びわ湖の底層における溶存酸素飽和度と水温の連続観測

奥村 康昭¹⁾・大西 良雄¹⁾・遠藤 修一²⁾

Continuous measurements of dissolved oxygen and temperature in deep water of Lake Biwa

Yasuaki OKUMURA¹⁾, Yoshio OHNISHI¹⁾ and Shuichi ENDOH²⁾

Abstract

Dissolved oxygen (DO) and temperature were measured every 30 minutes in the deep water of Lake Biwa using an oxygen data logger with a thermometer from 5 June 2000 to 3 August 2001. The oxygen sensor of the data logger was a galvanic cell type sensor, and the thermosensor was a thermistor. The DO decreased from 60% in June and reached its minimum value of 25% in October 2000. The maximum value of 80% was reached in January 2001 due to the overturn in winter. There was no anoxic condition during this period. The temperature increased from June to December 2000 by 0.25°C and then decreased by about 1.5°C in January 2001 due to the overturn in winter.

Key words: Lake Biwa, dissolved oxygen (DO), temperature, continuous measurements

摘 要

びわ湖北湖南部水域の北小松沖の水深 75 m 地点の湖底上約 1 m に溶存酸素計を設置して、30 分間ごとの長期連続観測を実施した。観測期間は 2000 年 6 月から 2001 年 8 月の約 14 ヶ月間である。溶存酸素飽和度は観測開始直後の 6 月は約 60% であったが、10 月には約 25% まで減少した。しかし、この値が最低の溶存酸素飽和度であり、この観測期間中に、この地点では、無酸素状態にはならなかった。2001 年の 1 月に鉛直循環が湖底にまで達し、溶存酸素飽和度は一挙に約 80% まで上昇した。水温は、6 月には約 7.2°C であったが、12 月までの半年間で約 0.25°C 上昇した。そして、1 月に全層が循環した直後に急上昇し、その後、約 35 日間で約 6.5°C まで降下して、3 月中旬から成層が始まると、また徐々に上昇した。

キーワード：びわ湖、DO、溶存酸素飽和度、水温、連続観測

(2001 年 10 月 3 日受付; 2002 年 9 月 2 日受理)

はじめに

酸素は生物の生存にとって必要不可欠である。湖沼では、湖水の富栄養化が進むと、有機物を分解するために酸素が消費され、溶存酸素濃度が低下する。そして、湖底近くの酸素が無くなると、底泥中からリンやマンガン、硫化水素などが湖水へ溶出する(川嶋ら, 1983; 前田ら,

1987)。びわ湖北湖における底層の溶存酸素は 1960 年代の後半から年々減少し(中, 1973; 津田・森下, 1975), 部分的にはあるが無酸素状態になることも報告(熊谷, 1993)されている。

湖水の溶存酸素量を測定するには、一般的にウインクラー法(西條・三田村, 1995)が用いられるが、手間と時間を必要とし、現場で手軽に実施できない。最近では、

¹⁾大阪電気通信大学工学部 〒575-0063 四條畷市清滝 1130-70. Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University 1130-70 Kiyotaki, Shijonawate, Osaka 575-0063, Japan (E-mail: okumura@isc.osakac.ac.jp)

²⁾滋賀大学教育学部 〒520-0862 大津市平津 2-5-1. Faculty of Education, Shiga University 2-5-1 Hiratsu, Otsu 520-0862, Japan

Fig. 1. Mooring site (*) of the oxygen data logger in Lake Biwa.

図 1. 溶存酸素計の設置点(*)。

物理的に溶存酸素量を求めるセンサーが開発され、連続的に測定できるようになってきた。

筆者らは温度計付きの溶存酸素計をびわ湖北湖南部水域の北小松沖約 5 km、水深 75 m 地点に設置して連続観測を実施した。びわ湖水の溶存酸素濃度の観測は多数行われているが、長期間の連続観測が行われ、まとまったデータとして発表された例はない。今回の我々の観測データは年間を通じて行った最初のものである。

観測地点と方法

観測地点を Fig. 1 に * で示す。びわ湖北湖の南部西岸北小松沖約 5 km、水深 75 m の地点である。湖沼図を見れば分かるように、びわ湖北湖は白髭神社と沖の島を結んだ線上が周囲より少しだけではあるが浅くなっている、ここを境に南北に分けて考えた場合、観測地点は南部の最深部にあたる。ここは、我々が月に一回の観測(遠藤ら, 2001)を実施している測点に含まれ、水温の鉛直分布のデータが得られるし、観測時に係留線の点検も行えるので、長期の連続観測に適している。先にも述べたように、部分的にはあるが底層において無酸素状態が出現することが熊谷(1993)によって報告されている。この地点でも、無酸素状態が出現するのか、どうかを確認

するために連続観測を実施した。

滋賀県立衛生環境センターが、観測船による月に二回の定期観測を実施している。この場合、周期現象に対する分解能は一月であるし、また、無酸素状態が起こった場合の、発生時期の確定精度は最大で 2 週間ずれることになる。定点による連続観測は、場所的な変化をとらえることは出来ないが、時間的な分解能がよく、現象の発生時期の特定に優れている。

観測に使用した溶存酸素計(メモリー DO 計, 三洋測器(株)製の大きさは、直径 7.6 cm、長さ 30.5 cm、質量は空中で 1.35 kg、センサーにはガルバニ電池式電極を使用している。電源には単 2 タイプのアルカリ乾電池 4 本を直列にして使用している。中層係留法で、湖底から約 1 m の高さに設置した。測定間隔は 30 分間であり、メモリーと電源容量の関係から約 3 ヶ月間の連続観測が可能である。カタログデータによれば、測定範囲は 0~15 mg L⁻¹、精度は 0.05 mg L⁻¹ である。サーミスタ温度計が組み込まれていて、温度補償された濃度値が得られるが、この論文では溶存酸素飽和度で表示する。観測期間は 2000 年 6 月 5 日~2001 年 8 月 3 日である。電池の交換とデータの読み出しのために、2, 3 ヶ月に一回、回収と係留を繰り返した。2001 年 4 月には持ち帰り、メーカーに依頼してセンサーの点検をしたが、感度が約 2% 低下しているだけであった。

結果と考察

観測期間中の溶存酸素飽和度と水温のデータの時系列変化を Fig. 2 に示す。また、Fig. 3 にはほぼ同じ期間の水温の鉛直分布の季節変化を示してある。Fig. 3 は我々が月に一回実施している定期観測のデータ(遠藤ら, 2001)を用いて描いたものである。

溶存酸素飽和度は 2000 年 6 月の約 60% から 8 月の約 40% まで、1 日当たり約 0.3% の割合で単調に低下していく。この期間の、みかけの酸素消費速度を求めると約 0.03 mg L⁻¹ d⁻¹ となり、熊谷ら(2001)の値に近くなる。他の期間についても、Fig. 2 の酸素の時系列変化を見るとほぼ同じような勾配をしているので、みかけの酸素消費速度は同じ値になると思われる。

6 月から 8 月にかけて単調に減少した後、8 月中旬に少し増加する。この時期は Fig. 3 を見ても分かるように成層が発達しているので上下の水の混合は無いので表層から酸素が供給されたとは考えにくい。しかし、成層期でも水平方向の水の動きは盛んであり(奥村・遠藤,

Fig. 2. Time variation of dissolved oxygen and temperature of deep water during the period from 5 June 2000 to 3 August 2001.

図2. 底層における溶存酸素濃度と水温の時系列(2000年5月5日～2001年8月3日).

Fig. 3. Seasonal changes in temperature at the mooring site from May 2000 to May 2001.

図3. 溶存酸素計の設置点における水温の季節変化(2000年5月～2001年5月).

1985), 水塊が大きく入れ替わった事によって溶存酸素飽和度の値が大きくなったのかもしれない。

風の影響で底層に強い流れが生じる(奥村・遠藤, 1985)場合があり, 強風によって表層水が攪拌され, その影響が遅れて底層におよび, 水塊が入れ替わる事によって, 溶存酸素飽和度が大きくなる場合があると思われる。

8月中旬以降から10月中旬にかけては, 9月に少し大きくなることはあるが, ほぼ単調に減少していき, 10月15日の約25%が最低の溶存酸素飽和度であり, 無酸素状態にはならなかった。それ以降は12月初めにか

て, 大きな変動を繰り返しながらも, 増加の傾向にある。しかし, 12月初めから全層循環の起こる1月中旬にかけて, 再び溶存酸素飽和度は減少していく。

増加の原因についてはよく分からないが, 気温の低下によって冷却された表層水が沈降したことが, 原因の一つとして考えられる。

水温だけを取り出し拡大した図をFig.4に示す。水温は微少な変動を繰り返しながら上昇傾向にあり, 2000年6月から12月の半年間における温度上昇は約0.25°Cである。水温の微少な変動幅は11月初旬までは約0.1°Cであるが, それ以降は約0.2°Cになっていて, これは成

Fig. 4. Expanded figure of temperature time series in Fig. 2 from June to December 2000.

図 4. 図 2 の水温の時系列の拡大図(2000 年 6 月～12 月)。

層が弱まり、冷却された表層水が沈降してきたことを示しているのではないと思われる。

2001 年 1 月 14 日に全層の湖水が完全に混合したことによって、急激に溶存酸素飽和度が増加し、約 80% まで回復している。この状態は 3 月中旬まで続き、成層が始まると共に減少していくものと思われるが、センサーの不調と検定のため 4 月末まで欠測である。4 月末以降はまた 1 日当たり約 0.2% の割合で単調に減少していく。

底層の温度は、6 月から全層循環が起こる 1 月中旬までの間は少しずつ連続的に上昇を続け、全層循環時に急に上昇し、その後、約 35 日間で約 1.5°C 低下し、6.5°C 以下になっている。最近では底層の温度も上昇傾向にあり(遠藤ら, 1999), 約 8°C まで上昇することがあったが、2001 年の冬は寒冷であった事により、低くなっている。

成層期における溶存酸素飽和度の回復のメカニズムについては不明な点が多く観測を続け、さらにデータを蓄積する必要がある。

謝 辞

常に観測にご協力いただいている(有)レークリサーチの大村 仁社長と、測器の設置・回収に協力された大阪電気通信大学と滋賀大学の学生諸君に感謝します。

参考文献

- 遠藤修一・山下修平・川上委子・奥村康昭(1999): 琵琶湖における近年の水温上昇について. 陸水学雑誌, 60: 223-228.
- 遠藤修一・田中義人・眞壁奈津子・川嶋宗継・奥村康昭(2001): びわ湖に流入する河川水の分散. 日本陸水学会第 66 回大会講演要旨集, 107.
- 川嶋宗継・原博一・板坂修・堀太郎・高松武次郎・小山陸夫(1983): 琵琶湖における水質変動 I. マンガン, 鉄, 栄養塩類の底泥からの再溶出と酸化還元サイクル. 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 33: 67-101.
- 熊谷道夫(1993): 琵琶湖湖底からのメッセージ. 琵琶湖研究所ニュース「オウミア」, 44: 1-2.
- 熊谷道夫・石川加奈子・焦春萌(2001): 琵琶湖における環流と生態系. 知ってますかこの湖をーびわ湖を語る 50 章ー, 琵琶湖百科編集委員会(編): 43-48. サンライズ出版, 滋賀.
- 中賢治(1973): びわ湖深層の全循環期前の溶存酸素量の永年変化. 陸水学雑誌, 34: 41-43.
- 奥村康昭・遠藤修一(1985): びわ湖における連続測流(I)ー測流の方法と流況の概要ー. 陸水学雑誌, 46: 135-142.
- 西條八束・三田村緒佐武(1995): 新編湖沼調査法. 講談社サイエンティフィク, 東京.
- 津田松苗・森下郁子(1975): 琵琶湖に DO 4% のところがある. 陸水学雑誌, 36: 31-32.
- 前田広人・熊谷道夫・大西行雄・来田秀雄・河合章(1987): 琵琶湖南湖窪地の底層水における無酸素下に伴う水質と底質の変化: 琵琶湖水の動態に関する実験的研究総合報告書(II): 99-105. 琵琶湖研究所, 大津.