

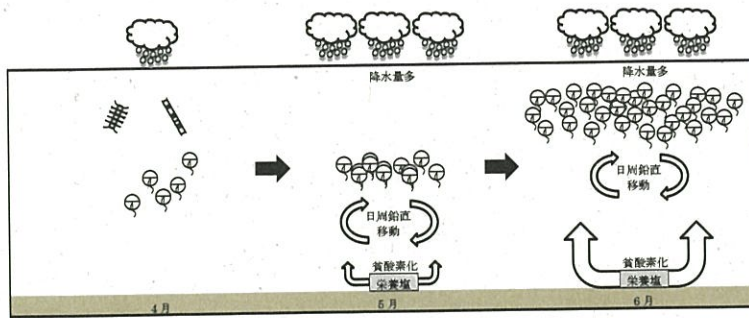


図 36 浦ノ内湾（高知県 海域）における *Karenia mikimotoi* 赤潮発生シナリオ

1. 低密度期
 - 遊泳細胞で周年存在
 - 降雨と鉛直混合による中底層の塩分低下が生産に有利
 - 表層の塩分が低下し増殖が抑制
 - 中層の DIN が高いと大規模発生する可能性
2. 増殖期
 - 貧酸素化で、底層の栄養塩溶出
 - 日周鉛直移動で栄養塩を利用
 - 降水量多（塩分減少）で増殖に有利かつ、大規模発生する可能性
3. 赤潮盛期
 - 表層に浮上
 - 最高密度に到達
 - 貧酸素化が進み、中層まで栄養塩溶出
 - 日周鉛直移動で栄養塩を利用
 - 分布域拡大
 - 降水量多で大規模発生する可能性

表 24 浦ノ内湾（高知県海域）における旬毎の *K. mikimotoi* の最高細胞密度

西暦	4月			5月			6月			7月			8月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,000	88	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	510	8,300	1,820	54	36	152	0	0
2002	0	0	0	0	2	0	0	2	8	100	190	256	283	116	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	116
2004	0	0	0	0	0	0	1,441	16,060	8,180	0	0	16,560	2	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	2	54	11,700	52,200	22,600	32,200	16	58	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	10	4,400	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	1,960	22
2009	0	0	0	0	0	0	0	13	24	30	14	89	2	0	0
2010	0	0	0	6	68	68	434	4,675	3,480	1,640	1,400	188	82	1,840	1,170
2011	0	0	0	0	1	0	15	3	20	276	1,390	1,780	82	1,840	1,170
2012	0	0	0	0	0	2	92	1,210	3,120	520	1,860	1,990	27,300	18	1
2013	3	10	50	32	455	2,780	8,700	7,300	23,700	4,380	30	34	32	18	2
2014	30	20	90	130	270	7,400	30,500	61,000	171,200	1,433	2,250	9,300	0	0	0
2015	1	2	8	180	2,050	4,800	2,700	170,000	87,000	11,100	5,600	10,600	4,900	1,500	150
2016	330	130	23	16	15	17	25,500	19,400	19,400	160	120	16	3	0	0
2017	0	0	0	22	45	212	1,370	18,000	19,000	22,750	22,750	1,350	14	0	0
2018	0	0	25	5	1	77	114	75	79	66	0	1	7	750	3,500
2019	8	100	750	4,300	18,000	3,100	1,400	18,000	47,000	28,000	5,600	4,000	22,000	850	0

* 濃い灰色の部分が赤潮発生時 (≥1,000 cells/ml)
 <1,000 cells/ml ≥1,000 cells/ml

海域	解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間 (年)	約中率 (%)	2016年 予測	2017年 予測	2018年 予測	2019年 予測
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層DIP	2	2002~2017	90.9	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月降水量	2	2002~2017	90.9	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002~2017	90.9	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層DIP	2	2002~2017	90	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層Chla	2	2002~2017	90	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月表層塩分	2	2002~2017	85.5	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層DIP	2	2002~2017	85.5	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月気温	2	2002~2017	80.9	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層DIP	2	2002~2017	80.9	○	◎	×	◎
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月降水量	2	2002~2017	100	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月表層Chla	2	2002~2017	100	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月気温	2	2002~2017	100	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月底層DO	2	2002~2017	98.5	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層DIP	2	2002~2017	98.5	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月表層塩分	2	2002~2017	90.9	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月降水量	2	2002~2017	90	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月底層DO	2	2002~2017	90	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月底層DO	2	2002~2017	85.5	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月表層Chla	2	2002~2017	85.5	○	◎	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月気温	2	2002~2017	90.9	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月降水量	2	2002~2017	90.9	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月表層塩分	2	2002~2017	85.5	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月底層DO	2	2002~2017	85.5	○	◎	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月底層DO	2	2002~2017	95.5	△	○	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層Chla	2	2002~2017	95.5	△	○	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月降水量	2	2002~2017	95.5	△	○	○	×
広島湾 (広島県)	マハラノビス	5月表層Chla	2	2002~2017	85.5	△	○	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002~2017	80	△	○	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月表層Chla	2	2002~2017	80	△	○	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	4月表層塩分	2	2002~2017	80	△	○	△	○
広島湾 (広島県)	マハラノビス	2月表層Chla	2	2002~2017	80	△	○	△	○

表 25 広島県海域における 判別予測・結果

$$(**:p < 0.01, *:p < 0.05, +:p < 0.1)$$

環境要因	t検定	結果	U検定	結果
	p値		p値	
2月底層水温	0.0819	+	0.0785	+
1月5m塩分	0.0779	+	0.0452	*
2月5m塩分	0.0406	*	0.0297	*
3月5m塩分	0.0003	**	0.0077	**
1月底層塩分	0.0304	*	0.0337	*
2月底層塩分	0.0162	*	0.0452	*
3月底層塩分	0.0067	**	0.0132	*
4月底層塩分	0.0022	**	0.0132	*
5月底層塩分	0.0083	**	0.0180	*
1月5mDIN	0.0019	**	0.0077	**
5月表層DIP	0.0132	*	0.0207	*
5月5mDIP	0.0012	**	0.0207	*
2月底層DIP	0.0738	+	0.0893	+
1月5mクロロフィル	0.0346	*	0.0418	*
3月5mクロロフィル	0.0574	+	0.0582	+
5月合計日照時間	0.0207	*	0.0600	+
3月鉛直安定度	0.0411	*	0.0297	*

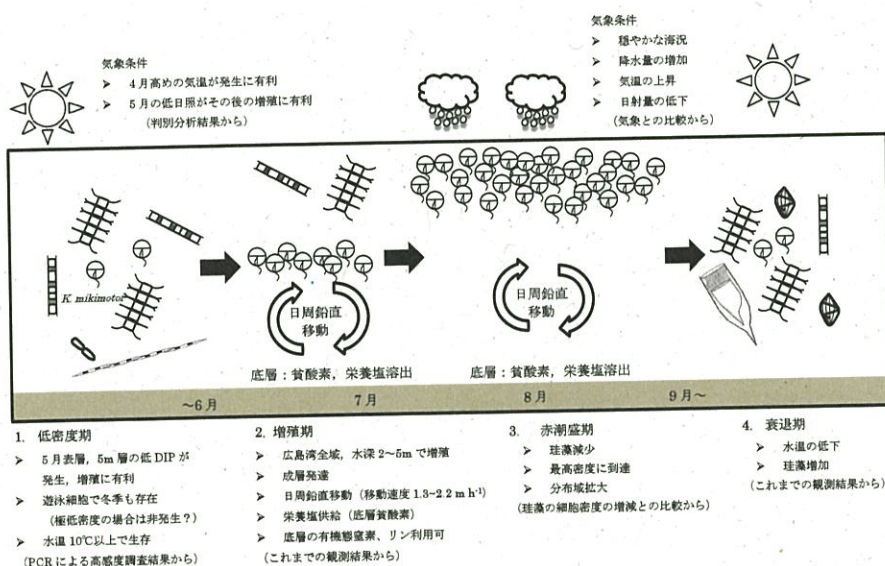


図 37 広島県海域における *Karenia mikimotoi* 赤潮発生シナリオ

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発 ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

三重県水産研究所
増田健, 藤原正嗣, 栗山功, 矢野央樹, 勝田孝司, 西川次寿
愛知県水産試験場
湯口真実, 松村貴晴, 蒲原聡, 松井紀子, 天野禎也
水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所
中山奈津子

1 全体計画

(1) 目的

近年, 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域では, ヘテロカプサ等の有害赤潮プランクトンやノリ色落ち原因珪藻による漁業被害が生じている。赤潮による漁業被害を未然に防止および軽減するためには, 赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。

本課題では, 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域において各機関が連携して広範な調査を実施し, 有害赤潮プランクトンならびにノリ色落ち原因珪藻の発生状況および海洋環境を監視するとともに, 既存データも含めたデータ解析によって当該海域における有害赤潮およびノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築・改良し, 赤潮発生予察により漁業被害軽減に資することを目的とする。また, 貧酸素など環境要因が与えるヘテロカプサ等有害プランクトンの生理生態への影響を評価し, より精緻なシナリオ構築への貢献を図る。

2 平成31年度計画及び結果

(1) 目的

全体計画と同じ

(2) 方法

有害赤潮及び珪藻赤潮が発生する4月～翌3月まで共同提案機関がそれぞれに有する海洋観測調査船または傭船を用いて広域的な海洋調査を実施し, 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域における有害赤潮種の出現特性, 及び伊勢湾・三河湾におけるノリ色落ち原因珪藻の出現特性を明らかにした。また, ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える貧酸素の影響について予備試験を実施した。

1) モニタリング調査

a. 有害赤潮調査

図1に示す海域に計26点の調査定点を配置し, 4月～翌3月まで月1回～週1回の頻度で, 海洋環境(水温, 塩分, 栄養塩, クロロフィル *a*, 溶存酸素)及びプランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した(表1)。

b. ノリ色落ち原因珪藻調査

図2に示す海域に計31点の調査定点を配置し, 10月～翌3月まで月2回～週1回の頻度で, 海洋環境(水温, 塩分, 栄養塩, クロロフィル *a*, 溶存酸素)及びプランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した(表2)。

2) 有害赤潮及びノリ色落ち被害の発生シナリオ構築・改良

1) で取得したデータ及び既存データ等に基づいて, 当該海域における有害赤潮種及びノリ色落ち原因珪藻の発生と気象条件(気象庁ホームページより「過去の気象及び潮位データ」<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>)・海洋環境との関係を解析し, 有害赤潮及びノリ色落ち被害の発生シナリオを検討した。

3) ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える貧酸素の影響評価

ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える酸素濃度の影響を評価するために, がん細胞の細胞培養に用いる低酸素培養キット BIONIX (株式会社スギヤマゲン) を使用して試験を実施した。同キットに付属の透明ガスバリア性パウチ袋に, O₂メーター, *Heterocapsa*

circularisquama 培養株, *Karenia mikimotoi* 培養株, *Chattonella* spp. 株およびガス濃度調節剤を入れて密閉し, マニュアルに従って酸素濃度を調節した。パウチ袋ごとインキュベータにいれ培養した。藻類の培養容器には 24 穴プレートを用い, 酸素濃度は 2 mg/L と 6mg/L, 対照区として 10 mg/L 以上の 3 区を設定し, それぞれ試験を行った (写真)。

培養条件は, 温度 20°C, 光強度 130~150 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 明暗周期 12h:12h L:D でインキュベータ内にて培養した。初期密度を約 1000 cells/mL に設定し, 培養開始から 5 日後にパウチから取り出して計数を行った。

(3) 結果及び考察

1) モニタリング調査

a. 有害赤潮調査

①海洋環境

・水温 (図 3)

伊勢湾の表層は 1~3 月にかけて平年より 1 °C 前後高く, 4~6 月は概ね平年並みであったが, 7 月は長雨などの影響により気温が上がらず, 水温も低くなった。8~10 月は平年よりも 2.1~2.9 °C 高く, 11 月は平年並みとなったが, 12 月以降は気温の低下が停滞し, 水温の低下も滞ったことから平年よりも高くなった。底層は 1~8 月にかけて平年よりも 0.1~1.0 °C 高くなったが, 9 月には平年よりも 1.4 °C 低くなった。この時期に伊勢湾では底層に外海由来の海水が進入し, 平年よりも低くなったと考えられた。

三河湾の表層は 1 月に平年よりも低く, 2, 3 月に平年を上回ったが, 三河湾海況自動観測ブイ 3 基の平均水温の推移を見るとこの期間は概ね平年よりも高く推移しており, 特に 3 月に高かった。4 月に入ると一転して, 平年を下回る日が多くなったが, 5 月は平年よりも高い日が続いた。6 月中旬に気温が低い日がみられ, 一時的に水温が平年を下回ったが, その後は平年を上回った。7 月は長雨が続く, それに伴って気温の上昇が停滞したため, 水温は平年よりも低く推移した。8 月以降は平年よりも水温が高い状況が継続している。底層では 4, 9 月を除くほとんどの期間で平年よりも水温が高かった。4 月は気温が低かったため, 9 月は伊勢湾同様, 底層に外海由来の海水が進入したことにより平年を下回ったと考えられた。

英虞湾の表層水温は, 2018 年 12 月下旬から 2019 年 6 月上旬までは表層水温が高めで推移し, 2 月上旬には平年値より 5 °C 高かった。6 月中旬~7 月下旬に水温が低めで推移したのち, 再び高めとなった。水温が高めな時期には, 黒潮の大蛇行の影響 (三重県水産研究所 Fax 版海況速報 <http://www.db.pref.mie.lg.jp/db/view/index.asp?INFO=TWI3NUxHc3hORFI5TVRBPQ%3D%3D>) で黒潮由来の高水温の海水の流入がしばしば確認されるとともに, 気温も高めであった。

・塩分 (図 4)

表層は伊勢湾, 三河湾ともに 7~9 月, 11 月に平年を下回り, その他の期間は平年並から高めに推移した。表層塩分が低くなったのは, 6 月下旬から 7 月にかけて続いた長雨や 8 月下旬のまとまった降雨の影響, 11 月はその前月に台風第 19 号が接近したことによる大雨やこの他にもまとまった降雨が見られたことによるものと考えられる。伊勢湾の底層は 9 月に高い値が観測されたほかは平年並みに推移した。伊勢湾では 8 月下旬に底層で湾口部から湾奥部に向かって外洋由来とみられる高塩分水塊が入り込んでおり, この影響が継続し, 塩分が高くなったと考えられた。三河湾の底層では 7, 8, 11, 12 月に平年よりも低い値が見られ, これは降雨の影響によるものと考えられた。英虞湾の表層は, 6 月中旬から 6 月下旬, 7 月上旬から 8 月上旬及び 9 月下旬~10 月上旬に平年よりも低下した。伊勢湾と同様に長雨や台風 19 号による影響であると考えられる。底層では平年並みで推移した。

・溶存酸素 (図 5)

伊勢湾の底層は概ね平年と同様の推移を示し, 夏季に低下し, 溶存酸素濃度が 3 mg/L 以下の貧酸素水塊を形成したが, 前述の通り, 9 月は湾口から底層に外洋由来の水塊が進入しており, この水塊には酸素が溶存していたことから平年よりも高くなった。三河湾では概ね平

年並みの推移を示した。三河湾においても底層において外洋由来の水塊の進入が見られたが、観測点まではその影響が及ばなかった。英虞湾の表層では、年並みで推移した。底層では貧酸素状態がみられたのは8月下旬だけと3 mg/L以下の貧酸素状態の期間は短かった。

・クロロフィル *a* (図6)

伊勢湾の表層では7月に *Skeletonema* spp.による赤潮で年よりも高くなったほかは年並みか年よりも低く推移し、底層は年並みに推移した。三河湾の表層では3月に *Rhizosolenia* spp., 9月に *Gymnodinium* spp.及び珪藻類による赤潮でクロロフィル *a* の値が高くなった。また、5月に *Leptocylindrus danicus* による赤潮が発生し、底層で22.4 µg/Lと高い値が見られた。それ以外の期間では年並みまたは年を下回った。三河湾海況自動観測ブイ3基で観測されたクロロフィル *a* の平均についても、同様の傾向が見られ、赤潮が発生した場合などには散発的に年を上回る期間が見られたが、年間を通してほとんど年を下回っており、積算値を年と比較すると2019年はこれを大きく下回った。英虞湾の表層では4月上旬～4月下旬、8月下旬～9月下旬などクロロフィル *a* の値が年より少ない状態が続いた時期がみられた。7月中旬に高い値がみられたが、植物プランクトンは確認されなかった。

・栄養塩 (図7, 8, 9)

表層の DIN 及び PO₄-P については、伊勢湾では1, 7, 12月を除いて年並みから年を下回った。三河湾では11, 12月の DIN と12月の PO₄-Pを除いていずれも年並みか年を下回った。表層の栄養塩は通常秋季に成層崩壊による底層からの供給及び降雨による陸域からの供給の増加に伴い、年間で最も高くなるが、本調査ではこの傾向は DIN ではみられず、伊勢湾の PO₄-P では年ほどは高くならなかった。しかし、ノリ色落ち原因珪藻調査では10月中下旬の調査で栄養塩の増加が確認されており(後述)、気温の低下及び表層水温の低下が遅れたことから、これに伴う成層崩壊及び表層への栄養供給の一連の流れが滞り、また、9月の降水量が少なく、10月に降水量が多かったため、月1回実施される本調査ではこの動向が捕捉されなかったと考えられた。また、9月に伊勢湾の底層で DIN, PO₄-P ともに低下したのは外洋由来の水塊の進入によるものであると考えられた。表層の SiO₂-Si は7, 8月に降雨の影響により、伊勢湾で高くなった。同じ時期の三河湾ではクロロフィル *a* の値がやや高く、このような傾向は見られなかった。英虞湾の DIN は、11月に高い値がみられた。4月上旬～6月上旬は1 µM以下の年より低めで推移した。PO₄-P は、表層、底層ともに年と比べて低めで推移した。

・特記事項

三河湾ではクロロフィル *a* の値が年と比較して低い月が多く、三河湾海況自動観測ブイ(以下、1～3号ブイ)(図10)の観測結果で見ると、1号ブイでは年(2014～2018年)と2019年の積算の差は大きくなかったのに対し、2, 3号ブイでは2019年の値は年を大きく下回った。また、2, 3号ブイでは年間を通して、年を下回る日が多く見られた。2号ブイはアサリの主要な生産地である一色干潟に3基のブイの中で最も近い。一色干潟における調査によれば、2019年はアサリの肥満度が9月以降低くなっており、10を切る値となっている。2号ブイのクロロフィル *a* の観測結果から一色干潟では餌料の供給が不足していたことが推察された。

一方、年のクロロフィル *a* の積算値とそれほど差のなかった1号ブイ近傍の蒲郡市竹島町の干潟で行われた調査では8～9月にアサリの肥満度がやや低下したが、10を下回ることにはなかった。

三重県の南では、6月下旬頃から真珠養殖に用いるアコヤガイの外套膜が萎縮する症状が確認され、2, 3年貝で約20%、1年貝で約70%がへい死し、真珠養殖業に影響を与えた。この症状の直接的な原因は現在のところ不明であるが、3年貝では秋抑制(春の挿核に向けて貝の生理活性を抑える処理)した場合にへい死率が高かった。これは、秋抑制を行う冬季水温が年よりも高く推移し、アコヤガイの生理活性が高く維持されたこと、さらに餌となる珪藻等のプランクトンが少なかったことにより、抑制過剰で衰弱していたことが被害を拡

大させた可能性が考えられる。

また、4月上旬～6月上旬に栄養塩が少なく、冬季から引き続いて植物プランクトンが増加しなかったこともアコヤガイのへい死に影響していた可能性がある。

伊勢湾の三重県側では、浅海定線観測において、ほぼ年間を通じて透明度が高い傾向が見られており、黒潮大蛇行による外洋水の湾内への波及が推測された。また、晩春から秋季には平年、貧酸素水塊の長期に接岸することで二枚貝の大量へい死が見られるが、今年度は短時間で解消することが多く、大量へい死は見られなかった。

漁業としては、4月以降を中心に鈴鹿市から伊勢市までの広範囲でバカガイが漁獲され、平年ならお盆前後に終漁するものが、1月末現在も漁獲している地区がある。一方で、秋季から見られるバカガイ等の稚貝は平年より少なく、産卵母貝が多く、貧酸素水塊の影響も軽微であろう好条件に反して、稚貝が少ない理由は不明である。

伊勢湾内の船びき網によるイワシ類の漁獲については、昨年までは太平洋系群の資源と同様にマイワシは増加、カタクチイワシが減少してきたが、今年度は一転してマイワシは減少、カタクチイワシが増加した。また、カタクチイワシは湾内での産卵が秋季まで確認され、常に稚魚の加入があった。秋にはこれらイワシ類が伊勢湾内の漁港内外に蟄集し、これらイワシ類を追うブリ類やサワラを遊漁者が釣る光景が見られた。

これら以外にも、今年度はマダコ、ガザミの漁獲が平年よりかなり多かった。

愛知県側でも同様に、シラス、タコ類、ガザミ、ヨシエビが好漁であった。シラスは6～9月に豊漁で、主組成はカタクチイワシであった。親の産卵が多かったことや8月下旬から9月上旬にかけて外洋域で顕著な沿岸湧昇が観測されており、この水塊が湾内の底層に進入し、表層に栄養が供給され、餌となる植物プランクトンが十分にいたことによるものと考えられた。本調査の観測ではこの栄養塩あるいはクロロフィル *a* の増加は確認されなかったが、8月下旬には伊勢湾の湾奥で高いクロロフィルの値が確認されている。また、9月上旬に同海域で *Skeletonema* spp. 等による赤潮が確認されている。

一方で、ヤリイカ漁は9月に解禁されたものの、黒潮からの暖水波及により漁場が形成されず、解禁日の漁獲量は近年で最も少なかった。

このように、海洋の栄養塩類の動向や暖水波及などの海洋環境は、魚介類の漁業や生産に大きく影響するので、今後ともモニタリング調査が必要と考えられる。

②プランクトン (図 11)

Heterocapsa circularisquama

伊勢湾、三河湾の2海域で確認された。伊勢湾では本調査の調査点以外の調査点で7月上旬～8月上旬に確認され、最高密度は1 cell/mLであった。三河湾では7月上旬～8月下旬にかけて確認され、最高密度は332 cells/mLであった。

Chattonella spp. (*C. marina*, *C. antiqua* 及び *C. ovata*)

伊勢湾、三河湾、英虞湾の3海域で確認された。伊勢湾では9月上旬～12月上旬に確認され、最高密度は1 cell/mLであった。三河湾では9月中旬～11月下旬にかけて確認され、最高密度は39 cells/mLであった。なお、三河湾では11月中旬～12月上旬にかけて *Chattonella* spp. の分布と重なる範囲で *Pseudochattonella verruculosa* が確認され、その最高密度は5,400 cells/mLであった。英虞湾では8月下旬及び10月下旬上に確認され、最高密度は1 cell/mLであった。

Karenia mikimotoi

三河湾、英虞湾の2海域で確認された。三河湾においては6月下旬～11月中旬に確認され、最高密度は4 cells/mLであった。英虞湾では7月下旬に確認され、最高密度は3 cells/mLであった。

Heterosigma akashiwo

三河湾、英虞湾の海域で確認された。三河湾では5月上旬～11月中旬に確認され、最高密

度は 398 cells/mL であった。英虞湾では 6 月中旬, 9 月上旬及び 10 月中旬～下旬に確認され, 最高密度は 70 cells/mL であった。なお, 10 月中旬にこの事業の測点ではないが, 英虞湾の神明浦で確認された。最高密度は 6,750 cells/mL であった。

Vicicitus globosus (旧種名: *Chattonella globosa*)

伊勢湾, 三河湾の 2 海域で確認された。伊勢湾では 7 月上旬及び 11 月上旬～12 月中旬に確認され, 最高密度は 4 cells/mL であった。三河湾では 5 月中旬～1 月下旬に確認され, 最高密度は 313 cells/mL であった。

・三河湾における *H. circularisquama* の発生環境に関する考察 (図 12)

H. circularisquama は 7 月 4 日に初めて確認され, 7 月 5 日に蒲郡市三谷町の漁港内で細胞密度約 2,000 cells/mL まで増殖し, 赤潮を形成した。なお, 本海域では構造物等によって区切られた港内などで発生した赤潮については赤潮件数には含めていない。7 月 9, 10 日に三河湾東部で今年度の最高密度 332 cells/mL が確認され, 17 日には分布範囲が西部にも拡大したが, これ以降調査海域において細胞密度が 100 cells/mL を超えることはなく, 8 月 21 日を最後に確認されなくなった。

三河湾に設置された三河湾海況自動観測ブイ 3 基によって観測された水温及び塩分について平年と比べると, 3.5 m 層 (以下, 表層) 水温は 5 月の水温は平年を上回り, *H. circularisquama* の増殖に有利な環境 (後述) となっていたが, 光学顕微鏡の観察で細胞が確認され始めた 7 月に入ると水温の上昇が停滞し, 平年を下回る期間が続いた。また, 表層塩分については 7 月下旬から 9 月上旬まで, 長雨の影響により, 平年を大きく下回っていた (図 13)。

これまでの調査及び解析から三河湾では 5 月に 1, 3 号ブイの表層で観測された水温が高い場合, 夏に *H. circularisquama* の細胞密度が 100 cells/mL を超える傾向があるとされており (湯口ら 2019), 今年もおおむねその条件に該当していた。今年はいままでで最も早く細胞密度が 100 cells/mL 以上となったが, その後の長雨の影響により, 表層水温の上昇が停滞し, 塩分が低下したため *H. circularisquama* の増殖が抑制されたと考えられた。また, *H. circularisquama* の発生期間に *Gymnodinium* spp. が同時に増殖していたことも本種の増殖を抑制したと考えられ, これらの要因により増殖は短期間に抑えられたと考えられた。

二枚貝のへい死などの漁業被害は確認されず, これは *H. circularisquama* の細胞密度がへい死に至るほどではなかったためであると考えられた。

・英虞湾における *H. circularisquama* の発生環境に関する考察

昨年度に引き続き, 本年度は *H. circularisquama* が全く確認されなかった。平成 29 年度まで行われていた赤潮・貧酸素水塊対策推進事業 (増田ら 2018) で 11 月中旬～12 月下旬の底層の塩分 (x_1), 2 月上旬～3 月上旬の最大風速 (x_2), 4 月上旬～4 月下旬の日照時間 (x_3), 6 月中旬～7 月中旬の水深 2m 層における水温 (x_4) 及び 8 月上旬～9 月上旬の表層の塩分 (x_5) から本種の赤潮の発生時期発生・非発生に関する判別式 (式 a) を作成した (増田ら 2018)。この判別式にそれぞれの値を代入したところ, -37.1 と 8 月以降に *H. circularisquama* 赤潮が発生する確率が高い年を示す -37.5～-35.5 の間の値であった。一方, 8 月の環境の特徴を見ると, 平年と比べて DIN が低めで推移していることから, これが今年度, 赤潮が発生しなかった原因の一つである可能性が考えられる。

$$-1.781x_1 - 0.974x_2 + 0.519x_3 + 0.333x_4 + 0.564x_5 = y \quad (\text{式 a})$$

・広域的な有害赤潮の発生に関する考察 (表 3)

本年度は, 広域的な有害赤潮は発生しなかった。*Chattonella* spp., *K. mikimotoi* 等複数海域で確認されている種も見られたが, 細胞が各海域間を移動することを示す情報は得られなかった。英虞湾では有害赤潮の発生が少なかったことから, 今年度の同海域は有害赤潮プランクトンが増殖しにくい環境であった可能性が考えられる。

b. ノリ色落ち原因珪藻調査

①海洋環境 (図 14, 15)

・水温

三河湾では 10 月上旬以降概ね平年を上回って推移し、特に 1 月以降水温が高い状況が継続している。伊勢湾の三重県側でも、10 月上旬以降概ね平年並みか平年を上回って推移し、特に 12 月中旬以降は水温が高い状況が継続している。

・塩分

三河湾では 10 月は平年を上回ったが、まとまった降雨の影響により 11 月上旬に平年を下回り、以降は平年並から下回って推移した。伊勢湾の三重県側では、10 月上旬は平年を上回っていたが、台風第 19 号とその後の前線による降雨で 10 月下旬～11 月上旬に平年を下回り、その後は平年を上回って推移した。

・栄養塩

三河湾では前述の通り、9 月の降水量が少なく、躍層の解消が遅れたことなどから 10 月上旬の DIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ は平年を下回ったが、降雨等の影響により 10 月中旬は平年を上回った。11 月は珪藻類や *P. verruculosa* などによる赤潮が発生し、平年を下回り育苗中のノリ芽に色落ちが見られたが、11 月下旬には赤潮が解消し、また、降雨後の調査であったため、12 月上旬の調査では平年を上回った。12 月中旬から下旬に *Skeletonema* spp. による赤潮が発生したため、再び栄養塩が低下したが、降雨の影響により、1 月上旬の調査では栄養塩が回復した。平年 1 月上旬に赤潮が発生し、栄養塩が低下する傾向が見られ、今年も 1 月中旬頃から底層を中心に *Eucampia. zodiacus* が増え始め、これを追うようにして *Skeletonema* spp. が増殖し始めたため、2 月上旬の調査では栄養塩は減少した。ノリの養殖漁場では 1 月下旬頃からノリの色が落ちてきている。今シーズン、三河湾では 10 月中下旬と 12 月上旬の調査を除いて、DIN の濃度が良質な製品の生産に必要な約 $7\ \mu\text{M}$ を下回っており、 $\text{PO}_4\text{-P}$ もまた同様の状況であった。

伊勢湾の三重県側では、DIN は 10 月上旬の平年を上回った状態から始まり、台風第 19 号とその後の前線による降雨で 10 月中、下旬には平年よりかなり上回った。その後は 11 月中旬と 12 月中、下旬に平年を下回ったのを除いて、平年を上回って推移した。平年 1 月中旬以降は栄養塩が低下する傾向にあるが、1 月末現在このような傾向は見られない。11 月中旬の栄養塩低下の原因の一つとして、11 月 20 日に *Mesodinium rubrum* による赤潮(最大 280 cells/mL)を確認したが翌週には解消した。また 12 月中、下旬の栄養塩低下時は、珪藻類を含めプランクトンの密度は数百 cells/mL と低く、プランクトンの減少が風等によるものか、外洋水の波及により拡散したのかは不明である。 $\text{PO}_4\text{-P}$ についても DIN と同様の傾向であった。

・クロロフィル a

三河湾では、11 月に珪藻類や *P. verruculosa* などによる赤潮、12 月中旬から下旬に *Skeletonema* spp. による赤潮が発生し、平年よりも高くなったが、これ以外は平年を下回った。

②プランクトン (図 16)

Skeletonema spp.

三河湾では 10 月上旬に最高密度 22,850 cells/mL の赤潮を形成した。11 月上旬にも細胞密度が 7,250 cells/mL と再び高くなっていたが、この赤潮は構成種が *P. verruculosa* などに遷移した。12 月中旬から下旬に再び赤潮を形成し、赤潮が解消した後はしばらく細胞密度が低い状況が継続したが、1 月下旬から徐々に増殖し、2 月上旬の調査では細胞密度 10,350 cells/mL が確認されている。伊勢湾東部では 10 月上旬に最高密度 8,050 cells/mL の赤潮が形成され、10 月下旬～11 月中旬にも最高密度 21,180 cells/mL の赤潮が確認された。12 月以降は細胞密度が低い状態が継続している。伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、10 月上旬に最高密度 7,970 cells/mL を確認、一度減少して 10 月下旬には 3,020 cells/mL、11 月上旬に 3,030 cells/mL に増加した。その後は、0～数百 cells/mL と密度の低い状態が 1 月末現在まで続いている。

Chaetoceros spp.

三河湾では10月上旬以降の最高密度は12,350 cells/mLで、このとき海面の着色は確認されていない。伊勢湾東部では10月下旬から11月中旬にかけて *Skeletonema* spp.とともに赤潮を形成し、このときの最高密度は4,638 cells/mLであった。伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、11月中旬に最高密度510 cells/mLを確認した。それ以外は0~270 cells/mLと密度の低い状態が1月末現在まで続いている。

Eucampia zodiacus

三河湾では11月上旬以降確認されており、1月中旬以降、底層を中心に細胞密度が増加しており、最高密度3,495 cells/mLとなっている。伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、1月末現在、発生を確認していない。

・伊勢湾におけるノリ色落ち原因珪藻の発生に関する考察

伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、10月12日の台風第19号とその後の前線による大雨により、10月中、下旬には、平年を大きく上回るDINとなった。当該時期に *Skeletonema* spp.が最高密度3,000 cells/mL強に増加したが、DINは平年並みにまで低下するに留まった。また当該時期は育苗開始前後で、ノリ色落ち被害は発生しなかった。その後は0~数百 cells/mLと密度の低い状態が1月末現在まで続いている。

今年度のノリ色落ち(色調低下)は1月末現在までに、12月中旬に一部漁場で見られたが、長期化せずに回復した。当該時期の *Skeletonema* spp.の最高密度450 cells/mL、その他のプランクトンも数百 cells/mL以下で、これまでの色落ち被害発生時の密度よりはかなり低いものであった。なお、今年度は11月中旬以降、1月末現在までDINが比較的高いにもかかわらず、*Skeletonema* spp.等の珪藻類が少ない状況が続いている。その原因は不明だが、黒潮大蛇行を原因とした外洋水の湾内への波及による表層水の拡散等が影響している可能性がある。

・三河湾におけるノリ色落ち原因珪藻の発生に関する考察

10月上旬の調査では窒素、リンともに平年よりも低い値となったが、この調査の時点では *Skeletonema* spp.による赤潮はそれほど発達しておらず、これは珪藻類による消費よりもむしろ、水温低下による成層の解消が遅れたことや9月の降水量が平年と比較して少なかったことなどが原因と考えられた。この調査後、*Skeletonema* spp.による赤潮が発生したが、10月中旬の調査時にはすでに解消しており、台風第19号の降雨により栄養塩が供給されたため、このときの調査では窒素、リンともに平年を上回った。

10月下旬より、*Skeletonema* spp.や *Pseudonitzschia* spp.などの珪藻類が赤潮を形成した。この赤潮は *P. verruculosa* などに構成種が遷移し、11月下旬まで継続した。この赤潮により11月中は栄養塩が平年よりも低い状況となった。ノリの養殖漁場において栄養塩低下が認められ、育苗中のノリ芽に色落ちが見られた。この影響により、冷凍保存用の網を入庫することができず、色調の回復を待っている間にタビュラリア等の付着珪藻がノリ網に付着し、摘採の遅れや収量の減少が見られた。12月中旬から下旬にかけて再び *Skeletonema* spp.による赤潮が発生し、窒素、リンともに平年を下回った。この赤潮以降はプランクトンが少ない状況が継続しており、降雨による栄養塩の供給もあることから、1月上旬及び中旬の調査では栄養塩は平年を上回ったが、この調査の直後から底層を中心に *E. zodiacus* が増殖し始め、1月下旬~2月上旬にかけて栄養塩は減少してきている。

これまでの調査及び解析から *E. zodiacus* 赤潮が発生する年には11月の気温及び水温が高く、12月の *Skeletonema* spp.と *Cheateoceros* spp.の細胞密度の合計が低くなることがわかっており、これらを予測指標として、2015年度から *E. zodiacus* 赤潮の発生予測を12月に行っている(柴田・中嶋 2016)。今年度は11月の気温及び水温が高く、12月の *Skeletonema* spp.と *Cheateoceros* spp.の細胞密度の合計は低い値となった。予測に使用する3つの項目のうち、すべての項目で値が発生年の値の範囲に含まれることから、1月以降 *E. zodiacus* による赤潮が発生し、ノリの色落ち被害が発生する可能性があるとして予測した。1月中旬頃から底層において本種が増殖し、栄養塩が減少してきており、今後ノリの生産に影響を及ぼす可能性がある。

2) 有害赤潮及びノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

a. 有害赤潮の発生シナリオ構築

・三河湾（散発的に発生する *H. circularisquama* の発生シナリオ構築）

これまでの三河湾における *H. circularisquama* の発生状況を表3に示した。三河湾における *H. circularisquama* の細胞密度が 100 cells/mL 以上となる場合を *H. circularisquama* 発生年として、その年の海象及び気象等について解析を行った結果、発生年は5月上旬～下旬、5月中旬～6月上旬の3号ブイの表層平均水温、5月中旬～6月上旬の1号ブイの表層平均水温が高く、6月の渥美湾の DIN/PO₄-P の値が低い傾向がみられ（湯口ら 2019）、2017 年度から上記の項目を用いて発生予察を行っている。今年度も同様に予察を行い、関係機関に情報提供を行った。また、これまでの解析結果に今年度のデータを追加して同様の解析を行うことで、予察に使用する項目に変化がないか調べた。

今年度の予測結果は図17のとおりであった。5月中旬～6月上旬の1号ブイの表層平均水温は発生年の範囲にあてはまり、5月中旬～6月上旬の3号ブイの表層平均水温は高く、6月の渥美湾の DIN/PO₄-P の値は高かった。なお、5月上旬～下旬は3号ブイが故障したため、欠測となっている。昨年の結果から6月の DIN/PO₄-P よりも5月の水温の方がより *H. circularisquama* の増殖に影響が大きいと考えられたことから、2019 年は夏季に *H. circularisquama* の細胞密度が 100 cells/mL 以上になると予測した。

前述の通り、7月上旬～8月に三河湾で *H. circularisquama* が確認され、最高密度 332 cells/mL となり、昨年に続き予測と一致した結果が得られた。

今年の結果を追加したところ、6月の DIN/PO₄-P は検定値が有意水準として設定した $P < 0.01$ よりも大きくなったが、5月の水温については、変化はなかった。このことから、*H. circularisquama* の出現に最も影響する要素は5月の水温であると考えられた。

なお、2018 年に続き 2019 年も高密度となる期間が短かった。*H. circularisquama* 出現前の数ヶ月の指標を用いた中期的な予測では、5月の水温が利用できると考えられるが、出現後の短期動態を予測する際には、水温・塩分や *Gymnodinium* spp. を含む他の植物プランクトンなどの競合種の影響を考慮する必要があると考えられた。

・三河湾における海況変化について

2015 年以降、三河湾では *H. circularisquama* が 5 年連続して発生しており、*K. mikimotoi* による赤潮も毎年のように発生しているが（表4）、2014 年以前は有害プランクトンによる赤潮等が連続して確認されることはなかった。これらの有害種が出現し始める兆しは 2014 年からみられており、2000 年 1 月から 2018 年 12 月までの 19 年間のデータを対象とし、海域環境を示す項目として表5に示す項目について 2013 年以前と 2014 年以降を比較し、Mann-Whitney の U 検定により統計的に有意な項目を抽出した。検定値は $P < 0.05$ を有意水準とした。気温や日照時間などについてはアメダス観測データのうち名古屋及び蒲郡のデータ（気象庁ホームページ：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>）を用いた。プランクトン調査結果は水産試験場が行っている赤潮調査の結果を用いた。水温及び気温については水産試験場が設置している三河湾海況自動観測ブイのデータを用いた。

結果を表6に示した。2014 年以降、三河湾全域における8月の赤潮発生件数及び延日数が有意に高かったが、同時期の三河湾の珪藻類の細胞密度は有意に低かった。この時期に *H. circularisquama* や *K. mikimotoi* などの有害プランクトンが赤潮を形成していることから、2014 年以降、8月に珪藻類に対して鞭毛藻類であるこれらの有害プランクトンが優勢となり赤潮を形成したと考えられた。この他、3月に *Skeletonema* spp., 4月に珪藻類の細胞密度が有意に低く、10月に *Chaetoceros* spp. の細胞密度が高く、年間で鞭毛藻類と珪藻類の比が高かった。

2000 年以降の植物プランクトンの細胞密度の推移を見ると 2000 年代前半は珪藻類、鞭毛藻類ともに最高密度が高くなる傾向がみられたが、珪藻類の最高密度は 2010 年頃から 2018 年頃まで低下傾向で、鞭毛藻類は 2003～2007 年頃を底にその後は現在に至るまで高くなる傾向が続いており、この結果、2014 年以降は鞭毛藻類と珪藻類の比が高い値となっていたと考えられた。

気象庁の過去の地点気象データでは 2014 年以降の年間の日照時間・全天日射量は 2013 年

以前に比べて有意に高く、月別では1, 2, 4, 5, 6月に有意に高い傾向が見られた。年間の日照時間の経年変化をみると、2011年以降日照時間が増加する傾向が見られ、このことが結果に影響を及ぼしたと考えられる。その他、4月の気温が高く、2月及び初夏から秋にかけて風速が大きい傾向が見られた。

三河湾海況自動観測ブイの観測結果では、4, 5月の水温及び気温で有意な差が見られ、5月は特に水温が高い傾向が見られた。また、同期間の水温の表底層間較差が大きく、これは表層の水温が高くなったことが原因であると考えられた。4月は気象庁の観測でも気温が高く、この時期は地上、海上ともに温度が高い傾向が見られた。4月はこの他に塩分の表底層間較差も大きい傾向が見られた。4月や6月の塩分の表底層間較差が大きいことについて、この項目に影響を及ぼすと考えられる降水量や河川流量では有意な差は見られなかった。

海洋観測結果では7~9月に底層の栄養塩が低い傾向が見られる一方で7月の表層 $\text{NH}_4\text{-N}$ が高い傾向が見られた。6月の塩分表底層間較差が小さく、7月の風速が高い傾向があることから、底層から $\text{NH}_4\text{-N}$ が供給されやすい状況があった可能性が考えられる。また、7~9月の底層の栄養塩が低く、10, 12月には表層で栄養塩が低下している傾向が見られた。三河湾では夏季に貧酸素水塊が発達し、底層に栄養塩が溶出する。秋季に水温が低下し、躍層が解消すると底層の栄養塩が表層に供給され、表層の栄養塩の濃度は年間で最も高くなる。夏季における底層の栄養塩濃度が低く、躍層解消後に表層に供給される量が減ったことが、秋から冬にかけての表層栄養塩濃度の低下の原因の一端となった可能性がある。その他、10月は知多湾で透明度が低かった。

以上の抽出された項目のうち、有害プランクトンの増殖との関連がみられる項目は4, 5月の水温で、これまでの調査及び解析結果からこの時期の水温が高い場合には夏季に *H. circularisquama* が高密度に増殖する傾向がみられている(湯口ら 2019)。4, 5月の高水温は2015年以降、*H. circularisquama* が頻発する大きな要因であると考えられた。

一方、*K. mikimotoi* の2019年の最高密度は4 cells/mLであった。三河湾において *H. circularisquama* は水温約25℃以上、塩分約26以上で細胞密度100 cells/mL以上に増殖していたが(湯口ら 2019)、*K. mikimotoi* は水温5.4~33.4℃、塩分10.4~34.0の範囲で確認されており、細胞密度が100 cells/mLの場合でも水温6.4~29.8℃、塩分23.7~33.3と *H. circularisquama* よりも広い範囲で増殖が確認されている。また、*H. circularisquama* は9月以降に初認された場合には、最高密度が100 cells/mLを超えることはなかったが、*K. mikimotoi* ではこのような特徴は見られず、その赤潮の発生は夏季に多いものの、冬季にも確認されており、2016~2017年にかけては周年遊泳細胞が見られている。従って、*K. mikimotoi* の増殖には水温や塩分以外の要素の影響がより大きいと考えられ、今後、さらにデータ蓄積及び解析を進める必要があると考えられた。

・英虞湾 (*K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオの構築)

K. mikimotoi 赤潮発生年と非発生年の環境にどのような特徴があるか把握するため、水温、塩分等各項目(表7)の発生年と非発生年の平均値について有意差の有無を確認した。データは1993~2019年のものを用い、最高密度が100 cells/mL以上の年を赤潮の発生年とした(表8)。1つの月を上中下旬に分け、各月各旬を開始時点とした1~5つの旬(約10日、約20日、約30日、約40日、約50日)の平均値についてU検定を行った。水温、塩分、比重、溶存酸素、栄養塩、珪藻等の細胞密度(log10)については立神浦の測点の観測結果を、アメダスの測定項目(気温、降雨量、日照時間、風速)は南伊勢町のデータを用いた。10~12月は、翌年の赤潮発生に影響しているとして処理を行った。また、*K. mikimotoi* 赤潮は、近年発生頻度が高くなっている種であるため、あわせてMann-Kendall検定による経年変化についてのトレンドの解析を行った。

本種の赤潮が発生する年は4月上旬~4月下旬におけるB-1m層の平均水温(図18)が14.8℃以上と比較的高めであった。早い時期から水温が高く *K. mikimotoi* 増殖に有利な環境である年に赤潮化している可能性が考えられる。水温については有意な経年変化はみられなかったが、2月上旬~6月下旬の各時期の30日間の最高気温の平均値が優位に上昇傾向(すべて $P < 0.05$)であった。また、4月中旬には日照時間も伸びる傾向がみられた(図19)。観測頻度が2回/

月では捉えきれていないが、日照時間が長くなることにより水温が上昇している場合がある可能性が考えられ、これが近年 *K. mikimotoi* 赤潮の発生頻度が上がっている要因の一つになっている可能性が考えられる。

6月上旬～7月上旬における5m層で塩分(図20)が高めの時に本種の赤潮が発生する傾向がみられた。降雨などの影響が小さいときに本種が増加している可能性がある。

7月下旬～8月中旬における5m層の $\text{NO}_3\text{-N}$ が低め(図21)の時、6月下旬～7月下旬における5m層の $\text{NO}_2\text{-N}$ が低め(図22)の時、6月中旬～7月中旬におけるB-1m層の $\text{PO}_4\text{-P}$ が低め(図23)の時に、それぞれ本種の赤潮が発生する傾向がみられた。これら栄養塩濃度が低く、珪藻が増加しにくい年に本種が増加している可能性が考えられる。一方で、6月上旬～6月下旬における5m層の *Skeletonema* 属が多めの年に *K. mikimotoi* 赤潮が発生する傾向がみられた(図24)。これより *K. mikimotoi* は、*Skeletonema* 属の増殖により栄養塩が減少した後、増加する傾向がある可能性が考えられる。

K. mikimotoi 赤潮が発生年と非発生年の環境について有意差がみられたもののうち関連が考えられるものについては述べたが、他にも有意差がみられるものの関連を説明できない項目もある。さらに解析を進めるとともに、より過去のデータも加味する必要があると考えられる。

・広域における赤潮発生シナリオの構築

これまでの解析から、伊勢・三河湾から熊野灘沿岸における広域赤潮の発生パターンとして、①沿岸域の海流により、各海域において発生した赤潮が拡大する場合、②シードポピュレーションとなる低密度の細胞が移動し、流入先で赤潮となる場合、③各海域に定着した細胞がシードポピュレーションとして機能し、各海域での赤潮発生が同期する場合、の3つがあると考えられている(文献)。*K. mikimotoi* 赤潮については昨年度、広域発生年(2006, 2014, 2015, 2017, 2018年)と地場発生年(英虞湾: 1994, 2000, 2011～2013年; 三河湾: 2016年)に整理された。

また、沿岸の海流は黒潮の流路の影響を強く受けている。黒潮の流路は、非大蛇行接岸流路のN型、大蛇行流路のA型、蛇行はみられるがA型ほどは離岸していないB型およびC型等に分類(図25)されることが多く、熊野灘沿岸ではA型の場合に御前崎沖から流れてくる黒潮内側反流の影響を受けやすいことが知られている。そこで、広域赤潮の発生パターンと赤潮発生時期の黒潮の流路についてまとめた(表9)。黒潮流路については、関東・東海海況速報およびFax版海況情報よりまとめた。どの黒潮流路でも、地場発生、広域発生の両方が起きており、黒潮流路と赤潮の発生型には明確な関係はみられなかった。個々の広域赤潮についてみると分布拡大に沿岸域の海流の影響がうかがえる。また、黒潮流路により赤潮の分布拡大に影響を与える沿岸域の海流の流れが起こる頻度が変わると考えられるが、監視の対象としている有害赤潮の発生頻度が多くても年2回程度であるため、黒潮流路の影響が明確ではなくなっているものと思われる。

b. ノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

・伊勢湾ノリ漁場

これまでの分析により、伊勢湾北中部に位置する鈴鹿地区においては、珪藻密度が9,000 cells/mL以上の場合や大型珪藻である *Eucampia* spp.が500 cells/mL以上の場合にはすべての事例においてDINが7.1 μM 以下となることが確認されている。今年度はそれらに合致した状況にはなく、新たな検証には至っていない。

なお、今年度の伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、栄養塩はあるものの珪藻類の増殖が見られないという前例がない状況となっている。今後の調査と気象条件や外洋水の湾内への波及による影響を踏まえて、原因種の発生要因の解析を進める。

・三河湾

これまでの解析結果から、三河湾における主要なノリ色落ち原因珪藻類である *E. zodiacus*

による赤潮の発生条件について、11月の南知多の気温及び11月の水温が高く、12月上旬の *Chaetoceros* spp. と *Skeletonema* spp. の細胞密度の合計が少ない場合、1月以降に *E. zodiacus* による赤潮発生の可能性が高くなることが明らかになっている（柴田・中嶋 2016）。

この3つの条件を *E. zodiacus* 赤潮発生予測の指標として、2015年度から赤潮発生予測を行っている。そこで、昨年度の観測結果からこれら3つの指標による *E. zodiacus* 赤潮の発生予測手法を検証した。

昨年度、2018年11月の気温、水温は高く、12月の *Chaetoceros* spp. と *Skeletonema* spp. の細胞密度の合計が多かった。11月の気温と11月の水温の2つの条件が満たされていたことから、*E. zodiacus* 赤潮が発生する可能性があるかと予測したが、ノリの漁期中には赤潮は発生しなかった。この時期には *Skeletonema* spp. による赤潮が発生しており、これによりノリの色落ち被害が生じた。*Skeletonema* spp. による赤潮終息後 *E. zodiacus* が増えはじめ、4月には最高密度 1,005 cells/mL まで増殖しており、競合種の出現がなければ、赤潮になる可能性もあったと推測される。*Skeletonema* spp. が先に増殖し、優占することにより、*E. zodiacus* の増殖が阻害されたと考えられ、2018年は予測指標のうち、11月の水温や気温よりも12月の *Chaetoceros* spp. と *Skeletonema* spp. の細胞密度の合計の方が *E. zodiacus* の消長により影響を与えたと考えられた。今後もデータを蓄積し、検証を継続する。

3) ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマの増殖に与える酸素濃度の影響評価

これまで英虞湾や三河湾、加茂湖において、海水中の溶存酸素量が減少傾向にある際、*H. circularisquama* の増殖が認められてきたため、溶存酸素量が *H. circularisquama* の増殖に与える影響について評価することとした。過去に実施した予備試験では、200 mL の SWM3 培地中の溶存酸素量を 2, 4, 6, 10 mg/L と調製し、*H. circularisquama* と *K. mikimotoi* をそれぞれ接種したところ、*H. circularisquama* の増殖速度は溶存酸素量が 2~6 mg/L で高く、4mg/L で最も高いという結果が得られた。また、10 mg/L 以上では増殖速度は低くなった。一方、*K. mikimotoi* では、溶存酸素量が高いときに増殖速度は高くなり、低いときに増殖速度は低くなった。しかしながら予備試験では、プランクトンの光合成や呼吸、細胞計数時に空気に曝されるため酸素濃度に変化し、酸素濃度を都度再調節する必要があった。すなわち、試験期間中、供試株は一定の酸素濃度に曝されていたわけではなかった。したがって、今回は、酸素濃度をより一定に保つことができる細胞の低酸素培養に特化したキット BIONIX を使用して試験を実施した。24 穴マイクロウェルプレートに 2 mL の *H. circularisquama* 培養株、*K. mikimotoi* 培養株、*Chattonella* spp. 株をそれぞれ 3 ウェルずつ準備し、O₂ メーターおよびガス濃度調節剤とともに透明ガスバリア性パウチ袋に入れて密閉した。マニュアルに従って酸素濃度を調節した。予備試験では、*H. circularisquama* および *K. mikimotoi* 培養株（約 10,000 cells/mL）を酸素濃度約 6.0 mg/L に設定したパウチ袋内で培養し、パウチ袋内の酸素濃度の変化を数時間毎に 7 日間観察したところ、酸素濃度は初期設定値より増減することなく、試験期間中一定であった。培養株については、*H. circularisquama* や *Chattonella* spp. は生残し、形態や運動性も概ね維持されたが、*K. mikimotoi* については試験開始から 24 時間以内に全滅した。図 26 で示す通り本試験では、酸素濃度を 4 mg/L、6mg/mL、対照区として 10mg/mL 以上を設定し、*H. circularisquama*、*K. mikimotoi*、*Chattonella* spp. 培養株を 5 日間培養したところ、溶存酸素 4mg/mL 区では、*H. circularisquama* は初期濃度 1,383 cells/mL から 1,853 cells/mL まで増加し、*K. mikimotoi* は試験開始から 24 時間以内に全滅、*Chattonella* spp. は 867 cells/mL から 573 cells/mL に減少した。酸素濃度 6mg/mL では、*H. circularisquama* は初期濃度 733 cells/mL から 1,100 cells/mL まで増加し、*K. mikimotoi* は試験開始から 24 時間以内に全滅、*Chattonella* spp. は 983 cells/mL から 4,117 cells/mL まで増殖した。対照区では、*H. circularisquama* は初期濃度 1,301 cells/mL から 10,667 cells/mL まで、*K. mikimotoi* は 1,499 cells/mL から 2,833 cells/mL まで、*Chattonella* spp. は 815 cells/mL から 6,167 cells/mL まで上昇した。以上の結果より、*H. circularisquama* および *Chattonella* spp. は 4, 6 mg/L の低酸素濃度下で増殖が可能であることが推察された。現場では酸素濃度の低下に伴い、他の渦鞭毛藻類や珪藻類など競合種の増殖が抑制されるため、低酸素下で増殖可能な *H. circularisquama* や *Chattonella* spp. が増殖し優占することが推察された。*K. mikimotoi* が酸素濃度の低下により死滅する理由はわからなかった。

今後は、試験法を改善し、他の有害藻類の試験や、栄養塩・水温等さまざまな条件下における各供試株の溶存酸素量の影響試験を行い、他の環境要因との関連も含めて知見を蓄積する予定である。

引用文献

- 増田健，藤原正嗣，田中真二，栗山功，西川次寿，山田大貴，湯口真実，美馬紀子，蒲原聡，高須雄二，天野禎也．魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築④伊勢湾・三河湾・英虞湾海域．平成 29 年度赤潮・貧酸素水隕対策推進事業「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」，水産庁，東京．2018：117-156．
- 湯口真実，蒲原聡，高須雄二，美馬紀子，天野禎也．三河湾における有害渦鞭毛藻 *Heterocapsa circularisquama* の発生状況及び予察技術の開発に向けて！愛知県水産試験場研究報告，2019；24：14-21
- 柴田晋作，中嶋康夫．三河湾における養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* 赤潮の発生予察．愛知県水産試験場研究報告，2016；21：1-3．