

## カンボジア国低地落葉林の樹幹流量に影響を及ぼす要因

飯田真一・玉井幸治・清水貴範 (森林総研)・壁谷直記・清水 晃 (森林総研九州)・  
伊藤江利子 (森林総研北海道)・大貫靖浩 (森林総研)・  
Chann Sophal・Keth Nang (カンボジア国森林野生生物研)

**Abstract:** We measured the amount of stemflow for 14-trees of a lowland deciduous forest, Cambodia, and discussed the factors affecting the amount of stemflow. The main tree species at the site are *Dipterocarpus tuberculatus* and *Terminalia tomentosa*, and the measurements were carried out during the main rainy season of 2009. The amount of stemflow of trees standing downwind from other higher trees decreased when the wind speed was high during the rainfall events. There was no correlation between the amount of stemflow and the diameter at the breast height, but we obtained the clearly positive correlation between the stemflow and the canopy projection area unshaded by other trees. The tree-to-tree differences in the stemflow were mainly determined by those in the unshaded canopy projection area.

**Key words:** Cambodian lowland deciduous forest, stemflow, canopy projection area, windspeed during rainfall event

**要旨:** カンボジア国低地落葉林を対象として、14 個体の樹木について樹幹流量を 2009 年 5 月から 10 月に渡り計測し、樹幹流量に影響を及ぼす要因について解析した。樹高の高い木の風下に位置する樹木の樹幹流量は強風時に減少する傾向を示した。樹幹流量は胸高直径と相関を示さなかったが、樹冠の重なりを考慮した樹冠投影面積と正の相関を示した。樹幹流量の個体間差は、他の樹木によって被陰されない樹冠投影面積の差異によって主に生じていることが明らかとなった。

**キーワード:** カンボジア低地落葉林、樹幹流、樹冠投影面積、降雨中の風速

## I はじめに

カンボジア国はインドシナ半島メコン川中・下流域に位置し、明瞭な雨季と乾季を有するアジアモンスーン下にある。同国に残存している天然に近い森林域を対象とした水循環過程に関する研究例は存在しなかったため、低地常緑林を対象とした観測研究が 2003 年から開始され知見が集積されつつある (9)。一方、カンボジア国内の森林には常緑林とほぼ同程度の広がりをもつ落葉林が存在している (10)。乾季に葉を落とす落葉林域の水循環過程は常緑林のそれと大きく異なる可能性が高く、我々は 2009 年よりカンボジア国中央部の低地落葉林を対象として水循環過程の観測を開始した。

森林に降った雨 ( $GR$ ) の一部は林冠に遮断され、樹冠通過雨 ( $TF$ ) あるいは樹幹流 ( $SF$ )、遮断損失 ( $I$ ) となる。すなわち、以下の関係が成立する。

$$GR = TF + SF + I \quad (1)$$

一般に、遮断損失量は 1 式に基づいて  $I = GR - (TF + SF)$  として評価される。このとき、樹冠通過雨の有する空間不均質性の問題は広く認識されているが、樹木個体ごと

の樹幹流量の差異は無視されることが多く、その測定の重要性が指摘されている (7)。また、雨滴として林床面に到達する樹冠通過雨と異なり、樹幹流は樹木地際周辺に集中して流下する。このため、樹幹流量が大きい個体周辺の土壌水分量は大きい傾向にあること (3) や地下水が効率的に涵養されること (2) などが報告されており、樹幹流量の定量的な評価は重要な課題である。

本研究ではこれまでに報告例が存在しないカンボジア国の低地落葉林を対象として、14 個体の樹木について樹幹流の連続計測を行い、遮断損失量の定量的評価の前段階として樹幹流量の個体間差を把握した。そして、この個体間差を生じる要因について、風速や樹木個体の特徴を表す胸高直径 ( $DBH$ ) や樹高 ( $TH$ )、樹冠投影面積 ( $CPA$ )、樹冠体積 ( $CV$ ) などのパラメータを用いて説明を試みた。

## II 観測方法

1. 研究対象地 カンボジア国中央部クラティエ州に位置する低地落葉林 (東経 106 度 11 分、北緯 12 度 55 分) を対象として観測を行った。本林分の主要樹種は

Shin'ichi IIDA, Koji TAMAI, Takanori SHIMIZU (FFPRI, Ibaraki 305-8687, Japan), Naoki KABEYA, Akira SHIMIZU (FFPRI-KYS, 860-0862 Kumamoto, Japan), Eriko ITO (FFPRI-HOK, Sapporo 062-8516, Japan), Yasuhiro OHNUKI (FFPRI), Chann Sophal, Keth Nang (FWRDI, Phnom Penh, Cambodia) Factors controlling stemflow yield in a lowland deciduous forest, Cambodia

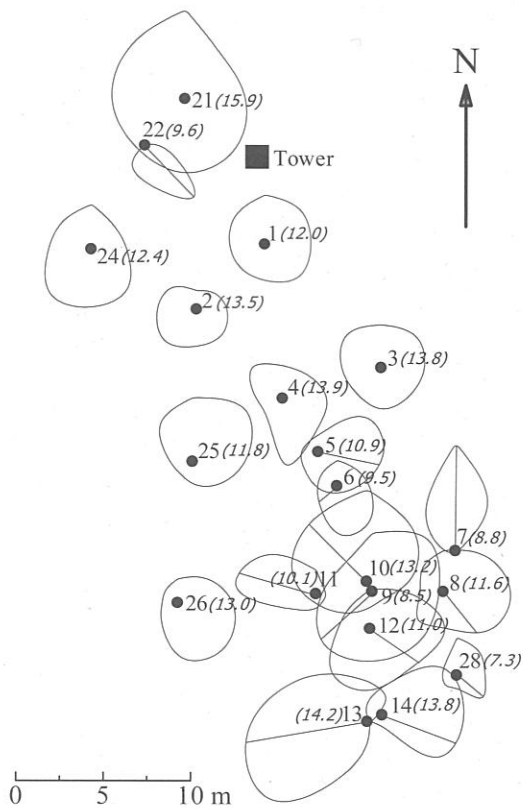


図-1 樹幹流計測供試木周辺の樹冠投影図. 図中の数字は樹体番号を, カッコ内の斜体数字は樹高を示す.

*Dipterocarpus tuberculatus* ならびに *Terminalia tomentosa* である。図-1 に樹幹流計測を行った供試木周辺の樹冠投影図を示す。図中の一辺 20m の正方形領域における最大の立木密度は 350 本/ha と低く、林冠は閉鎖していない。同領域内の平均 DBH は 24.5cm, 平均 TH は 11.3m である。なお、各個体の樹冠長 (CL) は TH と生枝下高の差として、樹冠体積 (CV) は樹冠形状が円錐であると仮定して  $CV = CL \times CPA / 3$  として得た。

2. 風向と風速, 林外雨量および樹幹流量の観測 樹幹流計測を行った供試木群に隣接する 30m 高のタワーの頂上部において、風向風速 (センサー: Campbell 社 03001, ロガー: 同社 CR1000) ならびに 1 転倒 0.2mm の転倒マス型雨量計を用いて林外雨量を計測した (センサー: Onset 社 RG-2M, ロガー: 同社 H0B0 Event)。5 樹種を含む個体番号 1~14 の計 14 個体について (図-1), ウレタンマットを樹幹に巻きつけ、樹幹流を集水した。集水された樹幹流は、転倒マス型流量計 (1 転倒 15.7ml: 大田計器製作所 (OW-34-BP)) を用いて計量し、発生したパルスデータをロガー (Campbell 社 CR1000 及びマルチプレクサー SDM-SW8A) を用いて 10 分間隔で記録した。高強度の林外

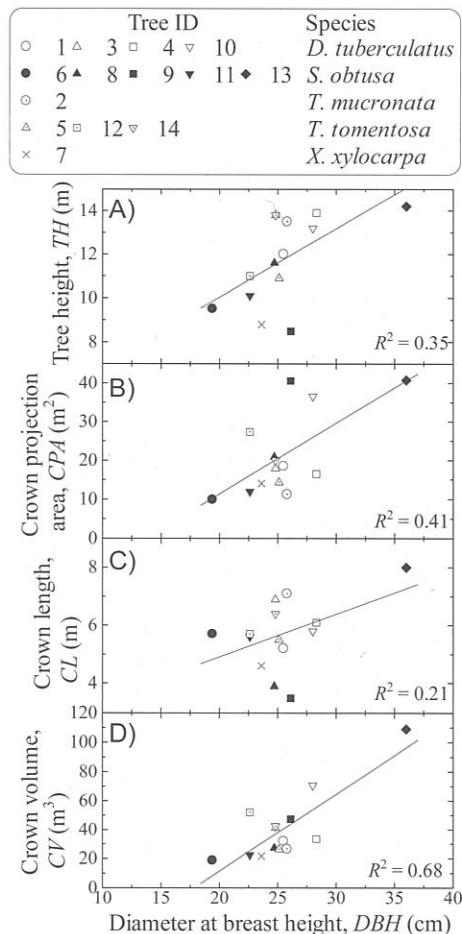


図-2 樹幹流計測供試木の胸高直径 (DBH) と A) 樹高 (TH), B) 樹冠投影面積 (CPA), C) 樹冠長 (CL), D) 樹冠体積 (CV) の関係。樹種名の詳細: *Dipterocarpus tuberculatus*, *Shorea obtusa*, *Terminalia mucronata*, *Terminalia tomentosa*, *Xylia xylocarpa*.

雨量あるいは樹幹流量が発生した場合の転倒マス型雨量計・流量計の過小評価を既報 (4) による結果を用いて補正した。本研究では、2009 年の主要な雨季に相当する 2009 年 5 月~10 月の期間を解析対象とした。

### III 結果および考察

1. 供試木の樹体サイズと樹幹流量 樹幹流を計測した全 14 個体の供試木の DBH と TH, CPA ならびに CL との間に正の相関が認められた (図-2A~C)。しかし、5 樹種が混在し、また図-1 に示したように樹冠の被陰度の個体間差も大きいことから、決定係数はそれほど高くはない。一方、DBH と CV の間の決定係数は 0.68 となり、明瞭な正の相関が得られた (図-2D)。このことは樹冠を水平方向と鉛直方向の双方に広げた個体の方が生長に有利であ

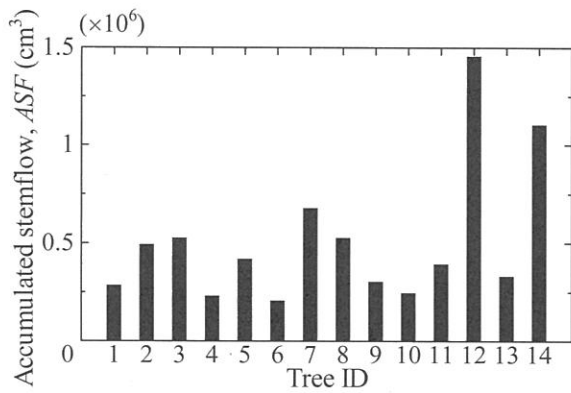


図-3 各供試木について観測期間中に計測された積算樹幹流量 (ASF).

る可能性を示唆している。こうした個体間競争を反映して DBHは 19.4~36.0cm の範囲に分布し、ほぼ同一の DBH であっても TH, CPA, CL の個体間差が大きい。そして、樹体サイズおよび樹形の個体間差を反映して、解析期間中の積算樹幹流量 (ASF) にも大きな個体間差が観測された (図-3)。最も多量の ASF が観測された樹体番号 12 の個体であり、最も少なかった 6 番の 7 倍の量に相当する。

以下、樹幹流量の個体間差に影響を及ぼす要因について議論を行うが、これまでの研究例を参照しながら (1, 8), 筆者らが既報 (5) で用いた要素を中心に検討することとする。具体的には、DBH, CPA, TH, CL, CV と降雨中の風速である。まず、これらの中で唯一気象条件に由来している降雨中の風速について議論を行う。

**2. 降雨中の風速が樹幹流に及ぼす影響** 降雨中の風が強い場合、雨は横殴りになり、樹冠内部の枝や幹に直接到達しやすくなり、樹幹流量が大きくなることが報告されている (7)。そこで、降雨中の平均風速が 3m/s 以上と 3m/s 未満のデータについて、降雨イベント毎の林外雨量と樹幹流量の一次回帰式の傾きの差を統計的に検定し、 $p < 0.05$  の場合に有意な傾きの差があるものと判定した。検定の結果、個体番号 7, 8, 12, 14 について風速が 3m/s 以上の場合に有意に傾きが小さく、すなわち風速が大きい場合に樹幹流量が小さくなることが分かった。これは従来の報告とは逆の傾向を示している。これら 4 個体の樹冠の状況を図-1 で確認すると、供試木群の中で樹冠が相対的に混みあった状態にあることが分かる。本解析期間の日ベクトル平均風向は南西 ( $220^\circ \sim 230^\circ$ ) であり、これら 4 個体の南西側にはより樹高の高い 10 と 13 番の個体がある。すなわち、10 と 13 番の風下側に存在する 4 個体には雨滴が到達しにくく、強風時に樹幹流量が減少したものと考えられる。

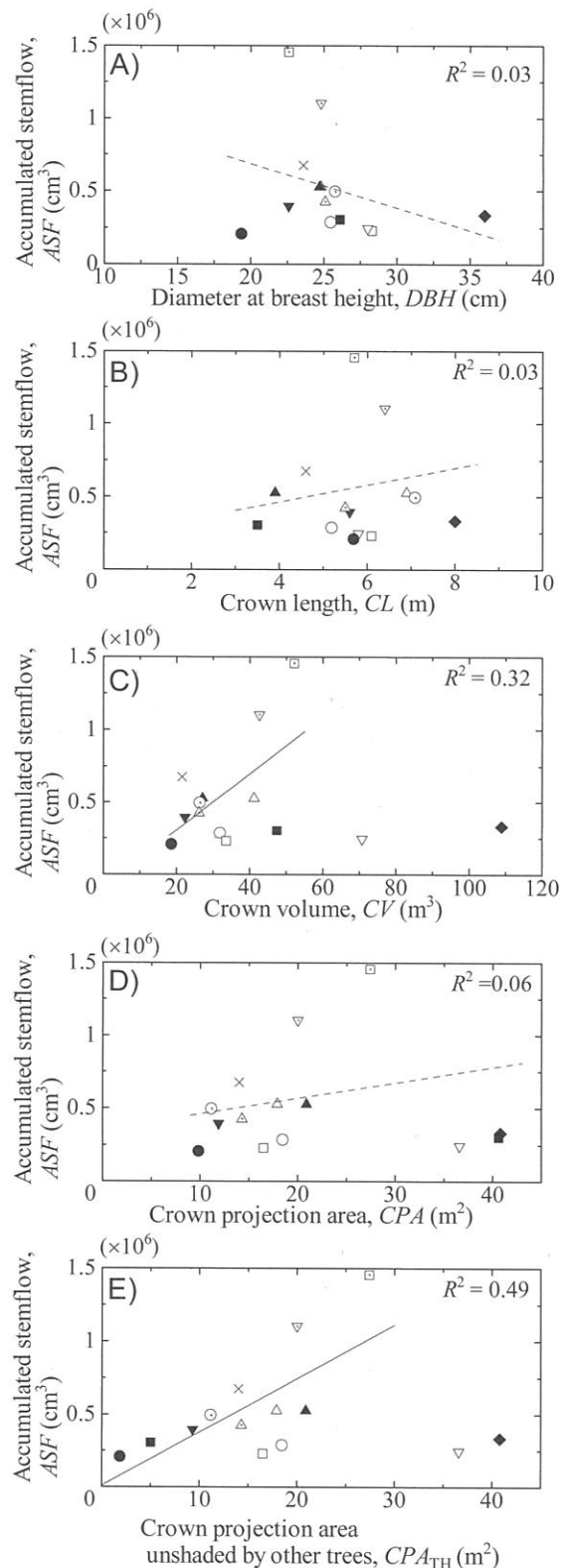


図-4 積算樹幹流量 (ASF) と樹体サイズの関係。A: 胸高直径 (DBH), B: 樹冠長 (CL), C: 樹冠体積 (CV), D: 樹冠投影面積 (CPA), E: 樹冠の重なりを考慮した樹冠投影面積 ( $CPA_{TH}$ )。個体番号 10 と 13 は回帰分析から除外した。凡例は図-2 を参照のこと。

3. 樹体サイズが樹幹流に及ぼす影響 *ASF* と *DBH*, *CL* との間には明瞭な相関は存在せず (図-4A, B), *TH* との間にも相関も極めて低い結果 ( $R^2=0.02$ ) となった。筆者らは筑波山のスギ壮齢林において *ASF* と *DBH* の間に  $R^2=0.46$  の相関を得ているが (5), 人工植栽されたスギとは明白に異なり, 本サイトの樹幹流量の個体間差は *DBH* の差異によって説明されないことが明らかとなった。

一方, *ASF* と *CL* との間には相関は存在しないが (図 4-B), *CV* との間には弱いながらも相関が認められることから (図 4-C), 鉛直方向よりも水平方向の樹冠の広がりが雨水の集水に寄与するものと考えられる。*CPA* との間決定係数は低い, 正の相関が潜在しているように見受けられる (図-4D)。上述のように, 本サイトの供試木は孤立木の状態のものから, 樹冠が重なる個体まで様々である (図-1)。当然, 孤立木に近い状態の個体の方が雨滴を受けやすいことが容易に推定される。そこで, 樹高のより低い個体の *CPA* から樹高のより高い個体の樹冠が重なる部分を減じて, 被陰されない樹冠投影面積 (*CPA<sub>m</sub>*) と定義した。その結果, *CPA<sub>m</sub>* と *ASF* の間に明瞭な正の相関を得た (図-4E)。以上のことから, 他の個体によって被陰されない樹冠の水平方向の広がりが大きいほど, 本サイトの樹幹流量は増加し, 樹冠の被陰度の個体間差が樹幹流量の個体間差の主な原因であるものと結論される。

*CPA<sub>m</sub>* で説明のつかない個体も存在している。個体番号 10 と 13 番は *CPA<sub>m</sub>* が大きいにも関わらず, *ASF* が小さい。なお, この 2 個体はすべての回帰解析から除外している。個体番号 10 番は樹冠が集中して重なった場所に存在しているため (図-1), 樹高のみで考慮した樹冠の重なりが現実の状態を反映していない可能性が考えられる。しかし, 13 番の樹冠はほぼ被陰されていないことから (図-1), 13 番の *CPA<sub>m</sub>* は現実を反映している可能性が高い。この個体の樹冠は西側に張り出しており (図-1), 現地でも撮影した写真から判別すると樹幹は傾くと同時に大きく曲がった状態となっている。このため, 上方から幹を伝って流下してきた雨水が樹幹の屈曲部で滴下し, 樹幹流に寄与しにくい状態になっている可能性が考えられる。

#### IV まとめ

観測事例の存在しないカンボジア国の低地落葉林における遮断損失量の定量的評価の前段階として, 樹幹流量を 14 個体について計測し, その個体間差を把握した。従来の報告とは異なり, 風速の大きい場合に樹幹流が小さくなる個体が確認された。これらの個体の風上には樹高の高い個体が存在しており, 雨滴が遮られたためと考えられる。樹幹流量は *CPA<sub>m</sub>* と明瞭な正の相関を示し, 樹幹

流量の個体間差は主として樹冠の被陰度の個体間差によって生じていると結論される。ただし, *CPA<sub>m</sub>* で説明のつかない個体も存在していることから, 前述した要因を含めて解析を継続する予定である。

#### 引用文献

- (1) CROCKFORD, R. H. and RICHARDSON, D. P. (2000) Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrol. Process.*, 14: 2903-2920.
- (2) DUROCHER, M.G. (1990) Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrol. Process.*, 4: 215-229.
- (3) 飯田真一・角張順一・田中 正・濱田洋平・林 敦史 (2008) アカマツ・シラカシ二次林において観測された樹木の吸水深度. 関東森林研究, 59: 261-264.
- (4) 飯田真一・玉井幸治・延廣竜彦・清水貴範・坪山良夫・壁谷直記・清水 晃・阿部俊夫 (2009) 林分の遮断損失量測定に用いる転倒マス型流量計の測定誤差とその補正. 水文・水資源学会 2009 年度研究発表会要旨集, 230-231.
- (5) 飯田真一・清水 晃・壁谷直記・延廣竜彦・玉井幸治・清水貴範 (2010) 筑波森林水文試験地のスギ林分における樹幹流量の個体間差. 関東森林研究, 61: 207-210.
- (7) 蔵治光一郎・田中延亮 (2003) 世界の熱帯林における樹冠遮断研究. 日林誌, 85: 18-28.
- (8) LEVIA, JR. D. F. and FROST, E. E. (2003) A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *J. Hydrol.*, 274: 1-29.
- (9) SHIMIZU, A., KABEYA, N., NOBUHIRO, T., KUBOTA, T., TSUBOYAMA, Y., ITO, E., SANO, M., CHANN and S., KETH, N. (2007) Runoff characteristics and observations on evapotranspiration in forest watersheds, central Cambodia. In *Forest Environments in the Mekong River Basin*, SAWADA, H., ARAKI, M., CHAPPELL, N. A., LAFRANKIE, J. V., SHIMIZU, A. (eds) Springer Tokyo: 135-146.
- (10) WORLD BANK, UNDP and FAO (1996) Cambodia forest policy assessment. World Bank, Washington, DC.