

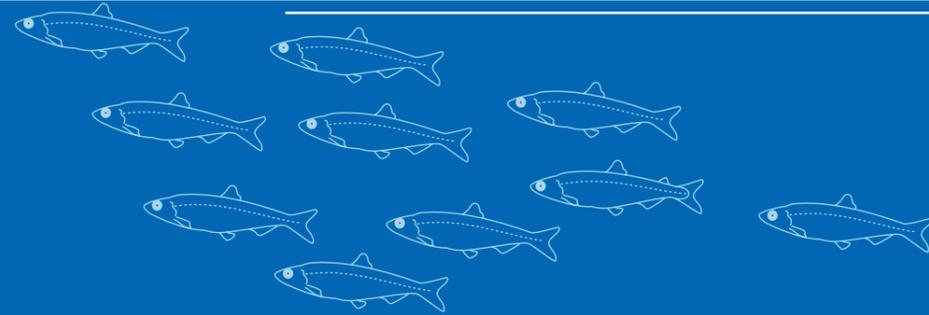
水産技術

Journal of Fisheries Technology

水産技術 第2巻 第2号 2010年3月

原著論文

飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕形成	伊藤龍星・福田祐一	73-77
海洋深層水を用いたメガイアワビの陸上養殖試験	岡田一宏・濱辺 篤	79-84
人工巣穴による漁獲後のハモの生残率向上と傷防止効果	上田幸男・岡崎孝博	85-90
人工授精作業におけるサケ親魚や精子・卵の放置時間が仔魚の浮上率に与える影響	高橋 悟・戸叶 恒・高橋史久・伴 真俊	91-98
飼育水に含まれるコロイド状物質がウナギ仔魚の飼料となる可能性	増田賢嗣・奥 宏海・野村和晴・照屋和久・田中秀樹	99-104
高濃度のATPを含有する魚肉微細化物のゲル形成能と冷凍耐性	村田裕子・岡崎恵美子・木村メイコ・今村伸太郎・平岡芳信・木村郁夫	105-110
わが国における漁船の燃油使用量とCO ₂ 排出量の試算	長谷川勝男	111-121



目次

原著論文

飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕形成	伊藤龍星・福田祐一	73-77
海洋深層水を用いたメガイアワビの陸上養殖試験	岡田一宏・濱辺 篤	79-84
人工巣穴による漁獲後のハモの生残率向上と傷防止効果	上田幸男・岡崎孝博	85-90
人工授精作業におけるサケ親魚や精子・卵の放置時間が仔魚の浮上率に与える影響	高橋 悟・戸叶 恒・高橋史久・伴 真俊	91-98
飼育水に含まれるコロイド状物質がウナギ仔魚の飼料となる可能性	増田賢嗣・奥 宏海・野村和晴・照屋和久・田中秀樹	99-104
高濃度の ATP を含有する魚肉微細化物のゲル形成能と冷凍耐性	村田裕子・岡崎恵美子・木村メイコ・今村伸太郎・平岡芳信・木村郁夫	105-110
わが国における漁船の燃油使用量と CO ₂ 排出量の試算	長谷川勝男	111-121
第2巻第2号掲載報文要旨		123-124
技術開発情報		125-126
書籍紹介		127

CONTENTS

Original articles

Observations on the Feeding Behavior and Feeding Tracks of Captive Longheaded Eagle Rays <i>Aetobatus flagellum</i>	Ryusei ITO and Yuichi FUKUDA	77-73
The Use of Deep Sea Water for the Cultivation of Abalone <i>Haliotis gigantean</i>	Kazuhiro OKADA and Atsushi HAMABE	79-84
The Use of Artificial Burrows to Improve Survival and Prevent Injury during Post-harvest Captivity of Daggertooth Pike Conger <i>Muraenesox cinereus</i>	Yukio UETA and Takahiro OKAZAKI	85-90
Influence of Handling Time of Broodstock, Sperm and Eggs during Artificial Insemination of Chum Salmon <i>Oncorhynchus keta</i> on the Emergence Rate of Fry	Satoru TAKAHASHI, Kou TOKANO, Humihisa TAKAHASHI, and Masatoshi BAN	91-98
A Colloid-type Diet can be Ingested by Larvae of the Japanese Eel <i>Anguilla japonica</i>	Yoshitsugu MASUDA, Hiromi OKU, Kazuharu NOMURA, Kazuhisa TERUYA and Hideki TANAKA	99-104
Gel Forming Ability and Freeze Tolerance of Ground Fish Meat with a High Content of ATP	Yuko MURATA, Emiko OKAZAKI, Meiko KIMURA, Sintaro IMAMURA, Yoshinobu HIRAOKA and Ikuo KIMURA	105-110
Estimation of Fuel Oil Consumptions and CO ₂ Emission from Japanese Fishing Vessels	Katsuo HASEGAWA.....	111-121
Abstracts	123-124
Information	125-126
Books	127

原著論文

飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕形成

伊藤龍星*・福田祐一*

Observations on the Feeding Behavior and Feeding Tracks of Captive Longheaded Eagle Rays *Aetobatus flagellum*

Ryusei ITO and Yuichi FUKUDA

Two (2.5 kg male and 1.3 kg female) longheaded eagle rays *Aetobatus flagellum* were reared in a 50kℓ outdoor tank from July 19 to October 6 in 2006. Their swimming and feeding behavior were observed, and feeding tracks were studied. The rays were observed swimming actively and they were fed every day on *Ruditapes philippinarum* (2kg/day). During feeding, the rays searched for *R. philippinarum* by inserting their snouts into the sand and crushing the shells with their jaws, ingesting only the soft tissue of the bivalves. The tracks on the sand that were made from their feeding were elliptical in shape. The minor axis of the feeding track was a little wider than the interorbital width, and the major axis was in the direction of the forward movement of the fish, and a little wider than the minor axis. From the maximum size of this species on landing, the minor axis of one track was estimated to be less than 30 cm.

2009年10月15日受付, 2009年12月21日受理

ナルトビエイ *Aetobatus flagellum* は、西部太平洋、インド洋、紅海などの温帯から熱帯の沿岸域に生息するトビエイ科の板鰓類である¹⁾。本種は貝類を専食し、特に二枚貝を好んで捕食するため²⁾、西日本の沿岸域では、アサリ *Ruditapes philippinarum*^{3,4)}、タイラギ *Atrina pectinata*⁵⁾、トリガイ *Fulvia mutica*⁶⁾、バカガイ *Maetra chinensis*^{7,8)} 等が食害されており、2006年には大分県中津市沿岸のバカガイがほぼ全滅するといった産業的被害⁸⁾も発生している。このため、有明海⁵⁾では2001年度から、周防灘南部⁹⁾では2004年度から駆除事業が行われている。

有明海での調査では、本種は冬季の12～2月には捕獲されず、15℃を超える3月下旬～4月に出現し、夏季に最も多くなることから、季節的な移動を行うことや¹⁰⁾、アサリ、サルボウ *Scapharca subcrenata*、カキ *Crassostrea* spp.、タイラギなどの二枚貝を嗜好し摂餌量

は多く一度に200～300個の二枚貝を摂餌していたこと、さらに、高密度で貝類が生育している場所は格好の餌場となっている可能性が報告されている²⁾。また、周防灘では、11月以降の当該海域からの移動の可能性や¹¹⁾、アサリやトリガイ、バカガイなどの二枚貝に加え、巻貝や頭足綱の捕食の事実、貝類の資源量に比較してナルトビエイの数量が極端に多い場合の貝類資源全滅の可能性が指摘されている¹²⁾。さらに、海底に潜砂している貝類を摂餌することから、貝殻片の散乱を伴う海底の穴が本種による摂餌痕と考えられ、各地の被害の証拠とされている^{2,5,7,8)}。

しかし、本種を実際に飼育して摂餌行動を観察した例や、摂餌の際にできると考えられる摂餌痕についての報告は見あたらない。著者らは、陸上の屋外水槽でナルトビエイ2尾を2006年7月から10月上旬まで飼育して、本種の遊泳、摂餌行動を観察し、摂餌痕の形成過程につい

* 大分県農林水産研究センター水産試験場浅海研究所

〒876-0617 大分県豊後高田市高田3008-1

Shallow Water Laboratory, Fisheries Research Institute, Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, Oita 879-0617, Japan

ito-ryusei@pref.oita.lg.jp

て観察することができたので報告する。

材料と方法

供試魚 2006年7月19日に、周防灘南部海域の大分県宇佐市長洲沿岸（北緯33度36分，東経131度22分）において流し刺網で捕獲されたナルトビエイのうち，捕獲による体表の傷が少なく活力のある小型の2尾を選び，その日のうちに観察水槽へ移送した。供試魚の性別，体盤幅，両眼間隔，体盤幅に占める両眼間隔の割合および体重を表1に示した。

飼育水槽と環境測定 供試魚の飼育には，上屋つきの屋外50klコンクリート水槽（縦×横×深さ＝11.5 m×3.5 m×1.3 m）を用いた。水深は80cm，砂ろ過海水を7 l/min注水し，エアストーンによる通気を2か所で行った。また，餌場として水槽底面の一部（2.5m×2.5m）に厚さ約7cmの砂（乾燥珪砂5号）を敷いた。飼育は10月6日まで行い，毎日14時に表面水温（棒状温度計）と比重（赤沼式比重計，特A）を測定した。比重は σ_{15} に換算した。餌の貝殻片，糞などを取り除くため，2週間に1回，水槽の掃除を実施した。

給餌方法 餌は殻付き活アサリ（平均殻長±標準偏差＝28.6±3.1mm）とし，供試魚を収容した日から給餌した。1日1回，14時に餌場の砂上に散布した。給餌量は摂餌状況を見ながら徐々に増加させ，飼育開始1週間以降は，2.0kg/日（飼育開始時合計体重の52.6%，アサリ軟体部重量換算では合計体重の10.5%に相当，換算は殻付き重量の20%¹³⁾で算出）とした。給餌量に占める摂餌量の割合（%）と，摂餌率（%，合計体重に占める摂餌量の割合）を，殻付きアサリとアサリ軟体部について求めた。また，8～9月には，週に1回，餌のアサリ給餌と同時に殻付きの活バカガイ，活ハマグリ，活シオフキを数個ずつ与えた。

遊泳，摂餌行動の観察 毎日9時と給餌時刻の14時に，各15分程度の目視による観察を行った。また，週に一度，夜間（22～23時）と早朝（5～6時）にも観察を行った。

2006年10月2日には砂中に生息する貝類の摂餌方法についての観察を行った。すなわち，観察の前日にアサリを餌場の砂上に散布後，寒冷紗で覆いをしてアサリを十分に潜砂させ，24時間後に覆いはずし，そこから約3m離れた水中にシュノーケル潜水で待機して，砂中のアサリに対する供試魚の摂餌方法を目視観察した。また，摂餌時に形成された楕円形の摂餌痕のうち，任意の10穴について，物差しを用いて長径と短径，深さを測定した*。

結果

飼育期間中の水温と比重，摂餌状況を図1に示した。8月の水温30℃を超える環境下や飼育開始時の低比重1.016～1.018（ σ_{15} ）（塩分21.96～24.58psu¹⁴⁾においても2尾は活発に遊泳し，夜間や早朝においても同様であった。

飼育開始1週間後から観察終了時まで，供試魚は投餌したアサリ2.0kg/日のすべてを，ほぼ1時間以内に完食した。飼育開始翌日以降の投餌量に占める摂餌量の割合は100%で，飼育開始1週間以降，摂餌率は殻付きアサリで52.6%，アサリ軟体部では10.5%であった。8～9月に投与したバカガイ，ハマグリ，シオフキもすべて完食された。

摂餌行動の観察結果を写真1に示した。供試魚は餌場に到達すると，砂表面に吻部を接触させて探索行動をした後（写真1のA），吻部から眼付近までを激しく砂中に突入させ（写真1のB），砂を掘りながら潜砂した貝を顎板でくわえた。砂を掘る際には，胸鰭と尾鰭を激しく動かすと同時に両腹鰭を直角に下に向けて前傾姿勢を保つようにし，掘った砂を口と噴水口から排出した。供試魚は，その場を離れ前方に遊泳しながら板状の歯で殻

表1. 飼育開始時のナルトビエイの性別，体盤幅，両眼間隔，体盤幅に占める両眼間隔の割合，および体重

供試魚	性別	体盤幅 (mm)	両眼間隔 (mm)	両眼間隔/体盤幅 ×100 (%)	体重 (kg)
A	雄	530	84	15.8	2.5
B	雌	445	65	14.6	1.3
計	-	-	-	-	3.8

* 狭い範囲に連続して摂餌痕が形成された場合，それぞれが重なって区別が困難になる場合がある。そこで，本研究では，形成が明瞭な単独の摂餌痕を測定した。

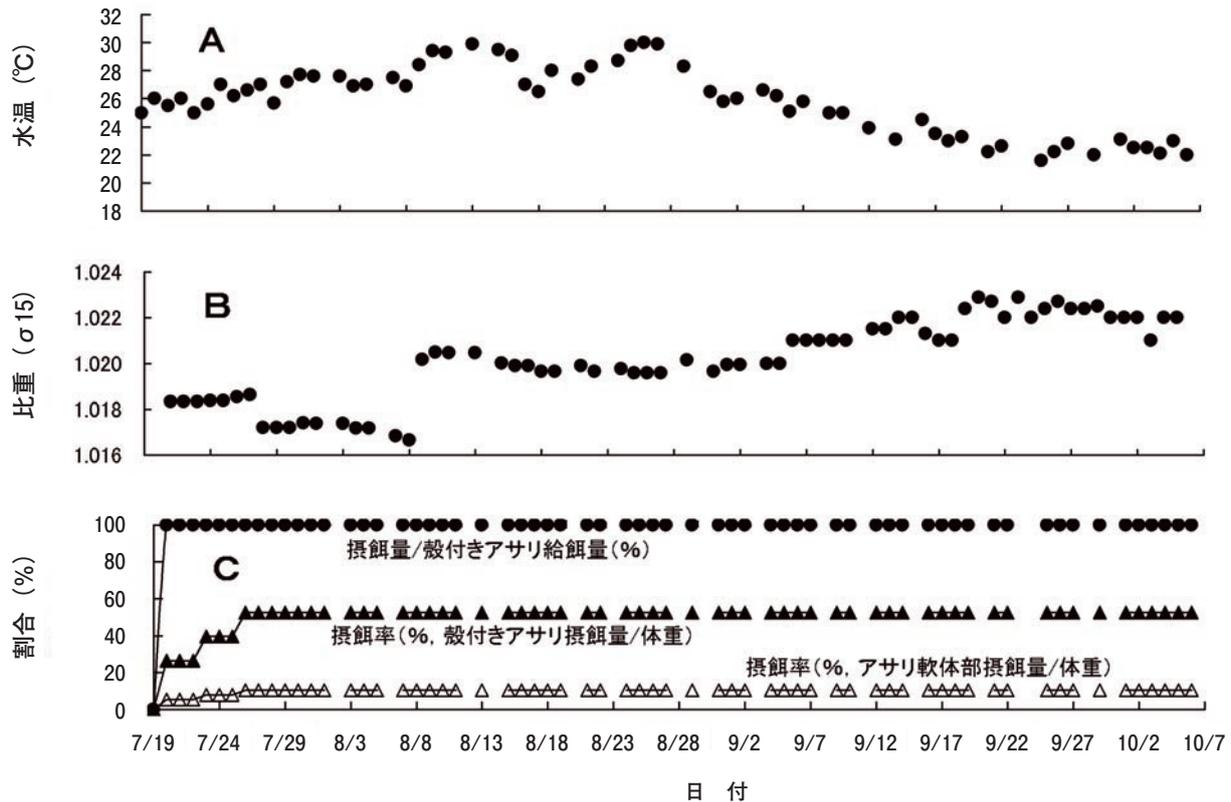


図1. 飼育水槽の水温と比重, ナルトビエイの摂餌状況
 A: 水温 (14時測定), B: 比重 (14時測定), C: 殻付きアサリ給餌量に占める摂餌量の割合 (%) と摂餌率 (%、ナルトビエイの体重に占める殻付きアサリ摂餌量とアサリ軟体部摂餌量の割合)

をかみ砕いた (写真1のC)。水中では、供試魚が殻を噛み砕く「パチン、バリバリ」という音が聞こえることもあり、供試魚は割れた貝殻片を口または噴水口から排出した。餌場の貝の密度が高い場合には、同時に複数個を摂餌して、まとめてかみ砕くこともあった。食べ終わると、供試魚は再び餌場に戻り探索、摂餌を行い、これを何度も繰り返した。摂餌により、餌場には楕円形の摂餌痕 (平均長径±標準偏差 = 104.8 ± 19.0mm, 平均短径±標準偏差 = 85.5 ± 10.9mm, 平均の深さ±標準偏差 = 22.0 ± 3.6mm) が形成された。(写真1のD)。破碎された貝殻片は、投与したアサリ、バカガイ、ハマグリ、シオフキのすべてにおいて、ちょうつがい部分がつながったままのものが多かった (写真1のE)。水槽底面からは、下顎歯の一部や (写真1のF)、薄茶色でヒダが付いたような紐状の糞が確認された (写真1のG)。

考 察

今回、飼育したナルトビエイは、搬送や飼育施設等を考慮して、小型の若齢魚を供試したが、Yamaguchi *et al.*¹⁰⁾ による年齢査定から、雄は2歳、雌は1歳と推定され、当該海域で捕獲される本種の平均的サイズ (体盤長70~80cm, 体重約8kg前後)¹¹⁾ と比較すると、か

なり小型の個体であった。

供試魚は30℃を超える高水温や、飼育開始~20日間続いた低比重でも活発に遊泳し、摂餌状況も良好であった (図1)。本種はインド洋等の熱帯にも生息していることや¹⁾、山口県では河口域に生息するシジミ類が食害を受けた事例もあることから¹⁵⁾、かなりの高水温や低塩分にも適応できると考えられる。

ナルトビエイは、砂中のアサリを探索するために眼の付近まで吻部を砂中に突入させ、そのまま前進することもあった。このため、摂餌痕の短径は両眼間隔よりやや大きく、長径はそれよりも進行方向に長い楕円形になる場合が多かった。供試魚の両眼間隔は、体盤長の15%程度であったが (表1)、この値を最大捕獲個体とされる体盤幅150cmのナルトビエイ²⁾に当てはめると、両眼間隔は大きくても30cmに満たないと推察される。西日本各地の干潟域では、干潮時に直径50cm~1mを超えるような円形のすり鉢状の穴がしばしば見かけられるが (著者未発表)、大型のナルトビエイが、索餌や摂餌のために海底を連続して激しく掘ったとしても、穴が1m前後でしかもほぼ円形になるとは考えにくく、このような大型の穴を本種の摂餌痕とするには疑問がある。例えばアカエイの摂餌痕¹⁶⁾や人間が貝や釣り餌を採捕した痕跡の可能性もあり、本種の摂餌痕かどうかの判断

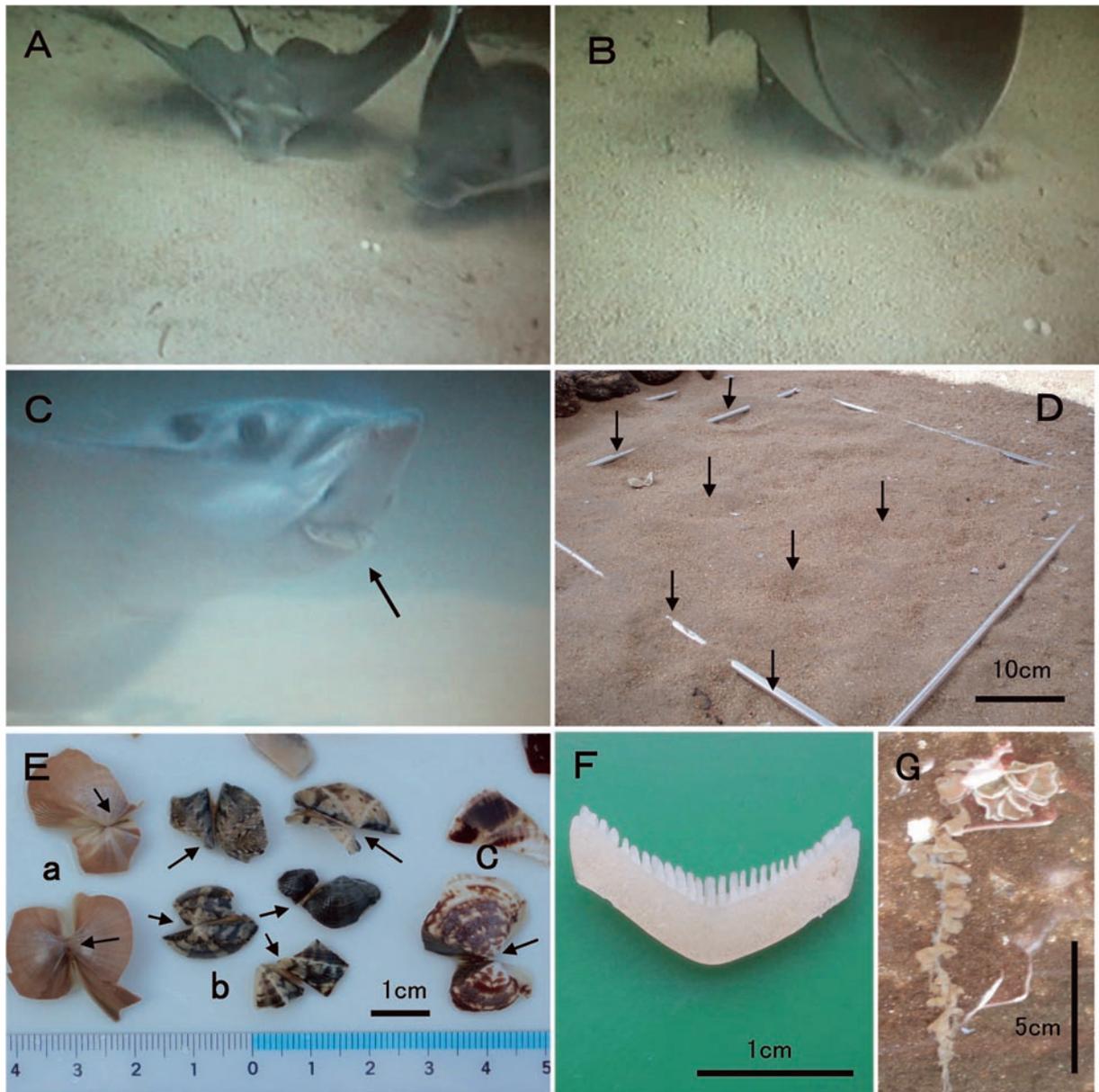


写真1. ナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕、貝殻片、下顎歯、糞

A: 砂中のアサリを探す, B: 吻部を砂中に入れアサリをくわえる, C: その場を離れ、遊泳しながらアサリを噛み割る (矢印は割れたアサリ), D: 摂餌痕 (矢印), E: 割れた貝殻片 (a バカガイ, b アサリ, C ハマガリ, 矢印はちょうつがいを示す), F: 水槽底面に落ちていた下顎歯の一部, G: ナルトビエイの糞

は慎重に行う必要がある。

被食された貝殻片が、種類にかかわらず、ちょうつがいにつながっていたことは、本種が上下の板状の顎歯で貝を横に保持して噛むため、両殻のふくらみの高い部分が潰されやすく、ちょうつがいを含む殻頂付近は砕かれずに残るためと考えられる。また、本種の歯は、横一列の歯がすべて癒合して一枚の板状となっているが²⁾、各癒合部には浅い溝があることから、摂餌時の強い負荷等により、先端部分から順次離脱していくことが考えられる。このような貝殻片や顎歯の一部は、食害被害を受けた現地の海底からも確認されているが^{7,8)}、当該海域で本種と同様の顎歯を持つ魚類としては、同じトビエイ科

のトビエイ *Myliobatis tobijei* があげられる。しかし、同海域で駆除されているトビエイ科魚類のほぼすべてがナルトビエイであることから (著者未発表)、被害現場に残された貝殻片や顎歯の一部は、ナルトビエイによる食害被害の根拠として用いることができよう。

これまで、食害が疑われる貝類の被害事例において、ナルトビエイを原因種とすることに疑問の声もあったが、今回の飼育観察で、本種が海底の貝類を探索し、吻部で砂を掘り起こしながら摂餌を行う姿を実際に確認することができた。また、摂餌痕に関する知見や、被害現場において本種を原因種とみなしうる根拠を得ることができた。

貝類資源保護のため、当該海域では本種の駆除が行われているが、今後は周防灘海域での貝類資源を維持する上での本種の資源量や適正な生息密度の把握、移動生態を明らかにすることが必要である。

謝 辞

本研究の実施と発表の機会を与えていただいた大分県農林水産研究センター水産試験場の小原俊行場長、同試験場浅海研究所の田森裕茂所長、論文作成にあたり丁寧なご指導をいただいた同試験場福田穰博士に深謝する。長崎大学水産学部准教授の Cyril Glenn Satuito 博士には英文校閲をお願いした。厚くお礼申し上げる。ナルトビエイの捕獲には、大分県漁業協同組合宇佐支店の皆様にご協力をいただき、毎日の飼育管理や測定、データ整理には、浅海研究所の稲田貴子氏、後藤貞美氏、澤井香織氏にお世話になった。記してお礼申し上げます。また、匿名の査読者の方々には、有益なご助言をいただいた。深謝申し上げます。

文 献

- 1) 中坊徹次編 (1993) 日本産魚類検索 - 全種の同定 -. 東海大学出版会, 東京, 150-151 pp.
- 2) 山口敦子 (2006) 日本沿岸域へのナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現と漁業への影響. 月刊海洋号外 **45**, 75-79.
- 3) 薄 浩則・重田利拓 (2002) 広島県大野瀬戸のアサリ養殖場におけるナルトビエイによる食害. 平成 12 年度瀬戸内海ブロック水産業関係試験研究推進会議・介類研究会, 35-36.
- 4) 金澤 健 (2004) ナルトビエイ VS. アサリ漁業. おおいたアクア・ニュース NO.18, 6.
- 5) 川原逸郎・伊藤史郎・山口敦子 (2004) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響. 佐賀有明水研報告, **22**, 29-33.
- 6) 伊藤龍星 (2006) ナルトビエイによる二枚貝の食害. おおいたアクア・ニュース NO.22, 7-8.
- 7) 伊藤龍星・平川千修 (2007) 豊前海重要貝類漁場開発調査 (7) バカガイ稚貝調査. 平成 17 年度大分農林水研センター水試事報, 216-218.
- 8) 伊藤龍星・林 亨次・平川千修 (2008) 豊前海重要貝類漁場開発調査 (5) バカガイの大量発生とナルトビエイによる食害被害. 平成 18 年度大分農林水研センター水試事報, 207-209.
- 9) 伊藤龍星 (2007) ナルトビエイによる貝類への食害. ノリタイムス, 1870, 2.
- 10) YAMAGUCHI A., IKAWAHARA, and S.ITOU (2005) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu. Japan. *Environ. Biol. Fish.*, **74**, 229-238.
- 11) 福田祐一 (2008) アサリ資源回復計画推進事業 (4) 豊後高田市桂川河口域で捕獲されたナルトビエイについて. 平成 18 年度大分農林水研センター水試事報, 225-226.
- 12) 伊藤龍星・平川千修 (2009) 胃と腸の内容物からみた周防灘南部沿岸におけるナルトビエイの食性. 水産技術, **1 (2)**, 39-44.
- 13) 井本有治・小川 浩 (1997) 二枚貝生産基盤調査 3 成熟調査. 大分浅海漁試事報 (平成 7 年度), 37-38.
- 14) 殖田三郎 (1973) 新編海苔養殖読本. 全国海苔貝類漁業協同組合連合会, 東京, 86-88 pp.
- 15) 山口県 (2006) 水産山口チャレンジ計画改定版. 山口県, 山口, 33-34 pp.
- 16) HARADA K., and A.TAMAKI (2003) Assessment of the predation impact of the stingray *Dasyatis akajei* (Muller & Henle, 1841) on the population of the ghost shrimp *Nihonotrypaea harmandi* (Bouvier, 1901) on an intertidal sandflat (preliminary report). Proceedings of the symposium on "Ecology of large bioturbators in tidal flats and shallow sublittoral sediments-from individual behavior to their role as ecosystem engineers", Nagasaki University, Nagasaki, 81-85.

原著論文

海洋深層水を用いたメガイアワビの陸上養殖試験

岡田一宏*・濱辺 篤*

The Use of Deep Sea Water for the Cultivation of Abalone *Haliotis gigantea*

Kazuhiro OKADA and Atsushi HAMABE

This experiment was conducted to evaluate the use of cold Deep Sea Water (D.S.W) for land based cultivation of the abalone *Haliotis gigantea*. One year-old abalone (50.6 mm mean shell length) were reared on formula feed in 1kℓ tanks at a density of 100 individuals per square meter for a period of 10 months. In the experimental group, the water used for rearing was a mixture of D.S.W and normal sand filtered sea water. During June to October, when ambient water temperature is normally high, water temperature in the rearing tank was maintained at not more than 20 °C. In the control group, abalone were reared in normal sand filtered sea water at ambient temperature. During summer, when ambient water temperature was highest, greater growth was observed in the experimental group compared with the control group. Mean shell length at the end of experiment was significantly larger in the experimental group (73.8 mm) than in the control group (68.1 mm). 72.7 % of the abalone in the experimental group had achieved a shell length of 70 mm or more, which is the minimum commercial size for cultured abalone. In the control group, only 36.6 % had reached that shell length. These results showed that using D.S.W to lower temperature for rearing abalone during summer, when ambient water temperature is highest, is effective for promoting their growth and can contribute to the development of land based cultivation of abalone.

2009年5月12日受付, 2010年1月28日受理

アワビ類は経済的価値の高い資源であるため種苗の量産体制が全国的に整備されて各地で種苗放流が行われている。しかし、放流事業は必ずしも漁獲量増加に反映されていないのが現状でありアワビ類は未だ高い希少価値を保っている。そのため、寒流種であるエゾアワビ *Haliotis discus hannai* では種苗放流の他に陸上水槽または海面設置カゴを用いた供食用としてのアワビ養殖が行われている¹⁾が、成長が緩慢で販売サイズに達するまで数年を要することから生産額はまだまだ少ない。暖流種であるクロアワビ *Haliotis discus discus*, メガイアワビ *Haliotis gigantea*, マダカアワビ *Haliotis madaka* に至っては養殖生産額はほとんど無く、この理由のひとつとして、暖流種のアワビは夏季に高水温になる暖流海域で養殖される

ことが多く、夏季における成長の停滞が障害となることが挙げられる。アワビ類の季節成長については多くの報告があり、自然海域における暖流種アワビの成長は夏季の高水温期から秋季の産卵期にかけて停滞する傾向が高く²⁻⁴⁾、給餌飼育下の暖流種アワビにおいても高水温期には成長が停滞することが報告されている^{5, 6)}。一方、クロアワビ飼育に季節による水温変動の少ない井戸海水を用いると表面海水に比較して顕著に成長が優れた事例があり⁷⁾、飼育水温はアワビ類の成長に影響する主要因のひとつとなっている。

近年、各地で取水事業が開始された海洋深層水は低温安定性、清浄性、富栄養性を有し、これらを利用した水産物の飼育下における疾病防除や生残率向上、あるいは

* 財団法人三重県水産振興事業団 三重県尾鷲栽培漁業センター

〒519-3922 三重県尾鷲市古江町 811-1

Mie Prefectural Owase Sea Farming Center, 811-1 Furue, Owase, Mie, 519-3922, Japan

kmay0722@hb.tp1.jp

は海藻類の培養等に関する様々な取り組みが行われている^{8, 9)}。アワビ類における海洋深層水の利活用については、富栄養性の利用として海洋深層水で培養した海藻類を餌料としてアワビ養殖を行う「複合養殖」に関する研究が幾つかあり¹⁰⁻¹³⁾、ハワイの民間養殖場では深層水で培養した海藻ダルス（*Ulva*）を餌料としてエゾアワビを生産している⁹⁾。また、低温安定性の利用としては親貝の成熟促進効果¹⁴⁾、当歳稚貝の成長促進効果¹⁴⁾、当歳稚貝の安定生産^{15, 16)}等が報告されている。しかし、暖流種アワビの夏季成長停滞期において海洋深層水の低水温性を利用してアワビを食用サイズまで飼育し、自然水温下における飼育と成長を比較した例はまだ無い。そこで本試験では2006年（平成18年度）から取水事業が始まった三重県尾鷲市賀田湾の海洋深層水⁹⁾を活用して、メガイアワビ一歳貝の飼育水温をアワビ類の成長適水温である15～20℃¹⁷⁾に調整して「養殖アワビ」の一般的な流通サイズまで飼育し、自然海水飼育による成長と比較することによって海洋深層水を用いたアワビ類の陸上養殖の可能性について検討した。

材料と方法

供試貝には、2005年11月に天然親貝より採卵し2006年の夏季に海洋深層水（以下深層水とする）を用いて飼育水温を下げる、および飼育密度を下げることによって従来より成長を促進させた飼育群¹⁵⁾を2007年5月まで継続飼育（予備飼育とする）したものから無作為に抽出した平均殻長50.6mmの1歳貝を用いた。試験水槽はFRP製の巡流型水槽（長さ2.8m、幅1.4m、水深0.3m、実水量1kl）を4水槽使用した。1水槽につき黒色プラスチック製シェルター（90×25cmの板を20cm間隔で3枚連結したもの）を2組設置した。飼育密度は民間企業のアワビ陸上養殖場¹⁸⁾で実用化されているものを参考にして100個/m²に設定した。1水槽の飼育可能面積は水槽底面約6m²およびシェルター約2m²の計約8m²であるので1水槽あたりの収容個数は800個とした。2007年5月1日に800個×4水槽分の供試貝計3,200個を実数計数して、それぞれ総体重を計量して収容した。4水槽の内2水槽を深層水の混合区（以下本文および図表の表記を深層水区とする）とし、定流量弁を用いて従来使用している砂濾過海水（以下自然海水とする）と深層水（原水温度約13～15℃）の注水割合を調整して20℃を超えない水温を維持した。残りの2水槽は対照区とし、対照区は自然海水のみで常温で飼育した。飼育水温の管理以外の飼育条件は4水槽とも同一とした。注水量は試験開始当初は1時間あたり1kl、7月下旬以降は1時間あたり1.5klとした。飼育水中への通気は行わなかった。飼育水温は毎日午前1回測定し、溶存酸素量とpHは主に給餌日の翌日に適時測定した。いずれも携帯型機器（水温：SK-250WP 佐藤計量器製作

所、溶存酸素：TOX-90i 東興科学研究所、pH：HM-20P 東亜ディーケーケー）を使用して飼育水槽の中層に電極を浸して測定した。試験期間は供試貝の平均殻長が約70mmに達するまでとした。

餌料はコスモ海洋牧場（株）の配合飼料（S-Aタイプ、7×7×2mm）を使用した。給餌量は試験開始前の予備飼育時の給餌量を基にして、当初1日あたり総体重の約0.8%を4日に1回の頻度で与えた。なお、本試験では残餌を回収して計量することが困難であり摂餌量を直接把握することが出来なかつたため、摂餌量の変化が出来るだけ給餌量に反映されるよう、摂餌状況を見ながら給餌量を増減して残餌量が多くならないように配慮した。

毎月始め（月によって異なるが1日～3日目まで）に各水槽からそれぞれ50個体を無作為に抜き取り殻長および50個体の総重量を測定し、測定後の個体は元水槽に戻した。50個体の総重量と、測定日の前後約15日を含めた計約30日間の1日あたりの平均給餌量を基に、毎月の日間給餌率（その月の1日あたりの平均給餌量/その月の測定日の推定総重量）を算出した。また平均殻長と平均体重から肥満度（平均体重(g)/平均殻長(mm)の3乗）を求めた。

試験終了時には各水槽とも全個体を取り上げ、全数の殻長測定および総体重の計量を行った。試験開始時と終了時の総体重の差から、増重倍率（（終了時総体重－開始時総体重）/開始時総体重）および餌料効率（（終了時総体重－開始時総体重）/総給餌量）を求めた。試験開始時および毎月始めに抽出した各試験区2水槽分の合計100個体および試験終了時に測定した各試験区2水槽分の全個体の平均殻長についてt検定により試験区間の有意差の有無を調べた。

結 果

図1に各試験区の成長と飼育水温、毎月の日間給餌率の推移について示した。また、成長、生残、給餌量および飼育環境について表1に結果をまとめた。図1、表1とも平均殻長は各試験区2水槽分の合計100個体（試験終了時のみ全個体）の平均値で示し、その他の項目は各試験区2水槽の平均値で示した。試験期間は2007年5月1日から2008年3月1日の10ヶ月となった。試験開始から約1ヶ月間は飼育水温が20℃を下回ったため両試験区とも自然海水での飼育となり、自然海水温が20℃を超え始めた6月4日からは深層水区に深層水の注水を開始して20℃を超えないように調整した。対照区の飼育水温は徐々に上昇し、9月初旬から10月初旬までの約1ヶ月は25℃を上回った。10月以降は徐々に低下し11月中旬には20℃を下回った。12月下旬には自然海水温が15℃台に下がったため、深層水区も12月21日に自然海水のみに切り替えた（図1）。試験期間中の平均飼育水温は深層水区と対照区で2.6℃の差が生じた

(表1)。平均溶存酸素量と平均 pH は両区間で若干の差が見られ、深層水区では溶存酸素量が高く、pH は低い傾向が見られた(表1)。深層水区における深層水と自然海水の概ねの混合割合(深層水:自然海水)は、6月当初は1:2、6月下旬は1:1、7月下旬~9月下旬には2:1で深層水の使用は最大となり、その後は自然海水の低下とともに1:1~1:2となった。

日間給餌率(図1)は深層水区、対照区とも開始当初の約0.8%から8月の約0.6%まで徐々に低下した。対照区では高水温が続いた8月から10月の給餌量は低下したが深層水区では対照区ほどの低下は見られず、この期間の給餌率に明確な差が生じた。但し、深層水区の給餌率はその後0.3~0.4%とほぼ横ばいであったことに対し、対照区では10月以降の水温低下に伴って給餌率は上昇した。総給餌量は、対照区の29.35kg/槽に対し深層水区は35.25kg/槽となり深層水区が上回った。

試験開始時から8月までの平均殻長(各N=100)に試験区間の有意差は見られなかった(t検定, $p > 0.05$)が、9月の測定値で初めて有意差が生じ、以降、試験終了時までの平均殻長は深層水区が対照区を有意に上回った(t検定, $p < 0.01$)。

試験開始時の両試験区の総体重はほぼ同じ値であったが、試験終了時の深層水区の総体重は対照区より約7.5kg多くなり、増重倍率、餌料効率ともに深層水区が対照区を上回った(表1)。

深層水区の肥満度は、ほぼ横ばいで推移しながら試験後期には低下したことに対し、対照区の肥満度は高水温期において低下傾向にあったが水温の低下および給餌率の上昇とともに回復傾向に転じ、最終的に深層水区との差は無くなった(図1)。試験開始から4ヶ月間は両試験区とも死亡個体は無かった。9月以降の高水温期に対

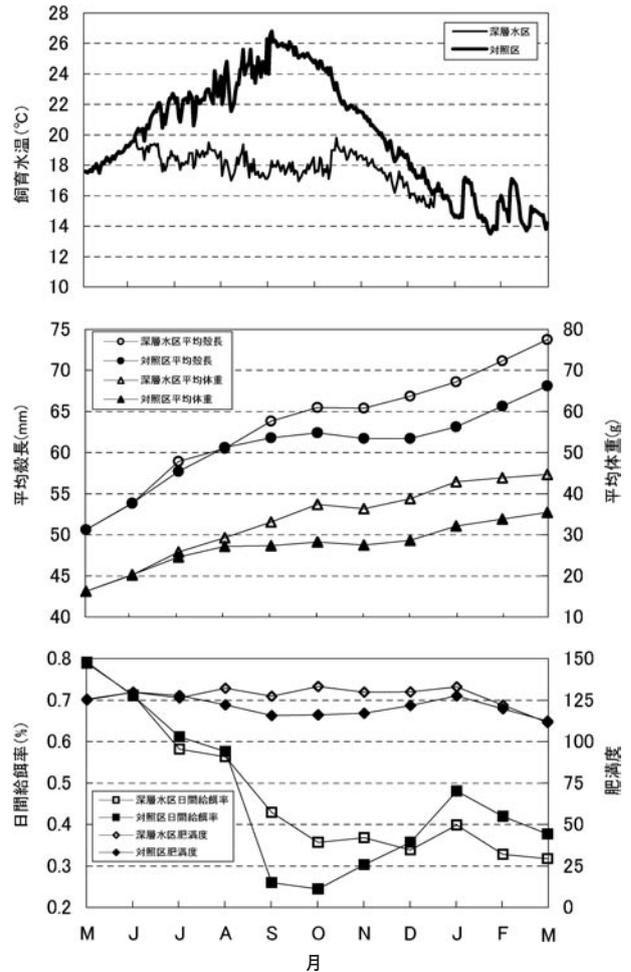


図1. 各試験区の成長と飼育水温, 給餌率の推移 (2007年5月~2008年3月)

照区で散発的に死亡が発生し1.2%の累積死亡率となった。深層水区では試験期間中の死亡は見られなかった。

図2に終了時の殻長を5mm間隔で分類した組成図(各試験区2水槽の合計)を示した。最頻値の階級は試験区間で異なり、深層水区で70~75mm, 対照区で65~70mmであった。養殖アワビの流通サイズとされる殻長70mm以上の個体の割合は深層水区で72.7%, 対照区で36.6%であった。

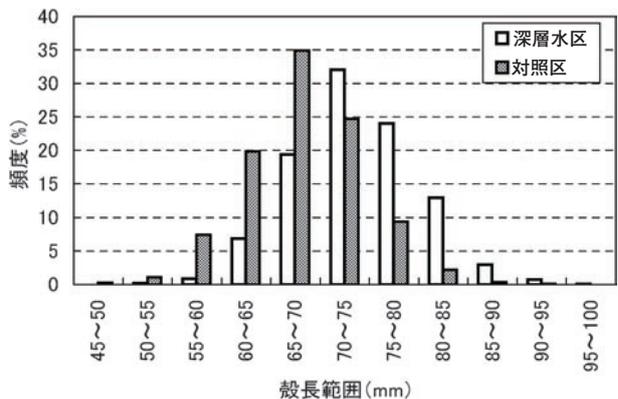


図2. 試験終了時の殻長組成

表1. 各試験区の成長, 生残, 給餌量及び飼育環境

		深層水区	対照区
開始時平均殻長* ¹	(mm)	50.6±4.2	50.6±4.5
開始時総重量* ²	(kg)	11.63	11.62
終了時平均殻長* ³	(mm)	73.8±6.3	68.1±6.0
終了時総重量* ²	(kg)	35.54	28.02
総給餌量* ³	(kg)	35.25	29.35
餌料効率* ²	(%)	67.9	55.9
増重倍率* ²	(%)	206	141
累積死亡率* ²	(%)	0	1.2
水温* ⁴	平均	17.3±1.6	19.9±3.7
	最高	20.0	26.8
	最低	13.5	13.5
溶存酸素量* ⁴	平均	5.98±0.72	5.74±0.88
	最高	7.53	7.54
	最低	4.27	3.80
pH* ⁴	平均	7.92±0.13	8.05±0.07
	最高	8.19	8.24
	最低	7.68	7.91

*¹ 各試験区2水槽(50個体/水槽)の合計100個体の平均値

*² 各試験区2水槽の平均値

*³ 各試験区2水槽の全個体の平均値

*⁴ 各試験区2水槽の連続データの平均値

考 察

メガイアワビ1歳貝の飼育に深層水を併用して主に15～20℃の飼育水温で5月から10ヶ月間飼育した結果、自然水温下での飼育に比べ成長が優れていた。一般的に暖流系アワビ類は夏～秋季の高水温期には成長が停滞すると言われている^{2,6)}。1歳貝を用いた本試験においても対照区の高水温期における成長は停滞し、肥満度も減少した。これに対し深層水区では、低温の深層水を注水して夏季の高水温を避けたことにより従来の成長停滞が解消または軽減されたものと判断でき、深層水は1歳メガイアワビの夏季における成長促進に有効であることが確認された。但し、飼育水温を安定させた深層水区においても給餌率は徐々に低下していること、自然海水の水温下降期には深層水区と対照区の給餌率が逆転していることを見ると、飼育手法にはまだ改善の余地があると思われる。藤永ら¹⁹⁾はアワビ類の成長至適水温は成長段階によって異なることを報告しており、メガイアワビを40日間飼育した結果、殻長51mmでは20℃、殻長79mmでは15℃で最も成長が良かったとしている。これを考慮すると、本試験深層水区のように一定の水温を長期間維持するよりも、アワビの成長に伴って段階的に水温を降下させる水温管理が適している可能性があり、今後の検討課題である。

飼育水中の溶存酸素量は対照区に比較して深層水区でやや高い傾向が見られた。両試験区の注水量が同じである無通気の条件下において、対照区より給餌量が多く成長が優れた深層水区の溶存酸素量が対照区より低下せず、逆に高く維持されたことについては以下の理由が考えられる。エゾアワビの酸素消費量は8～20℃の範囲では温度の上昇に伴って増加することが報告されている²⁰⁾。深層水を注水して低水温にした深層水区では、供試貝の酸素消費量は対照区のそれに比較して抑えられた可能性がある。また、飼育海水の酸素の溶解度も対照区より低下しなかったと考えられ、深層水使用の利点と言える。しかし、溶存酸素量の測定値は、8月中旬から9月上旬の間に深層水区で2回、対照区で3回、4mg/l前後まで低下した。真岡ら²¹⁾は殻長16mm台のアワビ稚貝（種名の記載なし）を用いた飼育試験結果から、アワビ稚貝を飼育できる溶存酸素量の限界値は4mg/l程度であることを示唆している。本試験では供試貝に疾病の発生や大量死亡は見られなかったが、溶存酸素量は一時的にアワビの育成に支障を来す恐れがある値まで低下したことから、本試験で設定した注水量は不十分であり、通気あるいは純酸素の使用も考慮したうえで改善すべき点である。深層水区のpHは溶存酸素量とは逆に対照区よりやや低い傾向が見られた。海洋深層水のpHは8.0を下回ることがあり⁹⁾、本試験に用いた尾鷲市賀田湾の深層水も事前調査で表層海水（pH8.2前後）に比較して低い（pH7.5前後）ことが確認されている。そのた

め深層水区のpHも対照区に比べ低くなったと思われるが、本試験では特に影響は見られなかった。但し、前述のように深層水の注水量を増やしてさらに水温を下げる、あるいは換水率を高める方法を取れば、飼育水のpHはさらに低下することが予想されるので注意が必要である。

肥満度は養殖アワビの商品価値を左右する重要な基準であり、エゾアワビ養殖では130～140が適正値とされている¹⁾。メガイアワビについては養殖事例がほとんどないことからエゾアワビのような基準値は見あたらないが、海面の密閉型「養殖礁」で配合飼料を用いて191日間飼育されたメガイアワビ（平均殻長52mm）の肥満度は108²²⁾であり本試験の結果と大差はない。しかし、本試験期間中の肥満度を見ると8～12月は深層水区が対照区を上回り125以上を維持していたが、12月以降は給餌率が逆転し対照区との肥満度の差も徐々に縮小した。同時期における対照区の肥満度は給餌率の増加とともに一時上昇傾向にあったことから、給餌量と肥満度の関連は大きいと考えられる。供食用として飼育するには出荷時期に肥満度を上げることは重要であり、前述した水温管理方法に加え、給餌方法についても改善する必要がある。

深層水区について予備飼育段階に遡り、殻長30mmからの飼育水温および飼育密度の推移と稚貝の成長を図3に示した。アワビの成長には水温条件以外に飼育密度が大きく影響することが知られている^{23,24)}。一方、養殖事業においては一定の飼育密度下での効率的な飼育が求められる。図3に示した殻長30～50mmの飼育密度は生産施設で一般的な飼育密度であり、50mm以降の飼育密度は民間企業の事例¹⁸⁾に準じて設定したので、飼育密度からみた本試験（予備飼育を含めた）の生産効率は養殖現場と比較して大差はないと思われる。養殖アワビ

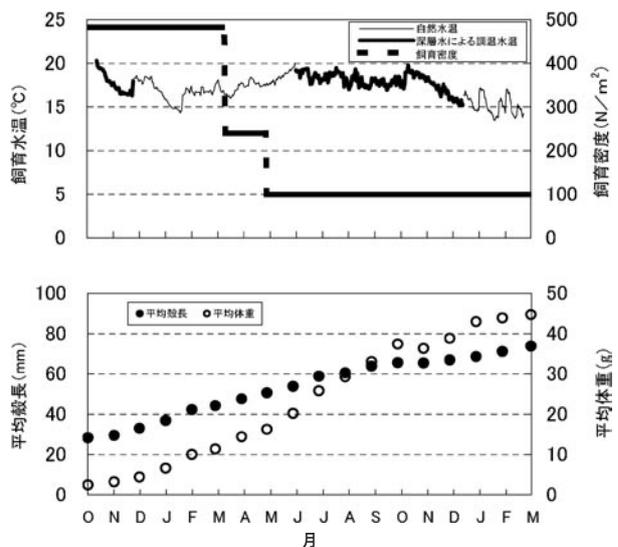


図3. 予備飼育期間を含めた深層水利用飼育における飼育水温、飼育密度の推移と成長（2006年10月～2008年3月）

の販売サイズは殻長 60～80mm が主であり、このサイズに達するには種苗の導入から 2～3 年、採卵まで遡ると少なくとも 3 年を要する。本試験における深層水区の飼育結果では、採卵から平均殻長 70mm までの飼育期間は 2 年と 4 ヶ月であり、一般的な養殖アワビの飼育期間より短くなった。飼育期間の短縮は生産原価を抑えるうえで重要であることから、深層水の利用はアワビ陸上養殖を有利に展開できる可能性が大きいと言える。

加えて、目視観察の結果、対照区の貝殻表面には少量の管棲多毛類の付着が確認されたのに対し、深層水区では貝殻表面に付着物はほとんど観察されなかった。これは管棲多毛類の棲息水深より深い場所から取水された深層水を混合した影響であると考えられる。貝殻表面の付着物の有無は商品価値を左右する要因となりうることから、深層水使用の利点の一つとして注目されてよい。

エゾアワビ養殖の効率化を図る手法として、成長優良群を継代飼育して優良形質を固定する「選抜育種」が知られている²⁵⁻²⁷⁾。本試験の飼育環境を制御する技術とは根本的に異なるので比較して議論することは出来ないが、暖流種アワビにおいても深層水利用と選抜育種を併用することでさらに効果が上がる可能性はあると思われる。また、アワビ類はサイズの揃った種苗を用いて養殖を始めても成長するにつれてサイズにばらつきが生じ、成長不良個体は出荷出来ずに生産効率が下がる。そのためエゾアワビ養殖では飼育中に数回のサイズ選別を行い成長のばらつきを少なくすること¹⁾が一般的である。本試験ではサイズ選別は実施していないので、生産効率をあげるためにこの作業工程を取り入れた場合の成長を調査することは重要である。

今後は事業規模に拡大して飼育した場合の再現性の確認が必要であるとともに養殖アワビの試験出荷を通じて市場評価を把握し適正販売単価を設定して、海洋深層水を利用したアワビ陸上養殖の採算性を明確にしなければならない。

文 献

- 1) 岩手県水産技術センター種苗開発部 (2002) エゾアワビ海面カゴ養殖マニュアル, 26pp.
- 2) 影山佳之・伏見 浩 (1979) 若令メガイの輪紋形成. 静岡水試研報, 13, 83-92.
- 3) 井上正昭・大場忠道 (1980) アワビの成長と年齢形質としての輪紋について. 神奈川水試研報, 1, 107-113.
- 4) 米山純夫・斎藤 実・堤 清樹・河西一彦・江川紳一郎 (1989) 伊豆大島におけるメガイアワビの季節成長. 水産増殖, 37, 147-154.
- 5) 西村守央 (1977) 室内飼育によるアワビ (クロ *Haliotis discus*) の成長と貝殻の輪紋形成. 昭和 50 年度三重県浜島水試年報, 35-38.
- 6) 亀山 勝・江川公明・石戸谷博範 (1989) 生贖飼育アワビの成長について. 神奈川水試研報, 10, 39-43.
- 7) 田中淑人・今田 克・諸石 博 (2002) 沖縄における井戸海水を用いたクロアワビの養殖試験. 水産増殖, 50, 119-120.
- 8) 中島敏光 (2002) 21 世紀の循環型資源: 海洋深層水の利用. 緑書房, 東京, 158-181pp.
- 9) 藤田大介・高橋正征 (2006) 海洋深層水利用学: 基礎から応用・実践まで. 成山堂書店, 東京, 46-66pp.
- 10) Daisuke FUJITA (2000) Abalone of a mouthful size reared with attached diatoms in seawater pumped from the deep water of Toyama Bay. *Bull. Toyama Pref. Res. Inst.* 12, 43-46.
- 11) 松村 航・藤田大介 (2007) 海洋深層水で培養したマコンブと付着珪藻を餌料として活用したエゾアワビ養殖に関する研究. 富山水試研報, 18, 19-23.
- 12) 岡 直宏・川北浩久 (2004) 室戸海洋深層水による海藻の大量培養とアワビ複合養殖. 高知県海洋深層水研究所報, 6, 80-85.
- 13) 岡 直宏 (2006) 室戸海洋深層水による海藻とアワビの多段養殖. 高知県海洋深層水研究所報, 7, 18-22.
- 14) 上野幸徳 (1998) アワビ種苗生産効率化試験. 高知県海洋深層水研究所報, 3, 29-34.
- 15) 岡田一宏 (2007) 海洋深層水を用いたメガイアワビ飼育試験. 平成 18 年度三重県栽培漁業センター・三重県尾鷲栽培漁業センター事業報告書, 58-59.
- 16) 岡田一宏 (2008) 海洋深層水を用いたメガイアワビ飼育試験 II. 平成 19 年度三重県栽培漁業センター・三重県尾鷲栽培漁業センター事業報告書, 55-56.
- 17) 奥谷喬司 (1994) 水産無脊椎動物 II. 恒星社厚生閣, 東京, 42-53pp.
- 18) アクアネット編集部 (2004) 均一サイズの活アワビを全国へ翌日配送「アクアネット」. 76, 湊文社, 東京, 62-65.
- 19) 藤永 愛・岩田伸弘・坂口 勇 (1999) アワビ類の摂餌と成長におよぼす水温の影響. 電力中央研究所報告, U98030, 1-12.
- 20) 浮 永久・菊地省吾 (1975) エゾアワビの酸素消費量と体重および温度との関係. 東北水研報, 35, 73-84.
- 21) 真岡東雄・中村 烈 (1981) アワビ稚貝用人工飼料の実用化に関する研究 - III. 茨城県水産試験場 80 周年記念誌, 70-76.
- 22) 滝尾健二・安藤和人・川辺勝俊・駒澤一郎・有馬孝和 (2009) 伊豆大島差木地漁港内における石詰め型生贖「養殖礁」によるクロアワビ *Haliotis discus discus* およびメガイアワビ *Haliotis gigantea* の養殖試験. 東京都水産海洋研究報告, 3, 7-12.
- 23) 遠山忠次・佐藤秀一・水口啓子・金子信一 (1975) アワビ稚貝の成長生残におよぼす飼育密度の影響について. 千葉水試研報, 34, 1-11.
- 24) 石田 修 (1993) クロアワビの成長に及ぼす飼育密度の影響. 水産増殖, 41, 431-433.
- 25) 河原都恵・野呂忠勝・大森正明・支倉 理・木島明博 (1997) 種苗生産施設で選抜されたエゾアワビの成長に対する選抜効果. 水産育種, 25, 81-90.
- 26) 小林俊将・原 素之・小林正裕・關野正志 (2006) 稚貝殻長で 4 世代にわたって選抜育種されたエゾアワビ集団の稚貝および成貝での成長特性. 水産増殖, 54, 209-215.
- 27) 原 素之 (2008) アワビの遺伝・育種研究の現状. 水産育種, 38, 31-39.

原著論文

人工巢穴による漁獲後のハモの生残率向上と傷防止効果

上田幸男*・岡崎孝博*

The Use of Artificial Burrows to Improve Survival and Prevent Injury during Post-harvest Captivity of Daggertooth Pike Conger
Muraenesox cinereus

Yukio UETA and Takahiro OKAZAKI

Daggertooth pike conger *Muraenesox cinereus* that sustain fewer injuries during post-harvest stock culture sell for a better price. In the wild *M. cinereus* creates a burrow, and we tried to keep stock fish clam, thereby reducing injury, by placing artificial burrows made from polyvinyl-chloride tube in holding tanks before sending to a market. Fifty individuals of *M. cinereus* ranging 210-1,820 g in body mass, caught with a small-scaled trawl and with a bottom long-line, were kept for 10 days in separate 500L tanks, and survival rates and injury conditions were examined. For the trawl-captured fish, the survival rate in tanks with artificial burrows was 14-18% higher than in the control tanks (no burrows). For the long-line-captured fish, however, survival rate with artificial burrows was similar to that of the controls. The percentage of “good quality fish” from both fishing methods, increased by 35-45 % in tanks with artificial burrows. This was because when artificial burrows were present, fish did not bite each other as often, or damage themselves against the sides of the tanks. This technique is useful in the preservation of *M. cinereus* and transportation of live fish.

2009年10月13日受付, 2010年1月8日受理

ハモ *Muraenesox cinereus* (Forsskål) は、紅海、インド洋以東からインドネシア、日本にかけての海域、およびオーストラリア北部の海域に分布する^{1,2)}。日本では本州中西部以南の泥域もしくは砂泥域に分布する³⁾。ハモは関西での需要が大きく、とりわけ京都の祇園祭、大阪の天神祭には欠かすことのできない夏の食卓を彩る食材になっている⁴⁾。徳島県は1997～2006年の10年間に於いて111～714トンのハモの漁獲量があり、関西市場へハモを供給する主要な産地になっている。とりわけハモの一大消費地である京都市の京都中央卸売市場における2006～2008年の府県別取扱量では徳島県産が1位となっている(京都市中央卸売市場年報)。このことから、

徳島県は県産ハモのブランド力を高める目的で生産から流通に至る幅広い研究を進めている。

ハモは鋭い歯と強靱な顎を持つどう猛な魚類であることが知られている。また、漁獲直後のハモは興奮した状態で高密度に収容されることが多く、ハモ同士の噛み合いや水槽壁面への衝突により負傷し、品質の低下、ひいては市場価格の低下を招き、営漁上の隘路となっている。

筆者は水中テレビロボットによるフィールドの観察および室内の底泥を敷設した飼育試験からハモが海底の泥に巢穴を形成し、遊泳することなく巢穴内で沈静にすることを確認している⁴⁾。また水槽内においても塩化ビニ

* 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所
〒771-0361 徳島県鳴門市瀬戸町堂浦字地廻り壱96-10-2
Fisheries Research Institute, Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Support Center, 96-10-2, Dounoura, Seto-cho, Naruto-city Tokushima 771-0361 Japan
ueta_yukio_2@pref.tokushima.lg.jp

ールパイプなどの適度な大きさの筒を投入すれば、ハモはウナギやマアナゴと同様にパイプ内で沈静することが経験的に知られている。しかしながら、パイプの設置が具体的にどの程度ハモを沈静するか実証はされていない。

本研究では人工巣穴によるハモの沈静効果を明らかにし、ハモの蓄養や活魚輸送活用する目的で、小型底びき網および底延縄で漁獲されたハモについて、人工巣穴敷設区（以下人工巣穴区）と対照区を設け、10日間飼育後の生残率および負傷の状態について比較試験を実施した。

材料と方法

供試魚 2008年8月12日（試験1）、2008年9月4日（試験2）早朝に徳島市漁業協同組合において小型底びき網漁船から水揚げされたハモ各105尾を、また2008年10月10日（試験3）早朝に牟岐東漁業協同組合に延縄漁船から水揚げされたハモ各105尾を購入し、500ℓのタンクに酸素を供給しながら徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所鳴門庁舎に搬入した。その中から生きたハモ各100尾を無作為に選び、人工巣穴区と対照区の供試魚に50尾ずつ二分した（表1）。試験1,2の供試魚には、漁獲後選別され活魚として出荷されるまで5時間漁協の活魚水槽（流水）で蓄養されたハモを供試魚に用いた。試験3の供試魚も漁獲後活魚として選別されたものであり、8時間漁協の活魚水槽（流水）で蓄養されたものである。試験1の人工巣穴区と対照区の供試魚の平均体重はそれぞれ496g、475g、試験2は440g、453g、試験3は535g、552gであった（表1）。

飼育試験 各試験共に搬入日の12:00～14:00に飼育試験を開始した。試験1ではハモは500ℓのパンライト水槽に、試験2,3では500ℓの角形水槽に、それぞれ人工巣穴区および対照区に二分して収容した（表1）。各試験の人工巣穴区には内径10cm、長さ70cmの塩化ビニール製のパイプ18本を投入し、対照区には何も投入しなかった。各試験区とも5～10ℓ/分の流水下、通気しながら暗室で10日間飼育した（表1）。また各試験区とも水質の悪化を避けるため無給餌とし、毎日30～60分

点灯してサイフォンにより排出物や吐出物を除去し、表層に浮かぶ泡状物質をバケツで除去した。飼育水槽にはハモが飛び出さないように水槽に金網等の蓋を被せた。アレック電子社製記録式水温塩分計 STD1000 を用いて、飼育期間中の水温を計測記録した。

観察・記録 毎日1～3回、試験開始初日には18:00～18:30に、以後午前8:30を中心に点灯直後に観察を行い、各試験の人工巣穴敷設区では死亡個体数、浮上個体数、人工巣穴内外の分布個体数、対照区では死亡個体数、浮上個体数、中層游泳個体数および着底個体数を観察記録した。体の一部が水面にあり游泳しないものを浮上個体とした。人工巣穴内外の分布個体については人工巣穴内に隠れる個体、人工巣穴間の隙間に隠れる個体、および人工巣穴の周囲に分布する個体に分けた。

さらに、死亡個体について体重を計測し、部位別に体表の傷の状態を観察記録した。この他、試験3では延縄の釣り針の掛かった部位について記録した。試験終了時には全ての生残個体について体重と部位別に体表の傷の状態を観察・記録した。

結果

試験1 飼育期間中の水温は27.2～28.3℃であった（表1）。人工巣穴区では試験開始当日の夕方から巣穴へ入る個体がみられ、1～10日後まで90～100%が人工巣穴内部および巣穴間の空隙に隠れた（図1、写真1）。人工巣穴区では浮上する個体が1日後に3個体のみみられたが、対照区では浮上する個体が1～9日後まで1～5個体観察された（写真2）。また人工巣穴区では中層を游泳する個体はみられなかったが、対照区では1～10日後まで3～15個体観察された。人工巣穴区、対照区ともに試験開始当日から死亡がみられ、試験開始3日後でそれぞれ19および20個体が死亡し、その後は人工巣穴区の死亡が減少したのに対し、対照区は断続的に死亡がみられた（図1）。最終的な試験終了時の死亡個体数は人工巣穴区が21、対照区が30であった。

人工巣穴区（表2）の死亡魚の18個体（86%）、対照区の死亡魚の27個体（90%）で頭部下顎から腹部、臀鰭にかけて内出血がみられ、肛門が充血肥大していた。

表1. 各試験における飼育条件

試験番号	試験区	供試魚				水槽		飼育期間		水温(℃)				
		漁法	水揚げ地	個体数	体重 最小 平均 最大	形	大きさ	開始日	終了日	最小	平均	最大		
1	人工巣穴区	小型底びき網	徳島市	50	215	496	950	円形	直径104cm×高さ60cm	2008年8月12日	2008年8月22日	27.2	27.7	28.3
	対照区	小型底びき網	徳島市	50	210	475	800							
2	人工巣穴区	小型底びき網	徳島市	50	230	440	850	角形	縦124cm×横97cm×高さ42cm	2008年9月4日	2008年9月14日	26.1	26.4	27.0
	対照区	小型底びき網	徳島市	50	230	453	905							
3	人工巣穴区	底延縄	牟岐東	50	290	535	1,510	角形	縦124cm×横97cm×高さ42cm	2008年10月10日	2008年10月20日	22.9	23.3	24.2
	対照区	底延縄	牟岐東	50	285	552	1,820							

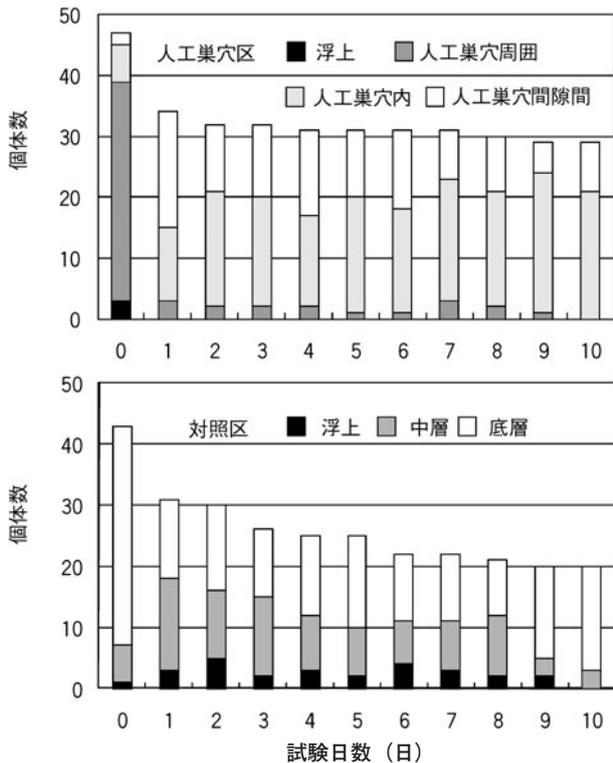


図1. 試験1におけるハモの水槽内位置および生残個体数の推移。試験開始初日は18:00に観察した値



写真1. 試験1における人工巣穴区内のハモの状態（試験2日後）



写真2. 試験1における対照区のハモの状態（試験1日後）

その他、人工巣穴区で尾部の出血と欠損が2個体（10%）、対照区で頭部の傷が4個体（13%）、尾部の出血と欠損が2個体（7%）みられた。

試験終了時における生残個体の傷の状態を調べたところ、人工巣穴区（表3）の27個体（97%）、対照区の20個体（100%）で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが、人工巣穴区の17個体（59%）が商品として問題が無い程度のわずかな傷で、商品価値の低下を招く出血や欠損がみられる個体は11個体（38%）であった。これに対して対照区では15個体（75%）で出血や欠損がみられた。尾部においても人工巣穴区の16個体（55%）、対照区の12個体（60%）で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが、人工巣穴区の13個体（45%）が商品として問題が無い程度の軽微な傷で、商品価値の低下を招く出血や欠損がみられる個体は3個体（10%）であった。これに対して対照区では8個体（40%）で出血や欠損がみられた。その他、人工巣穴区の2個体（7%）で胴体からの出血や、1個体（3%）で眼の白濁がみられ、対照区においても胴体からの出血や背鰭からの出血が各2個体（10%）みられた。

人工巣穴区の生残個体の16個体（55%）が商品として価格を下げるような傷がない高品質魚であったのに対し、対照区ではわずか4個体（20%）であった。

試験2 飼育期間中の水温は26.1～26.7℃であった。人工巣穴区（図2）では試験開始当日から74%が、1～10日後まで80～100%が人工巣穴内部および人工巣穴間の隙間に隠れた。人工巣穴区では着底せずに浮上する個体が1～2日後に1～3個体みられたが、対照区では浮上する個体が1～9日後まで2～14個体観察された。また人工巣穴区では中層を游泳する個体はみられなかったが、対照区では1～10日後まで3～8個体観察された。人工巣穴区、対照区ともに試験開始当日から死亡がみられ（図2）、3日後でそれぞれ14個体が死亡し、その後は人工巣穴区の死亡率が低下したのに対し、対照区は継続して死亡がみられた。最終的な10日後の死亡個体数は人工巣穴区が17個体、対照区が24個体であった。

人工巣穴区の死亡魚の15個体（88%）、対照区の死亡魚の17個体（71%）で頭部下顎から腹部、臀鰭にかけて内出血がみられ（表2）、肛門が充血肥大していた。その他、人工巣穴区で尾部の欠損が1個体（6%）、対照区で頭部の傷が6個体（25%）、尾部の出血と欠損が7個体（29%）みられた。

生残個体においても、人工巣穴区の生残個体の27個体（82%）、対照区の25個体（96%）で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが（表3）、人工巣穴区の24個体（73%）が商品として問題が無い程度のわずかな傷で、商品価値の低下を招く出血や欠損がみられる個体は3個体（9%）であった。これに対して対照区では13個体

表 2. 各試験における死亡魚の傷の状態

試験番号	試験区	死亡 個体数	部位別の傷を有する個体数				
			下顎、腹部、 臀鰭内出血、 肛門肥大	頭部傷	尾部欠損	針が食道 から胃を 貫通	その他
1	人工巢穴区	21	18	—	2	—	1
	対照区	30	27	4	2	—	1
2	人工巢穴区	17	15	—	1	—	2
	対照区	24	17	6	7	—	—
3	人工巢穴区	4	3	—	—	4	—
	対照区	5	3	—	1	5	—

表 3. 試験終了時における各試験の生残個体の傷の状態と高品質魚の割合

試験番号	試験区	生残個 体数	部位別の傷を有する個体数と割合(%)										高品質魚の 個体数と割 合(%)
			吻部			尾部			臀鰭	胴体	背鰭	眼	
			微細な傷	出血お よび欠 損	小計	微細な 傷	出血お よび欠 損	小計	出血およ び内出血	出血	出血	白濁	
1	人工巢穴区	29	17	11	28	13	3	16	—	2	—	1	16(55%)
	対照区	20	5	15	20	4	8	12	—	2	2	—	4(20%)
2	人工巢穴区	33	24	3	27	11	—	11	—	1	2	—	20(61%)
	対照区	26	12	13	25	5	13	18	—	—	—	—	4(15%)
3	人工巢穴区	46	20	9	29	2	—	2	1	5	7	—	28(61%)
	対照区	45	9	33	42	5	4	9	—	—	7	2	10(22%)

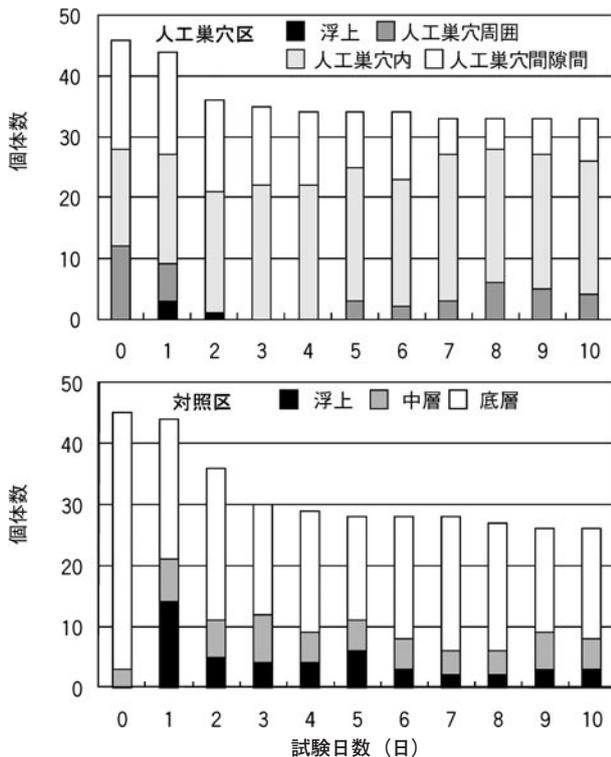


図 2. 試験 2 におけるハモの水槽内位置および生残個体数の推移。試験開始初日は 18:00 に観察した値。

(50%) で出血や欠損がみられた。

尾部においても人工巢穴区の生残個体の 11 個体 (33%)、対照区の 18 個体 (69%) で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが、人工巢穴区の 11 個体 (33%) が商品として問題が無い程度のわずかな傷で、商品価値

の低下を招く出血や欠損がみられる個体はみられなかった。これに対して対照区では 13 個体 (50%) で出血や欠損がみられた。その他、人工巢穴区の 1 個体 (3%) で胴体からの出血および 2 個体 (6%) で背鰭からの出血がみられた。

人工巢穴区の 20 個体 (61%) が商品として価格を下げるような傷がない高品質魚であったのに対し、対照区ではわずか 4 個体 (15%) であった。

試験 3 飼育期間中の水温は 22.9 ~ 24.2℃であった。人工巢穴区 (図 3) では試験開始後 1 ~ 10 日後まで 94 ~ 100% のハモが人工巢穴内部および人工巢穴間の隙間に隠れた。人工巢穴区では着底せずに浮上する個体は試験期間中を通じて全くみられなかったが、対照区では浮上する個体が 1 ~ 3 日後まで 3 ~ 4 個体、7 日後に 1 個体観察された。また人工巢穴区では中層を游泳する個体はみられなかったが、対照区では 1 ~ 10 日後まで 5 ~ 13 個体観察された。人工巢穴区、対照区ともに試験開始 3 日後でそれぞれ 4 個体が死亡し (図 3)、その後はほとんど死亡がみられず、最終的な 10 日後の死亡個体数は人工巢穴区が 4 個体、対照区が 5 個体であった。

人工巢穴区 (表 2) および対照区の全ての死亡魚で食道および胃に釣り針の貫通がみられ、人工巢穴区の死亡魚の 3 個体 (75%)、対照区の死亡魚の 3 個体 (60%) で頭部下顎から腹部、臀鰭にかけて内出血がみられた。

生残個体においても、人工巢穴区の 29 個体 (63%)、対照区の 42 個体 (93%) で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが (表 3)、人工巢穴区の 20 個体 (43%) が

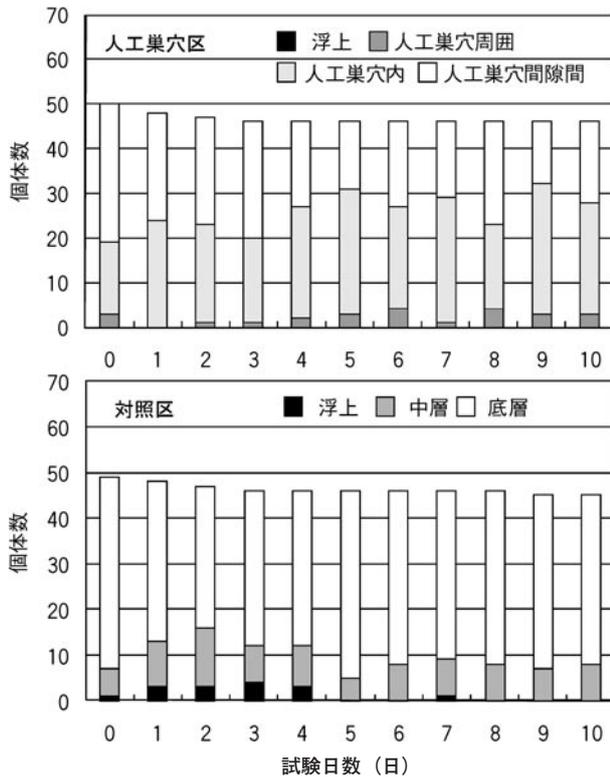


図3. 試験3におけるハモの水槽内位置および生残個体数の推移。試験開始初日は18:30に観察した値。

商品として問題が無い程度のわずかな傷で、商品価値の低下を招く出血や欠損がみられる個体は9個体(20%)であった。これに対して対照区では33個体(73%)で出血や欠損がみられた。

尾部においても人工巣穴区の2個体(4%)、対照区の9個体(20%)で吻部先端に傷や出血、欠損がみられたが、人工巣穴区では商品価値の低下を招く出血や欠損がみられる個体はみられなかったのに対して対照区では4個体(9%)で出血や欠損がみられた。その他、人工巣穴区の1個体(2%)で臀鰭に、5個体(11%)で胴体、7個体(15%)で背鰭に傷がみられ、対照区の7個体(16%)で背鰭からの出血や、2個体(4%)で眼の白濁がみられた。

人工巣穴区の28個体(61%)が商品として価格を下げるような傷がない高品質魚であったのに対し、対照区ではわずか10個体10%であった。

考 察

人工巣穴区ハモの状態 各試験ともに塩化ビニール製パイプの人工巣穴を敷設した試験区において試験開始1日後から終了時まで常に80~100%の個体が人工巣穴内もしくは人工巣穴間の隙間に隠れた(図1~3)。人工巣穴間の隙間は人工巣穴内と同様に狭窄な状態にあり、人工巣穴と同等の効果があると判断した。ハモは自然界で泥域および泥砂域に分布し、巣穴を形成すること

から⁴⁾、水槽内においてもこのようなパイプを巣穴の代用として利用するものと考えられる。

対照区ハモの状態 対照区では浮上もしくは中層を游泳する個体が試験期間中3~21%みられた(図1~3)。浮上する個体の多くは著しく疲弊し、正常に游泳もしくは着底することができず、やがては死亡することが多かった。正常な活力あるハモは通常底や巣穴内に静止することから(岡崎・上田未発表)、常時中層を游泳する個体についても異常な状態にあると考えられる。

死亡原因 小型底びき網で漁獲されたハモを用いた試験1,2(図1,2)では、人工巣穴区の生残率は対照区に比べてそれぞれ14%、18%高かった。試験1,2では試験開始1~2日後まで両試験区ともに死亡率は同様な傾向を示したが、3日以降には明らかに人工巣穴区の生残率が高かった。このことから、試験開始1~2日後は漁獲の影響が大きく、試験開始3日後から人工巣穴の効果が見られたと考えられる。

試験1,2(表2)の人工巣穴区および対照区では死亡魚の大部分に下顎、腹部、臀鰭内出血および肛門肥大等の外観症状が、次いで頭部および尾部に傷がみられたことから、主たる死亡の原因は巣穴の有無によって生じたものではなく、漁獲時の影響により生じた内臓の傷が悪化し、死亡したものと推定した。

これに対して延縄で漁獲されたハモを供試魚とした試験3(表2)では人工巣穴区および対照区の死亡個体数にほとんど差がみられず、いずれの死亡魚も針が食道から胃にかけて貫通したことが主因と考えられる。言い換えれば延縄では針掛かりさえなければ漁獲10日間で死亡する個体はないと考えられる。

試験終了時における小型底びき網で漁獲されたハモを供試魚とした試験1,2の人工巣穴区の方が延縄の人工巣穴区に比べて13~19個体(26~38%)、対照区で19~25個体(38~50%)死亡が多いことからみても(図1~3)、小型底びき網の漁獲時の網による擦れや圧迫等が死亡原因になっている可能性が高いと考えられる。

生残個体の傷の状態と原因 試験終了時における各試験の生残個体について人工巣穴区および対照区で最も多く傷がみられた部位は吻部で、次いで尾部、背鰭、胴体、臀鰭、眼の順であった(表3)。試験1,2の人工巣穴区の生残個体の82~97%、対照区の96~100%でみられた吻部の傷については漁獲時の網擦れによる負傷が起因となり、傷の悪化および水槽壁面への衝突等によるものと考えられるが、本来網擦れにより吻部の傷が発生しない延縄で漁獲された供試魚を用いた試験3においても、人工巣穴区の63%および対照区の93%で傷が生じたことから試験期間中の水槽壁面への衝突により負傷した可能性が高いと考えられる。筆者らは、これまでの游泳や

捕食行動の観察から、ハモは頭部の側面を視認できるが、頭部真正面が死角となり視認が困難なことを確認しており（上田・岡崎未発表）、このため水槽側面に衝突して吻部を負傷するものと考えられる。

しかしながら、人工巣穴区の吻部の傷の程度が対照区のそれに比べて明らかに小さかったことから（表3）、人工巣穴はハモを巣穴内で沈静させ、結果として吻部の傷を防止する効果があると考えられる。

また尾部の傷については、小型底びき網で漁獲された供試魚を用いた試験1、2では人工巣穴区で33～55%、対照区で66～69%であったのに対し（表3）、延縄で漁獲された供試魚を用いた試験3では人工巣穴区でわずか4%、対照区で20%であったことから、試験1、2では小型底びき網による漁獲時の影響が強いものと考えられる。しかしながら、各試験区ともに人工巣穴区の尾部の傷の程度が対照区のそれに比べて明らかに小さかったことから、人工巣穴は網擦れや噛み合い等による尾部の傷の悪化を防止する効果があると考えられる。

人工巣穴の効果 小型底びき網で漁獲されたハモを用いた2回の試験では、人工巣穴区の生残率は対照区に比べて約14～18%高かった（図1、2）。また両漁法の試験終了時における対照区の高品質魚の割合が15～22%であったのに対し、人工巣穴区のそれは55～61%であった（表3）。このことから、人工巣穴はハモの游泳頻度を下げ、沈静させるため、結果として尾部の傷の悪化と新たな負傷を防止し、治癒に導く効果があると考えられる。また、人工巣穴内で死亡する個体も稀にみられたが、巣穴内に隠れるハモは活力が高いことから活力のあるハモの選別にも応用できるものと考えられる。

これまでハモを含め、ウナギやアナゴが水槽内で筒やパイプなどに隠れる習性があることは広く知られていたが、それらに生残率を向上させ、傷防止効果があることは報告されていなかった。本研究では初めて人工巣穴の効果を実量的に評価した。ハモを漁獲する小型底びき網や延縄漁船の魚槽、市場の一時蓄養水槽、活魚輸送および料理店の活魚水槽に人工巣穴を活用できるものと考えられる。

謝 辞

本研究に用いた標本の購入に便宜を図っていただいた徳島市漁業協同組合および牟岐東漁業協同組合の販売担当者並びに本研究を担当する機会を与えていただいた試験実施当時の大西圭二徳島県農林水産総合技術支援センター水産研究所長（現徳島県農林水産部漁業調整室長）に深謝する。最後に、懇切丁寧に査読して頂いた査読者の方々に心よりお礼申し上げる。

文 献

- 1) 松原喜代松（1955）魚類の形態と検索Ⅰ．石崎書店、東京、340-342pp.
- 2) 松原喜代松・落合 明（1965）魚類学（下）．恒星社厚生閣、東京、573-580pp.
- 3) 高井徹（1959）日本産重要ウナギ目魚類の形態、生態および増殖．水講研報、8、1-349.
- 4) 上田幸男（2007）わが国のさかな「はも」．日本水産資源保護協会、東京、1-20pp.

原著論文

人工授精作業におけるサケ親魚や精子・卵の放置時間が仔魚の浮上率に与える影響

高橋 悟^{*1}・戸叶 恒^{*2}・高橋史久^{*1}・伴 真俊^{*1}

Influence of Handling Time of Broodstock, Sperm and Eggs during Artificial Insemination of Chum Salmon *Oncorhynchus keta* on the Emergence Rate of Fry

Satoru TAKAHASHI, Kou TOKANO, Humihisa TAKAHASHI, and Masatoshi BAN

We examined the influence of handling time and temperature of broodstock, sperm and eggs during artificial insemination of chum salmon, on the emergence rate of fry. We set 0-240 minutes for the handling time, with two different temperature conditions (room temperature and ice cold water). In the case of room temperature, the handling time that resulted in an emergence rate of fry that was less than 90% was 135 minutes for female broodstock, more than 240 minutes for sperm, 39 minutes for eggs, 39 minutes for inseminated eggs, and more than 240 minutes for washed inseminated eggs. When the initial temperature of the internal genitalia of the male broodstock was more than 11°C, the handling time became shorter for the low emergence rate of fry ($\leq 90\%$). In addition, cooling treatments of these processes (except for sperm) could delay the decrease in the emergence rate of fry.

2009年10月15日受付, 2010年1月21日受理

サケマス類は北日本の重要な水産資源である。農林水産省が公表している2006～2008年の漁業・養殖業生産統計によると、北海道における3ヶ年のサケマス類の平均水揚げ量(17.3万トン)は、魚類では2番目の水揚げ量となっている。かつては1.9万トンにも満たなかったサケマス漁業が1980年代に入ると7.5万トンに達し、現在では17.3万トンにまで上っている背景には、サケマス増殖事業の発展が寄与している¹⁾。

この増殖事業は親魚捕獲、蓄養、人工授精、種卵管理、稚魚飼育、放流の工程があり、これらのうち人工授精作業はさらに採卵、媒精、攪拌、洗浄、吸水、収容の工程に分けられる。通常は、親魚を捕獲場や蓄養池から

取り上げた後の各工程を速やかに行うことが人工授精作業の原則である。しかし、地域によっては人員不足、捕獲場の施設構造等の問題で、親魚を取り上げてから授精までに時間を費やしたり、魚体外に卵、精子を取り出した状態で輸送し、時間を経てから授精させているふ化場もある。また、卵の洗浄、吸水用の水に塩分を含んでいるなど適切な用水が確保できない場所では、卵に精子を媒精した状態、あるいは取り上げた魚を魚体ごと時間をかけて運搬し授精させるといった実態もある²⁾。

過去のサケ(*Oncorhynchus keta*)の人工授精に関する報告によると、精子は取り上げた親魚の体内に放置された場合、体温11～19°Cの場合は約30分～約90分で受

*1 独立行政法人水産総合研究センター さけますセンター さけます研究部

〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島2条2丁目4-1

Research Division, National Salmon Resources Center, FRA 4-1 Nakanosima, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-0922 Japan.

satoruta@fra.affrc.go.jp.

*2 現所属: 独立行政法人水産総合研究センター 日本海区水産研究所 業務推進部調査普及課

精率が約 90% から著しく低下することが確認されている³⁾。また、精子が魚体外に出され空気にさらされた状態では、放置温度 3.5 ~ 33℃ で 4 時間 ~ 11 日までその活性 (運動能) を保つことが可能である^{4, 5)}。卵については、取り上げた親魚の体内で放置した場合、魚体温が 11 ~ 19℃ では約 1.5 時間 ~ 約 8 時間を過ぎると 90% 台を保っていた受精率が著しく低下する³⁾。魚体外に取り出して放置した場合、卵温度が 19℃ では 1 日後には受精能力が 0% に低下するが、8℃ では 2 日まで 90% 台の受精率を保つことができる⁶⁾。媒精した卵の場合、卵温度 10 ~ 11℃、あるいは冷却し卵温度 4.0 ~ 8.7℃ で 23 時間放置した場合も、いずれも受精率は 93 ~ 98% と高かった⁷⁾。また、媒精した卵を卵温度 7.6 ~ 9.1℃ で 23 時間放置した場合も受精率は 98 ~ 100% となったが、稚魚の浮上率は 1 時間以上放置した群では浮上率が 93.4% に低下し放置時間のない対照群の浮上率 98.2% と 5% 水準で有意差が認められたため、30 分以内の接水により良好な種苗生産が期待できる⁷⁾。

このように、蓄養池から取り上げた親魚ならびに採取した卵と精子の放置時間が卵や仔稚魚に与える影響は、古くから興味深い問題として注目され研究されてきたが、多くの場合、影響評価の判定を受精率で行っている。しかし、上記の最後の事例⁷⁾ のように受精率が高くても稚魚の浮上率が極端に低下する場合があるうえ、実際の増殖事業においても発眼後に死亡する卵も多く認められたり、ふ化後に多くの減耗がおきたり形態異常が発生したりする場合もある。そのため、親魚や卵・精子の放置時間が生残に与える影響の実験結果を今日の増殖事業の現場に生かすためには、受精から浮上までの生残率を総合的に把握する必要がある。また増殖事業者からも、授精作業における各工程の経過時間が浮上までの生残率に与える影響を明らかにすることに対する要望は高い。

そこで、本研究では人工授精作業の各工程における経過時間が浮上までの生残率 (浮上率) に与える影響を明らかにした。ならびに、技術が確立されたといわれているサケの増殖事業でも、さけますセンターで実施している増殖実態モニタリング調査によると、北海道内において地域ごとの浮上率は 2005 ~ 2007 年の近年においても 85 ~ 90% と地域差や年変動があり、さらに各ふ化場単位で確認した場合には低いものでは 59% になることもあった。本研究では過去の状況から浮上率の高位水準 (90%) を達成するための技術開発を目指した。また、過去の知見から卵や精子の放置温度が低いほど高い受精能力を維持できる時間が長くなる傾向が認められることから、親魚、卵、精子を低温に保つことが浮上率に与える影響も検証した。

材料と方法

試験区の設定と試験結果の評価 本試験は北海道のさけますセンター千歳事業所、十勝事業所、虹別事業所と岩手県の津軽石川さけふ化場、織笠川さけ人工孵化場、新潟県の三面川鮭産漁業協同組合で捕獲もしくは蓄養したサケ親魚、および採取した卵と精子を用いて、2005 ~ 2008 年の 9 月 ~ 11 月に実施した。

試験区として、捕獲場あるいは蓄養池から取り上げた雌雄の親魚、親魚から採取した精子と卵、卵と精子を混ぜ合わせた卵 (媒精卵)、および媒精卵を洗浄した洗浄卵の 6 区を設け、各試験区における放置時間が卵と仔魚の生残率に与える影響を調べた。人工授精作業の各工程における放置時間は一般的に長くても 30 分程度と言われている²⁾ が、本実験では卵と仔魚の生残率に影響する放置時間を把握するために各々 0 分、15 分、30 分、60 分、120 分、240 分の放置時間を設けた。さらに放置される温度の影響を把握するため各試験区に、通常的人工授精作業時を模した「室温区」と、サンプルを冷却する「水冷区」の温度条件も設けた。なお、室温区と水冷区のサンプルの温度変化を把握するため、実験に供試する親魚、精子、卵の温度を計測した。それぞれの温度は、親魚の生殖腔内、もしくはプラスチック製ボールに採取した精子や卵に棒状温度計を差し込んで計測した。放置時間と温度が浮上までの生残率に与える影響を評価するために、供試卵がふ化するまでの卵期での減耗数 (卵期減耗数) とふ化後から浮上するまでの仔魚期での減耗数 (仔魚期減耗数) を計数し、浮上率 ((供試卵数 - (卵期減耗数 + 仔魚期減耗数)) × 100 / 供試卵数; %) を算出した。そして、北海道における近年 (2005 ~ 2007 年) の浮上率の状況から高位水準 (90%) を達成するために、放置時間に伴う浮上率の折れ線グラフと浮上率 90% ラインとの交点からその放置時間を求めた。なお、どの時点で室温区と水冷区の浮上率に差が生じたかを把握するため t 検定により統計学的な有意差を確かめた。また、卵期での減耗数から求められたふ化率 ((供試卵数 - 卵期減耗数) × 100 / 供試卵数; %) と浮上率を比較した。放置時間と温度が奇形魚の発生に与える影響を把握するために、形態異常率 (形態異常魚の数 × 100 / 供試卵数; %) を算出した。なお取り上げ後の作業は全て屋内で行うとともに、媒精の際には血液等の不純物が多い精子、および体内死卵や変色した卵、血液等が混入している卵の使用を避けた。媒精後は、十分な攪拌と洗浄、吸水を経て速やかに試験槽へ移した。4 年間に行った実験の試験区と放置条件を表 1 にまとめた。

捕獲場あるいは蓄養池から取り上げた雄親魚の放置時間と放置温度の影響 試験は 2005 年に千歳事業所で、2006 年に津軽石川さけふ化場で、2007 年に千歳事業所、十勝事業所、三面川鮭産漁業協同組合でそれぞれ実施し

表 1. 放置時間と温度が浮上率に与える影響を把握するために
行った実験の試験区、放置条件及び実験回数

試験区	雄親魚				雌親魚				精子		卵		媒精卵		洗浄卵
	河川	湧水	室温	氷冷	室温	氷冷	室温	氷冷	室温	氷冷	室温	氷冷	室温	氷冷	室温
2005	1	1													
2006			1	1	1	1							1		
2007			3	3	1	1	1	1	1	1					
2008					2	2							2	1	1

た。排精を確認した6～10尾の雄親魚を捕獲場あるいは蓄養池から取り上げた後に個体識別し、室温で放置する試験区（室温区）と砕氷を敷き詰めたプラスチック製の箱に魚体を放置する試験区（氷冷区）を設けた。上記の放置時間毎にそれぞれの雄から精子を約4ml採取し、その都度取り上げた6～10尾の雌親魚からそれぞれ採取した卵約200粒に雄：雌=1：1で媒精した。ふ化用水として8.5～13.0℃の地下水もしくは湧水を用いた。

なお、2005年に千歳事業所で行った試験では、水温20℃の河川水にさらしながら放置した試験区を室温区、水温8℃の湧水にさらしながら放置した試験区を氷冷区として扱い同様の実験を行った。また、2005年の千歳では放置240分の実験、2006年の津軽石、2007年の三面では放置120分、240分の実験を行わなかった。捕獲場あるいは蓄養池から取り上げた雌親魚の放置時間と放置温度の影響

試験は2006年に千歳事業所で、2007年に織笠川さけ人工孵化場で、2008年に十勝事業所と三面川鮭産漁業協同組合で実施した。成熟を確認した6～10尾の雌親魚を捕獲場あるいは蓄養池から取り上げた後に個体識別し、室温で放置する試験区（室温区）と砕氷を敷き詰めたプラスチック製の箱に魚体を放置する試験区（氷冷区）を設けた。上記の放置時間毎にそれぞれの雌から約200粒の卵を搾り出し、その都度取り上げた6～10尾の雄親魚から採取した精子と雌：雄=1：1で媒精させた。ふ化用水として8.8～14.0℃の地下水もしくは湧水を用いた。

魚体外に取り出した精子の放置時間と放置温度の影響

試験は2007年に虹別事業所で行った。排精した8尾の雄親魚から採取した精子を別々のプラスチック製ボールに入れ、室温と氷上の条件下に放置した。放置時間経過毎にその都度取り上げた8尾の雌親魚から採取した約200粒の卵と雄：雌=1：1で媒精させた。ふ化用水として9.4℃の湧水を用いた。魚体外に取り出した卵の放置時間と放置温度の影響

試験は2007年に虹別事業所で行った。成熟を確認した8尾の雌親魚から採取した卵約200粒を別々のプラスチック製ボールに入れ、室温と氷上の条件下に放置した。放置時間経過毎にその都度取り上げた8尾の雄親魚から採取した精子と雌：雄=1：1で媒精させた。ふ化用水として9.4℃の湧水を用いた。媒精した卵の放置時

間と放置温度の影響

試験は2006年に津軽石川さけふ化場で、2008年に虹別事業所と織笠川さけ人工孵化場で実施した。成熟を確認した6～8尾の雌親魚と雄親魚から採取した約200粒の卵と精子を雌：雄=1：1で媒精し、十分に攪拌した後、室温と氷上の条件下に放置した。放置時間経過毎に室温区と氷冷区における媒精卵の温度を測定した。予定した放置時間が経過した媒精卵は、十分に吸水させて、速やかに試験槽へ移した。ふ化用水として9.4～13.0℃の地下水もしくは湧水を用いた。

媒精後に洗浄した卵の放置時間と放置温度の影響

試験は2008年に虹別事業所で行った。成熟を確認した8尾の雌親魚と雄親魚から採取した約200粒の卵と精子を雌：雄=1：1で媒精し、十分に攪拌し体腔液と精子を洗浄した後、水を切った状態で室温に放置した。なお、本試験は同年に虹別事業所で行われた媒精卵の放置試験の室温区に対する比較試験として行ったため、氷冷区は設けなかった。予定した放置時間が経過した洗浄卵は、十分に吸水させ、速やかに試験槽へ移した。ふ化用水として9.4℃の湧水を用いた。

結 果

雄親魚の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響

雄親魚の室温区および氷冷区における放置時間ともなう浮上率の変化を図1に示した。室温区も氷冷区も放置120分後には浮上率がほぼ0%にまで低下してしまう場合と、放置240分後で40%以上の浮上率を示している

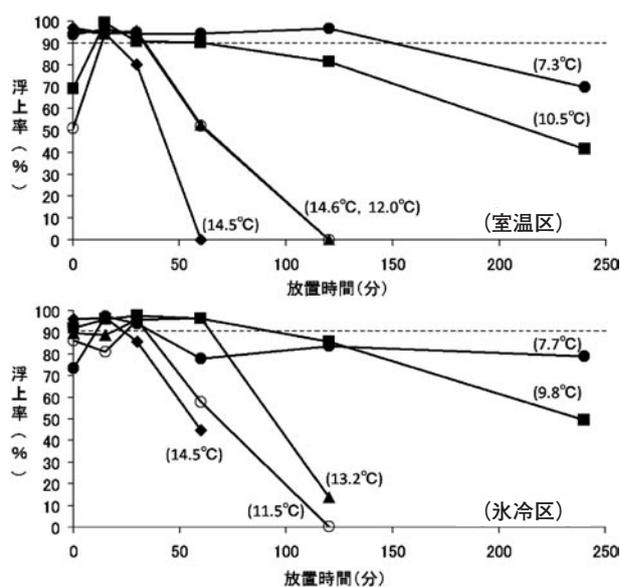


図 1. 雄親魚の室温区・氷冷区による浮上率の経時変化
(括弧内の数値は0分時のサンプル温度を示す)
室温区：2005年千歳（河川水冷）、2006年津軽石、2007年十勝、2007年千歳、2007年三面
氷冷区：2005年千歳（湧水冷）、2006年津軽石、2007年十勝、2007年千歳、2007年三面

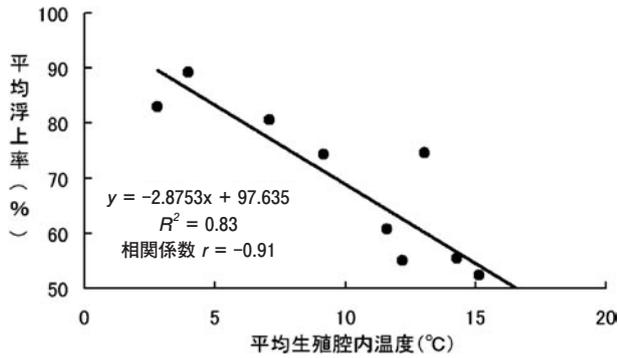


図2. 雄親魚の体腔内温度と浮上率との関係

る場合に分かれた。この違いを雄親魚の生殖腔内の温度で比較したところ、浮上率が早期に低下した個体は室温区と氷冷区ともに放置0分の温度が11℃を越えている傾向を示した。また、放置時間毎の各ふ化場で用いた魚の平均生殖腔内温度と平均浮上率の間には、強い負の相関が認められた ($r = -0.91$) (図2)。そのため、放置0分時の生殖腔内温度が11℃以上だった個体を高温群、11℃未満だった個体を低温群に分類し平均浮上率の経時変化を求めた結果、高温群は放置30分以降に平均浮上率が著しく低下し、放置60分後には平均浮上率が50.6%になった(図3)。低温群は高温群ほど急激な浮上率の低下は示さなかったものの、放置60分後には平均浮上率が90%以下となり、放置240分には平均浮上率が60.0%になった。平均浮上率90%以上を維持できる放置時間は、高温群では31分、低温群では約2倍の58分であった(表2)。放置時間30分では高温区と低温区の浮上率に統計学的な有意差は認められなかったが、放置時間60分にかけて有意差が認められた ($p < 0.05$)。

放置時間ともなう雄親魚の生殖腔内の平均温度は、高温群が13.4℃から12.9℃、低温群は8.8℃から6.0℃に低下した。実験中の室温は高温群が17.5℃から18.1℃、低温群が9.0℃から10.4℃の範囲であった。

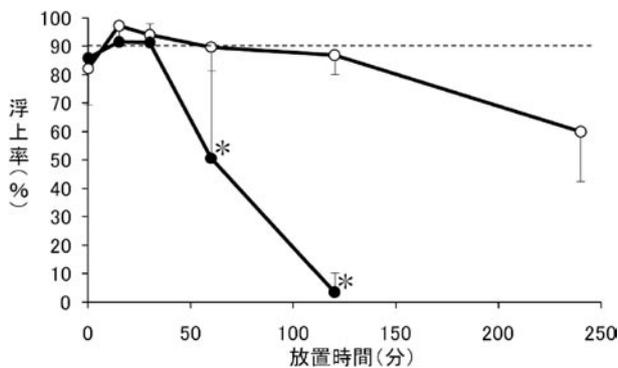


図3. 雄親魚の放置時間による浮上率変化 (高温区 ●, 低温区 ○)
縦棒線は標準偏差を示す
各放置時間の高温区と低温区において有意差が認められた箇所に*の記号を付した ($p < 0.05$)

表2. 浮上率が90%以上を示した雄親魚の放置時間と、生殖腔内の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率90%以上の時間	生殖腔内温度		室温
			開始	終了	
雄親魚	高温	31分	13.4℃	12.9℃	17.5~18.1℃
	低温	58分	8.8℃	6.0℃	9.0~10.4℃

雌親魚の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響

雌親魚の室温区および氷冷区における放置時間ともなう浮上率の変化を図4に示した。浮上率は実験を行った各ふ化場の平均値で表した。その結果、室温区は放置60分で一度平均浮上率が87.7%を示したものの、放置120分では91.0%を示し、その後放置240分には83.1%にまで低下した。氷冷区は放置120分まで平均浮上率が95%前後で推移し、放置240分では若干低下し91.7%であった。平均浮上率90%以上を維持できる放置時間は、室温区では135分までだったのに対し、氷冷区では240分後で平均浮上率が91.7%であった(表3)。ただし、放置時間に伴う室温区と氷冷区の浮上率には統計学的な有意差は認められなかった。なお、雄で認められたような放置0分の生殖腔内温度と浮上率の関係は認められなかった。

放置時間ともなう各ふ化場で用いた雌親魚の生殖腔内の平均温度は、室温区が11.9℃から13.6℃、氷冷区が11.7℃から4.0℃に推移した。実験中の室温は室温区が14.4℃から18.0℃、氷冷区が15.1℃から17.3℃の範囲であった。

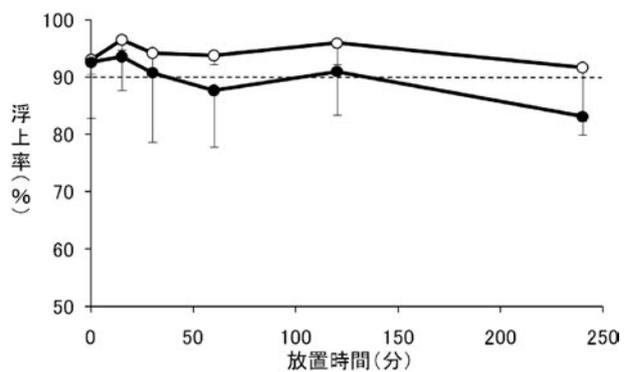


図4. 雌親魚の放置時間による浮上率変化 (室温区 ●, 氷冷区 ○)
縦棒線は標準偏差を示す

表3. 浮上率が90%以上を示した雌親魚の放置時間と、生殖腔内の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率90%以上の時間	生殖腔内温度		室温
			開始	終了	
雌親魚	室温	135分	11.9℃	13.6℃	14.4~18.0℃
	氷冷	240分以上	11.7℃	4.0℃	15.1~17.3℃

魚体外に取り出した精子の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響 魚体外に取り出した精子の放置時間にもなる平均浮上率を図5に示した。室温区も氷冷区もほぼ同じ動向を示し、放置時間が240分後でも室温区は99.3%の浮上率、氷冷区は98.3%の浮上率を維持した(表4)。放置時間30分に室温区と氷冷区との浮上率に有意な差が認められたものの($p<0.05$)、それ以外では有意差は認められなかった。

放置時間にもなる精子の温度は、室温区が10.7℃から11.1℃、氷冷区が9.0℃から5.6℃に推移した。実験中の室温は室温区が11.1℃から14.2℃、氷冷区が9.8℃から14.5℃の範囲であった。

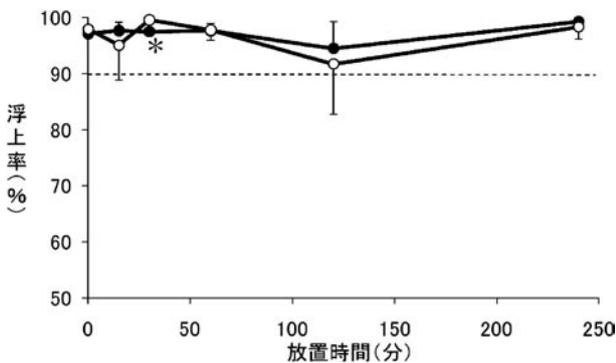


図5. 精子の放置時間による浮上率変化(室温区●, 氷冷区○) 縦棒線は標準偏差を示す 各放置時間の室温区と氷冷区において有意差が認められた箇所に*の記号を付した($p<0.05$)

表4. 浮上率が90%以上を示した精子の放置時間と、精子の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率90%以上の時間	精子温度		室温
			開始	終了	
精子	室温	240分以上	10.7℃	11.1℃	11.1~14.2℃
	氷冷	240分以上	9.0℃	5.6℃	9.8~14.5℃

魚体外に取り出した卵の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響 魚体外に出された卵の放置時間にもなる平均浮上率を図6に示した。室温区では60分後に浮上率が84.3%となり、120分後には38.5%まで低下した。氷冷区では浮上率の低下は室温区より緩やかであったが、120分の放置で浮上率90%を下回り89.7%となった。浮上率を90%以上に維持できる放置時間は、室温区が39分、氷冷区が約3倍の112分であった(表5)。放置時間30分から室温区と氷冷区との浮上率に有意な差が認められた($p<0.05$)。

放置時間にもなる卵の温度は、室温区が10.2℃から10.1℃、氷冷区が10.2℃から1.5℃に推移した。実験中の室温は室温区と氷冷区とも14.2℃から14.7℃の範囲で

あった。

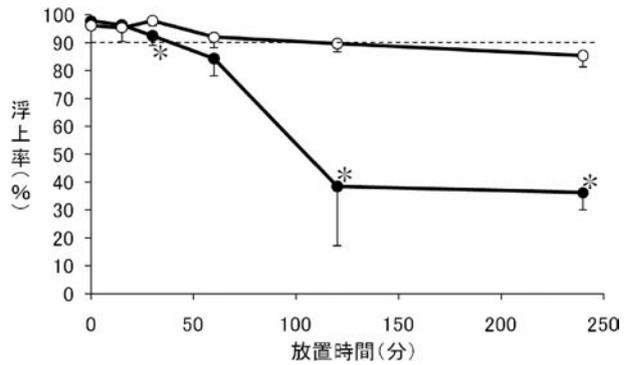


図6. 卵の放置時間による浮上率変化(室温区●, 氷冷区○) 縦棒線は標準偏差を示す 各放置時間の室温区と氷冷区において有意差が認められた箇所に*の記号を付した($p<0.05$)

表5. 浮上率が90%以上を示した卵の放置時間と、卵の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率90%以上の時間	卵温度		室温
			開始	終了	
卵	室温	39分	10.2℃	10.1℃	14.2~14.7℃
	氷冷	112分	10.2℃	1.5℃	14.2~14.7℃

媒精した卵の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響

媒精した卵の放置時間にもなる平均浮上率は、室温区が30分後に93.1%、120分後には83.1%まで低下した(図7)。氷冷区の浮上率は、240分後まで90%以上の安定した値を維持した。平均浮上率が90%以上を示した放置時間は、室温区が39分であったのに対し、氷冷区では240分後も浮上率が90%以上であった(表6)。ただし、放置時間に伴う室温区と氷冷区の浮上率には統計学的な有意差は認められなかった。

放置時間にもなる媒精卵の平均温度は、室温区では10.5℃から10.9℃、氷冷区では6.0℃から9.0℃で推移した。実験中の室温は室温区が10.5℃から11.8℃の範囲であり、氷冷区は欠測のため不明であった。

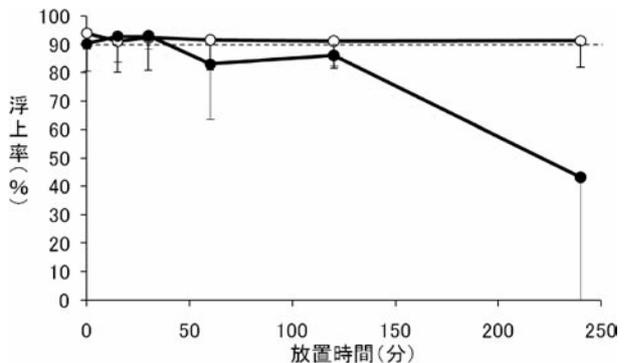


図7. 媒精卵の放置時間による浮上率変化(室温区●, 氷冷区○) 縦棒線は標準偏差を示す

表 6. 浮上率が 90% 以上を示した媒精卵の放置時間と、媒精卵の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率 90% 以上の時間	媒精卵温度 開始 終了	室温
媒精卵	室温	39 分	10.5℃ 10.9℃	10.5 ~ 11.8℃
	氷冷	240 分以上	6.0℃ 9.0℃	欠測

媒精卵を洗浄した状態での放置時間と放置温度が浮上率に与える影響 洗浄した卵の放置時間にもなう浮上率は、放置 0 分から実験終了の 240 分まで 90% 以上を維持した (表 7, 図 8)。

放置時間にもなう洗浄卵の温度は 8.6℃ から 7.9℃ で推移した。実験中の室温は 5.0℃ から 7.5℃ の範囲であった。

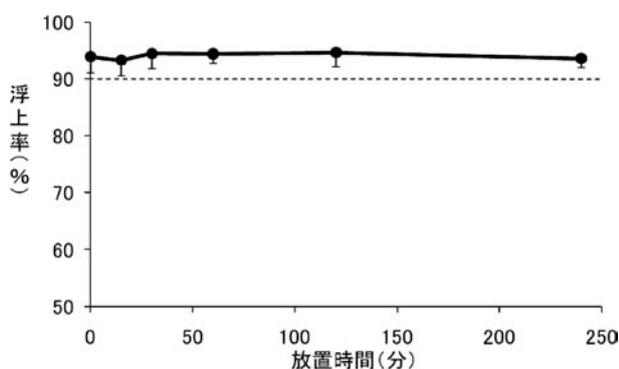


図 8. 洗浄卵の放置時間による浮上率変化 (室温区●) 縦棒線は標準偏差を示す

表 7. 浮上率が 90% 以上を示した洗浄卵の放置時間と、洗浄卵の温度の変化と実験時の室温

試験区	放置条件	浮上率 90% 以上の時間	媒精卵温度 開始 終了	室温
洗浄卵	室温	240 分以上	8.6℃ 7.9℃	5.0 ~ 7.5℃

放置時間と放置温度が死亡の起きる発育段階と形態異常魚の発生率に与える影響

放置時間にもなうふ化率と浮上率の変化を図 9 に示した。ふ化率と浮上率は全実験区の平均値で表した。放置時間の長短に関わらず、浮上までに生じる減耗のうち、卵期での減耗が 82.1 ~ 93.4% を占めていた。しかし、放置時間が長くなりふ化率が減少するにつれて、ふ化後の減耗が増加する傾向が認められた。例えば雄親魚を氷冷して 120 ~ 240 分間放置した区では、ふ化後に著しく減耗が起きたためふ化率と浮上率の差が 9.9 ~ 19.1% に達した (図 10)。

放置時間、放置の温度、浮上率と形態異常魚の発生率との関係を調べた結果、魚体外に取り出した精子の氷冷区、媒精卵の室温区、洗浄卵の室温区において相関が認

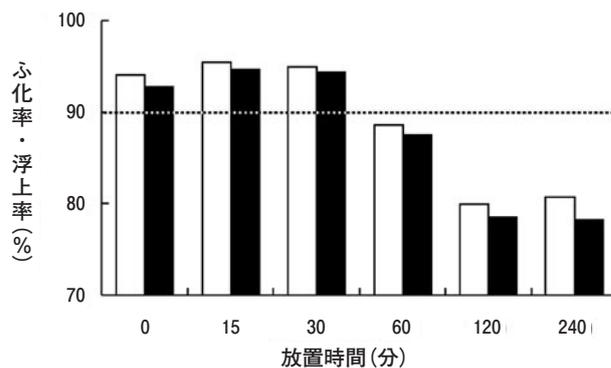


図 9. 放置時間経過にもなう全実験区の平均ふ化率と平均浮上率 (ふ化率□, 浮上率■)

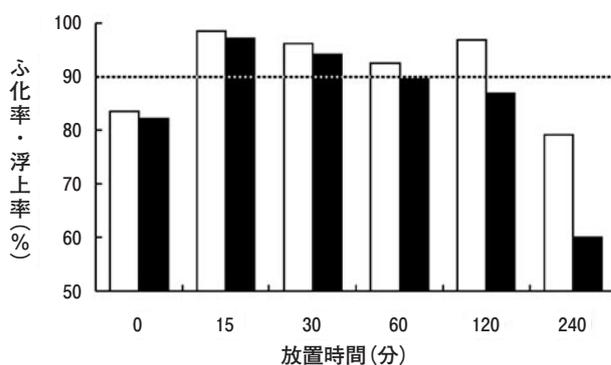


図 10. 雄親魚低温区のふ化率と浮上率 (ふ化率□, 浮上率■)

められた。魚体外に取り出した精子の氷冷区では放置時間と形態異常率に正の相関 ($n=6, r=0.66$), 浮上率と形態異常率に負の相関 ($n=6, r=-0.60$) があり, 形態異常魚の発生率は 0.0 ~ 0.7% の範囲であった。媒精卵の室温区では放置時間と形態異常率に正の相関 ($n=6, r=0.55$), 卵温度と形態異常率に正の相関 ($n=6, r=0.64$), 浮上率と形態異常率に負の相関 ($n=6, r=-0.43$) があり, 形態異常魚の発生率は 0.3 ~ 1.0% の範囲であった。洗浄卵の室温区では放置時間と形態異常率に正の相関 ($n=6, r=0.45$), 卵温度と形態異常率に正の相関 ($n=6, r=0.76$), 浮上率と形態異常率に負の相関 ($n=6, r=-0.76$) があり, 形態異常魚の発生率は 0.2 ~ 1.9% の範囲であった。

考 察

サケを用い、授精作業の各工程における放置時間が浮上率に与える影響を調べた。その結果、精子を魚体内で放置した場合、卵を魚体外で室温下にて放置した場合、媒精した卵を室温下にて放置した場合に、それぞれ放置 60 分以内に浮上率が 90% を下回ることが分かった。この結果は、過去に行われた同様の放置実験³⁻⁶⁾に比べて、概ね短い時間であったが、これまでの実験では結果の評価を受精率で行っているのに対し、今回は浮上率で行

たことが一因と考えられる。それについては、熊野らによって求められた媒精卵の放置時間による受精率と浮上率の結果で、受精率が高い場合でも放置時間の影響で発生がうまく進まず死亡が生じ、浮上率が極端に低下する可能性があるということからも予想される⁷⁾。

精子を魚体内に放置した実験では、放置0分時の生殖腔内温度がその後の減耗に強く影響することが分かった。すなわち、放置0分時の生殖腔内温度が11℃以上の場合には31分以上の放置で浮上率が90%以下に低下し、60分にかけて低温区と比べ浮上率が有意に低下するのに対し、11℃未満の場合には約2倍の58分以上で浮上率は90%以下に低下した。また、今回の実験では放置0分時の生殖腔内温度が11℃以上の個体を水冷してもその効果は明瞭に現れなかった。それは、魚体の表面を冷しても生殖腔内、つまりは精子が冷えるまでに時間がかかるためであると考えられる。この結果は蓄養水温が高く魚体温あるいは生殖腔内の温度が高くなるふ化場では雄親魚を放置せず、速やかに精子を授精に使用する必要があることを示唆している。魚体内に放置された精子を用いた場合、他の全ての放置状態より浮上率が90%以上を維持できる時間が短かった。精子の酸素消費量は卵の約20倍であると言われていたこと²⁾から、陸上に放置された親魚では酸素消費量の多い精子に十分な酸素を供給できず、精子の質が劣化したと予想される。しかし、精子を魚体外に出した状態であれば、室温区でも水冷区でも240分間の放置を経ても浮上率を90%以上に保つことができ、放置時間30分を除いては両区に有意な差も認められなかった。これは、プラスチック製ボールに精子を薄く放置したため空気中から酸素を補給できたためかもしれない。いずれにせよ、速やかに授精作業を行えない環境では精子を魚体外に取り出して放置の方が効果的であるといえる。なお、精子を魚体外に出した水冷区においては、放置時間と形態異常魚の発生率にやや強い相関が認められたことから、本実験の条件であれば精子を水冷する必要はないと判断できた。

卵を魚体内に放置した場合、室温区と水冷区に統計学的な有意差は認められず、浮上率が90%以下となる放置時間は室温区で135分であったが、水冷区では240分後でも90%以上の浮上率を保っていた。しかし、卵を魚体外に出した場合は放置時間30分時点から室温区と水冷区との浮上率に有意差が認められ、浮上率が90%以下となる放置時間は魚体内に放置した場合よりも室温区では1/3程度の39分、水冷区では半分以下の112分にまで短くなり、いずれの場合も精子とは逆の結果となった。これは、卵にとって体腔液で守られている体内環境の方が、外気にさらされ乾燥が起き易い体外環境より好適であったことが考えられる。この結果は、卵を体内に放置せざるを得ない状況では、体温を低く保つことが良質な卵の確保にとって重要であることを示している。

また、ふ化場のなかには立地条件や洗浄吸水のための

適切な用水が十分に確保できない等の要因により、卵に精子を媒精した状態、あるいは媒精した卵を洗浄した状態で輸送せざるを得ない所がある²⁾。本実験で示された媒精卵の放置による結果は、熊野ら⁷⁾により示された媒精から洗浄まで30分以内に完了する授精方法が卵温度が4.0～11.0℃の範囲であれば種苗生産の障害にならないという結果と同様となった。そして、媒精卵を室温で放置した場合、媒精卵を洗浄した後に室温で放置した場合よりも浮上率の低下が著しく早く39分程度であった。しかし、媒精卵を水冷することにより洗浄卵と同じく放置時間240分でも浮上率が90%以上に保つことができた。これらの結果から、卵の輸送が必要なふ化場では、媒精卵を洗浄後に輸送するのが効果的であるといえる。しかし、媒精卵を洗浄するだけの用水すら確保できないような所では、媒精卵を冷却して輸送することでもその後の減耗を少なくできることが分かった。なお、室温下に置かれた媒精卵や洗浄卵は卵温度の上昇にともない形態異常魚の発生率が上昇する傾向があったため、そのような観点からも卵温度を低く保つことがより望ましいと考えられた。

放置時間が減耗の起きる発育段階に与える影響を調べたところ、浮上までの減耗のうち卵期での減耗が大半を占めることが把握された。それに加えて、放置時間が長くなるにつれて、仔魚期での減耗が増加する傾向があることも認められた。この結果は、放置の影響が仔魚にまでおよぶ可能性を示している。増殖現場で起きている仔魚期の慢性的な減耗要因は不明であるが、今回の結果を応用し作業の効率化を図るとともに授精時の放置時間を短くすることで、減耗を軽減することに寄与できるかもしれない。また、以上の結果は授精の効果を正確に評価するために従来から用いられてきた受精率やふ化率だけでなく、浮上率も併せて調べることを望ましいことを示唆している。

今回の実験では様々な放置条件下で放置時間が浮上率に与える影響を明らかにしてきたが、いずれの場合も経過時間にもなって浮上率が低下していくのは明らかであった。より健全な種苗を育成するためには速やかに作業を終えることが重要である。そこで、今回の実験結果に基づいて以下の対処法が提示できる。

- 1) 雄親魚は31分以内には使用する。それが出来ない場合には、精子を取り出しておき240分以内には授精させるか、受精後の洗浄卵で240分以内に吸水させる。
- 2) 雌親魚は135分以内には使用する。それが出来ない場合には、雌親魚の魚体を水冷し240分以内に採卵し授精させるか、受精後の洗浄卵で240分以内に吸水させる。
- 3) 精子は240分以内には授精させる。
- 4) 卵（未受精）は39分以内には授精させる。それが出来ない場合には、卵を水冷し112分以内には授精させるか、受精後の洗浄卵で240分以内に吸水させる。

- 5) 媒精卵は39分以内には使用する。それが出来ない場合には、媒精卵を氷冷し240分以内に洗浄するか、受精後の洗浄卵で240分以内に吸水させる。
- 6) 洗浄卵は240分以内には吸水させる。

本実験で用いた冷却方法は砕氷の上に魚体を置いたり、卵や精子を入れたプラスチック製ボールを砕氷の上に置く方法であったため、さらに効果的に冷却し得る方法を検討してみる価値がある。特に雄親魚の生殖腔内の温度を効果的に下げる方法が得られれば、河川水温や蓄用水温が高く生殖腔内の温度が11℃以上の状態で放置せざるを得ないふ化場にとって有効な方法となると考えられる。また、地域によっては媒精卵で放置するのに加えて車で輸送する場合もあるため、輸送時の振動の影響を加味した放置実験も行うことが今後の課題として残された。

謝 辞

独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター千歳事業所、十勝事業所、虹別事業所、東北水研調査普及課、日水研調査普及課、津軽石川さけふ化場、織笠川さけ人工孵化場、三面川鮭産漁業協同組合の職員の皆様にはデータの収集に多大なるご尽力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 木村義一(1989)北海道におけるさけ・ますふ化事業の方向. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 158, 1-4.
- 2) 宮本幸太・平澤勝秋・宮内康行・戸叶 恒(2009)サケ人工増殖における親魚捕獲, 蓄養および受精作業の現状と問題点. 水産技術, 1 (2), 29-38.
- 3) 岡田 雋・石川嘉郎・木村義一(1956)鮭人工孵化に於ける不受精現象の研究(第2報)精子及び卵子の生存能力について. 孵化場試験報告, 11, 7-17.
- 4) 岡田 雋・伊藤哲司(1955)鮭人工孵化に於ける不受精現象の研究 第一報 精子の活力と受精力について. 孵化場試験報告, 10 (1/2), 21-31.
- 5) 広井 修・安川雅夫・末武敏夫(1973)サケ・マス類の卵および精子の保存に関する研究-2. サケ(*Oncorhynchus keta*)精子の保存について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 27, 39-44.
- 6) 高野和則・広井 修・安川雅夫・末武敏夫(1973)サケ・マス類の卵および精子の保存に関する研究-1. サケ(*Oncorhynchus keta*)未受精卵の保存について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 27, 31-37.
- 7) 熊野芳明・三枝美穂・及川浩人・及川慶一.(2009)サケ媒精卵の断水時間と初期胚発生. 宮城県水産研究報告, 9, 1-8

原著論文

飼育水に含まれるコロイド状物質がウナギ仔魚の飼料となる可能性

増田賢嗣^{*1*2}・奥 宏海^{*1*3}・野村和晴^{*1}・照屋和久^{*4*2}・田中秀樹^{*1}

A Colloid-type Diet can be Ingested by Larvae of the Japanese Eel *Anguilla japonica*

Yoshitsugu MASUDA, Hiromi OKU, Kazuharu NOMURA,
Kazuhisa TERUYA and Hideki TANAKA

Development and modification of slurry type diets made from shark-egg powder have enabled glass eel production in captivity. Based on this success, recent investigations have specifically examined to establish the techniques for consistent mass production of glass eels. One of required innovations is improvement in feeding procedures, because the current procedure is too troublesome for application to mass rearing. Results of this study showed that milk was ingested by eel larvae in milk-filled tanks. We defined an intestinal fullness index to quantify ingested food. The analysis using this index showed that a milk concentration of 25% and a 60 min feeding period are sufficient for larvae to ingest milk effectively. A diet suspended in rearing water, such as milk, enables larval feeding without tank wall contact, without larval swarming and with no need to flush out leftover food. Consequently, numerous problems that hinder more effective production of healthy glass eels can be solved.

2009年10月16日受付, 2010年1月15日受理

天然シラスウナギ *Anguilla japonica* の採捕量の不安定さとそれによる価格の乱高下は、ウナギ養殖業の経営の安定を揺るがす深刻な問題である。対策として、価格が安く、量的にも安定した人工シラスウナギの生産が求められている。シラスウナギ生産に向けた研究の歴史は古く、人工的にウナギ親魚を成熟させる試みは1960年代からすでに始まっており、1974年、YAMAMOTO and YAMAUCHI¹⁾は、ホルモン処理によって受精卵と孵化仔魚を得ることに初めて成功し、孵化後約2週間、約7mmのプレレプトセファルスまでの孵化管理には比較

的早く成功した²⁾。しかし、ウナギ仔魚は、海産魚類の仔魚の餌料として一般的なシオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* sp.complex を摂餌はするものの成長せず、生残期間が延長することもなかった³⁾。そのため、仔魚の飼育はとくに餌料の面で難渋を極め、シラスウナギまでの飼育はなかなか成功しなかった。養殖研究所では種々の餌料を給餌した飼育を試みた結果、サメ卵主体懸濁態飼料の開発と改良によって、2003年ようやく卵からシラスウナギまでの飼育が可能になった⁴⁾。この成果に基づき、現在は健康なシラスウナギを効率的且

*1 独立行政法人水産総合研究センター 養殖研究所

*2 現所属 独立行政法人水産総合研究センター 志布志栽培漁業センター

〒899-7101 鹿児島県志布志市志布志町夏井 205

Shibushi Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Shibushi, Kagoshima 899-7101, Japan
masuday@affrc.go.jp

*3 現所属 独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所 内水面研究部

*4 独立行政法人水産総合研究センター 養殖研究所 栽培技術開発センター

つ大量に生産できる技術の開発が進められている⁷⁻¹⁰⁾。

シラスウナギの安定的な大量生産に必要な技術革新のひとつは給餌作業の改良である。現在までに確立されている給餌法は、ウナギ仔魚の負の走光性を利用して、給餌時間中に水槽表面へ強い照明をあてて仔魚を水槽底部に集め、水槽底部に流し込んだ懸濁態飼料を強制的に摂餌させる方法である⁴⁾。この方法では、給餌中に飼料が舞い散らないように注水を止めることが必要である。その間残餌は細菌の繁殖を助長し、換水の停止も細菌の繁殖の原因となるので、給餌終了後には速やかに注水を再開し、残餌を洗い流す必要がある。このような対処をしても水槽壁面の汚れは十分に排除できないことから、毎日ウナギ仔魚を新しい水槽に移すことが必須となっている。これらの制約により、給餌回数は1日5回程度に制限される⁴⁾。この給餌法は手作業に頼った煩雑なものであり、大量生産に適さない。また個体どうしの衝突や、水槽壁面への接触も避けられない。現在のところシラスウナギまでの生残率は低く、またしばしば形態異常が発生するが、その原因のひとつはこの給餌法にあると考えられる。そこで給餌作業が簡便であり、また中層で給餌できる飼料が望まれている。

飼料が分散したコロイド溶液そのものを飼育水とすれば、水槽全体に栄養物質をゆき届かせることが可能である。このような形態の飼料を我々はコロイド型飼料と名付けた。コロイド型飼料ならば、給餌作業のたびに仔魚が密集することも、仔魚が水槽壁面に接触しながら摂餌することもなくなる。また残餌の洗浄・排出も容易になり、給餌作業は簡略化される。

本研究では、コロイド型飼料のモデルとして、典型的なコロイド溶液である牛乳を用い、ウナギ仔魚が牛乳で満たされた飼育水中で生存できるかどうか、さらに牛乳の摂餌状況を解析した。その結果、牛乳が一定濃度以上で、十分な摂餌時間が与えられればウナギ仔魚は牛乳で満たされた水槽中で牛乳を摂餌し、一定期間生存できることがわかったので報告する。

材料と方法

仔魚を得るための親魚の処理と孵化管理 親魚として使用した雌ウナギは、稚魚期にエストラジオール-17 β 投与によって雌化した養成魚または天然下りウナギ、雄ウナギは通常の養成魚であった。雌ウナギに対してはサケ脳下垂体抽出物を毎週注射し¹⁾、最終的に17,20 β -ジヒドロキシ-4-プレグネン-3-オン(シグマーアルドリッチ)を注射した¹¹⁾。雄ウナギに対してはヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン(あすか製薬)を毎週注射した¹²⁾。以上の操作により成熟した雌および雄ウナギから、人工授精または誘発産卵によって受精卵を得た。得られた受精卵は孵化までは孵化ネット中で、孵化後は180 ℓ ポリカーボネート製円柱型水槽(サミット樹脂工業)に収容

して開口まで、いずれも25 $^{\circ}$ Cで管理し、試験に供した。

コロイド型飼料としての牛乳の調製 牛乳は大内山牛乳(大内山酪農共同組合)またはデーリィ牛乳(南日本酪農共同株式会社)を用いた。原材料はいずれも生乳100%であり(容器記載)、容器記載の栄養成分量は、大内山牛乳においては200mlあたりタンパク質6.8g、脂質7.8g、炭水化物9.9g、デーリィ牛乳においては200mlあたりタンパク質6.6g、脂質7.7g、炭水化物9.7gであった。外割で3%の食塩を含む牛乳を「100%牛乳」と定義し、他の濃度(75, 50, 30, 25, 10, 3.0, 1.0, 0.30, 0.10%)は100%牛乳を濾過海水で希釈して作製した。

適切な牛乳濃度と給餌時間を検討する試験 8-9日齢のウナギ仔魚を試験に供した。9cmシャーレ(Bio-Bik, 株イナ・オブティカ)を30mlの飼料溶液で満たし、17-30尾の仔魚を収容して試験に供した。牛乳の低濃度試験においては、6試験区を設け、牛乳の濃度をそれぞれ0.10, 0.30, 1.0, 3.0, 10, 30%とした。高濃度試験では4試験区を設け、牛乳の濃度をそれぞれ25, 50, 75, 100%とした。いずれの試験においても、仔魚を収容したシャーレは23 $^{\circ}$ Cで2時間維持された。給餌時間試験においては、牛乳濃度について10%と30%の2種類を設け、おのおの濃度について給餌時間を15, 30, 60分間の6試験区を設定した。仔魚が収容されたシャーレは23 $^{\circ}$ Cで給餌時間中維持された。試験終了後、ウナギ仔魚を5%ホルマリン-1/3海水で固定し、摂餌量を解析するための写真撮影に供した。各区における収容尾数は各図に示した。

牛乳による給餌飼育試験 10日齢のウナギ仔魚を試験に供し、飼育容器には前項と同じ9cmシャーレを用いた。毎日8時に30mlの50%牛乳で満たしたシャーレに収容して給餌を開始した。18時までを給餌時間とし、2時間毎に新しく50%牛乳を満たしたシャーレに、ピペットを用いて仔魚を移槽した。18時には濾過海水を満たしたシャーレへの移槽を3回繰り返して仔魚を洗浄したのち、濾過海水を満たしたシャーレに移して翌日の給餌開始まで飼育した。海水には、浮上死亡を防止するために1ppm牛血清アルブミンを添加した。水温はインキュベーターを用いて8時-18時は23 $^{\circ}$ C、18時-8時は20 $^{\circ}$ Cで維持した。毎日8時の移槽のときに生残尾数を全数計数した。仔魚は当初シャーレ4枚に分けて収容し(最大で22尾/枚)、減耗に応じて適宜統合し、13日齢以降はシャーレ1枚で飼育した。

牛乳とサメ卵主体懸濁態飼料との摂餌量の比較試験

8日齢のウナギ仔魚を9基のアクリルボウル水槽に250尾ずつ収容した。9基のうち3基を4 ℓ の50%牛乳で満

たし、6基を4ℓの濾過海水で満たした。濾過海水には、浮上死亡を防止するために1ppmの卵白を添加した。濾過海水を満たした6基のうち3基には、標準飼料であるサメ卵主体懸濁態飼料⁴⁾を給餌し、残り3基は無給餌とした。24℃で2時間維持した後、1水槽あたり14～15尾の仔魚をサンプリングし、5%ホルマリン-1/3海水で固定し、摂餌量を解析するための写真撮影に供した。

写真撮影と腸管充満度の測定 固定されたウナギ仔魚を、実体顕微鏡によって観察し、画像取得装置(DP70, オリンパス)によって画像を取得した。ウナギ仔魚の消化管は、食道部分の後端に膨らんだ管状の形態をした腸管が接続している¹³⁾(図1)。この腸管部分について、2次元の画像中の腸管の面積(*I*)と腸管中に見える飼料の面積(*D*)を、画像解析ソフト(ImageJ 1.37v; National Institutes of Health)を用いて測定し、この数値から以下の計算式により求められた数値を腸管充満度とした。

$$\text{腸管充満度 (\%)} = D / I \times 100$$

統計処理 解析の結果はTukey-Kramerの多重範囲検定またはStudentの*t*検定によって分析された。多重範囲検定は、統計解析ソフト(SAS Institute Japan(株)製のJMP7.0)によって実行された。*p*値が0.05以下のとき、統計的に有意な差があると見なした。

結 果

適切な牛乳濃度と給餌時間 50%牛乳で満たされたシャーレの中に収容したウナギ仔魚腸管中に牛乳の摂餌を確認した(図1)。

つぎに適切な給餌条件を検討した。低濃度試験においては、0.10, 0.30, 1.0, 3.0, 10, 30%牛乳中における仔魚の腸管充満度はそれぞれ $0.0 \pm 0.0\%$, $0.0 \pm 0.0\%$, $0.1 \pm 0.1\%$, $2.4 \pm 0.6\%$, $10.0 \pm 1.2\%$, $16.0 \pm 1.8\%$ であった。10%牛乳中におけるウナギ仔魚の腸管充満度は、3.0%以下の濃度におけるウナギ仔魚の腸管充満度よりも有意に高かった(図2)。さらに、30%牛乳中におけるウナギ仔魚の腸管充満度は、10%以下の濃度におけるウナギ仔魚の腸管充満度よりも有意に高かった(図2)。

高濃度試験では、25, 50, 75, 100%牛乳中における仔魚の腸管充満度はそれぞれ $14.4 \pm 1.4\%$, $17.5 \pm 1.2\%$, $12.4 \pm 2.1\%$, $5.7\% \pm 1.4\%$ であった。100%牛乳中におけるウナギ仔魚の腸管充満度は、それ以下の濃度における仔魚の腸管充満度よりも有意に低かった(図3)。

給餌時間試験では、10%牛乳中における仔魚の腸管充満度は給餌時間15, 30, 60分間においてそれぞれ $3.3 \pm 0.7\%$, $3.7 \pm 0.6\%$, $4.9 \pm 0.7\%$ であった。また30%

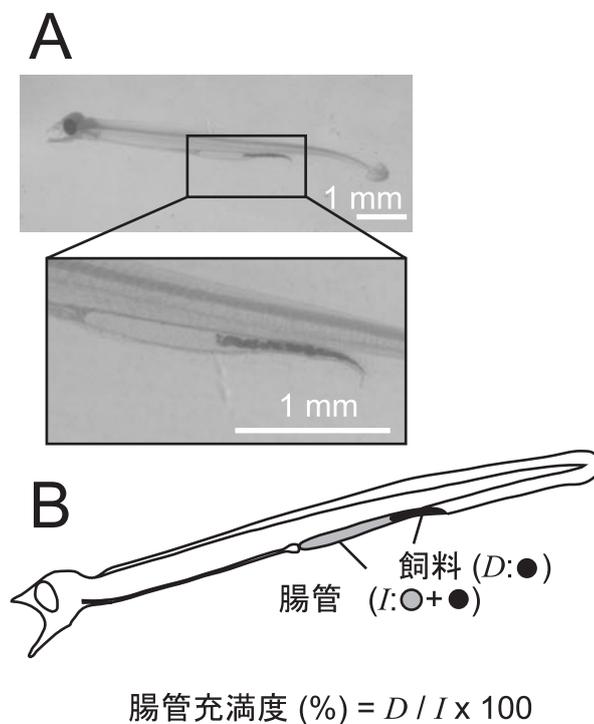


図1. A: 牛乳を摂餌したウナギ仔魚
B: 腸管充満度の計算のために測定した腸管
(I: 灰色と黒色)と飼料(D: 黒色)

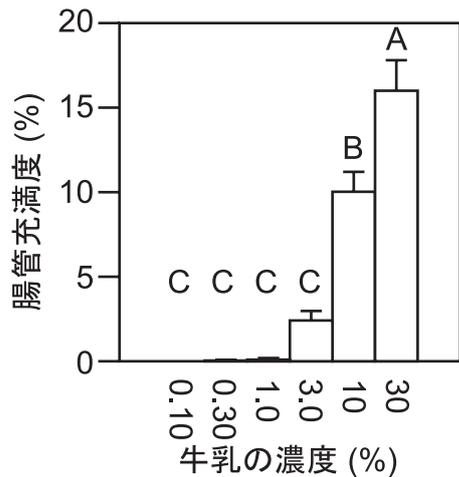


図2. 低い濃度 (0.1-30%) の牛乳で満たされた水槽中のウナギ仔魚の腸管充満度
すべての数値は平均値±標準誤差
標本数は0.10%区, 0.30%区, 1.0%区, 3.0%区, 10%区, 30%区についてそれぞれ17, 25, 25, 20, 25, 22
同じアルファベットが付された値どうしは, 有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)

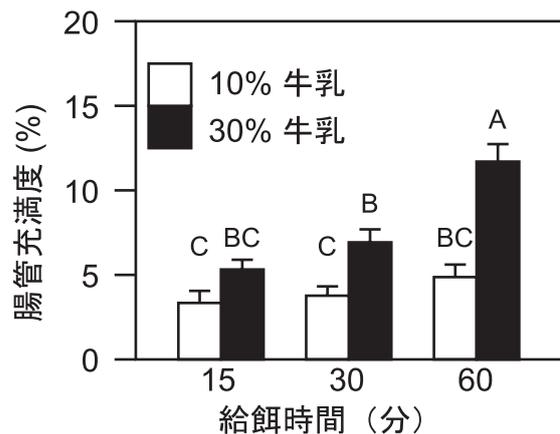


図4. 給餌時間とウナギ仔魚に摂餌された牛乳量との関係
すべての値は平均値±標準誤差
標本数は, 10%15分区, 10%30分区, 10%60分区, 30%15分区, 30%30分区, 30%60分区においてそれぞれ21, 28, 25, 28, 26, 24
同じアルファベットが付された値どうしは, 有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)

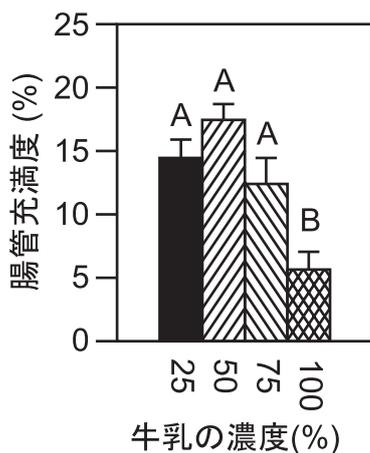


図3. 高い濃度 (25-100%) の牛乳で満たされた水槽中のウナギ仔魚の腸管充満度
すべての数値は平均値±標準誤差
標本数は, 25%区, 50%区, 75%区, 100%区について, それぞれ29, 30, 30, 27
同じアルファベットが付された値どうしは, 有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)

牛乳による給餌飼育試験 以上より50%程度の牛乳が摂餌に適切であることと, 給餌時間が短すぎることは不適切であることがわかったので, 1日あたり10時間, 50%牛乳中に仔魚を収容して給餌し, その生残期間を検討した結果, 26日齢まで生残魚が見られた (図5)。

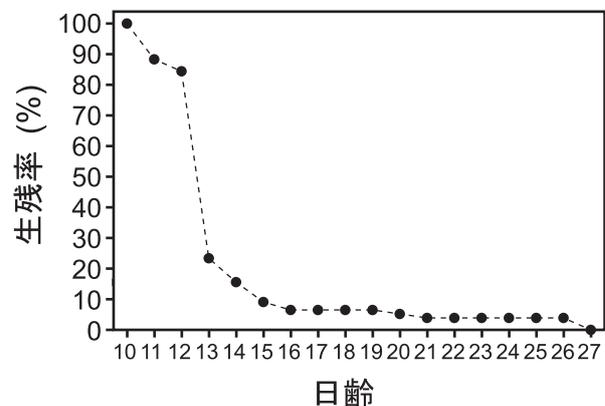


図5. 牛乳で満たしたシャーレに収容したウナギ仔魚の生残
10日齢での収容尾数は77尾

牛乳中における仔魚の腸管充満度は, 給餌時間15, 30, 60分間においてそれぞれ $5.3 \pm 0.6\%$, $6.9 \pm 0.8\%$, $11.7 \pm 1.0\%$ であった。30%牛乳中で60分間給餌での腸管充満度は, それよりうすい濃度, 短い給餌時間における腸管充満度よりも有意に高かった (図4)。30%牛乳中で30分間の給餌では, 10%牛乳中で15分間および30分間の給餌よりも有意に高い腸管充満度を示した (図4)。

牛乳とサメ卵主体懸濁態飼料との摂餌量の比較 牛乳を給餌された仔魚の腸管充満度は $25.0 \pm 2.0\%$ であったのに対し, サメ卵主体懸濁態飼料を給餌された仔魚の腸管充満度は $74.8 \pm 2.5\%$ であった。牛乳を給餌された仔魚の腸管充満度は, サメ卵主体懸濁態飼料を給餌された仔魚の腸管充満度よりも有意に低かった (図6)。無給餌区では腸管内に飼料は認められず, 腸管充満度はすべての個体で0であった。

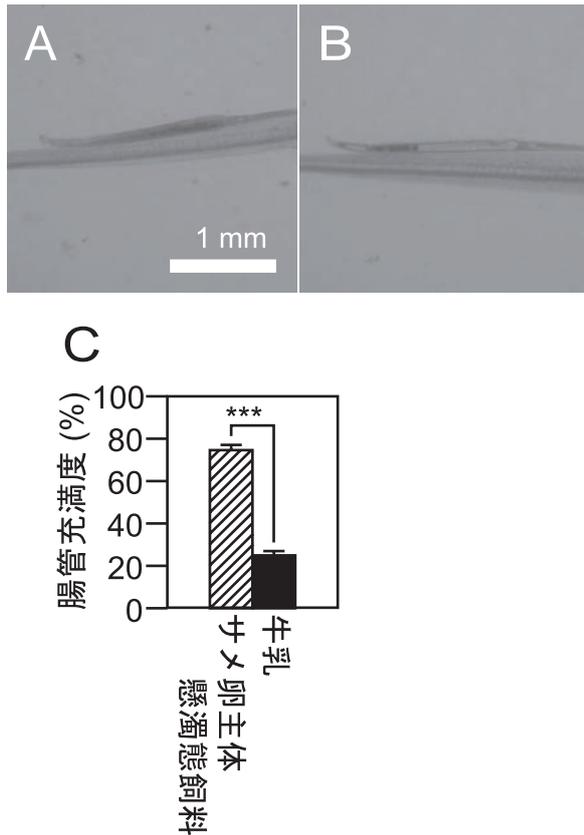


図 6. A, B, サメ卵主体懸濁態飼料 (A) と牛乳 (B) を摂餌させたウナギ仔魚の腸管の代表的なもの
 C. サメ卵主体懸濁態飼料と牛乳を摂餌したウナギ仔魚の腸管充満度すべての数値は 平均値 ± 標準誤差
 標本数はサメ卵主体懸濁態飼料区において 45, 牛乳区において 44
 *** は $p < 0.001$

考 察

本研究ではコロイド型飼料による給餌法によってウナギ仔魚が摂餌することを、牛乳をモデルとして示した。すでにサメ卵主体懸濁態飼料の開発と改良により、現在ではシラスウナギまでの飼育が可能となっている⁴⁶⁾。しかしながら、卵からシラスウナギまでの生残率は低く、また人工的に育てられたレプトセファルス後期のウナギ仔魚やシラスウナギはしばしば下顎異常となり口が閉じなくなる、あるいは体が湾曲する等の形態異常を示す。

このような形態異常の誘因のひとつと考えられるのはその給餌法である。すなわち現行の給餌法では摂餌時に仔魚が水槽底部に密集してしばしば衝突してしまうこと、また給餌時に仔魚が水槽壁面・底面に接触してしまうことが避けられない。給餌後には残餌を注水で吹き飛ばして洗浄する作業が必要であるが、このとき仔魚は強い水流にさらされ、壁面に叩きつけられる危険もある。このような問題に対して、中層での給餌は有効な対策であり、飼料が水槽全体にゆきわたったコロイド型飼料な

らばウナギ仔魚に中層で摂餌させることが可能である。本研究では、牛乳を希釈した溶液の中に収容したウナギ仔魚が摂餌することを示すことによって、コロイド型飼料という給餌法で給餌可能であることを明らかにした。

仔魚の摂餌量は仔魚の飼料への嗜好性や健康状態を反映すると考えられ、摂餌量は成長や生残率の改善を目指す上で重要な指標のひとつである。シオミズツボムシを摂餌する魚種では、仔魚の腸管中のワムシ咀嚼器の数を数えることにより摂餌量を推計することができるが¹⁴⁻¹⁶⁾、懸濁態飼料を給餌されるウナギ仔魚については有効ではないので、前述した方法で腸管充満度を算出してウナギ仔魚の摂餌量を定量した。この指標により適切な牛乳の濃度や給餌時間を検討した結果、牛乳が効率的に摂餌されるためには 25% 以上の濃度が必要であることを示した。すなわちウナギ仔魚はうすいコロイド溶液を濃縮して利用することはできず、コロイド溶液の効率的な給餌には十分な濃度が必要であることが明らかとなった。さらに、給餌時間は 15 分間、30 分間よりも 60 分間のほうが適していることを明らかにしたが、現行の給餌法では給餌時間は 15 分間で十分であるから、給餌に 60 分以上も要するうえに摂餌量が劣ることは問題で、その原因を解明して改良する必要がある。

50% 牛乳中に仔魚を 1 日 8 時間収容することによって 26 日齢まで生残魚が見られたが、対照区を設けていないことから、直ちに生残期間の延長を意味するものではない。しかし我々が 2009 年度に 6 ロット、18 水槽、4142 尾の仔魚を供して行った 10 l ボウル水槽での無給餌飼育では、遅くとも 12 日齢には大量の死亡がみられ、11-13 日齢までにはすべての個体が死亡するのが通例であり、14 日齢まで生残したものは 1 ロット、3 水槽、17 尾にすぎなかった。コロイド型飼料という、一見仔魚を劣悪な環境に置くようにみえる給餌形態が、少なくとも直ちに仔魚の生残を脅かすものではないことは明らかである。しかしながら生残率はとても実用に耐えるものではなく、その一因として摂餌量が少ないことが考えられる。牛乳を摂餌した仔魚の腸管充満度は、標準飼料であるサメ卵主体懸濁態飼料を摂餌した仔魚と比べて低かった。その原因が物理的・化学的性質が異なるためなのか、摂餌誘引性が劣るためなのかの見極めは今後の検討に委ねられるが、コロイド型飼料で従来と同等かそれ以上の生残率・成長を達成するためには、もっと効率的に摂餌させることが必要である。また、より効果的なコロイド型飼料を作製するためには、牛乳を栄養面での価値を高めることが望ましい。サメ卵主体懸濁態飼料においても、多くの添加物を配合することによって、はじめて仔魚の成長が可能となったのである⁴⁾。

コロイド型飼料はウナギ仔魚を穏和な条件下で飼育できるだけでなく、大量生産の妨げとなっている複雑な給餌作業の簡便化にも貢献できる。コロイド型飼料ならば光でウナギ仔魚を底面付近に集める必要はなくなり、ま

た給餌後は通常の注水で自然に排出されるので、給餌作業は簡略化される。これらの長所を生かすことにより、より効率的なシラスウナギの大量生産が可能になると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、一緒に作業を進めてくださった岡井いづみさん、村下陽子さんにお礼を申し上げる。また生田和正博士、虫明敬一博士、黒川忠英博士、宇治督氏、村下幸司博士の各氏に有用な助言をいただいたことに感謝する。試験に用いた濾過海水の一部は、日向野純也博士から提供していただいた。本研究は農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ウナギ及びイセエビの種苗生産技術の開発」によって行われた。

文 献

- 1) YAMAMOTO, K., YAMAUCHI, K. 1974. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature* 251, 220-222.
- 2) YAMAUCHI, K., NAKAMURA, M., TAKAHASHI, H., TAKANO, K. 1976. Cultivation of larvae of Japanese eel. *Nature* 263, 412.
- 3) TANAKA, H., H.KAGAWA, H.OHTA, K.OKUZAWA, K.HIROSE, 1995. The first report of eel larvae ingesting rotifer. *Fish. Sci.* 61, 171-172.
- 4) TANAKA, H., H.KAGAWA, H.OHTA, 2001. Production of leptocephali of Japanese eel *Anguilla japonica* in captivity. *Aquaculture* 201, 51-60.
- 5) TANAKA, H., H.KAGAWA, H.OHTA, T.UNUMA, K.NOMURA, 2003. The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish Physiol. Biochem.* 28, 493-497.
- 6) KAGAWA, H., H.TANAKA, H.OHTA, T.UNUMA, K.NOMURA, 2005. The first success of glass eel production in the world: basic biology on fish reproduction advances new applied technology in aquaculture. *Fish Physiol. Biochem.* 31, 193-199.
- 7) CHANG, S.-L., G.-H.KOU, I.-C.LIAO, 2004. Temperature adaptation of the Japanese eel (*Anguilla japonica*) in its early stages. *Zoolog. Stu.* 43, 571-579.
- 8) OKAMURA, A., Y.YAMADA, N.HORIE, T.UTOH, N.MIKAWA, S.TANAKA, K.TSUKAMOTO, 2007. Effects of water temperature on early development of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science* 73, 1241-1248.
- 9) KUROKAWA, T., T.OKAMOTO, K.GEN, S.UJI, K.MURASHITA, T.UNUMA, H.OHTA, H.TANAKA, 2008. Influence of water temperature on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption. *J. world aquaculture soc.* 39, 726-735.
- 10) OKAMOTO, T., T.KUROKAWA, K.GEN, K.MURASHITA, K.NOMURA, S.-K.KIM, H.MATSUBARA, H.OHTA, H.TANAKA, 2009. Influence of salinity on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption. *Aquaculture*, 293, 113-118.
- 11) KAGAWA, H., H.TANAKA, H.OHTA, K.OKUZAWA, N.IINUMA, 1997. Induced ovulation by injection of 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the artificially matured Japanese eel, with special reference to ovulation time. *Fish. Sci.* 63, 365-367.
- 12) OHTA, H., H.KAGAWA, H.TANAKA, K.OKUZAWA, K.HIROSE, 1996. Change in fertilization and hatching rates with time after ovulation induced by 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture* 139, 291-301.
- 13) KUROKAWA, T., H.KAGAWA, H.OHTA, TANAKA H., K.OKUZAWA, K.HIROSE, 1995. Development of digestive organs and feeding ability in larvae of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52, 1030-1036.
- 14) 與世田兼三・照屋和久・山本和久・浅見公雄 (2006) 異なる水温と初回摂餌の遅れがスジアラ仔魚の摂餌、成長、および生残に及ぼす影響. *水産増殖*, 54, 43-50.
- 15) 照屋和久・與世田兼三 (2006) クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. *水産増殖*, 54, 187-194.
- 16) 照屋和久, 與世田兼三, 岡 雅一, 西岡豊弘, 中野昌次, 森広一郎, 菅谷琢磨, 浜崎活幸 (2008) 光周期がマハタ仔魚の生残、成長および摂餌に及ぼす影響. *日水誌*, 74, 645-652.

原著論文

高濃度の ATP を含有する魚肉微細化物の ゲル形成能と冷凍耐性

村田裕子^{*1}・岡崎恵美子^{*1,2}・木村メイコ^{*1}・今村伸太郎^{*1}・平岡芳信^{*1}・木村郁夫^{*1,3}

Gel Forming Ability and Freeze Tolerance of Ground Fish Meat with a High Content of ATP

Yuko MURATA, Emiko OKAZAKI, Meiko KIMURA, Sintaro IMAMURA,
Yoshinobu HIRAOKA and Ikuo KIMURA

Muscle from horse mackerel was ground with a cutter mill immediately after instant killing to prepare ground meat with a high ATP content. The ATP level was kept at a high level (about 70%) until 90 seconds after the grinding started. For comparison, the meat with a high ATP level was stored at 5°C for 6 hours to prepare samples with a low ATP content. The ground meat with high ATP was able to form an elastic and smooth gel by the addition of 3% or lower concentrations of NaCl. After storage at -20 and -80°C for 2.5 months, the meat formed a smooth gel when NaCl was added and the solubility of myofibrillar proteins was higher than that of the ground meat with low ATP levels. The gel forming ability of the ground meat with low ATP recovered to the same level as that with high ATP after addition of ATP. These results suggest that it is important to keep the level of ATP in ground fish meat at certain levels for its gel forming ability and freeze tolerance.

2009年10月15日受付, 2010年1月7日受理

冷凍すり身は、その製造技術が開発されてから約50年を経過し、ねり製品の原料として国内のみならず国際的にも重要な商材となり、年間約50～60万トンが生産されている^{*4}。

冷凍すり身の製造工程は、落とし身の採肉、水晒し、リファイナー処理、脱水、冷凍変性防止剤の混合および凍結処理で構成されている。これら冷凍すり身製造原理やねり製品のゲル形成メカニズムについては、製造現場で

の製造技術研究や魚肉タンパク質の食品生化学的研究を通して明らかにされてきている²⁾。

冷凍すり身の製造工程のうち、水晒し処理は、ゲル形成の阻害あるいは凍結変性を促進する各種物質を除去し、同時に魚肉のゲル形成能を担う主体である筋原線維タンパク質の濃度を高めることにより、冷凍すり身に強いゲル形成能を与えるための重要な工程として位置づけられる²⁾。しかしその一方で、不要物質として除去され

*1 独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所
〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa, 236-8648, Japan

betty@affrc.go.jp

*2 現所属 長崎県総合水産試験場水産加工開発指導センター

*3 現所属 鹿児島大学水産学部

*4 みなと新聞 (2009) 水産ねり製品生産概要

る水溶性タンパク質は、たとえばスケトウダラでは全タンパク質の約20%にも相当し、食用可能なタンパク質を多量に投棄せざるを得ないことや、その排水処理コストおよび環境負荷に及ぼす影響から、水晒し処理の意義や、これを必要としない魚肉素材の可能性について、これまでに多くの検討が行われてきている³⁾。冷凍すり身製造における水晒しの必要性の度合いは、原料として用いる魚肉の鮮度と深い関係がある。死後の鮮度低下とともに、魚肉中では乳酸の蓄積等によるpHの低下や、トリメチルアミノオキシド (TMAO) の分解⁴⁾ による強い魚臭の発生と魚肉タンパク質の変性を惹起する物質が生成するため、加工適性が低下する⁵⁾。鮮度が非常に低下した魚肉ではこれら要因の影響が多大となるため、水晒しでこれらを除去することにより加工適性を改善することが必要となるが、高鮮度の魚肉では強い水晒しを必要としないことが経験されている。

また、魚肉タンパク質変性防止のために不可欠とされる糖類は、冷凍すり身製造工程で魚肉の8~10%程度が添加されているが、魚本来の味を活かすために甘味の低減が要望されており、重要な技術検討課題の一つである。

一方、生体内エネルギー物質であるアデノシン-3リン酸 (ATP) は、魚介類の生息時には筋肉中に約10 μ mol/g が含まれ、魚介類の死後、組織内のATPが消失すると同時に、鮮度低下は加速する。このATPが筋肉タンパク質の変性抑制物質として作用することが、魚肉筋原線維タンパク質ATPase活性を指標にした熱変性抑制作用に関するモデル的な研究にて示唆されている⁶⁾。この変性抑制効果は、冷凍すり身にタンパク質変性抑制剤として使用されている糖類の実に10,000倍とも報告されているが⁶⁾、高鮮度状態での魚肉そのものを対象とした報告例はなされていない。

本研究では、ATPが多く残存している極めて高鮮度の魚肉を原料として使用し、ATPによるタンパク質の凍結変性防止効果の有無やゲル形成能に及ぼす影響を確認することにより、高鮮度魚肉を活用した水晒しをしない加工素材開発のための基礎知見を得ることを目的とした。

材料と方法

高ATPおよび低ATP含有魚肉の調製 活マアジ (*Trachurus japonicus*) は活魚業者から購入し、中央水産研究所内の飼育水槽にて2、3日蓄養し安静化した後、実験に使用した。マアジを暴れさせないように留意しながら延髄刺殺により即殺し、約10尾の魚体からすみやかに筋肉を採取した後、包丁で約1cm幅に裁断し、全体を混合した (細切肉)。なお、延髄刺殺は飼育室 (室温) で行い、魚体処理およびカッターミル処理は15℃の実験室で行った。この魚肉は79~93%のATP含有

率 (ATPのATP関連化合物総量に占める割合) を示したため、「高ATP含有魚肉」として用いた。水槽からの活マアジの取り上げ開始から高ATP含有魚肉調製までの時間は、約20分であった。一方、細切肉を5℃で6時間保管したものはATP含有率が10%以下の低濃度を示したため、この魚肉を「低ATP含有魚肉」として用いた。なお、ATP含有率は、常法に準じたMurata⁷⁾らの方法に従い、所定量の魚肉の10%過塩素酸抽出物を水酸化カリウム水溶液で中和し、高速液体クロマトグラフィーで各ATP関連化合物 (ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx) を測定し、以下の式で算出した。

$$\text{ATP含有率 (\%)} = [\text{ATP} / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}) *] \times 100$$

*ADP: アデノシン-2リン酸, AMP: アデノシン-1リン酸, IMP: イノシン酸, HxR: イノシン, Hx: ヒポキサンチン

魚肉の微細化処理 魚肉の微細化は、カッターミル (ステファンカッター UMC-5, Stephan社製, ドイツ) を用いて5℃にて細砕処理をした。カッターミルの攪拌条件は、魚肉細砕に必要な最小限の速度として1500rpmで行った。

処理時間は実験条件により、以下の①~③のとおり60~360秒間に設定した。

- ①食塩を添加しない場合: 90秒間
- ②食塩を添加する場合: 60秒間の処理後、食塩添加してさらに30秒間
- ③ATP消失微細化魚肉の場合: 360秒間処理後、食塩添加してさらに30秒間

なお、食塩を添加した微細化魚肉は微細化塩ずり肉と記した。

加熱ゲルの調製と物性評価方法 前述のようにカッターミルで破砕処理した微細化魚肉、各濃度の食塩を添加した微細化塩ずり肉のそれぞれを、折径35mmのポリ塩化ビニリデンチューブに詰めて成型し、85℃の熱水中で30分間加熱して加熱ゲルを作製した。これらのゲルについてゲル物性を測定した。物性測定用試料は直径23mm、高さ25mmの円筒状とし、各加熱ゲルから5つの測定用試料を切り出した。これらについてテクスチャーアナライザー (TA.XT plus TEXTURE ANALYSER, Stable Micro System社製 英国) を用いて押し込み破断試験を行った。プランジャー形状は直径5mmの球形とし、押し込み速度1mm/sで破断強度 (g) と凹み (mm) を測定した。5個の試料の測定値から、平均値と標準偏差を求めた。また、テクスチャーアナライザーによる物性測定では、つみれ状のゲルであってもある程度の物性として測定されることから、折り曲げ試験結果を併用してゲル形成能を評価することとした。折り曲げ試験は冷凍すり身品質検査基準⁸⁾ による5段階評点法 (5:4つ折りにして亀裂なし, 4:2つ折りにして亀裂なし, 3:

2つ折りにして徐々に亀裂が入る, 2:2つ折りにしてすぐに亀裂が入る, 1:指で押すと崩れる)により評価した。

筋原線維タンパク質の溶解度の測定 加藤らの方法⁹⁾に準じて筋原線維タンパク質を調製後, 今野らの方法¹⁰⁾に従い, 0.5M KCl-0.04M Tris-HCl (pH7.0) 溶液中で6時間懸濁させ, 遠心分離後の上清タンパク質量を筋原線維タンパク質の溶解度として測定した。

ATPのゲル形成性に及ぼす作用の検討 高ATP含有魚肉をカッターミルで60秒間処理した高ATP含有微細化魚肉, 前述のとおり360秒間カッターミル処理してATPを消失させた微細化魚肉(ATP消失微細化魚肉), および低ATP含有魚肉をカッターミルで60秒間処理した低ATP含有微細化魚肉の3種を調製した。これらのうち,

ATP消失微細化魚肉あるいは低ATP含有微細化魚肉については, 100gに対し食塩を1または3%(w/w)に加え, さらに10mlのATP水溶液(pH7.0, 濃度30mg/ml)または蒸留水を添加して, 30秒間カッターミル処理をすることで塩ずり肉を調製した。ATPはシグマ社製の微生物由来のものを用いた。これらの塩ずり肉を85℃の熱水中で30分間加熱し, 加熱ゲルを作製した。高ATP含有微細化魚肉100gに対しては, 1または3%(w/w)の食塩および, (ATP水溶液の代わりに)10mlの蒸留水を添加した後, 30秒間カッターミル処理し, 先と同条件で加熱をし, ゲルを作製した。なお, 比較のため, ATPも食塩も添加しない高ATP含有微細化魚肉由来の加熱ゲルも作製した。その場合, 高ATP含有魚肉を連続して90秒間カッターミル処理した後, 同様の条件で加熱ゲルを作製した。

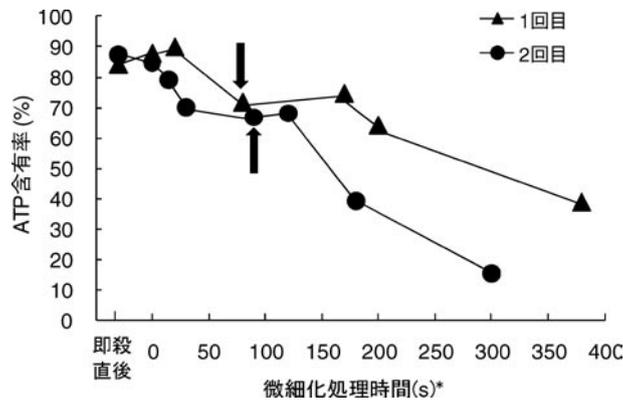


図1 魚肉の微細化過程におけるATP含有率の変化
 * カッターミルを用いて1500rpmで魚肉を微細化
 ** 矢印で示した時点でペースト状になった

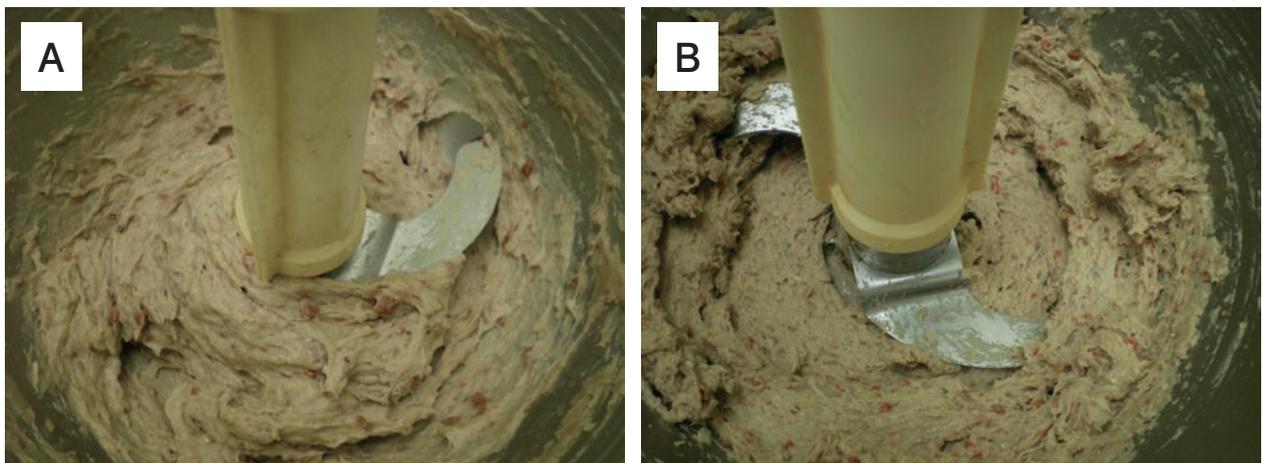


写真1. ATP含量の異なる微細化魚肉のカッターミル処理後の性状変化
 処理時間: 90秒間
 A: 高ATP含有微細魚肉 (ペースト状)、
 B: 低ATP含有微細魚肉 (非ペースト状)

表 1-1 微細化魚肉のゲル形成性に対する ATP の効果
(高 ATP 含有微細化魚肉)

塩濃度 (%)	0	1	3
ATP 含量 (mg/100g)*	260	182	225
ATP 添加量 (mg/肉100g)	0	0	0
破断強度 (g)	326±33	567±51	442±26
凹み (mm)	7±1	10±1	9±1
折り曲げ試験	2	5	5

*塩ずり前の魚肉中のATPの含量

表 1-2 微細化魚肉のゲル形成性に対する ATP の効果
(360 秒カッターミル処理後 ATP 消失微細化魚肉)

塩濃度 (%)	1	1	3	3
ATP 含量 (mg/100g)*	6	6	6	6
ATP 添加量 (mg/肉100g)	0	300	0	300
破断強度 (g)	430±33	533±46	484±60	709±61
凹み (mm)	7±0	10±1	8±1	10±1
折り曲げ試験	3	5	5	5

*塩ずり前の魚肉中のATPの含量

表 1-3 微細化魚肉のゲル形成性に対する ATP の効果
(低 ATP 含有微細化魚肉)

塩濃度 (%)	0	0	3	3
ATP 含量 (mg/100g)*	8	8	8	8
ATP 添加量 (mg/肉100g)	0	300	0	300
破断強度 (g)	278±7	323±37	564±20	647±51
凹み (mm)	8±1	8±1	8±0	12±1
折り曲げ試験	2	2	5	5

*塩ずり前の魚肉中のATPの含量

結 果

カッターミル処理時間と処理肉中の ATP 含量の変化

本研究では、まず、高濃度の ATP を含有した高鮮度のマアジの魚肉が、加工過程のどの段階まで ATP 濃度を維持することが可能であるか確認する必要があった。そこで、活マアジの即殺後に行った魚体処理や採肉、および筋肉の細碎等の各処理過程における ATP 含有率の変化を調べた。図 1 には、この操作を 2 回行ったときのそれぞれの結果を示した。

即殺直後の魚体から速やかに筋肉を採取したときの ATP の含有率は 84～87%、またこれを包丁で裁断した魚肉では ATP 含有率が 85～88% であった (高 ATP 含有魚肉)。この高 ATP 含有魚肉をカッターミルで処理すると、処理時間 80 秒から 90 秒にかけて粘性のあるペースト状 (食塩を加えて塩ずりしたものと類似の肉糊状態) になり (写真 1 A)、ATP 含有率も約 70% を維持していた。その後、さらにカッターミル処理を続けると、その 30 秒後にかけて ATP 濃度は急速に低下した。なお、この微細化魚肉は 380 秒間のカッターミル処理後も粘性のあるペースト状を維持していた。以上のように、今回設定した攪拌条件下 (1500rpm, 5℃) では、必要な微細化を達成するためには 80 秒以上の処理が必要である一方、ATP 保持のためのカッターミル処理は短時間 (90～120 秒以内) で行うことが望ましいと考えられたが、筋肉を微細化した後攪拌を継続しても、しばらくの間は ATP が残存した状態を維持できることがわかった。そこで、以後の実験ではこの結果を基にカッターミルによる

処理時間の総計を 90 秒に設定した。

なお、低 ATP 含有魚肉を同条件でカッターミル処理しても、粘性のあるペースト状にはならなかった (写真 1 B) ことから、微細処理中に食塩を添加していないにもかかわらず魚肉がゾル状態に変化するの、高濃度 ATP が存在する時のみに見られる現象であることを確認した。

ゲル形成性に対する ATP の作用 前述のとおり高 ATP 含有微細化肉は魚肉に食塩を添加した時と同様なペースト状となることが観察されたことから、高 ATP および低 ATP 含有微細化肉の加熱ゲル形成能について調べた結果を表 1-1～3 に示す。食塩無添加の場合、高 ATP および低 ATP 含有微細化魚肉のいずれのゲルも折り曲げ試験で評点 2 となりなめらかなゲルは得られなかった。一方、食塩添加では、いずれも折り曲げ試験の評点が 5 と、なめらかなゲルとなった。特に、高 ATP 含有微細化魚肉では塩 1% 添加においてもなめらかなゲルとなることが観察され、破断強度の値も塩 3% 添加の場合と同様に高かった。表には掲載していないが、別条件で行ったゲル化試験で、0.5% 濃度の食塩添加でも折り曲げ評点が 5 点となるゲルを形成することも確認している。このように高 ATP 含有微細化魚肉においては、通常の魚肉のゲル化に必要なと考えられる塩濃度よりも低い塩濃度でゲル化が可能であり、このような現象は、魚肉中に残存する ATP と関連することが推測された。そこで、低 ATP 含有微細化魚肉あるいは長時間カッターミル処理を行うことによって人為的に ATP を消失させた

表2 凍結貯蔵後の微細化魚肉のゲル形成能*

	高ATP含有微細化魚肉		低ATP含有微細化魚肉	
	0	3	0	3
塩濃度 (%)	0	3	0	3
ATP含量(mg/100g)**	61	61	8	8
破断強度 (g)	347±34	273±14	146±21	272±20
凹み (mm)	11±1	6±1	6±1	11±2
加熱ゲル形成	不可	可	不可	不可

*-20℃で2.5ヶ月間保存後

** 解凍前の魚肉中のATPの含量

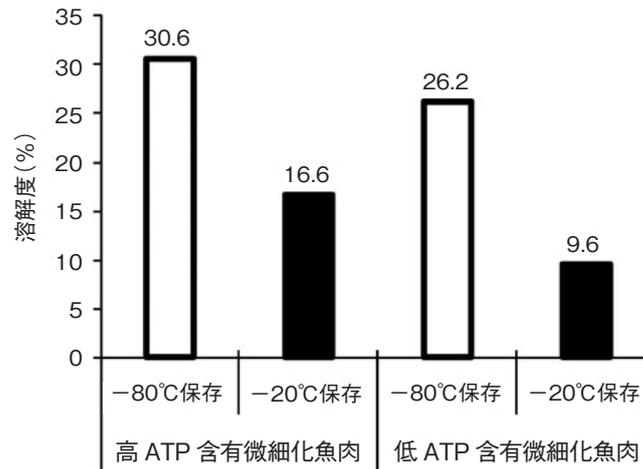


図2 凍結貯蔵後の微細化魚肉由来筋原線維タンパク質の溶解度

微細化魚肉 (ATP 消失微細化魚肉) のゲル形成性に対する ATP の添加効果について調べ、結果を表 1 にあわせて示した。

ATP 消失微細化魚肉では、塩濃度 1% では脆いゲル (折り曲げ試験: 3) となった。これに対し、この ATP 消失微細化魚肉 100g に 300mg の ATP を添加したものでは、塩濃度 1% でもなめらかな性状のゲル (折り曲げ試験の評点 5) が得られた。一方、塩濃度 3% の場合には、ATP の添加の有無にかかわらずいずれの場合もなめらかな性状のゲル (折り曲げ試験の評点 5 点) が得られたが、破断強度は ATP を添加したゲルのほうが有意に高い値であった。低 ATP 含有微細化魚肉の場合も同様に、ATP を添加したゲルのほうが破断強度は有意に高かった。以上のように、高 ATP 含有微細化魚肉を用いた場合に加熱ゲル形成能が高く、低塩濃度下でも良好なゲルが得られる現象について、人為的に ATP を添加した実験を行うことにより確認することができた。なお、マアジの場合、ATP 含有量が 80% の高 ATP 含有魚肉で約 300mg/100g の ATP が含まれていることから、本実験では添加量を 300mg/100g とした。

高 ATP および低 ATP 含有微細化魚肉の凍結貯蔵後のゲル形成能と筋原線維タンパク質の溶解度 -20℃で 2.5 ヶ月間貯蔵した各微細化魚肉から調製した加熱ゲルの性状を表 2 に示す。食塩無添加の場合には、高 ATP 含有

微細化魚肉、低 ATP 含有微細化魚肉のいずれもゲルを形成せずつみれ状の状態であった。一方、食塩を 3% 添加した場合には、低 ATP 含有微細化魚肉ではゲル形成が起こらず、崩れやすいつみれ肉の状態であったのに対し、高 ATP 含有微細化魚肉では破断強度は低いものなめらかなゲルの状態を示した。

上記の結果から、高 ATP 含有微細化魚肉では凍結保管中において筋原線維タンパク質が ATP の変性防止効果⁶⁾により保護されたことにより、加熱ゲル形成能が保持されていたことが推測されたため、-20℃で 2.5 ヶ月間貯蔵後の各微細化魚肉から調製した筋原線維タンパク質の溶解度を比較した。結果を図 2 に示す。なお、-80℃で凍結保存した微細化魚肉の溶解度は、-20℃保存に対する超低温凍結保存参考値として測定した。-80℃で凍結保管した魚肉の溶解度は、高 ATP 含有微細化魚肉で 30%、低 ATP 含有微細化魚肉で 26%であり、溶解度は低 ATP 含有微細化魚肉のほうがわずかに低い程度であった。これは、低 ATP 含有微細化魚肉を調製する際に、細切化した筋肉を 5℃で 6 時間放置し ATP 濃度を 10% 以下に低減させる処理を行ったために、わずかに進行した死後変化に伴うタンパク質の変性に起因するものではないかと推測される。一方、-20℃で凍結保管した魚肉の溶解度は、-80℃で凍結保管した魚肉の溶解度と比較して、高 ATP 含有微細化魚肉および低 ATP 含有微細化魚肉のいずれも低くなったが、その低下率は後者

で著しく、低 ATP 含有微細化魚肉では高 ATP 含有微細化魚肉の約 60% 程度まで低下したことが確認された。

考 察

本研究は、高鮮度の魚の筋肉内に残存する ATP のタンパク質保護作用が、実際の魚肉のゲル化や素材化に活用できるかどうかを確認することを目的として行ったものである。このため、まず、非常に鮮度のよい魚を試料とし、取り上げ後の魚体処理や採肉、魚肉の細砕過程において、どの程度 ATP 濃度を維持することが可能であるかについて確認した。その結果、カッターミルで魚肉を微細化している過程においても ATP 濃度はある程度維持されていることが明らかになった。さらに、微細化過程において ATP が多量に残存している場合、ATP が塩に類似した筋肉タンパク質のゾル化作用を示すことを確認することができた。ATP 含有率の異なる微細化魚肉を用いて各種塩濃度下での加熱ゲル化を検討した結果からは、高 ATP 含有魚肉のゲル化に必要とされる塩濃度が、低 ATP 含有魚肉のゲル化に必要とされる塩濃度よりも低い濃度で可能であることが示唆された。この現象は、ATP を完全に消失させた魚肉に試薬の ATP を添加して行った加熱ゲル形成実験によって再現されたことから、ATP の作用に起因するものであることが強く支持された。

ATP による筋肉タンパク質の溶解については、ウサギミオシンのクロマトグラフィーによる精製試験において、ミオシンは 5 mM の ATP (pH7.5) 溶液中でモノメリックなミオシンとして可溶化することが報告されている¹¹⁾。ほぼ同濃度の ATP 存在下で、アジの筋肉を微細化したときに見られたゾル化現象においてはミオシンの溶解が一部起きている可能性があること、さらに低濃度の塩を添加したことによる相乗作用により、筋肉タンパク質の溶解性の増大が起き、その結果加熱ゲル物性が高くなったことが推測される。このことについては、筋肉中に含まれる他のゲル化因子（例えばトランスグルタミナーゼ）やゲル化阻害タンパク質の鮮度変化に伴う影響も含め、さらなる検討が必要である。

さらに、ATP 含有率の異なる微細化魚肉を -20℃ で凍結保管した際、高 ATP 含有魚肉では凍結変性が抑制される傾向にあることが、ゲル化試験ならびに筋原線維タンパク質の溶解度の測定結果から示唆された。以上の推察の多くは、魚肉の加熱ゲル化試験で得られた加熱ゲルの性状観察に基づくものである。残念ながら、ゲルの破断強度や破断凹み等の数値指標については、必ずしも上記の推察を支持するに十分なものではなかった。この原因として、下記の理由が考えられる。まず、本試験は加工しようとする魚肉中に ATP を残存させたまま処理することを主眼としており、これまで通常に行われている加工方法の手順では困難が予想されたことから、極

めて特殊なサンプリング方法を余儀なくされたことが挙げられる。すなわち、できる限り単純化した工程で即殺直後の魚体を速やかに解体して採肉し試験に供したため、通常の加工工程に含まれるようなりファイナー処理等を用いてはいない。このため、結締組織や血合肉等が採取魚肉中に不均一に存在することとなり、ゲル物性測定結果の誤差に大きく影響したものと考えられる。また、ATP を含有する魚肉の塩ずりの際、高速攪拌処理による ATP 消失を最小限に抑制するために攪拌時間も最小限のものとしたため、魚肉の塩ずりに必要とされる時間が十分確保されていなかった可能性がある。今後、これらの点を考慮して ATP が加工工程のどの部分まで残存し、魚肉のゲル形成性に必要な塩濃度の低減に効果をもつのかについてもさらに定量的に検討する必要がある。以上、本研究によって、魚肉中に存在する ATP が、ゲル形成性の増大ならびに凍結変性の抑制に寄与する可能性が示唆された。

謝 辞

本研究は農林水産技術会議事務局の委託プロジェクト研究「食品素材のナノスケール加工及び評価技術の開発」の 1 課題である「ナノスケール加工による水産物の品質保持・加工特性改善技術の開発」により行われたことをここに付記します。

文 献

- 1) 山澤正勝・関 伸夫・福田 裕編 (2003) かまぼこ, その科学と技術. 恒星社厚生閣, 東京, 377pp.
- 2) 岡崎恵美子 (1994) すり身製造工程で排出される魚肉筋形質タンパク質の回収と利用に関する基礎的研究. 中央水研報, 6, 79-160.
- 3) 木村メイコ・関 伸夫・木村郁夫 (2002) 0℃ 以下の温度におけるトリメチルアミン *N*-オキシドの酵素的および非酵素的分解. 日水誌, 68, 85-91.
- 4) 平岡芳信・菅 忠明・平野和恵・黒野美夏・松原 洋・橋本 照・岡 弘康・関 伸夫 (2003) トカゲエソの貯蔵中に生成するホルムアルデヒドの蒲鉾の品質へ及ぼす影響. 日水誌, 69, 796-804.
- 5) 吉岡武也・新井健一 (1986) ミオシン Ca-ATPase の熱変性におよぼす ATP の保護効果. 日水誌, 52, 1829-1836.
- 6) MURATA Y., H. HENMI and F. NISHIOKA (1994) Extractive Components in the Skeletal Muscle from Ten Different Species of Scombroid Fishes. *Fisheries Sci.*, 60, 473-478.
- 7) 水産庁 (1994): 水産庁漁政部長通達, 冷凍すり身の品質検査基準の設定について, 6 水漁第 1065 号.
- 8) 加藤 登・内山 均・塚本志朗・新井健一 (1977) 魚肉筋原線維 ATPase の生化学的研究. 日水誌, 43, 857-867.
- 9) 今野久仁彦・上田陽一 (1989) 加熱に伴うコイ筋原線維 Mg-ATPase 活性の上昇. 日水誌, 55, 1457-1462.
- 10) ASAI H. (1963) Chromatography of Myosin. *Biochemistry*, 2, 458-461.

原著論文

わが国における漁船の燃油使用量と CO₂ 排出量の試算

長谷川 勝男^{*1}

Estimation of Fuel Oil Consumptions and CO₂ Emission from Japanese Fishing Vessels

Katsuo HASEGAWA

There are about 112,000 diesel powered fishing vessels in Japan. The increase in their operational costs, due to oil prices, is a serious problem. In this report, the annual fuel consumption of the vessels classified by tonnage, and by designated fisheries, were evaluated from a survey of the fishery economy in 2005. The total annual fuel consumption was estimated as 2.12 million kℓ with 10-20 and 200-500 tonnage vessels being the major consumers. It was possible to estimate the amount of CO₂ emitted from fishing vessels as fuel oil consumption, and to evaluate the relationship between fisheries catch quantity and CO₂ emission. It was found that CO₂ emissions of net fisheries were low compared to angling fisheries. The CO₂ emissions of the pelagic tuna fishery and coastal squid angling fishery were more than 6 t-CO₂/t-catch.

2009年7月30日受付, 2010年1月29日受理

2004年から原油価格は上昇傾向となり2008年7月には未曾有の最高値を記録し、漁船用の燃油価格も5年前の約3倍にまで上昇した。魚価の低迷が続くなかで漁船漁業は、操業経費に占める燃油代の割合が漁業種類によっては30～40%にまで達しており^{*2}、燃油節約のため近い漁場への変更、沖泊まりや減速航行等の漁業者の自助努力も限界に達した。その困窮とさらなる燃油価格高騰対策の要求を訴えるべく、全国の漁業団体による一斉休漁が平成20年7月15日に実施されたことは記憶に新しいところである。この後、米国発の金融危機により原油価格は一転反落に転じ燃油高騰の影響は一段落した状況となったものの、世界的な石油供給の逼迫感から引き続き今後の原油価格の動向を注意深く見守っていく必要がある。今回の経験から、燃油消費に依存した漁船漁業においては、より一層の省エネルギー化の取り組みを進め経営構造の改善が緊喫の課題となる。

わが国の多岐にわたる漁業は、その漁業種類や操業海域などの条件により船規模や漁労設備などが異なるためエネルギー利用構造も様々と考えられる。漁業の省エネルギー化を図る上で、漁船の総トン数階層や漁業種類に対して、具体的にどの部分に焦点を当てるべきか明らかにする必要がある。漁業経営の持続性の観点から、燃油多消費に依存した漁業種類では省エネルギー型の漁業生産構造への転換が急務である。また温暖化防止の観点からも、水産業分野からのCO₂排出量の実態把握とその削減が要請されている。そのため、漁船漁業全体の総燃油使用量を精度良く推定することと、漁船のトン数階層や漁業種類と燃油使用量の関係など漁船漁業のエネルギー利用構造を知ることが重要となる。2002年までは、石油供給側からの販売統計をもとに、漁業・養殖業分野の燃油消費量が推計されていたが、総合エネルギー統計が改訂された折りに漁業・養殖業の集計区分が無くなっ

*1 独立行政法人水産総合研究センター 水産工学研究所

〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7

National Research Institute of Fisheries Engineering, Hasaki 7620-7, Kamisu, Ibaraki 314-0408 Japan

khase@fra.affrc.go.jp

*2 水産庁, 燃油価格の大幅な変動, http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h20_h/trend/1/t1_t_05.html

たため、その後は水産業全体の燃油使用量の把握が困難な状況となっている。そのため、わが国の漁船漁業で用いられる燃油総量を、一般に公開されている統計データをベースにして推定する手法の開発が求められている。

すでに著者は、わが国の動力漁船の2005年の年間合計燃油使用量として推定値324万kℓ（軽油+A重油）を報告した¹⁾。その後、「漁業用燃油高騰対策についての補てん額の試算*1」のなかで2005年の漁業用A重油・軽油の合計販売量は215万kℓ（全漁連聞き取り）と記述されていた。この値215万kℓに対し、著者の行った推定324万kℓはあまりに乖離が大きいため、試算方法を全面的に見直し、改めて漁船の燃油使用構造を解析したのが本論である。

現在、農林水産分野におけるCO₂排出・削減の「見える化」の具体化として、生産活動および消費活動において温室効果ガス（GHG）排出量をCO₂等量で計算した「カーボンフットプリント」の表示の検討が始まっている。これらの動向を踏まえ本論では、漁業種類別の燃料油由来のCO₂排出量の試算を試みた。

1. 燃油価格および漁船隻数

わが国における最終エネルギー消費量のうち約5割は石油燃料が占め、この石油燃料消費量の内訳は、多い順に運輸部門、産業部門、業務部門、家庭部門となってい

る。水産業ではエネルギー消費量の大部分を石油燃料に依存しており、油種別ではA重油80.3%、軽油15.8%と推計されている*2。これらはエネルギー・経済統計要覧等に基づいているが、これらの統計は石油供給側から販売統計を基礎として消費量を推計するものであり、消費側からの統計値と整合しないことが問題とされ、漁業用燃油使用量の推計の信頼性に疑問があるとされていた*3。総合エネルギー統計が2001年に改訂された折りに漁業・養殖業分野の集計区分が無くなっており、漁船漁業の燃油使用量の把握はますます困難な情勢となっている。

動力漁船（ディーゼル機関搭載漁船）は、燃料として軽油またはA重油を使用する。沿岸小型漁船では軽油を使用する機会が多いが、漁船全体ではA重油の使用量が多い²⁾。漁業用A重油価格の推移を図1に示す³⁾。燃油価格は2004年頃から上昇傾向が続き2008年7月には未曾有の高値を更新した。燃油価格の高騰による経費の増加は、水揚金額増でカバーできない漁業の特質のなかでその影響は深刻である。

2005年度漁業・養殖業生産統計年報⁴⁾によると、わが国の漁船隻数の合計約19.3万隻の内訳は、無動力船が約0.4万隻、ガソリン船外機付船が7.6万隻で、動力漁船（ディーゼル機関搭載）は約11.2万隻を数え漁業生産の主体を担っている。動力漁船はトン数階層別で

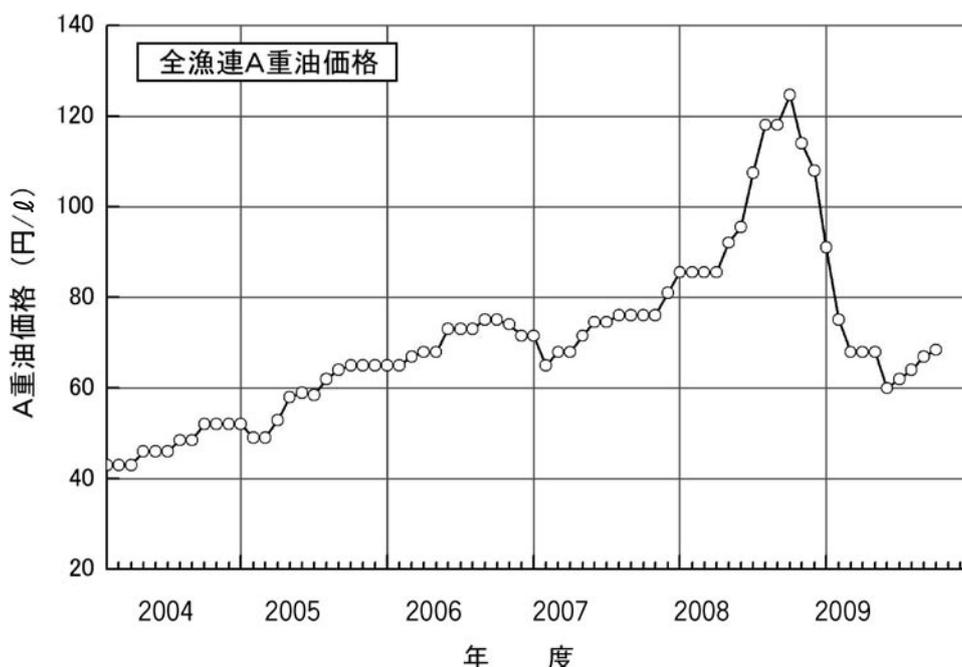


図1. 漁業用A重油価格の推移

*1 民主党（2008）肥料・飼料，燃油等高騰対策に対する緊急対策。 <http://www.dpj.or.jp/news/files/nenyu.pdf>

*2 環境省（2005）エコ燃料利用推進会議第1回検討会資料，1-17。 http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/01/mat04.pdf

*3 戒能一成（2008）総合エネルギー統計の概要と展望，1-17。 <http://www.rirti.go.jp/users/kainou-kazunari/x1115ncs.pdf>

は、3～5トン階層の4.4万隻など20トン未満船が動力漁船の98%以上を占め、数の上では圧倒的に小型船が多い。一方、20トン以上では200～500トン階層が715隻と最も多くなっている。ここで、「漁船とは、2005年1月1日～12月31日の間に漁業経営体が漁業生産のために使用し、調査期日現在で保有しているものをいい、主船のほかに付属船（まき網漁業における灯船、魚群探索船、運搬船など）を含む」と定義されている⁵⁾。ただし、漁船の登録を受けていても、直接漁業生産に参加しない船（買いつけ用の鮮魚運搬船など）は含まない。

海面漁業の経営体階層別の漁船隻数の内訳を表1に示す。この経営体階層とは、海面漁業経営体の当該年度の「販売金額第1位の漁業種類」により、定置網、地びき網、海面養殖、漁船漁業および漁船非使用に区分し、さらに漁船漁業については、使用した漁船の種類および動力漁船の合計トン数により区分されている⁴⁾。このように区分された経営体が所有する漁船総数を表1に示す。

例えば漁船漁業経営体の動力漁船5～10トン階層では、動力漁船隻数1.34万隻に対し船外機船も0.26万隻所有している。動力漁船1トン未満の階層では船外機船の隻数が2.8万隻と圧倒的に多い。即ち、零細な漁船漁業経営体においては、船外機船の利用頻度が高いことが推測される。海面養殖業全体で見れば、船外機船と動力漁船の隻数はほぼ同等である。表1中に経営体階層ごとの船外機船の割合を示した。なお、漁船漁業の経営体階層は動力漁船の合計トン数で区分されるが、動力漁船とは一般にディーゼルエンジンを船内に保有するものをいい、船外機船は動力漁船に含まないことに注意する必要がある。

2. 漁船の燃油使用量の試算

1) 漁業経営調査報告 2005年度漁業経営調査報告⁵⁾では、漁業経営を家族型経営、雇用型経営、会社経営体等に類型化して、それぞれの経営調査について報告してい

表1. 各種の海面漁業経営体が所有する漁船隻数の内訳

	合計隻数	無動力船	船外機付船	動力漁船	船外機船／ (船外機船+動力漁船)
漁船漁業経営体(動力漁船の合計トン数で階層分け)					
無動力船	85	85			
動力漁船1トン未満	32,724	85	28,491	4,148	0.87
1～3	26,091	73	4,703	21,315	0.18
3～5	34,365	58	6,284	28,023	0.18
5～10	16,066	27	2,642	13,397	0.16
10～20	8,094	19	941	7,134	0.12
20～30	2,121	9	149	1,963	0.07
30～50	2,081	1	101	1,979	0.05
50～100	1,525	1	61	1,463	0.04
100～200	1,189	4	33	1,152	0.03
200～500	709	1	9	699	0.01
500～1000	374		5	369	0.01
1000～3000	652		3	649	0.00
3000トン以上	79			79	0.00
(小計)	126,155	363	43,422	82,370	
地びき網、定置網、海面養殖経営					
地びき網	218	57	104	57	0.65
大型定置網	3,123	245	813	2,065	0.28
小型定置網	7,912	170	3,154	4,588	0.41
ぶり類養殖	4,108	10	934	3,164	0.23
まだい養殖	2,674	19	623	2,032	0.23
ほたてがい養殖	5,483	9	2,093	3,381	0.38
かき類養殖	7,168	60	3,559	3,549	0.50
わかめ類養殖	4,304	20	3,050	1,234	0.71
のり類養殖	19,620	2,894	11,167	5,559	0.67
真珠養殖	5,878	28	3,535	2,315	0.60
その他の養殖	5,864	50	3,648	2,166	0.63
(小計)	66,352	3,562	32,680	30,110	
合計	192,507	3,925	76,102	112,480	

(参考：平成17年度漁業・養殖業生産統計年報)

る。漁業経営調査は、漁業経営体の財産状況、収支状況、操業状況等の経営実態を明らかにし、水産施策のための資料整備を目的としている。家族型漁船漁業とは、個人で海面漁業を営み、海上作業の最盛期の労働力（従事者数）が家族労働を主とし、かつ使用動力船の合計トン数が20トン未満の漁船を用いた漁業を主として営む経営体と定義されている。雇用型個人経営とは、全国の漁業経営体のうち個人で海面漁業を営み、海上作業の最盛期の従事者が雇用労働を主とする経営体と定義され、漁船漁業では使用動力漁船の合計トン数が10トン以上の漁船を用いた漁業を主とする経営体をいう。会社経営体とは、全国の漁業経営体のうち会社（商法又は有限会社法に基づき設立された合名会社、合資会社、株式会社および有限会社）で海面漁業を営む経営体を対象とし、漁船漁業、大型定置網漁業、海面養殖業に分類され、漁船漁業会社経営体は使用動力漁船の合計トン数が10トン以上の漁船を用いた漁業を主とする経営体である。

2) 漁船のトン数階層別燃油使用量の試算 漁船漁業の経営体のうち、動力船1トン未満や3～5トンの階層では、船外機船の保有隻数が多く、また、小型定置網漁業、かき養殖業やのり養殖業でも船外機船の保有割合が高い（表1）。船外機船では燃料としてガソリンを使用する。漁業経営調査報告では、経費支出として油費は報告されているものの軽油、A重油、ガソリン、潤滑油等の油種別の油費は特定できない。油種によって燃料単価が異なることから本来ならば油種別の油費の内訳が必要であるがこれは困難であるため、ここでは経営体の燃油使用量の試算において、ガソリンと軽油・A重油それぞれの使用量を推定するために、船外機船と動力漁船の所

有実態等を考慮して次のような仮定をした。

- ①油費の内訳として潤滑油代は無視する。即ち油費は全て燃料油代とする。
- ②経営階層3トン未満の油費の57%はガソリン代とする。57%の根拠は、漁船漁業経営体の動力漁船3トン未満の階層の船外機船所有比率とした。表1の漁船隻数の内訳から船外機船所有比率を次のように計算した。

$$\text{船外機船隻数} = 28,491 + 4,703 = 33,194 \text{ 隻},$$

$$\text{動力漁船隻数} = 4,148 + 21,315 = 25,463 \text{ 隻},$$

$$\text{船外機船所有比率} = 33,194 / (33,194 + 25,463) = 0.57$$
- ③経営階層3～5トンの油費の18%はガソリン代とする。18%の根拠は本階層の船外機船比率である。
- ④経営階層5～10トンの油費の16%はガソリン代とする。16%の根拠は本階層の船外機船比率である。
- ⑤経営階層10トン以上は船外機船のガソリン使用は無視する。
- ⑥動力漁船10トン未満はもっぱら軽油（免税扱い）を使用する。石油製品の価格情報*をもとに、軽油単価は2005年4月～2006年3月の平均販売価格から軽油引取り税32.1円を差し引いた72.1円/ℓとした。
- ⑦動力漁船10トン以上はA重油を使用する。A重油単価は図1に示す全漁連A重油価格の2005年度の平均値である単価63.5円/ℓとした。

動力漁船の使用する燃料油種は、10トン未満は軽油使用とし、10トン以上はA重油とした。一般に20トン未満の漁船には高速ディーゼル機関が搭載されており、燃料として軽油またはA重油が使用される。A重油の価格は軽油よりも若干安いですが、燃料フィルタや潤滑油の保

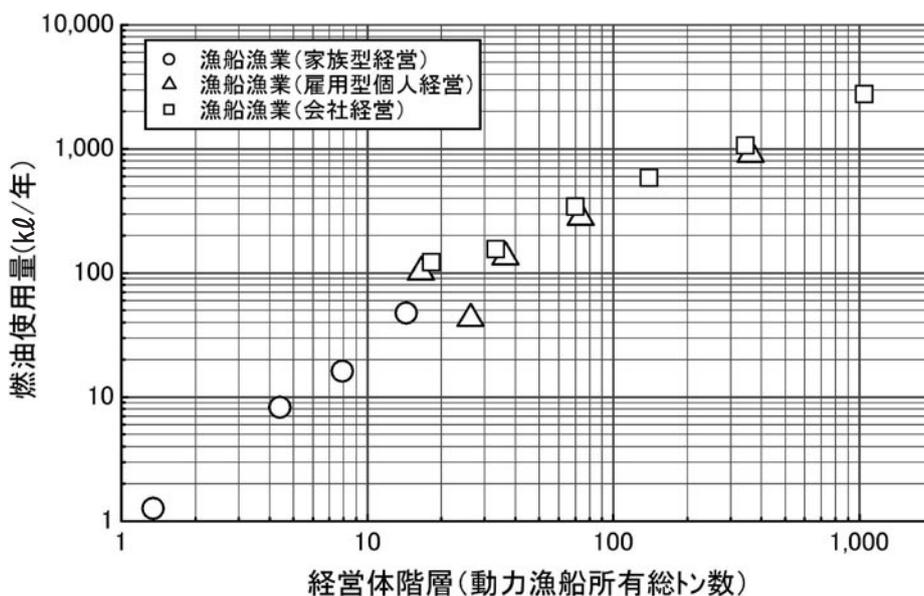


図2. 漁船漁業経営体階層と燃油使用量の関係、平成17年度漁業経営調査報告結果から軽油72.1円/ℓ、A重油63.5円/ℓとして試算

* 日本エネルギー経済研究所（2009）石油価格情報、<http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>

守管理の手間がかかる等の理由から、沿岸小型漁船では軽油の使用割合が高くなっている。一方で燃油の供給体制の制約から油種を選べない地域もあり、軽油使用かA重油使用かは単純にトン数で区分できるものではないが、ここでは動力漁船トン数階層として10トン未満は軽油使用、10トン以上はA重油使用とした。

以上の仮定のもとに試算した漁船漁業経営体の燃油使用量（軽油+A重油）を図2に示す。この値は、経営体が所有する動力漁船の合計の燃油使用量であり、漁船1隻当たりの燃油使用量とは異なることに注意を要する。著者が前報¹⁾において、わが国の漁船の総燃油使用量を過大評価した原因の一つは、1経営体当たりの燃油使用量と漁船1隻当たりの燃油使用量を同等としたことであつた。

次に、漁船1隻当たりの燃油使用量を試算する。漁船漁業の経営調査報告では、家族型、雇成型、会社のそれぞれの経営階層と所有する動力漁船隻数が報告されてい

る。従って、経営体当たりの燃油使用量をその所有隻数で割れば、動力漁船1隻当たりの燃油使用量が推定できると考えた。例えば、200～500トン階層の経営体の所有トン数が450、動力漁船の所有隻数3の場合、単純に450トンを3で割ると150トンとなることから、この場合は漁船のトン数階層区分は100～200トンとして扱うことにする。このような考え方で漁船1隻当たりの燃油使用量を推定した結果を図3に示す。漁船トン数階層と燃油使用量の関係は、20トンを境にして、20トン未満と20トン以上でそれぞれ一意的な関係で表すことができる。なお図3では漁船漁業の経営体から導出した値に加えて、定置網漁業および海面養殖業の経営体で使用される動力漁船1隻当たりの燃油使用量もプロットした。操業海域が極く沿岸に限られる定置網漁業と海面養殖業で使用される動力漁船の燃油使用量は、漁船漁業に比べて大幅に小さい値となっていることから、漁船漁業従事船と定置網・養殖業従事船の燃油使用量は区分して試算

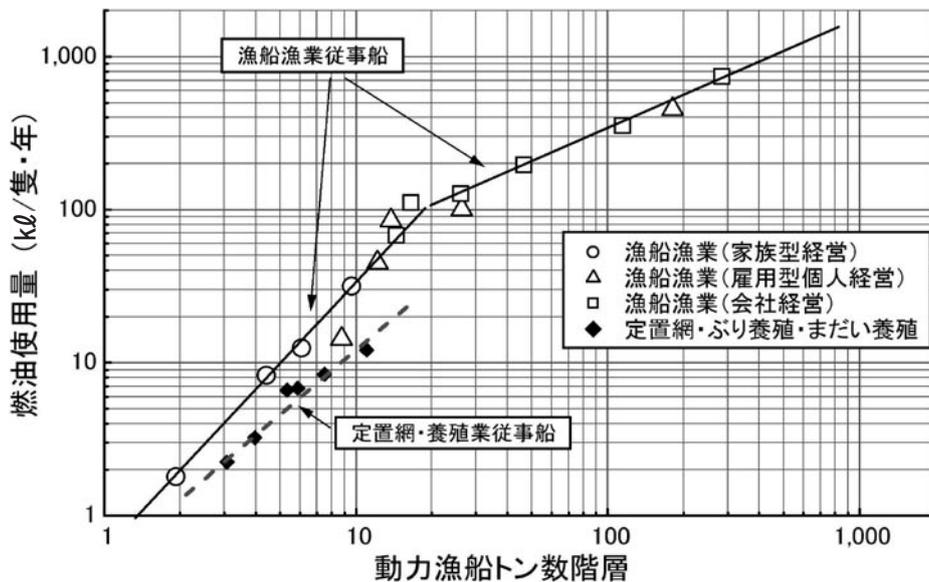


図3. 動力漁船トン数階層と燃油使用量（2005年度）の関係、経営体の動力漁船所有隻数を考慮して動力漁船1隻当たりの燃油使用量を試算

表2. 動力漁船トン数階層別の燃油使用量の試算

動力漁船トン数階層	合計隻数 隻	漁船漁業 隻	定置・養殖業 隻	漁船漁業従事船の 燃油使用量 kl/隻	定置・養殖業従事 船の燃油使用量 kl/隻	漁船漁業従事船の 燃油使用量 万kl/階層	定置・養殖業従事 船の燃油使用量 万kl/階層	合計燃油使用量 (A重油+軽油)万kl	うち軽油分 万kl
<1ト	7,075	5,758	1,317	0.60	0.24	0.35	0.03	0.4	0.4
1～3	35,690	25,212	10,478	2.00	0.80	5.04	0.84	5.9	5.9
3～5	44,236	33,230	11,006	7.00	2.80	23.26	3.08	26.3	26.3
5～10	15,211	10,685	4,526	20.0	8.00	21.37	3.62	25.0	25.0
10～20	8,455	5,690	2,765	80.0	32.0	45.52	8.85	54.4	
20～30	34	28	6	130	52.0	0.36	0.03	0.4	
30～50	88	87	1	170	68.0	1.48	0.01	1.5	
50～100	448	443	5	300	120	13.29	0.06	13.4	
100～200	515	511	4	500	200	25.55	0.08	25.6	
200～500	715	713	2	800	320	57.04	0.06	57.1	
>500ト	13	13		1,200	480	1.56	0.00	1.6	
合計	112,480	82,370	30,110			194.8	16.7	211.5	57.6

することが必要である。

漁業・養殖業生産統計年報には、漁船漁業経営体と定置網や海面養殖業経営体に区分されて、動力漁船のトン数階層別の隻数が掲載されている（表2）。それぞれの経営体区分について、動力漁船トン数階層に対する燃油使用量（図3から読みとり）にその階層の漁船隻数を乗ずれば、動力漁船トン数階層別の燃油使用量の推定が可能となる。定置網漁業や海面養殖業での漁船の活動範囲はごく近場であることを考慮すれば、例え同一トン数階層であっても漁船漁業の船に比べて燃油使用量は小さく設定する必要がある。定置網漁業および海面養殖業で使用される動力漁船の燃油使用量は同一トン数階層で比較すれば漁船漁業従事船の約40%である（図3参照）。従って、これらの動力漁船の1隻当たりの燃油使用量は漁船漁業従事船の40%としてわが国の動力漁船からの燃油使用量の合計（2005年度）を推定した。

動力漁船トン数階層別の燃油使用量の試算結果を表2に示す。軽油・A重油の合計で211.5万klと試算された。10トン未満船は全て軽油使用と仮定したことから軽油使用量は57.6万klである。トン数階層別の動力漁船は隻数の上では圧倒的に小型漁船が多いが、燃油使用量は200～500トン階層が57.1万klと最も多く、次には10～20トン階層の54.4万klの順となり、この二つの階層が突出している。200～500トン階層には遠洋まぐろ延縄漁船や遠洋かつお一本釣り漁船等が含まれており、10～20トン階層は19トン型漁船の占める割合が高く、これらの両階層の漁船群がわが国の漁業生産の主体を担っていると考えられる。

以上のように漁船の燃油使用量の推定においては油費等の漁業経営調査報告データをベースにいくつかの仮定をおいて試算したもので、推定値の信頼性を確認しておく必要がある。漁業用燃油高騰対策の施策立案時の燃油価格補填額の試算において、全漁連系統が把握している漁業用燃油販売量としてA重油173万kl、軽油42万klの合計215万klの値が使用されている*。この値には一部の漁協の販売量やまぐろ延縄漁船の外地での給油分が含まれないこと、陸上での板海苔乾燥時のボイラー用燃油使用量も含まれていること等も考慮しなくてはならないが、今回推定したA重油使用量153.9万klと軽油使用量57.6万klの合計値211.5万klは全漁連聞取りの215万klとほぼ一致する値となり、本論の燃油使用量の推定手法はほぼ妥当であると判断できる。

3) 漁業種類別の燃油使用量 沿岸漁業は家族型経営が大多数であり、年間を通しては複数の漁業種類を組み合わせている場合が多い。漁業経営調査報告（家族型漁船漁業）では、主たる漁業種類で類型化して経営状況が報告されている⁵⁾。2005年度の報告データを用いて漁業

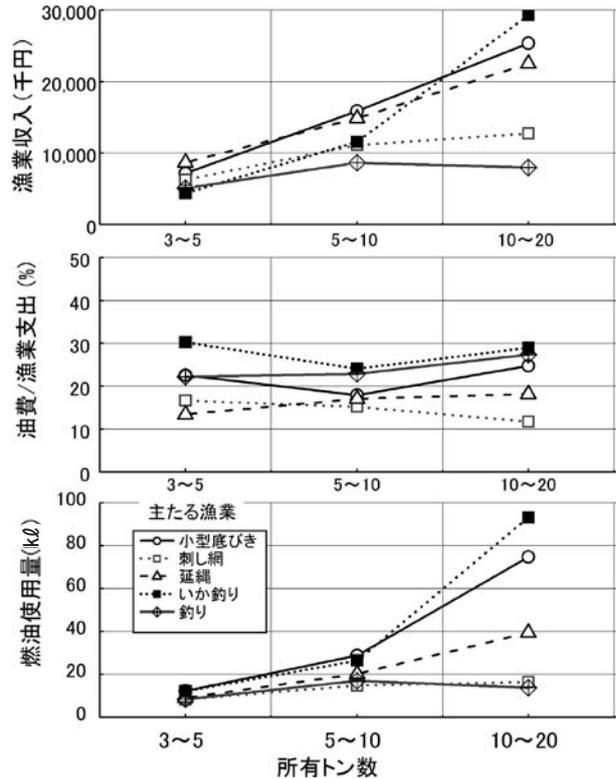


図4. 漁船漁業家族経営体の燃油使用量、平成17年度漁業経営調査報告（家族型経営調査）から試算

種類別の漁業収入および油費から計算した燃油使用量を図4に示す。沿岸いか釣り漁業と小型底びき網漁業の燃油使用量が多く、特に10～20トン階層でその傾向は顕著である。漁業支出に対する油費の割合は、沿岸いか釣り漁業が最も高く約30%を占める。

図5に雇用型経営体および会社経営体の漁業種類別の漁業収入、油費割合、燃油使用量を示す。まき網漁業と船びき網漁業は船団総トン数に対する値である。例えば大中型まき網漁業では網船本船に加えて探索船と運搬船とで構成されており、まき網1ヶ統の総トン数は1,000トンを越える場合もある。船びき網も二そうの網船に運搬船を加えた3～4隻体制が多い。この図から、燃油使用量が大きい漁業種は、大中型まき網漁業、かつお一本釣り漁業、まぐろ延縄漁業、底びき網漁業の順となっている。いか釣り漁船も燃油使用量が大きい。さんま棒受け網は漁期が4ヶ月程度と短いにも拘わらず、エネルギー多消費型漁業である。一方、船びき網漁業や小型まき網漁業は沿岸域で操業するためか燃油使用量は比較的小さい。鮭鱒流し網漁業も漁期が短いことも影響して燃油使用量は比較的小さい。

図5は漁業経営調査報告の統計データを利用して船規模と燃油使用量の関係を漁業種類ごとに平均像として示

* 民主党（2008）肥料・飼料、燃油等高騰対策に対する緊急対策。 <http://www.dpj.or.jp/news/files/nenyu.pdf>

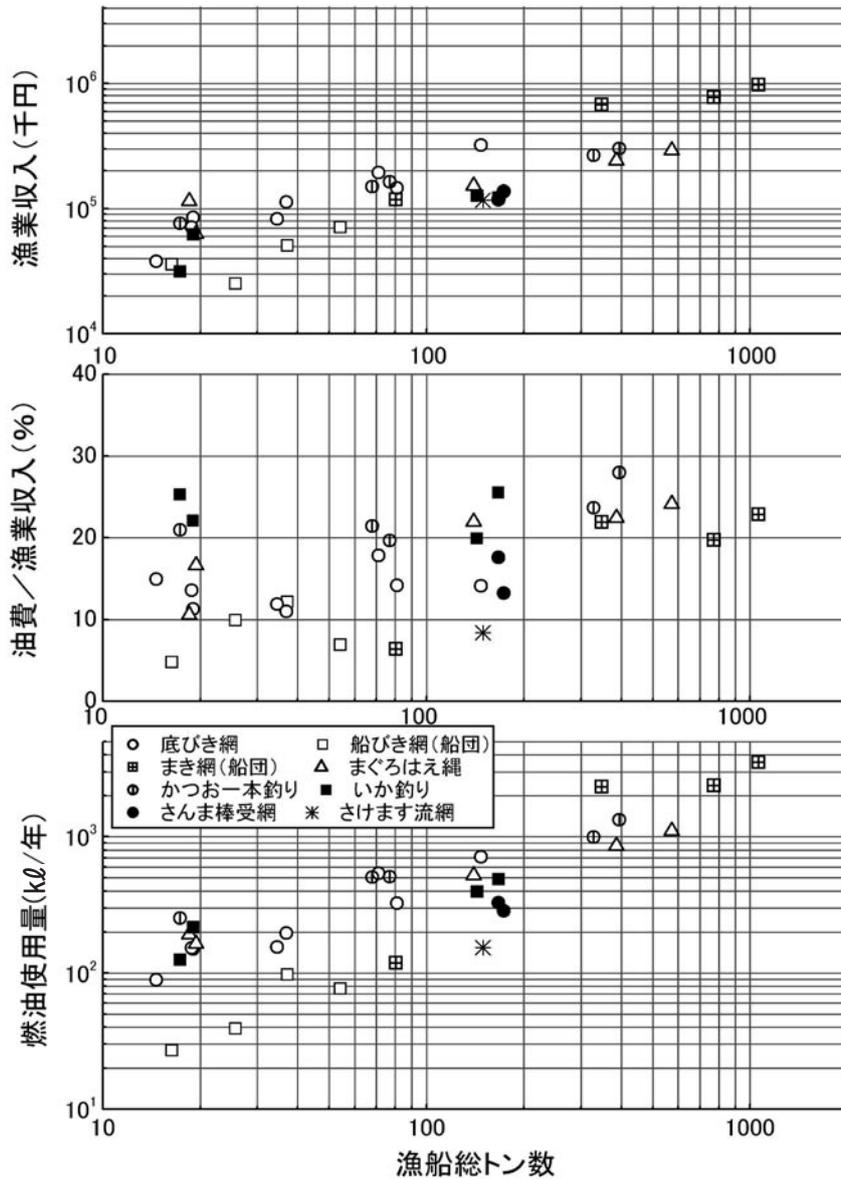


図5. 漁船漁業の漁業種類別の燃油使用量、平成17年度漁業経営調査報告結果（雇用型経営調査、会社経営体調査）からA重油63.5円/ℓとして試算

している。注意事項として、統計データはサンプル標本調査を基本としているため、そこから試算した燃油使用量の数値の信頼度を確認する必要がある。そのため、訪船調査等で燃油使用量の聞き取りを行い試算値と対比した。聞き取りによる燃油使用量の例を以下に示す。北海道160トン型沖合底びき網漁船では1,100kl/年、兵庫95トン型沖合底びき網漁船では430kl/年、静岡349型海外まき網漁船では2,500kl/年、北海道29トン型さんま漁船では200kl/年であった。この4事例は図5の試算値と比べてほぼ同等の値である。また、農林漁業金融公庫では融資先の経営状況を報告しており、そのなかで

遠洋まぐろはえ縄漁船および大中型まき網漁業1ヶ統当たりの燃油費が記載されている*。これから燃油使用量を計算すると、遠洋まぐろはえ縄漁船で1,300kl/年、大中型まき網1ヶ統は3,800kl/年であった。これらの数値も図5の試算値とほぼ同等であることが確認できる。即ち、漁業経営調査報告から推定した漁業種類別の燃油使用量は妥当であると判断できる。

4) 船外機船のガソリン使用量 船外機船には一部にディーゼル船外機も使用されることがあるがガソリン船外機の使用が大部分である。船外機でのガソリン使用量は、漁協経由で購入した場合にはそのガソリン購入額が

* 農林漁業金融公庫（2006）漁船漁業を営む融資先の経営状況について（概要）。

記録して残る。しかし、この場合も組合員の自動車へのガソリン給油も含まれる場合が多く、船外機での使用量の特定は難しいのが実状である。ここでは、漁業用に稼働している船外機船隻数から、搭載機出力、平均負荷率、平均燃費率、船外機稼働率等を仮定して、国内で使用される船外機船のガソリン総量を推定した（表3）。ガソリンの単価は2005年度の平均単価127.8円/ℓとした*1。

船外機船の使用形態は漁業種類や地域性にも依存し各様である。例えば三陸地区のわかめやこんぶ養殖業を主とする場合では、年間を通じてもっぱら船外機を利用する経営体が多い。また、動力漁船による漁業を主としながらも季節的な採貝藻漁業に船外機を使用する場合も多い。従って船外機稼働率等の仮定は容易ではないが、ここでは表3のような大胆な仮定のもとにガソリン使用量の推定を試みた。合計8.22万ℓと推定したが、この数値の妥当性については今後の課題となる。

3. 漁船からのCO₂排出総量の試算 2005年度の漁船漁業および海面養殖業で使用される漁船の総CO₂排出量を試算する。漁船は、動力漁船（ディーゼル機搭載船）と船外機船に大別される。燃料油種は、ディーゼル機搭載船の場合には軽油またはA重油が使用され、船外機船ではガソリンがもっぱら使用される。これらの油種別の燃料油使用量の推定値にそれぞれの油種のCO₂排出係数*2（t-CO₂/ℓ）を乗じることにより油種別のCO₂排出総量が推定可能である。

2005年度の動力漁船合計11.2万隻からの燃油使用量

の総計は、軽油・A重油の合計で211.5万ℓと推定された（表2）。このうち軽油使用量は57.6万ℓでA重油使用量が153.9万ℓと見積った。一方、船外機船合計7.6万隻からのガソリン使用量は8.22万ℓと推定した（表3）。これらの燃油使用量から油種別のCO₂排出量の試算結果を表4に示す。年間のCO₂排出量は船外機船（ガソリン）から約19万トン、動力漁船（軽油・A重油）から約570万トンと試算された。

4. 漁業種類別漁獲量とCO₂排出量の関係 ここまで漁船からの燃油使用量およびCO₂排出量の試算について述べてきた。近年、CO₂の排出量増加に起因した地球温暖化問題は、生態系や人類の活動への悪影響をもたらす環境問題としてクローズアップされている。持続可能社会を築いていくためには、エネルギー源として化石燃料依存から脱却した低炭素社会づくりが求められている。これへの対応の一つとして、CO₂の「見える化」が注目されており、2008年7月に閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」においては、「CO₂の見える化」について排出量の算定や表示の方法などに関して、ガイドラインを定め試行的な導入実験を目指すこととされ、農林分野においてもその検討が開始されている*3。CO₂の見える化の指標の一つに「カーボンフットプリント」がある。これは、商品の原料を作る段階から商品の廃棄に至るまでに関係する事業者とその商品の消費者の双方にCO₂排出量を認識させて、温室効果ガスの排出量を削減する行動を促すことを目的としている。商品へのカーボンフットプリント表示の普及は、消費者の商品選択にお

表3. 船外機船のガソリン使用量の試算

船外機船隻数 隻	出力 PS(仮定)	負荷率 %(仮定)	稼働時間 h/日(仮定)	稼働日数 日/年(仮定)	燃費率 ℓ/PSH(仮定)	燃料消費量 ℓ/隻(試算)	ガソリン総使用量 ℓ
76,102	60	50	1.5	60	0.40	1.08	82,200

表4. 動力漁船および船外機船からのCO₂排出量の試算

	隻数 (隻)	燃油使用量 (万ℓ)	油種	CO ₂ 排出係数 (t CO ₂ /ℓ)	CO ₂ 排出量 (万 t CO ₂)
船外機船	76,102	8.22	ガソリン	2.322	19.1
動力漁船	112,480	57.6	軽油	2.624	151.1
			A重油	2.71	417.1

*1 日本エネルギー経済研究所（2009）石油価格情報、<http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>

*2 環境省（2009）温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧、1-17。<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>

*3 農林水産省（2009）農林水産分野における省CO₂効果の表示の指針、1-12。http://www.maff.go.jp/j/press/kambou/kankyo/pdf/090401_1-01.pdf

いて「CO₂排出量の大小」という新たな指標が加わることを意味する。水産業においても環境負荷の低減という視点から産業のあり方を見直す取り組みが求められ、水産物のライフサイクル、即ち「漁獲」、「流通」、「加工」、「消費」、「廃棄」等を通した環境負荷のライフサイクルアセスメント（LCA）の研究事例がいくつか報告されている⁶⁾。

これらの動向を念頭におき、水産物へのカーボンフットプリントの導入を想定して、漁獲・流通段階等のCO₂排出量の試算手法を確立しておく必要があるが、漁船漁業による漁獲物のCO₂排出量算定は、天然資源に依存するため好・不漁の変動幅が大きいこと、同時に多魚種が混獲されること、同じ魚であっても漁場や漁法の違いによって魚価が異なること等、水産物の特殊性もあって容易ではないが、主要魚種についてはCO₂排出量の算定手法を確立する必要があるだろう。

本論で推定した漁船トン数階層別あるいは漁業種類ごとの燃油使用量と漁業種類ごとの水揚げ数量等の統計デ

ータを用いて、特定の漁業種類の漁獲量に対する燃料油由来のCO₂排出量の試算が可能である。LCAの概念からすれば漁船建造・漁具および水や流通段階のCO₂排出量が未評価であることなど不完全ではあるもののCO₂排出量の大勢を占めると考えられる燃料油由来のCO₂排出量との関係評価を行うことにより、カーボンフットプリント導入へ向けた一つの試みとなりうるものである。

2005年漁業・養殖業生産統計年報には、主要漁業種類別の漁獲量と漁業生産額が報告されている。主要漁業種類には大まかにトン数階層区分された動力漁船数も報告されている。この統計データと漁船の燃油使用量推定値を活用すれば、主要漁業種類について単位漁獲量当たりのCO₂排出量および単位生産額当たりのCO₂排出量を計算することが可能である。単位漁獲量当たりのCO₂排出量および単位生産額当たりのCO₂排出量の導出過程を表5に示す。各漁業種類別の1隻当たり（まき網・船曳では船団当たり）のCO₂排出量は、雇用型・会社

表5. 漁業種類別に試算した漁獲量および生産額当たりのCO₂排出量

漁業種類	漁獲量 t	生産額 億円	船規模 GT	隻数又は総数	燃油使用量 kl/(隻or総)	総燃油使用量 kl	総CO ₂ 排出量 t CO ₂	CO ₂ 排出量/ 漁獲量 t-CO ₂ /t	CO ₂ 排出量/ 生産額 t-CO ₂ /百万円
小型底びき網縦びきその他	390,698	1,103	<5	11,675	12	202,796	549,577	1.407	4.98
			5~10	1,157	28				
			>10	404	75				
沖合底びき網1そうびき	342,545	498	<50	153	140	116,820	316,582	0.924	6.36
			50~100	109	400				
			>100	74	700				
船びき網	222,924	573	<5	2,946	30	175,220	474,846	2.130	8.29
			5~10	1,325	40				
			>10	423	80				
中小型1そうまき巾着網	324,823	414	<5	75	40	66,300	179,673	0.553	4.34
			5~10	45	80				
			>10	199	300				
大中型その他の1そうまき網	626,932	537		75	2,000	150,000	406,500	0.648	7.57
大中型かつおまぐろ1そうまき網	267,316	474	<200	17	1,000	161,000	436,310	1.632	9.20
			>200	48	3,000				
さんま棒受け網	229,970	141	<10	93	100	60,600	164,226	0.714	11.65
			10~50	129	200				
沿岸まぐろはえ縄	8,547	52	<5	91	10	15,250	41,328	4.835	7.95
			5~10	201	20				
			>10	129	80				
近海まぐろはえ縄	61,728	296	<50	275	200	88,200	239,022	3.872	8.08
			>50	83	400				
遠洋まぐろはえ縄	137,295	940	<200	22	500	443,000	1,200,530	8.744	12.77
			>200	432	1,000				
沿岸かつお一本釣り	9,582	40	<5	108	10	5,120	13,875	1.448	3.47
			5~10	72	20				
			>10	65	40				
近海かつお一本釣り	62,241	152	<50	3	250	35,400	95,934	1.541	6.31
			>50	77	450				
遠洋かつお一本釣り	90,795	170	<100	2	500	56,500	153,115	1.686	9.01
			100~200	15	700				
			>200	45	1,000				
沿岸いか釣り	101,650	385	<5	13,106	10	267,960	726,172	7.144	18.86
			5~10	2,290	25				
			>10	885	90				
近海いか釣り	56,510	146	20~50			55,800	151,218	2.676	10.36
			50~100	27	200				
			>100	126	400				
遠洋いか釣り	48,450	71		18	1,500	27,000	73,170	1.510	10.31

経営調査をもとに試算した燃油使用量(図5)を参考にして、ほぼ妥当と考えられる燃油使用量の値を用いた。主要漁業種類別に単位漁獲量当たりのCO₂排出量を図6に、単位生産額当たりのCO₂排出量を図7に示す。

主要漁業種類は大きく分類すると漁具として網を用いる漁業と延縄・一本釣りのような釣り漁業に大別できるため、図6、図7では、この二つの漁業に大別してプロットしている。燃料油由来のCO₂排出量に限定した比較ではあるが、遠洋まぐろ延縄や沿岸いか釣り漁業は、単位漁獲量当たりのCO₂排出量が高い漁業種類となる。一方、さんま棒受け網漁業、底びき網漁業やまき網漁業は相対的に漁獲量が大きく、結果として燃料油由来のCO₂排出量は小さい漁業となる。しかし、燃料油由来以外のライフサイクル的なCO₂発生を考慮すれば、漁網は勿論、多獲性魚では製氷や流過程でのCO₂排

出負荷も大きいと考えられる。単位生産額当たりのCO₂排出量は、網漁業と釣り漁業で極端な差はなく、生産額百万円当たり8tのCO₂排出量が平均的な値となっている。しかし、一部の漁業種類で数値の大きいものもあり、これらの推定に際しては統計データの信頼性も含め試算法の精査が必要と考えられる。

おわりに

漁船漁業では経営の持続性の面から燃油経費の削減は緊喫の課題であり、同時に、漁業の環境負荷の低減のためにも省エネルギー化の一層の推進が求められる。そのためにも漁船の燃油使用量の実態を明らかにする必要があった。本論は、公開されているデータ(2005年度)を活用して動力漁船トン数階層および漁業種類ごとの燃

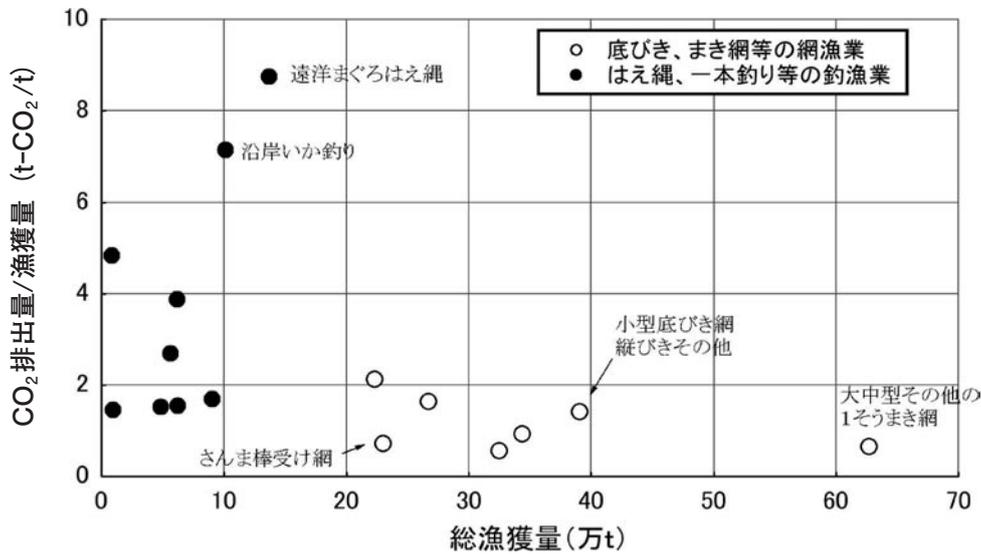


図6. 各種漁業種類における漁獲量当たりのCO₂排出量

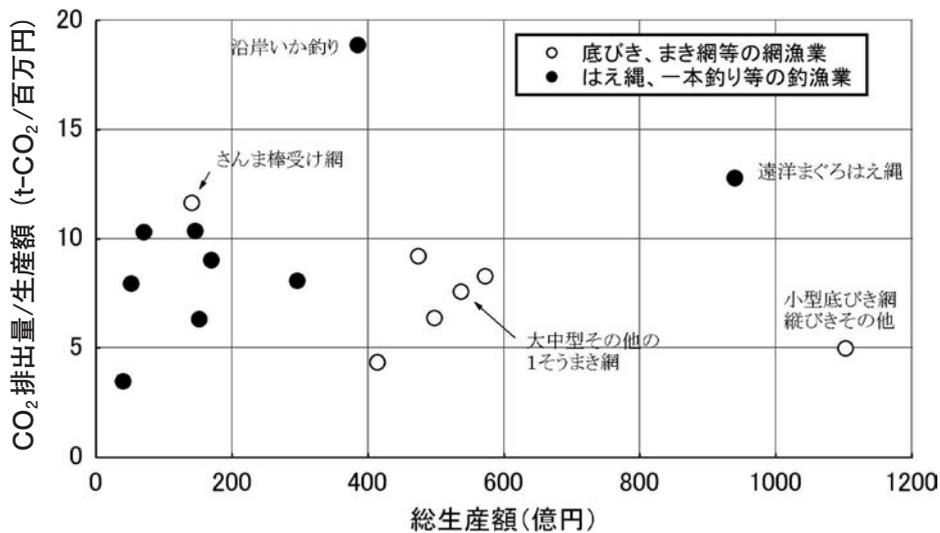


図7. 各種漁業種類における生産額当たりのCO₂排出量

油使用量の推定手法を示し、漁船の燃油使用の実態を俯瞰的に示したが、これらはそれぞれの漁船群の平均的な数値である。水産物の漁獲・流通・消費過程において、漁獲段階の漁船の燃料油由来のCO₂排出量が主要部分を占めているものと考えられるが、ライフサイクルを考慮したその他の部分からのCO₂排出量の積み上げは今後の課題である。水産物の低炭素化社会づくりへの取組みの一つとして、消費者に対する水産物へのカーボンフットプリント表示などCO₂排出および削減策の「見える化」の導入が期待される。本論がその際の算定ツールの一つになるように手法開発を進めたいと考えている。

謝 辞

本論は、平成20年度環境バイオマス総合対策推進事業のうちの農林水産分野における地球温暖化対策調査の一環として、水産物における漁業生産ならびにポストハーベスト過程からの二酸化炭素排出量を推定した調査研究のなかで得られた成果である。本事業実施責任者の中央水産研究所田坂行男部長をはじめとする関係各位に謝意を表す。また、本論に対し校閲頂いた関係諸氏に感謝します。

文 献

- 1) 長谷川勝男 (2008) 我が国の漁船の燃油消費量, 水産工学研究所技報, 30, 9-15.
- 2) 長谷川勝男・高橋秀行・小田健一 (1996) 漁船用高速ディーゼル機関のNO_x排出特性, 日本船用機関学会誌, 31 (6), 374-380.
- 3) 水産庁 (2009) 目で見る日本の水産, 1-27.
- 4) 農林水産省統計部 (2007) 平成17年漁業・養殖業生産統計年報, 1-335.
- 5) 農林水産省統計部 (2007) 平成17年度漁業経営調査報告, 1-455.
- 6) 渡邊一仁・田原聖隆・三浦汀介 (2008) 水産物のLCA研究, 日本LCA学会誌, 4 (2), 124-128.

本号掲載論文要旨

飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕形成

伊藤龍星・福田祐一

屋外 50 トン水槽でナルトビエイ 2 尾（体重 2.5kg 雄, 1.3kg 雌）を 2006 年 7 月 19 日から 10 月 6 日まで飼育し、遊泳、摂餌行動と摂餌痕形成を観察した。飼育期間中、2 尾は活発に遊泳し、餌の殻付きアサリ（2kg/日）を摂餌した。供試魚は、吻部を砂中に突っ込んでアサリを探し、顎歯で殻を噛み砕いて軟体部を摂餌した。摂餌痕は楕円形で、短径は両眼間隔よりやや大きく、長径は短径より進行方向に長かった。本種の最大漁獲サイズから考えて、摂餌痕の短径は 30cm を超えないと考えられる。

水産技術, 2 (2), 73-77, 2010

人工授精作業におけるサケ親魚や精子・卵の放置時間が仔魚の浮上率に与える影響

高橋 悟・戸叶 恒・高橋史久・伴 真俊

サケの人工授精作業において親魚、精子、卵、媒精卵、洗浄卵の放置時間と放置温度が浮上率に与える影響を調べた。放置時間は 0 ~ 240 分、温度条件に室温と水冷を設けた。室温では浮上率が 90% に低下する時間は雌親魚が 135 分、精子と卵がそれぞれ 240 分以上と 39 分、媒精卵と洗浄卵が 39 分と 240 分以上であった。雄親魚は室温や水冷に関わらず 0 分時の生殖腔内温度が 11℃ 以上の場合、浮上率が 90% 以下となる時間が著しく短くなった。また、精子以外では冷却することにより浮上率の低下を遅らせることができた。

水産技術, 2 (2), 91-98, 2010

海洋深層水を用いたメガイアワビの陸上養殖試験

岡田一宏・濱辺 篤

海洋深層水を用いたアワビ養殖の可能性を検討するため、平均殻長 50.6mm の一歳メガイアワビを、試験区は海洋深層水を用い、特に夏季の高水温期には飼育水温が 20℃ を超えないように調温して、対照区は自然水温（最高 26.8℃）で 10 ヶ月間配合飼料を与えて飼育した。試験区の成長（73.8mm）は対照区（68.1mm）に比べて有意に優れ、72.7% の個体が養殖アワビの流通サイズである殻長 70mm 以上に達した。この結果から、深層水を用い、夏季の高水温を避けてアワビを飼育することは成長促進に有効であり、アワビ陸上養殖を有利に展開できる可能性があると考えられた。

水産技術, 2 (2), 79-84, 2010

飼育水に含まれるコロイド状物質がウナギ仔魚の飼料となる可能性

増田賢嗣・奥 宏海・野村和晴・照屋和久・田中秀樹

サメ卵主体液状飼料の開発と改良はシラスウナギまでの飼育を可能とし、研究の焦点はシラスウナギの大量生産法の確立に移っている。そのためには、大量生産への応用が困難な現行の給餌法を改良する必要がある、特に中層で給餌できる方法の開発が求められている。飼料が飼育水全体に拡散したコロイド型飼料はこの要請に応えられる可能性がある。本研究では、コロイド型飼料のモデルである海水希釈牛乳で満たされた水槽中では、牛乳が一定濃度以上で、十分な摂餌時間があればウナギ仔魚は摂餌でき、また一定期間生存できることを明らかにした。

水産技術, 2 (2), 99-104, 2010

人工巣穴による漁獲後のハモの生残率向上と傷防止効果

上田幸男・岡崎孝博

ハモは傷がなく活力が高いものほど高価に取引される。ハモが巣穴内で沈静する特性を利用して、人工巣穴の有無による漁獲後の傷防止効果を検証した。小型底びき網および延縄で漁獲した体重 210 ~ 1,820g のハモ各 50 個体を、人工巣穴を敷設した 500 ℓ の水槽に収容し、10 日間飼育した。底びき網のハモを用いた 2 回の試験では、人工巣穴区の生残率が対照区より約 14 ~ 18% 高かったが、延縄のハモでは差がみられなかった。また両漁法において、流通上問題のない傷の少ない高品質魚の割合は対照区より人工巣穴区で 35 ~ 45% 高かった。このことから、人工巣穴はハモを沈静させ、生残率を向上させ、負傷を防ぐ効果があり、ハモの蓄養や活魚輸送に活用できる。

水産技術, 2 (2), 85-90, 2010

高濃度の ATP を含有する魚肉微細化物のゲル形成能と冷凍耐性

村田裕子・岡崎恵美子・木村メイコ・今村伸太郎・平岡芳信・木村郁夫

高鮮度魚肉中に含まれる ATP のタンパク質保護作用が、実際の魚肉のゲル化や素材化に活用できるかどうかを確認した。ATP 濃度が高い魚肉を、ATP 濃度を維持しながらカッターミルで微細化を行った。この微細化魚肉は低塩濃度でも高いゲル形成能を有していた。また、この微細化魚肉は、凍結貯蔵後もゲル形成能および筋原繊維タンパク質の溶解性を保持していた。一方、ATP の消失した微細化魚肉に ATP を添加することにより、高 ATP 含有肉と同レベルのゲル形成性が得られた。以上のことから、ATP が魚肉のゲル物性の増加に寄与する可能性ならびに ATP の凍結変性抑制効果が示唆された。

水産技術, 2 (2), 105-110, 2010

わが国における漁船の燃油使用量と CO₂ 排出量の 試算

長谷川勝男

わが国の動力漁船の隻数は約 11 万 2 千隻を数える。漁船漁業では燃油単価の高騰により経営状況は厳しさを増している。ここでは、漁業経営調査報告等を活用して漁船の総トン数階層別および漁業種類別の燃油使用量を推定した。動力漁船の総使用量は 212 万kl/年と試算され、トン数階層別では 10～20 トンと 200～500 トンの両階層の漁船の燃油使用量が突出して多かった。主要漁業種類ごとの燃料油由来の CO₂ 排出量を試算したところ、漁獲量の大きな網漁業は漁獲量当たりの CO₂ 排出量が小さい傾向であり、釣り漁業のうち遠洋まぐろはえ縄漁業と沿岸いか釣り漁業の CO₂ 排出量が 6 (t-CO₂/t) を越えて最も大きな値となった。また、水揚げ金額当たりでもこの両漁業の CO₂ 排出量が大きく試算された。

水産技術, 2 (2), 111-121, 2010

カンパチ養殖用種苗の国産化プロジェクトへの取り組み

カンパチ *Seriola dumerili* はアジ科ブリ属に属し、東部太平洋を除く全世界の温帯・熱帯海域に生息する回遊魚である。我が国では東北地方以南の、主に南日本の太平洋沿岸に多く分布している。平成18年度農林水産省漁業・養殖業生産統計年報によると、我が国における養殖カンパチの年間生産量は約4.8万トンに達し、スーパーマーケットなどでもよく見かけるようになった代表的な刺身食材である。しかし、その養殖用種苗のほとんどを中国で中間育成された後に輸入される大型の天然種苗に依存しているのが現状である。このため、食の安全・安心の確保やトレーサビリティの観点からも、健全かつ低コストの国産人工種苗の生産技術の開発が強く求められている。

独立行政法人水産総合研究センター（以下、水研センター）では、2006年度から2009年度までの4年間にわたって農林水産技術会議事務局の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「カンパチ種苗の国産化及び低コスト・低環境負荷型養殖技術の開発」（以下、カンパチ21）において中核研究機関を務め、後述する共同研究機関とともに本種の親魚養成、種苗生産および養殖に関する技術の高度化に取り組んできた。そして、2007年に養成された親魚（以下、養成親魚）からの12月における早期採卵と早期種苗生産に世界で初めて成功した。本報ではこれまでの取り組みについて報告する。

養殖用種苗に必要な条件

海産魚の種苗生産技術は、1960年代以降に飛躍的に進歩したことにより、生産された人工種苗を養殖用種苗に利用する試みが繰り返されてきた。現在では、全国の公的機関で生産される養殖用人工種苗は、魚類25種、甲殻類3種、貝類19種およびその他ウニ類等5種類の計52種類に達している¹⁾。しかし、人工種苗には天然種苗では見られない頭部や口部の形態異常の出現や、天然種苗よりも成長が劣るなどの諸問題が未解決のまま残されている。また、魚類の養殖用人工種苗については、マダイやヒラメなどごく一部の対象種を除き、養殖産業に直接貢献できるような安定的な種苗量産の技術は未開発と言わざるを得ない。いずれの対象種においても、養殖用種苗を人工種苗で賄うことができれば、天然種苗に依存しない養殖生産体系の構築が期待される。このことは、天然資源の保護の観点からも重要である。

養殖用種苗に求められる条件としては、消費者ニーズに対応するため国民への食の安全・安心を提供でき、また、生産者ニーズに対応するため低コストで高い生残や良好な成長といった特質を兼ね備えた種苗の確保が最も重要と考えられる。この両条件を満たす人工種苗が養殖用種苗として理想的である。しかし、消費者からの要望が高いにもかかわらず、日本近海で十分量の天然種苗が

確保できない対象種では、諸外国から養殖用として種苗が輸入されているのが現状である。海外からの養殖用種苗の輸入には、種苗の搬入とともに国内に未侵入の病原体の持ち込みによる新たな疾病発生などの問題点があり、既存の国内養殖業への影響が懸念される大きなリスクを伴っている。

カンパチ21の取り組み

我が国でのカンパチ人工種苗生産は、従来、養成親魚から5～6月に採卵した卵を用いて行われている。しかし、種苗生産過程の初期および中期にそれぞれ仔魚の水槽底への沈降死および稚魚の共食いによる大量減耗が頻繁に発生し、陸上水槽からの稚魚取り上げの際の最終的な生残率は0～5%程度にとどまり、本種人工種苗の安定的な量産に向けて大きな課題となっている²⁾。

カンパチ21においては、水研センターが中核研究機関となり、共同研究機関として鹿児島県水産技術開発センター、国立大学法人東京大学、同東京海洋大学、同長崎大学、財団法人宮崎県水産振興協会および日本水産株式会社大分海洋研究センターが参画し、各機関連携のもとでカンパチの養殖技術の高度化に取り組んできた。これらの連携は、各課題に参画している複数の共同研究機関による課題内の連携だけでなく、各課題間の連携にも重点を置き、全参画機関が相互に連携する体制で取り組んできた。

国産の早期人工種苗の確保と養殖への活用

東南アジアに生息するカンパチ天然親魚は、中国海南島からベトナム沖を産卵場とし、その産卵期は11月から翌年3月と推定されている。一方、国内での養成親魚の通常の産卵期は5～6月であるため、天然親魚の産卵期より約半年遅い。このため、種苗生産の開始時期が半年近く遅くなるため、従来の国産人工種苗は天然種苗に比べてサイズが格段に小さく、市場出荷サイズに成長するまでに長期間を要する。この間の経費とリスク、さらに形態異常の発現が実際に養殖用種苗として利用されにくい原因の一つになっていると考えられる。

このため、カンパチ21においては、先に成功したブリの12月採卵技術³⁾を応用して、親魚水槽内におけるカンパチ養成親魚の飼育環境条件（特に日長と水温の両条件）を制御することによって成熟の促進を図った。その結果、2006～2009年の4年間において、いずれも12月に雌親魚の卵巣卵径の有意な増大が確認され、カンパチにおいてもこの環境制御手法が親魚の成熟促進に有効であることが判明した。また、これらの養成親魚にホルモン注射して水槽内産卵を誘発した結果、2007年にカンパチ養成親魚において世界で初めて12月採卵に成功した^{*1)}。2008年と2009年にもその再現性の確認を行い、いずれの年もその有効性が実証された。

種苗生産に関しては、通常期に得られた仔魚を用いて、仔魚期の摂餌選択性⁴⁾、体密度の変化による沈降現象⁵⁾、

*1 浜田和久・餅田章範・征矢野 清・堀田卓朗・虫明敬一・廣川 潤（2008）カンパチ21-11：環境条件の制御によるカンパチ養成親魚の成熟促進効果。平成20年度日本水産学会春季大会講演要旨集，115p.

および飼育初期における適正な光周期と水温条件⁶⁾を明らかにするとともに、無換水飼育条件下での通気方法の工夫により、飼育初期の仔魚の大量死亡を低減させる技術を開発した。また、共食いの防除には、アルテミアの給餌開始時期を最小個体に合わせる給餌方法により、仔稚魚の個体差を抑える飼育手法が有効と考えられた^{*2}。そこで、上記の早期採卵試験で得られた受精卵を用いて、これらの仔稚魚の減耗防除に関する知見を生かして、通常よりも半年早い時期に量産規模での種苗生産実証試験を行った結果、1月末に全長約23mmの人工種苗を約1.5万尾生産することに成功した。生残率では、早期種苗生産における所期の数値目標であった10%を達成し、11.5%に向上した。

この早期種苗は、3月末には全長で20cm(体重で約100g)に達し、その後、養殖試験を実施したところ、その年の12月末(満1歳になった時点)には平均体重で2.4kg(最大個体は2.8kg)まで成長した(写真1)。この結果、早期種苗を用いることにより、約1年で市場への出荷が可能なサイズまで成長させることが可能であることが判明した。従来の中国産天然種苗では市場出荷までに国内で最低1年半の養殖期間が必要なことを踏まえると、養殖期間の短縮化は、養殖経費の大幅なコスト削減に直結することが期待されている。また、この早期種苗について、実際の養殖用種苗に相当する15cmサイズまでの生産単価を飼育施設の減価償却費を除く総経費をもとに試算した結果、248~283円と算出された(表1)。これに対して、実際の中国から輸入される天然種苗の価格には変動があるものの、おおむね350~600円で輸入されている。したがって、これまで4年間の取り組みにより、生産者にとっては種苗コストおよび早期種苗を用いた養殖期間の短縮による養殖経費の低コスト化に、また、消費者にとってはトレーサビリティの観点からも安全・安心な国産人工種苗の確保に目処が立ったといえる。

成果の公表

カンパチ21で得られた成果については、その都度、国内外の学術雑誌への論文発表、国内外での学会における口頭発表、水産業界新聞でのプレスリリース、あるいは水産関係雑誌等に公表してきた。これらに加えて、2009年度には開発された技術の普及の一環として、東京ビッグサイトでのジャパン・インターナショナル・シーフードショーにおけるセミナーや鹿児島市での「これからのカンパチ養殖」と題した成果発表会を開催した。特に、成果発表会には鹿児島県内外のカンパチ養殖生産者、飼料メーカー、行政担当者、研究者およびマスコミ関係者等に多数ご参加いただいた。総合討論の場においては、生産者から「今後も是非このプロジェクトを継続させてほしい」との声が上がり、カンパチプロジェクトへの関心の高さとカンパチ養殖への貢献に大きな期待を担っているものと考えられた。

引用文献

- 1) 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会(2009)平成19年度栽培漁業種苗生産、入手・放流

実績(全国). 12-13 pp.

- 2) 虫明敬一(2006)カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, 72, 1158-1160.
- 3) 浜田和久・虫明敬一(2006)日長および水温条件の制御によるブリの12月産卵. 日水誌, 72, 186-192.
- 4) Hamasaki, K., K. Tsuruoka, K. Teruya, H. Hashimoto, K. Hamada, T. Hotta and K. Mushiake(2009) Feeding habits of hatchery-reared larvae of greater amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, 288, 216-225.
- 5) 照屋和久・浜崎活幸・橋本 博・片山俊之・平田喜郎・鶴岡廣哉・林 知宏・虫明敬一(2009)カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. 日水誌, 75, 54-63.
- 6) 平田喜郎・今井彰彦・浜崎活幸・照屋和久・岩崎隆志・浜田和久・虫明敬一(2009)カンパチ仔魚の生残、成長、摂餌および鰾の開腔に及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌, 75, 995-1003.



写真1. 12月採卵由来の早期人工種苗を育成したカンパチ成魚(上:満1歳)と中国産天然魚を養殖した成魚(下:満1歳)

表1. カンパチ種苗(15cmサイズ)の生産単価

種苗の銘柄	単価*1(円/尾)
カンパチ21での数値目標	225*2
中国産天然種苗	350~600
5~6月採卵人工種苗	216~232
12月採卵人工種苗	248~283

*1 飼育施設の減価償却費を含まない総経費から算出

*2 1cm当たり15円の数値目標から算出

(養殖研究所 虫明敬一)

連絡先

独立行政法人水産総合研究センター

養殖研究所 生産技術部

〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1

TEL: 0599-66-1830(南勢庁舎) FAX: 0599-66-1962

<http://nria.fra.affrc.go.jp/index.html>

*2 林 知宏・平田喜郎・今井彰彦・吉村綾子・浜崎活幸・岩崎隆志・照屋和久・橋本 博・松成宏之・虫明敬一(2009)カンパチ21-29:アルテミア給餌開始時期が体サイズ変異に及ぼす影響.平成21年度日本水産学会春季大会講演要旨集,216p.

川と海 - 流域圏の科学 -

宇野木早苗+山本民次+清野聡子 [編] (2008)

築地書館 A5ハードカバー 297ページ 3,150円

川は海に水と砂と沿岸域の生物生産を支える栄養塩を運ぶ。この事実から、多くの人は、川が沿岸域の生態系や水産資源の生産に影響を及ぼすことを直感的には理解するだろう。それに関わらず、長らく川と海は、行政的にも学問的にも別々に扱われ、海域における地形、水質、底質、生物、さらに漁獲等の変化に河川事業が与える影響を、沿岸開発が与える影響と分離して明らかにすることが困難であった。ようやく川と海を含む流域圏全体を総合的にとらえて理解し、水循環を管理しなければならないという機運が高まったのは、ここ10年ぐらいのことである。

本書は、川と海との関係について科学的にどの程度まで理解が進んでいるかを明らかにし、海の保全を考慮した川の管理のあるべき姿について考察することを目的に執筆された。全体は、大きく分けて4つの部分から構成されている。

第一部は総論であり、沿岸海域の地形、地質、物理、科学、生物に関する自然現象と漁業生産に川がいかに重要な役割を果たしているかを概観している。ここでは、川が海に及ぼす影響を理解する上で必要な知識がコンパクトにわかりやすくまとめられている。

さて、1997年に河川法が改正されるまで、河川管理の柱は治水と利水であった。このために、ダム建設や河川横断構造物の構築、川砂の採取、流れの直線化、川底ならびに河岸をコンクリートで固める「三面張り」といった様々な河川の改変がおこなわれてきた。第二部では、それらが海の環境、生態系、漁業にいかにか大きな影響を及ぼしてきたかを解説しており、本書の柱となる部分である。

第三部では、東京湾、伊勢湾・三河湾などの国内の内湾にとどまらず、東シナ海やオホーツク海など、日本に近接する大河川の影響を受ける海域、さらには地中海等も例に、川と海の実態が示されている。ただし、この種の研究の歴史が浅いこともあってか、海域によって利用できる情報量や研究の進み具合に差があり、記述内容は必ずしも統一されていない。

第四部では、全体を総括し、海域を考慮した河川の管理の方向性について考察している。この部分については、内容を引用しながら少し詳しく紹介したい。河川が沿岸環境、生態系、漁業に及ぼす影響を考えると、「天水として陸域に降った水が河川と通じて海に至ること」

が極めて重要であるが、「日本の水利用の法制度では、河川の水資源の開発に出資をした社会セクターに配分される」ことになっており、そこには漁業が組み込まれていない。その原因として、「海域の産業としての漁業から水の必要性が示されない状況が、明治の近代化から続いた」こと、「水産政策の中でも、法制度上、海からの視点で水資源が要求される仕組みがつくられてこなかった」ことを、本書は指摘する。また、瀬戸内海の水産関係者を中心にした「漁業用水」(真鍋, 2007)の提案を「着目すべき動き」と評価しながらも、「業のための用水」である限り「後発利権の主張ととられかねない」と指摘している。一方、1997年の河川法改正によって、その第1条に「環境」が入り「各河川の現場の見直しが可能となった」ことから、農業、発電、工業、水道という4つの用水に加えて「河川環境の保全のための環境用水の導入が実施に向けて動いている」という。「漁業という産業のための水のみにとどまらず、回遊魚の生活史や物質循環の上でも、『海のための環境用水』の導入が、情報公開や市民参加が活発化している現在において、より適切で現実的である」と、本書は主張する。ただし、だれが、どのように、河川水を海の環境の為に用いるのか、海のための環境用水の具体的な内容については、書き込まれていない。

近年、我が国の沿岸水域で多くの水産資源が減少している。本書を読めば、その原因は埋め立て等の沿岸域の人為的な環境改変の影響とならんで、河川の改変の影響もまた大きいことがよく理解できる。水産セクターでしばしば叫ばれる沿岸漁業振興のためには、本書の中で整理されている「今後科学的に明らかにすべき点」を解明するとともに、「海のための環境用水の導入」も含めて、流域圏の視点で解決策を考えて行くことが重要であると改めて認識された。

(中央水産研究所 中田 薫)

連絡先

独立行政法人水産総合研究センター

中央水産研究所 海洋生産部

〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-12-4

TEL:045-788-7615 (代表)

FAX:045-788-5001 (代表)

<http://nrifs.fra.affrc.go.jp/>

「水産技術」創刊の趣旨と内容 ～技術の伝承・継続～

水産技術 企画・編集委員会

水産技術は、水産業に役立つ技術開発成果をいち早く伝え、最新技術の活用促進を目的とした技術論文誌です。水産業にはいろいろな技術が係わっているため、本誌は、資源、海洋、増養殖、水産工学、流通加工等、幅広い分野を対象としています。本誌が、水産業に関わる研究者、技術者や実務に携わる専門家等に広く愛読されることにより、最新の技術開発成果が現場にすぐに活用され、新たな技術が生まれ、さらに後世に伝承されることが期待されます。

学術論文は、仮説を検証し、再現できたものが報告されます。水産分野の技術開発は、自然を相手としているため、再現実験に時間を要し、論文を書くタイミングを逸してしまうこともありがちです。その結果として、貴重な科学的知見が埋もれてしまうことになります。技術開発は事実の積み上げが基本であるため、本誌は、科学的な裏付けがとれた事実であれば論文として取り上げます。調査航海や実験研究で得た事実の記述も重要な知見と考えています。

本誌では、投稿された論文のひとつひとつを大切に精査し、読者の観点から、より理解しやすい論文へブラッシュアップしたいと考えています。このことにより、よりたくさんの技術者の足跡が本誌の上に残され、さらに次の世代の水産における技術者を育成することができると考えています。このことは、本誌の特徴であり、重要な使命であると考えています。

本誌は、これらの活動を通して水産業発展の一翼を担うことを目指しています。

水産技術（第2巻第2号）

企画・編集委員長

和田 時夫（水産総合研究センター研究推進部）

企画・編集委員

日野 明德（財団法人海洋生物環境研究所）

小坂 善信（地方独立行政法人青森県産業技術センター
水産総合研究所）

鈴木 康仁（福井県水産試験場）

廣瀬 慶二（元日本栽培漁業協会）

武内 智行（水産総合研究センター水産工学研究所）

廣川 純夫（水産総合研究センター開発調査センター）

伴 真俊（水産総合研究センターさけますセンター）

東海 正（国立大学法人東京海洋大学）

上田 幸男（徳島県立農林水産総合技術支援センター）

木村 郁夫（国立大学法人鹿児島大学）

渡邊 研一（水産総合研究センター養殖研究所）

中田 薫（水産総合研究センター中央水産研究所）

檜山 義明（水産総合研究センター研究推進部）

編集幹事

川崎 清（水産総合研究センター研究推進部）

鴨志田 正晃（水産総合研究センター研究推進部）

編集事務局

水産総合研究センター研究推進部研究支援課

e-mail: fish_tech@ml.affrc.go.jp

http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/fish_tech/index.html

波 紋（編集連絡）

- 「虎の巻」は、古代中国の兵法書である六韜を由来とする言葉だそうです。六韜とは文・武・竜・虎・豹・犬の六巻からなり、そのうちの兵法の奥義が記された秘伝書「虎韜の巻（ことうのまき）」の名が略され虎の巻となったそうです。
- 多くの水産現場では、これまでに培ってきた技術を、書面や口伝によって、後進達へと伝えてきました。
- 伝えられた技術は、新しい技術者によって、改良が加えられてきました。それは、時代の要望に応じて、最先端であったり、省力化であったり、はたまた古く温められていた技術の復活であったり……。それぞれのニーズに応えた「虎の巻」が作られてきました。
- 本誌も版を重ねて4冊目を送り出すことができました。今後も版を重ね、水産の技術のそれぞれの時代を写し出し、ニーズに応えた「虎の巻」となるよう努力いたしますので、ご愛読、また、ご投稿よろしく願いたします。
- 第2巻第1号において行いましたアンケートに、ご協力いただきまして、ありがとうございました。

水産技術（第2巻第2号）

編集協力者

小林俊将（岩手県水産技術センター）
酒井久治（国立大学法人東京海洋大学）
落合芳博（国立大学法人東京大学）
小島 博（元徳島県水産試験場）
富永 修（公立大学法人福井県立大学）

田坂行男（水産総合研究センター中央水産研究所）
清水詢道（神奈川県水産技術センター）
加治俊二（水産総合研究センター南伊豆栽培漁業センター）
阪倉良孝（国立大学法人長崎大学）

（敬称略）

水産技術 第2巻第2号

平成22年3月25日印刷

平成22年3月31日発行

監修者 社団法人日本水産学会

編集者 和田 時夫

発行者 独立行政法人水産総合研究センター

〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい

2-3-3 クイーンズタワーB 15階

電話 045(227)2600（代）

印刷者 日昇印刷株式会社

〒104-0043 東京都中央区湊 1-14-14

電話 03(3553)3161（代）

水産技術投稿要領

第1条 水産技術への投稿は、本要領に定めるところによる。

第2条 論文等は原著で、未発表かつ他に発表を予定していないものに限る。

第3条 論文等は原著論文、総説、技術小史・技術論、短報および資料とする。

第4条 投稿者は、別記の水産技術投稿原稿の書き方および投稿の方法に従う。2 投稿者は、別紙の水産技術投稿用紙1部（用紙に出力したもの）、投稿原稿2部（同）、水産技術投稿用紙および投稿原稿それぞれを記録した電子記録媒体（CD-R ディスク等）1枚を水産技術企画・編集委員会事務局（以下「事務局」という。）あてに郵送する。

第5条 写真および図は、原則としてモノクロームとする。投稿者の希望により、水産技術企画・編集委員長が認めた場合には、カラー印刷も可能とする。

第6条 投稿者が、別刷を希望する場合は、投稿者の実費負担にて印刷する。

第7条 本誌掲載文の著作権は、独立行政法人水産総合研究センターに帰属する。

水産技術投稿原稿の書き方および投稿の方法

1. 原稿

用紙は、A4判白紙とし、縦長に置き、上下左右に各2 cm以上の十分な余白を設け、35字×25行の十分に行間を取った横書き形式で、文字の大きさは11あるいは12ポイント、字体は特に指定する以外は明朝体（MS明朝、平成明朝等）で作成する。本文、和文・英文要旨、文献には行番号を付し、全てのページにページ番号を付すこと。

2. 論文等の種別

掲載する論文等は、原著論文、総説、技術小史・技術論、短報および資料とする。

原著論文とは、オリジナルな技術開発についての論文とする。

総説とは、特定の研究領域に関する主要な文献内容の総覧とし、その記述は、単なる羅列でなく、特定の視点に基づく体系的なまとまりを持つものとする。

技術小史・技術論とは、これまでの技術開発の歴史を基に、技術開発の経緯および技術開発内容について取りまとめたもの、あるいは、ある分野における技術についての考え方等を取りまとめたものとする。

短報とは、実験結果や手法などに技術的な新規性もしくは価値が認められ、いち早く報告する必要があるものとする。

資料とは、限られた部分に関する実験結果や新しい手法等の技術開発情報として価値があるものとする。

3. 原稿の枚数および構成

原稿の長さは、概ね刷り上がり10頁を限度とする。ただし、水産技術企画・編集委員会が認めした場合および水産技術企画・編集委員会が特に依頼した総説等の原稿はその限りではない。

投稿原稿は、表題、著者名、所属、所在地、英文表題、英文著者名、英文要旨、本文、文献、表、図・写真、和文要旨の順に綴る。

4. 表題

表題は、論文内容を適切に表現する簡潔な文とし、英文表題を添える。和文表題での生物名は原則として標準和名のみとし、学名は併記しない。英文表題での生物名は、英名に続けて学名を記入し、イタリックで記載する。

5. 著者名

英文著者名はローマ字で記載し、名（first name）、姓（family name）の順とする。姓の最初の文字はキャピタル、2番目以降の文字はスモールキャピタルで記載する。

連名の場合、和文著者名では中点「・」で、英文著者名では、「,」と「and」で連ねる。

(例)

ヒラメの成熟に及ぼす水温の影響について

鈴木一郎^{*1}・山田二郎^{*1}・田中三郎^{*2}

Effect of Water Temperature on the Maturation of the Flounder *Paralichthys olivaceus*

Ichiro SUZUKI, Ziro YAMADA, and Saburo TANAKA

6. 所属および所在地

和文著者名の右肩にアスタリスク「*」（ただし、共著者のある場合には* 1, * 2, …）を付けて記載し、本文第1頁の下段に脚注として記載する。第一著者は所属する機関名とその所在地を和文と英文で記載し、電子メールアドレスを付す。第二著者以下については、所属機関名を和文で記載する。また、国家資格等の表記を希望する著者は、投稿用紙へ明記する。

(例)

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター 玉野栽培漁業センター

〒706-0002 岡山県玉野市築港 5-21-1 (Tamano Station, National Center for Stock

Enhancement, FRA 5-21-1 Chikko, Tamano, Okayama, 706-0002 Japan). taro3@affrc.go.jp.

*² 独立行政法人水産総合研究センター 屋島栽培漁業センター

7. 要旨

要旨は和文と英文を併載する。

和文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を含めて300字以内とする。

英文要旨はA4判用紙に横書きで作成し、表題、著者名を除いて200語以内とする。ただし、著者が英訳を編集事務局に依頼する場合は、事務局が要旨の英訳を行う。

8. 本文の構成

原著論文の場合、本文の記載は、原則として、まえがき、方法（分野によっては材料と方法等）、結果、考察、謝辞、要約（必要な場合）、文献の順序に従う。

原著論文以外の論文等は、方法、結果、考察など項目に細分しなくてもよい。見出しは左寄せで記載しゴシックで記載する。ただし、まえがきの見出しはつけない。方法や結果の項等の小見出しはゴシック指定を行い、番号は付けず、本文は追い込みとする。さらに細分化した見出しが必要な場合には、番号を、1., 2., …, (1), (2), …, 1, 2), … の順に使用して区分する。A, B, は用いない。番号および小見出しは並字で記載する。この場合もゴシック指定を行い、本文は追い込みとする。

(例)

材料と方法

親魚の飼育 採卵に用いた親魚は、20〇〇年〇月〇日に…

1. 餌料 親魚用の餌料としてイカナゴ、イワシ、などの鮮魚と配合飼料を…

1) 配合飼料 市販の配合飼料を…

9. 文 献

- 1) 引用した文献は、引用順に連番号を付ける。本文中では以下の例のように肩付き番号（上付き文字で記載する）で示し、「田中（1993）は…」のような引用は行わない。著者が複数の場合、2名までは姓を連記し、3名以上の場合には筆頭著者の姓に「ら」または「*et al.*」を付けて示す。
- 2) 外国語の文献を引用する場合は、著者名はキャピタル・スモールキャピタルで記載する。
- 3) 句読点の箇所に引用番号を付ける場合には、句読点の前に付ける。

(例)

田中^{1,2)}は…, …が知られている³⁻⁶⁾。

鈴木ら⁷⁾は…

SUZUKI *et al.*⁸⁾は…

- 4) 文献のリストは、本文の末尾にまとめて引用番号順に記載する。
- 5) 雑誌に掲載された論文を引用する場合は、以下の例に示すように、引用番号、著者名、年、表題、雑誌名、巻、ページの順に記載する。雑誌名は、慣用法に従って略記する。巻数はゴシックで記載する。欧文雑誌から引用する場合、雑誌名はイタリックで記載する。
- 6) 単行本から引用する場合は、引用番号、著者名、年、書名、出版所、出版地、ページの順に記載する。
- 7) 文献リストでは、著者が3名以上の場合でも著者名は全て記載する。また、同一著者や同一題名が続く場合にも「-」のように省略しない。
- 8) 事業報告書等で、著者名が明示されていない文献から引用する場合には、引用番号、報告県名（機関名）、年、報告書、ページの順に記載する。

(例)

• 雑誌の場合

吉村研治・宮本義次・中村俊政（1992）濃縮淡水クロレラ給餌によるワムシの高密度大量培養. 栽培技研, 21, 1-6.

NOGAMI, K., and M. MAEDA (1992) Bacteria as biocontrol agents for rearing larvae of the crab *Portunus trituberculatus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49, 2373-2376.

• 単行本（引用箇所が1箇所の場合）

田中昌一（1985）水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, 181 p.

GULLAND, J. A. (1983) Fish stock assessment. Wiley, New York, 83 p.

• 単行本（同一の本から複数箇所を引用している場合）

田中義麿・田中 潔（1980）科学論文の書き方. 裳華房, 東京, 365 pp.

COCHRAN, W. G. (1977) Sampling techniques. Wiley, New York, 428 pp.

• 単行本（複数の論文を集めた本の中の1編を引用する場合）

廣瀬慶二（1992）最近の成熟・産卵制御法. 「海産魚の産卵・成熟リズム」（廣瀬慶二編），恒星社厚生閣, 東京, 125-137pp.

ALLEN DORF, F. W., and N. RTMAN (1987) Genetic management of hatchery stocks. in "Population

genetics & fishery management” (ed. by N. RYMAN, and F. UTTER), Univ. of Washington Press, Seattle, 141-160pp.

- 事業報告書（著者名が明示されていないもの）
茨城県（1992）平成2年度放流技術開発報告書，太平洋ヒラメ班．茨 21- 茨 63.
海洋水産資源開発センター（1992）平成2年度沖合漁場総合整備開発基礎調査，日本海大和堆海域（本文編）．216 p.
- 私信，未発表（投稿中を含む）や学会講演，シンポジウム要旨，修士論文などは文献の項には記載しない。必要なら引用箇所を上付き指定でアスタリスク（*，~~*1~~，~~*2,3~~…）を付け，脚注とする。

10. 図・写真・表

- 1) 図，写真，表の原稿は，本文とは別葉とし，挿入箇所を本文原稿中の右の欄に赤字で記載する。
- 2) 図，写真，表の原稿の大きさは，A4判を超えないことを原則とする。刷り上がりの時の大きさは，横幅が16 cm または 8 cm となるので，縮小率または刷り上がり時の大きさ，カラー指定の有無を必ず明記する。
- 3) 図，写真，表には番号と和文の説明文をつける。
- 4) 図，写真の番号および説明文は，「図 1.…」，「写真 1.…」として原図の下部に直接記入する。表の番号および説明文は，「表 1.…」として表の原稿の上部に直接記入する。

11. 脚注

脚注は，1箇所なら「*」，複数箇所の場合は連番号を使用し，「*1」，「*2」のように上付きで指定して，関連頁の下段に入れる。

12. 文字

- 1) 下記のとおり赤字で字体の指定を行う。
イタリック：abcd，abcd → *abcd*
ゴシック：abcd，abcd → **abcd**
スモールキャピタル：ABCD → ABCD
キャピタル：abcd，ABCD → ABCD
キャピタル・スモールキャピタル：abcd，ABCD → ABCD
上付き： $m\sqrt{\quad}$ ， $m^2\sqrt{\quad}$ → m^2 ；山田 $\sqrt{\quad}$ ，山田 $\sqrt{\quad}$ → 山田¹⁾
下付き： $O\hat{\Delta}$ ， $O_2\hat{\Delta}$ → O_2
- 2) 数式の上付き，下付きの記号，およびギリシャ文字は明瞭に指定する。

13. 用語等

- 1) 生物名は，標準和名をカタカナで書く。学名を入れる場合には本文中の初出の箇所に記載し，

イタリックで記載する。原則として命名者名を省略する。

- 2) 化学名は慣例に従って漢字もしくはカタカナで記載し、原語を用いる必要がある時は小文字で書く。
- 3) 遺伝子座の命名は、Gene Nomenclature for Protein-coding Loci (JB Dhaklee *et al.* *Trans. Am. Fish. Soc.* 1990; 119: 2-5) に準拠すること。
- 4) 酵素名は、本文中の必要な箇所に酵素番号および系統名あるいは常用名を記述する。酵素番号および系統名は、国際生化学連合 (International Union of Biochemistry and Molecular Biology, IUBMB) の酵素委員会 (Enzyme Commission) によって分類された “Enzyme nomenclature 1992” (Academic Press) に準拠する。ATPase のように基質が省略されている場合を除いて酵素の名前を省略しない。
- 5) 新規の核酸塩基配列およびアミノ酸配列データは、GenBank, EMBL あるいは DDBJ のいずれかのデータバンクに登録すること。本文中に accession number を表記する際には、報文の場合は試料および方法の最後に、短報の場合は本文の最後に表記すること。論文審査時に accession number が得られない場合は、その配列データファイルを CD-R ディスク等に収めて提出することを要求する場合がある。また、既に公表されている accession number を記載する場合には、適当な文献を引用すること。投稿直前と受理時に配列データの検索や比較結果を、最新のデータベースで再確認することが望まれる。
- 6) 物理量の名称や量記号等は、できるだけ国際純正・応用化学連合 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) の勧告に従う。物理量の記号はイタリックで記載する。添字はそれ自身が物理量を表すときはイタリックとし、そうでない場合にはローマン体 (立体) で記載する。
- 7) 単位の記載においては、国際単位系 (SI) を尊重する日本水産学会誌に準じる。略記するものについては複数でも s を付けない。
- 8) x, y, n (個体数など) などの変数, a, β などのパラメータ, $p, r, U\text{-test}, t\text{-test}$ などの統計量はイタリック指定とする。

化学関係の記号は次のように字体を区別する。

イタリックとするもの: $o\text{-}, m\text{-}, p\text{-}, N\text{-}, O\text{-}, S\text{-}, n\text{-}, d\text{-}, l\text{-}, \textit{prim-}, \textit{sec-}, \textit{tert-}, \textit{cis-}, \textit{trans-}$

ローマンとするもの: pH, Rf, Cl⁻, bis-, iso-, homo-

- 9) 図、表など引用に伴う著作権に関係した紛争は、全て著者 (引用者) の責任となるので、他から図や表を引用する際には原著者および著作権所有者の了解を得ておくこと。

14. 原稿の提出方法

- 1) 提出する原稿は、字体指定等を行った原稿 (正原稿) と写し (コピー) および電子ファイルに保存した原稿 (電子ファイル原稿) とする。
- 2) 電子ファイル原稿は、Windows あるいは Macintosh の MS Office や一太郎で提出することが望ましい (その他対応ソフトウェアは表 1 を参照のこと)。どうしても表 1 に掲載したソフトウェアのファイルで投稿できない場合は、テキストファイルのみを提出すること。

- 3) 写真などの画像を電子ファイルで提出する際には、必ず別ファイルとすること。また、300dpi以上のTIFFかEPSファイルとすること。JPEGも可能であるが、破壊的圧縮方法であることに留意すること。また、色再現性を高めるために、オリジナル写真、版下あるいはプリントアウトしたものを必ず添付すること。
- 4) 日本語は、全角を使用し、英数字、小数点および斜線は、半角を使用する。英文要旨および図表に全角特殊記号（÷, 凸, ∴, ♀, ℃, ¥, ☆, ◎, △, →, ※, ℓなど）を使用しない。
- 5) 改行マークは、文章の段落の区切りのみに使用する。
- 6) スペースキーは、英単語などの区切りにだけ使用し、文献などの字下げには使用しない。
- 7) 電子ファイル原稿を電子メールに添付し送付することもできる。各添付ファイルにはファイル名として、著者名と原稿、図表、写真を明記すること。
例：清水智仁（原稿）.doc, 清水智仁（図表）.xls, 清水智仁（写真）.tif
- 8) 郵送で提出する電子記録媒体は、CD-Rディスク等とする。
- 9) CD-Rディスクは、ISO9660フォーマットとする。
- 10) 電子記録媒体を郵送する際には、ラベルに整理番号、連絡者氏名、原稿の表題、ファイル名および原稿作成に使用したソフトウェアを明記する。ラベルが使用できない場合は別紙に明記し、電子記録媒体に同封して郵送すること。
- 11) 電子記録媒体の郵送に際しては、物理的な破損を防ぐために丈夫なケースで保護すること。提出する電子ファイルはバックアップコピーを行い、印刷終了時まで著者の手元に保管する。

(表1) 電子ファイル投稿時の推奨ソフトウェア

プラットフォーム	ソフトウェア
Windows	MS Office, 一太郎, Illustrator, 花子, Corel Draw
Macintosh	MS Office

15. その他

- 1) その他の記載様式は、水産技術の最新号に記載された論文を参照する。
- 2) 事務局より原稿受理の連絡があり次第、著者は印刷用の最終原稿を提出する。