

# 快適に憩える美しい東京湾の形成に関する研究



沿岸海洋研究部長 細川 恭史

## 1. 背景

日本の閉鎖的な内湾では、富栄養化が進み水質は依然として改善されていません。特に東京湾は、背後の集水域には2千6百万人の人口が居住しており、大きな人口圧力を引き受けています。千葉県富津岬と神奈川県観音崎とを結ぶ線より北側（奥側）の水域では、水面積は約1,000km<sup>2</sup>です。この水域では、単位水面積あたりの人口負荷が2.6万人/km<sup>2</sup>となります。この値は大阪湾のほぼ倍です。東京湾の受けている社会的負荷の大きさがうかがえます。

ちなみに、東京湾への周辺河川からの淡水流入量は年間10<sup>10</sup>m<sup>3</sup>程度です。湾の水容積（入れ物としての大きさ）と比べると、湾の容積は河川流入量の約1～2年分に相当します。ところが、現実の湾内での淡水の滞留時間（湾内に留まる時間）はもっと短く、1～2ヶ月程度とされています。湾口からの潮汐（上げ潮・下げ潮）作用が、湾内のものの運搬に大きく寄与しているからです。

また、高度成長期を経て、明治期の干潟面積の9割を喪失し、自然の水際線は周囲水際線総延長の1割弱程度となっています（図-1）。

目下、東京湾に対し社会的に高い関心が注がれています。それには様々な理由がありますが、①社会的な背景、②政策的な背景、③技術的な背景が重なっていると思われます。社会的背景としては、沿岸の自然環境

の保全・再生に対する市民からの強い要請や、沿岸の地域社会からの提案や参加の動きがあります。国の政策の面では、環境基本法の制定以降、河川法・海岸法・港湾法などの改定が行われ、環境への配慮方針がはっきり示されました。また、内閣は、「自然と共生した都市や国土の形成」を打ち出しています。技術的な背景の主なものは、ヨシ原・干潟・藻場などの沿岸生態系を保全・修復する技術が進歩してきたこと、合流式下水道の改善技術のメドがついてきたこと、河口部や湾奥部などを広域観測しモデル予測する技術ができてきたこと、などです。

以上の背景をふまえ、「快適に憩える美しい東京湾の形成に関する研究」と題されたプロジェクト研究を開始しました。研究の成果は、やがて「背後市民が快適に憩え、多様な生物を湛養する生息場があり、健全な物質循環が保たれている、東京湾の形成」に繋がると期待されます。

## 2. 東京湾の病気を治すためには

この研究はいくつかの研究分野から構成されています。東京湾の水質や生態系は、水を媒介にしたシステムを作っています。このシステムの歪みが、様々な環境劣化をもたらします。そこで、東京湾の現状を「病んだ状態」と捉え、「健全な状態」へと快復させるための方法を探る研究と考えることができます。

医師が患者を治療するときはどうするかを考えてみましょう。図-2のように、まず、①種々の検査をして患者の状況・病気の現状を把握します。次いで、②病気に対する治療の方針や手続きを検討し、患者の体力や病気の状況に応じた処方を書きます。この処方には、応急手術による患者の快復状況を見ながら次の手だてを考えるとといった、様子を見ながらの対処法の選択も含まれるでしょう。一方、③その病気に見合った特効薬はないのか、緊急措置のための特殊な装置が使えないか、体質改善にはどのような食事や運動が必要か、など、様々な治療法を豊富に揃えておき、適切に選択してゆきます。また、④患者本人には病状と治療法を良く理解してもらい、家族の応援や自己の節制を求めることも必要



水域面積	: 約1,000km <sup>2</sup>
平均水深	: 15m
河川水量	: 8-12×10 <sup>9</sup> t/年
淡水の滞留時間	: 1.5ヶ月
窒素負荷量	: 1.1×10 <sup>5</sup> t/年
下水道普及率	: 4割→8割
既存干潟	: 16km <sup>2</sup> /150km <sup>2</sup>
自然の水際線	: 40km/800km

図-1 東京湾の地理特性と主な環境特性

## 病気の東京湾

- **診断** 病状の把握  
原因とその結果
- **処方箋** こうすればこうなるという予測  
どうすることがよいのか
- **治療** 外科的治療と内科的治療  
対処療法と体質改善と
- **協力** 家族の応援・自己節制

図—2 東京湾の治療のため検討課題

となるでしょう。治療に経費がかかるのなら、その用意も考える必要がでてきます。家族や周りの人たちとの協力体制や応援が大事になってきます。

東京湾についても、この4つの分野の検討をしてゆきます。以下に、そのいくつかの研究成果や研究の状況を紹介します。

### 3. 診断の技術

東京湾の診断はどの様に行ったらよいのでしょうか。湾の不具合を、沿岸市民は次のように感じるでしょう。今まで居た生物が見られなくなった（生態系の劣化や生物のすみにくさ）、水が腐ってきたり臭いや色がおかしい（物質循環の歪みや流れの淀みによる水質の悪化）、海辺で遊びたいのに近づけない（水辺への近づきにくさ）、などです。こうした事柄の実態や機構を解明することが診断になります。

水の流れなどの物理的現象の計測技術は、近年、大きく進歩しています。広域の面的な観測や連続した観測が、少しずつできるようになってきました。ここでは、レーダーを用いた広域表面流速測定技術を紹介し、レーダーで流れを計る原理は既に説明されました。しかし、信号の処理など改良の余地がありました。国総研が観測技術開発に用いた装置の外観は、図—3のようなものです。

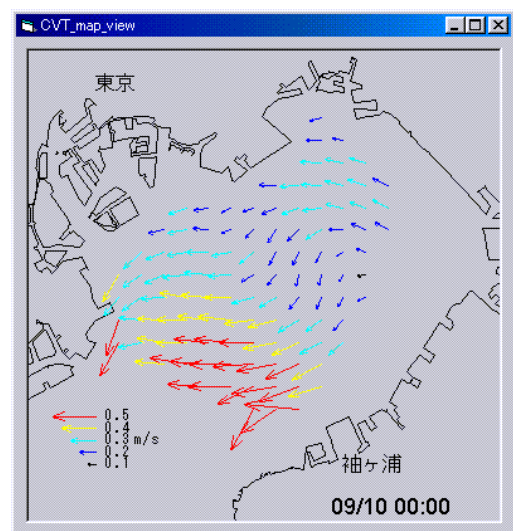
1台が、アンテナ列と信号処理装置とから構成されています。これが2台で対となります。対の装置は、それぞれ陸上の別の場所に設置され、共通の観測対象海面を照射します。海面からの反射波を解析し、さらに対相互の信号を合成して照射面の表層流の方向と強さを求めます。海域に設置した従来型流速計との照合や信号の安定化検討などを経て、1.5kmメッシュの分布で毎2時間ごとの変化を示すことができるように

## 海洋短波レーダー観測



海洋短波レーダー

図—3 観測レーダーの外観



図—4 湾奥部の流速分布の観測例

りました。観測結果は、国総研のwwwサイト (<http://www.nilim.go.jp/>) で見るすることができます。例えば、2001年9月10日から12日にかけて台風15号が首都圏を通過しました。このときの湾奥の流速分布が観測できています。wwwサイトでは、図—4のような面的な流速分布を、時間とともに変化するアニメーションで示しています。

面的な連続観測などから、湾内のものの輸送や流動について、東京湾特有の性質（くせ）がいくつか見つかっています。降雨後の河川出水は晴天時の河口付近の潮の流れとは違った流れをつくる、夏期の成層（海水が上層と下層に層状に分かれること）は風の吹き方で上下層混合の様子が変わる、湾口からは外洋水が間欠的に侵入し湾奥部の水の入れ替わりに大きな影響を及ぼすことがある、などです。こうした特性を把握することで、湾の環境改善のより効果的な処方が検討できる

## ●特集1：環境

ようになります。

### 4. 処方のしかた

背後圏人口を減らしたり産業活動を低下させることは、例え効果的な対策であったとしても、余り現実的ではありませんし急には実現できません。当面は、流入負荷削減を含め各種対策を複合的に組み合わせ、沿岸に展開することで環境改善を図ることになるでしょう。この場合、「どのような対策をどの程度の規模でどこに配置するとどれほどの効果が生じるのか」、見極める必要がでてきます。効果を定量的に予測できる予測モデルが役に立ちそうです。色々な条件で対策を施したときに、その条件に応じた効果を見比べながら、予算に応じて対策を選んだり組み合わせたりできるからです。

まず、簡易なモデルにより、基本的な考え方を検討しました。海域内に干潟などの浄化能力の高い場所を配置するときには、水質の改善効果だけから見ると、汚れの進んだ場所に配置すると効率がよい、などの原則を整理しました。しかし、実際の湾内沿岸は、場所毎にそれぞれの個性があり、沖合方向や横方向のつながり方も場所によって変化があります。具体的な検討には、より詳しいモデルが必要となります。

大切な水質項目である栄養塩類や溶存酸素の湾内での循環を把握するには、循環に関与している主な機構がモデルの中で再現できていく必要があります。現地観測で把握できた新たな知見を加味しながら、湾内流動や物質分布を計算する精緻な数値モデルを現在開発しているところです。また、対策を施したときの効果予測には、モデル内に様々な機構を内包していかつ取扱が簡単な「東京湾改善ゲーム」のようなモデルもあわせて検討しています。

海辺生物は、地形や底泥性状、流れ、水質などに大きく影響を受けます。干潟などの特徴的な場所における生物生息の状況を調べてきました。どのような条件だどどの生物グループの生息に適するのかなど、生物の環境への対応性や応答性の検討もしています。

### 5. 治療の技術

人の病気の治療には、緊急輸血などの応急処置、外科的手術、内科的投薬治療、漢方による体質改善、禁煙や毎日の運動といった生活習慣の改善、など病状や体力・体質に応じて様々な手段があります。個々の治療法は、手術法の開拓、新薬の開発、検査機器開発など、色々な技術開発に支えられています。沿岸での環境改善の手

段にも、ハード・ソフトともに、短期的に効果のあるものからゆっくりとした効果のものなど、種々あります。

一例として、生態系修復技術として関心を集めている干潟造成技術の現状をみてみます。干潟の生物は、図-5のように、①生産者である付着藻、②消費者である二枚貝、巻き貝、ゴカイなどの多毛類、かになどの甲殻類、③分解者であるバクテリアなどから構成されています。潮の干満により、干潟面は干上がったたり水没したりを毎日繰り返しています。上げ潮に乗って、海水中のプランクトンなども定期的に来訪します。

「内湾干潟で普通に見られる生き物が、住みついてくれる」という目標が、造成干潟で達成できるかどうかを実験してみました。実験は、図-6のような施設を用いています。20m<sup>2</sup>規模の3つの水槽が設置されています。東京湾の盤州干潟で採取した底泥を十分乾燥しよく混合し、水槽の底に50cm厚さで敷き詰めました。干潟底生生物は、敷き詰めた乾燥泥の中には見つかりませんでした。研究所前面の久里浜湾から新鮮な海水を無処理で汲み上げ、水槽に導きました。水位の制御装置に

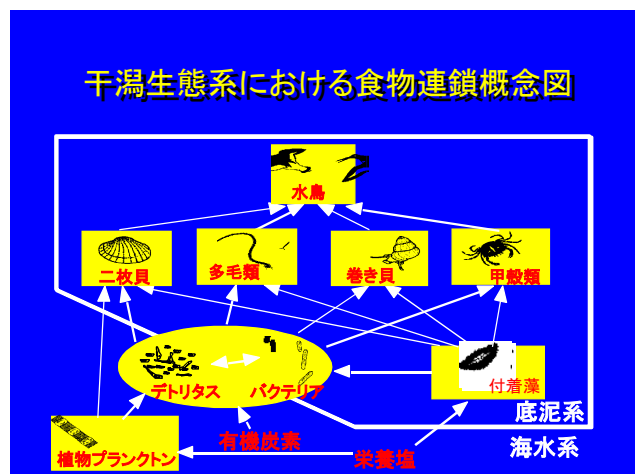


図-5 干潟における食物連鎖概念図



図-6 干潟実験水槽の様子



よりこの水槽内に上げ潮・下げ潮を作りました。敷き詰めた底泥は、6時間毎に干出と水没とを繰り返すこととなります。下げ潮後、不要になった海水は久里浜湾に戻っています。人の手で生物を持ち込むことは一切していません。気温や日射は自然に任せて制御していません。

平成7年1月から本格運転を開始しました。当初は泥を掘っても底生生物は見られませんでした。数ヶ月経過した頃から、糸くずのような微細な生物が見られ、やがて底泥表面が付着藻で褐色になり、巻き貝や二枚貝、ゴカイが観察されるようになりました。運転開始後11ヶ月ほど経過した時の生物の生息状況を調べてみました。体のサイズを横軸に、個体数の生息密度（人口密度）を縦軸に、各生物グループ毎にプロットすると図7のようになりました。この図には、湾内の盤州干潟の値も、あわせてプロットしてあります。二枚貝やゴカイなどの底生動物のうち、1mm目のふるいを通したものをメイオベントス、ふるい上に残ったものをマクロベントスと呼んでいます。図を見ると、大きな生物ほど人口密度が小さくなる傾向が見られ、この傾向（右下がりの傾き）は盤州干潟とよく似ています。実験装置内の生物種は、どれも干潟によく見られる種です。自然干潟と類似のグループ構成になっていることが解ります。別に、海水から干潟泥面への栄養塩の移行速度などを調べると、内湾干潟での観察値と類似の大きさでした。実験施設の生物たちも、自然干潟の生物たちと同じような活力があることが解りました。施設内の水槽に干潟生態系が形成されたと考えられます。その後、運転を継続（現在、独立行政法人港湾空港研究所が研究を担当）して丸7年経過しました。日々の気候変化や季節変動を受けながらも、コアマモが定着するなど多様な干潟生態系が発展し形成されています。

住みついた生物は、どこからやってきたのでしょうか。海水に含まれた幼生（子供）や卵が水槽内に入り込み、底泥上に着底し成長したものと考えられます。多くの干潟生物は、生まれてすぐに浮遊期があります。底泥の地形や素材が適切であり、新鮮な海水の交換があれ

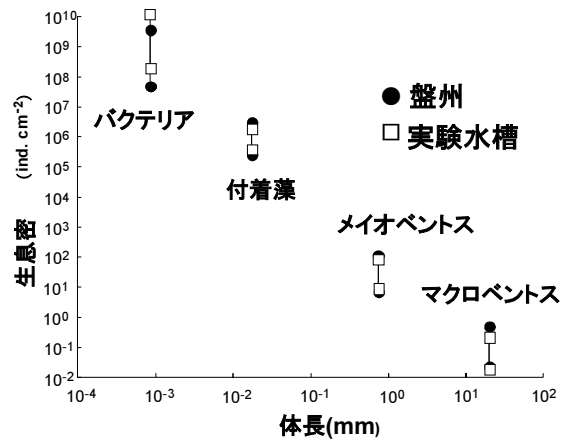


図7 実験水槽内と盤州干潟における底生生物のグループ別生息密度

ば、その場に応じた干潟生物が住みついてくる可能性が確かめられました。ただし、生物の住みつき方や増え方は場所により違ってくるだろうし、水質などの環境も適切でないといけなんでしょう。造成干潟上の様子を長期にわたって観察し、状況に応じて人が少しずつ手伝えることも重要です。

## 6. 協力体制

地域の沿岸は、まず地域の人たちが賢く使ってゆくことになるのでしょう。毎日海を見ている地元の人たちの意志が尊重されるべきです。また、種々の対策の中でも様子を見ながらの長期的なケアが必要な施策も多く、地元の人々の協力が不可欠です。地域の意志決定と丁寧な管理のあり方に関しても、研究してゆきます。モデルや観測の専門分野の研究者との研究集会を開催してきました。加えて、NPOの方など湾岸の色々な方たちとの討議もしました。これからも意見の交換をお願いいたします。

今後、観測法の改良や観測値の蓄積と解析、使いやすいモデルの開発、環境修復技術の解析、専門家および沿岸の自治体や住民の方との交流をさらに進めてゆきます。ご支援ご協力をお願いいたします。