

PSII-15 淀川の水の行方 — 三次元数値実験に基づく考察

大阪大学大学院 学生員 山本信弘
 大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
 大田大学工学部 許 再寧
 大阪大学工学部 正 員 室田 明

1. まえがき

河川から海域への淡水の流出流は、近接領域においては運動量流束が支配的であり、周囲水の連行を伴う噴流的な流れを呈する。一方、遠方領域では、浮力流束の影響が勝り、水平方向圧力勾配によって放射状に広がるブルーム的な流れとなる。ロスビーの変形半径 $r_d = \sqrt{\varepsilon g h / f}$ は重力場中の回転流体に特有な水平スケールであり、これより大きなスケールの流動には初期の位置エネルギーの分布が支配的となる地衡流調節が働く。第32回水講で発表した数値実験結果によると、淀川河川流出の拡がりは約40km×20kmに及んでおり、地球自転の影響が有効に作用するスケールに達している。そこで、淀川流出流についてコリオリー力の影響を考慮した三次元数値実験を行い、人工衛星画像との比較より、地球自転が河川ブルームの拡がりに及ぼす影響を検討した。

2. 数値実験の内容

気象衛星NOAAが1982年8月2日の淀川洪水時に撮影した図1の熱赤外線画像を見ると、神戸沖から淡路島沖にかけて冷水塊が見られる。この冷水塊を淡水と仮定すると、淀川流出流は河口から約55km離れた淡路島前面まで到達しており、その幅は10km強と推測される。洪水時の河口水深の実測値はないので、2mもしくは4mと仮定すれば、ロスビー変形半径はそれぞれ7.3km, 9.5kmとなる。このとき、淀川河川流出の拡がりはロスビー変形半径のスケールより大きく、コリオリー力の影響を十分に受けていると考えられる。そこで、淀川洪水時の流量時間曲線を基に、洪水開始後から人工衛星画像の撮影時までの流動に対して、コリオリー力を考慮にいたした場合と、いれない場合とに分けて数値実験を行った。三次元数値モデルは第32回水講で発表したものに、コリオリー項を付加したものをを用いた。また、計算領域は図1に示すような淡路島を考慮した領域を用いた。

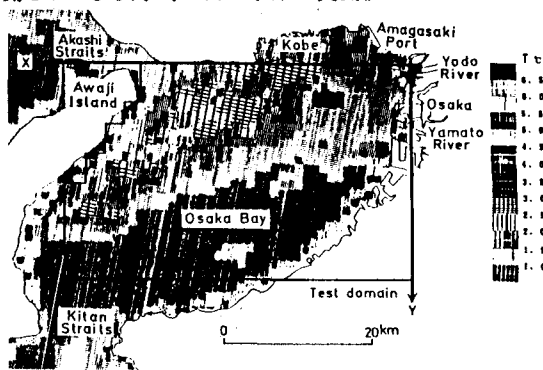


図1 気象衛星NOAA撮影画像

3. 計算結果とその考察

NOAAの撮影時の流速ベクトルと等密度差線を図2, 3に示す。密度差は海水と河川水との密度差 $\Delta \rho_0$ の10%毎に等値線で示した。図2のコリオリー力の影響を考慮しなかった場合には、図2に観られるように流速ベクトルは等密度差線と直交し、放射状に広がるブルームの挙動を呈する。ブルームの先端部分では10-30%等密度差線が密に分布しており、圧力勾配の大きなフロントを形成していると推測できる。しかし、その内側の40%等密度差線の拡がりは非常に小さい。これはフロント後背部における鉛直下方からの連行加入の減少のためと考えられる。

これに対して、図3のコリオリー力を考慮した場合には、一定幅の流れを形成しながら神戸沖を西進した河川水は淡路島前面に達している。その流速は比較的大きく、河口での流速が3.16m/sであるのに対して、 $x=30\text{km}$ で約1.0m/s, $x=44\text{km}$ の淡路島前面でさえ約0.6m/sの速度である。沖への拡がりが地衡流調節によって10km以下に抑えられており、運動量流束の水平方向への拡散が抑制された結果である。流下方向10km-30kmの

海域では10-30%の等密度差線が海岸線と平行になり、河川水はx方向に運動量流束の卓越した流動を呈している。海岸線に平行な流速ベクトルは、「大雨後の淀川の水は西宮から神戸、須磨沖に向かって、海の中を川のように流れる。」という沿岸漁民の話と一致する。また、淡路島前面の先端部分では急な流速、密度勾配を持ったフロントを形成しているのが認められる。図3の計算結果と図1の衛星画像の一致度は極めて良好であり、両者の比較から淀川流出流の拡がりには地球自転効果が有効であることがわかる。

コリオリ力を考慮した場合の洪水開始直後からの等密度差線のx方向、y方向への拡がりの時間変化を図4に示す。y方向への拡がりの時間変化はx方向への拡がりの時間変化に比べて非常に鈍い。しかも、約8kmでy方向への伸びは停止し、一定となっている。y方向運動方程式を詳細に調べると、沖合い方向7-10kmでコリオリ項と圧力項が釣り合った地衡流平衡が成り立っており、y方向への加速度項は0になっていることがわかる。

コリオリ力を考慮した場合のy方向へ流出流が拡がり始める $x=30\text{km}$ での河川軸に直交する鉛直断面の流動を図5に示す。コリオリ力によって右側に偏向された河川水が海岸線に押し付けられ、層厚が海岸線で増大している。その下方からは連行による補償流が生じているのが認められ、大きな鉛直循環を形成している。

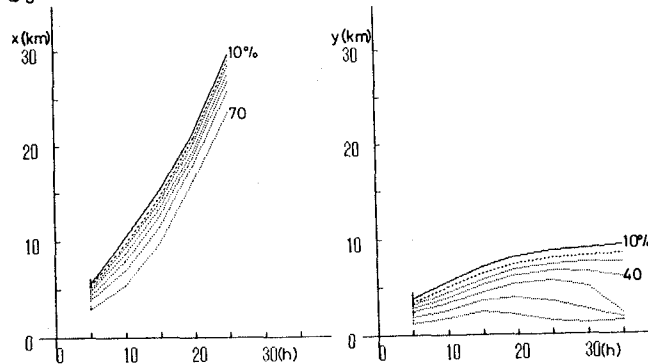


図4 等密度差線の水平方向拡がりの時間変化

4. 結論

コリオリ力を考慮にいたる淀川流出流の数値シミュレーション結果は人工衛星NOAAによる熱赤外線画像と非常によく一致した。このことから、地球自転効果は河川ブルームの拡がりを考える上で重要であることがわかった。また、ロスビー変形半径は河川流出流の拡がりを制限する有効なパラメータと成り得ることがわかった。

参考文献 室田明・中辻啓二・許再寧（1987）土木学会第32回水理講演会，pp233-238.

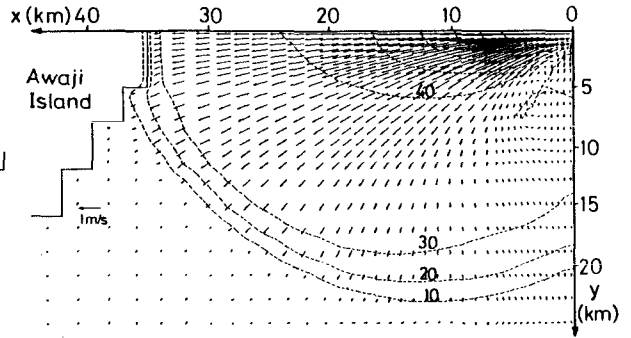


図2 コリオリ力を考慮しない場合の淀川流出流の拡がり

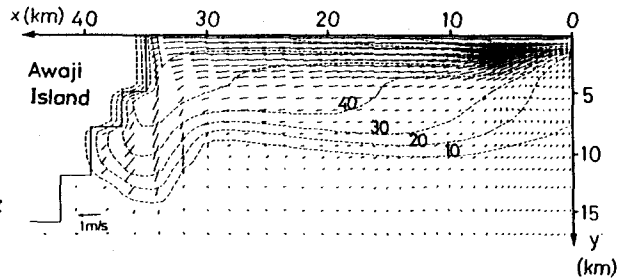


図3 コリオリ力を考慮した場合の淀川流出流の拡がり

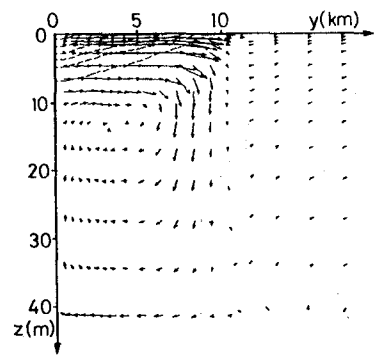


図5 河川軸直交断面($X=30.5\text{km}$)における流速ベクトル，等密度差線