

模が拡大し、その影響が及ぶと、底生生態系が破壊され、一転、赤潮や貧酸素化にさらに拍車をかける大きな負荷源(ハイド的)に豹変してしまう。このことは、人為的な負荷削減が焼け石に水状態となる水質悪化の負のスパイラルに陥ってしまうことを意味する。



近年、和久ら(2012)は三河湾における水深5mよりも浅い海域で、出現する底生生物の種類数が5種以下に低下し、水質浄化機能がほとんど無くなっているエリアをデッドゾーン(Dead Zone)と表現し、その面積を27.8km<sup>2</sup>と推測した。この面積は上述した1970年代の消失干潟・浅場面積1,200ha(12km<sup>2</sup>)の2.3倍に相当し、その79%は湾奥部に作られた大規模な泊地、航路であることから、大規模な埋め立てが同時に浚渫や閉鎖等の地形改変を伴い、干潟・浅場の消失面積を上回る面積をデッドゾーン化させている。このデッドゾーン化の実態は、上述のジキルからハイドへの豹変現象が港湾域を中心に広範囲に起こっていることを端的に示している。泊地や航路のような水域は、物流等、地域の経済活動に重要な役割を果たしている一方で多くの場合デッドゾーンを作り出し全湾の環境悪化を助長している事実は直視しなければならない。港湾機能を損ねない何らかの改善対策を今後の港湾整備の中で早急に検討する必要がある。生態系を破壊しない賢明な開発が問われる現在、衣浦港、三河湾という我が国で最も重要な港湾と日本最大の二枚貝類漁業が共存する三河湾こそがその模範となるべきであろう。

#### 4. 三河湾環境修復の方針と課題

##### 4.1 湾の生態系の特徴をベースとした効果的対策とは?

効果的対策を実施するには、三河湾の生態系の特徴を知らなければならない。そもそも、貧酸素化につながる夏季の植物プランクトン量はどのような要因によってコントロールされているのだろうか? 三河湾では過去にこの点に関する詳細な調査・解析が行われている(Suzuki & Matsukawa,1987,Suzuki et. al. 1987)。その結果を要約すると以下のようである。

植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩には二つの供給経路があり、一つは河川を通じての陸域からの経路であり、もう一つは、河川水の流入によって引き起こされる内湾固有の水循環による湾口底層からの経路である。この2経路からの豊富な栄養塩供給により“常に”赤潮になりうるような高い植物プランクトンの生産があるにもかかわらず、それらを摂食する動物

プランクトン、マイワシ等の魚類、二枚貝等の底生生物等によって、生産されるやいなや摂食され、結果として、海水中の植物プランクトン生産は低い水準に押さえられるという生態系の特徴が明らかにされている。この研究結果の意味するところは、赤潮になるかならないかはN,Pのような栄養塩が陸からどのくらい供給されるかということよりも、生産された植物プランクトンを様々な動物群がどのくらいの時間にどの程度食べてしまうかによっているという点である。このような現象は既に1970年代半ばに三河湾と類似したアメリカ北部ロードアイランド州ナラガンセット湾において生態系モデルを利用した著名な研究から明らかにされている(J.N.Kremer & S.W.Nixon,1978)。近年、我が国でも生態系モデルを利用した研究からも、浅場の消失とそれに伴うアサリ等二枚貝類資源の減少が、三河湾の貧酸素水塊形成の規模と深く関係していることが報告されている(山本ら,2008)。

次に、視点を変えて三河湾における栄養塩類のここ30年間の経年的な変化傾向を見てみよう。図5を見るとTN(総窒素)、TP(総リン)は総量削減が実施されてきたにもかかわらずあまり変化しておらず、TN,TPに占める無機態のDIN、PO<sub>4</sub>-Pの割合(DIN/TN比、PO<sub>4</sub>-P/TP比)が大きく減少している。DIN/TN比では30年前に比べ1~2割、PO<sub>4</sub>-P/TP比では2~3割減少している。TN,TPは様々な形態の窒素やリンから構成されており、大きくDIN、PO<sub>4</sub>-Pのような無機態と植物プランクトンのような有機態に分けられる。水中では無機態は光合成により植物プランクトンのような有機態に変換され、植物プランクトンは動物によって摂食されること等によって再度無機態に戻るという循環をするため、この循環が保たれている状態では無機態と有機態の割合はほぼ一定に保たれる。しかし、TN,TPに占めるDIN、PO<sub>4</sub>-Pの割合が減少傾向にあるということは、無機態に戻るルートが滞り、植物プランクトンのような有機態での存在状態に偏ってきていると判断される。裏返せば流入負荷の削減によって期待された植物プランクトンなどの懸濁態有機物は減少しておらず、逆に増加している可能性が示唆される。残念ながら懸濁態有機物濃度の長期観測結果はないため、植物プランクトン量の指標となるクロロフィルaの傾向から推測して見ると、やはり図5に示すように近年2~3割程度増加しており、この推測が誤りではないことを示している。また、クロロフィルaは動物に食べられ排泄されると分解してフェオフィチンに変化する。そのフェオフィチンがクロロフィルaとは逆に顕著に減少していることは、植物プランクトンを食べる動物群集の摂食圧が年々低下している可能性を示唆している(鈴木ら,2011)。これら長期の水質調査の結果も、現在の三河湾では植物プランクトン量を低くコントロールしている動物群集が減少し、水中から貧酸素化の原因となる懸濁態有機物を取り除く能力が劣化していることを示している。流入負荷の総量削減が強化されても図2に示したような貧酸素化の規模が一向に減少せず、逆に近年増加傾向にあることはこのような理由によっていると考えるべきである。動物群集の摂食能力低下は、埋め立てに起因する干潟・浅場の喪失や

浅場のデッドゾーン化が原因となっている。さらに、N,Pの総量削減は貧酸素化の抑制に効果的でないだけでなく、動物群集の摂食圧の低下と相まって、湾口底層からの栄養塩供給が少なくなる冬季の海藻の繁茂やノリ養殖に必要な無機態栄養塩類を減少させ、生物多様性の低下やノリ養殖への悪影響を惹起している可能性も高い。

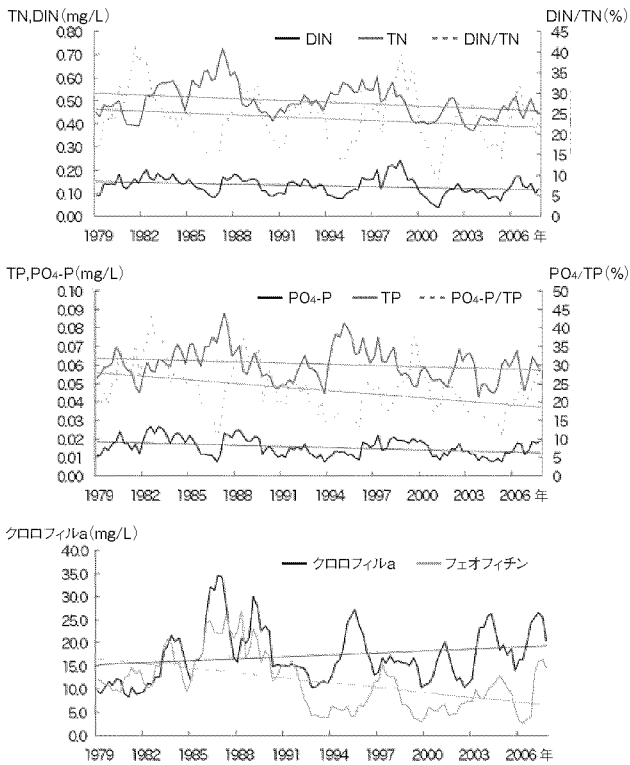


図5 三河湾における栄養塩類及びクロロフィルaの経年変化

#### 4.2 干潟・浅場修復の必要性和環境修復事業の効果

現在の三河湾の状況をもう一度整理してみよう。三河湾は、大川や湾口底層から流入する栄養塩量と、入り口が狭く、奥行きが広く、浅いという地形的特徴に裏付けられた本来の高い植物プランクトン生産をもっている。しかし、1970年代の埋め立てを契機として植物プランクトンを制御する底生生態系が破壊され、より高次の生物生産に転換することができなくなった。その結果、海域の豊かさを実現する基礎となる植物プランクトン生産が無駄に海底に沈降・分解することとなり、貧酸素化が引き起こされた。その貧酸素化の拡大がさらに浅場にも影響を与え、本来的に浄化の場である浅場を負荷源へと豹変させ、ますます水質悪化の負のスパイラルから逸脱できなくなっている。

従って健全な生態系を回復させるためには、埋め立てを契機とした貧酸素化による水質悪化のスパイラルを脱し、生物的機能による自律的な回復軌道(水質改善のスパイラル)に復帰させることが重要となる。そのためには残存干潟・浅場域の保全はもちろん、大規模な干潟・浅場造成やデッドゾーン化している航路・泊地の改善が必須である。特に干潟・浅場の修復を一刻も早く積極的に推進することが三河湾再生にとって最も肝要であり、従来からの流入負荷削減関連施策を

一旦見直すことや、瀬戸内海の一部で実施されている下水道処理水をノリのような生物生産に転化させる技術的運用方法を検討することなども必要であろう。(石田・青山,2012)。

三河湾では、貧酸素化による水産資源の減少に危機感を抱いた愛知県漁業協同組合連合会の強い要望により、湾口航路拡幅に伴い発生する海砂を利用し国、県の連携事業により1998年から2004年にかけて39カ所、合計600haの干潟・浅場造成事業が行われた。近年その効果が確認されつつあることも三河湾再生の大きなヒントとなる。

### 5. 今後の課題

図6に示すように、全国的にアサリ漁獲量が激減する中で、三河湾を主漁場とする愛知県では2006年以降増加傾向にあり、2010年度の漁獲量は17,636tonで全国の64.9%を占めている。これは湾口が狭いためアサリの浮遊幼生が生存できない外海に流出せず、内湾に留まる確率が高いことや、減少しているとはいえ干潟・浅場が湾内各所に存在していることによる幼生供給ネットワークの存在による。さらに豊川河口域のアサリ稚貝の発生海域の保全と漁業者による活発な移植放流活動、および上述の航路浚渫砂を利用した干潟・浅場の大規模造成や過去の浚渫土砂採取跡の埋め戻し等、今までの国・県による環境修復事業の実施も大きく寄与している。このような修復事業が既に実施され効果を挙げている海域は全国にも例を見ない。デッドゾーンが多く分布している港湾域においても多変量解析(和久ら(2012))の結果、港湾域のデッドゾーン化の環境改善策としても、港湾内の小規模な干潟造成の有効性が示唆されている。

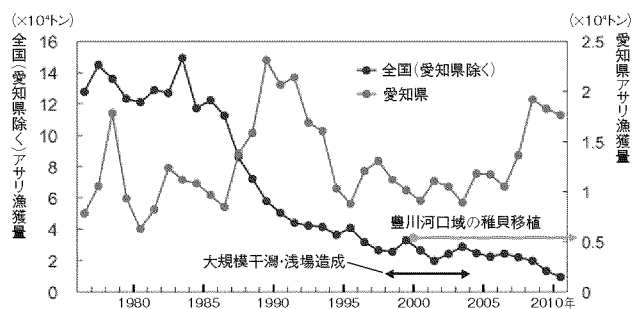
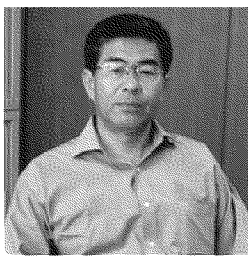


図6 愛知県と愛知県を除く全国のアサリ漁獲量の推移

現在行われている三河湾再生に係る国土交通省中部地方整備局や環境省の検討作業結果も干潟・浅場の保全・造成を最も重要と指摘しており、大量の良質砂の確保方法等その課題を整理しつつある。また底層の溶存酸素濃度が新たに環境基準化される見通しであり、その際、環境基準を達成するには、埋め立てや浚渫等の地形変化にも慎重な配慮が今まで以上に必要となるであろう。今年度から愛知県知事の発案によって開始される三河湾再生行動計画策定作業では、このような国の検討結果を受け、その実現に向けた県としての具体化作業が市民、漁業者等の参加の中で検討されることになっている。三河湾再生を掲げた首長の英断に大いに期待したい。

[参考文献]

- ・曾根亮太・蒲原聡・山田智・二ノ方圭介(2013):  
2012年夏季の三河湾における貧酸素水塊に対する底生性魚類の分布及び1986年調査結果との比較,愛知水試研報,18,21-32
- ・石田基雄・鈴木輝明(2009):  
伊勢湾地域の底層における貧酸素水塊問題の現状と対策の動向,資源環境対策45,36-42
- ・Suzuki, T (2001) Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem., J. Environmental Quality, 30, 291-302.
- ・(財)河川環境管理財団(2008):  
流域における栄養塩等物質の動態と沿岸海域生態系への影響に関する研究成果のとりまとめ(三河湾ケーススタディー)
- ・青山裕晃(2000):  
三河湾における海岸線の変遷と漁場環境,愛知水試研報7,7-12.
- ・Cloern, J. E. (1982) Does the benthos control the phytoplankton in South San Francisco Bay? Mar. Ecol. Prog. Ser., 9, 191-202.
- ・Officer, C.B., T. Smayda and R. Mann (1982) Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. Mar. Ecol. Prog. Ser., 9, 203-210.
- ・青山裕晃・鈴木輝明(1997):  
干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定.水産海洋研究, 61, 265-274
- ・鈴木輝明(2000):  
三河湾の干潟域と水質浄化機能.海洋と生物, 129, 315-322
- ・鈴木輝明・市川哲也・桃井幹夫(2002):  
リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝類浮遊幼生の供給源予測に関する試み —— 三河湾における事例研究 —— .水産海洋研究,66,88-101.
- ・鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・畑恭子(1999):  
貧酸素化の進行による底生生物群集構造の変化が底泥-海水間の窒素収支に与える影響 —— 底生生態系モデルによる解析 —— 海洋理工学会誌,4,65-80
- ・和久光靖・金子健司・鈴木輝明・高倍昭洋(2012):  
沿岸域におけるデッドゾーンの分布 —— 三河湾の事例 —— 水産海洋研究,76,187-196
- ・Suzuki.T and Y.Matsukawa(1987):  
Hydrography and budget of dissolved total nitrogen and dissolved oxygen in the stratified season in Mikawa bay,Japan. J.Oceanogr.Soc.Japan,43,37-48
- ・Suzuki.T.,K.Ishii,K.Imao and Y.Matsukawa(1987):  
Box model analysis on the phytoplankton production and grazing pressure in a eutrophic estuary.J.Oceanogr.Soc.Japan,43,261-275
- ・Kremer, J. N. and S. W. Nixon (1978):  
A coastal Marine Ecosystem (Ecological studies; v. 24), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- ・山本裕也・中田喜三郎・鈴木輝明(2008):  
三河湾における貧酸素水塊形成過程に関する研究,海洋理工学会誌, 14,1-14
- ・鈴木輝明・大橋昭彦・和久光靖(2011):  
内湾の水質環境の現状と課題,海洋と生物,193,117-126
- ・石田基雄・青山高士(2012):  
伊勢・三河湾における水質変化と漁獲量変動について,海洋と生物, 34-149-157



鈴木輝明 ● すぎき てるあき

京都大学農学部卒業。農学博士。専門は水産海洋学。内湾域の貧酸素化に関連する親生物元素の物質循環、赤潮発生に関わる動物プランクトンの摂食圧、干潟・浅場やアマモ場の物質循環の解析等に関する研究を実施。水産海洋学会宇田賞をはじめ、水産海洋学会、水産工学会、海洋理工学会における論文賞等受賞多数。2010年に愛知県を定年退職し、現職は名城大学大学院総合学術研究科特任教授。三河湾再生プロジェクト推進委員会会長。伊勢湾再生推進会議海域検討会委員、水質環境基準(生活環境項目)新基準検討委員会委員、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)環境有識者会議委員等を歴任。近著に『水産の21世紀』(共著/京都大学出版会)、『都市・地域・環境概論』(共著/朝倉書店)。