

大阪大学大学院 学生員○湯浅泰三†

大阪大学工学部 崔 成烈

大阪大学工学部 正会員 中辻啓二

1. はじめに これまで、東京湾の流動に関する3次元数値計算(中辻ら,1995)を行い、その流動機構は解明されつつある。しかし、風などの気象条件を十分に把握するのは容易なことではない。これまでの研究は青潮などを発生させる北東風(離岸風)と成層化を強化させる南西風(接岸風)について数値実験を行ってきた。その際、北東風の場合、東岸に沿う風により表層水がエクマン輸送され、底層の低密度水が湧昇してくる機構が理解されている。それに対して、南西風は西岸で同様な現象が生じるはずであるが、全く異なった密度構造となっている。この違いには、地球自転の影響が大きく関与していると考えられる。そこで、数値計算結果に及ぼす回転の影響を定量的に把握する。その時、物質の輸送を考える上で重要な役割を果たすと考えられる残差流を用いて解明する。

2. 計算の概要 東京湾を対象に、運動方程式、連続式、塩分、水温の拡散方程式、密度の状態方程式を用いて3次元数値実験を行った。基礎方程式の誘導に際しては、静水圧近似、ブーシネ近似を用いている。また、成層効果は成層化関数を導入して表現している。

また、東京湾に流れ込む6河川を夏季の平均データを用いて与えた。また、表層においても夏季の観測データをもとに熱収支を考慮している。詳細は中辻ら(1995)に記述されている。

3. 検討項目 本研究では吹送流の数値実験の際、風向による密度構造の応答を調べてきたが、その密度構造には成層化と地球自転の影響が大きく関わっていることが分かった。そこで、実験方法としては、外力として潮汐、密度流を考慮した数値計算を実行し、密度分布が定常状態になったと考えられる56潮汐から風外力を与えた。風外力には北東風(離岸風)と南西風(接岸風)の2通りを考えている。その大きさについては夏季の観測データから平均風速6 m/sを与える。さらに、それぞれの条件のもとで地球自転の影響を以下のように変化させた実験も実施した。地球自転の大きさを通常のコリオリ係数 $f_T = 8.21 \times 10^{-5}$ に対して、自転の影響のない場合の $f = 0$ と、自転の影響が大きい場合、つまり通常の場合の3倍の自転の影響を考えた $f = 3f_T$ のケースの実験をする。これにより、地球の自転効果の影響を定量的に評価できる。さらに、これらの検討項目をこれまでの数値計算結果であるコリオリ係数 $f = f_T$ の条件と比較・検討する。また、無風状態と比較することにより、風外力の影響も考察することにする。ここでは水深3 mと8 mの残差流、平均密度分布を図-1に示す。湾奥部には高気圧性渦が認められる。密度分布は表層では西南西から東北東にかけての分布が見られ、全体的には成層化している。密度線上の数字は σ_t である。

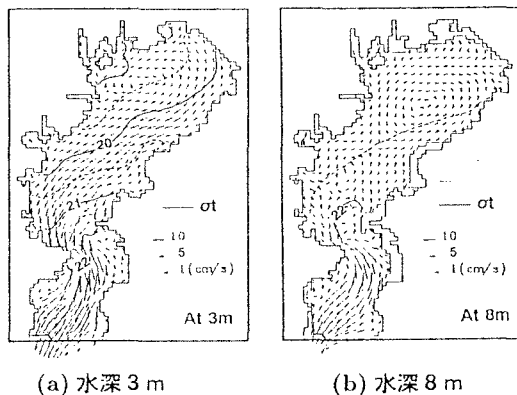


図-1 無風状態の残差流

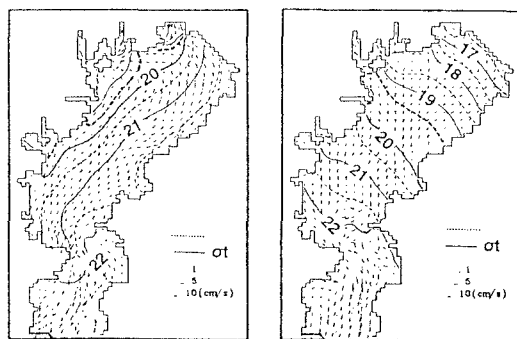


図-2 風外力を与えた時の残差流

†taizo YUASA,CHOI song yeol, keiji NAKATSUJI

これらを図-1の無風状態からの変化を見ると、密度分布に大きな違いが認められる。まず、北東風を連吹させた場合には密度分布が風向に平行に縦に長い分布形状に変化する。これは東岸にほぼ並行に吹いた風が表層水をエクマン輸送により沖へ流し、その結果底層の密度の低い水塊が湧昇してくると考えられる。

一方、南西風の場合には等密度線は風の軸に直角に並び、湾奥で密度が小さく、富津岬沖にかけて高くなるという形状を呈している。つまり、東京湾の富津岬-観音崎以北を単水路と考えたような、2次元的な密度分布を示している。この時鉛直2次元的に分布するので、水平的な密度の拡がりはかなり抑制される。

4. 計算結果及び考察

1. 北東風：図-2 (a)~(b) に水深3 mでの北東風送風時の残差流・平均密度分布を示す。(a) は地球自転の影響のない場合、(b) は地球自転の影響を3倍にした場合である。これに対し、(a) を見ると密度構造は地球自転効果を考えた図-2 (a) の場合に比べて低密度の水塊(底層水)の拡がりや抑制されており、湾の北東部に滞留している。従って、密度形状も大きく変わっているのが見て取れる。また (b) を見ると、低密度水はさらに沖へ流され、等密度線の間隔が狭まっていることが分かる。これは、回転の影響が図-2 (a) よりさらに強化され、エクマン輸送をさらに顕著なものにしているためだと考えられる。さらに特徴的なのは湾奥の循環流で大阪湾、伊勢湾でも確認されているが、無風状態(図-1)では水深8 mで確認されていたのが、図-3 (b) では水深3 mで見られる。従って、循環流の生成には地球自転の影響が大きく関与していることが分かる。また、ここでは図に示していないが北東風は循環流の強化を促進していることが分かっている。

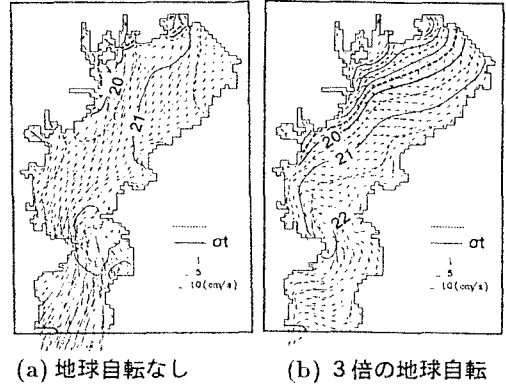


図-3 北東風送風時(水深3 m)

2. 南西風：図-4に水深3 mでの南西風送風時の残差流・平均密度分布を示す。(a),(b)については北東風と同様の場合である。南西風が吹く場合には図-2 (b) から分かるように風の軸に対して直角方向に等密度線が並んでいる。これは南西風により密度構造が鉛直2次元的に振る舞っているので、地球自転のような水平的な影響が小さいと考えられる。従って、図-4の2つのケースは、自転の影響の有無関わらず風向の直角方向に並ぶ密度構造となっている。つまり、コリオリ力の影響が他の外力よりも相対的に小さいということができる。今、コリオリ力は基礎方程式中で流速に比例した形で与えている。それ故、流速の絶対値が小さい場合、コリオリ力も小さくなる。一方、風外力など他の外力の項は一定なので、相対的にコリオリ力の影響が小さくなり鉛直2次元的な分布になると考えられる。これが地球自転の影響が大きく北東風の場合と密度構造が対称的になっている原因の一つである。

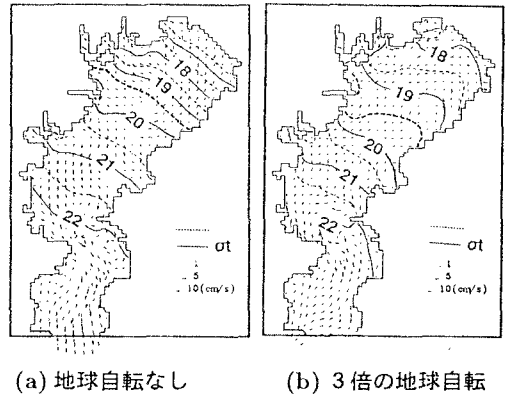


図-4 南西風送風時(水深3 m)

5. 結論 今回の数値実験から北東風に対する密度構造は自転の影響を大きく受け、湾の東岸から北岸にかけてエクマン輸送により表層水が沖に流され、風向に平行な密度構造を示すことが分かった。一方、南西風に対する密度構造には自転の影響が小さいことが分かった。これらの結果については、風向きの違いだけではなく、風下にある境界の影響があると考えられる。

<参考文献>

中辻啓二, 尹鐘星, 白井正興, 村岡浩爾(1995):東京湾における残差流系に関する三次元数値実験, 海岸工学論文集