

汽水湖沼における貧酸素水塊の形成と水堆積物間の物質交換

九州大学大学院工学研究科 学生会員○足立義彦 正会員 井上徹教 中村由行
島根県衛生公害研究所水質科 石飛裕 嘉藤健二

1. はじめに

汽水域では一般に、海からの高塩分水の流入により水温・塩分躍層が形成されるが、この躍層の存在のために水塊の鉛直方向の混合が抑制される。そのため、堆積物直上水が長期間停滞すると、その間に直上水中の溶存酸素(DO)が主として堆積物の生物・化学的な反応により消費され、ついには直上水のDOが枯渇することもしばしば見られ、底生生物への影響が懸念される。また、特に富栄養化した水域において上記のような現象が出現すると、直ちにリン等の栄養塩が溶出する、いわゆる内部負荷が増大するため、水質の悪化や景観上の問題が生じ、沿岸域に深刻な影響を与えることとなる。

このように汽水域での密度成層の発達による貧酸素水塊の形成、それに伴う水・堆積物間の物質移動に関する定性的な問題点は指摘されて久しいが、現地における堆積物直上水のDO濃度の長期にわたる観測は困難であり、定量的な検討に耐え得る測定はほとんど見られない。そこで本研究では、島根県東部に位置する宍道湖湖心部において、1997年秋季に約2週間、水温塩分計、溶存酸素計、濁度計および二次元流速計を設置して、水質自動連続観測を行った。以下、特に密度構造とDO濃度変動の観測結果について報告する。

2. 観測地点・方法

宍道湖は面積約80km²、平均水深約4.5m、湖心部の水深が約6mの我が国を代表する汽水湖であるが、他の多くの水域と同様に富栄養化が深刻な問題となって久しい。主な流入河川は西側から流入する斐伊川であり、湖水は東側より大橋川を通じて中海さらには日本海へと流出していく(図-1)。こうした地形条件により、中海では年間を通して比較的安定した密度成層が形成されるのに対し、宍道湖では密度成層化と鉛直混合による一様化が高頻度に生じる。これは、低気圧の通過による日本海の海面上昇に密接に関連し、不定期に海水が湖心部まで逆流するためである。このとき形成される高塩分水層の厚さは両湖の水位差とその継続時間で異なってくるが、大体数十cmであり、成層化が継続すると貧酸素化が生じる。

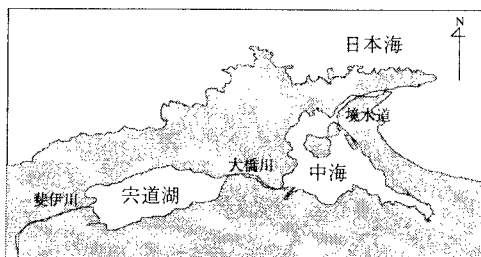


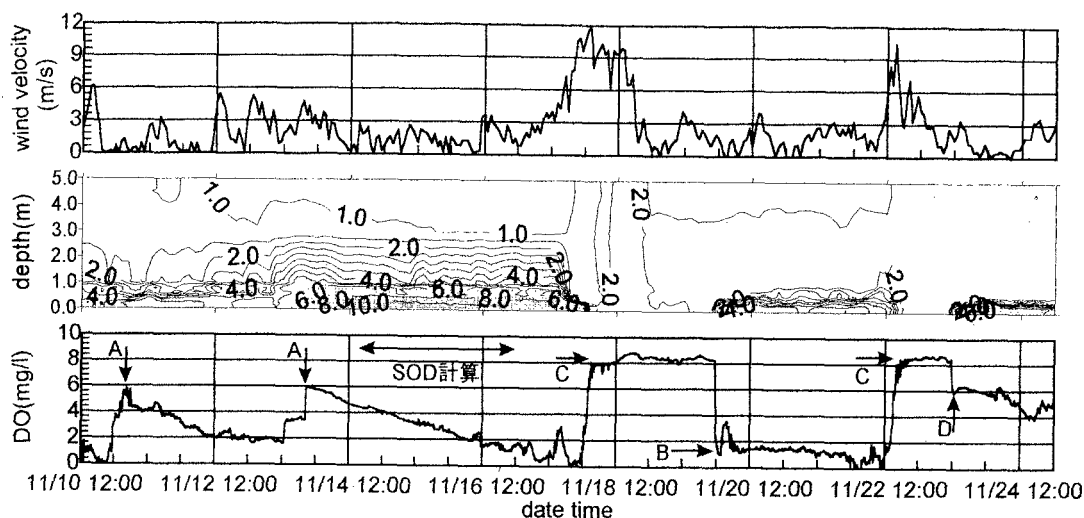
図-1 宍道湖周辺図

自動観測機器は、水温塩分計に関しては密度成層の詳細を知るため機器を湖底から0.2、0.4、0.6、0.8、1、3および4.5mと特に湖底付近に密に設置し、溶存酸素計に関しては湖底から0.2mに設置した。水温塩分計はアレック電子製、超小型メモリー水温・塩分計MDS-CTを、溶存酸素計はYSI製、溶存酸素計Model 6000をそれぞれ用いた。測定結果は水温塩分計、溶存酸素計とも10分毎に1回の測定で1データが記録される。風速については松江地方気象台のデータを用いた。観測期間は1997年11月10日から25日までであった。なお、観測期間中、湖心部の水深は約5.7mであった。

3. 結果および考察

図-2に風速、密度(σ_t)およびDO濃度の時系列を示す。これを見ると、密度成層化が継続すると堆積物直上水のDO濃度が減少し、強風の影響により水域で鉛直混合が生じると密度成層が破壊され、その結果表層水が湖底に供給されることで堆積物直上水のDO濃度が回復する様子がわかる。観測期間中、上述のような過程が3~4日の時間スケールで起こっていることがわかる。

DO濃度時系列を見ると、DO濃度の減少過程に関して二通りのパターンが確認できる。一つは11日6時頃および13日21時頃から始まる過程(A)であり、DO減少が数日にわたって徐々に進行している。もう一つは20日0時以降に見られるような急激に湖底が貧酸素化する過程(B)である。10日21時から11日6時および13日13時から21時の期間、風速データからは10m/s程度以上の強風が確認できないにもかかわらずDO濃度の回復が見られる。このDO濃度上昇のタイミングは塩分の上昇に一致している。従って、緩慢な貧酸素化の進行は、DOの豊富な中海水の流入による塩分成層化が生じた後、その成層が継続することが原因であると考えられる。一方後者は中海が大橋川でDOがほとんど消費された水塊が流入しているためであると考えられる。この事実から宍道湖での貧酸素水塊の形成過程には、密度成層が発達することで主として堆積物によりDOが消費される場合と、既に中海で大橋川で貧酸素化した水塊が流入す



図一 2 流速、 σ_t およびDO濃度時系列(σ_t のコンター内の数字の単位は kg/m^3 である)

る場合の二通りがあるといえる。

また、DO濃度の回復過程に関しても二通りのパターンが確認できる。一つは前述のようなDO濃度の豊富な中海水の流入により回復する過程(A)と、18日2時頃あるいは22日16時頃に見られる無酸素状態から高酸素状態への急激なDO濃度の回復過程(C)である。後者に関して現象を説明すると、同時刻の風速および σ_t 時系列を見ればわかるように、風速10m/s程度以上の強風の影響により塩分躍層が破壊され水域の鉛直混合が生じ、DOの豊富な表層水が底層に供給された結果、DOが回復したものと考えられる。ここで注目すべきはDO濃度が回復するのに前者が半日弱の時間を要するのに対し、後者はわずか2～3時間の時間スケールではほぼ無酸素から約80%飽和度まで回復している点である。これより宍道湖のような比較的浅い水域では、一度強風が吹くと成層化していた場合も水域の鉛直混合が起こり、数時間で湖水の溶存物質の濃度がほぼ一様化すると考えられる。

さらに、中海水の流入に関して、20日0時以降の貧酸素水塊の流入(B)を除き、10日21時頃(A)、13日13時頃(A)および23日12時頃(D)から始まる流入では塩分躍層形成時の初期DO濃度がおよそ6mg/lであるという共通点を見出すことができる。この現象がどの程度普遍的に生じているか、またその理由は何かについては、中海における密度界面の変動や大橋川における塩水そ上に関連した調査を並行して実施して明らかにする必要がある。

ここで、DO濃度の減少の主因が堆積物の酸素消費(SOD)によると考えられるデータが得られたので、現場でのSODを以下の方法で推定した。高塩分水層のDOがすべて堆積物により消費され、かつDO濃度は高塩分水層内で水深方向に一定であるものとする、水柱の高塩分水層内の物質収支より、以下の式が導かれる。

$$\text{SOD} = h \cdot \left| \frac{dC}{dt} \right| \quad (1)$$

ここで、 h は高塩分水層の厚さ(界面高さ)であり、ここでは成層時の密度の鉛直分布を考え、密度の最大値および最小値の平均値をとる高さを成層化している時間で平均して求めた。また、 C はDO濃度、 t は時間である。14日16時から17日0時までの観測データを用いると(図一 2 下段参照) h は0.91mとなり、現場のSODを算出したところ1.32 $\text{g/m}^2/\text{day}$ となった。この値は著者が室内実験により求めた値(0.5～1.0 $\text{g/m}^2/\text{day}$)に比べやや高かった。

4. 結論

1997年秋季に宍道湖湖心部において、水温塩分計、溶存酸素計を用いて自動連続観測を行った。その結果、密度成層の形成に伴い湖底に貧酸素水塊が形成される過程と、強風によって湖水の鉛直混合が生じてDO濃度が急激に回復する過程が数日のスケールで繰り返されることが観察された。宍道湖湖底での貧酸素水塊の形成は、堆積物により酸素が緩慢に消費される場合と、予め貧酸素化した中海水の流入のため急激な貧酸素化が生じる場合の二通りがあることが確認できた。DO濃度の回復過程に関しても、豊富なDOを含む中海水の流入による回復と、強風に伴う水域の鉛直混合によって表層水が底層部へ供給され、DOが回復する場合の二通りが確認できた。