

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19405006  
 研究課題名（和文） 熱帯多雨林の樹冠形態多様性解析に基づく林冠葉群三次元構造のモデリング  
 研究課題名（英文） Modeling 3D canopy structure of tropical rainforest, based on the analysis of crown architecture diversity

## 研究代表者

甲山 隆司（KOHYAMA TAKASHI）  
 北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授  
 研究者番号：60178233

研究成果の概要：マレーシア熱帯多雨林において、樹種間の樹冠形態特性を解明し、林冠葉群三次元構造を記述する手法を確立した。個体の樹冠構造に基づく林冠三次元構造解析と葉群リモートセンシングという二つのアプローチを用いた。200種の樹冠ディメンション間の関係を階層ベイズモデルを用いて推定した。樹種間差は、最大到達サイズと耐陰性で大きく説明され、それぞれ、垂直方向の葉群分布と、水平方向のギャップ動態による光不均質性という環境構造に対応していた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
年度			
年度			
年度			
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生態・環境

キーワード：①生態学 ②生物多様性 ③熱帯生物学

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯多雨林にはきわめて多くの樹木種が共存しているが、そのメカニズムの理解はいまだ不十分である。フィールド調査とモデル解析を通して、熱帯多雨林の多種共存には、最大到達高とギャップ更新におけるパッチ発達段階を分けるような樹木種間のトレードオフが貢献している（「森林構造仮説

」 Kohyama 1993; Kohyama 2006）。一般的な森林調査では、幹直径ベースの個体センサスを行なうが、種間のトレードオフを反映して、幹直径と樹冠サイズ属性との間のアロメトリーも変化する（Aiba and Kohyama 1997; Kohyama *et al.* 2003）。こうした種間の樹冠形成の差異は、森林構造仮説を補強する重要な要素である。個体樹冠の集合体で

ある林冠三次元構造を記述するためにも、また個体ベースの挙動（加入、成長、死亡）を、林冠構造の関数として表わすためにも、樹種間のアロメトリー多様性を統計的に把握することが必要である。きわめて多くの樹種から形成される熱帯多雨林樹木の樹冠形態の種内・種間変異と、その環境や個体成長履歴依存性の解析には、大規模観測プロットデータをベイズ統計学的手法で解析することが適当である。近年、樹冠観測や葉群分布の観測などに、目的に応じたりモートセンシング手法が利用できるようになり、熱帯林の構造解析に適用されてきている（Okuda et al. 2003a, 2004a; Parker et al. 2004）。三次元レーザープロファイラーによって、観測時点での林冠葉群分布が再現できるが、個体計測データと三次元レーザープロファイラーによる林冠葉群三次元分布の照合に基づく、個体樹冠葉群分布のモデル化も可能な段階になってきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、マレーシア半島の熱帯多雨林の大面積長期観測プロットを対象として、リモートセンシング手法と個体の樹冠構造の集合としての林冠葉群三次元構造の記述という二つのアプローチを用いて、樹種間および種内の樹冠形態特性の変異を定量的に同時解明し、樹冠集団としての林冠葉群三次元構造を記述する手法を確立することを目的とした。対象として、半島マレーシア・クアラルンプールの南西に位置するパソー森林保護区の50ヘクタールプロットを用いた。プロット内の38万本の樹木個体はすべて樹種が同定され、1985年から20年にわたって樹木個体の位置と幹直径のセンサスが5年間隔で行われており、事前解析などに極めて適したデータセットが利用できるた

めである。

## 3. 研究の方法

パソー保護区 50ヘクタールプロットのデータセットに基づいて、多種多個体を対象とした客観的な手法により調査対象個体のサンプリングを行なった。調査手法の比較検討のために、屋久島の照葉樹林でも現地調査を実施した。同プロットのインベントリデータに基づいて、樹種の優占度にかかわらず、個体サイズで重みづけした樹種あたり 20 個体のサンプリングを行なった。50種 20 個体を単位とするサンプル個体リストを4組生成させ、20メートル区画のサブプロット単位にリストを配列し、現地センサスに用いた。対象個体数は計 4000 になった。樹冠ディメンション（個体最大高、葉群最下高、直行する2方向樹冠幅）および幹基部直径（胸高直径）を、レーザー距離・角度計、伸縮式測桿、鉛直方向を視認するための機器を用いて実施した。観測データに基づき、樹冠ディメンション（幹直径、樹高、樹冠深度、樹冠投影面積）の間のアロメトリー関係を、階層ベイズモデルを用いて推定した。

林冠や森林内部の三次元構造がリモートセンシング技術（航空機搭載型レーザー測器）でどの程度精度良く測定できるか、また林冠構造の空間的変動が内部構造にどのように関係しているかを明らかにするために、パソー保護林で現地調査をおこなった。携帯型レーザー測器をもちいて、林冠上部から、および林内地表から観測を行ない、対比解析をした。

## 4. 研究成果

### (1) アロメトリー解析

階層ベイズモデルを用いて、200 種間の確率的な違いを明らかにした。樹種特性値として、最大到達サイズ（幹直径分布の上位 95% 値）、耐陰性（幹直径分布のモーメント歪度）、優占度（50 ha プロットの総個体数）を評価した。観測された種間差は、最大到達サイズと耐陰性で大きく説明され、それぞれ、垂直方向の葉群分布と、水平方向のギャップ動態による光不均質性という環境構造に対応していることを明らかにした。

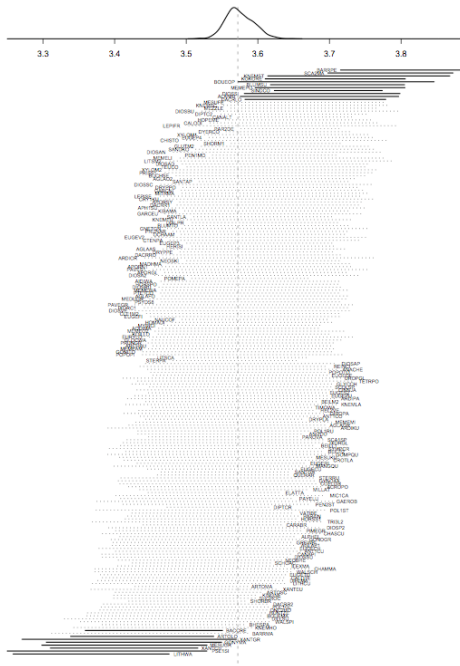


Fig. 1a. Estimated posterior distribution in parameter  $\alpha_{11}$ . The posterior distribution above x-axis shows community-level. Horizontal lines below x-axis show 95% credible interval of species-specific posterior distribution in parameter  $\alpha_{11}$  with species abbreviation (See Appendix). Solid lines represent specific posterior distributions that don't include the mean of community tendency and dashed lines represent specific posterior distributions that include the mean of community tendency.

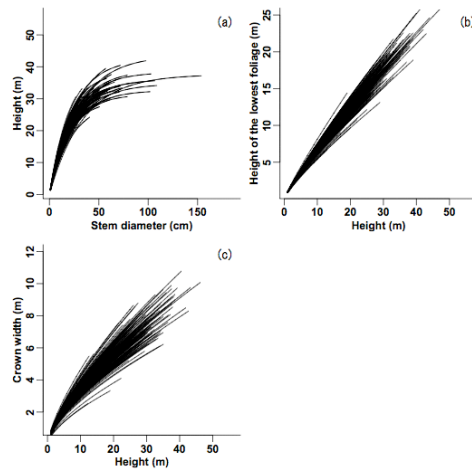


Fig. 2. Predicted relationships between crown architectural dimensions for 200 species: (a) dbh vs. tree height, (b) tree height vs. height of the lowest foliage, (c) height vs. crown width. The maximum size for each species is the 95% quantile based on the posterior distribution of size generated in MCMC for parameter estimation.

林分(20 m × 20 m)単位で注目した場合の樹種差の重要性について検討した。幹直径のデータに基づき、群集全体の傾向のみを考慮した林分、樹種差を考慮した林分、そして実際に調査区内の全個体を測定した林分の3つの場合について推定した樹冠密度を比較した。その結果、樹種差の有無に関わらず、実際に測定した場合よりも高層部の樹冠密度が過小推定され、樹種差を考慮した場合の方が実測値に近い密度分布をもった。この樹冠密度の推定差異は、他の特性による樹種差及び個体差に起因すると考察した。

(2) リモートセンシングによる葉群分布解析  
 熱帯雨林（低地フタバガキ林）を対象に林冠や森林内部の三次元構造がリモセン技術（空中写真や航空機搭載型レーザー測器）でどの程度精度良く測定できるか、また林冠構造の空間的変動が内部構造にどのように関係しているかを明らかにする目的でバ

ソー保護林で現地調査をおこなった。その結果、林冠層の高さ及び地表面の空間変動がレーザー測量によって推定可能であり、複雑な林冠構造をもつ熱帯林においてもレーザーによる地上部の現存量の推定が可能であることが分かった。林内の亜高木層や低木層の空間変動に対し、レーザー測量による捕捉可能かという点について分析した結果、高い精度で推定出来ることが分かったが、推定値と亜高木層の樹高との相関性自体が高くないため、今後、現地調査範囲を広げた調査が必要である。各波長間の空間変動には高い相関関係が得られたが、厳密には林内のどの階層が捕捉できているのかという点については不明な点が多く、森林内部の個々の樹高測定を行うような精査が必要である。また林冠構成種の葉群量についてレーザー測量によってどの程度推定可能かについても分析した結果、推定された空間体積と葉群量との間に有意な相関が認められた。以上の結果により複雑な構造を呈する熱帯林においても、林冠の時空間的構造や地上部の現存量の増減の推定には、レーザー測量が有効であることが分かったが、林内構造の変動については森林内部からの測定を同時に行うような調査が必要であると考えた。

複雑な林冠構造をもつ熱帯林においてもレーザーによる地上部の現存量の推定が可能であることが分かった。林内の亜高木層や低木層の空間変動についてもレーザー測量によって高い精度で推定出来ることが分かったが、推定値と亜高木層の樹高との相関性自体が高くないため、今後、現地調査範囲を広げた調査が必要である。各波長間の空間変動には高い相関関係が得られたが、厳密には林内のどの階層が捕捉できているのかという点については不明な点が多く、

森林内部の個々の樹高測定を行うような精査が必要である。また林冠構成種の葉群量についてレーザー測量によってどの程度推定可能かについても分析した結果、推定された空間体積と葉群量との間に有意な相関が認められた。以上の結果により複雑な構造を呈する熱帯林においても、林冠の時空間的構造や地上部の現存量の増減の推定には、レーザー測量が有効であることが分かったが、林内構造の変動については森林内部からの測定を同時に行うような調査が必要であると考えられた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

①Kohyama, T., Takada, T., The stratification theory for plant coexistence promoted by one-sided competition., *Journal of Ecology*, 査読有, 97, 2009, 463-471

②Suzuki, R. O., Numata, S., Okuda, T., Md. N. Nur Supardi and Kachi, N., Growth strategies differentiate the spatial patterns of 11 dipterocarp species coexisting in a Malaysian tropical rain forest., *J. Plant Research*, 査読有, 122, 2009, 81-93

③Naito, Y., M. Kanzaki, H. Iwata, Obayashi, K. Lee, S. L., Muhammad, N. Okuda, T., Tsumura Y., Density-dependent selfing and its effects on seed performance in a tropical canopy tree species, *Shorea acuminata* (Dipterocarpaceae)., *J. Forest Ecology and Management*, 査読有, 256, 2008, 375-383

④Yashiro, Y., Wan Rashidah K., Okuda, T., Koizumi, H., The effects of logging practices on soil green house gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) flux in tropical humid forest, Peninsular Malaysia., *Agricultural and Forest Metrology*, 査読有, 148, 2008, 799-806

[学会発表] (計6件)

①矢澤佳子, 甲山隆司, 久保拓弥, Abd Rahman. K., Potts D. M., 熱帯多

雨林における樹木 200 種の樹冠構造の種間変異. , 第 56 回日本生態学会盛岡大会・企画集会, 2009 年 3 月 17~21 日, 岩手県立大学, 盛岡

②Okuda, T., Numata, T. Parker, T., Yusop, Z., Hashim, M., Ibrahim, Ab. L., Lau, A. M. S., Tagashira, N., Chiba M., Landuse change and its effects on the ecosystem services of the Malaysian Tropical Rain Forest., Sustainability Governance Project (SGP), Pre-G8 Summit Symposium, June 25<sup>th</sup>, 2008, Century Royal Hotel, Sapporo

③奥田敏統, ギボンのコールと森林環境について. , 第 18 回日本熱帯生態学会年次大会, 2008 年 6 月 20~22 日, 東京大学, 東京

④山田裕子, 山田俊弘, 奥田敏統、低地熱帯雨林におけるフタバガキ科 22 種の生長・加入・生残速度と生育環境の関係. , 日本生態学会中国四国地区会 第 52 回大会, 2008 年 5 月 17 日, 広島大学, 広島

⑤ Okuda, T., Numata, T. Parker, T., Yusop, Z., Hashim, M., Ibrahim, Ab. L., Lau, A. M. S., Tagashira, N., Chiba M., Landuse change and its effects on the ecosystem services of the lowland tropical landscape in a peninsular Malaysia., Annual Conference of ATBC Asia-Pacific Chapter Conference, April 23-26, 2008, Holiday Inn, Kuching, Sarawak, Malaysia

⑥Yazawa, Y., Kohyama. T., Kobo. T., Abd Rahman. K., Potts. D. M., Differentiation in crown architecture among 200 tree species in a lowland rainforest, Peninsula Malaysia., Annual Conference of ATBC Asia-Pacific Chapter Conference, April 23-26, 2008, Holiday Inn, Kuching, Sarawak, Malaysia

〔図書〕(計 1 件)

奥田敏統, 東海大学出版, 熱帯林のエコシステムサービス; 劣化のプロセスと修復への糸口 pp. 74-90 熱帯林研究ノート ピーターアシュトンと語る熱帯林の未来(中静透編), 2009 年, pp. 111

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

甲山 隆司 (KOHYAMA TAKASHI)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

研究者番号: 6 0 1 7 8 2 3 3

### (2)研究分担者

奥田 敏統 (OKUDA TOSHINORI)  
広島大学・大学院総合科学研究科・教授  
研究者番号: 2 0 2 1 4 0 5 9

### (3)連携研究者

清野 達之 (SEINO TATSUYUKI)  
筑波大学・生命環境科学研究科・講師  
研究者番号: 4 0 3 6 2 4 2 0  
久保 拓弥 (KUBO TAKUYA)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・助教  
研究者番号: 8 0 3 4 4 4 9 8