

課題名	E-051 森林-土壌相互作用系の回復と熱帯林生態系の再生に関する研究		
課題代表者名	鈴木英治（国立大学法人・鹿児島大学・理学部・地球環境科学科・多様性生物学講座）		
研究期間	平成17-19年度	合計予算額	87,336千円（うち19年度 26,496千円） ※上記の合計予算額には、間接経費20,155千円を含む
研究体制	<p>(1) 熱帯林における樹木群集の構造と機能の再生過程に関する研究(国立大学法人・鹿児島大学)</p> <p>(2) 土壌環境と微生物群集の回復が熱帯林再生に果たす役割の研究(国立大学法人・東京大学)</p> <p>(3) 根粒菌による窒素固定が熱帯林再生に果たす役割の研究(国立大学法人・鹿児島大学)</p> <p>(4) 熱帯林における腐生菌類の遷移とその森林再生に果たす役割の研究 (独立行政法人・森林総合研究所)</p> <p>(5) 熱帯林の生物多様性評価と再生指標に関する研究 (国立環境研究所、&lt;研究協力機関&gt;佐賀大学、広島大学)</p> <p>(6) 熱帯林生態系の再生/回復モデルの構築と森林管理に関する研究(国立大学法人・鹿児島大学)</p>		
研究概要	<p>1. 序（研究背景等）</p> <p>インドネシアを代表とするアジア熱帯林は、生物多様性と炭素蓄積量で他を抜き出した地域であるが、その熱帯林の減少はいまだに止まらない。大規模森林火災、違法伐採、無秩序な開発などがその原因であるが、このまま放置すると地域のみならず地球環境全体に及ぼす悪影響が懸念される。国際問題にもなった1997-98年の大森林火災は、インドネシア国内だけでも日本国土の31%にも相当する森林を消失させ、その後政治的混乱に伴う乱開発が問題を一層複雑にしてきた。</p> <p>しかし、その混乱も21世紀に入って落ち着き始め社会基盤が安定すれば植林によって熱帯林面積を増加させることは、技術的には不可能ではなく、CO<sub>2</sub>削減のためのCDM植林などとして注目されている。そのような造林によって炭素蓄積量の回復は比較的容易であるが、日本の森林の10倍近い樹木が共存している多様性の高い森林は容易には再生できない。そこで、かつて高い生物多様性を誇っていた熱帯の天然林が、森林火災や違法伐採で劣化した後で再生する過程を、詳細な調査によって明らかにすることが、多様性の高い森林の再生を考えるために役立つであろう。</p> <p>ただしその場合に、樹木だけではなく生態系全体として把握する必要がある。従来の研究は樹木に偏りがあった。大型動物も比較的研究されているが、小型の上に土壌中に生活する微生物が野外でどのように再生しているかに関する研究ごく少ない。アジア熱帯林の優占種であるフタバガキ科の生存には共生する菌根菌の存在が必須であり、多くのマメ科樹木には根粒菌、植物が生産した落葉落枝の分解には腐生菌の役割が欠かせない。また土壌中には自由生活をしている多種の細菌類がさまざまな物質代謝をしているが、これらの生物群が森林再生とどのように関わっているかは、ほとんど研究されることがない。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>そこで本研究では、火災などの森林破壊の後に植物・土壌・土壌微生物がどのように相互に作用しあいながら再生しているかを研究するために、以下の目的を掲げた。</p> <p>(1) 東カリマンタンで1998年に火災被害を受けた森林と、西スマトラのパダンで違法に伐採された森林に設定した継続調査区で、植生の回復過程を明らかにする。</p> <p>(2) 火災後の森林再生にともなう土壌の理化学性の変化を研究する。またそこに分布する根圏細菌類について火災の影響を明らかにする。フタバガキ科と共生しその再生に必須である菌根菌の再生過程を明らかにする。</p> <p>(3) 火災焼失した森林の再生過程に根粒菌が果たす役割を検証・考察し、森林再生に有効な樹種と根粒菌の組み合わせの特定に応用出来る系の構築を目指す。</p> <p>(4) 有機物の分解を通して森林の健全化に貢献する腐生菌類が、森林再生に伴いどのように遷移するかを調べる。また、菌類の生育に影響する林内微気象の回復過程を明らかにする。</p> <p>(5) 森林再生に伴う微環境と多様性の変化を主として着生植物等について調べ、森林再生に伴う相互関係を解析し、再生指標を抽出する。</p> <p>(6) いくつかのモデルとなる植物群について再生過程をより詳しく解析する。そして、当該地域の森林再生過程を他のサブテーマのデータと統合して考察する。</p>		

### 3. 研究の方法及び結果

#### (1) 熱帯林における樹木群集の構造と機能の再生過程に関する研究

1) 東カリマンタン州ブキットバンキライの1998年2-3月火災被害地において(図1)、重度被害区 (HD2、HD1) 軽度被害区 (LD2、LD1)、無被害区 (K2、K1) の6つの1 ha調査区を設定し、2001年9月(火災から3.5年後)から2007年9月 (9.5年後) までの森林回復度を調べた。ほとんど地上部植生が消えた重度被害区では、3.5年後に無被害区の3割、9.5年には8割の幹密度 (DBH>4.8cm) があつた(図2)。地上部現存量は、無被害区で3.5年後の327ton ha<sup>-1</sup>から9.5年後には326 ton ha<sup>-1</sup>へとわずかに減つたが、ほぼ枯死木量と成長量が釣り合つていた。重度被害区では3.5年後の53ton ha<sup>-1</sup>から9.5年後には92ton ha<sup>-1</sup>へと増加した。種数は無被害区でそれぞれ253種、287種と増え、重度被害区でも91種、131種と増えた。

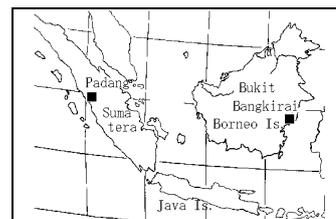


図1 東カリマンタンと西スマトラの調査地の位置

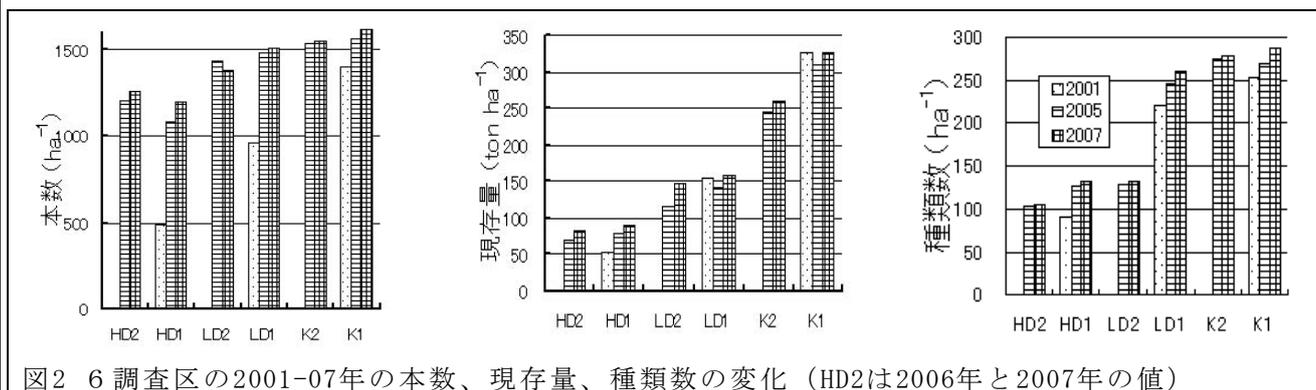


図2 6調査区の2001-07年の本数、現存量、種類数の変化 (HD2は2006年と2007年の値)

2001年～2007年の各区の属別のBA値を使ったDCAによる多変量解析結果は、第1軸が時間方向の変化を表すと考えられたが(図3)、そのスコアの変化速度から種組成の変化を推測すると、近くに種子供給源となる残存林があり人為的攪乱がない理想的条件でも、種組成の回復には200年程度かかると予測され、BAの予想が45年程度と比較すると多様性の回復には長い時間がかかることが分かつた(図4)。

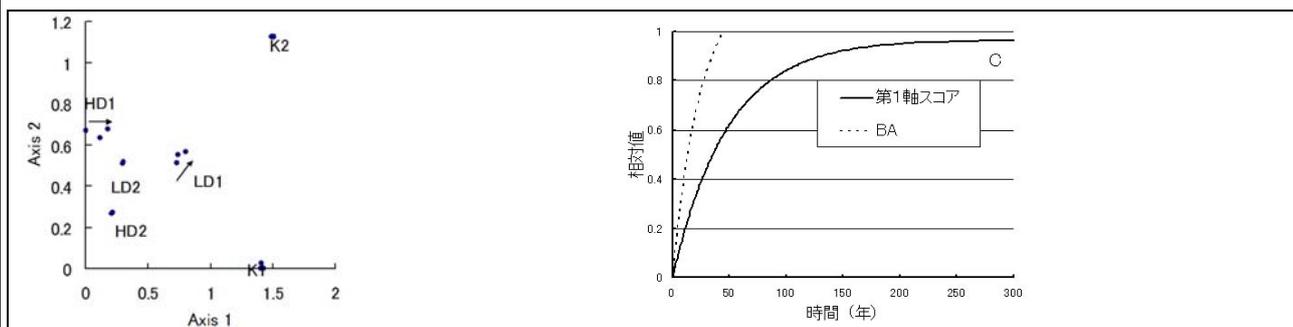


図3 DCA解析による各調査区のスコー。矢印は時間に伴う変化を示す。

図4 スコアとBAの変化速度から推定した各々の変換曲線。無被害林の値を1とした相対値で示す。

2) 西スマトラでは、厳しい異常乾燥気象と高まる伐採圧という人為攪乱が、雨林の構造・機能に及ぼす影響を調査した。標高600mの丘陵帯から1800mの山地帯までの発達した雨林は、1990年代の異常乾燥発生期から林冠木の衰弱・枯死により現存量の衰退が現在でも続いていた(図5)。気象の影響が長びく一因に、図6に示すように一旦できたギャップが閉じずに拡大するという林冠木の枯死に伴う森林構造の変化が示唆された。多種を対象とした最近の伐採法は、現存量の低下だけでなく林分構造の水平的な分散度を増大させている。すなわち、伐採により増幅された林分構造の攪乱は、残存する林冠木のみでなく、林分の分断化により再生力を低下させている可能性が高い。攪乱度が異なる環境下に生育する多様な種群の成長特性(潜在的な最大成長率、最大サイズ、幹材硬度)を調べ、それらから攪乱圧の変化に伴う構成種群の変化過程を明らかにした。択伐林の純生産力は、胸高断面積合計では成熟林と大差がないが、構成種の樹高一直径関係や幹材硬度(容積比重)の差から、重量ベースでは後退することが示唆された。

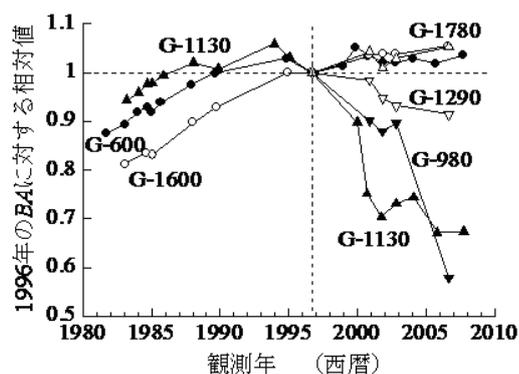


図5 スマトラのガド地域の調査区のBAの長期変化(図中の数値は標高を示す)

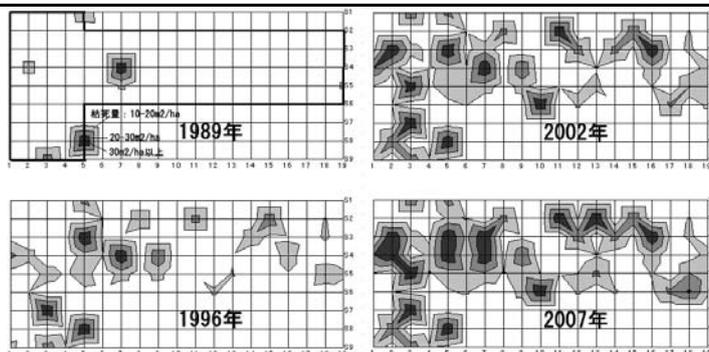


図6 調査区G-600における累積枯死量の水平分布の経年変化。(濃色部分で枯死が多い=gap) 1マス=100m<sup>2</sup>

## (2) 土壌環境と微生物群集の回復が熱帯林再生に果たす役割の研究

1) 東カリマンタンの土壌への火災の影響を調べるために、模擬火災実験、現地土壌調査、土壌水分モニタリングを行った。模擬火災実験では、円筒状の土壌試料の表面を600~700℃に熱した時に、地表5cm以内の層で地温上昇、土壌水分消失、有機物消失が著しいことを明らかにした(図7)。また、地温が100℃を越える深さ(地温100℃前線と呼ぶ)は $m\sqrt{t}$ (ここで、mは定数、tは加熱時間(min))で表され、mは、加熱開始時の水分量が大きい程小さな値になった。森林火災中の地温100℃前線の降下移動特性のモデル化は、世界最先端の知見である。現地土壌調査では、地表面10cm以深の層で、火災時の灰の影響と思われるpHの上昇、燃焼時に生じた炭の影響による炭素量の増加を確認し(図8)、森林火災下での土壌中物質移動について新たな知見を得た。

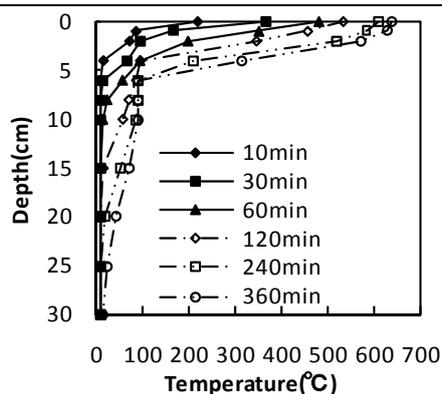


図7 温度分布の時間変化  
( $\theta_i=0.32$ )

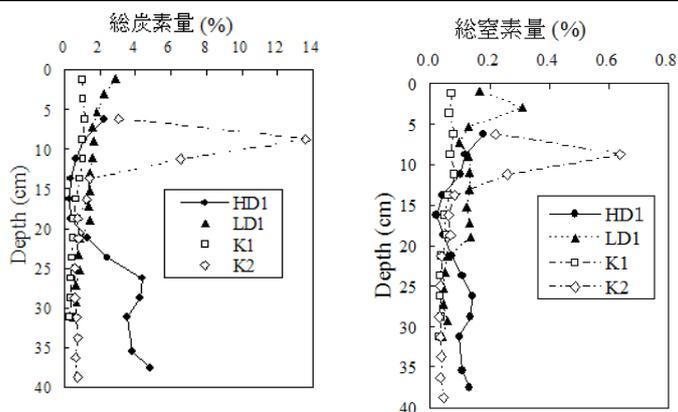


図8 重度被害区(HD1)、軽度被害区(LD1)、無被害区(K1, K2)における総炭素と相窒素の垂直分布

2) 土壌中に生活する細菌を調べるために、東カリマンタン・ブキットバンキライのHD1、LD1、K1区から各10サンプル(一部欠測あり)の土壌を取り炭素量、窒素量、細菌によるアミラーゼ、セルラーゼ活性を調べたが、区内の局地的変動が大きく、区間に明瞭な差はなかった(図9)。全細菌のDNAを対象としたPCR-DGGE解析とT-RFLP解析は、重度、軽度、無被害区(HD1、LD1、K1区)で共通の優占種(電気泳動バンド)が生息し、主要細菌相は火災から9年でほぼ回復していることを示した(図10)。放線菌のPCR-DGGE解析結果でも、3区に大差なかったが、アンモニア酸化細菌(AOB)では、K1区と他の2区間に差があった。細菌群によって火災の影響は異なり、AOBは影響を長期的に受けているようだ。培養可能なガラクトロン酸資化細菌は、HD1区で菌数が多く、genotypeの多様性は小さかった。本細菌群の大部分が*Burkholderia*属とその近縁属に属し、火災の直接的影響への耐性が期待できず、本細菌群集の量的・質的な差は、火災の長期的な影響であると推測された。

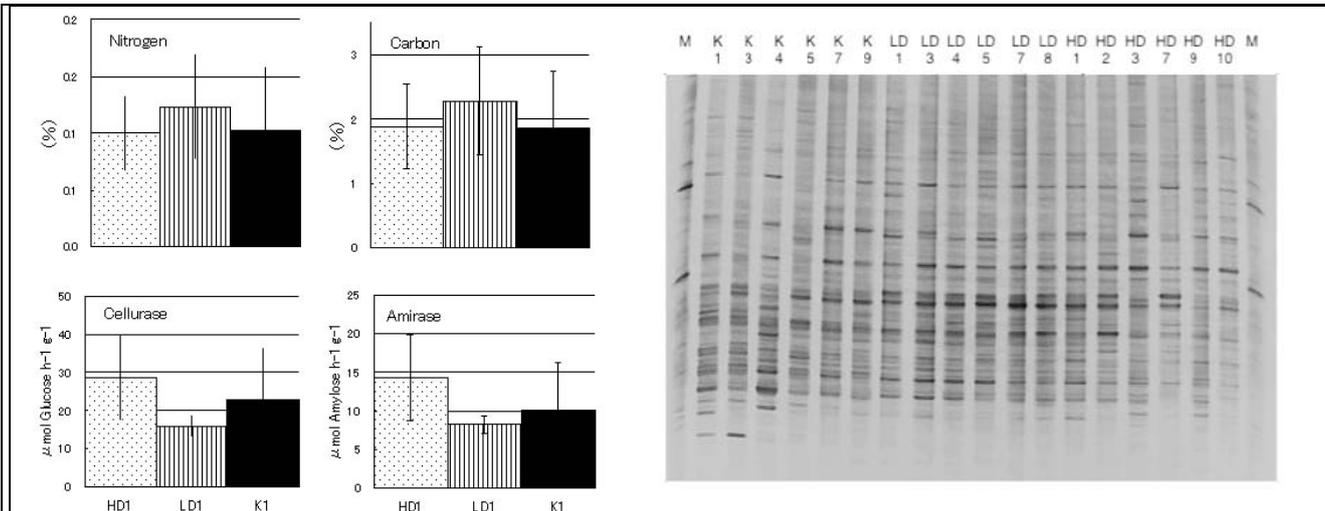


図9 細菌サンプル土の窒素量、炭素量、セルラーゼ、アミラーゼ活性（各区10サンプル、バーはSD）

図10 16S rDNA V3領域を標的としたDGGEによるK1、LD1、HD1区全細菌の群集構造。

3) フタバガキ科の生息に必須である菌根菌の分布と多様性を、ブキットバンキライの合計531地点の土壌サンプルのDNA解析から推定した。菌根菌の林床における占有率とその調査区の花バガキ科優占率には相関があり、両者の強い共生関係を示した(図11)。火災の影響がないフタバガキ科林で、林床の5-8割に菌根が分布しており、ベニタケ科やイボタケ科を中心とした多様(Jack-knife法による推定種数は105種)な菌根菌が生息していた(図12)。同じ方法による秩父の針広混交林での推定値は300種であり、熱帯林における単位面積当たりの菌根菌の多様性は温帯林より低いようだ。火災被害区では菌根量が大幅に減少しており、重度被害区では林床の約5%にしか菌根が見られなかった。火災被害区全体の菌根菌の推定種数は40種と多様性も低く、無被害区では見られなかったニセシウロ科の菌根菌が高頻度で検出されるなど、菌根菌の群集構造も大きく変化していた。

火災跡地によく再生するフタバガキ科の *Cotylelobium melanoxyton* 24個体からは22個体で菌根が見いだされたものの、全根端数に占める菌根率は21±4%で、無被害区の花バガキ科の根端がほぼ100%菌根化しているのと比べると明らかに低い。火災跡地でフタバガキ科の根が存在していても菌根菌の感染が難しいことを示唆している。

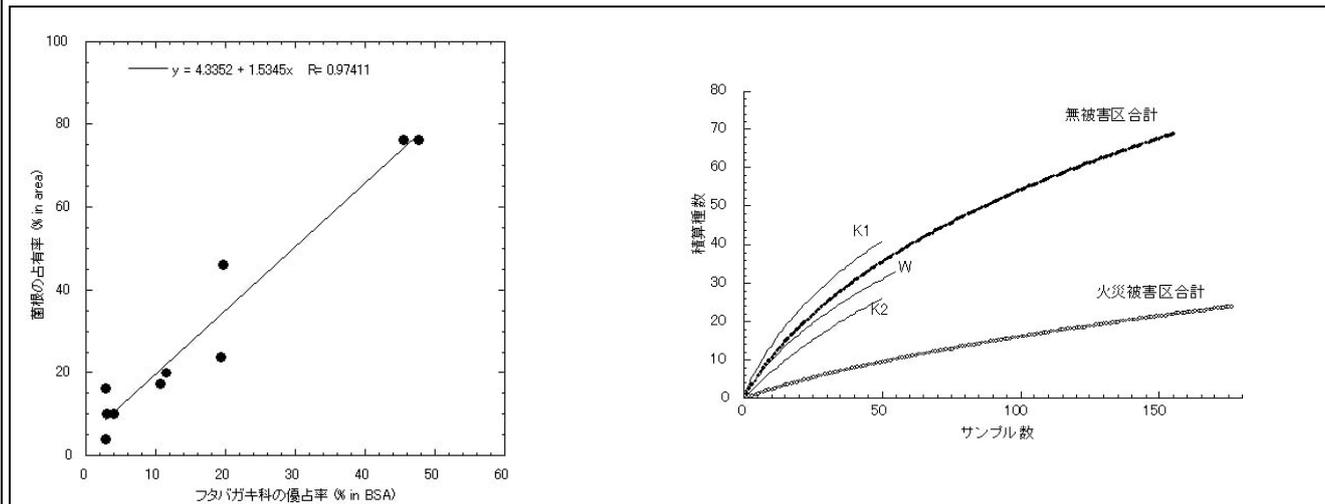


図11 調査区の花バガキ科の優占率と林床における菌根の占有率の関係

図12 土壌サンプル数と検出できた菌根菌種数の関係

(3) 根粒菌による窒素固定が熱帯林再生に果たす役割の研究

根粒菌はマメ科植物と共生することにより、植物体内のみならず根圏土壌への窒素養分賦与の役割も果たしている。この性質により、マメ科植物は荒廃地でも比較的成長が速く、緑地再生時に先駆植物になることが知られている。現地調査の結果、*Fordia splendidissima* 稚樹に着生している根粒を調べると、図13のように、火災被害が大きいところほど多数の根粒を着生しており、被害地での根圏微生物の活動が活発であると推測できた。また、火災被害地、無被害地の土を実

験室に持ち帰りマメ科植物をその土で栽培すると重度の火災被害地の土だけに根粒が形成された。これらの結果は、マメ科樹木と根粒菌との共生が火災後の森林再生過程の初期において重要な役割を果たしている可能性を示唆した。

根粒から分離した共生菌の16S rDNAの部分塩基配列解析の結果、アカシアからは*Burkholderia*、*Streptomyces*、*Agrobacterium*と高い相同性を示す株が、また、*Fordia splendidissima*からは、*Paenibacillus*、*Microbacterium*、*Burkholderia*、*Agrobacterium*と相同な株が得られている。これらのうち、*Burkholderia*は、根粒菌のようにマメ科植物と共生し窒素固定することが知られている。また、*Microbacterium*の中にも、窒素固定するものが報告されている。本来、マメ科植物と根粒菌間には、厳密な宿主特異性が存在しているものであるが、熱帯に生育するマメ科樹木の根粒内細菌は必ずしも根粒菌属に限定されないことは既に複数例が報告されている。また、今回解析した、これらの菌株は土壌菌の中でも、根圏で植物の成育を助けるPGPB (plant growth promoting bacteria) としても報告されており、林床で植物と相互作用する細菌類の戦略が作用しているものと考えられる。

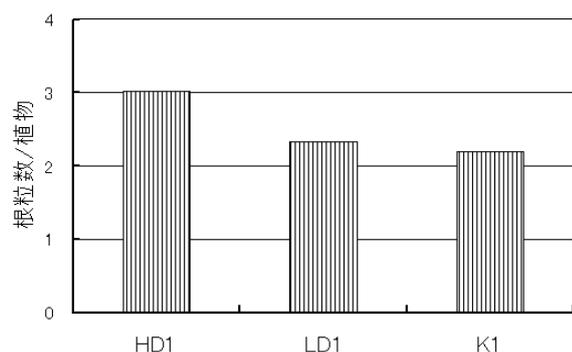


図13 重度被害区HD1、軽度被害区LD1、無被害区K1で採取した*F. splendidissima*稚樹239個体に見出された平均根粒数

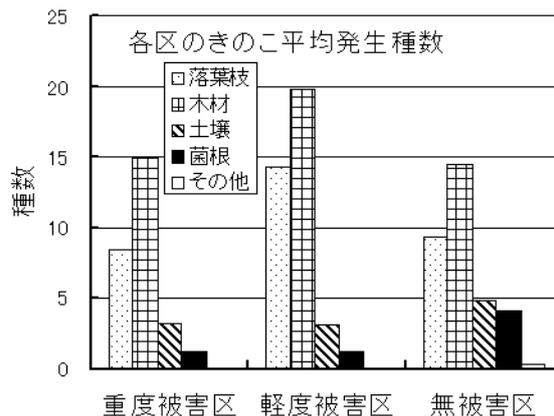


図14 軟質菌類の発生基質別の種数

#### (4) 熱帯林における腐生菌類の遷移とその森林再生に果たす役割の研究

1998年の大規模森林火災被害を受けた被害林および火災被害を受けなかった無被害林の腐生菌類相を調査し、被災森林の回復状態を評価した。調査は軟質菌類（ハラタケ目など）と硬質菌類（ヒダナシタケ目など）の対象毎に行った。

軟質菌類は、重度被害区、軽度被害区、無被害区で、2005年10月～2008年2月にきのこ子実体を採集した。全体の標本数に占める比率（3年間の加重平均）は、いずれの区でも木材腐朽菌の比率が最も高く（43.8～53.6%）、無被害区では土壌生息菌（14.6%、その多くは腐植分解菌）と菌根菌（12.5%）の比率が他の2区（7.8～11.4%および3.4～4.6%）より高かった（図14）。サブテーマ2でDNAの解析から推定されたように、フタバガキ科などと共生する菌根菌は発生子実体でも無被害区で多かった。多くの菌は特定の樹種から発生していた。各調査区の構成樹種は異なるため、きのこの種類相は異なっている。

硬質菌類（木材を腐朽）は毎年、1haの調査区では大型の子実体を作る菌類、各区内3カ所ある小調査区では全腐朽菌類を調査した。木材腐朽菌の総種数は116種であった。大型菌類はLD1区で最も多く、K1区、K2区、HD1区が次いだ。サブテーマ1の調査によればLD1に新規枯死木が最多で、しかも軟材が多い。枯死材が多い区で材の分解に菌類が重要な役割を果たしていると考えられる。

現地で分離培養した14種21株の木材腐朽菌の培養菌株を用いて日本で木材腐朽試験を行った結果、マカラング材では大きな重量減少が生じたが、バンキライ材の重量減少は大半の区で5%以下と小さかった。早生樹のマカラング材は林地においては1年前後で腐朽分解されるが、主林木であるバンキライの材の分解には10年以上の長期の年月がかかると考えられた（図15）。

3年間にわたり被害林と無被害林内の温湿度を観測した結果、被害林では植生回復が進みつつあるが、上木層の質の違いが林内環境に及ぼす影響は大きく、火災被災から10年近く経過しても林内環境が余り改善されていないことが判明した（図16）。

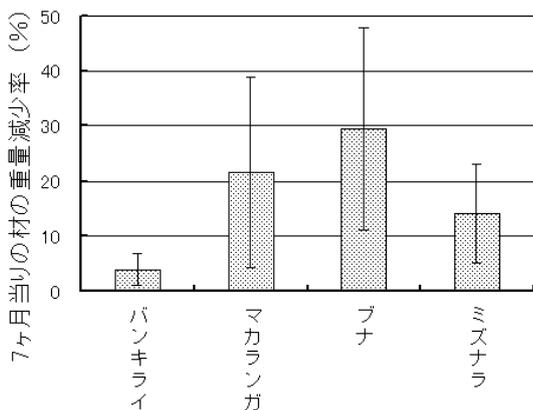


図15 採取菌類を使った材の分解実験

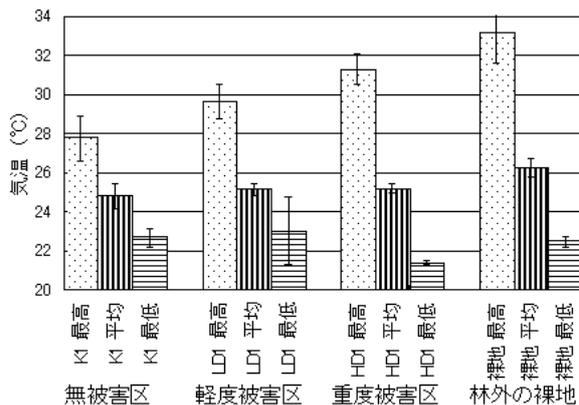


図16 各区の林内気温(日最高、平均、最低)

(5) 熱帯林の生物多様性評価と再生指標に関する研究

蘚類種数には各調査区で顕著な差が認められなかったが、苔類種数は明らかにHD1区<LD1区<K1区であった。この差は、樹上・生葉上に着生する種に起因し、着生苔類の種数・増加率は自然度の指標／森林再生評価の指標になると考えられた。また、*Mizutania riccardioides*、*Arachniopsis major*、*Zoopsis liukuensis*などが指標植物として提示された。地衣類種数はHD1区<LD1区<K1区で、*Cladonia spp.*、*Coccocarpia pellita*など大型地衣類は森林自然度の指標性が高い種だと思われる。樹木の着生地衣類を対象に、地衣類活力評価値による森林再生評価法を検討した。本評価値は、HD1区<LD1区<K1区の順に高く、LD1区やHD1区では評価値の上昇が認められ、森林再生過程にあることが示唆された。生葉上地衣類は森林内でも目立ち、森林再生指標として適すると思われた。

蘚苔類・地衣類の多様性に対する森林再生中の微環境変化の影響を解析するため、生物／非生物的要因に有効な微環境計測システムを開発し現地で計測した。K1区に比べHD1区では、日最高光量子束密度が高く、日最低相対湿度が低く、また日最高気温／地温が高い等が判り、蘚苔類・地衣類の多様性の違いや分布状況がある程度説明可能であった。苔類や地衣類の多様性は、樹木の多様性とは相関がなく、土壌水分以外の微環境要因、特に湿度と相関が高かった。

蘚類、苔類、地衣類に、他のサブテーマの細菌、キノコ、樹木を含めて、2001年からのデータがある3つの区間で、種の共通率を比較したものが図17である。キノコと樹木、苔類は共通率が低く、特に重度被害区と無被害区の間で低い。一方細菌と蘚類は共通性が高く、地衣類は中間的であった。共通性が低いグループは、それだけ再生に時間がかかると、考えられる。

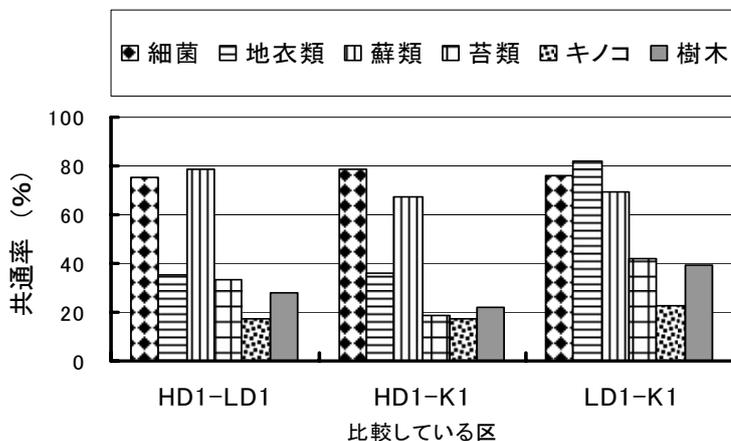


図17 調査区間の種の共通率 (Jaccardの共通係数=共通種数/(各区種数合計-共通種数)。細菌はDNAバンドの共通率。

(6) 熱帯林生態系の再生/回復モデルの構築と森林管理に関する研究

1) 稚樹の根系を先駆種18種54個体、極相種28種85個体で調べたところ、極相種は主根が発達して地中深く伸び、先駆種は浅く根が広がっていた(図18)。先駆種主体の再生は、火災まで至らなくてもエルニーニョなどの乾燥害を受けやすいと考えられる。

2) 落葉落枝量は重度被害区ほど少なかったが、K1、LD1、HD1区でそれぞれ10.08、9.12、7.02 ton ha<sup>-1</sup>となった(図19)。重度被害区は無被害区と比較して1/4の現存量だが、落葉落枝量は7割あり、火災被害林で生産力の再生が活発であることを示唆した。落葉の分解速度は、先駆種の葉が分解しやすいが同じ種の葉であれば、無被害区の分解が速かった。

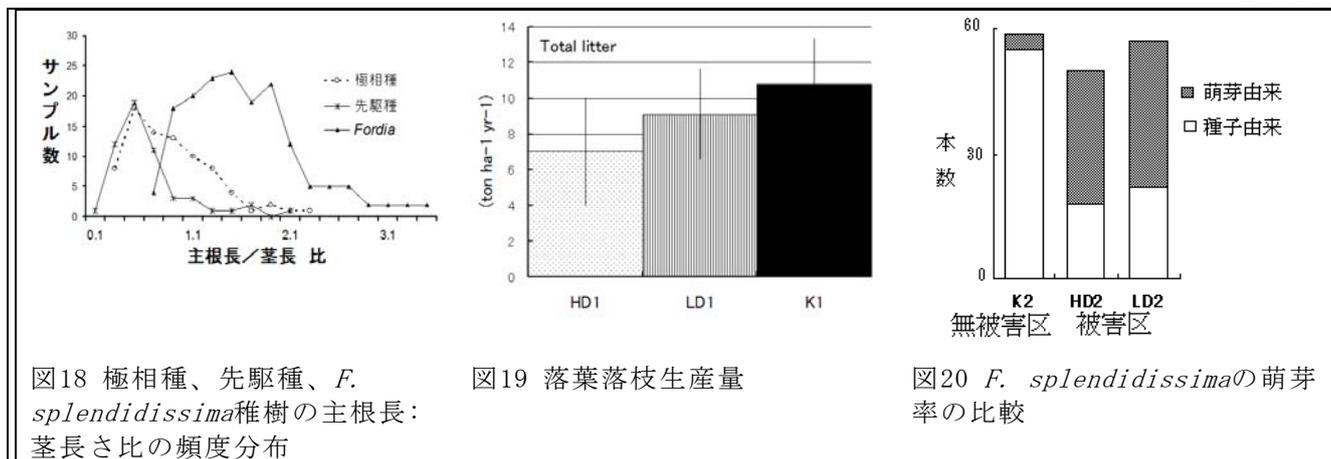


図18 極相種、先駆種、*F. splendidissima* 稚樹の主根長：茎長さ比の頻度分布

図19 落葉落枝生産量

図20 *F. splendidissima*の萌芽率の比較

### 3) 個別の種の再生過程：

マメ科低木で極相林性の*Fordia splendidissima*が、火災被害区でよく再生し根粒菌の宿主となっていた。再生能力の強さの要因は、深根性で(図18)、火災時にも根が生き残りやすく、火災被害区で萌芽性が強く(図20)、再生から数年で結実し種子からの繁殖も早期に可能になるためである。

萌芽による再生能力の種間の調べるために19種775個体を切り、萌芽再生を半年間追跡した(表1)。萌芽能力が高い種が数種あり、それらは火災後もよく再生しており、萌芽能力の重要性が示唆された。フタバガキ科では唯一*Cotylelobium melanoxyton*の萌芽率が高く、フタバガキ科に共生する菌根菌の宿主となっていた。

埋土種子は、各区で20cm×20cm×5cm×20個の土を採取して発芽個体を調べた。全体で3300個体52種出現し、樹木は22種合計1120本発芽し、2種7個体以外は先駆種であった。

実生を含むラタンの種数(ha<sup>-1</sup>)および密度は(ha<sup>-1</sup>)、23種・3321本(K1)、16種・88本(LD2)、8種・24本(HD2)であった。ラタンは火災で大きな被害を受けたが、近くに残存林があるので動物散布の種子が活発で比較的早く多様性が回復したと考えられた。

表1 種による萌芽率の違い

性質	科	種	萌芽率	性質	科	種	萌芽率
先駆	Mela	<i>Clidemia hirta</i>	0.94	先駆	Euph	<i>Macaranga motleyana</i>	0.57
極相	Legu	<i>Fordia splendidissima</i>	0.90	先駆	Euph	<i>Macaranga hypoleuca</i>	0.52
極相	Dipt	<i>Cotylelobium melanoxyton</i>	0.87	先駆	Euph	<i>Macaranga trichocarpa</i>	0.42
二次林	Laur	<i>Litsea firma</i>	0.82	極相	Meli	<i>Aglaia forbesii</i>	0.33
二次林	Thea	<i>Schima wallichii</i>	0.74	極相	Dipt	<i>Dipterocarps confertus</i>	0.23
極相	Euph	<i>Macaranga lowii</i>	0.69	極相	Dipt	<i>Shorea laevis</i>	0.08

これらのデータから種群ごとの更新戦略を考察すると、*Vernonia*などを除いた多くの先駆種は埋土種子から再生し、そこに萌芽しやすい一部の極相種が加わる。*Schima wallichii*は萌芽もするが母樹が火災に強く生き延びて種子散布することで、再生林に多くなった。残りの大部分の種は近くの残存林から種子が供給された後に再生するので、小面積でも残存林の存在が重要である。萌芽などで再生しやすく、微生物とも共生する極相性樹種の存在が、微生物の多様性保全に重要であると考えられた。

### 4. 考察

火災の被害も1度だけで緩傾斜地などの好条件があれば、著しい土壌浸食は起きずに、土壌の理化学性が大きく損なわれてはいないことが分かった。火災の熱による根の枯死や殺菌作用は地下10cm程度までしか及んでいなかった。土壌中で自由生活をしている細菌類は、狭い範囲で局部的に変動が大きい一方、異なる被害度を持つ区間のDNAバンド共通度が高く、火災以後比較的早く回復することが明らかになった。その原因として火災による殺菌が土壌深部まで及ばないこと、風によって運ばれやすいことなどが考えられる。マメ科樹木と共生して窒素固定をする根粒菌も細菌の仲間であり、火災の後に新たな立地に比較的容易に侵入し再生初期に活躍するように考えられた。一方、菌と名前つけられても真核生物でありキノコの仲間である菌根菌の再生には、ずっと時間がかかることが明らかになった。火災被害区の菌根菌の多様性は無被害区より大きく劣り、異なる被害

度の区間のキノコ類の種類共通度は樹木と同じように低かった。菌根の出現頻度とフタバガキ科の優占度には強い相関があったが、キノコ類は樹木と影響し合いながら、樹木と同レベルの時間をかけて再生していくと考えられた。

その樹木の多様性の再生は現存量の再生よりも数倍の時間がかかり、少なくとも200年を要すると推測された。それも火災以後の人為的攪乱がなく、近くに種子供給源となる残存林があるなどの好条件の場合であり、違法伐採などが繰り返し起こると、森林は劣化していく事が示された。

樹木の再生過程を見ると、先駆種の多くは埋土種子から再生し、大部分の極相種は短命種子を持ち埋土種子から再生できないので、近くに種子供給源がない限り再生にきわめて長い時間がかかる。ただ一部の極相樹種は火災以後萌芽によって再生することが分かった。熱帯雨林のフタバガキ科はほとんど萌芽しないといわれてきたが、その一種である *Cotylelobium melanoxyton* だけは、よく萌芽し、再生林で頻度が高かった。他にも極相性マメ科低木で萌芽再生する種があり、これらが共生する菌根菌や根粒菌の再生にある程度は貢献している可能性が考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

1) 火災などで重度の被害を受けた熱帯林は、条件がよい場合でも多様な種を持つ森林状態にまで回復するには200年以上の年月がかかることが分かった。さらに、そこに人為的攪乱が加わると森林再生が遅れることになる。

2) 模擬火災実験の結果から、森林火災下において地温100℃前線の降下速度が土の物理化学性、土壌水分から推定できた。たとえば、火災発生時に十分湿っているような黒ボク土(体積含水率0.4)では、数日間の森林火災でも、地温が100℃を越える深さは10cm程度であると考えられる。

3) 加熱が土壌の下層にまで及ばないことと関連して、熱帯雨林でも一部の樹木は萌芽再生能力があり、土壌下層で生き残った根から萌芽し再生林で重要な役割を果たすことが分かった。それらには菌根菌や根粒菌と共生する種群が含まれるので、微生物の再生に貢献している可能性が示唆された。

4) 火災後の再生において微生物の中でも、マメ科植物と共生する根粒菌ほか様々な細菌類は比較的早く回復するのに対して、フタバガキ科と共生する菌根菌は、樹木と同レベルの速度でしか回復しないことが分かった。

5) 熱帯林の菌根菌の多様性について初めて定量的なデータを得て、熱帯林の菌根菌の多様性は温帯林よりも低いということが明らかとなった。これまで、生物の多様性を決定する様々な要因が提唱されているが、その多くは植物や動物のデータに基づき熱帯地方を多様性の中心と仮定としたものであり、今回の研究結果を説明できない。多様性の決定要因として広く受け入れられている説にも見直しをせまるものであり、大きな科学的成果といえる。

6) 低地熱帯多雨林地域から約7,700点の蘚苔類・地衣類標本を採集し、熱帯域の蘚苔類・地衣類の多様性を明らかにした。東カリマントン新産37種を発見するなど、低地熱帯多雨林の蘚苔類相に新たな基盤的情報を整備した。また、低地熱帯多雨林における森林火災後の樹上着生蘚苔類の遷移を初めて定量的に解析すると共に、森林火災後の蘚苔類相の変遷を明らかにした。さらに、低地熱帯多雨林の自然度を示す蘚苔類・地衣類種を提示し、また樹上着生地衣類を用いた地衣類活力評価値を算出し、森林再生を評価するための植生指標として提案した。

### (2) 地球環境政策への貢献

1) 火災によって大きな被害を受けた森林でも、その再生は可能であるが多様な森林ができるまでには少なくとも200年はかかることが明らかになり、それだけ残された原生状態の森林の価値を高めたといえる。今後熱帯地域の国立公園など保護区の保全に一層の努力を引き起こす一助になるだろう。

2) 火災など攪乱の影響は生物群によって異なり、細菌類は影響を受けにくく回復しやすいが、フタバガキ科の再生に必須である菌根菌などのグループは、フタバガキ科と同じくらい攪乱の影響を受けやすいことが分かった。調査が行き届かないのでまだ知られてはいないが、それらの菌類には絶滅危惧種やすでに絶滅した種類も多いと考えられ、保全対策の必要性を浮かび上がらせることができた。

3) 極相性樹木にも萌芽能力があり火災などの攪乱に強い種が存在することが分かったが、それらの種が攪乱時における菌根菌などの退避場所になっている可能性もあり、この後その利用が考えられる。

4) 今後、生物資源や多様性的観点から熱帯林生態系の再生が重要であることなどを社会に訴えけるとともに、本研究の成果を、論文や国際学会等への発表、あるいはセミナー、ワークショップなどを通じて、インドネシア現地の研究者、森林管理者等への広報にも務める予定である。

## 6. 研究者略歴

課題代表者：鈴木英治

1953年生まれ、千葉大学理学部卒業、理学博士（大阪市立大学）現在鹿児島大学理学部教授

### 主要参画研究者

- (1) : 米田 健 1947年生まれ、大阪市立大学理学部卒業、理学博士、  
現在鹿児島大学農学部教授
- (2) : 宮崎 毅 1947年生まれ、東京大学農学部卒業、農学博士、農業土木試験場室長、  
現在、東京大学 大学院農学生命科学研究科・教授
- (3) : 内海俊樹 1958年生まれ、鹿児島大学大学院理学研究科修了、博士（農学）  
（九州大学）、現在、鹿児島大学理学部准教授
- (4) : 阿部恭久 1951年生まれ、東京大学農学部卒業、博士（農学）、農林省林業試験場保護部  
研究員、現在、森林総合研究所森林微生物研究領域長
- (5) : 清水英幸 1954年生まれ、東京大学理学部卒業、博士（農学）、国立環境研究所研究員  
現在、国立環境研究所アジア自然共生研究グループ主席研究員
- (6) : 阿部美紀子 1948年生まれ、鹿児島大学理学部卒業、理学博士（東京大学）、  
現在、鹿児島大学理学部教授

## 7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

### (1) 査読付き論文

- 1) Simbolon H., Siregar M., Wakiyama S., Sukigara N., Abe Y., Shimizu H.: *Phyton (Austria)* 45, 551-559 (2005).  
“Impacts of Forest Fires on Tree Diversity in Tropical Rain Forest of East Kalimantan, Indonesia.”
- 2) Yamaguchi T., Windadri F. I., Haerida I., Simbolon H., Kunimura A., Miyawaki H., Shimizu H.: *Phyton (Austria)* 45, 561-567 (2005).  
“Effects of Forest Fires on Bryophyte Flora in East Kalimantan, Indonesia.”
- 3) Miyawaki. H., Sudirman. I. L., Simbolon. H., Nakanishi. M., Yamaguchi. T., Shimizu. H. *Phyton (Austria)* 45, 569-574 (2005).  
“Effects of Forest Fires on Some Lichen Species in East Kalimantan, Indonesia.”
- 4) Otsuka, S., Sudiana, I M., Komori, A., Isobe, K., Deguchi, S., Nishiyama, M., Shimizu, H., and Senoo, K.: *Microbes and Environments* 23 (1), 49-56 (2008).  
“Community structure of soil bacteria in a tropical rainforest several years after fire.”
- 5) Watanabe, N., Suzuki, E. and Simbolon, H.: *Tropics* 17 (2008).  
“Reestablishment of climbing palms, rattans after forest fire in East Kalimantan,” (in press).