

東北大学工学部 正員 岩崎 敏夫  
 東北大学工学部 正員 真野 明  
 東北大学大学院 学生員 ○ 清水 保

1. はじめに 近年、沿岸海域においての水質汚濁が社会問題化して以来、拡散に関する研究が盛んに行われている。著者らは、モデル海域を設定し、そこでの拡散物質の移動と支配する潮汐に拡散の寄与について検討を行った。

2. 数値解析手法 図1が、著者らに設定した本解析のモデル海域である。本解析で与えた外力は、潮汐、恒流、河川流量、Sourceから海域へ放流される物質の濃度とその放流量である。本報では、潮汐については周期 $M_2$ 、振幅21cmの図1に示す方向から入射する入射波を与え、恒流については図1に矢印で示す方向に2.5cm/secの大きさの流速を与えた。河川流量の与え方としては、洪水時と低水時の2つの場合を考えた。洪水時としては2.0m<sup>3</sup>/secの定常流量を与えた。低水時には、河川の固有流量を2m<sup>3</sup>/secとし、さらに河口域への上げ潮時の貯留量、海域における水位変動との位相差も考慮して(-2+8sin( $\omega t + \pi/2$ ))の流量を与えた。(ただしここで $\omega$ :角速度、x軸正の向きを正とする)一方、Sourceからは、図1のようにして流量6m<sup>3</sup>/sec、拡散物質濃度20単位/定常放流を想定した。潮流解析に際して、外端入力境界においての流量の与え方として、一次元導性曲線表を用いた。したがって、境界(A)において特性値はよく無反射境界になり、境界(B),(C)でそれぞれ、潮汐、潮汐と恒流とが進行波として特性値を形成する。初期条件は、潮流解析においては静水を与え、拡散解析においては海域の拡散物質濃度を零とした。計算は、潮流解析については2周期行ない、拡散解析にはその2周期間の水位、流速データを用いて、最初の2周期を洪水時、あとの28周期を低水時として30周期行なった。計算に用いた基礎式は、潮流解析については 図2 潮流楕円形状長波の運動、連続の式<sup>1)</sup>、拡散解析については、物質濃度が水深方向一様で、かつ拡散物質の海底からのまき上げ、海底への沈みかきいとした物質の保存則を表す拡散方程式である<sup>2)</sup>。なお計算に際しては、格子間隔を300m、時間ステップ間隔を10秒(潮流解析)、10分(拡散解析)とした。拡散係数は、x方向 $K_x=6.5m^2/sec$ 、y方向 $K_y=4m^2/sec$ として一定とした。拡散計算においては、差分の影響や状況により物質濃度が負になることがある。本解析では、そのような場合には、近隣の最小濃度で置換を行った。

3. 結果と考察 河線の直線であるととして河線に右いy軸、河線から沖向にx軸をとった半無限一様水深域に角速度 $\omega$ 、入射角 $\alpha$ 、x,y方向の波数 $l$ 、 $m$ なる平面波が入射した場合、河線での反射波との重複により、潮流楕円方程式で知られる

$$\left(\frac{u'}{2ag\beta/\sin 2\alpha'}\right)^2 + \left(\frac{v'}{2ag\beta/\cos 2\alpha'}\right) = 1$$

$u', v'$ : x, y方向の流速  
 $a$ : 振幅  $g$ : 重力加速度  
 $\alpha$ : 入射角  $l$ : 波数  
 $\sigma = 1.41 \times 10^{-4} 1/sec$ ,  $l = 1.35 \times 10^{-5} 1/m$ ,  $m = 0.38 \times 10^{-5} 1/m$

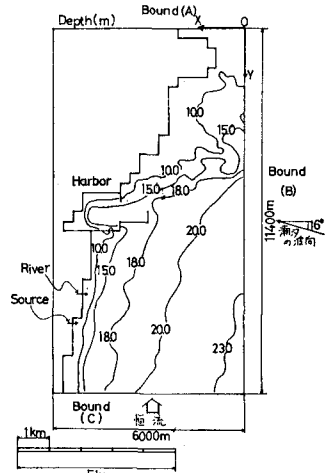


図1 本モデル海域図

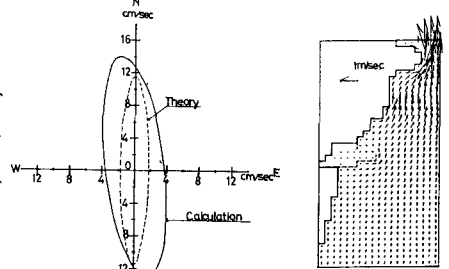


図3 流速ベクトル図

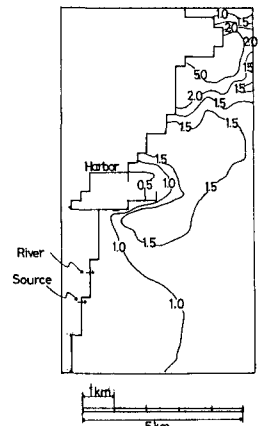


図4  $P_{ex} = \sqrt{g \cdot \Delta S / K_x}$  ( $\Delta S=300m$ ) の分布

図2では、上式による解を点線で示し、またこの入射波を用い、2節で述べた方法により求めた数値解析解をCalculationとして実線で示した。許算解は理論解と比べ、長軸の向きに関して約15%、軸の向きにおいて8°ずれをいれ、おおむね理論解で与えられる流況を再現していると思われる。そこでこの方法を図1に想定したモデル海域に適用し、2節のように初期M<sub>2</sub>振幅21cmの入射波を与えて計算を行った。得られた最大下げ潮時の流況を図3に示す。水深が浅くなるにつれ(図1)、恒流と相まって潮流が次第に増加していく傾向が見られる。物質移動に関与するこの下げ潮時の影響と拡散の影響を比較評価したのが図4、図5

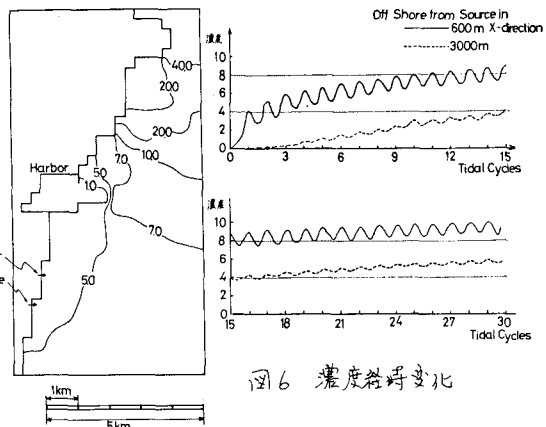


図6 濃度経時変化

図5である。ここで、 $P_{ex}$ ,  $P_{ey}$ の値が大きいほど、物質移動に影響を及ぼす移流の効果は拡散の効果と比べ大きいことを示す。x方向の物質移動は比較的拡散の影響も受けるが、y方向の移動には移流の効果が顕著であると予想される。このように流況のもとで、Sourceより濃度20単位の拡散物質を定常的に与えた時の、Sourceよりx軸に沿って600m, 3000m地点での濃度経時変化を図6に示した。Sourceより濃度を定常的に与えたので、濃度は、潮刃のパターンに応じて正弦波的変動と接近しながら次第に増加する。しかし、15周期を過ぎるとその変動も徐々に小さくなる。図7には、Sourceから600m, 1500m, 3000m, 4500m沖合、16周期経過後のy軸に沿っての濃度の場所的分布を示した。濃度は沖合に進むに従って恒流の影響を受け、そのピークが境界(A)の方向に移動していく傾向が見られる。また、図8、図9はそれぞれ10周期、29周期経過後の本モデル海域における濃度平均分布を示した図である。下げ潮時には、図1に示す境界(C)から境界(A)に向かう潮流の形成され、しかもその潮流は、境界(A)に近づくほど大きくなる傾向にある。(図3)

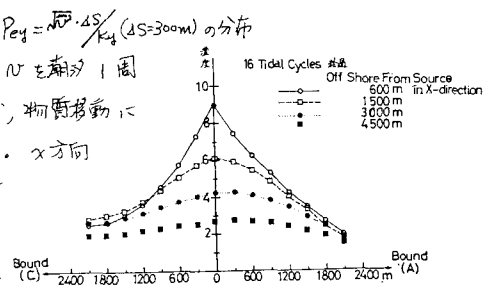


図7 濃度の場所的分布

下げ潮時、恒流の下流にあたる海域においては、拡散物質濃度の増加する傾向があり、その広がりも境界(A)に向かうほど大きくなる特徴がある。これとは逆に、Source近傍の海域では、濃度は、下げ潮時減少していく。このように濃度分布の特徴は、図3に見られる本モデル海域の流況特性や、図4、図5に示される $P_{ex}$ や $P_{ey}$ の分布から容易に説明される。

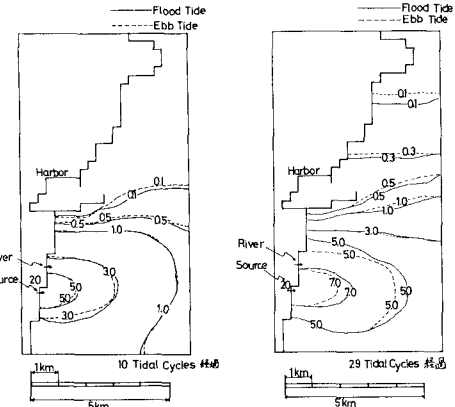


図8 濃度平均分布

図9 濃度平均分布

4. おわりに 物質の移動に影響を及ぼす移流と拡散の効果は、図4、図5に示される $P_{ex}$ や $P_{ey}$ の分布が70%的には推定できることがわかった。しかし、拡散計算における解の安定性の問題や、真の濃度が発生する場合の処理方法、平均流に対する一次元特性曲線法の適用にはまだ若干の問題点がある。今後、検討を重ねていきたい。

参考文献 1) 伊藤 剛編 : 数値解析の応用と基礎 了了社 PP. 1~27  
 2) 矢野, 佐藤著 : 拡散方程式入門 公害研究対策センター PP. 85~114