

## リモートセンシングと GIS を利用したインドネシア 東カリマンタン森林火災の被害評価

山口 綱士\*1,\*2・露 木 聡\*1

### Assessment of Forest Fire in East Kalimantan, Indonesia, Based on Remote Sensing and GIS

Tsunashi YAMAGUCHI\*1,\*2 and Satoshi TSUYUKI\*1

#### I. 研究の背景と目的

1997 年半ばから 1998 年始めにかけて、インドネシア東カリマンタン州はエルニーニョ南方振動 (ENSO) 現象の影響とみられる異常乾燥に襲われた。異常乾燥は 1997 年 6 月～10 月、1998 年 1 月～4 月の 2 時期において発生した。図-1 に、インドネシア東カリマンタン州 (観測地: ムラワルマン大学ブキツスハルト演習林) における 1997 年 1 月～1998 年 6 月の降雨量を示す (TOMA *et al.*, 2000)。図-1 によると、1997 年 6 月～10 月、1998 年 1 月～4 月は平年 (1988～1997 年) よりも明らかに降雨量が少なく、特に 1998 年 1 月～3 月の 3 ヶ月間はまったく雨が降らなかったことがわかる。東カリマンタン州では、異常乾燥の第一期 (1997 年 6 月～

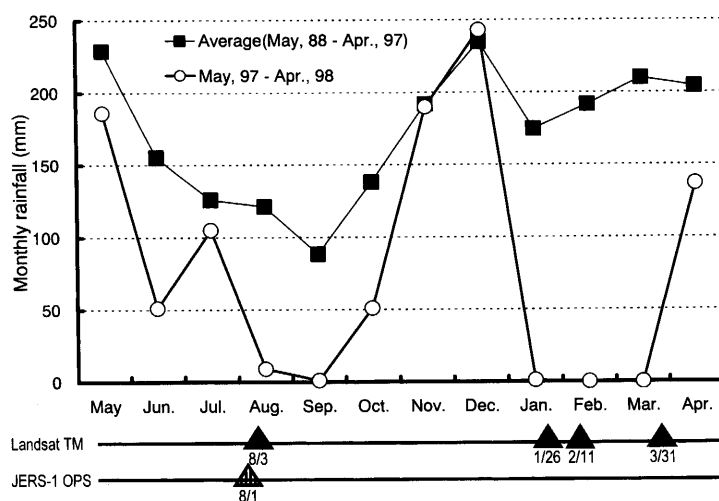


図-1 ブキツスハルト演習林における降水量

Fig. 1. Monthly rainfall at Bukit Soeharto Education Forest

\*1 東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻

\*1 Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

\*2 現在: 博報堂

\*2 Present Address: Hakuhodo Inc.

10月)・第二期(1998年1月~4月)に合わせて、2度の森林火災が発生した。異常乾燥の第一期に生じた森林火災は、シンガポールやマレーシアなど海を越えた近隣諸国に煙害を及ぼしたことで知られている。このときの森林火災による被災面積はインドネシア全土で約26万7千ha、そのうち東カリマンタン州における被災面積は約2万1千haであった(森ら、1998)。その後、森林火災はいったん沈静化へと向かったが、異常乾燥の第二期の発生とともに再発した。この2度目の森林火災は被害規模が非常に大きく、東カリマンタン州全体で約50万ha以上の森林が焼失したと報告されている(MORI, 2000)。

しかし、ここで伝えられている森林被災面積は、林業局管轄の土地において被災があったと正式に報告されたものに限られており、この時期に火災被害を受けた地域全体の面積を表しているわけではない。約52万haという森林火災面積のなかには、天然林のほか、二次林、造林地、草地化した森林地域における被災面積は含まれているが、このほかに多数みられる焼畑後の低木二次林および草原などで生じた火災による被災面積は含まれていないと考えられる。たとえば井上(1998)によれば、1997年10月までのインドネシア全体の火災面積を約91万haと推定している。また、ドイツGTZのIFFM(Integrated Forest Fires Management)プロジェクトが行ったERS-2 SARによる推定では、第二期の森林火災により東カリマンタン州全体で520万haの土地が影響を受け、そのうち430万haが何らかの森林地域であったとしている(GOLDAMMER, 2000)。このように、1997~1998年の東カリマンタン州において発生した森林火災による実際の被災面積は、「森林」をどのように定義するかによりさまざまに異なっている。

このような大規模森林火災の全体像を把握するには、広範囲の時系列観測が可能な衛星リモートセンシング技術を用いるほかに方法がない。そのため、観測頻度の多いNOAA AVHRRにより火災地点を検出する試みが、特に雲被覆が多く地表面を完全に観測できるチャンスの少ない低緯度地方において、多数なされてきている(KANTら、2000; FANGら、1998; LIら、2000)。最近では、NOAA AVHRRなどを利用したリアルタイムあるいは準リアルタイムの森林火災検出が、フライブルグ大学に設置されているGlobal Fire Monitoring Center(GFMC)や農林水産省ANDESで行われている。しかし、NOAA AVHRRデータは解像度が約1kmであるため、詳細な火災地域の把握には適当ではない。一方SIEGERTら(2000)は、東カリマンタンにおいてERS-2 SARデータとNOAA AVHRRにより得られたホットスポット(火災地点)データを重ね合わせることで、おおまかな植生タイプ別の被害面積の把握を行っている。ERS-2 SARは雲を透過するタイプのマイクロ波センサであり、低緯度地方の森林火災モニタリングに対して有効なセンサであるが、画像処理の過程でフィルタリングの処理により平滑化され見かけの解像度が低下すること、抽出可能な土地被覆情報が可視反射赤外センサに比べると限られることなどの限界があると考えられる。また、各地で作成されている森林火災の危険度マップやハザードマップを高精度化するためには、実際に発生した森林火災と土地利用や土地条件などとの関係を明らかにしておく必要がある。

そこで本論は、まず衛星リモートセンシング技術を利用することで、1997年から1998年にかけてインドネシア東カリマンタン州で発生した森林火災の被害地域を面的に把握するとともに、衛星リモートセンシングデータから作成した土地被覆図や森林火災被害図をGIS上においてその他の地理情報データと組み合わせることにより、地上観測だけでは把握・評価することができない森林火災の特徴を探り、現地の地理条件や人的要素を考え合わせた森林火災被害の評価、火

災後における植生回復過程のモニタリングを行うことを目的とした。

なお、本論の画像処理およびGIS解析には、合衆国MicroImages社のTNT mips ver. 5.8～6.2を使用した。

## II. 対象地と使用データ

### II.1 研究対象地の概要

本論の研究対象地として、インドネシア東カリマンタン州の主要都市バリクパパンから州都サマリンドを結ぶ国道沿いにあるムラワルマン大学ブキットスハルト演習林(Bukit Soeharto Education Forest, 以下演習林またはBSEF)およびその周辺地域(南緯 $0^{\circ}45''\sim 1^{\circ}15''$ , 東経 $116^{\circ}40''\sim 117^{\circ}15''$ , 面積約24.1万ha)を選定した(図-2)。この研究対象地は、1997年から1998年にかけての異常乾燥と森林火災により深刻な植生被害を受けた地域である。

また、この研究対象地にはワイン川流域保護林(Sungai Wain Protection Forest, 以下保護林またはSWPF)も含まれている。SWPFは1934年にクタイ王朝により、1983年にはインドネ

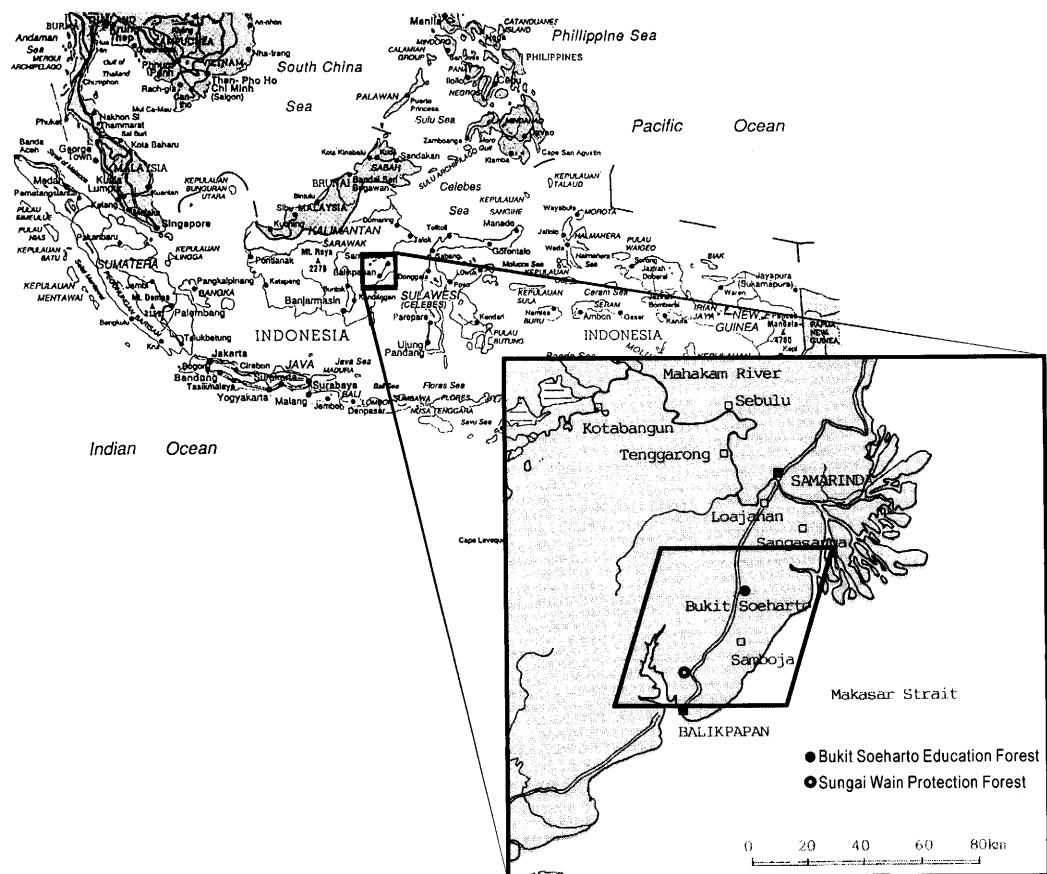


図-2 研究対象地

Fig. 2. Study site

シア林業省制令により指定された面積 10,025 ha の保護林であり、植生管理と保全が比較的行われていると考えられる地域である。保護林内にはオランウータンのリハビリテーション施設も設置されており、植生の保護にも配慮しているようすがうかがえる。1996 年の時点では約 5,000 ha の原生林が残されていたが、1997～1998 年の異常乾燥・森林火災により保護林の半分以上に火災が入り、原生林は約 1,500 ha の被害を受けたとされている (SUKMAJAYA, 1999)。しかし SWPF は、深刻な火災被害を受けた研究対象地のなかで比較的本来の植生状態を保っている貴重な地域となっている。

ここで、ブキツスハルト演習林における、1997～1998 年の森林火災による植生被害の概要を述べる。まず、1997 年以前の演習林は、1983 年の森林火災被害を免れた低地フタバガキ林 (林冠高 45 m 以上) が残存している一方で、火災後に成立した先駆性オオバギ属樹木が優占する二次林 (林冠高 20 m) がパッチ上に混在しているという植生状態であった。1997～1998 年の森林火災のうち、異常乾燥第一期に生じた森林火災では、おもに草原や焼畑放棄跡の低木林が燃えただけにとどまり、演習林内の高木林における火災被害は比較的小さいものであった。異常乾燥第二期に起こった森林火災では、2 月 25 日から 3 月 3 日の約 1 週間のあいだに演習林の主要活動部分である約 2,500 ha 全域に地表火が入った。その時期は 2 月中旬の落葉の時期に重なったこともあり林床に可燃物が豊富に蓄積されていた。地表火は林床の落ち葉や枝を焼き尽くし、小径木を中心に多くの樹木が枯死した (森ら, 1998)。

一般に、地表火による火災は林床の可燃物の大半が燃え尽きると沈静化するため、一度の地表火により大径木など森林の地上部が燃え尽くされることはない。演習林でも落ち葉や下層植生などの林床の可燃物が燃え尽きてしまうと、地表火は一旦沈静化した。しかし、演習林内にある露出石炭層に着火した地表火は完全に消えることなく燃焼石炭層として燃え続けた。異常乾燥第二期の森林火災の前後で、演習林内における燃焼石炭層が 10 数カ所から 60 カ所以上に増加したことが報告されている (藤間, 1998)。

3 月下旬から 4 月上旬には、それまでの火災により 1983 年以來の枯立木が多数倒れ、さらに多数の個体が落葉・枯死したため、演習林内の林床には新たな可燃物が蓄積した。その林床可燃物に燃焼石炭層などに残っていた火種が燃え移り、小規模な火災が二度三度と繰り返して発生した。二度三度と火災被害を受けた天然林では、ほとんどの小径木が燃え尽きてしまい根株からの萌芽木はほとんど生じなくなる。また、このときの森林火災により、演習林内の若齢人工林はほぼ全滅に近い被害を受けたと報告されている (藤間, 1998)。このように演習林では、火災により新たな可燃物が生じ、さらにその可燃物に燃焼石炭層の火種が燃え移るといった悪循環が繰り返されたため、4 月中旬にまとまった降雨が観測されるまで森林火災が完全に消えることはなかった。

## II.2 現地調査

現地調査は 1998 年 12 月および 1999 年 9 月に行った。地形図とあらかじめ作成した衛星画像マップにより、代表的な土地被覆状態のポイントを数 10 点選定し、その中で限られた調査日数内で到達可能な地点について、現地の被災および回復状況の観察、デジカメによる写真撮影、GPS (Magellan GPS315) による位置情報の取得を行った。調査地点は現地において地形図および衛星画像マップ上にプロットして確認を行った。また、火の見櫓など周囲を見渡すことのでき

る施設を利用して、景観の把握につとめた。調査地点は、土地被覆分類におけるトレーニングエリアとしても使用した。

## II.3 使用データ

### II.3.1 衛星リモートセンシングデータ

本論の解析に使用した衛星リモートセンシングデータ（以下 RS データ）は、表-1 に示すように 5 時期の Landsat-5 TM データおよび 3 時期の JERS-1 OPS VNIR データあわせて 8 時期の衛星 RS データである。TM データは可視から中間赤外波長帯域に 6 バンド、熱赤外波

表-1 使用リモートセンシングデータ一覧

Table 1. List of satellite remote sensing data

セ ン サ	取 得 日
Landsat TM (path 116-row 61)	1997 年 4 月 13 日
	1997 年 8 月 3 日
	1998 年 1 月 26 日
	1998 年 2 月 11 日
	1998 年 3 月 31 日
JERS-1 OPS VNIR (path 91-row 301/302)	1996 年 9 月 27 日
	1997 年 8 月 1 日
	1998 年 6 月 5 日

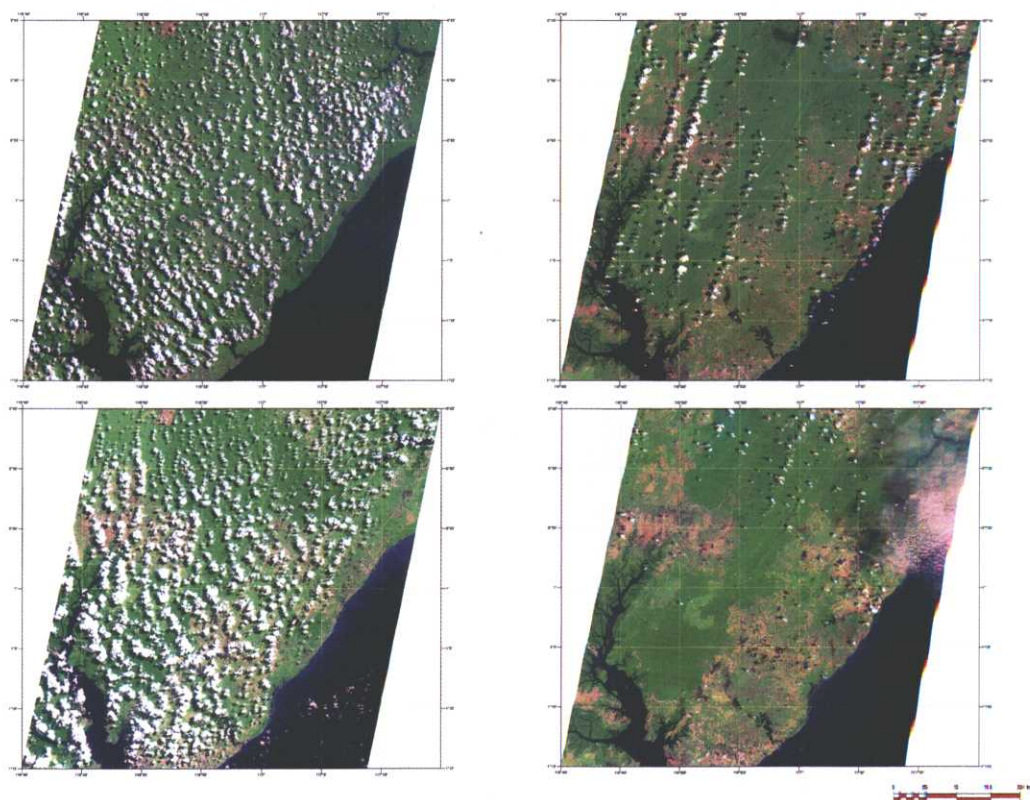


図-3(1) リモートセンシング画像

左上: TM (1997/4/13), 左下: TM (1997/8/3)  
右上: TM (1998/1/26), 右下: TM (1998/2/11)

Fig. 3(1). Satellite remote sensing image  
upper left: TM (1997/4/13), lower left: TM (1997/8/3),  
upper right: TM (1998/1/26), lower right: TM (1998/2/11)



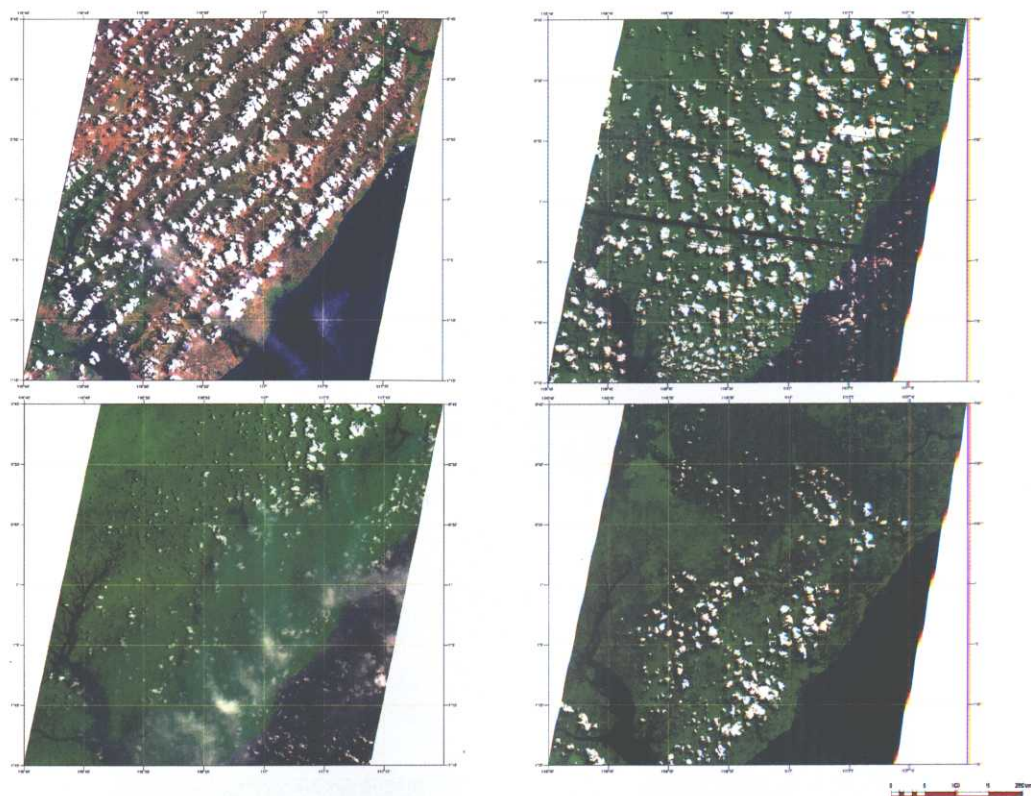


図-3(2) リモートセンシング画像

左上: TM (1998/3/31), 左下: OPS (1996/9/27)  
 右上: OPS (1997/8/1), 右下: OPS (1998/6/5)

Fig. 3(2). Satellite remote sensing image  
 upper left: TM (1998/3/31), lower left: OPS (1996/9/27),  
 upper right: OPS (1997/8/1), lower right: OPS (1998/6/5)

長帯域に1バンドを持ち地上解像度約30m, OPS VNIR データは可視から近赤外波長帯域に3バンドを持ち地上解像度約18×24mのセンサである。図-3に、使用した衛星RSデータ画像を示す。

これらの衛星RSデータを取得時期順に並べて解析に用いることで、異常乾燥・森林火災による植生の変化状況を時系列に把握することが可能となる。火災前後のRSデータの取得時期については図-1に合わせて示した。

本論では、これら8時期に取得された衛星RSデータのうち、1997年8月1日に取得されたJERS-1 OPS VNIR データを除く7時期の衛星RSデータを用いて、異常乾燥・森林火災による植生変化状況を時系列的に把握するための解析を行うこととした。1997年8月1日取得のOPS VNIR データは時系列解析には採用せず、Landsat-5 TM データと JERS-1 OPS VNIR データのキャリブレーション（校正）のために用いた。

また、植生の変化状況を把握するために、以下に述べるように時期の連続した2つの衛星RSデータを組み合わせることで、植生変化を解析するための6期間を設定した。ここで設定された

表-2 各植生変化期間における植生変化状況  
Table 2. Vegetation condition of each change period

植生変化期間	期首・期末使用データ	植生の状況
1	1996/09/27 OPS→1997/04/13 TM	通常の植生状況
2	1997/04/13 TM→1997/08/03 TM	異常乾燥が発生する直前の植生状況
3	1997/08/03 TM→1998/01/26 TM	異常乾燥第一期による植生変化
4	1998/01/26 TM→1998/02/11 TM	異常乾燥第二期の初期段階における植生変化
5	1998/02/11 TM→1998/03/31 TM	異常乾燥・第二期の後期段階における植生変化
6	1998/03/31 TM→1998/06/05 OPS	森林火災発生後の植生回復段階

期間を「植生変化期間」と呼ぶことにする。

本論では、これらの植生変化期間を研究対象地における植生変化状況を表すための時間単位として考え、それぞれの植生変化期間における植生の変化を求めることによって、時系列的な解析を行うこととする。各植生変化期間における研究対象地の植生変化状況は、表-2 に示す通りである。

1997 年 6 月～10 月における森林火災は、植生変化期間 2 から 3 のあいだに発生している。また、1998 年 1 月～4 月における大規模な森林火災は、植生変化期間 4 において発生して、植生変化期間 5 が終わるまで続いた。

各衛星データは、藤原ら(1996)による大気補正を行った。また、1997 年 8 月 3 日 TM データのバンド 2～4 および 1997 年 8 月 1 日 OPS VNIR データのバンド 1～3 について、陸域部分のみのデータを使って、それぞれ単回帰により VNIR データのキャリブレーションを行った。幾何補正については、ニアレストネイバー（最近隣）法によりピクセルサイズ 30 m として行い、UTM 座標系に変換した。VNIR データについても同様にピクセルサイズを 30 m とした。

さらに、変化抽出作業の障害となる雲および影については、クラスタ分類、教師付き分類およびフィルタリング処理により、それぞれの時期のデータごとにマスクを作成した。各時期の解析対象面積割合（研究対象地の陸域全体に対する雲をのぞいた陸域の面積割合）は 33% から 84% となり、時期によって異なっているが、雲の発生は地表面の状態によらずランダムに起こっていると仮定した。各植生変化期間の解析に当たっては、期首と期末の雲マスクを重ね、両時期で地表の見える部分のみを対象とした。

### II.3.2 地理情報データ

研究対象地域におけるデジタル化された GIS データが入手できなかったので、本論では、GIS 解析に用いるための地理情報レイヤを、スキャナによりデジタルデータ化した地形図等の紙ベースの情報から抽出する方法と、衛星データを土地被覆分類する方法により作成した。各レイヤは RS データと同じピクセルサイズのラスタデータに変換した。なお、ここで使用した 1:50,000 地形図は 1991 年に作成されたものである。そのため、道路や集落などについては、1998 年時点で地図作成時点より増えているものと考えられるが、他の情報が得られなかったためこの地形図を使用した。

#### ・標高データ

まず 4 枚の縮尺 1:50,000 地形図に含まれる等高線を画像処理によりベクタ化し、その等高線ベクタデータに属性データとして標高値を与えた後、TIN 法により任意の点の標高を内挿し、

DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) を作成した。図-4(1) に、作成した DEM 画像を表す。

#### ・斜面傾斜レイヤと稜線・水系レイヤ

上述の DEM データを用いて、各ピクセルにおける斜面傾斜を表す斜面傾斜レイヤと、落水線図をもとにした稜線・水系レイヤを作成した。

本論では、斜面傾斜 15 度未満の地域を「土地利用・開発に関する許容能力の高い地域」、15 度以上の地域を「土地利用・開発に関する許容能力の低い地域」として区分し（国土調査研究会、1992）、地理情報データとすることにした。しかし、本論の研究対象地は標高の高低差が少なくならぬ土地が多いため、斜面傾斜 15 度未満の土地が 97.6% と大部分を占める。そこで、斜面傾斜 15 度未満の地域を、さらに標高 0~99 m, 100~199 m, 200 m 以上という 3 つの標高クラスに区分することで、土地と人との関わりの度合いをより細かく把握できるようにした。図-4(2) に、ここで作成した斜面傾斜レイヤを表す。

稜線・水系レイヤは、研究対象地において、土地起伏の尾根部分を「稜線レイヤ」、谷部分を「水系レイヤ」として表したものである。研究対象地で森林火災跡地の現地調査を行った際に、土地起伏の谷部分において森林火災の延焼が止められた場所をいくつも確認することができた。土地起伏の谷部分では土地の水分条件が良好なため、尾根部分と比較して森林の林床部分が乾燥しにくく、火災の被害が少なくなると推測される。その推測を確認するために、本論の GIS 解析に用いる地理情報データとして稜線・水系レイヤを採用した。

稜線・水系レイヤの作成には、落水線図から計算される累積流量を閾値で抽出することにより、その土地の稜線部分（累積流量=0）、谷部分（累積流量 $\geq 40$ ）とそれ以外に分割し、前 2 者を稜線および水系とした。図-4(3) に、ここで作成した稜線・水系レイヤを表す。

#### ・生活行動圏バッファレイヤ

1:50,000 地形図に含まれる都市や町などの居住区域と、一般道路などの交通網を地形図よりベクタ化し、交通網ベクタと居住域ベクタを統合することで、人の生活行動範囲を示す生活行動圏ベクタを作成した。そしてこの生活行動圏からの距離 0~100 m, 101~250 m, 251~500 m, 501~1,000 m という 4 種類のバッファ発生させた。図-4(4) に、ここで作成した「生活行動圏バッファ」レイヤを表す。

#### ・ブキツスハルト演習林・ワイン川保護林レイヤ

演習林と保護林は、前述の通り、それぞれムラワルマン大学とインドネシア林業局によって管理されている地域である。しかし、両者の植生管理・保護状況は全く異なる。前述のように、保護林の植生管理・保護は比較的行われていると考えられるのに対し、演習林では周囲住民による違法耕作や焼畑などが随所に見られ、植生管理・保護が十分とはいえない状況である。

演習林の範囲はブキツスハルト演習林地図、保護林はワイン川流域における森林開発図などをもとに、それぞれの地域の領域をディジタイズすることによって作成した。なお、これらの原図は手書きやコピーの図であったため、今回作成した領域は正確な演習林および保護林の境界を表すものではない。図-4(5) に、ここで作成した BSEF・SWPF レイヤを表す。

#### ・土地被覆区分図

本論では、GIS 解析に用いるために、衛星 RS データをもとにして、1998 年 3 月直前における研究対象地の土地被覆状況を表す土地被覆区分図を作成した。1998 年 3 月という時期は、森林



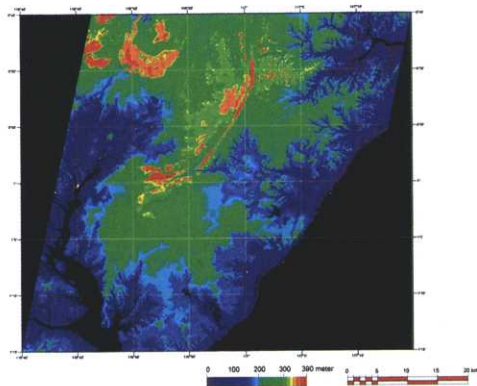


図-4(1) DEM 画像  
Fig. 4(1). DEM data

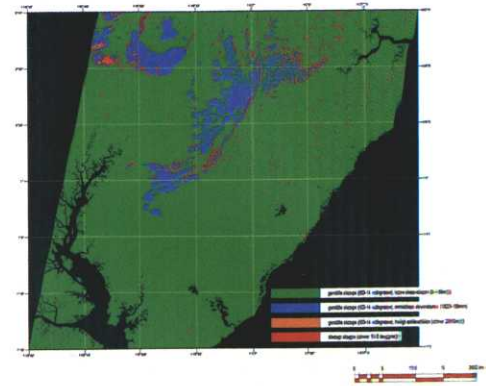


図-4(2) 斜面傾斜レイヤ  
Fig. 4(2). Slope angle layer image

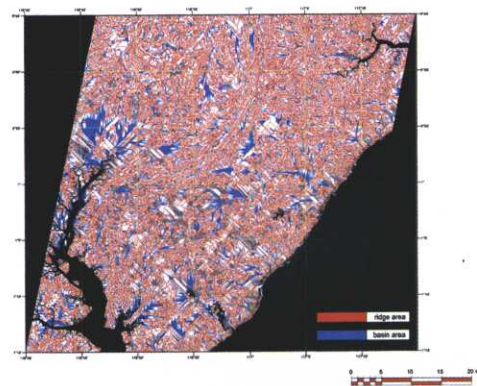


図-4(3) 稜線・水系レイヤ  
Fig. 4(3). Ridge-basin layer image

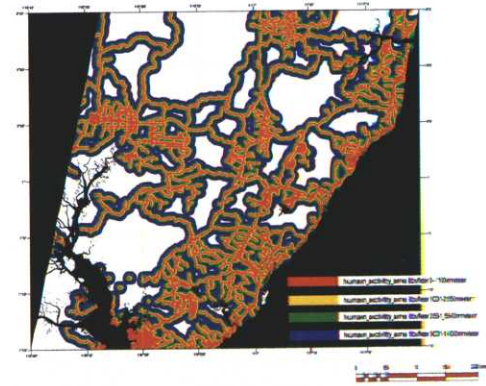


図-4(4) 生活行動圏バッファレイヤ  
Fig. 4(4). Human activity area buffer zone layer image

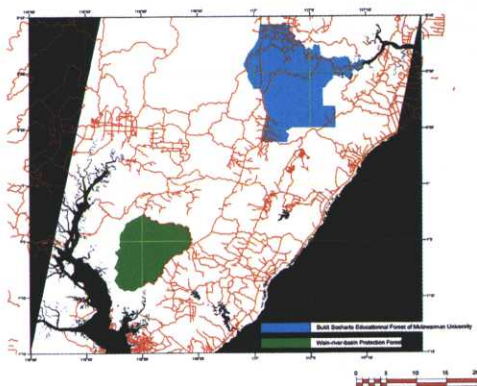


図-4(5) Bukit Soeharto 演習林・Wain 川保護  
林地帯レイヤ  
Fig. 4(5). Bukit Soeharto Education Forest  
and Sungai Wain Protection Forest  
layer image

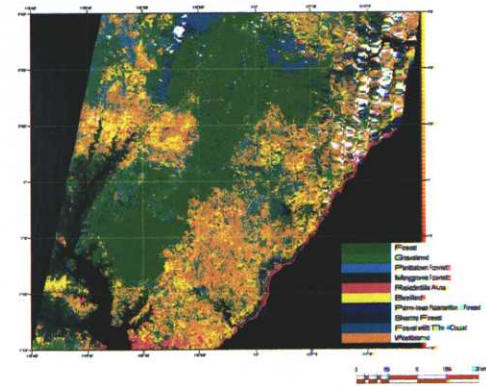


図-5 土地被覆区分図  
Fig. 5. Land cover classification image

火災による植生被害が最も激しかった時期である。その植生被害直前の土地被覆状況を知ること、1998年3月の森林火災と土地被覆条件との関係を探ることが可能となる。

土地被覆区分図を作成するために用いた衛星RSデータは、1998年1月26日および2月11日に取得されたTMデータである。これらふたつのTMデータは雲の割合が少なく、両データから観測することができる陸域部分を足し合わせることで、研究対象地における陸域の95.7%をカバーすることができた。

まず、両データにおいて最尤法による教師付き分類を行い、研究対象地を森林や草地、荒地など10の土地被覆に区分した。分類で使用するトレーニングエリアの選定には、両画像のクラス分類結果および現地調査結果を参考とした。その後、両データを比較して、センサ特有のストライプノイズが少なかった1998年1月26日取得のTMデータの分類結果をおもに用い、さらにこのデータで雲がかかっており確認できなかった陸域部分を1998年2月11日取得のTMデータの分類結果によって補完していった。図-5に、ここで作成した土地被覆区分図を表す。

### III. 解 析 方 法

#### III.1 衛星リモートセンシングデータを用いた植生変化抽出

ここでは、異常乾燥や森林火災による植生の被害状況を把握するために、衛星RSデータを用いた植生変化期間6期間における土地被覆（植生状況）の変化抽出手法を示す。衛星RSデータを用いた植生の変化抽出手法としては、正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) の差画像および変化ベクトル解析法 (CVA: Change Vector Analysis) を検討した (TSUYUKI, 1998; YAMAGUCHI ら, 1999; 山口ら, 2000) が、TMデータと観測波長帯が異なりバンド数が十分でないVNIRデータも使用する本論では前者を採用した。

NDVIは、気象衛星や地球観測衛星などからの画像データからグローバルな植生の分布状況を把握するための植生指標のひとつであり、植生と非植生の地表物からなる地表物をよく識別することから、衛星データの解析で頻繁に使用されている。その値は植生の光合成能力に対応しているとされ、植物のバイオマス量とは指数的に関係しているとされる (日本リモートセンシング研究会, 1993; 日本リモートセンシング研究会, 1997)。NDVIは

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS), \quad -1 \leq NDVI \leq 1$$

NIR: 近赤外光域の観測値, VIS: 可視光域の観測値 (分光できる場合は赤色光域) により計算される。光合成を活発に行っている植生は可視光領域よりも近赤外光領域での放射を強く反射するので、NDVI値が高ければ、植生がより密に存在していることを示す。

TMデータからNDVIを算出する場合は、NIRにバンド4, VISにバンド3を用い、OPS VNIRデータでは、TMデータと波長域が対応しているバンドを選択し、NIRにバンド3, VISにバンド2を用いた。また、ここではNDVIを整数として扱うために上式を100倍した値を用いた。

植生変化期間を成す2時期の衛星RSデータにおいて、その各データからそれぞれNDVI画像を作成し、期首のNDVI値から期末のNDVI値を引くことでNDVI値の差分をとる。そのことによって、その植生変化期間における植生量の増減を推定することが可能となり、さらにその植生変化期間における植生変化を定量的に表す新たな画像データ (NDVI差画像) を作成することができる。ここで作成されたNDVI差画像において植生の消失部分を抽出するためには、植生の変化

と非変化の境界を示すための閾値を設定すればよい。本論では、現地調査結果と NDVI 差画像、TM 画像の判読結果を定性的に照らし合わせることで、閾値として NDVI 差  $-40$  を植生変化と植生非変化の境界となる値とした。つまり、2 時期の NDVI 差画像の値が  $40$  以上減少すれば、そのピクセルで植生変化が起こったとするものである。NDVI の差が  $40$  という値は、植生変化抽出を行う上では比較的大きな値であり、具体的にはその場における植生（樹木・下草の全てを含む）の半分以上が異常乾燥・森林火災によって枯死している状態と考えられる値である。森林火災に関しては、下層植生がすべて枯死しても上木は被害を受けないことがあるが、その状態も森林火災による植生被害量は甚大であるとして植生被害状態であるとした。

### III.2 GIS を用いた解析

衛星 RS データにより求められた植生状況の変化抽出結果を GIS 上で地理情報レイヤと組み合わせるオーバーレイ手法を用いることで、さまざまな地理条件・土地利用条件が植生の被害状況に及ぼす影響を検証することが可能となる。この手法を利用して、1997～1998 年に発生した異常乾燥・森林火災における植生変化の特徴を把握することにした。

まず、土地被覆毎の植生変化箇所を抽出することにより、土地被覆区分と異常乾燥・森林火災被害の関係を検証することができる。次に、各種の地理空間レイヤを植生変化抽出図にオーバーレイすることで、地理条件・人的要因による異常乾燥・森林火災被害の程度とその影響を把握できる。さらに、その二つの解析手法を複合することにより、異常乾燥・森林火災がもたらす植生の被害状況を総合的に評価することにした。本論では、第 II 章で作成した GIS レイヤを組み合わせ、解析を行った。

## IV. 解析結果と考察

### IV.1 衛星リモートセンシングデータを用いた解析

#### IV.1.1 対象地域全域における植生変化割合

NDVI 差画像を使った植生の変化抽出解析によって得られた植生変化期間 5 および 6 における植生変化抽出図を図-6 に示す。また、図-7 に各植生変化期間における植生減少割合を示す。このとき各植生変化期間における植生減少割合とは、各植生変化期間において「衛星リモートセンシング画像から観測が行える土地面積」に対する「植生減少部分の面積」の割合のことである。

ここで、植生変化期間 6 における植生変化の内容について注目する。植生変化期間 1～5 では、その時期に発生した異常乾燥・森林火災による植生減少を捉えるために、植生が減少した部分を植生変化箇所として抽出していた。しかし、植生変化期間 6 は、植生変化期間 1～5 と異なり、研究対象地において異常乾燥・森林火災はほぼ収まった時期であるため、異常乾燥・森林火災による植生減少はほとんど見られず、それまでの時期に減少した植生が回復している植生回復箇所のほうがはるかに多く見られる。よって本解析では、植生変化期間 6 を異常乾燥・森林火災後の植生回復状況をモニタリングするための期間として位置づけることとした。また、植生減少割合を示すグラフにおいて植生回復の割合を表現する場合には、負の方向の植生減少割合として示すことにした。たとえば 10% の植生増加であれば、 $-10\%$  の植生減少と表すことになる。

図-7 によると、最も植生被害の大きかった植生変化期間 5 において研究対象地全域で 26.8% の地域の植生が減少したという結果が得られた。植生変化期間 5 はそれより以前の植生変化期間



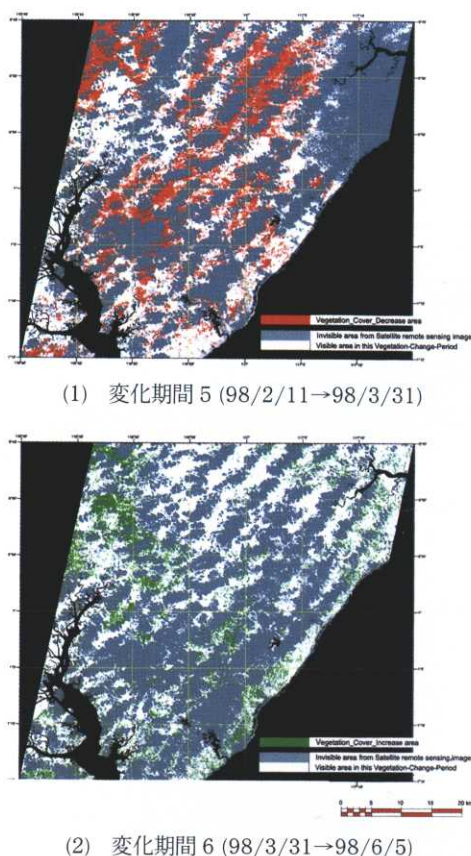


図-6 植生変化抽出図

Fig. 6. Vegetation cover change detection image

- (1) change detection period 5 (98/2/11→98/3/31)
- (2) change detection period 6 (98/3/31→98/6/5)

変化期間 6 (森林火災後の植生回復過程) において主な特徴を表している。そこで、これより後の GIS 解析ではおもにその期間における植生変化に着目して解析を進めていくこととする。

#### IV.2.1 土地被覆の特徴把握

まず、対象地域の土地被覆の特徴を把握するために、レイヤ相互の関連を調べることにした。図-9 に、各地理情報レイヤにおける土地被覆区分の割合を示す。

図-9(1) では、「斜面傾斜 15 度未満・標高 100~199 m」地域における森林区域の占める割合が 56.5% となり、他の地域と比較して森林区域の占める面積が多い。また、「15 度未満・100~199 m」地域は、森林区域の占める割合 (26.6%) が草原区域の占める割合 (38.0%) より小さくなっている唯一の地域である。これは研究対象地における土地利用の特徴であると思われる。

図-9(2) では、稜線地域と水系地域を比較すると、森林、草原、プランテーション林といった植生に関わる全ての土地被覆区分が稜線地域のほうに多く分布していることがわかった。これは、

と比較して 10 倍以上の植生減少を示しており、このことより、植生変化期間 5 における森林火災の被害状況の大きさがわかる。また、植生変化期間 6 には、研究対象地の 11.8% の地域で植生の回復過程が確認された。

#### IV.1.2 各土地被覆区分における植生変化割合

図-8 に各土地被覆区分における植生減少割合を示す。この解析により、森林区域は植生変化期間 5 において 38.1% の植生減少、植生変化期間 6 においては 2.0% の植生回復という結果が得られた。逆に、草原区域は植生変化期間 5 において 25.1% の植生減少、植生変化期間 6 において 18.9% の回復を見せており、森林火災が収まった後 2 ヶ月程度でかなりの回復が見られたことが示された。プランテーション林区域では、植生変化期間 5 の森林火災によって 68.3% の植生減少と、ほかの土地被覆区分と比較してかなり大きな植生被害がみられた。また、プランテーション林区域における森林火災被害後 (植生変化期間 6) の回復状況は、2 ヶ月で 21.6% という結果を得た。この値は、森林区域における植生回復割合よりも大きい値である。

#### IV.2 GIS を用いた解析

研究対象地における植生状況の変化は、植生変化期間 5 (大規模森林火災発生) および植生

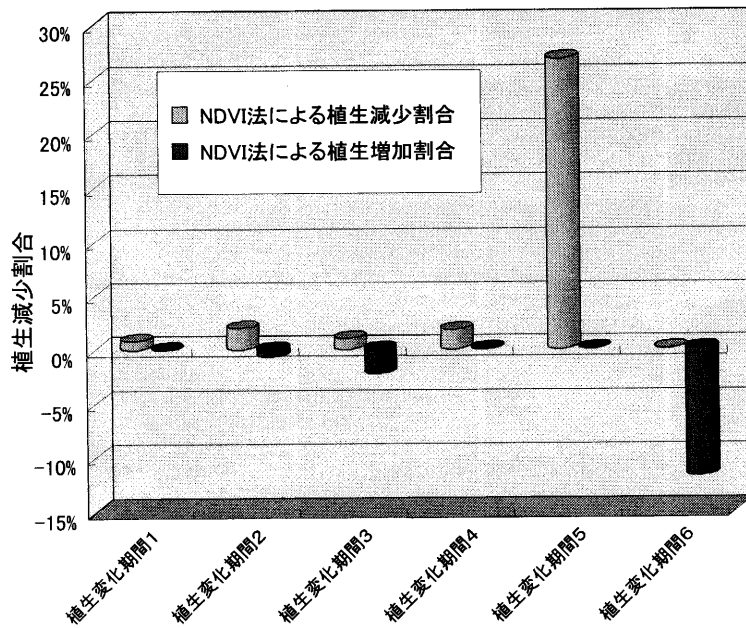


図-7 各植生変化期間における植生変化割合

Fig. 7. Ratio of vegetation change area in each change period

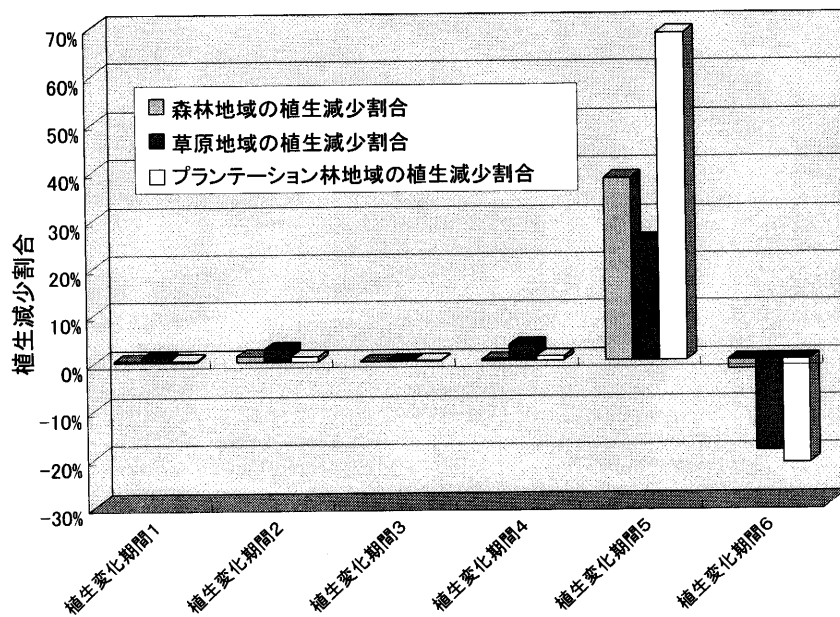


図-8 各土地被覆区分における植生変化割合

Fig. 8. Ratio of vegetation change area in each vegetative land cover class

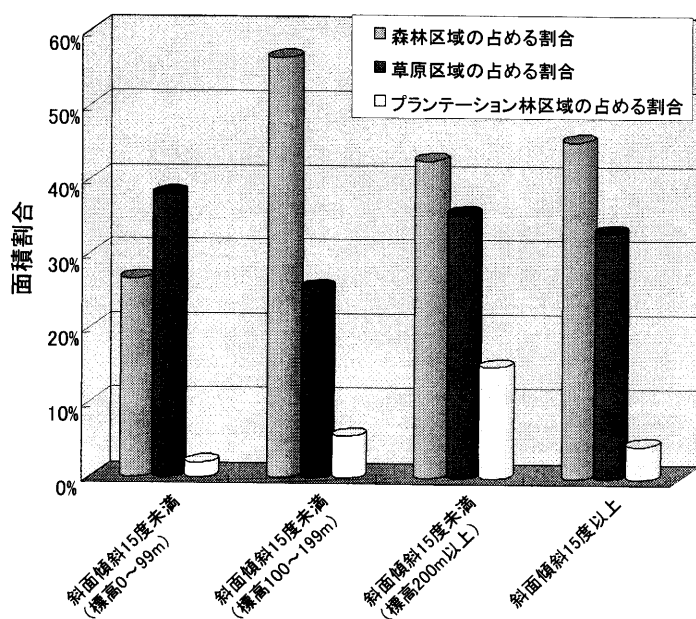


図-9(1) 各斜面傾斜区分ごとの土地覆割合

Fig. 9(1). Ratio of land cover class change area in each slope angle class

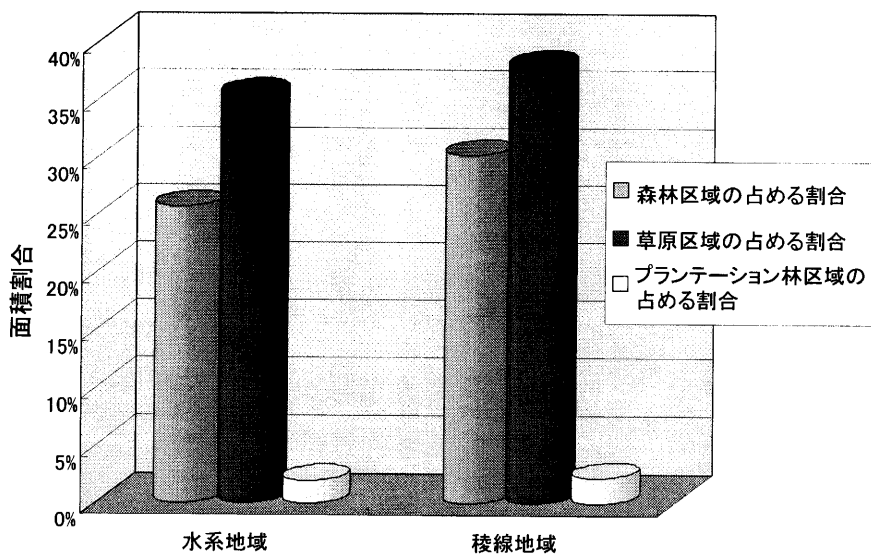


図-9(2) 稜線・水系における土地被覆割合

Fig. 9(2). Ratio of land cover class in each terrain class



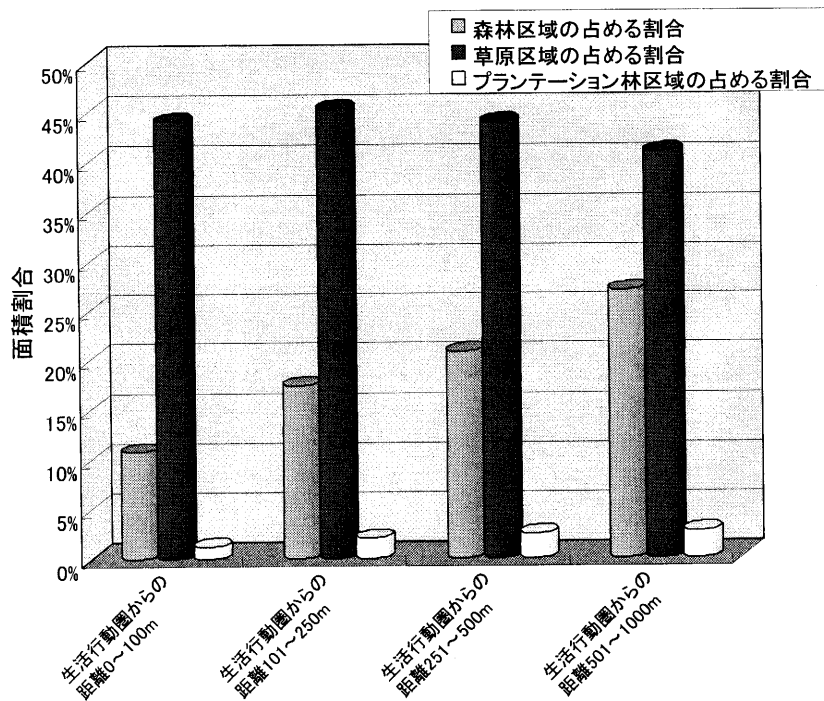


図-9(3) 各生活行動圏バッファにおける土地被覆割合

Fig. 9(3). Ratio of land cover class in each human activity area buffer zone

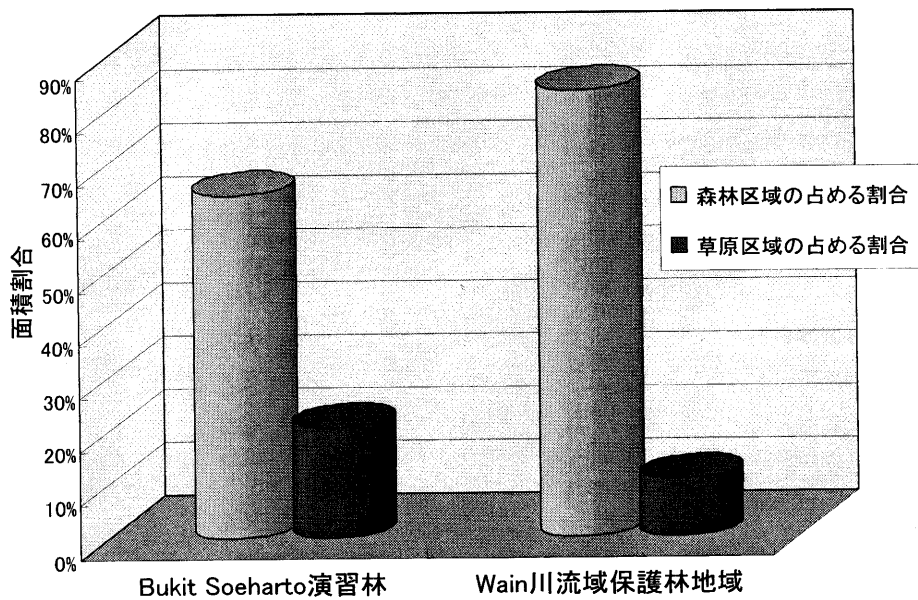


図-9(4) ブキットスハルト演習林とワイン川流域保護林地帯における土地被覆割合

Fig. 9(4). Ratio of land cover class in BSEF and SWPF

水系地域はおもに標高の低い地域に広がっており、居住地域など植生とあまり関わりのない地域として土地利用される傾向が強いことが推測される。

図-9(3)では、生活行動圏からの距離が離れるに従って森林区域とプランテーション林区域の占める割合が単調増加していることがわかる。また逆に、草原区域の占める割合は、生活行動圏からの距離が離れるに従い緩やかに小さくなっている。これは明らかに人為がその土地の植生割合に影響を与えているものと考えられる。

図-9(4)では、演習林は保護林と比較して森林区域の割合が少なく（演習林 64.5% < 保護林 83.8%）、逆に、草原区域の割合が大きくなっている（演習林 20.7% < 保護林 10.7%）ことが読みとれる。これは、演習林はあまり十分な植生保護・管理がなされておらず、その領域内で人の開発を容易に許していることによるものと考えられる。

#### IV.2.2 地理条件・人的要因を考え合わせた森林火災被害の評価

斜面傾斜、稜線・水系、生活行動圏バッファ、BSEF・SWPF それぞれの地理情報レイヤを植生変化抽出図にオーバーレイし、各地理条件ごとの植生変化状況を抽出した結果を図-10に示す。

図-10(1)では、植生減少割合と植生回復割合を総合すると、斜面傾斜 15 度未満の場合は標高の低い地域ほど火災被害に遭いにくく、火災からの回復過程が早いことがわかった。

図-10(2)では、水系地域は稜線地域と比べて、森林火災時の植生減少割合が少なく（水系 22.2% < 稜線 28.1%）、またその後の植生回復割合が大きくなっている（水系 12.1% < 稜線 11.7%）。これには、その土地の水分条件が大きな要因となっているものと考えられる。研究対象地での現地調査において、土地起伏がある場所の谷部分は森林火災が少ないという観察結果を得たが、その傾向を裏付けるものと考えられる。

図-10(3)では、生活行動圏から距離が離れるほど、火災時の植生減少割合が大きく、その後の植生回復割合も大きいという結果が得られた。この要因としては、生活行動圏からの距離に近いほど人の手による火災のコントロールが可能なが考えられる。またそのほかにも、生活行動圏に近い地域は森林火災でも火災被害に遭いにくい土地被覆（具体的には居住域など）が多く存在することも要因のひとつとして挙げられるであろう。

図-10(4)では、演習林と保護林における植生減少割合・植生回復割合を比較した。それによると、演習林と比較して保護林では植生変化期間 5 における植生被害が少なく（保護林 39.2% < 演習林 48.0%）、また植生変化期間 6 における植生回復の度合いが大きい（保護林 6.2% > 演習林 3.3%）ことが確認された。実際に、保護林は国の機関による植生の管理・保護を受けており、その効果が具体的に現れているといえる。

#### IV.2.3 複数の地理情報を組み合わせた植生変化の特徴把握

前項では、土地被覆区分図とその他の地理情報レイヤを個別に扱っていたが、ここではそれらを統合し、各土地被覆区分レイヤと各地理情報レイヤを組み合わせたなかから、森林火災による植生変化状況をより詳細に把握するために、特徴的な傾向を持つものについて述べる。

斜面傾斜レイヤと土地被覆区分レイヤを組み合わせた GIS 解析結果を図-11 に示す。これらの図から、斜面傾斜 15 度未満の土地では、森林・草原・プランテーション林の各土地被覆の全てにおいて標高が高くなるほど植生減少の被害割合が大きくなっていることがわかる。特に「傾斜 15 度未満・標高 200 m 以上」地域では植生変化期間 5 において森林区域の植生減少割合

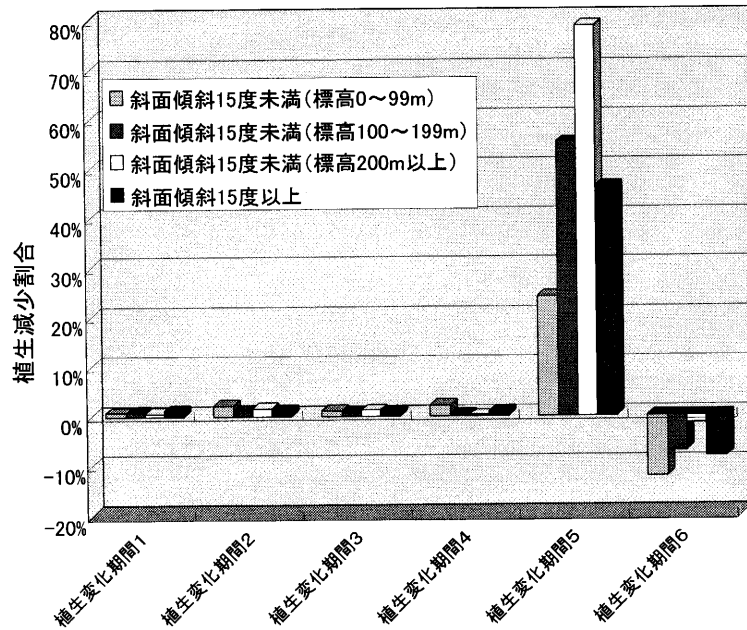


図-10(1) 各斜面傾斜における植生変化割合

Fig. 10(1). Ratio of vegetation change area in each slope angle class

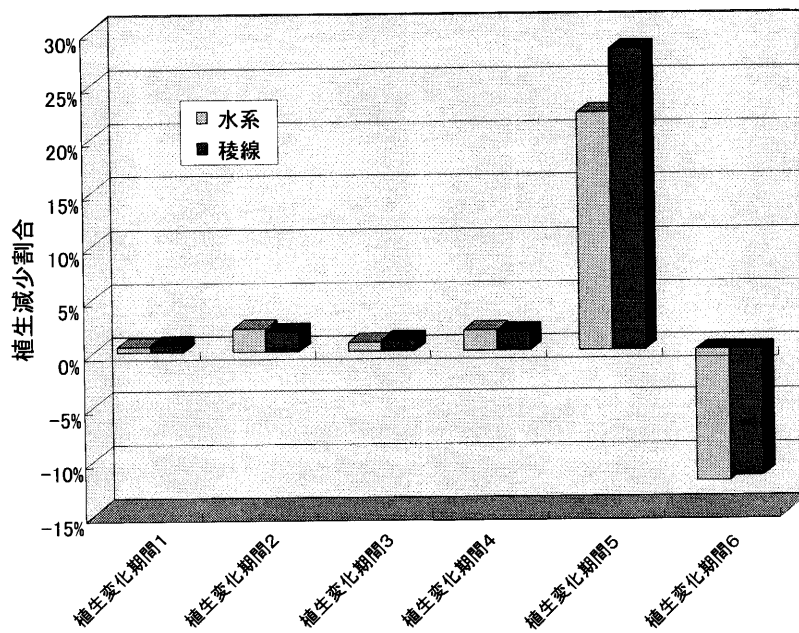


図-10(2) 稜線・水系別における植生変化割合

Fig. 10(2). Ratio of vegetation change area in each terrain class

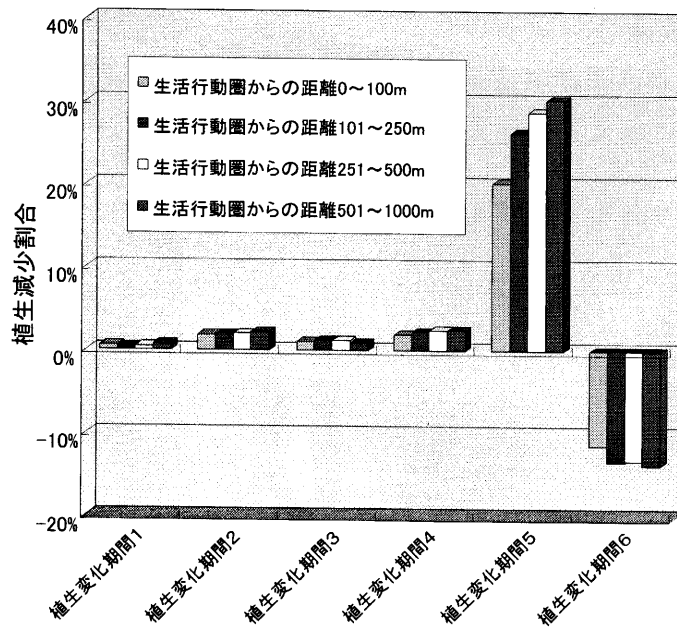


図-10(3) 各生活行動圏バッファにおける植生変化割合

Fig. 10(3). Ratio of vegetation change area in each human activity area buffer zone

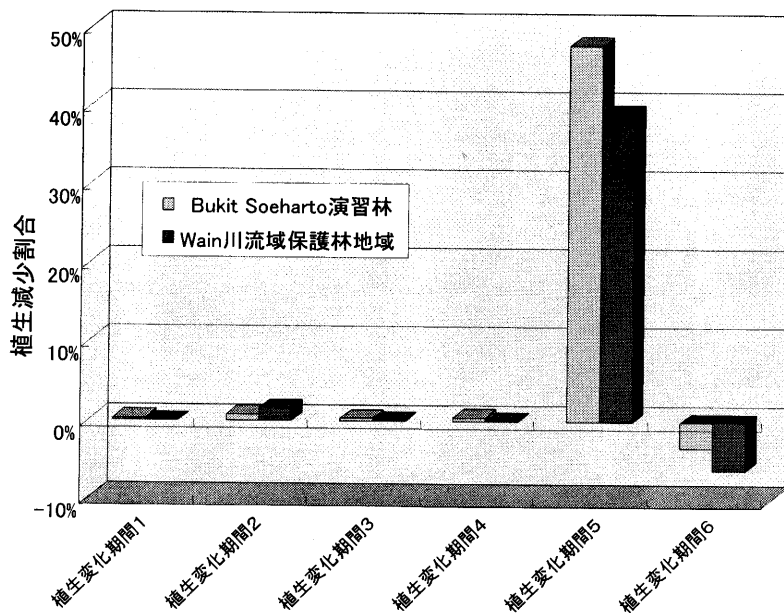


図-10(4) ブキットスハルト演習林とワイン川流域保護林地域における植生変化割合

Fig. 10(4). Ratio of vegetation change area in BSEF and SWPF

85.7%, 草原区域の植生減少割合 73.3%, プランテーション林区域の植生減少割合 91.7% と非常に大きな植生被害が起きている。傾斜 15 度以上地域の植生減少割合は地域全体の値 (図-8) よりやや大きい程度である。

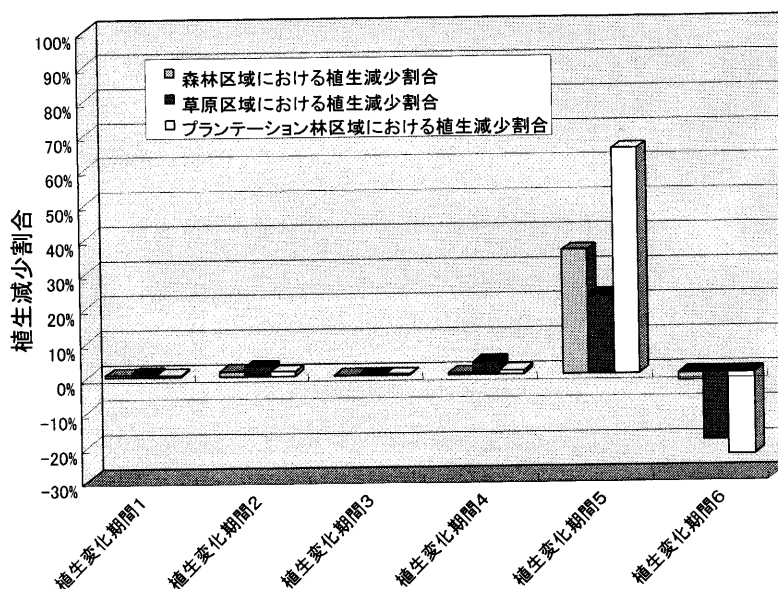


図-11(1) 斜面傾斜 15 度未満・標高 0~99 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 11(1). Ratio of vegetation change area of slope angle < 15 degrees and elevation 0-99 m

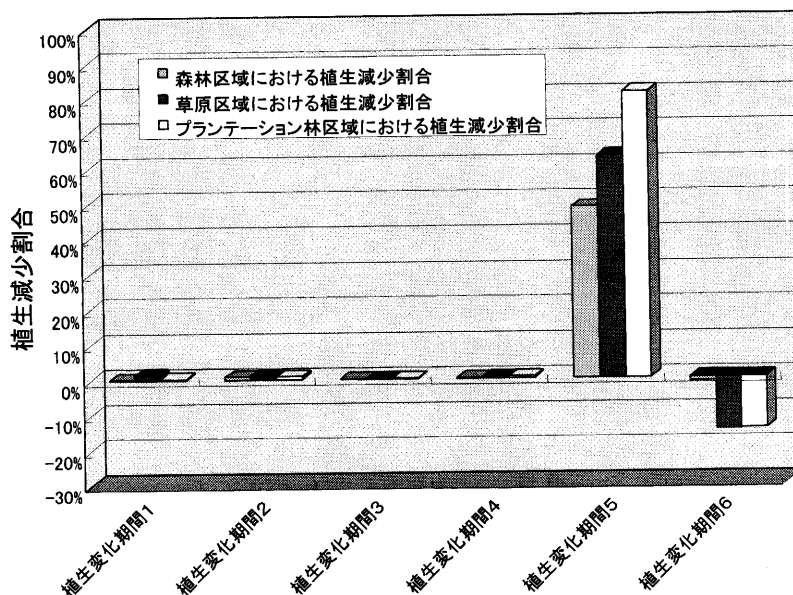


図-11(2) 斜面傾斜 15 度未満・標高 100~199 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 11(2). Ratio of vegetation change area of slope angle < 15 degrees and elevation 100-199 m

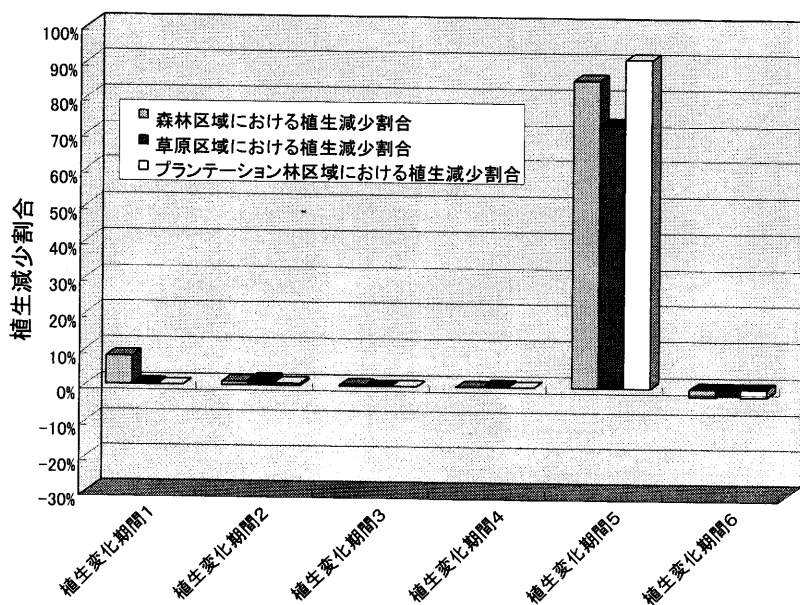


図-11(3) 斜面傾斜 15 度未満・標高 200 m 以上における土地被覆と植生変化割合

Fig. 11(3). Ratio of vegetation change area of slope angle < 15 degrees and elevation  $\geq 200$  m

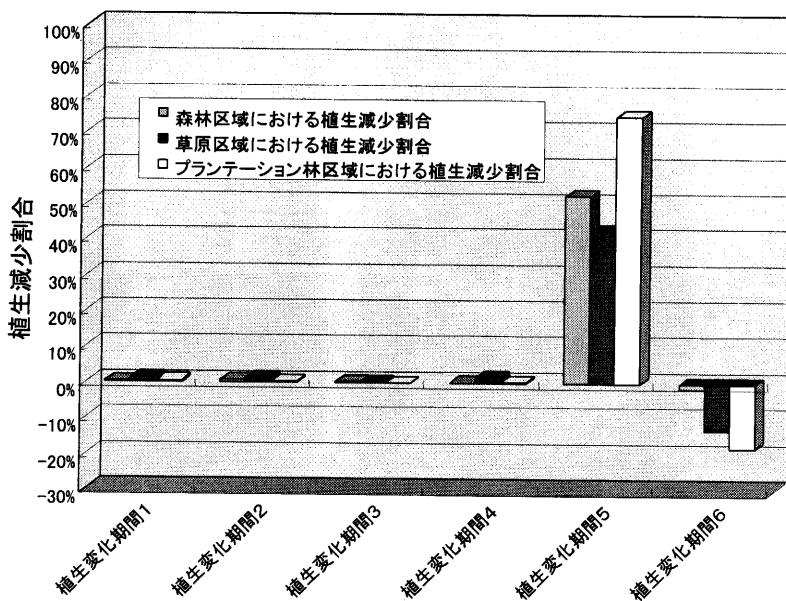


図-11(4) 斜面傾斜 15 度以上における土地被覆と植生変化割合

Fig. 11(4). Ratio of vegetation change area of slope angle  $\geq 15$  degrees

次に、生活行動圏バッファと土地被覆区分を組み合わせた GIS 解析結果を図-12～13 に示す。図-12 において各生活行動圏バッファにおける各土地被覆区分と植生減少割合の関係についてみると、植生変化期間 6 の植生回復について、草原区域の植生回復割合は生活行動圏から遠くなる



に従って増加するのに対し、プランテーション林区域の植生回復割合は生活行動圏から遠くなるほど減少することがわかった。これは、プランテーション林区域への人為の影響を示すものと考えられる。また、森林区域の植生回復割合も見てみると、わずかながら生活行動圏から遠くなるほど回復は減少していた。図-13 において各土地被覆区分における生活行動圏からの距離と植生減少割合の関係について見てみると、森林区域は生活行動圏から離れるにしたがって植生変化期

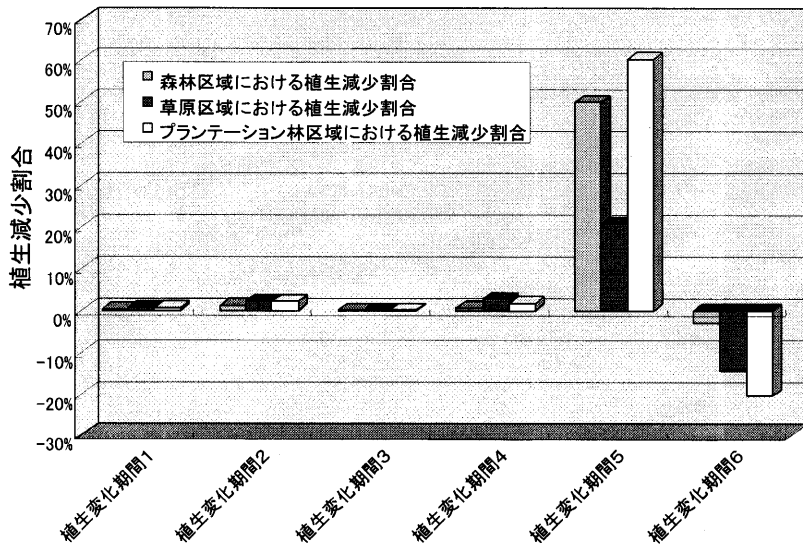


図-12(1) 生活行動圏からの距離 0～100 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 12(1). Ratio of vegetation change area in human activity area buffer zone 0-100 m

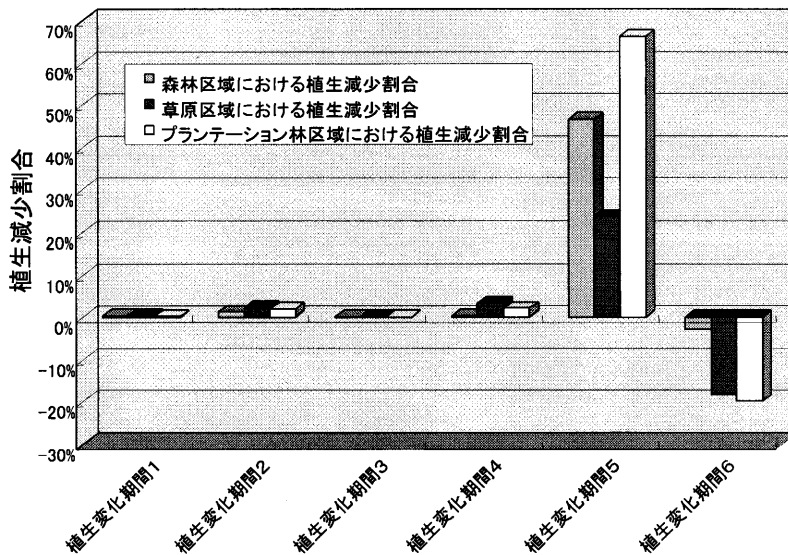


図-12(2) 生活行動圏からの距離 101～250 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 12(2). Ratio of vegetation change area in human activity area buffer zone 101-250 m

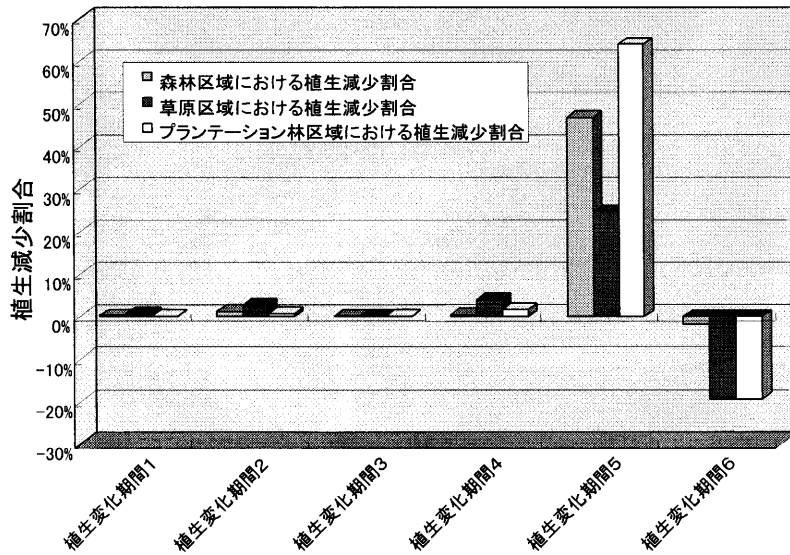


図-12(3) 生活行動圏からの距離 251～500 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 12(3). Ratio of vegetation change area in human activity area buffer zone 251-500 m

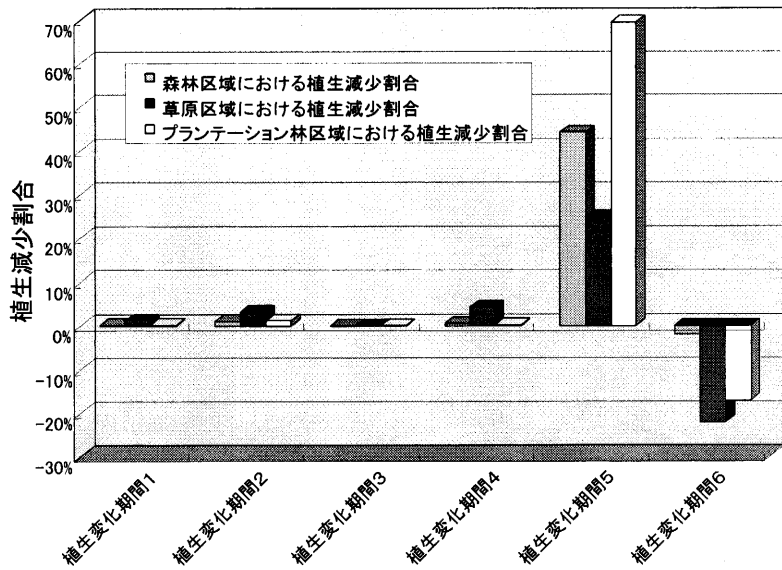


図-12(4) 生活行動圏からの距離 501～1,000 m における土地被覆と植生変化割合

Fig. 12(4). Ratio of vegetation change area in human activity area buffer zone 501-1000 m

間5における植生減少割合が少なくなることがわかった。逆に、草原区域・プランテーション林区域では生活行動圏から離れるに従って植生減少割合が増加している。つまり、森林区域と草原・プランテーション区域では、人為の影響が正反対に現れるという傾向を示している。また、植生変化期間6での植生回復状況について見てみると、森林区域・プランテーション区域は生活

行動圏に近いほど回復の割合が早いのに対し、草原区域においては逆に生活行動圏に近くなるほど植生回復が遅いことがわかった。

これまでのGIS解析により、本論で採用した各地理情報レイヤのなかで生活行動圏バッファが最も土地被覆区分に特徴を与え、さらに森林火災による植生変化状況に顕著な特徴をもたらしているという傾向を読みとることができた。森林火災は自然災害のひとつであるが、その被害の度合いはその土地の地理条件よりもむしろ人為の影響が強く関連しているといえよう。しかし、具体的にどのような行為が植生変化に影響を与えているかについては、今回の分析のみでは特定することはできなかった。

#### IV.2.4 ブキットスハルト演習林とワイン川保護林における植生変化

本論で採用した各地理情報レイヤにおいて、生活行動圏バッファ以外に人の活動を表すレイヤとしてBSEF・SWPFレイヤがある。このレイヤは、実際には、ある地域の領域を示すだけのものであるが、演習林と保護林の双方で植生管理形態が異なることを考慮に入れると、それらの領域をGIS解析に用いることで、どの程度の植生保護・管理で、どれほどの森林火災被害を防ぐことができるかを把握することが可能になると思われる。

そこでまず、図-14において演習林と保護林における各土地被覆区分と植生減少割合の関係を検討した。それによると、演習林では植生期間5における森林区域の植生減少割合(54.8%)が草原区域の植生減少割合(43.7%)よりも大きいことがわかる。逆に、保護林では同期間における森林区域の植生減少割合(31.5%)は草原区域の植生減少割合(39.5%)よりも少なくなっている。こ

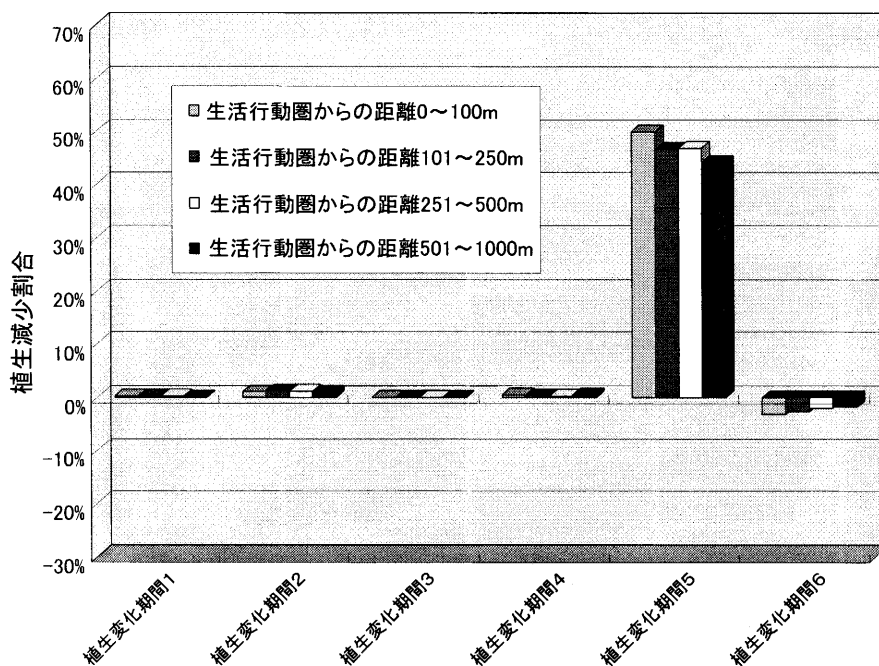


図-13(1) 森林区域における生活行動圏と植生変化割合

Fig. 13(1). Ratio of vegetation change area in each human activity area buffer zone class in forest area

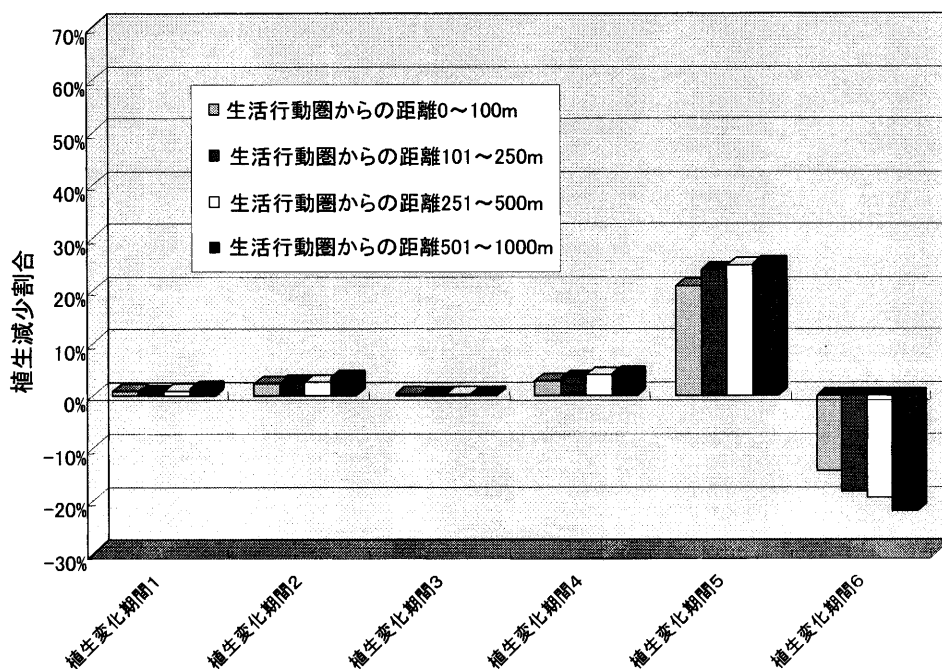


図-13(2) 草原区域における生活行動圏と植生変化割合

Fig. 13(2). Ratio of vegetation change area in each human activity area buffer zone class in grassland area

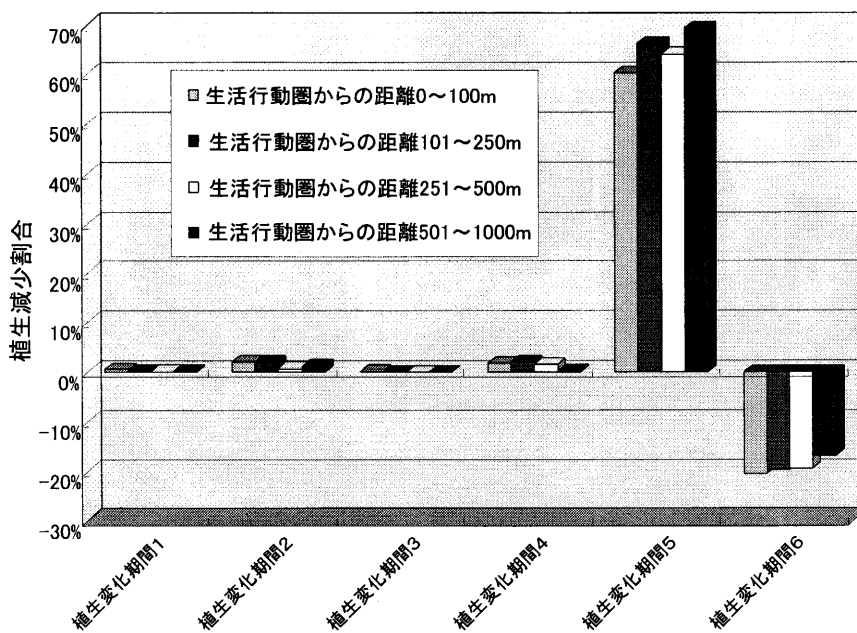


図-13(3) プランテーション林区域における生活行動圏と植生変化割合

Fig. 13(3). Ratio of vegetation change area in each human activity area buffer zone class in plantation forest area

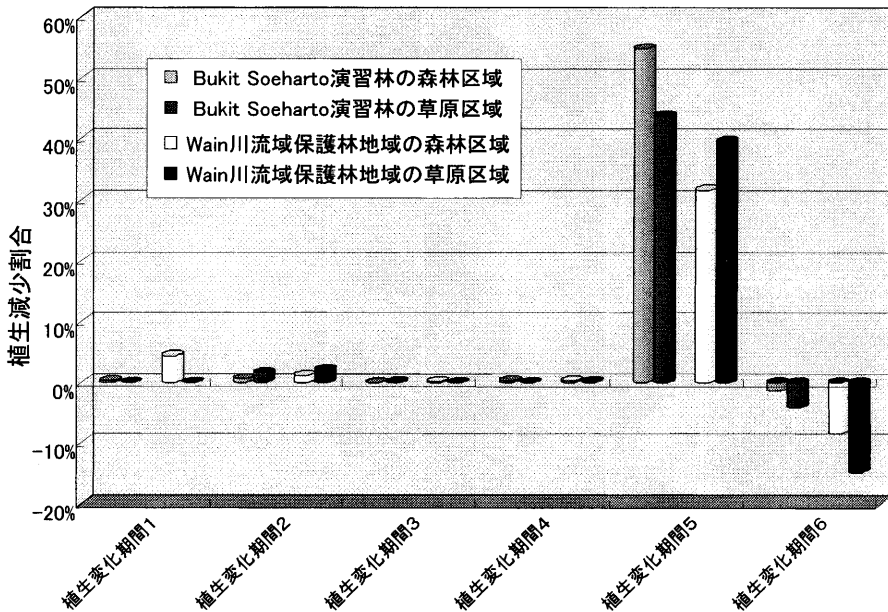


図-14 ブキットスハルト演習林・ワイン川流域保護林地帯における土地被覆と植生変化割合

Fig. 14. Ratio of vegetation change area in BSEF and SWPF

これは、保護林の森林区域がインドネシア林業局による植生管理・保護を受けていることによるものと考えられる。両地域の比較を行うと、1998年2月～3月の森林火災で、演習林では54.8%の森林区域が焼失したのに対し、保護林における森林区域の被災割合は31.5%である。SUKUMAJAYA (1999)によると、今回の火災で保護林の原生林で約3割のエリアが火災の被害にあっていますが、これとほぼ見合う数値である。また、火災後の植生回復状況を比較すると、保護林の森林区域は演習林よりも6倍の回復割合があることが確認される。

次に、両地域における植生被害の違いをより細かく見ていくために、演習林・保護林における地理条件・人的要因について調べた結果を図-15に示す。

図-15(1)によると、演習林よりも保護林のほうが水系地域の割合が多く、水分条件が良いことがわかる。図-10(2)により水系地域では火災被害が起こりにくいことがわかっているが、このことも保護林における火災被害の少なさに影響を及ぼしているものと考えられる。保護林は人の手による植生管理・保護以外にも、地理的要因によっても火災被害から守られていることがわかる。

図-15(2)に両地域と生活行動圏の関係を表しているが、それによると、保護林における「生活行動圏からの距離0～100m」地域の割合は演習林と比較して4分の1しかなく、演習林には人の活動範囲がかなり入り込んでいるのに対し、保護林にはあまり人の生活・活動が関わっていないことがわかる。ただし、このレイヤは地形図から取得した情報に基づいているため、火災時点における生活行動圏を完全に網羅しているとはいえない。小領域を対象とする分析の場合は、さらに詳細な土地利用状況や活動範囲の情報を得る必要があると考えられる。

複数の地理情報レイヤを組み合わせ、演習林と保護林をみると、さらにその地域の持つ

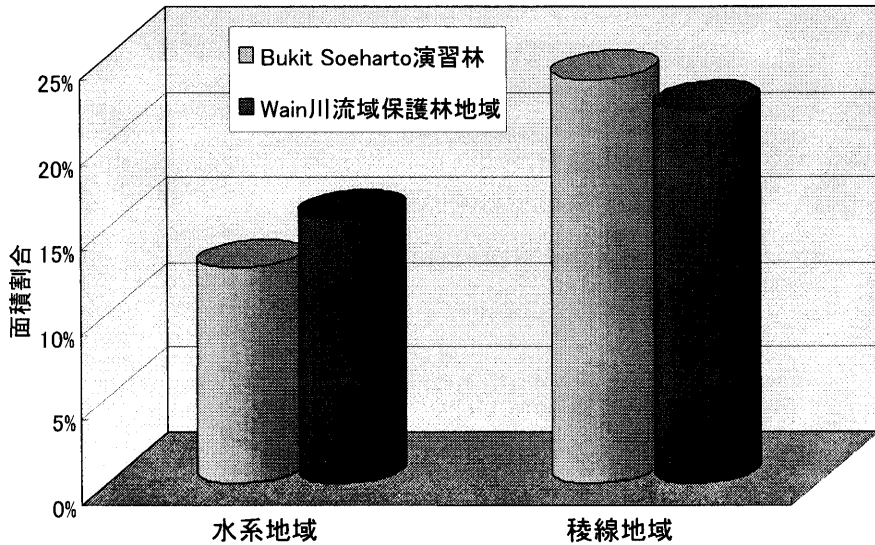


図-15(1) ブキットスハルト演習林・ワイン川流域保護林地域における稜線・水系割合

Fig. 15(1). Ratio of terrain class area in BSEF and SWPF

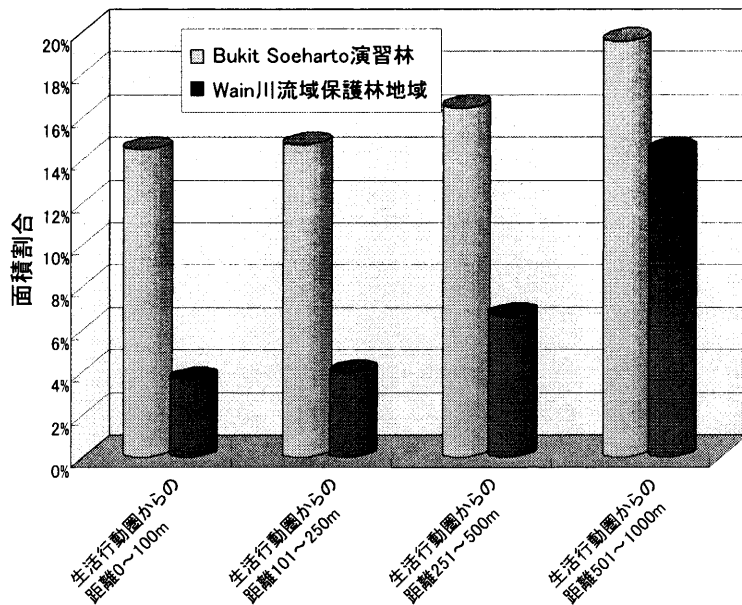


図-15(2) ブキットスハルト演習林・ワイン川流域保護林地域における生活行動圏

Fig. 15(2). Ratio of human activity area buffer zone area in BSEF and SWPF

特徴の詳細がつかめる。

まず、両地域において、稜線・水系地域と土地被覆区分が植生変化にどのように影響を与えているかを検討した。それによると、草原区域では水系地域・稜線地域で植生変化期間5における植生減少割合はほとんど差がないが、図-16(1)に示すように森林区域では演習林・保護林のどち



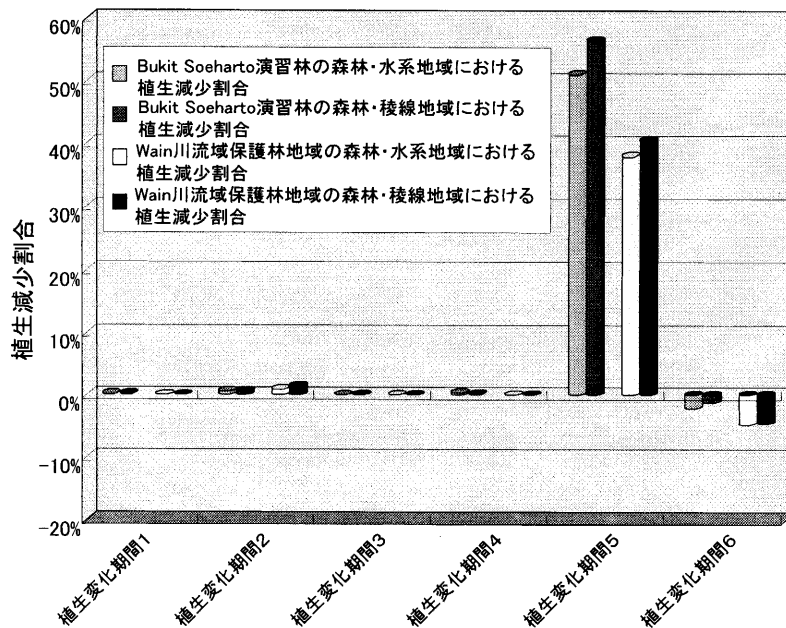


図-16(1) ブキットスハルト演習林・ワイン川流域保護林地域の森林区域における稜線・水系と植生減少割合

Fig. 16(1). Terrain class and ratio of vegetation change area in forest of BSEF and SWPF

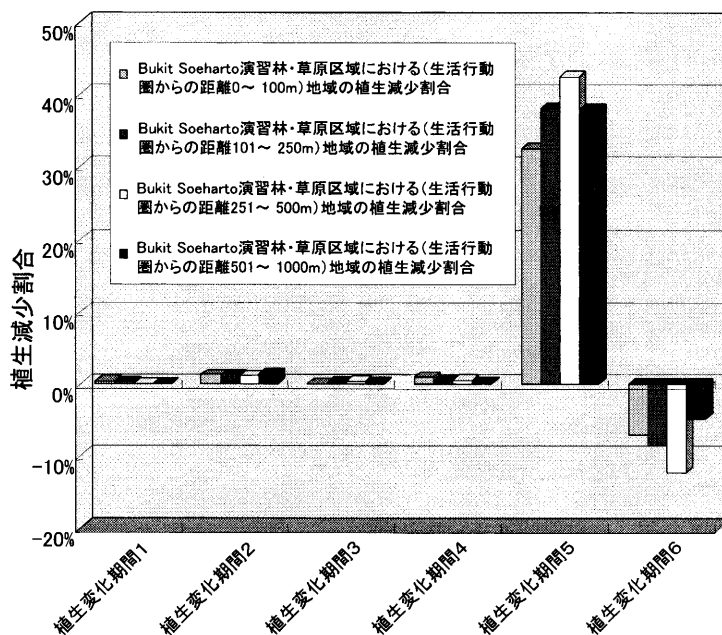


図-16(2) ブキットスハルト演習林の草原区域における生活行動圏と植生減少割合

Fig. 16(2). Human activity area buffer zone and ratio of vegetation change area in grassland of BSEF

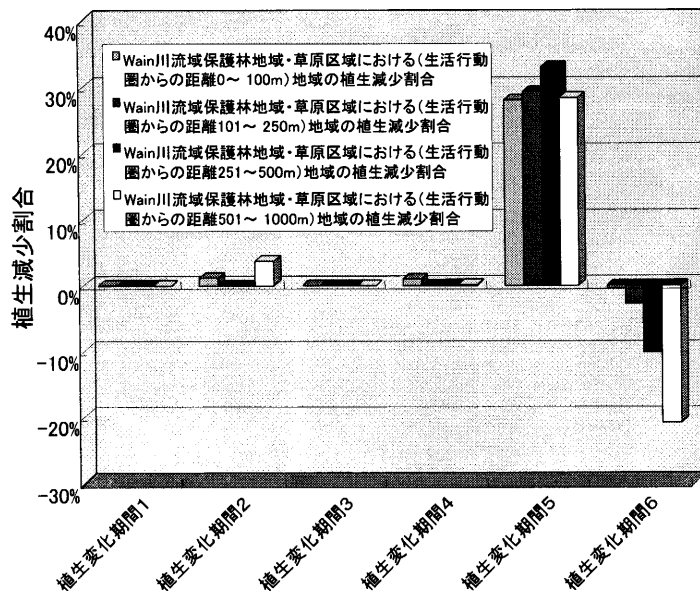


図-16(3) ワイン川流域保護林地帯の草原区域における生活行動圏と植生減少割合

Fig. 16(3). Human activity area buffer zone and ratio of vegetation change area in grassland of SWPF

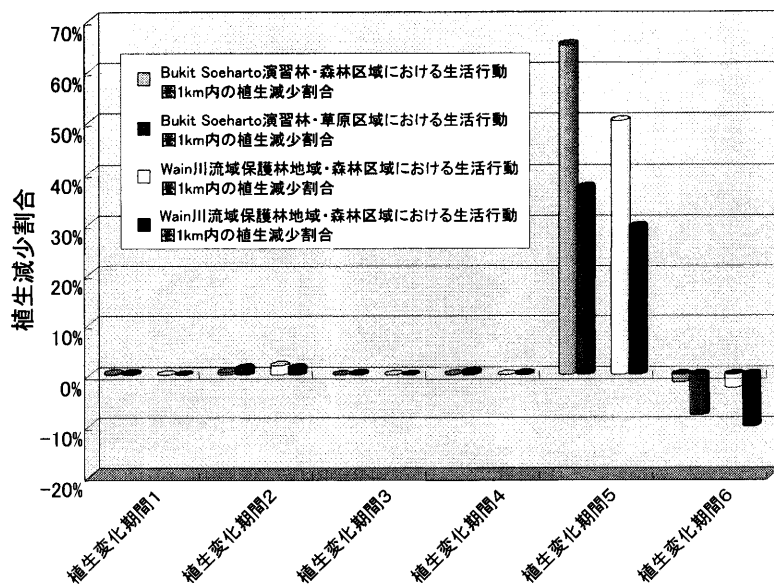


図-16(4) ブキットスハルト演習林・ワイン川流域保護林地帯の生活行動圏 1 km 範囲内における土地被覆と植生減少割合

Fig. 16(4). Land cover class and ratio of vegetation change area within 1 km of human activity buffer zone in BSEF and SWPF

らの地域でも水系地域・稜線地域における植生減少割合に差が見られる。両地域では、稜線・水系地域が示す水分条件の差は、草原区域よりも森林区域においてより影響を及ぼしていることが推測される。

また、両地域において、生活行動圏からの距離と土地被覆区分が植生変化にどのような影響を与えているかを検討した。それによると、両地域において、森林区域では生活行動圏からの距離と植生変化状況の関係に関する大きな特徴を見いだすことはできないが、草原区域（図-16(2), (3)）では、生活行動圏からの距離と植生変化状況の関係にはっきりとした特徴を見つけることができる。演習林の草原区域では、植生期間 6 の植生回復割合は生活行動圏からの距離にそれほど依存していないように思えるが、保護林の草原区域では、生活行動圏からの距離が離れるほど火災後の植生回復割合が大幅に増加するという特徴が見られた。このことは、演習林はあまり厳しい管理が行われていないため、生活行動圏からの距離が大きくなっても人の手が比較的入りやすく、火災後の植生回復が起りにくいこと、また、保護林は植生保護・管理が行われているため、生活行動圏から離れるほど人の手も入りにくくなり、火災後の植生回復が順調に行われやすいことを示唆しているものと思われる。

最後に、生活行動圏からの距離の場合分けをより大きなものとした図-16(4)によると、植生変化期間 5 において、生活行動圏 1 km バッファ内における森林区域の被災割合は、演習林の 65.1% に対して保護林では 50.2% という小さい値を示した。草原区域の被災割合は演習林 37.1%, 保護林 29.4% であり、これも演習林のほうが大きい被災割合を示した。植生変化期間 6 における植生回復状況をみると、森林区域・草原区域ともに保護林のほうがよりよい回復割合を示している。

このように、演習林と保護林における植生被災状況は、その植生管理・保護の違いにより、あきらかな差が生じていることがわかる。保護林はインドネシア林業局による植生管理・保護により、森林火災による植生減少被害をより小さくくい止めることに成功していると言えるだろう。

## V. お わ り に

本論では、衛星 RS データから抽出したおもに森林火災に起因する植生変化地域を、時期が古く限られた項目ではあったが、地形図をデジタル化して得られた各種 GIS データと重ね合わせて、どのような条件で植生の変化が起こっていたかについて詳細に検討した。ここで得られた結果は、森林火災の危険度を示すハザードマップ作成の際に、火災要因の重み付けを行うための有効な情報となると考えられる。

可視反射赤外の衛星リモートセンシングを熱帯地域に適用する場合に常に問題となるのが雲の存在であるが、幸い今回の場合は火災直前直後の比較的雲量の少ない TM データの入手が可能であった。今後火災被害からの回復過程のモニタリングを続けてゆく必要があるが、雲による被覆が多いため、現時点では 1998 年 4 月以降の TM データは 1~2 シーンしか使用可能なものが入手できない状態である。SIEGERT ら (2000) などのように、SAR などの能動センサの使用も考えられるが、可視反射赤外域でしか捉えることのできない情報も多く、この波長帯域での観測頻度の増加が強く望まれる。

本論で使用した衛星データは、TM データの一部については国際協力事業団「インドネシア熱帯降雨林研究計画 Phase III」、JERS-1 OPS VNIR データについては宇宙開発事業団から研究目

的に提供されたものである。また、本論の一部は、平成 11～12 年度科学研究費補助金（基盤 (A) (2)）「アジアにおける生物資源の持続可能な開発と土地利用」（研究代表者太田猛彦）および平成 11～12 年度科学研究費補助金（基盤 (A) (2)）「インドネシア域における生物マス燃焼が及ぼす気候学的影響に関する調査的研究」（研究代表者中島映至）により行ったものである。現地調査に関しては、JICA プロジェクトリーダー森 徳典氏、ムラワルマン大学 SUMARYONO 博士および REDHAHARI 氏にお世話になった。ここに記して謝意を表する。

## 要 旨

1997 年中旬から 1998 年初旬にかけて、インドネシア東カリマンタン州はエルニーニョ南方振動 (ENSO) 現象の影響とみられる異常乾燥に襲われ、それにより森林火災が多発した。火災による被害面積は東カリマンタン州全域で約 52 万 ha を超え、地上観測のみによる全体像の把握は不可能であった。本論は、衛星リモートセンシング技術を利用して森林火災の被害地域を面的に把握するとともに、地理情報システム (Geographic Information System: GIS) を利用して、現地の地理条件や人的要素を考え合わせた森林火災被害の総合的な評価を行うことを目的とした。研究対象地には、インドネシア東カリマンタン州のムラワルマン大学ブキットスハルト演習林 (BSEF)、ワイン川保護林 (SWPF) およびその周辺地域（面積約 24.1 万 ha）を選定した。BSEF と SWPF はどちらも保護林であるが、管理主体の違いにより、管理保全状況が全く異なった林である。研究対象地域は、上記の異常乾燥や森林火災により深刻な植生被害を受けている。

解析に用いる衛星リモートセンシングデータとして、合計 8 時期のデータ (Landsat-5 TM データ: 1997/4/13・1997/8/3・1998/1/26・1998/2/11・1998/3/31, JERS-1 OPS VNIR データ: 1996/9/27・1997/8/1・1998/6/5) を使用した。これらのデータを取得順に並べることで、異常乾燥・森林火災による植生の変化状況を時系列的に定量解析することが可能となる。また、1:50,000 地形図における情報（交通網や等高線など）のベクタ化や数値地形モデル化により、GIS 解析に用いる各種レイヤを作成した。これにより、斜面傾斜モデル、稜線・水系モデル、生活行動圏バッファポリゴン、演習林・保護林ポリゴンといった地理情報レイヤを得た。さらに、TM データを最尤法による土地被覆分類することで土地被覆区分図を作成し、これも地理情報レイヤとして採用した。

衛星リモートセンシングデータを用いた解析として、NDVI 差画像を用いて植生状況の変化抽出を行い、1996 年 9 月～1998 年 6 月における時系列的な植生変化図を作成した。森林火災の規模が最も大きかった 1998 年 2 月～3 月には、研究対象地において 26.8% の地域が植生減少したことが示された。また、森林火災後の 1998 年 3～6 月には、11.8% の地域で植生の回復過程が確認された。

次に、衛星リモートセンシングデータから作成した植生変化抽出図を GIS 上で地理情報レイヤと組み合わせるオーバーレイ手法を用いることにより、さまざまな地理条件が植生の被害状況に及ぼす影響を検証した。まず、土地被覆毎の植生変化箇所を抽出することにより、土地被覆区分と森林火災被害の関係を検証した。さらに各種の地理情報レイヤを植生変化抽出図に重ね合わせることで、地理条件や人的要因による森林火災被害の程度とその影響を総合的に把握・評価した。その結果、森林火災による植生変化状況は、その地域における植生の管理状況、人間の活動エリアからの距離、標高や地形条件などに大きく影響されることが示唆された。

本論で得られた知見は、森林火災の危険度を示すハザードマップ作成の際に、火災要因の重み付けを行うための有効な情報となると考えられる。

**キーワード:** 森林火災, リモートセンシング, GIS, NDVI, 保護林

## 引用文献

- FANG, M. and HUANG, W. (1998) Tracking the Indonesian forest fire using NOAA/AVHRR images. *Int. J. Remote Sensing*, **19**(3), 387-390.
- 藤原 昇・松村加奈子, 阿波 忍・羽澄妙子・落合史生 (1996) 衛星データ解析のためのパターン展開法の開発, *日本リモートセンシング学会誌*, **16**(3), 17-34.
- GOLDAMMER, J. G. (2000) The Fire and Smoke Episodes of 1983 to 1998 in South East Asia. *Forest and Society: the role of research: Proceedings of XXI IUFRO World Congress*, Vol. 1, 15-24.
- 井上 真 (1997) 火災の原因と面積の推定, 1997 年度国際学術研究「インドネシア森林燃焼による煙害の環境科学的調査」研究成果報告書, 128-144, 東京大学気候システム研究センター, 東京.
- KANT, Y., PRASAD, V. K. and BADARINATH, K. V. S. (2000) Algorithm for detection of active fire zones using NOAA AVHRR data, *Infrared Physics & Technology*, **41**, 29-34.
- 国土調査研究会編 (1992) 土地・水情報の基礎と応用, 国土の均衡ある発展と保全に向けて, pp. 300, 古今書院, 東京.
- LI, Z., NADON, S., CIHLAR, J. and STOCKS, B. (2000) Satellite-based mapping of Canadian boreal forest fires. *Int. J. Remote Sensing*, **21**(16), 3071-3082.
- 森 徳典・藤間 剛・横原 寛 (1998) 東カリマンタンの異常乾燥と大森林火災, *熱帯林業*, **43**, 2-13.
- MORI, T. (2000) Effects of Droughts and Forest Fires on Dipterocarp Forest in East Kalimantan. in *Rainforest Ecosystems of East Kalimantan*. pp. 330, Springer-Verlag, Tokyo.
- 日本リモートセンシング研究会 (1993) 図解リモートセンシング, pp. 308, 日本測量協会, 東京.
- 日本リモートセンシング研究会 (1997) リモートセンシングハンドブック, pp. 281, 宇宙開発事業団, 東京.
- SIEGEL, F. and HOFFMANN, A. A. (2000) The 1998 Forest Fires in East Kalimantan (Indonesia): A Quantitative Evaluation Using High Resolution, Multitemporal ERS-2 SAR Images and NOAA-AVHRR Hotspot Data, *Remote Sens. Environ.*, **72**, 64-77.
- SUMUMAJAYA, E. W. (1999) The community living around and inside Sungai Wain protection forest and their relationship with forest fires, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Asian Tropical Forest Management: Impact of Fire and Human Activities on Forest Ecosystems in the Tropics*, 150-155.
- 藤間 剛 (1998) 大規模エルニーニョとインドネシア森林火災, *科学*, **68**(12), 920-924.
- TOMA, T., MARJENAH, and HASTANIA (2000) Climate in Bukit Soeharto, East Kalimantan, in *Rainforest Ecosystems of East Kalimantan*, pp. 330, Springer-Verlag, Tokyo.
- TSUYUKI, S. (1998) Change detection of land cover using remote sensing data, JICA expert report Research Area I: Long term monitoring of natural and secondary forests and plantation, pp. 10, Japan International Cooperation Agency and Director general of Higher Education, Ministry of Education and Culture.
- YAMAGUCHI, T., TSUYUKI, S., SISWANTO, H. and RUSLIM, Y. (1999) Assessment of Forest Fire in East Kalimantan Using Satellite Remotely-sensed Data, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Asian Tropical Forest Management: Impact of Fire and Human Activities on Forest Ecosystems in the Tropics*, Tropical Rain Forest Research Center (PUSREHUT), Samarinda.
- 山口綱士・露木 聡・SISWANTO, H・RUSLIM, Y. (2000) 衛星リモートセンシングデータを利用したインドネシア森林火災の被害評価, *日林関支論*, **51**, 75-78.

(2001 年 6 月 12 日受付)

(2001 年 9 月 3 日受理)

## Summary

It is difficult to assess and get general view of large scale forest fire with ground survey alone. Satellite remote sensing technique which enables monitoring over a large area multi-

temporally, was employed to map the extent of the large scale forest fire occurred in East Kalimantan Province, Indonesia, between mid 1997 and early 1998. GIS technique was then used to assess the damage caused by the fire. According to the report of Indonesian Government, this fire damaged more than 520,000 ha of forest in the Province. Southern part of Samarinda, the capital city of East Kalimantan Province, was selected as a study site. The study site covers 241,000 ha, including Bukit Soeharto Education Forest (BSEF) and Sungai Wain Protection Forest (SWPF). Although BSEF and SWPF are both protection forests, they have different degree of protection level and different types of vegetation management.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) differentiation analysis method was employed to map vegetation cover changes caused by the forest fire, using 5 scenes of Landsat TM data (acquired on 1997/4/13, 1997/8/3, 1998/1/26, 1998/2/11, and 1998/3/31) and 3 scenes of JERS-1 OPS VNIR data (acquired on 1996/9/27, 1997/8/1, and 1998/6/5). From this satellite remote sensing data analysis, 26.8% of land area in the study area showed vegetation decrease from February to March 1998, which probably caused by the forest fire, while 11.8% showed vegetation increase from March to June 1998 by regeneration of vegetation after the forest fire.

A GIS database of this study area was newly constructed to find out the relationship between human activities and forest loss due to the fire using overlay method. The database comprises spatial data such as 1) slope model, 2) basin/ridge model, 3) buffer zones representing human activity area, 4) boundary of the BSEF and SWPF, and 5) land cover map of the study area before the forest fire obtained from RS data classification. By overlaying vegetation cover change layers with other GIS layers, it was possible to assess degree of the forest fire damage in relation to human impact and vegetation management condition. They suggest that the vegetation change of the study site caused by the forest fire have strong relation to the conditions of vegetation management, distance from human activity zones, and terrain condition. The results of this study will help forest fire hazard map to be more accurate.

**Key words:** forest fire, remote sensing, GIS, NDVI, protection forest



## Abstract

### Study on the Nut Fall Fluctuation of Japanese Beech (*Fagus japonica* Maxim.) and Siebold's Beech (*F. crenata* Blume) for 17 Years in a Natural Beech Forest in the Chichibu Mountains, Central Japan

Mikio KAJI, Haruo SAWADA, Yuji IGARASHI, Hajime KABAYA and Toshio NITAMI

To investigate the long-term fluctuation of the seed production of beech species, the amounts of fallen nuts of Japanese beech and Siebold's beech were surveyed in sample plots of a natural beech forest in the Chichibu Mountains, for 17 years. The probability when mast year of both beech species synchronize was estimated about once in 2.3–3 times of the mast year. The ratio of insect-damaged nuts to total fallen nut of Japanese beech was significantly smaller than that of Siebold's beech. *Pseudopammene fagivora* was one of the most important nut predators for both Siebold's and Japanese beech.

### Assessment of Forest Fire in East Kalimantan, Indonesia, Based on Remote Sensing and GIS

Tsunashi YAMAGUCHI and Satoshi TSUYUKI

Satellite remote sensing and GIS were employed to assess the extent and damage of the large scale forest fire occurred in East Kalimantan Province, Indonesia, from 1997 to 1998, southern part of the Province was selected as the study site. From NDVI analysis using Landsat TM and JERS-1 OPS, 26.8% in the study area showed vegetation decrease during the fire, while 11.8% showed vegetation increase after the fire. By GIS analysis, the vegetation change caused by the fire was found to have strong relation to the conditions of vegetation management, distance from human activity zones, and terrain condition.