

熱帯季節林の変動とその影響に関する 観測研究を終えて

沢田治雄・石塚森吉

1. はじめに

熱帯・亜熱帯諸国の人口増加や生活水準の向上により、熱帯・亜熱帯林が広範囲に利用され、自然環境の破壊が加速的に進んでいる。また、熱帯林は森林による二酸化炭素の吸収・放出、熱・水収支に重要な役割を果たしており、地球温暖化や気候変動などの地球規模の環境変動に影響を及ぼしていると考えられている。しかし、熱帯林の減少に伴うこれらの変動機構の解明は十分にはなされておらず、植林等の熱帯林の保全・再生技術を効果的に活用するための科学的なデータ・知見も不十分であった。そのため、植生、気候、土壌、水文等の総合的な研究が求められ、進行している森林破壊が地球規模の環境に及ぼす影響を長期にわたる観測によって明らかにする必要性に駆られていた。

このような状況を背景に、森林総合研究所では1989年から1990年にかけて、様々な観点から熱帯林問題を取り上げ、3回の公開シンポジウムを開催した。そこで明らかにされた熱帯林問題とその研究の必要性を農林業、気象、環境などの視点から提起し、5省庁7研究機関の意志を取りまとめて、科学技術庁に「熱帯季節林の変動とその影響等に関する観測研究（熱帯林変動）」という10年間の長期プロジェクトとして申請した。

森林分野では、この10年間に東南アジアでの長期共同研究が急速な発展をみせているが、本プロジェクトはその先駆けとなったと言ってよいだろう。このプロジェクトは予定通り平成11年度に完了したが、それに先立ち平成12年1月24日から27日まで、タイのカンチャナブリ県で、熱帯林変動プロジェクトの成果報告を含めた「長周期的気象変動等による熱帯林生態系の応答に関す

SAWADA, Haruo & ISHIZUKA, Moriyoshi: Summary of the Research Project on the Changes of Tropical Forests and their Influences
農林水産省森林総合研究所

る国際ワークショップ」を JISTEC（科学技術国際交流センター）の経費で開催した。参加者は 106 名で、日本人 28 名、タイ人 74 名、その他 4 名であった。

2. 熱帯林変動プロジェクトにおける課題

熱帯林変動プロジェクトでの実行課題は下記の 3 つに大別される。

(1) 熱帯林の植生の変動に関する観測と解析的研究

リモートセンシングによる植生分布の長期変動モニターと、天然林の維持機構、破壊されつつある森林及び破壊が進行した森林の変動・再生機構の解析を現地調査に基づき実施する。

(2) 熱帯林地域における諸環境の変動に関する観測研究

熱帯の変動に伴う、河川の流域変動などの水文環境の変動や土壌の分解・集積・流出等の土壌環境の変動、及び二酸化炭素収支等の変動に関するメカニズムを解明する。

(3) 熱帯林の変動とその影響に関する評価研究

上記(1)及び(2)で得られた観測調査データに基づき、熱帯林の変動やそれに伴う水・炭素循環、気候への影響評価を行う。

タイ側は、国家研究評議会 (NRCT) が窓口となり、カセサート大学、王室林野局、国家灌漑局、チュラロンコン大学、国土開発局、科学技術研究所などが参加した。日本の参加機関は森林総合研究所、防災科学研究所、土木研究所、資源環境技術研究所、気象研究所、農業環境技術研究所などである。

3. 集中研究対象地

熱帯林変動プロジェクトでは、王室林野局が管理するカンチャナブリ県メクロン流域試験地を集中観測地として選定し、多くの観測研究が行われた。ワークショップ参加者はまずこの試験地を訪れ、プロジェクトが行ってきた先進的な観測について、それぞれの担当者から説明を受けた。

(1) 気象タワーにおける観測：混交落葉林 (MDF) に設置した高さ 40 m の気象タワー周辺では、次の測定を行っている。

① 林冠ならびに林内気象の継続測定 (気温, 湿度, 光合成有効放射量, 日射量, 降雨量等)

② 二酸化炭素フラックスの継続測定

③ 林冠を構成する 3 樹種 (*Shorea siamensis*, *Xylia xylocarpa* var. *kerrii*, *Vitex peduncularis*) を対象にした季節別の個葉の光合成と幹の呼吸の測定

④ 林分の成長量，落葉落枝量，全天空写真による葉面積指数の測定

(2) 森林固定プロット

熱帯林変動プロジェクトでは、林型の異なる箇所固定プロットを設定している。今回は、アクセスの問題から次のようなチーク人工林内のプロットと混交落葉林のプロットでの調査内容の確認を行った。

① 8年生チーク人工林と20年生チーク人工林：成長モニタリング，気象観測，土壌呼吸計測

② 混交落葉季節林天然林：林木とタケの成長，枯死，種子の落下，実生の発生・消長，土壌呼吸計測など。この固定プロットではタケの一斉開花・枯死の現象が数年前に発生した。そのため，タケの開花枯死に伴う，林木の実生の発生・定着の現象がモニタリングされている。

4. ワークショップの概要

ワークショップでは、タイ国家研究評議会総裁 Chirapandh Arthachinta 氏を始め、国家研究評議会運営委員長やカンチャナブリ県副知事（代理）と科学技術庁海洋開発課代表らが開会挨拶を行った。日本からは、松井光瑠委員長，内島善兵衛，大島康行など熱帯林変動プロジェクトの研究検討委員会委員の先生方も参加された。

ワークショップは、基調講演，研究報告，パネルディスカッションの形態で行われた。以下に概説する。

(1) 基調講演：ワークショップ期間中に3件の基調講演を行った。

松井光瑠（元大日本山林会）は次のように熱帯林変動プロジェクトを評価する講演を行った。「エルニーニョやラニーニャなどに見られる長周期で大規模な気候変動が世界的な問題となっている。森林は人類の貴重な資源であり，二酸化炭素吸収源としても注目されており，森林生態系研究の重要性は増している。世界規模の長周期変動と温室効果ガスなどによる人為由来の影響を評価するために

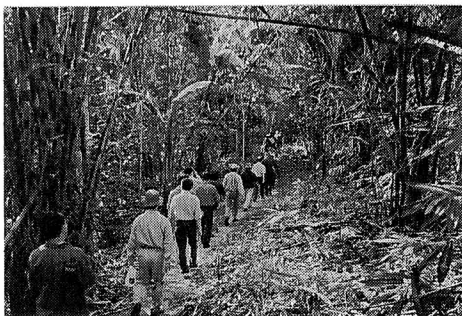


写真 1 メクロン流域試験地を訪ねて：パナとタケに覆われた道

は、長期的な森林動態のモニタリングが有効である。科学者の知識を集積し、人類が破局を迎えることなく、これらの気候変動と環境問題を乗り越えることが必要である。タイと日本の研究者の協力で行われてきたプロジェクトの成果は、このような問題解決に役立つ知識の増加に多大な貢献をしてきたと誇ることができる。」

Ampol Senanarong (タイ国家研究評議会) は、タイ側の体制の紹介を含め、次のように講演した。「熱帯林の動態には森林の管理が重要な役割を担っており、その持続的利用技術は熱帯林の保全に重要である。地球の環境変動に関する研究が各国の科学者によっておこなわれているが、日本の科学技術庁とタイの国家研究評議会とで行われてきた熱帯林変動プロジェクトの成果は重要な知見である。タイ政府も独自に予算を計上し、プロジェクトを支えてきた。この研究がタイのみならず、すべての熱帯地域の森林保全と持続的利用に貢献すると信じている。」

Utis Kutintara (カセサート大学) は、タイを中心とする東南アジアの熱帯季節林の生物多様性の概観を述べるとともに、今後の熱帯林研究における生物多様性研究の重要性を強調した。「タイの森林面積は、30年前は国土の50%以上あったが、1997年には33%になり、現在は28%になっている。このような、急速な森林減少に伴い多くの生物が絶滅に瀕しているが、その前にできるだけ

各地の生物相やその生態を明らかにする必要がある。その豊富な生物相の維持が、生態系の健全な維持を可能にし、食物連鎖や多種の共存を通して二酸化炭素固定等の生産性を最大限に発揮するものと考えられる。」

(2) セッション別講演

5つのセッションがもたれたが、熱帯林変動プロジェクトの課題とある程度対応しているため、これらの報告でプロジェクトの成果をある程度示すことができると思われる。

セッション1. 「光合成および二酸化炭素バランス」

林正康 (資源環境研究所) は、熱帯季節林における二酸化炭素収支の季節変化について、渦相関法による森林—大気間のCO₂フ

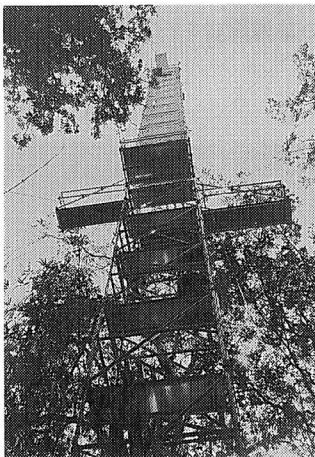


写真 2 試験地に設置された
40 m の観測タワー

ラックスの観測結果および階層別の CO₂ 濃度、温度、湿度、日射、光量子密度のプロファイルの年変化を紹介し、森林の呼吸・光合成の季節性との対応を示した。

Ladawan Puangchit (カセサート大学) は、タワーを利用した落葉季節林の主要 3 樹種の林冠個葉のガス交換特性について、光—光合成特性を明らかにするとともに、葉の解剖学的特性との関連を示した。また、林冠透過光、葉面積指数 (LAI) の季節変化を明らかにした。

石塚森吉 (森林総研) は、個葉の光合成速度を、光量子密度 (PFD)、水蒸気飽差 (VPD)、外気 CO₂ 濃度の関数としてモデル化し、実測値からモデルの各種のパラメータを推定した。また、このモデルによる個葉光合成の日変化、季節変化のシミュレーション結果が、実測値に良く適合することを示した。さらに、林冠葉での光合成の季節変化のシミュレーションを行い、群落光合成量の推定への可能性を示した。

3つの発表を通じて、熱帯季節林における二酸化炭素収支には、水分環境、日射環境の季節的な変化が大きく影響していることが示された。同時に、森林全体の二酸化炭素収支についての信頼性の高い結論を出すためには、成長測定等による純生産量の推定など、他の手法による測定結果との比較・統合が必要なのことも示唆された。

セッション 2. 「植生動態」

Tawatchai Santisuk (王室林野局) は、カンチャナブリ地方の落葉樹林は混交落葉林、落葉性 (乾燥) フタバガキ林に分けられるが、タケをともなった混交落葉林が 9 割を占め、落葉性 (乾燥) フタバガキ林は山の尾根や急傾斜地を中心にパッチ状に点在していること、混交落葉林には常緑フタバガキと乾燥フタバガキが混交することを示し、この理由として過去の長い森林の攪乱の影響をあげた。

Dokrak Marod (カセサート大学) は、森林の成立に最も重要な種子と苗木の動態について報告した。種子の生産と苗木の発生は水分環境に大きく左右され、その影響は樹種ごとに異なること、また、火災は更新に大きな影響を与えていると考えられること、したがって熱帯季節林に生育する多くの樹種の更新は、乾燥と火災に対して適応する特徴を備えていることを報告した。

田中浩 (森林総研) は直径成長や展葉・落葉・開花などのフェノロジーと水分環境の関係について報告した。乾季と雨季という大きな環境の変化に、群集を構成する樹種が一斉に同調するフェノロジーを示すわけではなく、種間での

バリエーションが大きく、強い水ストレスが季節的にかかる環境下での、様々な水利用様式での適応結果であると報告した。

Chanchai Yarwudhi (カセサート大学) は混交落葉林の動態を下層植生のタケの動態との関係から解析した。タケの一斉枯死により、早生樹の一斉更新と成長および下層植生におけるバナナの優勢化が起こるが、タケの更新とその成長に伴いバナナは衰退し、タケと早生樹の若齢木で競争となり、早生樹の多くはタケに負けて枯死していくという林分構造の変遷をたどる事を示した。

小林繁男 (森林総研) は、伐採により攪乱された森林における、タケ、バナナなどの下層植生の個体群動態について報告した。攪乱を受けたときの代表的な個体群がバナナであり、攪乱の指標となること、再攪乱が起こらなければバナナは衰退し、他の植生が発達するが、この状況が林の更新に大きな影響を与えること、この地域では攪乱がなければタケが優勢となることなどを報告した。

川崎達郎 (国際農研センター) は、草地化した荒廃林地の植生の変動について報告した。火災等の攪乱による植生の変化が明らかになった。火災直後には草本類の進入が早く、木本類は火災に弱い、バナナとタケは火災に強いことが確認された。バナナとタケの競争ではバナナはタケの進入に対して弱い。

セッション 3. 「養分と炭素循環」

Songtam Suksawang (王室林野局) は、天然林と人工林の固定試験地を設けている 2 流域での、3 年間にわたる降雨量と流出量の観測結果と、同時に測定された水質から求めた養分収支の結果を報告した。

小原洋 (農業環境技術研究所) は、森林の耕地化に伴う土壌劣化のうち、特に化学的な劣化について報告した。劣化の程度は養分元素により異なることや、Ultisol 土壌で耕地化による劣化の影響が大きいことを明らかにした。

高橋正通 (森林総研) は、天然林と若齢チーク人工林における土壌炭素バランスを比較した。天然林と若齢チーク人工林での土壌呼吸に寄与する環境因子や、呼吸量に占める土壌有機物、堆積有機物、根呼吸の割合を推定した。また水分観測データを用いて各林分の年間呼吸量を推定し、天然林でチーク林より大きいことを示した。

Somchai Ansontpornperm (科学技術研究所) は、流域試験地に設定された各植生タイプ別の固定試験地での土壌調査結果 (物理・化学特性) を報告した。試験地内での土壌区分とそれらの分布及び特性などを明らかにした。

Pitayakon Limtong (国土開発庁) は、表層土壌を温度別・水分含量別に室内培養して得た窒素無機化特性について報告した。いずれも培養前半はアンモ

ニア化成が、後半には硝酸化成が多く、高い温度での培養ほど無機化量が多くなることなどを示した。林分としては、チーク壮齢林で無機化量が多くなることが明らかにされた。

Kovith Yantasath (科学技術研究所) は、森林樹木の実生の形成における菌根菌の利用に関する研究を報告をした。試験地から採取された VA 菌根菌を数種の樹木に接種した結果、樹木の成長や養分吸収を助けるとともに、実生の生存率を高める効果があることを示した。

Aniwat Chalermpongse (王室林野局) は、タイ西部の森林流域における内生菌根と木材腐朽菌の多様性変動を報告した。内生菌根やキノコ類の多様性は天然林や二次林で比較的高く、草地やチーク人工林では乏しいことを示した。同時に C, N, P など主要養分元素の循環に関わる菌類の重要性を報告した。

セッション 4. 「水収支」

Songtam Suksawang (王室林野局) らは、メクロン流域試験地を含むリンチン流域での、1990 年から 1998 年間の降水量と河川流出の観測データを解析した結果、平均値で降水量 1,567 mm, 河川流出量 366 mm, 蒸発散量 896 mm となり、残りの 305 mm の水は、他流域への流出と考えられることを示した。

岸井徳雄 (防災科学研究所) らは、Lam Phra Phloeng 川の上流にある水文試験地での水文・気象観測データの解析の結果、気温の日変化は 10°C 以上あること、夜間の湿度は 90% 以上になることを示した。正味放射量は 500 W/m² 以上で、それらが潜熱・顕熱として大気に戻されている。

山田孝 (土木研究所) らは、焼畑直後の斜面の観測、試験斜面での焼畑の再現と人工降雨実験、および土砂流出モデルを用いた数値シミュレーションの結果を示した。焼畑をおこなった斜面は、土壌表面に水をはじくクラスト層ができるため、表面流出が多く、侵食量が多いこと、また等価粗度の値は焼畑斜面の方が焼畑を行っていない斜面より小さいことを数値実験で示した。

セッション 5. 「広域・地球規模の植生変動」

Thongchai Charupatt (王室林野局) は、広域の熱帯林観測のための衛星データの利用として、チェンマイ、カンチャナブリ、パンガ湾の対象地において収集してきた多時期の衛星データ、空中写真、標高データ、その他の GIS データを示し、それらを用いて作成した詳細な植生図を発表した。また、これらの収集データは、広域熱帯林の管理、観測に役立つものであることを示した。

平田泰雅 (森林総研) は、広域熱帯林の植生変化抽出法として、多時期のラ

ンドサット TM データを用いることで、チェンマイ山岳地帯の焼畑跡地を抽出した。また、カンチャナブリでの広域の森林型分類図作成手法と、パンガ湾でのマングローブ林分布図の作成手法を報告した。さらに、それぞれについて作成された衛星地図を示した。

馬淵和雄（気象研究所）は、陸面植生モデル（BAIM）を開発し、分解能 200 km の地球規模気候モデルに取り入れた結果を報告した。植生モデルと大気モデルの結合が矛盾なく行われていることが確認されており、陸面におけるエネルギー収支および二酸化炭素収支に、植生の種類および植生と大気の相互作用の諸過程の変動が大きく関与していることを明らかにした。

Suchat Kalyawongsa（王室林野局）は、タイ北部のメホンソン県クンサー流域における、1954 年から 1995 年までの 5 時点の航空写真を用いて、カレン族、モン族の農耕方式の違いに重点を置いて、森林分布の動態を示した。1954 年当時の密な森林が、1995 年にはモン族の活動範囲では傾斜地も含めてほとんどが農地や焼畑後の二次林に変わっていることなどを示した。

(3) パネルディスカッション

ワークショップでは「長期にわたる周期的気候変動に対する熱帯林生態系の応答」と「熱帯森林生態系研究の将来の方向」をテーマにして 2 回のパネルディスカッションがもたれた。

① 「長期にわたる周期的気候変動に対する熱帯林生態系の応答」

4 人のパネラーから次のような話題が提供された。

内嶋善兵衛（宮崎公立大学）は人口密度の変化と森林面積の変化についての関係及び、気候変動が植生気候指標、森林の生産性に与える影響についての研

究を報告した。人口密度と森林面積の関係については、指数関数で表現できることが解った。気候変動により温量指数がどのように変化するかを調べたところ、予想される温暖化により温量指数は北へシフトするが、その速度は樹木の移動速度をはるかに超える。

Nipon Tangtham（カセサート大学）は、温暖化前と温暖化後のタイの森林植生の変化について、



写真 3 パネルディスカッション

タイ環境研究所のモデル研究を紹介した。現状ではタイの森林タイプ別の面積は亜熱帯湿潤林、落葉フタバガキ林、混交落葉樹林がそれぞれ48%、32%、15%であるが、気候区分を用いて、大気中の炭酸ガスが2倍になれば北部タイでは亜熱帯湿潤林が落葉フタバガキ林に変わり、南部では亜熱帯湿潤林が混交落葉樹林に変わると予測した。

Wan Razali (マレーシア森林研究所) は、森林の二酸化炭素吸収源としての働きに焦点を当てた。京都議定書は先進国が化石燃料からの炭素の排出量を1990年時点に対し5.2%削減することを目標としているが、その中でクリーン開発メカニズムという考えを打ち出している。そこで、伐採時に放出されるCO₂の量を減らそうという「影響軽減伐採」と伐採後の再生天然林がより多くの炭素を吸収するよう促進させる「インノプライズ・プロジェクト (INFAPRO)」の2つのプロジェクトの検証を紹介した。

L.L. Rebugio (フィリピン大学) は、気候変動がフィリピンの森林に与えるダメージを予測した。様々なモデルではフィリピンの多くの地域で温度と雨量が増加することになり、森林が拡大する可能性が示唆されている。しかし、エルニーニョにより干害や洪水の頻度が増加すれば農作物生産に土地が適さなくなり、人口増加と耕作不適地の増加が森林の農地への転用圧力を高める。また、エルニーニョによる乾燥期間の増加は森林火災の頻度を高める。さらに、気候変動による温度変化は生物多様性へも深刻な影響を与える。

各パネラーによる話題提供の後、一般参加者からの意見を交えながら熱帯林と気候変動に関する研究成果を政策等の応用の場に還元していく必要性に焦点を当てて、議論を行った。

② 「熱帯森林生態系研究の将来の方向」

本パネルディスカッションでは、6人のパネリストの問題提起と自由討論を行い、将来の研究方向を模索した。

中静透 (京大生態研究センター) は、個々のプロジェクトを比較検討し、生物地理学的あるいは地球規模で総合化するためにネットワークが必要と説いた。「現存するTEMA (IGBP) などのネットワークは情報の交換やプロジェクトの総合化を行っている。熱帯林変動プロジェクトも長期モニタリングを含め、研究を続行して、国際ネットワークに貢献するべきだ。」

Utis Kutintara (カセサート大学) は、森林生態学と生物多様性保全からの生物多様性のインベントリー、生物資源の持続的利用、地球環境変化に対する環境バランス、森林生態系修復などの課題を提案し、その将来的な重要性を強



写真 4 ポスターセッション

調した。

Boonchoob Boontawee（王室林野局）は、現在問題になっている二酸化炭素トレードについて研究とその資金づくりが必要であること、生産の場と市場を考慮した生物資源の保全や、森林遺伝資源の持続的利用に対する研究、荒廃した森林生態系の修復の必要性を説いた。

Do Dinh Sam（ベトナム森林科学研究所）は、ベトナムの森林・林業状況を説明し、森林環境機能の変化に対する地球環境の変化、生物多様性、さまざまな土地利用と森林とのコンフリクト、森林環境機能の保全、森林生産性の改善などの研究の必要性を説いた。

Daddy Ruhiyat（ムラワルマン大学）は、森林生態系における養分循環の視野から持続的生産性の維持と森林資源の保全を、経済効果の点から考慮、研究する必要があると述べた。

大島康行（自然環境研究センター）は、熱帯林変動プロジェクトが10年間続き、ようやく熱帯季節林の構造や機能が明らかになってきた。これからは個々の研究成果情報の統合が必要であり、森林資源保全と森林サービスを考慮し、それらを森林政策や森林管理へと生かして行く点が重要と説いた。

会場からは、上記の研究課題提案に対する補足的な説明や森林への社会経済学的研究の必要性、研究成果を森林資源保全のための技術開発に生かすこと、森林保全のための住民参加なども重要であるなどの活発な意見が出た。

5. 今後の研究方針

熱帯季節林地帯における同様な研究は世界的にも少なく、熱帯林変動プロジェクトの成果が貴重であることが再認識されたワークショップであった。また、このワークショップ等を通じて、日本がタイに設定した最先端機器を用いた森林観測データがタイ側に提供された。これは熱帯季節林の変動情報として極めて貴重なものであり、タイ側の基礎研究を促すものになっている。長周期的な気象変動とその植生の応答の重要性がワークショップでも確認され、今後とも長期的な共同研究を継続できるように関係者が努力することが確認された。

さらに、熱帯多雨林など、異なる植生型を持つ近隣諸国を視野に入れて、東南アジア地域での協力体制を構築する必要も指摘されている。日本、タイ、インドネシア、マレーシア、フィリピンなど関連諸国でも国際共同研究の働きかけを行うが、日本がイニシアティブをとりながら、多国間での国際共同研究を推進するための予算と人材確保につとめることになる。また、数年おきに今回と同様なワークショップを各地で開催し、知見の集積とデータベースセンターの充実を図る必要がある。さらには、同様な研究成果を得ているネットワーク等への参加など、研究のグローバル化を図り、世界の森林問題への具体的な貢献を目指した取り組みを進めるべきであろう。具体的な行動案は年度内にも関係機関と交流を行って策定する予定である。

なお、本報告は日本からのワークショップ参加者が分担して執筆した報告書をもとに、とりまとめたものです。関係各位のご協力をあらためて感謝いたします。