

熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が 熱帯林の水循環・生態系に与える影響

研究代表者
鈴木 雅一

熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響

東京大学大学院農学生命科学研究科 鈴木雅一

1. 研究の背景と目的

熱帯林は地球の全森林面積の60%を占めているといわれ、日射エネルギーや蒸発散量の大きい地域に存在するため、地球の水循環と気候形成に与える影響は大きい。

熱帯モンスーンアジアでは、1990年代後半にGEWEX/GAMEプロジェクトなどの実施に伴い水循環の理解が急速に深まり、以前考えられた以上に、水環境に関わる様々な要因の変動が大きい場所であることが判明した。降水量の年々変動には、ENSOなど地球規模の気候システムの影響が大きいものの、大規模な森林伐採/土地利用変化との関連も指摘されており、自然や人為による気候変動の実態の解明が急務である。また、降水量変動に伴って生じる水循環の変動と深く結びついた陸上生態系の動態や水資源賦存量の変動の実態が、熱帯アジア域においては未だ明らかではなく、降水変動がもたらす影響を総合的に解明する必要がある。

本研究は、気候・気象学的視点から降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにするとともに、降水変動が土壌水分を媒介として陸域水循環や陸上生態系の物質循環に与える影響をタイ、マレーシアにおける現地観測により把握し、これを予測する水循環、物質循環モデルの構築を目指すものである。

また、研究の過程で蓄積されるエネルギー・水・二酸化炭素フラックスと水収支のデータセットは、本研究に参加する研究者に止まらず、関心を持つ多くの水循環モデル、気候モデル、生態系モデルの研究者に不可欠の情報を提供する。

2. 研究体制と研究手法

「降水現象の季節性と年々変動研究グループ」と「森林生態系の水循環、物質循環研究グループ」の2グループを構成して、研究を進めている。前者は、観測所の少ないミャンマー、カンボジア、ベトナム、ラオスに各国の気象機関と連携して増設した雨量計の記録を含め、インドシナ半島とボルネオ島の降雨記録、GPSによる可降水量データの解析と領域気象モデルによる解析から、モンスーン開始時期、山岳性降水の高度依存性などの年々変動を広域気候システムとの関わりの中で明らかにする。

後者は、タイの熱帯季節林（常緑林：コグマ試験地、落葉林：メモ試験地）とマレーシア・サラワク州の熱帯雨林（低地フタバガキ林：ランビル国立公園）で、森林の土壌水分、微気象、蒸発散、二酸化炭素収支、流出量の水量と水質を連続観測し、降雨の変動が森林に与える影響を明らかにする（図2）。

3. 主な研究成果

既往の観測事例の少ない地域における調査事例が多いので、多岐にわたる観測結果それ自体がそれぞれ新規性ある知見をもたらしている。

1) 降水現象の季節性と年々変動

気候・気象学的視点から降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにするための高精度の雨量計は、ラオス3地点、ヴェ

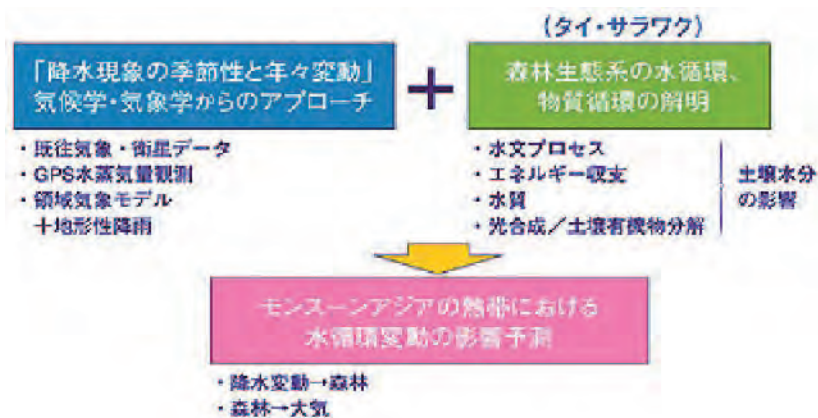


図1 研究の枠組み

トナム4地点、ミャンマー3地点、カンボジア3地点に設置されたが、そのうち多くの観測点は北緯18度線に沿って展開され、インドシナ半島を横断する東西断面での現象をより細かい時間スケール、例えば日変化の現象を明らかにしている。例えばミャンマーの海岸側とタイ国境近くでは、雨季降水量日変化が明瞭に異なることなどが、既に明らかにされた。また、インドシナ半島とボルネオ島の降雨記録、ゾンデ観測、GPSによる可降水量データの解析を進めた。また、領域気象モデルによる解析により、モンスーン開始時期、山岳性降水の高度依存性などの年々変動を広域気候システムとのかかわりの中で明らかにする研究を進めた。その中で、明瞭な雨季・乾季があるタイ北部の流域面積約3853Km²の山地流域に14箇所の雨量観測点(標高380m~2535m)を設けた観測より、明瞭な降雨量の高度分布が得られ、降雨量高度依存性の季節変化、年々変動の実態が明らかとなった。

次に森林における現地観測(図3)を基礎に、従来の理解や研究開始時の予測と異なる結果を得て、その現象の解析にあたり、一段階進んだ理解に至ったことを幾つか報告する。それらは、熱帯林を特徴づける「鉛直方向・水平方向に空間的広がりを持つ森林環境の計測と評価」に関わるものとして、a. 樹冠遮断量、b. 蒸散量、二酸化炭素吸収量、c. 複雑地形の影響(斜面下降風)である。また、「降雨の季節変動が森林の水循環・

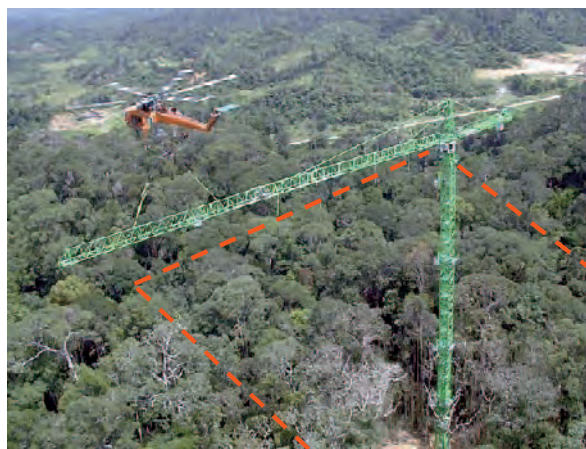


図4 サラワク州ランビル国立公園(4ha 樹冠遮断観測プロット) 赤枠内560地点での樹冠通過雨量測定がなされた。

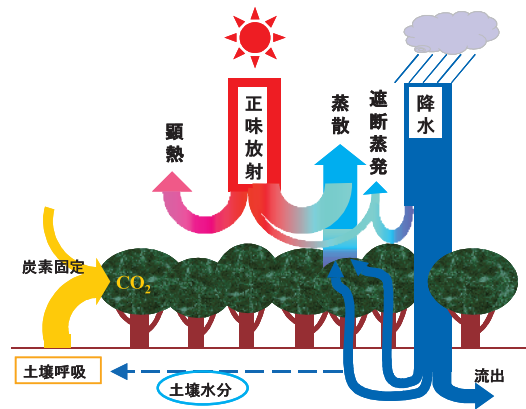


図2 森林の水循環・エネルギー循環・炭素循環連成の模式図

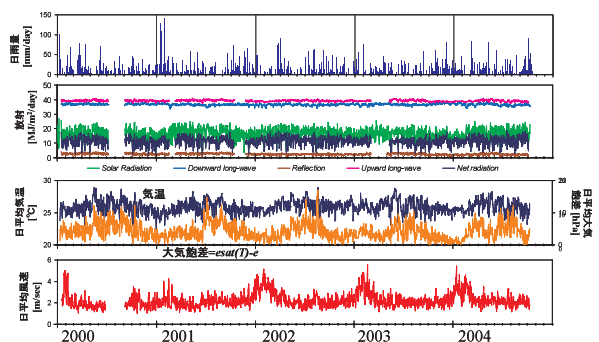


図3 各試験地で継続されている森林微気象観測(ランビル)。季節変化、年々変動の検出の基礎となっている。

炭素循環に与える影響評価」に関わるものとして、a. 熱帯モンスーン林(常緑林)の世代交代における脆弱性、b. 熱帯落葉林の着葉期間の年々変動がもたらす水収支変化、がある。

2) 鉛直方向・水平方向に空間的広がりを持つ森林環境の計測と評価

a. 樹冠遮断量

[空間分布]

森林の樹冠遮断プロセスは森林水循環など森林環境形成において重要であり、熱帯雨林は樹木の空間的な分布が不均一なため、樹冠遮断量推定について広がりを持った領域における観測に基づく空間代表性のある推定方法が必要である。しかし、特に東南アジアの熱帯林における調査事例が少なかった。

サラワク州ランビル国立公園の低地熱帯林に高さ93mを持つ林冠クレーンが設置されており、

観測は林冠クレーンを取り囲む4 haの対象地全体の樹冠遮断量を推定できる設計とした。この試験地は、胸高直径1 cm以上の立木密度6442 trees/ha、葉面積指数 $6.2\text{m}^2/\text{m}^2$ で高木層はフタバギ科の樹木が優占する低地熱帯林でも最も密な森林の一つである。樹冠遮断量(IE)は、降雨量(P)、樹冠通過雨量(TF)、樹幹流下量(SF)を求めて、 $IE=P-TF-SF$ により求めるが、空間代表性をもつTF、SFを得るため、通過雨量(TF)は一箇所10m×10mの固定調査区における3年間の連続観測とほぼ1ヶ月づつ移動する23箇所における10m×10m調査区の観測の組み合わせから推定した。それぞれの調査区には、20個の林内雨量計(受水部20.5cm径)が設置された。樹幹流下量(SF)は、81本の木について測定し、4 haの調査地の推定値を得る方法が用いられた。

10m×10mの固定調査区では2466mm/年の年平均降雨量に対して年樹幹流下量3.1%、76.1mmであり、直径10cm以下の木からがその77%を占める。熱帯林における既往の観測で直径10cm以下の木が測定された事例は少なく、下層木からの樹幹流下量の情報はその割合の大きさとともに新たな知見である。

そして、1) 10m×10mの固定調査区における20個の林内雨量計による樹冠通過雨量と樹冠遮断量、2) それぞれ20個の林内雨量計を置いた22箇所の10m×10m移動調査区の樹冠通過雨量など4 ha調査区内560地点の樹冠通過雨量、3) 4 ha調査区全体の樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量が求められた。固定調査区における3年間の樹冠通過雨量は、降雨量の85%であった。また、樹幹流下量の結果とあわせて固定調査区の樹冠遮断量は、年降水量の12%、295mm/年を得た。一雨10mm以上の事例について降雨に対する560地点で測定した樹冠通過雨量の比は、地点ごとに大きく異なるだけでなく、31%の地点で降水量以上の樹冠通過雨量が記録された。これらの地点は、枝葉からの集中滴下が生じているためである。3年間の観測に基づく4 ha調査区における降雨量に対する樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の割合は、それぞれ88%、3.5%、8.5%となり、得られた樹冠遮断量は、210mm/年である。

10m×10m調査区内の樹冠通過雨量は、樹木の配置と樹冠の重なり方で変動し、10m×10m

調査区毎に求めた樹冠遮断量は樹木の現存量(バイオマス)が大きい区画ほど大きかった。樹冠遮断量が、固定調査区で年降水量の12%、295mm/年、4 ha全体では8.5%、210mm/年とかなり差があるのは、固定調査区における大きい樹木現存量のためであった。そして本研究で、固定区と移動区を組み合わせた観測による空間代表性を持つ値が4 ha調査区推定値から得られた。

[濡れた樹冠からの蒸発の鉛直分布]

「雨の後、濡れた樹冠が乾く樹冠蒸発のプロセスは、50mに達する樹木と下層の樹木でどのように異なるのか」について、現地観測と森林微気象を解析する多層モデルによって明らかになった。

まず、降雨で樹冠面が濡れている時間(CDT)を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手段である樹液流測定により求める方法を新たに提案し、降雨が午後に終了した場合は午前中に終了した場合よりCDTが短くなることや、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することを示した。高さ50mに達する複雑な樹冠構造を有するランビル国立公園の低地熱帯雨林において、2.8mの低木から53mの卓越木までの測定から、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の鉛直分布が明らかになった。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再現する多層モデルを構築し、葉の付着水分量に関するパラメーターなどを調節することによって、CDT鉛直分布を良好に再現した(図5)。その結果、降水が葉に付着する量は葉面積あたり0.15~0.08mmであり、熱帯林の葉に付着する水分は、日本のスギ、ヒノキの葉に着く量の半分以下であることがわかった。頻繁な降雨がある熱帯雨林だが樹冠が濡れている時間は比較的短い。

b. 蒸散量、二酸化炭素吸収量の鉛直分布

熱帯雨林からの蒸散もまた空間分布、鉛直分布の評価が必要である。そこで、高さ90mのクレーンを用いて、個葉生理特性と葉面積密度の樹冠内における空間変動を特定し、これを考慮しながら多層モデルによる群落CO₂交換速度のシミュレーションを行った。シミュレーション結果は、

乱流変動法で得られた群落 CO₂ 交換速度と比較された (図 6)。

熱帯雨林は樹冠構造・個葉生理特性が強烈な空間的不均質性を持つが、水平方向の均質性を仮定する 1 次元モデルである多層モデルが、熱帯雨林で適用可能であった。さらに、群落 CO₂ 交換速度の再現のためには葉面積密度、個葉生理特性の精密な計測は重要ではないことが分かった。つまり、群落内の地表面の一点で計測された LAI を一定値で垂直方向に配分して得た葉面積密度プロファイル、また、樹種に関係無く樹冠上部のみで計測された個葉生理特性を利用して十分な精度でシミュレーション可能である。また、ある LAI を超えると、群落 CO₂ 交換速度は LAI が変化しても変化しないことも明らかになった。

c. 風速鉛直分布に与える斜面下降風の影響

渦相関法によって地表面の水蒸気や二酸化炭素フラックスを求める際に、幾つかの要因でフラックスが過小評価されることが知られているが、傾斜地ではさらに夜間の斜面下降風による影響が指摘される。水平一様な地表面上では一般に風速は上空ほど早くなるが、タイの熱帯モンスーン林(常緑林)の観測地である山地の斜面に立地するコグマ試験地の 50m タワーにおける風速鉛直分布観測結果では、全観測時間の 9.4% の時間において樹冠近傍で最も風速が大きい場合が生じていた。

その現象が主に上空の風速が弱く長波放射が卓越する夜間に発生していたことから、その現象が

夜間の斜面下降風によるものであり、山地林における斜面下降風発生条件が大気安定度の指標の一つであるバルクリチャードソン数で整理できることを示した。これは、この指標を用いることで、乱流輸送とは異なる運動量の輸送形態が発生している時間が特定できることを意味している。コグマ試験地のような山地林の夜間の熱・水・CO₂ フラックスを評価する際に利便性の高い指標である。同試験地のフラックスデータの処理や解釈をする際の前提条件を検討するために重要であるだけでなく、一般に、山地林のような傾斜し複雑な地形上に立地する森林におけるフラックスデータを解釈するために有効な手法を提示するものと位置づけることができる。

3) 降雨の季節変動が森林の水循環・炭素循環に与える影響評価

a. 熱帯モンスーン林(常緑林)の世代交代における脆弱性

タイ北部の丘陵性常緑林(コグマ試験地)では、蒸発散量の季節変化は、雨季に小さく(2~3 mm d⁻¹)、乾季前半に最も低く(1~2 mm d⁻¹)、乾季后半にピーク(3~4 mm d⁻¹)を示し、乾季后半に年間で最も大きい蒸発散が生じている。従来、タイ中部のサケラート試験地の乾燥常緑林では、雨季である 6 月の蒸発散(3.3 mm d⁻¹)は、乾季である 1 月に観測された値(0.6 mm d⁻¹)を大きく上回っていると報告されているが、同じ地域の常緑タイプの森林であっても乾燥常緑林と丘

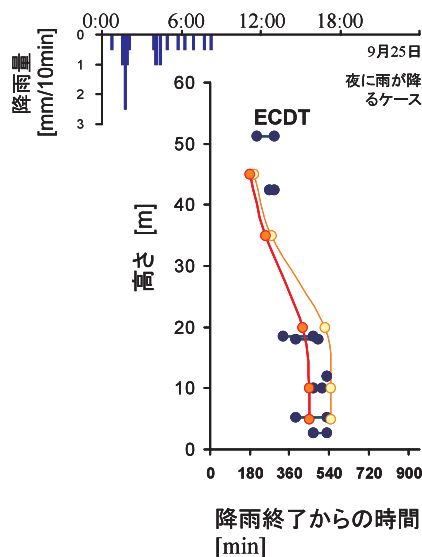


図 5 樹冠乾き時間の鉛直分布

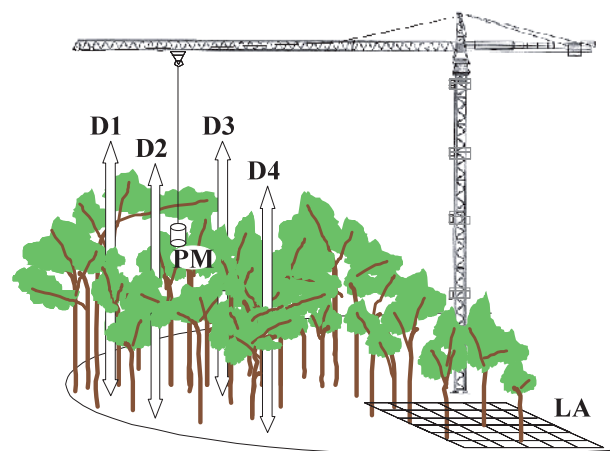


図 6 クレーンを用いた個葉生理特性の測定

丘陵性常緑林では、その蒸発散量の季節性は全く異なっている。この結果は、植生／土地利用によって水循環・エネルギー循環の季節変化が大きく異なるという新知見である。そして、この結果はただちに幾つかの課題をもたらした。コグマ試験地の常緑林について、「土壤水分が減少する乾季後半に樹木が吸収する水分はどこからもたらされるのか」、「乾季後半に樹木に水ストレスは生じていないのか」といった疑問である。

まず、熱帯常緑林の蒸散が乾季後半でも活発に維持されることについて、林内微気象とともにフラックスを算定する多層モデルと土壤の雨水浸透現象を計算する飽和不飽和浸透モデルを組み合わせた数値計算によって検討した。現地の土壤水分特性の条件下では、4 m 以上の厚さの土壤がありかつ根が深くまで達している場合に、雨季に降った降水が浸透し土壤に貯留された水分によって蒸散がなされることがわかった。また、コグマ試験地における土壤貫入試験機を用いた土壤硬度調査より、一般に谷部は土壤が薄く尾根部は土壤が厚いという傾向を持つが、土壤の硬度が急激に増加する深さは平均 5.3m とされ、厚い土壤の存在が確認された。この検討により、コグマ試験地で観測された乾季後半に蒸発散量のピークが生じる原因として、乾燥期において、樹木が深い土壤に存在する水分を利用して蒸散することによって示された。

一方、乾季後半の土壤水分低下に起因する蒸散抑制が、同試験地の樹木で生じているかどうかを知るために、乾燥の度合いの小さかった 2003 年の乾季後半と乾燥の度合いが大きかった 2004 年の乾季後半において、同試験地の高木 2 個体（樹高 30m と 25m）とその若木 2 個体（樹高 5 m と 1 m）を対象にした樹液流及び樹体の水ポテンシャルの計測が行われた。

その結果、(a) 2003 年の乾季後半に明瞭でな

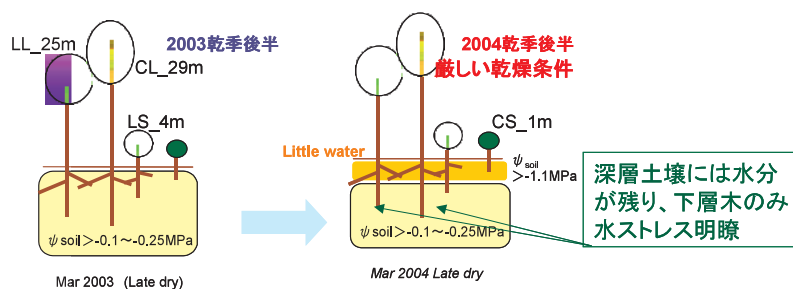


図7 乾季後半の熱帯季節林で下層木にのみ水ストレス発生の説明図

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ること、(b) 蒸散及び水ポテンシャルの低下が顕著であるのは 4 個体の中で最もサイズの小さい樹高 1 m の個体のみであったことが明らかとなった。さらに、この蒸散や水ポテンシャルの低下が土壤水分の欠乏によるものであることを確認するため、この小型の個体へ散水処理実験を行ったところ散水処理の 3 - 4 日後には蒸散速度および水ポテンシャルが回復したことから、この小型の個体の蒸散と水ポテンシャルの低下が土壤の乾燥によってもたらされていることが確認された。(a) の結果は、通常年では乾季後半に丘陵性常緑林は蒸散が活発であるが、大きい乾燥イベント時には土壤水分の低下を介して、樹木が水ストレスを受けていることを示している。また、(b) の結果から、乾燥イベント時に水ストレスの受ける度合いは個体サイズによって異なっていることが示された。この差異は、根系の発達具合が樹木サイズによって異なるために生じているのが合理的であろう。図 7 に示すように高木の場合、土壤深部に達した深い根によって乾季後半の蒸散が活発に維持されている一方で、小型の個体は高木ほど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、厳しい乾燥イベント時において高木に比べて蒸散抑制が顕著に現れると考えられるからである。コグマ試験地の樹木が深い根により土壤深部の水分を吸水し、(林分スケールでは) 活発な蒸散を維持することができるという数値実験の結果とも対応する。

さらに、この結果は丘陵性常緑林の更新過程が土壤の水文過程と密接な関係を持つことを示唆している。それは、上層木の被陰条件下にある下層木に強い水ストレスが明瞭に現れたからである。この林が伐採などの攪乱を受けた後に森林が再生する条件を考えると、若齢の木は直射日光が当たる更に蒸発量が多くなる条件下で、深部からの水に頼らずに生育することとなるので、観測されたよりもより厳しい環境下に置かれることになる。下層の樹木が成長を継続するには上層の樹冠が大きい助けとなっていると考えられる。

これらの研究によって、土壤

水分が減少する乾季後半に年間で最も大きい蒸発散がなされる常緑林にあっても、年々の降雨変動の影響を受ける可能性の中にあることがわかってきたわけである。なお同試験地の土壌呼吸は、土壌乾燥の影響を受け、乾季に低下することも明らかになるなど、炭素循環はさらに大きく降雨年々変動の影響を受けていると考えられる。

b. 熱帯落葉林の着葉期間の年々変動がもたらす水収支変化

一方同じタイ北部で、落葉タイプの熱帯季節林では乾季は落葉により上層木による蒸散と光合成が生じない。コグマ試験地の丘陵性常緑林で示されたように乾季にも樹冠の葉量が維持され蒸散が活発である森林タイプとは対照的である。落葉タイプの森林における熱・水・炭素循環には、着葉期間の長さや展葉、落葉時期などのフェノロジー（生物季節）の把握が重要となる。そのため落葉林のチーク人工林であるメーモ試験林において、降水量、土壌水分、樹冠の葉量、蒸散量の季節変化が調べられた。樹冠上下の入力日射量の比率からの相対的な葉量の変化と、樹液流の季節変化から蒸散の開始・停止時期をモニタリングした結果、

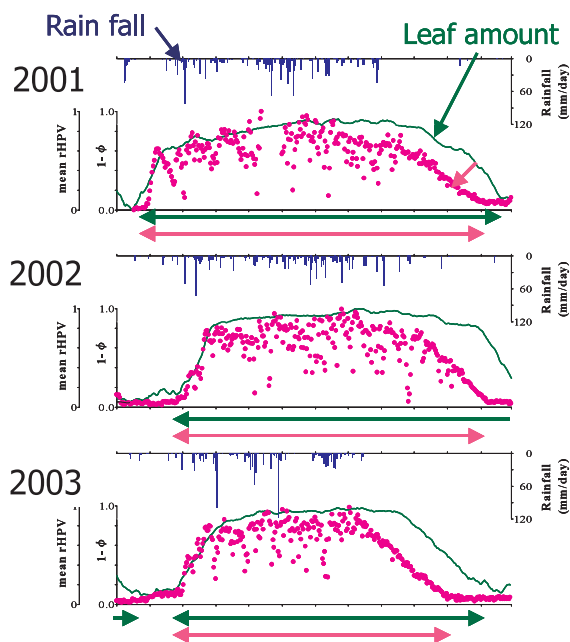


図8 熱帯季節林（落葉林）であるチーク人工林における展葉、落葉と蒸散量季節変化の年々変動（メーモ試験地）

緑線：林床日射の減衰から求めた葉量の変化
桃色：樹液流測定から求めた蒸散量の変化

展葉・落葉の時期や、蒸散開始・停止時期は大きく年々変動した（図8）。展葉・落葉時期、蒸散開始・停止時期の年による違いは、降雨に伴う土壌水分変化の年々変動と対応しており、乾季後半に大きな降雨イベントによって土壌水分が大きく上昇した年には展葉と蒸散開始も他の年より早かった。また、雨期の終了が早く土壌水分の低下が早かった年には落葉と蒸散停止も早く、逆に雨期の降雨停止が遅く土壌水分の低下が遅かった年には落葉と蒸散停止も遅いという対応が見られた。2001年から2005年までの5年間において、着葉期間は50日以上、蒸散期間は約60日間変動する結果である。乾期になり土壌水分の低下に伴い生ずる落葉の進行に先駆けて蒸散が低下するため、蒸散期間は着葉期間よりも短い、その年々変動は連動する。また、現地観測された展葉・落葉のタイミングの年々変動は、衛星で観測されたNDVIの時系列変化からも検出され、同調していた。

温帯落葉林でフィールド観測データを基に報告されている生長期間の長さの年々変動は大きいもので20日程度であるのに比べると、メーモ試験地のチーク人工林で得られた60日間という変動幅は非常に大きい。また、温帯では落葉している期間である冬にはそもそも入力となる放射エネルギーが低下している時期であるのに対し、タイ北部の場合は一年を通して放射エネルギーが大きい。そのため、温帯と比較して、この地域における蒸散期間の長さの変化が年間の熱・水・炭素収支に及ぼす影響は一段と大きいはずである。落葉前の蒸散量を 2 mm d^{-1} と見積もると着葉期間60日の差は年蒸発散量に120mmの増減をもたらすことになる。

4. 考察・結論

[年間水収支項の算定]

森林に降る降水は、樹冠を濡らし蒸発する樹冠遮断蒸発に関与し、降水年々変動が水収支に直接影響することから、タイの熱帯季節林とマレーシア、サラワク州の熱帯雨林の双方で詳細な計測を進め、その実態をほぼ明らかにすることができた。蒸散についても樹液流計測とフラックス計測によって各試験地の平年の降水量に対する値が定まってきた。

熱帯林の水収支推定にあたって観測着手時に樹

高の大きさ、樹冠の複雑さから平面的な広がりや鉛直方向の不均一性を含めて評価する必要性を認識したが、手間のかかる観測と多層モデルの解析によって、より広域な場を対象とするときに必要となる簡略化して扱うことのできる条件とその限界も論じられる段階となった。

またタイのコグマ試験地は山岳性の霧がよく発生し、霧が水収支に与える影響の評価が課題であったが、樹冠遮断測定と並行して行われた霧捕集装置を用いた観測から、定量的評価が論じられるようになった。

[炭素収支の算定]

各試験地の炭素収支は、フラックス計測、土壌呼吸計測（土壌中有機物分解と根の呼吸が計測される）及び計測結果を再現する多層モデルにより年単位の収支が求められつつある。

熱帯雨林のランビルと熱帯季節林のコグマの2試験地は、二酸化炭素放出に比べて二酸化炭素吸収が少し上回る算定結果となっているが、計測結果の補正方法の扱いと降水の季節変化・年々変動の条件によっては二酸化炭素放出も想定される段階である。降水の季節変化が熱帯林の炭素循環に与える影響は、熱帯季節林の土壌呼吸に特徴的で乾季後半に土壌水分が減少すると土壌呼吸の低下が明瞭である。

5. 今後の展開

1) 降水現象の季節性と年々変動

インドシナ半島とボルネオ島の降雨記録、GPSによる可降水量データの蓄積に基づいたプレモンスーン降水とモンスーン降水の日周期性、季節性年々変動の解析をふまえ、その地域性を明らかにする。また、太平洋、インド洋の気候システムと降水年々変動を対比する。

2) 熱帯季節林の降水変動と水循環・炭素循環

- a. 熱帯雨林、熱帯季節林（常緑林、落葉林）のエネルギー収支、水収支、炭素収支を平年値および偏差として推定する。
- b. 降水変動の広域性と生物季節の広域性の対応について衛星情報を用いて解析する。局所的降水の事象と広域的降水のいずれが水・炭素収支の変動に関係しているかが課題である。
- c. ENSO と強い関係のあるボルネオ島の降水現象がもたらすボルネオ熱帯雨林の水・炭素収支の変動を解析する。従来、著しい少雨の発生は

エルニーニョ期間に発生しているため、いつエルニーニョ期間が生じても各種現地観測記録が取得できる態勢を継続して、研究を進める。

- d. 現在調査記録を蓄積中の降雨－流出－渓流水質の関係を、土壌水分条件とのかかわりの中で明らかにする。
 - e. 森林の熱・水収支について、シベリアなど他地域の研究と情報交換して、熱帯林、北方林に共通な応答とそれぞれに固有の応答を抽出する。
- ### 3) モンスーンアジアの熱帯における水循環変動の影響予測

降雨年々変動が森林のエネルギーと水循環に与える影響が、気候システムに与える影響について、領域気象モデル、全球モデルによる数値解析とともに論ずる。

6. 主要な成果報告等（論文、口頭報告、特許、受賞、取材）

(1) 論文（国内 15 件、海外 23 件）

1. Okumura K, Satomura T, Oki T, Khantiyanan W (2003) Diurnal variation of precipitation by moving mesoscale systems: Radar observations in northern Thailand. *Geophysical Research Letters*, 30(20), 2073, doi:10.1029/2003GL018302
2. Yasunaga K, Kida H, Satomura T, Nish N (2004) A numerical study on the detrainment of tracers by cumulus convection in TOGA COARE. *J. Meteor. Soc. Japan・日本気象学会*, 82(3) : 861-878
3. 斎藤琢・熊谷朝臣・佐藤嘉展・鈴木雅一 (2004) 樹冠内 CO2 濃度プロファイル自動計測装置について. *水文・水資源学会誌*, 17(6) : 648-653
4. Manfroi O J, Kuraji K, Tanaka N, Suzuki M, Nakagawa M, Nakashizuka T, Chong L (2004) The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrological Process*, 18(3): 2455-2474. DOI:10.1002/hyp.1474
5. Kumagai T, Katul G G, Saitoh T M, Sato Y, Manfroi O J, Morooka T, Kuraji K, Ichie T, Suzuki M, Porporato A (2004) Water cycling in a Bornean tropical rainforest under current and projected precipitation scenarios. *Water Resources Research*, 40(1)

- :W01104, doi:10.1029/2003WR002226
6. Kumagai T, Saitoh T M, Sato Y, Morooka T, Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M (2004) Transpiration, canopy conductance and the decoupling coefficient of a lowland mixed dipterocarp forest in Sarawak, Borneo: dry spell effects. *Journal of Hydrology*, 287(1-4) :237-251
 7. Kumagai T, Katul G G, Porporato A, Saitoh T M, Ohashi M, Ichie T, Suzuki M (2004) Carbon and water cycling in a Bornean tropical rainforest under current and future climate scenarios. *Advances in Water Resources*, 27(12) : 1135-1150
 8. Kawamura R, R Suppiah, M A Collier, H B Gordon (2004) Lagged relationships between ENSO and the Asian Summer Monsoon in the CSIRO coupled model. *Geophysical Research Letters*, 31, L23205, doi:10.1029/2004GL 021411.
 9. Kawamura R, Aruga H, Matsuura T, Iizuka S (2004) Two different regimes of anomalous Walker circulation over the Indian and Pacific Oceans before and after the late 1970s. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere interaction*, C. Wang et al., Eds., *Geophys. Monogr*, 147, 365-377
 10. Tanaka K, Jianqing Xu, Takizawa H, Chatchai T, Kume T, Suzuki M (2004) The impact of rooting depth and soil hydraulic properties on the transpiration peak of an evergreen forest in northern Thailand in the late dry season. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 109, D23107, doi : 10.1029/2004JD004865
 11. Wakabayashi S, Kawamura R (2004) Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 1577-1588
 12. 堀川真由美・里村幹夫・島田誠一・Sununtha Kingpaiboon・仲江川敏之・加藤照之・沖大幹 (2004) タイ・Khon KaenにおけるGPS可降水量について. *静岡大学地球科学研究報告*, 31 : 33-39
 13. Ueda H, Kawamura R (2004) Summertime Anomalous Warming over the Midlatitude Western North Pacific and its Relationships to the Modulation of the Asian Monsoon. *International Journal of Climatology*, 24 : 1109-1120
 14. Inoue T, Matsumoto J (2004) A comparison of summer sea level pressure over East Eurasia between NCEP-NCAR Reanalysis and ERA-40 for the period 1960-99. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82 (3) : 951-958
 15. Hashimoto S, Tanaka N, Suzuki M, Inoue A, Takizawa H, Kosaka I, Tanaka K, Chatchai T, Nipon T (2004) Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*, 9(1), 75-79
 16. Komatsu H, Hotta N, Kuraji K, Suzuki M, Oki T (2005) Classification of vertical wind speed profiles observed above a sloping forest at nighttime using the bulk Richardson number. *Boundary-Layer Meteorology*, 115: 205-221
 17. Idris M H, Kuraji K, Suzuki M (2005) Evaluating Vegetation Recovery Following Large-Scale Forest Fires in Borneo and Northeastern China using Multi-Temporal NOAA/AVHRR Images. *Journal of Forest Research*, 10(2) :101-111
 18. 斎藤琢・熊谷朝臣・大橋瑞江・諸岡利幸・鈴木雅一 (2005) ボルネオ熱帯雨林における夜間CO₂フラックス. *水文・水資源学会誌*, 18(1) : 64-72
 19. Kumagai T, Saitoh T M, Sato Y, Takahashi H, Manfroi O J, Morooka T, Kuraji K., Suzuki M, Yasunari T, Komatsu H (2005) Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(1-2) :81-92
 20. Tanaka N, Tantasirin C, Kuraji K, Suzuki M, Tangtham N (2005) Inter-annual variation in rainfall interception at a hill evergreen forest in northern Thailand. *Bull.*

- Tokyo Univ. For, 113:11-44
21. 木口雅司・松本淳 (2005) The rainfall phenomena during the pre-monsoon period over the Indochina Peninsula in the GAME-IOP year, 1998. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 83(1): 89-106
 22. Kumagai T, Saitoh M T, Suzuki M (2005) Characteristics of soil temperature and heat flux within a tropical rainforest, Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University*, 27:5-63
 23. Ohba M, Ueda H (2005) Indian Ocean basin-wide warming associated with ENSO forcing. *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, Meteorological Society of Japan, Vol. 1:89-92
 24. Ueda H (2005) Air-sea coupled process involved in stepwise seasonal evolution of the Asian summer monsoon. *Geographical Review of Japan*, 86:825-841
 25. Ueda H, Iwai A, Kuwako K, Hori M E (2005) Impact of anthropogenic forcing on the Asian summer monsoon as revealed by simulated 8 GCMs. *Geographical Research Letter*, 33, L06703, doi:10.1029/2005GL025336
 26. Hori M E, Ueda H (2005) Impact of global warming on the East Asian winter monsoon as revealed by nine coupled atmosphere-ocean GCMs. *Geographical Research Letter*, 33, L03713, doi:10.1029/2005GL024961
 27. Kume T, Kuraji K, Yoshifuji N, Morooka T, Sawano S, Chong L, Suzuki M (2005) Estimation of canopy drying time after rainfall using sap flow measurements in an emergent tree in a lowland tropical rain forest, Sarawak, Malaysia. *Hydrological processes*, 20:565-578
 28. Kawamura R, Uemura K, Suppiah R (2005) On the recent change of the Indian summer monsoon-ENSO relationship. *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, Meteorological Society of Japan, Vol. 1: 201-204
 29. Inoue T, Ueda H, Inoue T (2006) Cloud properties over the Bay of Bengal derived from NOAA-9 split window data and the TRMM PR product. *Science Online Letter of Atmosphere*, Vol. 2:41-44
 30. 五名美江, 蔵治光一郎 (2006) マレーシア・サラワク州における降雨季節変動の空間分布特性. *水文・水資源学会誌*, 19巻2号, pp128-138
 31. Ishizaki N, Ueda H, (2006) Seasonal heating processes over the Indochina Peninsula and the Bay of Bengal prior to the monsoon onset. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84(2)375-387
 32. Yokoi S, Satomura T, (2006) An observational study of intraseasonal variations over Southeast Asia during the 1998 rainy season. *Monthly Weather Review*, Vol. 133, No. 7
 33. Yoshifuji N, Kumagai T, Tanaka K, Tanaka N, Komatsu H, Suzuki M, Tantasirin C, (2006) Inter-annual variation in growing season length of a tropical seasonal forest in northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, Vol. 229 P333-339
 34. Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M, Tanaka N, Kume T, Nakagawa M, Kumagai T, Nakashizuka T, Comparison of 3-year observed rainfall interception loss in a 100-m² subplot with that observed-estimated for a 4-ha plot in a Bornean lowland tropical rainforest. *Journal of Hydrology* (in print)
 35. Yokoi S, Satomura T, (2006) Mechanisms of the northward movement of submonthly-scale vortices over the Bay of Bengal during the boreal summer. *Monthly Weather Review*, Vol. 134 No. 8
 36. Kumagai T, Ichie T, Yoshimura M, Yamashita M, Kenzo T, Saitoh T M, Ohashi M, Suzuki M, Koike T, Komatsu H, (2006) Modeling CO₂ exchange over a Bornean tropical rainforest using measured vertical and horizontal variations in leaf-level physiological parameters and leaf area densities. *Journal of Geophysical Research*

- Atmospheres, Vol.111, D10107, doi:10.1029/2005JD006676,2006
37. Kawamura R, Ogasawara T (2006) On the role of typhoons in generating PJ teleconnection patterns over the western North Pacific in late summer. SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere), Meteorological Society of Japan, Vol. 2, 37-40
38. 植田宏昭・堀正岳 (2006) アジアモンスーン変動に内在する大気・海洋・陸面相互作用—日本の暑夏の直接的・間接的要因—. 月刊「海洋」, Vol. 38 No. 5 P120-132

(2) 口頭発表 (国内 34 件, 海外 45 件)

(3) 特許出願 なし

(4) 受賞, 報道等

新聞報道

1) Borneo Post : 2006. 7. 23 『Field biology students to report findings』 蔵治光一郎

2) Borneo Post : 2006. 11. 30 2005 年 11 月 29-30 日 マレーシア・クチンで開催のシンポジウムに関する地元新聞報道

その他

NHK 教育テレビ : 『サイエンス ZERO』

2005 年 6 月 4 日 19:00 ~ 19:44 放送

標題 : 『森林の力を解き明かせ』 鈴木雅一 (スタジオ解説)