

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 58 号

SCIENTIFIC REPORTS

OF

HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.58

北海道立中央水産試験場

北海道余市町

2000年9月

Hokkaido Central Fisheries  
Experimental Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

September, 2000

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 Experimental 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 Experimental Station)	042-0932 函館市湯川町1-2-66 (Yunokawa,Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)
北海道立函館水産試験場室蘭支場 (Muroran Branch,Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	051-0013 室蘭市舟見町1-133-31 (Funami-cho,Muroran, Hokkaido 051-0013,Japan)
北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental 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 Experimental Station)	099-3119 網走市鱒浦31 (Masuura,Abashiri, Hokkaido 099-3119,Japan)
北海道立網走水産試験場紋別支場 (Monbetsu Branch,Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	094-0011 紋別市港町7 (Minato-machi,Monbetsu, Hokkaido 094-0011,Japan)
北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station)	097-0024 稚内市末広4-5-15 (Suehiro,Wakkanai, Hokkaido 094-0024,Japan)
北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture)	041-1404 茅部郡鹿部町字本別539-112 (Shikabe,Hokkaido 041-1404,Japan)

# 北海道立水産試験場研究報告

第 58 号

## 目 次

西浜雄二，宮園 章，渡辺晶子，中島羊二

北海道北西沿岸における渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属プランクトンの出現状況と

ホタテガイ下痢性貝毒毒力の経年変化 ..... 1 - 8

萱場隆昭，杉本 卓，佐藤敦一，尾崎雄一，足立伸次，高丸禮好，山内皓平

水温操作によるマツカワ雌雄の性成熟の同調 ..... 9 - 16

蔵田 護

低水温下におけるアサリの低塩分・貧酸素耐性 .....17 - 21

宮園 章，中野 広

北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量と

グリコーゲン量の季節変化 .....23 - 32

宮園 章，中野 広

北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイ閉殻筋中のRNA/DNA比

および酸性プロテアーゼ活性の季節変化 .....33 - 39

宮園 章

流水水槽におけるホタテガイの成長と生理活性に及ぼす流れの強さの影響 .....41 - 47

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 .....49 - 62

試験研究業績

外部刊行物への発表，平成11年度 .....63 - 71

北海道立水産試験場研究報告 編集・発行方針 .....72 - 73

北海道立水産試験場研究報告 投稿規程 .....74 - 78

(2000年9月)

SCIENTIFIC REPORTS  
OF  
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.58

CONTENTS

- Yuji NISHIHAMA, Akira MIYAZONO, Shoko WATANABE and Yoji NAKASHIMA  
Year to year changes of the cell density of dinoflagellates *Dinophysis* spp. and the  
diarrhetic shellfish toxin level in scallops off the north-west coast of Hokkaido, Japan. .... 1 - 8
- Takaaki KAYABA, Takashi SUGIMOTO, Nobukazu SATOH, Yuichi OZAKI,  
Shinji ADACHI, Noriyoshi TAKAMARU and Kohei YAMAUCHI  
Synchronization of gonadal maturation among sexes in barfin flounder  
*Verasper moseri* by water temperature manipulation. .... 9 - 16
- Mamoru KURATA  
Tolerance of the Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum* to low salinity and  
dissolved oxygen at low temperatures. ....17 - 21
- Akira MIYAZONO, Hiroshi NAKANO  
Seasonal fluctuations in the protein and glycogen contents of The adductor muscle of scallops ,  
*Patinopecten yessoensis* (Jay), in sowing culture grounds in The Okhotsk Sea, Hokkaido.....23 - 32
- Akira MIYAZONO, Hiroshi NAKANO  
Seasonal fluctuations in the RNA/DNA ratio and acid protease activity of the adductor  
muscle of scallops in coastal Okhotsk Sea, Hokkaido. ....33 - 39
- Akira MIYAZONO  
Influence of the intensity of water motion on growth and physiological conditions of  
scallops cultured in flow tanks. ....41 - 47
- Hiroshi SHIMADA, Yoshinori NISHIDA, Yoshimi ITO and Toshihiro MIZUSHIMA  
Relationship among growth and survival of cultured scallops (*Patinopecten yessoensis* JAY), and  
environmental conditions in the coastal area off Yakumo, Funka Bay, Hokkaido, Japan. ....49 - 62
- Contribution from the Hokkaido Fisheries Experimental Station:  
Papers Presented in other journals or at scientific meetings in fiscal 1999 .....63 - 71

( September, 2000 )

# 北海道北西沿岸における渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属プランクトンの出現状況とホタテガイ下痢性貝毒毒力の経年変化

西浜雄二<sup>\*1</sup>, 宮園 章<sup>\*2</sup>, 渡辺晶子<sup>\*3</sup>, 中島羊二<sup>\*3</sup>

Year to year changes of the cell density of dinoflagellates *Dinophysis* spp. and the diarrhetic shellfish toxin level in scallops off the north-west coast of Hokkaido, Japan.

Yuji NISHIHAMA<sup>\*1</sup>, Akira MIYAZONO<sup>\*2</sup>,  
Shoko WATANABE<sup>\*3</sup> and Yoji NAKASHIMA<sup>\*3</sup>

Using data accumulated in a continuous program of monitoring shellfish toxification off the north-west coast of Hokkaido during 1988-1998, year to year changes in the relation between cell density of dinoflagellates *Dinophysis* spp. and diarrhetic shellfish toxin level of cultured scallops were examined. *Dinophysis fortii* and *D. acuminata* were often observed at densities of more than 100 cells/ in this area, when the water temperature were 9~15 and 5~8 , respectively. Seasonal changes of *Dinophysis* species in this area resembled those in Mutsu Bay. Annual maximum toxin levels were detected mainly in June or July, rarely in April or May. Toxic levels of scallops were 0.2~0.4MU/g-meat when the annual maximum cell density of *D. fortii* ranged 500~1,000 cells/ in June, and were less than 0.5MU when cell densities were 100~200 cells.

キーワード：下痢性貝毒 モニタリング *Dinophysis* 属 北海道北西岸

1978年6月、噴火湾産ホタテガイから強い麻痺性貝毒が検出され、貝の出荷が北海道では初めて規制された<sup>1)</sup>。一方、1976~1977年に東北地方産ホタテガイによる食中毒が発生した。原因は下痢性貝毒であった<sup>2)</sup>。このことも併せて、1979年には北海道全沿岸において麻痺性および下痢性貝毒の監視体制が敷かれた。以降、毎年のように、ホタテガイの出荷は貝毒化によって数か月間、規制されている。

北海道沿岸における麻痺性貝毒は、親潮系水が影響する太平洋沿岸で検出されるのに対して、下痢性貝毒は北海道の全沿岸で検出される<sup>1)</sup>。この数年は噴火湾海域では麻痺性貝毒毒力がやや低いので、ホタテガイの出荷規

制(期間と海域)に及ぼす影響は、むしろ下痢性貝毒によることの方が大きい。また、日本海側では貝毒出荷規制はすべて下痢性貝毒によるものである。

下痢性貝毒による二枚貝毒化の原因がおもに渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii* であること、また *Dinophysis* 属他種も原因であるらしいことが、三陸沿岸や陸奥湾における安元ら<sup>3,4)</sup>の研究によって明らかにされた。このことに基づいて北海道沿岸においても1979年から *D. fortii* の分布調査が実施され、北海道日本海側およびオホーツク海側におけるホタテガイの毒化(下痢性貝毒)が本種の出現状況によく対応していること、および *D. fortii* は対馬暖流水の北上とともに日本海側からオホーツク海側へ

報文番号 A 317 (2000年7月7日受理)

\* 1 北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of mariculture, Shikabe, Hokkaido 041-1404, Japan)

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

\* 3 KK. エコニクス (Econixe Co., Ltd., 1-2-14, Technopark, Shimonoporo, Atsubetsu, Sapporo, Hokkaido 004-0015, Japan)

伝播することが報告された<sup>1,5)</sup>。

その後、*D. fortii* だけでは説明できない現象も頻発したので、*Dinophysis* 属他種の出現状況も調査された。これらの情報は、ホタテガイ生鮮貝または加工向け原料貝の漁獲時期を指導するために活用された。やがて貝毒原因プランクトンの分布の概要がわかってきたので、調査定点数は次第に限定された。1980～1982年に実施された小平（おびら）沖定点（日本海側）での調査は一時中断されたが、1988年以降、再び定期的な調査が継続されている（1988～1997年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書、北海道）。

本稿では、貝毒監視事業によってこれまでに蓄積された資料を検討して、北海道日本海側の小平定点における下痢性貝毒原因プランクトン *Dinophysis fortii* および *D. acuminata* の出現状況と、北海道日本海側北部海域における下痢性貝毒毒力との関係について、若干の知見を得たので報告する。

調査海域と調査方法

プランクトン調査地点は留萌支庁管内小平町臼谷漁港沖 5 km (44° 03' N-141° 35' E) にあるホタテガイ養殖施設区域内であり、水深は55mである（図1）。1988年から1998年まで、原則として4月から12月まで月1～4回、プランクトン調査を実施した。

6 バンドン型採水器で層別に採水し、棒状水温計

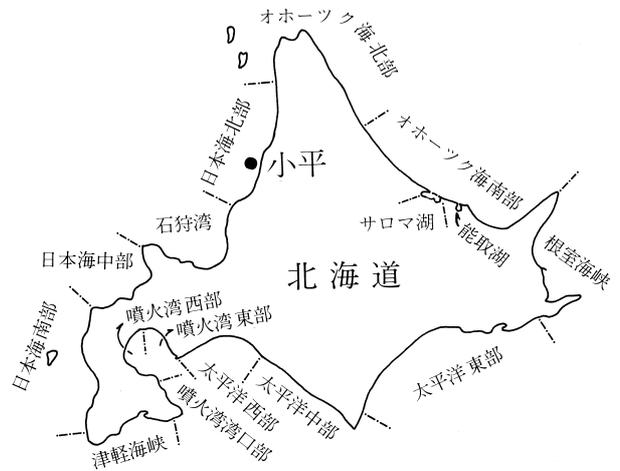


図1 ホタテガイ出荷規制の海域区分と貝毒プランクトン調査地点

で測温した。試水の一部を塩検瓶にとり、後日、オートラボ塩分計で塩分を測定し、実用塩分で表した。層別に採水した海水2 を受けネット（目合い10μm）でろ過して250mlポリ瓶にとり、中性ホルマリンを5%添加して、プランクトンを固定した。その後、実験室で8μmメンブランフィルターで重力ろ過し、さらに沈殿法によって2mlに濃縮した。そのうちの0.1mlを検鏡し、渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属の数種を計数した。*Dinophysis* 属の分類は、福代ら<sup>6)</sup>によった。ただし、計数のときには*D.*

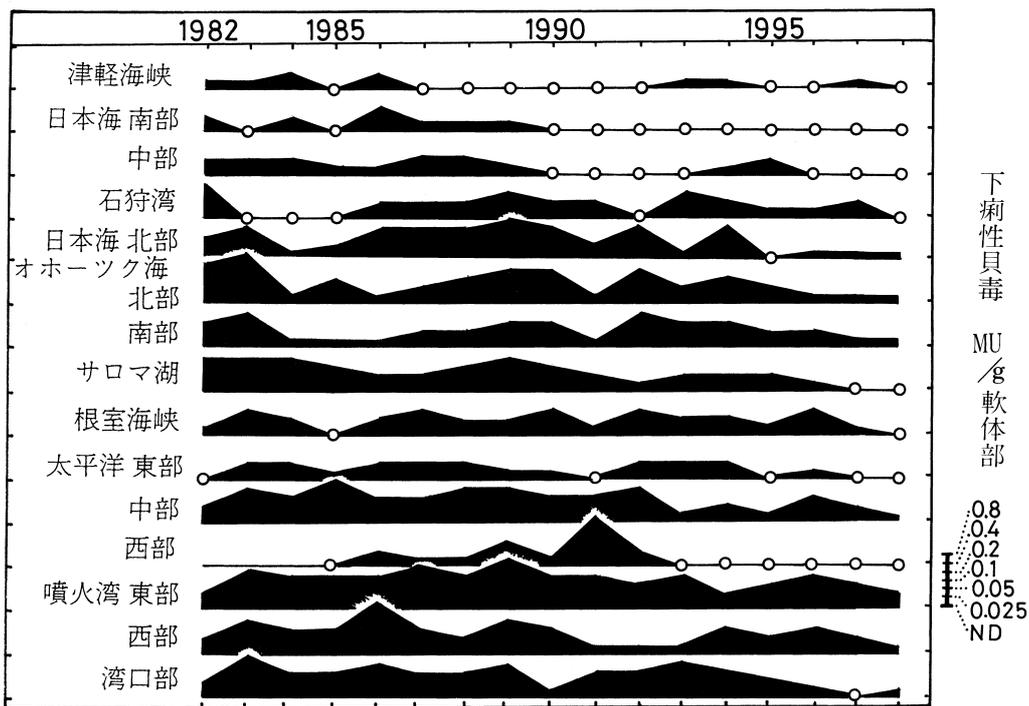


図2 北海道沿岸における下痢性貝毒毒力\*の経年変化  
\* 海域別年間最高値を示した。白丸：検出限界以下

*rudgei* と *D. rotundata* は、区別していない。

北海道沿岸は16海域に区分されて、貝毒監視が実施されている(図1)。小平沖は日本海北部海域(留萌支庁管内沿岸)に属し、その海域の沿岸距離はほぼ150kmである。貝毒検査の検体は養殖ホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (JAY)であり、夏季には約20mの深さに垂下されている。本報告で用いた1982年から1998年までの下痢性貝毒毒力は、日本冷凍食品検査協会札幌検査所および北海道立衛生研究所がマウステスト法<sup>7)</sup>によって測定したものであり、北海道漁業協同組合連合会および北海道水産林務部から公表されたものである。

## 結果と考察

### 1. 北海道沿岸における下痢性貝毒毒力の経年変化の概要

1982~1998年の海域別ホタテガイ下痢性貝毒毒力の年間最高値の経年変化を図2に示した。下痢性貝毒によるホタテガイの毒化の程度は、津軽海峡や積丹半島以南では弱い、太平洋中部海域・噴火湾3海域では強い。最高毒力は0.8 MU/g-軟体部であり、1986年に噴火湾西部海域、1989年に噴火湾東部海域および1991年に太平洋西部海域で検出された。

日本海北部海域での毒化の程度は北海道沿岸のうちでは中程度である。同海域における最高毒力は1989年の0.4MU/g-軟体部であった。年間最高値が0.2MU/g-軟体部であったのは、17年間のうち7か年であった。1984年、1993年、および1995~1998年には、ホタテガイの毒力は0.025MU/g-軟体部以下であった。

日本海北部海域とオホーツク海側海域における毒化は、とくに1984年と1991年に毒力が弱くなっていることにみられるように、連動しているようにみえる。

### 2. 日本海北部海域における下痢性貝毒の月別毒力の経年変化

1982年から1998年までの日本海北部海域における下痢性貝毒毒力の季節変化を図3に示した。本図では月別最高値を用いた。なお、同海域における貝毒検査の検体は留萌支庁管内の8つの漁業協同組合地先のホタテガイ漁場で垂下養殖されたものである。

年間最高値は4月から7月の間にみられた。このうち、6~7月にみられたのは、1982~1983、1985~1987、1989~1991および1994年の9か年であり、4~5月にみられたのは、1988年と1992年の2か年であった。また、6~7月に年間最高毒力がみられ、かつ0.05MU/g-軟体部以上の毒力の極大値が4~5月にもあったと推定された

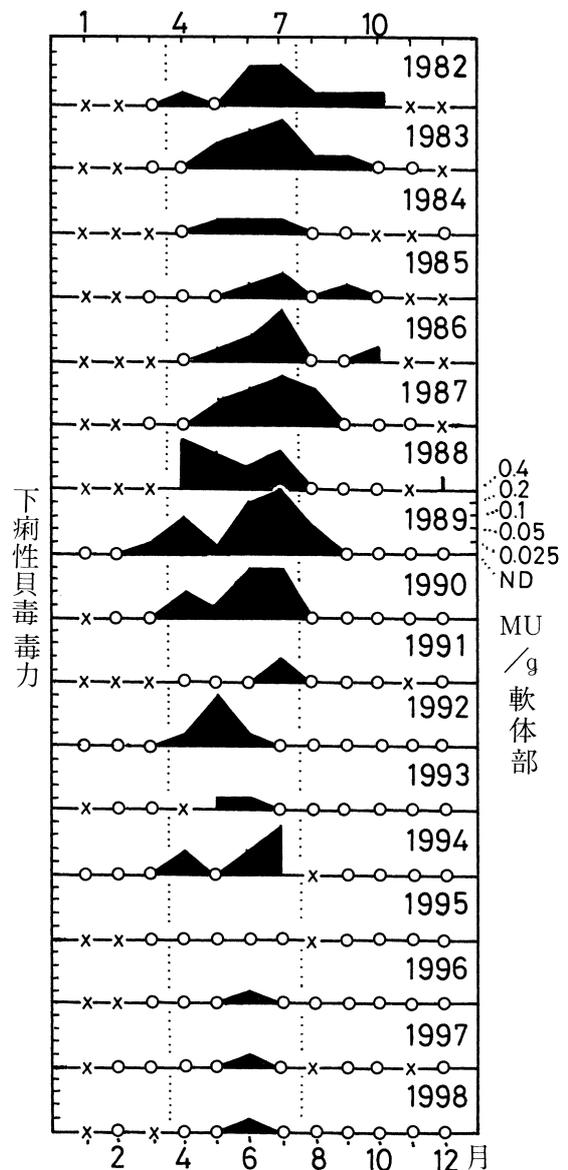


図3 日本海北部海域における下痢性貝毒毒力\*の季節変化

\* 月別最高値を示した。

X: 欠測; ND: 検出限界以下

のは、1988~1990年と1984年の4か年であった。

1~3月に毒力が検出されたのは、1989年3月の1年だけであり、毒力は0.025MU/g-軟体部であった。また8~12月に検出されたのは、1982~1983、1985~1989年の7か年であった。このうち、1987年と1989年の8月に検出されたやや高い毒力は、毒力の減少期にあったと考えられる。その他の年には0.025MU/g-軟体部であった。

北海道日本海北部海域における下痢性貝毒毒力の季節変化は、4月から検出されはじめて6月下旬から7月上旬の間に毒力の年最高値がみられる、陸奥湾や三陸沿岸とほぼ同様である<sup>4)</sup>。ただし1988年には4月に、1992年には5月に年最高値があった。

3. 小平沖における *Dinophysis* spp. の出現状況

下痢性貝毒の原因種あるいは容疑種である *Dinophysis* 属プランクトン<sup>3,4)</sup>のうち、小平沖で数百細胞/ の密度でしばしば出現したのは、*D. fortii* および *D. acuminata* であった。それぞれの出現状況の典型例として、1989年および1992年の季節消長を図4に示した。

1989年には、深度10~20mの水温は4月下旬に6~7度であり、その後6月中旬まで緩慢に上昇し、下旬に急に上昇して10~13度になった。水温は7月下旬にも再び急に上昇した。塩分は4月下旬に20~30m層で33.4であったが、5月下旬以降、表面まで次第に高くなり、ほぼ33.8~34.2であった。

*Dinophysis fortii* は5月下旬に出現しはじめた。本種の最高出現密度は6月上~中旬に20~30m層でみられ、

1,180細胞/ であった。本種は8月以降、消滅した。*Dinophysis*属の他の種の出現密度は70細胞/ 以下であった。そのうち、4~6月には *D. acuminata* が多く、9月には *D. mitra* が出現した。*D. norvegica* は4~5月に、*D. rudgei* あるいは *D. rotundata* は4~6月と9月に出現した。

1992年には、水温は4月下旬にはほぼ6~7度であり、5月下旬には9~12度になった。5月下旬以降、次第に成層が発達し、8月上旬に表面で20度、30m深で16度になった。塩分は4月には33.2~33.4であったが、5月以降は表面を除いて、ほぼ33.5~34.1の範囲であった。

*Dinophysis fortii* は5月に20細胞/ の密度で出現した。最高出現密度は7月上旬に30m深(水温13度)で110細胞/ であった。本種は8月以降には出現しなかった。*Dinophysis*属の他の種で出現密度が高かったのは、*D. acuminata* であり、4月下旬~5月上旬に最高700細胞/ の密度で出現した。*D. rudgei*の出現密度は30細胞/ 以下であった。

なお、*Dinophysis fortii* と *D. acuminata*を除いて、1988~1998年の間に100細胞/ 以上の密度で出現した *Dinophysis*属の種は、*D. mitra* だけであった。本種は1994年8月および1997年8月に、それぞれ120および300細胞/ の密度で出現した。その両年とも8月の毒力が欠測なので、貝毒化との関係は不明である。

4. *Dinophysis fortii* と *D. acuminata* の出現時期と水温・塩分との関係

1988年から1998年までの間に、*Dinophysis fortii* が100細胞/ 以上の密度で出現したのは、1995年までであった。このうち、1989~1990年と1994年には年ごとに4~6回(調査日)、1988年には2回、ほかの年には1回であった。本種がその密度で出現したのは、すべて6月中旬から7月中旬の間であった。また、本種が出現したのは、多くは30m深であり、次に20m深であった。このことは陸奥湾での事例と同様である<sup>8,9)</sup>。

同様に、*D. acuminata*が100細胞/ 以上の密度で出現したのは、1992~1994年と1996~1998年であった。このうち、1992年には4回(調査日)、1993~1994年と1996年には年ごとに2回、ほかの年には1回であった。本種がその密度で出現したのは、すべて4月中旬から5月中旬の間であった。また、本種が出現したのは、多くは10m深であり、次に20m深であった。

上記の2種が100細胞/ 以上の密度で出現したときの、その深度での水温・塩分との関係を図5に示した。*D. fortii* がその密度で出現したときの水温および塩分は、それぞれ9~15度および33.6~34.1であった。同様に、

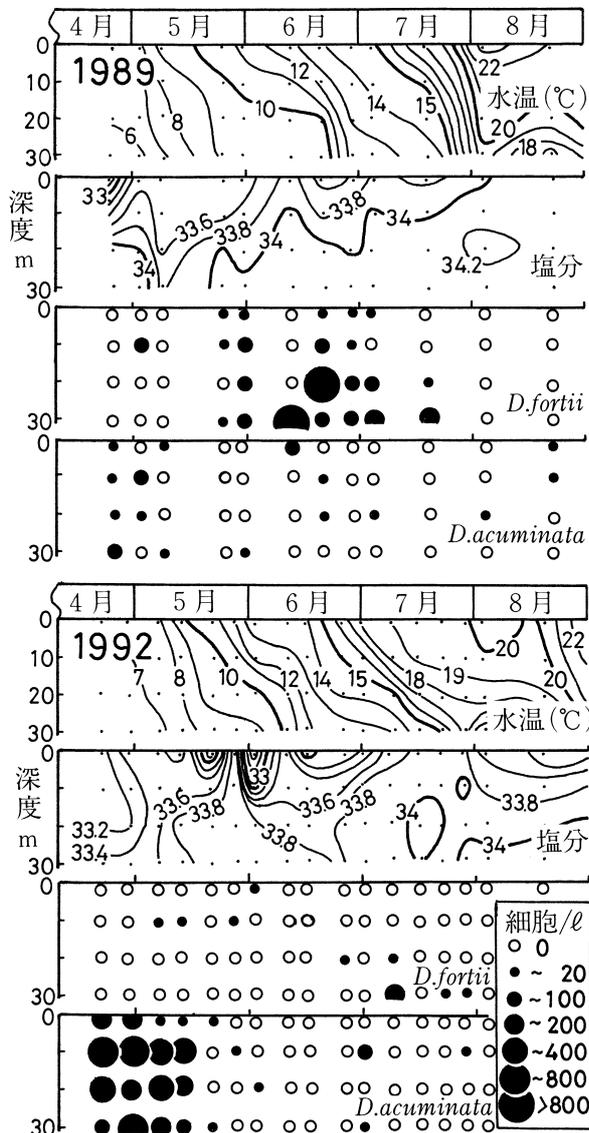


図4 小平沖における *Dinophysis* 2種の出現状況と水温・塩分の変化

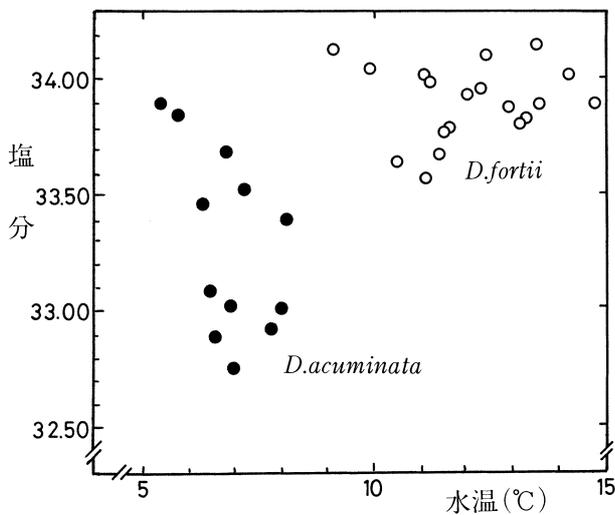


図5 *Dinophysis* 2種の出現\*と水温・塩分の関係  
\* 調査日ごとの最高出現密度 (100細胞/ ) がみられた深度の水温・塩分を示した。

*D. acuminata* は、それぞれ5～8 および32.8～33.9であった。

*D. fortii* が100細胞/以上の密度で出現したときの塩分範囲は狭く、暖流水系に出現する特性を示したのに対して、*D. acuminata* が出現したときの塩分範囲は広がった。また水温8～9を境にして、*D. fortii* は高水温性(～15)であるのに対して、*D. acuminata* は低水温性(5～)であった。

陸奥湾で *D. fortii* が濃密に出現するときの水温および塩分は、それぞれ約10～15 および33.0～33.7であった<sup>8,9)</sup>。本種が対馬暖流水が強くなる時期に出現することは北海道北西岸と同様であった。

三陸沿岸では *D. acuminata* は2～5月の冷水期に出現するが、まれに夏にも出現する<sup>6)</sup>。気仙沼湾において、*D. acuminata* は湾口部では4～6月に10～100細胞/の密度で出現したが、湾奥部では夏から秋に10<sup>3</sup>～10<sup>4</sup>細胞/の密度で出現したことが報告された<sup>10,11)</sup>。前者は陸奥湾<sup>8)</sup>や北海道北西岸と同様であるが、後者はきわめて特異な出現状況であり、*D. acuminata* が高密度で出現したにもかかわらず、貝は毒化しなかった<sup>12)</sup>。

##### 5. 日本海北部海域における *Dinophysis* 属2種と下痢性貝毒毒力との関係

下痢性貝毒毒力の年間最高値は4～7月にみられ(図3)、その時期には *Dinophysis fortii* あるいは *D. acuminata* が数百細胞/の密度で出現することがしばしばあった。そこで、それらの出現状況と下痢性貝毒毒力の推移を図6に示した。同図では、*Dinophysis* 属プ

ランクトンの出現状況を *D. fortii*、*D. acuminata* および *D.* 属他種の3群にわけて、それぞれの月最高密度を示した。

1988年には、下痢性貝毒毒力は4月に年間最高の0.2 MU/g-軟体部であった。4月にはプランクトン調査は実施されなかった。*D. fortii* が6～7月に200細胞/以下の密度で出現したときには、毒力は0.1 MU/g-軟体部であった。

1989年には、下痢性貝毒毒力は4月に0.1 MU、6～7月に0.1～0.4 MU/g-軟体部であった。4月の毒化はおもに *D. acuminata*、6～7月の毒化は *D. fortii* の出現に対応していた。6月にみられた *D. fortii* の最高出現密度は1,180細胞/であった。7月上旬に検出された年最高毒力0.4 MU/g-軟体部は、その後減少して、9月初めには検出されなくなった。なお、毒力は5月には欠測である(図6)が、北海道立衛生研究所が別途実施した資料によれば、小平沖における毒力は5月上旬には検出されず、5月下旬に0.025 MU/g-軟体部であった。

1990年には、下痢性貝毒毒力は4月に0.05、6～7月に0.2 MU/g-軟体部であった。6月に強く毒化したときに、*D. fortii* が810細胞/の密度で出現していた。

1991年には、下痢性貝毒毒力は4～5月には検出されず、7月に0.05 MU/g-軟体部であった。7月には *D. fortii* が200細胞/以下の密度で出現していた。

1992年には、下痢性貝毒毒力は4～6月に検出された。最高値は0.2 MU/g-軟体部であり、5月中旬に検出された。毒力が検出された時期には *D. acuminata* が高い密度で出現していた。

1993年には、下痢性貝毒毒力は5～6月に0.025 MU/g-軟体部であった。4月には *D. acuminata* が700細胞/の密度で出現していたが、毒力検査は実施されなかった。

1994年には、下痢性貝毒毒力は4月下旬と6月中旬～7月下旬にみられ、7月上旬に最高0.2 MU/g-軟体部であった。4月の毒化はおもに *D. acuminata*、6～7月の毒化は *D. fortii* の出現に対応していた。

1995～1998年には毒力が極めて低かった(図3)ので、図6には1995年以降を省略した。ただし、1996年には *D. acuminata* が4月に860細胞/の密度で出現していた。

図6に示した *Dinophysis* 属プランクトンの出現状況は小平沖定点におけるものであるのに対して、毒力値は留萌管内の8漁業協同組合地先産ホタテガイを検体として交互に検査されたものである。それゆえ、両者の関係を論ずるには、資料は厳密性にやや欠ける。

次に、*D. fortii* がしばしば優占し、高い毒力がみられることがある6～7月に限って、1988年から1994年までの *D. fortii* の最高密度と下痢性貝毒毒力の最高値と

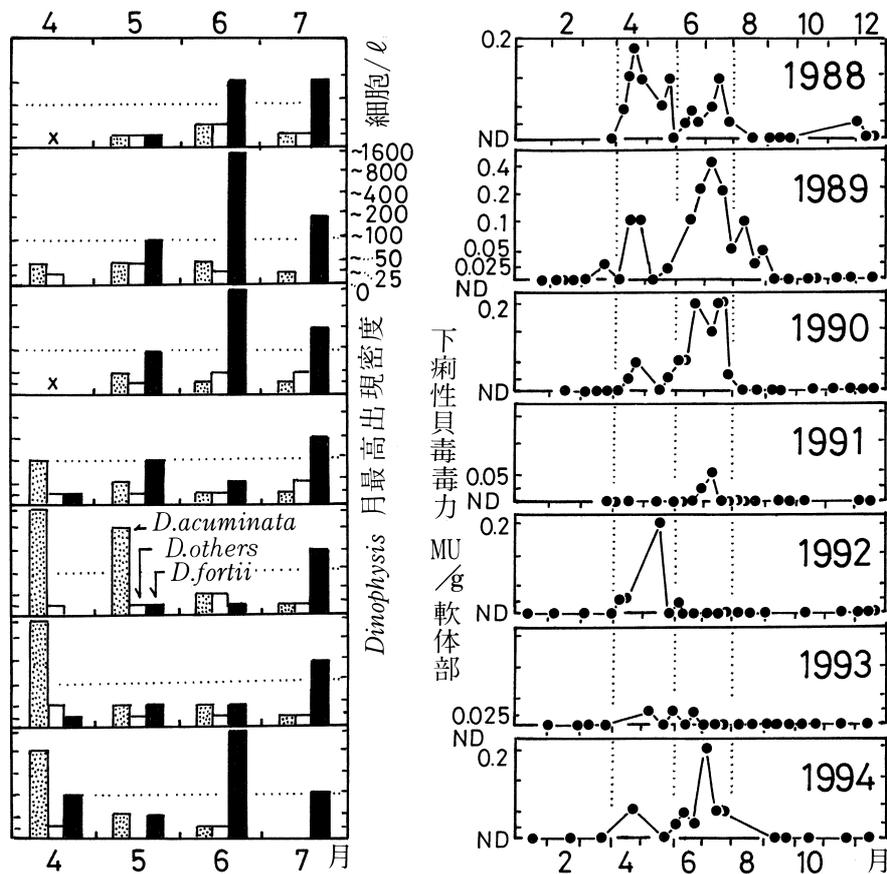


図6 北海道日本海北部海域\*における渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属の月別出現状況とホタテガイの下痢性貝毒毒力\*\*の季節変化  
\* プランクトン調査地点：小平沖；\*\* 当該海域内の時期別最高値を用いた。X：欠測；ND：検出限界以下

の関係を図7に示した。*D. fortii* が500~1,000細胞/ℓの密度で出現したときに、ホタテガイの下痢性貝毒毒力は0.2~0.4 MU/g-軟体部に達するが、100~200細胞/ℓのときには、0.05MU/g-軟体部以下であった。回帰直線式からは、*D. fortii* の出現密度が170細胞/ℓ以上になる年には、貝の毒力が出荷規制値(0.05 MU/g-軟体部)をこえることになると計算された。

下痢性貝毒成分の3群のうち、もっとも主要な群は、下痢原性をもつOA-DTX 1 (Okadaic acid-Dinophysistoxin - 1) 群である<sup>13, 14)</sup>。*D. fortii* はこの毒成分の生産者であり、細胞当たり13~191pgのDTX 1を含む<sup>14)</sup>。本種が東北・北海道沿岸における貝毒化のおもな原因種であることは、各海域での貝毒モニタリングによって広く知られている。

その後、陸奥湾における詳細な研究によって、*D. fortii* の細胞当たりの毒量が本種の消長にともなって著しく増減することが示された<sup>15)</sup>。それらの事実から、毒化予測の精度を上げるためには、*D. fortii* の出現密度とともに、細胞当たりの毒力を知ることが重要であると指

摘された。しかし、細胞当たりの毒量の変化に及ぼす要因は、まだ不明である。

実際には、年あるいは時期によって、また海域によって、*Dinophysis* 属の複数種が出現するので、貝毒化予測はまだ困難な状況にある。その一例を次に示す。小平沖では *D. fortii* の増殖に先立って、4~5月に *D. acuminata* が数百細胞/ℓの密度で優占して出現することがある(図6)。そこで *D. fortii* 場合と同様に、4月から5月までの *D. acuminata* の最高出現密度と同時期の日本海北部海域における下痢性貝毒の最高毒力との関係を検討した。1992年と1996年には *D. acuminata* は700~900細胞/ℓの密度で出現したが、下痢性貝毒毒力は1992年には0.2 MU/g-軟体部であったのに対して、1996年には検出されなかった。一方、1989年には *D. acuminata* が50細胞/ℓしか出現しなかったのに、下痢性貝毒毒力は0.1MU/g-軟体部であった。このとき、*Dinophysis* 属他種は、*D. rudgei*と *D. norvegica* が10~20細胞/ℓほどの密度で出現していたにすぎない。

なお、小平産のホタテガイからは、1996年5月に2 μ

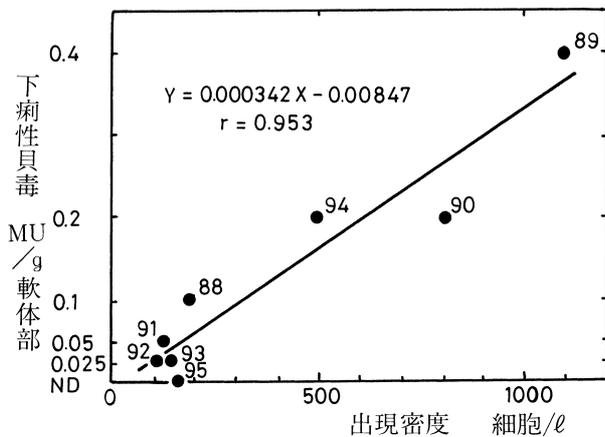


図7 *D. fortii* の年最高出現密度と下痢性貝毒毒力\*との関係

\*日本海北部海域における6～7月の最高毒力を示した。(図中の数字は年を示す)

g/g-中腸腺のPTX 6<sup>13)</sup>が検出され、また *D. acuminata* の出現密度が50細胞/ℓ以下であった(モニタリング調査)1997年4月には、1 μg/g-中腸腺ほどのPTX 6が検出された(1996～1997年度網走水試事業報告書)。

このように *D. acuminata* の出現状況と貝毒化との間には、明瞭な相関関係がみられない。このことは、上述した *D. fortii* の場合のように、*D. acuminata* の毒力が未知の条件によって極端に変化することによるのかもしれない。本州南西部沿岸では本種が高密度に存在していても貝が毒化しないことがあり<sup>16)</sup>、また東北地方で高水温期に出現する *D. acuminata* は無毒であった<sup>12)</sup>。これらの事実によって、*D. acuminata* が下痢性貝毒原因種であるかについては、わが国ではいまだに判然としていない。

北海道日本海北部海域においては、6～7月の下痢性貝毒によるホタテガイの毒化は、*D. fortii* の出現状況によく対応していた。しかし4～5月の毒化原因については、不明な点が残されたままである。

## 謝 辞

本稿では、1982～1998年に実施された貝毒毒力および貝毒プランクトン監視事業による調査資料を使用させていただいた。長期にわたって小平沖定点での現場調査にあたられた留萌南部地区水産技術普及指導所の歴代の皆様、また毒力検査を担当された日本冷凍食品検査協会札幌検査所ならびに北海道立衛生研究所の関係者の皆様、さらに調査の便宜をはかっていただいた北海道漁業協同組合連合会に心からお礼申し上げます。

## 要 約

北海道沿岸における貝毒監視事業によって蓄積された資料を用いて、1988～1998年の北海道日本海側北部海域(留萌支庁管内)の小平沖における貝毒プランクトンの出現状況と同海域における下痢性貝毒毒力との関係を検討した。

- 1982～1998年の日本海北部海域におけるホタテガイの下痢性貝毒毒力は、最高0.4 MU/g-軟体部であり、0.05 MU/g-軟体部以上だったのは11か年であった。毒力の年間最高値は4～7月の間にみられた。この海域では1995年以降、毒力はきわめて低かった。
- 下痢性貝毒原因プランクトンのうち、出現密度が高かったのは *Dinophysis fortii* と *D. acuminata* であった。*D. fortii* は6～7月に高密度に出現することが多く、最高出現密度は1,180細胞/ℓであった。*D. acuminata* は4～5月に高密度に出現することがあり、最高出現密度は860細胞/ℓであった。
- D. fortii* および *D. acuminata* が100細胞/ℓ以上の密度で出現したときの水温は、それぞれ9～15 および5～8であった。
- 小平沖における *Dinophysis* 属プランクトンの出現状況は陸奥湾に似ていた。
- ホタテガイの下痢性貝毒毒力の程度は、*D. fortii* が6月に500～1,000細胞/ℓほどの密度で出現した年には0.2～0.4 MU/g-軟体部ほどであり、100～200細胞/ℓの密度で出現した年には0.05 MU/g-軟体部以下であった。
- 4～5月に *D. acuminata* が出現したときに、貝が毒化する年としない年があった。

## 引用文献

- 西浜雄二：「貝毒プランクトンの生態学，5．北海道」．貝毒プランクトン - 生物学と生態学．東京，恒星社厚生閣，1985，47 - 58.
- Yasumoto, T., Oshima, Y. and Ymaguchi, M. : Occurrence of a new type of shellfish poisoning in the Tohoku district. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44, 1249 - 1255 (1978)
- Yasumoto, T., Oshima, Y., Sugawara, W., Fukuyo, Y., Oguri, H., Igarashi, T. and Fujita, N. : Identification of *Dinophysis fortii* as the causative organism of diarrhetic shellfish poisoning. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46, 1405 - 1411 (1980)

- 4) 安元 健: "8. 下痢性貝毒". 有毒プランクトン - 発生・作用機構・毒成分. 東京, 恒星社厚生閣, 1982, 102 - 111 .
- 5) 西浜雄二, 佐藤七七朗: 北海道沿岸日本海側およびオホーツク海側における下痢性貝毒原因渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii* の出現状況について. 北水試月報. 39, 230 - 241 (1982)
- 6) 福代康夫, 豊田安弘, 宮崎伸一: 三陸沿岸に出現する渦鞭毛藻 - . *Dinophysis* 属. 大槌臨海研究センター報告. 7, 13 - 23 (1981)
- 7) 環境衛生・乳肉衛生課: 通牒, 下痢性貝毒検査法. 食品衛生研究. 31, 566 - 571 (1981)
- 8) 尾坂 康: " 貝毒プランクトンの生態学, 6 . 陸奥湾". 貝毒プランクトン - 生物学と生態学. 東京, 恒星社厚生閣, 1985, 59 - 70
- 9) 三津谷 正: 陸奥湾における下痢性貝毒原因プランクトンの毒量について. 平成 8 年度東北ブロック水産業関係試験研究推進会議増養殖部会報告書. 東北水研, 1998, 13 - 20 .
- 10) 田口滋之, 星合愿一, 伊藤 章: 東北沿岸域における貝毒問題. 沿岸海洋研究ノート. 32 (1), 55 - 67 (1994)
- 11) 星合愿一, 小野寺 毅, 鈴木敏之, 山崎 誠: 気仙沼湾における *Dinophysis acuminata* の有毒および無毒事例. 平成 8 年度東北ブロック水産業関係試験研究推進会議増養殖部会報告書. 東北水研, 1998, 33 - 39 .
- 12) Hoshiai, G., Suzuki, T., Onodera, T., YamaSaki, M. and Taguchi, S.: A case of toxic mussels under the presence of high concentration of toxic dinoflagellate *Dinophysis acuminata* that occurred in Kesenuma Bay, Northern Japan. *Fisheries Science*. 63 (2), 317 - 318 (1997)
- 13) Yamamoto, T.: "Marine microorganisms toxins - an overview". Toxic marine phytoplankton. Amsterdam, Elsevier, 1990, 3 - 8.
- 14) Lee, J., Igarashi, T., Furaga, S., Dahl, E., Hovgard, P. and Yasumoto, T.: Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species. *J. Appl. Phycol.* 1, 147 - 152 (1989)
- 15) Suzuki, T., Mitsuya, T., Imai, M. and Yamasaki, M.: DSP toxin contents in *Dinophysis fortii* and scallops collected at Mutsu Bay, Japan. *J. Appl. Phycol.* 8(6), 509 - 515 (1996)
- 16) 佐藤 繁, 板木節子, 緒方武比古, 上田至範, 児玉正昭: 貝類毒化モニタリングの現状と問題点. 沿岸海洋研究ノート. 32 (1), 69 - 79 (1994)

## 水温操作によるマツカワ雌雄の性成熟の同調

萱場隆昭<sup>\*1</sup>, 杉本 卓<sup>\*1</sup>, 佐藤敦一<sup>\*1</sup>, 尾崎雄一<sup>\*2</sup>, 足立伸次<sup>\*2</sup>, 高丸禮好<sup>\*1</sup>, 山内皓平<sup>\*2</sup>

Synchronization of gonadal maturation among sexes in barfin flounder *Verasper moseri* by water temperature manipulation.

Takaaki KAYABA<sup>\*1</sup>, Takashi SUGIMOTO<sup>\*1</sup>, Nobukazu SATOH<sup>\*1</sup>, Yuichi OZAKI<sup>\*2</sup>, Shinji ADACHI<sup>\*2</sup>, Noriyoshi TAKAMARU<sup>\*1</sup> and Kohei YAMAUCHI<sup>\*2</sup>

The present study examined the effects of water temperature on testicular and ovarian development in barfin flounder *Verasper moseri*, and the potential to synchronize gonadal maturation among sexes by water temperature manipulation. In experiments conducted in 1997 and 1998, 50 cultured barfin flounder aged 3 years were reared from October to April under two water temperature regimes. As indicated by the gonadosomatic index (GSI) and histological observation, males reared at ambient seawater temperature reached functional maturation of testes in February. For females in this group, both GSI and oocyte diameter linearly increased from October and first ovulation was observed in April. These results indicated that there was two months difference between spawning periods of male and female reared at ambient seawater temperature. However, in males reared at 18 °C from October to December, functional maturation occurred in April, because spermatogenesis was inhibited at 18 °C. While in females vitellogenesis proceeded normally at 18 °C and ovulation commenced in April, which is the same period as females reared at ambient seawater temperature. By maintaining the rearing temperature of barfin flounder at 18 °C from October to December, and then gradually shifting to ambient seawater temperature over one month, it is possible to delay the maturation of males and thereby synchronize the spawning periods among sexes.

キーワード：マツカワ, 性成熟, 水温操作

まえがき

マツカワは北日本の太平洋を主な生息域とする大型のカレイである。低水温でも成長が早く、また、商業的価値が優れていることから、ヒラメに継ぐ栽培漁業対象種として重要視されている。近年、本道では、マツカワの資源増大を目指して100万尾規模での種苗放流が計画されており、道立栽培業総合センター（以下、道栽培センターと略する）では1990年から種苗の量産技術開発に取り組んでいる<sup>1)</sup>。

魚類の種苗生産において、受精卵を大量、かつ安定的に確保することは重要な課題である。そのためには、対象種の性成熟機構を詳細に把握し、飼育環境下でも成

熟・産卵まで誘起できる親魚養成技術の確立が必要不可欠である。種苗の量産技術が確立され、事業規模で栽培漁業が推進されているマダイ<sup>2)</sup>やヒラメ<sup>3)</sup>においては、性成熟機構に関する多くの知見が得られており、その特性に適合した飼育条件が整えられている<sup>4,5)</sup>。

一方、マツカワの性成熟、または産卵機構に関しては、数件の報告<sup>6,7)</sup>があるものの、未だ不明な部分が多い。また、水温や照度など、飼育環境因子が雌雄の性成熟に及ぼす影響に関する報告はみあたらない。

さらに、道栽培センターの飼育環境下において、本種の雄は2月上旬に成熟し、精子が得られるが、一方、雌の初回排卵は3月下旬以後であり、雌雄間で成熟進度に1~2か月の違いがみられる。このため、採卵は5月下旬

報文番号 A 318 (2000年7月7日受理)

\* 1 北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of mariculture, Shikabe, Hokkaido 041-1404, Japan)

\* 2 北海道大学大学院 水産科学研究科 生命資源科学専攻 生命機能学講座 (Division of Marine Biosciences, Graduate school of Fisheries Science, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

まで可能であるが、4月中、下旬になると精子の質が劣化するため、人工受精ができる期間は2～3週間内に限られる。また、雌は少量の卵を数日間隔で排卵する特性があるため<sup>8)</sup>、搾出によって一度に得られる採卵量は他のカレイ類に比べて少ない。これらのことから、今後、種苗の量産化を進めるうえで、大量の受精卵を効率よく確保するためには、採卵及び採精適期のずれを同一化し、長期にわたって人工受精が実施できるように親魚養成技術を改善する必要がある。

一般に、魚類の性成熟過程には、生息場における様々な環境要因が関与すると考えられている。また、多くの魚種において、生息水温の年間変動パターンと生殖周期との間に密接な関連性が認められており、水温は魚類の性成熟を制御する重要な因子であることが示されている<sup>9)</sup>。

そこで、本研究では、飼育水温がマツカワ雌雄の性成熟に及ぼす影響を明らかにするため、水温別の飼育実験を実施した。さらに、その成果をもとに採卵及び採精適期を同期化する水温条件についても検討したので報告する。

## 材料及び方法

### 1. 供試魚

1997年の実験には、1995年に道栽培センターで種苗生産し、実験開始まで養成した満3歳の人工養成魚を用いた。また、1998年の実験においては、1996年に日本栽培漁業協会厚岸事業場で種苗生産して全長80mmまで飼育し、その後、道栽培センターで養成した満3歳の人工養成魚を使用した。

いずれも4月から8月までの種苗生産期間の飼育水温は14℃以下とし、また、実験開始までの養成期間は自然海水の水温とした。種苗生産終了後から1歳までは配合飼料のみを給餌し、2歳以降は配合飼料に併せて生餌4種を日替わりで給餌した。

### 2. 実験手法

1997年及び1998年の2年間、水温別の飼育実験を行った。両年度ともに、9月下旬に供試魚を50尾（雌25、雄25）ずつ8t水槽2基に収容し、2つの実験区を設けた。

1997年の実験においては、10月から2月まで自然海水の水温で飼育する自然海水温区-97(97-A.T.G.)と、10月から2月まで18℃の加温海水で飼育し、その後、徐々に自然海水温まで降温する高水温区-97(97-H.T.G.)を設定した（Fig. 1）。また、1998年の実験では、前年と同様、実験開始から2月まで自然海水温で飼育する自然海水温

区-98(98-A.T.G.)にあわせて、10月から12月まで18℃で飼育して、その後、徐々に自然海水温まで降温する高水温区-98(98-H.T.G.)を設けた。全ての実験区において、3月以降の水温は6℃とした。

実験期間には生餌4種及び配合飼料を週6日間日替わりで給餌した。毎朝、前日の残餌量を計測し、飽食量を給餌した。

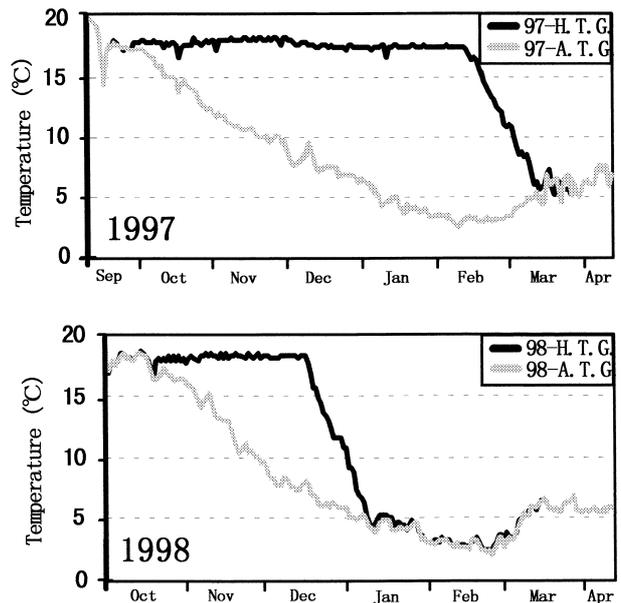


Fig.1.Changes in water temperature during the experiment from 1997 and 1998.

A.T.G; Ambient seawater Temperature Group  
H.T.G; High Temperature Group

実験を開始した10月から2か月おきに雌雄5尾ずつサンプリングし、全長、体重及び生殖腺重量を測定した。また、各個体の生殖腺体指数（以下GSI）を次式によって算定した。

$$GSI = (\text{生殖腺重量}) / (\text{魚体重}) \times 100$$

精巣及び卵巣をBouin液で固定後、組織切片を作製し、ヘマトキシリン・エオシン染色を施して光学顕微鏡により観察した。精巣の発達過程を正確に把握するため、精巣中央部の横断組織を写真撮影し、拡大した印画紙上で生殖細胞の部位を発達段階別に切断した。それらの重量を計量し、画面全域に対する重量比から生殖細胞ごとの存在比率を求めた。一方、卵巣においては、組織観察によって発達段階を把握するとともに、実体顕微鏡下で卵母細胞、または排卵卵の直径（以下、卵径と略す）を測定し、最大卵群の平均卵径を求めた。さらに、排卵の開始時期を把握するため、2月以降定期的に腹部を圧搾し、

排卵の有無を確認した。

結 果

1. 実験期間における供試魚の成長

1997年及び1998年の実験期間における雌雄の全長及び体重の変化をFig. 2 に示した。雌の全長及び体重は、雄を大きく上回り、実験開始時においても全長で約8.9～9.7cm、体重で1.3～1.6gの差がみられた。両年ともに高水温区の雌は、自然海水温区より体重がやや低かったが、実験期間を通して有意な成長差はみられなかった。

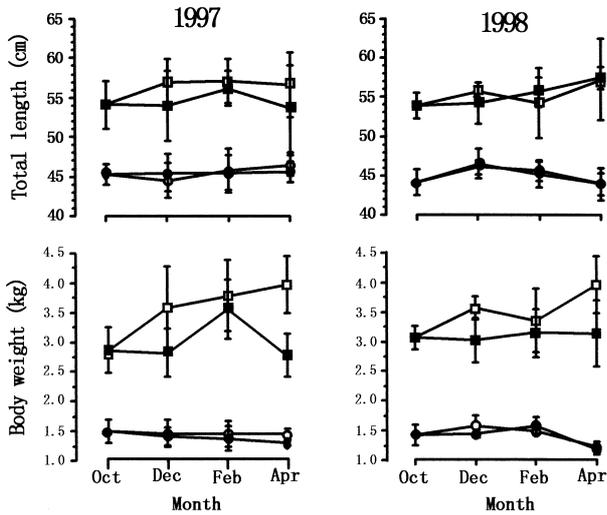


Fig. 2 . Changes in total length and body weight of barfin flounder from 1997 and 1998. Each bar indicates SEM.

2. 飼育水温が雄の性成熟に及ぼす影響

Fig. 3 に実験期間における雄のGSIの変化を示した。1997年の実験において、自然海水温区-97のGSIは実験開始時0.44 と低かったが、12月に急増して最大値(3.78)となり、その後、緩やかに下降した。これに対し、2月まで18 で飼育した高水温区-97では、GSIが実験期間を通して1.0以下と低いままであり、自然海水温区-97のようなピークはみられなかった。

1998年の実験において、自然海水温区-98のGSIは、前年と同様に12月にピークとなって2月、4月にかけて緩やかに下降した。一方、高水温期間を12月までとした高水温区-98において、GSIは12月まで低いままであった。しかし、その後、水温が低下するとGSIは急激に上昇し、

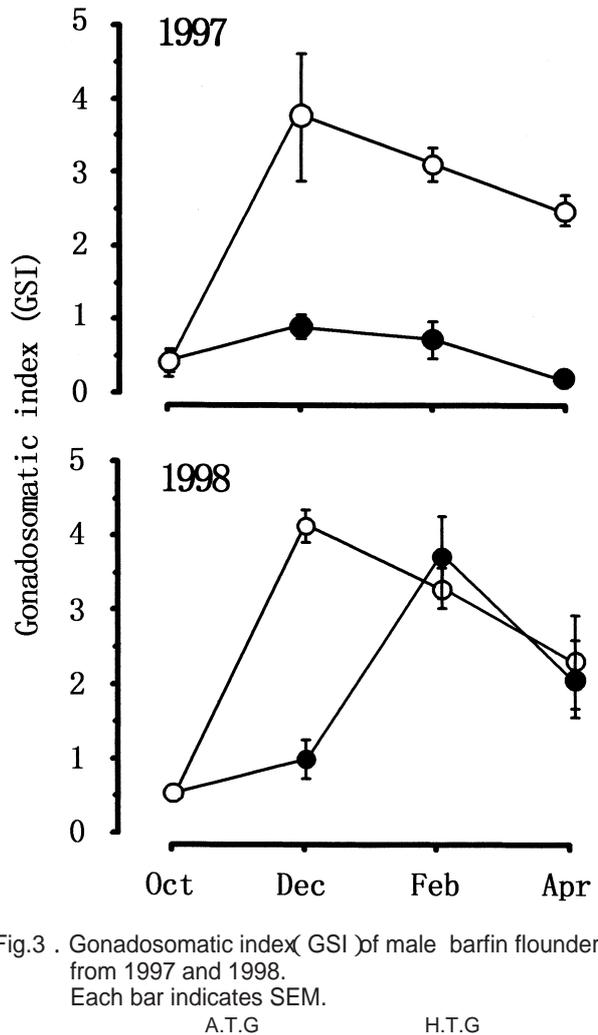


Fig. 3 . Gonadosomatic index (GSI) of male barfin flounder from 1997 and 1998. Each bar indicates SEM.

自然海水温区-98より2か月遅れて2月にピークを示した。

精巣の組織観察を行い、精原細胞、精母細胞、精細胞及び精子の存在比からそれぞれの実験区における精巣発達を比較した ( Fig.4A,B )

その結果、いずれの年度の実験においても、実験を開始した10月の精巣組織内には、精原細胞及び精母細胞を含む包囊がほぼ全域を占めており、精子形成初期であると判断された ( Fig.5 )

自然海水温区-97及び-98において、12月には精巣組織内に精細胞を含む包囊が観察され、精子形成中期となった。さらに2月になると、精小嚢内に精子が充満して機能的成熟期となり採精できる状態になった。

これに対し、高水温区-97においては、2月になっても精子形成初期のままであり、精細胞及び精子は全く観察されなかった。また、4月になると精母細胞は完全に消失し、厚い精巣間質の間に精原細胞のみが観察された ( Fig. 4C )。一方、高水温区-98では、水温が高い12月

までは実験開始時と同じ精子形成初期のままであった。しかし、その後、水温の低下に伴って精子形成が急速に進行し、2月には精細胞が観察された。さらに4月には精子が精小囊の全域を占め機能的成熟期となって採精可

能となった。また、高水温区-98の個体から得られた精子は正常に運動し、人工受精に使用しても受精能に影響はみられなかった。

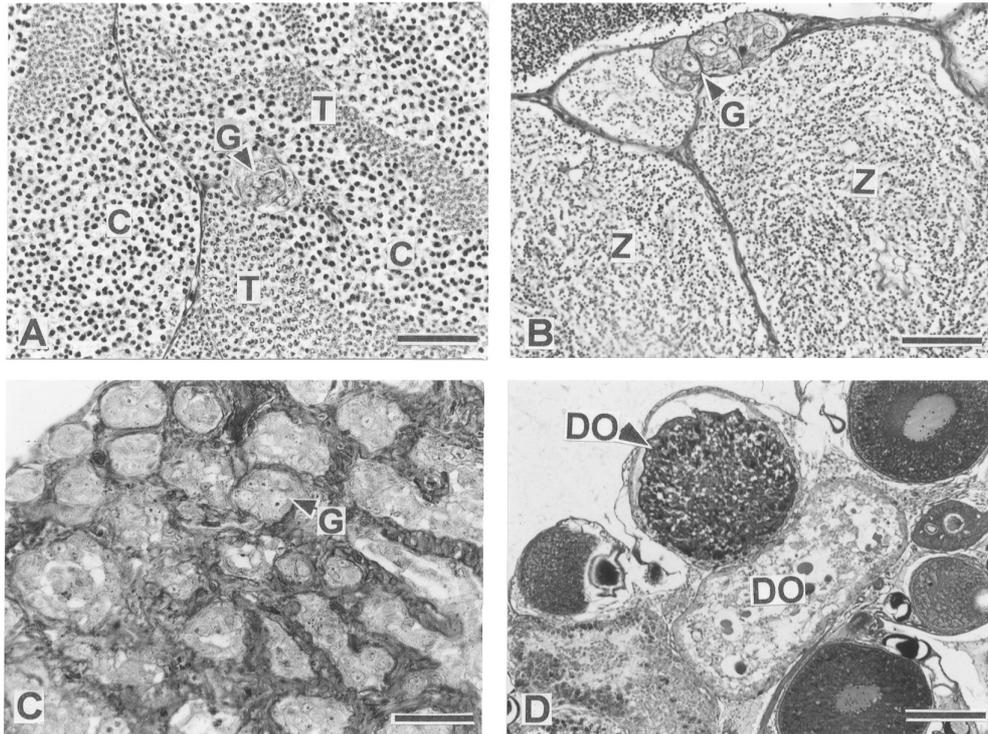


Fig.4 . Histological photographs of testes and ovaries of barfin flounder.  
 G,spermatogonia: C,spermatocytes: T,spermatotids: Z,spermatozoa: DO,degenerated oocyte.  
 A.Section of the testes of A.T.G.sampled in December.Scale bar=50 μ m.  
 B.Section of the testes of A.T.G.sampled in February. Scale bar=50 μ m.  
 C.Section of the testes of H.T.G.sampled in April. Scale bar=50 μ m.  
 D.Section of the ovaries of H.T.G.sampled in April. Scale bar=50 μ m.

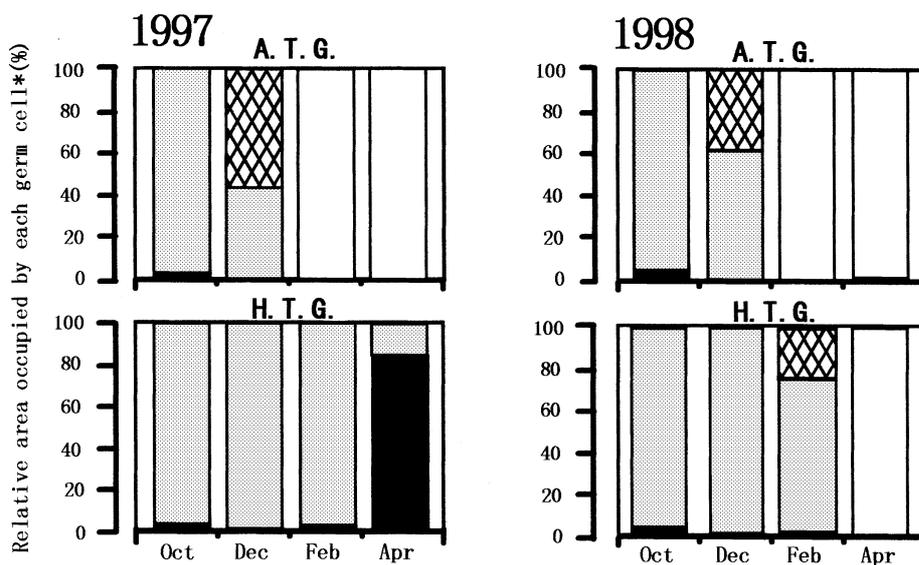


Fig.5 . Testicular development of male barfin flounder from 1997 and 1998.

■ Spermatogonia    ▒ Spermatocytes    XXXX Spermatids    □ Spermatozoa

\* Relative area occupied by each germ cell was calculated from the histological photographs

3. 飼育水温が雌の性成熟に及ぼす影響

Fig. 6 及び 7 に実験期間における雌のGSI及び卵径の変化を示した。1997年の実験において、自然海水温区-97のGSI及び卵径は、実験開始から直線的に増加し、4月にそれぞれ27.3及び1,753  $\mu\text{m}$  となって最大値を示した。排卵は3月下旬から始まっており、4月にはサンプリングした全個体から採卵することができた。

一方、高水温区-97の GSI及び卵径は、自然海水温区-97をやや下回る傾向がみられたが、2月まではほぼ変わらずに増加した。しかし、4月にはGSI及び卵径のいずれも減少し、また、全ての個体において排卵が誘起されず、採卵することはできなかつた。これらの卵巣を組織観察したところ、透明化した成熟卵は全く存在せず、退行した卵母細胞が数多く観察された (Fig.4D)。

1998年の実験において、自然海水温区-98のGSI及び卵径は前年と同様に直線的に増加して、4月には全ての個体から採卵することができた。一方、高水温区-98では、前年の高水温区-97と異なり、GSI及び卵径が4月まで増加し、実験期間を通して自然海水温区-98と有意な差はみられなかつた。また、自然海水温区-98より排卵の開

始時期がやや遅れる傾向はみられたが、4月には全個体で排卵が始まり、採卵が可能となった。

考 察

本実験において、自然海水で飼育したマツカワ雄では10月以後、水温の低下に伴って精子形成が進行し、2月に機能的な精子が得られた。一方、水温を低下させず高水温のままに飼育した場合、精子形成は全く進行せず、生殖細胞は10月に観察された発達段階で停止していた。また、これらの水温を12月から徐々に低下させたところ、精子形成が再び進行して、4月に機能的な精子を得ることができた。これらの結果は、マツカワの雄において、高水温環境下では、精子形成の進行が著しく抑制されることを明確に示している。

数種の硬骨魚類では、雄の性成熟過程に水温が深く関与すると考えられている。Matsuyama *et al.*<sup>10)</sup>は、マイワシ雄のGSI値と飼育水温の推移が高い負の相関を示したことから、精子形成の進行及び終了が水温変動の影響を受けることを推測している。また、カラフトマスの雄

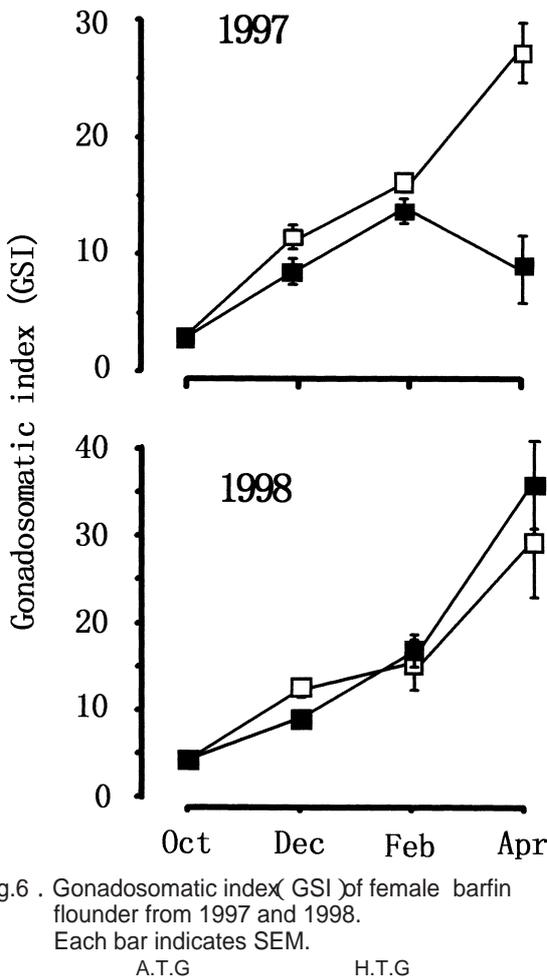


Fig.6 . Gonadosomatic index (GSI) of female barfin flounder from 1997 and 1998. Each bar indicates SEM. A.T.G H.T.G

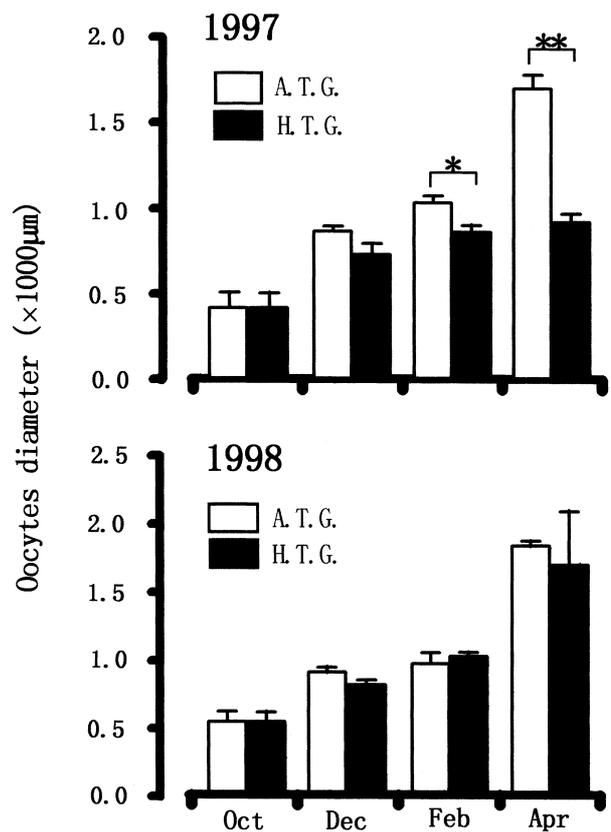


Fig.7 . Changes in the oocytes diameter of female barfin flounder from 1997 and 1998. Each bar indicates SEM. \* and \*\* indicates significant difference, respectively, (P < 0.05) and (P < 0.01)

においては、高水温条件下で飼育すると成熟まで達する個体の割合が有意に低下する<sup>11)</sup>。さらに北米産のハゼ科魚類であるlong-jaw gobyを用いた実験では、18 以下の低水温が精子形成の促進及び維持に、また、24 以上の高水温は精原細胞から精母細胞への移行を阻害することを報告している<sup>12)</sup>。本実験を開始した10月には、マツカワの精巢内に精母細胞がすでに観察されたため、精子形成の開始を促した要因については明らかにできない。しかし、今回の結果から、精子形成が進行して成熟した精子に至るまでの過程には、少なくとも10月以降の水温の低下が不可欠であることが示唆された。

また、本実験において、2月まで高水温のまま飼育した場合、その後、降温しても精子形成は進まず、減数分裂が停止していた生殖細胞は退行した。このことから、長期にわたって高水温飼育を継続すると、精子形成の促進、または維持に関わる生理機構に何らかの障害が及ぼされることが考えられた。

多くの海産魚類では、精子形成の進行に、テストステロンや11-ケトテストステロンといったステロイドホルモンが作用すると考えられている<sup>13-15)</sup>。併せて、Miura *et al.*<sup>16)</sup>は、ニホンウナギ精巢の器官培養系によって、11-ケトテストステロンの存在下、精原細胞から精子に至る全過程を生体外で再現し、ウナギの精子形成が内分泌因子によって制御されていることを証明している。マツカワ雄の性成熟過程に関わる内分泌機構については明らかではないが、高水温条件下では、精子形成を制御するホルモンの分泌が妨げられることも考えられる。そのため、今後、水温変化と血中ホルモン量の変動についても併せて検討する必要がある。

自然海水温で飼育したマツカワ雌において、GSI及び卵径は、卵黄形成の進行によって、実験開始後、著しく増加し、4月に最高値となって排卵がみられた。また、2月、これらの卵巣内に成熟卵が観察されなかったことから、卵母細胞の最終成熟は、3月以後に誘起されたものと推測される。

一方10月以後、18 のままで飼育した雌においても、GSI及び卵径は2月まで直線的に増加し、卵母細胞の成長が認められた。したがって、マツカワ雌では、高水温条件下でも卵黄形成は正常に進行することが示唆される。

タナゴやキンギョなど多くの淡水性魚類において、生息場の水温は、卵黄形成の開始、進行及び終了を決定する重要な因子であることが知られている<sup>9)</sup>。また、マイワシを水温13℃、短日光周期の条件下で飼育した場合、水槽内でも卵黄形成が進行して、卵母細胞が成長するが、水温18℃、同光周期条件下では、卵黄形成が著しく阻害されることも報告されている<sup>17)</sup>。現在のところ、マツカ

ワの卵黄形成が妨げられる水温範囲については不明であるが、今回の結果から、18℃以下であれば、卵黄形成は阻害されないと考えられる。また、サケ科魚類<sup>9)</sup>やブリ<sup>18)</sup>などの一部の海産魚類では、光周期の変化が卵黄形成を促進する刺激となることも明らかにされている。そのため、マツカワでも、水温以外の環境因子が卵黄形成の開始及び進行に作用している可能性が示唆され、今後、詳細に検討する必要がある。

12月まで18℃で飼育し、その後、降温した雌では、自然海水温飼育と同様に卵発達が進み、4月に排卵した。これに対し、2月まで高水温飼育を継続した場合、卵黄形成までは進行したものの、排卵は全く誘起されなかった。一般に、マダイ<sup>19)</sup>やマイワシ<sup>17)</sup>など、春から初夏を産卵期とする魚種においては、春季の水温上昇によって卵母細胞の最終成熟及び排卵が促されて、その結果、産卵が始まると考えられている。また、マツカワでも、3月上旬に飼育水温を4℃から6℃へ昇温すると、雌の排卵が誘起され、水槽内でも放卵することが確かめられている<sup>20)</sup>。以上のことから、マツカワの卵発達過程において、卵黄形成期は、水温による影響が少なく、適水温範囲は幅広いと考えられるが、一方、最終成熟期近くから排卵が誘起されるまでの時期においては、水温条件によって制御を受けることが示唆された。

道栽培センターにおけるマツカワ親魚の養成水温は、8-9月及び3-4月に若干、冷却及び加温する以外は、北海道噴火湾の自然海水温を基本としている。しかし、この条件下では、雄の方が雌よりも早い時期に成熟するため、採精及び採卵の適期にずれが生じる。

本研究でも、自然海水温で飼育した雌雄において、採精及び採卵の開始時期は、それぞれ2月及び4月であり、約2か月間の違いがあった。一方、10月から12月まで18℃のまま飼育し、水温が低下する時期を通常より2か月遅らせたところ、高水温によって、一定の間、雄の精子形成が抑制され、採精開始時期は4月となった。また、雌では、高水温条件下でも卵黄形成が進行し、採卵開始時期は4月のままであった。以上の結果から、10月から12月まで親魚雌雄を加温海水で飼育することによって、雄の成熟進度を雌に同調させ、雌雄ほぼ同時期に人工受精を開始できることが示された。また、高水温飼育を行っても、卵及び精子の受精能に悪影響はみられなかったことから、今後、本研究で明らかとなった水温条件に基づいて親魚を養成することにより、精子及び卵の質がともに最良の時期に人工受精を実施できると考えられる。

本研究では、高水温条件が雌雄の性成熟過程に及ぼす影響を明らかにできたが、自然海水よりも低い水温条件による影響については検討が至らなかった。1992年まで

実施したマツカワ天然魚の漁獲調査によると、11月から1月に成熟途上の個体が200m以深の低水温域で多数漁獲されている<sup>21)</sup>。そのため、低水温条件と性成熟との関連性については新たに検討する必要がある。また、本実験においては、雄の性成熟を抑制できる高水温条件の下限値については明らかにできなかった。今後、これらを正確に把握し、加温コストをできるだけ低減した適正な親魚養成技術を確立することも重要な課題と思われる。さらに、北海道噴火湾で実施したマツカワ種苗放流試験では、大型の種苗サイズで放流した方が、生き残りがよく、再捕率が高いことが示されている<sup>22)</sup>。そのため、光周期など雌の成熟促進に関与すると考えられる因子についても解析し、早期採卵による大型種苗の育成技術開発についても取り組む必要がある。

## 要約

飼育水温がマツカワ雌雄の性成熟に及ぼす影響を明らかにするとともに、水温操作によって、採精及び採卵適期を同期化することを目的として、人工3歳魚を用い、水温別の飼育実験を行った。10月以後、自然海水温で飼育する実験群と、12月、または2月まで18℃で加温飼育し、その後、自然海水温まで降温する実験群を設け、GSI、卵径の変化及び組織観察に基づいて性成熟の進行度合いを比較した。

1. 自然海水温区の雄では、水温の低下に伴って精子形成が進行し、2月に機能的な精子が得られた。これに対し、高水温飼育区では、精子形成の進行が著しく抑制された。そのため、雄の性成熟において、精子形成が進行し、成熟した精子に至るまでの過程には、水温の低下が不可欠であると考えられた。
2. 雌では、高水温条件下でも卵黄形成が正常に進行し、卵母細胞の成長が認められた。しかし、2月まで高水温飼育を継続すると、卵母細胞の最終成熟及び排卵が誘起されないことが示唆された。
3. マツカワ雌雄を自然海水温で飼育した場合、雄の方が雌よりも早い時期に成熟し、採精及び採卵の開始時期はそれぞれ2月及び4月であった。一方、10月から12月まで18℃の加温海水で飼育したところ、雄では、一定期間、精子形成の進行が抑制されたため、採精開始時期は4月となった。また、雌では高水温条件下でも卵黄形成は進行したため、採卵開始時期は4月のままであった。以上の結果、雌雄ともに12月までは18℃のまま飼育し、雄の性成熟の進度を遅らせることにより、雌雄ほぼ同時期に人工受精を実施できると考えられた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験魚の提供に快く協力いただいた日本栽培漁業協会厚岸事業場に深謝する。また、本稿の英文を校閲していただくとともに、有意義な助言をいただいたMaine大学のM. Devin博士に感謝の意を表す。本研究の一部は水産庁補助による「特定海域新魚種定着促進技術開発事業・マツカワ種苗生産」によって行われた。

## 参考文献

- 1) 高丸禮好, 斎藤節雄, 森立成: 4.3.2 特定海域新魚種量産技術開発事業(マツカワ). 北海道立栽培漁業総合センター事業報告書. 84-88(1991)
- 2) Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama and S. Matsuura: Diurnal rhythm of oocyte development and plasma steroid hormone levels in the female red sea bream, *Pagrus major*, during spawning season. *Aquaculture*. 73, 359-372 (1988)
- 3) Adachi, S., S. Ijiri, K. Soyano, N. Takamaru, and K. Yamauchi: Proceedings of the Japan Society for Comparative Endocrinology, No. 6, p.15 (1991)
- 4) 松浦修平, 古市政幸, 丸山勝彦, 松山倫也: マダイ1尾のよる毎日産卵の確認とその卵質. 水産増殖. 36, 33-39(1988)
- 5) 太平洋北区栽培漁業協議会技術部会ヒラメ作業部会編: 1. 親魚と採卵. 太平洋北区におけるヒラメ種苗生産技術集, 1-10(1994)
- 6) 山野目健, 大森正明, 金辻宏明, 河原栄二郎: マツカワにおける雌特異血清蛋白の周年変化とLHRHaコレステロールペレットの産卵促進効果. 岩手県水技術セ研報. 1, 13-19(1997)
- 7) 渡辺研一: 北海道太平洋岸で漁獲されたマツカワの排卵状況から推定した産卵期. 水産増殖. 46, 589-590(1998a)
- 8) Koya, Y., T. Matsubara and T. Nakagawa: Efficient artificial fertilization method based on the ovulation cycle in barfin flounder *Verasper moseri*. *Fisheries Sci.* 60, 573-540 (1994)
- 9) 朝比奈潔: "4. 生殖周期と調節". 水族繁殖学. 東京, 緑書房, 1989, 103-131

- 10) Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama, C. Kitajima and S. Matsuura: Testicular development and serum levels of gonadal steroids during the annual reproductive cycle of captive Japanese sardine. *Japan. J. Ichthyol.*, 37, 381-390 (1991a)
- 11) Beacham, T. D. and C. B. Murray: Influence photoperiod and temperature on timing of sexual maturity of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*. *Can. J. Zool.*, 66,1729-1732 (1988)
- 12) De Vlaming, V. L.: The effect of temperature and photoperiod on reproductive cycling in the estuarine gobiid fish *Gillichthys mirabilis*. *Fish. Bull.* 70(4),1137-1152 (1972)
- 13) 松原孝博, 本田聡, 征矢野清, 和田時夫: 飼育下におけるマイワシ(*sardinops melanostictus*)の精巣発達に伴う血清ステロイドホルモンの変化. 北水研報告. 56, 7-16(1992)
- 14) 森田純人, 松山倫也, 柏木正章: ササノハベラの生殖腺と血中ステロイドホルモンの季節変化. 日水誌. 63(5),694-700(1997)
- 15) Matsuyama, M., M. yonda, H. Takeuchi, H. Kagawa, M. Kasiwagi, K. Tabata, Y. Nagahama, S. Ijiri, S. Adachi, and K. Yamauchi: Diurnal periodicity in testicular activity in the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fisheries Sci.* 61(1),17-23 (1995)
- 16) Miura, T., K. Yamauchi, H. Takahashi, and Y. Nagahama: Hormonal injection of all stages of spermatogenesis in vitro in the male Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 88,5774-5778 (1991)
- 17) 松原孝博: " -9.成熟,産卵リズム.マイワシ". 水産学シリーズ85海産魚の産卵・成熟リズム. 東京, 恒星社厚生閣,1991,113-124
- 18) Mushiake, K., K. Kawano, T. Kobayashi, and T. Yamazaki: Advanced spawning in Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, by manipulations of the Photoperiod and water temperature. *Fisheries Sci.* 64(5), 727-731(1998)
- 19) 松山倫也: " -6.成熟,産卵リズム.マダイ". 水産学シリーズ85海産魚の産卵・成熟リズム(廣瀬慶二編). 東京,恒星社厚生閣,1991,78-91
- 20) 萱場隆昭,杉本卓,佐藤敦一: 特定海域新魚種定着促進技術開発事業(マツカワ). 北海道立栽培漁業総合センター事業報告書. 94-109(1999)
- 21) 佐々木正義: 日高及び胆振太平洋海域のマツカワの漁業実態と生態について. 北水試だより.38, 7-12(1997)
- 22) 北海道: マツカワ.放流技術: 特定海域新魚種定着促進事業報告書.19-29(2000)

## 低水温下におけるアサリの低塩分・貧酸素耐性

蔵田 護\*

Tolerance of the Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum* to low salinity and dissolved oxygen at low temperatures.

Mamoru KURATA\*

Mass mortalities of *Ruditapes philippinarum* revealed after the sea ice melt in 1996 and in 1998 on aquafarms of the Japanese littleneck clam in Lake Saroma. During the sea surface was frozen and the sea ice was melting, low salinity and low dissolved oxygen(DO) were observed at the aquafarms. Therefore it was considered that the cause of mortality was the low salinity or low DO. But the causality of the mortality and the environmental factors was not clear. Therefore, the tolerance of clams to reduced salinities and DO under water temperature conditions of 1 was examined in the laboratory. As a result, when conditions of salinity were less than 15psu or DO of less than 10% continued for more than 13 days, the clam began to die in the laboratory experiments. At 1, the tolerance of clams to low salinity and to low concentrations of DO was very strong. When salinity was lower than 15psu, salinity was the limiting factor. But, when salinity was more than 20psu, DO of less than 40% was the limiting factor.

キーワード；アサリ，大量斃死，低塩分，貧酸素，耐性，サロマ湖

まえがき

サロマ湖の塩分は外海と大きな差がないため，湖内ではホタテガイとカキの垂下養殖が盛んに行われている。また，縁辺域の砂浜には天然のアサリが生息しているが<sup>1,2)</sup>，資源量が少ないためにこれまで漁業の対象にはなっていない。そこで，サロマ湖では，1994年からサロマ湖縁辺の静穏な砂浜域を利用して，盛土工法によるアサリの増殖事業が開始された。

造成されたアサリ礁に厚岸湖から大量のアサリが移殖された。しかし，1996年と1998年の春先4月に一部の造成礁でアサリの大量斃死が確認された。冬季間湖面が最大で50～60cmの厚さの氷に覆われるサロマ湖では，3月下旬の融氷期に氷直下に低塩分水層が形成され<sup>3)</sup>，またアサリ礁では冬季間には貧酸素水と低塩分水が分布することが指摘されている<sup>4)</sup>。これらのことから，アサリの斃死原因が低塩分と貧酸素であると推測された。

アサリの塩分・貧酸素耐性については数多くの研究例<sup>5-11)</sup>があるが，いずれも水温が5℃以上の条件下での知見であり，サロマ湖のような結氷海域の水温帯での試験事例は見当たらない。

そこで，低水温下でアサリの生残に及ぼす低塩分・貧

酸素の影響について室内実験を行い，アサリの生息にとって，塩分15psu以下の場合には塩分が制限要因であることと，塩分20psu以上の場合には飽和度40%以下の溶存酸素量が制限要因であることがわかったので報告する。

材料及び方法

1999年3月3日にサロマ湖赤川地区のアサリ礁で採集したアサリ(1998年11月18日に放流された厚岸湖産)を水温1℃・塩分31psuに調整した蓄養水槽に十分通気しつつ翌日まで馴致し，生残個体を試験に用いた。アサリの殻長は28～45mmであり，平均殻長は約35mmであった。

飼育槽には，1.7ℓのタッパ容器を使用し，底質としての砂は用いなかった。インキュベータ(サンヨーMIR-253)内に飼育槽を設置し，飼育水温を1℃に設定した。

残留塩素を爆気により取り除いた水道水と海水を混合して，塩分5，10，15，20，31psuの飼育水を調整した。溶存酸素(本報告では溶存酸素飽和度を使用しており，以下DO%と表す)の段階は，混合ガスボンベ法<sup>12,13)</sup>を用いて調整した。窒素ガスに対する酸素ガスの混合割合

が2%, 4%, 8%に調整された混合ガスを流量2~3 ml/分で飼育槽に吹き込むことによって, 飼育水のDO%をそれぞれ10, 20, 40%に調整した。DO%を溶存酸素計(YSI社Model58)を用いて測定したが, ±5%程度の誤差は生じた。DO100%区は, エアポンプで空気を吹き込むことによって調整した。また, 無酸素区は, 飼育水に99.9%窒素ガスを十分に吹き込むことによって作成することを試みたが, DO%は4%程度に下げることが限界であった。そのため, 50mlポリ瓶にDO4%程度になった貧酸素水に, 空気の泡が混入しないようにアサリ1個体を入れて, 密閉したものをDO0%区とした。

以上, 塩分とDOの組み合わせ25区を作成し, それぞれの飼育槽にアサリ20個体を収容した。無酸素区では塩分条件別にポリ瓶を各20個用意した。試験期間は50日間とし, 無給餌条件下で飼育し, 試験期間中に死亡したアサリの個体数の変化を調べた。開殻したままで外套膜が萎縮している個体, および水管や足を出しかつ刺激しても反応しない個体を死貝と判定して, 毎日1~2回, 死貝を取り除いた。なお, 無酸素区以外では, アサリの斃死にともなう水質悪化が他の個体の生残に影響を及ぼすことを避けるため, 予め用意しておいたDO・塩分段階の飼育水に適宜交換した。なお, 塩分20psu・DO40%の試験区は, 途中でインキュベータの故障によって, 水温が3日間程度6℃に上昇したので, この試験区の結果は検討に用いなかった。

本試験では, 供試貝の10%, 50%, および100%が死亡するまでに要した日数を, それぞれ10%致死日数(LD<sub>10</sub>), 半数致死日数(LD<sub>50</sub>), および全数致死日数(LD<sub>100</sub>)とした。

## 結 果

アサリの生残個体数の変化を, 塩分段階別に図1に, DO段階別に図2に示した。塩分31psu・DO100%および塩分20psu・DO100%の条件では, アサリの死亡はみられなかった。ただし, その条件でも1個体が斃死する場合があったが, それは採集時の影響による斃死であると判断した。塩分15psu, DO10%以下の場合でも, アサリは試験開始後13日以上経過してから斃死し始めた。塩分が31, 20, 15psuの場合には, DO%が低いほど早く斃死する傾向が見られたが, より低塩分の10, 5psuの場合には, DO%による生残個体数の差は小さかった。また, DO0%の場合には, 塩分による差が小さかった。

LD<sub>10</sub>は, 塩分31psuの場合には, DO20%のときには33日, DO0%のときには20日であった。塩分20psu

の場合には, DO20%のときには29日, DO10%のときには22日であった。塩分15psuの場合には, DO100%のときでも31日であった。塩分15psu・DO0%, 塩分10psu・DO0%, 塩分5psu・DO20%以下の場合には, 13~17日であった。塩分10psu以下の場合には, DO%によるLD<sub>10</sub>の差は少なく, 13~21日であった。このようにLD<sub>10</sub>は, 塩分が低いほど, またDO%が低いほど小さかった(表1)。

LD<sub>50</sub>は, 塩分31psuの場合には, DO20%のときには37日, DO0%のときには33日であった。塩分20psuでは, DO20%のときには34日, DO0%のときには30日であった。塩分10psu以下の場合には, DO%によるLD<sub>50</sub>の差は少なく, 24~30日であった(表2)。

LD<sub>100</sub>は, 塩分31psuの場合には, DO20%以下のときには39~40日であった。塩分20psuの場合には, DO

表1 各塩分DO条件下におけるアサリの10%致死日数LD<sub>10</sub>(水温1℃)

	100%	40%	20%	10%	0%
31psu	>50	46	33	33	20
20psu	>50	— *	29	22	24
15psu	31	27	22	18	13
10psu	18	19	18	19	16
5psu	21	19	17	13	16

\* インキュベータの故障による欠測

表2 各塩分DO条件下におけるアサリの半数致死日数LD<sub>50</sub>(水温1℃)

	100%	40%	20%	10%	0%
31psu	>50	>50	37	37	33
20psu	>50	— *	34	45	30
15psu	>50	36	29	33	25
10psu	28	27	24	29	27
5psu	29	26	26	29	30

\* インキュベータの故障による欠測

表3 各塩分DO条件下におけるアサリ全数致死日数LD<sub>100</sub>(水温1℃)

	100%	40%	20%	10%	0%
31psu	>50	>50	40	39	40
20psu	>50	— *	41	46	40
15psu	>50	41	41	50	36
10psu	43	41	33	41	33
5psu	41	38	40	40	37

\* インキュベータの故障による欠測

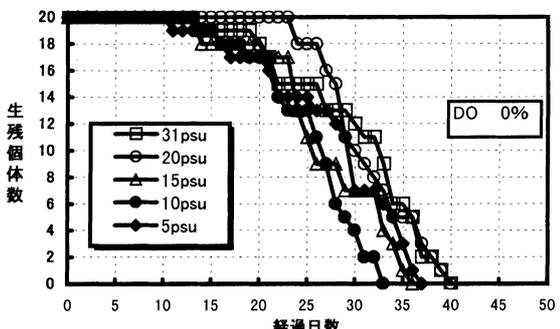
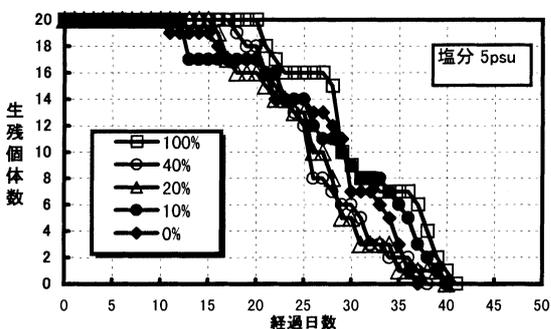
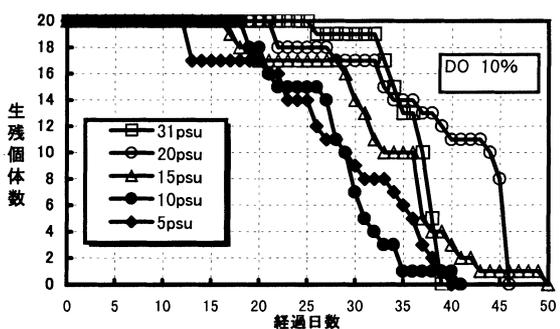
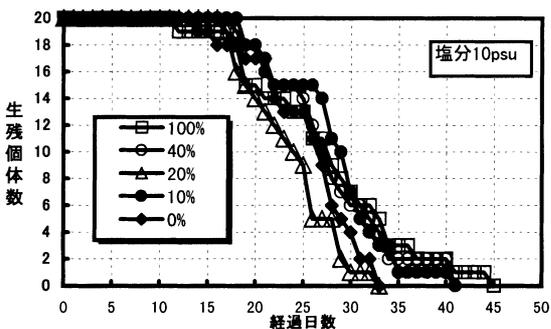
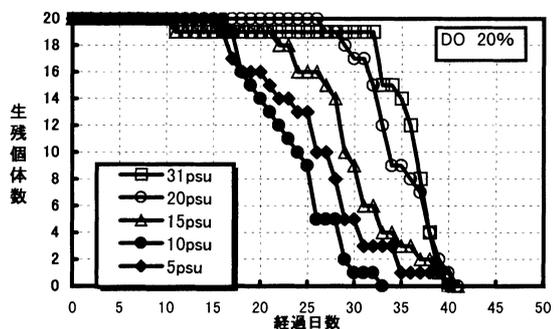
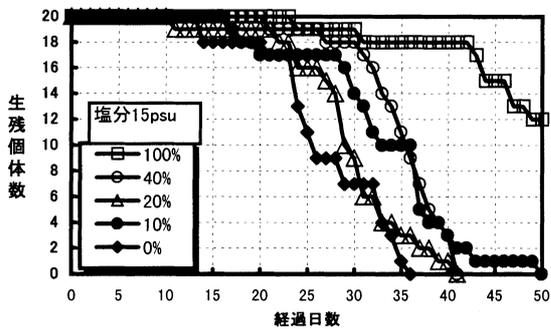
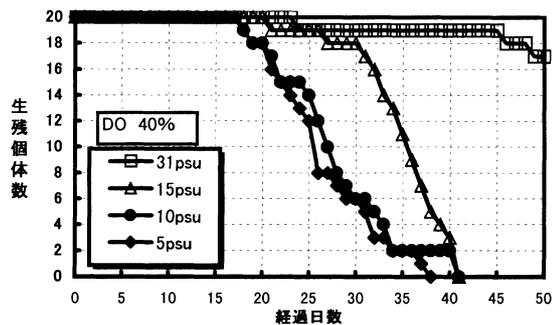
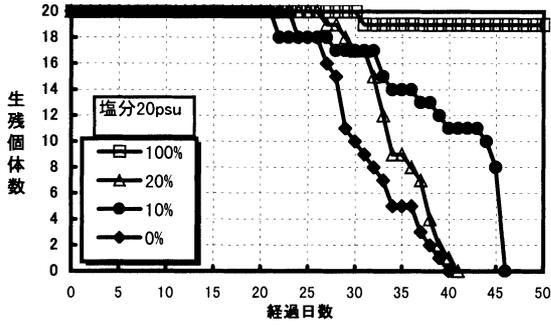
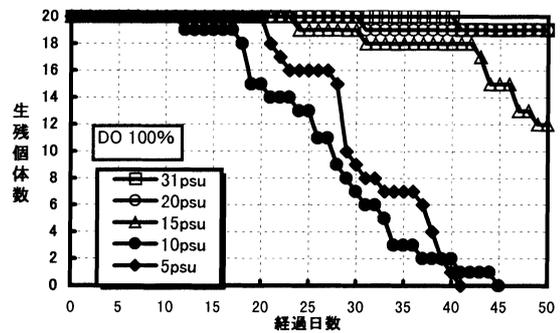
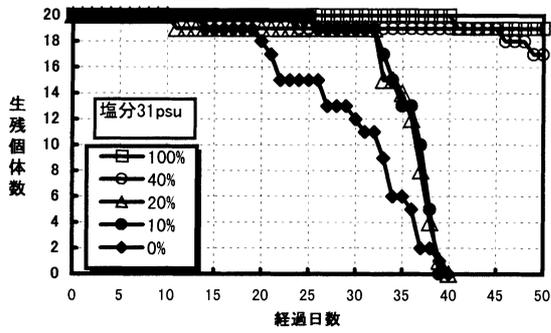


図1 アサリの生残個体数の変化(塩分別) 水温1

図2 アサリの生残個体数の変化(DO%別) 水温1

20%以下のときには40～46日であった。50日間経過しても生残個体が見られたのは、塩分15psu以上・D O 100%の場合と、塩分31psu・D O 40%以上の場合であった。他の条件でのLD<sub>100</sub>はばらつきが大きかった(表3)。

次に、本試験では、50日間という長期間にわたる実験による飼育槽内の水質悪化等の影響が少なからずあったと考えられることと、アサリが斃死しない環境条件を求めることが目的であるので、供試貝の10%が死亡するまでに要した日数、LD<sub>10</sub>を図3に示した。

低塩分ではD O %によるLD<sub>10</sub>が一樣であるのに対し、高塩分になるほどD O %によるLD<sub>10</sub>の変動が大きかった。このことは、アサリの生息にとっては、低塩分は酸素濃度に関わらず制限要因となるが、高塩分では貧酸素が制限要因となることを示している。

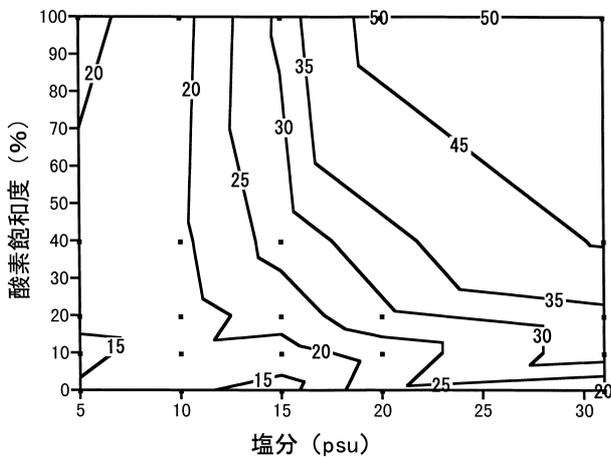


図3 塩分と酸素飽和度と10%致死日数(LD<sub>10</sub>)の関係(水温1℃, 50日間)(図中の数字はをLD<sub>10</sub>表す)

## 考 察

アサリの溶存酸素に対する耐性については、萩田<sup>8)</sup>が、水温20℃の条件下で溶存酸素量が0.36mgO<sub>2</sub>/l (D O 5%程度)の貧酸素水で4日間の生存を確認し、この間にほとんど酸素の消費がないことを報告している。また、柿野<sup>7)</sup>は、水温17～19℃の貧酸素水中で7日間の生存を確認し、実験水槽中の低濃度の酸素が容易に減少しないことを報告している。さらに山元<sup>14)</sup>は、低酸素条件下で酸素摂取を維持するために、魚類はおもに換水量を増加させて応答するのに対し、貝類はもっぱら循環系の機能や体内への酸素の拡散機能を高めることによって応答

していると推察している。

本試験の結果では、LD<sub>10</sub>は、塩分31psuの場合で、D O 0%のときには20日であり、D O 10%および20%のときには33日であった。萩田<sup>8)</sup>や柿野<sup>7)</sup>の報告に比べて生存日数が非常に長かった。この差異は、今回の試験が水温1℃で実施されたものであり、その水温ではアサリの代謝が低下していることによると考えられる。

アサリの塩分に対する耐性については、倉茂<sup>9)</sup>が塩分濃度20psu前後に境界があり、これよりも低塩分になるほど、また小型個体ほど影響が大きく現れることと、淡水の場合には3～4日後から斃死が始まることを報告している。また、相島<sup>9)</sup>は、殻長約16mmの稚貝を用いて水温5～30℃の範囲で潜砂試験を実施し、水温5℃の条件では、塩分15psu以下では潜砂する個体なかったことを報告している。同様に、櫻井<sup>11)</sup>は、成貝(殻長約27mm)を用いた水温15℃における潜砂試験の結果、塩分13psuでは潜砂しなかったが、塩分15～32.5psuの範囲では潜砂行動に有意な差異がみられず、相島<sup>9)</sup>の試験結果とほぼ同様であったことを報告している。さらに、柿野<sup>10)</sup>は、冬季の低塩分による斃死は、水温やその時のアサリの活力、砂中に潜砂している状態が砂上に露出している状態かなどの試験条件の違いによって異なり、淡水でも10日以上斃死がなかった試験事例や、砂上に露出した状態では低塩分に対する耐性が若干低かったことを報告している。

本試験の結果、D O 100%の場合には、塩分20psu以上であれば50日経過しても斃死はみられなかった。一方、本試験では砂を用いなかったが、塩分15psuでは31日以内に斃死し始めたことと、塩分10psu以下では18～21日で斃死し始めたことから、これまでの報告と同様に、アサリの生息にとっては塩分15psu以下は適さず、塩分20psu以上であることが望ましいと考えられた。

次に、塩分とD O %を組合わせた場合を以下に検討する。本試験の結果、塩分が31, 20, 15psuの場合には、D O %が低いほど早く斃死する傾向が見られたが、塩分10, 5psuの場合には、D O %による差があまり見られなかった。低塩分ではD O %によるLD<sub>10</sub>の差が少なく一樣であるのに対し、高塩分になるほどD O %によるLD<sub>10</sub>の範囲が大きかった。塩分31psu・D O 100%(対照区)、塩分20psu・D O 100%以外の条件では、長期間経過後ではあるが、アサリの死亡がみられたことから、塩分31psuの場合でもD O 40%以下のときには、アサリにストレスが徐々に蓄積していると考えられる。以上のことから、アサリにとって15psu以下の低塩分は酸素濃度に関わらず斃死要因となるが、20psu以上の高塩分ではD O 40%以下の溶存酸素が斃死要因となることを示して

いる。

本試験結果では、条件が悪い方が生残期間が長くなった場合もあった。このことは、50日間という長期間にわたる実験によって水質悪化の影響が少なからずあったこと、また柿野ら<sup>10)</sup>や黒田ら<sup>15)</sup>が述べているように、その供試貝の活力やグリコーゲン蓄積量に個体差の影響があったことによると考えられた。

本試験結果から、アサリは低水温下では低塩分・貧酸素に対し耐性が強いが、冬季間に現場で、塩分が15psu以下の環境が15～20日持続した場合や、塩分が20psu以上でもDOが20%以下の環境が25日間前後持続した場合には斃死要因となり得ることがわかった。

サロマ湖で冬季にアサリが斃死したアサリ礁では、1999年3月下旬から4月上旬にかけて、塩分15psu以下の状態が2週間以上継続したことが確認されている。その後は、融氷期のため、塩分観測はされなかったが、さらに低塩分状態が継続したと思われる。したがって、今後、冬季結氷海域においてアサリ増殖を図る場合には、斃死に至らせるような低塩分・貧酸素環境が現場でどれくらい長期間継続しているかを観測する必要がある。

## 要 約

1. 室内試験によって、低水温1℃におけるアサリの低塩分・貧酸素耐性を調べた。
2. アサリは塩分15psu、溶存酸素10%以下の場合でも、試験開始後13日以上経過してから斃死した。低水温下におけるアサリの低塩分、貧酸素耐性は極めて強かった。
3. アサリの生息にとって塩分15psu以下の場合には塩分が制限要因となるのに対し、塩分20psu以上の場合には飽和度が40%以下の溶存酸素が制限要因であった。

## 謝 辞

本試験を実施するに当たり、アサリ採集や試験準備にご協力いただいたサロマ湖養殖組合の職員の方々、網走支庁水産課金崎係長（現 渡島支庁水産課）に厚くお礼申し上げます。また、原稿の作成に当たって有益な助言をいただいた北海道立栽培漁業総合センター西浜雄二博士に深くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 木下虎一郎，渋谷三五郎：北海道産蜆の種名と産卵

期について．北水試旬報．410,3 - 7 (1939)

- 2) サロマ湖養殖組合：“サロマ湖アサリ生息分布調査報告書”．平成3年度事業実績概要報告書．その2．水産動植物の繁殖保護関係．サロマ湖養殖組合，1992,12-45．
- 3) Seto,K.,Y.Furuta,H.Saito,and H.Hattori:Population dynamics of algae in the seasonal sea ice at Saroma-ko Lagoon.第12回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演集．108-111(1997)
- 4) 山田俊郎・矢野賢二・天野正志：サロマ湖における冬季結氷下のアサリ増殖場の環境について．テクノオーシャン '98．第7回国際シンポジウム講演要旨．(1998)
- 5) 倉茂英次郎：海水塩分の変化に対するアサリの抵抗性．日本海洋学会誌．1(1,2),29-43(1942)
- 6) 倉茂英次郎：常温における朝鮮産アサリの致死酸素量．日本海洋学会誌．1(1,2),123-132(1942)
- 7) 柿野純：青潮によるアサリへい死原因について，貧酸素水および硫化物の影響．千葉水試研報．40,1-6(1982)
- 8) 萩田健二：貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響．水産増殖．33(2),67-71(1985)
- 9) 相島昇：アサリ稚貝の潜砂行動に及ぼす水温と塩分の影響．福岡水技研報．1,145-150(1993)
- 10) 柿野純・古畑和哉・長谷川健一：東京湾盤洲干潟における冬季のアサリのへい死要因について．水産工学．32,23-32(1995)
- 11) 櫻井泉・瀬戸雅文・中尾繁：ウバガイ、バカガイおよびアサリの潜砂行動に及ぼす水温、塩分および底質粒径の影響．日水誌．62(6),878-885(1996)
- 12) 玉井恭一：シズクガイの貧酸素耐性．日水誌．59(4),615-620(1993)
- 13) 中村幹雄・品川明・戸田顕史・中尾繁：ヤマトシジミの貧酸素耐性．水産増殖．45(1),9-15(1997)
- 14) 山本憲一：貝類呼吸機能の低酸素応答．月刊海洋．30(3),133-138(1998)
- 15) 黒田伸郎・甲斐正信・原保：漁場環境変動に伴うアサリのグリコーゲン含量の変動．愛知県水試研報．5,35-39(1998)

# 北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量とグリコーゲン量の季節変化

宮園 章<sup>\*1</sup>, 中野 広<sup>\*2</sup>

Seasonal fluctuations in the protein and glycogen contents of The adductor muscle of scallops , *Patinopecten yessoensis* (Jay), in sowing culture grounds in The Okhotsk Sea, Hokkaido.

Akira MIYAZONO<sup>\*1</sup>, Hiroshi NAKANO<sup>\*2</sup>

Seasonal fluctuations of protein and glycogen contents in the adductor muscle of three-year scallops after being sowed in TOKORO, off the southern part of coastal Okhotsk Sea, and in TATSUMI, off Notsuke Peninsula in Nemuro Strait, were examined from 1992 to 1994. At the same time the water temperature, salinity and chlorophyll-a concentration were observed. The year to year differences in chlorophyll-a concentration in spring was larger in TOKORO than in TATSUMI. In TOKORO, the scallops have a growth pattern dependent on the spring phytoplankton bloom and have a period of poor trophic conditions in summer when protein of the adductor muscle is consumed. In TATSUMI, the scallops have a stable growth pattern under a stable food supply and have no period of poor trophic conditions in summer and protein of the adductor muscle was not consumed. It is suggested that the fluctuation of protein and glycogen contents in the adductor muscle are good indexes of correlation between the food conditions and the growth of scallops.

キーワード : ホタテガイ, 成長, 閉殻筋, タンパク質, グリコーゲン, 北海道オホーツク海沿岸

はじめに

近年, 北海道オホーツク海沿岸の種苗放流ホタテガイ漁場では貝の小型化現象による価格低下等がホタテガイ産業に深刻な影響を及ぼしている<sup>1)</sup>。そのため, 生産現場では品質の良い貝を効率的に生産するために増殖事業の再構築が必要となっている。それぞれの漁場環境がどのようにホタテガイの成長に影響しているかを知るとは増殖事業の再構築の基礎となる。従来, 殻長, 殻高, 殻幅や重量(軟体部・総重量)の経時変化によって貝の成長は捉えられてきた。これら生物測定による指標では環境変化に対応するときの貝の生理的な変化を捉えることが難しい。

二枚貝は種類によってエネルギー蓄積部位と蓄積基質が異なり, Pectinidaeでは中腸腺の脂質と閉殻筋のグリ

コーゲンとタンパク質が重要である<sup>2), 3)</sup>。ホタテガイについても閉殻筋のグリコーゲンや中腸腺の脂質含有率の季節変化が調査され, これらの含有率の増加は春の植物プランクトンブルームと関係し, 消費は生殖巣の発達と関係のあることが示されている<sup>4-6)</sup>。閉殻筋のグリコーゲンとタンパク質量の時系列変化はホタテガイの成長過程と密接に関係し, 摂取されたエネルギーの蓄積と消費状況を示す時間積分値として, 貝の成長状況を指標すると考えられる。

根室海峡の野付半島の沖に位置する異漁場は大型のホタテガイが生産されることで有名である。一方, 常呂漁場は北海道オホーツク海沿岸における地まきホタテガイ漁業の典型的な漁場であり, 近年, 貝の小型化が進行しているといわれる。そこでホタテガイの成長と環境との関係を把握するため, 1992年から1994年までの3年間に

報文番号 A 320 ( 2000年7月7日受理 )

\* 1: 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, 1-2-66 Yunokawa Hakodate, Hokkaido 042-8932, Japan)

\* 2: 中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan)

わたり、常呂漁場と巽漁場で放流ホタテガイの閉殻筋のタンパク質とグリコーゲン量の季節変化を調査した。両漁場のホタテガイは、それぞれの環境条件に対応して異なる成長過程を示すことがわかったので報告する。

材料および方法

常呂漁場では1992年から1994年の4月から11月まで毎月1回、放流ホタテガイ3年貝をホタテ桁網によって採集した。巽漁場では1992年、1993年には4月から翌年3月まで毎月1回、1994年には4月から12月まで毎月1回、放流ホタテガイ3年貝をホタテ桁網によって採集した。図1には各年次毎の調査地点を示した。両漁場ではともに漁場を4つの輪採区に区割りして操業しているため、年によって採集地点が異なる。放流ホタテガイ漁場では、サイズの大きい4年貝の成長が餌料条件に最も影響されると考えられるため<sup>1)</sup>、調査対象として適している。しかし、両漁場ではともに4年貝を漁獲しているため、ホタテ桁網による物理的破損やストレスによりその成長に影響する可能性があること、および周年を通して同一群からの採集が困難であるため、3年貝を調査対象とした。

なお、四輪採の区画毎に貝の成長差のあることが知られているが、ここではその問題を取り扱わなかった。毎年4月の調査対象貝は前年とは異なる群集を対象としている。このため、ここで言う成長は毎年4月以降の貝の重量変化を示す。

採集されたホタテガイは、海水を満たしたコンテナに収容し、実験室に輸送したのち、30個体の閉殻筋湿重量および生殖巣湿重量を測定した。別に10個体の閉殻筋を摘出し、個体別にチャック付きビニール袋に入れ、直ちにドライアイスにて凍結した。これらは、グリコーゲンおよびタンパク質の分析に供した。

海洋観測およびクロロフィルa用試水の採集は、原則的には貝の採集と同時にを行った。ただし、常呂では海洋観測地点を設け、3年とも同一地点で調査を実施した。水温と塩分は、STD(アレック電子AST-1000)によって測定した。クロロフィルa用試水は、バンドン採水器によって海表面から海底まで5~10m間隔で採取し、GF/Cフィルターで濾過したのち、試料は分析まで凍結保存した。

閉殻筋のグリコーゲンは、アンスロン-硫酸法<sup>2)</sup>で測定した。タンパク質は、ケルダール法<sup>3)</sup>と高い直線相関の得られた以下に示す差し引き法で求めた。ホタテガイ閉殻筋の主な構成成分はタンパク質、グリコーゲンおよび水分であり、脂質等の含有率は非常に低い<sup>4)</sup>ので、1992年の試料について差し引き法(タンパク質含有率(%)=100-(グリコーゲン+水分+その他の含有率)によるタンパク

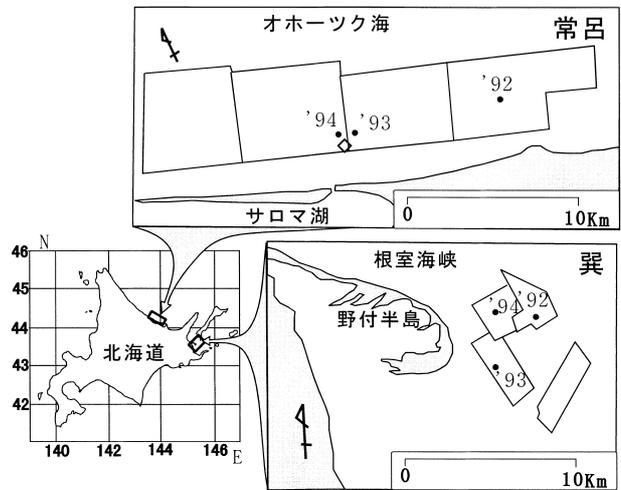


図1 調査地点。常呂： はホタテガイの採集地点， は3年間共通の海洋環境調査地点，巽： はホタテガイの採集地点および海洋観測地点。

質含有率と、ケルダール法による粗タンパク質含有率とを比較したところ、高い直線相関が得られた(n=18,r=0.707, p<0.05)。その他の含有率は2%として計算した。

クロロフィルaは、90%アセトンで抽出後、蛍光光度計(コタキ製作所製, model KK-68)で測定した。

閉殻筋と生殖巣湿重量の時系列データには採集誤差と思われる増減がみられたので、この影響を軽減するために隣り合う2データの移動平均によりデータの平滑化を行った。以下の解析には閉殻筋のグリコーゲン・タンパク質、および水温・塩分・クロロフィルaについても2点の移動平均値を用いた。

閉殻筋の湿重量・グリコーゲン量・タンパク質量の時系列変化から調査時期毎の日間重量増加率(以下、増加率とよぶ)を、それぞれ、下記の式により計算した。

$$\text{閉殻筋湿重量の日間増加率} = (L_n W_{n+1} - L_n W_n) / (t_{n+1} - t_n)$$

$$\text{閉殻筋のグリコーゲン量の日間増加率} = (L_n G_{n+1} - L_n G_n) / (t_{n+1} - t_n)$$

$$\text{閉殻筋のタンパク質量の日間増加率} = (L_n P_{n+1} - L_n P_n) / (t_{n+1} - t_n)$$

ここで、 $W_{n+1}$ ,  $G_{n+1}$ , および  $P_{n+1}$  はそれぞれ、調査日( $t_n, t_{n+1}$ )の閉殻筋湿重量、グリコーゲン量、およびタンパク質量を示す。

結果

1. 漁場環境の比較

常呂漁場は開放的な海岸線に位置し、採集地点は水深が約40m、底質は礫・砂礫である。巽漁場は比較的閉鎖的

な根室海峡に位置し、採集地点は水深が12~14m、底質は砂質である。貝の生息密度は常呂では4~6個体/m<sup>2</sup>、巽では約1個体/m<sup>2</sup>であり常呂の方が貝の生息密度が高い。

貝の生息する海底付近の水温は3年間を通して常呂、巽でそれぞれ、1.7~19.0、-0.3~16.3の間を変化した(図2, 上)。両漁場の水温は4月にはほとんど差がないが、5~8月にかけて常呂では巽よりも1~2高めに推移し、水温上昇率も常呂で大きかった。年による水温の違いをみると、常呂の1994年8、9月に水温が他年より2~3高かったほかに大きな違いはなかった。

海底付近の塩分は常呂では32.20~34.07PSU、巽では31.06~33.30PSUの間を季節的に変化した(図2, 中)。常呂の6~10月までの高い塩分は春から秋まで宗谷暖流水が強く影響することを示している。巽ではオホーツク海表層水の影響が強いため常呂に比べて塩分が低く、春には陸水の影響による塩分低下が顕著である。

常呂および巽におけるクロロフィルa濃度の季節変化を採集各層の平均値で比較した(図2, 下)。両漁場は水深が2倍近く異なる、また、水柱内のクロロフィルaの分布は不均一であるため、各層を平均したクロロフィルa濃度はそれぞれの漁場における餌料環境の季節変動の目安となるが、漁場間の餌料濃度の比較はできない。

クロロフィルa濃度は常呂、巽でそれぞれ0.3~11.9、および0.3~6.9μg/lの間を変化した。常呂では4~6月にクロロフィルa極大がみられ、その値は1992(11.9)>1994(6.4)>1993年(1.4μg/l)の順に大きかった。これらは春の植物プランクトンブルームの大きさを反映し、年によって春季ブルームの規模が大きく異なることを示す。巽ではクロロフィルa濃度は4月から10月まで1μg/lより高い濃度を持続し、11月から2月までの冬季間には1μg/lより低い濃度となるという季節パターンがみられた。1992年の4~8月のクロロフィルa濃度は他年の1/2程度と低かった。クロロフィルa極大は春と秋にみられ、1992、1993年には9、10月の極大が大きいが、1994年には4月の極大が大きく、クロロフィルa極大の形成時期およびその大きさは年によって異なった。

水温とクロロフィルa濃度との関係を見ると、両漁場の環境特性は大きく異なった(図3)。常呂では水温とクロロフィルa濃度との間には負の直線相関が認められた。他方、巽では両者の間に正の直線相関が認められた。また、常呂に比べて巽では温度変化に対するクロロフィルa濃度の変化が小さかった。

## 2. 閉殻筋・生殖巣の湿重量

常呂漁場および巽漁場におけるホタテガイの閉殻筋湿重量はそれぞれ10.4~22.8g、および25.5~68.6gの間を変

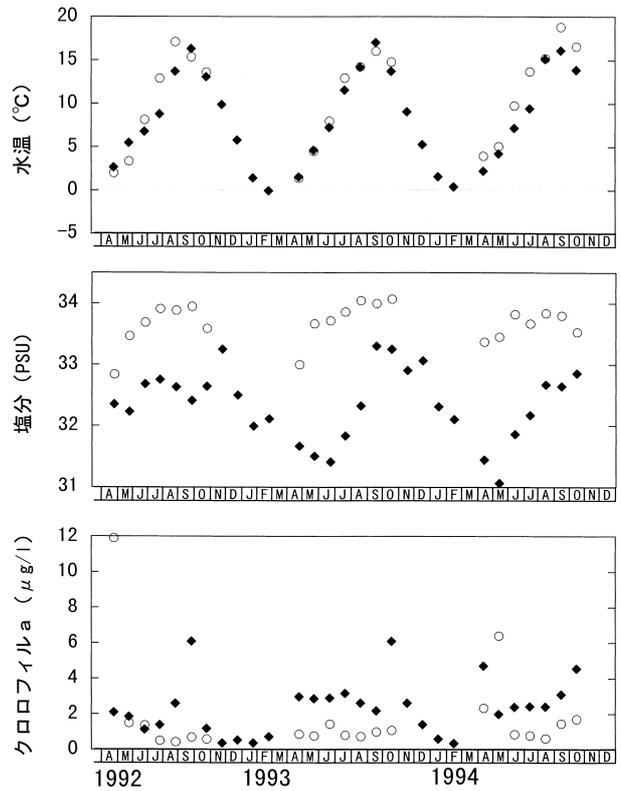


図2 海底直上水温(上)、塩分(中)、および水柱平均クロロフィルa濃度(下)の季節変化。常呂：○、巽：◇。常呂および巽の水深はそれぞれ約40m、15m。

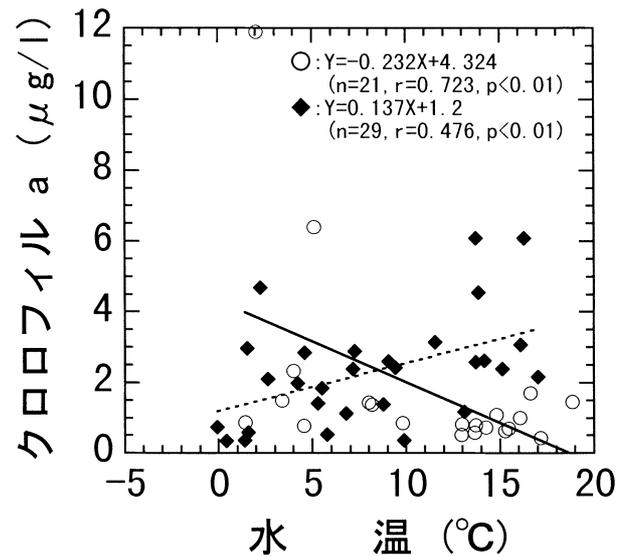


図3 海底直上水温と水柱平均クロロフィルa濃度との関係。常呂：○、巽：◇。点線と実線はそれぞれ常呂および巽における両者の回帰直線を示す。

化した(図4, )。両漁場の貝はともに放流後3年目の同年齢であるが、閉殻筋湿重量で2.4~3.0倍のサイズの違いがある。湿重量が増加する時期は常呂では4~7

月, 巽では4~8月であり, 巽の方が成長期間が約1か月長い。常呂では重量増加の年変化が大きく, 1992年の4~6月の成長が他年に比べて大きかったのに対して, 1993年の4~5月にはほとんど成長しなかった。巽における1992年4~6月にみられた湿重量の減少は成長異常のあったことを示す。

常呂漁場および巽漁場におけるホタテガイの生殖巣湿重量はそれぞれ4.1~10.8g, および11.3~39.2gの間を変化した(図4, )。両漁場の生殖巣湿重量には2.7~3.6倍の違いがあった。生殖巣湿重量の極大値は両漁場ともに4月下旬から5月上旬にみられ, その後急激に減少した。このことから両漁場とも産卵期は4~5月であったと考えられる。常呂では1992年と1994年の10月には生殖巣湿重量の増加がみられ, 生殖成長の開始を示唆する。巽では, 10月から湿重量の増加がみられたので, 10月以降を生殖成長期と判断した。1992年11月から翌年2月にみられた生殖巣湿重量の非常に大きな増加は1993年にはみられず, 生殖巣の発達状況は年による差が大きい。

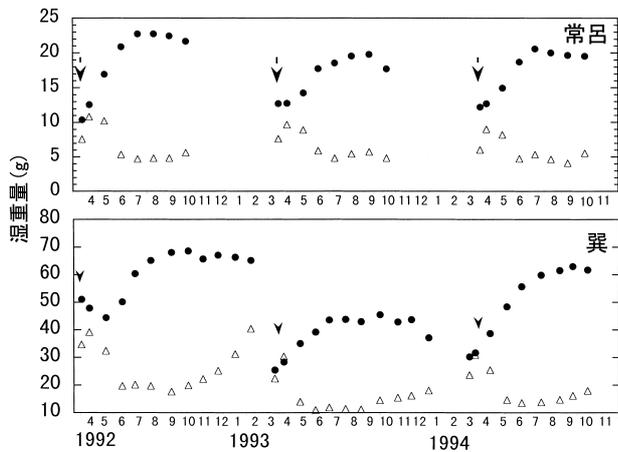


図4 常呂(上)および巽(下)におけるホタテガイの閉殻筋(●)と生殖巣(△)の湿重量の季節変化。矢印はそれぞれの年の対象貝(3年貝)の測定開始時を示す。

3. 閉殻筋増加率と水温・クロロフィルa濃度との関係  
閉殻筋増加率と水温との関係を見ると, 常呂漁場では8℃, 巽漁場では9℃を境にして両者の関係が異なったため, 低水温期・高水温期に区別して解析した(図5)。また, 産卵後の生殖巣重量がふたたび増加に転じる時期から3月までを生殖成長期として区別した。生殖成長期の始まりは1993年の常呂を除いて, 10月からであった。

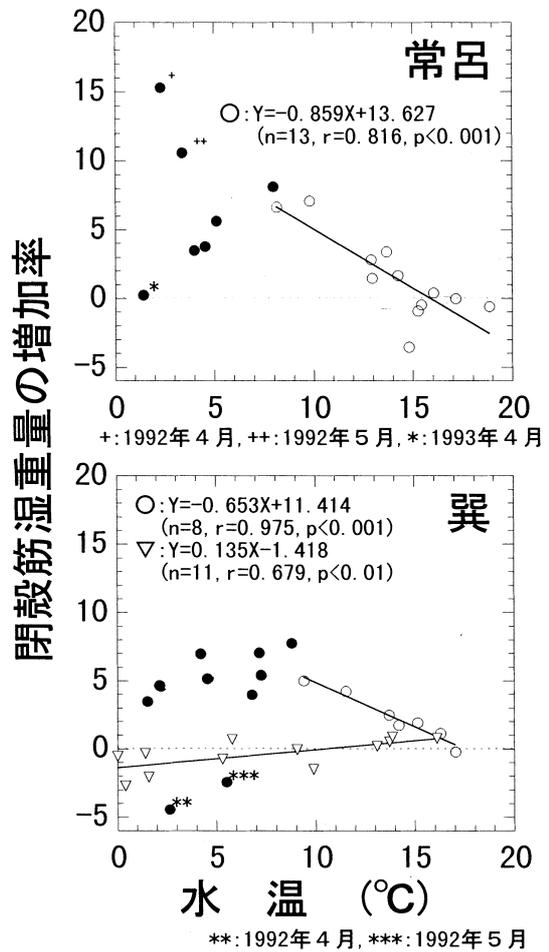


図5 常呂(左)および巽(右)における海底直上水温とホタテガイの閉殻筋湿重量の増加率との関係。  
: 低水温期(常呂<8℃, 巽<9℃),  
: 高水温期(常呂 8℃, 巽 9℃),  
: 生殖成長期(常呂では1992年10月, 1994年10月, 巽では10~2月)。  
図中の\*, \*\*はとくに成長が悪かったこと, +, ++はとくに成長が良かったことを示す。

常呂では低水温期に水温と閉殻筋増加率の間に相関が認められなかった。これはクロロフィルa濃度が非常に低かった1993年4月(図中\*)と, クロロフィルa濃度が非常に高かった1992年4月とそれに続く5月(図中+, ++)のデータが混在するためである。他方, 高水温期の増加率は昇温に伴う減少傾向が認められ, 水温が15.8℃以上になると増加率はマイナスに転じた。生殖成長期の増加率はマイナスであった。

巽では低水温期の閉殻筋増加率は他年の同時期に比べてクロロフィルa濃度が低かった1992年4, 5月のデータ(図中\*\*, \*\*\*)を除くと, 水温に関わらず閉殻筋重量の増加率は3~8%の高い値を示した。高水温期には昇温に伴い増加率は小さくなり, 水温17.5℃以上のとき増加率はマイナスに転じた。生殖成長期(10月~2月)の増加率は非常に低くマイナスである場合もあった。

消費過程

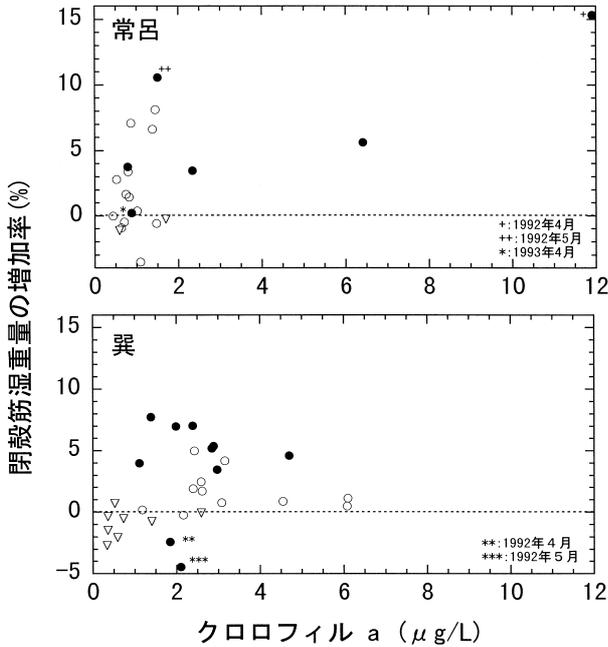


図6 常呂（上）および巽（下）における水柱平均クロロフィルa濃度とホタテガイの閉殻筋湿重量の増加率との関係。○, □, △の区分は図5と同様。図中の\*, \*\*, \*\*\*はとくに成長が悪かったこと, +, ++はとくに成長が良かったことを示す。

閉殻筋湿重量の増加率とクロロフィルa濃度との関係を比較した（図6，上・下）。

常呂では低水温期にクロロフィルa濃度が2 μg/lを超えた。高水温期を含めてクロロフィルa濃度が2 μg/l以下の時にはクロロフィルa濃度の増加につれて閉殻筋湿重量の増加率が大きく増大した。他方、2 μg/l以上では、クロロフィルa濃度の増加に対する閉殻筋湿重量の増加率の変化は小さい。これらのことから、常呂ではクロロフィルa濃度は2 μg/l以下の場合にホタテガイの成長に強く影響することが示唆される。

巽では低水温期にはクロロフィルa濃度は1~5 μg/lの間にあり、成長異常のあった1992年4、5月のデータ（図6下：\*、\*\*）を除くと増加率は高かった（3~8）。高水温期にはクロロフィルa濃度は1~6 μg/lの間にあり、増加率は低かった（0~4）。いずれの期間でもクロロフィルa濃度変化がホタテガイの成長に及ぼす影響が小さいことが示唆される。生殖成長期には成長率は非常に低いかマイナスであった。

4. 閉殻筋のタンパク質およびグリコーゲンの蓄積・

閉殻筋のタンパク質およびグリコーゲン量の増加率には漁場毎に異なる季節変化パターンがみられた（図7）。タンパク質・グリコーゲン量の増加率がそれぞれ、プラスの時は蓄積過程を、マイナスの時は消費過程にあることを示す。

常呂漁場ではグリコーゲンとタンパク質はいずれも1992、1994年には4~5月、1993年には5~6月に盛んに蓄積され、蓄積盛期はほぼ一致した。1992年4~5月のタンパク質とグリコーゲンの蓄積が他年より大きかったことは、この年の春のクロロフィルa濃度が高かったことと一致する。1993年4月のグリコーゲン蓄積は極めて小さく、タンパク質は消費過程にあったことは他年と大きく異なっており、この年の春のクロロフィルa濃度が低かったことと一致する。1993年10月のグリコーゲンおよびタンパク質の消費は他年に比べて大きかった。

巽漁場ではグリコーゲンは1992年には6月、1993年と1994年には4月に蓄積が盛んであるのに対してタンパク質は1992年には6~7月、1993年と1994年には6月に蓄積が盛んであった。1992年を除いて、タンパク質とグリコーゲンの蓄積盛期には時間的なずれがあり、グリコーゲン蓄積のあとタンパク質蓄積が盛んになった。1992年4月にグリコーゲンとタンパク質が消費過程にあったことは、他年と大きく異なり、春季のクロロフィルa濃度が1 μg/l程度と他年の約半分であったことと一致する。タンパク質とグリコーゲンが蓄積から消費へと転じる時期は年によって異なった。4~5月にタンパク質・グリコーゲンともに消費過程になった1992年には9月にタンパク質が消費に転じた。春のグリコーゲン蓄積は良好であったが、同時にタンパク質の消費があった1993年には10月にはタンパク質の消費がみられた。春のタンパク質、グリコーゲン蓄積状況が良好であった1994年には調査期間中にタンパク質の消費はなかった。

このように、両漁場ともに閉殻筋タンパク質とグリコーゲンの蓄積・消費状況は年によって異なるが、春にタンパク質の消費があった年には秋のタンパク質消費が大きいという関係が示唆された。

常呂漁場では、高水温期にタンパク質とグリコーゲンの増加率と水温との間にそれぞれ、負の直線相関が認められた（図8左）。成長の悪かった1993年4月のデータを除くと（図中の\*）、タンパク質とグリコーゲンの蓄積は低水温期に盛んであり、その中でも最低水温のときに活発にエネルギーを蓄積していることが示された。高水温期にタンパク質およびグリコーゲンが増加から減少に転じる時の水温は、それぞれ約15.2、および13.4 で

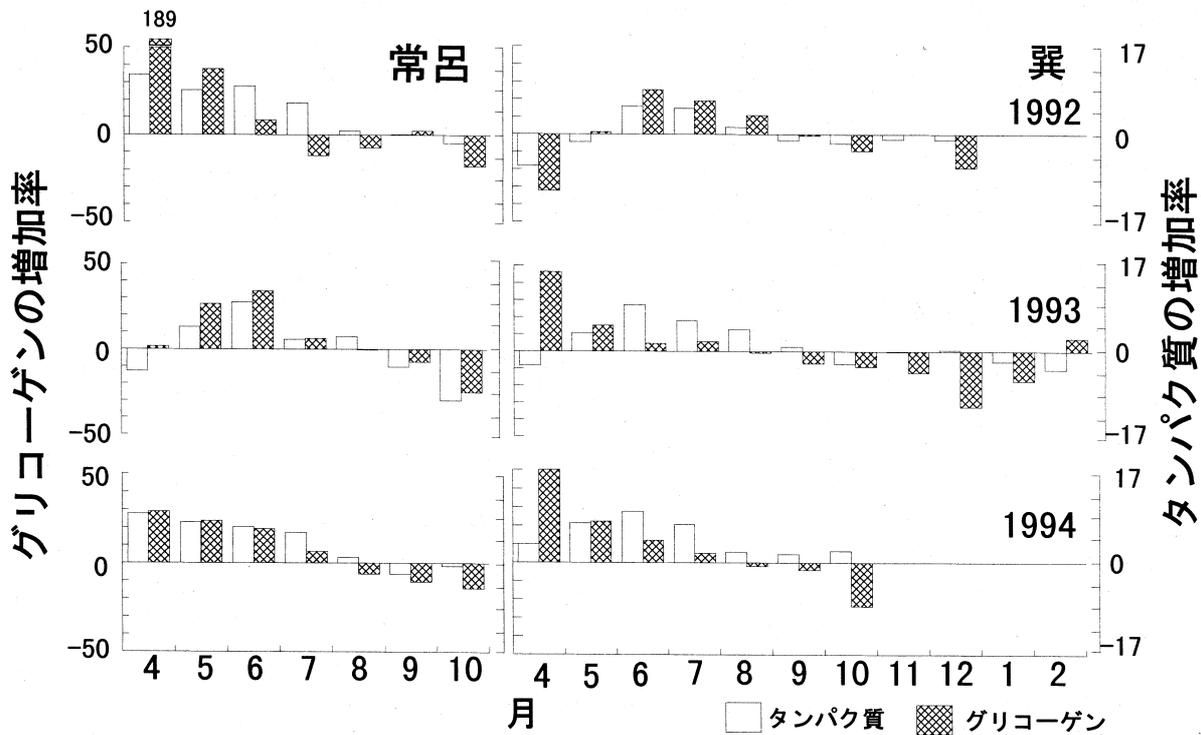


図7 常呂（左）および巽（右）におけるホタテガイの閉殻筋タンパク質およびグリコーゲンの増加率の季節変化。

あり、このことはタンパク質よりもグリコーゲンが先に使われていることを示す。生殖成長期にはタンパク質・グリコーゲンともに消費過程にあり、特にグリコーゲンの消費が大きい。

巽漁場でも、高水温期にタンパク質とグリコーゲンの増加率はそれぞれ水温との間に負の直線相関が認められた(図8右)。タンパク質増加率は水温17以上でマイナスに転じ、高水温期に閉殻筋タンパク質が消費過程にあることはほとんどない。これに対して、グリコーゲン増加率は14.7以上でマイナスに転じ、閉殻筋グリコーゲンは高水温期の中で、水温が最も高くなる時には消費過程にあることを示す。生殖成長期のタンパク質とグリコーゲン増加率はともにマイナスであることが多く、両者ともに消費過程にあり、グリコーゲンの消費が大きかった。

考 察

1. 両漁場の餌料環境の違い

冬の間、オホーツク海の北海道沿岸域は流氷に覆われ、その勢力は年によって大きく異なる<sup>9,11)</sup>。流氷が離岸した時期は年によって異なり、1992年、1993年および1994年にはそれぞれ4月上旬、5月上旬および4月下旬にオホーツク海北海道沿岸から流氷が消失した。春季ブルーム

は流氷が早く離岸した1992年には顕著であり、流氷が遅くまで滞留した1993年にははっきりしなかった。流氷の離岸時期が両年の間にあった1994年には春季ブルームの大きさも両年の間にあった。この3年間に限ってみると、流氷の離岸が早いと顕著な春季ブルームがあるという関係があった。1993年には4、5月のホタテガイの成長が悪かったことが特徴である。これらのことから次のような ~ までの繋がりが想像される。流氷が沿岸へ長期 間滞留したことが光条件と水温躍層の発達を阻害し、植物プランクトンの爆発的な増殖が阻止された。クロロフィルaの水柱平均濃度は顕著な極大を形成せず、植物プランクトンの沈降量が少なかった。ホタテガイの餌料条件が悪くなり、4、5月の貝の成長が悪かった。このように流氷の離岸時期は春季ブルームの形成およびホタテガイの餌料環境にとって重要な要因であるが、宗谷暖流の流入等とも複雑に関係すると考えられる。これらの関係については今後明らかにしてゆく必要がある。

常呂漁場ではこうした流氷の挙動の影響を直接受けるため、餌料環境の年変動も大きいものと思われる。他方、巽漁場では、1992年、1993年、および1994年にはそれぞれ、3月上～中旬、3月下旬～4月上旬、および3月上旬～4月上旬に流氷が断続的に到来したにすぎない。このため、流氷の接岸・離岸による一次生産への影響は小さいと考えられる。

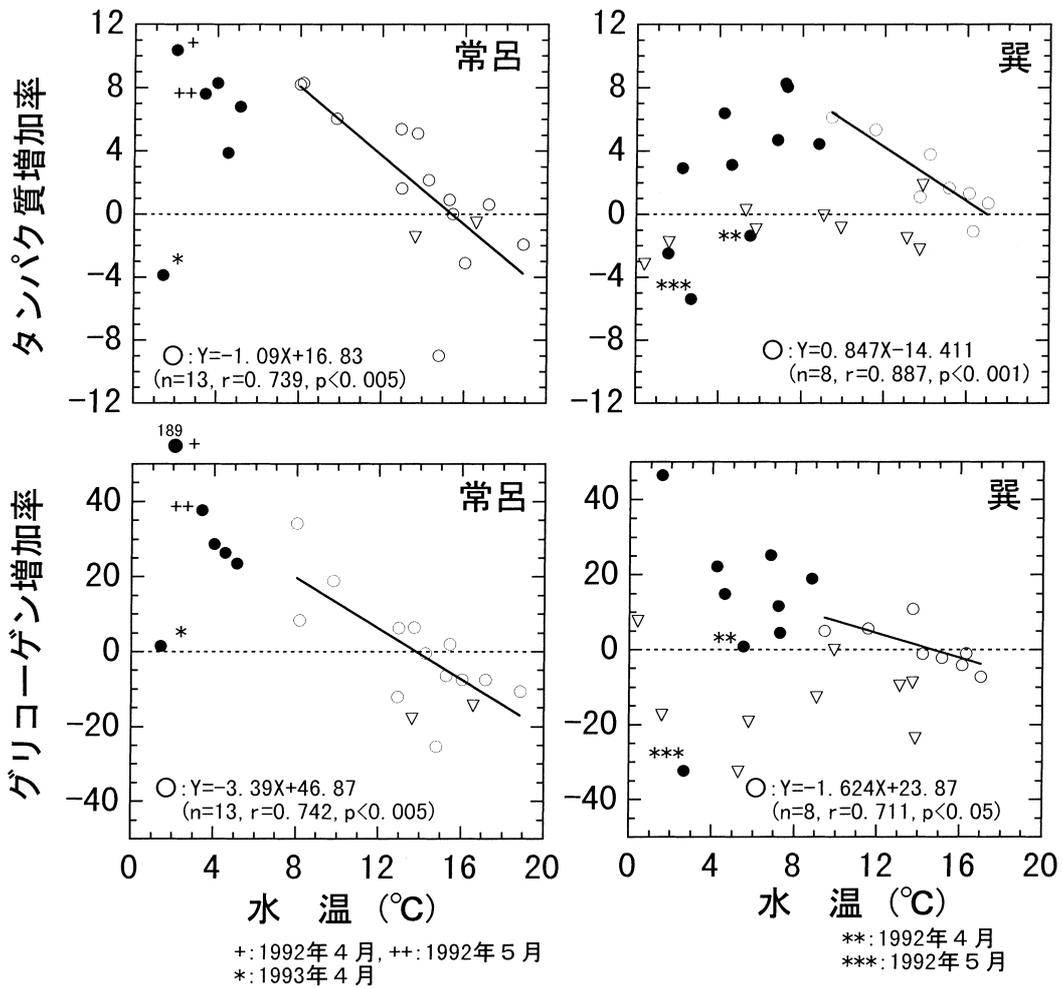


図8 常呂(左)および巽(右)における海底直上水温とホタテガイの閉殻筋タンパク質(上)およびグリコーゲン(下)の増加率との関係。○, △, △の区分は図5と同様。図中の\*, \*\*, \*\*\*はとくに成長が悪かったこと, ++はとくに成長が良かったことを示す。

## 2. エネルギー蓄積物質としてのグリコーゲンとタンパク質の違い

閉殻筋はエネルギー蓄積器官として重要であり、主な蓄積物質はグリコーゲンとタンパク質であるが、これらは摂餌エネルギーが不足した場合に代謝エネルギー源となるとともに、配偶子形成におけるエネルギー源として利用されることが知られている<sup>2), 3), 12-14)</sup>。グリコーゲンの最大増加率はタンパク質より大きく、生殖成長期のグリコーゲン減少率が多くの場合タンパク質よりも大きかった(図8)。これはホタテガイがグリコーゲンを効率良く急速に蓄積・消費できることを示し、両者の蓄積物質としての役割の違いを示唆した。両漁場ともに閉殻筋グリコーゲンがタンパク質より優先的に蓄積され、消費に転じる時期が早かったこと(図7)は貯蔵物質としてのグリコーゲンの代謝特性といえよう。魚類では、絶食時にエネルギー源として最初に動員されるのは糖質、蓄積脂質であり、絶食が長期間になるとタンパク質の動員が始ま

る<sup>15)</sup>。二枚貝でも同様の順番で、エネルギー源の動員が起きると考えれば、グリコーゲンの消費に比べて筋肉タンパク質の分解を伴うタンパク質の消費はホタテガイにとっては大きな負担になると思われる。

## 3. 低水温期における閉殻筋のタンパク質とグリコーゲンの蓄積過程と貝の成長

オホーツク海のホタテガイは水温1~18°Cの範囲内で水温上昇に伴い呼吸が活発になる<sup>16)</sup>。これはホタテガイが水温上昇に伴い基礎代謝エネルギーを多く消費することを示している。また、4,5月の低水温時期には他の季節に比べると呼吸量が大きく、その理由として、4,5月は生殖巣と閉殻筋にエネルギーを蓄える時期であることが指摘されている<sup>16)</sup>。常呂漁場では低水温期の閉殻筋タンパク質とグリコーゲンの蓄積がほぼ同調し、増加率は水温上昇に伴い減少傾向を持った(図8)。常呂では水温が最も低い時期(2月)に春の植物プランクトンブルーム

によるクロロフィルa極大がみられ、その後急速にクロロフィルa濃度は減少した(図2)。これらのことから、最低水温期にはタンパク質、グリコーゲンを蓄積できる十分なエネルギーを摂取し、水温上昇に伴う摂取エネルギーの減少と代謝エネルギーの増加によって蓄積できるエネルギーが減少していることが示唆される。低水温期の閉殻筋重量増加率が水温変化に影響されず(図5)、クロロフィルa濃度変化による影響がみられる(図6)ことは常呂のホタテガイの成長が春季ブルームに大きく依存していることを示唆する。

巽漁場では低水温期の閉殻筋グリコーゲンの蓄積は、常呂と同様、水温上昇に伴い減少傾向を示した。これに対して閉殻筋タンパク質の蓄積は水温にかかわらず比較的安定していた(図8)。これら2つの増加率はそれぞれ常呂のホタテガイに比べると低いことが特徴である。巽ではクロロフィルaが水温上昇に伴って増加する傾向があるが、その変化幅は小さかった(図3)。これらのことは水温上昇に伴う代謝エネルギーの増加に見合う摂取エネルギーの増加があるため、急激なエネルギー蓄積をしない代わりに、徐々にエネルギー蓄積をしていることを示す。このため、閉殻筋重量の増加率は水温と正の相関があり、クロロフィルa濃度との間に相関が無かった(図5,6)のであろう。

#### 4. 高水温期における閉殻筋のタンパク質とグリコーゲンの蓄積・消費過程と貝の成長

水温の高い時期には代謝維持のためのエネルギー消費量が大きくなる。高水温期の常呂漁場ではクロロフィルa濃度は低いレベルにあり(図2)、水温上昇に伴って閉殻筋のタンパク質およびグリコーゲンの増加率がともに低下した(図8)。これらのことは餌料環境の悪い高水温期に代謝維持のためのエネルギー消費量の増加によってホタテガイが摂取エネルギーを蓄積エネルギーに回せなくなっている様子を示している。閉殻筋重量増加率と水温との負の相関、クロロフィルa濃度との正の相関(図5,6)はこうしたエネルギー蓄積状況の悪化によって説明される。水温14以上でグリコーゲンが、水温15以上でタンパク質がそれぞれ消費過程に転じた(図8)。タンパク質の消費は生理的にも負担が大きいと考えられるので、常呂では水温15以上の期間が続くとホタテガイの消耗が大きくなる可能性がある。

巽漁場では高水温期にクロロフィルa濃度は比較的高く(図2)、タンパク質・グリコーゲンともに水温上昇に伴う増加率の低下傾向はなかった(図8)。これらのことは安定した餌料環境の中で、代謝維持のためのエネルギー消費量が増加してもホタテガイが摂取エネルギー

を蓄積エネルギーに回している様子を示している。しかし、グリコーゲンは水温15以上で消費過程にあり、高水温時の餌料条件は15以上でやや余裕が無くなることを示唆する。閉殻筋重量の増加率と水温との負相関(図5)はこのこととよく一致する。しかし、基本的にタンパク質の消費過程を持たない(図8)ので、巽ではホタテガイが大きく消耗する期間がないと判断される。

#### 5. 生殖成長期における閉殻筋のタンパク質とグリコーゲンの蓄積・消費過程と貝の成長

Pectinidaeではエネルギー蓄積・消費過程は生殖周期と関係し、餌料環境、水温、成長および配偶子形成が複雑に影響する<sup>17-21)</sup>。常呂漁場では冬のデータがないが、生殖成長期と判断された時期の閉殻筋のタンパク質とグリコーゲン増加率はともにマイナスであり、どちらも消費過程にある。巽漁場では生殖成長期のタンパク質は水温8以下で消費され、グリコーゲンはほぼすべての生殖成長期に消費過程にある。これらのことは生殖成長のために閉殻筋に蓄積したエネルギーを消費していることを示すが、ここにも漁場による差が認められた。常呂では生殖成長期の初期のみのデータであるが、すでにタンパク質も消費過程にある。巽では水温の高い生殖成長期初期にはタンパク質が消費過程にない。このことは常呂に比べて巽のホタテガイはエネルギーの蓄積状況が良いことを示唆する。

#### 6. 両漁場のホタテガイの成長特性

常呂漁場と巽漁場におけるホタテガイの閉殻筋重量の季節変化の中で起こっているタンパク質とグリコーゲンの蓄積・消費過程の違いは両漁場におけるホタテガイの成長過程の違いを示した。常呂では春の植物プランクトンブルームに依存する成長過程を持ち、夏季の高水温時期には一定期間の消耗期を経験する。その後の生殖成長期では閉殻筋に蓄積されたエネルギーは消費過程にあるため、閉殻筋の成長は期待できない。これに対して、巽では比較的周年安定した餌料環境に恵まれ、基本的に夏季の消耗期はなく、低水温期から高水温期まで穏やかな成長過程を持つ。巽が大型貝の生産漁場である理由として成長期間の長さや消耗期の無いことが挙げられる。

オホーツク海外海の種苗放流ホタテガイ漁場では貝の小型化が恒常化しつつある。その原因としてホタテガイ個体群の餌料要求量が漁場の生産力を超えている可能性が示唆されている<sup>1)</sup>。常呂の高水温時期にみられた消耗期間の存在はそのことと密接に関係している。春季ブルーム規模の大きかった1992年に夏の消耗期がほとんどなかったことは、春のエネルギー蓄積状況がよければ現状

でもホタテガイは消耗しないことを示す。しかし、1992年から1994年までの3年間の春季ブルームの規模と時期は不安定であった。春季ブルームの規模と時期には年変化が大きいことがオホーツク海沿岸域の海域特性であると考え、この海域特性を踏まえた増殖漁業を展開してゆかなければならない。巽では基本的に夏の消耗期がみられず、その要因の一つは安定した餌料環境にあった。他方、常呂に比べて巽ではホタテガイの生息密度が少なく、その違いが貝の成長に影響している可能性が考えられる。オホーツク南部海域の夏季にみられるホタテガイの消耗期を人為的に解消するためには貝の生息密度についての再検討が必要であろう。

## 要 約

1992年から1994年までの3年間、オホーツク海南部海域の常呂漁場および根室海峡沿岸の野付巽漁場において、放流3年目のホタテガイの閉殻筋重量およびタンパク質・グリコーゲン量の季節変化を調査した。同時に両漁場の水温、塩分およびクロロフィルa濃度の季節変化を調査した。

- 1 常呂における水温およびクロロフィルa量の季節変化幅は巽に比べて大きく、年による春のクロロフィルa濃度の違いが大きかった。
- 2 両漁場におけるホタテガイの閉殻筋グリコーゲンはタンパク質に比べて、蓄積・消費速度が速かった。
- 3 常呂のホタテガイは春季ブルームに依存する成長過程を持ち、夏季には閉殻筋のタンパク質を消費する消耗期を持った。
- 4 巽のホタテガイは比較的安定した餌料環境下で穏やかな成長過程を持ち、基本的には閉殻筋タンパク質は消費せず、夏季の消耗期を持たなかった。
- 5 両漁場のホタテガイの閉殻筋におけるタンパク質とグリコーゲンの蓄積・消費過程は、餌料環境の違いによるホタテガイの成長特性を示し、これらを指標にすることはホタテガイの成長過程と環境の関係を追跡するのに有効であった。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査の協力を頂いた常呂漁業協同組合の藤原博氏ならびに調査船「いわけし」の乗組員の方々、野付漁業協同組合の小川弘幸氏ならびに調査船「野付丸」の乗組員の方々、網走中部地区水産技術普及指導所、根室北部地区水産技術普及指導所の方々にお礼申し上げます。生化学分析をご指導いただいた鈴木満

平氏（現養殖研究所）、また、有益な議論をしていただいた北海道立網走水産試験場の蔵田護氏、ならびに野俣洋氏（現中央水試）に謝意を表す。さらに、原稿の作成にあたり、有益なご助言を頂いた北海道立栽培漁業総合センター西浜雄二博士に深くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 蔵田護：北海道オホーツク海沿岸におけるホタテガイの小型化の実態とその原因．北水試研報，54，25-32（1999）
- 2) Taylor, A.C. and Venn, T.J.: Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of the queen scallop, *Chlamys opercularis*, from the Clyde Sea area. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 59, 605-621（1979）
- 3) Barber, B.J. and Blake, N.J.: Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say), *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 52, 121-134（1981）
- 4) Takahashi, K. and Mori, K.: Seasonal variations in the metabolism of lipids and glycogen in the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) .1. Biochemical studies. *Tohoku J. Agr. Res.*, 22, 114-133（1971）
- 5) 中川義彦，丸邦義，清河進：サロマ湖産養殖ホタテガイの軟体部の肥満とグリコーゲン量の季節変化について．北水試月報，31（10），13-21（1974）
- 6) 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，53（9），58-66（1978）
- 7) 吉中禮二，佐藤守：水産化学実験法．恒星社厚生閣，東京，1989, 136p
- 8) 辻浩司，西田孟：根室海域産ホタテガイの原料性状について．北水試研報 31，27-54（1988）
- 9) 第一管区海上保安本部：海水速報，第6-10（1992）
- 10) 第一管区海上保安本部：海水速報，第6-13（1993）
- 11) 第一管区海上保安本部：海水速報，第6-12（1994）
- 12) Ansell, S.D.: Seasonal changes in biochemical composition of the bivalve *Chlamys septemradiata* from the Clyde Sea area. *Mar. Biol.*, 25, 85-99（1974）
- 13) Comely, C.A.: Seasonal variations in the flesh weights and biochemical content of the scallop *Pecten maximus* L. in the Clyde Sea area. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 35, 281-295（1974）

- 14) Robinson, W.E., Wehling, W.E., Morse, M.P. and McLeod, G.C.: Seasonal changes in soft-body components indices and energy reserves in the Atlantic deep-sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *Fish. Bull.*, 79, 449-458 (1981)
- 15) 山田茂, 跡見淳子, 富野士良, 原田邦彦, 岩垣丞恒, 渡辺雅之, 堤達也, 平田耕造: 運動生理生化学. 培風館, 東京, 1990, 279p
- 16) 蔵田護: オホーツク海における放流ホタテガイの呼吸量. 北水試研報, 49, 7-13 (1996)
- 17) Sastry, A.N.: The relationships among food, temperature, and gonad development of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Physiol. Zool.*, 41, 44-53 (1968)
- 18) Sastry, A.N.: Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 138, 56-65 (1970)
- 19) Sastry, A.N.: Physiology and ecology of reproduction in marine invertebrates. In, *Physiological ecology of estuarine organisms*, ed. F.J. Vernberg, Univ. South Carolina Press, Columbia, 279-299 (1975)
- 20) Sastry, A.N. and Blake, N.J.: Regulation of gonad development in the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 140, 274-283 (1971)
- 21) Blake, N.J. and Sastry, A.N.: Neurosecretory regulation of oogenesis in the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* (Lamarck). In *Cycli phenomena in marine plants and animals*, ed. E. Naylor and R.G. Hartnoll, Pergamon Press, New York, 181-190 (1979)

# 北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイ閉殻筋中のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ活性の季節変化

宮園 章<sup>\*1</sup>, 中野 広<sup>\*2</sup>

Seasonal fluctuations in the RNA/DNA ratio and acid protease activity of the adductor muscle of scallops in coastal Okhotsk Sea, Hokkaido.

Akira MIYAZONO<sup>\*1</sup>, Hiroshi NAKANO<sup>\*2</sup>

Seasonal fluctuations in the RNA/DNA ratio and acid protease activity of the adductor muscle of three-year old scallops after being sowed in TOKORO, off the southern part of coastal Okhotsk Sea, and in TATSUMI, off Notsuke Peninsula in Nemuro Strait, were examined from 1992 to 1994. The RNA/DNA ratio showed seasonal fluctuations which were almost the same as the rate of protein increment in the adductor muscle in TOKORO and TATSUMI. RNA/DNA ratio at the zero increment rate of protein was estimated at 4.9 and 3.6 in TOKORO and TATSUMI, respectively. These values can be useful as indicators of the nutritional condition of scallops. There was regression correlation between the RNA/DNA ratio and the acid protease activity only during the high temperature period in TOKORO. This correlation indicated that acid protease is concerned with the maintenance mechanism of the metabolic turn over rate.

キーワード：ホタテガイ，成長，閉殻筋，RNA/DNA比，酸性プロテアーゼ，北海道，オホーツク海沿岸

## まえがき

前報では、北海道オホーツク海沿岸の常呂および野付異漁場におけるホタテガイ3年貝の閉殻筋タンパク質およびグリコーゲンの蓄積・消費過程を調査し、両漁場における貝の成長と漁場環境の関係について検討した。その結果、両漁場の餌料環境の特性がホタテガイの季節的成長パターンに大きく影響していること、および異漁場におけるホタテガイの高い年間成長率は夏季の消耗期がないためであることが示唆された<sup>1)</sup>。このように、エネルギー蓄積物質量の変化率はホタテガイの生理的指標として重要な情報をもたらすことが明らかとなった。

エネルギー蓄積物質量の変化率を求めるためには同一のホタテガイ群集について閉殻筋の経時的な調査（最低2回）が必要である。ホタテガイの増養殖現場では年によって異常水温・時化等に伴うホタテガイの成長不良や斃死がしばしば起きている<sup>2,3)</sup>。このような突発的な現象

が起きたときのホタテガイの生理状態を把握することは、その後の対策のために重要となるが、複数回の調査を要するタンパク質増加率等による生理的指標は即応的ではない。他方、生体内ではさまざまな物質の代謝過程があり、環境悪化に対し即応的に変化する代謝過程が存在する<sup>4)</sup>。生体内の代謝活性を定量的に示すことができれば、その時点でのホタテガイの生理状態を示す新しい指標としてホタテガイの増養殖現場での応用が可能であろう。

筋肉組織のRNA/DNA比は、タンパク質の合成活性を示すものであり、魚類や甲殻類の天然群集の成長指標や環境条件に対する生理活性変化の指標として利用されている<sup>5-9)</sup>。二枚貝では、大西洋産カキの一種、*Crassostrea virginica*の餌料ストレスの指標としてRNA/DNA比が適することが示されている<sup>10)</sup>。また、タンパク質分解酵素の酸性プロテアーゼは筋肉組織中でタンパク質の代謝回転や糖新生に関与することが知られており<sup>4)</sup>、マウスの組織において酸性プロテアーゼ(カテプシンB,L)活性とタン

報文番号 A 321 (2000年7月7日受理)

\* 1: 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station.1-2-66 Yunokawa Hakodate, Hokkaido 042-8932, Japan)

\* 2: 中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan)

パク質の分解速度との間に高い相関のあることが示されている<sup>11)</sup>。これらのことから、ホタテガイの閉殻筋のRNA/DNA比、および酸性プロテアーゼの活性は、タンパク質代謝と関係した生理状態を指標する可能性がある。

そこで、1992年から1994年までの3年間にわたって、オホーツク海南部の代表的な漁場である常呂漁場およびオホーツク海南部に比べてホタテガイの成長が早く、大きな貝が生産されることで知られる根室海峡の野付異漁場において、ホタテガイ閉殻筋のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ活性の季節変化を調査した。本調査は前報で報告した地まきホタテガイ3年貝の閉殻筋タンパク質の季節変化の調査と併せて行われた。RNA/DNA比、酸性プロテアーゼ活性およびタンパク質代謝の相互関係から、RNA/DNA比と酸性プロテアーゼの持つ生理的指標性について知見を得たので報告する。

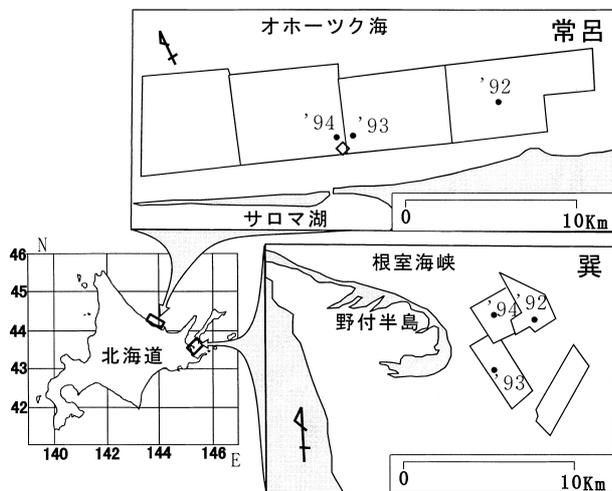


図1 調査地点。常呂： はホタテガイの採集地点， は3年共通の海洋環境調査地点，異： はホタテガイの採集地点および海洋観測地点。

### 材料および方法

本研究で用いたホタテガイはオホーツク海南部に位置する常呂漁場および根室海峡の野付半島の沖に位置する野付異漁場において1992年から1994年までの間、原則として毎月1回、ホタテ桁網によって採集された地まき3年貝である(図1)。採集されたホタテガイ10個体の閉殻筋を抽出し、個体別にチャック付きビニール袋に入れ、直ちにドライアイスにて凍結した。これらをRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ比活性の分析に供した。

閉殻筋のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ比活性は、それぞれ、STS変法<sup>12)</sup>および30℃下での酸変性ヘモ

グロビンの分解活性を求める方法(図2)で測定した。

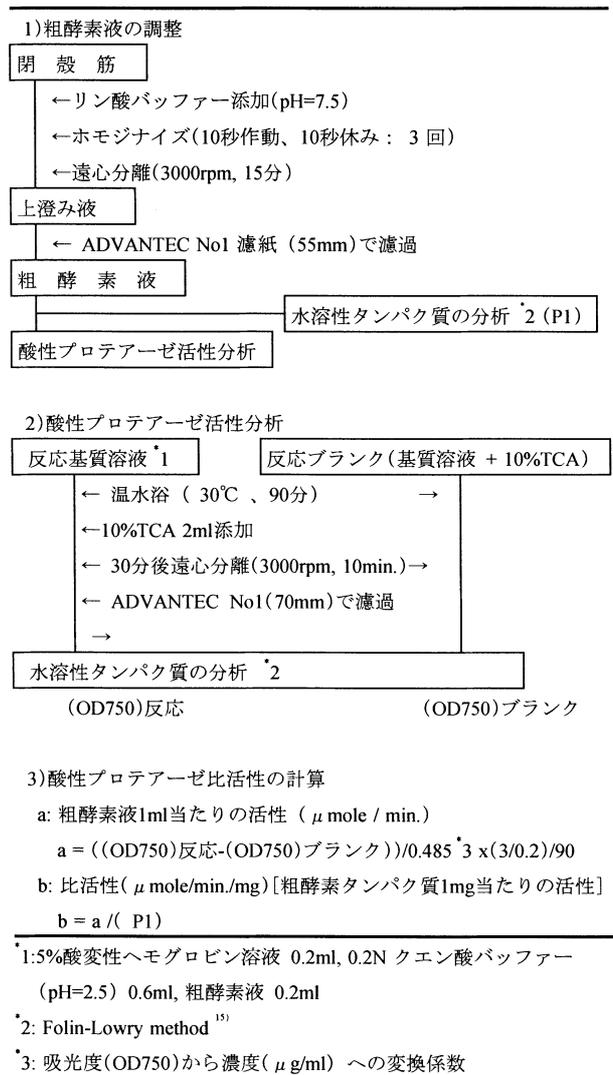


図2 酸性プロテアーゼ活性の分析手順

閉殻筋のタンパク質量は隣り合う2データの移動平均によりデータの平滑化を行った。データの平滑化を行うと採集日時がずれるので、以下の解析にはRNA/DNA比、酸性プロテアーゼおよび水温についても2点の移動平均値を用いた。

両漁場の水温およびホタテガイ閉殻筋タンパク質の増加率のデータは、前報の結果を引用した<sup>1)</sup>。

### 結果

#### 1. RNA/DNA比

常呂漁場における閉殻筋のRNA/DNA比は4.0~7.1の間を変化し、4~7月に高く、その後減少するという傾向を

示した(図3,上)。4~6月のRNA/DNA比は年による違いが大きかった。巽漁場における閉殻筋のRNA/DNA比は3.3~5.7の間を変化した(図3,下)。年による値のばらつきが大きく、RNA/DNA比の季節変化のパターンははっきりしなかった。

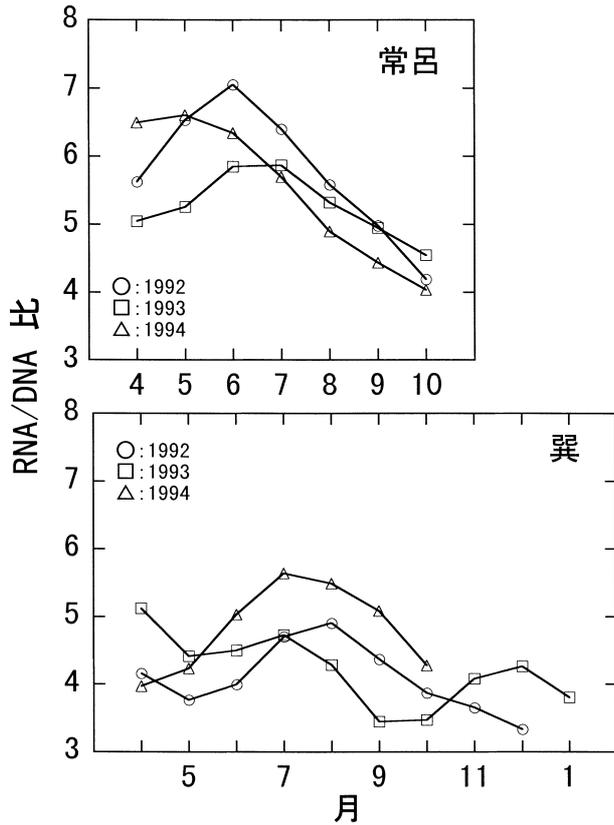


図3 1992~1994年の常呂漁場(上)および巽漁場(下)におけるホタテガイ(3年貝)閉殻筋のRNA/DNA比の季節変化。

両漁場の海底直上水温とRNA/DNA比との関係を前報にならって低水温期, 高水温期, および生殖成長期に区別して比較した(図4)。常呂漁場では水温変化に対するRNA/DNA比の変化傾向は水温8を境にした低水温期と高水温期とは異なった。低水温期にはRNA/DNA比と水温との間には相関が認められなかったが、水温が4以下のときにはRNA/DNA比は5~6の間と低く、4以上のときには6を超える場合が多かった。水温が8以上になると昇温に伴いRNA/DNA比が減少する傾向が認められた。生殖成長期のRNA/DNA比は高水温期よりも低い値(約4)であった。巽漁場では低水温期, 高水温期, および生殖成長期のいずれの期間においても水温とRNA/DNA比との間に相関が認められなかった。低水温期・高水温期にはRNA/DNA比は4~5程度の値で推移

した。生殖成長期にはRNA/DNA比はやや下がり、温度に関係なく4前後の値で推移した。

低水温期・高水温期には常呂漁場のRNA/DNA比は巽漁場より高めに推移した。生殖成長期には両漁場のRNA/DNA比はほぼ同じ4前後の値であった。

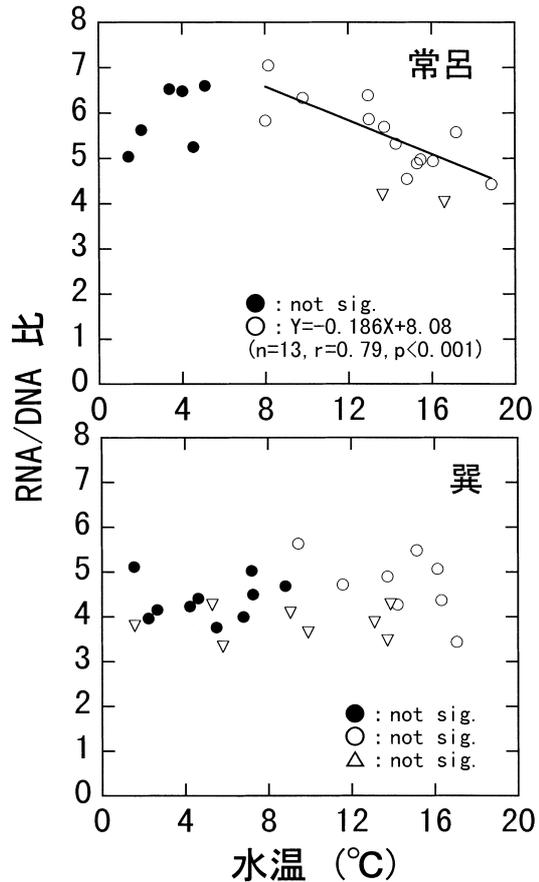


図4 常呂漁場(上)および巽漁場(下)における海底直上水温とホタテガイ(3年貝)閉殻筋のRNA/DNA比との関係。●: 低水温期(常呂<8, 巽<9), ○: 高水温期(常呂 8, 巽 9), △: 生殖成長期(常呂: 1992年10月, 1994年10月, 巽: 10~2月)

## 2. 酸性プロテアーゼ比活性

常呂漁場における閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性は5月の極大を経て8,9月に向けて減少し、10月に増加する傾向を持ち、年による違いは小さかった(図5, 上)。巽漁場における閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性は常呂と同様に、5月の極大を経て9月に向けて減少し10月以降に上昇する季節変化パターンを持ったが、4~7月までの値は年によって大きく異なった(図5, 下)。

水温と酸性プロテアーゼ比活性との関係をみると、常呂漁場では低水温期には昇温に伴い増加傾向が、高水温期には昇温に伴い減少傾向が認められた(図6, 上)。

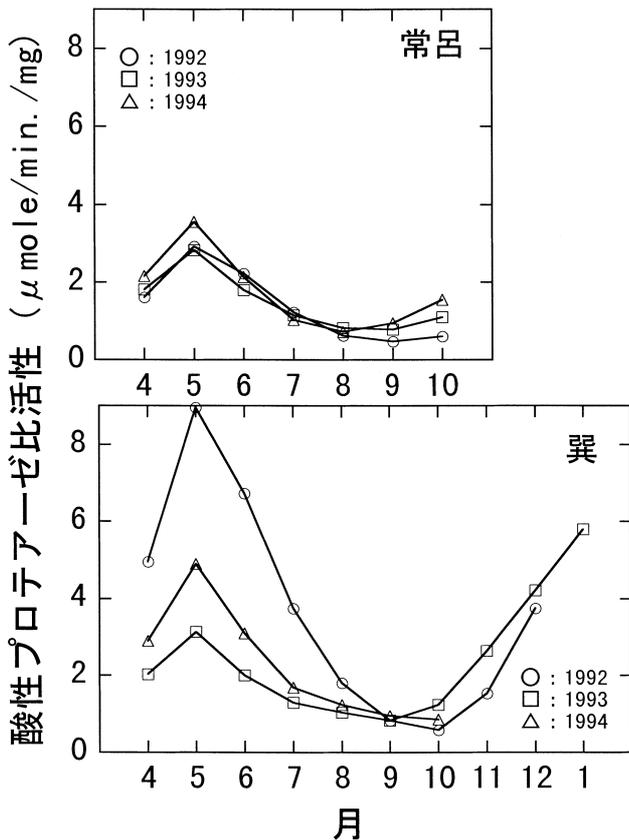


図5 1992～1994年の常呂漁場(上)および異漁場(下)におけるホタテガイ(3年貝)閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性の季節変化。

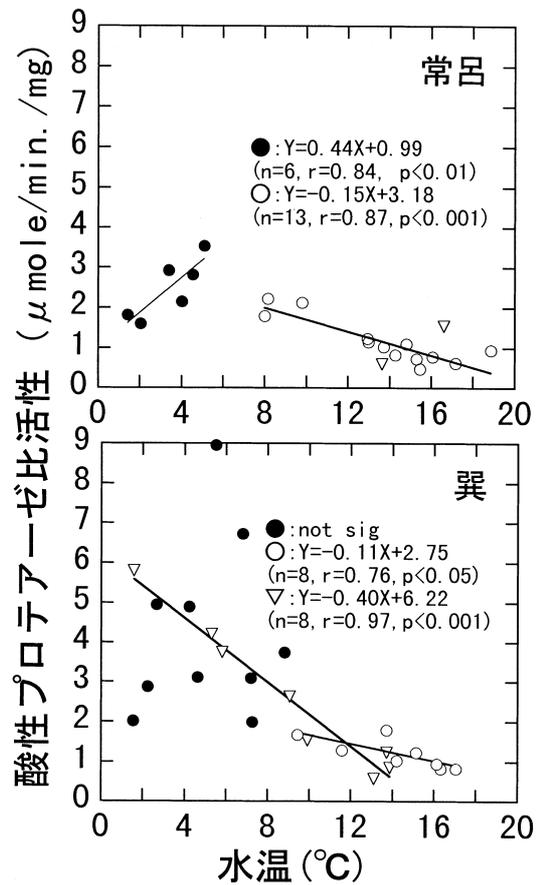


図6 常呂漁場(上)および異漁場(下)における海底直上水温とホタテガイ(3年貝)閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性との関係。●, ○, △の区分は図4と同様。

生殖成長期の酸性プロテアーゼ比活性は1 μmole/min/mg程度の低い値であった。異漁場ではRNA/DNA比と異なり、低水温期の酸性プロテアーゼ比活性は値のばらつきが大きく、水温との間に相関関係は認められなかった(図6, 下)。高水温期、生殖成長期にはそれぞれ昇温に対する減少傾向が認められた。

### 3. RNA/DNA比とタンパク質増加率

閉殻筋のRNA/DNA比とタンパク質増加率との関係をそれぞれの漁場について示した(図7)。常呂漁場ではRNA/DNA比とタンパク質増加率との間には全期間を通して正の直線相関が認められた。異漁場ではRNA/DNA比とタンパク質増加率との間には全期間を通して正の直線相関が認められた。低水温期にはこの回帰直線から大きくはずれる値が目立つ。

常呂漁場の回帰直線の傾きは異漁場に比べて大きく、常呂では異に比べてRNA/DNA比の増加に対してタンパク質が効率的に増加していることを示す。また、タンパ

ク質増加率がゼロとなるときにのRNA/DNA比は常呂, 異でそれぞれ4.9, 3.6であった。RNA/DNA比がこれらの値を下回るときにはホタテガイは消耗期にあることを示す。

### 4. 酸性プロテアーゼ比活性とタンパク質増加率

閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性とタンパク質増加率との関係をそれぞれの漁場について示した(図8)。常呂漁場では全期間を通じて両者の間には相関はなかったが、高水温期に限り正の直線相関が認められた。異漁場でも全期間を通じて両者の間には相関はなく、それぞれの期間別にみても両者の間には相関が認められなかった。生殖成長期にはタンパク質の増減とは関係なく酸性プロテアーゼは増減した。

### 5. 酸性プロテアーゼ比活性とRNA/DNA比との関係

閉殻筋のRNA/DNA比と酸性プロテアーゼとの関係をそれぞれの漁場について示した(図9)。常呂漁場, 異漁場ともに両者の関係は図8で示した酸性プロテアーゼ

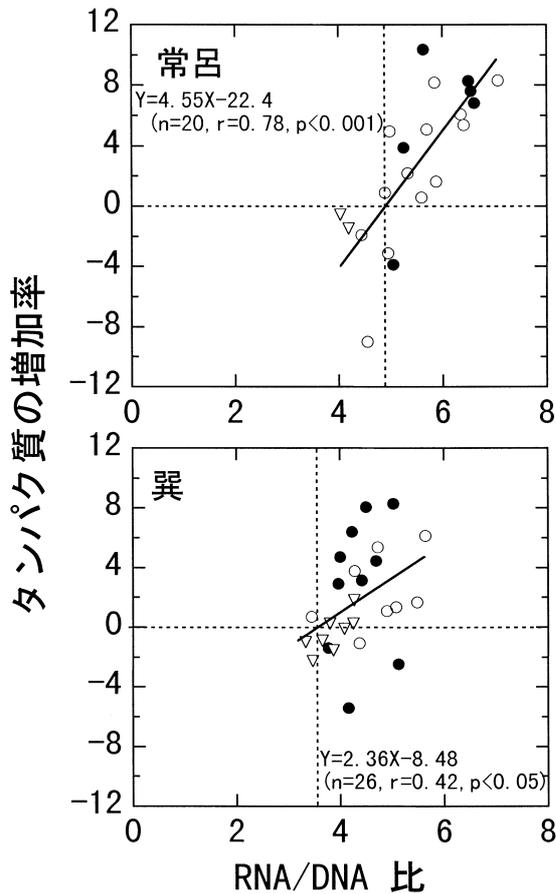


図7 常呂漁場（上）と巽漁場（下）におけるホタテガイ(3年貝)閉殻筋のRNA/DNA比とタンパク質増加率との関係。の区分は図4と同様。水平点線および垂直点線はそれぞれ、タンパク質増加率がゼロであること、およびそのときのRNA/DNA比の値を示す。

比活性とタンパク質増加率との関係とよく似ている。これはRNA/DNA比がタンパク質増加率との間に正の直線関係があったためである。常呂では酸性プロテアーゼ比活性とRNA/DNA比の間には高水温期にのみ正の直線相関がみられた。

考 察

1. RNA/DNA比の生理的指標性

閉殻筋のRNA/DNA比は、常呂漁場では顕著な季節変化があり、変化幅(4~7)も大きかったが、巽漁場では季節変化がはっきりせず、変化幅(3.2~5.7)は小さかった(図3)。前報では、常呂では餌料濃度の変化が大きいため、そこに生息するホタテガイの季節的成長パターンがはっきりしているのに対して、巽では比較的餌料濃度変化が小さいため、そこに生息するホタテガイの季節的成長パターンははっきりしないことが示された<sup>1)</sup>。閉

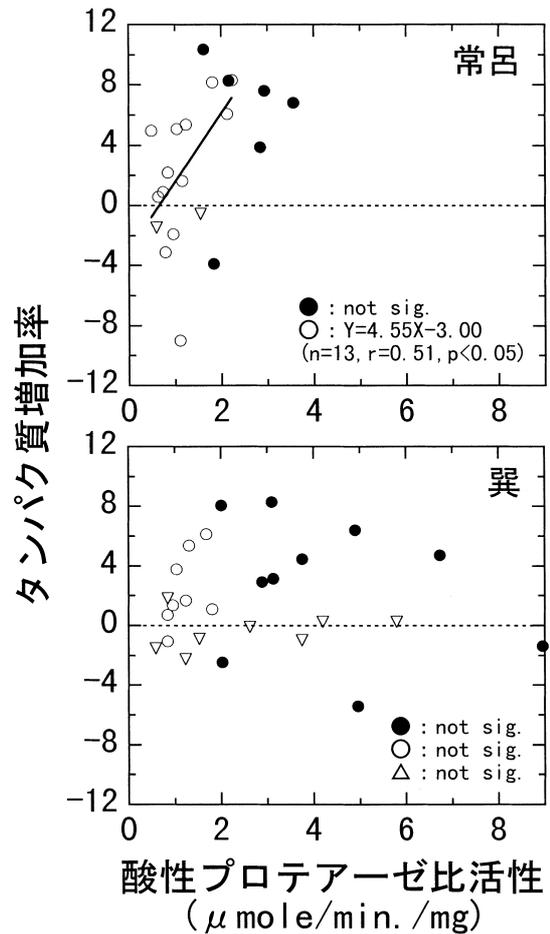


図8 常呂漁場（上）および巽漁場（下）におけるホタテガイ(3年貝)閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性とタンパク質増加率との関係。の区分は図4と同様。水平手員線はタンパク質増加率がゼロであることを示す。

殻筋のRNA/DNA比にみられた両漁場の特性はこれらの成長パターンの違いとよく一致した。魚類や甲殻類の筋肉中のRNA/DNA比はタンパク質の合成活性を指標することが知られている<sup>8),13)</sup>。それぞれの漁場でRNA/DNA比とタンパク質増加率の間には季節や成長不良等のデータを含めて正の直線相関が認められたことは、ホタテガイについてもRNA/DNA比はタンパク質の合成活性を指標できることを示す。

タンパク質増加率がマイナスとなる閉殻筋のタンパク質の消費過程は、貝の消耗を指標した<sup>1)</sup>。タンパク質増加率がゼロとなるときRNA/DNA比は、常呂および巽ではそれぞれ4.9および3.6であった。これらの値はホタテガイの消耗程度を判断するための生理的指標となる可能性がある。

2. 酸性プロテアーゼ比活性の生理的指標性

閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性は両漁場ともほぼ同

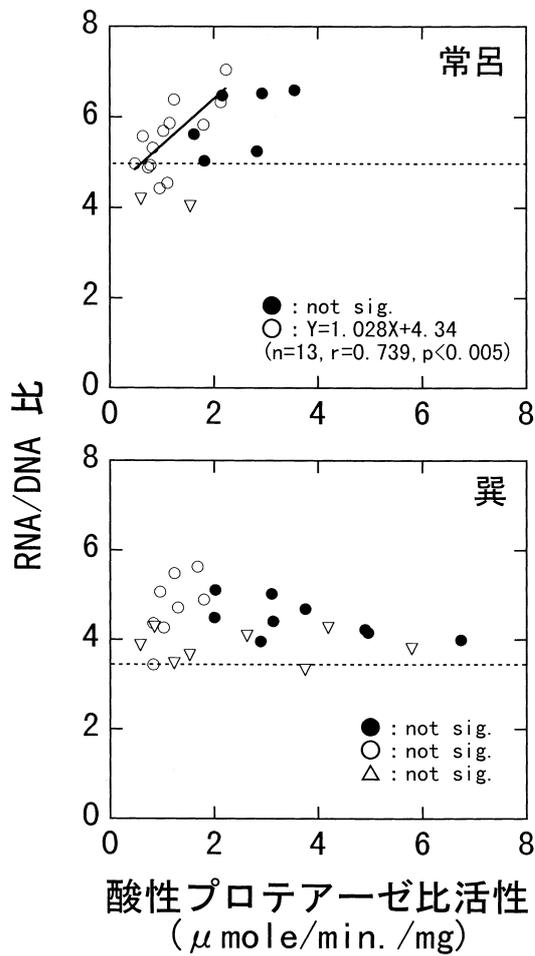


図9 常呂漁場（上）および巽漁場（下）におけるホタテガイ(3年貝)閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性とRNA/DNA比との関係。●, ○, △の区分は図4と同様。水平点線はタンパク質増加率がゼロのときのRNA/DNA比の値(常呂:4.9, 巽:3.6)を示す。

じ季節変化パターンを持ったが、年による変動幅は常呂漁場に比べて巽漁場で大きかった(図5)。酸性プロテアーゼは酸性下で働くタンパク質分解酵素の総称であり、その活性はタンパク質分解活性を示す。タンパク質分解の生物学的機能には、1)代謝回転率の維持、2)栄養的に悪条件下での糖新生あるいは糖新生酵素生成のための基質の供給、3)異常タンパク質の分解、の3点が挙げられる<sup>4)</sup>。閉殻筋タンパク質は配偶子形成後期および産卵時期に貯蔵脂質や貯蔵等質が欠乏したときの代謝維持エネルギーとして利用される<sup>14)</sup>。低水温期、生殖成長期の酸性プロテアーゼ比活性の増減はタンパク質増加率との間に相関が認められず(図8)、巽でその傾向が顕著であった。巽では成長不良のあった1992年に酸性プロテアーゼ比活性が非常に高く、配偶子形成後期および産卵期の代謝エネルギー不足を補うためのタンパク質分解があった

可能性がある。このことは生理的な異常を示しているかもしれない。しかし、両漁場ともに低水温期は基本的にタンパク質の増加する時期でもある<sup>1)</sup>ため、見かけの閉殻筋タンパク質は増加傾向にある場合が多い。このように体成長と生殖成長および産卵が複雑に関係する低水温期の酸性プロテアーゼ比活性の機能とその生理的指標性についてはさらに詳細な検討が必要である。

他方、高水温期には常呂で閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性はRNA/DNA比と正の直線相関が認められた(図9)。生体内ではある一定の速度でタンパク質の分解が起こっており、代謝回転率は維持される<sup>4)</sup>。このためタンパク質合成の指標であるRNA/DNA比の増加に対してタンパク質分解の指標である酸性プロテアーゼ比活性が増加する。高水温期には生殖に関わる生体内の物質の移動がほとんどないため、代謝回転率の維持のためにRNA/DNA比の増加に対応した酸性プロテアーゼ比活性の増加という関係が現れたものと考えられる。巽では高水温期の酸性プロテアーゼ比活性はRNA/DNA比との間に相関が認められなかったが(図9)、これは常呂に比べて高水温期の酸性プロテアーゼ比活性とRNA/DNA比の変化幅が小さかったためかもしれない。

### 3. RNA/DNA比の漁場差とホタテガイの生理状態の違い

常呂漁場のホタテガイのRNA/DNA比は巽漁場より高めに推移した(図7)。また、閉殻筋タンパク質が増加から減少に転じる時のRNA/DNA比は、巽(3.6)より常呂(4.9)で高かった。このことは常呂の貝は巽の貝より基本的にタンパク質の代謝回転が速く、代謝活性が高いことを示唆する。代謝回転は生物の環境に対する適応を促進していると考えられる<sup>4)</sup>。このため、代謝回転の速さは環境の変化に対応する能力の高さと考えられることができる。しかし、代謝回転の速さを維持するためには、基礎代謝エネルギーを多く必要とする。常呂のホタテガイは餌料量の大きな変化があるため、速い代謝回転を維持することが必要なのかもしれない。これに対して巽のホタテガイは年最高水温が低く、かつ餌料量の変化が小さい環境の中に生息しているため、遅い代謝回転を保っているのかもしれない。

### 要約

1992年から1994年までの3年間、オホーツク海南部海域の常呂漁場および根室海峡沿岸の野付巽漁場において地まき3年貝のホタテガイの閉殻筋RNA/DNA比、酸性プロテアーゼ比活性の季節変化を調査し、これらがホタテガイの生理状況の指標となりうるかについて検討した。

- 1) 両漁場の閉殻筋のRNA/DNA比はタンパク質増加、減少過程とよく一致した。
- 2) タンパク質増加率がゼロとなる時のRNA/DNA比は常呂、巽でそれぞれ4.9,3.6であり、これらの値は両漁場におけるホタテガイの消耗期を判断するRNA/DNA比の基準値となりうる。
- 3) 酸性プロテアーゼ比活性の低水温期、生殖成長期における変化はタンパク質代謝のみで説明することができなかった。
- 4) 常呂の高水温期にRNA/DNA比と酸性プロテアーゼ比活性の間に認められた正の直線相関は代謝回転率の維持を示す関係である可能性がある。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査に協力をいただいた常呂漁業協同組合の藤原博氏ならびに調査船「いわけし」の乗組員の方々、野付漁業協同組合の小川弘幸氏ならびに調査船「野付丸」の乗組員の方々、網走中部地区水産技術普及指導所、根室北部地区水産技術普及指導所の方々にお礼申し上げます。生化学的分析技術修得のための研修においてあたたかく指導し、意見を頂いた鈴木満平氏（現養殖研究所）、有益な議論をしていただいた北海道立網走水産試験場の蔵田護氏ならびに野俣洋氏（現中央水試）に謝意を表す。また、原稿の作成に当たってご校閲と有益な助言を頂いた栽培漁業総合センターの西浜雄二博士に深くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 宮園章, 中野広: 北海道オホーツク海沿岸域における地まき放流ホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量とグリコーゲン量の季節変化. 北水試研報58, 23-32 (2000)
- 2) 西浜雄二: 1989年網走管内産ホタテガイ貝柱の成長不良について. 平成元年度北海道立網走水産試験場事業報告書, 168-169 (1990)
- 3) 蔵田護, 原康裕: 1995年オホーツク海の放流ホタテガイ貝柱歩留不良現象について. 平成7年度北海道立網走水産試験場事業報告書, 252-254 (1997)
- 4) 山田茂, 跡見淳子, 富野士良, 原田邦彦, 岩垣丞恒, 渡辺雅之, 堤達也, 平田耕造: 運動生理生化学, 培風館, 東京, 1990, 279p
- 5) Haines, T.A.: An evaluation of RNA-DNA ratio as a measure of longterm growth in fish populations. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30 (2), 195-199 (1973)
- 6) Bulow, F.J., Zeman, M.E., Winningham, J.R. and Hudson, W.F.: Seasonal variations in RNA-DNA ratios and in indicators of feeding, reproduction, energy storage, and condition in a population of bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque. *J. Fish Biol.*, 18, 237-244 (1981)
- 7) Buckley, L.J.: RNA-DNA ratio: an index of larval fish growth in the sea. *Mar. Biol.*, 80, 291-298 (1984)
- 8) Moss, S.M.: Growth rates, nucleic acid concentrations, and RNA/DNA ratios of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, fed different algal diets. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 182, 193-204 (1994)
- 9) Juinio, M.A. and Cobb, J.S.: Estimation of recent growth of field-caught postlarval American lobsters, *Homarus americanus*, from RNA:DNA ratios. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 286-294 (1994)
- 10) Wright, D.A. and Hetzel, E.W.: Use of RNA:DNA ratios as an indicator of nutritional stress in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25, 199-206 (1985)
- 11) 船引龍平, 1995. 分子レベルの蛋白質代謝回転蛋白質代謝理論の史的展開 ( ). 化学と生物, 33(4), 267-276 (1995)
- 12) 中野広: 稚仔魚研究のための核酸の定量法. 海洋と生物, 54, 10, 23-26 (1988)
- 13) Bulow, F.J.: A review of the literature concerning the relationship between nucleic acids and the growth rates of fish. *The Tennessee Tech J.*, 9, 17-23 (1974)
- 14) Barber, B.J. and Blake, N.J.: Reproductive physiology. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*, ed. S.E. Shumway, Elsevier, Amsterdam, 377-428 (1991)
- 15) Pulmmer, D.T.: 実験で学ぶ生化学 ( 廣海啓太郎他訳 ). 化学同人, 京都, 1981, 330p

# 流水水槽におけるホタテガイの成長と生理活性に及ぼす流れの強さの影響

宮園 章\*

Influence of the intensity of water motion on growth and physiological conditions of scallops cultured in flow tanks.

Akira MIYAZONO\*

The influence of the intensity of water motion on growth and physiological conditions of scallops reared in flow tanks were examined. Two-year old scallops after been sowed were cultured under three different intensities of water motion in flow tanks from 15 April to 29 June in 1994. At the start of the experiment, shell height, wet weight of the adductor muscle, gonad and midgut gland were measured. After the experiment, growth in shell height, wet weight of the adductor muscle, gonad and midgut gland were measured, and the protein concentration, glycogen concentration, RNA/DNA ratio and acid protease activity of the adductor muscle were analyzed. The averaged intensities of water motion in three flow tanks measured by the plaster ball method were 1.5 (weak flow tank), 5.2 (middle flow tank) and 20.4 cm/s (strong flow tank), respectively. The growth of scallops in the middle flow tank was better than the growth in the weak and strong flow tanks. The protein and glycogen concentrations in the adductor muscle after the experiment indicated that all scallops were in good condition throughout the experiment. The RNA/DNA ratio and acid protease activity after the experiment suggested that the conditions in the strong flow caused physiological stress in the scallops.

キーワード：ホタテガイ，流れの強さ，石膏球法，成長，生理活性，RNA/DNA比，酸性プロテアーゼ

まえがき

天然ホタテガイを漁獲していた時代にホタテガイの好漁場（生息密度が高い漁場）が流れの速い場所に形成されているという経験から，流れの強さは漁場形成のための重要な環境要因であることが指摘されていた<sup>1,2)</sup>。放流種苗（越冬稚貝）の生産技術の発達によって大型サイズの種苗放流が可能になり，ホタテガイ漁業は地まき放流漁業に移行し，放流漁場の拡大傾向が続いた。しかし，漁場の流況は漁場を拡大するときの漁場評価の対象とならなかった。その理由の一つは高価な機器による海底直上の測流が困難であったことがあげられる<sup>3)</sup>。さらに海底直上の流況とホタテガイの成長との関係についての知見が不足していたため，流況はホタテガイの生息環境として積極的に評価されなかった。

近年，オホーツク海沿岸の放流ホタテガイでは小型化

傾向が認められており，貝の生息密度が海域の生産性を上回っている可能性が示唆されている<sup>4)</sup>。また，生産量の増大等によって価格の低迷が続き，オホーツク海沿岸域に広がる放流漁場では，高品質の貝を永続的に生産するために現行の増殖事業の再構築が望まれている。そのためには，現在利用されている漁場の再評価も重要な検討材料と考えられる。

流れの強さは濾過捕食者を取りまく餌料フラックスの増減に関与することによって成長に影響する。しかし，強すぎる流れの強さは成長を阻害することが知られている。ホタテガイの仲間，*Placopecten magellanicus*は流れが強いと成長が良いが，流速10～20cm/sを超えると成長が阻害される<sup>5)</sup>。ホタテガイについては流速が20cm/s以上となると摂餌阻害が起こっている可能性が指摘されている<sup>6)</sup>。石膏球を用いて海底直上の流れの強さを実測する試みが，ホタテガイの成長が異なる2つの放流漁場で行

報文番号 A 322 (2000年7月7日受理)

\* 1: 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, 1-2-66 Yunokawa Hakodate, Hokkaido 042-8932, Japan)

われ、簡便に漁場の流れの強さを測定する方法として石膏球法が有効であること、漁場の流れの強さがホタテガイの成長と関係していることが示された<sup>3)</sup>。石膏球による測流結果は調査期間の石膏の減少量から流れの強さを推定するため、得られた値は期間平均値である。また、石膏の溶解速度が水温・塩分によって影響を受けるため、流速計で測定した流速値とは必ずしも一致しない<sup>7)</sup>。今後、石膏球による測流法を増養殖の現場で利用するために、石膏球法によって求めた流速値とホタテガイの成長との関係を明らかにする必要がある。

本研究では、流水水槽を用いて、流れの強さを変えた条件下で飼育したホタテガイの成長と閉殻筋のグリコーゲン・タンパク質・RNA/DNA比・酸性プロテアーゼ活性を測定した。その結果、流れの強さとホタテガイの成長および生理状況との関係について若干の知見が得られたので報告する。

## 材料と方法

1994年4月15日から6月29日までの76日間、常呂漁業協同組合浜サロマ支所の揚水ポンプ施設に流水水槽を設置し、ホタテガイを飼育した。

図1に示した流水飼育水槽3基を使用した。水槽の長さは120cm、幅は17cmの大きさで、有効飼育面積は約935cm<sup>2</sup> (55cm×17cm)であった。飼育水が平均して飼育水槽に流れるように上部貯水槽を設けた。飼育水槽の底面には平均直径約5mmの礫を敷き詰めた。餌は汲み上げた海水中の有機物だけとし、人為的な給餌は行わなかった。遮光ネットを用いて水槽に直射日光が当たらないようにした。

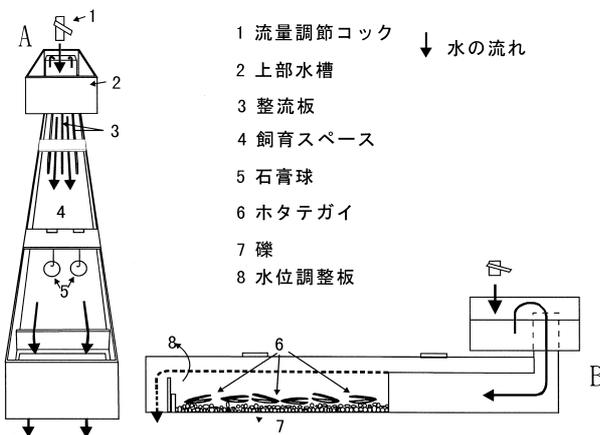


図1 実験水槽の模式図。A:石膏球による測流状況。B:ホタテガイの飼育状況。

各水槽の流れの強さは取水バルブの開閉によって3段階に調節した(以下、弱流水槽、中流水槽、強流水槽と

称する)。実験開始時に調節した各水槽のバルブは実験終了時まで固定した。飼育水の流量に合わせて排水スリットの高さを調節し、飼育水槽の水位を約10cmに設定した。実験期間中の各水槽の流れの強さは、石膏球法で定期的に測定した。石膏球は流路のほぼ中央、断面の中心にセットした。

得られた測流結果は水温補正をした値をさらに1/2にすることによって塩分の影響を考慮した<sup>7)</sup>。実験に使用したホタテガイは湧別漁場で採集された放流2年貝である。貝は採集後、掛け流し水槽において2日間蓄養し、殻高を測定したあと各水槽ごとに6個体ずつを収容した。飼育開始時に別の6個体について、殻高と閉殻筋・中腸腺・生殖巣の湿重量を測定した。飼育終了時には各個体の水槽内での分布状態を記録した。その後、殻高と閉殻筋・中腸腺・生殖巣の湿重量を測定した。飼育期間中の成長と飼育終了時の貝の状態を比較するために、飼育期間中の殻高の増加(=飼育終了時の殻高-飼育開始時の殻高)と、飼育開始時および終了時の各部位の殻高に対する指数(指数=各部位湿重量/殻高<sup>3</sup>×10<sup>6</sup>)を求めた。

飼育終了時の個体については各部位の測定後、閉殻筋を直ちにドライアイスにて凍結し、成分分析用試料として保存した。後日、閉殻筋のタンパク質・グリコーゲン含有率・RNA/DNA比・酸性プロテアーゼ活性を分析した。グリコーゲンはアントロン-硫酸法によって、タンパク質は差引法(タンパク質%=98-グリコーゲン%-水分%)によって求めた<sup>8)</sup>。水分は80-48時間乾燥によって求めた。RNAとDNAは、STS変法によって求めた<sup>9)</sup>。酸性プロテアーゼは、30における酸変性ヘモグロビンの分解活性を求める方法<sup>10)</sup>で測定した。

## 結果

### 1. 飼育水槽の流況と貝の分布状況

実験期間中の飼育水槽内の流れの強さを計4回測定した(表1)。流れの強さは飼育期間中に変化し、とくに強流水槽では15.4cm/secから25.8cm/secまで徐々に流れが強くなった。各水槽の流れの強さの期間平均値は弱流、中流、および強流水槽でそれぞれ、1.5、5.2、および20.4cm/secであり、水槽間の流れの強さには最大13.6倍の違いがあった。海水は飼育エリアにほぼ均一に流れ込む。他方、飼育エリアの水位は排水スリットの高さで約10cmとなるように調節され、排水は排水スリットの上部から流れる。このため、流れが弱い時には排水スリットが高くなるので、流量が少ない系では下流部の流れは石膏球の測定結果よりも弱い可能性がある。

実験終了時の貝の分布位置と状況を模式的に図2に示

した。飼育可能な流路の底面積(935cm<sup>2</sup>)は貝の占める面積(実験開始時: 220~370cm<sup>2</sup>)の約2.5~4.3倍であったが、自由に動くには若干狭かったため、各水槽で折り重なっている個体があった。また、礫をかぶっている個体もみられたが、流れの強さとの関係は認められなかった。流れに対する貝の向きは各水槽ともに様々で、流れの強さとの関係はみられなかった。しかし、目視観察によると、貝の開殻の度合いには違いがみられた。ホタテガイは弱流水槽では殻を大きく開き、強流水槽では殻を小さく開けていた。

表1 実験期間中の水温と各水槽における流れの強さの変化

測定期間	水温( )	弱流水槽 (cm/sec)	中流水槽 (cm/sec)	強流水槽 (cm/sec)
4月13-15	4.6	1.2	3.3	15.4
5月 9-11	7.7	1.5	5.4	19.2
5月25-27	11.8	1.9	4.5	21.3
6月27-29	11.8	1.5	7.4	25.8
期間平均	9.0	1.5	5.2	20.4

注: 流れの強さは水温補正・塩分簡易補正をした値

2. 殻の成長

実験開始時のホタテガイの殻高は平均値で約84mmであった。飼育開始時と終了時の殻高および飼育期間の変化量を各水槽別に表2に示した。飼育個体のうち、中流と強流水槽では殻高がほとんど増加しなかった個体がそれぞれ1個体ずつみられた。この成長不良は流況の影響で

表2 実験期間中の殻高の変化

個体No.	弱流水槽			中流水槽			強流水槽		
	開始時	終了時	変化量	開始時	終了時	変化量	開始時	終了時	変化量
1	84.1	91.4	7.3	88.2	96.3	-8.1	87.5	93.0	5.5
2	81.2	89.6	8.4	84.8	92.0	7.2	87.8	92.2	4.4
3	89.9	96.0	6.1	80.8	80.5	-0.3	79.6	84.4	4.8
4	82.8	90.0	7.2	78.9	88.6	9.7	82.9	88.7	5.8
5	82.7	87.7	5.0	82.4	91.8	9.4	82.9	82.5	-0.4
6	83.3	91.3	8.0	----	流 失	----	85.0	89.8	4.8
平均*	84.0	91.0	7.0	83.6	92.2	8.6	84.6	91.2	5.1
S D	2.8	2.6	1.1	3.4	2.7	1.0	3.1	3.4	0.5

\*: 平均値の計算には中流水槽のNo.3と強流水槽のNo.5のデータを除いた。

3. 各部位の指数

流れの強さと実験終了時の殻高に対する各部位の指数の関係を図3に示した。実験開始時の閉殻筋、生殖巣および中腸腺指数をそれぞれの図中の波線で示した。実験開始時から終了時の各部位の指数変化から、飼育実験中の各部位の成長を比較することができる。

閉殻筋指数はすべての水槽で実験開始時より増加した。これは実験期間中に殻の成長に比べて閉殻筋の成長が大きかったことを示す。実験終了時の指数の平均値は中流 > 弱流 > 強流の順に高かった。

中腸腺指数はすべての水槽で実験開始時より減少し、

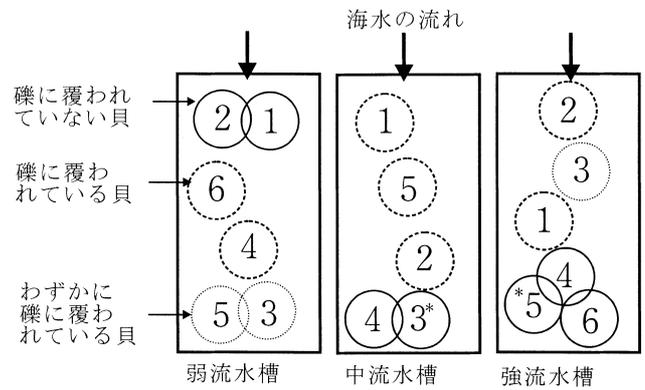


図2 実験終了時の水槽中のホタテガイの分布と礫の被覆状況。\*: 実験期間中成長しなかった個体。

はなく、実験に供した貝の異常によるものと判断して、以下の結果から削除した。弱流水槽内では流れの下流部に位置したNo.5, No.3の成長は上流、中流部に位置したものより悪かった。他の水槽では個体成長差とホタテガイの位置との関係は認められなかった。殻の成長には個体差があったが、弱流、中流水槽に比べて強流水槽で悪かった。平均値でみると、中流条件における成長が最も良かった。

実験期間中に中腸腺が小さくなったことを示す。実験終了時の指数の平均値は中流、弱流水槽に比べて強流水槽で低かった。

生殖巣指数はすべての水槽で実験開始時より低下した。このことは実験期間中に産卵があったことによる。実験終了時の指数の平均値は中流、弱流水槽に比べて強流水槽で低かった。

4. 閉殻筋タンパク質およびグリコーゲン含有率

流れの強さと実験終了時の閉殻筋のタンパク質およびグリコーゲンの含有率との関係を図4に示した。タンパ

ク質の含有率は弱流水槽で個体のばらつきが大きいですが、平均値では水槽による違いがほとんどなかった。グリコーゲンの含有率は弱流水槽で個体のばらつきが大きく、平均値では強流水槽でやや低かった。

DNA比は各水槽とも個体のばらつきが大きいですが、平均値は強流、中流水槽に比べて弱流水槽で低かった。酸性プロテアーゼ比活性は強流水槽における個体のばらつきが大きく、強流水槽の平均値は中流水槽の約1.8倍高かった。

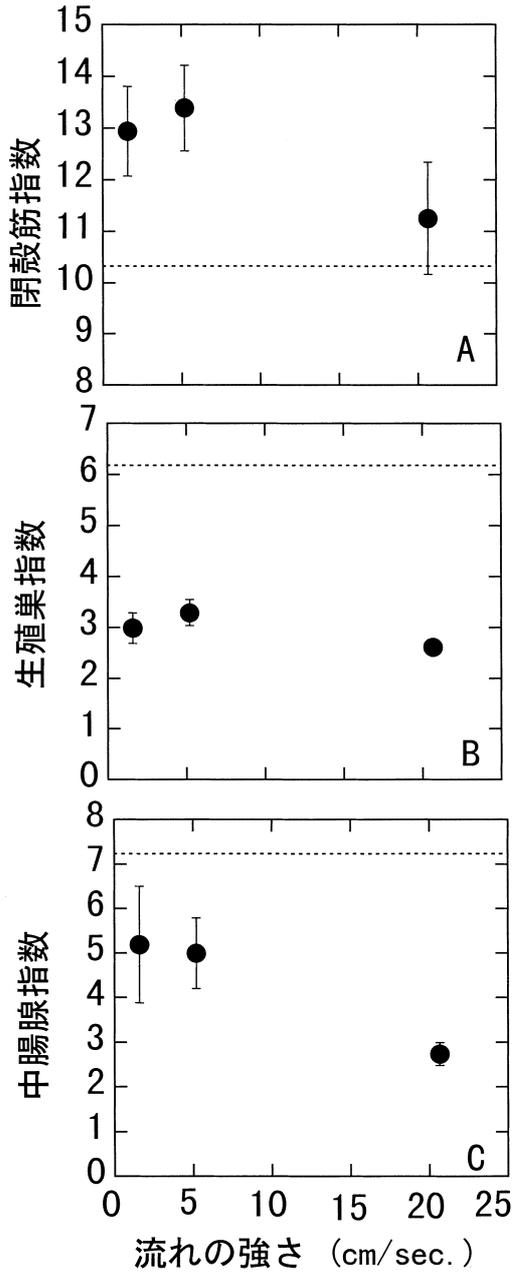


図3 流れの強さと実験終了時のホタテガイの閉殻筋(A)・生殖巣(B)・中腸腺指数(C)との関係。各部位指数=各部位の湿重量/(殻高)<sup>3</sup>×10<sup>6</sup>。鉛直直線は標準偏差、水平点線は実験開始時のそれぞれの指数値を示す。

5. 閉殻筋のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ比活性  
流れの強さと実験終了時の閉殻筋のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ比活性との関係を図5に示した。RNA/

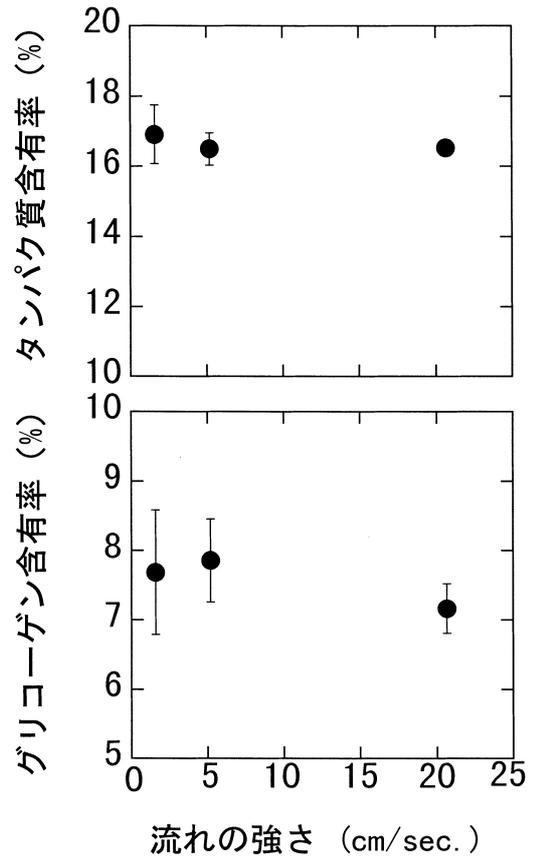


図4 流れの強さと実験終了時のホタテガイ閉殻筋のタンパク質(上)およびグリコーゲン(下)含有率(%)の関係。鉛直直線は標準偏差を示す。

### 考 察

#### 1. 流れの強さと成長差

本実験で使用した流水水槽の構造上の問題から、ホタテガイの飼育範囲内の流れの条件は必ずしも同じとはいえない。飼育エリアの上流部の流れの強さは測流結果を反映するが、下流部の排水スリット(図1の8)近くでは流れが弱まっていると考えられる。

殻の成長の個体差をみると、弱流水槽では他の水槽に比べて成長のばらつきが大きい(表2)。他の水槽ではそのような傾向がなかったことから、弱流水槽ほどには飼育水槽内の流動環境の差が個体成長差には影響しなかったと考えられる。

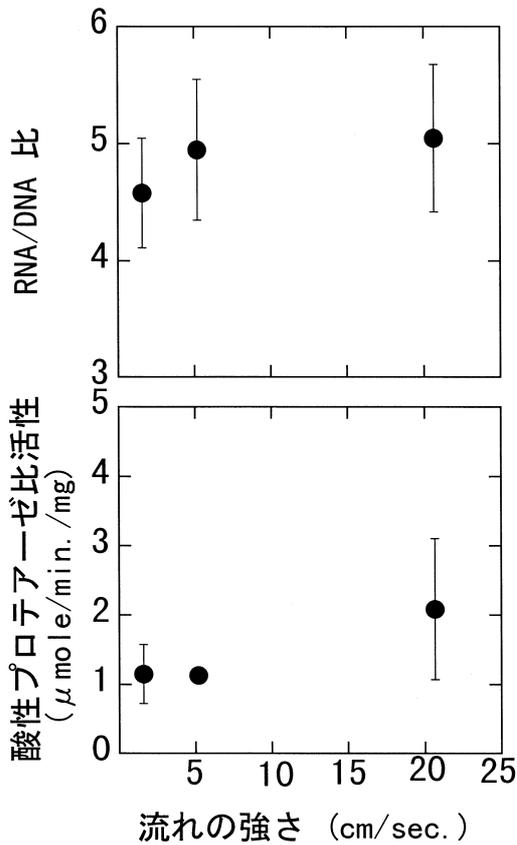


図5 流れの強さと実験終了時のホタテガイ閉殻筋のRNA/DNA比(上)および酸性プロテアーゼ比活性(下)の関係。鉛直直線は標準偏差を示す。

流れの強さの異なる水槽で飼育されたホタテガイの成長には差が認められた。殻の成長と閉殻筋指数の変化から判断すると、中流(平均5.2cm/sec.) > 弱流(平均1.5cm/sec.) > 強流(平均20.4cm/sec.)の順に貝の成長は良かったといえる。一般的に、流れの強さが二枚貝の成長に影響することはよく知られている<sup>11-13)</sup>。ホタテガイ類では、流れの強さが遅いときには、貝の濾水活動による餌の除去速度が水の動きによる餌の補充速度を上回るために貝の摂餌効率は悪くなり、反対に、流れの強さが自らの濾水能力を超えると、鰓から餌を剥離するために貝の摂餌効率は悪くなる<sup>5,14)</sup>。このように流れの強弱は鰓を通過する餌料フラックスに関係することが知られている。ホタテガイでは流速20cm/sec.になると、摂餌阻害の可能性があるという結果<sup>6)</sup>は本研究の強流水槽の結果とよく一致する。

閉殻筋指数はいずれの流れの強さでも増加したのに対して、中腸腺および生殖巣の指数は実験開始時(4月15日)に比べて実験終了時(6月29日)に低下した。生殖巣の指数が低下したのは、実験期間中に産卵があったためである。強流水槽のホタテガイの生殖巣指数は弱流・中

流水槽のホタテガイに比べて低かった。これは閉殻筋指数が強流条件下で低いこととよく一致し、強流水槽では、摂餌阻害によるエネルギーの不足を産卵後の生殖巣の再吸収を活発に行うことで補っていたことが示唆される。

中腸腺は摂餌が活発なときには肥大するので、いずれの水槽においても中腸腺指数が減少したことは実験開始前に比べて実験終了時の摂餌量が減少したことを示唆する。実験終了時の強流水槽における中腸腺指数は他水槽の1/2程度と小さかったことは、他水槽に比べて強流水槽内でのホタテガイの摂餌状況が悪かったことを示唆する。

## 2 流れの強さとホタテガイの生理状態

閉殻筋のグリコーゲンやタンパク質は摂餌エネルギーの不足を補うために使われるため、閉殻筋におけるこれらの含有率は餌料環境の悪い夏季に顕著に減少する<sup>15)</sup>。流れの強さの違いはホタテガイの成長差をもたらしたが、いずれの流れの強さでもホタテガイは成長しており、閉殻筋のタンパク質・グリコーゲン含有率の違いも小さかった(図4)。これらのことは、強流条件のホタテガイがエネルギー供給不足によって消耗状態には至っていなかったことを示唆する。

ホタテガイ閉殻筋のRNA/DNA比は閉殻筋タンパク質の増加率と正相関があるので、RNA/DNA比はタンパク質合成活性を指標することができる<sup>10)</sup>。他方、ホタテガイ閉殻筋の酸性プロテアーゼ比活性は、生殖成長と産卵に伴う閉殻筋タンパク質分解による変化が大きいので、産卵が終わった高水温期には代謝回転率を維持する機能を認めることができる<sup>10)</sup>。実験が終了した6月29日は生殖成長と産卵の影響の少ない高水温期に当たるので、代謝回転とRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ比活性の関係を評価することができる。各水槽におけるRNA/DNA比と酸性プロテアーゼ比活性の相対的な評価を表3にまとめた。

表3 流れの強さによる閉殻筋のRNA/DNA比と酸性プロテアーゼ比活性の違いから推定される代謝回転とタンパク質増加率の相対比較。

	RNA/DNA比	酸性プロテアーゼ比活性	代謝回転	タンパク質増加率
弱流水槽	低い	低い	遅い	小さい
中流水槽	高い	低い	遅い	大きい
強流水槽	高い	高い	速い	小さい

弱流条件では、RNA/DNA比・酸性プロテアーゼ活性はともに低く、代謝回転が遅いことを示す。これは代謝活性が低く、消費する基礎代謝エネルギーが少ないことを意味する。弱流条件では摂餌効率が悪いので、摂餌エネル

ギーは少ないが、消費する代謝エネルギーも小さいので、その差を成長に向けることができたと考えられる。これに対して、強流条件では、RNA/DNA比・酸性プロテアーゼ比活性は共に高く、代謝回転が速いことを示す。タンパク質の代謝回転率は合成と分解の活性が高まることによって維持され、高い代謝回転は環境変化に急速に対応しうることを意味する<sup>16)</sup>。強流条件下での代謝回転が弱流条件に比べて速いのは、不安定な環境が及ぼすストレスに対する貝の生理的応答と考えることができる。代謝回転を速くするためには、基礎代謝エネルギーを多く必要とする。強流条件下でホタテガイの成長が悪かったのは、強い流れによる摂餌効率の低下に加えて、速い代謝回転を維持するためにエネルギー消費も大きかったためであろう。中流条件ではRNA/DNA比が高く、酸性プロテアーゼ比活性が低かった。このことはタンパク質合成が分解より大きく、タンパク質増加率が高いことを示すと考えられる。中流条件下でホタテガイの成長が良かったのは、摂餌効率が高いことに加えて、生理的な活性が低いのでエネルギー消費が少なく、摂餌エネルギーを効率的に成長に向けることができたのだろう。

#### 要 約

地まきホタテガイ 2 年貝を異なる流れの強さに設定した 3 基の流水水槽で飼育した。飼育開始時および終了時の殻高、閉殻筋・生殖巣・中腸腺重量を測定し、飼育終了時の閉殻筋のタンパク質・グリコーゲン・RNA/DNA 比・酸性プロテアーゼ活性を測定した。流れの強さがホタテガイの成長および生理活性に及ぼす影響について検討した。

- 1 石膏球で測定した各水槽における流れの強さは飼育期間平均値で 1.5 (弱流), 5.2 (中流), 20.4 cm/sec (強流) であった。
- 2 殻の成長と閉殻筋・生殖巣・中腸腺の指数は流れの強さによって異なった。ホタテガイの成長は中流水槽でよかった。
- 3 実験終了時の閉殻筋のタンパク質・グリコーゲン含有率は流れの強さによる違いはほとんどなく、いずれの水槽でもホタテガイの消耗はみられなかった。
- 4 実験終了時の閉殻筋の RNA/DNA 比および酸性プロテアーゼ比活性は流れの強さによって異なり、強い流れがホタテガイに生理的なストレスを及ぼしている可能性が示唆された。

#### 謝 辞

実験水槽を設置させて頂いたサロマ湖養殖漁業協同組合、加藤重信参事ならびにホタテガイを採集して下さった藤芳義裕研究部長には実験期間中に多大なる御協力を頂いたことに感謝申し上げます。また、原稿の作成に当たり有益な助言を頂いた北海道立栽培漁業総合センター西浜雄二博士に深くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 木下虎一郎：ホタテガイの増殖に関する研究。札幌，北方出版社，1949, 106p
- 2) 伊藤繁：オホーツク海沿岸におけるホタテガイ漁業。水産増養殖叢書 7，日本水産資源保護協会，1964, 40p
- 3) 宮園章，多田匡秀，小松輝久：網走におけるホタテガイ漁場の流動，沈降粒子束とホタテガイの成長について。水産海洋研究，59，389-397 (1995)
- 4) 蔵田護：北海道オホーツク海沿岸におけるホタテガイの小型化の実態とその原因。北水試研報，54，25-32 (1999)
- 5) Wildish, D.J. and Saulnier, A.M.: Hydrodynamic control of filtration in *Placopecten magellanicus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 174, 65-82 (1993)
- 6) 櫻井泉：ホタテガイの増養殖に適した環境条件。北水試だより，45，10-13 (1999)
- 7) Komatsu, T. and Kawai, H.: Measurements of time averaged intensity of water motion with plaster balls. *J. Oceanogr.*, 48, 353-366 (1992)
- 8) 宮園章，中野広：北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量とグリコーゲン量の季節変化。北水試研報，58，23 - 32 (2000)
- 9) 中野広：稚仔魚研究のための核酸の定量法。海洋と生物，54，10，23-26 (1988)
- 10) 宮園章，中野広：北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイ閉殻筋中の RNA/DNA 比および酸性プロテアーゼ活性の季節変化。北水試研報，58，33 - 39 (2000)
- 11) 林政博：Flowing system で測定したアコヤガイの濾水率，摂餌量と流量の関係について。三重県浜島水試年報，116-120 (1972)
- 12) Kirby-Smith, W.W.: Growth of bay scallop: the influence of experimental water currents. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 8, 7-18 (1972)

- 13) Byne, B.L., Widdows, J. and Thompson, R.J.: Physiology I. In Marine mussels, their ecology and physiology, ed. B.L. Bayne, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 121-206 (1976)
- 14) Calahan, J.A., Sidall, S.E. and Luckenbach, M.W.: Effects of flow velocity, food concentration and particle flux on growth rates of juvenile bay scallops, *Argopecten irradians*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 129, 45-60 (1989)
- 15) 宮園章：ホタテガイとグリコーゲン 北水試だより，25，23-27 (1994)
- 16) 山田繁，跡見淳子，富野士良，原田邦彦，岩垣丞恒，渡辺雅之，堤達也，平田耕造：運動生理生化学，培風館，東京，1990, 279p

# 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

嶋田 宏<sup>\*1</sup>，西田 芳則<sup>\*2</sup>，伊藤 義三<sup>\*3</sup>，水島 敏博<sup>\*1</sup>

Relationship among growth and survival of cultured scallops (*Patinopecten yessoensis* JAY), and environmental conditions in the coastal area off Yakumo, Funka Bay, Hokkaido, Japan.

Hiroshi SHIMADA<sup>\*1</sup>, Yoshinori NISHIDA<sup>\*2</sup>, Yoshimi ITO<sup>\*3</sup> and Toshihiro MIZUSHIMA<sup>\*1</sup>

We have continuously monitored the growth and survival of scallops (*Patinopecten yessoensis* JAY) as well as the environmental conditions in the coastal area off Yakumo, Funka Bay, since 1991, in order to clarify the relationship between these organisms and their environment. Surveys were consistently carried out once a month between April 1991 and May 1999. Water temperature, salinity and chlorophyll-a concentrations at 7 water layers, namely 0,5,10,15,20,25,30m deep, were used as environmental parameters at St.A (3 miles off Yakumo fishing harbor, depth of bottom: 33m). Sample organisms cultivated near St.A were collected from the "ear suspended" scallop cultivation equipment, and the shell height, body weight and wet weight of each part of the body were measured. Then, the relationship between the organisms and the environmental conditions was determined using multiple regression analysis. The results suggested that growth and survival of the scallops were controlled by environmental conditions. Thus, both could be estimated by the initial total body weight and survival rate in June immediately after the start of "ear suspended" cultivation, as well as by the water temperature and chlorophyll-a concentration in both periods from June - December and from December - March.

キーワード：ホタテガイ，成長，生残，水温，クロロフィル-a濃度，重回帰分析

## まえがき

噴火湾のホタテガイ養殖漁業は1970年頃から盛んとなり，現在では年間約10万トン，金額で200億円前後を水揚げする基幹産業である（図1）。また，本湾のホタテガイ養殖漁業は，かつての過密養殖等による大量斃死などの教訓から，養殖許容量（垂下できる個体数）が決められているため，個体あたりの成長や生残が生産量に大きく影響する。特に近年は，天然採苗の不良や，貝の成長不良あるいは斃死といった問題が散発し，生産量の年変動が大きい傾向にある。一方，噴火湾は冬季から春季には寒流（親潮系水）が，夏季から秋季には暖流（津軽暖流水）がそれぞれ卓越する極めて特徴的な湾であり<sup>1)</sup>，その環境は年によって著しく変化する。このため，

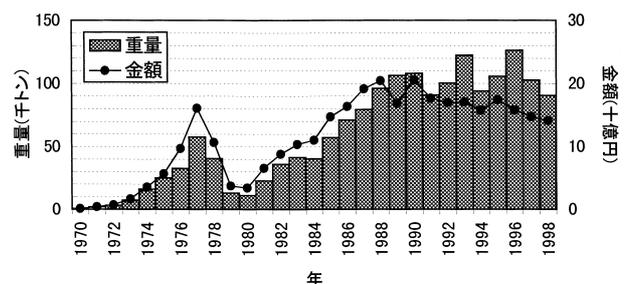


図1 噴火湾におけるホタテガイ養殖漁業の水揚げの経年変化

ホタテガイの成長も年変動が大きい。しかし，これまで成長，生残と漁場環境との関連を定量的に調査した例はなく，現象の解釈は定性的な段階に留まっていた。一方，ホタテガイ養殖漁業をめぐる生じる様々な自然（あるいは

報文番号 A 323 (2000年7月7日受理)

\* 1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, 238 Hamanaka Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

\* 2 北海道立函館水産試験場室蘭支場 (Muroran Branch, Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, 1-133-31 Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)

\* 3 北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture, 539-112 Honbetsu Shikabe, Hokkaido 041-1404, Japan)

は人為的)現象の原因を究明するためには、ホタテガイの成長、生残と漁場環境を定期的にモニタリングし、各年のデータを平年値に基づいて相対的、定量的に分析することが極めて重要である。

そこで著者らは、八雲沿岸を定点として、養殖ホタテガイの成長、生残と漁場環境を継続的にモニタリングし、それぞれの平年像を求め、各年のばらつきとその原因を定量的に整理しようと試みた。噴火湾のホタテガイ養殖は、多くの場合複雑な工程(図2)により行われるため、成長のモニタリング対象を耳吊り本養成ホタテガイのみに絞った。漁場環境要因としては水温と、餌料環境の目安となるクロロフィル-a濃度に着目し、重回帰分析を用いてホタテガイの成長、生残と漁場環境要因の関係について考察した。また、これらの結果を用いて、出荷時における成長と生残の状況を簡便に推定する方法についても検討した。

材料と方法

1. ホタテガイの成長、生残のモニタリング

ホタテガイの測定は、1991年4月から1999年5月までの原則として毎月1回、八雲漁港沖3マイル定点(St.A、海底水深33m、図3)付近に垂下されている耳吊り本養成ホタテガイ一連(約200個体)について行った。このうち測定試料として垂下した耳吊りロープ(約10m)の上部、中部、下部(以下、それぞれ上、中、下と略記する)からそれぞれ10個体ずつ採取し、付着物を除去して殻高と全重量を測定した後、殻、閉殻筋、生殖巣、中腸腺、その他の軟体部(以下、他軟体部と略記する)に分け、それぞれの湿重量を測定した。ただし、1994年6月から1996年3月の期間は、中腸腺と他軟体部をまとめて

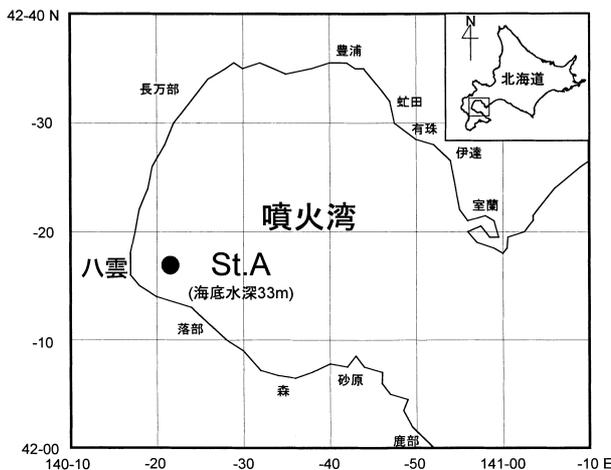


図3 調査定点図

測定した。測定試料以外の個体については、生死の判別のみを行い、耳吊り連全体の生残率を算出した。

得られた各年のデータのうち、期間が共通する6月～翌年3月までを「本養成期間」とし、1991年6月から1999年3月までの月別平均値(以下、「月別平年値」と略記する)を算出し、これをもとに、各年の成長と生残のばらつきを調べた。ただし、中腸腺と他軟体部をまとめて測定した期間(1994年6月から1996年3月)があるため、部位別重量の月別平年値を求めるにあたり、中腸腺重量の月別平年値を次の手順で推定した。

まず、中腸腺重量 + 他軟体部重量の月別平年値(…)を計算し、次に、中腸腺重量 / (中腸腺重量 + 他軟体部重量)のデータの完全な6年間の月別平均値(…)を求め、×(…)を中腸腺重量の月別平年値と推定した。

また、他軟体部重量の月別平年値は、- を求め推定した。

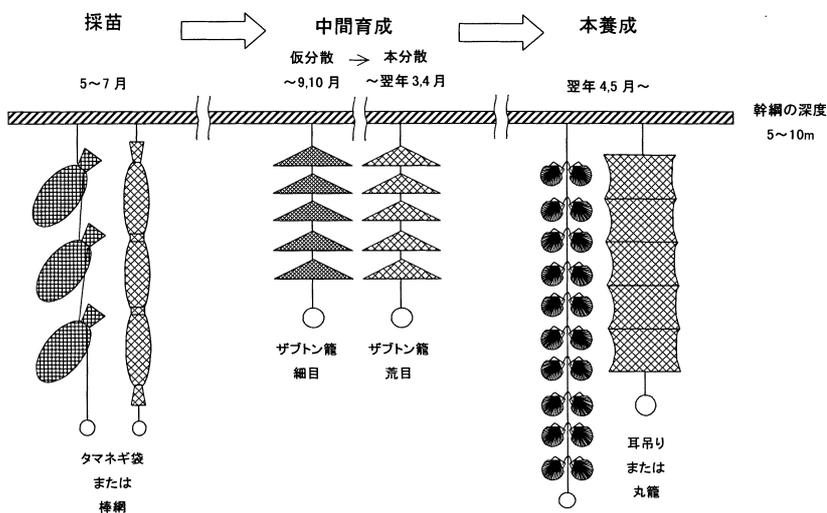


図2 噴火湾におけるホタテガイ養殖漁業の基本的な工程

2. 漁場環境要因のモニタリング

漁場環境要因の観測は、原則としてホタテガイの成長モニタリングと同日に八雲漁港沖3マイル定点(St.A 図3)において、深度0, 5, 10, 15, 20, 25, 30mの7層について行った。ただし、ホタテガイの成長と漁場環境要因の考察に際しては、ホタテガイの垂下深度である5~15mのデータを用いた。水温は原則としてCTD Sea Bird社SBE19型)またはSTD(Alec社AST-1000型)によって測定したが、これらの機器が使用できない場合は適宜採水し棒状水温計で測定した。クロロフィル-a(以下Chl-aと略記する)濃度は、各層の試水をWhatman GF-Cで即日濾過し90%アセトンで24時間抽出した後、蛍光分光光度計(日立F-2000型)または分光光度計(島津UV-160A型)によって測定した。

3. ホタテガイの成長と生残に影響を及ぼす漁場環境要因の検討

噴火湾における養殖ホタテガイの成長量は、夏期から秋季には小さく、冬季から春季にかけて大きいことが知られている<sup>2)</sup>。そこで、各年のデータを便宜的に6~12月と12月~翌年3月の2期間に分け、漁場環境要因(積算水温、積算Chl-a濃度)と初期条件(6月時点の成長、生残の状況)を独立変数とし、成長と生残の結果を従属変数として、重回帰分析を行った。独立変数の選択は原則として、ステップワイズ変数減少法により、できるだけ、得られた重回帰式の危険率(p値)が0.05以下で、自由度調整済寄与率(R<sup>2</sup>値)が最大となるように行った。分析に用いた独立変数および従属変数は表1に示した。

結果

1. ホタテガイの成長、生残のモニタリング

(1) 殻高、全重量の季節変化

殻高の月別平年値は、6月では72mmであり、その後ほぼ直線的に増加し、翌年3月では104mmに達した(図4)。一方、全重量の月別平年値は、6月では42gであり、その後ほぼ直線的に増加し、翌年3月では136gに達した(図4)。

日間成長量(全重量の一日あたりの増重)の月別平年値は、6~12月では10月の上層を除き0.4g/day以下と低いのに対し、1月~翌年3月では2月の中層を除き、これより高い値を示した(図4)。これらの結果から、ホタテガイは夏季~秋季に成長が鈍化し、冬季~春季に急速に成長することが明らかとなった。

3月の全重量に着目して年毎の成長状況を見ると、1994~1995年養成年の148g、1998~1999年養成年の108gをそれぞれ最高値、最低値として大きくばらついた(図5)。

(2) 部位別重量の季節変化

部位別重量の合計の月別平年値は、6月では38gであり、その後ほぼ直線的に増加し、翌年3月では122gに達した(図6)。軟体部重量の相対比(軟体部重量/(軟体部重量+貝殻重量))をみると、6~10月では約40%と一定しているが、11月から増加して翌年3月には49%に達した(図6)。一方、月別平年値における軟体部の部位別湿重量相対比の季節変化をみると、6~10月では、生殖巣は5%前後、閉殻筋と他軟体部はともに40%前後であったが、生殖巣は11月以降増加して3月には25%に達したのに対し、閉殻筋と他軟体部は減少し、3月にはともに30%前後となった(図6)。これに対し、中腸腺重量の相対比は周年にわたり10~15%の範囲にあり、変化は小さかった。

年毎の軟体部の部位別重量相対比の季節変化は、全重量の成長が年毎に大きくばらついた(図5)ののに対し、周期的な変化を毎年繰り返していた(図7)。

表1 重回帰分析に用いた独立変数と従属変数

独立変数 (漁場環境要因と初期条件)	従属変数 (成長と生残の結果)
	6月~翌年3月の殻長増長
6月の全重量(TWi)	6月~翌年3月の全重量増重
6月の生残率(SVi)	6月~翌年3月の貝殻増重
6~12月の積算水温(STs)	6月~翌年3月の軟体部増重
12月~翌年3月の積算水温(STw)	6月~翌年3月の閉殻筋増重
6~12月の積算Chl-a濃度(SCs)	6月~翌年3月の生殖巣増重
12月~翌年3月の積算Chl-a濃度(SCw)	6月~翌年3月の中腸腺+他軟体部増重
	12月~翌年3月の平均生残率

(3) 生残率の季節変化

生残率の月別平年値は、6月では97%であり、その後緩やかに低下して、翌年3月では86%となった(図8)。出荷時期の生残率(12月~翌年3月の平均値)に着目して年毎の生残状況をみると、1992~1993年養成群の95%、1996~1997年養成群の82%をそれぞれ最高値、最低値として大きくばらついた(図9)。また、生残率は同年の養成群内でも時期によるばらつきが大きかった。

2. 漁場環境要因のモニタリング

(1) 水温

水温の月別平年値(5~15m層の平均値)は、3月に2.9の最低水温期、8月に19の最高水温期をそれぞれもつ季節変化を示した(図10)。また、5~8月には水温躍層が発達し、15m層の水温は5m層と比較して2~5℃低かった。水温(5~15m層の平均値)の季節変化を年毎にみると、最低水温は2~4℃、最高水温は17~23℃の範囲に

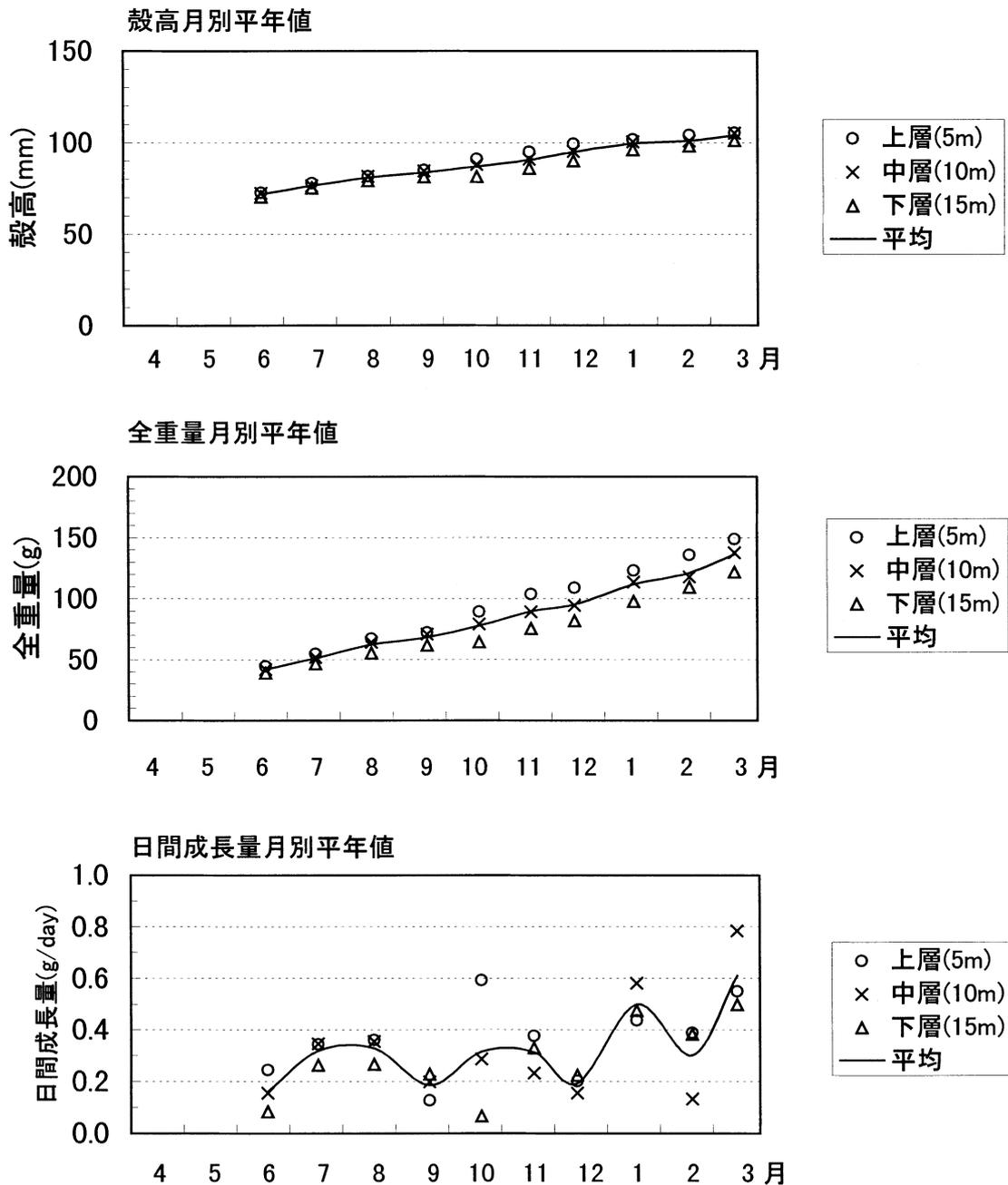


図4 8年間の月別平年値における、殻高、全重量、日間成長量の季節変化

あり、最高水温は、最低水温と比較して、年変動が大きい傾向が認められた(図11)。

(2) Chl-a 濃度

Chl-a 濃度の月別平年値(5~15m層の平均値)は、4~9月には1 $\mu$ g/l以下の低い値で推移したが、10月以降増加して3月の春季珪藻ブルーム時には8.2 $\mu$ g/lに達した(図10)。

Chl-a 濃度(5~15m層の平均値)の季節変化を年度毎にみると、一般に4~9月に低く、3月に最高値を示す傾向は共通していた(図11)。しかし、3月の最高値は6~14 $\mu$ g/lと極めてばらつきが大きいことや、10~12月に2~4 $\mu$ g/lの小さなピークを持つ場合があるなど、水温とは異なり極めて年変動が大きかった。

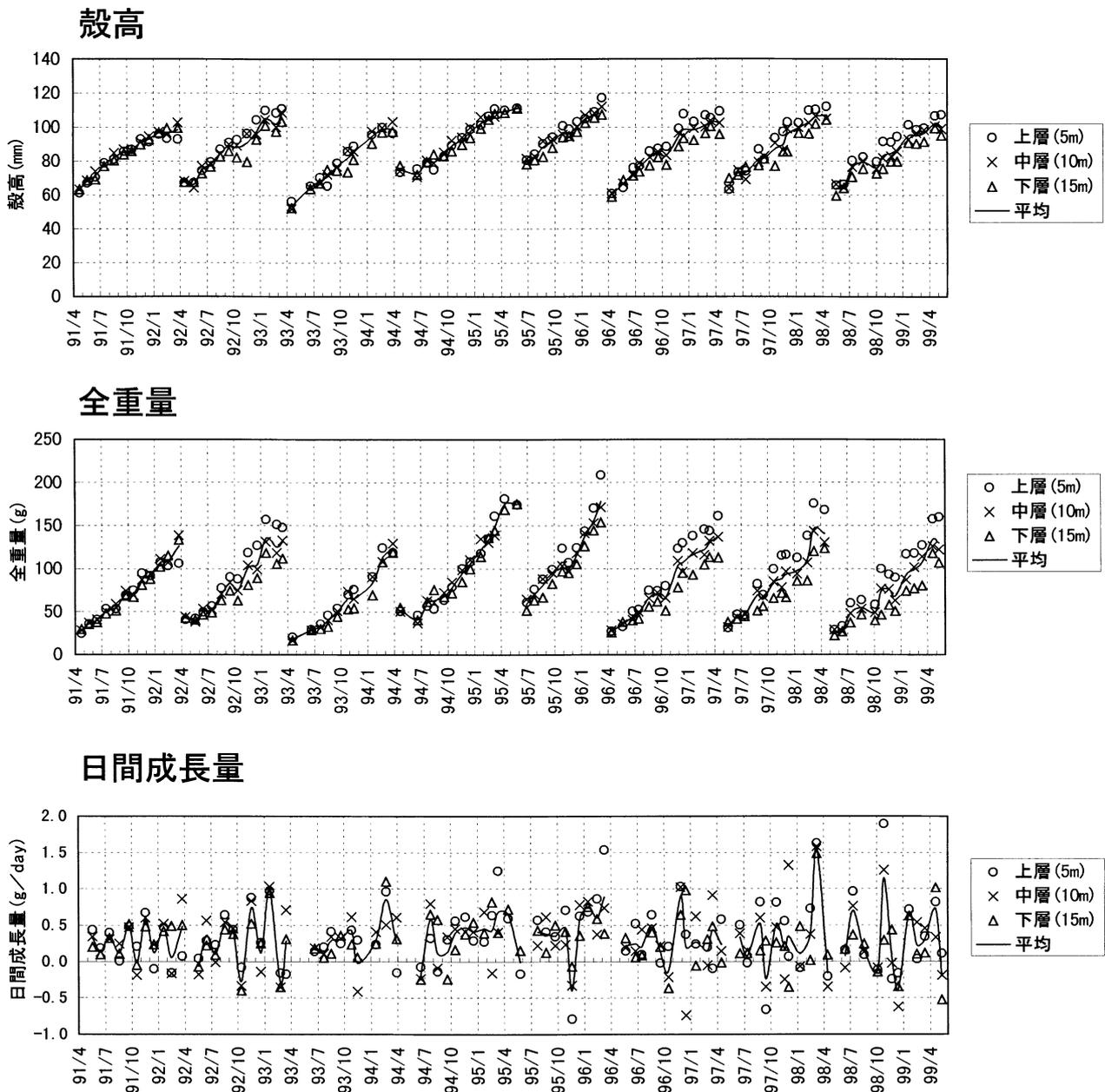


図5 8年間の、殻高、全重量、日間成長量の季節変化

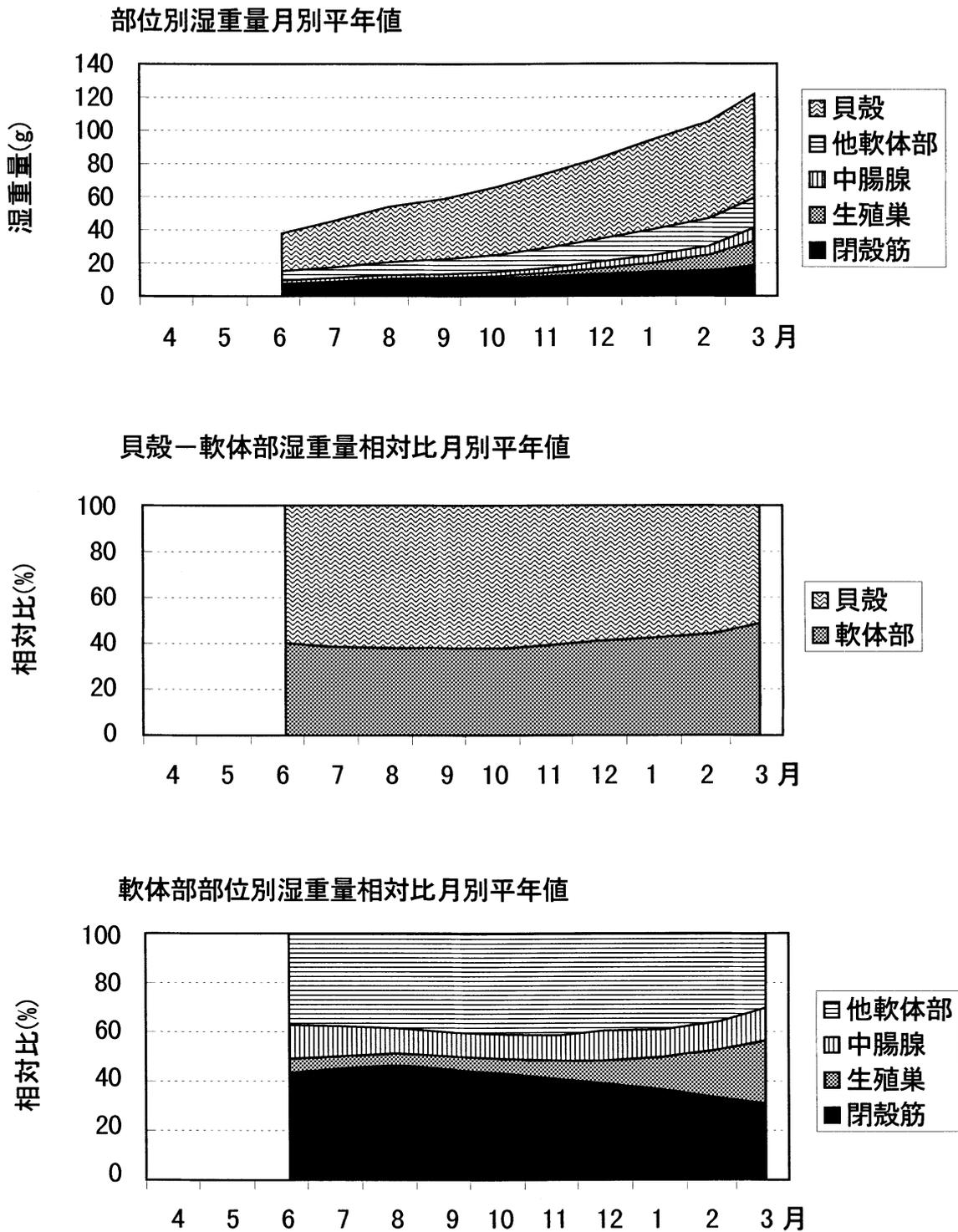


図6 8年間の月別平年値における，部位別湿重量，貝殻—軟体部湿重量相対比，軟体部部位別湿重量相対比の季節変化

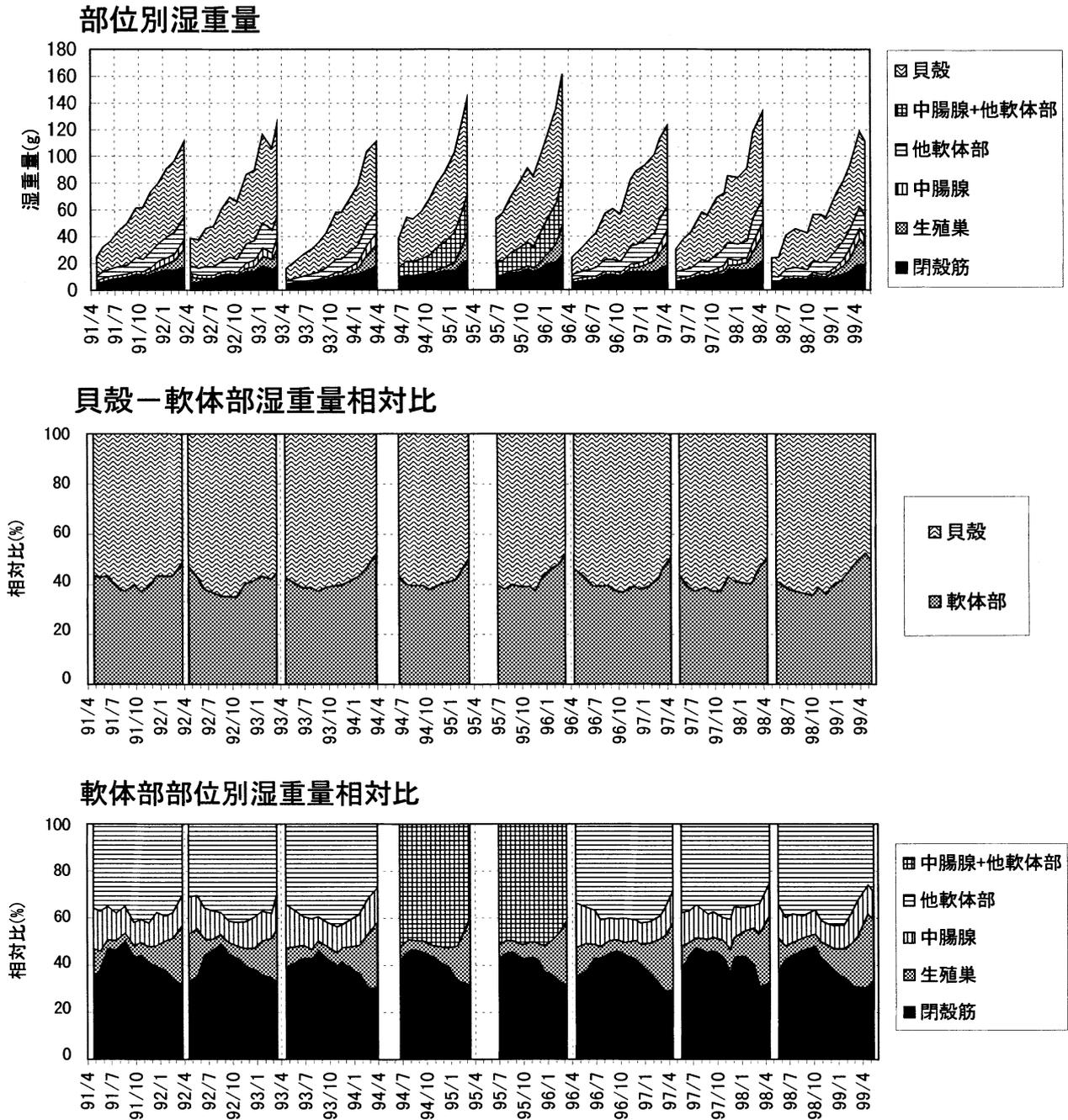


図7 8年間の、部位別湿重量、貝殻—軟体部湿重量相対比、軟体部部位別湿重量相対比の季節変化

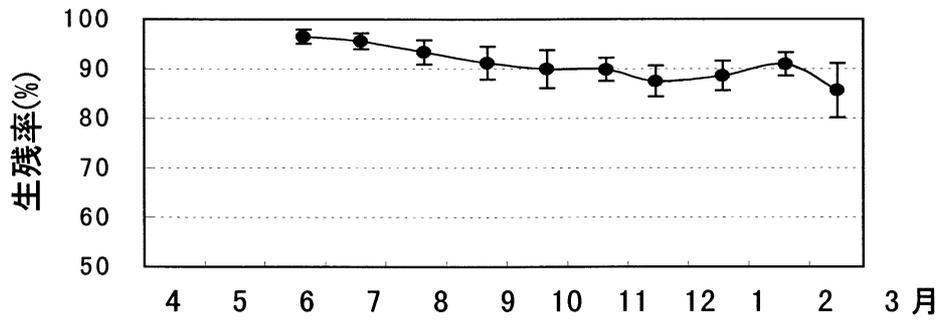


図8 8年間の月別平均値における生存率の季節変化  
(誤差範囲は標準偏差を示す)

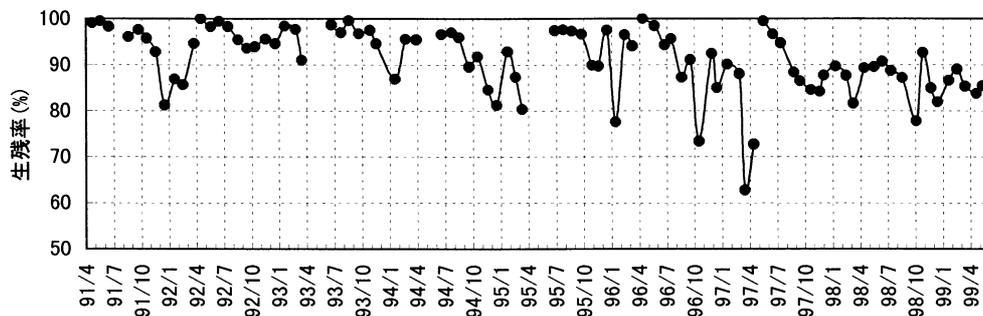


図9 8年間の、生存率の季節変化

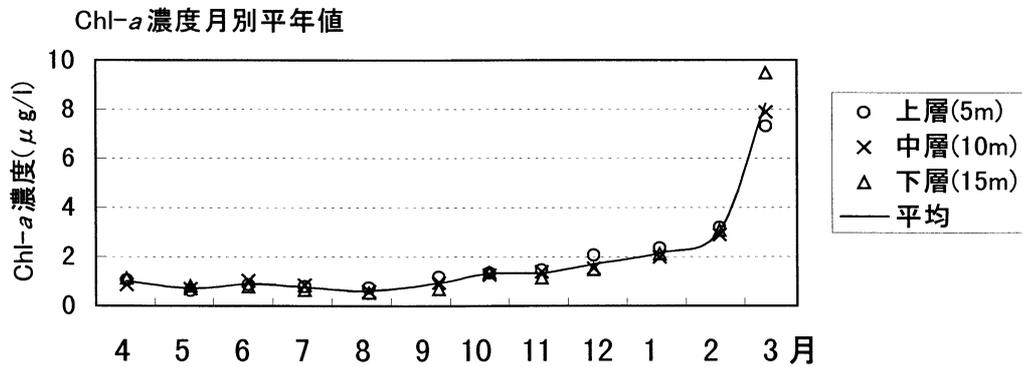
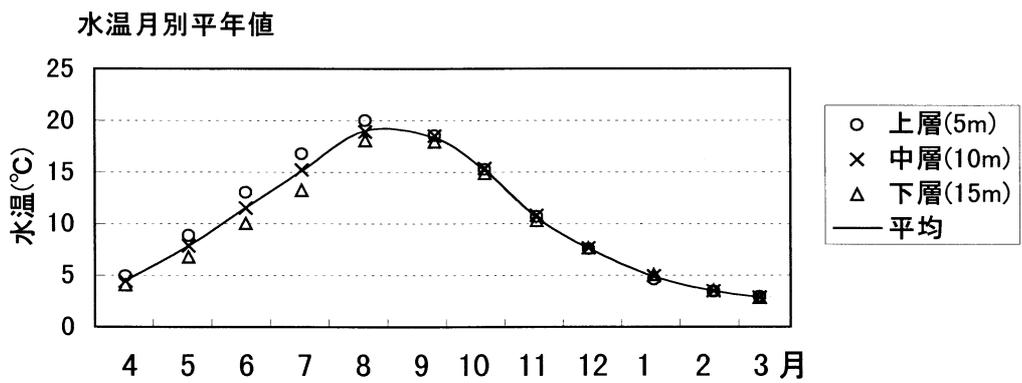


図10 8年間の月別平均値における、水温、Chl-a濃度の季節変化

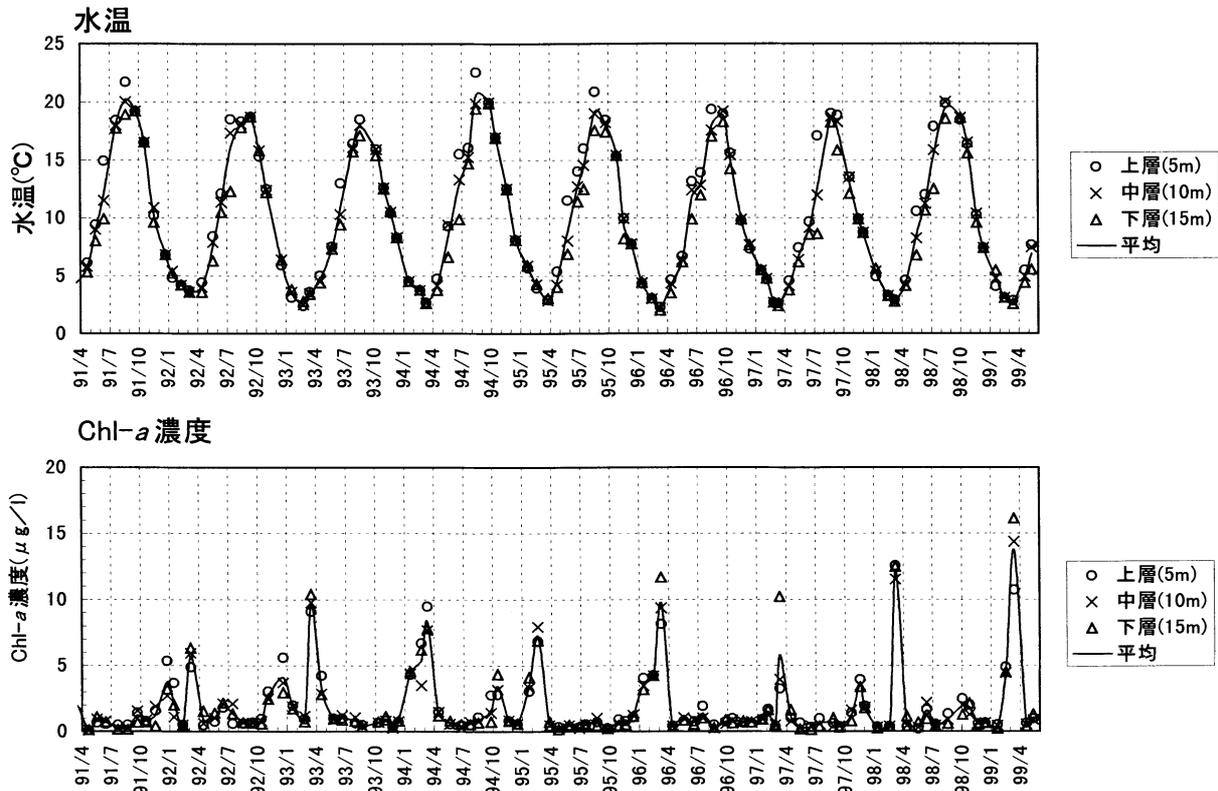


図11 8年間の、水温、Chl-a濃度の季節変化

表2 各従属変数に対する重回帰分析結果の概要

従属変数	独立変数	重回帰分析の概要			重回帰式の検定概要			
		標準偏回帰係数 (β)	偏回帰係数 (B)	危険率 (p)	寄与率 (R <sup>2</sup> )	自由度調整済寄与率 (R <sup>2</sup> )	危険率 (p)	推定値 標準誤差
6月～翌年3月の殻高増長	STs	-0.526	-0.007	0.079	0.919	0.811	0.055	1.163
	STw	0.436	0.017	0.090				
	SCs	0.567	0.022	0.063				
	SCw	0.705	0.018	0.026*				
	切片		33.634	0.021				
6月～翌年3月の全重量増重	Twi	0.797	1.115	0.020*	0.840	0.720	0.045*	7.478
	STw	0.596	0.125	0.048*				
	SCw	0.448	0.059	0.093				
	切片		-20.820	0.476				
	TWi	0.874	0.472	0.007**				
6月～翌年3月の貝殻増重	SVi	0.259	0.502	0.068	0.992	0.973	0.019*	0.901
	STs	0.390	0.010	0.034*				
	STw	0.847	0.068	0.008**				
	SCw	0.346	0.018	0.033*				
	切片		-88.657	0.031				
6月～翌年3月の軟体部増重	TWi	0.529	0.525	0.047*	0.865	0.764	0.032*	4.861
	SCs	-0.342	-0.050	0.141				
	SCw	0.711	0.066	0.020*				
	切片		13.273	0.321				
	TWi	0.545	0.174	0.037*				
6月～翌年3月の閉殻筋増重	STw	0.157	0.007	0.383	0.939	0.859	0.036*	1.209
	SCs	-0.213	-0.010	0.247				
	SCw	0.816	0.025	0.011*				
	切片		-3.534	0.527				
	TWi	0.536	0.229	0.112				
6月～翌年3月の生殖巣増重	SCw	0.679	0.027	0.059	0.624	0.474	0.087	3.124
	切片		-2.748	0.684				
	TWi	0.615	0.160	0.000**				
	STw	0.220	0.009	0.010**				
	SCs	-0.451	-0.017	0.001**				
中腸腺および他軟体部増重	SCw	0.627	0.015	0.000**	0.996	0.992	0.001**	0.238
	切片		6.859	0.006				
	SVi	0.361	0.575	0.059				
	STs	-0.474	-0.010	0.048*				
	STw	-0.571	-0.038	0.026*				
12月～翌年3月の平均生残率	SCs	0.404	0.026	0.057	0.987	0.953	0.033*	0.973
	SCw	0.623	0.026	0.019*				
	切片		63.196	0.072				

\* : 有意である (p < 0.05)  
 \*\* : 高度に有意である (p < 0.01)

### 3. ホタテガイの成長と生残に影響を及ぼす漁場環境要因の検討

以下、結果は、各従属変数について、重回帰分析結果の概要を表2、実測値と計算値のグラフを図12に示し説明する。なお、重回帰分析の概要の表において、従属変数が $Y$ 、独立変数が $X_1, X_2, \dots, X_i$ であり、これらに対応する偏回帰係数が $B_1, B_2, \dots, B_i$ 、切片が $B_0$ のとき、求められた重回帰式は、次の通りとなる。

$$Y = B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_i X_i + B_0$$

#### (1) 殻高，全重量の成長

##### (a) 殻高

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.055 > 0.05$  であり、有意ではなかった。しかし、予測値と観測値の散布図では比較的良好な当てはまりを示し、精度の指標となる自由度調整済寄与率  $R^2$  は0.81と高い値を示していることから、試料数が8と少ないために、有意な重回帰式とならなかったものと推察される。

##### (b) 全重量

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.045 < 0.05$  であり、有意であった。全重量の増重は、6月の全重量と有意な正の関係が ( $p < 0.05$ )、12月～翌年3月の積算水温および12月～翌年3月の積算Chl-a濃度と正の関係がそれぞれ認められた。以上から、全重量の増重は、本養成開始時の全重量が大きく、冬季～春季の水温が高く、冬季～春季のChl-a濃度が高いときに大きくなる傾向があることが明らかとなった。

#### (2) 部位別重量の成長

##### (a) 貝殻

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.019 < 0.05$  であり、有意であった。貝殻の増重は、6月の全重量および12月～翌年3月の積算水温と高度に有意な正の関係が ( $p < 0.01$ )、6～12月の積算水温および12月～翌年3月の積算Chl-a濃度と有意な正の関係が ( $p < 0.05$ )、6月の生残率とは正の関係がそれぞれ認められた。以上から、貝殻の増重は、本養成開始時の全重量と生残率が大きく、周年にわたり水温が高く、冬季～春季のChl-a濃度が高いときに大きくなる傾向があることが明らかとなった。

##### (b) 軟体部全体

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.032 < 0.05$  であり、有意であった。軟体部全体の増重は、6月の全重量および12月～翌年3月の積算Chl-a濃度と有意な正の関係が ( $p < 0.05$ )、6～12月の積算Chl-a濃度と負の関係がそれぞれ認められた。以上から、軟体部全体の増重は、本養成開始時の全重量が大きく、夏季～秋季のChl-a濃度が

低く、冬季～春季のChl-a濃度が高いと大きくなる傾向があることが明らかとなった。

##### (c) 閉殻筋

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.036 < 0.05$  であり、有意であった。閉殻筋の増重は、6月の全重量および12月～翌年3月の積算Chl-a濃度と有意な正の関係が ( $p < 0.05$ )、12月～翌年3月の積算水温と正の関係が、6～12月の積算Chl-a濃度と負の関係がそれぞれ認められた。以上から、閉殻筋の増重は、本養成開始時の全重量が大きく、冬季の水温が高く、夏季～秋季のChl-a濃度が低く、冬季～春季のChl-a濃度が高いと大きくなる傾向があることが明らかとなった。

##### (d) 生殖巣

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.087 > 0.05$  であり、有意ではなかった。生殖巣重量は、他の部位と比較して、漁場環境要因に影響されずに周期的な季節変化を繰り返す傾向がみられた。

##### (e) 中腸腺および他軟体部

中腸腺と他軟体部をまとめて測定した期間(1994年6月から1996年3月)があるため、それぞれの部位の成長について重回帰分析を行うことはできない。そこで、中腸腺と他軟体部の合計重量について、本養成期間中の増重を従属変数とする重回帰分析を行った。求められた重回帰式は危険率  $p = 0.001 < 0.01$  であり、高度に有意であった。中腸腺と他軟体部の合計の増重は、6月の全重量、12月～翌年3月の積算水温、12月～翌年3月の積算Chl-a濃度の3要因それぞれと高度に有意な正の関係が ( $p < 0.01$ )、6～12月の積算Chl-a濃度とは高度に有意な負の関係が認められた ( $p < 0.01$ )。以上から、中腸腺と他軟体部の合計の増重は、閉殻筋の場合とほぼ同様に、本養成開始時の全重量が大きく、冬季の水温が高く、夏季～秋季のChl-a濃度が低く、冬季～春季のChl-a濃度が高いと大きくなる傾向があることが明らかとなった。

##### (3) 生残率

求められた重回帰式は危険率  $p = 0.033 < 0.05$  であり、有意であった。生残率は、12月～翌年3月の積算Chl-a濃度と有意な正の関係が ( $p < 0.05$ )、6～12月の積算水温および12月～翌年3月の積算水温と有意な負の関係が ( $p < 0.05$ )、6～12月の積算Chl-a濃度および6月の生残率と正の関係がそれぞれ認められた。以上から、生残率は、本養成開始時の生残率が高く、周年にわたり水温が低く、周年にわたりChl-a濃度が高いと大きくなる傾向があることが明らかとなった。

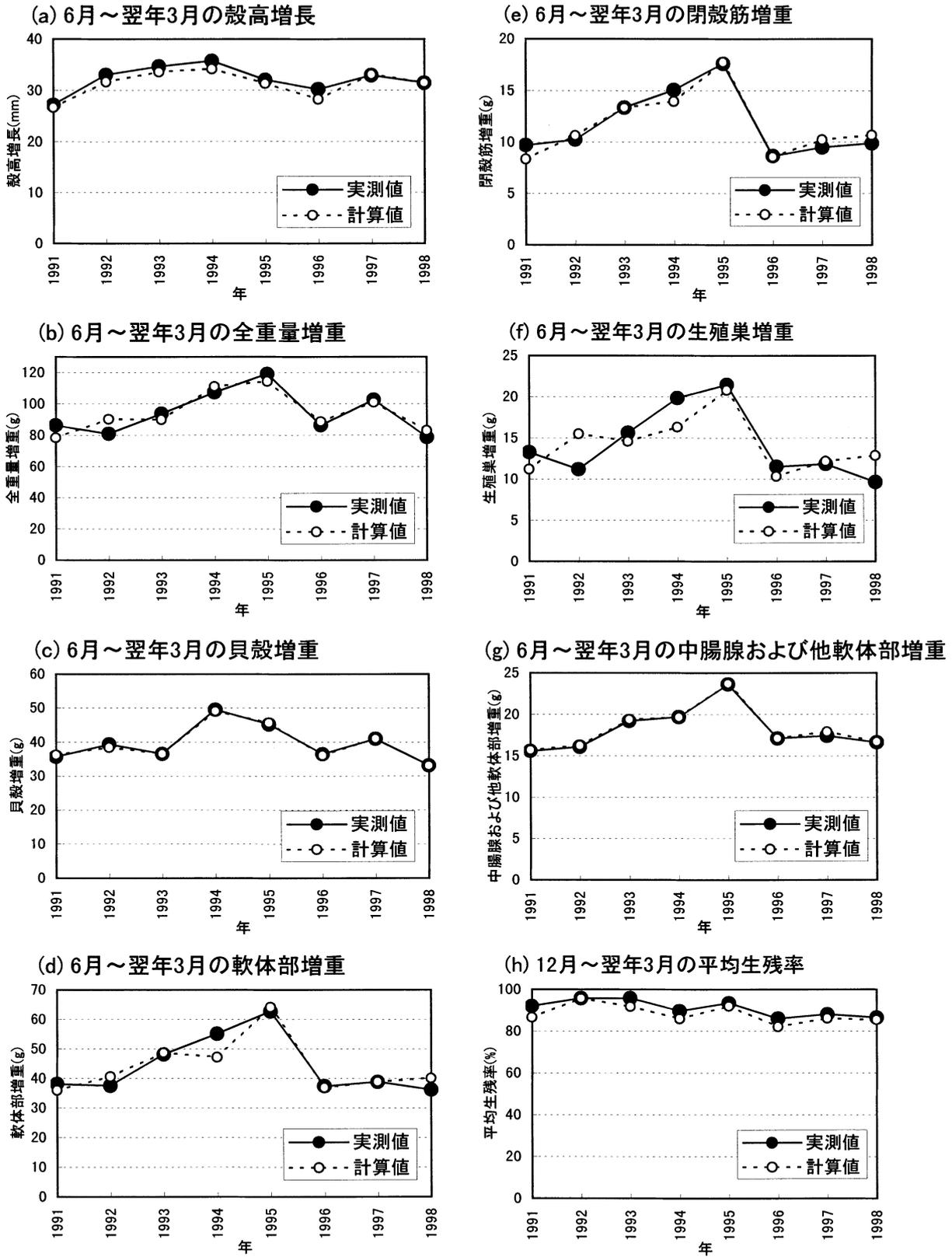


図12 各従属変数の実測値と、重回帰式による計算値の比較

## 考察

重回帰分析を用いて、ホタテガイの成長と生残に影響を及ぼす漁場環境要因について検討した結果、求められた重回帰式は、殻長の増長と生殖巣の増重を除き有意であった(表3)。従って、本養成期間における養殖ホタテガイの成長、生残は、本養成開始直後(6月)の全重量および生残率とその後の環境要因に強く影響を受けることが明らかとなった。成長に対して正の関係が強い要因は、本養成開始時の全重量と、冬季~春季の水温およびChl-a濃度であった。このことは、冬季~春季に比較的高水温であり、3月の珪藻ブルームの規模が大きい場合に、ホタテガイは活発に摂餌し、成長することを示している。一方、夏季~秋季の水温は、貝殻の増重に対しては正の関係、殻高の増長に対しては負の関係がそれぞれ認められることから、夏季~秋季の水温が高いと、貝殻は大きさを増さずに厚みを増す傾向があることが明らかとなった。また、本研究において殻高の成長が最も停滞した時期は8~10月であり、サロマ湖産天然ホタテガイでも、夏季に殻高の成長が停滞し、輪紋が形成されることから<sup>3)</sup>、噴火湾では、本養成時の輪紋形成は夏季に起こると推察された。一方、夏季~秋季のChl-a濃度は、軟体部の増重に対して負の関係があった。しかし、殻高の増長に対しては正の関係が認められることから、夏季の餌料は貝殻の形成に優先的に消費されるのかも知れない。秋季の噴火湾は一次生産量が年間で最も低い時期であり<sup>4)</sup>、陸奥湾産ホタテガイの呼吸率は、本研究における最高水温である23℃で、最も大きくなることが知られている<sup>5)</sup>。このため、本研究における分析結果は、夏季~秋季の餌料環境が良くても、貝殻の形成や呼吸に優先的に消費されるために、結果として軟体部の成長には結びつかないことを示すのかも知れない。

重回帰式が有意ではなかった2つの従属変数のうち、殻長の増長は危険率pが低い値を示しており、調査を継続して試料数が増加すれば、有意な重回帰式を得られる可能性がある(表3)。他方、生殖巣の軟体部全体に対する湿重量の相対比は、周期的変化を繰り返しており、ばらつきは小さい。従って、生殖巣の増重を推定するためには、時系列分析等の手法を用いる必要があると考えられる。

一方、ホタテガイの生残と漁場環境要因の関係をみると、求められた重回帰式は有意であり、養殖ホタテガイの生残は、本養成開始直後の生残率とその後の環境要因に強く影響を受けることが明らかとなった(表3)。生残に対して正の関係が強い要因は、期間を通じてのChl-a濃度と本養成開始時の生残率であり、負の関係が強い要因は期間を通じての水温であった。このことは、周年にわたり低水温かつ餌料が豊富であると、ホタテガイの生残は向上することを示している。しかし、高水温、餌料不足といった悪条件が、どういうメカニズムでホタテガイを死に至らしめるのかということは、良くわからない。ホタテガイは飼育実験下では餌料不足に対して高い耐性を持つが、高水温と重なると死亡率が高くなることが知られている<sup>6)</sup>。このため、ホタテガイの斃死は多くの場合、高水温と餌料不足が重なることで、まず生理活性の低下が起こり、次に、物理的(貝のぶつかり合い等)または化学的(極端な低塩分、低酸素等)ショック、あるいは病原性微生物等によって引き起こされると推察される。斃死発生の機序を解明し、これを防止するために、今後は、悪条件下で飼育したホタテガイについて、病理学的研究が行われる必要がある。

ところで、本研究における生残率の季節変化は、12月以降は、出荷の結果残った耳吊り連の、見かけ上の生残率を反映していると考えられる。生残率の月別平年値は12月まで緩やかに低下し、2月に一旦回復する現象が認められ

表3 独立変数の従属変数に対する標準偏回帰係数(寄与の程度)および有意性と、重回帰式の有意性

独立変数\従属変数	6月~翌年3月までの							12月~翌年3月の
	殻高増長	全重量増重	貝殻増重	軟体部増重	閉殻筋増重	生殖巣増重	中腸腺+他軟体部増重	平均生残率
6月の全重量(TW)		0.797*	0.874**	0.529*	0.545*	0.536	0.615**	
6月の生残率(SV)			0.259					0.361
6~12月の積算水温(STs)	-0.526		0.390*					-0.474*
12月~翌年3月の積算水温(STw)	0.436	0.596*	0.847**		0.157		0.220**	-0.571*
6~12月の積算Chl-a濃度(SCs)	0.567			-0.342	-0.213		-0.451**	0.404
12月~翌年3月の積算Chl-a濃度(SCw)	0.705*	0.448	0.346*	0.711*	0.816*	0.679	0.627**	0.623*
重回帰式の危険率(p値)	0.055	0.045*	0.019*	0.032*	0.036*	0.087	0.001**	0.033*
重回帰式の自由度調整済寄与率(R <sup>2</sup> )	0.811	0.720	0.973	0.764	0.859	0.474	0.992	0.953

た(図8)。これは、漁業者が、生残の悪い耳吊り連から先に出荷したため、結果として生残がよい耳吊り連が残ったためかも知れない。また、それぞれの年についてみると、生残率は同年の養成群内でも時期によるばらつきが大きかった。これは、個々の連におけるばらつきが大きいことに起因していると考えられるため、養殖施設全体を反映した生残率を算出するためには、複数連の耳吊りホタテガイについて生残を調べる必要があると考えられる。

本研究の結果、本養成開始直後(6月)に全重量を測定し、毎月水温とChl-a濃度を観測すれば、生物学的な機序はともかくとして、出荷時におけるホタテガイの成長と生残を大まかに推定できることが明らかとなった。また今回の結果は、湾奥部の八雲沿岸における結果であり、湾内の他漁場に即座に適用できるものではないかも知れない。しかし、他漁場においても、本養成開始直後(6月)と本養成終了時(翌年3月)に全重量を測定し、毎月水温とChl-a濃度を観測すれば、本研究の結果に多少の補正を加えて適用することが可能であると考えられる。

ところで、重回帰分析は本来、気象データ等、数十年単位のデータがある場合の線形、パラメトリックな解析手法である。本研究のデータ数は8年分と少ないため、従属変数によっては重回帰式が有意ではない場合があった。今回の結果は最終的な結論ではなく、さらに調査を継続して、信頼性の高い重回帰式に改められるべきものであろう。

本研究の結果は、12月以降の成長と生残は、Chl-a濃度に高度に依存することを示した。言い換えれば、その年のホタテガイの水揚量は、冬季～春季における餌料量に大きく影響を受けることになる。しかし、冬季～春季の漁場環境要因の観測は、気候の厳しい時期であるために、従来ほとんど行われてこなかった。最近では水温、塩分、Chl-a濃度を同時に計測できる機器(蛍光装置付きCTD)も開発されており、将来は、できるだけ多くの地先について同様の調査を簡便に実施して、漁家経営および市場価格の安定のために、ホタテガイの水揚量の予測、さらにはホタテガイ製品の生産量調整を行うようなシステムの構築が望まれる。

なお今回の調査の中では、ホタテガイの成長と生残を推定するにあたり、付着生物量との関係を考慮しなかった。しかし、既往の調査結果<sup>2), 7)</sup>は、養殖ホタテガイの付着生物の優占種はイガイ類であり、付着生物全体では本養成中の1月にはホタテガイと湿重量においてほぼ同量に達することを明らかにしている。これら付着生物のほとんどはホタテガイ同様に懸濁有機物食者であるため、餌料をめぐる競争が起こると考えられる。また、付着生物の種組成は年変動が著しく、餌料の競争の程度も変動すると考えられる。従って、成長と生残をより高精

度に推定するためには、付着生物量と種組成を、漁場環境要因として新たに考慮する必要がある。

さらに本研究では、実際に養成されるホタテガイの現存量が年変動することによる、成長と生残のばらつきについて考慮していない。しかし、ホタテガイの現存量は、種苗数が十分な年には多く、不足した年には少なめであるなど、年変動があると推察される。そして、成長と生残の状況は養成時の個体密度に依存するため、現存量が多いときには悪く、少ないときに良い傾向があると推察される。従って、実際のホタテガイの現存量を把握することができれば、本研究の結果に適切な補正を加え、推定精度を向上させることができると考えられる。

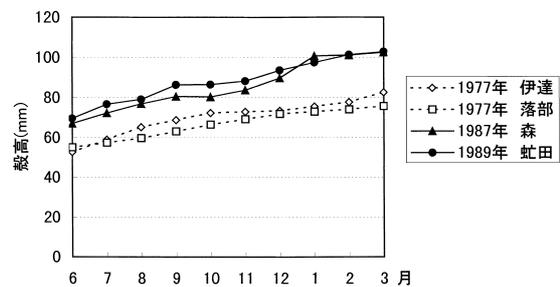


図13 過去の養殖許容量調査におけるホタテガイの殻高の季節変化

おわりに、最近20年におけるホタテガイ養殖の変遷と今回の結果から、養殖形態の改善余地について考えてみる。過去の養殖許容量調査<sup>8), 9), 10)</sup>における耳吊り本養成ホタテガイの殻高の季節変化を図13に示す。個々の調査で漁場は異なるものの、1977年養成群では翌年3月の殻高が80mm前後と著しく小型であるのに対し、1987, 1989年養成群では翌年3月の殻高が100mmを超え、本研究の結果とほぼ同様である。このことは、1977年の大量斃死<sup>11)</sup>以降、養殖技術が向上し、貝の大型化が進んだことを示している。しかし最近、市場単価の低迷に加え、貝の小型化や軟体部歩留の低下といった問題が表面化し、限られた養殖漁場の中で安定した漁獲収入をあげることの難しさが再認識されつつある。このような状態が悪化すれば、貝の小型化を、やむを得ず個体数の増加で補うような生産体制が慢性化するかもしれない。一般に小型の個体は、大型の個体と比較して摂餌に対する代謝の割合が大きいことが知られている<sup>12), 13)</sup>。つまり、不十分な餌料環境下では、貝の現存量が同じならば、小型で個体数が多い場合に先に餌料不足となると考えられる。従って、噴火湾では現在、本養成貝 $7.7 \times 10^6$ 個体が養殖許容量とされているが<sup>9), 10)</sup>、この数を大幅に超えて、小型の個体を養成するような事態は回避すべきである。つまり、噴火湾の一次生産をホタテガイに対して効率的に転換するためには、水揚量10万トンを維持しつつ、大型の貝を個体数を少なめにして養成することが重要である。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり、統計処理について貴重なご助言を頂いた北海道大学水産学部助手の松石隆博士に謹んで感謝の意を表します。ホタテガイ測定試料の提供と漁場環境調査に多大なご協力を頂いた第51福栄丸船主菊地照雄氏と第28清徳丸船主工東雄二氏に御礼申し上げますとともに、八雲町漁業協同組合に対して深謝致します。

## 要約

1. 噴火湾八雲沿岸で、耳吊り本養成ホタテガイの成長、生残を、8年間にわたりモニタリングし、重回帰分析を用いて、漁場環境要因との関係を考察した。
  2. ホタテガイの成長量は、本養成開始直後の全重量が大きく、冬季～春季に餌料が豊富で水温が高いと大きくなる傾向が認められた。
  3. 本養成中の生残率は、垂下養成開始直後の生残率が大きく、周年にわたり水温が低く餌料が豊富であると、高くなる傾向が認められた。
  4. 出荷時の成長と生残は、本養成開始直後（6月）に全重量と生残率を測定し、毎月1回、水温とChl-a濃度を観測すれば、重回帰式によって大まかに推定できることが明らかとなった。
  5. 成長と生残の推定精度を向上させるためには、付着生物量と、本湾で実際に養成されているホタテガイの現存量を把握する必要があると考えられた。
- 6) 小倉大二郎, 相坂幸二, 川村要, 濱田勝雄, 安田勝, 吹越弘光, 川口一彦, 逢坂健幸, 佐々木千恵子: ホタテガイ稚貝の環境耐性試験. 青森県水産増殖センター事業報告. 25, 171-176 (1996)
  - 7) 蔵田護, 西田芳則, 水島敏博: 噴火湾における養殖ホタテガイの付着生物. 北水試研報. 49, 15 - 22 (1996)
  - 8) 北海道水産資源技術開発協会: 噴火湾におけるホタテガイ養殖許容量について(要約編). 18pp. (1978)
  - 9) 噴火湾渡島海区第1号第1種区画漁業権管理委員会: 噴火湾(渡島)海域におけるホタテ貝養殖許容量について. 23pp. (1988)
  - 10) 噴火湾胆振海区漁場環境調査協議会: 噴火湾胆振海区漁場環境調査報告書(1. ホタテガイ養殖許容量). 25pp. (1990)
  - 11) 西浜雄二: 噴火湾とホタテガイ養殖. 噴火湾西部ほたて漁業総合対策協議会, 噴火湾東部漁業振興対策協議会. 147pp. (1982)
  - 12) Odum, E. P. (水野寿彦訳): 生態学. 3 - エネルギーの流れと現存量との関係. 東京. 築地書館. 224pp. (1967)
  - 13) 高橋正征, 古谷研, 石丸隆(監訳): 生物海洋学. 4. ベントス. 第6章 底棲生物群集. 東京. 東海大学出版会. 131pp. (1996)

## 文献

- 1) 大谷清隆, 木戸和男: 噴火湾の海洋構造. 北大水産彙報. 31(1), 84 - 114 (1980)
- 2) 北海道立函館水産試験場, 同室蘭支場: ホタテガイ養殖漁場の合理的管理技術に関する研究(平成2~4年度報告書). 水産業関係地域重要新技術開発促進事業報告書. 37pp. (1994)
- 3) 丸邦義, 小原昭雄: ホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (Jay)の生態に関する研究, 1. 成長と年輪形成について. 北水試研報. 7, 72-83 (1967)
- 4) 西浜雄二, 川真田憲治: 噴火湾の一次生産. 水産海洋研究会報. 34, 71-74 (1979)
- 5) Fuji, A., Hashizume, M.: Energy budget for Japanese Common Scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay), in Mutsu Bay. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. . 25(1), 7-19 (1974)

## 試験研究業績

< 外部刊行物への発表 平成11年度分 >

### 海洋環境部門

Life cycle and growth rate of the chaetognath *Parasagitta elegans* in the Northern Pacific Ocean.: 小島守之 (中央水試) Plankton Biology and Ecology 46 (2) 1999

石狩湾のネット動物プランクトン現存量の季節変動と年変動: 小島守之, 平野和夫 (中央水試) 1999年日本海洋学会秋季大会講演要旨集 240 1999.9

宗谷海峡付近での高密度水の形成: 中多章文, 田中伊織 (中央水試), 八木宏樹 (小樽商大), カンタコフ, サマトフ (SIFO) 1999年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 245 1999.4

北海道西岸日本海における係留流速観測第1報: 中多章文, 安永倫明, 田中伊織 (中央水試) 1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 52 1999.9

日口共同観測で得られた宗谷海峡を通過する海流の流量: 田中伊織, 中多章文 (中央水試), 八木宏樹 (小樽商大), サマトフ, カンタコフ (SIFO) 1999年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 116 1999.4

宗谷暖流の流量について: 田中伊織, 中多章文 (中央水試) 1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 46 1999.9

北海道西岸における等密度面上の塩分分布の季節変化: 中多章文, 田中伊織 (中央水試), 渡辺達郎 (日水研) 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター研究報告 24巻 34 1999.4

北海道西岸における年周期変動: 田中伊織 (中央水試) 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター研究報告 24巻 34 1999.4

宗谷海峡日本海側海域の流量と稚内 - 網走の水位差の関係: 田中伊織 (中央水試) 対馬・津軽・宗谷海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会 研究集会報告 1-8 九州大学応用力学研究所 1999.12

北海道西岸日本海における係留観測結果: 中多章文, 安永倫明, 田中伊織 (中央水試) 対馬・津軽・宗谷海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会 研究集会報告 9-11 九州大学応用力学研究所 1999.12

余市前浜水温の長期変化: 田中伊織 (中央水試) 日本海水産海洋研究推進レポート1999 46-55 日本海区水産研究所 日本海海洋環境部 2000.3

宗谷暖流の残差流量を推定する方法: 田中伊織 (中央水試) 第15回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集 149-152 2000.2

北海道周辺の海(1)日本海: 田中伊織 (中央水試) 育てる漁業 320 3-8 2000.1

北海道噴火湾産 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす温度と光環境の影響: 宮園 章 (中央水試) 1999年度日本海洋学会春季大会講演要旨集 194 1999.4

珪藻ブルーム後に出現する渦鞭毛藻の増殖と環境要因: 宮園 章 (中央水試) 1999年度日本海洋学会秋季大会講演

要旨集 306 1999.9

ニュートラルネットワークによる麻痺性貝毒プランクトンの増殖予測：嶋田 宏（函館水試），小松輝久（東大海洋研）平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 46 1999.4

噴火湾における植物プランクトン組成の季節変化：嶋田 宏（函館水試）1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 304 1999.9

## 資源管理部門

二十一世紀の漁業を予感させる「檜山すけとうだら延縄漁業協議会」の資源管理：佐野満廣（中央水試）隔月刊くみあい漁協 No.83 12-16 2000.1

標識放流によるハタハタの産卵場への回帰性の検討：上田吉幸（中央水試）平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 69 1999.4

石狩湾内において標識放流されたソウハチの移動：藤岡 崇（中央水試）平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 89 1999.4

Relationship between birth-date and growth of herring larvae / juveniles in the Japan Sea：石田良太郎，佐々木正義，高柳志朗，吉田英雄（中央水試）18th Wakefield Fisheries Symposium. Herring 2000. An international symposium on expectations for a new Millennium. Abstracts. 72 2000.3

石狩湾ニシン産卵群の来遊時期と大きさ：高柳志朗，佐々木正義，石田良太郎（中央水試）平成11年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 42 1999.9

ニシンの生態と資源～再び群来を願って：高柳志朗（中央水試）第10回おたるマリンセミナー講演要旨 4 2000.2

日本海各地の最近のニシン漁獲動向：高柳志朗（中央水試）水産土木 No.76 6-7 1999.7

ニシンの資源変動について：高柳志朗（中央水試）水産土木 No.77 3-7 1999.10

ニシンの海況予測について：高柳志朗（中央水試）水産土木 No.78 6-7 2000.1

島牧海域における漁業と漁場環境：西内修一（中央水試）育てる漁業 No.315 3-6 1999.8

北海道のエビの生態と漁業：水島敏博（中央水試）育てる漁業 No.318 4-9 1999.11

スルメイカ肝臓中重金属濃度の海域比較：鹿又一良（函館水試）他2名 イカ類資源研究会議報告（北海道区水産研究所）113- 1999.11

Optimal sampling design for estimating age composition of marbled sole, *Pleuronectes yokohamae*, Hokkaido, Japan：石野健吾（函館水試）Statistics in Ecology and Environmental Monitoring 1999.12

道東太平洋およびその周辺海域におけるカタクチイワシの成熟：三原行雄（函館水試室蘭支場）水産海洋研究 62(1) 10-17 2000.2

- 根室海峡のスルメイカ資源について：佐藤 充（釧路水試） 1999年水産海洋学会研究発表講演要旨集 1999.9
- 1990～1998年の道東沖におけるスルメイカの成熟について：佐藤 充（釧路水試） イカ類資源研究会議報告（平成10年度） 120-123 1999
- ハナサキガニ人工種苗の放流・再捕調査：筒井大輔 外3名（釧路水試） 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 24 1999.4
- ハナサキガニ人工種苗の放流・再捕調査：筒井大輔 外1名（釧路水試） 育てる漁業 317 4-9 1999
- 日本水産学会 漁業懇談会「サンマをめぐる技術展望」漁具と漁法の現状と展望：本間隆之（釧路水試）日本水産学会誌 第66巻第2号 307 2000.3
- 甲殻類研究における「飼育」という技術：佐々木 潤（網走水試）日本甲殻類学会シンポジウム「飼育生物学」講演要旨 37 1999.10
- アブラガニの成熟サイズ：佐々木 潤（網走水試）日本甲殻類学会講演要旨 37 1999.11
- 甲殻類における成長モデル：佐々木 潤（網走水試）北日本ベントス談話会講演要旨 4 1999.12
- 計量魚探による日本海スケトウダラ調査：三宅博哉（稚内水試）日本水産学会春季大会講演要旨集 12 1999.4
- 鰭脚類の生態的・進化的特徴：和田昭彦（稚内水試）トドの回遊生態と保全（大泰司紀之・和田一雄編）1-12 東海大出版会 東京 1999.5
- 鰭脚類の配偶形態：和田昭彦（稚内水試）トドの回遊生態と保全（大泰司紀之・和田一雄編）315-322 1999.5
- 北海道えりも岬以西太平洋におけるソウハチ成魚の分布と移動：田中伸幸（稚内水試）水産海洋研究 63(2) 55-60 1999.5
- Thermo regulatory and territorial behavior of northern fur seal：和田昭彦（稚内水試），水野文子，和田一雄 日本哺乳類学会1999年度大会講演要旨集 160 1999.10
- Activity budget of male northern fur seal *Callorhinus ursinus* breeding on Tyuleny and Bering islands：和田昭彦（稚内水試）13th Bienial Marine Mammal Conference 195 1999.12
- 懸垂した活スルメイカのスプリットビーム法によるTS測定：安部幸樹，中田 淳（稚内水試），飯田浩二，向井徹 日本水産学会道支部例会要旨集 3 1999.12
- 魚一尾の資源価値：星野 昇（稚内水試）漁協（くみあい）1月号 Vol.83 2000.1

### 資源増殖部門

- マツカワの性統御法の現状と展望：森 立成（中央水試）月刊海洋 Vol.31 No.5 1999

シロサケ発眼期の胚および稚仔魚からのRT-PCRによるIHNウイルス核酸の検出：鈴木邦夫（中央水試），坂井勝信ら 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 711 1999.4

聞き取り及び市場調査から推定された寿都町におけるクロソイの分布・移動：佐々木正義（中央水試） 育てる漁業 No.316 1999.9

寿都町におけるクロソイの分布・移動：佐々木正義（中央水試），塩川文康（後志南部水指） 平成11年度日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 120 1999.12

Distribution and Stmack Contents of Herring Juveniles on the West Coast of Hokkaido,Japan : 佐々木正義，石田良太郎，高柳志朗（中央水試） 18th Lowell Wakefield Fisheries Symposium Herring 2000 abstracts 71 2000.3

北海道南西部日本海の磯焼け地帯でホソメコンブ群落が持続するための条件：川井唯史，金田友紀，桑原久実（中央水試） 平成11年度日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 204 1999.12

北海道南西部日本海の磯焼け地帯でホソメコンブ群落が持続するための条件：川井唯史，金田友紀，桑原久実（中央水試） 平成11年度日本水産工学会講演要旨集 9-10 1999.12

Study on the Spawnig Beds of the local population of Ishikari Bay Herring in the Sea of Japan ,Hokkaido Island,Northern Japan : 干川 裕，田嶋健一郎，川井唯史（中央水試），多田匡秀，瀧谷明朗，名畑進一（稚内水試） 18th Lowell Wakefield Fisheries Symposium Herring 2000 abstracts 73 2000.3

北海道における海産増養殖の課題と展望：宇藤 均（中央水試）日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 31 1999.12

利尻島の天然コンブ減産に関する海水温の影響：名畑進一（釧路水試），多田匡秀，瀧谷明朗（稚内水試） 藻類 48(1), 93 2000.3

道東海域におけるホタテガイの生態とその増養殖：丸 邦義（釧路水試） 水産業の再生戦略 49-70 2000.2

種分化のはざま - 地理的変異解析の空間統計学の応用：栗原康裕（網走水試） 日本貝類学会創立70周年シンポジウム，東京大学海洋研究所協同利用シンポジウム「軟体動物学の最近の動向と将来」講演要旨集 17 1999.5

寒海の事情 - 北海道におけるキタムラサキイガイとムラサキイガイ：栗原康裕（網走水試） 日本付着生物学会平成11年度シンポジウム「付着イガイ類の分類と分布」 - その実態にせまる - 講演要旨集 1 1999.10

イオンクロマトグラフィーによる巻貝（軟体動物）中テトラミンの分析及び調理による消長：新藤哲也，牛山博文（東京都立衛生研究所），齋藤寛（国立科学博物館），栗原康裕（網走水試），上原真一，安田和男（東京都立衛生研究所） 食品衛生学雑誌 41(1), 1-16 2000.2

エゾバイ科巻貝（軟体動物）の唾液腺，可食部及び内臓中のテトラミン含有量：新藤哲也，牛山博文（東京都立衛生研究所），観公子，齋藤寛（国立科学博物館），栗原康裕（網走水試），上原真一，安田和男（東京都立衛生研究所） 食品衛生学雑誌 41(1), 17-22 2000.2

Effects of temperature and salinity on spawning of the brackishi water vivlave *Corvicula japonica* in Lake Abashiri,Hokkaido,Japan : 馬場勝寿（網走水試），多田匡秀（稚内水試）他2名 Marine Ecology Progress Series 180 213-221 1999

網走湖におけるヤマトシジミ稚貝の成長（最尤法を用いた成長，環境モデルの応用）：馬場勝寿（網走水試） 日本ベントス学会第13回講演要旨集 16 1999.11

シジミ漁業の概要，網走湖・藻琴湖：馬場勝寿（網走水試） 日本のシジミ漁業 58-64 たたら書房 2000.2

Effect of temperature on gonadal sex determination in barfin flounder *Verasper moseri*. : 川真田憲治（稚内水試）他7名 Fish. Sci. 65(6) 884-887 1999.6

マツカワにおけるウイルス性神経壊死症の発生：川真田憲治（稚内水試）他4名 北大水産彙報 50(2) 101-113 1999.8

留萌周辺におけるニシンの産卵状況と海藻の分布：多田匡秀，瀧谷明朗（稚内水試） 日本水産学会北海道支部例会要旨集 11 1999.12

ニシンの耳石温度標識試験について：吉村圭三（稚内水試） 日本水産学会北海道支部例会要旨集 13 1999.12

積丹半島西岸域におけるコンブノネクイムシの出現状況：赤池章一（稚内水試）他1名 日本水産学会北海道支部例会要旨集 14 1999.12

マツカワの種苗生産と養殖の現状と将来：川真田憲治（稚内水試） 水産業の再生戦略 - 冷水域からの発信 111-120 恒星社厚生閣 171頁 東京 2000.2

積丹半島西岸域の藻場と磯焼けの現状 - 航空写真と潜水調査による解析 - 1986～1998年：赤池章一（稚内水試）原子力環境センター試験研究 6 1-57+119図 2000.3

水温操作によるマツカワ雌雄の性同調：萱場隆昭，杉本 卓，佐藤敦一（栽培センター）尾崎雄一，足立伸次，山内皓平（北大）平成11年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 52, 1999.9

Application of ultrasonography to reon-invasive sexing based on the sexual dimorphism in gonad of immature barfin flounder *Versper moseri* : 松原孝博（北水研），渡辺研一（日裁協），山野目健（岩手水産技術センター），萱場隆昭（栽培センター） Fisheries Science 62(2), 244-247, 1999

Efforts to Understand Stock Structure of Summer Flounder (*Paralichthys dentatus*) in North Carolina, USA : John Selden Burke (NOAA'S Beaufort Laboratory), James P. Monaghan Jr. (NC Division of Marine Fisheries), 横山信一（栽培センター） Bulletin of Natinal Research Institute of Aquaculture, Supplement 1, 1999

Occurrence Periods and Food Habits of Cresthead Flounder *Pleuronectes schrenki* Juveniles in Lake Notoro, Hokkaido : 高津哲也（北大），高木繁郎（㈱ニチレイ），横山信一（栽培センター），高橋豊美（北大）北海道大学水産学部研究彙報 50, 155-169 1999.12

深層水のウニ類の発生に及ぼす影響 : 松山恵二（栽培センター）市川敏弘（鹿児島大学），嶋田英作，福岡秀雄（麻布大学） 第三回海洋深層水利用研究会全国集会講演要旨集 9, 1999

餌料用微小藻類の効率的な大量培養技術の確立に関する研究 - 光源水温と培養濃度 - : 奥村裕弥，中島幹二，松山恵二（栽培センター）増田篤稔（ヤンマーディーゼル），高橋光男（ヤンマー造船），向板信一（松下電工），洞口公俊（松下電産），村上克介（大阪府立大学）平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 140, 1999.4

餌料用微小藻類の効率的大量培養技術の確立に関する研究 - 光質と培養濃度 - : 奥村裕弥, 中島幹二, 松山恵二 (栽培センター), 増田篤稔 (ヤンマーディーゼル), 高橋光男 (ヤンマー造船), 向板信一 (松下電工), 洞口公俊 (松下電産), 村上克介 (大阪府立大学) 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 140, 1999.4

餌料用微小藻類の効率的大量培養技術の確立に関する研究 - *Chaetoceros gracilis* の培養光源 - : 奥村裕弥, 中島幹二, 松山恵二 (栽培センター), 増田篤稔 (ヤンマーディーゼル), 高橋光男 (ヤンマー造船), 向板信一 (松下電工), 洞口公俊 (松下電産), 村上克介 (大阪府立大学) 平成11年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 61, 1999.9

## 加工利用部門

アメリカオオアカイカの資源とその利用 利用技術 - さきいかへの利用 : 蛸谷幸司 (中央水試) 平成11年度第1回日本水産学会水産利用懇話会 1999.9

アメリカオオアカイカの資源とその利用 利用技術 - さきいかへの利用 : 蛸谷幸司 (中央水試) 日本水産学会誌 66, No2, 312-313, 懇話会ニュース 2000.3

平成11年度日本水産学会秋季大会 シンポジウム 「水産物の健康性機能とその利用」 -2 組織化技術 : 北川雅彦 (中央水試) 平成11年度日本水産学会秋季大会 講演要旨集 169, 1999.9

水産物の健康性機能とその利用 - 組織化技術 : 北川雅彦 (中央水試) 日本水産学会誌 66, No1, 145-146, 2000.1

コンブ麺の保蔵性向上に関する研究 : 小玉裕幸, 信太茂春 (釧路水試) 第12回食品加工関係試験研究機関合同成果発表会要旨集 60-61 2000

エクストルーダを応用する組織化技術 : 信太茂春, 小玉裕幸 (釧路水試), 北川雅彦 (中央水試), 大石岩樹 (日高支庁), 船岡輝幸, 橋本健司, 佐々木政則 (釧路水試) 平成6~10年度水産物機能栄養マニュアル化基礎調査事業総括報告書 362-373 2000.1

ブナザケ臭の推定とマスクング : 西田 孟 (釧路水試), 太田智樹, 佐々木茂文 (道食加研) 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 172 1999.4

サケ鼻軟骨由来コンドロイチン硫酸の肥満予防効果について : 武田忠明, 千原弘之, 錦織孝史 (釧路水試), 辻田隆広, 住吉真帆, 韓 立坤, 奥田拓道 (愛媛大学) 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 179 1999.4

サケ鼻軟骨由来コンドロイチン硫酸の抗肥満作用とその機序 : 武田忠明, 錦織孝史 (釧路水試), 住吉真帆, 韓 立坤, 奥田拓道 (愛媛大学) 日本栄養・食糧学会誌 Vol.52 6 381-386 1999.12

秋サケ塩蔵品の短期熟成・流通技術の開発 : 千原裕之 (釧路水試) 平成9~11年度地域重要新技術開発促進事業地域特産水産物の高付加価値化流通技術の開発に関する総括報告書 1-28 2000.3

水産煮熟加工品の塩分均一化システムの開発 : 成田正直 (網走水試紋別支場) 第12回食品加工関係試験研究機関合同成果発表会講演要旨 2000.2

水産煮熟加工品の塩分均一化システムの開発 : 成田正直 (網走水試紋別支場) 第18回北海道水産加工セミナー講演要旨 2000.2

## 水産工学部門

キタムラサキウニの貧酸素耐性：櫻井 泉，桑原久実（中央水試） 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 79 1999.4

苫小牧における底性魚類群衆の食物構造：櫻井 泉（中央水試）他3名 平成11年度日本水産学会春季大会講演要旨集 58 1999.4

ホタテガイの貧酸素および低塩分耐性：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）他2名 平成11年度日本水産工学会学術講演論文集 165-168 1999.5

苫小牧におけるマクロベントス群集：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）他3名 平成11年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 19 1999.9

養殖ホタテガイの成長に適した流動条件に関する実験的研究：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）寒地技術論文集 15 381-384 1999.11

石狩湾振興周辺での底質分布とマクロベントス群集：櫻井 泉（中央水試）他5名 寒地技術論文集 15 390-394 1999.11

北海道沿岸におけるカレイ漁場のマクロベントス相：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）他3名 平成11年度日本水産学会北海道支部例会講演要旨集 15 1999.12

Movement and orientation of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis*(Jay)in response to water flow：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試） Aquaculture 181 269-279 2000.1

苫小牧沿岸域における底性魚類群集の食性とマクロベントス：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）他3名 日本水産学会誌 66（1） 33-43 2000.1

ホタテガイの貧酸素および低塩分耐性：櫻井 泉，瀬戸雅文（中央水試）他2名 水産増殖 48（1）137-138 2000.3

水産種苗の生息場形成条件に関する研究 - ヒラメ種苗の流動耐性と潜砂能力 -：瀬戸雅文（中央水試）他2名 海洋開発論文集 第15巻 135-139 1999.5

大型海藻のゾーネーションに関する研究 - アラメ・カジメの垂直分布と光環境 -：瀬戸雅文（中央水試）他3名 海洋開発論文集 第15巻 141-145 1999.5

ホタテガイの流れや波浪による移動時における流体力特性に関する研究：瀬戸雅文，櫻井 泉（中央水試）他2名 水産工学 第36巻1号 29-36 1999.7

冬期氷結期におけるアサリ漁場の形成条件について：瀬戸雅文（中央水試）他3名 寒地技術シンポジウム論文集 第15巻 385-389 1999.11

縦スリット型藻礁の設計条件に関する研究：瀬戸雅文（中央水試）他2名 海岸工学論文集 第46巻 946-950 1999.11

縦スリット型藻礁の水理特性：瀬戸雅文，櫻井 泉（中央水試）他2名 日本水産工学会学術講演論文集 第9巻 51-54 1999.5

北海道西岸海域の界面海洋構造に関する研究 - 水理模型実験による解析結果 - ：瀬戸雅文（中央水試）他5名 日本水産工学会学術講演論文集 第9巻 81-82 1999.5

北海道西岸海域の界面海洋構造に関する研究 - 現地調査結果 - ：瀬戸雅文（中央水試）他5名 日本水産工学会学術講演論文集 第9巻 83-84 1999.5

急勾配水底下における石材の所要安定重量算定法に関する研究：瀬戸雅文（中央水試）他1名 日本水産工学会学術講演論文集 第9巻 89-92 1999.5

沿岸海域における収束性残差流発生機構に関する研究：瀬戸雅文（中央水試）他1名 可視化情報 Vol.19, Suppl. No.2 195-196 1999.10

A Study of settlement location of fishery grounds with arificial fish reefs by inrernal waves.：瀬戸雅文(中央水試)他4名 Proceedings seventh international conferense on artifical, reefs and velated aquatic habitats, 505-515 1999.10

深層水湧昇利用に向けた内部波エネルギー調査について：瀬戸雅文（中央水試）他2名 第3回海洋深層水利用研究会全国集会要旨集8 1999.10

ホタテガイの波浪による移動条件 - 北海道鶴川沖漁場への適用 - ：瀬戸雅文，櫻井 泉（中央水試）他2名 平成11年度日本水産工学会春季大会要旨集 140 1999.4

波浪によるウガノモク幼胚及び成体の基質付着限界：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 日本水産工学会学術講演会論文集 7-8 1999.5

北海道岩内港西側沖の転石に広がるホソメコンブ群落の特性：桑原久実，金田友紀（中央水試）他2名 日本水産工学会学術講演会論文集 11-12 1999.5

北海道美谷海域の沿整施設におけるホソメコンブ群落の形成条件：桑原久実，川井唯史（中央水試） 日本水産工学会学術講演会論文集 13-14 1999.5

北海道磯焼け地帯における囲い礁による藻場の形成条件：桑原久実，金田友紀（中央水試） 日本水産工学会学術講演会論文集 15-16 1999.5

北海道南西部磯焼け地域における大型海藻，ウニ類の消長と環境変化：桑原久実ら（中央水試）他1名 日本水産工学会学術講演会論文集 29-30 1999.5

ウニの挙動への砂礫の影響に関する実験的研究：桑原久実ら（中央水試）他3名 日本水産工学会学術講演会論文集 31-34 1999.5

海藻への標砂摩耗の影響に関する一実験：桑原久実ら（中央水試）他4名 日本水産工学会学術講演会論文集 45-46 1999.5

波浪によるキタムラサキウニの深浅移に関する一実験：桑原久実ら（中央水試）他3名 日本水産工学会学術講演会  
論文集 47-50 1999.5

波浪によるウガノモクの幼胚および成体の基質付着限界：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 海岸工学論  
文集 第46巻 1146-1150 1999.10

北海道寿都町美谷海域の沿整施設におけるホソメコンブ群落の形成機構：桑原久実，川井唯史（中央水試） 海岸工  
学論文集 第46巻 1166-1170 1999.10

波浪によるウガノモクの幼胚および成体の基質付着限界：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 日本水産学  
会北海道支部例会講演要旨集 17 1999.12

北海道磯焼け地帯における囲い礁による藻場の形成条件：桑原久実，金田友紀（中央水試） 日本水産学会北海道支  
部例会講演要旨集 19 1999.12

北海道美谷海域の沿整施設におけるホソメコンブ群落の形成条件：桑原久実，川井唯史（中央水試） 日本水産学会  
北海道支部例会講演要旨集 19 1999.12

忍路湾におけるホソメコンブ群落の生育条件：桑原久実，金田友紀，川井唯史（中央水試） 日本水産学会北海道支  
部例会講演要旨集 20 1999.12

# 北海道立水産試験場研究報告

## 編集・発行方針

### 1. 趣旨

水産技術，研究の向上を図り水産業の発展に資するため，北海道立水産試験場研究報告を発行する。

### 2. 誌名

和名 北海道立水産試験場研究報告  
(略称「北水試研報」)

英名 Scientific Reports of Hokkaido Fisheries  
Experimental Station  
(略称Sci.Rep.Hokkaido Fish.Exp.Stn.)

### 3. 発行

発行は，北海道立中央水産試験場（以下，「中央水試」という）が行う。

発行回数は，原則として年2回以上とする。

北海道立水産試験場図書出版委員長会議（以下，「図書出版委員長会議」という）が，特定の時期に，特定の主題に即した論文等を集め，これを整理統合することが適当と認めた場合は，特別号を発行することができる。

特別号は，北水試研報の誌名の下に，特別号である旨を付記し，北水試研報と一連の番号を与える。

### 4. 編集

#### 4.1 報文の内容

北水試研報の報文の内容を次のように分類する。

ア 原著論文：水産業の発展に資する研究成果としての論文で未発表のもの。

イ 短報：論文としてまとめ得ないが，新しい事実や価値あるデータを含む研究速報。

ウ 総説：水産業の発展に資するため，特定の題目について最近までの研究情勢の紹介を記載したもの。ただし，中央水試図書出版委員会が寄稿を依頼したものとす。

#### 4.2 報文の掲載順序

報文の掲載順序は，総説，原著論文，短報の順とし，同一分類の報文は，次の順序とする。

ア 海洋環境系統

イ 資源管理系統

ウ 資源増殖系統

エ 加工利用系統

オ 水産工学系統

カ その他

登載原稿が同一の系統の場合は日本十進分類法の順とする。

#### 4.3 報文の審査及び編集

報文の審査及び編集は，中央水試図書出版委員会が行う。

なお，総説の審査，特別号の編集などに当たり，図書出版委員長会議が必要と認めた場合は，中央水試図書出版委員会の下に特別編集委員会をおくことができる。

特別編集委員会は，都度組織し，配付終了と同時に解散する。

### 5. 体裁

別に定める「北海道立水産試験場研究報告の体裁」による。

### 6. 投稿

別に定める投稿規程による。

### 7. 配付先

国公立試験研究機関，大学，海外相当機関，行政機関及び水産関係団体などの配付先とし，交換を原則とする。

民間団体等の機関及び個人については，必要に応じて別刷りを執筆者が配付する。

### 8. 事務局

編集・発行に係る事務局は，中央水試企画情報室におく。

付. この方針は，平成4年3月9日から実施する。

北海道立水産試験場報告・北水試月報の編集・発行要領（昭和55年1月1日）は廃止する。

平成7年5月22日一部改訂

平成12年3月28日一部改訂

# 北海道立水産試験場研究報告の体裁

(編集・発行方針 5.関係)

- |   |  |
|---|--|
| <p>1 版型 A 4 版 2 段組み</p> <p>2 活字 本文 9 ポイント</p> <p>3 用紙 写真入りページ：光沢コート紙を基本とする。<br/>文字，図表ページ：つや消しアート紙を基本とする。</p> <p>4 表紙 略称，誌名，号，発行機関，発行地，発行年月（各々和英併記）及び識別記号を記載する。</p> <p>5 表紙 2 次のとおり記載すると共に，各研究機関名及び住所を和文及び英文で記載する。<br/>「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掲載したものである。」</p> <p>6 背表紙 誌名，号及び発行年月を和文で，略誌名，号，発行月及び発行年を英文で記載する。</p> <p>7 目次 和文及び英文とする。それぞれの目次は，誌名，号，目次（報文の標題，著者名，初頁 - 終頁）及び発行年月を記載する。</p> <p>8 各報文</p> <p>8.1 第 1 頁</p> <p>第 1 頁は，奇数頁から始まるよう改丁し，標題，著者名（和文の場合は各々和英併記）及び英文による抄録，キーワードを掲載した後，本文を掲載する。<br/>柱には，略誌（和英併記），号，初頁 - 終頁及び発行年を記載する。<br/>脚注には，報文の受理年月日及び著者の所属機関等を記載する。</p> <p>8.2 各報文の第 2 頁以降</p> <p>偶数頁の柱には頁及び著者名を，奇数頁の柱には頁及び標題を記載する。ただし，著者名又は標題が 30 字を超える場合には，その簡略形を記載する。</p> | <p>9 和文要旨</p> <p>号末に一括掲載する。<br/>1 頁を縦横各 2 分割（計 4 分割）し，報文の掲載順に左上，右上，左下，右下の順に登載する。<br/>記載する書誌事項は次のとおり。<br/>標題（英文の場合は，その旨を付記），著者名，和文要旨，報文番号，略誌名，号，掲載頁，発行年</p> <p>10 奥付</p> <p>和文誌名，号，発行年月日，編集兼発行者，住所，電話番号，ファクシミリ番号を記載する。</p> <p>11 その他</p> <p>11.1 試験研究業績の掲載</p> <p>前年度 4 月から当該年度 3 月までに，外部刊行物に発表された，北水試職員の著作物に係る書誌事項を掲載する。</p> <p>11.2 総目次，索引</p> <p>総目次はおおむね 10 号ごとに，索引はおおむね 30 号ごとに作成する。</p> |
|---|--|

# 北海道立水産試験場研究報告 投稿規程

(北海道立水産試験場研究報告編集・発行方針 6.関係)

## 1. 投稿者の資格

投稿者の資格は、次のとおりとする。

北海道立水産試験場及び北海道立栽培漁業総合センター（以下「北水試」という）の職員、及び原子力環境センター（以下「原環センター」という）水産研究科の職員。

共著の場合、他機関の者を含むことは差し支えないが、筆頭者は原則として北水試及び原環センター職員でなければならない。

他機関の者が単独又は共著の筆頭者として投稿を希望する場合は、中央水試図書出版委員会が認めた場合に限る。

中央水産試験場（以下「中央水試」という）図書出版委員会が寄稿を依頼した者。

## 2. 報文の種類及び内容

### 2.1 報文の種類

原著論文：水産業の発展に資する研究成果としての論文で未発表のもの。

短 報：論文としてまとめ得ないが、新しい事実や価値あるデータを含む研究速報。

総 説：水産業の発展に資するため、特定の題目についての最近までの研究情勢の紹介を記載したもの。ただし、中央水試図書出版委員会が寄稿を依頼したものとする。

### 2.2 使用言語

日本語又は英語とする。

英文について、中央水試図書出版委員会が必要と認めた場合は、英文校閲者に送付して校閲を受ける。修正の勧告を受けた場合は、原稿は一旦著者に返却するので著者は内容を検討し、修正した後、再提出する。

### 2.3 報文の長さ

短報は、原則として本文刷り上がり2ページ（図、表の占める面積も含め、4,400字）以内とする。

## 3. 原稿の提出方法及び提出物

### 3.1 北水試職員の場合

原稿は、所属部長を経て著者が所属する北水試の図書出版委員会に提出する。

提出された原稿は、図書出版委員会が協議をし、所属場長の承認を得て委員長名で中央水試図書出版委員

長に提出する。

なお、中央水試職員の原稿については、所属部長を経て中央水試図書出版委員長に提出する。

### 3.2 北水試職員以外の者の場合

原稿は、中央水試図書出版委員長に提出する。

### 3.3 提出物

原稿提出の際には必要事項を記載した投稿票（別記第1号様式）を添付する。

原稿（ワープロ原稿）は、印字出力原稿（刷り上がりと同じ2段組、図表等の余白あり）とともに、テキストファイルをフロッピーディスク等に保存し、提出する。

## 4. 登載の可否の決定方法

中央水試図書出版委員長に提出された原稿は、中央水試図書出版委員会による審査校閲を経て登載の可否を決定する。ただし、特別号への投稿論文、総説等については、あらかじめ特別編集委員会の審査・校閲を経ることがある。

## 5. 原稿の受理年月日及び報文番号

原稿の受理年月日は、登載決定年月日とする。

登載が決定した報文には、報文番号を付す。

## 6. 原稿の書き方

### 6.1 原稿用紙又はタイプ用紙の指定

和文原稿は、A4判の用紙にワープロソフト及びワードプロセッサを用いた原稿で、25字×46行×2段組（全角文字）、上下の余白を30mm程度とる。

句読点は「，」「。」を使う（科学技術情報流通技術基準 SIST 08 6.4.2 区切り符号）。

「，」「。」などは全角1字をあたえ改行の場合は書き出しを1字あける。

英文原稿はA4判の用紙にワープロソフト及びワードプロセッサを用いた原稿で、50字×46行×2段組（半角文字）、上下の余白を30mm程度とる。

句読点は「，」「。」を使う。

「，」「。」などは半角1画をあたえる。

なお、行の終わりで語のつづりを切らない。

### 6.2 用字、用語及び表記の方法

かなづかいは、内閣告示「現代かなづかい」、送り

仮名は、内閣告示「送り仮名の付け方」に従い、できるだけ常用漢字を用い、かい書で簡潔平易に記載すること。

動植物学名は、イタリック (sub sp., var., form などの文字はイタリックにしない)、命名者名は首字をキャピタル、首字以外はスモールキャピタルとし、原語のまま書く。

動植物名の和名はカタカナ、外国の地名、化学名、その他特殊な語は慣例に従って、漢字またはカタカナで書く。

活字の指定は、次の記号を用いて原稿中の必要な箇所に朱書する。

ただし、印字した原稿が指定のフォント(字体)で記載されていれば、朱書を省略してよい。

キャピタル

スモールキャピタル =====

イタリック

ボールド(ゴシック) ~~~~~

### 6.3 報文の第1ページ目の形式

和文の報文の第1ページ目の形式は、別記第2号様式の1とする。

英文の報文の第1ページ目の形式は、別記第2号様式の2とする。

### 6.4 英語による抄録( Abstract )の添付

原著論文及び総説には、英文で200語程度(A4判用紙に2段送りで1枚以内)にまとめた抄録を本文中に記載する(別記第2号様式)。図表及び文献などの引用はしない。なお、英文は十分な添削を経ること。

### 6.5 日本語による要旨等の添付

6.5.1 報文には、標題、著者名のほか、300字以内にまとめた日本語による要旨(別記第3号様式)を別に添付する。

6.5.2 報文の内容に関連の深い用語(キーワード)3~8単語を本文中に記載する(別記第2号様式)。キーワードの1つには対象生物の種(又は属、科)名を入れる(和名又は英名)。

日本水産学会編集の「水産学文献検索資料」(1982)、「同 増補版1」(1996)、「同増補版2」(1991)、及び総目次事項索引(1991より)を参考とし、文献検索に適した用語を選ぶよう配慮すること。

キーワードは基本的に、和文報文には日本語、英文報文には英語で記載する。なお、日・英併記してもよい。

### 6.6 報文の構成要素に関する記載上の注意事項

#### 6.6.1 標題

標題は、簡潔に報文の内容を表すようにする。

継続報文の場合は、標題の後にローマ数字でシリーズ番号を「-」のように付し、別行に副題をつけるとともに、前報の所在を脚注に記載する。

英語の標題は、最初の語は首字のみキャピタル、その他固有名詞以外はスモールとする。

総説と短報については、標題の最後に(総説, Review),(短報, Short Paper)と記載する。

#### 6.6.2 著者名

標題の下に記載する。

英語及びローマ字書きの著者名は、姓の全てと名の首字をキャピタル、他はスモールとする。

日本語、外国語を問わず、連名の時は「,」で区切り、最後の名前は「and」で連ねる。

共著者の数は必要最小限にとどめ、研究の協力者は共著者とせず、謝辞に記載する。

例: 2名の場合

北 斗 一 郎 , 大 空 二 郎  
Ichiro HOKUTO and J i r o OOZORA

#### 3名の場合

北 斗 一 郎 , 大 空 二 郎 ,  
大 雪 三 郎  
Ichiro HOKUTO and J i r o OOZORA  
and Saburo DAISETU

#### 6.6.3 所属機関名等

著者名の右肩にアスタリスクを付し、脚注に所属機関名等(所属機関名及び所在地の英語表記を付記)を名称を省略せず記載する。著者が2名以上の場合には、\*1\*2等のように適宜番号を付す。

#### 6.6.4 本文の記載

原著論文は原則として、まえがき、材料及び方法、結果、考察、要約、謝辞及び文献の順とする。

見出しが必要な場合は、ポイントシステムを基本とし、次のように記載する。見出しの活字はボールド指定する。

例 第1章・・・・・・・・・・ 1 .  
第1章第2節・・・・・・・・ 1 . 2  
第1章第2節第3項・・・・ 1 . 2 . 3

#### 6.7 図(写真を含む)・表

図・表及びこれらの説明文は、挿入位置を本文中に枠線等で実際に挿入できる大きさの余白を作り、明示する。(別記第2号様式)

図・表はできるだけA4判の用紙を用いて作成し、それぞれ番号と著者名を裏に朱書しておく。

図・表の表題と説明文は英語又は日本語で記載する。番号はボールド指定で、「Table 1」、「表1」のように表の上に、また、「Fig.1」、「図1」のように図及び写真の下に記載する。

図は印刷される大きさの1.5～2倍を目安とする。

図は製図用黒インク等で明りょうに描き、トレーシングペーパーに描いた原図は厚紙に貼付する。

文字の印刷が必要な場合は、原図に直接記入せず、透明な紙でおおった上に必要な文字を所定の位置に記入する。

写真は、鮮明なものを選び、台紙に貼付すること。なお、印刷は原則としてモノクロームとする。

なお、フルカラー印刷は中央水試図書出版委員会の承認が有れば印刷可能とする。また、単色カラー印刷は、著者の希望により可能とする。ただし、出版委員会で明らかに不要と判断された場合には、その指示に従う。

図(写真)、表は原本とあわせ、刷り上がりの大きさに縮小した写しを添付する。

## 6.8 文献の書き方

文献は、一括して末尾の文献の項に集める。

本文に引用するときは、関連箇所引用の順に"うわつき"で「..佐野<sup>1,2)</sup>」、又は「..Clarke<sup>3,5)</sup>」、「...とされている<sup>6)</sup>」、「西川ら<sup>7,8)</sup>は、」のように一連の引用番号をつける。

書誌要素の記述は、次の順序による。

逐次刊行物の場合(科学技術情報流通技術基準 SIST 02 5.1.1 参照)

引用番号)著者名:論文名・誌名(略号を用いる。欧文はイタリック)。巻(Vol.など付けず数字のみ、通号も同様とする。),号数(数字のみ、括弧に入れる。),初頁-終頁(pp.などの文字は書かない。)発行年(( )書き)の順に記載する。

例

1) 若生允,小島伊織:オホーツク海南西域の海況について .北水試報 .1,1 - 12(1963)

2) Lauren,D.J. and Mcdonald,D.G.: Acclimation to copper by rainbowtrout. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 ,99 - 104(1987)

単行本1冊を引用する場合(SIST 02 5.2.1)

引用番号)著者名:書名・版表示(第 版).出版地,出版社,出版年,総頁数.の順に記載する。

例

3) 吉村信吉:湖沼学.増補版.東京,生産技術センター -,1976,439p.

4) Clarke,G.L.: Elements of ecology. New York, John Wiley,1954,533p.

5) Moore,W.J.(藤代亮一訳):物理化学(上).第4版.東京化学同人,1972,482p.

単行本の中の1章又は一部を引用する場合(SIST 02 5.2.2)

引用番号)著者名:"論文名(章の見出し)".書名・版表示(第 版).出版地,出版社,出版年,引用頁(初頁-終頁).の順に記載する。

例

6) 酒井昭:"7.凍結障害の機序".植物の耐凍性と寒冷適応.東京,学会出版センター,1982,155-184.

7) Round,F.E.:"7 Phytoplankton".The ecology of algae. Cambridge, Cambridge University Press, 1981, 246 - 259.

## 7. 図・表などの他からの引用について

他の印刷物から図・表などを引用又は転載する場合、著作権に関する事項は著者が事前に解決しておかなければならない。なお、その出典を明記すること。

## 8. 校正

校正は日本工業規格で定められた記号を用いて行う。なお、校正は印刷のミスを正すものであるから、文章や字句、字体、図表などを変更(差し替え)、加減すること等は、原則認めない。

校正責任者

初校は、著者が行う。

## 9. 別刷り

別刷りにかかる費用は著者の所属場もしくは部署等で負担する。

別刷りを希望する場合は、希望部数、請求先を投稿票(別記第1号様式)に記入し、提出すること。

付 この規程は、平成4年3月9日から実施する。

平成7年5月22日 一部改訂

平成9年7月29日 一部改訂

平成12年3月28日 一部改訂

A4判

原稿枚数	投稿年月日
1 和文要旨	1枚（概算字数）
2 本文 （うち英文Abstract）	枚（概算字数）
3 表	枚（表1～表）
4 図（写真を含む）	枚（図1～図）
別刷り希望部数 （請求書の提出先）	部）
標題が30字以上になる場合の簡略形	

A4判

注1	和文標題	著者名
注2		
注3	和文要旨（300字程度）	
注4		

- 注1 左詰めで記載する。  
副題は1字あけて続けて記載する。  
英文の報文の場合は、標題の後に（英文）と記載する。
- 注2 右端を1字あけて右詰めで記載する。
- 注3 書き出しは1字あける。
- 注4 下段に書誌情報を入れるので、スペースをあけておく。

和文報文の場合

誌名号, 掲載頁 発行年 誌名の英表記	
和文標題	
著者の日本語表記*	
英文標題	
著者のローマ字表記*	
抄録 (英文Abstract)	
キーワード	
本文	本文
	図表 Table1 Fig. 1 等

報文番号 A ( 年 月 日受理)  
\* 所属機関の日本語表記 (所属機関の英語表記, 所属機関の所在地の英語表記)

注

所属機関は著者の現時点での所属機関となる。  
(点線で囲まれた部分は印刷時に記載される事項。)

英文報文の場合

誌名号, 掲載頁 発行年 誌名の英表記	
英文標題* <sup>1</sup>	
著者のローマ字表記* <sup>2</sup>	
抄録 (英文Abstract)	
Key words	
本文	本文
	図表 Table1 Fig. 1 等

Accepted: 月日の英表記, 年. Contribution A from the Hokkaido Fisheries  
Experimental station.  
(報文番号 A ( 年 月 日受理))  
\*<sup>1</sup> 標題の日本語表記  
\*<sup>2</sup> 所属機関の英語表記, 所属機関の所在地の英語表記  
(著者の日本語表記, 所属機関の日本語表記)

注

所属機関は著者の現時点での所属機関となる。  
(点線で囲まれた部分は印刷時に記載される事項。)

北海道北西沿岸における渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属プランクトンの出現状況とホタテガイ下痢性貝毒毒力の経年変化

西浜雄二, 宮園 章, 渡辺晶子, 中島羊二

北海道沿岸における貝毒モニタリングによって蓄積された資料を用いて, 1988~1998年の北海道日本海北部海域(留萌支庁管内)小平沖定点における貝毒プランクトンの出現状況とホタテガイ下痢性貝毒毒力との関係を検討した。*Dinophysis fortii* および *D. acuminata*が100細胞/以上の密度で出現したときの水温は, それぞれ9~15 および5~8 であった。年最高毒力はおもに6~7月に, まれに4~5月にみられた。ホタテガイの下痢性貝毒毒力の程度は, *D. fortii* が6月に500~1,000細胞/ほどの密度で出現した年には0.2~0.4MU/g-軟体部ほどであり, 100~200細胞/の密度で出現した年には0.05MU/g-軟体部以下であった。

A317 北水試研報 58 1-8 2000

水温操作によるマツカワ雌雄の性成熟の同調

萱場隆昭, 杉本 卓, 佐藤敦一, 尾崎雄一,  
足立伸次, 高丸禮好, 山内皓平

飼育水温がマツカワ雌雄の性成熟に及ぼす影響を明らかにするとともに, 水温操作によって, 採精及び採卵適期を同期化することを目的として, 水温別の飼育実験を行った。人工3歳魚を自然海水温で飼育した場合, 雄の方が雌よりも早い時期に成熟し, 採精及び採卵の開始時期はそれぞれ2月及び4月であった。これに対し, 飼育水温を10月から12月までは18 とし, その後, 自然海水温まで降温したところ, 雄では, 一定期間, 精子形成の進行が抑制されて, 採精開始時期が遅れ4月となった。一方, 雌では, 高水温条件下でも卵黄形成が正常に進行し, 採卵開始時期は4月のままであった。以上の結果, マツカワ雌雄を12月までは18 で加温飼育し, 雄の成熟速度を雌に同調させることにより, 雌雄ほぼ同時期に人工受精を実施できると考えられた。

A318 北水試研報 58 9-16 2000

低水温下におけるアサリの低塩分・貧酸素耐性

蔵田 護

1996年と1998年の融氷後にサロマ湖の造成礁でアサリの大量斃死が確認された。結氷時期および融氷時期に, 低塩分・貧酸素が観測されていたことから, 斃死原因として, 低塩分あるいは低酸素が推定された。しかし, これら環境要因に対する結氷水温に近い条件におけるアサリの耐性については不明であった。そこで, 1 の水温条件下で塩分・溶存酸素耐性を室内実験で調べた。塩分15psu以下で, かつDO10%以下の条件でも, アサリは試験開始後13日以上経過してから斃死し始め, アサリの低水温下における低塩分・貧酸素耐性は極めて強かった。アサリの生息にとって, 塩分15psu以下の場合には塩分が制限要因となるのに対し, 塩分20psu以上の場合には飽和度40%以下のDOが制限要因であった。

A319 北水試研報 58 17-21 2000

北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイの閉殻筋中のタンパク質量とグリコーゲン量の季節変化

宮園 章, 中野 広

1992~1994年の3年間, オホーツク海南部海域の常呂漁場と根室海峡沿岸の野付巽漁場で, ホタテガイの閉殻筋重量, タンパク質・グリコーゲン量および水温・塩分・クロロフィルa濃度の季節変化を調査した。常呂のホタテガイは春季植物プランクトンブルームに依存する成長パターンを持ち, 夏季には閉殻筋タンパク質を消費する消耗期を持つことが明らかとなった。他方, 巽のホタテガイは安定した餌料条件下で安定した成長パターンを持ち, 夏季に閉殻筋タンパク質の消費を伴う消耗期を持たないことが明らかとなった。閉殻筋のタンパク質とグリコーゲン量の変化は餌料環境とホタテガイの成長の関係を示す良い指標になることが示唆された。

A320 北水試研報 58 23-32 2000

北海道オホーツク海沿岸域における地まきホタテガイ閉殻筋中のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ活性の季節変化

宮園 章, 中野 広

1992～1994年の3年間、オホーツク海南部海域の常呂漁場と根室海峡沿岸の野付異漁場で、ホタテガイの閉殻筋中のRNA/DNA比および酸性プロテアーゼ活性の季節変化を調査した。両漁場のRNA/DNA比の季節変化は閉殻筋タンパク質の増加・減少過程とよく一致した。タンパク質増加率がゼロとなる時のRNA/DNA比(常呂, 4.9, 異, 3.6)はホタテガイの消耗状態を判断する基準値となりうるかもしれない。酸性プロテアーゼとRNA/DNA比との相関関係は常呂の高水温期でみられ、酸性プロテアーゼの代謝回転維持に関わる役割を示唆した。

A321 北水試研報 58 33-39 2000

流水水槽におけるホタテガイの成長と生理活性に及ぼす流れの強さの影響

宮園 章

放流後2年のホタテガイを異なる流れの強さに設定した3基の流水水槽で飼育し、流れの強さがホタテガイの成長と生理活性に及ぼす影響を検討した。実験開始時および終了時には閉殻筋・生殖巣・中腸腺重量を、実験終了時には閉殻筋タンパク質・グリコーゲン・RNA/DNA比・酸性プロテアーゼ活性を測定した。殻の成長および各部位の指数は、中流条件下でのホタテガイの成長が良いことを示した。閉殻筋のタンパク質、グリコーゲン含有率は、いずれの水槽でもホタテガイの消耗がなかったことを示した。閉殻筋のRNA/DNA比と酸性プロテアーゼ比活性は、強い流れがホタテガイに生理的なストレスを及ぼしている可能性を示唆した。

A322 北水試研報 58 41-47 2000

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

嶋田 宏, 西田 芳則, 伊藤 義三,  
水島 敏博

八雲沿岸において、8年間にわたる養殖ホタテガイの成育状況と漁場環境をモニタリングし、重回帰分析を用いて、水温と餌環境が成長と生残に及ぼす影響を検討した。

重回帰分析は、独立変数として6～12月と12月～翌年3月それぞれの期間における積算水温および積算クロロフィルa濃度と、本養成開始直後(6月)のホタテガイの全重量と生残率を用い、本養成期間における成長量と、出荷時期における生残率を従属変数として行った。

その結果、ホタテガイの成長と生残は、本養成開始直後の成長と生残の状態と、その後の水温と餌環境により、よく説明できることが分かった。また、得られた重回帰式を用いて、出荷時における成長と生残の状態を大まかに推定できることも示した。

A323 北水試研報 58 49-62 2000

北海道立水産試験場研究報告 第58号

---

2000年9月30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)8141

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

印刷所

㈱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

---