

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
(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地点において、平成28年4月～平成29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、平成28年4月～平成29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地点において、平成28年4月～平成29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 濃度、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20地点において、平成28年10月～平成29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。

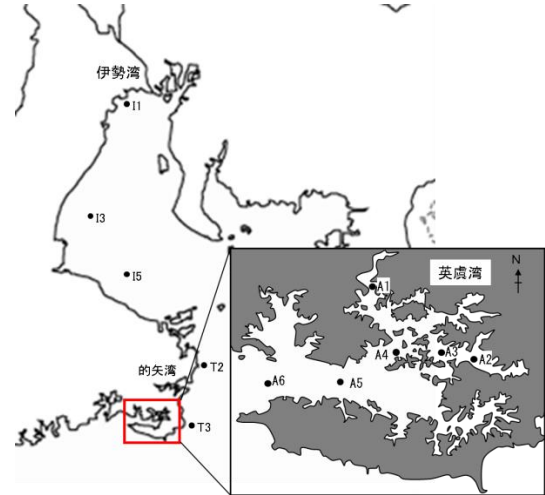


図1. 調査側点図(伊勢湾・伊勢湾口・英虞湾調査)

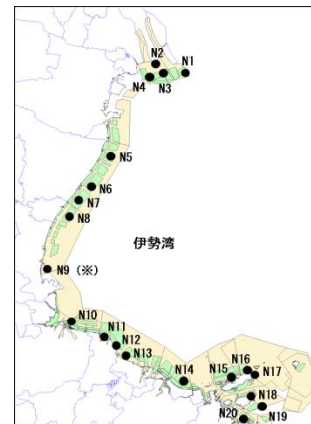


図2. 調査測点図(伊勢湾ノリ漁場調査)

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

底泥および *Heterocapsa* 殺藻ウイルスウイルス(HcRNAV)の暴露による、貝類生残への影響を検証するために、泥を接種しない区、泥1g/L接種区、泥10g/L接種区、ウイルス接種区の4つの区を設置した。

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 *H. circularisquama* は、英虞湾では、9月20日に湾奥から湾中央で確認された。9月30日に立神浦で赤潮（100cells/mL以上）が確認された。10月3日には鶴方浦でも赤潮化しているのが確認された。この日を最後に赤潮状態が終息し、細胞は11月7日まで確認された。最高密度は660cells/mL（10月3日、鶴方浦、0.5m）であった。

同種が英虞湾で確認されてから、出現した年では初認が最も遅い時期となった。また、本年度は、底層における溶存酸素量の低下が平年と比べて遅く、貧酸素状態と *H. circularisquama* 赤潮の発生に関係がある可能性が指摘されていることから考えると、本年も何らかの関連があった可能性が考えられる。

② *Chattonella marina* 赤潮は8月18日に神明浦で確認され、8月22日には湾中央部から湾奥部にかけての範囲で赤潮が発生していることが確認された。8月30日には湾口部まで赤潮が広がった。9月8日まで赤潮状態が持続し、細胞は9月12日まで確認された。最高密度は1,950cells/mL（8月26日、神明浦、5m）であった。

これまで英虞湾奥部で *Chattonella* spp. のシストが確認されている（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。

2) *H. circularisquama* 赤潮の発生シナリオの構築

H. circularisquama については、昨年度に7月下旬～8月中旬の表層の塩分（ x_1 ）、11月中旬～12月上旬の表層の塩分（ x_2 ）、5月中旬～6月上旬の表層珪藻細胞密度（ x_3 ）、7月上旬～中旬の気温（ x_4 ）、12月上旬～中旬の気温（ x_5 ）、4月上旬～下旬の日射時間（ x_6 ）および7月下旬～8月中旬の日射時間（ x_7 ）から求めた同種の赤潮の発生・非発生に関する判別式（式）にそれぞれの値を代入し、平成28年度の状況を判定できるか確認した。

$$\text{計算値} = 0.319x_1 + 0.336x_2 + 0.953x_3 + 0.292x_4 + 0.677x_5 + 0.108x_6 + 0.458x_7 \quad (\text{式})$$

計算結果は42.9と *H. circularisquama* 赤潮発生年を示す39を上回る値であった。また、5月末までは実測値、6月以降は平年値を代入して予測に用いたところ、42.2と同様に赤潮発生年との判断が出ており、赤潮発生年の予測手段としても機能していた。

各層の *H. circularisquama* の増減を基に見かけ上の増殖速度（divisions/day）を計算し、増殖速度と水温、塩分等各項目（表1）との間の相関について確認した。出現時は前の観測時に検出限界以下である0.1cells/mL、終息時は次の観測時に0.1cells/mLであったと仮定した。

1つの月を上中下旬に分け、各月各旬を開始時点とした約30日について相関を確認した。*H. circularisquama* の増殖速度、水温、塩分、比重、溶存酸素、栄養塩、珪藻等プランクトン細胞数（ \log_{10} ）については立神浦の測定の観測結果を、アメダスの測定項目（気温、降雨量、日射時間、風速）は南伊勢町のデータを、潮位については鳥羽のデータを用いた。

増殖速度と有意な相関が見られた項目のうち、主要なものについて表2に示す。また、それらと増殖速度との関係を図3～7に示す。

表1. 解析に用いた項目

項目	層	データの由来
水温、塩分、比重、溶存酸素、クロロフィル a 、DIN、PO $_4$ -P、珪藻細胞密度	表層、底層 (B-1m)	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	—	三重県水産研究所
平均気温、降雨量、日射時間	—	南勢町アメダス
満潮時と干潮時の潮位差（日合計、最大）	—	鳥羽潮位

表2. 増殖速度と有意な相関が見られた項目のうち、主要なものについて

項目	増殖速度の層		表層		底層	
	項目の層	気象	表層	気象	5m	底層
		降水量	水温	風東 風西	風南 風北	溶存酸素 DIN PO $_4$ -P
7月	上旬					○ ○ ◎
	中旬					○ ○ ◎
	下旬					○ ◎ ◎
8月	上旬					○ ○
	中旬					○
	下旬				◎	
9月	上旬			◎	◎	
	中旬			○	○	
10月	下旬	◎	○			
11月	上旬	○				

○ : $P < 0.05$, ◎ : $P < 0.01$

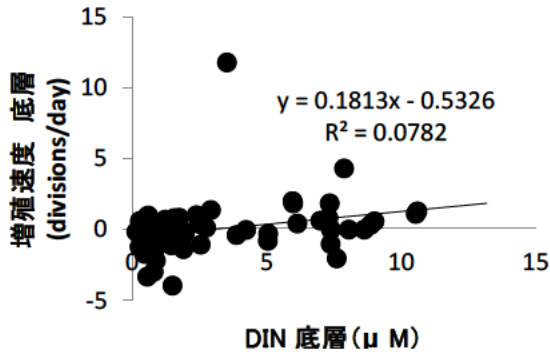


図3. 7月上旬～8月中旬における底層の増殖速度と底層のDIN

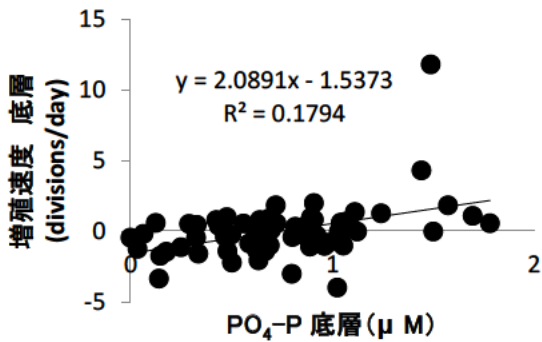


図4. 7月上旬～8月中旬における底層の増殖速度と底層のPO₄-P

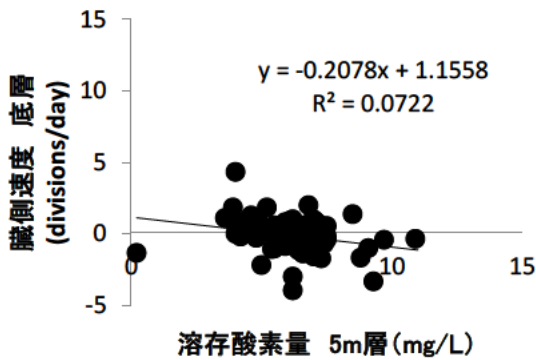


図5. 7月上旬～8月中旬における底層の増殖速度と5m層溶存酸素量

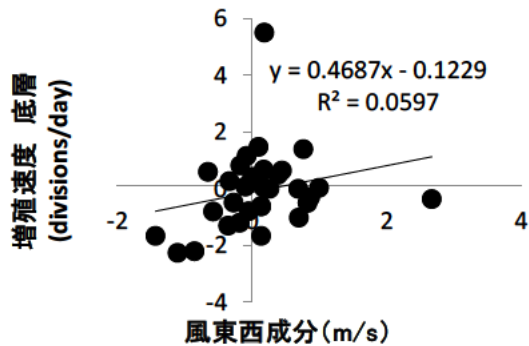


図6. 8月下旬～9月中旬における底層の増殖速度と風東西成分

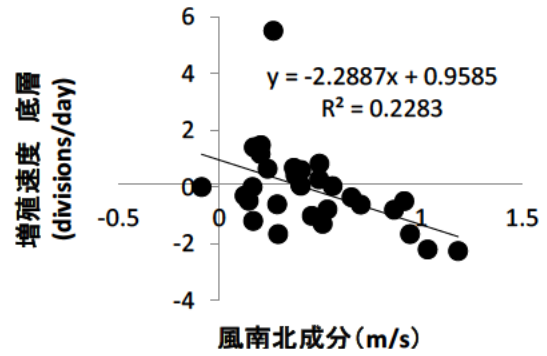


図7. 8月下旬～9月中旬における底層の増殖速度と風南北成分

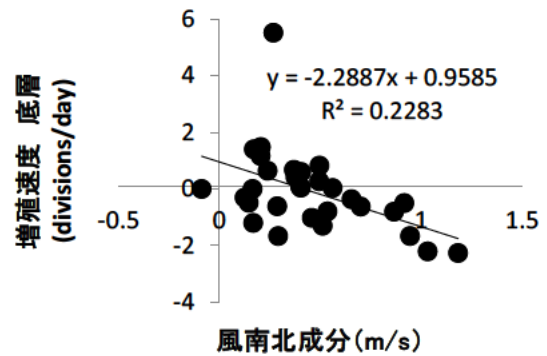


図8. 10月下旬～11月中旬における表層の増殖速度と表層水温

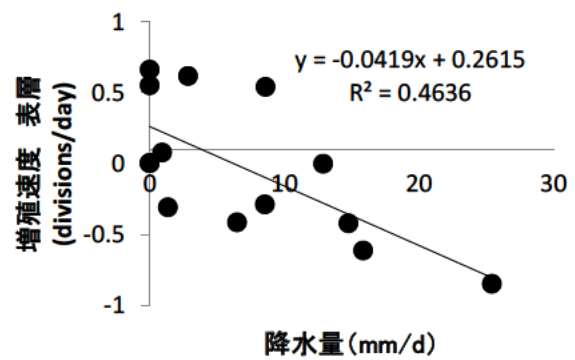


図9. 10月下旬～11月中旬における表層の増殖速度と降水量

表3. 7月上旬～8月中旬における底層の増殖速度, 底層のDIN, 底層のPO₄-Pおよび5m層の溶存酸素量に関する重回帰解析

項目	係数	標準化係数
DIN 底層	0.1554	0.3630
PO ₄ -P 底層	0.4511	0.1357
溶存酸素 5m	0.0054	0.0007
切片	-0.9292	0
P	0.00278	

表 4. 8 月下旬～9 月中旬における底層の増殖速度、風の東西成分および南北成分に関する重回帰解析

項目	係数	標準化係数
風東西成分	0.1827	0.0953
風南北成分	-2.1361	-0.4459
切片	0.8689	0
P	0.02295	

表 5. 10 月下旬～11 月中旬における表層の増殖速度、表層の水溫、および降水量に関する重回帰解析

項目	係数	標準化係数
水溫 表層	2.6563	-0.5070
降水量	-2.1361	-0.4512
切片	-0.0278	0
P	0.00233	

7 月上旬～8 月中旬の底層の増殖速度と底層の DIN および PO₄-P との間には正の相関、5m 層の溶存酸素量と間には負の相関が見られた。8 月下旬～9 月中旬の底層の増殖速度と風の東西成分との間には正の相関が、南北成分の間には負の相関が見られた。10 月下旬～11 月中旬の表層の増殖速度と降水量および表層の水溫との間には負の相関が見られた

上記の時期の相関が見られた項目について重回帰解析を行った。7 月上旬～8 月中旬の底層の分析結果を表 3 に示す。標準化したデータでの解析結果から考えると、同時期の底層の増殖速度には底層の DIN の影響が強く、DIN とは正の相関が見られた。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考えられる。

8 月下旬～9 月中旬の底層の分析結果を表 4 に示す。標準化したデータでの解析結果から考えると、同時期の底層の増殖速度には風の南北成分の影響が強く、北風が強いと増殖速度が下がる傾向が見られた。北風により海水の混合が起ることで底層の同種が減少した可能性が考えられる。

10 月下旬～11 月中旬の底層の分析結果を表 5 に示す。標準化したデータでの解析結果から考えると、同時期の表層の増殖速度には降水量と表層の水溫が同程度の影響を与えており、どちらも負の相関が見られた。同時期の気温と水溫の関係を見ると気温よりも水溫が 4.8±1.7℃ 高い傾向がみられた。暖水波及と天候不順が同種を減少させた可能性が考えられる。

2. ノリ色落ち被害の発生シナリオ構築

伊勢湾における珪藻の発生については、北中部の桑名地区や鈴鹿地区で初期発生が確認され、鈴鹿地区や津市を中心に高密度化するパターンが認められている。また、これまでノリ色落ちの発生についても、北中部に位置する鈴鹿地区においてノリ色落ち被害が発生した後、被害が徐々に湾口に向けて伝播していく傾向が認められており、鈴鹿地区は伊勢湾ノリ漁場におけるノリ色落ちの発生を早期に把握するうえで重要な水域と位置付けられる。

そこで、伊勢湾におけるノリ色落ちの発生を早期に把握するため、鈴鹿地区における珪藻の発生密度と DIN 濃度との関係について図 10 に示した。データは、過去 10 年間の鈴鹿地区における漁期中の珪藻合計密度が 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。珪藻密度にかかわらず、色落ち基準である 100μg/L 以下の値が認められるものの、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 以下となっていた。

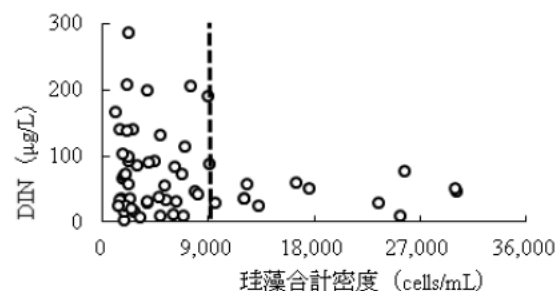


図 10. 鈴鹿地区における珪藻の発生密度と DIN 濃度との関係

また、今年度は、*Eucampia* spp. が 800 cells/mL と大型珪藻類で最も多く出現した。今年度もっとも細胞密度の高くなった小型珪藻の *Skeletonema* spp. と *Eucampia* spp. の体積を概算したところ、*Skeletonema* spp. は 1,138 μm³、*Eucampia* spp. は 21,600 μm³ でありその体積比はおおよそ 1:19 となった。このことから、珪藻密度 9,000 cells/mL の 19 分の 1 である 470 cells/mL 程度まで大型珪藻である *Eucampia* spp. が出現することは、珪藻密度 9,000 cells/mL と同様の影響を与える可能性が示された。また、鈴鹿地区、津地区における *Eucampia* spp. の発生密度と DIN 濃度との関係について図 11 に示した。図 10 と同様に細胞密度にかかわらず、色落ち基準である 100μg/L 以下の値が認められるものの、珪藻密度が 540 cells/mL 以上の場合にはすべての事例において DIN が 100μg/L 以下となっていた。これらのことから、伊勢湾海域では 500 cells/mL 程度まで大型珪藻である *Eucampia* spp. が出現すると、DIN が 100μg/L 以下となる可能性が示された。

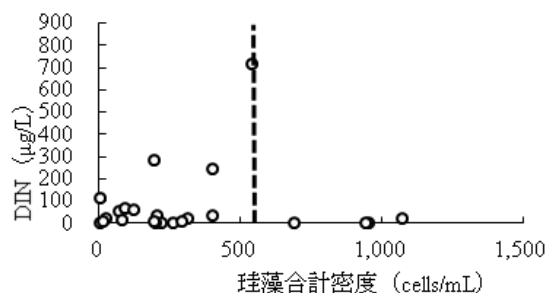


図 11. 鈴鹿地区における珪藻の発生密度と DIN 濃度との関係

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

底泥およびウイルス (HcRNAV) の暴露による、貝類生残への影響の検証では、アコヤガイとマガキは全ての区で死滅する貝は認められなかった。アサリは対照区でも試験区でも 1 個体の死滅が認められたため、自然死と考えられた。今回の試験では底泥やウイルスを極端に多量に接種したが、三重県の主要養殖貝類である、アコヤガイやマガキの生残には影響を与えなかった。

なお、本研究の成果の一部は、平成 28 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。