

檜原湖における水温・水質諸量の時・空間的特性に関する現地観測

Field Measurements on the Periodic and Spacial Characteristics of
Thermal Structure and Water Quality in Lake Hibara

藤田 豊*・安田 禎輔**

By Yutaka FUJITA and Teisuke YASUDA

This paper describes thermal stratification and water quality conditions in Lake Hibara. The period of the field measurements is from May to December in 1992. This study particularly investigates the relation between the characteristics of thermal structure and turbidity, dissolved oxygen, and electric conductivity, respectively. The main remarkable conclusions are shown in the following.

This lake indicates that the inflow and outflow gave the influence on water quality and water conditions. The measurement over the lake shows that electric conductivity of southern area in the lake had a tendency to have higher value than that in any other area.

Keywords: thermal structure, water quality conditions, lake, field measurement

1. まえがき

近年、特に湖沼やダム湖などの閉鎖性水域における水環境問題に対する関心は高まっており、水資源の確保、また湖水景観の保護の必要性、それに生態系をも考え合わせた地域全体に対する自然保護などの湖沼等に対する価値の評価も大きく変化している。このことから、水質環境の保全を考える上で、湖沼の流動特性や自浄機構それに湖水の成層の発達・消滅などを継続的に調査し、水質などの鉛直分布状態を評価し、時空間的な流動特性などを水理学的に究明することは工学的な観点からも重要なことである。

著者らのグループは福島県の裏磐梯地区に連続して存在する檜原・小野川・秋元のそれぞれの湖沼に対してそれぞれ1991年8月からすでに調査を実施し、湖水の成層形成・発達・消滅機構等の流動特性を時空間的に現地観測によって調査し、それぞれの湖沼の特徴や一連の湖沼群としての共通性ならびに特異性などを明らかにするための調査研究を行ってきた^{1), 3)~5)}。本論文では特に、檜原湖を対象として1992年5月から1992年12月までの受熱期から放熱期にわたるほぼ一年間の定点観測の結果を基に成層形成水温成層の発達・消滅の経日的な変化過程とそれに伴う溶存酸素、電気伝導率等の水質諸量の鉛直分布の変化特性を検討すると共に、1992年8、9月に実施した湖の全水域にわたる多点観測結果を基に、水温、水質諸量の空間的な分布特性についても検討する。

* 正会員 工修 日本大学専任講師 工学部土木工学科 〒963 福島県郡山市田村町徳定字中河原1

** 正会員 工修 日本大学助教授 同上 同上

2. 檜原湖の概要

図-1には檜原湖の平面形状ならびに流入・流出河川などの地理状況を示す。本湖は裏磐梯水域の湖としては湛水面積が12.3 km²で最も広く、長さは約9 km、最大幅2.8 km、周囲4.3 km、満水位の標高822 m、全貯水容量約1億2700万m³の南北に細長い湖である。主な流入河川としては図-1に示すように南西部には雄国沼に水源を持つ雄子沢川、北東部には吾妻川、戸倉川、北部には長井川、大川、北西部には会津川などがある。流出部としては東側に狐鷹森水門、南西側に長峰水門から小野川湖へと2本の水路があり、現在は大部分の流出は主に長峰水門からの水路で行われている。また、湖周辺には東部や南部を中心として観光施設、キャンプ場などが密集し、定住人口もこの地域が最も多い。檜原湖は河川工学的にはダム貯水池に対する安芸・白砂らによる方法²⁾では湖水の年間交換率 π_1 すなわち貯水池総容量に対する年間総流入量の比から概算するとその値は1より多少大きめの値になり、 $\pi_1 < 10$ の場合に当たり、本湖は流水が停滞し勝ちな“成層型”の湖に分類される。ちなみに $\pi_1 > 20$ の場合は流水の作用が大きく池内の水温分布がほぼ一様となり“混合型”貯水池に分類される。なお、この調査地域での水の流れは、標高の高い檜原湖から小野川湖、秋元湖さらには長瀬川へ流下し、猪苗代湖へと注がれている。

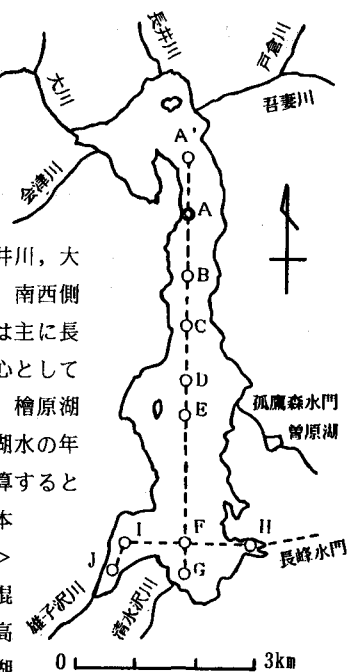


図-1 檜原湖および観測地点

3. 使用機器および観測方法

定点観測地点は、図-1中の◎印の点で示した最深部と思われるA地点である。また1992年8、9月に行った多点観測地点は図中(○印)を直線上で

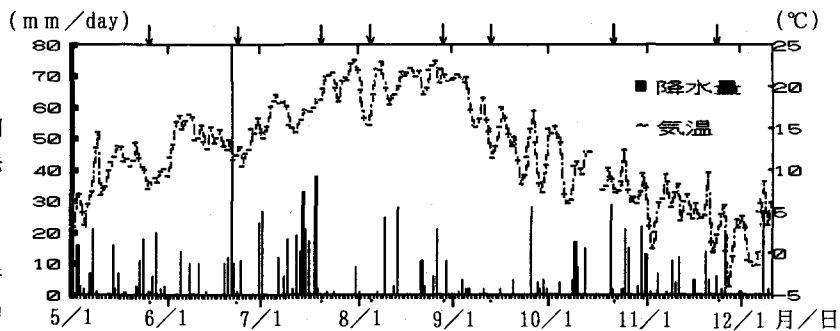


図-2 檜原観測所における日平均気温および日降水量

南北方向8点(A', A, B, C, D, E, F, G)それに雄子沢川の流入部から長峰水門流出口への東西方向にF点を含んで4点(H, F, I, J)の計11測点とした。使用機器としては島津理化社製の総合水質計を用いた。計測項目は水深(m)、水温(°C)、濁度(mg/l)、電気伝導率($\mu S/cm$)、pH値、溶存酸素(mg/l)、酸化還元電位(mV)、665吸光率(Abs)など8諸量である。観測方法としては、各測点での計測時間は時間短縮のために30秒間手動計測とした。またセンサーの応答上、補正および確認のため測点間隔を5 mとして3分間手動計測も併用した。また、湖全域の水温、水質の空間的な分布特性を調べるために図-1に示すように南北方向と東西方向で計11の観測点で同様な方法により同日の多点観測を実施した。

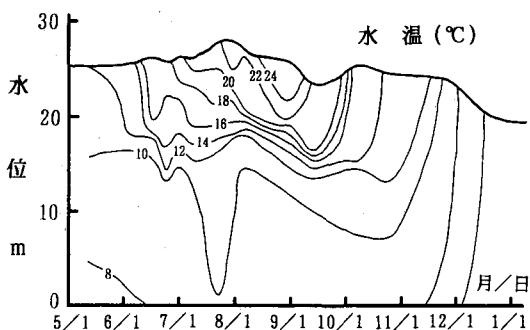


図-3 A点における水温の経日変化

4. 最深部の定点観測結果

図-2には1992年の観測期間中における檜原観測所で観測された日平均気温、日降水量の観測結果である。また図中の↓矢印は定点観測日を示す。図-3, 4は1992年5月から1992年12月までの最深部A点における水温ならびに溶存酸素の経日変化を示したものである。また図-5は水温の特性に対して同様に得られた電気伝導率ならびに濁度の鉛直分布の特性を示したものである。なお、それぞれ縦軸は最深部での湖底を基準として表した水位である。図-3より、春期から夏季にかけて気温の上昇に伴って水温も上昇し、弱いながらも成層形成が始まっていることがわかる。8月下旬までに徐々に成層が発達していく過程が認められる。これは春期から夏期にかけて気温の上昇と共に、太陽からのエネルギーにより湖水の表層部が徐々に暖められたためであり、しだいに温度勾配の大きい水温躍層が水深5m~12mまでの領域に形成されていくことが認められる。この躍層の発達によって表層部と深層部が遮断され、混合は表層部だけで行われ、深層部まで及ばなくなることが推測される。また躍層が9月中旬まで徐々に湖底方向に移動していくことも認められる。それ以降の水温分布については、秋期からの気温の低下、特に夜間の冷え込みなどによって水温成層は徐々に消滅し、11月の中旬には鉛直分布がほとんど一樣になっていくことがわかる。図-4より、溶存酸素濃度飽和百分率は水温成層の発達段階の8月上旬頃までには湖底方向に低下していくことがみられる。また成層が安定した8月上旬以降から躍層下端以深で溶存酸素濃度飽和百分率は急激に低下する傾向を示し、躍層が消滅する時期まで低下し続けていることがわかる。その結果として湖底部には無酸素に近い領域が10月以降11月まで存在することが認められる。酸素の供給は水面を通して大気からまたは流入水から行われることからこの時期に大量の降雨もなく、躍層の遮蔽の影響で躍層下端以深で徐々に酸素が消費され酸素不足の状態を形成するものと考えられる。図-5より、この成層形成期間中、全体的には濁度はほぼ2mg/l以下の一様な分布を示しているが、1992年6月23日の分布から水深9mに濁度4.2mg/lのピーク値が認められる。これは2日前の6月21日に82mmの多量の降雨による流入負荷に起因するものと考えられる。いずれにせよ6月23日の分布の場合のように多量の降雨があると躍層下端位置に濁度のピークが現れる傾向を示すことがわかった。以降の観測値からは濁度の鉛直分布は湖底部を除きほぼ一樣になっている。これは水温分布が一樣になった時期とほぼ一致している。しかし全体的には大きな流入河川がなく、濁質分の負荷量が極めて少なく2~5mg/lの範囲となっており、本湖の水域において連続して存在する小野川湖や濁度特性に特異な秋元湖に比べて濁度が最も小さいという特徴を持っていることが理解される。図-5における電気伝導率特性については、水深方向への変動はわずかながらあるものの、湖底部に向かうに従い増加傾向を示している。これは下層での栄養塩類の存在によるものと考えられるが、ここでは電気伝導率の指標は季節に関係なくほぼ一様な分布になっており、観測値は40

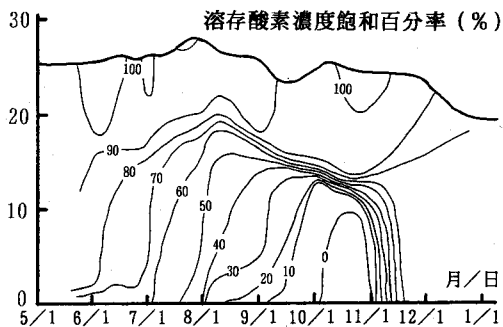


図-4 溶存酸素濃度飽和百分率の経日変化

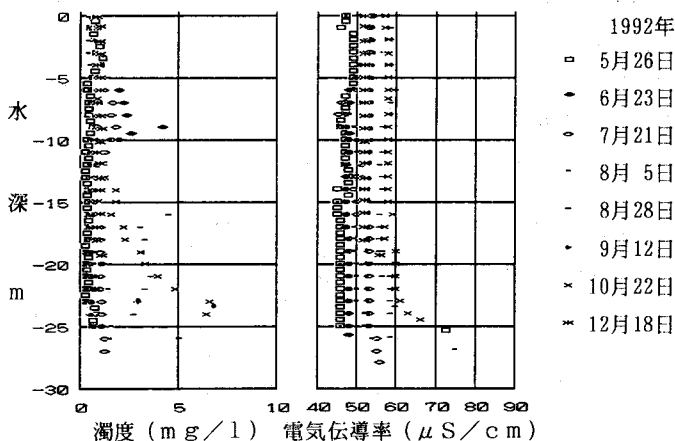


図-5 濁度および電気伝導率の鉛直分布

図-5より、この成層形成期間中、全体的には濁度はほぼ2mg/l以下の一様な分布を示しているが、1992年6月23日の分布から水深9mに濁度4.2mg/lのピーク値が認められる。これは2日前の6月21日に82mmの多量の降雨による流入負荷に起因するものと考えられる。いずれにせよ6月23日の分布の場合のように多量の降雨があると躍層下端位置に濁度のピークが現れる傾向を示すことがわかった。以降の観測値からは濁度の鉛直分布は湖底部を除きほぼ一樣になっている。これは水温分布が一樣になった時期とほぼ一致している。しかし全体的には大きな流入河川がなく、濁質分の負荷量が極めて少なく2~5mg/lの範囲となっており、本湖の水域において連続して存在する小野川湖や濁度特性に特異な秋元湖に比べて濁度が最も小さいという特徴を持っていることが理解される。図-5における電気伝導率特性については、水深方向への変動はわずかながらあるものの、湖底部に向かうに従い増加傾向を示している。これは下層での栄養塩類の存在によるものと考えられるが、ここでは電気伝導率の指標は季節に関係なくほぼ一様な分布になっており、観測値は40

～60 $\mu\text{s}/\text{cm}$ の範囲にある．このように湖底部における栄養塩類の存在による大きな値が確認される程度でこの期間の濁度，pH値，溶存酸素などの水質指標との相関は見られなかった．

5. 湖全水域の同日 多点観測結果

図-8, 7は1992年8月5日と9月12日に実施された湖の全水域にわたる同日の多点観測から得られた湖の縦断方向（南北方向）と横断方向（東西方向）の空間的な等水温線

図を示したものであり，図-8, 9はこれに対応した等溶存酸素飽和百分率線を示したものである．図-6, 7より，水温は水深方向だけではなく場所的にもほぼ類似した分布形状であるものと判断される．ただし，8月5日の線図から湖水の表層部で北部水域の方が南部水域よりわずかながら水温が高いことが認められる．これは観測時間のずれによって夏場の強い陽射しなどのため湖面が温められたことによるものと思われる．また特に8月5日の線図から等水温線が流出部

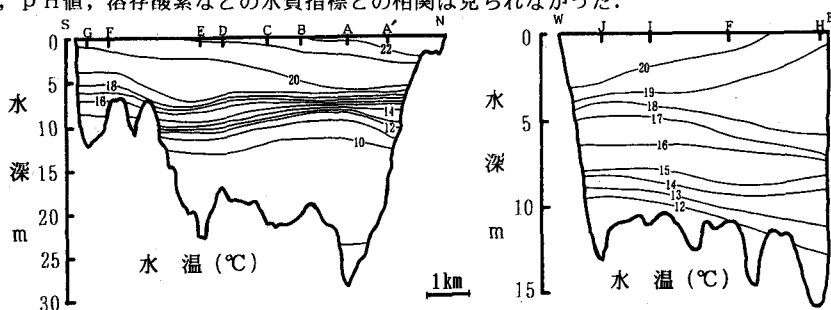


図-6 南北・東西方向の等水温線図 (1992.8.5)

図-6 水温の縦断・横断分布 (1992.8.5)

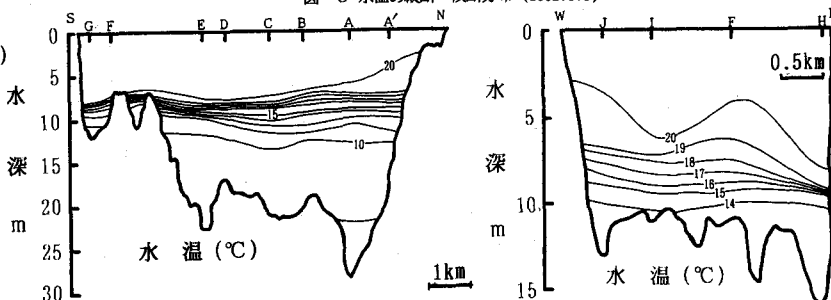


図-7 南北・東西方向の等水温線図 (1992.9.12)

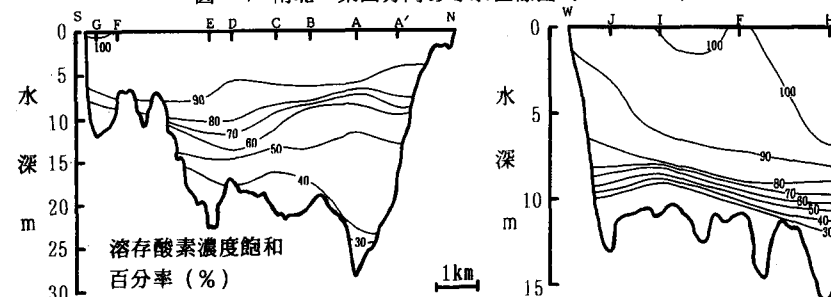


図-8 南北・東西方向の等溶存酸素濃度飽和百分率線図 (1992.8.5)

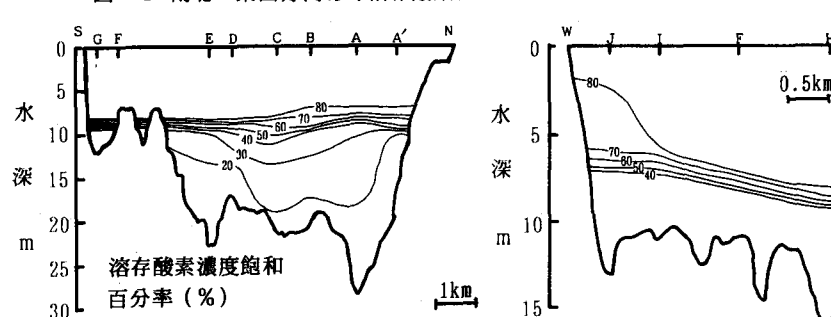


図-9 南北・東西方向の等溶存酸素濃度飽和百分率線図 (1992.9.12)

に向かって低下しているが，これは流出による引き込みによるものと思われる．図-8, 9より水温の分布特性に対応した溶存酸素飽和百分率は8月5日の線図では水温成層の発達段階であり，多少分布図の乱れはあるもののほぼ水温成層に対応した分布を呈している．一方，9月12日の線図では水温成層が最も明瞭に現れる時期に当たり8月5日のものよりかなり対応していることがわかった．図-10は1992年8月5

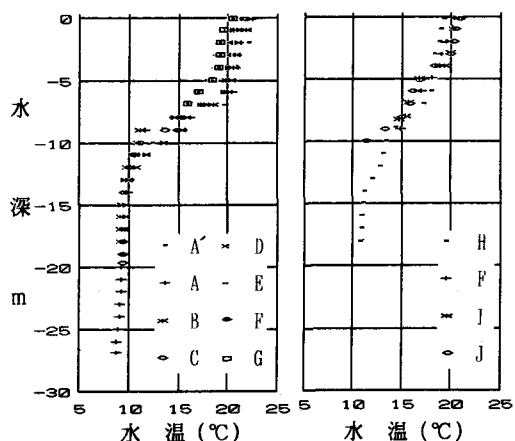


図-10 多点観測による水温鉛直分布 (1992.8.5)

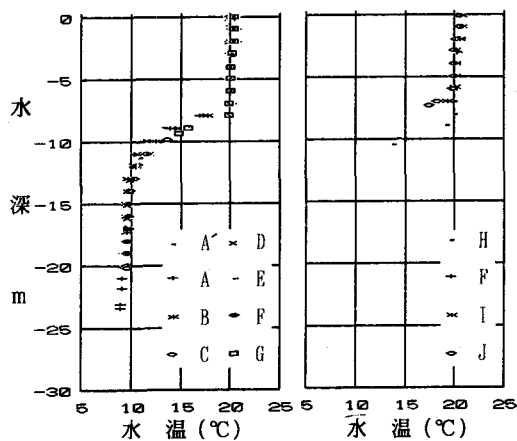


図-11 多点観測による水温鉛直分布 (1992.9.12)

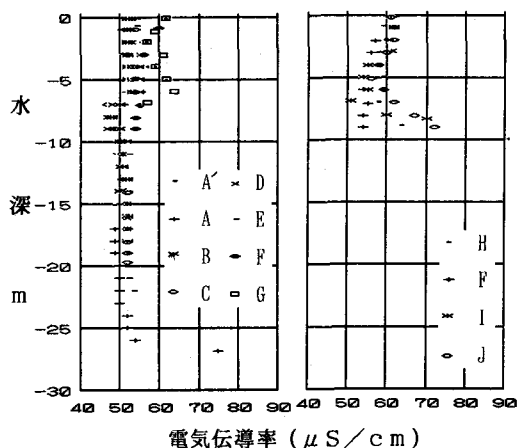


図-12 多点観測による電気伝導率分布 (1992.8.5)

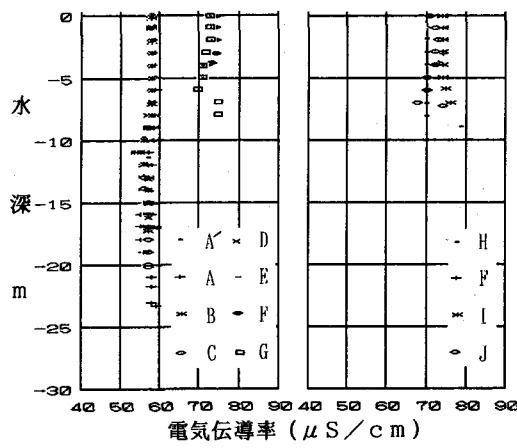


図-13 多点観測による電気伝導率分布 (1992.9.12)

日に得られたほぼ全水域の鉛直水温分布を示したものである。これより、南北線上のA', A, B, C, D, E点で水深5m~12mの位置に躍層が形成され、その分布はほぼ一致しているが、東西線上すなわち雄子沢川~長峰水門流出口間のH, F, I, J, G点での分布は南北線上の分布とは少し異にした形状を示している。これは、調査当日、長峰水門からかなりの流出があったことから流出の影響があったものと思われる。またJ点における水温分布においては水深10mで他の点の水温に比べるといくらか低い温度を示した。これは特に雄国沼に水源をもつ雄子沢川から比較的冷たい水温の流れがあり、その影響とも考えられる。図-11は1992年9月12日の多点観測の結果であり、8月5日の各点の分布に比べて表層部では若干水温が低めの値を示し、しかも水面から水深8m程度まで約20℃と一様分布になっているのが特徴的である。また、9月12日は水門からの流出はなく、このことからH, F, I, G点での水温成層の流出の影響による変形は確認されなかった。図-12は8月5日の各地点における電気伝導率分布を示したものである。これより、湖底部を除き、その値は45~60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあり、ほぼ一様な分布である。一方、図-13は9月12日の各地点における電気伝導率の鉛直分布を示したものであるが、これよりH, F, G, I, J点での値がその他の地点の観測結果より明らかに大きくなっていることが注目される。この指標は栄養塩類の存在を示すものであることから南部の水域は他の南北線上の地点より特異な水域と考えられるが、さら

に詳細に調査を重ねる必要があるように思われる。

5. まとめ

本論文は檜原湖を対象として成層形成、発達、消滅、それに伴う2, 3の水質諸量の経日変化特性について1992年5月から1992年12月の一年間にわたる定点での観測結果と新たに1992年8月, 9月に実施された多点観測結果を基に湖全域での空間的特性について検討したものであり, ここで得られたものをまとめると以下の通りである。

① 一年間に渡る最深部の定点観測の結果から檜原湖は9月上旬頃に最も強い水温成層が形成され, 秋季からの気温の低下に伴う湖水の冷却作用を受け, 徐々に成層が崩れ, 10月下旬から11月上旬には完全に水温成層が消滅し, 水温分布は一樣になることがわかった。また面的な多点観測結果から湖の南部水域で流入の影響を受けていることが認められた。

② 濁度の状態については多量の降雨があると濁質分は水温躍層下端に入り込み, 分布図上でピーク値を示すが, 河川が大きくないことや観測地点が流入部からかなり離れていることなど, 観測結果から流入河川による影響は見られなかったが, 湖周囲からの面的負荷流入によるものかと考えられる。

③ 電気伝導率については年間を通してほぼ一樣な傾向を示しているが, 湖底部に向かうに従い増加傾向を示している。これは湖底の栄養塩類の存在によるものと考えられる。また, 面的な観測結果から南部の水域では大きな値を示す傾向が認められた。

④ 溶存酸素濃度については, 水温成層期間中の成層の発達に伴い, 躍層の遮蔽効果が強まり, 表層部は飽和状態になっているが, 躍層下端以深では溶存酸素濃度は激減し, 最も強い成層形成がなされた時期には20mから湖底部までの範囲で無酸素状態になることが認められた。また成層の消滅に伴い, 徐々に酸素の供給が下層まで促進され, 完全に成層が消滅するとその溶存酸素濃度の傾向は水温分布と対応して一樣になることがわかった。

以上のことから今後さらに系統的に時空間的観測を重ね, 長期間にわたる水温分布特性とそれに伴う水質諸量から, 檜原湖の流動特性を明らかにし, この水域に連続して存在する小野川湖, 秋元湖との関連性やそれぞれの特異性についても整理していきたい。最後に, 本研究を行うに当たり, ご指導いただいた日本大学工学部の中村玄正教授, また資料の提供などのご協力いただいた関係機関, 現地観測や資料整理など協力いただいた日本大学工学部の卒研究生に感謝申し上げます。なお, 本研究は平成4, 5年度の日本大学研究助成金(代表者: 木村喜代治)の補助によって実施されたものであることを付記し, 感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 藤田・高橋・長林・安田・木村: 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, pp205~210, 1992.2.
- 2) 高橋 裕: 河川工学, 東京大学出版会, pp91~93
- 3) 長林・藤田・高橋・安田・木村: 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, pp41~51, 平成5年3月
- 4) 高橋・藤田・長林・安田・木村: 秋元湖における水温・水質特性に関する現地観測, 日本大学工学部紀要, 第34巻, pp53~64, 平成5年3月
- 5) 藤田・長林・高橋・安田・木村: 福島県裏磐梯地区の檜原湖における水温・水質特性に関する現地観測日本大学工学部紀要, 第34巻, pp65~76, 平成5年3月