

北海道，噴火湾東部海域における麻痺性貝毒原因プランクトン *Alexandrium tamarense* の出現と環境要因，特に河川流量との関係について（資料）

吉田秀嗣*，金森 誠

北海道立総合研究機構函館水産試験場

Link between abundance of toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense*, and certain environmental factors, particularly river runoff, in eastern part of Funka Bay, Hokkaido (Note)

HIDETSUGU YOSHIDA* and MAKOTO KANAMORI

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

キーワード： *Alexandrium tamarense*，鉛直安定度，河川流量，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）。北海道の南西部に位置する噴火湾では，海底土中で越冬していたシストから発芽した *A. tamarense* は，1～4月に海中に出現し始め，4～6月に出現のピークを迎え，8月には消失する。また，年間最高細胞密度は，深度0mの表層で見られることが多い（吉田ら，2016）。

吉田ら（2016）は，噴火湾で *A. tamarense* が100細胞L⁻¹以上出現する年の特徴として，降水量が多く，表層での鉛直安定度が高いことを示した。降水量が多いことは，融雪水および降雨が河川を通じて湾内へ流入する淡水量も多いことを示唆し，塩分低下により鉛直安定度を増大させると考えられている。ただし，湾内に流入する河川流量については把握されておらず，河川流量と *A. tamarense* 発生との関係把握が重要課題とされている。また，吉田・金森（2017）は，噴火湾東部海域（豊浦町から室蘭市の海域）では麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制は，*A. tamarense* が110細胞L⁻¹以上出現した年に高い頻度で措置されることを示した。

本稿では，噴火湾東部海域において，*A. tamarense* 110細胞L⁻¹以上の出現と河川流量等との関係を整理し，河川流量等のデータを用いて麻痺性貝毒によるホタテガイ出荷規制を事前に予測できるか否かを検討するための基

礎資料を得ることを目的とした。

材料と方法

解析には，1992～2013年3～6月の *A. tamarense* 細胞密度，水温，塩分，透明度，河川流量，気温，最深積雪，降水量および日照時間のデータを用いた。*A. tamarense* 細胞密度，水温，塩分，透明度については，噴火湾東部海域で唯一貝毒プランクトン調査が継続されている洞爺湖町沖1マイル，水深約30mの調査点（図1）で月1～2回実施された結果を旬ごとに整理した（北海道，1993–2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道，2011–2014）。ただし，透明度については1999年以前のデータは無かった。また，水温，塩分および深度から密度（UNESCO，1981）を計算し，次式から鉛直安定度（Sverdrup *et al.*, 1942）を求めた。

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

鉛直安定度の値は高いほど，成層が発達し，水柱が鉛直的に安定していることを示す。なお，本稿では鉛直安定度の増加，減少の他に，調査間で 0.03×10^{-3} 以内の増減を「小変動」とした。

河川流量については，^{スッキベツ}貫気別川と^{オサル}長流川（図1）の観測データが得られた（社団法人北海道土木協会，1993–2009；北海道ホームページ，Internet web, Download

from: (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/sbs/ijinopeiji.htm>) (2016.12.1))。両河川ともに2級河川であるが、観測所は貫気別川では河口から1.0kmの地点にあるのに対し、長流川では29.4kmと離れていることから、長流川の流量は湾内へ流入する流量とは異なっている可能性が高い。本稿では、淡水の供給量の指標として、長流川の観測地の信頼性は低いので、貫気別川の観測地を使用した。

気象に関する気温、最深積雪、降水量および日照時間については、大岸観測所(図1)におけるアメダスデータを用いた(気象庁ホームページ, Internet web, Download from: (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obs-dl/index.php>) (2017.2.1~2017.8.21))。これら河川流量、海洋環境および気象データについて、*A. tamarensis*が110細胞L⁻¹以上出現した年と出現しなかった年の特徴を整理した。なお、本稿では1992~2013年の平均値を平年と表現する。

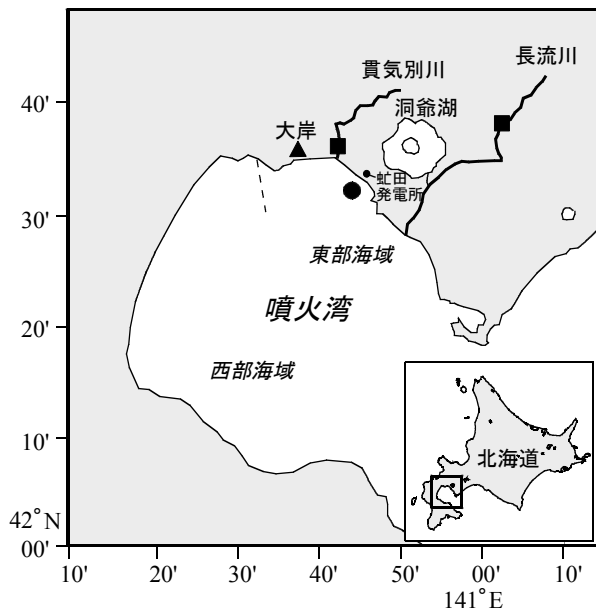


図1 貝毒プランクトン調査点(●), 河川流量観測所(■)およびアメダス大岸観測所(▲)の位置
破線は噴火湾東部と西部海域の境界を示す。

結果と考察

*Alexandrium tamarensis*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した時期、深度、水温および塩分 1992~2013年の22カ年のうち、9カ年で*A. tamarensis*が110細胞L⁻¹以上(110~1,130細胞L⁻¹)出現した(表1)。*A. tamarensis*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した時期は、5月が5カ年で最も多く、4月と6月はそれぞれ2カ年だった。その時の深度は、深度0mが6カ年、複数の深度で出現したが深度0mで最も細胞密

度が高かった年が2カ年だった。2013年6月のみ深度0mでは*A. tamarensis*が110細胞L⁻¹以上出現せず、深度15mと20mで出現した。*A. tamarensis*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した水温は4.5~14.4℃、塩分は25.65~32.61の範囲だった。

表1 *Alexandrium tamarensis*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した時期、深度、細胞密度、水温および塩分

| 調査年月日 | 深度 (m) | <i>A. tamarensis</i> (細胞数 L ⁻¹) | 水温 (°C) | 塩分 |
|-----------|--------|---|---------|---------|
| 1994/5/9 | 0 | 220 | 8.0 | 30.49 |
| 1995/5/8 | 0 | 240 | 9.0 | 30.69 |
| 2002/6/17 | 0 | 280 | 14.4 | 31.53 |
| 2004/4/19 | 0 | 420 | 5.9 | 32.20 |
| 2006/5/22 | 0 | 1,130 | 11.6 | 25.65 |
| 2006/5/22 | 5 | 180 | 9.5 | 31.74 |
| 2006/5/22 | 10 | 180 | 7.8 | 32.01 |
| 2006/5/22 | 15 | 110 | 6.8 | 32.33 |
| 2006/5/22 | 25 | 220 | 4.5 | 32.61 |
| 2009/4/20 | 0 | 240 | 6.8 | 32.56 |
| 2010/5/24 | 0 | 300 | 10.1 | 31.09 |
| 2010/5/24 | 5 | 280 | 10.0 | 31.12 |
| 2010/5/24 | 10 | 120 | 9.5 | 31.57 |
| 2010/5/24 | 15 | 110 | 9.7 | 31.67 |
| 2011/5/9 | 0 | 150 | 7.1 | 30.88 |
| 2013/6/3 | (0) | (40) | (14.3) | (29.50) |
| 2013/6/3 | 15 | 170 | 9.4 | 32.03 |
| 2013/6/3 | 20 | 140 | 8.1 | 32.28 |

注) 表中の括弧内の数字は、*A. tamarensis*の出現が110細胞L⁻¹未満だった時のデータを示す。

河川流量の季節変化 貫気別川の1、2月の流量データは結氷により無かった。平年の旬平均流量は、3月上旬の5.9m³・s⁻¹から融雪に伴い増加し、4月中旬の24.7m³・s⁻¹をピークとし、6月上旬には7.7m³・s⁻¹に減少した(図2)。6月上旬以後は6.3~9.1m³・s⁻¹の範囲にあった。

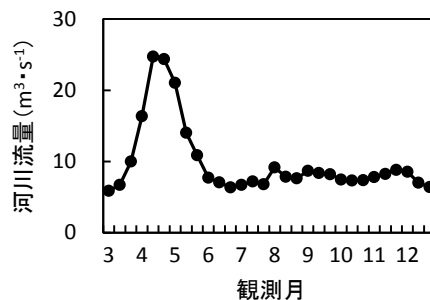


図2 貫気別川における1992~2013年の旬平均流量
注) 「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

*Alexandrium tamarensis*の出現が110細胞L⁻¹以上だったケースの河川流量および海洋環境の特徴

1. *Alexandrium tamarensis*が4月に110細胞L⁻¹以上出現し

たケース 4月中旬に*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した2004年および2009年の河川流量のピークは4月中旬で、両年ともにピーク時の流量は平年の0.8倍だった(図3左)。*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現する直前の4月上旬から中旬にかけての深度0-10m間の鉛直安定度は、両年ともに小変動だった(図3右)。

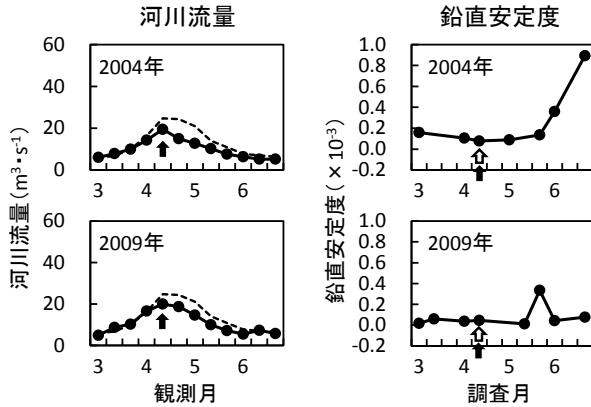


図3 *Alexandrium tamarense*が4月に110細胞L⁻¹以上出現したケースにおける貫気別川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移
河川流量の図中の破線は平年値、矢印(黒)は流量のピーク時期を示す。鉛直安定度の図中の矢印(黒)は河川流量のピーク時期、矢印(白)は*A. tamarense*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した時期を示す。注) 河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

両年に共通する他の海洋環境の特徴として、2004年および2009年4月中旬の透明度は、それぞれ17.5mと17.0m(4月中旬に調査があった年の平均10.9m)と高かった。また、深度0mでの水温は5.9℃と6.8℃(同平均5.2℃)、塩分は32.20と32.56(同平均30.96)と高かった。両年の4月中旬の河川流量が少なく、透明度、水温および塩分が高かったことは、4月中旬の調査前日から2週間前までの降水量がそれぞれ1mmと2.5mm(同平均21mm)と非常に少なかったことと関連している可能性がある。

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り(宮園, 2015)、さらに競合する珪藻の少ない環境も必要である(北海道立水産試験場, 2000)。また、シストから発芽した噴火湾産*A. tamarense*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)。2004年および2009年の4月は、鉛直的に安定した水理環境で、増殖可能な水温だった。さらに、透明度は高かったことから競合する珪藻が少ない環境と推察された。ただし、4月に*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した事例は2例しかなく、今後、事例を増やす必要がある。

2. *Alexandrium tamarense*が5月に110細胞L⁻¹以上出現したケース 5月上旬または下旬に*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した1994, 1995, 2006, 2010年および2011年の5カ年の河川流量のピークは、4月下旬または5月上旬だった(図4左)。河川流量のピーク時期から*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した時期までの期間における、深度0-10m間の鉛直安定度は、1994, 2006, 2011年では増加し、1995, 2010年では小変動だった(図4右)。なお、1994年については、4月下旬の鉛直安定度のデータはなかったため、4月上旬のデータから判断した。

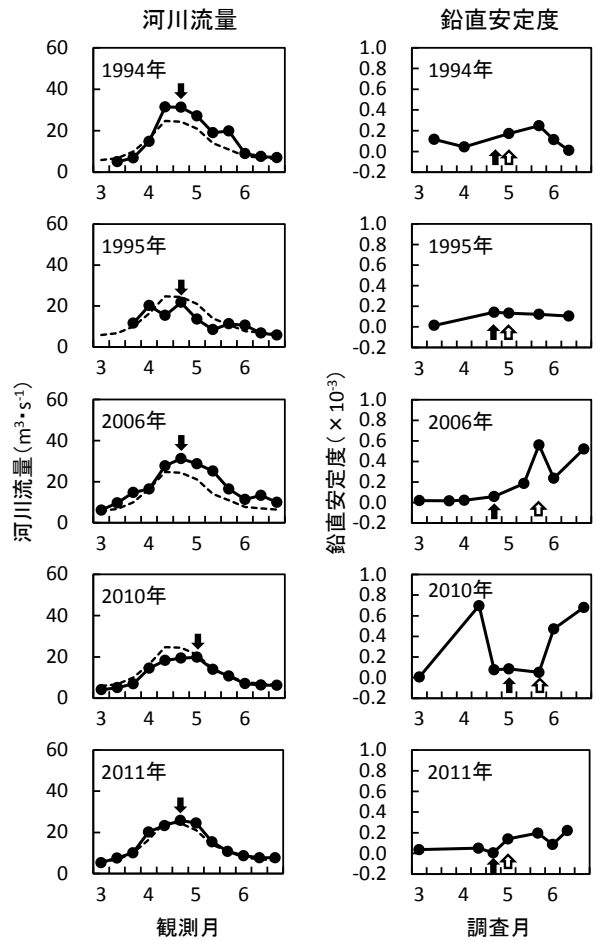


図4 *Alexandrium tamarense*が5月に110細胞L⁻¹以上出現したケースにおける貫気別川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移
注) 図中の破線、矢印(黒, 白)については、図3のキャプションを参照。1994年4月中旬と下旬の河川流量は、ほぼ同じだったため、1994年の流量のピーク時期は4月下旬のカテゴリーに含めた。河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

*Alexandrium tamarense*が最初に110細胞L⁻¹以上出現した5月上・下旬の深度0mの水温は7.1~11.6℃であり(表1)、最大増殖速度である10~18℃(宮園, 2015)の

下限値に近かった。

3. *Alexandrium tamarense*が6月に110細胞L⁻¹以上出現したケース 6月上旬または中旬に*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した2002年および2013年の2事例については、河川流量のピーク時期や深度0-10m間の鉛直安定度の変動に共通する特徴は見出せなかった(図5)。また、透明度、水温および塩分でも共通する特徴は見出せなかった。2013年については*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現した深度は15~20mと深かった(表1)こともあり、今後、このケースについては、河川流量や鉛直安定度とは異なる視点から*A. tamarense*の出現要因を検討する必要がある。

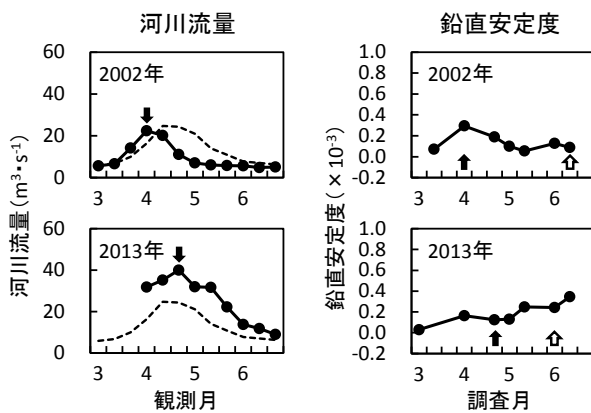


図5 *Alexandrium tamarense*が6月に110細胞L⁻¹以上出現したケースにおける貫気別川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移

注) 図中の破線、矢印(黒、白)については、図3のキャプションを参照。河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

*Alexandrium tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケースの河川流量および海洋環境の特徴

*Alexandrium tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だった13カ年のうち、5カ年で河川流量が4~5月の間で急増したケースがみられた。河川流量の急増がみられなかった年では、7カ年で鉛直安定度が4~5月の間で減少し、1カ年で減少しなかったケースがみられた。

1. 河川流量が4~5月の間で急増し、*A. tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケース 1996, 1999, 2000, 2001および2012年の5カ年の河川流量のピークは4月中旬~5月上旬で、4~5月の間で河川流量が急増した期間がみられた(図6左)。その増加量は、平年では1.3~1.5倍であるのに対し、急増した年では2.5~8.0倍だった。これら5カ年の4~5月における深度0-10m間の鉛直安定度は、小変動、増加、減少がみられ一様ではなかった(図6右)。

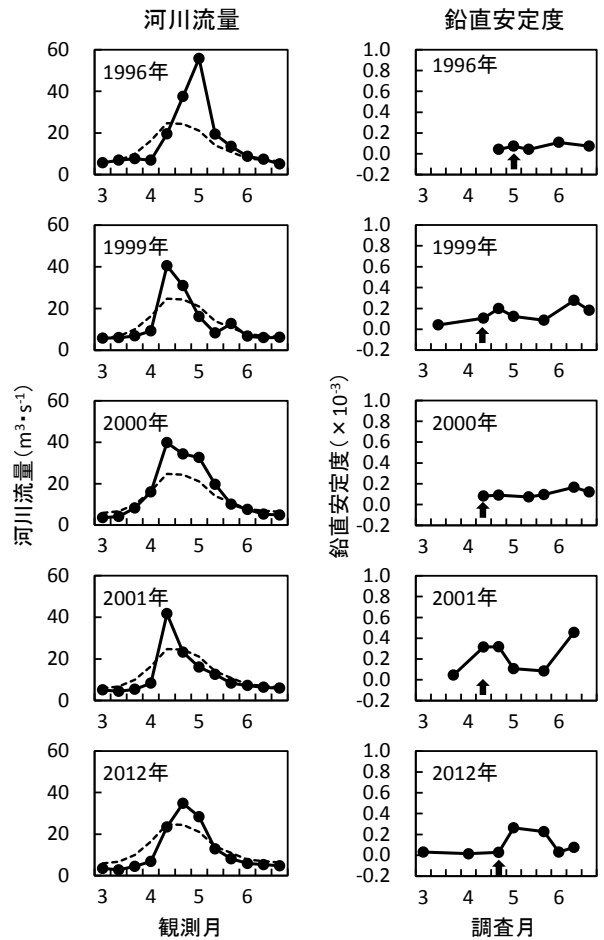


図6 貫気別川流量が4~5月の間で急増し、*Alexandrium tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケースにおける河川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移

注) 図中の破線および矢印(黒)については、図3のキャプションを参照。河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

5カ年の4~5月における深度0mの水温は、2.9~11.2℃の範囲にあり、最大増殖速度となる水温(10~18℃:宮園, 2015)またはその下限値に近い水温まで上昇した。今後、河川流量の急増が*A. tamarense*の出現を抑制するメカニズムを解明する必要がある。

2. 鉛直安定度が4~5月の間で減少し、*A. tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケース 1993, 1997, 1998, 2003, 2005, 2007および2008年の7カ年の河川流量のピークは4月上~下旬で、ピーク時の流量は平年の0.8~1.3倍の範囲にあった(図7左)。これら7カ年の4~5月における深度0-10mの鉛直安定度は、増加、減少、小変動がみられたが、7カ年ともに減少した期間があることが共通していた(図7右)。このような鉛直安定度の減少は、*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(宮園, 2015)と言う観点からは、増殖を抑制

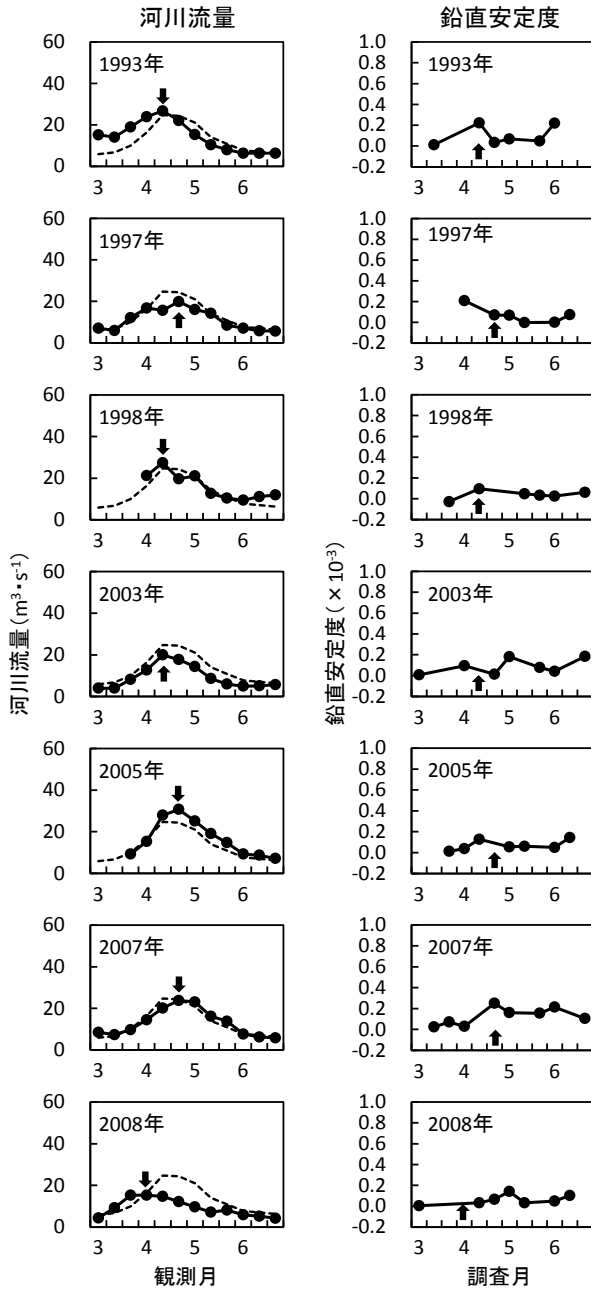


図7 鉛直安定度が4～5月の間で減少し、*Alexandrium tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケースにおける貫気別川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移

注) 図中の破線および矢印(黒)については、図3のキャプションを参照。2008年3月下旬と4月上旬の河川流量は、ほぼ同じだったため、2008年の流量のピーク時期は4月上旬のカテゴリーに含めた。河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

する要因と考えられる。

7カ年の4～5月における深度0mの水温は、3.8～12.1℃の範囲にあり、最大増殖速度となる水温(10～18℃:宮園, 2015)またはその下限値に近い水温まで上昇した。

3. 鉛直安定度が4～5月の間で減少せず、*A. tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケース 4～5月に河川流量は急増せず、また鉛直安定度は減少しなかったにもかかわらず、*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現しなかった事例が1992年の1例でみられた(図8)。河川流量のピークは、平年より早い4月上旬だった。4～5月の深度0mの水温は4.0～12.2℃で、最大増殖速度となる水温(10～18℃:宮園, 2015)まで上昇した。*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現しなかった理由については不明であるが、3～5月の河川流量が最も少なかったことと関係している可能性がある。

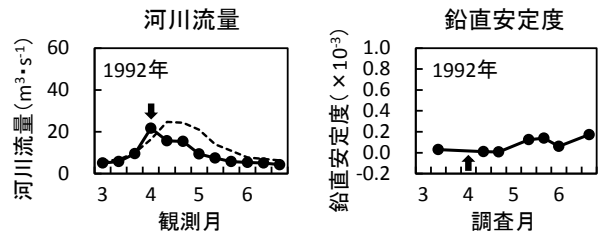


図8 鉛直安定度が4～5月の間で減少せず、*Alexandrium tamarense*の出現が110細胞L⁻¹未満だったケースにおける貫気別川流量および深度0-10m間の鉛直安定度の推移

注) 図中の破線および矢印(黒)については、図3のキャプションを参照。河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

河川流量のピーク時期と気象との関係 前述したように河川流量のピークは、4月に*A. tamarense*が110細胞L⁻¹以上出現したケースでは4月中旬、5月に*A. tamarense*が出現したケースでは、それより遅い4月下旬または5月上旬だった。そこで、河川流量のピーク時期と気象状況(気温、最深積雪、降水量、日照時間)との関係を調べた(図9)。

1992～2013年の22カ年のうち、河川流量のピークが4月中旬だった8カ年の平均気温は、4月上旬までは平年とほぼ同じで(平年差-0.2～0.1℃)、4月中旬に平年を上回った。最深積雪は平年並み(雪解けは平年並み)だった。

河川流量ピークが4月下旬だった9カ年の平均気温は、4月中旬までは平年より0.2～0.6℃低く、4月下旬に平年を上回った。最深積雪は4月中旬まで平年を2～6cm上回った(雪解けは平年より遅かった)。

河川流量ピークが5月上旬だった2カ年の平均気温は、5月上旬まで平年より0.2～2.0℃低く、最深積雪は4月中旬まで平年を1～19cm上回った(雪解けは平年より遅く、積雪は深かった)。また、3月中旬以後の降水量は平年を上回る傾向がみられ、日照時間は平年を下回る傾向がみられた。

これらのことから、4～5月に低温の時期が長引くと雪

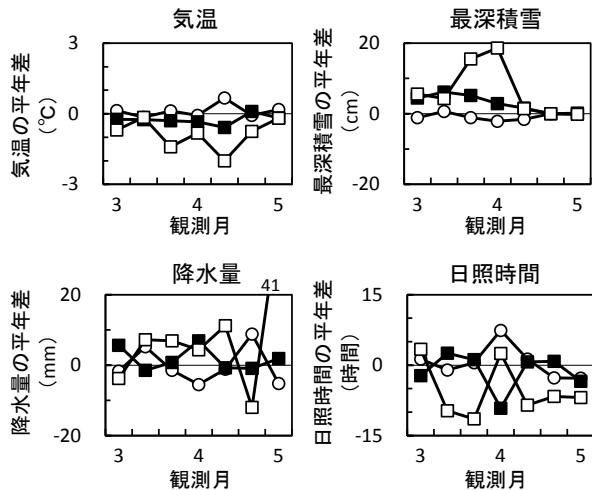


図9 大岸観測所における気温、最深積雪、降水量および日照時間の年平均差
 ○：4月中旬に貫気別川の流量ピークがあった年の平均値、■：4月下旬に流量ピークがあった年の平均値、□：5月上旬に流量ピークがあった年の平均値。注) 気象庁のデータを用いた。

解けが遅くなり、河川流量のピーク時期も遅くなると考えられる。

*Alexandrium tamarense*が4月または5月に110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケースにおける河川流量の違い 河川流量のピークが4月中旬にあり、4月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケース（河川流量が急増したケースを除く）の河川流量を比較した（図10a）。110細胞 L^{-1} 以上出現したケースの河川流量は、出現しなかったケースより少なく、4月上旬まで平年前後で推移し、110細胞 L^{-1} 以上が出現した4月中旬には平年を下回った。一方、110細胞 L^{-1} 以上出現しなかったケースの河川流量は、4月上旬まで平年を上回り、4月中旬は平年並みだった。

河川流量のピークが4月下旬または5月上旬にあり、5月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケース（河川流量が急増したケースを除く）の河川流量を比較した（図10b）。前述したように鉛直安定度は、前者は小変動または増加だったので、それぞれ別に河川流量を求めた。後者の鉛直安定度は減少期間を有する。河川流量は、特に4月中旬から5月下旬までの間では、110細胞 L^{-1} 以上出現し、鉛直安定度が小変動だったケースでは平年以下、鉛直安定度が増加したケースでは平年を上回った。一方、110細胞 L^{-1} 以上出現しなかったケースでは、平年前後で推移していた。

このように、4月または5月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケースでは、河川流量の推移は異なっていた。

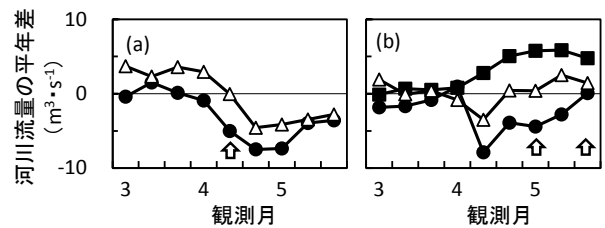


図10 *Alexandrium tamarense*が4月または5月に110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケースにおける貫気別川流量の年平均差
 a：4月中旬に河川流量ピークがあった年の平均値
 ●：4月に *A. tamarense*が出現したケース、△：*A. tamarense*が出現しなかったケース
 b：4月下旬～5月上旬に河川流量ピークがあった年の平均値
 ●：5月に *A. tamarense*が出現したケース（鉛直安定度は小変動）、■：5月に *A. tamarense*が出現したケース（鉛直安定度は増加）、△：*A. tamarense*が出現しなかったケース
 図中の矢印（白）は *A. tamarense*が最初に110細胞 L^{-1} 以上出現した時期を示す。注) 河川流量は「雨量・水位・流量年表」のデータを用いた。

まとめ 噴火湾東部海域では、*A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現すると、麻痺性貝毒により高頻度でホタテガイの出荷は規制される（吉田・金森,2017）。本稿では、4月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと5月にそれが出現したケースでは、後者の方が河川流量のピーク時期は遅いという特徴を得た。また、4月または5月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースと出現しなかったケースでは、河川流量の推移は異なっていた。さらに、4～5月の間で河川流量が急増したケースでは、*A. tamarense*110細胞 L^{-1} 以上の出現はみられなかった。これらのことから、河川流量のピーク時期や推移の違いは、麻痺性貝毒発生の事前予測に利用可能と考える。ただし、6月に *A. tamarense*が110細胞 L^{-1} 以上出現したケースについては、河川流量に共通する特徴はみられず、また、110細胞 L^{-1} 以上の出現が深度15～20mと深い場合もみられ、河川流量による予測は困難と考える。

噴火湾における麻痺性貝毒発生の事前予測には、*A. tamarense*細胞密度（吉田・金森, 2017）および降水量（吉田ら, 2016）の他、河川流量の利用の可能性を示した。噴火湾には44河川が流入するが（長谷川・磯田, 1997）、流量資料があるのは噴火湾東部海域に流入する貫気別川、長流川と噴火湾西部海域に流入する遊楽部川ユウラク部川の3河川と少ない。一方、噴火湾沿いには7カ所のアメダス観測所（室蘭、伊達、洞爺湖温泉、大岸、長万部、八雲、森）が存在する。4～5月に低温の時期が長引くと雪解けが遅くなり、河川流量のピーク時期も遅くなると推察されるなど、気象データは河川流量のピーク時期や急

増の指標となるので、麻痺性貝毒発生の事前予測には、7カ所の気象データの有効活用も期待される。

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22～25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/kankyoku/kaidoku/j12s22000000dgw.html> (2011～2014)) (2016.4.1)

長谷川伸彦, 磯田豊. 噴火湾の水収支. 海と空 1997; 73: 113-121.

北海道. 平成4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. 1993～2006.

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/kankyoku/kaidoku/j12s22000000dgw.html> (2007～2010)) (2016.4.1)

北海道. 雨量・水位・流量年表 平成20～平成25年. Internet web. Download from: (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/sbs/ijinopeiji.htm>) (2016.12.1)

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, 余市. 2000; 3: 69pp.

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.

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.

Sverdrup HU, Johnson MW, Fleming RH. *The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology*. Prentice-Hall, New York. 1942.

社団法人北海道土木協会. 雨量・水位・流量年表 平成5～平成19年. 札幌. 1993～2009.

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.

吉田秀嗣, 金森 誠. 北海道, 噴火湾におけるホタテガイの麻痺性貝毒発生を予想するための*Alexandrium tamarense*細胞密度の有効性について (資料). 北水試研報 2017; 91: 19-30.