

# 河畔林葉面積指数の季節変動を考慮した 日射遮断機能のモデル化

MODELING OF RADIATION SHADE FUNCTION CONSIDERING SEASONAL  
CHANGE OF LEAF AREA INDEX OF RIPARIAN VEGETATION

吉田貢士<sup>1</sup>・塩沢昌<sup>2</sup>・戸田修<sup>3</sup>・宗村広昭<sup>4</sup>・丹治肇<sup>5</sup>

Koshi YOSHIDA, Sho SHIOZAWA, Osamu TODA, Hiroaki SOMURA and Hajime TANJI

<sup>1</sup>正会員 農博 東京大学大学院講師 農学生命科学研究科 (〒113-8657 文京区弥生1-1-1)

<sup>2</sup>正会員 農博 東京大学大学院教授 農学生命科学研究科 (〒113-8657 文京区弥生1-1-1)

<sup>3</sup>学生会員 修士(農) 東京大学大学院 農学生命科学研究科 (〒113-8657 文京区弥生1-1-1)

<sup>4</sup>正会員 農博 島根大学助手 生物資源科学部 (〒690-8504 島根県松江市西川津町1060)

<sup>5</sup>正会員 農博 有明チーム長 農村工学研究所 (〒305-8609 つくば市観音台2-1-6)

Recently, multiple functions of river riparian vegetation are attracted in biological, environmental river engineering field. The decline of riparian vegetation strongly affects the river thermal environment, which also has a large impact on the ecological systems. In this study, a model that relates stream temperature with riparian vegetation was developed. The Nam Song River, which is a tributary of the Nam Ngum River flowing through the Vientiane Metropolis, was selected for field study. Meteorological data (air temperature, relative humidity, wind speed) were used, and the sink or source terms of the heat transfer equation were estimated from that data. NDVI (normalized difference of the vegetation index) remote sensing data was used for estimation of LAI (leaf area index) seasonal change. Simulations were made with several cases of riparian vegetation density, showing that river water temperature is more sensitive to river discharge change in the case of low density condition.

**Key Words :** Riparian Vegetation, Vegetation Density, Leaf Area Index, Stream Temperature

## 1. 序論

健全な河畔林を有する河川では、木々の樹冠により日射が遮られ河川水温は低く保たれるため、河川流量が小さい湧水期においても藻類の増殖が抑えられる<sup>1)</sup>。水温は河川水質の項目においても重要なパラメータであり、水資源の貯留・工業利用・灌漑といった人間活動は、河川水温を大きく変化させてきた<sup>2),3)</sup>。

本研究で対象とするメコン河中流の山岳地帯に位置するラオスでは、人口増加に伴う農地開発や焼畑の増加により河畔林が破壊されている<sup>4)</sup>。河畔林植生密度の減少は河川水温に大きく影響し、河川生物環境への深刻な影響が懸念されている。

前報<sup>5)</sup>では、従来の河川水温予測モデルに河畔林の植生高さ・密度・河川からの距離を考慮した河川水温解析モデルを構築し、ラオスの首都を流れるナムグム川の支流であるナムソン川に適用した。しかし、解析は乾期に

ついでのみ行われ、河畔林の日射遮断については、河畔林形状をGISデータから得られた平均値を解析区間10kmに一様に用い、植物活性の季節変動も考慮されなかった。本研究ではダム下流の河畔林形状について現地調査によりデータを得、解析に用いた。さらに植生の活性度を表すNDVI (正規化植生指標)データより河畔林のLAI (葉面積指数)を計算し、河畔林日射遮断の季節変動を考慮したモデル化を行い、河川水温の長期解析を行った。

## 2. 対象地域

ナムソン川は、図-1に示すように集水面積1,800km<sup>2</sup>・河川長100kmを有するナムグム川の支流である。ナムグムダムにおける慢性的な水量不足を受けて、ナムソン川からナムグムダムに導水を行うナムソングダムが1996年に建設された。ナムソングダム下流には8ヶ村4,000人が暮らしており、ダムの計画段階においては住民の家庭用水・



図 - 1 対象地域

農業用水・排水稀釈水などの配慮から、乾季放流量  $8\text{m}^3/\text{s}$  (自然流量は約  $10\text{m}^3/\text{s}$ ) を保障するものとされたが、現在は  $2\text{m}^3/\text{s}$  しか確保できていない。ダム completion 以後、乾季流量が減少した下流河川においては、漁獲の減少、家庭用水が取水できなくなったなど、住民の生活に直接的な被害が出ている。そのため住民は河畔林を伐採して換金し、果樹や畑作をして生活を補っているが、河畔林の減少が魚類などの河川生息動物の減少に拍車をかけている<sup>4)</sup>。本研究ではナムソングダム下流の10km区間を解析対象とした。河川水温の観測はダム下流4kmのA地点 (N18° 46' 12", E102° 24' 00"), 気象データはさらに15km下流のHinheup観測所 (N18° 39' 48", E102° 21' 18") のデータを用いた。

### 3. 短波放射量の推定

水温の変化を予測するためには、河川における水分子が得る又は失う熱収支を計算する必要がある。熱交換の物理過程では、熱の移流・熱伝導・蒸発の潜熱・顕熱・短波放射などがあげられる。しかし、本研究対象地域では日射量に関する観測データがないため、まず地上における短波放射量の日変動を推定する必要がある。

本研究では、気温・湿度・風速などの気象データを用いてFAO<sup>6)</sup>が推奨している方法により短波放射量を次のように計算した。1年におけるある日付・時刻および対象とする場所の緯度における地球外放射量  $R_a$  は次式により計算できる。

$$R_a = \frac{12(60)}{\pi} G_{sc} [(\omega_2 - \omega_1) \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))] \quad (1)$$

$$dr = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (2)$$

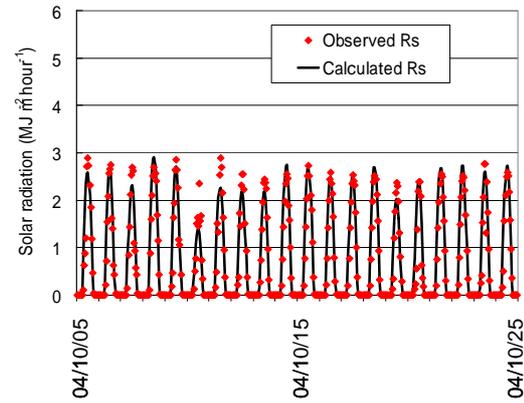


図 - 2 短波放射量の計算結果 (102.5E, 18N)

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (3)$$

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi \Delta t}{24} ; \quad \omega_2 = \omega + \frac{\pi \Delta t}{24} \quad (4)$$

ここで、 $R_a$  は時間単位の地球外放射量 [ $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hour}$ ]、 $G_{sc}=0.082[\text{MJ}/\text{m}^2/\text{min}]$  は短波放射係数、 $dr$  は太陽と地球の相対距離、 $\varphi$  は対象とする場所の緯度 [rad]、 $\delta$  は太陽の偏角 [rad]、 $J$  は1月1日からの積算日数、 $\omega_1$  はある時刻始まりの太陽角度、 $\omega_2$  はある時刻終わりの太陽角度、 $\omega$  はある時刻の中間時における太陽角度 [rad]、 $\Delta t$  は計算時間 [hour] である。

短波放射  $R_s$  は地球外放射と相対日照時間を用いて Angstrom 式により計算した

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a ; \quad N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (5)$$

ここで、 $R_s$  時間短波放射量 [ $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hour}$ ]、 $n$  は1日における実日照時間 [hour]、 $N$  はその日における最大日照時間 [hour]、 $a_s$  および  $b_s$  は Angstrom 係数である。ここでは FAO の推奨する値を用いた ( $a_s=0.25$ ,  $b_s=0.5$ )。

ラオスで唯一観測データが存在する首都ビエンチャン (102.5° E, 18° N) における計算結果を図 - 2 に示す。図中の実線が計算値、プロットが実測値である。降雨時に短波放射の最大値が低く計算されているが、これは Angstrom 式において日単位の日照時間により補正を行ったためと思われる。

### 4. 河畔林植生による遮蔽率の計算

河畔林の存在による河川水温への影響を評価するためには、植生自体が有する活性度の季節変動と各時刻における直達日射の遮蔽率  $V_{shade}$  を計算する必要がある。そこで、まず対象とするナムソングダム下流における河畔林の植生高  $V_h$ 、植生密度  $V_d$ 、河川中央からの植生距離  $V_o$  をフィールド調査により計測した。ここでの植生密度とは河岸の地表面積における植生被覆面積率で定義する。

観測された河畔林帯の樹高および河川の流心からの距

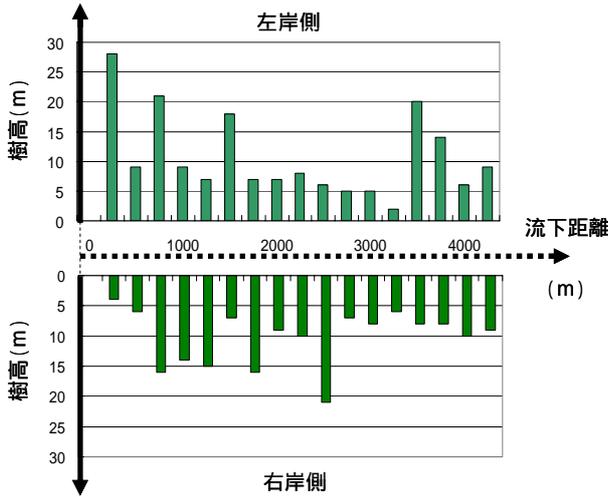


図 - 3 河畔林帯の樹高

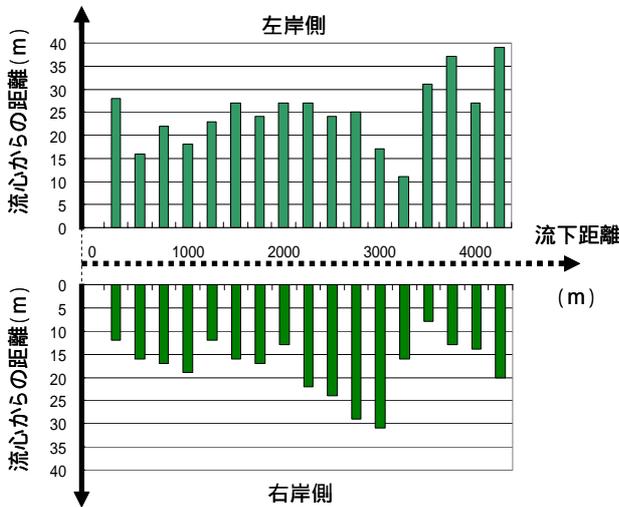


図 - 4 河畔林と河川の流心間の距離

離を図 - 3、図 - 4 に示す。現状での植生密度は右岸・左岸ともに約60%であったが、午前中に日射のあたる右岸側のほうが植生は若干高く、河川近くまで茂っていた。またダム下流3km付近の左岸側では河畔林が伐採され畑作が行われたいた。

得られた河畔植生の特徴をもとに、図 - 5 のように植生による直達日射の遮蔽率を3章で計算した日の出・日の入り・太陽偏角の時間変化、および河川流向の空間変化から河川グリッド毎に計算した。地形および植生による日射の遮断効果についてはChenら<sup>7)</sup>が詳細なモデル化を行っている。地形遮断は河道と標高データから計算されるが、本研究のように1kmグリッドで計算を行う際には、河畔林による遮断効果のみ考慮するよう簡略化した。

まず植生が水面に落とす影の長さは以下で与える。

$$S_{length,L} = |V_{hL} \cdot \tan(\omega)| \quad (-\omega_s < \omega < 0) \quad (6)$$

$$S_{length,R} = |V_{hR} \cdot \tan(\omega)| \quad (0 \leq \omega < \omega_s) \quad (7)$$

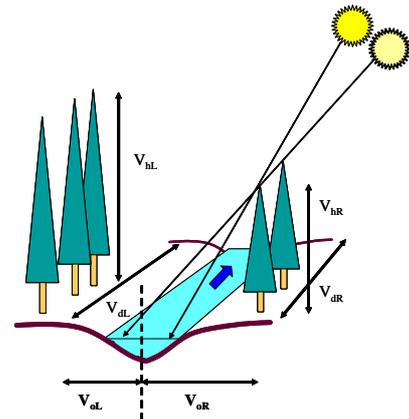


図 - 5 河畔林による水面遮蔽率

ここで、 $S_{length}$ は影の長さ、 $V_h$ は植生高さ、添え字のL,Rは左岸および右岸を示す。

次に、河道の偏角により川幅を修正した。

$$W_m = W / \cos(\theta) \quad (8)$$

ここで、 $W_m$ は河道の偏角により修正された川幅、 $\theta$ は河道の偏角である。(なお、流向が南北のとき  $\theta = 0^\circ$ 、東西のとき  $\theta = \pm 90^\circ$ 、 $W_m$  グリッド幅である。)

日射のあたる水面幅は以下により計算した。

$$W_{shined,L} = \max(0, V_{oL} + W_m / 2 - S_{length,L}) \quad (-\omega_s < \omega < 0) \quad (9)$$

$$W_{shined,R} = \max(0, V_{oR} + W_m / 2 - S_{length,R}) \quad (0 < \omega < \omega_s) \quad (10)$$

以上より、植生による遮蔽率は以下のように算出した。

$$V_{shade} = E_{VL} \cdot V_{dL} \cdot (W_m - W_{shined,L}) / W_m \quad (-\omega_s < \omega < 0) \quad (11)$$

$$= E_{VR} \cdot V_{dR} \cdot (W_m - W_{shined,R}) / W_m \quad (0 < \omega < \omega_s) \quad (12)$$

ここで、 $E_V$ は植生の日射遮断係数である。 $E_V$ は植生の季節的繁茂状態により変化し、Beeの法則によりLAI(葉面積指数)より次のように推定した。

$$R_{s,out} = R_{s,in} \cdot (1 - E_V) = R_{s,in} \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot LAI)) \quad (13)$$

ここで、 $R_{s,out}$ は植生を通過した日射量、 $R_{s,in}$ は植生を通過前日射量、 $\beta (=0.52)$  は消散係数である<sup>8)</sup>。

LAIは単位面積あたりの葉面積で表され、季節的な植生の活性度を表現するNDVI(正規植生指標)により推定が可能である。NDVIとLAI間の関係は線形で近似でき<sup>9)</sup>、LAIはNDVIより次式で計算される<sup>10)</sup>。

$$LAI_i = LAI_{max} \cdot (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (14)$$

ここで、添え字のmax, min, iはそれぞれ最大値、最小値、時期(ここでは月)を表す。図 - 6 にUSGSにより公開されている1990-2000年の10年間NDVIデータの月別平均値の変化を示す。対象地域では、雨期(7月から11月)に活性が高く、乾期(12月から6月)において活性が低い。

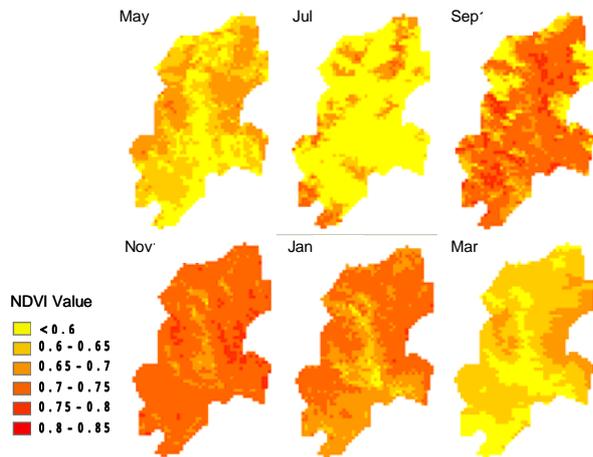


図 - 6 NDVIの月別変化(1990-2000の平均値)

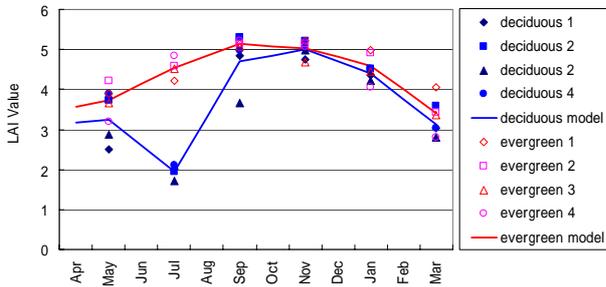


図 - 7 LAIの月別変化(1992-1993)

図 - 7にNDVIから推定された常緑樹、落葉樹のLAIの季節変化を示す。常緑樹、落葉樹ともに雨期に高いLAIを示し、乾期は相対的に低い。さらに落葉樹では乾期の終わりに落葉し、雨期に入ると葉が再び回復する。本研究では、常緑樹、落葉樹のLAI季節変化を実線のようにモデル化し、解析に用いた。

図 - 8に2004年3月20日におけるダム下流4km地点での日射遮蔽率の計算結果を示す。午後の日射を遮る右岸側植生の影響で午後の水面遮蔽時間が長くなっており、また太陽が南中する正午付近においては植生の遮蔽率はゼロである。

## 5. 河川水温の計算

本研究では、周辺環境との熱交換を考慮した1次元の熱移流・拡散方程式を用いた。河川流量、断面積が変化する開水路における熱輸送方程式は次式で表される。

$$A \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(QT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( AD_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{WS}{\rho C_p} + \frac{G}{\rho C_p} \quad (15)$$

ここで、 $T$ は水温、 $x$ は流下距離、 $t$ は時間、 $D_L$ は流下方向の熱拡散係数、 $S$ は周辺環境との熱交換に関する項、 $A$ は通水断面積、 $W$ は水面幅、 $Q$ は流量、 $G$ は横流入による熱輸送、 $\rho$ は水の密度、 $c_p$ は水の比熱である。対象としたナムソン川では流速が相対的に速く、熱拡散係数を15-200 $m^2/s$ の範囲で変化させたところ結果に影響がなか

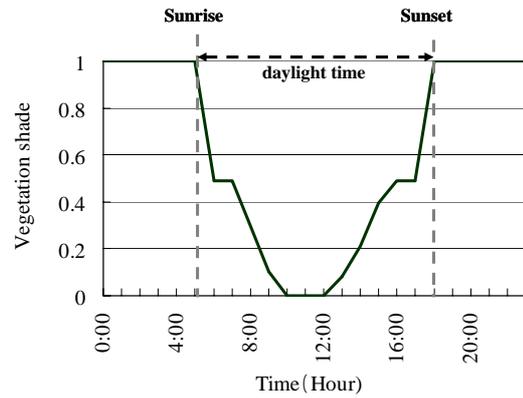


図 - 8 植生遮蔽率の日変動(2004年3月20日)

( $\theta = 0^\circ$ ,  $W_m = 12m$ ,  $V_{cl} = 60\%$ ,  $V_{cr} = 60\%$ ,  $V_{hl} = 20m$ ,  $V_{cl} = 25m$ ,  $V_{ml} = 8m$ ,  $V_{cr} = 8m$ )

ったため、本研究では20 $m^2/s$ を用いた。式(15)はよく混合した定常流における熱方程式であり、熱輸送は横断方向にはないと仮定している(Bashar<sup>11)</sup>)。断面積 $A$ と水面幅 $W$ は流量 $Q$ の関数であり、本研究ではHinheup観測所において得られた関係式 $W=10.0Q^{0.15}$ を用いた。

周辺環境との熱交換に関する $S$ は次のように表される。

$$S = S_a + S_b \quad (16)$$

$$S_a = H_s - H_l - H_e - H_c \quad (17)$$

ここで、 $S_a$ は水塊と空気で熱交換量、 $S_b$ は水塊と河床との間の伝導熱、 $H_s$ は短波放射による熱交換項、 $H_l$ は長波放射による熱交換項、 $H_e$ は蒸発による熱輸送項、 $H_c$ は対流による熱交換項である。

短波放射量は既に3章で述べたとおり気象データから計算され、純短波放射量は入射量と反射量、さらに植生による遮断率により次のように表される。

$$H_s = (1 - \alpha) R_s (1 - V_{shade}) \quad (18)$$

ここで、 $\alpha=0.06$ は水面における反射率、 $R_s$ は3章における短波放射量、 $V_{shade}$ は4章における河畔林植生の遮蔽率である。

純長波放射量 $H_l$ は次のように表される。

$$H_l = \sigma (\epsilon_w T_{K,s}^4 - \epsilon_a T_{K,a}^4) \quad (19)$$

ここで、 $\sigma$ はステファン-ボルツマン係数、 $T_{K,s}$ は水面のケルビン温度、 $T_{K,a}$ は空気のケルビン温度、 $\epsilon_w (=0.97)$ は水面の長波放射率、 $\epsilon_a (=0.78)$ は大気の大気放射率である<sup>12)</sup>。なお、今回は河畔林の日射遮断機能について注目することとし、キャノピーからの長波放射については考慮せず今後の課題とした。この長波放射量を推定するためには、草木の温度変化を計測する必要がある。

蒸発に伴う熱輸送項 $H_e$ は次のように表される。

$$H_e = \rho L f(Wind) (e_w - e_a) \quad (20)$$

$$f(Wind) = 0.0296 + 0.00637 Wind_z \quad (21)$$

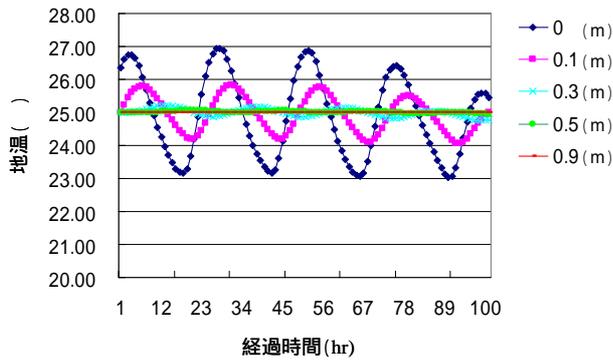


図 - 9 地温の解析結果

ここで、 $e_a$ は空気蒸気圧、 $e_s$ は水面温度における飽和蒸気圧、 $L$ は水の蒸発顕熱、 $f(Wind)$ [m/s/kP]は風速の関数であり、 $Wind_z$ は高さ $z$ における風速である(Gulliver<sup>13)</sup>)。対流項 $H_c$ は次の式で表される。

$$H_c = 0.61 \frac{P}{1000} \rho L f(Wind)(T_s - T_a) \quad (22)$$

ここで、 $T_a$ は気温、 $P$ は大気圧[kP]、 $f(Wind)$ は蒸発の項と同じ関数である。

水塊と河床における伝導熱 $S_b$ は次式により与えられる。

$$S_b = -k \frac{\partial T_b}{\partial z} \Big|_{z=0} \quad (23)$$

ここで、 $k$ は河床材料の熱伝導率、 $T_b$ は河床温度、 $z$ は鉛直距離である。河床での熱伝導は乾季の水深が極端に浅い場合は無視できない<sup>14)</sup>ため、本研究では鉛直方向1mの土層内地温分布を0.1mグリッドで数値解析し、河床との間の熱伝導を計算した。対象区間の河床材料は比較的大きい礫であり、本研究では $k = 1.54$ (W/m)を用いた。深さ1mにおいては年間の平均気温25を境界条件として与えた。土層内地温分布を図-9に示す。深さ0.3mまでは河床熱伝導の影響が残るが0.5mより深い場所では地温はほぼ一定であった。

横流入による熱輸送 $G$ は以下で与えられる。

$$G = \rho C_p q_l (T_g - T_w) \quad (24)$$

ここで、 $q_l$ は単位流下距離あたりの横流入量[m<sup>3</sup>/s/m]、 $T_g$ は流入水の水温である。本研究では100km<sup>2</sup>以上の集水域をもつグリッドを河道としたため、解析区間には支流はないものとした。また、横流入は地下水形態での供給が主であると考え、基底流出の水温(27.1)を与えた。地下水の水温は年間を通じてほとんど変化せず、通常は年間の平均気温に近い<sup>15)</sup>。さらに、河道グリッドが受け持つ集水域が大きいため、ここでは流下に伴う流量の増加(横流入)のみを想定し単位グリッドからの基底流出量は吉田ら<sup>16)</sup>の流出解析結果を用いた。

式(15)は陰解スキームのクラック・ニコルソン法により数値的に解いた。タイムステップは1時間、空間スケールは1,000mを用いた。上流境界条件は、温度成層のない貯留池を仮定し、Basherら<sup>11)</sup>の方法を用いて計算し

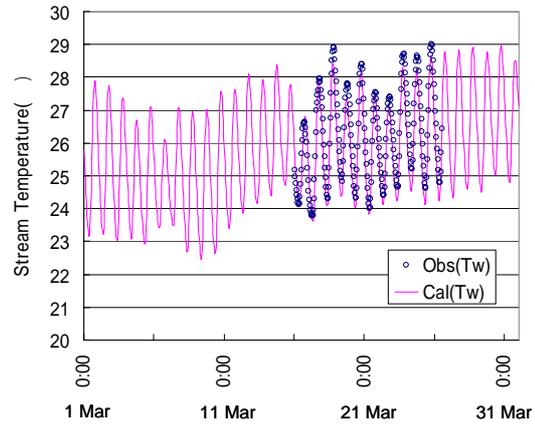


図 - 1 0 水温の解析結果(2004年3月)

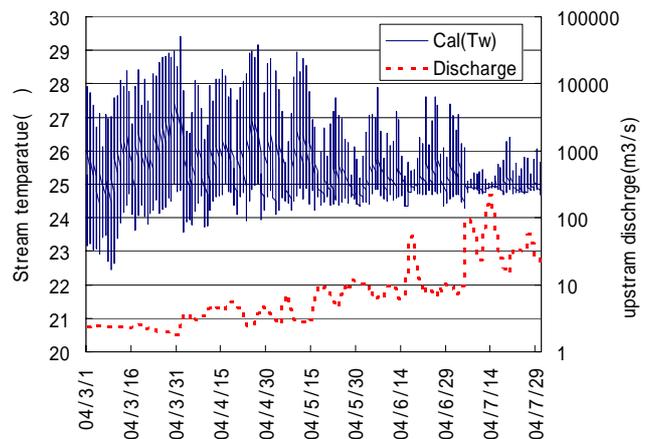


図 1 1 水温変化と流量変化の関係

た水温を与え、下流端境界は温度勾配を一定とした。

## 6. 結果と考察

まずモデルの検証のため、現状の河畔林植生密度60%で計算を行った。図-10にダム下流4km地点における計算結果(1Mar-31Mar2004)を示す。水温の日変動においては時間・水温ともに良好に計算できた。

つぎに現状の植生密度60%において、3月1日から7月30日までの長期解析を行った。図11に河川水温変化と河川流量の変化を示す。左軸は水温を、右軸は計算に用いた上流境界流量を示す。水温は流量の少ない乾期において大きな変動を示し、流量が増大するにつれて変動は小さくなる。乾期においては、日射を遮断する河畔林植生のLAI値も低いいため、河川水温は流量変化に対して敏感に変動する。つまり、水資源開発により流量のさらなる減少が生じた際は、河川水温上昇の影響が大きい。

図-12は、最も流量が減少する3月において、ナムソダム下流の流量を建設前の10.0(m<sup>3</sup>/s)から建設後の2.0(m<sup>3</sup>/s)に変えた場合、水温差が流下距離でどのように変わるかを解析した結果である。なお河畔林の条件と

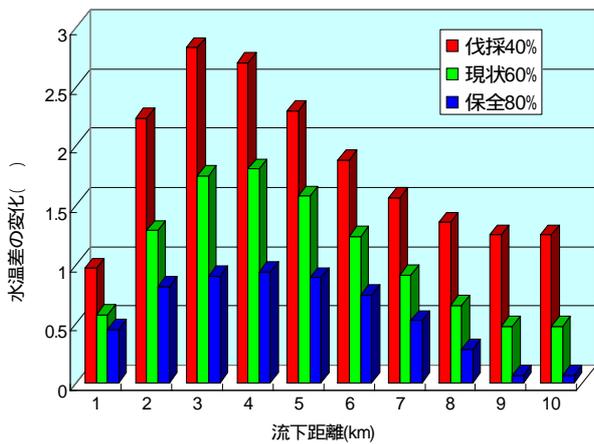


図 - 1 2 流量変化に伴う水温差の変化(植生密度別)

しては、ダム下流4 km地点までは観測値を与え、さらに下流では4 km地点までの平均値を一様に与え、現状の河畔林密度60%と伐採が進行した場合の40%、保全した場合の80%で解析を行った。

現在の開発が水温に与える影響は、下流4km地点において最大となり、約1.7 の水温上昇と算出された。一方、河畔林帯を保全し、密度が80%まで上昇すれば、その影響はおよそ半分に緩和されると計算された。逆に、伐採を想定した密度40%ケースでは水温差は下流3km地点において最大となり、約3 も上昇する。このように、河畔林帯が十分に水面を覆っていると、流量変動に対する水温変化は小さくなる。水資源開発の水温に対する影響緩和には河畔林は有効である。そのため現在は流域内において森林再生プロジェクトが盛んに行われている。

## 7. 結論

本研究では、河畔林帯による日射遮断の日変動および季節変動を計算し、それを入力とした水温解析モデルを構築した。まず、水温の長期変動を解析するために、植生活性度の指標であるNDVIデータからLAIの季節変動を推定し、河畔林を透過する際の日射の減衰を表現した。本対象地域では、常緑樹、落葉樹ともに雨期にLAI値が高く、落葉樹では乾期の終わり5月ごろに落葉によりLAIが大きく減少した。

これら河畔林植生の特徴を考慮して河川水温の長期解析を行った結果、流量の小さい乾期においては、河畔林のLAI値も小さいため、水温度変動幅は大きくなり、河川水温は流量変動に敏感に反応する。また河畔林密度を変化させて解析を行った結果、河畔林密度の減少は水温を著しく上昇させ、さらに流量の変動に伴う水温変化も大きくなることが示された。

謝辞：本研究は科学技術振興機構「CREST：国際河川メコン川の水利用・管理システム」の支援を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 崎尾均, 中村太士, 大島康行: 河畔林・溪畔林研究の現状と課題, 日本生態学会誌, Vol.45, pp.291-294, 1995.
- 2) Bartholow, J. M.: Stream temperature investigation: Field and analytical methods. Instream Flow Information Paper No.13, US Fish Wildlife Service Biological Report 89(17), 1989.
- 3) LeBlanc, R. T., Brown, R. D. and FitzGibbon, J. E.: Modeling the effects of land use change on the water temperature in unregulated urban stream., Journal of Environmental Management, 49(4), pp.445-469, 1979.
- 4) Roel S. and Sean W.: Nam Song Diversion Project ADB TA5693 – Draft Impact Analysis Report and Action Plan, ADB, Oct., 2001.
- 5) 吉田貢士・宗村広昭・樋口克宏・戸田修・丹治肇, 河畔林密度の違いが河川水温環境に与える影響について, 水工学論文集, Vol.49, pp.1543-1548, 2005.
- 6) FAO: Crop Evapotranspiration, FAO irrigation and drainage Paper No.56, 2000.
- 7) Chen, Y. D., Carsel, R. F. McCutcheon, S. C. & Nutter W. L.: Stream Temperature Simulation of Forested Riperian Areas: I. Watershed-Scale Model development, 124(4), pp.304-315, 1998.
- 8) Kitajima, K., Stephen S. M. & S. J. Wright, Variation in crown light utilization characteristics among tropical canopy trees, Annals of Botany 95, pp.535-547, 2005.
- 9) Wardley, N. W. & P. J. Curran, The estimation of green leaf area index from remotely sensed airborne multispectral scanner data, Int. J. Remote Sensing, 5(4), pp.671-679, 1984.
- 10) Justice, C. O., Monitoring east African vegetation using AVHRR data, Int. J. Remote Sensing, 6(8), pp.1335-1372, 1986.
- 11) Bashar, A. S. and Stefan, H. G.: Stream Temperature Dynamics (Measurements and Modeling), Water. Res. Res., 29(7), pp.2299-2312, 1993.
- 12) Edinger, J. E., Duttweiler, D. W. and Geyer, J. C.: The response of water temperature to meteorological conditions, Water Res. Res., Vol.4, No.5, pp.1137-1143, 1968.
- 13) Gulliver, J. S. and H. G. Stefan: Wind function for a sheltered stream, J. Environ. Eng., 112(2), pp.387-399, 1986.
- 14) 近藤純正: 河川水温の日変化(1)計算モデル, 水文水資源学会誌, Vol.8, No.2, pp.184-196, 1995.
- 15) 中村太士, 百海琢司: 河畔林の河川水温への影響に関する考察, 日本林学会誌, Vol.71, pp.387-394, 1989.
- 16) Yoshida, K., Tanji, H., Somura, H.: Stream Temperature Analysis in Nam Ngum River Basin, Mekong, 水工学論文集, 土木学会, Vol.48, pp.1531-1535, 2004.

(2006.9.30受付)