

原著論文

秩父山地の老齢天然林で発生した森林火災の
延焼範囲における幹の生存および萌芽発生に影響を与える要因

才木道雄・高德佳絵・平尾聡秀・山田利博

Factors affecting the survival and resprouting of trunks in the range
of fire spread in an old-growth natural forest in the Chichibu
Mountains

Michio SAIKI, Kae TAKATOKU, Toshihide HIRAO, Toshihiro YAMADA

要旨

本研究は秩父山地の老齢天然林で発生した森林火災の延焼範囲内にあった幹の生存および萌芽発生に影響を与える要因を明らかにすることを目的とし、東京大学秩父演習林の老齢天然林で発生した森林火災について、火災直後の被害状況と火災から4年後の被害木の枯死および萌芽更新状況を調査した。被害本数の多い10樹種および全樹種込みで被害木の生存には被害の程度が負の影響を、一部の樹種（イヌブナ、ツガ、コハウチワカエデ、ブナ）では胸高直径が正の影響を与えていた。萌芽発生は樹種により傾向が異なり、アセビとリョウブは被害木の生存が正の影響を、イヌブナとアセビは胸高直径が正の影響を与えていた。

キーワード：森林火災、萌芽更新、老齢天然林

Abstract

This study aimed to elucidate the factors affecting the survival and resprouting of trunks in the range of fire spread in an old-growth natural forest in the Chichibu Mountains. Immediate damage following the fire, and the survival and resprouting of affected trunks four years post-fire, were investigated at the University of Tokyo Chichibu Forest. The severity of damage negatively affected the survival of the ten most trees across all species. Additionally, the diameter at breast height demonstrated a positive effect on the survival of certain species (*Fagus japonica*, *Tsuga sieboldii*, *Acer sieboldianum* and *F. crenata*). The tendency for resprouting development varied across different tree species; the survival of trunks demonstrated a positive effect on *Pieris japonica* and *Clethra barbinervis*, whereas diameter at breast height demonstrated a positive effect on *F. japonica* and *P. japonica*.

Keywords: forest fire, resprouting, old-growth natural forest

1. はじめに

一般に森林火災は地表火と地中火に大別され、地表火が発達すると樹冠火となる（早坂、2002）。森林に壊滅的な被害をもたらす樹冠火と比較すると、主に灌木類、草本類、林床のコケ類、落葉落枝などが燃える地表火の燃焼継続時間は数分程度と短く（早坂、2002）、被害の程度、被害を受けた樹木の個体サイズや樹種特性など、様々な要因によって樹木への影響は大きく異なると考えられる。例えば、日本における主要な造林樹種であるスギでは、外樹皮に火傷痕がみられる部分では形成層が直ちにその機能を停止するが、直接火熱の影響を受けていない部位の形成層は数ヶ月以上機能を維持し、火熱の影響の程度によっては枯死に至らないことが知られている（長谷川・佐々、1993）。一方、地際付近が半焼したシラカンバ、ヤマナラシ、シナノキ、ホオノキを火災3ヶ月後に伐倒したところ、形成層より深い位置まで木質部が変色していることから翌年には枯死に至ると推定された事例があり（吉武・齋藤、1987）、地表火による被害を受けたミズナラ、シラカンバ（吉武ら、1988）やコナラ、アオハダ（五十嵐ら、2001）は径級が小さいほど枯死率が高く、かつ、枯死までにかかる時間が短い傾向にあることも知られている。

森林火災を扱った研究について、樹木の被害とともに重要な課題として取り上げられるのが植生回復である。森林火災後の植生回復は萌芽由来と実生由来に大別され、日本国内でも多くの研究事例がある（例えば、後藤ら、1989；1992；廣野ら、2001；津田・安島、2000；津田ら、2005）。急傾斜地では降雨や表土の移動による攪乱圧により実生由来の植生回復が遅れることが指摘されていることから（島田、1999；廣野ら、2001）、急傾斜の多い山岳地では萌芽由来の植生回復の貢献度が高いと考えられる。萌芽能力は樹種により大きく異なることが知られており、例えば、嶋ら（1989）は伐採2年目の伐根からの萌芽率について、コナラやリョウブに対してアカシデやイヌシデでは極めて低く、ヌルデは全ての伐根が枯死したことを報告している。また、紙谷（1986）は樹齢の増加と萌芽との関係に注目して、萌芽数のピークを凸型、増加型、一様型の3タイプに、Shibata *et al.* (2014) は株のサイズと萌芽との関係に注目して、萌芽数のピークを凸型、増加型、増加速度が鈍化するものの減少しない非減少型の3タイプに分け、樹齢や株サイズと萌芽能力には樹種特性があることを指摘している。

このように、森林火災による被害の程度や被害を受けた樹木の径級と枯死率の関係、萌芽による植生回復は、樹種により異なる反応を示すため、被害地の森林の樹種構成や樹齢などが大きく影響すると考えられる。しかし、日本のように湿潤な地域では自然現象による火災攪乱はほとんど起こらず、火の生態学に関する研究は必ずしも盛んではない（津田、1995）。広葉樹への火災の影響を扱った先行研究はあるものの、対象となった樹木の胸高直径（以下、DBH）は20 cm以上の個体が少なく、追跡した期間も森林火災後数ヶ月～2年程度であり、それ以上の年数が経過した後で発生した樹木の枯死は考慮されていない（例えば、吉武ら、1988；五十嵐ら、2001）。また、人工林や二次林を対象とした事例はわずかにあるものの（例えば、後藤ら、1989；津田ら、2005）、長期にわたって人為的な攪乱を受けていない老齢天然林を対象とした事例はみあたらない。さらに、日本における森林火災の出火件数は春季に多く（消防庁、2017；2019；2020）、樹木の火災被害や被害後の植生回復を扱った先行研究も春～夏季に発生した火災を対象としたものは多いが（例えば、後藤ら、1989；廣野ら、2001；津田ら、2005）、秋～冬季に発生した森林火災を扱った事例は数少ない（例えば、五十嵐ら、2001）。

火災攪乱は一度発生すると、大規模かつ広範な影響を及ぼすため、森林火災による影響予測や

被害後の管理手法の検討に役立てるためにも、様々な条件下での被害の実態を明らかにすることは重要である。そこで本報告では、東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林(以下、秩父演習林)の老齢天然林で秋季に発生した森林火災について、火災直後の被害状況、火災4年後の幹の生存状況と株からの萌芽枝の発生状況を示す。さらに、延焼範囲内の樹木について、幹の生存と萌芽枝の発生に影響を及ぼす要因の解析結果を示す。具体的には①幹の生存に対して被害の程度とDBHが、②萌芽枝の発生に対して株を形成する幹の生死と被害の程度とDBHが、それぞれ影響を及ぼすかを検証した。

2. 調査地の概要と調査方法

森林火災と調査地の概要

2017年11月21日12時35分、秩父演習林入川地区で森林火災が発生し、消防署と消防団による消火活動により、翌日の11月22日14時55分に鎮火した。当時、入林者が操縦していたドローンが制御不能となり、樹木に引っかかった際に機体から離脱した充電電池が落下の衝撃で発火したことが出火原因とみられた。この火災では空洞のある枯死木などが数mの高さまで燃え上がったものの、主な燃焼物は地表に堆積していた落葉落枝で、火災発生時点で生存していた樹木の被害の多くは地際付近にとどまる地表火であった(図-1a)。延焼面積は出火地点より斜面上方の約4.5haで、延焼範囲には太平洋側山地帯のイヌブナ・ツガ・ブナ優占林の長期動態観測を目的として1994年に老齢天然林内に設置された大面積プロットが含まれていた(澤田ら, 2006)。この老齢天然林は秩父演習林創設時から施業対象外として保存されており、伐採の記録のない林地である(東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林, 2022)。大面積プロットは林道により斜面上部と下部に分断されており、林道と地形に沿って分割した25m四方の区画110個に分かれている(図-2)。今回発生した森林火災の出火地点は大面積プロットより斜面下方であったが、時間の経過とともに斜面上方に拡大し、林道を超えて斜面上部と下部の両方の区画が延焼した。

大面積プロットの面積は6.875haで、北緯35°56′13″～35°56′34″、東経138°48′01″～138°48′13″、標高1,142～1,314mに位置する(原口ら, 2019)。隣接する小赤沢気象観測所(図-2)における2016年の気象データによると、年平均気温は9.1℃、月平均気温の最寒月は1月で-1.8℃、最暖月は8月で19.3℃、降雪期を除く4～10月の降水量は1,295mmであった(東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会気象部門, 2018)。110個の区画内ではDBHが5cm以上の場合は同じ株内の幹であっても個別に識別札がつけられて5年ごとに毎木調査が行われている。2014年の毎木調査の際に生存していた幹はプロット全体で72種7,285本あり、イヌブナ、アセビ、ツガ、サワシバ、ブナの順に本数が多く、この5種で全体本数の6割を占めていた(原口ら, 2019)。

調査方法と解析方法

2017年12月に延焼範囲内の区画とその周辺区画をあわせた40区画内において、大面積プロットの識別札がつけられた幹単位で火傷痕の確認による森林火災の被害調査を行った(図-2)。被害調査は幹の根元付近の目視により樹皮が黒く変色した火傷痕があるかどうかを確認するもので(図-1b)、樹皮や形成層の壊死等は確認しなかった。当該部分の火傷痕の周囲長に対する被害の程度を四つのレベルに分けて記録した(レベル0:火傷痕なし, 1:周囲長の半周未満に火傷痕あり, 2:周囲長の半周以上全周未満に火傷痕あり, 3:全周に火傷痕あり)。延焼範囲内にあつ



図-1 被害の状況

Fig. 1 Damage status

- a) 林床の落葉がまだらに焼け焦げている
- b) 被害を受けた樹木は根元付近を中心に黒く変色した火傷痕がみられる

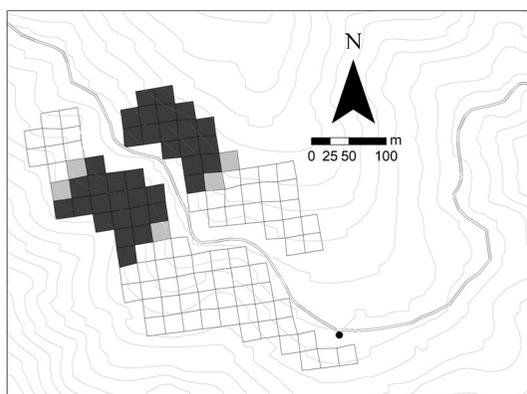


図-2 調査地

Fig. 2 Study site

方形枠：大面積プロットの毎木調査区画，濃いグレー：火傷痕が確認された樹木があった区画，淡いグレー：被害調査を行ったが火傷痕が確認された樹木がなかった区画，黒丸：気象観測露場

でも火傷痕のない幹がみられたが、火災により発生する熱風の影響を受けた可能性を考慮し記録を行った。一方、延焼範囲に含まれた区画内であっても周囲の状況から延焼範囲の最外郭と判断された地点より外側にあった幹については記録を行わなかった。さらに、被害調査で記録を行った幹については、森林火災から約4年経過した2021年9月に枯死・生存判定を行った。幹の枯死・生存判定は葉の色と量を地上から目視により確認して分類したが、本報告では葉の有無により二つのレベルに分けた(0:枯死(葉なし), 1:生存(葉あり))。調査結果の整理に際しては①明らかに火災以前から枯れていたと判断できた幹, ②2014年の毎木調査の際に発見できなかった幹や測定部の癒合等により測定されなかった幹, ③火災の際に延焼をとめるために伐採された幹, ④2017年の被害調査で発見できなかった幹, ⑤DBHが5cm未満の幹, ⑥計測漏れなどにより2017年か2021年のどちらか一方で調査されなかった幹, は除外した。ただし, 2017年に調査したものの2021年には発見できなかったことが明確な幹は枯死したものと判断した。

調査対象となった延焼範囲内の幹について, 2014年時点のDBH, 2017年における幹の被害の程度, 2021年における幹の生死を幹単位で集計した。さらに, 幹の本数が50本を超えた樹種を対象に幹の生存に影響を与える要因を検証するため, 幹の生死を目的変数, 被害の程度とDBHを説明変数とするロジスティック回帰分析を行った。

2021年9月に生存している萌芽枝の発生の有無を記録し(0:なし, 1:あり), 以下の要領で株単位にまとめた。まず, 同じ株内で生存している幹が1本以上あれば幹の生存, 生存している幹が1本もなければ幹の枯死とした。次に各株内で2014年時点のDBHが最も大きかった幹のDBHと被害の程度をそれぞれ当該株の代表値とした。なお, 株自体が発見できなかった場合や萌芽枝の記録が人為的なミスにより漏れていた場合は集計から除外した。

萌芽枝の発生が10株以上だった樹種を対象に萌芽枝の発生に影響を及ぼす要因を検証するため, 萌芽枝の有無を目的変数, 幹の生死と被害の程度とDBHを説明変数とするロジスティック回帰分析を行った。

統計解析にはR version 4.1.2 (R Core Team, 2021)を使用した。また, 各幹の2014年時点のDBHは原口ら(2019)により報告されている計測値を利用した。なお, 幹のDBH分布を示す際には2014年の計測値を2cm括約(例えば, 5.0~6.9cmは6cm)で集計した値を用いた。2cm括約でDBH階ごとに集計した後, 30cm以上の幹は35cm(30~38cm), 45cm(40~48cm), 50cm以上として3段階に分けてまとめた。また, DBH階ごとの枯死率または萌芽率は, 幹数が少ないことによる値のばらつきを防ぐため, 本数が5本未満の場合は隣接する5本以上のDBH階に統合した値を示した。ただし, ほとんどが5cm未満であった樹種は6~8cm, 10~18cm, 20~28cmのように十の位の数字ごとに統合した値を示した。

3. 結果

火傷痕の確認により延焼範囲内と判断されたのは35区画で(図-2), 調査対象となった幹は60種2,055本だった。このうち幹の本数が50本を超えた樹種は, 本数の多い順にイヌブナ *Fagus japonica*, アセビ *Pieris japonica*, ツガ *Tsuga sieboldii*, リョウブ *Clethra barbinervis*, サワシバ *Carpinus cordata*, アワブキ *Meliosma myriantha*, コハウチワカエデ *Acer sieboldianum*, ブナ *F. crenata*, ヒナウチワカエデ *A. tenuifolium*, アカシデ *C. laxiflora* で, この10種で調査対象の幹の80%を占めた。

被害の程度による幹数の内訳は, レベル0が551本, レベル1が582本, レベル2が497本,

レベル3が425本だった(図-3)。このうち、2021年にはレベル0で475本(生存率86.2%)、レベル1で390本(生存率67.0%)、レベル2で269本(生存率54.1%)、レベル3で60本(生存率14.1%)が生存していた(図-3)。サワシバを除いてレベル0でも幹が枯死しており、リョウブとアワブキのレベル0における生存率は特に低く65%以下だった。一方、レベル3でも生存している幹もあり、イヌブナは27.2%、ツガは37.5%、ブナは25.0%が生存していた(図-3)。

調査対象にはDBHが20cm以上の幹も多くみられ、イヌブナ、ツガ、サワシバ、コハウチワカエデ、ブナ、ヒナウチワカエデ、アカシデは20cm未満よりも20cm以上の幹の生存率が高い傾向にあった(図-4)。また、多くの幹が20cm未満であった樹種の内、リョウブとアワブキはほとんどの胸高直径階で生存率が50%未満だったが、アセビは全ての胸高直径階で50%以上の生存率を示した(図-4)。

延焼範囲内の幹の生存に影響を与える要因についての解析の結果、被害の程度は全10種について1%水準で負、DBHはイヌブナ、ツガ、ブナが1%水準、コハウチワカエデが5%水準で正の関係が認められた(表-1)。

萌芽枝の発生は1,182株のうち28種291株で確認された。このうちイヌブナが190株中129株、アセビが158株中66株、リョウブが73株中28株、アワブキが50株中25株から萌芽枝の発生が確認できた。最も太い幹のDBHが6cmだった株に注目すると、イヌブナでは全ての株で萌芽枝が発生しなかったが、アセビは26.8%、リョウブは31.8%、アワブキは50.0%の株から萌芽枝が発生した(図-5)。ただし、イヌブナでは最も太い幹のDBHが28cm以上になると、79.5%の株から萌芽枝の発生が確認された(図-5)。4種とも、幹が全て枯死していても萌芽枝が発生した株があった一方で、幹が生存していても萌芽枝が発生しなかった株も確認された(図-6)。なお、ツガ(107株中1株)、ホオノキ(1株中1株)、ウラジロノキ(3株中1株)、ウワミズザクラ(7株中1株)、クリ(3株中1株)、ブナ(70株中3株)、サワシバ(59株中3株)、クマシデ(24株中3株)、アカシデ(56株中1株)、イヌシデ(20株中1株)、ヤマシバカエデ(2株中1株)、ミツデカエデ(2株中1株)、マルバカエデ(2株中2株)、ハウチワカエデ(20株中1株)、コミネカエデ(6株中1株)、オニイタヤ(4株中1株)、ウリハダカエデ(24株中5株)、コハウチワカエデ(60株中3株)、ナツツバキ(13株中4株)、サラサドウダン(1株中1株)、ネジキ(1株中1株)、アラゲアオダモ(20株中3株)、ムラサキシキブ(3株中1株)、アオハダ(8株中2株)もわずかながら萌芽枝の発生が確認できた。

萌芽枝の発生に影響を与える要因についての解析の結果、幹の生死はアセビとリョウブが1%水準で正、DBHはイヌブナが1%水準、アセビが5%水準でそれぞれ正の関係が認められ、被害の程度は全樹種1,182株では5%水準で正の関係が認められたものの、樹種別にみると4種とも有意性が認められなかった(表-2)。

4. 考察

火による樹木への影響は直接的な延焼によるものだけではなく熱風による被害も考えられ(石塚, 2017)、外観上は健全であっても形成層に影響が及び枯死することがある(吉武ら, 1988)。本調査地でも火傷痕がないにも関わらず枯死した幹があり、特にDBHが20cm未満の幹が多かったリョウブとアワブキの枯死率が高かった(図-3, 4)。この2種について、幹の生存・枯死とDBHの関係に注目して調査データを確認すると(データ省略)、火傷痕がなかった場合、リョウブはDBHの大きさに関わらず枯死した幹がみられ、アワブキはDBHが10cm以上の幹はほと

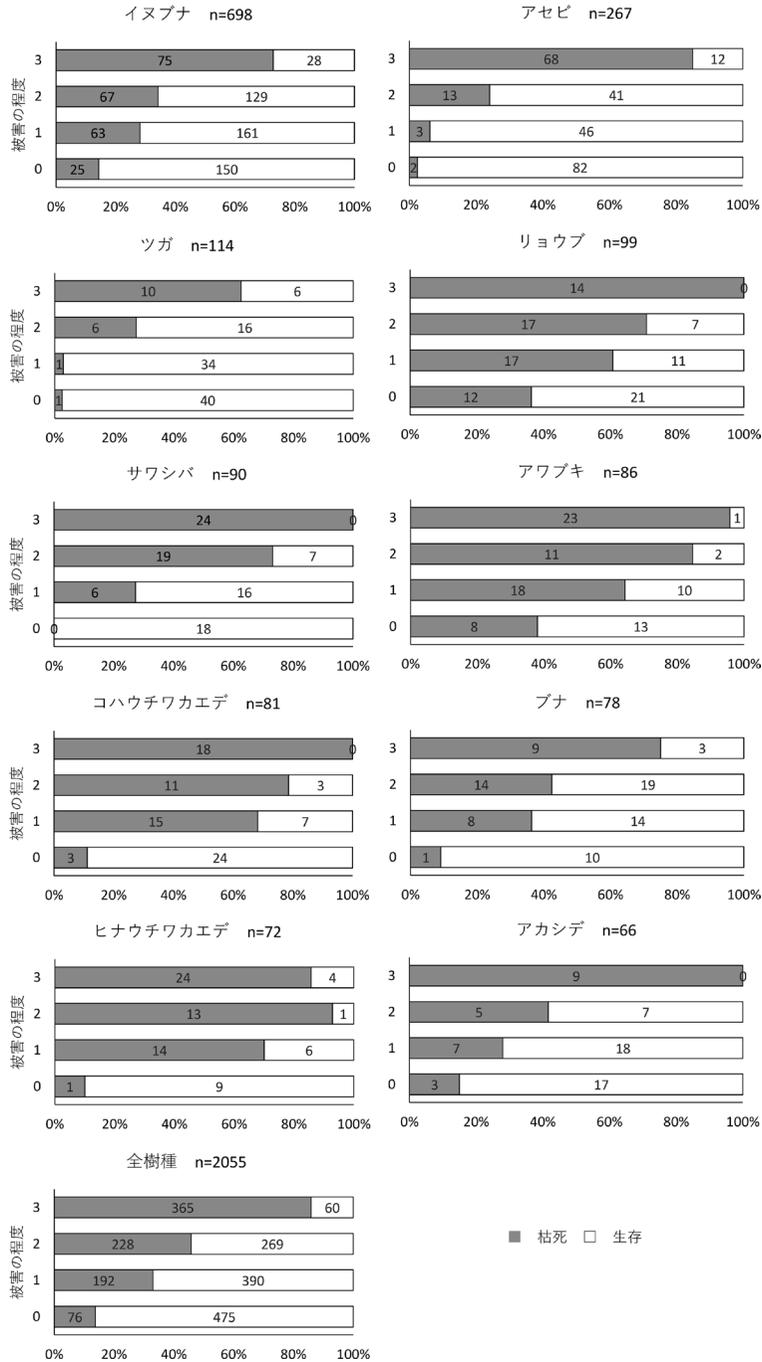


図-3 被害の程度ごとの幹数

Fig. 3 Number of trunks by damage level

被害の程度は 0：火傷痕なし，1：周囲長の半周未満に火傷痕あり，2：周囲長の半周以上全周未満に火傷痕あり，3：全周に火傷痕あり。調査数およびグラフ内の数字は幹数を示す。

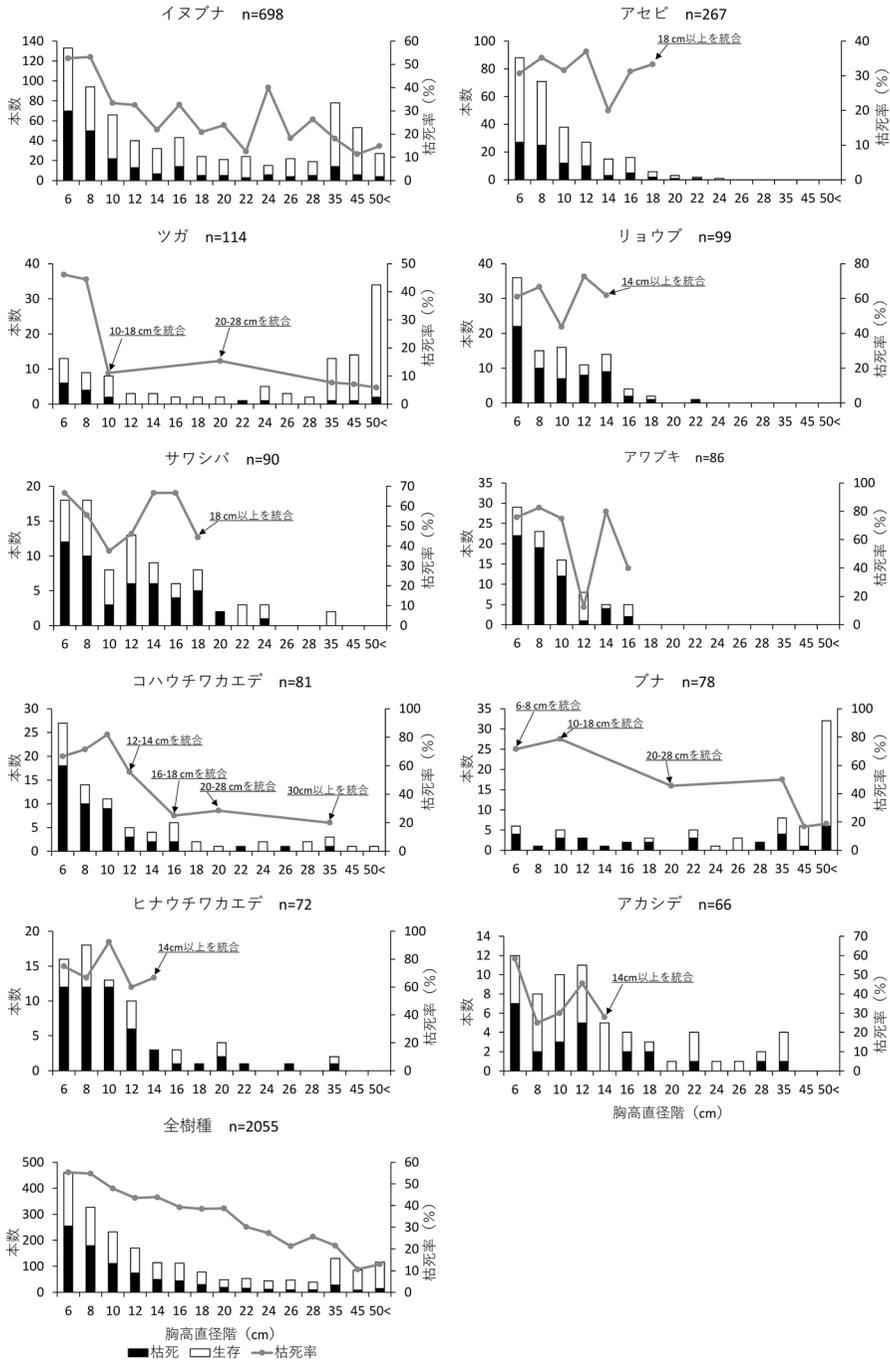


図-4 延焼範囲における幹の胸高直径階分布

Fig. 4 Distribution of diameters at breast height of trunks in the range of fire spread

胸高直径階は2014年の毎木調査の計測値2cm括約で集計した値。30cm以上の幹は35cm(30~38cm), 45cm(40~48cm), 50cm以上に区分する。調査数は幹数を示す。

表-1 幹の生存に影響を及ぼす要因
Table 1 Factors affecting the survival of trunks

		推定値	標準誤差	z 値	p 値
イヌブナ (n=698)	切片	0.993	0.196	5.058	<0.001
	被害の程度	-0.871	0.094	-9.237	<0.001
	胸高直径	0.055	0.008	6.892	<0.001
アセビ (n=267)	切片	5.512	0.898	6.135	<0.001
	被害の程度	-2.176	0.269	-8.080	<0.001
	胸高直径	-0.048	0.056	-0.865	0.387
ツガ (n=114)	切片	2.900	0.897	3.233	0.001
	被害の程度	-1.755	0.412	-4.255	<0.001
	胸高直径	0.062	0.020	3.097	0.002
リョウブ (n=99)	切片	0.634	0.714	0.889	0.374
	被害の程度	-0.983	0.251	-3.910	<0.001
	胸高直径	-0.002	0.066	-0.035	0.972
サワシバ (n=90)	切片	2.775	1.020	2.720	0.007
	被害の程度	-2.740	0.556	-4.933	<0.001
	胸高直径	0.116	0.067	1.725	0.085
アワブキ (n=86)	切片	-0.830	0.913	-0.909	0.363
	被害の程度	-1.142	0.307	-3.723	<0.001
	胸高直径	0.148	0.091	1.631	0.103
コハウチワカエデ (n=81)	切片	0.139	0.684	0.203	0.840
	被害の程度	-2.229	0.517	-4.311	<0.001
	胸高直径	0.152	0.059	2.572	0.010
ブナ (n=78)	切片	0.365	0.689	0.529	0.596
	被害の程度	-0.897	0.323	-2.778	0.005
	胸高直径	0.037	0.012	3.176	0.001
ヒナウチワカエデ (n=72)	切片	0.511	0.748	0.684	0.494
	被害の程度	-1.099	0.308	-3.572	<0.001
	胸高直径	0.023	0.049	0.473	0.636
アカシデ (n=66)	切片	1.802	0.798	2.258	0.024
	被害の程度	-1.240	0.341	-3.630	<0.001
	胸高直径	0.024	0.044	0.549	0.583
全樹種 (n=2055)	切片	1.098	0.113	9.691	<0.001
	被害の程度	-1.131	0.056	-20.332	<0.001
	胸高直径	0.055	0.005	11.213	<0.001

調査数は幹数を示す

才木道雄ら

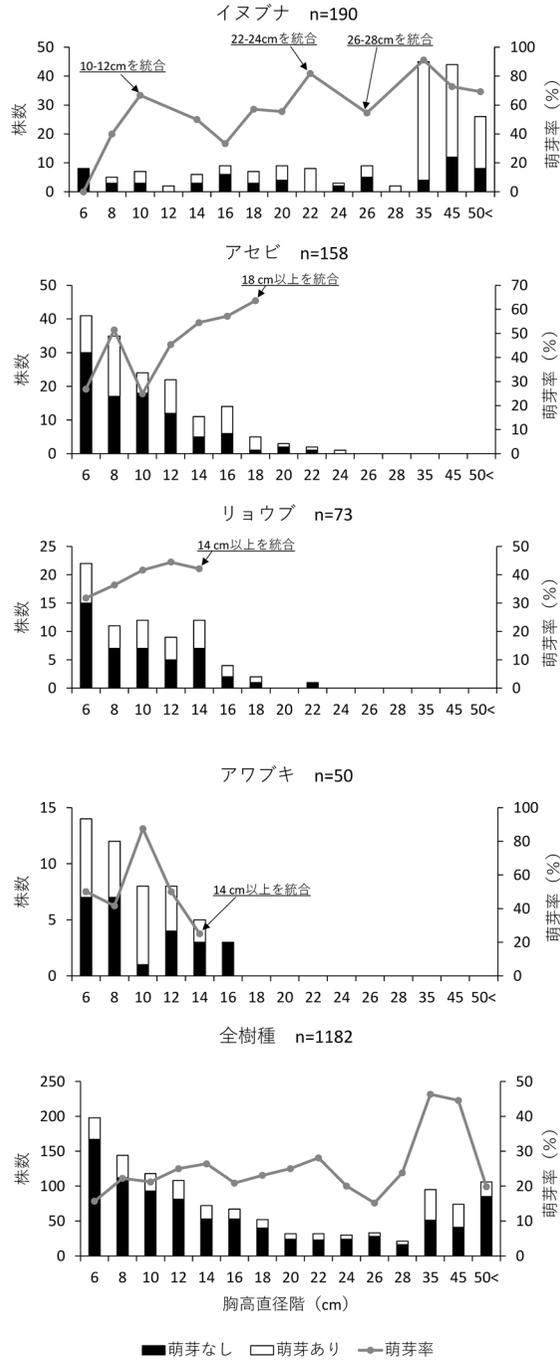


図-5 同一株内で最も太い幹の胸高直径階分布

Fig. 5 Distribution of diameters at breast height of the thickest trunk within the same stock
 胸高直径階は2014年の毎木調査の計測値を2cm括約で集計した値。30cm以上の幹は35cm(30~38cm), 45cm(40~48cm), 50cm以上に区分する。調査数は株数を示す。

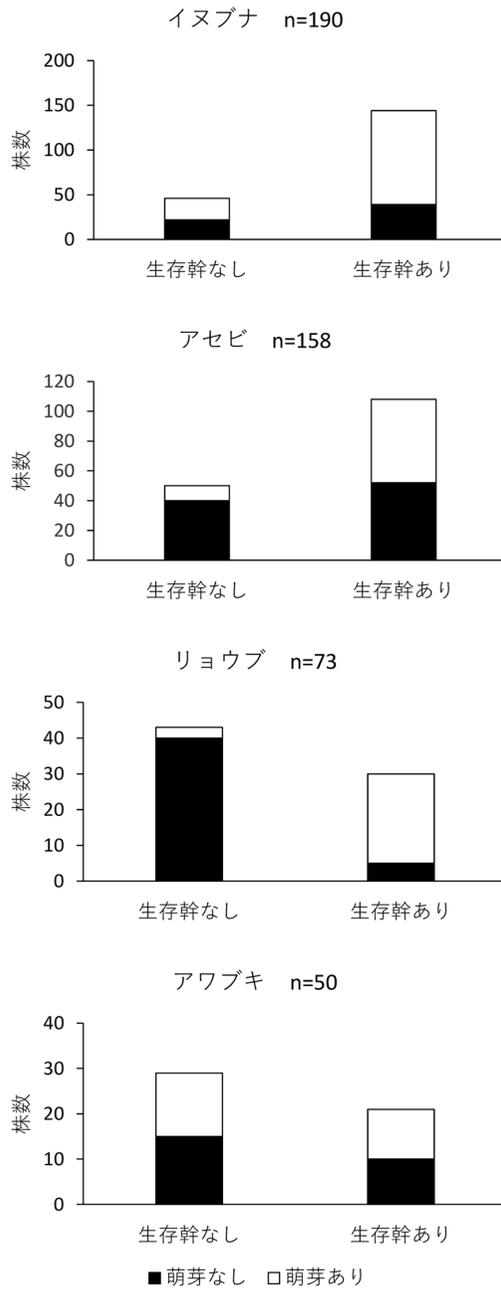


図-6 萌芽の発生状況

Fig. 6 Emergence of resprouting

調査数は株数を示す

表-2 萌芽発生に影響を及ぼす要因

Table 2 Factors affecting the development of resprouting

		推定値	標準誤差	z 値	p 値
イヌブナ (n=190)	切片	-0.838	0.588	-1.424	0.154
	幹の生死	0.740	0.402	1.841	0.066
	被害の程度	0.032	0.185	0.173	0.863
	胸高直径	0.032	0.011	2.869	0.004
アセビ (n=158)	切片	-3.269	0.828	-3.945	<0.001
	幹の生死	2.071	0.558	3.710	<0.001
	被害の程度	0.302	0.199	1.518	0.129
	胸高直径	0.098	0.043	2.269	0.023
リョウブ (n=73)	切片	-3.851	1.507	-2.555	0.011
	幹の生死	4.435	0.929	4.774	<0.001
	被害の程度	0.196	0.453	0.432	0.666
	胸高直径	0.091	0.102	0.891	0.373
アワブキ (n=50)	切片	0.728	1.211	0.601	0.548
	幹の生死	0.430	0.778	0.553	0.580
	被害の程度	0.050	0.317	0.159	0.874
	胸高直径	-0.105	0.101	-1.042	0.298
全樹種 (n=1182)	切片	-2.439	0.227	-10.745	<0.001
	幹の生死	1.488	0.200	7.442	<0.001
	被害の程度	0.228	0.077	2.948	0.003
	胸高直径	-0.001	0.004	-0.212	0.832

調査数は株数を示す

んど生存していた。ただし、幹の半周未満に火傷痕があった場合、アワブキも DBH の大きさに関わらず枯死した幹がみられた。一方、ツガは火傷痕がなかった場合や幹の半周未満に火傷痕があった程度であれば 10 cm 未満でもほとんどの幹が生存していた。ブナも火傷痕がない場合は 10 cm 未満の幹も生存しており、幹の半周未満に火傷痕があっても DBH の大きさに関わらず枯死した幹がわずかにある程度であった。イヌブナは火傷痕がなかった場合も幹の半周未満に火傷痕があった場合も DBH が 20 cm 未満を中心に枯死した幹がみられたものの、同程度の DBH で生存している幹がそれ以上に多くみられた。DBH が 20 ~ 50 cm の広葉樹の樹皮を詳細に調べた沖村ら (1986) は、リョウブとアワブキの樹皮の厚さは 4 mm 以下で、4 ~ 7 mm であったイヌブナやブナよりも薄いことを報告している。また、本調査地で比較的新しいツガの倒木を観察したところ、直径 30 cm 程度で樹皮の厚さは 7 mm 以上あり、沖村ら (1986) が報告したイヌブナやブナの樹皮よりもさらに厚いことが確認された。樹皮が厚く発達すると表面から形成層までの

熱の伝達速度が遅くなるため耐火性が高いと考えられていることから（吉武ら，1988），火災により発生した熱風や幹の半周程度に火傷痕が残る程度の被害による幹の枯死は，樹皮の厚さが薄く，かつ，DBHが小さな幹が比較的多かったリョウブとアワブキを中心に発生したものと考えられる。

北海道の落葉広葉樹林で発生した地表火では，被害を受けた各樹種とも地際部分が全周燃焼した場合は枯死した個体が多く，片面のみ燃焼した場合にはDBHが小さくても生存した個体があったことが報告されている（吉武ら，1988）。また，火災により枯死したアメリカヤマナラシでは幹周囲の75%以上に火傷痕があり，生存木では50%未満であるなど（Brown & DeByle, 1987），被害の程度が高いほど樹木の枯死率も高くなることが知られている。本調査地でも幹の生存に対して被害の程度は負の影響を与えており（表-1），被害の程度が高くなるにしたがって生存率が下がるという，これらの先行研究を支持する結果となった。一方，イヌブナ，ツガ，ブナでは全周に火傷痕があっても比較的高い生存率を示したことは注目できる。火災による被害を受けた樹木とDBHの関係に注目した五十嵐ら（2001）は，DBHが30cm以上の常緑針葉樹は被害から21ヶ月後も全木が生存したこと，DBHの範囲が4～14cmと狭いながらも落葉広葉樹ではDBHが大きくなるにつれて枯死率が低下することを報告している。本調査地でもイヌブナ，ツガ，コハウチワカエデ，ブナの幹の生存にはDBHが正の影響を与えており（表-1），特にツガとブナの調査データを確認すると（データ省略），全周に火傷痕があっても生存していたのはDBHが30cm以上の幹に限られていた。前述の通り，ツガとブナは比較的樹皮が厚いが，それに加えて30cm以上の幹が多数あったため（図-4），全周に火傷痕があっても高い生存率を示したのではないかと考えられる。イヌブナの調査データを確認すると（データ省略），全周に火傷痕があった場合，数は多くないもののDBHが10cm未満でも生存している幹がみられた。イヌブナは萌芽による株形成を種特性としていることから（大久保，2002），落葉の堆積する地表面よりやや上方から発生している幹も多い。本調査地で小径の幹が全周に火傷痕がみられたにも関わらず生存していた理由は不明であるが，一つには株構造をもつ種特性により，実際に影響を受けた火の影響（強度や時間）が比較的小さかった可能性があるのではないかと推察される。一方で，イヌブナ，ツガ，ブナでは，幹の半周末満に火傷痕があった程度の被害で，2018年6月時点で生存が確認されていた幹のうち，2021年にはそれぞれ最大で61.0cm，53.3cm，94.5cmの幹も枯死していた（図-4）。本調査地で発生した森林火災は地表火であったことから，延焼範囲内の微地形，落葉の堆積状況，被害当日の風などの気象条件等が延焼に影響を与えたものと考えられ，鎮火後の焼け焦げた落葉の分布からも（図-1a），火の分布は一様でなかったことが推察される。そのため，幹の半周末満の火傷痕であっても落葉の堆積状況により集中的に影響を受けた可能性や被害により衰弱した幹が虫害や気象害を受けた可能性も否定できない。しかしながら，現地での観察の結果，延焼範囲に外接する老齢天然林では目立った枯死木の発生はなく，延焼範囲内では被害後の年数の経過により，DBHが大きくても多くの幹の枯死が発生し続けている（図-7）。したがって，森林火災による直接的あるいは間接的（衰弱による虫害や気象害等）な影響により，被害後4年経過して生存していた幹も，被害後の年数の経過により枯死に至る可能性があると考えるのが妥当であろう。

本調査地において萌芽枝の発生が認められた主な樹種はイヌブナ，アセビ，アワブキ，リョウブの4種だった。原口ら（2019）が報告した調査資料によると，これらの樹種は長期にわたって大規模な攪乱の記録がない本調査地で複数の幹による株構造を有していることから，無攪乱状態



図-7 被害地の様子の変化

Fig. 7 Changes in the appearance of the affected areas

樹木の枯死により年々地表に倒木が増えている

a) 2018年3月7日

b) 2021年3月29日

c) 2023年3月2日

でも萌芽を連続的に発生させる樹種であるといえる。萌芽枝の発生は幹が全て枯死した株からも確認され、特にイヌブナとアワブキの萌芽枝の発生には幹の生死は有意性が認められないなど(表-2)、幹が枯死しても萌芽発生能力が失われたとはいえなかった。津田・安島(2000)は、夏季に発生する森林火災では生育期間中に生産された物質が地下に転流する以前に焼失するため、春季の場合よりも火災後の萌芽更新が困難になると予測し、岡山県のアカマツ林でそれを支持する結果を得ている。また、落葉広葉樹林の伐採後5年間の萌芽枝の動態を報告した片桐(1986)は、

萌芽枝の発生本数は萌芽枝の生長につれて減少し、活性の低い株では伐採直後に萌芽枝が発生しても数年後には枯死することを報告している。本報告の結果から、夏季の場合とは異なり、秋季に発生した火災では萌芽由来の植生回復がある程度期待できること、また、少なくとも被害後4年程度であれば発生した萌芽枝が生存していることが示された。

伐採跡地では切株直径が大きくなると萌芽率は低下すると言われているが(片桐, 1986), 萌芽再生能力の高いことで知られるヤマツツジでは樹齢30年以上になると萌芽率が上昇することから個体サイズの増大により樹幹燃焼に対する耐性が高くなる可能性が指摘される(廣野ら, 2001)など、萌芽に対するDBHの影響は、その効果の強さと方向が種特異的であることが知られている。DBHと萌芽能力の関係について24種の樹種を調査したShibata *et al.* (2014)は、低木種は萌芽能力とDBHが正の相関にある増加型であると報告しており、本調査地でも低木種であるアセビはDBHが萌芽発生に正の影響を与えていた。また、Umeki *et al.* (2018)はイヌブナの萌芽能力はDBHが20cm程度でピークに達し、その後、緩やかに減少することを示した。本調査地ではイヌブナのDBHの分布は広く、28cm以上の幹では79.5%の株から萌芽枝の発生が確認され(図-5), DBHが萌芽発生に正の影響を与えていた(表-2)。本報告では、萌芽枝の発生の有無を確認したのみで萌芽枝の本数や長さには注目しなかったため、萌芽能力を正しく評価できたとは言えない。しかしながら、本報告の結果は萌芽能力のピークを過ぎたサイズの株からも萌芽枝の発生が認められたことを意味し、樹種構成や樹齢の多様な老齢天然林で秋季に森林火災が発生した場合は、被害後4年程度であれば萌芽による植生回復が期待できることが示唆された。

本報告では、秩父山地の老齢天然林で秋季に発生した森林火災について、火災直後の被害状況、火災4年後の幹の生存状況と株からの萌芽枝の発生状況を示すとともに、延焼範囲内の幹の生存と萌芽発生に影響を及ぼす要因について考察した。その結果、幹の生存には全樹種で被害の程度が負の影響を、一部の樹種でDBHが正の影響を与えていること、萌芽枝の発生には一部の樹種でDBHが正の影響を与えていることが明らかとなった。老齢天然林における森林火災の影響を理解するためには、さらに多くの事例を集積する必要はあるが、本報告ではその一例を示すことができた。また、林道より斜面上方の延焼範囲のうち中心部に近い15区画(図-2)では、火災翌年の2018年時点で25.1%の幹が枯死していたが(才木・鈴木, 2021), 2021年における同区画の枯死率は45.0%に上昇しており、その後も多くの幹の枯死が発生し続けていることが現地で観察されている(図-7)。森林火災を扱った多くの事例が被害後の短期間の追跡調査に留まっているが、今後も調査を継続することにより、森林火災による樹木への長期的な影響を明らかにしたい。

謝辞

2017年と2021年に実施した現地調査は当時在籍した秩父演習林教職員のご協力をいただいた。英文の作成にあたりEditage(www.editage.jp)の英文校正を受けた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- Brown, J. K. and DeByle, N. V. (1987) Fire damage, mortality, and suckering in aspen. *Can. J. For. Res.* 17: 1100-1109.
後藤義明・曲沢修・森澤猛 (1989) 北関東における林野火災跡地の植生回復—再生初期段階の種組成および現存量—, *日緑工誌* 15: 8-12.

- 後藤義明・曲沢修・森澤猛 (1992) 群馬県桐生市のスギ林火災跡地における植生再生の一事例. 森林立地 34 : 73-79.
- 原口竜成・齋藤俊浩・吉田弓子・高德佳絵・丹羽悠二・五十嵐勇治 (2019) 秩父演習林大面積プロットにおける毎木調査資料 (2014年) 【修正版】. 演習林 (東大) 61 : 75-81.
- 長谷川浩一・佐々朋幸 (1993) 山火事 (地表火) によってもたらされるスギ樹幹基部の材質変化. 森林立地 35 (2) : 1-9.
- 早坂洋史 (2002) 地球規模のバイオマス火災と地球温暖化. 安全工学 41 : 163-169.
- 廣野正樹・嶋一徹・タンジャ マハマドゥ・山本裕三・千葉喬三 (2001) 山火事跡地斜面における植生回復について—山火事後2年間の変化—. 日録工誌 27 : 32-37.
- 五十嵐陽子・竹村歩美・岸洋一 (2001) 東京農工大学唐沢山演習林に発生した地表火の樹木に及ぼした影響. 日林誌 83 : 351-354.
- 石塚成宏 (2017) 新燃岳噴火を例に火山噴出物による森林被害を考える. 森林立地 59 : 41-43.
- 紙谷智彦 (1986) 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究 (II) 主要構成樹種の伐り株の樹齢と萌芽能力との関係. 日林誌 68 : 127-134.
- 片桐成夫 (1986) 落葉広葉樹の萌芽更新に関する研究 (I) 伐採後5年間の萌芽枝の生長について. 山陰地域研究 (森林資源) 2 : 27-36.
- 沖村義人・古野毅・藤江勲 (1986) 樹皮による落葉広葉樹の樹種識別に関する研究. 山陰地域研究 (森林資源) 2 : 37-52.
- 大久保達弘 (2002) イヌブナの萌芽特性及びイヌブナ天然林の更新に関する研究. 宇大演報 38 : 1-86.
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 才木道雄・鈴木智之 (2021) 東京大学秩父演習林で発生した森林火災が土壤無脊椎動物に与えた影響. 関東森林研究 72 : 73-76.
- 澤田晴雄・大村和也・芝野伸策・藤原章雄・梶幹男 (2006) 秩父演習林大面積長期生態系プロットにおける毎木調査資料 (1994-2005年). 演習林 (東大) 45 : 71-218.
- Shibata R, Shibata M, Tanaka H, Iida S, Masaki T, Hatta F, Kurokawa H, Nakashizuka T (2014) Interspecific variation in the size-dependent resprouting ability of temperate woody species and its adaptive significance. *J.Ecol* 102: 209-220.
- 嶋一徹・片桐成夫・金子信博 (1989) コナラ二次林における伐採後2年間の萌芽の消長. 日林誌 71 : 410-416.
- 島田和則 (1999) 神津島天上山低木林の火災跡地における群落再生と地表攪乱の影響. 植生学会誌 16 : 159-167.
- 消防庁 (2017) 平成29年版 消防白書. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h29/>
- 消防庁 (2019) 平成30年版 消防白書. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h30/>
- 消防庁 (2020) 令和元年版 消防白書. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/r1/>
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林 (2022) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林教育研究計画 2021~2030 第三部 地方演習林計画 (秩父演習林第11期). 演習林 (東大) 64 : 191-228.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会気象部門 (2018) 東京大学演習林気象報告 (自2016年1月至2016年12月). 演習林 (東大) 60 : 101-120.
- 津田智 (1995) 火の生態学—植物群落の再生を中心として—. 日本生態学会誌 45 : 145-159.
- 津田智・安島美穂 (2000) 岡山県玉野における夏季の山火事の跡地植生. 植生学会誌 17 : 97-101.
- 津田智・澤田佳宏・安立美奈子・津田美子 (2005) 岩手県久慈市における1983年の山火事による落葉広葉樹林焼失地の植生. 植生学会誌 22 : 63-68.
- Umeki K, Kawasaki M, Shigyo N, Hirao T (2018) Inter-and intraspecific patterns in resprouting of trees in undisturbed natural forests along an elevational gradient in central Japan. *Forests* 9: 672.
- 吉武孝・齋藤武史 (1987) 山火再生林で発生した山火事の一例. 日本林学会北海道支部論文集 35 : 169-170.
- 吉武孝・坂本知己・齋藤武史 (1988) 落葉広葉樹の地表火による枯死率と樹皮の加熱試験. 日林北支論 36 : 190-192.

(2024年 3月29日受付)

(2024年 11月20日受理)