

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）

吉田秀嗣^{*1}，金森 誠¹，佐藤政俊²

¹北海道立総合研究機構函館水産試験場，²北海道立総合研究機構中央水産試験場

The link between environmental factors and blooms of the toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense*, in Funka Bay, Hokkaido (Note)

HIDETSUGU YOSHIDA^{*1}, MAKOTO KANAMORI¹ and MASATOSHI SATO²

¹ Hakodate Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

² Central Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan*

キーワード：*Alexandrium tamarense*，出荷規制，ブルーム形成要因，噴火湾，ホタテガイ，麻痺性貝毒

Alexandrium tamarense は，渦鞭毛藻類の一種で0.03～0.04mmの茶褐色の球形をしており，鞭毛により海中を泳ぎ，麻痺性貝毒の原因となる毒を作り出す有毒プランクトンである（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，明瞭な季節変化を示し周年みられることはない（長井，2007）。

北海道の噴火湾およびオホーツク海沿岸では，*A. tamarense*を原因とする麻痺性貝毒により，重要産業種であるホタテガイなどの出荷が規制されることがある。そのため，北海道沿岸では貝毒プランクトンの出現と貝毒発生の傾向を把握し，貝類の計画的出荷をサポートすることを目的に，貝毒プランクトンモニタリング調査が実施されている。宮園（2015）は，モニタリング調査結果を用いて，噴火湾南西部海域における1981～2012年までの*A. tamarense*ブルームの長期変動を解析し，近年，5,000細胞L⁻¹を超える大規模なブルームがおこっていないこと，1980年代および1990年代に比べて2000年代のブルーム発生時期は1ヶ月程度早くなっていることを示した。また，宮園（2015）の研究は，主に大規模ブルームの発生メカニズムに焦点を当てたものであるが，漁業の現場では出荷が規制されるか否かが重要な問題である。本資料は，大規模な*A. tamarense*ブルームはおこっていないものの，

2000～2014年の15年間のうち8年間でホタテガイの出荷が規制された噴火湾において，これまで得られた調査結果に基づき，*A. tamarense*の分布密度と海洋環境・気象データとの関連性について整理し，ブルーム形成のメカニズム解明や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にとりまとめた。

材料と方法

*A. tamarense*のブルーム形成要因の解析には，貝毒プランクトンモニタリング調査で実施されている噴火湾西部八雲町沖の八雲定点と噴火湾東部洞爺湖町沖の虻田定点（図1）における2000～2014年の*A. tamarense*の出現数，水温および塩分を用いた（北海道，2002-2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道，2011-2015）。八雲定点は陸から3マイル沖の水深約32m，虻田定点は陸から1マイル沖の水深約30mの地点に設定されており，データは八雲定点では水深0～30m，虻田定点では原則水深0～25mの範囲で水深5mごとに取得され，八雲定点では周年原則月1回，虻田定点では概ね2000～2004年は3～8月，2005年は3～12月，2006年以降は1～12月にそれぞれ月1～2回の頻度で取得されていた。

気象データとして，2000～2014年の八雲観測点における毎月の降水量と日照時間，毎時の風向風速および洞爺湖温泉観測点（図1）における毎月の降水量のアメダスデータを用いた（気象庁ホームページ，Internet web. Download

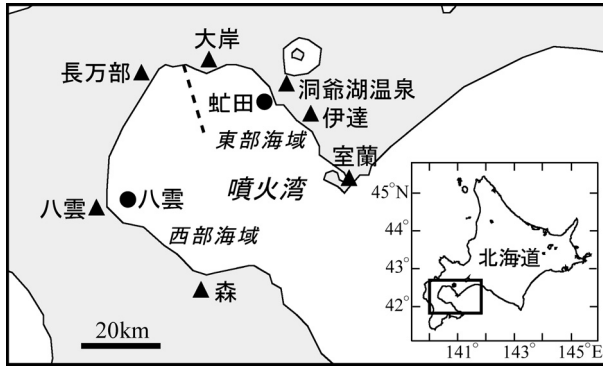


図1 貝毒プラクトンモニタリング調査定点 (●) およびアメダス観測点 (▲) の位置
破線は噴火湾西部と東部海域の境界を示す。

from : (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2015.6.30))。なお、洞爺湖温泉観測点では日照時間、風向風速は観測されていない。また、風向は16方位で記録されていたが、北よりの風 (北西～北～北東)、西よりの風 (北西～西～南西)、南よりの風 (南西～南～南東)、東よりの風 (北東～東～南東) の4つの風向に整理し、月別に出現頻度を求めた。風速は4つの風向で月別に平均値を算出した。これら海洋および気象データは、*A. tamarensis* がブルームを形成した年と形成しなかった年の2群に分けて月毎に比較検討した。

麻痺性貝毒の発生と気象との関係把握には、2000～2014年の噴火湾西部および東部海域におけるホタテガイの出荷規制状況 (北海道、2002～2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道、2011～2015) と森、八雲、長万部、大岸、洞爺湖温泉、伊達および室蘭観測点 (図1) における毎月の降水量のアメダスデータ (気象庁ホームページ。Internet web. Download from : (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2015.6.30)) を用いた。

結果と考察

A. tamarensis の出現状況

A. tamarensis がブルームを形成した年と形成しなかった年 (以下、ブルーム年、非ブルーム年とする) を分ける基準を得るため、八雲および虻田定点における *A. tamarensis* の年間最高密度と八雲町漁業協同組合および洞爺湖町のいぶり噴火湾漁業協同組合の養殖場におけるホタテガイの年間最高麻痺性貝毒値 (北海道漁業協同組合連合会資料) との関係性を調べた (図2)。北海道では、*A. tamarensis* が100細胞L⁻¹以上に増加した場合、ホタテガイの麻痺性貝毒量の上昇を警戒することになっている (農林水産省消費・安全局畜産安全管理課、2015)。*A. tamarensis* が100細胞L⁻¹以上出現した回数は両地点で16回あり、その

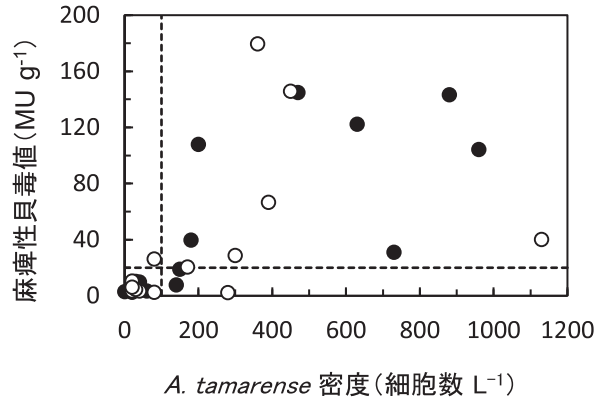


図2 八雲町沖 (●) および洞爺湖町沖 (○) における *A. tamarensis* の年間最高密度とホタテガイの年間最高麻痺性貝毒値 (中腸腺) との関係
横破線は麻痺性貝毒値ホタテガイ中腸腺1gあたり20MUを示し、縦破線は海水1Lあたり *A. tamarensis* 100細胞を示す。

うち北海道が独自に設定している出荷の自粛規制基準値の一つであるホタテガイ中腸腺1gあたり20MUを超えたのは13回であった。これらのことから、本資料では *A. tamarensis* が100細胞L⁻¹以上出現した年をブルーム年と定義した。

調査日ごとの *A. tamarensis* の最高密度を図3、付表1に示した。*A. tamarensis* が100細胞L⁻¹以上出現したブルーム年は、八雲定点では2000、2003、2004、2006、2007、2009、2010、2011、2013年の9年、虻田定点では2002、2004、2006、2009、2010、2011、2013年の7年であり、両定点では2004、2006、2009、2010、2011、2013年の6年が共通した。

ブルーム年における *A. tamarensis* は、八雲定点では2～3月に出現し始め、4～6月にピーク (140～960細胞L⁻¹) を迎え、8月には消失した。虻田定点では2～4月に出現し始め、5～6月にピーク (170～1,130細胞L⁻¹) を迎え、8月には消失した。一方、非ブルーム年における *A. tamarensis* は、両定点ともに1～4月に出現し始め、明瞭な出現ピークを迎えることなく、主として5～8月に消失した。ブルーム年におけるブルームピークは、両定点ともに水深0mの表層でみられることが多く、6月には水深15mでもみられた (図4)。

ブルーム年と非ブルーム年における海洋環境の違い

1. 水温

A. tamarensis の主出現期である1～7月の平均水温を図5、付表2に示した。両定点ともに平均水温は、2月あるいは3月に最低となり、7月にかけて高くなった。また、全ての水深でブルーム年と非ブルーム年に大きな差はみられなかった。

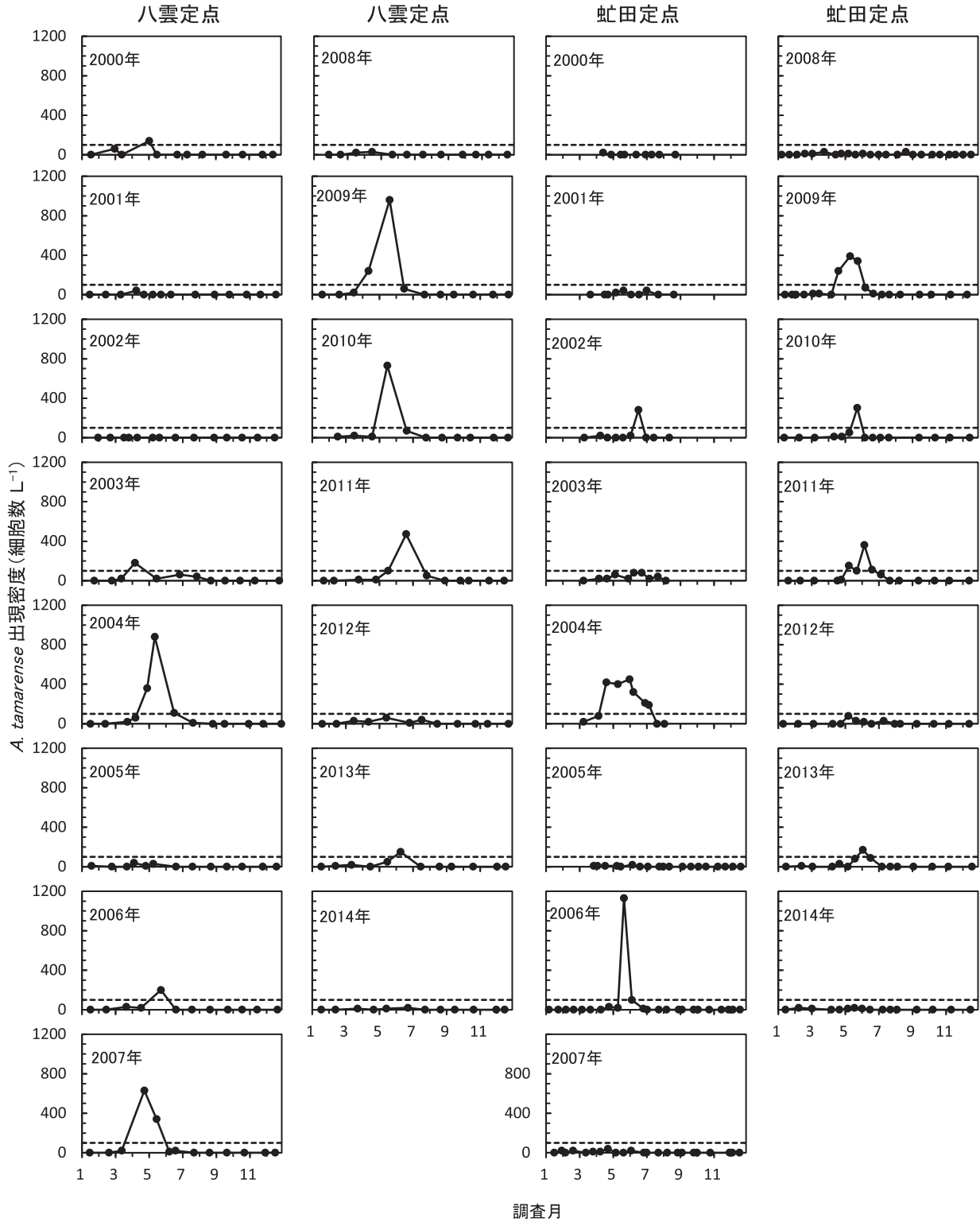


図3 八雲および虻田定点における各調査日の *A. tamarensis* 最高密度の推移
破線は海水1Lあたり *A. tamarensis* 100細胞を示す。

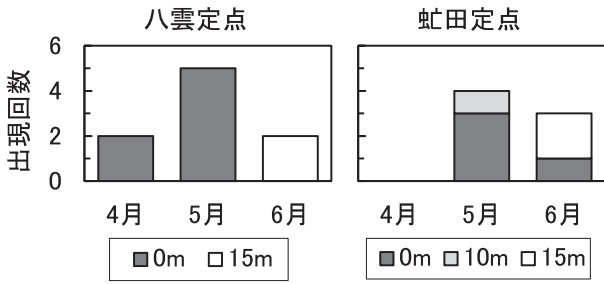


図4 八雲および虻田定点における *A. tamarensis* の年間最高密度を記録した月別、水深別回数

噴火湾産 *A. tamarensis* のシストは1~5月に発芽活性が高く、水温3℃以上で発芽が可能である (宮園, 2015)。1~5月の八雲定点の海底数m上の水深30mにおける平均水温は、各月ともブルーム年の方が高かった (図5G')。1, 2, 5月は両年ともに発芽可能となる3℃を上回った。3月と4月はブルーム年では3℃を上回った (3月: 3.1 ± 0.7 ℃, 4月: 3.7 ± 0.9 ℃; 「平均値±標準偏差」を表す。以下同様。) のに対し、非ブルーム年では3℃を下回った (3月: 2.7 ± 0.9 ℃, 4月: 2.9 ± 0.6 ℃)。ブルーム年の方が底層水温は高く、発芽可能水温が2ヶ月間も長い傾向がみられたことは、その後のブルーム形成の一要因と考えられる。

虻田定点の海底数m上の水深25mにおけるブルーム年および非ブルーム年の1~5月の平均水温は、同じように推移しており、最低水温期である3月の平均水温は、両年ともに発芽可能となる3℃を下回った (ブルーム年: 2.9 ± 0.9 ℃, 非ブルーム年: 2.9 ± 1.0 ℃) が、他の月は3℃を上回った (図5M')。

噴火湾における *A. tamarensis* のシスト密度は、1999年の調査では虻田沖より八雲沖の方が高く (Shimada and Miyazono, 2005), 2010~2012年の調査でも同様の結果が得られている (Natsuike et al., 2014)。噴火湾全体のシストの発芽量を考えるとという点では、八雲沖の底層水温の方が虻田沖より重要と考えられる。

発芽した噴火湾産 *A. tamarensis* は、水温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)。ブルームピークが主として形成された4~6月の水深0mにおける平均水温は、両定点ともにブルーム年と非ブルーム年とで大きな違いはみられず、4月に5℃台、5月に9℃台、6月に14~15℃台であり、*A. tamarensis* が増殖可能な水温であった (図5A, 5H)。最大増殖速度になる水温は、6月に観測された。

2. 塩分

1~7月の平均塩分を図6, 付表3に示した。両定点ともに平均塩分は、水深にかかわらずブルーム年と非ブルーム年では1月から7月にかけて低下する傾向がみられた。

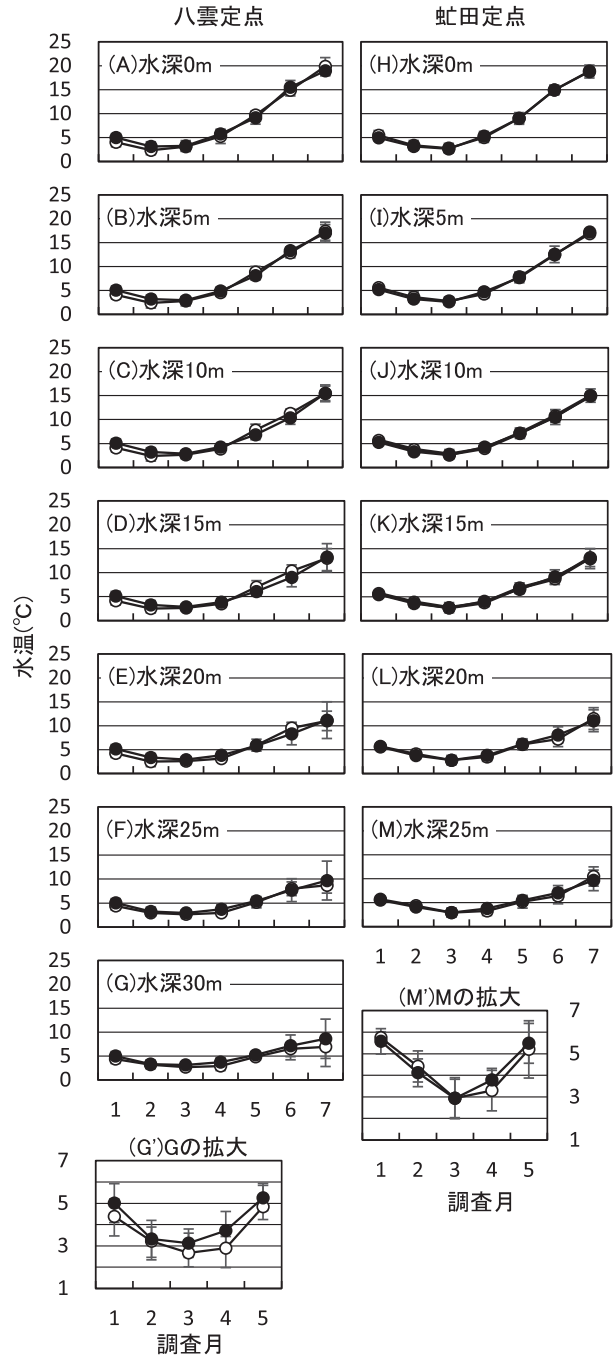


図5 八雲および虻田定点におけるブルーム年 (●) と非ブルーム年 (○) の月平均水温の推移 縦棒は標準偏差を示す。

特に、虻田定点では水深0mのブルーム年の平均塩分は、4月 (31.2 ± 1.8) から6月 (29.0 ± 2.6) にかけて著しく低下した (図6H)。

噴火湾では冬は高塩分の冬季噴火湾固有水が表面から海底まで占めているが、春には沿岸親潮水の流入と陸水の流入により表層の塩分は低下することが知られている (大谷, 1971)。そこで、塩分を指標とし、33.0以下を沿岸親潮水 (大谷, 1971), 32.6未満を噴火湾内で河川水や降

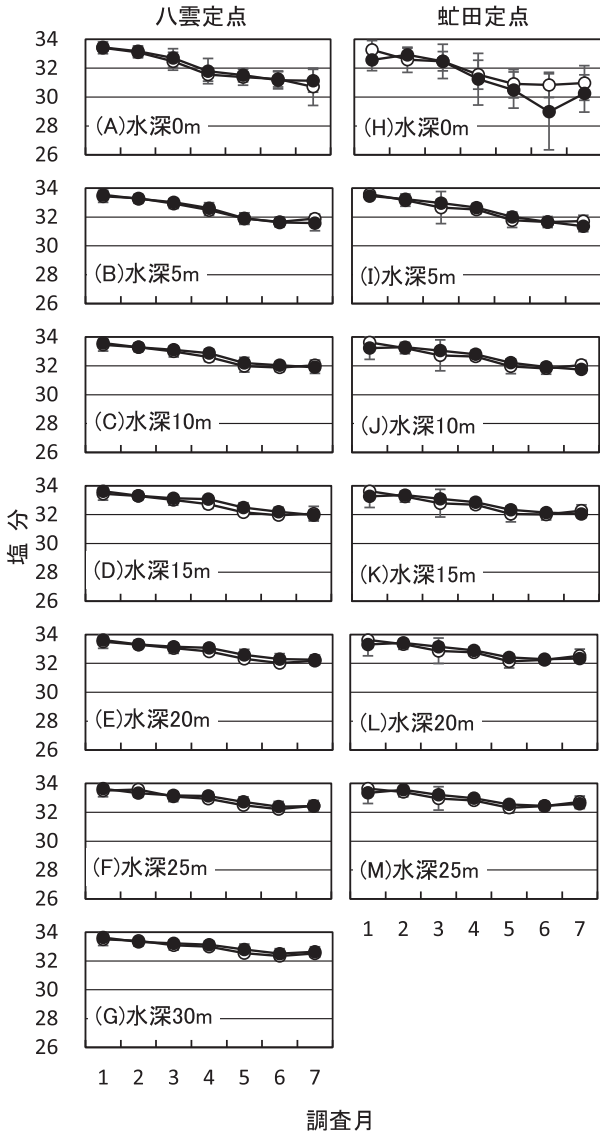


図6 八雲および虻田定点におけるブルーム年 (●) と非ブルーム年 (○) の月平均塩分の推移
縦棒は標準偏差を示す。

水により淡水が混合した海水 (芳村・工藤, 2003; 以下, 湾内淡水混合水とする) として, それらの1~4月の流入状況を図7に示した。塩分は各月の最小値を用いた。八雲定点では沿岸親潮水や湾内淡水混合水は, 早い年には1~2月にみられ始めたが, 多くの年では3月にみられた。4月にはほとんどの年で湾内淡水混合水となった。沿岸親潮水と湾内淡水混合水の出現時期にブルーム年と非ブルーム年とで大きな違いはなかった。

虻田定点では沿岸親潮水や湾内淡水混合水は, 早い年には1~2月にみられ始め, 3月には全ての年でみられた。4月には全ての年で湾内淡水混合水となった。沿岸親潮水と湾内淡水混合水の出現時期にブルーム年と非ブルーム年とで大きな違いはなかった。

両定点ともに4月にはほとんどの年で湾内淡水混合水に

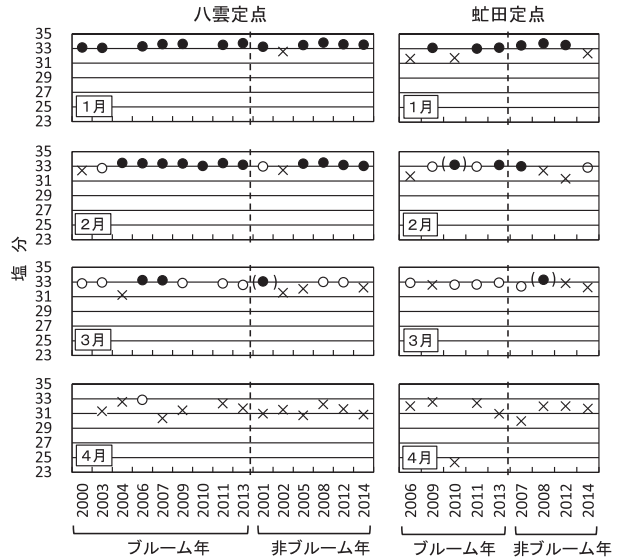


図7 八雲および虻田定点における沿岸親潮水と淡水の流入状況

●: 冬季噴火湾固有水, ○: 沿岸親潮水, ×: 湾内淡水混合水, () 内は当月より前に沿岸親潮水あるいは淡水の流入があったことを示す。八雲定点の2000年4月, 2004年1月, 2010年1, 3, 4月は欠測である。虻田定点の2000~2005年の1, 2月は調査されていなかったため, 2000~2005年は図示していない。

交替していることから, その後も7月まで続く塩分低下は, 湾内に淡水の流入と蓄積が継続していることを示す。従って, ブルーム年に虻田定点で水深0mの4月から6月にかけて塩分が著しく低下したことは, 非ブルーム年より淡水の流入が多かったことを示し, これについては降水量のところで後述する。

噴火湾で *A. tamarense* が $1,000 \text{ 細胞} \text{ L}^{-1}$ を超えた時の塩分から至適塩分は33.0以下とされている (北海道立水産試験場, 2000)。ブルームピークが主として形成された4~6月の水深0mにおける両定点の平均塩分は, 29.0~31.8の範囲にあり, 至適塩分であった。

3. 鉛直安定度

水温, 塩分および水深から密度 (UNESCO, 1981) を計算し, 次式から鉛直安定度 (Sverdrup *et al.*, 1942) を求めた結果を図8, 附表4に示した。

鉛直安定度 =

$$10^{-3} \times (\text{下層と上層の密度差; } \sigma_t) / (\text{水深の差; } m)$$

八雲定点の平均鉛直安定度は, 水深5mと10m間ではブルーム年の4月から6月にかけて大きくなった (図8B; 6月ブルーム年: $0.18 \times 10^{-3} \pm 0.08 \times 10^{-3}$, 6月非ブルーム年: $0.10 \times 10^{-3} \pm 0.03 \times 10^{-3}$)。また, 水深0mと5m間では7月に非ブルーム年で平均鉛直安定度は大きかったが, 7月は *A. tamarense* の減衰期であり, ブルーム形成要因とは関連しない。

虻田定点の平均鉛直安定度は、水深0mと5m間では2月を除く1~7月でブルーム年の方が大きかった。特に4月以後は差が広がり、6月に最大となった(図8G; 6月ブルーム年: $0.52 \times 10^{-3} \pm 0.41 \times 10^{-3}$, 6月非ブルーム年: $0.23 \times 10^{-3} \pm 0.21 \times 10^{-3}$)。これは図5で述べたとおり、水温はブルーム年と非ブルーム年で大きな差はみられなかったため、ブルーム年における著しい塩分の低下によるものである。

また、両定点ではブルーム年、非ブルーム年ともに水深にかかわらず、鉛直安定度は1~3月に小さく、4月以後に増大する傾向がみられた。このことは、海水は1~3月には鉛直混合し、4月以後に成層し始めることを示す。

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が少ない環境も必要である(北海道立水産試験場, 2000)。また、広島湾では、鉛直混合により珪藻は表層へ運ばれるが、成層により鉛直混合が止まると、珪藻は遊泳力を

持たないため、表層に上昇することができず現存量は減少し、*A. tamarense*のブルームが形成される(Itakura et al., 2002)。本資料でも鉛直混合期が終了した後、両定点ともにブルーム年の方が4月から6にかけて表層の鉛直安定度が増大した。珪藻の現存量については、把握されておらず不明であるが、鉛直混合期から成層期への移行は、*A. tamarense*にとって増殖に適した環境になると推察され、成層期の鉛直安定度が大きいことは、ブルーム形成に影響を及ぼすと考えられる。

ブルーム年と非ブルーム年における気象の違い

1. 降水量

1~7月の降水量および累積降水量を図9、付表5、6に示した。八雲観測点の平均降水量は、ブルーム年の方が1~6月で多く(図9A)、洞爺湖温泉観測点では、3月を除きブルーム年の方が多かった(図9D)。12月から2月の降雪は、雨量計にヒーターが備え付けられており降水量として記録されるが、低温による誤差や風の影響により、実際の20~50%程度しか降水量として記録されていないとされている(長谷川・磯田, 1997)。両観測点ともに1~2月の降水量は、ブルーム年で多かったが、実際の降雪量の差はさらに大きかったと推察される。

塩分は1月以降7月まで低下し、淡水の流入と蓄積が継

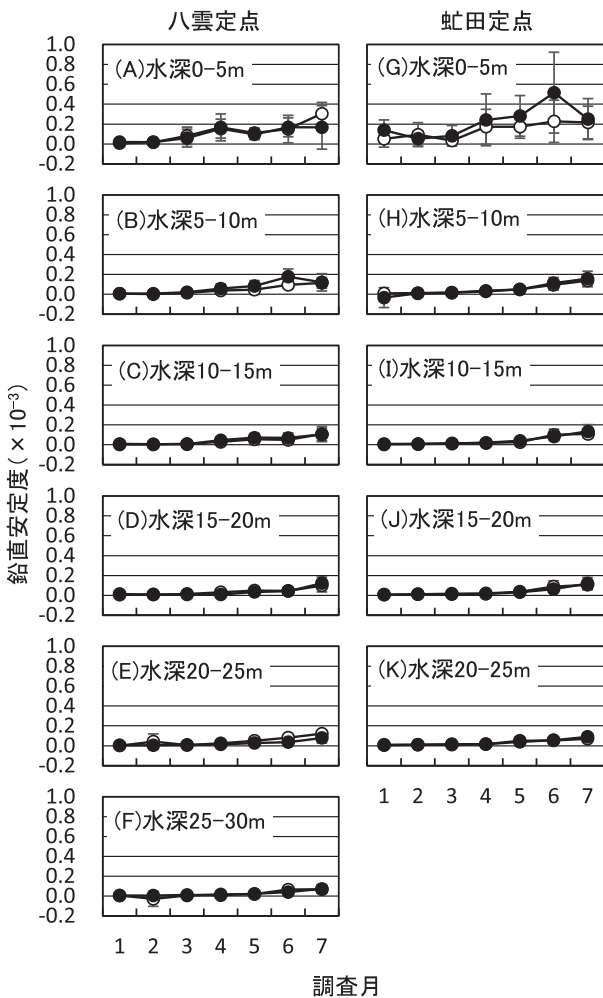


図8 八雲および虻田定点におけるブルーム年(●)と非ブルーム年(○)の月平均鉛直安定度の推移。縦棒は標準偏差を示す。

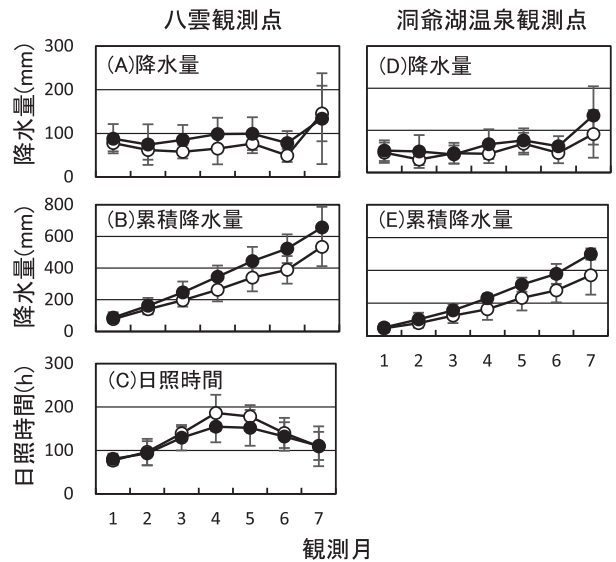


図9 八雲および洞爺湖温泉観測点におけるブルーム年(●)と非ブルーム年(○)の月平均降水量、累積降水量、日照時間(八雲のみ)の推移。縦棒は標準偏差を示す。洞爺湖温泉観測点の降水量の2000年4~7月(非ブルーム年)のデータは欠測である。同理由により、累積降水量において4月以後の累積データは使用していない。2009年3~4月(ブルーム年)の降水量は2ヶ月連続して一部欠測があったため、3月以後の累積データは使用していない。

続していることを前述した。7月までに降雪・降雨により降り注いだ淡水量を把握するため、1月から毎月の平均降水量を累積した。両定点ともに平均累積降水量は、ブルーム年の方が多かった（図9B, 9E）。

北海道南部の山岳地帯の融雪は3月末頃から始まるため、噴火湾に注ぐ河川の流量は4月から5月にかけて多いことが知られている（芳村・工藤, 2003）。両観測点でブルーム年に降水量が多かったことは、直接海面に降り注いだ降雨量が多かったほか、融雪水や降雨が河川を通じて湾内へ流入した淡水量も多かったことを示す。従って、ブルーム年に虻田定点でみられた水深0mの4月から6月にかけての著しい塩分低下は、冬から春の降水量が多かったことが要因であると考えられる。一方、八雲定点ではブルーム年と非ブルーム年の塩分低下はほぼ同じであった。八雲定点は陸から3マイル離れている（虻田定点では1マイル）ことから、河川水の直接的な影響を受けにくかったと考えられる。

噴火湾では2~3月に発生する珪藻ブルームにより栄養塩は、ほぼ枯渇してしまうため、珪藻ブルーム以後に噴火湾に流入する河川由来の栄養塩は、基礎生産に重要な役割を果たしており、新生産の最大10%程度支えていると考えられている（芳村・工藤, 2003）。また、*A. tamarense* の増殖は、河川からの腐食物質の流入により促進されている可能性が極めて高い（阿知波・岩崎, 1990）。これらのことから、ブルーム年に降水量が多かったことは、河川を通じた融雪水が、湾内へもたらす栄養塩や腐食物質などの供給を増加させ、*A. tamarense* のブルーム形成に寄与した可能性がある。

2. 日照時間

1~7月の平均日照時間を図9C, 付表7に示した。八雲観測点の平均日照時間は、ブルーム年の方が2~6月で少なかった。なお、八雲観測点の日照時間は、観測場所の移転、環境の変化、観測方法の変更などいずれかの理由により、2006年9月以前と10月以後ではデータが均質ではないことに注意を要する（気象庁ホームページ, Internet web. Download from : (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2015.6.30))）。

噴火湾では珪藻が周年にわたり優占するが、*A. tamarense* は珪藻が減少する時期に増殖することから、本種の増殖には珪藻の少ない環境が必要である（北海道立水産試験場, 2000）。また、噴火湾産 *A. tamarense* は低光強度環境に適応した増殖特性を持っている（宮園, 2015）。これらのことからブルーム年の2~6月の日照時間の少なさは、珪藻の増殖を抑え、低光強度でも増殖可能な *A. tamarense* に有利に働いた可能性はあるが、2000~2014年の珪藻の出現状況に関する情報は得られておらず、因

果関係は不明である。

3. 風向風速

1~7月の風向風速を図10, 付表8に示した。八雲観測点のいずれの風向の頻度も、ブルーム年と非ブルーム年に大きな差はみられなかった。東よりの風は沖から陸方向に吹く風で、1月から7月にかけて約7%から50%に増加した。西よりの風は陸から沖方向に吹く風で、約80%から30%に減少した。北および南よりの風は、10%程度で一定していた。平均風速はブルーム年の方が東よりの風で4月に速く（図10E; ブルーム年: $3.1 \pm 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 非ブルーム年: $2.4 \pm 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）、他には大きな差はみられなかった。

広島湾では陸から沖方向に吹く風は、*A. tamarense* を沖に拡散させ、ブルーム形成に負の作用をもたらすと考えられている（Yamamoto *et al.*, 2002）。八雲定点でブルーム年の方が速かった4月の沖から陸方向に吹く風は、広島湾とは正反対の風向であり、*A. tamarense* を沿岸に滞留させ、ブルーム形成に寄与した可能性がある。

A. *tamarense* のブルーム形成要因

噴火湾では *A. tamarense* は1月に出現し始め、4~6月にピークに達し、8月には消失した。ブルーム形成要因の可能性として、「①シストの発芽可能な水温の期間が1~5月と長い。②4~6月に表層で鉛直安定度が増大する。③1~6月の降水量が多い。④2~6月の日照時間が少ない。⑤4月に沖から陸方向に吹く風が強い。」ことを示した。

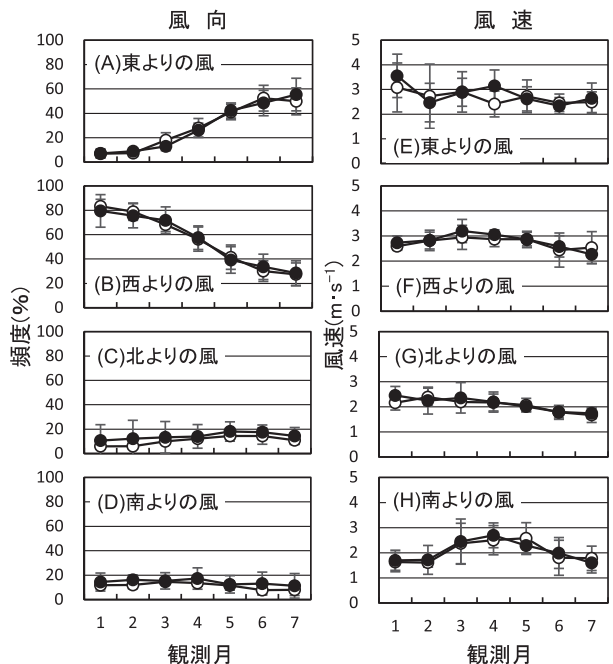


図10 八雲観測点におけるブルーム年 (●) と非ブルーム年 (○) の月平均風向風速の推移
縦棒は標準偏差を示す。

これらのうち、八雲定点（観測点）と虻田定点（洞爺湖温泉観測点）の両方に共通してみられたのは、降水量が多かったこと、表層で鉛直安定度が増大したことである。降水量が多かったことは、直接海面に降り注いだ降雨量が多く、また融雪水や降雨が河川を通じて湾内へ流入した淡水量も多かったことを示唆し、塩分低下による鉛直安定度の増大と関連するほか、栄養塩や腐食物質の供給が増加した可能性がある。さらに降水量が多かったことは、雲がかかる時間が多く日照時間が少なかったこととも関連すると考えられる。以上から*A. tamarensis*のブルーム形成要因としては、降水量が直接的にも間接的にも特に重要と考えられる。

麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制と気象との関係

2000～2014年に北海道の麻痺性貝毒基準値（3MU・g⁻¹—可食部、20MU・g⁻¹—中腸腺）によるホタテガイ出荷の自粛規制あるいは国の基準値（4MU・g⁻¹—可食部）に

よる自主規制は、噴火湾西部海域（森町沖から長万部沖）では2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011年の8年、噴火湾東部海域（豊浦町から室蘭市沖）では2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2013年の8年で実施された。規制開始時期は、両海域併せると3月に1回、4月に3回、5月に6回、6月に5回、7月に1回であり、3月の1例を除くと*A. tamarensis*のブルームピークが形成される4月以後であった。

そこで、*A. tamarensis*ブルーム形成に重要と考えられた降水量、ここでは1月からブルームピーク初期である4月までの累積降水量と両海域のホタテガイ出荷規制との関係を図11に示した。噴火湾周辺のアメダス7観測点全てで1～4月の累積降水量が少ない年は、出荷は規制されなかった。また、噴火湾湾口に位置する室蘭観測点を除く6観測点では累積降水量が多い年は、出荷が規制された。すなわち、噴火湾西部海域に接する森観測点では累積降水量が134mm以下の年では出荷は規制されず、300mm以上の年で規制された。それらの中間の累積降水量では出荷が規制された年と規制されなかった年の両方がみられた。同様に観測点別に出荷が規制されなかった累積降水量と規制された累積降水量を示すと、八雲観測点では266mm以下と442mm以上、長万部観測点では232mm以下と452mm以上、洞爺湖温泉観測点では176mm以下と245mm以上、伊達観測点では113mm以下と135mm以上、室蘭観測点では155mm以下であった。

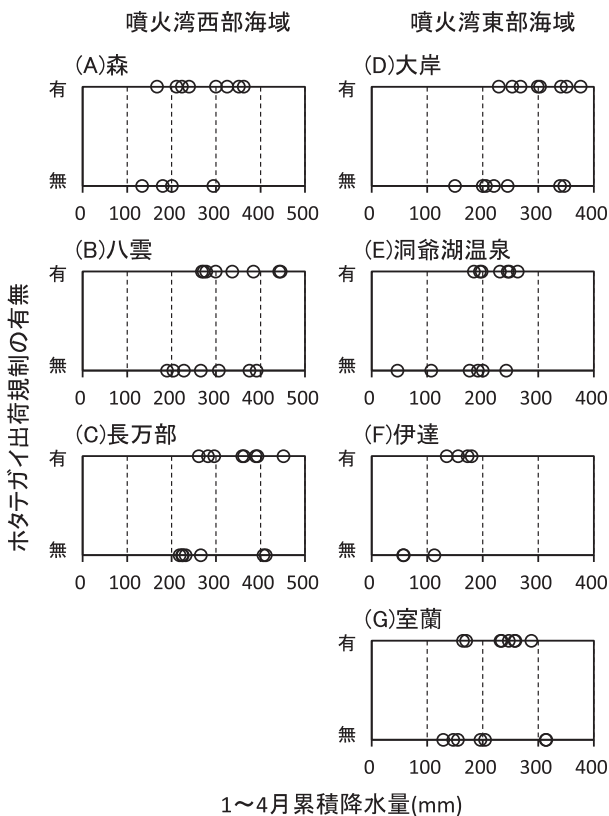


図11 森, 八雲, 長万部, 大岸, 洞爺湖温泉, 伊達および室蘭観測点における1～4月の累積降水量とホタテガイ出荷規制との関係
八雲, 長万部, 大岸, 室蘭は2000～2014年のデータを使用した。森はデータ不均一のため2003～2014年のデータを使用した。洞爺湖温泉は欠測のため2000年と2009年を除く2000～2014年のデータを使用した。伊達はデータ不均一のため2008～2014年のデータを使用した。

今後の課題

本資料では、2000～2014年の15年間のデータから*A. tamarensis*ブルームの形成要因として降水量が特に重要な要因であり、1～4月の累積降水量が多い年には*A. tamarensis*ブルームが形成され、麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制が実施される傾向にあると推察された。ただし、毎月の降水量では*A. tamarensis*ブルーム形成や出荷規制との関係は十分に説明できなかった。その理由として、前述したように降雪期の降水量は20～50%程度しか記録されておらず（長谷川・磯田, 1997）、その率は観測年や月により変化している可能性があることなどがあげられる。また、降水量と河川水量との関係把握や湾内への河川水流入量と*A. tamarensis*ブルーム形成との関係把握は重要な課題である。しかし、2012年以後の河川水流量については、まだ公表されていない（北海道公式ウェブサイト。Internet web. Download from: (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/sbs/ijinopeiji.htm>) (2015.10.1)) ので、今後の課題として残さ

れた。これらの課題を解決することにより、ブルーム形成のメカニズムへの理解がさらに深まり、ホタテガイの出荷規制を事前に予測する技術の開発へと進展が期待される。

謝 辞

本稿のとりまとめに際しては、道総研中央水産試験場資源増殖部長宮園 章博士および函館水産試験場調査研究部長佐藤 一博士にご指導ならびに貴重なご助言を賜りました。心から厚くお礼申し上げます。また、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

- 阿知波英明, 岩崎英雄. 有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖特性. 藻類 1990; 38: 51-59.
- 地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道. 平成22~26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/kankyokaidoku/j12s220000000dgw.html> (2011~2015)) (2015.9.1)
- 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14~16年度赤潮・特殊プランクトン予察調査報告書. 2002~2006.
- 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/kankyokaidoku/j12s220000000dgw.html> (2007~2010)) (2015.9.1)
- 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.
- Itakura, S, Yamaguchi M, Yoshida M, Fukuyo Y. The seasonal occurrence of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) vegetative cells in Hiroshima Bay, Japan. *Fisheries Sci.* 2002; 68: 77-86.
- 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.
- 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.
- Natsuike M, Kanamori M, Baba K, Moribe K, Yamaguchi A, Imai I. Changes in abundances of *Alexandrium tamarense* resting cysts after the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake in Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Harmful Algae* 2014; 39: 271-279.
- 農林水産省消費・安全局畜水産安全管理課. 二枚貝等の貝毒のリスク管理に関するガイドライン. 2015; 29 pp.
- 大谷清隆. 噴火湾の海況変動の研究. II. 噴火湾に流入・滞留する水の特長. 北大水産彙報 1971; 22: 58-66.
- Shimada H, Miyazono A. Horizontal distribution of toxic *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) resting cysts around Hokkaido, Japan. *Plankton Biol. Ecol.* 2005; 52: 76-84.
- 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: 25 pp.
- Yamamoto T, Hashimoto T, Tarutani K, Kotani Y. Effects of winds, tides and river water runoff on the formation and disappearance of the *Alexandrium tamarense* bloom in Hiroshima Bay, Japan. *Harmful Algae* 2002; 1: 301-312.
- 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 八雲および虻田定点における各調査日の*A. tamarensis*最高密度

観測点	調査年月日	最高密度(細胞 L ⁻¹)	
八雲	2000年	1/17 2/29 3/13 5/2 5/16 6/22 7/10 8/7 9/19 10/19 11/24 12/13	
	最高密度	0 60 0 140 0 0 0 0 0 0 0 0	
	2001年	1/15 2/13 3/12 4/9 4/23 5/9 5/24 6/11 7/25 8/29 9/25 10/26 11/20 12/18	
	最高密度	0 0 0 40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
	2002年	1/30 2/21 3/18 3/27 4/11 5/9 5/21 6/19 7/23 8/28 9/20 10/18 11/15 12/16	
	最高密度	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
	2003年	1/23 2/24 3/13 4/7 5/16 6/27 7/28 8/22 9/17 10/14 11/10 12/24	
	最高密度	0 0 20 180 20 60 40 0 0 0 0 0	
	2004年	1/16 2/12 3/23 4/7 4/28 5/12 6/16 7/20 8/25 9/15 10/29 11/24 12/27	
	最高密度	0 0 20 60 360 880 110 10 0 0 0 0 0	
	2005年	1/18 2/24 3/23 4/5 4/26 5/10 6/20 7/20 8/22 9/20 10/18 11/24 12/19	
	最高密度	10 0 0 40 10 30 0 0 0 0 0 0 0	
	2006年	1/16 2/14 3/22 4/18 5/24 6/20 7/19 8/21 9/22 10/18 11/14 12/21	
	最高密度	0 2 30 20 200 0 0 0 0 0 0 0	
	2007年	1/15 2/19 3/14 4/24 5/16 6/8 6/19 7/23 8/20 9/20 10/22 11/29 12/17	
	最高密度	0 0 20 630 340 10 20 0 0 0 0 0 0	
	2008年	1/28 2/18 3/17 4/15 5/22 6/17 7/16 8/18 9/26 10/20 11/12 12/16	
	最高密度	0 0 20 30 0 0 0 0 0 0 0 0	
	2009年	1/19 2/19 3/17 4/13 5/21 6/16 7/23 8/21 9/14 10/19 11/24 12/22	
	最高密度	0 0 20 240 960 60 0 0 0 0 0 0	
	2010年	2/16 3/18 4/19 5/17 6/21 7/26 8/24 9/21 10/14 11/25 12/21	
	最高密度	10 20 10 730 70 0 0 0 0 0 0	
	2011年	1/22 2/9 3/26 4/26 5/18 6/20 7/27 8/29 9/26 10/11 11/17 12/14	
	最高密度	0 0 10 10 100 470 50 0 0 0 0 0	
	2012年	1/19 2/14 3/16 4/12 5/14 6/25 7/17 8/14 9/20 10/22 11/13 12/21	
	最高密度	0 0 30 20 60 10 40 0 0 0 0 0	
	2013年	1/17 2/12 3/13 4/16 5/17 6/10 7/16 8/19 9/10 10/19 12/1 12/17	
	最高密度	0 10 20 0 50 150 0 0 0 0 0 0	
	2014年	1/17 2/12 3/24 4/22 5/15 6/23 7/24 8/21 9/16 10/20 11/30 12/15	
	最高密度	0 0 10 0 10 20 0 0 0 0 0 0	
	虻田	2000年	4/13 4/28 5/15 5/22 6/12 6/29 7/10 7/24 8/22
		最高密度	20 0 0 0 0 0 0 0 0
		2001年	4/17 4/23 5/7 5/21 6/4 6/18 7/2 7/23 8/20
		最高密度	0 0 0 20 40 0 0 40 0
		2002年	3/11 4/9 4/22 5/7 5/20 6/3 6/17 7/1 7/15 8/12
		最高密度	0 20 0 0 0 0 20 280 0 0
		2003年	3/10 4/7 4/21 5/6 5/30 6/9 6/23 7/7 7/22 8/6
		最高密度	0 20 20 60 20 80 80 20 40 0
		2004年	3/9 4/5 4/19 5/10 5/31 6/7 6/28 7/5 7/20 8/2
		最高密度	20 80 420 400 450 320 210 190 0 0
		2005年	3/28 4/4 4/18 5/9 5/16 6/6 6/20 7/4 7/25 8/1 8/12 9/5 9/20 10/4 10/17 11/8 11/21 12/5 12/19
		最高密度	10 10 10 10 0 20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2006年		1/6 1/23 2/6 2/20 3/7 3/22 4/10 4/25 5/11 5/22 6/5 6/26 7/3 7/24 8/7 8/29 9/4 9/25 10/3 10/23 11/14 11/27 12/5 12/18	
最高密度		0 0 0 0 0 0 0 0 30 20 1130 100 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
2007年		1/16 1/29 2/5 2/19 3/14 3/27 4/9 4/23 5/7 5/21 6/4 6/27 7/2 7/23 8/8 8/27 9/4 9/25 10/1 10/25 11/29 12/4 12/17	
最高密度		0 20 0 20 0 10 10 40 0 0 20 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
2008年		1/7 1/21 2/4 2/18 3/3 3/24 4/14 4/24 5/7 5/20 6/2 6/16 7/1 7/14 8/4 8/19 9/1 9/16 10/6 10/20 11/6 11/17 12/1 12/15	
最高密度		0 0 0 10 10 30 0 10 10 0 10 0 0 0 30 0 0 0 0 0 0	
2009年		1/13 1/26 2/2 2/17 3/5 3/16 4/7 4/20 5/11 5/25 6/8 6/22 7/8 7/21 8/10 9/14 10/5 11/9 12/9	
最高密度		0 0 0 0 10 10 0 240 390 340 70 10 0 0 0 0 0 0 0	
2010年	1/12 2/8 3/8 4/12 4/26 5/10 5/24 6/7 6/21 7/5 7/20 9/13 10/12 11/8 12/14		
最高密度	0 0 0 10 10 50 300 0 0 0 0 0 0 0		
2011年	1/19 2/10 3/7 4/18 4/25 5/9 5/23 6/6 6/20 7/6 7/22 8/8 9/12 10/11 11/7 12/13		
最高密度	0 0 0 0 10 10 150 100 360 110 60 0 0 0 0 0 0		
2012年	1/10 2/6 3/5 4/9 4/23 5/7 5/21 6/4 6/18 7/10 7/30 8/9 9/8 10/9 11/5 12/12		
最高密度	0 0 0 0 0 80 30 20 0 30 0 0 0 0 0 0		
2013年	1/15 2/12 3/4 4/9 4/22 5/7 5/20 6/3 6/17 7/8 7/23 8/5 9/3 10/7 11/5 12/18		
最高密度	0 10 0 0 30 0 80 170 90 0 0 0 0 0 0		
2014年	1/14 2/7 3/3 4/7 4/22 5/7 5/19 6/2 6/16 7/9 7/23 8/4 9/9 10/8 11/10 12/15		
最高密度	0 20 10 0 0 10 20 10 0 0 0 0 0 0 0		

付表2 八雲および虻田定点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均水温と標準偏差

水深	観測月	八雲				虻田			
		ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
		データ数	平均±SD(°C)	データ数	平均±SD(°C)	データ数	平均±SD(°C)	データ数	平均±SD(°C)
0m	1月	8	5.0 ± 0.9	6	4.0 ± 0.8	5	5.0 ± 0.4	4	5.5 ± 0.5
	2月	9	3.1 ± 0.9	6	2.4 ± 1.0	5	3.2 ± 0.6	4	3.4 ± 1.2
	3月	8	3.2 ± 0.9	6	3.1 ± 1.1	7	2.7 ± 0.7	8	2.8 ± 0.9
	4月	7	5.7 ± 1.5	6	5.2 ± 0.8	7	5.3 ± 1.0	8	5.0 ± 0.7
	5月	9	9.1 ± 0.8	6	9.7 ± 1.3	7	9.0 ± 1.2	8	9.0 ± 1.2
	6月	9	15.5 ± 1.2	6	14.9 ± 1.4	7	14.9 ± 0.9	8	14.9 ± 2.5
	7月	9	18.9 ± 1.8	6	19.9 ± 1.0	7	18.8 ± 1.3	8	18.9 ± 1.2
5m	1月	8	5.0 ± 0.9	6	4.1 ± 0.9	5	5.2 ± 0.4	4	5.6 ± 0.3
	2月	9	3.2 ± 0.9	5	2.4 ± 1.1	5	3.2 ± 0.6	4	3.6 ± 1.1
	3月	8	3.0 ± 0.6	6	2.8 ± 1.0	7	2.6 ± 0.6	7	2.8 ± 0.9
	4月	7	4.9 ± 0.8	6	4.5 ± 0.8	7	4.7 ± 0.8	8	4.2 ± 0.8
	5月	9	8.1 ± 0.9	6	8.8 ± 1.2	7	7.7 ± 1.1	8	7.9 ± 0.9
	6月	9	13.3 ± 0.8	6	12.9 ± 1.0	7	12.5 ± 0.9	8	12.6 ± 1.7
	7月	9	17.0 ± 1.8	6	17.4 ± 1.9	7	17.2 ± 0.6	8	16.8 ± 0.6
10m	1月	8	5.1 ± 0.9	6	4.1 ± 0.9	5	5.3 ± 0.5	4	5.7 ± 0.2
	2月	9	3.2 ± 0.9	5	2.4 ± 1.1	5	3.3 ± 0.5	4	3.8 ± 1.1
	3月	8	2.9 ± 0.6	6	2.7 ± 0.9	7	2.6 ± 0.6	8	2.8 ± 1.0
	4月	7	4.3 ± 0.6	6	3.9 ± 0.7	7	4.3 ± 0.8	8	4.0 ± 0.8
	5月	9	6.9 ± 1.0	6	7.8 ± 1.2	7	7.1 ± 1.1	8	7.2 ± 1.0
	6月	9	10.3 ± 1.3	6	11.3 ± 0.9	7	10.5 ± 1.5	8	10.8 ± 1.3
	7月	9	15.5 ± 1.8	6	15.5 ± 1.5	7	15.0 ± 1.4	8	14.9 ± 0.9
15m	1月	8	5.2 ± 0.9	6	4.2 ± 0.8	5	5.4 ± 0.6	4	5.7 ± 0.2
	2月	9	3.3 ± 0.9	5	2.5 ± 1.1	5	3.6 ± 0.3	4	3.9 ± 1.0
	3月	8	2.9 ± 0.5	6	2.7 ± 0.8	7	2.6 ± 0.6	7	2.7 ± 1.0
	4月	7	3.9 ± 0.8	6	3.5 ± 0.8	7	4.0 ± 0.7	8	3.7 ± 0.8
	5月	9	6.1 ± 0.7	6	7.0 ± 1.3	7	6.6 ± 0.9	8	6.8 ± 1.1
	6月	9	9.0 ± 2.0	6	10.4 ± 1.3	7	9.1 ± 1.5	8	8.8 ± 1.2
	7月	9	13.2 ± 2.8	6	13.0 ± 2.0	7	12.9 ± 2.1	8	13.1 ± 1.9
20m	1月	8	5.1 ± 0.9	6	4.2 ± 0.9	5	5.6 ± 0.6	4	5.7 ± 0.3
	2月	9	3.3 ± 0.9	5	2.5 ± 1.0	5	3.8 ± 0.4	4	4.1 ± 0.9
	3月	8	2.9 ± 0.6	6	2.6 ± 0.8	7	2.8 ± 0.8	8	2.8 ± 1.0
	4月	7	3.8 ± 0.8	6	3.1 ± 0.6	7	3.8 ± 0.6	8	3.5 ± 0.9
	5月	8	5.8 ± 0.5	6	5.9 ± 1.2	7	6.1 ± 0.9	8	6.1 ± 1.2
	6月	9	8.3 ± 2.3	6	9.5 ± 1.2	7	8.1 ± 1.7	8	7.2 ± 1.6
	7月	9	11.2 ± 3.8	6	11.0 ± 2.0	7	11.0 ± 2.3	8	11.5 ± 2.3
25m	1月	8	5.0 ± 0.9	6	4.4 ± 0.8	5	5.6 ± 0.6	4	5.7 ± 0.3
	2月	9	3.3 ± 0.9	5	2.9 ± 0.5	4	4.1 ± 0.6	4	4.4 ± 0.7
	3月	8	2.9 ± 0.6	6	2.6 ± 0.9	7	2.9 ± 0.9	7	2.9 ± 1.0
	4月	6	3.7 ± 0.9	6	2.9 ± 0.6	7	3.8 ± 0.5	8	3.3 ± 0.9
	5月	8	5.5 ± 0.5	6	5.2 ± 1.2	7	5.5 ± 0.9	8	5.2 ± 1.3
	6月	9	7.7 ± 2.4	6	8.0 ± 1.4	7	7.1 ± 1.5	8	6.4 ± 1.6
	7月	9	9.7 ± 4.0	6	8.7 ± 1.6	7	9.7 ± 2.1	8	10.5 ± 2.0
30m	1月	8	5.0 ± 0.9	6	4.4 ± 0.8				
	2月	9	3.3 ± 0.9	5	3.2 ± 0.7				
	3月	8	3.1 ± 0.7	6	2.7 ± 0.9				
	4月	6	3.7 ± 0.9	6	2.9 ± 0.6				
	5月	8	5.3 ± 0.6	6	4.8 ± 1.1				
	6月	9	7.1 ± 2.3	6	6.5 ± 0.9				
	7月	9	8.6 ± 4.1	6	6.9 ± 1.4				

付表3 八雲および虻田定点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均塩分と標準偏差

水深	観測月	八雲				虻田			
		ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
		データ数	平均±SD	データ数	平均±SD	データ数	平均±SD	データ数	平均±SD
0m	1月	7	33.4 ± 0.3	6	33.4 ± 0.4	5	32.6 ± 0.7	4	33.3 ± 0.6
	2月	9	33.2 ± 0.4	6	33.1 ± 0.4	5	32.9 ± 0.5	4	32.6 ± 0.9
	3月	8	32.7 ± 0.6	6	32.5 ± 0.6	7	32.5 ± 0.7	7	32.5 ± 1.2
	4月	7	31.8 ± 0.9	6	31.6 ± 0.5	7	31.2 ± 1.8	8	31.5 ± 1.0
	5月	9	31.5 ± 0.5	6	31.4 ± 0.6	7	30.5 ± 1.3	8	30.9 ± 1.0
	6月	9	31.2 ± 0.6	6	31.3 ± 0.6	7	29.0 ± 2.6	8	30.8 ± 0.9
	7月	9	31.1 ± 0.8	6	30.7 ± 1.3	7	30.2 ± 1.3	8	31.0 ± 1.2
5m	1月	7	33.5 ± 0.2	6	33.4 ± 0.4	5	33.5 ± 0.2	4	33.6 ± 0.1
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.3 ± 0.2	5	33.2 ± 0.1	4	33.2 ± 0.4
	3月	8	33.0 ± 0.2	6	32.9 ± 0.3	7	33.0 ± 0.3	7	32.7 ± 1.1
	4月	7	32.6 ± 0.4	6	32.5 ± 0.4	7	32.7 ± 0.3	8	32.5 ± 0.3
	5月	9	31.9 ± 0.4	6	31.9 ± 0.4	7	32.0 ± 0.3	8	31.8 ± 0.5
	6月	9	31.6 ± 0.3	6	31.7 ± 0.3	7	31.7 ± 0.2	8	31.7 ± 0.4
	7月	9	31.6 ± 0.5	6	31.9 ± 0.3	7	31.4 ± 0.4	8	31.7 ± 0.4
10m	1月	7	33.6 ± 0.2	6	33.5 ± 0.4	5	33.2 ± 0.8	4	33.6 ± 0.1
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.3 ± 0.2	5	33.3 ± 0.1	4	33.2 ± 0.4
	3月	8	33.1 ± 0.2	6	33.0 ± 0.4	7	33.1 ± 0.2	7	32.7 ± 1.1
	4月	7	32.9 ± 0.3	6	32.6 ± 0.3	7	32.8 ± 0.3	8	32.6 ± 0.3
	5月	9	32.2 ± 0.4	6	32.0 ± 0.4	7	32.2 ± 0.3	8	32.0 ± 0.5
	6月	9	32.0 ± 0.3	6	31.9 ± 0.3	7	31.9 ± 0.1	8	31.8 ± 0.4
	7月	9	31.9 ± 0.4	6	32.0 ± 0.4	7	31.7 ± 0.2	8	32.0 ± 0.3
15m	1月	7	33.6 ± 0.2	6	33.5 ± 0.4	5	33.3 ± 0.8	4	33.6 ± 0.1
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.3 ± 0.2	5	33.4 ± 0.1	4	33.3 ± 0.4
	3月	8	33.1 ± 0.2	6	33.0 ± 0.4	7	33.1 ± 0.3	7	32.8 ± 1.0
	4月	7	33.1 ± 0.2	6	32.7 ± 0.3	7	32.9 ± 0.2	8	32.7 ± 0.3
	5月	9	32.5 ± 0.3	6	32.2 ± 0.2	7	32.3 ± 0.2	8	32.0 ± 0.6
	6月	9	32.2 ± 0.3	6	32.0 ± 0.2	7	32.1 ± 0.1	8	32.0 ± 0.4
	7月	9	32.0 ± 0.4	6	32.1 ± 0.5	7	32.1 ± 0.3	8	32.3 ± 0.4
20m	1月	7	33.6 ± 0.2	6	33.5 ± 0.5	5	33.3 ± 0.8	4	33.6 ± 0.1
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.3 ± 0.2	5	33.4 ± 0.1	4	33.3 ± 0.3
	3月	8	33.2 ± 0.2	6	33.1 ± 0.4	7	33.2 ± 0.3	7	32.9 ± 0.9
	4月	7	33.1 ± 0.3	6	32.8 ± 0.2	7	32.9 ± 0.2	8	32.8 ± 0.2
	5月	8	32.6 ± 0.4	6	32.3 ± 0.2	7	32.4 ± 0.2	8	32.1 ± 0.5
	6月	9	32.3 ± 0.4	6	32.0 ± 0.2	7	32.3 ± 0.1	8	32.2 ± 0.3
	7月	9	32.3 ± 0.3	6	32.2 ± 0.3	7	32.3 ± 0.3	8	32.5 ± 0.5
25m	1月	7	33.6 ± 0.2	6	33.5 ± 0.4	5	33.3 ± 0.7	4	33.6 ± 0.1
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.6 ± 0.5	4	33.6 ± 0.1	4	33.4 ± 0.3
	3月	8	33.2 ± 0.2	6	33.1 ± 0.3	7	33.2 ± 0.3	7	33.0 ± 0.8
	4月	6	33.1 ± 0.3	6	32.9 ± 0.3	7	33.0 ± 0.2	8	32.8 ± 0.2
	5月	8	32.7 ± 0.4	6	32.5 ± 0.1	7	32.5 ± 0.2	8	32.3 ± 0.4
	6月	9	32.4 ± 0.4	6	32.2 ± 0.2	7	32.4 ± 0.1	8	32.4 ± 0.3
	7月	9	32.4 ± 0.3	6	32.4 ± 0.4	7	32.6 ± 0.3	8	32.7 ± 0.4
30m	1月	7	33.6 ± 0.2	6	33.5 ± 0.4				
	2月	9	33.3 ± 0.3	5	33.4 ± 0.2				
	3月	8	33.2 ± 0.2	6	33.1 ± 0.3				
	4月	6	33.1 ± 0.3	6	33.0 ± 0.2				
	5月	8	32.8 ± 0.4	6	32.5 ± 0.2				
	6月	9	32.5 ± 0.3	6	32.3 ± 0.3				
	7月	9	32.6 ± 0.3	6	32.5 ± 0.3				

付表4 八雲および虻田定点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均鉛直安定度と標準偏差

水深	観測月	八雲				虻田			
		ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
		データ数	平均±SD($\times 10^{-3}$)	データ数	平均±SD($\times 10^{-3}$)	データ数	平均±SD($\times 10^{-3}$)	データ数	平均±SD($\times 10^{-3}$)
0-5m	1月	7	0.02 ± 0.02	6	0.01 ± 0.02	5	0.14 ± 0.10	4	0.05 ± 0.08
	2月	9	0.02 ± 0.02	5	0.02 ± 0.02	5	0.05 ± 0.07	4	0.09 ± 0.12
	3月	8	0.06 ± 0.09	6	0.08 ± 0.09	7	0.08 ± 0.10	7	0.03 ± 0.03
	4月	7	0.15 ± 0.13	6	0.17 ± 0.10	7	0.24 ± 0.26	8	0.17 ± 0.18
	5月	9	0.10 ± 0.05	6	0.11 ± 0.05	7	0.28 ± 0.20	8	0.17 ± 0.12
	6月	9	0.17 ± 0.14	6	0.15 ± 0.10	7	0.52 ± 0.41	8	0.23 ± 0.21
	7月	9	0.17 ± 0.11	6	0.31 ± 0.22	7	0.25 ± 0.21	8	0.22 ± 0.16
5-10m	1月	7	0.01 ± 0.01	6	0.01 ± 0.00	5	-0.03 ± 0.10	4	0.01 ± 0.00
	2月	9	0.01 ± 0.00	5	0.00 ± 0.01	5	0.01 ± 0.00	4	0.01 ± 0.00
	3月	8	0.02 ± 0.02	6	0.02 ± 0.02	7	0.02 ± 0.02	7	0.02 ± 0.01
	4月	7	0.06 ± 0.05	6	0.04 ± 0.03	7	0.04 ± 0.01	8	0.03 ± 0.02
	5月	9	0.08 ± 0.05	6	0.05 ± 0.05	7	0.05 ± 0.02	8	0.05 ± 0.03
	6月	9	0.18 ± 0.08	6	0.10 ± 0.03	7	0.11 ± 0.06	8	0.09 ± 0.05
	7月	9	0.12 ± 0.09	6	0.11 ± 0.05	7	0.16 ± 0.07	8	0.14 ± 0.06
10-15m	1月	7	0.01 ± 0.01	6	0.00 ± 0.00	5	0.01 ± 0.00	4	0.01 ± 0.00
	2月	9	0.01 ± 0.00	5	0.00 ± 0.00	5	0.01 ± 0.00	4	0.01 ± 0.00
	3月	8	0.01 ± 0.01	6	0.01 ± 0.01	7	0.01 ± 0.01	7	0.02 ± 0.02
	4月	7	0.05 ± 0.03	6	0.03 ± 0.02	7	0.02 ± 0.01	8	0.02 ± 0.01
	5月	9	0.07 ± 0.04	6	0.06 ± 0.05	7	0.04 ± 0.03	8	0.03 ± 0.02
	6月	9	0.07 ± 0.05	6	0.05 ± 0.03	7	0.08 ± 0.03	8	0.10 ± 0.06
	7月	9	0.10 ± 0.06	6	0.11 ± 0.08	7	0.14 ± 0.07	8	0.11 ± 0.04
15-20m	1月	7	0.00 ± 0.00	6	0.01 ± 0.02	5	0.01 ± 0.00	4	0.01 ± 0.00
	2月	9	0.01 ± 0.00	5	0.01 ± 0.01	5	0.01 ± 0.01	4	0.01 ± 0.00
	3月	8	0.01 ± 0.01	6	0.01 ± 0.01	7	0.01 ± 0.01	7	0.02 ± 0.01
	4月	7	0.01 ± 0.02	6	0.03 ± 0.01	7	0.01 ± 0.01	8	0.02 ± 0.02
	5月	8	0.03 ± 0.02	6	0.05 ± 0.03	7	0.03 ± 0.02	8	0.04 ± 0.03
	6月	9	0.04 ± 0.02	6	0.04 ± 0.03	7	0.06 ± 0.03	8	0.09 ± 0.06
	7月	9	0.12 ± 0.06	6	0.10 ± 0.04	7	0.12 ± 0.06	8	0.11 ± 0.04
20-25m	1月	7	0.01 ± 0.00	6	0.00 ± 0.02	5	0.01 ± 0.01	4	0.01 ± 0.00
	2月	9	0.01 ± 0.00	5	0.04 ± 0.08	4	0.01 ± 0.00	4	0.01 ± 0.01
	3月	8	0.01 ± 0.00	6	0.01 ± 0.00	7	0.01 ± 0.01	7	0.02 ± 0.01
	4月	6	0.01 ± 0.01	6	0.02 ± 0.01	7	0.02 ± 0.01	8	0.02 ± 0.01
	5月	8	0.03 ± 0.01	6	0.05 ± 0.04	7	0.04 ± 0.02	8	0.05 ± 0.03
	6月	9	0.04 ± 0.02	6	0.08 ± 0.02	7	0.06 ± 0.01	8	0.05 ± 0.03
	7月	9	0.08 ± 0.05	6	0.12 ± 0.02	7	0.09 ± 0.03	8	0.07 ± 0.03
25-30m	1月	7	0.01 ± 0.00	6	0.01 ± 0.00				
	2月	9	0.01 ± 0.01	5	-0.03 ± 0.08				
	3月	8	0.01 ± 0.02	6	0.01 ± 0.00				
	4月	6	0.01 ± 0.01	6	0.02 ± 0.01				
	5月	8	0.02 ± 0.02	6	0.02 ± 0.01				
	6月	9	0.04 ± 0.02	6	0.07 ± 0.03				
	7月	9	0.07 ± 0.04	6	0.07 ± 0.04				

付表5 八雲および洞爺湖温泉観測点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均降水量と標準偏差

洞爺湖温泉観測点の2000年4~7月（非ブルーム年）のデータは欠測である。

観測月	八雲				洞爺湖温泉			
	ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)
1月	9	88 ± 34	6	78 ± 19	7	52 ± 24	8	47 ± 24
2月	9	74 ± 46	6	62 ± 22	7	50 ± 39	8	31 ± 13
3月	9	85 ± 34	6	58 ± 15	7	43 ± 21	8	46 ± 25
4月	9	98 ± 37	6	65 ± 36	7	67 ± 35	7	44 ± 22
5月	9	99 ± 38	6	77 ± 22	7	76 ± 29	7	69 ± 26
6月	9	78 ± 27	6	49 ± 15	7	62 ± 24	7	47 ± 25
7月	9	134 ± 104	6	146 ± 64	7	135 ± 69	7	92 ± 56

付表6 八雲および洞爺湖温泉観測点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均累積降水量と標準偏差
洞爺湖温泉観測点の2000年4~7月(非ブルーム年)の降水量は欠測のため、4月以後の累積データは使用していない。2009年3~4月(ブルーム年)の降水量は2ヶ月連続して一部欠測があったため、3月以後の累積データは使用していない。

観測月	八雲				洞爺湖温泉			
	ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)	データ数	平均±SD(mm)
1~2月	9	162 ± 50	6	140 ± 31	7	102 ± 40	8	78 ± 27
1~3月	9	247 ± 69	6	198 ± 41	6	156 ± 38	8	124 ± 45
1~4月	9	345 ± 71	6	263 ± 73	6	230 ± 27	7	164 ± 65
1~5月	9	444 ± 89	6	340 ± 86	6	313 ± 43	7	232 ± 77
1~6月	9	523 ± 91	6	389 ± 87	6	378 ± 61	7	279 ± 74
1~7月	9	656 ± 130	6	535 ± 122	6	500 ± 34	7	370 ± 118

付表7 八雲観測点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均日照時間と標準偏差

観測月	ブルーム年		非ブルーム年	
	データ数	平均±SD(h)	データ数	平均±SD(h)
1月	9	81 ± 12	6	77 ± 11
2月	9	94 ± 28	6	96 ± 30
3月	9	129 ± 29	6	139 ± 15
4月	9	155 ± 36	6	186 ± 42
5月	9	152 ± 41	6	178 ± 27
6月	9	132 ± 33	6	140 ± 35
7月	9	110 ± 32	6	110 ± 46

付表8 八雲観測点におけるブルーム年と非ブルーム年の月平均風向風速と標準偏差

風向	観測月	風向頻度				風速			
		ブルーム年		非ブルーム年		ブルーム年		非ブルーム年	
		データ数	平均±SD(%)	データ数	平均±SD(%)	データ数	平均±SD(m·s ⁻¹)	データ数	平均±SD(m·s ⁻¹)
東よりの風	1月	9	7.1 ± 3.8	6	6.9 ± 3.1	9	3.6 ± 0.9	6	3.1 ± 1.0
	2月	9	8.9 ± 1.7	6	7.2 ± 2.7	9	2.5 ± 0.8	6	2.7 ± 1.3
	3月	9	12.9 ± 3.5	6	17.9 ± 6.1	9	2.9 ± 0.6	6	2.9 ± 0.8
	4月	9	26.2 ± 5.7	6	28.0 ± 7.8	9	3.1 ± 0.6	6	2.4 ± 0.5
	5月	9	42.3 ± 6.2	6	41.1 ± 6.4	9	2.6 ± 0.5	6	2.7 ± 0.7
	6月	9	48.4 ± 10.4	6	52.4 ± 10.6	9	2.3 ± 0.3	6	2.5 ± 0.4
	7月	9	55.4 ± 13.4	6	49.8 ± 11.1	9	2.6 ± 0.6	6	2.5 ± 0.4
西よりの風	1月	9	79.5 ± 13.4	6	83.3 ± 5.7	9	2.7 ± 0.3	6	2.6 ± 0.2
	2月	9	75.5 ± 9.9	6	78.9 ± 7.1	9	2.8 ± 0.4	6	2.8 ± 0.3
	3月	9	71.9 ± 10.9	6	68.3 ± 5.8	9	3.2 ± 0.5	6	2.9 ± 0.5
	4月	9	57.5 ± 9.7	6	56.4 ± 9.9	9	3.1 ± 0.2	6	2.9 ± 0.3
	5月	9	39.2 ± 10.9	6	41.5 ± 10.0	9	2.9 ± 0.3	6	2.9 ± 0.3
	6月	9	33.6 ± 10.4	6	30.1 ± 8.5	9	2.6 ± 0.4	6	2.4 ± 0.7
	7月	9	28.5 ± 10.1	6	27.4 ± 9.4	9	2.3 ± 0.4	6	2.5 ± 0.6
北よりの風	1月	9	10.6 ± 13.0	6	5.9 ± 2.0	9	2.5 ± 0.4	6	2.2 ± 0.3
	2月	9	12.3 ± 15.0	6	6.0 ± 1.7	9	2.2 ± 0.5	6	2.4 ± 0.4
	3月	9	13.3 ± 13.0	6	10.1 ± 1.6	9	2.4 ± 0.6	6	2.2 ± 0.1
	4月	9	14.1 ± 9.7	6	12.2 ± 1.6	9	2.2 ± 0.4	6	2.2 ± 0.3
	5月	9	18.1 ± 7.9	6	14.3 ± 2.6	9	2.0 ± 0.2	6	2.1 ± 0.3
	6月	9	17.5 ± 5.9	6	14.4 ± 6.8	9	1.8 ± 0.2	6	1.8 ± 0.3
	7月	9	14.4 ± 6.9	6	10.9 ± 3.1	9	1.7 ± 0.2	6	1.7 ± 0.3
南よりの風	1月	9	14.4 ± 7.4	6	11.7 ± 3.0	9	1.7 ± 0.4	6	1.6 ± 0.4
	2月	9	16.1 ± 4.1	6	12.0 ± 3.2	9	1.7 ± 0.6	6	1.6 ± 0.2
	3月	9	15.3 ± 6.7	6	14.6 ± 1.1	9	2.4 ± 0.9	6	2.4 ± 0.8
	4月	9	17.2 ± 8.7	6	13.5 ± 2.5	9	2.7 ± 0.5	6	2.5 ± 0.6
	5月	9	12.5 ± 7.1	6	11.6 ± 3.8	9	2.3 ± 0.4	6	2.6 ± 0.6
	6月	9	13.1 ± 9.4	6	7.8 ± 3.5	9	2.0 ± 0.6	6	1.8 ± 0.7
	7月	9	11.3 ± 10.1	6	7.9 ± 4.6	9	1.6 ± 0.4	6	1.8 ± 0.5