

大規模林野火災跡地の復旧に関する調査 —被災地へ適用可能な有望樹種の選択—

西山嘉寛

Researches on Afforestation after a Large Scale Fire — Selection of Most Suitable Species Applicable to Sites —

Yoshihiro NISHIYAMA

西山嘉寛：大規模林野火災跡地の復旧に関する調査—被災地へ適用可能な有望樹種の選択— 岡山県林試研報15:35～49, 1999 1994年8月に玉野市王子ヶ岳で発生した大規模林野火災跡地において、植生回復の実態を調査するとともに、無被災林地の植生を調査し、特に出現頻度の高かった樹種については成長解析を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

被災後、南面、北面調査区ともワラビによる植生回復が中心であった。特に北面調査区ではワラビの草高が被災後3年目には150cmを超え、植被率も90%以上に達した。被災後4年目の木本類の植被率は南面調査区で27%、北面調査区で7%とともに低かった。北面調査区では一部キリを除き、ワラビに被圧されていた。南面調査区の実生再生樹はオオバヤシャブシ、エニシダが中心であり（肥料木）、オオバヤシャブシを除き、萌芽可能な樹種かどうかが将来主要構成樹種になるかどうかの分かれ目であると考えられる。無被災林地内で胸高直径が3cm以上の種数は全体で27樹種と少なかった。出現頻度が高かった樹種はヒサカキ、オオバヤシャブシ、ネジキ、ヤマウルシの順であった。相対幹数、相対胸高断面積では、ウバメガシ、コナラの優占度が高かった。森林内の上層を占める樹種（胸高直径が10cm以上の樹種）の出現頻度はコナラ、オオバヤシャブシが最も高かった。無被災林地内で、胸高直径が3cm以上の個体より求めた種多様度は0.805～2.885の範囲にあった。上層（胸高直径10cm以上）と下層（胸高直径3cm以上10cm未満）に分けた場合、上層の種多様度は0.591～2.021、下層の種多様度は0.989～2.045の範囲であった。相対幹数、相対胸高断面積より算出した防火力「大」の割合は最も高いプロットでもそれぞれ40、15%と低い傾向がみられた。成長解析により、出現頻度が高かったコナラ、メラノキシロンアカシア、ヤマモモ、ソヨゴ、ウバメガシ、オオバヤシャブシの6樹種の樹高成長は一次式、またはロジスティック式により近似できた。オオバヤシャブシは初期成長（5年生位まで）が良いのに対し、ソヨゴ、ウバメガシは初期成長が悪く、コシダ、ウラジロ等が繁茂しない箇所に植栽するか、下刈り作業の実施を要する。

キーワード：林野火災、植生回復、防火樹、成長解析

I. はじめに

1994年8月11日に発生した林野火災は2日後の13日まで燃え続け、焼損面積が玉野市分258ha、倉敷市分80haの計338haに及ぶ大火災となった。当時、玉野市を含む瀬戸内地方は約2カ月間降水がなく、林床の落葉、落枝が非常に乾燥し、草本類も一部枯れた状態にあったこと、林床をコシダ等が覆っていたこと、火災時に風速10mを越える強風（強風波浪注意報が発令）があったこと、消火用の水源が近くなかったこと等により（玉野市1995）、この大惨事を招いたと考えられる。

さて、今回の玉野市王子ヶ岳周辺の大規模林野火災は梅雨時期以後の高温、乾燥時期に発生した例であり、従来の林野火災の頻発時期（冬～春季）の火災と異なる点が大きな特徴である（波田・谷野1988）。夏期の梅雨時期にみられる集中豪雨により、土砂および水の流出、それに伴う植生回復の遅れが危惧される。そこで、土砂、水、植生回復について調査し、林野火災跡地の有効な緑化方法を検討することとした。1994年10月に玉野市分の被災林地内の一部（市有林）を借りて試験地を設け、1995年6月から本格的に植生回復調査、土壌調査、地表流出水・土調査等を行っ

ている。今回、これらの調査結果の中で、植生回復調査の結果とともに新たに植生調査、成長解析調査を実施し、これらについて取りまとめを行ったので報告する。

本試験は農林部治山課より委託された「林野火災跡地等復旧に関する調査」（1995～1998年）において実施した。調査に当たりご理解を頂いた県農林部治山課の方々に敬意を表す。なお、本調査に当たっては玉野市には試験地の提供をいただいた。ここに記して、感謝の意を表す。さらに吉岡正見氏（財団法人本州四国連絡橋自然環境保全基金）には、植生回復調査、成長解析調査を担当していただき、資料の提供と有益な助言をいただいたことを付記し、お礼を述べる。

II. 概 説

1. 試験地の概況

試験地は瀬戸内沿岸部に位置し、沿岸島嶼丘陵地区に属している。試験地は1994年8月の林野火災により被災した林地内にある（図-1）。気候は瀬戸内海型気候区に属し、温暖寡雨である。最寄りの玉野気象観測所の記録によると、8年間平均（1980～1983年、1985～1988年）の年平均気温

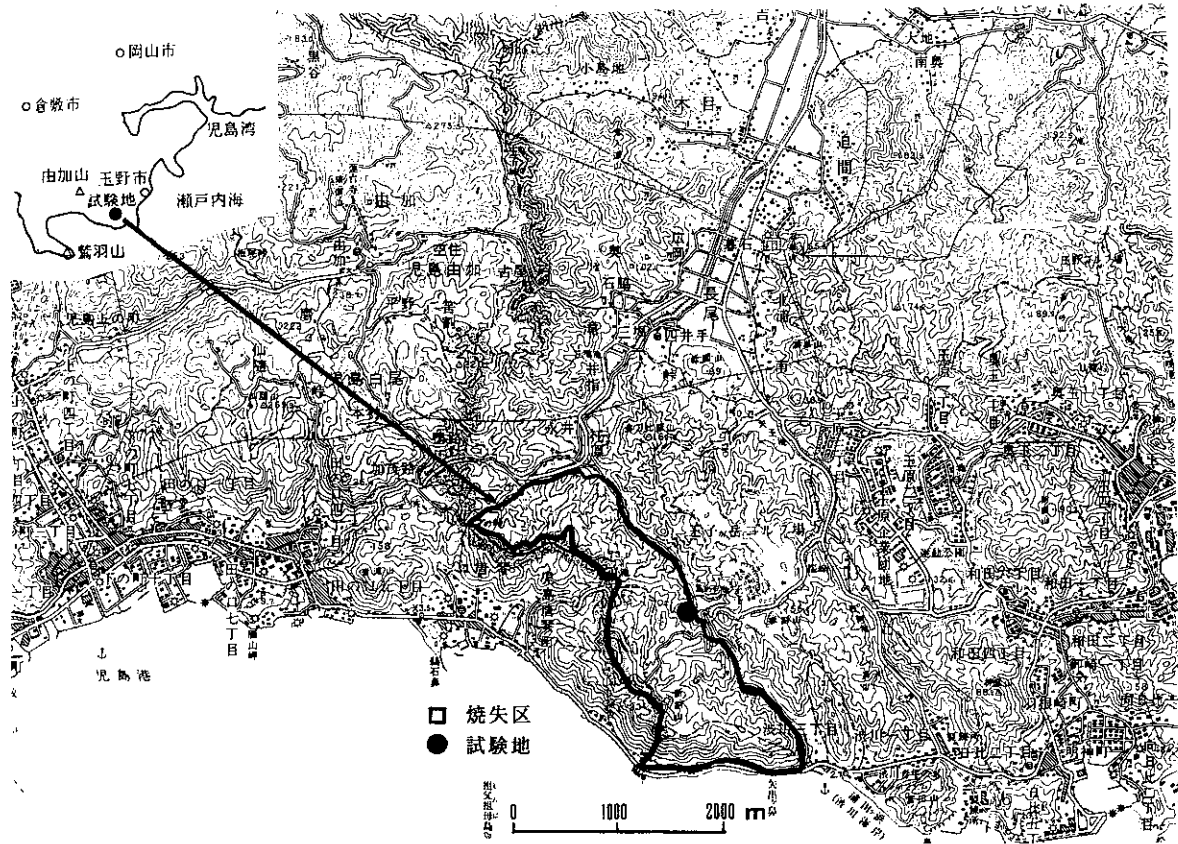


図-1 試験地の位置

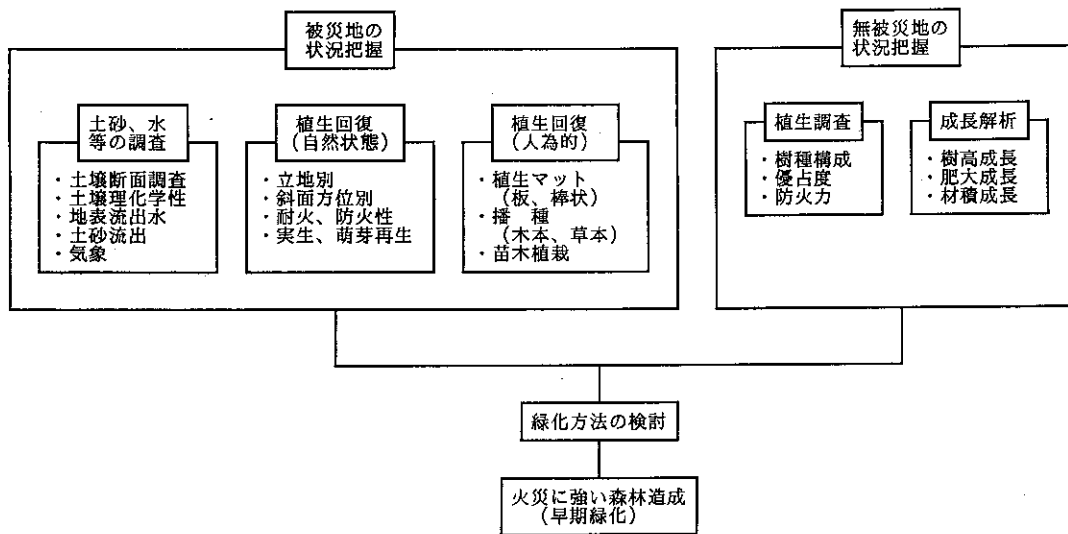


図-2 調査体系 (フローチャート)

は15.3℃、年最低気温は12.1℃、年最高気温は18.9℃、年降水量は1,053mm(820~1,369mm)であった(日本気象協会岡山支部 1980~1983,1985~1988,1994~1995)。地質は中生代花崗岩であるが、深層風化により、マサ土となっている。土壌型は粗粒残積性未熟土壌(Im-β)が多いが、谷間の一部には乾性褐色森林土(Bu)も分布している。王子ヶ岳周辺部では足元の不安定な岩石が山腹に露出している。

玉野市(258ha)の焼失前の林相は、林齢8~37年生のクロマツ、広葉樹からなる人工林(114.9ha)と、樹齢5

~40年のクロマツ、広葉樹からなる天然林(129.1ha)、その他(14.0ha)から成り立っている。無被災林地の状況から焼失前の林床はコシダが存在していたと推定される。

試験区に隣接する馬ノ子池北側および南側の無被災林地でも、林相はクロマツが中心であり、林齢も同程度と考えられる。林床はコシダが覆い、山脚部(谷部)の一部では、コシダの草高が150cm程度になり、枯死したコシダが堆積している。

本試験地内には、植生回復調査、水・土流出調査用プロッ

トをそれぞれ設置している。

2. 調査体系 (フローチャート)

調査体系を図-2に示す。調査は被災林地と無被災林地の状況把握から成り立っている。被災林地では、土砂・水の流出調査、植生回復調査(自然状態)、植生回復調査(人為的)の3点、無被災林地では、植生調査、成長解析調査を行う。被災林地の土壌調査(土壌断面調査含む)、理化学性調査の結果については被災後1年目に報告しており(西山・吉岡 1996)、今回は被災林地の植生回復調査(自然状態)とともに、無被災林地の植生調査および成長解析調査の結果について報告する。

Ⅲ. 調査方法

1. 植生回復調査

被災林地内に南面調査区、北面調査区を設定した。南面

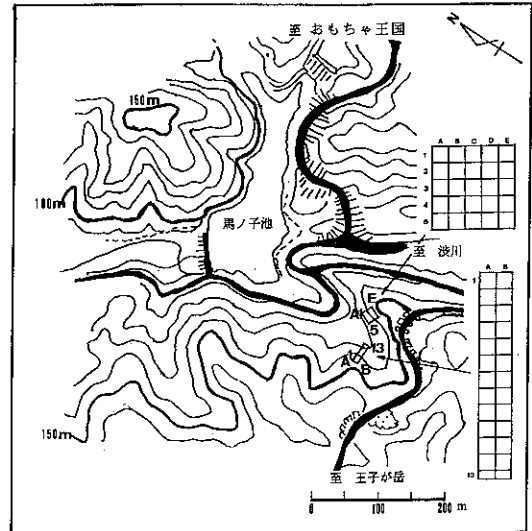


図-3 植生回復調査区の設置場所(玉野市滝)

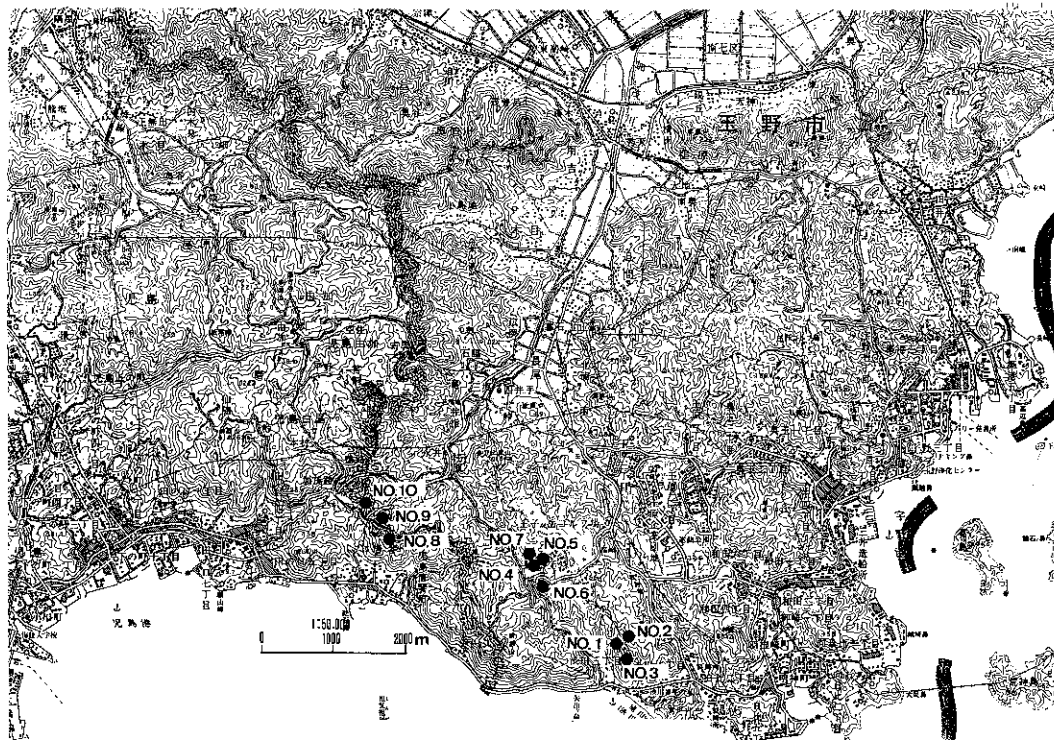


図-4 植生調査プロットの位置

表-1 各植生調査プロットの概況

プロット	土壌型	標高 (m)	傾斜 (°)	斜面 方位	下層植生 (コシダ等)
No.1	Im-β	80~100	35~45	E	コシダ
No.2	Im-β	85~105	40~50	W	コシダ
No.3	Im-β	60~80	15~30	E	無
No.4	Im-β	120~135	40~45	S15° W	コシダ
No.5	Im-β	115~130	35~45	N	コシダ一部有
No.6	Im-β	115~130	25~35	W30° S	コシダ一部有
No.7	Im-β	115~130	25~35	W	コシダ
No.8	Im-β	135~140	10~15	N45° W	コシダ
No.9	B ₁	110~115	0~5	平坦地	コシダ一部有
No.10	Im-β	115~120	10~25	N45° W	無

調査区は小尾根から谷に向かって東南方向に幅4m、長さ25m(面積100m²)の調査区である(図-3)。調査区はさらに2m×2m、2m×1mの小プロットに分かれている(2m×2m 24プロット、2m×1m 2プロット)。本調査区周辺部は過去に治山事業が行われ、枯死木からみてクロマツを主林木とし、肥料木としてエニシダが混植されていたものと考えられる。被災前は樹齢約30~40年生のクロマツ(樹高3~5m)がha当たり2,900本程度成立していたと推察される。調査区周囲はこの地域に一般にみられる土壌の浅い山腹地形である。

北面調査区は山腹部の谷付近から北西方向に位置し、10m×10m(面積100cm²)の調査区である。調査区はさらに2m×2mの小プロット25個に分かれている。この調査区周辺部も、南面調査区同様、かつての治山事業地であり、枯死木からみてクロマツを主林木とし、肥料木としてオオバヤシャブシが混植されていたものと考えられる。ただし、被災前はクロマツ(樹高5~10m)、オオバヤシャブシ(樹高5~6m)ともha当たり400本程度しか残っていなかったと考えられる。

両調査区の各プロット内に出現した木本類について、1995~1998年10~11月に発生位置、被覆率を測定し、位置図を作成した。枯死木の株と萌芽株は樹種別に調査した。実生、萌芽再生した個体について、4年間樹高を調査し、1cm単位で測定した。萌芽株の場合は一番高い個体を測定した。草本類は種名と草高を調査し、草高は1cm単位で測定した。

出現頻度は南面調査区では26、北面調査区では25プロットにそれぞれ出現した本数割合から算出した。

植被率はプロット面積に占める被覆面積(樹冠占有面積)の割合(%)とした。

2. 植生調査

無被災林地内に1997年8~9月、400m²(20m×20mまたは10m×40m)の植生調査プロットを10箇所設定した(図-4)。土壌型は1プロット(B_B型土壌)を除き、9プロットともI_{m-β}型土壌であり、土壌化は進行していない。プロットの位置は標高60~140mの範囲であり、斜面の傾斜は10~35°であったが、40°以上のプロットもみられた。斜面方位別では、東向き2、北向き1、西向き6、平坦地1プロットであった(図-4、表-1)。

プロット内の胸高直径が3cm以上の個体について、幹数をカウントするとともに、樹高、胸高直径、樹冠幅を測定した。樹高は10cm単位、胸高直径は1cm単位で測定した。樹冠幅(樹冠投影面積)は等高線方向とその直角方向を10cm単位で測定し平均して求めた。

プロット間の群集類似度をSorensenの共通係数(CC)および類似度百分率(PS') (伊藤 1977)を用いて求めた。種組成には共通係数、相対幹数および相対胸高断面積には類似度百分率を使用した。これらの指数は、両プロット間に共通する種が出現しなければ0、完全に組成、質的配分が同じ場合は1となる。

$$CC=2a/(2a+b+c)$$

ただし、aは両プロットに共通する種数、bおよびcはそれぞれのプロットに出現した種数を示す。

$$PS'=\sum \min(X_i, Y_i)$$

ただし、X_i、Y_iはそれぞれのプロットに出現した樹種の相対量を示す。

種多様度は次のH'(Shannon and Weaver 1949)を用いた。

$$H'=-\sum p_i \cdot \log(p_i)$$

ただし、優占度p_iはそれぞれのプロットに出現した樹種の相対胸高断面積である。

優占度の配分を示す均等度は次のJ'(Oliver 1981)を用いた。

$$J'=H'/\log S$$

ただし、Sは種数、logSは与えられた種数内での多様度H'の最大値を示す。

3. 成長解析

調査対象とした樹種は植生調査の結果、玉野市を含む岡山県南部一帯の森林において出現頻度が高く、将来、高木層を形成すると予想されるコナラ、ウバメガシ、ソヨゴと治山事業で実績のあるオオバヤシャブシ、メラノキシロンアカシア、ヤマモモ(太田 1994)の6樹種である。

1996~1998年10~11月にB_B型土壌とI_{m-β}型土壌の2土壌型でそれぞれ樹幹解析用にそれぞれ各1本ずつ採取した(図-5)。ただし、オオバヤシャブシはB_B型土壌では1本、I_{m-β}型土壌では2本を採取した。また参考としてB_B型土壌でアカマツ、クロマツを各1本ずつ採取した。採取した円盤より成長解析を行った。成長解析用調査木の概要を表-2に示す。

IV. 調査結果および考察

1. 植生回復調査

(1) ワラビの繁殖

ワラビの調査区別平均草高と平均植被率を図-6に示す。北面調査区では被災直後から被災後3年目にかけて、ワラビの草高はほぼ直線的に増加し、被災後3年目のワラビの草高は150cmを超えていた。被災後4年目のワラビの草高も被災後3年目と同様であった。植被率は被災後2年目には既に80%に達し、被災後3年目にはさらに90%以上に達していた。南面調査区でもワラビの草高は被災直後から被災後3年目にかけてほぼ直線的に増加していたが、草高は約50cmに止まっており、北面調査区に比べ明らかに低かった。植被率も被災後2、3年目でそれぞれ50、70%と増加傾向にあったが、草高と同様、ワラビの植被率は北面調査区に比べると低い数値であった。瀬戸内の寡雨地域において、山腹緑化工を施工した後2年目では山腹上部と下部で植被率がそれぞれ30~40%、80~90%と差があり、さらに施工斜面方位別でも、施工7カ月で、北面斜面の植被率は70%、西面斜面で30%と差があったとする報告がある(神戸 1994)。本調査でも、北面、南面斜面における被災後



図-5 成長解析用調査木の採取箇所

表-2 成長解析用調査木の概要

樹種	サンプル採取場所	土壌型	樹齢(年)	樹高(m)	胸高直径(cm)	枝下高(m)	樹冠幅(m)
ウバメガシ	D	Bb	54	12.40	17.70	4.65	5.00
	C-2	Im-β	24	5.20	5.89	2.30	1.90
ソヨゴ	D	Bb	52	11.50	15.93	4.90	4.20
	B	Im-β	27	5.65	7.73	1.30	2.60
ヤマモモ	C-1	Bb	28	7.70	8.42	3.25	3.05
	C-2	Im-β	22	5.90	8.69	1.70	3.30
コナラ	C-1	Bb	28	8.15	7.48	6.00	3.85
	B	Im-β	27	5.00	5.16	2.70	2.50
オオバヤシャブシ	A	Bb	23	9.10	10.24	4.45	2.60
	B	Im-β	17	6.20	8.62	1.90	2.70
	C-2	Im-β	15	7.70	6.56	2.20	2.35
メラノキシロン アカシア	A	Bb	22	9.90	23.40	1.40	4.30
	B	Im-β	22	6.55	7.42	3.60	2.40
アカマツ	C-2	Im-β	26	5.00	10.35	2.10	3.55
クロマツ	C-2	Im-β	28	5.00	5.64	2.30	1.65

2年目の植被率はそれぞれ約80、50%で、日当たりの良い南面斜面の植被率は北面斜面に比べ低下する傾向がみられた。ワラビは光条件のいい立地を好むことから、一般には南面調査区での生育が良くなると考えられるが、北面調査区の方がワラビの生育が良好であったことは、原因として

南面調査区の方が夏期に土壌の乾燥が激しいことが考えられる。このことから、緑化工を施工する際に微地形等について十分検討する必要があると考えられる。

なお、南面調査区では被災後1年目には既にワラビの出現頻度が100%に達していたのをはじめ、ヒメムカシヨモ

ギ (出現頻度 88%)、オオアレチノギク (24%) が確認された。北面調査区でもワラビをはじめ (出現頻度100%)、ヒメムカシヨモギ (68%)、オオアレチノギク (24%)、ヨウシュヤマゴボウ (20%)、イタドリ (20%) が確認された (西山・吉岡 1996)。しかし、被災後2年目以降はワラビ以外の草本類は確認されなかった。

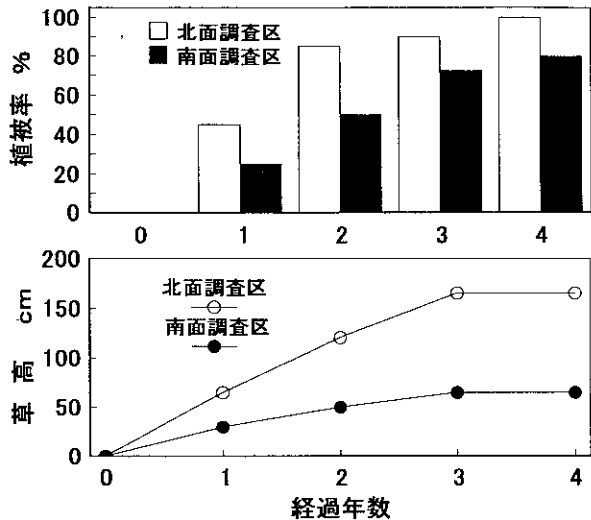


図-6 ワラビの調査区別平均草高と平均植被率
上段：植被率 下段：草高

(2) 木本類の再生

被災後4年目の南面調査区、北面調査区の樹冠投影図をそれぞれ図-7、-8に示す。また、植生回復調査区における木本類の植被率を図-9に示す。南面調査区の場合、木本類の植被率は被災後2年目から3年目にかけて12%か

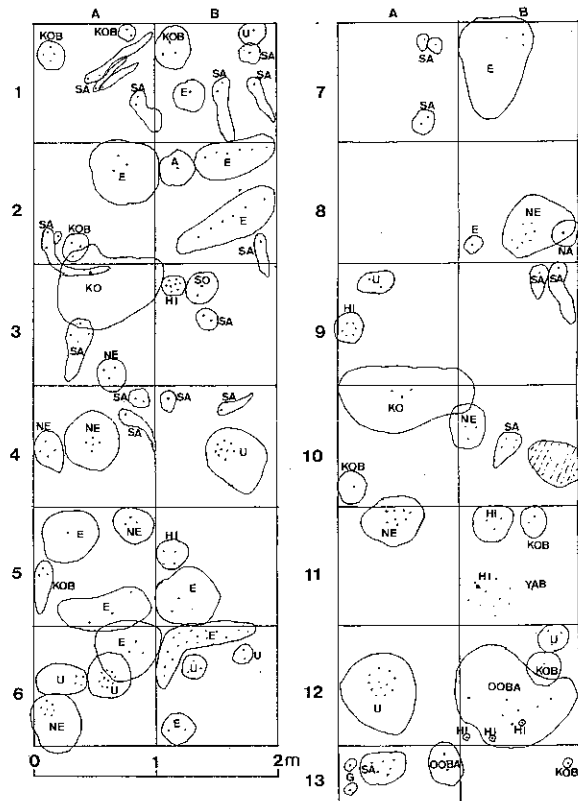


図-7 南面調査区の樹冠投影図 (凡例は図-8と同じ)

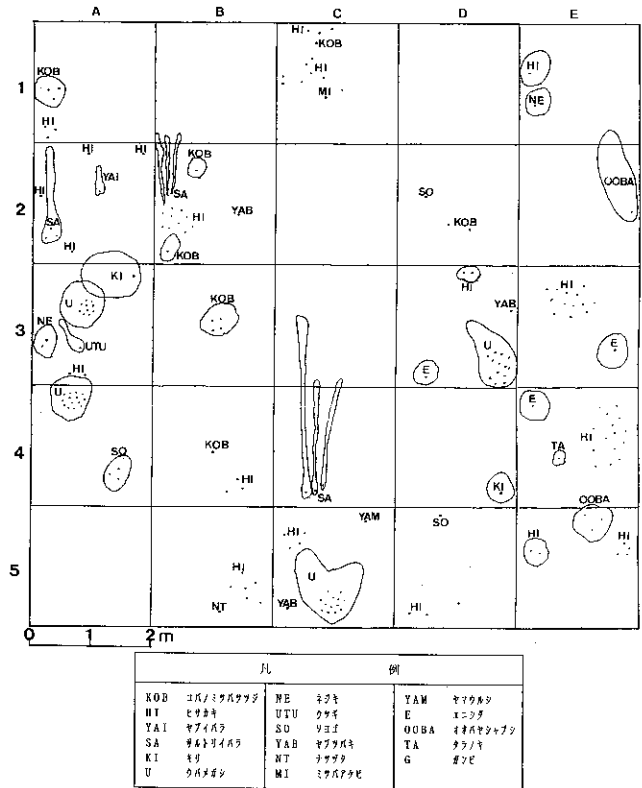


図-8 北面調査区の樹冠投影図

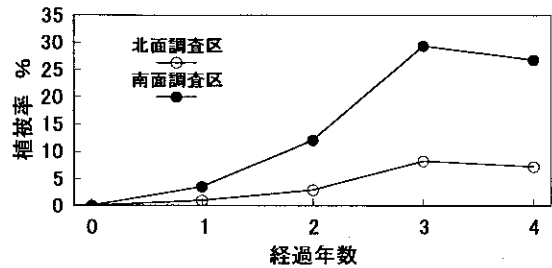


図-9 植生回復調査区における木本類の植被率

ら29%と上昇したが、4年目には27%に低下していた。被災後4年目における植被率の内訳をみると、エニシダが8%、ネジキ、コナラが各4%で、いずれの樹種の植被率も低い数値に止まっていた。木本類の植被率が低下した原因はワラビの繁殖によるものと考えられる。北面調査区の場合、木本類の植被率は被災後3、4年目でもそれぞれ8、7%で推移しており、南面調査区に比べ明らかに低い数値であった。被災後4年目の樹種別植被率は、ウバメガシが2%、オオバヤシヤブシ、キリが各1%であった。北面調査区における木本類の植被率が南面調査区より低い原因として、ワラビの繁殖状況の差が考えられる。

実生再生した個体本数の変化を図-10に示す。ただし、ここに示す個体本数は各調査時点での実生由来の個体数を表しており、1995年10月時点に出現した個体数を含んでいる。この南面調査区で実生再生した個体はエニシダ、サルトリイバラが中心であった。被災後1年目にha当たり14,000本であったが、その後は約12,000本で推移しており、実生再生個体の本数に大きな変動はみられなかった。北面調査区では、実生再生した個体は被災後1年目の約5,000

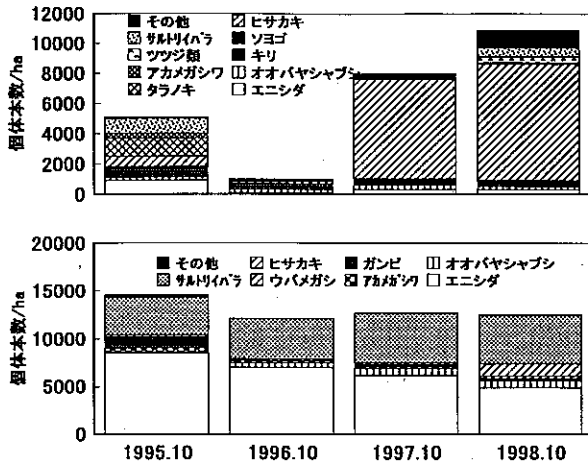


図-10 実生再生した個体本数の変化

上段:北面調査区
下段:南面調査区

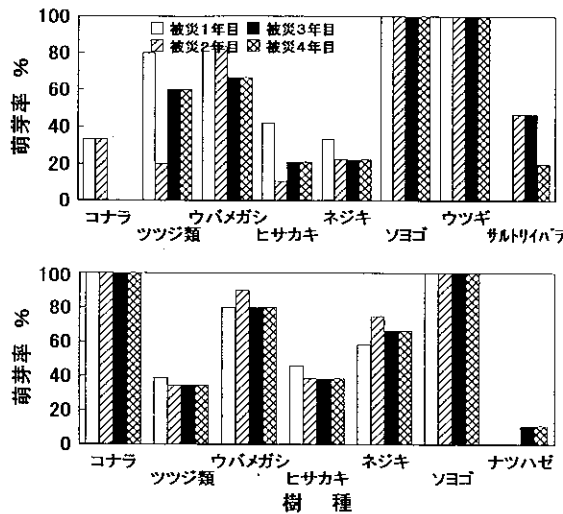


図-11 樹種別の萌芽率

上段:北面調査区
下段:南面調査区

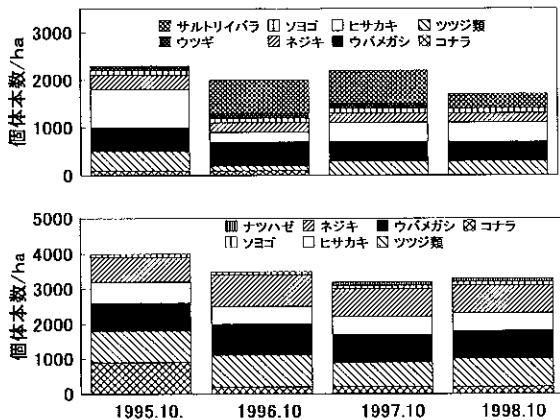


図-12 萌芽再生した個体本数の変化

上段:北面調査区
下段:南面調査区

本から2年目には1,000本未満に激減していたが、被災後3年目には増加に転じ、ha当たり約8,000本、4年目には約11,000本に増加していた。再生個体の大部分をヒサカキ

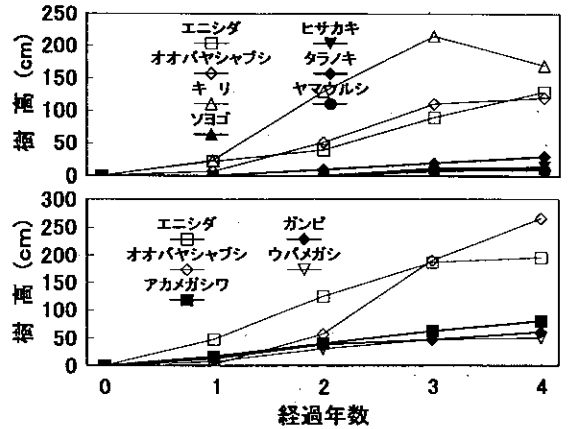


図-13 実生再生樹の樹高成長経過

上段:北面調査区
下段:南面調査区

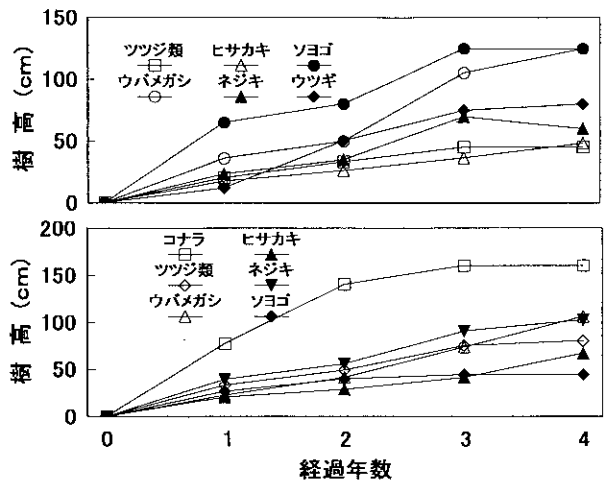


図-14 萌芽再生樹の樹高成長経過

上段:北面調査区
下段:南面調査区

が占めていたが、これは被災後3、4年目に立木（焼死）が一斉に倒れたため、ワラビの繁殖が抑えられ、その結果、地表部に稚樹が発生できる空間ができ、発芽環境が整ったためと考えられる。実生の再生を図るためには被災林地内にギャップを作る必要があるといえる。

樹種別萌芽率を図-11に示す。南面調査区では、被災後1、2年目で完了しており、3年日以降新たに萌芽再生した個体は確認されなかった。コナラ、ソヨゴでは全個体で萌芽が確認された。また、ウバメガシ、ネジキでは70%以上の個体で萌芽がみられた。北面調査区では、萌芽による再生は被災後1年目で完了しており、2年日以降新たに萌芽再生した樹種はみられなかった。ソヨゴ、ウツギは全個体で萌芽が確認されたほか、ウバメガシ、ツツジ類では70%以上の個体で萌芽がみられた。両調査区ともにソヨゴ、ウバメガシの萌芽率がともに70%以上と高く、植栽する場合、萌芽再生も期待できる点で有利な樹種であると考えられる。

萌芽再生した個体本数の変化を図-12に示す。南面調査区の萌芽再生本数は被災後1年目にはha当たり約4,000本であったのに対し、被災後4年目には約3,000本と年々減少していた。ただし、被災後1年目から、全再生本数に占めるネジキ、ヒサカキ、ウバメガシ、ツツジ類の本数割合

ブシを除き、萌芽可能な樹種であるかどうか、将来、南面調査区に成立するであろう森林において、主要構成樹種になるかどうかの分かれ目であると思われる。現時点で、実生、萌芽による再生は相当本数みられるが、視覚的にはシダ類に比べ、木本類の植生回復はまだ遅れていると考えられる。被災林地は300ha以上にも及んでおり、周辺部に種子供給源となる母樹がなく、実生で侵入する樹種が今後も少ないことが予想される。

2. 植生調査

(1) 植 生

植生調査プロットの林分概況を表-3に示す。出現した種数は全プロットで27種、1プロット当たりでは6~18樹種が確認された。全プロットに共通して出現した樹種はヒサカキのみで、以下9プロットでオオバヤシャブシ、ネジキ、8プロットでヤマウルシ、7プロットでコナラ、クロマツ、ネズミサシの出現がそれぞれ確認された(表-4)。1プロット当たりの幹数は22本(550本/ha)~315本(7,875本/ha)であった。haあたりに換算すると、1,000本未満が2プロット、1,000~4,000本が7プロット、4,000本以上は1プロットであり、10,000本を超えたプロットはみられなかった。

相対幹数では、ヒサカキが優占している場合が3プロット

(No.5、No.7、No.10)、ウバメガシ、ヒサカキが優占している場合が2プロット (No.1、No.3)、コナラが優占している場合が2プロット (No.8、No.10) であり、ウバメガシが優占しているプロット (No.2)、メラノキシロンアカシア、ヒサカキが優占しているプロット (No.4)、ネジキ、ヒサカキが優占しているプロット (No.6)、カクレミノ、ウバメガシが優占しているプロット (No.9) が各1であった。

相対胸高断面積では、ウバメガシが優占している場合が3プロット (No.1、No.2、No.9)、コナラが優占している場合が2プロット (No.8、No.10)、ウバメガシ、オオバヤシャブシ、ヒサカキが優占しているプロット (No.3)、メラノキシロンアカシアが優占しているプロット (No.4)、ソヨゴ、メラノキシロンアカシア、コナラ、ヒサカキが優占しているプロット (No.5)、ネジキ、クロマツが優占しているプロット (No.6)、コナラ、オオバヤシャブシ、ヒサカキが優占しているプロット (No.7) が各1であった。コナラの場合、プロットNo.7、No.10ではヒサカキより相対幹本数率が低かったが、胸高断面積の割合はヒサカキより高かった。ヒサカキの場合は胸高断面積が小さい個体が多いのに対し、コナラの場合は胸高断面積が大きい個体が多いことを示している。

樹冠投影面積からみた優占度でも(表-5)、相対幹数、

表-5 樹冠投影面積からみた優占度

番号	樹 種	優 占 度									
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
1	クロマツ <i>Pinus thunbergii</i>	1			2	2	2	1	2		2
2	ネズミサシ <i>Juniperus rigida</i>		+		1	+	2	+		+	2
3	コナラ <i>Quercus serrata</i>	1			3	3		3	5	3	5
4	ネジキ <i>Lyonia neziki</i>	2	+		+	2	3	2	2	+	2
5	ヒサカキ <i>Eurya japonica</i>	2	1	5	2	4	3	3	1	1	5
6	ウバメガシ <i>Quercus phylliraoides</i>	3	3	5	2	1		5	+	4	
7	メラノキシロンアカシア <i>Acacia meranoxyton</i>				3	2			2		
8	オオバヤシャブシ <i>Alnus sieboldiana</i>	2	2	4	2	2		3	1	+	4
9	ニセアカシア <i>Robinia pseudo-acacia</i>										3
10	カクレミノ <i>Dendropanax trifidus</i>									3	2
11	ソヨゴ <i>Ilex pedunculosa</i>				2	3	1	3	2	+	
12	ヤマモモ <i>Myrica rubra</i>				1			3			2
13	ヤマウルシ <i>Rhus trichocarpa</i>	1	+	1	1			+	+	1	2
14	ヌルデ <i>Rhus javanica</i>									1	1
15	ヤマザクラ <i>Prunus jamasakura</i>							2	+	1	2
16	シャシヤンボ <i>Vaccinium bracteatum</i>				+	2	2		1	1	+
17	コバノミツバツツジ <i>Rhododendron reticulatum</i>	2	1		+			+			
18	タラノキ <i>Aralia elata</i>				1						
19	センダン <i>Melia azedarach</i>				1						
20	アカメガシワ <i>Mallotus japonicus</i>	1	1	2					1	2	2
21	モッコク <i>Temstroemia gymnanthera</i>	2							1	+	
22	モチノキ <i>Ilex integra</i>										+
23	アベマキ <i>Quercus variabilis</i>										2
24	カキノキ <i>Diospyros kaki</i>			1							+
25	クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i>									2	2
26	ネズミモチ <i>Ligustrum japonicum</i>										1
27	ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i>					+					

注. 優占度は調査プロット面積に占める樹種ごとの樹冠投影面積の割合を算出し、さらに以下のとおり区分した

優占度	樹冠投影面積比率
5	76% 以上
4	51~75 %
3	26~50 %
2	6~25 %
1	1~5 %
+	1% 未満

相対胸高断面積と同様にウバメガシ、コナラ、ヒサカキが優占し、玉野市を含む県南部一帯の森林の主要構成樹種であると考えられる。

平均樹高はプロットNo.9が最大で6.5m、プロットNo.6が最小で4.6mであった。プロット別の樹高分布をさらに細かくみると、No.1、No.2、No.4のプロットでは樹高が2～3m台、No.5、No.6、No.7、No.8、No.10の各プロットでは樹高が4m台、No.3、No.9では樹高が5m台の頻度が最も高かった。樹高が最も大きい個体はコナラの16m台で（プロットNo.5）、以下、コナラの15m台（プロットNo.10）、ヤマザクラ、コナラの14m台（プロットNo.7、No.10）、クスノキ、コナラの13m台（No.9、No.10）の順であった（図-15）。

平均胸高直径をみると、プロットNo.3が最大で8.1cm、最小はプロットNo.6の4.7cmであった。プロット別の直径分布をさらに細かくみると、No.1、2、4、7、8のプロットでは胸高直径が3cm台、No.5、6、10のプロットでは4cm台、プロットNo.3、9では5cm台が最も頻度が高かった。胸高直径が最も大きい個体はクスノキの37cm（プロットNo.9）、次にコナラの32cm（プロットNo.10）、オオバヤシャブシの29cm（プロットNo.3）の順であった（図-16）。

胸高断面積合計はha当たり3.6～34.1㎡の範囲であったが、特にプロットNo.10は幹数と同様に胸高断面積合計も最大であった。

胸高直径が10cm以上の幹数はコナラ、ウバメガシ、オオバヤシャブシ、メラノキシロンアカシア、ソヨゴ、ヤマモモの順に多かった。樹種別出現頻度を胸高直径10cm以上に限ってみると、コナラ、ソヨゴの出現頻度が60%、オオバヤシャブシが50%で、全プロットの半分以上で確認された。特にソヨゴの場合、出現した6プロットすべてに胸高直径が10cm以上の個体がみられた（図-17）。

Sorensenの共通係数をみると（表-6）、プロットNo.4とNo.5、プロットNo.4とNo.7の間の共通係数はそれぞれ87.0、83.3%に達し、両プロット内の樹種が共通していることが明らかになった。逆にプロットNo.3はプロットNo.4～10との間の共通係数がいずれも50%未満であった。特にプロットNo.6との間の共通係数は15.4%と際だって低く、両プロットの樹種構成が大きく異なっていることが明らかになった。プロットNo.3は最も海岸に近い谷部に位置しているのに対し、プロットNo.4～10は内陸部の中腹～尾根部に位置していることから樹種構成が異なっていると考えられる。プロットNo.1～3、No.4～7、No.8～10はプロット間の共通係数がいずれも50%以上であったが、このことはプロットの位置が地理的にそれぞれ近く、かつ中腹～尾根部に位置していることが大きく影響していると考えられる。

類似度百分率を相対幹数でみると（表-7）、プロットNo.5とNo.7、プロットNo.7とNo.10の間の類似度はそれぞれ75.6、77.1%と高かったのに対し、プロットNo.3は共通係数同様にプロットNo.1およびNo.2以外の間の類似度がいずれも50%未満であり、特にプロットNo.8との

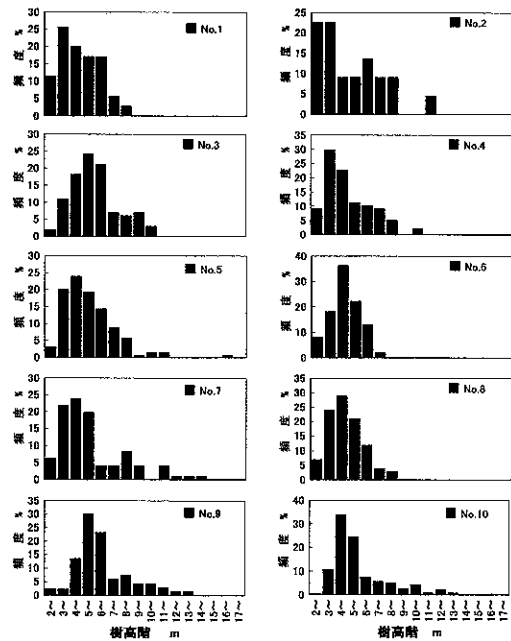


図-15 各植生調査プロットの樹高階分布

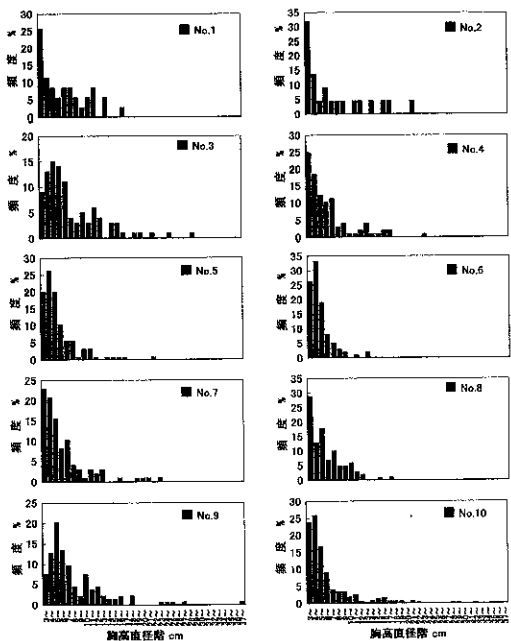


図-16 各植生調査プロットの胸高直径階分布

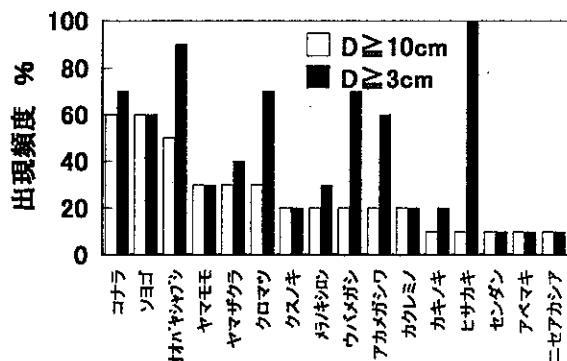


図-17 樹種別の出現頻度

表-6 植生調査プロット間の共通係数

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
No.1		73.7	58.8	69.6	66.7	50.0	63.2	75.0	57.1	58.3
No.2			62.5	63.6	50.0	53.3	50.0	57.1	59.3	56.0
No.3				40.0	33.3	15.4	33.3	47.6	40.0	38.1
No.4					87.0	63.2	83.3	74.1	56.3	59.3
No.5						62.5	69.6	72.0	55.2	48.0
No.6							58.8	40.0	33.3	40.0
No.7								72.0	62.1	72.0
No.8									75.0	57.1
No.9										62.5

注. 単位は%を示す

表-7 植生調査プロット間の類似度

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
No.1		31.9	63.9	48.0	48.6	38.2	46.7	28.2	39.7	37.9
No.2	69.1		63.9	36.2	28.6	23.8	30.8	14.6	43.7	28.7
No.3	62.8	62.8		40.2	46.0	31.3	47.8	10.0	40.1	43.1
No.4	24.3	13.7	15.9		59.1	45.5	47.6	23.4	23.0	38.0
No.5	32.7	30.5	30.5	60.8		47.5	75.6	37.0	16.4	60.1
No.6	21.0	17.1	16.8	20.6	31.7		42.8	31.0	6.7	42.5
No.7	37.2	26.4	40.6	36.7	58.2	25.5		35.0	16.8	77.1
No.8	18.2	4.8	4.0	35.6	43.1	19.2	42.5		20.1	23.5
No.9	40.1	38.0	33.0	20.1	22.0	2.1	22.6	21.2		22.6
No.10	35.0	18.8	32.4	34.7	51.9	27.3	66.0	52.7	26.4	

表-9 各要因の相関関係

プロット	DBH - H	DBH - SAC	H - SAC
No.1	0.813**	0.597**	0.385*
No.2	0.924**	0.845**	0.801**
No.3	0.739**	0.849**	0.726**
No.4	0.764**	0.701**	0.633**
No.5	0.795**	0.603**	0.595**
No.6	0.577**	0.536**	0.395**
No.7	0.842**	0.665**	0.611**
No.8	0.755**	0.758**	0.611**
No.9	0.802**	0.887**	0.739**
No.10	0.860**	0.860**	0.758**

注1. 上段は相対幹本数、下段は相対胸高断面積より算出
2. 単位は%を示す

DBH: 胸高直径 H: 樹高
SAC: 樹冠投影面積
**: 1%水準で有意 *: 5%水準で有意

表-8 各植生調査プロットにおける種多様度と均等度

項目	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
幹本数 (/plot)	35	22	99	97	125	99	96	100	133	315
樹種数	10	9	7	13	11	6	11	14	18	14
多様度 (H')	2.469	0.805	1.804	2.731	2.885	2.125	2.656	1.813	2.652	2.689
均等度 (J')	0.743	0.569	0.643	0.738	0.834	0.822	0.768	0.476	0.636	0.706

表-10 胸高直径より区分した下層および上層の種多様度と均等度

項目	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
幹本数 (/plot)	26	16	70	82	111	96	81	87	94	271
樹種数	8	9	6	12	11	6	10	14	17	12
多様度 (H')	1.458	1.071	0.989	1.814	1.937	2.045	1.448	1.790	1.091	1.485
均等度 (J')	0.486	0.338	0.383	0.506	0.506	0.791	0.436	0.470	0.470	0.414
幹本数 (/plot)	9	6	29	15	14	3	15	13	39	44
樹種数	4	3	3	5	4	2	5	2	8	8
多様度 (H')	1.476	1.259	1.101	1.425	1.394	0.591	1.737	0.798	2.021	1.569
均等度 (J')	0.738	0.795	0.695	0.614	0.697	0.591	0.748	0.798	0.674	0.523

類似度は10.0%と極めて低かった。プロットNo.6とNo.9、プロットNo.2とNo.8の間の類似度もそれぞれ6.7、14.6%と低い傾向がみられた。類似度百分率を相対胸高断面積で見ると、プロットNo.1~No.3、プロットNo.7とNo.10の間の類似度はともに60%以上であったのに対し、プロットNo.6とNo.9の類似度は2.1%と際だって低かった。

共通係数に比べ、相対幹数や相対胸高断面積から求めた

類似度が総じて低い傾向がみられたことは、各プロットとも樹種の違いよりも、樹種ごとの幹数や胸高断面積の差が際だっていることを示すものである。この原因として植生遷移の段階がプロット間で異なっており、樹齢が異なっていることが考えられる。

種多様度を相対胸高断面積に基づき算出した(表-8)。種多様度は0.805~2.885の範囲にあったが、プロット

No.2では、ウバメガシ、オオバヤシャブシに優占度が偏ったために種多様度(H')が最も低かったのに対し、プロットNo.5は優占度の配分、つまり均等度(J')が高いことから、種多様度が高くなったと考えられる。

現在の林分構造から、将来の種多様度の変化を予測することとした。樹高が高く、かつ樹冠投影面積が大きい個体が樹冠の上層を占めると想定し、樹高、樹冠投影面積と相関が高い胸高直径について(表-9)、胸高直径10cmを基準に樹冠を上層と下層に区分し、階層別に種多様度を算出した(表-10)。種数は上層ではプロットNo.9、No.10の8樹種、下層ではプロットNo.9、No.8がそれぞれ17、14樹種と多かった。いずれのプロットとも上層より下層の方が種数が多い傾向がみられた。上層の種多様度は0.591~2.021の範囲で、プロットNo.9、No.7、No.10の順に高く、逆にプロットNo.6、No.8では低い傾向がみられた。下層の種多様度は0.989~2.045の範囲で、プロットNo.6、No.5、No.4の順に高く、逆にNo.3、No.2では低い傾向がみられた。プロットNo.9では上層の方が明らかに下層より種多様度が高かったのに対し、プロットNo.4~No.6、No.8では下層の方が上層より種多様度が高い傾向がみられ、それ以外のプロットでは、上層、下層の種多様度に大きな差はみられなかった。特にプロットNo.9は平坦地に位置し、玉野市周辺部でも土壤条件が比較的良い箇所に相当すると考えられることから、上層部の種多様度が高い数値になったと推察される。

岡山県西北端の落葉広葉樹林で、火入れと伐採という異なった攪乱の場合、火入れを受けた側の種多様性は低く、伐採した側では種多様性は高い傾向がみられたとする報告がある(佐野・大塚 1998)。この中で、さらに上層、下層を胸高直径10cmで分けた場合、火入れを受けた側の種数は上層より下層で多く、種多様度、均等度も上層より下層で高かったのに対し、逆に伐採を受けた側では上層より下層の方が種数が少なく、種多様度、均等度も低かったとしている。今回、設定した調査プロットは林野火災の後に再生した森林とかつて「はげ山」であった箇所が再生した森林の2種類に大別できると考えられるが、ことについては今後さらに実証も含めて調査する必要がある。

今回の調査プロットは一部成長解析を行った箇所と同一であることから、各プロット内の樹齢は25~60年の範囲であろうと推察される。今後、斜面中下部ではアベマキ・コナラ林からアラカシ・ヤマモモの照葉樹林、さらにはシイ林に、斜面上部ではウバメガシの極相林へと植生は遷移していくことが予想され(高橋和成ら 1992)、現時点で植生遷移は途中段階にあると考えられる。今後、プロットNo.3のように上層の種多様度が低い場合、逆にプロットNo.9のように上層の種多様度が高い場合、それぞれの種多様度がどのように変化していくか継続調査をしていく必要があると考えられる。

(2) 防火効果

植物の防火効果について、樹種別に防火効果を判定し、防火力を「大」、「中」、「小」、「危険」の4段階に区分した

報告がある(高橋・福島 1980)。今回の植生調査で出現した樹種の中で、防火効果が判明している樹種は全27樹種のうち15樹種であった(表-11)。

表-11 樹種別の防火力(高橋・福島 1980より)

防火力大	防火力中	防火力小	危険
ヤマモモ	ウバメガシ	クスノキ	クロマツ
モッコク	コナラ	サクラ類	
ネズミモチ	ヒサカキ	ニセアカシア	
モチノキ	センダン		
カクレミノ	ツツジ類		
ヤブツバキ			

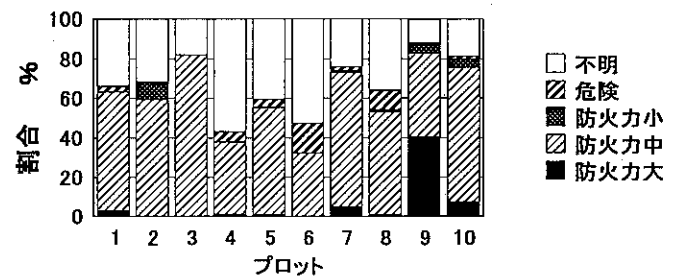


図-18 相対幹数でみたプロット別の防火効果

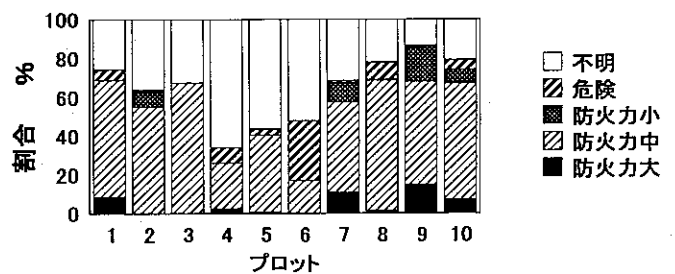


図-19 胸高断面積でみたプロット別の防火効果

防火機能は防火力の大きい常緑広葉樹が多いほど、森林の群落が高く、高木層が密に繁っているほど高まると考えられることから、樹種別の防火効果を参考にして、相対幹数、相対胸高断面積からプロット別の防火効果を算出した。

なお、落葉樹の防火効果は着葉時期と落葉時期で異なるが、今回の林野火災が夏季に発生した例であることから、着葉時期の防火効果を用いた。さらにオオバヤシャブシ、メラノキシロンアカシア等は防火効果が明らかにならず、防火力については不明とした。

防火効果の中で、相対幹数でみると(図-18)、プロットNo.9は防火力「大」の割合が約40%と他のプロットと比べ高かったが、これにはカクレミノが大きく寄与していた。これ以外のプロットでは防火力「大」の割合はいずれも10%未満と低かった。防火力「中」の場合、これに該当するウバメガシ、コナラ、ヒサカキの相対幹本数率がいずれのプロットとも高いことから、防火力「大」、「中」を合わせると、プロットNo.3、9では80%以上に達していた。逆に危険に区分された割合は最大のプロットでも15.2%と低い傾向がみられた。

相対胸高断面積でみると(図-19)、防火力「大」の割合は最大のプロットでも約15%となっており、相対幹数に

比べさらに低下していた。ただし、防火力「中」の割合を加えると、プロットNo. 1、3、8、9、10では70%台に達していた。「危険」の割合はプロットNo.6で約31%に達していたのをはじめ、相対幹数に比べ上昇する傾向がみられた。ただし、全調査プロットともクロマツの相対幹数、相対胸高断面積の割合は林野火災の主原因と言われているほど高くなく、現在の玉野市周辺部の森林がクロマツを優占種とした森林ではないことを裏付けている。

相対幹数、相対胸高断面積よりプロット別の防火効果をみると、防火効果が不明の割合を除けば、防火力「大」、「中」を合わせた割合は防火力「小」、「危険」の割合よりも高い傾向にあるが、コナラ、ツツジ類等の落葉広葉樹の場合、落葉時期では防火力は「小」になり、プロットの防火力はさらに低下することが明らかである。さらに防火力「大」の割合に限れば、相対幹数、胸高断面積ともに10%未満のプロットが大部分を占めていた。このことから、玉野周辺部には防火効果が大きい森林が少ないことが明らかになった。1994年8月の火災により今回植生調査を実施したプロットの周辺部がほとんど焼失したことは上記の点をさらに裏付けていると考えられる。

防火機能が期待できる森林について、①防火力の大きい常緑広葉樹を中心とする森林であること、②各階層（高木層、亜高木層、低木層、草本層）が発達していること、③森林の群落が高く、高木層が密に繁っていることの3点を挙げている（福嶋ら 1983）。また森林の下層に常緑の低木が繁茂していると、森林の防火力が高まるとされている（高橋・福嶋 1980、野島 1996）。以上の点より、今回の植生調査で確認された防火力の大きい常緑広葉樹を植栽等で人為的に取り入れる方法は有効であると考えられる。このことに関連し、岡山県の気候的要因と植生の関係について報告した例がある（難波・波田 1997）。この中で、ヤマモモは暖かさの指数（WI）が120℃以上に分布の極大を持っているが年降水量が1,200mm未満で出現を欠き、生育地も谷沿いの適潤地であることが多いこと、ヤブツバキはWI110~120℃に分布の極大を持ち、年降水量が1,200mm以下では分布は減少している点、モチノキは岡山県内に分布が非常に少ないことを指摘している。玉野周辺部の暖かさの指数（WI）は120℃以上であるが、年降水量が1,000mm程度であり、ヤブツバキ、ヤマモモ、モチノキの幹数が少なかった点と一致する。玉野市周辺部の中腹~尾根部において、ヤマモモ、ヤブツバキの植栽は降水量の点より難しいと推察されることから、当該樹種の植栽に当たっては植栽工法等の改良が必要である。

林野火災は植生とともに地形、土壌、局地気候などの物理的要因の状態により、燃焼強度や頻度など林野火災の性格が異なる（後藤 1998）。林野火災の発生頻度はコシダ等のシダ類が優占する疎林ではさらに高くなる（波田・谷野 1988）。また、林野火災が自然鎮火する「火止まり線」はシダ類の被度と大きな関係がある（山崎・中根 1987）。このことから、今回の調査では、相対幹数、相対胸高断面積を指標に用いて木本類について防火効果を検討したが、今後、胸高直径が3 cm未満の木本類やシダ類も含めた林床植

生を調査し、森林全体および階層別の防火効果を明らかにし、その上で、防火効果が低い森林または低い階層について、防火力が大きい樹種へ転換していく必要がある。

3. 成長解析（樹幹解析）

樹種別の樹高成長、肥大成長、材積成長について、それぞれ図-20、図-21、図-22に示す。樹種別の樹高成長は、B_B型土壤内に生育していたメラノキシロンアカシアを除

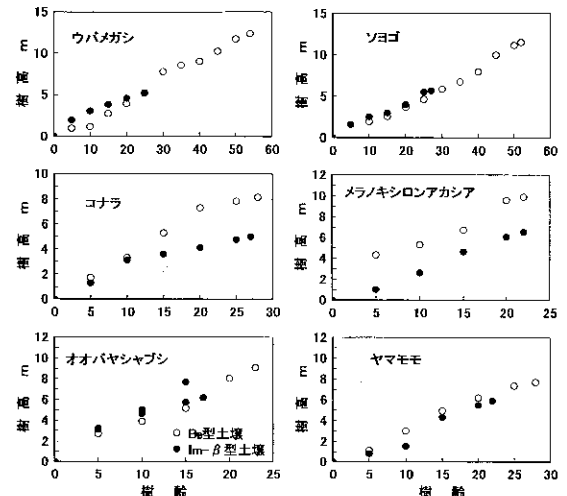


図-20 樹種別の樹高成長経過

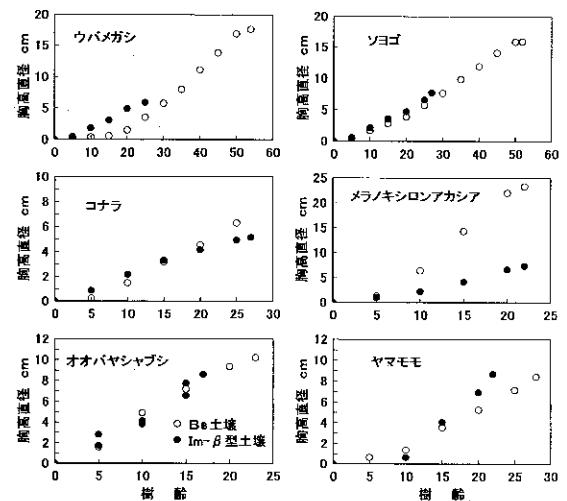


図-21 樹種別の肥大成長経過

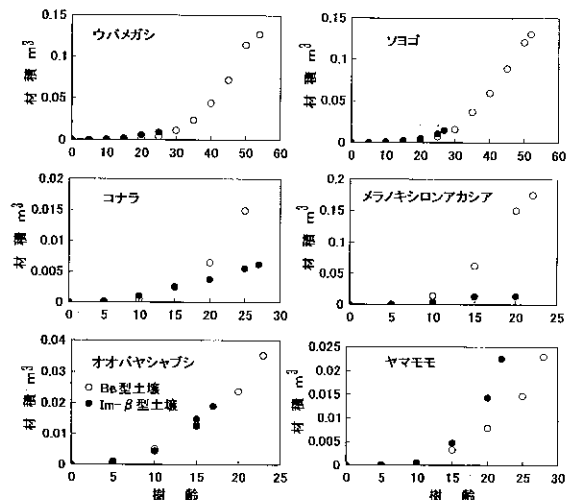


図-22 樹種別の材積成長経過

表-12 樹種別の樹高成長

樹種	土壌型	回帰式	相関係数	樹齢
コナラ	B _B	$y=8.5/(1+10.658e^{-0.190x})$	0.995**	28
オオバヤシャブシ	B _B	$y=0.379x+0.991$	0.991**	23
メラノキシロンアカシア	B _B	$y=11.0/(1+4.675e^{-0.157x})$	0.691	22
ウバメガシ	B _B	$y=0.244x-0.511$	0.993**	54
ソヨゴ	B _B	$y=0.219x-0.346$	0.992**	52
ヤマモモ	B _B	$y=8.0/(1+15.653e^{-0.201x})$	0.973**	28
コナラ	Im-β	$y=5.1/(1+7.116e^{-0.189x})$	0.978**	27
オオバヤシャブシ	Im-β	$y=0.346x+0.691$	0.972**	17
オオバヤシャブシ	Im-β	$y=0.460x+0.386$	0.991**	15
メラノキシロンアカシア	Im-β	$y=8.0/(1+16.010e^{-0.190x})$	0.981**	22
ウバメガシ	Im-β	$y=5.3/(1+6.522e^{-0.208x})$	0.981**	24
ソヨゴ	Im-β	$y=5.7/(1+16.105e^{-0.229x})$	0.935**	27
ヤマモモ	Im-β	$y=6.0/(1+54.787e^{-0.326x})$	0.981**	22
アカマツ	Im-β	$y=5.1/(1+7.974e^{-0.197x})$	0.970**	27
クロマツ	Im-β	$y=5.1/(1+19.203e^{-0.210x})$	0.976**	22

x : 樹齢 y : 樹高
** : 1%水準で有意

き、一次式またはロジスティック式で近似した結果、いずれも相関が高かった(表-12)。特に谷部のB_B型土壌内に生育していたウバメガシ、ソヨゴは樹齢が50年以上に達しても樹高の伸びは毎年ほぼ一定であった。調査対象6樹種の中で、両土壌型ともにオオバヤシャブシが樹齢5年生で樹高は3m以上に達していた。本樹種は肥料木として岡山県南部の「はげ山」に導入され、既に実績もあるが(太田1994)、本結果より、被災林地の初期緑化に有効であることが明らかになった。このことは1845~1859年に滋賀県甲賀の「はげ山」でヤシャブシを移植して好成績を得たとする報告(倉田1979)を裏付けており、痩せ地における肥料木の効果は大きいと考えられる。逆に樹高成長量が小さい樹種として、B_B型土壌ではソヨゴ、ウバメガシ、Im-β型土壌ではさらにコナラを加えた3樹種では樹齢が10年生でも樹高は2m程度であった。これは、アカマツ、クロマツの樹高成長量と同程度である(図-23)。ソヨゴ、ウバメガシ等の樹高成長量が小さい樹種を谷部等の土壌条件が比較的良好な場所に植栽する場合、シダ類の草高が1m以上に達することも考慮し、下刈作業の実施、密植、メラノキシロンアカシア、オオバヤシャブシとの混植等の対策をとる必要がある。

V. 総合考察

1994年8月に玉野市王子ヶ岳で発生した大規模林野火災により被災した林地に試験地を設定し、4年間被災後の植生回復状況を調査した。その結果、北面調査区では被災後3年目にはワラビの草高が150cm以上に達し、一部キリを除き、再生樹はワラビに被圧されていたのに対し、南面調

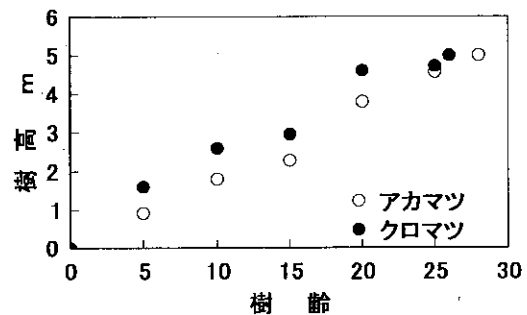


図-23 マツ類の樹高成長経過

査区ではオオバヤシャブシ、エニシダ(以上実生)、コナラ(萌芽)の中には被災後4年目で樹高が100cm以上に達し、ワラビの草高(50cm)より大きい個体もみられた。ただし、南面調査区でも、オオバヤシャブシ、エニシダは肥料木であり(倉田1979)、オオバヤシャブシを除き、萌芽可能な樹種であるかどうか、将来、南面調査区に成立するであろう森林において、主要構成樹種になるかどうかの分かれ目であると考えられる。両調査区とも被災後、実生または萌芽により再生した木本類の個体本数はha当たり10,000本以上みられるが、植被率は被災後4年目でも依然低い傾向にある。

立地区分で見ると、中腹部では土砂・水の流出が依然続いており(西山1999)、飛散種子の流亡により、さらに草本類も含めた植生の回復が遅れることが危惧される。岡山県南部の寡雨地帯では、古くから治山事業の中で階段工、植栽工が実施されてきたが(岡山県農林部治山課1997)、犬走り部分で土砂・水の流出を防ぎ、飛散種子の定着を図り、さらに防火力の大きい樹種を植栽できることから本工法は林野火災跡地の緑化に有効であると考えられる。

木本類の導入により、林野火災跡地の早期緑化を図る場合、オオバヤシャブシ、ソヨゴ、ウバメガシ、コナラ、メラノキシロンアカシア、ヤマモモの混植が考えられる。植栽当初より防火効果を高めるためには防火力の大きいソヨゴ、ヤマモモの混植割合をさらに高める必要がある。

一方、玉野市周辺部は花崗岩を母材としており、土壌養分のN、Pが乏しく(西山・吉岡 1996)、苗木を植栽しても中腹～尾根部では生育不良となる危険性がある。また玉野市内のかつて「はげ山」であった箇所について、十数年間の土壌変化を調査した結果では、土壌生成速度の差は植生要因が大きく関与している可能性が高いことを指摘している(服部ほか 1992)。このことから、オオバヤシャブシ、メラノキシロンアカシア等の肥料木を導入するとともにコナラ等の落葉広葉樹も一部混植し、土壌生成速度をさらに早める必要がある。

玉野市周辺部の現存植生は上層部をコナラ、ウバメガシ、オオバヤシャブシが優占し、下層にヒサカキが侵入している例が一般にみられる。ソヨゴ、ヤマモモ等の防火力が大に分類されている樹種も一部で確認されたが、防火力が中に分類されているコナラ、ウバメガシに比べ、ha当たりの相対幹数、相対胸高断面積が小さい傾向がみられた。さらに林床部をコシダが覆っている例もみられることから、現在の玉野市周辺部でみられる森林の防火力は必ずしも高くないことが指摘される。

貴重な森林がひとたび林野火災により焼失すれば、堆積岩地で保水力が高い斜面下部の立地でも、再びアカマツ林に再生するのに最短でも22年、さらに花崗岩地の尾根筋(生産力の低い土地)では最も遅く、最大222年を要するといった試算がなされており(Isagi and Nakagoshi 1990)、再び森林が焼失しないように林野火災防止の啓蒙に努めるとともに、現存する森林全体および階層ごとの防火力をさらに高める必要がある。防火力の大きい森林へ誘導する手法については明らかになっておらず、今後さらに研究を進める必要がある。

おわりに

大規模林野火災跡地について、被災直後より4年間、植生回復状況を調査した結果、ワラビ等のシダ類に比べ、木本類による植生回復は遅れており、今後の動向についてはさらに調査を継続して行う必要がある。

無被災林地の植生および主要樹種の成長解析調査から、今後の課題として、①全階層に防火力の高い樹種を配置する ②林床からコシダ、ウラジロ等のシダ類を排除する等の課題が浮上した。この2点については今後さらに研究を進める必要がある。

引用文献

- 福嶋司・山岸匠・高橋啓二(1983):森林群落からみた防火機能の評価Ⅰ—森林群落を中心とした防火機能の評価方法—,千葉大学園芸部学術報告31,101~106
波田善夫・谷野弘明(1988):岡山県の山林火災,岡山理科大学

- 研究所研究報告, No14, 69~93
服部重昭ほか(1992):植生回復に伴う侵食土砂量と土壌の理化学性の変化, 森総研関西支所年報33, 57~63
池田作太郎(1990):江田島林野火災跡地10年間の経過, 山林第1269号, 36~44, 東京
伊藤秀三(1977):群落の組成と構造, 332pp, 朝倉出版, 東京
Isagi, Y. and Nakagoshi, N. (1990): A Markov approach for describing postfire succession of vegetation, *Ecological Research* 5, 161~171
神部廣之(1994):岡山県における治山緑化の概要, 日緑誌, Vol19, No4, 282~288
後藤義明(1998):山火事と地域環境, *森林科学* 24, 14~21
倉田益二郎(1979):緑化工技術, 298pp, 森北出版, 東京
中越信和・中根周歩・今出秀樹・根平邦人(1981):アカマツ林の山火事跡地における植生回復Ⅰ—初期段階の種組成, 構造及びび現存量—, 広島大学総合科学部紀要IV6, 69~113
Nakagoshi, N., Nehira, K. and Takahashi, F. (1987): The role of fire in ecological system (Trabaud, L. ed.), SPB Academic Publishing, The Hague, 91~119
難波靖司・波田善夫(1997):岡山県における植物分布要因の解析—特に森林構成樹種の分布とその気候的要因—, 自然保護センター研究報告5, 15~41
日本気象協会岡山支部(1980~1983, 1985~1988, 1994~1998):岡山県気象年報
日本気象協会岡山支部(1991.1~1998.12):岡山県気象月報
西山嘉寛・吉岡正見(1996):山火事跡地の復旧に関する調査—被災1年目の玉野試験地の状況—, 岡林試験報13, 54~92
—(1999):林野火災跡地の復旧に関する調査報告書, 33pp
野島義昭(1996):樹木の火災延焼効果, *森林科学* 17, 8~12
岡山県農林部治山課(1997):岡山県治山事業のあゆみ—保安林制度100周年記念—, 203pp
Oliver, C. D. (1981): Forest development in North America following major disturbances, *For. Ecol. Manage* 3, 153~168
太田圭一(1994):岡山県における治山緑化の概要, 日緑誌, Vol19, No4, 276~281
佐野淳之・大塚次郎(1998):鳥取大学蒜山演習林における落葉広葉樹二次林の樹種構成と種多様性—攪乱履歴の異なる2つのサイトの比較—, 鳥大演研報No25, 1~10
佐々木正臣・東敏生・吉田文則・池田作太郎・岡田剛(1982):山火事跡地復旧試験, 広島県林試研報17, 25~65
Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*, 136pp, University of Illinois Press, Urbana.
高橋和成ほか(1992):岡山県南地方の山火事跡地における植生回復過程と二次遷移の解析, 岡山の生物教育, 36~63
高橋啓二・福嶋司(1980):大震災時の広域避難場所における植生の防火機能と調査方法について, *森林立地* Vol. XXI, No2, 1~9
玉野市(1995):林野火災被害報告書
山崎裕美・中根周歩(1987):山火事火止まり線の植生及びその構造, 第34回日本生態学会大会講演要旨集, 59pp