

熊野灘沿岸域における有害プランクトン優占化機構に関する研究

増田 健・藤原正嗣・栗山 功・山田大貴・中山奈津子¹⁾

1)国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所

目的

伊勢湾・三河湾・英虞湾海域において三重県と愛知県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し、赤潮発生予察や漁業被害軽減に資することを目的とする。また、有害プランクトン赤潮に対する対策として殺藻ウイルスを用いた赤潮除去技術の開発を行った。なお、この調査は水産庁委託事業として、愛知県水産試験場および国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所と共同で行った。

方法

1.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構築

1) 伊勢湾調査

伊勢湾内 St.I1,I3,I5 (図1) の3 定点において、2017年4月～2018年3月に月1回の頻度で調査を行った。調査水深は0m層とし、プランクトン出現密度、水温、塩分、溶存酸素量について調査した。

2) 伊勢湾口調査

鳥羽から志摩半島の沖合 St.T2 および St.T3 (図1) において、2017年4月～2018年3月に月1回の頻度で調査を行った。調査水深は0m層とし、プランクトン出現密度(有害種は濃縮サンプルも検鏡)について調査した。

3) 英虞湾調査

英虞湾内 St.A1～A6 (図1) の6 定点において、2017年4月～2018年3月に週1回～月2回の頻度で調査を行った。調査水深は0.5m, 2m, 5m, 10m, 20mおよびB-1m層とし、プランクトン出現密度、水温、塩分、溶存酸素量、クロロフィルa量、栄養塩(DIN, PO₄-Pを4地点, Si, DOPを1地点)について調査した。

2.ノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

伊勢湾ノリ漁場 St.N1～N6, N8～N20 (図2) の19 定点において、2017年10月～2018年3月にかけて月2回～週1回の頻度で調査を行った。調査水深は0m層とし、珪藻類の出現密度、水温、塩分、溶存酸素量、栄養塩(DIN, PO₄-P)について調査した。

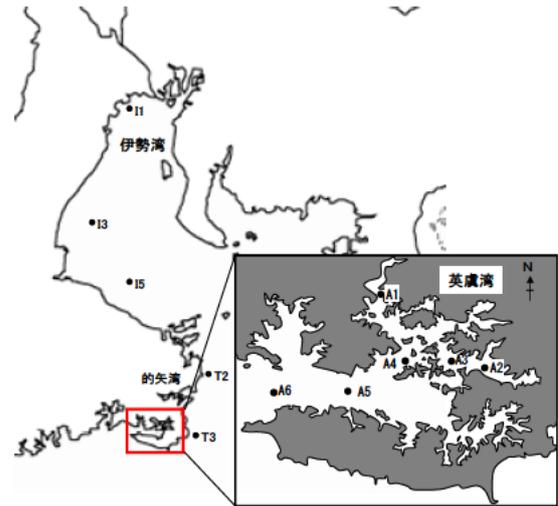


図1. 調査測点図(伊勢湾・伊勢湾口・英虞湾調査)

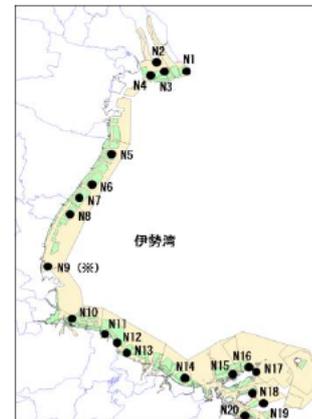


図2. 調査測点図(伊勢湾ノリ漁場調査)

3.ヘテロカプサ赤潮被害軽減に向けた底泥接種法現場適用の検討

Heterocapsa circularisquama への *Heterocapsa* 殺藻ウイルス(HcRNAV)感染に及ぼす水温の影響を把握するため、15℃, 20℃, 25℃において培養実験を行った。

結果および考察

1.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構築

1)有害プランクトンの出現状況

有害赤潮プランクトンのうち、特記種は以下の2種であった。

① *Karenia mikimotoi* は7月31日に英虞湾湾口部の10m

層で赤潮が確認された。8月9日にはいったん減少したが、8月15, 16日には湾奥部や浜島浦で再度増加した。最高密度は9,300細胞/mL(8月21日, 浜島浦, 5m層)であった。8月25日に浜島浦で高密度であったのを最後に赤潮は終息した。

②*Chattonella marina* 赤潮は6月20日に湾口部で確認され、8月15, 16日には湾奥部で赤潮が発生していることが確認された。8月21日には湾内各所で増加していた。その後減少し、9月4日に確認されたのを最後に赤潮は解消した。最高密度は4,450細胞/mL(8月21日, 立神浦, 2m層)であった。

今年は、三河湾で*K. mikimotoi*の赤潮が発生したのち、伊勢湾、英虞湾を含む熊野灘沿岸へと同種の赤潮が広がり、8月17日には尾鷲湾まで広がった。7月31日の海況速報(2017-80号)を確認すると、伊勢湾口付近から南向きの流れがあったことが確認され、この流れが同種の広域赤潮形成に影響していたと考えられた。

これまで*Chattonella* spp.のシストが英虞湾奥部で確認されている(山口ほか2013)一方、湾口部で湾外由来と思われる細胞が確認されることがある。本年も最初に確認されたのが湾口部であるため、湾外と湾内のどちら由来の細胞が赤潮化したのか明確ではない。

*H. circularisquama*は、英虞湾で6月5日に1cells/mLの密度で確認されたが、それ以上は増加しなかった。

2)*H. circularisquama* 赤潮の発生シナリオの構築

2000~2017年において各月の上中下旬に*H. circularisquama*が確認された頻度を求めたところ、7月下旬が最

も頻度が高く、次いで8月上旬が高かった。そこで7月下旬までに*H. circularisquama*の細胞密度が100 cells/mL以上と赤潮化した年を前期発生年、8月上旬以降に初めて赤潮化した年を後期発生年、赤潮化しなかった年を非発生年とした。各発生パターンがどのような環境等の違いにより分かれるのか把握するため、水温、塩分等各項目(表1)の平均値について有意差の有無を確認した。データは2000~2017年のものを用いた。1つの月を上中下旬に分け、各月各旬を開始時点とした2~6つの旬(約20日, 約30日, 約40日, 約50日, 約60日)の平均値についてMann-WhitneyのU検定を行った。各発生パターンの間で有意な差がみられた時期、項目、および値の傾向のうち主要なものを表2に示した。

前期発生年は、前年の11月中旬~12月下旬に湾外からの海水流入が少なく、2月上旬~3月中旬に強い風による海水の混合も起きない状況が続き、4月には十分な日照時間により珪藻が増加し、渦鞭毛藻へと種の遷移が起こる傾向があると考えられた(図3)。後期発生年は、湾外との海水の交換が起こるが、冬季強い風は吹かない状況が続き、4月に日照時間が十分でないため、5月になっても珪藻や渦鞭毛藻が少なく、さらに6, 7月になっても2m層の水温が低いという傾向があると考えられる。そして、8月上旬から9月下旬に0.5m層の塩分が高い年に後期発生赤潮が発生する傾向がみられた。また、非発生年は冬季に強い風が吹く、4月の日照時間が短い、8~9月に0.5m層の塩分が低めである等、*H. circularisquama*が増加しやすい条件の多くが満たされない年である可能性が考えられた。

表1. 解析に用いた項目

項目	測点	測点, 層	データの由来
水温, 塩分, 比重, 溶存酸素	湾口部, 湾奥部	表層, 2m層, 5m層, 10m層, 底層	三重県水産研究所
DIN, PO ₄ -P, 透明度, 珪藻細胞密度, 渦鞭毛層細胞密度 (<i>H. circularisquama</i> を除く)	湾奥部	表層, 2m層, 5m層, 底層	三重県水産研究所
表層と底層の水温の差, 表層と底層の塩分の差, 表層と底層の比重の差	湾奥部	—	三重県水産研究所
平均気温, 最低気温, 最高気温, 降雨量, 日照時間, 最大風速, 平均風速, 風向	—	—	南勢町アメダス
満潮時と干潮時の潮位差日合計・最大・最小	—	—	鳥羽潮位

表 2. 各発生パターン間で有意な差がみられた主要な時期, 項目および値の傾向

時期	項目	測点・水深	値の傾向
前年 10 月中旬～12 月下旬	塩分	湾奥部・B-1m 層	前期発生は後期発生および非発生より低い
前年 10 月中旬～12 月下旬	塩分	湾口部・B-1m 層	前期発生は後期発生および非発生より低い
2 月上旬～3 月上旬	最大風速		非発生は前期発生および後期発生よりも値が大きい
4 月上旬～4 月下旬	日照時間		前期発生は非発生より長い
4 月下旬～5 月中旬	珪藻	湾奥部・0.5m 層	前期発生は後期発生および非発生よりも多い
5 月中旬～6 月下旬	渦鞭毛藻 (注)	湾奥部・B-1m 層	前期発生は後期発生および非発生よりも多い
6 月中旬～7 月中旬	水温	湾奥部・2 m 層	前期発生は後期発生および非発生よりも高い
8 月上旬～9 月下旬	塩分	湾奥部・0.5m 層	非発生は前期発生および後期発生よりも低い

注 *H. circularisquama* を除く。

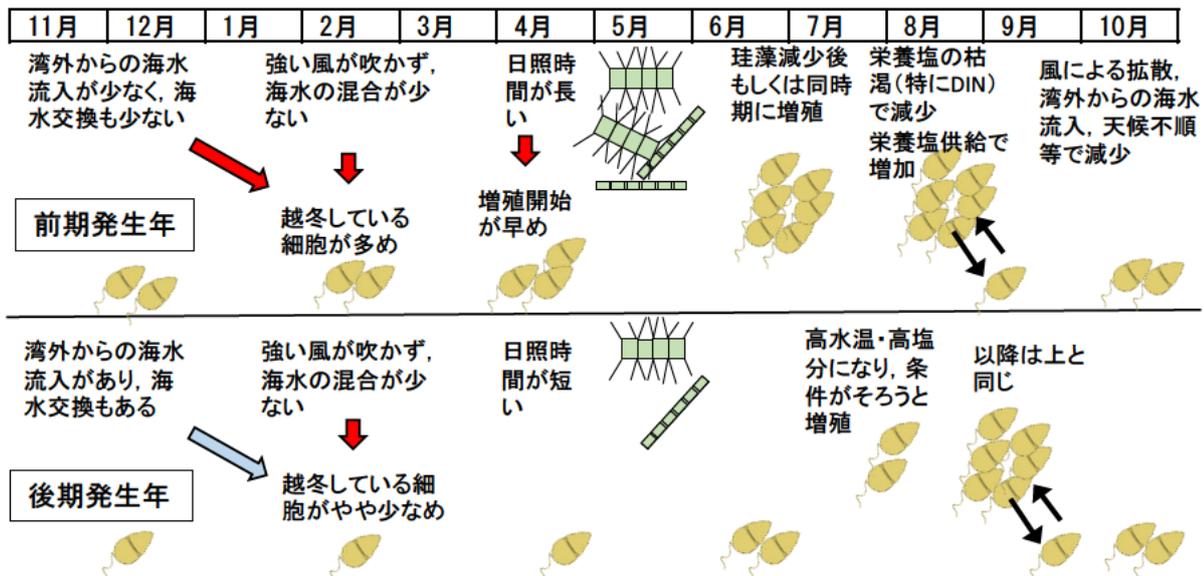


図 3. 英虞湾における *H. circularisquama* 発生シナリオ模式図

表 3. 線形判別分析で得られた判別係数について

項目	判別係数	標準化判別係数
塩分 B-1m 層(11 月中旬～12 月下旬)	-1.781	-0.390
最大風速(2 月上旬～3 月上旬)	-0.97	-0.748
日照時間(4 月上旬～4 月下旬)	0.519	0.647
水温 2m 層(6 月中旬～7 月中旬)	0.333	0.287
塩分 0.5m 層(8 月上旬～9 月上旬)	0.564	0.726
判別率(%)	77.78	

また, これらの有意差がみられた項目のうち, 短期的な変動が大きい珪藻および渦鞭毛藻の細胞密度を除いた項目について赤潮の発生・非発生を目的変数とした判別分析を行った。発生・非発生は, 前期発生年を 2, 後期発生年を 3, 非発生年を 1 とするカテゴリーデータとして扱った。また, 得られた判別係数について交差妥当性の確認を行った。

解析で得られた判別係数を表 3 に示す。標準化判別係数から判断すると, 1 月下旬～3 月上旬の最大風速, 8 月上旬～9 月上旬の 0.5 m 層の塩分, 4 月上旬～下旬の日照時間, 11 月中旬～12 月下旬の B-1 m 層の塩分 6 月中旬～7 月下旬の 2 m 層の水温の順で影響が大きいと考え

られる。

各年の実測値からモデル式で得られた値のヒストグラムを図4に示した。判別式の計算結果は、前期発生年には-36.22以上、後期発生年には-37.48~-35.10、非発生年には-38.15以下の値であり、前期発生年と非発生年は分けることができたが、後期発生年は、前期発生年と一部重なっていた。交差妥当性で確認した判別率は77.78%であった。また、前期発生年と後期発生年を区別せず、発生年か非発生年かの2パターンだけで判別した場合、18年中17年が正しい判断をしており、判別率は94.44%であった。これは、18年間のうち発生年の割合である72.22%よりも高く、常に発生年と仮定するよりも判別率が高いと言える。

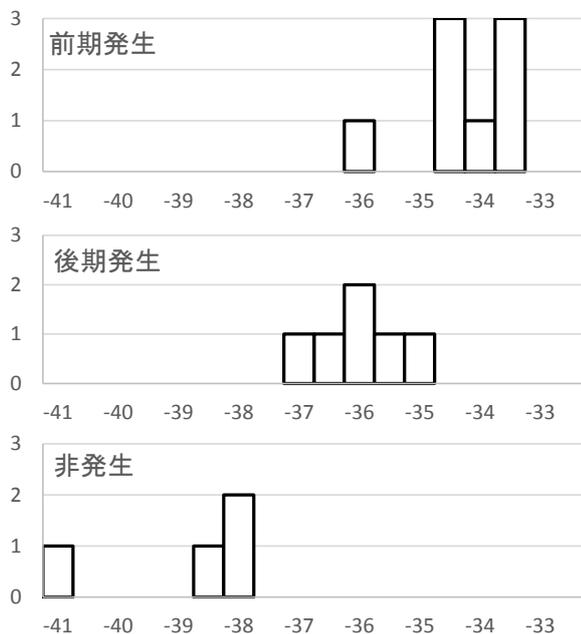


図4. 各発生パターンにおけるモデル式計算値のヒストグラム

昨年度の解析では、7月上旬～8月中旬には栄養塩、特にDINの枯渇が同種の減少に影響を与えている可能性が高く、8月下旬～9月中旬には底層の増殖速度には風の南北成分の影響を与えている可能性が高く、10月下旬～11月中旬の底層の降水量と表層の水温から暖水波及と天候不順が同種の減少に影響を与えている可能性が高いとの結果であった。今年度の解析結果とは特に重なる項目はないが、矛盾する項目もない。このことから、長期的な視点で見た場合は今年度の解析結果で関係が深いと考えられる項目が重要であり、赤潮化直前から赤潮終息時期までは昨年度の各時期に短期的な影響を与える項目が重要であると考えられた。

2. ノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

伊勢湾の三重県側のノリ漁場では、10月下旬に接近した台風20号、22号の影響により漁期開始時期が例年よりも大幅に遅れた。11月上旬から中旬にかけて *Skeletonema* spp.が最高密度14,800 cells/mLと高い密度で発生しDINの低下が確認されたものの、当該時期にはまだ養殖段階が育苗初期であったため、ノリ色落ち被害は一部地区で発生したのみであった。

11月中旬から12月中旬にかけては、低密度ながら珪藻の発生は確認されており、降雨も少なかったため、DINは徐々に低下していき12月上旬以降には60~80µg/Lで推移した。

12月下旬から珪藻類の増加傾向が見られ、1月上旬から鈴鹿地区以南でノリ色落ち被害が発生した。その後、1月下旬まで *Skeletonema* spp.が最高密度10,000 cells/mL程度で確認された。今年度、伊勢湾の三重県側のノリ漁場で最も高密度で確認された珪藻は *Skeletonema* spp.であり、その最高密度は20,870 cells/mLであった。次点で高密度となった *Chaetoceros* spp.や *Thalassiosira* spp.はそれぞれ、1,660 cells/mL、1,140 cells/mLとその密度に大きく差が見られた。また、大型珪藻の密度については *Eucampia* spp.や *Rhizosolenia* spp., *Ditylum* spp.等で数10 cells/mL程度で確認されたのみであった。これらのことから、今漁期においてノリ色落ちを伴う栄養塩低下の主な原因となった珪藻の優占種は、小型珪藻の *Skeletonema* spp.であったと考えられた。伊勢湾におけるノリ色落ちの発生を早期に把握することを目的として行ったこれまでの分析により、北中部に位置する鈴鹿地区において珪藻密度が9,000 cells/mL以上の場合にはすべての事例においてDINが100µg/L以下となることが確認されている。今年度の珪藻密度についても直近10年間のデータを用いてDINと珪藻密度の関係を図5に示したところ、これまでと同様の結果が得られた。使用したデータは、鈴鹿地区における珪藻合計密度が1,000 cells/mL以上となった時のピーク値と、対応するデータとして同日もしくは1週間後のDIN値のうちの最低値をプロットしている。

今年度は *Skeletonema* spp.による栄養塩の低下が発生したのみで大型珪藻の危険密度の推定には至らなかった。今後、さらにデータの収集を進め、伊勢湾におけるノリ色落ち原因種ならびに原因種毎の危険密度をより詳細にしていく必要がある。

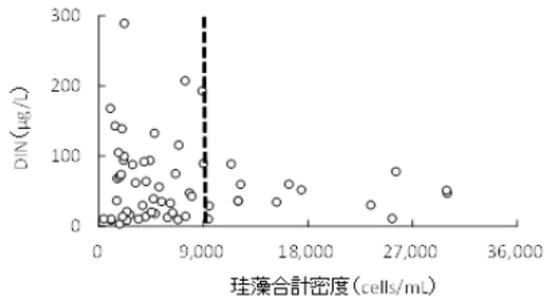


図5. 鈴鹿地区における珪藻の発生密度と DIN 濃度との関係

3. ヘテロカプサ赤潮被害軽減に向けた底泥接種法現場適用の検討

水温 15℃では、ウイルスを接種しなかった対照区では細胞密度が増加したのに対し、ウイルス接種区では減少した。20℃および 25℃では、対照区と比較して、ウイルス接種区で *H. circularisquama* の増殖が抑えられたが、初期密度よりは増加した。水温が高い場合には *H. circularisquama* の増殖速度がウイルス感染による死滅速度を上回り、全体として細胞が増えたと考えられた。

なお、本研究の成果の一部は、2017 年度水産庁赤潮・貧酸素水塊対策推進事業で得られたものである。