

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月14日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710021

研究課題名（和文） 熱帯落葉林における上層木と下層植生の蒸散量の個別評価

研究課題名（英文） Partitioning transpiration from overstory trees and understory vegetation in a tropical deciduous forest

研究代表者

飯田 真一（IIDA SHINICHI）

独立行政法人森林総合研究所・水土保全研究領域・主任研究員

研究者番号：70375434

研究成果の概要（和文）：カンボジア国低地落葉林は上層木と下層植生から構成されており、着葉期における生態系全体の蒸発散量に対する寄与は上層木が 50～60%、下層植生が 40～50% であることが明らかとなった。生態系全体および下層植生の表面コンダクタンスモデルを用いて上層木が消失した場合の表面温度を簡易評価した結果、平均 3℃の上昇が予測された。同国の急激な経済発展により上層木が消失した場合、著しい環境変化が生じる可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：We partitioned transpiration from overstory trees and understory vegetation in a Cambodian lowland deciduous forest. The contribution of overstory trees to evapotranspiration from the whole ecosystem was 50-60%, while that of understory vegetation was 40-50%. We predicted 3 °C-increase in mean surface temperature based on the surface-conductance models of overstory and understory, if overstory trees were clearly cut. Remarkable changes in environment will be caused by decreases in overstory trees due to the rapid economic growth in Cambodia.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動、森林水文学

## 1. 研究開始当初の背景

急激に減少しつつあるカンボジア国の森林は、メコン川流域の水循環に大きな影響を及ぼす。その保全や開発に科学的指針を提示するためにも、現地観測に基づく森林水収支の研究が必要不可欠である。申請者の所属する森林総合研究所では常緑林において観測を継続し、成果を挙げてきた。しかし、カン

ボジア国には常緑林以外にも広大な落葉林が存在しており、その水循環を解明する必要がある。特に、落葉林の葉面積指数(LAI)は小さく、林床には下層植生が繁茂している。したがって、常緑林と異なり、落葉林では上層木の蒸散量と比較して相対的に下層植生による蒸散量が卓越する可能性が考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究はカンボジア国における落葉林を対象として、現地観測に基づいて以下の2点を明らかとする。

(1) 上層木と下層植生の蒸散量と水収支への寄与率

(2) 上層木と下層植生の蒸散とその全蒸散量への寄与率の季節変化

上記(1)と(2)に基づき、

(3) 上層木と下層植生それぞれの気孔の開閉度(表面コンダクタンス)の評価とその環境応答特性のモデル化

を行い、上層木が消失した場合の環境変化を簡易予測するとともに、上層木保全の必要性の有無を明らかとする。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究対象地域

研究対象サイトはカンボジア中央部の落葉林である(図1)。このサイトは、環境省の地球環境保全等試験研究費(公害防止)で採

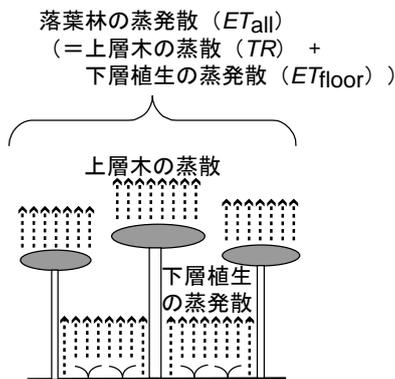


図1 本試験地の林分の模式図

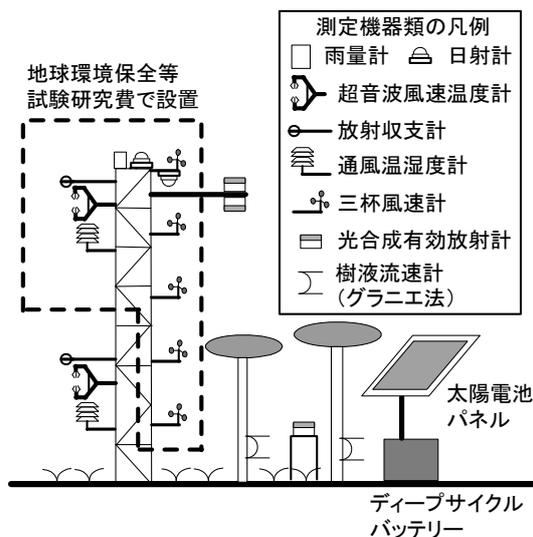


図2 計測システムの概略

択された「メコン中・下流域の森林生態系スーパー観測サイト構築とネットワーク化(平成20~23年)」において平成20年度に新設された。観測塔における微気象観測と遮断蒸発の観測が行われており、必要に応じて観測やデータを連携することが可能であり、効率よく研究を推進することができる。タワー頂上におけるバンドパス・渦相関法で計測された落葉林の全生態系の蒸発散量( $ET_{all}$ )のほか、温湿度や降水量、土壌水分量などの一般微気象データは、当該研究プロジェクトのデータを利用した(図2)。

### (2) 微気象要素の計測

本林分は落葉林であるため、当然、展葉から落葉までの植物季節が蒸散プロセスに大きな影響を及ぼすことになる。そこで、鉛直下向きおよび上向きの短波放射量( $SWR$ )ならびに光合成有効放射量( $PPFD$ )を計測し(図2)、植生指標( $NDVI$ )を算出した。また、林床面上において鉛直下向きの $PPFD$ を計測し、林冠上のそれに占める割合( $PPFD_{ratio}$ )から上層木の落葉度を相対的に評価した。

### (3) 樹液流速測定による蒸散量の評価

上層木の蒸散量を個別に評価するために、グラニエ法(Granier, 1985)による樹液流速測定を行った(図2)。計測当初は市販センサー(UP社製 sapflow sensor)を用いたがヒーター部の断線が頻発したため、ヒーター線がより太いセンサーを Kumagai *et al.*

(2005)に倣って自作し、用いた。供試木は *Shorea obtusa* 5 個体、*Dipterocarpus tuberculatus* 3 個体、*Terminalia tomentosa* 3 個体および *Xylia xylocarpa* 1 個体の合計 12 個体である。それぞれの樹木について生長錘による木部のコアサンプリングを行い、色素の注入により染色された部分もしくは辺材と心材の色の差異に基づいて辺材部を同定し、辺材面積を得た。供試木の辺材幅がセンサー長である 20mm に満たない場合は、Clearwater *et al.* (1999) による樹液流速算出の補正を行った。このようにして得られた辺材部の平均樹液流速と辺材面積の積として樹液流量すなわち単木の蒸散量( $Q$ )を得た。上層木の林分蒸散量( $TR$ )は 12 個体の単木蒸散量を積算し、プロット面積で除すことによって求めた。樹液流速に基づく上層木の林分蒸散量の妥当性を検証するために、林冠下においてもバンドパス・渦相関法を適用して下層植生の蒸発散量( $ET_{floor}$ )を求め、全生態系の蒸発散量( $ET_{all}$ )より差し引くことにより間接的に上層木の蒸散量( $TR_{bec}$ )を別途評価した。

(4) 樹冠コンダクタンスおよび表面コンダクタンスの算出と、上層木が消失した場合の

表面温度の簡易評価

単木の樹冠コンダクタンス ( $G$ ) を  $G = \gamma \lambda E / (C_p \rho D)$  として得た。ここで、 $\gamma$  は乾湿計定数、 $\lambda$  は蒸発の潜熱、 $E$  は単木蒸散量 ( $Q$ ) を樹冠投影面積で除した値、 $C_p$  は定圧比熱、 $\rho$  は空気密度である。他方、林分スケールの表面コンダクタンスについては、バンドパス・渦相関法による全生態系および下層植生の蒸発散量に対して Penman-Monteith 式を逆算して算出した。得られた林分スケールの表面コンダクタンスについて、光合成有効放射量 ( $PPFD$ )、飽差 ( $D$ )、気温、土壌水分量 ( $VSWC$ )

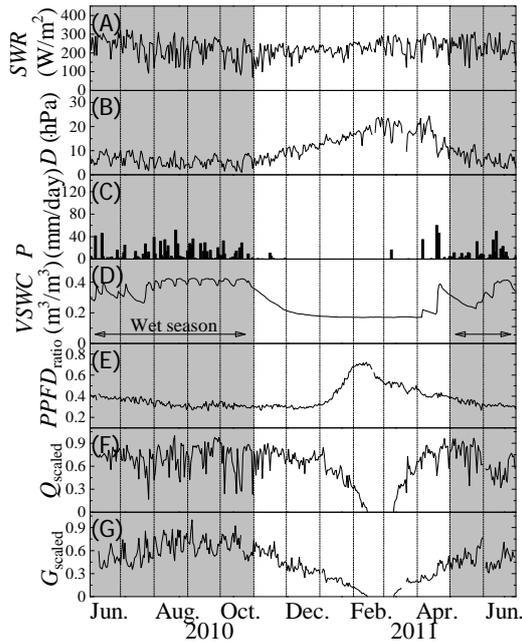


図 3 計測項目の季節変化。項目の詳細については本文を参照のこと。グレーの部分で雨季を表す。

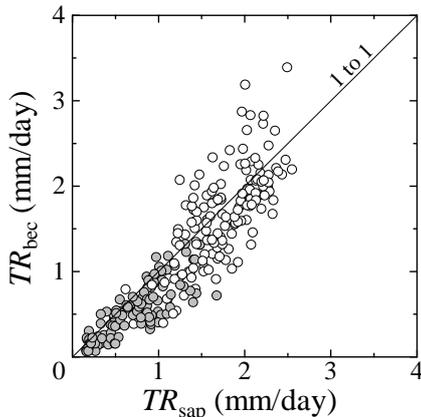


図 4 樹液流速測定に基づく林分蒸散量 ( $TR_{sap}$ ) とバンドパス・渦相関法による林分蒸散量 ( $TR_{bec}$ ) の比較。グレーのプロットは雨季を、白色は乾季を表す。

を説明変数とした Jarvis 型モデルを作成した。

上層木が消失した場合を想定し、林冠上で実測された微気象要素を入力値として下層植生の Jarvis 型モデルから表面コンダクタンスを算出した。得られた値を Penman-Monteith 式へ代入することによって、上層木が消失した場合の下層植生上の顕熱を算出した。さらに、この顕熱についてバルク式を逆算し、表面温度を得た。

4. 研究成果

(1) 蒸散量、樹冠コンダクタンスと微気象要素の季節変化

カンボジアはアジアモンスーンの影響を受け、明瞭な乾季と雨季を有することが知られており、本計測結果はその特徴をよく表している (図 3)。林冠上における下向きの短波放射量の日平均値 ( $SWR$ ) の数週間からひと月ごとのピークはほぼ横ばいであるのに対して (図 3-A)、日平均大気飽差 ( $D$ ) は雨季に低く、乾季になると増加し 20hPa を超えることが分かる (図 3-B)。雨季后半 (8~10 月) における深度 60cm までの加重平均土壌水分量 ( $VSWC$ ) は降雨 ( $P$ ) があつた場合にはほぼ横ばいとなり圃場容水量に近い状態で湿潤な環境にある (図 3-C, D)。乾季になると  $VSWC$  は一気に減少し、乾季半ばの 1 月には最低値となりそれ以上減少せず、極度に乾燥した状況となる (図 3-D)。

他方、上層木の落葉度を表す  $PPFDratio$  は  $VSWC$  が最低値になるまで上昇することはなく、本林分の落葉は乾季半ばまで発生しなかつたことが分かる (図 3-E)。さらに、 $PPFDratio$  は 2 月上旬に最大となった後、 $P$  の発生を待たず  $VSWC$  が低い状態のまま減少を開始した (図 3-E)。すなわち、乾季の間に展葉が開始したことを意味しており、NDVI から同様の变化傾向が確認された。 $T. tomentosa$  のある一団体の蒸散量 ( $Q$ ) をその最大値で規格化した  $Q_{scaled}$  も同様に、乾季に入った後数カ月間に渡りゼロになることはなく蒸散活動を維持していた (図 3-F)。落葉完了とともに  $Q_{scaled}$  がゼロになった後、雨季になる前に蒸散活動が再開した。同一団体の樹冠コンダクタンス ( $G$ ) をその最大値で規格化した  $G_{scaled}$  は乾季に入ると  $D$  の増加に伴い減少した (図 3-G)。 $D$  の増加は大気側の蒸発要求を増大させるために、 $G$  の減少が打ち消され、乾季前半は  $Q$  が高い水準で維持されたものと考えられる。

以上のように本研究の計測によって、カンボジアの落葉林では落葉が完了した後、深度 60cm までの土壌水分が乾燥したままの状態、乾季のうちに展葉が開始し、蒸散活動も再開することが明らかとなった。

(2) 樹液流速測定による林分蒸散量の評価の妥当性、ならびに上層木と下層植生の蒸散量による全蒸発散量への寄与

林冠上におけるバンドパス・渦相関法による全蒸発散量 ( $ET_{all}$ ) から林冠下での同手法による下層植生の蒸発散量 ( $ET_{floor}$ ) を差し引き、残差として上層木の蒸散量 ( $TR_{bec} = ET_{all} - ET_{floor}$ ) を算出し、グラニエ法による樹液流速測定に基づく林分蒸散量 ( $TR_{sap}$ ) と比較したところ、両者は良好に

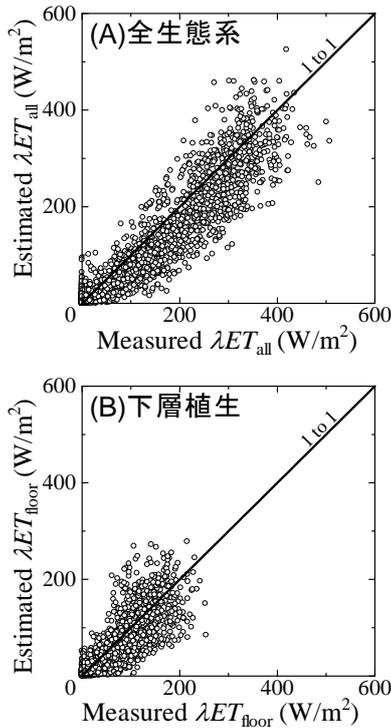


図5 Jarvis型モデルで推定された表面コンダクタンスから算出した潜熱と実測値との比較

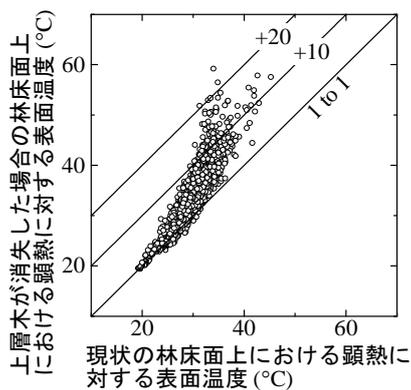


図6 Jarvis型モデルで推定された上層木皆伐後の下層植生の表面コンダクタンスを用いて計算された顕熱に対する表面温度と現状の表面温度の比較

一致した (図4)。このことから、本研究による樹液流速測定に基づく林分蒸散量の評価は概ね妥当であると結論される。

欠測を除いた2010年6月~2011年6月の  $ET_{all}$  に占める  $TR_{sap}$  あるいは  $TR_{bec}$  の割合は50~60%であることから、40~50%が下層植生による蒸発散であると考えられる。以上のことから、本サイトでは上層木と下層植生がほぼ同等に生態系全体の蒸発散へ寄与しており、水循環を理解するためには上層木と下層植生のいずれも欠くことなく知見を集積する必要がある。

(3) 全生態系および下層植生の表面コンダクタンスモデルの作成、ならびに上層木が消失した場合の環境変化の簡易評価

林冠上および林冠下におけるバンドパス・渦相関法による蒸発散量から、それぞれ全生態系と下層植生の表面コンダクタンスを算出し、Jarvis型モデルを作成した。作成されたモデルで推定した表面コンダクタンスと、実測された微気象要素を用いてPenman-Monteith式から算出された潜熱は実測値と良い一致を示した (図5)。したがって、作成されたJarvis型モデルは本サイトの現況を概ね妥当に再現していると判断される。

現況について再現性が確認された下層植生の表面コンダクタンスについてのJarvis型モデルに、現況の林冠上の微気象要素を入力し、上層木が消失した場合の下層植生の表面コンダクタンスを算出した。得られた表面コンダクタンスと、林冠上の微気象要素をPenman-Monteith式へ入力して上層木が消失した場合の顕熱を算出すると共に、バルク式を解いて表面温度を評価した。計算期間は雨季のうち、2010年6月から10月の植生が最も成熟した時期である。

簡易予測計算の結果、30分間隔の瞬間値ベースでは、10°Cを超える林床面表面温度の上昇が示唆された (図6)。この主たる要因は、上層木が消失したことにより林床面へ入力する放射量が増大することである。このため、正午前後において特に大きな表面温度の上昇が予測される結果となった。全計算期間で平均すると、約3°Cの表面温度の上昇が生じることになる。カンボジア国の経済発展が進み、上層木の伐採が進行すると、地表面付近の温度環境は大きく変化する可能性が示唆される。上層木の部分的な利用や、伐採後の樹木の植栽等の対策を講じてゆく必要があると考えられる。

なお、本研究による表面温度増加の予測は、下層植生の表面コンダクタンスの環境応答特性が上層木消失後も不変であるとする前提条件に依存していることに注意が必要である。Jarvis型モデルの説明変数に光合成有効放射量が含まれていることから分かる

ように、植物の気孔開度は光環境の変化に反応して変化する可能性が高い。上層木が消失した場合、林床面に到達する光合成有効放射量は2倍以上に増加し(図3-E)、光環境が激変するため、下層植生の表面コンダクタンスの光飽和点に変化する可能も考えられる。現状ではこれらの問題点を完全に回避することは不可能であるため、上層木が消失した場合の環境変化を簡易的に評価した。計算結果は起こりうる変化の最大値に近いものになっており精密な将来予測ではないが、実際の上層木の減少が生じる前に、上層木保全対策を考える必要性があることを明らかにしたことは意義が高い。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. Shin'ichi Iida, Takanori Shimizu, Naoki Kabeya, Tatsuhiko Nobuhiro, Koji Tamai, Akira Shimizu, Eriko Ito, Yasuhiro Ohnuki, Toshio Abe, Yoshio Tsuboyama, Sopal Chann, Nang Keth. Calibration of tipping-bucket flow meters and rain gauges to measure gross rainfall, throughfall, and stemflow applied to data from a Japanese temperate coniferous forest and a Cambodian tropical deciduous forest. *Hydrological Processes*. 査読有. 2012. 印刷中(掲載確定)
2. 飯田真一、玉井孝治、清水貴範、壁谷直記、清水晃、伊藤江利子、大貫靖浩、Chann Sopal、Keth Nang. 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。関東森林研究. 査読有. 62. 2011. 231-234.

[学会発表] (計8件)

1. 飯田真一、清水貴範、玉井幸治、壁谷直記、清水晃、Chann Sopal、Keth Nang. カンボジア国低地落葉林における樹冠コンダクタンスの季節変化。日本森林学会大会. 2012年3月27日. 宇都宮大学(宇都宮市)
2. IIDA SHIN'ICHI, SHIMIZU TAKANORI, ITO ERIKO, SHIMIZU AKIRA, KABEYA NAOKI, TAMAI KOJI, OHNUKI YASUHIRO, CHANN SOPHAL, KETH NANG. Seasonal change of the amount of transpiration in deciduous forest in Kratie province, Cambodia. International Workshop on Forest Research in Cambodia. 2011年11月22日. FWRDI (カンボジア国プノンペン市)
3. 飯田真一、清水貴範、玉井幸治、大貫靖

浩、壁谷直記、清水晃、伊藤江利子、Chann Sopal、Keth Nang. カンボジア国低地落葉林における樹液流量の季節変化。水文・水資源学会 2011年度研究発表会. 2011年8月30日. 京都大学(京都市)

4. 飯田真一、清水貴範、玉井幸治、壁谷直記、清水晃、Chann Sopal、Keth Nang. カンボジア国低地落葉林における樹液流速測定に基づく蒸散量の評価。第122回日本森林学会大会. 2011年3月25日~28日. 静岡大学(静岡市) ※震災のため要旨の公刊をもって発表となった。
5. 飯田真一、清水晃、澤野真治、壁谷直記、延廣竜彦、玉井幸治、清水貴範、伊藤江利子、Chann Sopal、Keth Nang. カンボジア国低地乾燥常緑林における蒸散活動の種間差。第121回日本森林学会大会. 2010年4月2日. 筑波大学(つくば市)
6. Shin'ichi Iida, Akira Shimizu, Shinji Sawano, Koji Tamai, Naoki Kabeya, Takanori Shimizu, Tatsuhiko Nobuhiro, Erio Ito, Sopal Chann, Keth Nang. Differences in seasonal courses of transpiration among several evergreen-broadleaf species in Kampong Thom, Cambodia. International Workshop on Forest Research in Cambodia, November 2009. 2009年11月23日. FWRDI (カンボジア国プノンペン市)
7. Shin'ichi Iida, Akira Shimizu, Shinji Sawano, Koji Tamai, Naoki Kabeya, Takanori Shimizu, Tatsuhiko Nobuhiro, Erio Ito, Sopal Chann, Keth Nang. Transpiration activities of evergreen trees in central Cambodia: abrupt changes revealed by sap flow measurement. AsiaFlux Workshop 2009. 2009年10月28日. 北海道大学(札幌市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

飯田 真一 (IIDA SHINICHI)

独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・主任研究員

研究者番号：70375434

##### (2) 研究協力者

Chann Sopal

カンボジア国森林局森林野生生物研究所  
副所長

Keth Nang

カンボジア国森林局森林野生生物研究所  
研究員