

II-PS7 粒子追跡法による潮流流動の可視化

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
清水建設(株) 正 員 山見晴三
大阪大学大学院 学生員 末吉寿明

1. はじめに 河口・沿岸域の適正な利用のための水環境管理や環境創造の政策を立案・決定する過程においては、目に見えた形で河口・海域の物理現象を捉え、物質の輸送・分散過程を把握することが第一義的に重要となってくる。とりわけ最近では一般の人々の間にも、地球環境問題に端を発して環境保全に対する意識が高まっており、研究の成果を社会や行政に還元するといった意味からも、誰にでも理解できるような工夫が必要である。そこで、本報では播磨灘・紀伊水道を含む大阪湾を対象に三次元数値計算およびラグランジュ拡散解析を用いて行った潮流の可視化実験の結果を示し、沿岸海域の流れや物質輸送の画像処理技術の可能性を探る。

2. 数値実験の内容 三次元密度流数値モデルの概要は本質的に前報¹⁾と同じものを採用した。実験に関する開領域での境界条件、諸係数等は文献²⁾³⁾を参照されたい。粒子追跡法は、モンテカルロ法を用いたラグランジュ拡散解析により行った。数値的な流れの可視化を行うために質量を持たない仮想的な粒子を想定し、次式により1ステップ毎の水表面粒子の移動距離を算出した。

$$\mathbf{x}(t_n) = \mathbf{x}(t_{n-1}) + \int_{t_{n-1}}^{t_n} \{ \mathbf{v} + (\nabla_H \mathbf{v}) \cdot \mathbf{v} \Delta t \} dt + \mathbf{R} \Delta t \sqrt{2D \Delta t}$$

ここに、 $\mathbf{x}(t_n)$ は時間 t_n における粒子の座標、 $\mathbf{v}$ は座標 $\mathbf{x}(t_n)$ での水平方向流速、 D は座標 $\mathbf{x}(t_n)$ でのシアーから求まるSGS渦動粘性係数、 $\mathbf{R} \Delta t$ は正規乱数、 $\Delta t (=t_n - t_{n-1})$ は時間間隔である。なお、粒子の追跡は水表面(水平二次元)で行った。

3. 実験結果 可視化実験Ⅰ: 大阪湾湾奥部は、淀川・大和川等の河川水流入の効果を受けて上層と下層の流れが異なる密度流系に支配されている。図-1は大阪湾奥の水深1mおよび9mの位置に粒子を配置し、2潮汐にわたって粒子追跡を行った結果である。図中の○は粒子の初期位置を、また●は上層(水深1m)、■は下層(水深9m)に位置する粒子の流跡線を表示しており、数字は追跡開始からの経過時間を示している。湾奥の北東に位置する粒子A、Bは密度流の影響を受けて上下層で異なる流れを呈しており、特に、淀川河口付近の上層の粒子が神戸沖に沿って流れているのが明瞭にとらえられる。一方、明石、泉南を結ぶ水深20mライン上に配置されている粒子Dは上下層とも明石海峡から発達した強い循環流に取り込まれ、沖ノ瀬を中心に2潮汐間に10km以上も輸送されているのがよく分かる。

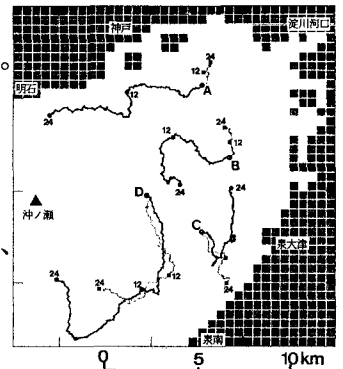


図-1 粒子追跡Ⅰ

可視化実験Ⅱ: 図-2は明石海峡での流れが東流最強となる1時間前から、海峡断面方向に粒子をライン状に配置し、2.5分毎に同一地点から1個ずつの粒子を連続的に放流したものである。これは水素気泡法と同様な可視化を行ったもので、粒子により描かれる曲線は流脈線に相当する。図には明石海峡の東流最強時から1時間毎の状態を西流東流時の1時間前までわたって示している。淡路島の岬の背後および須磨沖には振動流動場における流れの加速と水平地形形状の変化に伴い、大規模に発達する反流渦があることが分かる。

可視化実験Ⅲ: 図-3は大阪湾奥の水深20m以浅の海域に粒子を1km四方に45個の分布密度で配置し、7潮汐(84時間)にわたって追跡を行ったものである。計算の開始は明石海峡の東流時が始まると同時にを行った。図では1潮汐毎の粒子の状態を示している。停滞性水域と考えられている湾奥部の水塊が密度流と明石海峡か

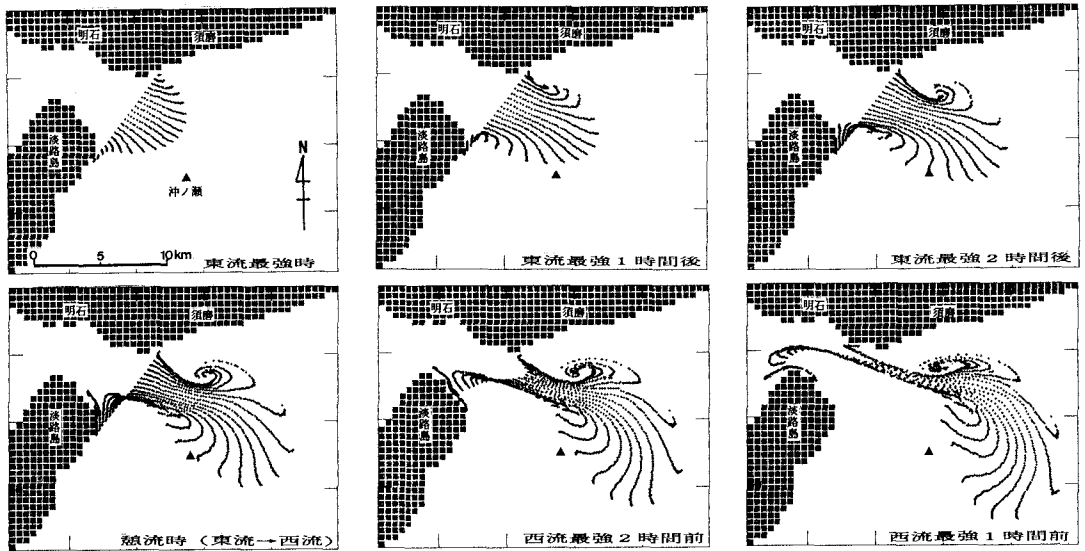


図-2 タイムラインによる明石海峡からの流動の可視化Ⅱ

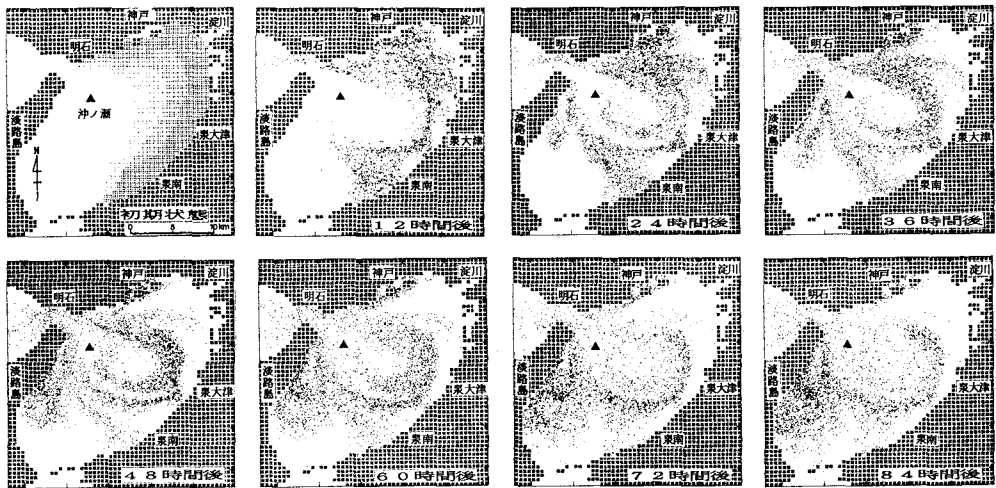


図-3 一潮汐毎の水表面粒子の移動・分散Ⅲ

らの強い循環流により湾全域へと拡散・希釈されている過程がよく理解できる。このように数潮汐にわたって追跡を行うことにより、長期的な物質移動の予測も可能となる。

4. おわりに 大阪湾に観られる潮流流動を対象に、数値的手法を用いて可視化実験を行った。物理現象の理解を高めるためには、数値実験の後処理として可視化に努めることは必要不可欠であるといえる。本報では図面として静止画像を示したが、動画(アニメーション)によれば、より一層の理解が格段に進むことは言うまでもない。さらには、この粒子追跡法を用いた応用実験を行うことにより、海水交換率、海水滞留時間等の現地観測では容易に算定することの出来ない諸量までもが定量的に求められるといった利点もある³⁾。

参考文献 1) 中辻啓二・山本信弘・山見晴三・室田明：海岸工学論文集, 38, 186-190, 1991.

2) 山見晴三・中辻啓二・村岡浩爾：第47回年次学術講演会講演概要集, 第Ⅱ部門, 1992.

3) 末吉寿明・山見晴三・中辻啓二・村岡浩爾：第47回年次学術講演会講演概要集, 第Ⅱ部門, 1992.