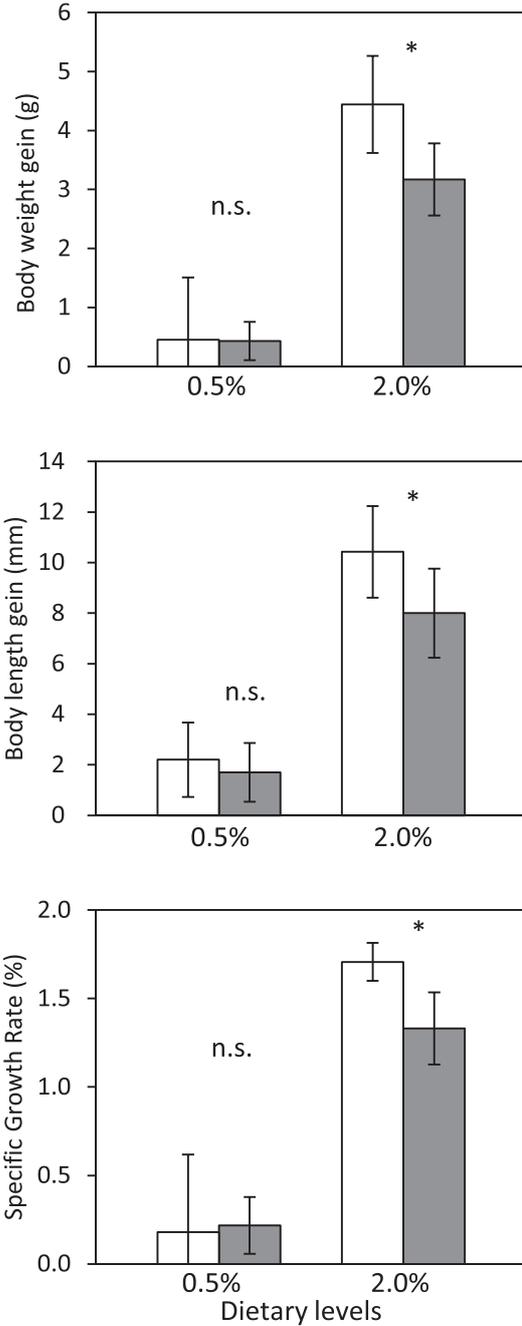


Fig. 2. Growth performance of *Verasper moseri* juveniles from swimming-group (■) and non-swimming-group (□) reared for 25 days under two dietary treatments (0.5% and 2.0% of body weight day⁻¹). Vertical bars indicate standard deviations. Significant differences (*: $P < 0.05$, n.s.: not significant) between swimming group and non-swimming-group in each dietary treatment.

運動負荷の有無が肝臓成分に与える影響をFig.4に示した。0.5%給餌区ではRNA/DNA（ 2.60 ± 0.45 ： 2.14 ± 0.49 ）とリン脂質/DNA（ 9.81 ± 2.38 ： 6.41 ± 2.10 ）については非運動群の平均値が有意に高かったが、タンパク質/DNA（ 49.4 ± 7.9 ： 43.4 ± 5.2 ）では有意差は認められなかった。

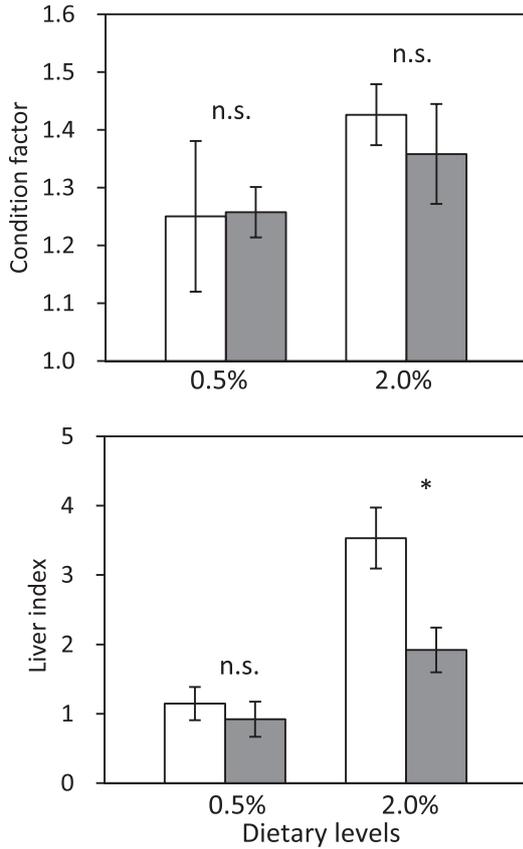


Fig. 3. Effects of swimming on the condition factor and liver index of *Verasper moseri* juveniles. Introductory notes, significant difference, and vertical bars are the same as in Fig. 2.

一方、2%給餌区ではRNA/DNA (4.32±0.34 : 3.55±0.48), リン脂質/DNA (16.56±3.27 : 11.27±3.17) およびタンパク質/DNA (115.0±22.0 : 74.9±9.7) で非運動群の方が有意に高い値であった。

運動負荷の有無が躯幹の成分に及ぼす影響を Fig.5 に示した。0.5%給餌区では、水分 (78.55±0.96 : 78.73±0.74), 粗脂肪 (1.75±0.73 : 1.55±0.52), リン脂質 (5.06±1.04 : 4.43±0.57) およびタンパク質/DNA (116.5±21.4 : 119.7±17.8) で平均値に有意差は認められなかったが, RNA/DNA (2.00±0.25 : 1.79±0.17) は非運動群で高かった。2%給餌区では, リン脂質/DNA (7.13±0.51 : 6.72±0.72) とタンパク質/DNA (139.6±24.7 : 156.5±31.5) で有意差が認められなかったのに対して, 水分 (75.08±1.06 : 76.41±0.54) は非運動群で低く, 粗脂肪 (4.54±1.02 : 3.39±0.38) と RNA/DNA (3.09±0.11 : 2.84±0.26) では非運動群で高かった。

これらの各項目と SGR との関係を図.6に, また, 回帰式を Table 1 に示した。非運動群と運動群で回帰式は異なっていたが, 回帰係数に有意差が認められた項目は, 比肝重と肝臓のタンパク質/DNAのみであった。

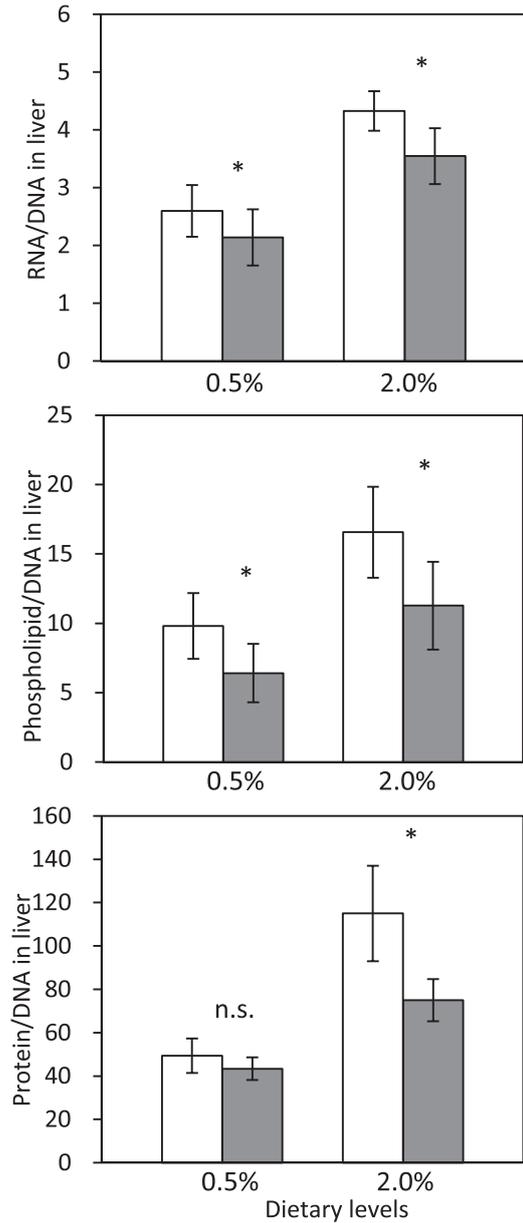


Fig. 4. Effects of swimming on the chemical constituents in the liver of *Verasper moseri* juveniles. Introductory notes, significant difference, and vertical bars are the same as in Fig. 2.

考 察

成長への運動負荷の影響は2%給餌区で顕著に認められた。運動群の伸長量, 増重量およびSGRはいずれも非運動群よりも低値であり (Fig.2), 肥満度は有意差は認められなかったが平均値は小さかった (Fig.3)。これらのことから, 2%給餌区では, 運動によるエネルギー消費によって成長が抑制されたものと考えられた。一方で, 0.5%給餌区の成長や体型に関する項目では運動負荷の影響が見られなかった。体重当り0.5%という給餌量は, 運動負荷

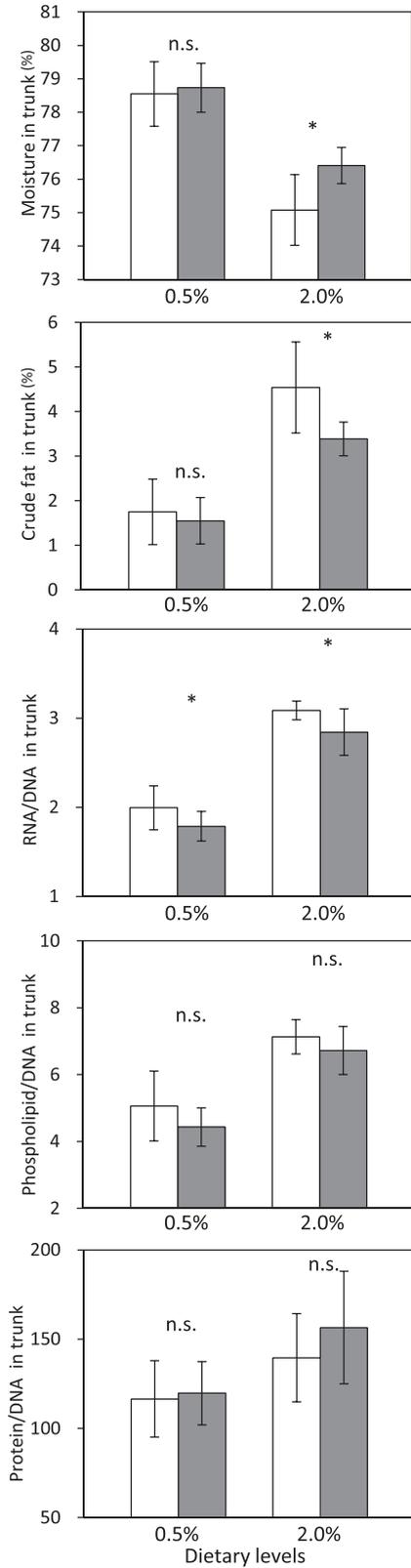


Fig. 5. Effects of swimming on the chemical constituents in the trunk of *Verasper moseri* juveniles. Introductory notes, significant difference, and vertical bars are the same as in Fig. 2.

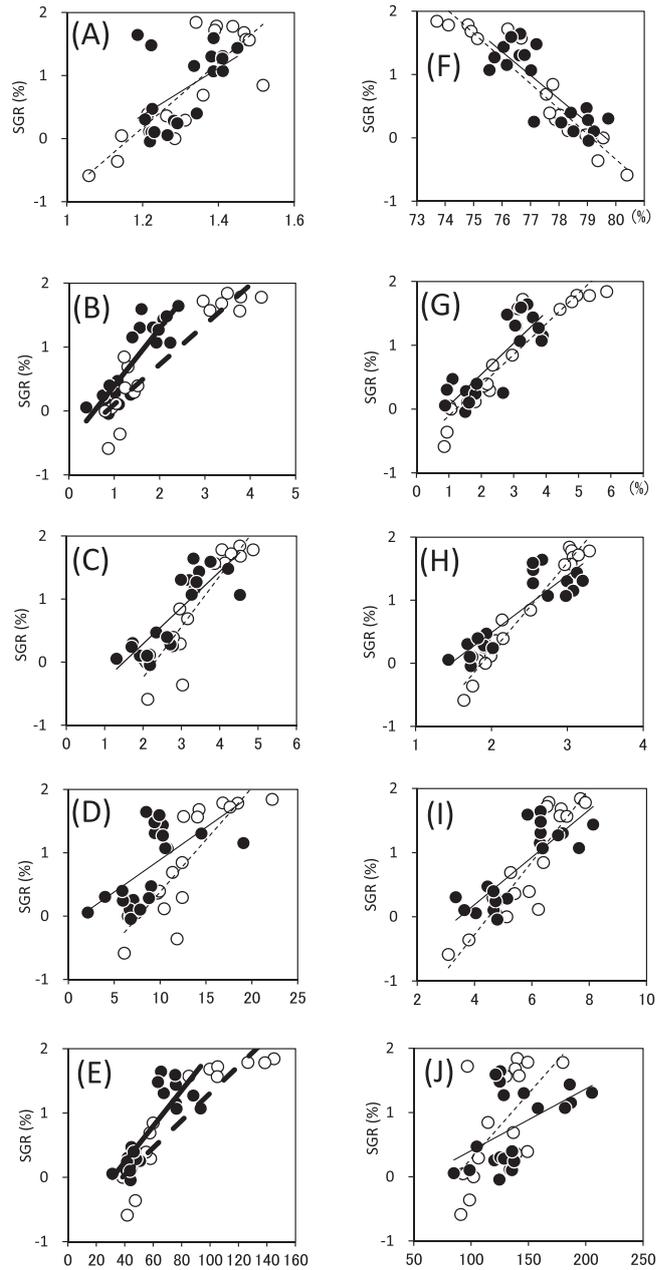


Fig. 6. Relationship between specific growth rate (SGR) and condition factor (A), liver index (B), RNA/DNA in liver (C), phospholipid/DNA in liver (D), protein/DNA in liver (E), moisture in trunk (F), crude fat in trunk (G), RNA/DNA in trunk (H), phospholipid/DNA in trunk (I), protein/DNA in trunk (J) of *Verasper moseri* juveniles in the swimming-group (●) and non-swimming-group (○). The solid regression line shows the swimming-group, and dashed line shows the non-swimming-group. Bold lines indicate the significant difference of regression coefficient.

Table 1. Relationship between listed parameters and specific growth rate (SGR) in *Verasper moseri* under swimming.

Organ	Parameter (X)	Regression	r^2
No-Swimming-group			
-	Liver index	SGR (%) = 0.624X-0.520	0.857
-	Condition factor	SGR (%) = 5.165X-6.024	0.694
Liver	RNA/DNA	SGR (%) = 0.806X-1.859	0.846
Liver	Phospholipid/DNA	SGR (%) = 0.164X-1.260	0.718
Liver	Protein/DNA	SGR (%) = 0.021X-0.811	0.834
Trunk	Moisture	SGR (%) = -0.398X+31.51	0.900
Trunk	Crude fat	SGR (%) = 0.479X-0.581	0.868
Trunk	RNA/DNA	SGR (%) = 1.415X-2.652	0.774
Trunk	Phospholipid/DNA	SGR (%) = 0.567X-2.544	0.818
Trunk	Protein/DNA	SGR (%) = 0.020X-1.745	0.360
Swimming-group			
-	Liver index	SGR (%) = 0.897X-0.501	0.768
-	Condition factor	SGR (%) = 3.733X-4.109	0.276
Liver	RNA/DNA	SGR (%) = 0.574X-0.859	0.682
Liver	Phospholipid/DNA	SGR (%) = 0.102X-0.126	0.377
Liver	Protein/DNA	SGR (%) = 0.027X-0.872	0.689
Trunk	Moisture	SGR (%) = -0.372X+29.65	0.700
Trunk	Crude fat	SGR (%) = 0.486X-0.426	0.714
Trunk	RNA/DNA	SGR (%) = 0.905X-1.323	0.967
Trunk	Phospholipid/DNA	SGR (%) = 0.369X-1.284	0.674
Trunk	Protein/DNA	SGR (%) = 0.010X-0.556	0.252

のほとんどない飼育条件下で体維持に必要な最低限の量 (高谷・佐藤, 2013) であり, 運動負荷を与えたにもかかわらず顕著な体重の減少が見られなかったことは, 運動群が非運動時に比べて少ないエネルギー量で魚体を維持していたこととなる。また, 運動群ではいずれの項目でもデータのばらつきが小さくなっており, 個体差が縮小する傾向が見られた。このことは, 後述する通り, 運動負荷がマツカワ生体内の代謝変化に影響を与えている可能性を示唆している。

比肝重は2% 給餌区において両者の間に有意差が認められ (Fig.3), 非運動群で肝臓中に多量に蓄積されていた栄養物質が運動負荷をかけることによって減少したものと思われた。ただし, 2% 給餌区で非運動群で見られた3.53という比肝重値は, これまでの実験 (高谷・佐藤, 2013) において得られている値に比べ, 極めて高かった。また, このような高い比肝重値は運動負荷を与えることで低下したが, それでも運動群の平均値1.92という値は, 既報において運動負荷なしの条件で飼育した群の比肝重が1~1.5程度であったのに比べて高かった。今回, 比肝重が高かった原因については不明であるが, 飼育しているマツカワ稚魚ではこのように肝臓が肥大化している飼育群が観察される場合があり (高谷未発表), 飼育の方法や採

苗年によって比肝重の初期値が異なる可能性がある。このような事例があることから, 肥満度, 比肝重と言った体型的変化は, 測定が容易で成長率推定に利用しやすい指標である反面, 飼育履歴を反映した初期の状態を把握しておかなければ誤推定の原因になる可能性がある。

肝臓成分では, ほとんどの項目で非運動群の平均値が運動群に比べて有意に高くなっており (Fig.4), 運動によるエネルギー消費の影響があったものと思われた。これらのうち, 肝臓のタンパク質/DNAは0.5% 給餌区では非運動群と運動群の差は見られなかったが, 2% 給餌区では有意差が認められ, 給餌量の影響を大きく受けていた。タンパク質/DNAは細胞の大きさを指標するとされており (中野ら, 1985; Umino *et al.*, 1993), 比肝重が非運動群の2% 給餌区で顕著に高かったことを考えると, これらの個体では肝細胞が多量の栄養物質を貯留しているなどの理由で肥大しているものと思われた。前述の通り, マツカワ飼育魚では肝臓が極端に肥大する場合があります。成長率推定の指標として用いる場合には, 比肝重と同様, 肝臓のタンパク質/DNAも放流前の状態を把握しておく必要があるだろう。一方で, 肝臓のRNA/DNAとリン脂質/DNAは, 給餌量の多寡にかかわらず運動群で低値であった。これらの項目はいずれも非運動条件で飼育した

場合, 成長率と比較的高い相関を示す(高谷・佐藤, 2013)が, 運動付与によってエネルギーが消費され, 成長が非運動群よりも抑制された状況を的確に反映していることから, 放流魚の成長率を推定するための良い指標になると思われた。また, RNA/DNAは, 0.5%給餌区で2.1~2.6, 2%給餌区では4前後であり, この値はこれまでの実験結果(高谷・佐藤, 2013)と同程度だったことから, 飼育魚に肝臓肥大などが見られた場合でも, その影響をあまり受けない指標であると言える。

躯幹の蓄積系成分では, 2%給餌区の水分は非運動群で有意に低く, また, 粗脂肪では有意に高値であった(Fig.5)。躯幹中の粗脂肪に含まれる成分はマツカワにおいて主要な栄養貯蔵物質であると考えられる(高谷・佐藤, 2014)ことから, あまり運動をしない状態で飼育された魚は, これらの栄養物質を過剰に蓄積しているものと思われる。飼育魚は天然魚に比べて体内に多くの脂質成分を貯蔵していることが多い(山口, 1991)が, 飼育魚で過剰に蓄積した栄養物質は, 強制的に運動させることで減少したことから, 天然環境下で運動量が飼育魚よりも多いであろう放流再捕魚の成長率を推定する場合には運動群の体成分値から推定の方が実態を反映するものと推察される。ただし, 放流場の流動条件などによってこれらの値が変動する可能性も考えられ, 実際の適用には注意が必要である。

躯幹成分の機能的指標では, RNA/DNAが0.5%給餌群, 2%給餌群とも非運動群で高く(Fig.5), 肝臓の場合と同様, 運動付与によるエネルギー消費により成長が抑制され, これを反映して運動群で値が低くなったものと考えられた。0.5%給餌群では運動の有無で成長に有意な差を生じることは無かったが, そのような場合でもRNA/DNA値は影響を受けていることから, 種苗の成長率を評価する場合にRNA/DNAは鋭敏な指標になると思われた。一方, タンパク質/DNAは, 有意差は認められなかったが, 平均値は運動群の方が高くなっていった。このことは, 活発に運動する種苗は, 魚体の伸長や増重よりも筋肉タンパクの合成を優先するように代謝の経路が変化したためではないかと推測される。放流魚にとって, 筋肉量の増強は摂餌行動や捕食者からの忌避行動に直接関係してくるため生き残りの重要な要件となるが, 今回は組織学的な観察などを行っておらず, 実際に筋肉量が増加していたかは不明である。また, 代謝経路が変化した場合, タンパク質/DNA値や実際の筋肉量の増加などにこれらが反映されるためには相応の時間経過が必要であると考えられることから, 今回の25日間という飼育日数は短かったのかも知れない。これらのについては, 今後, 長期間の飼育試験や運動負荷量を変えた実験を行う必要がある。

以上の通り, 運動負荷を与えることによって蓄積栄養物質が減少して成長が抑制され, SGRと各項目の関係が変化した(Fig.6, Table 1)が, 回帰係数に有意差が認められた項目は比肝重と肝臓のタンパク質/DNAのみであった(Fig.6)。このため, 放流再捕魚の成長率を推定するためには, この2項目以外は非運動群, 運動群どちらの回帰式を用いても差し支えないと思われた。しかし, 多くの項目で, 非運動群が過剰に蓄積していた栄養物質を運動によって消費された結果, 回帰式に微妙な違いが生じたと考えられるため, マツカワ放流魚の成長率を推定するための指標としては, 運動を付与したときの成分値に基づいて行う方が適している可能性が高い。ただし, 今回の実験で与えた運動負荷が, 放流後の環境を模しているか, また, 餌の質が天然のものとは大きく異なっていることなどの問題点があり, 今後, 放流再捕魚の体成分分析を進め, 今回提案の回帰式から推定した成長率の妥当性について検証していく必要がある。

謝 辞

実験用のマツカワ種苗を提供していただいた北海道栽培漁業振興公社伊達事業所の川下正己所長並びに今満人主任技師(いずれも当時)に深謝します。飼育試験にあたっては道総研栽培水産試験場の関係諸氏にご協力をいただきました。また, 本稿のとりまとめに際しては, 道総研中央水産試験場宮園章資源増殖部長に貴重なご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- Fukuda M, Sato H, Shigeta T, Shibata R. Relationship between growth and biochemical indices in laboratory-reared juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*), and its application to wild fish. *Mar. biol* 2001; 138: 47-55.
- 古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 宮永貴幸. 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の摂餌状態と餌料条件. *日水誌* 1997; 63: 886-891.
- 橋本 新, 平石智徳, 鈴木健吾, 山本勝太郎, 梨本勝昭. ヒラメの網生簀内における遊泳能力について. *日水誌* 62(1), 12-16 (1996)
- 堀井 貴司. 1. 2 1) ホッキ貝資源の長期予測技術開発. 平成8年度北海道立函館水産試験場事業報告書. 北海道立函館水産試験場, 95-98 (1996)
- 村上 修, 高谷義幸, 吉村圭三, 吉田秀嗣. 5. 2 放流基礎調査事業(マツカワ放流). 平成22年度道総研栽培

- 水産試験場事業報告書. 北海道立総合研究機構栽培水産試験場, 88-96 (2012)
- 中野 広, 安藤義秀, 白旗総一郎. 成長にともなうサケ稚魚の酸性フォスファターゼ活性, 総蛋白質, RNA およびDNA量の変化. 北水研報 1985; 50: 71-77.
- 高谷義幸, 佐藤敦一. 給餌率を変えて飼育したマツカワ稚魚の成長率と肝臓成分. 北水試研報, 83, 5-12 (2013)
- 高谷義幸, 佐藤敦一. 給餌率を変えて飼育したマツカワ稚魚の瞬間成長率と躯幹の成分との関係. 北水試研報, 85, 21-24 (2014)
- Umino T, Ohtsu M, Tabata M, Nakagawa H. Some Characteristics of Runty Fish Appearing in Seed Production of Red Sea Bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; 59: 952-928.
- Watanabe S, Isshiki T, Kudo T, Yamada A, Katayama S, Fukuda M. Using stable isotope ratios as a tracer of feeding adaptation in released Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Fish Biol.* 2006; 68: 1192-1205.
- 山口勝巳. 第1章 魚介類の組織と構成成分「水産生物化学 (山口勝巳編)」東京大学出版会, 東京, 1991; 1-7.