

VII-28

都市内河川空間の熱環境評価について

東北大学 学生員○藤倉 雅浩
東北大学 正会員 後藤 光亀
東北大学 正会員 大村 達夫

1. はじめに

近年、多自然型川づくりが全国的に推し進められている。多自然型川づくりの定義は「河川が本来有している生物の良好な生育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全あるいは創出する事業の実施をいう」となっている。そこで、河川生態系を考える上で重要な要素の一つとなるのが河川空間の熱環境である。生物にとって、基準温度からの積算温度により種の発芽、卵の孵化が起こることなどから種の存続に関して大きな意味を持つ。

本研究では、河川空間の熱環境の一つの要素である地温に焦点を当て、水平面、河川堤防などの傾斜面における日射の授受を評価し、河川全体の熱環境を評価するための基礎的な検討を試みた。

2. 熱収支式

地温を評価するには地表面での熱収支を評価しなければならない。地表面における熱収支式は次式で与えられる。

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

G_S : 地中伝導熱, ref : アルベド, S : 日射, $L \downarrow$: 長波放射, $L \uparrow$: 長波逆放射, H : 顕熱, IE : 潜熱

以下に各要素ごとの計算式を示す。

2.1 全天日射

日射には、大気を直進し平行光線として地表に到達する直達日射 (S_{dir})、日射が大気中で散乱されたのち全天空から地表に到達する天空日射 (S_{sky})、周辺地物からの反射成分である反射日射があり、これらを合計して全天日射 (S) とし、次式のように計算する。今回、反射日射は計算が煩雑であり、その割合が小さいため無視した。

$$S_{\text{dir}} = S_0 P \frac{1}{\sinh} \cos i \quad [W / m^2] \quad (2)$$

$$\cos i = \cos \theta \sin h + \sin \theta \cosh \cos(A - A_g) \quad (3)$$

$$S_{\text{skyh}} = \varphi_s \frac{1}{2} S_0 \sinh \frac{1 - P \frac{1}{\sinh}}{1 - 1.4 \ln P} \quad [W / m^2] \quad (4)$$

S_{dir} : 直達日射, S_0 : 太陽常数, P : 大気の透過率, h : 太陽高度, i : 斜面への太陽の入射角, θ : 斜面傾斜角, A : 太陽の方位角, A_g : 斜面の方位角, S_{sky} : 天空日射, φ_s : 斜面の天空に対する形態係数

2.2 長波放射, 長波逆放射

大気から地表面に放射されるものを長波放射, 地表面から大気に放射されるものを長波逆放射と呼び、次式で与えられる。

$$L \downarrow = \sigma \Theta_a^4 (c + d \sqrt{e_a}) \quad [W / m^2] \quad (5)$$

$$L \uparrow = \varepsilon \sigma \Theta_g^4 \quad [W / m^2] \quad (6)$$

σ : Stefan-Boltzmann 定数 (W/m^2K^4), Θ_a : 気温の絶対温度 [K], c, d : 実験定数 (Brunt によると $c=0.51, d=0.066$), e_a : 大気の水蒸気圧 [hPa],

ε : 放射率, Θ_g : 地表面の絶対温度 [K]

2.3 潜熱, 顕熱

潜熱とは地表面における水蒸気量と大気中の水蒸気量の差によって生ずる水蒸気の移動すなわち蒸発、凝結にともなう生ずる熱のことであり、顕熱とは地表面と大気との温度差によって大気と地表面間を移動する熱のことであり、潜熱、顕熱は以下のバルク式を用いて計算する。

$$H = c_p C_{H1} U (T_s - T) W \quad [W / m^2] \quad (7)$$

$$IE = \rho C_E U (q_s - q) W \quad [W / m^2] \quad (8)$$

c_p : 空気の定圧比熱 [J/kgK], ρ : 空気の密度 [kg/m^3], C_{H1} : バルク輸送係数, C_E : 潜熱のバルク輸送係数, W : 風速 [m/s], T_s : 地表面温度, T : 気温 [K], q_s : 地表面温度 T_s に対する飽和比湿, q : 大気の比湿, i : 水の気化潜熱

2.4 地中伝導熱

地中伝導熱は次のフーリエの式によってあらわされる。

$$G_s = -\lambda_G \frac{\partial T_G}{\partial z} \quad [W / m^2] \quad (9)$$

λ_G : 地面の熱伝導率 [$J/s/mK$], T_G : 地中の温度 [K]

一方、地中の一次元熱伝導方程式は次の通りである。

$$\frac{\partial T_G}{\partial t} = \frac{\lambda_G}{c_G \rho_G} \frac{\partial^2 T_G}{\partial z^2} = a_G \frac{\partial^2 T_G}{\partial z^2} \quad (10)$$

$c_G \rho_G$: 地面の熱容量 [J/m^3K], a_G : 地面の熱拡散率 [m^2/s]

上式から次式が得られる。

$$\frac{dG_s}{dz} = -c_G \rho_G \frac{dT_G}{dt} \quad (11)$$

これらの式を陽解法を用いて解き地中温度分布を求めた。

3. モデルの構築

今回のモデルの構築に際して、実測データとして測られている水平面全天日射から傾斜面における全天日射を得るために水平面での全天日射を水平面直達日射と水平面天空日射に分離した。分離手法は理論値の水平面天空日射をあらかじめ算出しておき、実測日射がそれよりも大きい場合その差を水平面直達日射として、傾斜面における直達日射を計算し、実測日射が小さい場合は水平面直達日射はゼロとみなし、その実測日射が水平面天空日射のみであるとして傾斜面における天空日射を計算した。また、地面と大気との熱の授受は地表面のみでやりとりされるものとした。

4. モデルの検証

今回モデルの検証として 1998 年 1 月 24 日の仙台市荒川における実測データを用いた。実測データは水平面における日射、風速、湿球、乾球の気象データと北側天端 (アスファルト)、北側斜面 (コンクリート)、南側斜面 (コンクリート) の地表面温度、河原の 1, 10, 30cm 深さの地温を用いた。図-1 に荒川断面の略図を示す。観測地点での荒川はほぼ西から東へ流下しており斜面の傾斜角は、26.5 度である。したがって北側斜面は南向き斜面となる。図-2 に各地点における熱収支を、図-3 に地中温度分布の時間変化を示した。また計算に使用した地面の種々の物性値を表-1 に示す。なお、アスファルト、コンクリートの場合潜熱は考慮していない。

地表面の熱収支において図 2 より日射が最も大きな要素を占めているのが分かる。図 2-a~図 2-d までの日射量を比較すると、その値は北側斜面で最大 $564 W/m^2$ 、水平面では $396 W/m^2$ 、南側斜面では $162 W/m^2$ となりその差は大きい。

モデルの計算結果より、河原においては深さ 10cm, 30cm における実測値と計算値の挙動はほぼ等しく再現された。ただし、地表面温度に関しては $0^\circ C$ 付近での挙動に差が生じている。この差は河川の凍結による潜熱の影響があると考えられる。そのため、 $0^\circ C$ から地温が上昇するのに時間がかかっていると考えられる。

北側天端に関してはほぼ実測値と計算値が一致した。

次に、北側斜面と南側斜面を比較してみる。日射量の違

いにより、北側斜面の実測の地温が $-1.3^{\circ}\text{C}\sim 22.2^{\circ}\text{C}$ まで変化するのに対して、南側斜面では $-3.5^{\circ}\text{C}\sim 3.8^{\circ}\text{C}$ までと低い値で変化の幅も小さくなっている。このことは、河川の方角、地表面の傾斜によって河川の熱環境に大きな影響を及ぼすことを示している。北側斜面において計算値は実測値の挙動とはほぼ同じように再現が出来た。しかし、南側斜面においてはかなりの差が生じている。南側斜面の実測値をみると12時から16時にかけて日射があり地中伝導熱があるにもかかわらず地温が上昇していない。一方北側斜面においてはほぼ同じ状態で地温が上昇している。このことから実測値を計測したときに周辺の構造物の陰や残雪による影響が及んだのではないかと推察される。

深さ10cmでの地中温度変化はどの地面にしても地表面温度変化とは異なっており、地表面の温度が13～14時の間

に最大値を記録するのに対して16時付近に最大値を記録している。このことは熱が地表面でやり取りされ、地下に伝わるのに数時間かかるという位相のずれが生じていることを再現しており、夜間に蓄熱が放出されている。また、深さ30cmに関しては地温の日周変化が 1.2°C 程度であることがわかる。

5. おわりに

今回はバルク法を用いた簡便な式で地温分布を再現してみた。計算から地温の日周変化をある程度まで正確に表現することが出来た。しかし、考察に述べたように凍結や構造物による日陰の影響などを考慮に入れなければならない。これからは、草地など日射が直接地面に到達しない場合や、地面の含水率も考慮に入れたモデルの構築を行ってきたい。

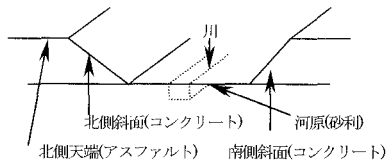


図-1 策川断面形状

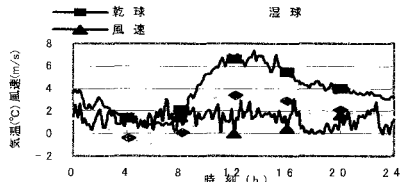


図-2 1月24日 気象データ

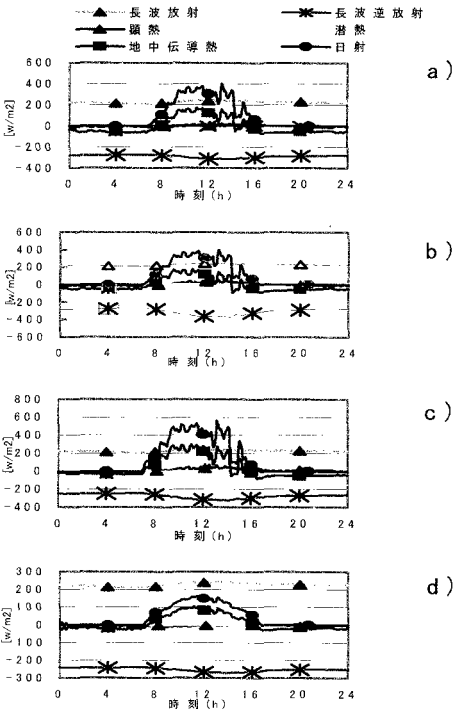


図3 熱収支

表1 地面の物性値¹⁾

	熱容量 $[\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}]$	熱伝導率 $[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$	射出率	アルベド
砂利(河原)	3.0×10^6	2.0	0.89	0.35
アスファルト(北側天端)	1.4×10^6	0.7	0.90	0.20
コンクリート(斜面)	2.1×10^6	1.7	0.78	0.27

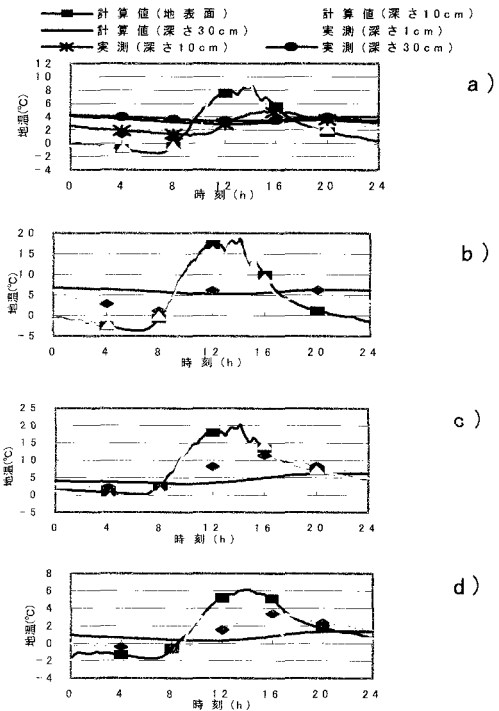


図4 地温分布

参考文献

- 1) 水環境の気象学 近藤純正 朝倉書店、
- 2) 太陽エネルギー利用ハンドブック 日本太陽エネルギー学会