

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18472

研究課題名(和文) 熱帯林減少に伴う系統的多様性の消失と系統の群集構造の変化の解明

研究課題名(英文) Loss of phylogenetic diversity and change of phylogenetic community structure by tropical deforestation

研究代表者

遠山 弘法 (Toyama, Hironori)

九州大学・理学研究院・学術研究員

研究者番号：00571837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：過去十年ほどの熱帯林伐採で、どの程度系統的多様性が失われ、どのような系統の群集構造の変化が生じたのかをカンボジア5地域に設置されたプロットを用いて解析した。先行研究のカンボントム州のデータに合わせ、ココン州、シムリアップ州、ラタナキリ州、クラティエ州の1998年から2010年にかけて4回行われた毎木調査データを集積し、整理が終わったココン州について解析を行った。系統的多様性は、1本の伐採により2300万年分減少し、先行研究と一致した。一方、系統の群集構造は伐採による有意な変化は見られず、先行研究と異なった。今後、他の地域での解析を加え、地域ごとの違い、また普遍性について議論する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to reveal how much phylogenetic diversity was lost, and how phylogenetic community structure was changed by logging during the last decade by using the permanent sample plots established in five area of Cambodia. In addition to the previous data of 1600 individuals in Kampong Thom, I accumulated 1347 in Koh Kong, 849 in Siem Reap, 817 in Ratanakiri and 667 in Kratie that were measured 4 times during 1998 to 2010. I identified species of plot trees in Kratie and Koh Kong, and sequenced rbcL and matK regions of 1088 individuals. Phylogenetic community structure was analyzed in Koh Kong for first step. One logging decreased 23 Ma of phylogenetic diversity that was consistent with the previous study in Kampong Thom. However, phylogenetic community structure was not changed by logging that was different from the previous study. I will analyze other regions and compare the result to reveal the regional differences and the generality.

研究分野：群集系統学

キーワード：伐採 系統的多様性 系統の群集構造 熱帯林 種同定 新種記載 カンボジア

### 1. 研究開始当初の背景

インドシナ半島は、近年熱帯林が急速に失われている地域である。とくにカンボジアにおける減少は著しく、2000–2012年の間に国土の約7%にあたる熱帯林が消失している。伐採が生物多様性や群集構造に与える影響はよく研究されている。まず、伐採は優占樹木の密度、胸高断面積を減少させ、ギャップを生み、光環境の変化をもたらす。その環境変化に伴い、優占樹種の死亡率を上昇させ、パイオニア種の新規加入を促し、植物相を変化させる。そして、最終的に種多様性を減少させる事が知られている。しかしながらこれまで、伐採により系統的多様性がどの程度失われているのか定量的に示した研究はない。系統的多様性を調べる事で、時間という単位で多様性を定量化することができ、対象とする群集の多様性が形成されるのに必要とされた時間を知る事ができる。また、多様性を時間という分かりやすい単位で置き換えることができ、森林を利用している住民に対する保全指導に利用する事ができる

### 2. 研究の目的

本研究では、進化時間スケールを考慮に入れた生物多様性の評価を、熱帯林伐採が著しいカンボジアで行うことで、1) 過去十年ほどで行われた熱帯林伐採によってどの程度、系統的多様性が失われたのかを定量化し、2) 伐採が引き起こす系統的多様性の方向性を明らかにすることで、今後カンボジアで生物多様性の維持・回復に向けてどのような方法が有効かを示唆することが目的である。

### 3. 研究の方法

#### 1) 伐採による系統的多様性の消失

ココン州、シムリアップ州、クラティエ州、ラタナキリ州に設置されている50 m × 50 m × 20 プロットのプロット樹種から葉を採集しDNAを抽出、シーケンス、種同定、系統樹の作成、系統的多様性の計算を行う。同定の中で新種を見つけた場合は新種記載を行う。同定されたプロットデータを用い、系統的多様性の経年変化を明らかにするとともに、系統的多様性の変化をもたらす伐採枯死、新規加入の効果の大きさと方向性をGLMMにより解析する。系統的多様性の評価の際には、系統樹の不確実性を考慮した解析を行う。

#### 2) 伐採が引き起こす系統的多様性の方向性

プロットデータを用い、系統的多様性の方向性を解析する。また、系統的多様性の方向性を明らかにする要因(違法伐採、枯死、新規加入)の効果の大きさと方向性をGLMMにより解析する。

### 4. 研究成果

#### 1)- プロット樹種の DNA バーコーディングと種同定

先行研究を行ったカンボントム州(1600 本)のプロットデータに合わせて、ココン州(1347 本)、

シムリアップ州(849 本)、ラタナキリ州(817 本)、クラティエ州(667 本)の1998年から2010年にかけて行われた毎木調査データを集積した。そして、ココン州の306 個体、シムリアップ州の289 個体、クラティエ州の106 個体、ラタナキリ州の296 個体において*rbcL*と*matK*の配列を決定した。クラティエ州、ココン州においては同定作業を終え、それぞれ、27科83種、42科162種がプロット内で生育していた。

#### 1)- 系統解析

プロット樹種を含む1088 個体の*rbcL* 配列(*matK* はアライメント中)を用いベイズ法により行った。APG 体系に矛盾しない系統樹を得ることができた(図1)。

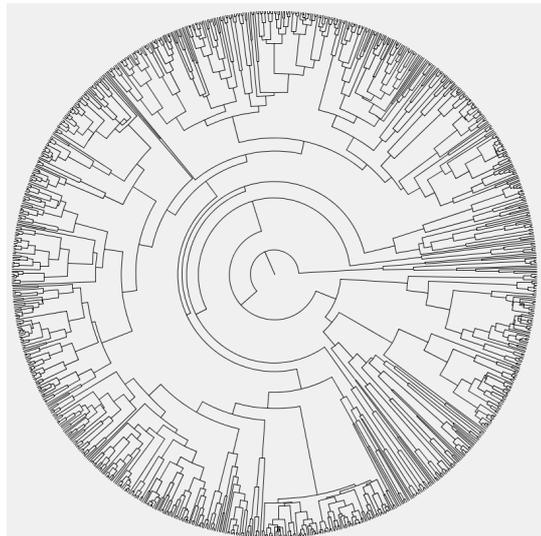


図1. 化石年代により制約を加え推定された1088 個体の*rbcL* 配列による系統樹

#### 1)- 系統的多様性の経年変化とその要因

種同定に時間がかかり、すべてのプロットデータを整理することができなかったため、先行研究を行ったコンボントム州とは異なり、伐採が少なく、かつプロット樹木の本数が2番目に多い地域であるココン州に焦点を当て、解析を行った(図2)。種多様性は12年間を通してプロット平均1.8種増加し(図3)、系統的多様性はプロット平均5347 万年分増加していた(図4)。先行研究を行ったコンボントム州では12年間でプロット平均2.15種、2000 万年分の系統的多様性が減少しており、ココン州は異なるパターンを示した。これは、伐採数が少なく、新規加入数が枯死数を超えていた結果だと考えられる。

種多様性・系統的多様性の変化量に対する伐採・枯死・新規加入の効果の大きさをGLMMにより解析したところ、種多様性は、1本の枯死によりプロットから0.2種減少し( $p < 0.001$ )、1本の新規加入により0.25種増加していた( $p < 0.001$ )。系統的多様性は、1本の伐採により2300 万年分減少し( $p = 0.003$ )、1本の枯死により1400 万年分減少し( $p = 0.001$ )、1本の新規加入により2000 万年分増加していた( $p < 0.001$ )。1本あたりの効果の大きさと方向性は先行研究を行ったコンボントム州と一致する結果であった。

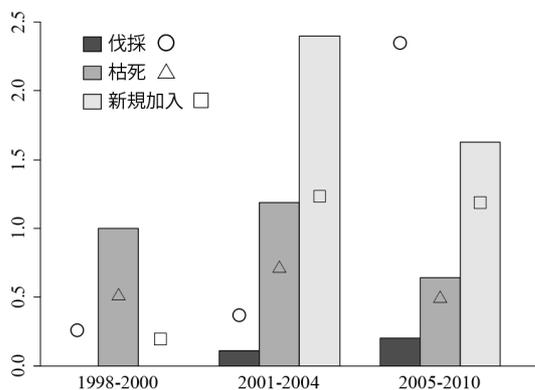


図 2. 伐採・枯死・新規加入数/年/プロット。棒グラフはコンコン州のデータ。散布図は先行研究を行ったコンポントム州のデータ。

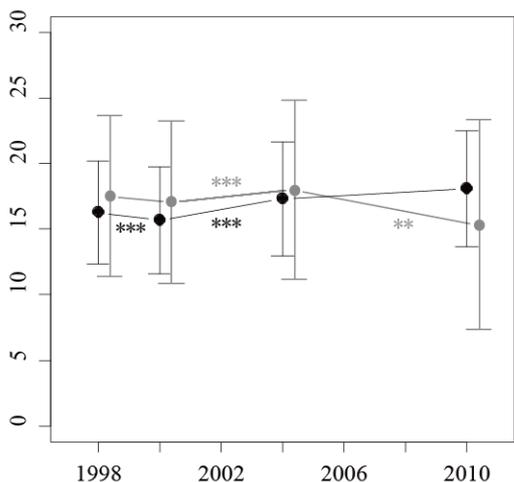


図 3. 種多様性の経年変化。黒色はコンコン州、灰色は先行研究のデータ。\*は変化量が

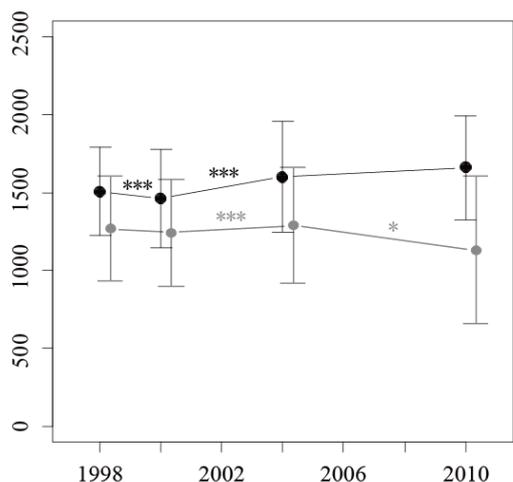


図 4. 系統的多様性の経年変化(単位は百万年)。黒色はコンコン州、灰色は先行研究のデータ。

## 2) 伐採が引き起こす系統的群集構造の変化の方向性

群集内種間の平均系統距離に対しては伐採、枯死、新規加入とも有意な効果を示さなかった。先行研究を行ったコンポントム州では伐採が進むと系統的に偏った分類群で構成され、反対に

新規加入があると群集は系統的に多様な分類群で構成されていた。両地域の違いがなぜ生じたのかについては、今後、シムリアップ州、クラティエ州、ラタナキリ州での解析を加え、地域ごとの系統的パターンの違いと群集組成や環境の違いを考慮することで、見えてくるかもしれない。

## 3) その他の成果

プロット樹種を、他の地域より採集した標本と比較し同定する中で、5 種の新種記載を行った。中には、東南アジアに分布する他の近縁種と比べて形態的、系統地理学的にも興味深い新種がいくつか見つかった。例えば、カンボジア南部で採集した *Euphorbia bokorensis* は、葉緑体 DNA 配列 (*matK* 2082 bp, *ndhF* 1449 bp) と核 DNA 配列 (ITS 669 bp) による系統解析の結果、アジアに分布している種ではなく、アフリカやマダガスカルに分布している種と近縁であった (図 5)。このことは、*Euphorbia bokorensis* がアフリカやマダガスカルから長距離散布によってカンボジア南部のみに残された結果である可能性の 2 つが考えられる。また、タイ半島部で採集した *Glycosmis suberosa* は、これまで知られている *Glycosmis* には無い、コルク質を枝に発達させるという特徴を持っていた (図 6)。ベトナムで採集した *Eustigma honbaense* は頂芽と腋芽で形態が異なっていた (図 7)。具体的には、頂芽は苞葉で覆われておらず (裸芽)、腋芽は覆われていた (鱗芽)。これまでに知られている *Eustigma* 属の 3 種では、裸芽しか報告されておらず、属全体の見直しが必要になることを示唆した。

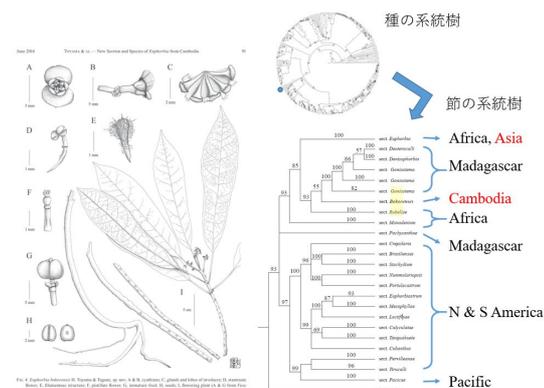


図 5. *Euphorbia bokorensis* H. Toyama & Tagane. 左から線画、系統樹

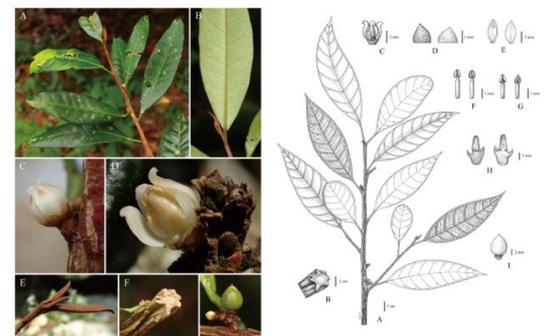


図 6. *Glycosmis suberosa* H. Toyama & Rueangr.

左から生態写真、線画。

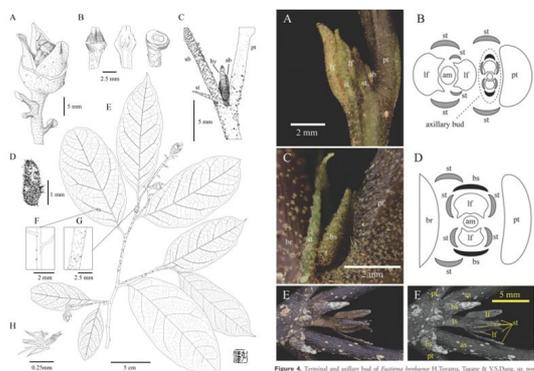


図 7. *Eustigma honbaense* H. Toyama, Tagane & V.S. Dang. 左から線画、頂芽と腋芽の違い。

カンボジアのボコー国立公園において、図鑑を編集し出版した(図 8)。図鑑には我々の調査で発見された新種 24 種、およびカンボジア新産の植物種 100 種以上を含む 105 科 375 属 747 種の植物を収録した。また、ホームページを開設し、CC BY-NC(非営利で原典の引用があれば自由に使える)で pdf を web 上で公開した(<https://sites.google.com/site/pictureguides/>)。



図 8. 樹木図鑑の一部。

## 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 25 件)

Suetsugu K, Naiki A, Tagane S, Toyama H, Takeuchi Y and Yahara T (accepted) New distributional records of the mycoheterotrophic plant *Sciaphila alba*, outside the type locality. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica.

Naiki A, Tagane S, Chhang P, Dang VS, Toyama H, Nagamasu H, Yahara T (accepted) Two new taxa and one new record of *Tarenna* for flora of Cambodia and Vietnam. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica.

Naiki A, Tagane S, Ngyuen VN, Toyama H and Yahara T (2017) New localities and flower

morphology for *Lasianthus giganteus* (Rubiaceae). Acta Phytotaxonomica et Geobotanica 68 (1): 59–62.

Tagane S, Yahara T, Dang VS, Toyama H and Tran H (2017) *Trigonostemon honbaensis* (Euphorbiaceae), a new species from Mt. Hon Ba, southern Vietnam. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica 68 (1): 39–44.

Toyama H, Dang VS, Tagane S, Ngyuen N, Naiki A, Nagamasu H and Yahara T (2017) *Garcinia hopii* (Clusiaceae), a new species from Bidoup Nui Ba National Park, southern Vietnam. PhytoKeys 77: 63–70.

The Legume Phylogeny Working Group (including Toyama H) (2017) A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. Taxon 66 (1): 44–77.

Toyama H, Rueangryea S, Tagane S, Naiki A, Nagamasu H, Suddee S and Yahara T (2016) *Glycosmis suberosa* (Rutaceae), a new species from Khao Luang National Park, Thailand. Thai Forest Bulletin (Botany) 44 (2): 116–121.

Nguyen VN, Tagane S, Toyama H, Okabe N, Chinh ND and Yahara T (2016) *Popowia bachmaensis* (Annonaceae), a new species from Bach Ma National Park, Central Vietnam. PhytoKeys 65: 125–131.

Dang VS, Tagane S, Toyama H, Naiki A, Nagamasu H and Yahara T (2016) *Lasianthus honbaense* (Rubiaceae), a new species from southern Vietnam. Annales Botanici Fennici 53: 263–266.

Toyama H, Tagane S, Chhang P, Nagamasu H and Yahara T (2016) Flora of Bokor National Park, Cambodia IV: A new section and species of *Euphorbia* subgenus *Euphorbia*. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica 67 (2): 83–96.

Tagane S, Toyama H, Chhang P, Dang VS and Yahara T (2016) Extension of the geographic distribution of *Xanthophyllum ellipticum* and *X. obscurum* (Polygalaceae). Cambodian Journal of Nature History 2016 (1): 15–19.

Toyama H, Tagane S, Dang VS, Tran H, Nagamasu H, Naiki A and Yahara T (2016) A new species of *Eustigma* (Hamamelidaceae) from Hon Ba nature reserve in Vietnam. PhytoKeys 65: 47–55.

Yahara T, Tagane S, Mase K, Chhang P and Toyama H (2016) Flora of Bokor National Park

V: Two new species of *Machilus* (Lauraceae), *M. bokorensis* and *M. brevipaniculata*. *PhytoKeys* 65: 35–46.

Zhang M, Tagane S, Toyama H, Kajisa T, Chhang P and Yahara T (2016) Constant tree species richness along an elevational gradient of Mt. Bokor, a table-shaped mountain in southwestern Cambodia. *Ecological Research* 31 (4): 495–504.

Toyama H, Tagane S, Chhang P, Nagamasu H and Yahara T (2016) Flora of Bokor National Park, Cambodia III: A new species, *Garcinia bokorensis* (Clusiaceae). *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 67 (1): 47–53.

Tagane S, Nguyen H, Nguyen N, Hoang S, Toyama H, Yang CJ and Yahara T (2016) *Homalium glandulosum* (Salicaceae), a new species from Vu Quang National Park, North Central Vietnam. *PhytoKeys* 58: 97–104.

Tagane S, Dang VS, Rueangruea S, Suddee S, Chhang P, Toyama H and Yahara T (2015) *Elaeagnus elongates* Tagane & V.S.Dang (Elaeagnaceae), a new species from Cambodia and Thailand. *Thai Forest Bulletin* 43: 30–35. (査読有り)

Tagane S, Dang VS, Toyama H, Naiki A, Nagamasu H, Yahara T and Tran H (2015) *Aporosa tetragona* Tagane & V. S. Dang (Phyllanthaceae), a new species from Mt. Hon Ba, Vietnam. *PhytoKeys* 57: 51–60.

Naiki A, Tagane S, Chhang P, Toyama H, Zhu H, Dang VS and Yahara T (2015) Flora of Bokor National Park, Cambodia II: four new species and nine new records of *Lasianthus* (Rubiaceae) from Cambodia. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 66 (3): 153–179.

Dang VS, Tagane S, Toyama H, Yahara T, Naiki A, Nguyen HQ and Tran H (2015) A new record of *Burmannia championii* Thwaites (Burmanniaceae) from Southern Vietnam. *Journal of Biotechnology* 13 (4A): 1393–1396.

②① Tagane S, Wijedasa LS, Chhang P, Toyama H and Yahara T (2015) Two new records of *Memecylon corticosum* var. *kratense* and *M. paniculatum* (Melastomataceae) from Cambodia. *Cambodian Journal of Natural History* 2015 (2): 139–143.

②② Tagane S, Yukawa T, Chhnang P, Ogura-Tsujita Y, Toyama H and Yahara T (2015) A new record of *Aphyllorchis pallida* (Orchidaceae) from Cambodia. *Cambodian*

*Journal of Natural History* 2015 (2): 128–130.

②③ Dang VS, Tagane S, Toyama H and Tran H (2015) *Lasianthus yaharae* (Rubiaceae), a new species from Hon Ba Nature Reserve, Southern Vietnam. *Annales Botanici Fennici* 52: 352–354.

②④ Tagane S, Toyama H, Chhang P, Nagamasu H and Yahara T (2015) Flora of Bokor National Park, Cambodia I: Thirteen new species and a new species status. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 66 (2): 95–135.

②⑤ Tagane S, Dang VS, Yahara T, Toyama H and Tran H (2015) *Goniothalamus flagellistylus* Tagane & V. S. Dang (Annonaceae), a new species from Mt. Hon Ba, Vietnam. *PhytoKeys* 50: 1–8.

(学会発表) (計 6 件)

Toyama H. Plant taxonomy, DNA barcoding, and community phylogenetics in Southeast Asia. Phenology Workshop in Fukuoka. Fukuoka, Japan. 21 March 2017.

遠山弘法. DNAバーコーディングを利用した新種記載. 第64回日本生態学会年次大会. 東京. 2017年3月16日.

Toyama H and Yahara T. Two examples of DNA barcoding for discrimination of new species. East Asian Plant Diversity and Conservation 2016. Tokyo, Japan. 23 August 2016.

遠山弘法. 植物群集の多様性を決定する要因～群集系統学の手法を用いて～. 琉球大学熱帯生物学研究センター西表研究施設第7回合同セミナー. 西表. 2016年6月3日.

遠山弘法. 植物群集の多様性を決定する要因. 第276回京都大学生態研セミナー. 滋賀. 2016年5月27日

遠山弘法. DNAバーコーディングによる *Balanophora* の宿主探索と2種の新種記載. 第63回日本生態学会大会. 仙台. 2016年3月24日.

(図書) (計 2 件)

Tagane S, Toyama H, Fuse K, Chhang P, Naiki A, Nagamasu H and Yahara T (2017) A Picture guide of forest trees in Cambodia IV -Bokor National Park-. Center for Asian Conservation Ecology, Kyushu University. Fukuoka, Japan. pp. 1–780.

遠山弘法, 辻野亮 (2015) 第7章 熱帯林の消失・回復と時間 過去を復元し現在の多様性を知る. 宮下直・西廣淳 (編). 保全生態学

の挑戦. 東京大学出版会, pp. 109–125.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠山 弘法 (TOYAMA, HIRONORI)

九州大学・大学院理学研究院・学術研究員

研究者番号: 00571837