

気仙沼湾における2013年～2015年の*Alexandrium*属プランクトン密度の変動要因

石川 哲郎^{*1}・日下 啓作^{*2}・田邊 徹^{*1}

Variation factors of *Alexandrium* spp. vegetative cell densities in Kesenuma Bay during 2013-2015

Tetsuroh ISHIKAWA^{*1}, Keisaku KUSAKA^{*2}, Toru TANABE^{*1}

キーワード : *Alexandrium*, プランクトン密度, 気仙沼湾, 麻痺性貝毒

2013年, 気仙沼湾を含む海域において, 1989年以来となる麻痺性貝毒による出荷自主規制措置がとられた。出現した麻痺性貝毒原因プランクトン*Alexandrium tamarense*の, 海水中細胞密度(以下「細胞密度」という)が宮城県による観測史上最も高かったことから, 二枚貝類がこれまでにないほど高毒化し, 出荷規制も長期化した¹⁾。特に, 麻痺性貝毒が減衰しにくいホタテガイ²⁾の出荷規制が長期間に及んだことから, ホタテガイ養殖業者は経済的に大きな打撃を受けた。震災後に突如として麻痺性貝毒が発生した理由については, 津波によるシストの浮上と海底表層へのシストの集積が起こり, 震災後にプランクトンが発芽しやすい状況に変化したためであると推定されている^{1), 3)}。2014年, 2015年にも麻痺性貝毒による出荷規制は行われたが, 件数は2013年の半分以下であり⁴⁾, 麻痺性貝毒の発生規模は年により変動している。発生件数の変動は, 麻痺性貝毒の原因である*Alexandrium*属プランクトンの発生密度の変動に起因するものと考えられるが, 年変動の程度やその要因についてはこれまでに検討されていない。

養殖二枚貝類の食の安全・安心を確保するためには, 二枚貝類毒化の原因となる貝毒原因プランクトンのモニタリングは重要である。2013年の麻痺性貝毒原因プランクトンの大発生を受けて, 宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場(以下「気仙沼水試」という)では,

2012年までは湾口部の岩井崎定点のみで実施していた貝毒プランクトンのモニタリングを2013年からは4定点に, 2014年からは唐桑半島東部海域を含む10定点に拡充し, さらに調査頻度を増やして週に1回実施してきた(図1)。しかしながら, より効率的かつ持続的な麻痺性貝毒原因プランクトンの監視体制を確立するためには, 今までの調査結果に基づき, 気仙沼湾内における麻痺性貝毒原因プランクトンの出現動向を再整理し, 調査定点の設定等の見直しを行う必要がある。

2013年の麻痺性貝毒プランクトン及びシストの出現状況については, 既報¹⁾において報告しており, 麻痺性貝毒プランクトンのシストが湾奥で多く確認されたこと, *A. tamarense*のプランクトンも湾奥で多いことを明らかにした。しかしながら, 気仙沼湾における空間的な*Alexandrium*属プランクトンの分布の詳細については未検討であり, *Alexandrium*属プランクトンの出現状況と環境要因との関係についても十分に検討されているとは言えない。本報では, まず, *Alexandrium*属プランクトンの出現状況を類型化し, 気仙沼湾及び唐桑半島東部海域における*Alexandrium*属プランクトンの空間的な分布を明らかにした。また, *Alexandrium*属プランクトンの2013年～2015年の3年間の年変動を明らかにするとともに, その細胞密度の変動要因について気象条件や水質環境の点から検討した。さらに, *Alexandrium*属プランクトンの季節

^{*1}水産技術総合センター気仙沼水産試験場, ^{*2}農林水産部水産業基盤整備課

変動と、その要因について水質環境の点から検討した。

材料と方法

1 気仙沼湾および唐桑半島東部における*Alexandrium*属プランクトンの調査点の推移と調査方法

プランクトン調査は、2013年4月15日まで、湾口部の岩井崎を調査定点として概ね月に2回の頻度で実施した。2013年の麻痺性貝毒の発生に伴い、2013年4月30日から2014年3月10日まで、港町、母体田及び舞根の3定点を追加し(合計4定点)週に1回の頻度で調査を実施した。2014年3月17日以降は、気仙沼湾では大島瀬戸・舞根・唐島の3定点を追加すると共に、2013年に新たに海域区分された唐桑半島東部海域では滝浜・石浜・大沢の3定点を新たに設定し(合計10定点)、週に1回調査を実施した(図1, 表1)。

各定点において、水温・塩分(水深0, 5, 10 m)は直読式水温塩分計(JFE ADVANTEC, ACTD-RS)により測定するとともに、2014年1月6日~3月10日にはバンドーン採水器による層別採水、2014年3月17日以降はダクトホース(内径30 mm)を用いた最大10 mの柱状採水により500 mLを採水した。

試水は、実験室に持ち帰り、孔径8 μm のメンブレンフィルターを用いて重力濾過し100倍に濃縮した後、グルタールアルデヒドで最終濃度2~3%程度になるよう固定し検鏡に供した。検鏡用試水の1 mLを界線入り計数板上にとり、光学顕微鏡下(100倍)で*Alexandrium*属プランクトンを計数した。

なお、気仙沼湾において麻痺性貝毒の原因となりうる*Alexandrium*属については、*A. tamarense*と*A. catenella*の可能性はあるが、形態観察からの区別が困難であるため、本報では、石川ほか¹⁾に従い、1月~6月までに出現したものは*A. tamarense*、7月~12月のものは*A. catenella*とした。

2 気仙沼湾および唐桑半島東部における*Alexandrium*属プランクトンの空間的分布

調査点を10点としかつ柱状採水によりサンプリングを行った2014年3月17日~2015年10月5日までの*A. tamarense*及び*A. catenella*の細胞密度データを用いて、Bray-Curtis非類似度指数を距離とする群平均法によるクラスター解

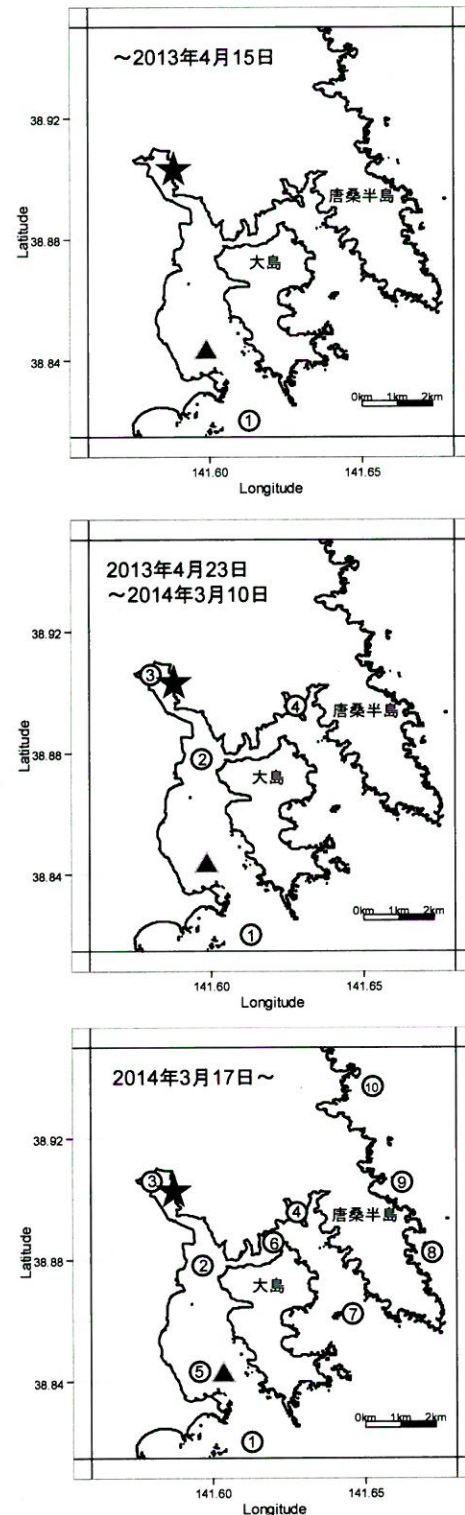


図1 貝毒プランクトンモニタリング定点の推移。①：岩井崎，②：母体田，③：港町，④：舞根，⑤：二ツ根，⑥：大島瀬戸，⑦唐島，⑧滝浜，⑨石浜，⑩大沢。★は解析に用いた水質調査の調査点(大浦)，▲は二ツ根の多項目水質計及び硝酸塩センサー設置位置

析及び多次元尺度構成法 (NMDS: non-metric multidimensional scaling) による解析を行った。この結果から、各地点における *Alexandrium* 属プランクトンの出現パターンを類型化した。上記解析は全て統計解析環境R3.0.2⁵⁾ のパッケージvegan及びMASSにより行った。

3 *Alexandrium* 属プランクトンの細胞密度の変動と環境要因の関係

気仙沼湾においては、湾奥の港町定点周辺において最も高密度の *Alexandrium* 属シストとプランクトンが確認されており¹⁾、*Alexandrium* 属プランクトンの動向を把握するためには港町定点の動向が最も重要であると考えられる。以下では、港町定点における *Alexandrium* 属プランクトンの細胞密度の変動と環境要因の関係について解析した。

1) 2013年～2015年の細胞密度の年変動と水質環境・気象条件の関係

水質環境 (水温, 塩分, 溶存態無機窒素 (DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen) 及び溶存態無機リン (DIP: Dissolved Inorganic Phosphorous)) 及び気象 (平均気温, 降水量, 日照時間, 平均風速) のデータを月ごとに抽出した (表1)。水質環境のデータは、気仙沼水試で月に一回実施している定期水質調査のうち、解析対象とした港町近傍の大浦定点 (図1) のデータ⁶⁾ を用い、気象のデータについては気象庁のホームページ⁷⁾ からデータ抽出 (気仙沼地点) を行った。なお、水質データについては、1月～5月の全層平均値を解析に用いたが、この時期に水温躍層の形成は確認されなかった。二枚貝類の毒量は、宮城県の公表データのうち、気仙沼湾の湾奥部に近接している母体田定点のアカザラガイ及びムラサキガイのデータ^{1), 8)} を用いた。

2) 2014年の細胞密度の季節変動と水質環境の関係

水質環境 (水温, 塩分, クロロフィルa, 硝酸塩) との関係については、気仙沼湾二ツ根の水深3 mに垂下している多項目水質計 (HYDRO LAB, DS-5X) 及び硝酸塩センサー (SATLANTIC, ISUS-V3) の測定結果 (澁谷・日下、宮城水産研報投稿中) のデータを用いた (表1)。2015年は機器の故障により欠測データが多かったため、2014年の1月～6月のデータのみを用いた。

なお、2014年1月6日～3月10日の細胞密度のデータについては、層別採水による0 m層の測定データで代替した (表1)。

表1 解析に用いたデータの項目, 期間, 調査地点及び調査方法

データの項目	期間	調査地点	調査方法
細胞密度	2013年4月30日～2014年3月10日	4点	層別採水
	2014年3月17日～2015年10月5日	10点	柱状採水
二ツ根水質データ			
水温	2014年1月1日～6月29日	二ツ根	多項目水質計
塩分	2014年1月1日～6月29日	二ツ根	多項目水質計
クロロフィルa	2014年1月1日～6月29日	二ツ根	多項目水質計
硝酸塩	2014年1月1日～5月12日	二ツ根	硝酸塩センサー
大浦水質データ			
水温	2013～2015年の1～5月	大浦	気仙沼水試HP ⁸⁾
塩分	2013～2015年の1～5月	大浦	気仙沼水試HP ⁸⁾
DIN	2013～2015年の1～5月	大浦	気仙沼水試HP ⁸⁾
DIP	2013～2015年の1～5月	大浦	気仙沼水試HP ⁸⁾
気象データ			
平均気温	2013～2015年の1～5月	気仙沼	気象庁HP ⁹⁾
降水量	2013～2015年の1～5月	気仙沼	気象庁HP ⁹⁾
日照時間	2013～2015年の1～5月	気仙沼	気象庁HP ⁹⁾
平均風速	2013～2015年の1～5月	気仙沼	気象庁HP ⁹⁾

結果

2014年3月17日～2015年10月5日までの気仙沼湾 (7定点) 及び唐桑半島東部 (3定点) の10定点における *A. tamarense* 及び *A. catenella* の平均細胞密度を図2に示した。気仙沼湾において、平均細胞密度は、湾奥の港町及び湾奥に近い母体田では *A. tamarense* が *A. catenella* よりも高く、他5定点では *A. catenella* の方が高い値を示す傾向にあった。 *A. tamarense* と *A. catenella* の細胞密度はいずれも港町で最も高かった。港町に次いで、 *A. tamarense* では母体田、 *A. catenella* では大島瀬戸で高い値を示した。唐桑半島東部においても *A. tamarense* と *A. catenella* は見られたが、気仙沼湾と比べ低い値であった。

10定点における *Alexandrium* 属プランクトンの Bray-Curtis 非類似度指数をもとにした各地点のクラスター解析及びNMDSの結果を図3に示した。10定点は、非類似度0.5以下で湾奥部 (港町, 湾中央部1 (母体田, 大島瀬戸), 湾中央部2 (二ツ根, 舞根, 唐島), 湾外 (岩井崎, 滝浜, 石浜, 大沢) の4グループに分けられた。これらのグループは湾奥部からの地理的な距離と概ね一致していた。

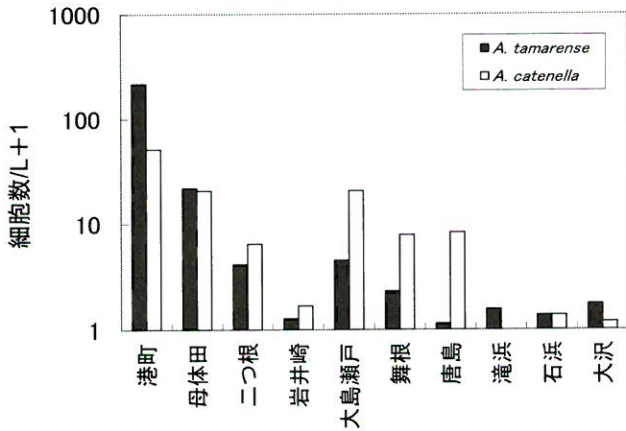


図2 2014年～2015年の気仙沼湾および唐桑半島東部海域の10地点における*Alexandrium tamarensis*および*A. catenella*の平均細胞密度

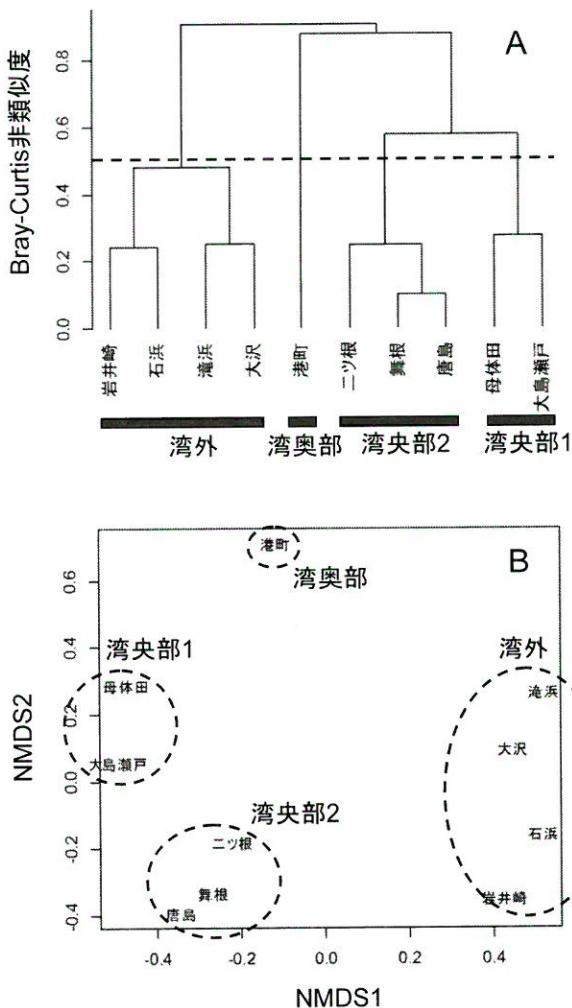


図3 2014年～2015年の気仙沼湾および唐桑半島東部海域の10地点における*Alexandrium*属プランクトンの出現状況の類型化 (A) クラスター分析による類型化 (B) NMDSによる類型化 [点線の楕円はクラスター分析によるグループを示す]

各年における港町での *Alexandrium* 属プランクトンの出現動向を図4に示した。2013年の*A. tamarensis*は、5月7日に97650細胞/Lとなった後、5月21日まで急激に減少し(8190細胞/L)、5月27日以降は低い密度で推移した(図4A)。

2014年の*A. tamarensis*は、1月6日から増加し始め、1月14日に最大(535細胞/L)となった後、3月下旬まで増減を繰り返しながら推移したが、3月31日から4月28日までほとんど出現せず、5月に入ると再び増加し、6月上旬まで120～420細胞/Lの範囲で推移した(図4C)。

2015年も *A. tamarensis*は2014年と同様に1月5日から増加し始め、2月9日に最大(7190細胞/L)となった後減少し、3月16日から5月7日までほとんど出現しなかったものの、5月11日から再び増加し始め、最大で610細胞/Lとなったのち、6月中旬まで増減しながら推移した(図4E)。

*A. catenella*については、2013年は7月及び9月～10月(最大415細胞/L, 図4B)、2014年は7月～9月下旬(最大760細胞/L, 図4D)、2015年は7月～8月下旬(最大690細胞/L, 図4F)で多く確認され、いずれも出現期間中は増減しながら推移した。なお、2013年は10月中旬以降、2014年は10月以降、2015年は9月以降いずれも低い値で推移した。

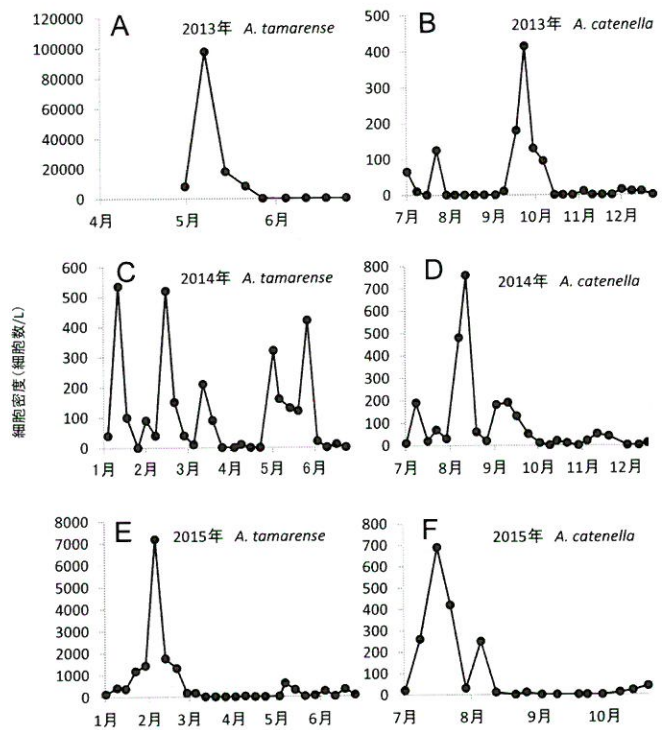


図4 2013年～2015年の港町定点における *Alexandrium tamarensis*と*A. catenella*の細胞密度の推移

2014年の港町における *A. tamarensis* の細胞密度の推移と水質環境の推移を図5に示した。水温は5.1~19.6°C, 塩分は31.9~34.2, クロロフィルaは1.4~15.6 µg/L, 硝酸塩は0~6.0 µmol/Lの範囲でそれぞれ推移した。硝酸塩とクロロフィルaの推移は、逆相関的に連動しているように見受けられた。また, *A. tamarensis* が一旦見られなくなった3月下旬~4月下旬には, 硝酸塩濃度が減少した後クロロフィルaの上昇が確認された。*A. tamarensis* とクロロフィルaは有意ではないものの (Spearmanの順位相関係数, $P>0.05$, $r=-0.33$), 負の関係が認められ, *A. tamarensis* が200細胞/L以上で出現した場合は全てクロロフィルaが低い値であった (図6)。

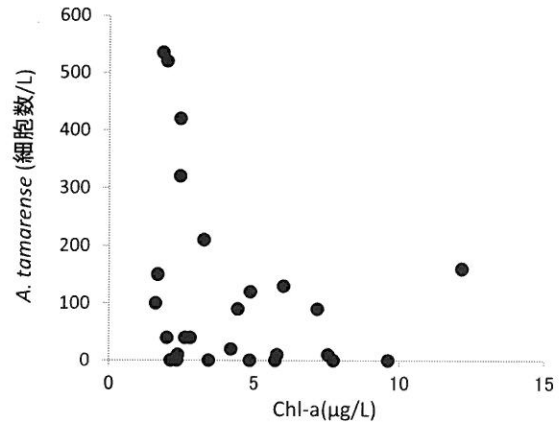


図6 2014年の港町定点における *Alexandrium tamarensis* の細胞密度と二ツ根定点におけるクロロフィルa(Chl-a) の関係

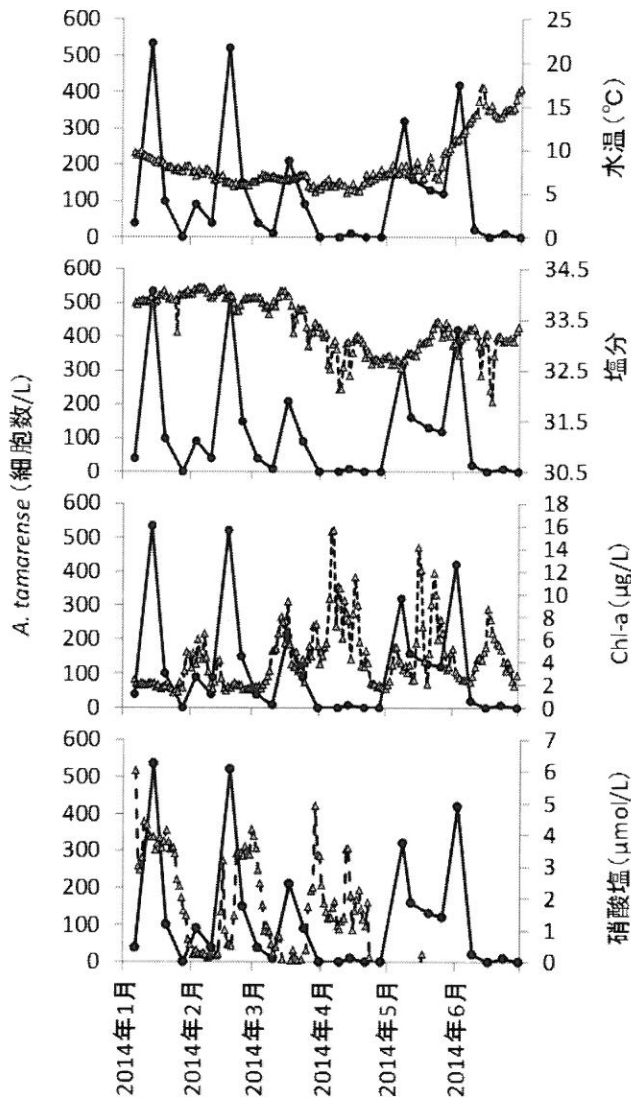


図5 2014年の港町定点における *Alexandrium tamarensis* の細胞密度 (●) と二ツ根定点における水質環境 (▲; 水温, 塩分, クロロフィルa(Chl-a), 硝酸塩) の推移

2013年~2015年1月~5月の月ごとの平均風速, 平均気温, 平均降水量, 平均日照時間を図7に示した。*A. tamarensis* の細胞密度が高かった2013年と他の2カ年を比較すると, 2013年3月の降水量は他の2カ年と比べ明らかに少なかった。

2013年~2015年1月~5月の大浦における月ごとの全層平均の水温, 塩分, DIP及びDINを図8に示した。水温については, 2013年と他2カ年に明瞭な違いは認められなかった。一方で, DIPとDINについては, 2013年が他2カ年と比べ顕著に低い傾向にあり, 2013年の3, 4月は他2カ年と比べ塩分がやや高い傾向にあった。

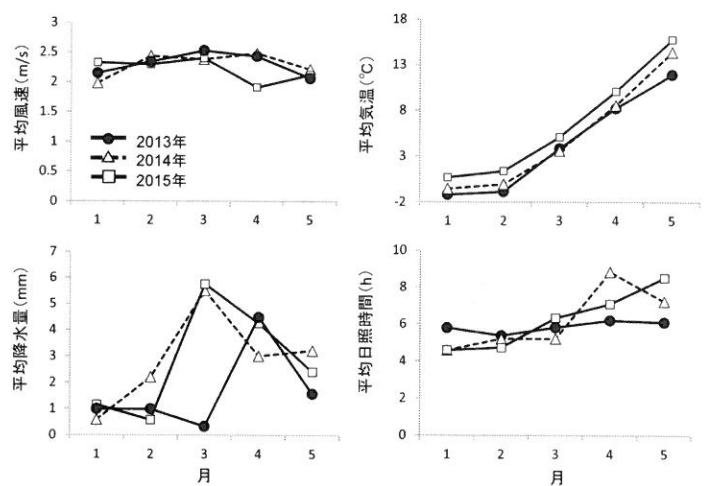


図7 2013年~2015年の気象庁気仙沼地点における平均風速, 平均気温, 平均降水量, 平均日照時間の推移

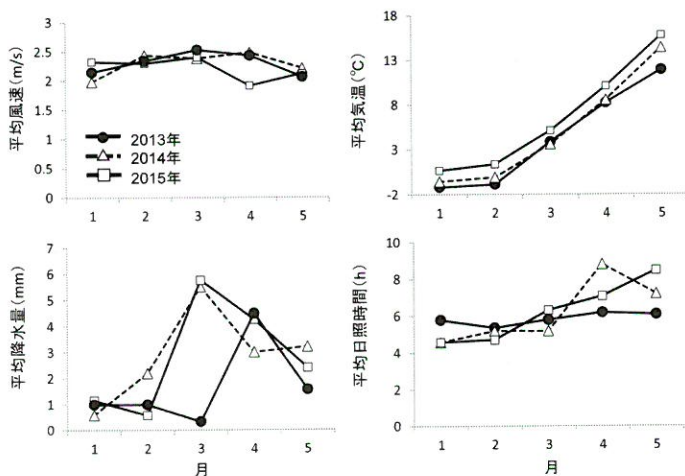


図8 2013年～2015年の気仙沼水試水質調査結果（大浦地点）

2013年～2015年の気仙沼湾における *Alexandrium* 属プランクトンの各年の最大細胞密度と二枚貝類（アカザラガイ、ムラサキイガイ）の可食部の年間最高毒量を表2にまとめた。*A. tamarensis*については、2013年が他の年の10～100倍以上で最も高く、次いで2015年、2014年の順であった。*A. catenella*についても2013年で最も高かったが、2014年、2015年との差は2倍程度であった。

なお、いずれの年も、二枚貝類の毒量は、*A. tamarensis*の出現時期である3月～6月に最高値が確認された。

表2 2013年～2015年の*Alexandrium*属プランクトンの最大細胞密度及び二枚貝類可食部の最大毒量

年	<i>A. tamarensis</i> 最大値(細胞 数/L)	<i>A. catenella</i> 最大値(細胞 数/L)	アカザラガイ 毒量最大値 (MU/g)	ムラサキイガイ 毒量最大値 (MU/g)
2013年	136,200	1,310	130	110
2014年	880	760	4.1	0
2015年	7,190	690	17	8.6

考 察

Alexandrium 属プランクトンの出現パターンによる類型化により、気仙沼湾及び唐桑半島東部の定点は湾奥部からの地理的距離に応じた4グループに分けることができたが、これは*Alexandrium* 属プランクトンが湾奥部に多いことによるものと考えられる。すなわち、2013年¹⁾と同様に2014年～2015年においても、シストが多い湾奥部でプランクトンが発芽、増殖した後、湾内に拡散したものと考えられる。

2014年、2015年共に*A. tamarensis*は、春期において減少

しほとんど確認されなくなった。加えて、2014年の*A. tamarensis*減少期にはクロロフィルaが比較的高い値を示した。2014年、2015年の*A. tamarensis*の減少期（3月～5月）が気仙沼湾で珪藻類が多く見られる時期（4月～6月）と概ね一致しており⁹⁾、検鏡でも珪藻類が多く見られたことから、クロロフィルa濃度の増加要因は珪藻類の増加によると考えられる。*A. tamarensis*は、大型・小型珪藻のブルームが消滅した後に増殖することが多いことから、珪藻類の増殖が*A. tamarensis*増殖の制限要因の一つであることが示唆されている^{10), 11), 12)}。気仙沼湾においても、*A. tamarensis*の減少期に珪藻類（クロロフィルa）の増加がある程度同調していることから、珪藻類の増殖の影響により春季に*A. tamarensis*が減少したものと推察された。なお、東北大学が実施した2013年3月、4月の調査においては、気仙沼湾の湾奥で*A. tamarensis*がそれぞれ最大で1214細胞/L、9249細胞/Lが確認されていることから¹⁴⁾、2013年には2014年、2015年に見られたような春季の減少期が無かった可能性もある。

*A. tamarensis*が宮城県観測史上最大の密度で出現した2013年と他2カ年を比較すると、2013年は3月の降水量及び栄養塩類が明らかに少なかった。長期的な視点でも、大浦定点の3月の栄養塩類は、過去10年で最も低い値であった（石川ほか、未発表；日下ほか2015¹³⁾）。2013年の栄養塩類の著しい低下については、東日本大震災による被災により陸域からの栄養塩類の供給が減少したこと¹³⁾や、渦鞭毛藻の大発生による栄養塩類の消費量の増加が要因として考えられている¹³⁾。これら震災の影響に加え、2013年は、降水量が少なかったことが栄養塩の減少の一つの要因だったと思われる。*A. tamarensis*は、珪藻類と比べ低栄養塩下で増殖が有利なプランクトンであり、珪藻増殖後の栄養塩類が枯渇した環境で増殖することが他海域でも報告されている^{10), 11)}。すなわち、2013年春季に観察された顕著な栄養塩類の低下により*A. tamarensis*の増殖に有利な環境となったことや、春季に細胞密度が低下しなかったことが、*A. tamarensis*の大ブルームの要因であったと推察される。

*A. catenella*については、2013年～2015年の細胞密度の変動は小さく、最大細胞密度も*A. tamarensis*の100分の1程度であった。気仙沼湾の底質表層においては*A. tamarensis*のシストが多く、*A. catenella*のシストは*A. tamarensis*/cate-

*nella*シスト総数のうち4%程度であることから¹⁵⁾、シストが少なく初期発生密度が低いと考えられ、これが気仙沼湾における*A. catenella*の細胞密度が*A. tamarense*ほど高くない要因として考えられる。また、いずれの年も二枚貝類の最高毒量は*A. tamarense*の出現時期であり、2013年¹⁾と同様に、*A. catenella*は気仙沼湾における二枚貝類の毒量の増加には強くは関与していないと考えられた。

本研究では、二ツ根に垂下した多項目水質計及び硝酸塩センサーの測定結果から港町における *A. tamarense*の動向をある程度説明することができた。この自動観測の結果を気仙沼湾のどこまで適用できるのか、さらにデータを蓄積し検討することで、気仙沼湾の*A. tamarense*の動向を把握する上でより重要なデータとなるものと考えられる。

2013年に麻痺性貝毒が突如として発生し、貝類養殖への大きな障害となった。しかし、2014年、2015年にも *A. tamarense*が発生したものの、その細胞密度は2013年と比べると低く、二枚貝類の毒量も低かった。本研究では、このような*A. tamarense*の年変動については、栄養塩類、クロロフィル*a*の動向と関連していると推察された。2013年以降、沿岸域の復旧が進むにつれ気仙沼湾の栄養塩濃度(DIN)は上昇傾向にあり¹³⁾、*A. tamarense*の細胞密度及び*Alexandrium*属シスト密度も減少傾向にある¹⁵⁾。気仙沼湾の環境が現状のまま推移し、シストの減少傾向が今後も継続すれば、震災前と同様に*A. tamarense*が発生しにくい環境に遷移することも考えられる。しかしながら、2015年7月現在においても、*Alexandrium*属シストは湾奥においておよそ600個/cm³¹⁵⁾が確認されており、春季に栄養塩類が著しく低下するなど *A. tamarense*の増殖に有利な環境が揃った際に大ブルームを形成するには十分量のシストが存在する。少なくとも、湾奥におけるシスト数が震災前と同じ水準(最大42個/cm³)^{16), 17)}に低下するまでは、注意深く*Alexandrium*属プランクトンのモニタリングを実施していくことが必要である。

一方、今後も持続的にモニタリングを継続していくためには、より効率的な調査体制についても検討する必要がある。気仙沼水試では、2013年以降麻痺性貝毒プランクトンの調査点を拡充してモニタリングを実施してきたが、クラスター解析とNMDSにより同一のグループに分類された地点においては、*Alexandrium*属プランクトンの

出現傾向が一致していることから、調査地点の集約は可能であると考えられた。また、港町定点で*Alexandrium*属プランクトンの動向を詳細にモニタリングすることで、気仙沼湾の湾内への *Alexandrium*属プランクトンの拡散を事前に予測できる可能性もあり、今後検討する必要がある。

なお、プランクトンの潮汐等による湾外への流出や、自然死亡による減少、新生堆積物の底質表層への堆積によるシストの被覆等についても、*A. tamarense*の変動に影響している可能性があると考えられ、併せて検討が必要である。

要 約

震災後(2013年~2015年)の気仙沼湾における*Alexandrium*属プランクトンの細胞密度の空間分布及び変動を明らかにし、年変動の要因を考察するとともに、これまでに得られた調査結果からより効率的で持続的な*Alexandrium*属プランクトンの調査方法について検討を加えた。

- 1) 2014年~2015年の気仙沼湾及び唐桑半島東部の10定点における*Alexandrium*属プランクトンの出現状況を類型化し、各地点のグルーピングを行ったところ、4グループに分けられた。出現状況が類似している地点は集約化が可能であると考えられた。また、港町定点において*Alexandrium*属プランクトンが最も多く確認され、港町定点における動向が最も重要であると考えられた。
- 2) 2014年、2015年の気仙沼湾港町定点において、*A. tamarense*は、年明けから増加し始め、1月~2月に最大細胞密度となった後減少し、3月から5月上旬にほとんど確認されなくなり、5月に入ると再び増加した。春季の減少時期には、クロロフィル*a*の増加が見られ、珪藻類の増殖と関連して*A. tamarense*が一旦減少しているものと推察された。
- 3) 2013年の結果を合わせて、2013年~2015年の気仙沼湾における麻痺性貝毒の発生状況の推移を検討したところ、*A. tamarense*の最大細胞密度及び二枚貝類の毒量はいずれも2013年、2015年、2014年の順であり、かつ年変動が大きいことが明らかとなった。また、2013年春季に観察された顕著な栄養塩類の低下が、*A. tamarense*の大ブルームの一因であった可能性が考え

られた。

謝 辞

調査に御協力いただいた宮城県漁業協同組合唐桑支所
ならびに漁業関係者の方々に厚くお礼申し上げます。ま

た、永年にわたり気仙沼湾の水質及び貝毒調査に携わっ
てこられた宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験
場の歴代担当職員諸氏に謝意を表します。本研究の一部
は、平成23年度～25年度有用貝類毒化監視対策事業によ
り実施しました。

参考文献

- 1) 石川哲郎・日下啓作・押野明夫・西谷豪・神山孝史 (2015) 東日本大震災後の宮城県気仙沼湾における*Alexandrium*属の栄養細胞とシストの分布パターン及び二枚貝類の毒化. 日水誌, **81**, 256-266.
- 2) 高田久美代・妹尾正登・東久保靖・高辻英之・高山晴義・小川博美 (2004) マガキ, ホタテガイ及びムラサキイガイにおける麻痺性貝毒の蓄積と減毒の差異. 日水誌, **70**, 598-606.
- 3) Kamiyama T, Yamauchi H, Nagai S, Yamaguchi M (2014) Differences in abundance and distribution of *Alexandrium* cysts in Sendai Bay, northern Japan, before and after the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake, J. Oceanogr., **70**, 185-195.
- 4) 過去の宮城県貝毒出荷自主規制・解除状況. (宮城県農林水産部水産業基盤整備課,
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suikisei/kaidoku.html>, 2015年12月)
- 5) R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013 (URL: <http://www.R-project.org/>).
- 6) 気仙沼湾水質調査結果. (宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場,
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kesennuma-s/kesennnumawannsuishitsu.html>, 2015年12月)
- 7) 過去の気象データ検索. (気象庁, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2015年12月)
- 8) 宮城県貝毒検査結果 (まひ性). (宮城県農林水産部水産業基盤整備課,
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suikisei/kaidoku.html>, 2015年12月)
- 9) 伊藤博・藤田則孝・千葉充子 (2006) 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の季節変動. 宮城水産研報, **6**, 51-57.
- 10) Itakura S, Yamaguchi M, Yoshida M, Fukuyo Y (2002) The seasonal occurrence of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) vegetative cells in Hiroshima Bay, Japan, Fish. Sci., **68**, 77-86.
- 11) 山本圭吾・中嶋昌紀・田淵敬一・濱野米一 (2009) 2007年春期に大阪湾で発生した*Alexandrium tamarense*新奇赤潮と二枚貝の高毒化. 日本プランクトン学会報, **56**, 13-24.
- 12) 関口勝司, 加賀新之助, 高木稔, 松山和弘, 緒方武比古 (2004) 微細藻類の培養ろ液が*Alexandrium tamarense*の増殖に及ぼす影響2. 岩手水産研報, **4**, 49-53.
- 13) 日下啓作・石川哲郎・中家浩・千葉充子 (2015) 気仙沼湾での東日本大震災による養殖漁場の水質変化. 宮城水産研報, **15**: 1-15.
- 14) 西谷豪・山田雄一郎・長坂翔子・横山勝英・夏池真史・吉永郁生 (2013) 2013年に気仙沼舞根湾海域で発生した有害有毒プランクトン. 海洋と生物, **209**, 568-575.
- 15) 石川哲郎・坂見知子・神山孝史 (2015) 宮城県気仙沼湾における*Alexandrium*属シストの種別の分布. 平成27年度東北ブロック水産業関係研究開発推進会議 沿岸漁業資源部会 貝毒研究分科会報告書, 印刷中
- 16) 福代康夫 (1981) 日本沿岸のプロトゴニオラックス属. 赤潮研究会分類班資料No. 3, 水産庁研究部漁場保全課・北里大学水産部, 47-49.
- 17) 一見和彦・山崎誠・鈴木敏之 (2000) 宮城県沿岸における*Alexandrium*属シストの分布. 東北水産研報, **63**, 119-124.