

平成 16 年 5 月 19 日  
第 9 回有明海・八代海  
総合調査評価委員会資料  
独立行政法人水産総合研究センター

## 行政対応特別研究

「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」について

### 1. 調査の目的

種の多様性に富み、生産力の極めて高い有明海はのり養殖及び魚介類の生産漁場として重要な海域であるが、近年になって魚介類に有害な赤潮の頻発、低酸素水塊の発生、栄養塩の減少が顕著になるなど、漁場環境が変化してきている。

特に平成 12 年漁期ののり養殖においては、秋季の大量降雨による塩分の低下、高水温の持続、日照時間の大幅な増加等により、これまでに見ない珪藻類の早期異常発生等によって「養殖のりの色落ち」が発生し、沿岸 4 県ののり養殖業者に甚大な被害を与えた。

この原因を解明し、安定した生産を可能とする対策の確立が行政的にも緊急の課題であった。

そこで、有明海の海洋環境に関わる気象学的、海洋学的要因について既存のデータを集約して解析し、漁場環境がどのように変動してきたのかその過程を把握すること。併せて、のり養殖生産量や二枚貝等魚介類の漁獲量の変動とそれら環境変動との関係を、室内実験や屋外調査によって明らかにしようとするものである。

これらの調査・研究によって、有明海ののり養殖や二枚貝の生産阻害要因を明らかにし、それらの除去や軽減に資する対策技術を開発することにある。

調査は大きく 3 つの柱からなっている。

- 1) 漁場の海洋環境の変動の把握
- 2) ノリ養殖と二枚貝等の生産阻害要因の解明とその除去及び軽減
3. 漁場・資源管理による生産回復とその維持手法の開発

### 2. 調査結果

#### 1) 漁場の海洋環境変動

### (1) 有明海の流動変化

- ・ 年平均潮位および年平均干潮位の上昇（特に 1995 ～ 1999 年）を確認し、年平均潮差の減少を把握。
- ・ 平成 13 年 2 月の観測によると 25 年間前の同時期の推定値と比較して、有明海全体の流れは約 12 % 低い値を示した（平成 14 年 3 月 27 日の第三者委員会で発表済み）。今後更なる調査研究が必要。
- ・ 夏季、諫早湾口部（小長井沖）の流況について、大潮時には上層では北東の（湾外へ）、下層では西（湾内へ）の平均流を観測。陸水が湾奥に供給された場合に発生する流動構造と一致。表層は風の影響を強く受ける。
- ・ 大潮期、小潮期の残差流に関しては、傾向が大きく異なることがわかった。竹崎沖（P5）、小長井沖（P4）ともに①大潮期は表層で諫早湾への流入、底層で流出傾向、③小潮期ではその逆であった。

### (2) 水質環境

浅海定線調査データの解析から、過去 30 年間に以下の変化が見られた。

- ・ 有機物負荷量（COD）の増大
- ・ 透明度の上昇；浮泥の巻き上がりの減少。河川流量に大きな変化はない。透明度は夏季に低いが、秋季から春季まで高い状態で推移。

### (3) 貧酸素水塊

- ・ 貧酸素水塊（酸素飽和度 40 % 以下）の広域的連続観測から、発生地点は諫早湾内及び有明海北西部の干潟域周辺および海底の窪地のよどみが形成される海域であることを特定。
- ・ 夏期（6 ～ 9 月頃）の小潮時に貧酸素水塊が形成されやすく、有明海奥部の貧酸素水塊は大潮時には潮汐にともなって有明海中央部まで移動。

### (4) 底質及び浮泥

- ・ 有明海奥西側と諫早湾において、粒子が細かい河川由来の粒子及び植物プランクトン由来の粒子が溜まり有機炭素含量が高く、貧酸素水塊が発生。
- ・ 有明海における底質の堆積速度を  $^{210}\text{Pb}$  年代測定法により明らかにした。諫早湾口では 1970 年後半から 1980 年代初頭から堆積速度が速くなり、以前より浮泥が堆積するようになった。
- ・ 潮流の減少によって浮泥の巻き上がりが減少し、透明度が増加することによって太陽光の透過が増し植物プランクトンが増加する傾向。また、小潮期に干潟前面において浮泥が沈降することにより、貧酸素水塊が発生。

### (5) 基礎生産

- ・年間の一次生産量は  $753\text{gC}/\text{m}^2/\text{year}$  と、瀬戸内海の3倍以上、東シナ海陸棚域の2倍以上と他の海域に比べて高い。
- ・海表面クロロフィル濃度は10~1月に高かったが、1~7月には低く春季における増殖は認められなかった。光合成有効光量子量は月により大きく変動し、有光層内の積算一次生産量 ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ ) は、8月以降増加して10月に最大となり、1月と5月に若干増加したものの11~7月の期間は概して低かった。
- ・海表面における一次生産量 ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ ) は、夏季に高く、秋季~春季に低かった。また、海表面塩分が低く透明度が低い湾奥部で高い傾向があり、有光層積算一次生産量は、中程度の透明度及び塩分を観測した湾中央部で高い傾向があった。
- ・光利用係数は年間を通じて大きく変動しなかったことから(平均0.0181)、光環境からある程度一次生産量を算出できることが示唆された。

#### (6) 底生動物 (ベントス)

- ・主要な底生生物の分布を把握(2002-2003年)。分布密度は6月に最高、10月に最低。現存量は5-8月に少なく、秋-冬に多く2月に最高を示した。
- ・底質と分布の関係では、泥底域では季節変化が少なく、砂底域では大きい。分布密度は砂底域に高く泥底域は小さい。
- ・分布密度は経年的に(1997年から2003年にかけて)減少傾向。
- ・主たる出現種は多毛類(ダムコガイ)、甲殻類(ドロクダムシ科)、二枚貝(シズクガイ、アサリ、ホトギス、ヒロトマクラ【イガイ】)。
- ・3カ年の出現種は多毛類200種、ヨコヒキ類70種、二枚貝40種。

#### (7) 赤潮

- ・2000年ノリ大不作の原因となった赤潮種リゾソレニア・インブリカータの培養実験から増殖力が他の珪藻類に比べて弱いことが判明。
- ・リゾソレニア・インブリカータは外海域からの流入種である可能性(水温と塩分の組み合わせでは  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 35psu で最大増殖速度を示す。有明海では海底泥中にシストが見つからない。他の珪藻類より低栄養塩濃度で増殖可能なため、長期にわたり継続する能力がある)。
- ・主要有害赤潮種のシスト(休眠期細胞)の分布状況を詳細に明らかにし、シスト形成の有無により2通りの赤潮発生機構(シスト供給型、栄養細胞供給型、あるいは混合型)があることを提起した。
- ・スカルネ、キトセラ主体赤潮に比べ、リゾソレニア・ユカンビア主体赤潮の継続日数は長い傾向がある(平均継続日数 スカルネ・キトセラは17日、リゾソレニア・ユカンビアは50日)

- ・近年の警戒種の一つであるコックロディニウム・ポリクリコイデスは、諫早湾・有明海奥部では沖側に発生する傾向があることを把握（低栄養で高塩分の外洋水系海域に出現。高塩分領域で至適増殖を確認）。

## 2) ノリ養殖の生産阻害要因とその除去及び軽減化

- ・生産量は昭和30年代前半（約3億枚）から平成7年（約44億枚）まで増加。この間昭和42年、平成8年に不作がみられた。
- ・ノリ養殖生産は不安定、阻害要因として病気と赤潮の発生が大きな問題。
- ・ケイ藻および有害赤潮種フィプロカプサ・ジャポニカとの混合培養によるノリの色落ちとの関係を把握。

（ノリの幼芽期には混合液の細胞数が増えるほど異常芽出現率が増加し、ホモジナイズによる細胞破壊ではさらにそれが高くなった。葉体は細葉となり成長の遅れが見られた。葉体の回復には摘採が必要）

- ・栄養塩環境が悪化した場合の流速と色落ちとの関係を把握し、ノリ漁場の流況改善のためのノリ網設置技術を検討。小間の設置比率・方向を変更することで色落ちの進行を抑えることができる。具体策として小間の設置比率の再検討と設置方向の改変が有効。
- ・色落ち対策を迅速に行うため色落ち簡易評価技術を開発。
- ・赤潮プランクトン除去基礎技術としての乾泥散布や耕耘のような物理的方法は海底泥中のシストを巻き上げることになり、赤潮プランクトンの増殖を助長しないよう実施時期、場所に留意する必要がある。

## 3) 二枚貝の生産阻害要因とその除去及び軽減化

### (1) タイラギ

- ・1999年以前の減少要因は、底質の細粒化と過重な漁獲圧が主因
- ・2000年以降はタイラギの立ち枯れから判断して漁獲圧以外に減少要因
- ・その要因を広範に検討し、貧酸素水塊、大雨、食害、寄生虫、感染症などに疑いが持たれた。
- ・ただし、特定の要因だけで広域的な斃死状況を説明することは困難。複合的な要因で発生。海域により斃死原因が異なる可能性。
- ・稚貝は砂～砂泥の海底に高密度な発生（着底）が見られたが、シルト、粘土が堆積した海底には殆ど認められない。底質の状態が着底後の生育大きな影響を与える。底質の細粒化は稚貝の発育不良、資源の減少の一因。

### (2) アサリ

- ・肥満度、身入り率の季節変化から夏季に衰弱することを確認（小長井地先）
- ・アサリ漁場の造成には基盤の安定性の確保が重要であることを確認。熊本

県緑川河口域の調査では覆砂漁場では高密度の稚貝着底量が見られた。アサリ資源の動向を把握するため、稚貝の発生場所を明らかにし、浮遊幼生の供給経路を解明することが重要。

- ・生産の回復には、稚貝の分布域など発育段階別の生態特性を考慮した効果的な覆砂、耕耘等による底質の改善、食害防止（捕食者の駆除）、稚貝の高密度分布域での間引き・移植、乱獲防止と母貝集団の確保、保護区の設定と輪作など広域的で積極的な漁場管理が効果的。

## 【用語】

年平均潮位：海面は潮の満ち欠けによって上下するが、その高さを基準面（最低水面）からの高さで表したものを潮位、その潮位を1年間で平均した値が年平均潮位。

年平均干潮位：干潮時における潮位を1年間で平均した値。

年平均潮差：満潮時の潮位（高潮位）と干潮時の潮位（低潮位）の差、即ち干満の潮位変動幅を潮差と言ひ、それを年平均したもの。

ひも流し式観測：ポリエチレン瓶にひも（5 m）を付けて、錨泊した船から海面へ投入し、ひもが伸びきる時間で流速を、伸びた方角で流向を観測。

COD：化学的酸素要求量 Chemical Oxygen Demand の略であり、海水中に含まれる有機物の量を示す。有機物を分解するのに必要な酸素の量。有機性工場廃水や都市生活排水により港湾内、沿岸域で増加する。

透明度：海水中の清濁の程度を示す最も簡単な指標。直径 30 cm の白色の平らな円板でできた透明度板を海水中に降下し、上から見えなくなる限界の深さを透明度と言ひ、m 単位で示す。

栄養塩：植物プランクトンや海藻の体を構成し、増殖の制限要因となっている珪素、磷、窒素等の塩類、つまり珪酸塩、磷酸塩、硝酸塩、亜硝酸塩等を総称して栄養塩類という。陸上の田畑における肥料のような役目。栄養塩類の量は植物プランクトン生産量を左右し、間接的にはこれを餌とする動物プランクトンを、さらにこれを捕食する魚類等の生産量を左右する。

貧酸素水塊（酸素飽和度 40 % 以下）：海水中に溶ける酸素の飽和量は、水温と塩分により決まり、また生物種により貧酸素の影響の程度が異なる。水産用水基準（日本水産資源保護協会、2000）では底生生物の生存可能な最低濃度が 2 ml/l とされている。これは 25 °C、塩分 30 の時の溶存酸素飽和量の約 40 % となる。水産庁は、第三者委員会に対して貧酸素水塊を溶存酸素飽和度 40 % 以下の水塊として定義して用いた。

有機炭素含量：生物を形成する物質（糖類、タンパク質、脂質など）を有機物といい、そこに含まれる炭素の量を有機炭素含量という。

植物プランクトン色素量：植物プランクトンが光合成をするために必要な物質の量。ここではクロロフィル a とフェオフィチンとを合わせたもの。

有機炭素安定同位体比：炭素の質量数は 12 であるが、ごく少量質量数 13 のものが存在。質量数 13 の割合を調べることで、その炭素が陸由来なのか植物プランクトン由来なのかが判別できる。

含泥率：堆積物中の粒径 64mm 以下の粒子が、全体にどれくらい含まれるかの割合（%）。

<sup>210</sup>Pb (鉛-210) 年代測定法：鉛-210 は水中で懸濁粒子とともに沈み、毎年決まった量だけ底質に堆積する。鉛-210 は放射線を出しながら徐々に壊れ、半分に減るまでに 22.3 年かかる。この性質を利用し、放射能（放射線を出す能力）の強さを計ることにより、堆積してどれくらい経ったものかを計ることができる。

浮泥：有機物に富んだ微細な粒子で干潟域に多く分布する。干潟域では強い潮汐により巻き上げられ高い濁りの層を形成する。浮泥の有機物は干潟生物の餌になり分解されるが、干潟が消失すると分解されることなく海底に堆積・蓄積し、貧酸素水塊の発生などを招く。

光合成：植物体中の葉緑素（クロロフィル）が太陽の光エネルギーを用いて、栄養塩類、炭酸ガス、水から有機物を作り出す過程であり、食物連鎖の出発点として生態系全体を支えている。

クロロフィル濃度：クロロフィルは葉緑素のことであり、光合成の能力を持つ生きた植物プランクトンの量を示す指標である。

一次生産量：植物プランクトンの光合成によって行われる有機物生産は食物連鎖において、より高次の栄養段階に受け渡されることから一次生産と呼ばれ、一次生産量はその海域における生産性を考える上で重要な指標となる。

他の海域：年間一次生産量（1 平方メートル当たり 1 年間に生産される炭素のグラム数）を瀬戸内海の 218（3 倍以上）、東シナ海陸棚の 323（2 倍以上）と比較し、さらに世界の海域における既往知見と比較して有明海における一次生産量が高いレベルにあることを示した。この高い一次生産量が日本で最高水準にある有明海での漁業生産量を支えていると言える。

赤潮種：全世界で赤潮を形成するとされる植物プランクトンの種類数は 184□267 であり、これは全種類数の 5.5□6.7 % に相当する。このうち渦鞭毛藻綱が約半数を占め、珪藻綱がこれに続いている。それ以外では緑藻綱、黄金色藻綱、クリプト藻綱、藍藻綱、ユーグレナ藻綱、ブラシノ藻綱、ハプト藻綱、ラフィド藻綱に属する藻類が赤潮の原因藻である。これらのうち有害赤潮の原因生物として重要なのは、渦鞭毛藻、ラフィド藻及び珪藻である。また、細胞内に共生藻を有する繊毛虫（*Mesodinium rubrum*）や紅色硫黄細菌による赤潮もある。ちなみに 1990 年刊行の「日本の赤潮生物」には 200 種が掲載されている。なお、2000 年漁期にノリ色落ちの原因とされたリゾソレニア・インブリカータは珪藻類に属する。

シスト（休眠期細胞）：不適環境に対する耐性が高く、通常の栄養細胞では生残できないような環境下でも比較的長期間生残が可能な不動細胞（運動性をもたない細胞）の総称。呼び名はプランクトンの分類群によって異なり、珪藻類では休眠孢子あるいは休眠細胞、渦鞭毛藻類ではシストと呼ばれている。休眠期細胞

の生態的な役割は、(1) 栄養細胞で生存不可能な環境を乗り切る、(2) 海底で越冬することにより同一海域内に保持され赤潮の発生源となる、(3) 捕食や破損などに対する抵抗力によって種の分布域が拡大できる、(4) 発芽の時期を調節できる、(5) 有性生殖による遺伝子の組み換えが行われ遺伝的多様性を維持できる、などが挙げられる。したがって、赤潮の発生機構を明らかにするためには、栄養細胞のみならず休眠期細胞を含む生活史の全体像を把握する必要がある。珪藻類の休眠期細胞は、形態的な特徴などによって二つに分けられている。一つは「休眠孢子」であり、珪酸質でできた細胞殻が厚く、その表面には栄養細胞には見られない装飾物を持つ。この休眠孢子はキートセロスにおいて多く観察される。一方「休眠細胞」は、不適な環境への耐性が高いなど栄養細胞と異なった生理的特徴を持つものの、形態的には栄養細胞とほとんど違いが認められない細胞である。唯一異なる特徴として、細胞内の色素が凝集し暗褐色化している点が挙げられる。スケルトネマ、コシノディスカス、オドンテラなどに休眠細胞を形成する種が知られている。

底生生物 (ベントス)：水底に住む生物の総称、プランクトンやネクトンと比べると移動性が低いので環境の影響を受けやすい、種類や量を調べることで、過去一定期間の環境履歴を推定できる、等の特徴を持つ。ベントスは大きさによって、大きい方から順にメガロベントス、マクロベントス、メイオベントス、ミクロベントスに分けられる。多くの底生生物調査は、マクロベントス、すなわち 1mm のふるいに残り 1 個体の重量が 1g 以下の生物を対象に行われている。

ノリの色落ち：珪藻の増殖によってノリ養殖場の栄養塩の水準が限界（無機態窒素で  $7 \mu\text{M}$ ）を割り込んだ状態が持続するとノリの色が黄色などに変化する現象。

立ち枯れ：2000 年夏季に有明海奥北東部のタイラギ漁場で初めて確認された特異現象。殻長の 1/3 ほどが底泥から抜き出た状態で、軟体部のすべてが流失または閉殻筋だけが付着した斃死殻が立ったまま残る現象。立ち枯れによるタイラギの大量斃死は、2001 年、2003 年にも発生している。

食害：トビエイ類（ナルトビエイ、トビエイ）、カニ等によりタイラギ、アサリなどの二枚貝の軟体部が食べられ、漁業生産に悪影響を与える現象。食害の程度は、食害生物の分布量により年変動がみられる。

寄生虫：タイラギには、数種の条虫寄生がみられたが、大量死との関連は低いことが判明。また、原虫症との関連も低いことが、最近明らかとなった。

感染症：タイラギの組織から細菌等は見出されていないが、腎臓や外套膜に病変がみられ、ウイルス症などの濾過性病原体の関与が考えられる。