

長崎大学工学部 正員 野口 正人

近年、水資源開発の必要性が強く叫ばれ、全国的に多数のダム貯水池が作られた。それとともに、水質問題も顕在化してきており、その対応策を迫られている。この種の問題に対する予測手法としては、従来からいくつかのものが挙げられているが、以下では、数値シミュレーション法と物理シミュレーション法との比較により、その予測性能を検討する。

1. 数値シミュレーション法による水温・濁度の予測

水温予測モデルは、これまで多数のものが提案されている。これらはいずれも、基礎方程式として、連続方程式・運動方程式・温度拡散方程式を取り挙げ、数値的に解こうとしたものである。しかし、実際は運動方程式を解くことが難しく、これを直接取替ったものは数少ない。そのため、通常は成層場における選採取水公式を用いて流速を決定し、温度拡散方程式を解いている。一方、最近問題になっている濁度予測を行うためには、上述の基礎式に濁度の保存式を付け加えなければならぬ。さらに、温度のみの予測では、空間的に1次元で取替っても予測精度に問題ないが、濁度予測をする場合には、少くとも2次元の取扱いが必要である。すなわち、基礎式をつぎのように表わす。

$$\frac{\partial(Bu_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x_2} (BK_{T2} \frac{\partial T}{\partial x_2}) + \frac{Q_h}{\rho C_p} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_j \frac{\partial C}{\partial x_j} = \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x_2} (BK_{Sj} \frac{\partial C}{\partial x_2}) + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x_j} (BK_{Sj} \frac{\partial C}{\partial x_j}) \quad (3)$$

ただし、上式中の総和規約は $j=1, 2$ に対するものであり、1, 2 はそれぞれ流下方向ならびに鉛直方向を指している。また、 K_T, K_S は温度ならびに濁度の拡散係数を表わしている。これらの基礎式を数値計算するにあたっては、いくつかの仮定が設けられた。後々考察が必要なもののみ記せば、貯水池内の流体は、温度ならびに濁度より求まる合成密度が十分に安定に位置するようにしたことである。

上述のモデルを使って、既に報告された²⁾ 荻穂ダム貯水池の予測を行えば、図1, 2 のようである。図1 から明らかなように、池内水温分布については計算値と実測値とが一致は極めて良好である。このような結果が得られた最大の理由は、一つには運動方程式の代用に選採取水公式が適切であったためであり、さらには、日々の気象観測資料より水温変化を求める諸公式が妥当であったためと思われる。もちろん、入力データには日平均値が用いられたため、それより周期の短い現象、たとえば1次躍層の消長については表現されていないが、使用面では問題なからう。一方、流出水温についても、以上のことを反映してかなり精度良く予測されている(図2)。ただし、計算開始直後の3月前半と5月下旬から6月上旬にかけての期間では、計算値と実測値との間に1~2℃の差が存在した。

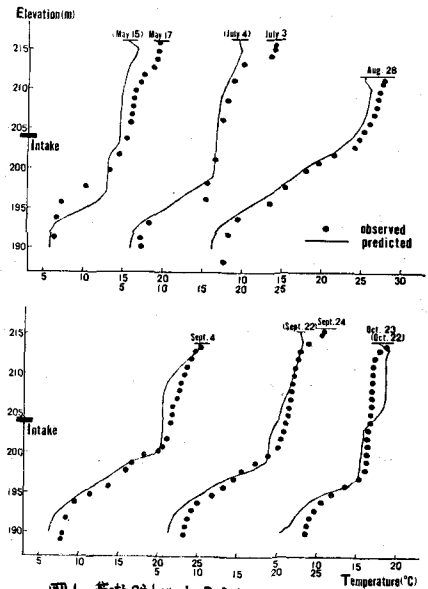


図1. 荻穂貯水池水温分布

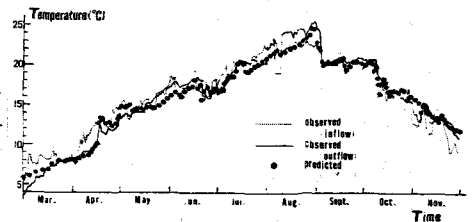


図2. 流入・流出水温

また、計算開始直後の3月前半と5月下旬から6月上旬にかけての期間では、計算値と実測値との間に1~2℃の差が存在した。

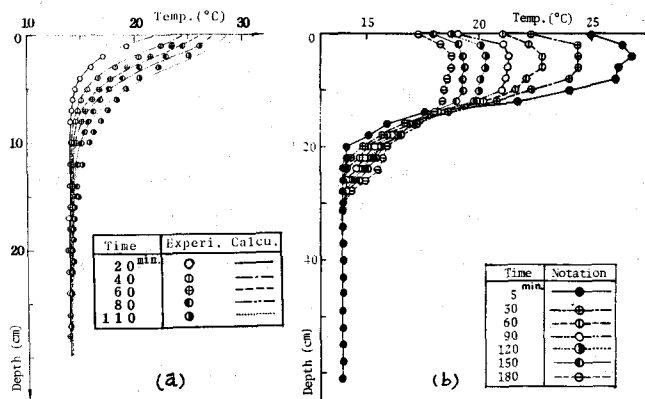


図3. 水槽内の水温分布

以上の計算では濁度も同時に考慮された。濁度を全く度外視した従来の1次元モデルでも温度予測がなされたが、その予測精度は先のものより劣っていた。

2. 物理シミュレーション法による水温・濁度の予測

ここでは、貯水池の水温・濁度予測を水理実験により行う。図3-(a),(b)は、それぞれ貯水池水理実験装置を用いて求めた受熱期と放熱期の水温分布である。これらを実際の貯水池で見られるものと比較すれば、図4については輻射熱型の水温分布とよく似ている。しかし、放熱期における貯水池の水温分布が(b)図で表わされることは稀である。これは物理シミュレーションの難しさを示すものであるが、これについては以下の実験と関連させて述べる。

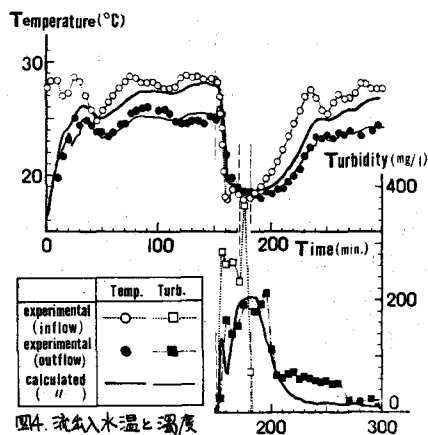


図4. 流入水温と濁度

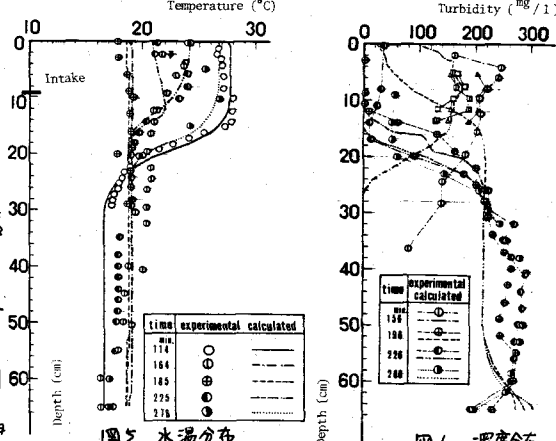


図5. 水温分布

図6. 濁度分布

つぎに、温度成層の発達した貯水池に濁水が侵入した場合の実験結果を示せば、図4-6のようである。この実験の詳細については、別に報告しているので説明を省く。

3. 両モデルの比較、ならびに、予測精度の検討

つぎに、両者の比較をするため、2.の実験に対して数値モデルで計算してみる。その結果は、先の図に示されている。これらと比較してわかるように、両者の一致は上で述べられたほどには良くない。図中に示された計算結果は、いくつかのケースのうち、水槽(貯水池)内の状態が実験結果と良く合うものであるが、これに対する流出水温は図4の太線のように実験値とずれる。この原因としては、実験計器の関係で、水槽と空気中との熱交換が良く見られにくいことが考えられる。したがって、反対に流出水温を合致させるような境界条件の下で計算を行ったが、この場合には池内の表層水温で約2°Cの差が生じた。これより、数値モデルに設定された安定性に関する仮定は、実際の貯水池に対しては妥当なものであるが、室内実験には適切でないことがわかる。このことは、実際の貯水池では種々の擾乱源が存在して表層内の水温がほぼ一様であるのに対し、室内実験では図3-(b)の結果が得られたことと同じ理由である。したがって、実際に模倣実験を行う上では各種の相似律を問題にするが、池内の温度分布については擾乱源も重要な役割を占めることに注意せねばならない。なお、ここで述べたことのみから、予測方法として数値モデルに勝つというとは断定することはできない。その理由の一つは、数値モデルが如何に複雑であっても、それは採用された基礎式の制約を受けようであり、とくに分散係数を予知することが困難なためである。いずれにしても、これから益々水質予測が重要となることが予想され、両モデルの長所を生かした活用が望まれる。

参考文献) 1) 岩佐 龍雄, 年満, 昭弘, 2) 岩佐 野口, 昭弘, 京都府立大学, 昭50, 3) 野口 昭弘, 昭51, 4) 野口, 年満, 昭52, 5) 竹田 昭弘, 昭54