

北 水 試 研 報  
Sci. Rep.  
Hokkaido Fish.Exp.Stn.

CODEN:HSSHEE  
ISSN : 0914-6830

# 北海道立水産試験場研究報告

第 73 号

**SCIENTIFIC REPORTS**  
OF  
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENT STATION  
No.73

北 海 道 立 中 央 水 産 試 験 場  
北 海 道 余 市 町  
2 0 0 8 年 3 月

Hokkaido Central Fisheries  
Experiment Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

March, 2008

北海道立水産試験場は、次の機関をもって構成されており、北海道立水産試験場研究報告は、これらの機関における研究業績を登載したものである。

## 北海道立水産試験場

北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station)	046-8555 余市郡余市町浜中町238 (Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)
北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station)	042-0932 函館市湯川町1-2-66 (Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)
北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station)	051-0013 室蘭市舟見町1-156-3 (Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)
北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station)	085-0024 釧路市浜町2-6 (Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)
北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experiment Station)	099-3119 網走市鱒浦1-1-1 (Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan)
北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station)	097-0001 稚内市末広4-5-15 (Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

# 北海道立水産試験場研究報告

第73号

## 目 次

### 水島敏博

北海道近海におけるタラバエビ類の繁殖生態の特性（総説） ..... 1

### 奥村裕弥

水産種苗生産過程での餌料用海産性微細藻類の培養効率化に関する研究 ..... 9

### 宮園 章，奥村裕弥

噴火湾における2006年秋の海底表面泥中の硫化物（AVS-S）の分布 .....31

### 陳 二郎，吉田英雄，桜井泰憲

水槽内で観察されたコマイの産卵行動 .....35

### 伊藤慎悟，石崎裕之，正立彰夫，中島幹二

石狩湾系ニシン人工種苗の日本海からオホーツク海への回遊（短報） .....45

### 吉田秀嗣，高谷義幸，松田泰平

北海道噴火湾から標識放流したマツカワの移動と放流群別再捕率（短報） .....47

### 高谷義幸，吉田秀嗣，松田泰平

北海道日高海域から標識放流したマツカワの移動と放流時のサイズ（短報） .....49

### 長瀬桂一，工藤良二，鳥澤 雅

異なる目合のかごで漁獲されたハナサキガニの漁獲物組成（短報） .....53

### 宮園 章，岸村栄毅

ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 中腸腺リパーゼ活性の多試料分析（短報） .....57

### 宮園 章，奥村裕弥，長間馨一，佐々木恒光

養殖作業ストレスによるホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 稚貝のトリグリセライド含有量変化（短報） .....61

試験研究業績 <外部刊行物への発表 平成18年度分> .....65

（2008年3月）

# SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENT STATION

No. 73

## CONTENTS

Toshihiro MIZUSHIMA

Characteristics of reproductive ecology of the Pandalid shrimps around Hokkaido (Review) ..... 1

Hiroya OKUMURA

Study of the effeciental cultivation of marine microalge on mass algae cultivation system  
for mariculture breeding ..... 9

Akira MIYAZONO and Hiroya OKUMURA

Horizontal distribution of acid vapor sulfur (AVS-S) in the bottom surface mud off Funka Bay, 2006.....31

Are-Lang CHEN, Hideo YOSHIDA and Yasunori SAKURAI

Reproductive behavior of saffron cod in captivity .....35

Shingo ITOH, Hiroyuki ISHIZAKI, Akio MASADATE and Kanji NAKAJIMA

Migration of artificially produced Ishikari Bay herring juvenile from the Japan Sea to the Sea of  
Okhotsk in Hokkaido (Short Paper) .....45

Hidetsugu YOSHIDA, Yoshiyuki TAKAYA, and Taihei MATSUDA

Migration and recapture rate of tagged barfin flounder *Verasper moseri* in Funka Bay,  
southwestern Hokkaido. (Short Paper) .....47

Yoshiyuki TAKAYA, Hidetsugu YOSHIDA and Taihei MATSUDA

Migration and size at release of tagged barfin flounder *Verasper moseri* in the coastal waters of Hidaka area, southwestern  
Hokkaido. (Short paper) .....49

Keiichi NAGASE, Ryouji KUDO and Masaru TORISAWA

Components of hanasaki crab (*Paralithodes brevipes*) caught by pots with different mesh sizes (Short Paper) .....53

Akira MIYAZONO and Hideki KISHIMURA

Multiple analysis of lipase activity in hepatopancreas of Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Short Paper).....57

Akira MIYAZONO, Hiroya OKUMURA, Keiichi NAGAMA and Tsunemitsu SASAKI

Possibility of change in triglyceride concentrations affected by mariculture operation stress on juveniles of Japanese scallop  
*Mizuhopecten yessoensis* (Short Paper). .....61

Contribution from the Hokkaido Fisheries Experiment Station:

Papers Presented in other journals or at scientific meetings in fiscal 2006 .....65

(March, 2008)

# 北海道近海におけるタラバエビ類の繁殖生態の特性(総説)

水島 敏博\*

## Characteristics of reproductive ecology of the Pandalid shrimps around Hokkaido (Review)

Toshihiro MIZUSHIMA\*

Eight species of the protandrous hermaphroditic Pandalid shrimps inhabit the periphery of Hokkaido, Japan. Coastal species, such as *P. pacifica*, are mostly small in size and mainly distributed in eelgrass beds in shallow waters less than 10 m in depth, with lower egg production and a short planktonic larval period. Offshore species, including *P. eous* and *P. hypsinotus*, are larger in size, inhabit only deep sea and have a long planktonic larval period, and their egg production is high. *P. coccinata*, a mesostomate type which inhabits the deep sea, has a large body and is known especially for its large-size eggs, lower egg production, and an immediate shift to benthic life. Relevance between these reproductive characteristics and the reproduction of Pandalid shrimps was examined.

キーワード：北海道，タラバエビ科，繁殖生態，分布，生活史戦略

### まえがき

日本におけるタラバエビ類の生態については、すでに Kurata<sup>1)</sup> の報告がある。北海道周辺では多種のエビの分布がみられるが、その漁業の中心となる主要なエビとしては、タラバエビ科に属する種が多く、雄性先熟の性転換を行い、雌雄同体種である8種類が生息している。

それらの種を体型の小さなサイズから大きな種へと列挙してみると、下記に示すように、スナエビからミツクリエビ、ベニスジエビ、ホッケイエビ、モロトゲアカエビ、ホッコクアカエビ、トヤマエビ、ヒゴロモエビであり、利用の少ないスナエビやミツクリエビを除いては、重要な産業種として漁獲されている。

スナエビ	： <i>Pandalus pensor</i>
ミツクリエビ	： <i>Pandalopsis pacifica</i>
ベニスジエビ	： <i>Pandalus goniurus</i>
ホッケイエビ	： <i>Pandalus latirostris</i>
モロトゲアカエビ	： <i>Pandalopsis japonica</i>
ホッコクアカエビ	： <i>Pandalus eous</i>
トヤマエビ	： <i>Pandalus hypsinotus</i>
ヒゴロモエビ	： <i>Pandalopsis coccinata</i>

なお、これらのタラバエビ類の年間の漁獲量は約3千トン程度で、種によって若干の年変動があり、その中ではホッコクアカエビが7割近くを占め、ついでトヤマエビやホッケイエビの漁獲が多くなっている。各種の漁獲量は長期的には減少傾向にはあるものの、比較的安定した数字を示している。そして、これらのエビ類の資源の変動を把握するためには、それらの資源を構成する各種の個体群の変動要因を解明する必要がある。そのためには、各種のタラバエビ類の繁殖生態の諸特性を把握することが重要である。そこで、本報告では、各種の分布(水平、鉛直)や生活史(年齢と性相の変化)、産卵期やふ出期、抱卵期間、抱卵数、卵径、発生時の幼生の段階と形態等を中心とした再生産の特性を解明し、繁殖特性に関する各種の特異性が種の個体群動態とどのように結びついているのかについて考察した。

### 1. タラバエビ類の主要な4種の漁獲量の年変動

道内でのエビ類の主要な漁獲を占めるタラバエビ類の1985年～2006年にかけての漁獲量の変化を見ると、Fig.1に示すように、最も多いのはホッコクアカエビで、1998年には1,700トン台に低下したが、その後、2006年にかけては持ち直し、2005年～2006年には3,000トン台の

漁獲を記録している。トヤマエビは400~1,000トン台、ホッカイエビは200トン台後半から300トン台前半で安定している。ヒゴロモエビは30トン台の年が多かったが、最近では低減傾向が続いている。その他の種も含めたタラバエビ類の年間漁獲量は、近年では平均3,000トンから4,000トン前後を上下している。

## 2. 出現種の地理的分布

タラバエビ類の本道周辺の出現種の水平分布をFig.2、鉛直分布をFig.3に示した。

ミツクリエビ（水島、未発表）とスナエビ（水島、未発表）及びホッカイエビ<sup>2)</sup>は、オホーツク海から太平洋沿岸の水深10m以浅の藻場形成域を中心に分布している。

そのなかで、ホッカイエビは概ね、オホーツク海から太平洋のアマモ場を中心に分布が見られた。特に、サロマ湖や野付湾の濃密なアマモの分布域には、高密度のホッカイエビの分布がみられ、さらに、根室の穂香湾から太平洋側の温根沼、琵琶瀬湾、厚岸湖や厚岸湾でも低密度ながら分布している。

なお、日本海周辺の深海に分布するタラバエビ類は氷河期を経て、残存した遺跡種<sup>3)</sup>とされ、その中でホッカイエビは最も高温域迄分布を広げた種とされ<sup>4)</sup>、東北地方の宮城県の大船度湾まで分布が見られる。

ベニスジエビは宗谷沖の亜庭湾の水深30~50mの海域に出現し、一時期は大量に資源があったとされているが、1960年代以降は底曳網による乱獲によって姿を消してしまった。トヤマエビ<sup>5)</sup>は日本海側では、留萌沖や渡島南部、オホーツク海沿岸、太平洋側では釧路沖や噴火湾、それと渡島半島の南部沖が中心である。モロトゲアカエビ<sup>6)</sup>は釧路沖、オホーツク海の一部、日本海側の松前から桧山沖、さらに、留萌沖の一部に少数見られるだけで、資源としてはそれほど大きくはない。

ホッコクアカエビ<sup>7)</sup>はトヤマエビの分布と重複する場合が多い。ただし、生息水深帯はトヤマエビよりも深部に分布する場合が多く、かつ、分布量としては、道内では一番多い種である。

ヒゴロモエビ<sup>8)</sup>は生息水深帯が太平洋側では400~500mの深部に多く見られ、一部、オホーツク海の限定された場所にも出現する。なお、本州の東北地方ではボタンエビが宮城から福島県の沖合で分布が見られている。

また、日本海側の新潟県の佐渡沖ではホッコクアカエビやモロトゲアカエビ、能登半島周辺ではホッコクアカエビやトヤマエビの分布がみられる。

## 3. 生息水深

生息水深は沿岸のアマモ場に住むミツクリエビやスナエビおよびホッカイエビは汀線~10mの浅所に分布し、ベニスジエビは30~50mが中心となる（Table 1）。トヤマエビは噴火湾で50~100mとやや浅所に分布する以外は、各地では200m前後を中心に分布し、その他のモロトゲアカエビ、ホッコクアカエビは200~400mに生息する。ヒゴロモエビとホッコクアカエビの一部は400m以深にも分布している。

## 4. 産卵雌の平均体長

各種の平均体長は浅海の藻場に分布するミツクリエビやスナエビは平均40~60mm台と小型であり、また、ベニスジエビは平均70mm台と小型である（Table 1）。ホッカイエビ、モロトゲアカエビ、及びホッコクアカエビは中型で、平均105~110mm台である。トヤマエビは平均130~140mm台、ヒゴロモエビは平均130~155mm台と大型であり、特に、ヒゴロモエビの成長は遅いものの、長期にわたるため、150mm以上の大型個体となる。

## 5. 卵数と卵の大きさの関係

北海道周辺に分布するタラバエビ類8種の卵数と卵径（長径）の関係をFig. 4に示した。その中で、ベニスジエビ、トヤマエビ、ホッコクアカエビの3種の抱卵数は1,000個以上と多産であるが、卵径はいずれも1mm前後と小型であった。ミツクリエビ、スナエビは卵数が100~150個前後と少なく、卵径も1.6mm前後とそれほど大きくはない。ホッカイエビとモロトゲアカエビは卵数が200~500個で、卵径は2.3~2.4mm前後である。なお、ヒゴロモエビだけは、卵数が200~300個台と少ないものの、その大きさは3.8mm前後で、特異的に大きい特徴を持っている。

これらの卵径と卵数との関係は、諸喜田<sup>9)</sup>がテナガエビ類について類型化した報告があり、道内のタラバエビ類についても同様の結果を示している。すなわち、卵径が1mm前後で、卵数が1,000個以上のベニスジエビ、トヤマエビ、ホッコクアカエビのような小卵多産型、卵径が1.6~1.8mm前後で、卵数が50~300個台のスナエビ、ミツクリエビや卵径が2.3~2.4mm台で卵数が300~700個台のホッカイエビ、モロトゲアカエビなどの中卵中産型と、卵径が3.9mmと大きく、卵数が150~300個台のヒゴロモエビのような大卵少産型のように3つのタイプに類型化できた。

## 6. 産卵期、ふ出期、抱卵期間

道内周辺に出現するタラバエビ類8種の繁殖生態の特性の一覧をTable 1に示した。

沿岸の水深が10m以浅の藻場に生息するタラバエビ類のミツクリエビ、ホッケイエビ、スナエビの産卵期は9～10月が中心で、ふ出期は翌春の5～6月が盛期である。ただし、スナエビの産卵期だけが10月と若干遅い。従って、大半の沿岸種の抱卵期間は9か月でスナエビだけが8か月と若干短い。なお、ベニスジエビの産卵期、ふ出期は不明である。ホッコクアカエビは産卵期が6～7月で、ふ出期が翌年の3～4月であり、抱卵期間は9か月である。ヒゴロモエビだけは特異的で、産卵期は4月、ふ出期は翌々年の3月であり、抱卵期間は約24か月である。これは生息域が400m以深の低水温域で、かつ卵径が平均3.9mm(長径)と他種の2～3倍の大きさであり、卵の発生と発達に長時間かかるためと推察される。

## 7. 各種の体長と抱卵数の関係

各種の産卵群の平均体長と抱卵数との関係をFig.5に示した。体長の大きさに比例して、抱卵数が増加する関係がみられた。

## 8. 第1 齢幼生の形態

北海道で出現するタラバエビ類8種のうち、第1 齢幼生の形態が判っていないボタンエビを除く7種の形態をFig.6に示した。小卵でふ出するホッコクアカエビやトヤマエビは顎脚の遊泳毛が発達し、多くのゾエア期を有する。中卵のモロトゲアカエビとホッケイエビは2～3 齢のゾエア幼生期を持つが、ミツクリエビとヒゴロモエビは遊泳期を持たず、いきなり直達型のメガロパの形態でふ出する。

## 9. 卵径とふ出形態の関係

各種の卵径(ここでは長径)とふ出幼生の形態との関係は次のようになる(Table 1)。抱卵数が多く沖合に分布する、トヤマエビやホッコクアカエビ、およびベニスジエビは長径が0.8～1.3mm台と小型で、ふ出幼生の形態もゾエアのⅣ～Ⅵ 齢までの長期に亘り、浮遊幼生の期間が長い。一方、沿岸域の藻場に分布するミツクリエビ、スナエビ、ホッケイエビは卵径が1.5～2.2mm台と大きい。大きな卵からふ出した幼生は、ゾエア期の齢期が少なく、浮遊期間も短縮され、あるいは全く省略して、直達型の底生生活に入る部類に分かれる。浮遊生活を送る種は、一般的には、ふ出場所から移動、分散するため、その分布範囲は広範囲にわたる場合が多い。それに対して、藻場の周辺でふ出した種は、アマモ場周辺に定着して生息し、海水の流動にあまり影響されない生活を送るため、逸散も少ない。これらの生態の諸特徴をみると、諸喜田<sup>11)</sup>のテ

ナガエビの初期生態のパターンと類似する場合が多い。

## 10. 個体重量に対する 卵重量の比率

各種の各個体の卵重量の体重量に対する比率を見ると(Table 1)、ミツクリエビ、ホッケイエビ、スナエビの沿岸の3種は6～9%台であるのに対し、沖合のトヤマエビ、ホッコクアカエビ、モロトゲアカエビは10～12%台と高い。ただし、ヒゴロモエビだけは8%台と低い。沿岸の水深の浅い所に生息し、浮遊期が短い種は、アマモ場を中心に定着性が強いいためか再生産にかかるコストは少なくすむ一方、浮遊期が長く、移動・分散が大きくなり、減耗が大きくなる種は、その比率が大きくなると考えられる。

## 11. 1 卵の重量

産卵数の多いトヤマエビやホッコクアカエビの1 卵の重量は、小型のためあっても0.7mgと軽量である(Table 1)。ミツクリエビも1.8mgと軽量で、ホッケイエビとモロトゲアカエビは3.1～4.9mgとやや大きい。ヒゴロモエビだけは21.0mgと重く、抱卵数と卵重量とは明瞭な負の相関がみられた。

## 12. 卵サイズと第1 齢幼生サイズとの関係

第1 齢幼生の全長(mm)と卵サイズ(長径×短径)の関係をFig.6, Fig.7に示した。第1 齢幼生全長の最小値はベニスジエビの4mm台でトヤマエビ、ホッコクアカエビ、スナエビは5mm台である。ミツクリエビは6mm台となり、ホッケイエビとモロトゲエビは9mm台である。ヒゴロモエビは15mm台と最も大型となる。これらをみると、卵サイズと第1 齢幼生の全長との関係には明瞭な直線回帰的關係が認められる。(Fig. 7)

## 13. タラバエビ類の年齢と性相の変化

タラバエビ類の各種の成長に伴う年齢と性相の変化をTable 2に示した。一般的には、当歳は未熟、1歳で雄、2歳以上は雌のタイプが多い。ただし、スナエビの一部に雄を経ないで、当歳で直接、雌になる群も存在する。沿岸の浅所に分布するホッケイエビは当歳：未熟、1歳：雄、2歳：雌の群と当歳：雄、1歳：雌、2歳：雌のタイプが多く、それに、当歳：雄、1歳：雄、2歳：雌、3歳：雌のタイプと、多型にわたるタイプが想定される。モロトゲアカエビは当歳：未熟、1歳：雄、2歳：雄、3歳：雌、4歳：雌、5歳：雌、6歳：雌の性相の変化が、ホッコクアカエビは当歳および1歳が未熟で2～5歳にかけては雄、6歳から雌になりTable 2は9歳まで雌と長寿命の生活史を想定している。さらに、

日本海では雌の寿命が11歳までと考えられている<sup>10)</sup>。トヤマエビは1歳から雄になり、3歳から雌になるタイプが多くを占める。ヒゴロモエビは1歳から雄になり、4歳まで雄として過ごす。5～7歳に雌として過ごす。抱卵期間は約24か月間の長期間にわたり、ふ出幼生は発育の進んだ形態のメガロパでふ出し、直達型の生活を送る。第1齢幼生の形態については、前述したように、少産型の幼生はメガロパで直達型のタイプが多くなる。これらのふ出期における幼生の形態や生態の諸特徴は、その後の生残や分布域の範囲など、個体群の動態を左右する要因となると思われる。さらに、同一種でも地域によって成長速度に差が生じ、成熟する時期や産卵期等に相違が見られ、ひいては生活史全体に影響を与えることに通じる。なお、ホッケイエビとスナエビの年齢と性相の変化は多様性に富み複雑である。

#### 14. 生活史戦略

北海道周辺に分布するタラバエビ類の生態的な特性について、その特徴を考えてみた。出現する種数は8種で、スナエビの一部を除き、いずれも雄性先熟の雌雄同体種であり、産卵群の体長が50～60mmの小型の種(ミツクリエビとスナエビ)、100～130mm台の中型種、それと130mm以上の大型種とに分類される。

各種の産卵期は沿岸の藻場に生息する種では、9月が中心で、他の中層から深海種では2月から8月までと幅が広い。一方、ふ出期は沿岸の種では、5月が中心で、中層から深層の種では3月が中心となっている。そのため、抱卵期間は沿岸種の3種とホッコクアカエビでは8～9か月、深海の種では11～12か月と長期になる。これは水深が深いほど低水温であることから、卵内の発生の速度が遅く、ふ出までの積算水温に達するまでの期間が長期となることが考えられる。なお、ホッコクアカエビは同じ深海の低水温域に分布するが、多産で卵径が小さいことから抱卵期間は短い。

次に、抱卵数の多寡をみると、藻場の浅海に生息するミツクリエビとスナエビは100～150個前後と少なく、次いで、ホッケイエビやモロトゲアカエビが400個前後と中産で、沖合の水深200mから400mに分布する種の抱卵数は2,000～4,000個台で多産の種が多い。最深部に生息するヒゴロモエビは200個前後と少ない。しかし、この種は卵径が他種に比べて極端に大きく、最深部に分布するため、抱卵期間にも影響を与えている種でもある。

そこで、テナガエビの例<sup>9)</sup>を参考にすると、テナガエビでの大卵少産種、中卵中産種、小卵多産種のタイプ別の分類がタラバエビ類についても当てはまると考えられる。さらに、r淘汰とK淘汰の選択の戦略<sup>11)</sup>が、タラバエビ

類についてどれだけ当てはまるかを検討してみると、次のことが言えそうである。まず、大卵の種は少産で、小卵の種は多産の場合が多い。そして、産卵数は抱卵雌の体長に規定される。

次に、初期幼生の形態についてみると、沿岸の藻場でふ出する幼生は、体長が小型の種が多いものの、浮遊生活を送る種が少ないため、ミツクリエビのように直達型の種や、浮遊生活を送る種でも遊泳肢があまり発達せず、浮遊期間が短い。その結果、アマモ葉上での匍匐生活期間が長く、沿岸の周辺での定着性が強い特徴を有し、湾外への逸散が少なく、初期生残も高い生活を送る。

これとは逆に、トヤマエビやホッコクアカエビのように、初期生活時に浮遊期間が長期に亘る種の場合は、ふ出後、発達した遊泳肢を用いて、ふ出場所から広く分散して、分布域も広く拡散することから、逸散による減耗も大きくなると考えられ、沿岸の種よりは初期発生時の生残率が低くなるだろうと考えられる。なお、西村<sup>3)</sup>は日本海の深海のタラバエビ類は第3氷河期の遺跡種であろうと推察し、一方、倉田<sup>12)</sup>は東北地方にまで生息の場を広げた広温性のホッケイエビは、最も高い水温に適応した種であるとしている。アマモ場では、付着珪藻、小型巻貝類、デトリタス等の餌となる生物が極めて多く、藻場の高い生産力を利用してエビの成長が速いことから、再生産の回転率が速い。さらに、減耗は、アマモ場が格好の隠れ場としての役割を果たすために、他の食害生物からの捕食は軽減されて、加入量が安定している。そのため、資源に添加後の漁獲圧が、その後の資源の増減に大きな影響を与えることとなる。再生産関係についてみると、親子の量的関連が強く、Ricker型の特徴が見られた。資源は親エビの一定量方式に伴ってコントロールが可能となるために、漁期前の資源量の把握と再生産に見合った適切な漁獲量が有効な方策となる。



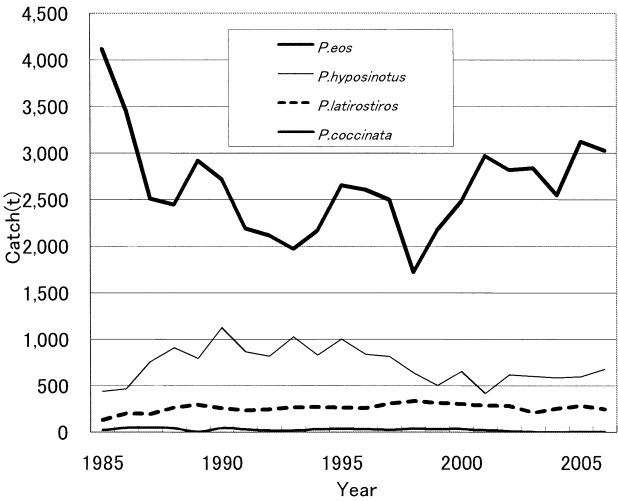


Fig.1 The annual catch of Pandalidae in Hokkaido

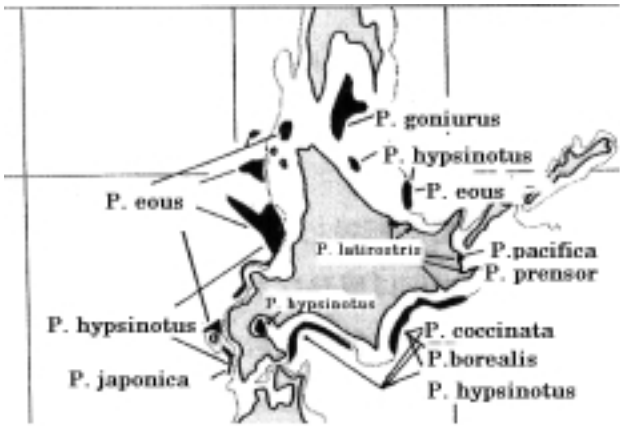


Fig.2 Main fishing grounds of the pandalid Shrimps Kurata<sup>1)</sup> を一部改変

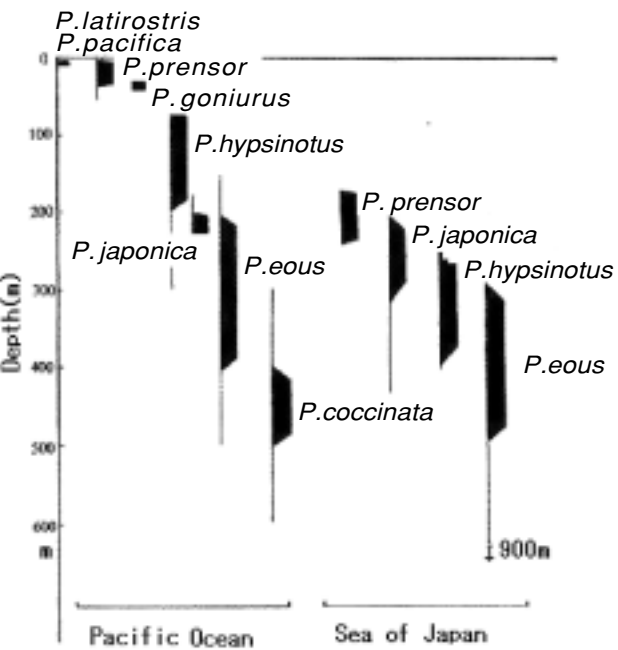


Fig.3 Living depth of the pandalid shrimps<sup>1)</sup>

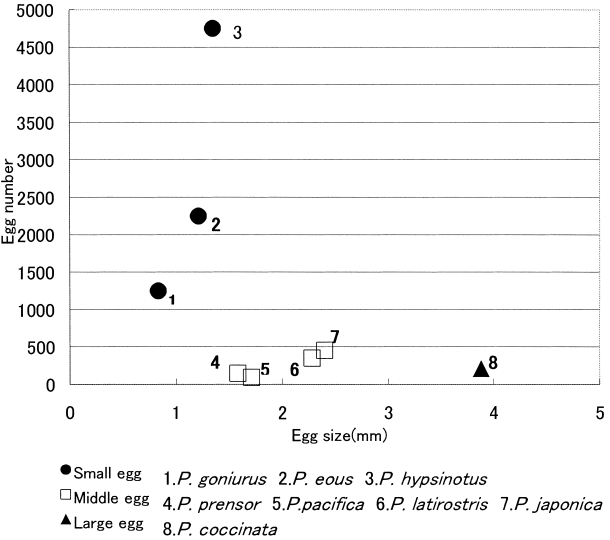


Fig.4 Relation between egg numbers and egg length of the pandalid shrimps

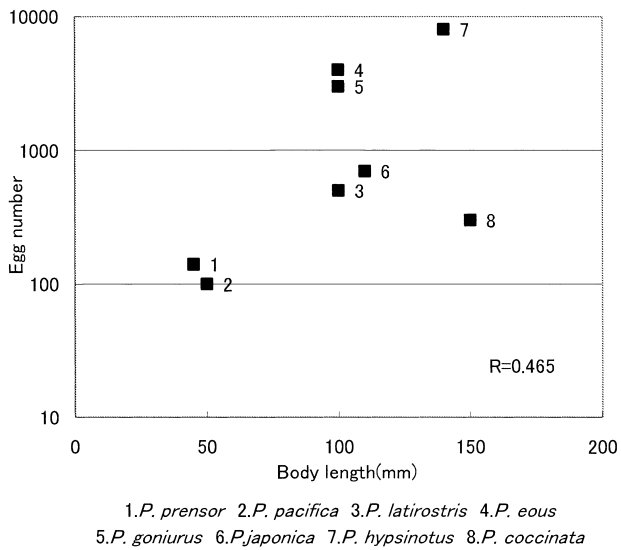


Fig.5 Relation between body length and egg number

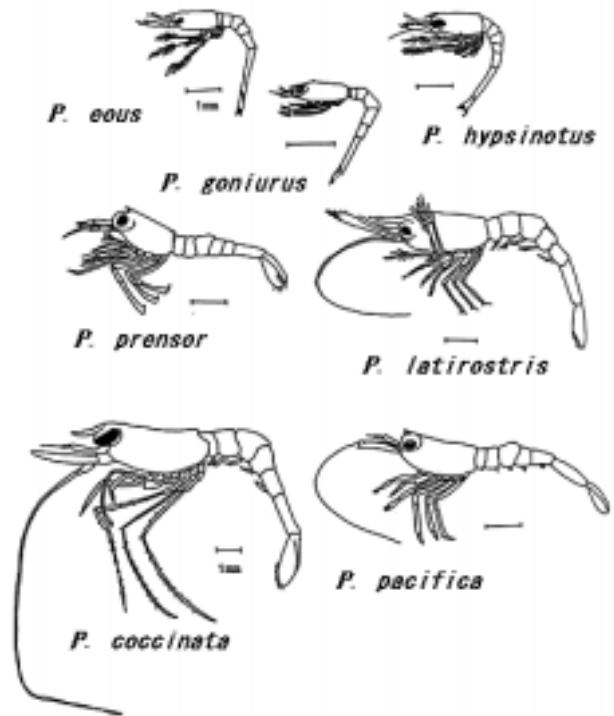


Fig. 6 Larvae at hatching of the pandalid shrimps

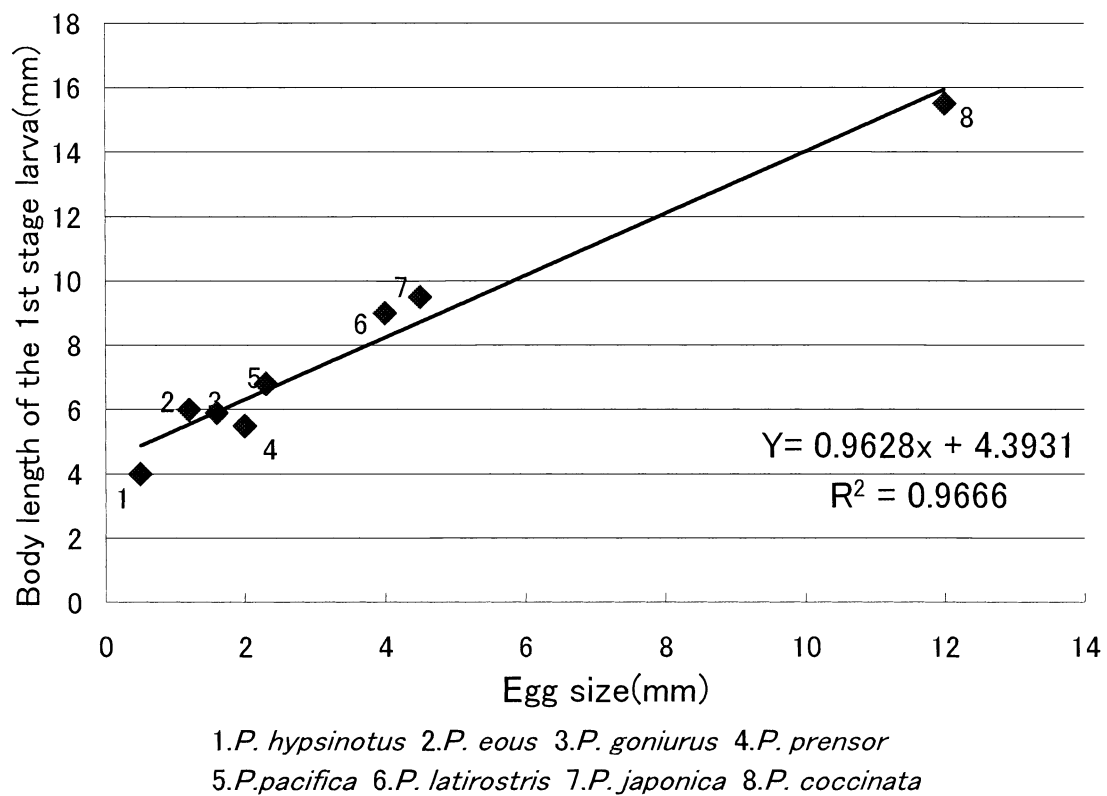


Fig.7 Relation between egg size and body length of stage 1 larva(mm).  
The egg size is shown as length(mm)x height(mm) of the egg

Table 1 Characteristics of reproductive ecology of the pandalid shrimps<sup>1-4) 6) 10)</sup>

Scientific name	Depth(m)	Body length(mm)	Spawning-hatching	Ovignous period(month)
<i>P. pacifica</i>	0~10	55~60	Sep~May(next year)	9
<i>P. latirostris</i>	0~10	105~110	Sep~May(next year)	9
<i>P. prensor</i>	0~50	45~50	Oct~May(next year)	8
<i>P. goniurus</i>	30~50	65~85	?	?
<i>P. hypsinotus</i>	50~200	130~145	Apr	11
<i>P. japonica</i>	300~300	110~115	Sep~May(next year)	9
<i>P. eous</i>	200~400	105~110	Jun~Jul-Mar~Apr (The year after next)	9
<i>P. coccinata</i>	400~500	150~155	Apr~Mar (The year after next)	24

Scientific name	Egg number	Egg size(mm) Length ×	Egg weight/ Body weight(%)	Hatching larva
<i>P. pacifica</i>	90~100	1.71×1.16	1.8	Megalopa
<i>P. latirostris</i>	300~400	2.28×1.64	3.1	Zoea I - III
<i>P. prensor</i>	150	1.58×1.14	0.7	Zoea I - III
<i>P. goniurus</i>	1000~2400	0.83×0.53	0.5	Zoea I - VI
<i>P. hypsinotus</i>	4700~4800	1.35×0.06	0.8	Zoea I - IV
<i>P. japonica</i>	450~460	2.40×1.18	4.9	Zoea I - III
<i>P. eous</i>	2100~2400	1.21×0.90	0.7	Zoea I - V
<i>P. coccinata</i>	200~220	3.88×3.12	21	Megalopa

Table 2 Changes in sexual phase by age of the pandalid shrimps

Species	0 year	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
<i>P. pacifica</i>	Immature male	male female	female female							
<i>P. prensor</i>	Immature male female	male female	female							
<i>P. latirostris</i>	Immature male male	male female male	female female female	female						
<i>P. goniurus</i>	unkown									
<i>P. japonica</i>	Immature	male	male	female	female	female				
<i>P. hypsinotus</i>	Immature	male	male	female	female	female	female	female	female	female
<i>P. eous</i>	Immature	Immature	male	male	male	male	female	female	female	female
<i>P. coccinata</i>	Immature	male	male	male	male	female	female	female		

## 要 約

北海道周辺に出現するタラバエビ科8種について、その繁殖特性、特に生活史、産卵生態、成長、水平および鉛直分布、抱卵数と卵径等について、それぞれの特徴を比較した。

1. 分布域の特徴からは沿岸種、沖合種、深海種の3群に分類された。

2. 沿岸種は水深10m以浅の藻場に多く見られ、ミツクリエビやスナエビなど、小型であるが、成長が速い種が含まれる。また、雄から雌への性移行の期間も短く、生活史は2～5年の短い特徴を持つ。なお、卵数は少ないが、卵径は大きい種が多い。

3. 沖合種は水深200～400mに分布の中心帯があり、モロトゲアカエビやトヤマエビが含まれる。体長は大きく、生活史も長期にわたり、雄は2～4歳、雌は5歳以上の種が多い。最長の生活史を持つのはホッコクアカエビで7～8歳の寿命を持ち、一部に10年以上に亘るものもいるとされ、かつ産業種としても一番生産が高い。

4. 深海種はヒゴロモエビで最深部に分布し、大型で寿命も長い。

5. 北海道周辺のタラバエビ類の生活史戦略として、小卵多産型、中卵中産型、大卵少産型の三型に分けられ、それぞれの特性について言及した。

6. 各種の生活史と性相の移行には、種の特異性と生息水深や水温等の環境特性が深く関連すると考えられる。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、貴重なご助言と御指導をいただいた北大水産学部の五嶋聖治教授に深謝致します。また、*Pandalidae*の学名の記載についてご指導いただいた千葉県立博物館の駒井智幸博士に感謝いたします。さらに、道立中央水産試験場、宇藤 均場長には、論文の内容について論議をいただき、厚くお礼を申し上げます。

また、文献の探索に便宜をいただいた東京農業大学生物生産学部、千葉晋助教授に謝意を評します。

## 文 献

- 1) H.Kurata: Pandalid shrimp fisheries of Japan In "Proceedings of the International Pandalid Shrimp Symposium, Kodiak (1981)
- 2) 水島敏博・尾身東美: 野付湾のホッケエビの成長と性相—特にその2型について. 北水試報. 24, 15-24 (1982)
- 3) 西村三郎: 日本海の成立 生物地理学からのアプローチ. 東京, 築地書館 (1974)
- 4) 瓜田友衛: べにすぢえびについて. 動物学雑誌 53(1), 1-11 (1941)
- 5) 倉田 博: 増毛沖におけるトヤマエビの生態. 北水試月報. 14(1), 8-21 (1957)
- 6) 渡辺安広: 小島周辺におけるモロトゲアカエビについて. 北水試月報. 43(3), 41-52 (1985)
- 7) 倉田 博: 増毛沖におけるホッコクアカエビの生態. 北水試月報. 14(4), 42-51 (1957)
- 8) 阿部晃治: 釧路沖におけるヒゴロモエビ (*Pandalopsis coccinata Urita*) の研究 第1報. 北水試研報. 4, 13-21 (1965)
- 9) 諸喜田茂充: テナガエビ類の初期生活史. 海洋と生物. 4 (1-4), 9-17 (1979)
- 10) 中明幸広: 武蔵堆周辺海域におけるホッコクアカエビの生殖周期と成長. 北水試研報. 37, 5-16 (1991)
- 11) Pianka: 動物生態学, 伊藤嘉昭ら訳 1992 蒼樹書房, 41項
- 12) 倉田 博: エビ, カニ類の温度適応 水産生物と温排水. 水産研究叢書. 25 (1973)

# 水産種苗生産過程での餌料用海産性微細藻類の 培養効率化に関する研究

奥村 裕弥\*

Study of the effeciental cultivation of marine microalge on mass algae cultivation  
system for mariculture breeding

Hiroya OKUMURA\*

In Mariculture, micro-alga is necessary to use breeding for shellfish. It is difficult to cultivate mass volume chamber under artificial luminair in marine-micro-algae. A lot of type cultivation systems were made to mass production of foods for men or another. Popularly a kind of alga *Chlorella* was produced in fresh water under Sun light. We made a mass production system for micro-algae using artificial luminair. It was possible to controll at water temperature, air flow and light intensity in luminair, and have a 200L chamber (*artemia* hatching jar) in this system.

In first section, we described component of mass algae cultivation system and light environment of chamber fulled sea water or cultured sea water. Air condition was exminated *Pavlova lutheri* (Droop) Green culture in several inflow conditions and babble size conditions, it was basically factor in cultivation. Optic value was found then. Espeally, According to change inflow of air, maximum cell density was changed. It indicated mixture of the chamber relate to a factor of cultivation condition.

In second section, we described to response maximum cell density to light intensity condition, and to appear special characteristic of chamber in algae cultivation. In high light intensity irradiation, it was not occurred light inhabitation at low cell density. Maximum cell density was as higher as light intensity irradiation. It suggested higher maximum cell density was necessary to irradiate higher light intensity. But cell growth ratio was not changed in each light intensity conditions. It would saturate photosynthesis in each light intensity conditions. Then it suggested cell growth ratio was not related to light intensity condition.

In third section, we simulated light environment in the chamber to reduce to light intensity at luminair during cultiured period and optimized to the PPFD (Phtosynthesis Photon Flux Density) in luminair according to increace cell density. Using light absorbtion ratio of micro-alga in several cell densities, shape of chamber and light intensity of luminair, we surposed suitable cell density of effeciental production with chamber. It was contributed to cut off the cultivation costs.

In fourth section, we tried to culture *P.lutheri* under variable light intensity condition, light intensity condition in luminair was changed with cell density and cultivation period. It was possible to reduce cultivation costs of light for changing light intensity with cell density or cultivation period, and to suggest significance methods of cost reduction on mass algae cultivation system. And it proved to be estimation of light environment in the chamber.

In fifth section, we examined to culture micro-alga under 4 kinds of flourescent lamps (red, blue, green and white) to investigate effeciental luminair in mass algae cultivation system. Cell growth ratio was change each examinations using each lamps pairs, fastest cell growth ratio was obtained the examination in red and blue lamp pair. It was possible to reduce the cultivation priod and achieve more effeciental mass algae cultivation. We suggested more avarable guideline to produce is using additive of carbon dioxide through inflow of air.

キーワード：人工光，大量培養，培養効率化，微細藻類

Key word: artifical luminair, mass production, effeciental cultivation, micro-algae

---

報文番号 A416 (2008年2月20日受理)

\*北海道立函館水産試験場 (Hokkiado Hakodate Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido, 042-0932, Japan)  
学位論文を改編

## はじめに

1977年アメリカの経済水域の設定に端を発した200海里設定、漁獲に伴う負担金の発生により、遠洋漁業の漁獲量の経済水域の試行により、他国の沿岸域の主要漁場が減少し、漁獲努力量（漁船数）が減少した<sup>1)</sup>。そのため、遠らの撤退を余儀なくされ、遠洋漁業めぐる国際環境が急洋漁業から沿岸や沖合漁業への転換が図られ、漁獲努力速に悪化した。また、資源管理制度による漁獲割当量の増大による乱獲や生息環境の悪化による漁業資源の減少が生じ、沿岸域での漁業資源の保全と増大を図ることが問題となった。このため、沿岸の漁業資源の管理の推進による漁場の高度利用や資源の継続的な利用が大きな課題となっている。その中で沿岸資源の安定を目指した栽培漁業への取り組みが進められている<sup>2)</sup>。栽培漁業は、種苗（魚貝類の稚仔）の生産・放流を基本としており、放流用もしくは養殖用として大量に人工種苗を必要とする。近年では対象魚種と種苗生産数が拡大し<sup>3)</sup>、マグロ類などの高度回遊魚種の種苗生産も試みられている。<sup>4)</sup>

近年資源の減少が著しい二枚貝の人工種苗を大量生産するには、餌料として大量の微細藻類が必要である。餌料用微細藻類としては、生産対象種や施設の規模に応じて、珪藻類、ハプト藻類や鞭毛藻類などが用いられている。<sup>5-7)</sup> 通常、これら微細藻類は小型容器での人工光源（蛍光ランプやHID（高輝度発光形）ランプ）を用いた集約的な培養法と大型容器で太陽光を主に用いて粗放的な培養法により生産される。<sup>8)</sup> 小型容器を用いた培養では高密度な餌料生産が可能であるが、餌料の大量生産を図るうえで、培養容器の増加を伴い施設規模ならびに作業量の増大を招く。また、粗放的な大型容器を用いた培養では安定的で効率的な培養が困難である。<sup>9-11)</sup>

現在、海外を含めて藻類として工業化による生産が行われている種は淡水産藻類である *Spirulina*, *Dunaliella*, *Chlorella*, *Cyanobacteria*, *Euglena*, *Skeletonema* などわずかであり<sup>12-14)</sup>、フリーズドライや濃縮餌料<sup>15)</sup>として一部販売が開始されている種もあるが、水産種苗生産施設で用いられている海産性微細藻類 *Chaetoceros gracilis*, *C. calcitrans*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 等は工業的な培養が困難である。<sup>16)</sup> そのため、光放射環境、水温環境、培養基質、攪拌、ガス交換などの様々な要因の関与について試験検討が行われ、これら要因を考慮した大量培養の試みが行われているが<sup>17)</sup>、最適な環境条件下での安定・効率的な大量培養の確立までには至っていない。

海外では、現在まで、小規模な実験室レベルの試作器から、大量培養を目指したツインチューブの培養器まで

様々な培養システムが考案され、試作されている<sup>18-22)</sup>。これらの研究には、培養特性の把握による効率化を目指して、培養するチューブの径と太陽光の関係とその生産性<sup>23)</sup>、培養槽の光放射環境のシミュレーション<sup>24)</sup>、攪拌による培養の効率化<sup>25)</sup> などがある。現在、透明なチューブで連続培養を行うフォトバイオリアクター<sup>26)</sup> やビニールバックによる培養が実用化されている。

日本では大量培養法として屋外で太陽光を利用した粗放的な培養法が一般的に広く行われている。また、屋内での人工光を利用した集約的な培養に関する研究では大滝ら<sup>27,28)</sup>、高島・児玉<sup>29)</sup>、酒井ら<sup>30)</sup>、岡内・福所<sup>31)</sup>、高越ら<sup>32)</sup>、林・瀬古の *P. lutheri* を用いたPPFDに対する細胞密度の変化について<sup>33)</sup>、*P. lutheri* と *C. calcitrans* を用いてPPFDに伴う細胞密度の変化と炭酸ガスの添加効果<sup>34)</sup>、効率を重視した連続培養について<sup>35)</sup>、*P. lutheri* を用いたPPFDと細胞密度や培養時の細胞容積の変化について<sup>36)</sup>の報告がある。一般的な培養法として財団法人カキ研究所による培養マニュアル、東北海区水産研究所が中心となった餌料培養マニュアルなどが刊行され<sup>37,38)</sup>、北海道立栽培漁業総合センターでは有用な藻類の探索が行われた。<sup>39)</sup> また、近年、J.B.Ogbonnaらによって、大量培養システムでの培養水の攪拌による効率化、光照射環境の観点からの効率的な培養法、培養槽設計での培養効率の検討が行われた。<sup>40,41,42,43)</sup> 新しい光源として、赤色と青色のLED（発光ダイオード）を用いた培養試験や<sup>44,45)</sup>、新たな培養に関する要素として深層水を用いた培養や、バクテリア等の海洋細菌が及ぼす藻類増殖への影響に関する報告もなされている。<sup>46,47,48)</sup>

筆者の用いた海産性微細藻類である *P. lutheri* は餌料藻類の中でも視神経の発達に欠くことの出来ない高度不飽和脂肪酸であるDHA、EPAを多量に含み、栄養的にも優れた餌料価値の高い藻類であることが知られている。<sup>49,50,51)</sup> 本論文では、これまで工業的な大量培養が難しいこの種について、大量培養技術の確立を目指し、200ℓ大型培養試験器を用いて、効率的な光源の照射方法、培養光合成有効光量子束密度の最適化、段調光を用いた培養法、最適な光源の分光分布について検討し、好適な培養諸条件を明らかにした。この結果、人工光源を用いた餌料生産での生産コストの削減、効率的・安定的な生産を可能とした。現在、本研究で得られた知見をベースとした工業的手法による餌料培養システムが厚岸町立カキ種苗センターで稼働している。

## 第1章 培養装置と光環境と通気条件の検討

### 目的

本章では、培養装置の特徴とその基本性能を明らかにする。また培養試験の基礎条件として通気条件の検討を行った。

## 培養装置の特徴

### 概略

培養装置の概略図をFig.1-1に示す。照明装置と培養槽の間は光透過性素材により形成され、培養槽外周には冷却用槽を配置し、光透過性素材による培養タンクと培養タンク外部に培養タンク外周を囲むように配置されて無影状態で培養タンクを照射する照明装置からなることを特徴とする。これは、効率よく培養を行い、照明装置の

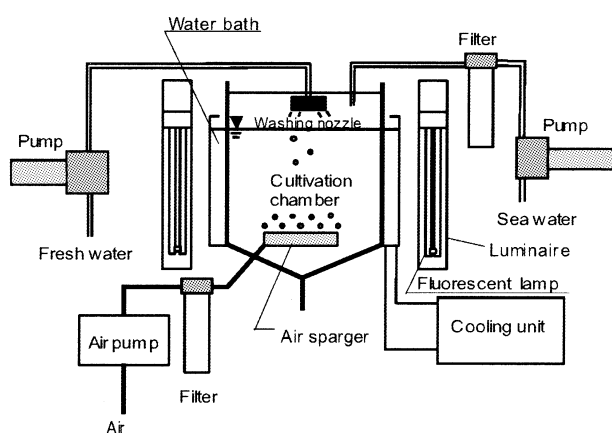


Fig.1-1 Schematic diagram of culture system using irradiate cylindrical chamber (*Artemia* hatching jar)

保守管理を容易な装置を目指したものである。培養光源を培養槽内部から、培養槽の外部に配置することによって、光源の発する熱量の伝搬を抑制し、水温管理を容易にする。

### 装置詳細

培養装置は有底の略円筒状で光透過性樹脂からなる内径700mmの200L培養タンク（アルテミアハッチングジャー：SBF-200，アース社製）と培養槽の中心から同心円状に9台の照明器具を配置した。培養タンクは底部に配水管を連結し、収穫時の培養液の排出と洗浄液の排出を容易にした。タンク内への通気は散気管による空気通気を基本とし、0.1 $\mu$ mのフィルターで濾過した空気が必要に応じて流量調節した炭酸ガスをタイマー制御により空気に混気することが出来るようになっている。通気用のポンプは、ポンプのオイルの混入を防ぐため、オイルレスプロアーとした。散気管は公称20 $\mu$ m, 40 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 300 $\mu$ mの4種類とした。

培養水用として、海水供給用ポンプを備え、4種類のフィルターを有して培養に適した海水を供給できるように配慮した。培養時には10 $\mu$ m, 1 $\mu$ m, 0.1 $\mu$ m, 0.05 $\mu$ mのフィルターで濾過した海水を用いた。

培養終了時には、水道水もしくは多段式ポンプによる次亜塩素酸ナトリウム添加水での殺菌洗浄が行えるように配慮した。

各照明器具は55W片口金型3波長域発光型蛍光灯ランプ（EX-N，55Wコンパクト型蛍光灯ランプ）を4灯セットした蛍光灯器具からなり、器具による相互反射およびメンテナンス性を考慮した構造となっている。照明器具は本体が270mm，奥行き200mm，高さ570mmの直方体状の箱体からなり、背面にはランプ交換用の開口部があり、ランプ交換時以外は蓋で閉塞されるようになっている。前面の培養タンク側の面には照明光を照射するための開口部を設け、光透過性のアクリルパネルを介して培養タンクを照射するようになっている。

また、照明器具内にインバーター点灯器具を備え、各ランプを点灯させるインバーター点灯装置は商用交流電源を直流変換部で変換された直流を高周波に変換して高周波電力によりランプを点灯させるインバーター部とインバーター部のスイッチング素子を制御する制御部からなる。これらのインバーター制御は定格電圧点灯を100%とすると、その60%まで無段階による制御が可能である。これ以外には、照明器具自体の点灯数を2台，3台，4台と培養槽を中心とした対称に点灯させて照明器具数を制御する調光も可能なように配慮されている。

## 材料および方法

### 1. 光環境の把握

供試藻類は*P.luther*とし、ポリカーボネイト製の100L水槽で15 $^{\circ}$ C, 120 $\mu$ mol $\cdot$ m $^{-2}\cdot$ s $^{-1}$ の条件で $1.0\times 10^7$ cells $\cdot$ ml $^{-1}$ 以上の細胞密度まで培養した株を培養槽内の光合成有効光量子束密度分布の測定に用いた。

培養槽内に何も満たしていない状態，海水を満たした状態，海水に培養溶液を添加した状態，細胞密度 $1.0\times 10^7$ cells $\cdot$ ml $^{-1}$ の培養溶液を満たした状態の計4状態での光合成有効光量子束密度（PPFD）を測定した。測定位置は培養槽壁面から水平方向に5cm，鉛直方向に10cmの格子状に培養槽の中心を通る断面とした。測定には平面型光量子センサー（LI-190+LI250，LiCor社製）と球面型光量子センサー（LI-193+LI250，LiCor社製）を用いた。通気による影響を把握するため，海水を満たした状態で20 $\mu$ m, 40 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 300 $\mu$ mの気孔径の散気管から20L $\cdot$ min $^{-1}$ の通気した状態での培養槽内のPPFDも測定した。

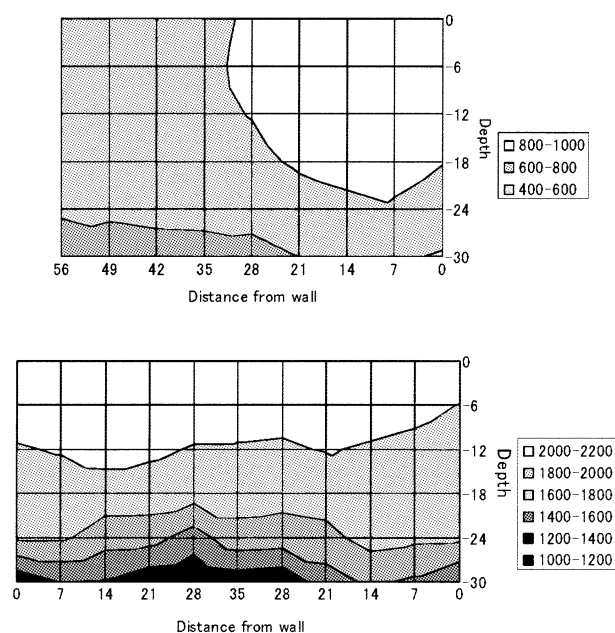


Fig.1-2 Sectional distribution of PPFD in seawater under full light intensity in 200L chamber. a) is plane type PPFD sensor, b) is sphere type PPFD sensor.

## 2. 通気条件の検討

供用藻類は*P.lutheri*とし、3L平底フラスコでの予備培養株を、初期接種密度 $5.0 \sim 6.0 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の範囲で植え継いだ。培養溶液は、たから培養液（第一製網社製）を $1 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ の割合で滅菌濾過海水に添加して作成した。培養時水温は $14 \sim 17^\circ\text{C}$ とし、培養時のPPFDは $1900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の一定で24時間連続点灯とした（100%PPFD）。最適な通気量を求めるため、散気管の気孔径を $40 \mu\text{m}$ 一定として $10 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 40 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ の4種の通気量での培養を行った。次に、最適な気孔径を求めるため、通気量を $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 一定とし、気孔径 $20 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 300 \mu\text{m}$ の4種の散気管で培養を行った。

## 結果および考察

### 1. 光環境の把握

100%PPFDとして海水を満たし無通気状態での培養槽内のPPFD分布をFig.1-2に、細胞密度 $1.0 \cdot 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の*P.lutheri*培養水をタンクに満たしたときのPPFD分布をFig.1-3に示す。

Fig.1-2aに示したのが、平面型光量子センサーで測定した単一の照明装置を点灯した状態での光子照度分布である。 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を上回る領域が培養槽のほぼ中心まで広がり、水深24cm以浅で値が高く、24cm以深の水槽台座に遮蔽された培養槽基部では低い値となった。照

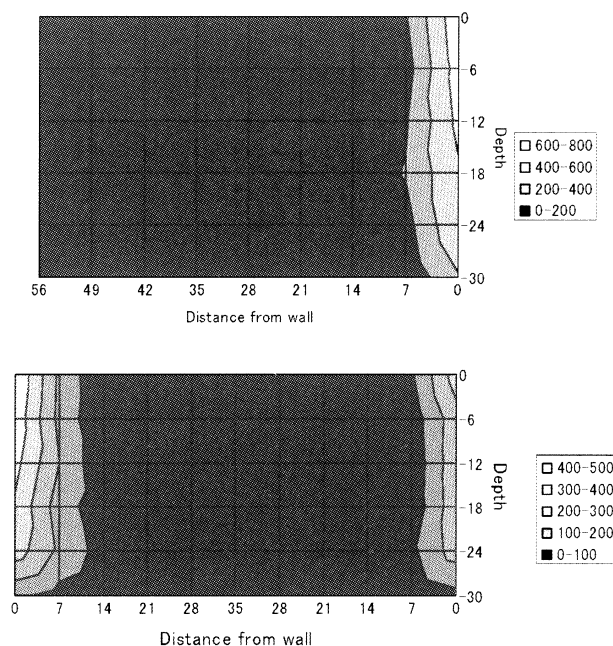


Fig.1-3 Sectional distribution of PPFD in seawater containing *P. lutheri* at a density of  $1.0 \cdot 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  under full light intensity in 200L chamber. a) is plane type PPFD sensor, b) is sphere type PPFD sensor.

明器具を定格電圧で全点灯した状態の球状光量子センサーでのPPFD分布をFig.1-2bに示した。平面センサーと光源から直接照射される24cm以浅では平面センサーの $900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の2倍である $1800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり、培養槽基部でも $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を上回った。培養槽全体の平均PPFDは平面センサーで $761 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、球面センサーで $1897 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $1.2 \times 10^5 \text{ lx}$ ) となった。

球面光量センサーの高い値は培養槽に付帯したウォーターバスによって効率的に光が集められたこと、水面での反射によって光子が散逸しなかったことによる。

*P.lutheri*の細胞密度 $1.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の海水を培養槽に満たし、全ての照明器具を点灯した時の培養槽内の平面センサーで測定したPPFD分布をFig.1-3aに示した。培養槽に入射した光は培養水に吸収され、培養槽側面から7cmの位置で $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を下回った。培養槽中心35cmでは、 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下となり、光が透過しない空間が生じた。Fig.1-3bに示した球状センサーでの測定結果も平面センサーとほぼ等しい結果であり、培養槽側面から7cmの位置で平面センサーでの測定値とほぼ等しい $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。これは、培養槽内では藻体の吸光により光が急激に減衰し、向かい合う光源の相互作用が無くなり、個々の光源からの照射を反映するようになることを示している。

空気中と海水中と培養液を添加した状態での培養槽内のPPFDの空間平均値は、空の状態が $1134 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、



海水を満たした状態が $1897 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、培養液添加状態で $1880 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ である。これは培養液を添加した状態での、PPFDの減衰は海水を満たしたときの5%未満となっており、海水を満たしたときの培養槽のPPFD分布との差は見られなかった。一方、空気中では、海水中に比べて最大値でも $1271 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、培養槽内の平均PPFDも海水を満たした状態の60%であった。

一般に海水中に入射した光は指数的に減衰し、赤色域と青色域が吸収される<sup>52)</sup>。培養槽内では、藻体による吸収によって急激にPPFDが低下する。細胞密度とPPFDによっては、培養槽内に光の届かない空間を生じさせると考えられる。培養槽の内部からの照明と外部から照明では、光エネルギーの有効利用から内部照明の高効率を指摘しており、また内部照明型のシアノバクテリアの培養装置では効率的な培養が可能としている<sup>42, 53)</sup>。しかし、光源の内部設置は、熱源を培養槽内に設置することとなり、水温管理を難しくさせ、設置できる光源数にも限りがある。温度管理の点と培養システムのメンテナンス管理の容易な点から光源の外部配置が有利である。

## 2. 通気条件の把握

各通気量での増殖曲線の変化をFig.1-4に示す。各通気量での最高密度は、通気量 $10\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で5日目に $1.5\times 10^6$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、通気量 $20\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で14日目に $2.0\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、通気量 $30\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で14日目に $2.2\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、通気量 $40\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で15日目に $1.0\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ であった。散気管の気孔径を変化させた増殖曲線をFig.1-5に示す。各気孔径での最高密度は、気孔径 $20\mu\text{m}$ で13日目に $1.8\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、気孔径 $40\mu\text{m}$ で14日目に $2.2\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、気孔径 $150\mu\text{m}$ で12日目に $2.0\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ 、気孔径 $300\mu\text{m}$ で14日目に $1.4\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ であった。

各通気量での最高密度は通気量が10から $20\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ と増加するに従って増加したが、 $40\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ では減少した。これは $20\sim 30\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 付近に通気量の最適値が存在することを示している。各気孔径での最高密度は気孔径 $40\mu\text{m}$ と $150\mu\text{m}$ で $2.0\times 10^7$  cells  $\cdot\text{ml}^{-1}$ を上回ったことから、 $40\sim 150\mu\text{m}$ の気孔径付近に最適値が存在する可能性がある。培養条件の中で通気には気体の溶解と気泡の上昇に伴う連行によって生じる培養槽の攪拌の2要因が含まれる。培養槽の攪拌は培養を行う上で大変重要であるが、その評価が難しい。通気による攪拌によって、パルス効果が現れ、培養効率を増加させる可能性も報告されている。<sup>40, 53, 54)</sup> 本研究では、攪拌の指標となる通気量変化による最高密度の変化が気体溶解の指標となる気孔径の最

高密度の変化より大きかったことから、通気条件は攪拌による影響が大きいと考えられる。

## 第2章 光量子束密度と細胞密度の関係

### 目的

この章では一般的に用いられている太陽光に代わり、人工光を積極的に取り入れ、効率的な培養を行うため、PPFDと細胞密度について試験を行い、効率的な培養法について検討を行った。

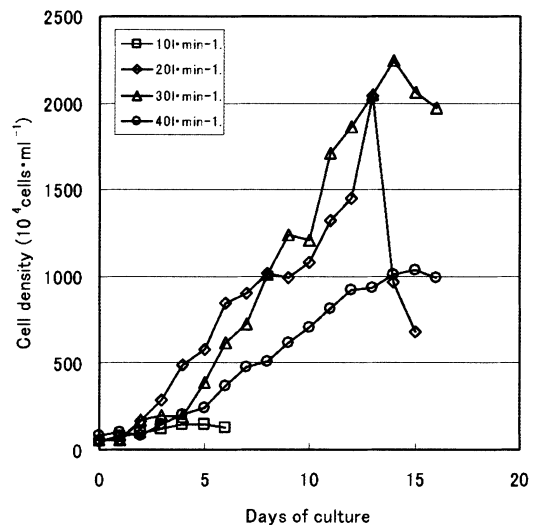


Fig.1-4 Effects of aeration and growth rate on *P. lutheri* cultured in 200L chamber receiving irradiation of full light intensity at  $15^{\circ}\text{C}$ .  $\square$ : 10-liter per min.,  $\diamond$ : 20-liter per min.,  $\triangle$ : 30-liter per min.,  $\circ$ : 40-liter per min.

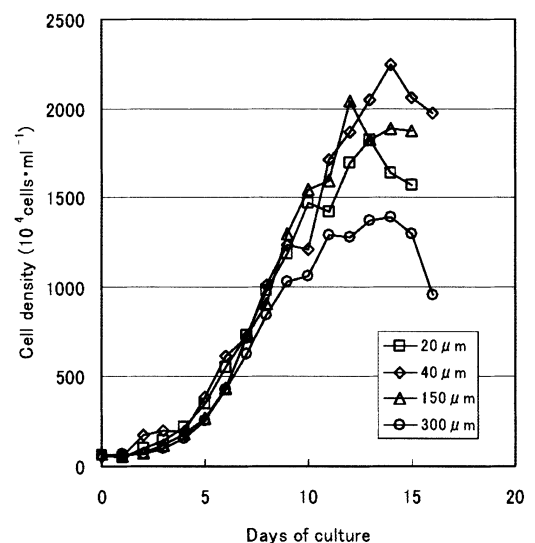


Fig.1-5 Effects of bubble size of sparger and growth rate on *P. lutheri* cultured in 200L chamber receiving irradiation of full light intensity at  $15^{\circ}\text{C}$  and aeration of  $30\text{-liter}\cdot\text{min}^{-1}$ .  $\square$ :  $20\mu\text{m}$ ,  $\diamond$ :  $40\mu\text{m}$ ,  $\triangle$ :  $150\mu\text{m}$ ,  $\circ$ :  $300\mu\text{m}$

## 材料および方法

供試藻類は*P. lutheri*とし、試作した200L大型培養器（以下大型培養器）を用いて培養を行った。PPFDと細胞密度の関係を求めるため、光源のPPFDを100%（全灯定格点灯時）、60%、30%、10%の4段階に設定して培養試験を行った。

海水を次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素濃度 50ppm）で殺菌し、培養溶液は「たから培養液」（第一製網社製）を $1\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$ の割合で添加して作成した。3L平底フラスコで予備培養した株を接種密度 $5.0 \sim 7.0 \cdot 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ で接種した。ブローアーから $0.1\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した空気を気孔径 $40\mu\text{m}$ の散気管から通気量 $30\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ で培養槽内に通気し、水温は13から15℃とした。

PPFDは55Wコンパクト型蛍光灯ランプを定格電力で点灯した状態を100%PPFDとして、60%PPFDはインバーター制御により調光した。また30%、10%のPPFDの設定はインバーター制御と点灯するランプの削減を組み合わせで行った。30%PPFDは各照明器具の点灯ランプを2本とし、合計18本の蛍光灯ランプをインバーター制御により60%に減光することにより設定した。10%PPFDは点灯ランプを2本とした3台の照明器具を等間隔に配置し、さらに60%に減光することで設定した。細胞密度の測定はトーマ血球計算盤（エルマ社製）を用いて、pHの測定は水素イオン濃度計（MH-11P, 東亜電波製）を用いて1日1回行った。試験終了は培養期間中に細胞密度の増加がみられないもしくは減少した時点とした。

## 結果

Fig.2-1に各PPFD下での培養結果を示す。10%PPFDでは、誘導期の後に密度が増加し、7日目に $4.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで増加し、15日目に $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となった。培養中の水温は14℃台で推移し、pHも8.2~8.3の間で大きな変化なく推移した。

30%PPFDでは、培養開始から10%と同様に誘導期の後に7日目に $5.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回る $7.7 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となり、10日目に $8.6 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の密度となった。培養期間中のpHは、3日目までは8.2付近で定常状態となり、密度増加が大きい4日目から9日目までは8.5付近で推移した。最高値は9日目の8.7であった。9日目以降は密度増加の停止と共に8.2付近まで低下した。

60%PPFDでも、10%、30%PPFD時と同様に、7日目に $5.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回り、8日目に $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達した。11日目に $1.6 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の密度に達した。培養中の水温は13℃付近で推移し、pHは2日目までは8.2

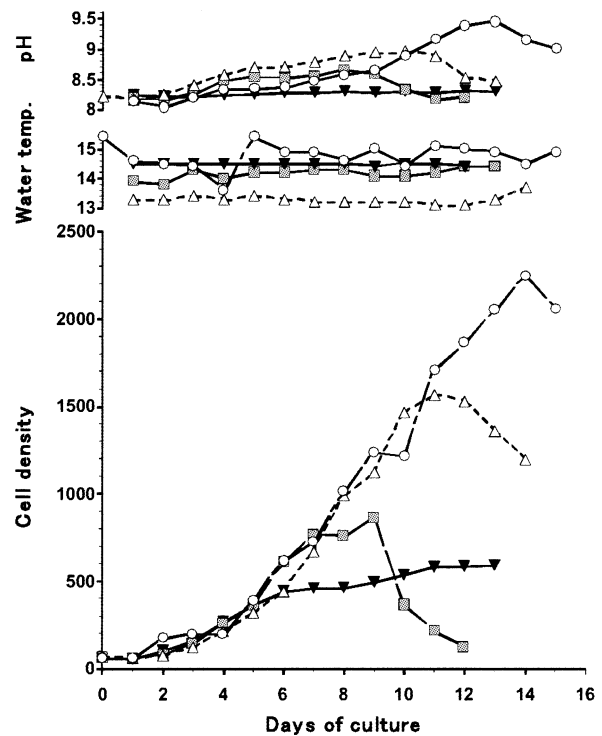


Fig.2-1 Effects of water temperature, pH and growth rate on *P. lutheri* cultured in 200L chamber receiving irradiation of 10%, 30%, 60% and full light intensity at 15℃ and aeration of 30L per  $\text{min}^{-1}$ .  
▼: 10% light intensity, ■: 30% light intensity, △: 60% light intensity, ○: full light intensity

付近で推移したが、以降徐々に上昇し、7日目に8.7、9日目に8.9に達した。ここでも密度増加が停止すると同時にpHが8.2まで急落した。

100%PPFDでは、3日目から5日目に一時密度が停滞するが、6日目に $5.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、9日目に $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、12日目に $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、13日目に $2.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達した。14日目には $2.2 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の最高密度となった。水温は14℃から15℃の間で推移し、培養開始当初8.0であったpHは培養日数とともに上昇し、7日目に8.5、11日目に9.0を上回り、13日目に9.5となった。

Fig.2-2に各PPFDでの最高密度の関係を示した。これからPPFDの増加により最高密度は直線的に増加した。Fig.2-3に細胞密度が $2.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、 $5.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、 $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、 $2.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達するのに要した培養日数を示した。10%PPFDでは $3.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで、30%PPFDでは $5.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで、60%PPFDでは $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ までの間では100%PPFDでの日数と大差がなかった。

## 考察

本研究で得られたPPFDと培養時の最高密度との関係は、より高いPPFDを用いることによって、より高密度な餌料生産を行える可能性を示している。餌料の高密度化は、餌料培養に関わる作業の削減と給餌作業などの種苗生産にかかる作業量の削減が可能となる。

高越ら<sup>31)</sup>では5klxから15klxへ照度が増加するのに伴って到達密度が増加し、15klxでの培養が好ましいことが報告されている。また、大滝ら<sup>28)</sup>や酒井ら<sup>29)</sup>での報告に比べて、100%PPFDが $1800\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、照度で128.6klxに相当する高照度でも培養が可能であった。高いPPFDでは培養開始時の低密度時に光阻害による細胞の枯死が考えられるが、初期接種密度 $5.0\cdot 10^6\text{cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ で枯死は生じなかった。これは細胞の吸光により培養槽の中心部まで高いPPFDとならなかったこと、攪拌により高いPPFDにさらされる時間が限られたこと、藻体に耐性があったことが考えられる。

培養槽内の光環境は密度の増加に伴って著しく変化する。100%PPFDで光合成に有効な光環境が確保できる容積割合は、 $1.0\cdot 10^7\text{cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ で約70%、 $1.0\cdot 10^7\text{cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ で約40%まで減少する。<sup>16)</sup>これは、攪拌によって*P.lutheri*の光合成を行える時間が減少し、暗部に存在する時間が増加することを示している。暗部の増大は培養槽のパルス効果<sup>41)</sup>が低下し、培養槽自体の生産性を低下させる。

本研究ではPPFDの変化により最高密度は変化した、増殖期の培養速度は変化しなかった。酒井ら<sup>29)</sup>では、*Isochrysis*を用いた照度の試験から、0.5klxから15klxの間では、照度の増加に伴って増殖速度が増加する事を報告している。また、村瀬ら<sup>57)</sup>は*P.lutheri*の光合成最大速度が $200\sim 300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 付近に現れ、それ以上のPPFDでは徐々に低下することを報告した。10%PPFDでも約 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ となり、各PPFDでは最大光合成速度付近かそれを上回るPPFDであったため増殖速度に差が見られなかった。

人工光を用いたバッチ式培養法では高い生産コストが問題であり、消費電力の削減や培養期間の短縮は直接培養コストの削減につながる<sup>26)</sup>。運転時のエネルギーコストの大半を占めるのが光源であり、100%PPFDでは、培養期間を14日間とすると約665kWhとなり、約50円・L<sup>-1</sup> (業務電力：11円・kWh<sup>-1</sup>) の生産コストとなる。エネルギーコスト削減には、培養期間の短縮による生産性の向上と照射方法の効率化による電力の削減が考えられる。培養期間の短縮のためには増殖速度の増加が必要であり、照射方法の効率化には過剰なPPFDの削減が必要である。

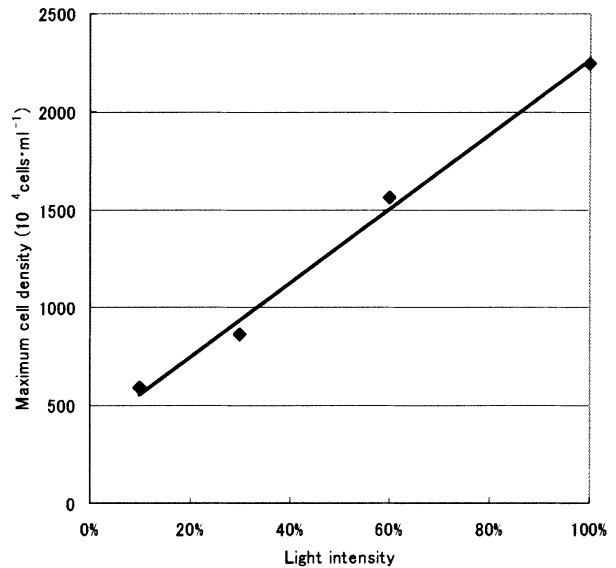


Fig.2-2 Relationship between maximum cell density of *P. lutheri* obtained and light intensity. Each was raised under 15°C and received aeration of 30-liter $\cdot\text{min}^{-1}$  in 200-liter chamber.

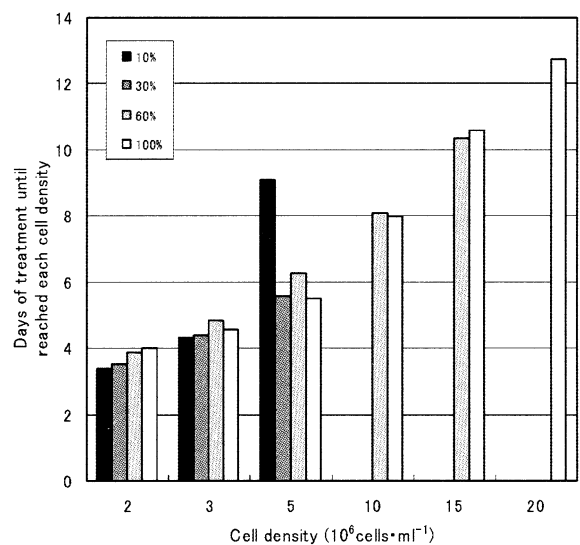


Fig.2-3 Relationship between the number days required to reached various cell densities and light intensity.

直線的な増殖期の増殖率が培養槽の生産性に関わることから<sup>41)</sup>、水温や光源の光質による増殖速度変化とパルス効果を考慮した効率的な光環境を検討する必要がある。また、培養期間中の培養水のpHが9.5を上回り、炭酸源が不足したと考えられることから<sup>58)</sup>、炭酸ガスの添加による生産性の向上を検討する必要がある。

## 第3章 無段階調光による効率化の検討

### 目的

本章では、藻体に過度となるPPFDを削減し、PPFDの最適化を図ることにより、低生産コストを目指した無段階調光による培養法について検討する。

## 方法

### 用いた培養記録について

供試藻類である *P. lutheri* を以下の条件で培養した。培養溶液は海水を次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素濃度 50ppm, 2 時間）で殺菌し、たから培養液（第一製網社製）を  $1\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$  で添加することで作成した。3 L 平底フラスコで予備培養した *P. lutheri* を初期接種密度  $5.0 \sim 6.0 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  の範囲で接種した。40  $\mu\text{m}$  の気孔径の散気管から培養槽内に  $30\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$  で通気し、水温は  $14 \sim 16^\circ\text{C}$  とした。

培養時のPPFDは一定とし、24時間連続点灯とした。PPFD条件は、全ての55Wコンパクト型蛍光灯を定格電圧で点灯した状態を100%PPFD、インバーター制御で60%に減光した状態を60%PPFD、半分の18本の蛍光灯を60%減光した状態を30%PPFD、等間隔の照明器具3台に各2本のランプをインバーター制御で60%に減光した状態を10%PPFDとした。各PPFDでの培養結果をFig.3-1に示す。

### 培養槽内の光環境と計算設定について

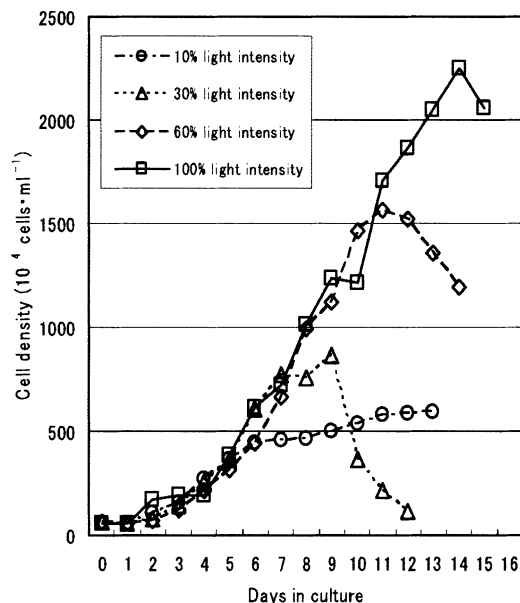


Fig.3-1 Effect of light on the growth of *P. lutheri* cultured in chamber with 10%, 30%, 60% and 100% light intensities at  $15^\circ\text{C}$  and aeration of  $30\text{-liter} \cdot \text{min}^{-1}$ . ○, 10% light intensity; △, 30% light intensity; ◇, 60% light intensity; □, 100% light intensity.

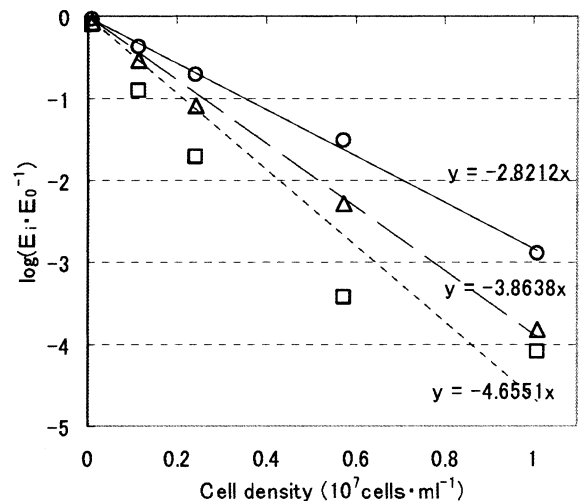


Fig.3-2 The effect of light intensity on *P. lutheri* at 3 different distances from chamber wall. The distances from light were ◇, 137mm; □, 187mm; △, 237mm. Vertical axis indicated relative reduction of light,  $E_0$  was intensity of light, and  $E_i$  was light intensity measured at different cell densities.

培養槽の体積計算を容易とするため、培養槽の形状を半径35cm、深さ30cmの円筒形とした。培養槽内の  $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以下の領域を暗部とし、  $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上の領域を明部とした。*P. lutheri* の吸光係数はFig.3-2に示した  $1.08 \times 10^5$ ,  $1.15 \times 10^6$ ,  $2.43 \times 10^6$ ,  $5.76 \times 10^6$ ,  $1.01 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  の密度での87, 187, 287mmでの透過強度から求めた。求めた吸光係数から各PPFDでの最高密度 ( $D_{\text{max}}$ ) と直線的な増殖期の終点となる密度 ( $D_i$ ) での培養槽の暗部の比率を求めた。ここで、暗部の比率は式 3-1.として表される。

$$R = (r-d)^2 \cdot r^{-2} \quad 3-1.$$

$r$  は培養槽半径(m),  $d$  は培養槽外壁から  $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  までの距離(m)を表す。

また、  $1.0 \times 10^7 \text{ cells}$  当たりの藻体に与えられた光量子数は式 3-2として、光源のPPFDは式 3-3.として表される。

$$L(\mu\text{mol} \cdot 10^7 \text{ cells}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) = (\text{Li} \cdot \text{M}) \cdot (1-R)^{-1} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{CD}^{-1} \quad 3-2.$$

$$\text{Li} = L \cdot (1-R) \cdot \text{V} \cdot \text{CD} \cdot \text{M}^{-1} \quad 3-3.$$

このときのLiはincident light intensity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), Mは照射面積 ( $\text{m}^2$ ), Rは暗部の比率, Vは培養槽容積 ( $\text{m}^3$ ), CDは細胞密度 ( $10^7 \text{ cells} \cdot \text{m}^{-3}$ )を表す。

各PPFDの  $D_i$  での暗部の比率から直線的増殖期を維持できる暗部の比率を仮定した。仮定した暗部領域から各PPFDでの直線的増殖期に必要な明部で受け取る光量子数を求め、この値から直線的増殖期を維持できる光量子数の値を直線内層して推定した。得られた光量子数から光

源のPPFDを算定した。

### 結果および考察

87, 187, 287mmの各位置での密度増加による各PPFDでの透過強度をFig.3-3に示した。各PPFDでの $D_{max}$ と $D_i$ は10%PPFDで $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{max10}$ ),  $4.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{i10}$ ), 30%PPFDで $8.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{max30}$ ),  $6.0 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{i30}$ ), 60%PPFDでは $1.500 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{max60}$ ),  $1.4 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{i60}$ ), 100%PPFDでは $2.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{max100}$ ),  $2.200 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  ( $D_{i100}$ )であった。各PPFDでの暗部の割合, incident light intensityと照射面積と細胞密度から求めた光量子と暗部の割合をFig.3-4aに示した。培養槽内では密度増加に伴い明部で受け取ったエネルギーが暗部で消費される。最高密度は明部で受け取るエネルギー量と暗部で消費されるエネルギー量が等しいと仮定すると, 求めた光量子は暗部で消費されるエネルギー量を示す。暗部が20%から25%に増加するに従い光量子量が2倍以上増加したが, 25%から50%では1.5倍程度の増加にとどまった。50%から60%では1.5倍の増加となった。暗部が25~50%の間では, 暗部の増加に関わらずそれに要するエネルギー量がそれほど増加しない。Fig.3-4bに示した $D_i$

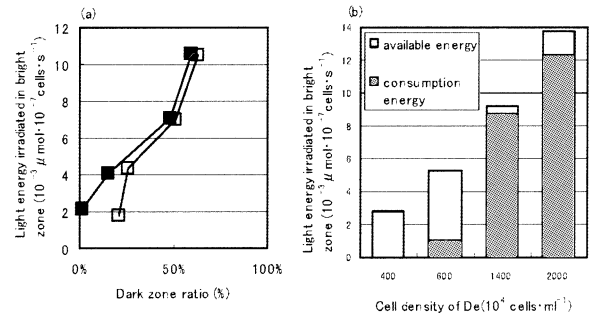


Fig.3-4 The relationship between dark zone ratio of chamber and light energy irradiated in bright zone per  $10^7$  cells (a), and between cell densities at the end of liner growth phase ( $D_e$ ) and light energy irradiated in bright zone per  $10^7$  cells. (a), gray symbol is maximum density in culture and open symbol is density at the end of liner growth phase. (b), gray scale is consumption energy, open scale is available energy to grow cells.

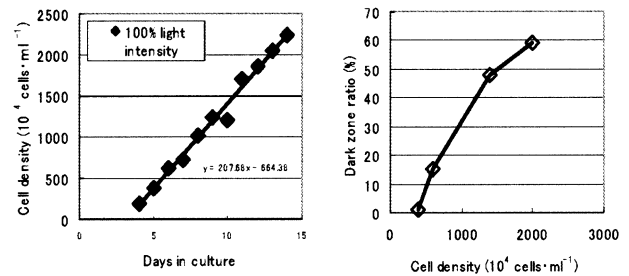


Fig.3-5 Relationship between time and cell density (a), and between cell density and dark zone ratio of chamber (b). (a), straight line fitted at cell density on 100% light intensity; (b), assuming dark zone ratio according to cell growth

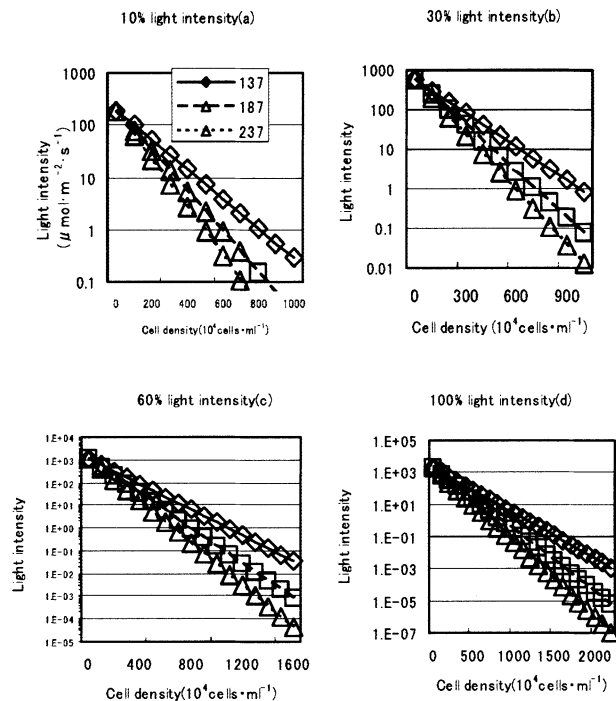


Fig.3-3 Relationship between cell density and light intensity at 3 distances from the wall. (a): 10% irradiation, (b): 30% irradiation, (c): 60% irradiation, (d): 100% irradiation.  $\diamond$ : 137mm distance,  $\square$ : 187mm distance,  $\triangle$ : 237mm distance.

での光エネルギーの暗部で消費を除いた余剰分では, 暗部のほとんど存在しない $D_{i10}$ ,  $D_{i30}$ で多く, 暗部が50%以上を占める $D_{i60}$ ,  $D_{i100}$ で小さな値となった。これは増殖期を維持するエネルギー (余剰分) は, 暗部が存在すると少なくなることを示しており, 与えられたエネルギーが効率よく増殖に向けられていることを示している。これは, 通気によって生じる攪拌による藻体の移動によるパルス効果の可能性があり, この暗部が30%から50%を占める領域での高効率はそのよと考えられる<sup>41)</sup>。細胞密度も25%では $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ , 50%では $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ と2.5倍となり, PPFDの増加 (2倍) を大きく上回ったことから推察できる。

培養に必要な培養光源のPPFDの最適値はFig.3-4aに示した各 $D_i$ の値を結んだ線で表される。光源のPPFDの推定に必要な条件, 暗部の比率と光源のPPFDを式 3-4. に, 各 $D_i$ から仮定した暗部の比率の変化 (Fig.3-5b) を式 3-5.に, 時間による密度増加 (Fig.3-5a) を式 3-6.とし, 培養光源のPPFDを算定した。

$$\begin{aligned}
 L &= 0.135 \cdot R + 2.013 \quad (\text{until } 15.1\%) & 3-4.1. \\
 L &= 0.0923 \cdot R + 2.659 \quad (\text{from } 15.1\% \text{ until } 48\%) & 3-4.2. \\
 L &= 0.307 \cdot R + 7.648 \quad (\text{from } 48\% \text{ until } 59.4\%) & 3-4.3. \\
 R &= 0.0695 \cdot CD - 26.6 & 3-5.1. \\
 & \quad (\text{from } 4.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ until } 6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}) \\
 R &= 0.041125 \cdot CD - 9.575 & 3-5.2. \\
 & \quad (\text{from } 6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ until } 1.4 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}) \\
 R &= 0.019 \cdot CD + 21.4 & 3-5.3. \\
 & \quad (\text{from } 1.6 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1} \text{ until } 2.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}) \\
 CD &= 29.04 \cdot T + 50 \quad (\text{less than 4 days}) & 3-6.1. \\
 CD &= 207.68 \cdot T - 664.38 \quad (\text{after 4 days}) & 3-6.2
 \end{aligned}$$

求めたPPFDの推移Fig.3-6に示す。これは培養初期には過大なPPFDは必要とせず、細胞密度が直線的増殖期となる5日目以降にPPFDが増加する。

Borowizka, M. A.<sup>59)</sup> は、培養規模によるスケールメリット、高密度化が図れないこと、培養不調によるコスト、人工光の利用によるコスト、培養にかかる人件費などが培養コストを引き上げる原因としている。また、完全人工光利用型のシステムでは太陽光利用型に比べて高い生産コストとなるため<sup>28)</sup>、生産コストの削減が問題となる。本培養システムでは培養不調によるコストと人工光の利用などによるエネルギーコストが培養コストを引き上げる主要因となる。光源にかかるコストの削減は光源からの熱量を低下させるため、室温の管理を含めた培養全体のエネルギーコストを低下させる。100%PPFDでの培養では、光源だけで1L当たり4.4kwhのエネルギーが必要となるが、100%PPFD一定条件に比べて、今回設定した初期のPPFDを10%としても光源エネルギーの60%が削減可能である。このことから、細胞密度に応じてPPFDを変化させることによって、エネルギーコストの大幅な削減が可能であろう。Ogbonnaらが検討したように、培養時の光源を連続点灯でなく、12時間点灯の半日周期を持たせた点灯制御<sup>43)</sup>によってさらにコスト削減が可能である。

また、PPFD、分光特性、水温、増殖状態などによって、細胞中の栄養素の質的・量的な変化が指摘されており<sup>16, 38, 60, 61)</sup>、高品質な餌料生産のためには細胞の収穫時期に合わせた制御を検討する必要がある。

#### 第4章 PPFDの最適化による培養

##### 目的

本章では、培養時の生産コストを削減する効率的な培養法の実証としてPPFDの最適化のため段調光を用いた培養について検討した。

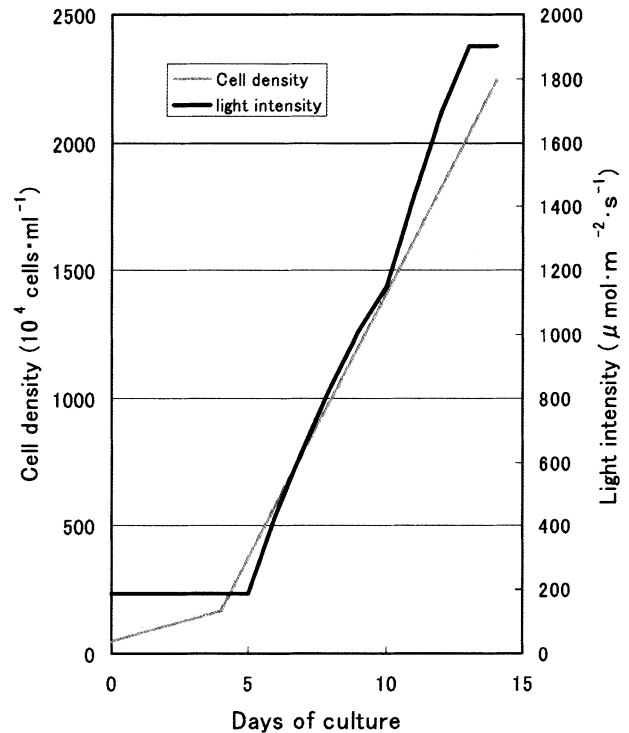


Fig.3-6 Effect of light intensity simulated from cell density. The gray line is cell density assumed growth curve 100% light intensity. The black line is light intensity of light.

##### 材料および方法

供試藻類として *P.luhteri* を用い、のり糸状体培養液である「たから培養液」(第一製網社製)を海水中に  $1\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$  の割合で添加して培養溶液とした。海水は、 $0.1\mu\text{m}$  のフィルターで濾過し、次亜塩素酸ナトリウムで殺菌 (50ppm, 2時間) し、チオ硫酸ナトリウムで中和して用いた。培養には、3L平底フラスコで予備培養した株を初期接種密度  $5.0 \sim 10.0 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  で接種した。<sup>9)</sup>  $0.1\mu\text{m}$  のフィルターで濾過した空気を、 $40\mu\text{m}$  の気孔径の散気管から培養槽内に  $30\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$  で通気した。培養試験中の培養槽の水温が  $14 \sim 16^\circ\text{C}$  に保たれるように、ウォーターバスで冷却した。

培養時のPPFDは、全ての蛍光ランプを定格電圧で点灯した状態を100%PPFDとし、インバーター制御で全ての蛍光ランプを60%に減光した状態を60%PPFDとした。半分の18本の蛍光ランプをインバーター制御で60%減光した状態を30%PPFDとした。等間隔の照明器具3台に各2本のランプを取り付け、定格電圧で点灯した状態を16.5%とし、インバーター制御で60%に減光した状態を10%PPFDとした。

段調光を用いた培養試験1回目は10%, 30%, 60%, 100%の4段階のPPFDを設定し、2回目の試験では10%, 16.7%, 30%, 60%, 100%の5段階に設定した。

細胞の増殖速度を求めるために、細胞の分裂回数を計算した。細胞分裂回数(D)は以下の式で示される。<sup>62)</sup>

$$D(\text{cycle per day}) = 3.322 \frac{\log(d_1 - d_0)}{(t_1 - t_0)} \quad 4-1.$$

ここで $d_1$ は $t_1$ 日での細胞密度、 $d_0$ は $t_0$ 日での細胞密度を表す。

PPFDの変更時の判断は、各PPFDでの増殖曲線の直線的増殖期の変化と増殖曲線の分裂回数の変化から判断した。

培養中はHP-25c(東亜電波社製)を用いてpHの測定を行った。細胞密度はトーマ血球計算盤(エルマ社製)を用いて毎日1回計数した。試験は、細胞密度の増加が見られないもしくは減少する、または細胞に異常が見られた場合に終了した。

## 結果

### PPFD変更時期

各PPFDでの増殖曲線をFig.4-1に示した。光源のPPFDの差は各増殖曲線の最高密度の相違となって現れた。また、各増殖曲線での直線的増殖期での増殖速度には、PPFDの差は見られず、各増殖曲線で同様に推移した。100%PPFDでの培養と同様な増殖曲線を得るためには、最高密度となる前にPPFDを切り替える必要がある。各PPFDでの直線的増殖期からの変化は10%PPFDで4日目、30%PPFDで7日目、60%PPFDでは10日目に生じた。

各PPFDでの分裂回数をFig.4-2に示した。培養開始1日目では各PPFDともに小さな値となっており、誘導期にあることを示している。2日目は10%PPFDで1に近い値となった他は、0.5を下回る値となった。3日目と4日目は同様な傾向となり、30%PPFDで最も高い値となり、次に60%PPFD区となった。6日目では30%PPFD区が0.7以上の値となり100%PPFD区が5日目に続いて高い値となっている。7日目には60%PPFD区が最も高い値となり30%PPFD区の値は減少した。8日目も60%PPFD区が最も高い値となり、100%PPFD区が続く形となった。9日目に100%PPFD区が60%PPFD区を上回り、以降10日目を除いて最も高い値となった。これらのことから、10%PPFDから30%PPFDへの切り替えは30%PPFDの細胞分裂回数が10%PPFD区を上回る3日目が、30%PPFDから60%PPFDへの切り替えは6日目が、60%から100%PPFDへの切り替えは9日目が妥当と思われた。

以上のことから、PPFDの切り替えは、10%から30%PPFDには3日目(細胞密度 $1.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ )、30%から60%PPFDには6日目(細胞密度 $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ )、60%から100%PPFDには9日目(細胞密度 $1.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ )

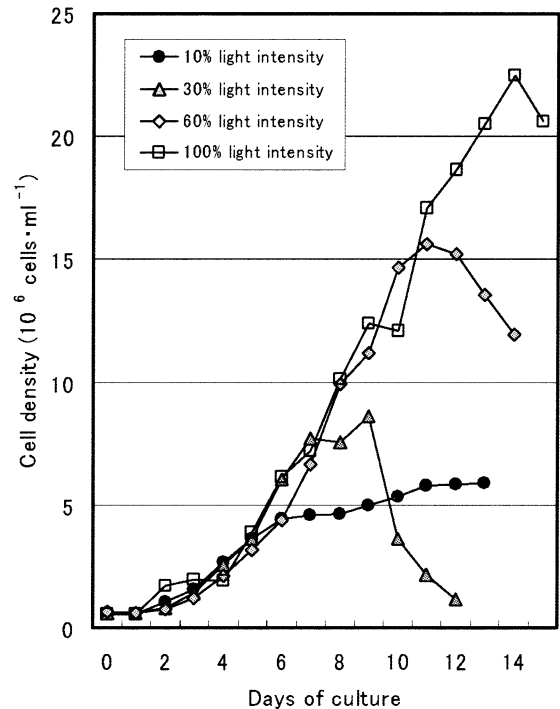


Fig.4-1 Effect of light on the growth curve on *P. lutheri* cultured on 10%, 30%, 60% and 100% light intensity at 15°C and aeration of 30-liter · min<sup>-1</sup>. ○: 10% light intensity, △: 30% light intensity, ◇: 60% light intensity, □: 100% light intensity.

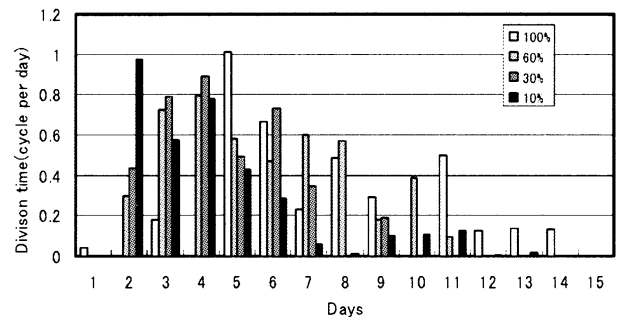


Fig.4-2 Daily change of division time calculated from growth curve of *P. lutheri* on 10%, 30%, 60% and 100% light intensity at 15°C and aeration ratio is 30-liter · s<sup>-1</sup>.

ml<sup>-1</sup>) が最適と思われた。

### 培養結果

段調光を用いた培養試験と100%PPFDでの水温、pH、細胞密度の推移をFig.4-3に示す。段調光に伴うPPFDの増加は、光源からの放射熱量を増加させ、細胞密度の増加により全ての熱量が培養水に吸収されるため、水温の上昇を引き起こした。しかし、冷却により試験期間を通して14から16°Cで水温を維持した。pHは培養開始時8.3から、PPFDの増加に伴い緩やかに上昇し、60%PPFDの

7日目に9.2と9.0を上回った。7日目以降試験終了まで常にpHは9.0を上回って推移し、10日目に9.6の最高値となった。

細胞密度では、10%PPFDで培養を開始し、1日間の誘導期の後に順調に増殖を開始した。 $1.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となった3日目に30%強度へと切り替えた。30%PPFDでも順調に増殖し、6日目にPPFDの切り替え目安である $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ にほぼ等しい $5.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となり、60%PPFDに切り替えた。60%PPFDでも細胞密度は順調に増加し、8日目に $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{a}^{-1}$ を上回り、9日目 $1.3 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{a}^{-1}$ となり、100%PPFDとした。10日目以後も、順調に細胞密度は増加し、13日目に $2.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回った。

2回目の培養試験では、これまでの4段階のPPFDに加えて、16.7%PPFDを加えた5段階のPPFDとした。培養水温は、1回目と同様に、PPFDの増大に伴う放射熱量の増加に対応した水温調節が遅れたためPPFDの変更時に水温上昇が生じたが、培養期間を通じて14℃から16℃であった。培養期間中のpHは10%、16.7%PPFDでは、8.2付近で安定していたが、PPFDの増加に伴い上昇し、6日目に8.5を、8日目には9.0を上回った。10日目に9.5の最高値となり、13日目には8.5まで低下した。

細胞密度も10%PPFDではこれまでと同様に誘導期の後に細胞密度が増加し始め、3日目、 $1.3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の細胞密度で16.7%PPFDとした。16.7%PPFDで5日目に $3.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の細胞密度に達した。5日目に30%PPFDに切り替え、7日目に $9.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となった。8日目 $9.7 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に、60%PPFDに切り替えた。60%PPFDの切り替えの目安である $6.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回った切り替え密度で切り替えたため、8日目の密度増加は鈍化した。細胞密度が増加した9日目に100%PPFDに切り替えた。PPFDの増加により、10日目に細胞密度は $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで増加したが、徐々に密度増加が鈍化し、12日目に $1.6 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達した後に急激に低下した。

100%PPFDでの培養と段調光の培養による電力消費量を計算した。培養期間は14日間とし、9日目以降は100%PPFDとした。100%PPFDでは光源にかかる電力消費量が670kWhとなり、段調光を用いた1回目の試験では40%程度少ない420kWhの電力使用量となり、調光段階を増加させた2回目の試験ではより少ない400kWhの電力使用量となった。

## 考察

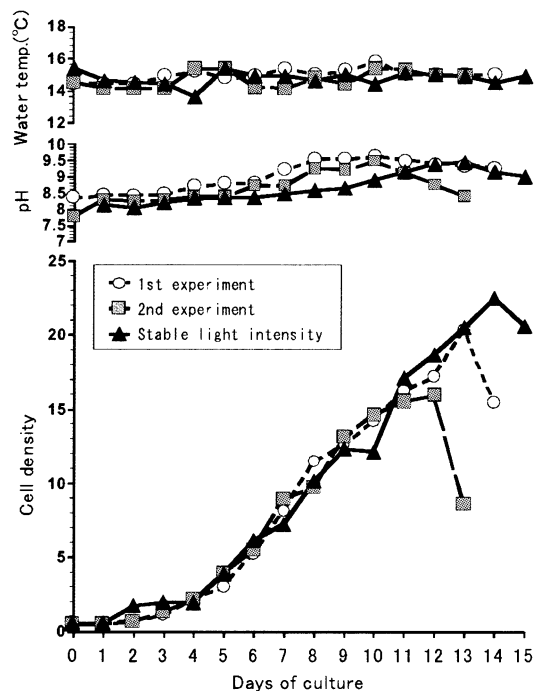


Fig.4-3 Effect of light intensity control method to cell density. The dark symbol is cell density at 100% light intensity. The open and gray symbols are cell density of step-style light control method.

培養コストに関与する要因の中で、本培養システムでは培養不調によるコストと人工光の利用などによるエネルギーコストが培養コストを引き上げる主要因となる。多くの培養施設で光源のPPFDを一定として用いており、実験室レベルではPPFDをオンデマンドに変化させる培養が近年行われているが、大量培養を目指した大型のシステムで細胞密度に対応したPPFDの制御した実証試験は行われていない。<sup>63)</sup> エネルギーコストは温度管理にかかるコストと光源に関わるコストが主なものであり、光源にかかるコストの削減は光源から発生する熱量を減少させるため、室温の管理を含めた培養全体のエネルギーコストを低下させる。段調光による培養法によって100%PPFDの培養と同様の増殖曲線が得られたことから、光源のエネルギーコストを大幅に削減することが可能である。100%PPFDでの培養では、光源だけで1L当たり約45円(事業電力11円・kWh<sup>-1</sup>)のエネルギーコストが必要となるが、段調光を用いることによって約27円までのコストダウンが可能である。よりきめ細かなPPFDの設定制御によって、さらなる電力の削減が可能であろう。

求めた分裂回数の推移では60%では10日目、100%PPFDでは11日まで0.4近い分裂回数を維持し、以後分裂回数が急激に低下した。このことは、60%、100%PPFDで細胞密度 $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上では生産効率が低下する事を示している。これはこの培養槽で効率的に餌料培



養が行える細胞密度が $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ までである事を示している。そのため、高い最高密度での培養より、 $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ までに密度を抑えた培養法が望ましいと考えられる。最高密度を抑えることにより、高いPPFDで照射する必要がなくなるためコストの削減に寄与すると思われる。

培養効率を増大させる要因として、通気による培養槽内の攪拌によって細胞が暗部と明部を移動することが考えられる。<sup>20, 63)</sup>より効率的な培養には、培養槽内の攪拌を検討する必要がある<sup>40)</sup>、効率的な細胞密度を増加させるためには、培養槽の形状も大きく関わると予想されることから十分に形状を検討する必要がある。

## 第5章 最適な光源の光色と培養水温の検討

### 目的

本章では異なる分光特性を持つ光源を用いることで、培養特性がどの様に変化するか、あわせて培養水温の変化により培養状態がどの様に変化するか検討し、それらの結果からより効率的な培養法について検討した。

### 材料及び方法

#### 培養光源（蛍光灯）の分光特性

培養光源として使用した55Wコンパクトタイプ蛍光灯4種（白色：FPL-55EX-N、青色：FPL55-EB、赤色：FPL55-ER、緑色：FPL55-EG、松下電器産業(株)製の分光分布をFig.5-1に、ランプ性能をTable 5-1に示す。白色光源として用いた3波長域発光形蛍光灯(EX-N、以後白色)は400～500nmの青色域（ピーク波長：450nm）、500～600nmの緑色域（ピーク波長：540nm）、600～700nmの赤色域（ピーク波長：610nm）の3つの波長域に光放射の波長を集中させた高効率高演色性のランプである。青色蛍光灯(EB、以後青色)では、450nmをピーク波長に400～500nmに主波長域を、赤色蛍光灯(以後赤色)では、

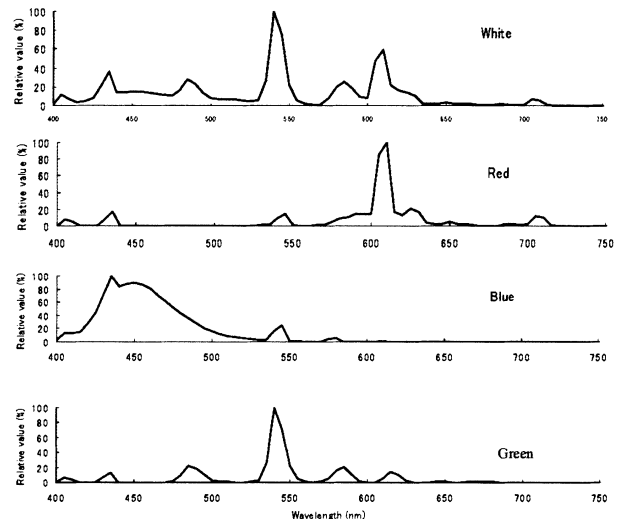


Fig.5-1 Spectral distribution on 4 kinds of fluorescent lamp, white, red, green and blue.

610nmピーク波長に600～700nmに主波長域を、また、緑色蛍光灯(EG、以後緑色)は540nmをピーク波長に500～600nmに主波長域を有している。赤色・青色・緑色の各蛍光灯の発光効率は、Table 5-1に示したように白色の90%程度しかなく、定格電圧で点灯した場合、200L大型培養槽内の平均PPFD分布が白色で $1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であったのに比べて、 $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ しか得られない。

#### フラスコ培養試験区および200L大型培養槽について

フラスコ培養試験区は、調温可能な室内に設置した。3L平底フラスコ1本が1試験区に収容可能であり、2本の55Wコンパクト型蛍光灯をフラスコ側面に設置した。他の試験区から光を遮断するため試験区をパーティションで仕切り、暗幕で覆い遮光した。

200L大型器は200Lアルテミア孵化槽を用いた培養槽、光源や培養水温調整用ヒートポンプなどの機械類、制御パネルで構成されている。培養槽に付帯したウォータバスで培養水温を制御し、培養槽周囲に配置した9台の照明器具に計36本の55Wコンパクト型蛍光灯を光源

Table 5-1 Electrical power at rated lamp voltage, photosynthetic photon flux, Photosynthetic photon flux density per illuminance, peak wave length at four lamps, which are white, red, green and blue.

Lamp color	Rated lamp wattage (W)	Photosynthetic photon flux ( $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic photon flux density per illuminance ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{lx}^{-1}$ )	Peak wave length (nm)
White	55	63.0 (100)	0.014	540
Red	55	60.8 (96.5)	0.019	610
Blue	55	57.2 (90.8)	0.044	450
Green	55	57.5 (91.3)	0.01	540

として取り付けた。海水を満たした培養槽内のPPFD分布は、定格電圧点灯時 $1900\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ でほぼ一様であった。<sup>69)</sup>

## 試験条件

供試藻類として*P.lutheri*（北海道立栽培漁業総合センター保存株）を用いた。

## フラスコ培養試験

4種類の蛍光灯の全組み合わせについて、3L平底フラスコで2回培養した。

培養時のPPFDは光量子計（LI-193+LI250, LiCor社製）で測定し、フラスコ側面で $300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。培養には、たから培養液（第一製網社製）を $1\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ の割合で海水に希釈した培養溶液を低温殺菌（ $75^\circ\text{C}$ , 30分）して用いた。フラスコ内へは滅菌したガラス管（内径4mm）を通して $0.1\mu\text{m}$ の中空糸フィルター（CNN-010, ADVANTEC社製）で濾過した空気を $3\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で通気した。培養時の水温は $20^\circ\text{C}$ として室温により調温した。1Lフラスコの継代培養株を無菌操作により初期接種密度 $5.0\sim 10.0\times 10^4\text{ cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ で接種した。

細胞密度計数のため、ガラス管を用いて毎日数mlを採取した培養溶液を、トーマ血球計算盤（エルマ）用いて計数した。培養期間は10日間を基本としたが、密度増加が認められる場合には延長した。

## 大量培養試験

フラスコ試験で培養期間の短縮が可能であった光源と比較のため白色光を用いて15, 18, 20, 22,  $25^\circ\text{C}$ の各水温で培養した。海水の滅菌効果を高めるため、 $0.01\mu\text{m}$ の中空糸フィルター（CNN-010, ADVANTEC社製）で濾過し、次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いて塩素殺菌（有効塩素濃度50ppm, 2時間）した。遊離塩素を中和した

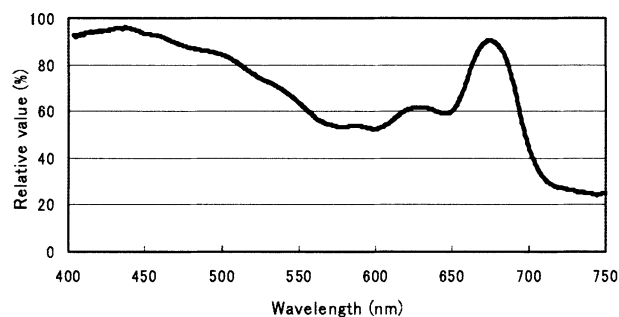


Fig.5-2 Absorption spectrum at microalga *P.lutheri*.

後に、たから培養液を $1\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ で添加して培養溶液とした。 $0.1\mu\text{m}$ フィルターで濾過した空気を、気孔径 $40\mu\text{m}$ の散気管から通気量 $30\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ で培養槽に通気した。3L平底

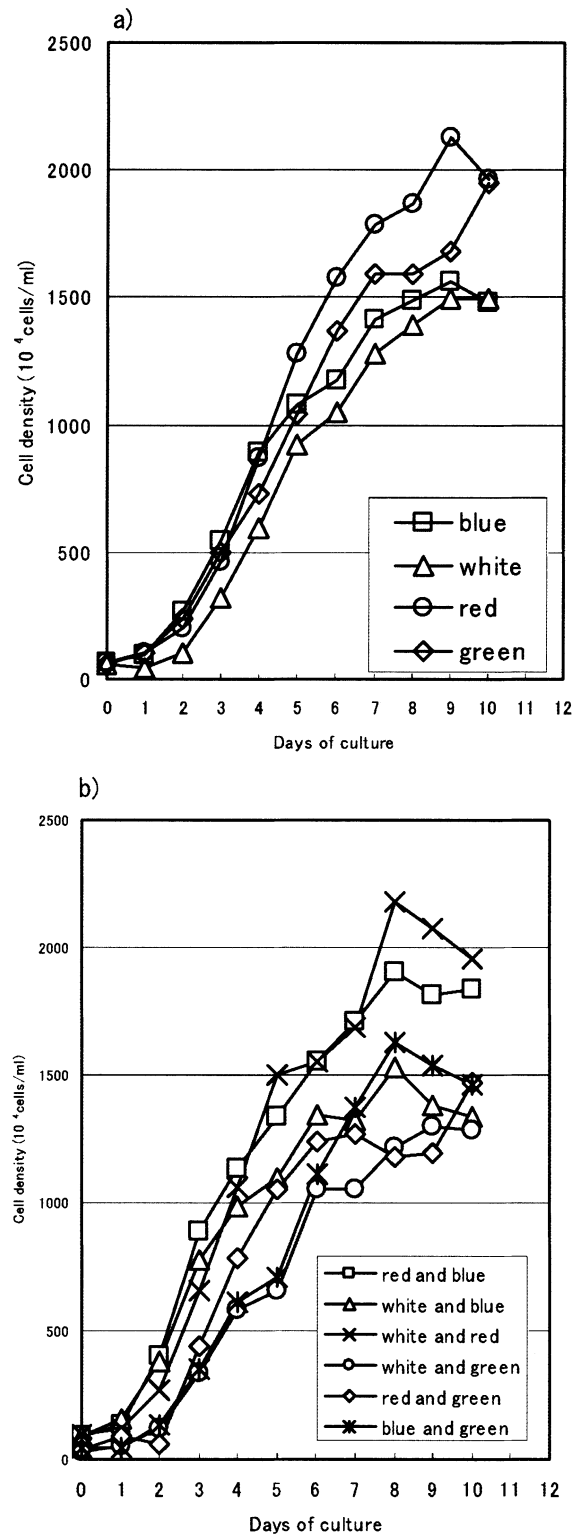


Fig.5-3 Effect of light combined 4 lamps on the growth curve on *P.lutheri* cultured in 3-liter flask at  $20^\circ\text{C}$  and aeration of  $3\text{ liter min}^{-1}$ , a) is cultured on light combined same lamp, b) is cultured on light combined different lamp.

フラスコで細胞密度 $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上の予備培養株を、 $5.0 \sim 10.0 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の初期接種密度で接種した。培養槽内の環境を把握するため、細胞密度と培養溶液のpHを1日1回測定した。細胞密度が数日間増加しない場合に培養を終了した。

## 結果

### *P. lutheri*の吸光分布

Fig.5-2に示した*P. lutheri*の吸光分布では、青色側の400から450nmと赤色側の600nmから670nmで吸光率が高く、緑色域の550nm付近と、700nm以上で吸光率が低下した。青色側の400から450nmはクロロフィルと補助色素であるキサントフィルにより、600～670nmの吸光のピークはクロロフィルによると思われる。緑色光500～600nmに吸光率の低下が見られるが、青色側から緑色側への吸収率の減少が緩やかであり、補助色素による適応の高さが予想された。吸光分布は藍藻や緑藻のそれとは異なり、珪藻<sup>70)</sup>に近い吸光分布であった。

### フラスコ培養試験

Fig.5-3aに各蛍光ランプ単色光での増殖曲線を示した。各光源の培養区での最高密度は、赤色光の培養区で9日目の $2.2 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、緑色光の培養区で10日目の $1.9 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、青色光の培養区で9日目の $1.6 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ であった。Table 5-2に各光源での1日毎の細胞増加量を示した。各培養区共に細胞密度が $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回ると増殖量が減少した。各区の中で最も高い増殖量 $4.0 \times 10^6 \text{ cells}$ を示したのは赤色光の培養区であり、培養開始から5日目 $1.3 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで高い増殖量となった。

4種の蛍光ランプを組み合わせた光源を用いた増殖曲線をFig.5-3bに各培養区での1日当たりの増殖量をTable 5-3に示す。増殖曲線は用いた組み合わせ光源の種類により異なる結果となり、赤色光と青色光を組み合わせた光源（赤色光・青色光）の培養区と白色光・赤色光の培養区が他の培養区よりも高密度に推移した。赤色光・青色光の培養区では、3日目に $4.8 \times 10^6 \text{ cells}$ まで増加し、 $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達した4日目以降に増殖量が減少した。緑色光を含む培養区では密度増加が鈍く、最高密度も $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 程度であった。

細胞密度 $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達するまでの日数をFig.5-4に示した。白色光・緑色光、青色光・緑色光の培養区を除いた7培養区で、白色光の5.6日間を短縮した。特に、赤色光・青色光の培養区は、白色光の約60%の3.5

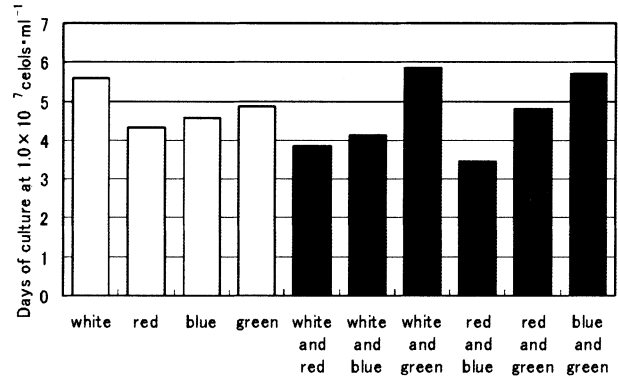


Fig.5-4 Relationship between growth ratio on *P. lutheri* cultured in 3-liter flask until  $10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  at  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and irradiation combined 4 lamps.

日、白色光・赤色光の培養区が3.8日であった。

### 大量培養試験

水温 $15^\circ\text{C}$ での白色光、赤色光・青色光、白色光・赤色光の培養区の増殖曲線とpHの変化をFig.5-5に示す。赤色光・青色光の培養区では、7日目 $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 、9日目 $1.7 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ を上回り、11日目に $1.9 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ となった。赤色光・青色光、白色光・赤色光の培養区では、最高密度では白色光の培養区におよばないが、 $0.5 \sim 1.8 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ までの細胞密度では、常に白色光の培養区より高密度で推移した。pHの変化では、白色光の培養区で10日目に9.0を上回ったが、白色光・赤色光の培養区では5日目に、赤色光・青色光の培養区では4日目に9.0を、7日目から11日目まで10.0を上回った。

赤色光・青色光の培養区と白色光の培養区で水温 $15^\circ\text{C}$ 、 $18^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$ 、 $23^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ とした各水温の増殖曲線とpHの変化をFig.5-6とFig.5-7に示した。白色光の培養区では $23^\circ\text{C}$ まで増殖曲線の傾きが増加するが、 $25^\circ\text{C}$ では逆に減少した。赤色光・青色光の培養区でも、 $23^\circ\text{C}$ で最も高密度に推移したが、 $25^\circ\text{C}$ では逆に低下した。両培養区ともに最高密度は $15^\circ\text{C}$ で最も高く、水温の高いほど増殖期を維持できずに最高密度が低下した。pHでは、両培養区ともに水温が高い培養区ほど、値の上昇が早まったが、 $25^\circ\text{C}$ では鈍った。

各水温での $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達するまでの培養日数をFig.5-8に示した。白色光の培養区では、 $15^\circ\text{C}$ で7.9日間、 $23^\circ\text{C}$ では5.3日間、 $25^\circ\text{C}$ では5.8日間となった。赤色光・青色光の培養区では、 $15^\circ\text{C}$ の6.8日間から $18^\circ\text{C}$ の5.0日間まで急激に短縮されるが、 $18^\circ\text{C}$ から $23^\circ\text{C}$ では培養日数が変化しなかった。

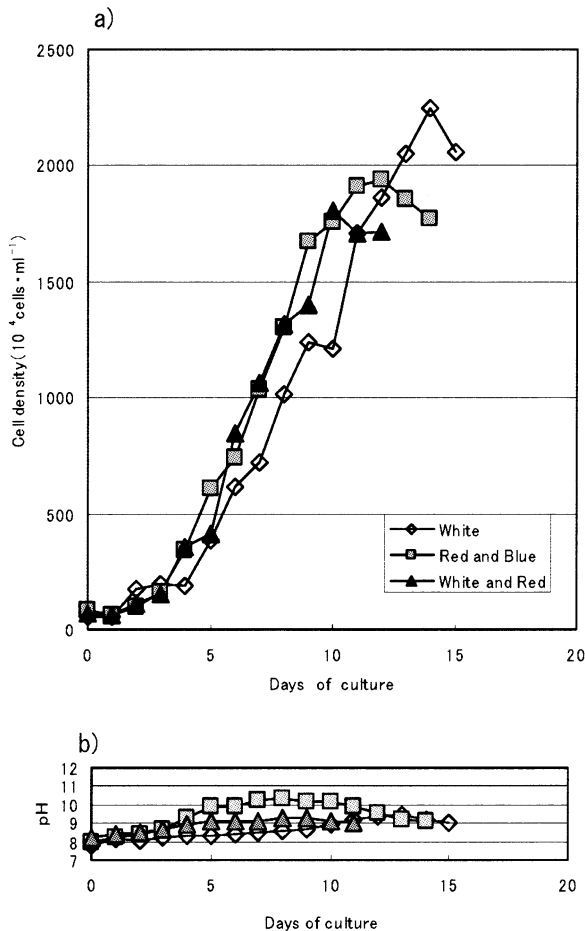


Fig.5-5 Effect of light combined lamps on growth curve and pH curve on *P. lutheri* cultured in 200-liter chamber at 15°C and aeration of 30-liter min<sup>-1</sup>, a is growth curve, b is pH curve.  
□; light combined red and blue lamp, ◇; white lamp, △; light combined white and red lamp.

## 考察

藻類は種や生息環境によって大きく光環境への適応が異なる<sup>64, 68)</sup>。緑藻種でも深所に生育する種と浅所に生育する種では含有する色素が異なり<sup>66, 67)</sup>、光合成曲線が異なることが知られている。これは吸収スペクトルの緑色域での低下<sup>70)</sup>で見ることができる。今回試験に用いた *P. lutheri* は Fig.5-2 で示したように 500~550nm での吸光値の低下が少なく、緑色光に対応した種<sup>65)</sup>と思われる。これは緑色光の培養区で白色光の培養区に近い細胞増殖が得られたことから考えられる。しかし、高い増殖速度が得られたのは、赤色光・青色光の培養区であった。

餌料培養の効率化には、高密度化もしくは培養時間の短縮による手法が考えられる。高密度化では培養時間が伸張して、培養規模が拡大するため培養効率が低下する。培養設備を縮小して効率を増大させるには、培養期間の短縮が必要である。

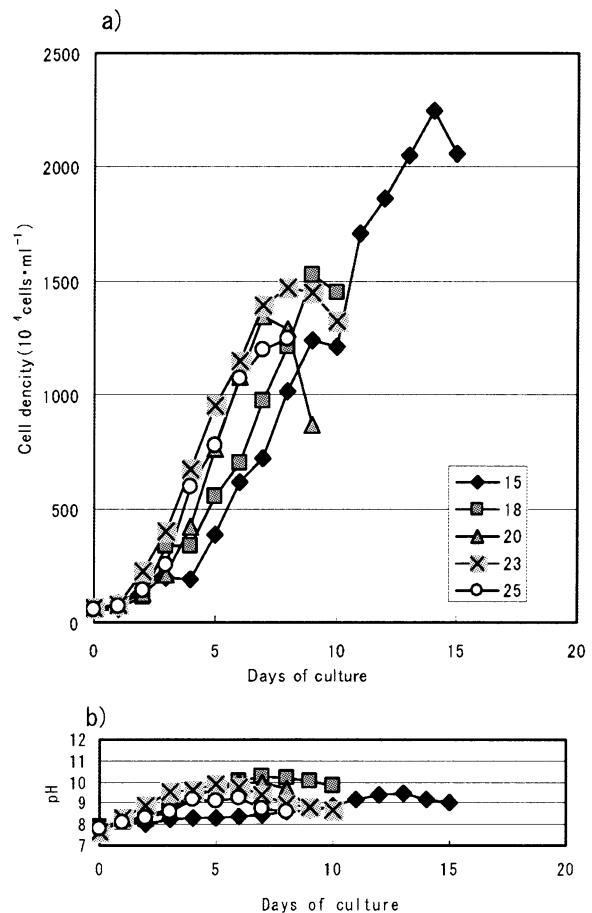


Fig.5-6 Effect of water temperature on growth curve and pH curve on *P. lutheri* cultured in 200-liter chamber irradiated by white lamp at aeration of 30-liter min<sup>-1</sup>, a is growth curve, b is pH curve.  
◇; 15°C, □; 18°C, △; 20°C, ■; 23°C, ○; 25°C.

今回の試験では、白色光から赤色光と青色光を組み合わせた光源に培養光源を変えることで増殖速度の増加が期待できる事を示している。

PPFDでは、白色光に比べて赤色と青色の蛍光ランプを組み合わせた光源が1割程度低い値と考えられるが、フラスコ培養で  $1.0 \times 10^7$  cells·ml<sup>-1</sup> に達するまでの培養日数が白色光を大きく下回る3.5日間となった。白色光では、PPFDの増減にも培養期間が短縮しないにもかかわらず、光源を赤色と青色の組み合わせ光源とすることで大型培養槽でも白色光よりも最大で約40% (18°C培養時) 培養期間を短縮した。この増殖速度の違いは、PPFDの差<sup>69)</sup>から生じたものではなく、混合光によるエマーソン効果<sup>72)</sup>が生じたと思われる。Fig.5-8から大型培養槽での18°Cの白色光の培養区では、増殖速度が15°Cに比べて1.3倍に増加し、培養期間を12%短縮する事を示している。一方、赤色光・青色光の培養区では、15°Cから18°Cの間で約30%培養期間を短縮した。このことは光源によって水温への感受性が異なる事を示している。赤色光・青色光の

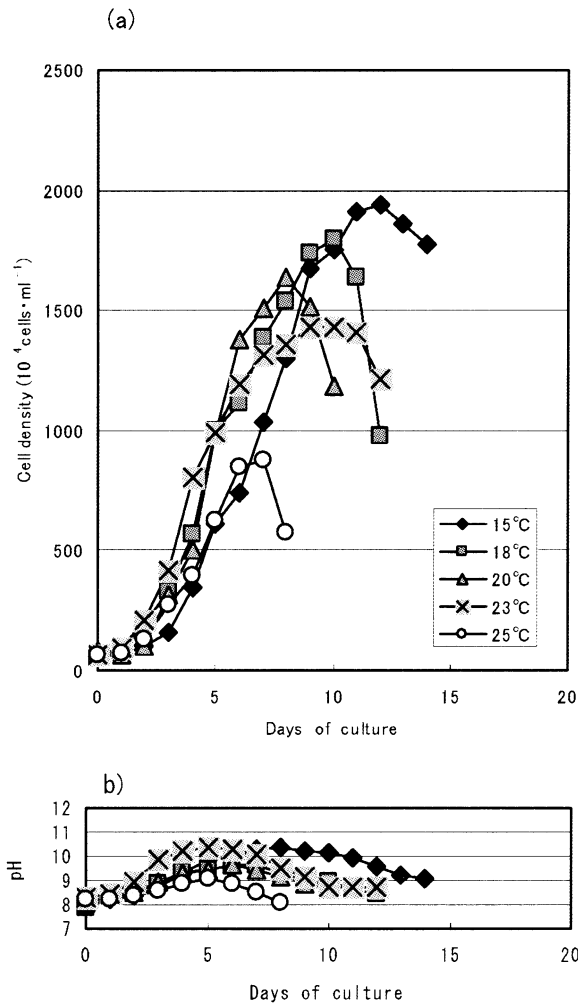


Fig.5-7 Effect of water temperature on growth curve and pH curve on *P. lutheri* cultured in 200-liter chamber irradiated by red and blue lamps at aeration of  $30\text{-liter min}^{-1}$ , a is growth curve, b is pH curve.  
◇; 15°C, □; 18°C, △; 20°C, ■; 23°C, ○; 25°C.

培養区では、18°Cから23°Cの間で培養日数を短縮できず、5日間の定常状態となった。培養期間の短縮を妨げる要因としては、培養液、攪拌による効果、 $\text{CO}_2$ の供給が考えられる。

大量培養試験で用いた培養溶液はフラスコ培養試験と同一であることから、5日間で定常状態となる要因とは考えがたい。一方、通気条件は両試験で大きく異なっており、容器形状も球形と円筒状で異なる。単位容積当たりの通気量もフラスコ培養の $1\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ から、大型器の $0.27\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ へと大きく減少した。

単位体積あたりの通気量の差は炭酸ガスなどの供給状態がフラスコ培養と大型器では異なる可能性を示していると共に、攪拌状態が異なっている事を示している。高いpHの状態では培養不調や増殖速度の低下が生じやすく、pH上昇を抑えるためにトリスなどのバッファを培

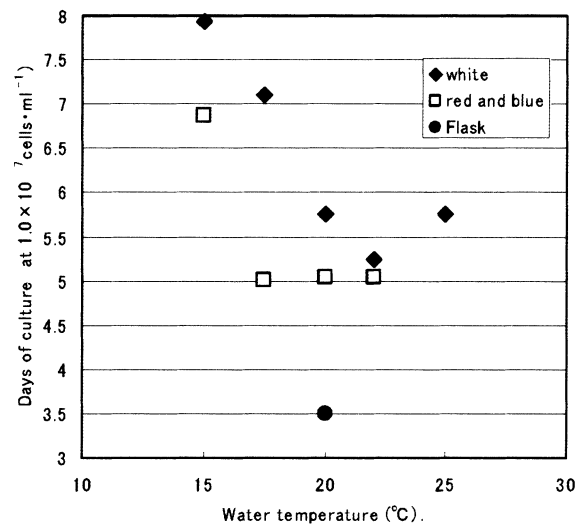


Fig.5-8 Relationship between number of days on *P. lutheri* cultured in 200-liter chamber until  $10^7 \text{ cells ml}^{-1}$  at full light intensity. ◆: white lamp, □: combined red and blue lamps.

養溶液に添加する。pHは炭酸塩の濃度と炭酸ガス分圧<sup>71)</sup>を反映しており、pHの上昇によって、海水中の炭酸ガスと重炭酸イオンが減少する。

赤色光・青色光の培養区では、培養開始から数日でpH9.0を超える値となることから、炭酸ガスの不足が増殖を妨げる主要因と考えられる。増殖速度の頭打ちを解消してより早い増殖速度得るためには、炭酸ガスの添加によってpH9.0以下に培養溶液を維持することが有効である。<sup>34)</sup>しかし、設備を増大させると共に、添加した炭酸ガスの再利用が困難な通気経路が開放系の培養では炭酸ガスの添加は非効率である<sup>17)</sup>。そのため、通気を閉鎖系にした炭酸ガスの添加<sup>44)</sup>が有効と考えられる。

これまでの培養条件である15°Cで白色光を用いた培養では10日間あたりに $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ の餌料を150L生産可能だが、今回の培養条件では20°Cで赤色と青色の組み合わせ光源を用いることで300L弱の生産が可能となる。15°Cで白色光を用いた培養での餌料生産では1Lあたりの光源にかかる消費電力が4.4kWhであり、エネルギーコストが49円（業務電力11円・kWh<sup>-1</sup>）であり、光合成有効光量子束密度を削減した段調光を用いることで24円・L<sup>-1</sup>までのコストダウンが可能となった。赤色と青色の組み合わせ光源と培養温度を20°Cとすることでさらに12円・L<sup>-1</sup>程度まで削減可能である。これは15°Cで白色光での培養コストの約35%程度であり、種苗生産コストの削減に大きく寄与すると思われる。

## 終章

現在は、海外を含め、餌料用に微細藻類の培養に関する研究が活発に行われており、培養に関する特許が取得されている<sup>73)</sup>。本研究に用いた培養システムでも、培養槽への光源の照射法として、培養槽外周部に光源を配置するサークル照明での特許を松下電工(株)とヤンマー(株)が取得した。

本研究の成果は以下のようにまとめられる。第1章では、培養水内の光の減衰は、海洋内での光の減衰と同様に、**Rambert-Bear**則によっており、培養槽内では、細胞密度 $1.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ では壁面から10cmで $1 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下にまで減衰する。最も高密度となった気孔径 $40 \mu \text{m}$ 、 $30 \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ を通気条件の適値とした。気孔径よりも通気量変化による細胞密度の変動が著しく、通気による攪拌効率が増殖に関与すると考えられた。

第2章では、PPFDの変化では、光源のPPFDの違いは増殖速度(曲線の傾き)に影響なく、直線的増殖期を維持できる期間が異なった。増殖期間中の最高密度とPPFDは正の相関関係を示し、PPFDを増加させる事により高密度での餌料生産が可能であることを示した。

第3章では、直線的増殖期の終点で受け取る光量子数と細胞密度の関係から、細胞密度とPPFDの関係を求め、PPFDの時系列関数を求めた。計算通りに光源のPPFDを無段階に調光することで、培養時の光源の消費電力を定格電圧点灯時の40%近くまで削減可能である。また $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上の細胞密度での培養は培養効率の低下が大きく効率的でない考えられた。

第4章では、実際の培養過程で消費電力の削減を検討した。段調光を用いることで全灯を定格電圧で点灯した場合の消費電力の45%を削減した。これにより、PPFDを時間と細胞密度によって制御する培養が可能であることを示した。

第5章では、赤色と青色を1:1の割合で組み合わせた光源(組み合わせ光源)は、大型培養槽でも白色光源の培養に比べ最大1.7倍の増殖速度を示し、20~23℃が適した培養水温と考えられた。9.5を上回る高いpHに起因した組み合わせ光源の増殖速度の停滞解消には、増殖速度の向上のためには、炭酸ガスの添加が望まれる。

これらの成果は、餌料培養槽の設計・性能向上のためのみならず、フラスコなどを用いた培養法にでも十分な効果が期待できる。

本研究成果の一部を取り込んだ餌料培養システムが、厚岸町立カキ種苗センターに納入された。この施設は日本最大の餌料生産能力を誇り、日産2t~3tの餌料を生産し、これにより殻長5mm 1,000万個体の人工種苗が生産

可能となった。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご指導並びにご教授をいただいたとき、本論文を審査いただきました大阪府立大学農学生命科学研究科 農学環境科学専攻 植物システム生産科学分野 村瀬治比古教授、藤浦建史教授、村上克介助教授(現 三重大学教授)ならびに同、応用生命化学専攻 生物機能化学分野、中野長久教授に深く感謝いたします。

大阪府立大学先端科学研究所生物資源開発センターにおける、同大学と北海道立栽培漁業総合センターとの共同研究において、研究の推進にご尽力下さいました宮武和孝センター長、乾 博助教授に深く感謝いたします。また、藻類の光合成について研究協力いただきました同センター大学院生松本隆仁氏、鎌田基司氏に深く感謝いたします。

本研究を始める機会を与えていただきました旧北海道立栽培漁業総合センター、元場長 西川信良博士(現 北海道東海大学教授)、同 西浜雄二博士(現、網走市水産センター場長)、共同研究に参加いただきました同 貝類部長、松山恵二博士(現、北海道東海大学教授)同 貝類第一科長中島幹二氏(現、北海道立稚内水産試験場主任研究員)に深く感謝いたします。また、同 貝類第一科長多田匡秀氏(現 網走水産試験場主任研究員)、研究職員酒井勇一氏(現 栽培水産試験場貝類科長)には、藻類に関して機知に富む教唆をいただき、深く感謝いたします。同 企画主査 高須賀茂之氏(現、北海道庁水産林務部)には、研究の調整等にご尽力いただき深く感謝いたします。

多端な業務の中、本論文のとりまとめの時間を与えていただきました、函館水産試験場室蘭支場の皆様に深く感謝いたします。

元 松下電工株式会社森田富彦氏、元 松下電工照明研究所 洞口公俊博士、ヤンマーディーゼル株式会社増田篤稔博士、同 高橋光男氏、松下電工株式会社 向阪信一氏には実験機器のご提供、共同研究者として数々の機知に富む教唆をいただき、光放射環境の測定解析を教授いただきました。ここに深く感謝いたします。

## 文献

- 1) 水産庁：平成11年度漁業動向に関する年次報告.No. 1, 社団法人日本栽培漁業協会, 東京, 水産庁. 1999. 168-172.
- 2) 図説漁業白書平成11年度. 東京. 農林統計協会, 2000, 8
- 3) 日本資源保護協会20年史. 東京. (社)日本栽培漁業協会. 1986.
- 4) 竹内宏之, 升間主計, 山崎英樹：日本栽培漁業協会事業年報平成9年度. 東京. 社団法人日本栽培漁業協会. 1999. 70-78
- 5) Dueer, E. O., Molnar, A. and Sato, V.: Cultured (1998) microalgae as aquaculture feeds. *J. Marine Biotech.* 6 (2), 168-172 (1998)
- 6) Su, H. M., Su, M. S. and Liao, I. C.: Collection and culture of live foods for aquaculture in Taiwan. *Hydrobiologia.* 358, 37-40 (1997)
- 7) 生田義明：微細藻を利用した陸上での二枚貝栽培. 東京. 養殖 1. (2001) 70-73
- 8) 高島葉二, 児玉正碩：二枚貝の餌料藻類と投与系列. 微小藻類の大量培養技術開発研究 (特定研究開発促進事業総括報告書 (茨城県)). 東京. 水産庁養殖研究所. 1-8 (1996)
- 9) 松岡祐輔：餌料生物大量培養技術研究 (総括), 京都府水産試験場業績. 29. 1-23 (1967)
- 10) 千原光男, 原 慶明：餌料藻類の分離と培養：昭和62年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コーステキスト集No.2. 社団法人日本栽培漁業協会. (1987)
- 11) Xi M., Kah W. C. and Yuan K. L.: Growth of *Chlorella* outdoors in a changing light environment, *J. Applied Phycol.*, 9, 425-430 (1997)
- 12) Yuan-Kun Lee: Commercial production of microalgae in Asia-Pacific rim, *J. Applied Phycol.*, 9, 403-411 (1997)
- 13) M. R. Kittc, C. Regunathan, A. Rodrigues: An industrial photosynthetic system for *Skeletonema costatum* in arid regions, *J. Applied Phycol.*, 11, 391-397 (1999)
- 14) 深田哲夫：クロレラの大量培養と水産への応用, 昭和62年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コーステキスト集No.1, 社団法人日本栽培漁業協会. 19-16 (1987)
- 15) 丸山 功, 重野生郎：クロレラ培養の最新技術と今後の展望, 養殖. 10. 48-51 (1998)
- 16) 岡内正典：植物餌料研究の現状と課題, 水産庁養殖研究所遺伝育種部・育種研究室. 2-24 (1999)
- 17) 岡内正典：テトラセルミスについて, 昭和62年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コーステキスト集No.1, 社団法人日本栽培漁業協会. (1987)
- 18) Kuntsen, G. and Skjanes, K.: Simple growth chambers for culturing microalgae with precision at different temperatures and irradiance, *J. Applied Phycol.*, 11, 487-491 (1999)
- 19) Eriksen, N. T., Poulsen, B. R. and Iversen, J. J. L.: Dual sparging laboratory scale photobioreactor for continuous production of microalgae: *J. Applied Phycol.*, 10, 377-382 (1998)
- 20) Torzillo, G., Carlozzi, P. B., Pushparaj, Montaini, E. and Materassi, R.: A two-plane tubular photobioreactor for outdoor culture of *Spirulina*, *Biotechnol. Bioengner.*, 42, 981-998 (1993)
- 21) Suh, I. S. and Lee, S. B.: Cultivation of a cyanobacterium in an internally radiating air-lift photobioreactor, *J. applied phycol.*, 13, 381-388 (2001)
- 22) Muller-Feuga, Guedes, R. L., Herve, A. and Durand, P.: comparison of artificial light photobioreactors and other production systems using *Porphyridium cruentum*: *J. Applied Phycol.*, 10, 83-90 (1998)
- 23) Grobbelaar, J. U., Nedbal, L., Ticky, L. and Setlik, I.: Variation in some photosynthetic characteristics of microalgae culture in outdoor thin - layer sloping reactors, *J. Applied Phycol.*, 7, 175-184 (1995)
- 24) Fernandez, F. G. A., Camacho, F. G., Perez, J. A. S., Sevilla, J. M. F. and Grima, E. M.: Modeling of Biomass productivity in tubular photobioreactors for micrialgal cultures: Effects of Dilution rate, tube diameter, and solar irradiance, *Biotechnol. Bioengner.*, 58, 605-616 (1998)
- 25) Cogor, Z., Herrenbauer, M., Schmit, K and Poten, C.: Light distribution in a novel photobioreactor-modelling for optimization, *J. Applied Phycol.*, 7, 175-184 (1995)
- 26) Poulsen, B. R. and Iversen, J. L.: Characterization of gas transfer and mixing in bubble column equipped with a Rubber menbrene diffuser, *Biotechnol. Bioengner.*, 58(6), 633-641 (1998)
- 27) 渡部良朋, 斎木 博：フォトバイオリアクターを用いた微細藻類の光合成生産, 日本農芸学会誌. 72(4), 523-527 (1998)

- 28) 大滝勝久, 下園栄昭, 涌井邦浩, 山廻邊昭文, 渋谷武久: *Pavlova lutheri*大量培養手法の検討, 微小藻類の大量培養技術開発研究報告書, 福島県水産種苗研究所, 1-20 (1993)
- 29) 大滝勝久, 高越哲男, 下園栄昭, 秋山雅浩, 山廻邊昭文: *Pavlova lutheri*の成育特性の検討, 微小藻類の大量培養技術開発研究報告書, 福島県水産種苗研究所, 1-11 (1992)
- 30) 酒井美恵, 鳥羽光晴, 深山義文: イソクリシス・タヒチ株の大量培養, 微小藻類の大量培養技術開発研究 (特定研究開発促進事業中間報告書(千葉県)), 水産庁養殖研究所, 1-48 (1994)
- 31) 岡内正典, 福所邦彦: プラシノ藻類テトラセルミス *Tetraselmis tetraele*の培養特性, 養殖研究所研究報告, 5, 10-26 (1984)
- 32) 高越哲男, 下園栄昭, 秋山雅浩, 山廻邊昭文, 渋谷武久, 根本昌宏: 微小藻類の大量培養技術開発研究, (特定研究開発促進事業総括報告書(福島県)), 水産庁養殖研究所, 10-26 (1996)
- 33) 林政 博, 瀬古慶子: アコヤガイの種苗生産について, 三重水産技研報, 39-68 (1986)
- 34) 吉松定昭, 小野知足: 鞭毛藻 *Pavlova lutheri*(Droop) Greenとその炭酸ガス通気培養試験, 栽培技研, 9 (2), 27-32 (1980)
- 35) 磯上孝太郎, 渋谷武久: *Pavlova lutheri*の連続培養手法の検討, 微小藻類大量培養技術開発報告書, 福島県水産種苗研究所, 11-24 (1994)
- 36) 瀬古慶子: *Pavlova lutheri*の培養における照度の影響について, 三重県栽培漁業センター事業報告書, 財団法人三重県水産振興事業団, 89-93 (1985)
- 37) 押野昭夫, 關 哲夫, 谷口和也: 二枚貝の餌料となる微小藻類ハンドブック, 水産庁東北海区水産研究所, (1995)
- 38) 押野昭夫, 細谷正弘, 關 哲夫: 餌料培養ハンドブック, 社団法人かき研究所 (1987)
- 39) 北海道立栽培漁業総合センター: 北方性餌料生物の探索と大量培養-I, 指定調査総合助成事業報告書, 北海道立栽培漁業総合センター, 152-157 (1975)
- 40) Ogbonna, J.C., Hirokazu Yada and Hideo Tanaka: Effect of Movement by Random Mixing Between the Surface and Bottom of Photobioreactors on Algal Productivity, *J. of Fermentation and Bioengineering*, 79(2), 152-157 (1995)
- 41) Ogbonna, J.C., Hirokazu Yada and Hideo Tanaka: Kinetic Study on light-limited Batch Cultivation of Photosynthetic Cells, *J. of Fermentation and Bioengineering*, 80(3), 259-264 (1995)
- 42) Ogbonna, J. C., Hirokazu Yada, Hideo Tanaka: Light Supply Coefficient: A New Engineering Parameter for Photobioreactor Design, *J. fermentation and Bioengineering*, 80(4), 369-376 (1995)
- 43) Ogbonna, J. C., Hideo Tanaka: Cyclic Autotrophic/Heterotrophic Cultivation of Photosynthetic Cells: A Method of Achieving Continuous Cell Growth under Light/Dark Cycles, *Bioresource Technol.*, 65, 65-72 (1998)
- 44) 相賀一郎, 村上克介, 清田 信, 松本隆仁, 山地亮一, 中野長久, 宮武和孝, 竹中重雄, 増田 渉, 神田 毅, 洞口公俊, 和佐清孝, 近藤次郎: 光合成藻類, ユーグレナの光ダイオードによる生育, CELSS学会誌, 9 (2), 7-12 (1997)
- 45) Lee, C. J., and Palsson, B. O.: High-density algal photobioreactors using Light Emitting Diodes, *Biotechnol. Bioengner.*, 44, 1161-1167 (1994)
- 46) 西島敏隆, 深見公雄: 深層海水による植物プランクトンの培養および深層細菌との混合培養による増殖の促進, *Bull.Mar. Fish. Kouchi Univ.*, 15 23-51 (1995)
- 47) Suminto and Hirayama, K.: Effects of Bacterial Coexistence on the Growth of a Marine Diatom *Chaetoceros gracilis*, *Fisheries Science*, 62(1), 40-43 (1996)
- 48) 今井一郎: 海洋植物プランクトンと細菌の関係, 月刊海洋号外21, 海洋出版, 169-177 (2000)
- 49) Chuecas, L. and Riley, J. P.: Component fatty acids of the total lipids of some marine phytoplankton, *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 49, 97-116 (1969)
- 50) Reitan, K. I., Rainuzzo, J. R., Oie, G. and Olsem, Y.: A review of the nutritional effects of algae in marine fish larve, *Aquaculture*, 143, 379-391 (1996)
- 51) 高島葉二, 児玉正碩, 柳田洋一, 川野辺 誠: 微小藻類5種の培養試験と二枚貝に対する餌料価値, 茨城水試研報, 31, 23-28 (1993)
- 52) 岸野元彰, 高橋正征: 光利用と光合成, 海洋植物プランクトン, 月刊海洋号外 No.10, 海洋出版, 40-49 (1996)
- 53) Suh, I. S. and Lee, S. B.: Cultivation of cyanobacterium in an internally radiating air lift photobioreactor, *J. Applied Phycol.*, 13, 381-388 (2001)
- 54) Grobbelaar, J. U., Nedbal, L. and Tichy, V.: Influence of high frequency light/dark fluctuations on photosynthetic characteristic of micro-algae photoacclimated to different light intensities and



- implications for mass algal cultivation, *J. applied phycol.*, 8, 335-343 (1996)
- 55) Nedbal, L., Tichy, V., Xiong, F. and Grobbelaar, J. U.: Microscopic green algae and cyanobacteria in high-frequency intermittent light, *J. applied phycol.*, 8, 325-333 (1996)
- 56) 洞口公俊, 奥村裕弥, 中島幹二, 松山恵二, 向阪信一, 増田篤稔, 高橋光男, 村上克介: 微小藻類の培養と光放射環境に関する実験研究, 平成10年度照明学会全国大会講演論文集, 271-272 (1998)
- 57) 村瀬治比古, 村上克介, 穂波信雄, 瀧川 博, 西浦芳史, 鎌田基司, 洞口公俊, 奥村裕弥: PPFDによるパプロバ光合成活性の変化, 農業機械学会関西支部報, 88, 77-78 (2000)
- 58) 北野 康: 溶液科学—炭酸物質の挙動を中心として, 海洋無機化学, 海洋学講座6, 東京大学出版会, 7-44 (1975)
- 59) Borowitzka, M. A.: Microalgae for aquaculture, Opportunities and constraints, *J. Applied Phycol.*, 9, 393-401 (1997)
- 60) Mortensen, S. H., Borsheim, K. Y., Rainuzzo, J. R. and Knutsen, G.: Fatty acid and elemental composition of marine diatom *Chaetoceros Gracilis* Schutt. Effect of silicate deprivation, temperature, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 122, 173-185 (1988)
- 61) Zhu, Lee, Y. K. and Chao, T. M.: Effects of temperature and growth phase on lipid and biochemical composition of *Isochrysis galbana* TK1, *J. Applied Phycol.*, 9, 451-457 (1997)
- 62) Phytoplankton manual I, unesco (1978) 300-306
- 63) Eriksen, N. T., Geest, T. and Iversen, J. J. L.: Photobioreactor with on-line optimization of light intensity, *J. applied phycol.*, 8, 345-352 (1996)
- 64) 河地正伸: ハプト藻類, 海洋植物プランクトンII月刊海洋号外No.21, 海洋出版, 51-56 (2000)
- 65) 河地正信, 井上 勲: ハプト植物門, 藻類の多様性と系統, 裳華房 236-242 (1999)
- 66) 横浜康継: 生育深度を異にする紅藻の光合成特性, 藻類, 21(4), 119-124 (1973)
- 67) 横浜康継: 海産緑藻における緑色吸収色素, その生態的意義と系統的意義, 藻類, 29, 209-222 (1981)
- 68) 藤田善彦: 水界環境と藻類の生理, 藻類の生態, 内田老鶴圃, 17-36 (1986)
- 69) 洞口公俊, 奥村裕弥, 中島幹二, 松山恵二, 向阪信一, 増田篤稔, 高橋光男, 村上克介: 微小藻類の培養と光放射環境に関する実験研究, 平成10年照学会全国大会, 271-272 (1998)
- 70) 生物海洋学1 プランクトンの分布/化学組成, 東海大学出版会, 59-73 (1996)
- 71) 猿橋勝子: 炭酸ガスと炭酸物質, 海水の科学, 海洋科学基礎講座10, 東海大学出版会, 242-252 (1972)
- 72) 柴田和雄: 光と植物, 培風館, 7-17 (1982)
- 73) Borowitzka, M. A.: Patents, *J. applied phycol.*, 13, 523-526 (2001)

# 噴火湾における2006年秋の海底表面泥中の硫化物(AVS-S)の分布

宮園 章<sup>\*1</sup>, 奥村裕弥<sup>\*2</sup>

Horizontal distribution of acid vapor sulfur (AVS-S) in the bottom surface mud off Funka Bay, 2006.

Akira MIYAZONO<sup>\*1</sup> and Hiroya OKUMURA<sup>\*2</sup>

Horizontal distributions of acid vapor sulfur (AVS-S) in the bottom surface mud off Funka Bay were investigated in September, 2006. The high AVS-S concentrations ( $>0.2$  mg-S/g-dry mud) were observed in 70-90 m depth area in the inner part of the bay, where the concentrations of organic matter were high (ignition loss  $>9\%$ ). Expansion of the mud had high AVS-S and high ignition loss observed in this study was smaller than in 1979 observation. These results are contradictory to the hypothesis proposed by Maeda *et al.* (2005) that the excess culture of scallops is making worse of mud condition in Funka Bay.

キーワード：硫化物，強熱減量，底質汚染，噴火湾

## はじめに

北海道噴火湾ではホタテ養殖業が盛んである。ホタテ養殖業は1970年代に始まり1990年には湾全体で年間生産量10万トンを超え、現在までその生産規模で推移している。また、アカガレイなどの漁業も盛んであるが、1995-1997年に湾の最深部で形成された貧酸素水塊がベントス群集構造に打撃を及ぼし魚類の成長停滞を招いている<sup>1)</sup>。高橋らはアカガレイの漁獲量の低下の要因としてアカガレイの生息場所である湾最深部付近の底質悪化によるベントスのバイオマス減少であることを指摘している<sup>2-5)</sup>。噴火湾の最深部における底質悪化の要因としてホタテガイ養殖からの有機物付加（糞粒）が疑われている<sup>6-9)</sup>。これらの結果から、前田らはホタテガイの養殖規模拡大に伴う糞粒に由来する有機物沈降量の増加が噴火湾における中央部の底質汚濁の要因であると指摘している<sup>10)</sup>。ホタテガイ養殖からの有機物付加が噴火湾沖合域の底質汚染の要因であるならば1990年以降約16年間続いている年間10万トンを超えるホタテガイ生産は経年的な湾中央部の底質悪化を招いている可能性がある。しかし、噴火湾の中央部では底質汚濁指標である全硫化物量（AVS-S）の調査が1979年以来行われておらず、上記の論議の出発点として現状の把握が求められている。本研究では、噴

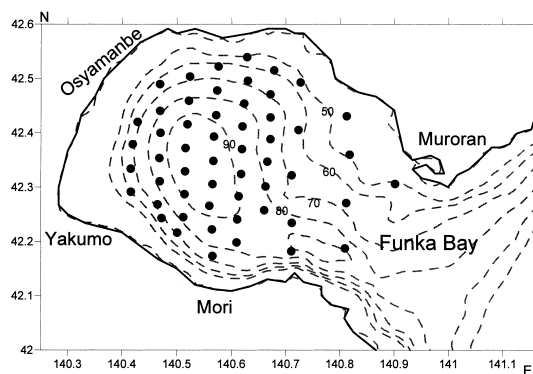


Fig.1 Sampling location

火湾の沖合域におけるAVS-Sの分布を調べ、過去に行われた調査結果と比較することで現状を把握したので報告する。

## 材料および方法

2006年9月に函館水試、研究調査船金星丸により噴火湾沖合域（水深45m以深）の計64地点で不攪乱採泥器による底泥採集を行った（Fig.1）。柱状泥サンプルのうち海底表面から2 cmまでを表面泥として分取した。AVS-S分析用サンプルは表面泥の一部を密封容器に採取し、分析まで冷凍保存した。AVS-Sの分析は検知管法（ガステ

報文番号 A417 (2008年2月20日受理)

\*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan)

\*2 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido, 042-0932, Japan)

ック社201H)により分析した。同時に、底泥の強熱減量(600℃・2時間強熱)を分析した。得られた結果を過去の調査データと比較した。AVS-Sについては1979年の調査<sup>11)</sup>、強熱減量については1979年の調査および1999年の調査(宮園, 未発表)の結果を用いた。

## 結果および考察

2006年のAVS-Sおよび強熱減量の水平分布: AVS-S濃度は0.01-1.07mg/g-乾泥の範囲にあり, 平均0.18mg/g-乾泥であった。0.2mg/g-乾泥以上の高い濃度が検出されたエリアは湾奥側の水深70-90mで, 馬蹄型を呈した(Fig.2上)。強熱減量は4.5-11.3%の範囲にあり, 平均9.4%であった(Fig.3上)。強熱減量の値が高いエリアはAVS-Sの高いエリアと重複しており, 有機物に富んだ場所でAVS-S濃度が高いことが伺えた。しかし, AVS-Sが0.3mg/g-乾泥以上を示したパッチ状のエリアは必ずしも強熱減量が周囲より高い(11%以上)わけではなかった。硫化物形成には有機物の存在と共に酸素欠乏の環境が必要である。海底面付近の海水への酸素の供給には鉛直的なものと水平的なものがある。春から秋の成層発達期には鉛直的な酸素供給が滞るため, 海底直上では水平的な移流・混合が酸素供給のための条件となる。噴火湾では前年の夏から秋に流入した津軽暖流水が冬季噴火湾水を形成し, その一部が底層水として海底直上付近に滞留する<sup>12)</sup>。この水塊は高塩分・低水温・高密度のため保存性が高い性質をもつ。夏から秋に津軽暖流軽水が中・深層から湾内に侵入してくると底層水は湾奥を中心に分布するので, 底質におけるAVS-Sの秋の分布は底層水の滞留期間の長いエリア, すなわち貧酸素水塊が残留しやすいエリアを示している可能性がある。

過去データとの比較: 1979年および1999年の調査で得られた結果を2006年と比較したところ, AVS-S濃度は最大値および平均値ともに1979年に比べて2006年には低くなっていた(Fig.2)。上記のとおりAVS-S濃度は時間経過に伴い変化すると考えられるので, 7, 8月に調査された1979年と9月に調査された2006年の結果を単純に比較することはできない。他方, 強熱減量については1979>1999>2006の順に値が小さくなっていた(Fig.3)。強熱減量についても調査時期による値の違いはあり得るが, 1979年と1999年は7月の調査でありほぼ同時期のデータとして比較できる。両年の比較では底質中の有機物量が1979年に比べて1999年に減少している。2006年の結果は季節的な違いを考慮しても, 1999年に比べて有機物量は少なく, 近年になって経年的に噴火湾の海底有機物量が増加しているようにはみえない。

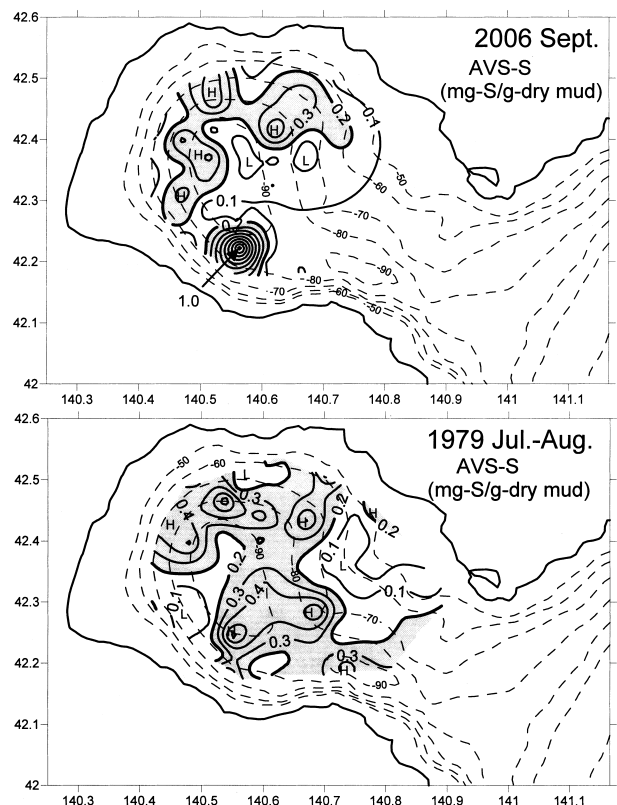


Fig. 2 AVS-S concentrations of bottom surface mud in September, 2006 (top) and in July-August, 1979 (bottom: the Fisheries Agency 1980) in Funka Bay. Hatch-ed areas indicate that AVS-S is higher than 0.2 mg-S/ g-dry mud. Dotted lines were depth contour.

噴火湾では基礎生産の多くが春季ブルーム時期に集中し, 春季ブルームで生産された有機物の約40%が海底に輸送され, そこで消費・分解を受ける<sup>13)</sup>。しかし, 春季ブルームの規模は年によって大きく異なる<sup>14)</sup>。2006年, 1999年および1979年の強熱減量の値の違いはこのような年度による春の生産規模の差を反映している可能性がある。

他方, ホタテガイ養殖の生産量は1970年以降, 飛躍的に増大している。1979年当時の年間3万トン程度だった水揚げ量は1995年以降10万トン前後となった。これまで, 沿岸部におけるホタテ養殖の生産拡大が噴火湾中央部の底質への有機物負荷を招き, それが貧酸素水塊形成を招いている可能性が指摘されてきた<sup>10)</sup>。工藤・芳村は噴火湾における0-30m水柱全体の年間基礎生産量36万tC/yearのうち, 17万tC/bloomは春季ブルームで生産され, その34%の5.7万tC/bloomが海底に堆積すると見積もった<sup>15)</sup>。噴火湾におけるホタテ養殖漁場は湾面積の約19%である<sup>16)</sup>。ホタテが養殖されていない場合の養殖漁場エリアにおける春季ブルーム由来の有機物沈降量は1.1万tC/bloomとなる。噴火湾の年間生産が12万トンの場合, ホタテガイ養

殖漁場から除去（水揚げ）される有機物量は0.6万tC/yearであり、0.4万tC/yearの糞粒がホタテガイ養殖漁場の海底に堆積する<sup>16)</sup>。糞粒の沈降量は春季ブルーム由来の湾全体の沈降有機物の7%程度、ホタテガイ養殖がない場合の養殖漁場における春季ブルーム由来の有機物沈降量の36%であり、有機物の海底への沈降への貢献度は春季ブルームに比べると規模が小さい。

底質における有機物の負荷および分解過程は周年を通じたメカニズムがあり、経年的な底質変化はこのメカニズムを理解した上で評価されるべきであろう。噴火湾では1年を通じて湾の海底に沈降する有機物がどのような

分解過程をたどっているかを評価した例はない。底質汚染の進行・改善どちらに向かっているのかを判断するためにはこの課題に取り組む必要がある。少なくとも、今回の結果は長年のホタテガイ養殖により噴火湾沖合域の底質汚濁が進行しているという前田らの仮説（2005）を支持するものではない。

## 謝 辞

調査にあたり、多大な協力を得た函館水試研究調査船金星丸船長および乗組員の皆様に感謝します。

## 文 献

- 1) Kimura M, T. Takahashi, T. Takatsu, T. Nakatani and T. Maeda: Effects of hypoxia on principal prey and growth of flathead flounder *Hippoglossoides dubius* in Funka Bay, *Japan Fish. Sci.* 70, 537-545 (2004)
- 2) 高橋豊美, 木村賢史, 田中禎孝, 鈴木幸広: 噴火湾におけるベントス分布に関する研究. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H13年度), 9-16 (2002)
- 3) 高橋豊美, 木村賢史, 泉浦裕基, 箕崎龍也, 佐藤昭智: 噴火湾におけるベントス分布に関する研究. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H14年度), 11-20 (2003)
- 4) 高橋豊美, 泉浦裕基: 噴火湾におけるベントス分布に関する研究. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H15年度), 11-20 (2004)
- 5) 高橋豊美, 大江昌範, 蘆田雄毅: ベントスの群集構造および鍵種の個体群構造に関する研究. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H16年度), 16-26 (2005)
- 6) 築田 満: 噴火湾底層水における酸欠原因に対する有機物蓄積過程の寄与. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H13年度), 3-8 (2002)
- 7) 築田 満: 噴火湾底層水における酸欠原因に対する有機物蓄積過程の寄与. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H14年度), 3-10 (2003)
- 8) 築田 満: 噴火湾底層水における酸欠原因に対する有機物蓄積過程の寄与. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H15年度), 4-11 (2004)
- 9) 築田 満: 噴火湾底層水における酸欠原因のモニター. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H16年度), 5-15 (2005)

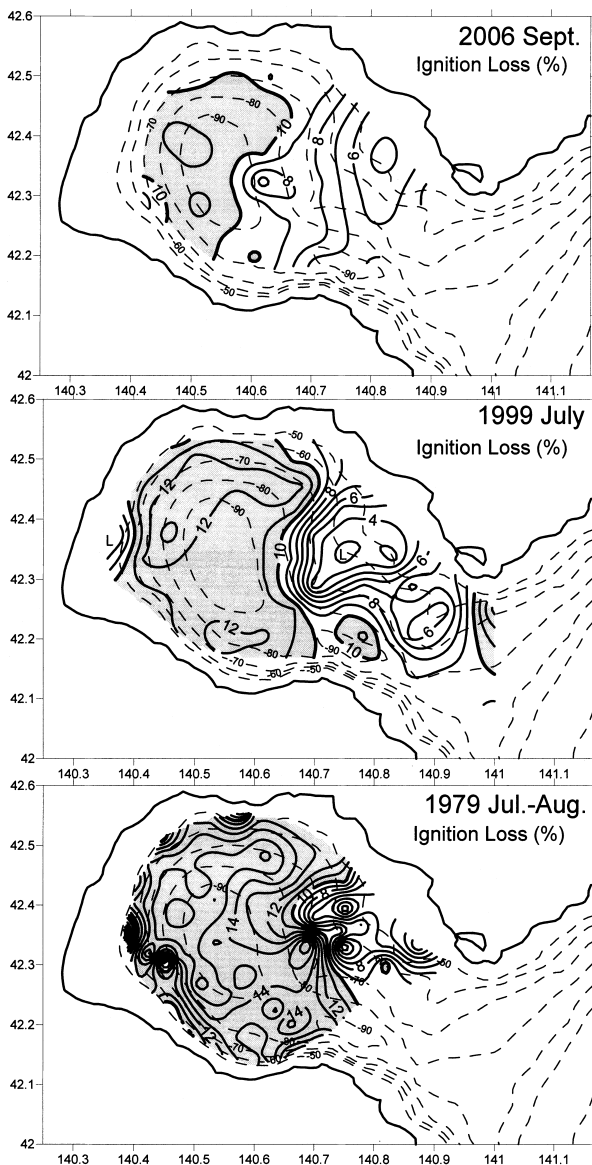


Fig.3 Distributions of ignition loss of bottom surface mud in September, 2006 (top), July, 1999 (middle: Miyazono, unpublished data) and July-August, 1979 (bottom: the Fisheries Agency 1980) in Funka Bay. Hatched areas indicate that ignition loss is higher than 10%. Dotted lines were depth contour.

- 10) 前田辰昭, 高橋豊美, 築田 満: 噴火湾における底棲漁業資源と海洋環境に関する研究. 財団法人北水協会学術研究・改良補助事業報告書 (H16年度), 1-4 (2005)
- 11) 水産庁: 昭和54年度 漁場改良復旧基礎調査報告書 内浦湾 (噴火湾). 東京, 水産庁, 97-99 (1980)
- 12) 大谷清隆, 秋葉芳雄, 伊藤悦郎, 小野田勝: 噴火湾の海況変動の研究Ⅳ. 津軽暖流水の流入・滞留期の海況. 北海道大学水産学部研究彙報. 22, 221-230 (1971)
- 13) 工藤 勲, 宮園 章, 嶋田 宏, 磯田 豊: 噴火湾における低次生産過程と貝毒プランクトンの中長期変動. 沿岸海洋研究. 43, 33-38 (2005)
- 14) 嶋田 宏, 西田芳則, 伊藤義三, 水島敏博: 噴火湾八雲沿岸における養殖ホタテガイの成長, 生残と漁場環境要因の関係. 北水試研報. 58, 49-62 (2000)
- 15) 工藤 勲, 芳村 毅: 噴火湾における春季ブルームの一次生産とその行方. 沿岸海洋研究. 38, 47-54 (2000)
- 16) 宮園 章: 噴火湾におけるホタテガイ養殖の現状と適正養殖量推定のための諸課題. 日本ベントス学会誌. 61, 45-52 (2006)

# 水槽内で観察されたコマイの産卵行動

陳 二郎<sup>\*1</sup>, 吉田英雄<sup>\*2</sup>, 桜井泰憲<sup>\*3</sup>

## Reproductive behavior of saffron cod in captivity

Are-Lang CHEN<sup>\*1</sup>, Hideo YOSHIDA<sup>\*2</sup> and Yasunori SAKURAI<sup>\*3</sup>

The reproductive behavior of saffron cod (*Eleginus gracilis*) was examined in captivity. The captive saffron cod spawned demersal and slightly adhesive eggs, which dispersed and settled on the tank bottom. Ripe males and females did not display the ventral mounting behavior, which displayed in other gadid fishes during spawning. The aggressive behavior such as pushing, prodding and dorsal mounting did not observe between males during the breeding period. The female released all of her ripe eggs in a single spawning. Spawning involved one female and one or more males in bottom of the tank. Just after release of eggs by a female, one or a few males followed the female and spread sperm on the eggs using tail beats. The eggs slowly sank to the bottom.

The spawning behavior of saffron cod was similar to that of Pacific cod, but differed from the single-pair spawning characterized by ventral mounting and multiple spawning over a several day period seen in walleye pollock and Atlantic gadid species.

キーワード：コマイ，産卵水温，産卵行動，産卵特性，集団産卵型，一括放卵

### はじめに

前報<sup>1)</sup>の生殖周期などの解析の結果，沿岸域でのコマイの産卵盛期は1月であり，産卵期間は海域によって多少異なるものの2～3週間と短く，短期間に集中して産卵すると推定された。産卵期には雌に比べて雄の比率が高くなるなど，索餌期にはみられない群特性が確認された。さらに，雌の産卵は1回と推定され，また産出卵は弱粘着性の沈性卵であり，本種が実際の産卵場においてどのような繁殖行動や繁殖特性を持っているのかを明らかにする必要がある。しかしながら，厳冬期の結氷した海域で産卵するコマイの繁殖行動を直接観察することは極めて困難である。

そこで，本報では冬季に産卵場に接岸してきた成熟親魚を採捕し，これらを飼育条件下に移して，その産卵行

動および繁殖特性を解明した。

### 材料と方法

繁殖行動の観察実験に用いた親魚は，1985年と1986年の11～12月上旬に根室沖合の底建網（水深約20m）から採捕した（Fig.1-A）。また，1986年と1987年の1月には，厚岸湖内の氷下待網によって採捕した（Fig.1-B）。

根室沖合採捕の個体は，揚網時の減圧の影響で鰓が過剰に膨らんだため，輸送前に腹腔内に注射針を通してガス抜き処置を行った。飼育魚の輸送には，約1 t容量の活魚輸送用水槽を用いて，酸素ガスで常時通気した。一方，厚岸湖内で採捕した個体は，約30 L容量の角型コンテナに1/3～1/2ほど水を張り，1箱あたり4～5尾を収容して輸送した。この場合の輸送距離は短かったため，酸素通気は行わなかった。蓄養および飼育観察実験は，

報文番号 A418 (2008年2月20日受理)

\*1 元，いぶり中央漁業協同組合漁業専門員（現住所，伊達市松ヶ枝町246-6生活訓練施設内）(246-6 Matugae, Date, Hokkaido 052-0012, Japan)

\*2 北海道立中央水産試験場（Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, 238 hamanaka, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan）

\*3 北海道大学大学院水産科学研究院（Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan）

釧路の北海道区水産研究所で行った。なお、採捕魚は実験前に雌雄を分けて、それぞれ3.8 t 容量の丸型FRP水槽(直径2 m, 高さ1.3m)に収容した。飼育水は流水式とし、毎分25~30 Lの流量を保つようにした。

1986年の実験では水槽を2基使用し、一方に雌雄それぞれ4~4尾(計8~10尾)ずつ収容した。また、雄同士の間隔を詳細に観察するため、もう一方の水槽をポリエチレン製のフェンスを用いて半分に分け、その片側のみにそれぞれ雌雄2尾(計4尾)ずつ収容した。1987年の実験では水槽は1基のみ使用し、雌雄3~7尾(計6~14尾)収容して実験に供した。親魚の大きさは、根室沖合で体長260~310mm, 厚岸湖内では300~350mmが主であった。

実験水層の概要をFig.2に示した。水槽の底面の排水口に塩化ビニル製のパイプを立ち上げ、水深を80~90cm(水槽の上縁から約30cm)に保った。これは外部刺激による魚の飛び出し防止と、水深をなるべく浅くして、観察条件を良くするためである。飼育水は汲み上げポンプからのかけ流し式とした。また、観察阻害となる汲み上げ海水に含まれる気泡や逆洗により発生する水面の乱れを防ぐため、流入口を2重管とした。昼間の光条件は自然光とし、直射日光および水面の乱反射を防ぐため、水槽を黒色ビニルシートでテント状に覆った。夜間は魚に刺激を与えず、かつ行動観察に支障のない程度の明るさを保つため、1 Wの豆電球を上から吊した。実験前に親魚の腹部を圧迫して完熟卵、あるいは精液が容易に流れ出ることを確認後、第一背鰭、第二背鰭の間に各種色彩の標識(釣り具の浮き玉)をつけて個体識別を行った。実験は、1986、1987年ともに1月中旬から下旬にかけて行った。実験期間中の飼育水温は、初めの5日間は0~0.5℃、それ以降は氷点下になり、最も低い時は-1.2℃であった。塩分濃度は31.9~32.2psuで推移し(1986年のみ測定)、実験期間中は大きな変化はなかった(Fig.3)。

撮影には、モータードライブ付一眼レフカメラ(ミノルタSR-44)および補助としてAEカメラ(ニコンスIV)を用い、水面反射を防ぐため偏光フィルターをつけ、水面の斜め上からストロボ撮影した。昼間にはビデオカメラ(ソニーTRINIKON)で3~5時間の行動の収録をしながら観察した。1986年の実験では、産卵基質の選択性(底に直接産卵するか、その他の基質を選ぶか)を判断するため、目合約1 cmの網地を裁断して浮きをつけ水槽中に設置した。実験終了時点において実験に供した個体の体長、体重、生殖腺重量を測定し、また目視によって、卵巣内の残留卵の有無を調べた。

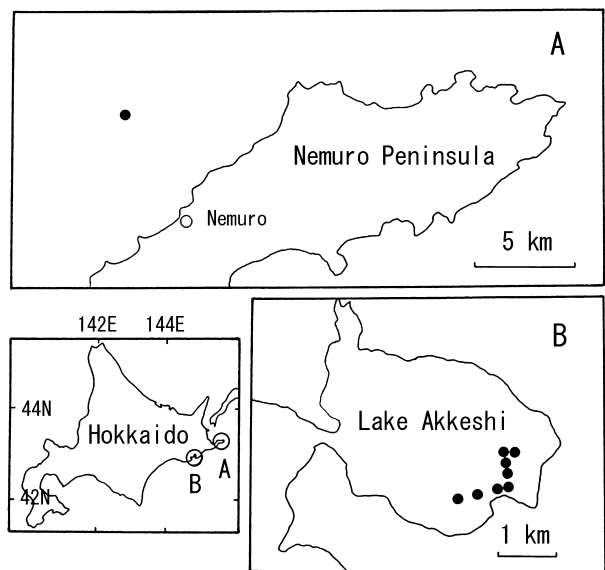


Fig.1 Locations of sampling stations (●) of Hokkaido.

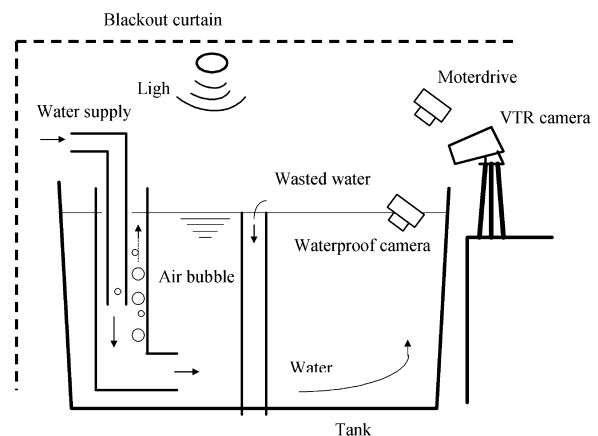


Fig.2 The 3.8 m³ capacity tank used for observation.

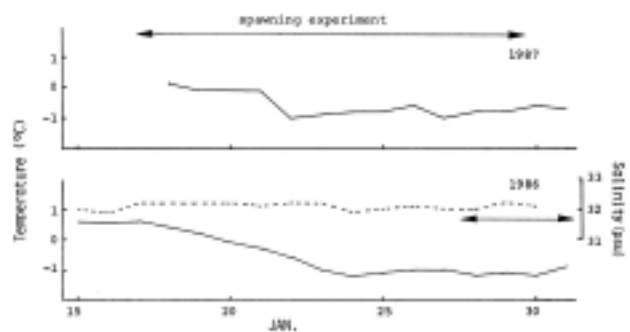


Fig.3 Daily changes of temperature and salinity of rearing water during spawning experiment. Salinity is not measured in 1987. Side line; Temperature, Dotted line; Salinity

## 結果

## 1. 産卵水温、時刻および照度

産卵時の水温は0.3～0.8℃での3例を除き、すべて氷点下であった (Table 1)。

産卵を確認できた18例のうち実際に行動を観察できたのは9例 (Table 1の(\*)印の付いていない時刻データがある8例と1986年1月29日19:10(\*\*)の1例)であった。6例は、放精により産卵後20～60分間は飼育水が白濁していることから産卵時刻を判定した。なお、残り3例については、産出卵の卵割が低水温の影響で非常に遅いために産卵時刻を特定できなかったが、おおむね21:00～6:30までの夜間、あるいは日出前後に産卵したものと推定した。次いで、産卵時刻については、昼間 (10:00～14:00) で4例であった。日没時 (16:00～17:00) で4例、夜間 (17:00～1:00) で7例、これに時刻未確認の3例を加えると、昼間以外の低照度における産卵が多い傾向がみられた (Fig.4)。なお18例のうち受精率

Table 1 Details of the saffron cod during the spawning experiment.

Spawning date and time	The number and size of males	Spawned females B.L.	Water Temp.
1986, Jan. 17, 11:00	309, 332, 313, 329	328 (2.8)	0.8
Jan. 18, 16:00-17:00(*)	345, 305, 303, 324	279 (2.7)	0.3
Jan. 18, 17:50-17:55	345, 305, 303, 324	279 (2.1)	0.3
Jan. 20, 19:00(*, **)	325, 308	289 (2.9)	-0.2
Jan. 21, 1:00(*, **)	334, 292	289 (2.3)	-0.3
Jan. 21, 16:30	345, 304, 305, 326	311 (2.5)	-0.2
Jan. 21, 18:56	345, 304, 305, 326	272 (1.9)	-0.2
Jan. 21, 19:13	345, 304, 305, 326	284 (2.9)	-0.2
Jan. 21, 20:23	345, 304, 305, 326	317 (3.1)	-0.2
Jan. 29, 16:00-17:00(*, **)	329, 321	286 (2.5)	-0.8
Jan. 29, 19:10(**)	329, 321	251 (4.7)	-0.8
1987, Jan. 28, 10:00(*)	300, 301, 317	336 (2.7)	-0.8
Jan. 28, 14:00(*)	300, 301, 317	367 (3.3)	-0.8
Jan. 29, Dawn	300, 301, 317, 294	361 (3.6)	-1.0
Jan. 29, 16:20	300, 301, 317, 294, 366, 369	252 (2.0)	-1.0
Jan. 30, Dawn	300, 301, 317, 294, 366, 369, 356	314 (2.4)	-0.6
Jan. 31, Dawn	300, 301, 317, 294, 366, 369, 356	307 (2.4)	-0.8
Jan. 31, 12:40	300, 301, 317, 294, 366, 369, 356	299 (2.4)	-0.7

\* indicates assumed time  
\*\* indicates half divided aquarium

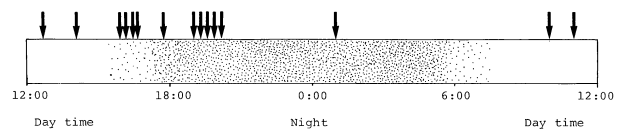


Fig.4 Spawning time of captive Saffron cod. Downward-pointings indicate spawning.

Table 2 Fertility of spawned saffron cod.

Spawned date and time	B.L. of females	Estimated eggs.		fertility
		unfertilized	fertilized	
1986, Jan. 17, 11:00	327	7	175	96.2
Jan. 18, 17:50	279	8	178	95.7
Jan. 21, 16:30 18:56 19:13 20:23	311	7	319(*)	97.9(*)
1987, Jan. 29, Dawn	361	0	292	100

\* indicates the mixed eggs by four females.

を調べたのは4例であったが、いずれも受精率は95～100%であった (Table 2)。

## 2. 産卵行動の特徴、および産卵前後の雌雄の行動関係

飼育下でのコマイは、通常は特定のペアやグループをつくらず、任意に水槽の中層、底層をゆっくり泳ぎ回っており、スケトウダラ<sup>2,3)</sup>、Atlantic cod<sup>4)</sup>でみられた産卵に先立つ雄同士pushing, prodding, dorsal mountingのような、明らかに順位形成を示す行動は全くみられなかった。また、完熟した雌雄間では体色に差がみられず、外見からの雌雄の判別は困難であった。

9例の目視観察のうち、ビデオによって産卵行動を記録できた1例について、その行動の詳細を以下の概略図 (Fig.5) に示した。なお収容個体数は雌雄それぞれ7尾であった。

まず、雄のうち1尾が底に腹面をほぼ接した状態で、体幹部から尾柄部を5～6秒間左右に断続的に震わせた (flaunting) (Fig.5-A)。このとき、その背後にいた1尾の雌は、次の瞬間ゆっくりと底を這うように直径50cmほどの円を描き始めた (Fig.5-B)。この円周運動は69秒間続き、最後の10秒間では円が小さくなり、しかも徐々に遊泳速度は速くなり、ついで数尾の雄が円周運動する雌の周辺に接近し始めた (Fig.5-C)。そして、雌は突然胸鰭を大きくひろげながら体幹部から尾柄部にかけて激しく波うたせ、円や8の字を描くように底に沿って遊泳しながら放卵を始めた。続いて、周辺の雄は尾柄部を激しく打ちながら (beating) 雌と共に卵を攪拌し始めた (Fig.5-D)。産卵行動は、水槽底面の1/3ほどの面積内で



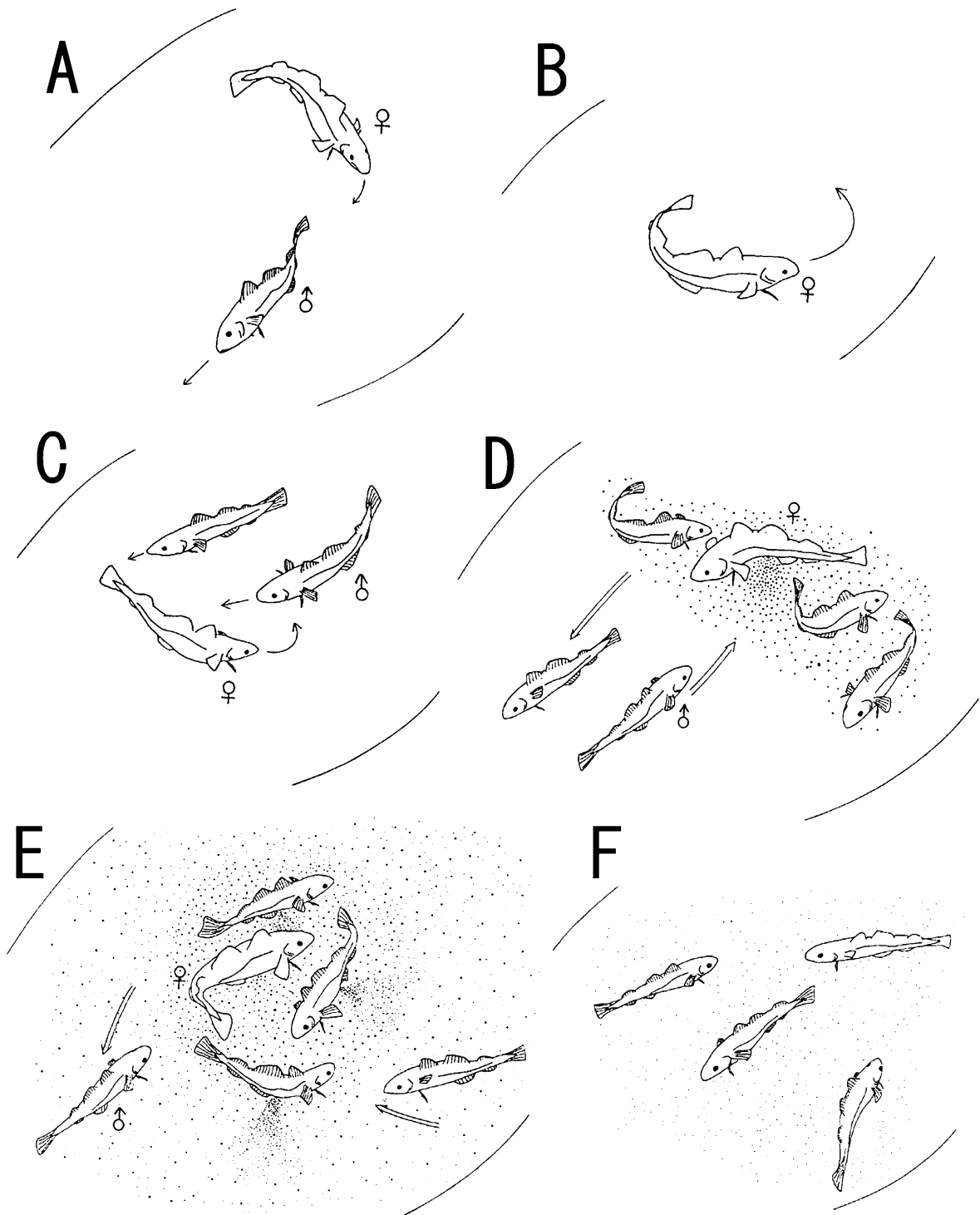


Fig.5 Spawning behavior of Saffron cod in captivity observed in January 1987.  
 A: One male flaunts his body to female for a few seconds(courtship signals).  
 B: The female begins to circle slowly.  
 C: Female continues to circle, several males approach.  
 D: Spawning run abruptly begins. Female releases eggs and both sexes broadcast the eggs with fins extended and body beating.  
 E: Males releases a large cloud of milt.  
 F: Males and female stand still for 5-10 minutes.

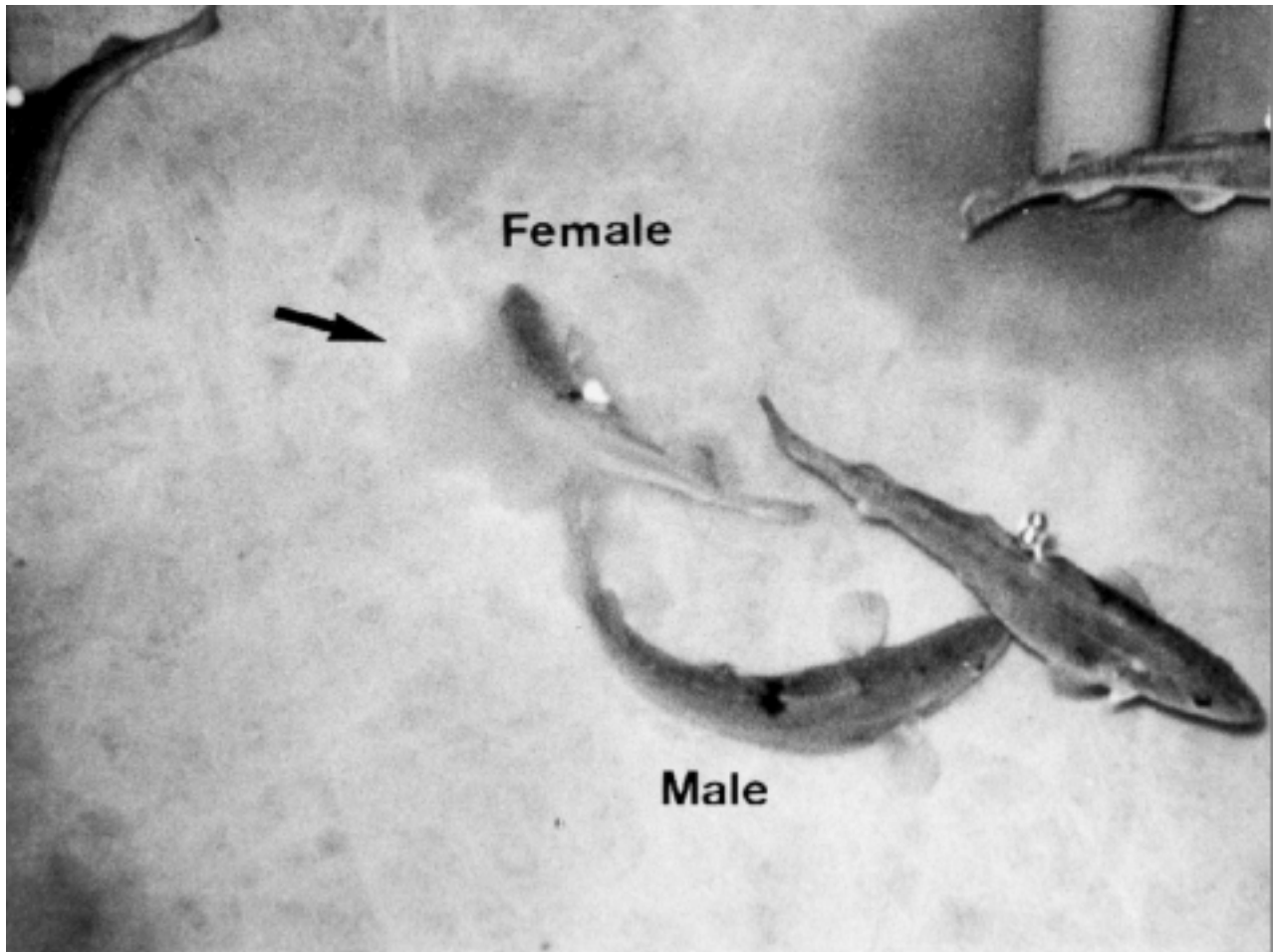


Fig.6 Photograph of egg release by Saffron cod. Arrow indicates released eggs.

行われた。放出卵はbeatingにより底面から中層に雲状に拡散するのが観察された。水槽内は拡散された卵のために次第に透明度が悪くなった。放卵の瞬間は、1986年1月18日の産卵例で明瞭にとらえることができた (Fig.6)。こうした複数雄と単数雌によるbeating行動は1分23秒続いた。雄による放精は、雌の放卵開始後40～50秒から始まった (Fig.5-E)。放精の結果、水は急速に白濁し、放精開始から40秒ほどで水槽内部はほとんど見えなくなった。産卵行動が終了した後、雌雄とも水槽の中層あるいは底層に4～10分ほど静止していた (Fig.5-F)。一方、産卵直後の産出卵は、循環水流と共に浮遊状態で水槽中を回っていたが、次第に沈降していった。また、全産卵例において、底に沈んだ産出卵の中には数粒から数10粒が互いに粘着して卵塊を形成しているものもあったが、水槽側面や基質として設置した網地には全く粘着していなかった。これらのことから、コマイ卵は少なくとも海藻などの基質に対する強力な粘着性はず、海底に産卵することが確認された。また、雌は全ての卵を1回で放出していた (Fig.6)。

このビデオ撮影により記録された産卵時間、すなわち雄の誇示行動から放精、beatingが終るまでの全過程は、2分38秒と短時間であった。産卵に参加したと思われる雄は7尾中6尾であったが、これらの雄間には産卵への参加をめぐる威嚇、攻撃行動あるいはそれに伴う順位関係の形成は全くみられなかった。従って、雌への接近や雌と同調したbeating、あるいはその場を離れての静止といった行動は、特定の雄に限定されることはなかった。しかし、産卵時に放精した個体は複数であったものの、放精個体の特定および放精尾数については、放卵・放精に伴う海水の白濁が著しかったため確認できなかった。

また、このビデオによる観察事例の中で、産卵前の2時間に8回、産卵後の3時間に7回の雄によるflaunting (2～20秒) が確認された。これらの誇示、求愛動作に対して、完熟雌は必ずしも関心を示すわけではなく、普通に遊泳しており、雌による円運動などの応答が起こることで初めて産卵につながることがうかがわれる。しかし、flaunting自体は放卵、放精時の行動と比べて極めて微弱であり、日没時や夜間の観察においてはビデオ撮影

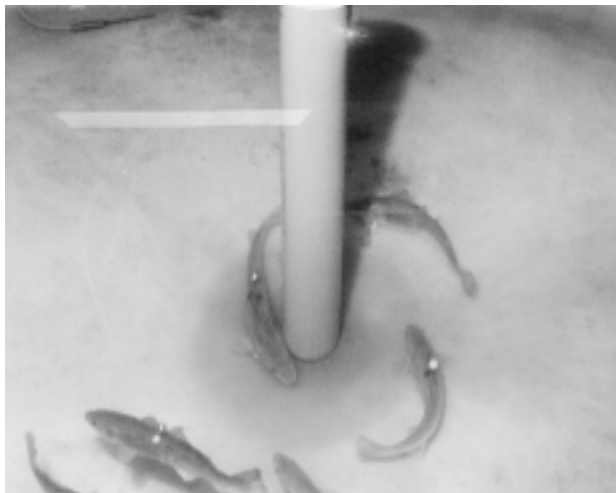


Fig.7 Males chasing each other completely like aggressive behavior.

が不可能なこともあり、いずれもはっきり確認はできなかった。この他、産卵後の行動の中で雄が未産の雌を追尾したり、雄同士で円運動や追尾行動をする現象が短い場合で1～2分 (Fig.7), 長い場合では20～30分間断続的にみられたが、これらの行動は日没、あるいは夜間に集中していた。なお、ビデオによる観察例以外の8例の産卵においても、放卵と雌雄のbeating開始から終了までの時間はすべて1～2分であること、いずれの雌も全ての卵を1回で放出してしまい、卵巣中には残留卵がほとんどないことなどから、本種は短時間のうちに1回で産卵を終了することが明らかとなった。また、放精は常に放卵よりも遅れて行われることでも共通していた。

### 3. 雄の放精回数について

雌の産卵は1回であったが、雄が産卵に複数回参加できるかどうかを検討した。本実験では、産卵時に放精した雄を特定することができなかったため、具体的な放精回数には言及できない。そこで、ある実験区区のある期間内に産卵した雌の個体数を、収容されている雄の放精回数 (産卵参加回数) の最大値と仮定し、実験終了時の雄のGSI値と比較した (Fig.8)。最も低いGSI値は、最大で8回放精と推定された3個体の数値であり、精巣は退縮していた。しかし、放精回数が6回以内と思われる雄では、GSI値は12～22と産卵期直前の個体の測定値にほぼ等しく、放精可能な状態であった。したがって、雌が1回で産卵を終えるのに対して雄は複数回産卵に参加することは確実であり、しかもその回数は少なくとも5～6回以上と推定された。

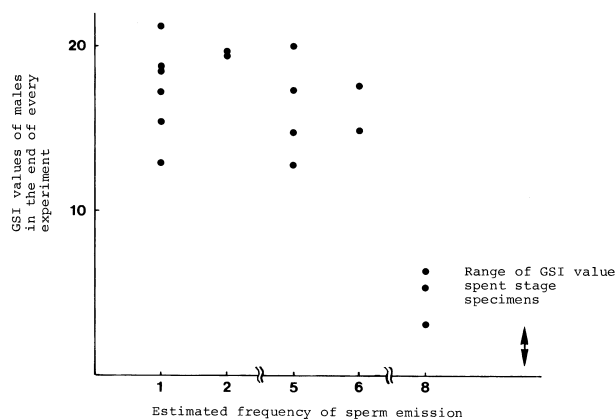


Fig.8 Relationship between GSI (gonad weight/body weight  $\times 100$ ) and frequency of sperm emission.

Table 3 Relative body length(mm) compared males with female in each spawning groups.

Example of spawning groups	Spawned female (BL mm)	Males participated in spawning (BL mm)	Differences between female and males in mm
A	251	329	-78
B	252	366	-114
C	279	345	-66
D	272	345	-73
		304	-32
		305	-33
		326	-54
E	311	345	-34
		304	7
		305	6
		326	-15
F	317	345	-28
		304	13
		305	12
		326	-9
G	328	309	19
		332	-4
		311	17
		329	-1
H	376	300	76
		301	75
		317	59
		294	82
		366	10
		356	20

#### 4. 雌雄の体長関係

今回の観察において、複数の雌が同一水槽内で同時あるいは連続的に産卵する例はなかったが、各産卵雌に対してbeatingを行った雄は、1尾のみかあるいは複数（3尾以上）の場合があった。これについて、雌雄の相対的な体長関係を検討した（Table 3）。これによると、beatingを行った雄が1尾のみの3例（A, BおよびC）の場合、その雄の体長は産卵雌よりも相対的に大きく（その差は60mm以上）、かつ雌の体長は250～280mmと小さい傾向がみられた。一方、複数の雄がbeatingを行った5例では、Dの2尾の雄が雌よりも50mm以上大きい場合を除いて、平均して雌よりも若干大きいかほぼ同等（E, F, G）、あるいは雌よりも小さい（H）のが特徴であり、しかも雌の体長は270～380mmと比較的大きい傾向がみられた。

#### 考察

飼育下でのコマイの繁殖行動を観察した結果、本種は氷点下あるいはそれに近い水温条件下で産卵し、しかも弱粘着性の沈性卵を1回の産卵で放出することが明らかとなった。さらに、雌1尾に対して大型雄は1尾、同サイズ以下の雄では複数が産卵に参加し、その放卵と放精に時間的なずれがあることなどが明らかとなった。そこで、コマイの繁殖特性についてこれまで他のタラ科魚類で報告されている知見と比較を行った（Table 5）。

この中で、スケトウダラ<sup>2)</sup>、Atlantic cod<sup>5)</sup> および haddock<sup>6, 7)</sup> のように、分離性浮遊卵を産出するタラ科魚類では次のような共通した行動特性がある。すなわち、産卵前の雄間には接近、威嚇と接触攻撃行動があり、有利な順位を占めた雄が雌に対して求愛、誇示行動を行う。また雌雄1対1による腹面マウンティングと呼ばれる交尾姿勢をとり、このマウンティングと同時に、そのまま遊

Table 4 Comparison of spawning in gadid fishes in captivity.

Species	Atlantic cod	Haddock	Walleye pollock	Pacific cod	Saffron cod
Water temp. (°C)	6~10	4~11	2~7.5	6.4~7.6	-1.0~0.8
Spawning time	night	night	night	night daytime	night, sunset daytime
Nature of eggs	pelagic separable	pelagic separable	pelagic separable	demersal adhesive	demersal adhesive
Existence of hierarchy	present (loose)	present (loose)	present (loose)	absent	absent
Pigments on body of male	darkened on dorsal	Pigment spots on lateral	brightened on dorsal	brightened on ventral	unobserved
Sound production	grunting sound (male)	hamming sound (male)	grunting sound (male)	silent	presumably silent
Spawning behavior	single-pair spawning by ventral mouiting	single-pair spawning by ventral mouiting	single-pair spawning by ventral mouiting	segmentated spawning by one female to one or a few males	segmentated spawning by one female to one or a few males
Duration of spawning	19 days	19-59 days	9-51 days (estimated)	within 1 minute	1~3 minutes
Number of batches	5-6	17 (10-25)	10 (4-13) (estimated)	1	1

Authors : cod: Brawn (1961), haddock: Hawkins et al., (1967), Hislop et al., (1978), walleye pollock: Sakurai (1982, 1983), Pacific cod: Sakurai and Hattori (1996), saffron cod: (this study)

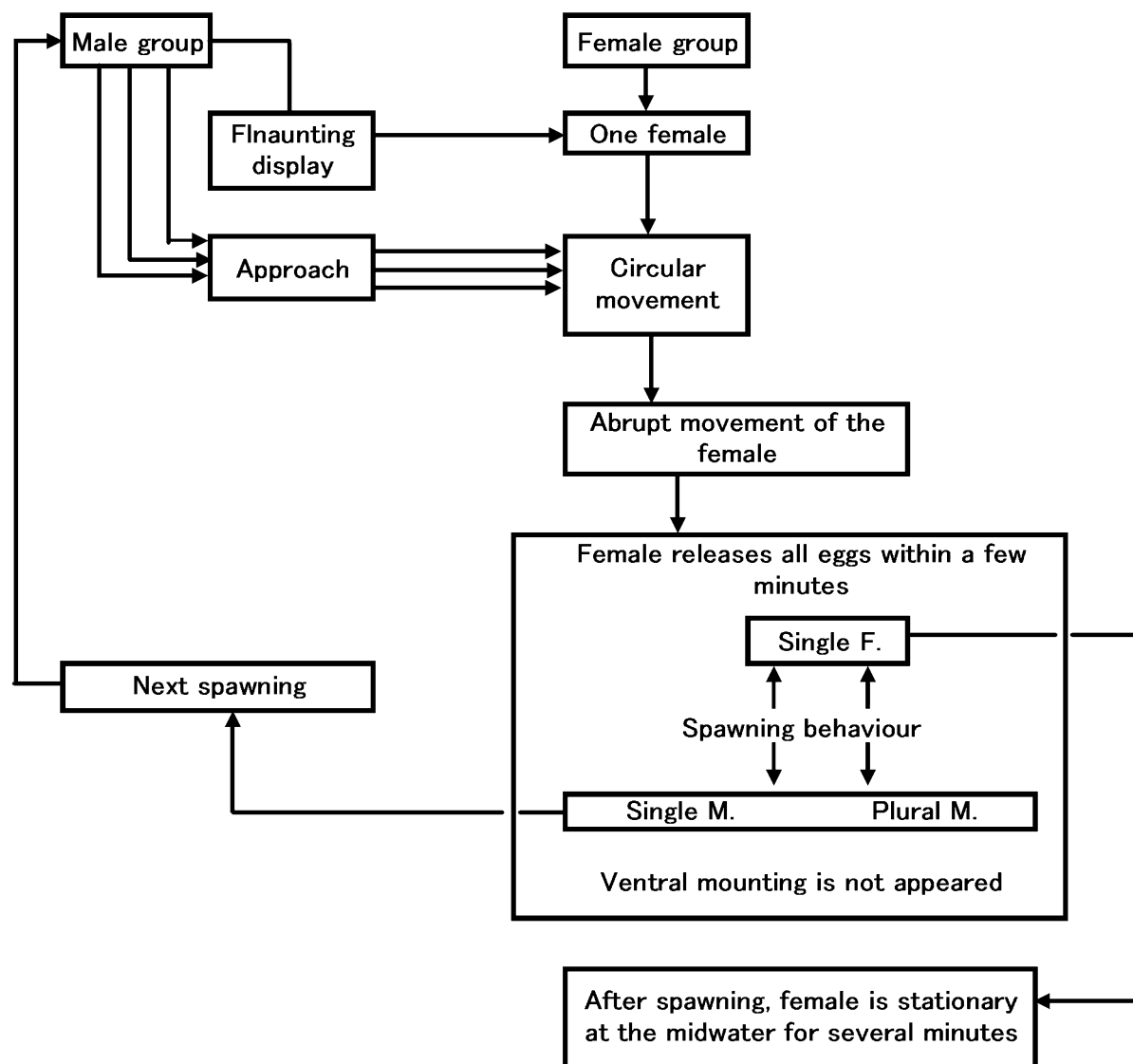


Fig.9 Summary of the spawning behaviors of saffron cod in captivity.

泳しながら放卵，放精を行っている（中層遊泳型）。しかも，同一産卵期間内に繰り返し産卵を行い，体色に雌雄差があることなどが報告されている。

一方，マダラ<sup>8)</sup>では，本種と同様に弱粘着性の沈性卵を産み，その産卵様式は，産卵前の雄同士の威嚇，攻撃による順位形成，鳴音等がみられないこと，雌雄1対1，または雌1尾と複数雄の産卵がみられること，卵巣卵は1回で放出されること，放精は複数回行われることなどが明らかにされている。

コマイでは体色に雌雄差がないこと，さらに雌雄とも底に沿って（底層遊泳型）ランダムにbeatingを行いながら卵を水槽中に拡散させ，しかも放精は放卵よりもやや遅れてなされる点でマダラとほぼ同様と思われる。この中で，産卵前後に時々みられた雄同士の円運動（Fig.7），追尾，未産雌に対する追尾行動は，水槽内での産卵によ

る性的機能の高揚から一時的に現れた威嚇，求愛行動と推測されるが，他のタラ科魚類ほど顕著ではなかった。Fig.9はその飼育下での一連の行動を概略的に示したものである。

また，行動面から注目されるのは，雄のflauntingに反応した雌が円運動からbeating，放卵開始にいたり，雄の行動が促される過程で，概して単数の雄，複数の雄が参加するような2型がみられたことである（Table 4）。すなわち単数の雄が参加した場合は，産卵雌の体長は相対的に小さく，かつその体長自体も平均より小さい傾向があり，一方，複数の雄が参加した場合は，産卵雌は雄とほぼ同等か，むしろ大きい傾向があった。このような行動の2型が発現する要因として，誘引行動（円運動）を行う雌がより大型であるほど，周囲の雄は視覚的にbeating，放精が誘発されやすくなり，その結果として複数の雄の

産卵への参加が起こることが考えられる。また、繁殖適応の面からみると、大型の雌、すなわち孕卵数の多い雌ほど、複数の雄の放精により受精効率をより高めうることが考えられる。しかし、この正確な検証にはさらに詳しい観察が必要となろう。

本種のような小型タラ科魚類として、同属のnavaga (*Eleginus navaga*) 及びアメリカ大西洋岸のtomcod (*Microgadus tomcod*) が知られている。後者の場合、飼育下において雄の求愛行動 (courtship behavior) が観察されているが<sup>9)</sup>、タラ科全体におけるこうした小型種の産卵生態の位置付けも今後の課題として求められるであろう。

同種内における2型の産卵形態は、沿岸性のいくつかの魚種で報告されている。例えばベラ科の *Thakassoma lunare* の中で、暗色型の雄のグループは、単数雌とともに産卵を行い、なわばりをもつ明色型の雄は1対1の産卵を行う<sup>10)</sup>。トウゴロウイワシ、*Menidia menidia* は潮間帯のcordgrass (*Spartina alteriflora*) の根元、デトリタス上、あるいはカニ類の巣の跡に産卵するが、基質がcordgrassの場合、一部でペアが組まれることが報告されている<sup>11)</sup>。コマイの場合、体色や形態に差がないこと、前報<sup>1)</sup>で指摘したように成魚の平均体長は雌が常に大きいこと、しかも性比は産卵期に限り雄に偏ることなどから、実際の産卵場においては基本的に単数雌に対する複数雄の追尾、放精による産卵行動が起こることが想定される。さらに、一群となった多数の繁殖個体の中で同所的、同時的にこれらの行動が連続して起こった場合、結果的には集団婚 (group marriage)<sup>12)</sup> の形態が形作られていくことも考えられる。これに関連して、Bogaevskii<sup>13)</sup> はカムチャッカのKorf湾において、コマイの群れが夜間の満潮時に湾の奥の結氷した海岸に接岸し、岸に沿って底層を遊泳しながら砂底上に放卵したのを観察している。この産卵行動の詳細は明かでないが、今回の実験結果と合わせると、自然環境下ではある群の中においては、1尾の雌のbeatingと放卵に続いて、連鎖反应的に他の雌の産卵が誘発されて行くものと想像され、前述したように本種の産卵様式は集団婚タイプの可能性が高いとみることができる。また、コマイの他に海産魚の産卵形態では、ハタハタにおいてその産卵期がごく短いこと、産卵行動は複数雄と単数雌の形態で行われ、雌は一回で全ての卵を算出することが観察<sup>14)</sup> されており、沿岸性及び亜寒帯性海産魚類の生活史の面で酷似していることは興味深い。

産卵を誘起する環境要因に関しては、産卵時刻は昼間の4例を除いて、その多くが日没から夜半過ぎにかけてであり、特に日没直前の16:30から9:00までの間に集中していた。本実験では照度は測定していなかったが、

本種の産卵に適した明るさは、高くともせいぜい日没時か、あるいはそれ以下程度であると考えられる。なお、産卵前の雄の雌に対するflauntingは極めて微弱であるため、ビデオが使用できない日没時、夜間には確認できなかった。しかし、産卵後における雄の一連の追尾行動もこれらの日没後の時間帯に集中していたため、昼間の観察回数よりも頻度は多いものと想像される。また、雌雄の行動関係については、両者の体色や体型に明瞭な相違がみられないことから、現時点ではflauntingが唯一の動的な視覚刺激であることが示唆される。しかし一方では、同じく沿岸域における集団産卵型のニシン *Clupea pallasii* の放卵は、雄の放精に刺激されて起こることも確かめられている<sup>15)</sup>。また、ハゼ *Bathygobius soporator*<sup>16)</sup> やワカサギ *Hypomesus olidus*<sup>17)</sup> では卵巣腔液が産卵誘発物質であるとの報告もある。本研究では、視覚刺激のない状態、すなわち暗状態での実験例がなく、その有無について断定はできない。今後こうしたフェロモン様物質に関する生化学的な産卵誘発要因について、その可能性を検討する必要があるだろう。

## 要約

冬季に産卵場に接岸した成熟親魚を採集し、飼育条件下においてその産卵行動および繁殖特性を調べた。

1. コマイは氷点下あるいはそれに近い水温条件下で、多くの場合日没から夜間にかけて産卵した。
2. コマイの産卵過程において、産卵前の雄同士の威嚇、攻撃による順位形成および産卵時のマウンティングは観察されなかった。また、産卵に際して、雌雄とも底に沿ってbeatingを行いながら雌は1~2分で全卵を水中に放出、拡散させ、雄は雌の放卵より40~50秒ほど遅れて放精した。
3. 産卵時の行動において、雌1尾に対して雄1尾もしくは複数に参加する2つのタイプがみられた。1尾の雄が参加した場合、その雄の体長は雌よりも相対的に大きく、かつ雌の体長は平均よりも小さい傾向にあった。一方、複数の雄が参加した場合は、雄の体長は雌とほぼ同程度か、むしろ小さい傾向があった。
4. この飼育下での観察結果と、実際の産卵場で雄が卓越することから、産卵場では複数の雄が参加する産卵様式が一般的と考えられた。また、こうしたタイプの産卵行動に誘発されて、他の雄が次々と産卵する集団婚 (group marriage) が実際の産卵場で行われていると推定された。

## 謝辞

本研究を実施するに当たり、試料採集等に協力頂いた独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所及び厚岸、根室漁業協同組合の職員の方々に感謝の意を表す。

## 文献

- 1) 陳二郎・吉田英雄・桜井泰憲：北海道周辺海域におけるコマイの成熟，生殖周期及び産卵期の特徴．北海道立水産試験場研究報告，68，45-64（2005）
- 2) 桜井泰憲：スケトウダラの繁殖生態に関する研究．北海道大学大学院博士論文，1982，207p.
- 3) 桜井泰憲：水槽内におけるスケトウダラの繁殖行動．海洋と生物，24，2-7（1983）
- 4) Brawn, J.H.S.: Aggressive behaviour in the cod, (*Gadus callarias* L.). *Behaviour*, 18, 107-147 (1961a)
- 5) Brawn, J.H.S.: Reproductive behavior of the cod (*Gadus callarias* L.). *Behaviour*, 18, 177-198 (1961b)
- 6) Hawkins, A.D., K.J. Chapman, and D.J. Symonds. : Spawning of Haddock in captivity. *Nature*, 215, 923-925 (1967)
- 7) Hislop, J.R.G., A.P. Robb and J.A. Gould. : Observations on effects of feeding level on growth and reproduction in haddock, *Melanogrammus aeglefinus* in captivity. *J. Fish Biol.*, 13, 85-98 (1978)
- 8) Sakurai, Y. and Hattori, T. : Reproductive behavior of Pacific cod in captivity. *Fisheries Science* 62 (2), 222-228 (1996)
- 9) Lauren, C.W. : Spawning and hatching Atlantic tomcod. *The Progressive Fish-Culturist*, 49, 69-71 (1987)
- 10) Robertson, D.R. and S.G. Chout. : Protogynous hermaphroditism and social systems in labrid fish. *Proc. 2nd. Int. Coral Reef Symp.*, Brisbane, 1, 217-225 (1974)
- 11) Douglas, P.M., G.I. Scott and J.M. Dean. : Reproductive behavior of the Atlantic silverside, *Menidia menidia* (Pisces, Atherinidae). *Env. Biol. Fish.*, 6, 269-276 (1981)
- 12) 山岸 宏：現代の生態学．第3版 東京，講談社，1989，214p.
- 13) Bogaevskyy, V.T. : Spawning of Pacific navaga. *Inz. TINRO*, 34, 260-261 (in Russian) (1951)
- 14) 杉山秀樹：“(8) 産卵生態”．ハタハタの生物特性と種苗生産技術．栽培漁業技術シリーズ．8．社団法人日本栽培漁業協会，2002，18-20.
- 15) Stacey, N.E. and A.S. Hourston : Spawning and feeding behaviour of captive Pacific herring *Clupea harengus pallasi*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 489-498 (1982)
- 16) Tavalga, W.N. : Visual, chemical and sound stimuli as cues in the sex discriminatory behaviour of the gobiid fish, *Bathygobius soporator*. *Zoologica*, 41, 49-64 (1956).
- 17) 岡田鳳二・坂井勝信・杉若圭一：ワカサギの生殖行動刺激物質．北海道立水産孵化場研究報告，33，89-99（1978）

# 石狩湾系ニシン人工種苗の日本海からオホーツク海への回遊 (短報)

伊藤慎悟<sup>\*1</sup>, 石崎裕之<sup>\*2</sup>, 正立彰夫<sup>\*3</sup>, 中島幹二<sup>\*1</sup>

Migration of artificially produced Ishikari Bay herring juvenile from the Japan Sea to the Sea of Okhotsk in Hokkaido (Short Paper)

Shingo ITOH<sup>\*1</sup>, Hiroyuki ISHIZAKI<sup>\*2</sup>, Akio MASADATE<sup>\*3</sup> and Kanji NAKAJIMA<sup>\*1</sup>

キーワード：ニシン，放流，移動，人工種苗

現在までに北海道北部の日本海で放流した石狩湾系ニシンの人工種苗（以下，人工種苗と略する）の回遊については，8月に宗谷岬で再捕されていることから，放流した後，北上すると考えられている<sup>1)</sup>が，その後の回遊経路が不明である。また，天然のニシンでもこの時期の回遊経路が明確になっていない<sup>2)</sup>ため，推定が難しい状況にある。そこで，人工種苗の回遊経路を明らかにするために，2004～2006年の8月から12月にかけて，オホーツク海への回遊状況を調査した。なお，本研究は1996年から開始した「日本海ニシン資源増大プロジェクト」の一環として行った。

## 材料と方法

2004年から2006年に北海道北部の日本海で放流した人工種苗を追跡するために，吉村<sup>1)</sup>の方法に準じて調査を行った。すなわち，2004年8月から2006年12月に各場所で釣り（チカサビキ(3～5号)）によりニシンを採集し，全長，体重を測定し，耳石を採取した。なお，人工種苗は北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所で生産され，天然魚と区別するために，アリザリンコンプレキソンで標識したものである。人工種苗であるかどうかは落射蛍光顕微鏡(BX60，オリンパス社製)で耳石にG励起を照射し，標識の有無を観察することで確認した。

## 結果と考察

放流地点と調査地点を図1に示した。本報では稚内港～第2清浜漁港を宗谷湾，東浦漁港～枝幸港をオホーツク海とし，人工種苗の追跡調査を宗谷湾（表1，表2）とオホーツク海（表3，表4）に分けて結果を記載した。再捕された人工種苗は標識区分，全長，耳石輪紋数などから判断したところ，すべて0歳魚であった。

表1に示したとおり，宗谷湾では8月から11月まで人工種苗が再捕され，10月の混入率が1.27%で最も高かった。11月には，10月とほぼ同数の釣獲尾数が得られたが，人工種苗の混入率は10月に比べ，有意に低かった。また，

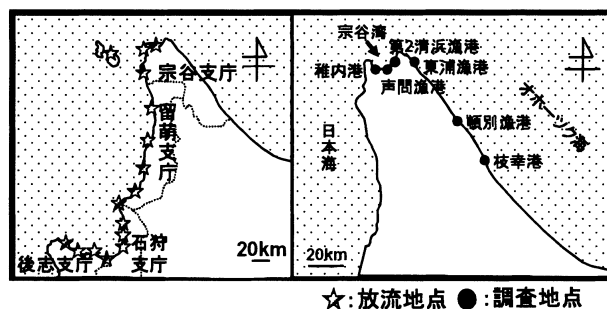


図1 2004～2006年に人工種苗を放流した地点と同じ年の8～12月に調査した稚内港，声間漁港，第2清浜漁港，東浦漁港，頓別漁港，枝幸港の位置

報文番号 A419 (2008年2月20日受理)

<sup>\*1</sup> 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

<sup>\*2</sup> 利尻地区水産技術普及指導所 (Rishiri Fisheries Technical Guidance Office, Rishiri, Hokkaido 097-0101, Japan)

<sup>\*3</sup> 礼文地区水産技術普及指導所 (Rebun Fisheries Technical Guidance Office, Rebun, Hokkaido 097-1201, Japan)



表1 2004～2006年の8月～11月に宗谷湾で調査したニシンの調査月(3年分合計)別の, 1時間1人あたりの釣獲尾数, 採集尾数, 人工種苗の混入率

調査月	CPUE*	採集尾数	人工種苗 再捕尾数	人工種苗の 混入率%
8月	5.6	104	1	0.96(0～2.83)**
9月	13.3	408	1	0.25(0～0.73)**
10月	8.3	1,100	14	1.27(0.61～1.94)**
11月	22.3	1,089	2	0.18(0～0.43)**
12月	0	0	0	—

\*: 1時間1人あたりの釣獲尾数

\*\*: 混入率の95%信頼区間、下限がマイナスの場合は0とした

表2 2004～2006年に宗谷湾で再捕された放流魚の再捕年月日, 再捕尾数, 再捕場所, 標識から判明した放流場所

再捕年月日	再捕尾数	再捕場所	標識から判明した放流場所
2004年8月5日	1	声問漁港	宗谷支庁管内
2004年10月1日	1	稚内港	声問漁港
2004年10月6日	2	稚内港	石狩～留萌支庁管内
2004年10月13日	2	声問漁港 稚内港	石狩～留萌支庁管内
2005年10月5日	1	稚内港	西稚内漁港
2005年10月9日	1	稚内港	稚内内漁港
2005年10月17日	1	稚内港	西稚内漁港
2005年10月21日	1	稚内港	西稚内漁港
2005年10月27日	2	声問漁港	西稚内漁港
2005年10月28日	2	稚内港	声問漁港
2005年10月31日	1	稚内港	西稚内漁港
2005年11月17日	1	稚内港	後志～宗谷支庁管内
2005年11月18日	1	稚内港	後志～宗谷支庁管内
2006年9月26日	1	第2清浜	石狩～宗谷支庁管内

表3 2004～2006年の8月～12月にオホーツク海で調査したニシンの調査月(3年分合計)別の, 1時間1人あたりの釣獲尾数, 採集尾数, 人工種苗の混入率

調査月	CPUE*	採集尾数	人工種苗 再捕尾数	人工種苗の 混入率%
8月	1.0	12	3	25.00(0.50～49.50)**
9月	5.4	235	0	0
10月	7.6	441	2	0.45(0～1.07)**
11月	7.5	596	5	0.84(0.11～1.57)**
12月	0	0	0	—

\*: 1時間1人あたりの釣獲尾数

\*\*: 混入率の95%信頼区間、下限がマイナスの場合は0とした

表4 2004～2006年にオホーツク海で再捕された放流魚の再捕年月日, 再捕尾数, 再捕場所, 標識から判明した放流場所

再捕年月日	再捕尾数	再捕場所	標識から判明した放流場所
2004年8月5日	3	東浦漁港	宗谷支庁管内
2004年10月1日	2	東浦漁港 頓別漁港	声問漁港 石狩～留萌支庁管内
2004年11月3日	3	枝幸港	宗谷支庁管内 石狩～留萌支庁管内
2005年11月23日	1	枝幸港	声問漁港
2005年11月25日	1	枝幸港	後志～宗谷支庁管内

\*: 2006年は再捕事例なし

12月になると, 天然魚を含め, ニシンが採取されなかった。

一方, 表3, 4に示したとおり, オホーツク海では8, 10, 11月に人工種苗が再捕され, 8月の人工種苗の混入率が25.0%と最も高かった。8月の再捕は東浦漁港のみであったが, 10月には東浦漁港と頓別漁港で再捕があり, 11月の再捕は枝幸港のみであった。すなわち, 時期が進むに従って, 再捕場所が南下する傾向がみられた。

北海道北部の日本海で放流された人工種苗の一部は放流から1～3ヵ月かけて北上し, 宗谷岬に達する<sup>1)</sup>ことがわかっていたが, 今回の結果から新たに北海道北部オホーツク海に回遊することがわかった。この現象は, 1997年以降の石狩湾系ニシンの資源状態が高水準になったこと<sup>3)</sup>に伴って, 生息域が広がったために起こった可能性があった。本報は人工種苗の回遊についてであり, 天然の石狩湾系ニシンも同様に回遊するかについては別途検討する予定である。

また, プロジェクト開始時から2006年までに, オホーツク海において漁獲対象サイズの標識魚再捕報告事例はないため, オホーツク海へ移動した人工種苗がその後どのように移動するかについてはさらに検討が必要である。

## 謝辞

人工種苗に標識をつけるにあたり多大なる配慮を頂いた北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所表谷光剛所長, 渡邊郁夫氏, 柳澤三郎氏, 伊達事業所川下正巳所長(前羽幌事業所長)に感謝いたします。サンプル収集にあたりご協力いただいた元北洋丸機関長故高橋昇氏, 稚内地区水産技術普及指導所並びに同指導所枝幸支所, 宗谷支庁水産課, 宗谷支庁警備室, 稚内水産試験場各位に感謝いたします。

## 文献

- 1) 吉村圭三: 宗谷湾及びその周辺に出現するニシン稚魚. 北水試研報, 62, 119-127 (2002)
- 2) 田中伸幸: “7. ニシン *Clupea pallasii Valencienns*”. 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 札幌, 北海道新聞社, 2003, 60-65.
- 3) 高柳志朗: “(5)資源管理技術対策調査”. 平成14年～16年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書, 北海道立稚内水産試験場, 2006, 148.

# 北海道噴火湾から標識放流したマツカワの移動と放流群別再捕率（短報）

吉田秀嗣<sup>\*1</sup>，高谷義幸<sup>\*2</sup>，松田泰平<sup>\*2</sup>

Migration and recapture rate of tagged barfin flounder *Verasper moseri* in Funka Bay, southwestern Hokkaido. (Short Paper)

Hidetsugu YOSHIDA<sup>\*1</sup>, Yoshiyuki TAKAYA<sup>\*2</sup> and Taihei MATSUDA<sup>\*2</sup>

キーワード：マツカワ，標識放流，移動，再捕率

## まえがき

マツカワは冷水性の大型カレイで，天然魚の資源量は極めて低い水準にあることから，北海道では栽培漁業対象種として，人工種苗が放流されている。放流種苗の成長については，本誌第72号<sup>1)</sup>で報告したが，移動など生態の多くについては明らかとなっていない。そこで，噴火湾で標識放流を実施し，本種の移動について明らかにするとともに，放流サイズと再捕率の関係を検討した。

## 材料及び方法

供試魚は，北海道立栽培漁業総合センター<sup>\*3</sup>と(社)日本栽培漁業協会厚岸事業場<sup>\*4</sup>で生産された0歳魚で，1991～1999年の10～12月に噴火湾沿岸の各地から，合計87,875尾に標識を装着して放流された(表1)。用いた標識は，ダート型(1例)とスパゲティ型(19例)の外部標識で，各放流群は標識の色と文字や番号で区別した。放流時の平均全長は100～166mmの範囲であった。

放流種苗の移動は，1991年10月から2005年6月までに漁業者や遊漁者から寄せられた再捕報告を再捕海域，再捕年齢，再捕全長ごとに集計して求めた。なお，再捕海

表1 マツカワ人工種苗の標識放流結果

放流年月日	放流場所	標識 放流数	平均全長 (mm)	形 状	色	文 字	番 号
1991. 10. 16	伊達市	500	126	ダート型	赤	—	—
1992. 10. 20	森町・他	2,000	166	スパゲティ型	黄	フントキョウ	0000～2000
1995. 10. 23	森町・他	1,248	126	スパゲティ型	黄	オシマ	0001～1260
1995. 10. 30	伊達市	3,920	113	スパゲティ型	黄	イワリ7	0000～5000
1996. 10. 29	伊達市	4,549	118	スパゲティ型	ピンク	イワリ1	0000～4999
1996. 11. 25	八雲町	5,221	119	スパゲティ型	ピンク	オシマ1	0000～6000
1996. 12. 12	伊達市	4,728	137	スパゲティ型	ピンク	イワリ1	5005～9999
1996. 12. 19	室蘭市	3,000	137	スパゲティ型	ピンク	イワリ2	5005～8019
1997. 11. 12	豊浦町	5,967	103	スパゲティ型	赤	トヨラ	0000～7069
1997. 11. 13	森町	5,216	110	スパゲティ型	オレンジ	オシマ	0000～6334
1997. 11. 20	八雲町	5,224	110	スパゲティ型	オレンジ	ヤケモ	0000～6369
1997. 12. 4	豊浦町	6,386	113	スパゲティ型	赤	フンタン	0000～7350
1998. 10. 15	長万部町	4,959	100	スパゲティ型	緑	オシマ	—
1998. 11. 10	虻田町 <sup>*1</sup>	4,987	121	スパゲティ型	水	フツ	—
1998. 11. 13	長万部町	5,004	115	スパゲティ型	青	オシマ	—
1998. 11. 24	虻田町 <sup>*1</sup>	5,002	119	スパゲティ型	黄	フツ	—
1999. 11. 5	砂原町 <sup>*2</sup>	4,958	117	スパゲティ型	赤	サウ	—
1999. 11. 12	伊達市	5,002	110	スパゲティ型	黄緑	ウス	—
1999. 11. 30	砂原町 <sup>*2</sup>	5,001	116	スパゲティ型	赤	オシマ	—
1999. 12. 2	伊達市	5,003	100	スパゲティ型	黄緑	フンタン	—
合計		87,875					

\*1：現 洞爺湖町，\*2：現 森町

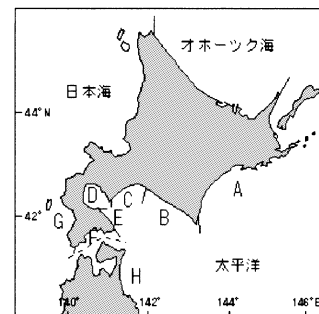


図1 海域区分図

A：道東太平洋，B：日高太平洋，C：胆振太平洋，D：噴火湾，E：渡島太平洋，F：津軽海峡，G：日本海，H：本州太平洋（青森県～茨城県）

報文番号 A420 (2008年2月20日受理)

\*1 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

\*2 北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)

\*3 現 北海道立栽培水産試験場

\*4 現 (独) 水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター

域は便宜的に8つの海域とし(図1), 年齢基準日は人工種苗の採卵時期が3~4月なので4月1日とした。再捕率は再捕尾数を標識放流尾数で除して求め, 放流サイズと再捕率との相関関係の有無は, ピアソンの相関係数検定を用いて調べた。

## 結果及び考察

放流種苗は1,003尾が再捕され, 6歳までの累計再捕率は1.14%であった。再捕尾数は1歳と2歳で多く, 両年齢で893尾と全体の89%を占めており, 4歳以上では9尾と少なかった(表2)。海域別に見ると, 噴火湾内での再捕が876尾で最も多く, 87%を占めていた。それに隣接する胆振太平洋と渡島太平洋を合わせると964尾で96%となった。これら隣接海域での出現は1歳以上で見られた。さらに遠方の日高太平洋以東, 津軽海峡以西, 本州太平洋(青森県~茨城県)では2歳以上で出現し, 本州太平洋での再捕が20尾で最も多かった。各年齢の総再捕尾数に占める本州太平洋での再捕尾数の割合は, 2歳で2%, 3歳で12%, 4歳で57%と加齢に従い高くなっていた。次に, 全長が記入されていなかった76尾を除いた927尾について再捕全長別に見ると, 再捕尾数は全長100~399mmの範囲で多く, 862尾で全体の93%を占めていた(表3)。隣接海域での出現は主に200~299mmから見られ始め, 日高太平洋以東, 津軽海峡以西及び本州太平洋での出現は主として300~399mmから見られ始めた。

表2 標識放流魚の海域別年齢別再捕尾数

再捕海域	再捕年齢							合計
	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳	
北海道								
道東太平洋			1					1
日高太平洋			6					12
胆振太平洋		10	18	12	1		1	43
噴火湾	24	425	379	47	1			876
渡島太平洋		9	32	4				45
津軽海峡			2					2
日本海			1					1
本州								
本州太平洋			7	9	4			20
不明		2	1					3
合計	24	446	447	77	7	1	1	1,003

表3 標識放流魚の海域別全長別再捕尾数

再捕海域	再捕全長(mm)								合計
	<100 -199	100 -199	200 -299	300 -399	400 -499	500 -599	600 -699		
北海道									
道東太平洋				1					1
日高太平洋				3	6				9
胆振太平洋		1	12	21	3	1	1		39
噴火湾	3	208	291	280	26	1			809
渡島太平洋		1	14	22	7				44
津軽海峡				2					2
日本海			1						1
本州									
本州太平洋				3	15	1			19
不明			1	1	1				3
合計	3	210	319	333	58	3	1		927

特に本州太平洋での出現は400~499mmで15尾と最も多く, 400~499mmの再捕尾数の26%を占めていた。これらのことから, 噴火湾に放流されたマツカワ人工種苗は, その多くは放流海域と隣接海域までの範囲に生息しているが, 2歳あるいは全長300~399mmになると, 一部の個体は広範囲に移動し, 茨城県までの本州太平洋沿岸にも南下していること, さらに本州太平洋での再捕割合は加齢に従い高くなることが明らかとなった。マツカワは雄では2歳から, 雌では3歳から一部の個体で成熟していることが知られている<sup>2)</sup>。従って, 本州太平洋への移動は, 成熟年齢との関係から産卵回遊の可能性はある。しかし, 再捕報告では雌雄や成熟の状態は把握できないため, 再捕魚を入手して成熟等を調べることが早急の課題である。

次に, 放流時の平均全長と再捕率の関係を図2に示した。両者間には有意な正の相関関係が認められ( $r=0.785$ ,  $P<0.001$ ), 放流時の平均全長が大きいくほど, 再捕率は高くなっていた。このような正の相関関係が, 放流した年や月あるいは場所が異なる群間で見られたことは, 放流種苗の再捕率, すなわち生残には, 放流する時の体サイズが放流後の生育環境よりも重要であることを示唆する。なお, 標識が魚体に与える影響や標識の脱落率については, 明らかとなっていないため, 今回の解析では考慮しなかった。

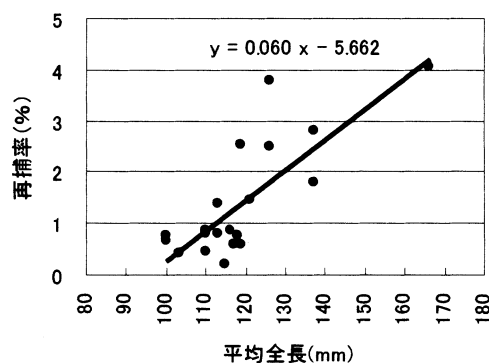


図2 放流時平均全長と再捕率との関係

## 文 献

- 1) 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平: 北海道えりも以西太平洋沿岸域におけるマツカワ人工種苗の成長(短報). 北水試研報. 72, 47-49 (2007)
- 2) 吉田秀嗣, 高谷義幸: マツカワの最高年齢・最大全長・移動範囲などの記録 —えりも以西太平洋編—. 北水試だより. 74, 7-11 (2007)

# 北海道日高海域から標識放流したマツカワの移動と放流時のサイズ（短報）

高谷義幸<sup>\*1</sup>, 吉田秀嗣<sup>\*2</sup>, 松田泰平<sup>\*1</sup>

Migration and size at release of tagged barfin flounder *Verasper moseri* in the coastal waters of Hidaka area, southwestern Hokkaido. (Short paper)

Yoshiyuki TAKAYA<sup>\*1</sup>, Hidetsugu YOSHIDA<sup>\*2</sup> and Taihei MATSUDA<sup>\*1</sup>

キーワード：マツカワ，標識放流，移動，放流サイズ

## まえがき

マツカワは北海道太平洋沿岸を主たる生息域とする冷水性の異体類で，近年，資源の減少が著しいため，北海道では人工種苗放流による資源増大を図っている。本種は，天然資源が極めて少ないことから，分布などの生態に不明の点が多く，放流効果の波及範囲を明らかにするうえで必要となる放流後の移動がわかっていない。また，天然稚魚の食性や害敵などの知見が皆無であることから，適正な放流サイズや放流場所も明らかになっていない。そこで，1998年と1999年に日高海域で標識放流を実施し，その再捕結果から放流後の分布の広がりを明らかにし，放流サイズの違いによる生残について検討したので，その概要を報告する。報告に先立ち，標識装着や測定，再捕報告に協力をいただいたえりも以西海域栽培漁業推進協議会および関係地区水産技術普及指導所の各位に深謝する。

## 材料および方法

北海道立栽培漁業総合センター<sup>\*3</sup>および(社)日本栽培漁業協会厚岸事業場<sup>\*4</sup>において生産され，日高地区の各所で中間育成した全長 $137.6 \pm 18.8$ mm（平均 $\pm$ 標準偏差，以下同様）のマツカワ人工種苗0歳魚19,974尾を1998年12月15日に日高支庁管内様似町沿岸から放流した。放流魚は全長を測定したうえでスパゲティ型の外部標識（桃色，ヒタカA0000～9999およびヒタカB0000～9999の刻印）

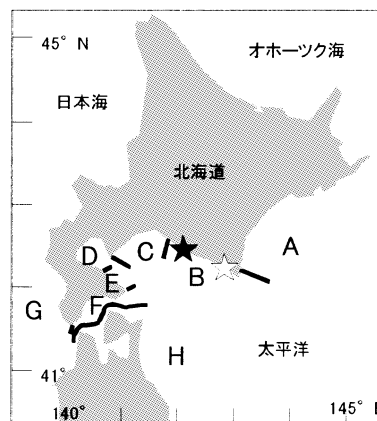


図1 放流点と海域区分

放流点：様似（☆），静内（★）  
A：道東太平洋（十勝～根室），B：日高太平洋，  
C：胆振太平洋，D：噴火湾，E：渡島太平洋，  
F：津軽海峡（北海道側），G：日本海（北海道側），  
H：本州太平洋（青森県～茨城県）

を装着して，個体識別を可能とした。また，1999年12月16日には前年と同様に生産，育成された全長 $138.0 \pm 13.7$ mmの人工種苗0歳魚19,944尾にスパゲティ標識（水色，ヒタカA0000～9999およびヒタカB0000～9999の刻印）を装着して日高支庁管内新ひだか町静内地区から放流した。漁業者，遊漁者などから1999年1月～2005年3月までに再捕報告があったものについてとりまとめ，再捕場所，再捕年齢を集計した。この際，再捕場所は便宜的に8つの海域に分け（図1），年齢基準日は4月1日とした。再

報文番号 A420（2008年2月20日受理）

<sup>\*1</sup> 北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)

<sup>\*2</sup> 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

<sup>\*3</sup> 現 北海道立栽培水産試験場

<sup>\*4</sup> 現（独）水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター

捕報告のうち、標識の刻印が判別可能であった個体については、放流時点での全長を調べ、放流魚の全長組成と再捕魚の放流時全長組成とを比較した。ただしこの場合、各全長階級の放流尾数が同数でないため比較が難しい。そこで、次式により「期待される再捕尾数」を算出し、「実際の再捕尾数」との差を求めたうえで各群を比較した。

全長階級ごとに期待される再捕尾数＝各階級の放流尾数×放流群全体の再捕率

### 結果および考察

再捕報告の集計結果を表1に示した。1998年群は5歳までに237尾の再捕報告があり、累計の再捕率は1.19%であった。また1999年群は5歳までに630尾の再捕報告があり、累計再捕率は3.16%であった。両群とも再捕報告は2歳までが多く、3歳以降の再捕報告は少なくなる傾向にあった。特に4歳以降は0～2尾の報告にとどまった。

再捕海域は、1998年群はほとんどが放流場所である日高太平洋海域であり、同海域からの報告は全体の89.5%を占めた。また、1999年群の再捕海域も日高太平洋海域が最も多く、全体の68.4%を占めたが、西側に隣接する胆振太平洋海域からの報告も19.0%あった。これは、1999年群の放流地点が日高太平洋海域の中でも西側に位置する静内地区であったことが原因だと考えられる。両海域の間は平坦な砂浜域が続いているため、胆振太平洋海域

への移動は容易に行われたと推察される。このような近接海域間の移動は別として、全体的な移動傾向を見ると両年とも放流海域より東への移動が少なく、西あるいは南へ移動する個体が比較的多かった。特に、青森県以南の本州太平洋海域への移動は、1998年群で再捕魚の6.3%、1999年群で6.7%を占めた。

年齢別に見ると、1歳までは放流海域および隣接海域でほとんどが再捕されていた。2歳以降では、これらに加え、津軽海峡や日本海、本州太平洋での再捕も多くなる傾向が見られた。したがって、マツカワ人工種苗は、その多くが放流海域周辺に生息している一方、2～3歳になるとかなり広範囲に移動しており、放流効果波及範囲は加齢とともに拡大するものと思われた。しかし、3歳以上の情報は少ないことから、高齢魚の移動については引き続き検討していく必要がある。

表1 標識放流魚の海域別年齢別再捕結果

1998年放流群: 放流数19,975尾						
再捕海域	再捕時年齢					合計
	0-1	2	3	4	5	
A 道東太平洋	1	1	1			3
B 日高太平洋	119	77	14	2		212
C 胆振太平洋	3	2	2			7
D 噴火湾						0
E 渡島太平洋						0
F 津軽海峡						0
G 日本海						0
H 本州太平洋	3	9	2		1	15
合計	126	89	19	2	1	237
再捕率(%)	0.63	0.45	0.10	0.01	0.01	1.19

1999年放流群: 放流数19,944尾						
再捕海域	再捕時年齢					合計
	0-1	2	3	4	5	
A 道東太平洋	1	2	2			5
B 日高太平洋	268	156	6		1	431
C 胆振太平洋	45	73	2			120
D 噴火湾	3	11			1	15
E 渡島太平洋	1	8				9
F 津軽海峡	1	3				4
G 日本海		4				4
H 本州太平洋	0	28	14			42
合計	319	285	24	0	2	630
再捕率(%)	1.60	1.43	0.12	0.00	0.01	3.16

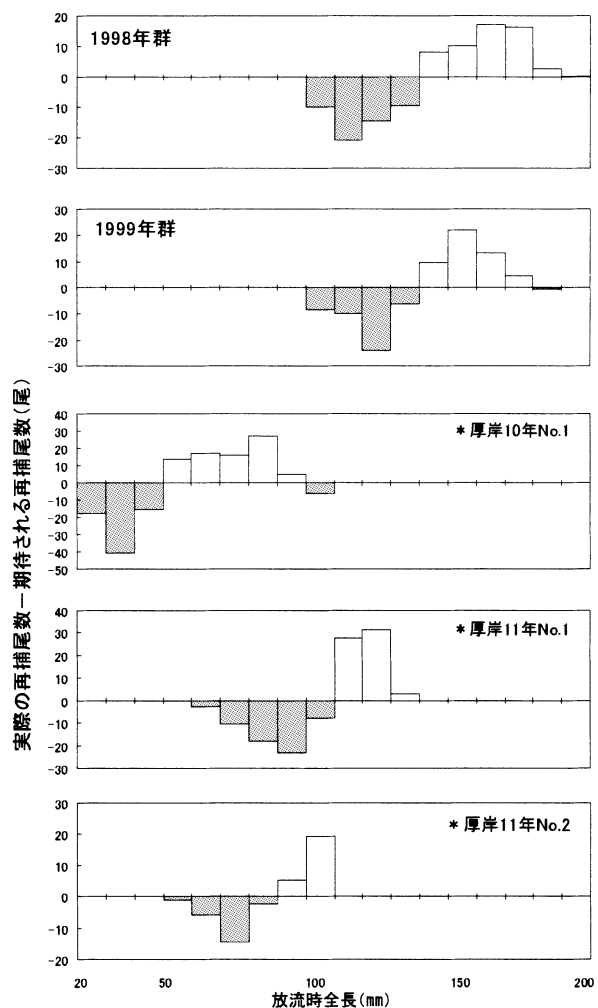


図2 期待される再捕尾数と実際の再捕尾数の差  
※厚岸放流群は平成12年度日本栽培漁業協会事業年報p25の表Ⅱ・1・1・22～24から作図

次に、放流魚の全長組成と再捕魚の放流時全長組成の比較を行った。ヒラメでは放流魚の減耗は放流後の比較的初期にみられる<sup>1)</sup> ため、放流後一定期間を経過してから再捕された個体はこの放流初期の減耗を免れて生き残った個体であると考えられる。もし、生き残りに放流時の全長が関係するとすれば、放流魚の全長組成と再捕魚の放流時全長組成には何らかの差が見られるはずである。実際の再捕尾数と期待される再捕尾数の差を1998年および1999年群について見ると、両群とも全長140mmを境に大きいサイズでプラスに、小さいサイズでマイナスになっており（図2）、放流時点での全長が大きい個体ほど放流後の生き残りが良かった可能性が高い。しかし、今回の実験は外部標識を用いており、体サイズによって標識の脱落率が異なる場合は正しい結果を導き出せない。渡辺<sup>2)</sup> は、体内標識のALCを用いて再捕された魚の放流時のサイズを推定し、3つの放流群のそれぞれで大型の個体ほど多く再捕されていることを示した。このように、脱落のない標識を用いた場合でも、今回の結果と同様であった。一方、渡辺が実験に用いた放流サイズは、全長20～110mm、50～100mm、60～130mmの3群であり、今回の実験に用いたサイズとは大きく異なっている。このような組成の異なる放流群であっても、同一群内で大型の個体ほど実際の再捕尾数が期待される再捕尾数を常に上回っていること（図2）は、放流時の体サイズの他に、放流群内での相対的な大きさが種苗の生き残りに重要である可能性も示唆している。

## 文献

- 1) 古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 西田輝巳, 宮永貴幸: 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の分布, 成長及び個体数変動. 日水誌, 63, 877-885 (1997)
- 2) 渡辺研一: 7. 厚岸湾をモデル海域とした放流技術の開発(マツカワ). 平成12年度日本栽培漁業協会事業年報. (社)日本栽培漁業協会, 23-26 (2002)

# 異なる目合のかごで漁獲されたハナサキガニ (*Paralithodes brevipes*) の漁獲物組成 (短報)

長瀬桂一<sup>\*1</sup>, 工藤良二<sup>\*1</sup>, 鳥澤 雅<sup>\*2</sup>

Components of hanasaki crab (*Paralithodes brevipes*) caught by pots with different mesh sizes (Short Paper)

Keiichi NAGASE<sup>\*1</sup>, Ryouji KUDO<sup>\*1</sup> and Masaru TORISAWA<sup>\*2</sup>

キーワード：ハナサキガニ, かご, 網目, 目合, 選択性, 甲幅, 根室

## まえがき

根室市では、かごを用いた毎年の資源調査結果に基づいて決められる許容漁獲量の下で、かご漁業によってハナサキガニ (*Paralithodes brevipes*) が漁獲されている<sup>1)</sup>。

一方、2002年度から根室市とサハリン漁業・海洋学研究所 (サフニロ) との間で、ハナサキガニの共同研究を中心としたハナサキ・プログラム・ワークショップが毎年開催されており、この中では、かごを用いた共同資源調査についても論議されている。

かごを用いた調査では、かごの形状や目合によって漁獲性能が異なる<sup>2-3)</sup>と考えられることから、特性の明確な同規格のかごを用いることが望ましい。ここでは、かにかごの目合がハナサキガニの漁獲物組成に与える影響について調べたので、その結果を報告する。

## 材料及び方法

調査は2005年6月10～19日の間に、根室半島の太平洋側、根室市昆布盛地先の水深7～15mの4地点、浜松地先の水深11～16mの5地点で、それぞれ1回ずつ計9回行った。

使用したかごの枠には、根室市内のはなさがにかご漁業で一般的に使用されているかにかご (図1) を用い、目合を一般的な60mmに加えて30mm, 120mmの3種類とし、調査ごとに各目合10かご、計30かごを1放しとして使用した。1放しの幹縄は10ブロックに分け、各ブロックに

3種類の目合のかごをそれぞれ1かごずつランダムに12m間隔で枝縄を介して幹縄に取り付けた。ただし、各ブロックにおけるかごの配置は調査ごとに変えることはせず、9回とも同じ配置のまま使用した。餌としては冷凍サンマを1かごにつき1～2尾餌袋に入れて使用した。かごの設置時間は一昼夜とし、漁獲したハナサキガニは全て船上で雌雄を判別し、甲長、甲幅を1mm単位で測定した。また、雌の場合は抱卵の有無を記録した。

## 結果及び考察

9回の調査において、それぞれ49～394個体 (表1)、全体で雄709個体、非抱卵雌749個体、抱卵雌132個体、合計1,590個体 (表2) のハナサキガニが漁獲された。漁獲されたハナサキガニの甲幅範囲は66～125mmで、平均甲幅は目合30mm及び60mmのかごで94.3mm、目合120mmのかごで95.1mmであった。

得られたデータを基に、調査ごとに雌雄別 (雌の場合は非抱卵・抱卵別) 甲幅階級2mmごとの漁獲個体数を求め、調査及び目合ごとに漁獲物の違いを調べた。

その結果、性別並びに雌の抱卵の有無に関わらず、調査ごとの漁獲尾数には差が認められたが、目合ごとの漁獲尾数には差が認められなかった (Friedman検定, 表3)。また9回の調査結果を合わせて求めた漁獲物の目合別甲幅組成には、性別並びに雌の抱卵の有無に関わらず差は認められなかった ( $\chi^2$  独立性検定, 表4)。

以上の結果から、今回漁獲された甲幅66～125mmの範

報文番号 A422 (2008年2月20日受理)

\*1 根室市水産研究所 (Nemuro-City Fisheries Research Institute, 168 onnemoto, Nemuro, Hokkaido 087-0166, Japan)

\*2 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, Hamanaka-cho, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)



図1 調査に用いたかご  
かご枠：下枠経90cm, 上枠経32cm, 高さ40cm  
ろ斗：上口経32cm, 下口経26cm, 高さ15cm

表1 調査回別目合別漁獲尾数

調査回	目合 (mm)			合計
	30	60	120	
1回目	22	14	13	49
2回目	33	40	26	99
3回目	29	35	12	76
4回目	50	36	29	115
5回目	132	108	154	394
6回目	100	90	107	297
7回目	37	28	42	107
8回目	76	115	67	258
9回目	60	62	73	195
合計	539	528	523	1,590

表2 雌雄別目合別甲幅組成

性別 甲幅\目合(mm)	雄				非抱卵雌				抱卵雌				雌計				雌雄計			
	30	60	120	計	30	60	120	計	30	60	120	計	30	60	120	計	30	60	120	計
66-68		1		1														1		1
68-70		1		1	1	1		2					1	1		2	1	2		3
70-72		1		1														1		1
72-74		1		1	3	2		5					3	2		5	3	3		6
74-76	2			2	2	2		4					2	2		4	4	2		6
76-78		1	1	2		1	1	2						1	1	2		2	2	4
78-80	2	1	1	4	2	2	3	7					2	2	3	7	4	3	4	11
80-82	4	1	1	6	5	4	4	13					5	4	4	13	9	5	5	19
82-84	2	6	6	14	11	8	4	23					11	8	4	23	13	14	10	37
84-86	8	10	9	27	14	12	7	33	2	1	1	4	16	13	8	37	24	23	17	64
86-88	17	16	14	47	14	16	18	48	2	1	2	5	16	17	20	53	33	33	34	100
88-90	13	25	15	53	27	31	23	81	3	2	3	8	30	33	26	89	43	58	41	142
90-92	11	12	16	39	33	27	29	89	5	5	1	11	38	32	30	100	49	44	46	139
92-94	25	23	22	70	47	39	40	126	4	3	7	14	51	42	47	140	76	65	69	210
94-96	33	23	30	86	37	32	30	99	5	7	4	16	42	39	34	115	75	62	64	201
96-98	11	21	20	52	19	23	32	74	6	2	5	13	25	25	37	87	36	46	57	139
98-100	21	14	27	62	19	16	14	49	5	7	5	17	24	23	19	66	45	37	46	128
100-102	12	25	18	55	10	9	19	38	8	3	4	15	18	12	23	53	30	37	41	108
102-104	16	14	13	43	6	7	9	22	8	1		9	14	8	9	31	30	22	22	74
104-106	16	17	18	51	8	5	4	17	2	2	4	8	10	7	8	25	26	24	26	76
106-108	10	7	7	24	2	3	1	6	3	1		4	5	4	1	10	15	11	8	34
108-110	2	5	9	16	4	4		8	1		3	4	5	4	3	12	7	9	12	28
110-112	1	5	4	10	1		2	3					1		2	3	2	5	6	13
112-114	7	8	4	19						1	1			1	1		7	8	5	20
114-116	3	4	3	10					1	1	2		1	1	2		3	5	4	12
116-118		1	1	2					1		1		1		1			2	1	3
118-120		2	1	3														2	1	3
120-122	3			3													3			3
122-124	1	1	1	3													1	1	1	3
124-126		1	1	2														1	1	2
計	220	247	242	709	265	244	240	749	54	37	41	132	319	281	281	881	539	528	523	1,590



表3 調査ごと及び目合ごとの漁獲尾数の差に関するFriedman検定結果

検定項目	性別	d. f.	$\chi^2_r$
調査ごとの漁獲尾数	全体	8	21.69**
	雄	8	21.11**
	雌	8	20.27**
	非抱卵雌	8	18.22*
	抱卵雌	8	17.91*
目合ごとの漁獲尾数	全体	2	0.22 <sup>n. s.</sup>
	雄	2	0.72 <sup>n. s.</sup>
	雌	2	0.72 <sup>n. s.</sup>
	非抱卵雌	2	0.39 <sup>n. s.</sup>
	抱卵雌	2	3.39 <sup>n. s.</sup>

\*:危険率5%で有意、\*\*:危険率1%で有意、n. s.:有意差なし

表4 目合ごとの甲幅組成の差に関する $\chi^2$ 独立性検定結果

検定項目	性別	d. f.	$\chi^2$
目合ごとの甲幅組成	全体	58	52.04 <sup>n. s.</sup>
	雄	58	58.28 <sup>n. s.</sup>
	雌	46	34.35 <sup>n. s.</sup>
	非抱卵雌	40	34.04 <sup>n. s.</sup>
	抱卵雌	30	34.14 <sup>n. s.</sup>

\*:危険率5%で有意、\*\*:危険率1%で有意、n. s.:有意差なし

囲のハナサキガニに対しては、30～120mmの目合では、かごの目合による網目選択性に差は認められなかった。その理由のひとつとして、今回漁獲された最小甲幅66mmのハナサキガニであっても、使用した最大目合の120mmの網目を通過することは困難であることが挙げられる。さらに、漁獲された甲幅のハナサキガニにとっては、今

回使用した目合の範囲であれば、かごの登りやすさにも大きな差が無かったと考えられる。従って、調査に用いるかごとして、甲幅66～125mmの範囲を漁獲対象とするのであれば、目合が30～120mmのかごであれば、ほぼ同等の調査結果が得られると考えられた。ただし、目合30mmのかごは網目に指が通らないことから持ちづらく、目合120mmのかごはカニの脚が網目に掛かりやすくかごから出しにくかったことから、目合60mmのかごが最も操作性が良かった。

## 謝辞

この調査は、ハナサキ・プログラム・ワークショップで課題のひとつとして設定され、根室海域ハナサキガニ資源維持増大対策連絡協議会によるハナサキガニ資源調査に合わせて行われた。調査には根室支庁、根室地区水産技術普及指導所、根室漁業協同組合、根室湾中部漁業協同組合、歯舞漁業協同組合、落石漁業協同組合の職員に協力いただき、株式会社環境総合テクノス元環境評価部長の故篠田正俊博士にご指導を得たことを深く感謝します。

## 文献

- 1) 筒井大輔：“ハナサキガニ”. 漁業生物図鑑 新北のさかなたち. 札幌, 北海道新聞社, 2003, 372-377.
- 2) 小池 篤：“かごの漁具構造と漁獲”. かご漁業水産学シリーズ36. 東京, 恒星社厚生閣, 1981, 51-65.
- 3) 西内修一：ケガニかごの漁獲選択性に関する研究. 北水試研報 64, 1-103 (2003)

# ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 中腸腺リパーゼ活性の 多試料分析 (短報)

宮園 章<sup>\*1</sup>, 岸村栄毅<sup>\*2</sup>

Multiple analysis of lipase activity in hepatopancreas of Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Short Paper)

Akira MIYAZONO <sup>\*1</sup> and Hideki KISHIMURA <sup>\*2</sup>

キーワード：ホタテガイ, *Mizuhopecten yessoensis*, 中腸腺, リパーゼ活性, 多試料分析

## はじめに

北海道におけるホタテガイの年間生産量40万トンのうち、約3割は垂下養殖により生産される。ホタテガイの垂下養殖現場では生産性を損なうへい死対策技術の開発が遅れており、養殖作業の良否は作業後しばらく養殖した時点でのへい死状況で判断されている。時化の影響も外的損傷の視覚的観察から原因が推察されているにすぎない<sup>1,2)</sup>。青森県では貝の生理状態の生化学的な把握が試みられたが、低感度および煩雑な分析操作が実用化への障害となっている<sup>3)</sup>。一方、ホタテガイ中腸腺のトリグリセライド (TG) 含有量は1日程度の短期飢餓によって減少し時化を経験した稚貝のTG含有量が減少することから、これら稚貝のTG含有量の急変は短期間の摂餌不良によると解釈された<sup>4,5)</sup>。ところが、籠入れ替え作業の経験が養殖後1～8日目までTG含有量が低下し、作業ストレスが中腸腺TG含有量低下に影響した可能性が指摘されている<sup>6)</sup>。しかし、ストレスがホタテガイ中腸腺のTG含有量低下をもたらすメカニズムは不明であり、これらの関係解明にはTG代謝に関わるリパーゼの働きに着目する必要がある。他方、ホタテガイ中腸腺は遊離脂肪酸含有量が高いため内在性リパーゼの関与が示唆され<sup>7,8)</sup>、その後、*sn*-1,2(2,3)-位に特異的に働くリパーゼが存在することが定性的に確認された<sup>9)</sup>。このときのリパーゼ活性測定法は多量の基質および酵素試料を必要とするため、多試料のリパーゼ活性の分析が困難である。生態研究では個体毎の分析が基本となるため、簡便な一

括多試料分析法が望まれる。水産生物のリパーゼの活性測定には蛍光物質でラベルした分解基質を用いた蛍光分析法も用いられるが<sup>10,11)</sup>、蛍光光度計による経時測定が必要なため多試料の分析が困難である。酵素活性の微量簡易分析法であるAPIZYMシステムは未知試料の多酵素の活性の特性を把握することには適するが定量性は不十分である<sup>12)</sup>。そこで、本研究ではホスホリパーゼA2の活性測定に用いられている微量分析法<sup>13)</sup>を改変し多試料のホタテガイ中腸腺のリパーゼ活性を一括定量分析する測定法を確立した。

## 材料と方法

リパーゼの性状を検討するための中腸腺アセトン粉末は2004年4月に噴火湾から採取し、 $-20^{\circ}\text{C}$ で凍結保存したホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis*を用いた。ブタ膵臓リパーゼはSigma-Aldrich社 (St.Louis, Missouri, USA) のType IIを用いた。試験に供したホタテ稚貝は2006年6月に噴火湾から採集した。稚貝の中腸腺のアセトン粉末は以下の様に作成した。すなわち、中腸腺を個別に10ml試験管にとり、 $-20^{\circ}\text{C}$ に冷却した5倍量のアセトンにこれに加えヒスコトロン処理してホモジネートとした。ホモジネートを遠心分離 (3,000rpm, 10分) した後、沈殿を回収した。同様の操作を2回繰り返した後、試験管の残渣を減圧処理してアセトン除去し個体別のアセトン粉末を得た。減圧操作では、 $30^{\circ}\text{C}$ の温水に浸したガラスデシケータ (上口・横口、中板径180mm) にアスピレータ

報文番号 A423 (2008年2月20日受理)

\*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, Hamanaka, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

\*2 北海道大学大学院水産科学研究院 (Research Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

(ADVANTEC AS-25) を連結し, 最大60本の試験管を約2時間減圧することで一括処理した。アセトン粉末は試験管のまま酵素活性分析まで $-20^{\circ}\text{C}$ で保存した。粗リパーゼはアセトン粉末100mgに対してトリス-HCl緩衝液(pH7.5)1mlを加えて調製した。ホタテガイの場合には中腸腺湿重量の約25%がアセトンパウダー重量となる。オリーブオイル(終濃度71mg/ml)を分解基質として, トリス-HCl緩衝液(終濃度50mM)・デオキシコール酸(終濃度2.7mM)・塩化カルシウム(終濃度5.0mM)を含む乳化液120 $\mu\text{l}$ に粗リパーゼ液20 $\mu\text{l}$ を加え,  $20^{\circ}\text{C}$ ・16時間反応させた<sup>8)</sup>。反応はクロロホルム:メタノール(2:1, v/v)溶液を650 $\mu\text{l}$ 加えることにより停止させ, クロロホルム層を回収後上記減圧処理により蒸発乾固した。これにエタノール:エーテル(3:1, v/v)溶液を100 $\mu\text{l}$ 加え再溶解し, NEFA分析キット(ワコー純薬, NEFAC-TestWako: ACS-ACOD法)を用いて分解物の遊離脂肪酸量を定量した。NEFAの定量分析にはマイクロプレートを用いた多試料一括分析<sup>4)</sup>を採用した。10ml試験管を用いたリパーゼ活性測定では60サンプルが同時に分析できる。前記の方法で得られたホタテ中腸腺によるオリーブオイル分解物をヘキサン:エーテル:酢酸(80:20:1, v/v/v)を展開溶媒とする薄層クロマトグラフィーで展開し, リパーゼ活性の有無を確認した。ブタ膵臓リパーゼを対照として, ホタテガイ中腸腺のリパーゼ活性に対するpHおよび温度の影響を調べた。試験ではそれぞれ5回の繰り返し試験を行った。各系の試験に対して $90^{\circ}\text{C}$  2分間の加熱により失活させた酵素液を用いたブランク試験を行い, 生成された遊離脂肪酸量の差をとり, その最大値を100とした割合をリパーゼ相対活性として評価した。活性の単位(U)は1分間に1 $\mu\text{g}$ の脂肪酸を遊離する活性を1Uと定義し, ブタ膵臓リパーゼの活性と比較した。凍結保存されたホタテ稚貝(2004年9月15日採取)と2令貝(2004年4月7日採取)について, それぞれ2個体の中腸腺リパーゼ活性を求めた。稚貝では摘出した中腸腺をそのまま分析に使用し, 2令貝では中腸腺の一部を分析に使用した。実験は5回の繰り返し試験とし, リパーゼ活性はpH7.5・ $20^{\circ}\text{C}$ ・16時間で生成された中腸腺1mg当たりの遊離脂肪酸量として平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。

## 結果と考察

酵素反応後にクロロホルム層に回収されたものには, 基質であるTGの他, わずかなジグリセリド(DG)とともに明らかな遊離脂肪酸のスポットがみられた (Fig.1)。失活酵素液による反応では遊離脂肪酸・DGがほとんど認められず (Fig.1), 上記の分析法でホタテガイ中腸腺におけるリパーゼ活性を検出できることが明らかとなっ

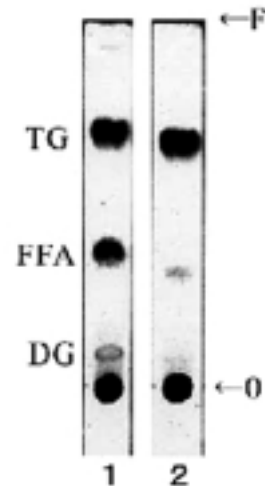


Fig.1 Thin-layer chromatograms of the reaction products after incubation of olive oil with crude enzyme solution (1) or denatured crude enzyme solution treated by  $90^{\circ}\text{C}$ , 2 min. (2). Abbreviations: TG, tri- glyceride; FFA, free fatty acid; DG, 1,2(2,3)- diglyceride; O, origin; F, front.

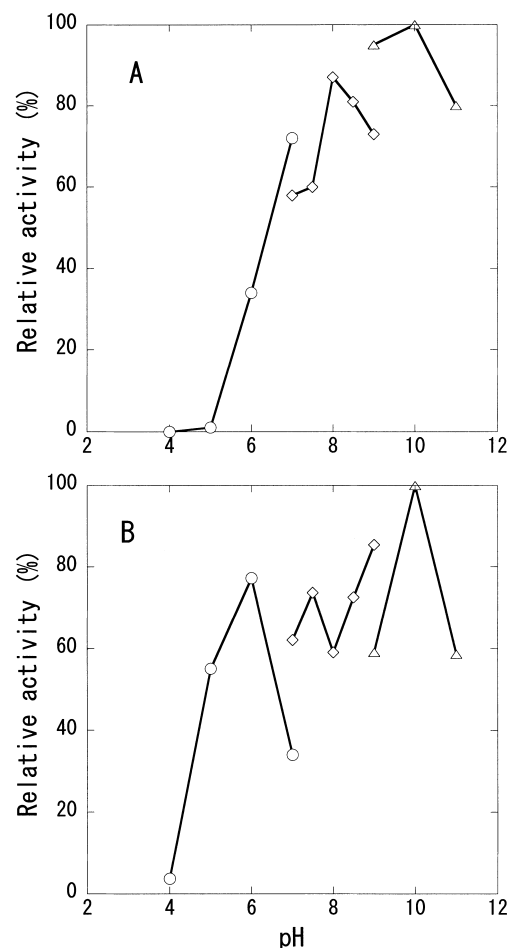


Fig.2 Effects of pH on the lipase activity of porcine pancreas (A) and scallop hepatopancreas (B). The reactions were determined in 50 mM buffer solutions, open circles; acetic acid-sodium acetate (pH4.0-7.0), open squares; Tris-HCl (pH7.0-9.0), open triangles; glycine-NaOH (pH9.0-11.0) at  $20^{\circ}\text{C}$  for 16 hours.

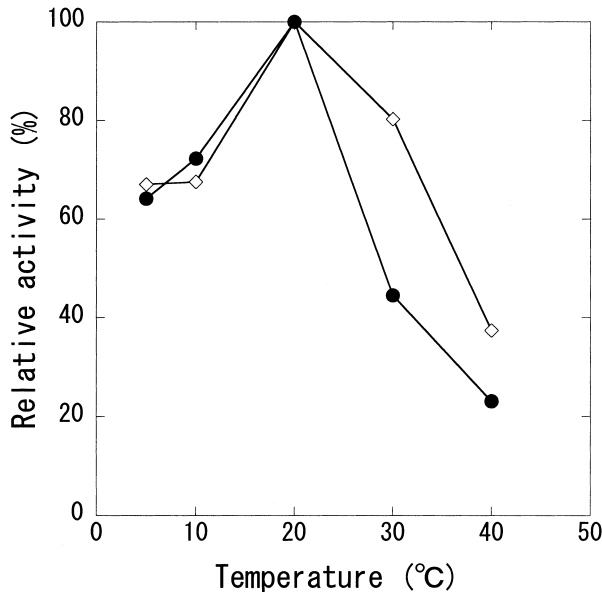


Fig.3 Effects of temperature on the lipase activity of porcine pancreas determined in 50 mM Tris-HCl (pH8.0) buffer (open squares), and scallop hepatopancreas determined in 50 mM Tris-HCl (pH7.5) buffer (closed circles) at 20 °C for 16 hours.

Table1 Lipase activity of crude enzyme solution from scallop hepatopancreas. Juvenile A and B were collected from Funka Bay at 15/ September/ 2004. 2 year Scallop A and B were collected from Funka Bay at 7/April/ 2004. Results were indicated average  $\pm$  standard deviation from five repeated tests. Lipase activities were indicated as NEFA concentration per hepatopancreas produced after the reaction (pH 7.5, 20°C, 16 hour).

	LA	SL (mm)	SPW (g)	HPW (g)
J-A	169 $\pm$ 22.1	16.9	0.257	0.0226
J-B	148 $\pm$ 16.6	16.6	0.249	0.0240
2-A	116 $\pm$ 17.6	100.5	72.3	8.10
2-B	118 $\pm$ 15.9	100.5	72.3	7.17

J: Juvenile, 2: 2 year scallop, LA: Lipase activities ( $\mu$ g NEFA/mg HP/16h), SL: Shell length, SPW: Soft part weight, HPW: Hepatopancreas weight.

た。本法で分析したブタ膵臓リパーゼのpHおよび反応温度に対する特性(Fig.2,3)はブタ膵臓リパーゼ(パンクレアチンF, 天野製薬)とほぼ同様の性状であった。このことは本法がリパーゼの定量分析法として妥当であることを示す。ホタテガイ中腸腺粗リパーゼはpH6-10の間で活性が高かった(Fig.2)。緩衝液の種類で相対活性は上下変動があったものの、pH10.0に極大値が認められた。pH6.0においてもピークが認められ、今回使用した粗リパーゼには異なる性質を持つリパーゼが含まれていた可能性がある。ホタテガイ中腸腺粗リパーゼとブタ膵臓リパーゼ活性に及ぼす温度の影響はほぼ同じパターンであ

り、20°Cのときに最大活性を示した(Fig.3)。20°Cより高温でのホタテガイ中腸腺粗リパーゼ活性の低下はブタリパーゼに比べて顕著であった。ホタテガイ中腸腺粗リパーゼの比活性は0.062U/mg (pH10.0, 20°C, 反応時間24時間)であり、同時に測定したブタ膵臓リパーゼの比活性181U/mg (pH8.5, 20°C, 反応時間24時間)の約1/2900と極めて低かった。中腸腺粗リパーゼの活性は同一個体における繰り返し試験の結果は安定していた(Table 1)。2年貝に比べて稚貝のリパーゼ活性が高かったのは、季節の違いによる餌条件、年齢の違いによる生理条件の影響が考えられる。他方、中腸腺内の幹晶体のリパーゼ活性は中腸腺組織に比べて1.7-3.0倍高いため<sup>14)</sup>、その影響も考えられる。本法では中腸腺の秤量からアセトンパウダー保存までを同一試験管により行い、分析に使用する粗酵素液量も20 $\mu$ lと微量であることから殻長10mmサイズのホタテガイ稚貝でも個体別の分析ができた。この定量法はホタテガイだけでなく、様々な海産生物の生態研究におけるリパーゼ活性測定に応用できる。

## 文 献

- 1) 小坂善信：ホタテガイの稚貝へい死。青森県水産増殖センターだより. 84, 2-3 (1999)
- 2) 小坂善信：ホタテガイの異常へい死。青森県水産総合研究センター増養殖研究所だより. 98, 2-3 (2003)
- 3) 青森県：先端技術等地域実用化研究促進事業 ホタテガイ健康評価と養殖技術の改善に関する研究(平成11年度から13年度報告書), 青森県, 2002, 70p.
- 4) 宮園 章：ホタテ稚貝の短期飢餓に対するトリグリセライド含有量の変化. 北水試研報. 69, 145-149 (2005)
- 5) 宮園 章, 奥村裕弥, 吉村圭三, 菊池 肇, 遠藤 圭, 長間馨一：時化が垂下養殖ホタテガイ稚貝のトリグリセライド含有量に及ぼす影響. 北水試研報. 70, 105-111 (2006)
- 6) 宮園 章, 奥村裕弥, 長間馨一, 佐々木恒光：養殖作業ストレスによるホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 稚貝のトリグリセライド含有量変化の可能性(短報) 北水試研報. 73, 61-63 (2008)
- 7) 林賢治, 山田実：貝類の脂質 V. ホタテガイの組成脂肪酸について. 北大水産彙報. 26, 182-191 (1975)
- 8) Takagi, T., K. Hayashi and Y. Itabashi: Toxic effect of free unsaturated fatty acids in the mouse assay of diarrhetic shellfish toxin by intraperitoneal injection. *Bulletin of the Japanese Society of*

- Scientific Fisheries*, 50, 1413-1418 (1984)
- 9) Itabashi, Y. and T. Ota: Lipase activity in scallop hepatopancreas. *Fisheries Science*. 60, 347 (1994)
  - 10) Smoot, J. C. and R. H. Findlay: Digestive enzyme and gut surfactant activity of detritivorous gizzard shad (*Dorosoma cepedianum*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57, 1113-1119 (2000)
  - 11) Christian, A. D., B. N. Smith, D. J. Berg, J. C. Smoot and R. H. Findlay: Tropic position and potential food sources of 2 species of unionid bivalves (Mollusca: Unionidae) in 2 small Ohio streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 23, 101-103 (2004)
  - 12) Mitsuhashi Jun: Comparison of zymograms of some insect cell lines by means of APIZYM system. *Appl. Ent. Zool.*, 25, 535-537 (1990)
  - 13) 岸村栄毅, 林 賢治: ニチリンヒトデ幽門盲のうホスホリパーゼA 2 様酵素の生成と性質. 日水誌, 64., 264-269 (1998)
  - 14) Hameed, P. S.: Lipase activity in the crystalline style of some bivalve molluscs. *Current Science*. 56, 432-433 (1987)

# 養殖作業ストレスによるホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 稚貝のトリグリセライド含有量変化(短報)

宮園 章<sup>\*1</sup>, 奥村裕弥<sup>\*2</sup>, 長間馨一<sup>\*3</sup>, 佐々木恒光<sup>\*3</sup>

Possibility of change in triglyceride concentrations affected by mariculture operation stress on juveniles of Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Short Paper).

Akira MIYAZONO<sup>\*1</sup>, Hiroya OKUMURA<sup>\*2</sup>, Keiichi NAGAMA<sup>\*3</sup> and Tsunemitsu SASAKI<sup>\*3</sup>

キーワード：ホタテガイ，作業ストレス，トリグリセライド，生理指標

## はじめに

ホタテガイ養殖では，天然採苗後の夏から秋に稚貝の籠入れ替え作業が数回行われる。その目的は稚貝サイズの選別，害敵駆除，密度調整，目合の大きな養殖籠への交換によって，養殖生産性を高めることにある<sup>1)</sup>。その反面，籠入れ替え作業は稚貝の乾出やふるい分け等の物理的衝撃や作業水の温度・塩分・DO等水質の急激な変化を伴うため，稚貝のへい死要因となる<sup>2)</sup>。ホタテガイの中腸腺トリグリセライド(TG)は閉殻筋のグリコーゲンとともにエネルギー貯蓄物質であり，含有量の季節変化は水温や餌料条件等の生育環境および生殖巣の発達過程と密接に関係する<sup>3,4)</sup>。中腸腺TGは生殖巣発達時の生理的な役割に興味をもたれてきた<sup>5-7)</sup>。近年，ホタテガイ稚貝の生理状態を生化学的に把握する試みがなされ<sup>8-11)</sup>，稚貝のTG含有量は飢餓や時化等によって日単位で減少することがわかってきた<sup>10,11)</sup>。しかし，養殖現場におけるホタテ稚貝のTG含有量の挙動に関する知見はほとんどない。本研究では，籠入れ替え作業後のホタテ稚貝のTG含有量の変化を調査し，養殖作業ストレスに対してホタテ稚貝のTG含有量が応答することを明らかにした。

## 材料と方法

北海道，長万部町静狩沖のホタテガイ養殖海域(図1)において，ホタテ稚貝のTG含有量に及ぼす籠入れ替え作

業の影響試験を実施した。2005年7月中旬に天然採苗され，籠養殖されていた稚貝を8月23日の本試験に供した。籠入れ替え作業は船上で行う次の①～⑥の工程からなり，約30分程度の作業であった。①入れ替え前の養殖籠(30 cm×30 cm×15 cmの四角い籠を縦に13段連結したもの，目合1.5 mm)の海中からの引き上げ，②籠をたたいて足糸で網地に付着した稚貝のたらいへの回収，③海水を満たしたたらいの中で約4 mm目合のフルイを使用した大型個体の選別・ヒトデ等害敵生物の除去，④海水を満たした別のたらいへの一時収容，⑤スプーンを使った稚貝の網目の大きな養殖籠への収容(密度調整)，⑥海中に垂下し，養殖開始。試験養殖では，13段の養殖籠(目合4.5 mm)のうち上から3段を使用し，おおむね一籠に200個の密度となるように稚貝を収容した。稚貝の大きさは平均殻長5.8 mmであった。これを実験群とし，全部で4連を垂下養殖した。他方，作業工程①の後ただちに⑤・⑥の工程を行ったものを対照群とし，全部で4連を垂下した。籠入れ替え作業は長万部漁業協同組合青年部諸氏によって行われた。

稚貝のサンプリングは養殖開始時(8月23日)，翌日(8月24日)，6日後(8月29日)，8日後(8月30日)および9日後(9月1日)の計5回行い，籠3段分を一括して回収した。回収した稚貝のうち10個体をTG分析用に凍結保存した。凍結保存した稚貝のTG含有量は発色試薬としてトリグリセライド-E-テストワコー(和光純薬：GPO・DAOS法)を用いたマイクロプレートによる分

報文番号 A424 (2008年2月20日受理)

\*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

\*2 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experiment Station, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

\*3 長万部漁業協同組合 (Oshamanbe Fisheries Cooperative Association, Oshamanbe, Hokkaido 049-3511, Japan)

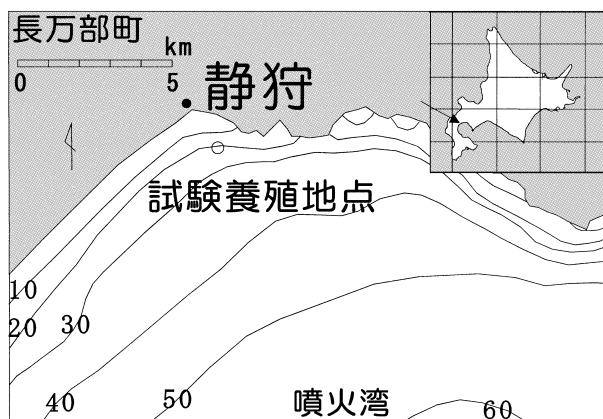


図1 養殖試験実施地点

析法によって分析した<sup>10)</sup>。垂下養殖環境のうち、水温・塩分・流向流速を養殖施設の水深約10mに垂下した係留式連続記録計(アレック電子 ACM16M-332)によってモニタした。

### 結果および考察

ホタテガイ稚貝を試験養殖した8月23日から9月1日までの水温は15.6~22.5℃, 塩分は30.15~31.53, 水平流速は0.6~9.8cm/sおよび垂直流速は0~6.2cm/sの範囲にあった。これらは試験開始から終了時までの漁場環境が穏やかであったことを示す。

試験開始から終了時までの稚貝の殻長の変化を図2に示した。稚貝は養殖作業の翌日から終了時まで殻長の増加が認められ、実験群と対照群との間にサイズの違いは認められなかった。試験開始から終了時までの稚貝のTG含有量の変化を図3に示した。実験群と対照群ともに、養殖作業の翌日からTG含有量は増加傾向を示したが、8日後まで対照群のTG含有量は実験群よりも高めに推移した。

飢餓飼育下におけるホタテ稚貝のTG含有量の減少および2004年に観察された時化後のTG含有量の減少はいずれも1日程度の摂餌阻害(飢餓や養殖籠の振動)による稚貝の摂餌エネルギーと消費エネルギー収支の差を捉えたものであると解釈していた<sup>10, 11)</sup>。しかし、本試験では養殖期間中に両群ともに殻長による成長差のないこと、TG含有量の増加が認められていることから、養殖作業8日後まで、実験群のTG含有量が対照群より低かったこと(図3)を短期間の摂餌エネルギー不足では説明できない。マガキでは、養殖作業ストレスがストレスホルモンの分泌を促し、免疫力低下という生理障害をもたらすことが報告されている<sup>12, 13)</sup>。本研究で得られた結果は養殖作業ストレスがその後のホタテガイ稚貝のTG代謝に

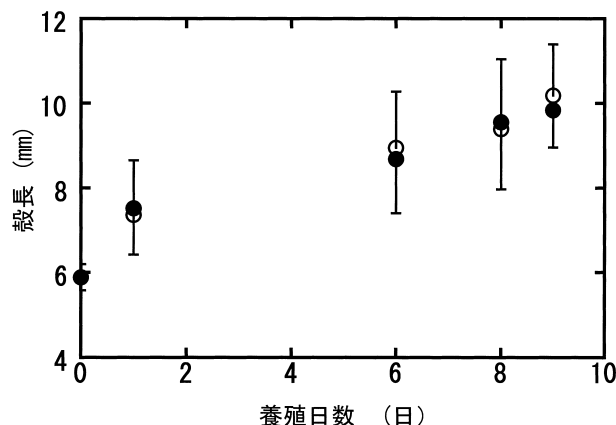


図2 籠入れ替え作業後の養殖期間中の稚貝の殻長の変化 ●は籠入れ替え作業を経験した群, ○は対照群。縦棒はSD

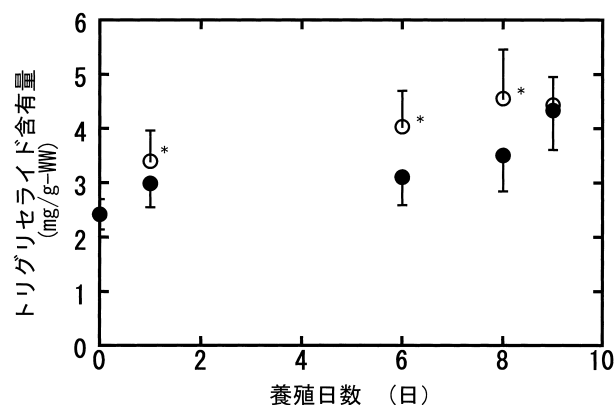


図3 籠入れ替え作業後の養殖期間中の稚貝のトリグリセライド含有量の変化 シンボルは図2と同じ。  
\* ( $p < 0.05$ )はMann-Whitney U-testで有意な差が認められたことを示す

何らかの影響を及ぼした結果、作業後のTG含有量を低下させた可能性がある。しかし、二枚貝のストレスによる影響に関する研究はほとんどなく、ストレスとホタテガイのTG含有量との関係を今後検討する必要がある。

### 謝 辞

本報告にあたり、籠入れ替え作業や調査に協力頂いた長万部漁業協同組合青年部諸氏、渡島北部地区水産技術指導所、函館水産試験場の諸氏に深謝いたします。また、本稿を作成するにあたり貴重な助言を頂いた北海道大学大学院水産学研究院の岸村栄毅博士に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Ito, H. :” JAPAN” . *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (Shumway, S.E., ed), Amsterdam, Elsevier, 1991, 1017-1055.
- 2) 北海道水産資源技術開発協会：噴火湾ホタテガイ養殖の手引き(改訂版). 札幌, 北海道水産資源技術開発協会, 1979, 17p.
- 3) 中川義彦, 林 賢治：サロマ湖産養殖ホタテガイの脂質含量の季節変化について. 北水試月報, 35, 58-66 (1978)
- 4) Hayashi, K. and H. Kishimura: Seasonal changes in the contents of eicosapentaenoic acid-containing triglycerides in hepatopancreas of scallop. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1397-1401 (1991)
- 5) Sastry, A. N.: Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull.*, 138, 56-65 (1970)
- 6) Vassallo, M.T.: Lipid storage and transfer in the scallop *Chlamys hericia* Gould. *Comp. Biochem. Physiol.*, 44A, 1169-1175 (1973)
- 7) Barber, B.J. and N.J. Blake: “REPRODUCTIVE PHYSIOLOGY” . *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (Shumway, S.E., ed), Amsterdam, Elsevier, 1991, 337-428.
- 8) 青森県：水産行関係地域重要新技術開発促進事業 ホタテガイ種苗の種苗性評価および改善に関する研究（平成8年度から10年度報告書）. 青森県, 1999, 82p.
- 9) 青森県：先端技術等地域実用化研究促進事業 ホタテガイ健康評価と養殖技術の改善に関する研究（平成11年度から13年度報告書）. 青森県, 2002, 70p.
- 10) 宮園 章：ホタテ稚貝の短期飢餓に対するトリグリセライド含有量の変化. 北水試研報, 69, 145-149, (2005)
- 11) 宮園 章, 奥村裕弥, 吉村圭三, 菊池 肇, 遠藤 圭, 長間馨一：時化が垂下養殖ホタテガイ稚貝のトリグリセライド含有量に及ぼす影響. 北水試研報, 70, 105-111 (2006)
- 12) Lacoste, A., S.K. Malham, A. Cueff, F. Jalavert, F. Gelebart and S. A. Poulet: Evidence for a form of adrenirgic response to stress in the mollusc *Crassostrea gigas*. *Jour. Experimental Biology*, 204, 1247-1255 (2001)
- 13) Lacoste, A., F. Jalabert, S. K. Malham, A. Cueff, S. A. Poulet: Stress and stress-induced neuroendocrine changes increase the susceptibility of juvenile oysters (*Crassostrea gigas*) to *Vivrio splendidus*. *Appl. Environ Microbiol.*, 67, 2304-2309 (2001)



## 試験研究業績（外部刊行物への発表）平成18年度

## 海洋環境部門

サケ・マス資源と沿岸環境：永田光博，宮腰靖之，藤原 真，安藤大成（水産孵化場），嶋田 宏，澤田真由美（中央水試），浅見大樹（稚内水試） 月刊海洋 38(9)，637-646，2006.9

Seasonal and annual changes of oceanographic condition during early ocean life of chum salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido, Okhotsk Sea：澤田真由美，嶋田 宏（中央水試），浅見大樹（稚内水試），佐藤 一（栽培水試），宮腰靖之，安藤大成，藤原 真，永田光博（水産孵化場） NPAFC（北太平洋遡河性魚類委員会）ポスター発表 2006. 4

Distribution and growth of juvenile pink salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido determined with otolith-marking：藤原 真，宮腰靖之，安藤大成（水産孵化場），嶋田 宏，澤田真由美（中央水試），浅見大樹（稚内水試），永田光博（水産孵化場） NPAFC（北太平洋遡河性魚類委員会）口頭発表 2006.4

Distribution and growth of juvenile chum salmon in the Abashiri Bay, eastern Hokkaido, in relation to sea surface temperature：宮腰靖之，藤原 真，安藤大成（水産孵化場），嶋田 宏，澤田真由美（中央水試），浅見大樹（稚内水試），永田光博（水産孵化場） NPAFC（北太平洋遡河性魚類委員会）口頭発表 2006.4

海底設置型ADCPによる宗谷暖流の長期連続観測：深町 康，田中伊織（中央水試），大島慶一郎，江淵直人，水田元太，吉田英雄（稚内水試），若土正暁：2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集，97，2006.9

春ニシンの資源変動と海洋環境：田中伊織（中央水試） 水路新技術講演集 20，67，日本水路協会，2006.12

2カ年にわたる全道貝毒プランクトンのモニタリング調査結果…麻痺性貝毒プランクトンの時期別，海域別の出現カレンダー…：嶋田 宏（中央水試） 第16回栽培漁業セミナーテキスト，7-8，2007.1

道東海域の海況の季節変化：永田 豊，小熊幸子，博田 功，相川公洋，田中伊織，中多章文（中央水試），夏目雅史（釧路水試） 2006年度根室ワークショップ「第5回ハナサキ・プログラム・ワークショップ」開催報告書 25-31，2007.

Seasonal variation of the oceanic state in the sea to the east of Hokkaido：永田 豊，小熊幸子，博田 功，相川公洋，田中伊織，中多章文（中央水試），夏目雅史（釧路水試） Proceedings of SakhNIRO/Nemuro Joint Study on Hanasaki Crab 27-34，2007.

Seasonal variation of the oceanic state in the sea to the east of Hokkaido：永田 豊，小熊幸子，博田 功，相川公洋，田中伊織，中多章文（中央水試），夏目雅史（釧路水試） Proceedings of the 22nd International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice 129-133，2007.3

Long-term measurement of the Soya Warm Current by a bottom-mounted Acoustic Doppler Current Profiler：深町 康，田中伊織（中央水試），大島慶一郎，江淵直人，水田元太，吉田英雄（稚内水試），若土正暁 Proceedings of the 22nd International Symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice 134-135，2007.3

北海道におけるシロザケとニシンの長期的バイオマス変動：帰山雅秀，田中伊織（中央水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，p280，ポスター発表（Ⅱ），2007.3

宗谷暖流を横切って沖合の有毒プランクトンを沿岸域に輸送する一つのメカニズムのアイデアを補強しそうなデータ：田中伊織，大槻知寛（中央水試） 衛星観測システムの海洋生態系研究及び水産業の利用のための基盤技術に関する共同研究 平成18年度共同研究発表会成果報告，20-25，水産総合研究センター・宇宙航空研究開発機構，2007.3

夏季北海道オホーツク海沖合における *Alexandrium tamarense* の分布と栄養塩濃度の関係：嶋田 宏，澤田真由美，中多章文（中央水試），浅見大樹（稚内水試） 平成18年度東北ブロック水産業関係研究開発推進会議海区水産業部会・分科会報告書，2007.3

夏季北海道オホーツク海沖合における *Alexandrium tamarense* の分布と栄養塩濃度の関係：嶋田 宏，澤田真由美，中多章文（中央水試），浅見大樹（稚内水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，2007.3

トヤマエビ漁業と噴火湾底層水温：田 稔（函館水試） 第38回北洋研究シンポジウム講演要旨集，12，2007.

ホタテガイ漁業と海洋環境：奥村裕弥（函館水試） 第38回北洋研究シンポジウム講演要旨集，17-18，2007.

## 資源管理部門

曳網採集具の運動解析：板谷和彦（中央水試） 水産学シリーズ152巻「テレメトリー水生動物の行動と漁具の運動解析」，98-106，2006.10

サンプリングギアの効率：板谷和彦（中央水試） 水産海洋研究 70(2)，141-142，2006.5

V P Aで求めた北海道北部産マガレイの資源尾数推定値の評価：下田和孝，室岡瑞恵（稚内水試），板谷和彦，星野昇（中央水試） 日本水産学会誌 72(5)，850-859，2006.9

Changes of the trophic position of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* juvenile in a sandy sublittoral area in Wakasa Bay, Sea of Japan, examined by carbon and nitrogen isotope analyses. (炭素・窒素安定同位体比分析によって調べられた日本海若狭湾砂浜域におけるヒラメ稚魚の栄養段階の変化（短報）)：Hiroshi. Yamaguchi（稚内水試），N. Takai, M. Ueno and I. Hayashi Fisheries Science 72(2)，449-451，2006

"Distribution of the Steller sea lion *Eumetopias jubatus* during winter in the northern Sea of Japan, along the west coast of Hokkaido, based on aerial and land sighting surveys. (航空機調査と陸上目視観察に基づく冬季の北部日本海北海道沿岸におけるトドの分布状況)：H. Hoshino, T. Isono, T. Takayama, T. Ishinazaka, A. Wada（稚内水試） and Y. Sakurai Fisheries Science 2006 72(5)，922-931，2006.10

水産資源の持続的利用－知床半島周辺海域の漁業と水産資源（陸棚）－：石田良太郎，鳥澤 雅（釧路水試），志田修（函館水試） 月刊海洋 38(9)，626-631，2006.9

知床半島周辺海域の漁業と水産資源（沿岸）：西内修一（網走水試） 月刊海洋 38(9)，626-636，2006.9

知床半島周辺海域の漁業と水産資源（陸棚）：石田良太郎，鳥澤 雅（釧路水試），志田 修（函館水試） 水産海洋研究 70(4)，274-275，2006.11

知床半島周辺海域の漁業と水産資源（沿岸）：西内修一（網走水試） 水産海洋研究 70(4)，275-276，2006.11

移入種か、在来種か？清水港から記載された浮遊性カイアシ類の一種の導入の可能性を検証する：平野和夫（釧路水試）外 日本プランクトン学会報 54, 30-38, 2007.2

カタクチイワシの成長及び寿命の再検討：平野和夫，森 泰雄（釧路水試）外 黒潮の資源海洋研究第8号，67-78, 2007.3

北海道日本海におけるスケトウダラ稚魚に対する昼夜別音響資源調査：板谷和彦，三宅博哉（中央水試），田中伸幸（網走水試），貞安一廣，宮下和士（北大FSC） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，16，2006.4

礼文島周辺の刺し網漁場におけるニシン漁獲状況と系群構成：高柳志朗，田中伸幸（稚内水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，18，2006.4

石狩湾系ニシンの資源管理手法の検討：三宅博哉（中央水試），高柳志朗（稚内水試），石田良太郎（釧路水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，18，2006.4

石狩湾系ニシン仔魚期の成長速度と年級群豊度の関係：石田良太郎，佐々木正義（釧路水試），高柳志朗（稚内水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，19，2006.4

北海道周辺海域に分布するスルメイカの発生時期と群構造の検討（要旨）：坂口健司（釧路水試）外 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，194，2006.4

曳網採集具の運動解析：板谷和彦（中央水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，335，2006.4

Seasonal and Annual changes of oceanographic condition during early ocean life of chum salmon in the coastal waters of Okhotsk Sea, eastern Hokkaido. (北海道東オホーツク海沿岸域におけるサケ稚魚沿岸滞泳期の海洋環境の季節変動および年変動)：M. Sawada, H. Shimada (中央水試)，H. Asami (稚内水試)，H. Sato, Y. Miyakoshi, D. Ando, M. Fujiwara and M. Nagata NPAFC ワークショップ，2006.4

Organochlorines in Steller sea lions (*Eumetropias jubatus*) from the Western North Pacific.：後藤陽子（釧路水試）外 Sea Lions of the World. Alaska Sea Grant College Program, Fairbanks., 1-11, 2006.8

近年，急激に増加した日本海ニシン資源と環境変動：石田良太郎（釧路水試），高柳志朗（稚内水試），石野健吾，瀧谷明朗，田中伊織（中央水試），渡邊良朗 水産海洋学会地域研究集会「2005／2006年の厳冬の実態と北海道における海洋環境と水産資源への影響」，22-23，2006.8

秋期北海道西岸日本海におけるスケトウダラ分布の特徴Ⅰ：鉛直分布：三宅博哉，本間隆之（中央水試），和田昭彦（稚内水試），渡野邊雅道（函館水試） 水産海洋学会発表大会講演要旨集 2006年度，64，2006.11

ミトコンドリアDNA塩基配列解読によるケガニ遺伝的変異解析：東 典子，國廣靖志，佐々木 潤（栽培水試），野澤 靖，三原栄次（稚内水試），三原行雄（中央水試），安永倫明（釧路水試），阿部周一 平成18年度日本水産学会北海道支部大会要旨集，60，2006.12

Are there three *Ammodytes* species in Japan? (日本には3種のイカナゴがいる?)：T. Yanagimoto, T. Ga and H. Yoshida (稚内水試) 平成18年度日本水産学会北海道支部大会要旨集，61，2006.12

根室海峡におけるスケトウダラ漁業と資源の現状 合意形成に向けた自主管理の評価と生態情報の重要性：石田良太郎（釧路水試） 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 漁業管理におけるリスク評価と合意形成のための社会経済学的アプローチ 講演要旨集，10，2006.12

ハンディーGPSを用いたミズダコ資源分布密度の評価方法の開発：佐野 稔（稚内水試） 北海道GISデータベース研究会（セミナー&マップギャラリー2006，事例発表），2006.12

Long-term measurement of the Soya Waor Current by a bottom-mounted acoustic doppler current profiler(海底設置型トッパー流速計による宗谷暖流の長期計測)：Y. Fukamachi, I. Tanaka, K. I. Ohshima, N. Ebuchi, G. Mizuta, H. Yoshida（稚内水試） and M. Wakatsuchi 第22回北方圏国際シンポジウム発表要旨集，134-135，2007.2

スケトウダラ日本海系群一仔稚魚に対する計量魚探を用いた資源調査－：板谷和彦（中央水試） 平成18年度水産海洋学会地域研究集会シンポジウム「水産資源の音響モニタリングに向けて」講演要旨集，5，2007.2

二周波計量魚探およびFMTネットによるスケトウダラ仔稚魚の分布密度の比較：板谷和彦，三宅博哉（中央水試），和田昭彦（稚内水試），志田 修（栽培水試），宮下和士（北大FSC） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，17，2007.3

夏季北海道オホーツク海沖合における*Alexandrium tamarence*の分布と栄養塩濃度の関係：嶋田 宏，澤田真由美，中多章文（中央水試），浅見大樹（稚内水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，2007.3

ハンディGPSプロッタを用いたミズダコ資源分布図の作成の試み（ポスター）：佐野 稔（稚内水試），板東忠男 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，278，2007.3

北海道北部沿岸域におけるクロガシラガレイの年齢と成長（ポスター）：山口浩志（稚内水試），室岡瑞恵，田中伸幸（網走水試），村上 修（稚内水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，280，2007.3

網口サイズと曳網速度による採集効率の変動：板谷和彦（中央水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，373，2007.3

スルメイカ冬季発生群の2003年太平洋における分布・成長・加入：坂口健司（釧路水試）外 イカ類資源研究会議報告（平成17年度・平成18年度），80-93，2007.2

北海道周辺海域に分布する雄スルメイカの成熟と日齢の関係（要旨）：坂口健司（釧路水試）外 イカ類資源研究会議報告（平成17年度・平成18年度），94，2007.2

北海道周辺海域に分布するスルメイカの発生時期と群構造の検討（要旨）：佐藤 充（中央水試），坂口健司（釧路水試） イカ類資源研究会議報告（平成17年度・平成18年度） 95，2007.2

採捕試料を用いた食性解析－予報－：後藤陽子（釧路水試） 平成17年度 水産庁委託事業 国際資源調査等推進対策事業 トド資源調査事業報告書 独立行政法人水産総合研究センター，28-32，2006.9

採捕試料を用いた食性解析：後藤陽子（釧路水試） 平成17年度 水産庁委託事業 国際資源調査等推進対策事業 トド資源調査事業報告書 独立行政法人水産総合研究センター，111-123，2006.9

平成18年度資源動向要因分析調査課題報告書（小課題）1060 資源動向要因分析調査 スケトウダラ太平洋系群 道東養育場におけるスケトウダラ稚魚・幼魚の分布と餌料環境：石田良太郎（釧路水試）外 平成18年度資源動向要因分析調査課題報告書，14-15，2007.3

No.120 石狩湾系ニシンの成長に関する研究：石田良太郎，佐々木正義（釧路水試）外 共同研究利用報告書，1-3，2007.3

ニシンについて：石田良太郎（釧路水試） おさかなセミナー 気候変化，海の生き物の変化パンフレット，4-5，2006.8

## 資源増殖部門

マツカワ：森 立成（中央水試） 水産増養殖システムアトラス 熊井英水・隆島史夫・森勝義編 恒星社厚生閣 30-31，2007.3

Aquaculture performance of triploid barfin flounder *Verasper moseri*：森 立成（中央水試），齋藤節雄（栽培水試），岸岡稚青，荒井克俊（北大水） Fish.Sci.，72(2)，270-277，2006.4

希少種マツカワにおける染色体操作育種と性統御：森 立成（中央水試） 水産育種，35(2)，151-156，2006.6

受賞者総説（水産学奨励賞） マツカワの種苗生産技術に関する研究－：萱場隆昭（栽培水試） 日本水産学会誌 72(5)，815-818，2006.9

水産研究のフロントから ー北海道栽培水産試験場ー：齋藤節雄（栽培水試） 日本水産学会誌 72(5)，983，2006.9

噴火湾におけるホタテガイ養殖の現状と適正養殖量推定のための諸課題：宮園 章（函館水試） 日本ベントス学会誌 61，45-52，2006.

利尻島，礼文島におけるリシリコンブの豊凶と海洋条件：西田芳則（稚内水試） 水産海洋シンポジウムー2005/06年の厳冬の実態と北海道海域における海洋環境と水産資源への影響ー講演要旨集，12-13，2006.8

北海道北部沿岸におけるアマモ類の分布の特徴：赤池章一，合田浩朗（稚内水試） 平成18年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集，63，2006.12

北海道南部太平洋におけるケガニの資源管理：佐々木 潤（栽培水試） 日本甲殻類学会第44回大会講演要旨集，2006.

北海道・東北海域の音響モニタリング スケトウダラ太平洋系群：志田 修（栽培水試） 水産海洋学会地域研究集会「水産資源の音響モニタリングに向けて」講演要旨集，2006.

ホタテ稚貝のトリグリセライド(TG)含有量の生理指標性(2)；ホタテ稚貝のTG含有量と乾出ストレス耐性との関係：宮園 章（函館水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，99，2006.4

コノハクラゲ（*Eutima Japonica*）共生のホタテガイ稚貝への影響：馬場勝寿（函館水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，131，2006.4

LC-MS/MS analysis of lipophilic toxins in Japanese Dinophysis species：宮園 章（函館水試） PICES 15 proceeding in Yokohama Jun 30, 3235, 2006

今 ナマコを考える ー種苗生産技術の現状と問題点ー：酒井勇一，近田靖子（栽培水試） 平成18年度育てる漁業研究会講演要旨，33-44，2007.1

DHA要求に着目したマガレイの白化防除：佐藤敦一（栽培水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，2007.3

マガレイの形態異常に及ぼす餌料中DHA/EPA比の影響：佐藤敦一（栽培水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，2007.3

ニシン風蓮湖系群の仔稚魚の分布と成長：堀井貴司，角田富男（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，77，2007.3

ニシン風蓮湖系群の人工種苗の放流効果：堀井貴司（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，77，2007.3

北海道の日本海で放流した石狩湾系ニシン種苗の未成魚期における回遊範囲：伊藤慎悟，中島幹二（稚内水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，278，2007.3

ホタテガイ養殖漁業の変化：宮園 章（函館水試） 第38回北洋研究シンポジウム講演要旨集，13-14，2007.

噴火湾におけるホタテガイ養殖における採苗の豊凶と環境および母貝の成長不良の関係：馬場勝寿（函館水試） 第38回北洋研究シンポジウム講演要旨集，16，2007.

Occurrence and detrimental effects of the bivalve-inhabiting hydroid Eutima Japonica on juveniles of the Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* in Funka Bay, Japan: relationship to Juvenile massive mortality in 2003：馬場勝寿（函館水試） Mar Biol DOI 10.1007/s00227-007-0636-x

利尻島種富で2004年に出現した海藻：川井唯史，赤池章一（稚内水試），佐藤雅彦，阿部剛史，四ツ倉典滋 利尻研究 26，31-34，2007.3

## 水産工学部門

北海道における漁獲試験結果に基づく魚礁性の定量化とその考察：山内繁樹（中央水試） 水産工学 43(2)，151-159，2006.11

Ecological significance of leaf litter that accumulates in a river mouth as a feeding spot for young cresthead flounder (*Pleuronectes schrouki*)：櫻井 泉（中央水試） Bull.Jan.Soc.Fish.Oceanogr. 70(2)，105-113，2006.

ソリネットを用いたハスノカシパンの駆除試験：櫻井 泉（中央水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，12，2006.4

間隙水中の溶存硫化物がアサリのろ水活動に与える影響：福田裕毅（中央水試） 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集，101，2006.4

葉上動物によるフシスジモク幼胚の食害：金田友紀（中央水試）平成18年度日本水産学会大会講演論文集, 115, 2006. 4

魚礁性指数導入による魚礁性の評価：山内繁樹（中央水試）平成18年度日本水産学会大会講演論文集, 130, 2006. 4

コンクリート構造物による魚類の蛸集と範囲：山内繁樹（中央水試）土木学会豊かな沿岸を造る生態系コンクリートシンポジウム論文集 146-151, 2006. 11

魚礁性の定量化に関する考察：山内繁樹（中央水試）平成18年度日本水産工学会学術講演会論文集, 51-54, 2006.

ホンダワラ幼胚の食害と減耗防止技術開発：金田友紀（中央水試）平成18年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 91-94, 2006. 6

ガラモ場が持つ魚類への餌料供給機能の定量評価：櫻井 泉（中央水試）平成18年度日本水産工学会学術講演会論文集, 119-122, 2006. 6

Genetic analysis for reproduced contribution of released hatchery-produced abalone.：干川 裕（中央水試）PICES 15TH Annual Meeting, 2006. 10

アワビ人工種苗の再生産—大分県津久見湾と北海道忍路湾における解析事例—：干川 裕（中央水試）東大海洋研究所シンポジウム「浅海資源の管理と増殖の現状と課題」要旨集, 15, 2006. 12

ホタテ貝殻を利用した漁場造成技術開発試験：櫻井 泉（中央水試）第11回北日本ベントス談話会講演要旨集, 6,

アサリのろ水活動に溶存硫化物が与える影響：福田裕毅（中央水試）第11回北日本ベントス談話会講演要旨集, 7,

森林が河口域の水産資源に及ぼす影響：櫻井 泉（中央水試）平成18年度網走根室地方管内地域課題検討会及び研修会要旨集, 1-9,

カレイ稚魚による森林起源有機物の利用：櫻井 泉（中央水試）平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 350, 2007.3

## 加工利用部門

市販イカ内蔵ミールのクロソイ稚魚用飼料としての有効性：佐藤敦一，藤岡 崇（栽培水試），信太茂春（釧路水試）日本水産学会誌 72(3), 401-407, 2006.5

生鮮サンマの品質評価：辻 浩司，野俣 洋，臼杵睦夫，金子博実（釧路水試）外 平成18年度水産利用関係試験研究推進会議利用加工技術部会研究会, 16-17, 2006. 11

塩水ウニの菌叢変化と品質保持について：三上加奈子，木村 稔（中央水試），湯本 勲（産総研），笠井久会，吉水 守（北大院水）平成18年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集, 89, 2006. 12

ホッコクアカエビの死後変化について：木村 稔，三上加奈子，阪本正博（中央水試）平成18年度日本水産学会北海道支部大会講演要旨集, 90, 2006. 12

アルギン酸オリゴ糖修飾魚肉の製造過程における臭気変化とその制御：武田浩郁（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，145，2007.3

鯨の種類及び捕獲海域別の赤身肉栄養成分調査：佐藤暁之，辻 浩司，金子博実，野俣 洋（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，145，2007.3

低温貯蔵中の生鮮秋サケの品質評価：辻 浩司，野俣 洋（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，154，2007.3

生鮮サンマの品質評価について：辻 浩司，野俣 洋，佐藤暁之，金子博実（釧路水試）外 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，154，2007.3

低温貯蔵による塩水ウニの腐敗防止策について：三上加奈子，木村 稔（中央水試），湯本 勲（産総研），笠井久会，吉水 守（北大院水） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，156，2007.3

給餌飼育で毒化したホタテガイの麻痺性貝毒成分組成：木村 稔，嶋田 宏，三上加奈子（中央水試） 平成19年度日本水産学会春季大会講演要旨集，160，2007.3

アイヌワカメ及びアイヌワカメ抽出物飼料添加が採卵鶏の免疫応答に及ぼす影響：菅原 玲，宮崎亜希子（釧路水試）外 2007年日本家禽学会春季大会講演要旨集，34，2007.3

サイレージ貯蔵条件による貯蔵中のオリゴ糖等生成技術の開発：小玉裕幸，福士暁彦（中央水試） 水産バイオマスの資源化技術開発委託事業報告書，47-52，2007.3



## 北海道近海におけるタラバエの繁殖生態の特性

水島敏博

北海道周辺には雄性先熟の雌雄同体種である8種類のタラバエビ類が出現する。

沿岸に分布する種は、ミツクリエビなど、小型の種が多く、主にアマモ場を中心とした10m以浅に分布し、産卵数は少なく、浮遊幼生期も短い。沖合の種（ホッコクアカエビ、トヤマエビ等）は大型で、浮遊幼生期が長く、生息水深は深く、さらに、産卵幼生数も多い。深海に生息するヒゴロモエビは卵が特出して大きく、少産で、直達型で直ちに底生生活に移行し、体長も大きい。

これらの繁殖生態の特性とタラバエビ類の再生産の関わりについて検討した。

A415 北水試研報 73 1-8 2008

## 水産種苗生産過程での餌料用海産性微細藻類の培養効率化に関する研究

奥村裕弥

効率化・省力化を目指して設計された大量培養装置での光放射環境を考慮した効率的な培養法に関して検討した。第1章では、培養装置の性能、槽内の光放射環境を明らかとした。第2章では、光合成有効光量子束密度の増大に対する微細藻類の応答を明らかとした。第3章では、光放射環境シミュレーションを行い、培養時の光放射環境変化と藻類の増殖に必要な光量子数を明らかとした。第4章では、推定された細胞密度・培養日数で光合成有効光量子束密度を切り替えて光エネルギーを削減した。第5章では、4種の光色の蛍光ランプを用いた培養試験から、赤色と青色の光源で培養期間の短縮による培養の効率化を達成した。

A416 北水試研報 73 9-29 2008

## 噴火湾における2006年秋の海底表面泥中の硫化物(AVS-S)の分布

宮園 章, 奥村裕弥

2006年9月に噴火湾の表面泥中の硫化物(AVS-S)の水平分布を調査した。硫化物濃度(>0.2mg-S/g-乾泥)の高い泥は湾奥部の水深70-90mの等深線の間に分布した。高い硫化物濃度は有機物量の多いエリア(強熱減量>10%)にみられた。1979年の調査結果と比べると、硫化物量が0.2mg-S/g-乾泥を越えたエリアと強熱減量が2.0%以上のエリアはともに半分程度の面積に縮小していた。これらの結果は前田らによって提唱されている仮説「過剰に養殖されているホタテガイの糞粒は噴火湾の底質悪化を招いている」を支持しない。

A417 北水試研報 73 31-34 2008

## 水槽内で観察されたコマイの産卵行動

陳 二郎, 吉田英雄, 桜井泰憲

冬季に産卵場に接岸した成熟コマイ親魚を採集し、飼育条件下においてその産卵行動および繁殖特性を調べた。実験魚は、氷点下あるいはそれに近い水温条件下で、多くの場合日没から夜間にかけて産卵した。その過程において、産卵前の雄同士の威嚇、攻撃による順位形成および産卵時の雄によるマウンティングは観察されなかった。雌雄共、底に沿ってbeatingを行いながら放卵し、雄は雌の放卵より40-50秒ほど遅れて放精した。なお、雌1尾の産卵に対して、雄1尾もしくは複数に参加する2つのタイプがみられた。これらの観察結果と、実際の産卵場で雄が卓越することから、産卵場では、複数の雄が参加する産卵様式が一般的と考えられた。また、こうしたタイプの産卵行動に誘発されて、他の雌雄が次々と産卵する集団婚(group marriage)が実際の産卵場で行われていると推定された。

A418 北水試研報 73 35-44 2008

## 石狩湾系ニシン人工種苗の日本海からオホーツク海への回遊（短報）

伊藤慎悟，石崎裕之，正立彰夫，中島幹二

北海道の日本海北部海域で放流した石狩湾系のニシン人工種苗が8月頃宗谷岬まで回遊することがわかっているが、それ以降の回遊経路については明らかになっていない。そこで釣獲調査でオホーツク海側への移動の有無を調べた。その結果、11月には宗谷岬から約100km南の枝幸港まで南下する個体が確認された。

A419 北水試研報 73 45-46 2008

## 北海道日高海域から標識放流したマツカワの移動と放流時のサイズ（短報）

高谷義幸，吉田秀嗣，松田泰平

日高海域からマツカワ人工種苗0歳魚に標識を装着して放流した。再捕報告は1～3歳までが多く、5歳までの累積再捕率は1998年群で1.19%，1999年群で3.16%であった。再捕海域は、放流場所および近接海域がほとんどであった。一方で、加齢とともに放流場所から西あるいは南へ移動する個体も見られ、本州太平洋へ大きく移動する個体もあった。放流魚の全長組成と再捕魚の放流時全長組成を比較した結果、いずれの放流群も全長の大きな個体ほど期待される再捕尾数よりも多く再捕されていた。このことは、マツカワの放流後の生き残りにには、放流サイズが重要であることを示している。また、飼育群内での相対的な大きさが関係している可能性も考えられた。

A421 北水試研報 73 49-51 2008

## 北海道噴火湾から標識放流したマツカワの移動と放流群別再捕率（短報）

吉田秀嗣，高谷義幸，松田泰平

マツカワの人工種苗0歳魚に標識を装着して、噴火湾から放流した結果、1歳と2歳での再捕が多く、6歳までの累計再捕率は1.14%であった。再捕海域は、放流場所である噴火湾と隣接する胆振太平洋及び渡島太平洋で、全体の96%を占めていた。一方、2歳あるいは全長300～399mmになると、茨城県までの本州太平洋沿岸へ南下している個体も見られた。この移動は、成熟年齢との関係から産卵回遊の可能性がある。また、放流した年や月あるいは場所が異なる群間で、放流サイズと再捕率との間には正の相関関係が認められたことから、放流種苗の生残には、放流する時の体サイズが放流後の生育環境よりも重要であると考えられた。

A420 北水試研報 73 47-48 2008

## 異なる目合のかごで漁獲されたハナサキガニの漁獲物組成（短報）

長瀬桂一，工藤良二，鳥澤 雅

2005年6月10～19日の間に、根室半島太平洋側の水深7～16mの9地点で、3種類の目合（30mm，60mm，120mm）のかにかご10かごずつ30かごを用いて、それぞれ1回ずつ計9回の漁獲調査を行った。その結果、性別並びに雌の抱卵の有無に関わらず、調査ごとの漁獲尾数には差が認められたが、目合ごとの漁獲尾数と甲幅組成には差が認められなかった。したがって、今回漁獲された甲幅66～125mmの範囲のハナサキガニに対しては、30～120mmの目合では、かごの目合による網目選択性に差は認められなかった。ただし、目合60mmのかごが最も操作性が良かった。

A422 北水試研報 73 53-55 2008

ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 中腸腺リパーゼ活性の多試料分析（短報）

宮園 章，岸村栄毅

多試料のホタテガイ中腸腺のリパーゼ活性を一括定量分析する方法を開発した。本法では，ホタテガイ中腸腺から調製した粗リパーゼ液と分解基質であるオリーブ油をデオキシコール酸およびカルシウムを含む微量の乳化液中で16時間反応させ，生成した遊離脂肪酸を臨床用遊離脂肪酸分析キットおよびマルチプレートを使用し定量した。ホタテガイ中腸腺の粗リパーゼ活性の反応に適した条件はpH7.5，20℃，16-20時間であった。本法は殻長約10mmの稚貝についても中腸腺リパーゼ活性を個体別に分析でき，他海産生物にも応用可能である。

A423 北水試研報 73 57-60 2008

養殖作業ストレスによるホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* 稚貝のトリグリセライド含有量変化（短報）

宮園 章，奥村裕弥，長間馨一，佐々木恒光

養殖作業がホタテ稚貝のトリグリセライド（TG）含有量の変化に及ぼす影響を調査した。養殖作業を経験した稚貝のTG含有量は対照群に比べ少なく，その傾向は作業翌日から8日後まで認められた。両群のTG含有量の違いが8日後まで持続したことは養殖作業のストレスに対するホタテ稚貝の生理的応答の結果と考えられる。

A424 北水試研報 73 61-63 2008

北海道立水産試験場研究報告 第73号

---

2008年3月31日発行

編集兼  
発行者

北海道立中央水産試験場

〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238

電話 総合案内 0135(23)7451 (総務課)

図書案内 0135(23)8705 (企画情報室)

FAX 0135 (23) 3141

Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan

印刷所

(株)おおはし

〒046-0004 余市郡余市町大川町14丁目14番地

電話 (0135) 23-4591

---