

## 研究課題別事後評価結果

### 1. 研究課題名

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の解明

### 2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

浅野 透 総合地球環境学研究所 教授

安成哲三 名古屋大学地球水循環研究センター 教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

鈴木雅一 東京大学農学生命科学研究科 教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

小池孝良 北海道大学農学部 教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

北山兼弘 京都大学・生態学研究センター 教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

二宮生夫 愛媛大学・農学部 助教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

吉村充則 総合地球環境学研究所 助教授  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

市岡孝朗 名古屋大学・生命農学研究科 助手  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

熊谷朝臣 九州大学農学研究科 助手  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

Lee Hua Seng Forest Department Sarawak, Assistant Director  
(平成 10 年 12 月～平成 15 年 11 月)

### 3. 研究内容及び成果

熱帯林は、高い生物多様性と生物生産性に支えられ、大気と活発に相互作用をしている。生態圏と気圏の相互作用の多くは、両者の境界層としての林冠における生態プロセスに支配されている。しかし、これまで有効な林冠アクセスシステムや広域の生態プロセスを把握する手法が開発されなかったため、因果関係やメカニズムの解明が進まず、地球科学と生態学のギャップとして残されてきた。本研究では、(1)ボルネオ島の熱帯雨林に高さ 80m の林冠クレーンシステムを構築することにより、とくに(2)エルニーニョ南方振動などの環境変動が熱帯樹木の一斉開花および生態系に及ぼす影響、および(3)地球規模の環境変動と熱帯林の炭素・水収支の時間的・空間的変動の解明、さらに(4)林冠状態の広域把握を目指した。

#### (1) 林冠アクセスシステムの構築

年平均気温 26° C、年降水量 2700 mm で、明瞭な乾季をもたないため、フタバガキ科の樹

木を中心とする典型的な熱帯雨林が発達しているマレーシア連邦サラワク州のランビルヒルズ国立公園(北緯 4° 2'、東経 113° 50'、標高約 150m)に林冠クレーンを建設した。この林冠クレーンは高さ 80m、ジブ長 75m の巨大なもので、面積 1.77ha の林冠に容易なアクセスが可能になった。

### (2) 一斉開花と生物間相互作用

1992 年以降、本研究の実施期間を含む 2003 年 11 月までに、96 年、97 年、98 年、2002 年にさまざまな規模の開花があった。例外なく開花の直前に 30 日積算降水量 25mm 以下の乾燥が見られることがわかり、従来考えられていた低温仮説よりも乾燥仮説が有力であることが明確になった。また、種子生産に必要な炭素資源は樹体内からの資源転流はほとんど無く、開花から結実までの期間に行われる光合成量が重要であることがわかった。しかし、窒素は主に一斉開花期間中に脱落した葉から回収された資源によって、リンはその大部分を幹からの転流で供給されていた。したがって、開花・結実周期には栄養塩の貯蔵量が影響する可能性がある。

一斉開花の進化的要因に関しては、捕食者飽食仮説、送粉促進仮説、遺伝子流動促進仮説に分けて検討した。捕食者飽食仮説として、主として昆虫による種子散布前の捕食からの回避と、散布後の哺乳類によるものについて検討し、開花規模の小さな年には、多くの種で虫害率は高く、仮説を支持する結果を得た。ただし、従来、熱帯林では植食昆虫の種特異性は高いと考えられてきたが、多くのフタバガキ種子食昆虫が複数の属にまたがる種子を餌として利用することが分かり、その食性幅は比較的広く、その範囲は互いに重なり合っていることが明白となった。また、一部の樹種について、一斉開花時には種子散布後の死亡率(げっ歯類による捕食)が低下することから飽食仮説を支持する結果をえているが、このようなデータをさらに多くの樹種で蓄積して検討する必要がある。

一斉開花の規模と結実率のあいだには、正の相関があり、送粉促進仮説で群集レベルで支持する結果を得た。また、開花規模によって送粉者が異なるという現象も発見され、実際に DNA マイクロサテライトを用いた花粉散布パターンを解析したところ、開花規模の大きい場合には生産される種子の遺伝的多様度も高いことがわかった。一斉開花によって送粉が促進され、近交弱性を緩和するという、遺伝子流動促進を新たな仮説として提出できた。

### (3) 林冠動態と炭素・水収支

調査用クレーンを中心として 4ha、および林冠ウォークウェイを中心として 8ha の永久方形区を設定し、アロメトリー関係を用いて樹木の現存量とその変化を推定した。さらに両調査地でリタートラップを使ってリター供給量を測定し、土壌呼吸量の測定などとあわせて炭素収支を推定した。その結果、4ha プロットにおける炭素収支は、2000-2001 年が 4.85 tC/ha/year、2001-2002 年が 2.80 tC/ha/year であり、2 年間とも炭素を吸収していることが分かった。一方で 8ha プロットにおける炭素収支は、1993-1997 年には平均で 5.11 tC/ha/year の炭素を吸収していたが、非常に強い乾燥を経験した 1998 年を含む 1997-2001 年の平均では -12.59 tC/ha/year の現存量が減少しており、長期の変動観測の必要性も明らかになった。

一方、乱流変動法でも純生態系二酸化炭素交換量(NEE)の2年間にわたる長期連続計測を行った。乱流変動法を基本とするNEP(4.83 tC/ha/year)で毎木調査を基本とするNEP(2.80 tC/ha/year)よりやや大きい。推定されたNEE日変化のピークを湿潤条件、乾燥条件のそれぞれで見ると、アマゾン熱帯林の雨季、乾季のそれぞれに近い値であった。海洋性東南アジア熱帯では降雨や気温、放射環境に季節変動が乏しく、雨季・乾季のような区別が存在しない。そのかわり、年内変動として突発的で不規則な短期の乾燥状態が生じるほか、エルニーニョ南方振動の影響を強く受け、超年変動として強い乾燥条件を経験する。したがって、これまで測定例のあるアマゾン熱帯林と東南アジア熱帯林とでは、環境特性がまったく異なっており、ここでの測定値は重要な意味をもつ。

また、林冠上の水蒸気フラックスも同時に計測した。2年間の観測資料より、水蒸気フラックス(蒸発散量)は日の変動はあるが、大きい季節変化はないこと、蒸発散量は土壌水分変化の影響をほとんど受けていないことがわかった。年蒸散量は953.1mmと推定され、年樹冠遮断量351.9mmを加えると蒸発散量は1305.0mmとなった。これは湿潤熱帯の森林で報告される年蒸発散量の下限值に近い。乱流変動法による測定に特有の過小評価があるとしてこれを補正すると、年蒸散量、年蒸発散量は1191.4mm、1543.3mmとなる。これらの数値は、湿潤熱帯の森林で報告される年蒸発散量のほぼ上限値である。正味放射量に対する蒸発散量の割合は、年蒸散量953.1mmとするとき0.55、1191.4mmとするとき0.69で、これらはそれぞれ南米アマゾン流域の森林で報告される乾季における値、乾季と雨季の中間の値に対応するものである。

#### (4) 林冠状態の広域把握

林冠クレーンを用いて森林の三次元構造を非接触で精密に測定することが可能となった。また、二方向性反射特性など衛星データの補正・検証が森林でも可能となり、林冠クレーン周辺は、衛星データの重要な検証サイトとして整備できた。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

本研究は、(1)熱帯雨林の研究観測手段としての林冠クレーンの構築、(2)東南アジア熱帯雨林に特有の一斉開花の実態とそのメカニズムの解明、(3)熱帯林における炭素・水収支の解明、(4)林冠の構造・機能の広域的把握などの4課題から成っている。なかでも(1)は本研究課題を実施する前提条件であるが、マレーシア政府の機構改革や生物多様性条約にかかわる方針決定の遅延など予期せぬ現地の事情により、サラワク州ランビル国立公園における林冠クレーンの建設は一年半の遅れとなった。従って、それを用いた本格的な調査が研究期間の後半になったことは残念であった。しかしながら、前半の期間には既設の「塔」、「林冠吊り橋」等を使つての調査と以前の資料・文献の調査によって予備的観測・解析が行われ、2000年3月林冠クレーン完成後、順調に各種観測が実施された。

一斉開花の機構に関してまだ結論は得られていないが、至近要因(生理生態的要因)と究極要因(進化的要因)についてそれぞれ新しい見方を含め多くの知見が得られた。東南アジア熱帯林における炭素収支と水収支についての資料は皆無であったが、初めて測定デ

ータが提示された。炭素・水収支に関する調査研究は、林冠動態のみでなく、森林内部における動態を含めて進められている。二酸化炭素、顕熱・潜熱フラックス、土壌水分、樹冠遮断量、樹液流速等々のデータセットの構築・解析がなされつつあり、信頼度の高い測定値を得るには今後数年を要するであろう。

国外での論文発表数 66 はかなり大きな数であり、世界最高水準の林冠クレーン観測システムに負うところ大である。学術論文だけでなく本研究活動については新聞・テレビ等でもしばしば紹介されている。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

地球変動における生態圏の役割は不明確な問題を最も多く抱える分野である。とりわけ熱帯雨林はアクセスの困難さの故に、その全貌を把握することができなかった。本研究で構築した高さ 80m、ジブ長 75m、面積 1.77ha の林冠に容易にアクセスできる林冠クレーンは世界最高水準の森林研究観測施設の一つである。本施設は東南アジアで唯一のものであり、今後、世界の林冠クレーンネットワークの中核的拠点として機能することが期待される。

国連気候変動枠組条約第 3 回締約国会議 (COP3、1997、京都) で採択された (未発効ではあるが)、所謂、京都議定書で、2008~2012 年の 5 年間までに、各国が温室効果ガス排出量を決められた量に抑制することが定められている。地球上の大きな炭素貯蔵庫とされる熱帯林における炭素収支の変化が地球環境に強い影響を及ぼすことが予想され、今後、本観測拠点でのモニタリングが貴重な資料を提供するであろう。

#### 4-3. その他の特記事項 (受賞歴など)

世界最高水準の林冠クレーン観測システムが、これまで空白地帯であった東南アジア熱帯雨林に整備されたことは特筆に価する。今後も引続きこの観測拠点を利用した多くの研究成果が得られるであろう。このような研究観測施設の建設・維持が適切に行われたことは本研究グループの従前からの研究活動があったことと共に、CREST のプログラムとしての大きな成功である。林冠クレーン観測システムの国際的な利用、データの公開などが望まれる。

2001 年 3 月、研究代表者が林冠クレーンサイトで国際シンポジウム“Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest”を開催し、本施設の国際林冠クレーンネットワークにおける中核的な位置付けに貢献した。