

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「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」

研究終了報告書

研究期間 平成15年10月～平成21年3月

研究代表者：鈴木 雅一

(東京大学大学院農学生命科学研究科 教授)

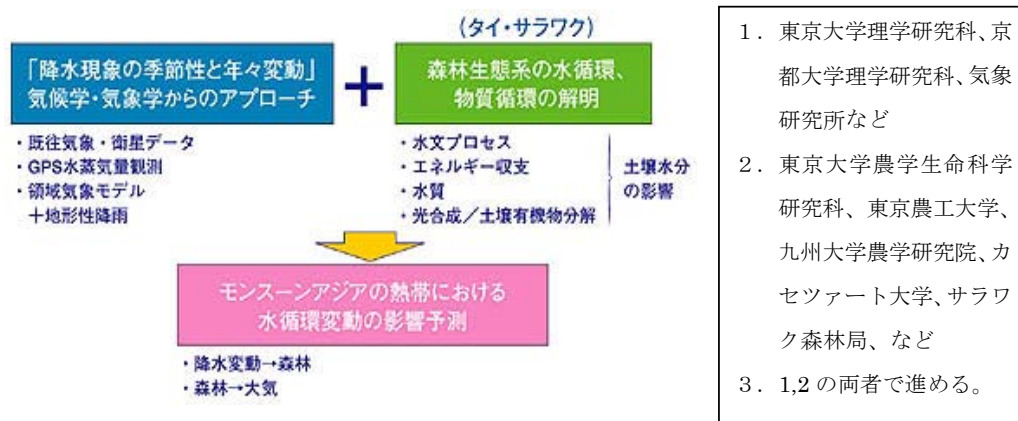
§ 1 研究実施の概要

(1) 研究の構想

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する研究を構想した。

本研究は、Ⅰ) 降水現象の季節性、年々変動機構の解明、Ⅱ) 森林生態系での水循環、物質循環研究、の 2 つの研究グループによりなり、両者の知見を合わせ、Ⅲ) 「降水変動の影響」を解明する。

(2) 研究の実施



本研究では、降水現象の季節性、年々変動機構の解明、森林生態系での水循環と物質循環研究のいずれも、現地観測の情報の空白地帯といてよく、研究の主体は現地調査における観測記録の収集・解析とした。

気候・気象学的視点から東南アジアのモンスーン気候下における降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにする研究として、短時間スケールでの降水変動の実態を詳細に解明するために、現地機関の協力のもと、インドシナ半島の北緯18度付近(ミャンマー、タイ、ラオス)、観測データの乏しいカンボジア、豪雨被害が近年頻発している中部ベトナムに自記雨量計観測網を構築、一部ではリアルタイムでのデータ転送により現地での降雨監視を進めた。インドシナ半島ではこれまで3時間間隔で取られた現地機関による降水量データの解析しかなされておらず、展開した雨量計網による情報により、より詳細な日変化の地域差の解析した。

タイの山岳域に展開した雨量観測網(約4000km²に19台の雨量計)とボルネオ島に海岸からの距離を変えて展開した雨量観測は、降水量日周変化、降雨量標高依存性など従来明らかでなかった地域スケールでの降水特性の解明を目指して進めた。

ついで熱帯地域で卓越する季節内変動については、衛星データおよびGAMEおよび本研究で収集した現地観測による降水量・レーダーデータを解析し、インドシナ半島の地形の影響によって、各地での季節内変動の解明を目指した。また、東南アジアモンスーンのオンセット前後の降水量

布、降雨特性、鉛直循環、熱的低気圧の発達状況などを、GAME-T 特別観測データやゾンデや地上気象データ、客観解析データ、衛星データを用いて明らかにすること。GPS による水蒸気観測データの取得・解析を行い、モンスーンの季節変化に伴う水蒸気の変化を明らかにすることを研究テーマとした。

森林研究は、雨季と乾季をもつタイにおいて常緑林と落葉林の熱帯季節林に調査地を設定するとともに、マレーシア・ボルネオ島の熱帯雨林に調査地を設定し、それぞれ水文プロセスの観測、水質調査、クレーン、タワーを用いた観測によるエネルギー収支、水蒸気フラックス、二酸化炭素フラックス、土壌中有機物分解の観測の継続観測を行った。これらの観測記録を元に、水、物質循環の特性を比較可能なモデル構築を目指した。

(3) 研究の成果

1) 降水現象の季節性と年々変動

1-1 インドシナ半島の雨量計測・解析

各地の日変化特性が地形の影響を受けて大きく変化すること、特に初冬季のベトナムでは年による日変化の違いが大きいことがわかった。ラオスのビエンチャンでは昨年と今年の雨期のレーダーデータを入手することができ、これまで詳しい解析のなされたタイ北部と全く違った降水システムの日変化とその季節変化となっているという新たな知見を得た。

熱帯地域で卓越する季節内変動については、衛星データおよび GAME および本研究で収集した現地観測による降水量・レーダーデータより、インドシナ半島の地形の影響による季節内変動の変化、数千 km の水平スケールを持つ季節内変動擾乱による降水の地形に起因するメソスケールの地域性を、世界で初めて本研究によって示した。

1-2 タイ山岳域の降水特性・ボルネオ島海岸域の降水特性

タイ北部山岳域では、標高約 400m から 2500m で、年降水量が約 3 倍にもなる強い降水量の標高依存性があり、どの年でも標高が高くなるにつれて降水量、年降水時間が増加する傾向がみられるが、年平均降水強度は標高によらず一定であるという特性を明らかにした。

ボルネオ島海岸域では、地域により降水の多い時間帯が異なる。海岸から内陸約 10km までに展開した雨量観測によって、内陸に向かうに従って午後のピークが明瞭になっていき、この地域の降水量の日周変動パターンを決めている重要な要因は海岸からの距離であることを明らかにした。

1-3 GPS 可降水量

タイ北部のチェンマイ郊外のコグマ試験地、タイ北西部のコンケン大学、マレーシア・サラワク州ランビル国立公園第2タワーにおいて可降水量の時間的変化を調べるために GPS 観測を行った。特に、コグマについては、水平距離がわずか 8.4km で標高差が 1000m 以上あるチェンマイの GPS データとともに解析した。2 地点の可降水量の差は標高 314m から 1364m の下層に位置する水蒸気量の総量を示す。乾季の可降水量は上層、下層とも 5~15mm を示しているのに対し、雨季には上層は 40mm 強、下層は 20mm 弱で大きな差を示すという、新たな知見を得た。また、GPS 可降水量からモンスーンのオンセット、オフセットの時期を決める方法が検討された。

1-4 アジアモンスーンの降水現象の変動機構、全球モデルによるアジア域熱帯林における植生変動と水循環変動

現地観測、気候モデルを用いてアジアモンスーンの変動機構、またそれらを規定する熱帯太平洋における ENSO の物理プロセスの解明を行った。また、植物生態モデルを含む全球モデル (BAIM2) でインドシナ半島 (ICP) および海洋大陸地域 (MTC) を対象としたアジア域の熱帯林の減少が、地域的な水循環および炭素循環に及ぼす影響に関して、FAO による最近の統計に基づき、森林が年平均約 1.3% 減少することを想定 (C_4 草原化) したモデル積分を 100 年間行った。数値実験解析から、アジア域熱帯林における植生変動は、地域的な水収支・炭素収支に有意な変動をもたらすことが明らかとなった。アマゾン領域を対象とした数多くの研究があるが、本研究成果により、アジア熱帯地域における森林減少と気候変動との関係に関する新たな科学的な知見が得られた。

2) 森林生態系の水循環、物質循環

2-1 森林3サイトにおける気象観測

このプロジェクトの前段として、CREST—地球変動／熱帯林冠や GAME があり、それらから計測

を引き継ぎ継続してきた。そのため、熱帯雨林のランビルにおいては8年以上、熱帯季節林のコグマにおいては11年以上にわたる微気象要素(降水、短波・長波放射、気温、大気飽差及び風速)が蓄積され、当該地域の水循環、炭素循環を評価するうえで必要不可欠な微気象要素の季節変化と年々変動の実態を明らかにすることができた。熱帯雨林気候といわれるランビルにおいて、微気象要素の季節性が不明瞭だと思われていたが、風速と大気飽差には一年を単位とした明瞭な季節変化検出された。

2-2 タイ熱帯常緑林の水収支・炭素収支

タイにおける農地をはじめとする一般の土地利用・植生からの蒸発散量が、乾季後半に土壤水分低下のために著しく少なくなるのに対し、タイ北部チェンマイ近郊の常緑熱帯季節林では年間で最も活発な蒸発散がなされることが明らかとなっている。この活発な蒸発散をもたらす水分の供給源が、土壤深を変化させて樹木の根による深さ方向の吸水を考慮した多層モデルによる蒸発散解析により検討され、植物の根が存在する土壤深さが4～5mのときに、雨季に貯留された土壤水分が乾季後半の蒸発散をもたらすことが示された。このプロセスの傍証として、乾季後半に林内の下層木で根が未だ浅い個体では、上層の樹木より強い水ストレスを受けることが樹木生理学的な計測からも得られた。

2-3 タイ熱帯落葉林の水収支・炭素収支

タイの熱帯季節林のうち、乾季に落葉するチーク人工林を対象に蒸発散季節変化を求め、大きい年々変動があることを見出した。チーク林はプレモンスーンの降雨に対応した展葉時期と雨季の終了後の落葉時期を持つが、降雨の年々変動でこれらの時期が前後し、3年間の観測で着葉期間に60日以上の差異が生じた。落葉期間には蒸散が生じないので、水収支、エネルギー収支に大きい年々変動がもたらされる。降水の変動が植生の影響を含む地表面プロセスへの影響を通して、水循環に影響を与える典型的な事例の一つであるといえる。

2-4 サラワク熱帯雨林の水収支・炭素収支

マレーシア・サラワク州ランビル国立公園の低地熱帯雨林は、樹高50mを超える世界で有数のバイオマスを持つ森林で、林冠クレーンなどを用いたフラックス観測、微気象観測、土壤水分観測などが進められた。アマゾン川流域の熱帯林に比べて報告例がわずかであった東南アジア熱帯雨林の年蒸発散量、年樹冠遮断量、年蒸散量、炭素収支などが見積もられ、報告された。これらの結果は、国際的な関心がもたれ熱帯水文研究者の論文に引用回数が増加している。降雨後に上層の林冠と下層植生の葉が乾く時間差の解析や、それを検証に用いる多層モデルの開発などにより、複雑な林冠の森林の水循環、炭素循環素過程が解明された。

2-5 タイとサラワクにおける水収支・炭素収支の各項目詳細観測

水収支項目は、降水、蒸発散、流出からなるが、森林において蒸発散は、蒸散、樹冠遮断蒸発量、土壤面蒸発量から構成される。このため、各サイトにおいて樹冠遮断量の計測がなされた。特に、サラワクの熱帯雨林では巨大高木が存在し、樹冠の平面的な不均一性が大きく、正確な計測が困難であるが、3年にわたり620地点の林内雨計測を行い、4haの平均値としての樹冠遮断量が求められた。また、落葉季節林における測定も、その集中的観測によって、従来諸説が存在した樹冠遮断量に回答をあたえる観測がなされた。

また、山地に位置するコグマ試験地では、山岳性の霧がしばしば発生し、その評価が水収支や水質形成に影響を与える。フォッグ・ゲージなどの機器を用いた観測によって、その実態を明らかにした。これらの観測は、いずれも熱帯林水文研究の最先端に位置するものである。

土壌中有機物分解(土壌呼吸)、水質形成についても、熱帯季節林および熱帯雨林は、それぞれ特徴のある土壤水分季節変化の影響を受けることを明らかにした。

2-6 インドシナ半島の蒸発散量推定

東南アジア熱帯において、落葉林と常緑林が特徴ある蒸発散季節変化をすることについて、これを反映するモデルを構築し、1km分解能、月単位で蒸発散量、水資源賦存量を求め、この結果を現地観測データ、既往モデルの値と対比した。

3) 降水変動の影響解明

落葉性の熱帯季節林における展葉と落葉時期が降水変動の影響を受け、水・炭素循環に大きい影響を与えていることをはじめ、降水量変動が熱帯季節林にさまざまな影響を与えていることが明らかにされた。熱帯雨林においては、研究期間中に顕著なエルニーニョ現象の発生がなく著しい少雨の状態が生じなかったために、平年には降水変動が森林の水・炭素収支に大きく影響することはなかった。しかし、降水確率モデルによる解析により、過去の著しい少雨期間を含む長期間を対象に土壌水分への影響予測などがなされた。また、熱帯域で特徴的な降雨の日周性に関わって、1日のうちで雨が良く降る時刻が地域により異なる地域性とそれが熱帯林のエネルギー循環に与える影響評価がなされた。これらの成果より降水変動が熱帯林に与える影響に関する知見は飛躍的に増加した。

なお、降水変動により影響を受けた森林のエネルギー・水・炭素の循環は、更に気象と気候へと影響を与えることになるが、本研究においてこの課題は、気象・気候研究として取り組み1-4に記述した成果を得ている。

§2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

いつ夏の雨季が始まり終わるのか？雨季に雨がどのくらい降るのか？それを前もって予測することは、人口稠密なこの地での食糧供給を考えると社会的にきわめて重要である。またモンスーンは毎年必ずやってくるものの、その開始・終了時期や雨季の降水量などは年々変動が大きい。本研究は、湿潤アジアにおける水循環の大気陸面過程と水資源・水災害の変動の研究における重要な要素である「降水現象の年々変動」が水循環、物質循環のどの部分にどれだけ影響を与えるかを解明する。

このために研究体制は、「降水現象の季節性と年々変動」研究グループ、「森林生態系の水循環、物質循環」研究グループの2グループに大別される。それぞれの研究は、現地観測、資料解析、モデル研究を含むが、気象研究グループと森林研究グループそれぞれの内部では、主要な研究参加者に対して観測、資料解析、モデルの専属とすることなく、複数の研究手法を担当することとした。

大型のプロジェクトでは、研究手法毎に研究チームを分割することが一般的である。本研究でその形態をとらなかったのは、従来の情報が少ないフィードで新しく入手された情報が、直ちに資料解析やモデル化のアイディアに結びつくことの有効性に期待したためである。

また、森林グループの場合、対象とする観測地は3箇所あるが、一人一人の研究者は研究項目については、気象・フラックス、降水量・樹冠遮断量、土壌呼吸など担当項目を限定しても、できるだけ複数のサイトにわたって担当するようにした。これは、各サイトを対比するときの手順や精度の共通性が必要となることを考慮したからである。観測項目によっては、計測を行いながら改良を加えていく、新規性の高い手法を使う必要があり、それを各サイト並行して進めるという事情もあった。

なお本研究の場合、雨量計測や森林計測について、先行したプロジェクトを継続して実施する部分があり、長期観測の継続という研究課題が含まれている。長期観測には、機器の劣化やメンテナンスの低下などの恐れを伴うことが予想されたので、各研究項目の担当者が複数になるような人員配置を行い、観測にゆるみができないような体制を工夫した。

それぞれのグループの研究サブテーマは、以下のよう設定した。

「降水現象の季節性と年々変動」研究グループのサブテーマ

- ・インドシナ半島の雨量計測と解析
- ・山岳性降水特性、海沿い地域の降水特性の計測と解析
- ・アジアモンスーンの降水現象の変動機構
- ・全球モデルによるアジア域熱帯林における植生変動と水循環変動

「森林生態系の水循環、物質循環」研究グループ

- ・森林におけるタワーによる気象、微気象の計測と解析
- ・エネルギー・水・炭素フラックス計測と解析
- ・土壌水分、地下水位、流出量計測と解析
- ・降雨、地下水、渓流水の水質計測と解析
- ・植物生理計測(樹液流速ほか)の計測と解析
- ・土壌有機物分解(土壌呼吸量)の計測と解析
- ・多層モデルによる森林微気象、フラックス解析
- ・広域水収支、炭素収支モデリング

(2)実施体制

グループ名	研究代表者又は 主たる共同研究者氏名	所属機関・部署・役職名	研究題目
「森林生態系の水循環、物質循環」研究グループ	鈴木雅一	東京大学大学院農学生命科学研究科・教授	森林生態系の水循環、物質循環の観測とそのモデル化
「降水現象の季節性と年々変動」研究グループ	里村雄彦	京都大学大学院理学研究科・教授	降水現象の季節性、年々変動機構の解明
「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」研究グループ	上記 2 グループのメンバーが参加する		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

§ 3 研究実施内容及び成果

3.1 チームとしての成果

(1) 降水現象の季節性と年々変動

1) インドシナ半島の雨量計測・解析

各地の降水の日変化特性が地形の影響を受けて大きく変化すること、特に初冬季のベトナムでは年による日変化の違いが大きいことがわかった。ラオスのビエンチャンでは 2007 年雨期よりドップラーレーダーが稼働を開始しており、現地機関と JICA の協力を得て昨年と今年の雨期のレーダーデータを入手することができ、これまで詳しい解析のなされたタイ北部と全く違った降水システムの日変化とその季節変化となっているという新たな知見を得た。

熱帯地域で卓越する季節内変動については、衛星データおよび GAME および本研究で収集した現地観測による降水量・レーダーデータより、インドシナ半島の地形の影響によって、各地での季節内変動が大きく変化することが明らかとなった。数千 km の水平スケールを持つ季節内変動擾乱による降水が、地形に起因する非常に鮮明なメソスケールの地域性を示すことが世界で初めて本研究によって示された。このように地点データやレーダーを利用した詳細な解明はほかに例がなく、本研究での高い独創性を示す。

2) タイ山岳域の降水特性・ボルネオ島海岸域の降水特性

水資源の観点からは、山岳地帯の降水量は平地の降水量よりも顕著に多く、山岳地帯の降水の年々変動による多寡が、下流の水需要を満たせるのか、それとも需要を満たせず水不足を招くの

かを定める重要な要因である。タイ北部山岳域では、標高約 400m から 2500m で、年降水量が約 3 倍になる強い降水量の標高依存性がある。どの年でも標高が高くなるにつれて降水量、年降水時間が増加する傾向がみられるが、年平均降水強度は標高によらずほぼ一定であるという特性が明らかにされた。

ボルネオ島海岸域では、地域により降水の多い時間帯が異なる。海岸から内陸約 10km までに展開した雨量観測によって、内陸に向かうに従って午後のピークが明瞭になっていき、この地域の降水量の日周変動パターンを決めている一つの重要な要因は海岸からの距離であることがわかった。

3) GPS 可降水量

タイ北部のチェンマイ郊外に位置するコグマ試験地管理事務所の屋上、タイ北西部のコンケン大学工学部農業工学科棟屋上、マレーシア・サラワク州ランビル国立公園第2タワーにおいて可降水量の時間的変化を調べるために GPS 観測を行った。

特に、コグマについては、水平距離がわずか 8.4km で標高差が 1000m 以上あるチェンマイの GPS データとともに解析した。2 地点の可降水量の差は標高 314m から 1364m の下層に位置する水蒸気量の総量を示し、コグマの値は 1364m より上層の水蒸気量の総量を示すと考えられる。乾季の可降水量は上層、下層とも 5~15mm を示しているのに対し、雨季には上層は 40mm 強、下層は 20mm 弱で大きな差を示すという、新たな知見を得た。また、GPS 可降水量からモンスーンのオンセット、オフセットの時期を決める方法が検討された。

4) アジアモンスーンの降水現象の変動機構

現地観測、気候モデルを用いてアジアモンスーンの変動機構、またそれらを規定する熱帯太平洋における ENSO の物理プロセスの解明を行った。モンスーンオンセット、地球温暖化に伴う夏季アジアモンスーン域における水循環の変動について、PCMDI が提供する 18 の全球モデルによる温暖化数値実験である。

また、観測結果では正位相(エルニーニョ)から負位相(ラニーニャ)への遷移は急速に進むのに対し、その逆の遷移は多くのイベントで停滞する傾向があることが知られている。大気大循環モデルに逆位相の海面水温偏差を与えた数値実験により、強いエルニーニョの年の次にはラニーニャが来るが、強いラニーニャの次の年には再度ラニーニャが来るというメカニズムが、大気海洋結合システムに元々内在しているメカニズムであるということが明らかにした。

5) 全球モデルによるアジア域熱帯林における植生変動と水循環変動

インドシナ半島(ICP)および海洋大陸地域(MTC)を対象としたアジア域の熱帯林の減少が、地域的な水循環および炭素循環に及ぼす影響に関して、森林がFAOによる最近の統計に基づき、年平均約1.3%減少することを想定(C_4 草原化)したモデル積分を100年間行った。数値実験解析から、アジア域熱帯林における植生変動は、地域的な水収支・炭素収支に有意な変動をもたらすことが明らかとなった。アマゾン領域を対象とした数多くの研究があるが、アジア域熱帯林に関する植生変動と気候変動との関係についての研究は少ない。本研究成果により、アジア熱帯地域における森林減少と気候変動との関係に関する新たな科学的な知見が得られた。

(2) 森林生態系の水循環、物質循環

1) 森林3サイトにおける気象観測

熱帯雨林気候下のマレーシア、サラワク州にあるランビル国立公園の低地熱帯雨林(以下、ランビル)では高さ90mの林冠クレーンを用いて、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)では高さ50mの気象観測タワーを用いて、複数年にわたる長期気象観測を実施した。また、タイ北部のメーモ試験地の落葉林であるチーク林に高さ40mの気象観測タワーを用いた観測がなされた。

このプロジェクトの前段として、CREST—地球変動/熱帯林冠や GAME があり、それらから計測を引き継ぎ続けてきた。そのため、ランビルにおいては8年以上、コグマにおいては11年以上に

わたる微気象要素(降水、短波・長波放射、気温、大気飽差及び風速)が蓄積され、当該地域の水循環、炭素循環を評価するうえで必要不可欠な微気象要素の季節変化と年々変動の実態を明らかにすることができた。熱帯雨林気候といわれるランビルにおいて、微気象要素の季節性が不明瞭だと思われてい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検出された。

2) タイ熱帯常緑林の水収支・炭素収支

タイにおける農地をはじめとする一般の土地利用・植生からの蒸発散量が、乾季後半に土壤水分低下のために著しく少なくなるのに対し、タイ北部チェンマイ近郊の常緑熱帯季節林では年間で最も活発な蒸発散がなされることが明らかとなっている。この活発な蒸発散をもたらす水分の供給源が、土壤深を変化させて樹木の根による深さ方向の吸水を考慮した多層モデルによる蒸発散解析により検討され、植物の根が存在する土壤深さが4～5mのときに、雨季に貯留された土壤水分が乾季後半の蒸発散をもたらすことが示された。このプロセスの傍証として、乾季後半に林内の下層木で根が未だ浅い個体では、上層の樹木より強い水ストレスを受けることが樹木生理学的な計測からも得られた。

3) タイ熱帯落葉林の水収支・炭素収支

タイの熱帯季節林のうち、乾季に落葉するチーク人工林を対象に蒸発散季節変化を求め、大きい年々変動があることを見出した。チーク林はプレモンスーンの降雨に対応した展葉時期と雨季の終了後の落葉時期を持つが、降雨の年々変動でこれらの時期が前後し、3年間の観測で着葉期間に60日以上の差異が生じた。落葉期間には蒸散が生じないので、水収支、エネルギー収支に大きい年々変動をもたらされる。降水の変動が植生の影響を含む地表面プロセスへの影響を通して、水循環に影響を与える典型的な事例の一つであるといえる。

4) サラワク熱帯雨林の水収支・炭素収支

マレーシア・サラワク州ランビル国立公園の低地熱帯雨林は、樹高50mを超える世界で有数のバイオマスを持つ森林で、林冠クレーンなどを用いたフラックス観測、微気象観測、土壤水分観測などが進められた。アマゾン河流域の熱帯林に比べて報告例がわずかであった東南アジア熱帯雨林の年蒸発散量、年樹冠遮断量、年蒸散量、炭素収支などが見積もられ、報告された。これらの結果は、国際的な関心がもたれ熱帯水文研究者に受け取られており、既に幾つかの論文に引用されている。降雨後に上層の林冠と下層植生の葉が乾く時間差の解析や、それを検証に用いる多層モデルの開発などにより、複雑な林冠の森林の水循環、炭素循環素過程が解明された。

5) タイとサラワクにおける水収支各項目の詳細観測

水収支項目は、降水、蒸発散、流出からなるが、森林において蒸発散は、蒸散、樹冠遮断蒸発量、土壤面蒸発量から構成される。このため、各サイトにおいて樹冠遮断量の計測がなされた。特に、サラワクの熱帯雨林では巨大高木が存在し、樹冠の平面的な負均一性が大きく、正確な計測が困難であるが、3年にわたり620地点の林内雨計測を行い、4haの平均値としての樹冠遮断量が求められた。また、落葉季節林における測定も、その集成的観測によって、従来諸説が存在した樹冠遮断量に回答をあたえる観測がなされた。

また、山地に位置するコグマ試験地では、山岳性の霧がしばしば発生し、その評価が水収支や水質形成に影響を与えるが、フォッグ・ゲージなどの機器を用いた観測によって、その実態を明らかにした。これらの観測は、いずれも熱帯林水文研究の最先端に位置するものである。

6) タイとサラワクにおける土壌中有機物分解（土壌呼吸）

熱帯季節林および熱帯雨林は、それぞれ特徴のある土壤水分季節変化をもつので、土壤動物や土壤微生物の活性の季節変化も異なる。そのため、森林の炭素循環の一要素である土壌中有機物分解（土壌呼吸）も大きく異なることが、明らかにされた。

特に熱帯季節林では、乾季の土壌乾燥により土壌中有機物分解が著しく低下し、土壌中有機物分解の季節性が森林の二酸化炭素吸収量の季節性に影響を与えている。また、熱帯雨林では、土壤動物の間歇的な活動のシグナルが大きく、大きい二酸化炭素放出があるホットスポットの存在が発見された。

7) 熱帯林における森林流域の水質

熱帯雨林のランビル流域において、渓流水が硫酸酸性であるという驚異的事実が、今回の観測・分析によって初めて明らかになった。今後、ランビル国立公園近傍の熱帯雨林が伐採され、それをきっかけにして地下深くに散在するパイライトを含む土壌や基盤岩が地表面に露出した場合には、パイライトの急激な酸化により大量の硫酸が生成され、流出する可能性がある。ランビル国立公園と同じボルネオ島に位置する東カリマンタンでは、干拓や土木工事などにより地表に露出したパイライトの酸化で大量の硫酸が生成され、深刻な酸性硫酸塩土壌問題が生じている。本研究成果は、硫酸酸性の渓流水が流出するような土地でも天然の熱帯雨林が成立していることを示しており、酸性硫酸塩土壌問題がすでに起きている場所で森林再生を行う際に役に立つ基礎的知見を提示できると期待される。

8) インドシナ半島の蒸発散量推定

東南アジア熱帯において、落葉林と常緑林が特徴ある蒸発散季節変化をすることについて、これを反映するモデルを構築し、1km 分解能、月単位で蒸発散量、水資源賦存量を求め、この結果を現地観測データ、既往モデルの値と対比した。

近年、森林による二酸化炭素吸収を期待して、大規模植林の計画が各地で模索されているが、本研究が明らかにしてきたように、炭素循環は水循環の影響を受け、その影響は熱帯季節林において特に大きい。未だ、多くの大規模植林の計画に水循環のアセスメントは十分に取り入れられておらず、水収支に対する常緑林と落葉林の差異を表現する蒸発散量推定をはじめ、本研究による知見はこの点に対して大きく貢献するものである。

(3) 降水変動の影響解明

落葉性の熱帯季節林における展葉と落葉時期が降水変動の影響を受け、水・炭素循環に大きい影響を与えていることをはじめ、降水量変動が熱帯季節林にさまざまな影響を与えていることが明らかにされた。熱帯雨林においては、研究期間中に顕著なエルニーニョ現象の発生がなく著しい少雨の状態が生じなかったために、平年には降水変動が森林の水・炭素収支に大きく影響することはなかった。しかし、降水確率モデルによる解析により、過去の著しい少雨期間を含む長期間を対象に土壌水分への影響予測などがなされた。また、熱帯域で特徴的な降雨の日周性に関わって、1日のうちで雨が良く降る時刻が地域により異なる地域性とそれが熱帯林のエネルギー循環に与える影響評価がなされた。これらの成果より、降水変動が熱帯林に与える影響に関する知見は飛躍的に増加した。

なお、降水変動により影響を受けた森林のエネルギー・水・炭素の循環は、更に気象と気候へと影響を与えることになるが、本研究においてこの課題は、気象・気候研究として取り組み(1),5)に記述した成果を得ている。

3. 2 降水現象の季節性と年々変動（降水現象の季節性と年々変動研究グループ 京都大学 里村雄彦）

3. 2. 1 インドシナ半島の降水現象の季節性と年々変動（京都大学・里村雄彦・中田淳子・杉埜水脈・伊藤正樹・山本恵子、首都大学東京・松本 淳・金森大成、東京大学・横井寛・木口雅司・安形 康・井上知栄、富山大学・川村隆一）

(1)研究実施内容及び成果

本研究では、インドシナ半島を中心としたアジアモンスーン地域における降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにすることを目的として研究を推進した。

短時間スケールでの降水変動の実態を詳細に解明するために、現地機関の協力のもと、図 3. 2-1 に示すインドシナ半島の北緯 18 度付近、観測データの乏しいカンボジア、豪雨被害が近年頻発している中部ベトナムに自記雨量計観測網を構築、一部ではリアルタイムでのデータ転送により現地での降雨監視にも貢献、CREST ホームページでも公開している。得られたデータからは、各地の日変化特性が地形の影響を受けて大きく変化すること、特に初冬季のベトナムでは年による日変化の違いが大きいことがわかった。また、上記雨量計が設置されているラオスのビエンチャンでは 2007 年雨期よりドップラーレーダーが稼働を開始した。現地機関と JICA の協力を得て昨年と今年の雨期のレーダーデータを入手することができたので、解析を開始した。予備的な解析でこれまで詳しい解析のなされたタイ北部と全く違った降水システムの日変化とその季節変化となっているらしいことなど、新たな知見が得られつつある。インドシナ半島ではこれまで 3 時間間隔で取られた現地機関による降水量データの解析しかなされておらず、展開した雨量計網及び各国レーダー観測網で得られたデータを用い、より詳細な日変化の地域差を解明することが本研究では期待できる。

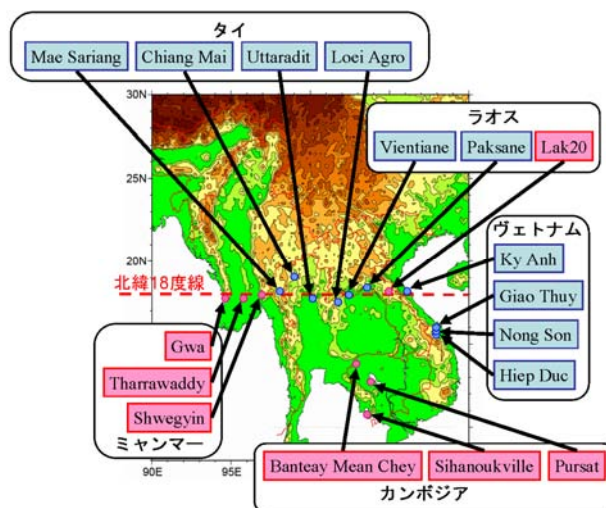


図3. 2-1 本研究で展開した自記雨量計観測網

ついで熱帯地域で卓越する季節内変動については、衛星データおよびGAMEおよび本研究で収集した現地観測による降水量・レーダーデータを解析し、インドシナ半島の地形の影響によって、各地での季節内変動が大きく変化することが明らかとなった(Yokoi et al., 2007)。図3. 2-2はタイ北部のレーダーで観測されたエコー強度の季節内変動の強さの地域分布を示す。数千kmの水平スケールを持つ季節内変動擾乱による降水が、地形に起因する

非常に鮮明なメソスケールの地域性を示すことが世界で初めて本研究によって示された。このように地点データやレーダーを利用した詳細な解明はほかに例がなく、本研究での高い独創性を示す。

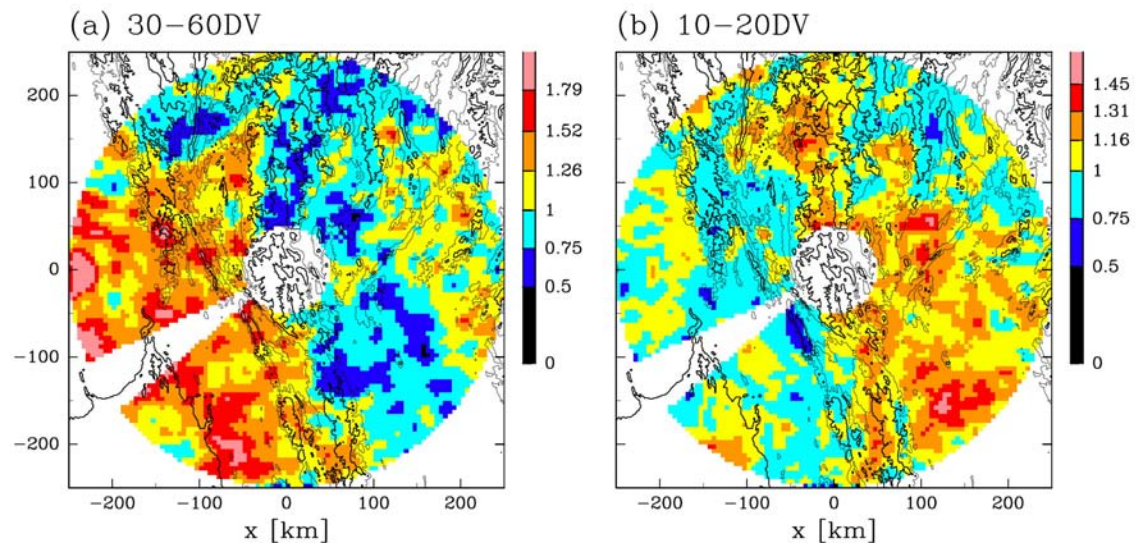


図3. 2-2 タイ北部レーダーエコーの季節内変動成分振幅分布。観測期間は1998-2000年。
(a) 30-60日周期変動、(b) 10-20日周期変動。

また、インドシナ半島に上陸する熱帯低気圧擾乱は多量の降水をもたらすため、その挙動の解明が重要である。上陸する擾乱の多くは上陸とともに衰退するが、幾つかはあまり衰弱せずに渦構造を保ちつつ半島を横断するものがある。それらは擾乱として弱いために国際的な監視対象から外れるためこれまであまり注目されていなかった。しかし、多量の雨を降らして災害を引き起こすことがあるため、本研究ではそのような衰弱の少ない擾乱の統計解析と数値モデルによる事例研究を行い、その季節性と減衰が弱い原因について明らかにするとともに、領域大気モデルによるハインドキャストにも成功した(図3. 2-3)。

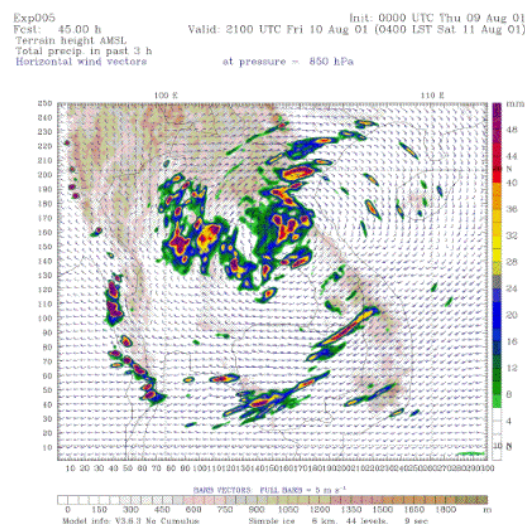


図3. 2-3 格子間隔6kmの領域モデルで再現された熱帯低気圧擾乱。2001年8月10日21Zの状態を示す。カラーの陰影は3時間降水量を示す

さらに、ベトナムにおける初冬季の豪雨は、シベリアからの寒波の吹き出しと、南方にある熱帯擾乱の相互作用によって発生していることが、事例および統計解析から明らかになった。ベトナムにおける北東モンスーン季の豪雨発生機構はこれまで解明されておらず、南西モンスーンによる降雨の研究が中心であったアジアモンスーン研究に一石を投じた (Yokoi Matsumoto, 2008, 図3.2-4)。

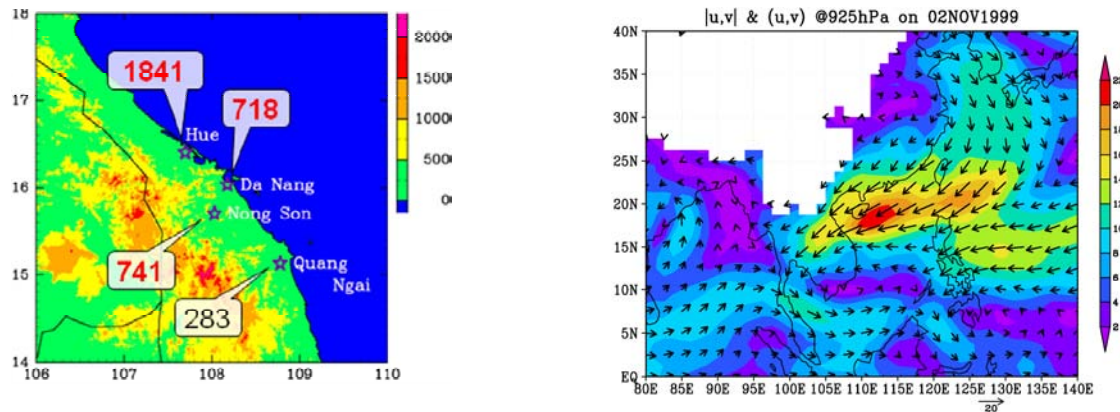


図3.2-4 中部ベトナムで豪雨が発生した1999年11月2-3日の降水量（左）（単位はmm）と11月2日の925hPa面での気流（右）（カラーバーは風速 ms^{-1} ）

年々変動については、再解析データなどのデータの統計解析と大気海洋結合モデルによる研究を進め、図3.2-5に示すようにENSOの衰退期（冬から夏）には、熱帯インド洋の海気相互作用とアジア大陸の陸面水文過程を介し、モンスーン開始の遅延や6-7月のモンスーン降水量変化が、またENSOの発達期（夏から冬）には、8-9月のモンスーン降水量に大きな影響が現れることが、明らかになった。複雑なアジアモンスーンの大気・陸面・海洋相互作用による変動機構を観測とモデルから解明した点に大きな意義がある。そのほか、日本付近での晩夏から初冬季にかけての降水量が1983年を境に大きく変化したことを発見し、10年スケールでのアジアモンスーンの気候変化研究に新たな視点を提供した。

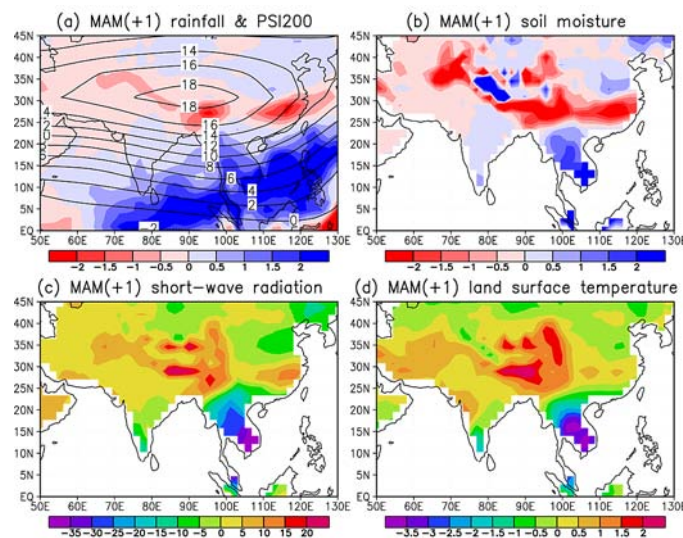


図3.2-5 プレモンスーン期（3-5月）におけるモデル各種物理量のラニーニャ年とエルニーニョ年の間での差. (a) 降水量と200hPa流線関数. 陰影部は降水量 (mm day^{-1})、等値線間隔は $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、(b) 土壌水分、(c) 短波入射量 (W m^{-2})、(d) 地表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

(2)研究成果の今後期待される効果

インドシナ半島の降水現象について本プロジェクトにおいて新たに見いだされた著しい地域性・季節性・年による違いは、熱帯モンスーンアジアにおけるマルチスケールでの降水変動理解に対して重要な示唆を与えるものである。自記転倒降雨量計網によって得られたデータの詳細な解析および関連する気象データの解析、さらにこれら観測結果を検証データとする領域気候モデルによる数値実験により、上記現象の発生機構を解明すること、および降水量の年々変動との関係を解明していくことが、今後の課題である。一部ではリアルタイムでのデータ取得に成功しており、現地機関での降雨現況監視、洪水予測への利用可能性を示すことができ、能力開発にも貢献することができた。また、中部ベトナムでの豪雨発生機構の解明は、現地での豪雨予測手法に新たな指針を与えるもので、現地からも高い評価を受けている。

[引用文献]

Yokoi S, Satomura T, Matsumoto J(2007)Climatological Characteristics of the Intraseasonal Variation of Precipitation over the Indochina Peninsula,Journal of Climate, 20(21): 5301-5315: DOI:10.1175/2007JCLI1357.1

Yokoi S, Matsumoto J(2008)Collaborative effects of cold surge and tropical depression-type disturbance on heavy rainfall in central Vietnam,Monthly Weather Review,136(9):3275-3287

3. 2. 2 タイ北部山岳域の降水量（東京大学・蔵治光一郎）

(1)研究実施内容及び成果

1. 実施方法・実施内容

タイ北部の山岳地帯に位置するメーチャム流域において 1997 年から順次設置されてきた 19 地点の自記雨量計による降水の高時間・空間分解能の観測網を利用して観測を継続し、得られた降水量、降水時間、降水強度等の標高依存性について解析した。現地に年 1～2 回出向いて 19 地点の雨量計設置点を巡回し、データを回収するとともに老朽化した雨量計や記録装置の交換を行った。

2. 成果

<降水量の標高依存性とその決定要因>

図 3.2-6 に 1999～2007 年における年降水量、年平均降水強度、年降水時間と標高の関係を示す。どの年でも標高が高くなるにつれて降水量、年降水時間が増加する傾向がみられるが、年平均降水強度は標高によらず一定であった。

<降水の年々変動とその要因>

年降水量、年平均降水強度、年降水時間の年々変動を調べたところ、年降水量の年々変動についても年降水量の標高依存性と同様に、年降水時間の変動が年降水量の変動を決めており、年平均降水強度の年々変動の影響は小さかった(Kuraji et al., 2007)。

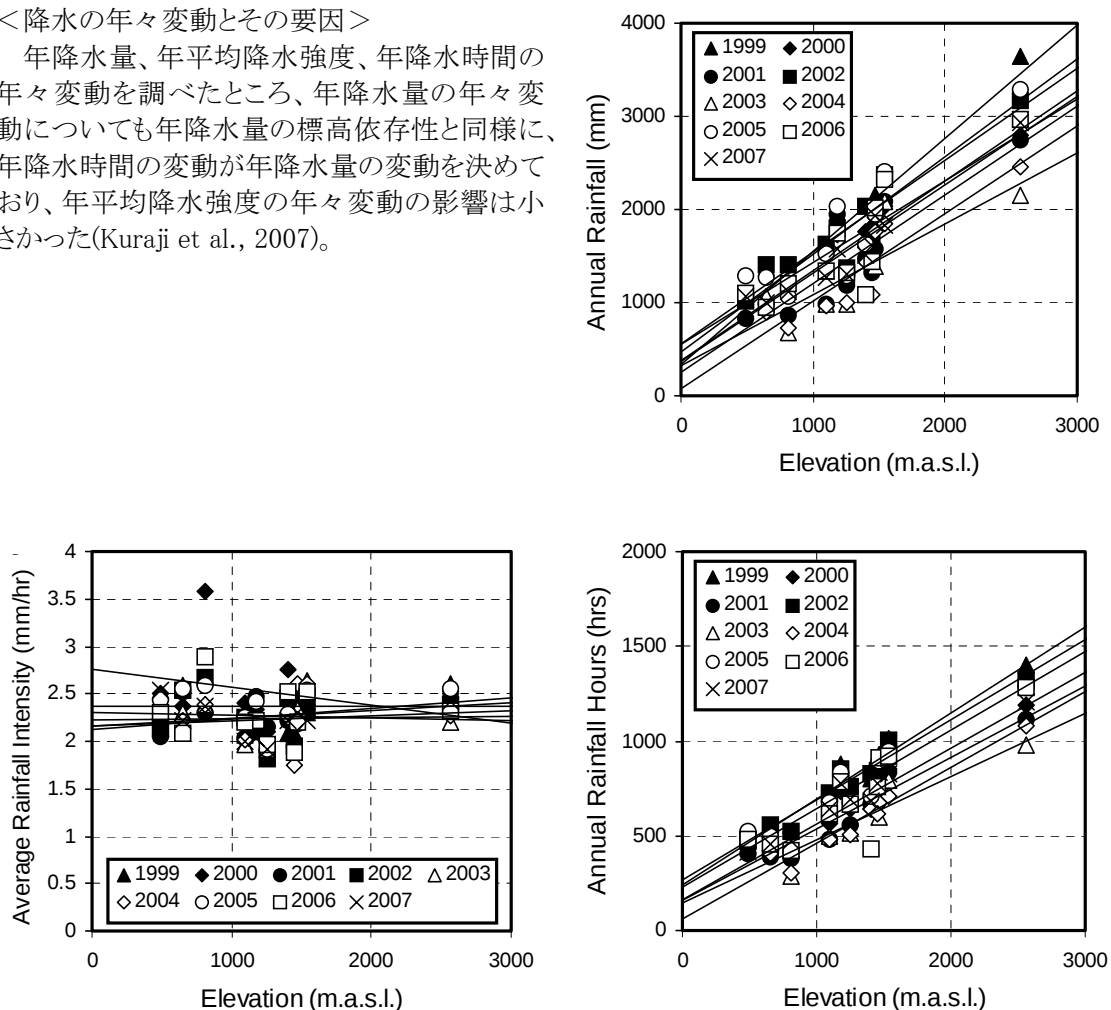


図 3.2-6 年降水量、年平均降水強度、年降水時間と標高の関係

＜インタノン山の東側西側における降水量標高依存性の違い＞

メーチャム流域はタイ最高峰のインタノン山の西側に位置する流域であるが、インタノン山東側の流域では、山の陰になっていて特に少雨の地域(レインシャドウ)であるといわれ、少雨年には水田や果樹園の灌漑用水の需要に対して水資源が不足していた。そこでインタノン山東側と西側の降水量の標高依存性を比較するため、西側のメーチャム流域に加えて東側でも複数年観測を行い、年降水量を比較した結果を図 3.2-7 に示す。インタノン山の東側、西側ではともに同程度の標高依存性がみられ、インタノン山の東側が西側に比べて特に少雨である傾向はみられなかった。

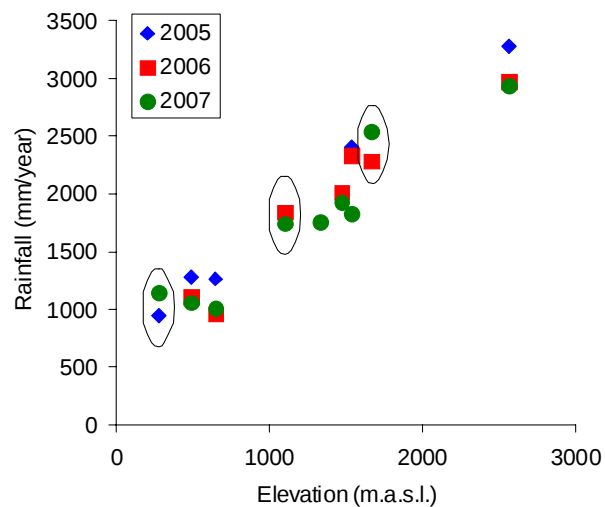


図3. 2-7 ドイインタノン東側(丸で囲んだ3地点)・西側(丸で囲んでいない地点)の標高依存性の比較

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究によって構築された熱帯山岳地域における高密度、高時間分解能の観測網を用いて 10 年分の観測データを蓄積したことにより、これまで知られていなかった熱帯山岳地域の降水特性を明らかにすることができた。水資源の観点からは、山岳地帯の降水量は平地の降水量よりも顕著に多く、山岳地帯の降水の年々変動による多寡が、下流の水需要を満たせるのか、それとも需要を満たせず水不足を招くのかを決める重要な要因である。一方、防災の観点からは、山岳地帯は下流の平地や都市に洪水をもたらす大出水の源流域であると同時に、豪雨が山地崩壊、土石流を引き起こし、山岳地帯居住者のみならず下流の平地や都市にとっても脅威となる。衛星や地上レーダーからの観測は複雑な地形の影響もあって克服すべき技術的課題が多く、リモートセンシングによる山岳地帯の降水量観測は未だ実用化途上であるため、山岳地帯の降水の変動特性や豪雨の特性を知るために地上における降水の観測網が引き続き必要とされている。防災や水資源の確保の観点から、本研究で構築した観測網を今後も維持することが必要であると同時に、同様な観測網を世界各地の熱帯山岳地域に展開していくことも今後必要となるであろう。

[引用文献]

Kuraji K, Punyatrang K, Sirisaiyard I, Tantasirin C, Tanaka N (2007) Scale Dependency of Hydrological Characteristics in the Upper Ping River Basin, Northern Thailand, "Forest Environments in the Mekong River Basin" (Eds. Sawada, H., Araki, M., Chappell, NA, LaFrankie, JV, Shimizu, A.), P67-74, Springer

3. 2. 3 サラワクの降水量の日周変動 (蔵治)

(1)研究実施内容及び成果

1. 実施方法・実施内容

ボルネオ島の降水の変動が熱帯雨林の生態系に及ぼす影響を解明するために、この地域の降水がどのようなメカニズムで降るのかを知ることが重要である。本研究で行われたボルネオ島の現業機関による降水量観測データの解析から、降水量の空間分布は大きく、地域によって季節変動パターンやエルニーニョ南方振動とのラグ相関関係も異なっていることが明らかになったが、降水は午後に集中して降る傾向があることは共通していた。しかしサラワク州ビントウルに限っては午後のピークがなく夜にピークがある変動パターンを持つことが知られており、なぜこの地点のみ夜雨

型であるのかについていくつかの仮説が立てられていた。本研究ではビントゥルの位置するボルネオ島北岸において海岸からの距離が降水の日周変動パターンを決めているという仮説を立て、それを検証するためにランビル国立公園付近の海岸線から内陸に向かって 4 地点に雨量計を設置して観測を行った。現地に年 3～4 回出向いて図 3.2-8 に示す 4 地点の雨量計設置点を巡回し、データを回収するとともに老朽化した雨量計や記録装置の交換を行った。

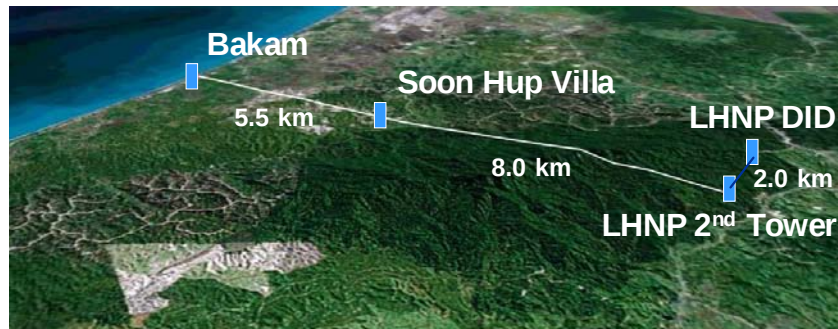


図 3.2-8 降水量観測地点の位置。濃い緑の領域がランビル国立公園。国立公園以外の区域は伐採され劣化した森林やアブラヤシ農園となっている。

2. 成果

05/1/18～06/11/26 の約 2 年間の降水量の日周変動を図 3.2-9 に示す。海岸では夜のピークが顕著であり午後のピークは明瞭でないが、内陸に向かって従って午後のピークが明瞭になっていくことがわかった。この結果より、この地域の降水量の日周変動パターンを決めている一つの重要な要因は海岸からの距離であることがわかった。

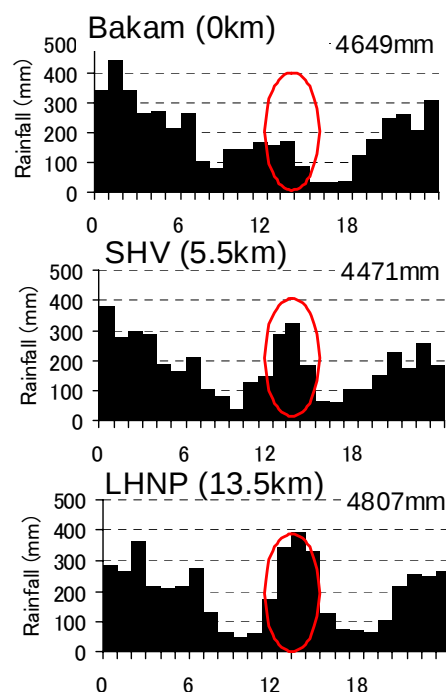


図 3.2-9 海岸から内陸に向かって 3 地点で観測された降水量の日周変動パターン

(2)研究成果の今後期待される効果

ボルネオ島は、かつて生物多様性が高く木材資源としても貴重な熱帯雨林で覆われていたが、近年の木材貿易の活発化や商品作物の栽培圧力によって熱帯雨林が他の土地被覆に転換され、熱帯雨林の面積減少に歯止めがかからない状況である。このような土地被覆の変化は水収支、放射収支などを変化させ、降水量に代表される地域気象や水循環を変化させる要因となるが、近年ではそれに加えて地球規模の気候変動が地域の気象や水循環に影響を及ぼすことが危惧されている。

ボルネオ島は年中湿潤な気候と思われがちであるが、降雨データの解析によれば、降水量が蒸発散量を下回る乾燥期間が頻繁に発生していることがわかっており、それに加えて数年に1度、異常乾燥と呼ばれる長期の乾燥が発生している。このような乾燥はエルニーニョ南方振動と同期して発生している場合もあるが、ボルネオ島の土地被覆の変化もこういった乾燥期間や異常乾燥の発生頻度にすでに影響を与えている可能性があり、今後その可能性はますます増大すると考えられる。乾燥期間には山火事が発生するため、乾燥頻度の増大→山火事の増加→さらなる乾燥頻度の増大、という負のスパイラルに陥る可能性も危惧されている。また熱帯雨林の開花と結実は乾燥期間によってトリガーされているとの仮説が近年有力になってきており、乾燥期間の頻度や強度が変化すると、熱帯雨林の開花や結実に影響が及び、植生が山火事等の攪乱を受けた後に世代交代がうまく進行せず、結果として森林が破壊された後に再生しない危険性も指摘されている。

本研究で明らかになった海岸付近の降水の日周変動パターンの特性に、衛星による降水量観測データや降水の水質や同位体の分析データなどを組み合わせることにより、ボルネオ島における降水メカニズムについての理解が進み、土地被覆変化や地球規模の気候変動による変化が、地域の降水パターンや水循環にそれぞれどのような影響を及ぼす可能性があるのかを、より詳細に予測できる可能性が開けたと考えられる。今後、研究が進展し、ボルネオ島の乾燥期間や異常乾燥の頻度変化の将来予測ができるようになれば、現地社会としてそのような変化に適応する方策や山火事等の被害未然防止策を検討することが可能となる。また、行き過ぎた土地被覆の変化に歯止めをかけ、残された熱帯雨林を適切に保全し、持続可能な生物生産を実現するための科学的根拠を提供できるようになると期待される。

3. 2. 4 GPS 可降水量 (静岡大学理学部・里村幹夫)

(1)研究実施内容及び成果

タイ北部のチェンマイ郊外に位置するコグマ試験地管理事務所の屋上、タイ北西部のコンケン大学工学部農業工学科棟屋上、マレーシア・サラワク州ランビル国立公園第2タワーにおいて可降水量の時間的変化を調べるためにGPS観測を行った。

コグマについては、水平距離がわずか8.4kmで標高差が1000m以上あるチェンマイのGPSデータとともに解析した。2003年から2007年までの期間のコグマの可降水量の変動を日平均値の5日間の移動平均で表したものを図3.2-10に示す。またチェンマイの同様の変化を図3.2-11に示す。コグマでは、11月から2月の乾季では5~15mm程度、雨季の5月から11月は40mm程度の値を示す。またチェンマイでは乾季で15~30mm程度、雨季で60mm程度の値を示している。毎年似たような変動を示しているが、2005年11月~12月にかけては、例年より高い可降水量を示した。この時期はペルー沖太平洋の気象庁によるエルニーニョ監視海域の海水温が低くラニーニャ発生期間とされている時期と一致している。しかし、タイの可降水量に直接関係すると思われる西太平洋や南シナ海の海水温には上昇が見られなかった。

チェンマイとコグマの2点の可降水量の差は標高314mから1364mの下層に位置する水蒸気量の総量を示し、コグマの値は1364mより上層の水蒸気量の総量を示すと考え、2004年のこの両者の比較を図3.2-12に示す。乾季の可降水量は上層、下層とも5~15mmを示しているのに対し、雨季は上層は40mm強、下層は20mm弱で大きな差を示す。下層の水蒸気量からこの層の平均の相対湿度を求め、チェンマイの相対湿度のとの比較した。この両者は雨季はほぼ一致するが、乾季は下層の平均値よりチェンマイの値のほうが大きい。これは乾季の下層の気象は地表面近くよりもより乾燥していることを示す。

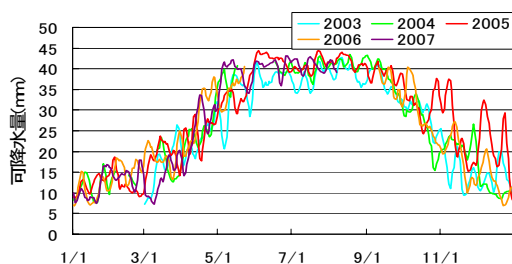


図 3.2-10 KogMa の可降水量変化 (5 日間の移動平均)

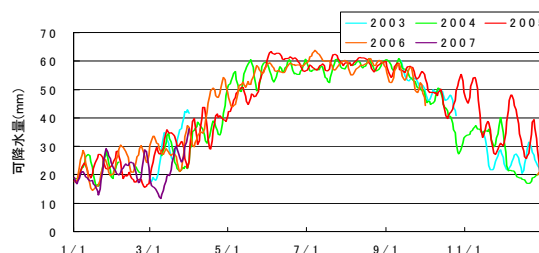


図 3.2-11 Chiang Mai の可降水量の変化 (5 日間の移動平均)

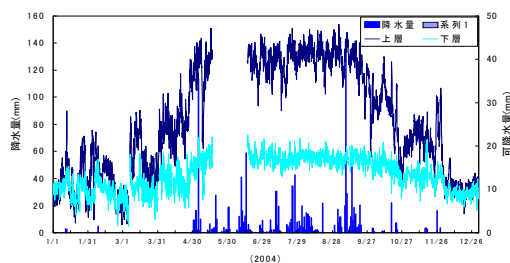


図 3.2-12 2004 年の KogMa より上層の可降水量と、
KogMa と Chiang Mai の間 (下層) の可降水量の
変化。

タイ・コンケンの GPS データから求めた、2002 年から 2004 年まで可降水量を現地の雨量とともに図 3.2-13 に示す。このデータを元に、モンスーン期のオンセット、オフセットの時期を推定することを試みた。可降水量が一定の値を超えた日をオンセットとするととん

でもない時期に決まることがあるが、それが 1 週間続く初日をオンセット、最終日をオフセットとすると妥当な結果が得られた。オンセット、オフセットの時期は通常降水量データから求められるが、大気中に大量に水蒸気があっても降水に結びつかないこともある。

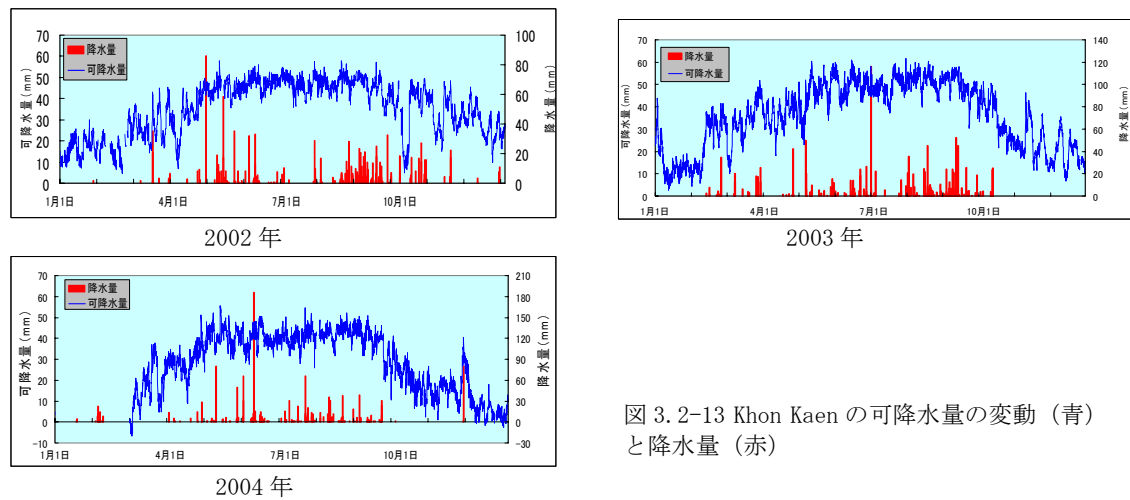


図 3.2-13 Khon Kaen の可降水量の変動（青）と降水量（赤）

マレーシアのランビルについては、欠測が多く、2004 年 8 月から 2005 年 9 月までしか求められなかった。結果を図 3.2-14 に示すが、北に高気圧があるシーズンは朝方に可降水量が下がる傾向が見られた。

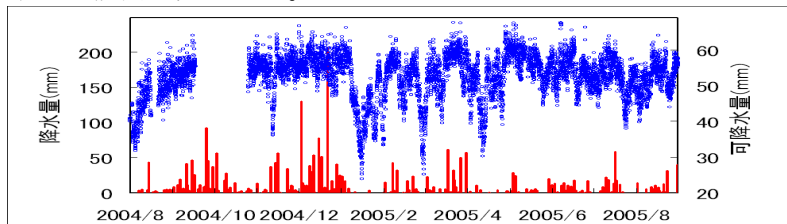


図 3.2-14 Lambir の可降水量の変動（青）と降水量（赤）

(2)研究成果の今後期待される効果

コグマについては、高度の異なる 2 点の GPS 可降水量から高層と低層の水蒸気量に分けて議論されたのは他に例のないことで、今後のデータについても成果が期待できる。また、コンケンについて行った GPS 可降水量からオンセット、オフセットの時期を決める方法については、この方法がその後のデータについても当てはまることが確認できれば、他地域への応用が期待される。ランビルについては、電源が不安定なこともあり、十分なデータが得られなかった。今後も観測を継続する予定なので、今後のデータが期待される。

3. 2. 5 アジアモンスーンの降水現象の変動機構の解明 (筑波大学・植田宏昭、大庭雅道)

(1)研究実施内容及び成果

筑波大学では、熱帯アジアモンスーン地域での気候変動について、日変化・季節変化・年々変動さらには地球温暖化を含む長期変動スケールの研究を行った。使用したデータは客観解析データ (GAME 再解析, NCEP, ERA40)、衛星リモートセンシングデータ(TRMM, NOAA)などで、大気海洋結合モデル、海洋 1.5 層モデルなどの数値モデルと組み合わせて包括的な研究を実施した。個別の成果は下記の通りである。

モンスーンオンセット：大気大循環モデルを用いた実験により大気・海洋・陸面間のフィードバックプロセスを特定するとともに、その定量化を試みた。その結果、5月中旬のオンセット(南シナ、インドシナ半島など)に関しては、広域の温度コントラストの反転が主要素であることを反映し、SST の効果は相対的に小さかった。一方、6月中旬の SST 効果が負となっており、5月中旬以降に生じた対流によって SST が減少することによるものと考えられる。西太平洋上の対流ジャンプにおける SST の寄与は低く、高海面水温でも対流活発化を抑制するプロセスがあることを示唆していた(Ueda Kawamura, 2004)。

地球温暖化：地球温暖化に伴う夏季アジアモンスーン域における水循環の変動について、PCMDI が提供する 18 の全球モデルによる温暖化数値実験の結果を用いて調べた。降水および水蒸気フラックスはモデルによらず増加するが、蒸発量の変動はモデル間のばらつきが大きく、有意な変化は見られない。降水効率はモデル間を通して一貫した減少傾向を示した。夏季のアジアの降水増加をもたらす熱力学的要因は、蒸発による local origin よりも移流による advective origin の水蒸気供給強化によるところが大きいことがわかった。

大気海洋相互作用：熱帯太平洋上で発生するエルニーニョ・南方振動 (El Niño and Southern Oscillation; ENSO) は、大気の橋を介して熱帯域の降水変動へ大きく影響を及ぼす。観測結果では正位相(エルニーニョ)から負位相(ラニーニャ)への遷移は急速に進むのに対し、その逆の遷移は多くのイベントで停滞する傾向があることが知られている。逆位相でかつ同様の振幅・空間分布をした海面水温偏差を大気大循環モデルに与えて診断を行ったところ、海面水温に対する大気場の非線形的な応答に伴って、対流・表層風偏差の空間分布は冬に大きく異なることがわかった。さらに、この表層風偏差を簡易海洋モデルに与えて ENSO の発達を比較したところ、正位相では SST に対する大気の応答が逆位相への急速な遷移を促すのに対し、負位相では大気の流れがラニーニャからエルニーニョへの遷移を妨げるように働いていた。これらのことより、強いエルニーニョの年の次にはラニーニャが来るが、強いラニーニャの次の年には再度ラニーニャが来るというメカニズムが大気海洋結合システムに元々内在しているメカニズムであるということが明らかになった(Ohba Ueda, 2005)。

(2)研究成果の今後期待される効果

本課題では、現地観測、気候モデルを用いてアジアモンスーンの変動機構、またそれらを規定する熱帯太平洋における ENSO の物理プロセスの解明を行った。得られた成果は、熱帯アジア域の降水の季節予報の精度向上のみならず、地球温暖化を含めた長期的な機構変動の予測に資することが期待される。今後は、世界各国の気候モデルで再現された気候場と現地観測との整合性の評価を行うことによって、より正確な季節予報をアジア域で提供することが可能になると期待される。

[引用文献]

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,1:89-92
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(9): 1109-1120

3. 2. 6 アジア域熱帯林における植生変動と水循環変動 (気象庁気象研究所・馬淵和雄)

(1) 研究実施内容及び成果

1) 気候モデル用植物生態モデル BAIM2

3次元気候モデル用に開発された Biosphere-Atmosphere Interaction Model (BAIM)は、数値実験的手法により、大気-植生間のエネルギー収支・二酸化炭素収支を見積もることができる植物生態モデルである。BAIM は2層の植物層と3層の土壌層を持ち、それぞれの層の温度と蓄積される水分量が予報変数となっている。積雪が存在する場合には、積雪層は最大3層に分割され、それぞれの層の温度、および各層に蓄えられている雪量と水量が予報される。植物層および土壌層内の水分については、その凍結・融解過程が扱われ、積雪層については積雪・融雪過程が扱われる。また、C3およびC4植物の光合成作用および呼吸作用をそれぞれ再現することができる。

上記 BAIM の植物生態モデルとしての特性をより高めるため、植物内及び土壌中炭素蓄積量をモデル内変数として取り入れた BAIM Ver.2 (BAIM2)を開発した。BAIM2 においては、植物の葉、幹、根、リター層、および腐植土層それぞれに蓄積される炭素量を、容易に再現できるものとした。各部分の炭素蓄積量は、光合成により獲得された炭素の配分による増加量、呼吸及び落葉・落枝などによる減少量、リター層への蓄積量などの収支を見積もることにより、モデル計算ステップごとにその変動が見積もられる。呼吸量やリターの量などは、それぞれの層に蓄積されている炭素量に応じた量として見積もられる。また、葉面積及び樹高は、それぞれの要素に蓄積されている炭素量から見積もられる。それによって、植物の物理的要素の変動が再現されることになる。また、落葉樹などの物理的要素の季節変化が大きい植生については、その季節変化も再現される。これらの植物の物理的要素の季節変化は、モデルで再現される温度と土壌水分量によって制御される (Mabuchi et al., 2005a, 2005b)。

2) BAIM2 を導入した気候モデルによるアジア域熱帯林植生変動数値実験

インドシナ半島 (ICP) および海洋大陸地域 (MTC) を対象としたアジア域の熱帯林の減少が、地域的な水循環および炭素循環に及ぼす影響に関して、森林減少過程を現実に近い形で再現した数値実験を行った。数値実験は、BAIM2 を導入した全球気候モデルを用いて行った。本気候モデルにおいては、物理的気象要素及び大気中二酸化炭素濃度の時間的・空間的変動と、陸域植生の物理的形状及び植生・土壌内炭素蓄積量の時間的・空間的変動の相互作用が full-couple で再現される。

実験対象領域の森林が、FAOによる最近の統計に基づき、年平均約1.3%減少することを想定 (C₄草原化) したモデル積分を100年間行った。図3.2-15に植生変動数値実験領域を示す。また図3.2-16に数値実験の結果を示す。本数値実験の結果から、特に海洋大陸域では、積分開始後30年経過後あたりより、地域的な降水量の減少傾向が見え始め、40年経過後からは、統計的に有意に降水量が減少することが分かった。ICP領域では、草原化実験における気温は、コントロール実験に比べて、実験開始後41年目以降で有意に低温傾向を示し、土壌水分は有意な乾燥傾向を示した (図3.2-16左)。一方、MTC領域の草原化実験における気温は、コントロール実験に比べ、11年目以降で有意な高温化を示し、土壌水分は21年目以降において有意な乾燥化を示した (図3.2-16右)。これらのエネルギー収支変動とともに、ICP領域のNPPは、季節林からC₄草原に変化することにより、11年目以降において若干の有意なプラス偏差を示すが、C₄草原化が進むことによる施肥効果の減少により差は減少した。MTC領域においては、NPPは施肥効果の減少および高温乾燥化の影響で、31年目以降で有意な系統的減少傾向を示した。NEPは、ICPおよびMTC領域ともに、コントロール実験に比べ31年目以降で有意に減少する (大気への炭素放出増) が、ICP領域においては変動が大きく、一部で差の有意性が無くなるが、MTC領域においては、31年目以降で有意な系統的減少傾向を示すことが分かった。これらの数値実験解析から、アジア域熱帯林における植生変動は、地域的

な水収支・炭素収支に有意な変動をもたらすことが明らかとなった。

熱帯林変動と気候変動との関係に関しては、アマゾン領域を対象とした数多くの研究があるが、アジア域熱帯林に関する植生変動と気候変動との関係についての研究は少ない。本研究成果により、アジア熱帯地域における森林減少と気候変動との関係に関する新たな科学的な知見が得られたと考えられる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究により開発された植物生態モデルおよびそれを組み込んだ気候モデルを用いた数値実験により、今後さらに陸域生態系と気候との相互作用に関する新たな科学的知見が得られることが期待される。また、本研究により開発された植物生態モデルおよび気候モデルは、全球のおよび地域的な気候変動と炭素循環変動の関係のメカニズムを解明するためのシステムモデルとして、また、陸域生態系による炭素吸収・放出の将来予測モデルとして、有効であると考えられる。さらに、地球環境政策への貢献として、本研究により開発された気候モデルの活用により、今後の東アジア域の気候変動・炭素収支変動の現状把握および将来予測に貢献できると共に、関連する政策に対する科学的裏付けのための情報を提供することができると考えられる。

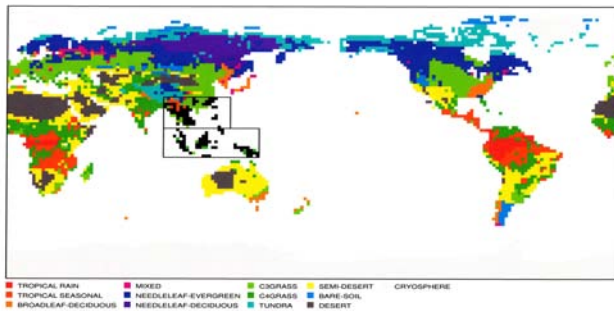


図 3.2-15 アジア域熱帯林植生変動実験領域(実線枠内)

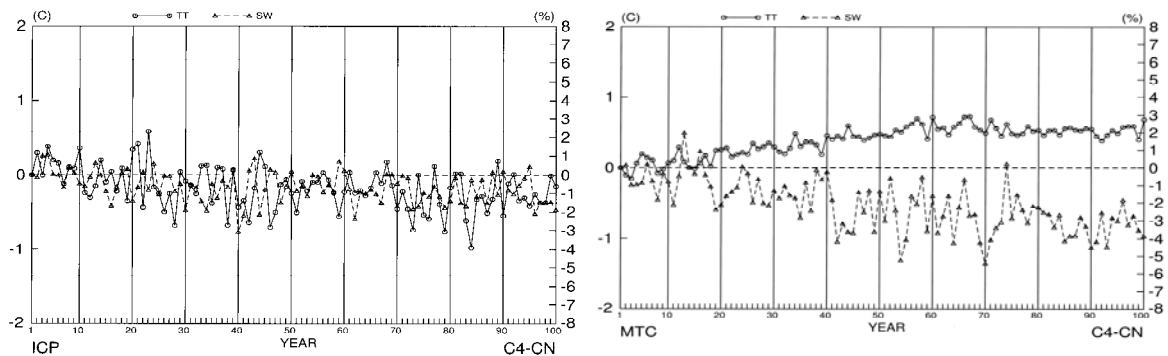


図 3.2-16 実験領域平均の地上気温（実線）と土壌水分量（破線）の草原化実験—コントロール実験の差の時系列（左：ICP 領域、右：MTC 領域）

[引用文献]

- Mabuchi K, Sato Y, Kida H (2005a) Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern hemisphere summer, *Journal of Climate*, 18:410-428
Mabuchi K, Sato Y, Kida H (2005b) Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern hemisphere winter and impact on the extratropical circulation, *Journal of Climate*, 18:429-446

3.3 森林生態系の水循環、物質循環（森林生態系の水循環、物質循環研究グループ 東京大学 鈴木雅一）

3.3.1 タイとマレーシア熱帯林の微気象特性（久米朋宣・日本学術振興会、吉藤奈津子・九州大学、田中延亮・東京大学、鈴木雅一・東京大学）

(1)研究実施内容及び成果

東南アジアは広くアジアモンスーンの影響下にあり，降水の季節性が地域毎に大きく異なるため，水循環，炭素循環の解明のためには，地域毎に森林の微気象特性を明らかにする必要がある．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の低地熱帯雨林（以下，ランビル）では高さ90mの林冠クレーンを用いて，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）では高さ50mの気象観測タワーを用いて，複数年にわたる長期気象観測を実施した．このプロジェクトの前段として，CREST－地球変動－熱帯林冠や GAME があり，それらから計測を引き継ぎ継続してきた．そのため，ランビルにおいては8年以上，コグマにおいては11年以上にわたる微気象要素（降水，短波・長波放射，気温，大気飽差及び風速）が蓄積され，当該地域の水循環，炭素循環を評価するうえで必要不可欠な微気象要素の季節変化と年々変動の実態を明らかにすることができた（図3.3-1）．

雨季・乾季のあるコグマでは，湿潤期間と乾燥期間とが毎年特定の時期に現れるが，乾燥期間の長さが3－7ヶ月と年々で大きく変動し，年雨量の変動も大きく変動することが明らかとなった．年によっては年純放射量より年雨量が小さくなり，乾燥の度合いが年々で大きく変動することが示された．一方，熱帯多雨林気候のランビルでは，年に数回一ヶ月より短い乾燥期が現れ，年雨量は常に年純放射量より大きかった．

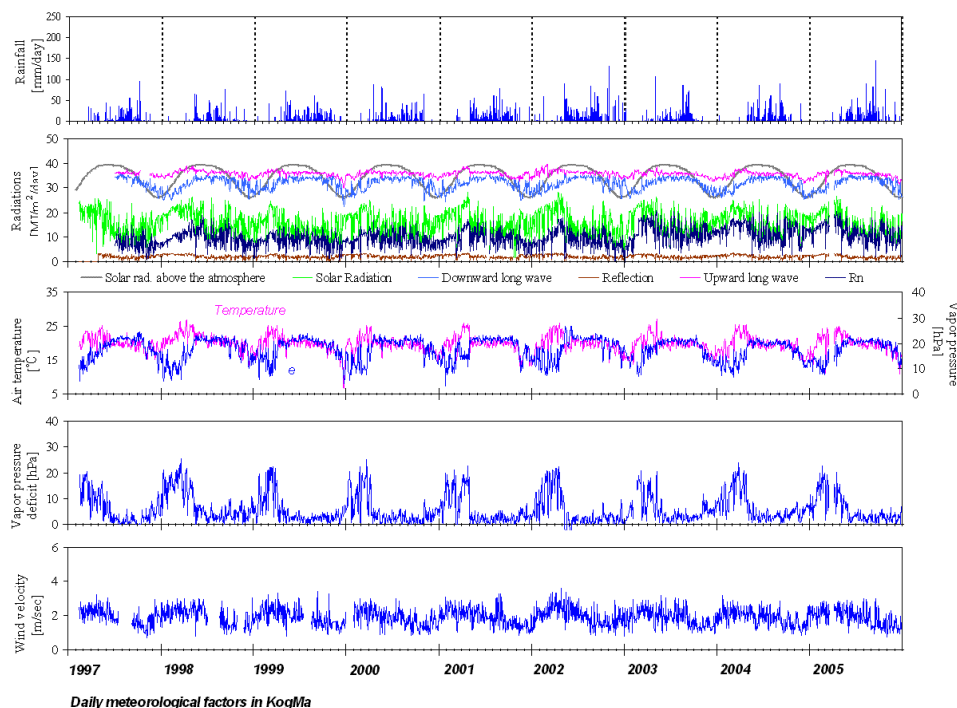


図 3.3-1 タイ北部チェンマイ近郊にあるコグマ試験地内の丘陵性常緑林で計測された微気象要素の季節変化と年々変動

また、コグマでは雨季・乾季の降水の季節変化に伴ってその他の微気象要素の季節性も明瞭であった。微気象要素の季節性が不明瞭だと思われてい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検出された。

(2)研究成果の今後期待される効果

東南アジア熱帯林において、データの期間、質の点で、本プロジェクトで構築したデータセットに比肩するデータセットはない。本研究による成果は、東南アジア熱帯林において微気象要素の季節変化の年々変動を初めて明らかにしたフィールド研究として位置づけられる。また、本研究による成果は、水循環、炭素循環の気象変化に対する応答特性を明らかにするうえで着目すべき要因を明らかにし、その後の当該地域の水循環、炭素循環研究によりパースペクティブを与えた研究としても位置づけることができる。

今後カセツアート大学を主体とした継続観測に、日本からの観測支援が継続されると、本プロジェクトでは対象とすることができなかった ENSO などに対応した年々の変動、また、気候変動にともなう緩慢な経年変動が、東南アジア熱帯林において明らかにされる。

3. 3. 2 タイ丘陵性常緑林の樹冠遮断量 (東京大学・田中延亮、鈴木雅一)

(1)研究実施内容及び成果

インドシナ半島内陸部の山地域には丘陵性常緑林が広がっており、下流域への河川を通じた水資源供給量や同地域の大気を含めた水の循環を考える上で、流域上流部に広がるこれらの森林の水文学的な役割を明確にすることが不可欠となっている。本研究では、タイ北部の丘陵性常緑林サイトであるコグマ試験地において、森林の蒸発散成分の一つである樹冠遮断量の定量化することを目的として行われた。具体的には、2 地点の降水量、8 本の樹木から生成される樹幹流下量、30 地点における樹冠通過雨量を観測し、それらの収支から残差として樹冠遮断量を求めた。観測は 4 年間の間、毎日実施された。その結果、樹幹流下量には年降水量の 1.5%、樹冠通過雨量には年降水量の 89.1%が配分されていることがわ

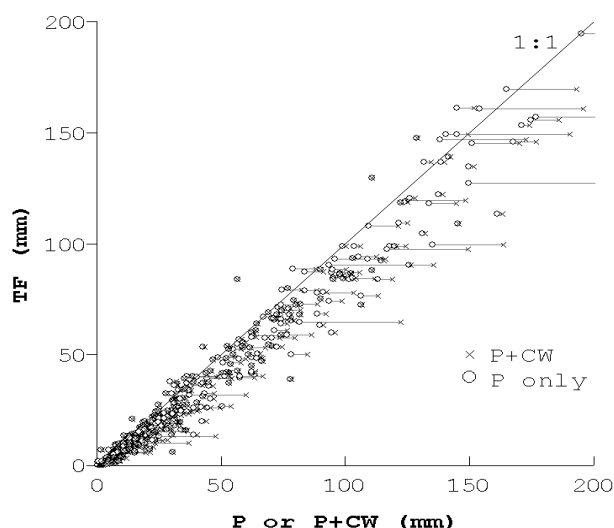


図 3.3-2 日樹冠通過雨量 TF と降水量 P の関係 (○) および降水量と霧水沈着量 CW の合計 P+CW との関係 (×)

かった。また、それらより、同試験地の樹冠遮断量は年降水量の 9.3%であると見積もられた。また、年々の樹冠通過雨量の配分率の変動幅は 86-91%の範囲であり、その変動に伴って樹冠遮断量の値も 8-12%の間で変化した。また、一日の樹冠通過雨量が降水量を上回る事例が、全体の観測回数の 12%となった。最近の本プロジェクトによる研究で (3. 3. 3 参照)、同試験地で発生する霧が降水以外の水分を同試験地に供給していることがわかってきている。上で述べた一日の樹冠通過雨量が降水量を上回る事例は、霧による同試験地への水分供給量の多い事例とおおむね対応していた (図 3.3-2)。

成果の位置づけや類似研究との比較
コグマ試験地では、観測タワー上での渦相関法を用いた熱・水フラックス観

測が基幹観測として実施されたが、降雨時の渦相関法による測定値には異常値が多い傾向がある。そのため、本研究のように渦相関法から独立した手法で、降雨時の蒸発散量を定量化したことは、試験地全体の蒸発散量を把握するためにおおいに寄与したといえる。また、本研究により示された年降水量の 9.3%という樹冠遮断量は、熱帯林で得られる一般的な値(約 10%)に近く、温帯林で得られる結果(>約 20%)よりも小さい(Tanaka et al., 2005)。

(2) 研究成果の今後期待される効果

インドシナ半島内陸の低地部では特に乾季の水不足が深刻であり、同地域の山地林は、豊富な水資源を供給することが低地部の人々に期待されている。本研究は、その山地林流域からの樹冠遮断量としての水分損失量が比較的小さいこと、すなわち、降水量の多くの部分を森林土壌に供給していることを示す科学的な根拠となる。今後は、樹冠遮断量とは別の蒸発散量成分である蒸散量とともに、同試験地の水分損失量の全体像を把握してゆく必要である。また、本研究で示された霧による同試験地への水分供給の実態は、この地域の雲低高よりも高い山地林生態系の水循環が霧に影響を受けていることを示唆するものであり、より詳細な検討が期待される。

[引用文献]

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. *Bulletin of the Tokyo University Forest*, 113:11-44

3. 3. 3 タイ熱帯常緑林の山岳性霧の評価 (東京大学・田中延亮、鈴木雅一)

(1) 研究実施内容及び成果

タイの丘陵性常緑林サイトのコグマ試験地(標高 1268 m)は雲低高よりも高くなる場合があるため、同試験地における水循環過程の理解のためには、降水量とは別に、霧や雲の水粒子の森林樹冠部への衝突や沈降による水分沈着量(CW)を考慮する必要がある。そこで、本研究は、同試験地で発生する CW の定量的評価と季節性の把握を目的として行われた。CW の推定は、主にコグマ試験地の気象観測タワーに設置された霧コレクターの採取水の時系列データにより行った。なお、霧コレクター採取水量を水高換算する際に係数を用いたが、その係数の同定には、霧観測と同時に実施した樹冠通過雨量や樹冠上気象の観測データを用いた。1999 年 12 月から 2008 年 2 月の間にコグマ試験地で発生した CW の時系列変化は図

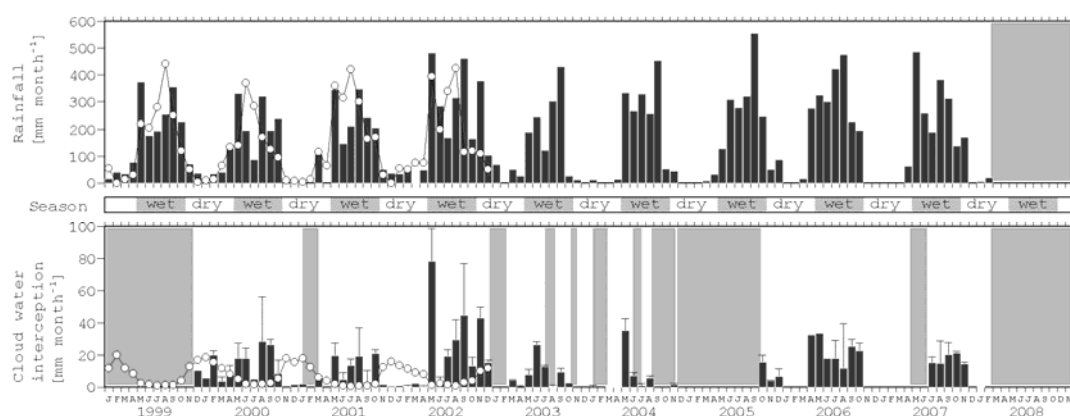


図 3.3-3 タイ丘陵性常緑林サイトのコグマ試験地の月単位の降水量と霧による水分沈着量(下図におけるエラーバーの上端は最大 CW 推定値、棒の上端は最小 CW 推定値、灰色部分は霧コレクターの欠測期間を表す。丸印は、既往研究(Liu et al., 2004)で報告されている同気候下のお他サイトの値。)

3.3-3 に示したとおりである．霧コレクターの欠測の無い3年間の平均CWは186–253 mm y⁻¹と推定され，同期間の平均降水量2107 mm y⁻¹の8.8–12.0%に相当した．また，そのCWの多くは雨季に発生していた．

成果の位置づけや類似研究との比較

コグマ試験地のように地上に発生する霧や雲の影響を受ける熱帯山地林のCW研究は，これまで中南米の山地林が研究対象となっており，東南アジアの山地林での研究事例は非常に少なかった．本研究はこれまでの情報不足を補うものである．また，中南米の山地林の既往研究では，北東貿易風とカリブ海からの湿潤な大気の影響により，CWが雨季だけでなく乾季においても発生し，乾季の山地林生態系を涵養するとされてきた．一方で，アジアモンスーンの影響を受けるコグマ試験地では，CWは雨季に卓越し，乾季にほとんど発生しないという明瞭な季節性を示すことが特徴である．ただし，最近の他研究者による別の研究で，同じアジアモンスーンの影響下にあっても，インドシナ半島内陸部の盆地上の熱帯林では，乾季に卓越する放射霧の影響によりCWが乾季に発生し，乾季の熱帯林生態系を涵養するとレポートされており（図3の丸印），山地斜面に立地するコグマ試験地とは全く異なる季節性であることがわかる．このように，アジアモンスーンの影響を受けるインドシナ半島内陸部では，地形によって卓越する霧タイプが異なり，その違いが上で述べたような対照的なCWの季節変化パターンをもたらしている．

3.3.4 タイ熱帯常緑林の降雨流出過程（東京農工大学大学院・白木克繁）

(1)研究実施内容及び成果

タイ熱帯常緑林での降雨流出過程の特徴を明らかにするため、タイ国チェンマイ近郊パイ山山腹コグマD水文試験地において水文調査を行った。地形的な要因として表層土層厚の分布を簡

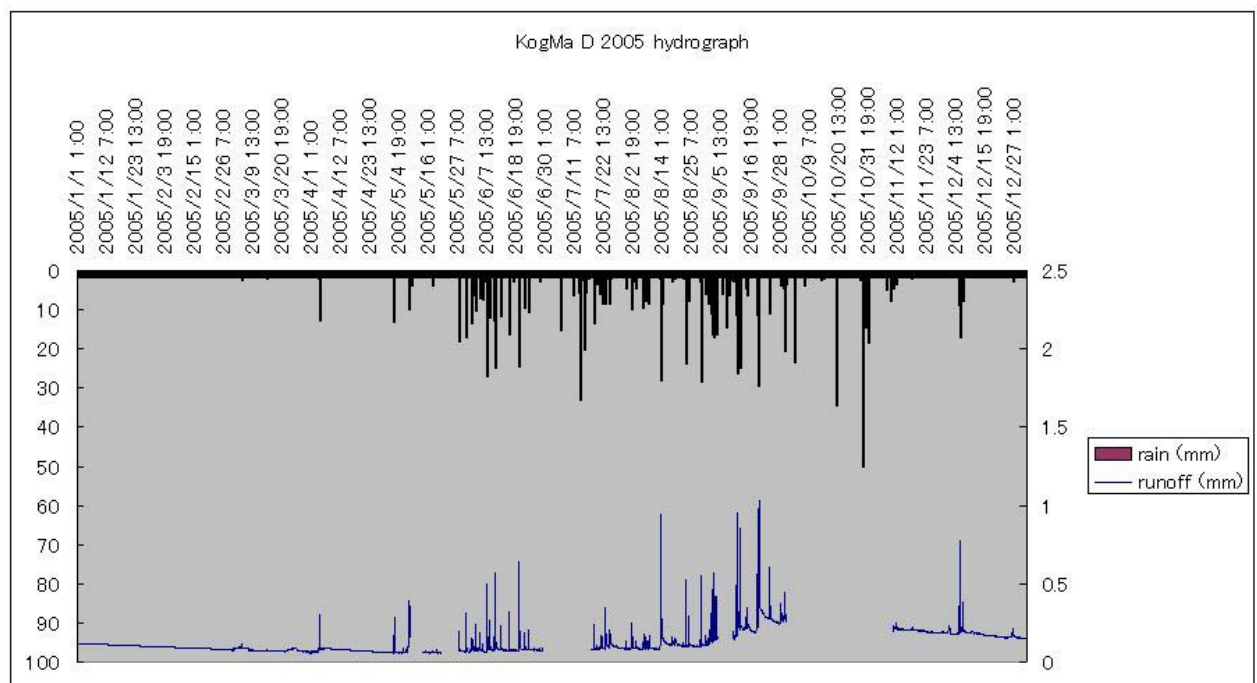


図 3.3-4 コグマD流域でのハイドログラフ、ハイエトグラフの一例
(2005年の降雨流出データを表示した。流量グラフには一部欠測がある)

易貫入試験機で測定し、水文要因として流出量・地下水位変動・土壌水分変化の調査を行った。流出量の観測結果から、この流域においては無降雨時に極めて安定した基底流出が存在することが分かった(図 3.3-4)。現地の降水特性から、この地域では極めて明瞭な雨季と乾季の区別があり、無降雨期間が数ヶ月にわたる乾季において基底流出の漸減はあるが流出が途絶えることはなかった。

一方、降雨時の流出量に注目すると、降雨と同時に発生する直接流出(洪水流出とも表現される)は、降水量の約4%となることが分かった。降水量に対する直接流出量の比率についての類似研究では、ある一定量の降水量(およそ 30mm から 50mm 程度あることが多い)より降水量が多くなると、直接流出比率が増大することが観測されることが一般である。これは、降雨の継続に伴い流域が含む水分量が増大し、土壌が水で飽和する領域が拡大し、溪流にすぐさま流出する降雨成分が多くなることと対応するといわれており、「拡大流出寄与域」の概念として知られている。ところが当該流域では直接流出率は、150mm の降水量を記録した時でもほぼ4%で変化が見られなかった。また、この割合は、流域内最下端の量水堰周辺に存在する湿地地帯の面積割合とほぼ同等であった。

以上のような当該流域で特異的に高い流出量調整機能(洪水流出を常に一定割合に抑え、無降雨時でも基底流出を継続させる)能力が発現するメカニズムを解明し、当該流域における降雨流出特性の特徴を明らかにするため、流域内部での表層土層厚分布と雨水浸透経路の実態を調査した。

表層土層厚分布調査は、筑波丸東製簡易貫入試験機を用いて行った。試験地内での 63 箇所の貫入試験の結果、表層土層厚(風化がほとんどされていない基岩層までの厚さ)の平均値が約 5.3m であることがわかった。最大では 15.9m の表層土層厚が観測され、最小の土層厚でも 1.3m が観測された。このように、当該試験地での土層厚は、他流域と比較して非常に厚いことがわかった。

さらに、表層土層内での地下水位変動の空間分布を調査した。試験流域内の複数箇所(圧力式水位計による自動記録と最高水位計による手動観測)での地下水位観測から、流域下端では常に地下水が存在している箇所があるが、流域中・上流部においては沢筋においても地下水位が全く発生しないことがわかった。

以上のことを総合すると、当該流域においては、表層土層厚が非常に厚いこと、および流域中・上流部においては表層土層中では地下水位が発生せず、表層土層よりも深部の山体へ雨水が浸透していることが判断される。流域中・上流部で山体深部に浸透した雨水は、量水堰付近の流域下端部で地表に湧出し、乾季においても安定して存在する湿地帯を形成する。当該流域では、比較的厚い表層土層を浸透し、さらに山体深部をゆっくりと浸透することにより、降雨が溪流に流出する時間を遅らせていることが推定できた。これにより当該流域の卓越した流出量調整機能のメカニズムの一端を解明することができた。

(2)研究成果の今後期待される効果

調査対象とした試験地で明らかになった降雨流出過程や流出特性が、どの程度の空間代表性を有しているかを明らかにできれば、広くタイ熱帯季節林での降雨流出特性を明らかにできる可能性がある。今回得られた知見に従い、同様の観測調査をタイ国にある既存の水文試験地で実施できれば、広範囲にわたる利用可能な水資源の推定に役立てることができる。さらに降雨流出過程を明らかにすることは、表層土層中の水移動を把握することであり、地下水位の上昇に伴う斜面表層崩壊といった自然災害の危険度を推定することが可能になる。また、森林伐採等を地表面条件の変化ととらえれば、表層土層・山体深部への水移動現象は大まかに把握できているので、地表面条件変化による環境変化の予測について、確度の高い情報を提供できることが期待される。

3. 3. 5 タイ熱帯常緑林における山岳性霧が物質循環に及ぼす影響の評価（東京大学・小田智基、鈴木雅一）

(1)研究実施内容及び成果

熱帯山地林の生態系における水循環や物質循環は、地表面高さに発生した霧や雲によって森林樹冠部に供給される水分量(以降、霧水)や物質量を考慮に入れる必要がある。これまで、熱帯山地林における水・物質循環研究は、主に中南米の熱帯山地林を対象とした研究によって調べられてきており、東南アジアの熱帯山地林を対象とした研究事例が不足している。

タイ北部チェンマイの標高 1300m に位置する Kog-Ma 試験地は、これまで水循環研究の一環として霧ゲージを用いた霧水の量水観測が行われ、降水量の約 10% に相当する水分が霧水によって生態系に供給されていることが示されてきた。本研究では、Kog-Ma 試験地において林内雨、降水、霧水、渓流水について、量・物質濃度を計測することにより、物質流入量・流出量を定量的に算出し、物質循環における霧の影響を評価することを目的とした。

2007 年の一年間を通して週 1 回の頻度で降水、渓流水、地下水を採水した。さらに、2007 年 6 月から 9 月まで、50 m のタワー上に設置された霧ゲージに捕捉された霧水、また、流域内の樹冠下において 8 地点で林内雨を同頻度で採取し、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の濃度を分析した。

それぞれの物質の濃度について図 3.3-5 に示す。流入成分については、分析したほぼ全てのイオンで霧水の濃度の中央値は降水と比べ、1~10 倍と高かった。特に NO_3^- は降水中にはほとんど含まれていないにも関わらず、霧水には含まれており、重要な供給源になっていると考えられた。

Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は、渓流水中の濃度は降水の濃度に比べて低い。地下水から渓流水にかけて濃度が減少しており、これらの物質は、流域内で吸収されると思われる。 K^+ 、 Mg^{2+} は流入成分の内、林内雨濃度が最も高かった。これらの物質は樹冠からの溶出が多い成分であることが考えられる。 Na^+ 、 Ca^{2+} は霧水の濃度が流入成分の内でも最も高く、さらに、地中では地下水から渓流水にかけて濃度が上昇した。これらの物質は、土壌風化により流域内で溶出していると考えられる。

これまでに同試験地において観測された流入・流出水量と、本研究によって観測されたそれぞれの物質濃度から、それぞれの物質の年平均流入・流出負荷量を算出した(図 3.3-6)。 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} の霧水による流入負荷量は、降水による流入負荷量と同程度であり、霧水の寄与が無視できないと考えられる。各物質の、林内雨に対する霧水の寄与は 2%~50% であり、 K^+ で最も小さく、

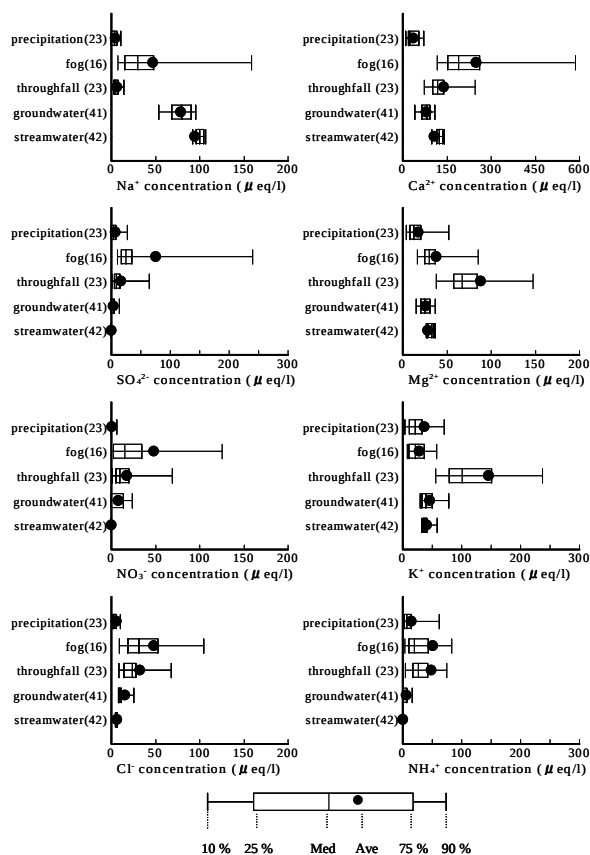


図 3.3-5 2007 年の各物質の降水、霧水、林内雨、地下水、渓流水の濃度。括弧内の数字はサンプル数を示している。

Na⁺で最も大きかった。特に、植物の養分として最も重要な栄養素の一つである窒素の流入負荷量は、NO₃⁻、NH₄⁺でそれぞれ、12%、6%であった。流出負荷量は、Na⁺以外は流入負荷量よりも小さく、流域内で吸収されていた。

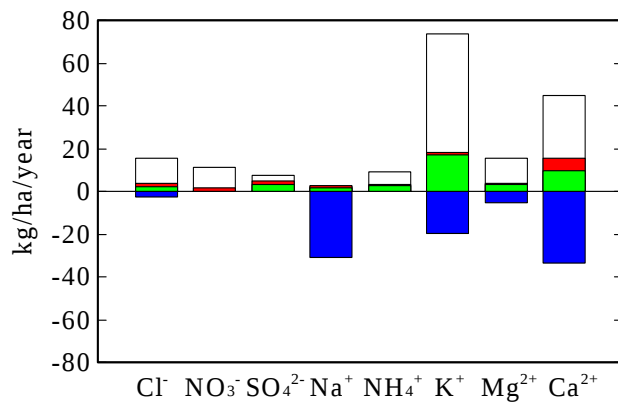


図 3.3-6 各イオンの年間流入負荷量と流出負荷量. 正の値は流入負荷量、負の値は流出負荷量を示す. 青は渓流水からの流出負荷量、緑は降水、赤は霧水、白は乾性沈着物に

寄与については、本試験地の結果は他の研究と比べて大きかった。本試験地はチェンマイに近く、都市からの乾性降下物の流入の影響を継続的に強く受けていることが原因であると考えられる。

(2)研究成果の今後期待される効果

高標高の熱帯山地林の生態系は、霧や雲による水分や物質の供給によって成り立っている場合が多い。しかし、そのような森林の生態系は、地球温暖化に伴う降雨の変動の影響を強く受けると言われており、降水変動に伴い、どの程度物質供給量に影響が及ぶのかを評価する必要がある。本研究のように、霧水による水分、物質の供給量を含めた、山地流域の流入・流出水量・物質濃度を同時に測定できた例は少ない。そのため、今後、モデルシミュレーションなどによる物質循環の予測を行う場合に有効なデータとなり得る。

これらの結果から、霧の影響下にあるタイの熱帯季節林コグマ試験地では物質流入量の内、乾性降下物による物質の供給が主要であり、さらに湿性降下物（降水・霧水）の内、霧水による物質の供給は降水による供給と同程度であることが分かった。また、ほとんどの物質は流域内部で吸収されていることが分かった。

これまでの南米やヨーロッパの研究例では、特に窒素について、霧水による流入負荷量は降水による流入負荷量とほぼ同程度であるという結果が多く報告されており、本研究と一致していた。しかし、乾性降下物による

3. 3. 6 タイ熱帯常緑林の乾季後半における水ストレス （日本学術振興会・久米朋宣、地球フロンティア・田中克典、日本大学・瀧澤英紀、東京大学・鈴木雅一）

(1)研究実施内容及び成果

毎年5－7ヶ月にわたる乾季を持つタイ北部地域で優占する常緑熱帯季節林において、蒸発散季節変化の実態及び、乾季後半の樹木の水ストレスを明らかにするために、森林微気象、樹液流、水ポテンシャルの計測を複数年にわたって実施した。また、フラックス計算のための土壌－植生－大気間の水循環モデル（SPAC モデル）を開発し、蒸発散量季節変化のメカニズムを検討した(Tanaka et al., 2004)。

微気象、樹液流の長期観測により、まず常緑熱帯季節林では、乾季後半に蒸発散量の最大値をとることを明らかにした。樹木の吸水深度を変化させるモデル計算では、土層厚により蒸発散量季節変化の様式が変わり、深い土層の貯留水分により乾季後半の蒸発散が維持されていることが示された（図 3. 3-7）。

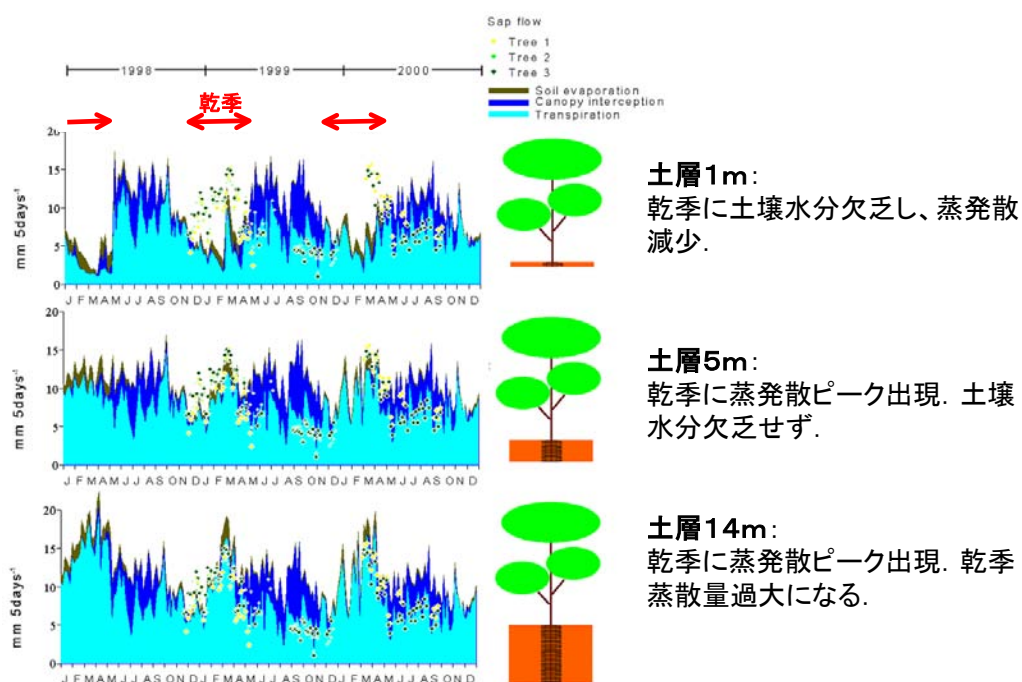


図 3. 3-7 SPAC モデルで計算した、吸水深度を変化させた時の蒸発散季節変化の変化

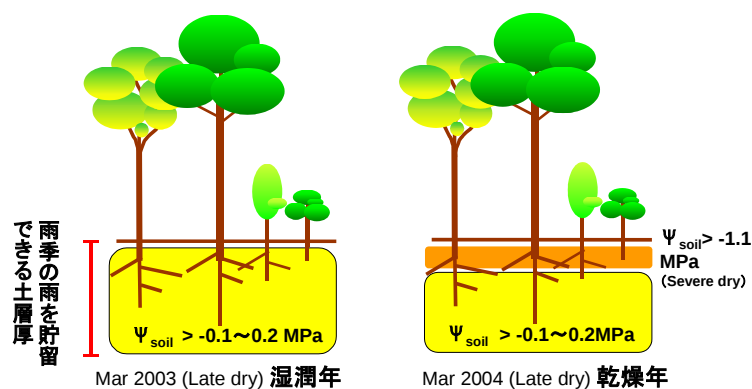


図 3. 3-8 高木、低木における乾季後半の水ストレスの受け方の違いの模式図

高木と低木の乾季後半の水ストレスの受け方の違いを計測したところ、低木でのみ大きい水ストレスが生じ、その理由として低木は土壌水分が残存する深い土層まで根が達していないことがあげられ、数値計算の結果が傍証された(図 3.3-8)。これらのことから、常緑熱帯季節林では、土層厚と樹木の根の深さが蒸散の季節性に強い影響を与えていることを明らかにした(kume et al., 2007)

成果の位置づけ、類似研究との比較：本研究は、数値モデルを用いて東南アジア常緑熱帯季節林における水・炭素循環の予測・再現を行う際、その数値モデルに反映させるべき重要なプロセスを明らかにした研究として位置づけられる。これまでに、アマゾン地域の熱帯林でも水循環における根の深さの重要性が指摘されていたが、それと比較可能な東南アジアにおける計測事例が存在していなかった。本研究は、東南アジアで初めて、土層厚と根の深さの重要性を示す研究事例となった。

(2)研究成果の今後期待される効果

水循環と炭素循環は密接に関係しており、本試験地の乾季後半の水ストレスが炭素循環に与える影響を明らかにすることが今後の展開として見込まれる。また、本研究の成果は、低木の水ストレスを回避することが常緑熱帯季節林の維持・更新に重要であることを示しており、想定される科学技術や社会への波及効果として、常緑熱帯季節林の保全・回復技術の確立に寄与することが挙げられる。

[引用文献]

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*, Vol.109, D23107, doi:10.1029/2004JD004865

Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, Tanaka K, Tanaka N, Tantasirin C, Suzuki M (2007) Impact of soil drought due to seasonal and inter-annual variability of rainfall on sap flow and water status of evergreen trees in a tropical monsoon forest in northern Thailand, *Forest Ecology and Management*, 238:220-230

3. 3. 7 タイ熱帯落葉林の着葉、落葉時期の年々変動 (九州大学・吉藤奈津子、東京大学・鈴木雅一)

(1)研究実施内容及び成果

落葉林では、展葉・落葉時期やその年々変動が、熱・水・炭素収支に影響を与える重要なファクターのひとつである。そこで、展葉・落葉時期とその年々変動を明らかにするため、タイ北部のチーク人工林において、日射の樹冠透過率を複数年にわたって長期連続測定した。同時に、チークの蒸散開始・停止時期を明らかにするため、樹幹部の樹液流速の長期連続計測を行った。

その結果、チーク人工林の展葉・落葉時期と蒸散開始・停止時期は、年によってそれぞれ 30 日以上も変化すること、その変動をもたらした主要な要因は、雨季の降雨開始・停止時期が変化したことによって生じた、土壌水分の増加・減少時期の違いであることが分かった。また、展葉・落葉時期や蒸散開始・停止時期が変化した結果、着葉期間の長さは 5 年間で最大 50 日間、蒸散期間の長さは最大 60 日間も変化しており、この変動幅は温帯落葉林における既往の報告(最大 20 日程度)に比べて大きいことが示された(Yoshifuji et al., 2006)。この変動に伴い、年蒸散量が大きく年々変動している可能性がある(図 3.3-9)。

このような、展葉・落葉時期の年々変動が熱・水・炭素循環に及ぼす影響を広域的に明らかにするには、まず、展葉・落葉時期とその年々変動を広域的に検出する必要があり、そのためには衛星モニタリングによる植生指数データの活用が有用である。そこで、本研究ではさらに、衛星観測で得られた正規化植生指数 (NDVI) の時系列変化と、落葉林サイ

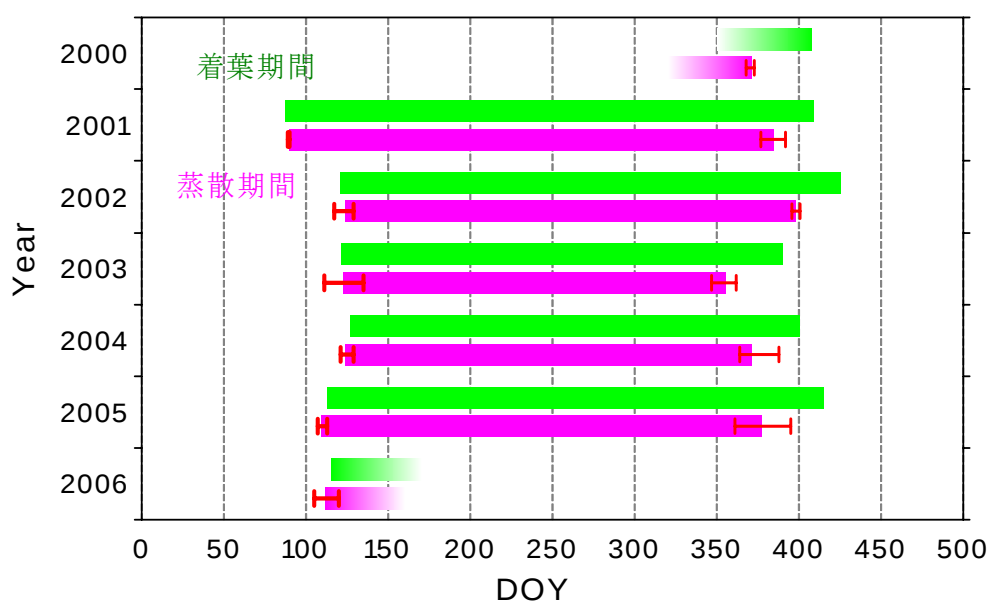


図 3.3-9 チーク林の着葉期間・蒸散期間の年々変動

トにおける現地観測で得られた LAI 及び蒸散の長期時系列変化を比較し、衛星 NDVI データから展葉・落葉時期や蒸散開始・停止時期の年々変動を検出可能であることをかどうかにについて検証した。その結果、展葉・落葉期は比較的雲の少ない雨季始めや乾季に当たるため、雨季の雲による低下ノイズと落葉による低下を区別するアルゴリズムを導入することによって、衛星 NDVI から毎年の展葉・落葉時期を抽出することが可能であることを、確認した。

中・高緯度に比べて、熱帯は一年中太陽高度が高く入力放射エネルギーが大きいため、展葉・落葉に伴い放射エネルギーの顕熱・潜熱への配分比が変化することによって生じる熱・水収支への影響は、温帯林に比べて大きいことが予想される。しかし、温帯の落葉林に比べ、熱帯落葉林の熱・水循環に及ぼす展葉・落葉時期の年々変動の影響に関する研究はいまだ不十分であり、そもそも展葉・落葉時期の年々変動を示した例は非常に少ない。本研究は、現地観測データに基づき熱帯落葉林の展葉・落葉時期の年々変動を示した貴重な研究事例と位置づけられる。また、降雨変動が熱帯落葉林の熱・水・炭素循環に及ぼす影響の評価において、展葉・落葉時期の変化を介した作用を考慮することの重要性を示した研究として位置づけられる。

(2)研究成果の今後期待される効果

成果の今後の展開として、①チーク人工林における展葉・落葉時期の年々変動が、熱・水・炭素収支に及ぼす影響を定量的に評価すること、②衛星 NDVI データを用いて、東南アジアの熱帯落葉林の展葉・落葉時期の年々変動を広域的に把握し、降雨変動との関係を解析すること、が見込まれる。以上 2 点を明らかにすることで、降雨変動が東南アジアの熱帯落葉林の展葉・落葉時期や熱・水・炭素収支の年々変動に及ぼす影響の広域的な評価が期待できる。

[引用文献]

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*, 229, 333-339

3. 3. 8 タイ熱帯落葉林の葉量と樹冠通過雨量・樹幹流下量の関係 (東京大学・田中延亮、九州大学・吉藤奈津子、東京大学・鈴木雅一)

(1) 研究実施内容及び成果

タイ熱帯落葉林サイトであるメーモ試験林は、一年の間に葉量が大きく変化するという特徴がある。本研究では、同試験地の葉量の季節変化が、降水量の樹冠による樹冠通過雨量や樹幹流下量への配分に与える影響について検討した。具体的には、正規化された葉量、30 地点の樹冠通過雨量、9 個体のチークの樹幹流下量を日単位で観測した。観測期間は、2001 年から 2006 年の 6 年間行った。樹冠通過雨量は降水量の 92.2% が配分されており、樹冠通過雨量の大小と葉量との関係は不明瞭であった (図 3.3-10)。また、樹幹流下量の大小と葉量の関係に関しては、1) 総降水量が少ない降雨イベント (< 10 mm) で発生する樹幹流下量は、葉量増加に伴って減少する傾向が認められ、2) 総降水量が大きい降雨イベント (> 10 mm) で発生する樹幹流下量は、葉量増加に伴って増加する個体群と減少する個体群の両方が存在することがわかった。

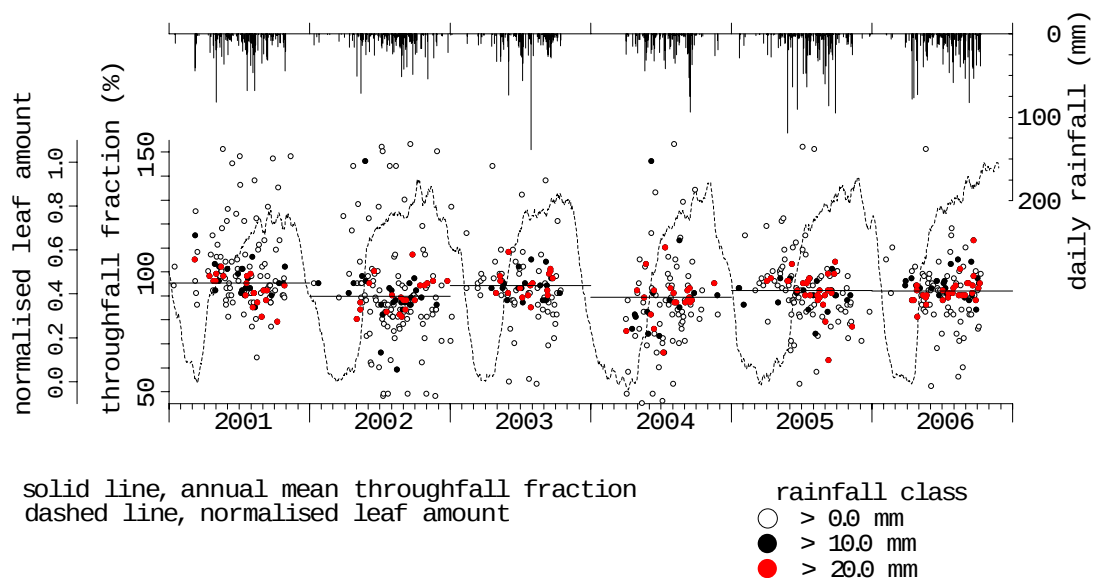


図 3.3-10 メーモ試験林における葉量の季節変化と樹冠通過雨量の降水量に対する割合の変化

成果の位置づけや類似研究との比較

これまで主に温帯落葉林を対象にして、葉量と樹冠通過雨量、樹幹流下量、樹冠遮断量の関係についての研究がなされてきた。そこでは、一般に、葉量増加に伴って樹冠通過雨量や樹幹流下量が減少する (すなわち、これらの合計と降水量の残差として得られる樹冠遮断量は葉量増加に伴い増加する) という結果が示されていた。本研究で得られた結果は、葉量増加に伴う樹冠通過雨量の減少は不明瞭であるとした点、葉量増加に伴う樹幹流下量の変化は樹木個体によるとした点で特徴的である。

本研究の観測結果として得られた樹冠通過雨量は降水量の 92.2% であり、メーモ試験林の熱帯落葉林の樹冠遮断量が降水量の 8% 以下であることを示している。これまで、タイの熱帯落葉林の樹冠遮断量は、国内の研究者によって比較的良く調べられてきた。例えば、Chunkao et al. (1971) は、乾燥フタバガキ林では降水量の 61%、天然チーク林では降水量の 63% の水分が樹冠遮断量として蒸発すると報告している。

これらの結果は、英国の研究者によるレビュー論文において樹冠遮断量が非常に大きい研究事例として紹介されたため、タイの熱帯落葉林の樹冠遮断量は非常に大きいと広く認

識されていた。そのため、本研究で得られた結果は、タイの熱帯落葉林に関する水文研究に全く新しい知見をもたらすことになった。

(2) 研究成果の今後期待される効果

メーモ試験林の熱帯落葉林は、この地域で一般に行われているチークの木材生産を目的とした人工林である。一方で、この地域では農業・工業用水や生活水の確保は大きな関心事であるため、造成されたチーク人工林からの蒸発散量に対しての人々の関心は高い。本研究で取得された観測結果は、これらの社会的関心に対しての基礎データを提示するものとなる。

3. 3. 9 タイ熱帯落葉林の H2O/CO2 フラックスの季節性 (九州大学・吉藤奈津子、東京大学・田中延亮、加治屋裕介、鈴木雅一)

(1) 研究実施内容及び成果

熱帯落葉林の熱収支・炭素収支の季節変化を明らかにし、気象要素や LAI の変化が熱収支・炭素収支に及ぼす影響を明らかにするため、チーク人工林において、乱流変動法による顕熱・潜熱・CO2 フラックスの連続計測を行った (図 3. 3-11)。

純放射量は、乾季に小さく雨季の初めに大きいという季節変化が見られるが、年間を通して大きい。解析対象期間中の月平均純放射量の最大値は 13.2MJ/day (2006 年 6 月)、最小値は 8.9MJ/day (2005 年 12 月) であった。顕熱は、乾季に増加して乾季後半に最大となり、雨季に低下した。一方、潜熱は着葉期で蒸散が盛んな雨季に大きく、落葉しチークの蒸散が行われない乾季後半に最も小さかった。乾季の潜熱低下は、LAI が減少し始めるより先に生じ、同様の傾向がヒートパルス速度にも見られた。これは、乾季初めにはまだ落葉は進んでいないが、飽差の増大と土壤水分の低下によって蒸散が抑制されたために、落葉より先に潜熱が低下し始めたと考えられる。生態系 CO2 交換量 (NEE、負の場合に生態系による吸収を表す) は、乾季前半に増加して乾季後半には 0 を挟んで変動し、着葉期である雨季に低下して吸収となった。NEE も、雨季後半から乾季前半にかけて、LAI の低下より先に増加した。この原因として、土壤水分低下によって気孔が閉じたため、あるいは、加齢によって葉の光合成能力が低下したために、落葉に先駆けて光合成量が減少したこと、が考えられる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究は、東南アジアの熱帯落葉林の顕熱・潜熱・炭素フラックスの季節変化を、実測データによって初めて明確に示した研究である。本研究によって、同じく雨季乾季の明瞭な東南アジアの丘陵性常緑林とは、顕熱・潜熱の季節変化が全く異なることが明らかとなった。広域水・炭素循環の推定において、常緑林と落葉林を区別して扱うことで、著しい精度向上がもたらされることになる。

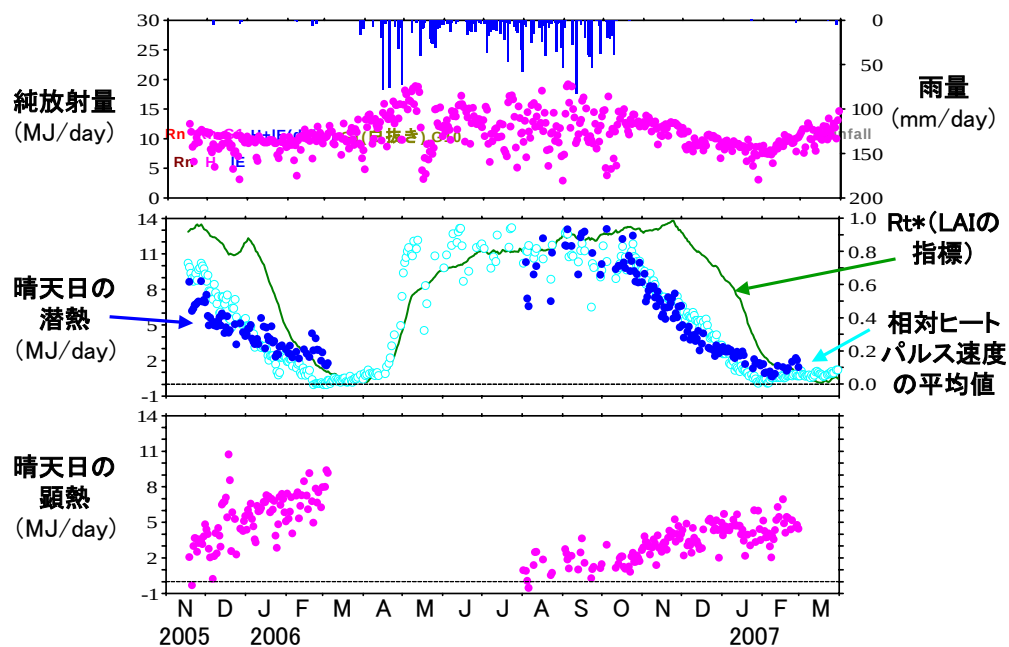


図 3. 3-11 チーク人工林の雨量、純放射、LAI の相対変化を示す指標 (Rt*)、平均相対ヒートパルス速度、潜熱、顕熱の季節変化

3. 3. 10 マレーシア熱帯雨林の蒸発散量・水収支 (九州大学・熊谷朝臣、東京大学・鈴木雅一)

(1) 研究実施内容及び成果

マレーシア熱帯雨林サイトにおいて、乱流変動法を用いた大気－樹冠間の水蒸気交換量、水蒸気交換の制限因子である微気象要素の観測を行った。その観測データを用いて森林蒸発散モデルを作成した結果、以下のようなことが分った(Kumagai et al., 2004a, 2004b)。

1) 土壌水分条件による蒸散抑制が見られない。ただし、湿潤熱帯である本地域では、蒸散抑制を生じるほどの乾燥条件が稀であり、そのような条件が未だ観測されていないという見方もできる。

2) 本サイトにおける森林蒸散は、ほぼ平衡蒸発（湿面が無限に続き、外から乾燥空気が流入してこないような大気境界層を考えた場合の蒸発）だけで説明できる。

3) 樹冠上の純放射量が計測されれば、容易に森林蒸散が推定できる。蒸散による潜熱交換は純放射量の 0.75 倍と考えるとよい。これは、アマゾン熱帯雨林における観測例に一致している。

また、作成された蒸散モデルと観測データのコンビネーションにより、本サイトの水収支を算定した（表 3.3-1）。年間で見て、総降水量の 72～76%、純放射量の 89～94%が蒸発散によって消費されている。

表 3.3-1 マレーシア熱帯雨林サイト（ランビル国立公園）における月別水収支。P：雨量、 T_{r_eq} ：平衡蒸発を考えた場合の推定蒸散量、 T_{r_pt} ：土壌水分による抑制を考慮した場合の推定蒸散量、 I_c ：遮断蒸発量、 R_n ：純放射量、 f_{r_eq} ： T_{r_eq} を用いた場合の純放射に対する総潜熱比、 f_{r_pt} ： T_{r_pt} を用いた場合の純放射に対する総潜熱比。

	P (mm)	T_{r_eq}/T_{r_pt} (mm)	I_c (mm)	R_n (MJ/m ² d)	f_{r_eq}/f_{r_pt}
Jul 2001	84.5	118.9/110.9	16.3	13.24	0.70/0.65
Aug 2001	79.0	115.7/98.9	15.4	11.88	0.87/0.76
Sep 2001	131.0	114.7/96.6	26.6	13.38	0.86/0.75
Oct 2001	389.0	96.9/100.0	55.0	10.04	1.19/1.22
Nov 2001	365.0	90.0/89.9	51.1	9.87	1.16/1.16
Dec 2001	135.0	100.1/99.4	29.3	10.84	0.94/0.93
Jan 2002	204.5	102.6/99.2	27.6	11.34	0.90/0.88
Feb 2002	103.5	84.2/71.0	23.6	10.34	0.91/0.80
Mar 2002	294.0	112.8/102.4	37.5	11.70	1.01/0.94
Apr 2002	179.5	125.9/125.6	26.7	13.36	0.93/0.93
May 2002	91.0	118.0/110.7	23.3	12.01	0.92/0.88
Jun 2002	94.5	107.2/88.5	19.5	11.42	0.90/0.77
Year Total	2150.5	1287.1/1193.1	351.9	11.62	0.94/0.89

(2) 研究成果の今後期待される効果

本観測・解析は、世界初の東南アジア熱帯雨林における森林蒸発散の通年推定であった。さらに、蒸発散のメカニズムにまで言及できたことにより、本研究は土地利用改変や気候変動、また、その複合が熱帯雨林生態系の水循環に及ぼす影響を考える最初の一步となったと考えることができる。

[引用文献]

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
 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

3. 3. 11 マレーシア熱帯雨林の流出特性（東京農工大学大学院・白木克繁、若原妙子）

(1)研究実施内容及び成果

降雨が流出に至る過程には、流域貯留量の変化、流域からの蒸発散量の変化が影響しており、利用可能な水資源の推定や、植物の蒸発散活動を介した熱移動現象に大きく影響する。特に熱帯では地球全体に与える熱的な影響が大であると言われていて、熱帯林の伐採がどのような環境の変化に影響するかは解明すべき重大な項目である。近年、熱帯林を対象とした水文観測が盛んになってきており、降水量・流出量の情報の蓄積が進み、熱帯林での水文現象が明らかになってきている。しかしながら、熱帯林土層中の水の移動にまで踏み込み、降雨流出過程の特徴を明らかにしようとする研究は少なく、情報の蓄積が進んでいない。そこで、マレーシア国サラワク州ランビルヒルズ国立公園内に隣り合う二つの水文試験流域を設け、降水量と流出量の情報を蓄積すると同時に、流域内の土壤水分変動の観測と表層土層厚分布の調査を行い、この二つの流域での水文現象を比較することで、熱帯林での降雨流出特性についての事例調査を行った。

ランビルヒルズ国立公園内に二つの流域（CL 流域：26.5ha、TL 流域：26.2ha）を設け、流域末端部の溪流で溪流水位を測定することで、溪流からの流出量を観測した。流量観測に当たっては、溪流内で溪床変化がほとんど生じない基岩が露出しているところを選び、頻繁に水位－流量換算のための流量調査を行うことで、流出データの精度を保った。CL、TL ともに流出量の測定が精度良くできた期間を比較すると、降水量に対する流出量の比率は CL で 13%、TL で 25%という差がでた。流出ハイドログラフを比較すると、CL では無降雨期間が継続すると流量が0になることがあったが、TL では流量が0になることはなかった。CL では降雨時に発生する流出ピークに加え、降雨停止後に再び流出ピークが生じる、流出2次ピークを観測することがあったが、TL では流出2次ピークは観測されなかった。CL 流域では全流出量のうち 70%が直接流出（洪水流出）で、TL 流域では75%が直接流出であることが分かり、降雨時の流出が卓越することが分かった。

樹冠遮断損失、微気象観測による蒸発散量の観測から、試験地での年間降水量をおよそ 2690mm としたとき、樹冠遮断損失は 210mm 程度、蒸発散損失は 1200mm 程度という結果が出ている。二つの流域での水収支を考えると、流域からの観測流出量は過少であり、深部浸透等の損失成分があることが判断できる。また CL での流出量がより少ないため、CL においてより多くの深部浸透があることが推定できる。

CL 流域において表層土層厚分布を簡易貫入試験機を用いて測定した。流域内約 50 点での調査により、表層土層厚の平均はおおよそ 2.3m であることが分かった。最大土層厚は 5.5m を記録し、最小では基岩が露出していた。尾根部に比較的土層厚が厚い領域があり、谷部で薄くなる傾向がある。特に溪流部で土壌が侵食され流出していることが推定される。

土壌サンプルによる飽和透水係数調査からは、深度が深くなると透水性が低くなる傾向が見られたが、いずれのサンプルにおいても観測最大降水強度（108mm/h）を浸透できる透水性を持っていることが分かった。

流域内 3 箇所において土壌水分鉛直分布の自動記録を行った。各観測ポイントでの集水面積を勘案して流域全体の土壌水分量を推定し、流域内の貯留量を計算した。深度0から80cmまでの貯留変化は150mmから268mmと計算され、貯留量の変動値は118mmであることが算出された。

今回調査した試験流域では、雨水の山体深部への浸透成分があることが予想された。また、隣り合う二つの流域でありながら、深部浸透量については年間で数 100mm の差が生じていることが推察されている。深部浸透が生じている具体的な箇所とそのメカニズムを明らかにするためには更なる調査が必要であるが、利用可能な水資源量を推定するに当たって、流域面積の大小や山体深部浸透成分が再度湧出する現象に注視する必要があることが分かった。

山体深部浸透量に大きな差異があるものの、試験流域における降雨の大まかな配分（樹冠遮断損失、蒸発散損失、溪流流出、山体深部浸透）が分かった。特に降雨時に一度に流出する直接流出割合が多いことから、森林伐採により樹冠遮断損失や蒸発散損失の量が減少した場合、洪水被害が発生する危険度が増大することが推察される。以上のように、環境変化による洪水災害の予測について、定量的な判定を行うことができると期待される。

3. 3. 12 マレーシア熱帯雨林の雨水・溪流水の水質（東京大学・五名美江、蔵治光一郎）

(1)研究実施内容及び成果

マレーシア・サラワク州の低地熱帯雨林(ランビル国立公園)内に設定した 2 小流域(TL,CL)で 2005 年 8 月から水文・水質観測を実施し、降雨量・流出量・電気伝導度(EC)を連続観測した。降雨・林内雨・溪流水は水質分析用に週 1~2 回定期的に採水した。2 流域末端での出水時の溪流水、内部の多数の小流域の溪流水を採水した。さらに CL 流域内に微小流域(CM)を設定し、土壌水(CM1~5、深さ 20,60,100cm)、地下水(CM4)、溪流水(CM1,CM4)を 2007 年 12 月~2008 年 1 月に集中的に採水した。採水した水は現場に近い実験室で $0.2\mu\text{m}$ のフィルターでろ過して持ち帰り、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} についてはイオンクロマトグラフ(島津製作所 HIC-6A)で分析した。

2005 年 8 月~2008 年 1 月の降雨・林内雨・溪流水の算術平均濃度を表 3.3-2 に示す。 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 K^+ は林内雨の濃度が降雨と溪流水の濃度に比べて高く、他のイオンは溪流水の濃度が降雨と林内雨の濃度に比べて高い。

表 3.3-2 2005 年 8 月から 2008 年 1 月の降雨(P)、林内雨(TF)、溪流水 2 流域(SWCL, SWTL)の算術平均濃度
ただし SWTL は 2006 年 2 月から

<雨の水質の特徴> ランビル国立

公園における雨水の年間負荷量を他の熱帯雨林と比較した結果を示す(図 3.3-12)。ランビル国立公園の雨水は他の熱帯雨林と比較して K、Mg、Ca は多く、Na、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4\text{-S}$ は他の熱帯雨林の結果と大差ない。 Cl は他の熱帯雨林と比較すると少ない。

<溪流水の水質の特徴> SO_4^{2-} 平均濃度は SWCL で林内雨の 6 倍、SWTL で 21 倍であり、降雨と林内雨の濃度よりはるかに高濃度の SO_4^{2-} が流出していた。このような高濃度 SO_4^{2-} の流出は蒸発散濃縮だけでは説明できず、流域内部に存在する硫黄化合物が酸化して生じた SO_4^{2-} を起源とする流出の寄与が大きいことを示唆している。このような溪流水の高濃度 SO_4^{2-} が流域全体で見られる現象かどうかを調べるため、両流域の末端部から上流に遡り、支流の合流している地点で溪流水を採水して分析した。その結果、高濃度 SO_4^{2-} 流出は流域全体の現象ではなく、 SO_4^{2-} 濃度の高い支流が空間的にばらついて存在していた。TL 流域は CL 流域の西側に位置するが、東側から西側に移動するにつれて、溪流水の SO_4^{2-} 濃度が低くなる傾向が見られるものの、両流域の上流から下流にかけて溪流水の SO_4^{2-} 濃度が一律に低下または上昇するわけではなかった。

降雨出水時の降雨の EC は $2\sim5\mu\text{S/cm}$ であるのに対し、平水時 SWCL の EC は $40\sim50\mu\text{S/cm}$ と高い。出水時に溪流水の EC は大きく低下して降雨の EC 値に近づいており、出水時の溪流水の物質濃度は降雨によって希釈され低下することが示唆された。出水時よりも平水時が高濃度であることから、土壌中での水の滞留時間が長い水ほど濃度が濃く、その原因として土壌や基岩鉱物を起源とするイオンの溶脱が大きいと推察された。

	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	H^+	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
P	17.5	10.7	23.3	4.7	23.9	26.2	14.0	21.7	45.2
TF	46.1	26.0	23.1	5.6	31.1	46.7	63.3	59.5	36.6
SW CL	44.7	2.5	144.2	39.0	52.4	5.1	22.8	70.0	16.6
SW TL	39.6	3.5	485.4	59.9	56.1	7.2	22.6	239.3	75.8

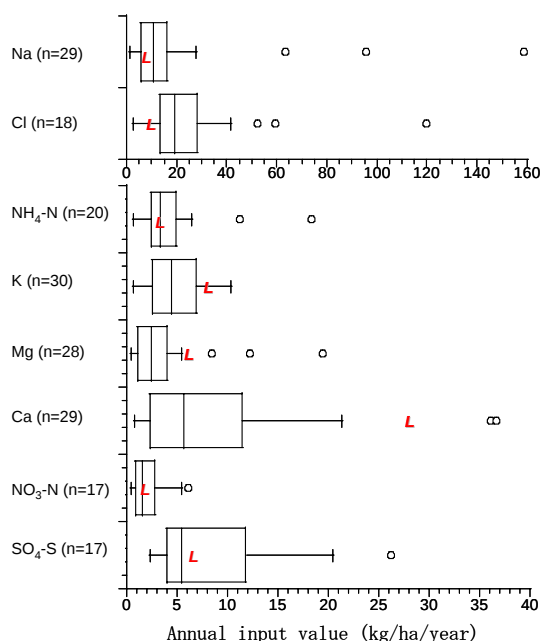


図 3.3-12 ランビル国立公園の雨水に含まれる各物質の年間負荷量と他の熱帯雨林との比較. N はランビルを除く事例数. L はランビルの値

土壌水・地下水・溪流水の SO_4^{2-} 濃度の鉛直分布を調べた。CM4（CM 流域の溪流水の湧水点）では土壌水・地下水・溪流水の順で SO_4^{2-} 濃度、（総）Fe 濃度が高くなっている。CM4 より上流域に位置する CM5 の土壌水についても、深くなるほど SO_4^{2-} 濃度、（総）Fe 濃度が高くなる傾向があった。これは、土壌深部でパイライト (FeS_2) の酸化が進行した結果であると推察される。CM1（CM 流域の下流端）土壌水の SO_4^{2-} 濃度は降水と同程度に低く、CM1 溪流水は CM4 溪流水よりも SO_4^{2-} 濃度が低かった。これは上流からの高濃度溪流水と CM1 土壌水のような低濃度の水が混合したためと推察される。CM4 溪流水の SO_4^{2-} 濃度も CM4 土壌水よりは高い。これは CM1 溪流水と同様、高濃度の CM5（湧水点より上流）土壌水や地下水と、低濃度の CM4 土壌水との混合により CM4 溪流水が形成されたためと考えられる。以上のことから、ランビル国立公園の溪流水にみられる高濃度 SO_4^{2-} の起源は、源流域の深層に分布している第三紀堆積岩に含まれるパイライト (FeS_2) の化学的ないし微生物による酸化によって生じた硫酸が起源となっていると推察された。

(2)研究成果の今後期待される効果

ランビル国立公園のような樹高 70m にも達する生物多様性の高い原生熱帯雨林が成立している場所の溪流水が硫酸酸性であるという驚異的事実は、今回の観測・分析によって初めて明らかになった。今後、ランビル国立公園近傍の熱帯雨林が伐採され、それをきっかけにして地下深くに散在するパイライトを含む土壌や基盤岩が地表面に露出した場合には、パイライトの急激な酸化により大量の硫酸が生成され、流出する可能性がある。ランビル国立公園と同じボルネオ島に位置する東カリマンタンでは、干拓や土木工事などにより地表に露出したパイライトの酸化で大量の硫酸が生成され、深刻な酸性硫酸塩土壌問題が生じている。本研究成果は、硫酸酸性の溪流水が流出するような土地でも天然の熱帯雨林が成立しうることを示しており、微生物と樹木との共生関係などについて今後さらに研究を進めることにより、酸性硫酸塩土壌問題がすでに起きている場所で森林再生を行う際に役に立つ基礎的知見を提示できると期待される。

3. 3. 13 マレーシア熱帯雨林の土壌呼吸量（兵庫県立大・大橋瑞江、日本学術振興会・久米朋宣、九州大学・片山歩美、東京大学・鈴木雅一）

(1) 研究実施内容及び成果

土壌からの CO_2 放出（土壌呼吸）は生態系全体の炭素放出量の 50–95% を占めるため、熱帯林における炭素収支の算定のためには、土壌呼吸のメカニズム及び年間量の解明が必要不可欠である。土壌呼吸は、根や微生物の呼吸などの生物活動に起因し、温度や水分など多様な要因によって変動する。そこで、熱帯雨林の土壌呼吸量の変動メカニズム及び、年間量を明らかにするため、マレーシア、サワラク州にあるランビル国立公園の低地混合フタバガキ林において、土壌呼吸量の計測を 5 年間にわたり実施し、また併せて土壌水分、地温、土壌の性質、森林構造の計測を行った。

その結果、本試験地では温度や水分の季節変化が明瞭ではないため、土壌呼吸量の算定のためには時間変動よりも空間変動を考慮することがより重要であることを明らかにした（図 3.3-13）。土壌呼吸は場所によって $1\sim 30\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ まで大きく変動し、この大きな空間変動がアリ・シロアリといった土壌動物、林冠を構成する巨大高木の根の生物活動によって生じている可能性があることを新たに示した。年間土壌呼吸量は、 $5.7\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり、これまでに報告されている中南米熱帯林の土壌呼吸量より大きいことが明らかとなった。

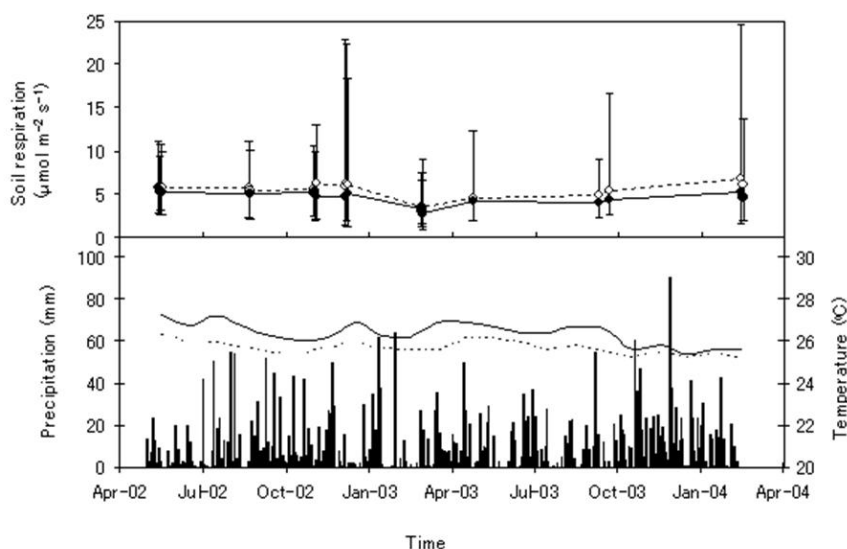


図 3.3-13 土壌呼吸量（上段）、降水量（棒）、気温（実線）、地温（破線）の時系列変化。エラーバーは、中央値（黒丸）、平均値（白丸）ともに 25 地点の計測値の範囲を示す。

(2) 研究成果の今後期待される効果

本研究は、数値モデルを用いて東南アジア熱帯雨林における炭素循環の予測・再現を行う際に、その数値モデルに反映させるべき重要なプロセスを明らかにし、またモデル検証のための計測値を提供した研究として位置づけられる。これまでに、中南米地域の熱帯林でも土壌呼吸の研究が精力的に行われてきたが、アリやシロアリといった土壌動物、林冠を構成する高さ 50m にも達する巨大高木の根が土壌からの CO_2 発生に重要な役割を果たすという現象は報告されていなかった。これらの本試験地固有の現象が熱帯林最大級の土壌呼吸量をもたらした可能性が高く、本研究により東南アジア熱帯雨林の土壌圏の炭素循環過程を特徴づけることができ、世界各地との対比の著しい進捗が期待される。

3. 3. 14 マレーシア熱帯雨林の炭素循環 (熊谷朝臣・九州大学、鈴木雅一・東京大学)

(1)研究実施内容及び成果

マレーシア熱帯雨林サイトにおいて、乱流変動法を用いた大気－樹冠間の炭酸ガス交換量、同化速度の制限因子である微気象要素の観測を行った。その観測データを用いて森林炭酸ガス同化モデルを作成、モデルと観測データのコンビネーションにより、年間炭素貯留量として 4.83t/ha が得られた。また、本サイトにおいては毎木調査により年間炭素貯留量 2.80t/ha なる結果が得られている。以上の結果の要旨を図 3.3-14 に示す。これら 2 つの方法

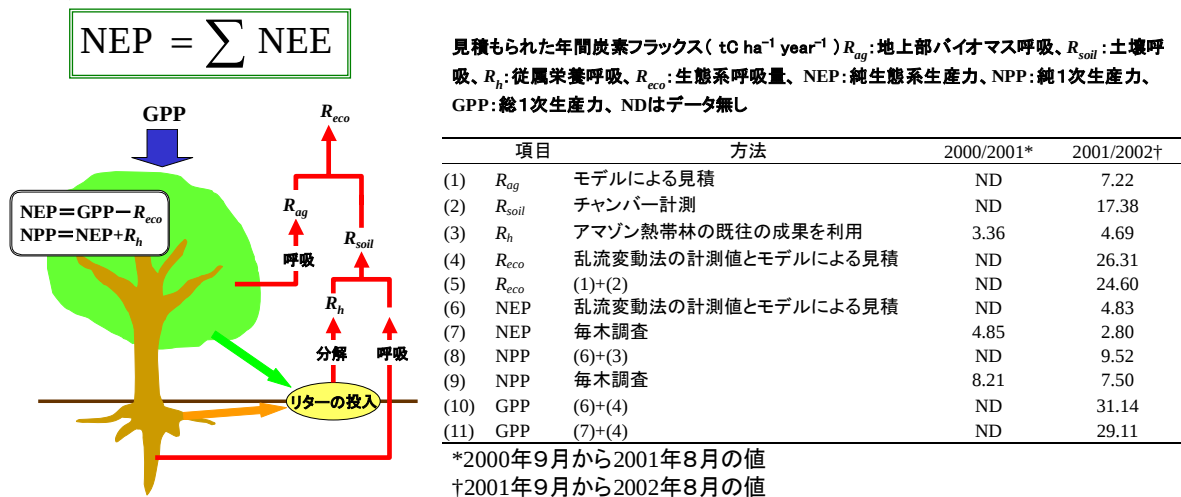


図 3.3-14 マレーシア熱帯雨林サイト (ランビル国立公園) における年間炭素貯留量.

One-dimensional SVAT

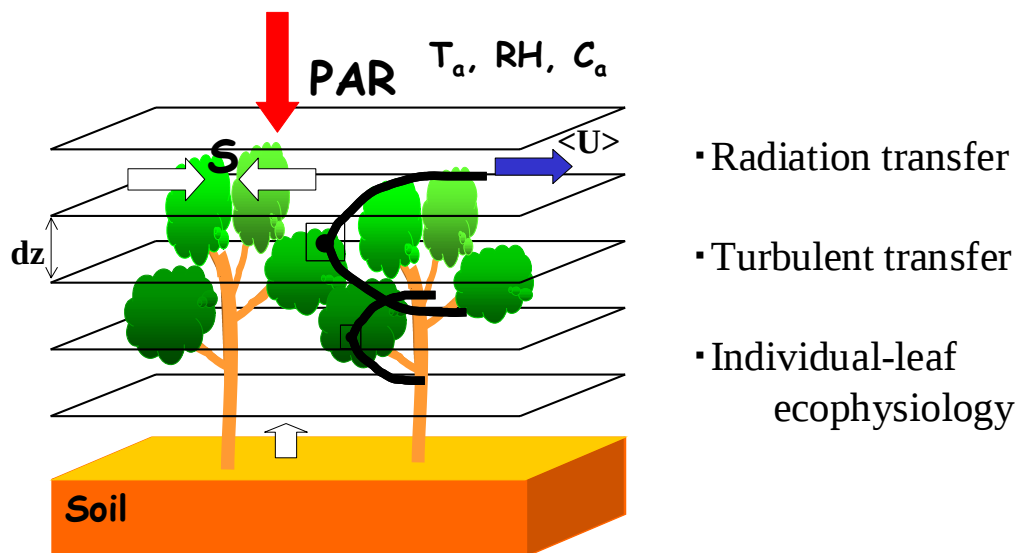


図 3.3-15 個葉レベルの生理特性、群落構造、環境因子の森林－大気間の熱・水・CO₂ 交換に与える影響を調べるためのシミュレーションモデル模式図.

1次元多層生物圏－大気モデル (SVAT) (図 3.3-15) は環境因子と個葉レベルの生理特性の相互作用が群落レベルの CO₂ 交換に与える影響を理解するのに有用なツールであり、これまで多くの陸上生態系に適用されてきた。しかし、熱帯雨林では、その巨大かつ複雑な樹冠構造と豊富な種数のため、水平方向の均質さを仮定する SVAT が適用できるか定かでは

ない。そこで、本研究では、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 SVAT 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。この比較検討の中で、熱帯雨林において SVAT を適用する場合の、入力データ取得のためにどこまで詳細な観測が必要か、どこまで精緻なモデルが必要か、といった指針が得られる。詳細なメカニズムの理解は環境変動に対応して生態系 CO₂ 交換速度がどのように変わりうるのかという判断を適正に下す材料となるだろう。

結論は以下の通りである。SVAT は水平方向の均質性を仮定する 1 次元モデルであるが、樹冠構造・個葉生理特性の強烈な空間的不均質性を持つ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も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。

(2)研究成果の今後期待される効果

多数の樹種が複雑な林冠を構成する熱帯雨林において、エネルギー・水・炭素循環を計測し、モデル化を行う際に、どれだけ個別要素を計測する必要があるかは、重要な課題であった。本研究は、「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も十分な精度でシミュレーション可能」という結果を得て、世界各地の熱帯林における今後の計測と解析に大きい指針を与えている。

[引用文献]

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

3. 3. 15 東南アジア熱帯雨林と熱帯季節林の降水変動が土壌水分動態に与えるインパクト (九州大学・熊谷朝臣)

(1)研究実施内容及び成果

土壌水分環境の記述は、研究対象となる生態系におけるエネルギー・物質循環の記述の基本である。そこで、明らかな降雨パターンの違いを持つマレーシア熱帯雨林とタイ熱帯常緑季節林の2つの研究サイトにおいて、降雨の季節変動と年々変動のそれぞれが土壌水分動態に与える影響を調べた。

降水現象を確率過程と考え、過去の長期降水資料により確率密度関数パラメータを決定した。水文素過程（蒸発散・流出・貯留）を精密に記述した水収支式に降水確率分布を代入、整理して土壌水分確率分布を解析解として得た。水文素過程を表現するモデルは、両研究サイトにおけるこれまでの成果により構築され、また、そのモデルパラメータが決定された。

まず、降水の確率パラメータの解析により、マレーシア熱帯雨林サイトでは少雨とエルニーニョの生起に密接な関係が認められた一方、タイ熱帯季節林ではエルニーニョと乾燥に有意な関係が見られないということ、タイ熱帯季節林では長期乾燥傾向が見られるということ、が明らかになった。マレーシア熱帯雨林サイトを対象にした土壌水分確率モデルの計算結果の一例を図 3.3-16 に示す。年々変動を考慮すると土壌水分乾燥域の生起確率が増加

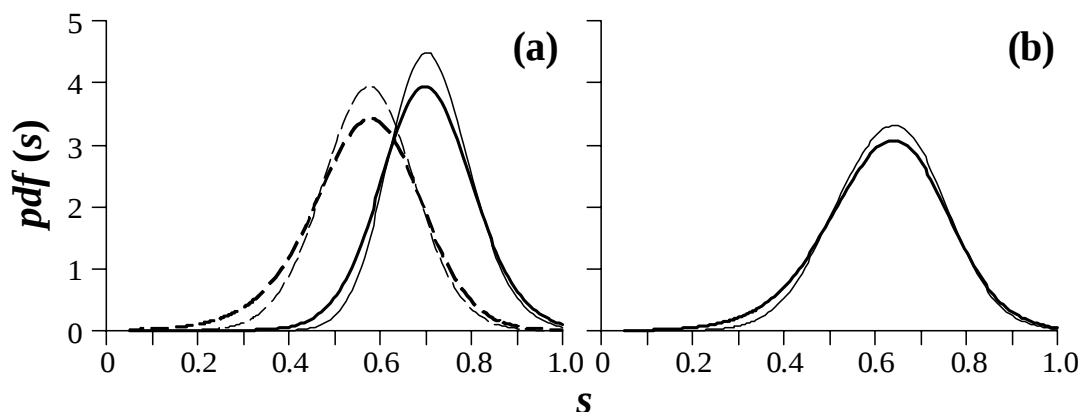


図 3.3-16 マレーシア熱帯雨林サイト（ランビル国立公園）における相対土壌水分 (s) の確率密度関数 ($pdf(s)$)。太線は降水の年々変動を考慮した場合、細線は考慮しない場合を示す。実線は湿潤季、破線は乾燥季を示す。(a) 湿潤季、乾燥季を個別に表現、(b) 年単位で表現。

するのが分る。これは、降水の年々変動は生態系に一定のリスクを与えるという意味でもある。様々なモデルパラメータを用いて、このような確率計算を行うことで、主に植物にとって利用可能水分に関する生態系の頑健さは、マレーシア熱帯雨林では土壌物理性、タイ熱帯季節林では植物の根系深度と湿潤季から乾燥季に持ち越される水分に起因することが明らかとなった。

(2)研究成果の今後期待される効果

気候変動は、例えば平均降水量が $\sim$ mm 変わるとか平均気温が $\sim$ ℃変わるといった、気候要素の平均値の移動ではなく、その変動幅そのものの移動である。そのため、気候変動そのものも変動幅そのものを評価する確率過程論を利用することが避けられず、その結果、気候変動の影響を受ける生態系の変化も確率論的に表現する必要がある。本研究で用いた確率過程論手法は、気候変動のインパクトに関して、今回の土壌水分動態の記述だけでなく、そこから発展する生態系動態（生物個体群動態、栄養循環など）の記述にも役立つであろう。

3. 3. 16 東南アジア域の広域水収支モデル化（東京大学・鈴木雅一）

(1)研究実施内容及び成果

タイの熱帯季節林の現地観測において、エネルギー収支・水収支が常緑林と落葉林が著しく異なる季節変化を示すことが解明された。しかし、広域の蒸発散モデルにおいて東南アジアの常緑林と落葉林の特性が反映されているものは存在していない。

そこで、CREST における森林蒸発散の知見を反映した蒸発散量を 1km グリッドスケールで評価し、水資源賦存量を算出するモデルを構築した。

植生は、Normalized Difference of Infrared Index (NDII)を用いた。NDII は近赤外と中間赤外波長を用いて次式 $NDII = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ で表現される。

森林域蒸発散量推定モデルは、蒸散と樹冠遮断蒸発をそれぞれ推定する構造である。蒸散については Priestley-Taylor 式で、樹冠遮断蒸発については降水量に樹冠遮断蒸発率を乗じて算出する。Priestley-Taylor 式

の係数 α の検討について、幅広い気候帯を有する日本を対象に蒸発散量を推定した近藤ら (1992) の研究成果を元に行った。次に、樹冠遮断蒸発率 β についても Priestley-Taylor 係数 α の算出方法と同様に近藤ら (1992) の成果を教師データとして求めた。

落葉林サイトや混交林サイトにおいては、乾季開始からの季節進行に伴い NDII の低下が顕著に見られた。常緑林サイトでは、値の変動が少なかった。これらの常緑林サイトでは、乾季でも蒸散活動が行われている事がこれまでの研究から確認されており、NDII が樹木の蒸散活動を間接的に示す指標として有効であることが確認された。

そこで、落葉林サイトにおいて蒸散期間及び活性と土壌水分の関係について論じている Yoshifuji et al (2007) の結果を参照し、モデルの改良を試みた。Yoshifuji et al (2007) では、土壌水分が少なくなるにつれて、蒸散活性は直線的に減少していた。これらの情報を参照して、土壌水分が蒸散活性に及ぼす影響を、NDII を用いてパラメータ化を行った。NDII による蒸散活性のパラメータは次式で表現した。

$$\alpha' = \alpha F(NDII)$$

$$F(NDII) = 1, 0.18 < NDII$$

$$F(NDII) = 5.5NDII + 0.01, 0 < NDII < 0.18$$

$$F(NDII) = 0.01, NDII < 0$$

モデルの適用と GCM との比較

モデルを適用して森林における蒸発散量の分布を算出した(図 3.3-17b)。推定された蒸発散量は、メコン河口付近では年 1600mm 程度であった。年 700mm から 1200mm の蒸発散量の森林がラオスと中国国境付近からやカンボジア北部までの間に幅広く分布しており、1200mm を超すような森林は、カンボジア西部の山岳地帯やトンレサップ湖とメコン河に挟まれた地域などで見られる。

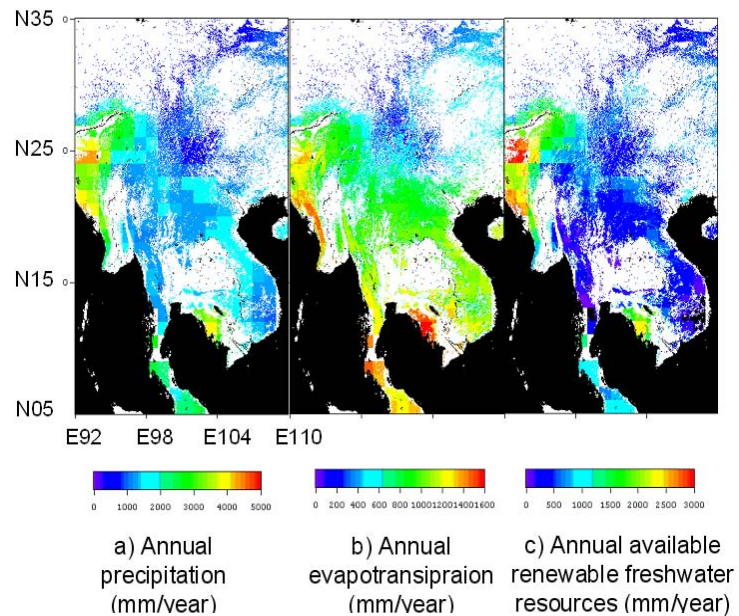


図 3.3-17 常緑林、落葉林を区分して求める蒸発散モデルによる年水収支. (1km グリッド)

メコン川中流域と下流域において、本モデルの計算結果と ISLSCP と GAME 再解析データの潜熱フラックスについて比較を行った(図 3.3-18)。

水資源賦存量の分布の算出

降水量データから衛星リモートセンシングデータを使って算出した蒸発散量を差し引いて、メコン河流域の森林域における年水資源賦存量を算出した(図 3.3-17c)。算出された年水資源賦存量は年降水量(図 3.3-17a)と似た分布をしており、値は 300mm から 2200mm まで分布している。

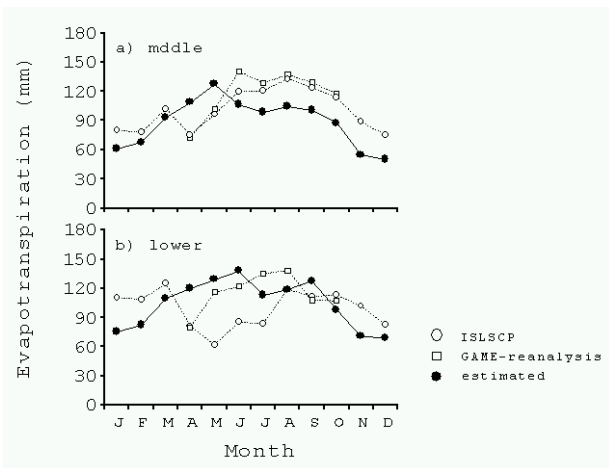


図 3.3-18 メコン川中流域、下流域の森林蒸発散量の季節変化。既往推定値との比較

(2)研究成果の今後期待される効果

近年、森林による二酸化炭素吸収を期待して、大規模植林の計画が各地で模索されているが、本研究が明らかにしてきたように、炭素循環は水循環の影響を受け、その影響は熱帯季節林において特に大きい。未だ、多くの大規模植林の計画に水循環のアセスメントは十分に取り入れられておらず、水収支に対する常緑林と落葉林の差異を表現する蒸発散量推定をはじめ、本研究による知見はこの点に対して大きく貢献するものである。

[引用文献]

- Sawano S, Hotta N, Komatsu H, Suzuki M, Yayama T (2007) Evaluating of Evapotranspiration in Forested Areas in the Mekong Basin Using GIS Data Analysis," Forest Environments in the Mekong River Basin"(Eds. Sawada, H., Araki, M., Chappell, NA, LaFrankie, JV, Shimizu, A.), P36-44, Springer
- 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, 229, 333-339

3. 4 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（東京大学大学院・鈴木雅一）

(1) 研究実施内容と成果

ケッペンの気候区分以来、地球規模の気候帯区分はその気候下の植生によって特徴づけられてきた。そして寒帯や温帯においては気温の季節性によって四季が存在し、生物季節の進行（季節変化）が形成されている。一方、熱帯においては気温の季節変化はわずかであり、単純化した記述として、熱帯の季節性は降水量と土壌水分の季節性によって形成されるといえる。

熱帯においては人為による植生の改変や長期的な気候変化に対して、熱帯の陸域生態系のエネルギー・水・炭素の循環が今後どのように変わっていくかを考えるときも、降水量と土壌水分の変化をその季節性の変動を通して理解する必要がある。

一般に熱帯域における降水は、日周期、季節性、ENSO などによる年々変動など様々な時間スケールの変動によって特徴づけられる。本研究における気象学・気候学研究は、日周期、季節性、ENSO などの年々変動のそれぞれについて、地形の影響や台風性の擾乱の影響などによる顕著な地域性ととも明らかにした（表 3. 4-1）。

そして、これらの降雨の変動は、森林のエネルギー・水・炭素の循環に影響を与える。本研究では、タイの常緑熱帯季節林（Kog-Ma 試験地）、落葉熱帯季節林（チーク人工林、Mae Moh 試験地）、マレーシア・サラワク州の熱帯雨林（Lambir 国立公園）における研究結果をもとに、降水変動が森林のエネルギー・水・炭素の循環に与える影響を調べたが、その結果を現象の時間スケール毎に区分して、表 3. 4-2 にまとめた。

表 3. 4-1 本研究が明らかにした熱帯モンスーンアジアの降水変動の特性

時間スケール	空間（地域・サイト）	降雨特性研究課題	研究成果
日変化	北緯17度沿い	雨が良く降る時刻	ミャンマー沿岸からラオスへと活発な降水時刻が遅れる
日変化	山脈の影響	雨が良く降る時刻	東西方向への雨域移動と降雨強度の増加・減少
日変化	海からの距離（サラワク）	雨が良く降る時刻	サラワク・ミリにおける昼に降る雨の大きさが海岸からの距離で変わる
数日の豪雨	中部ベトナム沿岸域	一雨降水量	2日で1800mm降った雨をもたらす北東モンスーン季の豪雨発生機構
季節内変動	山岳性降水（タイ北部）	月雨量・降水時間数	標高で降水量が増加する。降水時間数の増加による
季節内変動	インドシナ半島全域	雨季入り、30-60日周期性	季節内変動で30-60日、10-20日の周期が早越するが、その強さの地域性が地形の影響を大きく受ける。
熱帯低気圧の影響	インドシナ半島全域	台風擾乱がもたらす雨	南西モンスーンのほかに南シナ海から上陸する台風のもたらす雨量がある
年々変動	インドシナ半島全域	6, 7月降水量	ENSO衰退期（冬から夏）には熱帯インド洋の海気相互作用がモンスーン開始時期と6, 7月降水量に影響
年々変動	インドシナ半島全域	8, 9月降水量	ENSO発達期（夏から冬）には熱帯インド洋の海気相互作用が8, 9月降水量に影響
長期変化	インドシナ半島全域	温暖化影響	夏季の降水量増加は、移流による水蒸気供給増加の影響が大きい（18全球モデル）。
長期変化	インドシナ半島全域と海洋大陸	森林減少影響	インドシナ半島と海洋大陸の両方で土壌水分は減少傾向だが、気温はインドシナ半島で若干の低下、海洋大陸で増加（BAIM2モデル）。

表 3. 4-2 本研究が明らかにした降水変動が東南アジア熱帯林のエネルギー・水・炭素の循環に与える影響

現象の時間 スケール	対象とする現象	対象地域と森林	研究成果
日変化	降雨日周性がエネルギー収支に与える影響 降雨終了後に樹冠が乾く時間	サラワク 熱帯雨林 サラワク 熱帯雨林	夜雨と昼雨で放射エネルギーなどが影響を受け、エネルギー収支が変わる。 夜雨と昼雨で降雨後の蒸発強度が異なる。
季節変化	乾季後半の蒸散量 乾季後半の蒸散量 蒸発散量	タイ 常緑熱帯季節林 タイ 落葉熱帯季節林 サラワク 熱帯雨林	1年で最も大きい蒸散量が出現。蒸発散量も年間最大。 落葉期間のため蒸散量なし。蒸発散量は年間で最小。 熱帯季節林に比べて著しい季節変化はない。
季節変化	土壌呼吸量	タイ 常緑熱帯季節林 タイ 落葉熱帯季節林 サラワク 熱帯雨林	雨季に大きく、乾季に低下（土壌水分減少に対応）。 雨季に大きく、乾季に低下（土壌水分減少に対応）。 通年ほぼ一定（地点による差異が大きい）。
季節変化	乾季後半の光合成量	タイ 常緑熱帯季節林 タイ 落葉熱帯季節林 サラワク 熱帯雨林	1年で最も大きい光合成量が出現。蒸発散量も年間最大。 落葉期間のため光合成量なし。 熱帯季節林に比べて著しい季節変化はない。
季節変化の 年々変動	展葉・落葉の時期	タイ 落葉熱帯季節林	雨季入り、雨季明けの年々変動がもたらす土壌水分の影響で年々変動大きい。 （常緑熱帯季節林、熱帯雨林は明瞭な落葉・展葉時期がない。）
年々変動	年水収支	タイ 常緑熱帯季節林 タイ 落葉熱帯季節林 サラワク熱帯雨林	年蒸発散量は変動が少ない。 常緑熱帯季節林より大きい年々変動の可能性はある。 観測期間に著しいエルニーニョ期がなく、大きい年々変動はなかった。
長期変化	土壌水分	タイ 常緑熱帯季節林 サラワク熱帯雨林	想定される降雨減少傾向が生ずると森林維持が困難となる可能性。 降雨減少傾向に対して森林維持が困難となる可能性は熱帯季節林に比べ少ないが、森林脆弱性評価は今後再評価必要。

雨季と乾季が明瞭で乾季に著しく土壌が乾燥する地域に存在する熱帯季節林と、一年を通して平年には毎月 100mm 以上の降雨があり著しい土壌乾燥の生じない地域に存在する熱帯雨林は、降雨変動に対する影響が異なることは以前から考えられていたが、熱帯季節林において常緑熱帯季節林と落葉熱帯季節林を対比して検討したところに本研究の特色がある。

常緑熱帯季節林と落葉熱帯季節林におけるエネルギー・水・炭素の循環の差異には、温帯林や寒帯林における常緑林と落葉林の差異よりも大きい。一方が葉を着けていて他方が落葉している時期が、温帯林、寒帯林では日射が少ない冬であるのに対し、熱帯季節林で

は雲が少ないために日射が多く、大気も乾燥している乾季だからである。このために表 3.4-2 に示した差異が生じ、その差異は降水の変動によって影響を受ける。

落葉性の熱帯季節林における展葉と落葉時期が降水変動の影響を受け、水・炭素循環に大きい影響を与えていることをはじめ、降水量変動が熱帯季節林にさまざまな影響を与えていることが明らかにされた。

表 3.4-1 と表 3.4-2 の対比によって、東南アジアの気象・気候と熱帯林のエネルギー・水・炭素循環の関わりが、把握される。

なお、熱帯雨林においては、研究期間中に顕著なエルニーニョ現象の発生がなく著しい少雨の状態が生じなかったために、平年には降水変動が森林の水・炭素収支に大きく影響することはなかった。しかし、降水確率モデルによる解析により、過去の著しい少雨期間を含む長期間を対象に土壌水分への影響予測などがなされた。また、熱帯域で特徴的な降雨の日周性に関わって、1日のうちで雨が良く降る時刻が地域により異なる地域性とそれが熱帯林のエネルギー循環に与える影響評価がなされた。これらの成果より降水変動が熱帯林に与える影響に関する知見は飛躍的に増加した。

なお、降水変動により影響を受けた森林のエネルギー・水・炭素の循環は、更に気象と気候へと影響を与えることになる。この研究課題は、東南アジア熱帯の森林減少がもたらす気候変化への影響の研究であるが、本研究においてこの課題は気象研究の中で取り組まれ、その結果は3.2.6で述べられている。

(2)研究成果の今後期待される効果

森林による二酸化炭素吸収を期待する大規模植林の計画が各地で模索されており、大規模植林の計画に水循環のアセスメントの重要性を指摘してきたところであるが、水循環と炭素循環の相互作用のパフォーマンスは、熱帯雨林、常緑と落葉の熱帯季節林で、それぞれ異なる。本研究は、多様な時間スケールの降水変動特性に関する気象学・気候学的な知見の深化とともに、東南アジア熱帯林のエネルギー・水・炭素循環の理解が進んだ。これらの研究成果は、東南アジア各地の大規模植林計画の水循環アセスメントに役立てられる。また、熱帯域の植生が気候形成に与える影響を評価する上で、不可欠の情報を提供するものである。

§ 4 研究参加者

①「森林生態系の水循環、物質循環」研究グループ(主に森林の研究)

	氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
○	鈴木雅一	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授	研究総括	H15.10～
	大手信人	東京大学大学院農学生命科学研究科	准教授	森林流域における水文・生物地球化学	H18.12～
	蔵治光一郎	東京大学大学院農学生命科学研究科	講師	熱帯林水文プロセス・物質循環機構	H15.10～
*	田中延亮	東京大学大学院農学生命科学研究科	助手		H15.10～H17.9
		科学技術振興機構	CREST 研究員	熱帯林水文プロセス	H17.10～H19.4
		東京大学大学院農学生命科学研究科	助教		H19.4～
*	吉藤奈津子	東京大学大学院農学生命科学研究科	D3		H15.10～H16.3
		科学技術振興機構	CREST 技術員	熱帯林微気象解析と植物水分生理・データ整理と解析	H16.4～H19.3
		科学技術振興機構	CREST 研究員		H19.4～H20.3
		九州大学農学研究院	研究員		H20.4～
	Odair J Manfro	東京大学大学院農学生命科学研究科	D3	熱帯林水文プロセス	H15.10～H18.3
	諸岡利幸	東京大学大学院農学生命科学研究科	D3	熱帯林の熱・水収支	H15.10～H17.12
	堀内利紳	東京大学大学院農学生命科学研究科	M2	熱帯林水文プロセス	H16.4～H18.3
	新田秀典	東京大学大学院農学生命科学研究科	M2	熱帯林水文プロセス	H16.4～H18.3
	小田智基	東京大学大学院農学生命科学研究科	D3	熱帯林水文プロセス	H16.4～
	橋本昌司	東京大学大学院農学生命科学研究科	農学特定研究員	熱帯林の水・炭素収支とモデル化	H16.6～H17.3
	南光一樹	筑波大学大学院環境生命科学研究科	研究員	熱帯林水文プロセス	H16.6～H20.8
	加治屋裕介	東京大学大学院農学生命科学研究科	M2	熱帯林の水循環	H17.4～H19.3
	五名美江	東京大学大学院農学生命科学研究科	D2	熱帯林の水循環	H17.4～
	南波陽平	東京大学大学院農学生命科学研究科	D1	熱帯林微気象解析と植物水分生理	H17.7～H18.3

	氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
	宇野希栄	東京大学大学院農学生命科学研究科	M2	熱帯林の水循環	H18.4～H20.3
	五十嵐康記	東京大学大学院農学生命科学研究科	M2	熱帯林の水循環	H19.4～
	佐藤貴紀	東京大学大学院農学生命科学研究科	M1	熱帯林の水循環	H20.4～
	松澤健介	東京大学大学院農学生命科学研究科	M1	熱帯林水文プロセス	H20.4～
	堀川真由美	名古屋大学環境学研究科	D3	熱帯林微気象解析	H16.6～
	熊谷朝臣	九州大学農学研究 院	准教授	熱帯林の水・炭素収 支とモデル化	H15.10～
	久米朋宣	九州大学農学研究 院	研究員	熱帯林の植物水分生 理	H15.10～
	片山歩美	九州大学大学院生 物資源環境科学府	M2	熱帯林の水・炭素収 支とモデル化	H17.4～H19.3
	金丸裕一郎	九州大学大学院生 物資源環境科学府	M2	熱帯林の水・炭素収 支とモデル化	H17.10～H18.3
	瀧澤英紀	日本大学生物資源 科学部	講師	熱帯林の熱・水収支 と植物水分生理	H15.10～
	小坂泉	日本大学生物資源 科学部	研究員	熱帯林微気象解析と 熱帯林の熱・水収支	H16.11～H17.12
	大橋瑞江	兵庫県立大学環境 人間学部	准教授	熱帯林の水・炭素収 支とモデル化	H18.3～
	青木正敏	東京農工大学大学 院共生科学技術研 究院	教授	農耕地の熱・水収支	H15.10～
	Pedram Attarod	東京農工大学連合 農学研究科	D3	農耕地の熱・水収支	H15.10～H19.3
	小森大輔	東京農工大学連合 農学研究科	D3	農耕地の熱・水収支	H15.10～H17.3
	林和志	東京農工大学連合 農学研究科	M2	農耕地の熱・水収支	H15.10～H17.3
	瀬戸泰輔	東京農工大学大学 院農学府	M2	農耕地の熱・水収支	H18.8～H20.3
	Tiwa Pakoktom	東京農工大学連合 農学研究科	D4	農耕地の熱・水収支	H19.4～
	白木克繁	東京農工大学大学 院共生科学技術研 究院	講師	熱帯林水文プロセ ス・土壌水分動態	H15.10～
	大和輝子	東京農工大学大学 院農学研究科	M2	熱帯林水文プロセ ス・土壌水分動態	H15.10～H17.3
	五十嵐香介	東京農工大学大学 院農学研究科	M2	熱帯林水文プロセ ス・土壌水分動態	H16.2～H17.3
	吉武伸章	東京農工大学大学 院農学研究科	M2	熱帯林水文プロセ ス・土壌水分動態	H16.3～H17.3

	氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
	住吉綾	東京農工大学大学院農学研究科	M2	熱帯林水文プロセス・土壌水分動態	H16.4～H18.3
	江夏泰治郎	東京農工大学大学院農学研究科	M2	熱帯林水文プロセス・土壌水分動態	H16.4～H18.3
	若原妙子	東京農工大大学院連合農学研究科	D2	熱帯林水文プロセス・土壌水分動態	H17.4～
	菊池耕太	東京農工大学大学院農学府	M2	熱帯林水文プロセス・土壌水分動態	H18.10～H20.3
	宮貴大	東京農工大学大学院農学府	M2	熱帯林水文プロセス・土壌水分動態	H18.11～H20.3
	中静透	東北大学大学院生命科学研究科	教授	熱帯林の生態系動態	H15.10～
	Samakkee Boonyawat	Kasetsart Univ.(タイ)	副学長	農耕地の熱・水収支	H15.10～
	Chatchai Tantasirin	Kasetsart Univ.(タイ)	研究所長	熱帯林の熱・水収支と炭素収支	H15.10～
	Lucy Chong	Sarawak Forest Department(マレーシア)		熱帯林の生態系動態	H15.10～
*	小宮山詩子	科学技術振興機構	研究補助員		H15.10～H18.3
*	森貴子	科学技術振興機構	研究補助員		H18.4～

②「降水現象の季節性と年々変動」研究グループ(主に気象の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	里村雄彦	京都大学大学院理学研究科	教授	領域気象モデルによる降水解析	H15.10～
	林泰一	京都大学大学院理学研究科	助教授	領域気象モデルによる降水解析	H15.10～H16.3
	西憲敬	京都大学大学院理学研究科	助手	領域気象モデルによる降水解析	H15.10～H16.3
	中田淳子	岐阜大学流域圏科学研究センター	研究補佐員	植生モデル開発	H15.10～
	横井覚	東京大学気候システム研究センター	研究員	モンスーン大気変動解析	H15.10～
	木口雅司	東京大学生産技術研究所	研究員	モンスーン雨量変動解析	H16.10～
	杉埜水脈	京都大学大学院理学研究科	M2	モンスーン降水変動解析	H17.10～
	植松明久	京都大学大学院理学研究科	PD研究員	雨量データ解析	H18.2～H18.3
	安形康	海洋研究開発機構地球フロンティア研究センター	技術主任	モンスーン降水現象解析	H18.9～

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
	伊藤正樹	京都大学大学院理学研究科	M2	モンスーン季節内変動解析	H19.5～
	山崎弘恵	京都大学大学院理学研究科	M2	領域気象モデル開発	H19.5～
	山本恵子	京都大学大学院理学研究科	M2	モンスーン循環解析	H19.5～
	小郷原一智	京都大学大学院理学研究科	D2	気象モデル計算	H20.3～
	松本淳	首都大学東京大学院都市環境科学研究科	教授	モンスーン気候解析	H15.10～
	内田直美	東京大学大学院理学系研究科	M2	モンスーン気候解析	H15.10～H17.3
	藤縄龍治	東京大学大学院理学系研究科	M2	モンスーン気候解析	H15.10～H17.3
	井上知栄	筑波大学大学院生命環境科学研究科	研究員	モンスーン気候解析	H15.10～
	金森大成	首都大学東京大学院年環境科学研究科	リサーチアシスタント	モンスーン降雨解析	H15.10～
	小俣貴裕	東京大学大学院理学系研究科	D1	モンスーン気候解析	H16.4～H20.3
	穂坂直哉	東京大学大学院理学系研究科	M2	モンスーン気候解析	H16.4～H18.3
	堀聡嗣	東京大学大学院理学系研究科	M2	モンスーン気候解析	H16.4～H18.3
	田中裕子	東京大学大学院理学系研究科	M2	インドシナ半島の気候変動とその農業生産への影響	H17.6～H19.3
	Ohnmar Htway	東京大学大学院理学系研究科	D1	モンスーン気候解析	H20.4～
	山島亮二	首都大学東京大学院年環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析モデル	H20.4～
	渡辺穰次	首都大学東京大学院年環境科学研究科	M1	モンスーン気候解析	H20.4～
	里村幹夫	静岡大学理学部・静岡大学防災総合センター	教授・センター長	モンスーン季節変化に伴う水蒸気の変化	H15.10～
	熊元淳美	静岡大学理工学研究科	M2	GPS 可降水量	H17.2～H19.3
	豊田和真	静岡大学理工学研究科	D2	GPS 気象学	H17.8～H19.3
	伊藤広和	静岡大学理工学研究科	M2	ランビル国立公園 GPS 可降水量解析	H19.5～H20.3

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
	濱啓恵	静岡大学理工学研究科	M2	タイの GPS 可降水量解析	H19.5～H20.3
	請井和之	静岡大学理工学研究科	M1	タイの GPS 可降水量解析	H20.4～
	川村隆一	富山大学理学部	教授	モンスーン気候解析	H15.10～
	馬淵和雄	気象研究所環境・応用気象研究部	主任研究官	気候モデルを用いた数値実験	H15.10～
	藤原正智	北海道大学大学院地球環境科学研究科	准教授	モンスーン季節変化に伴う水蒸気の変化	H15.10～
	植田宏昭	筑波大学大学院生命環境科学研究科	講師	モンスーン気候解析	H15.10～
	石崎紀子	筑波大学生命環境科学研究科	D3	モンスーン気候解析	H15.10～H20.3
	井上智亜	筑波大学生命環境科学研究科	D3	熱帯大気解析	H15.10～H19.3
	大庭雅道	筑波大学陸域環境研究センター	準研究員	モンスーン気候解析	H16.12～
	堀正岳	筑波大学生命環境科学研究科	準研究員	東南アジア域の領域気候モデリング	H16.12～H18.3
	加納忍	筑波大学環境科学研究科	M2	東南アジア域の領域気候モデリング	H16.2～H18.3
	山田尚志	筑波大学大学院生命環境科学研究科	D2	モンスーン気候解析	H19.4～H20.3
	池上久通	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～
	釜江陽一	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～
	楠喜朗	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～H20.3
	平山歩	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～H20.3
	二見昌好	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～H20.3
	小林千津	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～H20.3
	廣瀬祐城	筑波大学大学院生命環境科学研究科	M2	モンスーン気候解析	H19.4～
	高橋洋	名古屋大学環境学研究科	D3	モンスーン気候解析	H15.10～H20.3

§ 5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Food See Lai (マレーシアアプトラ大学理学・環境学部、助教授)	「アジア湿潤地域の森林と水」に関するワークショップにて発表	Sutera Harbour Resort (Kota Kinabalu, Malaysia)	2004.7.9-13
Abdul Hamid (マレーシアアプトラ大学理学・環境学部、研究補助員)	「アジア湿潤地域の森林と水」に関するワークショップに参加	Sutera Harbour Resort (Kota Kinabalu, Malaysia)	2004.7.9-13
Sukanjya Vongtanaboon (ラジャバット研究所、講師)	「アジア湿潤地域の森林と水」に関するワークショップにて発表	Sutera Harbour Resort (Kota Kinabalu, Malaysia)	2004.7.9-16
Paolo Dodorico (バージニア大学、Assistant Professor)	CREST ワークショップで水循環の横断的討議に参加	Sheraton Towers Shingapore (Singapore)	2005.6.21-25
Tang Duc Thang (ベトナム南部水資源研究所、副所長)	Asian Water Cycle Symposium でベトナム水文情報を紹介、討議する	フォレスト本郷(東京)	2005.10.31-11.5

§ 6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 22 件、国際(欧文)誌 60 件)
(国内誌)

- 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
- 加藤内蔵進・福田維子・平沢尚彦・東苓・武田喬男・松本淳(2004)東アジアの季節進行の中で見た梅雨と秋雨について.月刊「海洋」/号外、38:235-242
- 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
- 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
- Sato Y, 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
- 蔵治光一郎(2005)「ボルネオ熱帯雨林における夜間 CO₂ フラックス」へのコメント.水文・水資源学会誌、18(3):321-322
- 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. Bulletin of the Tokyo University Forest、113:11-44
- 松本淳・井上知栄(2005)異常気象と地球温暖化.科学、75:1142-1145
- 松本淳・中村和郎・岩田修二・新井正・米倉伸之(2005)日本列島とその周辺の気候.日本の地誌、1, 日本総論 I (自然編) 朝倉書店、P32-36

10. 松本淳・中村和郎・岩田修二・新井正・米倉伸之(2005)季節.日本の地誌,1,日本総論 I(自然編)朝倉書店、P40-49
11. 松本淳・中村和郎・岩田修二・新井正・米倉伸之(2005)日本の気候環境.日本の地誌,1,日本総論 I(自然編)朝倉書店、P178-179
12. 杉谷隆・平井幸弘・松本淳(2005)雨と風.風景のなかの自然地理 改訂版,,古今書院、P117-133
13. 蔵治光一郎・市栄智明(2006)北ボルネオにおける一般気象の季節変動.水文・水資源学会誌、19(2):95-107
14. 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(2):128-138
15. 井上知栄・松本淳(2006)近年の東アジア夏季季節進行にみられる数十年規模変動.月刊「海洋」/号外、44:169-175
16. 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」、38(5):120-132
17. 松本淳(2006)東アジアのモンスーンと屋久島の気候.世界遺産屋久島(共著),朝倉書店、P1-4
18. 田中延亮・久米朋宣・吉藤奈津子・田中克典・瀧澤英紀・白木克繁・小坂泉・Tantasirin C・Tangtham N・鈴木雅一(2007)タイ北部の熱帯季節林における現地観測をベースにした水文気象研究-既往研究の整理と今後の課題-.水文・水資源学会誌、20(4):347-361
19. 馬淵和雄(2007)物理気候モデルへの陸域生態システムの導入とそれによる圏間相互作用研究.物性研究、88(4):507-512
20. 松本淳・山本奈美(2007)世界における最近の降水現象の特徴.天気、54:612-616
21. 松本淳(2007)世界の気象災害.世界の地域問題(共著),ナカニシヤ出版、P10-11
22. 林泰一・松本淳(2008)ベンガル湾のサイクロン Nargis.科学、78(7):698-700

(国際誌)

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. 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
3. 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
4. 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
5. 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 Processes, 18:2455-2474
6. Yasunaga K, Kida H, Satomura T, Nish N (2004) A numerical study on the detrainment of tracers by cumulus convection in TOGA COARE, Journal of the Meteorological Society of Japan, 82(3): 861-878
7. 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, AGU book entitled "Ocean-atmosphere interaction and climate variability", 147: 365-377
8. 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(9): 1109–1120
9. 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*, Vol.109, D23107, doi:10.1029/2004JD004865
 10. 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
 11. Wakabayashi S, Kawamura R (2004) Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82(6):1577–1588
 12. Kawamura R, Suppiah R, Collier M A, Gordon H B (2004) Lagged relationships between ENSO and the Asian Summer Monsoon in the CSIRO coupled model, *Geophysical Research Letters*, Vol.31, L23205, doi:10.1029/2004GL021411
 13. 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
 14. Matsumoto J, Takahara H (2005) Inter-comparisons of seasonal changes between East Asian and South American monsoons: Preliminary results from the CEOP Inter-Monsoon Studies (CIMS), *CEOP Newsletter*, 7:5–7
 15. 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
 16. Mabuchi K, Sato Y, Kida H (2005) Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern hemisphere summer, *Journal of Climate*, 18:410–428
 17. Mabuchi K, Sato Y, Kida H (2005) Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern hemisphere winter and impact on the extratropical circulation, *Journal of Climate*, 18:429–446
 18. 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
 19. 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
 20. Inoue T, Matsumoto J (2005) 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
 21. Yokoi S, Satomura T (2005) An observational study of intraseasonal variations over Southeast Asia during the 1998 rainy season, *Monthly Weather Review*, 133(7):2091–2104
 22. 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*, 1: 89–92
 23. Ueda H (2005) Air–sea coupled process involved in stepwise seasonal evolution of the Asian summer monsoon, *Geographical Review of Japan*, 78(12):825–841
 24. 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*, 1:201–204
 25. Kume T, Kuraji K, Yoshifuji N, Morooka T, Sawano S, Chong L, Suzuki M (2006) 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
26. 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*, 2:41–44
 27. Hori M E, Ueda H (2006) 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
 28. Ueda H, Iwai A, Kuwako K, Hori M E (2006) Impact of anthropogenic forcing on the Asian summer monsoon as revealed by simulated 8 GCMs, *Geographical Research Letter*, 33, L06703, doi:10.1029/2005GL025336
 29. 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, 2:37–40
 30. 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
 31. 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
 32. 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*, 229:333–339
 33. Mabuchi K, Kida H (2006) On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data, *International Environmental Modelling and Software Society*, Burlington, USA, CD-ROM
 34. 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*, 134(8): 2251–2265
 35. Sakai S, Harrison R D, Momose K, Kuraji K, Nagamasu H, Yasunari T, Chong L, Nakashizuka T (2006) Irregular droughts trigger mass flowering in aseasonal tropical forests in Asia, *American Journal of Botany*, 93(8):1134–1139
 36. Manfroio O J, Kuraji K, Suzuki M, Tanaka N, Kume T, Nakagawa M, Kumagai T, Nakashizuka T (2006) 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*, 329(1–2): 329–349
 37. Ohba M, Ueda H (2006) A role of Zonal Gradient of SST between the Indian Ocean and the Western Pacific in Localized Convection around the Philippines, *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, Meteorological Society of Japan, 2:176–179
 38. Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, Tanaka K, Tanaka N, Tantasirin C, Suzuki M (2007) Impact of soil drought due to seasonal and inter-annual variability of rainfall on sap flow and water status of evergreen trees in a tropical monsoon forest in northern Thailand, *Forest Ecology and Management*, 238:220–230
 39. He J H, Sun C H, Liu Y Y, Matsumoto J, Li W J (2007) Seasonal Transition Features of Large-Scale Moisture Transport in the Asian–Australian Monsoon Region, *Advances in Atmospheric Sciences*, 24:1–14
 40. Ogasawara T, Kawamura R (2007) Combined effects of teleconnection patterns on anomalous summer weather in Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 85(1):11–24

41. Ohashi M, Kume T, Yamane S, Suzuki M (2007) Hot Spots of soil respiration in an Asian tropical rainforest, *Geophysical Research Letters*, Vol.34, L08705, doi:10.1029/2007GL029587, 2007
42. Sawano S, Hotta N, Komatsu H, Suzuki M, Yayama T (2007) Evaluating of Evapotranspiration in Forested Areas in the Mekong Basin Using GIS Data Analysis, *Forest Environments in the Mekong River Basin*, P36–44
43. Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, Tanaka K, Tanaka N, Tantasirin C, Suzuki M (2007) Severe drought Resulting from Seasonal and interannual Variability in Rainfall and Its Impact on Transpiration in a Hill Evergreen Forest in Northern Thailand, *Forest Environments in the Mekong River Basin*, P45–55
44. Yoshifuji N, Tanaka N, Tantasirin C, Suzuki M (2007) Factors Affecting Interannual Variability in Transpiration in a Tropical Seasonal Forest in Northern Thailand: Growing Season Length and Soil Drought, *Forest Environments in the Mekong River Basin*, P56–66
45. Kuraji K, Punyatrang K, Sirisaiyard I, Tantasirin C, Tanaka N (2007) Scale Dependency of Hydrological Characteristics in the Upper Ping River Basin, Northern Thailand, *Forest Environments in the Mekong River Basin*, P67–74
46. Ohba M, Ueda H (2007) An impact of SST anomalies in the Indian Ocean in Acceleration of the El Niño to La Niña Transition, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 85(3):335–348
47. Yamada K, Kawamura R (2007) Dynamical link between typhoon activity and the PJ teleconnection pattern from early summer to autumn as revealed by the JRA-25 reanalysis, *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, *Meteorological Society of Japan*, 3: 65–68
48. Hashimoto S, Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Hotta N, Tanaka K, Suzuki M (2007) Seasonality of vertically partitioned soil CO₂ production in temperate and tropical forest, *Journal of Forest Research*, 12(3): 209–221
49. Wu P, Hara M, Fudeyasu H, Yamanaka M D, Matsumoto J, Syamsudin F, Sulistyowati R, Djajadihardja Y S (2007) The Impact of Trans-equatorial Monsoon Flow on the Formation of Repeated Torrential Rains over Java Island, *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, *Meteorological Society of Japan*, 3:93–96
50. Inoue T, Matsumoto J (2007) Abrupt climate changes observed in late August over central Japan between 1983 and 1984, *Journal of Climate*, DOI:10.1175/JCLI4217.1
51. Yokoi S, Satomura T, Matsumoto J (2007) Climatological Characteristics of the Intraseasonal Variation of Precipitation over the Indochina Peninsula, *Journal of Climate*, 20(21): 5301–5315 :DOI: 10.1175/2007JCLI1357.1
52. Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, Tantasirin C, Tangtham N, Suzuki M (2008) A review of evapotranspiration estimates from tropical forests in Thailand and adjacent regions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148:807–819
53. Kamoi T, Tanaka K, Kuraji K, Momose K (2008) Abortion of reproductive organs as an adaptation to fluctuating daily carbohydrate production, *Oecologia*, 154: 663–677
54. Kume T, Manfroi O J, Kuraji K, Tanaka N, Horiuchi T, Suzuki M, Kumagai T (2008) Estimation of canopy water storage capacity from sap flow measurements in a Bornean tropical rainforest, *Journal of Hydrology*, 352(3–4):288–295
55. Kume T, Komatsu H, Kuraji K, Suzuki M (2008) Less than 20-minute time lag between transpiration and sap flow in emergent trees in a Bornean tropical rainforest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148:1181–1189
56. Kume T, Manfroi O J, Suzuki M, Tanaka K, Kuraji K, Nakagawa M, Komatsu H, Kumagai T (2008) Estimation of vertical profiles of leaf drying times after daytime rainfall within a Bornean tropical rainforest, *Hydrological Processes*, 22:3689–3696
57. Yokoi S, Matsumoto J (2008) Collaborative effects of cold surge and tropical depression-type disturbance on heavy rainfall in central Vietnam, *Monthly Weather Review*, 136(9):3275–3287

58. Yokoi S, Satomura T (2008) Geographical distribution of variance of intraseasonal variations in western Indochina as revealed from radar reflectivity data, *Journal of Climate*, DOI: 10.1175/2008JCLI2153.1
59. Ohba M, Ueda H (2008) Role of Nonlinear Atmospheric Response to SST on the Asymmetric Transition Process of ENSO, *Journal of Climate*, (in press)
60. Ohba M, Ueda H, Seasonally Different Response of the Indian Ocean to the El Niño-Related Walker Circulation, *Geophysical Research Letters* (投稿中)

(2)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

①招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 5 件)

(国内会議)

1. 鈴木雅一(2005)「植生が気候を変える？」ー水循環を通した気候・生態系の相互作用ー.名古屋大学地球水循環センター公開講演会、名古屋大学 2005 年 12 月 17 日

(国際会議)

1. Satomura T (2004) Diurnal variation of precipitation in south and southeast Asia, The Fourth International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM4), Kunming China, 27 May 2004
2. Suzuki M (2005) Strategy for land surface flux monitoring in tropical monsoon climate, Executive Authority Confederacy Forum on Hydro-informatics Harmonious Solidarity, Kanchanaburi, Thailand, 5 November 2005
3. Suzuki M, Kuraji K, Kumagai T (2005) Water and carbon budget of a lowland tropical rainforest in Sarawak, Malaysia, International symposium on forest ecology, hydrometeorology and forest ecosystem rehabilitation in Sarawak, Sarawak Kuching Malaysia, 30 November 2005
4. Satomura T, Sugino M (2006) Numerical simulation of precipitation caused by typhoon Usagi, The Vietnam-Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 20 August 2006
5. Satomura T (2008) Monsoon Precipitation Variation in Indochina, Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns Australia, 30 July 2008

②口頭発表 (国内会議 43 件、国際会議 96 件)

(国内会議)

1. 石崎紀子(2004)夏季アジアモンスーンオンセット前後の熱水収支解析ーインドシナ半島周辺にみられる地域性ー.GAME-II モンスーンシステム研究 第2回国内ワークショップ、恵那市、2004 年 2 月 8 日
2. 植田宏昭(2004) Diabatic and Adiabatic Processes Relevant to the Establishment of the Monsoon.GAME-II モンスーンシステム研究 第2回国内ワークショップ、恵那市、2004 年 2 月 8 日
3. 井上智亜(2004) Split Window データを用いたベンガル湾における雲型判別.GAME-II モンスーンシステム研究 第2回国内ワークショップ、恵那市、2004 年 2 月 9 日
4. 橋本昌司・鈴木雅一・Tantasirin C・Tangtham N(2004)タイ北部熱帯季節林の丘陵性常緑林における土壌呼吸温度反応特性.第115回日本林学会大会、東京大学、2004 年 4 月 2 日
5. 川村隆一・Suppiah R・Collier M・Gordon H (2004) CSIRO 気候モデルで再現された ENSOーモンスーン結合.日本気象学会 2004 年度春季大会、東京、2004 年 5 月 18 日
6. Saitoh T M, Kumagai T, Sato Y, Suzuki M (2004) Carbon dioxide exchange over a Bornean tropical rainforest. International Symposium on Food Production and Environmental Conservation in the Face of Global Environmental Deterioration、福岡市、2004 年 9 月 7 日～11 日

7. 馬淵和雄・木田秀次 (2004) 陸面植生モデル BAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ全球気候モデルによる予備的数値実験. 日本気象学会 2004 年度秋季大会、福岡市、2004 年 10 月 6 日
8. 石崎紀子(2004)インドシナ半島とベンガル湾における夏季アジアモンスーンオンセット期の加熱場の季節変化. 日本気象学会 2004 年度秋季大会、福岡市、2004 年 10 月 8 日
9. 木口雅司・松本淳(2004)インドシナ半島におけるプレモンスーン期の降水現象. 日本気象学会 2004 年度秋季大会、福岡市、2004 年 10 月 8 日
10. 植田宏昭(2005)アジアモンスーンの形成とその変動. 気象研究所研究発表会、つくば市、2005 年 2 月 15 日
11. 馬淵和雄・佐藤康雄・木田秀次(2005)アジア域熱帯林変動が気候に及ぼす影響について. 気候植生フォーラム、東京、2005 年 3 月 25 日
12. 熊谷朝臣(2005)温暖化が進むとランビルの森の水・炭素循環はどうなるのか？ー単純プロセスモデルと確率過程を利用した解析ー. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 29 日
13. 横井覚・里村雄彦(2005)ベンガル湾上における 10-25 日周期渦擾乱の北進メカニズム. 日本気象学会 2005 年度春季大会、東京大学、2005 年 5 月 15 日
14. 井上知栄・松本淳(2005)ユーラシア東部における再解析データの気圧・高度場の長期比較. 日本気象学会 2005 年度春季大会、東京大学、2005 年 5 月 16 日
15. 馬淵和雄・木田秀次(2005)陸面植生モデル BAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ気候モデルによる数値実験 (II). 日本気象学会 2005 年度春季大会、東京大学、2005 年 5 月 16 日
16. 馬淵和雄・木田秀次(2005)陸面植生モデル BAIM2 を組み込んだ全球気候モデルによる炭素循環数値実験. 日本気象学会 2005 年度秋季大会、神戸大学、2005 年 11 月 20 日
17. 馬淵和雄(2005)全球気候モデルを用いた植生と気候の相互作用に関する数値実験. 第 5 回名古屋大学地球水循環研究センター公開講演会、名古屋市、2005 年 12 月 17 日
18. 植田宏昭・大庭雅道(2006)モンスーン域内での大気海洋相互作用の特異性. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 22 日
19. 馬淵和雄・木田秀次(2006)アジア熱帯域森林植生変動が炭素循環に与える影響についてー BAIM2 を導入した全球気候モデルによる数値実験ー. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 23 日
20. 横井覚・里村雄彦・松本淳(2006)インドシナ半島における降水季節内変動の気候学的特徴. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 24 日
21. 馬淵和雄(2006)物理気候モデルへの陸域生態システムの導入とそれによる圏間相互作用研究. 「環境物理学ー先端境界領域の創出へ向けて」研究会、京都市、2006 年 6 月 13 日
22. 木口雅司・宮崎真・Wonsik Kim・鼎信次郎・沖大幹・松本淳・里村雄彦(2006)インドシナ半島におけるプレモンスーン期の陸面熱フラックス. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会、岡山大学、2006 年 8 月 29 日
23. 田中延亮・鈴木雅一(2006)霧発生による森林樹冠部への水分供給量推定値の妥当性の一検討法. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会、岡山大学、2006 年 8 月 29 日
24. 宮川知己・里村雄彦・高薮縁(2006)ベンガル湾上で MCS の南進が見られる時の背景場およびその果たす役割. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 26 日
25. 吉藤奈津子・田中延亮・鈴木雅一・Tantasirin C(2007)タイ北部の落葉性チーク林における着葉期間・蒸散期間の年々変動に対する土壌水分の影響. 第 118 回日本森林学会大会、九州大学、2007 年 4 月 3 日
26. 横井覚・松本淳(2007)北東アジアモンスーン発達期のコールドサージと中部ベトナムにおける豪雨. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、2007 年 5 月 22 日
27. 里村雄彦・杉埜水脈(2007)インドシナ半島を西進する熱帯低気圧の循環について. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、2007 年 5 月 22 日
28. 松本淳・里村雄彦・樋口篤志・鼎信次郎・横井覚(2007)MAHASRI (モンスーンアジア水文気候研究計画). 日本地球惑星科学連合 2007 年大会、千葉市、2007 年 5 月 22 日

29. 松本淳(2007)モンスーンアジア水文気候研究計画(MAHASRI)と東南アジア諸国における関連共同研究の諸問題.平成 19 年度・海外学術調査総括班フォーラム、東京、2007 年 6 月 23 日
30. 横井寛・松本淳(2007)インドシナ半島東岸での豪雨時における総観規模的特徴.日本気象学会 2007 年度秋季大会、札幌、2007 年 10 月 14 日
31. 伍培明・原政之・筆保弘徳・山中大学・松本淳・Fadli Syamsudin・Reni Sulistyowate・Yusuf S・Djajadihardja(2007)赤道越え冬季アジアモンスーンによるジャカルタ豪雨.日本気象学会 2007 年度秋季大会、札幌、2007 年 10 月 14 日
32. 藤部文昭・松本淳・小林健二(2007)区内観測による日降水量データのデジタル化と降水長期変動解析への利用.日本気象学会 2007 年度秋季大会、札幌、2007 年 10 月 16 日
33. Htway O・Matsumoto J・Takahashi M(2007)Interannual variations of summer monsoon onset over Myanmar.日本気象学会 2007 年度秋季大会、札幌、2007 年 10 月 14 日～10 月 16 日
34. 金森大成・蔵治光一郎・安成哲三(2007)海洋大陸上における対流・降水活動の季節内変動に伴う日周変化特性.平成 19 年度気象学会中部支部研究会、愛知、2007 年 11 月 7 日
35. 松本淳(2007)MAHASRI と AMY.MAHASRI 国内研究集会、強羅、2007 年 12 月 18 日
36. 松本淳(2008)モンスーンアジア水文気候研究計画とアジアモンスーン観測年.気象庁第 73 回気候問題懇談会、東京、2008 年 2 月 26 日
37. 久米朋宣(2008)森林生態系の蒸発散－単木スケールの樹液流計測からのアプローチ.第 55 回日本生態学会大会、福岡市、2008 年 3 月 15 日
38. 佐藤晋介・久保田拓志・蔵治光一郎・松本淳(2008)東南アジアにおける陸上降雨量の推定精度.日本気象学会 2008 年度春季大会、横浜市、2008 年 5 月 18 日
39. 山本恵子・里村雄彦(2008)ラオスの気象レーダーを用いたビエンチャン近郊の降水特性について－速報－.日本気象学会 2008 年度春季大会、横浜市、2008 年 5 月 18 日
40. 馬淵和雄(2008)アジア域熱帯林減少の地域的な水・炭素収支への影響に関する新たな数値実験について.日本気象学会 2008 年度春季大会、横浜市、2008 年 5 月 19 日
41. Wu P,Hamada J-I,Yamanaka M D,Matsumoto J,Hara M(2008)The impact of orographically induced gravity wave on the diurnal cycle of rainfall over Southeast Kalimantan Island.日本気象学会 2008 年度春季大会、横浜市、2008 年 5 月 21 日
42. Matsumoto J,Bin WANG,Guoxiong WU,Jianping LI,Dongxiao WANG,Dong-In Lee,Ai Likun,Koike T,Peiping Wu,Mori S,Ogino S,Yamanaka D M,Higuchi A,Yokoi S(2008)AMY (Asian Monsoon Years) Coordinated Observations.日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、2008 年 5 月 30 日
43. 蔵治光一郎・Kowit Punyatrong(2008)タイ・メーチャム流域における 10 年間の降水量観測.水文・水資源学会 2008 年度研究発表会、東京大学生産技術研究所、2008 年 8 月 26 日

(国際会議)

1. Satomura T (2004) Non-hydrostatic feature of precipitation. The Third Workshop on Regional Climate Modeling for Monsoon System, Honolulu Hawaii USA, 17 February 2004
2. Satomura T,Akiba S,Ishikawa Y (2004) An attempt toward a precise regional non-hydrostatic climate model. International Asian Monsoon Symposium, Honolulu Hawaii USA, 18 February 2004
3. Yokoi S (2004) Westward propagating mechanisms of sub-monthly scale disturbances during summer Asian monsoon season. International Asian Monsoon Symposium,Honolulu Hawaii USA, 20 February 2004
4. Ueda H (2004) Diabatic and adiabatic processes over the Tibetan Plateau relevant to the establishment of the Asian summer monsoon. The Fourth International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM4), Kunming China,25 May 2004
5. Kawamura R,Suppiah R,Collier M,Gordon H (2004) Delayed Impact of El Nino-Southern Oscillation on the South Asian Summer Monsoon in the CSIRO Climate Model.The Fourth

- International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM4), Kunming China, 25–28 May 2004
6. Inoue T, Matsumoto J (2004) Recent interdecadal changes observed in the summer seasonal marches over East Asia. The Fourth International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM4), Kunming China, 27 May 2004
 7. Kuraji K, Tanaka N (2004) Rainfall Interception studies of tropical forests in Asia. Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW2004), Singapore, 6 July 2004
 8. Kuraji K (2004) Hydrological characteristics of small watersheds in Sabah: hill dipterocarp forest in Sapulut and Macaranga forest in Ulu Kalumpang. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 10 July 2004
 9. Tanaka N, Tantasirin C, Suzuki M, Tangtham N (2004) Inter-annual Variation in Rainfall Interception in a Hill Evergreen Forest, Northern Thailand. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 10 July 2004
 10. Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M, Tanaka N, Morooka T, Kume T (2004) Comparing yearlong rainfall interception loss in small and large plot of a lowland tropical forest in Lambir, Sarawak, Malaysia. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 10–12 July 2004
 11. Kuraji K, Kume T, Manfroi O J, Morooka T, Kumagai T, Suzuki M (2004) Long-term micro-meteorological monitoring and some findings in relation to the possible proximate cue of general flowering events in Dipterocarp forest, Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
 12. Kume T, Kuraji K, Yoshifuji N, Suzuki M (2004) Estimation of Canopy Drying Time after Rainfall Using Sap Flow Measurements in an Emergent Tree in a Lowland Tropical Forest in Sarawak, Malaysia. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
 13. Yoshifuji N, Kume T, Tanaka N, Takizawa H, Kuraji K, Suzuki M, Tantasirin C (2004) Comparison of Long-Term Tree Transpiration Patterns at Deciduous Teak Forest, Hill-Evergreen Forest and Rain Forest in Tropical Monsoon Asia Using Heat Pulse Velocity. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
 14. Han She Lim, Keith Richards, Kuraji K (2004) Runoff Response of Small Forested Catchments in the Seasonally Humid Tropics: Identification of Runoff Processes and Modelling. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
 15. Hashimoto S, Suzuki M (2004) Soil respiration and soil CO₂ concentration in a hill evergreen forest, Thailand: observation data and numerical simulations. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
 16. Tanaka N, Kuraji K, Chatchai Tantasirin, Takizawa N, Nipon Tantham, Suzuki M (2004) Relationships between rainfall, fog and throughfall at a hill evergreen forest site in Northern Thailand. Second International Symposium, Mountains in the mist: Science for Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forest, Hawaii USA, 30 July 2004
 17. Satomura T (2004) Diurnal variation of precipitation in several regions in tropical Asia. Workshop on American Monsoons System Held in The Context of The Coordinated Enhanced Observing Period Inter-Monsoon Model Study (Cims) Project, Montevideo Uruguay, 18 September 2004
 18. Yokoi S, Satomura T (2004) Effects of mean flow on movement of intra-seasonal disturbances in the Asian monsoon region during the boreal summer. The 2nd KAGI21 International Symposium, Beppu Oita, 3 November 2004
 19. Tomotsugu Inoue, Ueda H, Toshiro Inoue (2004) Features of cloud types over the Bay of Bengal using split window measurements and TRMM satellite data. The 6th International Study

- Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3 December 2004
20. Kataoka A, Satomura T (2004) Numerical experiments on the late night–early morning maximum of rainfall in the northeastern Bangladesh. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3 December 2004
 21. Ishizaki N, Ueda H (2004) Contrasting feature of the seasonal heating between the Indochina Peninsula and the Bay of Bengal. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 4 December 2004
 22. Kuraji K, Kowit Punyatrang, Issara Sirisaiyard (2004) Six years intensive rainfall observation in Mae Chaem Watershed, Northern Thailand. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3–5 December 2004
 23. Satomura M, Toyota K, Takizawa H, Kume T, Wu P, Shimada S (2005) Precipitable water vapor variation at KogMa obtained from GPS data. Interdisciplinary Workshop on Multi-scale Governance of Forests, Village and Water in the Upper Ping River Basin, Northern Thailand, Chiang Mai Thailand, 8 March 2005
 24. Ueda H (2005) Direct and indirect impact of ENSO-related tropical heat sources on anomalous climate in Asia. The First International Symposium by the China, Korea and Japan Meteorological Societies—Atmospheric Sciences in East Asia—, The University of Tokyo, 14 May 2005
 25. Yokoi S, Satomura T (2005) Mechanisms of northward movement of sub-monthly-scale disturbances over the Bay of Bengal. The Asia Oceania Geosciences Society's 2nd Annual Meeting, Singapore, 20 June 2005
 26. Kiguchi M, Matsumoto J (2005) The rainfall phenomena during the pre-monsoon period over the Indochina Peninsula. 5th International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle, California USA, 22 June 2005
 27. Kataoka A, Satomura T (2005) Diurnal variation of precipitation in the northeastern Bangladesh. Scientific Assembly of the International Association of meteorology and Atmospheric Sciences, Beijing China, 5 August 2005
 28. Ohba M, Ueda H (2005) Seasonal development of basin-wide warming in the Indian Ocean associated with the El Niño. The 5th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM5), Korea, 13 October 2005
 29. Kiguchi M, Satomura T, Matsumoto J (2005) The diurnal cycle of rainfall around the central area of Thailand. Executive Authority Confederacy Forum on Hydro-Informatics Harmonious Solidarity, Kanchanaburi Thailand, 5 November 2005
 30. Tanaka N, Kuraji K, Tantasirin C, Takizawa H, Suzuki M, Tangtham N, Yoshifuji N, Kume T (2005) Effects of fog on water budget in hill evergreen forest. Executive Authority Confederacy Forum on Hydro-Informatics Harmonious Solidarity, Kanchanaburi Thailand, 5 November 2005
 31. Yoshifuji N, Tanaka N, Suzuki M, Tantasirin C (2005) Preliminary assessment of factors affecting inter-annual variability in transpiration in a tropical seasonal forest in northern Thailand: growing season length and soil drought. International Conference on Forest Environment in continental river basins; with a focus on the Mekong River, Phnom Penh Cambodia, 5 November 2005
 32. Satomura M, Sununtha K, Horikawa M, Toyota K (2005) Precipitable water vapor change at Khon Kaen and KogMa. Executive Authority Confederacy Forum on Hydro-Informatics Harmonious Solidarity, Kanchanaburi Thailand, 5 November 2005
 33. Kiguchi M, Satomura T, Matsumoto J (2005) The pre-monsoon rainfall phenomena and its simulation using MM5 over the Indochina. 3rd KAGI21 International Symposium, Wuhan China, 8–9 November 2005
 34. Kamoi T, Tanaka K, Kuraji K, Momose K (2005) Abortion of reproductive organs to adjust reproductive costs to the daily fluctuating production of a tropical pioneer *Melastoma*

- malabathricum (Melastomataceae). International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 29–30 November 2005
35. Kuraji K, Ichie T (2005) Seasonal change of general meteorological factors in the North Borneo, East Malaysia. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 29–30 November 2005
 36. Kume T, Manfroi O J, Kuraji K, Nitta H, Horiuchi T, Suzuki M (2005) Assessing the seasonal and inter-annual variability of evapotranspiration based on the big-leaf model in a lowland tropical rainforest, Sarawak, Malaysia. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
 37. Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M, Tanaka N, Kume T (2005) Long-term interception evaporation from lowland tropical rainforest in Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
 38. Shiraki K, Wakahara T (2005) Runoff characteristics and water balance at Lambir hills catchment. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
 39. Kiguchi M, Satomura T, Matsumoto J (2005) The rainfall phenomena during the pre-monsoon period over the Indochina Peninsula. International Symposium on Fluvial and Coastal Disasters, Kyoto Japan, 1–2 December 2005
 40. Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, Tanaka N, Tanaka K, Tantasirin C, Suzuki M (2005) Severe drought due to seasonal and inter-annual variability of rainfall and its impact on transpiration in a hill evergreen forest, northern Thailand. International Conference on Forest Environment in continental river basins; with a focus on the Mekong River, Phnom Penh Cambodia, 5 December 2005
 41. Kuraji K, Kowit Punyatrang, Issara Sirisaiyard, Chatchai Tantasirin, Tanaka N (2005) Scale dependency of hydrological characteristics in the upper Ping river basin, northern Thailand. International Conference on Forest Environment in continental river basins; with a focus on the Mekong River, Phnom Penh Cambodia, 5–7 December 2005
 42. Matsumoto J, Fujinawa R (2006) Autumnal rainfall trend and outhwest/northeast monsoon alternation in Indochina. Symposium on Asian Winter Monsoon Winter MONEX: A Quarter Century and Beyond (WMONEX 25+), Kuala Lumpur Malaysia, 6 April 2006
 43. Matsumoto J, Satomura T, Wu P M, Mori S, Hamada J, Sakurai N, Yamanaka M D, Higuchi A, Kanae S, Yokoi S, Oki T (2006) MAHASRI International Symposium on Global Change. Asian Monsoon and Extreme weather and Climate, Taipei Taiwan, 19 June 2006
 44. Mabuchi K, Kida H (2006) On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data. Third Biennial Meeting of International Environmental Modelling and Software Society, Burlington USA, 12 July 2006
 45. Matsumoto J (2006) MAHASRI—the New International Program on Asian Monsoon. The Vietnam–Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 18 August 2006
 46. Yokoi S, Satomura T, Matsumoto J (2006) Intraseasonal Variations in Precipitation over the Indochina Peninsula. The Vietnam–Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 19 August 2006
 47. Agata Y, Matsumoto J, Kiguchi M, Satomura T, Yokoi S (2006) Seasonal and diurnal rainfall variability in central Viet Nam revealed from MAHASRI and GEOSS rainfall measurement. The Vietnam–Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 19 August 2006
 48. Ogino S, Nodzu I M, Hoang Thuy Ha, Tachibana Y, Fujiwara M, Satomura T, Matsumoto J, Nguyen Thi Tan Thanh (2006) Temperature inversion layers over the Indochina Peninsula. The Vietnam–Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 19 August 2006

49. Satomura T, Sugino M (2006) Numerical simulation of precipitation caused by typhoon Usagi. The Vietnam–Japan Joint Workshop on Asian Monsoon, Ha Long Vietnam, 20 August 2006
50. Kiguchi M, Matsumoto J, Satomura T (2006) The Rainfall Phenomena during the Pre-monsoon Period over the Indochina Peninsula. Western Pacific Geophysics Meeting, Beijing China, 26 August 2006
51. Yokoi S, Satomura T, Matsumoto J (2006) Study on the Intraseasonal Variations of Precipitation over the Indochina Peninsula. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 16 October 2006
52. Tanaka N, Kuraji K, Tantasirin C, Takizawa H, Yoshifuji N, Kume T, Tangtham N, Suzuki M (2006) Effects of fog on the water budget of a hill evergreen forest in northern Thailand. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 16 October 2006
53. Miyakawa T, Satomura T (2006) Mesoscale cloud clusters moving southward over the Bay of Bengal. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 17 October 2006
54. Satomura T (2006) Numerical experiments on Typhoon USAGI, 2001, over the Indochina. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 18 October 2006
55. Matsumoto J (2006) MAHASRI—the new international program on Asian monsoon research. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 18 October 2006
56. Kume T, Manfroio O J, Kuraji K, Arata H, Horiuchi T, Tanaka N, Suzuki M (2006) Annual and seasonal variations in evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. Asia Forest Workshop 2006, Kyushu University, 14 November 2006
57. Mabuchi K, Kida H (2006) Numerical experiment of the relationship between the carbon balance and the climate under deforestation conditions in the Asian tropical region. American Geophysical Union, Fall 2006 Meeting, San Francisco USA, 14 December 2006
58. Sununtha K, Sarintip T, Satomura M (2007) Monitoring precipitation from precipitable water vapor (PWV) based on GPS observation. International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, Khon Kaen Thailand, 22 January 2007
59. Satomura T (2007) Regional climate modeling and predictability study. CLIVA Asia–Australia Monsoon Panel Meeting, Honolulu USA, 19 February 2007
60. Matsumoto J, Satomura T, Wu P M, Mori S, Hamada J, Sakurai N, Yamanaka M D, Higuchi A, Kanae S, Yokoi S, Oki T (2007) MAHASRI and AMY'08. The 21st Pacific Science Congress, P197, Okinawa Japan, 16 June 2007
61. Endo N, Ohnmar Htway, Inoue T, Matsumoto J, Tun Lwin (2007) Interannual Variations in Precipitation Characteristics in Southeast Asia. The 21st Pacific Science Congress, P194, Okinawa Japan, 17 June 2007
62. Gomyo M, Kuraji K, Suzuki M, Kitayama K (2007) Characteristics of stream water chemistry in Mt. Kinabalu, Malaysia. International Association of Geomorphologists Regional Conference, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 28 June 2007
63. Yokoi S, Satomura T, Matsumoto J (2007) Regionality in characteristics of intraseasonal variations over the Indochina Peninsula. International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, Perugia Italy, 10 July 2007
64. Nakata J, Satomura T (2007) Systematic Errors in the Daily mean Heat Flux due to the Errors of Diurnal Variation of Solar Radiation in a Canopy Model. International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, Perugia Italy, 10 July 2007

65. Matsumoto J, Satomura T, Mori S, Wu P, Hamada J, Sakurai N, Yamanaka M D, Higuchi A., Kanae S, Yokoi S, Oki T (2007) MAHASRI the new international Asian monsoon research project. International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, Perugia Italy, 11 July 2007
66. Satomura T, Sugino M (2007) On Weakly Dissipated Tropical Cyclones over Indochina. International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, Perugia Italy, 13 July 2007
67. Tanaka N, Nanko K, Suzuki M (2007) Performance comparisons between Juvik fog gauge and a visibility sensor for monitoring of fog and cloud water. Fourth International Conference on Fog, Fog Collection and Dew 2007, La Serena Chile, 27 July 2007
68. Terao T, Matsumoto J (2007) MAHASRI & AMY08 Programmes. Celebrating the Monsoon An International Monsoon Conference, Bangalore India, 28 July 2007
69. Oki T, Komori D, Kanae S, Satomura T, Matsumoto J (2007) New challenges in the hydrometeorological studies in the Indochina Peninsula. The 4th Asian Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Bangkok Thailand, 30 July–4 August 2007
70. Matsumoto J (2007) MAHASRI and AMY'08. The 4th Asian Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Bangkok Thailand, 31 July 2007
71. Yokoi S, Matsumoto J (2007) Cold surge in developing phase of northeasterly Asian monsoon and their relationship with heavy rainfall in central Vietnam. The 4th Asian Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Bangkok Thailand, 1 August 2007
72. Satomura M, Touma S, Shimada S, Sununtha K (2007) Precipitable water vapor change obtained by means of GPS and its application to the monsoon season at Khon Kaen, Thailand. The 4th Asian Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Bangkok Thailand, 2 August 2007
73. Matsumoto J (2007) MAHASRI and AMY'08. International Workshop on Semi-arid Land Surface–Atmosphere Interaction, Lanzhou China, 10 August 2007
74. Matsumoto J, Endo N, Ailikon B, Yasunari T, Htway O, Inoue T, Lwin T, Kadota T (2007) Changes of precipitation characteristics in East and Southeast Asia from 1961 to 2000. International Workshop on Semi-arid Land Surface–Atmosphere Interaction, Lanzhou China, 2 August 2007
75. Yoshifuji N, Tanaka K, Tanaka N., Tantasirin C, Suzuki M (2007) Seasonal variation in energy partitioning over a tropical deciduous forest in northern Thailand. AsiaFlux Workshop 2007, Taipei Taiwan, 19 October 2007
76. Wu P, Yamanaka M D, Matsumoto J (2007) The formation of nocturnal rainfall offshore from convection over western Kalimantan (Borneo) Island. The Third China–Korea–Japan Joint Conference on Meteorology, Beijing China, 14 November 2007
77. Kawamura R, Ogasawara T (2007) Combined effects of teleconnection patterns on the East Asian summer monsoon variability. The Third China–Korea–Japan Joint Conference on Meteorology, Beijing China, 14 November 2007
78. Yokoi S, Matsumoto J (2007) A heavy rainfall event in central Vietnam and collaboration effect of a cold surge and tropical intraseasonal variability. The Third China–Korea–Japan Joint Conference on Meteorology, Beijing China, 16 November 2007
79. Wu P, Hara M, Fudeyasu H, Yamanaka M D, Matsumoto J, Syamsudin F, Sulistyowati R, Djajadihardja Y S (2007) The Impact of trans-equatorial Monsoon Flow on the Formation of Repeated Torrential Rains over Java Island. The Third China–Korea–Japan Joint Conference on Meteorology, Beijing China, 16 November 2007
80. Matsumoto J (2007) MAHASRI/AMY. International Implementation Workshop of the East Asian Monsoon Field Experiment, Chung-Li Taiwan, 19 November 2007
81. Yokoi S, Matsumoto J (2007) Heavy rainfalls in central Vietnam and cold surges from China. The 6th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM6), Fukuoka Japan, 10 December 2007

82. Fujiwara M, Iwasaki S, Shimizu A, Shiotani M, Matsuura H, Inai Y, Hasebe F, Matsui I, Sugimoto N, Okamoto H, Yoneyama K, Hamada A, Nishi N, Immler F (2007) Cirrus observations in the Tropical Tropopause Layer over the western Pacific. American Geophysical Union, Fall 2007 Meeting, San Francisco USA, 12 December 2007
83. Htway O, Matsumoto J, Takahashi M (2007) The controlling factor of the interannual variations of summer monsoon onset over Myanmar. The 6th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM6), Fukuoka Japan, 13 December 2007
84. Wu P, Hamada J I, Yamanaka M D, Matsumoto J, Hara M (2007) Why Rainfall Rarely Occurs over Southeast Kalimantan (Borneo) Island in the Late Afternoon and Evening. The 6th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM6), Fukuoka Japan, 13 December 2007
85. Ogino S Y, Nodzu M I, Ha H T, Fujiwara M, Satomura T, Matsumoto J, Thanh N (2007) Temperature inversion layers and related thermal budget over Hanoi, Vietnam. The 6th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM6), Fukuoka Japan, 13 December 2007
86. Kuraji K, Gomyo M, Kitanaya K (2007) Hydrological monitoring and impact assessment of forest conversion to other land uses in small watersheds in Sabah. Land Conversions and Ecosystem Consequences under Climate Change in the Tropical Rain Forests of Borneo: Developing Societal Adaptability with Integrated Ecosystem Management, Kyoto Japan, 13–14 December 2007
87. Matsumoto J (2007) MAHASRI and AMY. Extended abstracts of the Japan–Taiwan Joint Workshop for the EAMEX and MAHASRI, P1–2, Hakone Japan, 16 December 2007
88. Wu P, Yamanaka M D, Matsumoto J (2007) The formation of nocturnal rainfall offshore from convection over western Kalimantan Island. Extended abstracts of the Japan–Taiwan Joint Workshop for the EAMEX and MAHASRI, P21–22, Hakone Japan, 16 December 2007
89. Yokoi S, Matsumoto J (2007) Large-scale conditions associated with heavy rainfalls in central Vietnam. The International Symposium for the East Asian Monsoon Experiment and MAHASRI, P37–38, Hakone Japan, 17 December 2007
90. Kume T, Komatsu H, Kuraji K, Suzuki M (2008) Characteristics of transpiration in emergent trees in a Bornean tropical rainforest. Towards sustainable land-use in tropical Asia (ATBC Asia chapter), Kuching Sarawak Malaysia, 15 May 2008
91. Kuraji K, Gomyo M (2008) Spatial and Temporal Variability in Rainfall Over Malaysian Borneo. ATBC Kuching "Towards Sustainable Land-Use in Tropical Asia", Kuching Sarawak Malaysia, 23–26 April 2008
92. Nakata J, Satomura T (2008) The Effects of Solar Radiation on the Daily Mean Heat Flux In Multilayer Canopy Model. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Busan Korea, 18 June 2008
93. Matsumoto J, Bin WANG, Guoxiong WU, Jianping LI, Dongxiao WANG, Dong-In Lee, Ai Likun, Koike T, Peiping Wu, Mori S, Ogino S, Yamanaka D M, Higuchi A, Yokoi S (2008) AMY (Asian Monsoon Years) Coordinated Observations. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Busan Korea, 18 June 2008
94. Gomyo M, Kuraji K, Suzuki M, Kitayama K (2008) Characteristics of rainwater and streamwater chemistry in small watersheds in tropical rainforests in Sabah and Sarawak. Seminar on Land use Change and Societal Adaptation under Global Climate Change in Asian Tropical Rain Forests Cases in Borneo, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 4 August 2008
95. Kuraji K, Gomyo M, Kitayama K (2008) Effects of rainfall variability on hydrological and ecological functions of tropical rainforests. Seminar on Land use Change and Societal Adaptation under Global Climate Change in Asian Tropical Rain Forests Cases in Borneo, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 4 August 2008
96. Matsumoto J, Yokoi S, Peiming Wu, Fudeyasu H, Yamanaka D M, Hara M, Fadli Syamsudin, Reni

Sulistyowati, Yusuf S Djajadihardja (2008) Heavy rainfall in Southeast Asia and multi-scale monsoon interactions. The 31st International Geographical Congress (IGC), Tunis Tunisia, 12 August 2008

③ポスター発表(国内会議 48 件、国際会議 31 件)

(国内会議)

1. Idris M H・蔵治光一郎・Punyatrang K・鈴木雅一(2004) Spatial Distribution of Annual, Monthly and Daily Rainfall in Mountainous Area, Northern Thailand. 第 115 回日本林学会大会、東京大学、2004 年 3 月 31 日～4 月 4 日
2. Manfroi O J・鈴木雅一・田中延亮・諸岡利幸・蔵治光一郎(2004) Inter storms throughfall variability in a 10 X 10 m plot of a lowland tropical forest in Lambir, Sarawak, Malaysia. 第 115 回日本林学会大会、東京大学、2004 年 4 月 3 日
3. 吉藤奈津子・久米朋宣・田中延亮・瀧澤英紀・Tantasirin C・鈴木雅一(2004) 樹液流測定に基づくタイの丘陵性熱帯季節林の乾期の樹木蒸散に対する土壌水分の影響評価. 第 115 回日本林学会大会、東京大学、2004 年 4 月 3 日
4. 堀川真由美・里村幹夫・島田誠一・Kingpaiboon K・沖大幹(2004) タイ・コンケンにおける GPS 可降水量について. 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会、千葉市、2004 年 5 月 12 日
5. 井上智亜(2004) Split Window データを用いたベンガル湾における雲型判別. 日本気象学会 2004 年度春季大会、東京、2004 年 5 月 18 日
6. 井上知栄・松本淳(2004) 近年の東アジア夏季季節進行にみられる数十年規模変動. 日本気象学会 2004 年度春季大会、東京、2004 年 5 月 18 日
7. 横井覚・里村雄彦(2004) アジアモンスーン夏季に見られる submonthly-scale 擾乱の移動メカニズム. 日本気象学会 2004 年度秋季大会、福岡市、2004 年 10 月 6 日
8. 斎藤琢・熊谷朝臣・大橋瑞江・諸岡利幸・鈴木雅一(2004) ボルネオ熱帯雨林における夜間 CO₂ フラックス安定度が乱流変動法による CO₂ フラックス計測に与える影響について. 日本気象学会 2004 年度秋季大会、福岡市、2004 年 10 月 6 日
9. 南光一樹・渡辺あい・堀田紀文・鈴木雅一(2005) 林内の滴下雨滴粒径分布に対する葉群振動の影響の実験的検討. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 28 日
10. 白木克繁・大和輝子・佐藤嘉展・蔵治光一郎・熊谷朝臣(2005) マレーシア国ランビルヒルズ国立公園内流域における土層厚分布と土壌水分分布の実態について. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 29 日
11. 吉藤奈津子・田中延亮・鈴木雅一・Tantasirin C(2005) タイ北部の落葉性チーク林における着葉期間の長さの年々変動ー降雨のタイミングとリーフフェノロジーの関係ー. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 29 日
12. 江夏泰治郎・吉武伸章・白木克繁・瀧澤英紀・芝野博文(2005) 土層厚分布の相違による流出特性の特徴ータイ国コグマ流域と愛知県白坂南谷流域の比較ー. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 29 日
13. 久米朋宣・瀧澤英紀・吉藤奈津子・鈴木雅一(2005) タイ北部熱帯季節林の季節進行に伴う常緑樹の水ポテンシャル・樹液流の変化. 第 116 回日本森林学会大会、北海道大学、2005 年 3 月 29 日
14. 石崎紀子・植田宏昭(2005) ERA40 を用いたインドシナ半島における非断熱加熱の減少トレンド. 日本気象学会 2005 年度春季大会、東京大学、2005 年 5 月 17 日
15. 井上知栄・松本淳(2005) インドシナ半島における夏季降水量の経年変動. 日本気象学会 2005 年度春季大会、東京大学、2005 年 5 月 18 日
16. 豊田和真・里村幹夫・島田誠一・瀧澤英紀・久米朋宣・伍培明(2005) タイ・チェンマイ郊外の KogMa 試験地における GPS 可降水量について. 日本地球惑星科学連合 2005 年大会、千葉市、2005 年 5 月 24 日

17. 五名美江・蔵治光一郎(2005)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. 第 18 回水文・水資源学会、つくば市、2005 年 8 月 4 日
18. 井上知栄・松本淳(2005)インドシナ半島における夏季降水量の経年変化および大気場との関係. 日本気象学会 2005 年度秋季大会、神戸大学、2005 年 11 月 20 日
19. 横井覚・里村雄彦・松本淳(2005)インドシナ半島の降水の季節内変動:30-60 日変動と 10-20 日変動の卓越性. 日本気象学会 2005 年度秋季大会、神戸大学、2005 年 11 月 22 日
20. 久米朋宣・Manfroi O J・田中延亮・蔵治光一郎・吉藤奈津子・鈴木雅一(2006)樹液流測定を用いた熱帯林の林分構造パラメーターの推定手法の開発. 第 117 回日本森林学会大会、東京農業大学、2006 年 4 月 3 日
21. 木口雅司・松本淳・宮崎真・Wonsik Kim・鼎信次郎・沖大幹(2006)タイ内陸部におけるプレモンスーン期の地表面からの熱フラックス特性における研究. 日本地球惑星科学連合 2006 年大会、千葉市、2006 年 5 月 14 日
22. 藤間俊・里村幹夫・島田誠一・Sununtha Kingpaiboon(2006)タイ・コンケンにおける GPS 可降水量の変動. 日本地球惑星科学連合 2006 年大会、千葉市、2006 年 5 月 16 日
23. 中田淳子・木田秀次・里村雄彦・渡辺力(2006)放射の日変化が地表面熱フラックスに及ぼす影響. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 22 日
24. 大庭雅道・植田宏昭(2006)インド洋の海面水温偏差の ENSO に対する応答とそのフィードバック. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 22 日
25. 荻野慎也・立花義裕・藤原正智・里村雄彦・松本淳・Nguyen Thi Tan Thanh(2006)2004~2005 年冬のベトナム・ハノイにおける対流圏下層の逆転層. 日本気象学会 2006 年度春季大会、つくば市、2006 年 5 月 24 日
26. 久米朋宣・Manfroi O J・蔵治光一郎・田中延亮・鈴木雅一(2006)マレーシア、ボルネオ島の熱帯雨林における樹液流計測を利用した遮断蒸発量の推定法. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会、岡山大学、2006 年 8 月 29 日
27. 五名美江・蔵治光一郎(2006)マレーシア・サラワク州の降雨年々変動にエルニーニョの及ぼす影響の季節別評価. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会、岡山大学、2006 年 8 月 29 日
28. 吉藤奈津子・田中延亮・鈴木雅一・Tantasirin C(2006)タイ北部の落葉性チーク林における着葉期間・蒸散期間の年々変動ー現地観測データと SPOT-NDVI を用いてー. 水文・水資源学会 2006 年度研究発表会、岡山大学、2006 年 8 月 29 日~30 日
29. 荻野慎也・野津雅人・立花義裕・藤原正智・里村雄彦・松本淳・Nguyen Thi Tan Thanh(2006)2004~2005 年冬のベトナム・ハノイにおける対流圏下層の逆転層:水蒸気と関係する季節内変動. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 25 日
30. 荻野慎也・野津雅人・立花義裕・藤原正智・里村雄彦・松本淳・Nguyen Thi Tan Thanh(2006)ベトナム・ハノイにおける対流圏下層の逆転層:水蒸気と関係する季節内変動. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 25 日
31. 金森大成・蔵治光一郎・安成哲三(2006)ボルネオ島西部における季節内変動に伴う降水日変化特性. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 25 日
32. 宮川知己・高薮縁・里村雄彦(2006)ベンガル湾上の MCS が北・東・西方向へ伝播する時の背景場の特徴. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 26 日
33. 佐藤晋介・久保田拓志・蔵治光一郎・松本淳(2006)東南アジアにおける地上雨量計と衛星推定降雨量の比較. 日本気象学会 2006 年度秋季大会、名古屋市、2006 年 10 月 26 日
34. 加治屋裕介・吉藤奈津子・田中延亮・田中克典・Tantasirin C・鈴木雅一(2007)タイ北部における落葉性熱帯季節林の展葉および落葉に伴う熱・炭素収支変化. 第 118 回日本森林学会大会、九州大学、2007 年 4 月 2 日
35. 横井覚・松本淳(2007)北東アジアモンスーン発達期に発生するコールドサージの研究. 日本気象学会 2007 年度春季大会、東京、2007 年 5 月 15 日
36. 遠藤伸彦・Ohnmar Htway・井上知栄・松本淳・Tun Lwin(2007)東南アジアにおける降水特性の長期変化. 日本気象学会 2007 年度春季大会、東京、2007 年 5 月 15 日
37. 浜田純一・森修一・櫻井南海子・山中大学・松本淳・Fadli Syamsudin(2007)スマトラ島及び周辺

域における降水量観測に基づく降水日変化と季節内変動の関連. 日本気象学会 2007 年度秋季大会、札幌、2007 年 10 月 16 日

38. 田中延亮・吉藤奈津子・Tantasirin C・川元美歌・鈴木雅一(2008)チーク落葉人工林の葉量と林内雨量・樹幹流下量の関係. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
39. 吉藤奈津子・田中克典・田中延亮・鈴木雅一・Tantasirin C(2008)タイ北部のチーク人工林における熱・炭素交換の季節変化. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
40. 久米朋宣・小松光・蔵治光一郎・鈴木雅一(2008)ボルネオ島熱帯雨林の巨大高木の樹液流特性－蒸散に対する樹液流のタイムラグは大きいのか？. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
41. 若原妙子・白木克繁・田中延亮・蔵治光一郎・鈴木雅一(2008)マレーシア・ランビルヒルズ国立公園における水収支と土壌水分変化の特性. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
42. 大橋瑞江・久米朋宣・鈴木雅一(2008)マレーシア・ボルネオ島の熱帯多雨林における土壌呼吸の空間変動特性. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
43. 五十嵐康記・吉藤奈津子・田中延亮・鈴木雅一(2008)不安定層形成時の森林斜面上の風速鉛直分布に関する検討. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
44. 若原妙子・白木克繁・田中延亮・蔵治光一郎・鈴木雅一(2008)マレーシア・ランビルヒルズ国立公園における水収支と土壌水分変化の特性. 第 119 回日本森林学会大会、東京農工大学、2008 年 3 月 28 日
45. 中田淳子・玉川一郎・村岡裕由・渡辺力・吉野純・安田孝・里村雄彦(2008)群落微気候モデルを用いた高山落葉広葉樹林サイト TKY における二酸化炭素収支の推定. 日本気象学会 2008 年度春季大会、横浜市、2008 年 5 月 21 日
46. 請井和之・里村幹夫・島田誠一・伍培明・橋爪道郎・橋本学・田中延亮・瀧澤英紀(2008)タイ北部のGPS可降水量の変化. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、2008 年 5 月 28 日
47. 中田淳子・里村雄彦(2008)Examination of CO₂ and heat exchange of a cool temperate deciduous broad leaved forest using multi-layered canopy model. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会、千葉市、2008 年 5 月 30 日
48. 五名美江・若原妙子・白木克繁・蔵治光一郎・鈴木雅一(2008)マレーシア・サラワク州ランビル国立公園における硫酸酸性溪流水の形成メカニズムの検討. 水文・水資源学会 2008 年度研究発表会、東京大学生産技術研究所、2008 年 8 月 27 日

(国際会議)

1. Nanko K, Hotta N, Suzuki M (2004) The influence of forest species and atmospheric phenomena on the throughfall raindrop size distribution. IUFRO Workshop: Forests and Water in Warm, Humid Asia, Kota Kinabalu Sabha Malaysia, 11 July 2004
2. Yokoi S, Satomura T (2004) Mechanisms of westward and northward movement of sub-monthly scale disturbances over Asian monsoon regions. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 4 December 2004
3. Mabuchi K, Sato Y, Kida H (2004) Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 4 December 2004
4. Matsumoto J, Kiguchi M (2004) Pre-monsoon rains and onset of monsoon over the Indochina Peninsula. Proceedings CD-ROM of The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3-5 December 2004
5. Fujita M, Kimura F, Satomura M, Kato T (2004) Diurnal variation of precipitable water vapor observed with GPS in Thailand. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3-5 December 2004

6. Sununtha K, Satomura M, Horikawa M (2004) Study on precipitable water vapor change (obtained from GPS) and humidity. The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Kyoto Japan, 3–5 December 2004
7. Kondoh S, Kuraji K, Sakai S, Nakashizuka T (2005) Interspecific and intraspecific comparisons of hydraulic properties in tropical forest trees in Sarawak. 4th International Canopy Conference, Leipzig Germany, 10–17 July 2005
8. Kiguchi M, Matsumoto J, Miyazaki S, Kim W, Kanae S, Oki T (2005) The heat flux from the land surface during the pre-monsoon period in the inland area of Thailand. IAMAS (International Association of Meteorology and Atmosphere Science), Beijing China, 2–11 August 2005
9. Ohashi M, Kume T, Saito T M, Kumagai T, Gyokusen K, Suzuki M (2005) Temporal and spatial variation in soil respiration in a Bornean tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. IX INTECOL International Congress of Ecology, Montreal Canada, 7–15 August 2005
10. Mabuchi K, Kida H (2005) On-line simulation study of the carbon cycle between land surface and the atmosphere using 3-D global climate model. The 7th International carbon dioxide conference, Broomfield USA, 25 September 2005
11. Sununtha K, Satomura M (2005) Precipitable water vapor change at Khon Kaen. The 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi Vietnam, 7–11 November 2005
12. Shiraki K, Wakahara T, Sato Y, Kuraji K, Kumagai T (2005) Distribution of soil depth and soil water content at Lambir hills catchment. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 29 November 2005
13. Gomyo M, Kuraji K (2005) Spatial and seasonal variation in rainfall over Sarawak, Malaysia. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
14. Kanamori T, Kuraji K, Yasunari T (2005) Time-space characteristics of daily rainfall over Sarawak, Borneo island. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
15. Horikawa M, Kanamori T, Kurita N, Yasunari T, Kuraji K (2005) Water stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) variations in rainfall over tropical rainforest region of Sarawak, Malaysia. International Symposium on Forest Ecology, Hydrology and Forest Ecosystem Rehabilitation in Sarawak, Kuching Sarawak Malaysia, 30 November 2005
16. Gomyo M, Kuraji K (2006) Spatial and seasonal variation in rainfall over Sarawak. Symposium on Asian Winter Monsoon Winter MONEX: A Quarter Century and Beyond (WMONEX 25+), Kuala Lumpur Malaysia, 4–6 April 2006
17. Kanamori H, Kuraji K, Yasunari T (2006) Seasonal and Intraseasonal Modulation of Diurnal Cycle of Rainfall over Sarawak, Borneo Island. Symposium on Asian Winter Monsoon Winter MONEX: A Quarter Century and Beyond (WMONEX 25+), Kuala Lumpur Malaysia, 4–6 April 2006
18. Yoshifuji N, Tanaka N, Suzuki M, Tantasirin C (2006) Detecting Inter-annual Variation in Growing Season Length of a Teak Plantation in Northern Thailand. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 16–18 October 2006
19. Gomyo M, Kuraji K (2006) Impacts of SST on inter-annual variation in seasonal rainfall in Sarawak, Malaysia. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 16–18 October 2006
20. Kume T, Manfroi O J, Kuraji K, Arata H, Horiuchi T, Suzuki M (2006) Inter-annual variability of evapotranspiration in a lowland tropical rainforest. Sarawak, Malaysia. The 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok Thailand, 16–18 October 2006

21. Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, Kosaka I, Tantasirin C, Tangtham N, Suzuki M (2006) Hydro-meteorological studies based on field observations at tropical monsoon forests in Northern Thailand. Proceedings of International Conference on Mekong Research for the People of the Mekong, Chiang Rai Thailand, 19 October 2006
22. Matsumoto J (2006) MAHASRI—a new international program on Asian monsoon research. Earth System Science Partnership (ESSP). Global Environmental Change Open Science Conference, Beijing China, 10 November 2006
23. Kajiya Y, Yoshifuji N, Tanaka N, Suzuki M, Tantasirin C (2006) Seasonal variations in heat and carbon exchanges over a teak deciduous forest in a tropical monsoon environment: comparison between flux data and tree phenology. AsiaFlux Workshop 2006, Chiang Mai Thailand, 29 November 2006
24. Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Kajiya Y, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, Kosaka I, Tantasirin C, Tangtham N, Suzuki M (2006) Observation-based hydrometeorological studies at tropical monsoon forests in Thailand. AsiaFlux Workshop 2006, Chiang Mai Thailand, 29 November 2006
25. Nakata J (2007) The Effects of Solar Radiation on the Daily Mean Heat Flux in Canopy Model. 3rd WGNE Workshop on Systematic Errors in Climate and NWP Models, San Francisco USA, 13 February 2007
26. Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, Tanaka N, Tanaka K, Tantasirin C, Suzuki M (2007) Impact of soil drought on transpiration in a hill evergreen forest, northern Thailand. European Geophysical Union 2007 general meeting, Vienna Austria, 20 April 2007
27. Satomura M, Touma S, Shimada S, Sununtha K (2007) Change of precipitable water vapor obtained by means of GPS at Khon Kaen, Thailand. International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, Perugia Italy, 3 July 2007
28. Kanamari H, Kuraji K, Yasunari T (2007) Intraseasonal variability in diurnal cycle of precipitation over Sarawak, Borneo island. The 4th Asian Oceania Geosciences Society Annual Meeting, Bangkok Thailand, 2 August 2007
29. Mabuchi K (2007) On-line simulation of global carbon cycle and regional carbon balance in the Asian tropical region using a terrestrial ecosystem model integrated into a global climate model. Second International Conference on Earth System Modeling, Hamburg Germany, 30 August 2007
30. Yoshifuji N, Tanaka N, Suzuki M, Tantasirin C (2007) Inter-annual Variation in Growing Season Length of a Tropical Seasonal Forest in Northern Thailand. American Geophysical Union, Fall 2007 Meeting, San Francisco USA, 12 December 2007
31. Gomyo M, Kuraji K, Kitayama K, Suzuki M (2008) Characteristics of stream and rain water chemistry in a Bornean tropical rainforest. Towards Sustainable Land-Use in Tropical Asia (ATBC Kuching), Kuching Sarawak Malaysia, 23–26 April 2008

(3)特許出願

- ①国内出願 (0 件)
- ②海外出願 (0 件)

(4)受賞等

①受賞

久米朋宣(九州大学農学研究院)

研究課題: Impact of soil drought on transpiration in a hill evergreen forest, northern Thailand

賞: European Geophysical Union 2007 General Meeting, Young Scientists' Outstanding Poster Paper Award

受賞日: 2007 年 5 月 25 日

②新聞報道

Borneo Post: 2006.7.23

『Field biology students to report findings』 蔵治光一郎

③その他

NHK教育テレビ:『サイエンス ZERO』平成 17 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

(5)その他特記事項

なし

§ 7 研究期間中の主な活動

ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2004.5.10	研究打合せ	学士会館分館	7 名	調査内容・出張計画・予算・MOU 進捗状況・研究成果等について
2004.11.1	ランビル・クレーン管理に関する会議	学士会館分館	6 名	安全対策・メンテナンス等について
2004.12.27-28	チーム全体会議	学士会館分館	50 名	研究成果発表・予算等について
2004.7.10-12	国際ワークショップ	Sutera Harbour Resort (KotaKinabalu, Malaysia)	75 名	湿潤熱帯の森林水文学の研究発表・討議(宝チーム、恩田チーム他と共催)
2005.4.13	サラワク森林研究打合せ	学士会館分館	6 名	クチンシンポジウム打合せ
2005.6.20-22	CREST 水循環ワークショップ in Singapore	シンガポール	25 名	AOGS 会議の機会に水循環に関する討議を行う
2005.10.31-11.5	Asian Water Cycle Symposium	東京大学	100 名	アジアの水循環研究の動向について討議
2005.11.29-30	サラワク熱帯林の気象水文・生態学と修復	マレーシアクチン	80 名	サラワク熱帯林における森林研究について研究交流
2006.12.29	チーム全体会議	学士会館分館	30 名	研究成果発表・予算等について
2007.12.14	Effects of Rainfall Variability on Water Cycle and Ecosystem in Tropical Forest under Asian Monsoon Climate	タイカセツアート大学	30 名	研究成果発表及び研究打合せ
2008.1.21	チーム全体会議	学士会館分館	30 名	研究成果発表・予算等について

§8 結び

(1) 研究の目標から見た達成度

1) 目標を達成した事項、目標達成に至らなかった事項

本研究は、アジアモンスーン域の降雨特性と熱帯林の水循環、炭素循環について、研究開始時に想定した以上の多くの新知見を得ることができ、海外からも注目される熱帯研究者グループとして認知されるようになった。しかし、当初研究計画書と逐一对比すると、十分に達成されなかった項目もある。

当初計画では、「降水現象の季節性と年々変動」、「森林生態系の水循環、物質循環」、「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」の3つの課題を立てた。このうち、「降水現象の季節性と年々変動」は研究計画書に記載の研究項目の全てについて、成果を得ることができ、論文が公表された。

「森林生態系の水循環、物質循環」は、東南アジア熱帯の森林における水循環、炭素循環について大きい成果を得たと自負する。しかし、研究計画に含まれていた“炭素収支モデルを構築し、広域に適用する”という部分に早い段階で着手できず、森林の広域水収支推定モデルまでに留まった。

「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」の課題については、「降水現象の季節性と年々変動」でえられた情報を、水循環、炭素循環の広域モデルに導入し、解析を進める予定であったが、モデル構築が水収支モデルまでしか進まず、この課題について降水変動を広域モデルに入力し解析する研究についても、論文発表まで至っていない。

それには、「森林生態系の水循環、物質循環」の課題における現地計測結果が豊富に蓄積され、その解析項目に新規性があるものが多く、まずそちらに人的資源を投入する必要があったためである。また、詳細な観測結果を物理学的・生態学的背景を基にして解析していく上で、広域を扱うには困難な「マルチレイヤー・モデル」など原理追求型の方向へ、モデル化の主力が注がれたためでもある。第4年度の初めに、この点の認識がなされたが、研究終了までに落葉林と常緑林の差異を反映する水・炭素を結合した広域化モデルの成果は得られなかった。しかしながら、「降水現象の季節性と年々変動」、「森林生態系の水循環、物質循環」の研究で得られた結果を、降水現象の時間スケール毎に整理し、降水変動が熱帯林のエネルギー・水・炭素の循環に与える影響を示した表3.4-1と表3.4-2は、「水循環変動の影響予測」のひとつの到達点である。

項目別に達成度を表現すると、「降水現象の季節性と年々変動」は85点、「森林生態系の水循環、物質循環」は85点の部分が70%、60点の部分が30%という自己評価である。また、「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」は65点と評価している。前の2課題のウェートを4割づつ、最後の課題を2割として、単純計算すると、達成度は研究全体でほぼ78点となる。研究代表者の実感は、もう少し高いのだが、部分点で積み上げると抜群に高いとはいえないという自己評価となる。

(2) 得られた成果の意義

1) インドシナ半島の降水の実態とその物理機構

現地に設置した時間分解能の高い雨量計による観測によって、降水現象の日変化、季節変化の地域性が、これまでになく把握されたことは確かである。新たな観測値が取得される毎に、興奮を覚える状態が、研究期間を通してあった。降雨レーダーや領域モデル、全休モデルのよる解析は、次々と新知見を生み出した。山岳性降水、霧による流域への水供給の定量的評価は、今後の水資源モニタリングに大いに役立つ。

2) 熱帯林の水循環・炭素循環

様々な発見があり、多様なテーマについて論文も書かれた。本研究の3年目頃から、アマゾン河流域の熱帯林研究者が我々の論文発表を待ち受けて引用している雰囲気を感じるようになった。

今後社会的に重要となる本研究の総合的な成果としては、次の点であろう。近年、森林による二酸化炭素吸収を期待して、大規模植林の計画が各地で模索されているが、本研究

が明らかにしてきたように、炭素循環は水循環の影響を強く受け、その影響は熱帯季節林において特に大きい。未だ、多くの大規模植林の計画に水循環のアセスメントは十分に取入れられておらず、水収支に対する常緑林と落葉林の差異を表現する蒸発散量推定をはじめ、本研究による知見はこの点に対して大きく貢献するものである。水循環と炭素循環の相互作用のパフォーマンスは、熱帯雨林、常緑と落葉の熱帯季節林で、それぞれ異なる。このような視点について、内外の若い研究者達を含め、認識を広げることができた。

3) 人材の育成

本研究には、多くの修士課程、博士課程の大学院生が参加し、モンスーンアジアでのフィールドワークの経験を蓄積していった。特に、博士課程の大学院生の多くは、プロジェクトの中では一人づつが独立した研究者として活躍した。その結果として、研究代表者の研究室では研究期間中に6名が本研究に関わるテーマで学位を取得し、皆がその力を認められて研究者として研究所や他大学に移動していった。これは、まことにめでたいことであった。しかし、その一方で研究取りまとめの最後の半年間は、研究チームの主力が本研究課題のみに力を注げない状況ともなり、研究代表者はかなり心細い思いもすることとなった。研究期間の末尾になると、研究終了後の研究員、技術員の転職先の困難さを考え、常勤職に就いた研究員の後任を採用しなかったという事情もあった。いずれにせよ、本 CREST 研究は若手研究者の生産工場として機能した。また、中堅、若手を問わず、CREST 研究予算によって国際的学会に参加する門戸が大きく開かれたことは、特に森林水文学の研究分野では新時代といえ、研究の活性化に大いに役立った。また、国際的学会で常に注目される発表がなされてきた。この過程で形成された国際的なネットワークは、本研究に参加した研究者の大きい資産となっている。

(3) 今後の研究の展開

熱帯雨林の観測で、当初の狙いと異なったことが一つある。それは、本研究の研究期間に強いエルニーニョ現象の発生がなかったことである。強いエルニーニョ現象は、サラワクの熱帯雨林においても樹木に強度の水ストレスがかかる乾燥状態をもたらすと想定し、この現象が水循環・炭素循環の計測にかかるよう準備をしていたのである。この状態が生じなかったために、待ち望んだ一連のデータは、取得されずに終わった。この点からも今後、観測継続の必要がある。当面、独自の予算獲得は困難であるが、生態系研究に関わる長期モニタリング研究と連携した、観測の継続を考えている。CREST 研究期間で蓄積された平年における年々変動と季節性のデータは、今後さらに役に立つことになる。

本研究を特色付けるものとして、サラワクの林冠クレーン(高さ90m)、タイの観測タワー(高さ50mと40m)の利用があげられる。サラワクの林冠クレーンは、CREST「地球変動のメカニズム」の「熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズム解明」平成10年採択(中静透代表)で建設されたものであり、2代の CREST プロジェクトによって有効に活用されたことになる。今後は、JSTの所属を離れるが、生態系長期観測計画の中で有効活用が見込まれる。タイのタワーのうち50mタワーは、1996年に GAME プロジェクトの一環として建設されたもので、40mのタワーは本研究で建設された。いずれもタイのカセツアート大学との森林環境に関する共同研究で役立てられていく予定である。

(4) 研究代表者としてのプロジェクト運営について

水循環研究領域では最終年度に当たる第3年次の採択で、CREST 研究の立案段階での検討が長かったために、チームの主要なメンバーは研究開始時から気心がしれており、順調な意見交換が可能であった。また、海外の共同研究者とも以前のプロジェクトからの信頼関係の蓄積があり、研究推進に好都合であった。また、気象チームは、ミャンマー、ラオス、ベトナム、カンボジアの気象官署と密接な連携をとり、順調なデータ取得が研究に大いに役に立った。

(5) その他

1) 戦略的創造研究推進事業に対する意見、要望

CREST 研究のありがたみを感じる機会は、研究の過程で度々あった。中でもサラワクの熱帯

雨林において、3年にわたり 620 箇所の林内雨を計測する、熱帯林の中での行動としてはかなり困難な 4 ha を対象とした研究の実施ができたことなど、時として物量作戦で臨んでくるアマゾン熱帯林熱帯林の研究グループを凌駕する現地観測研究が実現し実施できたことは、CREST 研究ならではのと思われる。共同研究の相手側の協力による有能な観測人に恵まれたという事情も働いている。

2) 評価について

中間評価では、有益な指摘をいただくことができ、研究の進展に大いに役に立った。しかし、その段階から着手した課題は、論文発表に至るには未だあと一步のところにあるものが多く、この報告書に記載できなかったものが多くあるのが、残念である。この点は、先に記した研究の達成度の自己評価を下げることに帰結している。

3) 謝辞

最後に、科学技術振興機構ならびに水循環事務所の方々には、多大なお世話をいただいた。特に、本研究では東南アジア各国と研究契約を結び、契約書の文面についてご教示いただくことが多かった。手数をおかけすることも度々で、研究をバックアップしていただいたご尽力について、厚く感謝いたします。



写真1 サラワク・ランビル国立公園の林冠クレーン
左：フラックス測定状況、右：全景



写真2 クレーンのゴンドラ

写真3 タイ 落葉熱帯季節林（チーク人工林）
左：雨季（着葉期）、右：乾季（落葉期）



写真4 国際シンポジウム（サラワク州クチンにて）2005年11月