

中国工業技術試験所 ○ 早 川 典 生
東北大学 理学部 杉 本 隆 成

1. はじめに

通産省工業技術院中国工業技術試験所では、1973年に完成した世界最大の潮汐水理模型、瀬戸内海水理模型を用いて瀬戸内海環境保全に関する研究を進めている。筆者達はこの研究に従事する間に水質環境アセスメントのあり方について、討論を深める機会を得た。本文では最初に瀬戸内海における水質汚濁アセスメントの実態とその特殊性について論じ、次に水質環境アセスメントにおいて必要とされる海洋環境調査上の諸問題を、最後に主に沿岸海洋における水質汚濁予測上の技術的問題を論じ、今後の研究課題における問題提起をしようとするものである。

2. 瀬戸内海における水質環境アセスメントの実態

瀬戸内海沿岸地域における工場立地に際しては、瀬戸内海環境保全臨時措置法(以下臨時措置法と略す)と工場立地法の二法のもとに、二重に水質環境アセスメントを要求されている。昭和48年10月に制定された臨時措置法は、瀬戸内海の水質汚濁の深刻さを認識して、高い理念に基いた極めて厳しい法律である。すなわち同法は「瀬戸内海が、わが国のみならず世界においても比類のない美しさを誇る景勝地として、また国民にとって貴重な漁業資源の宝庫として、その恵沢を国民がひとしく享受し、後代の国民に継承すべきものであることにんがみ、……」(第3条)、「(瀬戸内海に)排出される産業排水に係る化学的酸素要求量で表示した汚濁負荷量を昭和47年当時の半程度に減少させる……」(第4条)ことを目標としている。この条文のもとに、すでに各県におけるCOD負荷量割当基準が定められている。この割当の実施は主として行政の関知するところであるが、技術的側からは、このようなことが可能であるように行なわれているかどうかを監視する必要がある。

臨時措置法第5条は、排水量が50 $\text{m}^3/\text{日}$ を越える施設を設置しようとする時は、環境事前評価を添えて府県知事の許可を申請しなければならないとしている。これに基づいて、環境庁は昭和49年4月9日アセスメントのマニュアルを作成した。このマニュアルでは排水量に基づいて新田の式により影響水域の半径を推算する。次にこの水域の現況水質を採水分析により測定する。これに基づいて将来の水質予測は、排水量が50,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 以下ならば、ヨーゼフ・ゼントナー式、以上ならば電子計算機を用いた数値解法により行なうものとしている。

昭和48年10月に改正された工場立地法第2条4項は大規模な工場立地が計画される場合は、環境アセスメントを行なわねばならないとしている。工場立地法の適用にあつては、広く公表されたマニュアルがあるわけではないが、通産省立地公害局公害防止指導課が実施しており、その大要は²⁾、潮流観測を主にして海況調査、排水拡散現地実験、水質および底質調査、海表面温度分布調査、浮標追跡調査、水理模型実験、温排水拡散計算よりなり、この他に拡散の数値計算も行なわれることがある。

このように両法のもとに行なわれる、水質汚濁予測の方法は、技術的に極めて大きな差異があるが、結果がどのように異なるかはあまり議論されたことがない。臨時措置法における手法の技術的諸問題を列举すれば、新田の式より影響域を円形に仮定してしまうことは、潮流の影響を全く無視してしまうことになる。またヨーゼフ・ゼントナー式の適用にあつても、潮流の影響は全く考慮されていない。数値計算の基本式は摩擦と慣性項を無視した、極めて簡単な長波の方程式を解くとしている。以上のようにその内容は現在の技術から見ると、疑問点が多いが、特に潮流拡散に関して予測モデルの検証が抜けている点を指摘したい。

一方の工場立地法のもとに行なわれる、水質環境アセスメントにおいては、潮流に関し観測を重視し、極め

て詳細にわたっており、その成果は学問的価値を有するものがある。

臨時措置法に基づく手法の特徴は極めて具体的、簡潔である。また工場立地法においては徹底的、学問的である。このような相違は水質環境アセスメントの実施主体者の相違（臨時措置法では事業者、工場立地法では国）でもある。環境アセスメントを事業者に実施させることは、理屈の通らぬことでもないが、事業者に有利な結論しか得られないであろうという批判は、避けられない。国が環境アセスメントの主体となることは、一部からの疑惑を招くことは避けられないが、ある程度の公正を期待することができよう。この意味では行政の実施機関としての公害防止指導課の、環境アセスメントの水準を高めようとする努力は、関係学会との連絡に欠けるといううらみはあるものの、高く評価してよい。米国のEPAの刊行する Water Pollution Control Research Series のように、政府機関の豊かな財源による研究のグラントの成果が、広く公表されるようになる日を望みたい。

水質環境アセスメントにおいてなされた、水質汚濁予測の精度のチェックが、想定された立地の行なわれた後のモニタリングで組織的に行なわれた例は、ほとんどないように思われる。いわゆる事前調査に対する事後調査あるいは水質の連続自動モニタリングの開始が現在検討を最も必要とされる時ではないであろうか。

瀬戸内海環境保全臨時措置法は、アセスメントのマニュアルを使いやすい形でまとめられているが、そのための弊害もみうけられる。すなわち、問題としては全く別種のもの、非定常の拡散や貯水池の問題にも臨時措置法のマニュアルを強引にあてはめる例もみられる。環境アセスメントのマニュアルというものは、容易に作ることは戒めなければならない。

3. 海洋環境調査の必要性

水質環境アセスメントを作成するにあたっては、流れの状況をまず把握しなければならないが、いわゆる沿岸海洋においては決して容易なことではない。潮位の調和常数は信頼性があるとされているが、潮流観測は小野式流速計と近年開発された、カセットテープに記録する流速計により、その信頼性がいまや高まりつつあり、乱れ特性についても議論されるようになった。潮流の乱れ特性に関する業績には和田ら³のがあるが、半日周期以上の周期成分の分解は15日以上の連続観測を必要とし、しかも15日間連続観測で得た調和常数が季節変動の長周期成分の影響をどの程度うけるか明らかではない。表1には瀬戸内海中でM₂分潮の卓越する2点において異なった時期においてなされた、潮流観測により得られたM₂分潮流長軸成分および恒流成分について、比較したものである。これより潮流の調和常数の信頼性はよくて15%であることがいえる。半日周期の卓越しない海域としては、別府湾において昭和48年度の夏冬2回にわたって、通産省により潮流観測が行なわれたが、調和常数值にすべて30%以上の差異が認められた。

まして恒流成分を論じるのには、一年程度長期の観測資料が必要である。

沿岸海洋における拡散現象の実験資料は決して多くはない。まして瀬戸内海における資料は系統的に拡散理論を検討できる程のものはそろっていない。拡散現象には物質の比重、沈降現象、生物系との反応など、種々の干渉しあう要因が考えられるが、すべて先進的な研究者によって一歩ずつ業績が積み重ねられている状態である。

周防灘測点 N 33° 53' 9" E 131° 7' 4"						
観測期間	測定水深	M ₂ 分潮流長軸成分			恒流成分	
		方向	速度	偏角	方向	速度
47.7.10~7.24	2 ^m	143°	13.2 ^{cm/s}	10°	12°	1.9 ^{cm/s}
47.7.10~7.24	10	139°	18.1	6	338°	2.4
48.7.2~7.17	5	134°	27.2	27°	200°	4.4

備讃瀬戸測点 N 34° 24' 5" E 133° 56' 8"						
観測期間	測定水深	M ₂ 分潮流長軸成分			恒流成分	
		方向	速度	偏角	方向	速度
36.6.6~7.2	10 ^m	84°	94.1 ^{cm/s}	36°	264°	15.8 ^{cm/s}
47.7.26~8.9	10	82°	79.4	35°	254°	18.3

表1 同一測点における潮流調和常数の比較

4. 水質汚濁予測技術

前述のように瀬戸内海環境保全臨時措置法と工場立地法の考え方には、大きな相違がある。その相違の一つに臨時措置法では、数値模型実験により、工場立地法では主として水理模型実験により将来予測を行なう点がある。水理模型と数値模型の評価は意見のわかれるところであるが、そのきわだった相違は前者は幾何学的相似を容易に得ることができるが、フルード則とレイノルズ則の力学的相似を同時に満たすことは一般に不可能であり、後者にあっては全く反対の事情にあるということである。数値実験の利点はくり返し再現性の確かさにあるが、水理実験の利点は流れの可視化が容易であるということである。おそらく数値実験の最大の利点は、水理模型実験では保存性物質の拡散現象しか再現できないのが通常であるのに対して、物質の非保存性、比重の効果、大気との相互作用ととりいれることができる点にあるであろう。しかしながら数値実験の有する短所は、充分にその長所により克服されたといえる現状

にはない。数値実験と水理実験が相補う性格であることを考慮すれば、両者は併用して活用されるべき性質のものである。

中国工業技術試験所の瀬戸内海水理模型は、紀伊水道、豊後水道、響灘の一部を含む水平縮尺 $1/2000$ 、鉛直縮尺 $1/60$ の模型である。瀬戸内海のこれだけの広さを覆う数値模型の開発も、併行して進められているが、4 Kmの格子間隔で地形を差分化し、二流速成分、潮位、水深の4種の量を記憶するだけで、80000語を必要とする。使用される格子点が4000種であることを考慮すれば、プログラミングに努力を払えば、必要な記憶容量は減少することも考えられるが、現代の世界最大の電子計算機をもってしても、2 Kmの格子間隔で潮流と拡散

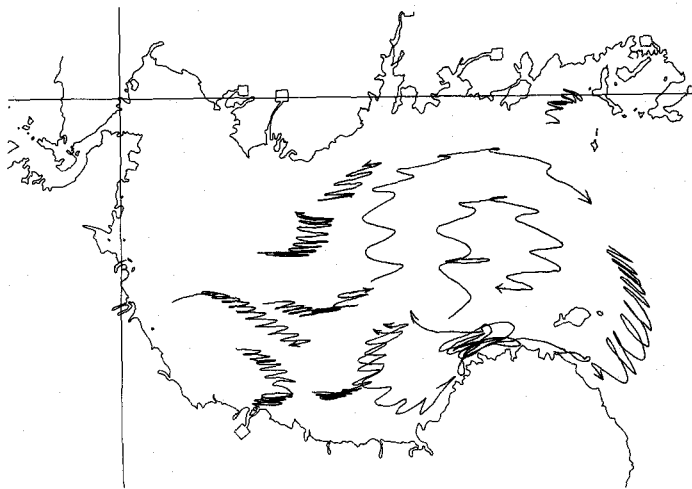
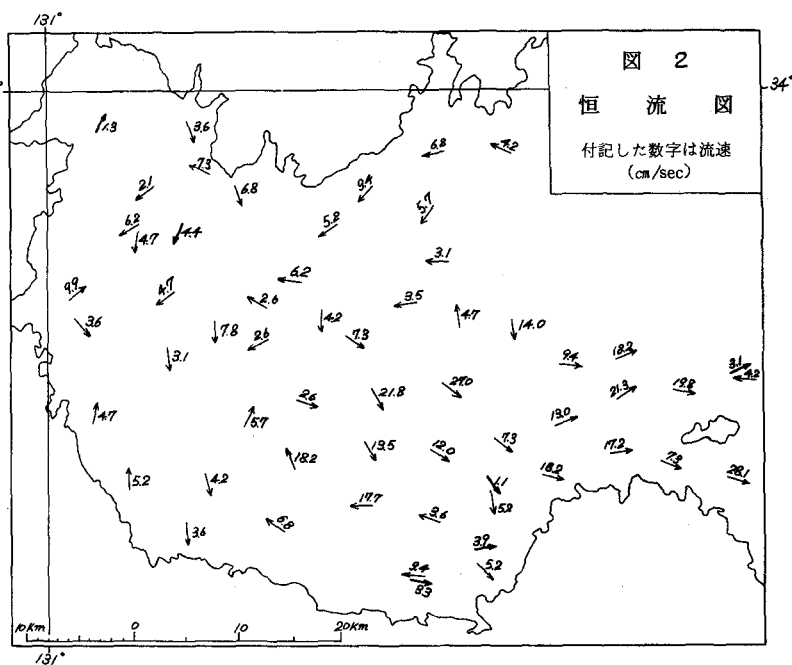


図 1. 浮標追跡図 (周防灘)



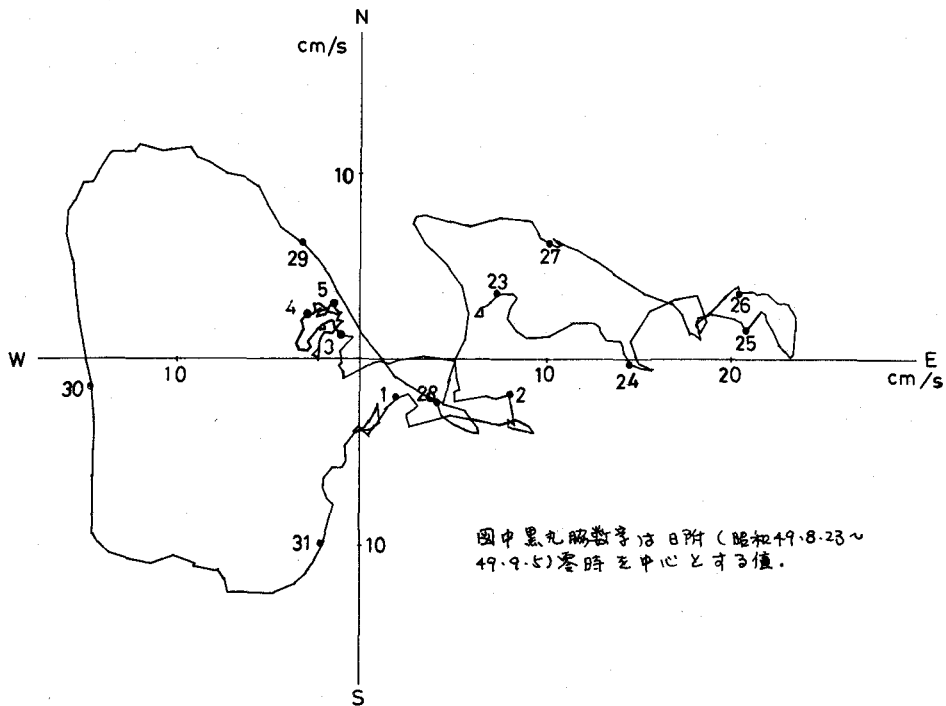


図-3. 25 時間移動平均流速値の例（周防灘）

の計算を行なうには、絶大な努力を必要とする。瀬戸内海が幅4kmの紀淡海峡、幅1.6kmの鳴門海峡、幅4kmの明石海峡、幅3kmの采島海峡、0.7kmの開門海峡、そして最大の幅13kmの豊予海峡という多くの海峡部を有し、瀬戸内海北部から広島湾にかけての無数の島のあることを思えば、水理模型に匹敵する数値模型を開発することは容易なことではない。一つの対策は運輸省第三港湾建設局で試算したようなBox Model⁴を用いることである。計算法を簡略化した代償にはしかし、力学的根拠の薄弱な交換係数を仮定しなければならない。

通常の潮汐水理模型実験は、 $1/1000$ 以下の極めて小さい縮尺のもとに行なわれ、しかも拡散実験は極めて低濃度を問題にすることが多いので、実験精度の向上は大切な問題である。近年開発された自動追尾式水位計と超音波流速計は、年々改良が加えられ水理模型実験に重要な役割を果たしつつある。模型における拡散現象の検証および測定には、一般に染料雲の面積測定によりなされるが、その比較は両対数グラフ上で行なわれ、高い精度が要求されることがない。将来要求される精度が高まるにつれ、測定法、理論の検証法に改良が期待される。

前述したように、潮流観測結果の半日周期以上の成分の信頼性は定かではない。しかしながら長期間の拡散現象の予測には、恒流または環流が重要な役割を果たすであろうことは、既に杉本・樋口⁵により指摘されている。少なくとも数週間以上の期間を考慮した拡散予測実験を行なうには、模型は環流の形成領域を含むものでなければならない。実験は環流が充分に発達するまで行なわなければならない。

瀬戸内海水理模型内での小海域における拡散実験によれば、環流の存在は水の交換を促していわゆる擬似定常状態（樋口⁶）を作り出す。

恒流および環流の水理模型における再現には、いくつかの困難がある。例を瀬戸内海水理模型の周防灘における10周期間の浮標追跡結果（図-1）と、海上保安庁の観測による恒流図⁷（図-2）とで示そう。模型における浮標の軌跡は、必ずしもオイラー的に測定された流速の恒流成分のみにより、ドリフトを生じるわけではないが、図-1はドリフト成分（ラグランジュ的恒流）が、振動成分と同程度の大きさを有していることを示し、浮標の

動く方向の恒流成分があることが推測されるが、その分布と図-2の恒流の分布とは大きな相違がある。海上保安庁の作成する恒流図は、定点における25時間潮流観測値の平均である。図-2の恒流は太矢印を除いては25時間平均値であり、その値は1日以上の周期成分、気象変動などによる影響を強く受ける。例として、図-3に通産省が昭和49年に行なった、周防灘豊後高田市沖合の15日間連続潮流観測値から、毎時の25時間移動平均値を計算してプロットしたものである。この図は25時間平均値が極めて変動することを示している。また実際の25時間観測値は、各点異った日時に行なわれるのが通常であるので、得られた恒流図について早急な判断を下すわけにはいかない。

しかしながら、水理模型実験において得られた恒流・環流をもって、現地の状況を表わしているといえる段階にまで至っていない。恒流の成因に関する理論的研究と、周到に計画された現地観測による検証の成果を待たねばならないであろう。

5. 瀬戸内海水理模型

中国工業技術試験所の瀬戸内海水理模型は、相度調整の段階も一応の成果をあげ、瀬戸内海全域における水質汚濁のhindcastingを行なう準備中である。この模型から得られる潮流の資料は、瀬戸内海における海水に全く溶解してしまう物質以外の物質の、拡散予測にも役立つことが期待される。さらに非常に長期の拡散現象の予測も可能であるかもしれないが、さらに外洋との海水交換とも関係する問題であり、現地海洋におけるデータの集積が必要であるように思われる。

将来、この種の大型の水理模型は、主に経済的な理由でますます作られなくなるであろう。国立研究所の行なう水理模型実験としては、大規模性、長期性、高精度を目標とする課題や、新しい分野への応用を考慮した課題などを抱えている。

参考文献

1. 環境庁水質保全局瀬戸内海対策室長、環水規 第76号、昭和49年4月9日
2. 通産省立地公営局、“産業公害総合事前調査について”，昭和49年5月
3. 和田明，加藤正進，井野尚明，“潮汐水理模型による拡散予測（その2）”
第20回海講，1973，pp. 215
4. 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所，“昭和47年度瀬戸内海水質保全対策調査報告書”昭和48年3月
5. 杉本隆成，樋口明生，“瀬戸内海における潮汐混合の実験的研究”，京大防災研究所年報，第15号B，
1972，pp. 431
6. 樋口明生，“沿岸海洋に関する水理模型実験の歴史，現状，将来”，沿岸海洋研究ノート，11巻1号，
1973，pp. 30
7. 第七管区海上保安本部，“周防灘（宇部沖）潮流観測報告”昭和37年3月