

中海における塩分密度界面の変動と塩水の流出入特性の検討

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○山本絢子
 広島大学大学院工学研究科 正会員 渡邊明英
 国土交通省出雲河川事務所 正会員 藤原真一

中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡捷二
 国土交通省出雲河川事務所 正会員 湯浅丈司

1. 序論

連結形汽水湖である中海・宍道湖では、中海の塩水が大橋川を介して宍道湖へ流入する。宍道湖において密度界面が形成されると、貧酸素化などの水質悪化が生じるため、シジミなどの湖底生物に対する影響評価が課題となっている。中海の下層水は高塩分濃度であるため宍道湖に流入した際、湖内環境の変化に与える影響は大きい。そこで本研究では中海の塩分密度界面の変動に着目し、風などの外力による水面と密度界面の変動メカニズムを解明する。また西風の卓越により密度界面位置が大橋川付近で上昇した場合に中海の下層水が大橋川へ流入する特性について検討する。

2. 観測方法

図-1 に中海・大橋川・宍道湖における常時定点観測地点（●，■）が示されている。

中海において塩分密度界面の平面的分布、および詳細な変動を把握するため、2004/10/15～2005/1/15の期間に、図-1 に示される9地点（□）において観測機器を設置し塩分と流向・流速の観測を行った。また2003/8/29において図-2 に示される東西観測ライン（A～M）と中海・大橋川接続部付近に存在する水深2m程度のマウンド部（G～K）を船で航行し、多項目水質計（STD）と曳航式ドップラー流向・流速計（ADCP）を用いて水温塩分と流向流速の鉛直分布を2時間ごとに合計6回測定した。

3. 西風による水面勾配と界面勾配の変動

図-3 に中海東西ラインにおける水面勾配の実測値と計算値を示す。実測の水面勾配は St.E と湖心の水位差から、界面勾配は St.W と湖心の界面位置から算出した。水面勾配の計算値は、 $d\eta/dx = \tau_{s(x)} / \rho_1 g h_1$ を用いて求めており、 η ：水面上昇量（m）、 ρ_1 ：上層の密度（kg/m³）、 h_1 ：上層の水深（m）である。 $\tau_{s(x)}$ は風の吹き寄せによる水面せん断力の東西方向成分であり、 $\tau_{s(x)} = \rho_a C_D U_{10(x)} |U_{10}|$ より求めた。ただし、 $U_{10(x)}$ ：水面上10（m）の高さにおける東西軸風速、 C_D ：抵抗係数であり、光易ら¹⁾の式を参考にした。用いたデータは2004年度の観測期間中において強い西風が吹いた時間帯を抽出したものである。

水面勾配は、実測値と計算値が概ね一致しており、東西方向の水面勾配は西風的作用に対してすぐに応答している。密度界面の変動は瞬間的に吹く風によるものではなく、風応力が湖面に長時間働いた場合に寄与するものと考えられ、風による単位距離・単位幅あたりの仕事が $E_w = \int \tau_{s(x)} U_{10(x)} dt$ に比例すると仮定し、風によるエネルギーと中海東西ラインにおける水面変動のエネルギーと密度界面変動のエネルギーの和の関係を図-4 に示す。用いたデータは2004年度の観測時において3m/s以上の西風が徐々に強くなる時間帯を抽出したものである。水面変動のエネルギーは $E_\eta = \rho_1 g \eta^2 / 3$ 、界面変動のエネルギーは $E_l = (\rho_2 - \rho_1) g l^2 / 3$ と与えた。図-4 より風によるエネルギーの代表値 E_w と水面・界面変動のエネルギーの和は、 $E_l + E_\eta = 0.003 E_w$ と示すことができる。ここで水面変動のエネルギーは界面変動のエネルギーに比べて十分小さいため、界面上昇量と風によるエネルギーの式は、 $l = \sqrt{E_w \cdot 0.009 / (\rho_2 - \rho_1) g}$ と近似することができる。図-5 は風によるエネルギーと中海東西方向における密度界面上昇量の関係を示す。図中の点線は近似式を示し、実観測による界面上昇量の変動と概ね一致している。

4. 密度界面が傾斜した際の大橋川への塩水流入特性

図-6 に中海と大橋川の接続部における Line: I～K の観測結果、図-7 に観測時の東西軸風速と宍道湖と中海の水位を示す。流向は正を流下とした。図中の実線は浅瀬部に存在する水深の深い滞筋部の位置である。

約7m/sの西風が吹いた時間において、中海水位>宍道湖水位の状態であるため、滞筋部における上層の塩水は

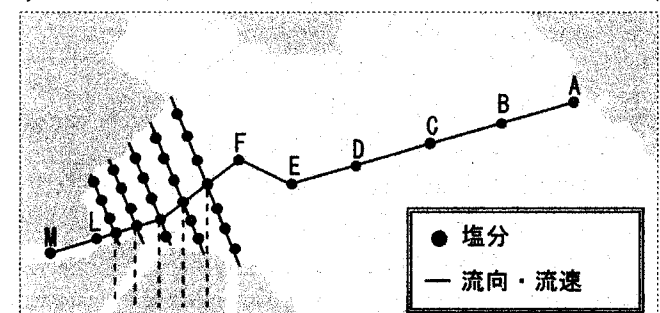
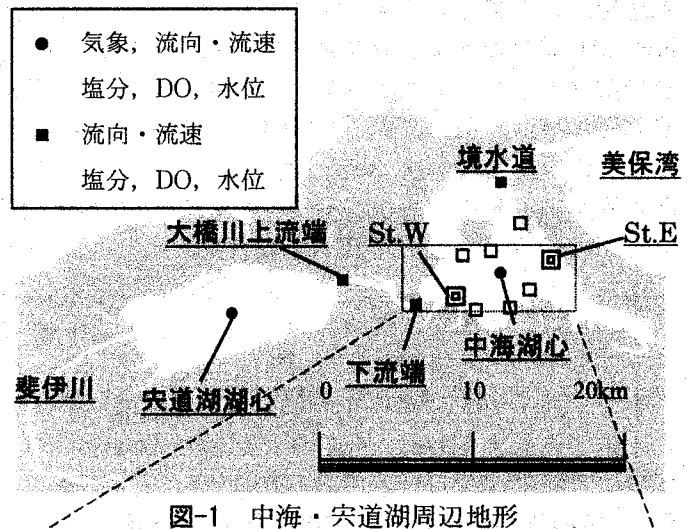


図-2 中海密度界面観測における観測地点

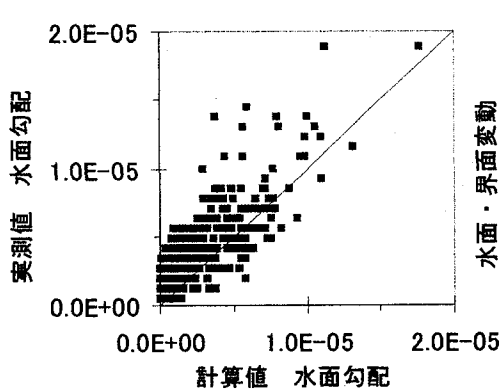


図-3 水面勾配の実測値と計算値

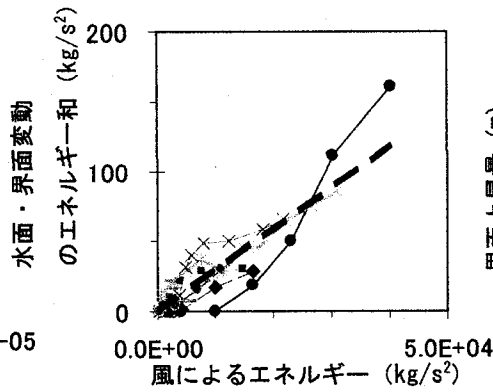


図-4 風によるエネルギーと
水面・界面変動のエネルギーの関係

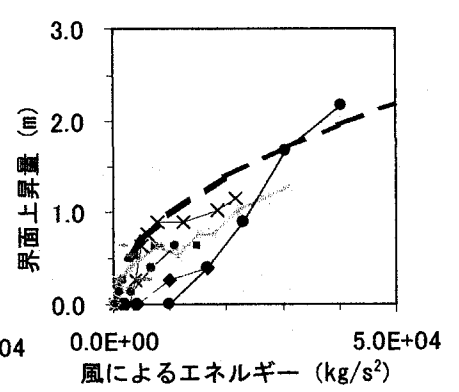


図-5 風によるエネルギーと
界面上昇量の関係

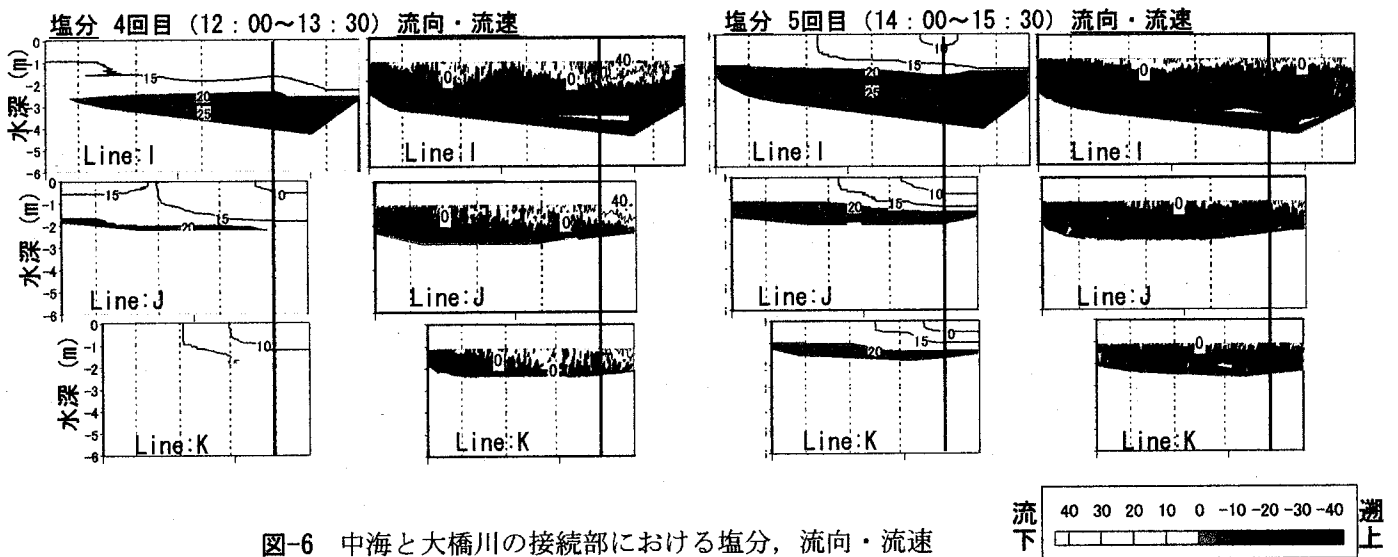


図-6 中海と大橋川の接続部における塩分，流向・流速

流下しているが、下層では塩分濃度 20psu 程度の高塩分水が界面を形成したまま遡上している。リチャードソン数 $R_i = \Delta \rho g h_1 / \rho_2 \Delta u^2$ は $R_i = 0.64$ であるため、上下層の流速差による連行現象が生じていないことが推測できる。したがって西風が吹き中海の西側で密度界面が上昇した場合、マウンド部では上層水と下層水は混合せずに大橋川へ流入している。なお、 $\Delta \rho$: 上下層の密度差 [kg/m^3], Δu : 上下層の流速差 [m/s], h_1 : 上層の層厚 [m] 添え字は 1 が上層, 2 が下層を示している。計算には観測データより上層の流速 0.4m/s , 下層の流速 0.2m/s , 上層の水深 2.0m , 2003/8/29 の中海における上層の密度 1008.3 kg/m^3 , 下層の密度 1020.3 kg/m^3 である。5 回目の観測時において、宍道湖水位 < 中海水位の状態になるとほぼ断面全体で遡上しているため、高い濃度の塩水がマウンドを越えて中海から大橋川に多量に流入している。

5. 結論

中海東西ラインにおける水面勾配は西風に対してすぐに応答するが、密度界面の傾斜は時間遅れを伴い風によって成される仕事の総和によって決定している。西風によって界面が傾斜すると大橋川が流下している場合、接続部付近は上層と下層で流向が異なり、混合せずに中海下層水が大橋川へ流入していることが確認された。

【参考文献】

- 1) 本多忠夫, 光易恒: 水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究, 第 27 回海岸工学講演会論文集, 1980, pp90-93

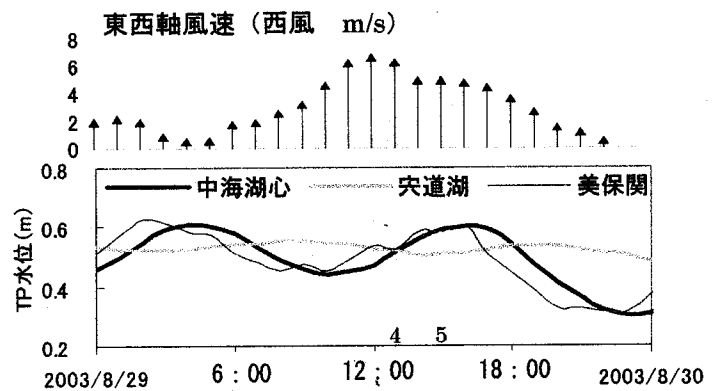


図-7 2003/8/29～集中観測時の風速と水位

