

ノート

宮城県中南部海域における長期モニタリング調査（1993年～2013年）による 貝毒原因プランクトンの変遷

増田 義男^{*1}・奥村 裕^{*2}・太田 裕達^{*1}

Monitoring of causative plankton of shellfish poisoning during two decades (from 1993 to 2013) in the middle and southern coastal area of Miyagi Prefecture

Yoshio MASUDA^{*1}, Yutaka OKUMURA^{*2}, Hiroto OHTA^{*1}

キーワード：麻痺性貝毒, *Alexandrium*属, 下痢性貝毒, *Dinophysis fortii*, *Dinophysis acuminata*, 長期モニタリング

宮城県沿岸域では、冬春季に*Alexandrium*属プランクトンによる麻痺性貝毒、夏季には*Dinophysis*属プランクトンによる下痢性貝毒がたびたび発生し、本県の主要な養殖生産物であるホタテガイやマガキ生産の障害となっている¹⁾。1980年代には、県の北部海域や中部海域において、ホタテガイやムラサキガイ等で散発的に麻痺性貝毒が検出されていたが²⁾、1990年代以降終息に向かった。一方、県の南部海域においては、1983年のムラサキガイでの麻痺性貝毒の発生以降、1984年～1992年までは麻痺性貝毒は発生していなかった³⁾。しかしながら、1993年に石巻湾のマガキから麻痺性貝毒が再び検出されて以来、石巻湾と仙台湾においてほぼ毎年のようにマガキやアサリ、ムラサキガイ等の毒化が起こっている。

2011年3月11日の東日本大震災以降、本県沿岸域における貝毒プランクトンの出現状況は大きく変化している。仙台湾では、津波によって海底泥が攪乱され、麻痺性貝毒原因プランクトンのシストが巻き上がった。その結果、海底泥表層に*Alexandrium*属シストが増加し、分布域も変化したことが明らかとなっている⁴⁾。また、県北部海域の気仙沼湾においても、震災後、高密度の

*Alexandrium*属シストの存在が明らかになり⁵⁾、2013年4月には24年ぶりにホタテガイの麻痺性貝毒が出荷規制値を超えるなど、震災からの早急な復興をめざす二枚貝養殖業にとって、足かせとなっている。

そこで、貝毒による食中毒を未然に防ぐため、震災前後における貝毒原因プランクトン出現状況を比較することにより、震災が貝毒プランクトンの出現に影響を及ぼしたか否かを検討する必要がある。

本報では、1993年4月から2013年12月までの約20年間における麻痺性及び下痢性貝毒原因プランクトンの長期出現状況について、宮城県南部海域の石巻湾（荻浜）及び宮城県中部海域の女川湾（塚浜）におけるモニタリング結果について取りまとめ、東日本大震災前後における貝毒原因プランクトンの出現状況を比較した。また、水温や他の競合プランクトン、または餌料プランクトンとの相互関係について考察するとともに、今後の問題点についても整理した。

方 法

宮城県南部海域の調査点の石巻湾荻浜においては、

^{*1}水産技術総合センター、^{*2}独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所

1993年4月から2013年12月まで月1回～4回程度の頻度で各深度毎（内湾：0 m, 5 m及び10 m）にVan-dorn採水器によって採水した（図1）。宮城県中部海域の調査点（女川湾塚浜）においては、1993年4月から2013年12月まで月1回～4回程度の頻度で各深度毎（0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m及び底-1 m）にVan-dorn採水器によって採水した（図1）。また、各調査点では、STD（アレック電子社製, AST500PK）や直読式総合水質計（JFEアドバンテック社製, RINKO AAQ171）を用いて水温、塩分を測定した。

各水深から採取した海水500 mLは、グルタルアルデヒドまたはホルマリンで固定後（最終濃度2～3%）、孔径8 μm のメンブラン・フィルターを用いて重力濾過により100倍に濃縮し、濃縮サンプル1 mLを検鏡用試水に供した。検鏡用試水1 mLを24ウェルのマイクロプレートに分取し、倒立顕微鏡下で検鏡（100倍観察）を行い、麻痺性貝毒原因プランクトンである*Alexandrium* spp., 下痢性貝毒原因プランクトンである*Dinophysis fortii*, 及び*D. acuminata*について、それぞれ1 L当りの細胞数を求めた。なお、*Alexandrium* spp.については、年間のデータが整理されている1995年4月以降の値を使用した。

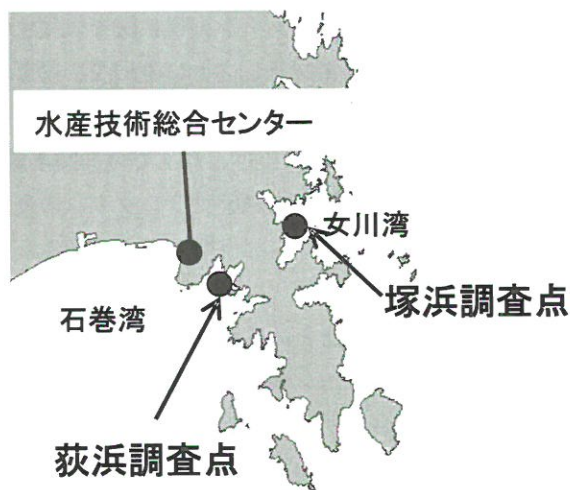


図1 宮城県中南部海域における貝毒原因プランクトン調査点

結果

1 石巻湾荻浜における水温・塩分の変化

石巻湾荻浜の水温は、3.6°C～29.2°Cの範囲にあり、各年の最低水温及び最高水温は、それぞれ1月上旬～3月上旬及び7月下旬～8月下旬であった（図2）。冬季（1月～3月）の表面水温の平均値は、震災前（1994年～2010年）が6.6°Cであったのに対し、震災後（2011年～2013年）が6.1°Cであった。

石巻湾荻浜の塩分は、20.30 PSU～35.52 PSUの範囲にあり、1993年～2013年平均で32.50 PSUとなった（図3）。石巻湾は開放型の湾であるため平均塩分が30 PSUを超えていたが、雪解け水や、梅雨や台風による降雨の影響で陸水が流入する時は、表面の塩分が20 PSU程度まで低下することがあった（図3）。

2 石巻湾荻浜における麻痺性貝毒原因プランクトンの出現状況

Alexandrium spp.は、1995年以降ほぼ毎年、2月～4月に100 cells/Lを超えていた（図4）。また、1,000 cells/Lを超える大量発生が、1996年3月中旬、2003年3月上旬、2004年2月下旬、2006年3月中旬、2007年3月中旬、2008年3月中旬、2012年4月中旬、2013年4月中旬に見られた（図4）。震災以降連続して1,000 cells/Lを越えており、特に2013年4月22日は、1995年以降最高値（0 m：4,590 cells/L）となった。水深帯別に見ると、5 mでの細胞数が高い傾向にあるが、大量発生する時には10 mでも高くなるがあった。

3 石巻湾荻浜における下痢性貝毒原因プランクトンの出現状況

*Dinophysis fortii*は、1998年7月下旬、1999年7月上旬、2004年7月中旬、2011年8月上旬、2012年7月上旬に100 cells/Lを超えたが、500 cells/Lを超える高い出現数は見られなかった（図5）。水深帯別に見ると、5 m以深での細胞数が高い傾向にあった。

*D. acuminata*は、1996年5月下旬、1999年4月下旬、2000年7月中旬、2012年6月上旬、2013年5月下旬に100 cells/Lを超え、2013年5月27日には、1993年以降最高値（0 m：680 cells/L）となった（図6）。水深帯別に見ると、5 m以浅での細胞数が高い傾向にあった。

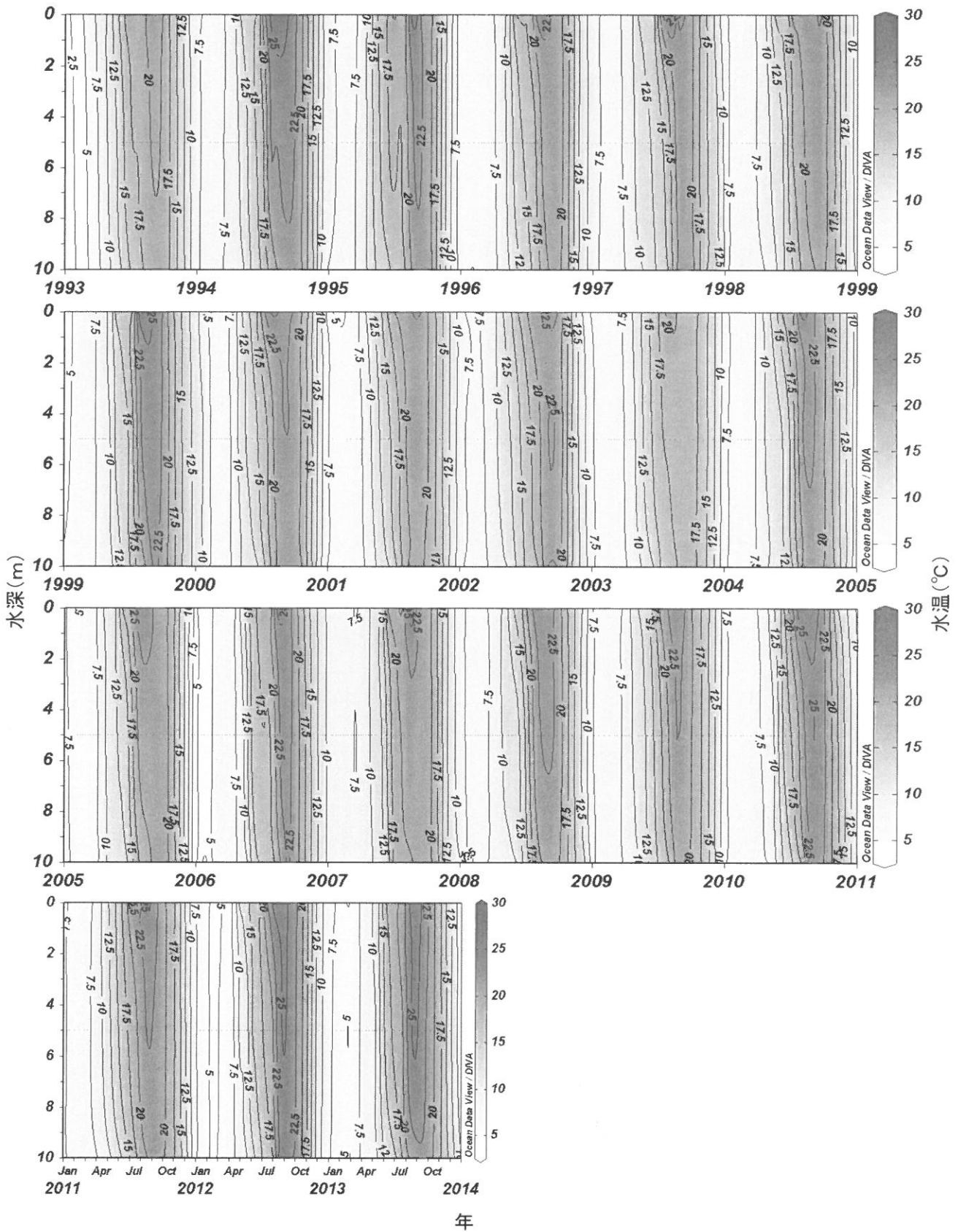


図2 1993年～2013年の石巻湾荻浜における水温の変遷

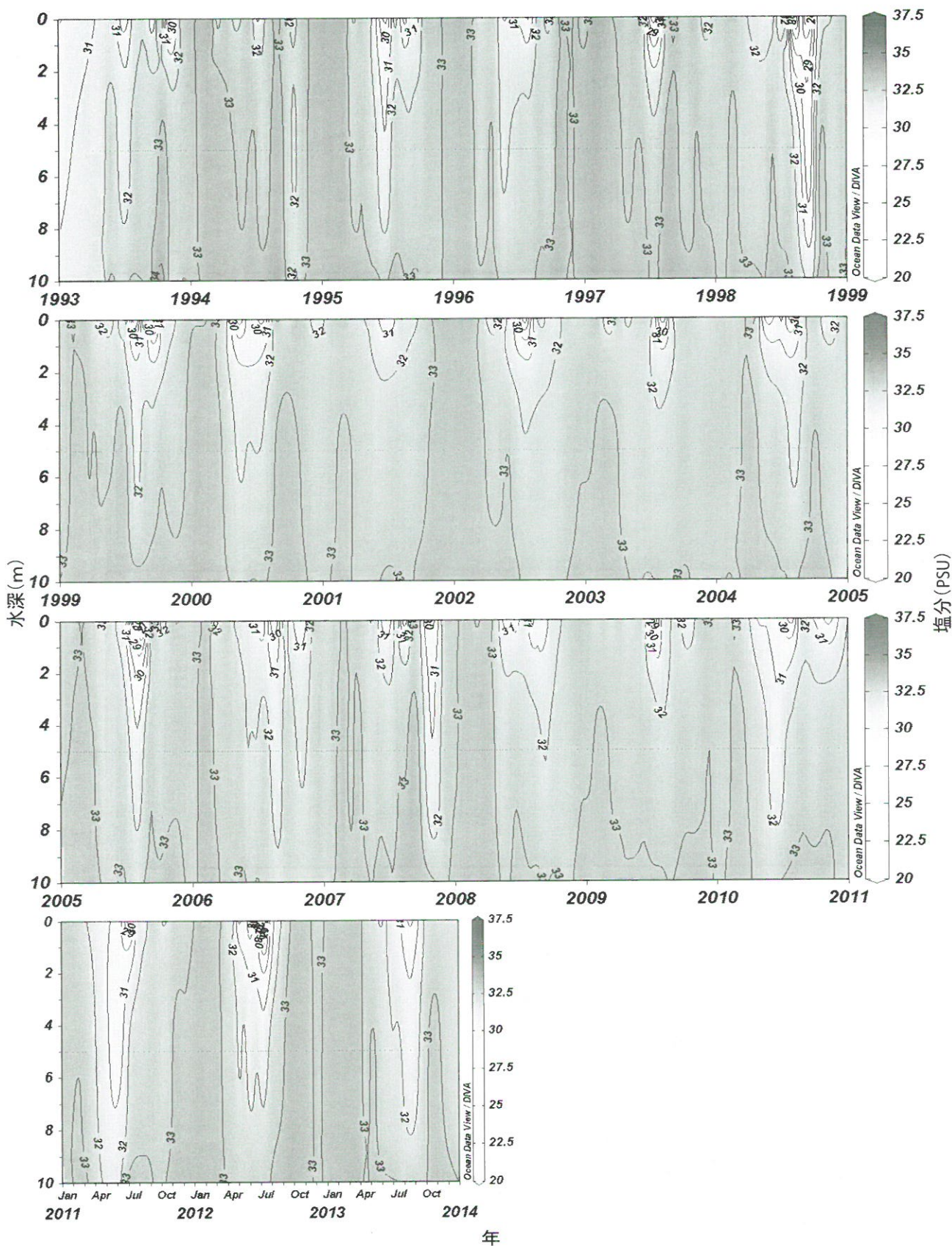


図3 1993年～2013年の石巻湾荻浜における塩分の変遷

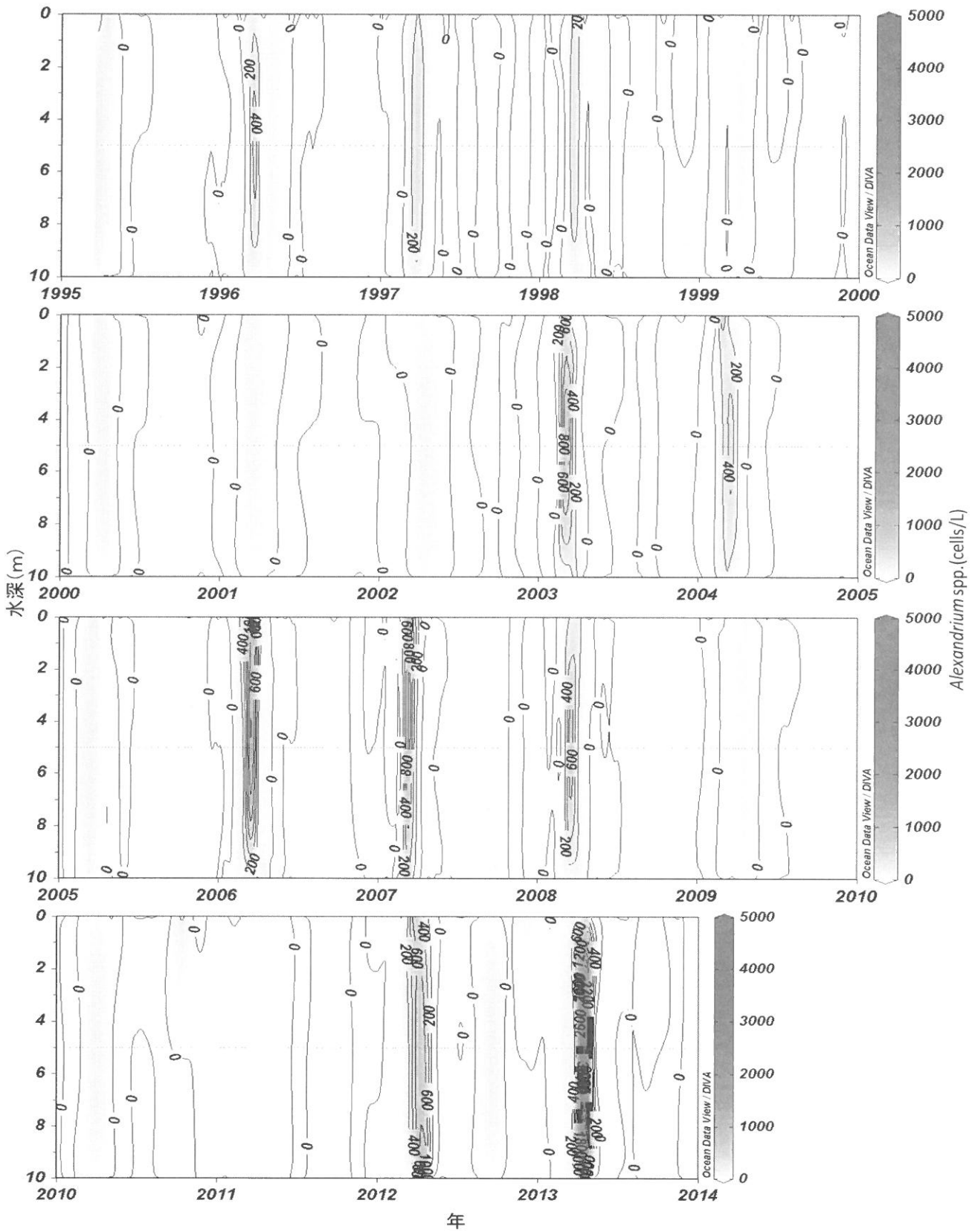


図4 1995年～2013年の石巻湾萩浜における*Alexandrium* spp.の変遷

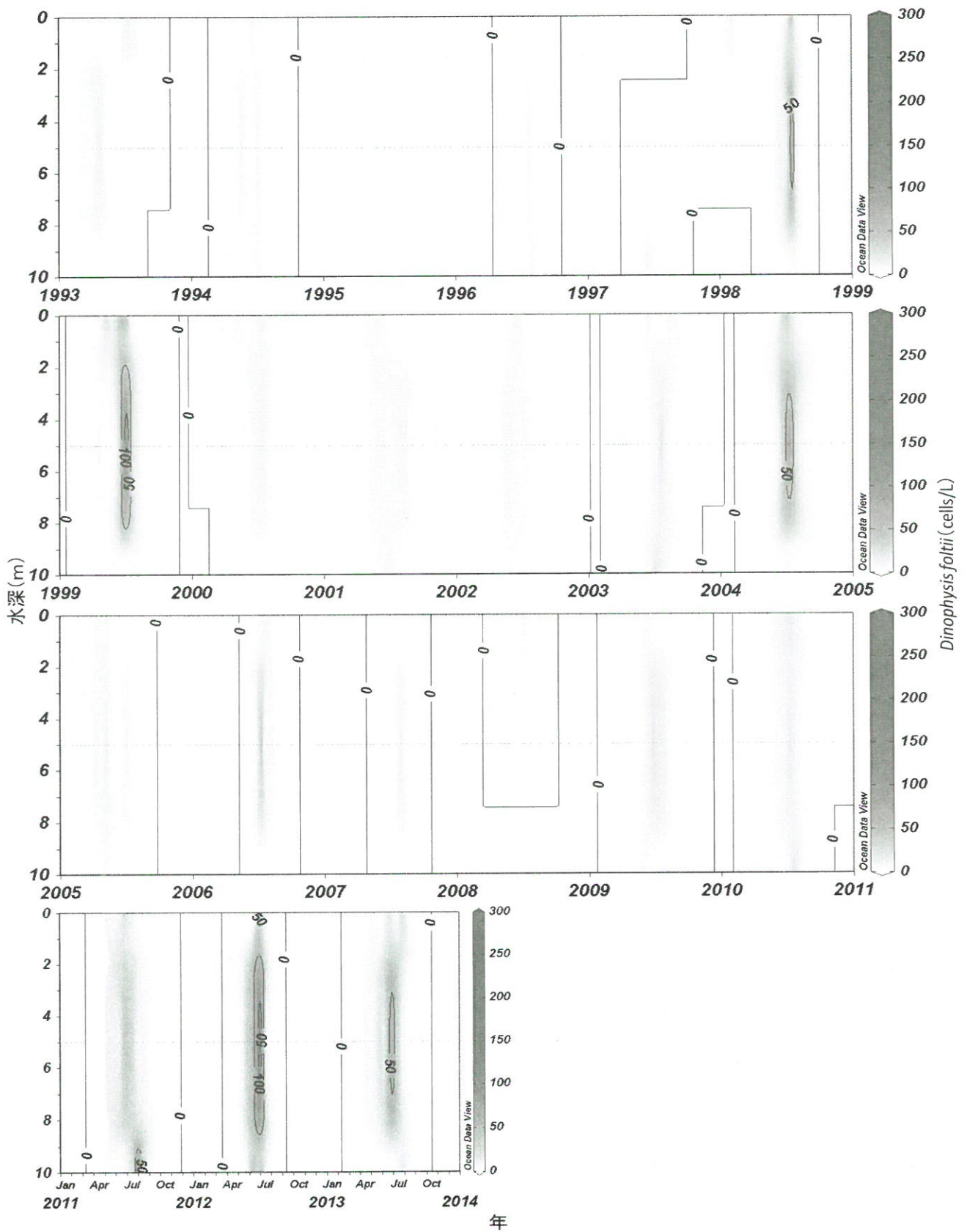


図5 1993年～2013年の石巻湾萩浜における*D. fortii*の変遷

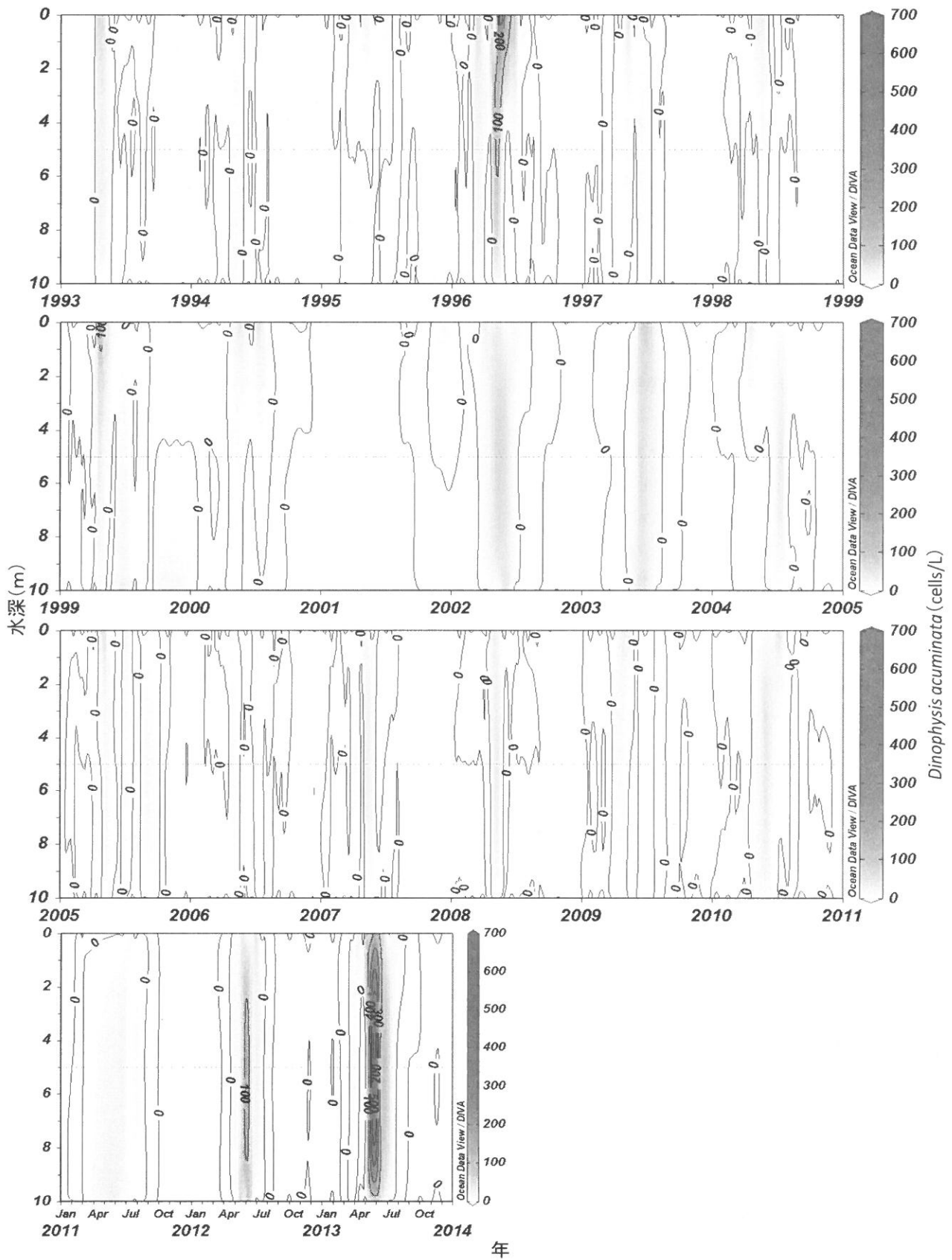


図6 1993年～2013年の石巻湾荻浜における*D. acuminata*の変遷

4 女川湾塚浜における水温塩分の変化

女川湾塚浜の水温は、4.1°C~25.9°Cの範囲にあり、各年の最低水温及び最高水温は、それぞれ2月上旬~5月上旬及び8月上旬~9月下旬に見られた(図7)。

女川湾塚浜の塩分は、22.00 PSU~34.45 PSUの範囲にあり、1993年~2013年平均で33.26 PSUとなり、石巻湾荻浜よりも0.76 PSU高かった(図8)。また、雪解け水や、梅雨や台風による降雨の影響で陸水が流入する時は、表面の塩分が22 PSU程度まで低下することがあった(図8)。

5 女川湾塚浜における麻痺性貝毒原因プランクトンの出現状況

女川湾塚浜における*Alexandrium* spp.は、石巻湾荻浜とは出現状況が異なり、春季(4月~6月)または夏秋季(8月~11月)にピーク(2008年のみ春と夏秋の2回)を持ち、夏秋季のほうが高い細胞数となるが多かった(図9)。春季に100 cells/Lを超えたのは、1996年6月中旬(0 m : 340 cells/L)、2008年4月上旬(10 m : 450 cells/L)のみであり、すべて震災以前であった(図9)。一方、夏秋季には、非常に高い値となることが多く、1995年8月上旬、1998年10月上旬、2001年8月下旬、2008

年9月上旬、震災後の2012年9月下旬に1,000 cells/Lを超えていた(図9)。水深帯別に見ると、水深15 m以浅では見られるが、15 m以深ではほとんど見られることはなかった。

6 女川湾塚浜における下痢性貝毒原因プランクトンの出現状況

女川湾塚浜における*D. foliil*は、1993年以降、ほぼ毎年のように100 cells/Lを超えていた(図10)。中でも、1999年6月下旬、2004年6月下旬、2008年4月下旬、震災後の2013年6月下旬には500 cells/Lを超える大量発生が見られた(図10)。水深帯別に見ると、0 mと底-1 mではあまり出現しないが、5 m~15 mで出現のピークとなることが多かった。

*D. acuminata*は、震災以前の2003年6月中旬に一度だけ100 cells/Lを超え、震災後は2012年5月中旬、2013年6月下旬と連続して100 cells/Lを超えており、特に2013年6月下旬には、1993年以降最高値(10 m : 370 cells/L)となった(図11)。水深帯別に見ると、10 m以浅での出現ピークとなる傾向にあった。

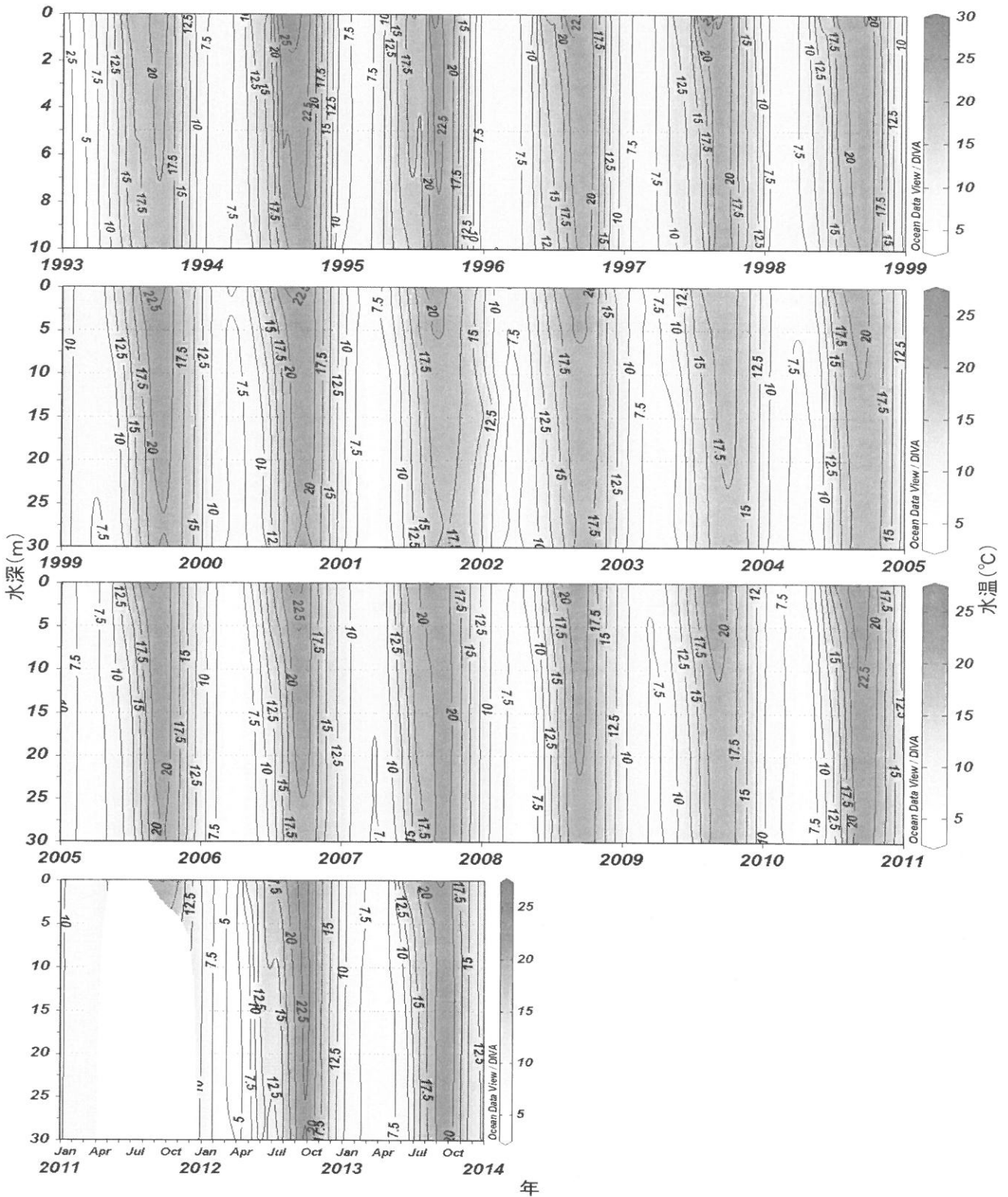


図7 1993年～2013年の女川湾塚浜における水温の変遷

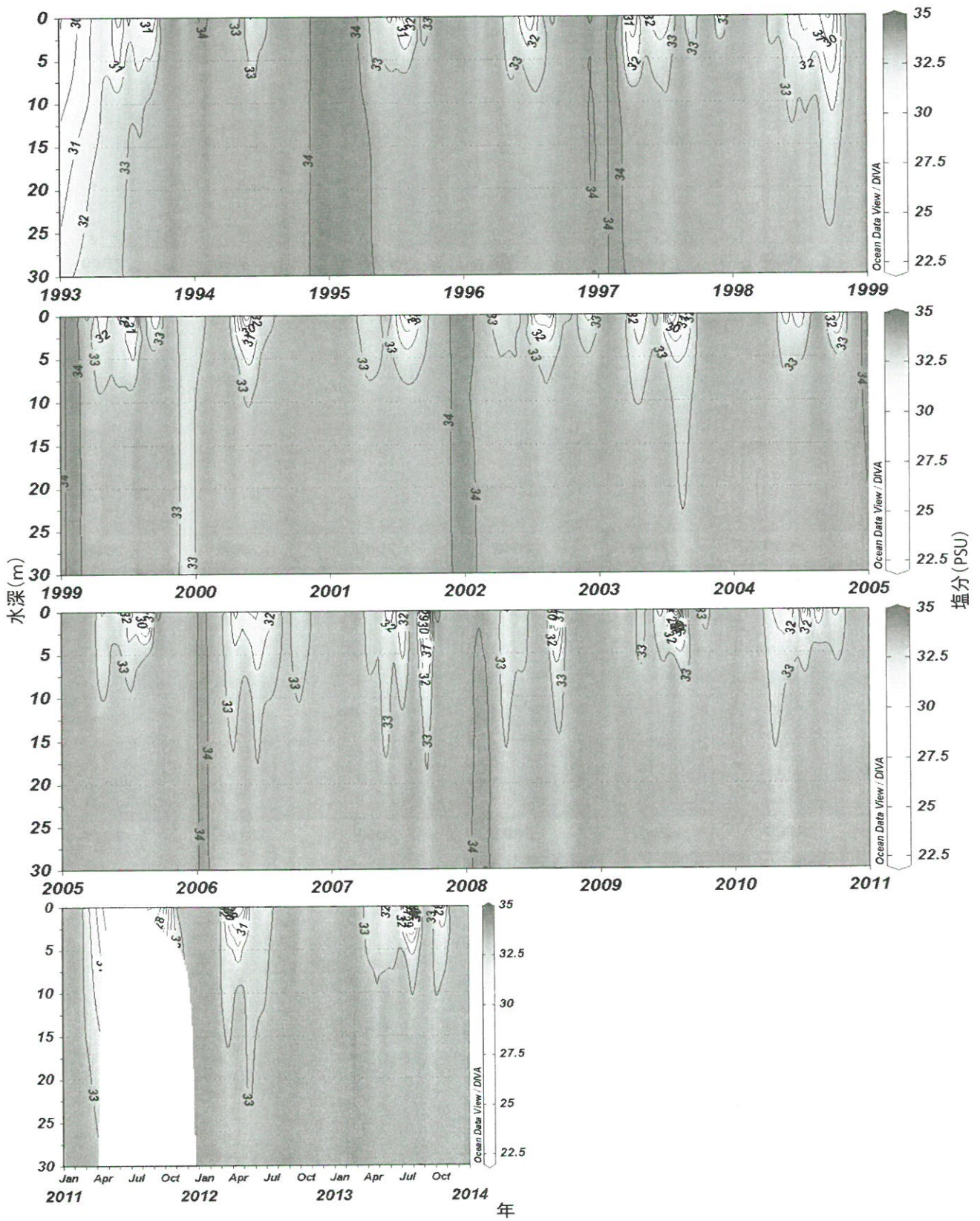


図8 1993年～2013年の女川湾塚浜における塩分の変遷

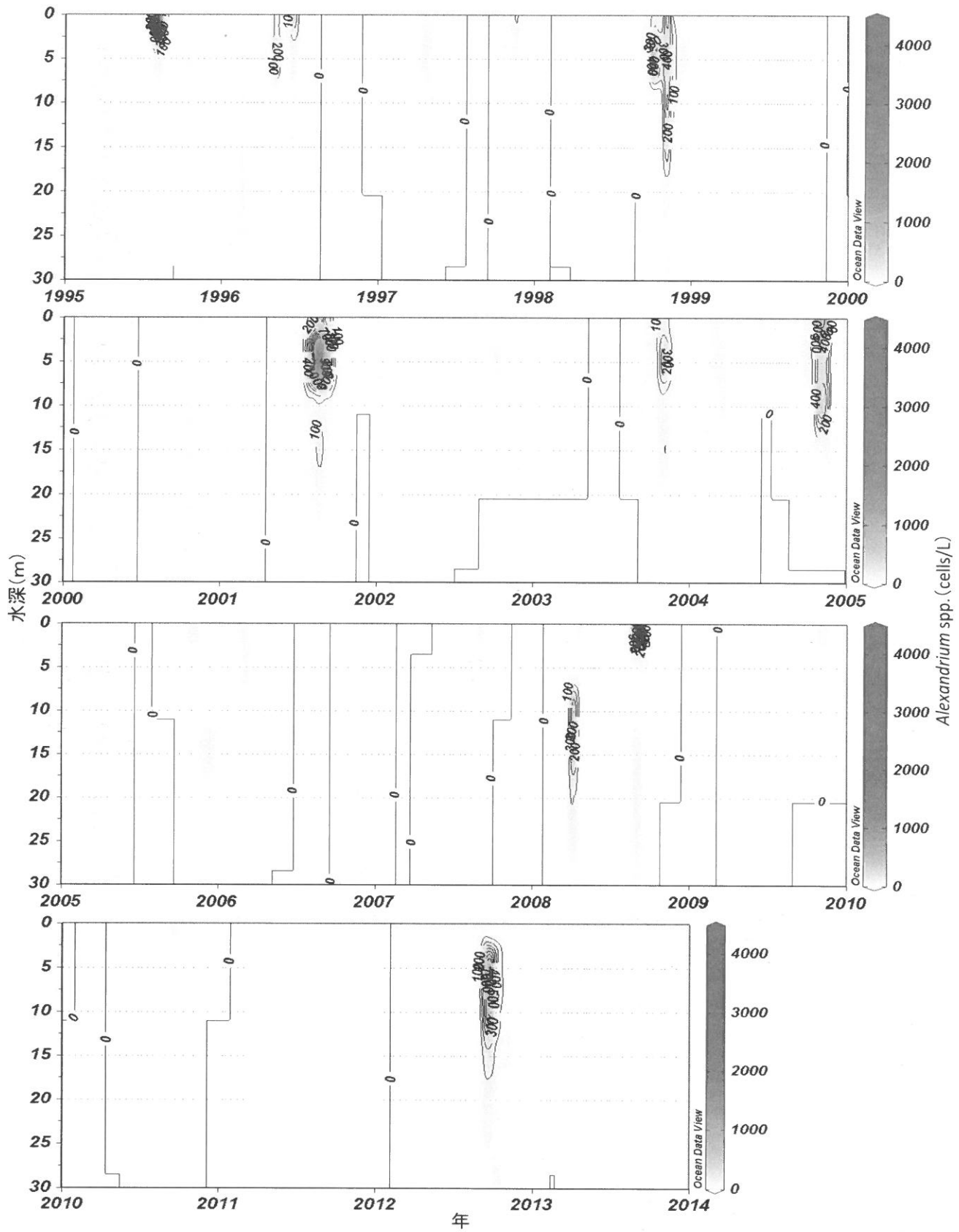


図9 1995年～2013年の女川湾塚浜における*Alexandrium* spp.の変遷

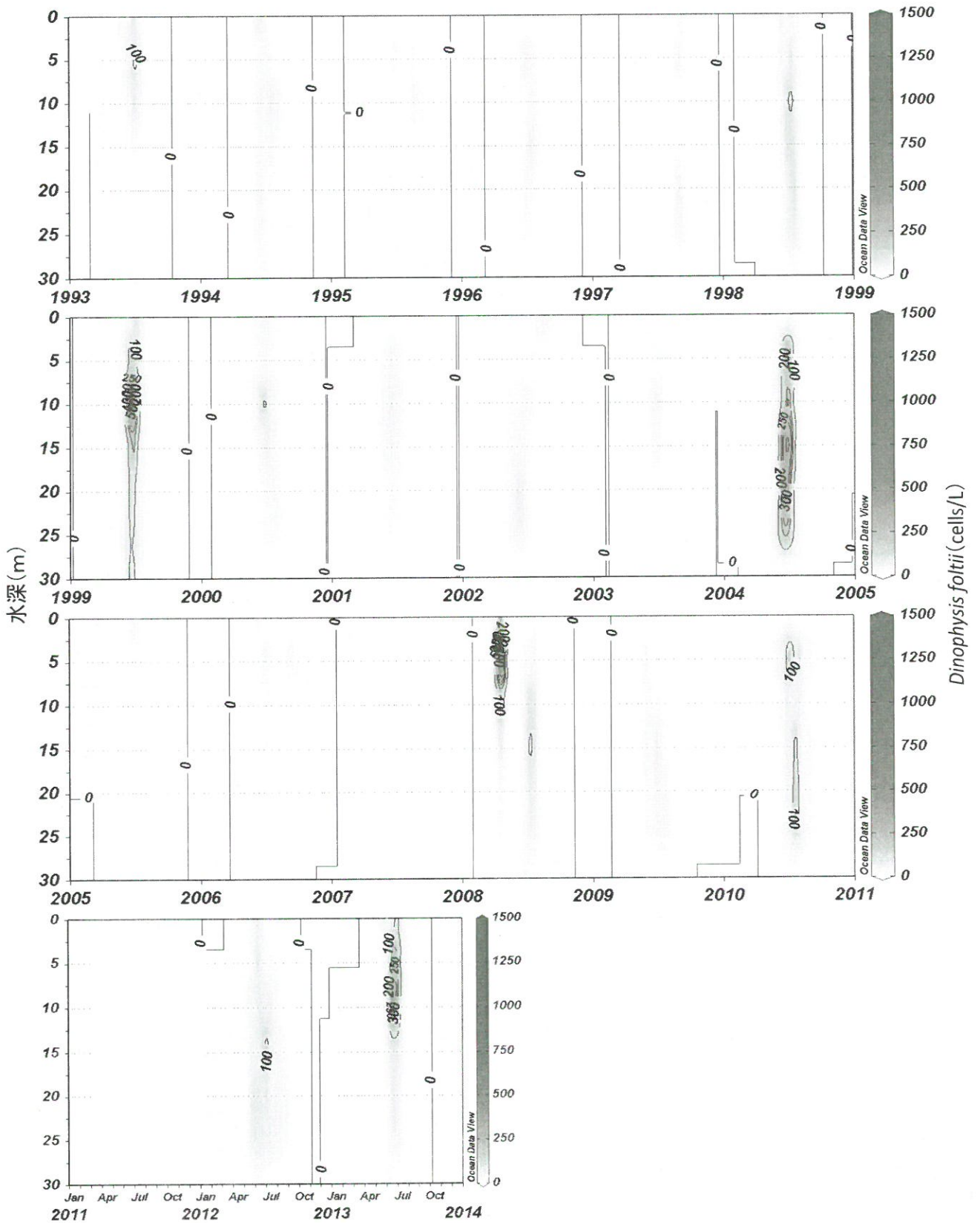


図10 1993年～2013年の女川湾塚浜における*D. fortii*の変遷

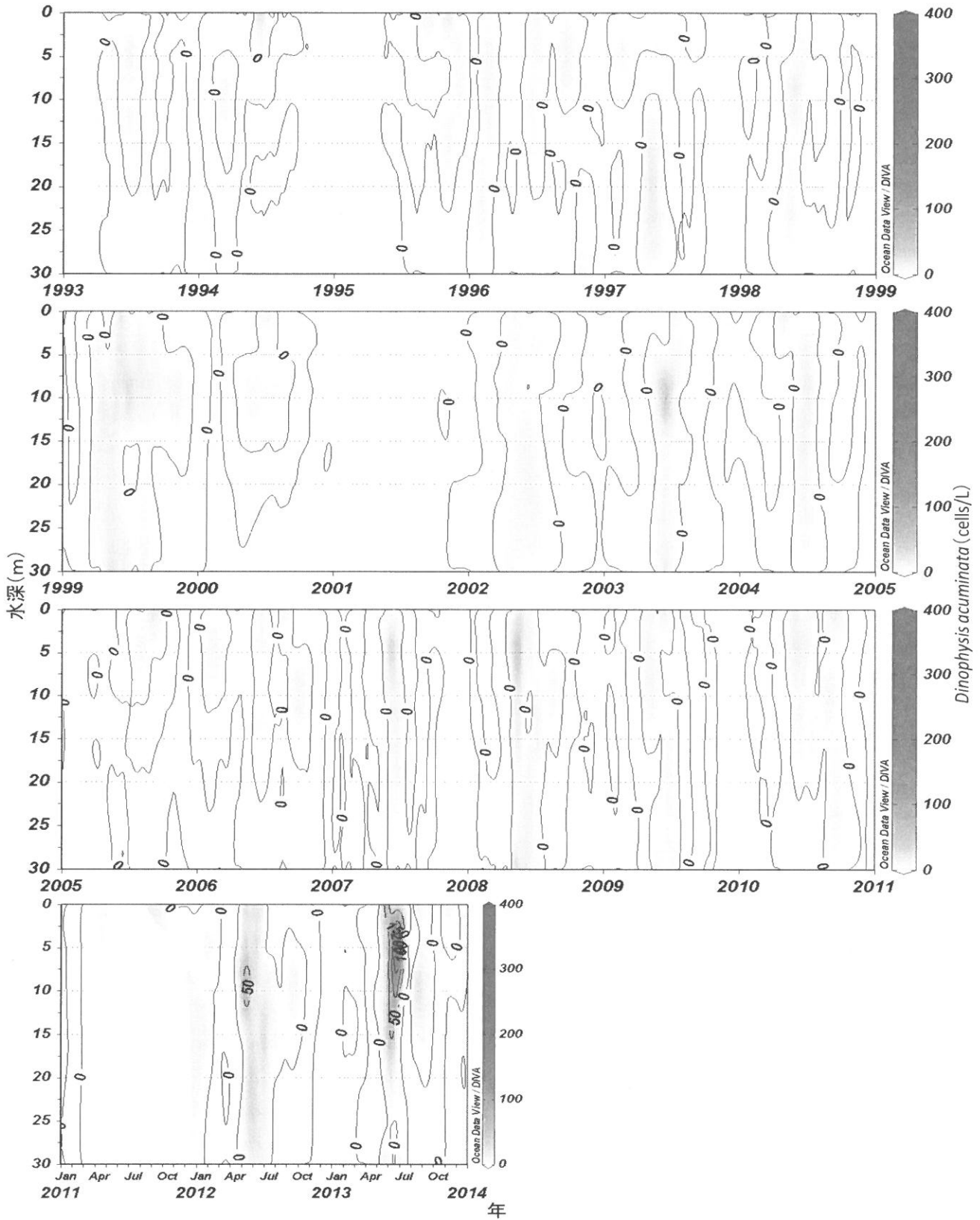


図11 1993年～2013年の女川湾塚浜における*D. acuminata*の変遷

考 察

1 麻痺性貝毒原因プランクトンと環境要因

宮城県沿岸域では、*Alexandrium* spp.の中で、麻痺性貝毒原因プランクトンとして注意が必要なのは*A. tamarense*と*A. catenella*である。石巻湾荻浜において、*Alexandrium* spp.が100 cells/Lを超えたのは、2月～4月にかけてであり、この時期は年間で最も水温が低い。*Alexandrium* spp.の中で、*A. tamarense*は冷水性とされ、比較的貧栄養の海域に出現し、三陸沿岸では春季に発生することが知られている⁶⁾。そのため、石巻湾荻浜で冬春季には出現していたのは*A. tamarense*と推察した。

仙台湾に面した養殖漁場では、水温が低いと湾外との海水交換が停滞するため、シストから発芽した*Alexandrium* spp.が湾外に流出しにくく、貝の毒化が起りやすいと考えられている⁷⁾。2011年～2013年は厳冬で、1～3月の平均水温は過去の調査時より低い傾向にあった。そのため、震災後*Alexandrium* spp.の細胞数が高かったのは海底攪乱による表層泥のシスト増加だけが原因ではなく、低温による外洋との海水交換の停滞も関連していた可能性が推察された。

ただし、1993年～2010年にかけては、「平成暖水期」にあたり⁸⁾、冬季の水温が比較的高く、この時期における*A. tamarense*の出現状況は、暖冬の年でも1,000 cells/Lを超えることがあることから、冬季の水温以外の要因によって*A. tamarense*の増殖が発生する可能性も考えた。*A. tamarense*の増加には、水温の他に栄養塩、珪藻との競合なども関係している。そこで、2012年～2013年の調査結果を基に珪藻ブルームが*A. tamarense*の増加時期に及ぼす影響について調べた。その結果、2012年及び2013年の*Alexandrium* spp.の増加は、珪藻の春季ブルームの中盤～終盤に起きている傾向が見られた(図12)。珪藻は一般的に、*Alexandrium* spp.よりも増殖が速く、栄養塩が豊富に存在する条件は、珪藻の増殖にとって有利である。しかし、珪酸塩などの栄養塩が枯渇し、珪藻が減少すると、*Alexandrium* spp.は日周鉛直移動により、下層に存在する豊富な栄養塩と上層での十分な光を取り入れて光合成を行い、増殖を開始することができる⁶⁾。冬季の低水温が長期に及ぶ時には、海水の鉛直混合が活発になり、下層の

栄養塩が上層まで持ち上げられるため、珪藻がよく増殖する。一方、冬季の低水温が短期の場合には、海水の鉛直混合があまり起こらず、珪藻の増殖も少なくなる。また、*A. tamarense*は、水温が6°C以下では増殖が遅く、5°C以下ではシストから発芽した細胞は分裂せずに死滅する⁶⁾。そのため、*Alexandrium* spp.の増加時期は、厳冬時は遅くなり、暖冬時には早まると考えられる。このことが2012年と2013年に*Alexandrium* spp.の出現ピークが例年よりも遅い4月中旬に見られた原因と考えた。

女川湾塚浜での*Alexandrium* spp.は、主に夏秋季に増加していたが、2012年の秋季に出現した*Alexandrium* spp.を遺伝子解析した結果、無毒種の*A. fraterculus*であった(西谷私信)。2013年の10月に女川湾全域でシストを調査したところ、*Alexandrium* 属シストはほぼ見られなかったことから(未公表データ)、現時点では女川湾では麻痺性貝毒が発生する可能性は低いと考える。ただし、同湾では1980年代には麻痺性貝毒が発生しており、1995年以降も春季にわずかながら*Alexandrium* spp.が出現している。また、1998年には長面浦など隣接した湾で麻痺性貝毒が発生しているため、他の湾から貝毒原因プランクトンが流入する可能性もあり、今後も引き続き調査を行う必要がある。

2 下痢性貝毒原因プランクトンと環境要因

石巻湾荻浜及び女川湾塚浜では、*Dinophysis fortii*及び*D. acuminata*による下痢性貝毒が数年に1度発生していた。気仙沼湾において、*D. fortii*は、低温・高塩分(13.2±2.5°C, 33.59±0.24 PSU)の環境で出現し、*D. acuminata*は、*D. fortii*と比較して高温・低塩分(17.3±3.9°C, 32.70±0.85 PSU)かつ富栄養条件の環境下で出現することが示されている⁹⁾。しかし、本報の県中南部海域での調査では、*D. fortii*は、*D. acuminata*の出現後の4月下旬～8月上旬の高温・低塩分下でも多く出現していた。近年*D. fortii*及び*D. acuminata*は、絨毛虫*Myrionecta rubra*を餌として、また絨毛虫*M. rubra*はクリプト藻*Teleaulax amphioxeia*を餌として増殖することが明らかとなっている^{10), 11)}。そのため、*M. rubra*や*T. amphioxeia*の動態が*Dinophysis*属の増減に影響を与えている可能性が考えられた。

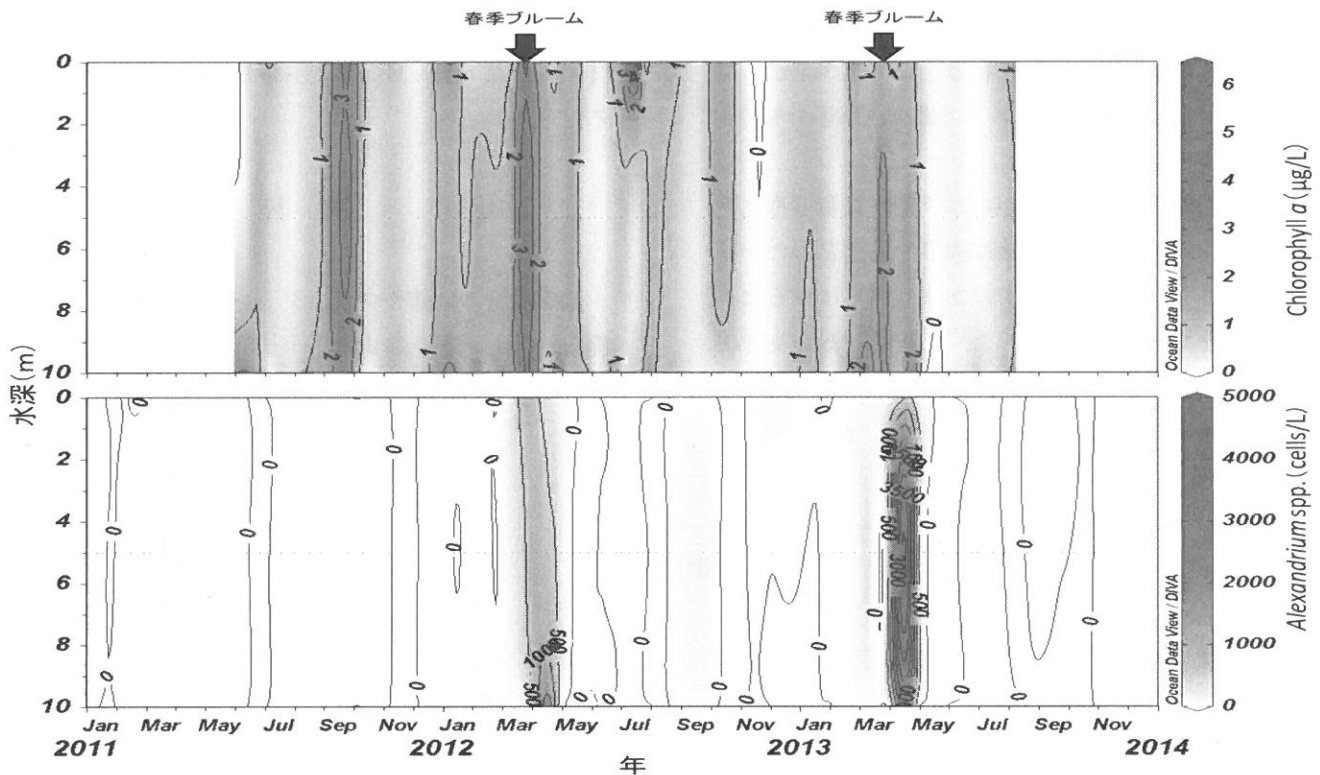


図12 2011年～2013年の石巻湾萩浜におけるクロロフィル a 量（上図）と *Alexandrium* spp.（下図）の変遷。クロロフィル a 量は、HPLCにより測定した珪藻の色素量。

3 東日本大震災後の貝毒原因プランクトンの出現状況について

東日本大震災後、気仙沼湾では24年ぶりに麻痺性貝毒が発生するなど、麻痺性貝毒原因プランクトンの出現状況が以前とは異なる様相を呈している。隣県の岩手県においても、チリ地震津波後の翌年1961年にアカザラガイの麻痺性貝毒中毒事故が発生し、東日本大震災後の2011年にも *A. tamarense* の大量発生が確認されている¹²⁾。我々が2012年4月に仙台湾全域で行った調査においても、最高で68,700 cells/Lという非常に高密度の細胞数を観測した（未公表データ）。そのため、石巻湾萩浜で2013年に同調査点において過去最高値となったのは、津波による海底攪乱により、堆積していた *Alexandrium* 属シストの海水中への懸濁が要因の一つであると推察した。

一方、女川湾塚浜では、震災後も春季には *Alexandrium* spp. は低密度の出現にとどまった。津波によって海底が攪乱されても、*Alexandrium* 属シストが増加するかどうか

かは、過去におけるその湾での同プランクトンの出現状況（過去のシストの堆積量）によるのかもしれない。

震災後の下痢性貝毒原因プランクトン増加の要因については、麻痺性貝毒原因プランクトンの *Alexandrium* spp. とは異なりシストの存在が確認されていないため、津波による海底攪乱による影響は少ないと考えた。そのため、養殖施設の被災による二枚貝等のプランクトン摂食者の減少により、*Dinophysis* 属の餌となる繊毛虫 *M. rubra* や、*M. rubra* の餌となるクリプト藻 *T. amphioxeia* が二枚貝などに捕食されにくい環境となり、*Dinophysis* 属による餌の捕食機会が増加した可能性や下水処理施設の損壊による栄養塩環境の変化などにより植物プランクトン全体が増加しやすい環境であったためと推察した。

4 今後の課題

東日本大震災後、仙台湾や気仙沼湾において麻痺性貝毒原因プランクトンの *Alexandrium* 属シストの増加が

観察されており、麻痺性貝毒により、二枚貝が高毒化している。震災前後でシストの分布状況は変化しており、麻痺性貝毒の発生予測を行う上で、県内全域において詳細な*Alexandrium*属シストの調査（水平分布や鉛直分布）を行う必要がある。

宮城県沿岸においては、以前は下痢性貝毒の毒化予測の際に、親潮系冷水の最南端緯度を指標とした予察式が使われていたが、近年ではあまり当てはまらなくなったことで使われなくなった¹³⁾。近年*D. foltii*及び*D. acuminata*は、繊毛虫*M. rubra*を餌として増殖することが明らかとなっているが、*M. rubra*は、ナノサイズの植物

プランクトンであるクリプト藻を餌に増殖することから、これら餌生物の挙動を同時に調査することによって、新たな下痢性貝毒の予測手法を確立する必要があるだろう。

謝 辞

測定機材の準備やプランクトンの検鏡試料の作成に際し、当センター霜山まさ子技師には多大なるご助力を賜りました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 田口滋之・星合愿一・伊藤章（1994）東北沿岸域における貝毒問題，沿岸海洋研究ノート，**32**，55-67.
- 2) 五十嵐輝夫・藤田則考（1982）宮城県における麻痺性貝毒の出現状況，宮城水産研報，**6**，12-22.
- 3) 藤原健（1995）平成5年春季に南部海域で発生した麻痺性貝毒に関するプランクトン調査について，平成5年度東北ブロック増養殖研究連絡会議報告書，31-34.
- 4) Kamiyama, T., H. Yamauchi, S. Nagai and M. Yamaguchi（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.
- 5) 西谷豪・山本光夫・夏池真史・劉丹・吉永郁生（2012）気仙沼舞根湾の植物プランクトンの動態，海洋と生物，**203**，545-554.
- 6) 石丸隆（1985）貝毒プランクトンの生物学・増殖と環境要因，貝毒プランクトン-生物学と生態学，水産学シリーズ，**56**，恒星社厚生閣，東京，40-46.
- 7) 山内洋幸・阿保勝之・神山孝史（2008）仙台湾における水温指標を用いた貝類毒化時期の予測，平成20年度日本水産学会大会講演要旨集，pp. 253.
- 8) 佐伯光広（2013）宮城県沿岸の海洋環境と定置網の漁獲物の変動，宮城水産研報，**13**，1-5.
- 9) Hoshiai G., T. Suzuki, T. Kamiyama, M. Yamasaki and K. Ichimi（2003）Water temperature and salinity during the occurrence of *Dinophysis foltii* and *D. acuminata* in Kesenuma Bay, northern Japan, *Fish. Sci.*, **69**, 1303-1305.
- 10) Park M.G., S. Kim, H. S. Kim, G. Myung., Y. G. Kang and W. Yih（2006）First successful culture of the marine dinoflagellate *dinophysis acuminata*, *Aquat. Microb. Ecol.*, **45**, 101-106.
- 11) Nagai, S., G. Nitshitani, Y. Tomaru, S. Sakiyama and T. Kamiyama（2008）Predation by the toxic dinoflagellate *Dinophysis foltii* on the ciliate *Myrionecta rubra* and observation of sequestration of ciliate chloroplasts. *J. Phycol.*, **44**, 909-922.
- 12) 加賀新之助・渡邊龍一・長井敏・神山孝史・鈴木敏之（2012）東日本大震災後の岩手県大船渡湾における*Alexandrium tamarense*による貝類の毒化，月刊海洋，**44**，321-327.
- 13) 星合愿一・鈴木敏之・五十嵐輝夫・山崎誠（2003）宮城県沿岸部における下痢性貝毒の毒化予知に関する評価，宮城水産研報，**3**，31-39.