

1. まえがき

河川水温は河川水の熱収支方程式を解くことにより求められる。本報告は、支流、湧水、降雨等を考慮した熱収支方程式を用いて、1979年6月24日から7月7日まで常呂川(学友橋~若松橋・約32km)で収集したデータに対し計算した河川水温と、実測水温を比較検討し、その有用性を述べるものである。

2. 基礎方程式

河川水温 $\vartheta$ に関して、流れ方向 $x$ の平均流速 $v$ 、移流分散係数 $K_x$ 、平均水深 $h$ 、河川幅 $B$ とすると、1次元の熱収支方程式は、

$$C\rho h\left(\frac{\partial\vartheta}{\partial t} + v\frac{\partial\vartheta}{\partial x}\right) = c\rho h K_x \frac{\partial^2\vartheta}{\partial x^2} + H_s + \frac{S}{B} H_b + C\rho \frac{Q_{br}}{B} (\vartheta_{br} - \vartheta) + C\rho r (\vartheta_r - \vartheta) \dots (1)$$

ここに $C$ :水の比熱,  $\rho$ :水の密度,  $S$ :径深,  $r$ :雨量,  $Q_{br}, \vartheta_{br}$ :支流又は湧水の流量・水温,  $\vartheta$ :雨の温度  
 $H_s$ :水面における熱フラックス,  $H_b$ :河床伝導熱量,  $H_s$ と $H_b$ は水塊に対する加熱を正とする。

式(1)の右辺第1項は、移流分散項であり、式(2)の関係がある場合、無視することができる。

$$\frac{v^2}{4K_x} \gg \frac{\alpha}{c\rho h} \dots (2)$$

ここで $\alpha$ は熱交換係数と呼ばれるもので、式(3)で定義される。

$$\alpha = \alpha_h + \alpha_e \frac{de}{d\vartheta} \Big|_{\vartheta_a} \dots (3)$$

$e$ :飽和水蒸気圧力曲線  
 $\vartheta_a$ :気温

$\alpha_h, \alpha_e$ は顕熱伝達率, 潜熱伝達率であり、近藤が提唱しているバルク法から次のように表わされる。

$$\alpha_h = C_p \rho_a U C_H \quad \rho_a: \text{空気の密度}, U: \text{風速}, L: \text{蒸発・凝結の潜熱}$$

$$\alpha_e = L \rho_a \frac{0.622}{P} U C_E \dots (4) \quad C_p: \text{空気の定圧比熱}, P: \text{大気圧}, C_H, C_E: \text{バルク輸送係数}$$

今、移流分散項を無視できるものとし、式(1)の第2項, 3項を平衡温度 $\vartheta^*$ を用いて $\alpha(\vartheta^* - \vartheta)$ と表わすなら

$$C\rho h\left(\frac{\partial\vartheta}{\partial t} + v\frac{\partial\vartheta}{\partial x}\right) = \alpha' \left( \frac{\alpha\vartheta^* + C\rho r \vartheta_r / B + C\rho r \vartheta_r}{\alpha'} - \vartheta \right) \dots (5)$$

但し、 $\vartheta^* = \vartheta_a + \frac{(R_N - B_0) - \alpha_e \Delta E}{\alpha}$ ,  $\alpha' = \alpha + C\rho(r/B + r)$   $R_N$ : 純放射量,  $\Delta E$ : 飽差  
 $B_0$ : 河床伝熱量

河床伝熱量 $B_0$ については河床地温が $\vartheta_b$ に等しいとして、A. A. Pivovarovが式(6)で表わしている。

$$B_0(P_s) = \frac{2\sqrt{\lambda_b C_b \rho_b}}{\sqrt{\pi S}} \left[ \frac{\vartheta_b - \vartheta_0}{\sqrt{P}} + \sum_{m=0}^{\infty} \vartheta_m \psi_{m,s} \right] \dots (6)$$

$\lambda_b$ :土の熱伝導率,  $C_b$ :土の比熱,  $\rho_b$ :土の密度,  $\vartheta_b$ :土の初期平均地温,  $S$ :時間間隔

$\vartheta_m$ :水温,  $m$ :初期値からの時間間隔数

式(5)の右辺括弧内第1項は、支流、湧水、降雨を考慮したみかけの平衡水温でこれを $\Theta$ とし、 $\alpha'$ は支流、湧水、降雨を考慮したみかけの熱交換係数となり、結局次式となる。

$$\frac{dX}{dt} = v \dots (7) \quad C\rho h \frac{d\vartheta}{dt} = \alpha'(\Theta - \vartheta) \dots (8)$$

と表わされる。結局、式(8)を $\theta, \alpha', \Theta$ が一定な区間に対し、初期条件 $t=0$ で $X=X_0, \vartheta=\vartheta_0$ で解いて、

$$X = v t + X_0, \quad \vartheta = \Theta + (\vartheta_0 - \Theta) \exp\left(-\frac{\alpha'}{C P h} t\right) \quad \text{----- (9)}$$

となる。

### 3. 現地測定

計算に必要なデータを収集するため、1979年6月24日12:00から7月1日14:00まで図-1に示すように、常呂川(置戸町・学友橋～北見市・若松橋)約32kmを4つの区間に分け、各区間で計算に必要な流量、流速、水位、

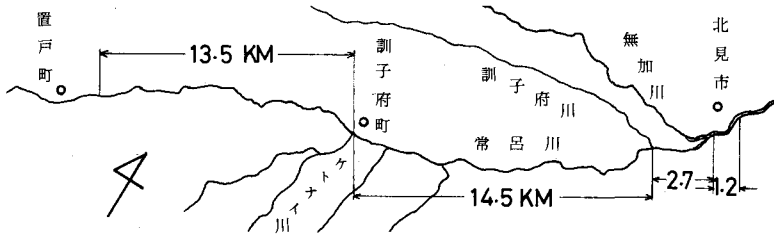


図-1 常呂川本川の対象区間

水深等の水理条件データと水温、気温、地温、湿度、純放射量、風速、雨量、雨温等の気象データを収集した。

### 4. 結果

図-2は収集データの結果の一部である。図からわかるように、夏季昼間、河川水温の上昇は、純放射量( $R_N$ )の依存が高いことがわかる。また、顕熱交換量( $H$ )及び潜熱交換量( $LE$ )は昼夜を問わず一定でその割合は小さいが、河床伝熱量( $B_s$ )は、河川水温の変化にかなり影響を及ぼすことがわかる。このことは冬季に行った実験でも同様の傾向がみられた。当然のことではあるが河床伝熱量が昼間負で、夜間正の値をもつが、これは地温が河川水温に比して昼間低く、夜間高いことに起因している。

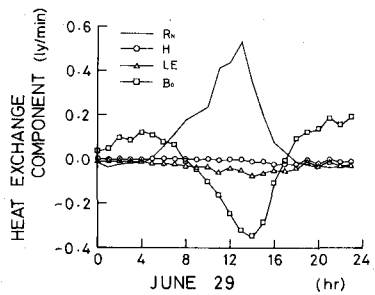


図-2 熱収支項の時間変化

次に河川水温計算についてであるが、本報告で用いたデータでは式(2)が成立し、移流分散の影響は無いことがわかった。従って以後水温計算は式(9)を用いて行った。その計算結果の一例を、図-3に示す。なお全計算結果について、河川水温の実測値と計算値の残差の標準偏差は $1.4^{\circ}\text{C}$ であり、これは後に常呂川・若松橋で行った水温の横断測定による横断面水温の最大差が $1.5^{\circ}\text{C}$ であったこと、及び対象区間を4区間とかなり粗く分割したことを考え合せるとほぼ満足な結果と考えられる。

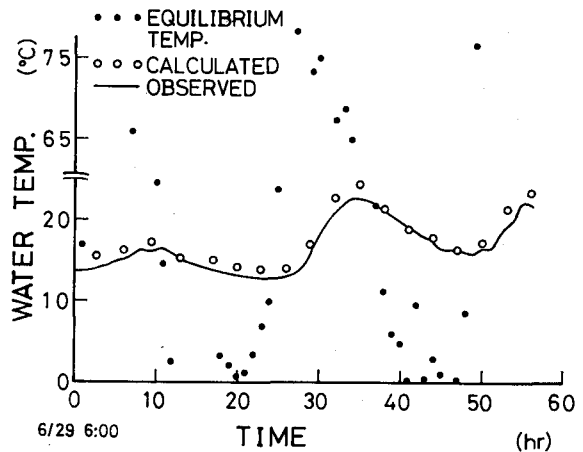


図-3 水温の実測値、計算値及び平衡水温の一例