

北海道立水産試験場研究報告

第 54 号

目 次

志田 修，山村織生，三宅博哉 道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ 0 歳魚の分布と成長に伴う移動について	1 - 7
山口幹人，藤岡崇 水槽内で観察されたシラウオの複数回産卵	9 - 13
西田芳則，掘井貴司，西浜雄二 噴火湾底層における貧酸素水塊の形成と消滅	15 - 23
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	25 - 32
名畑進一，干川 裕，酒井勇一，船岡輝幸，大堀忠志，今村琢磨 キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値	33 - 40
櫻井 泉，瀬戸雅文 海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性	41 - 46
ガリーナ・ペ・ヴィヤーロワ サハリン産サケマス類の病気（総説）	47 - 51

(1999年 3月)

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.54

CONTENTS

Osamu SHIDA, Orio YAMAMURA and Hiroya MIYAKE

Distribution and migration to offshore of age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*,
along the Pacific coast of southeastern Hokkaido 1 - 7

Motohito YAMAGUCHI and Takashi FUJIOKA

Repeated spawning of Shirauo *Salangichthys microdon* in a tank..... 9 - 13

Yoshinori NISHIDA , Takashi HORII and Yuji NISHIHAMA

Formation and disappearance of the oxygen deficient bottom water in Funka Bay, Hokkaido..... 15 - 23

Mamoru KURATA

On the decline in the growth of maricultured scallop, *Patinopecten yessoensis*, in the Okhotsk coastal area of Hokkaido 25 - 32

Shin-ichi NABATA, Hiroshi HOSHIKAWA, Yuichi SAKAI, Teruyuki FUNAOKA, Tadashi OOHORI
and Takuma IMAMURA

Food value of several algae for growth of the sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*..... 33 - 40

Izumi SAKURAI and Masabumi SETO

Behavioral Characteristics of the Juvenile Japanese Littleneck Clam *Ruditapes philippinarum* in response to
Sand Erosion and Deposition 41 - 46

Galina P. VYALOVA

Diseases of Sakhalin salmon (Review) 47 - 51

(March,1999)

道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ 0 歳魚の分布と成長に伴う移動について

志田 修^{*1}, 山村 織生^{*2}, 三宅 博哉^{*3}

Distribution and migration to offshore of age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, along the Pacific coast of southeastern Hokkaido

Osamu SHIDA^{*1}, Orio YAMAMURA^{*2} and Hiroya MIYAKE^{*3}

Distribution of age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma* was examined along the Pacific coast of southeastern Hokkaido during September from 1994 to 1997. Age-0 pollock were distributed at depths of 30 to 80m with bottom temperatures ranging from 7 to 13 °C. Fork lengths of the fish ranged from 69 to 153mm with a tendency that larger fish were distributed in deeper water. Stomach contents of age-0 pollock consisted mainly of copepods, mysids, amphipods and euphausiids, and their compositions were varied among sampling stations. It was considered that age-0 pollock migrated to offshore with their growth in this area.

キーワード：スケトウダラ，0 歳魚，分布，胃内容物

はじめに

襟裳岬から根室半島に至る道東太平洋海域では、スケトウダラ *Theragra chalcogramma* の漁獲量が年間 5 ~ 8 万トンにのぼり、本種は地域経済と生態系の両方において重要な位置を占めている。近年、孵化直後の仔魚期ばかりでなく、底層生活移行前後の幼魚期の研究が米国を中心に活発に行われており、本種の年級豊度評価には 0 歳魚の分布生態の把握とそれに基づく定量的なモニタリングが重要であることが報告されている^{1,2)}。道東海域では未成魚の漁獲量が多く、加入量を予測するためには発生年級量を早期に推定することが必要である。

シシャモ *Spirinchus lanceolatus* 資源調査は、シシャモの豊度推定を目的として、1978年以降、釧路以西の道東太平洋海域において毎年 9 月および 10 月に実施されている。Miyake *et al.*³⁾ は、1978年 ~ 1992年に実施されたシシャモ資源調査の混獲データから、スケトウダラ 0 歳魚

の各年の水深帯毎の平均 CPUE の積算値を 0 歳魚の相対年級豊度 (Abundance index) として用いることを提案した。また、コストの制限のある中で許す限り、0 歳魚の分布域を網羅するように調査範囲を設定する必要性を報告している。従って、スケトウダラの分布の特徴を把握することは、量的解析を行う上で非常に重要であると著者らは考える。

本報では、1994年から1997年のシシャモ資源調査で得られたスケトウダラ標本の体長および胃内容物について調べ、0 歳魚の分布の特徴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

シシャモ資源調査は漁期直前のシシャモ資源量推定を目的として、1978年から毎年、十勝海域で 9 月上旬に、釧路海域で 9 月下旬から 10 月上旬に実施されている。本

報文番号 A 281 (1999年 2 月 22 日受理)

^{*1}北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

^{*2}水産庁北海道区水産研究所 (Hokkaido National Fisheries Research Insutitute, Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan)

^{*3}北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Suehiro-cho, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

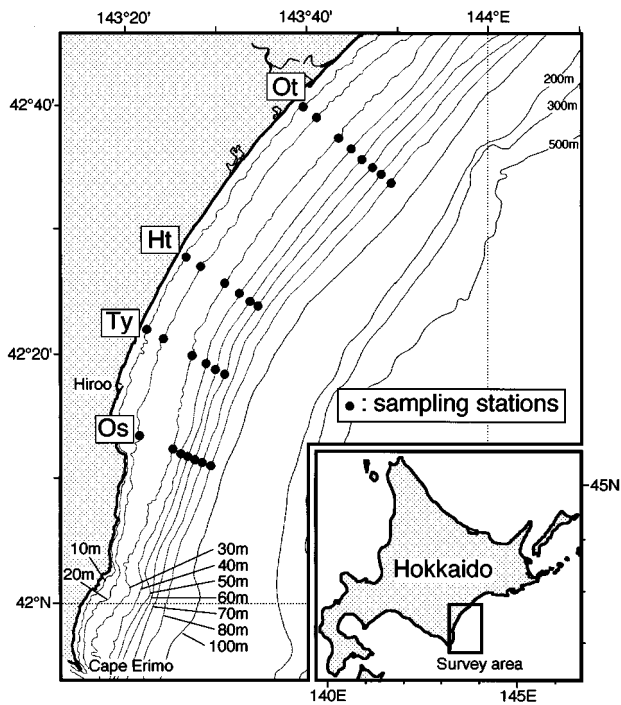


Fig. 1 Location of the survey area and sampling stations.
Os: Oshirabetsu, Ty: Toyoni, Ht: Hamataiki and Ot: Ohtsu.

研究では、1994年から1997年の9月上旬に十勝海域（図1）で収集した調査試資料を用いた。

調査点は、音調津、豊似、浜大樹および大津の沖合い方向に水深10mごとに配置した（図1）。調査点の水深は、音調津沖が20~80m、豊似および浜大樹沖が10~60m、大津沖が10~80mであった。漁獲調査は、シシャモ調査用小型トロールネット³⁾（図2）を用い、用船した4.9トン型の漁船で実施した。調査は日出後の午前5時から12時の間に行い、曳網時間は10分間とした（かけまわし漁法）。漁獲物は船上で種ごとに選別し、種ごとの

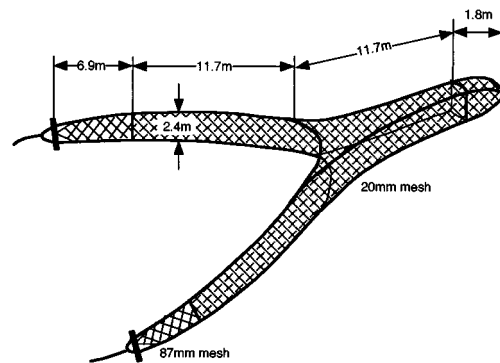


Fig. 2 Shisyamo trawl net as modified by Captain Nahira. (Miyake *et al.*, 1996).

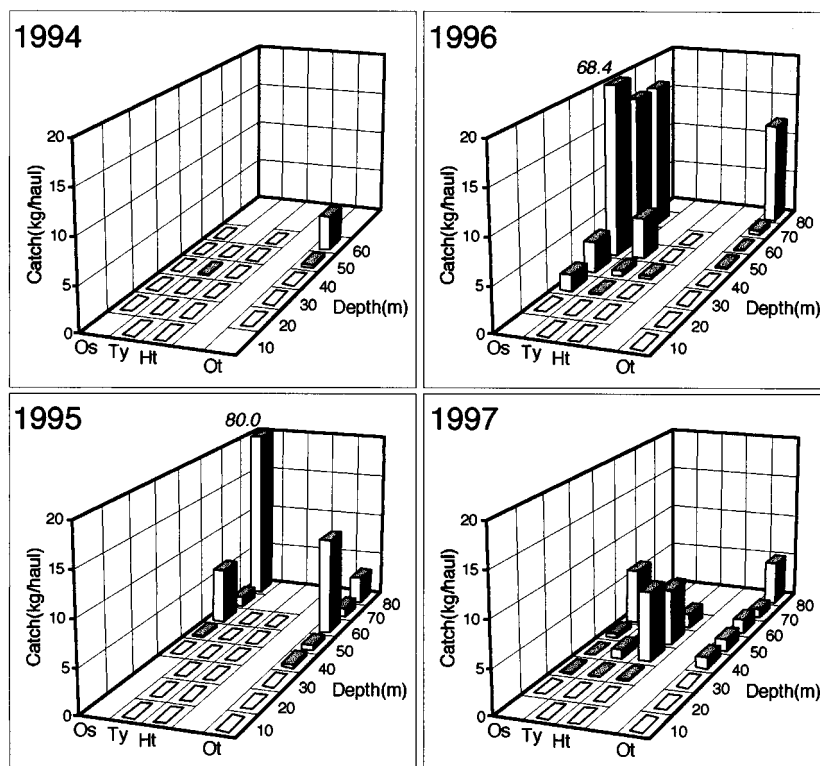


Fig. 3 Catches of age-0 walleye pollock at each sampling station.
Os: Oshirabetsu, Ty: Toyoni, Ht: Hamataiki and Ot: Ohtsu.

漁獲重量を計測した。1995～1997年には例年漁獲量の多い音調津沖および大津沖において漁獲されたスケトウダラの全て、又は一部を測定用試料として持ち帰り、測定まで凍結して保存した。また、全調査点においてメモリ式水温計（アレック電子 ABT-1）で海底の水温を測定した。

スケトウダラ標本は、研究室で解凍後、無作為に抽出した50個体について尾叉長を1mm単位で測定した。標本個体数が50未満の場合は、全数を測定した。1995年の標本は被鱗体長も測定し、Miyake *et al.*³⁾に従って、被鱗体長150mm以下の個体を0歳魚とした。1996年と1997年の標本については、測定後耳石を採取して年齢査定を行った。漁獲水深ごとの標本間の平均尾叉長の差について、独立多群間のためのノンパラメトリック法であるKruskal-Wallis検定を行った。

1997年の音調津沖水深60m、浜大樹沖水深40m、大津沖の水深60mおよび80m調査点の標本の一部を10%ホルマリン溶液内で解凍し、胃内容物の分析に供した。胃内容物は個体毎に可能な限り低位の分類群まで同定し、オーブンで乾燥して重量を0.001g単位まで測定した。

結果

図3に1994年～1997年の各調査点におけるスケトウダラ0歳魚の漁獲重量(kg)を示した。スケトウダラ0歳魚は水深30～80mの範囲で漁獲され、各調査点の漁獲量は0～80kgと調査年および調査点によって変動した。1994年のスケトウダラ0歳魚の漁獲量は豊似沖の水深40mの調査点で0.1kg、大津沖の水深50および60mでそれぞれ0.3および4.0kgであった。1995年は、音調津沖が水深50m以深、大津沖が40m以深の調査点で漁獲され、音調津沖水深80mの80.0kgが最も多かった。1996年は音調津沖および豊似沖の30m以深、浜大樹沖が40m以深、大津沖が50m以深の調査点で漁獲され、音調津沖水深60mの68.4kgが最も多かった。1997年は、音調津および浜大樹沖の30m以深、豊似および大津沖の40m以深と4年間を通じて最も多くの調査点で漁獲されたが、漁獲量は概して低く、最大でも浜大樹沖水深40mの8.0kgにとどまった。

各調査点の底層水温は、4年間を通して7.3～18.7の範囲にあり、水深の増加に伴って低下していた。スケトウダラ0歳魚が漁獲されたのは7.3～13.0の範囲であった(図4)。最も漁獲の多かった点の底層水温は1994年が12.7(大津沖60m)、1995年が8.8(音調津沖80m)、1996年が10.4(音調津沖50m)、1997年が10.7(浜大樹沖40m)であった。

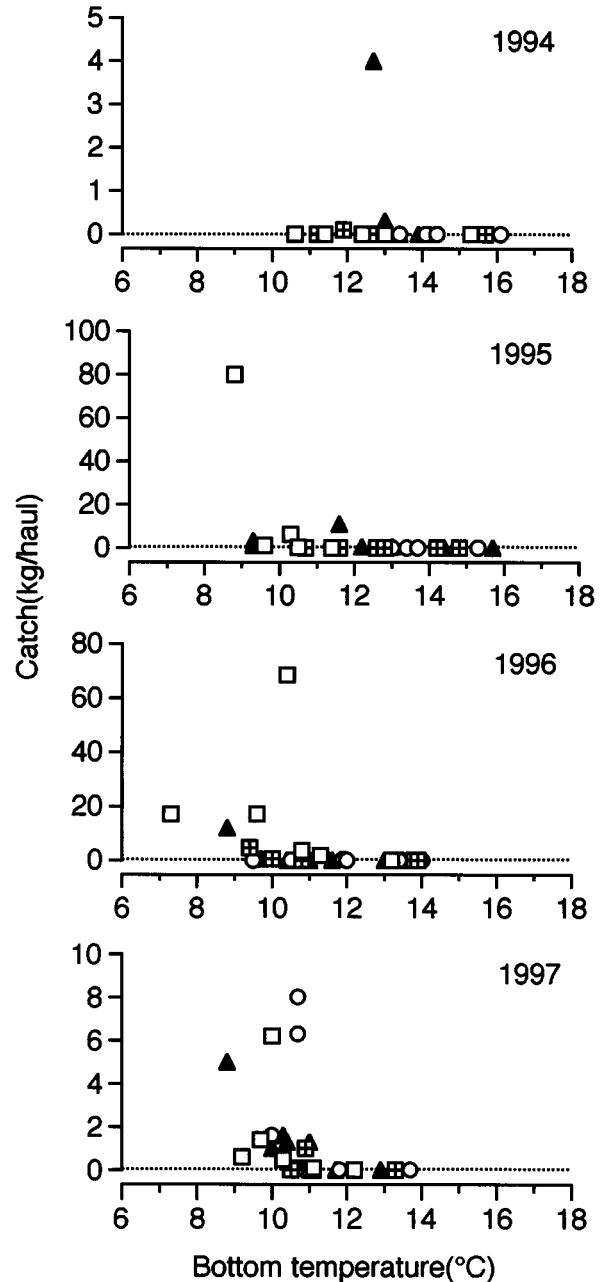


Fig. 4 Bottom water temperatures and catches of age-0 pollock.

□ : Oshirabetsu, ○ : Toyoni, △ : Hamataiki, + : Ohtsu

1995年から1997年に採集されたスケトウダラ0歳魚の尾叉長は69～153mmと広い範囲にあった。音調津および大津沖における尾叉長組成を図5および6に示した。1995, 1996年は各調査点の漁獲物とも単峰型の体長組成を示した。音調津沖の調査点における1995年のモードはいずれの水深でも90mm台、1996年は水深30, 40mが90mm台、50～70mが95mm台にみられた。大津沖では1995年の水深40, 50mで90mm台、水深60～80mでは95mm台にあり、

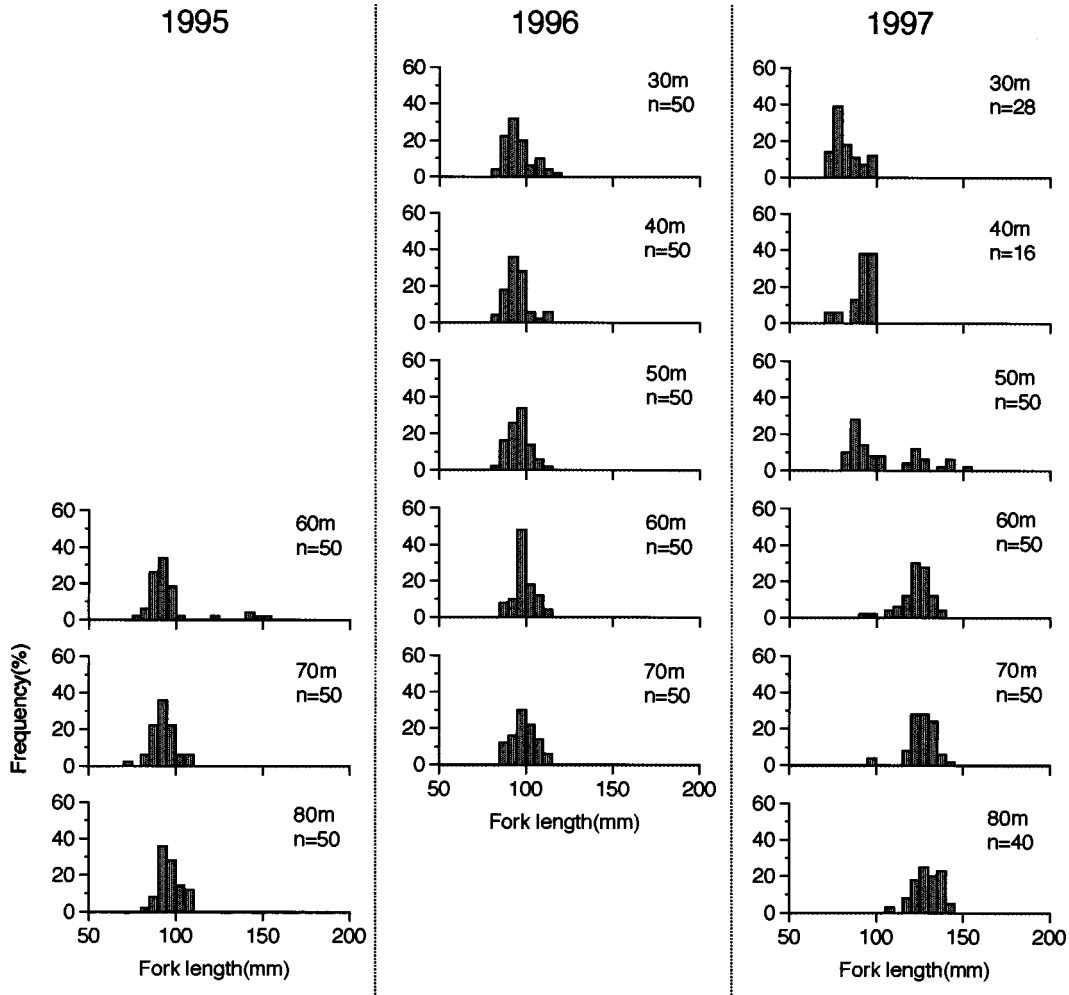


Fig. 5 Fork length distributions of age-0 walleye pollock caught at off Oshirabetsu from 1995 to 1997.

1996年は水深50mが90mm台, 60~70mが95mm台, 80mが100mm台に観察された。1995年の音調津沖だけは明瞭ではないが, その他の各年の各調査定線でのモードは漁獲水深の増加に伴い大きい方へ移行していた。一方, 1997年の大津沖では75~100mm台および125~130mm台の2つのモードを持つ体長組成であった。水深40~60mではこれら2つのモードを持つ二峰型の体長組成を示し, 水深の増加に伴って大きなモード群の比率が増加し, 70~80mでは大きなモードの群だけの単峰型の組成になっていた。1997年の音調津においても同様の傾向が認められた。

尾叉長の平均値は 各年の音調津沖, 大津沖の各定線の水深間に有意な差があった(表1)。各定線で水深が増すごとに尾叉長の平均値は大きくなる傾向が認められ(図7), 1995年大津沖では, 水深40mで92mm, 50mで93mm, 60mで100mm, 70mで101mm, 80mで106mmと顕著であった。

1997年の音調津沖水深60m, 浜大樹沖水深40m, 大津沖水深60mおよび80mの調査点におけるスケトウダラの

胃内容物組成(乾燥重量%)を図8に示した。胃内容物組成は, 調査点によって異なっていた。音調津沖60m(標本平均尾叉長121mm)ではアミ類が55.7%と最も多く, 端脚類が18.6%とこれに次いだ。浜大樹沖40m(標本平均尾叉長123mm)では端脚類が46.2%と最も多く, オキアミ類が30.8%を占めた。大津沖水深60m(標本平均尾叉長124mm)では, 橈脚類(主として *Neocalanus flemingeri* / *plumchrus* complex) が95.9%と大部分を占め, オキアミ類が2.0%でこれに次いだ。大津沖水深80m(標本平均尾叉長133mm)では, オキアミ類が99.7%と大部分を占めた。

考 察

シシャモ資源調査で漁獲されたスケトウダラは, 採集漁具の性質から海底付近に分布していたものである。噴火湾では, スケトウダラは全長70mm前後で底層生活に移行しはじめ, 85mmをこえると大半の個体が移行すること

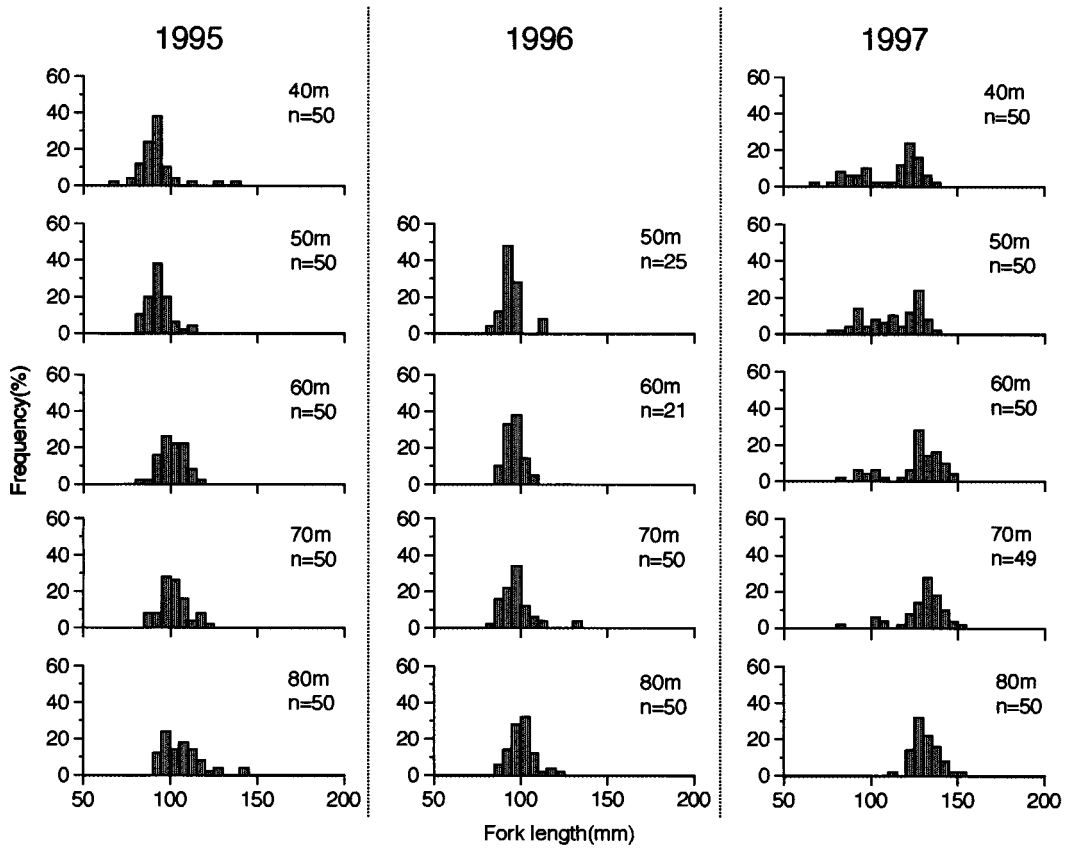


Fig. 6 Fork length distributions of age-0 walleye pollock caught at off Ohtsu from 1995 to 1997.

Table 1 Results of Kruskal-Wallis test.

The mean fork lengths comparisons among the depths of the sampling stations.

Os: off Oshirabetsu, Ot: off Ohtsu.

n: number of sampling station.

Year	Location	Depth(m)	n	H
1995	Os	60-80	3	10.787 **
	Ot	40-80	5	88.636 **
1996	Os	30-70	5	17.311 **
	Ot	50-80	4	13.098 **
1997	Os	30-80	6	129.677 **
	Ot	40-80	5	76.482 **

** : significantly different at $P < 0.01$

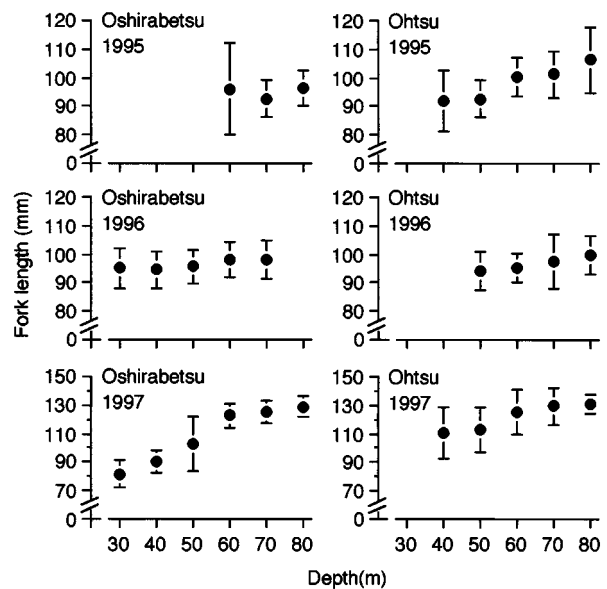


Fig. 7 The mean fork lengths of age-0 walleye pollock and depths of sampling stations.

Symbols and vertical bars represent mean and S.D..

が報告されている⁴⁾。本調査で漁獲されたスケトウダラ0歳魚の尾叉長は69mm以上であり、当海域においても底層生活に移行する大きさは噴火湾とほぼ同じであると考えられる。

本調査においてスケトウダラ0歳魚は水深30~80mの範囲で漁獲され、水深の増加に伴って体長組成のモードと平均体長が大きくなる傾向が認められた。噴火湾では、

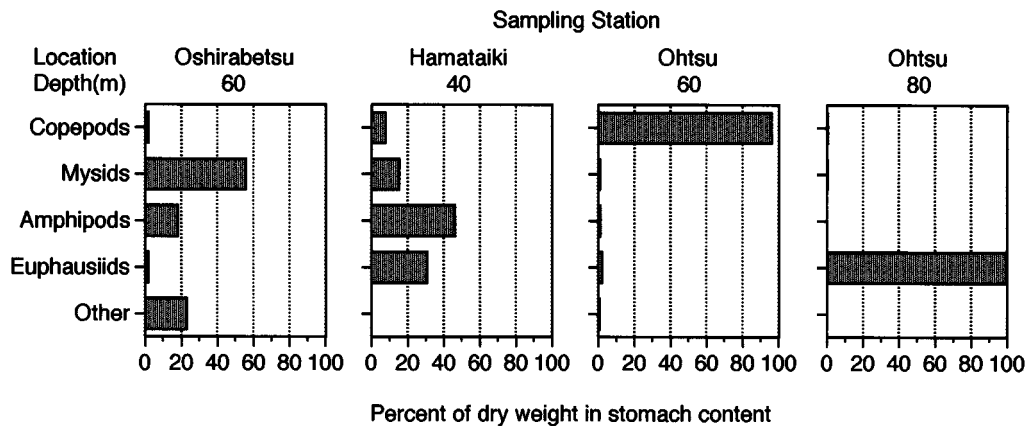


Fig. 8 Percent by dry weight of major prey categories in the stomach contents of age-0 walleye pollock in 1997.

成長に伴って生息域を湾外の深みへ移すことが報告されており⁴⁾, 当海域においても底層生活移行期のスケトウダラ0歳魚は成長に伴い沖合へ移動していると考えられる。

この4年間の調査で, 0歳魚の体長組成が明瞭な二峰型を示したのは1997年だけであった。この二峰のモードの差は20mm以上あり, 両者は単なる成長差ではなく孵化時期が異なる2群である可能性も考えられる。

スケトウダラ0歳魚が各年で最も多く漁獲された調査点の底層水温は8~12.7の範囲にあり, Miyake *et al.*³⁾が報告した1978年から1992年の調査においても, 漁獲があった調査点の水温は6~16と幅があった。スケトウダラの生育にとって噴火湾においては好ましくないと考えられている10以上の高い水温域も⁴⁾, 道東海域ではこの時期の0歳魚の分布域になっていたものと考えられる。

当海域のスケトウダラ0歳魚の胃中に出現した主要な餌生物は橈脚類, アミ類, 端脚類およびオキアミ類であった。これは, 噴火湾⁴⁾, 東部ベーリング海⁵⁾および西部アラスカ湾⁶⁾の結果と一致する。大津沖の水深60m(標本平均尾叉長124mm)と80m(同133mm)の比較では, 他の海域でも報告されているように体長の大型化に伴う橈脚類からオキアミ類への餌の移行^{5,6)}が認められたが, 音調津沖60mおよび浜大樹沖40mの調査点はそれぞれ異なった胃内容物組成を示した。これらの胃内容物組成の違いは調査水域の餌生物の分布の違いを反映しているものと思われる。

漁獲量は調査年により変動があり, 1995年は音調津沖の水深80mで最大の漁獲があった。従って, シシャモ調査で得られたデータを用いて道東海域に分布する0歳魚の量的解析を行うためには, 比較的高水温を示す水深30~80m以深の調査点を設定する必要がある。スケトウダラ0歳魚の分布は餌生物の分布との関連も示唆されてお

り^{4,5,7)}, 道東海域における餌生物の分布や密度についてさらに研究を進める必要がある。また, 本調査の結果から道東海域に分布するスケトウダラ0歳魚には孵化時期の異なる2群の存在が示唆され, これらの産卵期と産卵場を明らかにするため, 耳石日周輪の観察による孵化日の推定や初期成長パターンについての研究が必要と考えられる。

要 約

道東太平洋海域におけるスケトウダラ0歳魚の分布について1994~1997年9月上旬に大津から音調津に至る水深10~80mの海域で実施したシシャモ資源調査の試資料から検討した。

1. スケトウダラ0歳魚は水深30~80m, 底層水温7~13の範囲で漁獲された。漁獲量は年および調査点で0~80kgの範囲で変動した。
2. 漁獲された0歳魚の尾叉長は69~153mmの範囲にあり, 水深の増加に伴って体サイズが大型化した。
3. 0歳魚の胃中に出現した主要な餌生物は橈脚類, アミ類, 端脚類およびオキアミ類であった。胃内容物組成は, 調査点ごとに違いが見られた。
4. 秋季の道東海域においても0歳魚は, 成長に伴って沖合い方向へ移動するものと考えられた。

謝 辞

データの採集に際して多大なる協力を頂いた十勝管内ししやも漁業調整協議会の担当者各位ならびに十勝地区水産技術普及指導所職員各位に厚く御礼申し上げる。また, 貴重な助言と多大なる協力を頂いた北海道立釧路水産試験場資源管理部職員各位に深謝する。調査に関し貴

重な助言を頂いた名平勇氏に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) R. D. Brodeur and M. T. Wilson: A review of the distribution, ecology and population dynamics of age-0 walleye pollock in the Gulf of Alaska. Fish. Oceanogr. 5 (Suppl. 1) , 148-166 (1996)
- 2) Bailey, K. M. and S. M. Spring: Comparison of larval, age-0 juvenile and age-2 recruit abundance indices of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the western Gulf of Alaska. ICES J. mar. Sci. , 49 , 297-304(1992)
- 3) Miyake, H., H. Yoshida and Y. Ueda: Distribution and abundance of age-0 juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, along the Pacific coast of southeastern Hokkaido, Japan. In U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 126 , 3 -10 (1996)
- 4) 中谷敏邦, 前田辰昭: 噴火湾およびその周辺海域におけるスケトウダラ稚魚の分布と移動. 日水誌 .53 , 1585-1591 (1987)
- 5) Bailey, K. M.: Interaction between the vertical distribution of juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the eastern Bering Sea, and cannibalism. Mar. Ecol. Prog. Ser. , 53 , 205-213 (1989)
- 6) Brodeur, R. D.: Prey selection by age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in nearshore waters of the Gulf of Alaska. Environ. Biol. Fish. , 51 , 175-186 (1998)
- 7) Wilson, M. T., R. D. Brodeur and S. Hinckley : Distribution and abundance of age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the western Gulf of Alaska during September 1990. In U.S. Dep. Commer. NOAA Tec.Rep. NMFS 126 , 11-24 (1996)

水槽内で観察されたシラウオの複数回産卵

山口 幹人*, 藤岡 崇*

Repeated spawning of Shirauo *Salangichthys microdon* in a tank.

Motohito YAMAGUCHI* and Takashi FUJIOKA*

A pair of *Salangichthys microdon* in a 200 ℓ tank spawned about 2,000 eggs divided into 4 batches from 22 May to 8 July in 1996. Batches were spawned at intervals of 8-11 days. During the observation, estimated batch sizes were 586 and 761. One batch was spawned through 29 spawning behaviors over about a 7 hour period, with the whitish swelling in the female's abdominal cavity which indicated mature eggs decreasing in size and finally disappearing. With feeding, the whitish swelling gradually increase in size until the spawning of the following batch. Therefore, we confirmed that female *S. microdon* can repeatedly produce mature eggs and spawn several times during a spawning season.

キーワード：シラウオ，飼育観察，複数回産卵

まえがき

シラウオ (*Salangichthys microdon*) はサケ目，シラウオ科に属する10cm未満の半透明な魚体を持つ魚で，寿命は満1年である¹⁾。その産卵に関しては，春季に約2ヶ月に渡って行われること^{2,3)}，直径1mm弱の粘性沈着卵が底質が砂の浅瀬に産出されること⁴⁻⁶⁾，抱卵数（腹腔内の成熟卵数）は600~1,500個台⁶⁾で，卵径組成は二峰型を示すこと⁷⁾などの知見が得られている。

しかし産卵様式については，これまで複数回の産卵が示唆されている⁶⁻⁸⁾ものの，実証はされていない。また産卵回数，産卵間隔，総産卵数等に関しても未解明であり，これらを明らかにすることは本種の資源管理を進める上で極めて重要である。今回，余市川河口で採集したシラウオ親魚を飼育し，卵巣の肉眼観察および産出された卵の採集数の日別変化から，複数回産卵が確認されたので報告する。

材料及び方法

1996年5月13日に余市川河口において，シラウオ親魚101個体を採集し，塩分濃度約33PSUの濾過海水を満たした円形1t水槽に収容した。その後，5月15~20日に瀑気した水道水を徐々に注入し，塩分濃度を約15.4

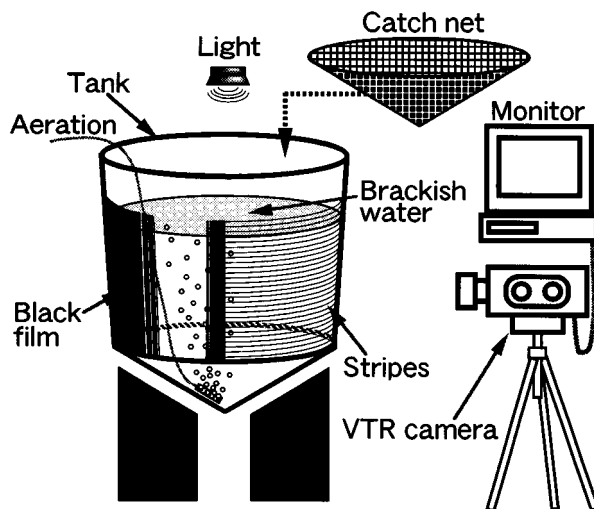


Fig. 1 The 200ℓ capacity tank used for observation. The transparent wall was half covered with drawn film stripes (thickness=0.5mm, intervals=5mm) with the other half covered with black film. The tank was filled with brackish water (16PSU) and aeration was supplied. A net (mesh=GG58) was placed on the bottom to catch spawned eggs. The tank was lit from above and a VTR camera was positioned at a point 2-3 m away, pointing towards the observational face.

報文番号 A 282 (1999年2月22日受理)

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

Table 1 Record of observation between 22-May and 8-July. The abbreviations in development stages show as follows, Nf: Not fertilized, Fe-Fo: Fertilized - Formation of yolk plug, E-H: Embryonic stage - Hatching gland is formed, P-E: Pigmentation begins to appear on the eye - Eyed larvae stage, D: Dead.

Date	Water Temp. (°C)	Total on the net	Number of eggs					No. of larvae on the net	Notes
			Nf	Fe-Fo	E-H	P-E	D		
22-May	16.0	-						-	Started observation.
23-May	16.1	-						-	
24-May	15.8	-						-	
25-May	15.8	-						-	
26-May	15.9	-						-	
27-May	16.0	-						-	
28-May	16.2	-						-	
29-May	-	-						-	
30-May	-	-						-	
31-May	17.6	342		50*				0	
1-Jun	17.4	-						-	
2-Jun	17.4	-						-	
3-Jun	17.4	-						-	
4-Jun	17.4	19			3	13	3	0	Changed 1/3 water.
5-Jun	17.1	-						-	
6-Jun	16.6	5				5		0	
7-Jun	16.6	1					1	0	
8-Jun	17.4	0						37	
9-Jun	17.7	0						15	
10-Jun	17.6	0						111	
11-Jun	18.0	677		46*			4*	22	
12-Jun	18.2	2			1		1	3	
13-Jun	16.6	6			2	3	1	25	Changed 1/3 water.
14-Jun	17.6	1					1	6	
15-Jun	17.8	2					2	0	
16-Jun	18.2	0						0	
17-Jun	17.6	0						0	
18-Jun	16.5	0						2	Started VTR. Changed 1/2 water.
19-Jun	17.4	2					2	24	
20-Jun	17.7	339		50*				32	
21-Jun	17.4	5					3	3	Finished VTR. 2 eggs were unable to determine stages.
22-Jun	17.8	5					5	4	
23-Jun	18.6	2					2	5	
24-Jun	17.8	5					5	3	Changed 1/3 water.
25-Jun	18.8	12					12	0	
26-Jun	19.5	4					4	0	
27-Jun	19.8	16					16	0	
28-Jun	20.4	145	49*				1*	0	
29-Jun	20.4	19	5				14	0	
30-Jun	20.5	2					2	0	
1-Jul	19.2	6					6	0	Added one male. Changed 1/3 water.
2-Jul	20.3	13					13	0	
3-Jul	20.4	1					1	0	
4-Jul	20.5	2					2	0	
5-Jul	20.6	0						0	
6-Jul	20.5	0						0	
7-Jul	20.3	0						0	
8-Jul	20.4	31						0	Finished observation. Male and female captured 22-May died. Eggs were obtained from water taken from the tank.
Total		1664						292	

*Number in the 50 eggs sampled.

PSUまで低下させた。

5月22日に1 t水槽から、雄1個体と腹腔内に成熟卵を示す白い塊が認められない雌1個体(各々の死亡時体長は75.7mmと76.8mm)を、円形透明の観察用水槽(直径0.6~0.7m,水深0.6m,容積200ℓ)に移した(Fig. 1)。水槽には塩分濃度約16PSUの汽水を満たし、底に卵採集用のネットを設置し、給気を行った。水槽の上に蛍光灯を設置して終日点灯し、外部からの観察とシラウオの壁面への衝突回避の両立のために、水槽の観察面を太さ0.5mm,間隔5mmの横縞模様を描いた透明シート⁹⁾で覆った。また、背面は衝突回避と同時にシラウオを際立たせる目的で黒色シートで覆った。1 t水槽,観察用水槽とも水温調整は行わなかったため,5月22日~7月8日の観察中に,水温は15台から20台まで徐々に上昇した(Table 1)。

毎日,約0.2gのアルテミア卵をふ化させ,午前8~9時に観察用水槽のシラウオに給餌した。同時に,ネット上の卵の有無を水槽外部からの肉眼観察,またはネットを取り出すことによって確認した。ネットで採集された卵を10%ホルマリン溶液で固定後計数し,発生段階をSaruwatari⁶⁾に従い1日当たり最大50個まで判定した。なお,卵と同時に採集された仔魚についても10%ホルマリンで固定後,計数した。さらに肉眼観察により,親魚の活性と摂餌を示す消化管の呈色状況,および体外から白く認められる成熟卵が雌の腹腔に占める割合を適宜に記録した。また,産卵が行われた6月19日午前8時~20日午前8時に,VTRカメラ(SONY-CCD3)によりシラウオの行動を記録した(Fig. 1)。

6月下旬に雄の衰弱が顕著となったため,7月1日に1 t水槽から雄1個体を追加した。7月8日に,観察開始時から観察用水槽で飼育してきた雄雌が同時に死亡し,観察を終了した。

結 果

1. 卵・仔魚の日別採集数と卵の発生段階

5月31日に342個,6月11日に677個,6月20日に339個,そして6月28日に145個と,多数の卵が4回採集された(Table 1)。これら4回の他に,少数の卵が採集された日も多く,観察終了時(7月8日)には水槽の洗浄流水中から31個の卵が得られた。以上の合計卵数は1,664個であった。

5月31日,6月11日,6月20日に採集し,発生段階を判定した各50個の卵は,6月11日の4個の死卵以外すべて卵黄栓形成期までに留まっていた(Table 1)。また,6月28日に採集した卵のほとんどは卵割が認められない

未受精卵であった。6月4~6日と6月12~13日に少数ずつ採集された卵は,徐々に発生が進んでいた。しかし,6月14日以降の少数採集の卵は,6月29日の5個の未受精卵を除いて全て死卵であった。

一方,仔魚の日別採集数には2つのモードが認められた(Table 1)。それぞれの採集数は,6月8~14日には10日の111個体を最高として計219個体,6月18~24日には20日の32個体を最高として計73個体であり,合計採集数は292個体であった。従って,卵と仔魚を合わせて確認された産卵数は1,956個であった。

2. 雌親魚腹腔内の肉眼観察

雌の腹腔内に白い塊として認められる成熟卵の,その腹腔に占める割合は,卵が多数採集された6月11日と次の6月20日の間に徐々に増加していた(Table 2)。その

Table 2 Rate of the length of whitish swelling to the abdominal cavity length and rate of the length of orange-colored swelling to the gut length. They indicate volume of matured eggs and feeding condition of the female respectively.

Date	No. of eggs on the net	Rate of whitish swelling to the abdominal cavity ※	Rate of orange-colored swelling to the gut ※
10-Jun	0	2/3	-
11	677	invisible	-
12	2	-	4/5
13	6	-	-
14	1	1/3	-
15	2	-	-
16	0	2/3	-
17	0	2/3	-
18	0	2/3	-
19	2	2/3	invisible
20	339	invisible	invisible
21	5	invisible	1/3
22	5	invisible	1/2
23	2	invisible	4/5
24	5	1/4	4/5
25	12	1/3	1/3
26	4	1/2	invisible
27	16	1/2	invisible
28	145	1/3	invisible
29	19	1/3	invisible
30	2	1/3	invisible
1-Jul	6	1/3	invisible
2	13	1/3	invisible
3	1	1/3	invisible
4	2	1/3	invisible
5	0	1/3	invisible
6	0	1/3	invisible
7	0	1/3	-
8	31	1/3	-

※ Visual observation.

-: no data.

後、卵が多数採集されると同時に腹腔内に成熟卵は認められなくなった。また、6月下旬に入って雄が衰弱し、6月末頃には雌の活性も低下した。その6月末の多数採集（6月28日）以後、雌の腹腔に対して1/3程度の成熟卵が残存し、死亡までその状況は変わらなかった。

一方、アルテミア幼生を摂餌していることを示す消化管における橙色の呈色は、6月20日前後にはほとんど認められなかったが、その3～4日後には消化管全体に認められるようになった（Table 2）。

3. VTR観察

VTR観察では、雌雄が密着して体を震わせる行動や雄が雌を追尾する行動等¹⁰⁾が合計29回観察された（Fig. 2）。中には両者の判別が出来なかった場合も見られたが、いずれも産卵に関わる行動と考えられる。これらの行動は6月19日19時00分～21時30分と20日0時30分～2時30分の2つの時間帯に集中して観察された。同時に成熟卵が腹腔に対して占める割合は、19時には約2/3であったものが、21時30分には約1/3に減少し、2時30分には成熟卵は確認出来なかった。

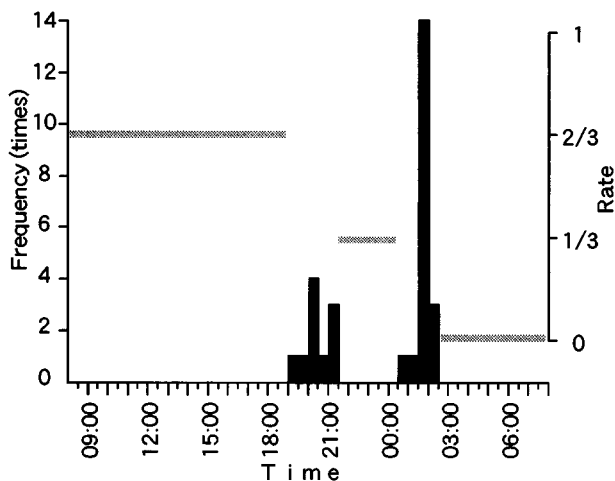


Fig. 2 Frequency of spawning actions for each half hour (histogram) and rate of the length of whitish swelling to the abdominal cavity length of the female (pale lines), between 8:00 on June 19 and 8:00 on June 20. The rate indicates volume of matured eggs.

考 察

水槽内で産卵された卵の日別採集において、約10日間隔で4回の多数採集が認められた。多数採集日以外に採集された卵および仔魚については、発生段階と、ふ化に要する積算水温が3,570～5,370・時とされている⁶⁾ことから、その直前の多数採集日に産出されたものと推察

される。以上に加え、雌の腹腔内成熟卵量と消化管の呈色状況の肉眼観察およびVTR観察結果から、シラウオの雌が摂餌を行いながら約10日間かけて卵を成熟させた後、数時間で全て産出するという過程を繰り返したことは明らかである。

1回目の産卵数は、5月31日～6月7日に採集された卵367個に、6月8～14日に採集された仔魚219個体を加えて586個となる。同様に2回目は761個であった。これらの値はシラウオの抱卵数⁶⁾にほぼ相当することから、この2回の産卵は正常に行われたと考えられる。一方、3回目と4回目の産卵は、それぞれに由来すると考えられる発生の進んだ卵や仔魚の採集がなかったこと、および4回目の産卵以後に雌の衰弱と腹腔内における成熟卵の残留が認められたことから、正常に行われなかった可能性がある。また観察用水槽に収容した時点で雌が産卵直後であった可能性もあり、産卵回数については今後の課題として残された。

シラウオの雌は、限られた腹腔の容積を繰り返し利用することで、抱卵数を越える産卵を可能にしていると考えられる。同時に、間隔をあけて産卵することによって、好適時期にふ化する仔魚を確保しているのであろう。この様にして、シラウオは年魚であるにもかかわらず、確実に子孫を残していると思われる。

シラウオは生息する地域や年級によって卵径や抱卵数が異なる⁶⁾。同様に、産卵回数や産卵間隔なども地理的条件や資源状態などによって変化する可能性があり、本種の産卵様式の解明には更なる調査研究が必要と思われる。

要 約

1. 水槽内において雌雄1対のシラウオによる産卵を観察した。
2. 産卵は約10日間隔で4回観察されたが、卵の発生と仔魚の出現が認められたのは内2回であった。
3. その2回の推定産卵数は、それぞれ586個と761個であった。
4. 1回の産卵において、約7時間に29回、産卵に関わる行動が観察された。
5. 今回確認された産卵数は計1,956個であった。

謝 辞

シラウオの飼育方法をご教授下さいました東京大学海洋研究所猿渡敏郎博士に感謝申し上げます。また親魚の採集・飼育に協力頂いた後志北部地区水産技術普及指導所

職員諸氏および中央水試資源管理部同僚諸氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 田中克, 落合明: “37・2 シラウオ”. 新版魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 1986, 475-477.
- 2) 堀田秀之, 田村正: シラウオ (*Salangichthys microdon* BLEEKER) の生態について. 北大水産彙報 .5(1), 41-46 (1954)
- 3) 千田哲資: 岡山県高梁川における産卵期のシラウオ. 魚類学雑誌 .20(1), 29-35 (1973)
- 4) 千田哲資: 岡山県高梁川におけるシラウオの産卵場. 魚類学雑誌 .20(1), 25-28 (1973)
- 5) 山口幹人: 石狩川水系のシラウオ産卵場を発見. 北水試だより . (27), 40-42 (1994)
- 6) Saruwatari, T. : Studies on the reproductive biology of Japanese Salangid fishes. Ph. D. Thesis, Tokyo Univ., 1988, 221p.
- 7) 三浦雅大: 小川原湖におけるシラウオの資源生態学的研究. 東北大学修士論文, 1992, 38p.
- 8) 松原喜代松・落合明: “第24節シラウオ *Salangichthys microdon* (BLEEKER)”. 魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 1965, 516-518.
- 9) 山口幹人: シラウオの飼い方. 北水試だより .(35), 7-14 (1996)
- 10) 山口幹人, 藤岡崇, 猿渡敏郎: 水槽内で観察されたシラウオの産卵行動. 平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 85 (1997)

噴火湾底層における貧酸素水塊の形成と消滅

西田 芳則^{*1}, 掘井 貴司^{*2}, 西浜 雄二^{*3}

Formation and disappearance of the oxygen deficient bottom water in Funka Bay, Hokkaido

Yoshinori NISHIDA^{*1}, Takashi HORII^{*2} and Yuji NISHIHAMA^{*3}

Seasonal changes in the dissolved oxygen concentration of the bottom water in the central part of Funka Bay at 95m depth were investigated at intervals of one to three months during 1995 ~ 1997.

A Van Dorn water sampler modified by us was used to sample water exactly one meter above the bottom sediment. The oxygen consumption rate in the bottom water was estimated at 0.07 mg O₂/ℓ/day from the correlation between the rate of decrease in salinity and the rate of decrease in oxygen concentration.

When the Winter Funka Bay Water had remained near the bottom until late spring, the oxygen concentration of the bottom water tended to decrease successively until late summer, subsequently the flathead founder *Hippoglossoides dubius* was unable to inhabit there.

The oxygen deficient water mass in 1995 is suggested to have disappeared during autumn due to intermittent inflows of cold oxygen-rich deeper water from outside of Funka Bay along the bottom over the sill(85m depth), and in autumn 1996 due to an intrusion of the Tsugaru Warm Current which reached to the bottom layer.

キーワード：バンドン採水器，酸素消費率，貧酸素水塊，アカガレイ，移流

アカガレイは噴火湾のカレイ類のうち、現在もっとも重要な漁獲対象種である。1995年における本種の資源水準は、1987年と1989年に発生した卓越年級群に支えられて、やや高い状況にあった¹⁾。ところが、1995年9月初めに「噴火湾中央部でアカガレイが漁獲されない」という漁業者からの通報があった。さらに、聞き取りによれば、刺網にかかった魚が死んでいる、またやや浅いところでは漁獲されている、とのことであった。

似たような現象は1978年に陸奥湾で起きたことがある。刺網にかかったカレイ類などが大量に斃死した。ただちに詳細な調査が実施され、底層に貧酸素水塊が出現したことが原因であると報告された²⁾。

アカガレイは低温性なので、噴火湾では夏季には湾中央部底層の低水温域に分布している³⁾。しかし、横山ら³⁾の調査では海底直上の溶存酸素量は十分にあるもの

と仮定されていたようであり、1995年までは海底直上水の酸素の状況には関心が払われていなかった。

噴火湾の底層水の溶存酸素量は夏季に著しく減少する。その年間最低値は1.5~3.5ml/ℓであり、年により異なることが報告されている⁴⁾。しかし、噴火湾の海洋条件の鉛直分布の調査では船上からワイヤーロープに取り付けたナンセン型採水器が用いられたので、海底からの採水距離が必ずしも厳密なものではなかった。それゆえ、船上から懸垂する従来の採水方法は、アカガレイが棲息する海底直上の酸素状態を検討しようとする場合には、適当ではない。

筆者らは新たに試作した直上水採水器を用いて、1995年9月から1997年11月まで、噴火湾の海底直上の溶存酸素量の変動に関する調査を実施した。本稿では噴火湾底層水の溶存酸素量の減少過程・回復過程に関して報告す

報文番号 A 283 (1999年2月22日受理)

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

^{*2}北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan)

^{*3}北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture, Shikabe, Hokkaido, 041-1404, Japan)

るとともに, アカガレイの分布に言及する。

方法

噴火湾の海底地形と調査地点を図1に示した。1995年9月から1997年11月までの計16回, 湾最深部のSt. 4(またはSt.29)において, 溶存酸素量を調査した。海底直上(1m上)水の採水には後述する改変バンドン型採水器を用いた。他の深度の採水にはナンセン型採水器を用いた。ウインクラール・アジ化ナトリウム変法によって溶存酸素量を測定し, mg/l単位で表した。ml/l単位には×0.7で換算される。各調査点の水温・塩分をCTDによって海面から海底直上5mまで観測した。海底直上1mの溶存酸素飽和度の計算にあたっては, 海底直

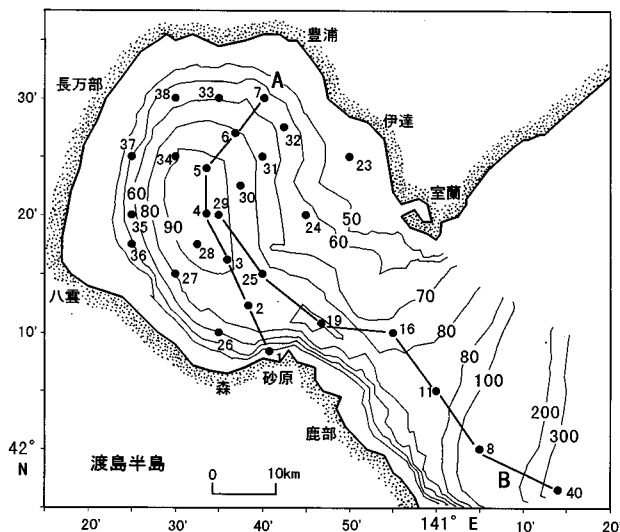


図1 噴火湾の海底地形と調査点

上5mの水温・塩分値を用いた。なお, 本報では酸素濃度3.0mg/l以下の水塊を貧酸素水塊⁵⁾として扱った。

結果と考察

1. 溶存酸素量の鉛直分布

1995年9月の湾中央部(St. 3~5)における酸素量の鉛直分布を図2に示した。各定点の水深はSt. 3から順に92, 96, 95mである。海面下2mから深度75m付近までの酸素量は各定点とも5~8mg/lの範囲内にあり, この深度内の飽和度はすべて50%以上であった。しかし, 酸素量は深度85mから急激に減少して, 海底直上1mでは約3mg/l(飽和度約30%)であった。

夏季の噴火湾最深部において, 酸素飽和度が海底近くで急激に減少して, 貧酸素状態になる事例は, 1979年⁶⁾

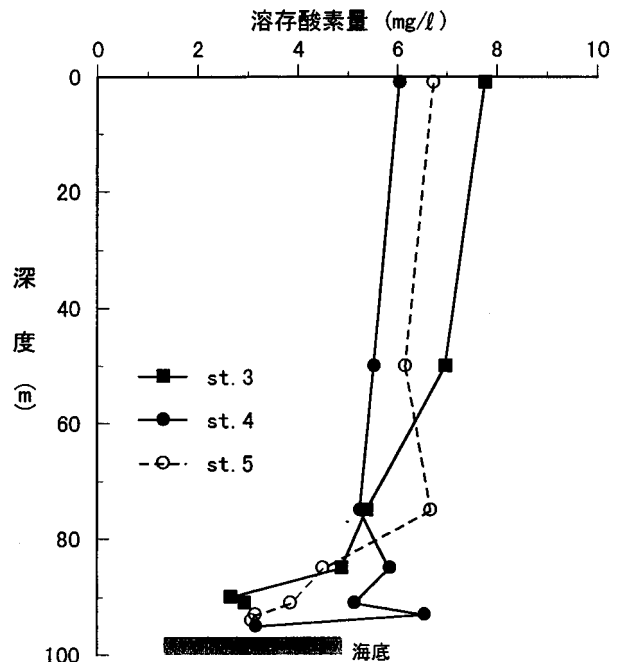


図2 噴火湾中央部(st. 3~4)の溶存酸素量の鉛直分布(1995年9月26日)

や1995~1996年⁷⁾の鉛直変化図に示されている。また, 同様の状況は1978~1979年の深度別経時変化の図⁸⁾からも読みとれる。

噴火湾の透明度はほぼ5~18mの範囲で季節変化を示し, 一次生産の補償深度は夏季に最高40mである⁹⁾。それ以深では植物プランクトンの光合成による酸素補給がないので, 溶存酸素は消費されるだけである。夏季の噴火湾底層では, 酸素消費量が経時的に増加することに伴って, 燐酸態燐が増加することが報告されている¹⁰⁾。このことは, 有機物が分解されるときに, 溶存酸素が消費されることを意味している。また, 懸濁有機物量が上層に比べて海底近くでは著しく多いことが, 多層採水器を用いた調査によって報告されている⁸⁾。さらに, 海底近くの有機物は春季に大增殖した植物プランクトンが沈殿したものであることが示されている⁸⁾。

春季ブルーミングの沈殿物が刺網に付着したものを, 漁師はヌタあるいはドロと称している。刺網にヌタが付着すると, 魚がかかりにくくなる。このことは噴火湾の漁師の間でよく知られている現象である。この事実から, 春から夏にかけて底層付近で酸素量が極度に減少するのは, 海底付近で有機物量が多いことに起因していると考えられる。

2. 海底直上における溶存酸素量の分布

海底直上水を採水するための採水器を試作した(図

3) 市販されているバンドン型採水器を逆さまにして、メッセンジャーが採水器にあたる部分に、重りの付いた支柱を取り付けた。この重りが海底に着地すると、その衝撃によって支柱が押され、採水器のフックが外れて蓋が閉まる仕組みになっている。それゆえ、海面からの距離ではなく、海底面からの距離が一定になる。支柱の長さは、採水器の中央部が海底直上1mになるようにした。

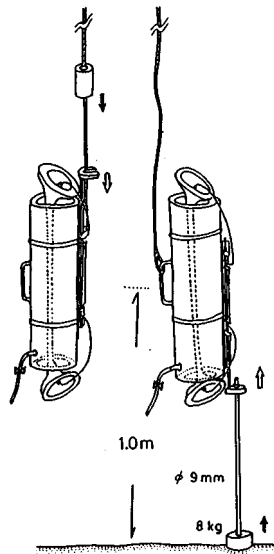


図3 改変したバンドン採水器(右図)

この直上水採水器を海底上20mほどから自由落下させることによって、調査船が風に流されることによる懸垂ロープのたわみや、波浪による船の揺れに関係なく、海底1m上を採水できた。とくに次に述べる直上水の溶存酸素量の分布調査では、操作が簡便であり、能率的であった。

1997年9月の海底直上1mにおける酸素量の水平分布を図4に示した。水深70m以浅の酸素量は約 $7\text{mg}/\ell$ 以上であったが、それ以深では深くなるにつれて減少する傾向にあった。酸素量の等値線は等深線とほぼ一致しており、酸素量が $3.0\text{mg}/\ell$ 以下の貧酸素域は水深90m以深の海盆部でみられた。

噴火湾は最大水深が約96mであるのに対して、湾口部(室蘭~鹿部)の最大水深が約85mなので、湾口部にsill(しきい)を持った海底地形になっている¹¹⁾。そのため、sillの水深よりも深所に分布する湾内底層水は滞留しやすくなる。したがって、夏季に底層水の貧酸素化が湾中央部においてよくみられることは、前述した海底付近で有機物が多いことに加えて、底層水が停滞しやすいことと強く関係していると推察される。

1978年に陸奥湾で起きたカレイ類などの大量斃死の原

因は、海底直上2mの厚さに出現した貧酸素水塊であった。さらに、水槽実験ではクロソイやマコガレイは溶存酸素が $3\text{mg}/\ell$ ($4.3\text{mg}/\ell$)に減少すると苦悶しはじめ、 $2\text{mg}/\ell$ ($2.9\text{mg}/\ell$)以下になると短時間で死亡に至ると報告されている²⁾。

陸奥湾での斃死現象は8月下旬~10月上旬に4回、おもに東湾の水深30~40mで起きたものであり、9月の底層水温は21ほどであった。4回はともに大潮のときであり、また斃死が認められる前日の漁獲量が多くなっているという事実から、貧酸素水塊が移動することに伴って、それを避けるために魚の移動が活発であったことが推察される。なお、陸奥湾では夏季には底層においても水温が高いため、アカガレイは分布していない。

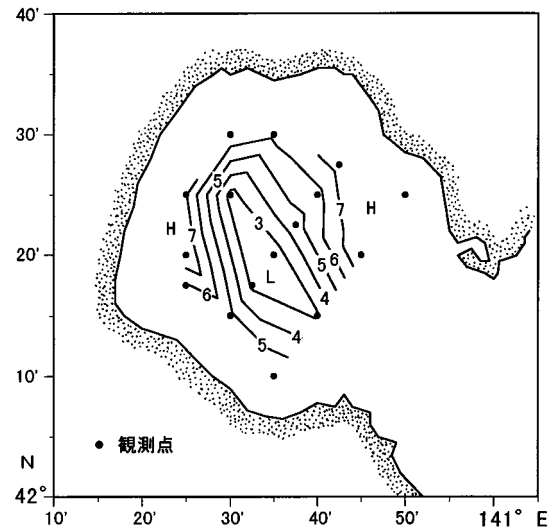


図4 海底直上1mの溶存酸素量(mg/ℓ)の水平分布(1997年9月9日)

噴火湾では、底層が貧酸素状態になると、アカガレイはその水域をさけて、酸素が十分にあるやや浅みに移動したと考えられる。しかし、本種は冷水性であり、棲息に適した上限水温が約 7°C ³⁾とすれば、移動の範囲は底層の水温が 7°C ほどの水深60m以深であったと推測される。聞き取りによれば、アカガレイは水深85m付近で多く漁獲されたようである。

3. 溶存酸素量の周年変化

1995年9月から1997年11月までの湾中央部(St. 4またはSt.29)底層水中の酸素量および水温・塩分・密度の周年変化を図5に示した。1995年9月の酸素量は約 $3.2\text{mg}/\ell$ であったが、11月には酸素量が約 $6.6\text{mg}/\ell$ まで上昇し、湾中央部底層水の貧酸素状態は解消された。1996年2月には酸素量が約 $9.4\text{mg}/\ell$ 、飽和度では約90

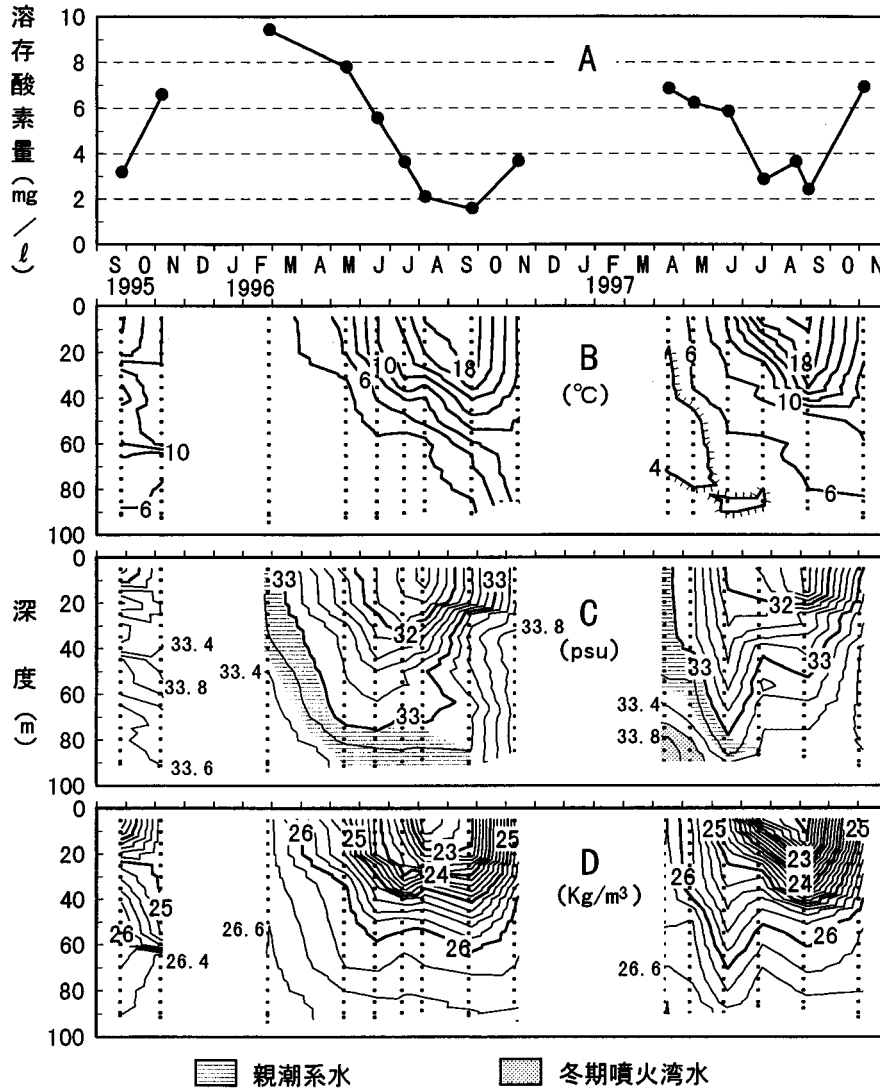


図5 噴火湾中央部における海底直上1mの溶存酸素量(A)と、水温(B)・塩分(C)・ ρ_t (D)の鉛直分布の時系列変化

%近くに達し、年間最高になった。その後、酸素量は9月まで減少しつづけた。5月から8月にかけての減少量がとくに大きく、9月には酸素量が年間最低の約1.6mg/l(飽和度15%)になった。1996年11月には酸素量は再び上昇して、約3.6mg/lになった。

1997年4月の酸素量は約6.8mg/lであり、前年5月の酸素量(7.7mg/l)と比べても約1mg/l少なかった。しかし、その後の低下量が1996年の同時期ほどには大きくなかったため、6月時点での酸素量は1996年と同程度の約5.8mg/lであった。その後、6月から7月にかけての低下量が大きかったため、7月の酸素量は約2.9mg/lまで低下した。酸素量は8月にわずかに上昇したが、9月には再び低下して約2.4mg/l(飽和度23%)になった。11月には酸素量は前年と同様に上昇し、約6.8mg/l

lになった。

海面冷却による鉛直混合が海底まで達している間は、底層水中の酸素量は100%近くになっているが、親潮系水が湾内へ流入すると、海面冷却による鉛直混合が親潮系水内で留まるため¹¹⁾、底層へは酸素が補給されなくなる。また、噴火湾に出現する水塊は、水温3以下で塩分33.3以下が親潮系水、3~6で33.6以下が冬期噴火湾水、6以上で33.6以上が津軽暖流水と区分されている¹²⁾。1996年2月の底層水の水温は前年11月よりも2低下し、かつ密度は26.4から26.6と重くなっていた。このことは1995年11月から1996年2月の間に、海面冷却による鉛直混合が海底まで達したことを示している。このため、1996年2月の底層水中の酸素量は多かったと考えられる。しかし、1996年2月の深度50m以浅には親潮

系水が流入していたので、底層水中の溶存酸素量はこの時期を境に減少しはじめたと考えられる。

4. 底層水の交換量と溶存酸素量の減少率

1996年2月の水温は海面から海底まで3台であり、塩分は海面から深度50mまでは約33.0~33.4、深度50m以深では33.4であった。5月には、2月に深度50m以深にみられた塩分33.4の水塊は分布していなかった。水温および塩分は5月以降、深度50m以浅では昇温・低塩分化したが、深度80m以深では9月まで約3および33.3で推移し、大きな変化はなかった。

1997年4月の水温は、深度20~70mに約3の極小域がみられた。塩分は50m以浅では約33.2であったが、50m以深から増加して底層では約33.8であった。その後、塩分は4~6月まで全層低塩分化し、とくに4月に底層でみられた33.8の高塩分水は6月にはみられなかった。

前述の水塊区分によれば、1996年2月に海面から深度50mまで分布していた親潮系水は、2月以降、分布深度が深くなって5月には海底まで達し、その状態は9月ころまで持続した。一方、1997年には、4月時点では親潮系水の分布深度が50m以浅にみられ、深度80m以深は冬期噴火湾水に占められていた。親潮系水が海底まで達したのは6月ころであった。

St.29における、1996年5月と1997年4月の塩分の鉛直分布を図6に示した。水塊分布が両年で異なっているため、1997年の方が全深度で高塩分となっていた。しかし、中層から底層にかけての塩分の鉛直変化率は、1996年には0.0221 (PSU / m : 深度70m~90m)であったのに対して、1997年には0.0192 (PSU / m : 深度50m~90m)であり、両年ともほぼ同様であった。

例年、親潮系水は2月の上中旬ころから湾口部に接岸し、湾内へ流入する。湾内底層水は親潮系水の流入初期には滞留しているが、流入量が増加すると、底層水は谷状部の海底に沿って湾外に流出し、底層水は上方にあった親潮系水と冬期噴火湾水との混合水へと置き換わることが知られている¹¹⁾。前述したように、1997年4~6月は底層水が冬期噴火湾水から親潮系水へと交換していた期間にあたり、冬期噴火湾水は湾外へ流出したと推察される。この期間の溶存酸素量は約0.016mg / ℓ / 日の割合で減少した。一方、1996年5~8月には底層に親潮系水が滞留しており、酸素減少率は前者よりも多く、約0.070mg / ℓ / 日であった。底層水が流出していると、溶存酸素量の減少率は小さくなる関係がみられる。

ところで、底層の塩分の減少率は、親潮系水が滞留していた1996年5~8月には0.001PSU / 日であったが、底層水が流出していた1997年4~6月では0.008PSU /

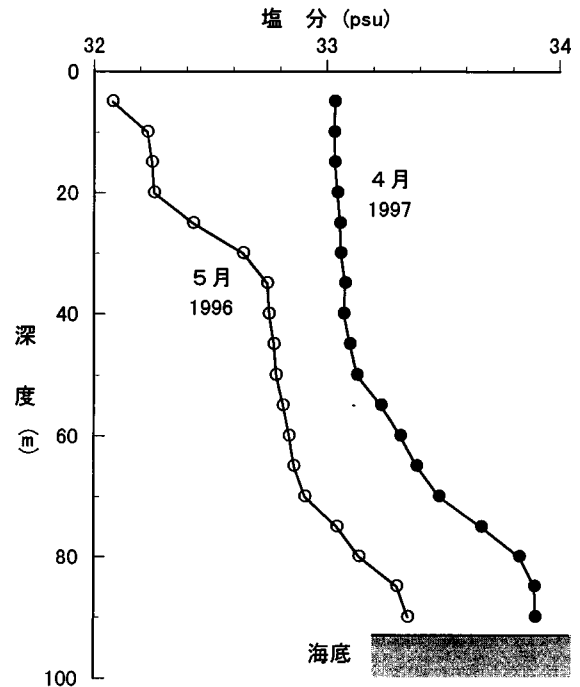


図6 噴火湾中央部 (ST. 29) における塩分の鉛直分布

日と大きかった。このことは、図6に示した中層から底層にかけての塩分の躍層構造からみて、底層水の塩分の時間変化量が底層水の湾外流出量の指標となることを示唆している。

そこで、1996年5~8月と1997年4~6月の期間における、1日当りの塩分の低下率 (S) と酸素の減少率 (DO) との関係を図7に示した。鉛直上方からの酸素供給を仮定しているため、相関をとった期間は図5から底層の密度が減少している期間とした。塩分の低下率と酸素の減少率の間には高い負の相関関係 ($r = -0.98$) があった。このことは、1996年5~8月と1997年4~6月の酸素量の減少率の違いは、底層付近の海水交換量の違いに起因し、1997年4~6月の方が1996年5~8月よりも上方からの酸素供給が多かったと考えられた。底層付近において上方との水の置き換えがない場合には、図7の関係式から、底層水の酸素量は0.076mg / ℓ / 日の割合で低下することになる。

5. 底層水の停滞性の経年変化

底層水の停滞性に関する過去の状況を検討するために、1990年から1995年までの5月における水温・塩分の水平分布を図8に示した。底層の水温は1995年には湾中央部において5であり、周囲の水温よりも高かった。また底層の塩分は1990、1995年には湾中央部において33.6であり、周囲よりも高かった。したがって、1990、1995年

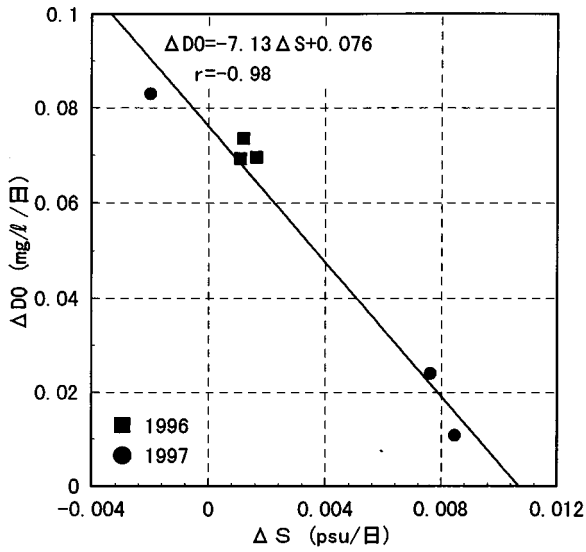


図7 噴火湾中央部底層における塩分の低下率 (Δ S) と溶存酸素減少率 (Δ DO) との関係

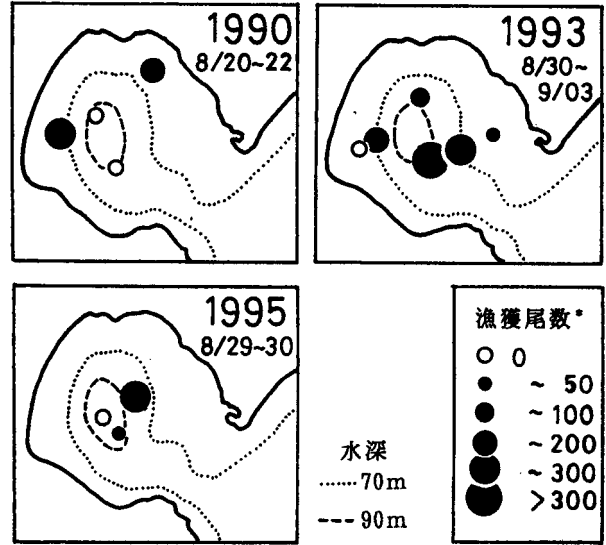


図9 8月下旬の噴火湾におけるアカガレイの分布
* 着底トロール3ノット15分曳網当りの入網尾数 (前田1990~1995から改変)



図8 5月の底層における水温・塩分の水平分布 (1990年~1997年)

の底層水は冬期噴火湾水の性質を強く残しており、冬季から春季にかけての停滞性は強かったと考えられる。

前田¹³⁾から改変・作図した8月下旬のアカガレイの分布量調査結果を図9に示した。同時期の1991年および1992年の分布図は報告されていない。また1996年と1997年には最深部での調査点はない。アカガレイは、1993年には湾の中央部に多く分布していたのに対して、1990年

と1995年には湾中央部では少なかった。1995年には9月にも貧酸素であった(図2)こと、および米田⁷⁾による5月の調査時点でも、底層の溶存酸素量はすでに3.8mg/lまで低下していたことから、アカガレイは夏季には最深部には分布していなかったと推察される。1990年夏季の酸素量のデータはないが、冬期噴火湾水の停滞性が強かった(図8)のために、夏季に底層水は貧酸素になり、

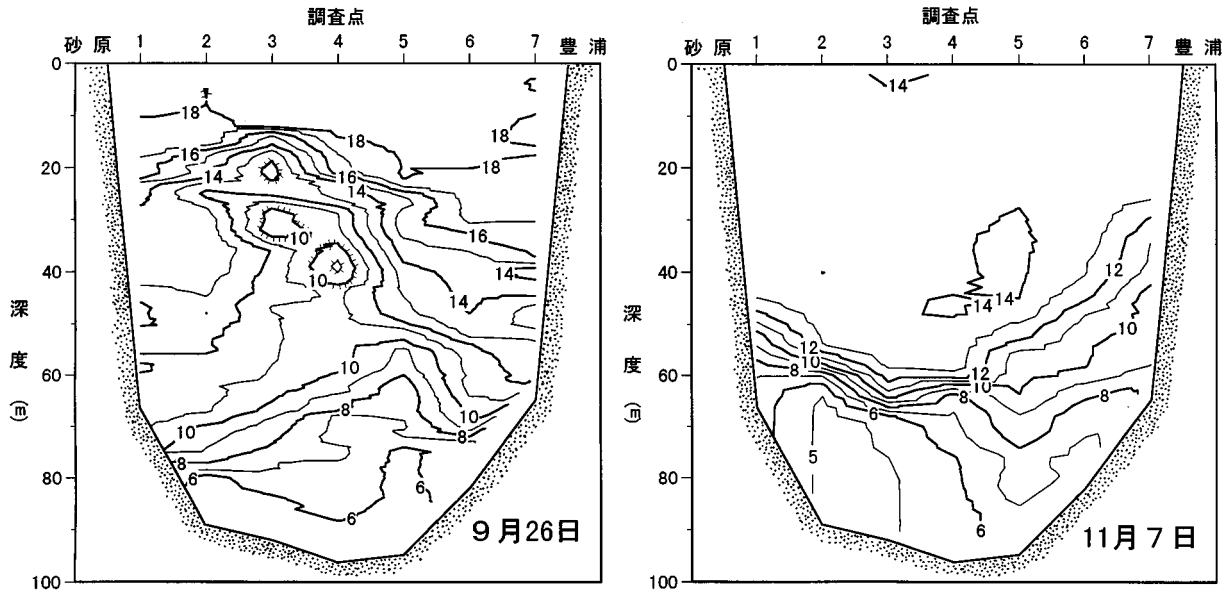


図10 噴火湾の砂原～豊浦断面における水温分布（1995年）

そのことが最深部でのアカガレイの分布を減少させたと推察される。

以上のように、親潮系水の流入期に冬期噴火湾水が滞留する傾向にあれば、その後、夏季に貧酸素水塊が発生しやすい傾向にあることが示唆された。

6. 底層水の溶存酸素量の回復

1995年と1996年の9月の海底直上水の酸素量はともに約3.0mg/lと低かった（図5）。しかし溶存酸素量は両年とも11月には増加して、底層水の貧酸素状態は解消された。

貧酸素状態が解消する前後での海洋構造を比較するため、Aライン（図1）における1995年の9月と11月の水温の鉛直断面を図10に示した。9月にはSt. 3, 4の深度40m付近に水温の逆転がみられたが、他はほぼ海面から海底まで連続的に水温は低下しており、深度80m以深の水温は約5℃となっていた。11月には海面冷却による鉛直混合によって、湾中央部では水温が海面から深度50mまで約13℃と一様であったが、St. 2, 3の深度70mから海底までの水温は約4℃であり、9月に比べ約1℃低下していた。

底層での低水温の範囲を6℃の等値線以下とすると、水温6℃の等値線は9月には深度80～90mであったのが、11月には砂原側で深度60～70m付近にまで上昇したことになる。このことから、底層での貧酸素が解消した要因は、湾外から酸素の多い冷水が進入したことによると推察された。この時期の湾外の水温・酸素飽和度の鉛直変化を図11に示した。水温4～5℃の水塊は深度100m以

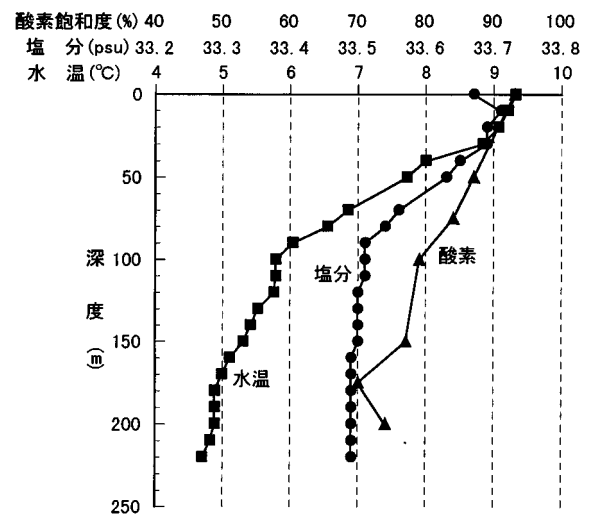


図11 噴火湾外点での水温、塩分、溶存酸素飽和度の鉛直分布（1995年11月24日）

深にあり、その深度での酸素飽和度は70～80%であった。この水塊が湾口部の sill をこえるメカニズムに関しては今後の研究を待ちたい。

1996年9月には、水温は深度30～70mまでは連続的に低下し、それ以深では4～6℃であった（図12）。胆振側 St. 5～7の深度40mを中心に33.6の高塩分域があったが、深度50m以深の塩分は33.2～33.4の範囲内であった（図12）。11月の湾軸方向断面の水温・塩分・密度の分布を図13に示した。海面冷却による鉛直混合によって、深度50m以浅の水温は湾中央部の St.29から湾外の St.40にかけて12℃と一様であった。湾内底層の水温は8℃で

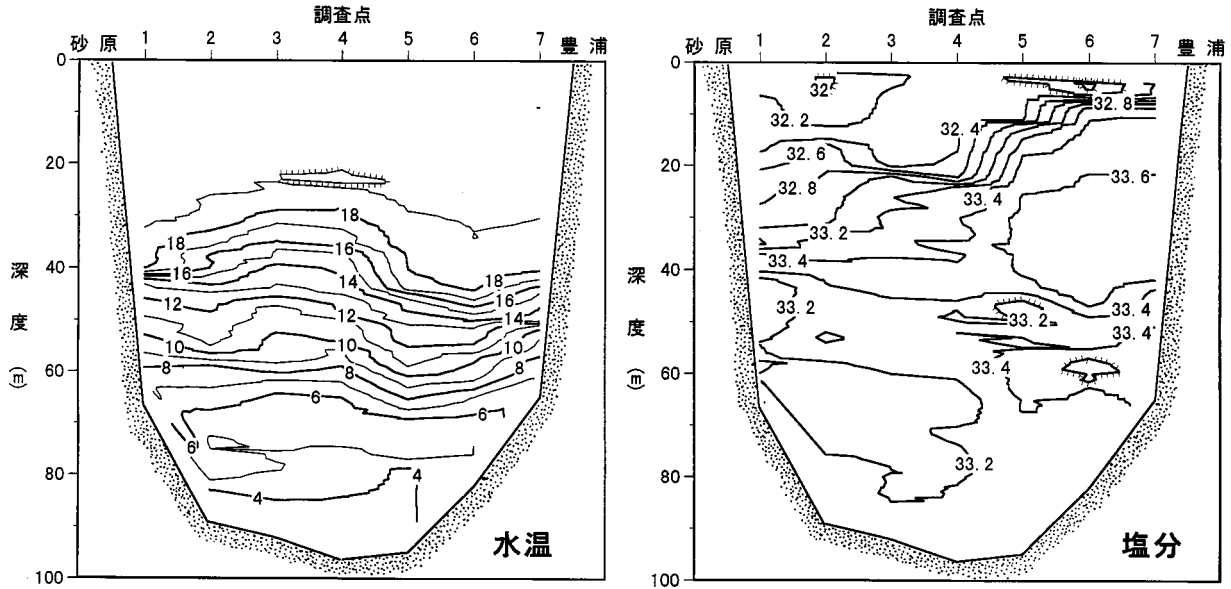


図12 噴火湾の砂原～豊浦断面における水温と塩分の分布 (1996年9月24日)

あり、9月に比べて約5℃上昇していた。塩分は湾内から湾外まで全層33.8～34.0であり、湾中央部 St.29の底層では33.9であった。水温と同様に、塩分も9月に比べて急変していた。9月の下層水は水温・塩分値からみて親潮系水の性質を残していたが、11月には明らかに津軽暖流水に置きかわっていた。

津軽暖流水は例年夏季から湾内へ流入する。暖流水の密度は湾内底層付近の密度よりも軽いため、底層水は湾最深部に閉じこめられ、この状態は鉛直混合が海底に達する冬季まで持続する。しかし、1996年には11月に湾内の津軽暖流水は湾口部の sill よりも深所に浸入していた (図13) ことは、夏季以降の津軽暖流の流入量が多かったことによると考えられた。

以上のことから、噴火湾最深部底層における貧酸素状態の解消、あるいは底層水の溶存酸素量の年間最低値を律する要因に関して、底層あるいは中底層における湾外水の流入が大きく影響していることが示唆された。

謝 辞

本調査に際しご協力をいただいた函館水産試験場所属“金星丸”の乗組員の皆様に感謝いたします。また直上水採水器を試作するにあたり、筆者らの一人(西浜)が十数年前にアイデアをいただいた深瀬茂 元北海道大学水産学部教授に感謝いたします。

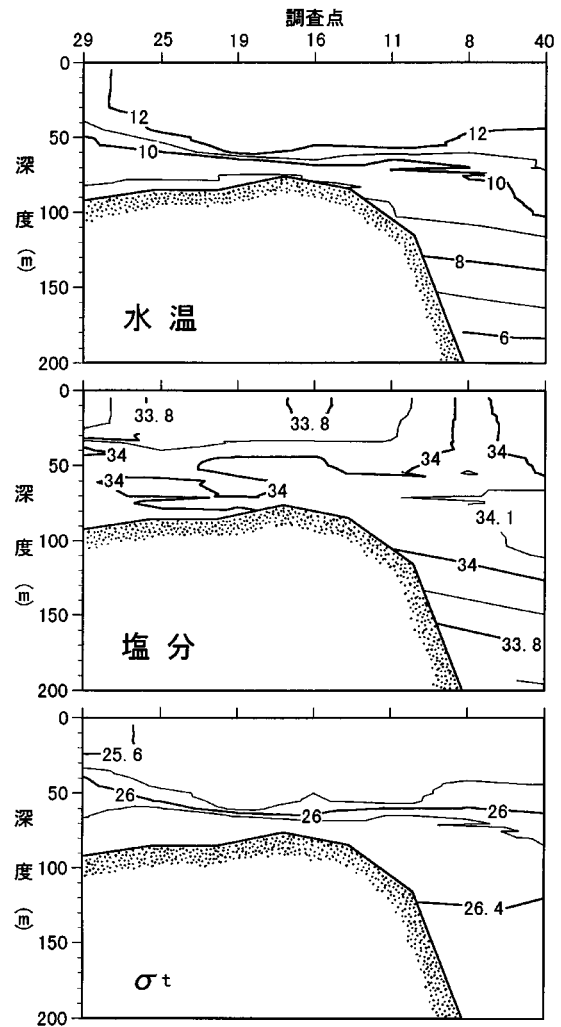


図13 噴火湾湾軸方向の水温、塩分、密度断面 (1996年11月11日)

要 約

1995年9月から1997年11月までの計16回、噴火湾中央部において底層水の溶存酸素量の季節変化を調べた。

1. 海底直上水の採水には、海底からの距離が一定になるように改変したバンドン型採水器を用いた。この採水器を用いることで、海底直上水の採水を、ナンセン型採水器を用いるよりも、簡便に、能率的に行うことができた。
2. 塩分の低下率と溶存酸素量の減少率の相関関係から推定した底層付近での酸素消費率は、約0.07mg/ℓ/日であった。
3. 2～5月の親潮系水の流入期において、冬期噴火湾水の停滞性が強ければ、その後、貧酸素水塊が形成されやすい傾向にあることが推察された。
4. 貧酸素水塊が発生した年には、アカガレイはその周縁部に分布すると推察された。
5. 貧酸素水塊の解消には、津軽暖流水、あるいは湾外の深所に分布する冷水が湾内へ移流することによる効果が大きいことが推察された。

文 献

- 1) 前田辰昭：噴火湾とその周辺海域におけるアカガレイ資源量とその管理に関する研究．財団法人北水協会，水産学術研究・改良補助事業報告（平成8年度），1 - 18（1997）
- 2) 青森県水産増殖センター：「昭和53年夏期陸奥湾に発生した魚貝類の異常へい死に関する調査」．48 pp.（1981）
- 3) 横山信一，前田辰昭，中谷敏邦，高橋豊美，松島寛治：噴火湾およびその沖合におけるアカガレイの分布・移動について．水産海洋研究会報．54(4)，373 - 380（1990）
- 4) 米田義昭：“噴火湾”．日本全国沿岸海洋誌．東京，東海大学出版会，（1985），113 - 125．
- 5) 柳 哲雄：シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ．沿岸海洋研究ノート．(2)，141 - 145（1989）
- 6) 米田義昭：噴火湾における生態系と栄養元素の挙動について．水産海洋研究会報，37，33-36（1980）
- 7) 米田義昭：噴火湾におけるホタテガイ栽培漁場の棲息環境に関する研究．Ⅰ 噴火湾における溶存酸素の時系列変化と堆積物中の脂質組成．財団法人北水協会，水産学術研究・改良補助事業報告（平成8年度），19 - 26（1997）
- 8) Kido, K. and K. Ohtani: Preservation of Particulate Organic matter in the cold Basin water in Funka Bay after the Vernal Phytoplankton bloom. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 32(4)，357 - 375（1981）
- 9) 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）
- 10) 梁田 満，米田義昭，深瀬 茂：噴火湾における無機リンの周年変化とその変化に影響を与える要因．北大水産彙報．27(3,4)，160 - 171（1976）
- 11) 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）
- 12) 大谷清隆：噴火湾の海況変動の研究Ⅱ．噴火湾に流入・滞留する水の特異性．北大水産彙報．22，58 - 66（1971）
- 13) 前田辰昭：噴火湾と周辺海域における底魚類の漁況情報 No.15，No.21，No.24，北海道大学水産学部漁場学講座（1990 - 1995）

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

蔵 田 護*

On the decline in the growth of maricultured scallop, *Patinopecten yessoensis*, in the Okhotsk coastal area of Hokkaido

Mamoru KURATA*

Sowing culture, where seeds are released onto the sea bed, of the scallop *Patinopecten yessoensis* in the Okhotsk coastal area of Hokkaido has developed on a large scale over the last 20 years. However, recently, fishermen have noticed that harvested scallops have shown a decline in growth. Therefore, I investigated details of this decline and its cause based on individual weight data (4 years old), total catch, and area used in the sowing culture, which were gathered using a questionnaire method from 6 fishery cooperations in Abashiri district. As a result, there was a tendency that the growth of scallops had declined on 4 fishing grounds. The biomass (g/m^2) and the density (individual number/ m^2) were used to examine the relation between the density and the growth of the scallops. Individual weight tended to decrease with density being high on all fishing grounds, and of these two, the relation was significant. The upper limit of biomass on each fishing ground ranged from $600\text{g}/\text{m}^2$ to $1,800\text{g}/\text{m}^2$, increasing towards the southeastern area. It is considered that the trend of the decline in the growth is caused to the high density of 4 years old scallops derived from the low mortality of seeds after sowing, due to the improvements in the culturing techniques and in the release techniques of seeds in recent years.

キーワード：ホタテガイ，小型化，成長，生息密度，生物量

まえがき

北海道のオホーツク海沿岸のホタテガイ漁業は，種苗生産技術や放流技術の改善による生残率の向上と大量放流¹⁻³⁾によって発展してきた。しかし，近年，生産現場では貝の小型化が懸念されており，価格の低迷の一因にもなっている。これまで，一時的な成長不良現象は，春の低水温や夏期の餌料不足などの海洋条件の一時的異常で説明されている^{4,5)}が，恒常的な小型化現象の実態とその原因は明確にされていない。

これまで，過剰養殖（増殖）の弊害を防ぐために，一次生産量とホタテガイの摂餌量の関係から許容量を算出することを目的とする調査が，比較的閉鎖的な海域である噴火湾やサロマ湖⁶⁻⁹⁾で実施され，同様に，開放的な海域である常呂・佐呂間，湧別海区^{10,11)}でも実施された。これらの海域では，調査の結果に基づいて養殖量や放流数の規制が行われている。許容量調査では，海洋物理，

摂餌生態などに関連した詳細な調査¹²⁾が同時に実施された。このような調査には多大な費用と調査体制が必要なので，同様な調査を他の海域で実施することは容易ではない。

本報告では，雄武から網走にかけてのホタテガイ漁場ごとの小型化現象の実態を明らかにするとともに，個体重量，漁獲量と漁場面積から求めた生息密度および単位面積当たりの漁獲量（ここでは生物量と呼ぶ）から小型化の原因を解析した。

材料及び方法

網走支庁管内のホタテガイ漁場（図1）を有する雄武，沙留，紋別，湧別，常呂・佐呂間（以下，単に常呂とした），網走の6漁業協同組合を対象に，1996年以前の操業漁場の漁場面積，漁獲量，個体重量をアンケート調査した。このうち，個体重量については，漁業協同組合に

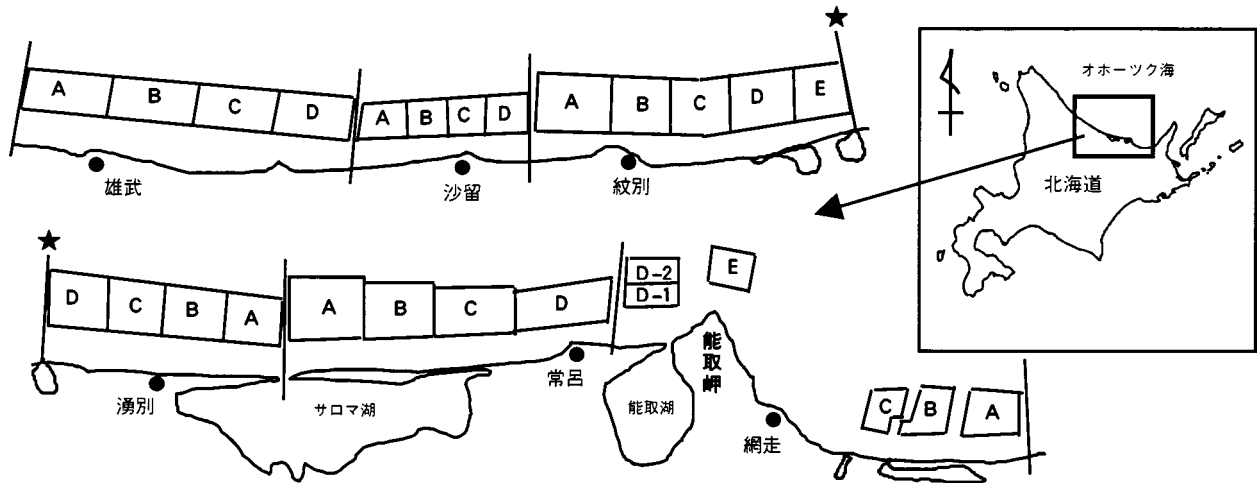


図1 オホーツク海沿岸南部海域のホタテガイ漁場

よって操業期間中の平均重量の場合と、ある代表月の重量の場合があった。また、漁業協同組合によっては個体重量のデータが極端に少ない場合があった。

図1に示したように、すべての漁業協同組合でA～D海区の四輪採制を採用しており、4年貝で操業している。ただし、漁業協同組合によっては、予備海区としてE海区を持つ場合がある。また、漁場整備と称して翌年春の放流以前に残存貝を漁獲しており、この残存貝の分も前年度の漁獲量に含めた。なお、年と漁場によっては、天然貝（放流貝と同じ4年貝）が漁獲されている場合があるが、漁獲量に含めた。本報告では、漁獲量÷漁場面積を生物量（ g/m^2 ）として求めた。次に、生物量÷個体重量を4年貝時点での生息密度（個体/ m^2 ）とした。輪採制漁業では、海区内のホタテガイを全量採取することを目標としているが、回収率が低かったり、放流貝と年齢の異なる天然貝の分布量が多い場合には、実際には漁獲されない群があるために、その漁場の生物量を過小評価することになる。

結果と考察

1. 個体重量の経年変化

6漁場の個体重量の経年変化を図2に示した。雄武では、1990年以降のデータしかないが、個体重量は1991年のB海区を除いて150g前後を推移している。沙留では、雄武と同様に1990年以降のデータしかないが、個体重量は130～170gの範囲で変動しており、経年的傾向はみられない。紋別では、個体重量は、1982年～1984年を除いた1989年以前には、150～180gであったが、1990年以降には1993年のB海区を除いて110～140gになっている。

湧別では、個体重量は1988年以前には1976年と1986年を除いて190～220gであったが、1989年以降には150～190gの範囲で変動している。常呂では、個体重量は1986年には220gであったが、1990年以降には1992年のD海区を除いて160～200gの範囲で変動している。網走の場合、網走湾内に位置しているA、B、C海区では、著しく成長が悪いことがこれまでの調査¹³⁻¹⁵⁾で判明しているので、それらを除いて常呂D海区に隣接した能取岬沖のD海区とE海区だけを示した。網走では、個体重量は1987年以前には200～220gであったが、1991年以降には180～200gの範囲で変動している。

冒頭でオホーツク海のホタテガイの小型化が懸念されていることを述べたが、小型化を明確にした資料はない。そこで、6漁場の個体重量についてトレンドの検定を行った。成長に影響を与えるであろう底質環境や餌料環境の海区による差を考慮すると、各海区ごとに個体重量の経年変化を検討することが望ましいが、現段階ではデータ数が少なすぎることと、同一漁場内の海区による成長の顕著な差は網走A、B、C海区だけであったので、その他の漁場では海区の差を無視して検討した。また、雄武の1991年、紋別の1991年、湧別の1990年、1991年、1995年、常呂の1991年、1995年のように、1988年の秋の大時化¹⁶⁾や1989年の春の低水温による影響⁴⁾、1995年の夏季の餌不足による影響⁵⁾と考えられる一時的成長不良が生じている。このように貝の成長は、海洋条件の影響を必ず受けているので、海洋条件によって成長が著しく影響された年を検討の対象から除くことは困難なので、一時的な成長不良年も含めて検討した。

その結果、雄武と沙留については、1989年以前のデータがないので、小型化しているかどうかの判断はつかない。

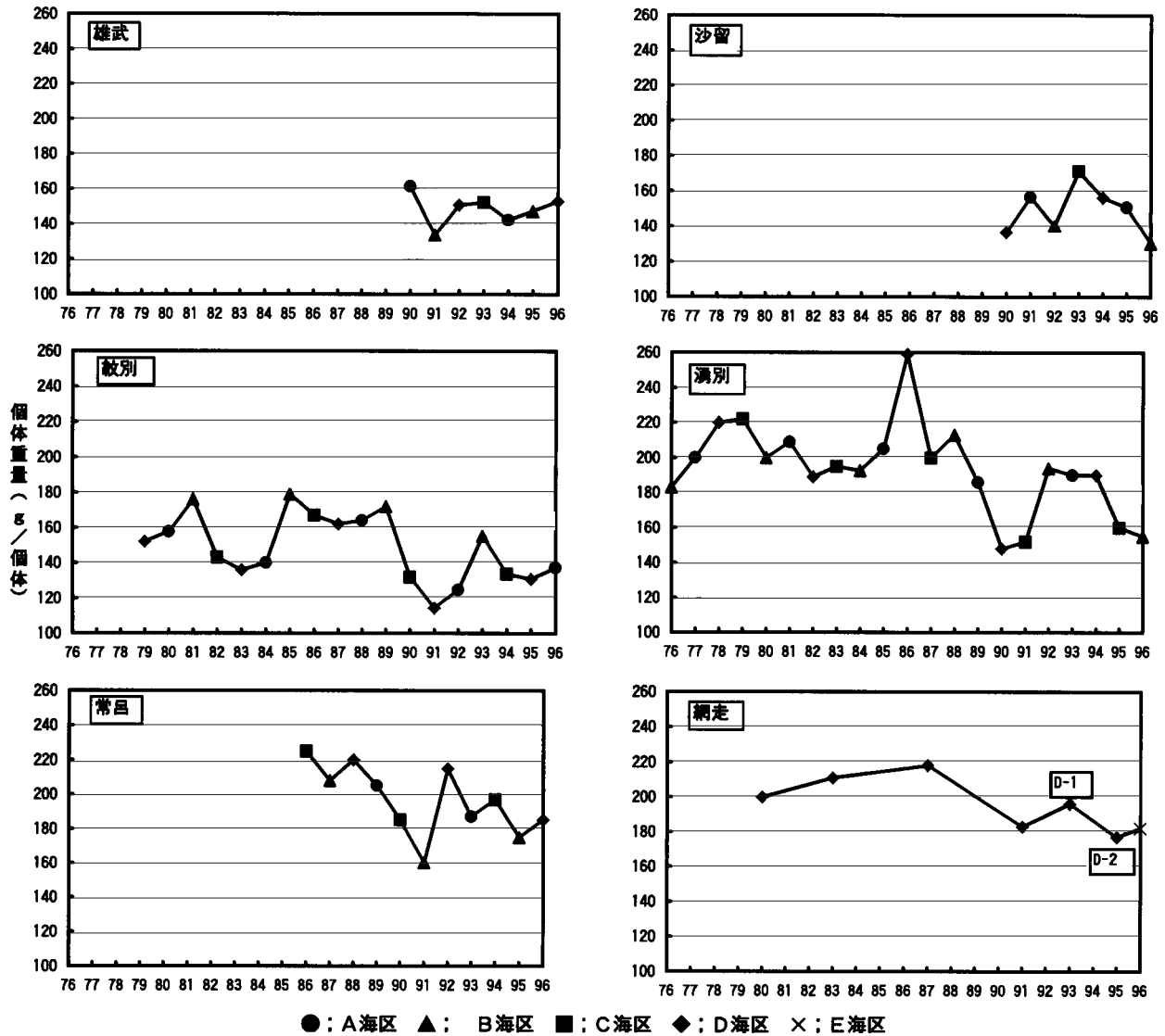


図2 個体重量の推移(4年貝)
網走の場合はDとE海区だけを示した。

かったが、紋別、湧別、常呂、網走については、年を追うに従って個体重量が減少する傾向が有意であった (Spearman の順位相関, 順に $r = -0.49, -0.52, -0.66, -0.79, P < 0.05$)。このように、近年、小型化は一時的な成長不良を含めて、恒常化しつつあるといえる。

2. 生息密度と成長の関係

4年貝時点での生息密度と個体重量の関係を図3に示した。すべての漁場で、生息密度が増加すると、個体重量が減少する傾向がみられる。ただし、雄武では両者の関係が有意と認められなかった。沙留では有意水準5%で相関が有意と認められた。紋別では $P = 0.06$ であった。紋別の場合には、1985年と1989年のB海区で生息密度の

割に個体重量が著しく大きかった。この2点を除くと、有意水準5%で相関が有意と認められた。湧別では有意水準1%で相関が有意と認められた。常呂の場合には、D海区は、他の海区に比べて底質のバラス場が優占しており¹⁷⁾、他の海区に比べて生息密度が高い割に個体重量が大きいので検討の対象から除いた。その場合にも、 $P = 0.56$ であり、有意とは認められなかった。しかし、一時的に極端な成長不良を示した1991年と1995年を検討の対象から除くと、有意水準5%で相関が有意と認められた。網走では、両者の関係は有意とはならなかった。

今回、データ数が少ないことや一時的な成長不良年の値によって両者の関係が有意とならなかった漁場が多かったが、今後、データ数を蓄積することによって、このよ

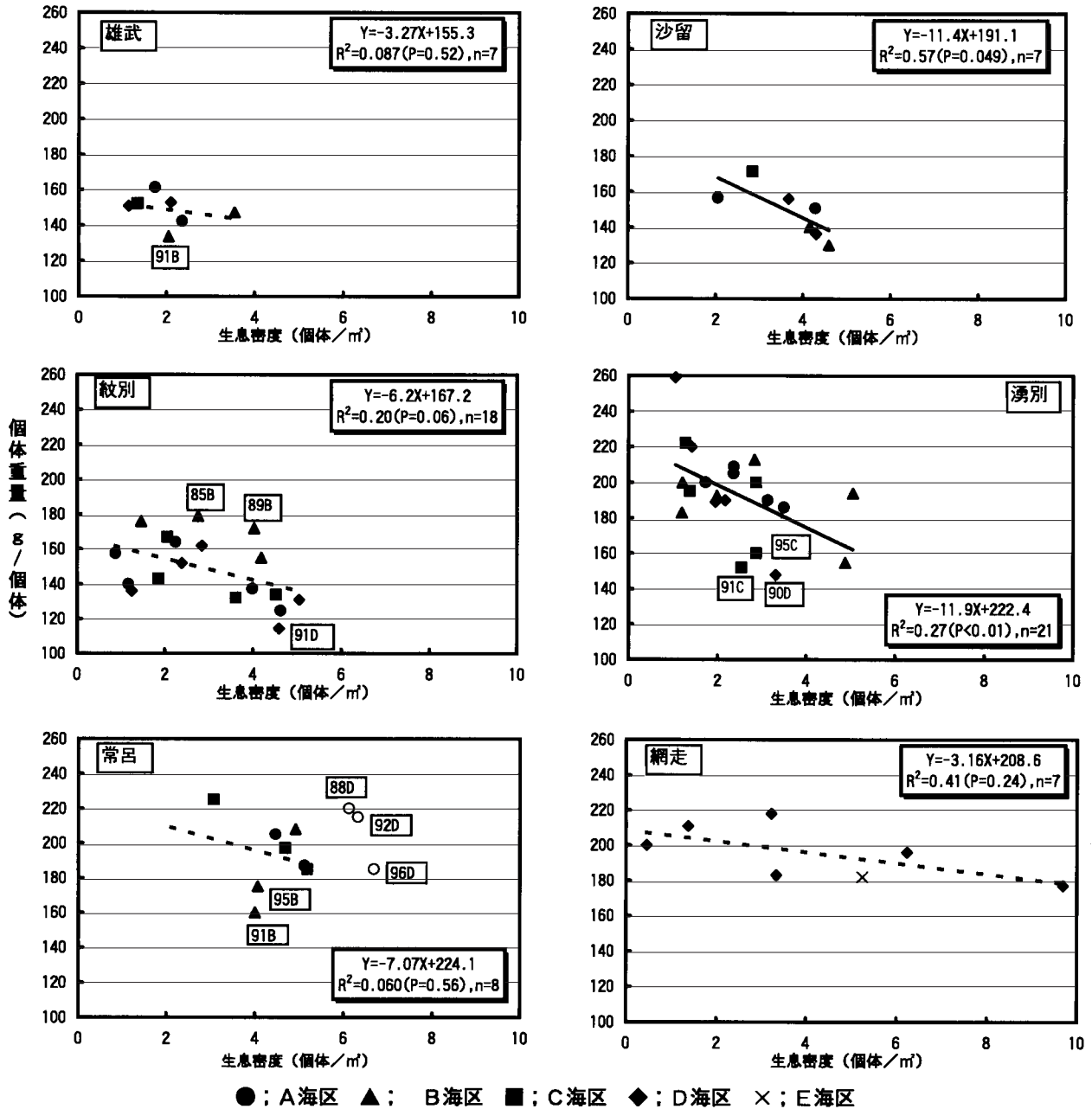


図3 生息密度と個体重量の関係（4年貝）
常呂については、D海区を除いた関係式を示した。

うな漁場でも相関関係が成立すると考えられる。漁場により統計的には危険率に差があるが、生息密度と成長の間に相関があることが2漁場で判明し、成長には密度依存的な要因が強く影響していると推定された。

3. 生物量と成長の関係

前述したように、生息密度が増加するに従って、個体重量が減少する傾向がみられることから、ある生息密度を超えると貝は小型化し、結果として生物量は単純には

増加せずに頭打ちになることが推定される。そこで、生息密度と生物量の関係を、ロジスティック曲線に当てはめ、図4に示した。この関係式から得られた生物量（g/m²）の上限は、雄武が575g、沙留が713g、紋別が762g、湧別が1,080g、常呂が1,125g、網走（能取岬より西側）が1,875gとなり、南部海域ほど高かった。この原因については、宗谷暖流との関連が考えられるが、詳細は不明である。また、雄武の場合は、回収率がまだ他の漁業協同組合に比べて低く、現在、桁の改良や操業

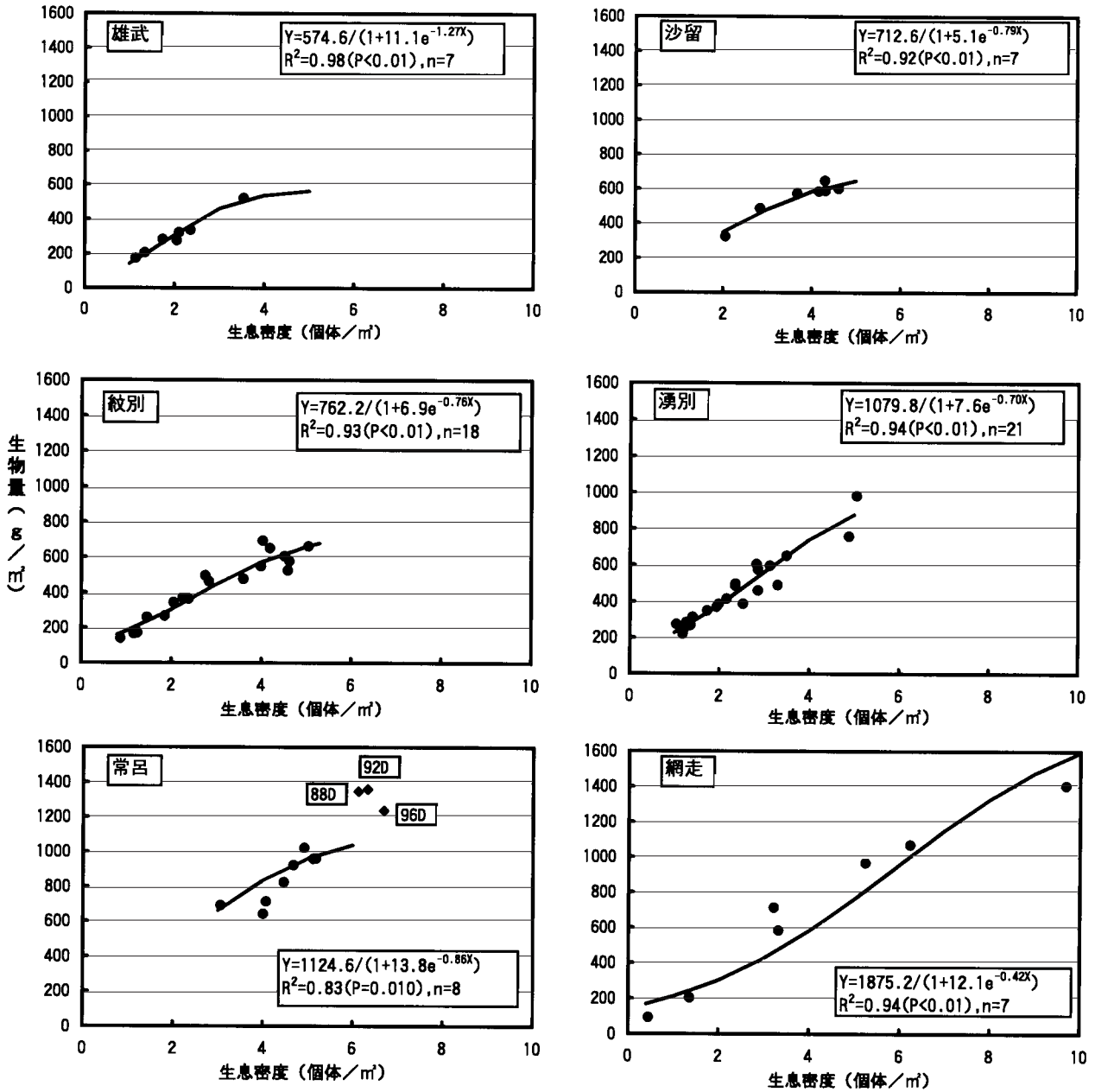


図4 生息密度と生物量の関係（4年貝）
常呂については、D海区を除いた関係式を示した。

方法の改善等によって回収率を上げている段階にあるので、今後、生物量が隣接する沙留並に増加する可能性がある。なお、図4の生物量の上限は商品サイズとしてのホタテガイを生産し得る実際的な数字ではない。

実際の漁業においては、生物量を増やしながらも、個体の成長を加味した最適な密度を求めることが重要である。これまでの各漁場でのホタテガイ重量を考慮すると、例えば紋別では、生物量の限度が600 g / m²程度と考えられ、実際的な個体重量を150 g と想定すると、最適密度は4 個体 / m²となる。常呂のA～C区における近年の

生物量は、800 g / m²前後であることから、単純に200 g の4年貝が生産されるためには、1 m²当たりの生息密度が約4 個体であることが妥当であると推定される。この値は、常呂・佐呂間海域で実施された許容量調査¹⁰⁾によって求められた4年貝時点での適正生息密度の4.22個体 / m²とほぼ一致する。このことから、本報告で使用した簡便法による生物量の推定は、ほぼ妥当であると思われる。なお、常呂海域では天然貝の分布が少なかった。

一方、湧別海域では、同調査¹¹⁾によって求められた4年貝時点での適正生息密度が3.6個体 / m²であったのに

対し、本簡便法による推定生息密度は約3個体/㎡であり、やや低めとなった。湧別海域では、年齢の異なる天然貝の分布比率が高く、これらの年齢群は漁獲量に含まれないので、実際の資源量は試算した生物量よりも多くなる。それゆえ、推定適正密度が、天然貝の分布量も考慮に入れて算出された許容量調査結果よりも低くなったと考えられる。

4. 総合考察

オホーツク海におけるホタテガイの小型化は、低水温や餌料不足などの一時的な海洋条件の異常による成長不良を含めて、近年、恒常化しつつあることがわかった。その小型化の原因として、密度過剰が考えられた。底棲ホタテガイに関して、ホタテガイの成長が密度依存적であるという陸奥湾のホタテガイの報告がある¹⁸⁾。ホタテガイの成長には、場所や年度によってかなり差がみられると同時に、密度によって大きな影響を受けており、特に年齢が増加するにつれてその影響が著しくなるとされている。この中で、生後3年2か月を経過したホタテガイの約80%が167~200gに達するためには、生息密度が4個体/㎡であると述べている。また、陸奥湾での底棲ホタテガイは、5~6個体/㎡よりも高密度になると成長が悪くなるという報告もある¹⁹⁾。さらに陸奥湾でのホタテガイ生産量は軟体部重量で約420g/㎡(全重量に換算すると約1,000g)で水平になり、満3年貝の軟体部湿重量は75gであることから、正常な生物生産が期待できる密度は5.6個体/㎡であると推定している²⁰⁾。

一方、北海道オホーツク海沿岸の猿払では、1980年ころに、1㎡当たり5個体を目安に放流していたにもかかわらず、高密度区では、成長速度の低下と、産卵期が近づいても生殖巣指数が異常に低いなどの現象がみられた。このことは、放流貝と天然発生貝を含めた生息規模の増大により種個体群が環境収容力を越えたことがその原因であると報告されている²¹⁾。

これらの報告で示された適正密度は、本報告で示した紋別、常呂、網走で生息密度がほぼ4個体/㎡を超えたところから貝が小型化していることと一致する。また、世界の商業的なホタテガイ漁場では、平均密度が5~8個体/㎡をめったに超えることがないことが報告されており²²⁾、本報告で示した網走の1995年を除いた6海域の生息密度と大きな差がない。

アルゼンチンの *Clamys tehuelcha* の成長率は密度と負の相関関係を示し、平均生物量が1kg/㎡を越えた場合に成長率の低下が顕著になった²³⁾。また、陸奥湾の放流ホタテガイの最大の生産高は1.2kg/㎡である(1㎡当たり3歳以上が6個体未満で)²⁴⁾。さらに、アルゼンチン

の *Chlamys tehuelcha* では、ある地域の単位面積当たりの平均生物量は、15年以上にわたり、5年ごとに最大1.3kg/㎡に達するという周期的な変化を示したことが報告されている。平均生物量は1975年から1976年までにほぼ2倍の521g~980g/㎡に達した場合があったが、長年にわたる年間生産量はほぼ一定の762g~767g/㎡(肉質生産量:年間382g/㎡)であった。この値は、この海域の収容力を示している²³⁾。

本報告においても、6海域の1㎡当たりの生物量は、約600~1,800gであるとともに、小型化現象がみられてきていることから、約1kg/㎡前後がこの海域のホタテガイ漁場における生産力であると考えられるが、漁場によって600gから1,800gの幅があり、生産力は漁場によって大きく異なる。なお、これらの漁場では餌料が競合するホヤやイソギンチャクの生物量が著しく少ない^{10,11)}。

以上のことから、ホタテガイの小型化は、種苗生産技術と放流技術の改善によって生残率が向上し、それに伴って生息密度が増加した結果^{2,25)}、個体群の餌要求量が漁場の生産力を超えたために起こっている現象であるといえよう。

ただし、図3で示した雄武の1991年、紋別の1991年、湧別の1990年、1991年、1995年、常呂の1991年、1995年のように、回帰直線から大幅にはずれて個体重量が小さい年がある。この原因は、1988年の秋の大時化¹⁶⁾や1989年の春の低水温による影響⁴⁾、1995年の夏季の餌不足による影響⁵⁾と考えられる。このように、密度過剰による小型化に加えて、年によっては、餌不足や春の低水温などの環境異変によって、一時的にさらに小型化する場合が生じている。

ホタテガイの生息密度は、過去には桁曳調査結果を桁効率を適用することによって算出されてきた。しかし、近年、水中写真法²⁶⁾が普及してきたことによって、生息密度がかなり正確に算出できるようになった。そこで、筆者は最近、生息密度と成長の関係について、各海区ごとの資源量調査の際に、各調査点の生息密度と成長データから両者の関係を検討してみた。しかし、密度と成長の関係が明瞭になることは、極めて少なかった^{27,28)}。このことは、放流貝が放流された地点から漁獲までの間に移動することによって、漁獲までの期間の生息密度が一定でないためと、水中写真法による調査地点とホタテガイの採集地点が完全に一致できないことなどが影響していると思われる。

一方、漁場面積・漁獲量・個体重量から推定した生息密度を用いて、成長との関係を検討する方法は、海区ごとの平均像を把握できる利点を持つ。本手法を使用するには、長年のデータ蓄積が必要であること、漁獲回収率

の低い漁場では使用できないこと、環境異変によって極端に成長不良が起きた年や年齢の異なる天然貝の発生量の多い漁場のデータには注意が必要であることなどの欠点を伴う。しかし、冒頭に述べたような摂餌生態からのアプローチがすべての海域で実施できる条件が揃っていないことを考慮すると、本手法のような実践的データに基づいた生物量の推定は、現在のホタテ地まき漁業における種苗放流数の検討に有効であると考えられる。そういう意味で、他の漁場においても、各海区ごとの漁場面積、漁獲量、操業期間中の平均個体重量等のモニタリングを継続することが重要であろう。

要 約

北海道オホーツク海沿岸の網走から雄武までの6漁場におけるホタテガイの成長の経年変化とそれに及ぼす要因について、アンケート調査による資料を解析して、以下の結果を得た。

1. ホタテガイ(4年貝)が経年的に小型化している傾向が4漁場で認められた。
2. 個体重量、漁獲量、および漁場面積から、年ごとの生息密度(個体数/㎡)と生物量(g/㎡)を計算した。
3. 生息密度が高いほど、個体重量が減少する傾向がすべての漁場でみられ、そのうち2漁場では両者の関係が統計的に有意であった。
4. ホタテガイ生物量の漁場別上限はほぼ600~1800g/㎡であり、南東(能取岬)側ほど高かった。
5. 近年、顕在化したホタテガイの小型化傾向は、放流された貝の生残率の向上に伴う、4年貝時点での生息密度の増加に起因していると考えられた。

謝 辞

本報告にあたり、資料収集に協力いただいた雄武、沙留、紋別、湧別、佐呂間、常呂、網走の各漁業協同組合の関係諸氏、並びに網走西部地区水産技術普及指導所の河村治夫氏に感謝申し上げます。また、原稿の作成に当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、並びに北海道立中央水産試験場水島敏博部長に深くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Ito, H.: Sowing culture of scallop in Japan. NOAA Tech. Rep. NMFS-70, 63-69 (1988)
- 2) 西浜雄二: オホーツクのホタテ漁業. 札幌, 北海道

- 大学図書刊行会, 1994, 218p.
- 3) 北田修一・藤島浩晃: 北海道におけるホタテガイの種苗放流効果の検討. 日水誌 63(5), 686-693 (1997).
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 北海道水産資源技術開発協会: 噴火湾ホタテガイの養殖許容量調査報告書(解析編). 札幌市, 北海道水産資源技術開発協会, 1978, 53p.
- 7) 北海道水産資源技術開発協会: サロマ湖におけるホタテガイの養殖許容量調査報告書. 札幌市, 北海道水産資源技術開発協会, 1977, 48p.
- 8) 北海道栽培漁業振興公社: サロマ湖におけるホタテガイの養殖許容量調査報告書. 札幌市, 北海道栽培漁業振興公社, 1983, 55p.
- 9) 蔵田 護, 干川 裕, 西浜雄二: サロマ湖における垂下養成ホタテガイの摂餌量. 北水試研報, 37, 37-57 (1991)
- 10) 外海ホタテガイ漁業総合調査専門委員会: 外海ホタテガイ漁業総合調査(常呂, 佐呂間共有海域)報告書(要約版). 1997, 41P.
- 11) 外海ホタテガイ漁業総合調査専門委員会: 外海ホタテガイ漁業総合調査(湧別海域)報告書(要約版). 1997, 53P.
- 12) 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)
- 13) 蔵田 護: 網走湾におけるホタテガイの成長阻害要因に関する調査. 昭和59~62年度網走水産試験場事業報告書.(1985~1988)
- 14) Fujita, N. and Mori, K.: Effects of Environmental Instability on the Growth of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* in abashiri sowing-Culture grounds. In, marine farming and enhancement, Proceed. of the 15th U.S-Japan meeting on aquaculture, Kyoto, Japan Oct. 22-28, 1986. ed. A.K.Sparks, NOAA Tech. Rep. NMFS 85, 81-89 (1990)
- 15) 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(4), 389-397 (1995)
- 16) Miyake, H., Matsuoka, M. and Furuya, K.: Loss of damage to scallops due to storms in the Sea of Okhotsk. Fish. Oceanogr. 4(4): 293-302 (1995)

- 17) 宮園 章：成長度分布調査（常呂漁場における4輪採区におけるホタテガイの成長状況）. 平成5年度網走水産試験場事業報告書 . 136-140 (1993)
- 18) 菅野簿記ほか：ホタテガイの資源調査（ホタテガイの密度と成長について）. 青森水産増殖センター事業概要3 , 68-75 (1974)
- 19) 山本護太郎：放流とその管理 . 今井丈夫監修「浅海完全養殖」. 東京 , 恒星社厚生閣 , 1971 , 235-241
- 20) 山本護太郎：海洋生態学 . 海洋学講座9 . 東京 , 東京大学出版会 , 1973 , 213p.
- 21) 富田恭司・田嶋健一郎・内田正文・森正美：猿払海域におけるホタテガイ個体群について . 北水試月報 , 39(6) , 111-125 (1982)
- 22) Orensanz, J. M., Parma, A. M. and Iribarne, O. O.: Population dynamics and management of natural stocks. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (ed. by S. E. Shumway), Amsterdam, Elsevier , 1991 , 625-713.
- 23) Orensanz, J. M.: Size, environment and density: the regulation of a scallop stock and its management implications. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* , 92 , 195-227 (1986)
- 24) Aoyama: The Mutsu Bay scallop fisheries: scallop culture, stock enhancement, and resource management. In *Marine invertebrates fisheries*. (ed. by J. F. Caddy), Their assessment, Jone Wiley & Sones, Inc. , 1988 , 525-539.
- 25) 蔵田 護：北海道常呂・佐呂間海域でのホタテガイ種苗放流の成功事例 . さいばい , 80 , 17-23 (1996)
- 26) Goshima, S and Fujiwara, H: Distribution and abundance of cultured scallop *Patinopecten yessoensis* in extensive sea beds as assessed by underwater camera. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110 , 151-158 (1994)
- 27) 蔵田 護：常呂D海区ホタテガイ調査 . 平成7年度網走水産試験場事業報告書 . 137-141 (1997)
- 28) 蔵田 護：常呂A海区ホタテガイ調査 . 平成8年度網走水産試験場事業報告書 . 133-139 (1998)

キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値

名畑進一^{*1}, 干川 裕^{*2}, 酒井勇一^{*3}, 船岡輝幸^{*4}, 大堀忠志^{*5}, 今村琢磨^{*6}

Food value of several algae for growth of the sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*.

Shin-ichi NABATA^{*1}, Hiroshi HOSHIKAWA^{*2}, Yuichi SAKAI^{*3}, Teruyuki FUNAOKA^{*4},
Tadashi OOHORI^{*5} and Takuma IMAMURA^{*6}

Rearing experiments of the sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*, were carried out during June to July, 1995 and June to August, 1996, using as food marine algae which settled and grew on the coralline flats after the removal of sea urchins. Feeding rate and growth rate at 17 °C of the sea urchin fed on *Laminaria*, *Undaria*, *Costaria* were high and those for *Sargassum*, *Polysiphonia*, *Dictyopteris*, *Desmarestia* were low in the single food item experiment. Among the algae supplied as food, the daily amount of food eaten was high in large-sized groups of the sea urchin, while the small-sized groups showed the highest feeding rate. To examine any effect on gonad growth, we fed 3 algae, *Laminaria*, *Sargassum* and *Polysiphonia* to sea urchins. Two months later, the gonad index was found to be the highest in the *Laminaria* fed group. Among the algae fed, based on the gonad growth, the highest feeding rate and the highest growth rate, we estimated the *Laminariales* are the most nutritionally valuable algae for growth of *Strongylocentrotus nudus*.

キーワード：餌料，海藻，キタムラサキウニ，摂餌，成長，生殖巣，コンブ類，磯焼け

まえがき

北海道日本海南海岸西部沿岸の潮下帯では，長年にわたって磯焼けが持続している¹⁾。この沿岸の磯焼け発生原因は，対馬暖流の勢力の増大と冬季の季節風の弱화에起因する，冬から春にかけての高水温化と考えられている^{2,3)}。また，持続原因は高密度に生息するキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の過度の摂餌圧による海藻の着生と成長の阻害と考えられている^{3,4)}。

最近，この海域ではキタムラサキウニの除去によって，フシスジモク群落⁵⁻⁶⁾とホソメコンブ群落（北海道，未発表）の形成が実証され，この群落に再度キタムラサキウニを移殖して計画的生産を図る技術開発が進められて

いる。造成した海藻群落の生産力に対応したキタムラサキウニの移殖基準を確立するためには，その摂餌活動に関する知見が必要である。キタムラサキウニの生態，特に，摂餌活動については，北海道内に関するものに限っても，杉本ほか⁷⁾，三本菅ほか⁸⁾，田嶋⁹⁾，吾妻ほか¹⁰⁻¹²⁾，町口¹³⁾，町口ほか¹⁴⁾など多くの報告がある。また最近，キタムラサキウニに魚肉を与えて生殖巣の増大を促進させる研究も行われている^{6,15)}。

しかし，磯焼け海域でキタムラサキウニを除去した後に，量的に多く着生する海藻に対するキタムラサキウニの摂餌知見は少ない。そこで筆者等は，北海道寿都町においてキタムラサキウニの除去後に入植した7種の海藻⁶⁾，モロイトグサ *Polysiphonia morrowii*，エゾヤハズ

報文番号 A 285 (1999年2月22日受理)

^{*1}北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station. Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

^{*2}北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station. Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan)

^{*3}北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture. Shikabe, Hokkaido, 041-1404, Japan)

^{*4}北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station. Hamacho, Kushiro, Hokkaido, 085-0024, Japan)

^{*5}北海道立食品加工研究センター (Hokkaido Food Processing Research Center. Bunkyo dai, Ebetsu, Hokkaido, 069-0836, Japan)

^{*6}北海道立網走水産試験場紋別支場 (Monbetsu Branch, Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station. Minato-machi, Monbetsu, Hokkaido, 094-0011, Japan)

Dictyopteris divaricata, ケウルシグサ *Desmarestia viridis*, スジメ *Costaria costata*, ワカメ *Undaria pinnatifida*, フシスジモク *Sargassum confusum* とホソメコンブ *Laminaria religiosa* (本実験ではマコンブ *Laminaria japonica*, ミツイシコンブ *Laminaria angustata* を代用した) を餌料としたキタムラサキウニの摂餌量と成長および生殖巣の増大に関する実験を行い, これらの海藻の餌料価値を考察した。

材料及び方法

1. 摂餌量実験

実験に用いたキタムラサキウニは, 1995年5月16日に寿都町の磯焼け海域で潜水によって採取した。これらのうち殻径が約49mmのものを大型群, 約33mmのものを中型群とした。また, 伊達市温水養殖センターと知内町漁業協同組合広域ウニ人工種苗生産施設で, 1994年11月に人工採苗し, 育成した殻径約16mmのものを小型群とした(表1)。これら3群のウニはトリカルネット製の籠

表1 摂餌量実験に用いたキタムラサキウニの殻径

実験区	(平均 ± 標準偏差mm)		
	大型群	中型群	小型群
A	49.00 ± 2.51	34.60 ± 2.38	16.10 ± 1.80
B	50.00 ± 4.77	33.20 ± 2.16	16.20 ± 1.62
C	49.40 ± 3.29	34.90 ± 1.52	16.30 ± 1.58
D	49.50 ± 1.17	33.20 ± 1.68	16.00 ± 1.55
E	49.40 ± 3.60	34.00 ± 1.79	16.30 ± 1.70
F	50.20 ± 1.53	34.00 ± 1.58	16.40 ± 1.44

(80×80×40cm) に收容して馴致飼育した。その後, 大型群は容積20ℓの角型水槽に各3個体, 中型群は各5個体, 小型群は10ℓの水槽に各10個体ずつ收容し, これら3水槽は同一海藻を給餌する実験区とした。6種類の海藻を与えるためAからFまでの6実験区を設定し, 合計18水槽に108個体のキタムラサキウニを收容したのち, 5月29日から6月18日まで馴致飼育を行った。この間6月7日に飽食量の養殖1年目マコンブ(以下マコンブ)を1日間与えたが, ほかは無給餌で飼育した。飼育中は室内を調温し, エアレーションを行いながら, 約17の調温海水を1時間当たり1~2換水となるよう掛け流した。

実験の1回目は6月19日~21日に, 2回目は引き続き21~23日に行った。3回目は7月3日~5日に, 4回目は5日~7日に行った。各実験区には毎回異なる種類の海藻を与え, 2回目と3回目の間は全区にマコンブを飽

食量与えた。給餌した海藻はモロイトグサ, エゾヤハズ, ケウルシグサ, スジメ, ワカメ, マコンブ(ホソメコンブ *Laminaria religiosa* の代用)の6種である。実験開始時と終了時にこれらの海藻の湿重量を測定し, その差を摂餌量とした。日間摂餌量と日間摂餌率は下記の式により求めた。

$$\text{日間摂餌量 (g)} = \text{摂餌量} / \text{個体数} / \text{飼育日数}$$

$$\text{日間摂餌率 (\%)} = \text{日間摂餌量} \times 100 / \text{実験期間中の平均重量}$$

各実験区の摂餌量と摂餌率については, Kruskal-Wallis 法によって有意差の検定を行った。

2. 成長と生殖巣の増大実験

成長実験に用いたキタムラサキウニは, 伊達市温水養殖センターで1994年11月に人工採苗し, 育成した殻径約24mmのものである。生殖巣の増大実験に用いたものの殻径は約48mmで, 1996年3月11日に寿都町で潜水によって採取した(表2)。これらはトリカルネット製の籠に収

表2 成長と生殖巣の増大実験に用いたキタムラサキウニの殻径

	実験区と給餌海藻種	殻径 (mm)	
		平均	標準偏差
成長実験	ミツイシコンブ	24.28 ± 2.51	
	ワカメ	23.72 ± 1.78	
	スジメ	24.23 ± 3.05	
	ケウルシグサ	24.34 ± 2.20	
	フシスジモク	23.79 ± 1.58	
	エゾヤハズ	24.19 ± 1.64	
	モロイトグサ	23.80 ± 1.77	
生殖巣の増大実験	無給餌	23.22 ± 2.45	
	ミツイシコンブ	48.70 ± 1.79	
	フシスジモク	48.94 ± 2.13	
	モロイトグサ	47.20 ± 1.39	

容し, マコンブを与えて飼育した。その後, 成長実験群は容積20ℓの8水槽に各10個体ずつ收容し, 7種の海藻給餌と無給餌の合計8実験区を設定した。生殖巣の増大実験群は, 20ℓの3水槽に各5個体ずつ收容し, 3実験区を設定した。これらは6月13日から6月20日まで無給餌で馴致飼育した。飼育中は室内を調温し, エアレーションを行いながら, 約17の調温海水を1時間当たり1~2換水となるよう掛け流した。

両実験とも6月21日から8月16日まで8週間行った。キタムラサキウニの重量は, 実験開始時と4週間後および8週間後に測定した。成長実験で用いた海藻は, 摂餌量実験に用いた6種にフシスジモクを加えた7種である

が、コンブは1年目ミツイシコンブとした。また、生殖巣の増大実験にはモロイトグサ、ミツイシコンブ、フシスジモクの3種を与えた。給餌は1週間に1度とし、常に残餌がでるように与えたが、少なくなった場合には随時適量を補充した。生殖巣の増大実験では実験終了時に体重と生殖巣重量を測定した。

実験開始から6週目の8月2日に給餌した海藻の一部を乾燥保存し、以下の方法で成分分析を行った。灰分は550の灰化法、全窒素はマイクロケルダール法、アルギン酸は重量法、マンニトールはCameronらに準じたLarsen法、カラゲナンは重量法によって分析した。キタムラサキウニの生殖巣は全個体について一部分を凍結保存した後、粗タンパク質はマイクロケルダール法、粗脂肪はジエチルエーテルによるソックスレイ抽出法、グリコーゲンはアンスロン硫酸法、遊離アミノ酸はアミノ酸分析計(日立L-8500A)によって分析した。また、3人のモニターで生殖巣の食味と色調をそれぞれ3段階で評価した。天然の品質の良いウニに近い場合に3点を、やや劣る場合に2点を、非常に劣る場合に1点を与えた。

両実験での摂餌量は給餌量と残餌量の差としたが、藻体の末枯れ、落葉が目立った8月以降は、菊池ほか¹⁶⁾にしたがって摂餌量の補正を行った。増重率と餌料転換効率および生殖巣指数は下記の式で求めた。

$$\text{増重率}(\%) = \frac{\text{飼育期間中の増重量} \times 100}{\text{飼育開始時の重量}}$$

$$\text{餌料転換効率}(\%) = \frac{\text{飼育期間中の増重量} \times 100}{\text{総摂餌量}}$$

$$\text{生殖巣指数} = \frac{\text{生殖巣重量} \times 100}{\text{全重量}}$$

以上、摂餌量、成長、生殖巣の増大の3実験で用いたモ

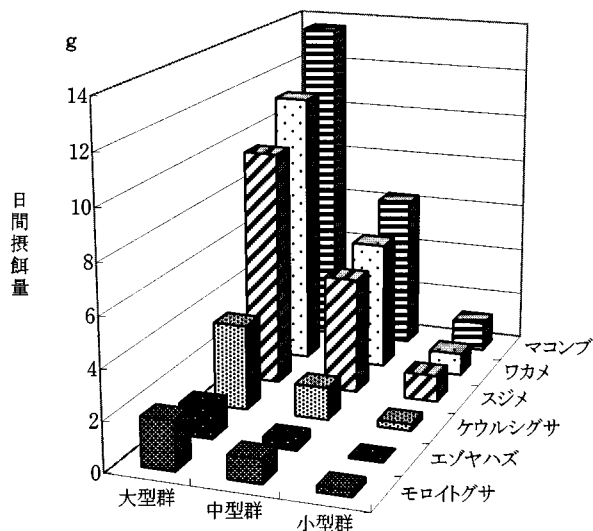


図1 摂餌量実験でのキタムラサキウニの日間摂餌量

ロイトグサとエゾヤハズおよびワカメの一部は江差町で潜水により採取し、それ以外は鹿部町と上磯町での打ち上げ海藻を採取した。マコンブは餌料用として養殖されたものを購入した。これらの海藻は0.5t水槽に収容し、鮮度を保持するために8の海水を掛け流し、強いエアレーションを行って蓄養した。給餌した海藻は全て附着器をとり除き、ペーパータオルで水分を良くふき取ってから湿重量を測定した。コンブ類は成長帯、ワカメは中肋部を、フシスジモクは藻体の中下部をとり除いて与えた。各水槽の水温は午前9時に測定した。

結果

1. 摂餌量実験

実験期間中の水温は16.4~17.3で、実験終了時まで死亡個体はみられなかった。4回の実験におけるキタムラサキウニの日間摂餌量の平均値を図1に示した。4回の実験で大型群、中型群、小型群ともスジメ、ワカメ、マコンブの摂餌量が多かったが、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサの摂餌量は少なかった。大中小3群の摂餌量は、6種の海藻間で統計的に有意な差が認められた(P<0.01)。また、摂餌量は6種の海藻とも大型群ほど多い傾向が認められた。各実験区のキタムラサキウニ3群(合計18個体)の総摂餌量を、4回の実験ごとに図2に示した。スジメ、ワカメ、マコンブを給餌した場合の総摂餌量はどの実験区でも40g以上であったが、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサを給餌した場合の摂餌量は30g以下であった。また、この傾向は大中小3群とも同様であった。

4回の実験から得られた日間摂餌率は、図3に示したように摂餌量の場合と同様で、スジメ、ワカメ、マコンブを与えた実験区で高く、特にマコンブを与えた小型群

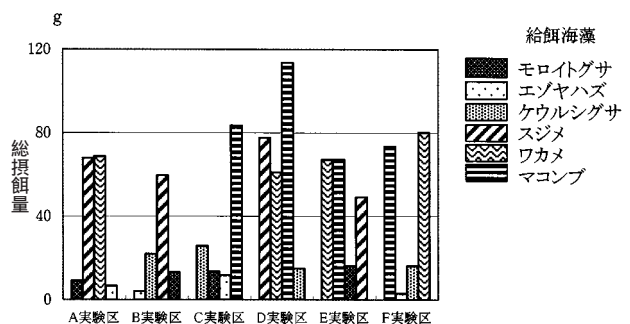


図2 摂餌量実験での各実験区のキタムラサキウニ3群(18個体)の総摂餌量
実験区の左端から順に1, 2, 3, 4回目の実験で、凡例に示した海藻を給餌した

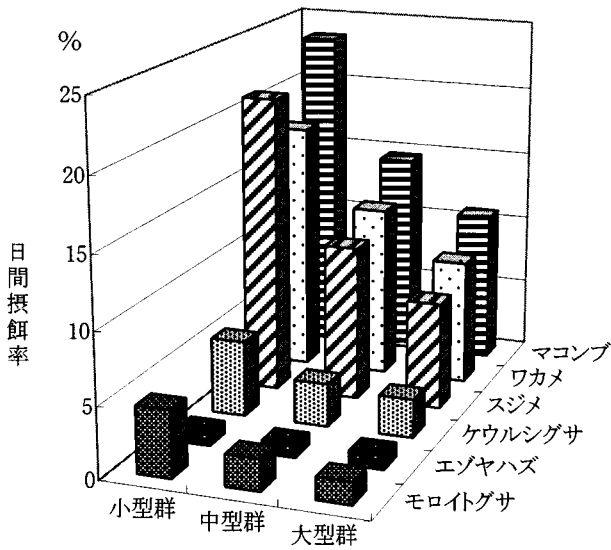


図3 摂餌量実験でのキタムラサキウニの日間摂餌率

の日間摂餌率が23.5%と最も高かった。一方、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサの3種の摂餌率は最大でも5%と低かった。キタムラサキウニの摂餌率は、大中小3群とも、6種の海藻間の順位で統計的に有意な差が認められた ($P < 0.01$)。なお、日間摂餌率は日間摂餌量の場合とは逆に、どの海藻の場合も大型群より小型群の方が高い傾向が認められた。

2. 成長と生殖巣の増大実験

実験期間中の水温は16.8~17.1 で、実験終了時まで死亡個体はみられなかった。成長実験で得られたキタムラサキウニの日間摂餌率と増重率を図4に示した。スジメ、ワカメ、ミツイシコンブの日間摂餌率は10%以上で、増重率も60%以上と高かった。特に、ミツイシコンブを与えた場合の日間摂餌率は17.2%、増重率は116%であった。一方、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサ、フシスジモクの日間摂餌率は7%以下で、増重率も20%以下であった。キタムラサキウニの日間摂餌率は、7種の海藻間で統計的に有意な差が認められた ($P < 0.01$)。なお、無給餌区の増重率は-0.97%であった。餌料転換効率は図5に示したように、エゾヤハズが10.1%で最も高く、次にミツイシコンブ、スジメ、ワカメが高かった。

成長実験ではフシスジモク藻体の上部だけを給餌したが、キタムラサキウニは側枝や主枝を食べ残し、ケウルシグサの場合にも主枝を残す場合が多かった。また、スジメでは5本の中肋を食べ残していた。実験開始時にはキタムラサキウニを入れない水槽の海藻重量に増減はなかった。しかし、フシスジモクとケウルシグサでは8月以降に枯死、落葉がみられはじめたので、6週目以降の

摂餌量を補正した。また、残餌量を求めるため脱落した小枝はウニの排泄物とともにサイフォンでバットに吸い上げ、両者の選別を行ったが、厳密な区別は困難であった。

生殖巣の増大実験での日間摂餌率と生殖巣指数を図6に示した。日間摂餌率はミツイシコンブを与えた実験区で10.9%と最も高かった。実験開始時の生殖巣指数は 9.01 ± 2.79 (平均値と標準偏差)であったが、ミツイシコンブを与えた場合の生殖巣指数は2ヶ月後に $23.96 \pm$

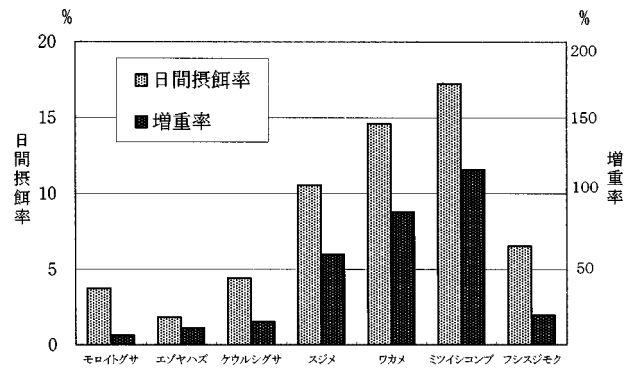


図4 成長実験でのキタムラサキウニの日間摂餌率と増重率

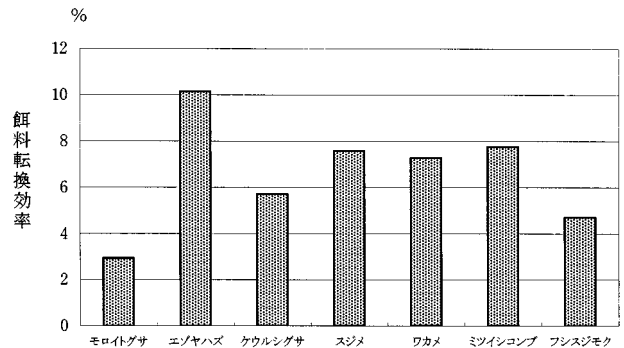


図5 成長実験でのキタムラサキウニの餌料転換効率

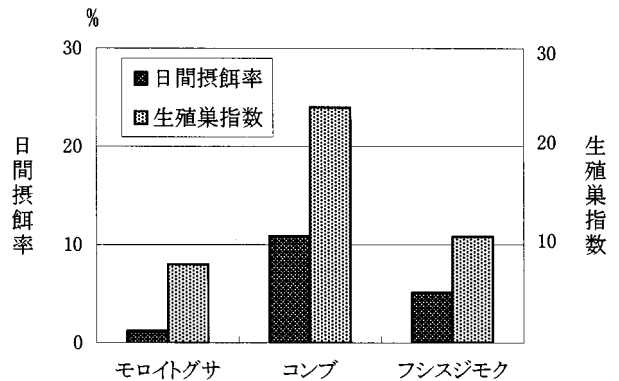


図6 生殖巣の増大実験におけるキタムラサキウニの日間摂餌率と生殖巣指数

0.87になった。フシスジモクとモロイトグサを与えた場合の生殖巣指数は、それぞれ 10.80 ± 1.70 、 8.01 ± 2.99 でミツイシコンブを与えた場合の半分以下であった。

生殖巣の主要成分は表3に示したとおり、ミツイシコンブを与えた実験区でグリコーゲン量が最も多く、モロイトグサを与えた場合では粗タンパク質量と粗脂肪量が最も多かった。生殖巣の食味は3実験区で違いがみられなかったが、色調の評価点はミツイシコンブ区が3点で天然の良品質のものに近く、フシスジモク区が2点、モロイトグサ区が1点と相違があった。生殖巣の各アミノ酸量は図7に示したとおり、3区とも甘みを呈するグリシンが多かったが、スレオニン、アラニン、バリンなどの量に違いがみられ、モロイトグサとフシスジモクを与えた場合には甘みを呈するアラニンの含有量が少なかった。

表3 キタムラサキウニの生殖巣の主要成分

給餌海藻種	(%)				
	水分	灰分	粗タンパク質	粗脂肪	グリコーゲン
ミツイシコンブ	67.91	1.74	14.13	4.98	10.06
フシスジモク	64.86	1.79	14.32	6.35	9.68
モロイトグサ	64.86	1.93	15.31	6.32	8.51

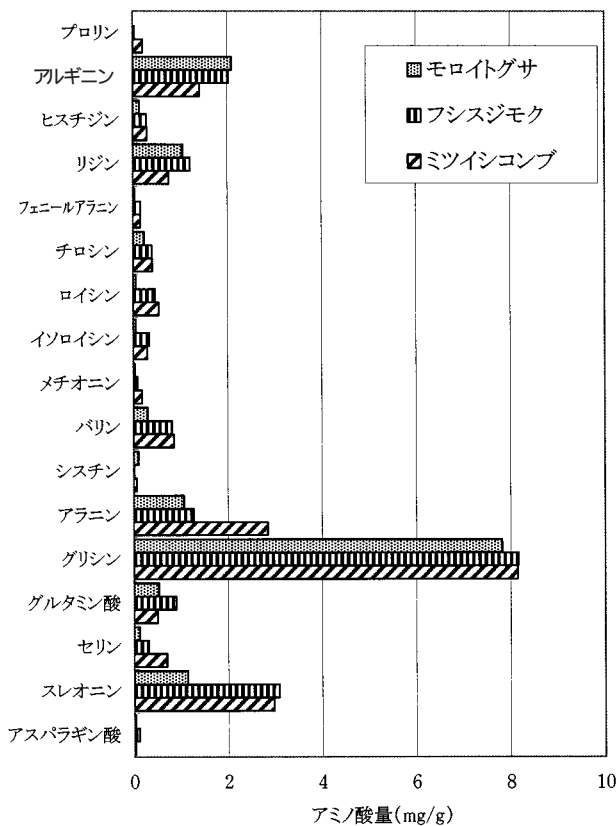


図7 キタムラサキウニ生殖巣の遊離アミノ酸量

遊離アミノ酸の総量はミツイシコンブ区で 20.4 mg/g 、フシスジモク区で 19.7 mg/g 、モロイトグサ区で 14.8 mg/g であった。

両実験で給餌した海藻の主要成分を表4に示した。全窒素量はケウルシグサ、モロイトグサ、スジメが2%以上と比較的多く、アルギン酸量はミツイシコンブ、ワカメ、スジメが30%以上と多かった。また、モロイトグサは紅藻類であるところからカラゲナンの含有量が多く、マンニトール量はミツイシコンブで10.5%と最も多かった。フシスジモクではこれらの成分含有量が比較的少なかった。

表4 成長と生殖巣の増大実験に用いた海藻の主要成分 (%, 乾燥重量換算)

海藻種	灰分	全窒素	アルギン酸	マンニトール	カラゲナン
モロイトグサ	31.57	2.12	-	-	39.72
エゾヤハズ	22.62	1.27	21.27	7.25	-
ケウルシグサ	33.58	2.81	19.35	0.89	-
スジメ	33.26	2.04	34.99	9.30	-
ワカメ	39.85	1.69	39.63	5.49	-
ミツイシコンブ	33.77	1.80	40.07	10.53	-
フシスジモク	35.51	1.37	29.17	3.46	-

考 察

キタムラサキウニの摂餌活動は、水温^{8,13)}やウニ自身の生殖巣の増大に伴って季節的に変動し¹⁰⁾、コンブ類を継続して飽食量給餌した場合には6~8月に最大となる^{10,13)}。また、ナガコンブに対するキタムラサキウニの摂餌率は、18~22で最大となり、2~22の間では水温と直線の関係にある¹⁷⁾。摂餌量実験で設定した水温は約17で、これは寿都沿岸では7月中旬の水温に相当する。したがって、今回得られたキタムラサキウニの6種海藻に対する殻径別の摂餌率は、寿都沿岸での最大値に近い値と考える。

アラメ *Eoesenia bicyclis* は、エゾアワビ *Haliotis discus hannai* に対して摂餌阻害活性を持つフロロタンニン類を含んでいるが、海水浸漬処理後はその活性が著しく低下するため摂餌率が高くなる¹⁸⁾。本実験で給餌した海藻は、採集後時間が経過して流れ藻と同様の状態と考えられるので、各種海藻について生育状態と同様の条件で求めた摂餌率との比較を行っておく必要がある。

ホソメコンブを餌料とした場合のキタムラサキウニの摂餌量は大型個体ほど多く、摂餌率は小型個体ほど高くなる¹⁰⁾。摂餌量実験ではコンブ属以外の海藻においても

同様の傾向が認められた(図1, 3)。したがって, 同一現存量(重量)のキタムラサキウニが生息している場合, 磯焼け海域のように小型個体で構成されるところほど, 海藻群落に対するキタムラサキウニの摂餌圧が高くなると思う。摂餌量実験に用いたキタムラサキウニを採取した寿都町での調査結果⁶⁾を参考にすると, 実験に用いた大型群(殻径47~50mm)は6~8齢, 中型群(殻径33~34mm)は3齢と考えられる。なお, 磯焼け海域では小型であっても高年齢のキタムラサキウニが生息している場合もある。同一殻径でも年齢によって摂餌量が異なることも考えられるので, このような場合の摂餌量を明らかにしておかなければならない。

エゾアワビでは成熟期で藻体のかたさを増したコンブ属を与えた場合に, 摂餌率の低下がみられる¹⁹⁾。また, 主軸をもち細く分岐する海藻は, 葉状や帯状の海藻に比べて摂餌効率が悪いと考えられている¹³⁾。フシスジモクは気胞によってほぼ直立しているため, 体の上部は摂餌されにくく, 着生状態ではほかの海藻より餌料としての有効性は低い。このように餌料となる海藻のかたさ, 形状, 食べ易さなどの要因は, ウニの大きさ, 特に口器とも関連して摂餌量に大きく影響すると考える。

エゾバフンウニはナガコンブの成分(マンニット, ラミナリン, アルギン酸, 粗タンパク質)を比較的良く消化するが, これは消化管内のバクテリアの関与と考えられている²⁰⁾。キタムラサキウニの成長にとって基本的に必要と考えられる粗タンパク質(全窒素量の6.25倍)は, ケウルシグサとモロイトグサに多く含まれていたが, これらの海藻を給餌した場合の摂餌率や増重率は低かった。ミツイシコンブ, ワカメ, スジメなどコンブ目3海藻の粗タンパク質量はそれほど多くなかったが, 摂餌率が高く, 餌料転換効率も比較的高いため, 増重率が高くなったものとする(図3, 4, 表4)。エゾアワビでは粗タンパク質の含量に摂餌量を乗じて求めた摂取粗タンパク質量と増重量が対応している²⁰⁾。キタムラサキウニの場合もその成長は, 餌料海藻の栄養価より, 基本的には高い摂餌率に支えられていると考えられる。なお, 本実験ではホソメコンブの代用として餌料用に養殖した1年目マコンブと天然の1年目ミツイシコンブを用いたが, ホソメコンブの成分²¹⁾と1年目マコンブの成分²²⁾およびコンブ目の餌料価値²⁰⁾から推測して, 代用したコンブ類の餌料価値はホソメコンブと大きな違いはないものとする。

日間摂餌量はどの実験区においても海藻種ごとにほぼ一定であり, 前回までに摂餌した海藻の影響は少なかった(図2)。これはキタムラサキウニの海藻に対する摂餌選択性¹⁴⁾によるものと考えられる。摂餌量が少なかつ

たエゾアワビにはウニ類の摂餌阻害物質であるクロマゾナール²³⁾, ケウルシグサには遊離硫酸²⁴⁾, モロイトグサにはプロモフェノール²⁵⁾そしてホンダワラ類にはフェノール類²⁴⁾が含まれている。このような摂餌阻害物質を含有する海藻を与えた場合には, キタムラサキウニの摂餌量が少なく, 成長が悪くなると考える。一方, マコンブ, ミツイシコンブ, ホソメコンブは摂餌阻害物質を含有しない²⁶⁾。また, 同じコンブ目のワカメとアラメでは, それぞれアワビ類とエゾバフンウニ *Strongylocentrotus intermedius* に対して摂餌刺激物質となる複合脂質を含有することが報告されている²⁷⁾。したがって, キタムラサキウニの摂餌活動は, エゾアワビの場合と同様に¹⁶⁾, 餌料海藻に含まれる摂餌阻害や摂餌刺激作用を有する化学物質の存在に大きな影響を受けていると考える。

生殖巣の増大実験では食味に大きな違いはなかったが, 与えた海藻種によって, 生殖巣の色調や遊離アミノ酸量に相違が認められた。キタムラサキウニの餌料として生殖巣の増大が速やかなことのほかに, 品質の良い生殖巣が得られることも餌料価値を考える一つの要因となるので, 今後は各種の海藻を単独で与えた場合の生殖巣の増大や食味に関する知見の集積が必要とされる。

浮¹⁹⁾はエゾアワビに対するツルアラメ *Ecklonia stolonifera* の餌料価値が低いことを報告し, 谷口²⁸⁾はツルアラメにポリフェノール化合物による摂餌阻害作用のあることを報告している。しかし, 佐藤²⁹⁾はマコンブが分布しない海域では, ツルアラメは増重量や摂餌率が低くても, 餌料転換効率の点から有効な餌料であると考えている。このように, 摂餌率や増重率が低くても漁場に多量に生育していて, キタムラサキウニの餌料となり得る海藻は広い意味では餌料価値を有するといえる。キタムラサキウニにフシスジモクを与えた場合は, 長期間の飼育でも, コンブ類を与えた場合より成長や生殖巣の増大が劣る^{7, 30)}。しかし, 寿都町八迫地先のように, キタムラサキウニの除去によってフシスジモクの群落となる地域では, 当面その生産力を有効に利用していかなければならない。

川俣³¹⁾は, キタムラサキウニが摂餌可能な流速は約40 cm/秒以下であることを報告している。北海道日本海南西部沿岸では磯焼け海域であっても, 潮下帯上部には植食動物の摂餌を受けないコンブ類の着生がみられる。このように海水流動の強い波打ち際に着生している海藻は, 風の続く季節以外は, 流れ藻になるまでキタムラサキウニの餌料としての有効性は低いと考える。

キタムラサキウニに対する海藻の餌料価値を論じる場合には, 様々な要素を総合的に判断する必要がある。とりわけ, 北海道日本海南西部沿岸の磯焼け海域で, キタ

ムラサキウニを除去して海藻群落の形成を図る場合には、ウニの成長や生殖巣増大の促進および食味の観点から、最も餌料価値が高いコンブ目の海藻の着生が望ましいと考える。しかし、現在、北海道日本海のホソメコンブ着生量は、主に水温の影響を受けて年変動が大きく、着生場所も限定されている。キタムラサキウニを除去して海藻群落の形成を図る場合に、今後はコンブ目海藻の着生が見込まれる適地選定や磯焼け海域に見合ったコンブ群落造成技術の検討が重要と考える。

要 約

1. 磯焼け海域でキタムラサキウニを除去した後に、量的に多く着生する7種の海藻、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサ、スジメ、ワカメ、ホソメ コンブ（実験ではマコンブとミツイシコンブを代用した）、フシスジモクをキタムラサキウニに給餌し、その摂餌量と成長および生殖巣の増大傾向から海藻の餌料価値を考察した。
2. 水温17 で飼育したキタムラサキウニの摂餌率は、スジメ、ワカメ、マコンブなどコンブ目の海藻を与えた場合に高く、増重率も高かった。しかし、モロイトグサ、エゾヤハズ、ケウルシグサ、フシスジモクを与えた場合の場合の摂餌率は低く、増重率も低かった。
3. キタムラサキウニの摂餌量は、どの海藻に対しても、大型個体ほど多い傾向が認められたが、逆に摂餌率は小型個体の方が高い傾向が認められた。
4. モロイトグサ、ミツイシコンブ、フシスジモクを与えた3実験区のキタムラサキウニの生殖巣指数は、ミツイシコンブ区が最も高かった。
5. 本実験で用いたコンブ目海藻は、キタムラサキウニに対して高い摂餌率と増重率および生殖巣の増大傾向を示し、最も餌料価値が高いと推察した。

謝 辞

本実験の実施に当たり、企画から取りまとめまで始終有意義なご意見をいただいた東北大学農学部助教授吾妻行雄博士、北海道区水産研究所町口裕二主任研究官に心からお礼を申し上げます。また、材料のキタムラサキウニについて便宜を図っていただいた、伊達市温水養殖センターの沖崎俊継氏と、知内町漁業協同組合広域ウニ人工種苗生産施設の伊藤明彦氏、後志南部地区水産技術普及指導所および寿都町漁業協同組合に厚くお礼申し上げます。さらに、海藻の成分分析にご協力いただいた釧路水産試験場加工分庁舎、生殖巣の成分分析にご協力いただいた

中央水産試験場加工部の関係各位に深謝する。

文 献

- 1) 藤田大介：北海道大成町の磯焼けに関する聞き取り調査．水産増殖．35, 135 138 (1987)
- 2) 河野時廣：磯焼け発生予測技術の開発．磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発，農林水産技術会議事務局．81 89 (1997)
- 3) 吾妻行雄：北海道日本海西部沿岸の磯焼け．北水試だより．31, 3 9 (1995)
- 4) 名畑進一，阿部英治，垣内政宏：北海道南西部大成町の磯焼け．北水試研報．38, 1 14 (1992)
- 5) 吾妻行雄，松山恵二，中多章文，川井唯史，西川信良：北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移．日水誌．63(5), 672 680 (1997)
- 6) 吾妻行雄：キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究．北水試研報．51, 1 66 (1997)
- 7) 杉本 卓，清河 進：ウニ類増殖試験研究．昭和62年度北海道立稚内水産試験場事業報告書．117 122 (1988)
- 8) 三本菅喜昭，町口裕二，嵯峨直恒：ウニ食害作用の海藻群落形成への影響解明，昭和61年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産研究所研究報告書．119 136 (1987)
- 9) 田嶋健一郎：キタムラサキウニの室内での摂餌量の解明．平成2年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書．100 102 (1991)
- 10) 吾妻行雄，中多章文，松山恵二：キタムラサキウニのホソメコンブに対する摂餌と同化．北水試研報．40, 21 29 (1993)
- 11) 吾妻行雄，錦織孝史：魚肉給餌によるキタムラサキウニ生殖巣の発達第1報生殖巣の量的な発達．北水試研報．37, 59 66 (1991)
- 12) 吾妻行雄，松山恵二，中多章文：北海道忍路湾におけるキタムラサキウニの摂食活動の季節変化．日水誌．62(4), 592 597 (1996)
- 13) 町口裕二：キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* 天然種苗の成長と摂餌について．北水研報告．57, 81 86 (1993)
- 14) 町口裕二，水鳥純雄，三本菅喜昭：キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の飼育下における摂餌選択性．北水研報告．58, 35 43 (1994)
- 15) 干川 裕，高橋和寛，杉本 卓，辻 浩二，信太茂春：キタムラサキウニ養殖における生殖巣の質に及

- ばす魚肉給餌の影響. 北水試研報. 52, 17-24 (1998)
- 16) 菊池省吾, 桜井保雄, 佐々木実, 伊藤富夫: 海藻20種のアワビ稚貝に対する餌料効果. 東北水研研究報告. 27, 93-100 (1967)
- 17) 町口裕二: 植食動物の摂餌量に基づく診断技術. 磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発, 農林水産技術会議事務局. 49-59 (1997)
- 18) 谷口和也, 秋元義正, 蔵多一哉, 鈴木 稔: 褐藻アラメの植食動物に対する化学的防御機構. 日水誌. 58(3), 571-575 (1992)
- 19) 浮 永久: エゾアワビに対するコンブ目海藻の餌料価値. 東北水研研究報告. 42, 19-29 (1981)
- 20) Yano, Y., Machiguchi, Y. and Sakai, Y.: Digestive ability of *Strongylocentrotus intermedius*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 59(4), 733 (1993)
- 21) 福原忠信, 黒田久仁男: 余市産ホソメ昆布成分の季節的变化. 北水試月報. 8(6), 7-13 (1951)
- 22) 船岡輝幸, 坂本正勝: コンブの利用加工試験, 第1報 1年マコンブと2年マコンブの相違について. 北水試月報. 29(9), 23-29 (1972)
- 23) 白石一成, 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔: 褐藻エゾヤハズメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌. 57(10), 1945-1948 (1991)
- 24) 伏谷伸宏: “3. 防御行動の化学”. 海洋生物のケミカルシグナル. 東京, 講談社. 1989, 47-125.
- 25) 斎藤恒行, 安藤芳明: 海藻類の臭素化合物 (第1報) 紅藻モロイトグサより分離せる1ブロムフェノールについて. 日本化学雑誌. 76(5), 478-479 (1955)
- 26) 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔: コンブ科褐藻数種のエゾアワビに対する摂食阻害活性. 日水誌. 58(3), 577-581 (1992)
- 27) 坂田完三: アワビやウニはどのようにして餌を選ぶのか. 化学増刊. 121, 79-86 (1992)
- 28) 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔: 褐藻ツルアラメのポリフェノール化合物によるエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌. 57(11), 2065-2071 (1991)
- 29) 佐藤恭成, 能登谷正浩: 褐藻ツルアラメ *Ecklonia stolonifera* のサザエ, ウニおよびアワビに対する餌料価値. 日水誌. 54(8), 1451 (1988)
- 30) 吾妻行雄, 川井唯史, 大槻知寛, 尾身東美: 磯焼け漁場有効利用技術開発事業. 平成7年度北海道立中央水産試験場事業報告. 249-260 (1997)
- 31) 川俣 茂, 足立久美子, 山本正昭: キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響. 平成6年度日本水産工学会学術講演会講演論文集. 85-88 (1994)

海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性

櫻井 泉*, 瀬戸雅文*

Behavioral Characteristics of the Juvenile Japanese Littleneck Clam *Ruditapes philippinarum* in response to Sand Erosion and Deposition

Izumi SAKURAI* and Masabumi SETO*

This study examined the behavioral characteristics of juvenile Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum* in response to sand erosion and deposition associated with oscillatory flow under laboratory conditions, then estimated the fluid conditions critical to wash the clams out of the sand. The juveniles started burrowing downward into sand when their burying depth decreased to less than 1.5 times the shell length due to erosion, and moving upward when the depth increased to more than 4.4 times the shell length due to deposition of sand. Burrowing and climbing actions of the juvenile continued until the depth reached 2.3-3.3 times the shell length once again. The burrowing speed was 1.4 times higher than the speed of erosion, and the climbing speed was 1.3 times higher than the speed of deposition of sand. The juveniles were washed out of the sand when the erosion speed exceeded 0.06mm/s, and such erosion occurred when oscillatory flow speeds at 15 cm above a sandy bottom with median particle diameter of 0.3mm exceeded more than 45 and 55 cm/s at periods of 4 and 8 seconds, respectively.

キーワード：アサリ，行動，地形変化，漁場造成

はじめに

アサリ *Ruditapes philippinarum* は、日本全国の潮間帯～水深20mの砂泥底に生息する潜砂性の二枚貝であり、最近10年間（1987～1996年）では、国内で年間43,703～99,517トンが漁獲されているが、その量は年々減少傾向にある。一方、北海道では、道東地方を中心に年間958～1,496トン（1987～1996年）が水揚げされており、この量は、国内における総漁獲量の約3%に過ぎないが、年々増加傾向にある。このような背景の中で、本種の資源増大を目的とした人工増殖場の造成事業が厚岸湖、尾岱沼、火散布沼、温根沼、風蓮湖およびサロマ湖で実施されている。

北海道におけるアサリの人工増殖場は、一般には近接した天然漁場の地盤高を参考に、泥分含有率の少ない砂を盛土する方法により施工されている。このため、本種の生息に適した底質の硬度および粒度条件等が調べられてきた^{1,2)}。一方、アサリの減耗要因の一つには、波浪による稚貝の移動および分散が指摘されており³⁻⁷⁾、より生産性の高い増殖場を造成するには、波浪に伴う本種

の減耗機構を明らかにし、その結果を設計指針に反映させる必要がある。

そこで本研究では、波浪に伴って起こる海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性を実験的に明らかにするとともに、本種稚貝が砂中から流出する時の流動条件を検討したので、その結果を報告する。

材料および方法

1. 供試個体の採集および飼育

本研究には、1995年5月に北海道野付湾の干潟域において採集されたアサリ0齢個体（平均殻長±標準偏差； 9.1 ± 1.7 mm）を使用した。市販の珪砂（中央粒径値0.3mm）を約10cmの厚さに敷き、水温を8および20に調温した水槽内に供試個体を約5か月間収容することによって、後述する実験環境に馴致した。馴致期間中の供試個体には、餌料として人工培養したプラシノ藻の一種 *Tetraselmis tetraathele* を与えた。なお、飼育水中の餌料濃度については、 1×10^4 細胞/mlを維持するように調整した。また、本研究には、北海道余市沖で取水した濾過海

報文番号 A 286 (1999年2月22日受理)

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

水 (塩分濃度33~34ppt) を使用した。

2. 実験手順

本研究には、長さ1.5m、幅0.3mおよび深さ0.35mの観測水路を持つ鉛直循環式振動流水槽を使用した (Fig.1)。この水槽は、パーソナルコンピュータ上の制御プログラムが下部中央に内蔵されているプロペラの回転数および方向を調節することによって、水路内に種々の流速振幅および周期を持つ振動流を発生できる仕組みになっている。実験は、以下の手順により行った。まず、観測水路内に先述の珪砂を15cmの厚さに敷き、砂面を平坦に整地した後、濾過海水を水深0.35mになるように注入し、後述する水温条件に調整した。次に、殻長を0.1mmの精度で計測した稚貝の右殻中央部に、プラスチック製の棒 (長さ40mm、径0.5mm) を稚貝が潜砂した時に直立するようにアクリル樹脂系瞬間接着剤 (コニシ社製) で取り付け (Fig.2)、約1分間風乾した後、これら10個体を水路内の砂面上に静置した。すべての稚貝が潜砂した後、水路内に流速振幅25cm/sの振動流を起こし、その後60分間隔で5cm/sずつ55cm/sまで上昇させた時に生ずる砂面の上下動と稚貝の運動に伴うプラスチック棒の動きをビデオカメラで録画した。なお、流速振幅の値は、水路中心部 (砂面上15cm) の最大値とし、電磁流速計 (Kenek社製) を用いて計測した。また、アサリは、水温5~25の条件下では、高温域ほど潜砂に対する応答性や運動性が上昇するので²⁾、本実験では、8および20の水温条件を設定した。さらに、砂面の上下動は、同じ流速でも振動周期によって異なるので、本実験では、主流の振動周期を4および8秒に設定した。

一方、プラスチック棒の装着が潜砂中の稚貝の行動に与える影響を明らかにするため、ホルマリン固定した殻長9.0mmのアサリに先述の棒を同様の方法で取り付け、これを潜砂深度が殻長の2倍になるように砂中に埋め込んだ後、周期4および8秒において10~80cm/sの流速振幅に対する棒の動きを観測した。また、棒を装着した稚貝および装着していない稚貝をそれぞれ10個体ずつ用いて、平均潜砂速度²⁾を計測した。その結果、埋在中の稚貝に装着した棒は、両周期とも流速振幅が60cm/sを越えるまで流れの方向には傾かなかった。また、棒の装着の有無による稚貝の平均潜砂速度には、有意差が検出されなかったため、流速振幅55cm/s以下では、潜砂中の稚貝の行動に棒の装着は影響しないものと考えた。

3. 解析方法

録画したビデオ画像をもとに、水路底面から砂面までの高さ S (mm)、水路底面からプラスチック棒の先端部

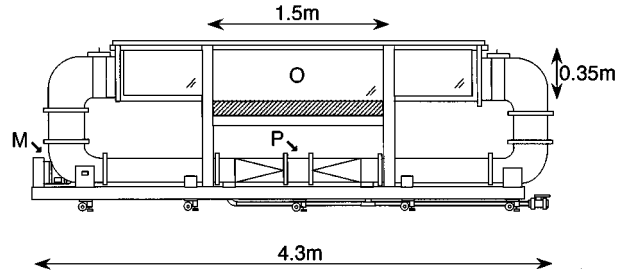


Fig. 1 Schematic diagram of vertical circulating water channel (C.W.C.). M: variable speed motor, P: propeller built-in space, O: observation unit wherein shaded portion represents sand.

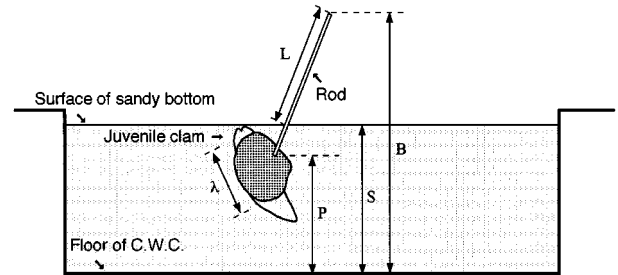


Fig. 2 Schematic diagram showing parameters estimating for burying depths of the juvenile littleneck clam's position. P: height of the juvenile's position, S: height from floor of C.W.C. to surface of sandy bottom, L: length of rod protruding from the surface of sandy bottom, B: height from the floor to the tip of rod, λ : shell length of the juvenile.

までの高さ B (mm) および砂面上に露出した棒の長さ L (mm) を180秒間隔で計測した。これらをもとに、稚貝の潜砂位置の高さ P (mm) を次式により算出し、 S に対する P の時系列変化を求めた (Fig.2)。

$$P = S - (40 - L)(B - S) / L \quad (1)$$

得られた時系列変化において、 $i \sim (i+n)$ 回目の計測中に連続した P の変化が認められた場合を砂中における稚貝の自発的な運動とみなし、 P が低下および上昇した場合をそれぞれ稚貝の潜行および這上行動と定義した。

次に、稚貝が各行動を開始した時の潜砂深度 D_s および終了した時の潜砂深度 D_e を次式により算出した。

$$D_s, D_e = (S - P + \lambda) / \lambda \quad (2)$$

ただし、二枚貝の潜砂深度は、一般には殻長に比例して増加するので⁸⁾、本研究では潜砂深度を稚貝の殻長 (mm) で標準化した数値を解析に使用した。

稚貝の鉛直方向への移動速度 V (mm/s) を次式により算出した。

$$V = (P_{i+n} - P_i) / 180n \quad (3)$$

ここで P_i および P_{i+n} は、それぞれ P の i 回目および $(i + n)$ 回目の計測値である。また、砂面の上下速度 U (mm/s) を次式により算出した。

$$U = (S_{i+n} - S_i) / 180n \quad (4)$$

ここで S_i および S_{i+n} は、それぞれ S の i 回目および $(i + n)$ 回目の計測値である。なお、本研究では、 V の値が負および正の場合をそれぞれ稚貝の潜行速度 V_b および這上速度 V_c と定義した。また、 U の値が負および正の場合をそれぞれ砂面の低下速度 U_e および上昇速度 U_d とした。

結果

アサリ稚貝が潜砂している場所の砂面の高さは、振動流の作用に伴う砂漣の形成および移動により、上昇および低下を繰り返しながら変化した。この時に観測された砂面の高さと稚貝の潜砂位置の時系列変化を各実験条件ごとに1例ずつ示したのが Fig.3 である。各条件ともアサリ稚貝は、急激な砂面の低下に対しては砂中を潜行し、

反対に急激な砂面上昇に対しては砂中を這い上がる傾向が認められた。また、アサリ稚貝は、緩やかな砂面の上下動に対しては水管を伸縮させながら常にその先端部を砂面直上に出す行動を示すことが観測水路のガラス壁面を通して観察された。

各実験条件および供試個体ごとに D_s および D_e を平均し、これらの値を用いて、 D_s および D_e に及ぼす水温および振動周期の影響を2元配置 ANOVA により解析した (Table 1, 2)。その結果、潜行および這上行動とも D_s および D_e には、水温および振動周期による有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。そこで、各行動時の D_s および D_e を水温および振動周期を込みにして平均し、Table 3 に示した。 D_s および D_e の平均値は、それぞれ潜行時には1.53および2.31、這上時には4.39および3.27と算出された。さらに、得られた平均値を t 検定

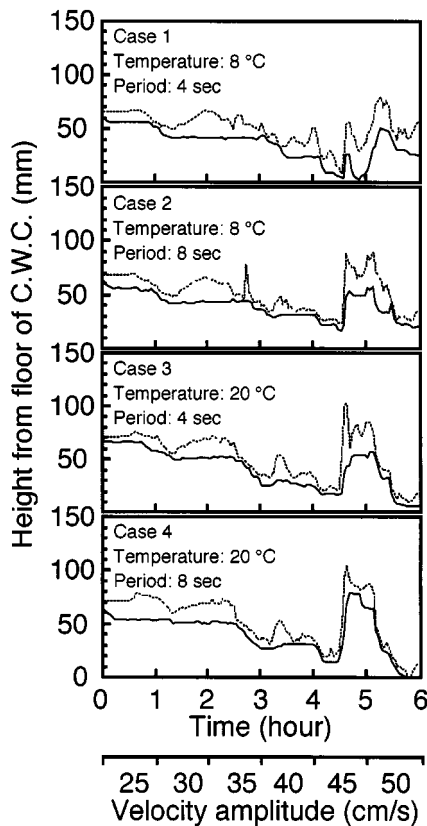


Fig. 3 An example of time series of the juvenile littleneck clam's position (solid lines) relative to surface of sandy bottom (dotted lines) at different experimental conditions.

Table 1 Summary of ANOVA examining the effects of water temperature and period on burying depth (D_s) of the juvenile littleneck clam at the time that the movement started.

Source	d.f.	MS	F	P
<i>Burrowing</i>				
Temperature	1	0.019	2.559	0.118
Period	1	0.001	0.149	0.702
Temperature × Period	1	0.006	0.812	0.374
Error	36	0.007		
<i>Climbing</i>				
Temperature	1	0.067	0.123	0.727
Period	1	0.021	0.039	0.845
Temperature × Period	1	0.040	0.073	0.789
Error	36	0.545		

D_s is given by $(S - P + \lambda) / \lambda$, where S , P and λ are the same as in Fig. 2. d.f.: degree of freedom, MS: mean square, F: variance ratio, P: level of significance.

Table 2 Summary of ANOVA examining the effects of water temperature and period on burying depth (D_e) of the juvenile littleneck clam at the time that the movement ended.

Source	d.f.	MS	F	P
<i>Burrowing</i>				
Temperature	1	0.001	0.010	0.921
Period	1	0.117	1.427	0.240
Temperature × Period	1	0.034	0.412	0.525
Error	36	0.082		
<i>Climbing</i>				
Temperature	1	0.550	1.524	0.225
Period	1	0.277	0.769	0.387
Temperature × Period	1	0.623	1.726	0.197
Error	36	0.361		

D_e is given by $(S - P + \lambda) / \lambda$, where S , P and λ are the same as in Fig. 2. d.f.: degree of freedom, MS: mean square, F: variance ratio, P: level of significance.

により比較した結果, De は Ds に比較して潜行時には大きく, 這上時には小さくなる傾向が認められた ($P < 0.01$)。また, Ds および De は, 潜行時に比較して這上時に大きくなる傾向がみられた ($P < 0.01$)。

アサリ稚貝の行動速度と砂面の変動速度の関係を明らかにするため, 両者の比 (Vb/Ue および Vc/Ud) の平均値を各実験条件および供試個体ごとに算出した。得られた値を用いて, Vb/Ue および Vc/Ud に及ぼす水温および振動周期の影響を 2 元配置 ANOVA により解析したところ (Table 4), 両速度比には水温および振動周期による有意差が認められなかった ($P > 0.05$)。そこで, 両速度比を水温および振動周期を込みにして平均した (Table 5)。 Vb/Ue および Vc/Ud の平均値は, それぞれ 1.40 および 1.26 と算出された。一方, アサリ稚貝は, Ue が 0.06mm/s を越えると, 砂面の低下に追従できずに砂中から流出した。この時の Vb/Ue は, $0.35 \sim 0.61$ の範囲にあった。また, Ue が 0.06mm/s を越える砂面の低下は, 流速振幅が周期 4 および 8 秒において, それぞれ 45 および 55cm/s 以上の時に観測された (Fig. 4)。

Table 3 Mean burying depth of the juvenile littleneck clam at the time that movement of the juvenile started (Ds) and ended (De).

	Burrowing		Climbing	
	Ds	De	Ds	De
Mean	1.53	2.31	4.39	3.27
S.D.	0.09	0.28	0.71	0.61

S.D. represents standard deviation.

Table 4 Summary of ANOVA examining the effects of water temperature and period on Vb/Ue and Vc/Ud at which the juvenile littleneck clam buried themselves in the sand.

Source	d.f.	MS	F	P
<i>Vb/Ue</i>				
Temperature	1	0.007	0.068	0.795
Period	1	0.001	0.001	0.975
Temperature × Period	1	0.021	0.199	0.658
Error	36	0.107		
<i>Vc/Ud</i>				
Temperature	1	0.054	0.096	0.759
Period	1	0.004	0.008	0.930
Temperature × Period	1	0.314	0.550	0.463
Error	36	0.570		

Vb and Vc represent burrowing and climbing speeds of the juvenile littleneck clam, respectively. Ue and Ud indicate erosion and deposition speed of the sand, respectively.
d.f.: degree of freedom, MS: mean square, F: variance ratio, P: level of significance.

考 察

1. 砂面変動に対する行動特性

一般に, 砂泥質で形成される潮間帯~潮下帯の海底面は, 波浪などの水理作用によって地形変化の影響を受けやすい。このような物理的に不安定な環境に生息する潜砂性二枚貝には, 1) 活発な運動能力を放棄する代償として, 砂中に深く潜行することによって表層で起こる物理的攪乱を回避するタイプ⁹⁾, 2) 浅く潜りながらも地形変化に対して自分の潜砂位置を積極的に維持するタイプ⁹⁾, および 3) 両者の折衷した性質を有するタイプが存在する¹⁰⁾。

Table 5 Mean values of Vb/Ue and Vc/Ud at which the juvenile littleneck clam buried themselves in the sand.

	Vb/Ue	Vc/Ud
Mean	1.40	1.26
S.D.	0.32	0.73

S.D. represents standard deviation.

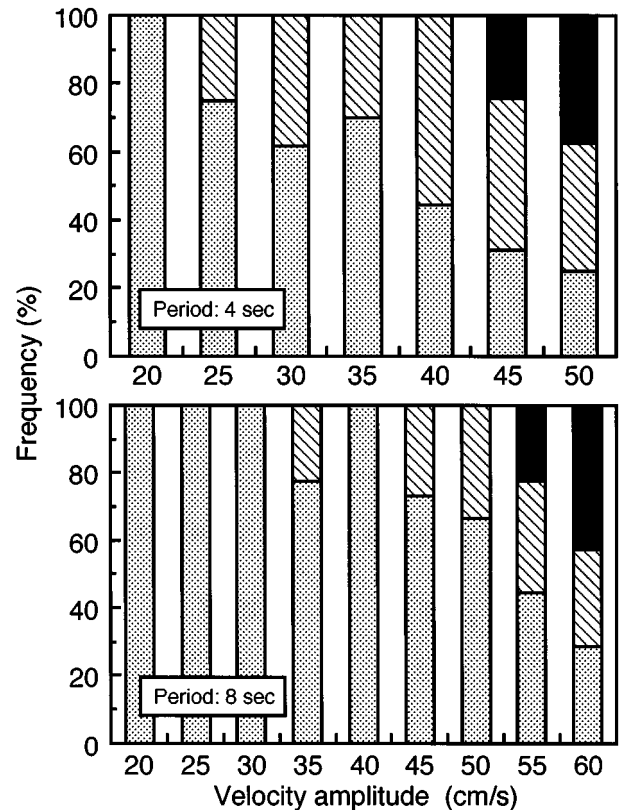


Fig. 4 Relationship between velocity amplitude and erosion speed at the experiment. Dotted, shaded and solid bars represent the erosion speeds of $0-0.02$, $0.02-0.06$ and $> 0.06\text{mm/s}$, respectively.

本研究の結果、アサリ稚貝は、潜砂深度が殻長の1.5倍以下になる急激な砂面低下を受けた時には砂中を潜行し、潜砂深度が殻長の4.4倍以上になる急激な砂面上昇を受けた時には砂中を這い上がることが明らかとなった。また、これらの行動は、潜砂深度が潜行時には殻長の2.3倍以上に、這上時には殻長の3.3倍以下に回復するまで認められ、アサリ稚貝は、自分の潜砂位置を積極的に保つことによって、砂中からの流出や砂中への埋没の危機を回避するタイプに属することが示唆された。ただし、本研究では、アサリ稚貝が緩やかな砂面の上下動に対しては、水管を伸縮させることによって呼吸や摂餌活動を維持している様子が観察された。このことは、本種が地形変化の規模に応じて砂中からの流出や砂中への埋没に対する回避方法を変える性質を持つことを窺わせる。これに対して、波浪の影響を強く受ける開放的な海岸に生息するウバガイ *Pseudocardium sachalinensis* の稚貝では、地形変化の規模にかかわらず、その上下動に敏感に反応しながら、潜行あるいは這上行動によって潜砂位置を維持することが報告されている¹¹⁾。上述したアサリ稚貝の行動特性は、本種が生息する内湾や干潟域など波浪による地形変化の影響が比較的少ない環境によく適応した側面を表していると考えられる。

砂面変動速度と行動速度の関係を検討した結果、アサリ稚貝は、砂面低下速度の1.4倍の速度で砂中を潜行し、砂面上昇速度の1.3倍の速度で砂中を這い上がることが明らかとなった。このことは、本種稚貝が地形変化の程度に応じて砂中を移動する速度を調節していることを示唆する。潜砂性二枚貝では、砂中で殻を開いて足部を下方へ伸ばし、その先端部を膨張させてアンカーにした後、閉殻筋を収縮して殻を閉じると同時に足部を収縮することによって体を下方へ動かし、この一連の運動を繰り返すことによって砂中を潜行することが知られている⁹⁾。また、潜砂性二枚貝の這上行動は、砂中で殻を開いて足部を横方向へカーブを描くように伸長した後、これを瞬間的に真っ直ぐ伸ばすことによって体を強制的に上方へ押し上げる動作を繰り返すことによって遂行される⁹⁾。このように、潜行および這上行動には機構上の相違が認められるが、足部の筋肉運動がその推進力となっている点では共通しており、上述したアサリ稚貝の砂中における移動速度の調節は、足部の筋肉運動の強弱に起因するものと推察される。なお、砂面変動より大きな速度で砂中を移動する本種稚貝の特性は、過剰な運動によるエネルギーの損失を伴う反面、急激な地形変化に対して流出や埋没の危機を回避しやすい利点をもたらすと考えられる。

水温に対するアサリの潜砂行動の特性として、水温5～25の止水条件下では、高温域ほど潜砂に対する応答性

や運動性が上昇することが報告されている²⁾。しかしながら、本研究では、アサリ稚貝の行動特性に水温の影響は認められなかった。この原因としては、振動流のように絶えず砂面が変動する基質中では、止水下のように安定した基質中に比較して、潜砂深度を維持するための稚貝の上下動が頻繁に起こり、その結果、潜砂深度や行動速度の分散に及ぼす砂面変動の効果が水温の効果以上に大きくなったことが考えられる。また、本種稚貝の行動特性には、主流の振動周期による影響も認められなかった。振動周期は、海底面に形成される砂漣の波長および振幅を規定するに過ぎないので、砂中におけるアサリ稚貝の行動には直接影響しなかったと考えられる。

2. 砂面低下による流出限界

アサリの生息と波浪の関係については、波浪による地形変化が激しい場所ではアサリが生息できないことや、波浪がアサリの主な減耗要因の一つになっていることが現地調査を通して指摘されている^{3,6,7)}。また、柿野ら⁶⁾は、海底面への波浪の影響を表す指標として底面摩擦速度を計算し、この値が3～4 cm/sの場所にアサリ稚貝(殻長20mm未満)の生息量のピークが認められることを報告しているが、底面摩擦速度と砂面の変動速度の関係については明確にしていない。そこで本研究では、砂面変動とアサリ稚貝の生息限界の直接的な関係を実験的に検討した。その結果、本種稚貝は、砂面低下速度が0.06 mm/s以上になると、地形変化に追従できずに砂中から流出することが明らかとなった。また、この時の潜行速度と砂面低下速度の比は、0.4～0.6の範囲にあり、本種稚貝では、砂面低下速度が潜行速度の1.7～2.5倍以上になる流動条件が生息限界となることが示唆された。

一般に、波の作用によって岸沖方向に移動する海底の砂は、底面流速の増加に伴って、掃流移動、浮遊移動、砂漣の発生、消滅および層状移動へと進行し、このような一連の砂の運動によって海底地形の変動が発生する¹²⁾。また、砂の移動様式については、波の周期、波高、水深、砂の比重および粒径によって各々分類されている¹³⁻¹⁵⁾。しかしながら、砂の移動速度は、砂漣上の位置(すなわち、峰、谷および斜面)によって異なるため、砂面の低下速度を上述のパラメータによって一義的に求めることは困難である。このため、本研究では、実験で観測された砂面の低下速度と振動流の流速振幅の関係から、アサリ稚貝が砂中から流出する流動条件を推定した。その結果、中央粒径値が0.3mmで波の周期が4および8秒の海底では、底面上15cmの流速振幅がそれぞれ45および55 cm/s以上になると、アサリ稚貝が流出する0.06 mm/sの砂面低下が発生することが推察された。したがって、砂の

中央粒径値が0.3mmの条件を満たすアサリ漁場では、海底上15cmの流速を45cm/s（周期4秒）ないしは55cm/s（周期8秒）以下に抑えることによって、稚貝の減耗を防ぐことが可能と考えられる。また、砂の粒径や波の周期が異なる場合には、各条件において、砂面の低下速度を0.06mm/s以下に抑えるような工夫が必要と思われる。

謝 辞

本研究は、北海道開発局「環境保全型沿岸域利用調査」の一環として行われたことを付記し、関係者各位に深く感謝いたします。また、標本の採集および搬送にご協力いただいた野付漁業協同組合の職員の方々に謝意を表します。

要 約

波浪に伴う海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性を明らかにするとともに、本種稚貝が砂中から流出する時の流動条件を実験的に検討した。得られた結果は、以下の通りである。

1. 本種稚貝は、潜砂深度が殻長の1.5倍以下になる急激な砂面低下を受けた時には砂中を潜行し、潜砂深度が殻長の4.4倍以上になる急激な砂面上昇を受けた時には砂中を這い上がった。また、これらの行動は、潜砂深度が潜行時には殻長の2.3倍以上に、這上時には殻長の3.3倍以下に回復するまで認められた。
2. 本種稚貝は、砂面低下速度の1.4倍の速度で砂中を潜行し、砂面上昇速度の1.3倍の速度で砂中を這い上がった。
3. 本種稚貝は、砂面低下速度が0.06mm/s以上になると、地形変化に追従できずに砂中から流出した。また、この砂面低下は、中央粒径値が0.3mmで振動周期が4および8秒の海底では、底面上15cmの流速振幅がそれぞれ45および55cm/s以上の時に発生することが推察された。

文 献

- 1) 阿久津孝夫, 山田俊郎, 佐藤 仁, 明田定満, 谷野賢二: アサリの生息と底質の硬度, 粒度との関係について. 開土研月報. 503, 22-30 (1995)
- 2) 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)
- 3) 倉茂英次郎: “アサリの生態研究, 特に環境要素について(松本文夫編)”. 水産学集成. 東京, 東京大学出版会, 1957, 611-655.
- 4) 藤本敏昭, 中村光治, 小林 信, 林 功, 滝口克巳, 小田一成, 鶴島治市: アサリの漁場形成について. 昭和58年度福岡県豊前水産試験場研究業務報告. 34-106 (1985)
- 5) 柿野 純, 鳥羽光晴: 千葉北部地区貝類漁場におけるアサリ資源の特性について. 千葉水試研報. 48, 59-71 (1990)
- 6) 柿野 純, 中田喜三郎, 西沢 正, 田口浩一: 東京湾盤洲干潟におけるアサリの生息と波浪の関係. 水産工学. 28, 51-55 (1991)
- 7) 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)
- 8) Zwarts, L. and Wanink, J.: Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. Mar. Biol. 100, 227-240 (1989)
- 9) Ansell, A. D. and Trevallion, A.: Behavioural adaptations of intertidal molluscs from a tropical sandy beach. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 4, 9-35 (1969)
- 10) Kondo, Y. and Stace, G.: Burrowing ability and life position of *Toheroa (Paphies ventricosa)*: Mesodesmatidae, an unusually large, deep-burrowing ocean beach bivalve endemic to New Zealand. Venus. 54, 67-76 (1995)
- 11) Sakurai, I. and Seto, M.: Behavioral characteristics of the juvenile Japanese surf clam *Pseudocardium sachalinensis* in response to sand erosion and deposition associated with oscillatory water flow. Fish. Sci. 64(3), 367-372 (1998)
- 12) 堀川清司: 海岸工学. 東京, 東京大学出版会, 1991, 245-281.
- 13) 石原藤次郎, 榎木 亨: 漂砂の移動限界流速, 限界水深および移動量について. 海岸工学論文集. 7, 47-58 (1960)
- 14) 佐藤昭二, 田中則男: 水平床における波による砂移動について. 海岸工学論文集. 9, 95-100 (1962)
- 15) 堀川清司, 渡辺 晃: 波による砂移動に関する一考察. 海岸工学論文集. 13, 126-134 (1966)

Diseases of Sakhalin salmon (Review) *1

Galina P. VYALOVA *2

Various parasitic and infectious diseases of salmon periodically appear as a result of the influence of some abiotic conditions in different years.

The present review gives a short characteristic of the most interesting diseases of salmon both at hatcheries and in natural conditions.

Key words: review, parasitic diseases, infectious diseases, salmon, hatchery, natural condition, Sakhalin

Introduction

In this review, the author presents a short characteristic of the most interesting diseases of salmon both at hatcheries and in natural conditions in Sakhalin. Parasitic and infectious diseases of salmon periodically appear as a result of the influence of some abiotic conditions in different years. Materials on study of various diseases from 1984 to 1996 were used. Figure 1 shows where those diseases have taken place.

PARASITIC DISEASES

TRICHODINIOS

Trichodinios is widely spread among salmon fry at Sakhalin hatcheries. It is caused by two species of trichodines: *Trichodina truttae* and *T. californica*. Both species of trichodines are psychrophilic, as long as their activity occurs at low temperature. As a rule, the intensity of invasion increases with the temperature rising (Table 1).

Measures of prevention and sanitation of trichodinios are developed and elucidated in literature rather widely, including regular preventive treatments and drug therapy. So, at steady control there are no difficulties in struggle against diseases.

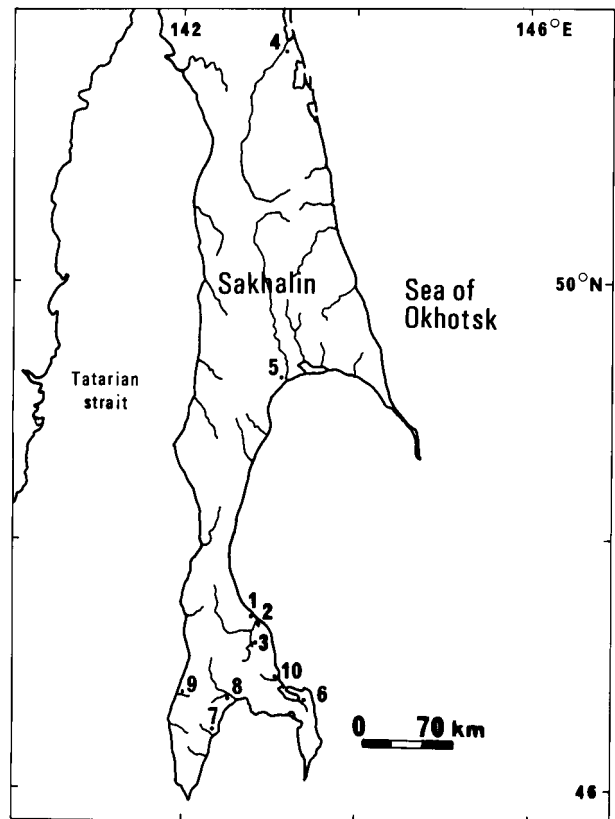


Fig. 1 Map showing where diseases have taken place in Sakhalin. 1-Lake Dolgoye, 2-Nayba River, 3-Sokolovskiy Hatchery, 4-Tym River, 5-Poronay River, 6-Udarnitsa River, 7-Taranay River, 8-Bryanka River, 9-Zavetyinka River, 10-Ochepukha River

Accepted: February 5, 1998. Contribution A 287 from the Hokkaido Fisheries Experimental Station.

(報文番号 A 287 (1998年2月5日受理))

*1サハリン産サケマス類の病気(総説)(この報告は大日本水産会の援助による北海道立中央水産試験場での研修中にとりまとめられたものである)

*2Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin 693016, Russia (ガリーナ・ペ・ヴィヤーロワ, サハリン漁業海洋学研究所, ユジノサハリンスク, サハリン州, ロシア)

Table 1 Abundance of trichodines on salmon fry reared at Sokolovsky hatchery in 1984.

Month	Species	Number of fishes examined	Abundance index (ind./fish)	Oxygen level (mg/l)	pH	Temperature (°)
February	chum	25	0.04	11.3	6.4	2.1
	pink	25	0	9.9	6.6	0.2
March	pink	25	0.04	9.9	6.8	0.4
	chum	60	0.5	10.8	6.4	1.4
	pink	25	0.5	8.8	6.4	1.4
	pink	15	1.0	11.2	6.8	0.4
April	chum	160	1.4	8.5	6.4	3.1
	pink	80	1.0	9.4	6.8	0.6
	chum	135	1.8	9.6	6.6	1.4
	pink	75	1.8	9.6	6.6	1.4
	pink	110	0.2	7.0	6.4	4.7
May	chum	50	5.0	7.0	6.4	4.0
	pink	50	0.2	7.0	6.4	4.7
	chum	50	6.8	9.2	6.2	5.0
	pink	50	1.2	9.2	6.4	4.7
	chum	50	25.0	6.3	6.4	6.0

TREMATODOS

A trematode disease was observed while young pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* were reared in marine tanks in Dolgoye Lake in 1978. Dolgoye Lake is a shallow saltwater one. Its salinity is 8-12 per mille, the water temperature was 12-20° C, and the content of dissolved oxygen did not exceed 8.4 mg/l. The pathogen is a trematoda belonging to the genus *Criptocotile*. The mortality of pinkfry was 50%. The disease sign included tubers with dark pigment on the skin. When cutting, there were found trematode metacercariae in black cysts. The prevalence of infection was 100%, and abundance was 53 parasites. Fish infected with trematodes had not commercial appearance. Measures of prevention against trematodes are not developed¹⁾.

MYXOSOMOS

Myxosoma dermatobia is widely spread in Sakhalin among chum salmon *Oncorhynchus keta* spawners in the rivers Tym, Poronay, Nayba, and Udarnitsa²⁾.

Vegetative stages of parasites are rounded, milk-coloured cysts with a great number of spores, and located in the skin of scale pockets. Infected fish had many tubers, scales above them were raised athwart the skin and "rumpling" of scale were observed. When cutting the tubers, small holes with a diameter of 3-5 mm appeared on skin, and scales dropped out. Thus, some myxosporean spores appeared in the water when fish was alive, and other spores did after decay of infected fish

body.

Number of parasites, occurred among chum salmon of different rivers, is exposed to great fluctuations. This fact can be explained by peculiarities of chum salmon ecology in rivers with various hydrological conditions (Table 2). Chum salmon spawners of the Tym River was the most infected (91-96%). High number of parasites allows to consider such infection as a disease. To our opinion, young chum salmon was exposed to be infected during the period of its life stage in the river and in the saltwater estuaries. Further parasites increase in the host organism occurs in the period of their vegetative reproduction (plasmotomy)³⁾.

This parasite spoils chum salmon appearance, that leads to commercial damage. Preventive measures are not developed.

Table 2 Prevalence of *Myxosoma dermatobia* in chum salmon in Sakhalin rivers (1988-1991).

Name of river	Year	Number of fish examined	Prevalence (%)	Range of intensity	Number of parasite cysts per fish
Tym	1988	174	91.0	1-100	29.0
	1989	198	96.0	3-125	42.0
Poronay	1989	1000	1.6	14-505	2.0
Nayba	1989	138	42.0	3-211	18.0
	1990	100	26.0	1- 50	3.0
	1991	100	8.6	1- 48	1.3
Udarnitsa	1989	300	3.0	1- 36	0.4
	1990	100	17.0	1- 32	1.2

MICROSPORIDIOS

First *Microsporidium takedai* was considered as parasite-endemic of salmons of the Chitose River basin and Tokito Lake (numa) at Hokkaido⁴⁾. A new seat of microsporidiosis was found in 1977. It was the Lake Akan in the east of Hokkaido⁵⁾. Some time later the fact of infection of salmon spawners was registered at Sakhalin⁶⁾. The microsporidian infection occurred in the Taranay and Bryanka Rivers, entering the Aniva Bay (Tables 3-4).

Annual fluctuations of invasion, though not very essential (Table 3), may be a direct result of influence of various water temperatures. In 1985 the temperature was lower, than in 1983-1984. According to the results of our studies the Taranay and Bryanka Rivers' pink salmon is the main host of *M. takedai*. In all years the highest level of infection of pink salmon spawners was observed in September with a prevalence of 90-100%. Intensity of infection varies in wide limits,

Table 3 Pink salmon spawners infected by microsporidian *Microsporidium takedai* in 1982-1985.

Year	Taranay River				Bryanka River			
	Date	Studied Number (ind.)	Infected Number (ind.)	Infected (%)	Date	Studied Number (ind.)	Infected Number (ind.)	Infected (%)
1982	Aug.30	50	35	70	-	-	-	-
1983	Sep. 7	300	300	100	Sep.12	50	50	100
1984	Sep.10	56	56	100	Sep.13	80	64	80
1985	Sep. 5	302	263	87	Sep. 7	472	337	71

Table 4 Pink salmon spawners infected by microsporidian *Microsporidium takedai* in the Taranay River in 1985.

Areas of fish catches	Sex	August, decades						September, decades					
		1		2		3		1		2		3	
		s*	i**	s	i	s	i	s	i	s	i	s	i
Sea	female	50	0	92	0	45	0						
river	male	50	0	96	0	30	0						
mouth	total	100	0	188	0	75	0						
Lower	female	50	0	32	-	131	3.8	330	39.0	120	75.0	184	63.0
river	male	68	0	32	15.6	134	20.1	290	51.4	104	71.1	140	85.7
	total	118	0	64	7.8	265	12.0	620	45.0	224	73.2	324	72.8
Upper	female			15	13.3	115	42.6	382	68.4				
river	male			30	26.6	241	76.3	64	89.7				
	total			45	22.2	356	65.4	302	87.0				

*s:studied(ind.) **i:infected(%)

beginning from a single scatter affection of heart muscles (Fig. 2a), to a generalized invasion of heart, cross-stripped muscles of the trunk, eyes, throat and others (Fig. 2b). High number of parasites, to our opinion, was the result of rapid maturity and accumulation of spores for the period of long reservation of fish in the river at high water temperature (20° C and higher) before the system of weirs (dams)(2-3) on the river, where pink salmon sexual products came to maturity and were ready for collecting and laying eggs at hatchery. Only 9% of masu salmon *Oncorhynchus masou masou* spawners were infected in the Taranay River at the same period of time in 1985, with weak intensity of invasion, but in the Bryanka River both extensity (45.6%) and intensity of invasion were higher among fish of the same species, but put in tanks earlier. Presumably, reservating of masu salmon in a tank appeared to be as well a factor, provoking infection or parasite developing. Other species of salmon inhabiting those rivers, namely: coho salmon *Oncorhynchus kisutch* and Dolly Varden *Salvelinus malma* were free of microsporidea⁷⁾.

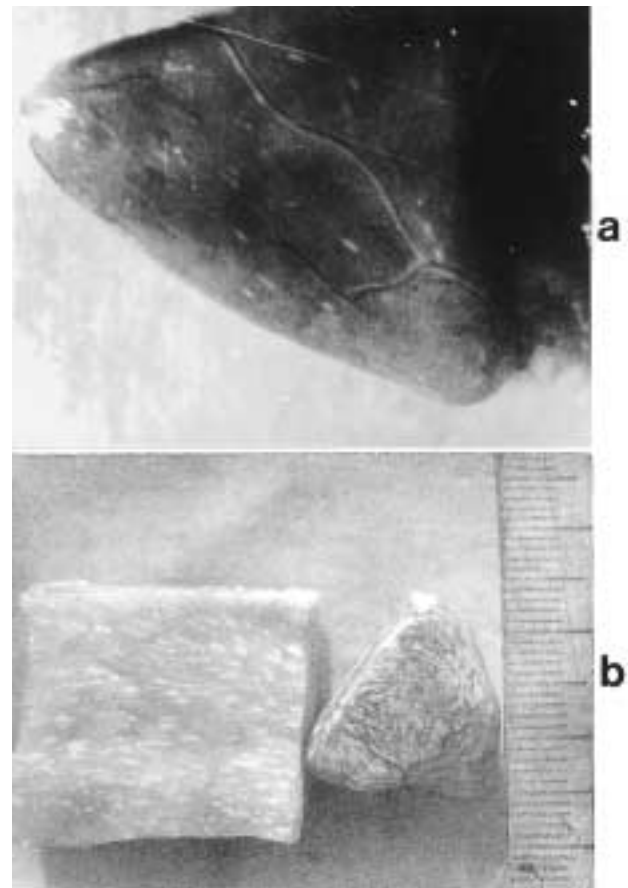


Fig. 2 Pink salmon muscles invasion by cysts of *Microsporidium takedai*. a-single scatter invasion, b-generalized invasion

NEMATODOS

Muscles of pink salmon spawners are infected greatly by larvae of nematodes of *Anisakis*. In Figure 3 a long-term dynamics of number of *Anisakis* larvae in pink salmon muscles is shown. Here you can see the differences in muscles invasion intensity of pink salmon, caught in various areas of the south Sakhalin. Comparing the levels of invasion, it should be marked the annual increase of parasite number in every area. However, in 1994 there was marked tendency of invasion decrease⁸⁾ (Fig. 3).

Muscular invasion of chum salmon spawners by *Anisakis* larvae is higher, than of pink ones. In 1994, when in the prevalence was 100%, average number of parasites per fish was 25.4 ± 4.2 ind./fish among chum salmon in the Zavetinka River and 29.8 ± 3.4 ind./fish among chum in the Udarnitsa River. The maximum number of nematodes in muscles of one fish mounted up to 203 individuals.

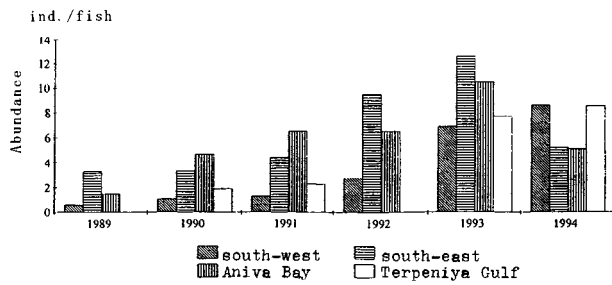


Fig. 3 Annual change in the abundance of *Anisakis* in South Sakhalin pink salmon. (In 1989 and 1992 studies in Terpeniya Gulf were not conducted)

Anisakis larvae may be the problem for those people, who eat raw fish. If alive larva of *Anisakis* comes into the digestive tract of a human, surgical interference and therapy are necessary.

DIPHYLLOBOTHRIOS

Systematic position of larvae of *Diphyllobothrium*, that parasitize in salmon's muscles, has been discussed till present time. There are two opinions. Delamure et al.⁹⁾ refers them to *Diphyllobothrium latum*. Muratov et al.^{10,11)} refers larvae to *Diphyllobothrium klebanovsky*. Diphyllobothriidae larvae are the problem for people, who eat raw fish. They fall ill with diphyllobothrios and need therapy. In Figure 4 dynamics of number of *Diphyllobothrium* larvae in pink salmon spawners is presented⁸⁾.

BACTERIAL DISEASES

FURUNCULOSIS

This disease is caused by bacteria *Aeromonas salmonicida*. Furunculosis is the disease of hatchery fish. At Sakhalin furunculosis was found in 1973 with a single pink salmon spawners in the Ochebukha River¹²⁾. Next years furunculosis was registered in all rivers of the south of Sakhalin. The fish mortality was not caused by furunculosis. Furunculosis, as a disease, appeared in two forms: intestinal and muscular. In muscular form swollen skin "blisters", or furuncles, filled with purulent exudation, appear in skeleton muscles. When cutting, deep ulcers appear on their places. Pathogene of furunculosis was taken of diseased, traumatic and clinically strong fish, caught in the river, and as well of fish caught in sea area near estuary. In different years the share of infected

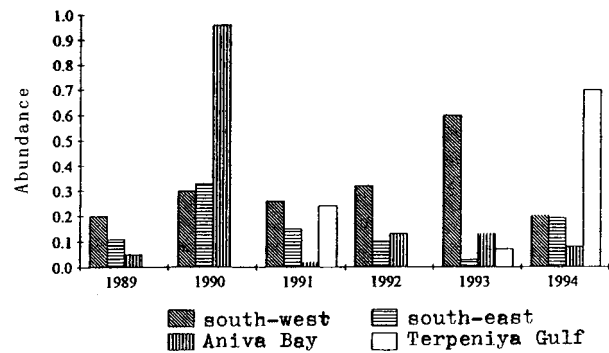


Fig. 4 Annual changes in abundance of *Diphyllobothrium* sp. in the South Sakhalin. (In 1989 and 1992 studies in Terpeniya Gulf were not conducted)

fish of the sea was 0.1-2.0%, fish stayed in the river for some time, had diseased individuals, whose number increased to 8-12%. High density of pink salmon and high water temperature caused the increase of number of diseased fish⁸⁾.

To get strong young fish at hatcheries it is necessary to isolate infected matured individuals, to disinfect eggs before putting for incubation at hatchery and to disinfect hatchery equipment.

GENERAL SEPTICEMIA

This disease is caused by bacteria *Aeromonas hydrophila* and characterized with signs of haemorrhagic septicemia: insult on body surface and internal organs, necrosis of muscular tissues with ulcers' appearing, inflammation of internal organs. Septicemia with salmons has got wide spread. The share of infected fish changed through years in sea catches from 1 to 6%, in river catches up to 12%. The disease is caused by various stress factors - high water temperature, change of fish population density, water pollution⁸⁾.

Preventive measures are the following: isolation of infected fish and prophylactic processing of eggs and fry at hatcheries.

PSEUDOMONOS

This disease is caused by bacteria of *Pseudomonas*. It brings great damage when culturing salmon. A high mortality of fry can occur in acute case of this disease. Pathogenesis is characterized by clinical signs of inflammation of intestine (enteritis)¹³⁾. Preventive measures is to foresee prophylactic actions and medicinal therapy with certain determination of bacteria sensibility to antibiotics¹⁴⁾.

Acknowledgements

I acknowledge the kind encouragement of Mr. I. Abe and staffs of the Japan Fisheries Association and Director General K. Tomita and his colleagues of the Hokkaido Central Fisheries Experimental Station without whose help this paper would not have been published. My special thanks to Dr. Hideo Yoshida, Planning and Information Division of the Hokkaido Central Fisheries Experimental Station and his staffs for taking part in redaction of my paper.

References

- 1) Sergeenko, T. M. and G. P. Vyalova : Disease of salmon fry, provoked by trematodes in the conditions of tank growing. p.78-79. In the Bioresources of marine and freshwater ecosystems. Abstracts of the Conference of Young Scientists. Vladivostok, TINRO-center. (In Russian) (1995)
- 2) Vyalova, G. P.: Detection of *Myxosoma dermatobia* Cnidosporidia: Myxosporidia at Sakhalin chum salmon. p.104-107. In the Fisheries researches in Sakhalin-Kuril region and adjacent areas. Sakhalin Publishing House Yuzhno-Sakhalinsk (In Russian with English summary) (1996)
- 3) Uspenskaya, A. V. : Cytology of microsporidia L., "- Nauka" 112 p. (In Russian) (1984)
- 4) Awakura, T.: Studies on the microsporidian infection in salmonid fishes. *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatch.* (29), 1-95 (In Japanese with English summary) (1974)
- 5) Awakura, T. : A new epizootic of a microsporidiosis of salmonids in Hokkaido. *Fish Pathol.* 13(1), 17-18 (In Japanese with English summary) (1978)
- 6) Vyalova, G. P. : Microsporidiosis of pink salmon spawners. p.10-11. In the Express-information series: Fishery use inlandwaters, No.10 (In Russian) (1984)
- 7) Vyalova, G. P. and V. N. Voronin : Microsporidiosis of salmonidae from Sakhalin: distribution and dynamics of the infection. *Parasitology* 21(4), 553-558 (In Russian with English summary) (1987)
- 8) Steksova, V. V., G. P. Vyalova, Z. K. Shkurina and T. M. Sergeenko : Epizootical condition of Pacific salmon of Sakhalin coastal regions in 1994 year. p.98-103. In the Fisheries researches in Sakhalin-Kuril region and adjacent areas. Publishing House, Yuzhno-Sakhalinsk. (In Russian with English summary) (1996)
- 9) Delamure, S. L., A. S. Skryabin and A. M. Serdukov : The basis of cestodology. Moscow, "Nauka", vol.11, 199p. (In Russian) (1985)
- 10) Muratov, I. V. and P. S. Posokhov : Agent of diphyllobothrios (*Diphyllobothrium klebanovskii*) of human being. *Parasitology* 22(2), 165-170 (In Russian with English summary) (1988)
- 11) Muratov, I. V. and T. A. Semenova : Using the larvae of Diphyllobothriidae as markers of the local herds of the calico and humpback/ chum and pink/ salmon. *Marine Biology* (3), 13-16 (In Russian with English summary) (1990)
- 12) I Soun Dya : Furunculosis of salmonids. *Bulletin VIEV*, (20), 22-23 (In Russian) (1975)
- 13) Vyalova G. P. and A. V. Polteva : Bacterial enteritis of chinook salmon. p.35-36. In the Systematics, biology and biotechnique of salmonids culturing. Materials of the 5th Russian Conference. Sankt-Peterburg. (In Russian) (1994)
- 14) Vyalova, G. P. and Z. K. Shkurina : Pseudomonos of salmon fry at Malkin Hatchery, Kamchatka. p.79-84. In the Problem of commercial growing of Russian salmonids. Collected reports of Russian Conference, August 1-4, 1995. Murmansk, PINRO-press (In Russian) (1995)

道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ0歳魚の分布と成長に伴う移動について

志田 修, 山村織生, 三宅博哉

道東太平洋海域におけるスケトウダラ0歳魚の分布について1994～1997年9月上旬に大津から音調津に至る水深10～80mの海域で実施したシシャモ資源調査で得た試資料から検討した。スケトウダラ0歳魚は水深30m～80m, 底層水温7～13の範囲で漁獲され, 漁獲量は年と調査点によって0～80kgの範囲で変動した。0歳魚の尾叉長は69～153mmと広い範囲にあり, 体長組成のモードは水深の増加に伴って大きい方へ移った。また, 1995～1997年における音調津沖, 大津沖それぞれの水深別の平均尾叉長間には有異なる差が認められ, 1995年の音調津沖の調査点を除き, 水深の増加に伴って大きくなる傾向があった。スケトウダラ0歳魚の胃中に出現した主要な餌生物は, 橈脚類, アミ類, 端脚類およびオキアミ類であった。胃内容物組成は, 調査点ごとに違いが見られた。以上の結果から, 秋季の道東海域におけるスケトウダラ0歳魚は, 成長に伴って沖合方向へ移動するものと考えられた。

A 281 北水試研報 54 1 - 7 1999

水槽内で観察されたシラウオの複数回産卵

山口幹人, 藤岡 崇

1996年5月22日～7月8日の200ℓ水槽内におけるシラウオ雌雄各1個体の飼育において, 約2千個の卵が4回に分けて産出された。それぞれの産卵間隔は8～11日であった。今回の観察において推定できた1回当たりの産卵数は, 586個と761個であった。1回の産卵では約7時間に29回の産卵に関わる行動が観察され, 同時に腹腔内に白い塊として視認された成熟卵は減少し, 最後には確認されなくなった。その後, 次の産卵までに前述の白い塊は再度徐々に大きくなり, 同時にこの間には雌の摂餌も観察された。以上から, シラウオの雌が1産卵期中に卵の成熟と産卵を数回繰り返し行ったことが確認された。

A 282 北水試研報 54 9 - 13 1999

噴火湾底層における貧酸素水塊の形成と消滅

西田芳則, 掘井貴司, 西浜雄二

噴火湾中央部の海底直上水の溶存酸素量を1995年9月から1～3か月に1度の割合で調査した。この調査には海底からの採水距離が厳密に1m上になるように改変したパンドン採水器を用いた。溶存酸素量と塩分の低下率の相関関係から, 底層水中の酸素消費率は約0.07mg/ℓ/日と推定された。冬期噴火湾水が晩春まで底層に滞留していた年の夏季には, 貧酸素水塊が形成されやすい傾向にあり, アカガレイはこの水塊の周縁部に分布すると推察された。貧酸素水塊は, 1995年には湾外深所に分布する冷水がSillをこえて底層に沿って湾内へ流入することによって, また1996年には津軽暖流水が湾内へ強く流入することによって, 秋には解消されはじめたと考えられた。

A 283 北水試研報 54 15 - 23 1999

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

蔵田 護

北海道オホーツク海沿岸におけるホタテガイ *Patinopecten yessoensis* の放流漁業は, ここ20年間に大幅に発展した。しかし, 近年, 生産現場では貝の小型化が懸念されている。そこで, 網走支庁管内の6漁業協同組合からアンケートによって収集した個体重量(4年貝), 漁獲量, 漁場面積のデータに基づいて, 小型化の実態とその原因を調べた。その結果, ホタテガイが経年的に小型化している傾向が4漁場で認められた。次に, 生物量(g/m^2)と生息密度(個体/ m^2)を推定し, 生息密度と成長の関係を調べた。その結果, 生息密度が高いほど個体重量が減少している傾向がすべての漁場でみられ, そのうち2漁場では両者の関係が統計的に有意であった。また, ホタテガイ生物量の漁場別上限はほぼ600～1800 g/m^2 であり, 南東側ほど高かった。近年, 顕在化したホタテガイの小型化傾向は, 放流貝の生残率向上に伴う, 4年貝時点での生息密度の増加に起因していると考えられた。

A 284 北水試研報 54 25 - 32 1999

キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値

名畑進一, 干川 裕, 酒井勇一,
船岡輝幸, 大堀忠志, 今村琢磨

磯焼け海域で, キタムラサキウニを除去した後に量的に多く着生する海藻7種の餌料価値を考察した。水温17℃で飼育したキタムラサキウニの摂餌量は, コンブ類, スジメ, ワカメなどコンブ目の海藻を与えた場合に多く, 増重率も高かった。モロイトグサ, エゾヤハズ, ケウルシグサ, フシスジモクの場合には摂餌量が低く, 増重率が低かった。どの海藻に対しても, 摂餌量は大型個体ほど多く, 摂餌率は小型個体ほど高かった。モロイトグサ, コンブ類, フシスジモクを与えた3実験区のキタムラサキウニの生殖巣指数は, コンブ類の場合が最も高かった。本実験で用いたコンブ目海藻は, キタムラサキウニに対する餌料価値が高いと推察した。

A 285 北水試研報 54 33 - 40 1999

海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性

櫻井 泉, 瀬戸雅文

波浪に伴う海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性を明らかにするとともに, 本種が砂中から流出する時の流動条件を実験的に検討した。本種は, 潜砂深度が殻長の1.5倍以下になる砂面低下を受けた時には砂中を潜行し, 潜砂深度が殻長の4.4倍以上になる砂面上昇を受けた時には砂中を這い上がった。これらの行動は, 潜砂深度が潜行時には殻長の2.3倍以上に, 這上時には殻長の3.3倍以下に回復するまで認められた。また, 本種は, 砂中を砂面低下速度の1.4倍の速度で潜行し, 砂面上昇速度の1.3倍の速度で這い上がったが, 砂面低下速度が0.06mm/s以上になると砂中から流出した。さらに, このような砂面低下を起こす流動条件を推定した。

A 286 北水試研報 54 41 - 46 1999

サハリン産サケマス類の病気(総説)

ガリーナ ペ・ヴィヤーロワ

サケマス類の様々な寄生性, 伝染性の病気が, 異なる年のある無生物的な環境の影響の結果として, しばしば現れる。今回の総説では, 孵化場と自然界の両方のサケマス類にみられる, 最も興味のある病気の特徴を簡潔にまとめた。

A 287 北水試研報 54 47 - 51 1999