

落葉広葉樹に覆われた溪流の水温季節変化

野口宏典・坂本知己・阿部俊夫（森林総合研究所）

Abstract: We investigated the water temperature of a stream covered by deciduous forests. In May when leaves of deciduous trees were out fully, the daily maximum intensity of incoming solar radiation at the surface of the stream was about 25% of that in April when leaves were not out. The daily maximum and minimum stream temperature reached the annual maximum in summer and the annual minimum in winter. Besides in summer, the daily maximum stream temperature had another peak in April. The daily maximum stream temperature gradients in stream direction kept low while riparian trees had many leaves in comparison with those while leaves of riparian trees weren't out. From these results, it is considered that the relationship between stream temperature gradient and leaves of trees makes the seasonal change of daily maximum temperature complicated.

Key words: stream temperature, riparian forest, solar radiation

要旨：季節により葉の量が変化する落葉広葉樹林に覆われた溪流で、水温の季節変化について調査した。溪流水面が受ける日射量は溪流を覆う広葉樹の葉の有無によって大きく異なり、葉がほぼ展開した5月の晴天日の日最大値は、葉量が少ない4月の値のおよそ1/4になった。日最高水温と日最低水温は、ともに、夏季に年最高となり、冬季に年最低となる季節変化をしたが、日最高水温は4月から5月にかけて一時的に低下した。流下方向の水温勾配の日最高値は、夏季から渓畔の樹木が落葉する10月ごろまでは小さい値で推移し、その後、上昇を続け、4月下旬に年間最高になった。日最高水温が夏季以外にもピークを持つ季節変化をしたのは、溪流水の熱収支が葉の有無に大きく影響を受けた結果であると考えられた。

キーワード：溪流水温、渓畔林、日射

I はじめに

溪流に生息する生物にとって、水温はそこに生息できるかどうかを左右する重要な条件の一つである。溪流を覆う渓畔林は、渓流に差し込む日光を遮り、渓流に与えられる熱エネルギーを減少させることにより、渓流の水温が上昇することを抑制する機能を果たす。

渓畔域を管理していく上で有用であることなどから、渓流を覆う渓畔林と渓流水温の関係については、様々な研究が行なわれてきており、それらの中では、被覆状況の異なる渓流での水温の様子の比較が数多く行なわれてきた。たとえば、Brown (1969) は覆われた渓流と覆われていない渓流を、Brown (1970) や Macdonald ら (2003) は伐採の前後の渓流を、中村ら (1989) は開葉前と開葉後の渓流を、Zwieniecki and Newton (1999) は伐採された区間とその下流区間を、Johnson (2004) はシートで渓流を覆うことによって被覆状況を変化させた渓流を、それぞれ比較した。これらの中、Brown (1969) と中村ら (1989) は、熱収支式を基に、被覆変化が水温に及ぼす影響を予測した。

渓流の被覆状況が季節変化する渓流で、被覆状況が異

なる時期の水温を比較する手法は、同じ渓流で比較が行なえるので、被覆変化が水温に与える影響を評価するための手法として適していると考えられるが、そのような渓流を対象とし、渓流の熱収支の面から検討した研究はこれまであまり行なわれていない。本研究では、葉の量が季節変化する落葉広葉樹林で覆われた渓流を対象として水温に関する調査を行ない、被覆状況の変化が渓流水温に与える影響について、Brown (1969) が用いた熱収支式をもとに検討した。

II 方法

茨城県北茨城市内の落葉広葉樹で覆われた渓流を対象とした（図-1）。対象とした渓流を覆う落葉広葉樹（主にブナ）は、10月から11月に落葉し、4月下旬から5月中旬に開葉する。開葉をはじめると葉の量は一ヶ月ほどの間に大きく増加し、5月中旬には渓流に直接日射が差し込むことはほとんどなくなった（図-2）。

水温は水の熱収支により決定される。水の流れを水塊の流下として捉えると、水塊の熱収支は、式(1)で表される(1)。

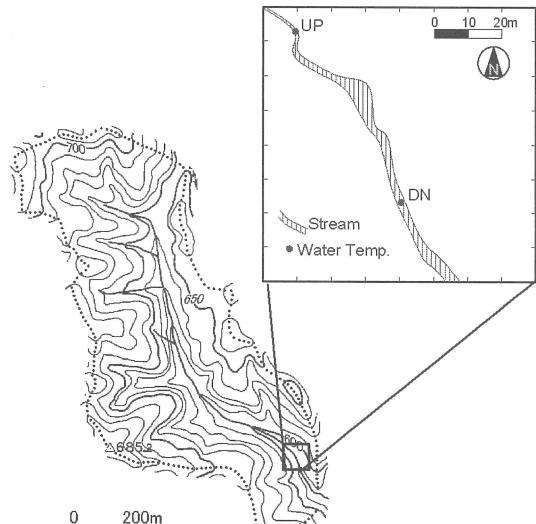
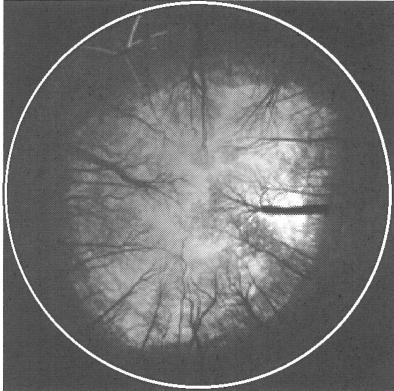


図-1 対象渓流

4月中旬（開空度 38%）



5月中旬（開空度 12%）

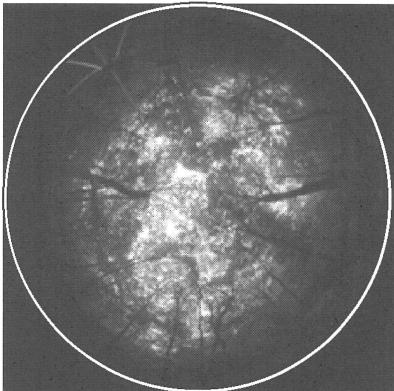


図-2 渓流水面上の全天写真

$$Q_W = Q_{NR} + Q_H + Q_E + Q_G \quad (1)$$

ここで、 Q_W ：流下に伴う水塊貯熱量の変化、 Q_{NR} ：純放射量、 Q_H ：顕熱輸送量、 Q_E ：潜熱輸送量、 Q_G ：地中伝導熱量である。この式は、水塊が流下する過程で、右辺各項の熱量が水塊に入れりし、その結果、左辺で表される水塊貯熱量の変化が起こることを表している（図-3）。水塊貯熱量変化は式(2)によって求められる。

$$Q_W = c_w \rho_w d_w V (T_{i+1} - T_i) / dl_x \quad (2)$$

ここで、 $c_w \rho_w$ ：水の熱容量、 d_w ：水深、 V ：流速、 T_i ：時刻 τ_i に上流点を通過した水塊の水温、 T_{i+1} ：時刻 τ_{i+1} に上流点を通過した水塊が下流点を通過する時の水温、 dl_x ：上流点と下流点の間の距離である。

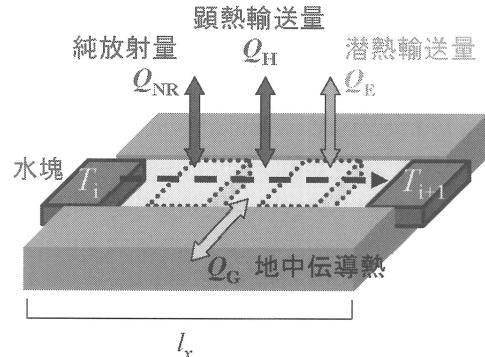


図-3 水塊の熱收支式

上記の熱收支式をもとに水温について検討するためには、流下方向の水温差を測定する必要があるので、水温の測定は、流下方向に約60m離れた2点で行なった（図-1）。水温計を設置した2点間の平均流路幅は1.5m、平均勾配は4.7%であった。測定は2003年春から2004年夏にかけて行なった。測定はロガー付き水温計（オンセット社H20-001、精度±0.2°C）を設置して30分ごとに行なった。水温計には、日射があたらないように、円筒形のカバーをとりつけた。ロガー付き水温計を水槽内に設置して検定を行なったところ、同時刻の水温計の値は約0.15°Cの幅に収まった。

葉の少ない時期と葉の多い時期の渓流水面上の日射量を比較するために、2003年5月中旬と2004年4月中旬に渓流水面上で日射量の測定を行なった。測定は小型気象ステーション（Vaisala社Maws201）を上流側の点（図-1）に設置して行なった。

渓流水面上の被覆の変化が水温に与える影響を調べるために、晴天日のみのデータを解析対象とした。晴天日の判定には、最寄りのアメダス観測点（東白川）の日照時間データ（気象庁提供資料）から計算した日照率を用い、日照率が40%以上の日を晴天日とした。

III 結果

1. 渓流水面上の日射量 4月中旬と5月中旬の林外（最寄りのアメダス観測点）での晴天日の日射量に大きな差はなかった（図-4上、気象庁提供資料）。これに対し、渓流水面上での晴天日の日射量は、4月中旬と5月中旬とでは大きく異なり、5月中旬の日最大値は4月中旬の値のおよそ1/4になった（図-4下）。

2. 水温の季節変化 日最高水温と日最低水温は、共に、夏季に高くなり、冬季に低くなる季節変化をした（図-

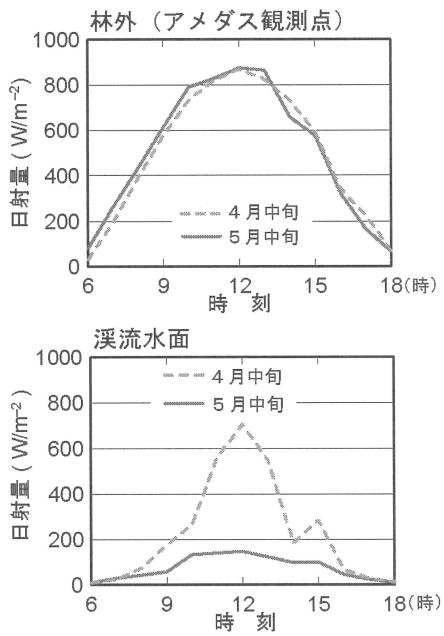


図-4 林外と溪流水面上の日射量

5上)。しかし、冬季から夏季にかけての変化の傾向には違いが見られ、日最低水温は比較的単調に上昇したのに対し、日最高水温の変化は複雑で、1月から4月ごろまで上昇した後、一旦下降し、また夏季に向けて上昇した。

水温の日較差（日最高水温と日最低水温の差）は、5月から1月までの間、5°C以下の値で推移した後、2月から増加をはじめ、4月には約10°Cの年最高値に達した（図-5下）。年最大値に達した後は急激に減少した。

3. 流下方向の水温勾配の季節変化 下流側の点と上流側の点の水温差を2点間の距離で割り、流下方向の水温勾配を計算した。水温勾配が正の値であることは、上流側の点よりも下流側の点の水温が高いことを表す。水温勾配の日最高値は、5月頃から10月頃までは比較的低い値で推移し、11月頃から上昇をはじめ、1月から4月にかけては夏季に比べて高い値で推移した（図-6）。4月下旬に約0.01°C/mの年最高値を記録した後は急激に低下し、5月下旬以降は比較的低い値で推移した。

IV 考察

流下方向の水温勾配の日最高値が低かった5月から10月にかけての期間と、溪流を覆う落葉広葉樹の葉の量が多い期間は概ね一致した。このことは、水塊の熱収支式により説明できる。まず、溪畔の樹木の葉が溪流への日射を遮ることにより、熱収支式右辺の中の純放射量が抑えられる。その結果、水に出入りする熱エネルギーの総量が抑えられ、熱収支式左辺の水塊貯熱量変化が小さくなり、この項に含まれる水温勾配 $((T_{i+1} - T_i) / dl_x)$ が小さくなったものと考えられる。このため、流下にとも

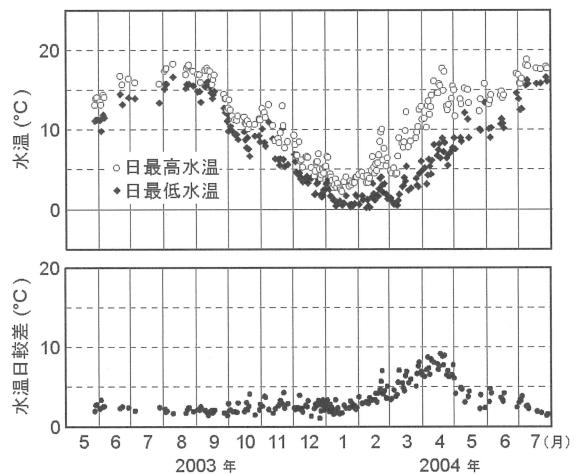


図-5 日最高水温、日最低水温、水温日較差の変化

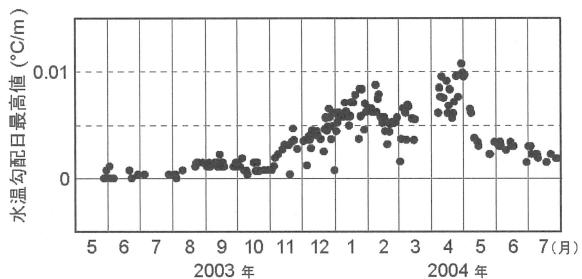


図-6 水温勾配日最高値の変化

なう水温の上昇は抑制されることになる。また、水温勾配の日最高値が4月に年間で最高になったのは、溪流を覆う樹木の葉の量が、11月頃から4月頃の期間にはほとんど無く、5月頃から10月頃の期間には多くなるという季節変化をしたため、溪流水面への日射量が4月に年間で最高になったことによるものだと考えられる。水温勾配を変化させる要因としては、日射量の他に、気温と水温の差、水深、流速などがある。しかし、これらの季節変化は日射量の季節変化に比べて明瞭ではないので、水温勾配の季節変化に与える影響は、日射量が与える影響に比べて小さいものだと考えられる。

溪流を覆う樹木の葉量の季節変化は、日最高水温の冬季から夏季の変化を複雑のものにした原因だと考えられる。このことは以下のように説明できる。葉量の季節変化の影響で水面への日射量が4月に年間で最高となるため、流下方向の水温勾配もこの時期に年間で最高となる。このため、溪流の最上流部では夏季よりも日最高水温が低いと推察される4月においても、測定点での日最高水温は夏季と同等になったと考えられる。このように考えると、測定点よりさらに下流では、夏季よりも4月の日最高水温が高くなることが推定される。

この溪流が夏季に溪畔の樹木の葉で覆われてなかったと仮定すると、水温勾配は覆われた場合より大きく、さらに4月の値より大きくなり、その結果、日最高水温は

覆われた場合よりも高くなることが予想される。夏季は測定点の水温が年間で最も高くなる時期であり、この時期の水温が高くなるということは、年間の最高水温が高くなることになる。したがって、落葉広葉樹に覆われたこの溪流では、夏季に水面への日射を溪畔の樹木が遮ることにより、年間の最高水温が抑えられていると考えられる。

引用文献

- (1) BROWN, G.W. (1969) Predicting temperatures of small streams. *Water Resour. Res.* 5 : 68–75
- (2) BROWN, G.W. and KRYGIER, J. T. (1970) Effects of Clear-Cutting on Stream Temperature. *Water Resour. Res.* 6 : 1133–1139
- (3) JOHNSON, S. L. (2004) Factors influencing stream temperatures in small streams : substrate effects and a shading experiment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61 : 913–923
- (4) MACDONALD, J. S., MACISAAC, E. A., HERUNTER, H. E. (2003) The effect of variable-retention riparian buffer zones on water temperatures in small headwater streams in sub-boreal forest ecosystems of British Columbia. *Can. J. For. Res.* 33 : 1371–1382
- (5) 中村太士・百海琢司 (1989) 河畔林の河川水温への影響に関する熱収支的考察. *日林誌.* 71 : 387–394
- (6) 野口宏典ほか：日林関東支論56 : 257–258, 2005
- (7) ZWIENIECKI, M. and NEWTON, M. (1999) Influence of streamside cover and stream features on temperature trends in forested streams of Western Oregon. *West. J. Appl. For.* 14 : 106–112