

平成 21 年 4 月 7 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18780126

研究課題名 (和文) 熱帯二次林構成樹木の光合成特性と萌芽能力の解明

研究課題名 (英文) Photosynthetic and sprouting traits on tropical secondary forest trees

研究代表者

田中 憲蔵 (TANAKA KENZO)

独立行政法人森林総合研究所・国際連携推進拠点・研究員

研究者番号：30414486

研究成果の概要：マレーシアにおいて熱帯二次林樹種の葉の生理生態特性、萌芽特性の解明を行った。二次林樹種の葉は、葉脈や葉毛が良く発達し、乾燥など環境ストレスに強い形態をしていることが明らかになった。二次林樹種の萌芽は小さい個体ほど活発で、大きな個体になると萌芽能力が低下することが分かった。また根に貯蔵されているデンプン濃度が高いほど活発に萌芽することも明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	800,000	0	800,000
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	240,000	2,640,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林生態

キーワード：熱帯二次林、萌芽、光合成、デンプン、葉形態、バイオマス

1. 研究開始当初の背景

東南アジア熱帯域では、焼畑や択伐などの人為かく乱により急速に天然林が劣化し、すでに約30%が二次林化している。熱帯二次林は、地球規模の炭素循環や生態系保全の観点から重要性が指摘されており、急速に広がり続ける二次林の生態特性を明らかにすることが強く求められている。しかし、これまでの熱帯林研究は天然林を中心に行われてきたこともあり、二次林の生態的な知見は不足している。

樹木は一次生産者として森林生態系を特徴づける重要な要素であることから、この研

究では、二次林構成樹種の生態特性の解明に焦点を置いた。二次林を構成する樹木は先駆樹種が主体で、天然林を構成する遷移後期種に比べ、成長速度など生態的な特性が大きく異なる。特に、二次林樹種の生態特性の解明にとって次の2点が重要であると考えられる。(1)一次生産力に関する光合成特性など葉の生理生態特性と、(2)かく乱後の更新過程に影響する萌芽再生能力である。

2. 研究の目的

トウダイグサ科など東南アジア二次林に典型的な樹種を対象に、生育段階(個体サイズ)

間、生育環境間で、

- (1) 葉の光合成能力や水利用特性と葉の形態など諸特性との関係、
- (2) 個体サイズに伴う根の貯蔵養分量の変化から萌芽能力の要因、を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調査地と植物材料の選定

調査は、マレーシア・セランゴール州マレーシアブトラ大学演習林の先駆樹種が優占する二次林で行なった。対象となる二次林には2004年に毎木調査プロットを作成しており、その調査結果から優占種であるトウダイグサ科、クワ科など代表的な二次林樹種を調査対象とした。

(2) 光合成能力と水利用特性の把握

プロット内やプロット隣接地から、対象とした10樹種の葉の光合成速度の測定を行なった。光合成の測定は野外で携帯式光合成蒸散測定装置(LI-6400)を用いて直接測定した。測定葉の窒素濃度、葉面積あたりの葉重を測定し、測定個体の葉の寿命をモニタリングした。また、二次林樹種の葉の葉脈や葉毛に関する形態特性を一次林樹種と比較し、水利用特性などとの関係を調べた。

(3) 萌芽特性の把握

優占種であるトウダイグサ科の *Macaranga* 属から *M. bancana* と *M. gigantea* の2種を対象樹種とした。対象樹種を稚樹、若木、成木にサイズ分けし、地下部のデンプン、糖、窒素濃度を測定した。調査個体を地際で伐倒し、萌芽本数、サイズを3ヶ月間隔でモニタリングした。モニタリングした萌芽量や地下部重量を推定するため、二次林樹種の器官別のバイオマス推定式を作成した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

①二次林樹種の葉の形態と生理生態特性
樹木の葉は、葉を透かしたときに葉脈が見えるタイプ(異圧葉)と見えないタイプ(等圧

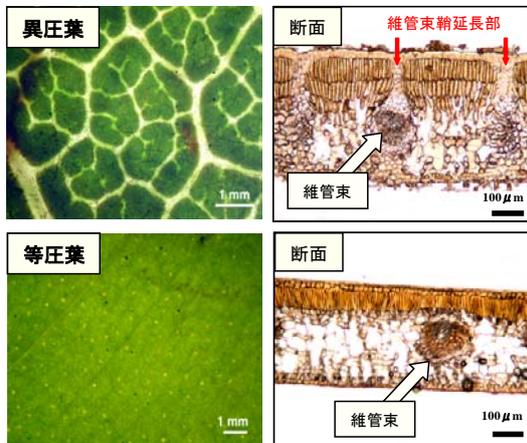


図1. 光に透かしたときの異圧葉(網目の見える葉)と等圧葉

葉)に分けられ、この2つのタイプ間で蒸散特性など生理面にも違いがあることが分かっている(図1)。この違いは、異圧葉の葉内の維管束の周りに透明な繊維質の組織(維管束鞘延長部)が存在するために起こる。また、両者は見た目だけでなく、機能的にも異なり、延長部が発達する異圧葉は葉の物理強度が高く、水分の通導性に優れており、乾燥耐性が高いと考えられている。熱帯雨林樹木約250種の葉を調べてみたところ、等圧葉を持つ樹木が60%と優占していたが、二次林樹種や林冠樹種には異圧葉樹種が多いことが明らかになった。これは、二次林などの水ストレスや強光ストレスが高い環境では、異圧葉のように耐乾性が高い葉の形態を持つ樹種が有利なためと考えられた。

次に、二次林樹種の葉に密生する毛(葉毛)の機能に着目し調査を行った。葉毛には、葉温や蒸散の抑制など様々な機能があると考えられているが、これまで湿潤な環境に生育する熱帯雨林樹木には葉毛が発達しないと言われていた。しかし、熱帯二次林樹種には葉毛が発達する樹種が多く、その機能についてはほとんど分かっていなかった。

葉毛と葉の水利用特性の関係を明らかにするため、東南アジアの二次林に広く分布し、葉裏面に葉毛層が発達する *Mallotus macrostachyus* (Euphorbiaceae) を対象に、陰葉と陽葉の水利用効率を比較した。調査対象として、全天環境の5個体と、林内の5個体を選んだ。各個体の葉裏面の毛を取り除き

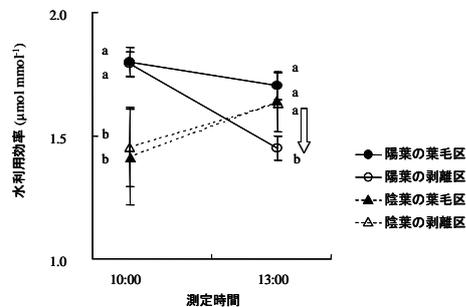


図2. 葉毛区と剥離区の水利用効率の日変化

(剥離区)、葉毛を剥離しない部分(葉毛区)との間で、葉の光合成速度や水利用効率を比較した(図2)。

葉毛区の陽葉の水利用効率は日中、剥離区に比べ有意に高く、水ストレスが強い環境下では、葉毛が葉の水利用効率を高める働きがあると考えられた。しかし、陰葉の WUE は、両処理区間で差が無く、水ストレスが低い環境では、葉毛が水利用効率に与える効果が小さくなると考えられた。また、陰葉の葉毛量は陽葉に比べ有意に少なく、低い水ストレス環境下では葉毛の重要性が低下すると考えられた。

②二次林樹種の萌芽特性と根の貯蔵資源
 熱帯二次林樹木から *Macaranga bancana*(MB) と、*M. gigantea*(MG) の 2 種を選び、個体サイズにともなう萌芽能力の変化について調査した。二次林内に生育する MB20 個体と MG41 個体を地際から 15cm の高さで伐採し、3 カ月後と 12 カ月後に、萌芽本数、萌芽枝直径、萌芽枝高を測定した。伐採した個体の地際直径は MB が 2~25cm、MG が 4~46cm であった。また根のサンプルを採取し、デンプン、全糖の含有量を調べた。

調査の結果、MB では 60% の個体で、MG では 54% の個体で萌芽が見られた。一株当たりの萌芽の数と重量は地際直径が小さいクラスで大きくなり、親株サイズの増加と共に萌芽能力が低下すると考えられた。伐採前の根の乾重あたりの TNC 濃度(デンプン+全糖濃度)は、両樹種とも個体サイズが小さいほど高い傾向が見られた。また、伐採後、個体サイズと共に TNC 濃度と萌芽量も減少したことから、大きな個体での萌芽能力の低下は、根の TNC 濃度の低下が原因であることが分かった。根に含まれる窒素濃度と萌芽量の関係も検討したが、明確な相関は見られず、伐採前後での濃度差もほとんど見られなかった。このことから、萌芽発生や成長には根の窒素濃度はほとんど寄与していないと考えられた。また、根のバイオマス量から根に蓄えられている TNC プールサイズを推定し、萌芽能力との関係を調べた。TNC プールサイズは萌芽発生がほとんど無かった大個体で最大となったことから、二次林樹種の萌芽発生には TNC 濃度がより重要であると結論付けられた。

③二次林樹種の地上部と地下部のバイオマス推定式の構築

熱帯二次林を構成する代表的な樹木 23 樹種について計 137 本の伐倒を行い、器官別の重量と胸高直径または樹高とのバイオマス推定式を作った。伐倒個体の内 77 本については根も掘り取り地下部重量を推定する式も作成した。作成されたバイオマス推定式は種に関係なく高い精度を持つことが分かった。さらに、これまで熱帯天然林などで得られたバイオマス推定式と今回得られた式との比較から、既存のバイオマス推定式を用いると熱帯二次林のバイオマスを場合によっては 2 倍以上過大評価する危険性があることも明らかになった(図 3、4)。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

今回得られた熱帯二次林樹種の葉脈特性と葉毛の機能に関する成果は、熱帯二次林を構成する樹木が、熱帯雨林という降水量が多く湿潤な環境にあるにもかかわらず、耐乾性の高い葉の形態や機能を持っていることを初

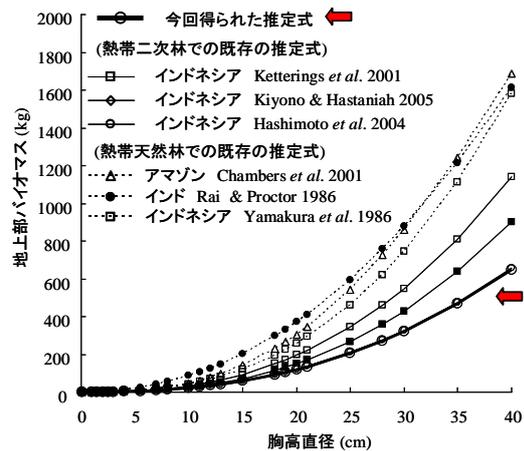


図3. 今回得られた地上部のバイオマス推定式と既存式との比較

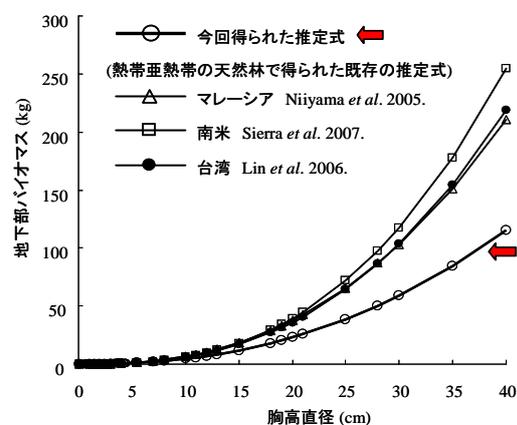


図4. 今回得られた地下部のバイオマス推定式と既存式との比較

めて明らかにした研究として価値があると考えられる。特に今後の気候変動で、熱帯林の乾燥化が進めば、耐乾性の高い熱帯二次林樹種の森林内での優占度が高まるかも知れない。これらの成果は 2 本の論文として国際学術誌に掲載され評価を受けている (Kenzo et al. 2007, 2008)。

また、熱帯二次林樹種の個体サイズや貯蔵養分から萌芽特性を解明した研究もこれまでほとんど無く、攪乱後の二次林再生過程をモデル化していく上で貴重な知見となると考えられる。さらに、熱帯二次林樹種の地上部と地下部のバイオマスを胸高直径や樹高から高精度に推定する式はこれまでほとんど無く、今回得られた推定式は東南アジア熱帯二次林の炭素貯蔵量を精度良く評価するために不可欠な成果といえる。

(3) 今後の展望

今回の研究成果で、熱帯二次林樹種の葉の機能や萌芽能力といった地上部に関する機能評価を行うことが出来た。しかし、地下部の機能については、デンプンなどの貯蔵機能の評価しか行っておらず、根の呼吸や細根動態

といった部分は全く未知のままである。今後、地下部の機能評価を行うことで、熱帯二次林の生態特性がより詳細に解明できると考えられる。

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 12 件)

- (1) Kenzo Tanaka, Tomoaki Ichie, Daisuke Hattori, Takao Itoika, Chihiro Handa, Tadahiro Ohkubo, Joseph Jawa Kendawang, Masashi Nakamura, Mari Sakaguchi, Narumi Takahashi, Mayumi Okamoto, Ayumi Tanaka-Oda, Katsutoshi Sakurai, Ikuo Ninomiya. 2009. Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*. 29 印刷中「掲載確定」 査読有
- (2) Kenzo Tanaka, Yoneda Reiji, Mohamad Alias Azani, Nik Muhamad Majid. 2008. Leaf photosynthetic and growth responses on four tropical tree species to different light conditions in degraded tropical secondary forest, Peninsula Malaysia. *JARQ-Japan Agricultural Research Quarterly*. 42: 299-306. 査読有
- (3) Kenzo Tanaka, Yoneda Reiji, Matsumoto Yoosuke, Mohamad Alias Azani, Nik Muhamad Majid. 2008. Changes in leaf water use after removal of leaf lower surface hairs on *Mallotus macrostachyus* (Euphorbiaceae) in a tropical secondary forest in Malaysia. *Journal of Forest Research*. 13: 137-142. 査読有
- (4) Tamaki Kamoi, Tanaka Kenzo, Koichiro Kuraji, Kuniyasu Momose. 2008. Abortion of reproductive organs as an adaptation to fluctuating daily carbohydrate production. *Oecologia*. 154: 663-677. 査読有
- (5) Kitahashi Yoshinori, Tomoaki Ichie, Yutaka Maruyama, Tanaka Kenzo, Satoshi Kitaoka, Sawako Matsuki, L Chong, Toru Nakashizuka, Takayoshi Koike. 2008. Photosynthetic water use efficiency in tree crowns of *Shorea beccariana* and *Dryobalanops aromatica* in a tropical rain forest in Sarawak, East Malaysia. *Photosynthetica*. 46: 151-155. 査読有
- (6) 田中憲蔵, 米田令仁, M.A.Azani, N.M.Majid. 2008. 携帯式デジタル顕微鏡を用いた野外での熱帯樹種の気孔開閉観察と蒸散特性. *関東森林研究*. 59: 159-162. 査読有
- (7) Tanaka Kenzo, Tomoaki Ichie, Yoko Watanabe, Toru Hiromi. 2007. Ecological distribution of homobaric and heterobaric leaves in tree species of Malaysian lowland tropical rainforest. *American Journal of Botany*. 94: 764-775. 査読有
- (8) Tanaka Kenzo, Tomoaki Ichie, Tomoko Ozawa, Seiichi Kashimura, Daisuke Hattori, Kazuo O. Irino, Joseph Jawa Kendawang, Katsutoshi Sakurai, Ikuo Ninomiya. 2007. Leaf physiological and morphological responses of seven dipterocarp seedlings to degraded forest environments in Sarawak, Malaysia: A case study of forest rehabilitation practice. *Tropics*. 17: 1-16. 査読有
- (9) 田中憲蔵, 服部大輔, 櫻井克年, J.J.Kendawang, 二宮生夫. 2007. 上層木伐採が択伐残存林下に植栽したフタバガキ科樹木 6 種の成長と光合成特性に与える影響. *関東森林研究*. 58: 105-108 査読有
- (10) Joseph Jawa Kendawang, Ikuo Ninomiya, Tanaka Kenzo, Tomoko Ozawa, Daisuke Hattori, Sota Tanaka, Katsutoshi Sakurai. 2007. Effects of burning strength in shifting cultivation on the early stage of secondary succession in Sarawak, Malaysia. *Tropics*. 15: 663-677. 査読有
- (11) Tanaka Kenzo, Tomoaki Ichie, Reiji Yoneda, Yoko Watanabe, Ikuo Ninomiya, Takayoshi Koike. 2006. Changes in photosynthesis and leaf characteristics with tree height in five dipterocarp species in a tropical rain forest. *Tree Physiology*. 26: 865-873. 査読有
- (12) Tomo'omi Kumagai, Tomoaki Ichie, Mitsunori Yoshimura, Megumi Yamashita, Tanaka Kenzo, Taku M. Saitoh, Mizue Ohashi, Masakazu Suzuki, Takayoshi Koike, Hikaru Komatsu. 2006. Modeling CO₂ exchange over a Bornean tropical rainforest using the measured vertical and horizontal variations in leaf-level physiological parameters and leaf area densities. *Journal of Geophysical Research*. 111: D10107 査読有

[学会発表] (計 7 件)

- (1) 田中憲蔵, マレーシア熱帯雨林における樹高に伴う葉の生理的形態的特性の変化、第 120 回日本森林学会大会、2009 年 3 月 28 日、京都大学
- (2) 田中憲蔵, 半島マレーシアにおける熱帯樹木稚樹の光環境と葉の寿命・形態の関係、第 60 回日本森林学会関東支部大会、2008 年 10 月 24 日、かながわ労働プラザ
- (3) 田中憲蔵, マレーシアサラワク州における熱帯二次林樹種の根のバイオマス、第 18 回日本熱帯生態学会大会、2008 年 6 月

- 21日、東京大学
- (4) 田中憲蔵、マレーシア熱帯二次林樹種 *Mallostus macrostachyus* の葉毛と水利用特性、第119回日本森林学会大会、2008年3月28日、東京農工大学
 - (5) 田中憲蔵、マレーシア熱帯二次林樹種の個体サイズに伴う貯蔵養分と萌芽特性の関係、第17回日本熱帯生態学会大会、2007年6月16日、高知大学農学部
 - (6) 田中憲蔵、熱帯二次林の異なる光環境下に植栽されたマレーシア在来4樹種の光合成特性、第117回日本森林学会大会、2007年3月、東京農業大学
 - (7) 田中憲蔵、マレーシアにおける熱帯二次林樹種の個体サイズと萌芽特性、第16回日本熱帯生態学会大会、2006年6月18日、東京農工大学

〔図書〕(計1件)

- (1) 田中憲蔵、市栄智明. 2006. プラントミメティックス～植物に学ぶ～、pp560-562、NTS出版

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 憲蔵 (TANAKA KENZO)

独立行政法人森林総合研究所・国際連携推進拠点・研究員

研究者番号：30414486

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：