

VII-70 森林域，住宅域を流れる河川水温変化と熱収支解析

東北大学 学生員 ○藤倉雅浩

東北大学 正会員 後藤光亀

1. はじめに

本研究では，河川の水温に着目し約一年間にわたり，森林域と人工的に開削された荒川流域の水温の調査，研究を進めてきた。河川水温は，生物にとって，孵化，羽化，産卵，摂食行動に大きな影響を及ぼし，種の存続に関わるため非常に重要である。しかし近年まで，河川改修工事などにおいて，気かけられずに来た経緯がある。そこで，河川周辺の土地利用に着目し現況の河川の水温形成の把握と，その基礎モデルの構築を目指した。

2. 森林域，開空間の水温形成のモデル化

2.1 実験地点

開空間，森林域において水温と熱収支の検討を行うための水槽実験を行った。開空間として仙台市太白区富田浄水場内にて，森林域として，仙台市太白区自然観察センター落葉樹林内にて行った。実験はそれぞれ11月1日～11月8日，9月30日～10月4日に行った。

2.2 実験方法および装置

実験装置は水深を浅くし，水面での鉛直一次元の熱収支を考察できるように設計した。実験装置は，寸法500×300×70mmの発砲スチロール製でできており，装置の中には砂層を10mm設置し水深50mmとし底は断熱とした。また，熱収支の検討を行うために，乾球および湿球温度，水温，日射量，反射日射量，放射収支，風速の観測を行った。

2.3.2 熱収支モデル

熱収支モデルは次式で表される

$$G_w = f_v(1 - \text{ref})S \downarrow + L \downarrow - L \uparrow - H - IE \quad (1)$$

G_w : 水塊貯熱量, $S \downarrow$: 日射, $L \downarrow$: 長波放射, $L \uparrow$: 長波放射, H : 顕熱, IE : 潜熱, ref : 水面のアルベド, f_v : 透過率[]

長波放射，長波逆放射は次の二層モデルを用いた。

$$L \downarrow = f_v L_a \downarrow + (1 - f_v) L_p \downarrow \quad (2)$$

$$L_a \downarrow = 1.24 \left(\frac{e_a}{T_a} \right)^{\frac{1}{4}} \sigma T_a^4 \quad (3)$$

$$L_p \downarrow = \varepsilon \sigma T_c^4 \quad (4)$$

$L_a \downarrow$: 大気からの長波放射 [W/m^2], $L_p \downarrow$: 植生からの長波放射 [W/m^2], $L \uparrow$: 長波逆放射 [W/m^2], T_a : 気温 [K], T_c : 植生の代表温度 [K], T_w : 水温 [K], ε : 放射率 [], σ : Stefan-Boltzmann 定数 [$\text{W/m}^2/\text{K}^4$], e_a : 大気の水蒸気圧 [hpa], f_v : 透過率

ここで， f_v は透過率であり，開空間においては1となり，森林域においては林内の日射を林外の日射で除して求めた。実験期間中の森林内の透過率は0.08であった。また，植生の代表温度である T_c は，

測定が困難であるが，木の幹に熱伝対を設置し，気温と木の幹の温度を比較した結果，その差が最大でも2℃程度であるため，簡便化し気温と植生の代表温度は等しいとして与えた。

森林域の潜熱，顕熱は次式による。

$$IE = \rho_w C_p U (q_w - q) \quad (5)$$

$$H = c_a \rho_a C_H U (T_w - T) \quad (6)$$

$$C_H U = (C_H U)_{U=0} + 0.00566 (U^{0.8} / X^{0.2}) \quad (7)$$

ρ_a : 空気の密度 [kg/m^3], C_p : バルク輸送係数, U : 風速 [m/s], q_w : 湿度 T_w における比湿 [kg-vapor/kg], q : 気温 T における比湿 [kg-vapor/kg], c_a : 空気の比熱 [J/K/kg], X : 吹送距離 [m]

2.3 水温計算

開空間，森林域区間における水温計算を行い結果を図1,2に示す。開空間における計算値と予測値は，11月3日の曇天時を除いて，日中はほぼ一致しているが，夜間に最大2℃のずれを生じた。

森林域においては1℃以内の精度でほぼ一致した。

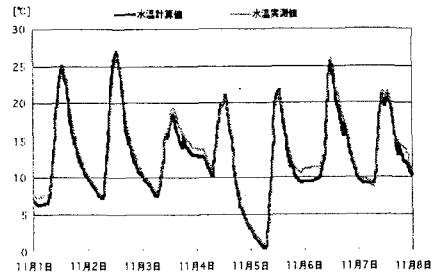


図1. 開空間における水温計算値

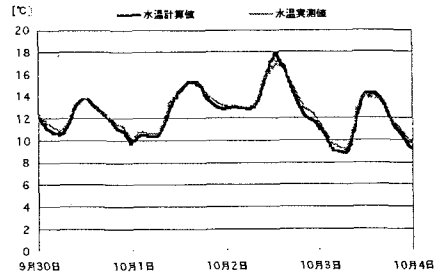


図2. 森林域における水温計算値

3. 水温観測とその熱収支の考察

3.1 観測地点

仙台市荒川は太白山内の森林域を水源とし，名取川に注ぐ流程10km程度の小河川である。森林に囲まれた上流域2地点(S1, S2)と人工的に低水路が整備され，河川上空に遮蔽物の存在しない開空間2地点(S3, S4)において水温の観測を行った。またそれぞれの地点近辺で気象データの観測を行った。

3. 2 水温観測結果

森林域2地点における水温は、森林域の最高水温は20℃程度、冬は最低で1℃前後となった。いっぽう、開空間2地点においての最大で30度を越え、夏は日最低水温が20℃を越えることもあった。上流域においての年間最高水温は20℃前後であったが、この20℃という温度は冷水魚であるヤマメの適水温の上限値に当たり、この差が森林域にはヤマメが生息しており開空間では確認がとれない理由であると考えられる。

3. 3 水温日較差

水温変動の特性をみるため水温日較差を図3-4に示す。両地点における水温日較差を比較するとその傾向が大きく異なった。森林域においては、日較差は4月下旬まで上昇するがそれ以降は急激に減少する。一方、開空間においては、5月下旬まで水温日較差は上昇し、それ以降は森林域より緩やかに減少した。この、日較差の変動の傾向の違いは、森林域は4月下旬より植生が繁茂することにより、日中は日射の透過を防ぎ、夜間は放射冷却を緩和する働きによるものではないかと考えられる。

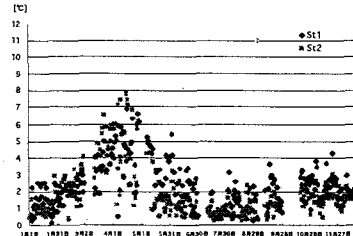


図3. 森林域の水温日較差

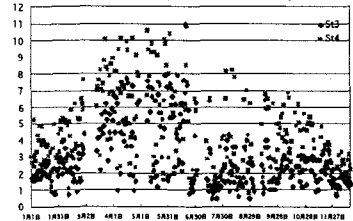


図4. 開空間の水温日較差

3. 4 モデルを用いた水温日較差についての熱収支的考察

この結果を踏まえ植生の有無がもたらしたと考えられた水温日較差の挙動を熱収支モデルを用いて熱収支から考察を行う。そこで、前述した実験に用いた水槽(静水)を一年間開空間と森林域に設置したとする仮想条件のもとで、それぞれの気象データを与え年間の水槽の水温と河川水温の挙動を比較して考察を行う。

3. 4. 1 水槽の水温と河川水温の比較

図5-8に年間におけるそれぞれの地点の水槽の水温日較差と熱収支を示す。その挙動をみると、河川

水温の挙動とほぼ同等であった。相関をとると森林域、開空間それぞれ $R^2=0.7549, 0.6573$ となり、ある程度河川水温の挙動と一致した。それぞれの地点の河川水温の日較差の挙動に差が生じた4月、5月の熱収支を見ると、森林域では、日射の減衰とともに、長波放射の収支が小さい値に変化していた。このことより、植生の被覆効果が森林域、開空間を流れる河川水温の挙動の差を作り出すことが示された。

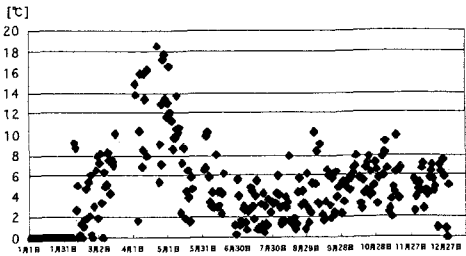


図5. 森林域水槽水温日較差

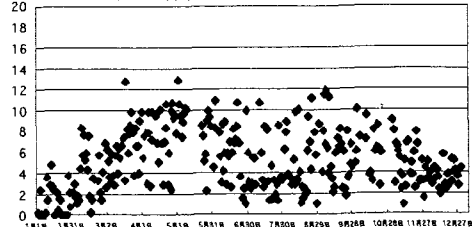


図6. 開空間水槽水温日較差

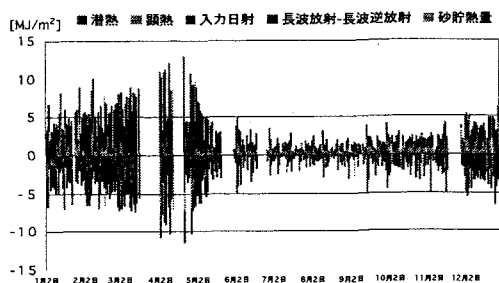


図7. 森林域の熱収支日積算値

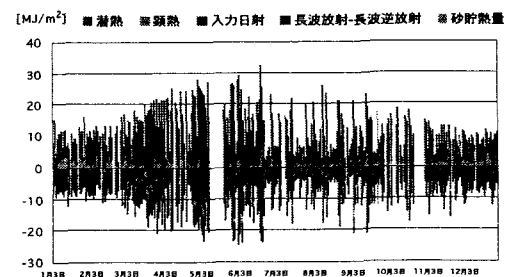


図8. 開空間の熱収支日積算値

4. おわりに

今後は移流拡散も考慮し、計算を行い水温の特徴を表現していくつもりである