

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

Field Measurements on Thermal Structure in Lakes and Water Quality Transportation
in Lakes of Ura-Bandai Area in Fukushima Prefecture

藤田 豊*・高橋 迪夫**・長林 久夫***・安田 禎輔****・木村 喜代治*****
By Yutaka Fujita, Michio Takahashi, Hisao Nagabayashi, Teisuke Yasuda and Kiyoji Kimura

This paper describes thermal stratification in lakes, its property of flux by destruction, and water quality transportation from results observed in field survey for Lakes Hibara, Onogawa and Akimoto. Its main conclusions by the above-mentioned ways are shown in the following.

On the Whole, these lakes shows clearly not only thermal stratification in summer but also its destruction processes with the fall of water temperature. These lakes indicate a similar tendency of formation of thermal stratification in the vertical direction. Lake Hibara has clear processes of thermal stratification and of its destruction. Lake Onogawa has a tendency toward water stagnation. Lake Akimoto has a remarkable distribution for turbidity in the vertical direction.

Keywords:lake, field measurement, thermal stratification, water quality transportation

1. まえがき

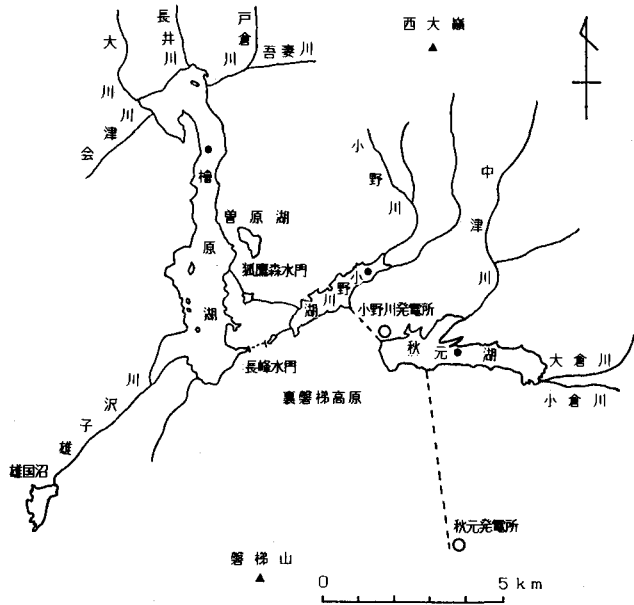
近年、水資源あるいは自然環境として重要な役割を有する湖沼やダム湖などの閉鎖性水域における開発・保全に対する関心は急速に高まっている。一般に湖沼などの水域における流水は閉鎖性、停滞性などの特性から河川とは異なった水理・水質特性を呈し、集水域での負荷発生状況の変化やその自浄機構さらには湖水の成層形成、混合・循環機構によって大きく影響されることが知られている。本研究は大規模なリゾート開発が予定されている福島県の裏磐梯地域に連続して存在する檜原・小野川・秋元の3湖を対象としてそれぞれの湖水の混合・循環あるいは成層形成・擾乱機構等の流動特性とそれに伴う水質諸量の輸送特性を現地調査によって明らかにし、これらの3湖を特徴付ける関係因子の特性とその共通性を工学的に究明することである。これまでに檜原・小野川・秋元の3湖沼を対象とした湖沼調査は昭和のはじめ頃から行われてきている¹⁾が、現在の水環境は当時とは大きく変化しているものと考えられる。本報は裏磐梯地域の3湖に対して1991年の8月からの調査結果をもとに水温をはじめ水質諸量の鉛直分布の特性、湖水の成層形成、混合、

*	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
**	正会員		日本大学助教授	同 上	同 上
***	正会員	工修	日本大学専任講師	同 上	同 上
****	正会員	工修	日本大学助教授	同 上	同 上
*****	正会員	工博	日本大学教授	同 上	同 上

それに伴う溶解物質の輸送特性などを中心に3湖を比較しながら考察したものである。

2. 檜原・小野川・秋元3湖の概要

図－1には檜原・小野川・秋元の3湖の平面形状、位置関係ならびに流入・流出諸川などの地理状況を示す。これらの湖は1888年（明治21年）7月15日の磐梯山の大規模な爆裂噴火に伴って発生した岩屑流や泥流などの堆積物が川を堰止めて形成された湖であり、成因から曾原湖を併せて堰止湖として分類され、他の多くの湖沼群と区別されている。檜原湖は、長瀬川の本流を堰止めてできたもので、裏磐梯水域の堰止湖としては最も大きく長さ約9 kmの南北に長い湖であり、海拔822 mに位置し、南側には磐梯山、東側には吾妻連峰などがある。主な流入河川としては西側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、北西部には大川などがあり、流出部としては東側に狐鷹森水門、長峰水門から小野川湖へ2本の水路がある。水深規模は湖の北側には全体的に水深の深い領域が多いのに対して南側の大部分は水深15 m以下となっている。小野川湖は泥流・岩屑の堰止めによって小野川の渓谷に水をたたえて成長した湖である。檜原湖の東方約2 kmに位置し、北東から南西にかけての細長い湖である。



図－1 裏磐梯の湖沼群の概略図

表－1 湖沼群の諸元

	檜原湖	小野川湖	秋元湖
面積 (km ²)	12.3	1.4	3.9
周囲 (km)	43	9.8	19.9
長さ (km)	9	3	4.5
最大幅 (km)	2.8	0.9	1.5
最高水深 (m)	31	22	34
海拔 (m)	822	797	736
全容量 (万m ³)	12759	1364	3792

自然排水路の他にトンネルで秋元湖と結び、小野川発電所が建設されている。南西部の檜原湖からの2本の水路と北東部の小野川が主要な流入河川である。秋元湖は、大倉川・小倉川の渓谷が泥流によって塞ぎ止められて成長した檜原湖に次ぐ大湖であり、磐梯地域の湖沼群の最下流部に位置し、東西方向4.5 kmの細長い湖である。主な流入は、東岸からの大倉川、小倉川、北岸からの中津川、および北西岸からの小野川発電所の放流水である。一方、主な流出は、西岸からの長瀬川および南西岸からの秋元発電所への取水である。また、秋元湖周辺は、東岸の流入河川沿いに集落がある。それ以外は、北岸にキャンプ地があり、東岸から流入している大倉川河口部にはかなり大きな扇状地が形成させているが、現在は流路工が設置されている。なお、この調査対象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。表－1にはそれぞれの湖の形状などの諸元を示す。

3. 使用機器および観測方法

観測場所は、図－1中の黒点印で示したように檜原・小野川・秋元の3湖のそれぞれ最深部と思われる地点を選んだ。使用機器としては島津理科社製のCTIS-P1008N型多項目水質計を用いた。計測項目

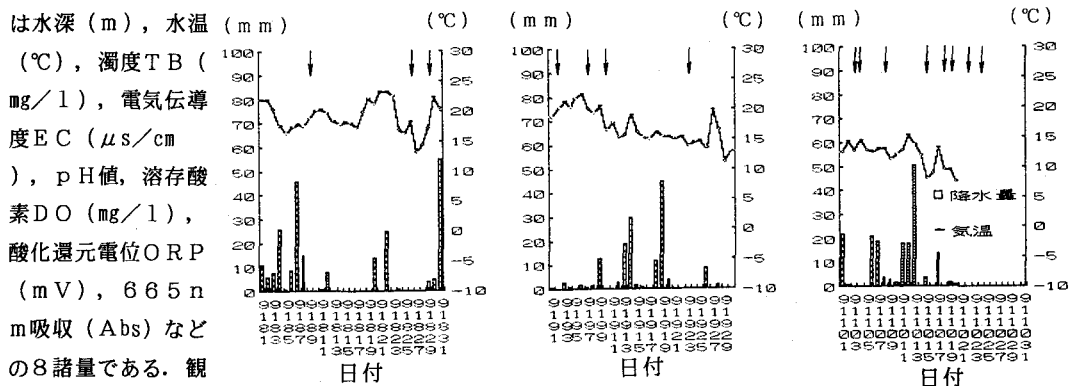


図-2 気温・雨量の日平均変化

は水深 (m), 水温 (mm) (°C), 濁度TB (mg/l), 電気伝導度EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH値, 溶存酸素DO (mg/l), 酸化還元電位ORP (mV), 665nm吸収 (Abs) などの8諸量である。観測方法は小型ゴムボートを観測点にアンカーで固定させ、水温・水質諸量を鉛直に水面から湖底まで水深50cm間隔(秋元湖では1m間隔)で移動させながら精密に計測した。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。またセンサ応答の遅いORPおよび665吸収のデータの補正および確認のため5分間自記計測も併用した。ただし、測点間隔は檜原, 小野川, 秋元の3湖でそれぞれ2.5m, 1m, 2mであった。図-2には観測期間中、檜原観測所で得られた日平均気温、日雨量分布図などの気象条件を示す。また図中の↓矢印は観測日を示す。

4. センサー計測と採水試験との比較

DOおよびORPの2項目について、センサー計測値の精度を調べるために採水試験による値と比較した。結果を図-3に示す。DO値は採水した水を船上で速やかに固定し、研究室にて即日 Winkler法により定量した。採水方法としては横置き型採水器を用いた。この測定値はセンサー計測の値とほぼ一致し、良好であった。ORP値は採水した水を船上にて3.33MKCL-AgCLを比較電極と

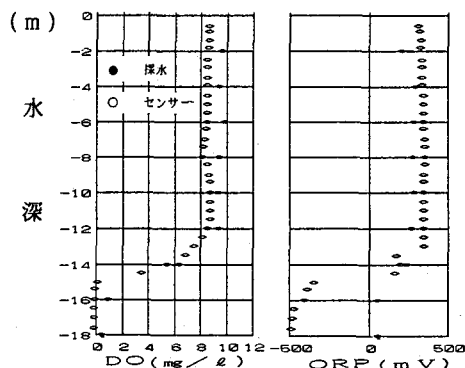


図-3 センサー計測と採水試験との比較

した金属センサー型ORPメータにて計測し、標準水素電極値換算を行った。横置き型採水とセンサーとの比較により最深部の負側のORP値は約300~400程度の差があるが、本センサーの温度に対する水素電極換算値が明確でないために測定値のままに表示してある。したがって、この水質の評価は定性的なものとなる。

5. 檜原湖の観測結果

図-4は檜原湖での各項目の観測結果を示している。以下項目別に考察する。(a)水温特性: 9月10日までは水深5m~10mの間にはっきりと水温成層が形成されている。その後1ヶ月近くの観測間隔があり、気温の低下と共に表層部が冷やされ、循環が起これ水温成層が徐々に崩壊はじめ、10月22日までにほぼ成層が崩壊し水温の鉛直分布は一様になっている。これは成層の崩壊によって、上層と下層の混合作用が促進された結果である。この流動特性により種々の物質が輸送されたものと推察される。(b)濁度特性: 降雨直後の9月10日、10月15日の濁度にピーク値が認められ、9月10日は成層下端に濁質が顕著である。成層の崩壊期には10月15日の値から、濁度のピークが低下している。しかし大きな流入河川がなく濁質分の負荷が極めて少ないので3~5mg/l程度となっている。(c)電気伝導度特性: 水深方向へ

の変動はあるものの、湖底部に向かうに従い増加傾向を示している。下層での栄養塩類の増加が認められる。しかしその変化量は小さい。

(d) pH値特性：上層でpH8程度、下層でpH6程度となるが、成層の崩壊と共にpH6～7程度の値となっている。これは上下層の混合が促進されたことによるものである。(e) D

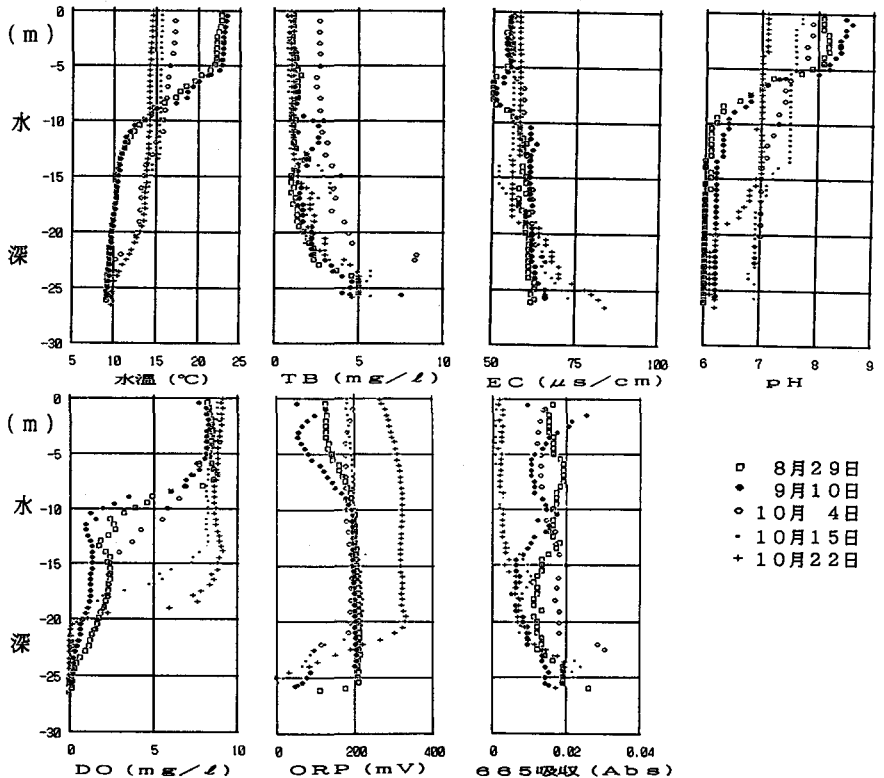


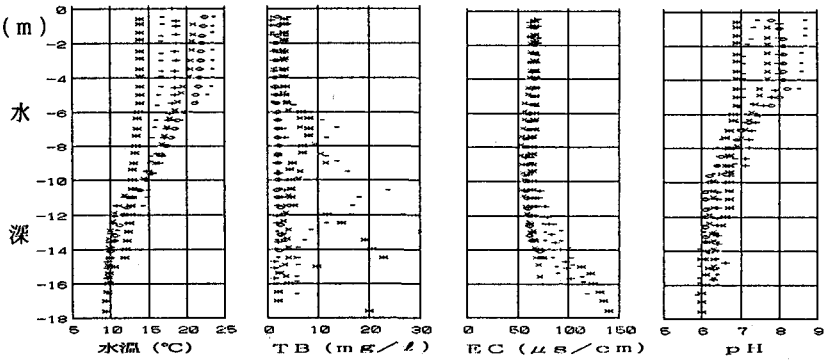
図-4 檜原湖の観測結果

O特性：表層は過飽和状態で、逆に底層部は無酸素状態となっている。下層においては、10月4日までの観測値から水深7m以深12mの間で急激な溶存酸素の減少がみられる。また、10月15日からの値は下層の値が10月4日以前よりも増加している。これは成層崩壊による混合の効果と思われる。(f) ORP特性：全般的にほぼ様な分布を示し、水深20m以深で急激な値の低下が見られる。10月22日の結果からかなりこれまでと異なって好気性傾向となっている(g) 665吸収特性：降雨後のデータには濁度と同一分布が得られているが、特に9月10日の表層部と水深10mの層でクロロフィルの反応と考えられる値が認められる。

6. 小野川湖観測結果

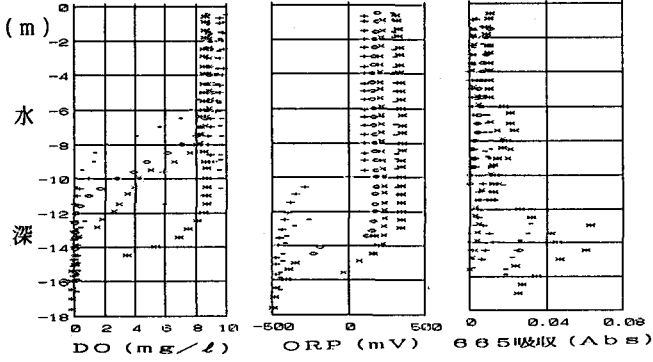
図-5には小野川湖における観測結果を示す。以下項目別に考察する。(a) 水温特性：夏季には水深5mから12mにかけて明確な水温成層が形成される。その温度分布は他の湖とほぼ同型である。気温の低下と共に成層の崩壊過程が明瞭に示されている。(b) 濁度特性：降雨直後の測定には成層下端に濁度ピークがみられる。そのピークは気温低下と共に湖底方向へ移動し、ピーク値は最大でも20～30mg/lである。(c) 電気伝導度特性：全体的に湖底部に向かうに従い増加傾向を示す。その値は他の湖に比べ大きく、小野川の集落の生活関連の栄養塩類の蓄積と考えられる。(d) pH特性：上層でpH8程度、下層でpH6程度で、成層の崩壊と共にpH6程度の一定値となり、上、下層の混合が促進されたことによるものである。(e) DO特性：水温特性と類似した分布となり、成層下端の10m程度からDO値の急激な減少がみられる。成層の崩壊と共にDO値の改善がなされ、成層崩壊による混合効果がみられる。(f) ORP特性：水温特性、DO特性とほぼ同形の分布を示す。夏季において成層下端から底面に向かいORP値が著しく減少し、嫌氣的傾向を示すようになる。成層が崩壊すると14m程度の湖底近くまで水質が改善され一様分布と

なり好气的傾向を示す。
成層時のORP値の著
しい低下傾向が特徴的
である。(g) 665
吸収特性：濁度分布と
の相関が強くみられる
が、特にクロロフィル
の分布特性を示す傾向
は得られなかった。



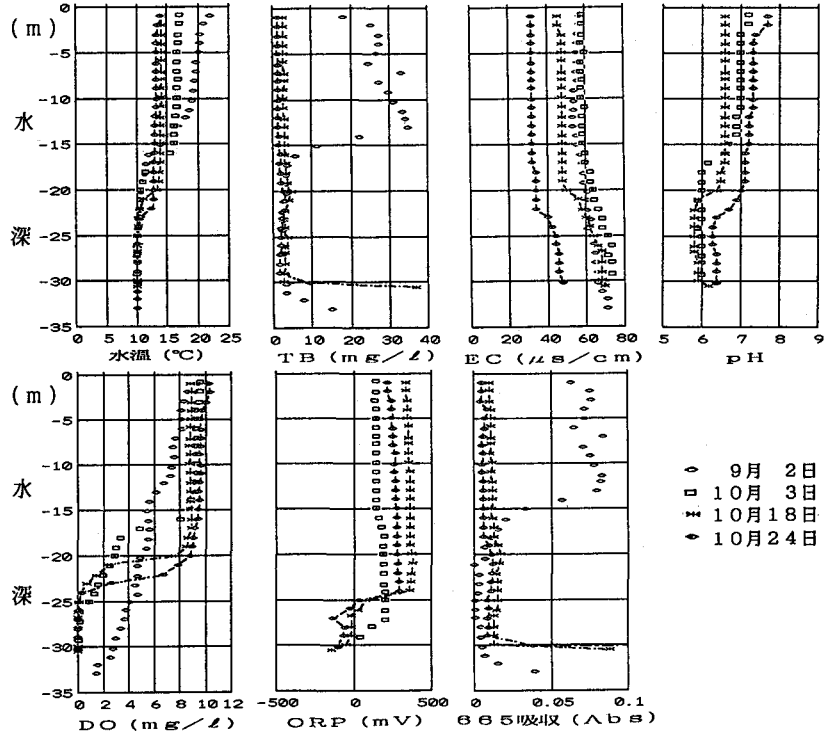
7. 秋元湖の観測結果

図-6には秋元湖における各諸量の観測結果を示す。以下項目別に考察する。(a) 水温特性：9月2日の観測結果より水深がほぼ10mから20mにかけて、かなり明瞭な水温成層が形成されている。ただし、この成層の厚さは檜原、小野川の両湖の厚さに比べると若干厚い。このことより、後述する電気伝導度あるいはDOの分布特性と併せ類推すると、この日の水温の分布は、流入水による湖水の混合・循環によって擾乱を受けた成層が、再形成されていく過程であるという可能性も推察し得よう。一方、10月に入り気温が低下してくると共に、成層の厚さおよび温度勾配が徐々に減少し、また、成層の位置が少しずつ湖底方向に移動し、その結果、上層と下層



× 8月 9日
○ 8月26日
- 9月 7日
+ 9月23日
- 10月 8日
× 10月19日

図-5 小野川湖の観測結果



○ 9月 2日
□ 10月 3日
≡ 10月18日
◇ 10月24日

図-6 秋元湖の観測結果

の水温差がかなり小さくなり、成層の崩壊が徐々に進行していることがうかがわれる。(b)濁度特性：9月2日の観測結果より水面から水温成層部にかけてかなり大きな値を示していることが見られる。これは、観測日前々日の8月31日に檜原気象観測地点で55mm/日のかなり大量の降雨があり、この降雨による濁水の流入の影響によるものと推測される。しかしながら、これが、大倉川からの流入によるものが支配的なのか、あるいは湖岸周囲の斜面、沢からの流入負荷によるものが支配的なのかは明かでない。一方、10月の各結果より水温成層部において幾分大きな値を示すが、鉛直方向にほぼ一様な分布となっている。(c)電気伝導度特性：9月2日の結果より湖底近くを除いてほぼ一様な分布を示している。一方、10月の各結果より水温成層上方ではほぼ一様な分布を示しているが、成層下方においては湖底方向に緩やかな増大傾向が認められる。(d)pH値特性：10月のいずれの観測結果においても、水温成層部を境として、成層上方ではほぼ7～7.5、下方ではほぼ6程度の一定値をとることが認められる。(e)DO特性：10月の各観測結果より水温成層部を境として、成層上方ではほぼ一定値を示すが、その下方では湖底方向に向かってかなり急激な減少傾向が認められる。これに対して、9月2日の結果より水温成層下方の減少傾向はそれほど急激ではなく、なだらかな減少傾向を示している。これは、水温特性の項で述べた降雨による流入によって湖水内の循環が生じたことに起因しているものと推察される。(f)ORP特性：10月のいずれの観測結果においても、水深25m程度まではほぼ一定値を示している。一方、それより下方では減少傾向を示し、嫌気性の傾向に向かうことがうかがわれる。(g)665吸収特性：全体的に濁度とかなり類似の分布傾向を有しており、濁質の影響をかなり受けた分布となっているが、特にクロロフィルの特性を示す分布はうかがえない。

8. まとめ

本報は福島県の裏磐梯地区の同一水系に連続した檜原・小野川・秋元の3湖を対象として成層形成、崩壊、それに伴う水質関係物質の輸送の流動機構について1991年8月からの観測結果をもとに各湖の特性について比較検討したものであり、結論をまとめると以下の通りである。

夏季に明瞭な水温成層が形成され、水温の低下と共に崩壊過程が見られ、その分布形状は湖の面積の大小、水深の深浅にかかわらず同様な分布形状となった。またpH値も水温成層に良く対応しており、上層でpH8程度、成層下部でpH6程度となり、また成層の崩壊と共に一様なpH値に近づく傾向がある。濁度は成層下端にそのピークを示すが、測定位置と流入河川の関係により状況を異にしている。秋元湖のように大倉川の流入が大きく作用する場合には特に注目される。電気伝導度、ORP値の特性も周辺の状況による違いが見られた。665吸収は濁度との相関が強く、クロロフィル効果を検出するにはデータの処理が必要となる。今後はさらに系統的に観測を継続して実施し、長期間にわたる水温・水質諸量から、裏磐梯水域の檜原・小野川・秋元の3湖の特性を明らかにしていく予定である。

最後に、本調査研究を行うに当たり、日本大学工学部の中村玄正教授には終始ご指導いただいた。また福島県をはじめ関係官庁、諸機関には資料提供などご協力いただいた。現地観測やデータ整理には卒研生の協力を得た。ここに、皆様方に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 猪苗代町史編集委員会：猪苗代町史自然編、昭和52年12.20