

北水試研報
Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Exp. Stn.

CODEN: HSSHEE

ISSN: 0914-6830

北海道立水産試験場研究報告

第 61 号

SCIENTIFIC REPORTS

OF

HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No. 61

北海道立中央水産試験場

北海道余市町

2002年3月

Hokkaido Central Fisheries
Experimental Station

Yoichi, Hokkaido, Japan

March, 2002

北海道立水産試験場研究報告

第61号

目 次

宮園 章

噴火湾産有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす水温および光条件の影響 1-8

宮園 章

噴火湾における有毒プランクトン, *Alexandrium tamarense* のシストの鉛直分布,
発芽活性およびシスト密度の季節変化 9-15

村上 修

クロガシラガレイ (サロマ湖系群) の成熟体長と成熟年齢 17-23

赤池章一, 瀧谷明郎, 津田藤典, 元谷 怜, 高橋和寛

北海道沿岸におけるコンブノネクイムシの出現状況 (短報) 25-28

(2002年3月)

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.61

CONTENTS

Akira MIYAZONO

Effects of water temperature and irradiance conditions on the growth of the toxic dinoflagellate
Alexandrium tamarense isolated from Funka Bay. 1-8

Akira MIYAZONO

Vertical distribution, germination activity and seasonal density variations of cysts of the
toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense* in Funka Bay. 9-15

Osamu MURAKAMI

Length at maturity and age at maturity of crestedhead flounder *Pleuronectes schrenki*, in
Saroma Lake, Hokkaido17-23

Shoichi AKAIKE, Akio TAKIYA, Fujinori TSUDA, Akira MOTOYA and Kazuhiro TAKAHASHI

Seasonal occurrence of a kelp-boring amphipod, *Ceinina japonica* along the coasts of Hokkaido
from 1997 to 2001. (Short Paper)25-28

(March, 2002)

噴火湾産有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarensis* の増殖に及ぼす水温および光条件の影響

宮園 章*

Effects of water temperature and irradiance conditions on the growth of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* isolated from Funka Bay.

Akira MIYAZONO*

Effects of water temperature, irradiance and day length on the growth of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* isolated from Funka Bay, southeast Hokkaido, were investigated. The strain of *A. tamarensis* was able to grow under conditions of 3-5°C, and had a maximum growth rate under 10-18°C. These results are in accordance with the seasonal fluctuations of *A. tamarensis* observed *in situ*. This indicates that the strain has adapted to the low temperature conditions in Funka Bay. Compensation light intensities were below $5\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at 3-18°C. Light intensity of the half-saturation constant increased from 13.26 at 3°C to $39.35\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at 10°C and was more constant between $32.77-39.35\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at 10-18°C. This indicates that the strain is able to grow under low irradiance conditions. Growth inhibition under high light intensity was not observed under $600\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at 10-18°C. The growth rate increased as day length become longer under each temperature. Day length mostly affected the growth rate at 10°C. Relative light intensities of underwater irradiance were 0.8-5.2% of the sea surface irradiance at 20m depth, and 0.2-4.1% at 30m depth from January to July at the Yakumo station in 1996-1998.

The compensation light intensities ($1.0-2.37-4.46\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$) of the strain of *A. tamarensis* indicate that *A. tamarensis* is able to grow between 20 and 30m depth in Funka Bay.

キーワード: *A. tamarensis*, 麻痺性貝毒, 有毒プランクトン, 増殖特性, 水温, 光強度, 日長

はじめに

噴火湾では *Alexandrium tamarensis* による麻痺性貝毒が発生することがある。麻痺性貝毒毒力が高かった1985~1992年には8月からほぼ周年にわたりホタテガイの生鮮出荷が自主規制され、出荷計画や毒化した貝の残滓処理等、産業上の大きな問題を引き起こした。1995年以降、噴火湾での *A. tamarensis* の発生はほとんどなく、麻痺性貝毒発生によるホタテガイ漁業への影響のない年が続いているが、将来の貝毒発生に対する不安がなくなったわけではない。噴火湾における本種の出現時の環境、分布特性等については現場調査によって多くの知見が得られており¹⁻³⁾、原因プランクトンの出現と消失時期を知

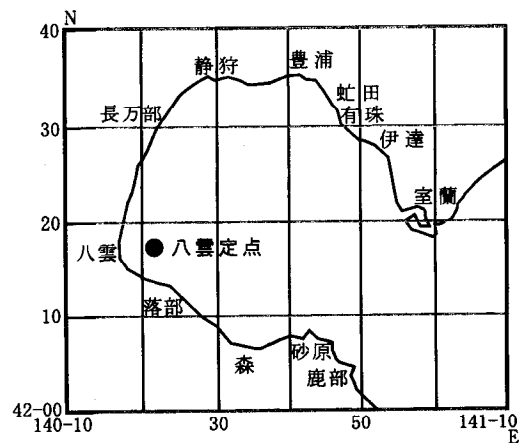


図1 *A. tamarensis* シスト採集および光強度観測地点

報文番号 A335 (2002年1月24日受理)

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

ることによって、ある程度の麻痺性貝毒発生持続についての予察が可能となった。しかし、本種の増殖・減少過程についての機構を解明するための基本的な増殖特性についての知見は増殖に及ぼす照度の影響試験¹⁾があるのみである。岩手県大船渡湾産、三河湾産および広島湾産の株については本種の増殖速度と水温・塩分および光強度との関係を検討した例がある⁵⁻⁷⁾。近年、日本沿岸における *A. tamarense* の分布は北海道から九州まで広範囲に及び、本種の増殖特性はその分布海域によって異なることが予想されている⁷⁾。そこで、噴火湾産 *A. tamarense* の増殖特性を知るため、本種の増殖に及ぼす水温、光強度、および日長の影響について培養実験を行い、他地域の株との増殖特性の比較を行った。

材料および方法

1. 培養実験

実験に用いた *Alexandrium tamarense* は1995年11月に噴火湾の南西部に位置する八雲沖水深32m地点(図1)から得たシストを発芽させ、ピペット洗浄法と対数増殖期の植え継ぎを繰り返して、バクテリアによる汚染を最小限に抑えたクローン株である。培地にはSWII-m培地⁸⁾を用いた。培地の塩分は30から32%, pHは7.8となるようにそれぞれ蒸留水、希塩酸を用いて調節した。培養容器にはガラス試験管(13×100mm)を用い、実験に使用したガラス器具類は十分に洗浄し、加熱乾燥した。これに培養液をそれぞれ5ml加え、オートクレーブ滅菌(121°C, 20分)したものを実験に使用した。

1-1 増殖に及ぼす温度と光強度の影響

培養実験は中央水試海洋環境部の人工気象室5室(コイトトロンFR-535a, 小糸製作所)を使用して行った。培養室の温度は噴火湾における本種の出現時期を想定して、3, 5, 10, 15, 18°Cの5段階に設定した。光周期は14L:10Dに設定した。それぞれの温度条件の下で光強度の条件を変えた2回の実験を行った。1回目は弱い光強度条件、2回目は強い光強度を含む条件を設定した。培養条件の詳細は表1にまとめたとおりである。

光源には白色蛍光灯を用いた。それぞれの光強度は光源からの距離と黒色の遮光ネットを試験管にかぶせることで2~7段階に調節した。

光強度の測定は培養開始時および培養終了時にそれぞれの系における光強度をLI-COR社の光量子センサー(LI-192SA)を用いて測定し、その平均値を培養期間中の光強度と見なした。培養実験はそれぞれの条件で3本の試験管で行った。

表1 培養実験の温度および光条件*

実験	温度 (°C)	光強度 ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1回目	3	4, 13
	5	2, 7, 26
	10	2, 5, 22, 34
	15	2, 9, 23, 32, 82
	18	2.4, 11, 22, 35, 71, 87
2回目	3	4, 15, 32, 52, 108, 146, 201
	5	3, 34, 72, 98, 151, 209
	10	2, 32, 61, 118, 263, 556
	15	2, 27, 63, 128, 330, 609
	18	1, 33, 60, 145, 266, 634

*光周期はすべて14L:10Dとした。

各実験条件に馴致させるため、以下の継代培養を行った。15°C, 光強度約 $100\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の条件で培養したものを1段階づつ上昇あるいは下降させた温度条件に展開した。そこでの培養の増殖を確認し、次の温度条件に展開することを繰り返した。最終的に約 $100\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光強度の3, 5, 10, 15, 18°Cに展開した。それぞれの温度条件で増殖を確認したものを前培養とした。前培養が対数増殖期であることを確認してそれぞれの光強度条件へ展開し、本培養を開始した。増殖曲線の対数増殖期における傾きを得ることを目的としたため、1回目の試験では培養が対数増殖期を経て定常期に至ることを確認したが、2回目の増殖実験では、対数増殖が確認された場合には定常期に至る前に実験を終了した。

1-2 増殖に及ぼす日長の影響

あらかじめ室内温度を5, 10, 15, 18°C, 明暗周期を14L:10Dに設定した4つの培養室において、それぞれ3本ずつの前培養を行い、対数増殖期であることを確認後、5°Cでは平均光強度 $112\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10°Cでは $85\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 15°Cでは $100\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 18°Cでは $128\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光強度下で3本ずつの本培養を行った。明暗条件は8L:16D, 10L:14D, 14L:10D, 16L:8Dの4つの明暗条件を設定した。異なる明暗条件は16L:8Dに設定した培養室で、それぞれの条件の時間に暗箱を培養容器にかぶせることにより得た。

1-3 増殖過程の追跡

本研究では、*in vivo* クロロフィル蛍光を測定することによって *A. tamarense* の増殖過程を追跡した。この方法を用いると、培養試験管のまま、細胞数の変化がモニターできるので、大量・迅速な測定と同時に培養系の汚染もないという利点がある⁹⁾。

in vivo クロロフィル蛍光は10, 15, 18°Cの温度条件では2日ごとに、3, 5°Cの条件では4日ごとに定時(11:00)に攪拌してから蛍光光度計(Turner Designs 社 Model 10)

を用いて測定した。

1-4 比増殖速度の計算

事前に *in vivo* クロロフィル蛍光と細胞数の関係を次の方法で求めた。15°C, 約100 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光強度において18本の培養を行い, *in vivo* クロロフィル蛍光の変化により誘導期, 対数増殖期および定常期を確認しながら, 適宜, 細胞数計数用のサンプリングを行い, 2%ホルマリン海水で固定したのち細胞数を計数した。*in vivo* クロロフィル蛍光値と細胞数密度との関係(図2)から次式(1)を得た。

$$\ln(\text{細胞数密度}) = 1.244 \ln(\text{比蛍光値}) + 3.033 \quad (1)$$

(r=0.995)

比増殖速度は, 実験で得られた対数増殖期の *in vivo* クロロフィル蛍光値を(1)式を用いて変換した細胞数密度を次の式に当てはめて最小自乗法により算出した。データは3つの試験管による結果の平均値を採用した。ただし, 反復実験のうち, 明らかに増殖過程が異なったものは計算から除外した。

$$\mu = 1/\Delta t \times \ln(N_t/N_0) \quad (2)$$

ここで, N_0 : 対数増殖初期の細胞数密度(cells ml⁻¹)
 N_t : 対数増殖終期の細胞数密度(cells ml⁻¹)
 Δt : 対数増殖の期間(d)
 である。

比増殖速度(μ)と光強度(I)の関係を知るために, 直角双曲線モデル¹⁰⁾を改変した(3)式^{6,7)}に非線形最小自乗法で近似して, 各パラメータ(I_0 , μ_{max} , Ks)を求めた。

$$\mu = \mu_{\text{max}} \times (I - I_0) / ((Ks - I_0) + (I - I_0)) \quad (3)$$

ここで, μ : 比増殖速度(d⁻¹)
 I: 光強度($\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
 I_0 : 光強度の閾値; 比増殖速度がゼロとなる時の光強度 ($\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
 μ_{max} : 最大比増殖速度(d⁻¹)
 Ks: $\mu_{\text{max}}/2$ を与える光強度($\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

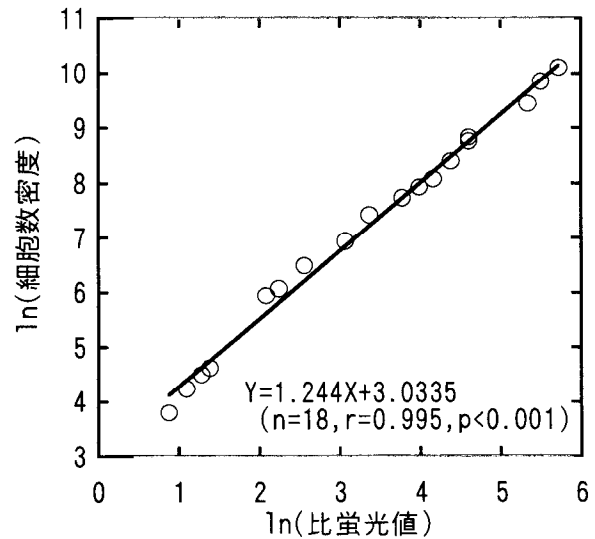


図2 *in vivo* クロロフィル蛍光値と細胞数密度との関係

2. 現場の水中光の観測

現場における水中光の経時変化を知るために, 水中光量子計(Li-cor社 LI-192SA)を用いて, 1996年4月から1998年7月まで, 原則として毎月1回, 八雲定点(図1)における光強度の観測を行った。天候によって海面直上に達する光強度が変化するため, 船上で海面直上の光強度を同時に測定した。海面下1, 5, 10, 20, 30m深の光強度は海面直上の光強度に対する各深度の相対光強度(=100×水中光強度/海面直上光強度)として計算した。

結果

1-1 増殖に及ぼす水温と光強度の影響

それぞれの培養温度における異なる光強度条件下で培養して得られた *A. tamarensis* の細胞数密度変化を1回目の試験については図3に, 2回目の試験については図4に示した。弱光条件での試験では, 培養温度が5°C以上の場合には光強度が強くなるにつれて増殖速度は大きくなる傾向があった(図3B-E)。3°Cのときには光強度と増殖速度の関係は明確ではなかったが, 光強度13 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の時にはゆるやかに増加した(図3-A)。強い光強度を含む条件での試験では, 1回目の培養結果を踏まえて, 対数増殖期の増殖速度が安定したところで試験を終了したため, 10°C以上の温度設定の試験では, 培養期間は10日までとした(図4C-E)。3, 5°Cでは光強度に関わらず, 培養開始から5日程度の誘導期ののち対数増殖期となった(図4A-B)。10, 15, 18°Cでは弱光条件では4日程度の誘導期があったが, 30-50 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ より強い光条件では培養開始1日目から対数増殖期となった(図4C-E)。

これらの細胞数変化から得られた各温度における光強

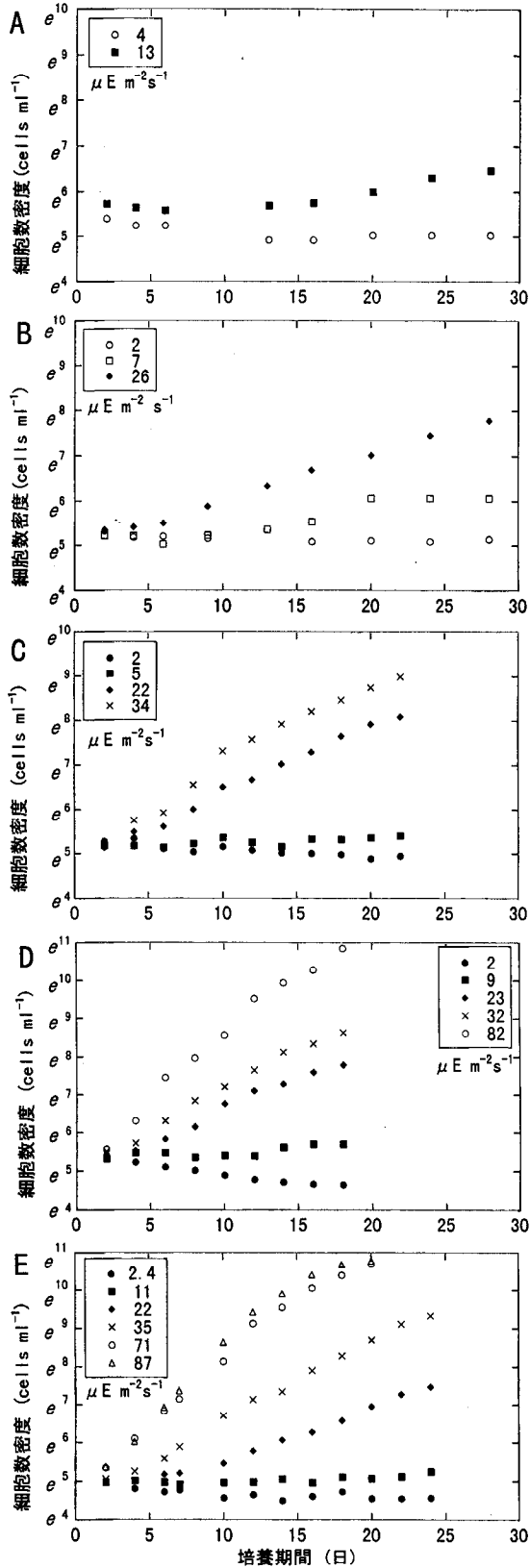


図3 弱光強度条件における*A. tamarensis*の培養温度別細胞数密度変化。A:3°C,B:5°C,C:10°C,D:15°C,E:18°C。光強度条件は図中のシンボルで区別した。

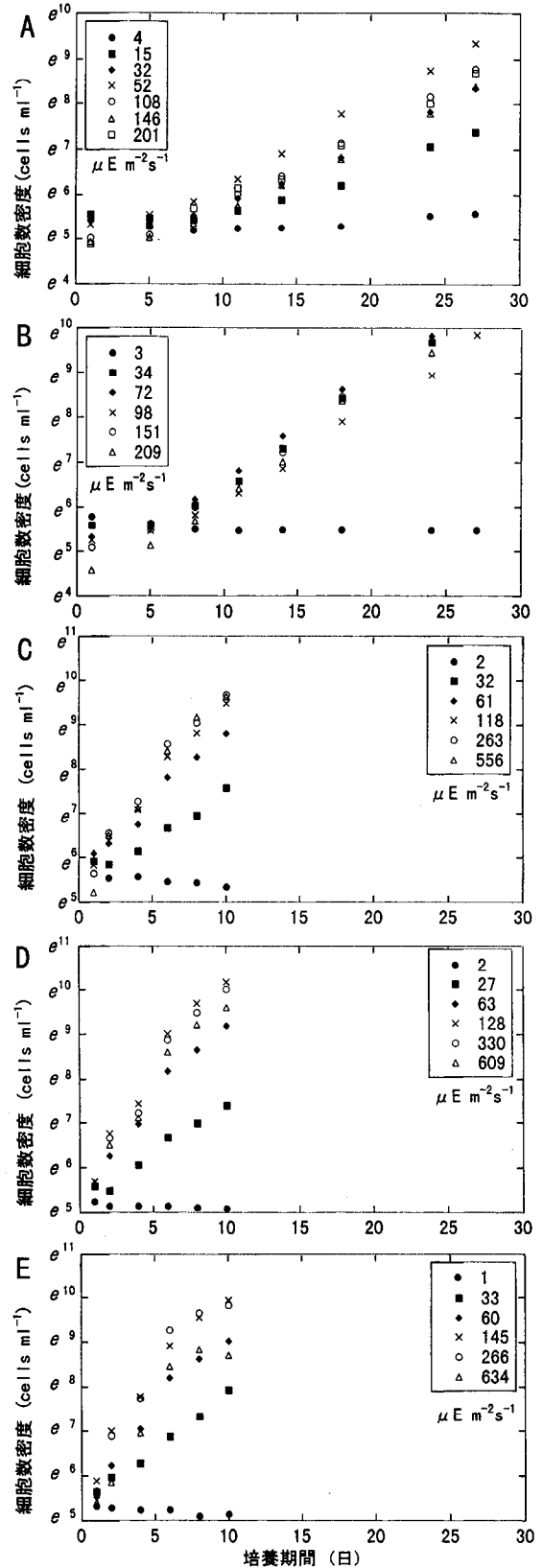


図4 弱-強光強度条件における*A. tamarensis*の培養温度別細胞数密度変化。A:3°C,B:5°C,C:10°C,D:15°C,E:18°C。光強度条件は図中のシンボルで区別した。

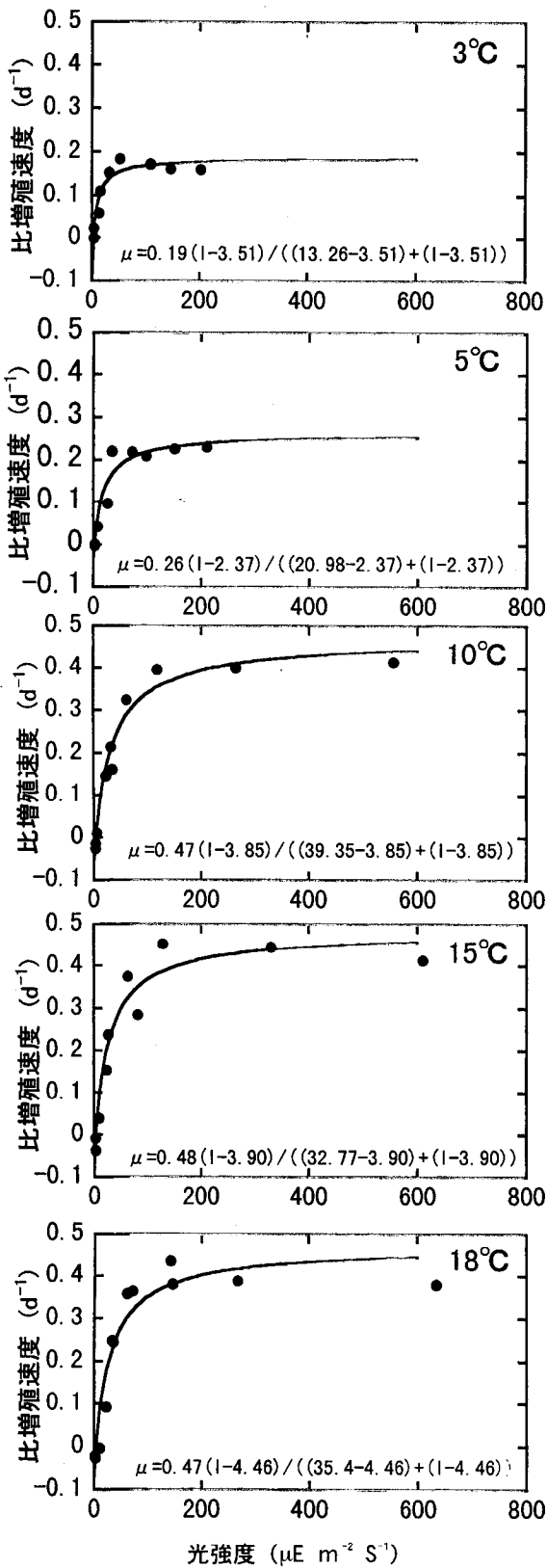


図5 各培養温度における光強度とA. tamarensisの比増殖速度の関係。図中の式は直角双曲線モデル¹⁰⁾を改変した式への近似式(いずれもr>0.95)。

度と比増殖速度との関係を図5に示した。3, 5, 10, 15, 18°Cにおける最大比増殖速度(μ_{max})はそれぞれ、0.19, 0.26, 0.47, 0.48, 0.47 d⁻¹であり、10~18°Cの間ではほぼ同じ値であった。各温度における光強度の閾値(I₀)はそれぞれ、3.51, 2.37, 3.85, 3.90, 4.46 μE m⁻²s⁻¹であり、いずれの温度でも非常に弱い光強度であった。最大増殖速度の1/2を与える光強度(K_s)はそれぞれ、13.26, 20.98, 39.35, 32.77, 35.40 μE m⁻²s⁻¹であり、10°C以上ではほぼ同じ値であった。10~18°Cにおける強い光強度条件では増殖速度の減少はみられず、約600 μE m⁻²s⁻¹では強光阻害がないことがわかった。

1-2 増殖に及ぼす日長の影響

それぞれの培養温度における日長と比増殖速度との関係を図6に示した。いずれの温度においても日長が長くなると比増殖速度は直線的に増加する傾向が認められた。日長の増加に対する比増殖速度の変化は10°Cのとき最も大きく、温度が高くなるにつれて比増殖速度の変化は小さくなった。

2 現場の水中光の経時変化

八雲定点における1996年から1998年までの1~7月の海面直上光に対する水中光の相対光強度の平均値を表2に示した。期間を通して、海面から入射した光は水面下1mで24~40.8%に減衰し、水深10mでは入射光の約10%程度になった。しかし、調査月によって海中の懸濁物の状況が異なるため、光の減衰傾向は異なった。光の減衰がおおきかったのは3月であり、水深5mで入射光の10%程度まで減衰した。これに対して2, 7月には光の減衰が小さく、水深30mでも入射光の1%以上が到達した。

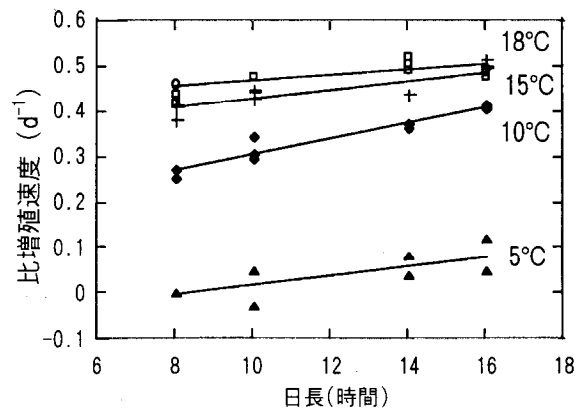


図6 異なる培養温度における日長とA. tamarensisの比増殖速度との関係。▲;5°C, ◆;10°C, +;15°C, ○;18°C。

回帰直線はいずれも有意である(p<0.01)。

表2 八雲定点における海面からの入射光の月別相対光強度(%) (平均値:1996~1998)

深度(m)	Jan.*	Feb.*	Mar.*	Apr.	May	June	July
海面直上	100	100	100	100	100	100	100
1	53.2	69.8	50.2	52.8	54.8	76.0	57.7
5	26.7	31.3	11.1	23.6	26.0	27.5	32.5
10	13.3	16.6	3.4	10.5	14.7	11.0	18.7
20	3.9	5.2	0.8	2.2	3.3	2.4	4.3
30	0.6	1.6	0.2	0.3	0.4	0.6	4.1

*Jan.-Mar. 1997, 1998年の平均値

考 察

1 水温と増殖速度

室内実験から、噴火湾産の *Alexandrium tamarense* は 3℃から18℃までの広い温度範囲で増殖できることが示された。実験では10~18℃のとき最大比増殖速度(μ_{max})は0.4を越え、10℃以上ではほとんど値に差は認められなかった。一方、3, 5℃の低温条件下でも増殖が認められ、最大比増殖速度はそれぞれ、10℃の40, 55%に相当した。これまで噴火湾で行われた調査によれば、本種は、水温が10~14℃の層に高密度に分布する³⁾が、5℃前後の低水温のときにも高密度に出現することが知られている⁹⁾。3~5℃の低水温下でも増殖できるという本研究の結果は現場観測結果とよく一致する。

本種の最適増殖速度をもたらす水温条件は培養実験によって明らかにされているが、採集場所による株の違いでその水温条件は異なる。北米東海岸産の株は0~24℃の範囲で15~22℃^{11, 12)}であり、10℃での増殖速度は15℃の場合の約60%であった¹²⁾。大船渡湾産の株は6.5~17.5℃の範囲で17.5℃であり、11℃での増殖速度は17.5℃の場合の約60%であった⁵⁾。三河湾産の株では5~25℃の範囲で15℃であり、10℃での増殖速度は15℃の約50%であった⁶⁾。広島湾の株では5~25℃の範囲で15~20℃であり、10℃での増殖速度は15℃の場合の約67%であった⁷⁾。台湾産の株では28℃¹³⁾という報告もあり、本種の最適水温条件はそれぞれの株の分布する地理的な水温環境に適応していると思われる。噴火湾産の株は3~5℃という低水温条件下でも増殖でき、10℃という比較的低い水温で最適増殖速度に達することができることから、寒冷な環境に適応した増殖特性を持っているといえる。

2 光条件と増殖速度

本種の増殖に必要な光強度についてはGloucester研究所(Massachusetts, U.S.A.)によって分離された株では35 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ ¹⁴⁾、三河湾産株では45 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ ⁶⁾、広島湾産株では76 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ ⁷⁾という光強度の閾値(I_0)が報告されており、本種の増殖には比較的高い光強度が必要であること

が指摘されている⁷⁾。しかし、本実験の光-増殖曲線から求めたそれぞれの培養温度における噴火湾産株の I_0 は3.51~4.46 $mE m^{-2} s^{-1}$ の範囲にあり、これまでの報告に比べて低い光強度条件で増殖した。

噴火湾で *Protogonyaulax sp.* が非常に多く出現した1978年から1981年には本種は2~3月に表層(0-10m層)に初期群集を形成したのち6, 7月には表層から消失し中層(20-30m層)に細胞数密度の高い群集を形成するという鉛直分布の経時変化パターンを持った¹⁻⁴⁾。この *Protogonyaulax sp.* は後に *A. tamarense* であることが確認されている¹⁵⁾。本種の出現が少なくなった1990年代においても、1994年と1995年には、*A. tamarense* が2, 3月に表層(0-10m)に出現したのち、6月には中層(15-20m)で細胞数密度が高くなるという鉛直分布の経時変化パターンがみられている¹⁶⁾。

室蘭における午前11時から午後1時までの全天日射量の月平均値(1993~1997)はおおよそ2月の1.5 $MJ m^{-2} h^{-1}$ から3月の2 $MJ m^{-2} h^{-1}$ に増加し、その後7月までは2 $MJ m^{-2} h^{-1}$ 前後で推移する¹⁷⁻¹⁹⁾。初期群集が表層に形成される2月から高密度群集が中層に形成される6, 7月には海面直上における光強度は938~1250 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ の間を変化することになる。噴火湾産 *A. tamarense* の I_0 約3~4 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ は海面直上の光強度の約0.3~0.4%に相当する。この値と八雲沖定点で実測した水中光の相対光強度から見積もった本種の増殖可能な限界水深は3, 4月を除いて30mよりも深い水深となり(表2)、水深30m付近は増殖可能な深さとなる。これらの見積もりは日中最も光が強くなる時間帯の月平均値を基準に計算されたため、実際には過大評価している可能性があるが、6, 7月に *A. tamarense* が高密度分布する噴火湾沿岸域の水深20~30m層は十分増殖可能な光条件であると考えられる。

しかし、なぜ本種は6, 7月の表層0~10m深から消失するのだろうか。八雲定点における6, 7月の5~10m深の光条件は138~406 $\mu E m^{-2} s^{-1}$ となる。本実験ではこの程度の光強度下での強光阻害は認められず、むしろ好適な光環境にあるといえる。大船渡湾株については水温が低い条件で強光阻害が認められている⁵⁾。一方、広島湾株および三河湾株では強光阻害が観察されていない^{6, 7)}。株による強い光に対する生理特性の違いがあるかもしれないが、噴火湾株については分布層の経時的な移動を強光阻害によって説明することはできない。

噴火湾の *A. tamarense* が6, 7月に中層(20~30m層)に分布域を移動するのは水温(8~14℃)分布によることが理由として挙げられている^{3, 15)}。培養実験では18℃でも10, 15℃と変わらない増殖速度を持っており、水温そのものが分布水深を決定しているとは考えにくい。石丸⁵⁾はこの水温層における栄養塩濃度や供給速度、光強度など

が本種が他種との競合に勝ち、ゆるやかではあるが安定した増殖を維持できる環境条件であったと考えるのが妥当と述べている。噴火湾の栄養塩環境の特徴は、春の春季ブルームでDIN(溶存態無機窒素)が枯渇し、DIP(溶存態無機リン)が水中に残存することである²⁰⁾。八雲沿岸域での6,7月の栄養塩分布の例をみると、DIPの濃度は0-10m層に比べて20-30m層で高い¹²⁾。DINは深度に関わらず枯渇状態であるが、水中にはDON(溶存態有機窒素)が存在し、全窒素に対する割合は60~80%を占めている²¹⁾。A. tamarense が窒素源としてDONを利用できる²²⁾とすれば、DIP濃度の水深による違いが本種の分布層が20~30m層に限られる一つの理由となるかもしれない。

増殖速度に及ぼす日長の影響は水温10°Cのとき最も大きく、日長が14時間から16時間となった場合に増殖速度は約1.1倍に大きくなった(図6)。噴火湾において本種の最大出現密度が観察されたのは1980年代には5~8月であり¹⁴⁾、1990年代には4~6月である¹⁶⁾。札幌の日長は4月下旬に約14時間、6月下旬に約15時間20分である²³⁾。これらのことから、本種の増殖速度は日長の影響で4月に比べて6月には1.1倍早くなることになる。本種の高密度群集形成が6月を中心にもみられることはこのこととよく一致し、噴火湾における本種の高密度群集の形成は長日による増殖速度の上昇によっても支えられていると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、瀬戸内海区水産研究所赤潮研究部山口峰生博士には本研究を進めるための培養技術を指導していただいた。また、函館水産試験場(現中央水産試験場)嶋田宏氏には培養株の基となるシスト採集でお世話になった。さらに、北海道立栽培漁業総合センターの西浜雄二博士には原稿の作成に当たり有益な助言を頂いた。記してお礼を申し上げる。

要 約

- 1996年噴火湾八雲沖から得たA. tamarense 株について、水温と光強度および日長と増殖速度の関係を培養実験で明らかにした。
- 噴火湾産A. tamarense 株は水温3~5°Cという低い水温条件下でも増殖し(最大比増殖速度:0.19~0.26 d⁻¹)、10~18°Cの条件ではほぼ同じ比最大増殖速度(それぞれ、0.47, 0.48, 0.47 d⁻¹)を示したことから、低水温条件に適応していると判断された。
- 噴火湾産A. tamarense 株の光強度の閾値は培養温度に関わらず5 μE m⁻²s⁻¹(2.37~4.46)以下であったこと

から噴火湾産株は低光強度条件に適応していると判断された。

- 培養温度10~18°Cでは、約600μE m⁻²s⁻¹の条件で強光阻害は認められなかった。
- 日長が長くなるにつれて増殖速度が早くなる傾向は培養温度が10°Cの時に顕著であり、6月に本種の高密度分布がみられることとよく一致した。
- 八雲定点における1月から7月の水中光の相対光強度は水深20m, 30mではそれぞれ0.8~5.2%, および0.2~4.1%であり、噴火湾産A. tamarense の光強度の閾値(I₀)から考えると、水深20-30mは増殖可能な深度といえる。

文 献

- 西浜雄二, 内田卓志, 佐藤七七朗: 1978年噴火湾産養殖ホタテガイ毒化の原因プランクトン(ゴニオラックス・カテナラ類似種)について. 北水試月報. 36(5), 65-74 (1979)
- 西浜雄二, 高杉新弥, 佐藤七七朗: 1979年噴火湾における有毒渦鞭毛藻プロトゴニオラックス(*Protogonyaulax* sp.)の消長とホタテガイによる麻痺性貝毒の蓄積とその減少. 北水試月報. 37, 105-113 (1980)
- Uchida, T., Kawamata, K. and Nishihama, Y.: Vertical distribution of paralytic toxin-producing species, *Protogonyaulax* sp. in Funka Bay, Hokkaido. 藻類. 28, 133-139 (1980)
- 西浜雄二, 佐藤七七朗: 1980年噴火湾砂原沖における有毒渦鞭毛藻プロトゴニオラックス(*Protogonyaulax* sp.)の季節消長とホタテガイの毒化. 北水試月報. 38, 321-329 (1981)
- 石丸隆: "II. 貝毒プランクトンの生物学, 4. 増殖と環境要因". 貝毒プランクトン-生物学と生態学. 福代康夫編, 東京, 恒星社厚生閣, 1985, 40-46.
- 山本民次, 吉津祐子, 樽谷賢治: 三河湾産有毒渦鞭毛藻*Alexandrium tamarense*の増殖に及ぼす水温, 塩分及び光強度の影響. 藻類. 43, 91-98 (1995)
- 山本民次, 樽谷賢治: 広島湾産有毒渦鞭毛藻*Alexandrium tamarense*の増殖に及ぼす水温, 塩分及び光強度の影響. 藻類. 45, 95-101 (1997)
- Sako, Y., Kim C.H., Ninomiya H., Adachi M. and Ishida Y.: "Isozyme and cross analysis of mating populations in the *Alexandrium catenella* / *tamarense* species complex". *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. edited by GRANILI, E., SUNDSTROM B., EDLER L. and ANDERSON D.M., Amsterdam, Elsevier, 1990, 95-102.
- Brand, L.E., Guillard R.R. and Murphy L.S.: A

- method for the rapid and precise determination of acclimated phytoplankton reproduction rates. *J. Plankton Res.* 3, 193-201 (1981)
- 10) Lederman, T.C. and Tett P. : Problems in modelling the photosynthesis-light relationship for phytoplankton. *Bot. Mar.* 24, 125-134 (1981)
- 11) Yentsch, C.L., Cole E.J. and Salvaggio M.G. : "Some of the growth characteristics of *Gonyaulax tamarensis* isolated from the Gulf of Maine." *Proceedings of the First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms.* edited by LOCICERO V.R., Wakefield, Mass. Sci. Tech. Fnd., 1975, 163-180
- 12) Watras, C.J., Chisholm S.W. and Anderson D.M. : Regulation of growth in an estuarine clone of *Gonyaulax tamarensis* Lebour: Salinity-dependent temperature responses. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 62, 25-37 (1982)
- 13) Su, H.M., Chiang Y.M. and Laio I.C. : "Role of temperature, salinity and ammonia on the occurrence of the Taiwanese strain of *Alexandrium tamarensis*." *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea.* edited by SMAYDA, T.J. and SHIMIZU Y., Amsterdam, Elsevier, 1993, 837-842.
- 14) Langdon, C. : On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part-I. A comparative study of the growth irradiance relationship of three marine phytoplankton species: *Skeletonema costatum*, *Olisthodiscus luteus* and *Gonyaulax tamarensis*. *J. Plankton Res.* 9, 459-482 (1987)
- 15) 福代康夫 : "II. 貝毒プランクトンの生物学, 2. 分類と分布". 貝毒プランクトン-生物学と生態学. 福代康夫編, 東京, 恒星社厚生閣, 1985, 19-30.
- 16) 嶋田宏 : 噴火湾における植物プランクトン組成の季節変化. 沿岸海洋研究. 38, 15-22 (2000)
- 17) 気象庁 : 地上気象観測毎時月表2月~7月.(1996)
- 18) 気象庁 : 地上気象観測毎時月表2月~7月.(1997)
- 19) 気象庁 : 地上気象観測毎時月表2月~7月.(1998)
- 20) Kudo, I., Yoshimura T., Yanada M. and Matsunaga K. : Exhaustion of nitrate terminates a phytoplankton bloom in Funaka Bay, Japan: Change in SiO_4 : NO_3 consumption rate during the bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 193, 45-51(2000)
- 21) 宮園章, 嶋田宏 : 珪藻ブルーム後に出現する渦鞭毛藻の増殖と環境要因. 沿岸海洋研究. 38, 29-38(2000)
- 22) Ogata, T., Koike K., Nomura S. and Kodama M. : "Utilization of organic substances for growth and toxin production by *Alexandrium tamarensis*." *Harmful and toxic algal blooms* edited by YASUMOTO, T., OSHIMA Y. and FUKUYO Y., UNESCO, Rome, 1996, 343-346.
- 23) 理科年表 暦部, 47. 国立天文台編, 東京, 丸善, 1996, 1043p.

噴火湾における有毒プランクトン, *Alexandrium tamarense* のシストの鉛直分布, 発芽活性およびシスト密度の季節変化

宮園 章*

Vertical distribution, germination activity and seasonal density variations of cysts of the toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense* in Funka Bay.

Akira MIYAZONO*

Sediment samples were collected monthly off the Yakumo station in Funka Bay, Hokkaido, Japan from April, 1996 to March, 1997. Vertical distribution of cyst, seasonal variation of cyst density and germination activity of *Alexandrium tamarense* were investigated. The cyst densities in each 1cm of 0-15cm core samples changed vertically, and two dense layers of cysts, 4-7cm and 12-14cm from the bottom surface, were observed. The two dense layers of cysts suggests that there were two periods when blooms of *A. tamarense* occurred in Funka Bay. The cyst density was 186-365 in 0-3cm, 406-1157 in 3-6cm, 211-736 in 6-9cm, and 90-377 cells per gram sediment wet weight in 9-12cm from the bottom surface. Seasonal variation of the cyst density in each layer was not observed. Ten day batch culture examinations of cysts in the 0-3, 3-6, 6-9 and 9-12cm layers under a suitable temperature for germination (10°C) were conducted. Over 80% of the cysts in the 0-3cm layer germinated from February to May and below 2% of the cysts germinated from August to December. The same seasonal variations of germination activity were observed in the examination of cysts in the 3-6, 6-9, 9-12cm layers. From these results, it is suggested that cyst germination of the *A. tamarense* Funka Bay strain is controlled by a circannual internal clock. In batch culture examinations of the cysts under conditions of the *in situ* bottom temperature, 2-4% of the cysts germinated from February to May and below 0.5% of the cysts germinated from August to December. This indicates that the strain of *A. tamarense* is able to germinate under 3-5°C and might play an important role in the occurrence of the winter vegetative population.

キーワード: *A. tamarense*, 麻痺性貝毒, 有毒プランクトン, シスト, 発芽活性

はじめに

噴火湾では, 1978年に麻痺性貝毒原因プランクトン, *Alexandrium tamarense* によるホタテガイの毒化がはじめて顕在化して以来¹⁾, 今日まで本種を原因とする麻痺性貝毒はホタテガイ養殖漁業にとって大きな問題となっている。噴火湾における *A. tamarense* の生態に関する研究は主に栄養細胞群集を中心に行われ, 本種の増殖に適した環境条件や分布パターン等に関する知見が蓄積されてきた²⁻⁵⁾。本種はその生活史の中にシストとして底質中で過ごす期間をもち, 栄養細胞群集を形成するシードポピュレーションとして重要であることが指摘されている⁶⁾。

こうした中で, シスト密度の調査は行われてきた⁷⁻⁹⁾。しかし, シスト群集の生態研究がないため, 栄養細胞群集の形成にシスト群集がどのように関わっているかという論議はなされていない。他方, 噴火湾では, 栄養細胞群集形成のシードポピュレーションが親潮系水の流入に伴い到来する可能性も指摘され, 噴火湾での麻痺性貝毒の発生機構を知るためにはシードポピュレーションの把握が重要である。噴火湾ではここ数年, 本種の栄養細胞群集の形成がほとんどなく, 麻痺性貝毒発生規模も縮小の傾向にある。こうした栄養細胞群集の動態は栄養細胞群集の生態だけでは十分説明できないので, シスト群集の挙動も含めた動態研究が必要がある。

報文番号 A336 (2002年1月24日受理)

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

本研究では、噴火湾沿岸の海底泥中における本種のシストの鉛直分布、密度および発芽活性の季節変化を調査し、いくつかの知見を得たので報告する。

材料および方法

1. シストの採集とコアサンプルの処理

1996年4月から1997年3月まで、噴火湾南西部に位置する八雲沖3マイルの地点(水深32m)を定点として、毎月1回採泥を行った(図1)。採泥にはTF0式採泥器(離合社)を使用した。得られたアクリルコアは船上にて上下をゴム栓で止め、直立させたまま保冷剤により冷却しながら実験室に持ち帰った。実験室では、コアパイプの上澄み液を除去した後、押し出し棒により柱状堆積物を徐々に押しだし、表層から3cmづつ4層に区分して取り分けた。切り出した柱状試料は、スチロール軟膏瓶に入れ、よく混合したのち、シスト密度の計数および培養試験に用いた。

1997年7月にはシストの鉛直分布をより細かく知るため、得られた柱状試料を表層から1cmづつ15層に区分し、シスト密度の計数に供した。

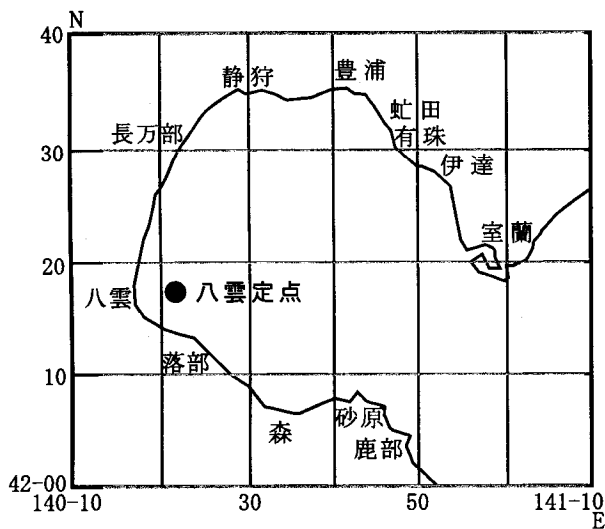


図1 調査地点

2. シスト密度の計数

シスト密度の計数には均質に混合した試料0.3-0.5gを使用した。蒸留水に懸濁させた試料はプランクトンネット地を張ったふるいを用いて、100 μ m以上の粒子を除去し、10 μ m目合いのふるいでうけた。つぎに超音波処理しながら蒸留水で洗い、目合いを抜ける粒子をできるだけ除去して、最終的に10-100 μ mの画分を10ml試験管に集めた。これをブリムリンによって染色したのち¹⁰⁾、10mlに

定容し、蛍光顕微鏡下で*Alexandrium tamarense*型のシストを計数した。計数には定容試料の1/5から1/10を使用した。粒子の分画の際に超音波処理をしたため、空のシストについては定量性が保てないと考え、計数を行わなかった。

3. シストの発芽活性の見積もり

3-1 バッチ培養による発芽細胞の計数

本研究では、現場での発芽活性を見積もるために、サンプル採集から発芽試験までに行えるだけ人為的操作が加わらない10日間のバッチ培養による方法を採用した。培養温度は予備試験で発芽活性が高かった10 $^{\circ}$ Cを発芽最適温度とし(投稿中)、それぞれの採集時期の海底直上水温との2つに設定した。培養試験はそれぞれの温度設定に対して3つの反復実験とした。培養試験には300ml培養三角フラスコを使用した(図2)。あらかじめ、調査地点から採集してきた現場海水をGF/Cフィルターで濾過したものを用意し、培養温度に調温しておいた。このため、培養実験に使用した現場海水は同じものである。採泥の当日、実験室に戻ったのち、濾過海水150mlづつを培養フラスコに加え、軟膏瓶で均質化した試料の一部(0.3-0.5g)を懸濁させることで直ちに培養を開始した。発芽細胞は海水中に泳ぎ出すので、泥を巻き上げないように上澄み液を採取し、その中の栄養細胞を計数することによって発芽細胞を毎日計数した。発芽細胞は下記の基準によって識別した。上澄み液は図2に示すようなパスツールピペットを加工したサイフォンにより回収し、培養フラス

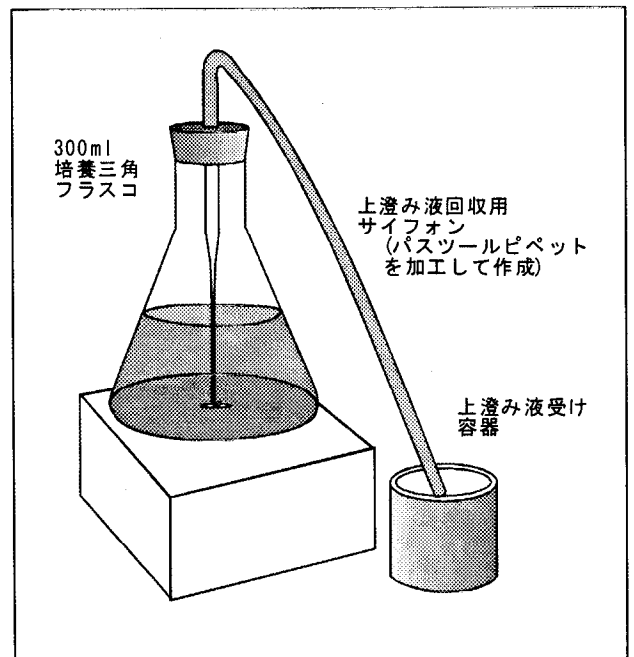


図2 培養容器と上澄み液回収方法

コに
中の
3日
は10
芽し
った
芽後
され
養が
し、
10日
と定
発
10
噴
ある
tama
験で
tama
型シ
3-2
シ
数を
発芽
る。
に比
には
かし
ほぼ
イズ
可能
赤い
に受
れる
つシ
がれ
body
tama
body
きる
つ栄
結

コには調温濾過海水を追加して培養を続けた。フラスコ中の溶液に対する上澄み液の回収率は約70%であった。3日で培養液の97%が回収されることになる。発芽活性は10日間の培養の結果から求めたので、9、10日目に発芽した後、底泥付近に分布した栄養細胞は計数されなかった可能性がある。しかし、培養期間中の観察では、発芽後の栄養細胞は活発に遊泳しており、その多くは回収された上澄み液中に分布したと考えられる。10日間の培養が終了したのち、直ちに培養フラスコ内の底泥を回収し、底泥に残ったシスト数を残存シストとして計数した。10日間の培養期間中に発芽したシストの割合を発芽活性と定義し、次の式(1)によって計算した。

$$\text{発芽活性(\%)} = 100 \times \frac{\text{発芽細胞数}}{\text{発芽細胞数} + \text{残存シスト数}} \quad (1)$$

噴火湾では、1988年に *A. catenella* が出現したことがあるが、1978年以降の麻痺性貝毒発生のほとんどが *A. tamarensis* の出現によるものであること¹¹⁾および予備実験で発芽した栄養細胞を同定したところ、全てが *A. tamarensis* であったことから、本研究では *A. tamarensis* 型シストを *A. tamarensis* のシストとして扱った。

3-2 発芽細胞の同定

シストから発芽し泳ぎ出した細胞は、分裂により細胞数を増加させるため、10日間の連続したバッチ培養では発芽細胞とその後に分裂した細胞とを区別する必要がある。*Alexandrium tamarensis* の発芽直後の細胞は娘細胞に比べてサイズが大きく、細胞色の褐色も濃い。基本的にはこうした細胞を発芽細胞として計数対象とした。しかし、ここで使用したバッチ培養法では3日で培養液のほぼ全量が交換されるので、その間の細胞分裂によるサイズ・色の変化したものについては計数から除外される可能性が高い。発芽直前のシストはred bodyといわれる赤いスポットをもつ。シストのred bodyは発芽後の細胞に受け継がれ、分裂したのちも1個の娘細胞に引き継がれることが知られている。予備試験では、red bodyをもつシスト20個から発芽した細胞18個にred bodyが受け継がれ、48時間後には分裂中の連鎖した後部の娘細胞にred bodyが受け継がれていることを確認した。噴火湾産の *A. tamarensis* は最大1日に0.48回分裂するので¹²⁾、red bodyの存在によって発芽細胞は発芽後3日は十分追跡できる。そこで、発芽直後の大型細胞およびred bodyを持つ栄養細胞を発芽細胞と定めた。

結 果

1 シスト密度の季節変化および鉛直分布

採泥コアサンプルを3cmづつ4層に区分したそれぞれの層におけるシスト密度の季節変化を図3に示した。シスト密度は0-3cm層では186~365細胞、3-6cm層では406~1157細胞、6-9cm層では211~735.5細胞、9-12cm層では90.4~376.9細胞 gWW⁻¹の間であった。各層の月別シスト密度は最大でそれぞれ、2.0、2.9、3.5、4.2倍の違いがあったものの季節性は認められなかった。調査地点の底質は駒ヶ岳や有珠山の噴火に由来する軽石等を含む泥場であり、表面の0-6cm層に比べて、6-12cm層に軽石が多く含まれた。ときおり見られた大きな密度の変化は軽石の混入による底泥粒子の不均一さが一因であると考えられる。他方、鉛直的なシスト密度は0-3cm層と9-12cm層で少なく、3-6cm層、6-9cm層で多いという傾向が周年認められた。

7月に行ったシスト密度の詳細な鉛直分布をみると(図4-左)、シスト密度は大きく変化し、4-7cm層と12-14cm層に密度極大層がみられた。4-7cm層のシスト密度が最も高く、0-2cm層の約3倍であった。これらの結果は周年調査の平均値でみたシストの鉛直分布(図4-右)とよく一致した。

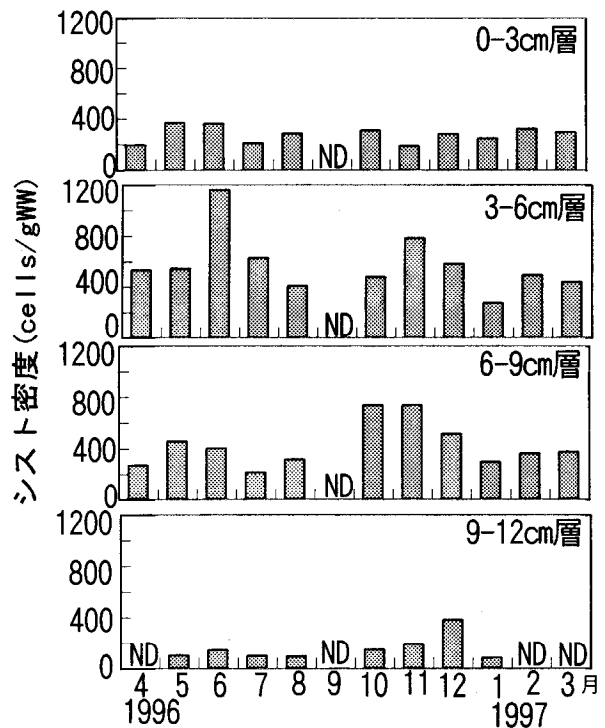


図3 八雲定点における採泥各層における *A. tamarensis* シスト密度 (cells gWW⁻¹) の季節変化。ND: 欠測を示す。

2 発芽活性の季節変化

発芽適水温(10°C)における発芽活性の季節変化をシストの分布層別に示した(図5)。分布層に関わらずシストの発芽活性には顕著な季節性が認められた。シストの発芽は1月からみられるようになり、2月から5月までは発芽活性は約80%以上と高かった。6、7月には発芽活性は低下し、8月から12月までは発芽活性は0-1.2%と低かった。

現場の海底直上水温の推移と、現場水温における発芽活性の季節変化をシストの分布層別に示した(図6)。海底直上水温は10月の11.4°Cと3月の2.5°Cの間を変化した。0-3cm層のシストの発芽活性には適水温下のシストと同様に、顕著な季節性が認められたが、発芽率は最大4.3%と適水温下に比べて低かった。3cm以深のシストは発芽率が周年低く、0-1%の間であった。

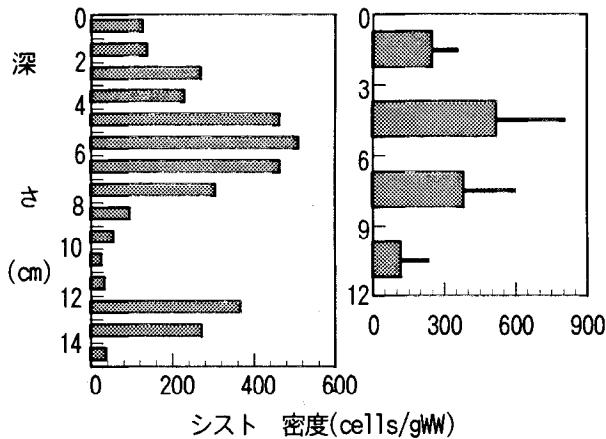


図4 八雲定点における*A. tamarensis*シストの鉛直分布。

左:1997年7月に調査した底質1cm毎15層におけるシスト密度。右:1996年4月から1997年3月までに調査した底質3cm毎4層におけるシスト密度の平均値。横棒は標準偏差。

考 察

1 鉛直分布

底質中のシストの鉛直分布は、シストの堆積時期、採泥時期、シストの発芽や減耗、底生生物による底泥の生物攪拌など、多くの要因が関与すると考えられる¹³⁾が、過去の*A. tamarensis*群集の繁栄の履歴も示す¹⁴⁾。噴火湾の調査定点では、5-7cm層と12-14cm層にシスト密度の極大層がみられた。広島湾では0-3cm層にシスト密度の極大層が観察されている¹⁴⁾。噴火湾におけるシストの鉛直分布は広島湾に比べて深い層に存在していること、極大層が2つあることが異なる。噴火湾では*A. tamarensis*による麻痺性貝毒の発生が1978年に初めて記録され¹⁾、

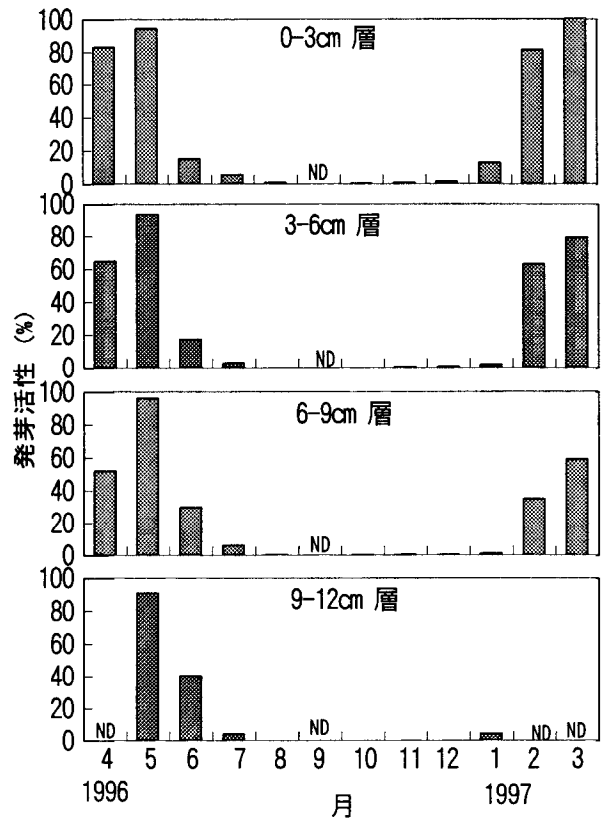


図5 10°C、10日間培養による*A. tamarensis*の発芽活性(%)の季節変化。ND:欠測を示す。

1979年から1991年まで麻痺性貝毒毒性値の高い年代があった¹¹⁾。噴火湾の底泥4-7cm層にみられたシスト密度の極大は1978年以降にシストが大量に底質に埋没した履歴である可能性がある。他方、12-14cm層にみられたシスト密度の極大は少なくとも1978年以前に*A. tamarensis*の発生がほとんどない年代を挟んで、本種が発生した年代があった可能性を示唆する。松本・富樫¹⁵⁾が噴火湾で実測した堆積速度の0.09g cm⁻²year⁻¹(水深50mより沖合)を用いて単純に計算すると、シスト密度がもっとも高かった5-6cm層は1902-1918年、次に高い密度を持った12-13cm層は1810-1823年となり、それぞれ83-99年、178-191年前の堆積物であることになる。しかし、八雲定点は噴火湾の中でもとりわけ奥に位置し遊楽部川の影響もあるため、堆積速度は沖合より大きい可能性がある。こうしたことから、シストの採集と同時に堆積速度の測定を実施することが今後の課題となる。

本研究では、約10cm深の底質中に埋没していたシストが適水温下で春先に高い発芽活性をもつことがわかった。シストが何年生残し、正常な生理状態を維持するかについては今後の研究に委ねることとして、発芽活性を持つシストが底質中に高密度で存在していることが重要であ

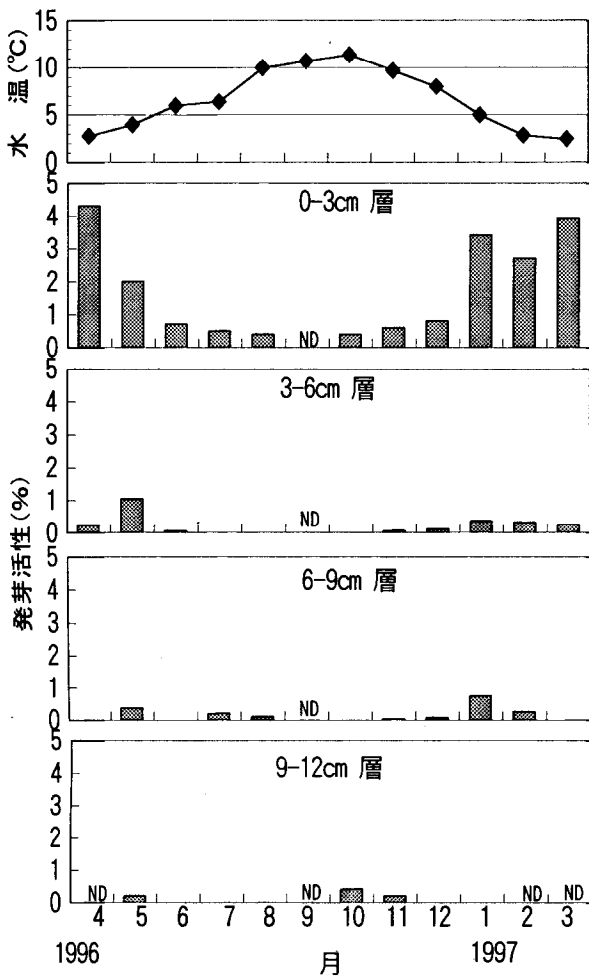


図6 八雲定点における海底直上水温の推移と現場水温、10日間培養による*A. tamarensis*の発芽活性(%)の季節変化。ND:欠測を示す。

これらのシストはひとたび海底表面に現れた場合には栄養細胞のシードポピュレーションとして十分に機能できるので、底質が鉛直的に大きく攪乱されることがあれば将来の麻痺性貝毒発生のきっかけをつくる可能性がある。地震等の自然現象はともかく、少なくとも人為的な底質の攪乱は避けるべきと考える。

2 シスト密度の季節変化

調査地点におけるシスト密度には顕著な季節変化が認められなかった(図3)。調査が行われた1996年の噴火湾の沿岸域では、*A. tamarensis*の栄養細胞は最大60cells/lが記録されたのみで、ほとんど出現しなかった¹⁶⁾。本研究では、現場水温における4-5月のシストの発芽活性は2-4%とわずかであった。一方、和歌山県の田辺湾では表面泥(厚さ1cm)中の*Alexandrium catenella*のシスト群集において、発芽による密度減少と栄養細胞のシスト

形成による密度増加が経時的にみられる。このことは、最大10⁶cells/lに達する栄養細胞群集の消長に関係していると指摘されている¹⁷⁾。田辺湾での事例を参考にすると、噴火湾のシスト群集密度に顕著な季節変化がなかったのは、栄養細胞群集の形成を伴う新・旧シストの交替がなかったためと考えられる。

3 発芽活性の季節変化

水温上昇は*Alexandrium*属シストを発芽させる刺激となる。水温刺激の効果は昇温幅が2-16°C範囲ではほぼ同じである¹⁸⁾。1996年4月から1997年の3月までの現場水温と10°Cの差を求めると、8-11月の期間は水温上昇幅が-1.6~0°Cとほとんどないのに対して、4-7月と12-3月は発芽刺激となる温度上昇(2~7°C)があった。このため、培養温度と現場温度の差が発芽刺激となり、高い発芽活性を示したと考えられる。しかし、10°Cのバッチ培養で発芽活性の高かった時期は4-5月および2-3月であり、発芽活性にみられた季節性を培養時の温度刺激のみでは説明できない。また、現場水温での培養試験でも発芽活性の季節性が認められたので、発芽活性の季節性は水温刺激だけでは説明できない。新しく形成されたシストは成熟(発芽能を持つ)するために休眠期間が必要であり、シストの保存温度が高くなると休眠期間は短くなる¹⁹⁾。このため、新旧シストの交替によって群集を構成するシストの質が変化すると、群集の見かけ上の発芽活性に影響する。しかし、1996年の噴火湾ではシスト群集の新旧シスト構成を大きく交替させる栄養細胞群集は形成されなかった¹⁶⁾。また、約10cm層に埋没していたシストにも同様の発芽活性の季節変化があったことは、新旧シストの交替では発芽活性の季節変化を説明できないことを示す。

*A. tamarensis*では、高い発芽活性を常に維持している株がある一方で、内因性年周期によって発芽期と休眠期をコントロールしている株が存在することが報告されている^{18,19)}。噴火湾の株にみられた発芽の周期性が昇温刺激や新旧シストの交替だけでは説明できなかったことは、噴火湾の*A. tamarensis*シストの発芽・休眠が内因性年周期によってコントロールされていることを示唆している。したがって、発芽期が2-5月、休眠期が7-12月であり、6月および1月がそれぞれ移行期になるという周年サイクルが存在すると考えられる。日本国内では、岩手県大船渡湾における*A. tamarensis*シストで1-4月に発芽盛期を持つ発芽活性の季節性が認められており²⁰⁾、発芽盛期(1-4月)は噴火湾より約1カ月早い。*A. tamarensis*の栄養細胞の増殖特性が分布地域ごとの株によって異なる¹²⁾ように、発芽期の特長も分布域ごとの株によって異なる

のかもしれない。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京大学アジア生物資源環境研究センターの福代康夫教授には培養技術を指導していただいた。また、函館水産試験場（現中央水産試験場）嶋田宏氏には現場調査でお世話になった。さらに、北海道立栽培漁業総合センターの西浜雄二博士には、原稿の作成に当たり有益な助言を頂いた。記してお礼を申し上げる。

要 約

1. 1996年4月から1997年3月まで毎月1回、噴火湾の八雲沖定点から底泥を採集し、*Alexandrium tamarense* のシストの鉛直分布およびシスト密度と発芽活性の季節変化を調査した。
2. 底泥中のシスト密度は0-3cm層で186-365細胞、3-6cm層で406-1157細胞、6-9cm層では211-736細胞、9-12cm層では90-377細胞/g湿泥の範囲にあり、季節的な密度変化はなかった。
3. シスト密度は鉛直的に変化がみられ、底泥0-15cm層のうち、4-7cm層と12-14cm層に2つのシスト密度の極大層が認められ、過去に2回の麻痺性貝毒発生年代であったことが示唆された。
4. 底泥0-3cm層のシストを用いた発芽適水温（10℃）での発芽試験では、2-5月には発芽したシストは全体の80%以上であり、8-12月には2%以下であった。
5. 3-6cm、6-9cm、9-12cm層に埋没しているシストにも同様な発芽活性の季節性があった。
6. 現場水温での発芽試験では、発芽率は最大4%と低かったが、10℃での発芽試験と同様な季節的な発芽活性の変化が認められた。
7. 以上の結果は、*A. tamarense* の噴火湾株のシスト発芽が体内時計によってコントロールされていることを示唆する。

文 献

- 1)西浜雄二:噴火湾とホタテガイ養殖。札幌、噴火湾西部はたて漁業総合対策協議会・噴火湾東部漁業振興対策協議会、1982、147p.
- 2)西浜雄二、内田卓志、佐藤七七朗:1978年噴火湾産養殖ホタテガイ毒化の原因プランクトン(ゴニオラックス・カテネラ類似種)について。北水試月報。36(5)、65-74 (1979)
- 3)西浜雄二、高杉新弥、佐藤七七朗:1979年噴火湾における有毒渦鞭毛藻プロトゴニオラックス(*Protogonyaulax* sp.)の消長とホタテガイによる麻痺性貝毒の蓄積とその減少。北水試月報。37、105-113(1980)
- 4)西浜雄二、佐藤七七朗:1980年噴火湾砂原沖における有毒渦鞭毛藻プロトゴニオラックス(*Protogonyaulax* sp.)の季節消長とホタテガイの毒化。北水試月報。38、321-329(1981)
- 5)Shimada, H., Hayashi T. and Mizushima T.: "Spatial distribution of *Alexandrium tamarense* in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan." *Harmful and Toxic Algal Blooms*. edited by YASUMOTO, T., OSHIMA Y. and FUKUYO Y., UNESCO, 1996, 219-221.
- 6)Anderson, D.M. and Morel F.M.M.: The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* Hypnocysts. *Est. Coast. Mar. Sci.* 8, 279-293(1979)
- 7)金子孝、水島敏博、西田芳則、嶋田宏:噴火湾シスト分布調査。平成3年度北海道立函館水産試験場事業報告書。362-372(1993)
- 8)金子孝、水島敏博、西田芳則、嶋田宏:噴火湾マヒ性貝毒プランクトンシスト分布調査。平成4年度北海道立函館水産試験場事業報告書。290-298(1994)
- 9)金子孝、嶋田宏、西田芳則、伊藤義三:噴火湾マヒ性貝毒プランクトンシスト分布調査。平成5年度北海道立函館水産試験場事業報告書。259-269(1994)
- 10)Yamaguchi, M., Itakura S., Imai I. and Ishida Y.: A rapid and precise technique for enumeration of resting cysts of *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) in natural sediments. *Phycologia*. 34(3), 207-214 (1995)
- 11)北海道立水産試験場:北海道沿岸における貝毒の研究(貝毒プロジェクト報告書)。北海道立水産試験場技術資料。3, 2000, 69p.
- 12)宮園章:噴火湾産有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす水温および光条件の影響。北水試研報。61, 1-8(2002)
- 13)Anderson, D.M., Aubrey D.G., Tyler M.A. and Coats D.W.: Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments. *Limnol. Oceanogr.* 27(4), 757-765(1982)
- 14)山口峰生、板倉茂、今井一郎:広島湾海底泥における有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* および *Alexandrium catenella* シストの現存量と水平・鉛直分布。日本水産学会誌。61(5), 700-706(1995)

- 15) 松本英二, 富樫茂子: 噴火湾における堆積速度. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 35, 261-267(1980)
- 16) 北海道: 平成8年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書. 1998, 51p.
- 17) 竹内照文, 小久保友義, 福代康夫: 田辺湾における *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) の栄養細胞とシストの分布. *Bull. Plankton Soc. Japan.* 37(2), 157-165(1990)
- 18) Perez, C.C., Roy S. and Anderson D.M.: Control of germination of *Alexandrium tamarensis* (Dinophyceae) cysts from the lower St. Lawrence estuary (Canada). *J. Phycol.* 34, 242-249(1998)
- 19) Anderson, D.M. and Keafer B.A.: An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *Nature.* 325(12), 616-617 (1987)
- 20) 福代康夫: 日本沿岸における *Protogonyaulax* の分類と生態に関する研究. 東京大学博士学位論文. 1982, 211p.

クロガシラガレイ (サロマ湖系群) の成熟体長と成熟年齢

村上 修*

Length at maturity and age at maturity of cresthead flounder *Pleuronectes schrenki*, in Saroma Lake, Hokkaido

Osamu MURAKAMI*

Assessment of the spawning period, length at maturity and age at maturity are particularly important in order to establish effective resource management policies, such as the regulation of the fishing period and length, management type of SPR(spawning per recruitment) of fisheries. Therefore, using data for the cresthead flounder *Pleuronectes schrenki* in Saroma Lake during 1989-1999, the spawning period was examined, and the relationship between length and maturity rate, between age and maturity rate were compared using three function models of the maturity curve. It was presumed that the spawning period was between April and May. Based on the results, it seems that maturity depends on length more than age. The length at 50% maturity estimated in October and November was 13.7cm in males, 17.1cm in females, and the age at 50% maturity was about 4 years in males, about 5 years in females. In the case of estimating the maturity curve, the period of year which is chosen is most significant, and the simple logistic function model is concluded to be sufficient for practical purposes.

キーワード: クロガシラガレイ, 産卵期, 成熟体長, 成熟年齢, 成熟曲線, 最尤法

まえがき

クロガシラガレイ (以下クロガシラ) は、北海道で漁獲されるカレイ類の中では、マガレイに次いで単価が高いため、重要な魚種となっている。北海道の漁獲量 (クロガレイを含む) は1992年に5000tを越えたが、近年では3000t前後で推移している。オホーツク海では近年600~1000tで推移しており (図1)、主にカレイ刺し網漁業と底建網漁業により漁獲される。オホーツク海~北部日本海系群 (以下外海系群)¹⁾とサロマ湖系群¹⁾の両方を漁獲すると考えられる網走支庁管内がクロガシラ漁業の中心地となっている²⁾。このうちサロマ湖内では主にカレイ刺し網, 氷下待ち網, 小定置網で漁獲され, 1989年に300tを越えたが, 近年200t前後で推移している (図1)。

オホーツク海のクロガシラの産卵期, 成熟体長及び年齢を把握することは, 漁期や体長の規制, SPR(spawning per recruitment)型管理等の有効な資源管理方策を設定するため非常に重要である。そこで網走水産試験場は, 1989年よりクロガシラのサロマ湖系群を対象に資源生態調査を進めている。本報告ではこれらを用いて, 産卵期を推定するとともに, 体長と成熟率との関係及び年齢と

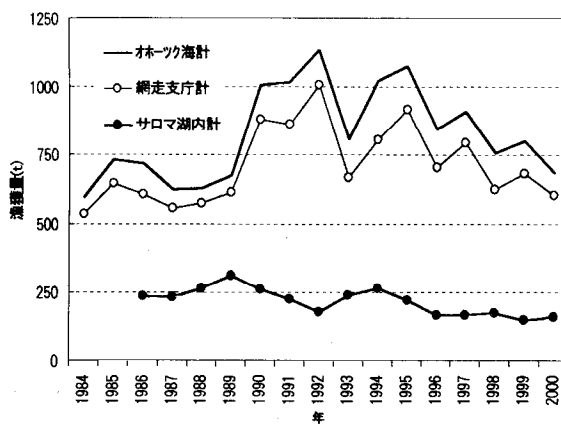


図1 オホーツク海のクロガシラガレイ漁獲量の推移

成熟率との関係を3つの成熟曲線モデルと比較し, さらに年別に比較した。

材料と方法

生殖巣指数 (以下GSI) の季節変化については, 1989年の3~12月及び1998年の3~11月にサロマ湖で調査したデータを用い, GSIを次式により算定した。

報文番号 A337 (2002年1月24日受理)

* 北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, Abashiri, Hokkaido 099-3119, JAPAN)

GSI = 生殖巣重量 × 1000 / 内臓を除去した体重

成熟体長及び年齢については、サロマ湖で実施した1992年から1999年の調査（氷下待網・刺し網・小定置網）による測定データ（熟度測定データ数：♂1,318個体・♀3,265個体）及び1997年から1999年のエビ曳網（幅10m 目合25mm, 100m曳）による漁獲物の測定データ（熟度測定データ数：♂275個体・♀417個体）を用いた（表1）。標本については、体長、体重、性別、熟度、生殖巣重量を測定した後、耳石を採取し、年齢は耳石の輪紋から査定した。

熟度については、北水試魚介類測定・海洋観測マニュアル³⁾に従い、生殖巣の外観を目視観察により判定し、雌雄ともに10を未成熟魚とし、雄の20~40、雌の20~50を成熟魚とした。なおマニュアルでは、雌の20は初回産卵の未成熟魚、21は経産卵の未成熟魚としているが、これらを目視観察により区別するのは困難であり、雌の20~21は次の産卵期には成熟して産卵するものと判断し成熟魚とした。

成熟率については、雌雄別に体長の階級は0.5cm毎に、年齢は漁獲日の年齢毎に、未成熟尾数、成熟尾数を集計し、次式により算出した。

$$\text{成熟率} = \frac{\text{成熟尾数}}{\text{未成熟尾数} + \text{成熟尾数}}$$

3~4月では、成熟魚の比率は雄で95.2~100%、雌で85.1~100%と高く、未成熟魚が特に少ないため、成熟体長や成熟年齢を算出するには不適當である。また、6~7月では、産卵・放精後、生殖巣は小さくなり、外観上、未成熟状態とほぼ同じであり、熟度の判定は困難であることから、3~4月及び6~7月のデータは除外した（表1）。

なお、1997~1999年の10~11月のエビ曳網調査では、成熟魚の比率は雄で15.7~48.1%、雌で2.1~23.3%と低く、未成熟魚（体長15cm未満、4歳未満）のデータが得られた^{2,4,5)}ため、この期間のデータを用いた（表1）。

成熟率 p を求める成熟曲線はモデル①のロジスティック関数^{6,7)}を適用した。なお、成熟率50%の点を中心に左右対称でない場合は、パラメータ数が1つ増えたモデル②のRichard関数^{7,8)}やモデル③⁹⁾の適用も考えられており、これらのモデルを比較した。

$$\text{モデル①} \quad p = \frac{e^{(a+bx)}}{1 + e^{(a+bx)}} = \frac{1}{1 + e^{-(a+bx)}} \quad (1)$$

$$\text{モデル②} \quad p = \frac{1}{(1 + e^{-(a+bx)})^c} \quad (2)$$

$$\text{モデル③} \quad p = \frac{1}{(1 + e^{-(a+bx^d)})} \quad (3)$$

ここで、 p は成熟率、 x は体長または年齢を示す。

表1 測定データ一覧

年	月日	海域	雄			雌			漁法	
			未成熟魚(尾)	成熟魚(尾)	成熟魚の比率(%)	未成熟魚(尾)	成熟魚(尾)	成熟魚の比率(%)		
1992	3-4月	4/15-21	常呂	6	119	95.2	56	319	85.1	刺し網
1994		3/15-29	常呂	0	167	100.0	4	118	96.7	氷下待網
1995		3/11-30	常呂	6	198	97.1	34	407	92.3	氷下待網
1996		3/11-25	常呂	1	123	99.2	3	140	97.9	氷下待網
1997		3/13	常呂	0	30	100.0	1	45	97.8	氷下待網
1998		3/10	常呂	0	23	100.0	1	46	97.9	氷下待網
1999		3/11	常呂	0	30	100.0	0	62	100.0	氷下待網
1993	6-7月	6/28-30	常呂	4	43	91.5	186	0	0.0	刺し網
1993		7/6-9	常呂	2	41	95.3	180	0	0.0	刺し網
1994		7/5-9	常呂	0	38	100.0	112	0	0.0	刺し網
1995		7/13-26	常呂	3	64	95.5	213	0	0.0	刺し網
1997		6/30	湧別	4	29	87.9	20	27	57.4	刺し網
		7/3	常呂	7	24	77.4	8	66	89.2	刺し網
1998		7/21	常呂	13	41	75.9	105	64	37.9	刺し網
1999		6/28	湧別	4	11	73.3	28	38	57.6	刺し網
		7/15	常呂	13	39	75.0	19	79	80.6	刺し網
1995	10-11月	10/11	常呂	1	94	98.9	32	101	75.9	刺し網
1996		10/16	湧別	2	30	93.8	6	19	76.0	刺し網
		11/5	常呂	0	2	100.0	3	27	90.0	刺し網
1997		10/2-3	湧別・佐呂間・常呂	65	34	34.3	141	3	2.1	エビ曳網
		11/11	湧別	1	11	91.7	3	30	90.9	小定置網
1998		10/6-8, 13-14	湧別・佐呂間・常呂	59	11	15.7	78	2	2.5	エビ曳網
		10/30	湧別	0	19	100.0	2	43	95.6	刺し網
		11/9	常呂	0	21	100.0	9	64	87.7	刺し網
1999		10/7-8	湧別・常呂	55	51	48.1	148	45	23.3	エビ曳網
		10/19	常呂	0	21	100.0	5	76	93.8	刺し網
		10/21	湧別	1	32	97.0	6	41	87.2	刺し網

また、成熟率50%の x_{50} はそれぞれ次式で算出した。

モデル① $x_{50} = -a/b$ (4)

モデル② $x_{50} = -(\ln(2^{\frac{1}{c}} - 1) + a)/b$ (5)

モデル③ $x_{50} = (-a/b)^{\frac{1}{c}}$ (6)

成熟率の場合は2項分布に従うとされ^{6,10)}、母集団から単純ランダムサンプリングで標本を抽出したとすると、体長や年齢の階級毎の成熟数 m_1, m_2, \dots, m_k はそれぞれ成熟率 p_i の2項分布に従うので、これらを得る同時確率(尤度) L は次式(7)となる^{6,7)}。

$$L = \prod_{i=1}^k \frac{N_i!}{(N_i - m_i)! m_i!} p_i^{m_i} (1 - p_i)^{N_i - m_i} \quad (7)$$

この尤度は積であるため、両辺の対数を取り次式(8)のように和の形に直すと表計算ソフトで計算しやすくなる⁷⁾。

$$\ln L = \sum_{i=1}^k \left\{ \ln \frac{N_i!}{(N_i - m_i)! m_i!} + m_i \ln p_i + (N_i - m_i) \ln(1 - p_i) \right\} \quad (8)$$

成熟率のデータをもとに、(8)式の対数尤度を最大に(最尤法)するモデル①のパラメータ a, b 及び、モデル②、③のパラメータ a, b, c を表計算ソフトMS・Excelのソルバー(共役傾斜法)⁷⁾により探索した。なお、成熟曲線のモデルの比較には次式のAIC(赤池の情報量規準)に従った。

$$AIC = -2 \ln L + 2q \quad (9)$$

ここで、 $\ln L$ は対数尤度、 q はパラメータ数を示す。

結果

1. GSI (平均値) の季節変化

1989年では、成熟魚は3月に雄が8.3、雌が21.4と高く、4~6月にかけて急激な減少が見られ、その後6~7月には雌雄とも1前後へ低下し、11月には雄が11.5、雌が12.2と急速に増加した。未成熟魚は雌雄とも変化は見られず、1以下で推移した(図2)。

1998年では、成熟魚は3月に雄が9.4、雌が25.0と高く、4~5月にかけて急激な減少が見られ、その後7月には雄が0.5~0.8、雌が1.5~1.6へ低下し、11月には雄が13.9、雌が8.6と急速に増加した。未成熟魚は1989年と同様に雌雄とも変化は見られず、1以下で推移した(図2)。

10月以降では、未成熟魚と成熟魚のGSIは顕著に差が出てきた。

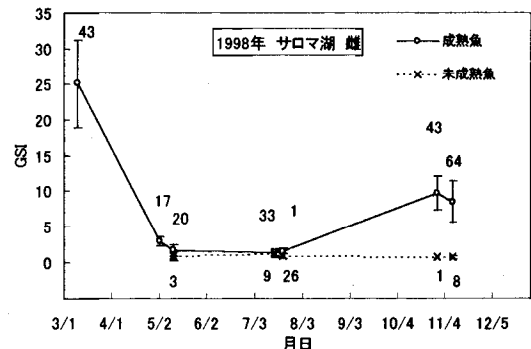
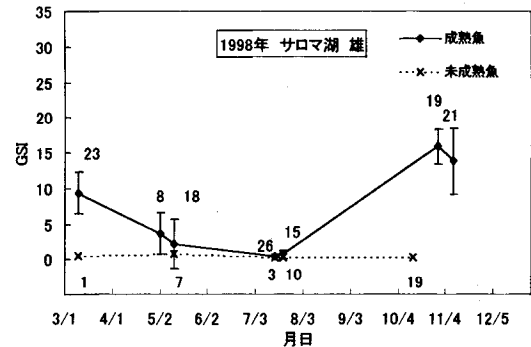
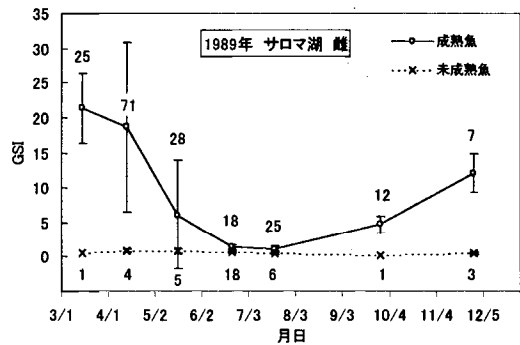
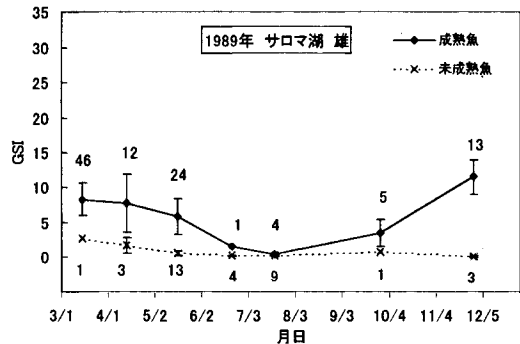


図2 雌雄別のGSIの月別推移 (数字は測定数, 縦線は標準偏差を示す。)

2. 成熟曲線モデルによる比較

1997~1999年の10~11月のデータを用い、体長と成熟率及び年齢と成熟率との関係から、モデル別の成熟曲線を推定し(図3, 4), 50%成熟体長, 50%成熟年齢及びAICを算出した(表2, 3)。

体長と成熟率との関係については、各モデルのAICは類似していたが、AICが最も小さく最適モデルと判定されたのは、雌雄ともにモデル②のRichard関数であった(表2)。成熟曲線は、各モデルともほぼ同様の曲線となり(図3), 算出された50%成熟体長については、雄がモデル①で13.7cm, モデル②で13.4cm, モデル③で13.5cm, 雌がモデル①で17.1cm, モデル②で16.9cm, モデル③で17.0cmとなり、各モデル間の差は小さかった(表2)。いずれも50%成熟体長は雌に比べて雄の方が約3cm以上小さく、生物学的最小形は雄が10.3cm, 雌が13.1cmだった(図3)。

年齢と成熟率との関係については、各モデルのAICは類似していたが、AICが最も小さく最適モデルと判定されたのは、雌雄ともにモデル②であった(表3)。成熟曲線は各モデルともほぼ同様の成熟曲線となり(図4), 算出された50%成熟年齢については、雄がモデル①で3.9歳, モデル②で3.7歳, モデル③で3.6歳, 雌がモデル①で5.3歳, モデル②で5.0歳, モデル③で5.1歳と各モデル間の差は小さく、いずれも成熟年齢は雌に比べて雄の方が約1歳以上、低かった(表3)。

3. 調査年別の成熟体長と成熟年齢

2.で推定された成熟曲線はモデル②が最適モデルとして選択されたが、各モデルともほぼ同様の曲線を示し、パラメータ数が少なく、パラメータの初期値の設定が簡

単なこと、及びパラメータ値が収束しやすいことからモデル①を選択し、1997~1999年の10~11月のデータを用い、年別に成熟曲線を推定した(図5, 6)。

体長と成熟率との関係については、成熟曲線は雄では各年ともにほぼ同様の曲線となったが、雌では1999年のみ少し異なった。50%成熟体長は、雄が1997年で13.3cm, 1998年で14.0cm, 1999年で13.7cmとなり、雌が1997年で17.8cm, 1998年で17.5cm, 1999年で16.4cmとなり、1999年の雌が少し小さく算出された(図5)。

年齢と成熟率との関係については、成熟曲線は雄では各年ともにほぼ同様の曲線となったが、雌は1997年のみ異なった。50%成熟年齢は、雄が1997年で3.7歳, 1998年で4.1歳, 1999年で3.9歳となり、雌が1997年で6.7歳, 1998年で5.3歳, 1999年で5.1歳となり、1997年の雌が高く算出された(図6)。

考 察

1. 産卵期

クロガシラの産卵期は海域により異なることが知られており、太平洋沿岸の厚岸では4月中旬~5月中旬¹¹⁾, 根室湾では4月下旬~5月下旬¹²⁾, 日本海の増毛地方では2月下旬~3月中旬¹³⁾とされている。

本調査結果では、サロマ湖内におけるクロガシラの産卵期は、GSIの急激な減少のみられる4~5月と推定され、これに続く、GSIの変化が小さい6~7月は産卵終了期、GSIが再び高くなる10月以降は回復期に区分される。これらのことから本種の年齢査定基準日(誕生日)を6月1日とした。

表2 モデル別・雌雄別の50%成熟体長と成熟曲線のパラメータ AICの太字は最適モデルを示す。

モデル	性別	年	月	データ数	パラメータ			50%成熟 体長 cm	AIC
					a	b	c		
①	雄	1997~1999	10~11	380	-12.12	0.89		13.7	104.3
②					-7.15	0.67	4.41	13.4	104.0
③					-66.51	41.36	0.18	13.5	104.8
①	雌			695	-15.29	0.90		17.1	124.8
②					-11.20	0.72	2.24	16.9	123.9
③					-63.67	32.40	0.31	17.0	124.5

表3 モデル別・雌雄別の50%成熟年齢と成熟曲線のパラメータ AICの太字は最適モデルを示す。

モデル	性別	年	月	データ数	パラメータ			50%成熟 年齢	AIC
					a	b	c		
①	雄	1997~1999	10~11	380	-4.12	1.07		3.9	117.4
②					-0.36	0.79	9.06	3.7	116.9
③					-25.70	20.97	0.16	3.6	117.8
①	雌			695	-4.91	0.92		5.3	342.9
②					1.99	0.61	106.40	5.0	339.3
③					-35.00	28.46	0.13	5.1	342.3

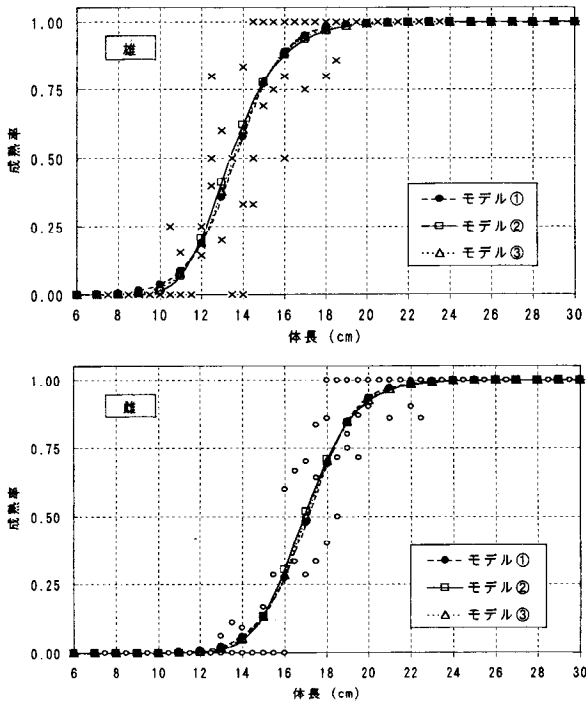


図3 モデル別の体長と成熟率との関係
(サロマ湖 1997~1999年 10~11月)

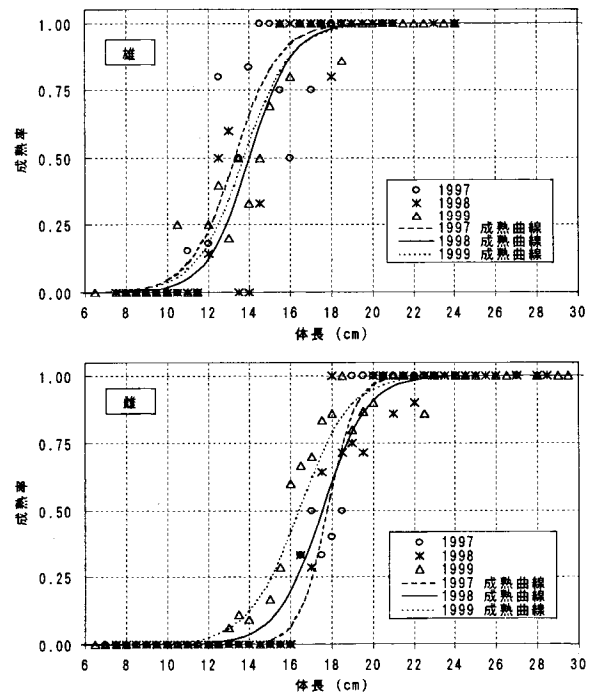


図5 調査年別の体長と成熟率との関係
(サロマ湖 1997~1999年 10~11月)

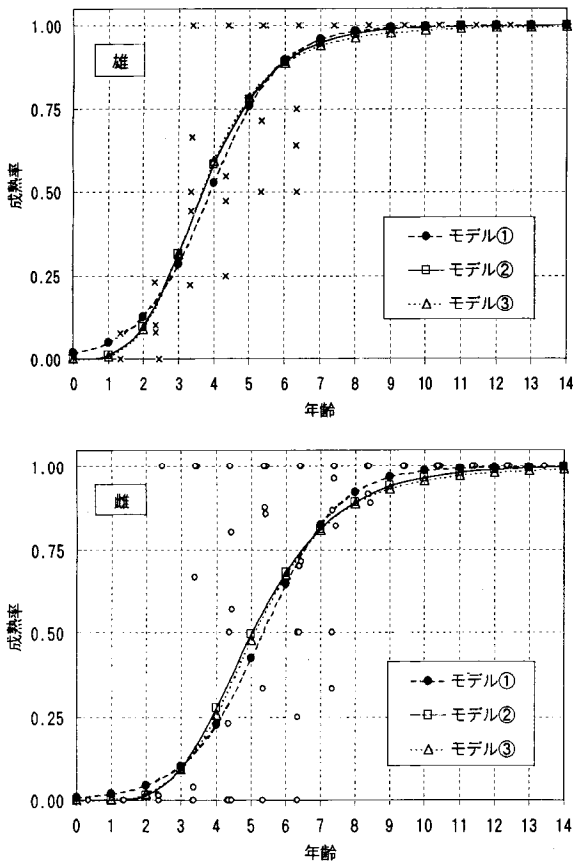


図4 モデル別の年齢と成熟率との関係
(サロマ湖 1997~1999年 10~11月)

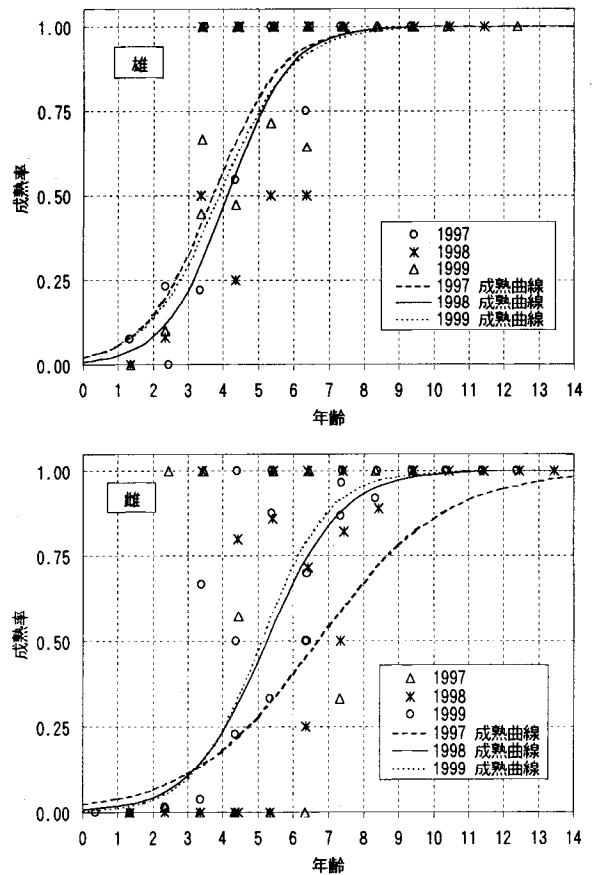


図6 調査年別の年齢と成熟率との関係
(サロマ湖 1997~1999年 10~11月)

2. 成熟曲線モデル

成熟曲線のAICによるモデル比較では、体長と成熟率との関係及び年齢と成熟率との関係ともに、モデル②のRichard関数が選択されたが、各モデルのAICの差はわずかであり(表2, 3), 成熟曲線は成熟率50%の点を中心に左右対称に近いと考えられる。

また、パラメータの初期値の設定はモデル①の(4)式に比べ、パラメータ数が1つ多いモデル②の(5)式では難しくなる。さらにパラメータが4つの複雑なモデルも考案されている¹⁰⁾ものの、収束しにくいいためかそのパラメータのうち1~2つを固定させて推定している。

これらのことから、成熟曲線を推定する際、今回3つのモデルの中では、シンプルなモデル①のロジスティック関数でも十分に実用であると思われる。

3. 成熟体長・年齢

体長と成熟率との関係及び年齢と成熟率との関係を比較すると、成熟率は、雌雄ともに体長との関係より年齢との関係の方が、バラツキ(特に雌)が大きかった。このことから、成熟率は年齢よりも体長に依存することが示唆され(図3~6), 高齢のわりに成長の悪い個体は成熟が遅く、若齢でも成長の良い個体は成熟が早いと考えられる。

他種のカレイ類では調査年別¹⁴⁾、産卵期前後の月別の成熟曲線^{15, 16)}は、異なることが示されている。本調査結果によると、産卵期の直前の3~4月では未成熟魚が極端に少なく(表1), 成熟体長や成熟年齢を算出するには不相当であった。これは、産卵期の直前~産卵期には成熟した産卵群が蟻集し、集中的に漁獲されている¹³⁾ためと推察された。また、産卵終了期では、生殖巣の外観を目視観察により、未成熟魚と産卵・放精後の成熟魚を判定する際、見誤ることが多いとされており^{15, 16)}、熟度の判定は困難な場合が多い。

これらのことから、成熟体長と成熟年齢を推定する際には、3~4月及び6~7月(産卵終了期)のデータを除くべきであろう。10~11月にはGSI値にも示されるように、成熟魚と未成熟魚が明瞭に区別されること(図2), 刺し網ではほとんど入網が見られない未成熟魚(体長15cm未満, 4歳未満)のデータ^{2, 4, 5)}がエビ曳網調査により得られることなどから、成熟体長と成熟年齢の推定には、10~11月のデータを使用することが望ましいと考えられた(表1)。

なお、調査年別の成熟については、50%成熟体長、年齢とも雄に比べ雌の差がやや大きく、特に1997年の雌では6.7歳と高かったが、この原因としては、雌は雄に比べ成長が良く、成長速度が緩やかなため¹⁸⁾、雌の成熟率は雄に比べ体長や年齢によるバラツキが大きいこと、標本

採取の漁法が1997年は小定置網で、1998年と1999年は刺し網であったことなどが考えられるが、さらに調査を進める必要がある。年別の成熟曲線については、少し差がみられたが、その年に応じた体長規制などの資源管理方策は困難であることから、数年分の平均をとるのが現実的であろう。

そこで3年分(1997~1999年)の10~11月のデータを用いると、50%成熟体長は、雄が13.7cm, 雌が17.1cmとなり、50%成熟年齢は、雄が3.9歳, 雌が5.3歳となった。さらに体長から全長への換算式¹⁷⁾により50%成熟全長を求めると、雄では全長16.9cm, 雌では全長20.9cmと推定された。また、成長式¹⁸⁾により50%成熟体長から年齢を逆算すると、雄2.9歳, 雌4.3歳となり、年齢と成熟率から直接推定した年齢に比べ、雌雄とも約1歳低くなった。なお、年齢の基準日を6月1日としていることから、10~11月のデータで推定された50%成熟体長や年齢に翌年6月までの成長量(体長)や年齢期間を加算するかどうかを今後検討する必要がある。以上のことから、成熟曲線を算出するにあたり、いつの時期のデータを選択するかが最も重要なポイントとなった。

今後、サロマ湖系群に比べ成長の早いことが知られている外海系群^{2, 18)}の産卵期、成熟体長及び成熟年齢の推定も行い、有効な資源管理方策の基礎的知見とする必要がある。

要 約

クロガシラガレイのサロマ湖系群を対象に産卵期を推定し、体長と年齢の成熟曲線をモデル別、年別に推定し比較するとともに、50%成熟体長と年齢を算出した。

1. サロマ湖における産卵期は4月から5月と推定された。
2. 成熟は年齢よりも体長に依存していることが示唆された。
3. 50%成熟体長は、雄が13.7cm(全長16.9cm), 雌が17.1cm(全長20.9cm)と推定され、雄の成熟体長は雌に比べ約3cm小さかった。
4. 50%成熟年齢は、雄が3.9歳, 雌が5.3歳と推定され、雄の成熟年齢は雌に比べ約1歳低かった。
5. 生物学的最小形の体長については、雄が10.3cm, 雌が13.1cmだった。
6. 小型未成熟魚のデータが漁業では得られない場合、未成熟魚を捕獲するため、幼魚調査等の漁業以外の調査を行う必要がある。
7. 各モデルのAIC, 50%成熟体長及び50%成熟年齢は、ほぼ同じ値であり、シンプルなロジスティック関数

で充分に実用的であった。

8. 成熟曲線を推定するにあたり、いつの時期のデータを
を選択するかが最も重要である。

謝 辞

本報告で使用した1989年の測定資料は石野健吾博士(現中央水産試験場)、1992~1996年の測定資料は横山信一博士(現栽培漁業総合センター)の多大なご努力によるもので深く感謝します。また、標本採集及び標本購入にご協力を頂いた常呂漁業協同組合、サロマ湖養殖漁業協同組合、湧別漁業協同組合、網走中部地区水産技術普及指導所の職員に深く感謝します。

なお、有益な助言をいただいた道立栽培漁業総合センターの横山信一博士に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 横山信一, 下山信克: 北海道北東沿岸域において標識放流されたクロガシラガレイの移動. 北水試研報. 47, 15-24 (1995)
- 2) 横山信一: 地域性底魚類の資源生態調査研究 クロガシラガレイ. 平成8年度事業報告書. 網走水産試験場. 6-14 (1997)
- 3) 渡野邊雅道: "底魚類7. 異体類(3)マガレイ". 北水試 魚介類測定・海洋観測マニュアル. 北海道, 北海道立中央水産試験場, 1996, 37-40.
- 4) 村上修: 地域性底魚類の資源生態調査研究 クロガシラガレイ. 平成9年度事業報告書. 網走水産試験場, 14-21 (1998)
- 5) 村上修: 地域性底魚類の資源生態調査研究 クロガシラガレイ. 平成10年度事業報告書. 網走水産試験場, 14-19 (1999)
- 6) 山田作太郎, 北田修一: "10. 2一般化線形モデル". 生物資源統計学. 東京, 成山堂書店, 1997, 210-218.
- 7) 東海正: MS-Excelのソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究. 61(3), 288-298 (1997)
- 8) Miller, R.B.: Incorporation of between-haul variation using bootstrapping and nonparametric estimation of selection curves. *Fish. Bull.*, 91, 564-572 (1993)
- 9) 平松一彦: "1. 水産資源学における最尤法とAICの適用例". 松宮義晴編 水産資源解析と統計モデル. 東京, 恒星社厚生閣. 1993, 9-21.
- 10) J.T.Schnute and L.J.Richards.: A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivorship data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47(1), 24-40 (1990)
- 11) 山本喜一郎: 黒頭鯨調査. 水産孵化場試験報告. 2, 35-40 (1947)
- 12) 金丸信一: カレイ漁場調査. 昭和55年度根室湾海域総合開発事業報告書. 北海道区水産研究所. 75-76 (1981)
- 13) 森田祥, 大原正司: クロガシラガレイの漁業生物学的研究 (I) 産卵群の生活様式. 北海道区水産研究所研究報告. 30, 60-66 (1965)
- 14) 高橋豊美, 斉藤重男, 前田辰昭, 木村大: マガレイとマコガレイの生活年周期. 日本水産学会誌. 49(5), 663-670 (1983)
- 15) 正木康昭, 伊東弘, 上条義信, 横松芳治, 小川浩, 山口義昭, 東海正: 周防灘産マコガレイの成熟と産卵期. 日本水産学会誌. 53(7), 1181-1190 (1987)
- 16) 正木康昭, 伊東弘, 上条義信, 横松芳治, 小川浩, 山口義昭, 東海正: 周防灘産メイタガレイの成熟と産卵期. 日本水産学会誌. 53(7), 1191-1198 (1987)
- 17) 平成11年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書 オホーツク地域. 208-216 (2000)
- 18) 平成12年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書 オホーツク地域. 190-200 (2001)

北海道沿岸におけるコンブノネクイムシの出現状況 (短報)

赤池章一^{*1}, 瀧谷明朗^{*1}, 津田藤典^{*2}, 元谷 怜^{*3}, 高橋和寛^{*4}

Seasonal occurrence of a kelp-boring amphipod, *Ceinina japonica* along the coasts of Hokkaido from 1997 to 2001. (Short Paper)

Shoichi AKAIKE^{*1}, Akio TAKIYA^{*1}, Fujinori TSUDA^{*2}, Akira MOTOYA^{*3} and Kazuhiro TAKAHASHI^{*4}

キーワード: コンブノネクイムシ, *Limnoria*, 寄生, 端脚類, 等脚類, コンブ目褐藻

はじめに

コンブノネクイムシ *Ceinina japonica* (以下, ネクイムシと称す)は, 大型海藻の根茎部に穿孔して造巣し, 養殖コンブやワカメ等に害を与える端脚類¹⁾として知られている。北海道北部沿岸の重要な漁業資源であるリシリコンブ *Laminaria ochotensis* は, 1933年に利尻, 礼文島において希有の凶作に見舞われた。その主原因として, 早期末枯れとともにネクイムシが藻体に夥しく寄生して付着器に損傷を与え多数の流失を招いたこと, 葉面損傷による品質不良が考えられた²⁾。1961年には利尻, 礼文島において再びリシリコンブの流失被害があり, 1961~1962年にかけて実態調査が行われた³⁾。その結果, 宗谷沿岸の広い範囲でリシリコンブへのネクイムシの寄生が確認され, 流失被害の一因をなしていると推測された。その後, 函館市のワカメ⁴⁾, 三石町のミツイシコンブ⁵⁾でネクイムシの寄生が報告されているが, ネクイムシによる寄生が

主原因と見られる漁業被害の報告はない。

本研究では, ネクイムシの寄生原因や経路, 漁業被害に結びつく機構は明らかではなかったが, 1997~2001年にかけて, オホーツク海及び道東太平洋を除く日本海沿岸, 津軽海峡, 日高沿岸の広い範囲のコンブ目褐藻においてネクイムシの寄生を確認し, 若干の知見を得たので報告する。また, 等脚類キクイムシ属 *Limnoria* spp. の寄生も確認したので, あわせて報告する。なお標本の同定やご助言を頂いた筑波大学下田臨海実験センター青木優和博士に感謝申し上げます。

材料及び方法

1997年から2001年にかけて, 宗谷支庁管内6カ所, 留萌支庁管内5カ所, 後志支庁管内3カ所, 渡島支庁管内4カ所, 胆振支庁管内1カ所及び日高支庁管内2カ所の計21カ所で, SCUBA潜水によるコンブ目褐藻の採集, 漁獲物調査, 現地情報の収集などを行った。

報文番号 A338 (2002年1月24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 北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, Yunokawa, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

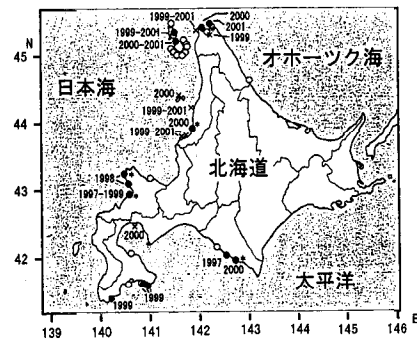
海中での観察や、漂着物、漁獲物、ならびに採集したコンブ目褐藻の観察により、ネクイムシと *Limnoria* spp. の寄生の有無を確認した。得られた標本から、各調査時のコンブ目褐藻一藻種当たりのネクイムシ寄生藻体数(寄生率)、ネクイムシが寄生していた藻体の平均寄生個体数、ならびに幼体の出現状況を調べた。

結果及び考察

ネクイムシによる寄生は、北海道日本海沿岸、津軽海峡、日高沿岸の14カ所のコンブ目褐藻で確認され、7カ所では確認されなかった(図1, 表1)。その海域は、北海道日本海沿岸、津軽海峡、日高沿岸に限られ、道東太平洋やオホーツク海沿岸の情報は得られなかった。オホーツク海沿岸では、1961年に枝幸町のリシリコンブで寄生が報告されているのみであった³⁾。これらの場所は、いずれも暖流水⁶⁾が影響する海域と考えられる。ネクイムシが寄生していた海藻は、ミツイシコンブ *L. angustata*, ホソメコンブ *L. religiosa*, リシリコンブ, マコンブ *L. japonica*, ガゴメ *Kjellmaniella crassifolia*, ワカメ *Undaria pinnatifida* で、いずれもコンブ目褐藻であった(表1)。それ以外の大型海藻類(特にヒバマタ目褐藻やスジメ等)についても、調査時ごとに注意して観察したが、ネクイムシの寄生は確認されなかった。

ネクイムシの寄生は、マコンブとガゴメでは水深5~25mの範囲で、その他は概ね水深1~10mの範囲で見られた。水深5m以深のコンブ目褐藻でネクイムシが寄生している藻体が多い傾向が見られたが、泊村, 礼文町, 小平町, 様似町などでは、水深1m程度でも寄生しているコンブ目褐藻が見られた。

*Laminaria*属コンブでは、ネクイムシは仮根部の基部、根枝の途中や先端近く、茎状部の途中、葉状部の特に中帯部から藻体へ侵入していた。造葉が進むと、巢穴に沿って小孔が形成され、寄生を外部から判定出来た。10月



- 出現を確認(1997~2001)
- × 出現せず(1997~2001)
- 過去に報告あり
- * *Limnoria* spp. 出現

図1 北海道におけるコンブノネクイムシの出現状況
数字は調査年を示す

表1 最近の北海道沿岸におけるコンブノネクイムシの出現状況

時期	場所	寄主	寄生状況
1997年6~8月	浦河町井寒台	ミツイシコンブ	根縛り養殖コンブに出現.* ¹
1997~1999年	岩内町 水深5~10m	ホソメコンブ(1,2年目)	8月までは根茎部のみ, 10月以降葉部に寄生. <i>Limnoria</i> spp.出現.
1998年7月	神恵内村窓岩 水深約3.5m	ホソメコンブ(1年目)	根茎部に寄生. <i>Limnoria</i> spp.出現.
1998年8,10月	泊村釜 水深1.5~5m	ホソメコンブ(1年目)	根茎部及び葉部に寄生.
1999年9月	礼文町赤岩 水深約1.5m	リシリコンブ(1,2年目)	造成溝の沖, 周辺のコンブ. 葉部, 根茎部に寄生.
1999年8月	戸井町釜谷 水深10~14m	マコンブ(2年目), ガゴメ	葉部に寄生.
1999年12月	福島町吉岡 水深10~20m	ガゴメ	茎部に寄生.
1999年12月	函館市石崎 水深5~25m	マコンブ(1,2年目), ガゴメ	葉部, 茎部に寄生.
2000年3, 7月	小平町臼谷 水深約1m	リシリコンブ(2年目)	根茎部に寄生. <i>Limnoria</i> spp.出現(7月).
2000年6, 9月	礼文町赤岩 水深約1.5m	リシリコンブ(1,2年目)	造成溝の沖, 周辺のコンブ. 葉部, 根茎部に寄生.
2000年7月	利尻町沓形 水深1~4m	ワカメ	中肋部に寄生.
2000年8月	戸井町小安 水深15m	マコンブ(2年目)	葉部に寄生.
2000年9月	稚内市前浜	リシリコンブ(2年目)	根茎部及び葉部に寄生.
2000年9月	様似町冬島	ミツイシコンブ(2年目)	根茎部に寄生. <i>Limnoria</i> spp.出現.
2001年6月	礼文町赤岩 水深約1.5m	リシリコンブ(1,2年目)	造成溝の沖, 周辺のコンブ. 葉部, 根茎部に寄生.
2001年7月	利尻町沓形 水深1~4m	ワカメ	中肋部に寄生.
2001年8月	稚内市宗谷環内 水深約2m	リシリコンブ(2年目)	根茎部に寄生. <i>Limnoria</i> spp.出現.

*1: 日高東部地区水産技術普及指導所調べ

以降は特に葉状部での造巣が著しく、侵入部が腐朽し大きな穴となる場合があった。そこから主に葉体の長軸方向に、多数の巣穴が形成された。

ワカメでは、葉の下部から孢子葉の上部付近までの中肋部に1~2条の巣穴を形成しており、仮根部での造巣は少なく、葉部や孢子葉への造巣は見られなかった。

採集したコンブ目褐藻14~153藻体におけるネクイムシ寄生率の月別推移を、図2に示した。1, 2月は、*Laminaria*属コンブの葉状部がほとんど枯死流失し残存した根茎部において寄生が見られ、寄生率は8.7~29.2%の範囲にあった。この時期に再生していた*Laminaria*属コンブや新たに発芽した1年目藻体では、ほとんど寄生は見られなかった。

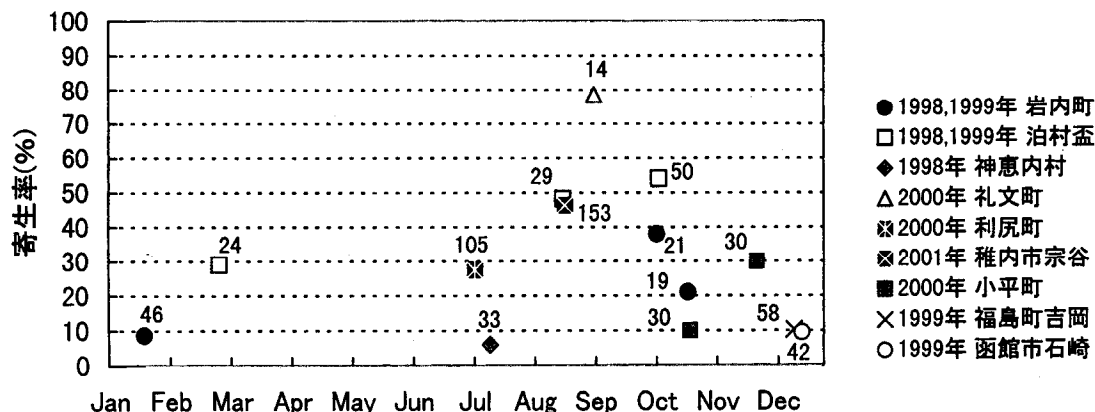


図2 コンブノネクイムシのコンブ目褐藻への月別寄生率の推移
数字は標本数を示す

3~6月には寄生はほぼ見られず、続く7月以降寄生率が上昇した。2000年9月には、礼文町の1年目リシリコンブで78.6%と高い寄生率であったが、それ以外の7~12月の寄生率は、6.1~54.0%の範囲にあり、12月には減少した。以上の結果から、ネクイムシによるコンブ目褐藻への寄

生の盛期は、7~11月頃と考えられた。
調べたコンブ目褐藻2~22藻体におけるネクイムシ平均寄生個体数の月別推移を、図3に示した。ネクイムシの寄生個体数は、神恵内村のホソメコンブでは1998年7月には1.0個体/藻体であったが、8月以降抱卵個体や幼体が出

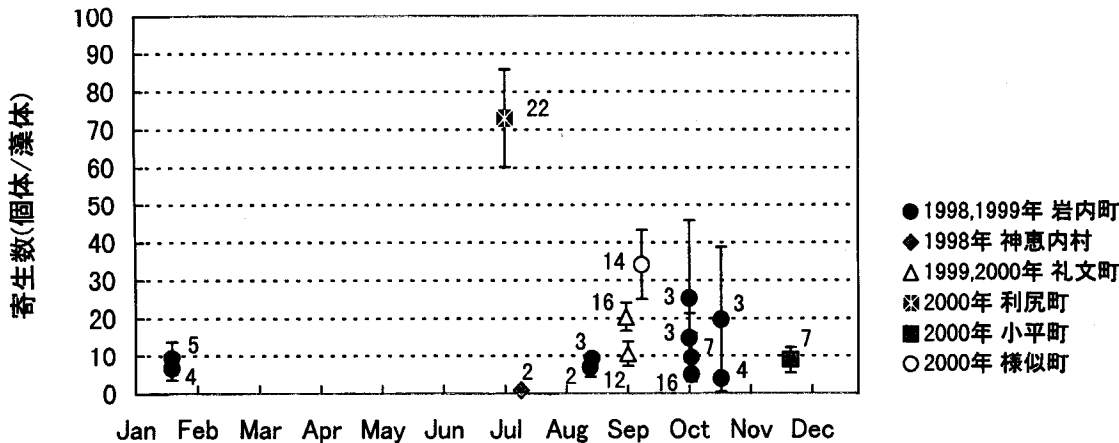


図3 コンブノネクイムシのコンブ目褐藻1藻体当たりの月別平均寄生個体数の推移
数字は標本数、縦棒は標準誤差を示す

現し, 事例によりばらつきはあるものの, この時期に急速に個体数が増大した。8~1月には, 4.0~34.2個体/藻体の範囲にあった。2000年7月の利尻町の天然ワカメでは73.0個体/藻体と非常に個体数が多く, 幼体が多数見られたことから, *Laminaria* 属コンブよりも早い時期から個体数が増加していたと考えられる。静岡県下田市鍋田湾の養殖ワカメ⁷⁾では, ネクイムシの藻体への侵入は1月初旬から始まり, 幼体の出現による個体数の急速な増加は2月初旬以降に見られたことが報告されている。海域の違いや海藻種の違いもあり, 今後さらに実態を明らかにする必要がある。

本研究の結果, ネクイムシは*Laminaria*属コンブでは7月~翌年1, 2月の孢子体の実入り~枯死流失期にかけて造巢・繁殖し, 2~6月の芽胞体~伸長生長期には*Laminaria*属コンブ以外を生活場所としていることが示唆された。

近年本道沿岸各地のコンブ目褐藻で再びネクイムシの寄生が顕著になってきた理由, 天然海域でのネクイムシの量的変動の実態などは不明であり, 生活場所についても不明な点が多い。また, 同じ*Laminaria*属コンブにおいても, 幼体や再生した藻体ではネクイムシによる寄生がほとんど見られず, 成長段階によって寄生状況が異なり, 寄生を受ける藻体, 受けない藻体の差異も明らかではない。今後は, 北海道沿岸においてコンブ目褐藻への寄生が見られなかった時期のネクイムシの生活場所を明らかにするとともに, 室内試験なども検討し, これらの不明点を明らかにする必要がある。ネクイムシの出現動向は, コンブ漁業に大きな影響を与える可能性があるため, 今後も注意深く監視する必要がある。

なお, 渡島支庁管内を除く5カ所の*Laminaria*属コンブで, 等脚類キクイムシ属*Limnoria* spp.の寄生が初めて確認された(表1)。*Limnoria* spp.は, *Laminaria*属コンブの仮根部基部(茎状部下部)にのみ造巢しており, 多数の幼体が見られた。また, *Limnoria* spp.は, ネクイムシが寄生する同じ藻体に造巢していた。本属はネクイムシに比較すると相対的に出現地が少なかったが, ネクイムシ同様にコンブ目褐藻藻体に穿孔して造巢, 繁殖するため, ネクイムシと同様の被害を引き起こすことが懸念される。今後は, さらに*Limnoria* spp.の分布実態や生態の把握, 分類学的研究の進展が必要である。

文 献

- 1) 平山 明: “コンブノネクイムシ”. 原色検索日本海岸動物図鑑[II] (西村三郎編著). 初版. 東京, 保育社, 1995, 189.
- 2) 木下虎一郎: “昭和8年に利礼両島に見られた特異な昆布凶作の原因”. コンブとワカメの増殖に関する研究. 札幌, 北方出版社, 1947, 32-38.
- 3) 蒲原八郎: コンブの流失と虫害について. 北水試月報. 19(8), 323-331 (1962)
- 4) 鳥居茂樹, 工藤敬司, 沢崎達孝: コンブノネクイムシ(*Ceinina japonica* STEPHENSEN)の寄生したワカメについて. 北水試月報, 21(10), 429-431 (1964)
- 5) 松山恵二, 高橋和寛: ミツイシコンブの生態に関する研究. 昭和62年度北海道立函館水産試験場事業報告書, 297-299 (1988)
- 6) 北海道立水産試験場: 北海道近海の海況. 北水試月報. 36(12), 281-286 (1979)
- 7) 青木優和, 倉島 彰, 植田一二三, 土屋泰孝, 横濱康繼: コンブノネクイムシの造巢過程~一夫一婦からの出発. 1996年度第10回日本ペントス学会大会講演要旨集. 76 (1996)

噴火湾産有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす水温および光条件の影響

宮園 章

Alexandrium tamarense の噴火湾産株の増殖に対する水温、光強度および日長の影響を培養実験で明らかにした。本種は 3-5°C の低水温下で増殖でき、10-18°C で最大増殖速度を持った。これらは本種が低水温条件に適応していることを示唆する。本種の光強度の閾値は $5\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下と低く、光強度の半飽和定数は 10-18°C で $32.77\sim 39.35\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。このことから本種が低光強度条件に適応していることが示唆された。約 $600\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光条件では強光障害は認められなかった。日長が長くなると増殖速度は早くなった。

A335 北水試研報 61 1-8 2002

噴火湾における有毒プランクトン、*Alexandrium tamarense* のシストの鉛直分布、発芽活性およびシスト密度の季節変化

宮園 章

1996年4月から1997年3月まで、八雲沖で月1回のシスト採集を実施し、鉛直分布、発芽活性および密度の季節変化を調査した。シストの高密度層は海底から4-7と12-14cmにみられた。海底から0-3, 3-6, 6-9, 9-12cm層の底泥中のシスト密度はそれぞれ、186-365, 406-1157, 211-736, 90-377細胞g湿泥⁻¹であった。10°C下での発芽試験では、0-3cm層のシストは2-5月には80%以上が発芽し、8-12月にはほとんど発芽しなかった。現場水温下での発芽試験では、2-5月にはシストの2-4%が発芽した。

A336 北水試研報 61 9-15 2002

クロガシラガレイ (サロマ湖系群) の成熟体長と成熟年齢

村上 修

漁獲対象魚種の産卵期、成熟体長及び成熟年齢を把握することは、漁期や体長の規制及びSPR型管理等の有効な資源管理方策を設定するため特に重要である。そこで、1989年~1999年のクロガシラガレイのサロマ湖系群を対象に産卵期を推定し、体長と成熟率、年齢と成熟率の関係を3つの成熟曲線モデルで比較した。その結果、産卵期は4~5月と推定され、成熟は年齢よりも体長に依存していることが示唆された。10~11月のデータから推定した50%成熟体長は、雄が13.7cm、雌が17.1cmで、50%成熟年齢は、雄が約4歳、雌が約5歳と算出された。成熟曲線を算出する際には、いつの時期のデータを選択するかが最も重要であり、成熟曲線はシンプルなロジスティック関数モデルで十分に実用的であった。

A337 北水試研報 61 17-23 2002

北海道沿岸におけるコンブノネクイムシの出現状況 (短報)

赤池章一, 瀧谷明朗, 津田藤典, 元谷 怜, 高橋和寛

1997年から2001年にかけて、日本海沿岸、津軽海峡、日高支庁沿岸14カ所のコンブ目褐藻で、端脚類コンブノネクイムシの寄生を確認した。同種は、ミツイシコンブ、ホソメコンブ、リシリコンブ、マコンブ、ガゴメ、ワカメに寄生していた。マコンブとガゴメでは水深5~25mの範囲で、その他は概ね水深10mまでの範囲で寄生が見られた。コンブ目褐藻への寄生は7月~翌年2月にかけて見られ、寄生率は6.1~78.6%の範囲にあった。コンブ目褐藻1藻体当たりの寄生個体数は、4.0~73.0個体の範囲にあった。同種は、*Laminaria*属コンブの実入り~枯死流失期にかけて造巣、繁殖し、芽胞体~伸長成長期には*Laminaria*属コンブ以外を生活場所とすることが示唆された。渡島支庁を除く5カ所の*Laminaria*属コンブで、等脚類キクイムシ属*Limnoria* spp.の寄生が確認された。

A338 北水試研報 61 25-28 2002