

4. 流水の熱移流モデル 96年9月、旭川ダム直下流4点（八幡橋、大宮橋、中吉橋及び鹿瀬橋）で水温を観測した。上流部の浅い河道は日中は上流、夜間わずかに下流が高温となる温度勾配があり、約4℃の日周変化を示し(●)、つぎのモデル計算値(実線)と大略合致する。モデルは(時間 t , 流程 x , 水温 T)の移流拡散方程式を無次元化し、 (τ, ξ, θ) で表すと

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{L}{(T_o - T_e)uh} \frac{R}{cp}$$

が得られる。ここに、 Pe :ペクレ数, T_o :初期水温, T_e :平衡水温, L :河道長, u :平均流速, h :平均水深, $R = -k(T - T_e) + S - B$:水面熱収支, S :日射量であり B は有効逆放射量を表す。拡散項を無視し、熱伝達率 k , 比熱 c 及び密度 ρ を用いて気象量を $M = k/c\rho$ とかくと、次元量表示の

$$\text{定常解: } T = T_e + (T_o - T_e) \exp\left(-\frac{M}{uh}x\right) \quad \text{及び}$$

$$\text{一様解: } T = T_e + (T_o - T_e) \exp\left(-\frac{M}{h}t\right)$$

が得られる。これらの指数減衰率 $\mu_x = M/uh$ と $\mu_t = M/h$ に着目すれば、洪水によって水理量が増加、気象量 M が減少すると洪水温 T_o が下流域まで押出され、また平衡水温 T_e に戻るのに時間を要することがわかる。図3でも出水毎にそうした箇所がみられ、図5は顕著な水温低下の例を時間値で示した。いずれも水温の低下と回復に $10^5 \sim 10^6$ 秒程度の時間を要することがわかる。さて、以上は流速 u が一定とみなせる場合の解であるが、計算結果を解の特性として解釈できるように上・下流二種の等流を接続する条件でモデルを作成した。すなわち上流の河道と氾濫湖では幅・水深とも異なり、旭川でも下流の日周変化の振幅が小さいのは下流域水深が大きいためと思われる。洪水の水温低下期間のモデル計算結果を図5には○で示した。定点観測値は一様解の特性に従い、4~8℃の水温低下が数日間にわたって持続している。

5. まとめ 氾濫湖の熱収支と移流効果を日本の河川と比較しながら検討した。日以上の変動に着目すれば、出水で水温が低下する傾向は共通し、時間スケールも同等の現象である。一方、日周変化は浅い上流河道で顕著であるが、3.に述べた様式で成層すれば氾濫湖の受熱層が減少し同様の顕著な日変化を示す。

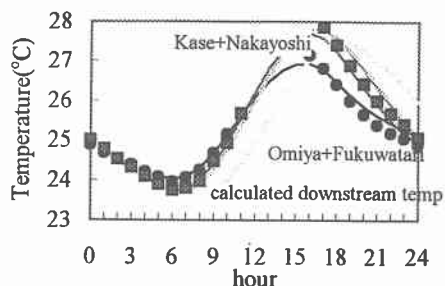


図4 旭川上流部の水温観測と計算値

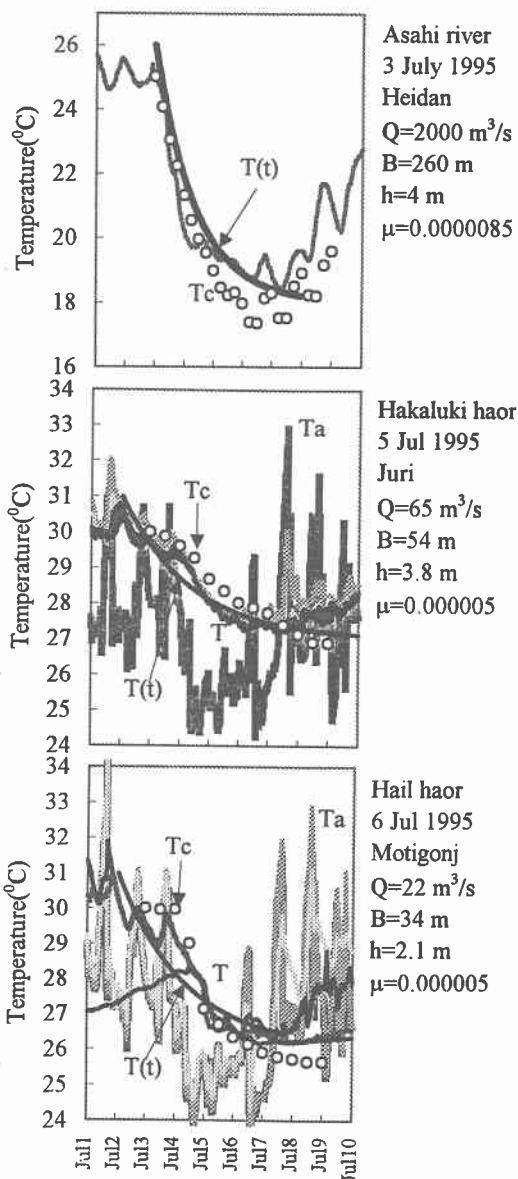


図5 河川・氾濫湖の水温観測値、計算及び一様解