

東カリマンタンの異常乾燥と大森林火災

森 徳典・藤間 剛・楨原 寛

1997年8～10月にかけて発生したインドネシア、とくにスマトラ、カリマンタンの森林火災は、濃い煙霧を両島のみならず、近隣のシンガポール、マレーシアにもたらし、国際的な問題となったことでよく知られている。このときに焼失した森林は、インドネシア全土で約26万7千haであったと報告されている。そのうち東カリマンタン州の森林被災面積は約2万1千haであった。その後、11月、12月の降雨で一旦沈静化した森林火災も、1998年1月から4月の中旬にかけて厳しい乾燥が続いたボルネオ島東部で再発し、とくに東カリマンタンでは、この間だけで約50万haの森林が焼失したと、東カリマンタン州林業局は報告している。

1998年は東カリマンタン州以外の地域は、通常の雨季に入っており、大きな火災は起こっていない。したがって、この森林火災が、東カリマンタン州でいかに密度高く、広範囲に起こったかがわかる。ここでの被災面積は、林業省が森林と定める土地の面積で、実際には、このほかに多数見られる焼き畑跡の低木二次林及び草原などの火災は含まれていない(宮川 1998)。さらに、産業造林用及びオイルパーム園などの大規模農園造成用の地拵え火入れ、それに農民の焼き畑のための火入れが加わる。

衛星を使った Hot Spot データの地図から判断すると、火災の多く見られた場所は、東カリマンタン州の雨量が2,300mm前後以下の地域(Balikpapan以北～Bulungan 県 Tanjung Selor 以南の平地～低丘陵地、約500万ha)で、特に Kutai, Berau 両県の海岸から100km強の間に集中していた。Kutai 県を南北に縦断する海岸沿いの国道からは、家屋周囲と農地以外の土地の9割に火が入ったように観察された。

MORI, Tokunori, TOMA, Takeshi, & MAKIHARA, Hiroshi: Severe Drought and Great Forest Fire of East Kalimantan 1997～98
JICA 熱帯降雨林研究計画プロジェクト派遣専門家

過去の大森林火災としては、1982～83年のカリマンタンの火災がよく知られている。このときの焼失面積は東カリマンタン州だけで、3.5百万 ha といわれている (TAGAWA *et al.* 1988; MACKINNON *et al.* 1996)。今後衛星写真などから広域の被害面積が正確に測定されると思うが、上述の観察及びこの15年間の森林面積の減少を考慮すると、今回の火災面積も1982～83年に匹敵する程度の焼失面積になるものと予想する。

ここでは、JICAの熱帯降雨林研究計画プロジェクトチームが、研究の場としている Bukit Soeharto 演習林 (Balikpapan と Samarinda の中間、以下 BS 演習林と略す) で観察した森林火災の実態と、その被害及び生態系回復過程の開始 (1998年6月現在) について述べる。そのほか、たまたま視察する機会があった Bontang の北西部に広がる Kutai 国立公園 (約20万 ha の天然林からなる自然公園) とその周辺の生産林 (伐採事業地、産業造林地) での火災被害について、補足的に述べる。これらの地域での火災は、平地の熱帯雨林及び植栽林での地表火による火災で、これとは火災形態の違う泥炭湿地林の火災については別に譲る。

森林火災 (以下断らない限り地表火) が発生するには、①可燃物、②その着火性及び可燃性、③火元の3つの条件が揃うことが必要である。一般に、明確な乾季のない熱帯降雨林では、可燃物である落葉落枝は分解が早く、集積が少ない上に、林床は湿潤であるために、大規模な森林火災は生じないとされてきた。東カリマンタンの平地林は年間雨量が2,000 mm 強で、月降雨量が100 mm を下回るような明瞭な乾燥月が毎年決まって出現することの少ない、熱帯降雨林に分類されている。そのような森林でどうして大火災が発生するかについて考察した。また、火元については、人為によるものが大多数であるが、それらについてはよく知られているので、ここでは、東カリマンタン州 Kutai 県に多い、地表近くに埋没している燃焼石炭層からの自然着火について述べる。

異常乾燥

東カリマンタン州は1997年6月から10月にかけてと、1998年1月から4月にかけて、エルニーニョ南方振動現象 (以下 ENSO と略す) に基づくと言われる異常乾燥に襲われた。BS 演習林におけるこの間の雨量は、それ以前10年間の平均雨量の6～10月は4割弱、11、12の両月こそ平年並みの雨量を記録したが、その後再び乾燥し、1月～4月中旬までの3か月半は全くの無降雨であった。(図1)。例年なら1～4月は雨季で月200 mm 前後の雨量があるのが、今年

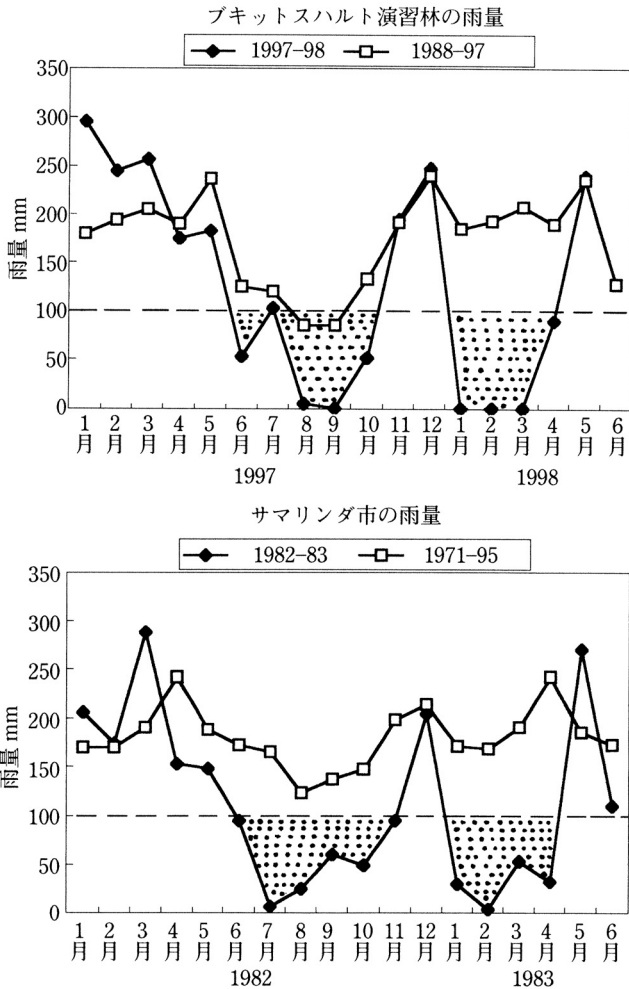


図 1 1982～83年（サマリダ）と1997～98年（BS演習林）の雨量

に限っては100日以上無降雨という厳しい乾燥が続いた。乾燥の強さの一例をあげると、2～3月の森林内土壌水分ポテンシャル（10～60 cm 深）の範囲は、例年なら0～15KPaであるのが、1998年は66～68 KPaの範囲で（ISHIDA 1998）、林内でも土埃が立つほど乾いていた。

このような異常な乾燥は1982～83年にも記録されている。その年のサマリダ市における降雨量と今年のBS演習林におけるそれは酷似していた。この15年間には今回より程度の軽い乾燥が1987, 1991, 1994年に記録されている。また、1940年から1990年までの50年間

の降雨記録の解析では、11回の乾燥年があり、そのうちの10回はENSO時に起きている（GOLDAMMER & SEIBERT 1990）。この期間で最悪の乾燥年は1941～42, 1972, 1982～83年に生じたという。このようにインドネシアの異常乾燥は、ENSOと強い結びつきがあり、それが強い年には、昔から厳しい早魃が東カリマンタンを襲っていたようである。

このような乾燥期に、樹木はどのように反応するかというと、多くの場合、フタバガキなどの樹木の一斉開花がみられ（1987, 91, 94, 97年：KIYONO & HASTANIAH 1997；KIYONO 1998）、さらに乾燥が進むと光合成活動などが低下（約30%）し、着葉量の減少が起こる。*Macaranga conifera* では、1996年12月には葉面積指数が5.1であったのが、1998年2月にはたったの2.3と半分以下に減少していた（ISHIDA 1998）。このことは天然林の落葉量の季節変化を調べた結果でも見られ、乾燥が1か月以上続くと落葉量が平時の2～6倍に増えた（TANAKA 1998）。*Acacia mangium* の人工林で調べた例でも、最多落葉時期が天然林より2週間ほど早かった外は、ほぼ同様の傾向を示した。従って乾燥が続くと、林床の可燃物の量が著しく増加することを示している。地表火は落葉・落枝>草本>低木>高木の順に可燃性が高く、高木の樹冠が燃えることは滅多にない。

可燃物がいくら増えても、それが湿潤で、着火性・可燃性が低ければ、火災にはならない。ほとんどの天然林の火災は、1998年冬～春の乾燥期にのみ生じている。1997年の夏～秋には、天然林や林冠が十分に閉鎖した林分の林床は、まだ比較的湿った水分環境にあったと考えられる。ところが、1998年の乾燥期には、雨が一滴も降らなくて、天然林でもかなり乾いた状態にあった上に、落葉も2度の乾燥でより集積していたので、より広範囲の森林に火災が発生したと考える。このことは、あとで述べる Kutai 国立公園での火災の発生実態をも説明するであろう。また、火災後には平時の約10倍量の落葉が枯死木から生じ（TANAKA 1998）、この落葉や枯れ木が可燃物となって2度目の火災が起きた。

火元と石炭火

前に述べたように、東カリマンタンは今世紀になってからでも、何度か厳しい乾燥に襲われたと推定されているのに、100万haを越えるような大火災の記録は1982～83年と多分今回しかない。これは可燃物やその可燃性にあるのではなく、火元の分布範囲の広さに起因していると考えられる。インドネシアの森林火災の火元は、よく知られているように、火入れ地拵え（焼き畑、産業造林及び大規模農園開発）の火が多いと言われている。東カリマンタンでは、1970年の森林コンセッションの数は13で、その面積は200万haに満たないほどであった。ところが70年代の10年間に、それは急速に増加し、1980年にはコンセッション数が100、面積が1千万haに達するほどになった。その後今日まで、この規模はほぼ維持されている。また、東カリマンタンへの移民政策もほ

ぼ同時期に始まり、その面積は年々広がっている。このような背景にあるために、1970年代以前と以降では、火元となる火の分布範囲が全く違っている。これが広範囲の火災を同時多発的に起こした原因であると考えられる。ここではこのような人為による火元については、これまでの報告 (MACKINNON 1996; 宮川 1998) に譲るとして、東カリマンタンの低地林に多く見られる石炭火について説明する。

東カリマンタン州 Kutai 県の海岸丘陵地帯 (約 50 km 幅) には、石炭が豊富に埋蔵されている。特に地表近く埋蔵されている薄い石炭層 (厚さ 2~3 m 以内) は、非常に広範囲に分布している。BS 演習林では、地図 (図 2) の林道 Ibu 1 から Enggang に沿った地域に集中して出現する。石炭層が露出しているところは、谷の河床、河岸及び傾斜地の崩壊地に多い。露出石炭に一旦火が着くと、普通の雨では消えない。燃焼面の石炭が燃えつきると、上部の土層が崩れ落ち、その先の石炭層に燃焼面が進み、何年にもわたって燃え続ける (図 3)。燃えた跡には陥没ができ、そこには煉瓦状に焼けた土が残る。これは baked mudstone と呼ばれ、Kutai 県の各地で見いだされ、道路の敷石に砂利の代わりに使われている。今は燃え尽きている場所からも、baked mudstone は発見されており、古代からこの地域には石炭火があったと推測されている (GOLDAMMER & SEIBERT 1990)。石炭火の中には、地中火となっているものもある (図 3 下)。

こうした火から、周りの草木や倒木、落葉に着火した山火事は、1997 年の秋に BS 演習林で起こり、約 1 ha の新植地を焼いた。東カリマンタン州の森林では、このような石炭火による火災も無視できない。着火して間もなく、石炭層の表面だけが燃焼している場合は、燃焼面をかき取り水に浸すことで消火できる。また、ある程度小規模のものは、燃焼石炭層の周りに堤を築いて、水を張り、水漬けにすると比較的消えやすい。しかし、大規模なもの、地中燃焼のものは、消火は非常に難しい。現状では、周囲の可燃物を定期的に除去することしか有効な防火手段はない (写真 1)。

森林火災の実態

以上述べてきたことから、出火に必要な要件、可燃物の集積、その着火性・可燃性、そして広範囲な火元と三つの条件が重なって、大面積の火災が起こったことを理解していただけたと思う。それでは、その火災の実態について、BS 演習林を中心に述べる。

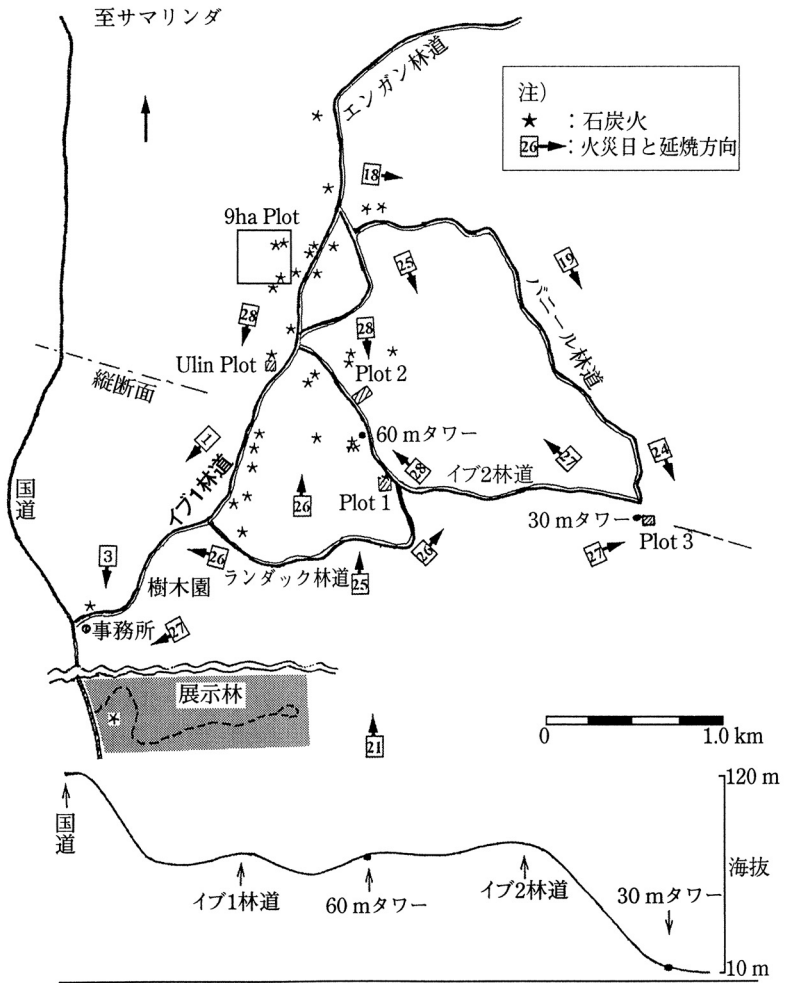
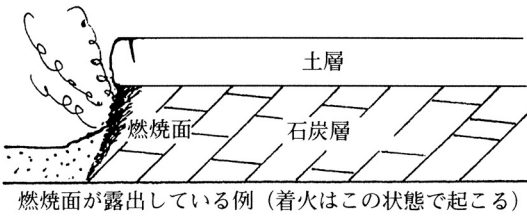
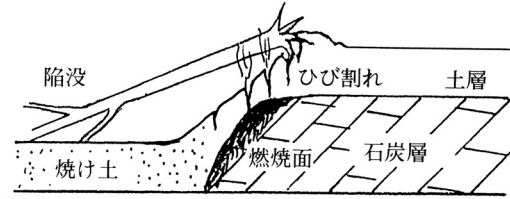


図 2 プキットスハルト演習林の火災と石炭火
火災日は2月18日から3月3日までを表示

1997年夏～秋のBS演習林周辺の火災は、主に草原や焼き畑放棄跡の低木林で起こり、高木林が燃えることは非常に少なかった。Kutai 国立公園でも、1997年の乾燥期には、国道より東側の海岸よりの集落地付近で、焼き畑からの延焼と思われる二次林の火災が数百 ha あったに過ぎなかった。ところが1998年の2,3月になると、国道の西側の天然林地帯に火災が発生し、全公園面積 20



燃焼面が露出している例（着火はこの状態で起こる）



燃焼面が地中に埋もれている例

図3 石炭層燃焼の模式図
(上：半地下燃焼，下：地中燃焼)

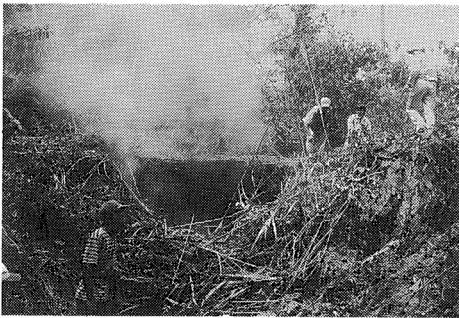


写真1 石炭火の付近の清掃作業
(手前が陥没した地形：図3参照)

地図を子細に見るとわかるように、林道は一応防火帯の役割を果たしていた。しかし、林道に沿って燃え広がった火が、どこか一箇所でも強風や倒木によって、林道を越えて向かい側の林分に燃え移ると、その林分全体に燃え広がってしまった。風のない時は1mほどの幅で、草本、低木を刈り、落葉を掃除した防火帯でも、延焼をくい止めることができる。しかし、風が強いときには10m以上の防火帯でも軽々と越えて燃え広がる。火の手の前線が長くなる

万haの1/3が燃えたといわれている。2,3月になって、国道を越えて天然林部分に火が入ったのは、前述のように、落葉類の増加と水分低下による着火性・可燃性の増大によるところが大きいと考えられる。また、公園周辺の択伐事業地やA. mangiumなどの早生樹の産業造林地にも火災は広がった。BS国民森林公園の人工造林地もこの時期に燃えた。

BS演習林でも、激しい落葉が起こった2月中旬の直後の2月25日から3月3日の1週間の中に、演習林の主要活動部分である約2,500ha全域に地表火が入った(図2)。地図に示した矢印は燃焼方向を示し、火災は主として南と北方向から燃え広がった。このうち南の火元は演習林外の焼き畑等の火が火元と考えられ、北方向からの大部分は演習林内の石炭火が火元と考えられる。

前に消火しないと、消火は難しい。

また、以前はBS演習林内の燃焼石炭層は10箇所であったのが、この火災で約60箇所にも増えた(図2)。3月下旬から4月になると、これら石炭火や1983年以来の枯れ立木が今回の火災で多数倒れ、その倒木のくすぶり火が火元となり、火事後再び集積した落葉や枯葉を着けた低木類に着火した2度目の火災が所々で発生するようになった。2度焼けた天然林では、生残小径木や根株からの萌芽木はきわめて少なく、5,6年生の*A. mangium*人工林では、ほとんど全滅といってよい被害を受けた。

乾燥と火災被害

BS演習林の長期モニタリング箇所の火災被害は、4月時点での調査によると、10数年生と思われるマカラング林では、胸高直径10 cm以上の立木の27%が緑葉を着けていた。一方天然林プロットでは60%の木が緑葉を着けていた(藤間 1998)。森林の構造と火災被害の関係は、一般には、大径木が密に生え、林床植生が少なく、歩きやすいような良質の天然林では、火災被害が少ない。これは可燃物の量が少ない上に、林冠が閉じていることによる林床の高湿度環境、かつ樹皮が厚い大径木が多いということの結果であろう。一方、択伐されて樹冠層が破れ、生育層にある中小径木の多い林、下層植生が繁茂する林、つる類が多い二次林、乾燥に弱いマカラング林では、上記と反対の傾向にあるために、火災被害が大きかった。以上の結果は、1982~83年の大火災の際に観察された被害(TAGAWA *et al.* 1988)形態と同様であった。要約すると①火災被害は二次林で大きく、天然林で少ない。②火災被害は小径木に多く、大径木に少ないが、乾燥害はその逆である。

以上は一般的傾向で、詳細に見ると、同じ森林構造でも、場所によって被害の程度は異なる。前述のように、地表火の火勢は可燃物の量とその可燃性の高低で決まるので、たとえば、板根部に落葉などが堆積していると、火勢が強く、大径木でも枯れる。逆に、中小径木でも、傾斜の急なところで、落葉、下草などが少なければ、枯れるほどの被害を被らないこともある。同じ斜面で中小径木が多く生き残った場所は、土壌水分、林床湿度が高い窪地、小谷が多い。

人工林についてみると、胸高直径が数 cm 以下の若い林の植栽木はほとんどすべて枯れた(写真2)。地上部は枯れても、萌芽性の強い *Peronema canescens* などの樹種は根株萌芽する。*A. mangium* の人工造林地で調べた例では、胸高直径が約15 cm 以下の木はほぼ全部枯死し、20 cm 以上の大木は逆に生き残っ



写真 2 全枯れした 10 年生の *Shorea smithiana*

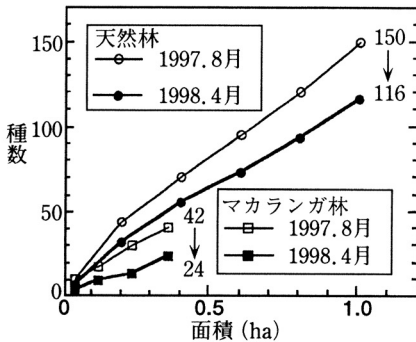


図 4 天然林とマカラング林の面積-種数曲線
白ぬき：火災前，黒ぬり：火災後

た。フタバガキ科樹種は概して火に弱い樹種が多いが、*Shorea roxburghii* は例外的に火に強く、住友林業が中心になって行っている Sebulu 実験林では、根元直径 1 cm 内外、苗高 50 cm 前後の植栽木の大半から根株萌芽をしていた。その外では *Cotylelobium lanceolatum* (*C. burckii*) の萌芽が焼け跡林で観察された。インドネシアに多く造林されている早世樹の中では、*Gmelina arborea* が耐火性が大きい。

森林火災は生物相に多大の影響を及ぼす。14, 5 年生と思われる *Macaranga gigantea* が主木の 2 次林と、70 年代の択伐後 1982 ~ 83 年の火災で軽度の被害を受けた天然林で、被災前後の胸高直径 10 cm 以上の木本植物の面積-種数曲線 (図 4) には、明らかな違いがあって、生存種数は 57 % と 77 % にそれぞれ減少していた (藤間 1998)。重度の被害を

受けた小径木や草本を加えると、もっと多くの種が枯死したはずである。小径木で生き残った樹種には、*Millettia sericea*, *Pternandra* spp., *Dillenia* spp., *Aporosa* spp., *Syzygium* spp. 等が比較的数多く見られた。

動物相に及ぼす影響も測りしれないのがあると予想される。とくに棲息場所と食物を奪われた地表棲息性の動物の被害が大きいと考えられる。高木樹冠層で昆虫相を観察した例では、火災時には、林床からの避難により一時的に種数が増えたという。このことは高木林は避難場所としても重要であることを意味している。また、一例であるが、1 月以来調査してきたカミキリムシ類は種類

数、頭数もともに激減した [図5 (槇原 1998)]。この図で、1月の種類数の減少（頭数も同じ傾向）は乾燥による影響である。乾燥と火事で葉が多量に落葉し、果実や種子生産量も皆無となった2～4月は、食葉性及び食果実性の動物類等は数を激減させたと思われる。こうした時、雑食性でない動物の被害はより大きくなるであろう。

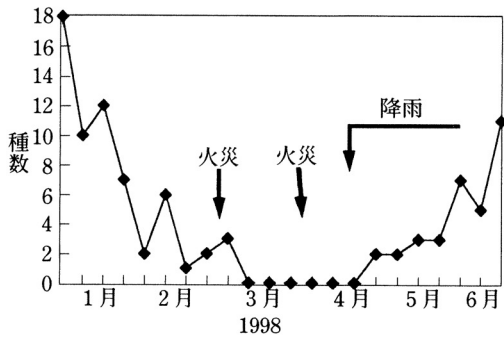


図5 フトカミキリ亜科の種数の変化

火災の被害は劇的であるので目立ちやすいが、それに比較すると乾燥の被害はゆっくりと進むので目立たない。しかし、今年の異常乾燥は動植物に相当に重度な被害をもたらしていることは、前述のカミキリムシの例 (図5) でもわかる。また、マカランガ類の枯死は乾燥と火事がほぼ同数であった (藤間 1998)。フタバガキ科樹種の開花結実観察木 (直径が最小 22 cm から

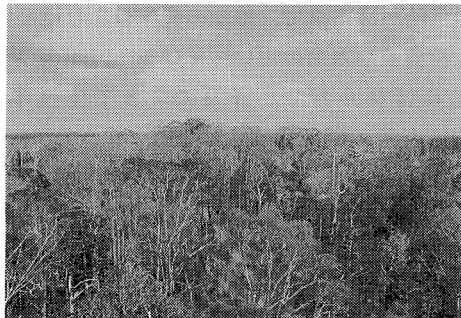


写真3 尾根筋の火災と乾燥で枯れた大径木 (右手手前の斜面下部がモニタリング調査の天然林)

最大 210 cm の範囲) 780 本中、4月時点での枯死率は7% (火災以前の5年間の平均は0.4%) で、そのうちの半数は火災前の乾燥による枯死と判定された (KIYONO 1998)。その後も一度芽吹いても、結局枯死する大木が多数観測され、乾燥と火災の相互的作用によると思われる大高木の枯死木が尾根筋に多数見られる (写真3)。

最後に6月時点における回復過程について述べる。BS 演習林では、4月の17日に今年初めての降雨が観測され、その後降雨は、やや少な目であったが、5月中旬頃からは平年並みに戻った。 *Millettia sericea* は火災後の萌芽性が極

端に強く、降雨前から萌芽を開始していたが、多くの樹種は降雨後に萌芽を開始した。その主なものとしては、*Pternandra* sp., *Eurycoma longifolia*, *Nauclea subdita*, *Crypteronia paniculata*, *Urophyllum* sp., *Aporusa* sp. 等が見られた。有用樹種では、*P. canescens*, *Eusideroxylon zwageri*, *Tectona grandis* 等が降雨後1か月もすると根株から萌芽を始め、*P. canescens* の萌芽はとくに盛んであった。前述の *Shorea roxburghii* も同様である。

また、降雨1か月過ぎから埋土種子 (seed bank) からの発芽も始まり、*Macaranga gigantea*, *M. triloba*, *Homalanthus populneus*, *Trema orientalis*, *Leea indica*, *Glochidion* sp., *A. mangium* などの先駆性木本樹種及び低地では草本の *Scleria purpurascens* が、明るい林床に多数発芽しているのが観察された。降雨1.5か月後の天然林内では、*M. gigantea*, *H. populneus* が散見される程度で、その他の高木種の稚樹は見られない。フタバガキ科樹種は12月頃一斉に開花していたが、落下種子は乾燥と火災で枯死してしまったので、新たな種子の供給があるまで、稚樹の発生はあり得ない。このように土中に埋蔵されない大粒種子や寿命の短い種子は seed bank を形成しないので、次の結実時まで待たねばならない。降雨によって生残木は新芽を伸ばし始め、*Schima wallichii* 等の開花もぼつぼつ見られるようになってきた。なお、燃えて明るくなった林床には、チガヤ (*Imperata cylindrica*) も盛んに侵入し始めている。

降雨とともに動物相も回復過程に入り、サルなど獣類も帰ってきた。カミキリムシの頭数、種数は1.5か月でほぼ降雨停止半月後の状態にまで回復した(図5)。また、新芽の伸長とともに、それを食する食葉虫が急速に増加し、その糞が林床に多数落下している。これは多分天敵となる生物の数がまだ平常レベルまで回復していないためであろう。動物類は火事前の生息数がカミキリムシ以外はわかっていないので、どれだけの被害があり、どれだけの回復があるかは、残念ながら不明である。

まとめ

東カリマンタン州は1940年からだけでも、重度の旱魃が3回(1941~42, 1971, 1982~83)、それ以前には、1878年と1914年が知られている(GOLDAMMER & SEIBERT 1990)。しかし、百万 ha に及ぶような大面積の森林火災の記録は1982~83年しかない。それ以前の乾燥年にある程度の森林火災があったことは推測されているが、Kutai 地方のほとんどの平地林が被害を被るような大火災は生じたことはなかったと思われる。仮にこれらの乾燥年ごとに

火災があったとすれば、直径1 m以上、樹高50~60 mの巨大高木が上層林冠を形成する林分が成立する時間的余裕はないであろう。少なくとも1970年代までは、典型的な低地熱帯降雨林が残っていたということは、そのことを裏付けている。近年になってこのような大火災が発生するようになったのは、なんと言っても、火元となる人間活動の範囲と密度が格段に広がったことによるといえる。このことはここ10年間のインドネシアの森林火災面積が、年による増減はあるものの、全体としては増加傾向にあること [宮川 (1998) 参照] から判断される。

現在の林分は1982~83年の大森林火災被害を受けてからまだ15年しか経過してなく、森林の回復が不十分な段階にあった（大中径木が少なく、小径木が多い）と考えられるので、今回の火災による森林被害程度は全体として前回よりも大きくなると予想される。そして、今後も短い間隔で大火災の発生が繰り返されるとすると、森林の構造と種構成に大きなひずみをもたらすであろう。すなわち、森林全体が小型化し、中小径木が多くなり、火災にますます弱い構造の林になっていくことが考えられる。また、火災に強い樹種に富んだ種構成に速やかに変化していくことも予想される。この状態が進むと、数年ごとに焼けることが多い集落周辺の焼き畑跡の放棄低木二次林に似た林になっていくことが予想される。これは種の宝庫といわれる熱帯降雨林そのものの消滅に結びつくので、人為による森林火災は人智でもって防ぐ必要がある。

[文献] 1) GOLDAMMER, J.G. & SEIBERT, B. (1990) Impact of drought and forest fires on tropical lowland rain forest of East Kalimantan. In *Fire in the Tropical Biota*. 11~31, Springer-Verlag 2) ISHIDA, A. (1998) Influence of severe drought on the leaf gas exchange and the canopy structure of a tropical pioneer tree, *Macaranga conifera*. Unpublished data 3) KIYONO, Y. (1998) Flowering and fruiting of dipterocarp in the Bukit Soeharto forest, East Kalimantan, Indonesia. Unpublished data 4) KIYONO, Y. & HASTANIAH (1997) Slash and burn agriculture and succeeding vegetation in East Kalimantan. 177 pp., PUSREHUT Special Publication No. 6 5) MACKINNON, K. *et al.* (1996) Ecology on Kalimantan. 802 pp., Periplus Editions (HK) 6) MAKIHARA, H. (1998) Unpublished data 7) TAGAWA, H. *et al.* (1988) Changes of vegetation in Kutai national park, East Kalimantan. 南方海域調査研究報告 14: 12~21, 鹿児島大学南方海域研究センター 8) TANAKA, N. (1998) Monitoring of small litter fall and litter decomposition at natural and plantation forest in the Bukit Soeharto forest. Unpublished data 9) 宮川秀樹 (1998) インドネシアの大森林火災と煙害について. 山林 2月号, 64~70 10) 藤間 剛 (1998) ボルネオ東部の異常乾燥と森林火災. 熱帯生態学会 1998