

貧酸素水塊の拡大と発生原因としての赤潮の関連性

熊本県立大学 教授 堤裕昭

有明海奥部で規模が拡大する貧酸素水

有明海で広範囲にわたる貧酸素水の発生が報じられたのは、2001年8月上旬である。この時は、諫早湾および有明海奥部の広範囲にわたって底層で貧酸素化現象が観測された（日本自然保護協会 2001, 堤ら 2003）。しかしながら、図1に示すように、有明海の縦断方向に設置した調査地点における水質観測結果では、毎年7月下旬から8月上旬の小潮時前後に貧酸素水がもっとも発達し、その発生規模の拡大やDO値の低下が年々進行していることがわかる

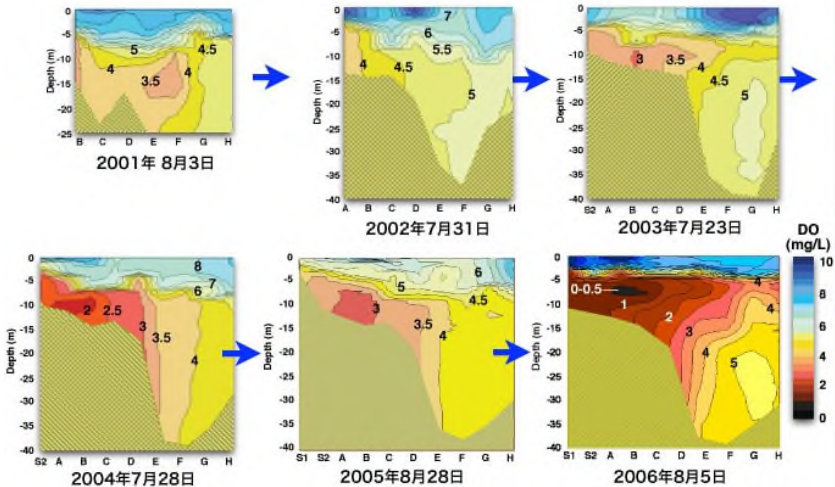


図1 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における貧酸素水の発生状況（堤ら 2003, Tsutsumi 2006, 堤ら 2007）。2006年の調査結果は未発表データ。

(Tsutsumi 2006, 堤ら 2007)。2006年8月にはもっとも深刻な貧酸素水が発生し、奥部浅海域では、広範囲にわたって中層から底層にかけて、DOが1mg/Lを下回る無酸素状態と言っても過言ではない状態に陥った。

このような貧酸素水（無酸素水）の発生は、当然、底生生物の生息に大きな打撃を与える。すでに、2005年8月および12月における底生生物の定量調査の結果では、奥部の中央部ではほとんど無生物化した海域が形成されていた

(図2)。この奥部海域はもともと漁業が盛んな海域であり、特にタイラギ漁の漁場はこの海域全体に広がっていた。しかしながら、1999年頃を境に漁獲量が極端に減少し、ほとんど漁が成立しない状況が続いている。少なくとも、このような貧酸素水が発生する以上、タイラギのような大型の底生生物が夏季に生息することは困難であり、成体に成長するために1年以上かかる底生生物は、個体群を維持することは困難な状況にある。実際、奥部海域(StnS2～StnC)では、底生生物が周年にわたってほとんど生息しないか、わずかな生物量の生物しか生息していない状態に陥っている。

貧酸素水が発生した場所では、同時に二酸化マンガンの還元によってマンガニオンが溶出したり、硫酸還元によって硫化水素が発生し、底生生物の呼吸色素に大きな障害をもたらす。単純に貧酸素状態の影響だけではなく、これらの付随した化学反応が底生生物の生息に大きな影響を与えている可能性がある。このような観点からの水質調査や底生生物への影響調査が、貧酸素水発生時に求められる。

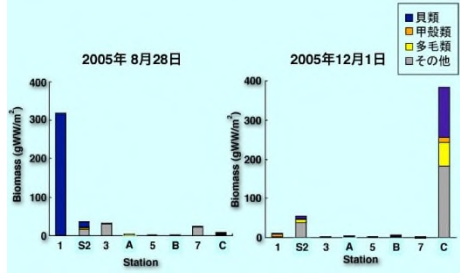


図2 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における底生生物の生息状況(未発表データ)

貧酸素水の観測体制

貧酸素水の発生が大規模化し、生態系や漁業への影響が懸念される状況にあるが、その観測体制ははまだ整備されているとは言い難い。有明海沿岸の各県による浅海定線調査は、1970年代より毎月行われてきたが、貧酸素水の観測がもっとも難しい大潮時に行われており、各調査地点でわずか3層しか観測しないので、海洋構造が把握できない。しかも、県によって調査日が異なり、有明海を広範囲に一斉調査された結果ではない。西海区水産研究所は、水質観測機器を海底に設置して、貧酸素水塊連続観測を行っている。この観測結果によって、貧酸素水が7月～8月の小潮時前後に発生し、大潮時にはDOが一時的に

回復することが正確に捉えられた。しかしながら、水質測定器を用いた観測は、測定場所が限られる。貧酸素水がどのような海域で、どのような海洋構造の形成とともに発生し、その発生メカニズムと原因を解明するためには、調査船を用いた広範囲におよぶ調査を頻繁に行うことが求められる。

大学の研究室による水質観測に関しても、学会発表や論文として公表されてきた情報は少ない。演者の研究グループは、月1回程度ではあるが、2001年8月より有明海奥部全域におよんで長期的に継続してきた。貧酸素水に関しては、それがもっとも発達する7月下旬～8月上旬の小潮に焦点を当てて観測してきた（堤ら2003, 2007, Tsutsumi2006）。この水質観測は、水温、塩分、D₀、クロロフィル濃度、栄養塩濃度、懸濁有機物量について、すべて鉛直プロファイルを求めることができる精密な調査で、調査精度については秀でている。その結果、貧酸素水の発生状況だけでなく、その前後における水質観測結果の解析から、発生メカニズムおよび原因について、新しい知見を示すことができるようになってきた。しかしながら、大学の研究室の限界があり、現在までのところ、毎月1回程度の水質観測を継続することが限度で、それ以上頻度を詰めた観測ができていないので、貧酸素化現象の時間的な発生過程を追跡することができず、解析精度をさらに上げることができていない。貧酸素水に関しては、その発生メカニズムと原因、海底生態系への影響を明確にするために、貧酸素水の発生過程における海洋構造が解析できるような、より精密で、時間的連続性の高い水質観測結果を得られる観測体制の整備が求められる。

貧酸素水発生と赤潮の関係

これまでの我々の研究グループによる水質調査結果のまとめより、有明海奥部海域で広範囲にわたって夏季に貧酸素水が発生するようになった原因は2つと考えられる。1つは赤潮の発生である。有明海奥部全体を覆うような大規模な赤潮は、梅雨明け直後と秋季～初冬にかけて発生することが多い。いずれも塩分成層が形成された時に、塩分の低下した表層で発生している。塩分の低下は河川水の流入によって起きているが、その河川水は通常、海水より数十倍高

い濃度の栄養塩を含んでいるので、塩分の低下した層は同時に富栄養化状態となる。その層で、赤潮が発生していた。

梅雨期の赤潮の場合、大雨によって密度差の大きい成層が形成されるために、赤潮が発生しても赤潮プランクトンによって生産された有機物は密度の低い表層に止まり、その多くは奥部の外へ移送される。一方、秋季～初冬の赤潮は成層強度が弱いので、奥部で発生した赤潮プランクトンが生産した有機物は、奥部の水深の浅い海底（10～15m）へ沈降する割合が多く、海底への有機物負荷量を増加させることになる（図3）。

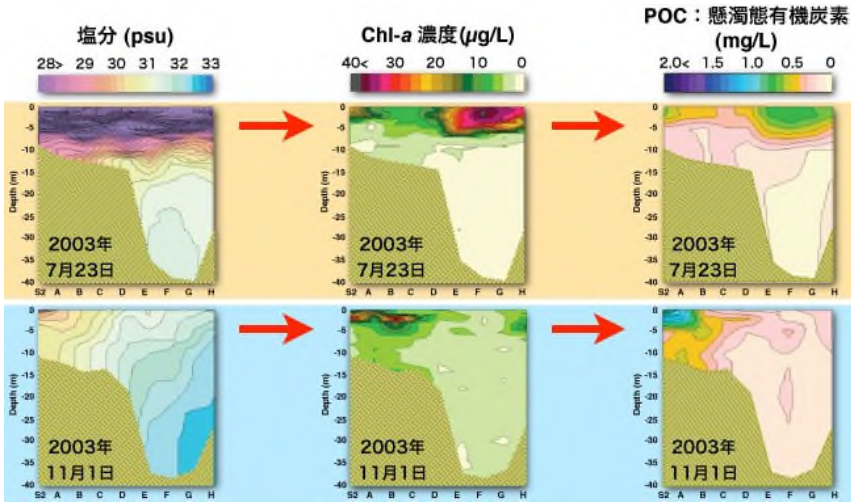


図3 有明海奥部の縦断方向に設置した観測点における（上）夏季（下）秋季における赤潮発生時の塩分、クロロフィルa濃度、懸濁態有機炭素量の鉛直プロファイル（未発表データ）。

有明海奥部海域において、海底への有機物負荷を増大させる効果の大きな秋季～初冬に発生する赤潮は、1998年以降、沿岸域における同量の降水に対して、それ以前より突然数倍大規模なものになった（図4）。この季節の赤潮の発生規模の大型化は、海底への有機物負荷量の増大につながる。奥部海域の海底の基質表層の有機物含量は2002年以降、漸次増加する傾向が認め

られている。したがって、秋季～初冬に発生する赤潮の規模の大型化とそれに伴う海底への有機物負荷量の増加が、翌年の夏季に海底における酸素消費量の増加をもたらし、貧酸素水を発生させ、さらに発達させていると考えられる。

貧酸素水発生と秋季の赤潮の発生規模の大型化は1つの因果関係で結ばれることを意味している。実際、大規模な赤潮が発生するようになると、それを追うように貧酸素水が発生するのは、世界各地の赤潮発生に悩む沿岸閉鎖性海域で見られる共通の現象である (Diaz&Rosenberg1995)。

秋季～初冬に発生する赤潮の規模の大型化が翌年の夏季の貧酸素水の発生を助長していると考えられるが、このような赤潮の規模の大型化の原因は、塩分成層が形成され、一時的に栄養塩濃度が上昇した表層で赤潮が発生していることから、そのような成層構造が近年、秋季～初冬に発達しやすくなったことによると推測される。そこで、なぜ、近年、秋季～初冬に有明海奥部において、冷却期とも呼ばれ、常識的には海面冷却によって海水の鉛直混合が盛んに起きると考えられる時期に塩分成層が発生しているのかということについて、その原因を明確にする必要がある。有明海は大潮時の潮位変動が約6mにも及び、速い潮流が発生し、海水の流動と鉛直混合の激しい場所として考えられてきたが、このような塩分成層が秋季～初冬に発生する状況は、有明海の海水流動に対する従来の捉え方を根本から見直す必要があることを意味している。1990年代後半より、有明海奥部では、海洋構造を大きく変化させるような潮流などに関連した物理的な変化起きていることは明らかであ

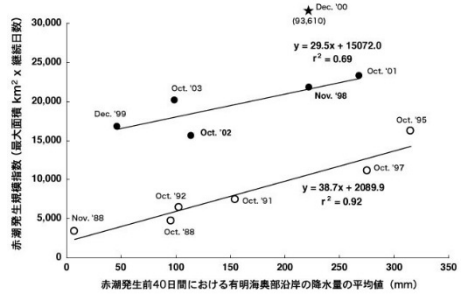


図4 10月～12月に有明海奥部で発生した赤潮に関して、その発生前40日間における沿岸域の平均降水量と発生した赤潮の規模(最大面積×継続日数)の関係。降水量データは気象庁観測結果、赤潮に関するデータは九州魚業調整事務所「九州海域の赤潮」に掲載されたデータを用いた(堤ら2006より)。

り、その原因の1つとして、1997年4月の諫早湾干拓事業による潮受け堤防の締めきりの影響について精査する必要がある。

地球温暖化による猛暑と貧酸素水塊の拡大

貧酸素水発生の原因は、近年、もう一つの要素が加わりつつある。それは、地球温暖化による夏季の表層水温の異常な上昇である。有明海奥部では、梅雨明け直後には塩分成層が形成され、毎年、その表層では珪藻赤潮が発生してきた。梅雨明け後には、盛夏の日射によって海水表層の水温が急激に上昇する。しかしながら、図5に示すように、1990年以前には、佐賀県の浅海定線調査の結果では海水表面の水温は29℃以下に止まっている。1990年に初めて、30℃を超え、1994年にも観測された。また、我々の研究グループの調査では、2001年、2004年、2006年と、2000年代になって、30℃を超える水温が頻発するようになってきた。

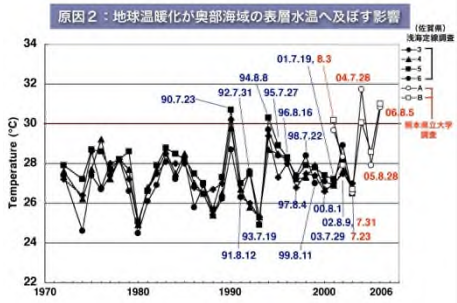


図5 有明海奥部の佐賀県の浅海定線調査地点(3~6)および堤研究グループの調査地点(StnA, B)における梅雨明け直後の海水表面の水温の長期的変化。

このような高水温は梅雨期から継続して発生している珪藻赤潮の生存に大きな脅威をもたらすことになる。図6には、有明海奥部の堤研究グループの調査地点(StnA)における梅雨明け直後の海水表層2mにおける水温とクロロフィルa濃度の関係を示す。表層水温が30℃に近い条件では、海水中のクロロフィルa濃度はほぼ0に近い状態になる。この

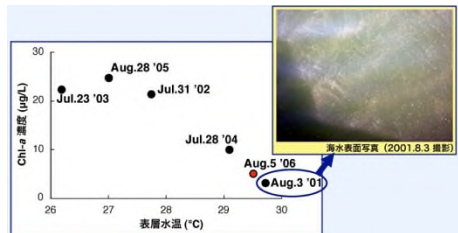


図6 有明海奥部の堤研究グループの調査地点(StnA)における梅雨明け直後の海水表層2mにおける水温とクロロフィルa濃度の関係(未発表データ)。写真は堤ら(2003)に掲載。

時、海水は植物プランクトンの少ない亜熱帯の海のような澄みきった状態にはない。その反対に、珪藻類の死骸が凝集して無数の粒状有機物が懸濁する海水が発生する。その典型的な状況が、2001年8月に観測され、撮影された。このような粒状有機物は、梅雨明け後の強い塩分成層が形成されている状態でも沈降し、その途上でも分解されて酸素を消費する。2006年8月5日の場合もその典型的な例であり、溶存酸素は有明海奥部～熊本市沖合の地点においても、水面下約6～7m付近でDOの最低値を記録し、奥部ではDOが0.5mg/Lに満たないほぼ無酸素の状態が、このような中層で観測された。一方、この時、海底でも堆積した有機物の水温上昇に伴う分解促進により酸素消費量が増加して、貧酸素状態に陥ったと考えられる。

したがって、2006年8月5日の場合、例年のこととなってきた底層における貧酸素水の発生に加えて、猛暑による表層水温の上昇によって珪藻赤潮がほぼ死滅し、その死骸が大量の粒状有機物となって塩分成層の密度差を貫いて奥部海域に沈降し、分解されることによって、水中のDOを消費した結果、塩分成層の下で、広範囲にわたって大規模な貧酸素・無酸素水が発生したと考えられる。

今後、地球温暖化はさらに進行することは避けようがない事実である。海水表面の水温が30℃を超える事態がさらに頻発するようになれば、梅雨明け後の7月下旬～8月上旬には、有明海奥部ではさらに深刻な貧酸素・無酸素水が発生するようになることが予測される。

貧酸素水の発生を防止するための対策

有明海奥部における夏季の貧酸素水発生を防止するためには、2つの重要な点が挙げられる。1つは、秋季～初冬期に発生する赤潮の発生規模を1990年代前半以前のような状態に抑制し、赤潮プランクトンによってもたらされる海底への有機物負荷を軽減することである。もう1つは、梅雨明け後に形成されている塩分成層を鉛直混合を起こしてできるだけ弱くして、水温の比較的低い底層水との混合を起こして、表層水温の上昇を抑制することである。いずれの場合も、成層構造の発達を抑制し、鉛直混合が可能な限り起きるようにすることであるので、そのためには速い潮流が発生することが求められる。速い潮流が発生すれば、その速度の3乗に比例して、海水を鉛直方向に混合する力が生じる。

H19.6.30 シンポジウム「有明海における貧酸素水塊の発生と対応」

1997年に諫早湾潮受け堤防が締めきられて以来、有明海の潮流が弱くなり、成層構造が形成されやすくなったのではないかという可能性が論議されてきた。潮受け堤防締めきりの影響がどの程度であるかという評価をするまでもなく、潮受け堤防内の調整池となっている大量の水が、以前のように潮汐によって移流できる状態が回復すれば、その海水の流動分は少なくとも海水が多く動き、諫早湾や有明海奥部に海水の鉛直混合をもたらすことになる。今、有明海の生態系の維持にとってもっとも求められるのは、少しでも大きい海水流動なのである。潮受け堤防はその妨げにしかかかっていない。そのことがもたらす損失と、海水流動の増加がもたらす利益、どちらが方が実り大ききことなのかを評価する時が来ている。