

内湾域の三次元数値流動モデルの開発 (閉鎖性水域の風による流動及び物質移動等の調査評価手法に関する研究)

小田巻 実・佐藤 敏 : 海上保安庁水路部沿岸調査課

3 DIMENSION NUMERICAL MODEL OF COASTAL CURRENT FOR SEMI - ENCLOSED SEA Prediction of Wind - Driven Currents and Mass Transports in an Enclosed Sea -

Minoru Odamaki and Satoshi Sato : Coastal Surveys and Cartography Division,
Hydrographic Department, M. S. A.

1. はじめに

閉鎖性水域とは、東京湾のように湾口がその容積に比べて小さく、海水の交換が悪い海域を指す。本研究は、閉鎖性水域の流れ及び物質移動に対する風の影響を調査・評価する手法を開発することによって、環境保全・災害防止等の施策に資することを目的とし、昭和63年度から4年計画で実施しているものである。

従来、沿岸調査課で使っている数値モデルは、鉛直の変化が少ない潮流・潮汐を対象とする2次元モデルで、これでは、海面表層の吹送流の分布や密度の絡んだ流れの変化は再現できない。そこで、本研究では、3次元の数値流動モデルの開発に取り組むこととした。

2. モデルの概要

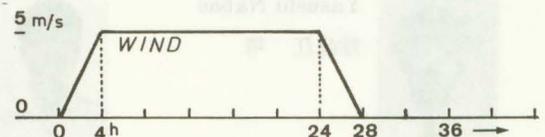
回転系における非圧縮粘性流体の運動方程式及び連続の式を基本とし、風の応力を海面に与える。モデル化の手法としては、ボックスに区切ってそれぞれに流出入する流れや密度を計算する、いわゆるボックス法を採用した。開発に当たって計算の妥当性をみるために、実際の地形で計算する前に円形海での計算を行った。

3. 円形海のモデル

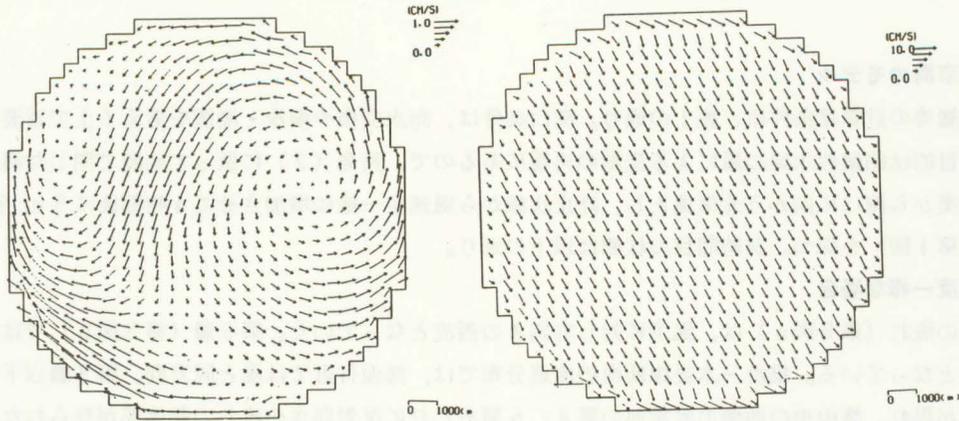
計算には、表1の諸条件を与えて、静止状態から4時間目まで徐々に西の風を吹かし、以降風速一定とした(第1図)。24時間目の上層の流れは、第2図の通り。

密度成層のある場合の上層では、中央部で風に右向きの南流、風上と風下の沿岸境界に北向きの強い流れが生じ、下層でも流速は弱いものの同じ向きの流れが生じている。これは、傾向的には解析解(1)とほぼ合っているものの、沿岸境界に発生する流れの幅が解析解ほどシャープに出てこない点など細部には議論の余地がある。このひとつの原因は、コリオリ力が効く流れの水平規模を決める内部変形半径(表1)が、この円形海では大きすぎるためと考えられる。

密度が一樣な場合の上層では、中央部で一様に風下に対し約70度に偏した流れとなり、北西側の沿岸境界で湧昇、南東側の境界で沈降となっていて、密度成層を与えた場合のような沿岸境界での強い沿岸流は生



第1図 風の与え方



第2図 円形海における風による上層の流れ, a: 成層あり, b: 密度一様

表1 数値モデル実験の諸条件

	円形海	東京湾
海の大きさ	直径 15 km	約 30kmx50km
水平格子サイズ	500m (30x30)	1km (48x64)
水深	20 m	約 17m
鉛直層の分割	6層 2,2,4,4, 4,4 m	7層 2,3,3,5, 7,7,23 m
密度成層 上層	1,2層 1.001	1,2層 1.001
g/cm ³ 下層	3-6層 1.006	3-7層 1.006
コリオリの係数	8.44x10 ⁻⁵	8.44x10 ⁻⁵
外部変形半径 λ	166 km	166km
λと水平スケール比	0.09	0.3
内部変形半径 λ _i	11.7 km	11.7 km
λ _i と水平スケール比	1.36	2.56
海上風	5 m/s	5 m/s
水平渦動粘性係数	1.0x10 ⁺⁴ cm ² /s	1.0x10 ⁺⁵
水平境界条件	Slip	Non-slip
鉛直渦動粘性係数	10.0 cm ² /s	10.0 cm ² /s
海面摩擦係数	0.0016	0.0016
海底摩擦係数	0.0026	0.0026

じていない。これは、閉じた海におけるエクマン吹送流の性質を表しているものと考えられる。

4. 東京湾のモデル

密度成層等の計算諸条件は、表1の通り。湾口条件は、海水交換や潮汐・潮流を考える上で重要であるが、ここでの目的は閉鎖性水域の風による流動の再現にあるので、長島(2)に倣って剣碕で閉じた海とした。風は、湾奥から湾口に向かう北東風とし、静止状態から風速を一様に増加させて4時間後に5 m/s、以降一定風速(第1図)を保つ。24時間目の状態は以下の通り。

(1) 密度一様な場合

第2層の流れ(第3図a)は、風下に対し右向き(西)の西流となっていた。第5層(第3図b)では、北東方向の流れとなっていた。横浜-木更津断面の流速分布では、海面付近では風と同方向、第3層以下に反対方向の流れが現れ、湾中央の西側の最深部の第4、5層あたりに反対向き(東)の流れの最強部が見られた。鉛直積分流量の分布(第3図c)では、千葉県側を南下し湾中央の最深部を北上する時計廻りの循環、及び東京から神奈川県側を南下し湾中央の北上流に合流する反時計廻りの循環が顕著である。

(2) 成層のある場合

第2層の流れ(第4図a)は、湾奥や湾口の境界付近を除き、風と同じ向きに湾口に向かう流れとなっている。第5層(第4図b)では、第2層とは逆に風と反対向きに湾奥に向かう流れとなっていた。また、第3図a、bの流れと比べると、図4図a、bは風と同方向か反対方向で、右や左に偏することは少ない。横浜-木更津の断面流速分布を比較してみると、水平方向の流れの差が小さくなっていた。鉛直積分流量の分布(第4図c)では、密度の一様な場合に比べ、湾中央から千葉県側を巡る時計廻りの循環は見えるものの速度が小さくなっており、神奈川県側の南下流はほとんど無くなってしまっている。第4図dの第2層の密度分布では、神奈川県側に軽い水、千葉県側に重い水が分布し、等密度線はほぼ南北に走っている。すなわち、表層の風による南下流に対応して、密度躍層が動いて地衡流バランスを形成するようになったと考えられる。

(3) 風が止んだ後の流れと躍層の変動

24時間目で風を停止させてから8時間後の第1層の流れは東向きとなっていて、第4図aに比べて左に偏っていた。第2層の密度分布(第5図)では、第4図dに比べ等密度線が東京側から横浜付近にまで延びてきている。

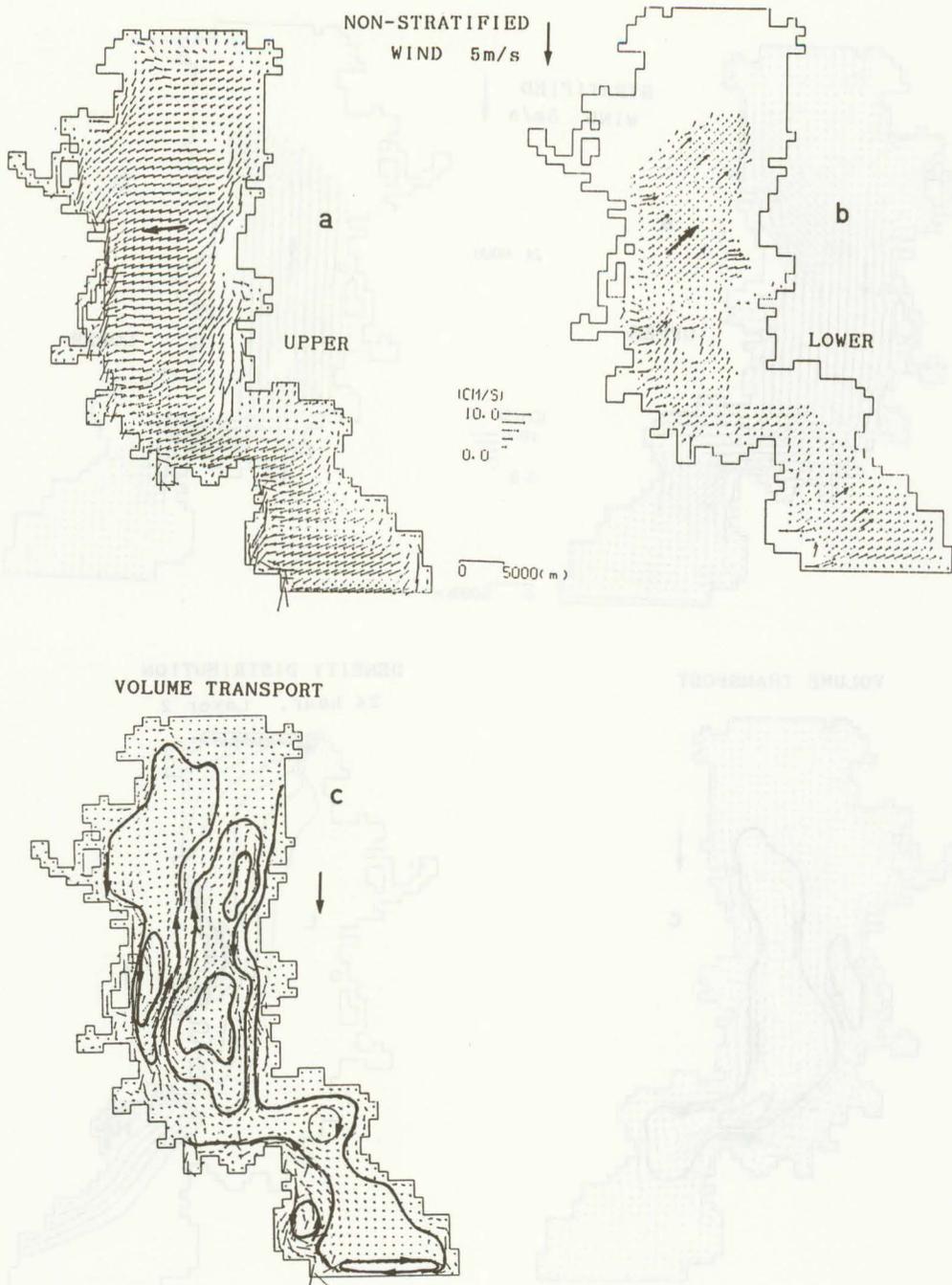
(4) 計算結果のまとめ

密度一様な場合の計算では、浅い沿岸部で風と同じ方向、湾中央の最深部にそって逆方向の流れという従来の知見(3)、(4)とよく合っている。しかしながら、密度成層のある場合の計算では、観測されたような発達した時計廻りの流れは見られなかった。この原因は、密度一様な場合は短い時間で風に応答するのに対し、成層のある場合は成層の上下運動などが加わるため応答に長時間を要し、十分に流れが発達していないためではないかと考えられる。

風が止んだ後の流れの向きは反時計方向に変化し、躍層の変動も湾奥を反時計廻りに伝播しており、これは夏季の観測結果、さらに松山ほか(5)の数値計算ともよく合っている。

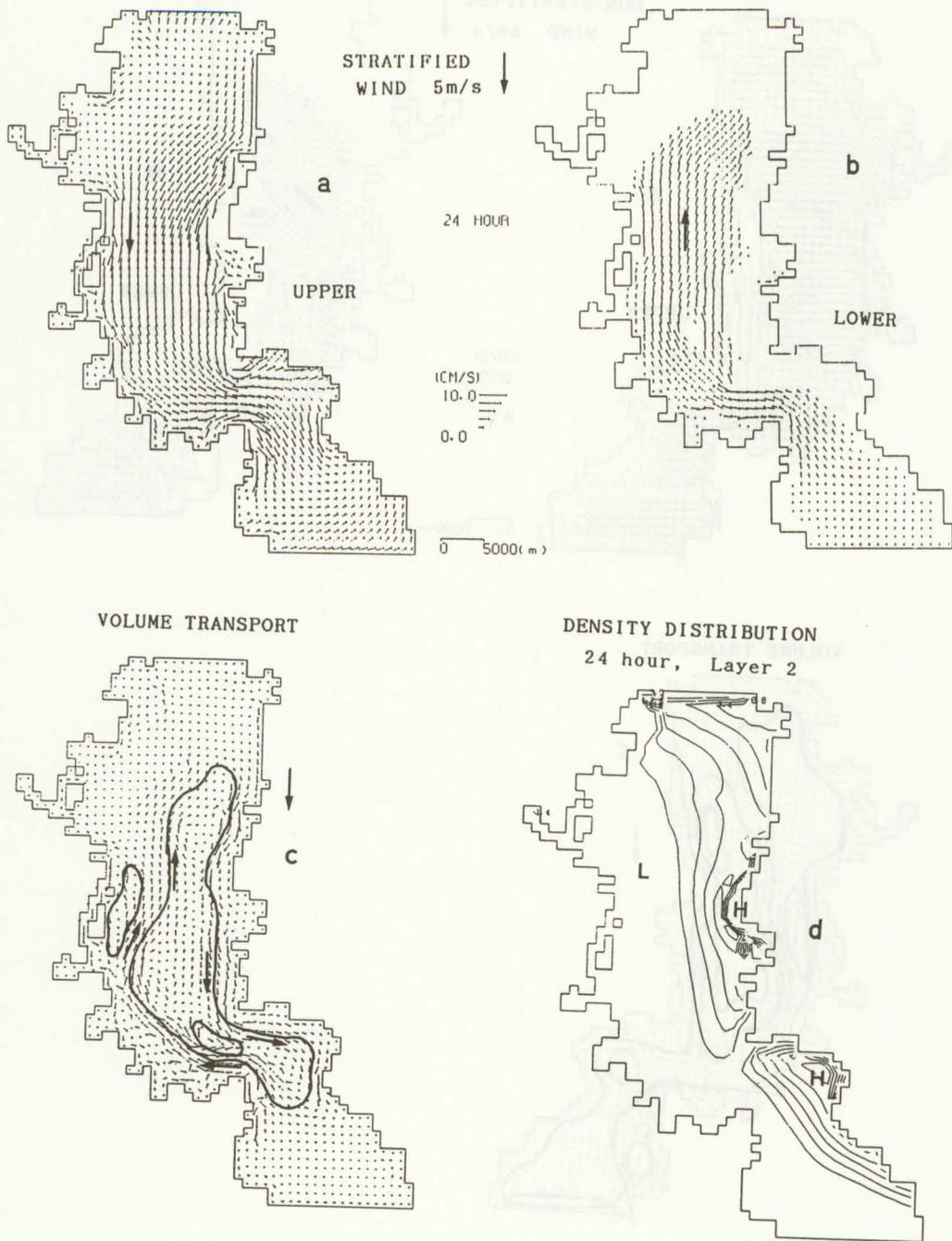
5. むすび

東京湾の沿岸海況の観測では、各観測毎の水温・塩分分布がその時の風に大きく影響されている。このこ



第3図 東京湾における風による流れ（密度一様の場合）

a : 第2層, b : 第5層, c : 鉛直積分流量



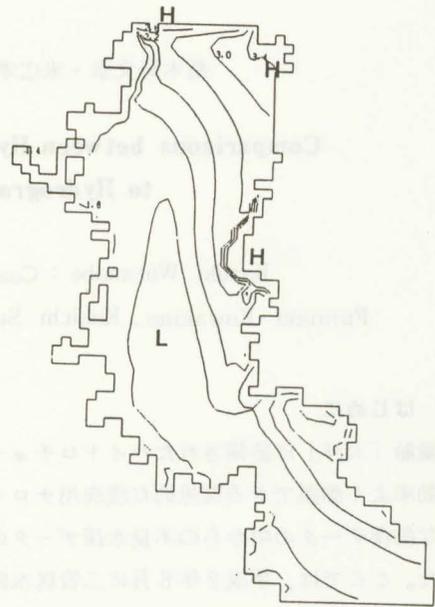
第4図 東京湾における風による流れ (密度成層のある場合)
 a : 第2層, b : 第5層, c : 鉛直積分流量, d : 第2層の密度分布

とは、従来からも想像されていたが、観測期間や船の都合で詳しいことはわからなかった。その意味で今回開発した3次元の流動モデルは、風の影響によって流況や海況がどのように変化するかを見ることができ、調査観測の立案や結果の解釈にも有効となる。今後、実際の観測結果を再現し、現実的な流況予測を試みるつもりである。平成3年度は、このようなモデルの改良と検証実験を計画している。

参考文献

- (1) Csanady, G.T. : Wind Driven Summer Circulation in the Great Lakes, J. G. R., 73, 8, P. 2579 - 2589, (1968)
- (2) 長島秀樹：東京湾の恒流一風に起因して，理化学研究所シンポジウム（未印刷），（1975）
- (3) 長島秀樹：傾いた底を持つ水道の吹送流，理研報告，58，P23-27，（1982）
- (4) Csanady, G. T. : THE COASTAL JET CONCEPTUAL MODEL IN THE DYNAMICS OF SHALLOW SEAS, THE SEA, 6, P117-144, (1977)
- (5) 松山優治・当麻一良・大脇 厚：東京湾の湧昇に関する数値実験，沿岸海洋研究ノート，28，1，P63-74，（1990）

DENSITY DISTRIBUTION
Layer 2 : 36 hour



第5図 風が止んで8時間後の密度分布（第2層）

報告者紹介



Minoru Odamaki
小田 卷 実 平成4年1月現在
本庁水路部沿岸調査課
上席沿岸調査官



Satoshi Sato
佐 藤 敏 平成4年1月現在
本庁水路部沿岸調査課
沿岸調査官