

# 湖山池の溶存酸素の鉛直分布特性

道上 正規・檜谷 治・山本 真一

土木工学科

(1996年 8 月28日受理)

## Characteristics of Vertical Concentration of Dissolved Oxygen in Koyama Lake

by

Masanori MICHIEUE, Osamu HINOKIDANI and Shinichi YAMAMOTO

Department of Civil Engineering

(Received August 28, 1996)

In Koyama lake, water qualities are so bad due to inflow nutrients from river streams and eluted nutrients from bottom mud in a lake. Especially, when a dissolved oxygen of bottom water in a lake is low, the amount of phosphorus eluted from mud extremely increases. So, the characteristics of concentration of dissolved oxygen of bottom water is very important to investigate the water quality problems in Koyama lake.

Therefore, in this study, continuous observation of vertical concentration of dissolved oxygen in Koyama lake were carried out. The characteristics of concentration of dissolved oxygen is discussed with effective parameters such as weather conditions.

**Key words :** Water quality, Dissolved oxygen, Lake, Elution, Phosphorus

## 1. はじめに

鳥取県北西部に、日本最大級の池湖山池が位置している。この湖山池は、東西4km、南北2.5kmの楕円形をしており、表面積6.81km<sup>2</sup>、平均水深2.8m、最大水深6.5m、貯水量1.9×10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>の規模を有している。また、湖山池は低塩性汽水湖であり、夏に約100ppm程度、冬に約300ppm程度の塩分濃度を示す。流入河川数は13本あり、湖山川により日本海に通じており、南・西部は山地に囲まれ、北部には湖山砂丘、東部には鳥取平野が広がっている。この湖山池周辺は、古くから生活圏ではあったが、昭和30年頃からの急速な都市化により、鳥取市のベッドタウン、文教地区として発展し、漁業、遊業、スポーツの場として、池周辺の住民や市民に憩いの場を提供している。しかし、人口、利用数の増加に伴い、湖山池の水質悪化が問題となっている。

現在の湖山池の水質に関しては、人口増加による生活雑排水の影響や他の河川から流入してくる有機物や栄養塩類による影響で富栄養化が起り、COD（化学的酸素要求量）は環境基準（3ppm）を上回っている。そこで県により、湖山池のヘドロを除去する浚渫事業が1981年より行われている。また、流域の住民による浄化活動も行われているが、なかなか改善されていない<sup>1)</sup>。

この水質悪化の原因に関しては、従来から研究されており、流入河川からの栄養塩流入と底泥からの栄養塩溶出が主な原因とされている。夏期になれば富栄養化に伴い、水の華（アオコ）が水面に集積し、湖山池の景観だけでなく、水利用の各方面にも悪影響を及ぼしている。

水質悪化の原因の1つである底泥からの栄養塩の溶出のメカニズムは、湖山池のように水深の浅い湖沼では、汚濁物質の湖沼滞留時間が非常に長く、底泥は河川から流入してくる栄養塩類の蓄積の場となり、悪化した底泥から栄養塩類が溶出するという悪循環のためだと思われる。この底泥からの栄養塩の溶出量に関しては、特に無機リンの溶出速度が湖水のD.O（溶存酸素量）に大きく影響し、貧酸素状態になると溶出量が急増することが報告されている<sup>2)</sup>。

一方、湖山池の溶存酸素量に関しては、従来より定期観測等がなされているが、夏期には底層で溶存酸素濃度が低下することが報告されている<sup>3)</sup>。したがって、その溶存酸素濃度の低下の割合によっては、多量の無機リンが底泥から溶出し、水質に悪影響を及ぼしている可能性がある。しかしながら、従来の観測は月1度の測定が

ほとんどであり、鉛直濃度分布の時間的変化を長期的に観測したものはなく、底泥からのリンの溶出量を推定するためには、嫌気状態の発生頻度あるいは発生期間等の詳細な検討が必要である。そこで、本研究では、湖山池の溶存酸素濃度特に底層での溶存酸素濃度に着目して、溶存酸素の鉛直分布に関して連続観測を行い、時間的変化あるいは日変化の特性について検討する。

## 2. 溶存酸素量に関する調査の概要

### 2.1 調査方法

溶存酸素量の鉛直分布調査は、1995年に実施したが、調査期間は水質が悪化する6月～9月の4ヶ月間で、各月で以下に示す2週間連続観測を行った。

Case1 … 1995年6月12日 6:00 ～ 6月19日 4:00

Case2 … 7月17日 6:00 ～ 7月24日 4:00

Case3 … 8月25日 6:00 ～ 9月1日 4:00

Case4 … 9月29日 6:00 ～ 10月6日 4:00

調査は各ケースそれぞれ2時間ごとに連続して行い、同時に水温および濁度を測定した。調査地点は、図-1に示す湖山池にある青島にかかっている橋の中央部で、水深は約2.5mである。測定方法は、水面から50、100、150、200、250cmの水を採水器を用いて採取し、溶存酸素の鉛直分布を計測するというものである。

## 3. 溶存酸素量に影響を及ぼす要因

湖水中の溶存酸素量は、水中および湖底に生物環境が存在しない場合、空気からの酸素の供給によって、ある水温に対する飽和溶存酸素量を保つと考えられるが、生

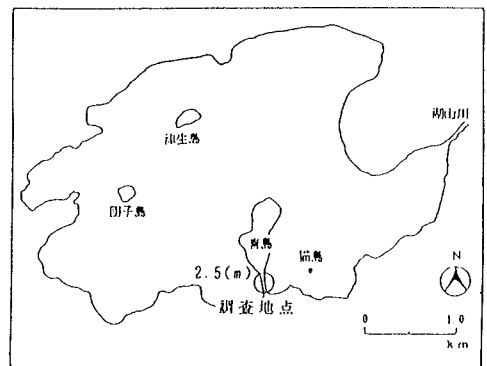


図-1 調査地点および水深

表-1 溶存酸素量に影響を及ぼす原因

		変化	要因	条件・パラメータ
上層	昼	上昇	光合成  ばっ気	植物プランクトン 日射量 水量 栄養塩濃度 風速 飽和溶存酸素 上層の溶存酸素
		下降	風による一様化	風速・風向 吹送時間 溶存酸素の濃度勾配
	夜	上昇	ばっ気	風速 飽和溶存酸素 上層の溶存酸素
		下降	呼吸 分解	植物プランクトン 水中のデトライタス 底泥のデトライタス
下層	昼	上昇	風による一様化  光合成	風速・風向 吹送時間 溶存酸素の濃度勾配 植物プランクトン 日射量 水量 栄養塩濃度
		下降	デトライタスの分解	水中のデトライタス 底泥のデトライタス
	夜	上昇	ばっ気	風速 飽和溶存酸素 上層の溶存酸素
		下降	呼吸 デトライタスの分解	植物プランクトン 水中のデトライタス 底泥のデトライタス

物環境が存在するために、大きく変動する。

溶存酸素量の上昇（増加・供給）や下降（低下・消費）に及ぼす要因として考えられる項目を表-1に示す。まず、溶存酸素量が上昇する要因としては、植物プランクトン等による光合成によるものが考えられる。また、濃度が飽和溶存酸素量以下の場合、空気からの供給（表中ではばっ気）によって水面付近の濃度が上昇する。一方、下降する要因としては、水中の植物プランクトン等の呼吸および水中および湖底微生物の有機物分解によるものが挙げられる。さらに、湖水中の流れ（湖山池では風による吹送流が支配的）による移流・拡散によっても大きく濃度が変化するが、通常この影響は鉛直方向の濃度差を一様化する方向に働くと考えられる。表-1は、これらの影響に関して、湖水を大きく上層水と下層水に分割し、昼と夜および上昇と下降に分けて示したものである。

#### 4. 観測結果および考察

上述したように、溶存酸素量は多くの要因に影響を及

ぼされて変動するため、変動特性を考える場合、これらの要因を合わせて検討する必要がある。そこで、溶存酸素量の変動に関係していると考えられる主な要因として以下の6項目についても同時に示し、それらの影響について併せて考察する。

##### 変動要因

水温、気温、日照時間

：植物プランクトンの光合成速度

濁度：植物プランクトン量

降水量：流入栄養塩の増加

風速：吹送流の発生

#### 4. 1 観測結果

それぞれのCaseにおける水温、溶存酸素濃度（DO）、濁度、気温、降水量、風速を図-2(a)~図-2(d)および表-2~表-5に示している。なお、水温、DO、濁度については上層50cm、中層150cm、下層250cmのみ示し、さらに、測定した水温の下層における飽和溶存酸素量も記載した。

##### (1) 月別変化特性

まず、6月（Case1）から9月（Case4）における全体的な月別変化について見る。

##### a) DOの月変化特性

まず、平均的な濃度と飽和溶存酸素濃度を比較すると、6月から8月にかけてはほぼ飽和溶存酸素濃度と一致しているが、9月では平均12ppm程度で、飽和溶存酸素量より4ppm程度高くなっており、過飽和状態であることが分かる。このことは、植物プランクトンの活動が9月に活発に行われたことを意味していると考えられる。

##### b) 水温（気温）

水温に関しては、6月が最も低く20~22℃で、8月が最も高く28~32℃である。湖山池のアオコの主成分である藍藻類のミクロキスティスは25℃以上で繁殖することから、水温のみを考えると7月および8月で植物プランクトンによる光合成によって過飽和状態が出現すると考えられる。しかしながら、上述したDOの観測値からはそのような傾向は見られず、何らかの要因によって植物プランクトンの成長が抑制されていたものと推定される。

##### c) 降水量

調査期間中にまとまった雨はほとんどなかったが、7月（Case2）の7/21に警報がでる程の雨が降った。その日のDOの値に変化は見られなかったが、翌日の7/22のDOと濁度の値が高くなっている。したがって、降水による一時的な流入栄養塩の増加の影響は、翌日の濁度（植

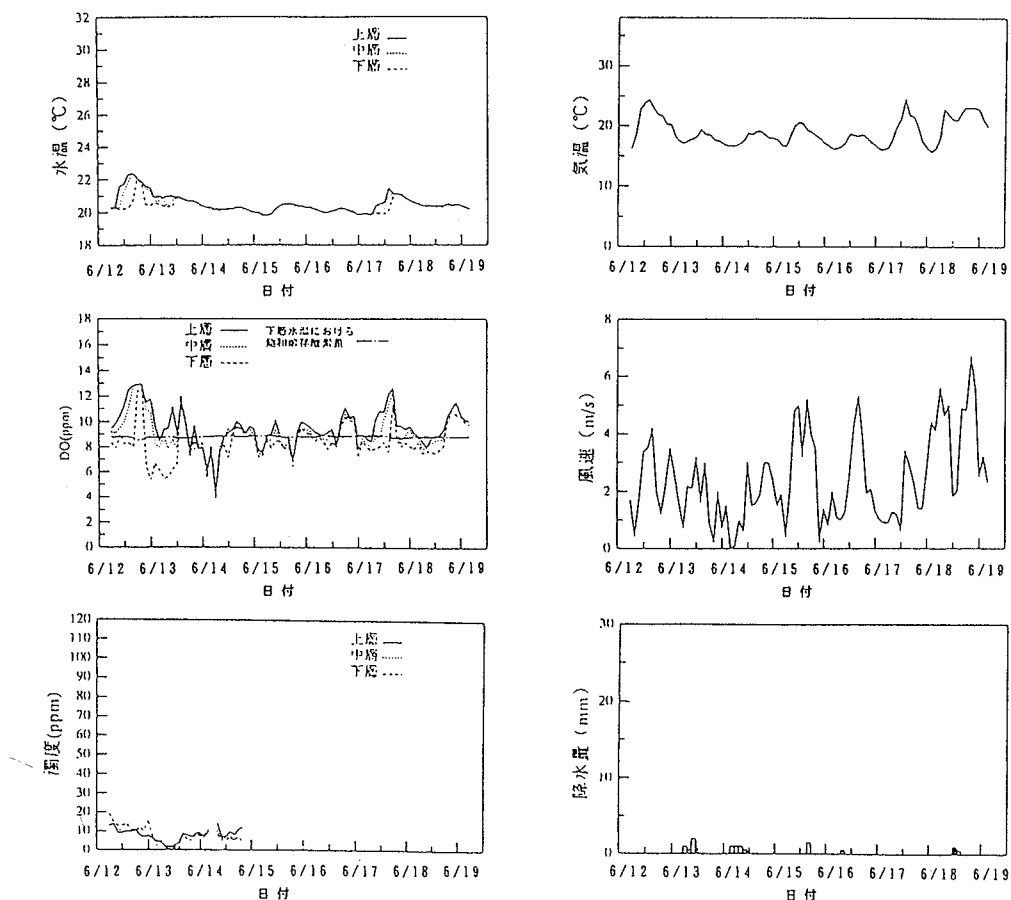


図-2(a) Case1における観測結果および気象状況

物プランクトン量)の一時的な増加に影響を及ぼし、その結果としてDOの値が高くなる傾向にあるように思われる。

#### d) 風速

風速についてみると、6月(Case1)では平均風速2.5 m/s、7月(Case2)では3.2 m/s、8月(Case3)では3.0 m/s、9月(Case4)では2.3 m/sであり、月別変化はあまり見られないが、7月は平均風速5.0 m/sを越える日が他の月に比べるとやや多い。また、全体的傾向としては、風速の大きい時に上層と下層のDOの値が一樣化する傾向が見られる。

#### e) 日照時間

日照時間は、Case1では平均時間1.2h、case2では2.3h、

case3では5.8h、case4では2.4hであった。最も平均日照時間の高いCase3では、水温も高く、植物プランクトンの活発な活動で酸素上昇が予想されるが、上述したようにそのような傾向は見られなかった。

#### (2) DOの日変化特性

まず、全体的な日変化特性について見ると、朝方から昼にかけて上昇し、ピークを迎えた後下降し、朝方からまた上昇する様な傾向が見られる。通常DOの値は、日中に湖水中の植物プランクトンが光合成して酸素を供給するために高くなり、夕方から夜にかけて植物プランクトンの呼吸やデトリタスの分解による酸素の消費で低下すると予想されるが、湖山池においてもこの傾向が

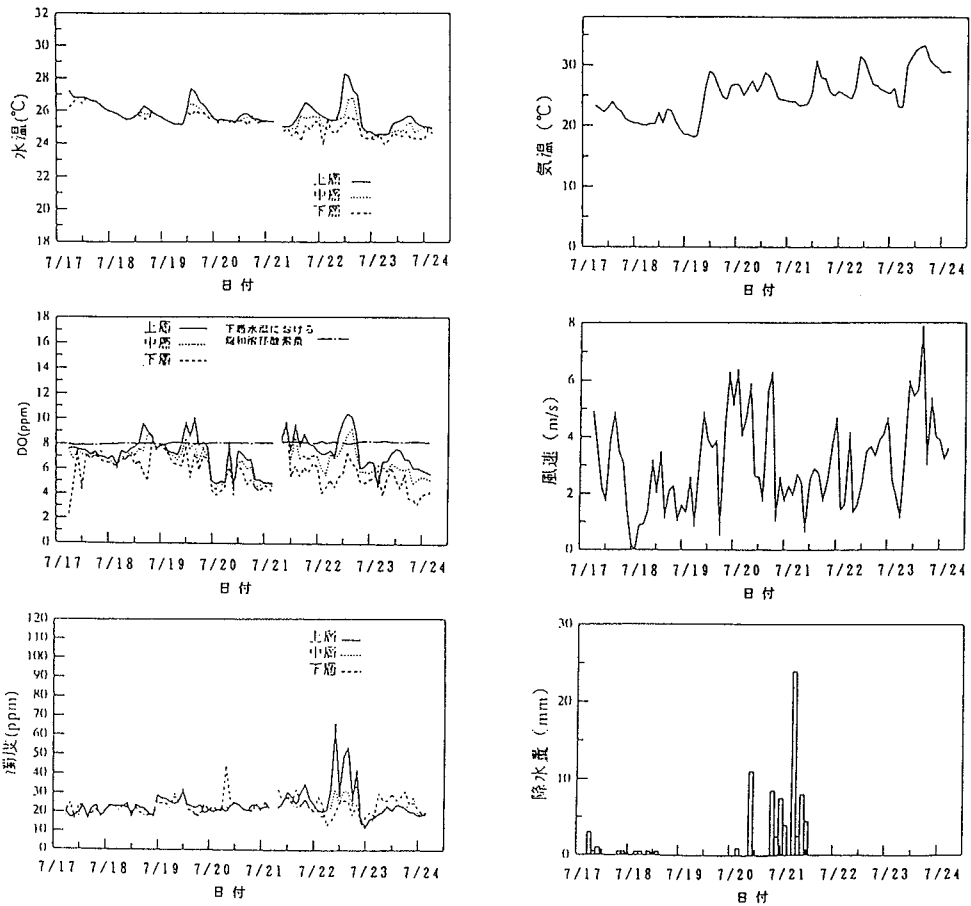


図-2(b) Case2における観測結果および気象状況

顕著に見られる。

つぎに、上層と下層の変化を比較してみると、水温が上層と下層で温度差が見られるいわゆる温度成層が見られる期間で、下層の濃度が低下し、上層との濃度差が出現している。このことは、溶存酸素濃度に鉛直分布が生じていることを現している。通常下層では酸素供給より酸素消費の方が支配的であり、低下傾向を示すと考えられるが、流れによる移流拡散等で濃度は回復する。しかしながら、温度成層が出現するという事は、湖水中の水の循環が少ないことを意味しており、流れによる移流拡散の影響が少ないため、溶存酸素量が低下しているものと推測される。一方、風がある程度吹き続け、湖水中の流れが生じてくると濃度分布は一様化に向かい、下層と

上層の濃度が一樣になることがわかる。

すなわち、夏期の湖山池の溶存酸素の鉛直分布に対しては、風による移流拡散の影響が非常に大きく、低泥からの栄養塩溶出に悪影響を及ぼす貧酸素現象の出現に対しては、この風況との関係を把握することが重要であると考えられる。そこで、溶存酸素濃度と風速の関係についてつぎに検討する。

#### 4. 2 溶存酸素量と風速に関する考察

まず、各Caseごとに上層と下層のDOの差と風速の関係を図-3(a)~図-3(d)に示す。図中DOは上層が高い場合に正となるように示している。また、上層と下層のDO差が急激に少なくなると(一様化)と考えられる所

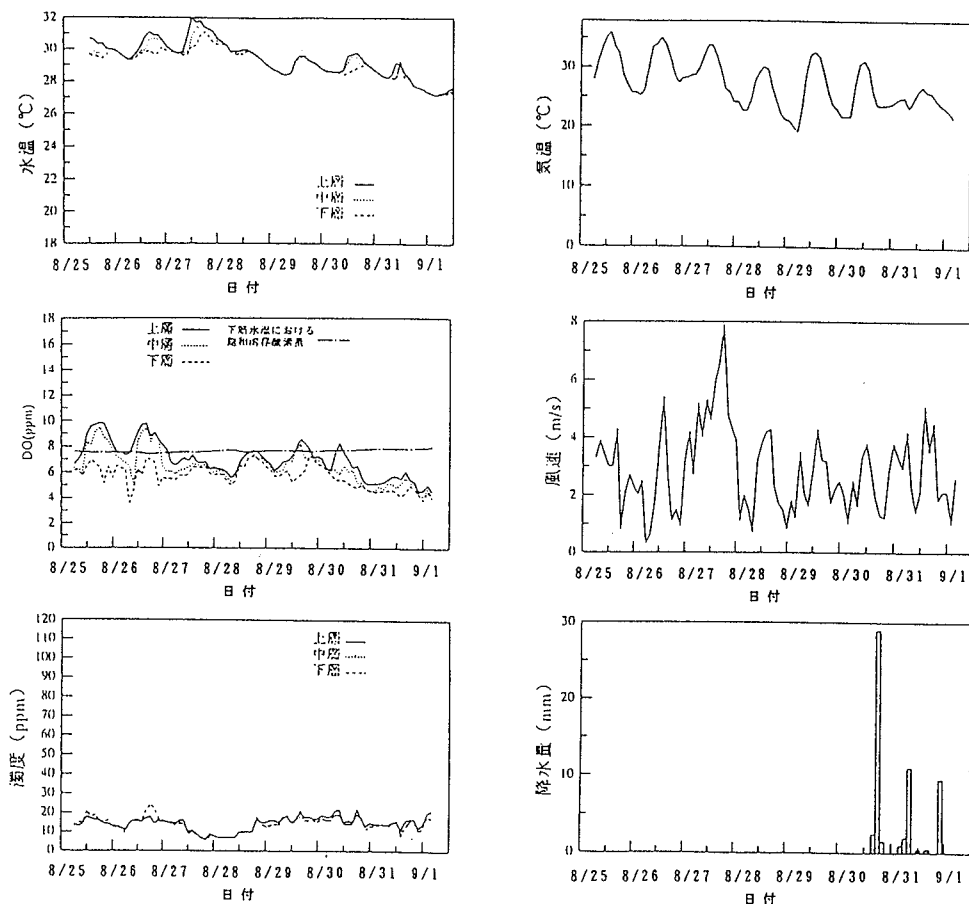


図-2(c) Case3における観測結果および気象状況

を矢印で示してある。この図を見ると、ばらつきはあるものの、風速が約3.0m/s以上になると濃度が一様化されている傾向が見られる。さらに、図中には上層と下層の水温差も同時に示しているが、DOと同様な傾向が見られる。

#### 4. 3 湖山池における無風状態での溶存酸素変動特性と貧酸素現象の出現の可能性

上述したように、湖山池の溶存酸素の変動特性は風による流れによって大きく影響されることが明らかとなったが、したがって、風速約3.0m/s以下の状態をピックアップして検討すれば、流れによる移流拡散の影響を除いた湖山池での溶存酸素の挙動について検討することが可

能だと思われる。

そこで、風速3.0m/s以下（以下無風状態と呼ぶ）の時間帯で2時間毎の濃度変化率を調査したものが表-6および表-7である。なお、表中の昼と夜は以下の時間帯で区別した。

昼：6:00～18:00 夜：18:00～6:00

##### a) 上層における変動率

表-6に上層における無風状態での変動率の平均値を示しているが、昼は平均的に0.1～0.2ppm/時間の濃度上昇、夜は0.1～0.2ppmの濃度低下が生じていることが分かる。このことは、夏期における湖山池の植物プランクトンの活動によるものと考えられ、この値は日変動に換算して2～4ppmの変動を示すことを意味している。

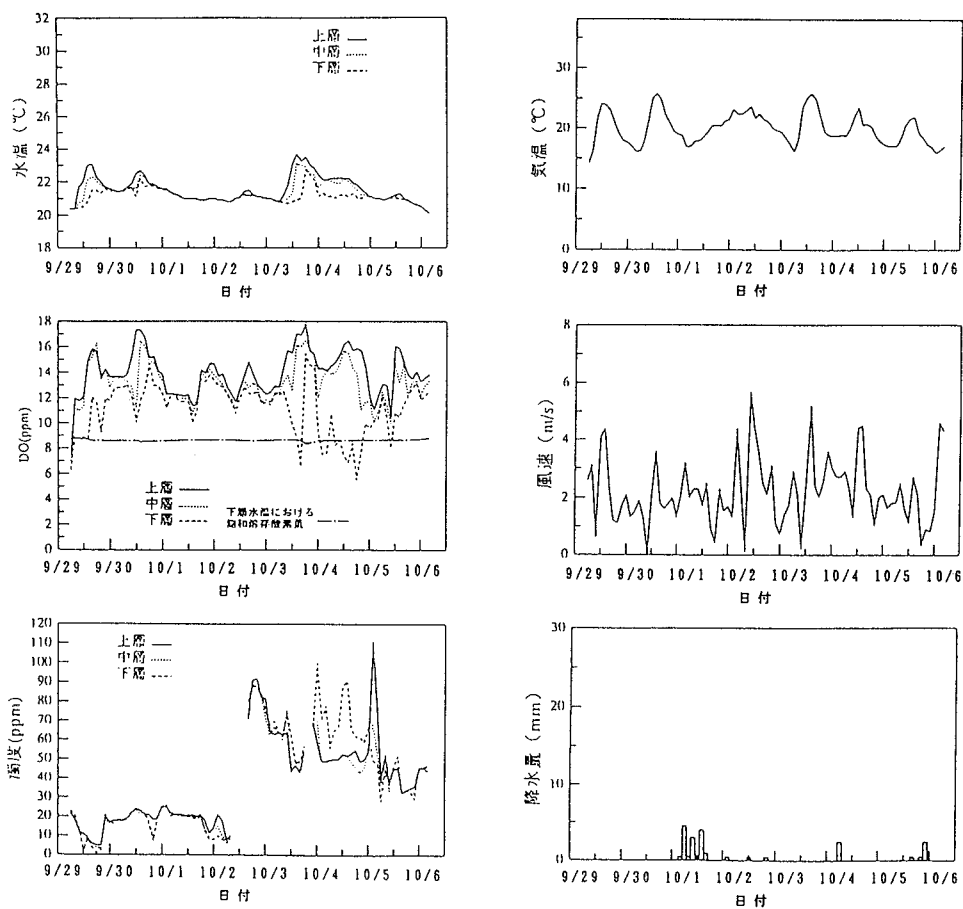


図-2(d) Case4における観測結果および気象状況

## b) 下層における変動率

表-7は下層における無風状態での変動率の平均値を示したものであるが、9月(Case4)を除いて昼夜とも低下傾向を示している。昼に下降するということは、アオコ等の発生によって下層での光度が低下し、その結果光合成速度の低下による酸素の供給量の低下が原因しているものと推定される。また、この現象は、無風状態が長時間続くと下層の溶存酸素量が低下していくことを表しており、例えば8月(case3)の場合、1日で3.6ppmの濃度低下が生じることになる。したがって、幸いにも観測期間内で無風状態が長時間継続することがなかったために貧溶存酸素状態は現れなかったが、2~3日程度無風状態が継続すると貧酸素状態が出現する可能性があること

が分かる。

## 5. おわりに

本研究では、湖山池における底泥からの栄養塩特に無機リンの溶出速度に大きく影響を及ぼす溶存酸素(DO)の特性について1995年の夏期に現地観測を行いその特性等を検討した。得られた結果を要約すると以下のようである。

1) 全体的なDO値の時間的変化については、朝方から正午にかけて上昇し、ピークを迎えた後、夜にかけて下降する日変化が見られる。

表-2 Case1における気象状況

日付	平均気温 (°C)	平均風速 (m/s)	降雨量 (mm)	日照時間 (h)
6月12日	20.3	1.9	-	1.3
13日	17.9	2.0	7.0	-
14日	17.9	1.8	5.5	-
15日	18.5	2.9	1.5	1.9
16日	17.5	2.3	2.5	-
17日	18.9	1.7	-	2.6
18日	20.8	4.3	3.5	0.4
19日	22.1	2.7	11.5	3.5

表-4 Case3における気象状況

日付	平均気温 (°C)	平均風速 (m/s)	降雨量 (mm)	日照時間 (h)
8月25日	30.5	3.1	-	9.7
26日	29.8	2.4	-	10.5
27日	29.4	5.2	-	2.5
28日	25.3	2.5	0.5	9.3
29日	25.9	2.4	-	9.1
30日	25.3	2.6	37.5	1.3
31日	24.9	2.8	45.5	0.3
9月1日	24.1	6.7	-	3.8

表-3 Case2における気象状況

日付	平均気温 (°C)	平均風速 (m/s)	降雨量 (mm)	日照時間 (h)
7月17日	22.8	2.7	49.5	-
18日	20.7	1.4	4.5	0.4
19日	23.8	3.0	-	2.9
20日	26.4	3.9	39.0	0.4
21日	25.6	2.5	75.0	2.2
22日	26.9	3.2	1.0	3.2
23日	29.2	4.2	-	4.1
24日	30.7	4.3	-	5.0

表-5 Case4における気象状況

日付	平均気温 (°C)	平均風速 (m/s)	降雨量 (mm)	日照時間 (h)
9月29日	19.0	2.2	-	5.2
30日	20.3	1.9	-	3.1
10月1日	19.2	1.8	24.0	-
2日	21.8	2.6	6.0	0.2
3日	20.8	2.2	-	10.5
4日	19.8	2.4	4.5	-
5日	18.5	1.7	5.5	-
6日	16.3	3.6	-	4.2

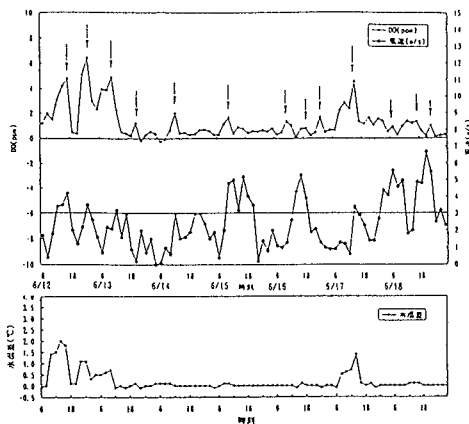


図-3(a) Case1の上下層のDO差、水温差と風速

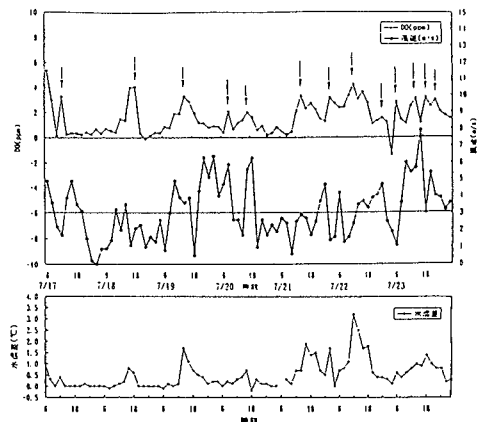


図-3(b) Case2の上下層のDO差、水温差と風速



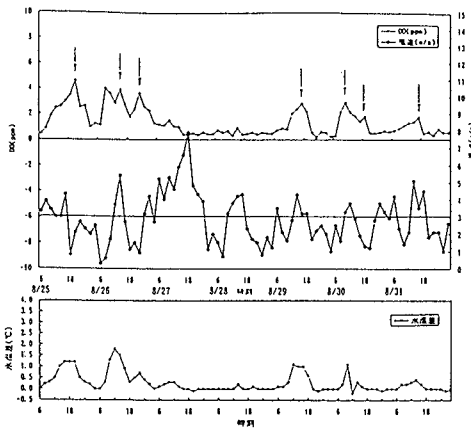


図-3(c) Case3の上下層のD0差、水温差と風速

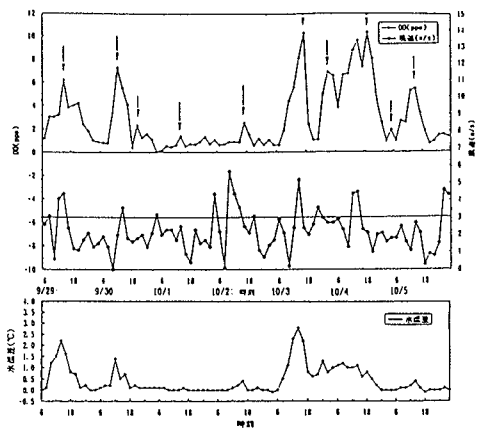


図-3(d) Case4の上下層のD0差、水温差と風速

表-6 上層におけるD0値の平均値と平均変動率

	平均値 (ppm)	平均変動率 (ppm/h)
Case 1	9.01	0.16
Case 2	8.05	0.20
Case 3	6.91	0.04
Case 4	14.32	0.15

(a) 昼

表-7 下層におけるD0値の平均値と平均変動率

	平均値 (ppm)	平均変動率 (ppm/h)
Case 1	7.94	0.09
Case 2	6.00	-0.13
Case 3	5.31	-0.17
Case 4	11.20	0.02

(a) 昼

	平均値 (ppm)	平均変動率 (ppm/h)
Case 1	9.10	-0.18
Case 2	6.83	-0.06
Case 3	6.95	-0.16
Case 4	13.92	-0.18

(b) 夜

	平均値 (ppm)	平均変動率 (ppm/h)
Case 1	8.08	-0.28
Case 2	5.80	-0.04
Case 3	5.83	-0.13
Case 4	11.70	0.11

(b) 夜

2) 上層と下層の濃度差が出現する期間は、水温成層の形成時期とよく一致しており、流れによる移流拡散の影響が大きいことが分かった。また、風による流れによって濃度が一樣になる限界の風速は約3.0m/s程度であった。3) 風速3m/s未満の状態を無風状態と見なし、上層と下層、昼と夜に分けて溶存酸素濃度の平均変動率について調査した結果、上層においては植物プランクトンの光合成と呼吸の影響を受けて、昼上昇し、夜下降する傾向が

あることが明らかとなった。この影響で全体的な日変動が生じているものと考えられる。

一方、下層では、昼でも濃度が下降するという現象が見られ、全体的に1日で約3ppm程度の濃度低下が生じることが明らかとなった。その結果、無風状態が2~3日継続すると底層で嫌気状態が発生する可能性があり、水質悪化の原因となる恐れがあることが判明した。

湖山池のアオコの発生状況は、年々変化しており、特に季節変化が顕著であるが、その原因がこの無風状態の出現による底泥からの栄養塩溶出量の急激な増加に起因することも考えられる。したがって、今後、湖山池のアオコの発生原因について検討する場合、風況の状態と湖山池の水質との関連性についても検討する必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 道上ら：植物を利用した湖山池の浄化研究、平成4、5年度河川整備基金助成事業報告書、1994.
- 2) 細見正明・須藤隆一：湖沼底泥からのリン溶出モデルに関する研究、Proc. of Environ., & Sani. Eng. Research, Vol.23, pp. 15-28, 1987.
- 3) 道上正規・檜谷治：湖山池の水質特性とアオコの発生、鳥取大学工学部研究報告、第24巻、第1号、pp.153-162、1993.