

## 東京湾の漁業と環境 No.2

メタデータ	言語: 出版者: 水産総合研究センター 公開日: 2024-03-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2000512">https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2000512</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



# 東京湾の漁業と環境

第2号

平成22年9月

Fishery and Oceanography in Tokyo Bay

No. 2, September 2010

中央水産研究所

National Research Institute of Fisheries Science

Yokohama, JAPAN

本号は、平成 22 年 2 月 4 日に東京都港区で開催された、中央ブロック水産業関係研究開発推進会議・東京湾研究会において発表された論文・要旨および議事録等を収録したものである。

# 東京湾の漁業と環境 第2号

## 目次

ミニシンポジウム「漁業にとっての内湾環境・水質をどう考えるか」報告

### 1. 趣旨説明

漁業にとっての内湾環境・水質をどう考えるか 児玉真史・黒木洋明 1

### 2. 基調講演

内湾漁業再生の方向性と課題ー 三河湾を例とした流入負荷管理施策の限界ー  
鈴木輝明 3

陸域からの負荷変動に対するエスチュアリー生態系の応答 山本民次 9

### 3. 研究報告

東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の経年変化 二瓶泰雄 17

東京湾のアサリ幼生の生存と分布に与える貧酸素水の影響（要旨）  
鳥羽光晴\*・小瀬村智行・山川 紘・杉浦佳夫・小林豊 23

東京湾奥における生物と環境 小泉正行 24

東京湾における底生生物相の季節変動（要旨） 田島良博 31

平成 21 年度中央ブロック東京湾研究会 議事録 32

平成 21 年度中央ブロック東京湾研究会 出席者名簿 36

## 漁業にとっての内湾環境・水質をどう考えるか

How should we consider the ‘environment’ and water quality for the Coastal Fisheries?

児玉真史\*<sup>1</sup>・黒木洋明\*<sup>2</sup>  
(シンポジウム・コンビーナー)Masashi KODAMA\*<sup>1</sup>, Hiroaki KUROGI\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> 水産総合研究センター 中央水産研究所 海洋生産部, 236-8648 横浜市金沢区福浦 2-12-4  
mkodama@affrc.go.jp

Marine Productivity Division, National Research Institute of Fisheries Science, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa,  
Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan

\*<sup>2</sup> 水産総合研究センター 中央水産研究所 浅海増殖部, 238-0316 横須賀市長井 6-31-1

Coastal Fisheries and Aquaculture Division, National Research Institute of Fisheries Science, 6-31-1  
Nagai, Yokosuka, Kanagawa 238-0316, Japan

わが国では、高度経済成長期以降に膨大な量の窒素・リンなどの“負荷”が河川を通じて海域に流入した結果、東京湾・伊勢湾・瀬戸内海などの閉鎖性海域において富栄養化が進行し、赤潮や貧酸素水塊の発生による多くの環境・漁業被害が引き起こされた。これはわが国における内湾漁業の歴史を省みたときに最も重大な出来事の一つであろう。その後、これらの海域における環境は、いわゆる総量規制制度の導入による負荷の削減によって一定の改善をみた。一方で、内湾域における漁業生産は80年代以降大きく減少し、現在も低迷が続いている。本稿では内湾環境、特に負荷の削減に関わる歴史的経緯と最近の水質と漁業生産を巡る議論について概観し、本シンポジウムの趣旨説明としたい。

水質総量規制制度は、1979年度から5年後の1984年度を目標年度とした第1次総量規制を皮切りに本シンポジウムが行われた2009年度までに第6次の総量規制までが実施されている。中央環境審議会の資料(中央環境審議会 2010)によると、第1次総量規制が開始された1979年度には477 t/dayであった東京湾へのCOD(化学的酸素要求量)負荷量は、第5次の目標年度である2004

年には211 t/dayにまで減少し(削減率56%)、伊勢湾、瀬戸内海においてもそれぞれ39%、45%が削減された。これによりCODの環境基準達成率では、瀬戸内海(大阪湾を除く)において80%に達する高い達成率を実現し一定の成果をみた。しかしながら、同じCODの環境基準達成率でも東京湾では60%程度、伊勢湾でも40-60%前後と決して高いとはいえない状況で推移した。さらに、赤潮や貧酸素水塊の発生状況についても規制開始当初は改善のみられた海域もあったが、多くの海域では著しい改善はみられず、いわば慢性化した状態であった。そこでCODのさらなる改善と内部生産による富栄養化の防止を図るため、第5次(1999年開始)以降は窒素とリンも総量削減指定項目として追加され、窒素・リンについても削減開始時から2004年度までに東京湾でそれぞれ18%、27%が削減されてきた。CODと同様に窒素・リンの環境基準の達成率をみると2008年度の時点で大阪湾を除く瀬戸内海では96.5%とほぼ達成されている状況にあるが、東京湾では50%と大きくわけて低い。

このように、海域に流入する負荷は着実に削減されているにもかかわらず、東京湾、伊勢湾および

大阪湾においては環境基準達成率が低いことから、2010年3月の中央環境審議会による「第7次水質総量削減の在り方について」の答申では、今後も着実に水環境を改善するための取り組み、すなわち、さらなる負荷の削減が必要であるとしている。一方で冒頭に述べたように低下した漁業生産に回復の兆しはみられないばかりか、負荷削減の結果、水質の改善が顕著な瀬戸内海(大阪湾を除く)などにおいて、生産力の低下、生態系の劣化を危惧する指摘がなされている。要するに「海域への負荷は減少し、水質は一定の改善がみられているものの、漁業生産は低迷している」ということである。

これは一見難解な問題のようであるが、ここで論点として3つの問題を提起したい。まず、果たして海域への負荷は本当に減少しているのか？ということである。ここで中央環境審議会が基準として用いている負荷はいわゆる原単位法により算定されたものであり、出水時の負荷を十分反映できていないことから、実際に湾内に流入する負荷を正確に評価できていないのではないかと指摘がなされている(二瓶ほか 2008)。次に、誤解を恐れずに言えば、これまで目標とされてきたのはあくまでも白砂青松の“きれいな海”を目指すための環境基準の達成であり、水産の視点は皆無であった。そのような方策では当然、漁業生産の回復は期待できない。とはいえ、流入負荷の変動に対して生態系がどのように応答し、有用資源の変動にどうつながるかについては十分に理解が進んでいないのも事実である。今一つは、近年の内湾における漁業生産の低迷は必ずしも流入負荷の問題だけではないということである。漁業構造の変化など漁業活動そのものの問題はここでは置くとして、環境だけに着目しても、開発にともなう干潟・浅海域の消失が重大な影響を及ぼしていることは多くの研究者が指摘しているとおりであろうし(例えば、Suzuki 2001)、ダム建設等河川流域の開発の影響もきわめて大きいものと考えられる(宇野木ほか 2008)。

近年、遠洋・沖合漁業の低迷が続く中で閉鎖性内湾等の沿岸漁業の重要性が増大している。また、閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会(2010)においては、閉鎖性海域中長期ビジョンが策定され、底層 DO と透明度が新たな指標として設定された。さらに、平成 19 年に海洋基本法が施行され、沿岸海域の管理のあり方についても議論が進められている。このような現状において、水産の立場からも持続可能な漁業生産を維持するための環境容量と適正な水質の基準を提示することが急務となっている。今後、第8次の総量規制や中長期的な閉鎖性海域のあり方に対しての水産の立場からの提言に向けて知見の充実を図る必要がある。本シンポジウムでは、上に述べた3つの論点に関わる講演を中心にお願いした。本シンポジウムが持続的漁業生産の視点から内湾環境・水質をどう考えるかを議論し、今後の調査・研究を進める材料となれば幸いである。

#### 引用文献

- 中央環境審議会, 2010: 第7次水質総量削減の在り方について(答申). 66p.
- 二瓶泰雄・大塚慧・影山英将・広瀬久也, 2008: 東京湾における流入負荷の経年変化. 海岸工学論文集, 55, 1226-1230.
- Suzuki T., 2001: Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem, *J. environmental Quality*, 30, 291-302.
- 宇野木早苗・山本民次・清野聡子編, 2008: 川と海, 築地書館, 東京. 297p.
- 閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会, 2010: 閉鎖性海域中長期ビジョン. 86p.

内湾漁業再生の方向性と課題  
 — 三河湾を例とした流入負荷管理施策の限界 —  
 鈴木輝明\*1†

Teruaki SUZUKI\*1†

\*1 愛知県水産試験場 , 443-0021 蒲郡市三谷町若宮 97

Aichi Fisheries Research Institute, 97 Wakamiya, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan

はじめに

種苗生産・種苗放流という事業は水産資源水準が低迷する中でその打開のための中心的な施策(作り育てる漁業)として精力的に国, 地方自治体によって実施されてきており, 現在もその位置づけは変わっていません。しかし今までの種苗放流が水産資源回復に有効に機能したのかどうかは一部の魚種を除き意見の分かれるところです。水産資源の低下には様々な要因が関与しています。特に資源減少が顕著な主要内湾においては埋め立てにより干潟や浅場, 藻場といった極浅海域が喪失し, 水産資源の産卵場, 幼稚仔保育場がかなりの割合で減少したこと, さらに水質浄化機能の低下により貧酸素等水質環境悪化が顕在化し, 特に夏場の生残率が悪化したこと, さらにこのような漁場環境悪化による資源減少を漁獲努力量の増大によって補わざるをえない漁家経営の脆弱さによって乱獲状態が慢性化したこと等が挙げられます。これら要因が輻輳して資源の長期的低落傾向に一向に歯止めが効かない状態に陥っているというのが現状です。このように多様な原因がありながら, 何故, 種苗生産, 種苗放流という対象療法的施策だけが注目され中心的に実施されてきたのでしょうか? うがった見方かもしれませんがこれには次のような要因があると私は考えています。①少なくなったら人工的に種苗を生産・放流して増やせば良いという技術至上主義的な短絡した説明がわかりやすいため予算や労力が獲得しやすい。

省庁の権限であり, 水産生物の生存には直接関係のない環境基準(COD, TN, TP 等)を満たすかどうかの主たる内容である。肝心の漁業影響評価には開発事業者に法的な履行義務がないため, 影響回避の有効な対策が立てられず, 事業推進の補償行為として種苗生産・種苗放流が最も説明しやすく, 合意が取り付けられやすい唯一の対応策である。③水産研究者が水産資源減少要因に対する抜本的かつ科学的な説明責任を半ば放棄し, 安易に種苗放流を是としている。④大規模化した種苗生産機関の人的, 経済的既得権益を守る必要がある。⑤新たな栽培対象魚種が無限にあることを逆手にとった盲目的な栽培漁業推進派が存在している等であると思われます。しかし, 漁業者も当初は種苗生産・種苗放流に期待をし, その推進に積極的協力していたものの, その効果が明瞭にみえないことからいらいだちを隠しきれないでいるのが現状です。

何故種苗放流が顕著な効果をもたらさないのでしょうか? これにはそもそも海洋生態系内のある種は, 当該種を巡る食う食われるの食物連鎖構造を中心とした生態系の動的バランスの中に存在していますので, 単一種の繁栄を生態系の中で支えることには限界があり, 多様性の中に埋没してしまうという事実があります。このそもそも論を仮に棚上げしたとしても, より重要な視点は種苗放流が沿岸域管理の問題と分離して実施されているという点だと思われます。水産資源回復のための種苗放流の効果が沿岸域管

†(現) 名城大学大学院総合学術研究科, 468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501

Graduate School of Environmental and Human Sciences, Meijo University, 1-501 Shiogamakuchi, Tenpaku, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

②埋め立て等開発事業の影響評価は水産以外の他 理とどのように関係しているのかを端的に示す興味

深い調査結果があります。これは適地放流という考え方を実践するための調査です。適地放流とは放流する際に、生き残り率がより高い場所を探して集中的に放流しようという発想です。一般に内湾では湾奥部に発達した河川と浅い地形、そして狭い湾口が特徴です。このような地形的特徴は高温・高塩分の外洋水塊の進入を抑制し、河川水起源の低塩分の湾内水塊の卓越をもたらします。浅いという地形的特徴は水温の季節変化を大きくするので、外海との間に水温差が生じることになり、この水温差が生物の産卵、索餌、越冬などの回遊行動を規定します。冬季、水温がもっとも低下する頃には内湾種の多くはすでに湾外の深場に越冬のため移動しており、湾内には北方冷水性魚類の仲間や移動性の少ない魚介類がわずかに卓越するのみですが、水温上昇がはじまる春には多くの魚類が産卵、索餌のため来遊し、豊富な動植物プランクトンや底生動物などの餌生物を食べ成長します(船越 1981)。例えば漁獲日本一を誇る愛知産トラフグ(写真1)は湾口伊良湖岬沖の遠州灘(渥美外海)の水深30m 程度の砂礫底で産卵しますが、4月から5月にかけてふ化した稚魚は内湾に来遊し、干潟・浅場周辺を回遊しながら北上して、6月頃には湾最奥の名古屋港内でも数センチの稚魚が多数見られるようになります。このような回遊行動の目的は豊富な餌を求めると、大型捕食魚からの逃避と考えられています。10月には20cm程度に成長し、その後水温の低下に伴って渥美外海に主たる生息域を移し、冬の味覚の代表であるテッチリ鍋の材料として延縄で漁獲されます。このトラ



写真1 愛知県産トラフグ

フグ資源の水準を増加・安定するために資源を利用する東海3県と(独)水産研究センターが協力して適地放流調査を実施しました。人工的に種苗生産したトラフグ稚魚に特殊な標識を付け、遠州灘、熊野灘、伊勢湾内等の様々な海域9カ所から放流して漁獲への加入効果を2001年から2004にわたって追跡した調査です。その結果、興味深い事実が明らかになりました。調査結果は、伊勢湾内知多半島常滑地先(中部国際空港近傍)の干潟域に放流した稚魚の漁業による回収率は産卵場や漁場に近い遠州灘沿岸(1%~6%)や熊野灘沿岸(0.4%~1.3%)の外海よりも非常に高く(12%~26%)、トラフグ稚魚の放流適地は伊勢湾内の浅場であるという結果です(阿知波ほか 2006)。このような適地放流という考え方は単に大量の稚魚を放流すれば効果が現れるというものではなく、放流後の稚魚の生残に好適な場所、すなわち餌が豊富にあり、大型捕食魚から逃避できる環境を有した場所が必須であるという当然の結果を示したものであるといえます。とりもなおさず、豊かな餌場であり、かつ大型捕食魚の少ない海域というのは内湾であり、かつその中でも干潟等の極浅海域なのです。これはトラフグに限らず産卵場がどこであれ幼稚魚時代を湾内で過ごす水産生物種が非常に多いのもこのような場の存在に他なりません。近年、沿岸域管理の中で干潟・藻場を含む極浅海域の重要性について水質浄化機能の視点から重要視されるようになったことは望ましいことです。しかし、沿岸域管理やその延長線上にある流域圏管理の中心的課題とされている流入負荷管理がこのような豊かな餌生物をはぐくむことを念頭に議論されているのかとさえいえることは言い切れません。入り口が狭いという特徴を持つ内湾域では負荷削減方針が規定の路線として踏襲され、その是非についての議論はあまりなされていないように思われます。赤潮や貧酸素水塊の抑制に流入負荷削減は当然のことに思われているのが現実です。本当にそうなのでしょうか？

### 内湾の豊かさの秘密

なぜ内湾は幼稚仔魚の育成に必要な餌が豊富なのでしょうか？これには以下の5つの要因が考え



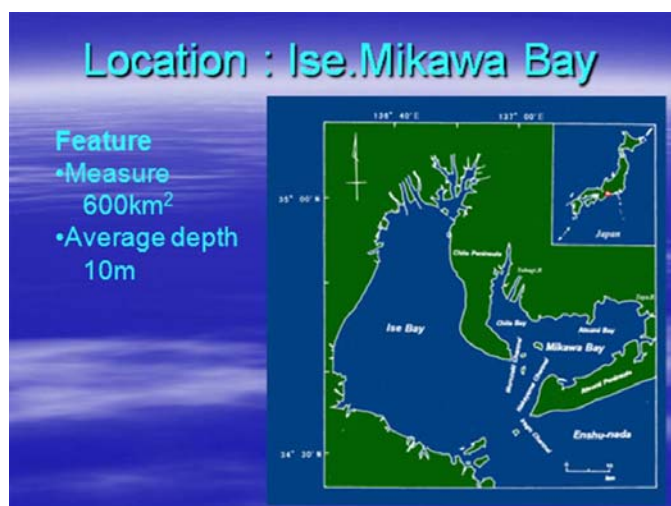


図1 伊勢・三河湾の位置と形状

られます。伊勢・三河湾(図1)を例にとると

①河川から供給される豊富な栄養塩類(窒素やリン)を利用して植物プランクトンの生産が高いこと、②河川からの大量の淡水流入によって生じるエスチュアリー循環(海水の密度に空間的な差が生じることによって起きる流れ)により湾口底層からも外海深部由来の豊富な栄養塩類が湾内に供給されること、③河川からの良質な土砂により干潟・浅場が発達し、光が海底まで透過するので、付着性微小藻類の生産が高まること、④底生生物の多くが餌を採るため大量の海水をろ過するので、透明度が増し、周辺に広大な藻場が形成され、そこに大量の付着性植物や動物が生息すること、(例えば底生生物の代表種であるアサリ1個は1時間に約1リットルの海水をろ過し、懸濁態有機物を除去するため透視度を高めます。



写真2 三河湾西浦地区の干潟

⑤湾口が狭いことにより、これら栄養塩類や植物プランクトンが外海に逸散せず湾内に貯留されること、などがその理由です。

この中で③、④の干潟(写真2)や藻場(写真3)などの浅場の生産力は湾中央の平場の約20倍とも言われ、産卵場や生まれた幼稚仔の大型捕食者からの逃避の場としても機能することから、重要な再生産の場となっています。例えば内湾藻場の代表であるアマモ場ですが、最近の三河湾奥のアマモ場の魚類調査によると、アマモ場内はアマモ場外の種類数では2倍、重量では6.6倍の魚類の幼稚仔が確認されています(鈴木・家田 2003)。

オランダの著名な実験生態学者であるライゼは、その著書「干潟の実験生態学」(日本語訳 倉田博; 生物研究社)の中で、干潟を「利用価値の低い有機物を移入し、良く肥えた鳥達を陸域へ、成長した魚類を海域へ移出する忙しい生態学的ターンテーブルである。」とうまく表現しています。

問題は⑤です。⑤の湾口が狭いという地形的特徴は、植物プランクトンやそれを捕食する動物性プランクトンを湾の中にとどめるという栄養の貯金箱のような機能を与えているわけですから、これは生物生産の面では長所以外の何者でもありません。全国のアサリが激減しているにもかかわらず伊勢・三河湾のアサリはあまり減っていない理由の一つがこの事によっていると思われれます。アサリは生まれてから



写真3 三河湾奥部三谷地区のアマモ場

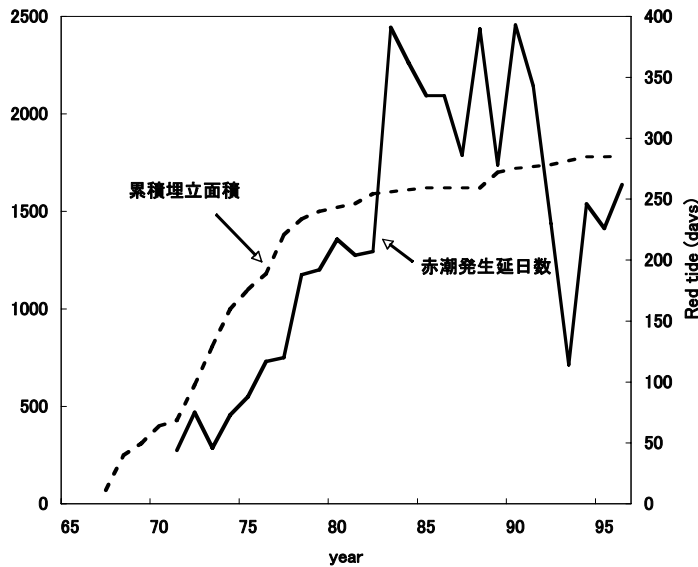


図 2 三河湾における赤潮発生延べ日数と東部三河湾における累積埋立面積の推移

2週間くらいは浮遊しながら流れに受動的に漂流しますが、その間に湾の外に出てしまえば死滅してしまいます。伊勢・三河湾の生物生産にとって湾口が狭いことは非常に都合の良い偶然なのですが、一般には欠点と誤解されているように思われます。この誤解は赤潮やそのなれの果てである貧酸素水塊が陸域からの過大な流入負荷と狭い湾口という地形的特徴によって引き起こされているという湖沼における富栄養化の概念が内湾にそのまま適用されていることから起こっています。

#### 環境悪化要因についての誤解？

赤潮や貧酸素化が深刻化するようになってから、湾口が狭いことが伊勢・三河湾の持つ海としての欠点として指摘する向きがあります。「閉鎖性内湾」という名称表現が使われますが、これは伊勢・三河湾に対する名誉毀損の表現です。何故このような表現が使われるのかというと、赤潮や貧酸素水塊の原因は植物プランクトンの過剰増殖であり、このことはものが溜まりやすい閉鎖的な地形によるところが大きい。従って「閉鎖性内湾」では植物プランクトンの発生を抑えるために植物の生長にとって必要な陸からの流入栄養塩類(流入負荷)を削減しなければならないという考え方によっています。これがいわゆる富栄養化対策と言われるものであり、現在第6次の窒素・リンの総量規制が行われていますし、今後もさらなる

総量規制が予定されています。しかしながらこのことによって流入負荷が削減されてきたにもかかわらず一向に状態が良くならないのは何故なのでしょうか？

夏季の植物プランクトン量がどのような要因に支配されているのかを明らかにするために行った水産試験場の調査(Suzuki *et. al* 1987)では、三河湾では陸域や、エスチュアリー循環による湾口底層からの豊富な栄養塩供給により潜在的には常に赤潮になり

うるような高い植物プランクトンの生産があるのですが、それらを摂食する動物

プランクトン、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食べられてしまい、結果として植物プランクトン量は無駄に赤潮にはならずより高次の生物に転化し、その結果水中では常時低い水準に押さえられているという非常に転換効率の高い海洋生態系の仕組みがあることが明らかにされています。つまり赤潮になるかならないかは栄養塩量の多寡よりも植物プランクトンにかかる様々な動物群の摂食圧の強弱によっているという事実です。したがって海の状況が良くならない理由について、私は豊富な栄養塩によって生産される植物プランクトンが”何らかの理由”で動物に利用・消費されなくなって、結果として赤潮になり、それが海の底に沈降し腐敗する過程で海底付近の酸素が消費され貧酸素化するのではないかと推測しています。三河湾への窒素やリンの流入負荷が大きく増加したのは、1950年代から60年代ですが、赤潮の発生や底層の貧酸素化が進行したのは、70年代に入ってからで時期がずれています。1970年代は三河港内の臨海用地整備のための大規模な埋め立てが短期間に進行し、70年代の10年間だけで約1200haの干潟・浅場が失われました。図2に示すように赤潮が多発するようになったのは、この埋め立てと同期しており、夏季の貧酸素化も同時に進行しました(Suzuki 2001)。統計資料によれば70年代に行われた埋め

立て海域だけでアサリ漁獲量が約 10,000t 減少しています。この減少量は現在の愛知県全体のアサリ漁獲量とほぼ同じ量であることから、消失海面は非常に二枚貝類が豊かな海だったことが推測できます。食生態学的にはアサリ等の二枚貝類は海水を濾過することで餌をとるろ過食性マクロベントスと位置づけられますが、このような二枚貝の食生活は、無駄に海の底に沈んで貧酸素化の原因となる高い植物プランクトン生産を効率的に海水中から取り除くという私たち人間にとっては非常に都合の良い役割を果たすことから、水質浄化機能と評価されています。ちなみに消失海面 1,200ha は三河湾全体の 2%にしか相当しませんが、そこに生息していた二枚貝類による生物的海水ろ過速度は、干潟で実測された単位面積当たりのろ過速度で計算すると、夏季の三河湾湾口における物理的海水交換速度の 19~43%、過去の漁獲量から推測したろ過速度では 65~145%に相当すると推定されています。このような湾の海水交換の大きさに匹敵する生物学的なろ過機能の喪失によって、元来高い植物プランクトン生産が生物的に制御できなくなり三河湾の環境を激変させた可能性が高いと考えられます(鈴木ほかでもございませぬが 2003)。これは伊勢湾にも当てはまることと思われまますが、残念ながら研究はあまり進んでいません。

従って現在の悪化した原因を伊勢・三河湾の本来的特徴であり、豊かさの根源である閉鎖的地形や豊富な栄養塩の所為にしているのは本末転倒と言わざるを得ません。近年の水質変化を解析してみる

と陸からの流入負荷の削減によって、水中の窒素やリンの総量は減少していますが、赤潮や貧酸素化の原因となっている植物プランクトン量(図3中ではクロロフィル a で表示)は減っておらず逆に増加傾向にあります。さらに、図3に示したように動物の摂食によってクロロフィル色素はフェオフィチンという光合成活性を持たない色素に変化しますが、このフェオフィチンが近年減少傾向にあることも摂食圧が弱まっていることを示唆しています。

海の物質循環系の一部に過ぎない陸からの流入負荷にだけ目を奪われて、干潟・藻場、浅場といった極浅海域の生態系の機能を過小評価してきたことが現在の伊勢・三河湾の環境悪化を助長したと言えるかもしれません。沿岸域管理、特に内湾域の管理は流入負荷削減に重点を置いた水質管理から本来の海の健全な物質循環の構築(干潟等の保全・修復)に重点を置いた場の管理に方向転換する必要がありますし、その際水産資源生物の生活史全般にわたってその生息を保障できる場の確保を命題とした適正な維持管理が前提になるべきと考えます。

さらにもう一步踏み込めば水産資源管理における種苗放流の意味も再検討する時期にきていると考えます。サケなど種苗生産・放流という方策が資源の維持・増大に有効である種もありますが、すべての水産有用種に人工種苗生産や種苗放流を適用することには大きな問題があります。安易な人工種苗放流は未確認の潜在的疾病の拡大、遺伝的多様性の喪失という問題を引き起こし、天然資源に影響を与える可能性も皆無ではありません。資源回復を図る

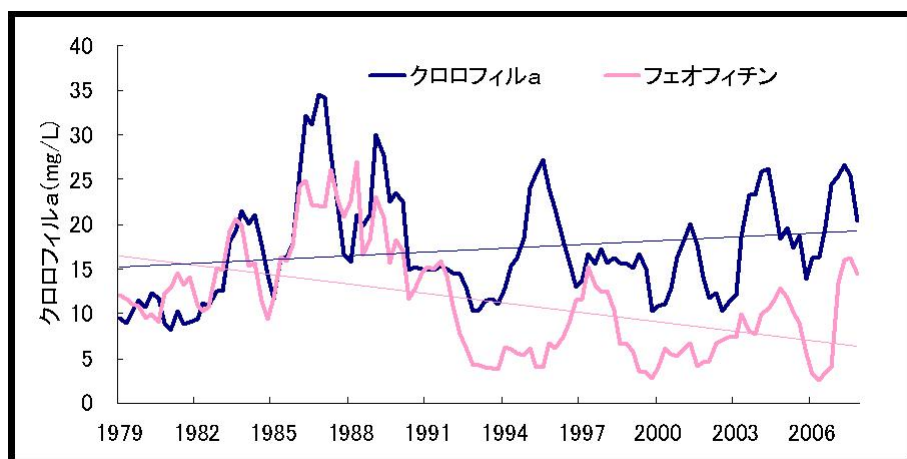


図3 三河湾におけるクロロフィル a とフェオフィチンの経年変化

時に、まず行わなければならないことは適切な沿岸域管理のあり方についてしっかりと水産の立場を説明し、理解を得ることです。従来の種苗放流が十分な効果をもたらさなかったのは放流後の成育場の保全・造成の必要性を過

小に評価していたためであり、干潟等埋め立ての代償としての種苗放流は論外と言わざるを得ません。今後も適切な沿岸域管理が実現しなければ種苗放流はいくら実施してもその効果は期待することはできません。適地放流も適地が存在して初めて意味があるのです。十分な場の保全が実現不可能な場合や資源水準が絶滅危惧種レベルに極端に低下したと判断されるときに初めて人工種苗生産や種苗放流がなされるべきです。その際、疾病の拡大や遺伝的多様性の喪失等様々な生態系への攪乱要素を排除した上でなされるのは当然のことです。

伊勢湾漁業の歴史に詳しい鳥羽市「海の博物館」の石原館長は著書(海の博物館編 三重県漁業協同組合連合会「伊勢湾は豊かな漁場だった 伊勢湾漁師聞き書き集」風媒社)で次のように述べています。「伊勢湾のどこの海にも、沖にはあふれるほどの魚介類がいて、岸边では沸くように魚介類の稚仔が育っていた。その豊かな海をだめにしたのは何者か？多くの漁師は己の漁法が魚介類を取り尽くした反省を語っている。しかし、そこへ追いやった者がいる。追いやった制度がある。さらに、人間が作った環境破壊がある。それらは漁師の抵抗の域を超えて押し寄せてきた。」沿岸域管理はこの声を無視してはなりません。

## 引用文献

- 阿知波英明・和久光晴・高須雄二・板東正夫・白木谷卓哉・町田雅春, 2006: イラストマー蛍光標識を付けて伊勢湾湾央東部で放流したトラフグ人工種苗の成長と回収, 愛知水試研報, 12, 19-33.
- Suzuki, T., K. Ishi, K. Imao and Y. Matsukawa, 1987: Box model analysis on phyto-plankton production and grazing pressure in a eutrophic estuary, J. Oceanographical Soc. Japan, 43, 261-275.
- Suzuki T., 2001: Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem, J. environmental Quality, 30, 291-302.
- 鈴木輝明・家田喜一, 2003: 三河湾奥に存在するアマモ場内・外の魚類群集の相違, 愛知県水産試験場研究報告, 21-24.
- 鈴木輝明・武田和也・本田是人・石田基雄, 2003: 三河湾における環境修復事業の現状と課題. 海洋と生物, 146, 187-199.
- 船越茂雄, 1981: 三河湾・環境と漁業, IV 漁業生物, さかな, 26, 東海区水産研究所業績C集, 83-113.

## 陸域からの負荷変動に対するエスチュアリー生態系の応答 山本民次\*<sup>1</sup>

Responses of estuarine ecosystem to changes in load from land  
Tamiji YAMAMOTO\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院生物圏科学研究科 739-8528 東広島市鏡山

tamyama@hiroshima-u.ac.jp

Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, 739-8528, Japan

エスチュアリー (estuary) とは、「河川水流入によって塩分低下が見られる半閉鎖性の沿岸海域」と定義され、決して日本語の「河口」や「河口域」とは同じではない(山本 2003)。塩分低下が見られるのは、河川水が流入するからであるが、地形的にある程度閉鎖的でないと、塩分が低下した状態が維持できない。東京湾、伊勢湾、大阪湾、広島湾などはすべてエスチュアリーであると言え、我が国最大の閉鎖性海域である瀬戸内海全体もエスチュアリーであると言ってよい。

河川水が流入することにより、上出下入の鉛直循環、つまり「エスチュアリー循環」が生じる。潮汐振幅が小さいエスチュアリーでは、塩分成層が明瞭で、エスチュアリー循環も大きい。潮汐振幅が大きいエスチュアリーでは鉛直混合が起こるので、エスチュアリー循環はかき消されてしまう(宇野木 2008)。

エスチュアリー循環によって、エスチュアリー外部下層から流入する海水の体積は、河川水量の1ケタ近く大きい場合が普通であり、海域底層の栄養塩濃度は有機物の分解の結果、ある程度高い場合が普通であるので、大阪湾を除く瀬戸内海域では、河川水中の栄養塩濃度を減らしてもエスチュアリーの海水中の化学的酸素要求量(COD)、全窒素(TN)、全リン(TP)濃度はほとんど応答しなかった。図1にはリンの負荷量と海域上層のリン濃度を示す(今度の閉鎖性海域対策に関する懇談会, 2007)。これに対し、東京、大阪、名古屋など大都市からの廃水中の窒素・リンの削減は、明らかに海域の窒素・リン濃度の低下として反映された。河川水の流入がもたらす物質は、淡水、栄養塩のほか土砂もある。知らぬ間にあらゆる河川にダムが建設され、河川は両岸だけでなく川底までコンクリートが張

られている。淡水、栄養塩、土砂の供給の変化が、エスチュアリー生態系に与える影響は大きいものと推察される。

しかしながら、陸域からの淡水、栄養塩、土砂の供給の変化に対し、エスチュアリー生態系がどのような応答を示すかということについては、あまり理解が進んでいるとは言い難い。本稿では、いくつかの実験(数値モデル実験を含む)やモニタリングデータなどを使い、エスチュアリーで起こりやすい富栄養化と貧栄養化現象のプロセスと、中規模攪乱仮説(Intermediate Disturbance Hypothesis)について考察する。

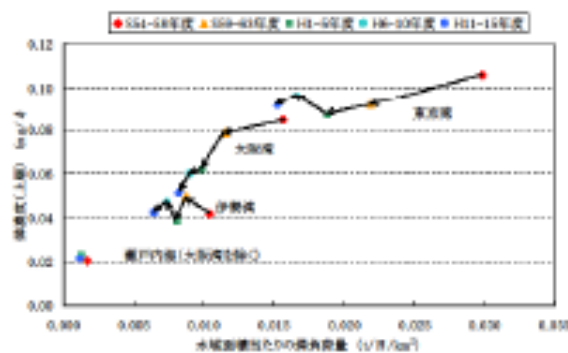


図1. 三大閉鎖性海域に対するリン負荷量と海域表層のリン濃度の関係。今度の閉鎖性海域対策に関する懇談会(2007)から引用。

### 人為的富栄養化

我が国の高度経済成長にともない、陸域からの物質の負荷が増大し、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海といった3大閉鎖性海域では汚濁がとくに顕著に進行し、赤潮が頻発した。もともと「富栄養化」は、湖沼などで時間の経過とともに自然に起こる現象を指しているため、人間活

動が活発化して引き起こされた現象は、「人為的富栄養化」(cultural eutrophication)と呼ぶべきであろう (Stockner et al. 2000)。

人為的富栄養化に対する対策として、「水質汚濁防止法」あるいは瀬戸内海においては「瀬戸内海環境保全特別措置法」(瀬戸内海環境保全臨時措置法が1978年に特別措置法として恒久化)により、陸域からの負荷削減の取り組みがなされてきた。産業系廃水や下水処理場の設置による生活系廃水からのCOD, TP, TNの削減が中心であり、その削減率はCODで約3/4, TPで約2/3, TNで約1/2と大きい(図2; Yamamoto et al. 2003b)に加筆)。この結果として、東京湾、大阪湾、伊勢湾では、すでに図1に示したように、流入負荷の削減が海水中の濃度に明瞭に反映されている。明らかにこれらの海域はきれいになってきたが、以前が高い汚濁レベルであったため、今後とも流入負荷の削減が必要であるという認識に変わりはない(中央環境審議会2005, 閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会2010)。

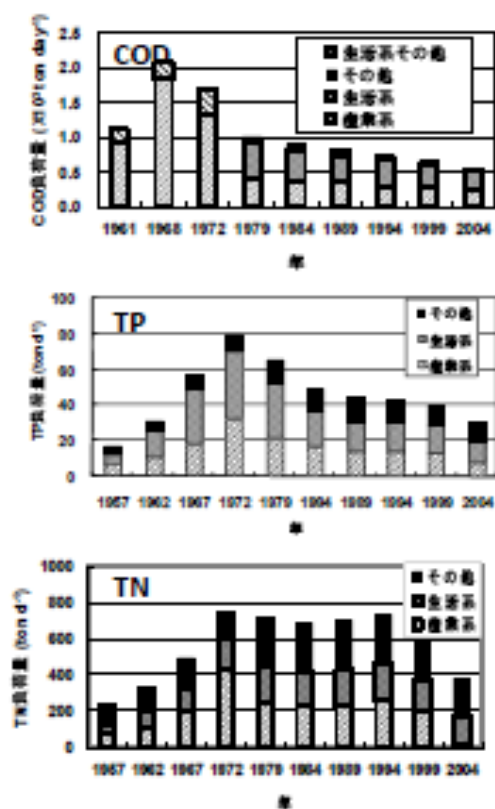


図2. 瀬戸内海に対する化学的酸素要求量(COD), 全リン(TP), 全窒素(TN)発生負荷量の推移. Yamamoto et al. (2003b)に加筆。

### 人為的貧栄養化

大阪湾を除く瀬戸内海域については、これを同一の閉鎖性水域であるということで1つにくくって、大阪湾と同様の流入負荷の削減を行ってきた。しかしながら、この海域については、もともとTN, TP濃度は高くなく、人口が著しく増加したわけでもないので、東京湾、伊勢湾、大阪湾に対するのと同じ網をかぶせて削減してきたことに問題があった。人為的貧栄養化を引き起こしてしまったのである。

エスチュアリー生態系は、陸域からの負荷量を増加させれば富栄養化し、負荷を削減すれば貧栄養化するということが、筆者にとっては火を見るより明らかであったが、学会や国の対策として受け入れられるには長い年月を要した。

瀬戸内海の人為的貧栄養化が現実の問題として受け入れざるを得なくなったのは、ノリの色落ちに代表される新聞報道であろう(例えば、毎日新聞 2006)。富栄養化が進行していた時代は、ノリ養殖は浮き流し網養殖という技術開発もあり、河口域から離れた沖合いまでノリ網を張って収穫を上げた。これによって、ノリはお歳暮商品としてだけでなく、一般庶民が日常的に食することができる商品となった。

ところが、陸域からの栄養塩負荷量の削減、すなわち人為的貧栄養化によって、現在、ノリ養殖は河口域のごく限られた場所ではしか養殖できなくなってしまった。2007年ころから水産庁も対策に乗り出し、ノリの成長を促すため、冬季の栄養塩負荷量を増加させるためにダム貯留水の放流試験を行ったり、海域での対策を練ったりしており、成果が出ている(藤原ほか 2009)

瀬戸内海の人為的貧栄養化について、最初に学会で口頭発表を行ったのは2000年頃であり、論文として世に認められたのはその数年あとである(Yamamoto 2003a)。この論文では、富栄養化の過程と貧栄養化の過程でたどる経路が異なるヒステリシス(hysteresis, 履歴現象)という生態系の応答が起こることを示し、瀬戸内海のTN, TP負荷量と赤潮発生件数の推移あるいは漁獲量の推移が、まさに生態学の理論通りとなっていることを指摘した。

また、栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトン、

魚の4段階の食段階では、富栄養化の定常状態では、植物プランクトンと魚が増え、栄養塩濃度と動物プランクトンは変化が無く、貧栄養化の定常状態では、これらの逆になることを解析的に示した(図3;山本 2005)。

最大の成果は、以上の学術的成果が単なる学術成果として忘れられてしまうのではなく、環境省が第6次水質総量規制において、「窒素やリンも適度であれば漁業にプラスであり澄んだ海と魚の豊富な海は必ずしも両立しない」ということを理解し、「大阪湾を除く瀬戸内海での規制強化は見送る」という政策の中に反映されたことである。

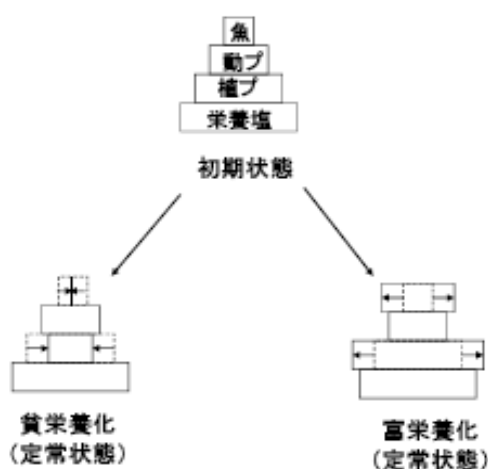


図3. 富栄養化および貧栄養化が進行した場合の定常状態。4段階の食段階を想定し、定常状態について解析的に解析した結果。山本(2005)から引用。

### ダムの影響

ダムは洪水を緩和して下流での河川の氾濫による被害を軽減する重要な役割を果たしているが、水を貯めるだけでなく、土砂や栄養分も止めてしまう。いまや1本の河川に複数のダムが存在することは普通であり、日本全国では2,875のダムが存在すると報告されている(ダム便覧 2010)。このことは、エスチュアリー生態系に対して、少なからぬ影響を与えているはずである。

流量については、降雨時のパルスの流量を均してしまうことにより、エスチュアリー循環を弱め、エスチュアリーの一次生産量を低下させてしまっていると推察される。藤田ほか(2009)が日本全国のダムについて、年最大流入量に対する年最大放流量の比を集計したとこ

ろ、0.4~0.9が多く、0.6~0.7に中央値があることを示している(図4)。つまり、洪水時のパルス強度はその分弱められていることを示唆している。

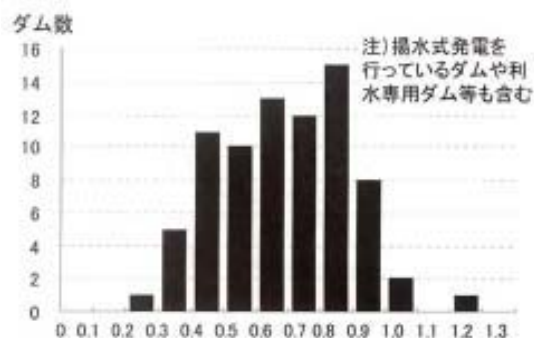


図4. 日本全国のダムについて、年最大流入量に対する年最大放流量の比を集計した結果。藤田ほか(2009)から引用。

土砂の堆積についても複数のダムについて調査結果がまとめられている(図5;藤田ほか2009)。微細なシルト・粘土粒子は懸濁して水と一緒に下流に運ばれると考えられるので、ダムに貯まる土砂粒子は砂より大きな粒子が相対的に多いと考えられる。図5から、砂粒子の堆積は少ないダムで10%程度、多いダムで60%程度にも及ぶ。この大きなバラツキはダム湖の形状や上流の土質、さらにはダムの取水方法や放流方法など、さまざまな要因によるものであろう。

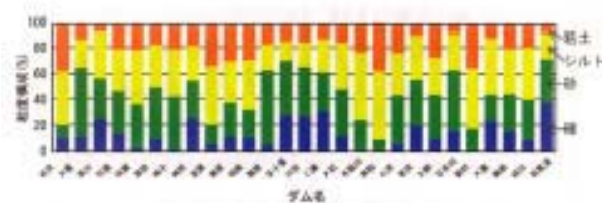


図5. ダムにおける堆積土砂のサイズ構成。藤田ほか(2009)から引用。

下流のエスチュアリー生態系にとって重要なのは、干潟を代表とする浅場の形成に必要な砂分の供給が、ダムの存在によって減ってしまうことである。また、逆にシルト・粘土分はダムに遮られずに下流に運ばれるので、沿岸域はこれらの微細な粒子が堆積することになり、藻場を形成するアマモなどの葉に微細な粒子が覆いかぶさり、光合成を阻害していると考えられている(平岡ほか 2001)。

ダムに栄養分までも蓄積されてしまうのは、ダム湖ができて水が滞留することで、淡水産植物プランクトンの増殖が起こり、河川水中の栄養塩をとり込んで沈降・堆積するからである。ダム湖の底質は有機物含量が高くなる一方、放流される河川水中の栄養塩濃度はその分低下することになる。

広島湾北部海域の一次生産量が、河川水による栄養塩負荷量の変化に対してどのような応答を示すかを解析するため、栄養塩、植物プランクトン、デトライタスの3つのコンパートメントから成るリン循環を表す簡単な生態系モデルを作成し、異常多雨年(1993年)や異常渇水年(1994年)を除き、1991, 1992, 1996, 1997年の4年間の外部強制因子の平均値を用いて定常状態になるまで計算した。次に、これらの年の平均に対する標準偏差( $\sigma$ )を求め、 $-1.5\sigma$ から $+2\sigma$ の間で河川水中のリン酸塩濃度を変化させて感度解析を行った(図6; 橋本ほか 2006)。その結果、 $+2\sigma$ (平均の約2倍)で1.3倍程度の一次生産量の増加となり、必ずしも線形で応答するわけではないことが分かった。図6から分かるように、栄養塩の負荷によって増加するのは水柱上層の一次生産であって、下層では上層の植物プランクトンの増加によって光制限となり、一次生産量は低下する。

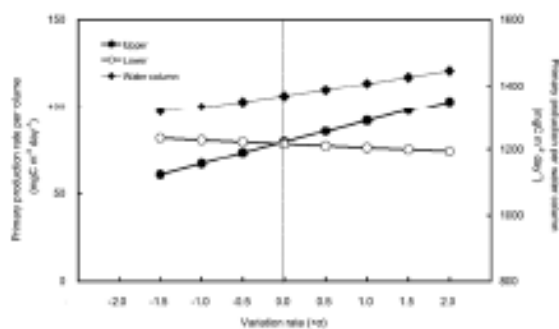


図6. リンの流入負荷量の変化に対する広島湾北部海域の一次生産量の応答. 0.0が現状4年間(1991, 1992, 1996, 1997年)の平均値. この平均に対する標準偏差( $\sigma$ )を求め、 $-1.5\sigma$ から $+2\sigma$ の間で河川水中のリン酸塩濃度を変化させて感度解析を行った結果. 橋本ほか(2006)から引用.

#### 資源供給比仮説と中規模攪乱仮説

生物多様性を生む原因の1つは生態系の空間的不均一性である。例えば、藻類の増殖には水、温度、

光、各種の栄養塩類が必要であり、これらの「資源」に対する応答は藻類各種で異なるため、増殖制限因子としての資源の数だけ種が共存でき、資源供給の空間的不均一性が種の多様性にとって重要であるとした「資源供給比仮説(Resource Supply Ratio Theory)」は有名である(Tilman 1982; Tilman et al. 1982)。

ところが、Tilmanらの仮説は微細藻類についての研究から生まれたものであるにも関わらず、空間的に環境条件が明らかに不均一な陸上生態系では理解しやすいが、水が媒体である水圏生態系では環境の空間的不均一性は低い。このことは、「一見均質だと思える水圏において種の多様性が観察されることは不思議なことである」とした Hutchinson (1961)の”Paradox of the plankton”としてすでに指摘されてきたことである。

環境の空間的不均一性に対し、時間的不均一性についても、生物多様性を高める原因の1つであるとする研究もある。Connell (1978)によって提唱された「中規模攪乱仮説(Intermediate Disturbance Hypothesis)」は、生態系において適度な攪乱があることで生物多様性が高まるというものである。その後の、Odum et al. (1995)や Townsend et al. (1997)の研究は、中規模攪乱仮説について、観測結果から検証したものと優れている。

エスチュアリーは河川水とともに栄養塩類もパルス的に負荷される場所である。塩分の時間的変動が大きく、塩分耐性の低い生物は必然的に排除される一方、r-戦略的な生物にとっては、自身にとって環境が好転したらすぐにニッチの隙間に入り込んで個体群を拡大できる場所である。そのようなエスチュアリーの生態系は時に赤潮時のように多様性が大きく低下する場合もあるが、適度な時間的間隔で起こる攪乱が多様性を高く維持しうる場である。

#### Yamamoto-Hatta モデル

Yamamoto and Hatta (2004)は、*Skeletonema costatum*, *Chattonella antiqua*, *Gymnodinium catenatum* の3種について実験的に得られた栄養塩の取り込みおよび増殖に関する生理パラメータを用いて、栄養塩の供給がパルス的であるか連続的であるかによって、3種混合群がどのような応答を示すかについて数値モデルを



用いた解析を行い考察した。

モデルの構造は図7に示すように、*C. antiqua* と *G. catenatum* は窒素とリンを取り込み、*S. costatum* のみ窒素・リンに加え、ケイ素を取り込む。栄養塩濃度、供給量、水温、塩分、光条件などは、太田川・広島湾で得られた値の平均値を用いた。また、植物プランクトン各種の生理パラメータや式は原著に当たって戴くとして、ここでは詳細は省略する。

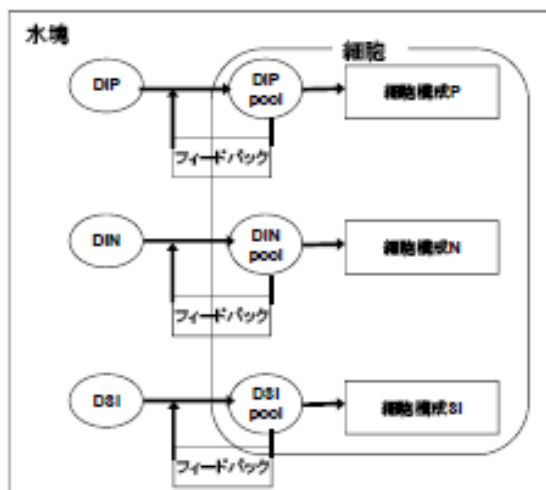


図7. 植物プランクトンの個体群動態を計算する数値モデルの構造. Yamamoto and Hatta (2004)より引用.

従来の浮遊生態系モデルは、植物プランクトン群集を1つのコンパートメントとして扱っていたので、春のブルームを含め、海洋構造の変化にともなう植物プランクトン群集の一般的な周年変動は表現できたが、赤潮のように、ある種の急激な増加といった現象には不向きであった。植物プランクトン群集を1つとしてまとめたモデルは、種間競合などの生態系の複雑さを無視するものとして、赤潮研究の分野では受け入れがたいものであった。ただ、植物プランクトン各種の生理に関する実験データがそろわない限り、複数種からなる種間競合モデルは作成できないので、初期の赤潮研究においては致し方なかった。この点、たかだか3種であるとはいえ、栄養塩の取り込みと増殖に関する生理実験を積み重ね、それらで得られたパラメータを用いてモデルにまで高めて解析したことは非常に大きな前進である。

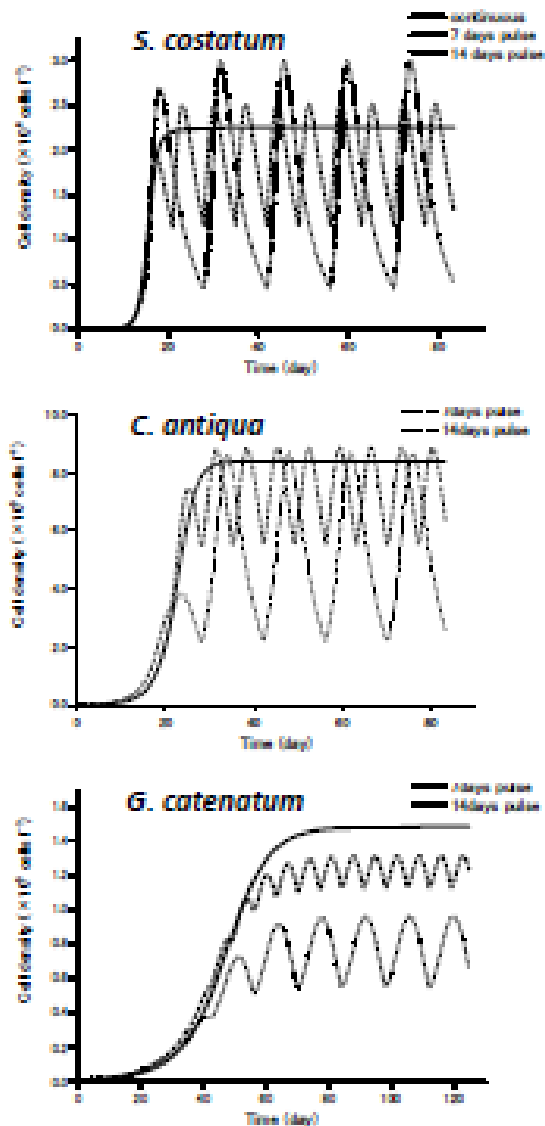


図8. 図7に示した構造のモデルで計算した栄養塩負荷のモードの違いに対する3種の植物プランクトン (*Skeletonema costatum*, *Chattonella antiqua*, *Gymnodinium catenatum*) の応答. Yamamoto and Hatta (2004)より引用.

まず、モデルの中には1種ずつを入れ、栄養塩負荷のモードをパルスあるいは連続で与えた場合の解析を行った(図8)。すると、*S. costatum* はパルスの栄養塩を負荷するほうが、連続的に栄養塩を負荷するよりも最大細胞密度が高くなった。一方、*G. catenatum* はこの逆で、連続的栄養塩負荷モードのほうが最大細胞密度が高くなった。*C. antiqua* はこれらの間であった。これらの違いが何によって引き起こされるかと言えば、細胞内栄養塩プールの大きさと増殖速度に関係している。つまり、*S. costatum* は細胞内栄養塩プールが

小さく、増殖速度が大きいいため、取り込んだ栄養塩は増殖に直結している。一方、*G. catenatum* は栄養塩プールが大きく、増殖速度が小さいため、取り込んだ栄養塩は一旦プールに蓄えられ、おもむろに増殖する。言い方を変えれば、植物プランクトンの中でも、*S. costatum* はr-選択的であり、*G. catenatum* はK-選択的であると言える。

この結果と先のダム建設による栄養塩供給モードの変化、つまりダムができることでパルス的であった水と栄養塩の供給が、量的には少ないが連続的な負荷になる、ということ想像すれば、この3種の中では、*G. catenatum* にとって有利な環境になっていることになる。瀬戸内海では、発生する赤潮の種類が珪藻から渦鞭毛藻に変化しているということの1つの原因であるかもしれない(山本ほか, 2002)。

さらに栄養塩負荷のパルスの間隔を変えた場合、各プランクトン種がどのような応答を示すか検討したところ、図9のようになった。*S. costatum* では22日間隔で最大細胞数となり、*C. antiqua* では10日、*G. catenatum* ではゼロ日、すなわち連続負荷が最大細胞数を達成した。

「中規模攪乱仮説」は5-10日くらいの間隔で生態系の攪乱があることが最も種の多様性が高くなるという仮説である(Padisak et al., 1993)。これはさまざまな種が含まれる生態系全体の平均のことなので、種ごとに応答の違いがあることは不思議ではない。そう考えると、10日とか22日というのは、中規模攪乱仮説を種のレベルから検証したことに相当し、興味深い。

中規模攪乱仮説は、パルス的攪乱が種の多様性を発現させるというものであるが、このことは3種混合の系での計算結果において理解が進む。図10は3種混合の系に対して、栄養塩の負荷を連続的に与えた場合と9日間隔でパルス的に与えた場合の比較である。いずれの場合も比取り込み速度、比増殖速度が圧倒的に大きい*S. costatum*1種だけの世界になってしまうことには変わらない。このことは我々を再び Hutchinson (1961)の"Paradox of the plankton"の考えに引きもどさせることになる。

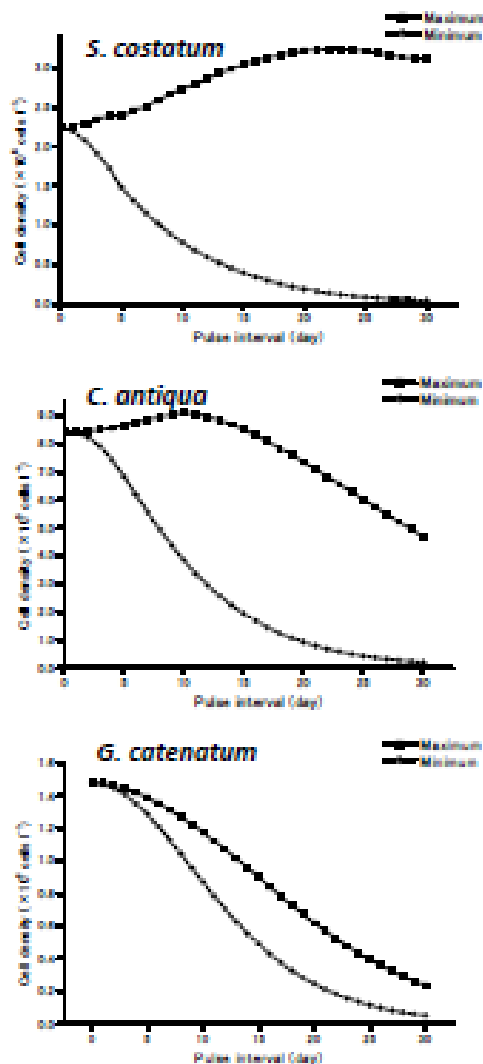


図9. 図8において栄養塩負荷のモードを1日間隔ずつ変化させた場合の3種の植物プランクトンの応答。

Yamamoto and Hatta (2004)より引用。

しかし、すでに Tilman (1982)や Tilman et al. (1982)が報告しているように、種が共存するためには種の数だけの制限因子が必要であり、図10の計算ではそのような条件が与えられていないので、当然といえば当然である。実際、*S. costatum* のバイオマスを抑制することはケイ酸塩の負荷のみを低下させることで可能である(図11)。ダム建設によってダム湖にはN, P, Siともトラップされるが、NやPに比べて珪藻の殻として堆積したSiが相対的に回帰しにくいことは想像に難くなく、下流沿岸域がSi供給不足となって珪藻類の増殖抑制に作用し、鞭毛藻赤潮が相対的に多くなっている一因であるかもしれない(Yamamoto, 2003a)。

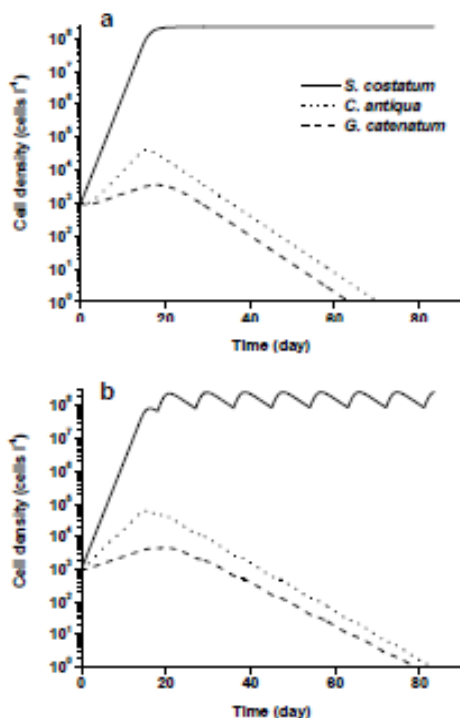


図10. 3種混合の場合. (a)連続栄養塩負荷, (b)9日間隔のパルスの栄養塩負荷. Yamamoto and Hatta (2004)より引用.

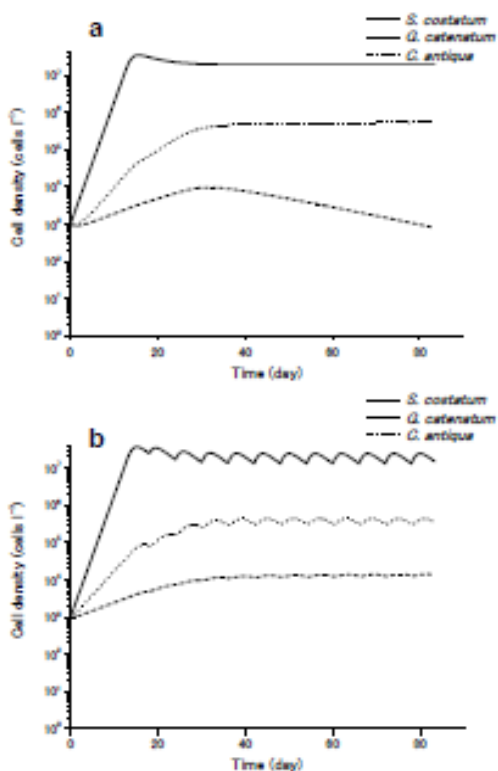


図11. ケイ酸塩の負荷量を削減した場合. (a)連続栄養塩負荷, (b)9日間隔のパルスの栄養塩負荷. Yamamoto and Hatta (2004)より引用.

### 引用文献

中央環境審議会, 2005: 第6次水質総量規制の在り方について(答申).  
 (<http://www.env.go.jp/council/toshin/t097-h1703/01.pdf>)

閉鎖性海域対策に関する懇談会, 2007: 今後の閉鎖性海域対策を検討する上での論点整理. 29 pp.

Connell, J., 1978: Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1304–1310.

ダム便覧, 2010:  
 (<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>)

藤田光一・富田陽子・大沼克弘・原野 崇・小路剛志・伊藤嘉奈子・山原康嗣・萱場祐一, 2009: ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方—下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて—. 国土技術政策総合研究所資料, No. 521, 土木研究所資料, No. 4140.

藤原建紀・渡邊康憲・樽谷賢治(編), 2009: 特集—海の貧栄養化とノリ養殖. *海洋と生物*, 111-172.

橋本俊也・上田亜希子・山本民次, 2006: 河口循環流が夏季の広島湾北部海域の生物生産に与える影響. *水産海洋研究*, 70, 23-30.

閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会, 2010: 閉鎖性海域中長期ビジョン. 86 pp.

平岡喜代典・後藤義雄・寺脇利信・岡田光正, 2001: 自然的要因によるアマモ場の消滅—氾濫河川からの浮泥供給による消滅事例の解析—. *水環境学会誌*, 24, 153-158.

毎日新聞, 2006: 「色落ち」や高齢化—ノリ養殖ピンチ?—海の「貧栄養化」指摘も. 6月7日朝刊.

Odum, W. E., E. P. Odum and H. T. Odum, 1995: Nature's pulsing paradigm. *Estuaries* 18, 547–555.

Padisak, J., C. S. Reynolds and U. Sommer, 1993: Intermediate disturbance hypothesis in phytoplankton ecology. *Developments in Hydrobiology*, vol. 81. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 199 pp.

Stockner, J. G., Rydin, E. and P. Hyenstrand, 2000: Cultural oligotrophication: Causes and consequences for fisheries resources. *Fisheries*, 25, 7-14.

- Tilman, D., 1982. Resource Competition and Community Structure. Princeton University Press, Princeton, 269 pp.
- Tilman, D., S. S. Kilham and P. Kilham, 1982: Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13, 349-372.
- Townsend, C. R., M. R. Scarsbrook and S. Dolédec, 1997: The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 938-949.
- 宇野木早苗, 2008: 川が海の物理環境に与える影響. 「川と海—流域圏の科学」(宇野木早苗・山本民次・清野聡子編), 築地書館, 東京, 19-35.
- 山本民次, 2003: 川と海の境目—エスチュアリーの状態系—. *アクアネット*, 6, 25-29.
- Yamamoto, T., 2003a: The Seto Inland Sea-Eutrophic or oligotrophic? *Mar. Poll. Bull.*, 47, 37-42.
- Yamamoto, T., O. Matsuda and T. Hashimoto, 2003b: Chemical Environment. In: *Red Tides*, edited by T. Okaichi, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 272-287.
- 山本民次, 2005: 瀬戸内海が経験した富栄養化と貧栄養化. *海洋と生物*, 158, 203-210.
- 山本民次・橋本俊也・辻けい子・松田 治・樽谷賢治, 2002: 1991-2000年の広島湾海水中における親生物元素の変動—プランクトン種の遷移を引き起こす主要因として. *沿岸海洋研究*, 39, 163-169.
- Yamamoto, T. and G. Hatta, 2004: Pulsed nutrient supply as a factor inducing phytoplankton diversity. *Ecol. Model.*, 171, 247-270.

## 東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の経年変化

二瓶泰雄\*1

Long-term variations of freshwater, sediment, nutrients and organic carbon flowing into Tokyo Bay  
Yasuo NIHEI\*1

\*1 東京理科大学理工学部土木工学科 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

### 序論

首都圏を背後地に抱える東京湾は、長年富栄養化問題で悩まされ続けており、水質環境は未だ明確な改善傾向は見られず、貧酸素水塊は拡大傾向すら見られる(安藤ら, 2005)。東京湾における水質汚濁化の主要因としては、陸域から河川や下水処理場、工場等を経由して汚濁物質が過剰に流入していることに加えて、水質浄化機能を有する干潟や浅場が埋立地造成などにより消失・減少したためである。そのため、水質環境改善のための様々な陸域・海域対策の取り組みに加えて、東京湾や流入河川における定期的な水質調査が行われている(中央環境審議会, 2005)。

この陸域・海域対策を進める上で、流域から東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の現状や長期的トレンドを把握することは不可欠である。これらの物質供給量(=流量×物質濃度)の実態調査としては、物質濃度の平常時データは月1回の頻度で得られる公共用水域水質測定データにより充実して存在するものの、物質輸送量が卓越する出水時データは非常に少なく、結果として陸域から湾への土砂・栄養塩・有機物供給量(もしくは陸域環境負荷量)の実態は不明な点が多い。また、陸域環境負荷推定法として一般に用いられる原単位法は実測値に基づいてチューニングされるため、実測値が少ない出水時の影響が正確に考慮されておらず、原単位法の推定精度に疑問が残る。特に、原単位法により「東京湾への流入負荷量は近年減少傾向である」となっているが、上記の理由から原単位法の解析結果を精緻に検証し、流入負荷の長期トレンドを精査することは必要不可欠である。

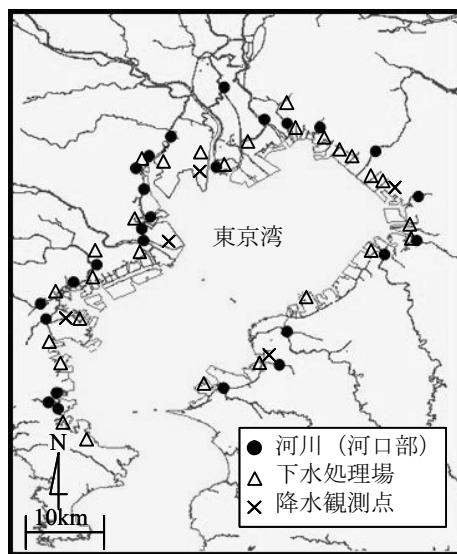


図1 東京湾流入河川河口部と下水処理場、降水観測点の位置

著者らは、このような問題意識に基づいて、ここ数年間にわたり、東京湾への陸域環境負荷の実態を把握するために、①河川管理者が取得する流量データと独自の流量観測結果を合わせた流量データベースの構築(二瓶ら, 2007a)、②光学式濁度計による浮遊土砂濃度の連続観測(重田ら, 2008)、③採水による出水時の栄養塩・有機物濃度調査(二瓶ら, 2007b; 坂井ら, 2008)、などを実施し、それらの結果に基づいて、④陸域から東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の長期変化を明らかにした(二瓶ら, 2008; 二瓶ら, 2009)。本報では、そのうち、陸域から東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の経年変化をとりまとめたものを報告する。

### 研究対象サイト

東京湾の流域面積は、江戸川に分派する利根川の分を考慮しないと約 7,000km<sup>2</sup>である(貝塚, 1993)。主要流入河川としては、江戸川(流域面積 200km<sup>2</sup>)、荒川(同 2300km<sup>2</sup>)、中川(同 987km<sup>2</sup>)、隅田川(同 640km<sup>2</sup>)、多摩川(同 1240km<sup>2</sup>)、鶴見川(同 235km<sup>2</sup>)、小櫃川(267km<sup>2</sup>)、養老川(246 km<sup>2</sup>)、小糸川(142 km<sup>2</sup>)の 9 河川が挙げられる。これら主要 9 河川の流域面積の合計は、全流域面積の約 90%を占める。また、東京湾には大小 36 の河川が流入しているが、公共用水域水質測定が行われているのは主要 9 河川を含む 26 河川である。図 1 には、これら 26 河川における河口部(公共用水域水質測定点の最下流部)を丸印で示している。

東京湾に直接放流する下水処理場としては、図 1 中の△印で示す 28 箇所が存在する。下水道整備率は流域全体で 86%に達しており(H16 年度)、全国平均(70%)を上回る。

東京湾への流入経路としては、河川や下水処理場に加えて、事業場や降水が考えられる。ここでは、淡水については河川・下水処理場・事業場・降水を対象とし、土砂については主要ソースと考えられる河川のみを扱う。また、栄養塩(全窒素 T-N, 全リン T-P)と有機物指標である COD については、負荷量の小さい降水を除く 3 経路(河川・下水処理場・事業場)を対象とする。

### 各供給量の算出方法

#### (1) 河川

河川を経由する淡水供給量(=流量)を算定するために、二瓶ら(2007a)と同じ手法を用いる。その概略としては、水位流量曲線( $H-Q$  式,  $H$ :水位,  $Q$ :流量)が存在する江戸川、荒川、中川、多摩川、鶴見川では、各河川の  $H-Q$  式により流量を算定する。また、 $H-Q$  式が無い小櫃川・小糸川・養老川ではマンシングの平均流速公式により与え、全域感潮河川である隅田川では岩淵地点での荒川からの分派流量や上流部の下水放流量等を用いて与える。その他の 17 河川の流量は、流域面積と雨量、流出率を乗じて算出する。

次に、土砂輸送量を算定するために、浮遊砂と掃流砂に分けて実施する。まず、浮遊砂計測に際しては、光学式濁度計(Compact-CLW, JFE アドバンテック株)による濁度連続観測を江戸川、荒川、多摩川、中川、隅田川、小櫃川の 6 河川で行っている(重田ら, 2008)。観測期間は、早い地点で 2006 年から開始し、現在でも継続している。河川毎に作られた個別の濁度と SS の相関式を用いて濁度データを SS に変換し、浮遊土砂輸送量  $L$  と流量  $Q$  の相関式( $L-Q$  式)を求める。河川毎の  $L-Q$  式と上記の流量データを用いて、各河川河口部における浮遊砂輸送量を算定する。残りの鶴見川、養老川、小糸川に関しても上記で得られた  $L-Q$  式準用して浮遊砂輸送量を求める。その他の河川は浮遊砂輸送量が小さいものとして無視する。掃流砂としては、確立された観測方法が存在しないので、加藤ら(2009)が提案している掃流砂量算定モデルに基づいて算定する。これらの詳細な観測・解析方法は著者らの論文を参照されたい(重田ら, 2008; 加藤ら, 2009; 二瓶ら, 2009)。

栄養塩・有機物輸送量については、主要河川では低水時と出水時に分けて算出する(坂井ら, 2008)。具体的には、低水時では公共用水域水質データ(頻度:月 1 回)と流量の積、出水時には流量  $Q$  と汚濁負荷量  $L$  の相関式( $L-Q$  式)を用いて、T-P・T-N・COD の流入負荷量を算出する。他の河川については  $L-Q$  式が得られていないため、公共用水域データと流量の積により与える。

#### (2) 下水処理場・事業場・降水

下水処理場からの淡水・栄養塩・有機物供給量に関しては、日本下水道協会(2006)に示されている放流量データの年間値を用いる。また、事業場に関しては、淡水供給量は松村・石丸(2004)、栄養塩・有機物濃度に関しては水質汚濁物質排水総合調査結果(環境省)に従う。事業場データも年間平均値のみを与える。さらに、降水については、湾周囲のアメダス観測点(図 1 中の×印の 5 地点)の平均値を用いて、大気から湾への淡水供給量のみ与える。降水経由の栄養塩・有機物負荷量は他と比べて小さいため、ここでは取り扱わない。

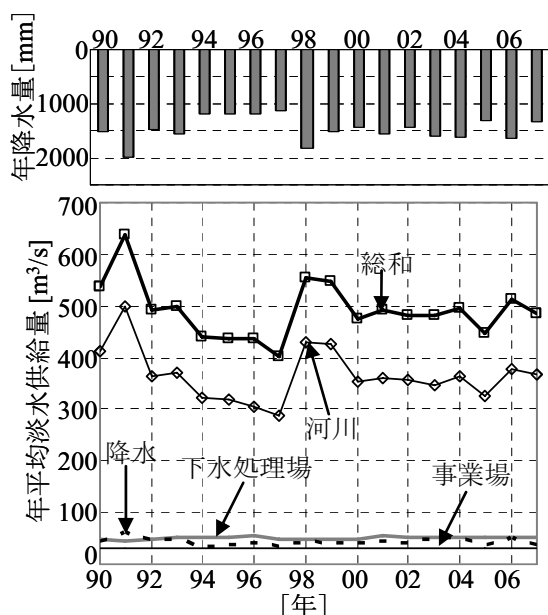


図2 東京湾流域からの淡水供給量の経年変化

### 結果と考察

#### (1) 淡水供給量

流域から湾への淡水供給量を把握するために、河川、下水処理場、事業場、降水の淡水供給量とその総和の経年変化(1990~2007年)を図2に示す。ここでは、流域平均の年降水量も合わせて表示している。淡水供給量の合計値は401~637m³/sで推移し、概ね雨量の増減と対応して変動する。淡水供給量の内訳としては、河川は287~499m³/s、下水処理場は46~56m³/s、事業場は31m³/s、降水は33~61m³/sとなっている。上記の期間全体における平均値をそれぞれ算出し、総和に対する各淡水供給量の割合を算出した結果、河川では75.5%、下水処理場では10.5%、事業場では6.4%、降水では9.2%となっている。このように、河川からの淡水供給量が約75%となり大部分を占めているが、一方で河川以外からの淡水供給も有意である。

淡水供給源としては河川が約75%を占めており、その内訳としては、主要河川が大部分を占めること、そのうち、荒川や江戸川、中川、隅田川が大きく寄与することが確認された。また、下水処理場や事業場も重要な淡水供給源となり、その寄与率は無降雨期間

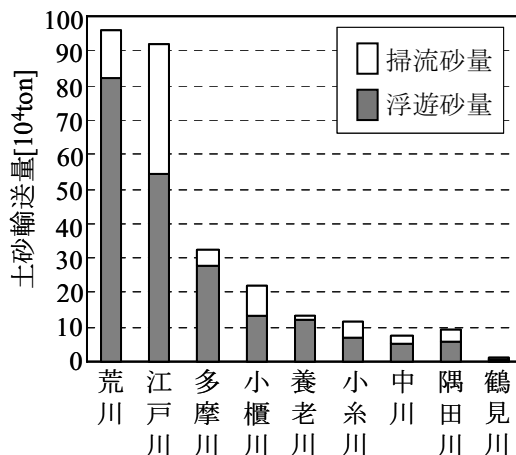


図3 各河川における掃流砂量と浮遊砂量の年間値

にはより増大する。このようなことから、東京湾の水収支解析や流動シミュレーションを行う上では、河川のみならず、下水処理場や事業場、降水からの淡水供給を考慮することの重要性が示された。

#### (2) 土砂輸送特性

主要9河川における土砂輸送特性を把握するために、掃流砂量と浮遊砂量の年間値を図3に示す。ここでは2007/9/1~2008/8/31の結果を例示する。これより、流域面積が大きく山地が多い荒川や江戸川、多摩川が上位を占めており、これら3河川における土砂輸送量の合計(=221ton/year)は、主要9河川の総量(=285ton/year)の77%に相当する。また、山地率が高い小櫃川・養老川・小糸川(千葉3河川)の土砂輸送量は、都市や農地が多い中川や隅田川、鶴見川より大きい。千葉3河川における流域面積は荒川の1/10程度であることを考慮すると、千葉3河川の比土砂輸送量は東京湾流域内では極めて高い。また、掃流砂量は浮遊砂量より小さい、ということが全河川に共通しており、その比率(=掃流砂量/浮遊砂量)は荒川・多摩川・養老川で低く(~20%)、江戸川・小櫃川等で高い(60~70%)。

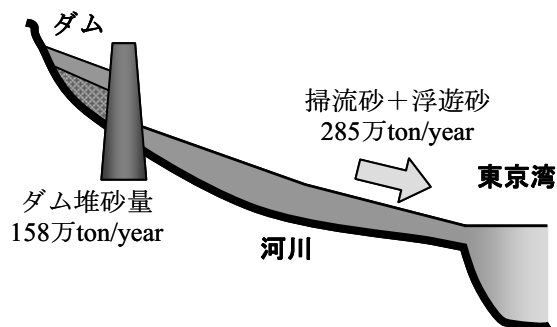
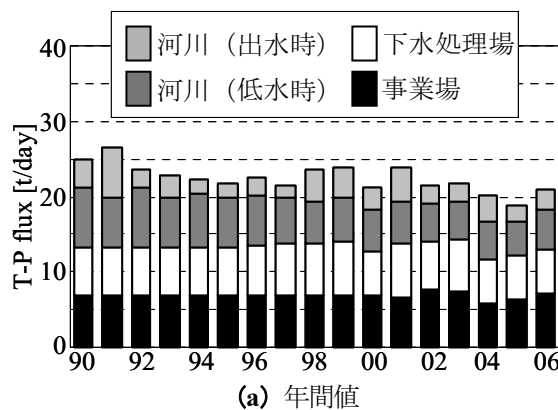


図4 流域全体における土砂動態

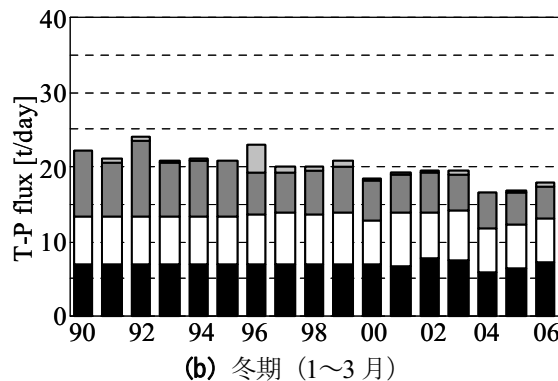
ダムの堆砂データと図3の土砂輸送量データに基づいて、流域全体における土砂動態の模式図を図4に示す。主要9河川における土砂輸送量の総和は285万ton/年となり、ダムにおける総堆砂量は158万ton/年である。流域全体の土砂生産量を浮遊砂量と掃流砂量、ダム堆砂量の和と単純に置くと、総生産量は443万ton/年であり、ダムにおける土砂トラップ率は約1/3にも達していることが分かる。以上のことから、多量の土砂が流域内のダムにトラップされ東京湾に土砂が流出していないことが明らかとなった。

(3) 栄養塩・有機物供給量

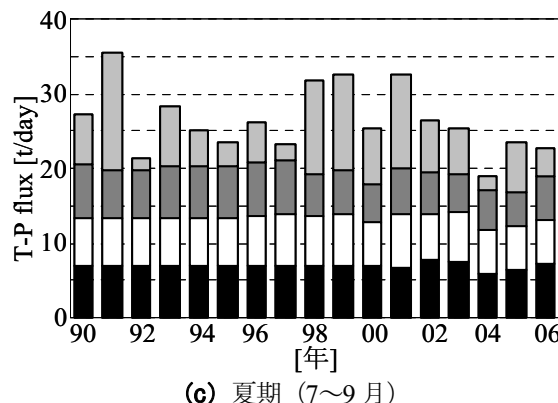
東京湾への栄養塩供給量の長期変動傾向を調べるために、一例として、1990年から2006年におけるソース別 T-P 供給量の経年変化を図5に示す。ここでは、季節別の経年変化特性を見るために、年間平均値と冬期平均(1~3月), 夏期平均(7~9月)の結果を対象とする。また、供給量をソース別に示すために、事業場, 下水処理場, 河川(低水時), 河川(出水時)と分けて表示する。なお、事業場及び下水処理場データは、データソースの都合上年間平均値しか得られていないので、これらの供給量には季節変化は含まれない。年間平均値に着目すると、事業場は6.6~7.7t/day, 下水処理場は5.9~7.2t/day, 河川(低水時)は4.8~8.0t/day, 河川(出水時)は1.5~6.7t/dayである。このように事業場と下水処理場経由の供給は大きく、供給量全体に対する寄与率の期間平均値は、事業場では31%, 下水処理場では



(a) 年間値



(b) 冬期 (1~3月)



(c) 夏期 (7~9月)

図5 流域からの T-P 供給量の経年変化

29%となる。両者の寄与率を合わせると60%となり、事業場と下水処理場における流量の寄与率(=17%)を大幅に上回る。一方、河川の供給量に関する平均寄与率は、低水時では27%, 出水時では13%となる。このように低水時では、河川からの供給よりも事業場や下水処理場からの供給が大きくなっている。このような T-P 供給量の年間平均値に関する経年変化特性は、多少の増減はあるものの、概ね漸減傾向となっている。冬期の T-P 供給量に関しては、年間値と比べて河川(出水時)の供給量が大幅に減少している。また、冬期供給量の経年変化特性も、年間値と同様に、漸減傾向である。それに対して、



夏期の供給量に関しては、冬期や年間値と比べて河川(出水時)が顕著になっている。この結果、全体に対する河川の寄与率は低水時と出水時を合わせて49%に達する。さらに、特筆すべきこととしては、夏期のT-P供給量に関する経年変化特性は、明確には減少しておらず、全体的には横ばい傾向であり、増加した期間(1998~2001年)すら見られる。このように、季節により、流入負荷の経年変化特性が異なることが確認された。

本研究で得られたT-P・T-N・COD供給量の算定結果(以下、本結果と呼ぶ)と、原単位法により得られた解析結果(中央環境審議会, 2005)を比較したものを図6に示す。この原単位法による解析結果は、水質総量規制を行う上で基礎資料として示されているものである。また、本結果に関しては、前述した年間平均値及び夏期、冬期の結果の5年間移動平均したものを表示している。原単位法の解析結果が5年毎に示されているため、本結果もそれに合わせて5年間の移動平均操作を行ったものを採用している。これを見ると、年間平均値については、3項目共に漸減傾向となっているが、T-Nについてのみ本結果と原単位法の解析結果が概ね一致している。一方、T-P・COD供給量に関しては、本結果の方が原単位法の解析結果よりも大きくなっており、その差はCOD負荷量において顕著である。本結果における冬期と夏期の供給量に着目すると、3項目共通して、夏期における本結果は原単位法の解析結果を上回り、冬期は逆の傾向となっている。また、冬期の供給量は、経年的に減少しているが、夏期の供給量は2000年付近に極大値を取るなど単調には減少していない。このように、夏期と冬期では、供給量そのものやその経年変化特性が大きく異なることがT-P、T-N、CODに関して明らかにされた。特に、夏期の供給量は、冬期の供給量や原単位法の解析結果を大幅に上回り、かつ、T-PやCODについては経年的に減少している様子は見られない。以上より、一般に夏期に発生する赤潮や青潮の発生頻度が経年的に減少しない要因の一つとして、陸域からの流入負荷の削減効果が夏期には現れていないためであ

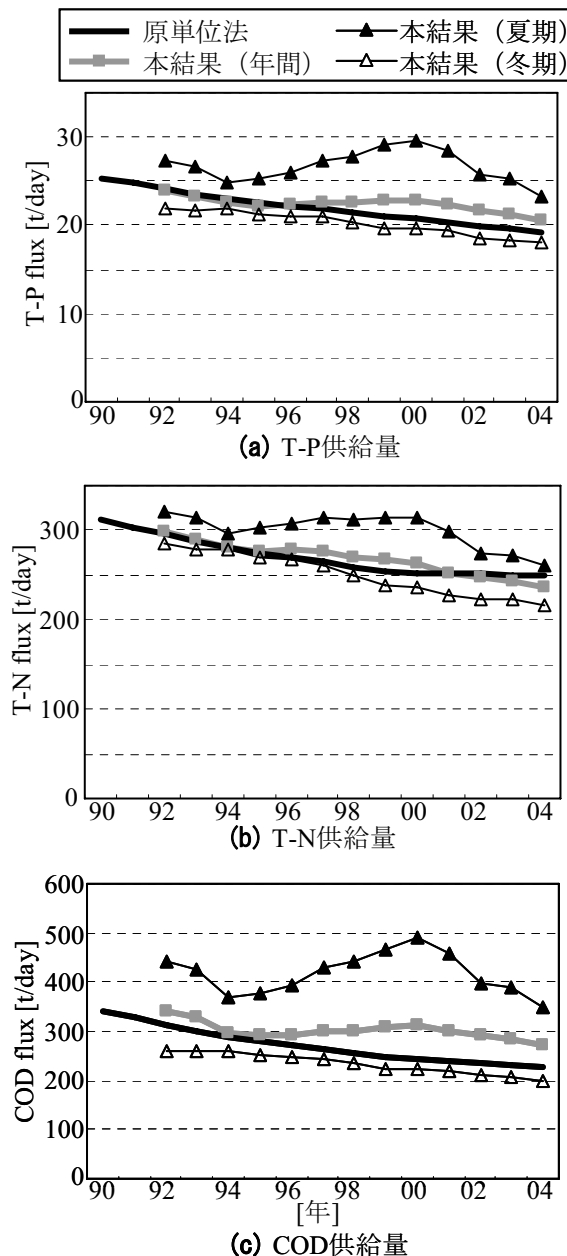


図6 各供給量に関する本結果と原単位法の解析結果の比較(本結果には5年移動平均操作を施している)

ると推測される。

### 結論

本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

- 1) 1990年~2007年における淡水供給量は401~637m<sup>3</sup>/sとなり、その内訳の平均値としては、河川は75.5%、下水処理場は10.5%、事業場は6.4%、降

水は9.2%である。

2) 荒川, 江戸川, 多摩川における土砂輸送量は他の主要河川よりも卓越しており, それは総輸送量の77%に達する。また, 流域全体の土砂生産量は443万ton/年であり, その約1/3は流域内のダムにおいてトラップされていることが示された。

3) T-P 供給量に対する流入源別の寄与率は, 年間平均値としては, 下水処理場では31%, 事業場では29%, 河川では40%となった。これより, 流入負荷に対する事業場や下水処理場からの寄与が大きいことが示された。

4) 本結果における年間値・冬期の栄養塩・有機物供給量は, 原単位法の解析結果と類似して経年的に減少している。一方, 本結果による夏期供給量に関しては, 明確な減少傾向は見られず, 一部増加している期間も存在している。これより, 夏期に発生頻度が高い赤潮や青潮が現在でも頻発している要因の一つとして, 流入負荷の削減効果が夏期には現れていないためであることが示唆された。

謝辞: 公共用水域水質データは国立環境研究所「環境数値データベース」より収集した。国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所・荒川下流河川事務所, 京浜河川事務所, 水資源機構・利根導水総合管理所, 東京都水道局には流量や水質データをご提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

### 参 考 文 献

安藤晴夫・柏木宣久・二宮勝幸・小倉久子・川井利雄 (2005): 1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について — 公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析 —, 東京都環境科学研究所年報, pp. 141-150.

貝塚爽平編 (1993): 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, pp. 111-134.

加藤靖之・二瓶泰雄・重田京助 (2009): 簡易数値モデルに基づく粒径別掃流砂量の算定, 水工学

論文集, Vol. 53, pp. 679-684.

坂井文子・二瓶泰雄・江原圭介・臼田美穂・重田京助・大塚慧 (2008): 江戸川・荒川・多摩川・中川における出水時栄養塩・COD 負荷特性, 水工学論文集, Vol. 52, pp. 1117-1122.

重田京助・二瓶泰雄・坂井文子・大塚慧 (2008): 東京湾主要流入河川における浮遊土砂輸送特性に関する基礎的検討, 水工学論文集, Vol. 52, pp. 913-918.

(社)日本下水道協会 (2006): 平成16年度版 下水道統計 行政編, 2086p.

中央環境審議会 (2005): 第6次水質総量規制の在り方について(答申), 21p.

二瓶泰雄・高村智之・渡邊敬之 (2007a): 東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題, 海岸工学論文集, Vol. 54, pp. 1221-1225.

二瓶泰雄, 江原圭介, 臼田美穂, 坂井文子, 重田京助 (2007b): 江戸川・荒川・多摩川における水質環境と流入負荷特性, 海岸工学論文集, Vol. 54, pp. 1226-1230.

二瓶泰雄・大塚慧・影山英将・広瀬久也 (2008): 東京湾における流入負荷の経年変化, 海岸工学論文集, Vol. 55, No. 2, pp. 1226-1230.

二瓶泰雄・重田京助, 伊藤雅人, 星野彰成, 福田昌洋, 加藤靖之 (2009): 東京湾流入河川における土砂輸送・底質環境特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. B2-56, No. 2, pp. 1171-1175.

松村剛・石丸隆 (2004): 東京湾への淡水供給量と窒素・リンの流入負荷量 (1997, 98年度), 海の研究, Vol. 13, No. 1, pp. 25-36.

## 東京湾のアサリ幼生の生存と分布に与える貧酸素水の影響

鳥羽光晴\*・小瀬村智行・山川 紘・杉浦佳夫・小林豊(千葉水総研セ 東京湾漁業研究所)

我が国の富栄養化が進んだ内湾域では、貧酸素水の沿岸湧昇によるアサリ底生個体の大量死亡はしばしば報告されているが、浮遊期のアサリ幼生に対する貧酸素水の影響を検証した例は少ない。著者らは、2001～2004年を中心に、東京湾においてアサリ幼生の分布調査と貧酸素水に対する幼生の耐性実験を行った。その結果から、アサリ浮遊期における貧酸素条件の影響を評価し、さらにアサリの個体群維持における貧酸素の影響を推測した。

**産卵期と幼生の出現期間** 成員の成熟年周期の調査結果から、東京湾以西ではアサリは春と秋に年間2回の産卵盛期を持つといわれる。幼生密度の季節変化を見ると、東京湾では春と秋に高密度の分布が認められることが多かったが、幼生の出現は春から秋の長期間にわたって継続的に見られた。アサリ資源量が豊富な三河湾などの海域でも、同様にアサリ幼生が暖水期に継続的に出現することが認められており、これはアサリ再生産の特性の一つと考えられた。

**幼生の鉛直分布** 一方、鉛直分布の解析結果から、アサリ幼生は成長にともなって遊泳層が変化することが観察された。幼生は、産卵後間もない段階(殻長 $<130\mu\text{m}$ )には表層を中心に分布したが、成長にともなって底層に分布する傾向を強め、着底が近くなった段階(殻長 $>180\mu\text{m}$ )では底層に集中的に分布した。同様の観察例は三河湾など他の海域でも報告されている。

**幼生の貧酸素耐性** 幼生の貧酸素水( $\text{DO}<0.2\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ,  $25^\circ\text{C}$ )への暴露実験では、暴露時間とともに遊泳している幼生数が減少し、6時間以内に遊泳している幼生が50%以下になることが多かった。幼生の生存率は、すべての発育段階において暴露12時間以内に低下し、殻長 $<170\mu\text{m}$ の小型幼生では24時間以内にほとんどが死亡した。貧酸素条件下で代謝速度が低下することは他の二枚貝幼生でも認められており、同条件下でのア

サリ幼生の遊泳能力の低下は二枚貝の一般的な生理特性である可能性が考えられた。

**貧酸素と幼生分布密度** 成員の分布域に近い沿岸域および湾中央域において、幼生の鉛直分布密度と海水の溶存酸素を継続的に比較した結果では、いずれの調査点でも貧酸素状態( $<1.0\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ )にある下層では、DOの高い上層に比べて幼生密度は大幅に少なくなっていた。

**考察** 以上の事実から、海域において貧酸素域に輸送されたアサリ幼生は、遊泳能力が低下して底層へと沈下する傾向を強めることが多いと思われる。底層で一般的に貧酸素条件がさらに強いことが普通であるため、アサリ幼生は遊泳能力を回復することなく沈下し、やがて死亡する可能性が高まる。

東京湾での近年の貧酸素調査結果では、おおむね5～10月にかけて連続的にほぼ全域の底層に貧酸素水が形成される。この貧酸素水の形成時期は、ほぼアサリの年間産卵期間、つまり幼生が出現するほぼ全期間に重複している。

すなわち、海域の貧酸素条件はアサリ幼生の生存に致命的な影響を広域的かつ連続的に与えており、地域的散発的に発生する貧酸素水の沿岸湧昇によるアサリ底生個体群の大量死亡と比べて、湾全体のアサリ個体群に対する影響過程は大きく異なる。貧酸素水の浮遊期のアサリに対する影響は、東京湾のアサリ個体群の再生産に悪影響を与えている可能性がある。

東京湾奥における生物と環境  
小泉正行

The creature and environment in Tokyo Bay  
Masayuki KOIZUMI

東京都島しょ農林水産総合センター 105-0022 東京都港区海岸 1-13-7

Masayuki\_1\_Koizumi@member.metro.tokyo.jp

Tokyo Metropolitan Island Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1-13-7Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, Japan

### はじめに

流域人口が約 2,900 万人(東京湾環境情報センターHP)の東京湾は、下水道普及率は高いものの、分流式・高度処理方式でないため湾内へ栄養塩を大量に流入させる。また、堆積した底泥から栄養塩が溶出するため富栄養化が著しい。その結果、赤潮・青潮・貧酸素などの問題が多発し(東京都環境局 2010)、生物の生息条件は非常に厳しい。このような中、平成 14 年より内閣官房都市再生本部を事務局に、「東京湾再生推進会議」が設置され、モニタリング調査やシンポジウムも開催されているが、実効ある改善策の実施には至っていない。特に、大量の再生処理水が流れ込む東京都の内湾(以下、東京都内湾と呼ぶ)は、予想を遙かに上回る生物の斃死や衰退現象がみられる。

そこで、東京都内湾の現状の厳しさを伝えるために取り組んできたこの数年間の生物・水質調査と、閉塞する東京都内湾の改善策として日頃より考えている生物生産基盤の重要性を伝えるために関係機関の漁獲量、水質、埋立面積や航空画像等の既存資料を整理した結果を報告する。

### 資料と方法

東京都内湾の現状と問題点を明らかにするために以下の(1)から(5)の調査を行った。また、生物の衰退要因を探るために(6)から(9)の関係機関の資料と(10)の漁業者情報を整理した。

(1)底生生物が生息する海底面付近の夏秋期に

おける貧酸素水塊の形成状況(鉛直構造)を把握するため、平成 21 年6月から 10 月に羽田沖と若洲沖で溶存酸素量(以下 DO と呼ぶ)と水温の各層観測を月1回行った。なお、水温躍層の形成に影響する海面状態は、調査実施前(5日間程)の気象庁の天気図を参考にした。

(2)底生生物の変動要因を把握するため、平成 15 年から同 21 年に海底直上1mで月1回観測した DO、水温及びエクマンバージ型採泥器で採集した5月と9月の2枚貝5種(1mm目合の篩に残った1g以下の個体)の採集資料を用いた。また、底生生物の生息状況と海底の様子を把握するため、平成 16 年6月より適宜、潜水観察を行った。

(3)多年性アマモの生育試験は、平成 16 年から同 19 年に播種・苗移植・株移植の3通りの方法で、お台場の基準海面ー40 cm前後の浅場で行った。なお、播種は 11~12 月、苗移植は1月、株移植は7~11 月に行った。

(4)河口域の環境変化(淡水化)を検討するため、平成 21 年7、8月に葛西臨海公園東なぎさ東端の干潟で2枚貝の枠取り調査(岸から沖に 50m × 幅 375m)を行った。また、漁業者情報を収集した。

(5)東京湾に流下した仔アユの生息場を把握するため、平成 16 年から同 18 年の冬春期(11月から3月)に月1~2回の曳網調査を広域で行った。干潟等の浅場は地曳網、その沖合深場(水深7~8m以内)と垂直護岸付近ではソリネットによる層別採集(表層・3m層・海底)を行った。

(6)昭和 20 年代以降の東京都内湾の漁獲量は「東京都の水産」(東京都産業労働局, 昭和 25 年から平成 17 年), 汽水性ヤマトシジミの漁獲量は, 「農林水産統計調査広報資料」(関東農政局 HP 掲載, 昭和 29 年から平成 16 年の属地統計)を用いた。

(7) 河川と内湾の水質は, 「都内河川・内湾の水質」(東京都環境局(旧公害局), 昭和 47 年から平成 17 年)を用いた。

(8)東京湾の埋立は, 運輸省第2港湾建設局の HP 掲載数値を用いた。また, 昭和 35 年当時の海面を現す海苔養殖場の航空写真(東京都内湾漁業興亡史掲載の海苔漁場俯瞰図)と衛星画像(平成 20 年 12 月の Google)を対比して, 水面の変化を把握した。

(9) 東京湾の汚濁負荷量は, 中央環境審議会第六次水質総量規制答申(平成 19 年度発生負荷量等算定報告)の HP 掲載数値を用いた。

(10) 昭和 20 年代以降の漁業情報は, 現在も漁業に従事する 70 代, 80 代の漁業者から収集した。

### 結果と考察

#### 1, 生物生息環境の現状と問題点

図1は羽田沖と若洲における平成 21 年6月から同 10 月までの DO と水温の鉛直構造を示したものである。海面が穏やかであった高水温期の8月は水温躍層が顕著にみられ, 羽田沖(左列)の海底直上 40 cm の DO は 1.02 mg/L, 同若洲(右列)は 20 cm, 0.26 mg/L であった。水温が比較的低温で海面の乱れが想定された6月, 7月, 9月は, 顕著な水温躍層はみられず, DO は2~3 mg/L 以上を維持した。水温が下降し始める 10 月は鉛直混合が顕著で, 羽田沖の表層水温は底層より1℃ほど低かった。DO は4mg/L 以上を維持した。

以上から, 海底面付近の DO は, 水温や海面の攪乱状況などに左右されて変動するものの, 高水温期に海面が穏やかな日々が続くと貧酸素水塊が発達し, 底生生物の生息を脅かすものと考えられる。なお, 貧酸素の後に続く嫌気性バ

クテリア(硫酸還元菌群)などによる二次的環境悪化が懸念される(下茂ら, 2004)。

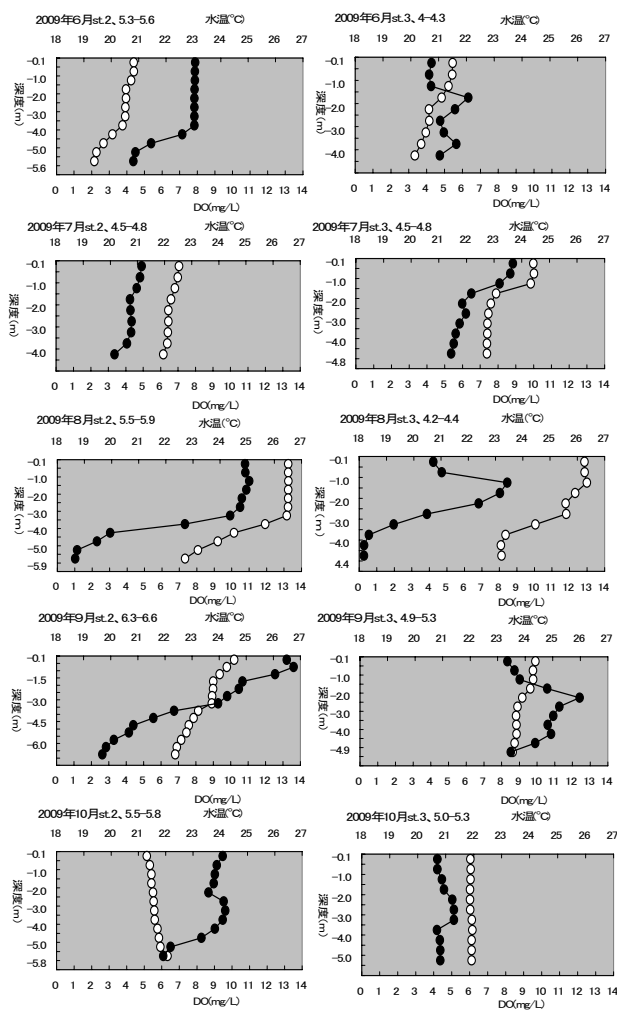


図1 水温と DO の鉛直構造

注) 左列は羽田沖, 右列は若洲沖, ○印は水温(°C), ●印は DO 値(mg/L), 各図左上の年月 st.No. に続く数値は順に最深部の水深と機器着底水深(m)を示す。

図2は, お台場における平成 15 年から同 21 年の底質環境と2枚貝5種の出現量との関係を示したものである。2枚貝は平成 17 年から同 20 年にかけて極端に低下した。貝類の年々の発生量は明らかではないものの, 平成 18, 19 年の夏期を中心に DO が著しく低下したことと関連する。なお, 東京都内湾の5地点で実施する地曳網調査でも, 平成 18 年から同 20 年の3年間は貝類, 甲殻類, 棘皮動物などが減少している(小泉整理中)。

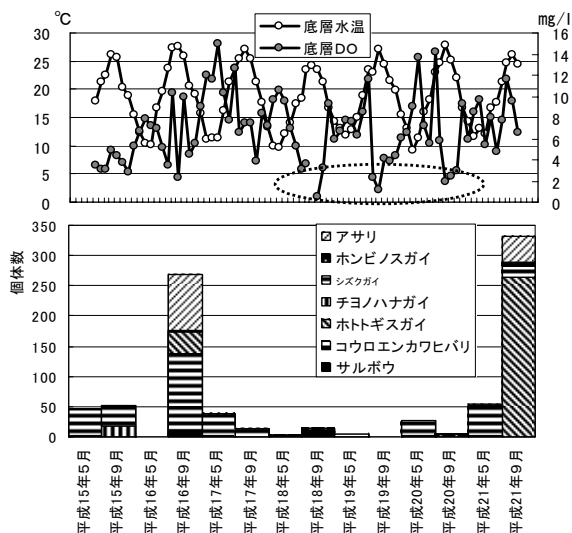


図2 底層水温・DOと2枚貝の出現量

図3は、お台場における平成16年から19年のアマモ株移植試験結果を示したものである。夏期の移植株は1~2ヶ月以内に消滅するが、晩秋(11月)の移植株は3~4月をピークに一気に衰退し、6~8月には消滅する。株数は最大でも5倍程度に増加したに過ぎない。一方、播種と苗移植の2試験は、草丈が短いため生育はさらに悪く、ほぼ4、5月に消滅した。なお、春期以降に衰退するのは、植物プランクトンの増殖によって透明度が低下(図4)し、光合成が著しく阻害されたことによる。富栄養化した東京都内湾では同プランクトンが爆発的に発生し、透明度は4~9月の半年間は2mを越えることは少ない(図4)。

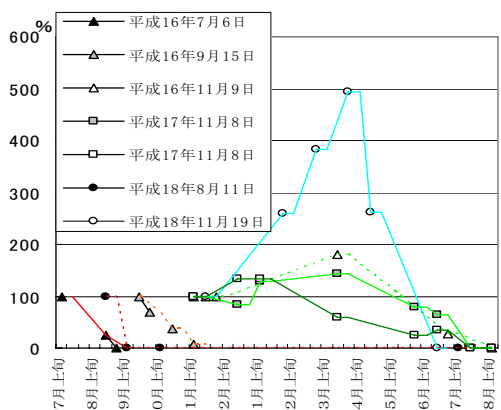


図3 アマモの移植株数の推移

注) 移植時の株数は異なるため、各々の開始時の

株数を100とした。

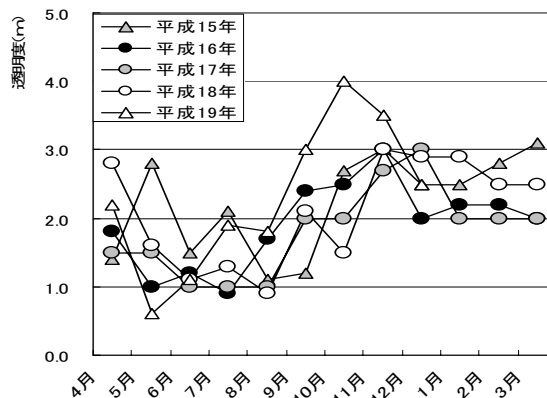


図4 お台場の年別・月別透明度

図5は葛西臨海公園東なぎさの東端で平成21年7月に採集した2枚貝の殻長組成を示したものである。殻長組成と年齢との関係(川島, 1988)からヤマトシジミは複数の年級群で構成されるが、アサリやシオフキは経験的にはほぼ前年秋から春期に発生した1年未満の個体であった。同アサリやシオフキの前年春以前の発生量は明らかではないが、同水域で汽水性ヤマトシジミが近年増加している(漁業者小島ほか, 私信)ことから、淡水化の進行がアサリ類の後退に繋がったのではないかと考えられる。

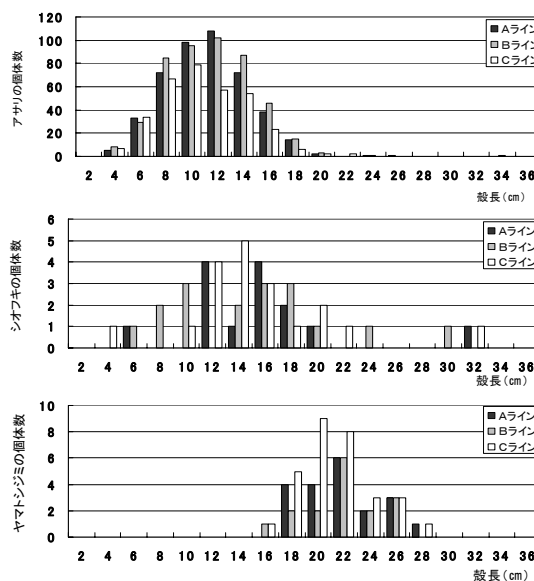


図5 東なぎさ東端の2枚貝3種の殻長組成

図6は平成 18 年8月にお台場で観察したホンビノスガイ(死殻と生貝の水管)と海底に形成された白カビ状(以下白カビと呼称)の菌群を示したものである。ホンビノスガイは、お台場ではアサリより1~2m深い緩斜面に形成された砂泥地帯に岸とほぼ並行に帯状に分布しており、同アサリより貧酸素に強い種である。しかし今回、そのホンビノスガイが白カビの近くから死亡し始め、僅か1週間後には大量に死亡したのに対し、浅場に生息するアサリなどの死亡は確認できなかった。このことから、この白カビは、嫌気性バクテリアの硫酸還元菌群(下茂ら, 2004)と推測される。なお、夏期の潜水中には泥分率が高い深場で白カビがよく観察される。

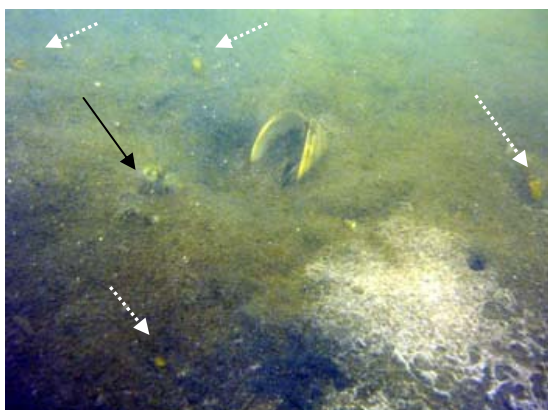


図6 死亡したホンビノスガイと白カビ  
注) 図中、黒矢印は生貝の楕円状水管、白矢印は瀕死状態の個体の扁平な水管

図7は平成 16 年から同 18 年に東京湾奥の干潟とその前面の沖合深場、垂直護岸などで 11 月から翌3月にかけて採集したシラス期のアユの場所別採集率(アユ採集回数/曳網した回数×10<sup>2</sup>)を示したものである。採集率は浅場・砂浜が約 40~80%と高く、この他は極めて低かった。このことから、流下したアユは浅場を重要な生育場所の一つとして選択しているものと考えられた。なお、採集密度(個体数/濾過水量)は、浅場などの干潟が著しく多かった(小泉 2008)

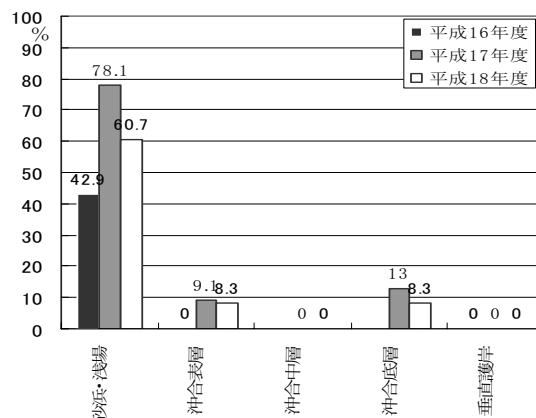


図7 シラス期のアユの場所別・採集率

## 2, 環境の長期変動と漁業の関係

図8は東京湾における明治から平成8年までの埋立状況を示したものである。ほぼ 10 年単位の埋立資料であるが、高度経済成長期に差し掛かる昭和 30 年を境に湾全体の埋立が進んだことを示している。一方、東京都内湾は、漁業権消滅(昭和 37 年)後の昭和 40 年代の埋立が最も進んだ。

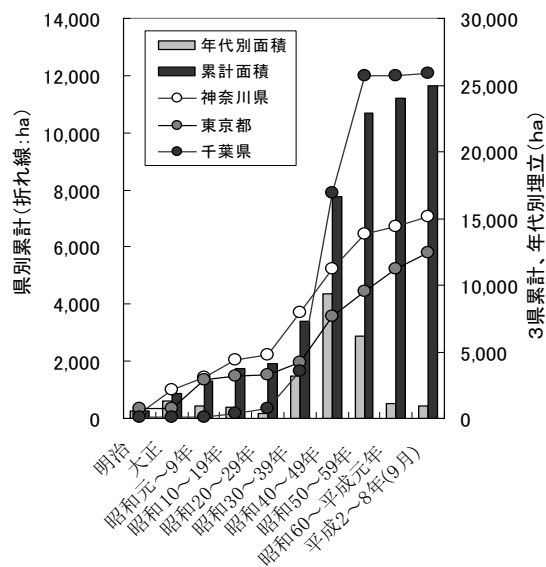


図8 東京湾埋立の変遷

図9は昭和 35 年の航空画像と平成 20 年の衛星画像を対比させたものである。干潮時に漁業者が船から下りて作業した広大な浅場が荷役作業等の垂直護岸と深堀された航路に変容したのが明瞭である。浅場を活用する内湾生物の育成

場, 産卵場, 餌場および水質浄化機能などの様々な機能が低下したことが窺える。



図9 東京都内湾奥部の埋立

図 10 は河川(多摩川)と東京都内湾における昭和 46 年度から平成 17 年度の BOD, COD 値の各年度の平均値を示したものである。なお, 東京都環境局が暫定データとして保管する未発表資料によると, 昭和 45 年以前の数値は, 昭和 46 年度の数値を遙かに上回っている。河川の水質(図 10 上段)は昭和 45 年の水質汚濁防止法(昭和 45 年 12 月法律第 138 号)により排水規制対策が実施されてから改善が徐々に進み, 現在では飲み水の基準目標値とされる BOD 値 3 をクリアするようになった。一方, 昭和 50 年頃にかけて水質改善が進んだ内湾(図 10 下段)は, その後横這い状態で, 河川の水質と連動していない。

図 11 は昭和 54 年から平成 16 年までの平水時の処理排水から計算された東京湾の汚濁負荷量の推移を示したものである。降雨による出水時の負荷量は明らかでないが, 25 年間に負荷量はほぼ半減している。

さて, 汚濁負荷量が低下(図 11, 25 年間で半減)したものの, 内湾の水質改善(図 10 下段, 横這い)に反映されない矛盾がみられる。これは, 前述した生物生産基盤となる浅場の減少(図8, 9)と漁業の衰退とが同時に進行した影響が大きいのではないかと考えられる。

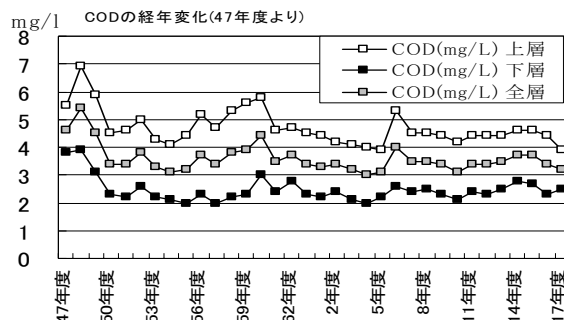
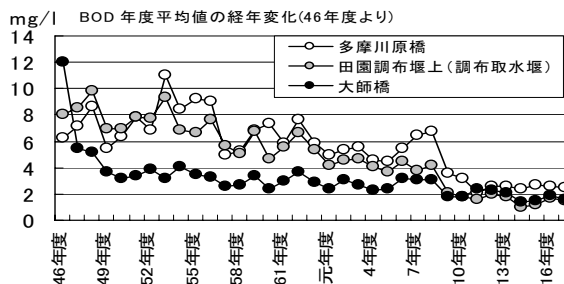


図 10 河川と内湾の水質変動  
注) 上段は多摩川, 下段は内湾

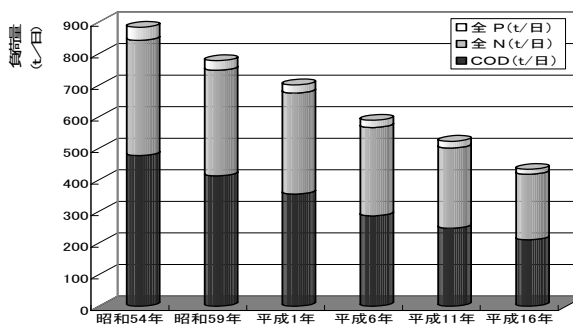


図 11 汚濁負荷量の推移

図 12 は昭和 24 年から平成 17 年までの漁獲量の推移を示したものである。魚類の漁獲量(図 12 上段)は, 漁業権消滅(昭和 37 年)以降, 一時的に低下したが, アナゴ, スズキなどの魚類は現在も一定水準漁獲されている。これとは対照的に貝類の漁獲量(図 12 下段)は, 昭和 20~30 年代と比べると極めて低水準で推移しており, 埋立で生息場を失った影響が大きく関与している。



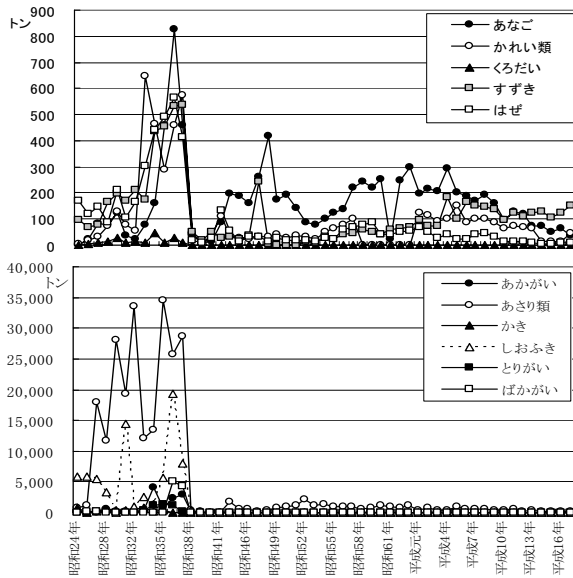


図 12 東京都内湾の漁獲量の推移  
注) 上段は魚類, 下段は貝類

図 13 は汽水域性ヤマトシジミの漁獲量の推移を示したものである。昭和 20 年代の漁獲水準は、内湾の魚類漁獲量(図 12 上段)と同様に低水準で推移し、その後河川の汚濁が著しかった昭和 40 年代に統計上空白となっている。そして、水質が改善し始めた昭和 50 年代(図 10 参照)に増加に転じ、平成 7 年はさらに増加、近年 300~350t の漁獲がみられるなど本種への依存度は高い。多摩川における BOD 値の推移とシジミ漁を営む漁業者情報(小島, 私信)を参考にすれば、河川の水質改善が汽水域の水質・底質改善に繋がり、資源が増大したものと考えられる。

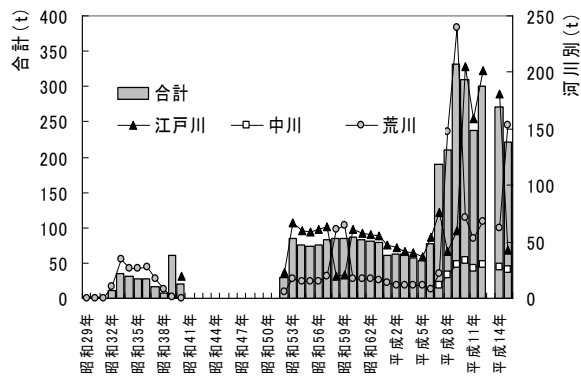


図 13 ヤマトシジミの漁獲量

さて、昭和 20 年代以降の東京都内湾の変遷を知る漁業者(小杉他, 私信)から入手した情報のうち、特に参考となる2点を整理して示す。

①水質が今よりずっと悪かった高度成長期の河口や干潟でさえ、ハゼの仲間が湧く程多かった。水質が綺麗になった今、なぜ少ないのか。

②東京オリンピック前の浚渫土の仮投棄場(通称、“大沖土捨て場”と呼ぶ 500~600m 四方の水域)では、海水混じりの土砂が海面すれすれまで投棄された。その濁水がみられる中に数多くの魚が集まり、面白いように漁獲できた。

以上を総合すると、河川を通して栄養塩が常に注ぐ東京湾奥では、貧酸素水塊の形成と硫化水素の発生などにより環境が悪化する上、埋立による生物生息場が激減したことの影響は大きい。水質改善と生物生息場の確保の両面から復元対策を国家的に講じることが基本的に重要である。

### おわりに

東京湾と流域の河川では、数え切れないほどの様々な主体による再生論議や環境学習等の行事が活発に行われている。また、浅場造成などの具体的な取り組みも一部で行われている。しかし、資源が豊かであった時代との隔たりはあまりにも大きく、改善は一向に進まない。今回の研究会においても、環境学習の一環で日頃より報告しているスライドを使用した。そのうちの2枚を最後に示したい。

一つは、漁業者から情報収集した浚渫土の仮投棄場をイメージしながら、①魚類や貝類の生息場と逃避場、②水温躍層期における表層の過飽和酸素水と底層の貧酸素水の鉛直混合の2点を意識して描いた“砂泥の回廊”(図 14)。もう一つは、環境行政や栄養塩軽減策の国家的取り組みの必要性和実施への支援を描いたフロー図である(図 15)。生産性の高い内湾の再生は食糧資源確保の観点からも重要である。

浅場に限られた東京湾奥、修復には  
“砂泥の回廊”も選択肢？

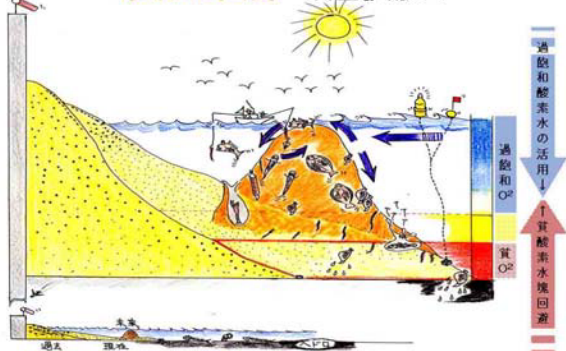


図 14 生物生息場の復元“砂泥の回廊”

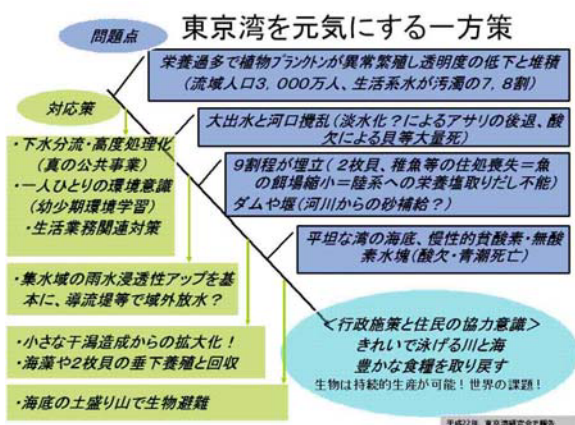


図 15 環境学習スライド

引用文献

川島隆寿・山根恭道・山本考二, 1988: 神戸産ヤマトシジミの成長と宍道湖産ヤマトシジミとの形態の相違, 島根県水産試験場研究報告, 5, 94-102.

小泉正行, 2006: 2004年東京湾に流下した仔アユの分布, 成長, 遡上について. 平成17年事業成果速報, 204-205.

下茂繁・秋本泰・高浜洋, 2004: 海生生物の水質環境耐性について. 海洋生物環境研究所研究報告, 6, 10-20.

東京都内湾漁業興亡史, 1971: 東京都内湾漁業興亡史刊行会, 巻頭写真

東京都環境局年報, 2010: 平成20年度東京湾調査結果報告書, 6-30.

## 東京湾における底生生物相の季節変動 田島良博 (神奈川水技セ)

近年東京湾では、シャコやマコガレイなど重要水産資源の減少が問題となっており、その原因究明が大きな課題のひとつとなっている。神奈川県水産技術センターでは、資源管理の基礎資料とするため、1991年度から調査用底びき網による生物相モニタリング調査を行ってきた。底生生物相の中・長期変動を把握し、その変動要因を検討することは、水産資源の変動要因を明らかにする上で重要であると考えられる。そこで、本研究では、1年間のデータが使用できる1992年から2008年までの17年間のデータをもとに、主要出現種を中心として、CPUEの経年変動について整理を行った。

試料は、調査船うしお及びさがみにより、東京内湾の5定線で調査用底びき網を用いて採集した。1回あたり20分間曳網し、採集された生物の個体数及び重量を種ごとに測定した。CPUEは、曳網20分あたりの採集量(重量及び個体数)とした。さらに、5定線中の神奈川県寄り2定線のデータを用いて、採集重量に基づく上位25種(主要種)を抽出した。主要種の重量CPUEを平方根変換し、多変量解析のデータとした。クラスター分析により各年の類似性にもとづく年代区分を行い、変動傾向を検討した。また、主成分分析を行い、第1、第2主成分の散布図からグループ化を行い、クラスター分析によるグループ化の検証を行った。

総採集量のCPUEでは、重量CPUEで継続的な減少傾向が見られた。定線別に見ると、調査開始当初に生物量の多かった神奈川県寄りの定線で減少傾向が顕著であったが、当初から比較的生物量の少なかった千葉県側の定線では概ね横ばいで、顕著な減少傾向は認められなかった。主要種で最も採集量が多かったのはシャコで、以下エビジャコ、ハタタテヌメリ、サルエビ、スジハゼと続いた。

クラスター分析では、2000年を境界として、1990年代と2000年代が明確に分かれる結果となった。これは、生物量が大きく減少したことに加え、主要出現種の構成割合が変化したことによる

ものと考えられる。

生物量の多い1990年代は、主に上位数種の生物量が突出しており、それに加えて中位種の生物量も比較的多かったが、2001年以降は、全体量の減少の中で、特に上位種の減少が顕著であり、構成バランスが大きく変わった。シャコ資源も、この減少過程で大きく資源水準を低下させたと考えられる。

2007年以降は、2001~2006年とも異なる傾向を示しており、次の変化の入り口に來ている可能性があることから、今後の動向を注視する必要がある。

2000年代に入って、全体的に生物量が減少する中、えい類については、むしろ採集頻度が増加しており、近年の特徴的な傾向のひとつとなっていると考えられた。

なお、主成分分析によるグループ化の検証では、概ねクラスター分析による年代区分の結果を支持した。

## 平成 21 年度 東京湾研究会 議事録

日時：平成 21 年 2 月 4 日 (木) 14:30-17:30

場所：千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所 会議室

出席者 36 名 (別紙参照)

## 議 事

## 1. 開会、挨拶 (中田)

東京湾研究会は今年度で3年目に入ったが、内湾の資源・漁業・環境の問題の解決に向けて、情報共有、情報交換、課題化、外部資金獲得に向けて、少しずつだが進めている状況である。今回は環境に主眼を置いたシンポジウムを企画した。

## 2. ミニシンポジウム 「漁業にとっての内湾環境・水質をどう考えるか」

## (1) 趣旨説明 (児玉)

総量規制が始まって、各水域の水質基準からみた環境は改善された。しかし、それと並行して全体的に漁獲量が減少しているのが実情である。のりの色落ち・生産量の減少は顕著である。第7次水質基準の見直しに向けて、水産の立場 (持続的漁業生産) から内湾環境・水質をどう考えるかをテーマにしたい。

## (2) 基調講演

## 1) 内湾環境修復の方向性と課題

講演者：鈴木輝明 (愛知水試)

## (質疑)

鳥羽：外部下層から入ってくる有機物が中心なのは理解できたが、浅場造成の機能をどう評価するのか？

鈴木：水質は陸域の負荷だけで決まっているわけでない。浅場は、懸濁態から溶存態への変換装置 (生物が介することが重要) である。

鳥羽：生物が増えたという事実が印象深かった。他海域と比較した場合の三河湾の特徴は？

鈴木：三河湾にはまだ浅場を増やす地形が残っている。加えて、漁民の意識・スタンスがしっかりしている。行政・研究についても、技術論的な研究に陥らないよう、メカニズムを明らかにして開発の堤防とすべきである。

内田：魚はどうか？ 浅場造成でアユも回復していると聞くが。

鈴木：具体的な調査事例はまだないがキス、はぜ類は増えていると聞いている。インガレイも増えているようだ。

## 2) 陸域からの負荷変動に対するエスチュアリー生態系の応答

講演者：山本民次 (広島大)

## (質疑)

鈴木：埋立と漁獲量とのタイムラグについて、水域で重要度の高い浅場を埋め立てれば、タイムラグが無いのではないか。

山本：それもあると思うが、データは持ち合わせていない。

鈴木：負荷量を上げるという選択肢は無いのか。

山本：上げてもいいと思うが、産業界は反発するだろう。

中田：委員会でもそういう意見はある。

松川：環境収容力に対する負荷の影響を把握しないと、単純に増加させてはいけない。環境収容力を上げることが第一義的だと考える。

山本：漁獲量が減ったのは負荷量で説明できると思う。今後は底生生態系が課題。

松川：遅延期間や季節も考慮すべき。

工藤：底泥から水柱へのフラックスの説明を。

山本：底泥は境界としてしか扱っていない。また干潟でも生物量は無視できないので、そこも含めて計算しなければならない。

松川：長年蓄積された底質からの影響もあるのではないかな？

鈴木：定量性よりも、経緯を鑑みると浅場の復元をまずやるべきではないか。

### (3) 話題提供

#### 1) 東京湾への淡水・土砂・栄養塩・有機物供給量の経年変化

発表者：二瓶泰雄（東京理科大学）

（質疑）

内田：歴史的に遡れるか？

二瓶：可能である。LQ 式が昔と今で違うことが大きな問題。

松川：リンも窒素も？

二瓶：冬はリンも窒素も COD も減っている。夏は出水が多いとリンやCODが増える。

松川：では減っていないということか。

二瓶：無機態が減っているのは確か。出水によって流入する懸濁物は底に溜まる。そこからの溶出がカギとなる。

#### 2) 東京湾の水質環境とノリ養殖生産の経年変化 長谷川健一・林俊裕・島田裕至・鳥羽光晴（千葉水総研セ）

発表者：鳥羽光晴（千葉水総研セ）

山本：ユーカンピアが低栄養要求なのではなくて、比重が重く底層栄養を使える。

松川：水温との関係は？

石井：8℃より高いと増殖できる。冬季の水温が上がっているので、ユーカンピアが繁殖可能で、しかも低栄養で競合種がないので、増えるのだろう。

#### 3) 東京湾のアサリ幼生の生存と分布における貧酸素水の影響 鳥羽光晴・小瀬村智行・山川 紘・

杉浦佳夫・小林 豊（千葉水総研セ）

発表者：鳥羽光晴（千葉水総研セ）

（質疑）

堀口：飼育実験における幼生のサイズは？

鳥羽：サイズ間での分布・動態の差異は見いだせなかった。

堀口：幼生は貧酸素を回避できるのか？

鳥羽：生物として貧酸素を関知できていないのではないかと考える。

岡本：貧酸素による影響は？

鳥羽：着底量や移出に対する影響の把握は出来ていない。

#### 4) 東京湾奥における生物・水質情報

発表者：小泉正行（都島しよ総セ）

（質疑）

鳥羽：ヤマトシジミは増えているのか？

小泉：確かに増えている。

#### 5) 東京内湾における底生生物相の経年変動について

発表者：田島良博（神奈川水技セ）

（質疑）

山本：生物相が変わった原因は？ 物理的要因か、種間関係か？

田島：これから情報を整えたい。生物量は 80 年代から減っている。

松川：バイオマス全体として見た場合、減り始めたのは 2000 年くらいではないか？

田島：バイオマスが大きく減ったのは 80 年代であり、それ以後減少が続いている。

松川：漁獲が減ったのは底層 DO が減ったからではないか？ また水温も温暖化と都市温排水のために水温が継続して継続して上昇している。

田島：70 年代の状況も合わせてトレンドを解析する必要がある。

堀口：清水誠先生のデータも含めて解析すると、80 年代後半から 90 年代前半にかけて、大幅に生物量が減少した。2000 年頃を境に生物相（魚類）が変化している。貧酸素だけでは説明できないだろう。

#### （4）総合討論

児玉：水産サイドから総量規制への提言を今日紹介していただいた科学的データを基に出していくべきだろう。議論の時間が無くてこの場では議論できないが、水産サイドから総量規制への提言を今日紹介していただいた科学的データを基に出していくべきだろう。

### 3. その他

事務局（市川）から研究会の意義について、以下のような意見の紹介があった。

- ・情報交換の場というよりも問題解決の場（資金確保も含め）
- ・水産をベースとした情報発信の場
- ・単一魚種では議論が広がらない。
- ・東京湾以外にも情報を集める部分、意見・協力を受ける部分を広げ、内湾域を全て含むような研究会の発展が必要。
- ・漁業振興というスタンスなら、東京湾だけには収まらない。
- ・情報発信の場として資源海洋研究会（高知）や「東京湾の漁業と環境」を活用していく

事務局：次年度のテーマについては今後幹事や関係者と相談して検討することになった。

堀川（中央水研）から今年10月の高知での資源海洋研究会シンポジウム「沿岸域の水産資源の管理」の開催説明と協力依頼があった。

最後に鈴木（愛知水試）より、伊勢三河湾での研究会での問題は、流入負荷について総合的に検討していること、環境省や他の機関の方も含めて議論の土台を固めて欲しいとの発言があった。

#### 4. 閉会、挨拶（鳥羽）

以上

## 平成21年度 東京湾研究会 出席者名簿

2006/2/3

千葉県水産総合研究センター	企画調整室 資源研究室  生産技術研究室 東京湾漁業研究所 のり・貝類研究室	次長 室長 上席研究員 研究員 研究員 主席研究員 所長 上席研究員	柴田輝和 深代邦明 石井光廣 小宮朋之 黒田敬子 池上直也 鳥羽光晴 宮里幸司
東京都島しょ農林水産総合センター	振興企画室	副参事研究員 主任	米沢純爾 小泉正行
神奈川県水産技術センター	企画経営部・資源環境部 資源環境部 栽培技術部  企画経営部	部長 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員	川原 浩 田島良博 工藤孝浩 一色竜也 原田 穰
静岡県水産技術研究所	浜名湖分場	副主任	今中園実
愛知県水産試験場	漁業生産研究所 海洋資源グループ 栽培漁業グループ	場長 主任 主任研究員 主任	鈴木輝明 宮脇 大 岡本俊治 平井 玲
三重県水産研究所	水研環境研究課 企画調整課	主任研究員 主幹	清水康弘 松田浩一
広島大学大学院	生物圏科学研究科	教授	山本民次
東京理科大学	理工学部土木工学科	准教授	二瓶泰雄
国立環境研究所	リスク研究センター	主席研究員	堀口敏宏
水産総合研究センター	本部 研究推進部	研究開発C	内田和男
水産工学研究所	水産土木工学部 水理研究室	室長	八木 宏
瀬戸内海区水産研究所	生産環境部 環境動態研究室	室長	樽谷賢治
中央水産研究所	資源評価部 浅海増殖部 浅海生態系研究室 資源増殖研究室 海洋生産部 物質循環研究室	部長 部長 主任研究員 主任研究員 部長 室長 研究員	堀川博史 興石裕一 片山知史 黒木洋明 中田 薫 市川忠史 児玉真史 松川康夫
	元低次生産研究室長		



編集担当者 片山知史・市川忠史

---

平成 22 年 9 月 10 日発行

発行人 福田雅明

発行所 独立行政法人 水産総合研究センター

中央水産研究所 浅海増殖部

横須賀市長井 6-31-1

印刷所

---