

E-2 森林火災による自然資源への影響とその回復の評価に関する研究

(3) 森林火災の影響評価のための指標策定

独立行政法人国立環境研究所

国際室

清水英幸

[客員研究員] 広島大学 大学院理学研究科

山口富美夫

[客員研究員] 佐賀大学 文化教育学部

宮脇博巳

[客員研究員] 東京大学 大学院農学生命科学研究科

大塚重人

独立行政法人森林総合研究所 九州支所森林微生物管理研究グループ 明間民央

<研究協力者> インドネシア国 科学研究院 (LIPI) 生物学研究センター (RCB)
Herwint Simbolon, Florentin Indah Windadri, Ida Haerida, Suciati, Mih,
I Made Suidiana

インドネシア国 ボゴール農科大学 Nunik S. Ariyanti

インドネシア国 ガジャマダ大学 Handoyo N. H.

平成12~14年度合計予算額 35,293千円
(うち、平成14年度予算額 10,359千円)

[要旨]

1997~1998年に大規模森林火災が発生したインドネシア国東カリマンタン州のプキット・バンキライで、大気環境に敏感とされる蘚苔類・地衣類、土壌環境に依存する菌根性菌類・土壌細菌類に関する多様性調査を行った。森林火災による影響の違いから①重度被害林(K区)、②軽度被害林(LD区)、③無被害林(K区)に調査区(約1ha)を設定し、森林火災影響と植生回復にともなう種構成の変化を解析し、森林回復評価の生物指標を抽出し、提示することを目的とした。上記分類群に関する調査は2001年2月、9月、2002年2月、7月、2003年1月に実施した。

蘚苔類相はHD区<LD区<K区の順に豊かになり、これらが植生回復にともなう蘚苔類相の経時的変化に相当するものと推察された。また、湿った林床の朽木に生育する *Arachniopsis major*、*Mizutania riccardioides*、*Trichosteleum boschii*、*Zoopsis liukiensis* は自然林内でのみ出現した。これらの種は、低地熱帯多雨林の自然度を示す指標となりうると考えられた。

地衣類相もHD区<LD区<K区の順に豊かであった。K区で高木が多く、林床が薄暗い沼地や小川近くの樹木基部には、*Cladonia* sp.、*Graphis* sp.、*Coenogonium* sp.、*Coccocaripia* sp. が出現し、これらの種はまだ未同定ではあるが、低地熱帯多雨林回復の指標種の候補であると思われた。

フタバガキ科樹種の生活に重要な外菌根は森林火災後3~4年で回復するが、宿主樹木の減少ゆえ菌根量は回復していなかった。LD区ではベニタケ属やテングタケ属など、極相林(K区)の種構成に似た菌群が認められ、火災前の菌根菌の生残が示唆された。一方HD区では火災4年後に菌根菌子実体が発生したが、攪乱地や若齢林に典型的なキツネタケ属のみであり、菌根菌相は一旦完全に破壊された後、再定着が始まったと考えられた。重度の火災被害後の再定着を示す指標種として *Laccaria vinaceoavellanea*、被害程度が軽く菌根菌相の維持を示す指標種として *Russula*

rosacea や *R. castanopsidis* が有効だと考えられた。

細菌を含む微生物バイオマス、微生物呼吸量、および phosphomonoesterase 活性は、HD 区<LD 区<K 区の順に大きくなった。土壤細菌の多様性解析の結果、火災の影響は、土壤の優占細菌の分類集団構造には認められなかったが、炭素源代謝能に認められた。土壤細菌の分離・同定の結果、全ての調査区で優占種が共通しており、指標となる細菌の特定は困難であったが、*Bacillus sphaericus* は、K 区以外ではほとんど優占せず、健全な森林土壤の指標となる可能性が示唆された。

なお、本調査期間では、蘚苔類で 60 種、地衣類で 5 種、菌根性菌類で 3 種、土壤細菌類で 4 種以上が東カリマンタン新産種であった。このうち地衣類数種と土壤細菌類 4 種は新属または新種の可能性が高く、熱帯林は細菌類も含め、貴重な生物種の宝庫であり、未知の種もまた多く存在する可能性が示唆された。

[キーワード] 菌根性菌類、指標生物、森林火災、蘚苔類/地衣類、土壤細菌

1. はじめに

近年、インドネシアをはじめとする熱帯地域では、焼き畑農業や大規模土地開発に起因する森林火災が頻繁に発生している。森林火災による熱帯林の消失は、森林の物質生産性および生物の種数・個体数・遺伝的多様性等に影響を及ぼすことが懸念されている。インドネシアでは、1997～1998 年にエルニーニョによる異常乾燥も影響し、過去最大規模の森林火災が発生した。しかし、基準となる生物種データ等が未整備のため、生態系・生物多様性への影響評価が困難であり、森林管理に支障をきたしている。そこで、森林火災が生態系や生物多様性に及ぼす影響を評価するために、森林火災に敏感で、その影響/回復を評価するための指標となり得、またモニタリングが容易な生物種や生物現象を調査解析し、いわゆる森林火災の生物指標を提示する必要がある。

蘚苔類や地衣類は必要な水分や養分を植物体全体から吸収するため、特に大気環境要因に敏感であり、環境の指標植物となりうる可能性が高い。森林火災による樹木の焼失は蘚苔類/地衣類にとって重要な生育の場を失うだけでなく、光や水その他の物理・化学的な生育環境も変化するため、それに応じてそのフロラも大きく変化すると予想される。森林火災後のこれらのフロラの変化については、北米や欧州など温帯地域での報告はあるが熱帯地域からの報告は少なく、フロラそのものが未解明であるといえる。

また、低地熱帯多雨林の主要構成樹木であるフタバガキ科の種は外菌根性であり、その生育には菌根は欠かせない。菌根は主に土壤表層近くに分布し、干ばつや火災などによる土壤環境の変動に敏感なため、菌根性菌類は森林火災の影響や回復状況を評価する指標として有効であると考えられる。一方、土壤細菌類は極めて多様で複雑な集団構造をもっているが、土壤の物理・化学性に応じて、集団構造が短期間で様々に変化する。この素早い環境変化に対する応答性ゆえに、土壤細菌類は森林火災の影響や回復の早期的な指標となることが期待される。なお、熱帯多雨林の土壤中には未知の細菌が多数存在すると考えられており、集団構造の把握に加えて、分類や機能の解明が急がれている。

2. 研究目的

本研究課題では、森林火災の森林生態系・生物多様性への影響とその後の回復過程(森林の健全性)の評価のための生物指標について検討することを目的とする。具体的には、1997~1998年に発生した過去最大規模の森林火災の影響地域の一つである、インドネシア国東カリマンタン州のブキット・バンキライにおいて、火災の無被害林および軽度と重度の被害林に調査区域を設定し、大気環境に敏感とされる蘚苔類や地衣類、土壌環境に依存する菌根性菌類や土壌細菌類の種多様性に関する比較調査を行い、以下について明らかにすることを目標とする。

- ①低地熱帯多雨林の蘚苔類相・地衣類相を調査し、森林火災による環境変化との関係を解析し、火災の影響/回復状況の植物指標を提示する。
- ②低地熱帯多雨林(フタバガキ林)における菌根の量と分布を調査し、特に土壌水分との関係から森林火災の影響を解析し、菌根の状態を評価するための指標となるパラメータを提示する。
- ③低地熱帯多雨林の土壌細菌の分類・機能・集団構造に関する知見を集積し、森林火災の生態系影響/回復の程度と細菌多様性との関連を解析し、健全な森林生態系の指標となるような細菌の集団構造や分類群を検索し、提示する。
- ④低地熱帯多雨林における、蘚苔類・地衣類・菌根性菌類・土壌細菌類の種多様性に関する基盤的データに関する情報を収集・整備し、提供する。

3. 現地調査の概要

インドネシア国東カリマンタン州バリクパパンの北約 60 km、海拔約 100 m のブキット・バンキライ地域(図 1a)は、1997~1998 年の大規模森林火災によって、ほとんどの地域が消失したが、一部火災を免れた林分や、火災の影響がそれほど強くなく、回復過程にあると思われる林分などが残存していた。そこで、同地域において森林火災の無被害林、軽度被害林、重度被害林と思われる場所に、各々約 1 ha の継続調査区を設定し、K 区、LD 区、HD 区とした(図 1b)。各々の調査区は緩やかではあるが起伏があり、谷筋には小川が認められる。各調査区はさらに、10 m×10 m のサブ区に分けられ、後に示すように、分類群ごとにサブ区を定め、現地調査を行った。なお、本研究における現地調査は、調査区の設定も含め、2001 年 2 月、2001 年 9 月、2002 年 2 月、2002 年 7 月および 2003 年 1 月に実施した。

なお、森林火災の生物多様性・生態系への影響全般に関するこれまで実施された研究調査の概要および現地調査地域周辺の概況に関してはサブテーマ 1 に、各調査区周辺の植生(生態系)や微環境の概要および各調査区における他の生物種の多様性状況等に関してはサブテーマ 2 に記載されている。

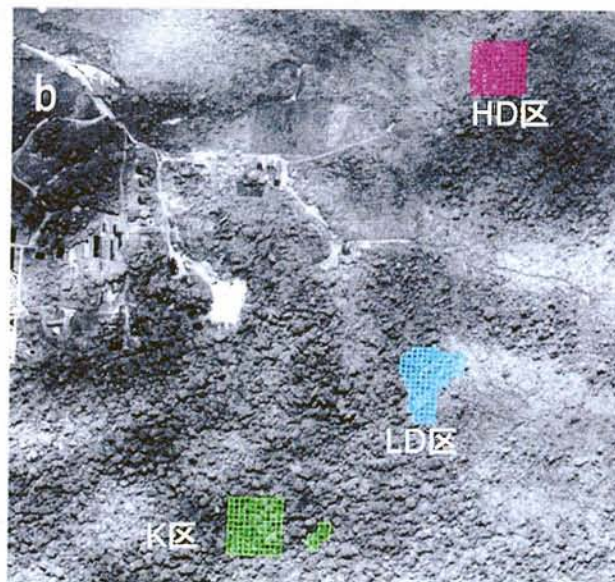


図1. 調査地域. a: 東カリマンタン州ブキット・バンキライの位置. b: ブキット・バンキライに設定した調査区. K区は無被害林に、LD区は軽度被害林に、HD区は重度被害林に設定した。

4. 東カリマンタン低地熱帯多雨林における森林火災と蘚苔類相との関係

蘚苔類は生育に必要な水や養分を体表面から吸収することから、とくに大気環境に敏感に反応することが知られており、大気汚染に対する指標植物として知られている¹⁾。森林火災に伴って放出される大量のヘイズには、二酸化硫黄等の大気汚染物質も含まれており、蘚苔類への影響が懸念される。さらに、森林火災による樹木の消失は、蘚苔類にとって着生する場を失うとともに、温度、湿度、照度などの環境要因が変化することにより、自然林内に生育していた蘚苔類の生存条件に多大な影響を及ぼすと思われる。また、森林火災によって生じる新たな環境に適応した蘚苔類が新規に参入することも考えられる。

森林火災による蘚苔類相への影響については、北半球の温帯地域でいくつかの報告があるが^{2,3,4)}、熱帯地域での研究はほとんどない。さらに、カリマンタン(ボルネオ)島は蘚苔類の多様性に富む地域として知られているが、東カリマンタンからの蘚苔類の報告はきわめて少ない^{5,6)}。ボルネオ島からはキナバル山を中心に 1230 種の蘚苔類が報告されているが、本調査地を含む東カリマンタンからはわずか 160 種のみである。本研究は低地熱帯多雨林における森林火災と蘚苔類相との関係について貴重なデータを提供するほか、東カリマンタン、とくに低地熱帯多雨林の蘚苔類相を明らかにするうえで重要である。

本研究は低地熱帯多雨林において、①森林火災による環境変化と蘚苔類相との関係を解明し、②森林回復状況を探る指標植物としての蘚苔類の存在を検証することを目的として実施した。

調査は東カリマンタンのブキット・バンキライ(図 1 a)で行った。火災によって重大な影響を受けた林分：重度被害林、中程度の影響を受けた林分：軽度被害林、影響を受けなかった林分：無被害林に、各々約 1 ha の調査区(HD 区・LD 区・K 区)を設置し(図 1 b)、さらに、各区内を 10 m × 10 m のサブ区に分割した(図 2)。これまでに、2001 年 2 月、9 月、2002 年 2 月、7 月、2003 年 1 月の 5 回にわたり、以下の①～③の方法で現地調査および室内研究を行った。

- ① 各調査区とその周辺部に出現する蘚苔類のインベントリー調査を行う。
- ② 蘚苔類相の経年変化を観察するため、各区内の 15 個のサブ区(10 m × 10 m)を地上永久コドラートとして設け(図 2)、コドラート内に出現する蘚苔類を、生育基物ごとに記録する。現地で同定できない種については、群落の一部を標本として持ち帰り、光学顕微鏡を用いて、細胞形態レベルで植物分類学的研究を行う。
- ③ 樹皮上の着生蘚苔類の経年変化を観察するため、各区内の樹幹上(地上から約 1.5 m)に永久コドラート(20 cm × 20 cm)を設置し(図 2)、そのコドラート内に出現する蘚苔類の種および植被率を透明シートに記録する。現地で同定できない種については、樹上コドラートの周辺部に着生している同種のサンプルを採取し、上記②と同様に検鏡する。

(1) 森林火災による蘚苔類相への影響

調査地の概況を図 3 に示した。調査域の大部分は森林火災により樹木が焼失したが、図 3-A に示したように、焼失せずに火災の影響を受けなかった林分も見られた。各調査区の概況は次のとおりである。

		X5	X4	X3	X2	X1					
A6	A5 (4)	A4	A3 (3)	A2	A1 (3)	A0	A-1	A-2	A-3	A-4	
B7	B6 ●	B5	B4 (6)	B3	B2 (9) ●	B1	B0	B-1 ●	B-2 (2)	B-3	B-4
C7	C6	C5 (4)	C4	C3 (5)	C2 ●	C1 (5)	C0	C-1	C-2	C-3	C-4
D7	D6	D5 ●	D4	D3 ●	D2	D1	D0	D-1 (4)	D-2	D-3	D-4
E6	E5 (6)	E4	E3 (11)	E2	E1 (8)	E0	E-1				
F6	F5 (7) ●	F4	F3	F2 (6)	F1	F0	F-1				
G5	G4	G3	G2	G1							
H5	H4	H3	H2	H1							
I5	I4	I3 (14)	I2	I1							
J5	J4 ●	J3	J2	J1							
K5	K4	K3	K2	K1 ●							
L4	L3 (14)	L2	L1								
M4	M3	M2	M1								

□: 地上永久コドラート

●: 樹上永久コドラート

(): コドラート内で確認された種数

B. LD 区

A6	A5 (2)	A4	A3 (5)	A2 ●	A1 (4)	A0	A-1	A-2	A-3		
B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	B-1	B-2 (0)	B-3		
C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0 (5)	C-1	C-2	C-3		
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0 ●	D-1	D-2	D-3		
E6	E5 (1)	E4	E3 (8)	E2	E1 (5)	E0	E-1	E-2 (4)	E-3		
F6	F5	F4	F3	F2 ●	F1	F0	F-1	F-2 ●	F-3		
G6	G5 (3)	G4	G3	G2 (1)	G1	G0 (6)	G-1	G-2	G-3		
H6	H5	H4	H3	H2 ●	H1	H0	H-1	H-2 (4)	H-3		
I6	I5 (6)	I4	I3 (2)	I2 ●	I1 (8)	I0	I-1	I-2	I-3		
J6 (1)	J5 ●	J4 ●	J3	J2	J1	J0	J-1	J-2	J-3		

A. HD 区

A10	A9 (5)	A8	A7	A6	A5 (8)	A4	A3	A2 ●	A1 (5)		
B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4 ●	B3	B2 ●	B1		
C10	C9 ●	C8	C7 (6)	C6	C5	C4	C3 (5)	C2	C1		
D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1		
E10	E9 (7)	E8	E7	E6	E5 (6) ●	E4	E3	E2	E1 (3)		
F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1		
G10	G9	G8	G7 (7)	G6	G5	G4	G3 (6)	G2 ●	G1		
H10	H9	H8	H7 ●	H6	H5	H4	H3	H2	H1		
I10	I9 (12) ●	I8	I7	I6	I5 (9)	I4 ●	I3	I2	I1 (3)		
J10	J9	J8	J7	J6	J5	J4	J3	J2	J1		

C. K 区

E-7	E-8		
F-7	F-8 (12)		
G-5 (17)	G-6	G-7	G-8
H-5	H-6 ●		
I-5	I-6 (12) ●		

10 m

図 2. 調査区とサブ区. 灰色は地上部の永久コドラートを示し, サブ区の番号(A1 など)の下の()内の数値は出現した蘚苔類の種数を示す.

〔HD 区〕 森林火災による影響を強く受けた HD 区(図 3-B~E)では、林冠部が消失したことにより林床部が明るくなり、シダ類が繁茂していた(図 3-B, C)。シダ類などの草本層の密度が高く、直射日光によって林内が乾燥するため、林床部は蘚苔類の生育に適していないと考えられた。また、わずかに生き残った高木にも着生蘚苔類はほとんど認められなかった。わずかに認められた蘚苔類は、裸地の炭化した木片上(図 3-D)、あるいは樹幹基部付近に生育していた(図 3-E)。



図 3. 調査地の概況。 A : 調査地全域。手前は自然林，後方は被災した森林。 B : 火災後 3 年を経た林分で大部分は立ち枯れている。 C : HD 区内部。 *Macaranga gigantea* など成長の早い樹木のほか，林床にシダ植物が繁茂している。 C : HD 区林床。焼け跡の炭や灰の上に生育する *Syrrhopodon spiculosus*。 E : HD 区付近の焼け残った樹木の根元に生育する *Papillidiopsis ramulina*。 F : LD 区内部。焼け残った樹木が多く残っている。図中に見える林床部の白い紐は亜区の境界線を示している。 G : K 区内部。 *Shorea* などの大木が高木層を形成し，林床部は暗い。 H : K 区付近の着生蘚苔類群落。 *Calymperaceae* や *Sematophyllaceae* などの蘚類がしばしば大群落を形成する。

〔LD区〕森林火災の影響が中程度だったLD区(図3-F)では、半数以上の高木が生残している。火災によって一部の高木が倒れたが、それによってギャップが生じ、ギャップ内の倒木上には蘚苔類の大きな群落も認められた。

〔K区〕森林火災の影響を受けなかったK区(図3-G, H)では、*Shorea* などからなる高木層が発達し、林床部は蘚苔類の生育には光強度が低いようであった。そのため、多くの蘚苔類は樹幹部に着生したり、倒木によって生じたギャップ内に生育したりしていた。K区の谷部では高湿度が保たれる場所が存在し、生葉上にも苔類の生育が認められた(図4-G)。

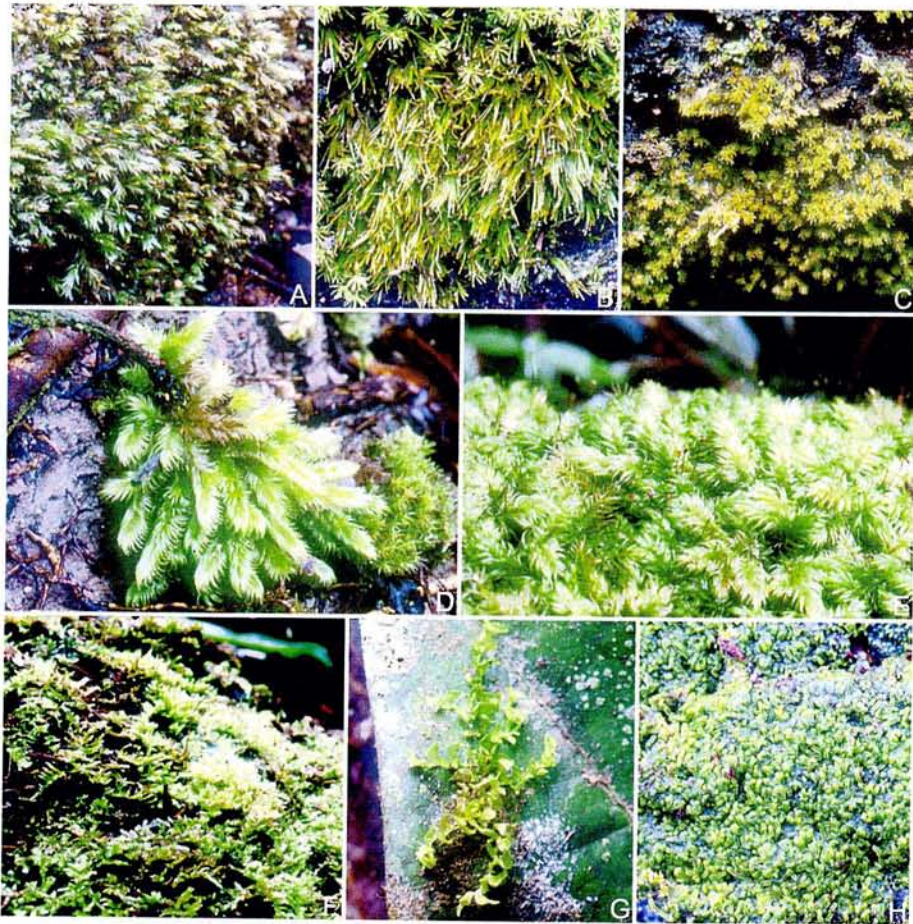


図4. 東カリマントン調査地域に普通に生育する蘚苔類(A~F)および自然林に生育する蘚苔類(G, H).

A : *Fissidens crassi-nervis* Sande Lac. (K区付近)

B : *Arthrocnemum shimperi* (Dozy & Molk.) Dozy & Molk. (LD区)

C : *Syrrhopodon albovaginatus* Schwägr. (LD区)

D : *Leucobryum aduncum* Dozy & Molk. var. *teysmannianum* (Dozy & Molk.) T.Yamag. (K区付近)

E : *Leucobryum sanctum* (Brid.) Hampe (K区付近)

F : *Acanthorrhynchium papillatum* (Harv.) M.Fleisch. (LD区)

G : *Colura* sp. (K区付近、生葉上に着生)

H : *Riccardia spongiosa* Furuki (K区付近)

今回の調査では調査区内外から約 2000 点の標本を採取した。顕微鏡下での分類学的研究によって、これまでに合計 90 種(変種を含む)の蘚苔類を確認した(表 1、図 4-A~H、図 6~9)。種レベルで同定された種の大部分、60 種については東カリマントン地域での新記録種である(表 1)。一般に熱帯において蘚苔類の生育に適しているのは、海拔 1000 m 付近の雲霧林であり、低海拔地域は高温・乾燥のため蘚苔類の出現種数も限られる。しかし、今回確認された 90 種は限られた調査面積からすると決して少なくはない。本調査地のように低海拔地域で新たに 60 種が確認されたことから、山岳部を含めればさらに多くの新記録種が見出される可能性が極めて大きい。

調査地域で見出された蘚苔類 90 種のうち Calymperaceae(図 3-D, 図 4-B, C)に属する蘚類が 28 種を占めている。Calymperaceae は葉先に無性散布体である小形の無性芽を多数形成し、それらを風によって分散させ、個体群を維持・拡大することが可能である。無性芽のほか、観察した Calymperaceae の個体群内にはしばしば孢子体形成も認められた。このような旺盛な繁殖力と、葉細胞に乳頭状突起を密生させることによって乾燥に対して耐性をもつ形態的特徴は、熱帯低地の環境に適応しているものと考えられる。そのほか、Sematophyllaceae(図 2-E, 図 4-F, 図 7)が 13 種、Leucobryaceae(図 4-D, E)が頻繁に出現するなど、熱帯低地の特徴をよく示していた。

調査区別出現数では、K 区が 63 種、LD 区が 45 種、HD 区が 29 種となり、森林火災の影響を強く受けた調査区ほど種数が減少していた(表 1)。地上コドラートのうち、HD 区-I1(8 種)、LD 区-I3, L3(14 種)など被災地でも種数が増加する場所もあったが、これらは局所的な湿地に位置していた(図 3)。LD 区、HD 区に出現する種の大部分は K 区にも生育しており、多くが Calymperaceae であった。これらのことから、無性芽などの散布体によって、非被災地から被災地へ、耐乾性のある種の再侵入と再定着が起こっているものと考えられる。

(2) 低地熱帯多雨林の自然度を証す指標植物

前述のように、森林火災の影響を受けた HD 区、LD 区に出現する種は、影響を受けなかった K 区に生育する種のうち、繁殖力と耐乾燥性に優れた種が再侵入し、定着したものと考えられる。したがって、森林火災直後の環境を指標する蘚苔類は見出せなかった。しかし、火災後の高温・乾燥条件下では蘚苔類相全体に占める Calymperaceae の種数の割合が大きくなる傾向が見出された。

K 区および自然林内林床部は火災の影響を受けずに、十分に腐食した朽木(図 5)が存在する。これらの朽木は周囲が高木・亜高木層に被覆され、安定した温度・湿度条件下に置かれていると考えられる。このような朽木が微地形的に安定した高湿度条件下に存在した場合、特異的な蘚苔類の生育が認められた。それらは、図 6~9 に示した、*Arachniopsis major*、*Mizutania riccardioides*、*Trismegistia korthalsii*、*Zoopsis liukuensis* の 4 種である。これら 4 種については、その出現頻度は低いが、K 区およびその周辺の自然林内の限られた場所でのみ確認された。*Arachniopsis* をはじめとする 4 種の生育環境条件については、さらに広域において詳細な調査を実施する必要がある。しかし、今回の現地調査で確認した限りでは、森林火災の被災地では林床部の焼失および木本層の破壊によってこれら 4 種の生育可能な環境条件も損なわれたと考えられる。すなわち、*Arachniopsis major*、*Mizutania riccardioides*、*Trismegistia korthalsii*、*Zoopsis liukuensis* は、低地熱帯雨林の高い自然度を示す指標植物であると考えられる。

表 1. 東カリマントン調査地に出現した蘚苔類リスト*

科名	種名	調査区	HD	LD	K
BRYOPSIDA					
Polytrichaceae	<i>Racelopus pilifer</i> Dozy & Molk.**	.	.	.	1
Fissidentaceae	<i>Fissidens crassinervis</i> Sande Lac.**	.	.	1	5(1)
	<i>Fissidens pellucidus</i> Hornsch.**	.	.	1	2(1)
	<i>Fissidens robinsonii</i> Broth.**	1	.	.	1
	<i>Fissidens</i> sp.	.	.	1	1
Leucobryaceae	<i>Leucobryum aduncum</i> Dozy & Molk. var. <i>aduncum</i>	1	(1)	(1)	
	<i>Leucobryum aduncum</i> var. <i>scalare</i> (Müll.Hal.) A.Eddy**	.	.	.	(1)
	<i>Leucobryum aduncum</i> var. <i>teysmannianum</i> (Dozy & Molk.) T.Yamag.**	12	12(6)	12(8)	
	<i>Leucobryum chlorophyllosum</i> Müll.Hal.**	2	1(1)	1(1)	
	<i>Leucobryum sanctum</i> (Brid.) Hampe	6	14(2)	17(7)	
Calymperaceae	<i>Arthrocorpus shimperi</i> (Dozy & Molk.) Dozy & Molk.	8	31	36	
	<i>Calymperes erosum</i> Müll.Hal.**	.	.	.	(1)
	<i>Calymperes moluccense</i> Schwägr.**	.	.	.	(1)
	<i>Calymperes serratum</i> A.Braun ex Müll.Hal.**	1	6	1	
	<i>Calymperes</i> sp.	1	1	.	
	<i>Exostratum blumei</i> (Nees ex Hampe) T.L.Ellis**	.	(1)	(1)	
	<i>Leucophanes candidum</i> (Schwägr.) Lindb.	4	3	5	
	<i>Leucophanes octoblepharioides</i> Brid.**	.	3(2)	2(5)	
	<i>Mitthyridium fasciculatum</i> (Hook. & Grev.) H.Rob.**	1	2	.	
	<i>Mitthyridium repens</i> (Harv.) H.Rob.**	4	5	(3)	
	<i>Mitthyridium undulatum</i> (Dozy & Molk.) H.Rob.**	.	(1)	1(1)	
	<i>Mitthyridium wallisii</i> (Müll.Hal.) H.Rob.**	.	.	1(2)	
	<i>Mitthyridium</i> sp.	.	3	.	
	<i>Octoblepharum albidum</i> Hedw.**	6	6	3	
	<i>Syrrhopodon albovaginatus</i> Schwägr.**	9	11(4)	16(3)	
	<i>Syrrhopodon aristifolius</i> Mitt.**	.	.	(1)	
	<i>Syrrhopodon armatus</i> Mitt.**	.	1	2	
	<i>Syrrhopodon ciliatus</i> (Hook.) Schwägr.**	3	1(1)	(1)	
	<i>Syrrhopodon confertus</i> Sande Lac.**	.	.	4	
	<i>Syrrhopodon croceus</i> Mitt.**	2	2(2)	2(2)	
	<i>Syrrhopodon gardneri</i> (Hook.) Schwägr.**	.	1	1	
	<i>Syrrhopodon hispidissimus</i> Dixon**	.	.	3	
	<i>Syrrhopodon involutus</i> Schwägr.**	2	2	(3)	
	<i>Syrrhopodon loreus</i> (Sande Lac.) Reese**	1	2(1)	1(3)	
	<i>Syrrhopodon rufescens</i> Hook. & Grev.**	.	1	.	
	<i>Syrrhopodon spiculosus</i> Hook. & Grev.	17(2)	28(4)	32(2)	
	<i>Syrrhopodon trachyphyllus</i> Mont.**	1	2	(1)	
	<i>Syrrhopodon</i> sp.	1	1	2	
Rhizogoniaceae	<i>Pyrrhobryum spiniforme</i> (Hedw.) Mitt.**	1	9(1)	22(3)	
Sematophyllaceae	<i>Acanthorrhynchium papillatum</i> (Harv.) M.Fleisch.	6	32(5)	28(6)	
	<i>Acroporium convolutum</i> Sande Lac.) Fleisch. var. <i>elatum</i> (Dixon) B.C.Tan**	.	2	.	
	<i>Acroporium diminutum</i> (Brid.) M.Fleisch.	2	2	4	
	<i>Acroporium lamprophyllum</i> Mitt.**	.	3	(2)	
	<i>Papillidiopsis ramulina</i> (Thawites & Mitt.) W.R.Buck & B.C.Tan**	(1)	4	1	
	<i>Taxithelium kerianum</i> (Broth.) Broth.**	.	.	1	
	<i>Taxithelium planum</i> (Brid.) Mitt.**	.	1	9	
	<i>Taxithelium vernieri</i> (Duby) Besch.**	.	.	1	
	<i>Taxithelium</i> sp.	.	.	1	

表 1. (続き)

科名	種名	調査区	HD	LD	K
	<i>Trichosteleum boschii</i> (Dozy & Molk.) A.Jaeger **	.	.	.	(1)
	<i>Trichosteleum</i> sp.	.	.	.	3
	<i>Trismegistia korthalsii</i> (Dozy & Molk.) Broth. **	.	.	.	(3)
	<i>Trismegistia</i> sp.	.	.	1	.
Hypnaceae	<i>Ctenidium malacobolum</i> (Müll.Hal.) Broth. **	.	.	.	1
	<i>Isopterygium minutirameum</i> (Müll.Hal.) A.Jaeger. **	1	1	.	.
	<i>Isopterygium</i> sp.	.	.	1(1)	1
	<i>Pseudotaxiphyllum pohliaecarpum</i> (Sull. & Lesq.) Z.Iwats. **	.	.	.	1
	<i>Vesicularia kurzii</i> (Sande Lac.) Broth. **	2	3	3	3
	<i>Vesicularia miquellii</i> (Sande Lac.) Feisch. **	4	4	6	6
HEPATICOPSIDA					
Lepidoziaceae	<i>Acromastigum inaequilaterum</i> (Lehm. & Lindenb.) A.Evans	.	.	3	2(1)
	<i>Arachniopsis major</i> Herzog **	.	.	.	1(6)
	<i>Bazzania tridens</i> (Reinw., Blume & Nees) Trevis. **	.	.	.	1
	<i>Bazzania trilobata</i> (L.) Gray **	.	.	1	1
	<i>Bazzania</i> sp. 1	.	.	.	1
	<i>Bazzania</i> sp. 2	.	.	1(1)	.
	<i>Bazzania</i> sp. 3	.	.	1	5
	<i>Kurzia</i> sp.	.	.	.	1
	<i>Zoopsis liukuensis</i> Horik.	.	.	.	1(5)
Calypogeiaceae	<i>Calypogeia arguta</i> Nees & Mont. **	.	.	.	3
	<i>Calypogeia</i> sp.	.	.	.	2
Cephaloziaceae	<i>Cephalozia</i> sp. 1	.	.	1	1
	<i>Cephalozia</i> sp. 2	.	.	1	4
Geocalyceae	<i>Heteroscyphus</i> sp.	.	.	.	1
	<i>Lophocolea</i> sp.	.	.	.	1
Radulaceae	<i>Radula javanica</i> Gottsche **	.	.	.	2
	<i>Radula</i> sp. 1	.	.	.	1
	<i>Radula</i> sp. 2	.	.	.	1
Lejeuneaceae	<i>Archilejeunea planiuscula</i> (Mitt.) Steph. **	.	.	.	2
	<i>Colura</i> sp.	.	.	.	(1)
	<i>Lejeunea anisophylla</i> Mont. **	.	.	.	4
	<i>Lejeunea patens</i> Lindb. **	.	.	.	2
	<i>Thysananthus spathulistipus</i> (Reinw., Blume & Nees) Lindenb. **	.	.	.	2
Mizutaniaceae	<i>Mizutania riccardioides</i> Furuki & Z.Iwats. **	.	.	.	(1)
Pallaviciniaceae	<i>Pallavicinia</i> sp.	.	.	(1)	2
Aneuraceae	<i>Aneura maxima</i> (Schiffn.) Steph. **	.	.	.	(1)
	<i>Riccardia baumannii</i> Huerl. **	.	.	(1)	.
	<i>Riccardia graeffei</i> (Steph.) Hewson **	2	.	.	(1)
	<i>Riccardia multifida</i> (L.) Gray **	.	.	1	1
	<i>Riccardia palmate</i> (Hedw.) Carruth. **	.	.	.	3
	<i>Riccardia spongiosa</i> Furuki **	2	.	.	1(1)
	<i>Riccardia tenuicostata</i> Schiffn. **	1	.	.	2
Total number of species ***			29(2)	45(19)	63(36)
			[30]	[50]	[81]

*表中の各種に対する数値はその種の標本数を示す。また、()外の数値はその調査区内で採取された標本数、()内の数値はその調査区付近で採取された標本数を示す。

**東カリマンタン地域 (Kalimantan Timur, Indonesia) での新記録種を示す。

***確認された合計種数。()外の数値はその調査区内で確認された種数、()内はその調査区周辺で確認された種数、[]内はその調査区内外で確認された総種数を示す。



図 5. K 区および森林火災の影響を受けなかった自然林内で見られる朽木. これらの朽木は腐植がすすみ, 適度な湿り気を保っている. 周囲が高木およびその林冠に覆われることによって, 朽木上では安定した生育環境が保たれ, 環境に対して敏感な蘚苔類(図 6 ~ 9)が生育している.

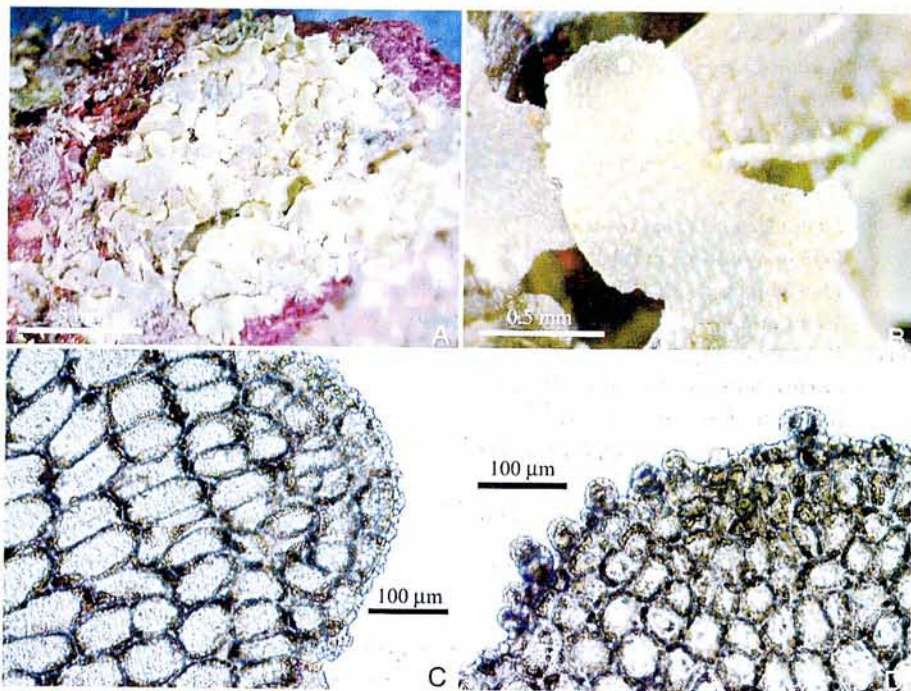


図 6. *Mizutania riccardioides* Furuki & Z.Iwats.

A: 朽木上に着生する群落. B: 葉状体の一部. 幅約 1mm, 長さ約 10mm, 特徴的な白緑色をしている. C: 葉状体の細胞. 葉状体は 1 細胞層で, 表面は密なベルカでおおわれる. D: 無性芽. 葉状体の縁にはしばしば無性芽が形成される.

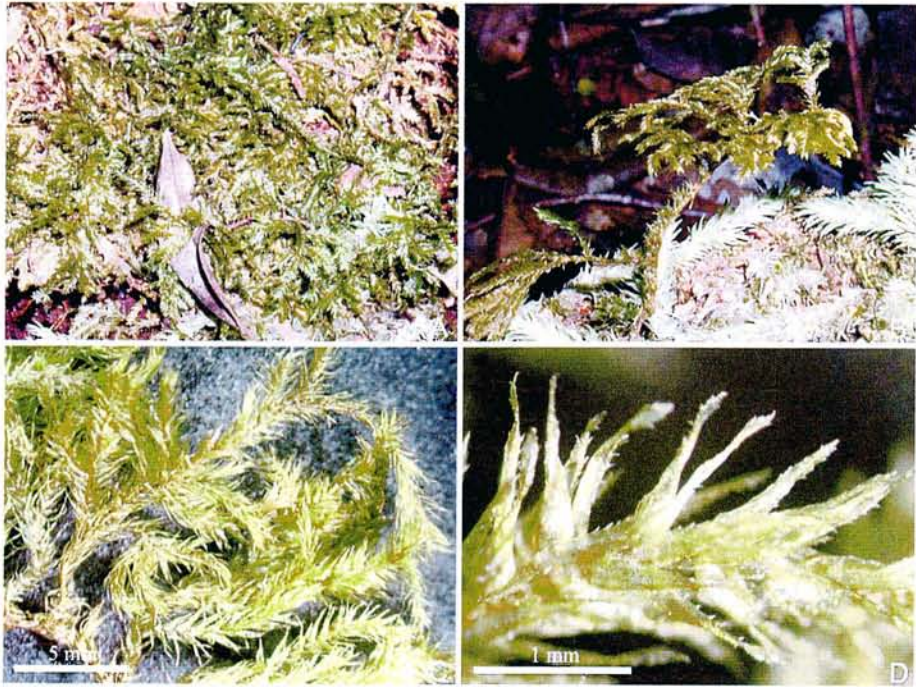


図 7. *Trismegistia korthalsii* (Dozy & Molk.) Broth.

A: 自然林内の林床にある朽木上の群落. B: 斜上する二次茎. 一次茎は基物をはい, 二次茎は斜上して水平に分枝し, やや扇状になる. C: 植物体. やや光沢を帯びる. D: 枝の拡大図. 枝葉の葉縁部には鋭い鋸歯が見られる.

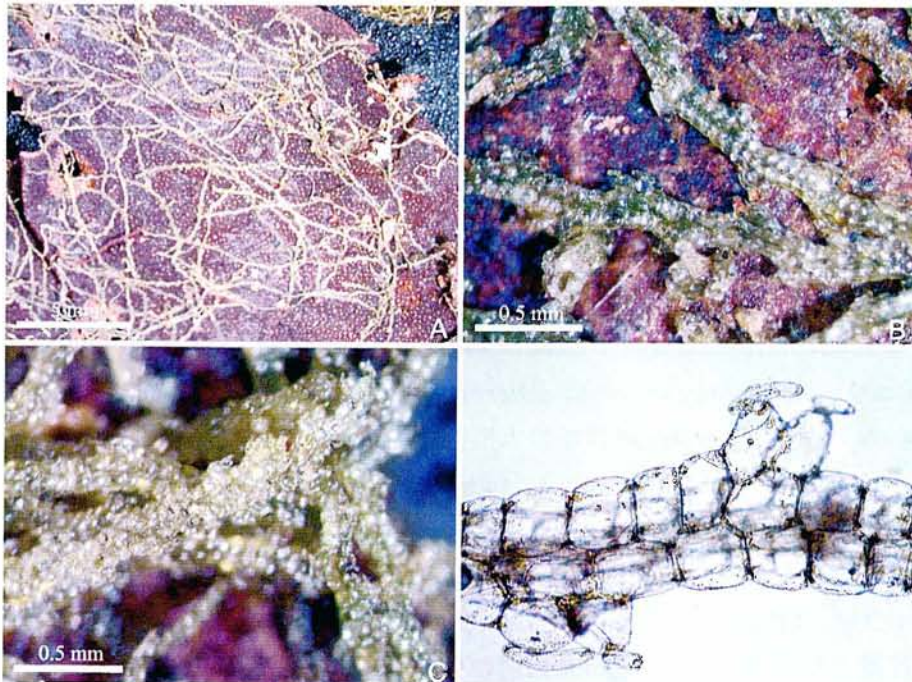


図 8. *Zoopsis liukiensis* Horik.

A: 朽木上の群落. 糸くず状に見える. B, C: 植物体は幅 0.2mm ほどしかなく, 非常に繊細な苔類である. 生育には安定した高湿度が必要である. D: 植物体の一部. 茎は 2 細胞幅にすぎず, 葉は 4 細胞からなる.

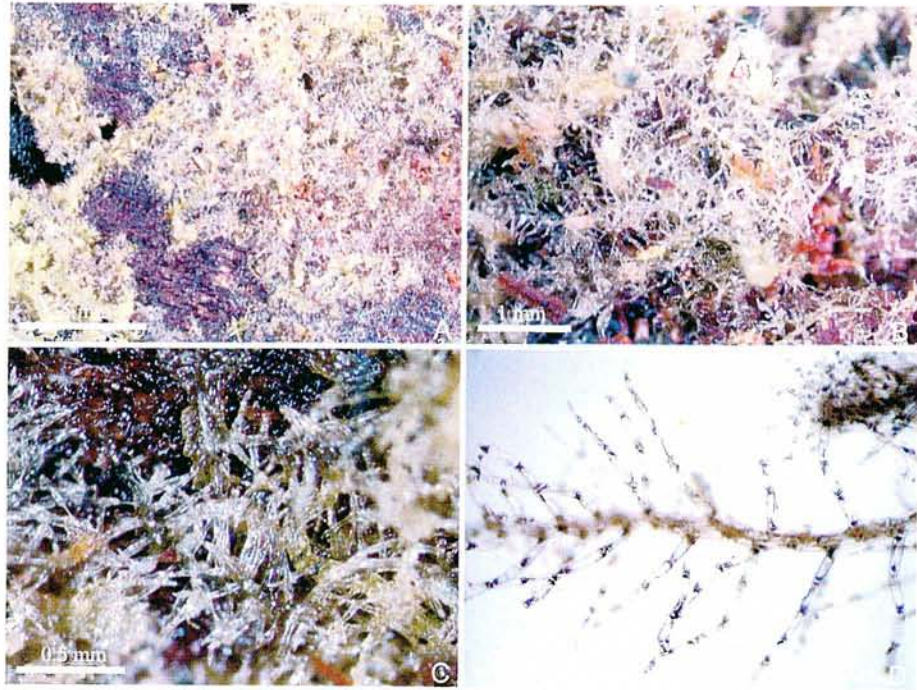


図 9. *Arachniopsis major* Herzog

A: 朽木上に *Mizutania*, *Zoopsis*, *Acromastigum* などの苔類と混生する。B, C: 群落の拡大図。茎が細く、葉も 1 細胞列の裂片からなるため、外見は緑藻類のスミレモに似る。D: 植物体の拡大図。葉は基部まで 2 裂し、裂片は 1 細胞列。

(3) 森林火災の影響を受けた蘚苔類相の遷移

今回の調査では 2 年間にわたり計 5 回の現地調査を行ってきた。しかし、2 年間行った地上および樹上永久コドラート(図 3)の調査では、目立った蘚苔類相の変異は認められなかった。一部の樹上コドラートで *Calymperaceae* の幼植物体の侵入が認められた程度である。これは無性芽あるいは孢子などの散布体の飛散によるものと考えられる。

各調査区の樹上コドラート(図 10)に出現した蘚苔類の種数を表 2 に示した。HD 区においては、湿地に位置する HD 区-A2 のコドラートを除けば、*Calymperaceae* がごくわずかに着生するのみである。対照的に K 区では *Pyrrhobryum spiniforme* (*Rhizogoniaceae*)、*Acanthorrhynchium papillatum* (*Sematophyllaceae*)、*Acromastigum inaequilaterum* (*Lepidoziaceae*)、および *Leucobryum sanctum* (*Leucobryaceae*) など、*Calymperaceae* 以外の大形直立性蘚類、ほふく性蘚類、苔類などの多様な着生群落が形成されていた。LD 区においても *Acanthorrhynchium papillatum*、*Acroporium diminutum* など *Sematophyllaceae* に属するほふく性の蘚類が出現している。これら樹上コドラートに認められた調査区間の種多様性の差は、地上部を含む各調査区間種多様性の変化と一致している。

蘚苔類相は HD 区、LD 区、K 区の順で豊かになり、HD 区、LD 区に生育する蘚苔類は K 区から供給されたと推察されることから、3 調査区間に見られる種多様性の差異は、植生回復にともなう蘚苔類相の経時的変化に相当するものと推察された。蘚苔類相の遷移については、今後の継続調査が必要である。



図 10. 樹上コドラート内の着生蘚苔類. 2001 年 2 月の調査時に撮影. 写真中の白い紐はコドラート枠を示し, 1 辺が 20 cm. 調査区およびコドラート番号については図 3 を参照. 各コドラート内に出現した蘚苔類の詳細については表 2 を参照. A: HD 区-J4. *Mitthyridium repens* が樹皮の皮目にわずかに着生. B: HD 区-A2. このコドラートは小さな流水沿いであり, HD 区内では例外的に着生種数も多く被度も大きい. C: LD 区-B2. *Syrrhopodon spiculosus* のみがわずかに着生. 樹木が疎生する LD 区内では滑らかで固い樹皮上では着生種が少ない. D: LD 区-B6. 樹皮がざらつくヤシ科では, ほふく性の蘚類 *Acanthorrhynchium papillatum* ほか 3 種の小形直立性の蘚類が着生していた. E: K 区-G1. 樹皮がはがれやすい不安定な場所でも, 無性芽を多産する *Syrrhopodon spiculosus* が群落を形成していた. F: K 区-H7. K 区内の大木の樹皮上には Calymperaceae 以外の蘚類や苔類が着生することもある.

表 2. 樹上コドラート内に出現した着生蘚苔類リスト*

調査区	亜区	被着生樹種	着生蘚苔類種	
HD	A2	<i>Dehaasia</i> sp.	<i>Arthrocormus shimperi</i>	
			<i>Octoblepharum albidum</i>	
			<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	
			<i>Syrrhopodon ciliatus</i>	
			<i>Syrrhopodon croceus</i>	
			<i>Syrrhopodon loreus</i>	
			<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
			<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
	H2	<i>Durio acutifolius</i>	<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
	I2	<i>Fagraea fragrans</i>	<i>Mitthyridium repens</i>	
	J4	<i>Schima wallichii</i>	<i>Mitthyridium repens</i>	
LD	B2	<i>Koompasia malaccensis</i> (palm tree)	<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
			<i>Acanthorrhynchium papillatum</i>	
	B6		<i>Arthrocormus shimperi</i>	
			<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	
C2		<i>Scorodocarpus borneensis</i>	<i>Syrrhopodon armatus</i>	
			<i>Mitthyridium repens</i>	
			<i>Octoblepharum albidum</i>	
			<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
D3		<i>Durio acutifolius</i>	<i>Syrrhopodon trachyphyllus</i>	
			<i>Acroporium diminutum</i>	
K	B1	<i>Tetramerista glabra</i>	<i>Octoblepharum albidum</i>	
			<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	
			<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
	B4	(standing dead tree)		<i>Acroporium diminutum</i>
				<i>Syrrhopodon armatus</i>
	C8	(standing dead tree)		<i>Arthrocormus shimperi</i>
<i>Syrrhopodon armatus</i>				
G1		<i>Shorea laevis</i>	<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	
H7		<i>Shorea laevis</i>	<i>Acanthorrhynchium papillatum</i>	
			<i>Acromastigum inaequilaterum</i>	
			<i>Leucobryum sanctum</i>	
			<i>Pyrrhobryum spiniforme</i>	
			<i>Syrrhopodon spiculosus</i>	

*各樹上コドラートの位置については図 2 を参照。HD 区の F2, LD 区の D5, F5, K 区の A2, E5, I4, I8 には蘚苔類の着生はなかった。

5. 東カリマンタン低地熱帯多雨林における森林火災と地衣類相との関係

地衣類は高等植物とは異なり、生育に必要な水や養分を体表面全体から吸収して生長するため、大気環境等には敏感に反応する。また、地衣類は季節にそれほど影響されずに生長するが、一度被害を受けると、高等植物や蘚苔類よりも回復が遅いことから、被害の確認が遅くまで残り確認が容易である。したがって、温帯地域では、季節を問わず大気汚染調査ができる最も優れた大気汚染の指標植物であると認知されている^{7,8)}。

熱帯地域においては、樹皮着生の地衣類をはじめとする着生植物は、森林火災によって生育のための基物を失うとともに、汚染物質を含む多量のヘイズの影響を受ける。また、樹木の焼失による温度、湿度、照度などの森林環境要因の変化によって、その生存条件が多大な影響を受けると考えられる。地衣類は成長の遅い生物として知られているが、このような地衣類の特性は、森林火災の回復評価のための指標植物としての資質も含んでいると思われる。しかし、熱帯地域において、森林火災によって生じた新たな環境に、どの地衣類が生き残っており、どの地衣類が新規に参入するか等に関しては、ほとんど情報が無い。

森林火災による地衣類相への影響については、北半球の温帯地域でいくつかの報告がある⁹⁾が、熱帯地域での研究はほとんど知られていない。カリマンタン(ボルネオ)島北部の山地帯は生物多様性に富む地域として知られており、キナバル山では地衣類は286種も記録されている¹⁰⁾。しかし、同島西部のマレーシア領や東カリマンタン州から地衣類の報告はごくわずかである¹¹⁾。本研究は低地熱帯多雨林における森林火災と地衣類相との関係について貴重なデータを提供するほか、東カリマンタンの地衣類相を明らかにするうえでも重要である。

本研究は低地熱帯多雨林において、①森林火災による環境変化と地衣類相との関係を解明し、②森林回復状況を探る指標植物としての地衣類の有用性を検証することを目的とした。

地衣類研究グループは、蘚苔類研究グループと協力して、インドネシアで発生した森林火災による生態系や生物多様性への影響と、それらの回復過程などを調査、解析する総合プロジェクトの一環として調査研究を実施した。ブキット・バンキライ(図1a)に設定した、火災による重度被害林(HD区)、軽度被害林(LD区)、無被害林(K区)内のいくつかのサブ区(10 m×10 m)を地上永久コドラートとし、また各区内の樹幹上(地上から約1.5 m)に永久コドラート(20 cm×20 cm)を設置した(図2)。地衣類研究グループは、蘚苔類研究グループとほぼ行動を共にし、樹幹コドラートは、共通の枠と共通の記録シートを使用した。2001年2月、9月、2002年2月、7月、2003年1月の5回の調査では、以下の①および②方法で現地調査を行い、また、研究室に持ち帰り、顕微鏡観察やCulberson(1972)の方法¹²⁾にしたがい、薄層クロマトグラフィーによる地衣成分も形質の特徴として、種の分類・同定を行った。

①各調査区とその周辺部に出現する地衣類の種名リスト作成調査を行う。

②地上コドラートおよび樹幹コドラートについて、蘚苔類研究グループと協力して調査し、コドラート内に出現する地衣類の種(および樹幹コドラートでは植被率)を記録する。現地で同定できない種については、コドラート周辺部に着生している同種のサンプルを採取し、上記の検鏡および地衣成分の計測を行う。

表3. 東カリマンタン調査地に出現した地衣類リスト.

No.	Species	K plot.	LD plot	HD plot
no.1	<i>Arthonia</i> sp.	x		x
no.2	<i>Bacida</i> sp.	x		
no.3	<i>Biatronopsis</i> sp.	x		
no.4	<i>Buellia</i> sp.	x	x	x
no.5	<i>Byssoloma</i> sp. 1	x		
no.6	<i>Coccocarpia</i> sp.*	x		
no.7	<i>Coenogonium</i> sp.1*	x	x	x
no.8	<i>Coenogonium</i> sp.2*	x		
no.9	<i>Cyclographina macgregorii</i> **	x		
No.10	<i>Echinoplaca</i> sp.	x	x	x
No.11	<i>Fellhaneara</i> sp.	x		
No.12	<i>Fuscida</i> sp.	x	x	x
No.13	<i>Graphis</i> sp. 1**	x	x	
no.14	<i>Graphis</i> sp. 2**	x		
no.15	<i>Gyrostomum</i> sp.	x		
no.16	<i>Lecidea</i> sp.	x		
no.17	<i>Lecidella</i> sp.	x		x
no.18	<i>Lepraria</i> sp. 1	x	x	x
no.19	<i>Lepraria</i> sp. 2	x		x
no.20	<i>Lepraria</i> sp.3	x	x	
no.21	<i>Leproplaca</i> sp.	x	x	x
no.22	<i>Loxospora</i> sp.	x		
no.23	<i>Myriotrema</i> sp.	x	x	x
no.24	<i>Ocellularia</i> sp. 1	x	x	x
no.25	<i>Ocellularia</i> sp.2	x	x	x
no.26	<i>Opegrapha</i> sp. 1	x		
no.27	<i>Opegrapha</i> sp. 2	x		
no.28	<i>Pannaria</i> sp.*	x		
no.29	<i>Phaeographis</i> sp.1	x	x	
no.30	<i>Phaeographis</i> sp.2	x		
no.31	<i>Phaeographis</i> sp.3			
no.32	<i>Phaeographis</i> sp.4			
no.33	<i>Porina</i> sp.	x		x
no.34	<i>Pyrenula</i> sp.	x		
no.35	<i>Pyrenula gigas</i> **	x	x	
no.36	<i>Rinodina</i> sp.1	x		
no.37	<i>Rinodina</i> sp. 2	x		
no.38	<i>Sarcographa Leprieurii</i> var. <i>leptastra</i> **	x		
no.39	<i>Squamella</i> sp.(= <i>Cladonia</i> sp. ?)*/**	x	x	
no.40	<i>Strigula</i> sp.	x	x	x
no.41	<i>Trapelia</i> sp.	x		x
no.42	<i>Tricharia</i> sp.	x	x	
no.43	<i>Trypethelium</i> sp.1	x	x	
no.44	<i>Trypethelium</i> sp. 2	x		x
no.45	<i>Trypethelium</i> sp. 3	x		
no.46	<i>Trypethelium</i> sp. 4	x	x	

*大型地衣類(森林火災からの回復=自然度の高い指標植物の候補).

**東カリマンタン新産.

(1) 森林火災による地衣類相への影響

森林火災の被害度にしたがって、重度に影響を受けた地域〔HD区〕、軽度に影響を受けた地域〔LD区〕、ほとんど森林火災の影響を免れた地域〔K区〕の3つの区域に分けて調査した(図1~3)。各調査区の概況は次のとおりである。

〔HD区〕林冠部が消失したことにより林床部が明るくなっていた。2003年1月の調査ではシダ類が人の背丈ほどの高さまで繁茂していた。シダ類などの草本層の密度が高く、強烈な直射日光によって林内が乾燥するため林床部は地衣類の生育に適していないと考えられた。立ち枯れ状態の樹木には、環境の悪化によって生ずるとされる不完全地衣類の *Lepraria* spp. 以外は確認されなかった。また、*Durio acutifolia* などわずかに生き残った高木にも樹木基部に *Lepraria* spp. や *Thelotrema* spp. の着生がわずかに認められる程度であった。なお、*Durio acutifolia* は、LD区やK区にも見られ、火災に強く、全調査地域で共通に見られることから、地衣類にとって共通の着生生育環境を与える樹種として特に念入りに調査した。

〔LD区〕本地域では、半数以上の高木が生残している。火災によって一部の高木が倒れ、ギャップが生じていたが、地上生の地衣類は見られなかった。F2など谷筋の低木は火災の影響を受けなかったと思われる、一部にはK区と同様な地衣類の種群が見られた。

〔K区〕自然度が高くサルの仲間や大型のトカゲ、マレーグマ、キングコブラなども出没する。樹高50mほどにもなる *Shorea* など多様な高木層が発達し、林床部は照度が低かった。多雨にもかかわらず、土質あるいは高温による急速な乾燥のために水分不足のようであり、土上生の地衣類は見られず、地衣類は樹幹部や生葉上に着生していた。K区のH6やI6など東部飛び地の谷部では高湿度が保たれる場所が存在するため、樹幹部には *Squamella* sp. (= *Cladonia* sp.)、生葉上には *Coenogonium* sp. などの大型地衣類の生育が大量に認められた。

今回の調査では調査区内外から約1,000点の標本を採取した。顕微鏡下での分類学的研究によって、これまでに合計46種の地衣類を確認した(表3および図11~15)。種レベルで同定した地衣類の大部分は、これまでの同地域からの報告が少ないこともあり、真に正確な種名を示すことが難しい状態である。しかし、本研究ではこれまで未解明であった東カリマントン地域の地衣類相に、少なくとも新たに6種、*Squamella* sp. (= *Cladonia* sp. 1?), *Graphis* sp. 1、*Graphis* sp. 2、*Sarcographa Leprieurii* var. *leptastra*、*Cyclographina macgregorii*、*Pyrenula gigas* を加えることができた(東カリマントン新産・新記録種)。さらに、*Graphis* sp. 1は現在、新種の可能性が高く登録準備中である。地衣類の低地熱帯多雨林地域での分類学的研究に関する情報は不十分であり、今後、ブキットパンライで採集した標本の詳細な室内研究によって、さらに多くの新種・新産種が確認される可能性が増えると思われる。

一般に熱帯において地衣類の生育に適しているのは、海拔1000メートル付近の雲霧林であり、低海拔地域は高温・乾燥のため地衣類の出現種数も限られると思われる。しかし、今回確認された46種について、種まで同定できたものが少なく、また6種の新産を確認できた。この研究分野の研究者の少なさを考えると、今後、本地域のような低地熱帯多雨林から多くの新種・新産種が報告される余地が残されていると考えられる。今後さらに広域の調査とより詳細な研究を実施することにより、低地熱帯多雨林地域における地衣類の多様性が明らかになるとと思われる。

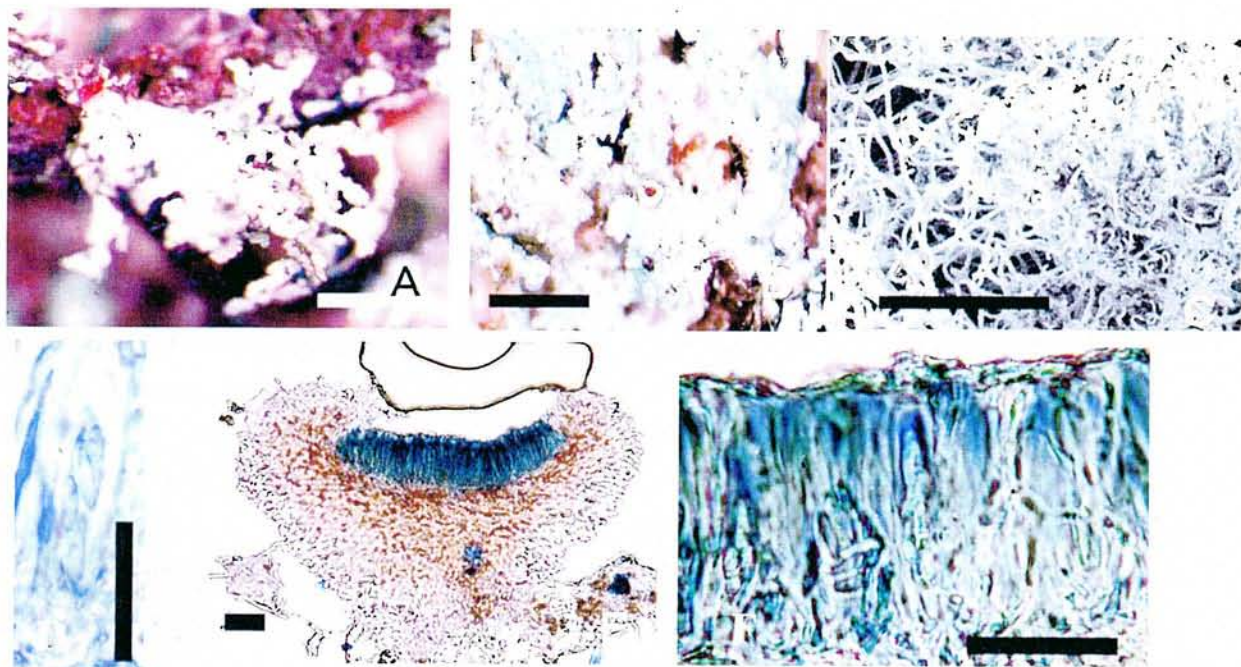


図 11. 東カリマンタン産 Cladoniaceae の一種(*Cladonia* sp.?) (hm12952)
 A : 基本葉体. B : 古い基本葉体. C : SEM による菌糸の様子. D : 子器断面のヨウ素反応.
 E : 子囊頂部のヨウ素反応. Scale : A, B ; 1 mm. C, D, E ; 50 μ m.

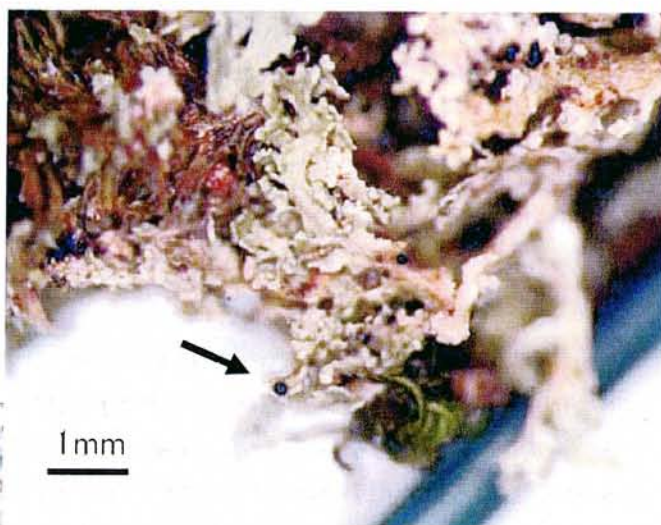


図 12. Holotype of *Squamella spumosa* (H. Stermann 6797 in CANB).
 A : 標本袋. B : 地衣体. 縁に子器が見える. C : 孢子と子囊.

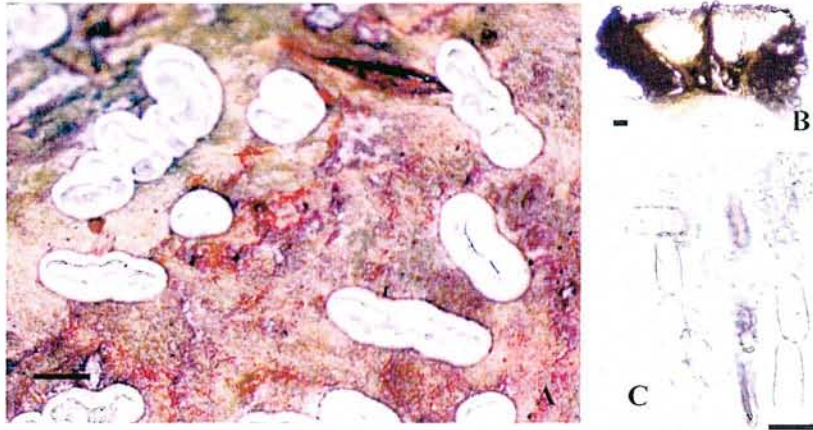


图13. *Sarcographa Leprieurii* var. *leptastra*.
 A : 子器. B : 子器断面. C : 孢子.
 Scale : A ; 1 mm, B, C ; 50 μ m.

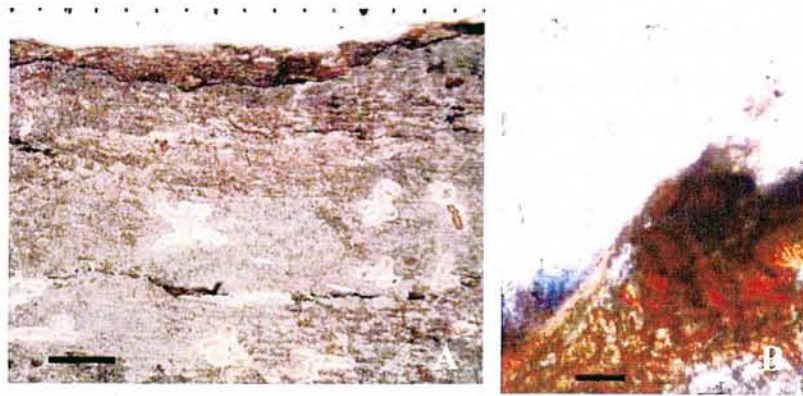


图14. *Cyclographina macgregoriorii*.
 A : 子器. B : 子器断面.
 Scale : A ; 1 mm, B ; 50 μ m.

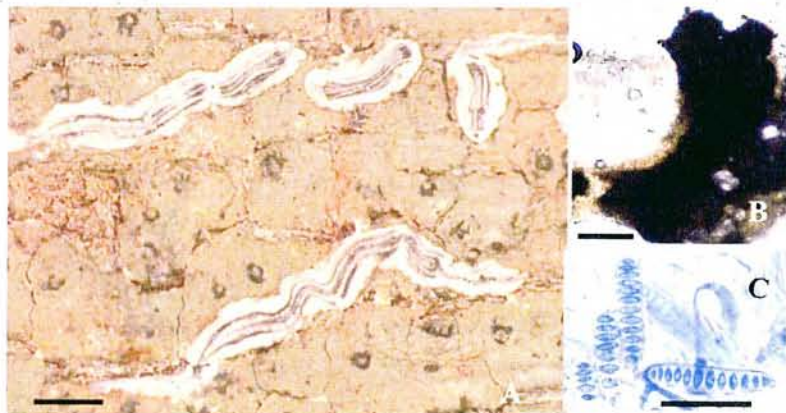


图15. *Graphis* sp.
 A : 子器. B : 子器断面. C : 孢子.
 Scale : A ; 1 mm, B, C ; 50 μ m.

地衣類相も HD 区<LD 区<K 区の順に豊かであり、森林火災の影響を強く受けた調査区ほど種数が減少していた(表 3)。K 区で高木が多く、林床が薄暗い沼地や小川近くの樹木基部には、*Squamella* sp.、*Coenogonium* sp.、*Coccocaripia* sp. などの大型地衣類が出現しており、自然度が高いと思われた。

なお、3 区に共通して地上生の地衣類は全く採集されなかった。年間 4000 mm 近い降水量が予想されるが、比較的地面は乾いており、地質的な問題、海拔的が低く夜露が少ない、腐葉土が薄いなどの理由が考えられる。地衣類には南極でも生育する種群があるほどであり、多様な環境に適応可能であるが地上や倒木上に見られないのは大変興味深い。微気象などのデータを現在計測蓄積中であるが、それらとの相関を解析するなどは、今後追及すべき研究課題である。

(2) 低地熱帯多雨林の自然度を証す指標植物

地衣類の成長の遅さと確認された種群から、森林火災の影響を受けた HD 区、LD 区に出現する地衣類は、谷筋などの樹木の根元や樹皮の割れ目にわずかに生き残っていた種であると思われる。これは、蘚苔類の場合、火災の影響を受けなかった K 区などの自然林に生育する種のうち、繁殖力と耐乾燥性に優れた種が火災の被害林地域に再侵入し、定着したものと考えられたことと異なる。地衣類は一般に、大型地衣類と呼ばれる葉状地衣類と樹枝状地衣類、およびこれらに対応する固着地衣類に分けられる。*Graphidaceae* のような固着地衣類は樹皮への圧着が強く、皮目の隙間で火災に対し生き残れる可能性が高いと考えられる。

本研究によって、低地熱帯多雨林での森林火災が地衣類相に与える影響が初めて示された。それと同時に、低地熱帯多雨林の自然度を示す指標植物として、大型地衣類の登場、つまり、*Squamella* sp. (= *Cladonia* sp. 1?)、*Coenogonium* sp. 1、*Coenogonium* sp. 2、*Coccocaripia* sp.、*Pannaria* sp. の 5 種が挙げられた(表 3 および図 16~17)。

温帯域での大気汚染の指標地衣類でも、大気汚染の進行に伴い大型地衣類が激減することはよく知られており、熱帯域での森林火災とそれに伴う大気汚染や微気象環境の変動は大型地衣類の生育に同様の影響を及ぼしているのではないかと想定された^{7,8)}。

地衣類の場合、基物によって出現する種群に変化が出る場合があるので、樹種を決めて調査を実施するほうが、環境変動の影響を把握するためには望ましいと思われる。本調査で、HD 区から K 区まで出現する樹木として、*Durio acutifolia* があり、森林火災に強く、極相林にも出現する樹木である。本樹木の着生地衣類に関し、より詳細な調査を実施したが、現在解析中である。

(3) 森林火災の影響を受けた地衣類相の遷移

蘚苔類研究グループと共通のコドラートを使い、2 年間にわたり計 5 回の現地調査を行ってきた。しかし、2 年間行った地上および樹幹の永久コドラート(図 18)の調査では、既存地衣類のわずかな成長確認ができたものの、新たな地衣類の侵入などの変異は認められなかった。地衣類は蘚苔類よりさらに成長や繁殖が遅いことを考えれば、蘚苔類のように他地域からの侵入により種群が容易に回復せず、地衣類相が豊富にならないことは当然かもしれない。さらに、熱帯多雨林地域の地衣類種群は、種そのものは異なっても、温帯域と同様にその成長は極めて遅いことがはじめて確認された。HD 区にどのような地衣類が侵入してくるかは、大変興味を持たれるが、長期にわたる継続調査が必要であろう。



図 16. 生育の特徴. A & B : 地上 30 m の樹冠. C : 樹木の基部に *Graphis* sp. などが着生している.

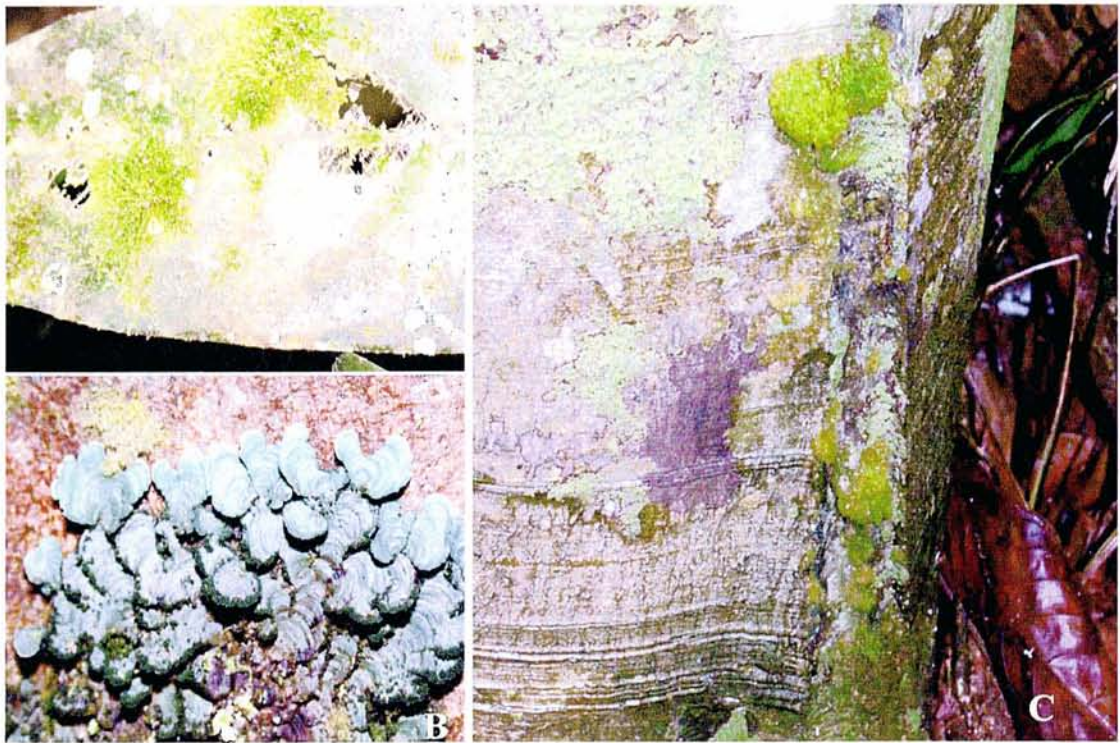


図17. 森林の回復を示す地衣類. A : 葉上地衣類. B : *Coccocarpia* sp. C : *Coenogonium* sp.



K区19地点



LD区 12地点



HD区 12地点

図18. 地衣類の生長記録. 左から2001年1月, 2002年2月, 2003年1月.

6. 東カリマンタン低地熱帯多雨林(フタバガキ林)における森林火災と菌根性菌類との関係

フタバガキ科は東南アジア熱帯雨林における主要な林冠構成樹種群の一つであり、良質な材が得られるところから経済樹種として非常に重要である。一方、フタバガキ科は生態的には外菌根性であり、その正常な生育には担子菌を主とする菌類との共生体である外菌根の形成が欠かせない¹³⁾。しかし多くの場合外菌根は土壌表層の有機物層に分布することが知られており、なおかつ熱帯雨林においては有機物層の厚さは通常1 cm内外ときわめて薄く、そのため外菌根は森林火災などの土壌環境の変動に敏感であると考えられる。従って、森林火災の影響やそこからの回復状況を評価する指標として、外菌根の状態を知ることが有効であると予想される。特に、フタバガキ科など菌根性樹種の場合、その吸収根はほとんど菌根であり、また熱帯雨林において外菌根性樹種は比較的少なく¹⁴⁾、外菌根の状態を調べることによってフタバガキ科樹種の根の状態を他の多くの樹種と区別して知ることができる可能性がある。

本研究においては、直接外菌根を取り出して調査するとともに、外菌根菌の子実体である菌根性菌類の調査、および菌根の回復に影響を与えうる要因としての土壌水分についての調査を行い、森林火災の被害の程度とそこからの経過年数によって外菌根の回復状況がどのように異なっているかを調査し、またどのようにすれば効率よく外菌根の状況を知ることができるかを検討した。

本研究は以下の2点を目的として実施した。①森林火災が外菌根に及ぼす影響を、その量、分布を調査することにより明らかにする。②外菌根の状態を通じて森林の地下部が受けた被害を評価するための指標を示す。

プロジェクト全体に共通の継続調査区3カ所、すなわち森林火災の影響を重度に受けた林分(HD区)、軽度を受けた林分(LD区)、および火災を免れた林分(K区)において土壌試料を採取した。ただし、2001年2月の第1回現地調査の際にHD区を予備調査したところ、全く菌根が見られなかったためHD区は省略し、LD区およびK区のフタバガキ科樹木の樹冠の下で各9点の試料を採取した。採取地点を図19に示す。

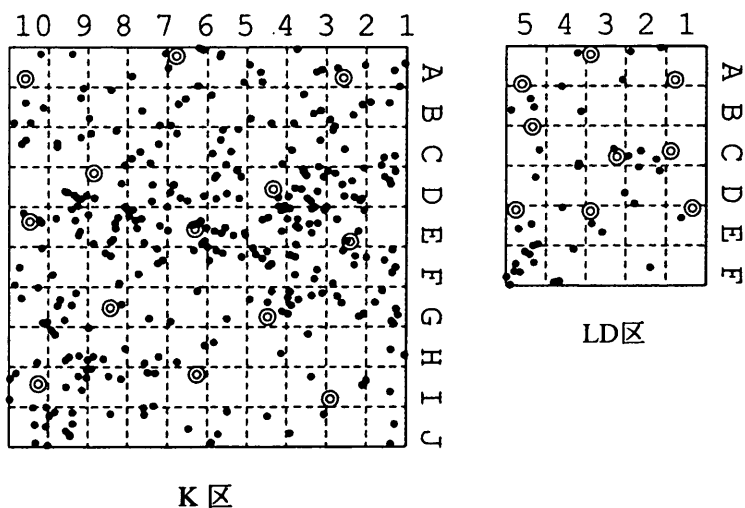


図19. 2001年2月の第1回現地調査時の土壌試料採取地点。各サブ区は1辺10 m。図中の◎は試料採取地点、・はフタバガキ科またはブナ科の樹木を表す。K区では13点、LD区では9点の試料を採取した。

試料採取に当たっては地表の未分解の落葉(L層)を除き、縦横 10 cm・深さ 5 cm までの不攪乱土壌を採取し、同時に試料採取地点の A0 層及び A 層の厚さを測定した。試料はエタノールで固定し、ポリエチレンの袋で密封の上日本に輸入し、有機物層と鈹質土層とに分け、実体顕微鏡下で各試料に含まれる外菌根を全て取り出し、生重を測定した。

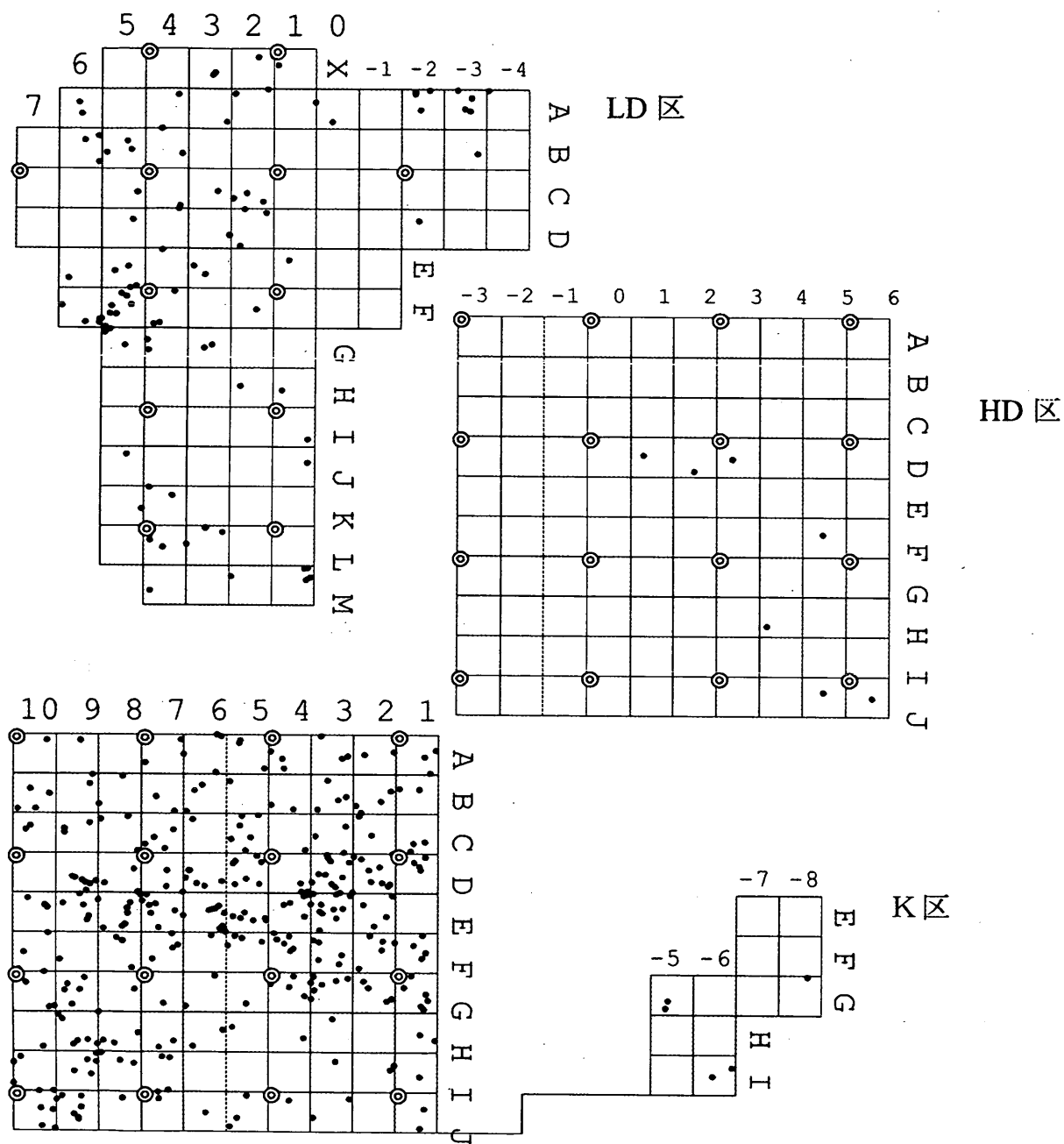


図20. 2002年7月の第4回現地調査時の試料採取地点。図中の◎が試料採取地点、・はフタバガキ科またはブナ科の樹木を表す。前回調査の後、K区とLD区は拡張された。

2002年7月の第4回現地調査では、サブ区単位で試料採取を行い、採取地点は各サブ区の南東の角から北と西にそれぞれ1mの地点を基準としたが、障害物がある場合は適宜移動した。採取サブ区を図20に示す。試料採取の方法は第1回調査時と同様とし、採取した試料は有機物層と鉱質土層に分け、流水中で洗って腐植などを除去し、植物の根を全て取り出した。試料は非菌根性樹種や草本の根が混ざった状態で日本に輸入し、部分的に実体顕微鏡を用いながら菌根を取り出した。タイプ分けやクリーニングはせずに、その量を目視で4段階に分けて評価した。

また、調査期間中4回にわたってADR法により土壌水分の測定を行った。これは、外菌根が通常土壌表層付近に多く分布するところから乾湿の変動の影響を受けやすく、火災の影響が水分変動を通じて現れることが考えられるため、それを検証するためのものである。今回採用したADR(Amplitude Domain Reflectometry)法とは、土壌の誘電率は体積含水率に強く依存することから、高周波電流によるインピーダンス測定によって土壌の誘電率を求め、体積含水率を算出する手法である。測定は2002年2月の第3回現地調査時に2回、2002年7月の第4回現地調査時と2003年1月の第5回現地調査時に各1回行った。対象サブ区は第2回測定までは、K区で38カ所、LD区およびHD区で34カ所、第3回測定以降は全サブ区とし、測定地点は各サブ区内の北西の角から南と東にそれぞれ1mの地点とし、障害物がある場合は適宜移動した。測定時には試料採取と同様L層を除去した上でDelta-T devices社製ML2シータプローブを挿入し、表層部の測定を行った。測定は各地点で3回繰り返し、平均値を用いた。また、この他に各区3点で土壌水分の連続観測を試みた。測定には上記プローブを用いた自動記録システムであるウイジン社製UIZ-SM-2Xを用い、地表から5cmの深さの土壌水分を30分おきに計測記録した。なお、測定した電圧出力値とペンダーの提供する変換式を用いることによって体積含水率を算出することができるが、植物の生理に直接影響するのは水ポテンシャルであり、これは同じ体積含水率でも土壌の物理化学性によって大きく異なる。そのため、予備実験としてLD区内の同一地点でテンシオメーターによる直接吸水圧測定とADRセンサーによる体積含水率とを並行連続測定し、それによって得られた変換式を用いることによって、プローブの電圧出力から土壌水ポテンシャルを推定した。

外菌根菌の子実体については、各調査区に入るたびに、そのとき発生していた地上性菌類を、明らかに腐生菌だと分かるもの、および大量に発生している場合を除き、すべて採集した。

(1) 土壌の層位別厚さ

2001年2月第1回現地調査時の、LD区およびK区の土壌試料採取地点(それぞれ9点および13点)におけるA0層及びA層の厚さは表4の通りであった。

表4. K区およびLD区の試料採取点における土壌層位別の厚さ(cm, 平均値±標準誤差).

	K区	LD区
A0層	1.8±0.3	1.9±0.4
A層	5.6±0.5	7.1±0.3

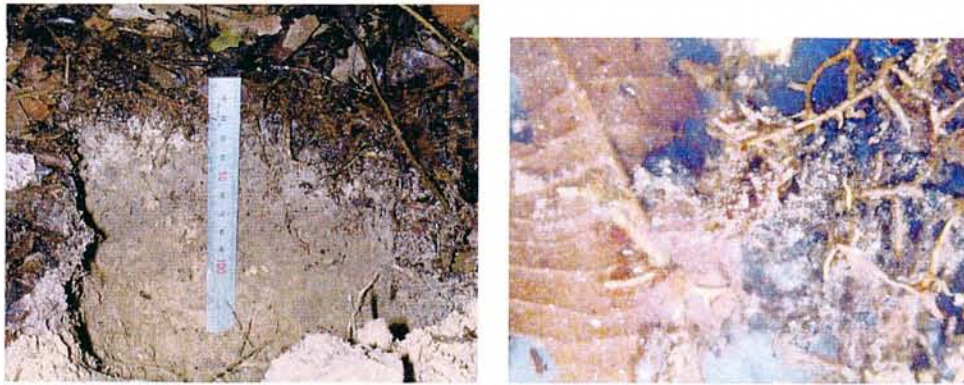


図21. 2001年2月のLD区の土壌および菌根. 左：黒い炭化した層の上に新しい有機物層が蓄積されている. 右：有機物層に埋もれた炭化物の上に発達した菌根.

LD区では火災後ほぼ3年を経て、炭化したかつての有機物層の上に新しい有機物層の蓄積が進み、フタバガキ科樹木の近傍ではときに炭化物と有機物の層の中に菌根が多量に見られることがあった(図21)。

2002年7月の第4回現地調査時の採取地点における、A0層及びA層の厚さ(平均値±標準誤差)を表5に示した。LD区のA0層はK及びHD区より有意に厚く(U検定、有意水準5%)、その他には大きな違いはなかった。

これらから、菌根が主に分布する領域である土壌表面の有機物層は、比較的速やかに回復することが示された。

表5. 各区の試料採取点における土壌層位別の厚さ(cm, 平均値±標準誤差).

	K区	LD区	HD区
A0層	1.8±0.2	3.0±0.3	1.9±0.2
A層	5.9±0.5	5.9±0.8	6.5±0.5

(2) 菌根の検出

火災3年後にあたる2001年2月の第1回現地調査に検出された菌根の量を表6に示す。土壌試料1点あたりの菌根量はLD区とK区との間で有意な差は認められなかった(U検定、有意水準5%)。試料1点に含まれていた菌根の量は、LD区で最高160.9mgに対しK区では最高46.3mgであり、LD区ではばらつきが大きかった。なお、LD区で160.9mgを記録した試料中の菌根はほとんど写真2のタイプであり、菌根菌相が単純化している可能性が示唆された。

表6. K区およびLD区で検出された菌根の量(生重 mg±標準誤差).

	K区	LD区
A0層	28.0±10.0	26.9±18.7
A層	12.0±6.4	8.7±5.4
合計	40.0±10.3	35.6±24.0

火災4年半後の2002年7月の第4回現地調査で検出された菌根の、検出位置とその量を図22に示す。この結果より、森林火災から約4年半が経過した段階でも、菌根形成の場として重要な土壌有機物層は回復しているにもかかわらず、外菌根の量は面積あたりでは回復していないことが明らかになった。

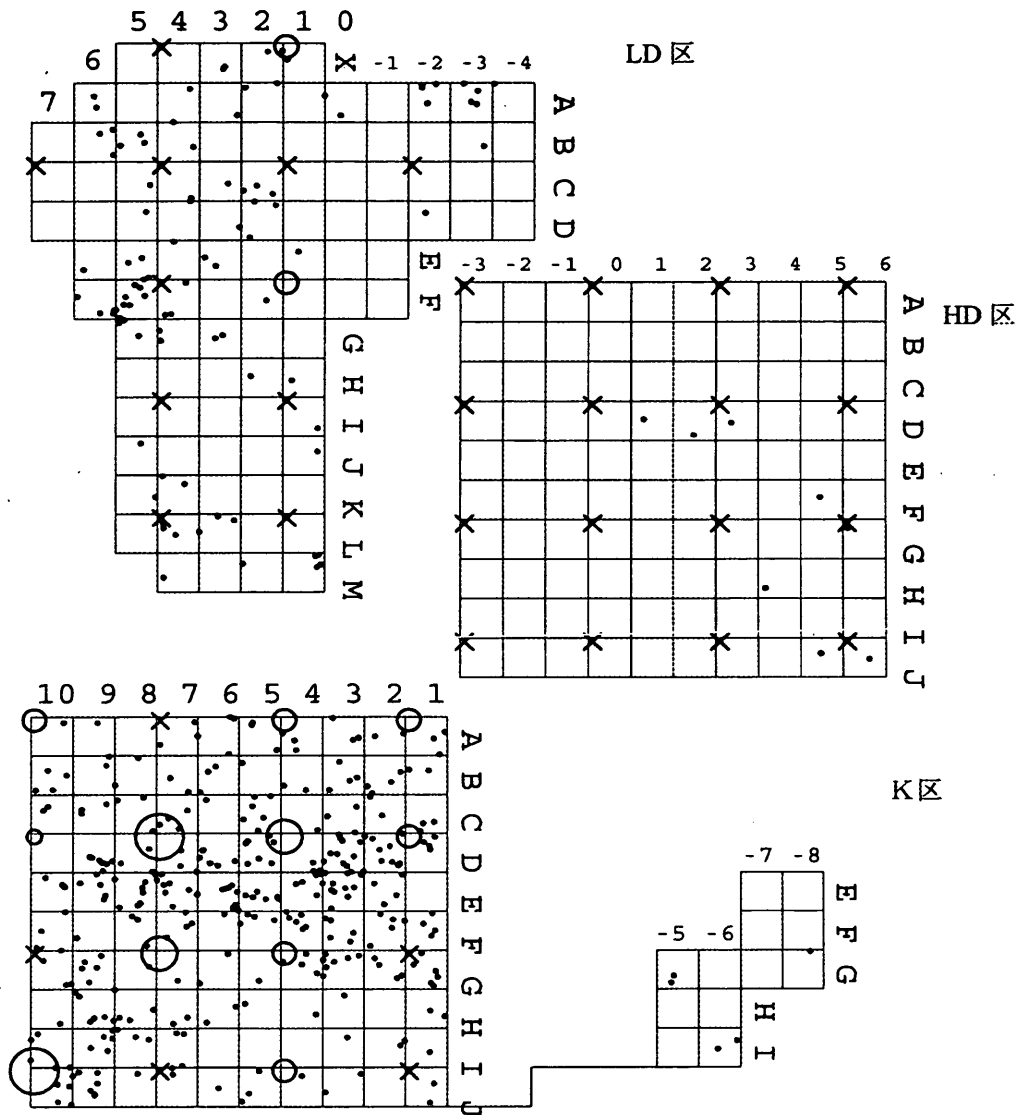


図22. 菌根の検出位置と量。・が菌根性であるフタバガキ科およびブナ科の樹木の位置、円の大きさが検出された外菌根の量を示す。×は無検出。

菌根量を支配する最も重要な要因の一つである宿主樹木の個体数は、フタバガキ科樹木がK区に268本、LD区に43本、HD区に4本あり、また共存するもう一つの菌根性樹種であるブナ科はそれぞれ26、16、3本であった。種特性、個体サイズ、生理状態などにより個体あたりの菌根量は様々であるため、本数だけでは評価できないが、フタバガキ科とブナ科を合わせると、K区に294本、LD区に59本、HD区に7本となり、K区と比較すると、LD区およびHD区はそれぞ

れおよそ 20%、2%となる。一方、2001 年の調査では、宿主近傍からの試料に含まれる菌根量は LD 区でも K 区と有意差がないことが示されている。以上より、各調査地区における菌根の量の違いは、主に森林火災による宿主樹木の消失によってもたらされたものだと考えられる。

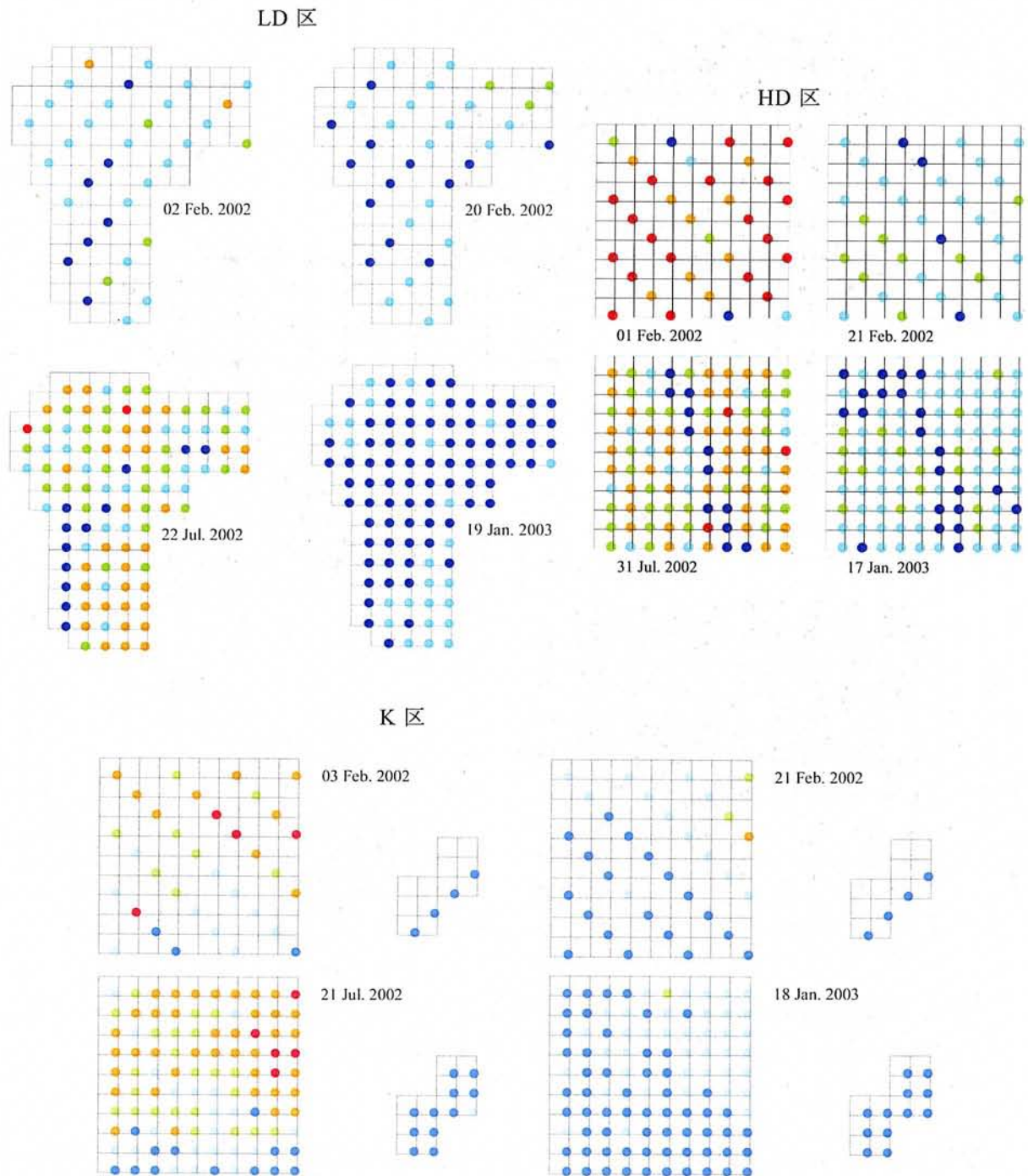


図 23. 各区の水ポテンシャル分布。 ● : -3J/kg 以上, ● : $-3\text{J/kg} \sim -10\text{J/kg}$, ● : $-10\text{J/kg} \sim -30\text{J/kg}$, ● : $-30\text{J/kg} \sim -100\text{J/kg}$, ● : -100J/kg 未満.

(3) 土壌水分

4回の土壌水分測定から推定した各区の水ポテンシャル分布を図23に示す。通常1、2月は雨季だが、2002年1月下旬は例外的に雨が降らず、2週間ほどの晴天の後の測定となった。7月は乾期に当たる。水ポテンシャルの値(J/kg)は低いほど乾燥していることを表す。この数値は、よく用いられる吸水圧をkPa表記したものと絶対値が等しく、また慣用的に用いられるpF値に変換するには、値を10.2倍して常用対数をとる。全ての測定時期・地点において、植物の吸水が困難になるほどの乾燥は生じていなかった。また降水のある期間はほとんどの地点で、土壌水分が飽和に近く、地点間の差が現れるのは乾期など乾燥が続いたときのみで、地形の影響を強く受けた乾湿分布を示した。K区およびLD区と比較すると、HD区は晴天が続いた後の2002年2月に強く乾燥しており、土壌水分量がやや不安定になっていることが示唆された。

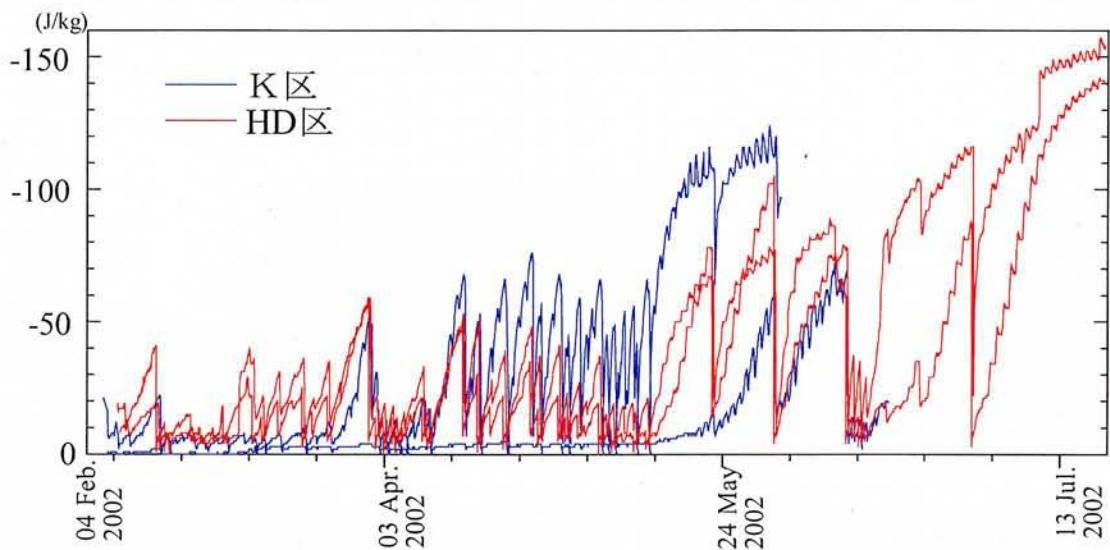


図 24A. 2002年2月～7月におけるK区およびHD区の土壌水分状態。

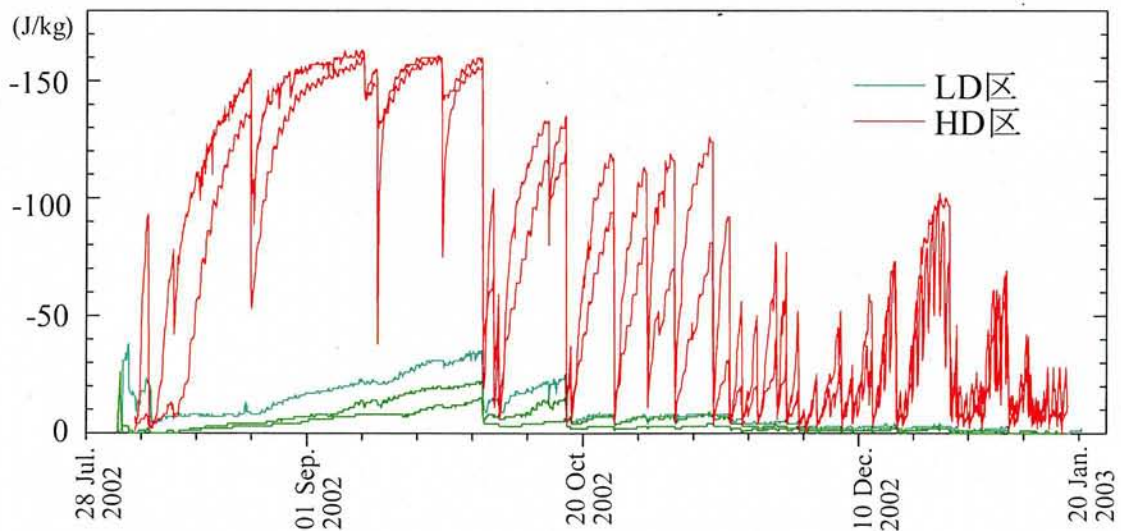


図 24B. 2002年7月～2003年1月におけるLD区およびHD区の土壌水分状態。

土壌水分の連続観測については、各区とも3地点にロガー付きセンサーを設置したが、虫害・獣害が著しく、統計的に有意なデータの収集が困難であった。そのうち比較的正常に近いと考えられる2002年2月～7月までのK区とHD区でのデータを図24Aに、2002年7月～2003年1月までのLD区とHD区のデータを図24Bに示す。

乾期である2002年7月～9月にかけてHD区で乾燥が顕著であったことが示されたが、この値は植物にとっての易利用水分の範囲である。一方2002年7月以降のLD区は常に湿潤だったが、この水ポテンシャル値はあまりに高すぎるため、測定データの信頼性にやや疑問が残る。いずれにせよ宿主個体密度の差が圧倒的であり、水分条件の違いが菌根量に影響を与えているかどうかに関しては、本調査結果だけでは明確ではなく、より長期の詳細な計測・調査が必要である。

温帯仕様で設計されたセンサーは、熱帯の環境で使用するには昆虫を含む動物害に対してあまりに脆弱で、機器の破損や喪失もあり、統計的に十分信頼性がある計測値が得られなかった。特に連続観測を行う上では、堅牢な測定システムの開発が、熱帯地域での研究では重要な課題である。



図25. 外菌根菌の子実体。A: カレバハツ, B: シロカノシタ, C: ヤマドリタケ属不明種, D: ヤブレベニタケ, E: ベニタケ属不明種, F: キクバナイグチ, G: チチタケ属不明種, H: カレバキツネタケ。

(4) 外菌根菌の子実体

火災3年後となる2001年2月の第1回現地調査時にはLD区、K区で外菌根菌の子実体が発生していたが、HD区では期間中複数回にわたる調査にもかかわらず、菌根菌子実体は全く見られなかった。K区で採集されたのは *Russula castanopsidis* Hongo: カレバハツ(図25A)および *Hydnum repandum* L.: Fr. var. *album* Quel: シロカノシタ(図25B)の2種で、シロカノシタは全世界に分布する任意的菌根菌または腐植分解菌とされ、カレバハツは日本の温暖な地方のシイ・カシ林にふつうに見られる菌根菌で、カリマンタン島ではこれまで記録がない。LD区では *Boletus* 属(ヤマドリタケ属)不明種(図25C)およびシロカノシタが採集された。

火災4年後となる2002年2月の第3回現地調査時には、K、LD、HDの全区で外菌根性菌類の子実体が見られた。K区では、カレバハツ、*Russula rosacea* (Pers.) S. F. Gray: ヤブレベニタケ(図25D)、不明種(図25E)のベニタケ属3種、および、おそらく外菌根性と考えられている *Boletellus emodensis* (Berk.) Sing.: キクバナイグチ(図25F)を、LD区では、ベニタケ属2種(カレバハツとヤブレベニタケ)、および、*Lactarius* 属(チチタケ属)不明種(図25G)を採集した。ヤブレベニタケもカリマンタン島では採集の記録がない。前回全く外菌根菌の見られなかったHD区でも、わずかに生残木のあるサブ区で *Laccaria vinaceoavellanea* Hongo: カレバキツネタケ(図25H)を採集した。

調査期間全体にわたっての菌根菌発生地点を図26に、区ごとに出現した種のリストを表7に累積的に示す。出現種数は、HD、LD、Kの各区でそれぞれ1、6、6種であり、各区近傍を含めると1、8、7種となった。HD区に出現した菌根菌子実体はカレバキツネタケのみで、本種はLD区近傍にも出現したが、その場所は路傍の攪乱地であった。一方、LD区で見られたそれ以外の菌根菌は、2種(シロカノシタおよびヤブレベニタケ)がK区と共通し、その他、種は異なるがベニタケ属が両区ともに多く出現した。

森林の遷移に伴って発生する菌根菌の種類が変化することはよく知られており、また1個体の樹木の根でも吸収根自体は数ヶ月程度でターンオーバーするにもかかわらず、新しく伸びた部分と古い部分の間では共生している菌の種類が異なることが知られている。新しい部分に定着する菌は *early stage fungi*、古い部分に定着する菌は *late stage fungi* と呼ばれている^{15,16)}。今回採集した菌のうち、*early stage fungi* はカレバキツネタケのみで、任意的菌根菌と考えられているシロカノシタを除いて全て *late stage fungi* とされる菌であった。

early stage fungi であるカレバキツネタケが見られたのはHD区のみで、LD区とK区では *late stage fungi* のみが見られ、なおかつ、HD区に *late stage fungi* は見られなかった。このことから、HD区ではいったん菌根が大きなダメージを受けて、既存の *late stage fungi* による菌根菌相が失われ、その後新しい根が伸びて菌根菌の再定着が起こり、菌根菌の遷移系列が初期から立ち上がりはじめていることが示唆される。一方、LD区でも有機物層が炭化するなど菌根菌の生活領域に被害はあったが、ここでは既存の菌相は完全には消失せず、生き残って再度生育し、子実体を発生させたと考えられた。

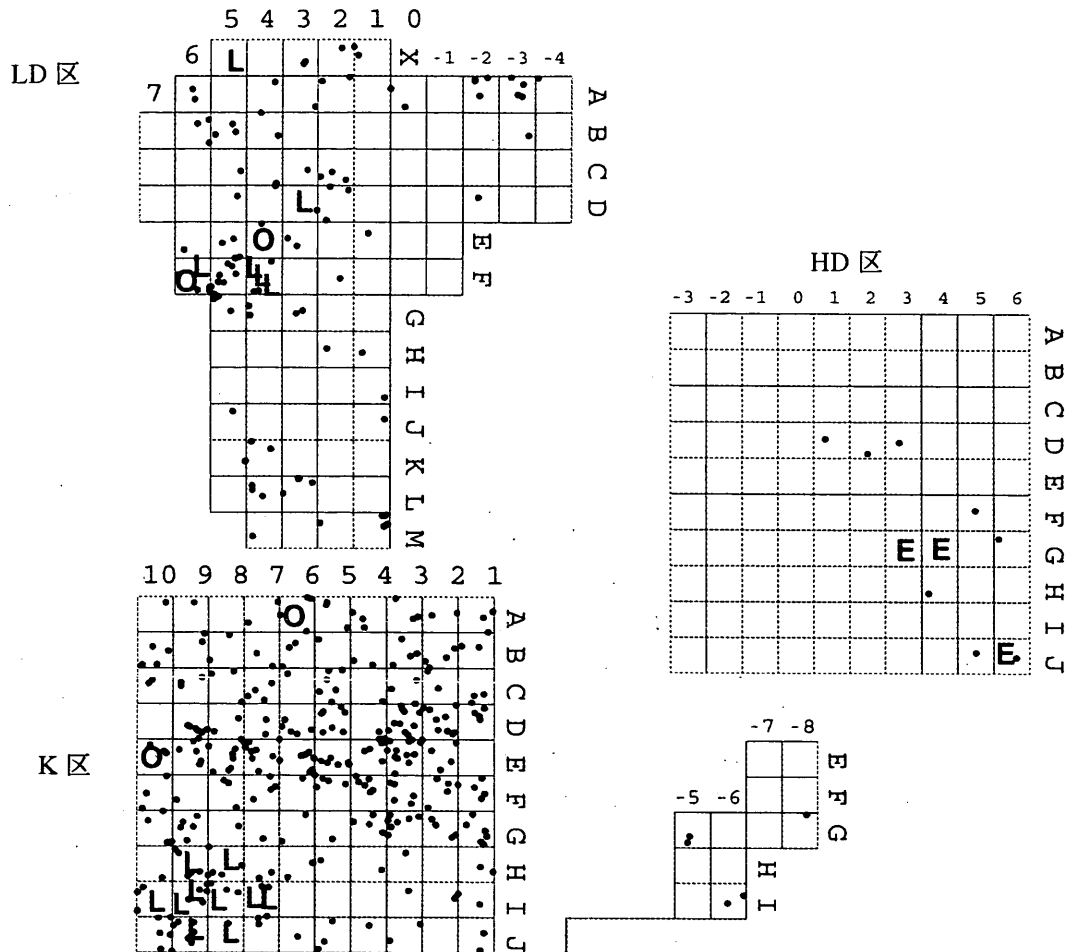


図 26. 菌根菌子実体の発生地点。L : late stage fungi, O : opportunistic fungi, E : early stage fungi の発生地点を表す。

表 7. 調査期間中に採集された外菌根菌の子実体。

Family	Species	HD	LD	K
Tricholomataceae	<i>Laccaria vinaceoavellanea</i> Hongo	6	(20+)*	
Amanitaceae	<i>Amanita melleicipes</i> Hongo **			(2)
	<i>Amanita</i> sp.1		(2)	
	<i>Amanita</i> sp.2		2	
Boletaceae	<i>Boletellus emodensis</i> (Berk.) Sing.			1
	<i>Boletus</i> sp.		2	
Hydnaceae	<i>Hydnum repandum</i> L.: Fr. var. <i>album</i> Quel.		10	5(4)
Russulaceae	<i>Russula castanopsidis</i> Hongo**			20+
	<i>Russula rosacea</i> (Pers.) S.F. Gray**		7	3
	<i>Russula</i> sp.1			1
	<i>Russula</i> sp.2			1
	<i>Russula</i> sp.3		1	
	<i>Lactarius</i> sp.		1	

表中の各種に対する数値は、調査期間中に採取されたその種の標本数を示す。末尾に+を付したものは大量に発生していたためすべては採取しなかった。また、()外の数値は各区内で採取された標本数、()内の数値は各区の近傍で採取された標本数を示す。*歩道の脇の攪乱地に大量に発生していた。
 **東カリマンタン地域(Kalimantan Timur, Indonesia)での新記録種を示す。

7. 東カリマンタン低地熱帯多雨林における森林火災と土壤細菌類との関係

森林火災が熱帯林生態系の目に見えない部位に与える影響については、これまで大きな関心は払われてこなかった。土壌中には様々な微生物が生息しており、中でも細菌は系統的にも生理的にも極めて多様で、一般的に複雑な集団構造をもっていると考えられている。この多様性と森林生態系の健全性との間に何らかの関連が予想される一方、巨視的な調査が不可能な点で、集団構造の全体像の把握には困難が伴ってきた。本研究では、最近になって開発された集団構造解析の手法に、伝統的な分離・培養実験を加え、熱帯林における土壤細菌の多様性を明らかにし、さらには土壤細菌の集団構造に森林火災がどのような影響を与えるのかを検証する。

本研究では、①調査地の熱帯林における土壤細菌の分類と集団構造に関する知見の集積、②森林火災後の生態系の被害と回復の程度と土壤細菌の集団構造との関連の調査、③森林回復の指標となるような細菌の集団構造や分類群の検索、を目的として実施した。

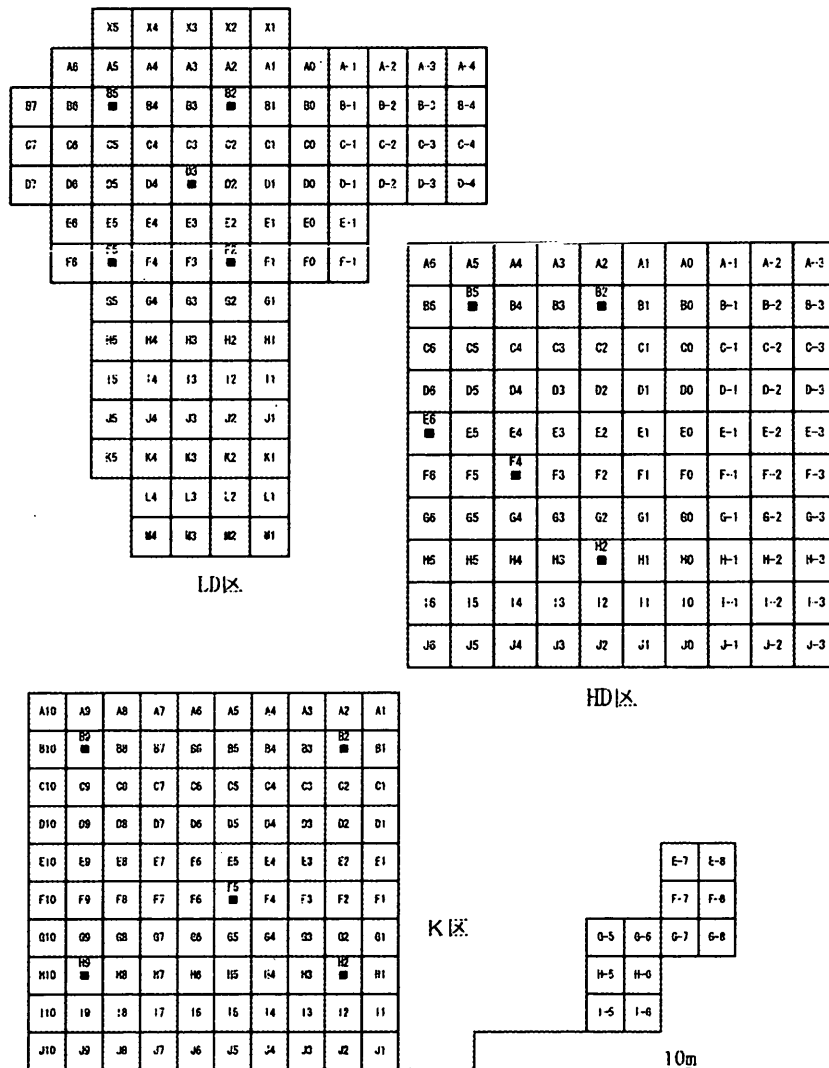


図 27. K 区, LD 区, HD 区内の土壤採取地点. ■で示した 2 m×2 m の区域(区ブ区の中央)を土壤調査地点とし, その中心付近から土壤を採取した.

無被害林(K区)、軽度被害林(LD区)、重度被害林(HD区)の3つの継続調査区は、プロジェクトに共通のものである。さらに、それら3区の近隣地域内にあり、激しい森林火災の後に森林植生が回復せず、イネ科草本の優占する草原に変化した区域(IC区)を、土壤細菌用の調査区として一部の試験に加えた。K区、LD区、HD区についてはそれぞれ5つのサブ区から、IC区については3つのサブ区から土壤試料を採集した。選択したサブ区は、K区がB2、B9、F5、H2、H9、LD区がB2、B5、D3、F2、F5、HD区がB2、B5、E6、F4、H2、IC区がA、B、Cであった(K区、LD区、HD区の土壤採集地点については図27参照)。参考に土壤採集の様子を図28に示す。



図 28. 土壤採集の様子。LD区にて2001年2月採集時のもの。

この土壤について、土性分析、pH測定、全炭素・全窒素分析(NCアナライザーとガスクロマトグラフィを併用)、バイオマス測定(クロロホルム燻蒸培養法)、呼吸量測定(アルカリ性吸収剤法)、phosphomonoesterase 酵素活性測定(*p*-ニトロフェニルリン酸ナトリウム法)、土壤細菌の分類的集団構造解析(16S rDNA 塩基配列に基づく PCR-DGGE 法)、土壤細菌の代謝能多様性解析(Biolog EcoPlate™を用いた単一炭素源代謝能試験)、および培養可能な細菌の分離と16S rDNA 塩基配列の相同性に基づく同定を行った。PCR-DGGE法では、PCRプライマーとしてGCクランプ付き357F(大腸菌16S rDNA 塩基番号341-357に相当)と520R(大腸菌16S rDNA 塩基番号534-520に相当)を用い、これらに挟まれる16S rDNA部分領域を増幅した。増幅産物は、変性剤濃度勾配を35~65%に設定したアクリルアミドゲルを用いて泳動し、得られたDNAバンドパターンから、ワード法にてクラスター解析を行い、デンドログラムを得た。単一炭素源代謝能試験では、単一炭素源を含んだウェルに土壤抽出希釈液を接種後、24時間後から144時間後まで24時間毎に、吸光度計にて代謝の進行強度を測定した。測定した吸光度を元に、ワード法にてクラスター解析を行い、

デンドログラムを得た。さらに主成分分析を行い、結果に影響を与えた因子を決定した。細菌の同定に際しては、解読した 16S rDNA 塩基配列を元に近隣結合系統樹を作成し、近縁な株との位置関係を確認した。

粒径分析、pH 測定、全炭素・全窒素分析は、土壌採集後に日本に空輸してから 1 カ月以内に、東京大学農学部土壌圏科学研究室で行った。バイオマス測定、呼吸量測定、phosphomonoesterase 酵素活性測定は、土壌採集後 1 ヶ月以内にインドネシア科学研究所生物学研究センターにて行われた。分類的集団構造解析は、日本に空輸してから採集時期により 2~6 ヶ月間、低温恒温保管室で保存した試料から抽出した DNA を用い、また、代謝能多様性解析は日本に空輸してから 2 カ月間、低温恒温保管室で保存した試料から抽出した土壌溶液を用い、東京大学農学部土壌圏科学研究室にて行った。細菌の分離・培養は、土壌試料の日本への空輸直後から開始した。

なお、一部の試験には IC 区の土壌は含まれていない。土壌の採集時期と試験項目の対応を表 8 に示す。

表 8. 土壌の採集時期と試験項目の対応

採集時期	試験項目				
	土性/pH/C+N ¹⁾	バイオマス/呼吸量/酵素活性 ²⁾	DGGE ³⁾	Biolog ⁴⁾	同定 ⁵⁾
2001 年 2 月	○	○	○	—	—
2001 年 9 月	—	○	○	—	○
2002 年 2 月	—	○	○	—	○
2002 年 7 月	—	○	○	○	○

1) 土性分析, pH 測定, 全炭素・全窒素測定, 2) バイオマス測定, 呼吸量測定, phosphomonoesterase 活性測定, 3) DGGE 試験による分類的集団構造解析, 4) Biolog 試験による単一炭素源代謝能解析, 5) 分離・同定について, 試験(分析)を行った項目と採集時期の組み合わせは「○」で, 行わなかった組み合わせは「—」で表す。

(1) 土壌の化学的・物理的性状

調査区の森林土壌は明灰褐色~黄褐色で(図 29)、アルティソルまたは熱帯ポドソルと思われる。平均的な土性は、砂 70~90 %、シルト 10~30 %、粘土 1~3 % 程度、平均的な A 層の厚さは 5~10 センチ、平均的な pH は、土壌抽出液で 4~5、現地での直接測定で 5~6、また、平均的な全炭素含有率と全窒素含有率は、それぞれ 0.5~2 %、0.05~0.1 %であった。これらの数値には、微地形の違いのためかサブ区間の差が多かれ少なかれ認められたが、調査区間では有意な差は認められなかった。



図 29. HD 区にて 2001 年 2 月採集時に撮影した土壌断面. 薄い落葉の層の下にやや黒ずんだ A 層があり、その下に灰褐色の B 層が続く.

(2) 土壌微生物バイオマス・土壌微生物呼吸量

2001 年 2 月採集試料の土壌微生物バイオマスと微生物呼吸量は、K 区でもっとも大きく、HD 区でもっとも小さい値を示し、LD 区ではほぼ中間の値を示した(表 9)。呼吸量は、土壌中の有機物含量や形態の指標と考えられることから¹⁷⁾、土壌微生物の利用可能な有機物の量は、火災の影響を受け、HD 区で最少、K で最大となっていることが推測された。しかし、異なる時期に採集された土壌試料では異なる傾向を示す例があり、短期的な気象条件に左右される可能性がある。よって、土壌微生物バイオマスや土壌微生物呼吸量を、森林火災の被害やその後の回復の指標とすることは困難であると思われる。

表 9. 各調査区の土壌微生物バイオマスと土壌微生物呼吸量(2001 年 2 月採集試料).
数値はそれぞれ 5 サブ区の平均.

調査	バイオマス(mg C/kg soil)			呼吸量(mg CO ₂ /g soil·day)		
	最小	平均	最大	最小	平均	最大
K 区	173	245	275	6.79	8.99	12.3
LD 区	128	156	185	3.50	5.76	7.66
HD 区	38.4	77.3	118	0.76	2.51	4.05

(3) 土壤微生物の phosphomonoesterase 酵素活性測定

土壤微生物に由来する酵素であり、土壤の生産性の指標と考えられている phosphomonoesterase 活性については、2001年2月採集試料については、K区でもっとも大きい値を示し、ついでLD区が比較的大きな値を示したものの、HD区ではほとんど活性がみられなかった(図30)。HD区とLD区で大きな差が見られた理由としては、微生物の総量が必ずしも生物的功能の大きさを反映していないことが考えられる。また、調査区により phosphomonoesterase の必要性が異なることも考えられる。しかし、土壤微生物バイオマスや土壤微生物呼吸量と同様に、酵素活性の値も土壤の採集時期により異なり、安定した指標とはならないと思われた。

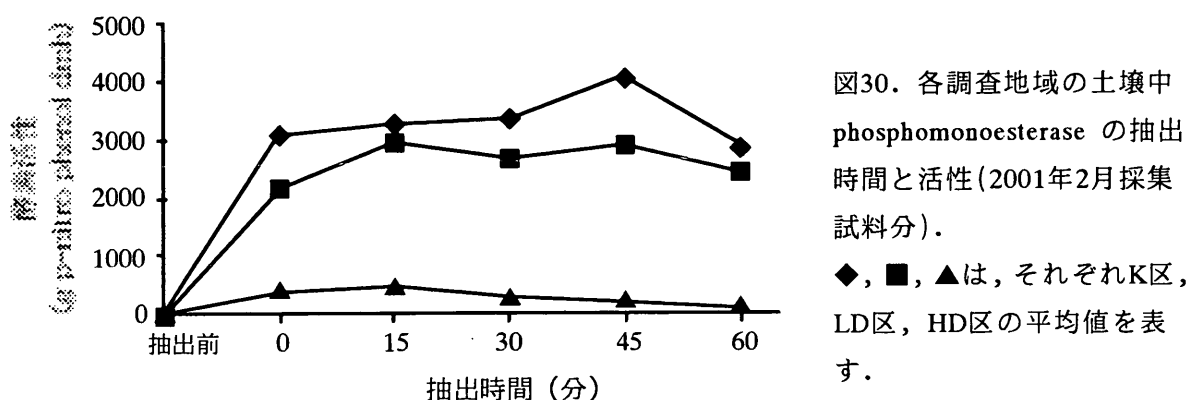


図30. 各調査地域の土壤中 phosphomonoesterase の抽出時間と活性(2001年2月採集試料分).
◆, ■, ▲は、それぞれK区, LD区, HD区の平均値を表す。

(4) PCR-DGGE 法による土壤細菌の多様性解析

16S リボソーム RNA 遺伝子(16S rDNA)の部分配列に基づいて、土壤試料中の細菌集団の多型性を解析した。2002年7月に採集したA層土壤試料について行ったPCR-DGGEの結果を図31に示す。IC区にのみ特徴的なパターンが認められたが、K区、LD区、HD区の3区では、一部のサブ区が特徴的なパターンを示したものの、調査区とパターンとの間に強い関係は認められなかった。図31では、強度の低いDNAバンドが視認しづらいが、実際には無数のバンドが現れている。一定の強度以上のDNAバンド(図31の写真で識別できる程度)について、クラスター解析を行った結果のデンドログラムを図32に示す。K区、LD区、HD区はデンドログラム上で一つのクラスター内に混在し、調査区とサブクラスターとは対応しない。IC区のみが他と大きく離れ、単独でクラスターを形成した。この結果の原因は、LD区とHD区では周囲の森林から森林植物種が徐々に入り込み、森林形成へ向けて回復途中であると思われるが、IC区はイネ科草本が優占する草原となり、他の3区とは共通の植物がほとんど生育していないためであろう。そのIC区を含めても、全調査区に共通のDNAバンドが多数認められた。このことは、調査区一帯に共通した優占細菌が存在することを示唆している。A層、B層の区別なく、また採集時期の異なる土壤についても、DNAバンドパターンやクラスター形成の傾向は似ていた。火災直後には、一部の細菌が死滅し、孢子形成性のグラム陽性細菌の生残率が高まるなど、土壤細菌の集団構造に大きな変化が生じたと予想されるが、火災から数年を経て、調査区の土壤細菌の集団構造は、少なくとも優占細菌の分類的構成は回復しつつあると考えられる。また、集団構造に経時的変化は認められなかった。土壤の採集時期に関わらず、調査区の優占細菌の分類的構成は安定しているものと考えられる。

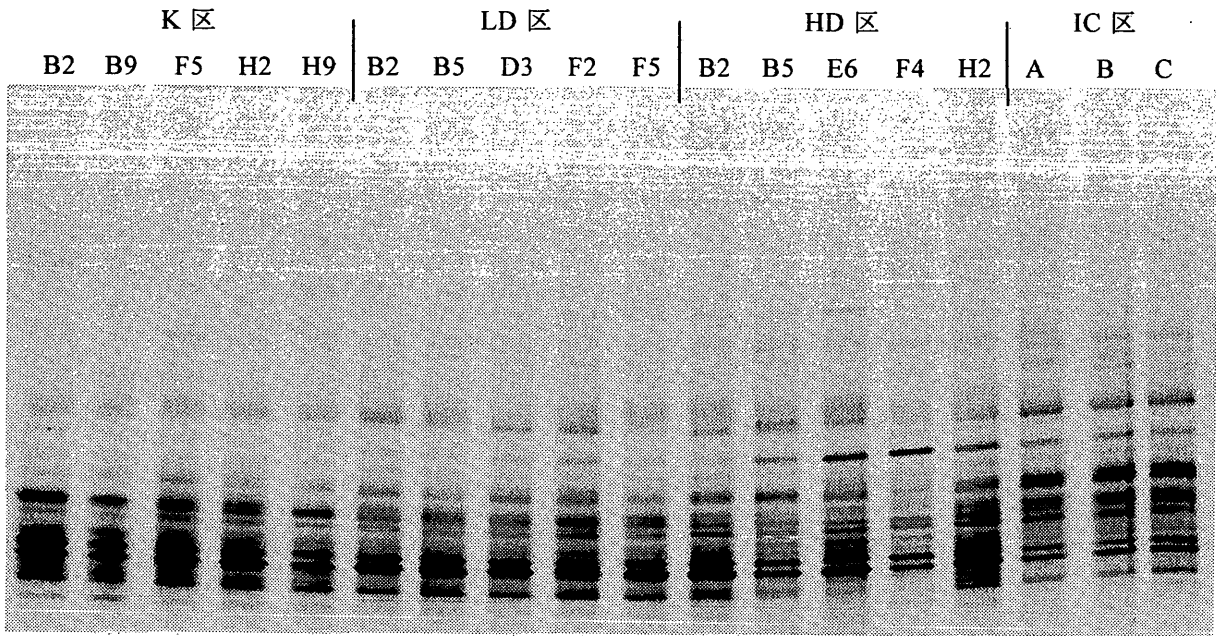


図 31. GC-357F と 520R プライマーを用い、2002 年 7 月に採集した A 層土壌試料について行った PCR-DGGE による DNA バンドパターン。各レーンの上に記した番号はサブ区名である。

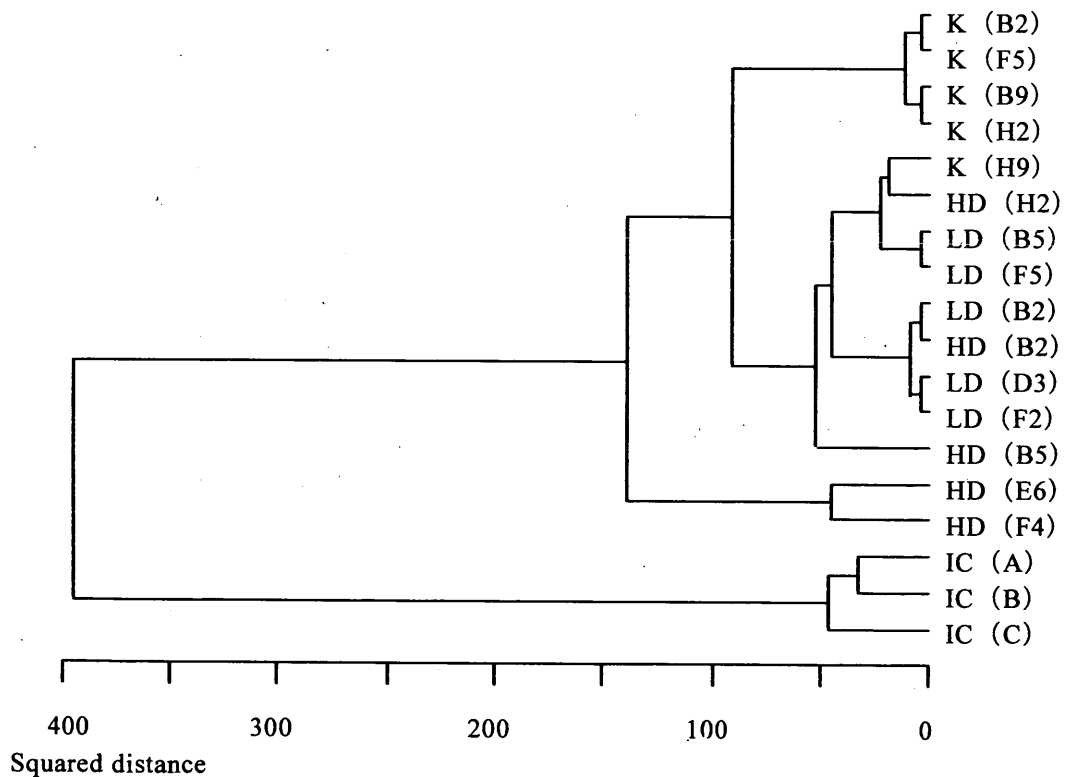


図 32. 2002 年 7 月に採集した A 層土壌試料について行った PCR-DGGE(プライマー : GC-357F と 520R)による DNA バンドパターンを元に作製されたデンドログラム。図中の K, LD, HD, IC は調査区名を, ()内はサブ区名を表す。

(5) 単一炭素源代謝能試験

Biolog EcoPlate を用い、31 種類の単一炭素源に対する、土壌抽出液中の細菌集団の代謝能多様性を解析した。Biolog EcoPlate は、マイクロプレート上の 96 個のウェルに 31 種類の炭素源がそれぞれ 3 ケ所ずつ(および対照区として炭素源を含まないウェルが 3 ケ所)分注されており、炭素源の代謝が起こるとウェルが発色する仕組みになっている。その発色の強度や、代謝される炭素源の違いにより、土壌中の細菌集団の代謝能の多様性を解析できる。実験設備や作業上の制約から、本試験には 2002 年 7 月採集分の K 区、HD 区、および IC 区の A 層土壌のみを供試した。

試験開始後 72 時間後には、HD 区と IC 区では多くの炭素源が測定限界値を超える程代謝されたが、K 区では発色強度が小さく、代謝活性が低いことが示された。このときの測定値に基づいて作成されたデンドログラムを図 33A に示す。土壌試料は、採集後 3 ヶ月間冷蔵保存してあったものであるが、本試験は培養を伴うため、保存中に細菌が活動休止状態になっていた可能性がある。しかし、全ての試料を同一の場所で同一の条件で保存してあったため、K 区のみが代謝活性発現に時間がかかった理由は、冷蔵保存されていたことでは説明できない。K 区の土壌中の細菌集団に特有の性質が関係するものと思われる。また、K 区では代謝できる炭素源の種類が、他の 2 区と比べて少なかった。最近、生物の多様性の大きさと生態系の安定性が反比例の関係になる可能性が指摘されているが¹⁸⁾、本試験からこの指摘を支持する結果が得られた。HD 区と IC 区の試料では、発色強度がほぼ等しいが、デンドログラム上でははっきりと 2 つのクラスターに別れている。主成分分析の結果(プロットング図は省略)、この差をもたらしたのは主にグリセロールリン酸であることが明らかとなった。HD 区と IC 区の植生の違いと土壌中のこの有機物の含有量との間に何らかの関係があると思われる。

異なるプレートの平均発色強度が同程度の時、それらの試料中の細菌の代謝活性は同程度であると考えられる。その条件を満たすデータ、すなわち、試験開始 120 時間後の K 区のプレートと、試験開始 48 時間後の HD 区および IC 区のプレートの発色強度を用いた解析も行った。その結果を図 33B に示す。K 区と HD 区の土壌は完全には分離しなかったが、それらと IC 区との区別は明瞭であった。IC 区には他の調査区と共通の植物がほとんど生育していないため、土壌に供給される有機物の種類が異なるためと考えられる。

前述の通り、PCR-DGGE の結果から、K 区と HD 区には共通の優占細菌群が生息していると考えられる。それにも関わらず、単一炭素源代謝能試験では、K 区と HD 区に差が現れた。PCR-DGGE 法は、培養不可能な細菌も含め、PCR プライマーの適合する細菌は全て解析結果に現れるのに対し、単一炭素源代謝能試験では、Biolog 試験条件下で培養可能な細菌のみの多様性しか明らかにならない。これが 2 つの方法における差の原因である可能性は無視できない。また、たとえ単一種であっても、代謝可能な炭素源の異なる複数の遺伝集団が含まれることは珍しくなく、それが原因となっている可能性も考えられる。

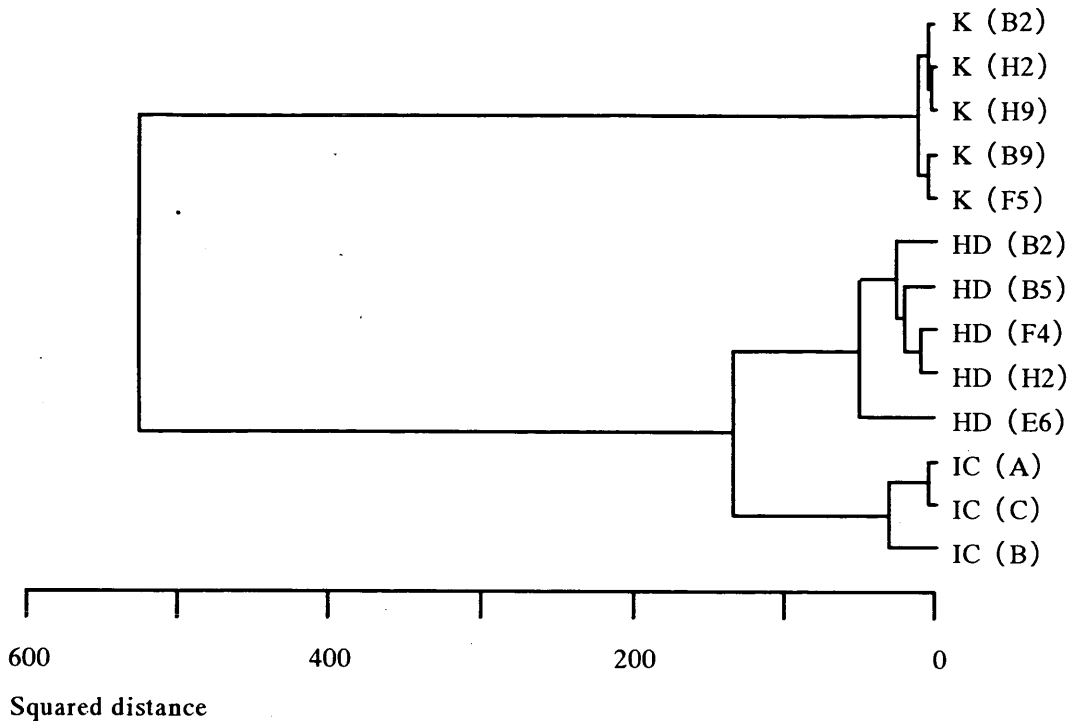


図 33A. 単一炭素源代謝能試験の結果に基づくデンドログラム. プレートの平均発色値の差を無視し, 全ての試料で 120 時間後の値を解析に用いた. 図中の K, LD, HD, IC は調査区名を, () 内はサブ区名を表す.

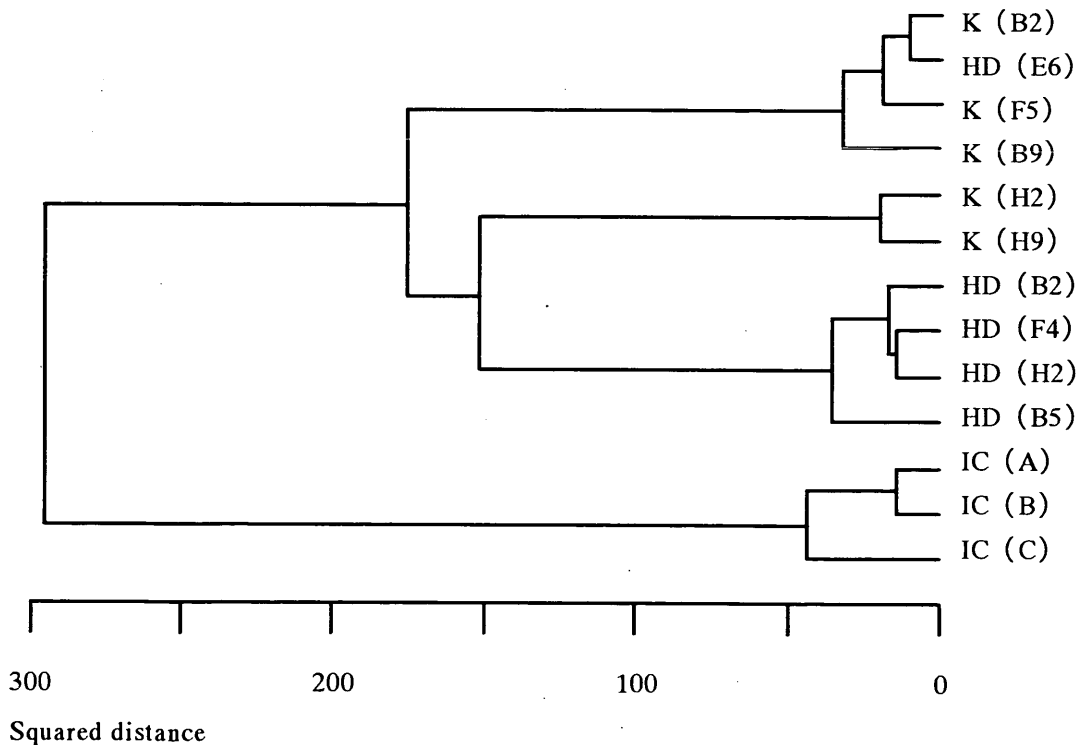


図 33B. 単一炭素源代謝能試験の結果に基づくデンドログラム. プレートの平均発色値をそろえるために, K 区の試料では 120 時間後, HD 区と IC 区の試料では 48 時間後の値を解析に用いた. 図中の K, LD, HD, IC は調査区名を, () 内はサブ区名を表す.

(6) 土壌細菌の分離・同定

土壌より分離した細菌について、16S rDNA 塩基配列を解読し、系統解析を行って、分類群の同定を試みた。その結果を表 10 に示す。

同定結果に形態観察と分類群特異的 PCR を加え、*Bacillus cereus*-complex、*Bacillus subtilis*-complex、および *Burkholderia cepacia*-complex が全ての調査区に共通する優占種であることを明らかにした。なお、表 10 の株は塩基配列の解読を行ったものだけであることに注意されたい。例えば表 10 には LD 区由来の *B. cereus*-complex は 1 株しか含まれていないが、このことは LD 区の *B. cereus*-complex の生息数が少ないことを意味するものではない。土壌抽出液由来の細菌コロニーから分類群特異的プライマーを用いて直接 PCR を行った結果などから、実際には LD 区に *B. cereus*-complex が優占していることを確認した。上記 3 種は、それぞれ単一の遺伝種 (genospecies) でありながら多数の表現種 (phenospecies) を含み、機能的には大変多様な集団である¹⁹⁾。前述の PCR-DGGE パターンでは調査区の差が小さく、単一炭素源代謝能では調査区の差が大きいことは、このような細菌群の存在により説明され得る。

表 10. 16S rDNA 塩基配列の解読と分類群の同定が済んだ細菌株

株番号	採集区	PS/C*	分類
A1/B2	K	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
D1/B3	K	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
St 30	K	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
BKT1	K		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BKT 15	K		<i>Bacillus cereus</i> -complex
St 31	LD	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
BHD1	HD		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BHD 6	HD		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BHD 9	HD		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BHD1 4	HD		<i>Bacillus cereus</i> -complex
P-ay	IC	PS	<i>Bacillus cereus</i> -complex
St 22 (6)	IC	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
St 23 (4a)	IC	C	<i>Bacillus cereus</i> -complex
BIC 6	IC		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BIC11	IC		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BIC 14	IC		<i>Bacillus cereus</i> -complex
BHD7	HD		<i>Bacillus megaterium</i>
BIC10	IC		<i>Bacillus megaterium</i>
BIC15	IC		<i>Bacillus megaterium</i>
BKT8	K		<i>Bacillus sphaericus</i>
BKT9	K		<i>Bacillus sphaericus</i>
BKT11	K		<i>Bacillus sphaericus</i>
BKT13	K		<i>Bacillus subtilis</i> -complex
St 24	K	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
St 26	LD	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
St 28 (A)	LD	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex

次頁へ続く

表 10. (続き)

株番号	採集区	PS/C*	分類
St 29 (C)	LD	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
St 22	IC	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
St 27	IC	C	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
3P	IC	PS	<i>Bacillus subtilis</i> -complex
BKT3	K		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
1P	HD	PS	<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
M11/B4	HD	PS	<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BHD2	HD		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BHD3	HD		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BHD11	HD		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BHD12	HD		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BHD15	HD		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
F1-snd	IC	PS	<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BIC1	IC		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BIC12	IC		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BIC13	IC		<i>Burkholderia cepacia</i> -complex
BKT2	K		<i>Burkholderia fungorum</i>
BKT4	K		<i>Burkholderia fungorum</i>
BHD4	HD		<i>Burkholderia fungorum</i>
BKT14	K		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
BHD5	HD		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
BHD8	HD		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
BHD13	HD		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
BIC3	IC		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
BIC5	IC		<i>Burkholderia</i> sp. (新種の可能性あり)
D3/B1	HD	PS	" <i>Burkholderia tropicalis</i> "
St10/F1	K	PS	Enterobacteriaceae bacterium (<i>Enterobacter</i> または <i>Providencia</i>)
St2/F2	HD	PS	Enterobacteriaceae bacterium (<i>Enterobacter</i> または <i>Providencia</i>)
St 6	IC	C	Enterobacteriaceae bacterium (<i>Enterobacter</i> または <i>Providencia</i>)
BKT12	K		<i>Kitasatospora</i> sp.
BKT6	K		<i>Kitasatospora</i> sp.
BKT7	K		<i>Kitasatospora</i> sp.
BHD10	HD		<i>Kitasatospora</i> sp.
BIC2	IC		<i>Leifsonia</i> sp. (新種の可能性あり)
BIC4	IC		<i>Leifsonia</i> sp. (新種の可能性あり)
BIC7	IC		<i>Leifsonia</i> sp.
BIC9	IC		Microbacteriaceae bacterium (新属新種)
F1/B1	K	C	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
F2-snd	IC	PS	<i>Pseudomonas putida</i> -complex
2P	IC	PS	<i>Ralstonia solanacearum</i>
6P	IC	PS	<i>Ralstonia solanacearum</i>
BKT10	K		<i>Sphingomonas echinoides</i>
Act6	IC		<i>Streptomyces padanus</i>
BIC8	IC		Xanthomonadaceae bacterium (新属新種)

* リン酸カルシウム溶解細菌は[PS], セルロース分解細菌は[C]で示した。

16S rDNA 塩基配列解読株には、特定の調査区だけから同定された(または同定されなかった)分類群がいくつか含まれている(表 11 参照)。例えば、*Sphingomonas echinoides* は K 区だけから分離・同定され、*Bacillus megaterium* は K 区からは分離・同定されなかった。しかし、前者は本研究で用いた土壌試料中の生息比率が極めて低いことが確認されたため、K 区の土壌を特徴付ける細菌とは見なすことができない。また後者は、塩基配列解読を伴わない方法により、K 区にも一定以上の割合で存在していることが示唆されたため、やはり指標生物とはなり得ない。唯一、指標生物となる可能性があったのは、*Bacillus sphaericus* のみである。この細菌の K 区での存在比率は高かったが(1/10 肉汁培地 pH 5.5(2% agar)で 30 °C、2 晩培養したときの出現率が 5~15%)、他の調査区では分離されず、かろうじて本種に特異的な PCR で存在が確認されただけであった。本種が指標生物となり得るかどうかが、さらに分離試験を重ねて追試をする必要がある。土壌抽出液の培養によって現れる細菌には、16S rDNA 塩基配列の解読を行わなかったコロニーも含め、土壌の採集時期に関わらず、分類群の構成に大きな差はなかった。PCR-DGGE の結果と同様、調査区の優占細菌の分類構成が安定していることを意味している。

表 11. 16S rDNA 塩基配列に基づいて同定された土壌細菌の分類群別の同定数。

科	属・種 (またはグループ)	調査区別の同定数*			
		K	LD	HD	IC
Bacillaceae	<i>Bacillus cereus</i> -complex	5	1	4	6
	<i>Bacillus megaterium</i>	-	-	1	2
	<i>Bacillus sphaericus</i>	3	-	-	-
	<i>Bacillus subtilis</i> - complex	2	2	-	3
"Burkholderiaceae"	<i>Burkholderia cepacia</i> - complex	1	-	7	4
	<i>Burkholderia fungorum</i>	2	-	1	-
	<i>Burkholderia</i> sp. (<i>Burkholderia sacchari</i> および新種を含む)	1	-	3	2
	" <i>Burkholderia tropicalis</i> "	-	-	1	-
Enterobacteriaceae	属未同定 (<i>Enterobacter</i> または <i>Providencia</i>)	1	-	1	1
Streptomycetaceae	<i>Kitasatospora</i> sp.	3	-	1	-
	<i>Streptomyces padanus</i>	-	-	-	1
Microbacteriaceae	<i>Leifsonia</i> sp. (新種を含む)	-	-	-	3
	新属	-	-	-	1
Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	-	-	-
	<i>Pseudomonas putida</i> -complex	-	-	-	1
"Ralstoniaceae"	<i>Ralstonia solanacearum</i>	-	-	-	2
Sphingomonadaceae	<i>Sphingomonas echinoides</i>	1	-	-	-
Xanthomonadaceae	新属	-	-	-	1

* 塩基配列の解読を行わなかった株は、数に含まれていないため、数の無記載は必ずしも生息しないことを意味するものではない。

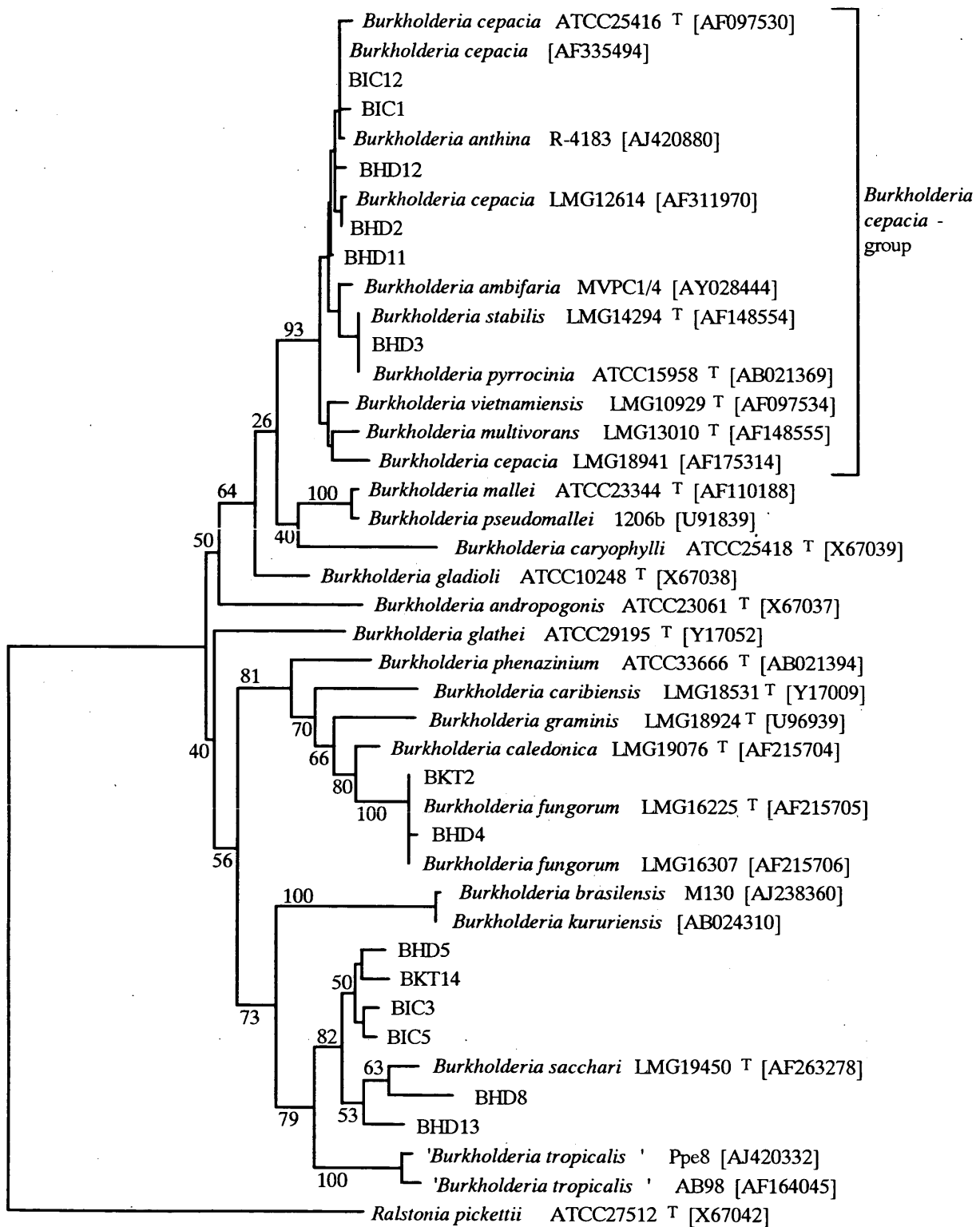


図 34. 16S rDNA 塩基配列に基づいて近隣結合法により作成された, *Burkholderia* 属分離株 (16S rDNA 解読塩基配列長が全長に近いもののみ) と近縁種を含む系統樹. []内は DDBJ/EMBL/GenBank データベースのアクセッション番号を, 枝に記した数値はブートストラップ値(%)を表す.

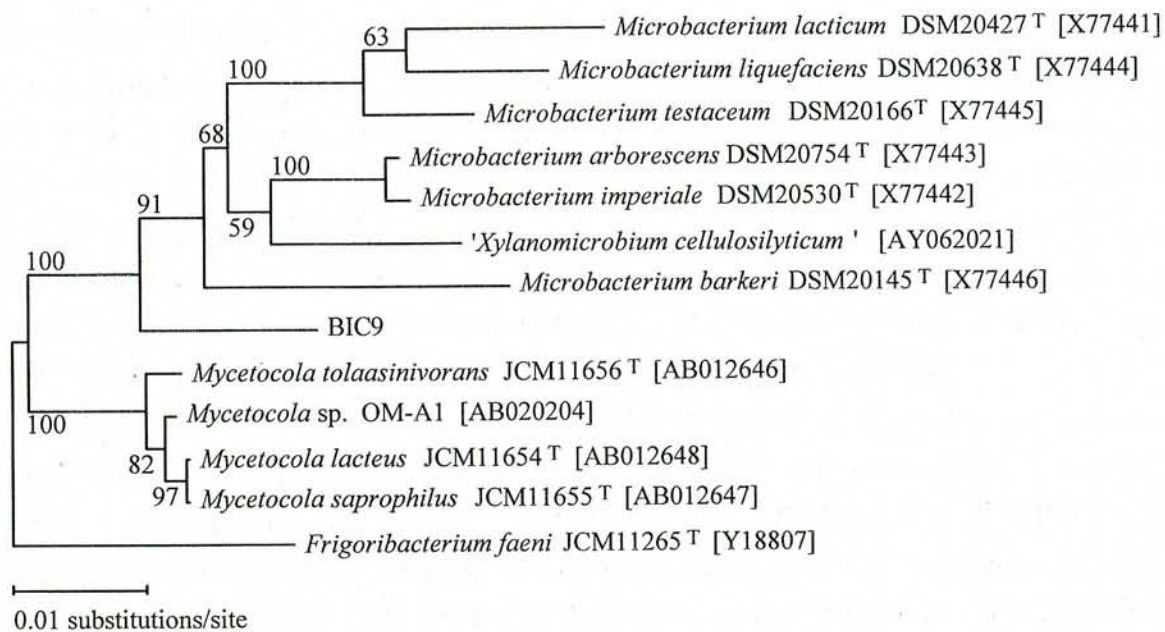


図 35. 16S rDNA 塩基配列に基づいて近隣結合法により作成された，分離株 BIC9 と近縁種を含む系統樹. []内は DDBJ/EMBL/GenBank データベースのアクセシオン番号を，枝に記した数値はブートストラップ値(%)を表す.

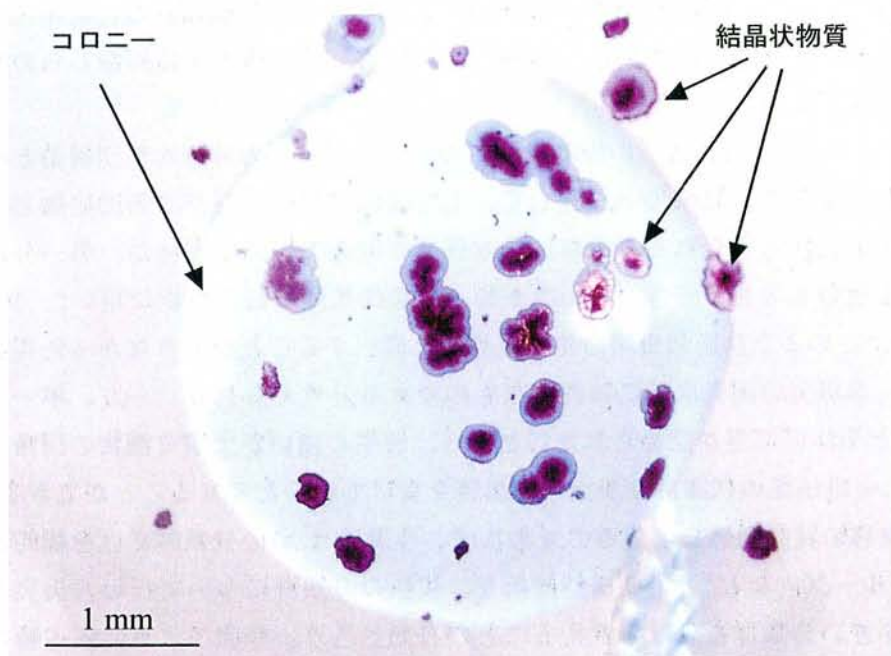


図 36. 未同定分離細菌株 BHD16 の寒天培地上のコロニー. 2 週間培養し，大きく成長したコロニーの表面や周辺の培地表面に，赤色平板状の結晶性物質が生成した.

16S rDNA 塩基配列解読株(表 10, 11)には、18 分類群が含まれ、そのうち 4 分類群が新種の可能性があった。分離株 BKT14、BHD5、BHD8、BHD13、BIC3、および BIC5 は、*Burkholderia sacchari* に近縁であるが、系統樹(図 34)から新種が含まれていると推測される。*B. sacchari* は 2001 年に新種として記載されたばかりで、タイプ株はサッカロースなどの糖分からプラスチックの一種であるポリヒドロキシアルカノエートを生合成する²⁰⁾。これまで *B. sacchari* として知られているのはこの 1 株のみである。今回同定された 6 株の *B. sacchari* 近縁細菌の中には、菌体外分泌物が多くコロニーの流動性・粘性が高いグループと、菌体外分泌物が少なくコロニーが固いグループが含まれていた。前者は何らかのポリマーを生産している可能性がある。分離株 BIC2、BIC4、および BIC7 は *Liefsonia* 属に含まれ、系統樹(図省略)から、少なくとも前 2 株は新種であると思われる。これらの 2 分類群については、今後、脂肪酸組成、菌体外分泌物の同定、キノン組成、細胞壁組成などを解析し、生化学的形質においても既知の種と異なることを示す必要がある。また分離株 BIC9 は、系統樹(図 35)から既知の属には含まれず、放線菌の 1 グループ Microbacteriaceae 科の新属新種となる可能性が極めて高い。同様に系統樹(図省略)から、分離株 BIC8 はガンマプロテオバクテリアの Xanthomonadaceae 科の新属新種となる可能性が極めて高いことが分かった。また、未同定細菌株 BHD16 は、培地中あるいはコロニー表面に赤色結晶状の物質を生成することが確認された(図 36)。このような特徴をもった結晶を生産する細菌はこれまで知られておらず、新規な物質である可能性がある。ついでながら、分離株のうち、リン酸カルシウムまたはカルボキシメチルセルロースを含む培地を用いて、リン酸カルシウム溶解能またはセルロース分解能が確認された株を表 10 に示した。このような機能を持つ細菌は、農業への利用可能性から、近年インドネシアで注目されつつある。まだ未試験の活性・機能についても、分離株の中に何かしらの有用細菌が含まれている可能性がある。

K 区、LD 区、HD 区については、森林火災の程度と現在の優占土壌細菌の分類的集団構造との間に、強い関連は認められなかった。原因の一つとして、土壌細菌の集団構造が高等動植物と比較して速やかに回復する可能性が考えられる。または、本研究の調査地域の優占種が、単一分類群の中に多様な表現形質を含むものを多く含んでいたため、分類的集団構造の解析に用いた 16S rDNA PCR-DGGE 法では、このような細菌集団の差を高感度に検出することができなかった可能性もある。後者の問題は、本研究の調査地域に特異的なものであると考えられる。一方、単一炭素源代謝能試験では K 区と HD 区に差が認められたことから、植生の違いが土壌有機物の種類と量に影響を与え、結果的に土壌細菌の代謝活性が火災の影響を受けていると考えることができる。

土壌細菌の中に、火災被害の質的指標を求めるとすれば、今後は 1 つの分類群だけを標的とした種内(または属内、グループ内など)の集団構造解析を、複数の分類群について行い、火災の影響の大きい分類群と、小さい分類群を分けて考えることが有効だろう。今回のように優占種が大きな影響を受けていない場合でも、微環境の変化を受けやすい分類群さえ特定できれば、火災の影響を知ることができると期待される。量的指標については、一部の培養可能な細菌だけしか扱えない弱点はあるものの、依然として分離・培養法が有効であろう。指標となり得る優占細菌を生理試験や遺伝情報などから同定した後、その細菌を標的とした種特異的 PCR プライマーを設計し、土壌より分離した細菌コロニーの中に、指標となる細菌がどの程度の割合で含まれている

かを、PCRにより簡易に試験することができれば、より実用に近付くと思われる。

土壤細菌の分布は、気象や土壤の物理的・化学的性質、植生などと大きな関係があると考えられるが、一般の動植物に見られるような地理的隔離は起こりにくいと推測され、世界中の至るところで共通の細菌分類群が認められることが多い。よって、熱帯林に特有の種が土壤細菌の中に多く含まれているとは考えにくい。しかしながら、本研究にて同定された18分類群のうち、4分類群が新規な細菌であったことは、極めて興味深い。このことは、今まで熱帯林の土壤細菌の研究が進んでおらず、この地域には未知の細菌が数多く生息していることを暗示しており、熱帯林は微生物資源の源としても重要な研究対象となるだろう。

8. 本研究により得られた成果

本研究によって、低地熱帯多雨林での森林火災が蘚苔類相に与える影響が初めて示された。それと同時に、低地熱帯多雨林の自然度を証す指標植物として、*Arachniopsis major*、*Mizutania riccardioides*、*Trismegistia korthalsii*、*Zoopsis liukuensis* の4種を見出すことができた。さらに、これまで未解明であった東カリマンタン地域の蘚苔類相に、新たに60種を加えることができた。

また、低地熱帯多雨林での森林火災が地衣類相に与える影響も初めて明らかにされた。蘚苔類と同様に、自然度を証す指標植物として、*Squamella* sp. (= *Cladonia* sp. 1?)、*Coenogonium* sp. 1、*Coenogonium* sp. 2、*Coccocarpia* sp.、*Pannaria* sp. の5種が挙げられた。東カリマンタン地域の地衣類相には、新たに6種、*Squamella* sp. (= *Cladonia* sp. 1?)、*Graphis* sp. 1、*Graphis* sp. 2、*Sarcographa Leprieurii* var. *leptastra*、*Cyclographina macgregorii*、*Pyrenula gigas* を加えることができた。さらに、*Graphis* sp. 1 は現在、新種の可能性が高い。

フタバガキ科樹種の菌根形成の場となる土壤有機物層は、火災後比較的速やかに回復することが明らかになったが、宿主の絶対数が減るためバイオマス総量としては少なくなっていた。また、林冠が破壊された林分では土壤が乾燥しやすく水分条件が不安定になっていたが、菌根にとって致命的レベルではなかった。火災の被害程度を評価するための指標には、その子実体が有効であると考えられ、ベニタケ属が出現する場所は被害が少なく、キツネタケ属しか出現しない場所は重大な被害を受けたと推定できる。指標種として前者には *Russula rosacea* (Pers.) S.F. Gray および *R. castanopsidis* Hongo、後者には *Laccaria vinaceoavellanea* Hongo が利用できると思われた。

熱帯林土壤の優占細菌群の分類的集団構造は、火災後、比較的すみやかに回復するものの、代謝可能な炭素源の種類やその代謝活性には、被害から数年後でも影響が見られることが初めて示された。また、本研究で分離・同定された *Bacillus sphaericus* については、調査地域の自然林に多く生息し、火災被害地域ではその割合が少ないことが確認されたことから、指標細菌の候補と期待される。さらに、新規性の高い細菌が複数発見されたが、これらの機能を解明することにより、熱帯林の土壤生態系に関する新たな知見が得られると期待される。

本研究から、熱帯多雨林における、森林火災の影響/回復の指標生物の候補が提示されたことは今後の森林火災からの回復度をモニタリングする際に役立つと思われる。また、熱帯多雨林が貴重な生物資源(新属や新種)を含有する生物多様性の宝庫であることを併せて、明確に示したことも重要であろう。

9. 引用文献

- 1) Winner, W. E. (1988) Responses of bryophytes to air pollution. *Bibl. Lichenol.* 30: 141-173.
- 2) Duncan, D. & Dalton, P. J. (1982) Recolonisation by bryophytes following fire. *J. Bryol.* 12: 53-63.
- 3) Foster, D. R. (1985) Vegetation development following fire in *Picea mariana* (black spruce)-*Pleurozium* forests in south-eastern Labrador, Canada. *J. Ecol.* 73: 517-534.
- 4) Heras, J. de las & Herranz, J. M. (1990) Bryophyte colonization of soils damaged by fire in south-east Spain: a preliminary report on dynamics. *J. Bryol.* 16: 275-288.
- 5) Menzel, M. (1989) Annotated catalogue of the Hepaticae and Anthocerotae of Borneo. *J. Hattori Bot. Lab.* 65: 145-206.
- 6) Touw, A. (1978) The mosses reported from Borneo. *J. Hattori Bot. Lab.* 44: 147-176.
- 7) LeBlanc, F. & Rao, D. N. (1975) Effect of air pollutions on lichens and bryophytes. In J. B. Mudd & T. T. Kozłowski, eds., *Responses of Plants to Air Pollution*, AP, pp.237-272.
- 8) Hamada, N., Miyawaki, H. & Yamada, A. (1995) Distribution pattern of air pollution and epiphytic lichens in the Osaka Plain (Japan). *Journal of Plant Research* 108: 483-491.
- 9) McCune, B., Rosentreter, R., Ponzetti, J. M. & Shaw, D. C. (2002) Epiphyte habitats in an old conifer forest in Western Washington, U.S.A. *The Bryologist* 103: 417-427.
- 10) Sipman, H. J. M. (1993) Lichens from Mount KINABALU. *Tropical Bryology* 8: 281-314.
- 11) Din, L. B., Ipor, I. B., Fasihuddin, B. A. & Elix, J. A. (1995) Additional lichen records from Indonesia and Malaysia. 1. *Cladonia siamea* des Abb. From Borneo. *Australasian Lichenological Newsletter* 36: 27-28.
- 12) Culberson, C. F. (1972) Improved conditions and new data for the identification of lichen products by a standardized thin-layer chromatographic method. *J. Chromatogr.* 72:113-125.
- 13) Smits, W. T. M. (1994). *Dipterocarpaceae: Mycorrhizae and Regeneration*. The Tropenbos Foundation. Wageningen, Netherland.
- 14) Meyer, F. H. (1973). *Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests*. In *Ectomycorrhizae: their ecology and physiology*, ed. G. C. Marks and T. T. Kozłowski. Academic Press, New York.
- 15) Finlay, R. D. & Read, D. J. (1986) The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. I. Translocation of ¹⁴C-labelled carbon between plants interconnected by a common mycelium. *New Phytol.* 103 : 143-156.
- 16) Fox, F. M. (1986) Groupings of ectomycorrhizal fungi of birch and pine, based on establishment of mycorrhizas on seedlings from spores in unsterile soils. *Trans. Br. mycol. Soc.* 87: 371-380.
- 17) Woome, P. L. & Swift, M. J. (1994) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester. England. U.K.
- 18) Pfisterer, A. B. & Schmid, B. (2002) Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning. *Nature* 416 (6876), 84-86.
- 19) Helgason, E., Økstad O. A., Caugant, D. A., Johansen, H. A., Fouet, A., Mock, M., Hegna, I., & Kolstø, A-B. (2000) *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, and *Bacillus thuringiensis* - One species on the basis of genetic evidence. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 2627-2630.
- 20) Brämer, C. O., Vandamme, P., Silva, L. F., Gomez, J. G. C. & Steinbüchel, A. (2001) *Burkholderia sacchari* sp. nov., a polyhydroxyalkanoate-accumulating bacterium isolated from soil of a sugar-cane plantation in Brazil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51, 1709-1713.

10. 国際共同研究等の状況

本研究においては、日本-インドネシア科学技術協力協定に基づき、日本国立環境研究所とインドネシア科学研究所生物学研究所の間で、“MoU between RDCB-LIPI and NIES concerning Scientific and Technical Cooperation on the Biodiversity and Forest Fire”を2001年1月11日に取り交わし、この覚え書きに基づき、共同現地調査を実施した。

また、その成果は、2003年1月22～24日に、インドネシアのブンチャックで開催された国際シンポジウム“International Symposium on Forest Fire and Its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia”において共同発表された。

本研究におけるインドネシア側カウンターパート

- ・ Herwint Simbolon, Research Centre for Biology-LIPI, Bogor-Indonesia : 現地調査全体のとりまとめ
- ・ Florentin Indah Windadri, Research Centre for Biology-LIPI, Bogor, Indonesia : 蘚類の採集と分類
- ・ Ida Haerida, Research Centre for Biology-LIPI, Bogor-Indonesia : 苔類の採集と分類
- ・ Nunik S. Ariyanti, Bogor Agricultural Institute, Bogor, Indonesia : 苔類の採集と分類・微環境計測
- ・ Lisdar I. Sudirmanand, Bogor Agricultural University, Bogor-Indonesia : 地衣類の採集と分類
- ・ Ludmilla Fitri Untari, Gajah Mada University, Yogyakarta-Indonesia : 地衣類の採集と分類
- ・ Handoyo N. H., Gajah Mada University, Yogyakarta-Indonesia : 菌根性菌類の採集と分類
- ・ Suciati, Research Centre for Biology-LIPI, Bogor, Indonesia : 菌根性菌類の採集と分類
- ・ I Made Sudiana, Research Center for Biology-LIPI, Bogor, Indonesia : 土壌採取・土壌細菌の分離同定

11. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① Tsubota, H., Akiyama, H., Yamaguchi, T. & Deguchi, H.: J. Hattori Bot. Lab. 90: 221-240. (2001)
“Molecular phylogeny of the Sematophyllaceae (Hypnales, Musci) based on chloroplast rbcL sequences.”
- ② Tsubota, H., Akiyama, H., Yamaguchi, T. & Deguchi, H.: Hikobia 13: 529-549. (2001) “Molecular phylogeny of the genus Trismegistia and related genera (Sematophyllaceae, Musci) based on chloroplast rbcL sequences.”
- ③ Deguchi, H. & Yamaguchi, T.: Hikobia 13: 611-612. (2001) “Bryophytes of Asia, fasc. 8.”
- ④ Deguchi, H. & Yamaguchi, T.: Hikobia 14: 757-758. (2002) “Bryophytes of Asia, fasc. 9.”

<学術誌 (査読なし)>

なし

<書籍>

- ① Simbolon H., Siregar M., Wakiyama S., Sukigara N., Abe Y., & Shimizu H.: Minimizing the Impact of Forest Fire on Biodiversity in ASEAN (Dawson T.P.ed., ASEAN RC for Biodiversity Conservation), 71-81. (2001) “Impacts of dry season and forest fire 1997-1998 episodes on mixed

dipterocarp forest at Bukit Bangkirai, East Kalimantan,”

- ② Shimizu, H.(ed.): CGER-I049-2002, CGER/NIES, 182pp. (2002) “Indonesian Forest Fire and its Environmental Impacts.”

<報告書類等>

- ① 阿部恭久, 榎原 寛, 明間民央: 平成 14 年度森林総合研究所研究成果選集, 26-27. (2003)
「インドネシア森林火災による森林環境の変化と菌類や昆虫への影響」

(2) 口頭発表

- ① 山口富美夫, Florentin Indah Windadri, Ida Haerida, 清水英幸: 日本植物分類学会第 1 回大会 (2002) 「東カリマンタン低地熱帯多雨林における森林火災と蘚苔類相との関係」
- ② 宮脇博巳, Herwint Simbolon, 清水英幸: 日本植物分類学会第 1 回大会 (2002) 「東カリマンタン低地熱帯多雨林における森林火災と地衣類相との関係」
- ③ Shimizu, H., Abe, Y., Sukigara, N. & Simbolon, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Outline of the Cooperative Research Project in Bukit Bangkirai”
- ④ Yamaguchi, T., Windadri, F. I., Ida, Haerida, Miyawaki, H., Shimizu, H. & Simbolon, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Bryophytes of Bukit Bangkirai, with special reference to the forest fire”
- ⑤ Miyawaki, H., Yamaguchi, T., Shimizu, H., Sudirmanand, L. I., Simbolon, H. & Untari, L. F.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Effects of Forest Fires on Lichen Flora”
- ⑥ Akema, T., Suciati, Abe, Y., Simbolon, H. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Forest Fire and Ectomycorrhizae of Dipterocarp Trees”
- ⑦ Otsuka, S., Sudiana, I-M., Komori, A., Ando, T., Nishiyama, M., Senoo, K., Shimizu, H., Simbolon, H. & Watanabe, M. M.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Bacterial diversity in the soil after forest fire in Bukit Bangkirai, East Kalimantan, Indonesia.”
- ⑧ Sudiana, I-M., Otsuka, S., Deguchi, S., Komori, A., Simbolon, H., Abe, Y. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Soil Microbial Activities at Bukit Bangkirai National Park After Forest Fire.”
- ⑨ Windadri, F. I., Yamaguchi, T., Ida Haerida, Shimizu, H. & Simbolon, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) “Moss diversity in the forest of Bukit Bangkirai, East Kalimantan: five years after forest fire 1997-1998”
- ⑩ Sudirman, L. I., Miyawaki, H., Shimizu, H., Yamaguchi, T. & Simbolon, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia,

- Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "The impacts of forest fire on lichens grown on *Durio acutifolius*"
- ⑪ Ida Haerida, Yamaguchi, T., Ariyanti, N. S., Windadri, F. I. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Hepaticae diversity of Bukit Bangkirai, East Kalimantan: five years after forest fire"
- ⑫ Miyawaki, H., Yamaguchi, T., Shimizu, H., Simbolon, H. & Nakanishi, M.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Some interesting Lichens in Bukit Bangkirai East Kalimantan"
- ⑬ Untari, L. F., Miyawaki, H., Windadri, F. I., Yamaguchi, T., Simbolon, H. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "The biodiversity of foliicolous lichens in Bukit Bangkirai, East Kalimantan, Indonesia"
- ⑭ Sudiana, I-M., Otsuka, S., Ando, T., Nishiyama, M., Senoo, K., Komori, A., Simbolon, A., Abe, Y. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Physiological and Enzymatic Characteristic of Phosphate Solubilizing Bacteria Isolated from Soil of Bukit Bangkirai, East Kalimantan"
- ⑮ Sudiana, I-M., Otsuka, S., Simbolon, H., Abe, Y. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Physiological and Enzymatic Characteristic of Cellulolytic Bacteria Isolated from Soil of Bukit Bangkirai, East Kalimantan"
- ⑯ Suciati, Simbolon, H., Akema, T., Abe, Y. & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Population of soil fungi in an over burned tropical rain forest in Bukit Bangkirai, East Kalimantan"
- ⑰ Nurjanto, H. H., Akema, T., Abe, T., & Shimizu, H.: International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia, Pnucak-Bogor, Indonesia, (2003) "Effect of Forest Fire on the Population of Mycorrhizal Fungi in a Tropical Rain Forest in East Kalimantan"
- ⑱ 山口富美夫, Florentin Indah Windadri, Ida Haerida, 清水英幸: 日本生態学会第 50 回大会 (2003) 「森林火災による東カリマンタン低地熱帯雨林の蘚苔類相の変化」
- ⑲ 宮脇博巳, 山口富美夫, 清水英幸, Herwint Simbolon, 中西 稔: 日本植物分類学会第 2 回大会 (2003) 「インドネシア, 東カリマンタン産地衣類数種の分類学的位置」
- ⑳ 小森愛一郎, 大塚重人, I-Made Sudiana, 安藤高志, 西山雅也, 妹尾啓史, Herwint Simbolon, 渡辺 信, 清水英幸: 日本土壌肥料学会 2003 年度大会 (2003) 「火災被害を受けた熱帯雨林における土壌細菌の多様性に関する研究」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ①2003年1月22～24日に、インドネシアのプンチャックで開催された国際シンポジウム：“International Symposium on Forest Fire and its Impact on Biodiversity and Ecosystems in Indonesia”, Puncak-Bogor, Indonesia, (2003, 資料1)において、多くの共同研究成果が発表された(詳細は前記(2)口頭発表参照)。
- ②同時に、現地において、研究成果の共同記者発表があり、熱帯多雨林の生物多様性の重要性と森林火災の影響について、現地の多くの新聞社によって報道された。(2003年1月23日、Suara Pembaruan Daily, Kompas 全国版、資料2参照)

12. 成果の政策的な寄与・貢献について

森林火災の生物多様性や生態系への影響、森林回復評価・森林管理のための生物指標および熱帯多雨林地域の生物多様性に関する基盤的情報等に関する本研究の成果の重要性が、研究者や政府関係者ばかりでなく、インドネシア科学研究院を通じた新聞発表などにより、インドネシアの一般市民にも広く報道された。

第4回調査(平成14年7月13-24日)では、NPO活動として、佐賀市在住の主婦が参加し、熱帯多雨林での植生回復調査を支援し、またインドネシアと日本の草の根交流に貢献した。

本研究の生物多様性情報に関する成果は、LIPIが現在編集中である“Red Data Book”の基盤情報として利用される予定である。

今後も本研究成果を森林回復評価・森林管理のための生物指標、および熱帯多雨林地域の生物多様性に関する基盤的情報として整理し、提供するとともに、JICAプロジェクトやNPO活動等と連携して、研究成果の広報・普及を推進する。また、国際的な学術誌に研究成果を発表し、熱帯林の重要性を訴えるとともに、新種登録などを行い、熱帯林の生物資源の有用性などに研究者や社会の関心を集めるように努める。



PROGRAM



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON:
**FOREST FIRE AND ITS IMPACT ON
BIODIVERSITY AND ECOSYSTEMS IN
INDONESIA**

PUNCAK-BOGOR, INDONESIA
JANUARY 22 – 24, 2003



ORGANIZED BY:
RESEARCH CENTER FOR BIOLOGY
INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES, BOGOR
AND
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES,
TSUKUBA-JAPAN

International Symposium on:
**Forest Fire and Its Impact on Biodiversity and
Ecosystems in Indonesia**
Puncak -Bogor, Indonesia
22-24 January 2003

Time Schedule

22 January 2003	
08.00-09.00	Registration And Poster Preparation
09.00-09.20	Opening address (Chairs: Dr. Herwint Simbolon, Dr. Hideyuki Shimizu)
	Chairman of LIPI
	Prof. Y. Goshii (President, NIES Tsukuba-Japan)
09.20-10.20	Keynote address (Chairs: Dr. Arle Budiman, Dr. Yasuhisa Abe)
	Deputy Chairman of The Ministry of Environment
	Prof. Dr. Y. Oshima (JWRC, Tokyo-Japan)
	Director of Forest Fire Protection, Department of Forestry GoI
10.20-10.40	Break
10.40-12.40	Session1: Effect of Forest Fires on the Flora and Ecosystem (Chairs: Dr. S. M. Widayastuti and Mr. Naozumi Sukigara)
Hideyuki Shimizu	Outline of the Cooperative Research Project in Bkt. Bangkirai
Herwint Simbolon	Growth rate of tree flora at Bukit Bangkirai, East Kalimantan five years after forest fire 1997-1998
Rugayah	Floristic study on the flowering plants of Bukit Bangkirai, East Kalimantan
Tomio Yamaguchi	Bryophytes of Bukit Bangkirai
Hiromi Miyawaki	Lichens of Bukit Bangkirai
Bambang Hero Saharjo	Vegetation Changing in Sapric, Hemic and Fibric Peat type Following Peat Fire
12.40-14.00	Lunch
14:00-15:20	O-2: Effect of Forest Fires on the Fauna (Chair: Dr. Siti Nuramaliati and Mr. Yasumasa Hirataa)
Naozumi Sukigara	Variance of Light Environment between Plots affected by Different Magnitude of Fire
Kaori Sato	Evaluating the effects of forest fire on small mammals in East Kalimantan using field data and IKONOS data
Agustinus Suyanto	The biodiversity of small mammals after forest fire in Bukit Bangkirai, East Kalimantan

H. Makihara	Longicorn fauna in Bukit Bangkirai, East Kalimantan with special reference of some species indicating of recovering process of the ecosystems
15:20-15:40	Break
15:40-17:20	O-3: Effect of Forest Fires on the Micro Organisms (Chair: Dr. Yantwati Widyastuti and Dr. Hideyuki Shimizu)
Yasuhisa Abe	Species diversity of wood-inhabiting fungi in the fire-affected forests and the non-affected forest
S. M. Widyastuti	Decomposing fungal activities in soil of tropical rain forest as affected by fire
Tamio Akema	Forest Fire and Ectomycorrhizae of Dipterocarp Trees
Shigeto Otsuka	Bacterial diversity in the soil after forest fire in Bukit Bangkirai, East Kalimantan, Indonesia
I Made Sudiana	Soil Microbial Activity Assessment at Bukit Bangkirai After Forest Fire
17.20-18.40	Poster Presentation
18.40-	Welcome Party
23 January 2003	
08.00-10.20	O-4: Urgent Necessity for Biodiversity Study and its Application (Chair: Dr. Arif Budiman and Prof. Elzi Suzuki)
Irawati	
Siti Nuramaliati	
Minoru Soeya	Japanese participation in International Programs for Biodiversity Conservation
Kusumadewi S. Yulita	Establishment of DNA bank of Indonesian rare species of plants
Okayama	
Wellyzar Sjamsuridzal	Study on diversity and distribution of yeasts from two Mangrove Forest in the North Jakarta, and evaluation of their Tolerance to heavy metal
Koujirou Mori	Outline and Outcome of Biodiversity Conservation Project
10.20-10:40	Break
10:40-12:20	O-5: Remote sensing and Forest Fire Effect Evaluation (Chair: Dr. Herwint Simbolon and Dr. Yasuhisa Abe)
Yasumasa Hirata	Evaluation of the forest fire effect on the landscape structure in East Kalimantan using high resolution satellite data
Lilik Budi Prasetyo	Forest fire affected area in 1998, 1999 and 2000 of Borneo: A comparison study
Tatsuharu Kobayashi	Study on the detection of forest fire area with an synthetic aperture radar
Makihiro Inoue	The behavior of forest and land fire in recent years
Roemantyo	GIS and Biodiversity dBase

12.20-13:20	Lunch
13.20-14:40	Poster Preparation
14:40-17:00	O-6: Forest Fire: Socio Economic Aspects and Management (Chair: Dedy Darnaedi and Prof. Yasuyuki Oshima)
Muhandis Natadiwirya and Yasman, Irsyal	Forest fire management at Batuampar-Mentawir Concession- East Kalimantan
Shin Morisaki	The activities of extension and public relations of FFMP2
S. Suyanto	The role of land tenure in reducing wild fire and promoting agroforest
I Nyoman N. Suryadiputra	Combining community's income generating activities with conservation towards the reduction and prevention of future fire risks in Berbak National Park and its surrounding
Luca Tacconi	Causes, Costs, and Policy Implications of Fires in Indonesia
Halimah Syafrul	Air Quality Monitoring Systems in Indonesia
Seiji Ozawa	The message about the importance of Tropical Rain Forest from the Eco-tourism Activity in Gunung Halimun National Park
17:00-17:20	Break
17:20-18:00-	Comments and Closing Remarks (Chair: Dr. Herwint Simbolon and Dr. Hideyuka Shimizu)
Dr. Arie Budiman	Comments
Prof. Y. Oshima	Comments
Dr. Dedy Darnaedi	Comments
Prof. E. Suzuki	Comments
	Prof. Y. Goshii
	Dr. Endang Sukara
24 January 2003	
08.00-10.00	Excursion to Cibodas Botanical Garden
10.00-12.00	Leave Cibodas for Bogor Botanical Garden and Herbarium Bogoriense
12.00-13.30	Lunch at Bogor Botanical Garden
13.30-15.30	Leave Bogor Botanical Garden for Widiasatwaloka Building at Cibinog
15.30-	Leave Cibinong for Jakarta
18.00-	Dinner for Sayonara

Kebakaran Hutan Turunkan Kualitas Lingkungan dan Nilai Ekonomi



HENNY A DIANA

TELANTAR - Kebakaran hutan di Indonesia sebagian besar terjadi di areal yang berstatus bekas konsesi (hak pengusahaan hutan atau HPH). Saat ini 15 juta hektare hutan bekas HPH telantar.

CIBODAS - Dalam dua dekade terakhir, setiap tahun Indonesia mengalami kebakaran hutan dan lahan yang cukup parah. Berdasarkan laporan dari berbagai penelitian, faktor utama penyebab kebakaran adalah ketefedoran manusia.

Akibatnya, kondisi hutan semakin mengkhawatirkan menyusul hilangnya keanekaragaman hayati, sumber genetika, serta menurunnya kualitas lingkungan.

Kondisi itu secara langsung akan menurunkan nilai ekonomi hutan dan memengaruhi stabilitas ekosistem penyangga.

Hal itu mengemuka dalam simposium internasional "Dampak Kebakaran Hutan terhadap Biodiversitas dan Ekosistem Indonesia" yang diselenggarakan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan National Institute for Environmental Studies (NIES) Jepang di Cibodas, Puncak, Jawa Barat, Rabu (22.1).

Hadir sebagai pembicara kunci Asisten Deputi Urusan Ekosistem Darat Kementerian Lingkungan Hidup, Dr Antung Deddy, Prof Dr Oshima dan Japan Wildlife Research Center (JWRC), dan Dr Triwibowo dari Departemen Kehutanan.

Simposium itu sekaligus menjadi ajang pemaparan hasil-hasil penelitian mengenai kebakaran hutan di Indonesia sebagai kerja sama antara LIPI, Center for Global Environmental Research (CGER), dan Kementerian Lingkungan Hidup yang didukung oleh Japan International Cooperation Agency (JICA).

Berdasarkan penelitian, tercatat kebakaran hutan dan lahan terbesar terjadi pada tahun 1982-1983 dan menghabiskan 3,5 juta hektare hutan dan lahan, tahun 1994-1995 4,9 juta hektare dan tahun 1997-1998 9,5 juta hektare. Sebagian besar lokasi kebakaran terjadi di bekas kawasan hutan yang berstatus HPH (hak pengusahaan hutan) yang sudah telantar.

Sejak tahun 1997 diperkirakan 15 juta hektare hutan bekas HPH telantar dan sebagian kini mulai dikonversi untuk lahan pertanian. Jika kondisi itu tidak segera mendapat perhatian pemerintah, dipastikan luas hutan yang telantar terus meningkat dan semakin sulit dipulihkan.

Menurut Dr Antung Deddy, selama ini tidak ada keseimbangan antara laju kerusakan lingkungan sebagai dampak kebakaran hutan dan lahan dengan upaya-upaya pemulihan.

Berbagai upaya yang dilakukan oleh pemerintah untuk mengatasi kebakaran hutan baru sebatas pengumpulan informasi dan data dengan mengacu pada hasil-hasil penelitian dan laporan petugas di lapangan.

"Sudah saatnya kita melakukan aksi yang benar-benar bisa bermanfaat bagi semua pihak, terutama mereka yang selama ini menderita akibat kebakaran hutan. Kumpulkan semua hasil penelitian sehingga kita dapat menentukan langkah-langkah strategis ke depan untuk mengatasi permasalahan tersebut," katanya.

Akan Habis

Mengenai kondisi hutan bekas HPH yang telantar dan mulai banyak dikonversi, Antung menyarankan agar pemerintah (Departemen Kehutanan) segera mengambil langkah tegas, baik terhadap perusahaan pemegang HPH maupun pemerintah daerah (Pemda) setempat.

Dikatakan, sejak 1997 banyak izin HPH yang habis dan hingga kini belum ada kejelasan status hutan bekas HPH itu. Apalagi proses serah-terima dari Departemen Kehutanan kepada Pemda pun masih tersendat.

Mehurut Antung, karena tidak ada ketegasan dari pemerintah, hampir semua perusahaan pemegang HPH melalaikan tanggung jawab pemulihan.

Padahal, sebelum masa konsesi atau izin HPH (antara 20 hingga 30 tahun) berakhir, seharusnya ada audit terhadap hak dan tanggung jawab perusahaan berkaitan dengan kondisi hutan lingkungan di sekitarnya.

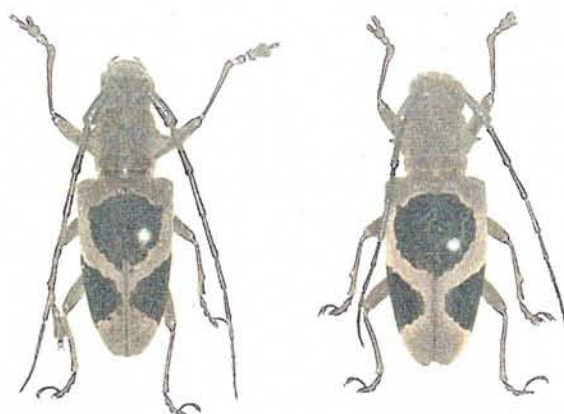
Dari audit itu akan diketahui sejauh mana kerusakan hutan pascakonsesi, sehingga pemerintah dapat menentukan bentuk-bentuk pemulihannya dengan berpegang pada keterikatan hak dan kewajiban perusahaan yang telah disepakati sebelumnya. Namun, upaya tersebut tampaknya menjadi semakin sulit dilakukan di era desentralisasi karena banyak

aturan atau *guideline* baru yang ditetapkan Pemda.

"Sementara laju kerusakan dan menurunnya kualitas lingkungan sulit dihentikan. Jika kita terus berada pada kondisi seperti saat ini, masyarakat miskin selalu dimanfaatkan oleh pihak-pihak yang hanya memikirkan keuntungan ekonomi, tidak ada kepastian hukum dan kepedulian terhadap lingkungan pun sangat minim, sehingga kekayaan sumber daya hutan yang kita bangga-banggakan itu akan habis begitu saja," kata Antung. (HD/L-2)

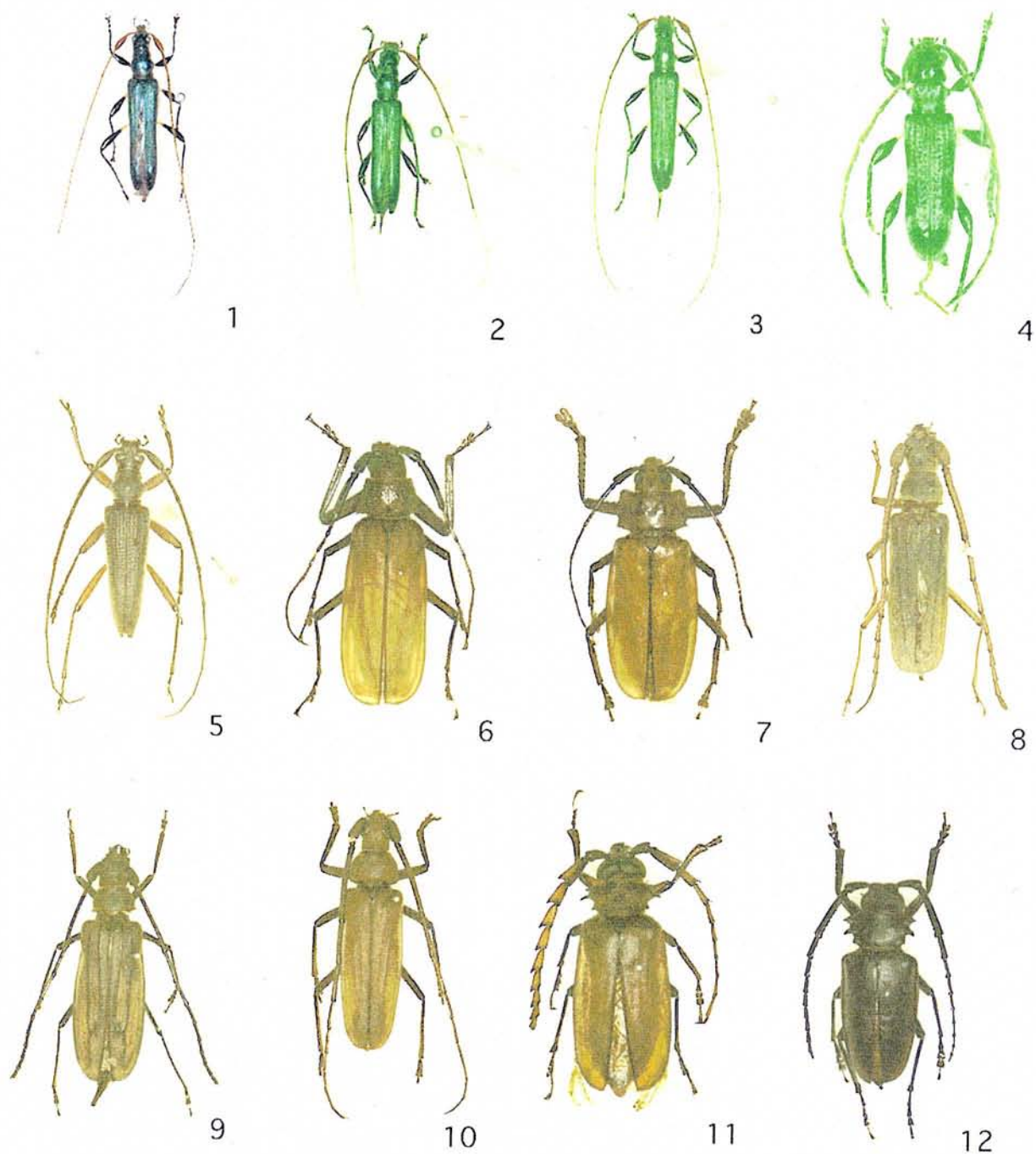
Last modified: 23/1/2003

資料 Atlas of Longicorn Beetles in Bukit Bangkirai Forest,
PT. Inhutani I, East Kalimantan, Indonesia

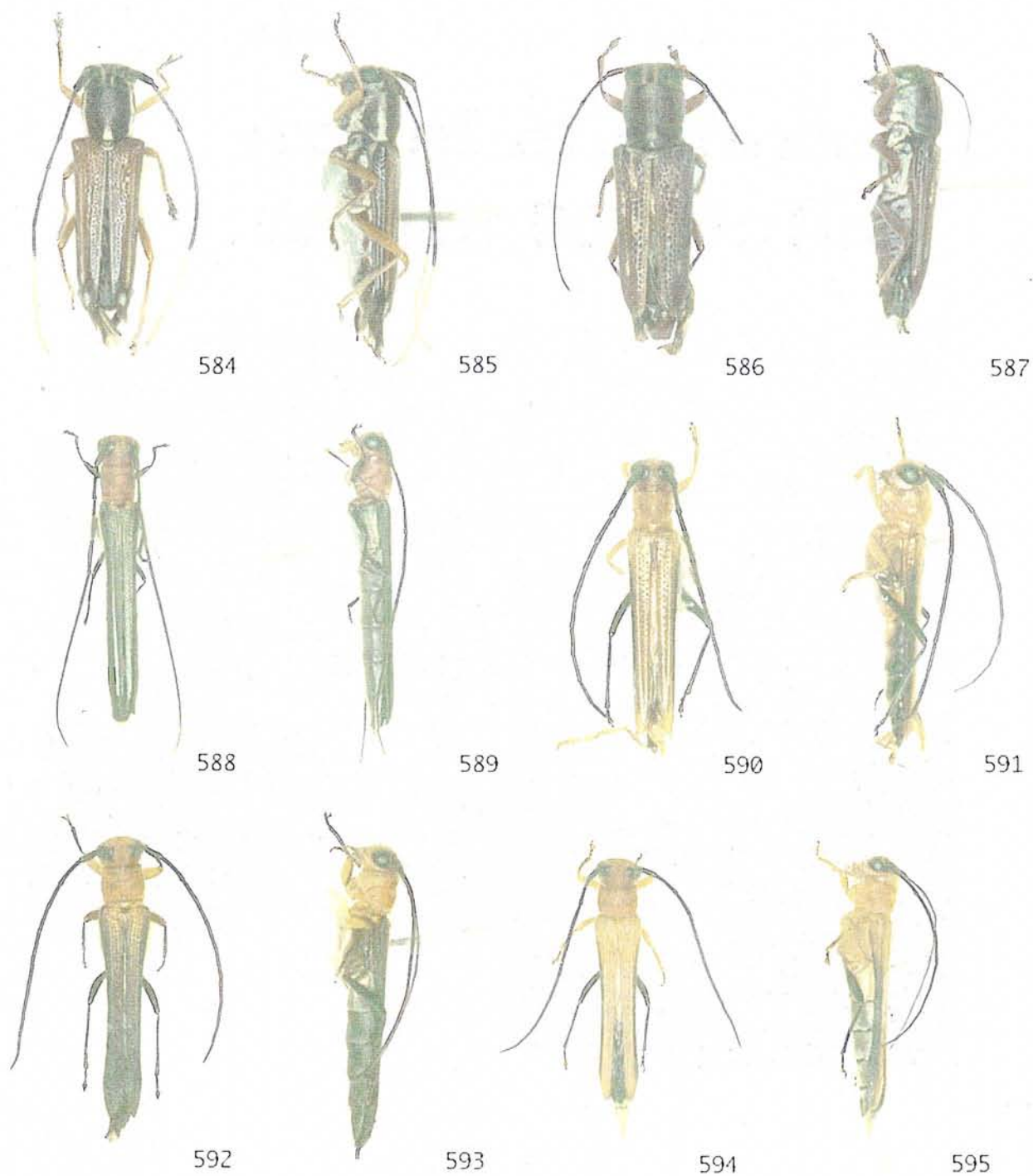


Epicedia trimaculata (Chevrolat)

(拔粹)



Pl.1: 1, *Noemia stevensi* Pascoe., ♂, 15mm; 2. *Noemia cupreoviridana* Hayashi, ♂, 11.9mm; 3. *Noemia flavicornis* Pascoe, ♂, 13.3mm; 4. *Nericonia trifasciata* Pascoe, ♂, 6.2mm; 5. *Distenia pryeri* Pascoe, ♂, 18.8mm; 6. *Bander pascoei* (Lansberge), ♂, 61mm; 7. *Rhaphipodus hopei* (Waterhouse), ♂, 54mm; 8. *Megopis* sp. affinis *M. bicoloripes* Ritsema, ♂, 23mm; 9. *Megopis lansbergei* Lameere, ♀, 33mm; 10. *Megopis marginalis* (Fabricius), ♂, 32mm; 11. *Priotyrannus (Cholides) megalopus* Bates, ♂, 32mm; 12. *Dorysthenes weyersi* (Lameere), ♂, 34mm.



Pl.50: 584. *Glenea (Glenea)* sp.20, ♂, 10.0mm; 585. ditto, lateral view; 586 *Glenea (Glenea)* sp.21, ♀, 10.6mm; 587. ditto, lateral view; 588. *Oberea rubetra* Pascoe, ♂, 16mm; 589. ditto, lateral view; 590. *Oberea* sp.1, ♀, 15.0mm 591. ditto, lateral view; 592. *Oberea* sp.2, ♀, 15.4mm; 593. ditto, lateral view; 594. *Oberea curialis* Pascoe, ♀, 17.4mm; 595. ditto, lateral view.

Pemulihan hutan butuh 250 tahun

BOGOR — Hutan di Indonesia mengalami kepunahan yang telah mereduksi hampir 80% kebakaran hutan. Kegiatan tersebut berupa hilangnya kebakaran hutan, seperti sumber perantara, berbagai metode dan masalah ekologi. Sementara itu untuk menyertai (mengembangkan) ke kondusifitas memelihara 200-250 tahun.

Sungai hutan Indonesia yang memiliki hutan hujan tropis harus menghadapi kebakaran. Kalau tidak ada asal sumbernya hutan jenis ini jelas tidak mungkin, tetapi kalau akibat kebakaran hutan menjadi daerah perbukitan, pengusahaan hutan yang sejenis itu itu dipasihkan menjadi penyebab kebakaran hutan selama ini.

Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Hayati Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Dr. Endang Sukarno, usai pembukaan simposium tentang kebakaran hutan dan dampaknya terhadap keberagaman hayati dan ekosistem, Rabu (22/1), mengungkapkan seharusnya kebakaran hutan di Indonesia tidak mungkin terjadi.

"Selama ini hutan hanya dianggap sebagai komoditas yang dilihat dari usahanya saja. Padahal di balik itu hutan merupakan 'emas hijau' yang nilainya lebih besar ketimbang kopi. Tapi dibanding dijual harganya saja. Hutan itu banyak mengandung jasa-jasa yang tidak ternilai harganya," tegas Endang.

Menurut dia, kerugian yang diakibatkan oleh kebakaran hutan mencapai 80 persen, belum termasuk kerugian akibat kehilangan metode yang sangat penting bagi kehidupan ekosistem di hutan itu dan bagi kehidupan manusia itu sendiri. Karena itu, penanganan hutan harus sangat berhati-hati tidak menimbulkan kebakaran hutan.

Berdasarkan hasil penelitian kerjasama LIPI dengan NIES (juga Lembaga Studi Lingkungan Nasional Jepang) dibawah Kementerian Lingkungan Jepang, di bekas area kebakaran hutan Bangkok pada 2001, ditemukan 583 jenis tumbuhan tingkat tinggi, termasuk 12 jenis tingkat dep dan jenis berakut dan 87 jenis ceko-cekuan.

Selain itu, ditemukan 230 jenis Lycopodium kecil. Jumlah ini sebanding dengan 75 persen dari seluruh keanekaragaman jenis dalam kelompok yang sama di daerah bergaris utara Texas Amerika. Dalam penelitian ini juga ditemukan 100 jenis baru. Penemuan ini, jelas Endang, menunjukkan betapa sedikitnya pengetahuan kita mengenai tumbuhan beranggu.

Dalam satu hektar petak penelitian di hutan hujan kawasan ini, terdapat 250 jenis pohon yang berdiameter batang setinggi dada lebih besar dari 5 sentimeter. Jumlah ini lebih banyak dari yang ditemukan di hutan Amazon yang hanya sekitar 80-100 jenis," tegas Deputi Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI itu.

Ketika LIPI Prof. Dr. Umar Anggoro Joste menambahkan kebakaran hutan yang terjadi di Indonesia, bukan hanya kerugian dari segi fisik pohon, tetapi yang lebih penting adalah kehilangan flora fauna dan mikro organisme yang ada di dalamnya. Karena itu, sangatlah disayangkan bila di masa mendatang akan terjadi lagi kebakaran.

Untuk itu, Endang Umar, LIPI memiliki tanggungjawab terhadap pemerintah dan stakeholder untuk memberikan masukan bagaimana menangani kebakaran. Paling tidak, di masa depan pemerintah harus mengesampingkan urusan pengalihan hutan termasuk penerangan konversi hutan ke bidang lain.

Karena itu, komposisi kerjasama LIPI-NIES ini akan memberikan rekomendasi kepada pemerintah dan stakeholder bagaimana mencegah kebakaran hutan di masa-masa depan. Sedangkan, pemerintah dapat menang dari hasil penelitian tersebut. Mulai sekarang jangan ada lagi pembuangan hutan. (cny)

Daily TERBIT: Thursday 23 January 2003

記事名：森林の回復は250年を要する

Kebakaran Hutan Turunkan Kualitas Lingkungan dan Nilai Ekonomi

KEBakaran hutan yang melanda kawasan hutan di Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan, telah menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan nilai ekonomi kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya pencemaran udara yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat di sekitar lokasi kebakaran.

Terjadinya banjir di kawasan tersebut akibat hujan deras yang mengguyur kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan lahan pertanian dan perikanan di kawasan tersebut. Akibatnya, produksi pertanian dan perikanan di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan infrastruktur di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan di kawasan tersebut. Akibatnya, kualitas lingkungan di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan ekonomi di kawasan tersebut. Akibatnya, nilai ekonomi di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan sosial di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan sosial di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan budaya di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan kesehatan di kawasan tersebut. Akibatnya, kesehatan masyarakat di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan pendidikan di kawasan tersebut. Akibatnya, kualitas pendidikan di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan politik di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan politik di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan hukum di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan hukum di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan agama di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan seni di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan seni di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan olahraga di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan olahraga di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan sains di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan sains di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan teknologi di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan teknologi di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan komunikasi di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan transportasi di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan transportasi di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan energi di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan energi di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan ekonomi di kawasan tersebut. Akibatnya, nilai ekonomi di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan sosial di kawasan tersebut. Akibatnya, kehidupan sosial di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Menyebabkan terjadinya kerusakan budaya di kawasan tersebut.

Menyebabkan terjadinya kerusakan kesehatan di kawasan tersebut. Akibatnya, kesehatan masyarakat di kawasan tersebut mengalami penurunan.

Daily Suara Pembaruan: Thursday 23 January 2003

記事名：森林火災は森林環境を劣化し経済的な価値も低下させる

Areal HPH Telantar Jadi Sasaran Pembakaran Hutan

Jakarta, KOMPAS — Areal yang pernah dibiarkan dengan pola HPH (Sistem Pengusahaan Hutan) kini banyak dibiarkan telantar. Kawasan yang pernah dikelola telah dibiarkan tak terurus dan hanya dibiarkan oleh alam. Jumlahnya diperkirakan lebih dari 10 juta hektar. Lahan telantar ini banyak dimanfaatkan masyarakat dan mereka membuka lahan dengan cara membakar.

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan, lahan telantar dibiarkan dan diserahkan kepada masyarakat Desa dan Kelurahan. Namun, hingga kini, proses pengalihan itu belum juga dilaksanakan. Masyarakat di lapangan menunjukkan, banyak kebakaran hutan dan lahan yang merambat. Hal ini terjadi di lahan HPH yang telantar. Saat ini, lahan HPH yang telah dibiarkan oleh pemerintah banyak yang dimanfaatkan.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta. Hidayat mengatakan, lahan HPH yang dibiarkan oleh pemerintah banyak yang dimanfaatkan masyarakat. Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Masyarakat membuka lahan-lahan hutan memanfaatkan lahan-lahan telantar dengan cara membakar. Hal ini dilakukan oleh masyarakat di Desa dan Kelurahan.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Kebakaran hutan
Kebakaran hutan yang terjadi di kawasan HPH yang dibiarkan oleh pemerintah banyak yang dimanfaatkan masyarakat. Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Hal ini, pemerintah hutan HPH dapat dikembalikan ke pesisir atau pembakaran hutan dan penanaman baru dapat dilakukan. Demikian disampaikan Asisten Deputi Menteri Kehutanan Kementerian Lingkungan Hidup, Adhany Hidayat kepada wartawan di Jakarta.

Daily KOMPAS: Friday 24 January 2003
記事名: 林業放棄地は森林火災に最も脆弱であった

Wabiyarat mesti cegah kebakaran

BOGOR (6 Jan) - Masyarakat Indonesia dituntut untuk mempersiapkan diri menghadapi ancaman kebakaran hutan yang semakin meningkat. Hal ini mengingat hutan yang terbakar akan berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Menurut Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Djoko Seto, kebakaran hutan menimbulkan ancaman bagi masyarakat karena asap yang dihasilkan dapat mengganggu kesehatan manusia. Selain itu, kebakaran hutan juga dapat menimbulkan banjir bandang.

Menyikapi ancaman kebakaran hutan, LIPI telah melakukan penelitian untuk mengetahui penyebab kebakaran hutan. Menurut Djoko Seto, kebakaran hutan dapat disebabkan oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam meliputi petir, sedangkan faktor manusia meliputi pembukaan lahan untuk pertanian dan perkebunan.

Djoko Seto mengatakan hutan sebagai sumber air hujan memiliki peran yang sangat penting dalam siklus hidrologi. Apabila hutan terbakar, maka akan mengganggu siklus hidrologi tersebut. Akibatnya, akan terjadi banjir bandang di daerah hilir. Selain itu, kebakaran hutan juga dapat menimbulkan asap yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Daily Bisnis Indonesia: Friday 24 January 2003

記事名 : 人々は森林を火災から守ることが必要だ