

表 11-1 広島県海域における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002～2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
マハラノビス	5月表層DIP	2	2002～2017	90.9	○	◎	△	△	△	△
	2月降水量				○	◎	△	△	△	△
マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002～2017	90.9	○	◎	×	◎	△	△
	5月表層DIP				○	◎	×	◎	×	◎
マハラノビス	5月表層DIP	2	2002～2017	90	○	◎	×	◎	×	◎
	5月底層Chla				○	◎	×	◎	×	◎
マハラノビス	4月表層塩分	2	2002～2017	85.5	○	◎	×	◎	△	△
	5月表層DIP				○	◎	×	◎	△	△
マハラノビス	4月気温	2	2002～2017	80.9	○	◎	×	◎	×	◎
	5月表層DIP				○	◎	×	◎	×	◎
マハラノビス	2月降水量	2	2002～2017	100	○	◎	○	×	○	×
	2月表層Chla				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス	4月気温	2	2002～2017	100	○	◎	○	×	△	△
	4月底層DO				○	◎	○	×	△	△
マハラノビス	4月底層DO	2	2002～2017	96.5	○	◎	○	×	○	×
	5月表層DIP				○	◎	○	×	○	×
線形判別	4月表層塩分	2	2002～2017	90.9	○	◎	△	△	○	×
	2月降水量				○	◎	△	△	○	×
マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002～2017	90	○	◎	○	×	○	×
	4月底層DO				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス	4月底層DO	2	2002～2017	85.5	○	◎	○	×	○	×
	2月表層Chla				○	◎	○	×	○	×
線形判別	4月気温	2	2002～2017	90.9	○	◎	△	△	×	◎
	2月降水量				○	◎	△	△	×	◎
マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002～2017	90.9	○	◎	△	△	○	×
	2月降水量				○	◎	△	△	○	×
マハラノビス	4月気温	2	2002～2017	85.5	○	◎	△	△	○	×
	4月鉛直安定度				○	◎	△	△	○	×
線形判別	4月気温	2	2002～2017	85.5	○	◎	△	○	×	◎
	4月表層塩分				○	◎	△	○	×	◎
マハラノビス	4月底層DO	2	2002～2017	85.5	○	◎	○	×	○	×
	2月降水量				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス	4月表層塩分	2	2002～2017	85.5	○	◎	○	×	○	×
	4月底層DO				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス	4月底層DO	2	2002～2017	95.5	△	○	○	×	○	×
	5月底層Chla				△	○	○	×	○	×
線形判別	2月降水量	2	2002～2017	95.5	△	○	○	×	○	×
	5月底層Chla				△	○	○	×	○	×
マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002～2017	85.5	△	○	△	△	○	×
	5月底層Chla				△	○	△	△	○	×
マハラノビス	4月鉛直安定度	2	2002～2017	80	△	○	△	△	○	×
	2月表層Chla				△	○	△	△	○	×
マハラノビス	4月表層塩分	2	2002～2017	80	△	○	△	△	○	×
	2月表層Chla				△	○	△	△	○	×

表 11-2 山口県海域における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002～2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
線形判別	前年11月表層塩分	2	2002～2017	81.7	×	◎	△	△	△	○
	5月中旬表層DO				×	◎	△	△	○	◎
線形判別	前年11月表層塩分	2	2002～2017	91.7	×	◎	△	△	○	◎
	6月中旬底層DO				×	◎	△	△	○	◎
線形判別	前年11月表層塩分	2	2002～2017	76.7	×	◎	△	△	○	◎
	1月中旬日照時間				×	◎	△	△	○	◎
線形判別	前年11月中層塩分	2	2002～2017	86.7	×	◎	×	◎	△	○
	5月中旬表層DO				×	◎	×	◎	△	○
線形判別	前年11月中層塩分	2	2002～2017	86.7	△	△	△	△	○	◎
	6月中旬底層DO				△	△	△	△	○	◎
線形判別	前年11月中層塩分	2	2002～2017	76.7	×	◎	△	△	○	◎
	1月中旬日照時間				×	◎	△	△	○	◎
線形判別	前年10月底層塩分	2	2002～2017	86.7	△	△	×	◎	△	○
	6月中旬底層DO				△	△	×	◎	△	○
線形判別	前年10月底層塩分	2	2002～2017	71.7	△	△	×	◎	△	○
	1月中旬日照時間				△	△	×	◎	△	○
線形判別	5月中旬表層DO	2	2002～2017	86.7	×	◎	△	△	△	○
	6月中旬底層DO				×	◎	△	△	△	○
マハラノビス	6月中旬底層DO	2	2002～2017	91.7	○	×	○	×	○	◎
	1月中旬日照時間				○	×	○	×	○	◎

表 11-3 福岡県周防灘における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002～2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
線形判別	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	△	△	△	○	△	△
	5月5m層塩分									
線形判別	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	△	△	△	○	△	△
	5月底層塩分									
線形判別	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	×	◎	○	◎	○	×
	4月表層DIP									
線形判別	7月5m層水温	2	2002～2017	93.8%	×	◎	○	◎	△	△
	6月5m層DIP									
マハラノビス距離	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	△	△	△	○	○	×
	4月底層DIP									
マハラノビス距離	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
線形判別	7月5m層水温	2	2002～2017	87.5%	△	△	△	○	△	△
	5月中旬気温									
マハラノビス距離	5月5m層塩分	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
線形判別	5月5m層塩分	2	2002～2017	87.5%	×	◎	×	×	×	◎
	4月上旬日照時間									
マハラノビス距離	5月底層塩分	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
マハラノビス距離	4月表層DIP	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
マハラノビス距離	6月5m層DIP	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
線形判別	6月5m層DIP	2	2002～2017	87.5%	×	◎	×	×	×	◎
	5月中旬気温									
線形判別	6月5m層DIP	2	2002～2017	87.5%	×	◎	×	×	×	◎
	4月上旬日照時間									
マハラノビス距離	4月底層DIP	2	2002～2017	87.5%	△	△	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
マハラノビス距離	4月底層DIP	2	2002～2017	87.5%	△	△	△	○	○	×
	4月上旬日照時間									
マハラノビス距離	6月底層DIP	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬気温									
マハラノビス距離	6月底層DIP	2	2002～2017	87.5%	△	△	○	◎	×	◎
	4月上旬日照時間									
マハラノビス距離	4月上旬気温	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	△	△
	5月中旬気温									
マハラノビス距離	4月上旬気温	2	2002～2017	87.5%	○	×	○	◎	○	×
	4月上旬日照時間									
線形判別	5月中旬気温	2	2002～2017	93.8%	×	◎	×	×	×	◎
	4月上旬日照時間									

表 11-4 大分県周防灘における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002～2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
線形判別	5月表層水温	2	2002～2017	81	△	△	△	○	○	◎
	7月最大風速									
線形判別	5月5m水温	2	2002～2017	81	△	△	○	◎	○	◎
	7月最大風速									
線形判別	1月表層塩分	2	2002～2017	81	△	△	△	○	△	○
	7月最大風速									
マハラノビス	7月分布指標(10cells/mL)	2	2002～2017	81	×	◎	△	○	×	×
	7月最大風速									
マハラノビス	5月表層水温	2	2002～2017	94	×	◎	△	○	○	◎
	7月分布指標(10cells/mL)									
マハラノビス	5月5m水温	2	2002～2017	81	×	◎	△	○	×	×
	7月分布指標(10cells/mL)									
マハラノビス	1月表層塩分	2	2002～2017	75	×	◎	×	×	×	×
	7月分布指標(10cells/mL)									
線形判別	5月表層水温	2	2002～2017	69	○	×	△	○	○	◎
	1月表層塩分									
線形判別	5月5m水温	2	2002～2017	69	△	△	△	○	△	○
	1月表層塩分									

表 11-5

大分県佐伯湾における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002~2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
線形判別	3月降水量	2	2002~2017	92.3	×	×	×	◎	○	×
	2月気温				×	×	×	◎	○	×
線形判別	3月降水量	2	2002~2017	96.2	×	×	×	◎	○	×
	1月表層塩分				×	×	×	◎	○	×
マハラノビス距離	3月降水量	2	2002~2017	100.0	○	◎	×	◎	○	×
	2月表層塩分				○	◎	×	◎	○	×
線形判別	3月日照時間	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	2月気温				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	3月日照時間	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	1月表層水温				○	◎	○	×	○	×
線形判別	3月日照時間	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	1月表層塩分				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	3月日照時間	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	2月表層塩分				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	2月気温	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	1月表層塩分				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	2月気温	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	2月表層塩分				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	1月表層水温	2	2002~2017	83.3	○	◎	○	×	○	×
	1月表層塩分				○	◎	○	×	○	×
マハラノビス距離	1月表層水温	2	2002~2017	83.3	○	◎	○	×	○	×
	2月表層塩分				○	◎	○	×	○	×

表 11-6

愛媛県岩松湾における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002~2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	92.3	○	◎	×	◎	○	×
	4月下旬5m水温				○	◎	×	◎	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	92.3	×	×	×	◎	○	×
	7月日照時間				×	×	×	◎	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	96.2	×	×	×	◎	○	×
	2月平均風速				×	×	×	◎	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	96.2	×	×	△	△	○	×
	5月平均風速				×	×	△	△	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	100.0	×	×	○	×	○	×
	5月下旬日照時間				×	×	○	×	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	92.3	△	○	○	×	○	×
	6月中旬日照時間				△	○	○	×	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	88.5	×	×	×	◎	○	×
	7月中旬日照時間				×	×	×	◎	○	×
線形判別	1月下旬5m水温	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬平均風速				○	◎	○	×	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	92.3	○	◎	△	△	○	×
	4月下旬5m水温				○	◎	△	△	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	88.5	×	×	×	◎	○	×
	7月日照時間				×	×	×	◎	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	92.3	△	○	×	◎	○	×
	2月平均風速				△	○	×	◎	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	100.0	×	×	○	×	○	×
	5月平均風速				×	×	○	×	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	100.0	×	×	○	×	○	×
	6月中旬日照時間				×	×	○	×	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	92.3	×	×	×	◎	○	×
	7月中旬日照時間				×	×	×	◎	○	×
線形判別	2月上旬5m水温	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬平均風速				○	◎	○	×	○	×
線形判別	4月下旬5m水温	2	2002~2017	88.5	○	◎	×	◎	△	△
	7月日照時間				○	◎	×	◎	△	△
線形判別	4月下旬5m水温	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬日照時間				○	◎	○	×	○	×
線形判別	4月下旬5m水温	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	×	◎
	6月中旬日照時間				○	◎	○	×	×	◎
線形判別	4月下旬5m水温	2	2002~2017	96.2	○	◎	×	◎	×	◎
	7月中旬日照時間				○	◎	×	◎	×	◎
線形判別	7月日照時間	2	2002~2017	92.3	△	○	△	△	○	×
	5月平均風速				△	○	△	△	○	×
線形判別	7月日照時間	2	2002~2017	100.0	×	×	○	×	○	×
	5月下旬日照時間				×	×	○	×	○	×
線形判別	7月日照時間	2	2002~2017	88.5	△	○	△	×	△	○
	6月中旬日照時間				△	○	△	×	△	○
マハラノビス距離	2月平均風速	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	*	×
	5月下旬日照時間				○	◎	○	×	*	×
線形判別	2月平均風速	2	2002~2017	88.5	○	◎	△	×	△	△
	6月中旬日照時間				○	◎	△	×	△	△
線形判別	5月平均風速	2	2002~2017	100.0	×	×	○	×	○	×
	5月下旬日照時間				×	×	○	×	○	×
線形判別	5月平均風速	2	2002~2017	92.3	△	○	○	×	○	×
	6月中旬日照時間				△	○	○	×	○	×
線形判別	5月下旬日照時間	2	2002~2017	96.2	×	×	○	×	○	×
	7月中旬日照時間				×	×	○	×	○	×
線形判別	5月下旬日照時間	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬平均風速				○	◎	○	×	○	×
線形判別	6月中旬日照時間	2	2002~2017	100.0	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬平均風速				○	◎	○	×	○	×
線形判別	7月中旬日照時間	2	2002~2017	96.2	○	◎	○	×	○	×
	5月下旬平均風速				○	◎	○	×	○	×

\*ロジスティック回帰による確立算出ができなかったため、判別分析結果をもとに判定  
(表 11-6)

表 11-7 高知県浦ノ内湾における判別予測・結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	判別期間(年)	2002~2017年の的中率(%)	2018年		2019年		2020年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中
マハラノビス距離	6月下旬平均気温	2	2002~2017	93.8	△	○	△	○	△	○
	6月降水量				△	○	△	○	△	○
マハラノビス距離	6月下旬平均気温	2	2002~2017	100.0	△	○	△	○	△	○
	4月底層DIN				△	○	△	○	△	○
マハラノビス距離	1月中旬降水量	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎
	3月中旬日照時間				○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	1月中旬降水量	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎
	5月表層DO				○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	4月降水量	2	2002~2017	81.3	△	○	◎	○	◎	◎
	3月中旬日照時間				△	○	◎	○	◎	◎
マハラノビス距離	6月降水量	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎
	4月底層DIN				○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	3月中旬日照時間	2	2002~2017	87.5	△	○	◎	○	◎	◎
	5月10m層DO				△	○	◎	○	◎	◎
マハラノビス距離	3月中旬日照時間	2	2002~2017	93.8	△	○	◎	○	◎	◎
	5月底層DO				△	○	◎	○	◎	◎
マハラノビス距離	6月下旬日照時間	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎
	5月表層DO				○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	6月下旬日照時間	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎
	4月5m層DIN				○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	5月表層DO	2	2002~2017	87.5	△	○	◎	○	◎	◎
	5月底層DO				△	○	◎	○	◎	◎
マハラノビス距離	5月底層DO	2	2002~2017	87.5	○	◎	○	◎	△	○
	4月底層DIN				○	◎	○	◎	△	○

## 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

愛知県水産試験場

二ノ方圭介, 松村貴晴, 青山裕晃, 大澤 博, 天野禎也

三重県水産研究所

奥村宏征, 久野正博, 栗山功, 矢野央樹, 西川次寿

三重県水産研究所鈴鹿水産研究室

勝田孝司

水産研究・教育機構 水産技術研究所

中山奈津子, 浜口昌己

## 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 令和2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知見を蓄積した。

#### 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 (*Heterocapsa circularisquama*) 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、O<sub>2</sub>メーター、*H. circularisquama* 培養株または *Karenia mikimotoi* 培養株、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。藻類の培養容器には24穴プレートを用い、温度20°C、光強度130~150 μmol photons/m<sup>2</sup>/s、明暗周期12h:12h L:Dの培養条件で、パウチ袋ごとインキュベータに入れ培養した。全ての試験の細胞初期密度は約1000 cells/mLに設定した。試験1では、計数する際に通常酸素に触れることによる増殖への影響について調べた。酸素濃度2 mg/L下で*H. circularisquama* 培養株を培養し、①培養開始から5日間毎日パウチ袋からプレートを取り出して計数する区と、②計数日までパウチから取り出さない区（例えば、1日の区は開始から1日目に開封・計数して終わり、2日の区は2日目に開封・計数して終わり・・・すなわち、X日目とはX日間設定した酸素濃度下に置かれる）の細胞密度の推移を比較した。試験2では、酸素濃度を0 mg/L、2 mg/Lと6 mg/L（試験区）、対照区として10 mg/L以上（自然通気）を設定し、*H. circularisquama* 培養株および *K. mikimotoi* 培養株の細胞密度を毎日計数した。

### (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1~4月、8~10月及び12月は平年より高くなった。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。他の月は平年並みであった。底層は1~5月及び11月は平年より高くなった。9月は平年より低くなり、他の月は平年並みであった。9月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1~3月及び12月は平年より高くなった。7月及び11月は平年より低くなり、他の月は平年並みであった。底層では1~4月、7月及び12月は平年より高くなった。8、9月は平年より低くなり、他の月は平年並みであった。

英虞湾の表層水温は、平年に比べ、2019年12月中旬から2020年6月下旬までおおそ高い状態が継続し、2月中旬には3.4°C高くなった。7月上旬から下旬にはやや低くなったが、8月以降は再び高い状態となった。黒潮はA型流路（大蛇行）が継続し、熊野灘沿岸では断続的に黒潮系暖水の影響を受けて高水温傾向が継続した。また気温の推移から、2019年10月から2020年3月は2年連続で平年よりも気温が高く推移し、暖冬であった。以上のことから英虞湾の水温が高くなった要因として、黒潮の大蛇行と暖冬の影響が考えられた。

###### ・塩分（図4）

表層は伊勢湾が7、8月、三河湾では8月に平年より低くなり、特に8月が顕著であった。7月は降水量が非常に多かったため、8月に入ってもその影響による塩分低下がみられた。底層は伊勢湾で9月に高い値が観測された。伊勢湾の愛知県側では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の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月に平年よりも低い値が見られ、これは降雨の影響が上下混合により底層へ及んだものと考えられた。英虞湾の表層は、7月上旬から9月上旬に平年よりも低下した。伊勢湾と同様に7月の長期間の降雨による影響と考えられる。底層でも7月下旬から8月中旬は平年よりも低下した。

###### ・溶存酸素（図5）

表層は伊勢湾で赤潮がみられた7月に高くなった以外は、平年並みか低く推移した。三河湾は平年並みか低く推移した。底層は伊勢湾では9月に平年より高く、貧酸素が解消しており、外海水の進入の影響と考えられた。三河湾では7月に平年より高く、貧酸素が解消しており、強風による上下混合が発生していたと考えられた。英虞湾の表層では、平年と同程度か若しくは若干低い状態で推移した。底層で7月上旬から8月上旬と9月上旬から下旬まで

2.9 mg/L から 3.5 mg/L で推移したが、3 mg/L 以下となったのは9月中旬だけであった。

・クロロフィル *a* (図 6)

伊勢湾の表層では7月に *Thalassiosira* spp.による赤潮で平年よりも高くなった以外は平年並みか低く推移した。底層は平年並みか低く推移した。三河湾の表層では10月に *Skeletonema* spp.の赤潮がみられ平年並みの高い値となった以外は平年並みか低く推移した。底層は伊勢湾では12月に平年より高かった以外は平年並みで推移した。三河湾では4, 6, 10, 12月が平年より高く、6月は中底層で *Rhizosolenia indica* の赤潮により特に高くなっていた。また、10月は表層と同様に *Skeletonema* spp.により値が高くなっていた。英虞湾の表層では、ほぼ平年並みの値で推移した。7月上旬と中旬、8月上旬に高い値が見られた。7月上旬から下旬に発生した *Takayama* sp.の赤潮による影響と考えられた。

・栄養塩 (図 7, 8, 9)

DIN は伊勢湾の表層では2, 3月に平年より高くなり、10月は低くなった。底層は7~10月にかけて高く、特に高かった9月は外海水の進入による供給があったものと考えられた。三河湾の表層は、11, 12月が平年より高く、4, 10月が低くなっており、赤潮がみられた10月が特に低くなっていた。底層は6, 8月が特に高く、4, 7, 10月が低くなっており、特に低くなっていた。英虞湾の表層では1月上旬~6月下旬まで1 μM 以下であり、平年より低い値で推移した。底層では9月に非常に高い値が確認された。PO<sub>4</sub>-P は、伊勢湾の表層では2, 3月が高く、9~11月が低く推移した。底層では、8, 10月が高かった以外は平年並みで推移した。三河湾は表層が1~3月及び7月が高かった以外は平年並みであった。底層は8月を除き平年並みか低くなった。伊勢湾、三河湾の底層で高かった時期は海底からの溶出の影響を受けていたと考えられた。英虞湾の表層及び底層で平年と比べ低い値で推移した。SiO<sub>2</sub>-Si は伊勢湾、三河湾ともに表層では平年を下回ることが多く、伊勢湾では9月、三河湾では4, 6, 9月が枯渇していた。

・特記事項

伊勢湾の愛知県側では8月にシラスが豊漁となった。夏から秋にかけて外海沿岸で湧昇がたびたびみられ、栄養塩が豊富な底層水が持ち上がり内湾へ流入したため餌条件が良かったと推定されている。(漁海況月報 : <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/suisanshiken/0000009756.html>)

8月下旬には外海水が伊勢湾の愛知県側、三河湾に進入し、一時的に貧酸素水塊が解消された。

7月の降水量が平年に比べて非常に多く、湾内の表層塩分が断続的に低下した。また、8月にも7月の降雨の影響が強く残り、8月は降水量が非常に少なかったにもかかわらず、下旬まで平年に比べて低く推移した。

伊勢湾の三重県側では、浅海定線観測において貧酸素水塊が6月から湾中央部で確認された。貧酸素水塊は、拡大及び外海水流入の影響により三重県側に押し上げられる形で移動し、10月まで継続した。漁況では、二枚貝は一部地区を除いて不漁が継続した。伊勢湾中部では前年秋季からバカガイ稚貝の発生が少量しか見られず、今漁期の漁獲量減少が危惧されていたが、近年にない不漁となった。伊勢湾内の船びき網によるイワシ類の漁獲においては、昨年同様にマイワシよりカタクチイワシの比率が高かった。カタクチイワシは秋季まで湾内での産卵が確認されており、稚魚の加入が継続した。その他、昨年同様にマダコ及びガザミの漁獲が平年より多かった。マダコは例年よりも早い時期から漁獲が始まった。

英虞湾では、2019年7月頃からアコヤガイの稚貝、母貝、挿殻貝にへい死や外套膜が萎縮する症状が確認されており、稚貝のへい死率が70%となるなど、これまでにない事態となった。2020年も6月頃から、2019年と同様の稚貝のへい死や外套膜萎縮症状が確認された。

へい死の原因について、2019年度の調査からは、避寒時期などの飼育条件の違いや、冬季の海水温等の環境が、母貝や挿殻貝に影響を与えていたことが分かった。また、2020年度の調査から、稚貝が海に出される5月から6月中旬まで海水温は平年よりも高く、餌となる植物プランクトンも極めて少ない状態が続いたことが分かった。特に、稚貝は栄養不足と体力

低下による衰弱状態にあったと考えられた。そこに、ストレスとなる複数の要因が加わった結果、貝はへい死に至ったと考えられた。

以上のように、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は必須と考えられる。

## ②プランクトン (図 11)

### *Heterocapsa circularisquama*

伊勢湾、伊勢湾湾口、三河湾、英虞湾のいずれの海域も確認されなかった。

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

伊勢湾、伊勢湾湾口、三河湾、英虞湾のいずれの海域も確認されなかった。

### *Karenia mikimotoi*

伊勢湾口、三河湾、英虞湾の3海域で確認された。伊勢湾口では1月中旬のみ確認され、密度は0.03 cell/mLであった。三河湾では9月上中旬に確認され、最高密度は3 cells/mLであった。英虞湾では7月中旬及び1月中旬に確認され、最高密度は6 cells/mLであった。

### *Heterosigma akashiwo*

伊勢湾、伊勢湾口、三河湾、英虞湾の4海域とも確認された。伊勢湾では11月中旬のみ確認され、密度は1 cell/mLであった。伊勢湾口では12月中旬のみ確認され、密度は10 cells/mLであった。三河湾では5月上旬から9月中旬に確認され、最高密度は2,800 cells/mLであった。英虞湾では6月下旬から8月中旬及び10月下旬から1月中旬に確認され、最高密度は80 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6月上旬、11月中旬及び12月上旬に確認され、最高密度は8 cells/mLであった。三河湾では7月上旬から1月中旬に確認され、最高密度は16 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

近年では、2015～2019年に100 cells/mL以上の最高密度が毎年確認されていた。*H. circularisquama* の増殖は高塩分が好適条件となるが、2015～2019年の最高密度も7、8月に確認されている(表3)。しかし、今年度は1月まで年を通じて確認されなかった。

三河湾に面する蒲郡市の気象観測所の7、8月の降水量(気象庁ホームページ: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>)をみると、7月は平年より非常に多く、8月は非常に少なかった。また、三河湾に設置された自動海況観測ブイの1号ブイ(図10)の観測結果をみると、塩分は7月に大きく低下し、その影響が8月にも引き続いてみられ、平年値まで回復するまでに約1カ月を要していた(図12)。これにより *H. circularisquama* の増殖が抑制されていたと考えられる。また、三河湾では別調査で7月に *Skeletonema* spp.や *Thalassiosira* spp.などの珪藻赤潮が確認されており、自動観測ブイの表層クロロフィル蛍光強度をみても7月は高くなっていたことから、珪藻類との競合も増殖を抑制した要因と考えられた。

#### ・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、本年度も *H. circularisquama* が全く確認されなかった。例外はあるものの、昨年度と同様にDINの値が表層及び底層とも平年と同定度か、やや低い場合が多かったため、これが今年度も同種が確認されなかった理由の一つである可能性が考えられた。なお、英虞湾における同種の赤潮は2016年9月から10月における発生を最後に確認されていない。

#### ・広域的な有害赤潮の発生に関する考察

本年度は、*K. mikimotoi* や *H. akashiwo* などが複数海域で確認されたが、広域的な有害赤潮

は発生しなかった。2018年にみられた *H. akashiwo* の広域赤潮のように赤潮発生海域から他海域へ赤潮プランクトンの一部が他海域へ移動したことを示す情報はなく、また、各海域とも有害赤潮の発生が少なかったことから、今年度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 13, 14)

###### ・水温

三河湾では平年より高くなった 12 月上旬を除き、平年並みとなった。伊勢湾の三重県側でも、10 月上旬から概ね平年並みで推移したが、11 月中旬から 12 月上旬には気温の影響により平年を上回った。その後、気温の低下に伴って平年並みからやや低めで推移したが、1 月下旬には高い気温の影響で再び平年を上回った。

###### ・塩分

三河湾では 10 月上旬に平年を上回り、その後平年並みで推移し、12 月下旬に平年を上回った。伊勢湾の三重県側では、10 月中旬に降雨及び台風 14 号の影響で大きく低下したが、その後は降雨が少ない状況が継続したため 1 月中旬まで高い値で推移した。1 月下旬にはまとまった降雨があり低下した。

###### ・栄養塩

三河湾では 10 月下旬に DIN, PO<sub>4</sub>-P とともに平年を上回ったが、他の期間は平年並みか下回った。10 月は降水量が多かったことや、躍層の解消による供給があり値が高くなったが、11, 12 月は降水量が少なく供給が減少していたと考えられた。また 11 月中旬は *Akashiwo sanguinea* の赤潮が発生しており栄養塩低下の要因となっていた。

伊勢湾の三重県側では、DIN は平年を大きく下回った状態から始まった。10 月中旬の大雨で増加したものの、その後は概ね平年並みから低い値で推移した。11 月上旬から中旬と 12 月上旬から下旬には DIN, PO<sub>4</sub>-P とともに増加したが、この時期にまとまった降雨はなかった。当時、西及び北西の強い季節風が継続したことから、風による湧昇流が発生し、沖合底層の栄養塩が沿岸表層に供給されたことが示唆された。PO<sub>4</sub>-P も DIN と同様の傾向で概ね推移したが、1 月下旬の降雨で DIN は増加したものの、PO<sub>4</sub>-P は増加することはなく、減少傾向が継続した。

###### ・クロロフィル *a*

三河湾では、11 月中旬に *Akashiwo sanguinea* の赤潮が発生し、値が高くなっていた以外は平年並みか下回っていた。

##### ②プランクトン (図 15)

###### *Skeletonema* spp.

三河湾では 10 月上旬に最高密度 21,700 cells/mL の赤潮が確認された。この赤潮は 9 月から発生している *Chaetoceros* spp. などとの珪藻類の複合赤潮で、海況自動観測ブイのクロロフィル蛍光強度の値から 10 月中旬まで継続していたと推定された。10 月下旬以降は、最高密度 88~4,217 cells/mL で推移しており、赤潮は確認されていない。伊勢湾東部では 10 月上旬に最高密度 11,625 cells/mL の赤潮が発生していた。伊勢湾における三重県側のノリ漁場では、10 月中旬に最高密度 30,800 cells/mL を確認したが、その後は徐々に減少して数百 cells/mL と低密度になり、その状態は 12 月中旬まで継続した。12 月下旬には栄養塩の増加とともに増加傾向に転じ、1 月下旬には最高密度 7,350 cells/mL が確認された。

###### *Chaetoceros* spp.

三河湾では 10 月上旬に最高密度は 8,250 cells/mL となり、先述のとおり *Skeletonema* spp. などとの珪藻類の複合赤潮が発生していた。10 月下旬以降は、最高密度 123~2,238 cells/mL で

推移しており、赤潮は確認されていない。伊勢湾における三重県側のノリ漁場では、10月中は最高密度 2,920~1,625 cells/mL を確認したが、その後減少し、11月から12月下旬まで 220~35 cells/mL と密度の低い状態が継続した。1月上旬から増加傾向となり、1月下旬には 2,000 cells/mL を確認した。

#### *Eucampia zodiacus*

三河湾では12月上旬以降に確認されているが、最高密度は 64 cells/mL と少なかった。伊勢湾における三重県側のノリ漁場では、12月上旬に最高密度 120 cells/mL が確認された。

##### ・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

伊勢湾における三重県側のノリ漁場では、10月上旬の調査で、DIN、PO<sub>4</sub>-Pともに平年より低い値が確認された。調査当時、*Skeletonema* spp. が 8,340 cells/mL、*Chaetoceros* spp. が 2,920 cells/mL の最高密度で確認されたことから、これら珪藻類による栄養塩の消費が考えられた。その後、台風14号や前線に伴う大雨により栄養塩が供給されたが、DINが平年値をわずかに上回る程度で、PO<sub>4</sub>-Pは平年値を下回った。10月中旬の調査では *Skeletonema* spp. が 30,800 cells/mL、*Chaetoceros* spp. が 1,625 cells/mL の最高密度で確認されたことから、栄養塩は、これら珪藻類が消費したと考えられた。

その後、1月中旬までまとまった降雨がなく、珪藻類は減少し低密度で推移した。

今年度は、長期間継続した降雨がなく栄養塩の供給が不足したため、珪藻類の大量発生はなかったが、12月上旬と1月上中旬にノリの色落ちが発生した。

##### ・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

9月中旬から10月中旬にかけて *Skeletonema* spp. などの珪藻類の赤潮が発生した。10月上旬は DIN、PO<sub>4</sub>-Pともに平年を下回ったが、10月下旬には降雨の影響や、躍層の解消による供給があり DIN、PO<sub>4</sub>-Pともに平年を上回るまでに回復した。11月中下旬には *Akashiwo sanguinea* の赤潮が発生した。この時期には摘採が始まっていたが、ノリ製品は概ね良好であった。12月以降の *Skeletonema* spp. や *Chaetoceros* spp. の細胞密度は数千 cells/mL 以下で推移しており、赤潮は発生していない。11、12月は降水量が少なく栄養塩の供給が少なかったため、珪藻類の増殖が抑制されたと考えられた。

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 *Chaetoceros* spp. の細胞密度の合計が低いことが判明しており、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月の気温が高く、水温はやや高かったが、12月の *Skeletonema* spp. と *Chaetoceros* spp. の細胞密度の合計は高い値となった。このため、予測に使用する3つの項目のうち、細胞密度の項目が発生年の値の範囲から外れたことから、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は低いと予測した。これまで *E. zodiacus* の細胞密度は、数十 cells/mL 以下と低位で推移している。

## 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/PO<sub>4</sub>-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。

今年度の予測結果は図16のとおりであった。表層平均水温に関する3項目については、いずれも高かった。また、6月の渥美湾の DIN/PO<sub>4</sub>-P の値は高かったが、一昨年の結果から6月の DIN/PO<sub>4</sub>-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、2020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。しかし、今年度は期間を通じて *H. circularisquama* は確認されなかった。

先述の通り、7月に降水量が多く、その影響が8月まで及び表層が低塩分になっていたことや、競合する珪藻類の赤潮が7月に発生し、*H. circularisquama* の増殖を抑制したと考えられた。また、2019年も7月下旬以降の降雨の影響により高密度となる期間が短く気象の影響を強く受けていた。*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月の水温など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には、水温・塩分の海況や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。

#### ・英虞湾 (*K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオの構築)

*K. mikimotoi* 赤潮の発生状況を表5に示した。これまでの解析では最高密度が 100 cells/mL 以上確認された年を赤潮発生年としており、2020年は最高密度が 6 cells/mL であったことから非発生年とした。

昨年までの解析で *K. mikimotoi* 赤潮発生年に特徴的な環境を調査し、表6に示す項目について赤潮発生との関連が示唆された。このことについて、本年の状況を確認したところ、要件を満たす項目がある一方、*Skeletonema* spp. の増殖は見られなかった。

2018年以降、同種の赤潮は3年続けて確認されていないが、アコヤガイが2年続けて大量へい死している。漁業者との対話の中で、餌となるプランクトンの減少や、湾内の環境変化に関する意見を聞く機会が多くあった。これらのことから、近年の英虞湾における珪藻の発生状況や栄養塩の動向など、赤潮発生に関連する基礎的な事項について再検討することとし、得られたデータを赤潮発生シナリオの構築に活用することとした。

英虞湾における *Chaetoceros* spp. や *Skeletonema* spp. などの珪藻の発生状況を図17に示した。2019年、2020年は珪藻が平年と比べて少ない状態であった。特に5月から6月は極めて少ない状況が2年続いた。1月から4月も湾奥部（立神）では少ないが、平年も同傾向のため特異な現象ではないと判断した。夏季から秋季には湾全体で増加する傾向が確認された。また、湾口部（御座）では3月に増加するなど、湾奥部と異なる動向が確認された。

英虞湾における DIN および  $PO_4\text{-P}$  など、栄養塩の動向について図18に示した。湾口部では冬季に DIN,  $PO_4\text{-P}$  ともに大きく増加するが、湾奥部では増加はみられず、外海からの供給によるものと考えられた。一方、湾奥部では秋季に増加しており、冬季とは異なる供給があるものと考えられた。

湾口部における栄養塩の動向について、黒潮流路パターンとの関係を図19に示した。近年、黒潮は A 型流路（大蛇行）が継続し、熊野灘沿岸には断続的に黒潮系暖水が波及した。A 型流路は 2021 年 2 月も継続している。冬季から春季に A 型流路の場合、英虞湾口の底層では DIN,  $PO_4\text{-P}$  ともに低い値を示し、N 型流路に比べ DIN は 31%,  $PO_4\text{-P}$  は 37% となった。

湾奥部の栄養塩の動向について、降水量との関係を図20に示した。英虞湾は閉鎖性の高い内湾で大河川の流入はない。夏季から秋季、湾奥部の表層では降水量が増えると DIN 及び  $PO_4\text{-P}$  ともに値が大きくなり、降水量の増減に応じていた。しかし、2019年及び2020年の夏季から秋季は、降水量が平年より多いものの DIN,  $PO_4\text{-P}$  は低い値であったため、更なる検討が必要と考えられた。

これらの基本的なデータを用い、シナリオ案を再検討することで改良を進め、赤潮の予測や被害軽減を目指していく。

#### ・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（増田ら 2018）。

今年度は広域赤潮が発生しなかったため、2018年に発生した*H. akashiwo*の広域赤潮について、湾外へ移動する過程に着目し解析を進めた。この広域赤潮は三河湾で発生した*H. akashiwo*の一部が移動して尾鷲湾で赤潮を形成した発生パターンであった(図21)。人工衛星画像により伊勢湾、三河湾から湾外への移動が確認された5月中旬ごろの降水量(蒲郡気象観測所)と表層塩分(3号ブイ:三河湾口付近)についてみると、5月上中旬にまとまった降雨があり、その後、表層塩分の低下がみられた(図22)。このことから、降雨の影響による河川水が*H. akashiwo*の一部が湾外へ流出を促進し、海流により尾鷲湾へ移動したと考えられた。引き続きデータの蓄積や他の発生事例の解析も進めていく。

#### 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先においては珪藻密度が9,000 cells/mL以上の場合や*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  $\mu$ M以下となることが確認されている。今年度はこれらに合致した状況が10月14日及び28日に確認された(珪藻密度及びDINは、10月14日に38,500 cell/mL, 2.5  $\mu$ M, 10月28日に10,610 cell/mL, 1.7  $\mu$ M)。なお、同時期はノリの海上採苗前後であったことから、色落ちの被害はなかった。その後は条件に合致する日は確認されていない。今後もデータを蓄積、検証するとともに、季節風等の気象条件や外洋水の湾内への波及による影響等も踏まえて、原因種の発生及び増減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察を行っている。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*赤潮の発生予察手法を検証した。

昨年度、2019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少なかった。3条件とも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として予測した。1月中旬以降に細胞密度が増加し、最高細胞密度は1,307 cells/mLとなった。この時期には*Skeletonema* spp.の細胞密度も増加しており、複合赤潮が発生し、ノリの色落ち被害が生じた。一昨年度はノリ漁期中の色落ちは発生しなかったが、*Skeletonema* spp.による赤潮終息後*E. zodiacus*が増えはじめ2019年4月には最高密度1,005 cells/mLまで増殖した。競合種の出現が*E. zodiacus*の消長により影響を与えていることから、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貧酸素の影響評価

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。過去に室内で実施した予備試験では、*H. circularisquama*は酸素濃度が低いところで増殖速度が高くなり、酸素濃度が高いところでは増殖速度が低くなった。*K. mikimotoi*は逆の傾向を示した。しかしながら、この試験では、供試株を一定の酸素濃度に曝すことが困難であったため、昨年度は、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。その結果、*H. circularisquama*および*Chattonella* spp.は4及び6 mg/Lの低酸素濃度下に5日間置かれた場合でも生残し、*K. mikimotoi*は、低酸素下では生残できないことが明らかとなった。しかし、酸素濃度を一定に維持するために、計数は0日目と5日目しかできず経日的な変化を捉えることはできなかった。そこで、今年度は本培養キットを用いて経日的に計数できるような試験系

を確立し、異なる酸素濃度下での増殖をより正確に評価した。試験1では、①細胞数を計数する際に、一旦パウチから出して計数する区、すなわち、1日1回酸素に曝される区と、②培養日数期間一定酸素濃度中に置かれる区の細胞密度の変化を比較した。①では試験開始から5日目までに *H. circularisquama* 培養株初期濃度 1,253 cells/mL から 2,340 cells/mL まで増加したのに対し (図 24 b)、②では貧酸素に曝される時間にかかわらず、細胞密度はほとんど変化しなかった (図 23 a)。さらに、5日間 2 mg/L 下に置かれた培養株をそのまま自然通気下で培養を継続すると、6~7日目までは増殖は見られなかったが、8日目から増殖した (図 23 b)。これらの結果から、*H. circularisquama* は貧酸素環境下において、増殖はほとんど見られないが生残することは可能であり、その後酸素濃度が上がると増殖することが明らかになった。また、計数時に一旦酸素が入ると、細胞密度は若干増加することが明らかになった。次に酸素濃度 0 mg/L, 2 mg/L と 6 mg/L (試験区), >10 mg/L (対照区; 自然通気) 下で、*H. circularisquama* の培養試験を行ったところ、いずれの試験区においても同種の細胞密度は試験期間中ほとんど変化せず、5日後まで生残が認められた (図 24 a, b, c)。*H. circularisquama* は、0 mg/L, すなわち、無酸素状態でも生残することが明らかとなった。さらに、試験期間中の顕微鏡観察より、酸素濃度にかかわらず、*H. circularisquama* は運動性やキツツキ運動能力を維持した。ただし、細胞サイズが若干大きくなる傾向が認められた。*H. circularisquama* は低酸素下に置かれても何故生きられるのか、何故分裂しないのか、これらの生理的側面を明らかにすることはシナリオ作りに貢献するために重要であると考え、現在解析中である。一方、*K. mikimotoi* は、2 mg/L と 6 mg/L (試験区), >10 mg/L (対象区) 下で培養すると、2 mg/L 下では 24 時間以内に、6 mg/L 下では 48 時間以内に全滅した (図 25)。*K. mikimotoi* は酸素濃度が低いところでは生残できないことが明らかとなったが、その理由については現在のところ不明であり、今後の課題であると考えている。

以上の結果から、*H. circularisquama* は無酸素に近い貧酸素状況下でも生残することができ、鉛直運動によって酸素濃度の高い深度で少しでも酸素を得ることができれば増殖可能と推察できる。したがって、現場では酸素濃度の低下に伴い、貧酸素下では増殖困難な渦鞭毛藻類や珪藻類など競合種の増殖は抑制され、低酸素下で生残または増殖できる *H. circularisquama* が優占すると考えられる。来年度は、他の有害藻類の酸素濃度の影響試験や、栄養塩や水温の与える影響についても評価し、シナリオに貢献できるデータの蓄積を図る予定である。

## 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・貧酸素水隗対策推進事業「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.
- 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.
- 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.

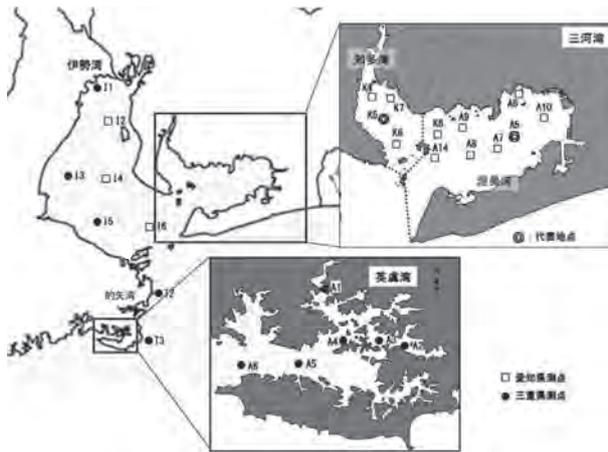


図 1 有害赤潮 調査地点図



図 2 ノリ色落ち原因珪藻 調査地点図

表 1 有害赤潮 調査項目

		三重県	愛知県
調査点数		伊勢湾(St. I1, I3, I5) : 3点 伊勢湾口(St. T2, T3) : 2点 英虞湾(St. A1~A6) : 6点	伊勢湾(St. I2, I4, I6) : 3点 三河湾(St. A5~A10, A14, K4~K8) : 12点
調査期間		4月~翌3月	4月~翌3月
調査頻度		月1回~週1回	月2回
観測層		伊勢湾 : 0m 伊勢湾口 : 0m 英虞湾 : 0, 5, 10, 20, B-1m	伊勢湾 : 0m, B-1m(I2のみ) 三河湾 : 0m, 5m(A5, K5のみ), B-1m(A5, K5のみ)
調査項目	水温	○	○
	塩分	○	○
	DIN	△(英虞湾のみ)	○
	PO <sub>4</sub> -P	△(英虞湾のみ)	○
	SiO <sub>2</sub> -Si	—	○
	クロロフィル a	△(英虞湾のみ)	○
	溶存酸素	△(英虞湾のみ)	○
有害種細胞密度		○	○

表 2 ノリ色落ち原因珪藻 調査項目

		三重県	愛知県
調査点数		伊勢湾ノリ漁場( St. N1~N6, N8~N20) : 19点	三河湾(St. A5~A10, A14, K4~K8) : 12点
調査期間		10月~翌3月	10月~翌2月
調査頻度		週1回	月2回
観測層		0m	0m, 5m(A5, K5のみ), B-1m(A5, K5のみ)
調査項目	水温	○	○
	塩分	○	○
	DIN	○	○
	PO <sub>4</sub> -P	○	○
	SiO <sub>2</sub> -Si	—	○
	クロロフィル a	—	○
	溶存酸素	—	○
	珪藻細胞密度	○	○

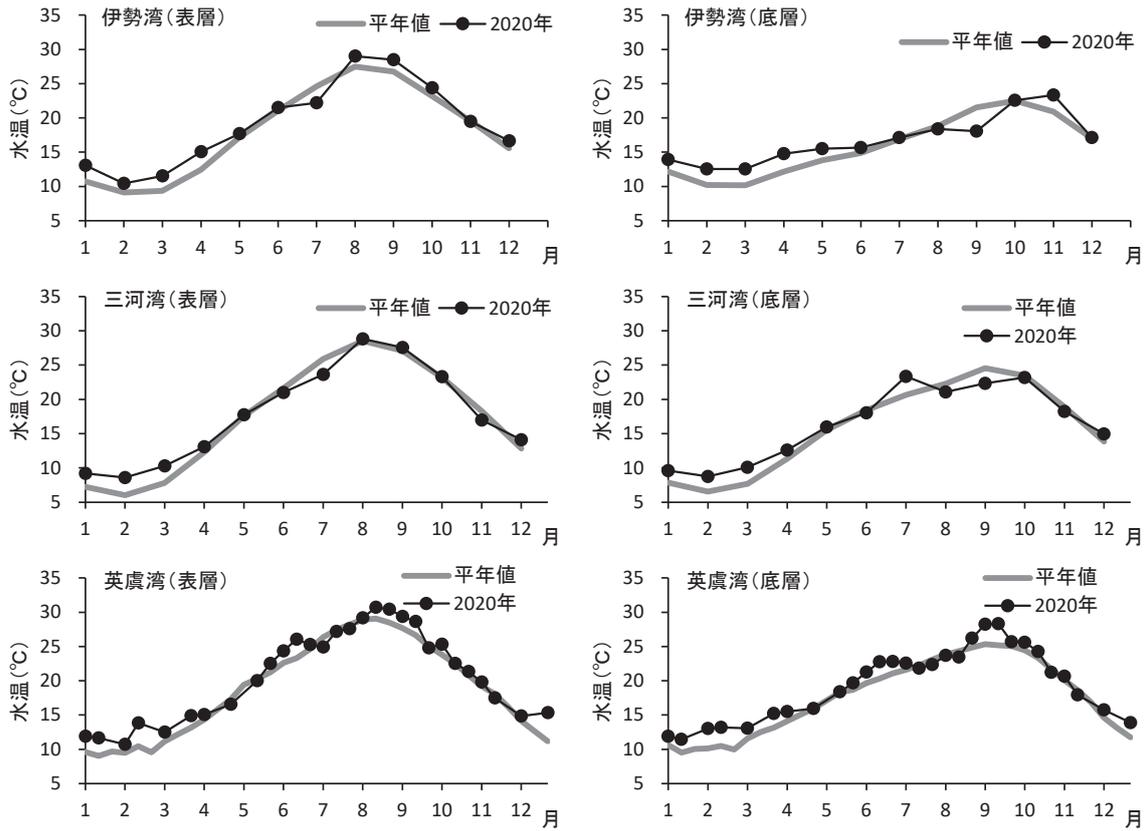


図 3 表層と底層における水温の変化 (伊勢湾 St.I4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)

※平年値：伊勢湾 (2000～2019 年度), 三河湾 (2000～2019 年度), 英虞湾 (1993～2019 年度)

※1～3月は前年度の値。以下同様。

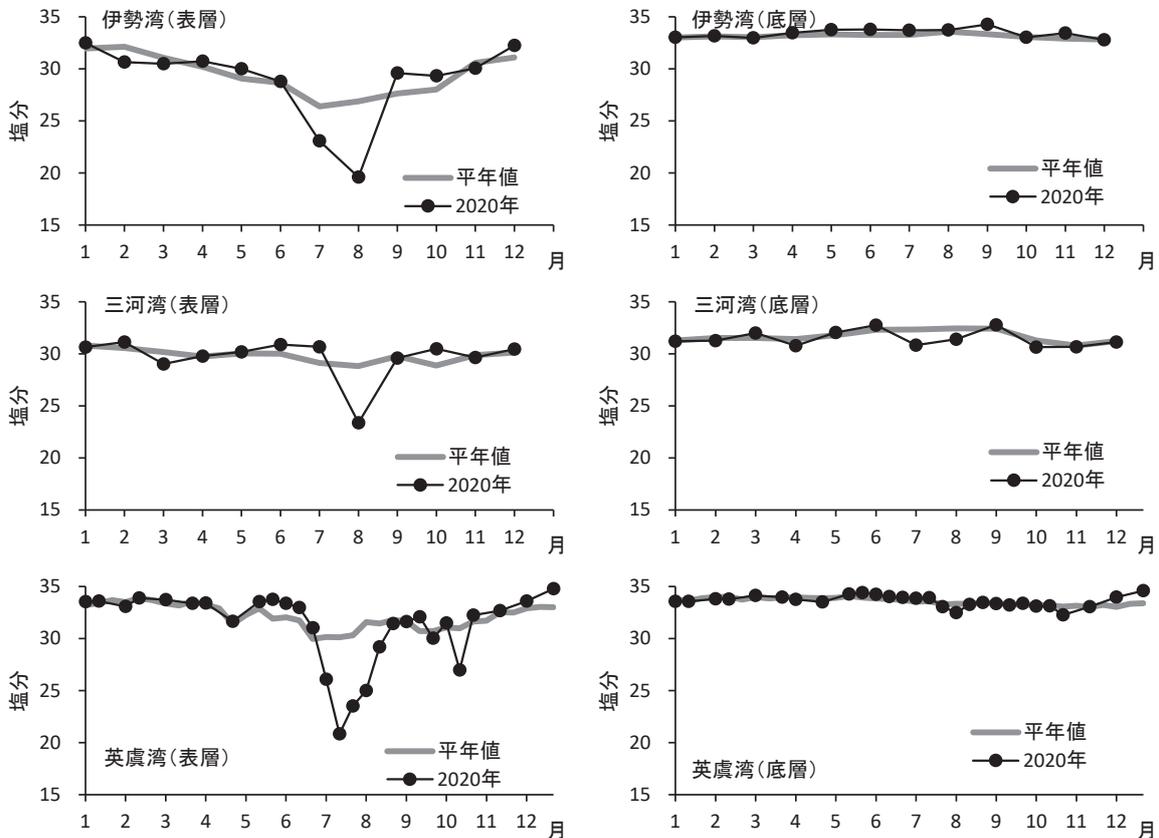


図 4 表層と底層における塩分の変化 (伊勢湾 St.I4, 三河湾 St.A5, 英虞湾 St.A3)

※平年値：伊勢湾 (2000～2019 年度), 三河湾 (2000～2019 年度), 英虞湾 (1993～2019 年度)