

社会基盤工学専攻 社会システム学講座 みず工学研究領域



研究ノート

中 辻 啓 二*

Water Engineering Research Group in Department of Civil Engineering

Key Words : estuary, water pollution, environmental conservation

1. はじめに

応用学問である水理学・水工学はその時代の社会の動向に大きく左右される。昭和20年代に始まった洪水、高潮や津波の脅威から人間の命や資産を守る防災を対象とした「災害水理学」から、高度経済成長下における大気汚染、水質汚濁、地盤沈下等、環境破壊に係る「公害水理学」、そして自然生態系の配慮や地球規模にまで拡大した環境の劣悪化に関与した「環境水理学」へと変遷するなかで、水理学が発達してきた。それはまさしく、防災・水資源、公害防止、そして環境保全という社会現象の変貌と強く関わってきた証左である。

変動する社会にあって社会の要請に鈍感であれば、水理学の発展はない。これは公害から環境の時代へと研究の方向を身をもって示された村岡浩爾名誉教授(元 国立環境研究所水質土壌環境部 部長)の最終講義の言葉である。高潮発生装置を製作され、Typhoon makerと称された室田明名誉教授はさしずめ災害水理学の推進者であった。さて、この後に続く水理学の時代は何か。マングローブ林や、チャオプラヤ川そして渤海へと、研究テーマは地球規模に拡大するものの、研究の価値を何に見出すべきか、未だ模索中である。

2. 大阪湾環境再生プロジェクトの始まり

内閣府都市再生本部は平成15年7月に東京湾に引き続き、「大阪湾再生推進会議」を発足させた。水質汚濁が慢性化し、人の寄りつかなくなった大都市圏の海の再生を狙うものである。それは高度経済成長の代償として喪失した自然環境や生態系を人間の叡智で回復し、修復することを目差して、動き出した。

同様の自然、社会・経済状況にある東京湾や伊勢湾と比較して、大阪湾は底質の状況が悪い。いくら総量規制で流入汚濁負荷量を抑えても、長年に亘って沈積した栄養塩が溶出して再循環する。生き物が棲むにはぎりぎりの状態である。この瀕死の重体の大阪湾をどのように蘇らせるのか、蘇生へ向けてのカンフル剤はあるのか、疑問を抱く人は少なくないだろう。因果関係が科学的に不明確であるからといって、「行動できない」と言われていられる状況ではない。一日放置すればそれだけ、環境は好ましくない方向に向かう。現有の知識、環境修復技術を駆使して現地実験を積み重ねることも躊躇わないという逼迫した状況にある。

3. バーチャル大阪湾研究所構想

みず工学研究領域では、1986年以来大阪湾研究に関わり、残差流系の解明や総量規制の効果の評価、等を活発に行ってきた。その研究姿勢は、現場を知り、豊かな発想で現象の本質を見極め、高度な技法で自然現象を再現することにある。研究の開始時には、海岸工学・河川工学の係る物理現象が対象であった。しかし、環境を強く意識した頃から、海洋学、生態学、水産学等の自然科学はもとより、社会学・経済学等の人文科学をも含んだ「沿岸域の環境学」が主体になってきた。



* Keiji NAKATSUJI

1947年3月生

大阪大学大学院工学研究科構築工学専攻修士課程卒業

現在、大阪大学工学研究科社会基盤工学専攻、教授、工博、エスチュアリー工学

TEL 06-6879-7603

FAX 06-6879-7607

E-Mail nakatsuj@civil.eng.osaka-u.ac.jp

時を同じくして、Hydroinformaticsという言葉がデルフト研究所の研究者から発信されている。Hydraulics と Informaticsという2語の造語である。日本語では流体情報科学、もしくは水環境情報科学と訳すのが適切であろう。Hydroinformaticsの理念は、「水理学も、情報工学も、数値シミュレーションやデータ解析も、全てが政策決定という目的型実用システムにとっては研究のツールや材料に過ぎない」という考え方である。

体系化された理論も多少必要であるが、環境学が直面する種々の要因の絡み合った複雑な課題を解決するには、理論も、観測も、実験も、データも、ツールも、そして施策決定モデルも、ひとつのシステムに取り込まれる。それらが沿岸域環境の総合管理に効果的に働くのであれば、システムの実用的価値は高い。力学の公理を基礎に流体力学を学んできた研究者があがめる理論の崇高さも何をか言わんやである。それ程までに情報化が進んできている。

融通の利かない頭の固い研究者(=実はコンピューター)と、理論や経験から判断して柔軟な対応のできる真の研究者との協力によって、情報量の多い沿岸域環境の総合管理が可能となる。従前のような大型水理実験施設を持つ研究所ではなく、1台のパソコンの中に大阪湾のモデルを作ることができる。さらに、あらゆる観測データを基に数値シミュレーション、情報管理アルゴリズム、可視化等の技術によって、沿岸域の3次元空間の動態がどのように変動するのを目で見て理解することができる。

著者は第1回瀬戸内海研究者会議(1992)で、Estuary Engineeringを提唱すると同時に、Osaka Bay Authority構想を提案している。従来海洋学が主流を占めた沿岸域研究は工学・技術の進歩とともに、海岸工学者が積極的に関与すべき研究水域であるという謳い文句で始めたものである。後方で力説した内容は、環境保全や環境創造を具体的に実行するには大阪湾全域の海事、港湾機能、沿岸域環境管理を統括できる行政組織の実現が必要であること、それは湾全体の広域的長期的ビジョンに立脚し、且つ沿岸都市域の機能と一体化したものでなければならないことである。「バーチャル大阪湾研究所」構想は正しく「大阪湾環境再生プロジェクト」の先鋒に位置すると考えられる。

4. 大阪湾の開発と水質汚濁の歴史

大阪湾環境の現状と課題を的確に把握するには、水質汚濁の実態を理解する必要がある。戦後の工業発展と経済および生活様式の高度化を最優先した我が国の国土開発は、経済復興をわずか四半世紀で成し遂げた。しかし、経済成長で物質的な豊かさを手にいれることができた一方で、貨幣では測ることのできない多様な価値を失った。そのなかの一つが沿岸域の海域環境の劣悪化であり、生態系の破壊、自然海岸の減少、等があげられる。瀬戸内海や大阪湾では石油コンビナートや重化学工業の立地のために、多くの浅海域が埋め立てられ、工場排水や生活排水の流入により水質汚濁は進行した。

水質保全行政では有機汚濁の代表的な指標の一つとしてCOD(化学的酸素要求量)を用いている。大阪府域から大阪湾に流入するCODの発生負荷量の経年変化を社会・経済的な出来事とともに示したのが図-1である。1950年代は「国民所得倍增計画」の号令の下、産業構造の変革(重化学工業化)、エネルギー転換(石油燃料)、技術革新等に伴う工業化、都市化が進行していった、1955年に8.8%であった実質経済成長率が、1965年には9.3%、1975年には12.4%と上昇した、しかし、1973年、1978年の二度にわたる石油危機を経験して日本経済の体質が一変した、1974年度には戦後初のマイナス成長を経験し、1980年代前半には、経済成長も減速した、このような経済成長の変化は図-1のCOD負荷量の変化に明瞭に現れている。

一方、大阪湾の変遷を語るときに忘れてならないのが、1947年のキャサリーン台風を初め、戦後毎年

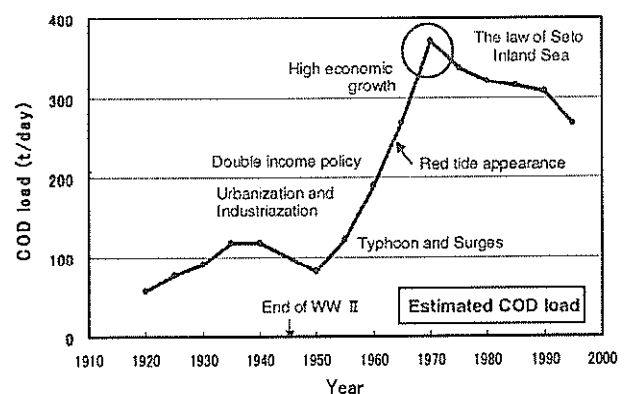


図-1 COD発生負荷量の変化と関連した社会現象

続いた梅雨前線や洪水による水害である。1949年の伊勢湾台風までのわずか12年の間に死者の数は11,946名にも及んでいる。1951年のジェーン台風を契機として、恒久的な高潮対策事業の緊急三ヵ年計画が決まり、1954年に完成した。結果として計画基準潮位をOP+5.2mとする一連の防潮施設が繋がり、安全性が確保された。その代償に、海岸線は砂浜からコンクリートの塊に姿を変えた。

その後の工業化と都市化は立地を沿岸域に求め、高度経済成長期に約8,000haの浅海域が埋め立てられ、人工海岸が96%にまで及んでいる。藻場や干潟の喪失は魚類や魚介類の産卵の場、養育の場の消失を意味し、生態系に壊滅的な影響を及ぼした。それらは水質の悪化や生物多様性の低下に拍車を掛けている。

1972年に播磨灘に発生した大規模な赤潮により養殖魚が絶滅する事態が生じた。このことを契機に、瀬戸内海的环境保全対策が強く要請され、汚濁負荷量の削減、埋め立て免許の規制等を盛り込んだ「瀬戸内海環境保全臨時措置法」が1973年に制定された。1978年に措置法は改正され、総量規制を取り入れた「瀬戸内海環境保全特別措置法」として恒久法となった。この法律によって海域に流入するCODの総量規制とリンの削減対策が1979年以来実施されている。直接的な負荷量の削減によって1976年に54回を数えた赤潮発生回数はその後下降気味であったが、1985年以降は毎年30数回も生じており、総量規制の効果は認められない。

5. 大阪湾の環境変化の予測

物質は乱れと流れによって拡がりながら運ばれる。海水の運動を表すには、運動・連続方程式を基本とする流体力学の方程式をコンピュータで解く方法を用いる。水質予測モデルは大阪湾の3次元流動構造・密度構造を精度良く再現し、且つその流体力学的に裏付けされた物質輸送場での生物・化学的な変化過程をいかに適切に模擬できることが必要である。このため、水質予測モデルは「流動モデル」と「低次生態系水質・底質モデル」から構成される。かつては当たるも八卦、当たらぬも八卦の世界であったが、近年のコンピュータの性能の向上ならびに観測機器の高精度化・コンパクト化により、予測の信頼度は年々上がっている。

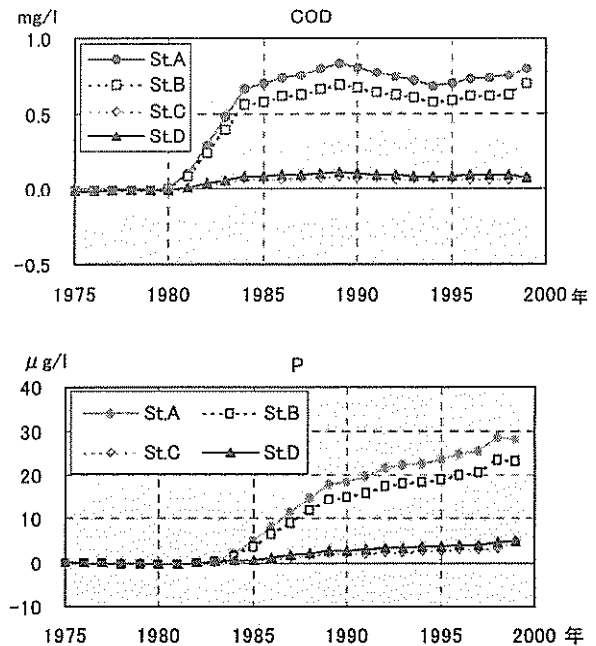


図-2 代表点での水質総量規制政策の
 Δ CODと Δ T-Pの改善効果

流入負荷量の規制・削減が水質・底質に及ぼす影響の評価を通して、総量規制政策の効果を検討するために、1950年の水質および底質を初期状態として与え、各年毎の流入負荷量を境界条件にして2010年までの60年間の水質および底質の長期変化の予測実験を30分間隔で行った。用いた計算格子網の水平メッシュは残差流系の特性を再現できる最小間隔2kmとし、鉛直方向には12層位を越えるメッシュ分割で流動場の計算を行う。さらに、底泥からの溶出速度と各種栄養塩フラックスの算定のために、底泥を鉛直8層位に分割した底質モデルも導入した。種々の仮定に基づく計算結果であり、完成されたものではない。しかし、前述したように環境研究は時を待てない。方向を示すだけでも意味があるという判断から、この論文は好意的な評価を受けた。

結果の一部を紹介する。図-1で示したCODの大阪府域からの発生負荷量は社会・経済統計年鑑での数値から単位法を用いて推算したものである。実際の総量規制下の負荷量は担当部局のデータを用いた計算が可能となる。つまり、両者の予報値の差 Δ が総量規制政策の効果を表している。図-2は代表地点での Δ CODと Δ T-Pの時間変化を示す。陸域からの流入負荷を削減した効果は湾奥の地点A、Bの

経年変化に顕著に現れているのに対して、湾央地点C、紀淡海峡近傍のDではその効果はわずかしかない。一方、湾奥地点の $\Delta T-P$ は1989年まで一様に増加し、その後も増加傾向は継続している。図には示さないが、産業界の反対で対象外になった窒素 $\Delta T-N$ は当然のことながら、0.0であった。

地点Aでの ΔCOD の値は総量規制の始まった1980年から急激に増大し、1984年には0.7mg/Lに達する。その後も濃度差は緩やかに増大するが、1989年の0.80mg/Lを最大値に減少する傾向になる。この結果は、赤潮の発生回数が1980年代後半からあまり減らないという事実と一致する。

種々の検討の結果、少し乱暴になるが、COD負荷量を33%削減しても、COD濃度は13%しか改善されなかった結果も得ている。この原因は富栄養化による内部生産の増大によって海域でつくられる有機汚濁物量が増大していることにある。1999年を初期条件として、NとPも総量規制した予想計算では、3者の削減効果は目覚ましい。富栄養化対策には栄養塩N、Pの削減が必須であることを示している。

6. おわりに

図-3は4年生の講座配属説明会で配った資料である。研究課題は四角で囲んで示している。担当する教育の領域は先述した水理学もしくはその基礎と

なる地球流体力学であるが、国が進めようとしている大阪湾環境再生プロジェクトに答えようとすれば、流動場・密度場の変化といった物理現象の理解だけでは不十分である。楕円形で囲んだエコシステム(生態系)モデルや社会・経済動態モデルを導入した、総合的環境変化予測モデルの構築が必須となる。

それぞれの分野に協力的な研究者もおられるが、研究の目的や姿勢そして価値感が異なるため、また工学的にシステム化することに抵抗を感じられる研究者も多く、容易には協力していただけない。だからといってそれに手をこまねいていても前進しないので、最終的には我々が勉強せざるを得なくなっている状況である。浅海沿岸域での生物・生態学の連携・協働が俟たれる。

大阪大学においても今春から専攻名を土木工業から社会基盤工学に変更することになった。「土木」の二文字が専攻の内容を言い表せていないことが主たる要因であるが、若者の描くイメージと、英語名であるcivil engineeringの間の段差があまりにも大きいことも原因している。

土木工学は時代の進歩に取り残された学問分野であると誤解されている。土木工学あるいは土木技術は古代から文明を支え、文明とともに発展してきたというのは誰もが認めるところでしょう。世界中で洪水が発生し、地震が起こり、多数の尊い命が亡く

なっている。自然現象の残酷さと脅威を覚えるが、災害を経験していない世代はTVの向こうの出来事としてしかとらえていない。ITやバイオ、ナノと華やいだ分野も必要であるが、それを可能にする安全で安心な社会基盤の整備や維持に取り組んでいる研究分野も必要ではないでしょうか。昔からの学問分野も形を変えながら、時代とともに発展していることを拙文から理解していただければ、筆者にとって望外の幸せである。

大阪湾の自然再生は可能か？

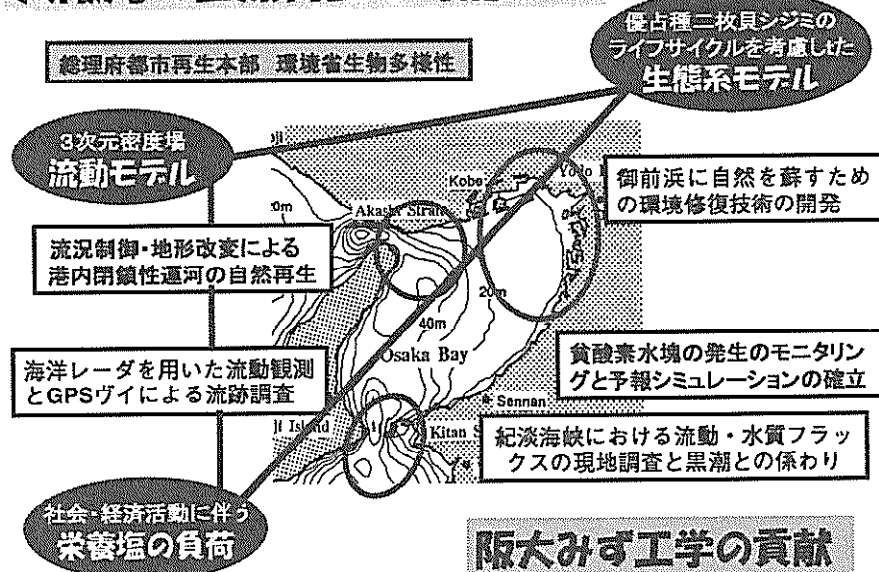


図-3 大阪湾の将来水質予測に関する研究課題