

## 有明海では、起きるはずのない「赤潮頻発」がなぜ起きてしまうのか？ その理由を考える

堤 裕昭（熊本県立大学）\*

**要旨：**有明海には大量の栄養塩類が流入し、それを利用して水中では植物プランクトンが、干潟の表面では藻類が繁茂し、それらを餌として利用する多様な生物達が豊富に育つ環境が作られ、「豊饒の海」と称されてきました。ところが、1990年代後半より赤潮が頻発するようになり、2000年秋～2001年春には、有明海全域で大型珪藻類（リゾソレニア）をはじめとする珪藻類による大規模な赤潮が発生し、日本一の生産量と品質を誇るノリのほとんどが色落ちして、その年のノリ養殖漁業に壊滅的な打撃を与えました。これを機に、2001年4月より熊本県立大学環境共生学部の私が担当する海洋生態学研究室では、他の大学の海洋生態学や海洋化学の研究者達と研究チームを結成し、今、有明海の環境や生態系でどのような異変が起きていて、その原因が何かを解明する研究を開始しました。

それから20年余りの間、有明海に面する熊本市の港から漁船をチャーターして、佐賀県の沖合いまでの海域の水質調査や、有明海奥部海域の海底の環境と生態系の調査を続けました。その調査結果は、諫早湾干拓事業による潮受け堤防の締切りが諫早湾内の潮流速を大幅に遅くしただけではなく、有明海奥部の潮流の速度や向きにも影響を与え、元来備わっていた反時計回りの潮の流れを衰退させて、それが引き金となって赤潮の頻発する海へと変化させてしまったことを示していました。赤潮の頻発はそれだけでは終わりません。大增殖した植物プランクトンはやがて枯死して海底に堆積し、夏になると酸素を消費しながら分解され、海底付近では酸素濃度が低下して貧酸素水となり、海底に棲息する生物達（エビ、カニ、貝類、ゴカイ類、底魚類など）が生息できなくなります。有明海の漁業は、ノリ養殖漁業を除けば、多くは海底に棲息する生物を捕ることに依存してきました。すでに深刻な状況が発生していますが、このままでは有明海（特に奥部海域）の沿岸漁業は崩壊し、沿岸の地域社会が衰退する方向へ階段を歩み続けることとなります。

国の事業に係わる環境問題に対して、そこに原因があるとまで主張することには二の足を踏む大学の研究者は少なくありません。しかしながら、佐賀県の有明海側で生まれ、豊饒の海の幸を食べながら育ち、しかも海洋生態学者となり、海のしくみを理屈で説明することができるようになった私の立場からは、この有明海の環境・生態系に迫る危機的な状況を見過ごすわけにはいきません。以下に10ページを超える文章となりますが、可能なかぎり一般の方々にわかりやすい表現を用いて作文しました。是非、多くの方にご一読いただいて、今何が有明海で起きているのかということについての理屈を理解し、これから我々は有明海の沿岸地域社会に「幸福な未来」を作り上げていくために、何をなすべきなのか？について、一緒に考える機会にさせていただくことを切に願います。

## はじめに

有明海では昨年の秋以降、赤潮の発生した状態が続き、ノリ養殖漁業に深刻な影響が出ています。私は佐賀県の有明海沿岸で生まれ、1960年代からのノリ養殖創生期の海苔や海の幸を食して育ち、その後有明海の生態系を対象とする研究者としての職を得て、2001年より約20年間にわたって赤潮が頻発するようになった原因を解明する研究を行ってきました。その研究の結果に従えば、予想された通りのことが起きてきました。このことについてはすでに様々な場所で講演を行い、多数の学術論文を発表し、有明海の生態系や沿岸漁業の将来への警鐘を鳴らしてきたことでもあります。今年のノリ養殖漁業における深刻な色落ちもその警鐘の中に含まれています。これを機に純粋な気持ちで私の警鐘に再度耳を傾けていただき、有明海的环境や生態系をどのように維持していくのか？そしてノリ養殖を含む沿岸漁業をどのように振興していくのか？沿岸の地域社会をどのように発展させていくのか？有明海沿岸にお住まいの方々に真摯に再考する機会としていただくことを願います。

### 有明海では、赤潮は頻発するはずがない！

まず現実に起きていることと真逆のことを申し上げますが、近年の有明海では赤潮が頻発することは常識的にはありえません。確かに、有明海のような沿岸の囲われた内海や内湾では、世界中で植物プランクトンの異常な増殖、いわゆる赤潮の発生を伴う「海の富栄養化」が多発してきました。その原因は、至って単純なものです。ほぼ例外なく、何らかの理由で陸上から川を通して大量の栄養塩類（窒素やリン）が流入するようになり、植物プランクトンが異常に増殖した結果起きたというものです。では、近年の有明海では、以前より大量の栄養塩類が流入するようになっているのでしょうか？その答えは「NO!」です。

### 有明海で減り続ける栄養塩類の流入量

有明海でノリ養殖が開始された1970年代頃からの海域への栄養塩類の流入量の変化を示しています（図1）。日本では1960年代の高度経済成長に伴って川や海が汚染されてしまったことを反省して、その環境をより健全な状態に戻すことをめざして、1970年代以降、各地で様々な対策が取られてきました。その結果、有明海でも、海の富栄養化の原因となる窒素やリンの流入量が、この50年余りの間に窒素で約3割、リンでは約5割も減少する状態となりました。このような状況下にある有明海において、植物プランクトンが異常に増殖して「赤潮」が頻発するということは、常識的にはありえないことです。

---

\* 連絡先 e-mail: [hiro@pu-kumamoto.ac.jp](mailto:hiro@pu-kumamoto.ac.jp)

2023年2月7日作成

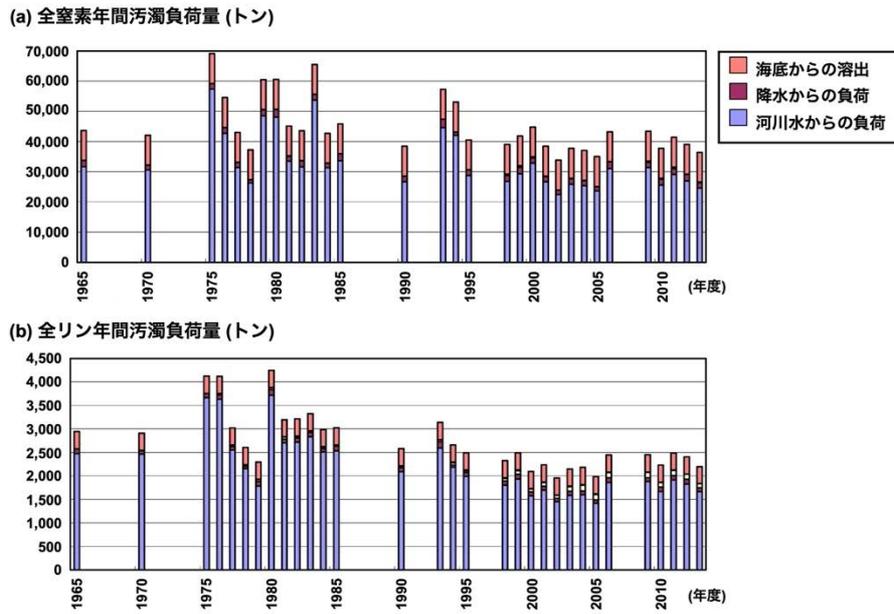


図 1 有明海への栄養塩類の流入量の長期的減少傾向.

出典：有明海・八代海等総合調査評価委員会報告<sup>1)</sup>。一部改変

### 有明海で 1990 年代後半より頻発するようになった赤潮

ところが、実際には真逆のことが起きています。それは疑いようのない事実として、有明海奥部西側を中心に、赤潮の頻発によるノリ養殖漁業への深刻な影響として現れてきました。今冬はその典型的な例と言えるでしょう。図 2 は 1985～2017 年に有明海で発生した赤潮の発生件数を示しています。1970 年代以降、有明海へ流入する栄養塩量が減少していく一方で（図 1）、赤潮の発生件数は 3 つの段階を経て逆に倍増した状態となっています。

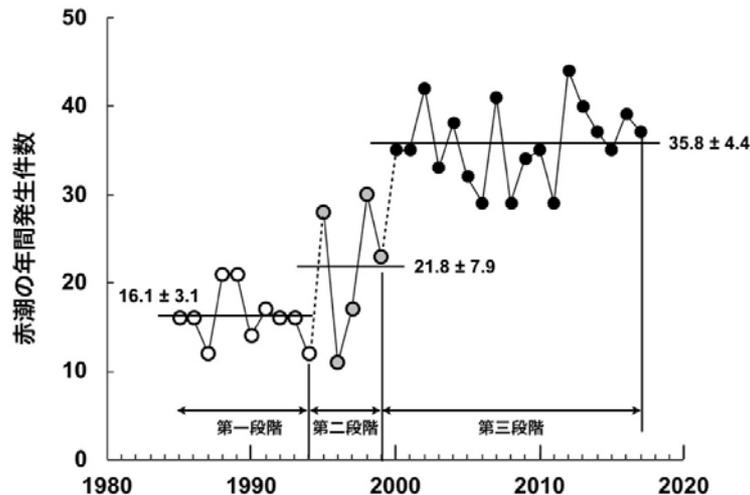


図 2 有明海で増加した赤潮の年間発生件数.

水産庁九州漁業調整事務所（2018）<sup>2)</sup>に掲載されたデータをもとに作成しました.

第1段階（1985～1994年）の年間発生件数は  $16.1 \pm 3.1$  回（平均値±標準偏差）で、第2段階（1995～1999年）の5年間におよぶ増加期を経て、第3段階の2000年以降は年間発生件数がほぼ倍増した高止まりの状態が続いています（ $35.8 \pm 4.4$  回/年）。なぜ、赤潮の年間発生件数が倍増したままとなっているのでしょうか？植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩の流入量が減少する中で、生物学に係わる学問の常識ではあり得ないことが起きています。では、なぜありえないことが現実には起きているのでしょうか？

### 環境省、有明海・八代海等総合調査評価委員会が示す赤潮の発生メカニズム

有明海で頻発する赤潮発生の問題を取り扱う環境省、有明海・八代海等総合調査評価委員会では、この現象はどのように説明されてきたのでしょうか？同委員会の報告書<sup>1)</sup>では、小型珪藻類による赤潮の発生について、「有明海では、河口域から供給される土砂等による濁りが植物プランクトンの光合成を抑制していることが知られており、海底泥中には休眠期細胞が常在するため、透明度の上昇によって海底面の照度増加はそれらの発芽を促進し、赤潮発生の原因になると考えられる」と説明されていて、図中には「高い透明度」というキーワードが示されています（図3(a)）。

大型珪藻による赤潮についても、リゾソレニア（2000年秋季～2001年春季に赤潮が発生し、大規模なノリの色落ち被害をもたらした）は、「通常外海側に生息し、夏期には湾内が低塩分化するために湾奥部への進入が阻まれるが、河川からの流入水が減少して高塩分状態になる秋期以降に湾内へ進入し、晴天が続く等高い日照条件下で大発生する」と述べています。今年赤潮の発生が続いているユーカンピアについても、「有明海においてノリの色落ちを引き起こす頻度の高い種類である。本種の発生は1～3月にみられ、日照時間の増大、小潮期の濁度低下等を引き金として大発生する。」と、日照条件と透明度に原因を求めています（図3(b)）。

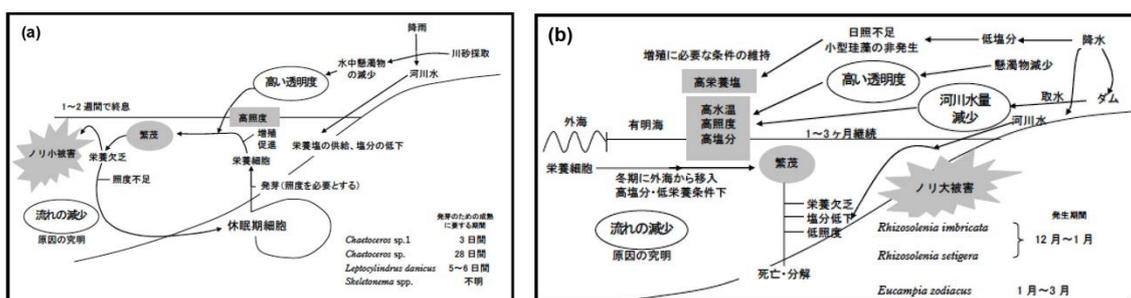


図3 有明海における珪藻類による赤潮の発生メカニズム。(a)小型珪藻、(b)大型珪藻  
出典：環境省（2017）<sup>1)</sup>。

この「高い透明度」と赤潮発生の関係に関連して、有明海では実際に透明度が上昇してきたことが報じられています<sup>3)</sup>。しかしながら、透明度の上昇に伴って海底に届く光の強さが増して、それが原因で海底の泥や砂に含まれる植物プランクトンの種（シスト）の発芽が促

され、ノリの色落ち被害をもたらす赤潮が起きることを実証した研究例はありません。また、有明海のように、栄養塩類の流入量が年々減少していく中で赤潮が頻発するようになった例もありません。

大型珪藻の赤潮発生メカニズムを示す図 3(b)には、もう 1つのキーワードとして、「河川水量の減少」が挙げられていますが、河川水には豊富な栄養塩類が含まれているので、その水量の減少は植物プランクトンの増殖をたとえ大型珪藻類であっても抑える原因にしかなりえません。晴天が続いても、十分な栄養塩が陸から供給されなければ、植物プランクトンは増殖することができません。

### 「透明度の上昇」は赤潮頻発の原因となりえるのか？

有明海で赤潮が頻発する原因として、「透明度の上昇」が本当に関係するのかわを確認するために、さらに有明海奥部の佐賀県沖の海域で得られた調査結果をもとに、「赤潮の発生頻度」と「海域の透明度」の関係を分析しました（図 4）。

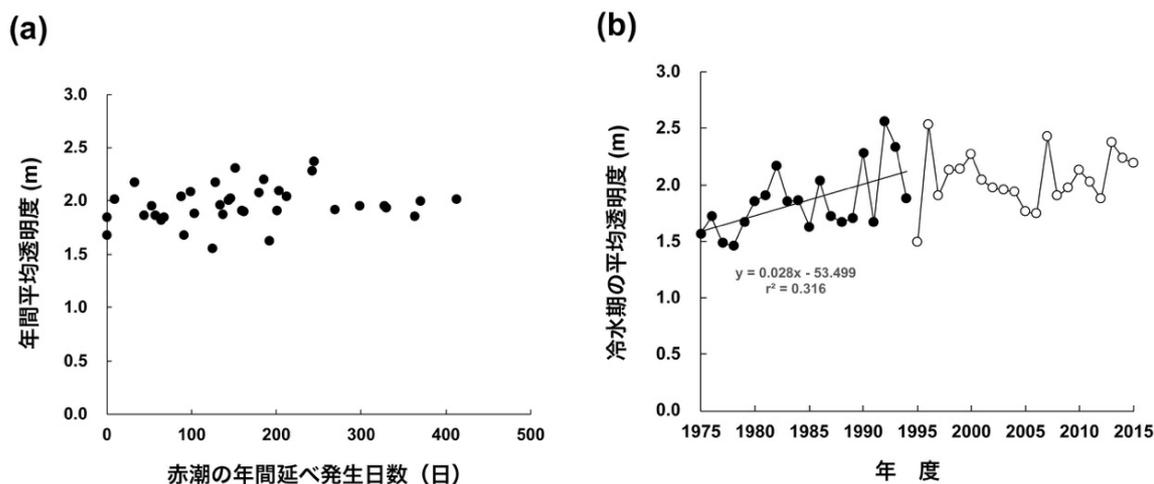


図 4 (a) 有明海奥部、佐賀県沖の海域で 1981～2017 年の 37 年間に観測された赤潮の年間延べ発生日数と同海域の浅海定線調査における透明度の年間平均値の関係、(b) 1975～2015 年度の 41 年間の冷水期（10 月～翌年 3 月）に、佐賀県沖 11 地点の浅海定線調査で観測された透明度（平均値）の変化。使用したデータ：水産庁九州漁業調整事務所（2018）<sup>2)</sup>に掲載された佐賀県沖の海域の赤潮発生データ，佐賀県による浅海定線調査の透明度の観測データ。

図 4(a) には、佐賀県沖の海域において 1981～2017 年の 37 年間に発生した赤潮の延べ日数と、同海域 11 地点で佐賀県が毎月実施した浅海定線調査における透明度の観測値（年間平均値）の関係を示しています。赤潮の年間延べ発生日数が 0～412 日まで変化する中で、年間平均透明度には意味のある変化が認められません。つまり、両者は無関係であると考え

られます。また、赤潮が発生すると養殖ノリの色落ち被害が起きる可能性のある冷水期（10月～翌年3月）に絞って、佐賀県沖の浅海定線調査11地点の透明度（期間平均値）に注目すると（図4(b)), 1975～1994年度の20年間には増加傾向が認められます。透明度は1975年度の1.6 mから1993年度には2.6 mに上昇していました。ところが、その後は増加傾向が認められません。2000～2015年度には $2.0 \pm 0.2$  m（平均値±標準偏差, n=16）の範囲を変化しました。つまり、佐賀県沖の海域で年々透明度が増加したのは1994年度までで、赤潮の頻発が始まる前にすでに上昇きっていたこととなります。透明度の上昇を赤潮発生件数の増加の直接的な原因に結びつけることは困難であると言わざるをえません。

### 海域への栄養塩汚濁負荷量が減少しても赤潮が頻発するしくみ

我々が重い病気にかかった時、その原因を突き止めるために患部のCTスキャン画像を撮影することがよくあります。同じような観点から、秋になって養殖ノリの色落ち被害を起こす可能性のある赤潮が有明海奥部で発生した時には、私の研究室では海水の断面図が描けるような水質調査を行ってきました。その1つの例を図5に示します。

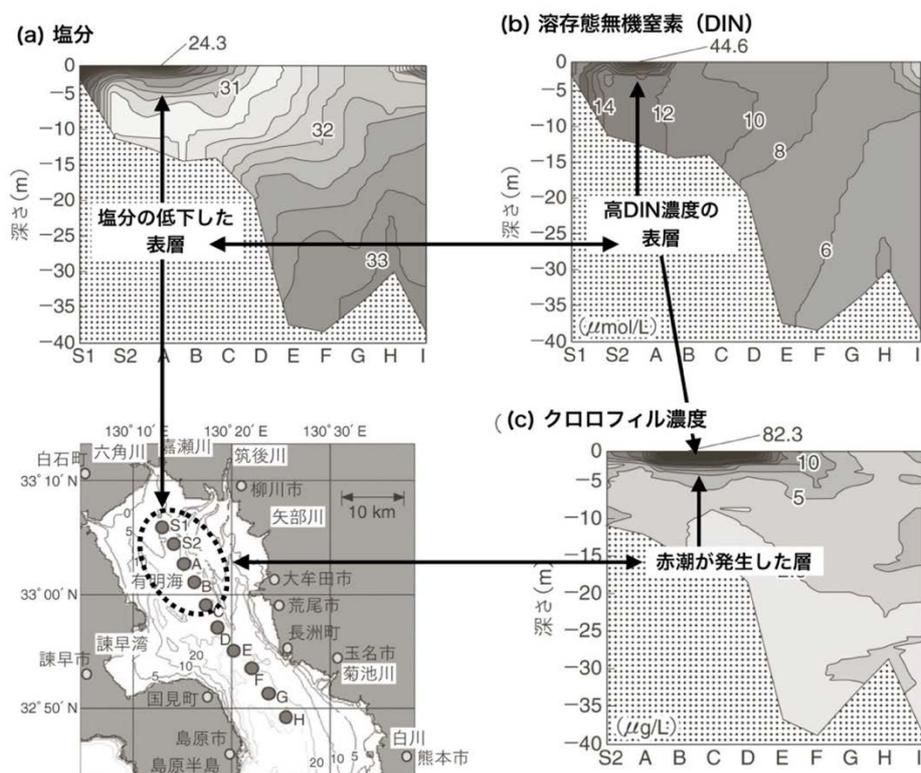


図5 有明海奥部で秋に大規模な赤潮が発生した時の水質の断面図 (a) 塩分 (2002年10月14日), (b) 無機窒素の栄養塩濃度 ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) (2002年10月14日), (c) 葉緑素 (クロロフィル) a 濃度 ( $\mu\text{g L}^{-1} = \text{ガンマ}$ ) (2002年11月14日, 植物プランクトン量の指標,  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  を超えると赤潮発生). 出典: 堤(2011)<sup>4)</sup>. 一部改変

この水質調査で分かったことは、大規模な赤潮が発生する時には、きまって有明海奥部の表層に塩分の低下した層が発生していることです<sup>4,6)</sup>。外海から有明海に侵入してくる海水の塩分は32~34の範囲にあります(1 Lの水に塩が32~34 g溶けているという意味)。ところが、図5(a)に示す例では、奥部の表層の塩分は24.3まで低下していました。この海域は日々の大きな潮の満ち引きによって速い潮流が発生し、海水がよくかき混ぜられる海域です<sup>5,6)</sup>。また、秋になると冷気によって海の表層は冷やされて比重が重くなり、比重の軽い深い層の水と自然に混ざり合うという現象もしばしば発生します。しかも秋は雨の少ない季節です。このような時期に有明海奥部の表層の塩分がこのように低下しているところが観測されるということは、学術的には想定されていない出来事です。

塩分24.3ということは、外海から流入した海水が約3割程度隣接する沿岸域から河川を通して流入した淡水に薄められたことを意味しています。有明海奥部の東側には、九州最大の河川流量を誇る筑後川を含む4つの一級河川の河口が集中しています。これらの河川から流入する淡水には、外海水の数10倍にも達する高濃度の栄養塩類が常に含まれています。そのため、塩分の低下した表層の栄養塩濃度は無機の窒素濃度で最大で44.6  $\mu\text{mol L}^{-1}$ (ガンマ)に上昇していました(図5(b))。その表層には太陽からの日射しが注ぎますので、植物プランクトンが急速に増殖して赤潮に発展することは、至極当然の成り行きです。有明海奥部の表層のクロロフィルa濃度(葉緑素量の指標)は最大82.3  $\mu\text{g L}^{-1}$ が観測されました(図5(c))。クロロフィルa濃度10  $\mu\text{g L}^{-1}$ を赤潮発生の目安としているので、相当に濃い植物プランクトンの密度の赤潮ということができます。また、有明海奥部から熊本県北部沖の海域まで、長さでは10数キロに及ぶ大規模な赤潮に発展していました。これは2002年秋季に発生した赤潮の観測結果で、当然のことながらこの年も深刻なノリの色落ち被害が発生しました。ノリ養殖漁業を営まれて来られた方々は、この時のことを覚えておられる方も少なくないと思います。

このように、有明海奥部でノリ養殖期と重なる秋季に大規模な赤潮が発生するしくみについては、すでに20年余り前に、私の研究グループの調査結果の解析では明らかになっていたことです。

#### なぜ有明海奥部で塩分の低下した表層が長く留まるのでしょうか？

図5に例示した2002年に有明海奥部に形成された塩分の低下した表層は、10月中旬~12月中旬の約2カ月間にわたって観測されました<sup>4,8)</sup>。その後も大規模な赤潮発生時には、このような表層の塩分の低下が見られてきました<sup>9-11)</sup>。ところが、この海域は1日に2回、大潮時には潮位の変化の幅が5~6 mにも達するような日本で一番大きな潮の満ち引きが繰り返され、速い潮流が発生する場所として知られている海域です。しかも、この潮の満ち引きは単純に繰り返されているわけではありません。その潮の動きの差し引きとして、湾奥の東岸側には外海から水が侵入して行き、湾奥の表層の水は西岸沿いに湾口方向へ動いていく

という「反時計回りの表層の流れ」が発生し、湾奥の水は外海水と入れ替わっていくことが古くから知られています（図6）<sup>12-15</sup>。

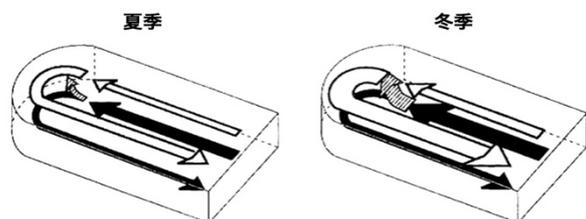


図6 有明海の潮流の特徴. (左) 夏, (右) 冬季. 出典: 柳 (2006)<sup>15)</sup> 一部改変

したがって、大雨が発生して奥部で一級河川の河口が集中する東側から高濃度の栄養塩類を含む河川水が大量に流入しても、反時計回りに湾外に向けて速やかに移動し、栄養塩濃度の低い外海水と入れ替わっていくはずですが、その移動の過程で、塩分の低下した表層は周囲の海水と混ざって塩分が上昇し、栄養塩濃度は減少していくことが予想されます。

逆に、「反時計回りの表層の潮の流れ」を弱めることが起きれば、高濃度の栄養塩を含む表層水は奥部に滞留しがちとなり、そこで赤潮が頻発するようになると考えられます。有明海奥部で赤潮が頻発するか否かの鍵は、奥部へ流れ込む栄養塩量の増減ではなく、「反時計回りの表層の潮の流れ」がいかに正常に働くかということが握っていると考えられます。したがって、有明海における赤潮の年間発生件数の1980年代からの変化（図2）は、有明海に元来より備わる「反時計回りの表層の潮の流れ」が1990年代後半から弱まることで、その件数が大幅に増加していることを示しているのではないのでしょうか？

### 有明海で「反時計回りの表層の潮の流れ」を弱めるようなことが起きている？！

では、実際に有明海に元来備わっているはずの「反時計回りの表層の潮の流れ」を弱める何か出来事が、1990年代後半から起きているのでしょうか？1つ注目すべき出来事が1997年4月14日に有明海の内湾である諫早湾で起きています。この日、農林水産省が進めてきた諫早干潟の干拓事業の工事の一環として、潮受け堤防が締切られました。後の調査によって、この潮受け堤防締切りの前と後では、諫早湾内の潮流の最大速度が約1/4、約40 cm/秒から約10 cm/秒に減速していることが分かりました（図7）<sup>16)</sup>。

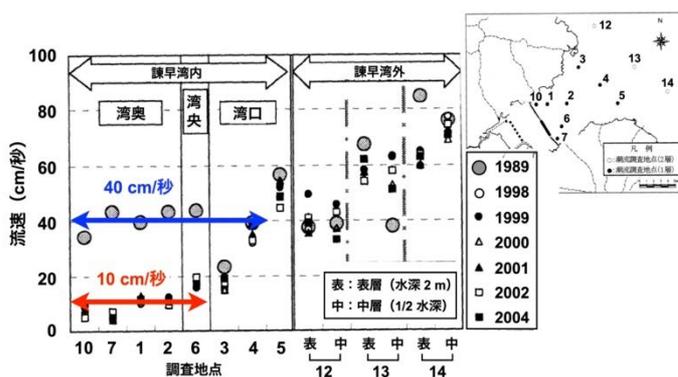


図7 諫早湾で潮受け堤防締切り前（1989年1月）、締切り後（1998～2004年の1月）に15日間実施された潮流調査における大潮時最大潮流速. 出典: 中野ら (2005)<sup>16)</sup> 一部改変

た諫早干潟の干拓事業の工事の一環として、潮受け堤防が締切られました。後の調査によって、この潮受け堤防締切りの前と後では、諫早湾内の潮流の最大速度が約1/4、約40 cm/秒から約10 cm/秒に減速していることが分かりました（図7）<sup>16)</sup>。当然のことながら、潮の満ち引きによって諫早湾へ出入りする海水の量も流速の減少に伴って大幅に減ってしまっていることを意味しています。

満ち潮の時に諫早湾へ入ることができなくなった海水の行方は？

潮の満ち引きによって有明海に出入りする海水の総量は簡単に増減するものではありません。それでは、潮受け堤防の締め切りにより上げ潮の時に諫早湾へ入ることができなくなった海水はどこへ向かうのでしょうか？その謎を解くための鍵は、つぎに示す2つの潮流調査の結果にあると考えています。その1つは潮受け堤防の締め切り前の1977年7月30日（大潮時）に行われた潮流調査の結果です<sup>17)</sup>。有明海の奥部から湾中央部に61隻の調査船を係留し、潮流板を流して表層の潮の流れの速度と方向が観測されました（図8）。

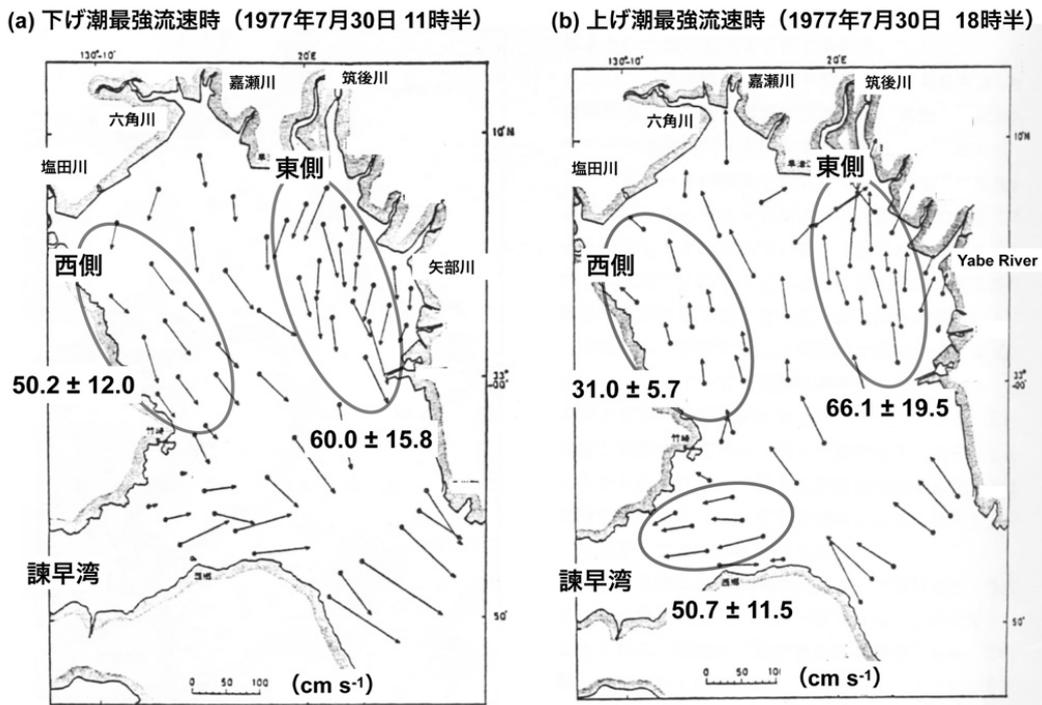


図8 1977年7月30日（大潮時）に、有明海の奥部から湾中央部に調査船を61隻係留し、潮流板を流して潮の流れの速度と方向を観測した例。(a)下げ潮最強流速時（11:30）、(b)上げ潮最強流速時（18:30）。出典：井上（1980）<sup>17)</sup>を一部改変。

この調査結果では、下げ潮の最強流速は有明海奥部の東側と西側で、それぞれ  $60.0 \pm 15.8$  cm/秒、 $50.2 \pm 12.0$  cm/秒（平均値±標準偏差）が観測され、両者に大きな差が生じていませんでした。一方、上げ潮の最強流速では、有明海奥部東側の  $66.1 \pm 19.5$  cm/秒に対して西側では半分以下の  $31.0 \pm 5.7$  cm/秒に止まり、その手前で諫早湾の奥部へ向かう潮流速が  $50.7 \pm 11.5$  cm/秒に達していました<sup>18)</sup>。つまり、上げ潮の時には諫早湾へ勢いよく潮が流れ込むことで、有明海奥部の西側へ向かう海水の量は制限されていたことを示しています。そのため、その分を補うために、有明海最奥部では東側から西側へ回り込む潮の流れも発生していたと考えられます。このような潮の満ち引きが繰り返されることで、図6に示す「反時計回りの表層の潮の流れ」が発生していたと考えられます。

2つ目の例は諫早湾の潮受け堤防締め切り後（2005年7月21日，大潮時）に同様な方法で行われた潮流調査の結果です（図9）。

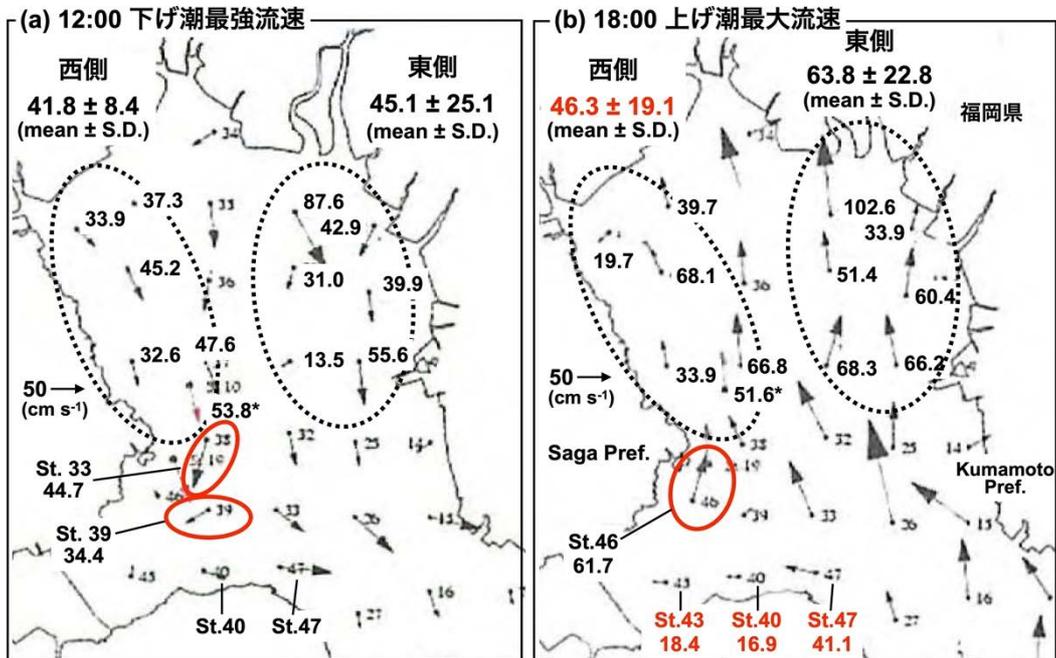


図9 2005年7月21日（大潮時）に，有明海に設置された47地点で調査船から紐をつけたペットボトルを流して測定された表層の潮流の速度と流向．(a) 下げ潮最強流速，(b) 上げ潮最強流速．出典：九州農政局（2008）<sup>19)</sup> 一部改変．

この時には，下げ潮時には有明海奥部東側の海域で  $45.1 \pm 25.1$  cm/秒，西側の海域では  $41.6 \pm 7.7$  cm/秒（平均値±標準偏差）の最強潮流速が観測されたましたが，潮受け堤防締めきり前の調査の結果と異なる点は，下げ潮時であるにもかかわらず，諫早湾では湾奥へ向かう速い潮流（St. 33:  $44.7$  cm/秒，St. 39:  $34.4$  cm/秒）が観測されたことです．一方，上げ潮時には，有明海奥部の東側で  $63.8 \pm 22.8$  cm/秒に対して，西側では  $46.3 \pm 19.1$  cm/秒の最強潮流速が観測されました．ここで注目すべき点は東側と西側の流速の比です．東側の最強潮流速は西側の1.37倍しか速くありません．また，諫早湾の湾奥に向かう潮流の速度はSt. 40で  $16.9$  cm/秒，St. 43で  $18.4$  cm/秒に減速していました．さらに，この時にも上げ潮時であるにもかかわらず，逆に諫早湾を出て有明海奥部の西側へ向かう潮流も観測されていました．

前述の1977年7月30日の例（図8）では，有明海奥部の東側で  $66.1 \pm 19.5$  cm/秒の最強潮流速が観測されていますが，この値は2005年7月21日の場合（ $63.8 \pm 22.8$  cm/秒）と大きな差が見られません．その条件で，西側の最強潮流速は  $31.0 \pm 5.7$  cm/秒に止まり，東側の最強潮流速は西側の2.13倍に達していました．

潮受け堤防締め切り後には、同様な潮流調査や、調査定点を絞って流速計を用いて潮流速の変化を連続観測する調査が実施されています。それらの結果を表1で比較します。

表1 有明海で実施された潮流調査において奥部東側ならびに西側の海域で観測された潮流速（下げ潮最強流速と上げ潮最強流速）の比較。井上（1980）<sup>17)</sup>，九州農政局（2008，2012）<sup>19, 20)</sup>のデータをもとに作成した。

調査期間	奥部西側海域 (cm/秒)	奥部東側海域 (cm/秒)	東側と西側 の比
<b>【一斉潮流調査】</b>			
井上（1980） <sup>17)</sup>			
1977. 7. 30 11:30（下げ潮）	50.2±12.0	60.0±15.8	1.20
<b>1977. 7. 30 18:00（上げ潮）</b>	<b>31.0±5.7</b>	<b>66.1±19.5</b>	<b>2.13</b>
九州農政局（2008） <sup>19)</sup>			
2005. 7. 21 12:00（下げ潮）	41.8±8.4	45.1±25.1	1.08
2005. 7. 21 18:00（上げ潮）	46.6±19.1	63.8±22.8	1.37
調査期間	奥部西側海域 St. 4, 10 (cm/秒)	奥部東側海域 St. 5, 9 (cm/秒)	東側と西側 の比
<b>【潮流連続観測調査】</b>			
九州農政局（2012） <sup>20)</sup>			
（下げ潮）			
2000. 9. 16～9. 19	41.3(39.5, 43.1)	56.3(53.0, 59.6)	1.36
2005. 7. 16～7. 31	43.9(49.8, 38.0)	70.7(62.2, 79.1)	1.61
2007. 8. 25～9. 9	40.4(47.8, 32.9)	48.4(59.3, 37.4)	1.20
（上げ潮）			
2000. 9. 16～9. 19	36.0(37.0, 34.9)	55.2(64.7, 45.6)	1.53
2005. 7. 16～7. 31	48.5(51.0, 45.9)	74.2(81.3, 67.1)	1.54
2007. 8. 25～9. 9	42.2(44.8, 39.5)	54.8(75.7, 33.9)	1.30

諫早湾における潮受け堤防締め切り前に実施された潮流調査は、1977年7月30日の井上（1980）<sup>17)</sup>に限られるのですが、この時に観測された上げ潮時に諫早湾の湾奥方向に向かう速い潮流（50.7±11.5 cm/秒）や、それ故に有明海奥部西側へ向かう減速された潮流（31.0±5.7 cm/秒）ならびにその影響を受けない東側では西側に対して2.13倍も速い潮流（66.1±19.5 cm/秒）の発生は、潮受け堤防の締め切り後の調査では一度も観測されていません。つまり、潮受け堤防の締め切りによって上げ潮時に諫早湾の奥部へ入ることを妨げられた海水は、有明海奥部の西側の海域へ流入するようになり、この海域の上げ潮の潮流速がその分速くなって、東側の潮流速との差が小さくなったと考えられます。そのことは、有明海に元来発生していた「反時計回りの表層の潮の流れ」に対して、奥部西側の海域では上げ潮時には逆行する潮流が強まることを意味し、「反時計回りの表層の潮の流れ」を衰退させるという潮流の変化をもたらすことが推測されます。ここに、有明海奥部への栄養塩類の

流入量が過去約 50 年間にわたって減少してきたにもかかわらず、1990 年代後半より赤潮の年間発生件数が倍増する現象が起きている原因があると考えられます。

### まとめ：諫早湾における潮受け堤防の締め切りがもたらしたことについての見解

最後にこれまでの説明をまとめます。1997 年 4 月 14 日に諫早湾における潮受け堤防の締め切りならびにそれまでの工事が、諫早湾に元来備わっていた潮流を大幅に減速させたことに異論を唱える方は少ないと思います。潮流調査の結果（図 7）はそのことを如実に伝えています。問題はそれだけでは終わっていないということです。潮受け堤防の締め切りで上げ潮時に諫早湾の奥部へ流入できなくなった水は、調査結果から判断して、有明海奥部の西側へ流入し、その潮流の流速を速めることになっていると考えられます。このことは、有明海奥部に元来備わっていた表層の上げ潮流の速度の違い（東側が西側より 2 倍程度速い）を弱め、潮の満ち引きで生じるのは単なる同じ海水が北上、南下を繰り返す往復流としての性格を強くすることになると考えられます。潮の満ち引きの結果として元来発生していた「反時計回りの表層の潮の流れ」が衰退し、そこへ筑後川などから栄養塩濃度の高い河水が流入すると赤潮が発生し、その赤潮の発生した表層の水が奥部海域に長く留まってしまうことになるかと推論することができます（図 10）。また、潮流が大幅に弱まった諫早湾内でも、同じように赤潮が発生しやすくなることとなります。

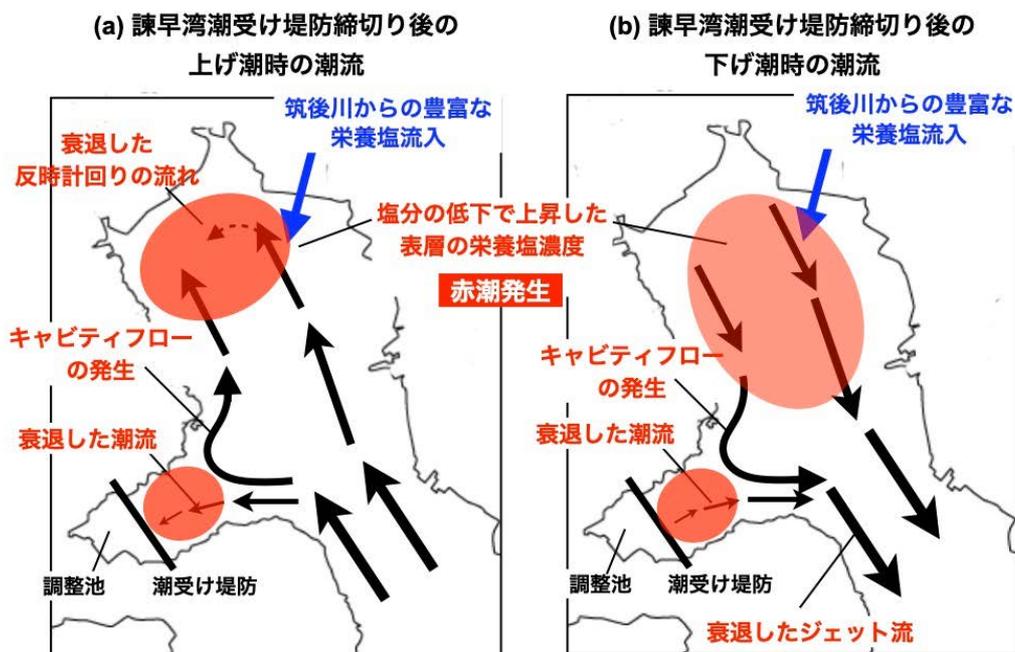


図 10 諫早湾の潮受け堤防の締め切り後に有明海奥部および諫早湾において赤潮が頻繁に発生するしくみについての概念図

赤潮は諫早湾と有明海奥部で別々に頻発していると説明し、異なる原因で起きているかのような印象を与える方をお見かけすることありますが、そのような説明には賛同できません。両方の海域では潮流が以前より弱まっているという共通点がありますし、有明海奥部における反時計回りの潮の流れの衰退は、諫早湾の潮受け堤防の締め切りによる同湾内の潮流の大幅な減速から連鎖的に起きている可能性が示唆されます。私の見解では、諫早湾の潮流速を元に戻せば、両方の海域で赤潮が起きにくくなると考えています。

一方、諫早湾における潮受け堤防の締め切り前の状態であれば、井上（1980）<sup>17)</sup>による潮流調査の結果が示すように（図 8）、表層では、上げ潮の時には有明海奥部東側と諫早湾の奥部へ勢いよく潮流が流れ込み、有明海奥部西側へ侵入する潮流速は東側に比べると大幅に遅くなります。そのため、有明海最奥部では東側から西側に向けて回り込むような流れが発生することが想定されます（図 11）。

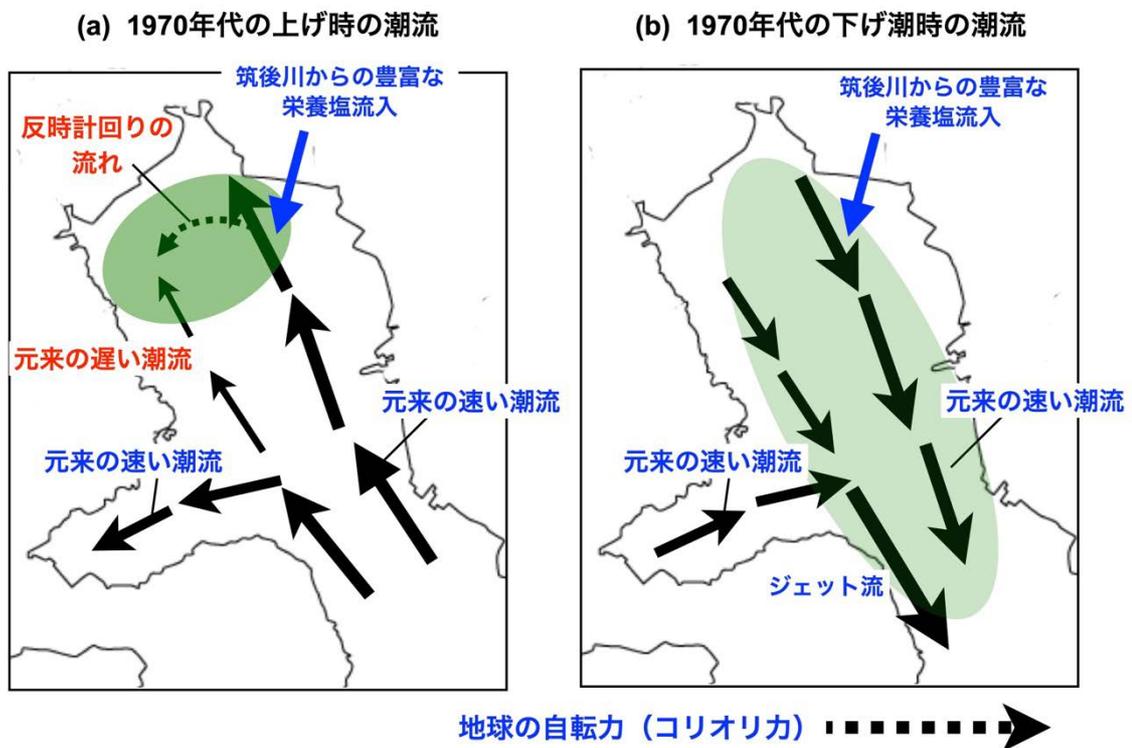


図 11 諫早湾の潮受け堤防の締め切り前における有明海奥部および諫早湾の潮流の特徴についての概念図

下げ潮の時には、有明海奥部ならびに諫早湾奥部の表層の水は、有明海の湾央部、さらには湾口部に向けて勢いよく出て行きます。また、地球は西から東に向けて自転しているのです。その力（コリオリカと言います）も加わります。例えると、有明海は西から東へ回る球の上側に乗っているようなもので、下げ潮の時はそこを水が上から下って行くような状態とな

ります。その時には自然に西側へとより多くに水が集まることとなります。それらの結果として、島原半島沿いにはジェット流と呼ばれるもっとも速い潮流も生まれ（図 11）、有明海奥部の東側から流入してきた高濃度の栄養塩を含む河川水は有明海の湾中央部や湾口部へと速やかに運ばれながら、周囲の低栄養塩濃度の海水と攪拌されて、植物プランクTONの増殖に適度な濃度へと希釈され、赤潮の発生は抑えられることになると考えられます。また、その栄養塩を利用して適度な増殖を遂げた植物プランクTONを様々な魚介類が利用することで、「豊饒の海」と称された豊かな恵みを生む有明海の生態系が成立していたと考えられます。私の記憶に残る子供の頃（1960年代）に見た有明海は、まさにそのような特徴を持った海であったはずで

### むすび 有明海奥部海域の将来へのさらなる警鐘

昨年秋から続く赤潮の発生によって、今シーズンのノリ養殖漁業は有明海全域で深刻な色落ち被害を受けることとなっています。このことに対する私の見解はすでに説明したことです。雨が降ったり降らなかったり、そのことによる河川を通しての有明海への栄養塩類の流入量の短期的な増減が、直接的な原因とはなっていません。このレベルの現象は、有明海の潮の流れにかかわる海としての基本的な特性の変化によるものです。今回にかぎらず、図 2 に示すように、2000 年以降、有明海で発生する赤潮の年間件数は 36 回前後で高止まりの状態が続いています。

そこでさらに危惧することがあります。赤潮は植物プランクTONが異常に増殖して海が着色した状態を指します。この植物プランクTONは最終的には木の葉が枯れるのと同じように枯死して、海底に降り積もります。その量が増えていくと、夏に水温が上昇した時に一気に分解が進み、海底付近の酸素が消費されて貧酸素状態となります。海底に棲息する動物（貝類、エビ・カニ類、ゴカイ類、底魚類など）が大量死してしまい、それらを捕食する大型のカニ類、タコ類、魚類なども餌が尽きてしまいます。すでに、夏に貧酸素水が有明海奥部の広範囲にわたる海域で発生していることは知られていますが<sup>21,22)</sup>、今後、さらに発生域が拡大したり、貧酸素の度合いが強くなっていくことが予想されます。

このような状態を毎年繰り返していると、いよいよ有明海における沿岸漁業は壊滅的な打撃を受けることとなり（すでにそのような打撃を受けているのですが）、沿岸の地域社会は衰退の一途を辿ってしまいます。これを防ぐには、周りを見わたしながら情で判断するのではなく、冷静な理屈で直面することに向き合う必要があります。我々は何を考え、どう判断し、何をなすべきなのでしょう？ 今、そのことが問われているのではないのでしょうか？

## 引用文献

- 1) 環境省 2017. 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告. 環境省, 584 pp.
- 2) 水産庁九州漁業調整事務所 2018. 平成 29 年九州海域の赤潮. 水産庁九州漁業調整事務所, 福岡, 124 pp.
- 3) 清本ら (2008) 清本容子・山口一來・中田英昭・石坂丞二・田中勝久・岡村和麿・熊谷香・梅田智樹・木野世紀 2008. 有明海における透明度の長期的上昇傾向及び赤潮発生との関連. 海の研究 17: 337-356.
- 4) 堤 裕昭 2011. 有明海奥部で赤潮が発生し貧酸素化が進む理由. 科学 81: 450-457.
- 5) 柳 哲雄 1989. 7. 3 河川から流入する浮力に起因する密度流. 沿岸海洋学 ―海の中でものはどう動くのか― 改訂版, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 56-60.
- 6) 田中昌宏・稲垣 聡・山本克則 2002. 有明海の潮汐及び三次元流 動シミュレーション. 海岸工学論文集 49: 406-410.
- 7) 堤 裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃 政則・山口一岩・高橋 徹・門谷 茂 2004. 広域観測による有明海水環境の現状. 沿岸海洋研究 42: 35-42.
- 8) 堤 裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃 政則・山口一岩・高橋 徹・木村成延・立花正生・小松利光・門谷 茂 2005. 陸域からの栄養塩負荷量の増加に起因しない有明海奥部における大規模赤潮の発生メカニズム. 海の研究 15: 165-189.
- 9) Tsutsumi H 2006. Critical events in the Ariake Bay ecosystem: Clam population collapse, red tides, and hypoxic bottom water. Plankton and Benthos Research 1: 3-25.
- 10) Orita R, Umehara A, Komorita T, Choi J-W, Montani S, Komatsu T, Tsutsumi H 2015. Contribution of the development of the stratification of water to the expansion of dead zone: a sedimentological approach. Estuarine, Coastal and Shelf Science 164: 204-213.
- 11) Tsutsumi H, Takamatsu A, Nagata S, Orita R, Umehara A, Komorita T, Shibamura S, Takahashi T, Komatsu T, Montani S 2015. Implications of changes in the benthic environment and decline of macro-benthic communities in the inner part of Ariake Bay in relation to seasonal hypoxia. Plankton and Benthos Research 10: 187-201.
- 12) 安井善一・赤松英雄・中村 勲 1954. 有明海の総合開発に関連した海洋学的研究 I. 長崎海洋气象台, pp. 3-40.
- 13) 長崎水産試験場 1956. 有明海の開発 (のり漁場) 調査. 有明海調査 (6): 1-46.
- 14) 鎌田泰彦 1967. 有明海の海底堆積物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告 18: 71-82.
- 15) 柳 哲雄 2006. 有明海の環境変化の原因. 有明海異変と諫早湾干拓の関連解析にむけて一助成研究論文集一. 財団法人自然保護助成基金, 東京, pp. 7-50.

- 16) 中野拓治・富田友幸・長谷川明宏・細田昌広 2005. 諫早湾干拓事業による有明海の潮汐・潮流への影響について. 農業土木学会論文集 228: 123-132.
- 17) 井上尚文 1980. 有明海の物理環境. 沿岸海洋研究ノート 17: 151-165.
- 18) 堤 裕昭・小松利光 2016. 第5章「有明海奥部海域の海底堆積物と潮流速の関係. 諫早湾開門研究者会議(編) 諫早湾の水門開放から有明海の再生へ, 諫早湾開門研究者会議, 東京, pp. 89-103.
- 19) 九州農政局 2008. 6. 潮流調査. In: 「有明海の再生に向けた新たな取組」, 環境変化の仕組みの更なる解明のための調査—調査結果のまとめ—. 農林水産省九州農政局, pp. 6-1~6-50.
- 20) 九州農政局 2012. 第6編 調査の結果の概要並びに予測及び評価の結果, 潮流. In: 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書, 6. 1. 1-21~6. 1. 1-53.
- 21) 堤 裕昭・堤 彩・高松篤志・木村千寿子・永田紗矢香・佃 政 則・小森田智大・高橋 徹・門谷 茂 2007. 有明海奥部における夏季の貧酸素水発生域の拡大とそのメカニズム. 海の研究 16: 183-202.
- 22) 堤 裕昭 2021. 有明海の赤潮頻発に端を発する生態系異変のメカニズム. 日本ベントス学会誌 76: 103-127.