

III-11 河川の水溫について

北海道大学工学部 正員 八 鋳 功

河川の水溫に關しては既に多くの研究がなされているが、筆者は特に河川の水溫上昇と氣溫との關係について考察した。参照した研究論文及び考察の基礎となつた資料は、(I)孫野氏等(北大理)が十勝川支流の美生川で行つた河川の水溫に關する研究⁽¹⁾、(II)福島教授(北大工)が石狩川水系の資料について行つた水路における水溫に關する考察⁽²⁾、(III)理学部一研究室(北大工)が十勝川の5地(圖-1参照)で行つた水溫、氣溫、流速の4晝夜連続觀測(昭27年5月7日～5月11日)の結果⁽³⁾である。

(I),(II)によれば源流区における河川の水溫日變化は氣溫日變化と同位相であつて、振巾も小さく一日の平均水溫に平均氣溫よりもかなり低い、流れにつれて平均水溫は徐々に平均氣溫に近づいて振巾も大きくなり、遂には一時的に水溫の方が氣溫よりも高くなることも見られる様になる。又(III)によれば十勝川中流では各地共平均水溫は殆んど平均氣溫と同じで、測点Iから下流の測点に行く程水溫變化と氣溫變化の位相のずれは大きくなり、測点Iでは水溫と氣溫の最高時が共に15時頃であつたのが、測点IVでは各日共24時に水溫が最高となり、Vでは更に遅れて翌朝4時頃に最高水溫が觀測された。

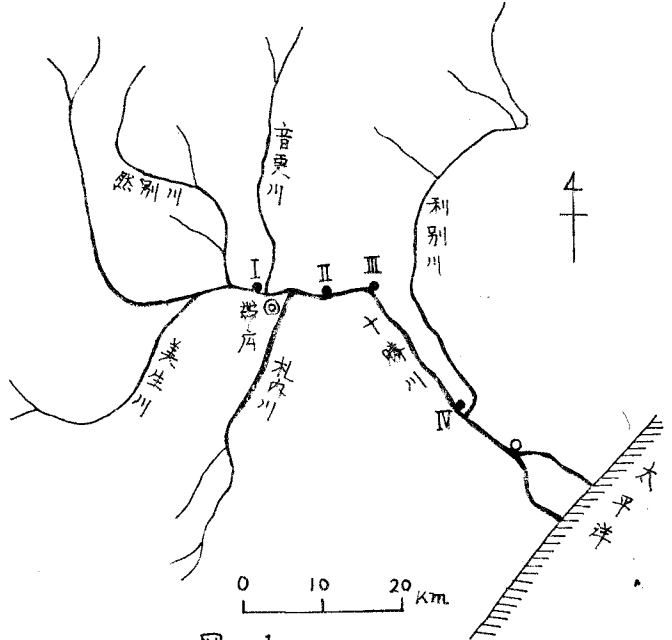


図-1

次に一本の河川を便宜上源流区、上流区、中流区と呼ぶ区に分けて、各区における水溫上昇と氣溫との關係を考察する。

1) 源流区における水溫と氣溫との關係 源流区は水源を發した河水が勾配の急な溪谷の面を流下し、氣溫も下流に比べて低い部分であつて、この部分では日射の時間もごく限られているので、水溫は主として空氣から伝達される熱量によつて上昇すると考えることが出来る。従つて一日の平均水溫、平均氣溫を $\bar{\theta}$ 、 $\bar{T}$ 、空氣と水との熱伝達係数を k 、河水の密度及び比熱を ρ 、 c とし、流速 v 、水深 H が一定であるとすれば、水溫上昇の方程式は次のようになる。

$$v \frac{d\bar{\theta}}{dx} = \frac{k}{c\rho H} (\bar{T} - \bar{\theta}) \quad (1)$$

今標高が高くなるにつれて $\bar{T}$ が溫度遞減率 a によつて低下するものとし、勾配 $\beta = \frac{h}{x}$ (h , x は水源からの距離及び標高差)が一定であるとすれば、(1)より水源において $\bar{T} = T_0$ として、

$$v \frac{d\bar{\theta}}{dh} = \frac{k}{c\rho H \beta} (T_0 + ah - \bar{\theta})$$

水源の水温を θ_0 として上式を解けば

$$T - \bar{\theta} = \frac{R}{K} + e^{-Kh} \left\{ (T_0 - \theta_0) - \frac{R}{K} \right\} \quad K = \frac{R}{c_s \nabla H \beta}$$

この式は孫野氏等が得た結果と同じであつて、源流区における平均水温と平均気温との関係を表わす。 $\bar{\theta}$ は T に近づくが、差は $\frac{R}{K}$ より小さくなることはない。

2) 上流区 上流区は勾配も緩かになり、兩岸も開けて川中も広くなるが、中流区に比べると流量も少く水深も浅い部分で、 T は一定と考えることが出来るので、水温上昇の方程式は次のようになる。

$$V \frac{d\bar{\theta}}{dx} = \frac{R}{c_s H} (T - \bar{\theta}), \quad T = \text{const} \quad (2)$$

この区間では水温変化の原因として空気と河水の間の熱交換以外に日射量、水面からの蒸発、有効輻射、流水と川底の土との間の熱交換等を考えなければならぬが、中で最も有効な日射量の日変化は気温変化と同位相で、以下の考察には支障がないと思われるので、ここでは(2)式によって議論を進め、他の原因を考慮した量的な考察は後の機会にゆずることとする。(2)を解けば、 $T - \bar{\theta} = e^{-\frac{R}{c_s H V} x} (T - \theta_0)$ 但し上流区の始点を $x=0$ とする。上式より $\bar{\theta}$ は T 近上昇しうることがわかる。

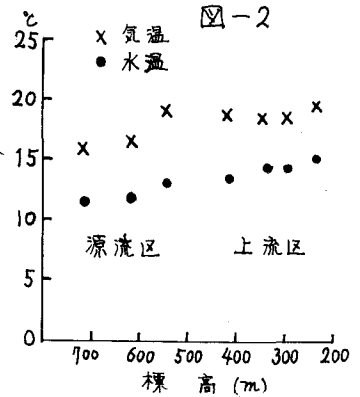


図-2は石狩川上流の $T, \bar{\theta}$ と標高との関係を示したもので、上流区と源流区の水温上昇と気温との関係の相異が見られる。

3) 中流区 中流区は幾つかの支流が集つて流速、水深、流量共に急激に増大している部分で、十勝川では帯広辺りから下流即ち連続観測の行われた区間である。2)と同様気温の影響のみを考えることにすれば水温上昇の方程式は次式であらわされる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + V \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{R}{c_s H} (T - \theta) \quad (3)$$

今上流区で流水が十分あつたをうれて $\bar{\theta} = T$ となつたとし、水温及び気温の時間的变化が近似的に sine 函数であらわされるとして $T - \bar{\theta} = \theta e^{i\omega t}$, $\theta - \bar{\theta} = A \theta e^{i\omega t} X(x)$, $x=0: \theta - \bar{\theta} = A \theta e^{i\omega t}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $V = V(x)$, (A は $x=0$ 即ち中流区の始点における水温と気温の振ゆり比) とすれば(3)の解は

$$\theta = A \theta \cos \omega \left(t - \int \frac{dx}{V} \right) \quad (4)$$

上式より地実 x における水温と気温の位相のずれは、水塊が $x=0$ 即ち同位相の地実からその地実に至達するに要する時間に相当することがわかる。従つて中流区における水温変化は水塊の流下によるものであると云うことが出来る。下の表は十勝川の観測結果(昭27年5月9日)を(4)に入れて計算した θ と T との位相差と実測値とを比較したもので、計算値と実測値とはよく一致している。この場合実測の結果によれば、流速は $V = V(x)$ とみなし得るものであつた。

測点	距離 (km)	平均流速 (m/sec)	θ と T との位相差 (h)	
			実測値	計算値
I	0	1.07	0	0
II	8.8	1.46	2.0	2.0
III	19.0	1.35	4.0	4.0
IV	36.0	0.74	8.0	9.0

(1) 孫野, 熊本, 東: 河川の水温について, 農業物理研究, 昭27

(2) 北海道庁: 双雲別電源開発計画調査報告, 昭28

(3) 北大理学部研究室: 十勝川の流水に関する調査報告