

## 論文の内容の要旨

論文題目            リモートセンシング手法による熱帯雨林の光環境評価に関する研究  
Evaluation of Light Environment in Tropical Rainforest  
by Remote Sensing Techniques

氏     名            吉村 充則

### 1. はじめに

地球上の森林は、地球の総面積の約 30%の陸地のうちのさらに約 5 分の 1 でしかない。しかし、地球全体の植物バイオマスの 80%が森林に集中しているため、森林の地球規模の環境に対する役割が重要である。森林のうちでも熱帯雨林は、他の森林と比較してずば抜けて高い生産性を持つことから、そこで起こる現象が地球環境に対しても影響を与えることが考えられる。

一方で、森林生態学においては、森林を構成するさまざまなパラメータを計測し、光合成やガス交換を推定するなど森林におけるさまざまな現象を把握する研究が盛んに行われてきた。こういった森林の研究においては、異なる高さにおける光の状況の的確な状況把握が不可欠である。しかし、森林の光環境に対する計測は、高い樹高へのアクセスの困難さや技術的な問題があり、これまで草原や比較的規模の小さな植物群落を対象とするに過ぎなかった。

本論文は、東南アジアの熱帯雨林に対し、林冠クレーンを計測のプラットフォームとして用いた光環境計測手法を提案し、計測データに対する解析を通してその手法を確立し、さらに森林の光環境を評価し、かつ、計測手法の時間・空間での展開についても検討することで、リモートセンシング技術の森林機能の推定やスケールアップなどの森林生態学に対して貢献しようとしたものである。

### 2. 研究対象地域と基盤情報の作成

研究対象地域は、ランビル国立公園で、東マレーシア・ボルネオ島のサラワク州の東に位置し、ランビル山周辺に広がる平均樹高 40~50m の熱帯雨林地帯にある。ここでは、熱帯低地林の優先種であるフタバガキ科の *Dryobalanops aromatica* が優先している。研究のプラットフォームは、高さ 80m アーム長 75m の林冠クレーンである。このクレーンは、樹高 (40~50m) より高いため、林冠を完全に突き抜けて森林の上に出ることができる。本研究

における光環境計測の基盤情報を整備するために、林床と林冠の三次元形状を計測した。林冠では、地形測量により林床三次元データを生成した。林冠では、林冠クレーンを使ったレーザプロファイラによる計測から林冠の三次元データを生成した。この計測によって森林の三次元形状を林冠面と地上面との両面からとらえることができるため森林の構造的な特徴を知ることができる。

### 3. 光環境計測手法の確立

林冠クレーンを使った分光反射計測と林内光環境計測とからなる光環境計測手法を提案し、提案する光環境計測手法をこの地域において代表的な熱帯低地林の優先種であるフタバギ科 *Dryobalanops aromatica* の個体に対して適用し、取得された計測データから熱帯雨林の光環境の鉛直分布特性について検討した。計測の特徴は、「林冠」・「林内高さ」・「林床」の3つの位置に分けて計測したことである。図-1には、林冠クレーンを使った光環境の鉛直プロファイル計測に関する概念図を示す。ここでの光環境の計測では、林冠に入射する光が群落内に侵入した後、どのように変化していくのかを見ることになる。そのために、少なくとも林冠と林内もしくは林床とでは、計測時間が同期したデータ取得が必要で、かつ重要となる。また、林内の計測では、林内を三次元的に移動しながら任意点での計測を行うことになるので、林冠クレーンの利用は不可欠である。計測には、光量子センサやプラントキャノピーアナライザを用いて、林冠に到達した日射を「林冠」において計測し、林内に入り、吸収・反射・散乱・透過などを経て、林内にどの程度進入していくのかを「林内高さ」・「林床」で計測した。その結果、熱帯雨林においては、1) 樹冠形状に対して特有な二方向性反射特性を持ち、2) 林内高さと相対光量子束密度との関係には指数関数的な関係が、3) 林内高さと葉面積指数との関係には直線関係が、それぞれあることがわかった。相対光

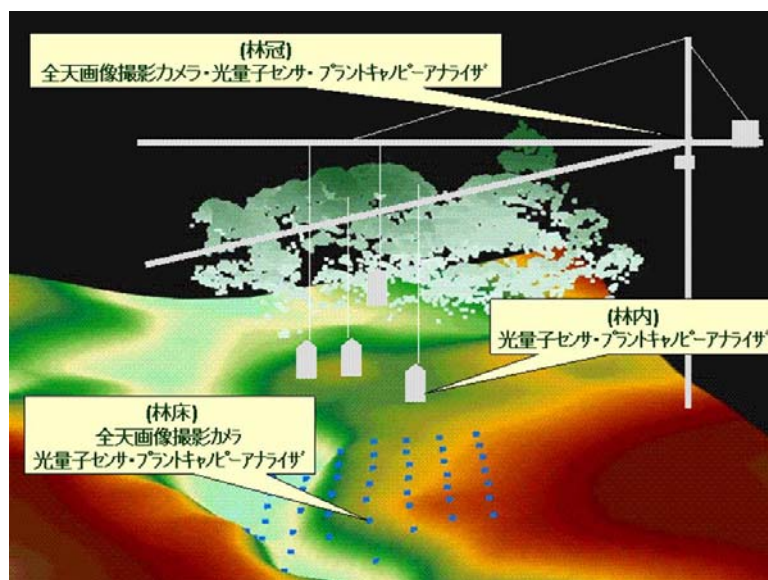


図-1 林冠クレーンを使った光環境の鉛直プロファイル計測概念図

量子束密度と葉面積指数との関係で表される日射の減衰から、対象林は Lambert - Beer の吸光則にしたがっていることがわかった。また、対象樹冠の葉の総面積を、1) 三次元形状データから計算できる地表面積と葉面積指数からと 2) 葉面積密度から推定する方法によって求めた。

#### 4. 光環境計測手法の時間・空間展開

時間変化に注目した光環境計測手法を確立するために光環境計測手法の時間軸への展開を行い、光環境の時間変化に対する熱帯雨林の光環境の応答を把握した。その結果、林冠からの反射光は、時間に依存することなくほぼ一定で、入射光に対して数%であった。これにより、経験則で言われる数値を実測値によって証明できた。また、異なる林内高さに進入する光の時間変化については、基本的に曇天日に計測されたデータがその林内高さにおける光環境を忠実に表していることがわかった。さらに、林内光環境の時間代表性については、晴天時には日平均値、曇天時には 30 分平均値を取れば、それぞれ対象林を代表する値を求められることがわかった。分光反射特性と日射量の時間変化からは、531nm と 570nm の波長における反射特性に注目したスペクトル指標である PRI (Photochemical Reflectance Index) を、光合成速度の計測結果より導き出された光-光合成曲線と比較することで、強い日射にさらされる熱帯雨林の光防御機能を推定できる可能性があることがわかった。

光環境計測手法を空間的に展開することと、応用可能性を探ることを目的として、光環境計測手法の空間展開を行い、衛星データとの比較や衛星検証への応用可能性、さらにスペクトル指標による植物の生理生態機能推定への応用可能性について探った。林冠における計測の空間展開では、計測点を対象林冠全体の 2 次元空間上で一様に分布するように配置して分光反射計測を実施することで、計測されたデータからグリッドベースでの分光反射データが生成できた。葉面積指数については、林冠表層で計測点が林冠より林内に約 1m 進入しかつ 2 次元空間上で一様に分布するよう考慮した計測からグリッド化を行うことができた。林全体の林内における光環境については、1) 相対光量子束密度と葉面積指数、2) 相対光量子束密度と林内高さ、3) 葉面積指数との林内高さとの関係が、いずれもこの林を代表する樹種に対する計測結果と類似の傾向を示していた。また、光環境の環境要因別傾向からは、林は東西方向において特徴的であり、それはこの地域に降り注ぐ日射を効率よく受けるためであることがわかった。

衛星データとの比較・検証への応用では、高分解能衛星 IKONOS データから算出される見かけ上の反射率と計測データに基づくグリッドベース分光反射データとの比較を行った。また、GLI の衛星検証を目的としたデータ処理からは、本論文で提案した計測が今後の衛星検証において十分な利用可能性を持っていることがわかった。スペクトル指標による植物の生理生態機能推定への応用可能性では、主として実験室で得られた色素と分光反射の関係から提案されているいくつかのスペクトル指標について、空間展開された分光反射デ

ータを用いて指標算出を行い、その空間分布について検討した。現地における葉の色素抽出を行っていないので、現時点ではその有効性については明らかではないが、空間展開という面からは応用の可能性は十分にあるものと思われる。

## 5. まとめ

本論分で確立した光環境の計測手法は、そのデータ解析から、森林における光の分布を的確に捉えていることがわかった。同時に、熱帯雨林の光環境に関するいくつかの興味深い知見も得ることができた。このことから、本研究で確立した森林の光環境計測手法は、取得されたデータとそれに対するデータ解析から、森林の光環境を的確に評価し、かつ、その結果が森林の定量化や炭素固定、水循環などといった森林の持つ機能の推定やモデルの構築に対するパラメータとして活用されるものと結論付けることができる。また、個葉レベルや鉛直一次元で議論されてきた森林のいくつかの機能推定に対し、本論文で確立した光環境計測手法を適用すれば、そのスケールアップに対し貢献できる結果が得られ、森林生態学などの関連分野における貢献が極めて高いと判断された。

本研究の独自性でもある林冠クレーンを計測対象への三次元的アクセスに用い、さらに空間的に限界のあった計測手法を空間展開することで、衛星データを援用した光合成推定などのさらなるスケールアップへの可能性へとつながる。現在、この研究は、Global Canopy Network を中心とする林冠クレーンを使った分野横断型の国際共同研究として進められている。さらに、本研究の方法は、特に熱帯雨林に限定したものではない。したがって、今後、他の異なる森林において展開していくことが考えられ、本研究の将来性は大きいものと考えられる。

研究の今後の展望については、データの交換やデータの相互利用から、これまで以上に質の高いデータ収集や研究を図るために積極的に得られたデータや情報の公開を図っていきたいと考えている。同時に、他の森林サイトにおける研究の展開や連携についても積極的に行っていきたいと考えている。