

小野川湖における水温・水質諸量の 空間分布特性に関する現地観測

On the Spatial Structure of Thermal Stratification and
Water Quality Conditions in Lake Onogawa

長林 久夫* , 木村 喜代治** , 塩月 宏治***

By Hisao NAGABAYASHI, Kiyoji KIMURA and Koji SHIOTSUKI

This paper describes thermal stratification and distribution of water quality conditions in lake Onogawa. The water quality of 8 items was tested, Water Depth, Water Temperature, Turbidity, Electric Conductivity, potential of Hydrogen, Dissolved Oxygen, Oxidation-Reduction Potential and 665nm absorption. Measurement through all the area of the Lake were taken three times in thermal stratification season.

As the results of these observations, the spatial quality conditions are suggested.

Keywords : thermal stratification, water quality condition, field measurement

1. はじめに

湖沼・ダム湖等の閉鎖性水域における水質特性は集水域での負荷発生状況と流入、流出の形態及び湖沼水の成層化に伴う混合・循環の機構に依存しており、環境によりその特性を異にしている。数値モデル適用による浅水域および深水域における貯水池・湖沼の流れの解析も精度良く行われるようになり、また水質諸量の変化過程のシュミレーションも成果を得るようになった^{(1)・(2)}が、しかし水質特性は環境に強く依存いるために、より広範な観測資料との検証を必要としている。近年の計測機器の進歩により数種類の水質項目の迅速な計測が可能となり広域の水域においても詳細な観測が可能となった。本研究では水温成層の形成・崩壊に伴う水質特性の変化過程を検討する目的で、福島県裏磐梯地区の小野川湖を対象として水温・水質諸量の鉛直分布を観測している。これまでに小野川湖の最深部の定点における定期観測から、1991年 8月から12月までの放熱期と1992年 5月より 8月までの受熱期の特性を検討^{(3)・(4)}した。その結果、小野川湖は貯水池容量に対して流入量が多く、また湖沼水の交換率 π_2 ⁽⁵⁾が15程度と高く流れダム湖・混合型貯水池型に分類されるが、夏季に水温成層が形成されること、躍層下端より湖底部までの領域は停滞性が強くまた上層水と混合が少ないためにDO値はほぼ無酸素状態まで低下し、ORP 値も負値となり嫌気性に近い傾向を示すこと、そして循環による成層の崩壊に伴う下層部でのDO、ORP値は 9月下旬には改善されるが同地点のEC値

* 正会員 工修 日本大学助教授 工学部土木工学科
** 正会員 工博 日本大学教授 同 上
*** 学生会員 日本大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒963 福島県郡山市田村町徳定字中川原1)

はその間も増加を続け、ほぼ 2週間程度遅れて改善される。また成層形成期の湖底側ではpH値の低下によりORP 値が酸化傾向を強めるなど⁽⁶⁾ の興味ある結果を得た。本論文は比較的汚濁負荷量の少ない、山間地の湖沼における水温成層の変化の諸過程に伴う水質特性を把握するために調査地点を面的に配備して、受熱期から放熱期にかけての3時期における計測を行い、水質諸量の空間的特性を検討したものである。

2. 小野川湖全域調査

小野川湖は磐梯山噴火の泥流によるせき止め湖に分類され、長軸方向 3km、最大幅0.9km、最大水深22m、貯水池容量1364万 m^3 で南西から北東にかけての細長い湖である。

小野川湖への主要な流入は上流の松原湖からの剣ヶ峰水路からと小野川を中心とする周辺流域のものが年間同程度ある。また松原川は維持流量程度であり、松原湖から周辺の湖沼を通じて流入する。主要な流出は小野川発電所の取水口であり、秋元湖に流下する。また湖南西岸には長瀬川への放流ゲートが設置されている。調査地点及び等水深図

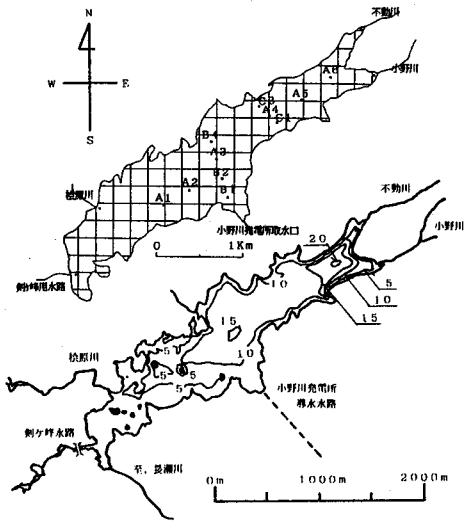


図-1 調査地点及び小野川湖概略図

を図-1に示す。A測線は剣ヶ峰水路を起点として小野川まで湖の長軸方向を6測点とし、B測線は発電所の取水口から4測点、C測線を3測点とした。A6測点是最深部であり、ここでは水温・水質諸量の定期観測を実施している。等水深図に見られるように南西部は水深5m以下で島や岬が多く複雑な地形をしており、剣ヶ峰水路の北東約1km地点には岩礁部があり、水位が低い場合には南岸に点在する幾つかの小島が陸続きとなる。この地点より北東に向かって深度を増しており、小野川発電所の取水口付近では10m以上の水深となっている。従ってA、B、Cの測線は深度10m以深に配置してある。これらの測点の他、剣ヶ峰水路、松原川、不動川、小野川の各河川流入部を含む計15測点で計測を行った。

測定は定期観測⁽³⁾、⁽⁴⁾と同様に、島津理科社製のCTIS-PI008N 総合水質計を用いて水深WD(m)、水温T(℃)、濁度TB、電気伝導度EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)、PH、溶存酸素DO(mg/ℓ)、酸化還元電位 ORP (mv)、665nm吸収(Abs)の8項目⁽³⁾である。水面下0.5mで5分間馴致させた後、50cm間隔に30秒計測を行っている。また全てのセンサーとの応答をとるために2mごとに3分計測を挿入している。

調査は7月17日、8月5日、9月12日に実施した。なお8月5日は上湖の松原湖、6日には下湖の秋元湖においても全域調査を実施している。対象期間における松原観測所の日平均気温および日降水量の変化特性を図-2に示す。7月17日は7月12日から前日まで通算104mmの降雨があり、特に7月14日には33mmを記録している。8月5日は晴天が続いており、松原湖からの流入がより卓越していた。

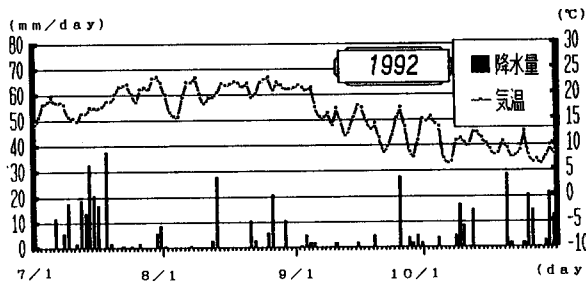


図-2 日平均気温、日降水量分布(松原観測所)

9月12日測定では9月10日に2mmの降雨があった。また過去3年間の7,8,9月における松原観測所の平均的風向は北東および南西から南南西にかけての湖の長軸方向の出現率が高い。

3. 水温成層の構造特性

最深部A6測点における、1992年 7月から10月までの受熱期中期から放熱期前期にかけての水温時系列を図-3に示す。この測定はアレック電子社 MDS-T水温記録計によった。測定深度は3m（以降-3m と記す）、-6m、-9m、-12m、-15m の5地点である。図より 7月中旬の-3m、-6m での水温差は小さく、気温の上昇と共に温度勾配が生じ 7月28日には約 3℃程度の温度差となる。8月初旬には気温低下による一時的な混合が確認される。9月初旬からは気温低下に伴う循環により両深度は同一の変化過程を示す。-9m は1次躍層と2次躍層との中間層⁽⁴⁾ であり、日周期の水温変化の変動幅が大きい。9月13日までは12℃から13℃のほぼ一定温度となっている。9月13日頃より上層との混合が進行して水温が一端上昇し、9月28日以降は上層から -9m地点までが同一の水温特性を示すようになる。-12m、-15m は測定期間中ほぼ 9℃から10℃の一樣温度であり、上層との混合は10月中旬以降になると推定される。これより全域調査を実施した 7月17日、8月 5日、9月12日はそれぞれ水温成層の形成期中期、成層の安定期および循環による上層域での成層の崩壊期にあたる。

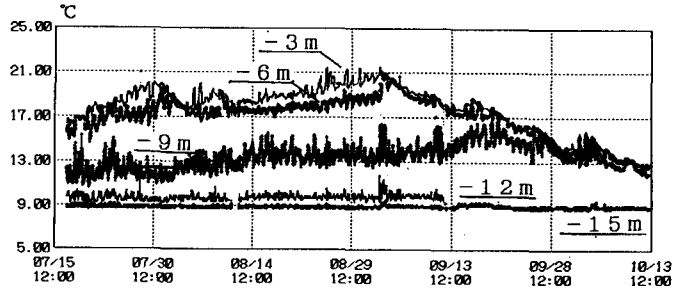


図-3 水温時系列変動特性（7月～10月）

4. 水質諸量の鉛直分布特性

A測線における 3時期の水温、DO値の鉛直分布特性を図-4に示す。水温特性は水面でほぼ20℃であり、-7mまでゆっくりと低下する。8月測定ではA1測点の水温が低く、松原湖からの流入水による影響がみられる。9月測定では図-3にみるように、気温低下による循環で-7m まで一樣温度となっている。-7m から-12mまでは急激な水温低下があり、温度躍層に相当する。しかし、その温度変化の勾配は比較的ゆるく、取水による 2次躍層を含む成層であることが確認される。-12m以深では 3時期ともほぼ 9℃程度の一様分布となる。DO特性は水面側で約 8程度、-8mから急激にDO値が減少し、湖底側では無酸素層が観察される。水温成層の形成とともに無酸素層は上層へと拡大し、9月測定では-10mまでとなる。

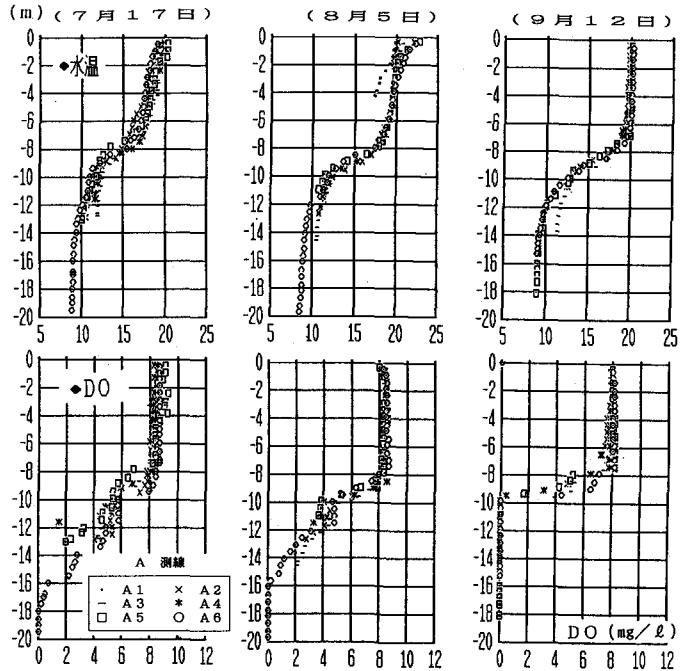


図-4 小野川湖全域測定 水温、DO 特性

-8mから急激にDO値が減少し、湖底側では無酸素層が観察される。水温成層の形成とともに無酸素層は上層へと拡大し、9月測定では-10mまでとなる。

水温、DO値の鉛直分布は水深が異なる測点においても、ほぼ同一状況となることから、流入、流出等の日オダ程度の循環による水平混合が寄与しているものと推定される。

ORP値、EC値の鉛直分布を図-5に示す。ORP値は水面より-10m地点に向かい漸増傾向を示し、湖底付近にて減少傾向となる。9月12日測定では湖底側の値は負領域まで減少し、還元傾向を示す。また測点による値の差異はあるものの、その分布傾向は同一測定日にはほぼ同様である。

EC値の分布特性は-10m付近が最も低く、その地点より湖底側へ増加傾向となり、また測定日の経過とともに増加することにより、底泥からの栄養塩類等の溶出による生物層との反応過程が推定される。

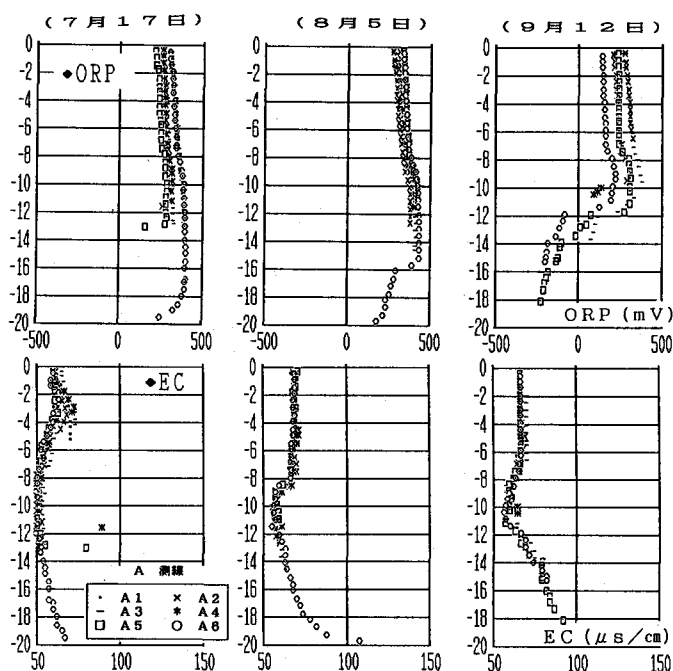


図-5 小野川湖全域測定 ORP, EC特性

5. 水質諸量の空間分布特性

水温, DO, ORP のA測線におけ

る縦断的な水質諸量の空間分布特性を図-6に示す。水深の縦断的变化は桧原湖からの流入効果が期待されるA1測点付近は浅瀬であり、A2 測点付近からは水深が 12m程度となっている。A4, A5 測線の間は平均水深14 m 程度である。A6測点是最深部であり、湖畔より急激に深くなっている。以下、項目ごとに説明する。

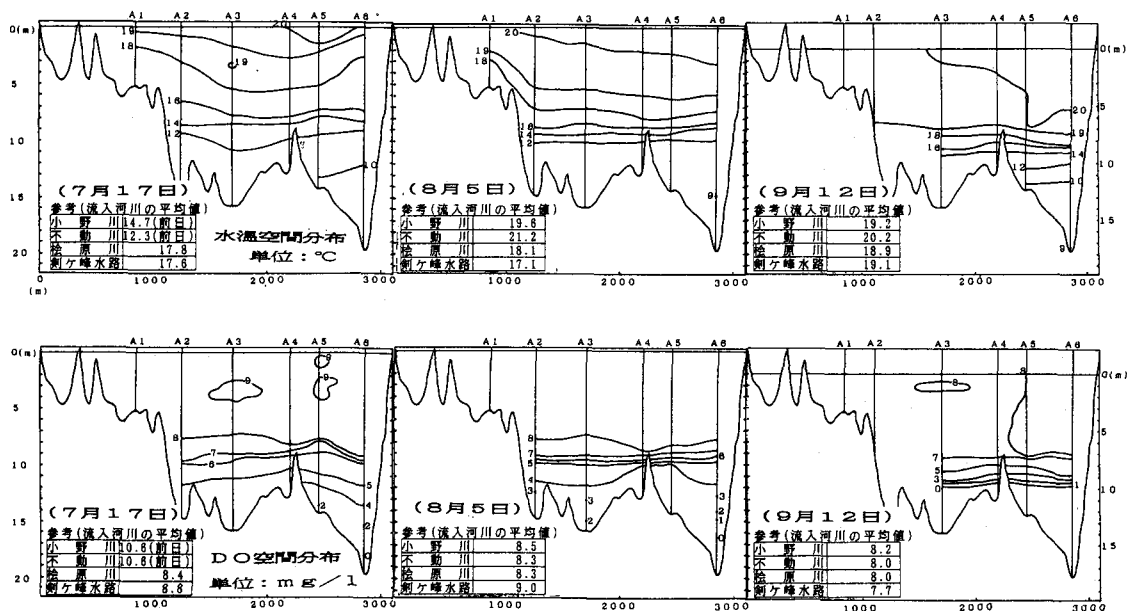
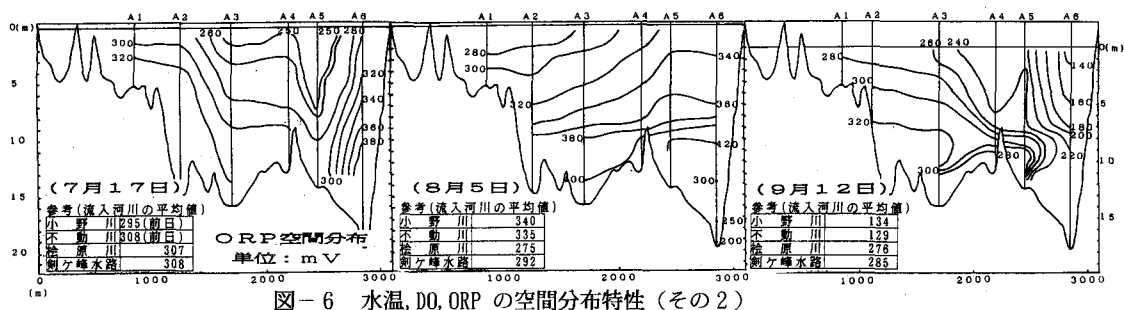


図-6 水温, DO, ORP の空間分布特性 (その1)

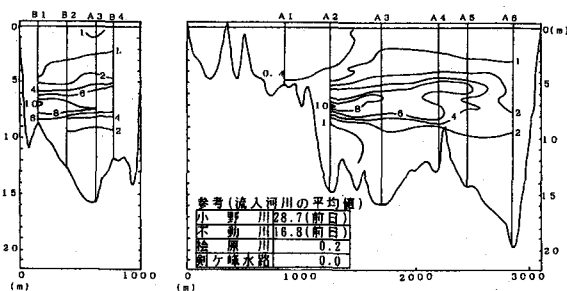


水温特性:7月17日測定は前日までの降雨の影響でかなりの流入出が見込まれる。河川からの流入水温は小野川が低く、水温の等温度線から推定して、松原湖は-5m程度、小野川は-8mを中心とする領域に河川水が流入している。8月5日測定では松原湖側が-8m、小野川は表層近くに、また9月12日測定では松原湖側がより下層に流入している様子がわかる。松原湖からの流入水の水温は、この3時期ほぼ一様であり、小野川流域は天候により変動している。流入特性は気象条件により異なるために、それによって湖沼の流動特性も決まることになる。下層側への流入水はほぼ躍層の上端部に流入しており、上層の流入水も温度に対応した密度層に流入することから成層時の水質特性を定める重要な因子である。9月12日測定は循環期初期であり、A5測線の上層まで小野川の流入による等温度線の歪みがみられる。

DO特性: 河川水の流入が見込まれる躍層上端のDO値はほぼ7から8程度であり、それより水面側ではほぼ同程度の値となる。成層化による流水の停滞による酸素消費によって-10mから湖底側に向かって急激なDO値の低下があり、9月測定ではA4, A6測点の湖底側に無酸素層が生ずる。しかし、DO値は深度に対応した値を示しており、水平方向への横断的な変化は小さい。

ORP特性: ORP値の特性はpH値との相関が強く⁽⁶⁾、アルカリ傾向では低く、酸性傾向で高くなる傾向がある。図より、流入河川による希釈効果の比較的小さいA3, A4付近の表層では、流入水よりも低いORP値となっている。これはプランクトンの光合成で水中のCO₂が減少し、HCO₃⁻の増加によるアルカリ化傾向によるものと推定される。7月測定で-10mより下層の栄養分解層では流入水より高いORP値が観測されており、還元傾向となる以前では酸素消費によるCO₂の発生により酸性化の進行があるためと考えられる。ORP特性は水温, DO特性に比較して生物層の影響が強く、局所的分布を示している。

濁度分布特性: 7月測定の濁度の縦横断面の空間分布特性を図-7に、そして-5m, -6m水深における水平分布特性を図-8に示す。小野川の濁度は降雨直後の前日測定では約20程度である。測定時のA6測点側の表層では濁度1から2であった。縦断的特性はA2, B1測点の-8m付近で濁度10と高く、発電所の取水口を中心とした分布を示している。平面分布特性からは深度に応じた状況が確認でき、濁質の流入による湖全域への拡散性は少なく、濁度の長期化傾向はみられない。



6. 流速分布特性

8月5日測定における流速分布特性を図-9に示す。測定は鶴見精機社製の超音波流向流速計ACIM-2によった。流入水の水温は松原湖からは約18℃、小野川は約20℃程度であり、小野川の流入がより上層に位置す

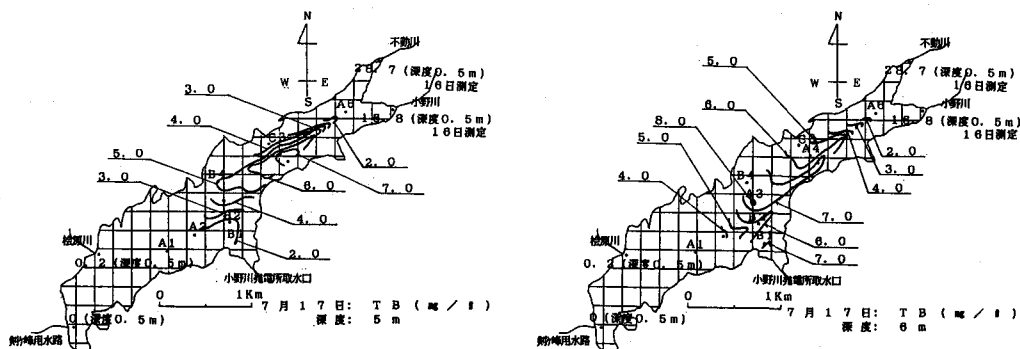


図-8 濁度水平分布特性

ることが水温空間分布より確認されている。流速ベクトルから表層近くの -2mでの分布ではA6測線側からの流入が、-6mでは松原湖側からの流入水の効果が確認され、水質諸量の空間分布特性と良く対応している。またA4地点の平均流速は4cm/sec 程度である。

7. おわりに

小野川湖における水温の成層化に伴う水質諸量の空間分布特性を受熱期から放熱期初期にかけての3時期に湖全域を対象として詳細に計測した。水深 10m以上を有する測点では水深が場所的に異なる状況においても水温、DOの鉛直分布特性は深度に対応した分布となるが、ORPのように生物の反応に基づく水質諸量は局所的分布傾向を示す。また小野川湖の流動状況は松原湖からの流入水温が比較的安定しているために、小野川の流入水温との関係によって変わることが結論づけられた。

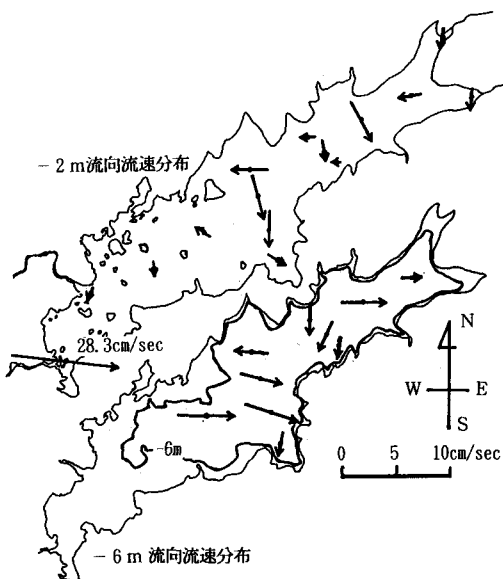


図-9 流向流速分布特性（8月5日）

本研究を行うにあたり、日本大学工学部教授中村玄正先生、松本順一郎先生にはご指導賜り、また資料提供にご協力頂いた福島県をはじめ関係官庁ならびに諸機関、現地観測やデータ整理に尽力頂いた卒業研究生の皆様方に厚く御礼申し上げます。

本研究は平成4.5 年度日本大学研究助成金総合研究（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、小川基金の援助を受けた記して感謝致します。

〔参考文献〕

- 1) 岸力他：比較河川学の研究，文部省科学研究費特定研究，昭和 59-61年度研究成果報告，昭和62年 3月
- 2) 道奥康治：停滞性水域内の鉛直混合機構と水温構造の解析に関する研究，大阪大学学位論文，1986. 6
- 3) 藤田，他：福島県裏磐梯地区の湖沼群における水温成層の機構と水質諸量の輸送に関する現地観測，水工学論文集，第36巻，1992年 2月，pp. 205-210
- 4) 長林，他：小野川湖における水温・水質特性に関する現地観測，日本大学工学部紀要，第34巻，1993年 4月，pp. 41-51
- 5) 例えば，高橋裕著：河川工学，東京大学出版会，pp. 92
- 6) 長林，他：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48回土木学会全国大会，pp. 1116-1117