

赤潮・貧酸素水塊対策推進事業（概要）

増養殖環境課 堀田 敏弘・渡辺 貢
宿毛漁業指導所 北峯 知沙・齋田 尚希

1 はじめに

本事業では浦ノ内湾と宿毛湾を対象海域とした。

なお、詳細に関しては「平成27年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業のうち赤潮・貧酸素対策推進事業報告書」に記載しており、ここでは概要を報告する。

2 目的

浦ノ内湾では *Karenia mikimotoi* と *Chattonella* spp. (*C. antiqua* + *C. marina*) を対象に構築された赤潮予察手法の検証を行うとともに有害種及び海洋環境を監視し、既存データも含めたデータ解析によって予察精度の向上及び予察手法の改良を図り、漁業被害軽減に資することを目的とした。

宿毛湾では近年になって発生し始めた *Cochlodinium polykrikoides* を対象に、有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を監視し、既存データも含めたデータ解析によって赤潮発生シナリオを構築し、赤潮発生予察や漁業被害軽減に資することを目的とした。

3 方法

浦ノ内湾では5定点、宿毛湾では6定点をそれぞれ設定し、赤潮の発生状況に応じて調査点を増設・変更した（図1）。各調査点では、表1に示した項目について調査を行った。

なお、有害赤潮発生の際、海水中には珪藻類が少ない（山口¹⁾、今井²⁾）との報告があり、本事業では有害種に加え、珪藻類の増殖形態も監視対象とした。

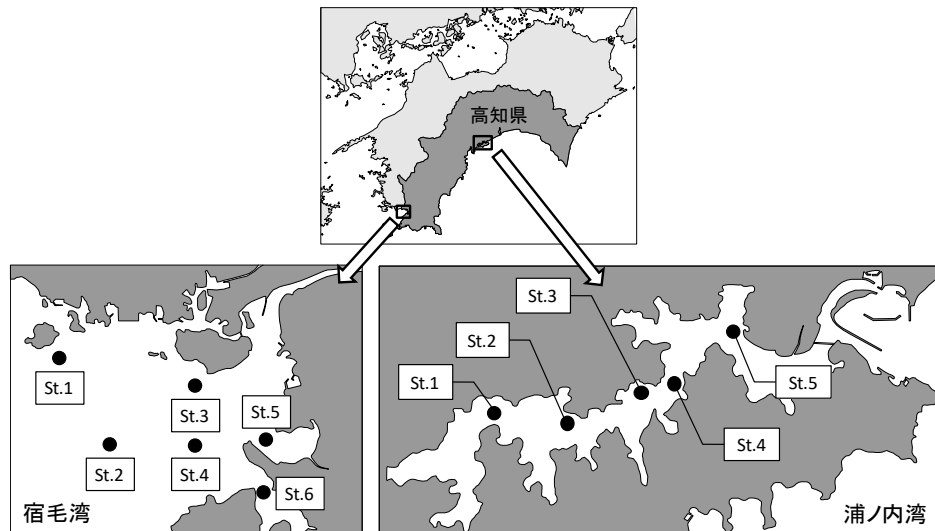


図1 調査海域及び調査定点

表1 調査項目

		浦ノ内湾			宿毛湾	
		定期調査		赤潮調査	定期調査	赤潮調査
調査期間		5月, 9月~1月	6月~8月	適宜	5~11月	適宜
調査定点数		5	←	適宜	6	適宜
調査回数		1回/月	4回/月	適宜	1回/月	適宜
項目・観測層	透明度	○	←	適宜	○	適宜
	水温・塩分・DO	0, 2, 5, 10, B-1m	←	適宜	0, 2, 5, 10, 15, 20m	適宜
	栄養塩	0, 5, 10, B-1m (St.1, St.3のみ)	←	×	2, 10m	×
	Chl. a	0, 5m (St.1, St.3のみ)	←	×	2, 10m	×
	有害種	0, 2, 5m	←	適宜	0, 5, 10m	適宜

4 結果と考察

(1) 浦ノ内湾

1) 海象 (湾央部 St. 3)

① 水温、塩分、DO (図2)

水温は、0m層は13.4~29.1℃、5m層は15.2~27.8℃、B-1m層は15.8~27.1℃の範囲で変動した。塩分は、0m層は21.8~31.4、5m層は28.7~31.4、B-1m層は29.7~31.8の範囲で変動した。DOは、0m層は6.5~10.0mg/L、5m層は2.2~8.1mg/L、B-1m層は0.4~7.2mg/Lの範囲で変動した。底層の貧酸素状態は6月から9月に確認された。

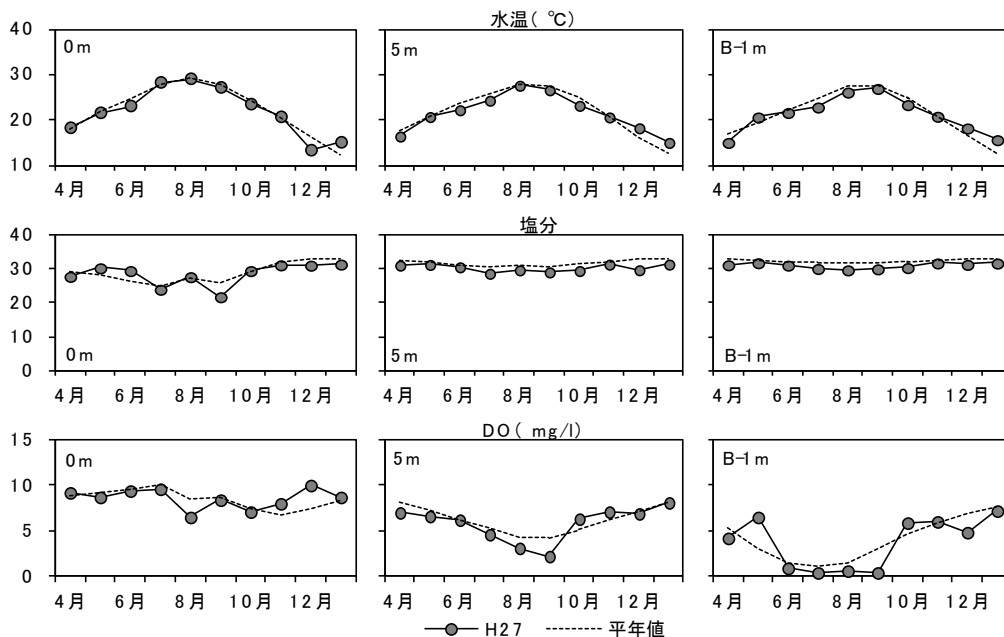


図2 湾央部St. 3における水温、塩分及びDOの推移 (平年値はS60~H26年度の平均)

② 栄養塩濃度・クロロフィル a 量 (図3)

DINは、0m層は1.87~5.24 μ M、5m層は2.17~11.24 μ M、B-1m層は4.28~15.66 μ Mの範囲で変動した。PO₄-Pは、0m層は0.03~0.28 μ M、5m層は0.17~2.50 μ M、B-1m層は0.16~2.52 μ Mの範囲で変動した。SiO₂-Siは、0m層は1.63~53.36 μ M、5m層は1.77~18.98 μ M、B-1m層は5.35~46.72 μ Mの範囲で変動した。クロロフィルaは、0m層は2.59~9.40 μ g/L、5m層は2.77~16.96 μ g/Lの範囲で変動した。

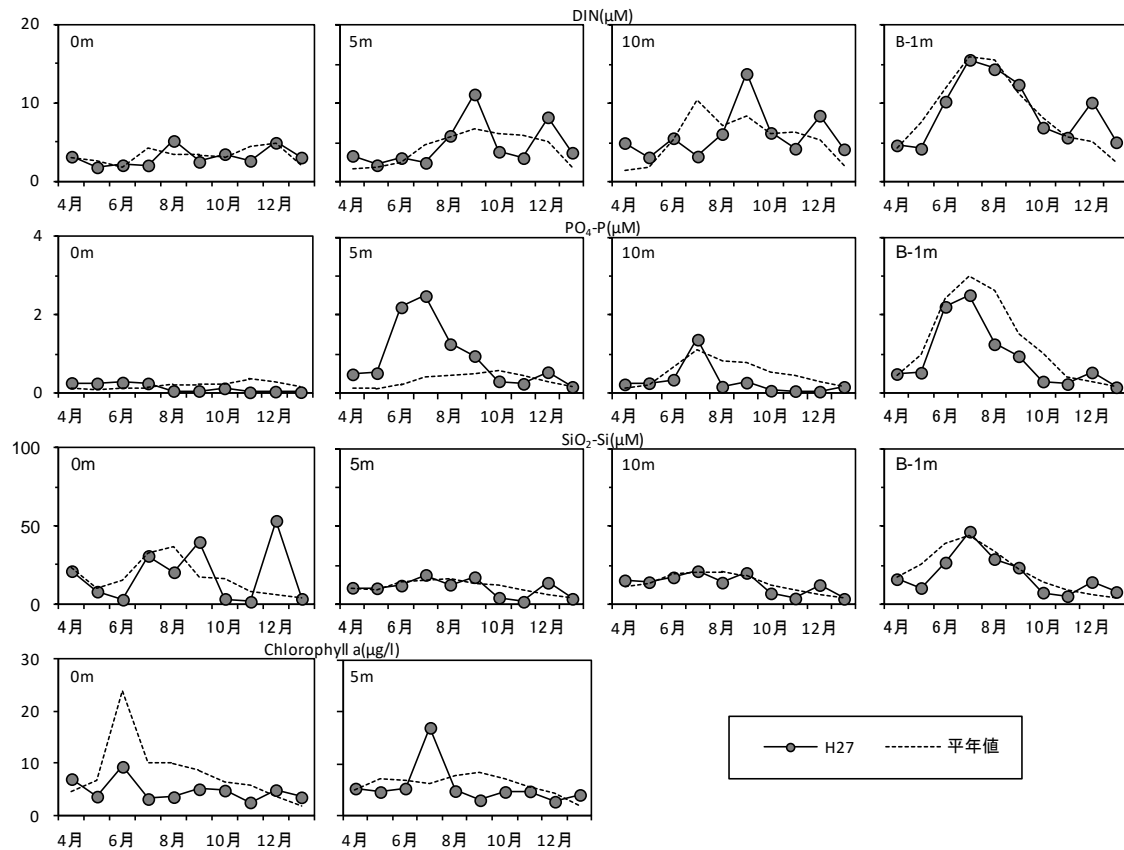


図3 湾中部St. 3における栄養塩及びクロロフィルa量の推移
(栄養塩の平年値はS60～H26年度、クロロフィルaの平年値はH7～H26年度の平均)

2) 有害プランクトン

*K. mikimotoi*は平成27年1月7日、2月2日、4月10日から9月2日、9月29日、10月14日、10月23日、12月14日、平成28年1月6日、1月22日及び2月1日に確認された。本種赤潮は4月30日にSt. 1の奥に設定した臨時観測点で最初に確認され、その後5月25日に湾中部、6月17日には湾口部へと拡大し、8月12日に漁業被害が想定される細胞密度以下に減少した。今年度も湾奥部で初期赤潮が発生し、その後、湾中部、湾口部へと移動・拡大する、浦ノ内湾における典型的な赤潮発生パターンであった。最高細胞数は6月18日にSt. 5で観測された170,000細胞/mLであった。

Chattonella spp. は4月13日から8月17日、12月16日に確認された。赤潮は4月30日にSt. 1の奥に設定した臨時観測点で最初に確認され、その後6月17日に湾中部、6月19日には湾口部へと拡大し、8月17日に漁業被害が想定される細胞密度以下に減少した。その間、4月30日から5月2日、5月15日、6月3日から7月3日及び7月14日から8月17日に4回の増殖のピークがあり、そのたびに湾奥部から発生し、湾中部、湾口部へ増殖しながら拡大していった。これらは浦ノ内湾における典型的な赤潮発生パターンであった。最高細胞数は6月19日にSt. 1の奥の臨時観測点及び6月26日にSt. 4及びSt. 5の対岸の臨時観測点でそれぞれ観測された3,400細胞/mLであった。

3) *K. mikimotoi* 赤潮中長期予察について

*K. mikimotoi*赤潮の発生と降水量、水温及び塩分との関係について再検討した結果、赤潮発生年は降水量が赤潮発生の少なくとも2か月前から平年値又は赤潮非発生年の値を上回る傾向があった(図4)。水温は赤潮発生年と非発生年に大きな差はなかったが、塩分は4月以降、赤潮の発生した年の方が低く推移していた。栄養塩は今年2月から赤潮発生年より多い状態であった(図5)。よって、今年度は*K. mikimotoi*赤潮の主たる発生月の2か月程度前から平年より雨の多い月が続いたため、湾奥部では中層、底層の塩分が低下して中下層に分布する*K. mikimotoi*の増殖に好適な条件になり、これに栄養塩の増加もあって赤潮を形成するようになったと考えられた。

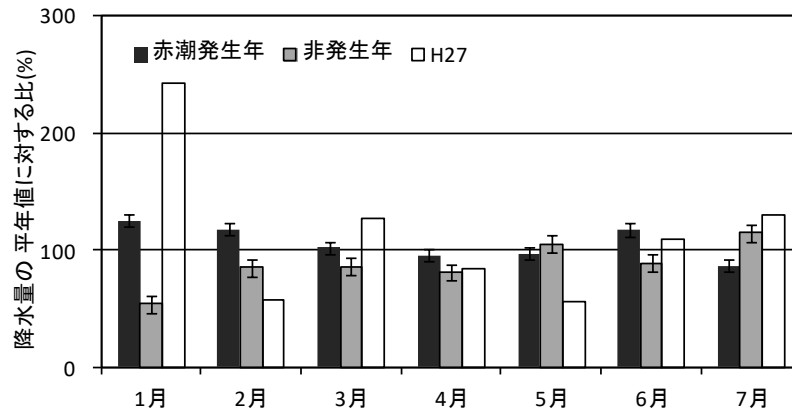


図4 平成27年、赤潮発生年及び非発生年における須崎市の降水量の平年値比 (アメダス(観測所:須崎)のデータより)

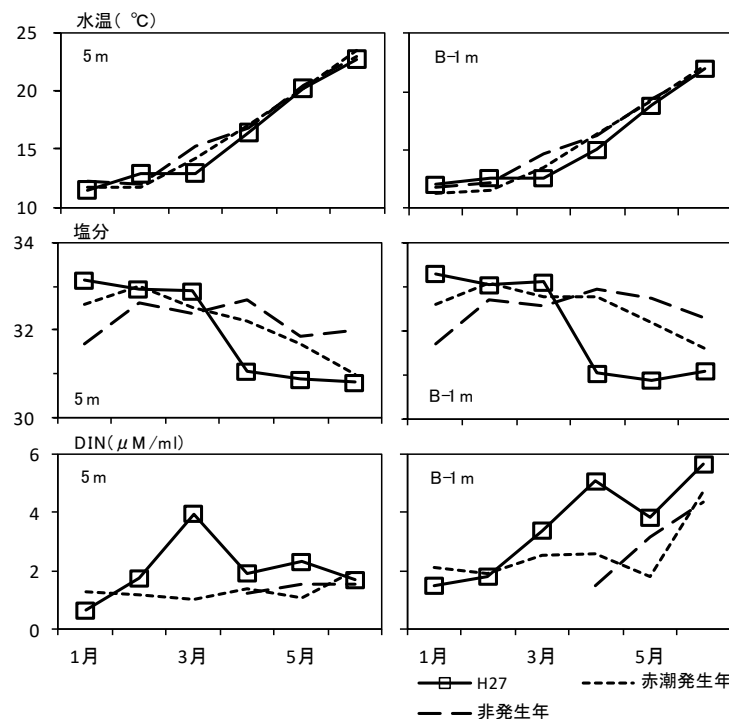


図5 平成27年、赤潮発生年及び非発生年における浦ノ内湾湾奥部St. 1における水温、塩分、栄養塩の推移

4) 赤潮短期予察について

a 珪藻類と *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. との関係

今年度の浦ノ内湾における珪藻類と有害種 *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. の最高細胞数の推移(図6)を見ると、珪藻類が減少した時には有害種が増殖する傾向があった。しかし、栄養塩類(図7)を見ると、4月から8月の表層DINは、全ての期間で珪藻類が休眠細胞を形成するとされる $1\mu\text{M}$ (板倉³⁾)を上回っていた。また、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は、6月8日の湾奥部と湾中部の0m層で珪藻類増殖の制限となる $3\mu\text{M}$ (Parsons *et al.*⁴⁾)を下回っていたが、珪藻類は11,200~19,200細胞/mL存在していた。さらに $\text{PO}_4\text{-P}$ が8月12日に湾中部の表層で赤潮発生期間中最低値である $0.06\mu\text{M}$ を計測した時点でも、珪藻類は2,400細胞/mL存在していた。よって、今年度の浦ノ内湾における珪藻類の減少は、栄養塩類以外の要因によると考えられた。

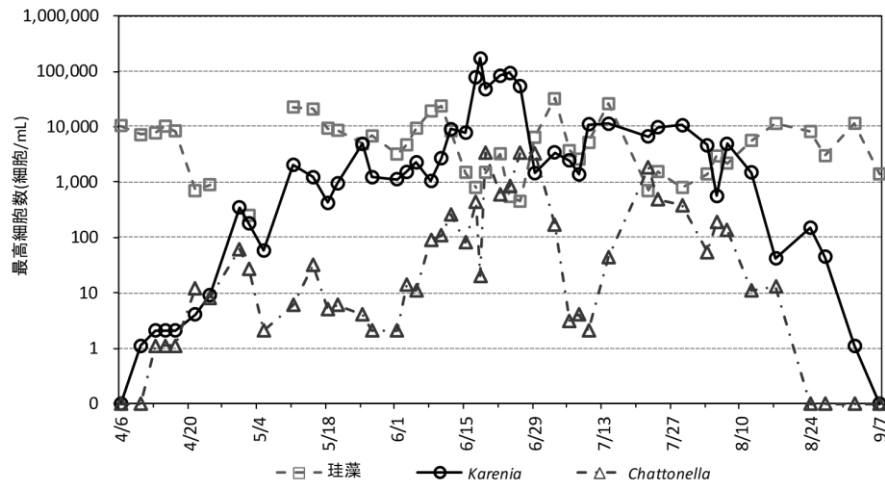


図6 浦ノ内湾全調査点における珪藻類、*K. mikimotoi*及び*Chattonella* spp.の最高細胞数の推移（平成27年4～9月）

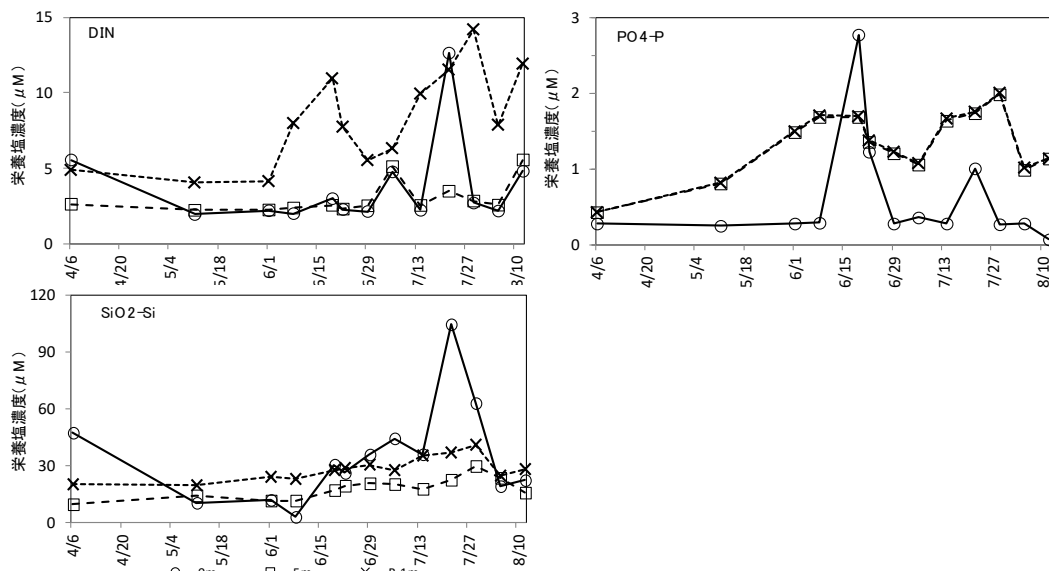


図7 浦ノ内湾内における栄養塩類濃度の推移（平均値、平成27年4～8月）

b 赤潮短期予察結果

3月から4月上旬にかけて*K. mikimotoi*と*Chattonella* spp.は、直接検鏡では検出できなかった（図8）。しかし、須崎市における降水量が1月と3月は平年より多めであったことから*K. mikimotoi*赤潮発生の可能性があるかと判断し、4月からモニタリング頻度を増やしたところ、（宮村⁵⁾）の報告にある地場発生型カレニア赤潮のように、赤潮発生前に湾内の複数定点で*K. mikimotoi*が低レベルで存在していたことを確認し（図9）、赤潮発生前に注意喚起を行なうことができた。このことは、湾奥だけでなく湾中部や湾口部の各定点に低レベルで出現する*K. mikimotoi*の監視が*K. mikimotoi*赤潮発生の短期予察に有効である可能性を示唆するものと考えられた。

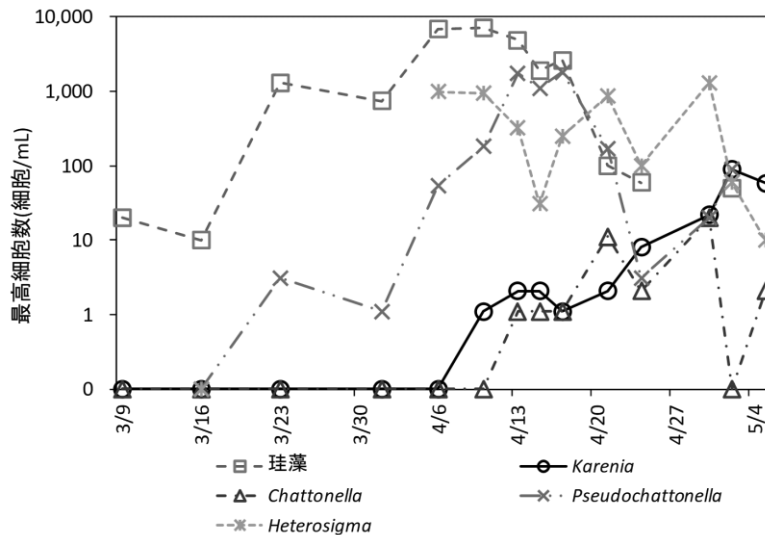


図8 湾奥部St. 1におけるプランクトン細胞数の推移（平成27年3～5月）

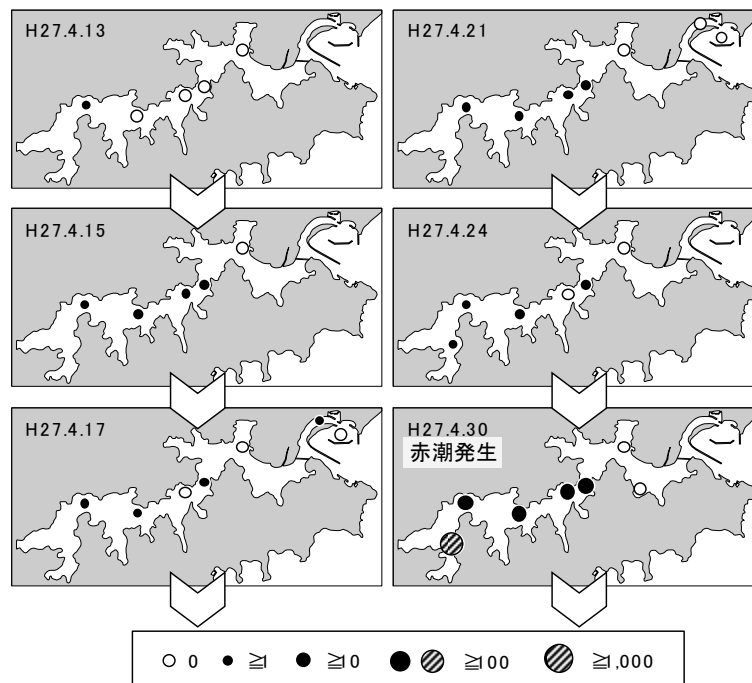


図9 浦ノ内湾内における*K. mikimotoi*細胞数の推移（平成27年4月13日～4月30日）

c 今年度の *Chattonella* spp. の増殖について

今年度の*K. mikimotoi*は、赤潮発生期間中の殆どで被害が想定される細胞密度（数百細胞/mL以上）を超えていたのに対して、*Chattonella* spp. は被害が想定される細胞密度（10細胞/mL以上）を超えていたのは4月30日から5月2日、5月15日、6月3日から7月3日、7月14日から8月17日の期間であり、競合種である珪藻類や*K. mikimotoi*に対して優占種となり得なかった（図6）。その要因を解明するため今年度*Chattonella* spp. が最も増殖した6月について検証を試みた。

Chattonella spp. の細胞数の推移を見ると、6月3日にSt. 1奥の臨時観測点で3回目の初期赤潮状態となり、17日にSt. 3、19日にSt. 5まで拡散・増殖した。しかし、この期間中も*K. mikimotoi*は赤潮状態が継続していた（図10）。また、浦ノ内湾内の水温・塩分の分布を見ると、ほぼ全期間にわたって*K. mikimotoi*の増殖に有利な条件となっていた（図11）。さらに気象庁のデータによると、6月上旬の日照時間は平年値の67%でかなり少なめ、中旬は37%でかなり少なめ、下旬は74%で少なめであった。よって、今年度6月に*Chattonella* spp. が浦ノ内湾内で優占種となり得なかったのは、水温と塩分の条件が*Chattonella* spp. よりも*K. mikimotoi*の増殖に有利な条件で推移したこと、日照時間がか

なり少なめで推移したことで*Chattonella* spp. よりも弱い光で増殖可能な*K. mikimotoi*に有利な条件であったことが要因と考えられた。

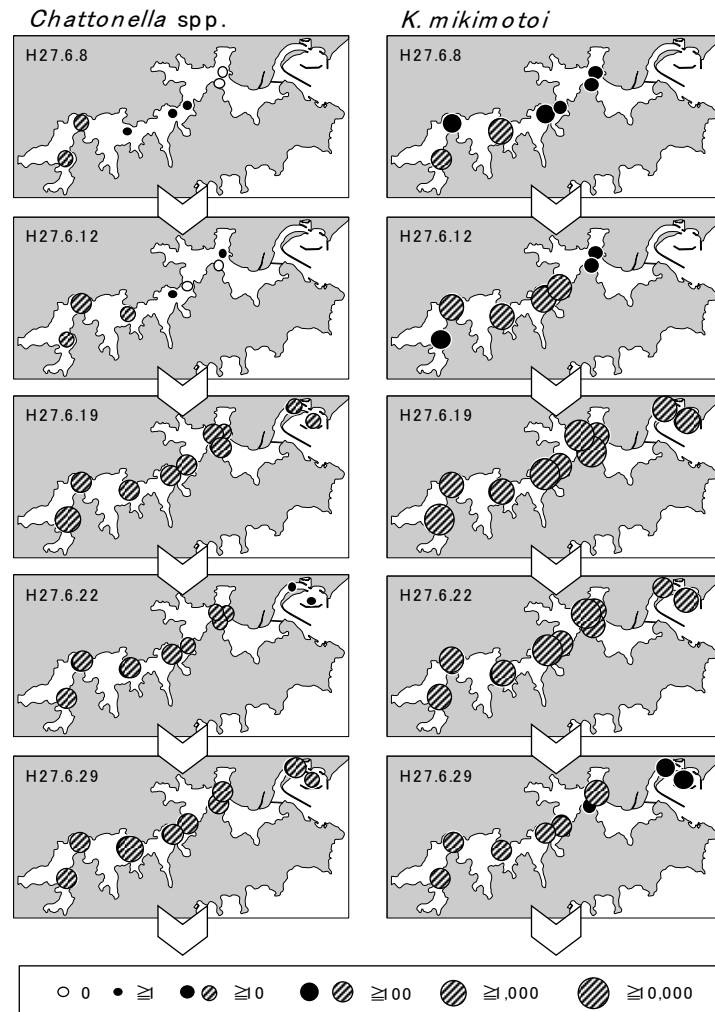


図10 浦ノ内湾内における*Chattonella* spp. 及び *K. mikimotoi*細胞数の推移
(平成27年6月8日～6月29日)

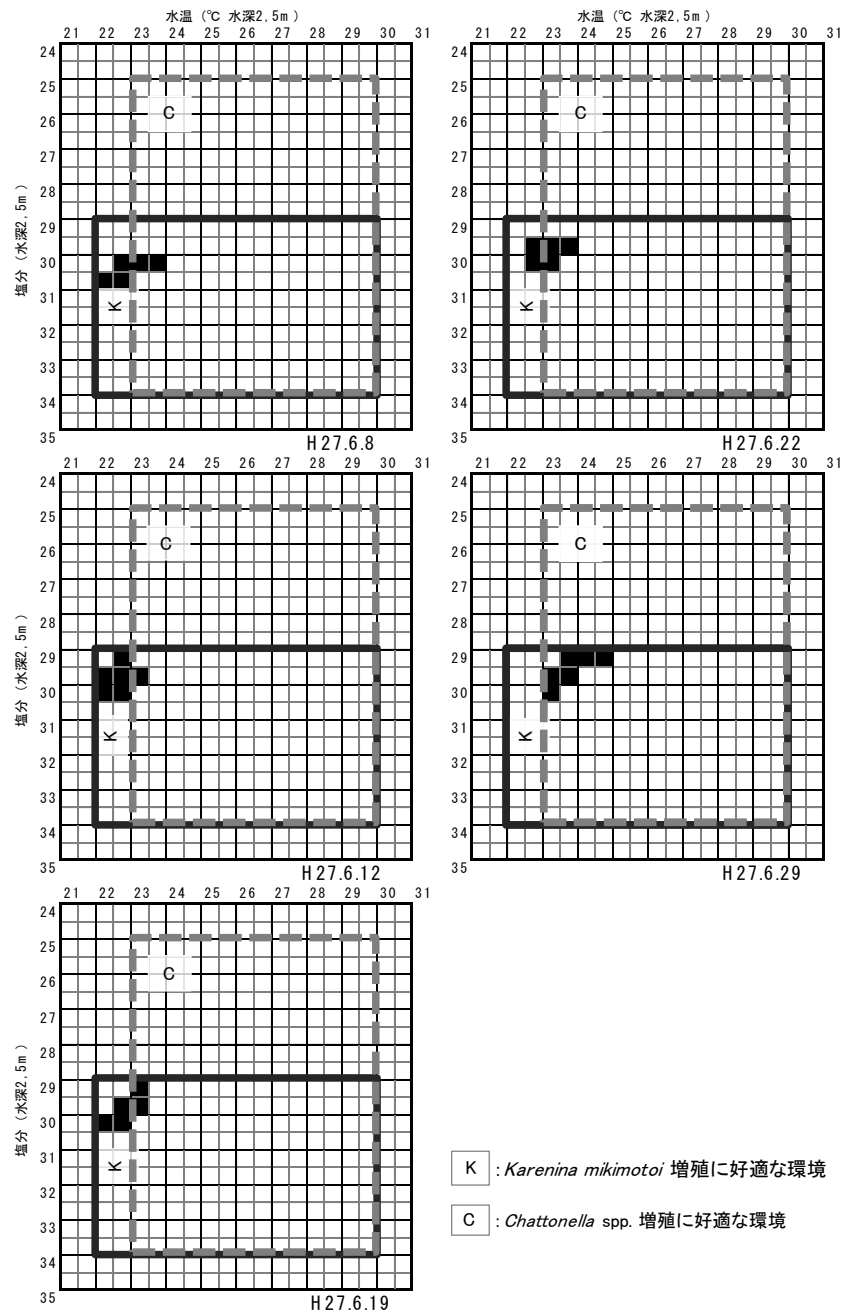


図11 浦ノ内湾における水温・塩分の分布（黒色部、平成27年6月8日～29日）

(2) 宿毛湾

1) 海象

① 水温、塩分、D0（各調査定点の平均、図12）

水温は、0m層は19.4～28.4℃、5m層は19.5～25.8℃、20m層は19.2～24.6℃の範囲で変動した。塩分は、0m層は24.6～32.5、5m層は31.5～32.6、20m層は31.6～32.7の範囲で変動した。D0は、0m層は6.6～7.8mg/L、5m層は5.4～7.5mg/L、20m層は5.3～6.6mg/Lの範囲で変動した。

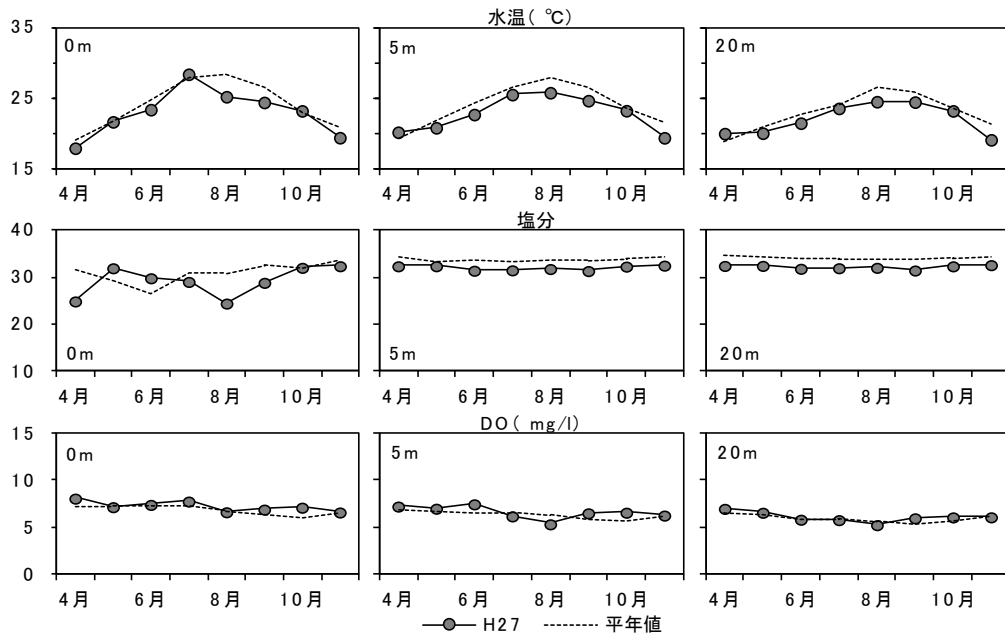


図12 宿毛湾における水温、塩分及びDO（全調査定点の平均）の推移（平年値はH10～H26の平均）

② 栄養塩濃度・クロロフィルa量（各定点の平均、図13）

栄養塩の内、DINは、2m層は5.20～10.20 μM 、10m層は5.55～10.94 μM の範囲で変動した。PO₄-Pは、2m層は0.03～0.47 μM 、10m層は0.07～0.44 μM の範囲で変動した。SiO₂-Siは、2m層は1.89～17.49 μM 、10m層は0.94～7.29 μM の範囲で変動した。クロロフィルaは、2m層は1.60～3.67 $\mu\text{g/L}$ 、10m層は1.49～4.48 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動した。

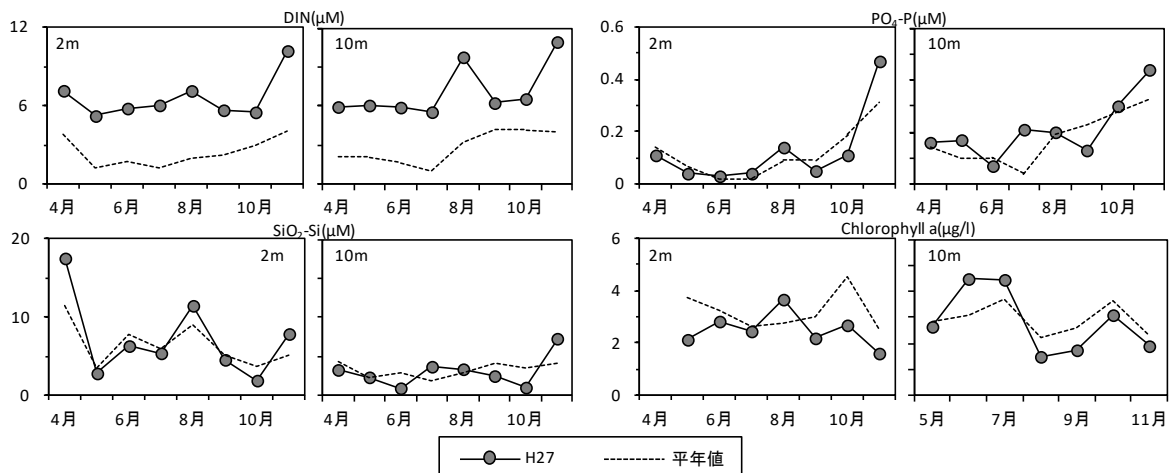


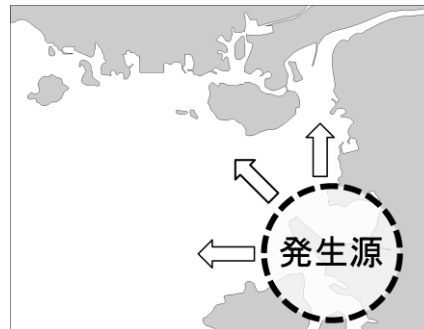
図13 宿毛湾における栄養塩及びクロロフィルa濃度（全調査定点の平均）の推移（平年値はH23～H26の平均）

2) *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮発生状況

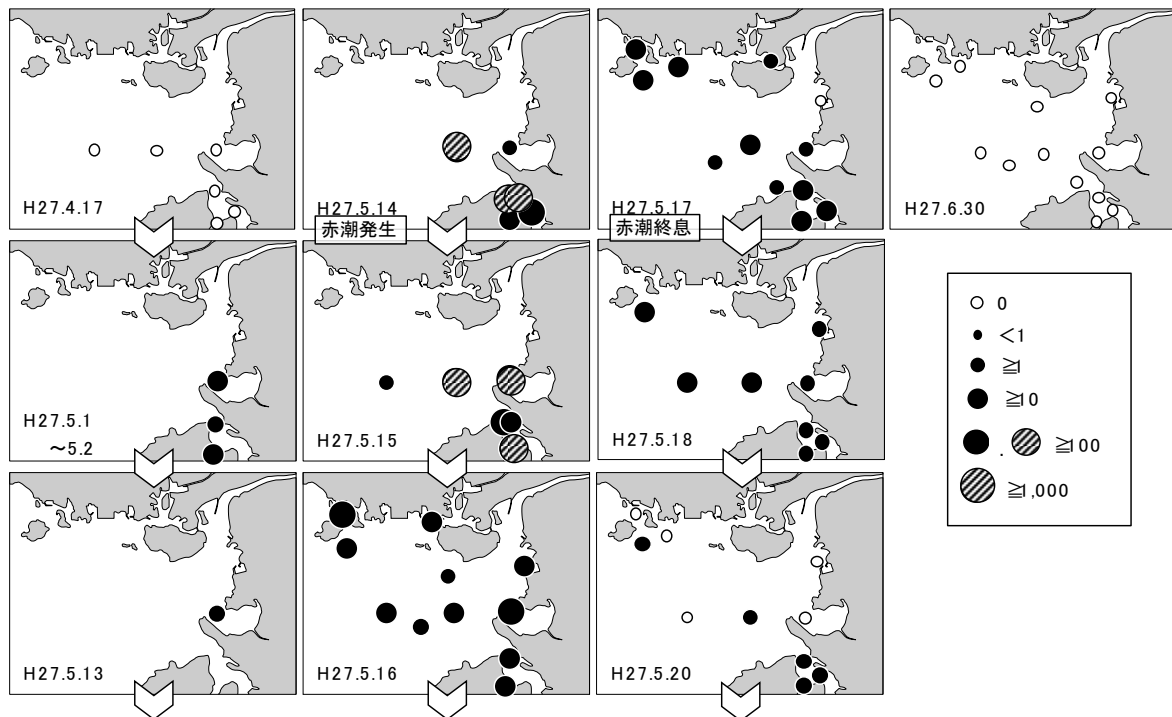
本種は4月23日から5月22日、8月1日、8月3日から4日、8月31日、9月28日及び10月21日に採水サンプル中に確認された。赤潮は5月14日にSt. 4、St. 6及びSt. 6の奥の臨時観測点で最初に確認され、その後、5月16日には湾全体へと拡大し、5月17日に終息が確認された。最高細胞数は5月15日に観測された920細胞/mLであった。なお、5月15日にSt. 5で粘土散布を実施した。

3) 今年度の *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮について

*C. polykrikoides*赤潮は、平成21年から平成25年の調査結果より、調査海域南東部（図1、St. 5及びSt. 6）で発生し、その後湾全体に増殖、拡大すると推測している（図14）。

図14 宿毛湾における*C. polykrikoides*の発生源

今年度の場合も、*C. polykrikoides*は調査海域南東部で発生し、その後湾全体へと増殖・拡大する典型的な発生パターンであった（図15）。

図15 宿毛湾における*C. polykrikoides*細胞数の推移（平成27年度）

今年度と *C. polykrikoides* 赤潮が宿毛湾全体に拡大した年（表2、平成21年度から25年度、以下「発生年平均」）及び赤潮を形成しなかった平成26年度（以下「非発生年」）の水温（図16）、塩分（図17）、栄養塩類（図18）を比較した。

表2 宿毛湾における *C. polykrikoides* 赤潮の年度別発生期間

年度	赤潮発生期間
平成21年度	6月5日～6月18日
平成22年度	6月1日～6月25日、8月20日～8月26日
平成23年度	5月23日～5月25日、6月1日～6月11日
平成24年度	7月19日～8月2日
平成25年度	5月9日～5月15日
平成26年度	赤潮発生無し
平成27年度	5月14日～5月17日

水温は、赤潮発生前の4月はSt.5の0m層では非発生年と同様な値であったが、St.6では発生年平均

より0.7℃高めであった。5m層はSt. 5、St. 6のどちらも非発生年よりも高く、発生年平均と比べても1.3～1.4℃高めで推移した。20m層もSt. 5、St. 6のどちらも非発生年よりも高く、発生年平均と比べても1.8℃高めで推移した。赤潮が発生した5月の水温は、St. 6の0m層を除いて発生年平均より低めに推移した。特にSt. 6の5m層、St. 5、St. 6の20m層は非発生年に近い値であった。

塩分は、赤潮発生前の4月はSt. 5、St. 6の0m層と5m層では発生年平均や非発生年より低めであったが、20m層では発生年平均より低めであった。赤潮が発生した5月の塩分は、0m層は発生年平均よりも高めで非発生年に近い値であった。5m層と20m層では発生年平均や非発生年よりも低めであった。

栄養塩類は、DINはSt. 5、St. 6のどの層も期間を通して発生年平均や非発生年よりも高めであった。PO₄-Pは、4月はSt. 5の2m層で発生年平均よりかなり低めであったことを除いて、発生年平均と同様か高めであった。5月もSt. 5の2m層で発生年平均よりかなり低めであったことを除いて、発生年平均より高めであった。SiO₂-Siは、2m層はSt. 5、St. 6も発生年平均より高めであった。10m層は発生年平均より低めであった。5月は2m層では発生年平均より低めであったが、10m層ではやや高めであった。

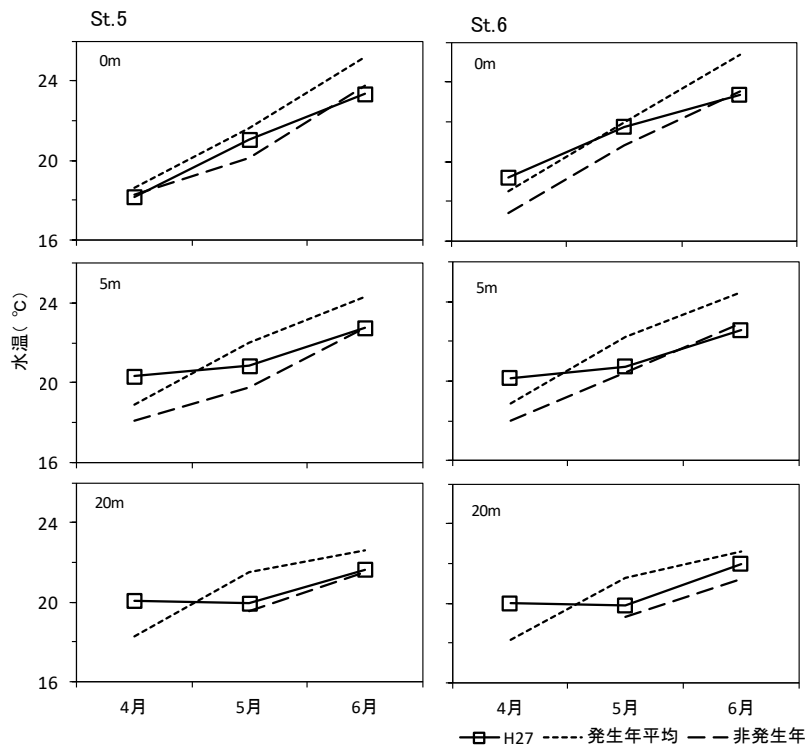


図16 宿毛湾における赤潮発生源の水温の比較 (St. 5、St. 6、平成21～27年度)

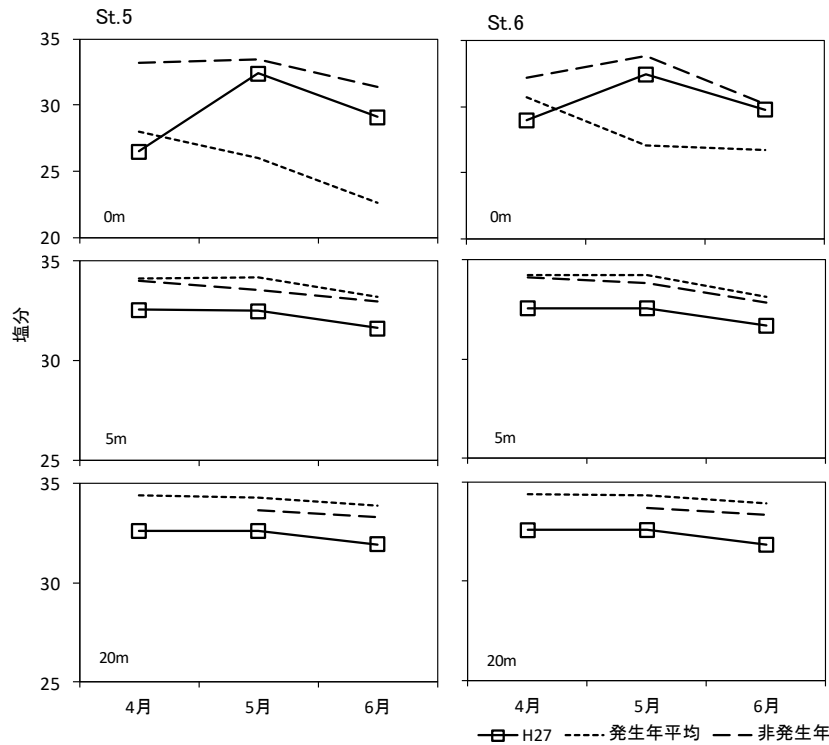


図17 宿毛湾における赤潮発生源の塩分の比較 (St. 5、St. 6、平成21~27年度)

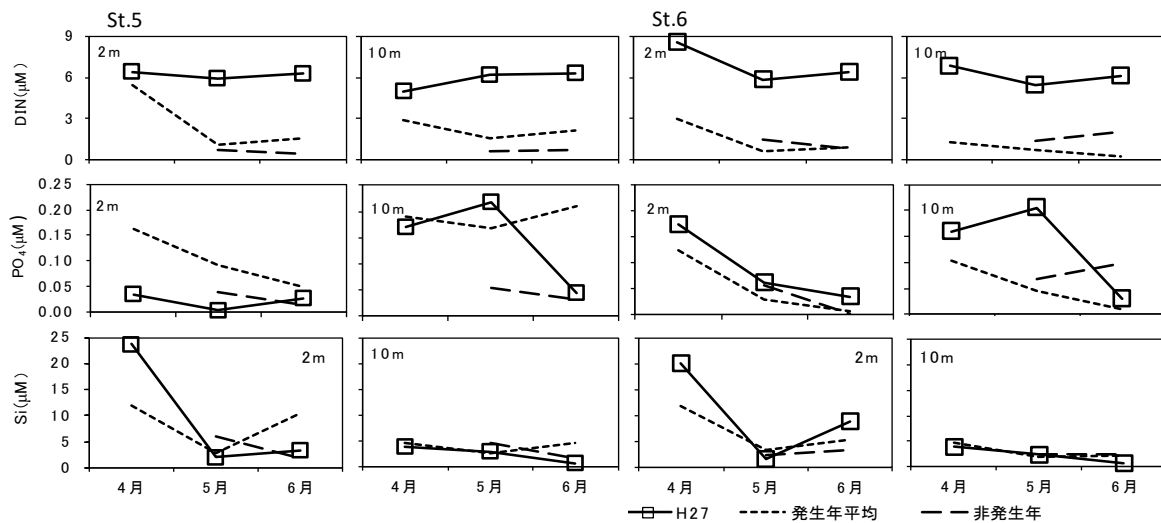


図18 宿毛湾における赤潮発生源の栄養塩の比較 (St. 5、St. 6、平成21~27年度)

気象庁のデータでは(表3)、今年度の宿毛における日照時間平年値比は、赤潮の発生した5月は発生年平均より多めであったが非発生年より少なめであった。最多風向は赤潮発生年平均値や非発生年とほぼ同等であった。平均風速は、赤潮の発生した5月は発生年平均や非発生年より弱めであった。よって、今年度の宿毛湾において*C. polykrikoides*が赤潮を形成したのは、*C. polykrikoides*赤潮の初発海域と推定されるSt. 5とSt. 6で、*C. polykrikoides*が増殖する中層、下層の4月の水温条件が発生年平均より高めであったこと、DINや $PO_4\text{-P}$ が発生年平均より多めで推移したことで増殖でき、加えて5月の風速が発生年平均や非発生年より弱めで経過したことで*C. polykrikoides*が希釈されることがなかったことによるものと考えられた。

表3 宿毛における月別日照時間, 最多風向, 平均風速

			4月	5月	6月	7月
日照時間 年間 平均 値比 (%)	赤潮 発生年	H21	125	119	116	67
		H22	81	109	87	83
		H23	119	76	63	95
		H24	106	99	57	89
		H25	119	133	66	129
		H27	71	114	61	72
		平均	104	108	75	89
	非発生年	H26	90	129	75	103
月別 最多 風向	赤潮 発生年	H21	東北東	東北東	東北東	東北東
		H22	東北東	東北東	東北東	東北東
		H23	東北東	東北東	東北東	東北東
		H24	東北東	東北東	東北東	東北東
		H25	東北東	東北東	東北東	西南西
		H27	東北東	東北東	東北東	東北東
	非発生年	H26	東北東	東北東	東北東	東北東
月別 平均 風速 (m/s)	赤潮 発生年	H21	3.8	3.2	3.3	2.7
		H22	3.0	3.1	2.9	2.5
		H23	3.3	3.1	2.4	3.1
		H24	3.5	2.9	2.7	2.5
		H25	3.4	2.8	2.8	2.5
		H27	3.1	2.7	2.4	2.7
		平均	3.4	3.0	2.8	2.7
	非発生年	H26	3.0	2.9	2.5	2.6

着色部は赤潮が発生した月； アメダス(観測所：宿毛)のデータより

4) 引用文献

- 1) 山口峰生. *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究. 南西水研研報 1994; 27: 251-394.
- 2) 今井一郎. 「シヤットネラ赤潮の生物学」生物研究社、東京. 2012.
- 3) 板倉 茂. 沿岸性浮遊珪藻類の休眠期細胞に関する生理生態学的研究. 瀬戸内水研報、2、67-130、2000.
- 4) Parsons T R、 Harrison P J、 Waters R. An experimental simulation of changes in diatom and flagellant blooms. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.、 32、 285-294、 1978.
- 5) 宮村和良. 大分県沿岸における赤潮発生予測による漁業被害軽減への取り組み. 海洋と生物、219、426-431、2015.