

原著論文

# マツカワ放流場所の餌料環境を評価するための 生化学的指標

高谷義幸<sup>\*1</sup>・佐藤敦一<sup>\*2</sup>・吉田秀嗣<sup>\*3</sup>・村上 修<sup>\*4</sup>

## Biochemical indices for evaluating feeding conditions in release areas for juvenile barfin flounder *Verasper moseri*

Yoshiyuki TAKAYA, Nobukazu SATO,  
Hidetsugu YOSHIDA and Osamu MURAKAMI

We examined whether analyzed values of body composition, which had been shown in our previous laboratory experiments to have the potential for use in this field, of hatchery-released and recaptured fish can be used as indices to estimate feeding conditions in release areas for the juvenile barfin flounder, *Verasper moseri*. The experiment was conducted in three sea areas—one each with excellent, good, and poor feeding conditions. Analysis of barfin flounder released and recaptured after a certain period in the respective sea areas revealed that trunk RNA/DNA was the biochemical index that best reflected feeding conditions. Liver RNA/DNA also yielded a relatively good result. These findings indicated that the suitability of feeding conditions in the release areas for juvenile barfin flounder *V. moseri* may be evaluated using these biochemical indices in addition to the conventional survey of feeding conditions.

キーワード：マツカワ, 餌料環境, 生化学的指標

2016年4月27日受付 2018年1月26日受理

マツカワ *Verasper moseri* は、北海道から東北の太平洋沿岸を中心に分布する冷水性の異体類である。北海道の日高地方では、1960～1970年代に年間20トン以上の漁獲量が記録されているが、1980年代以降はほとんど漁獲されていなかった。そのため、資源増大に向けて人工種苗放流が実施され、近年は漁獲量が増加傾向にある（松田2003）。一方で、放流海域間で漁獲量や回収率に差が見られるといった問題点が顕在化してきており（村上ら2011）、ヒラメで指摘されている（古田ら1997, Tanaka *et al.* 2006, Watanabe *et al.* 2006）ような放流場所の餌料環境の違いが放流魚の生残率に影響を与えている

可能性が考えられる。

放流場所の餌料環境を評価するためには、従来から、ソリネットなどにより放流海域に生息している餌料生物を採集する方法や放流再捕魚の胃内容物から摂餌量や摂餌された生物の種類を調べる方法が用いられてきた。前者は、放流場所の餌料生物量を直接評価することは可能だが、餌料生物の分布が一樣でない場合には数多くの調査が必要となる。また、通常は複数種の餌料生物が採集されるが、それぞれの種類が放流魚にとって摂餌しやすいか、栄養学的にどのくらいの価値を持つかは別途実験が必要となる。後者は、実際の摂餌量を種類別に評価す

\*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  
Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 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さけます・内水面水産試験場

\*3 地方独立行政法人北海道立総合研究機構函館水産試験場

\*4 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

ることができるため、放流魚にとって摂餌しやすい餌料やその摂食量を知ることができるが、栄養学的な価値は不明である。また、放流魚の摂餌リズムと再捕時刻との関係から、胃内容物がすでに消化されていて、種類の判別が難しい場合が少なくない。そして、これらの方法に共通するのは、その評価が調査時点の瞬間値として表されることである。別の手法として、耳石日周輪解析によって成長を推定する方法（日下部ら 2007）の利用や放流再捕魚の体成分を用いる方法（Gwak *et al.* 2003）が考えられる。前者は、成長履歴を直接推定することが可能だが、日周輪形成の日周性と成長との関係確認が必要であり、放流サイズのマツカワでは現状ではこれらの知見がない。一方、後者は、再捕個体が実際に摂餌、消化、吸収して体内に蓄積した結果を評価するものであり、再捕以前の一定期間の積算値として表される。また、蓄積された栄養物質は再捕時以降の成長にも利用されることから、放流魚が再捕時までに摂餌した履歴とその後の成長予測を含んだ情報を得ることが可能である。したがって、前述した従来から用いられてきた手法に体成分による手法を加えることで、よりの確かな餌料環境の評価が可能となる。

筆者らは、マツカワにおいて、給餌量を変えて飼育した魚の体成分分析値と成長率の関係を室内実験によって検討してきた。その結果、肝臓と躯幹のいくつかの成分が成長率との相関が高く、餌料環境の推定に利用できる可能性が高いことを報告した（高谷・佐藤 2013, 2014, 2015）。しかし、天然海域に放流された種苗は、運動量の増加や餌料が配合飼料から天然生物に変わるなど、飼育条件下とはとりまく環境が大きく変化する。したがって、室内実験で得られた指標が実際の放流再捕魚に適用可能であるかは、天然稚魚の分析値と照らし合わせて確認する必要がある（Fukuda *et al.* 2001, Gwak *et al.* 2003, 高谷ら 2013）。ところが、本種は天然稚魚の採集例が極めて少ないため（萱場・佐々木 2014）このような照合を行うことは難しい。そこで、餌料条件の異なる3か所の海域にマツカワ人工種苗を放流して、その場の餌料を一定期間摂餌させた後に再捕し、再捕魚の体成分値から既往の知見を用いて成長率を推定した。これが、放流海域の実際の餌料環境を反映するかどうかを調べ、体成分が餌料環境推定の指標として有効であるかを検討した。

## 材料と方法

**マツカワ人工種苗の放流および再捕** 放流実験には2010年3～4月に北海道栽培漁業振興公社伊達事業所で生産されたマツカワ人工種苗を用い、以下の3か所に放流した（図1）。太平洋に面した開放的地形の北海道苫小牧市沿岸（以下、苫小牧）には、2010年8月9日に33,000尾（平均全長±標準偏差 80.1 ± 5.3mm,  $n=26$ ）を放流した。また、大きな内湾である噴火湾の2

か所でも放流した。このうち1か所は比較的規模の大きい河川である長万部川の河口付近（以下、長万部）で、2010年9月9日に21,000尾（平均全長 88.7 ± 6.4mm,  $n=50$ ）を、もう1か所は周辺に大きな河川流入がない豊浦町礼文華沿岸（以下、豊浦）で、2010年9月6日に50,000尾（平均全長 85.8 ± 6.9mm,  $n=23$ ）を放流した。それぞれの放流場所周辺において、ソリネット（網口幅 1.5m, 高さ 0.3m, 網目合 5mm）を用いて放流魚を再捕した。再捕時期は、餌料環境が体成分に反映されるのに必要な期間（高谷・佐藤 2013）を考慮し、放流から3週間経過時とした。採集されたマツカワは -80°C で冷凍して分析まで保存した。

**放流場所の餌料環境と再捕魚の摂餌状態** 放流魚の再捕調査時（長万部においては、中間の9月17日、9月22日にも実施）に小型ソリネット（網口幅 0.6m, 高さ 0.4m, 網目合 1mm）を用いて再捕場所周辺の餌料生物を採集した。採集した動物類は、船上でエタノール固定もしくは -30°C で冷凍保存して、後日、種類別に湿重量を測定した。小型ソリネットの投網時および揚網時の GPS 記録から曳網距離を算出し、単位面積あたりの餌生物量を計算した。なお、餌生物量の算出にあたっては、全長 60～110mm のマツカワ稚魚が捕食できる餌のサイズ（吉田ら 2007）を考慮し、おおむね 3cm 以下の動物類のみを対象とした。再捕魚は解剖して胃内容物を調べ、摂餌の有無を判断して摂餌個体率を（1）式により算出した。この際、胃内に摂餌物が認められた個体については、（2）式により胃内容物指数を算出した。また、胃内容中の餌生物の種類別に重量もしくは個体数を記録し、苫小牧と豊浦については重量比で、長万部については個体数比で胃内容物組成を表した。

$$\text{摂餌個体率 (\%)} = \frac{\text{摂餌していた個体数}}{\text{全調査個体数}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{胃内容物指数 (\%)} = \frac{\text{胃内容物重量 (g)}}{\text{胃内容物を除いた体重 (g)}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

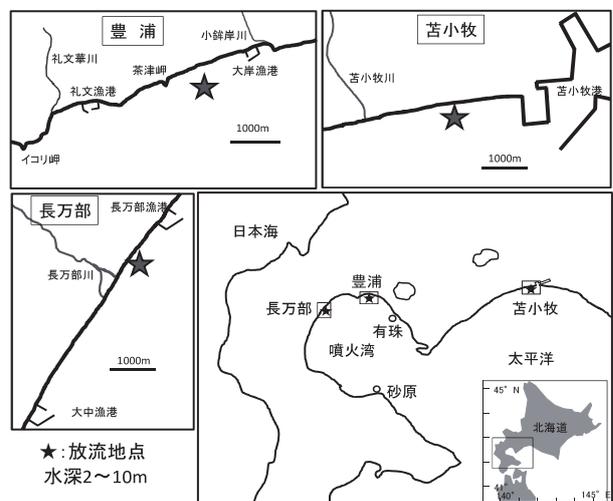


図1. マツカワ人工種苗の放流および再捕場所

**体成分の分析** 体成分の分析は、3 海域で再捕された個体のそれぞれ 10 尾について行った。分析項目は既報（高谷・佐藤 2013, 2014）で有効な指標である可能性が示された 10 項目、すなわち比肝重、肥満度、肝臓の RNA/DNA、リン脂質/DNA およびタンパク質/DNA、躯幹の水分、粗脂肪、RNA/DNA、リン脂質/DNA およびタンパク質/DNA とした。分析方法は既報（高谷・佐藤 2013, 2014）と同様とした。得られた分析値を用いて、遊泳運動を負荷した場合における体成分値と瞬間成長率（Specific Growth Rate, 以下 SGR と表記）との回帰式（表 1, 高谷・佐藤 2015）を使い、分析項目について個体ごとに推定 SGR を算出し、放流場所間で比較した。

**統計検定** 得られた結果について、海域間の有意差を Tukey または Tukey-Kramer の多重比較検定を用い、有意水準は  $\alpha=0.05$  とした。

**結 果**

**放流魚の再捕** 苫小牧放流群は、放流から 22 日後の 2010 年 8 月 31 日に 21 尾（平均全長  $90.0 \pm 5.8\text{mm}$ ）が再捕された。長万部放流群は、放流から 22 日後の 9 月 30 日に 15 尾（平均全長  $96.8 \pm 6.4\text{mm}$ ）が再捕された。豊浦放流群は、放流から 24 日後の 2010 年 9 月 30 日に 60 尾（平均全長  $89.7 \pm 6.1\text{mm}$ ）が再捕された。測定尾数が少ないため正確な比較はできないが、単純に放流時

の平均全長と再捕時の平均全長を比較すると、苫小牧放流群では 9.9mm、長万部放流群では 8.1mm、豊浦放流群では 3.9mm の全長増加であった。なお、放流から再捕までの期間の沿岸水温は、各海域ともおおむね  $20^{\circ}\text{C}$  前後（北海道栽培漁業振興公社 2011）であり、大きな差はなかった。

**餌料生物量と放流再捕魚の胃内容** 小型ソリネットで作られた餌生物量（湿重量）を図 2 に示した。苫小牧では  $577\text{mg}/\text{m}^2$  の餌生物が出現し、等脚目のシオムシ *Tecticeps glaber* がこのうちの 91%にあたる  $526\text{mg}/\text{m}^2$  を占めた。その他には、十脚目のエビジャコ類やアミ目のアミ類がわずかに出現した。長万部では等脚目はコツムシの 1 種がわずかに出現したがシオムシは全く採集されず、エビジャコ類、端脚目のヨコエビ類やドロクダムシ類、アミ類などが出現した。餌生物量は 9 月 17 日が  $524\text{mg}/\text{m}^2$ 、9 月 22 日で  $583\text{mg}/\text{m}^2$ 、9 月 30 日には  $625\text{mg}/\text{m}^2$  であり、放流から再捕までの期間を通じ苫小牧とほぼ同量であった。豊浦ではエビジャコ類とアミ類を主体に  $80\text{mg}/\text{m}^2$  の餌生物が出現した。

放流再捕魚の胃内容中に見られた餌生物の種類組成（表 2）は、苫小牧海域ではシオムシが 97.8%を占めた。長万部ではヨコエビ類が主体であったが他の種類も比較的多く出現し、複数種が混在していた。なお、長万部の胃内容物組成は個体数比で表したため、端脚目の比率が高くなっているが、同時期の胃内容物に出現する生物では十脚目のエビジャコの個体重量が大きい（吉田未発表）ことから、重量比で比較すると環境中の餌料生物組成と同様に十脚目の出現比が大きくなると思われる。長万部と同じ噴火湾内に位置する豊浦でも複数種が混在しており、その主体はエビジャコ類であった。

摂餌個体率は、苫小牧と長万部で 100%だったのに対し、豊浦では 53%であった。また、摂餌していた個体の胃内容物指数は、苫小牧で平均 3.1%、長万部で平均 2.0%、豊浦では平均 0.9%であり、各海域間で有意な差 ( $p<0.05$ ) が認められた（図 3）。

**放流再捕魚の体成分と推定 SGR** 再捕魚の体成分値を表 3 に示した。形態的な指標である比肝重は苫小牧で平均 1.31、長万部で 0.85、豊浦で 0.91 であり、苫小牧で有意に高かった。また、肥満度は苫小牧で 1.33、長万部で 1.29、豊浦で 1.21 であり、苫小牧と豊浦の間で有意差が見られた。肝臓の成分では、RNA/DNA は苫小牧 4.73、長万部 3.19、豊浦 2.29、また、リン脂質/DNA は苫小牧 8.20、長万部 6.61、豊浦 5.67 であり、ともに海

表 1. マツカワ体成分から瞬間成長率を推定するための回帰式

部位	体成分	回帰式	$r^2$
体型等	比肝重	$\text{SGR}(\%)=0.897\text{X}-0.501$	0.768
	肥満度	$\text{SGR}(\%)=3.733\text{X}-4.109$	0.276
	RNA/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.574\text{X}-0.859$	0.682
肝臓	リン脂質/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.102\text{X}-0.126$	0.377
	タンパク質/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.027\text{X}-0.872$	0.689
	水分 (%)	$\text{SGR}(\%)=-0.372\text{X}+29.65$	0.700
躯幹	粗脂肪 (%)	$\text{SGR}(\%)=0.486\text{X}-0.426$	0.714
	RNA/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.905\text{X}-1.323$	0.967
	リン脂質/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.369\text{X}-1.284$	0.674
	タンパク質/DNA	$\text{SGR}(\%)=0.010\text{X}-0.556$	0.252

高谷・佐藤（2015）の遊泳運動を付与した場合の回帰式を示した

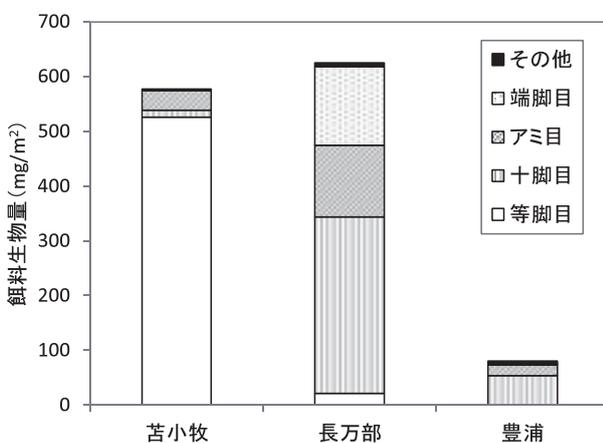


図 2. 放流場所周辺の餌料生物量

表 2. 再捕魚の胃内容物組成

出現種	重量組成(%)			個体数組成(%)		
	苫小牧	長万部	豊浦	苫小牧	長万部	豊浦
等脚目	97.8	—	0	—	11.9	—
十脚目	0	—	48.9	—	7.1	—
アミ目	0	—	15.5	—	18.5	—
端脚目	2.2	—	30.3	—	57.7	—
その他	0	—	5.3	—	4.8	—

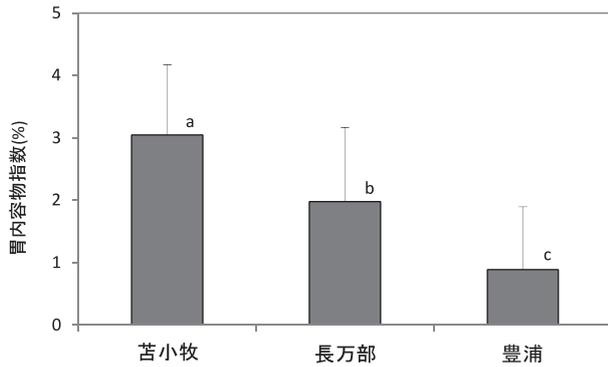


図3. 再捕魚の胃内容物指数

縦棒は標準偏差を示す  
異なるアルファベットは有意差を示す (Tukey-Kramer の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

域間で有意差が見られた。タンパク質/DNA は苫小牧で 60.3, 長万部で 61.5, 豊浦で 47.1 であり, 豊浦で低値であった。躯幹の成分では, 水分が苫小牧で 78.1%, 長万部で 76.8%, 豊浦で 76.4% であり, 苫小牧で高かった。粗脂肪は苫小牧で 2.12%, 長万部で 2.98%, 豊浦で 2.63% であり苫小牧と長万部の間で差が見られた。RNA/DNA は苫小牧で 3.14, 長万部で 2.60, 豊浦で 1.79 であり海域間で有意差があった。リン脂質/DNA は苫小牧で 4.99, 長万部で 3.69, 豊浦では 4.77 であり, 長万部で有意に低かった。また, タンパク質/DNA は苫小牧で 110.2,

表3. 再捕魚の体成分値

部位	体成分	放流および再捕場所		
		苫小牧	長万部	豊浦
体型等	比肝重	1.31±0.07 <sup>a</sup>	0.85±0.10 <sup>b</sup>	0.91±0.06 <sup>b</sup>
	肥満度	1.33±0.08 <sup>a</sup>	1.29±0.06 <sup>ab</sup>	1.21±0.08 <sup>b</sup>
肝臓	RNA/DNA	4.73±0.46 <sup>a</sup>	3.19±0.22 <sup>b</sup>	2.29±0.28 <sup>c</sup>
	リン脂質/DNA	8.20±0.81 <sup>a</sup>	6.61±0.99 <sup>b</sup>	5.67±0.66 <sup>c</sup>
	タンパク質/DNA	60.3±4.2 <sup>a</sup>	61.5±5.3 <sup>a</sup>	47.1±4.2 <sup>b</sup>
躯幹	水分 (%)	78.1±0.5 <sup>a</sup>	76.8±0.8 <sup>b</sup>	76.4±0.7 <sup>b</sup>
	粗脂肪 (%)	2.12±0.75 <sup>a</sup>	2.98±0.85 <sup>b</sup>	2.63±0.64 <sup>ab</sup>
	RNA/DNA	3.14±0.28 <sup>a</sup>	2.60±0.21 <sup>b</sup>	1.79±0.13 <sup>c</sup>
	リン脂質/DNA	4.99±0.61 <sup>a</sup>	3.69±0.48 <sup>b</sup>	4.77±0.54 <sup>a</sup>
	タンパク質/DNA	110.2±23.5 <sup>a</sup>	111.7±14.5 <sup>a</sup>	100.2±16.5 <sup>a</sup>

平均値±標準偏差, 同じ成分で異なるアルファベットは有意差を示す (Tukey の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

長万部で 111.7, 豊浦では 100.2 であり海域間で差は認められなかった。

これらの再捕魚の体成分値を用いて推定 SGR を算出し, 図4 (形態および肝臓成分からの推定値) と図5 (躯幹成分からの推定値) に示した。再捕魚の比肝重から算出された各放流海域での平均推定 SGR は, 苫小牧で 0.67%, 長万部で 0.26%, 豊浦では 0.31% であり, 苫小牧で高かった。また, 肥満度から算出された推定 SGR は, 苫小牧で 0.84%, 長万部で 0.70%, 豊浦では 0.42% であり, 海域間で差が見られた。肝臓の成分では, RNA/DNA からの算出で苫小牧 1.86%, 長万部 0.97%, 豊浦 0.46%,

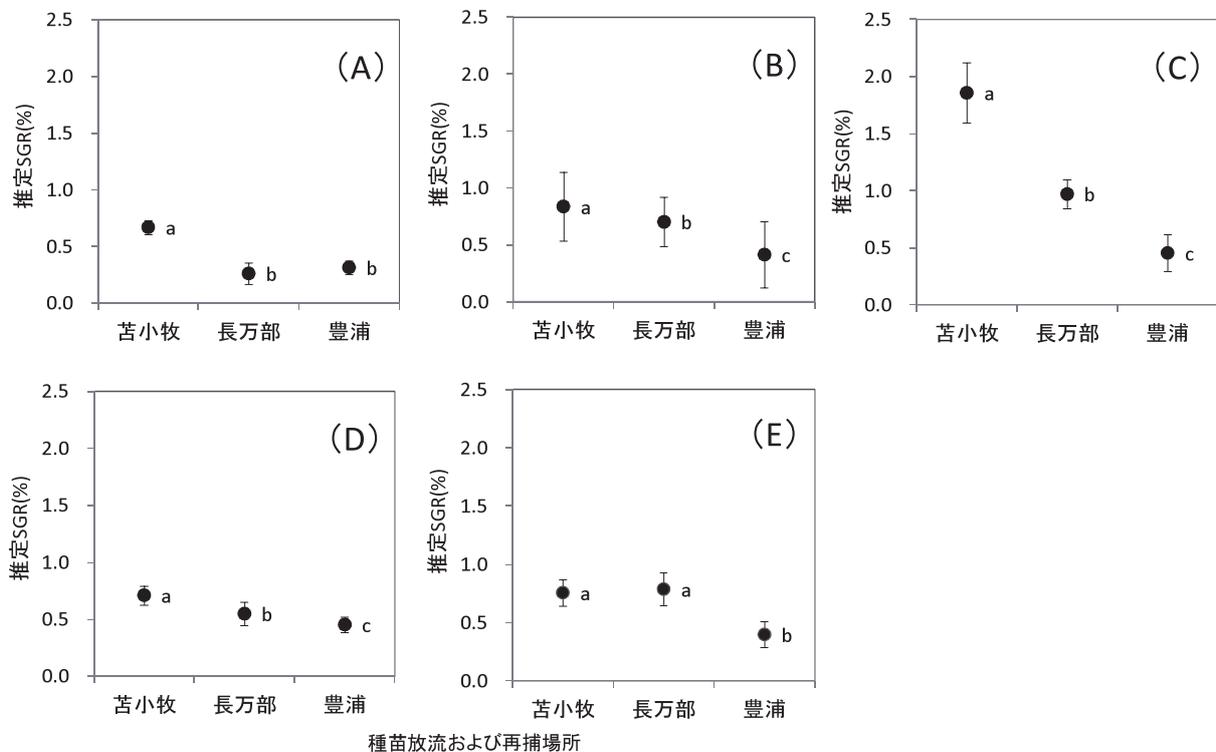


図4. 再捕魚の形態および肝臓成分値から算出された推定 SGR

算出に用いた体成分項目は, A: 比肝重, B: 肥満度, C: RNA/DNA, D: リン脂質/DNA, E: タンパク質/DNA, 縦棒は標準偏差を示す  
それぞれの図中で異なるアルファベットは有意差を示す (Tukey の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

マツカワの餌料環境の生化学的指標

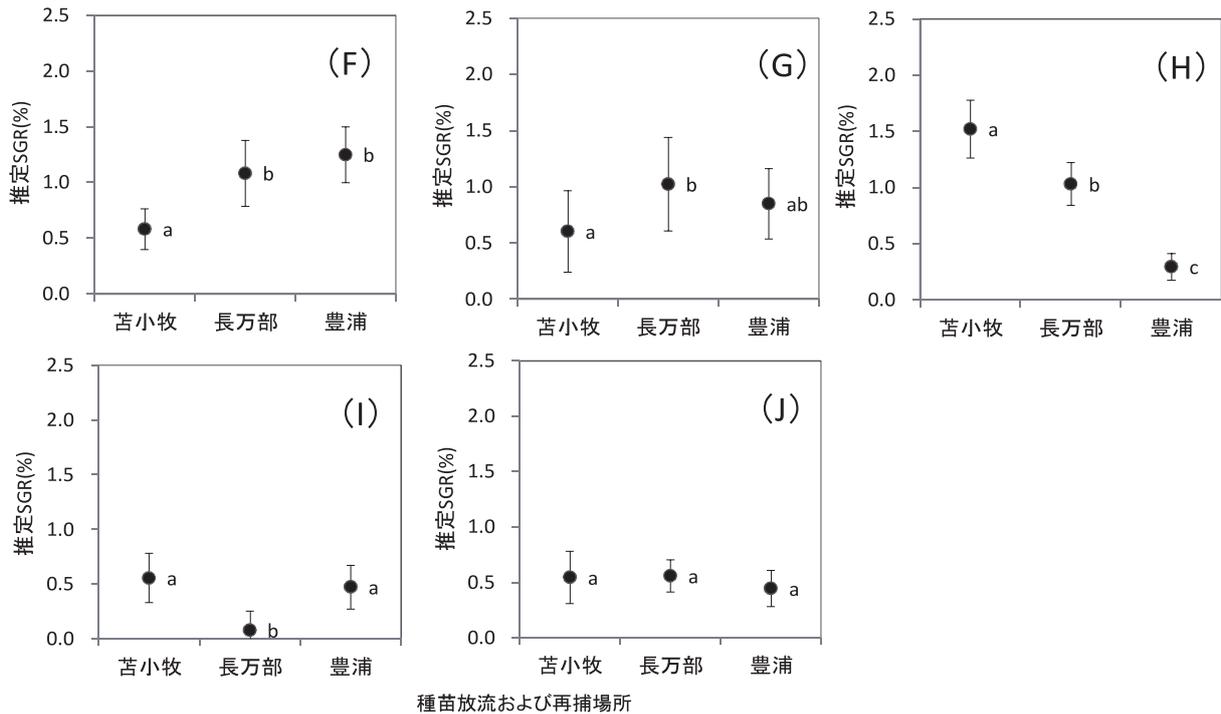


図5. 再捕魚の躯幹成分値から算出された推定 SGR

算出に用いた体成分項目は、F: 水分, G: 粗脂肪, H: RNA/DNA, I: リン脂質/DNA, J: タンパク質/DNA, 縦棒は標準偏差を示す  
それぞれの図中で異なるアルファベットは有意差を示す (Tukey の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

また、リン脂質/DNA から算出では苫小牧 0.71%, 長万部 0.55%, 豊浦 0.45%であり、両者とも海域間で有意差が認められた。タンパク質/DNA からでは苫小牧 0.76%, 長万部 0.79%, 豊浦 0.40%であり、豊浦で低値だった。躯幹の成分からの算出では、水分からが苫小牧で 0.58%, 長万部は 1.08%, 豊浦では 1.25%と推定され苫小牧で低値であった。粗脂肪からの推定値は苫小牧 0.60%, 長万部 1.02%, 豊浦 0.85%であり、苫小牧と長万部の間で有意差が見られた。RNA/DNA からでは苫小牧で 1.52%, 長万部で 1.03%, 豊浦では 0.30%であり、各地で有意に差があった。リン脂質/DNA からでは苫小牧 0.56%, 長万部 0.08%, 豊浦 0.48%であり、長万部で低値であった。また、タンパク質/DNA からの算出では苫小牧 0.55%, 長万部 0.56%, 豊浦では 0.45%であり、海域による差は認められなかった。

## 考 察

**各放流海域の餌料環境** ヒラメでは、放流場所の餌料生物量が放流魚の摂餌状態や生き残りに影響を与えることが知られており (Gwak *et al.* 2003, Tanaka *et al.* 2006), 同じ異体類であるマツカワでも放流場所の餌料条件は放流効果を左右する重要な要素となる。本研究が行われた3海域の餌料生物量や種類組成には、それぞれ特徴が見られた。苫小牧では2010年8月31日に  $577\text{mg/m}^2$  の餌

生物が採集された。過去の実験でも苫小牧では8月上旬から9月上旬にかけて  $900 \sim 13,000\text{mg/m}^2$  程度の餌料生物が採集されており (村上ら 2009, 2010, 2011), この時期の同海域には比較的豊富な餌料生物が存在していると思われる。噴火湾内では、河口域にあたる長万部で、放流から再捕までの期間を通じて  $600\text{mg/m}^2$  程度の餌生物が存在し、その餌料生物量は苫小牧と同程度であった。ところが、同じ噴火湾内でも近隣に大きな河川がない豊浦では、餌料生物量は  $80\text{mg/m}^2$  と両海域よりもかなり少なかった。過去の調査においても豊浦、砂原、有珠などで採集された餌料生物量は  $50 \sim 200\text{mg/m}^2$  に過ぎず (村上ら 2009, 2010, 2011), 河口域以外の噴火湾内においては、マツカワ放流魚の餌料となる生物は比較的少ないものと思われた。また、再捕魚の摂餌個体率が苫小牧と長万部で 100%だったのに対して豊浦では 53%と約半数が摂餌していなかった。これらのことから、今回放流した3海域の中では豊浦の餌料環境が極めて悪かったと判断できる。

餌料生物量が同程度であり、摂餌個体率が 100%であった2海域でも、胃内容物指数は苫小牧が 3.1%だったのに対して長万部では 2.0%であり、両者には有意な差が認められた。両海域でこのような差が生じた原因は餌生物の種類組成によると思われる。マツカワ稚魚は餌料の選択性がそれほど高くなく雑食性が強いと考えられている (吉田ら 2007) ため、ヒラメのように特定の餌生物

の量が重要とはならない。しかし、餌生物のサイズや生活型が放流魚にとって摂餌しやすいことは摂食量に直結する重要な要素である。広大なアマモ場を擁する厚岸湖で放流されたマツカワは、豊富に存在するアミ類を主要な餌料としている（渡辺ら 2003）が、本研究の試験海域である北海道太平洋沿岸ではアミ類は比較的少ない。これにかわって多量に存在するのはシオムシである（村上ら 2009, 2010, 2011）。とりわけ、8月～9月はシオムシが育房からマンカを放出する時期にあたり（宇田川ら 2004）、放出されたシオムシの幼若個体が放流魚の胃内容物の大半を占めている（村上ら 2010）ことから、これがマツカワ放流魚にとって食べやすい好適な餌料であると判断できる。一方、噴火湾内では、これまでコブムシの仲間が少数採集されたことはあるがシオムシが採集された例はない（北水試未発表）。噴火湾内にはシオムシの分布が確認できない（宇田川私信）ことから、エビジャコなどの小型動物類が放流魚の主要な餌料となるが、胃内容物指数から判断して、これらの餌生物の餌料としての価値はシオムシ幼若個体ほど高くないと考えられた。また、測定個体数が少ないため直接的な比較はできないが、3海域の放流時点の平均全長と再捕魚の平均全長の差は、苫小牧放流群で 9.9mm、長万部放流群で 8.1mm、豊浦放流群で 3.9mm であったことも海域間の餌料環境の差を傍証している。

放流されたマツカワ稚魚の摂餌個体率は、放流翌日には低いですが、2～3日後以降は 50%以上となり、1週間後にはほぼ 100%となる（松田・高谷 2002, 吉田・高谷 2003）。また、マツカワ 0 歳魚は放流場所から大きく移動することはない。噴火湾内でマツカワ 0 歳魚を放流した場合、1歳になるまでは放流場所から 10km 以内でほとんどが再捕されていた（松田ら 2000）し、苫小牧と同じく比較的開放的な海岸線をもつ太平洋沿岸での放流実験でも、マツカワ 0 歳魚は放流場所と同一の市町村内での再捕が 73%であり（松田・高谷 2002）、噴火湾内と同様、放流魚の移動は小さいと思われる。したがって、今回の実験で得られた再捕魚は放流から再捕まで放流場所周辺に生息し、その場の餌料生物を摂餌していたと思われる。さらに、放流から再捕までの 3週間という期間は餌料環境の変化が体成分に反映するのに十分な時間と考えられる（高谷・佐藤 2013）ことから、本研究の再捕魚の体成分はそれぞれの海域の餌料環境を反映していると考えられた。

以下、このような各放流海域の餌料条件の優劣（苫小牧  $\geq$  長万部  $>$  豊浦）と体成分分析値から推定した SGR との関係、室内実験で配合飼料を十分に給餌した場合の SGR (1.5 ~ 1.0%)（高谷・佐藤 2015）を参考にして、分析項目ごとに検討していく。

**形態的および肝臓の生化学的指標の有効性** 今回の実験で指標として最も有効と思われたのは RNA/DNA であった。RNA/DNA からの推定 SGR (図 4, C) は、苫小牧、

長万部、豊浦の順に低くなり餌料条件の優劣とよく一致した。苫小牧の SGR は 1.86%と飼育魚の値よりも若干高い数値であることに留意する必要があるが、天然環境下の餌料条件の優劣を表す指標として利用可能であると思われた。

肥満度からの推定 SGR (図 4, B) は、苫小牧  $>$  長万部  $>$  豊浦の順であり、餌料条件の優劣と一致した。また、肝臓のリン脂質/DNA からの推定 SGR (図 4, D) は、苫小牧  $>$  長万部  $>$  豊浦であり、さらに、肝臓のタンパク質/DNA からの推定 SGR (図 4, E) は、苫小牧 = 長万部  $>$  豊浦であり、これらも餌料条件の優劣とほぼ一致した。しかし、この 3項目の推定 SGR が最も高かったのは、肥満度からの推定値で 0.84% (苫小牧)、リン脂質/DNA からの推定値で 0.71% (苫小牧)、タンパク質/DNA からの推定値で 0.76% (長万部) であり、飼育魚の値に比べていずれも低い数値であった。今回放流した場所の餌料が飼育環境下の飽食状態に比べて少なかった、あるいは配合飼料に比べて栄養学的な餌料価値が低かったために全体の推定値を押し下げた可能性はあるが、放流後は飼育時に比べて肥満度が低下するのは通常観察される事例（村上ら 2011, 2012）であること、また、肝臓重量や脂質成分は飼育環境下では天然魚に比べて大きくなる傾向があること（高谷・佐藤 2013, 高良ら 1995）や運動の影響を受けること（高谷・佐藤 2015）を考えると、これらの分析項目は、餌の成分や運動量が飼育と大きく変化する放流魚の餌料環境推定の指標としては適当ではないものと思われた。

一方、比肝重からの推定 SGR (図 4, A) は、苫小牧で高かったが長万部と豊浦では低い結果となり、餌料条件の優劣とは一致しなかった。また、苫小牧の推定 SGR は 0.67%であり、飼育の結果よりもかなり低い値であったことから、比肝重は餌料環境推定の指標にはならないと思われた。

**躯幹の生化学的指標の有効性** 躯幹の RNA/DNA からの推定 SGR (図 4, H) は苫小牧、長万部、豊浦の順に低くなり、餌料環境を良く反映した。苫小牧の推定 SGR は 1.52%であり、飽食飼育魚の SGR とほぼ一致したことから、この指標は天然環境下においても餌料条件の優劣と摂餌状態を的確に表す良い指標になると考えられた。

躯幹のリン脂質/DNA (図 5, I) とタンパク質/DNA (図 5, J) は、いずれも飼育魚の値よりも低く推定され、餌料環境の優劣との関連も認められなかった。これらの成分がマツカワの体内でどのような役割を果たしているのか、また、飼育魚で摂餌量との関係が認められたにもかかわらず、放流場所の餌料環境を再捕魚では反映しなかった理由の解明は今後の課題として残されたが、現時点では餌料環境を表す指標としての利用は難しいものと判断された。

水分および粗脂肪からの推定 SGR (図 5, F および G)

を見ると、これらはいずれも苦小牧で最も低くなっていた。飢餓実験では、水分は蓄積栄養物質を使い切ったあとに上昇する（高谷・川真田 2000）ことから、今回の結果は蓄積栄養物質、とりわけ脂質成分を消費した結果が水分量の増加として反映したものと推察されるが、苦小牧では餌料環境が良好であり、飢餓によって引き起こされた現象とは言えない。このことについては、外海に面した苦小牧では波浪などによる流動が大きく、これに対応するため放流魚の運動量が増加し躯幹に余剰に蓄積していた脂質を消費した、あるいは生息環境や餌の種類が変わったことで、摂餌で得たエネルギーを蓄積に回さずに成長に振り向けるように代謝経路を変化させている可能性などのいくつかの想定ができるが、詳細については今後検討していく必要がある。

**餌料環境の評価と今後の課題** 飼育実験で餌料条件を反映すると思われたいくつかの体成分値が、実海域の餌料条件を評価するのに有効であるかを精査した結果、生化学的指標として最も適していると考えられるのは、躯幹の RNA/DNA であった。また、やや過大あるいは過小に推定する可能性が残されるものの肝臓の RNA/DNA も指標として有効であると考えられた。さらに、放流魚にとっては放流場所の餌料量とともに餌料生物の種類や組成も重要であることが明らかとなった。今後は、従来用いられてきた環境中の餌料生物調査や再捕魚の胃内容物調査に加え、それらが摂食され消化吸収された結果が反映される再捕魚の生化学的指標を合わせて用いることで、放流場所の餌料環境条件がより正確に判断できるものと思われる。また、今後、耳石日周輪解析で放流魚の成長評価が可能になれば、これらを含めた複数のデータを用いて総合的に餌料環境を判断し、年級群別、海域別の回収率と比較することで放流場所の適性が判断可能となるし、餌料の少ない海域での過剰な放流を回避することで、放流の効率を上げることに役立つと考える。

## 謝 辞

放流、再捕調査にご協力をいただいた市町村、漁協および水産技術普及指導所の関係諸氏並びに漁獲物の市場調査データの取得にご協力いただいた各海域協議会の方々に感謝する。また、道総研中央水産試験場資源増殖部長（現道総研釧路水産試験場長）の宮園 章博士には、本稿のとりまとめに際し貴重なご助言を頂いた。記して謝意を表する。

## 文 献

Fukuda M, Sato H, Shigeta T, Shibata R (2001) Relationship between growth and biochemical indices in laboratory-reared juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*), and its application to wild fish. *Mar. Biol.*, **138**, 47-55.

- 古田晋平・渡部俊明・山田英明・宮永貴幸（1997）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*，**63**，886-891。
- Gwak WS, Tanaka Y, Tominaga O, Tsusaki T, Tanaka M (2003) Field evaluation by RNA/DNA ratios on post-release nutritional status of released and wild Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* juveniles in an experimental field. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **293**, 107-124.
- 萱場隆昭・佐々木正義（2014）快拳！マツカワ天然稚魚を発見！，*釧路水試だより*，**94**，pp. 2-5。
- 日下部敬之・大美博昭・斉藤真美（2007）耳石日周輪解析による東部瀬戸内海産イカナゴ仔稚魚の成長．*水産海洋研究*，**71**，263-269。
- 松田泰平（2003）マツカワ．「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，pp. 242-245。
- 松田泰平・高谷義幸（2002）放流基礎調査事業 マツカワ，平成 12 年度函館水産試験場事業報告書，pp. 152-158。
- 松田泰平・高谷義幸・高橋正士（2000）マツカワ放流技術開発，平成 10 年度函館水産試験場事業報告書，pp. 156-164。
- 村上 修・吉村圭三・吉田秀嗣（2009）放流基礎調査事業（マツカワ放流），平成 19 年度北海道立栽培水産試験場事業報告書，pp. 137-145。
- 村上 修・吉村圭三・吉田秀嗣（2010）放流基礎調査事業（マツカワ放流），平成 20 年度北海道立栽培水産試験場事業報告書，pp. 119-127。
- 村上 修・吉村圭三・吉田秀嗣（2011）放流基礎調査事業（マツカワ放流），平成 21 年度北海道立栽培水産試験場事業報告書，pp. 99-107。
- 村上 修・高谷義幸・吉村圭三・吉田秀嗣（2012）放流基礎調査事業（マツカワ放流），平成 22 年度北海道立栽培水産試験場事業報告書，pp. 88-96。
- 社団法人 北海道栽培漁業振興公社（2011）北海道沿岸漁場海況観測とりまとめ（第 40 号），p. 107。
- 高良治江・大里進子・宮田克也・呉 茲華・橋 勝康・植本六良（1995）養殖マダいの成長に伴う魚体タンパク質，脂肪，水分，灰分各総量の変化，および天然マダイとの比較，*日水誌*，**61**，211-218。
- 高谷義幸・川真田憲治（2000）マツカワ人工種苗の飢餓耐性，*水産増殖*，**48**，517-522。
- 高谷義幸・佐藤敦一（2013）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。
- 高谷義幸・佐藤敦一（2014）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。
- 高谷義幸・佐藤敦一（2015）マツカワ稚魚の体成分に及ぼす遊泳運動の影響．*北水試研報*，**87**，81-87。
- 高谷義幸・佐藤敦一・高島信一（2013）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．*水産技術*，**5**，125-134。
- Tanaka Y, Yamaguchi H, Tsusaki T, Tominaga O, Tanaka M (2006) Relationships between release season and feeding performance of hatchery-reared Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*: In situ release experiment in coastal area of Wakasa Bay, Sea of Japan. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **330**, 511-520.
- 宇田川徹・城野草平・吉田秀嗣（2004）北海道東部太平洋岸浜中湾砂浜域における底棲等脚類シオムシ *Tecticeps glaber* の分布と個体群構造．*Nippon Suisan Gakkaishi*，**70**，516-522。

吉田秀嗣・高谷義幸（2003）放流基礎調査事業 マツカワ。平成 13 年度函館水産試験場事業報告書, pp. 123-128.  
吉田秀嗣・高谷義幸・松田泰平（2007）北海道噴火湾に放流されたマツカワ 0 歳魚の分布と食性。栽培技研, **35**, 5-10.  
渡辺研一・南 卓志（2003）北海道厚岸湾に放流されたマツカ

ワ人工生産魚の食性。 *Nippon Suisan Gakkaishi*, **69**, 3-9.  
Watanabe S, Isshiki T, Kudo T, Yamada A, Katayama S, Fukuda M (2006) Using stable isotope ratios as a tracer of feeding adaptation in released Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Fish Biol.*, **68**, 1192-1205.