

沼沢湖における水温成層が揚水発電による湖水交換に及ぼす影響について

日本大学工学部土木工学科 学生会員 ○酒井 真吾
独立行政法人 国立環境研究所 野原 精一
日本大学工学部土木工学科 正会員 金山 進

1. 目的

福島県大沼郡金山町の沼沢湖は最大水深 90m を超える水深を有するカルデラ湖であり、揚水発電所の上部貯水池としても利用されている。70m 以深の水温は年間を通じて約 4℃であるのに対して表層部は夏期には 25℃を越える水温成層を形成している。本研究では密度流モデルを用いた解析によって水温成層存在下での揚水発電による流動場の特徴を調べた。

2. 解析方法

本研究では沼沢湖の揚水発電による湖内の流動をシミュレーション対象とした。静水圧近似の準 3 次元密度流モデルを用いて計算を行った。揚水発電は揚水(夜間)→静止→発電(昼間)→静止を 6 時間毎に繰り返す。このパターンで揚水から開始し 3 日分、10 日分(CAS01, 成層なし)のシミュレーションを行い、揚水発電による湖水交換の影響について検討した。取放水口は深度 30m の位置にあり、只見川の水を揚水した。河川水と湖水の密度差による流動機構の下での湖水交換状況をみるために中立トレーサーを用いて検討を行った。計算結果は 1m 間隔で鉛直分割し、表層のみ 1.5m で分割した。計算に使用した只見川水温、沼沢湖水温はそれぞれ表-1、図-1 に示した。

3. 解析結果

図-2、図-3 は揚水発電開始から 50 時間経過した 3 日目の揚水時の図である。図-2 は成層化している場合(CAS01)の揚水時の河川水の流入による湖内の状態を残留率によって表した縦断面図である。ここでいう残留率とは、初期状態において湖内に存在する水のトレーサー濃度を 100 とし、河川から揚水される水のトレーサー濃度を 0 とし、算定した濃度分布である。流入水は湖水と水温の一致する深度まで密度差によって上昇したのち水平流に移行し、中層貫入が起こる。流入水は密度差によって上昇す

表-1 只見川水温

ケース名	時期	只見川水温(℃)
CAS01	1962年6月	10.1
CAS02	1961年7月	16
CAS03	1962年8月	17.5
CAS04	1960年10月	13.6
CAS05	1961年11月	12.7

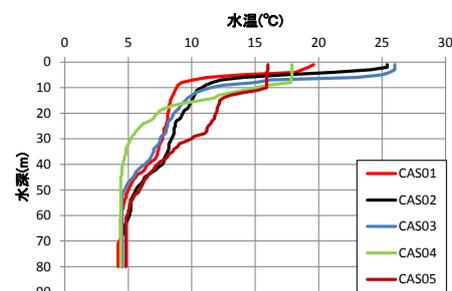


図-1 沼沢湖水温

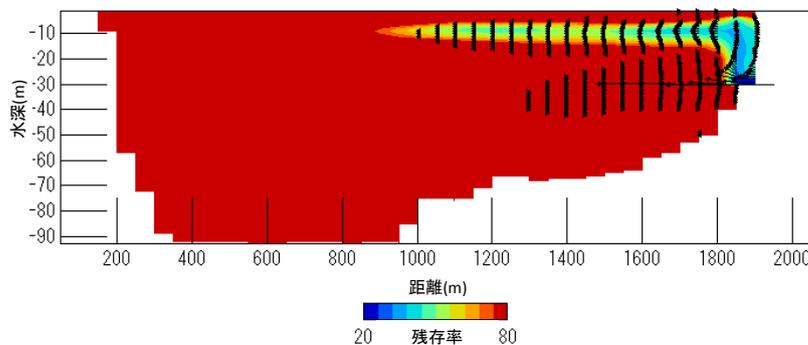


図-2 成層化している場合の縦断面図

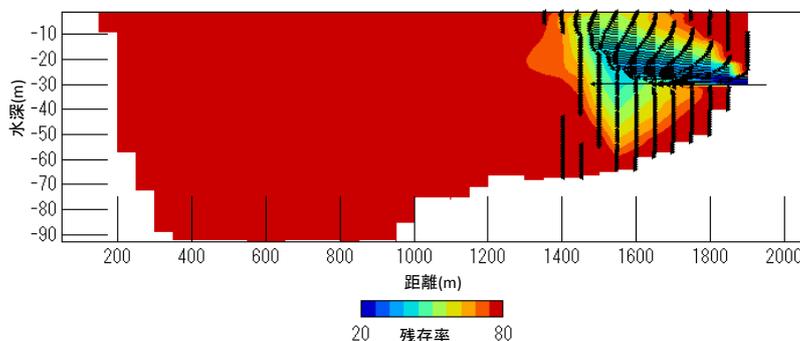


図-3 成層化していない場合の縦断面図

キーワード 沼沢湖, 水温成層, 揚水発電, 湖水交換, 中層貫入, 密度流モデル

るが、上昇する途中で周りの水と混ざり合い水温が下がってしまう。そのため流入水と水温の一致する深度まで辿り着くことなくこれよりも大きい深度で中層貫入が起こったと考えられる。放水する際には流入した河川水ではなく、取放水口付近の湖水が流出したため湖水の交換が進んだと考えられる。

図-3 は成層化していない場合の河川水の流入による湖内の状態を残存率によって表した縦断図である。成層化していない場合、流入した河川水が取放水口付近に留まり取水した河川水がそのまま放水されると考えた。しかし、計算結果によれば図-3 のように取水する際の水の勢いが強く、取放水口より遠くまで河川水が流入した。そのため、放水する際に流入した河川水だけでなく周りの水が流出するため想定よりも湖水の交換が進んだと考えられる。

図-4 は図-2, 3 の各深度の流速をグラフにしたものであり、 $x=1,600(m)$, $1,400(m)$ とは横軸の距離のことである。成層ありの場合は、中層貫入が起こっているためどちらの位置でも対岸へ向かう流れが生じている。しかし、成層なしの場合、 $x=1,600(m)$ の位置は流速が大きいのにに対し、取放水口から遠い $x=1,400(m)$ の位置ではほとんど流れが生じていないという結果となった。

図-5 の交換率を時間の経過から読み取ると、成層化している場合と成層化していない場合の交換率に僅かながら差ができた。交換率とは、トレーサーの平均濃度の低下量のことであり、この値が増加するほど湖水の交換が進んでいることを表している。この結果は10日間のシミュレーションなので大差はないが継続的に揚水発電による湖水交換をすることで大きな差となると考えられる。このことにより成層化していることで湖水の交換が進みやすくなっていることがわかる。

4. まとめ

表-2 は各時期のデータをまとめたものである。L1 とは只見川と同水温の水深と取放水口の水深の差、L2 とは中層貫入が起こった水深と取放水口の水深の差、高低差とは只見川と同水温の水深と中層貫入が起こった水深の差となっている。各ケースとも只見川と同水温の深度は中層貫入が起こった深度より大きい深度となっている。これは流入水が密度差によって上昇する際に周りの水と混ざり合い水温が下がってしまうため、流入水と水温が一致する深度まで辿り着くことなく水平流に移行し中層貫入が起こり、大きい深度で濃度が下がったと考えられる。

図-6 は L1 と L2 の関係を表したものである。L1 と L2 の関係から見ると $y=0.8078x$ となっており、今回は揚水によって引き上げられた河川水は同水温の水深の8割の位置で水平流に移行し、中層貫入が起こった。密度差によって上昇する際に、一部の水が周りの水と混ざり合ってしまうため、すべての河川水が只見川と同水温の水深まで辿り着くことがないことがわかる。

検討の結果、成層化していない場合は想定していた結果よりも交換が進んでいたが、成層化している場合の方がより湖水の交換が進みやすいという結果となった。

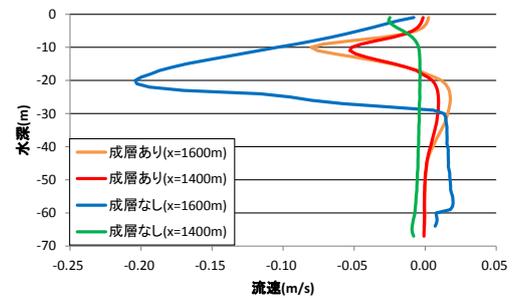


図-4 各深度の流速

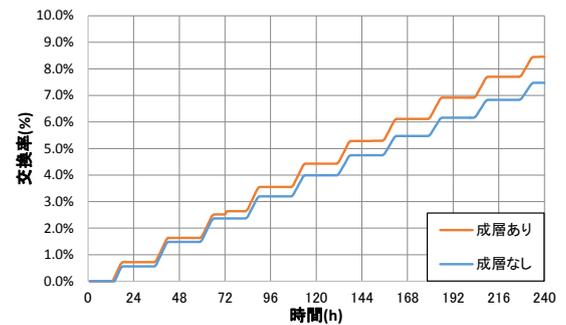


図-5 交換率

表-2 各時期の条件整理

ケース名	時期	只見川水温(°C)	取放水口水温(°C)	只見川と同水温の水深(m)	中層貫入が起こった水深(m)	L1(m)	L2(m)	L1-L2(m)
CAS01	1962年6月	10.1	7.5	7	9	23	21	2
CAS02	1961年7月	16	10	5	9	25	21	4
CAS03	1962年8月	17.5	5.2	7	11	23	19	4
CAS04	1960年10月	13.6	7.7	11	15	19	15	4
CAS05	1961年11月	12.7	8.4	14	22	16	8	8

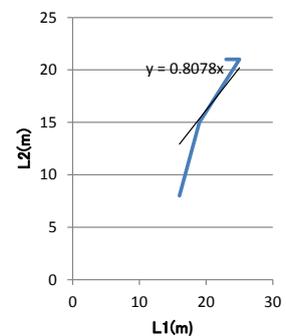


図-6 L1 と L2 の関係