

湖沼における巻き上げの日周期変動

九州大学工学部 中村由行、井上徹教、村井大亨
 (株)日水コン 柳町武志
 神戸高専都市工学科 辻本剛三
 島根県衛生公害研究所 石飛裕
 地質調査所海洋地質部 山室真澄

1. はじめに

閉鎖性水域での物質収支を考える上では境界条件として、i)河川等を通じての流入・流出フラックス、ii)水・大気間での物質交換、iii)水・堆積物間での物質交換が重要となる。なかでも堆積物の巻き上げは水・堆積物間での物質移動速度に大きく影響し、水域の水質に多大な影響を及ぼす。しかしながら、巻き上げの長期的な観測例はさほど多くなく、巻き上げの物理的な原因、栄養塩の溶出速度との関連など未だ不明な点が多い。

そこで本研究では、島根県東部に位置する汽水湖である宍道湖湖心部において、夏季、濁度計・流速計・水温塩分計を湖底付近に密に設置し、約1ヶ月にわたる長期の水質連続観測を行なった。また、湖心部堆積物を用い、巻き上げがある状態での栄養塩溶出に関する室内実験も行なったのでここに報告する。

2. 連続観測

(1) 観測内容 観測は我が国を代表する汽水湖である宍道湖湖心部において行なった。宍道湖は島根県東部に位置し、東西16km・南北6.2km・湖面積80km²・平均水深4.5mの浅い湖である。主な流入河川としては斐伊川が、流出河川としては大橋川が挙げられ、中海と連結している。中海は境水道を介して日本海と直接海水の交換がある。平均的には中海表層水は海水塩分の約1/2、宍道湖表層水は約

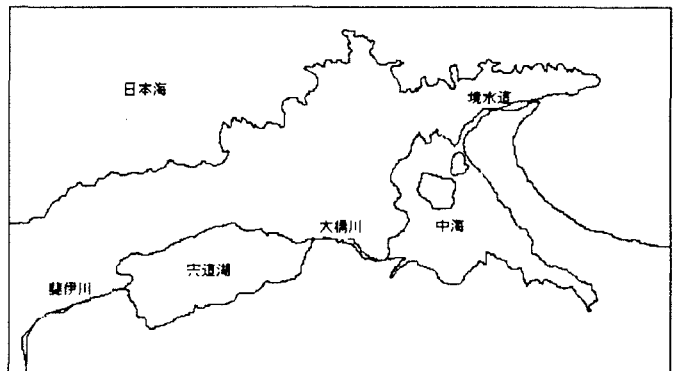


図1 宍道湖周辺図

1/10の濃度を持つ。宍道湖では潮汐や気圧の変動に伴い不定期的に中海表層水が逆流してきており、宍道湖底層に流入・滞留することが知られている(図1参照)。

自動観測機器は宍道湖湖心に設置した。観測期間中の湖心部の水深は約5.5mであった。観測機器としては、水温塩分計(アレック電子製、MDS-CT)を湖底から10, 20, 40, 60, 80, 100cmに、流速計(同、ACM-8M)・濁度計(同、MTB-16K)を20, 40, 100cmに設置した。測定結果は、水温・塩分に関しては20分毎に1回の測定で1データ、流速に関しては20分毎に1秒間隔で測定された60データが、濁度に関しては20分毎に1秒間隔で測定された60データの平均値が記録される。機器設置期間は1996年7月6日から7月31日であった。

(2) 観測結果及び考察 観測期間中はほぼ梅雨の後期に相当し、7月24日の梅雨明けまで、7月16, 17, 18日を除き、ほぼ連日降雨が観測された。大規模な塩水の侵入は7月14, 20, 29日に観測され、明瞭な密度成層は7月14日～20日及び7月29日以降にのみ観測された。台風6号の接近に伴い、7月20日未明には比較的大規模な塩水侵入があったが、同日中に急激な鉛直混合と20cm層における濁度の上昇が生じた。

7月8日から7月19日の湖底面から20cmの濁度及び風速の時系列を図2に、鉛直方向の密度分布の時系列を図3に示す。図2を見ると、午後の風速の増加に伴い底層水の濁度が上昇し、静穏な夜間では濁度は速やかに減少していることがわかる。さらに図3を考慮すると、この日周期変動は密度成層の無い8日～13日、及び密度成層が発達している14日～19日のいずれにおいても生じていることがわかる。図4には密度成層の無い7月9日17時、及び密度成層の発達していた14日17時の湖底から20cmにおける1分間の流速変動の様子を示している。いずれも流速は振幅3～4cm/s、周期約8秒で振動しており、この時の風速は4～5m/sであった。以上の結果から、午後大気が不安定になることに伴って風波が発達し、主として波によって巻き上げが生じており、夜間静穏になると濁度は速やかに減少することがわかった。さらに、風波の速度振幅は密度成層の有無に関わらず湖底境界層に到達するため、成層が発達した場合にも巻き上げが生じていることが示された。

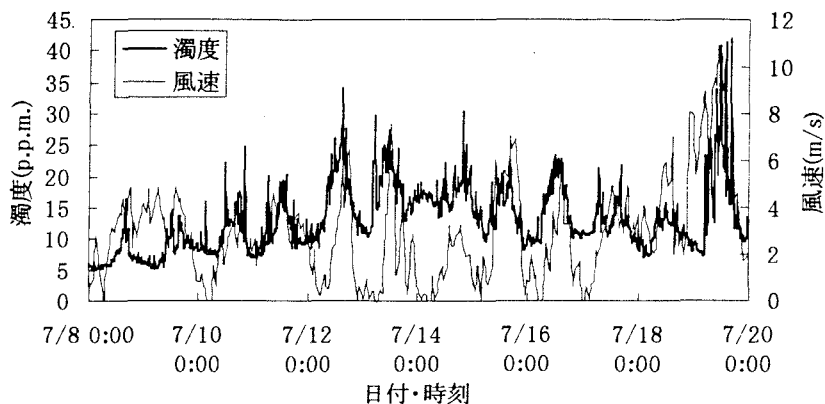


図2 濁度及び風速の時系列変化

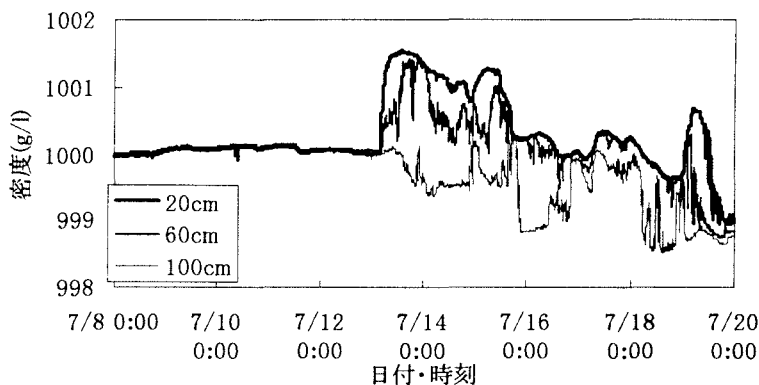


図3 密度の時系列変化

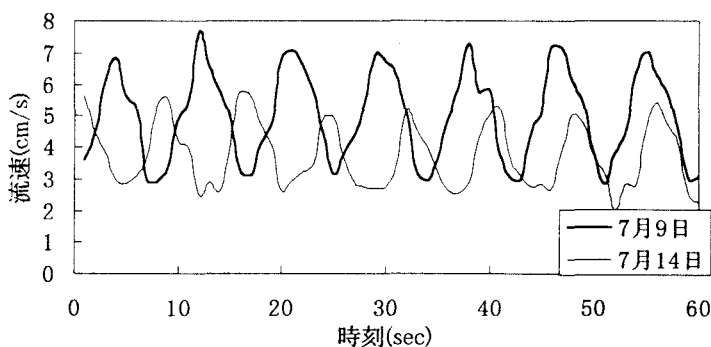


図4 湖底上20cmにおける流速(7月9日及び14日17:00)

3. 室内実験

(1) 実験内容 実験装置を図5に

示す。本実験装置は下流部に配置されたポンプによって供給水がサンプルコア及びDO・栄養塩の測定に送られる連続培養型となっている。従来行われてきた実験系の多くはbatch実験によるものであり、そこではDO濃度等の実験条件が時々刻々変化するため、リンの溶出等に及ぼす各因子の影響を把握しにくいという欠点があった。そこで本実験装置は図5に示すような連続培養型として可能な限り定常状態を作り出すことを目指した。サンプルコアは実湖湖心部において、船上よりアクリルパイプ(内径8.5cm)を直接堆積物に差し込むことにより未撈乱で採取した。サンプルコア内の直上水の撈拌は水・堆積物界面より約11cm上方に設置したプラスチック製のプロペラによって行

った。供給水には採泥現場付近の底層水を濾紙(Whatman GF/C)で濾過したものを、窒素・酸素混合ガスで曝気しDO濃度を調整し用いた。

実験は2回行い、RUN1では巻き上げが起らない攪拌速度(77 r.p.m.)を設定し、RUN2では攪拌速度を160r.p.m.とし堆積物を巻き上げた状況での実験を行った。いずれのRUNにおいても直上水のDO濃度は1mg/l以下であった。

(2)実験結果及び考察 直上水中のPO4-P濃度の時系列変化を図6に示す。巻き上げの無いRUN1ではPO4-P濃度は約5μg/lと低い値であったのに対し、巻き上げを起こすと直上水のPO4-P濃度は急激に上昇し、30~40μg/lとなった。これは巻き上げに伴いリンの溶出フラックスが増大したことを示している。そこで、リンの溶出フラックスを次式により計算した。

$$V(dC_{out}/dt) = C_{ref}Q - C_{out}Q + \text{Flux A} \quad \cdots (1)$$

ここで、VはCORE内の直上水体積、 C_{out} は流出水の濃度、 C_{ref} はリファレンスコアからの流出水の濃度、Qは供給水流量、Fluxは堆積物からの溶出速度、AはCORE

断面積を示す。この結果、巻き上げの無いRUN1でのリンの溶出フラックスは約1mg/m²/dayであったのに対し、巻き上げのあったRUN2では10~15 mg/m²/dayの値を取っていた事がわかった。以上の結果から、DO濃度が1mg/l以下であるような貧酸素条件下では、堆積物の巻き上げに伴い、リンの溶出フラックスは増大することが示唆された。

4. 結論

汽水湖である宍道湖湖心部において、夏季、濁度計・流速計・水温塩分計を湖底付近に密に設置し、約1ヶ月にわたる長期の水質連続観測を行なった。その結果、午後大気が不安定になることに伴って風波が発達し、主として波によって堆積物の巻き上げが生じていることがわかった。また、風波の速度振幅は、密度成層の有無に関わらず湖底境界層に到達するため、成層が発達した場合にも巻き上げが生じていることが示された。

また、宍道湖湖心部堆積物を用い、巻き上げがある状態での栄養塩溶出に関する室内実験を行った。その結果、DO濃度が1mg/l以下であるような貧酸素条件下では、堆積物の巻き上げに伴い、リンの溶出フラックスが増大することがわかった。

以上の結果をまとめると、宍道湖の様な閉鎖性の強い浅い水域において貧酸素水塊上に風波が発達した場合には、密度成層の有無に関わらず堆積物が巻き上げられ、リンの溶出が顕著に増加することが強く示唆された。

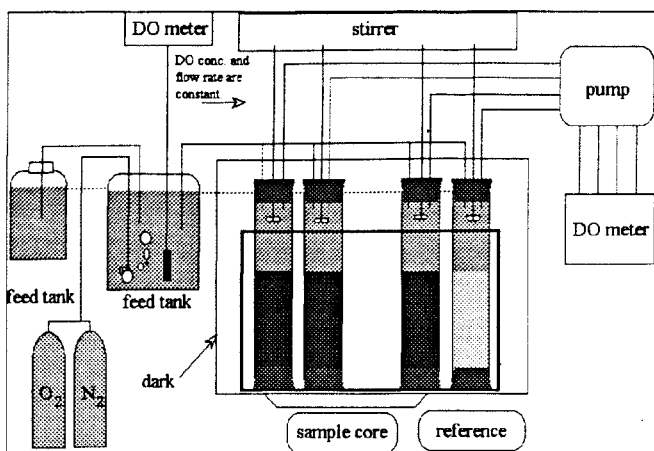


図5 実験装置概略図

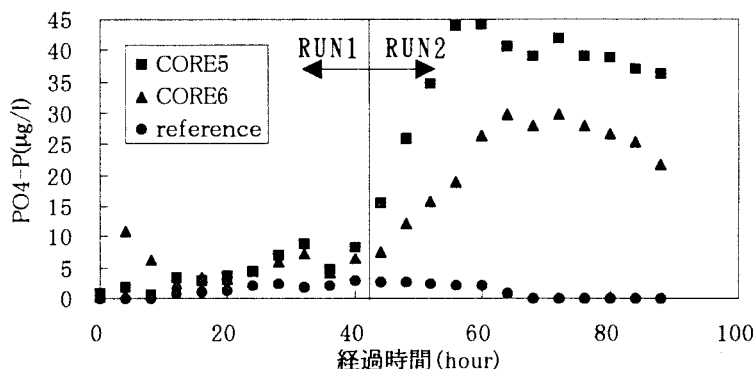


図6 PO4-P濃度の時系列変化