

# 夏季の北海道オホーツク海沿岸海域における *Alexandrium tamarense* の増殖制限因子

品田 晃良\*<sup>1</sup>

Limiting factor for growth of *Alexandrium tamarense* in the coastal water, northeastern part of Hokkaido, Japan in summer.

Akiyoshi SHINADA\*<sup>1</sup>

Light condition, temperature and nutrients (nitrate and phosphate) in the coastal water, northeastern part of Hokkaido, Japan were investigated to clarify that these conditions were fit for growth of *Alexandrium tamarense* or not from June to August 2003. Although light condition and temperature would be fit for the growth, nitrate and phosphate were relatively low levels during survey. These results suggest that the growth of *A. tamarense* might be limited by nutrients concentration in this water.

キーワード: *Alexandrium tamarense*, 増殖制限因子, オホーツク海沿岸, 麻痺性貝毒

## まえがき

オホーツク海に面した北海道北東部の沿岸海域では、1985年以降数回にわたり麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷自主規制措置が施行され、地元漁協や加工および流通業者に大きな経済的損失を与えてきた。一般に、麻痺性貝毒は、底泥中に存在する有毒プランクトンのシストが発芽、増殖して、それを貝類が摂餌することにより発生するが、本海域における麻痺性貝毒の発生機構は、夏季にオホーツク海表層低塩分水（沖合水）が沿岸に接岸して、その沖合水に多く存在する原因プランクトンの *Alexandrium tamarense* をホタテガイが摂餌する機構が考えられている<sup>1)</sup>。しかしながら、この推察は沖合水に *A. tamarense* が高密度（最高2,300細胞/l）で出現したにも関わらず、宗谷暖流水（沿岸水）での出現密度が低かったという結果でのみ行われており、沿岸水で *A. tamarense* が低密度であった理由については言及されていない。本研究は、北海道オホーツク海沿岸海域の海洋環境（光環境、水温、栄養塩）を調査して、その海洋環境が *A. tamarense* の増殖にとって適しているが否かを明らかにすることを目的としている。

## 材料および方法

### 1. 海洋観測

調査は、ホタテガイ地まき漁場内に設置したサロマ湖第二湖口沖2マイル（44°10'N, 143°57'W, 水深約40m）で2003年6月から8月にかけて計6回、6マイル（44°14'N, 143°59'W, 水深約80m）で2003年6月から7月にかけて計4回行った（図1）。採水は0, 10, 20, 30mおよび海底直上（6マイルは50mからも採水）から、プラスチック製のバケツ（0m）およびバンドン採水器（その他の深度）で行った。採水試料は実験室に持ち帰った後、ワットマンGF/Fフィルターでろ過（陰圧：<100mmHg）を行い、得られた濾液を栄養塩測定用試料として-20℃で冷凍保存した。水温はSTD（アレック電子AST-1000）で、透明度は透明度板でそれぞれ測定した。

## 2. 光環境

海水中の光強度は、透明度から求めた消散係数 ( $k$ :  $k=1.7/d$ ,  $d$ は透明度<sup>2)</sup>) と、太陽が真上にあるときの海表面における光合成有効放射 (PAR) を  $1682 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 、海面での反射を 4% として次式で計算した<sup>3)</sup>。

$$I_z = I_0 \exp(-kz)$$

ここで  $I_0$  は海表面における PAR ( $\mu E m^{-2} s^{-1}$ )、 $I_z$  は水深  $Z$  (m) における PAR を表す。

## 3. 栄養塩の測定

リン酸塩と硝酸塩濃度は、オートアナライザー II 型 (ブランルーベ社) で測定した<sup>4)</sup>。ケイ酸塩濃度はモリブデンブルー法で測定した<sup>4)</sup>。

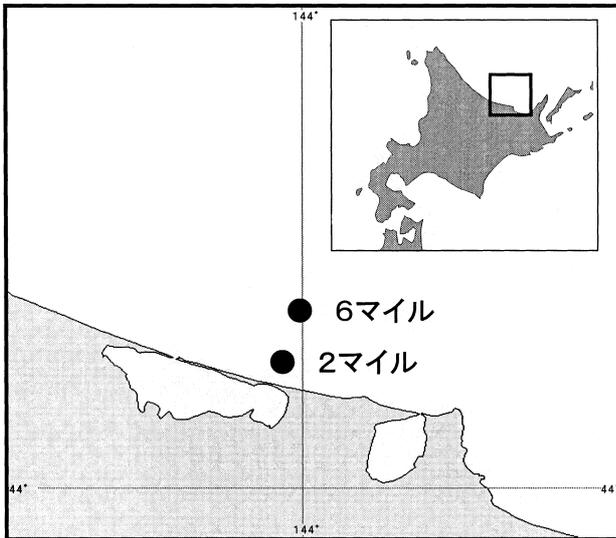


図1 調査地点

## 結果および考察

### 1. 光環境

調査期間中に透明度は 8~13.5m の範囲を変動した。透明度の最高値から消散係数 ( $k$ ) を算出したところ、 $k$  は  $0.126 m^{-1}$  と推定された。海表面の PAR がこの消散係数で減衰すると仮定すると、水深約 35m で海表面の 1% 程度に減衰すると考えられた (図 2)。麻痺性貝毒原因プランクトン *Alexandrium tamarense* の補償光量 (増殖に必要な光強度) は 4~76  $\mu E m^{-2} s^{-1}$  の範囲を変動することが報告されている (表 1)。2 マイルおよび 6 マイルでは水深 25m で補償光量の上限値を水深 49m で下限値をそれぞれ下回ったが、今回計算に用いた海表面の PAR および消

散係数が最高値であったことと、PAR は入射角度の増加に従ってその反射率が高くなること<sup>3)</sup>を考慮に入れると、実際の水柱における光強度は今回推定された値よりも低くなると考えられる。よって、2 マイルおよび 6 マイルで *A. tamarense* が増殖できる水深帯は、0~30m 程度であると考えられる。

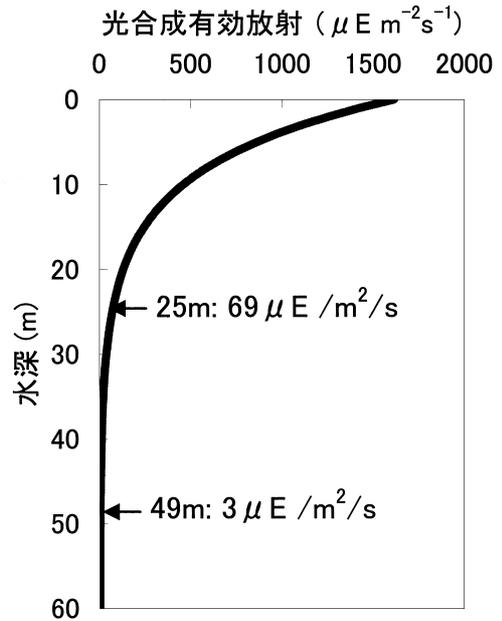


図2 光合成有効放射の鉛直分布

表1 *Alexandrium tamarense* の補償光量

場所	補償光量 ( $\mu E m^{-2} s^{-1}$ )	文献
三河湾	45	山本ら <sup>5)</sup>
広島湾	76	山本, 樽谷 <sup>6)</sup>
広島湾	43-70	Hamasaki <i>et al.</i> <sup>7)</sup>
噴火湾	4-5	宮園 <sup>8)</sup>

### 2. 水温

2 マイルの水温は 6 月から 8 月にかけて全層で上昇して、0~30m 層の水温は 9.6~19.5°C の範囲を変動した (図 3)。この傾向は、平年値が 6 月から 8 月にかけて 10.0~19.6°C の範囲を示すことに類似していた。6 マイルの水温は、6 月から 7 月の 0~30m 層で 9.0~14.8°C の範囲を変動した (図 5)。*A. tamarense* は水温 3~25°C で増殖可能であり、北海道噴火湾では、10~18°C で最も活発に増殖すると報告されている (表 2)。本調査期間における 0~30m 層の水温はすべて増殖可能水温の範囲内にあり、多くの測点が北海道噴火湾の増殖最適水温 (10~18°C) の範囲

内に含まれていることから、2マイルおよび6マイルで *A. tamarensis* は水温による増殖の制限を受けている可能性は低いと考えられる。

表2 *Alexandrium tamarensis* の増殖可能水温と最適水温

場所	増殖可能水温(°C)	最適水温(°C)	文献
Mill pond (U.S.A)	6-25	13-23	Watras <i>et al.</i> <sup>9)</sup>
大船渡湾	8-16	16	Ogata <i>et al.</i> <sup>10)</sup>
三河湾	5-20	15	山本ら <sup>5)</sup>
広島湾	10-20	15	山本, 樽谷 <sup>6)</sup>
噴火湾	3-18	10-18	宮園 <sup>8)</sup>

### 3. 栄養塩

硝酸塩濃度は2マイルで鉛直的に均一であったが、6マイルでは下層ほど高濃度になる傾向が見られた(図4)。植物プランクトン細胞の重要な性質の一つとして栄養塩

取り込みの半飽和定数が知られている。半飽和定数は、植物プランクトンの最大栄養塩取り込み速度の半分の取り込み速度を与える栄養塩濃度であり、現場環境の栄養塩濃度が半飽和定数以下ならば、植物プランクトンの栄養塩取り込みが50%以上制限されていることになり、増殖速度も制限されていると考えられる。*A. tamarensis* の硝酸塩に対する半飽和定数は1.49~2.84 $\mu\text{m}$ と報告されているが<sup>11)</sup>、調査期間中の0~30m層のリン酸塩濃度は、2マイルでは全測点で6マイルでも16測点中12測点で半飽和定数の下限値を下回っていた。よって、2マイルおよび6マイルの硝酸塩濃度は、調査期間中に*A. tamarensis* の増殖を制限していた可能性があると考えられる。

リン酸塩濃度も硝酸塩濃度と同様に2マイルでは鉛直的に均一で6マイルでは下層ほど高濃度になる傾向が見られた(図4)。リン酸塩については、濃度が0.12 $\mu\text{m}$ 以下になると増殖が律速されることが報告されている(半飽和定数は1.85~2.6 $\mu\text{m}$ )<sup>12)</sup>。調査期間中の2マイルにおける

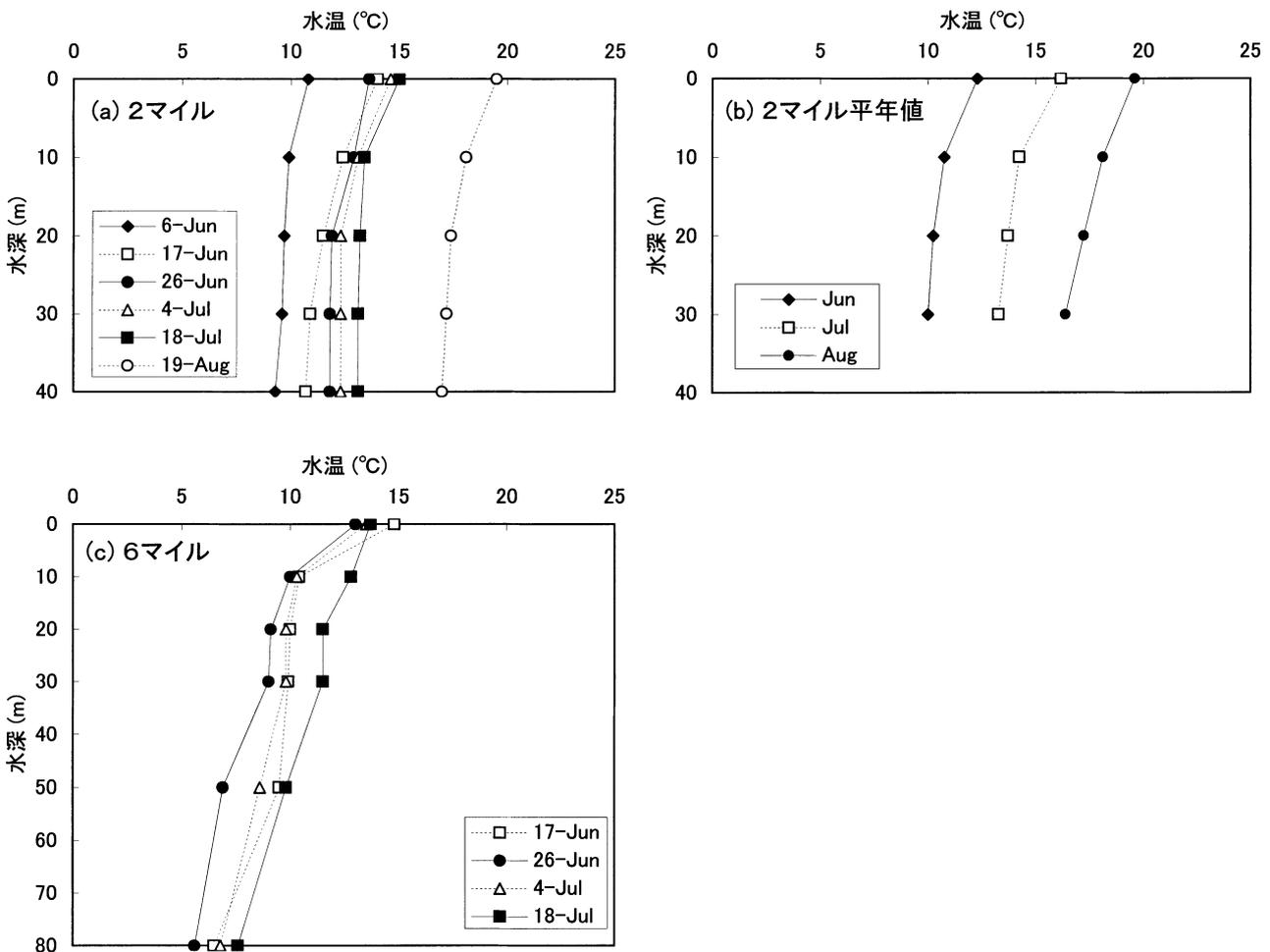


図3 2マイルおよび6マイルにおける水温の鉛直分布

0～30mのリン酸塩濃度は平均で $0.09\mu\text{M}$ （標準偏差 $\pm 0.03$ ）と、多くの測点（24測点中22測点）で増殖律速濃度以下であった（表3）。6マイルは平均で $0.16\mu\text{M}$ （標準偏差 $\pm 0.08$ ）と2マイルに比べ高かったが、増殖律速濃度に近い値を取った（表3）。以上より、2マイルおよび6マイルのリン酸塩濃度は、調査期間に*A. tamarensis*の増殖を制限していた可能性があると考えられる。

米田・戸屋<sup>13)</sup>は、1978年6月の宗谷暖流水とオホーツク海表層低塩分水の硝酸塩およびリン酸塩濃度を報告し

ている（表3）。それによると、沖合のオホーツク海表層低塩分水は、沿岸の宗谷暖流水に比べ硝酸塩およびリン酸塩濃度が高い傾向にあった。また、今回得られた2マイルおよび6マイルの値はオホーツク海表層低塩分水よりも宗谷暖流水に近い値であった。

以上の結果、6～8月の2マイルおよび6マイルは沖合のオホーツク海表層低塩分水に比べ栄養塩濃度が低く、*A. tamarensis*の増殖にとって不適であると考えられる。

表3 宗谷暖流水、オホーツク海表層低塩分水および本研究の平均栄養塩濃度

水塊および調査地点	硝酸塩 ( $\mu\text{M}$ )	リン酸塩 ( $\mu\text{M}$ )	出典
宗谷暖流水	$0.36 \pm 0.25$	$0.21 \pm 0.07$	米田, 戸屋 <sup>13)</sup>
オホーツク海表層低塩分水	$3.10 \pm 3.50$	$0.47 \pm 0.20$	米田, 戸屋 <sup>13)</sup>
2mile, 0～30m	$0.48 \pm 0.14$	$0.09 \pm 0.03$	本研究
6mile, 0～30m	$0.70 \pm 0.63$	$0.16 \pm 0.08$	本研究

±: 標準偏差

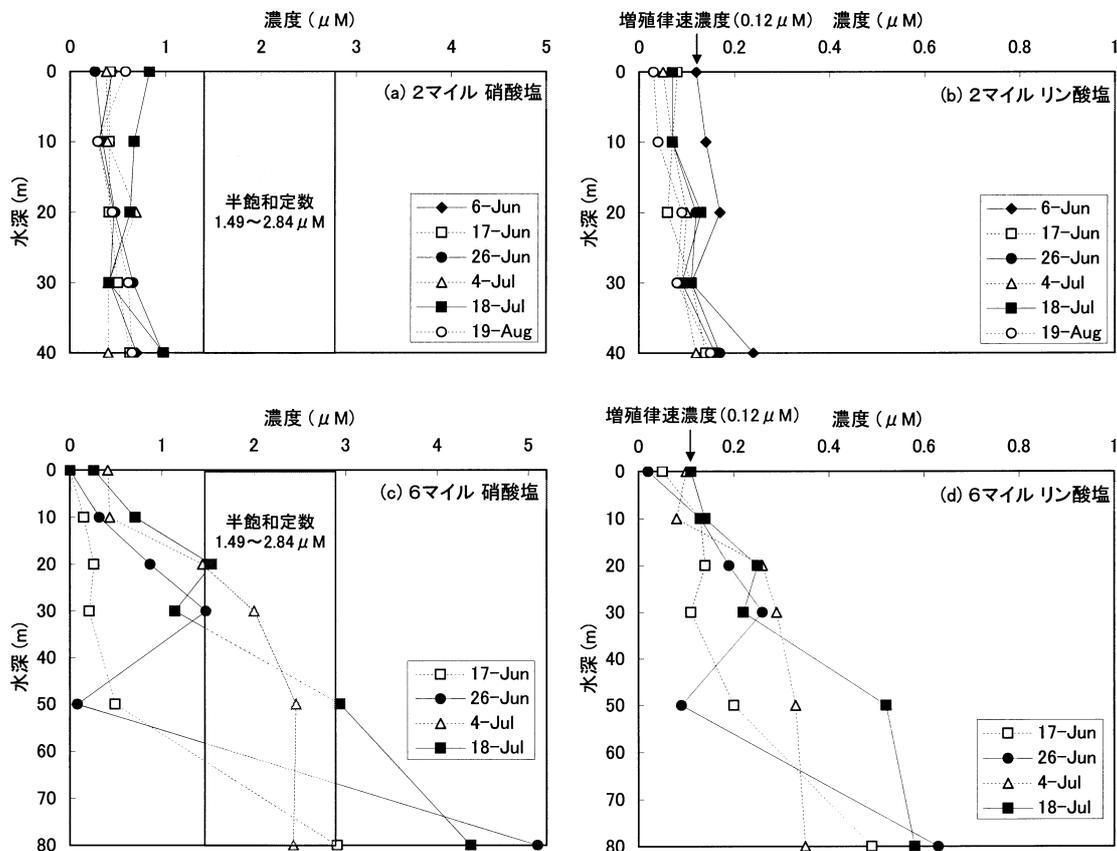


図4 2マイルおよび6マイルにおける栄養塩の鉛直分布

## 結 論

ホタテガイ地まき漁場内に設置した2マイルおよび6マイルにおける夏季の海洋環境は、光環境と水温に関しては麻痺性貝毒プランクトン*Alexandrium tamarense*の増殖を制限していないと考えられたが、栄養塩濃度に関しては少なくとも沖合に存在するオホーツク海表層低塩分水よりは低濃度であり、*A. tamarense*の増殖を制限していた可能性があることが示された。よって、北海道オホーツク海沿岸海域における麻痺性貝毒は、一般に考えられている底泥中の有毒プランクトンのシストが発芽、増殖して貝類に摂餌される機構と異なり、従来から推察されているように、オホーツク海表層低塩分水（沖合水）が沿岸に接岸して、その沖合水に多く存在する原因プランクトンの*A. tamarense*をホタテガイが摂餌することにより発生する可能性が高いと推察される。今後は、他の植物プランクトンとの競合、動物プランクトンによる捕食および海水擾乱の影響等について調査を行い、より総合的な観点から本海域における麻痺性貝毒の発生機構を明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本稿を終わるに当たり、現場調査にご協力頂いた水産技術普及指導所の廣原正康氏および齊藤譲一氏に謹んで感謝致します。また、栄養塩の分析にあたり御指導と御協力を頂いた北海道立中央水産試験場海洋環境部の澤田真由美氏に感謝の意を表します。北海道立函館水産試験場資源増殖部の宮園章主任研究員と北海道立中央水産試験場海洋環境部の嶋田宏科長には本稿をまとめるにあたり有益なコメントを頂きました、謹んで御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 西浜雄二：IIその他の海域。平成元年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書。53-90 (1989)
- 2) Poole, H.H. and Atkins W.R.G. : Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 16, 297-324 (1929)
- 3) Lalli, C.M. and Parsons T.R. : Biological Oceanography An Introduction. Tokyo, Elsevier Science Japan, 1993, 349p.
- 4) 気象庁編：海洋観測指針。東京，日本海洋学会，

1988, 428p.

- 5) 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)
- 6) 山本民次, 樽谷賢治：広島湾産有害渦鞭毛藻*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)
- 7) Hamasaki, K., Horie M. and Taguchi S. : "Growth and toxicity of *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima Bay during blooms in 1992-1995". Harmful Algae. Santiago de Compostela, Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 1998, 1998, 341-342.
- 8) 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)
- 9) Watras, C.J. and Chisholm S.W. : Regulation of growth in an estuarine clone of *Gonyaulax tamarensis* Lebour: salinity-dependent temperature responses. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 62, 25-37 (1982)
- 10) Ogata, T., Ishimaru T. and Kodama M. : Effect of water temperature and light intensity on growth rate and toxicity change in *Protogonyaulax tamarensis*. *Mar. Biol.* 95, 217-220 (1987)
- 11) MacIsaac, J.J., Grunseich G.S., Glover H.E. and Yentsch C.M. : "Light and nutrient limitation in *Gonyaulax excavate*: Nitrogen and carbon trace results". Toxic Dinoflagellate Blooms. New York, Elsevier/North-Holl, 1979, 107-110.
- 12) Yamamoto, T. and Tarutani K. : Growth and phosphate uptake kinetics of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* from Hiroshima Bay in the Seto Inland Sea, Japan. *Phycological Res.* 47, 27-32 (1999)
- 13) 米田義昭, 戸屋健治：亜寒帯海域における栄養塩の分布と構成比の特性。水産海洋研究会報。50：105-113 (1986)