

原著論文

生化学的解析によるハタハタ稚魚の成長率評価と 天然魚への評価技術の応用

高谷義幸^{*1}・佐藤敦一^{*2}・高島信一^{*2}

Mehod for Estimating the Growth Rate of Laboratory-reared Juvenile Sailfin Sandfish *Arctoscopus japonicus* by Biochemical Indices and Its Application to Wild Fish

Yoshiyuki TAKAYA, Nobukazu SATO and Shin-ichi TAKABATAKE

In order to evaluate the growth rate of Sailfin Sandfish *Arctoscopus japonicus* with biochemical indices, component analysis was conducted on the liver and trunk. After feeding laboratory-reared fish with 4 levels of food quantity for one month, the components that were highly correlated with growth rate were found to be water, crude fat, RNA/DNA, protein/DNA and phospholipid/DNA in the liver, and crude fat, RNA/DNA, phospholipid/DNA and the glucogenic amino acid rate in the trunk. As a result of substituting the analytical values for wild fish into the respective regression equations, it was determined that increasing rates for several indices were either too high or too low. Therefore, in order to index the growth rate of wild fish, it was concluded that RNA/DNA and protein/DNA were suitable as indices for the liver components, and RNA/DNA was suitable for the trunk component. In addition, because glycogen was detected in the liver when there was good growth, it also appears to be usable as an index.

2011年11月28日受付, 2012年3月26日受理

ハタハタは山口県以北の日本海, オホーツク海, 宮城県からカムチャツカ半島東岸の北太平洋に分布する¹⁾。本種は, 北海道各地で漁獲されるが, 特に, 産卵回遊群を漁獲する日本海北部や太平洋沿岸では地域の重要な漁業資源となっている。しかし, 近年, 各地で漁獲が減少する¹⁾など, 資源変動が大きいことが問題となっている。天然資源の変動は, 卵から稚魚期までの減耗率の違いによって起こると考えられ, 減耗の主たる要因のひとつは害敵による被食であろう。被捕食関係は, 被食者, 捕食者の運動能力, とりわけ摂餌や逃避のための遊泳能力の相対的な差による影響を受けると考えられる。遊泳能力は, 魚体サイズに比例して大きくなる²⁾ため, 稚魚が生き残るにはふ化からの成長が速いことが重要である。速く成長するためには, 餌の量が多いことが条件となる

が, 本種においては, 生息場所にどのような餌生物がどれくらいいれば十分であるかはわかっていない。生息環境中の餌料量を調査することで, ある程度の餌料環境を推測することは可能だが, 得られた餌生物のうち, 対象種にとって重要となる種類を特定し, 餌料環境が好適かどうかを正確に把握することは難しい。一方, 摂餌により得られた栄養は, 消化・吸収されて, まず基礎代謝や活動のためのエネルギーとして使われる。次に体や器官の成長に向けられると同時に肝臓などに貯蔵される。したがって, 体成分を分析し, 貯蔵栄養物質の蓄積量やタンパク合成能などを調べることによって, フィールドの餌量調査に替わって生息場の餌環境を類推することができ, 対象魚の成長度合いを推測することが可能となる。そして, このことは餌条件と資源変動の関係を知るため

*1 地方独立行政法人北海道立総合研究機構中央水産試験場
〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町 238

Hokkaido Research Organization, Central Fisheries Research Institute, 238 Hamanaka, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan
takaya-yoshiyuki@hro.or.jp

*2 地方独立行政法人北海道立総合研究機構栽培水産試験場

の有効な手法として活用できるであろう。

ここでは、ハタハタの成長を生化学的指標によって評価する方法を確立するため、以下の実験を行った。まず、餌の量を変えてハタハタ人工種苗を飼育して成長量の異なる群を作成し、これらの体成分を分析した。次に、分析した成分について、成長率との関係を調べ、関連の強い成分を選択した。最後に、各成分と成長率の単回帰式に天然稚魚で得られた分析値を代入して成長率を推定し、数値の妥当性を検証した。

材料と方法

給餌量を変えて飼育した人工種苗の体成分分析 北海道立栽培水産試験場（現 北海道立総合研究機構栽培水産試験場）において、2009年12月8～10日に人工受精によって採卵し、2010年2月下旬～3月中旬にふ化したハタハタ仔魚をアルテミア幼生と配合飼料（日清丸紅飼料：おとひめシリーズ）を適宜給餌して飼育した。この稚魚を2010年9月2日に実験用水槽（200ℓ円形ポリカーボネイト水槽）4基に170尾ずつ収容した。9月3日には給餌量を設定するための予備実験を行い、すべての試験区に配合飼料（日清丸紅飼料：おとひめEPOとEP1を1:1で混合）を摂餌しなくなるまで給餌して飽食摂餌量を調べ、魚体重の4%程度との値を得た。9月4日～5日は無給餌とし、9月6日から給餌実験を開始した。給餌実験開始前にイニシャル用のサンプルを採集し、-80℃で冷凍保存した。9月6日～18日までは9月3日の飽食量調査を参考に9月6日現在の魚体重に対して4.0%（A区）、3.0%（B区）、2.0%（C区）、1.0%（D区）の配合飼料を、また9月18日～10月5日までは9月18日現在の魚体重に対して3.3%（A区）、2.8%（B区）、2.0%（C区）、0.9%（D区）をA区とB区は1日2回に分けて、またC区とD区は1日1回で与えた（ただし9月11、12、19、20、25、26日および10月2日は無給餌とした）。給餌には小さめの粒径の餌を数多く給餌し、摂餌する魚群の動きをよく観察しながら、できるだけ個体ごとの摂食量に差が生じないように注意した。10月6日には給餌をせず絶食とし、実験開始31日後の10月7日に各水槽からそれぞれ10尾をサンプリングして直ちに-80℃で冷凍保存した。飼育期間中は、給餌の際に水槽内を観察し、死亡魚を計数して水槽内から除去した。また、飼育水は16℃前後（14.7-17.5℃）の調温海水をひとつの曝気槽から各水槽に分岐し、同水量で掛け流しとした。

後日、サンプルを解凍して体長と体重を測定し、実験開始から終了（9月6日～10月7日）までの各実験区ごとの給餌量と平均体重を用いて日間給餌率（以下、給餌率）と日間増重率（以下、増重率）、肥満度および比肝重を次式により算出した。なお、給餌率および増重率の算出に用いた飼育日数は、無給餌日も加えた飼育期間

トータルの日数（31日間）とした。

日間給餌率 = $(100 \times F) / (((W_0 + W_1) / 2) \times ((N_0 + N_1) / 2) \times d)$

日間増重率 = $((W_1 - W_0) \times 100) / (((W_0 + W_1) / 2) \times d)$

W_0 : 開始時の体重 (g), W_1 : 終了時の体重 (g), F : 給餌量 (g), N_0 : 開始時の尾数, N_1 : 終了時の尾数, d : 日数（無給餌日を含む）

肥満度 = $(\text{体重 (g)} / \text{体長 (mm)})^3 \times 10^5$

比肝重 = $\text{肝臓重量 (g)} / \text{体重 (g)} \times 100$

魚体測定後の個体は半解凍の状態ですぐに肝臓を摘出し、氷冷下でホモジネートを作成し、各成分を定量した。また、肝臓摘出後の体部は頭部、内臓部および尾鰭部を除いた躯幹を真空凍結乾燥して水分量を算出した後、肝臓と同様の方法で各成分を定量した。これらの手順については図1にまとめた。各成分の定量的目的と手法は次の通りである。栄養蓄積状態を表す指標として、タンパク質量をLowry法³⁾、粗脂肪量はエタノール:エーテル(3:1)で抽出した後溶媒を除去する乾燥法、トリグリセリド量（以下、TG）およびリン脂質（以下、PL）量を鈴木⁴⁾の方法（ただし、使用したキットはトリグリセリドEテストワコー、和光純薬製を用いた）、グリコーゲン量は、Watanabe⁵⁾の方法で抽出してグルコースCIIテストワコー（和光純薬製）でグルコースを定量し0.9を乗じて算出した。機能的指標としては、RNA量およびDNA量をSTS法を改良した中野⁶⁾の方法で定量し、タンパク質合成能をRNA/DNAとして表した。また、細胞の大きさの指標とされ、成長量や給餌量と関係がある^{7,8)}とされるタンパク質/DNAを算出した。さ

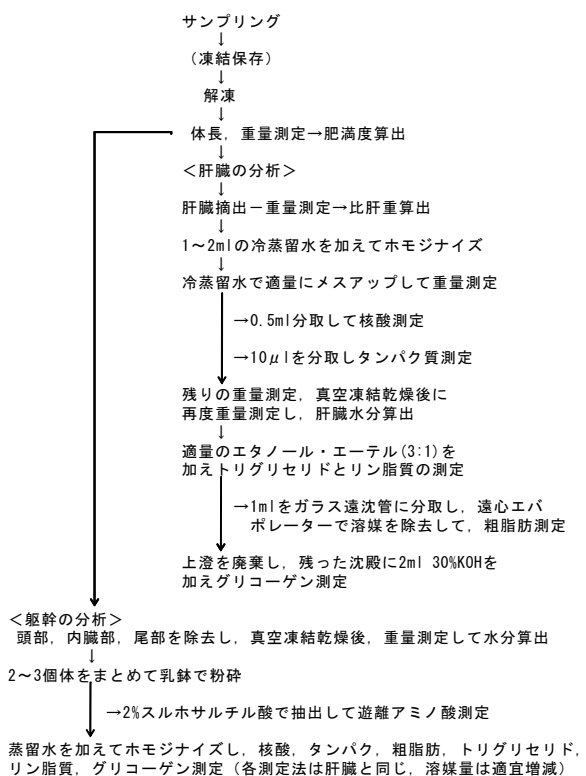


図1. ハタハタ体成分分析の手順

らに、組織脂質として細胞膜などに存在するPLは、脂質輸送や飢餓時のエネルギー源となる。これをDNA量で除したPL/DNAは、ヒラメでも給餌率と高い相関が認められている⁹⁾ことから本研究においても増重率と比較した。この他、躯幹の成分分析においては、遊離アミノ酸量を測定した。遊離アミノ酸量は、2%スルホサルチル酸で抽出し、アミノ酸自動分析装置(L-8900, HITACHI)で38成分を定量した。そのうちアスパラギン酸(Asp)、トレオニン(Thr)、セリン(Ser)、グルタミン酸(Glu)、グルタミン(Gln)、グリシン(Gly)、アラニン(Ala)、バリン(Val)、システイン(Cys)、メチオニン(Met)、イソロイシン(Ile)、チロシン(Tyr)、フェニルアラニン(Phe)、トリプトファン(Trp)、ヒスチジン(His)、アルギニン(Arg)、プロリン(Pro)の17成分を糖原性アミノ酸¹⁰⁾として扱い、これらの合算量を総遊離アミノ酸量で除して糖原性アミノ酸率とした。なお、躯幹成分の分析では、上記の遊離アミノ酸測定に相応の試料量が必要となったため個体ごとの分析は行わず、真空凍結乾燥後の躯幹部を数個体まとめて乳鉢ですりつぶし、実験区あたり2~3ロットにして分析した。

天然魚の体成分と成長量の推定 2010年10月19日に北海道勇払郡むかわ町沖のししゃも桁網で漁獲されたハタハタの天然魚35尾(0歳、体長範囲52-78mm・平均65.7mm、体重1.9-7.3g・4.2g)を用いて、前述の人工種苗と同様に肝臓と躯幹の成分を分析した。なお、これらの標本は冷蔵状態で実験室まで搬送したのち分析に供した。分析項目、分析方法は人工種苗の場合と同様である。次に、飼育した稚魚の肝臓および躯幹成分のうち、相関の高かった項目について、それぞれ増重率との単回帰式を作成し、天然稚魚分析値をこれに代入することによって天然稚魚の増重率を推定し、推定値の妥当性について検討した。

統計解析 各実験区間の体長、体重、肥満度および比肝重の平均値の差はTukey-Kramer ($P < 0.05$)、また増重率と各成分の関係は単回帰分析、回帰係数の有意性は t 検定 ($P < 0.05$) によった。

結 果

各実験区の生残 給餌量の多かったA区とB区では実験期間を通じて生残率は100%であった。これに対して、C区では期間の中頃に1尾のみが死亡した。D区は実験期間を通じて死亡個体が見られ、特に期間の後半には死亡個体が増加する傾向にあり、実験終了時の生残率は91%であった(図2)。なお、実験期間中、水槽内を観察した限りでは、共食いや鰭へのかみつき行動など、他の個体を攻撃するような行動は観察されなかったため、ここでは実験開始時の収容尾数から死亡魚とサンプリン

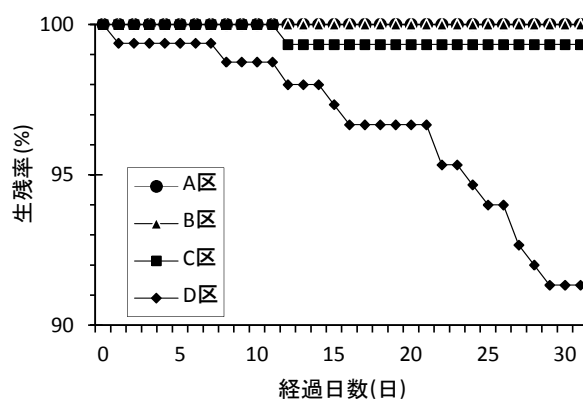


図2. 飼育期間中の生残率

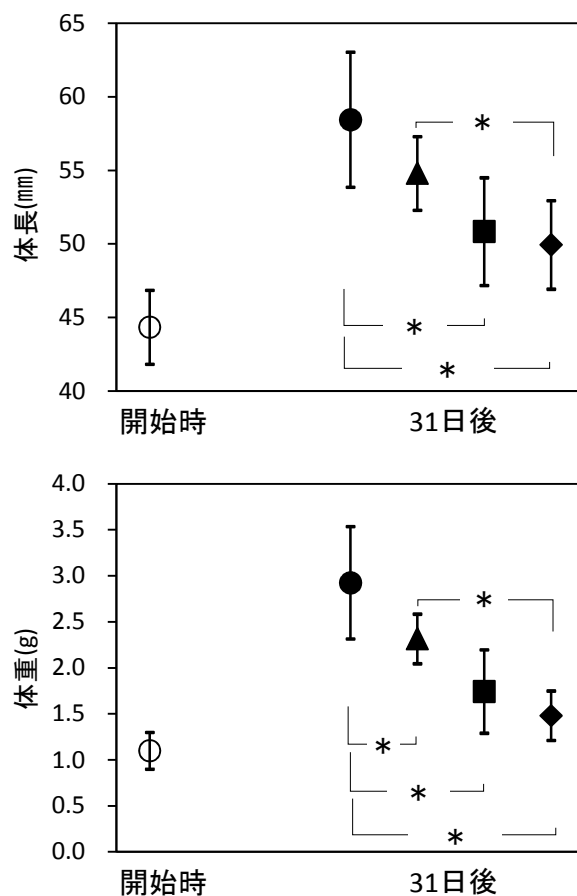


図3. ハタハタ給餌量別飼育試験における供試魚の成長
○: 開始時, ●: A区, ▲: B区, ■: C区, ◆: D区
縦棒は標準偏差
*は実験区間で有意差あり (Tukey-Kramer $P < 0.05$)

グによる減少分を差し引いた残りを生残率とした。

魚体の成長と体型の変化 魚体の測定結果を図3に示した。実験開始時の平均体長±標準偏差は44.3mm±2.5・平均体重は1.10g±0.20であったが、終了時の31日後ではA区では58.4mm±4.6・2.93g±0.61、B区54.8mm±2.5・2.32g±0.27、C区50.8mm±3.7・1.74g±0.45、D区49.9mm±3.0・1.48g±0.27となり、体長はA-C、A-D、B-D区間で、また体重ではA区とB、C、D区間

および B-D 区間で有意差が認められた。

肥満度と比肝重の変化を図 4 に示した。肥満度、比肝重は A 区でそれぞれ 1.45 ± 0.11 , 2.21 ± 0.50 , B 区で 1.40 ± 0.06 , 1.57 ± 0.31 , C 区で 1.29 ± 0.08 , 1.22 ± 0.42 , D 区で 1.18 ± 0.07 , 0.84 ± 0.20 であり、体成長と同様に A 区で最も高い値を示し、D 区が最も低かった。実験開始 31 日後の各区間の平均値を比較すると、肥満度は、A-C, A-D, B-D, C-D 区間で、また比肝重では A 区と B, C, D 区間および D 区と B, C 区の間で有意差が認められた。

給餌率と増重率の関係を図 5 に示した。最も成長が良かった A 区で給餌率 1.85%・増重率 2.93%, B 区で 1.53%・2.30%, C 区で 1.13%・1.50%, 最も成長が悪かった D 区では 0.64%・0.95% であり、増重率と給餌率には正の相関が認められた ($r=0.987$, $P<0.05$)。

肝臓成分の変化 各試験区の増重率と肝臓成分の関係を図 6 に示した。

栄養蓄積状態を指標するすべての測定項目で増重率と各成分の回帰係数は有意であった(水分のみ負の相関)。特に関係が強かったのは水分量と粗脂肪量であった。TG 量は増重率にかかわらず 1~4% 程度であった。また、

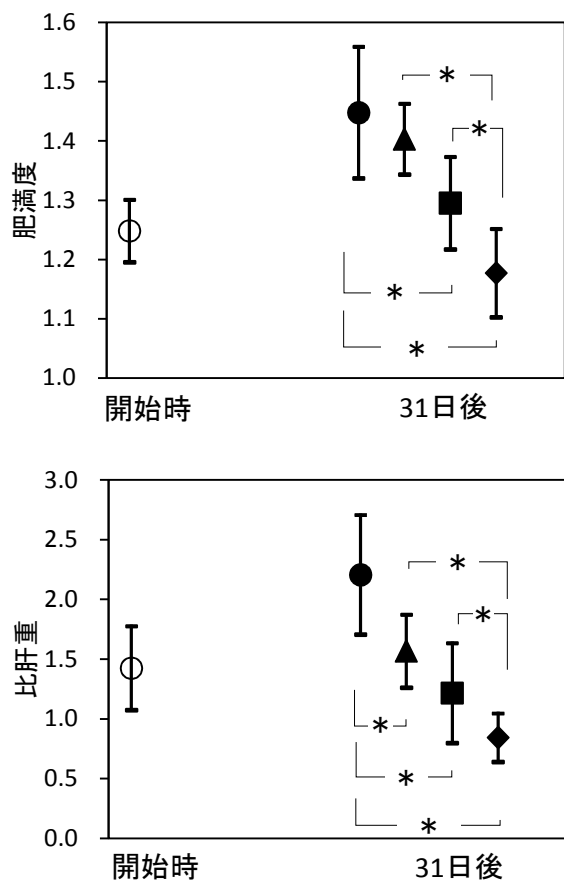


図 4. ハタハタ給餌量別飼育試験における肥満度と比肝重
○: 開始時, ●: A 区, ▲: B 区, ■: C 区, ◆: D 区
縦棒は標準偏差
*は実験区間で有意差あり (Tukey-Kramer $P<0.05$)

グリコーゲン量は増重率の低い B, C, D 区ではほとんど存在しなかったのに対し、増重率の高い A 区で蓄積量が多い個体が出現したが、一方で、同一試験区内でも蓄積の少ない個体もあるなど個体差が大きかった。機能的指標、すなわち RNA/DNA, タンパク質/DNA および PL/DNA はいずれも決定係数が 0.5 以上であり、増重率との強い関係が示された。

躯幹成分の変化 肝臓の場合と同様に、増重率と躯幹成分の関係を図 7 に示した。躯幹成分で増重率との回帰係数が有意であったのは、栄養蓄積物質では、粗脂肪量と TG 量であったが、TG 量では最も成長の良かった A 区でむしろ B 区よりも少なくなった。機能的指標で回帰係数が有意であったのは RNA/DNA, PL/DNA, 糖原性アミノ酸率であり、特に RNA/DNA で決定係数が高かった。グリコーゲンはすべてのサンプルで検出されなかったので図示していない。

天然魚の体成分と成長量の推定 図 6 および図 7 で決定係数が 0.5 以上であった項目、すなわち肝臓では水分量、粗脂肪量, RNA/DNA, タンパク質/DNA, PL/DNA, また躯幹では粗脂肪量, RNA/DNA, PL/DNA, 糖原性アミノ酸率について、それぞれ増重率との単回帰式を算出して表 1 に示した。次に、天然魚の分析で得られた各成分の値をこの回帰式に代入し、増重率を推定した。その結果、給餌試験で得られた飼育魚の実際の増重率が 1.0~2.9% であったのに対し、肝臓成分から計算した天然魚の増重率は、水分からの推定で最小 1.1%~最大 2.0%・平均 1.5% (以下、配列同じ)、粗脂肪で 0.3~1.7%・0.7%, RNA/DNA で 1.9~4.0%・2.9%, タンパク質/DNA で 1.4~2.6%・1.9%, PL/DNA から 2.0~5.9%・3.9% であった (図 8)。同様に、躯幹成分から天然魚の増重率を推定した結果、粗脂肪で 0.4~1.6%・1.2%, RNA/DNA で 2.0~3.2%・2.5%, PL/DNA で 1.0~2.2%・1.6%, 糖原

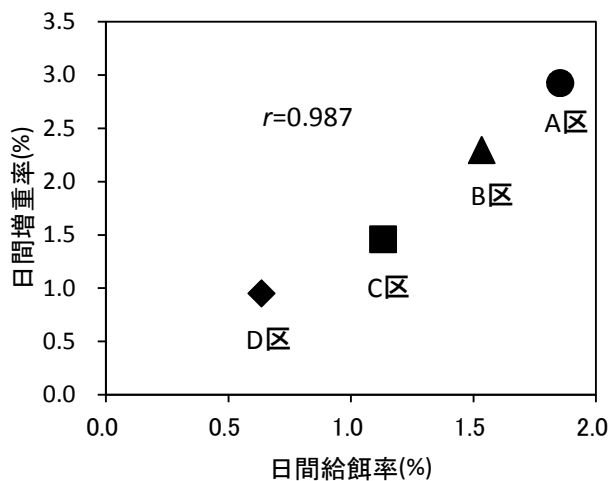


図 5. ハタハタ給餌量別飼育試験における日間給餌率と日間増重率の関係

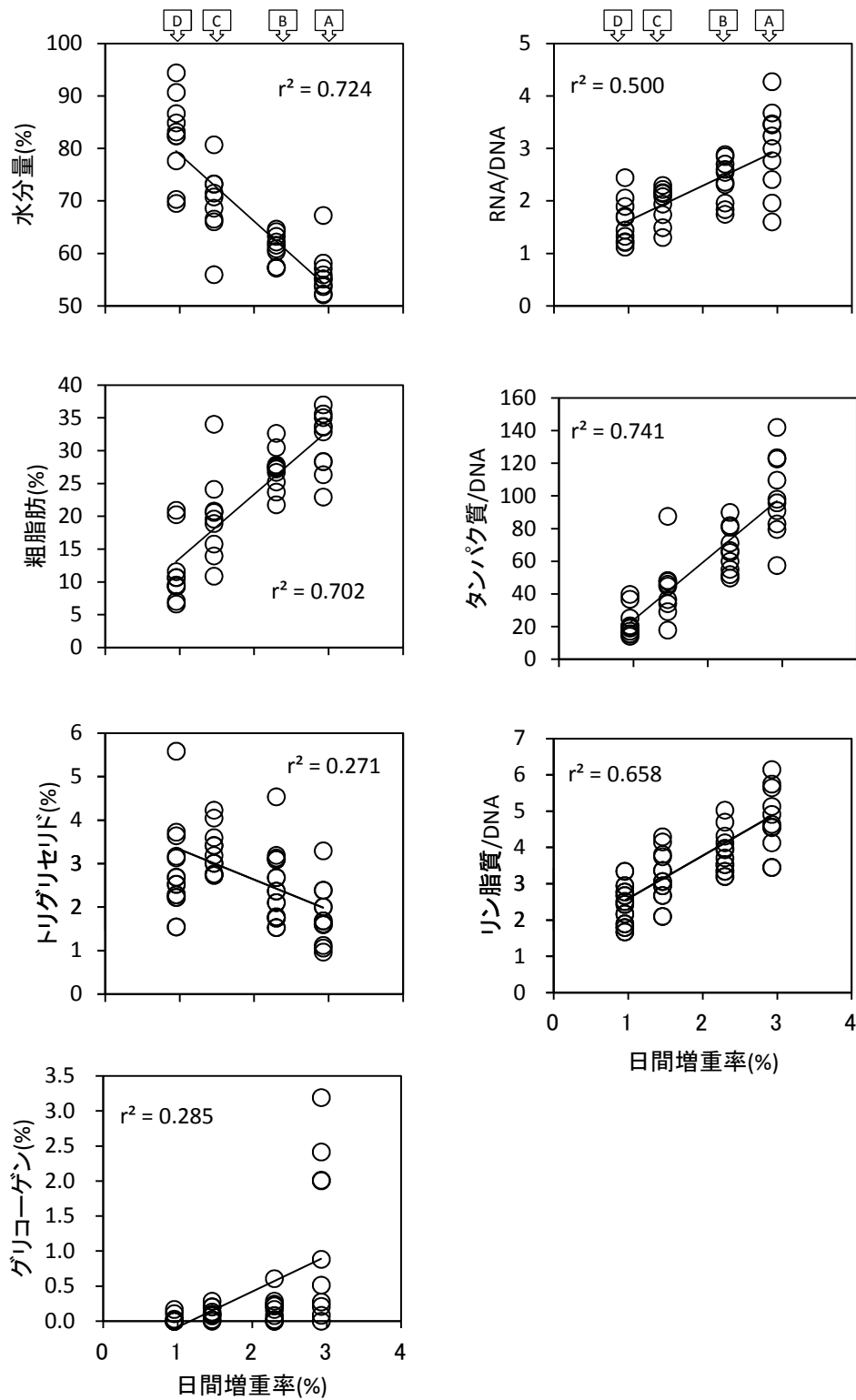


図 6. ハタハタ飼育試験における日増重率と肝臓成分の関係
実験区名を最上部に示した

性アミノ酸率からで 1.2 ~ 2.1%・1.6% であった (図 9)。

考 察

給餌率が 0.6% と最も低かった D 区では、実験期間を通じて死亡魚が出現した。給餌率 1.1% の C 区は期間の

前半に 1 尾死亡したのみで後半には死亡が認められなかったこと、給餌率 1.9 および 1.5% の A 区と B 区で死亡魚が出現しなかったことから、斃死を招かない給餌率の下限は魚体重当たり 1 ~ 2% 程度であると思われた。

今回の実験では、A 区で最も成長が良く、D 区では悪かった。各実験区の違いは給餌率であることから、摂餌

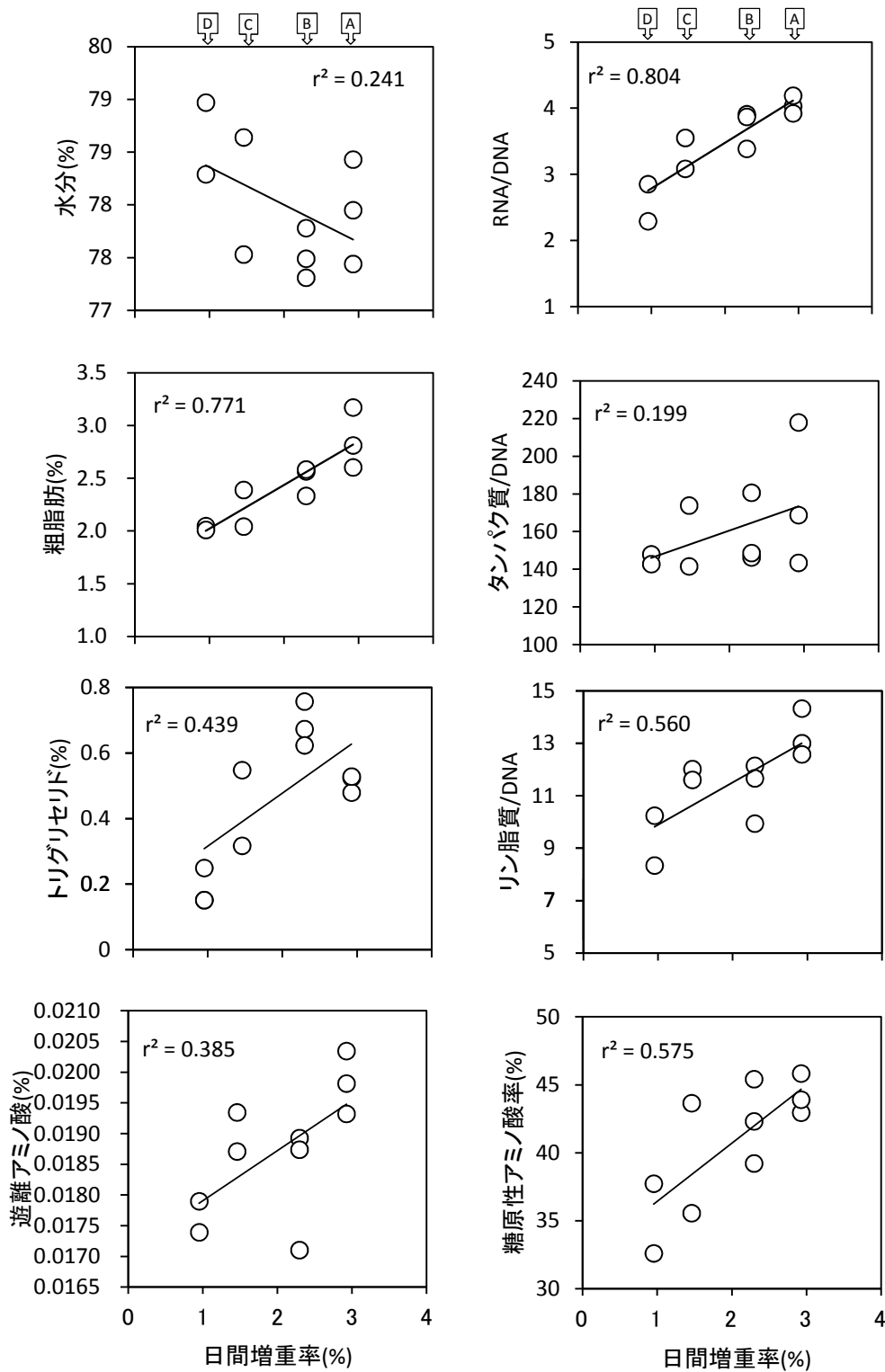


図7. ハタハタ飼育試験における日間増重率と躯幹成分の関係
実験区名を最上部に示した

量が成長差の主要因であると考えられる。この他に、水槽の配置場所などの飼育環境によるストレスが成長に影響を与えた可能性もある。摂取された栄養は、まず代謝の維持に消費され、次に体の増大に振り向けられるが、環境ストレスなどがあれば代謝に多くのエネルギーを必要とするため、体の増大へ向かう分が少なくなり成長量が小さくなる。どのような原因にせよ、代謝や体の増大

に使われる以上に摂取された栄養は体内に蓄積されることから、成長の良い個体では体内の栄養物質の蓄積量は多くなる。蓄積成分で増重率と関係が強かったのは、肝臓では水分量と粗脂肪量、躯幹では粗脂肪量であったことから、栄養蓄積は脂質成分を中心に行われていることが予想された。脂質のうち、サクラマス¹¹⁾で主要な蓄積成分であるとされているTGは、肝臓では増重率との

表 1. 日間増重率と各成分の関係

部位	成分	回帰式	r ²	P
肝臓	水分 (%)	Y = -0.056x + 5.734	0.724	<0.001
	粗脂肪 (%)	Y = 0.071x + 0.299	0.702	<0.001
	RNA/DNA	Y = 0.742x + 0.258	0.500	<0.001
	タンパク質 / DNA	Y = 0.019x + 0.770	0.741	<0.001
	リン脂質 / DNA	Y = 0.558x - 0.131	0.658	<0.001
躯幹	粗脂肪 (%)	Y = 1.861x - 2.523	0.771	<0.001
	RNA/DNA	Y = 1.165x - 2.041	0.804	<0.001
	リン脂質 / DNA	Y = 0.346x - 1.969	0.560	0.013
	糖原性アミノ酸率	Y = 0.134x - 3.454	0.575	0.011

Y; 推定された増重率, x; 天然魚の分析値, P; 回帰係数の有意確率

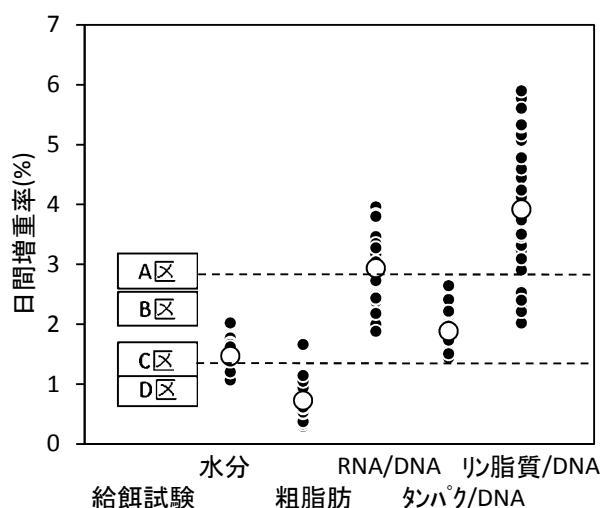


図 8. 単回帰式から推定された天然魚の日間増重率 (肝臓成分)
左端: 給餌試験から得られた飼育魚の日間増重率 (平均値)
●: 各個体の推定値, ○: 平均値

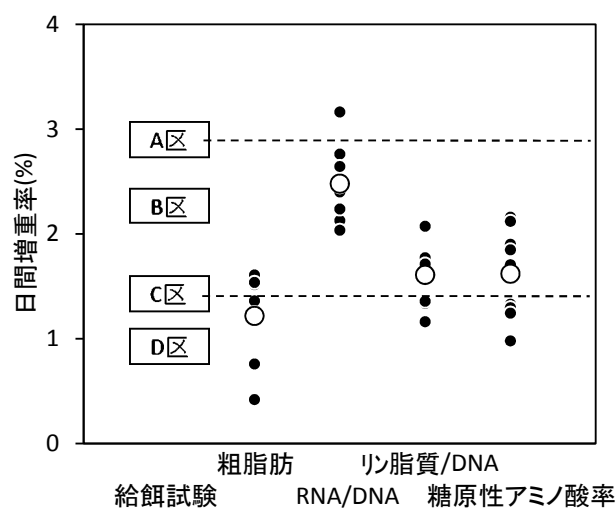


図 9. 単回帰式から推定された天然魚の日間増重率 (躯幹成分)
左端: 給餌試験から得られた飼育魚の日間増重率 (各実験区の平均値)
●: 各ロットの推定値, ○: 平均値

相関は高くなかったことから、肝臓に貯蔵する脂質成分はハタハタにおいてはTG以外の成分であると考えられたが、今回の試験ではこの成分を特定するには至らなかった。また、躯幹では、D区からB区にかけて給餌量の増大に伴ってTG量が多くなる傾向が見られたが、最も成長の良いA区ではB区より低下した。このことは、躯幹に蓄積できるTG量に限界があることを予見させる。後述するように、給餌量の多かった実験区では、天然魚では通常見られない腹腔内脂肪が認められているため、過剰なTGは肝臓ではなく腹腔内に蓄積するものと思われるが、蓄積が少ない場合の増重率との関連については今後さらに検討する必要がある。他の蓄積成分として、肝臓中のグリコーゲン量が利用できる可能性がある。肝臓中のグリコーゲン量は成長の悪い試験区では0.5%以下しか認められなかったが、成長良好群であるB区の1尾とA区の4尾で0.5%を越える個体が出現した(図6)。一方で、最も成長の良かったA区でも6尾はグリコーゲン量が0.5%以下であり、個体間のばらつきが大きいことから回帰式を使った評価は難しい。しかし、少なくとも成長の悪い群では全ての個体で少ない量

しか検出されていないので、個体ごとに評価をする場合には0.5%以上の蓄積が見られたものを栄養状態の良い個体と判定できるだろう。

生合成の機能的指標としてのRNA/DNAとPL/DNAは肝臓、躯幹成分とも増重率と相関が高かった(図6, 7)。これまでヒラメなど^{7,9)}で明らかにされているのと同様、成長とこれらの数値はハタハタにおいても相関が高いことから、成長の良好な個体では肝臓内、躯幹ともに盛んにタンパク質合成が行われているものと思われる。この他に、肝臓ではタンパク質/DNAの相関が高かった(図6)。タンパク質/DNAは細胞の大きさの指標となり、成長の悪い個体で低下する⁸⁾が栄養蓄積期には細胞が肥大することで栄養物質を蓄える¹²⁾。今回の実験では、成長の良い個体は比肝重も高い(図4)ことから、肝細胞内に栄養物質を蓄積しているものと推察された。また、今回は躯幹でしか分析しなかったが、糖原性アミノ酸率が増重率と相関が高かった(図7)。一般に、栄養状態が悪化した場合、糖や脂質などの蓄積栄養をはじめに消費し、これらが不足するとタンパク質や遊離アミノ酸からもエネルギーを得ようとするが、魚類では、

このようなアミノ酸などからのエネルギー獲得経路が絶食時のみならず摂食時でも働いている¹³⁾。糖原性の遊離アミノ酸は糖新生の材料として使用される¹⁰⁾ことから、成長の悪い群では餌料からのエネルギー摂取が十分ではなく、遊離アミノ酸からの糖新生への依存度が高くなった結果、遊離アミノ酸に占める糖原性アミノ酸の割合が減少したものと考えられた。

このように、肝臓、躯幹成分ともいくつかの成分で増重率と高い相関が見られたことから、これらを用いて天然魚の成長状態を評価することができる考えた。一方、飼育魚は高い密度、弱い流速、少ない温度変化や餌の質などの生息環境が特殊なため、しばしば天然魚と異なった体成分を持つことが知られている^{13,14)}。実際、今回の実験でも天然魚ではほとんど認められない腹腔内脂肪が飼育魚では観察された。ヒラメでも飼育から得られた結果を天然魚に当てはめた場合に、成分によっては大きく推測結果が外れる⁹⁾ことから、今回、飼育魚の分析から得られた指標もそのまま天然魚に適用することはできない。そこで、表1の回帰式に天然魚の分析値を代入することで天然魚の推定増重率を算出し、飼育魚の増重率、とりわけ斃死が認められず、成長が良好であったA区～C区の増重率1.5～3.0%付近に値が入るかどうかを調べた。

その結果、肝臓成分では、水分量、粗脂肪量からの推定値は給餌試験における増重率に比べて低い値であり、PL/DNAからの推定は高く計算された。RNA/DNAからの推定値は全体に高く、平均値が飼育試験におけるA区の増重率付近となった。タンパク質/DNAは平均値がB区とC区の間付近を示し、ばらつきも少なかった(図8)。躯幹成分からの推定では、粗脂肪量からの場合が肝臓の場合と同様に低い値であった。またRNA/DNAはA区～B区の範囲でほとんどの個体が入り、良い指標になると思われた。PL/DNAと糖原性アミノ酸率はともに平均値がC区より少し高い値であり、若干低めの推定値となった(図9)。粗脂肪は多くの魚種で飼育魚の方が天然魚より高い蓄積量をもっていることから、ハタハタにおいても飼育魚で得られた指標で天然魚を評価すると過小に評価されるのであろう。また、肝臓中のPL/DNAが過大に、また躯幹中のPL/DNAや糖原性アミノ酸率からの推定が過小に評価される理由については不明である。このような、過大あるいは過小に評価される指標を除くと、今回、天然魚の成長を推定するのに妥当だと判断された生化学的指標は、肝臓中のRNA/DNA、タンパク質/DNAおよびグリコーゲン量と躯幹中のRNA/DNAであった。

最後に、今回提案の指標を使い、天然魚の成長を判断するための一例を以下に示す。成長が良好であると判断できる個体の増重率を、今回の飼育実験で得られた平均値である2%以上とした場合、表1の回帰式から必要となる各成分の値を計算すると、肝臓のRNA/DNAで2.4

以上、タンパク質/DNAで65以上、躯幹のRNA/DNAでは3.5以上となる。また、肝臓中のグリコーゲンが0.5%以上の個体は良好な成長であると判断することとする。これらの指標を用いて今回分析した天然魚の成長を評価してみると、肝臓中のRNA/DNAから見た場合で35尾中33尾が良好、タンパク質/DNAからでは35尾中11尾が良好、グリコーゲンで評価した場合は35尾中8尾が良好と判断された(表2)。躯幹成分は数個体をプールして分析したので個体ごとに見ることはできなかったが、プールした9ロットのすべてでRNA/DNAは3.5以上であり(表2)、成長は良好であると判断された。このように、2010年の北海道胆振東部海域のハタハタ0歳魚の成長を生化学的指標から評価した場合、今回提案の3指標(躯幹成分からの評価は除く)を全て満たしたのは35尾中7尾、2指標を満たしたのは5尾、全ての指標で基準値以下だったのは2尾であった。

以上の通り、本報告では、ハタハタの成長率を生化学的指標で評価する方法について提案し、天然魚への応用可能性について検討した。残された問題点としては、以下の点があげられる。まず、今回の実験では飼育試験に配合飼料を用いたが、天然でハタハタ稚魚が食べている餌料とは成分が大きく異なっていると考えられる。したがって、今後、ハタハタが食べている天然餌料の成分分析などを行うことで、より精度の高い指標を選定していく必要がある。また、天然魚を分析に用いる場合には、漁獲によるストレスがあるし、実験室に運搬して分析に供するまで、ある程度の時間経過は避けられない。これらのことが、分析した体成分に誤差をもたらす可能性が考えられることから、サンプリングの方法、サンプルの保存状態とターゲットとなる成分の経時的な変化量なども調べていくことも不可欠であろう。今後は、このような点の改良を行っていくと同時に、今回例示したような天然稚魚のデータを継続して蓄積し、後年に得られる年級群別の資源豊度と比較していくことで、資源予測に利用可能かどうかを判断していく必要がある。

謝 辞

本稿のとりまとめにあたり、北海道立総合研究機構中央水産試験場の蔵田 護資源増殖部長には有益なご助言をいただきました。遊離アミノ酸の分析は北海道立総合研究機構釧路水産試験場の麻生真悟研究主幹にご協力をいただきました。また、飼育実験にあたり、北海道立総合研究機構栽培水産試験場の職員諸氏には様々なご協力をいただきました。これらの方々に厚くお礼申し上げます。なお、道栽培水産試験場の國廣靖志研究主幹には天然魚の入手および測定に多大なご配慮いただきましたが、本稿作成中の2012年1月30日に残念ながら故人となりました。生前のご厚意に感謝し、謹んでご冥福をお祈りいたします。

表2. ハタハタ天然魚の成分
四角囲いは日間増重率が2%以上であると推定される成分値

体長* (mm)	体重* (g)	肥満度*	比肝重*	肝臓成分		
				RNA/DNA	タンパク/DNA	グリコーゲン
52	1.91	1.36	1.32	2.95	35.23	0.07
58	2.72	1.39	0.91	2.93	40.97	0.00
58	2.92	1.50	1.44	3.29	56.48	1.01
60	3.02	1.40	1.48	3.86	55.39	0.28
63	3.45	1.38	0.72	2.19	35.27	0.44
63	3.48	1.39	1.09	3.22	47.68	0.01
62	3.50	1.47	1.07	3.40	47.73	0.00
63	3.51	1.40	0.64	2.35	35.33	0.00
65	3.52	1.28	1.08	2.86	51.21	0.00
64	3.57	1.36	1.14	3.30	50.66	0.02
63	3.64	1.46	2.18	4.82	66.93	1.72
63	3.66	1.46	0.65	2.59	38.95	0.00
64	3.82	1.46	1.29	3.93	67.84	0.00
67	3.84	1.28	1.29	3.56	52.71	0.26
63	3.87	1.55	1.24	3.27	50.21	0.00
66	3.88	1.35	1.11	3.01	49.45	0.05
64	3.98	1.52	0.63	3.05	39.63	0.02
64	4.02	1.53	1.09	2.94	60.43	0.02
65	4.08	1.49	1.84	4.32	72.22	0.54
66	4.16	1.45	1.19	4.07	63.18	0.00
68	4.25	1.35	0.72	3.33	50.83	0.00
67	4.31	1.43	1.44	3.42	75.44	0.04
68	4.36	1.39	1.94	4.94	68.37	1.19
67	4.45	1.48	2.23	3.92	74.67	0.15
69	4.62	1.41	1.05	3.64	55.60	0.00
68	4.66	1.48	1.36	4.17	76.35	0.01
70	4.74	1.38	1.17	4.01	51.92	0.05
68	4.87	1.55	2.18	4.99	76.78	2.49
68	5.03	1.60	0.99	3.54	61.44	0.26
70	5.26	1.53	1.86	4.92	86.44	2.27
71	5.29	1.48	0.89	4.18	49.20	0.01
73	5.58	1.43	0.82	3.70	62.62	0.00
72	5.66	1.52	1.61	3.76	98.79	0.50
71	5.76	1.61	1.17	3.26	63.40	0.19
78	7.34	1.55	1.37	4.78	86.58	1.37
				躯幹成分		
				RNA/DNA		
-	-	-	-	3.58		
-	-	-	-	3.81		
-	-	-	-	3.86		
-	-	-	-	4.12		
-	-	-	-	4.02		
-	-	-	-	4.47		
-	-	-	-	3.67		
-	-	-	-	3.90		
-	-	-	-	3.50		

* : いずれも生時測定による。

文 献

- 1) 前田圭司 (2003) ハタハタ. 「新北のさかなたち (上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編)」。北海道新聞社. 札幌, 216-219 pp.
- 2) 塚本勝巳 (1991) 遊泳生理. 「魚類生理学 (板沢靖男・羽生 功編)」恒星社厚生閣. 東京, 539-584 pp.
- 3) Lowry, O. H., N. J. Rosenburg, A. L. Farr and R. J. Randall (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275.
- 4) 鈴木満平・山下倫明・藤田盛人・菊地 弘・中野 広・オルドニオ リサ (1994) 仔稚魚脂質の微量分析法. 中央水研研報, **6**, 1-7.
- 5) Watanabe, H., H. Yamanaka, and H. Yamakawa (1992) Seasonal variations of extractive components in the muscle of Disk Abalone. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 921-925.
- 6) 中野 広 (1988) 稚仔魚研究のための核酸の定量法. 海洋と生物, **54**, 23-26.
- 7) 中野 広・安藤義秀・白旗総一郎 (1985) 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, **50**, 71-77.
- 8) Umino, T., M. Otsu, M. Tabata and H. Nakagawa (1993) Some Characteristics of Runty Fish Appearing in Seed Production of Red Sea Bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 952-928.
- 9) Fukuda, M., H. Sato, T. Shigeta and R. Shibata (2001) Relationship between growth and biochemical indices in laboratory-reared juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olicaseus*), and its application to wild fish. *Marbiol*, **138**, 47-55.
- 10) 田川邦夫 (1993) からだの生化学. 宝酒造. 京都, 127-163 pp.
- 11) 三坂尚行・水野伸也・宮腰靖之・竹内勝巳・鷹見達也・笠原 昇 (2004) 飢餓中のサクラマス当歳魚の肝臓におけるトリグリセリドおよびグリコーゲン含量の変動. 日水誌, **70**, 168-174.
- 12) 福田雅明・中野 広・山本和久 (1986) ニシンの発育初期における体成分の変化. 北大水産彙報, **37**, 30-37.
- 13) 山口勝巳編 (1991) 水産生物化学. 東京大学出版会, 東京, 236 pp.
- 14) 平山和次編 (1990) 養殖魚の価格と品質 III -1. 肉質. 水産学シリーズ, **78**, 恒星社厚生閣, 東京, 38-65 pp.