

TB-665nm吸収及び、pH-ORPから見た 小野川湖の水質特性の検討

Characteristics of Water Quality Conditions Related with
TB-665nm abs. and pH-ORP in Lake Onogawa.

塩月宏治*, 木村喜代治**, 長林久夫***

By Koji SHIOTSUKI, Kiyoji KIMURA and Hisao NAGABAYASHI

This paper describes the relationship of the characteristics of water temperature and the conditions of water qualities in Lake Onogawa. The field observation was conducted from August, 1991 to October, 1992. As the results of these observations, the relationship of turbidity (TB) to 665nm absorption and potential of hydrogen (pH) to oxidation reduction potential (ORP) are discussed.

Keywords: water quality, field measurement
thermal stratification

1. まえがき

湖沼は流水の停滞期間が長い閉鎖性水域である場合が多く、湖沼規模や形状及び流入、流出の状況によりその水理特性や水質諸量の特性は大きく異なっている。湖沼は水資源のみならず自然環境として近年、その重要性を高めている。本研究では福島県裏磐梯地区に位置する小野川湖の水理特性及び水質諸量の観測を1991年8月より行っている。計測は、島津理科器械社製CITS-P1008N 総合水質計による湖の最深部における50cm間隔ごとの水質項目である。その結果、TB(濁度)と665nm吸収およびpH(水素イオン濃度)とORP(酸化還元電位:単位mV)との間に強い相関関係が推定された。⁽¹⁾ 本論文では上記の測定に基づいて濁度と665nm吸収との関係の導き出し、湖内の植物性プランクトンの状況を検討している。

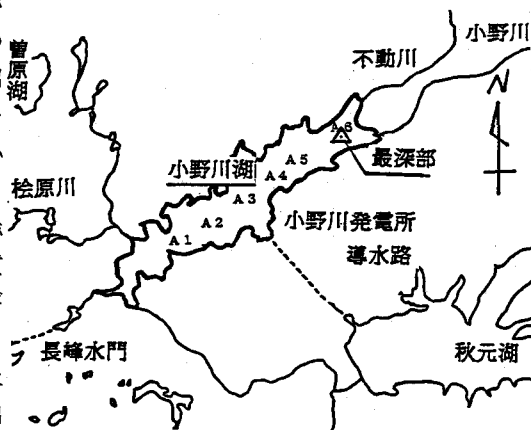


図-1 小野川湖概略図

* 学生会員 日本大学大学院工学研究科土木学専攻

** 正会員 工博 日本大学教授 工学部土木工学科 (〒963 福島県郡山市田村町徳定字中川原1)

*** 正会員 工修 日本大学助教授 同上

またpHと ORPとの関係から水温構造に対応する ORPの変化特性を考察している。

2. 小野川湖諸元及び水質特性

小野川湖は磐梯朝日国立公園内に位置し水面標高797m, 長さ 3.0km, 幅 0.9km, 水面積1.4 km², 最大水深 22m, 全貯水量1364万 m³で磐梯山の火山活動の泥流により形成されたせき止め湖である。図-1に小野川湖の概略図を示す。小野川湖への主な流入口は北東部に位置する小野川, 不動川, 南西部に位置し松原湖から流入する松原川と剣ヶ峰水路である。

また流出口は下流の秋元湖との落差を利用した小野川発電所に通じる導水路と長瀬川への放水路である。

この湖は貯水池容量に対して流入量が多い「流れダム湖・混合型貯水池」に分類される。

ここで小野川湖の最深部における水質諸量の経旬変化図を図-2から図-6に示す。図-2に見られる様に小野川湖は夏期には明瞭な水温成層が形成され、躍層下端より湖底部までの領域でDO値 0の無酸素状態になる。またそのときの ORP値は負値となり嫌気的な傾向を示す。水質諸量の変動の中には水温成層の進行とともに湖底側から値が急変するものが多い。

DO値は水温成層が崩壊する直前の10月初旬まで無酸素状態が拡大していき湖底から 10m付近まで達する。そして循環が始まるとともに無酸素状態が解消され11月初旬には湖底まで過飽和状態になる。EC（電気伝導率：単位 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）は 7月下旬から湖底側からの値の上昇が顕著にみられる。これは底泥からの栄養塩類等の溶出によると考えられる。pHは深度、日中の照度、気温等により異なる。

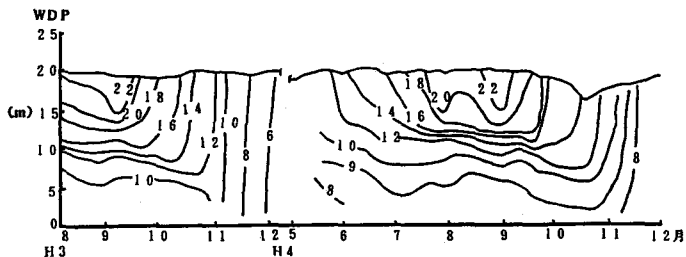


図-2 水温分布特性 (°C)

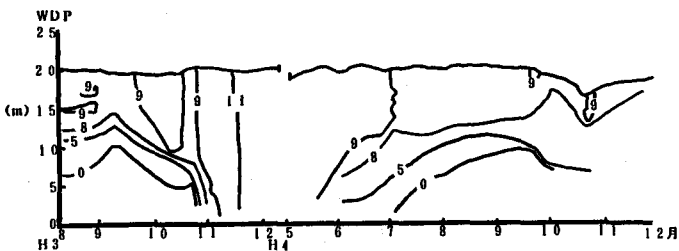


図-3 DO分布特性 (mg/l)

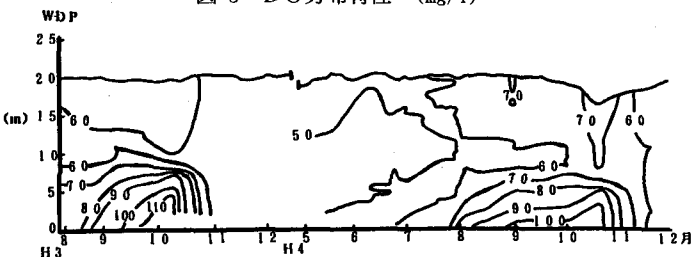


図-4 EC分布特性 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

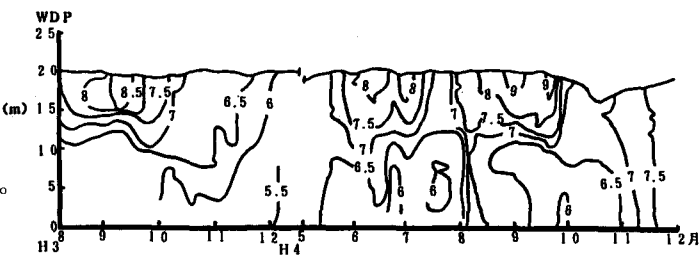


図-5 pH分布特性

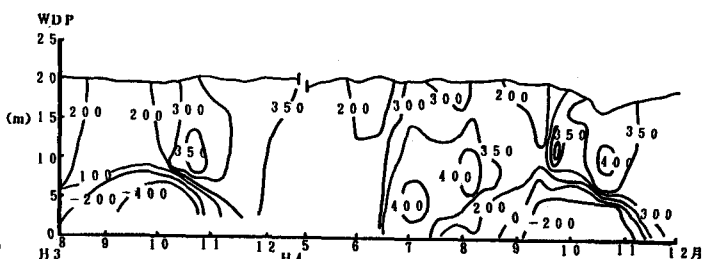


図-6 ORP分布特性 (mV)

植物性プランクトンによる光合成が行われると水中の二酸化炭素が消費され、それを補うために炭酸水素イオンと二酸化炭素の可逆反応が生じ水面付近でアルカリ傾向となる。湖底側では酸素が消費されて炭酸ガスが発生するのでpHは酸性傾向となる。pH、ORP及び EC は循環による水温成層が崩壊してから約半月後に最大値あるいは最小値をとりその後急激にその状態が解消される。

次に1992年 7月17日の小野川湖全域調査における濁度(TB)と 665nm吸収の水深方向における変化図を図-7に示す。測点は図-1に示す。(この場合においてA6は最深部である。)この論文における深度はすべて最深部における湖底からの距離で示す。図-7を比べるといずれも 16m付近から増加し始め 15m辺りで極大値をとり 12mより減少する。濁度は 10m以下になると 0~1.5 に低下している。また最深部においては湖底に向けてわずかながら上昇する。一方 665nm吸収はほぼ濁度と同様な変化をするが水深 10mから湖底に向けての増加が濁度と比べると明らかに大きい。このことからわかるように濁度と 665nm吸収の間には相関関係がみられるが、また他の傾向もあり本論文はこの関係を検討、考察するのを目的の一つとしている。

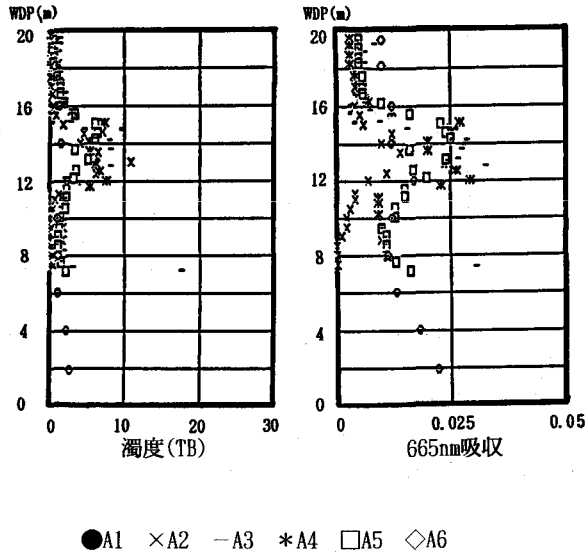


図-7 小野川湖全域測定 濁度, 665nm吸収 (1992年 7月17日)

3. 濁度及び 665nm吸収の特性

3.1 濁度及び 665nm吸収の関係の検討

濁度は透過光・散乱光測定法の 1つである積分球式によって測定された。この方法は溶液中の微小粒子の散乱光と透過光の比を濁度標準液(この場合 1ml中にカオリンが 0.1mg含まれた物を濁度 100とする。)の示す散乱光と透過光の比と比較して濁度を求める方法である。665nm 吸収は発光ダイオード方式により測定された。(665nm吸収の光の色としては赤色であり余色は青緑色である。)ポスターカラーで色付けた蒸留水の 665nm吸収と濁度の関係を図-8に示す。赤色の勾

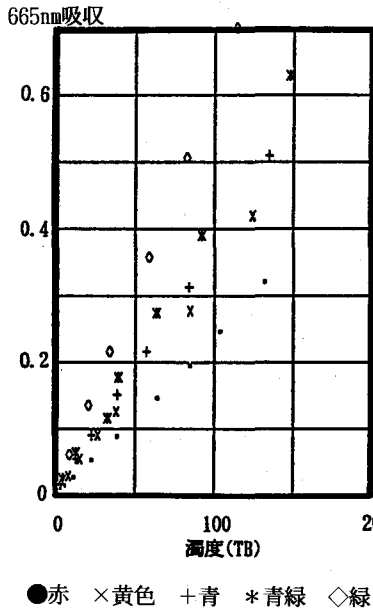


図-8 色による 665nm吸収及び濁度

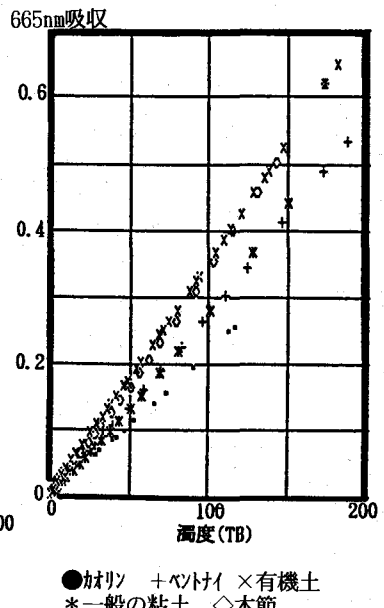


図-9 粘土による 665nm吸収及び濁度

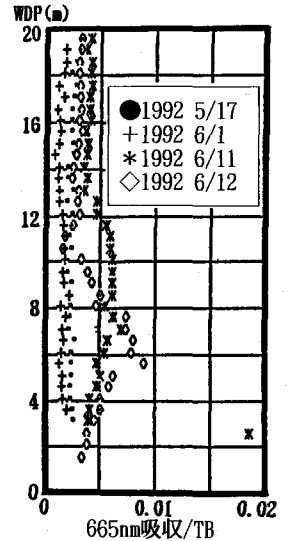
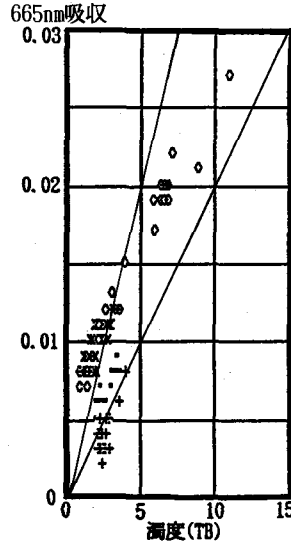
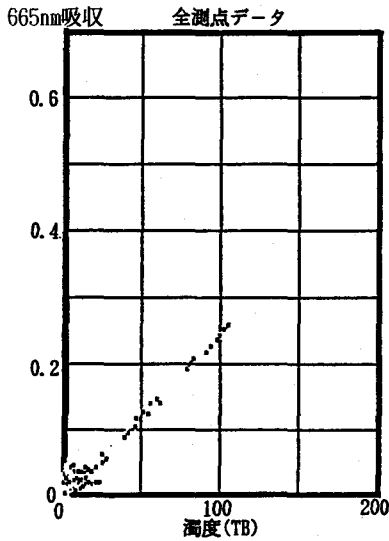


図-10 全測定データによる 665nm吸収及び濁度

図-11 受熱期における 665nm吸収、濁度、勾配

配(665nm吸収/TB)は0.0023, 黄色は0.0035, 青色は0.0043, 青緑色は0.0046, 緑色は0.0066, 黒色は無限大である。この結果より緑色ほど高い勾配となる。ここで数種類の粘土による 665nm吸収と濁度の関係を図-9に示す。カオリンは白色で勾配は0.0023, 一般の粘土は茶色で0.0029, ベントナイトは白緑色で0.0031, 木節は白茶色で0.0035, 有機土はふみん酸による黒色で0.0038である。粘土の場合, 成分の大部分は石英のような透明な粒子により構成されており黒色に近いものは勾配が大きくなる傾向があるが明確ではなかった。1991年及び1992年の小野川湖の全測定データから 665nm吸収とTBの関係を図-10に示す。これより小野川湖の濁度と 665nm吸収の勾配は0.0023の関係が有りカオリンとほぼ同値となる。この値は粘土による濁度と 665nm吸収の勾配の基本的関係であると思われる。これらのことより粘土を含む濁質による勾配は 0.002~0.004 でありそれ以上の値が得られた場合なんらかの植物性プランクトンの存在が推定されることとなる。

3.2 濁度及び 665nm吸収の観測結果の検討

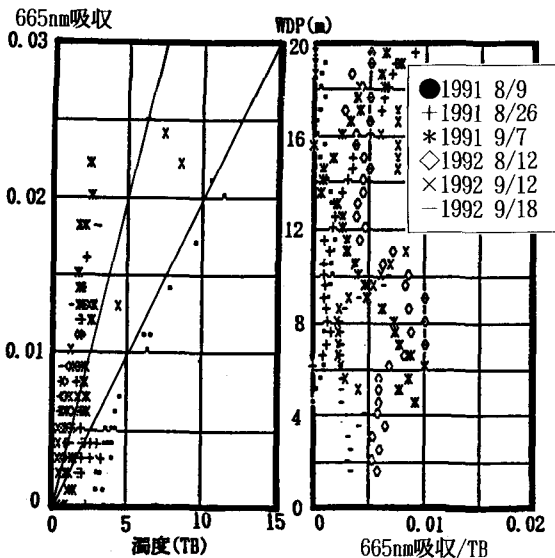


図-12 水温成層期における 665nm吸収、濁度、勾配

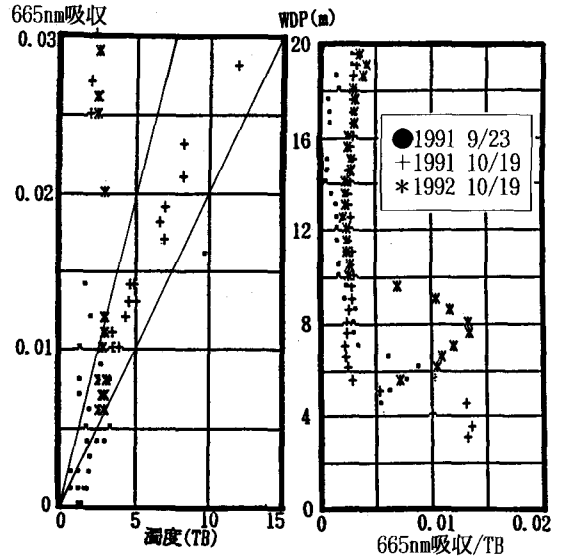


図-13 循環期における 665nm吸収、濁度、勾配

小野川湖の計測結果より1992年5/17, 6/1, 6/11, 6/22を受熱期, 1991年8/9, 8/26, 9/7, 1992年8/12, 9/12, 9/18を水温成層期, 1991年9/30, 10/19, 1992年 10/19を循環期とする。各時期の 665nm吸収と濁度及び水深と勾配(665nm吸収/TB)の関係を図-11, 12, 13 に示す。まず受熱期は濁度の低い領域を除いてはほぼ勾配が0.002 ~0.004 の粘土の関係を示す。水深と勾配(665nm吸収/TB)の関係をみてもほとんどが0.004 以下であるが1992年6/11は 10m付近で1992年6/22は6m付近で最大値をとっている。水温成層期においては1991年 8/9が基本値より小さめにでてるがその他はほぼ大きめの値になっている。中でも1991年 9/7と1992年9/12は 665nm吸収が極めて高い数値である。水深と勾配との図より 8月中旬から 9月中旬の値が水面近くの 20m付近と水温躍層部の 10m付近で高い数値を示してる。これより水面付近と水温躍層部の水深 10m付近における植物性プランクトンの存在が推定される。この時期は受熱期と比べると水面付近において植物性プランクトンの増加がみられ全体的に値の上昇がみられる。循環期においては1991年 10/19において基本値の勾配になる。水深と勾配との関係は湖底付近で急激に値が上昇している。これは植物性プランクトンの死滅物質が湖底に沈殿することによると思われる。

4. pH及びORP の特性

4.1 pH及びORP の相関特性

図-6の ORP分布特性に示したように, 7月の湖底側と11月の10m 地点では他の領域より高い400mV 程度のORP 値が出現している。ここでは室内実験によりpHとORP の関係を検討する。実験及び現地計測, とともにpH はガラス電極方式, ORPは白金電極方式により測定した。室内実験で使用した試液はナカライテスク株式会社製pH標準緩衝液pH9.18, 6.86, 4.01である。実験方法はpH4.01の試液にpH6.86の試液を徐々に添加していきpH6.86に近づいたらpH9.18の試液を加える。その実験を 2回行った。その実験の結果を図-14 に示す。

この結果より式(1) の関係式が得られ, pH6程度で ORP値程度で400mV 程度が示される。

$$ORP=-14.72(pH-6.5)^3+390 \tag{1}$$

(但しこの式はpH4.01~9.18までの実験式である。)

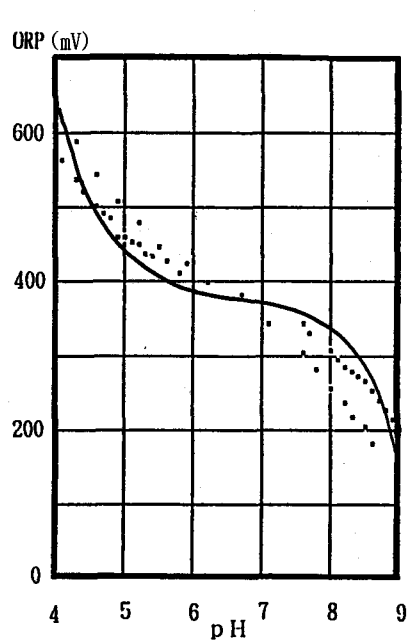


図-14 pH-ORP室内実験結果

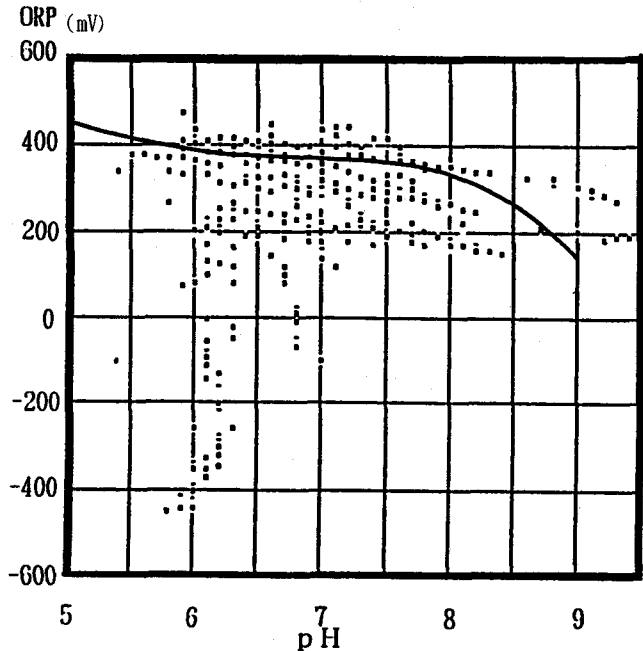
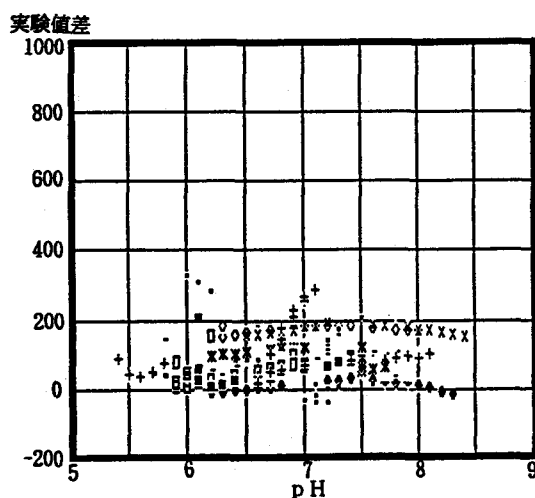
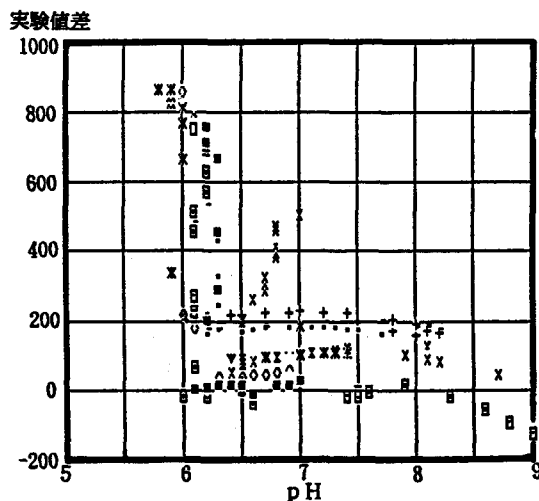


図-15 全測定データによるpH-ORPの関係



×1992 5/17 ◇1992 6/1 ×1992 6/11
 ~1992 6/22 ◆1992 7/2 □1992 7/17
 ■1992 7/28 ●1992 8/5 +1992 8/12

図-16 ORP実験値差（好氣的）



●1991 8/9 +1991 8/26 *1991 10/8
 ◇1991 10/19 ×1992 8/31 -1992 9/12
 ◆1992 9/30 □1992 9/18 ■1992 10/19

図-17 ORP実験値差（嫌氣的）

4.2 pH及びORP の観測結果の検討

1991年、1992年に行った小野川湖測定全データと(1)式の曲線を図-15に示す。(1)式と測定値との差を図-16、図-17に示す。図-16は湖全体が好氣的な状態の日、図-17は躍層下端から湖底までが嫌氣的な状態の日の全データをプロットした。この実験値差が大きいくほど、なんらかの要因でORP値が低下したことになる。両者とも湖底側が嫌氣的な状態になるまではいずれも0から200程度に分布している。好氣的な状態の時はほぼ実験値差は少なく、嫌氣的な状態の時は差が大きくなる。嫌氣的な状態になるのはpH5.5~7.0の時である。これは栄養分解層で酸素が消費され嫌氣的な状態となり炭酸ガスの発生により酸性となることで説明される。

5. まとめ

TBと665nm吸収の関係は測定する水の色、形状、成分によって大きく異なり小野川湖においては粘土物質による濁度成分と植物性プランクトンによる濁度成分とではTBと665nm吸収の関係が大きく異なることが明確となった。また水温成層の状況により植物性プランクトンの分布状況が推定された。受熱期は10mから5mの深度で割合多くみられ、水温成層期には湖全体、特に水面付近で増殖し、循環期には植物性プランクトンの死滅物質が湖底に沈殿してきていることが明瞭になった。pHとORPの関係は室内実験より(1)式が得られ小野川湖現地測定よりpH 5.5~7.0の間において嫌氣的な状態になることが明確となった。今後の課題としてはクロロフィルなどの値と比較して植物性プランクトンなどの増殖量との関係を求めることである。

本研究を行うにあたり日本大学工学部、高橋迪夫先生、中村玄正先生、松本順一郎先生には終始ご指導頂き厚くご御礼申し上げます。本研究は平成4年、5年日本大学研究助成金総合研究(D92-008, DA93-009:研究代表者、工学部、木村喜代治)の援助によるものである。本論文の公表にあたり小川記念基金の補助を受けた。記して謝意を表する。

〔参考文献〕

- (1) 長林：O湖における水温、水質諸量の空間分布特性に関する検討、第47回土木学会年講、PP. 1116-1117
- (2) 日本分析化学会北海道支部：水の分析、(株)化学同人、504P、第3版、1981年4月