

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測するための *Alexandrium tamarense* 細胞密度の有効性について（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

Effectiveness of using *Alexandrium tamarense* density for predicting the occurrence of paralytic shellfish poisoning in scallops in Funka Bay, Hokkaido, Japan (Note)

HIDETSUGU YOSHIDA* and MAKOTO KANAMORI

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

キーワード：*Alexandrium tamarense*, 事前予測, 出荷規制, 噴火湾, ホタテガイ, 麻痺性貝毒

我が国で確認されている麻痺性貝毒の原因プランクトンは、*Alexandrium tamarense*, *A. catenella*, *A. tamiyavanichii*, *A. ostenfeldii*, *A. minutum*, *Gymnodinium catenatum*である（農林水産省，2015a）。そのうち北海道の噴火湾では、*A. tamarense*が麻痺性貝毒の主な原因種とされている（北海道立水産試験場，2000）。これら貝毒プランクトンを捕食し、毒を蓄積した二枚貝等をヒトが食べると、中毒症状を引き起こすことがあり、重症な例では呼吸麻痺により12時間以内に死亡する（農林水産省，2015a）。

北海道沿岸では、月1~2回の貝毒プランクトンモニタリング調査とともに、貝毒による食中毒を未然に防ぐため、沿岸海域を19海域に区分し、二枚貝等の貝毒検査が実施されている。二枚貝等を生産する漁業協同組合は、生産開始1週間前および水揚げ期間中は毎週1回、貝毒検査を行っているほか、行政による貝毒検査も行われている（北海道ほたて流通食品協会・北海道ぎょれん，2011；北海道，2015）。

麻痺性貝毒における北海道の規制として、ホタテガイでは可食部毒量が 3MU g^{-1} または中腸腺毒量が 20MU g^{-1} を超えた場合に出荷の「自粛規制」が措置される（北海道，2015）。また、国の規制として、二枚貝等の可食部毒量が 4MU g^{-1} を超えた場合に出荷の「自主規制」が措置される（農林水産省，2015b）。本稿では可食部毒量 3MU g^{-1} または中腸腺毒量 20MU g^{-1} を「規制値」と表現し、また、出荷の自粛規制と自主規制の両者を含めて「出荷規

制」と表現する。

出荷規制が措置されると、二枚貝等の水揚げおよび処理加工は禁止となるが、ホタテガイは貝毒が中腸腺に偏在していることから、有毒部位の除去など条件付処理加工し、出荷することが認められている（北海道ほたて流通食品協会・北海道ぎょれん，2011；厚生労働省，2015）。

噴火湾東部海域（豊浦町から室蘭市の海域）および噴火湾西部海域（森町から長万部町の海域）における1986~2016年の麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制の期間を図1および付表1に示した。1986年以後31カ年の内、噴火湾東部海域では19カ年、西部海域では20カ年でホタテガイの出荷が規制された。両海域ともに1991年までは、ほぼ周年規制されることもあったが、1992年以後は春季から秋季にかけて規制されることが多い。

噴火湾のホタテガイ養殖は、耳吊り方式（耳殻に孔を開けピン等でロープに取り付けて吊す養殖方法）および籠方式で実施されているが、貝毒原因プランクトンの摂餌によりホタテガイが毒化する時期を外し、冬季から早春に出荷するサイクルで発展してきた（北海道立水産試験場，2000; Imai *et al.*, 2014）。しかし、図1に示したように出荷が規制されない年もあり、また、近年、中国など国外への輸出も好調なため、周年出荷のニーズが高まっている。そのため、漁業者がホタテガイを計画的に出荷するためには、麻痺性貝毒により出荷が規制されるか否かを事前に予測することが切に望まれている。そこで、本稿ではこれまで得られた貝毒プランクトン調査や貝毒

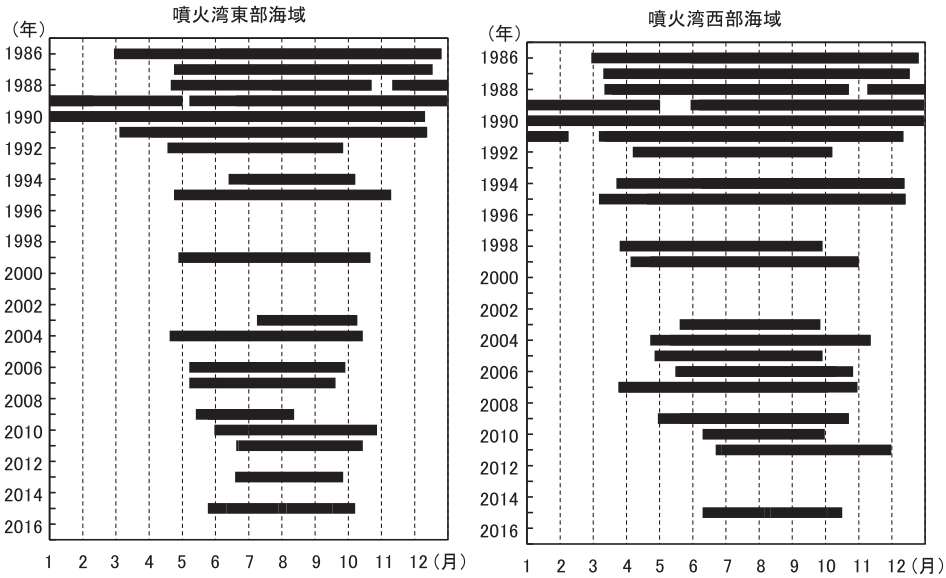


図1 噴火湾東部および西部海域における麻痺性貝毒によるホタテガイ出荷規制が措置された期間
2016年は10月31日時点では規制されていない。

検査結果に基づき、*A. tamarensis*細胞密度と麻痺性貝毒量との関係を整理し、*A. tamarensis*細胞密度を用いて、ホタテガイの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

解析に用いたデータ 解析には*A. tamarensis*の細胞密度、ホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量と可食部毒量およびホタテガイの出荷規制時期のデータを用いた。*A. tamarensis*細胞密度は、噴火湾東部海域の洞爺湖町沖1マイル（水深約30m）、噴火湾西部海域の八雲町沖3マイル（水深約32m）および森町沖1.6マイル（水深約60m）で実施された貝毒プランクトンモニタリング調査の結果を用いた（北海道，1985–2006；北海道，2007–2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道，2011–2016；（地独）道総研函館水産試験場ホームページ，Internet web. Download from : (<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hakodate/index.html> (2016.10.31))；図2)。麻痺性貝毒の中腸腺毒量と可食部毒量は、いぶり噴火湾漁業協同組合（洞爺湖町在所）、八雲町漁業協同組合および森漁業協同組合の養殖場で採取されたホタテガイの貝毒検査結果を用いた（北海道，1985–2001；北海道漁業協同組合連合会資料；北海道水産林務部資料；（地独）道総研中央水産試験場資料）。これら*A. tamarensis*細胞密度、中腸腺毒量および可食部毒量のデータが得られたのは、洞爺湖町沖では1984–2016年、八雲町沖では2000–2016年、森町沖では2005–2016年だった。麻痺性貝毒によるホタテ

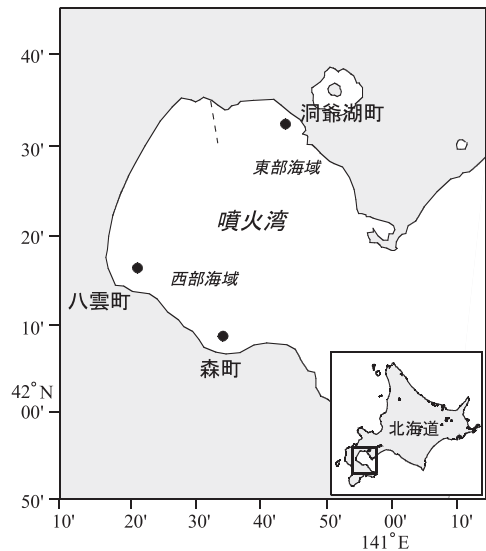


図2 貝毒プランクトン調査（●）の位置
破線は噴火湾東部と西部海域の境界を示す。

ガイの出荷規制は、生産海域ごとに実施されるため、解析には噴火湾東部および西部海域における出荷規制の開始時期を用いた（北海道，1985–2006；北海道，2007–2010；地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道，2011–2016；北海道漁業協同組合連合会資料；北海道水産林務部資料）。

***Alexandrium tamarensis*細胞密度と麻痺性貝毒量との関係** 洞爺湖町沖、八雲町沖および森町沖における*A. tamarensis*細胞密度の年最高値とホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量ならびに可食部毒量の年最高値がみられる時期を比較検討した。*A. tamarensis*細胞密度と中腸

腺毒量との相関関係および *A. tamarense* 細胞密度と可食部毒量との相関関係は、スピアマンの順位相関係数で検定した（事前に χ^2 適合度検定により、細胞密度、中腸腺毒量および可食部毒量のいずれかが非正規分布であることを確認した）。ただし、麻痺性貝毒量の検出限界未満 ($<2.0\text{MU g}^{-1}$) については 0MU g^{-1} として検定に供した。麻痺性貝毒の発生を警戒すべき *Alexandrium tamarense* 細胞密度 洞爺湖町沖、八雲町沖および森町沖において、前記方法で *A. tamarense* 細胞密度と麻痺性貝毒量との間に有意な正の相関が得られた場合、ホタテガイの麻痺性貝毒発生を警戒すべき *A. tamarense* 細胞密度を求めた。警戒すべき *A. tamarense* 細胞密度は、下記の「予測の正確度」が最高となる *A. tamarense* 細胞密度とした。予測の正確度とは、「全調査年の内、規制値を超えるか否かを正しく予測した年の割合」を示す。

$$\text{予測の正確度 (\%)} = (ai + bi) / c \times 100 \dots (1)$$

ai : *i* 細胞密度以上の *A. tamarense* が出現した初日が、中腸腺毒量または可食部毒量が規制値を超えた初日以前だった場合の年数 (*i* 細胞密度以上の *A. tamarense* の出現から、事前に規制値を超えることが予測できた年数を示す)

bi : *i* 細胞密度以上の *A. tamarense* が出現せず、かつ中腸腺毒量および可食部毒量が規制値を超えなかった場合の年数 (*i* 細胞密度以上の *A. tamarense* の出現がなく、その年は規制値を超えないことが予測できた年数を示す)

i : *A. tamarense* 細胞密度で、 $10 \sim 1,000\text{細胞L}^{-1}$ の間で変化させた。変化させる細胞密度の最小単位は、採水した海水 1L の $1/10$ 量を検鏡しているため、 10細胞L^{-1} である。

c : 調査年数

得られた結果の妥当性を評価するため、前述した予測の正確度以外に、1) 「規制値を超えると予測した年の内、予測後に規制値を越えた年の割合（規制の予測率）」、2) 「規制値を超えると予測しなかった年の内、規制値を超えなかった年の割合（非規制の予測率）」、3) 「規制値を超えた年の内、事前に規制値を越えると予測した年の割合（予測の感度）」および 4) 「規制値を超えなかった年の内、規制値を超えると予測しなかった年の割合（予測の特異度）」を求めた。

結果と考察

Alexandrium tamarense 細胞密度と麻痺性貝毒量との関係 洞爺湖町沖における 1984~2016 年の *A. tamarense* 細胞密度の年最高値、ホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸

腺毒量および可食部毒量の年最高値を図 3 に示した。 *A. tamarense* 細胞密度の年最高値は $20 \sim 9,400\text{細胞L}^{-1}$ で 2~8 月に出現した。中腸腺毒量の年最高値は $2.2 \sim 1,446.0\text{MU g}^{-1}$ だった。ただし、1996 年は中腸腺毒量の検査は実施されなかった。中腸腺毒量の年最高値は、32 年の内、24 年間で *A. tamarense* 細胞密度が年最高値となった当月から 3 ヶ月以内にみられた。3 ヶ月後に中腸腺毒量の年最高値がみられた 2015 年の事例を図 4 に示した。5 月に *A. tamarense* 細胞密度の月最高値が $2,760\text{細胞L}^{-1}$ に急増したことに伴い、中腸腺毒量の月最高値は 24.4MU g^{-1} に増加した。その後、6 月に *A. tamarense* 細胞密度の月最高値は 180細胞L^{-1} に急減したが、中腸腺毒量の月最高値は 50.4MU g^{-1} へと増加し続けた。7 月以後、*A. tamarense* はほぼ消滅したが、中腸腺毒量は 8 月に年最高値 54.4MU g^{-1} を記録した。

洞爺湖町沖における中腸腺毒量の年最高値は、*A. tamarense* 細胞密度が年最高値となった当月から 3 ヶ月以内に多くみられたが、1988 年は 5 ヶ月後の 12 月に最も高かった（図 3）。秋季から冬季に貝毒量が上昇したのは *A. catenella* の増殖が原因とされている（北海道、1989）。また、1990 年の中腸腺毒量の年最高値は、*A. tamarense* 細胞密度が年最高値となる 3 ヶ月前にみられたが、これは前年の高毒が当年まで影響したためと推察される。その他のケースもみられたが、いずれも検査していない月があり、中腸腺毒量の年最高値は捉えられていない可能性がある。

洞爺湖町沖における可食部毒量の年最高値は $2.0 \sim 141.0\text{MU g}^{-1}$ だったが、1993、1998、2000~2002、2005、2012 年は全ての検査で検出限界未満 ($<2.0\text{MU g}^{-1}$) だった（図 3）。可食部毒量の年最高値は、*A. tamarense* 細胞密度が年最高値となった当月から 2 ヶ月以内に多くみられた（検出限界未満だった 7 年を除く 26 年の内、19 年）。その他のケースもみられたが、中腸腺毒量と同じ理由が考えられた。

洞爺湖町沖における *A. tamarense* 細胞密度の年最高値とそれが出現した当月から 3 ヶ月以内の麻痺性貝毒量（中腸腺、可食部）の最高値との間には、中腸腺および可食部毒量ともに有意な正の相関が認められた（細胞密度と中腸腺毒量： $r=0.741$, $p<0.01$ ；細胞密度と可食部毒量： $r=0.736$, $p<0.01$ ；図 5）。

八雲町沖における 2000~2016 年の *A. tamarense* 細胞密度の年最高値は $20 \sim 960\text{細胞L}^{-1}$ で 4~6 月に出現した（図 6）。ただし、2002 年は全ての調査で *A. tamarense* の出現は認められなかった。中腸腺毒量の年最高値は $2.8 \sim 144.8\text{MU g}^{-1}$ であり、*A. tamarense* 細胞密度が年最高値となった当月から 3 ヶ月以内に多くみられた（*A. tamarense* の出現が認められた 16 年の内、14 年）。

八雲町沖における可食部毒量の年最高値は $2.3 \sim 9.4\text{MU}$

単位: *Alexandrium tamarense* 細胞密度: 細胞数 L⁻¹, 麻痺性貝毒量: MU g⁻¹

| 年 | 調査・検査項目 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 備考 |
|------|--------------------------|----|----|----|----|-------|-------|---------|----|----|-----|-----|------|--------|
| 1984 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 4,880 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 549.2 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 113.5 | | | | | | | |
| 1985 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 180 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 91.8 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 19.7 | | | | | | |
| 1986 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 2,300 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 396.0 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 87.5 | | | | | | |
| 1987 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 5,760 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 658.0 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 141.0 | | | | | | |
| 1988 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 80 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | | | | 47.3 | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | 5.3 | |
| 1989 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 9,400 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 1,446.0 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 129.5 | | | | | | |
| 1990 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 300 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 230.5 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 40.5 | | | | | | | | |
| 1991 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 3,960 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 43.7 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 11.8 | | | | | | | | |
| 1992 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 40 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 18.1 | | | | | | | | |
| 1993 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 2.7 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 60 | | | | | | | | |
| 1994 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 660 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 54.1 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 4.8 | | | | | | |
| 1995 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 240 | 240 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 73.8 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 12.8 | | | | | | | |
| 1996 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 60 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | | | | | 検査なし |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 2.0 | | | | | | | | |
| 1997 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 80 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 5.6 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.1 | | | | | | | |
| 1998 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 20 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 3.3 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 1999 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 100 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 12.6 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 2.8 | | | | | | |
| 2000 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 20 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 10.4 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 2001 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 40 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 3.8 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 2002 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 280 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | | | 2.2 | 2.2 | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 2003 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 80 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 26.2 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 2.6 | | | | | | |
| 2004 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 450 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 145.8 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.4 | | | | | | | |
| 2005 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 20 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 3.5 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 2006 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 1,130 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 40.2 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.6 | | | | | | |
| 2007 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 40 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | | | | 3.4 | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.2 | | | | | | |
| 2008 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 30 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 4.5 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 2.0 | | | | | | |
| 2009 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 390 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 66.6 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 2.9 | | | | | | |
| 2010 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 300 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 28.8 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.0 | | | | | | |

図3 洞爺湖町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度の年最高値とホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量および可食部毒量の年最高値
 白色部分：調査や検査が実施されなかった月，灰色部分：調査や検査が実施された月，黒色部分：麻痺性貝毒量が規制値を超えた月を示す。－：2016年10月31日時点で調査や検査が実施されていないことを示す。

単位: *A. tamarensis* 細胞密度: 細胞数 L⁻¹, 麻痺性貝毒量: MU g⁻¹

| 年 | 調査・検査項目 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 備考 |
|------|---------------------------|----|----|----|----|-------|-------|-----|------|----|-----|-----|-----|--------|
| 2011 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | | | | | 360 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 179.6 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | 4.5 | | | | | |
| 2012 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | | | | 80 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 2.6 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| 2013 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | | | | | 170 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 20.6 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.8 | | | | | | | |
| 2014 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | 20 | | | 20 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 6.1 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | 1.9 | | | | | |
| 2015 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | | | | 2,760 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 54.4 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 7.7 | | | | | | |
| 2016 | <i>A. tamarensis</i> 細胞密度 | | | | | 60 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 14.7 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.2 | 2.2 | | | | | | |

図3 続き

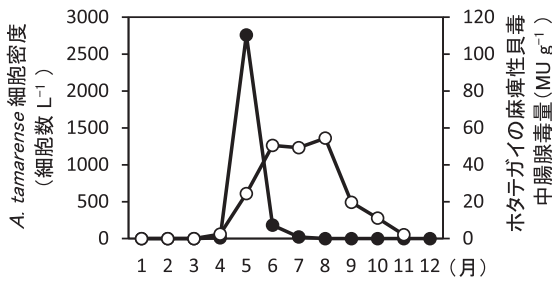


図4 洞爺湖町沖における2015年の*Alexandrium tamarensis*細胞密度の月最高値(●)およびホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量の月最高値(○)の推移

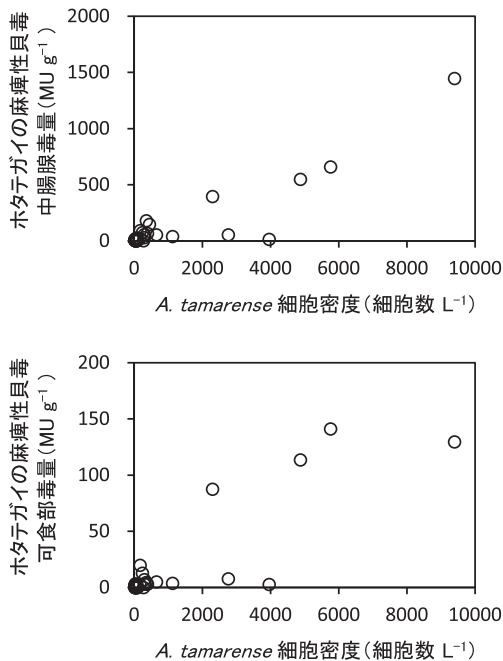


図5 洞爺湖町沖における*Alexandrium tamarensis*細胞密度の年最高値とそれが出現した当月から3ヵ月以内のホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量の最高値(上図)および可食部毒量の最高値(下図)との関係。可食部毒量の検出限界未満(<2.0MU g⁻¹)は0MU g⁻¹としている。

g⁻¹だったが、2000~2002, 2012, 2014, 2016年は全ての検査で検出限界未満(<2.0MU g⁻¹)だった。可食部毒量の年最高値も*A. tamarensis*細胞密度が年最高値となった当月から3ヵ月以内に多くみられた(検出限界未満だった6ヵ年を除く11ヵ年の内、9ヵ年)。ただし、2004, 2006, 2007, 2009年のように中腸腺毒量が高く、規制値を超えている期間に可食部毒量の検査をしていないことがあり、可食部毒量の年最高値は捉えられていない可能性がある。

八雲町沖における*A. tamarensis*細胞密度の年最高値とそれが出現した当月から3ヵ月以内の麻痺性貝毒量(中腸腺, 可食部)の最高値との間には、中腸腺および可食部毒量ともに有意な正の相関が認められた(細胞密度と中腸腺毒量: $r=0.798, p<0.01$; 細胞密度と可食部毒量: $r=0.544, p<0.05$; 図7)。

森町沖における2005~2016年の*A. tamarensis*細胞密度の年最高値は20~1,400細胞L⁻¹で4~7月に出現した(図8)。ただし、2005年は全ての調査で*A. tamarensis*の出現は認められなかった。中腸腺毒量の年最高値は3.2~135.0MU g⁻¹で、*A. tamarensis*細胞密度が年最高値となった当月から3ヵ月以内に多くみられた(*A. tamarensis*の出現が認められた11ヵ年の内、9ヵ年)。

森町沖における可食部毒量の年最高値は2.1~3.8MU g⁻¹だったが、2014, 2016年は全ての検査で検出限界未満(<2.0MU g⁻¹)だった。可食部毒量の年最高値は、*A. tamarensis*細胞密度が年最高値となった当月から1ヵ月以内に多くみられた(*A. tamarensis*の出現が認められなかった1ヵ年および検出限界未満だった2ヵ年を除く9ヵ年の内、5ヵ年)。ただし、2006, 2007, 2009, 2011年のように中腸腺毒量が高く、規制値を超えている期間に可食部毒量の検査をしていないことがあり、可食部毒量の年最高値は捉えられていない可能性がある。

森町沖における*A. tamarensis*細胞密度の年最高値とそれ

単位: *Alexandrium tamarense* 細胞密度: 細胞数 L⁻¹, 麻痺性貝毒量: MU g⁻¹

| 年 | 調査・検査項目 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 備考 |
|------|--------------------------|----|----|-----|------|-------|-----|-------|------|----|-----|-----|-----|--------|
| 2000 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 140 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 7.8 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2001 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 40 | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | 4.8 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2002 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | | | | | | | 全て0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | 3.0 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2003 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 180 | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 39.6 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.7 | | | | | | |
| 2004 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 880 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 143.2 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | 2.3 | | | |
| 2005 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 40 | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 9.7 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 2.4 | | | | | | | | |
| 2006 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 200 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 108.0 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 2.9 | | | | | | | | |
| 2007 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 630 | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 122.3 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | 2.3 | | | | | | | | | |
| 2008 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 30 | | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | 10.3 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | 2.7 | | | | | | | | | |
| 2009 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 960 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 104.3 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | 2.0 | | | |
| 2010 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 730 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 31.1 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.4 | | | | | | |
| 2011 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 470 | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 144.8 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 9.4 | | | | | | | |
| 2012 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 60 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | 3.5 | | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2013 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 150 | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 18.9 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | 2.5 | | | | | |
| 2014 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 20 | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | 2.8 | | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2015 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 640 | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 36.0 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | 4.7 | | | | | |
| 2016 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 20 | | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 9.0 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |

図6 八雲町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度の年最高値とホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量および可食部毒量の年最高値
 白色部分：調査や検査が実施されなかった月，灰色部分：調査や検査が実施された月，黒色部分：麻痺性貝毒量が規制値を超えた月を示す。－：2016年10月31日時点で調査や検査が実施されていないことを示す。

が出現した当月から3ヵ月以内の麻痺性貝毒量（中腸腺，可食部）の最高値との間には，中腸腺および可食部毒量ともに有意な相関は認められなかった（細胞密度と中腸腺毒量： $r=0.434, p>0.05$ ；細胞密度と可食部毒量： $r=0.085, p>0.05$ ；図9）。細胞密度と中腸腺毒量との間で相関が認められなかったことについては，2007年の細胞密度の年最高値が100細胞L⁻¹と低かったにもかかわらず，中腸腺毒量の年最高値が135.0MU g⁻¹と12ヵ年で最も高かったことが原因の一つと考えられる。また，細胞密度と可食部毒量の間で相関が認められなかったことについては，前述したように可食部毒量の年最高値が捉えられていないことが原因の一つと考えられる。

麻痺性貝毒の発生を警戒すべき *Alexandrium tamarense* 細胞密度 前項で洞爺湖町沖および八雲町沖における *A.*

tamarense 細胞密度と麻痺性貝毒量（中腸腺，可食部）との間に正の相関が認められたため，この2カ所のホタテガイにおける麻痺性貝毒の発生を警戒すべき *A. tamarense* 細胞密度を求めた。

洞爺湖町沖における (1) 式から求めた予測の正確度を図10に示した。ただし，1984～1991年のデータは予測の正確度の算出には不適だったため使用しなかった。その理由はプランクトン調査の開始が5月と遅かったこと（1984～1988年），麻痺性貝毒の規制値を超える時期が4月以前あるいはほぼ周年規制されていたこと（1985～1987, 1989～1990年）など，1984年と1988年を除く年でプランクトン調査が実施される前に麻痺性貝毒の規制値を超えていた等のためである（図3）。1992～2016年のデータから求めた予測の正確度は，*A. tamarense* 細胞密度が110～170

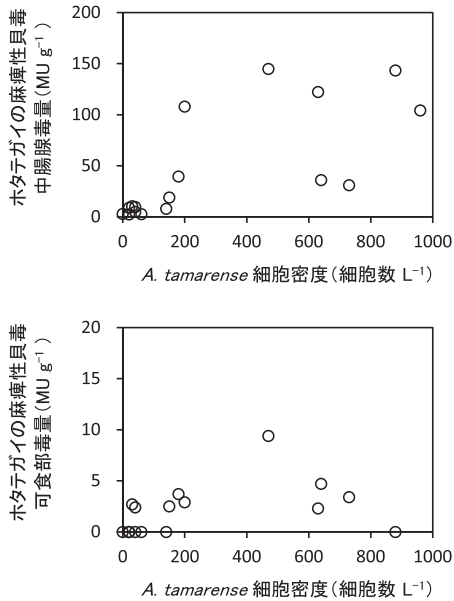


図7 八雲町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度の年最高値とそれが出現した当月から3ヵ月以内のホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量の最高値（上図）および可食部毒量の最高値（下図）との関係
可食部毒量の検出限界未満（ $<2.0 \text{ MU g}^{-1}$ ）は 0 MU g^{-1} としている。

細胞 L^{-1} の時に84%で最も高く、警戒すべき細胞密度は少なくとも 110 細胞 L^{-1} 以上となる。 110 細胞 L^{-1} 以上を貝毒の発生を予測する細胞密度と設定した場合の事例を表1に示す。規制値を超えるか否かを正しく予測したケースは、25カ年の内、規制値を超えると予測し、その2~50日後（平均24日後）に規制値を超えた年が8カ年、規制値を超えると予測しなかった年に、規制値を超えなかった年が13カ年であり、併せて21カ年だった。この場合、予測の正確度は84%、その他の予測の評価に関する4項目の割合は73~93%であり、いずれも7割を超えていた（表2）。

八雲町沖における2000~2016年のデータから求めた予測の正確度は、*A. tamarense* 細胞密度が $160 \sim 180 \text{ 細胞 L}^{-1}$ の時に94%で最も高く、警戒すべき細胞密度は少なくとも 160 細胞 L^{-1} 以上となる（図11）。 160 細胞 L^{-1} 以上を貝毒の発生を予測する細胞密度と設定した場合の事例を表3に示す。規制値を超えるか否かを正しく予測したケースは、17カ年の内、規制値を超えると予測し、その7~81日後（平均41日後）に規制値を超えた年が7カ年、規制値を超えると予測しなかった年に、規制値を超えなかった年が9カ年であり、併せて16カ年だった。この場合の予測の正確度は94%、その他の予測の評価に関する4項目

| | | 単位: <i>Alexandrium tamarense</i> 細胞密度: 細胞数 L^{-1} , 麻痺性貝毒量: MU g^{-1} | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------------|---|-----|----|------|------|-------|------|-----|------|-----|-----|-----|--------|
| 年 | 調査・検査項目 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 備考 |
| 2005 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | | | | | | | 全て0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 16.2 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | 2.7 | | | | | | | | | |
| 2006 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 1,180 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 82.0 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.1 | | | | | | | |
| 2007 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 100 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 135.0 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 3.8 | | | | | | | |
| 2008 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | 150 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | 14.4 | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | 2.6 | | | | | | | | | |
| 2009 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 970 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | 104.2 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | 2.1 | | | | | | | |
| 2010 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | 460 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | 13.3 | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | 2.3 | | | | | | | | |
| 2011 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 1,400 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | 68.6 | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | 2.2 | | | |
| 2012 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 160 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | 6.6 | | | | | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | 2.6 | | | | | | | | | | | |
| 2013 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 420 | | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | 15.5 | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | 2.3 | | | |
| 2014 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 20 | 20 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | | | 3.2 | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | |
| 2015 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | 690 | | | | | | | 全て<2.0 |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | 27.9 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | 3.6 | | | | | | |
| 2016 | <i>A. tamarense</i> 細胞密度 | | | | | | | 60 | | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・中腸腺毒量 | | | | | | | | 5.7 | | | | | |
| | 麻痺性貝毒・可食部毒量 | | | | | | | | | | | | | 全て<2.0 |

図8 森町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度の年最高値とホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量および可食部毒量の年最高値
白色部分：調査や検査が実施されなかった月，灰色部分：調査や検査が実施された月，黒色部分：麻痺性貝毒量が規制値を超えた月を示す。－：2016年10月31日時点で調査や検査が実施されていないことを示す。

の割合は88~100%であり、いずれも8割を超えていた(表4)。

警戒すべき *Alexandrium tamarense* 細胞密度の生産海域への利用 噴火湾東部海域における麻痺性貝毒の発生によるホタテガイの出荷規制は、1992~2016年の25カ年の内、13カ年で実施された(図1)。洞爺湖町沖で得られた麻痺性貝毒の発生を警戒すべき細胞密度110細胞L⁻¹以上を、出荷規制を予測する細胞密度として、噴火湾東部海域に用いた場合の事例を表5に示す。出荷規制の有無を正しく予測したケースは、25カ年の内、出荷規制を予測し、その1~43日後(平均20日後)に出荷規制された年が7カ年、出荷規制を予測しなかった年に、出荷規制されなかった年が11カ年であり、併せて18カ年だった。

この場合の予測の正確度は72%、その他の予測の評価に関する4項目の割合は54~92%で、予測の感度が54%と低かった(表6)。この原因は、1992年と1999年には洞爺湖町沖では麻痺性貝毒量の規制値を超えなかったが(表1)、噴火湾東部海域では他地区で規制値を超えたため出荷規制されたこと(表5)、1995年には洞爺湖町沖では事前に規制値を超えることを予測したが(表1)、噴火湾東部海域では出荷規制の方が*A. tamarense*が110細胞L⁻¹

表1 洞爺湖町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度(110細胞L⁻¹以上)を用いたホタテガイの麻痺性貝毒発生の予測結果

| 年 | At ^{※1} が110細胞L ⁻¹ 以上出現した初日 | ホタテガイの麻痺性貝毒量が規制値を超えた初日 | 事前予測日数 | 事前予測の可否 |
|------|---|------------------------|--------|---------|
| 1992 | | | | ○ |
| 1993 | | | | ○ |
| 1994 | 5月9日 | 6月7日 | 29日 | ○ |
| 1995 | 5月8日 | 5月10日 | 2日 | ○ |
| 1996 | | | | ○ |
| 1997 | | | | ○ |
| 1998 | | | | ○ |
| 1999 | | | | ○ |
| 2000 | | | | ○ |
| 2001 | | | | ○ |
| 2002 | 6月17日 | | | × |
| 2003 | | 7月9日 | | × |
| 2004 | 4月19日 | 6月3日 | 45日 | ○ |
| 2005 | | | | ○ |
| 2006 | 5月22日 ^{※2} | 5月8日 | | × |
| 2007 | | 5月7日 | | × |
| 2008 | | | | ○ |
| 2009 | 4月20日 | 5月11日 | 21日 | ○ |
| 2010 | 5月24日 | 6月14日 | 21日 | ○ |
| 2011 | 5月9日 | 6月28日 | 50日 | ○ |
| 2012 | | | | ○ |
| 2013 | 6月3日 | 6月19日 | 16日 | ○ |
| 2014 | | | | ○ |
| 2015 | 5月18日 | 5月25日 | 7日 | ○ |
| 2016 | | | | ○ |

※1: *Alexandrium tamarense*

※2: 麻痺性貝毒量が規制値を超えた後に、Atが110細胞L⁻¹以上出現しており、事前予測にはなっていない。

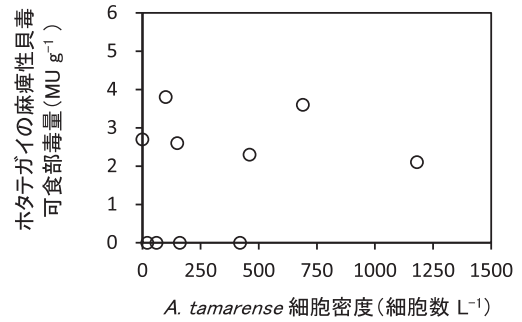
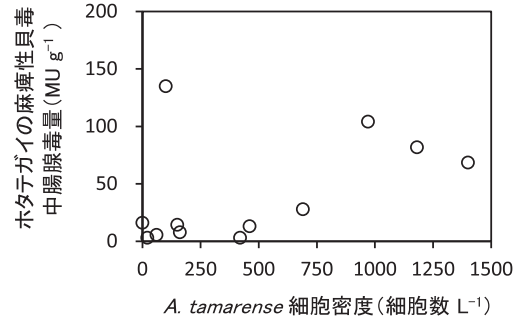


図9 森町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度の年最高値とそれが出現した当月から3ヵ月以内のホタテガイにおける麻痺性貝毒の中腸腺毒量の最高値(上図)および可食部毒量の最高値(下図)との関係
可食部毒量の検出限界未満 (<2.0MU g⁻¹)は0MU g⁻¹としている。

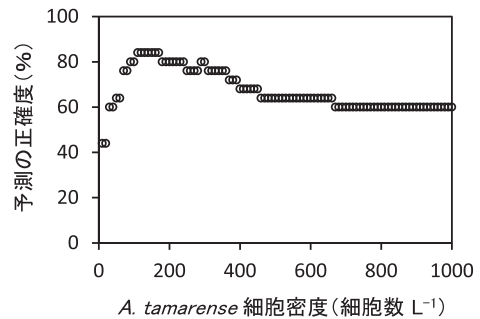


図10 洞爺湖町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度を10~1,000細胞L⁻¹の間で変化させた場合の予測の正確度

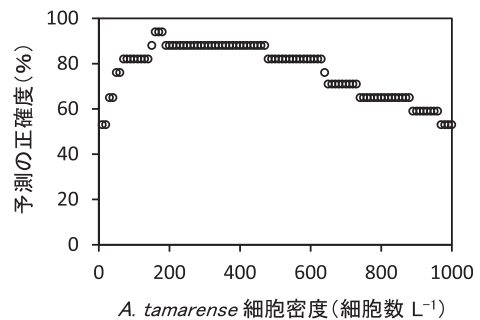


図11 八雲町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度を10~1,000細胞L⁻¹の間で変化させた場合の予測の正確度

表2 洞爺湖町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (110細胞L⁻¹以上) を用いたホタテガイの麻痺性貝毒発生予測に関する評価

| 項目 | 予測と結果の内容 | aの年数 | bの年数 | b/a (%) |
|---------|---------------------------------------|------|------|---------|
| 予測の正確度 | 全調査年(a)の内, 規制値を超えるか否かを正しく予測した年(b) | 25 | 21 | 84 |
| 規制の予測率 | 規制値を超えると予測した年(a)の内, 予測後に規制値を超えた年(b) | 9 | 8 | 89 |
| 非規制の予測率 | 規制値を超えると予測しなかった年(a)の内, 規制値を超えなかった年(b) | 16 | 13 | 81 |
| 予測の感度 | 規制値を超えた年(a)の内, 事前に規制値を超えると予測した年(b) | 11 | 8 | 73 |
| 予測の特異度 | 規制値を超えなかった年(a)の内, 規制値を超えると予測しなかった年(b) | 14 | 13 | 93 |

表3 八雲町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (160細胞L⁻¹以上) を用いたホタテガイの麻痺性貝毒発生の予測結果

| 年 | At ^{※1} が160細胞L ⁻¹ 以上出現した初日 | ホタテガイの麻痺性貝毒量が規制値を超えた初日 | 事前予測日数 | 事前予測の可否 |
|------|---|------------------------|--------|---------|
| 2000 | | | | ○ |
| 2001 | | | | ○ |
| 2002 | | | | ○ |
| 2003 | 4月7日 | 6月27日 | 81日 | ○ |
| 2004 | 4月28日 | 5月20日 | 22日 | ○ |
| 2005 | | | | ○ |
| 2006 | 5月24日 ^{※2} | 5月16日 | | × |
| 2007 | 4月24日 | 5月14日 | 20日 | ○ |
| 2008 | | | | ○ |
| 2009 | 4月13日 | 5月26日 | 43日 | ○ |
| 2010 | 5月17日 | 7月5日 | 49日 | ○ |
| 2011 | 6月20日 | 6月27日 | 7日 | ○ |
| 2012 | | | | ○ |
| 2013 | | | | ○ |
| 2014 | | | | ○ |
| 2015 | 5月18日 | 7月21日 | 64日 | ○ |
| 2016 | | | | ○ |

※1: *Alexandrium tamarense*

※2: 麻痺性貝毒量が規制値を超えた後に, Atが160細胞L⁻¹以上出現しており, 事前予測にはなっていない。

以上出現する時期より早かったこと (表5) により, 出荷規制を事前予測できなかったためである。また, 非規制の予測率も65%と低く, この原因も前述した1992, 1995, 1999年のケースによる。

噴火湾西部海域における麻痺性貝毒の発生によるホタテガイの出荷規制は, 2000~2016年の17カ年の内, 9カ年で実施された (図1)。八雲町沖で得られた麻痺性貝毒

の発生を警戒すべき細胞密度160細胞L⁻¹以上を, 出荷規制を予測する細胞密度として, 噴火湾西部海域に用いた場合の事例を表7に示す。出荷規制の有無を正しく予測したケースは, 17カ年の内, 出荷規制を予測し, その3~44日後 (平均23日後) に出荷規制された年が5カ年, 出荷規制を予測しなかった年に, 出荷規制されなかった年が8カ年であり, 併せて13カ年だった。

この場合の予測の正確度は76%, その他の予測の評価に関する4項目の割合は56~100%で, 予測の感度が56%と低かった (表8)。この原因は, 2004年と2007年には八雲町沖では事前に規制値を超えることを予測したが (表3), 噴火湾西部海域では出荷規制の方が *A. tamarense* が160細胞L⁻¹以上出現する時期より早かったこと (表7), 2005年には八雲町沖では麻痺性貝毒量の規制値を超えなかったが (表3), 噴火湾西部海域では他地区で規制値を超えたため出荷規制されたこと (表7) により, 出荷規制を事前予測できなかったためである。また, 非規制の予測率も67%と低く, この原因も前述した2004, 2005, 2007年のケースによる。

今後の課題 本稿では, *A. tamarense* 細胞密度を用いて, ホタテガイの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。ホタテガイにおける麻痺性貝毒の発生を警戒すべき *A. tamarense* 細胞密度を噴火湾東部海域では110細胞L⁻¹以上とすると1992~2016年の内72%の年で, 西部海域では160細胞L⁻¹以上とすると2000~2016年の内76%の年でそれぞれ出荷

表4 八雲町沖における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (160細胞L⁻¹以上) を用いたホタテガイの麻痺性貝毒発生予測に関する評価

| 項目 | 予測と結果の内容 | aの年数 | bの年数 | b/a (%) |
|---------|---------------------------------------|------|------|---------|
| 予測の正確度 | 全調査年(a)の内, 規制値を超えるか否かを正しく予測した年(b) | 17 | 16 | 94 |
| 規制の予測率 | 規制値を超えると予測した年(a)の内, 予測後に規制値を超えた年(b) | 7 | 7 | 100 |
| 非規制の予測率 | 規制値を超えると予測しなかった年(a)の内, 規制値を超えなかった年(b) | 10 | 9 | 90 |
| 予測の感度 | 規制値を超えた年(a)の内, 事前に規制値を超えると予測した年(b) | 8 | 7 | 88 |
| 予測の特異度 | 規制値を超えなかった年(a)の内, 規制値を超えると予測しなかった年(b) | 9 | 9 | 100 |

表5 噴火湾東部海域における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (110細胞L⁻¹以上) を用いた麻痺性貝毒によるホタテガイ出荷規制の予測結果

| 年 | At ^{※1} が110細胞L ⁻¹ 以上出現した初日 | ホタテガイの出荷規制の開始初日 | 事前予測日数 | 事前予測の可否 |
|------|---|-----------------|--------|---------|
| 1992 | | 4月18日 | | × |
| 1993 | | | | ○ |
| 1994 | 5月9日 | 6月14日 | 36日 | ○ |
| 1995 | 5月8日 ^{※2} | 4月25日 | | × |
| 1996 | | | | ○ |
| 1997 | | | | ○ |
| 1998 | | | | ○ |
| 1999 | | 4月29日 | | × |
| 2000 | | | | ○ |
| 2001 | | | | ○ |
| 2002 | 6月17日 | | | × |
| 2003 | | 7月10日 | | × |
| 2004 | 4月19日 | 4月20日 | 1日 | ○ |
| 2005 | | | | ○ |
| 2006 | 5月22日 ^{※2} | 5月9日 | | × |
| 2007 | | 5月9日 | | × |
| 2008 | | | | ○ |
| 2009 | 4月20日 | 5月15日 | 25日 | ○ |
| 2010 | 5月24日 | 6月1日 | 8日 | ○ |
| 2011 | 5月9日 | 6月21日 | 43日 | ○ |
| 2012 | | | | ○ |
| 2013 | 6月3日 | 6月20日 | 17日 | ○ |
| 2014 | | | | ○ |
| 2015 | 5月18日 | 5月26日 | 8日 | ○ |
| 2016 | | | | ○ |

※1: *Alexandrium tamarense*

※2: 出荷規制が措置された後に, Atが110細胞L⁻¹以上出現しており, 事前予測にはなっていない。

表6 噴火湾東部海域における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (110細胞L⁻¹以上) を用いた麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制予測に関する評価

| 項目 | 予測と結果の内容 | aの年数 | bの年数 | b/a (%) |
|---------|--|------|------|---------|
| 予測の正確度 | 全調査年(a)の内, 出荷規制の有無を正しく予測した年(b) | 25 | 18 | 72 |
| 規制の予測率 | 出荷規制されると予測した年(a)の内, 予測後に出荷規制された年(b) | 8 | 7 | 88 |
| 非規制の予測率 | 出荷規制されないと予測しなかった年(a)の内, 出荷規制されなかった年(b) | 17 | 11 | 65 |
| 予測の感度 | 出荷規制された年(a)の内, 事前に出荷規制されると予測した年(b) | 13 | 7 | 54 |
| 予測の特異度 | 出荷規制されなかった年(a)の内, 出荷規制されると予測しなかった年(b) | 12 | 11 | 92 |

表7 噴火湾西部海域における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (160細胞L⁻¹以上) を用いた麻痺性貝毒によるホタテガイ出荷規制の予測結果

| 年 | At ^{※1} が160細胞L ⁻¹ 以上出現した初日 | ホタテガイの出荷規制の開始初日 | 事前予測日数 | 事前予測の可否 |
|------|---|-----------------|--------|---------|
| 2000 | | | | ○ |
| 2001 | | | | ○ |
| 2002 | | | | ○ |
| 2003 | 4月7日 | 5月21日 | 44日 | ○ |
| 2004 | 4月28日 ^{※2} | 4月23日 | | × |
| 2005 | | 4月28日 | | × |
| 2006 | 5月24日 ^{※2} | 5月17日 | | × |
| 2007 | 4月24日 ^{※2} | 3月26日 | | × |
| 2008 | | | | ○ |
| 2009 | 4月13日 | 5月1日 | 18日 | ○ |
| 2010 | 5月17日 | 6月11日 | 25日 | ○ |
| 2011 | 6月20日 | 6月23日 | 3日 | ○ |
| 2012 | | | | ○ |
| 2013 | | | | ○ |
| 2014 | | | | ○ |
| 2015 | 5月18日 | 6月11日 | 24日 | ○ |
| 2016 | | | | ○ |

※1: *Alexandrium tamarense*

※2: 出荷規制が措置された後に, Atが160細胞L⁻¹以上出現しており, 事前予測にはなっていない。

表8 噴火湾西部海域における *Alexandrium tamarense* 細胞密度 (160細胞L⁻¹以上) を用いた麻痺性貝毒によるホタテガイの出荷規制予測に関する評価

| 項目 | 予測と結果の内容 | aの年数 | bの年数 | b/a (%) |
|---------|---------------------------------------|------|------|---------|
| 予測の正確度 | 全調査年(a)の内, 出荷規制の有無を正しく予測した年(b) | 17 | 13 | 76 |
| 規制の予測率 | 出荷規制されると予測した年(a)の内, 予測後に出荷規制された年(b) | 5 | 5 | 100 |
| 非規制の予測率 | 出荷規制されると予測しなかった年(a)の内, 出荷規制されなかった年(b) | 12 | 8 | 67 |
| 予測の感度 | 出荷規制された年(a)の内, 事前に出荷規制されると予測した年(b) | 9 | 5 | 56 |
| 予測の特異度 | 出荷規制されなかった年(a)の内, 出荷規制されると予測しなかった年(b) | 8 | 8 | 100 |

規制の予測が可能だったことを示した。なお, 最近の10カ年に限れば, 両海域ともに9カ年で予測が可能だった(表5, 7)。

今後, *A. tamarense*細胞密度を用いた方法を毎年得られるデータで解析し直すなど改良するとともに, 実際に事前予測できるか否かを数年かけて検証することが必要である。また, 吉田ら(2016)は, 冬季から春季の降水量からホタテガイの出荷規制を事前に予測できる可能性を示唆している。*A. tamarense*細胞密度を用いる方法と降水量など環境要因とを組み合わせることで, 予測の正確度をさらに高めるとともに, より早い時期に予測できるようにすることも重要である。

北海道では*A. tamarense*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, 2015a)。現行の100細胞L⁻¹以上は, 細胞毒量, 貝毒の蓄積率等の既往知見から推定して設定された基準であるが(北海道水産林務部水産経営課聞き取り), 今回, 噴火湾の長期モニタリングで得られた野外データから, 改めてその妥当性が裏付けられたと言える。

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。また, 貴重なデータを提供して下さった北海道漁業協同組合連合会, 北海道水産林務部水産局水産経営課衛生管理グループおよび道総研中央水産試験場資源管理部海洋環境グループの皆様には心から厚く御礼申し上げます。

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/j12s220000000 dgw.html (2011~2016)) (2016.4.1)
 北海道. 昭和59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. 1985~2006.
 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/j12s220000000 dgw.html> (2007~2010)) (2016.4.1)
 北海道. 北海道における二枚貝等の貝毒管理要綱(平成27年6月1日策定, 平成27年7月8日一部改正, 平成27年10月1日一部改正). 札幌. 2015.
 北海道ほたて流通食品協会・北海道ぎょれん. ほたて加工必携ハンドブック(平成22年度改訂版). 札幌. 2011; 208 pp.
 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: 69 pp.
 Imai I, Shimada H, Shinada A, Baba K, Kanamori M, Sato M, Kuwahara Y, Miyoshi K, Tada M, Hirano K, Miyazono A, Itakura S. Prediction of toxic algal bloom occurrences and adaptation to toxic blooms to minimize economic loss to the scallop aquaculture industry in Hokkaido, Japan. PICES Scientific Report, Sidney. 2014; 47: 7-16.
 厚生労働省. 麻痺性貝毒等により毒化した貝類の取扱いについて(平成27年3月6日付け食安発0306第1号, 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知). 東京. 2015.
 農林水産省. 二枚貝等の貝毒のリスク管理に関するガイドライン. 2015a; 29 pp. Internet web. Download from: (http://www.maff.go.jp/j/syoutan/tikusui/gyokai/g_kenko/busitu/pdf/150306_kaidoku_guide.pdf) (2016.4.1)
 農林水産省. 生産海域における貝毒の監視及び管理措置について(平成27年3月6日付け26消安第6073号, 農林水産省消費・安全局長通知). 東京. 2015b.

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.

付表1 噴火湾東部および西部海域における麻痺性貝毒によるホタテガイ出荷の自粛規制と自主規制期間

自粛規制期間は北海道漁業協同組合連合会資料および北海道水産林務部水産局水産経営課衛生管理グループ資料より, 自主規制期間は北海道 (1985~2006), 北海道 (2007~2010), 地方独立行政法人北海道立総合研究機構・北海道 (2011~2016) および北海道水産林務部水産局水産経営課衛生管理グループ資料より作表した。

| 年 | 噴火湾東部海域 | | | | 噴火湾西部海域 | | | | 備 考 |
|------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--|
| | 自粛規制 | | 自主規制 | | 自粛規制 | | 自主規制 | | |
| | 開始日 | 解除日 | 開始日 | 解除日 | 開始日 | 解除日 | 開始日 | 解除日 | |
| 1986 | 3/1 | 12/26 | 6/6 | 12/26 | 3/1 | 12/26 | 5/31 | 12/26 | 自粛開始時は噴火湾海域 |
| 1987 | | | 4/25 | 12/18 | | | 3/12 | 12/18 | |
| 1988 | 4/21 | 10/22 | 7/23 | 10/22 | 3/12 | 10/22 | 3/19 | 10/22 | |
| | 11/10 | 年内継続中 | 11/26 | 年内継続中 | | | 11/8 | 年内継続中 | |
| 1989 | 前年より継続 | 5/3 | 前年より継続 | 2/10 | 5/31 | 年内継続中 | 前年より継続 | 5/3 | |
| | 5/9 | 年内継続中 | 6/21 | 年内継続中 | | | 6/8 | 年内継続中 | |
| 1990 | 前年より継続 | 12/11 | 前年より継続 | 12/11 | 前年より継続 | 年内継続中 | 前年より継続 | 年内継続中 | 東部海域の自主規制期間を1990.6.20~1991.2.7とする報告もあり |
| 1991 | 3/6 | 12/13 | 4/4 | 12/12 | 前年より継続 | 2/8 | 前年より継続 | 2/8 | |
| 1992 | 4/18 | 9/26 | | | 3/8 | 12/13 | 3/13 | 12/12 | |
| | | | | | 4/7 | 10/7 | | | |
| 1994 | 6/14 | 10/8 | 7/1 | 10/8 | 3/24 | 12/12 | 6/10 | 12/13 | |
| 1995 | | | 4/25 | 11/10 | 3/8 | 12/14 | 4/21 | 12/14 | |
| 1998 | | | | | 3/27 | 9/29 | | | |
| 1999 | 4/29 | 10/22 | | | 4/6 | 11/1 | 4/24 | 11/1 | |
| 2003 | 7/10 | 10/10 | | | 5/21 | 9/27 | | | |
| 2004 | | | 4/20 | 10/14 | 4/23 | 11/11 | 5/11 | 11/11 | |
| 2005 | | | | | | | 4/28 | 9/29 | |
| 2006 | | | 5/9 | 9/29 | 5/17 | 10/27 | 5/19 | 10/12 | |
| 2007 | 5/9 | 9/20 | | | 3/26 | 10/31 | 5/10 | 10/4 | |
| 2009 | 5/15 | 8/13 | 5/26 | 8/13 | 5/1 | 10/23 | 5/21 | 10/23 | |
| 2010 | 7/2 | 10/28 | 6/1 | 7/2 | 6/11 | 10/1 | | | |
| 2011 | 6/21 | 6/23 | 6/23 | 10/15 | 6/23 | 6/28 | 6/28 | 12/1 | |
| 2013 | 6/20 | 9/27 | | | | | | | |
| 2015 | 5/26 | 6/12 | 6/12 | 7/30 | 8/7 | 8/12 | 6/11 | 8/7 | |
| | 7/30 | 8/6 | 8/6 | 9/17 | 10/3 | 10/17 | 8/12 | 10/3 | |
| | 9/17 | 10/8 | | | | | | | |

注1) 1985年以前の自主規制期間は, 噴火湾東部と西部海域に分けられておらず, また, 自粛規制期間は不明だった。

注2) 各海域で自粛規制と自主規制の期間が重なっている場合は, 自主規制が措置されている。

注3) 2016年は10月31日時点では自粛および自主規制は措置されていない。