

北海道，噴火湾における麻痺性貝毒原因プランクトン*Alexandrium tamarense*と環境要因，特に冬季から春季の降水量との長期変動における関係（資料）

吉田秀嗣*，金森 誠，西田芳則

北海道立総合研究機構函館水産試験場

The link between long-term changes in the abundance of the toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense*, and some environmental factors, especially precipitation from winter to spring, in Funka Bay, Hokkaido (Note)

HIDETSUGU YOSHIDA, MAKOTO KANAMORI and YOSHINORI NISHIDA

Hakodate Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, Hakodate, *Hokkaido 040-0051, Japan*

キーワード：*Alexandrium tamarense*，鉛直安定度，降水量，長期変動，噴火湾，ホタテガイ，麻痺性貝毒

*Alexandrium tamarense*は，麻痺性貝毒の原因種として知られている有毒渦鞭毛藻である（松山ら，2013）。日本沿岸では北海道宗谷岬周辺海域を北限，九州八代海を南限として分布する（板倉，2007）。*A. tamarense*のブルームは，主に春季に始まり，海底土表層中で越冬していたシストから発芽した栄養細胞の増殖によって生じる。*A. tamarense*が水中でみられる期間は，通常4ヶ月程度であり，周年みられることはない（長井，2007）。

北海道では，1978年6月の噴火湾での麻痺性貝毒によるホタテガイの毒化を契機として，1979年から北海道全域にわたって貝毒の監視体制が整備され，ホタテガイの毒力検査と貝毒プランクトンの定期調査が開始された（北海道立水産試験場，2000）。噴火湾における貝毒プランクトンの調査点のうち，30年以上の長期にわたり調査が継続されているのは虻田沖1マイルの調査点だけで，調査は1983年から2016年現在まで34年間実施されている（表1）。本稿では虻田沖1マイル調査点における*A. tamarense*出現密度の長期変動，*A. tamarense*の出現状況と海洋環境（水温，塩分，鉛直安定度）との関連性について整理し，ブルーム発生機構の解明および麻痺性貝毒による生鮮ホタテガイの出荷規制の事前予測に関する基礎資料を得ることを目的としてとりまとめた。

表1 噴火湾における1979年以後の貝毒プランクトン調査点

調査年	調査点
1979-1980	砂原沖1.5km, 礼文華沖2km
1981-1982	落部沖1.5km, 虻田沖4.4km
1983	砂原沖1, 2マイル, 落部沖1, 3, 5マイル (落部沖1.5km*), 八雲沖1, 3, 5マイル, 国縫沖1, 3, 5マイル, 礼文沖1, 3, 5マイル, 虻田沖1, 3, 5マイル, 伊達沖1, 3, 5マイル
1984	落部沖1, 3, 5マイル (落部沖1.5km*), 国縫沖1, 3, 5マイル, 虻田沖1, 3, 5マイル
1985-1999	落部沖1, 5マイル, 国縫沖1, 5マイル, 虻田沖1, 5マイル
2000-2004	八雲沖3マイル, 虻田沖1マイル
2005-	森沖3km, 八雲沖3マイル, 虻田沖1マイル

※: 落部沖1.5kmと落部沖1マイルとは，水温・塩分が同じだったことから同調査点と推察される。

材料と方法

噴火湾東部に位置する洞爺湖町の虻田沖1マイル，水深約30mの調査点（以下，虻田定点と呼ぶ。図1）における，貝毒プランクトン採集のための採水および水温・塩分の観測は，1983～1999年には深度0～30mの範囲で深度10mごとに，2000～2015年には原則深度0～25mの範囲で深度5mごとに実施され，全調査年に共通の深度は0，10，20mの3層であった（水産庁，1980；北海道，1981-2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・

北海道, 2011–2016)。全調査年に共通の調査期間は5~8月であり, 調査頻度は月1~2回であった(付表1)。

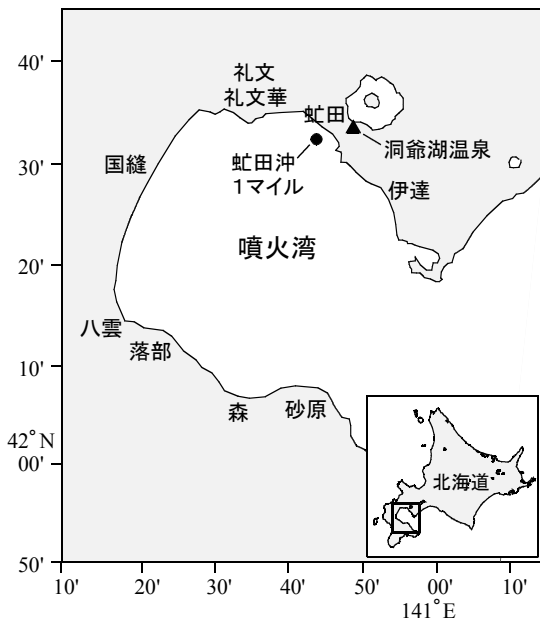


図1 貝毒プランクトン調査の虻田沖1マイル調査点(●)およびアメダスの洞爺湖温泉観測点(▲)の位置

*A. tamarense*の長期変動については, 各年の最高細胞密度(最高密度)を用いて, 宮園(2015)によるブルーム規模区分に従い, 大・中・小ブルームの発生年を把握した。大規模ブルームは「5,000細胞L⁻¹<最高密度」, 中規模ブルームは「1,000<最高密度≤5,000細胞L⁻¹」, 小規模ブルームは「100<最高密度≤1,000細胞L⁻¹」と定義されている。*A. tamarense*の出現状況と海洋環境との関連については, 1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した月や深度と海洋環境(水温, 塩分, 鉛直安定度)との関連について検討した。鉛直安定度(Sverdrup *et al.*,

1942)は, 水温, 塩分および深度から密度(UNESCO, 1981)を計算し, 次式から求めた。

$$\text{鉛直安定度} = 10^{-3} \times (\text{下層と上層の密度差}; \sigma_t) / (\text{深度の差}; m)$$

鉛直安定度の値が高いほど, 成層が発達し, 水柱が鉛直的に安定していることを示す。以上の解析に際し, 月2回の頻度で調査が行われているケースについては, *A. tamarense*のデータは2回の調査の高い値, 深度別の水温, 塩分および鉛直安定度については2回の調査の平均値を各月のデータとして扱った。

結果

*A. tamarense*の長期変動

各年の*A. tamarense*の最高密度を図2と付表2に示した。最高密度は, 20~9,400細胞L⁻¹の範囲であった。宮園(2015)によるブルーム規模区分に従うと, 大規模ブルームは1987年と1989年の2ヵ年, 中規模ブルームは1984, 1986, 1991, 2006, 2015年の5ヵ年, 小規模ブルームは1983, 1985, 1990, 1994, 1995, 2002, 2004, 2009~2011, 2013年の11ヵ年で発生した。これら最高密度からみた長期変動の特徴は, 1,000細胞L⁻¹を超える中規模以上のブルームの7割が, 1984~1991年に集中していたことである。次に, これら中規模以上のブルームに着目し, 1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した月や深度と海洋環境(水温, 塩分, 鉛直安定度)との関連について検討した。

1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*ブルーム

1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現を開始した月から, 出現時期を三つに分類した(図3, 付表3)。一つ目は5月の浅い深度(0, 10m)に1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現するケースで, 1984, 1987, 2006, 2015

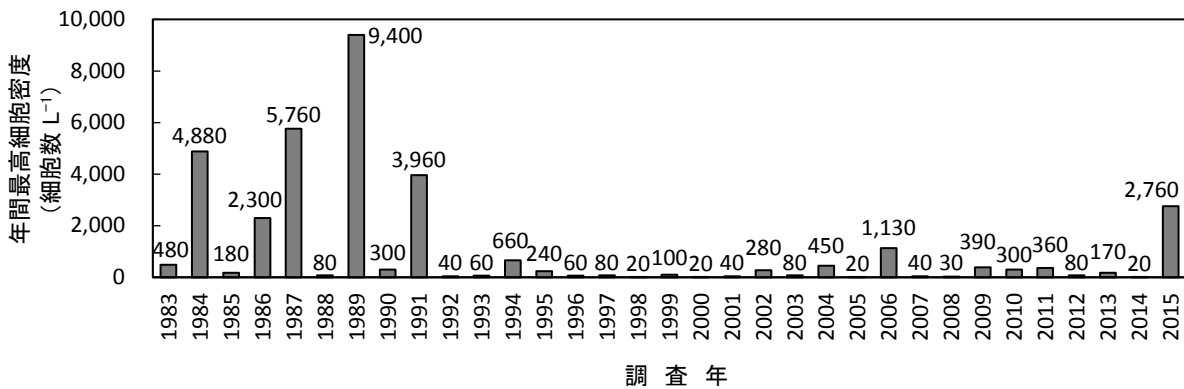


図2 虻田沖1マイル調査点における*A. tamarense*最高密度の長期変動

年でみられた。二つ目は6月から浅い深度に出現するケースで、1986年でみられた。三つ目は7月から深い深度(20, 30m)に出現するケースで、1989年、1991年でみられた。

A. tamarenseブルームが5月に出現するケース

5月に1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現するケースは、1984, 1987, 2006, 2015年の深度0mに主に認められた(図3)。5月の水温を図4と付表4に示した。噴火湾産*A. tamarense*は、培養実験では3℃以上で増殖可能であり、10~18℃で最大増殖速度を持つ(宮園, 2015)。深度0mにおける1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年の平均水温(範囲)は、9.6℃(9.5~9.7℃)であり、最大増殖速度となる水温の下限とほぼ同じであった。ただし、深度0mの水温が10℃を上回り、最大増殖速度を持つと考えられる場合でも、1,000細胞L⁻¹を超えなかった年が12ヵ年みられた。深度10mおよび20mにおける水温は、1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年とそれ以外の年とで差はみられず、最大増殖速度となる水温を下回る4.1~9.0℃の

範囲であった。

5月の塩分を図5と付表5に示した。深度0mにおける塩分は、1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年では、それ以外の年より低く、平均値(範囲)はそれぞれ28.9(27.8~29.9)と30.9(24.1~32.6)であった。深度10mおよび20mにおける塩分は、1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年とそれ以外の年とで差はみられず、31.0~33.2の範囲であった。

5月の鉛直安定度を図6と付表6に示した。噴火湾の*A. tamarense*の増殖には、鉛直的に安定した水理環境が必要である(北海道立水産試験場, 2000; 宮園, 2015)。深度0~10m間の鉛直安定度は、1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年では、それ以外の年より高く、平均値(範囲)はそれぞれ0.29×10⁻³(0.20×10⁻³~0.37×10⁻³)と0.13×10⁻³(0.03×10⁻³~0.57×10⁻³)であった。ただし、1983年と1986年の鉛直安定度はそれぞれ0.34×10⁻³, 0.57×10⁻³と高かったが、1,000細胞L⁻¹を超えなかった。特に、1983年の深度0mの水温は11.8℃と本種の増殖に好適な水温範囲にあったが、*A. tamarense*の最高密度は480細胞L⁻¹

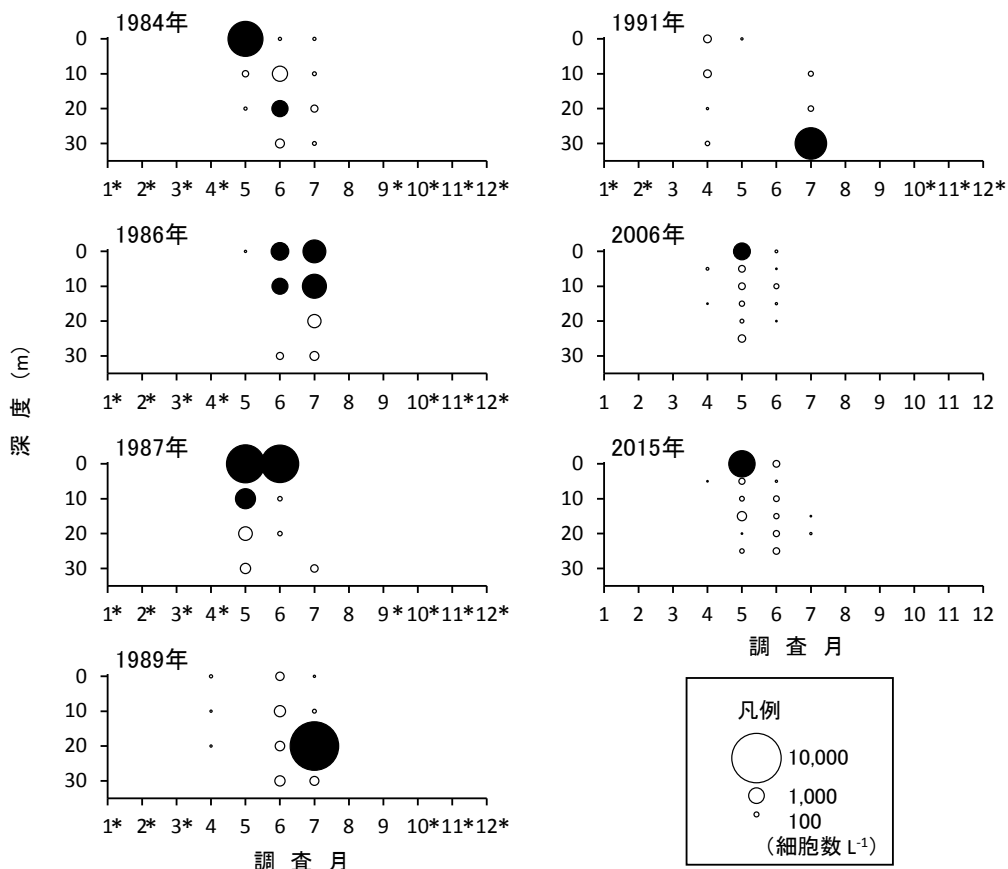


図3 虻田沖1マイル調査点における1,000細胞 L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した年の月別・深度別の*A. tamarense*最高密度
 ● : *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹を超えた場合, ○ : *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹以下だった場合を示す。* : 調査がなかった月を示す。

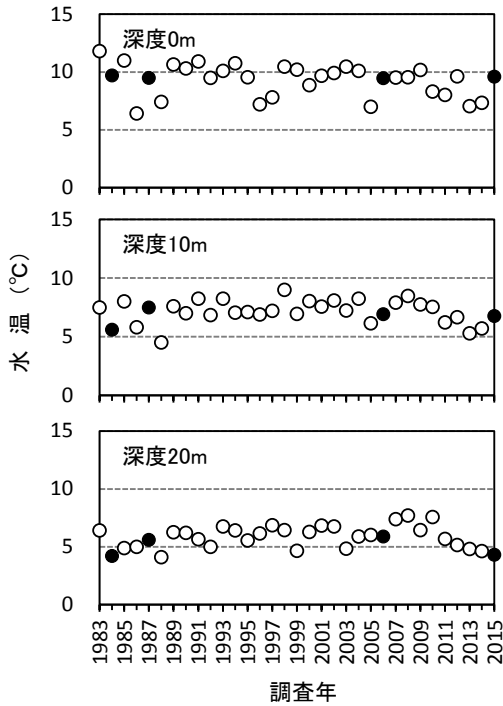


図4 虻田沖1マイル調査点における5月の深度別水温の長期変動
●: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹を超えて出現した年, ○: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹以下だった年を示す。

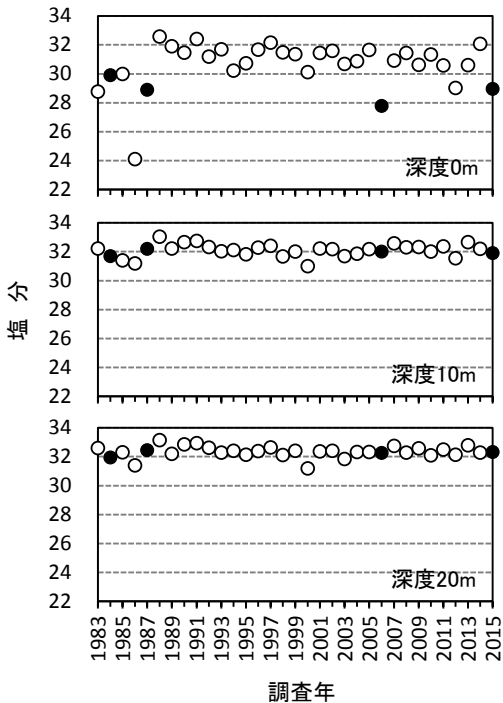


図5 虻田沖1マイル調査点における5月の深度別塩分の長期変動
●: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹を超えて出現した年, ○: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹以下だった年を示す。

にとどまった(付表2)。この原因は、月1回の調査では出現のピークを捉えられなかったことも考えられるが、詳細は不明である。1986年については、6月から1,000細胞L⁻¹を超えて出現したケースにあたるので後述する。深度10–20m間の鉛直安定度は、1,000細胞L⁻¹を超えて出現した年とそれ以外の年とで差はみられず、0.01×10⁻³~0.11×10⁻³の範囲であった。

以上のことから、5月の表層が増殖に適した水温となり、かつ深度0mの塩分が低く、鉛直的に安定した水理環境(鉛直安定度が0.20×10⁻³以上)が形成された年に、表層で*A. tamarensis*は1,000細胞L⁻¹を超えて出現する機会が多いと言える。

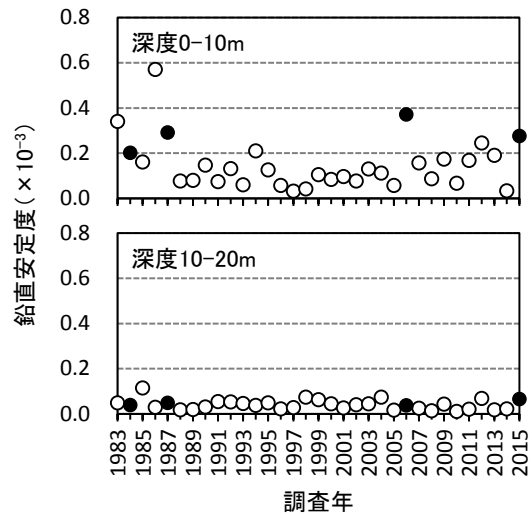


図6 虻田沖1マイル調査点における5月の深度帯別鉛直安定度の長期変動
●: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹を超えて出現した年, ○: *A. tamarensis*が1,000細胞 L⁻¹以下だった年を示す。

*A. tamarensis*ブルームが6月から出現するケース

6月から1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarensis*が出現するケースは、1986年の深度0mと10mでみられた(図3)。その1ヵ月前の5月の深度0–10m間の鉛直安定度は0.57×10⁻³で高かった(図6)。しかし、深度0mと10mの*A. tamarensis*の最高密度は低く、20細胞L⁻¹と0細胞L⁻¹であった(付表3)。5月の深度0mおよび10mの水温は、最大増殖速度となる水温10~18℃を大幅に下回る6.4℃および5.8℃であった(図4)。この時の深度0mの塩分は24.1であったことから(図5)、低水温は河川水の流入によるものである。

その後、6月には深度0mの水温は、増殖に適した15.8℃まで上昇した(図7A)。また、深度10mの水温は、

8.0℃に上昇し、最大増殖速度となる水温に近かった。さらに、6月の深度0-10m間の鉛直安定度は低下したが、 0.25×10^{-3} で高い状態であった(図7C)。

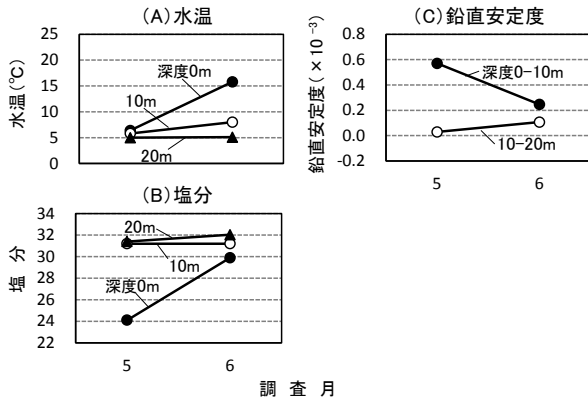


図7 虻田沖1マイル調査点における1986年5月と6月の深度別水温、塩分および深度帯別鉛直安定度の推移

以上のことから、1986年にみられたケースは、5月の鉛直安定度は高かったが、水温が低く、*A. tamarense*の増殖が抑えられ、その後、鉛直安定度が比較的高い状態で、6月表層の水温が上昇することで、*A. tamarense*は1,000細胞 L^{-1} を超えて出現した事例とみなすことができる。

A. tamarenseブルームが7月から出現するケース

7月から1,000細胞 L^{-1} を超える*A. tamarense*が出現するケースは、1989年の深度20mと1991年の深度30mでみられた(図3)。水温は5月から7月にかけて上昇傾向を示し、両年の5月の深度0m, 6月の深度0, 10, 20m, 7月の深度10, 20mおよび1991年の深度30mの水温は、10.5~17.6℃の範囲であり、最大増殖速度となる水温であった(図8A, 8D)。塩分は5月から7月にかけて、両年ともに深度にかかわらず大きな変化はみられず、31.7~33.0の範囲であった(図8B, 8E)。鉛直安定度も5月から7月にかけて、両年ともに深度にかかわらず大きな変化はみられず、 $0.02 \times 10^{-3} \sim 0.16 \times 10^{-3}$ の範囲であった(図8C, 8F)。

以上のように、1989年および1991年の場合、5月から7月にかけて塩分も鉛直安定度も大きな変化はみられず、水温は5月から増殖に適した条件であった。しかし、5~6月の*A. tamarense*の最高密度は、1989年では500細胞 L^{-1} 、1991年では20細胞 L^{-1} であり(付表2)、7月にそれぞれの年で9,400細胞 L^{-1} および3,960細胞 L^{-1} へと急激に高くなった。このケースについては、観測された海洋環境データとの関連性を見出せなかった。

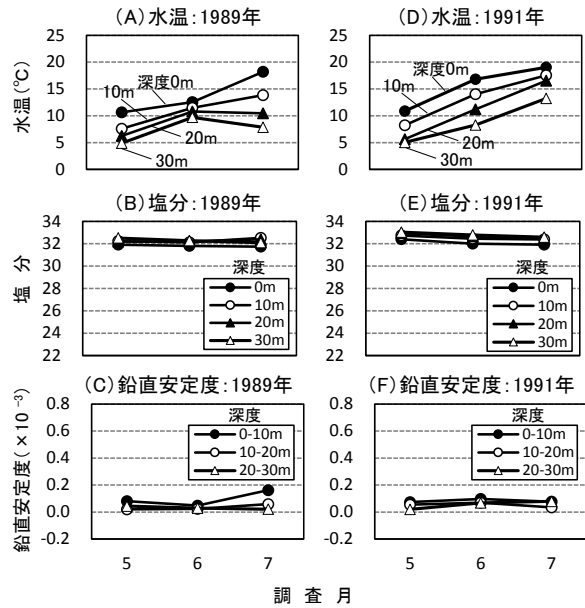


図8 虻田沖1マイル調査点における1989, 1991年5~7月の深度別水温、塩分および深度帯別鉛直安定度の推移

考 察

本稿では、噴火湾虻田沖1マイル調査点において1983~2015年に出現した*A. tamarense*の長期変動の特徴から、1,000細胞 L^{-1} を超える*A. tamarense*の出現に着目し、それが出現した月や深度と海洋環境との関連について検討した。

5月または6月から表層に1,000細胞 L^{-1} を超える*A. tamarense*が出現した年には、5月の深度0-10m間の鉛直安定度は高く、 0.20×10^{-3} 以上であった。この高い鉛直安定度は、主として深度0mの低塩分(29.9以下)がもたらす低密度により、深度10mとの密度差が大きかったことに起因する。5月の低塩分は、海面に降り注ぐ降雨と陸上に降った雪や雨が河川を通じて湾内に流入する陸水によりもたらされる。特に北海道南部の山岳地帯の融雪は3月末頃頃から始まるため、噴火湾に河川から注ぐ融雪水の流量は、4月から5月にかけて多い(芳村・工藤, 2003)。

噴火湾における*A. tamarense*のブルーム形成要因として、底層水温、表層水の鉛直安定度、降水量、日照時間、風向風速など複数の要因が考えられている(吉田ら, 2016)。このうち降水量が多いことは、表層水の塩分低下による鉛直安定度の増大をもたらす、また陸水を通じて湾内に流入する栄養塩等を増大させている可能性があり、1~4月の累積降水量の多さは、直接的にも間接的にも特に重要と考えられている。そこで、虻田定点に最も

近いアメダスの洞爺湖温泉観測点(図1)の1~4月の降水量(気象庁ホームページ, Internet web, Download from: (http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php) (2016.4.18))を図9と付表7に示した。1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した年の降水量は, 1984年では特に多い月はみられず, 1986年では4月, 1987年と2006年では1月, 2015年では3月と4月に多い傾向がみられ, 特定の月で多いことはなかった。また, 1~4月の累積降水量と5月の深度0-10m間の鉛直安定度との関係を求めた(図10)。1~4月の累積降水量が少ない年は, 5月の鉛直安定度も低い傾向にある。累積降水量が186mm未満の8カ年のうち, 7カ年は鉛直安定度が 0.20×10^{-3} 未満であり, 1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*の出現はなかった。一方, 累積降水量が186mm以上で, 鉛直安定度が 0.20×10^{-3} 以上だった年は7カ年あり, その内5カ年で1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した。しかし, 累積降水量が186mm以上でも, 鉛直安定度が 0.20×10^{-3} 未満だった年も16カ年あり, これらの年では1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*は出現しなかった。一般的に累

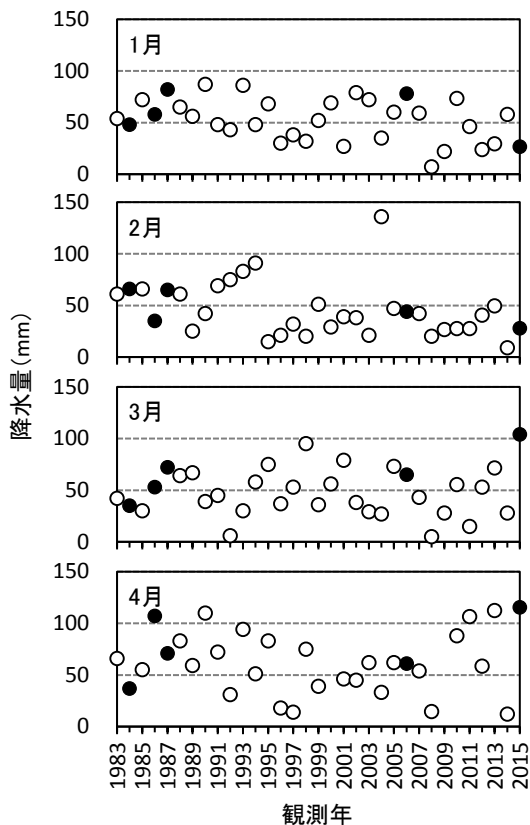


図9 洞爺湖温泉観測点における1~4月の降水量
●: *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹を超えて出現した年, ○: *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹以下だった年を示す。降水量は気象庁ホームページよりダウンロードした。2000年4月および2009年4月の降水量は資料不足のため, データとして用いなかった。

積降水量が多い年は, 湾内への淡水流入量が多く, 表層の低塩分化和それに伴う鉛直安定度の増加が起きやすいと考えられるが, これらのデータを見ると, 必ずしも累積降水量が鉛直安定度に反映されるとは限らない。この要因として, 強風により海水が攪乱され, 鉛直的に安定した水塊が崩れたこと, 気温により融雪水の湾内への流入時期, 量の違いが影響したことなどが考えられる。また, 雪は風の影響により, 10~50%が雨量計に捕捉されていないとされており(気象庁, 1998), 降雪期の降水量の観測精度の低さも降水量と鉛直安定度の関係に影響している可能性がある。噴火湾では降水量を用いたホタテガイ出荷規制の事前予測の可能性が示唆されている(吉田ら, 2016)。しかし, 今回示したとおり, 降水量が多い年でも鉛直安定度が高くない場合も多く, その場合, 1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現はみられなかったことから, 事前予測のためには, この原因を究明することは重要な課題である。

5月または6月から1,000細胞L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した年は, 1984, 1986, 1987, 2006, 2015年であった。これらの年はいずれも1~4月の累積降水量が比較的多かったことから, 1~4月の累積降水量の長期変動を把握するため, 10カ年の移動平均を求めた(図11)。その結果, 1~4月の累積降水量は減少の後, 低位で推移していた。今後も降水量が少ない環境が続けば, 1,000細胞L⁻¹を超える中規模以上のブルームは, 1980年代のように頻繁には起こらないと考えられる。しかしながら, 1980年代並の降水量を記録した2015年に最高2,760細胞L⁻¹の*A. tamarense*が出現している。*A. tamarense*のブルー

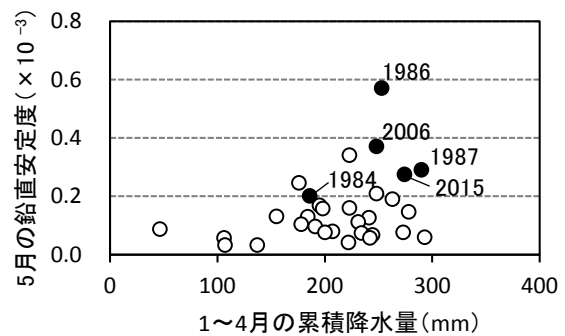


図10 洞爺湖温泉観測点における1~4月の累積降水量と蛇田沖1マイル調査点における5月の深度0-10m間の鉛直安定度との関係

●: *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹を超えて出現した年, ○: *A. tamarense*が1,000細胞 L⁻¹以下だった年を示す。数字は年号を示す。降水量は気象庁ホームページよりダウンロードした。2000年および2009年の1~4月累積降水量は資料不足のため, データとして用いなかった。

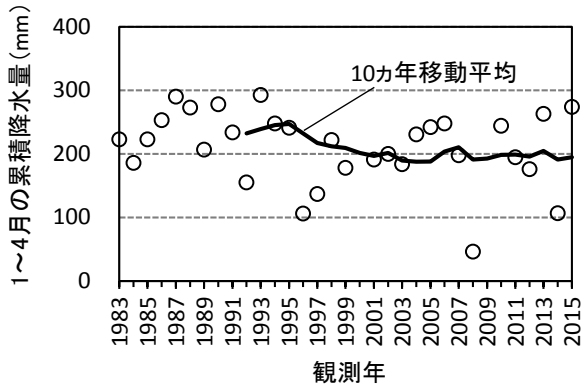


図11 洞爺湖温泉観測点における1~4月の累積降水量の長期変動
 降水量は気象庁ホームページよりダウンロードした。2000年および2009年の1~4月累積降水量は資料不足のため、データとして用いなかった。そのため、2000年または2009年の累積降水量を含む部分の移動平均は、9カ年の移動平均とし、両年の累積降水量を含む部分の移動平均は、8カ年の移動平均とした。

ム発生の変向を把握し、漁業関係者に的確な情報を提供するために、貝毒プランクトン監視の継続は重要である。

7月から1,000細胞 L^{-1} を超える*A. tamarense*が出現した年は、1989年と1991年であった。水温、塩分および鉛直安定度の海洋環境データだけでは、*A. tamarense*が1,000細胞 L^{-1} を超えて出現したことを説明できなかった。1989年7月の噴火湾の各調査点における*A. tamarense*の最高密度は、全点で1,000細胞 L^{-1} を超えており、落部沖では39,580細胞 L^{-1} が出現した(図12A)。また、室蘭と鹿

部沖を結ぶ湾口の調査点でもほとんどの調査点で1,000細胞 L^{-1} を超えていた。さらに、日高沖では154,920細胞 L^{-1} が出現した(北海道, 1990)。この時の日高沖の水温は10.6℃、塩分は32.9で親潮系水と考えられ、親潮系水は下北半島沿岸の津軽暖流水と襟裳岬沖合の黒潮系暖水塊の間を南下していた。噴火湾外の日高沖での細胞密度が湾内と比較して桁違いに高く、親潮系水の一部が噴火湾に流入するとともに*A. tamarense*が運ばれてきたことも考えられる。1991年7月の虻田定点では3,960細胞 L^{-1} の*A. tamarense*が出現した。しかし、噴火湾の他の調査点では1,000細胞 L^{-1} を超えていなかった(図12B)。湾口では室蘭沖の調査点で24,600細胞 L^{-1} と高かったことから、*A. tamarense*は室蘭沖から虻田定点に流入したことも考えられる。ただし、当時の海流の情報を得ていないため、これらの年の*A. tamarense*の高密度の出現を湾外から湾内への流入と断定することはできない。

7月の1,000細胞 L^{-1} を超える*A. tamarense*の出現は、1992年以後2015年まで24年間起きていない。しかし、1989年のように噴火湾から日高沖の道南太平洋で、*A. tamarense*が数万から十数万細胞 L^{-1} 出現した場合、噴火湾を含め広範囲の海域で二枚貝類の出荷に多大な影響を及ぼす可能性があるため、この海域の貝毒プランクトンのモニタリングは非常に重要だと思われる。

宮園(2015)は、噴火湾西部海域に位置する八雲町沖における1981~2012年の調査(1981~1992年は落部沖、1993~2012年は八雲沖での調査; 図1参照)では、1,000細胞 L^{-1} を超える中規模以上のブルームは、1983, 1984, 1986, 1987, 1989, 1994, 1995年に発生していることを

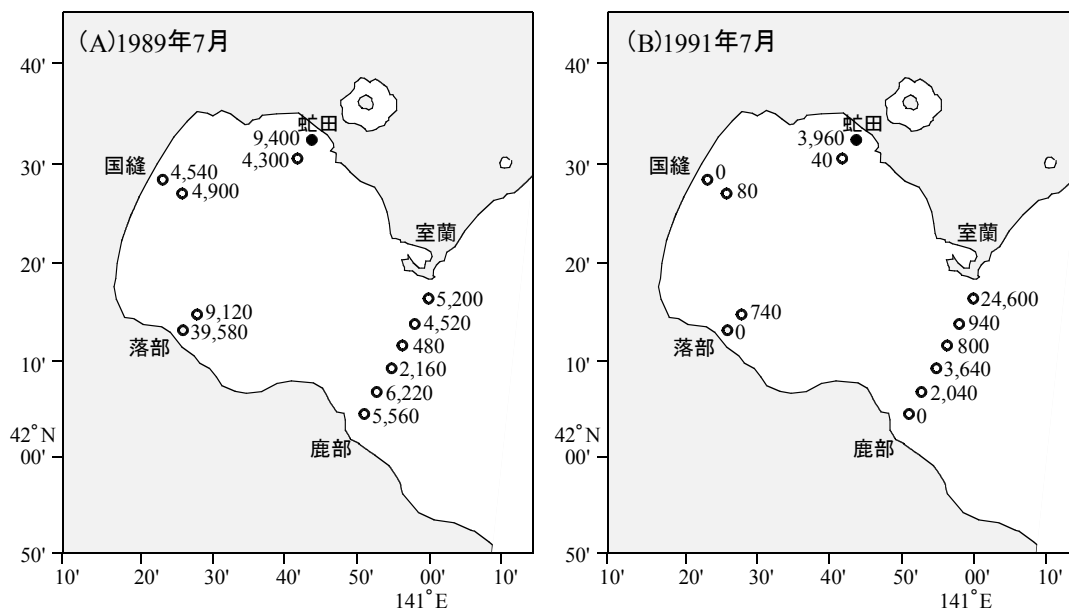


図12 噴火湾および湾口の調査点における1989, 1991年7月の*A. tamarense*最高密度(細胞数 L^{-1})

示した。また、冬季（1～2月）の降水量の長期的減少傾向に伴う春季（4月）の表層塩分の上昇傾向が水柱の鉛直安定度を低下させ、中規模以上のブルームの発生頻度低下の一因となった可能性を示唆した。本稿により噴火湾東部海域でもほぼ同じ結果が得られたことから、噴火湾東部海域においても、同様の機構によって中規模以上のブルームの発生頻度が低下したものと推察される。

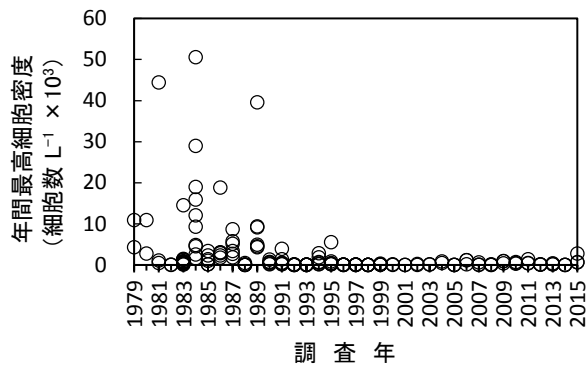


図13 噴火湾における*A. tamarense*最高密度の長期変動

最後に、噴火湾全体の長期変動を把握するため、1979～2015年に表1で示した各調査点に出現した*A. tamarense*の最高密度を図13、付表8および9に整理した。1,000細胞L⁻¹を超える中規模以上のブルームは、1980年代から1990年代前半に多くみられ、細胞密度は1984年に落部沖で出現した50,540細胞L⁻¹を最高に1980年代で高かった。近年は2006、2011、2015年の約5年に1度の頻度で発生している。

噴火湾では*A. tamarense*が100細胞L⁻¹以上出現した年には、北海道が独自に設定しているホタテガイの出荷自粛規制値（20MU・g⁻¹—中腸腺）を超えて毒化する頻度が高くなる（吉田ら、2016）。100細胞L⁻¹を超える小規模以上のブルームは、1979年以後37年間の内、29年（約78%）で発生している状況にある。今後も*A. tamarense*ならびに麻痺性毒性値の監視を継続し、結果を速報して、養殖ホタテガイ等二枚貝類の計画的出荷に役立てながら、噴火湾における麻痺性貝毒の発生予察手法を検討することが必要である。

謝 辞

北海道貝毒プランクトンモニタリング調査に携わった水産技術普及指導所および水産試験場の職員の皆様に感謝いたします。

引用文献

- 地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道. 平成22～27年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書. Internet web. Download from: (<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/kankyou/kaidoku/j12s220000000dgv.html> (2011-2016)) (2016.4.1)
- 北海道. 昭和55年度～平成16年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書. 札幌. 1981～2006.
- 北海道. 平成17～21年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書. Internet web. Download from: (<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/kankyou/kaidoku/j12s220000000dgv.html> (2007-2010)) (2016.4.1)
- 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 2000; 3: 1-69.
- 板倉 茂. 7. 現場海域における*Alexandrium*属の個体群動態. 「貝毒研究の最先端—現状と展望 (今井一郎, 福代康夫, 広石伸互編)」恒星社厚生閣, 東京. 2007; 76-84.
- 気象庁. 気象観測の手引き. Internet web. Download from: (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/tebiki.pdf (1998)) (2016.4.1)
- 松山幸彦, 上田拓史, 上野俊士郎, 久保田信, 鈴木紀毅, 木元克典, 佐野明子, 副島美和, 濱岡秀樹, 中島篤巳. 「日本の海産プランクトン図鑑 第2版 (末友靖隆編)」共立出版, 東京. 2013.
- 宮園 章. 北海道, 噴火湾における麻痺性貝毒原因プランクトン, *Alexandrium tamarense*の生態学的研究 (学位論文). 北水試研報 2015; 87: 1-70.
- 長井 敏. 8. *Alexandrium*属の個体群構造と分布拡大要因の解明. 「貝毒研究の最先端—現状と展望 (今井一郎, 福代康夫, 広石伸互編)」恒星社厚生閣, 東京. 2007; 85-99.
- 水産庁. 昭和54年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書 (東北・北海道ブロック). 東京. 1980; 194pp.
- Sverdrup HU, Johnson MW, Fleming RH. *The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology*. Prentice-Hall, New York, 1942.
- UNESCO. Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards. *UNESCO Technical Papers in Marine Science* 1981; 36: 25pp.
- 吉田秀嗣, 金森 誠, 佐藤政俊. 北海道, 噴火湾におけ

る麻痺性貝毒原因プランクトン*Alexandrium tamarense*のブルーム形成要因について(資料). 北水試研報 2016; 89: 27-40.

芳村 毅, 工藤 勲. 噴火湾における河川からの栄養塩負荷量およびそれらが湾内の基礎生産に与える影響. 海の研究 2003; 12: 185-193.

付表1 虻田沖1マイル調査点における月別の調査回数

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
1983					1		2	1					4
1984					1	1	2	1					5
1985					1	1	2	1	1				6
1986					1	1	2	1	1				6
1987					1	1	2	1					5
1988					1	1	2	1	1				6
1989				2	2	2	2	1	1				10
1990			2	2	2	2	2	1	1				12
1991			1	2	2	2	2	1	1				11
1992			1	2	2	2	2	1	1				11
1993			1	2	2	2	2	1	1	1			12
1994			1	1	2	2	2	1	1				10
1995			1	1	2	2	2	1	1				10
1996				1	2	2	2	1	1				9
1997			1	2	2	2	2	1	1				11
1998			1	2	2	2	2	1					10
1999			1	2	2	2	2	1					10
2000			1	2	2	2	2	1					10
2001			1	2	2	2	2	1					10
2002			1	2	2	2	2	1					10
2003			1	2	2	2	2	1					10
2004			1	2	2	2	2	1					10
2005			1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	19
2006	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
2007	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	23
2008	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	25
2009	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	19
2010	1	1	1	2	2	2	2		1	1	1	1	15
2011	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	16
2012	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	16
2013	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	16
2014	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	16
2015	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	16

注) 空欄は調査がないことを示す。

付表2 虻田沖1マイル調査点における月別の*A. tamarense*最高密度単位:細胞数 L⁻¹

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年最高
1983					480		50	0					480
1984					4,880	1,040	200	0					4,880
1985					0	160	180	0	0				180
1986					20	1,240	2,300	0	0				2,300
1987					5,760	5,600	220	0					5,760
1988					0	0	80	0	0				80
1989				40	0	500	9,400	0	0				9,400
1990			180	100	160	80	300	0	0				300
1991			0	240	20	0	3,960	0	0				3,960
1992			40	20	20	0	0	0	0				40
1993			0	60	0	0	20	0	20	0			60
1994			0	0	660	240	0	0	0				660
1995			0	0	240	240	80	0	0				240
1996				20	60	20	20	0	0				60
1997			0	20	0	0	80	0	0				80
1998			20	0	20	0	0	0					20
1999			0	60	20	100	0	0					100
2000			0	20	0	0	0	0					20
2001			0	0	40	0	40	0					40
2002			0	20	0	280	0	0					280
2003			0	20	60	80	40	0					80
2004			20	420	450	320	190	0					450
2005			10	10	10	20	0	0	0	0	0	0	20
2006	0	0	0	30	1,130	100	0	0	0	0	0	0	1,130
2007	20	20	10	40	0	20	0	0	0	0	0	0	40
2008	0	10	30	10	10	10	0	30	0	0	0	0	30
2009	0	0	10	240	390	70	0	0	0	0	0	0	390
2010	0	0	0	10	300	0	0	0	0	0	0	0	300
2011	0	0	0	10	150	360	60	0	0	0	0	0	360
2012	0	0	0	0	80	20	30	0	0	0	0	0	80
2013	0	10	0	30	80	170	0	0	0	0	0	0	170
2014	0	20	10	0	20	10	0	0	0	0	0	0	20
2015	0	0	0	10	2,760	180	20	0	0	0	0	0	2,760

注) 空欄は調査がないことを示す。

付表3 虻田沖1マイル調査点における1,000細胞 L⁻¹を超える*A. tamarense*が出現した年の月別・深度別の*A. tamarense*最高密度

		単位:細胞数 L ⁻¹											
年	深度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1984	0m					4,880	40	40	0				
	10m					160	920	60	0				
	20m					40	1,040	200	0				
	30m					0	320	60	0				
1986	0m					20	1,240	2,080	0	0			
	10m					0	1,020	2,300	0	0			
	20m					0	0	700	0	0			
	30m					0	200	320	0	0			
1987	0m					5,760	5,600	0	0				
	10m					1,600	80	0	0				
	20m					740	80	0	0				
	30m					420	0	220	0				
1989	0m				40	0	280	20	0	0			
	10m				20	0	500	60	0	0			
	20m				20	0	360	9,400	0	0			
	30m				0	0	420	320	0	0			
1991	0m			0	240	20	0	0	0	0			
	10m			0	240	0	0	100	0	0			
	20m			0	20	0	0	120	0	0			
	30m			0	80	0	0	3,960	0	0			
2006	0m	0	0	0	0	1,130	30	0	0	0	0	0	0
	5m	0	0	0	30	180	10	0	0	0	0	0	0
	10m	0	0	0	0	180	100	0	0	0	0	0	0
	15m	0	0	0	10	110	20	0	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	60	10	0	0	0	0	0	0
	25m	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0
2015	0m	0	0	0	0	2,760	180	0	0	0	0	0	0
	5m	0	0	0	10	150	20	0	0	0	0	0	0
	10m	0	0	0	0	90	130	0	0	0	0	0	0
	15m	0	0	0	0	340	110	10	0	0	0	0	0
	20m	0	0	0	0	10	150	20	0	0	0	0	0
	25m	0	0	0	0	80	170	0	0	0	0	0	0

注)空欄は調査がないことを示す。

付表4 虻田沖1マイル調査点における5~7月の深度別水温

年	単位:°C								
	5月			6月			7月		
	0m	10m	20m	0m	10m	20m	0m	10m	20m
1983	11.8	7.5	6.4				17.7	13.8	13.2
1984	9.7	5.6	4.2	15.8	14.2	10.1	18.2	14.0	13.4
1985	11.0	8.0	4.9	15.0	11.8	11.2	19.2	14.5	11.7
1986	6.4	5.8	5.0	15.8	8.0	5.1	14.8	14.0	13.2
1987	9.5	7.5	5.6	16.4	12.1	5.1	20.0	17.8	16.0
1988	7.4	4.5	4.1	15.4	9.8	6.5	17.2	16.4	14.5
1989	10.7	7.6	6.3	12.6	11.5	10.8	18.2	13.9	10.5
1990	10.3	7.0	6.2	14.8	9.2	6.0	19.9	17.3	15.2
1991	10.9	8.3	5.7	16.8	14.1	11.2	19.1	17.6	16.6
1992	9.5	6.9	5.0	14.8	11.7	11.1	18.7	17.6	10.4
1993	10.1	8.3	6.8	12.2	9.8	10.1	18.0	14.0	11.5
1994	10.8	7.1	6.4	15.6	14.7	9.9	18.9	15.9	12.5
1995	9.6	7.1	5.6	13.5	11.9	9.5	17.5	14.2	11.5
1996	7.2	6.9	6.2	14.0	11.7	9.8	16.9	14.3	12.3
1997	7.8	7.2	6.9	10.6	9.4	9.0	16.3	9.5	7.2
1998	10.5	9.0	6.5	12.9	12.1	10.4	19.3	16.7	13.1
1999	10.2	7.0	4.7	17.7	12.5	10.2	18.6	16.7	14.5
2000	8.8	8.0	6.3	16.0	12.0	5.9	19.2	15.2	12.7
2001	9.7	7.6	6.8	19.4	9.3	4.9	19.1	14.9	10.5
2002	9.9	8.1	6.8	14.4	11.4	9.5	17.7	15.1	12.3
2003	10.5	7.2	4.8	14.9	10.5	6.5	16.8	15.2	14.0
2004	10.1	8.2	5.9	15.5	10.0	6.0	18.2	14.9	11.0
2005	7.0	6.1	6.0	13.1	10.8	6.1	18.9	15.4	11.5
2006	9.5	6.9	5.9	14.2	9.6	7.9	17.5	14.3	12.4
2007	9.5	7.9	7.4	17.1	12.7	9.2	18.0	15.3	12.8
2008	9.5	8.5	7.7	11.6	9.4	8.3	18.9	15.1	8.5
2009	10.2	7.8	6.4	13.8	12.6	11.1	18.1	14.9	12.7
2010	8.3	7.5	7.6	16.4	8.4	6.6	21.2	12.7	7.5
2011	8.0	6.2	5.7	14.9	9.5	7.5	18.8	16.4	8.2
2012	9.6	6.7	5.2	13.2	11.9	8.8	21.2	15.5	13.9
2013	7.1	5.3	4.8	15.3	12.1	7.9	20.0	16.9	13.1
2014	7.3	5.7	4.6	14.3	9.6	8.1	18.9	12.9	8.2
2015	9.6	6.8	4.3	14.3	10.6	6.3	18.8	14.0	9.5

注) 空欄は調査がないことを示す。

付表5 虻田沖1マイル調査点における5~7月の深度別塩分

年									
	5月			6月			7月		
	0m	10m	20m	0m	10m	20m	0m	10m	20m
1983	28.8	32.2	32.6				27.7	31.8	31.9
1984	29.9	31.7	32.0	30.8	31.8	31.6	28.1	32.1	32.6
1985	30.0	31.4	32.3	31.5	32.0	32.0	29.6	32.4	32.7
1986	24.1	31.2	31.4	29.9	31.2	32.0	30.8	30.9	31.0
1987	28.9	32.2	32.5	31.6	31.8	32.6	31.3	32.6	32.8
1988	32.6	33.0	33.2	30.0	32.1	32.7	31.3	31.6	32.1
1989	31.9	32.2	32.2	31.8	32.1	32.2	31.7	32.5	32.4
1990	31.5	32.7	32.9	31.6	32.4	32.8	32.2	32.6	32.8
1991	32.4	32.7	32.9	32.0	32.5	32.7	31.9	32.4	32.5
1992	31.2	32.3	32.6	31.2	31.9	32.0	31.5	31.8	32.4
1993	31.7	32.0	32.3	30.0	32.0	32.2	31.2	31.7	31.9
1994	30.2	32.1	32.4	31.4	31.9	32.0	31.5	32.0	32.7
1995	30.7	31.8	32.1	30.5	31.3	32.1	29.5	31.3	31.8
1996	31.7	32.3	32.4	31.2	31.8	32.0	30.9	31.4	31.8
1997	32.2	32.4	32.6	31.8	31.9	32.0	31.4	32.2	32.6
1998	31.5	31.7	32.1	31.1	31.4	31.6	30.7	31.2	31.7
1999	31.4	32.0	32.4	30.3	31.8	32.7	30.7	32.3	32.7
2000	30.1	31.0	31.2	30.3	31.1	32.2	28.1	31.9	32.6
2001	31.5	32.2	32.4	29.0	32.2	32.6	31.2	32.0	33.0
2002	31.6	32.2	32.4	31.5	32.1	32.3	27.5	31.9	32.1
2003	30.7	31.7	31.8	31.4	31.7	32.1	31.1	31.8	32.1
2004	30.9	31.9	32.3	25.1	31.9	32.5	31.3	31.8	32.7
2005	31.7	32.2	32.3	31.2	31.8	32.2	31.2	31.7	32.0
2006	27.8	32.0	32.3	28.1	31.8	32.3	30.1	31.4	31.8
2007	30.9	32.6	32.8	31.3	32.1	32.7	32.1	32.5	32.8
2008	31.4	32.3	32.3	31.8	32.2	32.5	31.5	32.2	32.5
2009	30.6	32.3	32.6	31.6	32.0	31.2	30.5	31.9	32.4
2010	31.3	32.0	32.1	26.3	31.8	32.2	30.4	31.6	32.5
2011	30.6	32.4	32.5	31.4	32.0	32.3	30.5	31.6	32.3
2012	29.0	31.6	32.1	31.1	31.4	31.8	31.6	32.5	33.3
2013	30.6	32.7	32.8	28.8	31.7	32.3	31.4	31.9	32.5
2014	32.1	32.2	32.3	30.6	31.9	32.0	31.0	31.7	32.0
2015	29.0	31.9	32.3	30.7	31.8	32.1	30.9	31.9	32.4

注) 空欄は調査がないことを示す。

付表6 虻田沖1マイル調査点における5~7月の深度帯別鉛直安定度

年	$(\times 10^{-3})$					
	5月		6月		7月	
	0-10m	10-20m	0-10m	10-20m	0-10m	10-20m
1983	0.34	0.05			0.40	0.03
1984	0.20	0.04	0.12	0.07	0.40	0.06
1985	0.16	0.11	0.11	0.02	0.48	0.09
1986	0.57	0.03	0.25	0.11	0.03	0.02
1987	0.29	0.05	0.11	0.17	0.16	0.06
1988	0.08	0.02	0.28	0.10	0.04	0.08
1989	0.08	0.02	0.05	0.02	0.16	0.06
1990	0.15	0.03	0.16	0.09	0.10	0.07
1991	0.07	0.05	0.10	0.07	0.08	0.03
1992	0.13	0.05	0.12	0.02	0.05	0.19
1993	0.06	0.05	0.22	0.00	0.08	0.04
1994	0.21	0.04	0.06	0.09	0.12	0.13
1995	0.13	0.05	0.11	0.14	0.21	0.10
1996	0.06	0.02	0.09	0.05	0.11	0.07
1997	0.03	0.03	0.04	0.02	0.20	0.07
1998	0.04	0.07	0.04	0.05	0.10	0.11
1999	0.10	0.06	0.23	0.12	0.17	0.08
2000	0.08	0.04	0.14	0.19	0.38	0.11
2001	0.10	0.03	0.46	0.09	0.17	0.16
2002	0.08	0.04	0.11	0.06	0.40	0.07
2003	0.13	0.04	0.11	0.09	0.10	0.05
2004	0.11	0.07	0.63	0.11	0.12	0.15
2005	0.06	0.02	0.10	0.10	0.13	0.11
2006	0.37	0.04	0.38	0.07	0.17	0.07
2007	0.16	0.03	0.16	0.11	0.09	0.07
2008	0.09	0.01	0.08	0.04	0.15	0.14
2009	0.17	0.04	0.06	-0.04	0.19	0.08
2010	0.07	0.01	0.58	0.06	0.29	0.16
2011	0.17	0.02	0.15	0.06	0.14	0.22
2012	0.25	0.07	0.05	0.09	0.21	0.10
2013	0.19	0.02	0.29	0.12	0.12	0.14
2014	0.03	0.02	0.19	0.04	0.19	0.11
2015	0.28	0.07	0.16	0.09	0.19	0.12

注)空欄は調査がないことを示す。

付表7 洞爺湖温泉観測点における1~4月の降水量
降水量は気象庁ホームページよりダウンロードした。
単位:mm

年	1月	2月	3月	4月	累計
1983	54	61	42	66	223
1984	48	66	35	37	186
1985	72	66	30	55	223
1986	58	35	53	107	253
1987	82	65	72	71	290
1988	65	61	64	83	273
1989	56	25	67	59	207
1990	87	42	39	110	278
1991	48	69	45	72	234
1992	43	75	6	31	155
1993	86	83	30	94	293
1994	48	91	58	51	248
1995	68	15	75	83	241
1996	30	21	37	18	106
1997	38	32	53	14	137
1998	32	20	95	75	222
1999	52	51	36	39	178
2000	69	29	56		
2001	27	39	79	46	191
2002	79	38	38	45	200
2003	72	21	29	62	184
2004	35	136	27	33	231
2005	60	47	73	62	242
2006	78	44	65	61	248
2007	59	42	43	54	198
2008	7	20	5	15	47
2009	22	27	28		
2010	74	28	56	88	245
2011	46	28	15	107	195
2012	24	41	53	59	176
2013	30	50	72	113	263
2014	58	9	28	12	107
2015	27	28	104	116	274

注)2000年4月および2009年4月は資料不足のため、データとして用いなかった。

付表8 噴火湾西部海域の各調査点における*A. tamarense*最高密度単位:細胞数 L⁻¹

年	砂原沖 1.5km	砂原沖 1マイル	砂原沖 2マイル	森沖 3km	落部沖 1.5km	落部沖 1マイル	落部沖 3マイル	落部沖 5マイル	八雲沖 1マイル	八雲沖 3マイル	八雲沖 5マイル	国縫沖 1マイル	国縫沖 3マイル	国縫沖 5マイル
1979	4,340													
1980	10,940													
1981					1,100									
1982					60									
1983		360	560			1,225	1,440	1,425	325	260	775	600	920	500
1984						50,540	15,880	28,960				12,060	9,300	4,520
1985						160		1,360				1,000		2,280
1986						2,880		1,760				2,980		18,820
1987						3,360		1,880				2,680		8,720
1988						500		0				120		20
1989						9,120		39,580				4,540		4,900
1990						720		540				340		1,300
1991						540		280				420		1,420
1992						60		0				180		0
1993						60		60				40		40
1994						2,820		680				1,820		560
1995						480		240				880		5,540
1996						40		60				60		20
1997						60		40				100		40
1998						20		20				0		20
1999						80		140				80		300
2000											140			
2001											40			
2002											0			
2003											180			
2004											880			
2005				0							40			
2006				1,180							200			
2007				100							630			
2008				150							30			
2009				970							960			
2010				460							730			
2011				1,400							470			
2012				160							60			
2013				420							150			
2014				20							20			
2015				690							640			

注)空欄は調査がないことを示す。

付表9 噴火湾東部海域の各調査点における*A. tamarense*最高密度単位:細胞数 L⁻¹

年	礼文華沖 2km	礼文沖 1マイル	礼文沖 3マイル	礼文沖 5マイル	虻田沖 4.4km	虻田沖 1マイル	虻田沖 3マイル	虻田沖 5マイル	伊達沖 1マイル	伊達沖 3マイル	伊達沖 5マイル
1979	10,900										
1980	2,740										
1981					44,400						
1982					0						
1983		660	14,520	625		480	1,320	350	440	120	400
1984						4,880	2,540	1,600			
1985						180		3,380			
1986						2,300		3,080			
1987						5,760		5,140			
1988						80		0			
1989						9,400		4,300			
1990						180		740			
1991						3,960		140			
1992						20		0			
1993						60		40			
1994						240		140			
1995						240		200			
1996						60		20			
1997						80		100			
1998						20		0			
1999						100		100			
2000						20					
2001						40					
2002						280					
2003						80					
2004						450					
2005						20					
2006						1,130					
2007						40					
2008						30					
2009						390					
2010						300					
2011						360					
2012						80					
2013						170					
2014						20					
2015						2,760					

注)空欄は調査がないことを示す。