

論文内容の要旨

森林科学 専攻

平成14年度博士課程 入学

氏 名 久 米 朋 宣

指導教員名 鈴 木 雅 一

論文題目 Studies on evapotranspiration in tropical evergreen forests in Southeast Asia using individual tree-scale sap flow measurements

(単木スケールの樹液流測定を用いた東南アジア熱帯常緑樹林の蒸発散の研究)

本研究は、東南アジアの熱帯常緑樹林の蒸発散過程を明らかにするために、乱流変動法に基づく蒸発散の評価が実施されている熱帯常緑樹林において樹液流測定を実施し、雨季、乾季がある熱帯モンスーン気候下の丘陵性常緑林においては乾季后半の土壤水分低下が蒸散に与える影響を明らかにし、また、明瞭な乾季が存在しない熱帯雨林気候下の低地熱帯雨林においては降雨中及び降雨後の蒸発散過程を明らかにするものである。

第1章では、熱帯林の蒸発散の評価手法を整理し、本研究の目的を提示した。

熱帯常緑樹林の蒸発散の計測及びモデル化を通じて、蒸発散過程を明らかにすることが、気候変動に伴う地球規模スケールの水循環、炭素循環の変化を予測するうえで、また森林伐採等による地表面状態の変化が地域スケールの水循環に与える影響を予測するうえで、重要である。東南アジアは広くアジアモンスーンの影響下にあり、熱帯常緑樹林であっても降水の季節性が地域毎に大きく異なるため、その地域毎に蒸発散のフィールド研究を行う必要がある。

近年、森林蒸発散過程を明らかにする手法として乱流変動法による蒸発散の計測と、その計測データに基づくモデリングが最も有力な手法として広く用いられている。しかし、乱流変動法では、プローブを樹冠上に設置するための観測タワーの建設が必要であることや、計測される蒸発散は林分スケールの情報であるため単木毎の蒸発散を評価することができないことなどの限界がある。また、乱流変動法では降雨中に信頼できる計測ができない、降雨で樹冠面が濡れている時の蒸発と蒸散を分離評価することができないという利用の制限もある。これら乱流変動法の限界を克服する手法として単木を対象とした樹液流測定がある。樹液流測定では、樹高の大きい熱帯常緑樹林における計測でも地際にセンサーが設置でき、かつ天候による制限なしに単木毎の蒸散の詳細な測定を比較的簡便に行うことが

できる．そこで本研究では，樹液流測定を用いて東南アジアにおける熱帯常緑林の蒸発散の評価を行うこととした．

第 2 章では，本研究で対象とする熱帯雨林気候下のマレーシア，サワラク州にあるランビル国立公園内の低地熱帯雨林（以下，ランビル）と，熱帯モンスーン気候下のタイ北部チェンマイ近郊にあるコグマ試験地内の丘陵性常緑林（以下，コグマ）の試験地及び気象観測の概要を述べた．また，熱帯常緑樹林の蒸発散を評価するうえで着目すべき要因を明らかにするために，ランビルにおいて 5 年間，コグマにおいて 8 年間にわたって計測された一般気象要素（降雨，短波・長波放射，気温，大気飽差及び風速）の季節変化と年々変動の実態を明らかにした．

雨季・乾季のあるコグマにおいて，30 日積算雨量の 100mm を閾値として定義された湿潤期と乾燥期は毎年特定の時期に現れたが，乾燥期の長さは 3～7 ヶ月と年々で大きく変動し，年雨量の年々変動も大きく年雨量より年蒸発量の目安となる年純放射量の方が大きくなることが明らかとなった．一方，熱帯多雨林気候下のランビルの場合，一ヶ月より短い乾燥期が不定期に現れ，年雨量は常に年純放射量より大きかった．

コグマでは雨季・乾季の降雨の季節変化に伴ってその他の一般微気象要素の季節変化も明瞭であった．一方，一般微気象要素の季節性が不明瞭だと思われたランビルにおいても，風速と大気飽差には一年を単位とした明瞭な季節変化が本研究により検出された．

第 3 章では，大気飽差が大きい乾季後半の蒸散が雨季と同程度ないしそれ以上に大きいということが乱流変動法等に基づき報告されている丘陵性常緑林（コグマ）において，乾季後半に土壤水分低下に起因する蒸散抑制が生じているかどうかを明らかにするため，樹液流及び水ポテンシャル測定を高木 2 個体（樹高 29.8m 及び 25.4m）とその若木 2 個体（樹高 4.8m 及び 1.4m）を対象に 2003 及び 2004 年の 2 ヶ年にわたって実施した．

2003 年の乾季後半に明瞭ではなかった蒸散の低下が，雨季の終了が早く先行雨量が著しく少なかった 2004 年の乾季後半に比較的明瞭になった．2004 年の乾季後半において，4 個体の中で蒸散及び水ポテンシャルの低下が最も顕著だったのは，樹高 1.4m の個体であった．この個体の低下した蒸散及び水ポテンシャルが散水後に回復したことから，この個体の蒸散抑制が土壤水分に起因していることが確認された．この小型の個体は高木より根系が発達しておらず土壤深部に貯留された水分を利用できないため，この小型の個体の蒸散抑制が高木に比べて顕著であったと考えられた．本試験地における高木の乾期後半の蒸散が，雨季の降雨が貯留される土壤深部に到達した深い根によって維持されていることが示唆された．

第 4 章では，降雨で濡れた樹冠面からの蒸発と葉からの蒸散はそのメカニズムが異なり，低地熱帯雨林の蒸発散を評価するうえで遮断蒸発が生じる時間（降雨で樹冠面が濡れている時間）を特定することが重要であるため，樹液流測定を利用した降雨後の樹冠の濡れ時間を推定する方法を新たに提案した．樹液流測定から求まる降雨後の樹冠の濡れ時間（CDT）は，降雨終了時刻から，樹液流速により樹冠が完全に乾いたとみなしうる時刻ま

での時間であると定義された。この方法は、市販の濡れセンサーより少ないセンサー数で空間代表性の高い樹冠の濡れを検出することが可能であり、また、樹冠上部にアクセスすることなく樹冠上層の濡れ具合をモニターする有効な手段である。

この方法により、低地熱帯雨林の卓越木において、解析期間の全降雨イベント数 94 に対して 22 の降雨イベントで CDT を算出することができた。各降雨イベントの CDT は、降雨終了時刻が午前であるか午後であるかによって長さが大きく異なり、降雨が午後に終了した場合、午前中に終了した場合より CDT が短くなることが明らかとなった。これら各降雨イベントの CDT の長さは、純放射量と大気飽差より算定される降雨後の蒸発強度の大小に対応していることが示された。

第 5 章では、4 章で提案した CDT を、ランビル(天然林,最大樹高 50~60m)に加えて、コグマ(天然林,最大樹高 30~40m)及びタイ北部のチークプランテーション(人工林 平均樹高 17m. 以下,メモ)においても推定し、ビッグリーフモデルによる樹冠遮断量推定に必要な林分構造に関する未知パラメーターを推定する CDT を利用した実用的な方法を開発した。未知パラメーターは、樹冠の最大付着量 (Sc) と空気力学的抵抗 (Ra) の 2 つであり、樹冠構造が異なる 3 サイトにおいて Sc と Ra を推定した。開発した方法では、樹冠遮断モデルを用いて様々な Sc と Ra の組み合わせに応じた降雨後の樹冠の濡れ時間 (CDT_Calc) を算出し、樹液流から求まる降雨後の樹冠の濡れ時間 (CDT) と対比することによって、各サイトの Sc と Ra を推定する。推定したパラメーターを、風速プロファイル測定や乱流変動法によって別途推定されている Ra 及び樹冠遮断量の測定や葉濡らし実験によって別途推定されている Sc と対比した。

その結果、本法により推定された各サイトの Sc は、別途樹冠遮断観測等から推定されている各サイトの Sc と概ね一致し、ランビルの Sc がメモの Sc より小さいという傾向を良好に再現することができた。また本法により推定された各サイトの Ra は、別途微気象観測等から推定されている各サイトの Ra と概ね一致し、天然林であるランビル、コグマの Ra より人工林で樹高の低いメモの Ra が大きいという傾向を良好に再現することができた。本研究で開発した Sc 及び Ra の推定方法が、継続時間が短い降雨が頻繁に降る熱帯林において有効であることが示された。

第 6 章では、高さ 50m に達する複雑な樹冠構造を有する低地熱帯雨林 (ランビル) において、低木から卓越木までの様々な樹高の木の CDT を明らかにし、その CDT を検証データとして樹冠内で鉛直方向に時間差をもつ遮断蒸発過程を考慮することが可能な多層モデルを用いて樹冠遮断量を予測した。また、ビッグリーフモデルでも樹冠遮断量を予測し、両モデルの再現性を比較した。

2.8m の低木から 53m の卓越木までの様々な樹高の個体で樹液流測定を行った結果、樹高 50 - 30m の個体の CDT に対して、樹高 10m 以下の個体の CDT は約 2 - 4 時間長く、樹高 20 - 10m の個体の CDT はその中間の長さになるという CDT の鉛直プロファイルが明らかになった。多層モデル中の群落構造及び葉の付着水分量に関するパラメーターを調節

することによって、この CDT の鉛直プロファイルを良好に再現することができた。

この鉛直方向の遮断蒸発過程を含めて再現した多層モデルとビッグリーフモデルは、ともに年間の樹冠遮断量の観測値を良好に再現した。上層木の CDT 情報からもたらされるビッグリーフモデルによる樹冠遮断量の予測値が、多層モデルの予測値と一致したことから、長期間の樹冠遮断量の評価において、鉛直方向の樹冠遮断過程は第二義的であり、領域モデル等の地表面 - 大気相互作用の評価において単純なビッグリーフモデルの適用が妥当であることが示された。

以上の章を要約して第 7 章とした。