

論文 (Original article)

統計資料に基づく 36 年間の日本の民有人工林における
干害被害の推移と地域性吉藤 奈津子^{1)*}、鈴木 覚¹⁾、玉井 幸治¹⁾

要旨

適切な森林管理と林業経営を行うには気象害に対するリスク管理が必要で、被害率の推移や地域・樹種による違いを把握することは重要である。近年、地球温暖化に伴い乾燥が立木の枯死衰退に及ぼす影響の評価が世界的に注目されている。本研究では干害に着目し、林野庁が全国の民有人工林を対象に収集する気象害データ(森林被害報告)を用いて1959-2014年の干害実損面積の推移を明らかにし、さらに詳細な属性情報が得られた1978年以降の36年間について人工林1齢級(1-5年生)の被害率の都道府県や樹種による違いを評価した。人工林1齢級は民有人工林干害実損面積の95.3%を占め、その被害率は1959-2014年の平均で0.26%、年々変動が大きく有意な増加・減少傾向は見られなかった。都道府県別で比較すると、北陸、甲信、近畿、中国地方及び香川県で被害率が大きく、北海道、東北、関東、東海、九州で比較的小さかった。主要造林樹種であるスギとヒノキの民有人工林1齢級被害率を比較すると、17都道府県でヒノキの方が有意に大きく、スギの方が有意に大きいのは2県のみであった。夏から秋にかけて著しく寡雨であった1994年の九州では、壮齢林でまとまった被害が生じた。壮齢林での被害は経済的にも生態系攪乱としても影響が大きいことが想定されるが、発生頻度が少ないため長期的動向を知るには継続して全国の気象害情報を網羅的に収集する必要がある。

キーワード：干害、民有人工林、統計資料、被害率、時系列変化、地域性、林齢別

1. はじめに

森林は強風、豪雨、豪雪、乾燥、低温などの気象現象によって、枝折れ、幹折れ、枯損、湾曲など様々な形態の被害を受ける。被害が大きい場合には個体の一部の損傷で収まらず、枯死や倒木によって森林が損失する場合がある。こうした気象害は、森林がもつ生物多様性の保全、土砂災害防止、水源涵養、保健休養の場の提供などの公益的機能を損なうだけでなく、林業においては経済的損害をもたらす持続的な経営の妨げとなる。適切な森林管理と林業経営を行うためには気象害の発生状況を把握しリスク管理を行うことが必要であり、そのためには各気象害の発生率や推移、地域性、樹種による違いなどを把握することが重要である。気象害による経済的損失は特に民有人工林経営者にとっては大きなリスクであり、そのための備えとして森林保険制度が設けられているが、適切な保険料率を定めるためにも各気象害の発生率や地域・樹種による違いを評価する必要がある。

地球規模での観測や予測によると、近年気候システムが温暖化していることは疑う余地がなく、それに伴い地域によって影響は異なるものの、大雨や熱波、干ばつなどの極端現象の強度や頻度に既に変化が現れている可能性があることが報告されている(IPCC 2013)。こ

うした気候変動は様々な森林気象害の発生にも影響を及ぼす可能性があるが、中でも乾燥による立木の枯死、すなわち干害への影響の評価・解明は、近年世界的に注目されている課題の一つである(Allen et al. 2010)。これまで気候変動の影響の有無にかかわらず、森林の枯死・衰退は乾燥地域から湿潤地域までを含む世界各地でたびたび起っており、温暖化によって今後さらに進行する可能性が懸念されている(Allen et al. 2010)。日本では1970年頃から、関東・北陸の平野部や瀬戸内地域でスギの衰退現象が報告されている(山家 1978)。その原因として酸性降下物や大気汚染ガスの影響が指摘されてきたが(例えば、梨本・高橋 1991)、松本ら(1992a, b)は、関東平野のスギ衰退の主要因は、酸性降下物や大気汚染ガスよりも乾燥化に伴う水ストレスである可能性が高いと考察している。また、Shigenaga et al. (2005)やMatsumoto et al. (2006)は、温暖化の進行によってスギの衰退地域が拡大する可能性を指摘している。従って、温暖化の影響が懸念される今、日本国内での干害被害の推移や地域性の実態を把握することは、適切な森林管理と林業経営にとって重要である。

森林気象害は時間的にも空間的にも散発的に発生するため、被害動向を長期にわたって網羅的に把握する

原稿受付：平成30年10月30日 原稿受理：平成31年3月5日

1) 森林総合研究所 森林防災研究領域

* 森林総合研究所 森林防災研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

ことは容易ではない。日本では国有林で発生した気象害は各森林管理局の集計に基づく国有林野立木被害報告としてまとめられ、昭和23年度(1948年度)分から国有林野統計書(昭和35年度分以降は国有林野事業統計書)に収録されている。民有林・公有林・林野庁所管以外の国有林で発生した気象害については、森林被害報告として林野庁が収集し、昭和29年(1954年)分から森林火災国営保険事業統計書に、昭和35年(1960年)分以降は森林国営保険事業統計書に、それぞれ収録されている。これらは複数の気象害を対象とした日本全国を網羅する比較的長期の統計データとして貴重であるが、これらを用いて気象害の動向を評価した研究事例は限られている。全国の民有林のみを対象とした研究としては、久保山ら(2003)が森林国営保険事業統計書のデータを用いて、40年間の風害・水害・雪害・干害・凍害の林齢階級別の被害率を全国レベルで推定しその推移を検討しており、また風害と雪害については全林齢累計での県別被害率を推定して地域による違いを示している。民有林だけでなく国有林も合わせた日本の森林全体の気象害の動向を解析するには、国有林野立木被害報告と森林被害報告のデータを統合する必要があるが、それぞれ集計方法が異なるため両者をそのまま合算することはできない。例えば、森林被害報告では風害・水害・干害が個別に集計されているのに対し、国有林野立木被害報告では風害と水害は風水害としてまとめて集計され、干害は他の気象害と合わせてその他に含められている。また森林被害報告の集計期間は毎年1月から12月であるのに対し、国有林野立木被害報告は年度で集計されている。鈴木ら(2008, 2009)は、こうした集計方法の違いを補正して両データを統合し、風水害・雪害・林野火災の3区分について過去50年間の県別の被害面積等を集計し、地域によって被害の発生しやすい気象害の種類が異なることを示している。しかし干害については、国有林野立木被害報告ではその他に含まれてしまうため、国有林と民有林を合わせた統合的な解析は難しい。民有林での干害被害については久保山ら(2003)が林齢階級別に全国累計での被害率の推移を示しているが、地域や樹種による違いは検討されていない。

本研究では、森林被害報告を用いて民有林の主に人工林1齢級(1-5年生)を対象に、干害被害面積および被害率の推移と、都道府県や樹種による違いを検討した。干害の被害率は林齢によって大きく異なり(久保山ら2003)、林齢別の森林面積も年月の経過とともに大きく変化しているため、被害動向を検討するには森林面積の変化も加味した被害率を林齢別に推定して解析するのがふさわしい。森林国営保険事業統計書に収録されている森林被害報告のデータは、全国累計では林齢階級別の数値が掲載されているが、都道府県別では全林齢の累計値のみで林齢階級別や樹種別の数値は

記載されていないなど、ある程度集計された数値が記載されているのみである。本研究では、過去36年分について集計前の元データを入手し、干害被害の大部分を占める人工林1齢級に着目して都道府県別・樹種別の被害率について検討を行った。また、1994年に発生した比較的大規模な壮齢林での被害(讚井1998, 2005)を取り上げ、発生地域や気象状況を明らかにした。

2. 材料と方法

被害に関するデータは、林野庁で収集している森林被害報告を使用した。森林被害報告は、各種気象災害・噴火・地震・林野火災による森林被害について、被害発生場所(県、市町村)、被害原因、罹災月、森林形態(人工林・天然林・苗畑・竹林)、樹種、林齢区分(1-5、6-10、11-15、16-20、21-40年生および41年生以上の6区分)、所有区分(民有林・林野庁所管以外の国有林)、被害面積、実損面積、被害材積、被害本数、被害額、実損額の情報を収集したものである。これを年単位で林齢区分別の全国累計値や都道府県別の全林齢累計値などに集計した数値が森林国営保険事業統計書に収録されているわけであるが、本研究では集計前のデータ(以下、元データ)を1982年(昭和57年)を除く1978-2014年(昭和53年-平成26年)の36年分について入手し、これを主な解析対象期間とした。干害を被害原因とする実損面積のうち、所有区分が民有林であり人工林または天然林に区別されているもののみを抽出して解析対象とした。なお、実損面積は被害面積(被害を受けた区域の面積)に損害率(被害木本数/罹災前の成立本数)をかけることによって求められたものである(久保山ら2003, 鈴木ら2009)。

また、より長期の傾向を検討するため、森林火災国営保険事業統計書と森林国営保険事業統計書から、1959-1977年(昭和34-52年)および1982年(昭和57年)の林齢区分別全国累計干害実損面積を収集した。ただし、1965-1966年(昭和40-41年)は全林齢の累計実損面積のみで、林齢区分別の数値は収録されていなかった。1960年(昭和35年)以前は「民有人工林のみを対象とする」との記載があるが、その後は人工林・天然林の区別について特に記載がない。元データとの比較から、記載のない期間は人工林と天然林の合計であると判断した。1960年(昭和35年)以降は被害面積と実損面積の両方が記載されているが、1959年(昭和34年)は被害面積の記載はあるが実損面積は記載されていない。「森林災害対策資料調査要領」(昭和34年10月26日付34林野指第7205号林野庁長官通知)に「被害面積は被害木の専有面積とする」とあるので、昭和34年の被害面積はそれ以降の実損面積に相当すると考え、被害面積を用いた(鈴木ら2009)。1958年(昭和33年)以前については、被害面積が1団地で合計1町歩(およそ1ha)以上のものを集計の対象としていたた

め、小規模被害は網羅されず被害が過小評価されていた可能性があるため、解析には用いられなかった。

干害被害の経年変化や地域による違いを検討するには、対象とする森林の面積変化を考慮して、被害率をもって検討を行うのがふさわしい。本研究では、民有人工林 1 齢級 (1-5 年生) の森林面積に代わるものとして、林野庁が編纂する森林・林業統計要覧掲載されている民有人工林の人工造林面積を用いることとした。森林・林業統計要覧には、年度ごとの民有人工林の人工造林面積が県別・樹種別に収録されている。その過去 5 年累計値を、その年度の民有人工林 1 齢級の面積として用いた。5 年の間に損失・減少する面積は無視できるものと仮定した。なお、森林開発公団、緑資源公団、森林総合研究所による人工造林面積も民有人工林の人工造林面積に含めた。

各年の民有人工林 1 齢級の干害被害率は、民有人工林 1 齢級干害実損面積を民有人工林人工造林面積の過去 5 年累計値で除することによって求めた。森林被害報告は年単位の集計であるのに対し、森林・林業統計要覧は年度単位の集計となっており、集計期間が異なる。森林被害報告の元データでは罹災月の情報も得られているので、実損面積のうち罹災月が 1-3 月であったものの割合を調べたところ、36 年間の累計で 0.1% であった。従って、集計期間の違いが被害率の算出に与える影響は僅かであると考え、集計期間の違いは無視することとした。全国累計での民有人工林 1 齢級干害被害率を、1959-2014 年について求めた。1961-1977 年と 1982 年は林齢区分別の実損面積の記載はあるものの人工林と天然林が区別されておらず、民有人工林 1 齢級の実損面積データが得られなかった。天然林の立木面積の殆どは老齢林で 1 齢級は非常に少ないため (林野庁 2012)、天然林 1 齢級の実損面積は無視できるほど少ないと仮定し、民有人工林 1 齢級の実損面積を民有人工林 1 齢級の実損面積として代用した。1965-1966 年は林齢区分別の実損面積が得られないため計算から除外した。

また、元データを用いて 1982 年を除く 1978-2014 年の 36 年分の県別、及び、県別かつ樹種別 (スギ・ヒノキ・その他針葉樹・広葉樹) の民有人工林 1 齢級干害被害率を計算した。被害率が他の値と比べてとびぬけて大きく 100% を超える場合があったが、36 年間の平均被害率を算定する際にはそのデータを除外した。具体的には、2009 年の山形県の全樹種 (被害率 182%)、スギ (被害率 226%)、1985 年の大阪府のその他針葉樹 (被害率 106%) である。

干害被害発生時の気象状況を把握するため、気象庁アメダスによる降水量と気温の 1 時間データを用いた。沖縄を除く全国 1929 ヶ所のうち、1978-2014 年に欠測期間が 1% 以下であった観測点のデータのみを抽出して使用した。降水量は 676 地点、気温は 494 地点であっ

た。北海道・東北、関東・東海・甲信、北陸、近畿、中国・四国、九州の 6 地域に区分し、地域毎に抽出した全観測点のデータを平均してその地域の平均降水量および平均気温とした。

3. 結果

3.1 干害被害の時系列変化

民有人工林の干害実損面積は、年によって非常にばらつきが大きい (Fig.1a)。天然林と人工林を合わせた全国の民有人工林での累計値は、1959 年から 2014 年までの 56 年間で、最大は 1967 年の 16204ha、最小は 1998 年の 18.6ha であった。民有人工林干害実損面積の大部分は人工林 1 齢級 (1-5 年生) が占めており、その割合は 1982 年を除く 1978-2014 年の 36 年間の平均で 95.3% であった。民有人工林 1 齢級の干害被害率も大きく年々変動した (Fig.1b)。1959-2014 年の平均は 0.26% であり、人工林と天然林の区別がなされていない 1961-1977 年と 1982 年を除外すると平均 0.29% であった。最も高いのは 1994 年の 1.69% であった。被害率と年との間で回帰直線を引くと、その傾きは 0.0017%/年 ($p=0.57$) であり、1978 年以降の人工林と天然林の区別がなされている 36 年間のみを対象とすると、傾きは -0.002%/年 ($p=0.73$) であった。いずれも統計的に有意かつ明瞭な増加・減少傾向はみられなかった。実損面積は大きく年々変動しつつも近年減少しているが (Fig.1a)、人工造林面積も減少しているため (Fig.1c)、被害率としては明瞭な傾向が見られなかったと考えられる。

3.2 干害被害の都道府県・樹種による違い

民有人工林における干害実損面積は、都道府県によって大きく異なる (Fig.2a)。1982 年を除く 1978-2014 年の 36 年間の累計実損面積をみると、最大は兵庫県で人工林・天然林を含む全林齢の累計で 3259.8ha、人工林 1 齢級のみで 2969.8ha であった。最小は東京都と埼玉県で、毎年若干の人工造林は行われているものの (東京都は 1990 年以降 100ha 以下、埼玉県は 1998 年以降 200ha 以下)、累計実損面積はいずれも 0ha であった。

民有人工林実損面積の大部分を占める人工林 1 齢級について、干害被害率の 36 年間平均値を都道府県別に比較すると、北陸、甲信、近畿、中国地方および香川県で大きく、北海道、東北、関東、東海、九州地方で比較的小さかった (Fig.2b)。ただし、いずれの都道府県も被害率が 0% の年があり年々変動が大きいこと、標準偏差も大きい。北海道は実損面積が大きいものの (Fig.2a)、人工造林面積も他県に比べて大きいこと (Fig.2c)、被害率は小さい (Fig.2b)。山形県の累計実損面積は 1497.0ha と大きい、その 8 割近くを 2009 年に報告されたスギ 1 齢級での被害 (1173.0ha) が占めており (Fig.2a, 3a)、その年の過去 5 年累計人工造林面

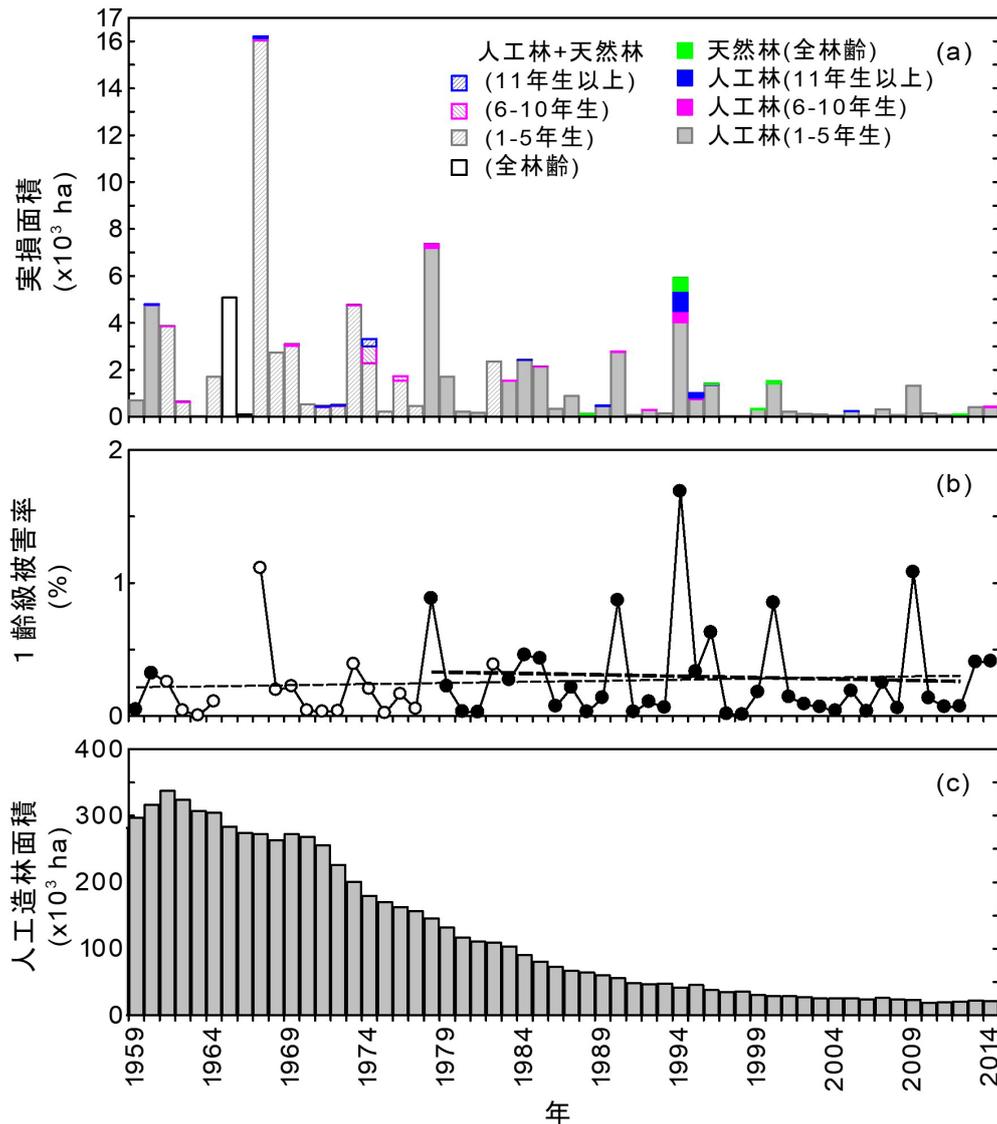


Fig. 1. 1959-2014 年の (a) 民有林干害実損面積、(b) 民有人工林 1 齢級 (1-5 年生) の干害被害率、(c) 1959-2014 年度の民有林人工造林面積

Time series of (a) annual actual loss area by drought damage at private forests, (b) drought damage ratio of age class 1 (1-5 years old) of private planted forests, and (c) annual afforestation area at private forests from April 1959 to March 2015.

(b) の干害被害率のうち、1961-1978 年および 1982 年は天然林を含む 1 齢級実損面積を過去 5 年累計人工造林面積で除したもので代用し、○で示した。太点線は 1978 年以降の●のみに対する回帰直線 (p=0.73) を、細点線は○を含む全データに対する回帰直線 (p=0.57) を示す。

In (b), open circles from 1961 to 1978 and 1982 show the ratios of the annual total actual loss area of age class 1 of both planted and natural private forests, as the substitution of that of only planted private forests, to the 5-year total afforestation area from 4 years before to that year. Thin and thick broken lines show the linear regression line for the whole data including both open and closed circles and only the data shown with closed open circles since 1978, respectively. In (c), the period of annual sum is from April in that year to March in the next year.

積の約 2 倍となっていて、データに何らかの齟齬があると考えられる。2009 年を除外して被害率を平均すると、東北の他県と同程度であった (Fig.2b)。

民有人工林 1 齢級の累計実損面積を樹種別にみると、北海道を除く東日本で比較的スギの割合が大きく、西日本ではヒノキの割合が大きい (Fig.3a)。北

海道は殆どがその他針葉樹に分類され、具体的にはトドマツ、カラマツなどのマツ類の割合が大きい。実損面積におけるこうした樹種構成の違いは、樹種ごとの人工造林面積が都道府県によって異なることが反映している (Fig.2c)。樹種別の民有人工林 1 齢級被害率で比較しても、都道府県によって値にばらつきがある

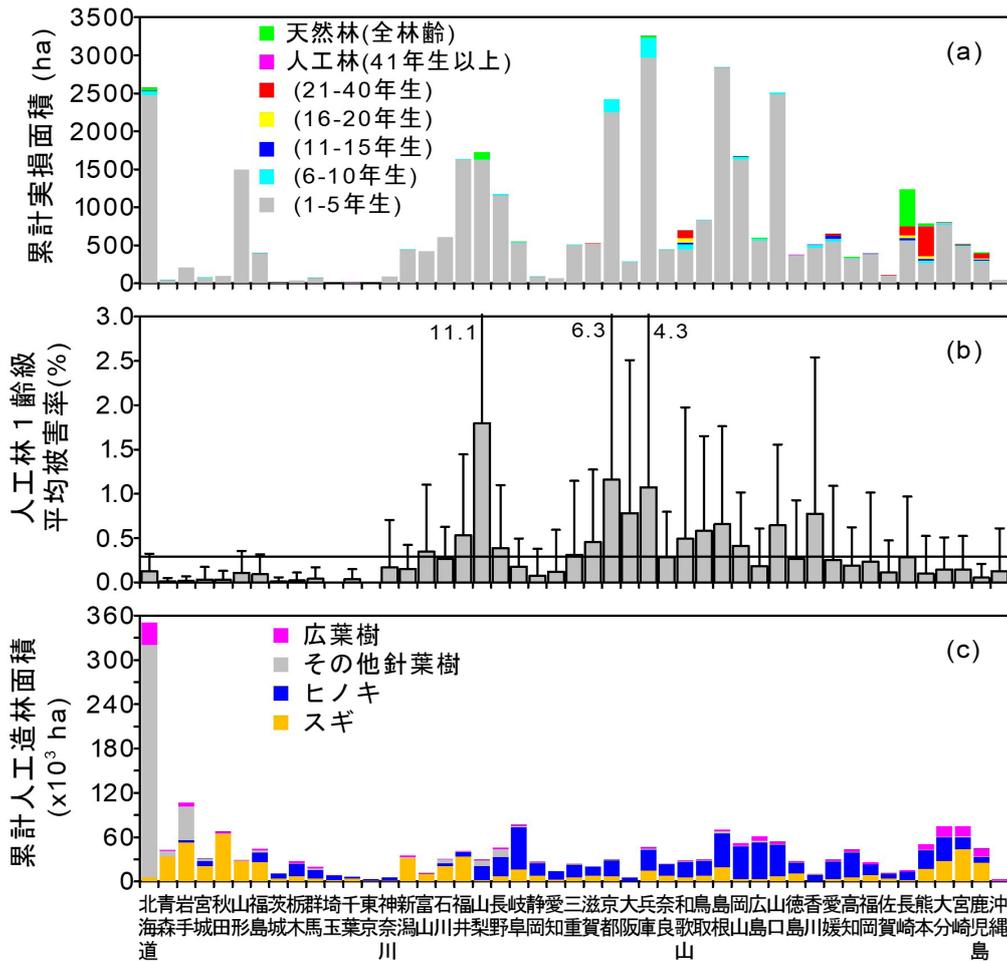


Fig. 2. 都道府県別の (a) 民有林累計干害実損面積、(b) 民有人工林 1 齢級の平均干害被害率、(c) 樹種別の累計民有人工造林面積
 (a) Total actual loss area of drought damage at private forests, (b) mean drought damage ratio of age class 1 (1-5 years old) of private planted forests, and (c) total afforestation area of each tree species at private forests by prefecture.

(a) 及び (b) は 1982 年を除く 1978-2014 年、(c) は 1978-2014 年度のデータに基づく。但し、(b) で 2009 年の山形県のデータは 100% を超過していたため計算から除外。 (b) の鉛直線は標準偏差を示す。ただし、山梨、京都、兵庫は縦軸の範囲を超えるため、平均値 + 標準偏差の値を図中に示した。水平線は全国平均被害率を示す。

(a) and (b) were based on the data from 1978 to 2014 except 1982. (c) was based on the data from April 1978 to March 2015. In (b), the ratio of Yamagata prefecture in 2009 was also excluded because the ratio exceeded 100%. Vertical bars in (b) show standard deviation (SD). For Yamanashi, Kyoto and Hyogo, because the mean+SD exceed the range of vertical axis, their values are written down. Horizontal line in (b) shows the mean ratio for the whole of Japan.

(Fig.3b)。そこで、主要な人工造林樹種であり、かつ干害実損面積の大半を占めているスギとヒノキの民有人工林 1 齢級の被害率について、都道府県ごとに比較した (Fig.3b)。被害率の分布は正規分布ではないので、ウィルコクソン符号付順位検定を用いて検定を行った ($p < 0.05$)。その結果、17 都道府県でスギよりヒノキの方が有意に被害率が大きく、主に北陸甲信および関西以西に分布していた。ヒノキよりスギの方が有意に被害率が大きいのは、富山県と島根県の 2 県のみであった。

3.3 1994 年の壮齢林被害の状況

民有林での干害実損面積のほとんどは人工林 1 齢級 (1-5 年生) が占めているが、1994 年には壮齢林でも比較的大きな被害が報告されており (Fig.1a)、その多くは九州に集中して発生している (Fig.4)。その原因について考察するため、1994 年の気象条件について検討した。1994 年の月降水量と月平均気温を 1978-2014 年の平均と比較すると、1994 年は全国的に 6-8 月の降水量が非常に少なく (Fig.5)、7-8 月の気温が非常に高く (Fig.6)、全国的に高温で乾燥した夏であった。九州以外の地域では、9 月の降水量は非常に多いか 1978-2014

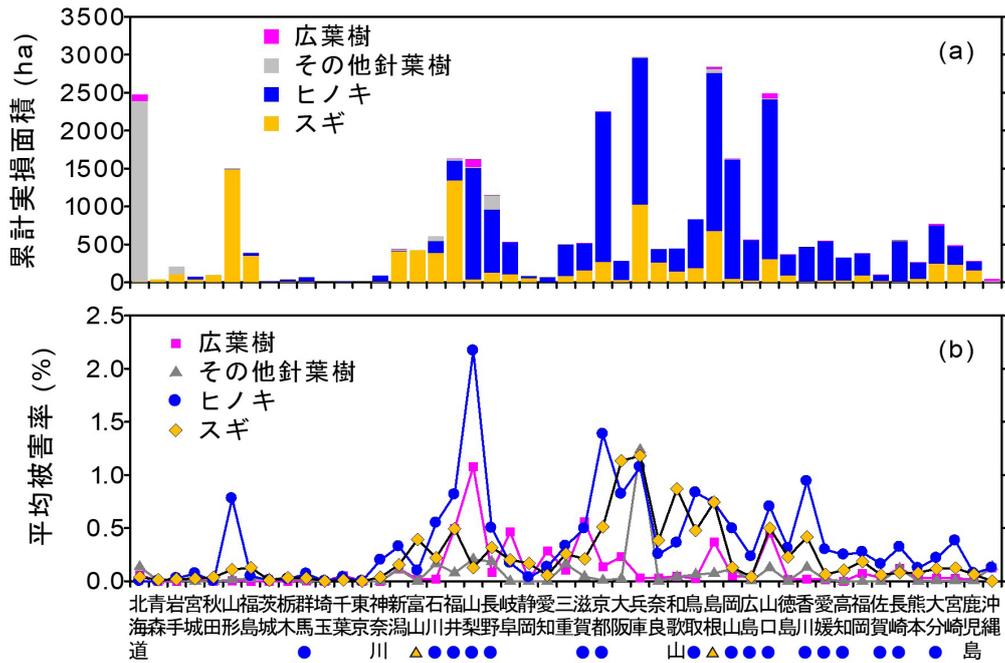


Fig. 3. 民有人工林 1 齢級の都道府県別樹種別の (a) 累計干害実損面積と (b) 平均干害被害率 (a) Total actual loss area and (b) the mean damage ratio by drought at age class 1 (1-5 years old) of private planted forests by tree species and prefecture from 1978 to 2014 except 1982

データ期間は 1982 年を除く 1978-2014 年。ただし、(b) 平均被害率は 100% を超過した山形県スギ 2009 年と大阪府その他針葉樹 1985 年は除外して求めた。横軸下の▲は、ヒノキよりスギの方が、●はスギよりヒノキの方が、被害率が有意に高い都道府県を示す (ウィルコクソン符号付順位検定、 $p < 0.05$)。

In (b), the ratio of *Cryptomeria japonica* at Yamagata in 2009 and conifer trees other than *C. japonica* and *Chamaecyparis obtusa* at Osaka in 1985 were excluded from the calculation of mean ratio because their values exceeded 100%. Filled triangles and the filled circles below the horizontal axis show the prefectures in which the damage ratio of *C. japonica* is significantly larger than that of *C. obtusa* and the damage ratio of *C. obtusa* is significantly larger than that of *C. japonica*, respectively (Wilcoxon signed rank test, $p < 0.05$).

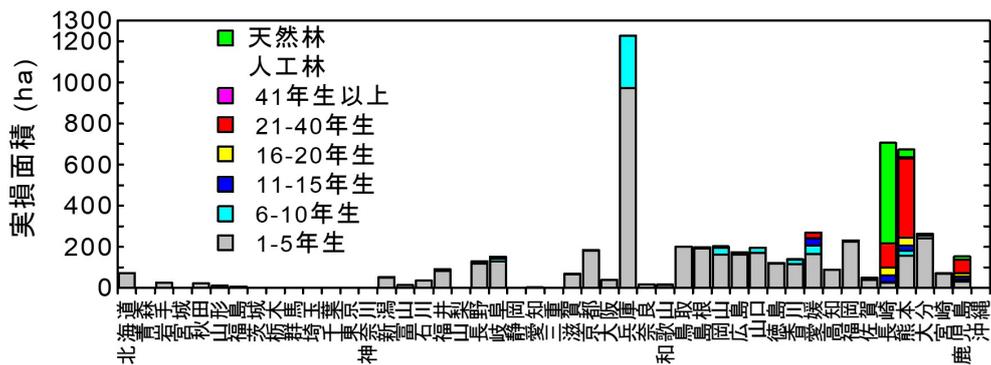


Fig. 4. 1994 年の都道府県別民有林 (人工林林齢区分別及び天然林全林齢) 干害実損面積 Actual loss area of drought damage of private forests (6 age classes of planted forests and all age classes of natural forests) by prefecture in 1994.

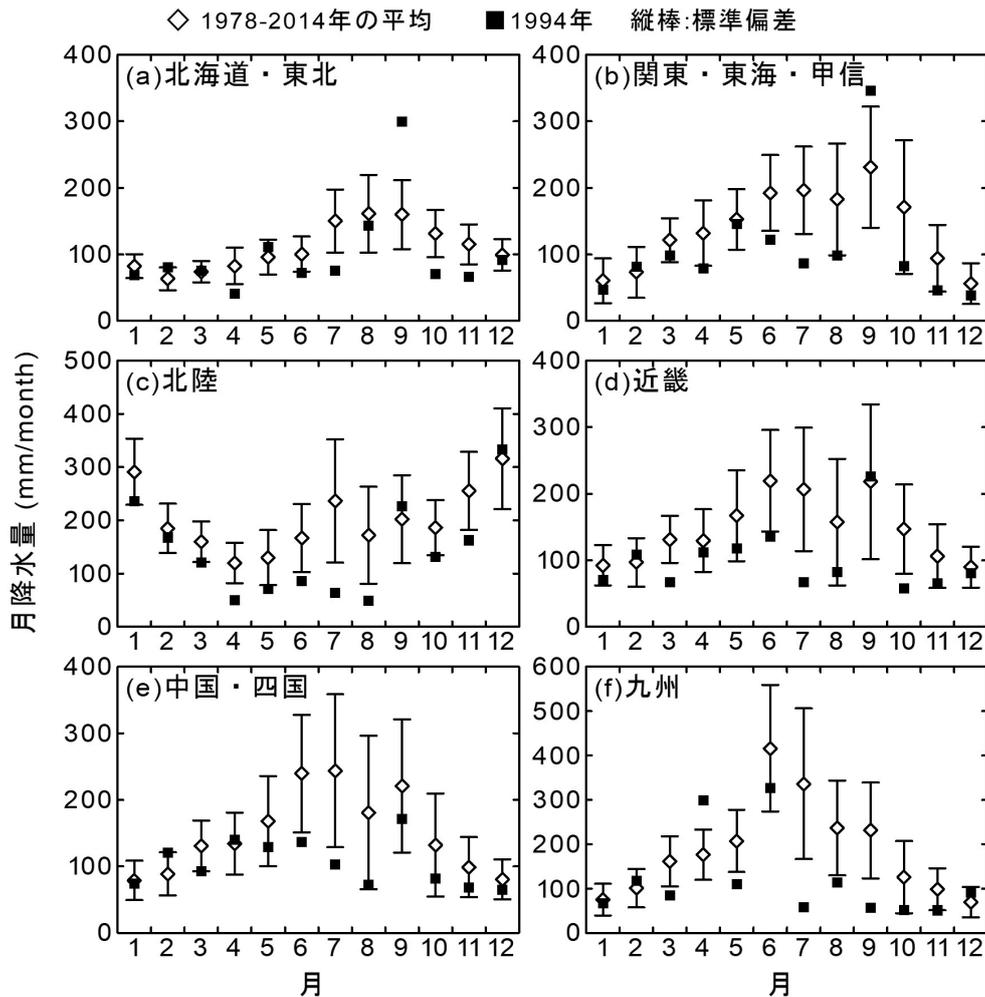


Fig. 5. 地域別の平均月降水量
Mean monthly precipitation by region
 ■ : 1994 年、◇ : 1978-2014 年の平均、縦棒 : 標準偏差。
 ■ : 1994, ◇ : average from 1978 to 2014, vertical bars: standard deviation

年の平均と同程度であったのに対し、九州では 9 月も引き続き非常に少なかった (Fig.5)。九州以外の地域では、9 月には乾燥が緩和されたのに対し、九州では 9 月になっても乾燥状態が続いたと考えられる。このことが、九州において壮齡林干害被害が多く発生した一因になっている可能性がある。

4. 考察

干害被害の殆どは 1 齡級で発生している。本研究で用いた統計データからは、1 齡級のうち何年生の被害が多いのかを知ることはできないが、個別の地域および年の被害に関する報告には植栽当年の罹災について報告したものが散見される。例えば、1 齡級で大きな被害が発生した 1967 年は (Fig.1a)、九州での 1 齡級被害の 90% 以上が植栽当年のものであった (讚井 2005)。また 1976 年の北海道では、春から初夏にかけて少雨となり、前年の秋や当年の春に植栽したマツ類の造林地で干害被害が報告されている (青柳・東原

1977)。植栽当年の苗木は活着不良や根茎の発達不良が生じると干害の被害を受けやすく、活着力の低下を防ぐには苗木の生育状態だけでなく、苗畑から輸送し造林地に植栽するまでの苗木の扱い方や、適切な造林技術をもって植え付けを行うことが重要である (大山・高橋 1980)。すなわち、生育の進んだ林齢の高い森林とは異なり、植栽当年の干害被害は造林技術の向上と丁寧な造林の実施によって、被害を回避・軽減する余地があるといえよう。近年、造林の低コスト・省力化を期待してコンテナ苗の供給が進められている。壁谷ら (2016) は、コンテナ苗と従来の露地植えの裸苗を同時に植栽してその後の生長・活着能力を比較し、両者に大きな違いは見られないことを報告している。しかし、コンテナ苗は裸苗に比べて出荷前の管理がしやすく運搬の利便性が高いなどの利点があるので (壁谷ら 2016)、運搬や仮置きの際の苗のダメージを減らすような管理をすることで植栽当年の被害の軽減を図ることが可能かもしれない。

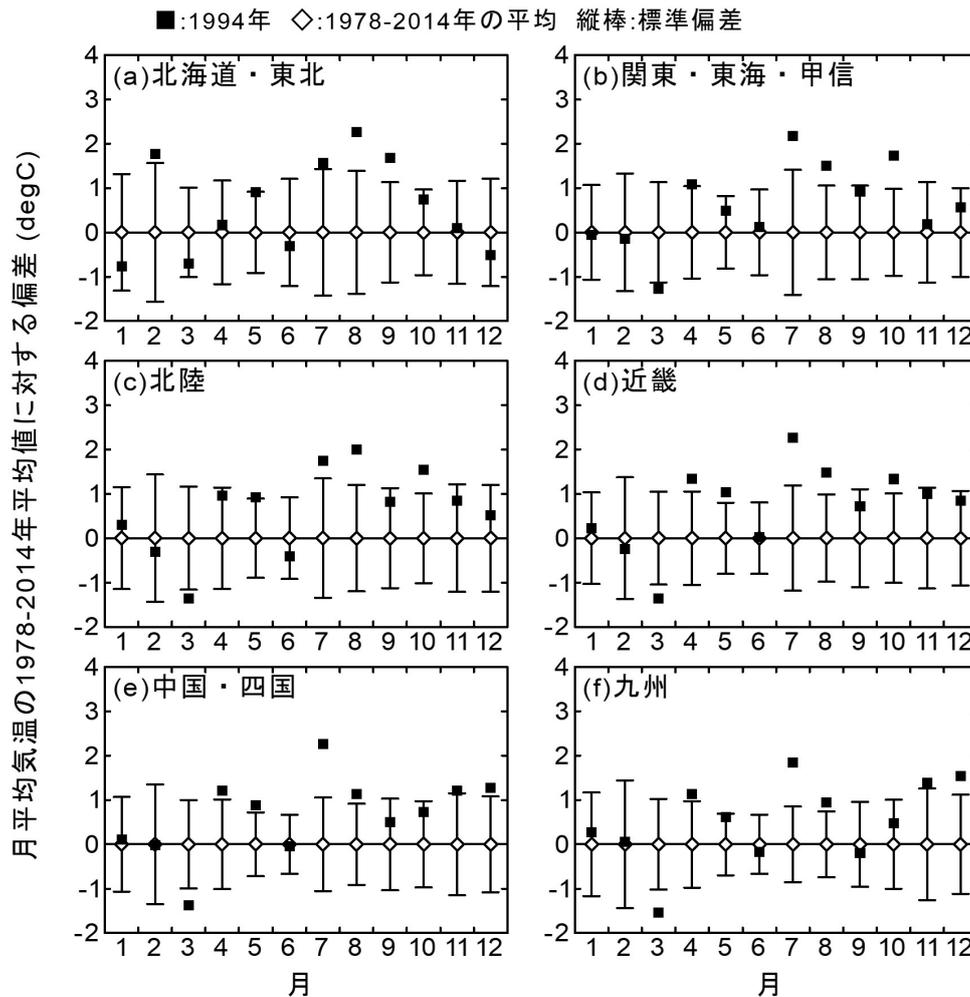


Fig. 6. 地域別の月平均気温の1978-2014年平均値に対する偏差
Deviation of the monthly mean temperature in 1994 from the mean from 1978 to 2014 by region

■ : 1994年、◇ : 1978-2014年の平均、縦棒 : 標準偏差。
Symbols are the same as in Fig.5.

スギとヒノキの民有人工林1齢級干害被害率を比較すると、ヒノキの被害率の方が大きい地域が多かった (Fig.3b)。この被害率の違いには、スギとヒノキが生来持っている耐乾性の違いだけでなく、植栽地の立地の違いや植林作業に伴うストレスに対する耐性の違いも影響すると考えられる。日本では古くから経験的に造林の際の適地適木を示す言葉として「尾根マツ、谷スギ、中ヒノキ」と言われており、スギは比較的湿潤な谷部、ヒノキは谷部に比べて乾燥しやすい斜面部が適しているとされてきた。しかし、スギとヒノキの乾燥時の応答や水利用特性についての研究は多数行われているものの、両者の耐乾性の違いとその根拠は、未だ生理学的に十分説明されているとは言えない。スギとヒノキの乾燥応答を直接比較した研究例としては、例えば Nagakura et al. (2004) はスギとヒノキのポット苗に土壤乾燥処理を施し蒸散量や相対成長量の変化を比較しており、両樹種とも乾燥の前後で相対成長量は

変化しなかったが、ヒノキは湿潤時でもスギより蒸散量が少なく乾燥時にさらに蒸散量が低下したことから、ヒノキの方がスギより水消費が節約的であることを示している。しかし、乾燥によって枯死しやすいかどうかは、蒸散による水の消費だけでなく、根から幹枝を通して葉までの吸水・水移動のしやすさや、樹体内の水分減少にどこまで枯れずに耐えられるかといった要素が複合的に影響する。これらを明らかにするには、気孔コンダクタンスや、葉や幹の水ポテンシャル、通水コンダクタンスなどの様々なパラメータの変化や相互作用を総合的に明らかにする必要がある。スギやヒノキについてこれらのパラメータを測定・推定した研究例は多数あるが (例えば、長崎・玉泉 2007, 井上ら 2018)、総合的に十分比較整理されているとはいえず、どちらの樹種が枯死しやすいかを生理学的に述べることは難しい。また、同じ種であっても、品種や苗木の生い立ち (実生苗か挿し木苗か) などによっても特性

が異なることも指摘されている(大山・高橋 1980)。仮に「古くからより乾燥しやすい斜面部に適しているとされているヒノキの方が、スギより乾燥に強い」と仮定するならば、ヒノキの被害率の方が大きい県が多いことと相反する。一方で、もし実際にスギはより湿潤な立地に、ヒノキはより乾燥しがちな立地に、それぞれ植栽されているのであれば、ヒノキの方がより強い乾燥にさらされがちになるので、そうした立地の違いが被害率の違いに反映している可能性がある。しかし本研究で用いたデータには植栽地の立地に関する情報は含まれておらず、その点について検討することはできなかった。また、特に1年生での被害に関しては、苗畑からの苗木の輸送や植栽作業にともなうストレスに対する耐性や、植栽後の根の活着のしやすさの違いが影響する可能性もある。

世界的には地球温暖化に伴う乾燥が樹木の枯死・衰退に及ぼす影響が懸念されているが、日本国内においては干害被害の大部分を占める1齢級での被害率に明瞭な増加傾向はみられなかった(Fig.1b)。一方で、著しい寡雨年には壮齢林でのまとまった被害も生じている(Fig.1a, 5)。壮齢林で被害が発生すると被害額が大きくなるため経済的な損失が大きく、また植栽直後の幼齢林に比べて生態系へ及ぼす影響も大きいことが想定される。これまで壮齢林での被害は発生頻度が少なかったため、本研究で用いたデータ期間では増加・減少傾向があるかどうかの判別は難しい。1901年から2009年の全国51地点の日降水量データを用いた長期変動解析によると、最大連続無降水日は長くなる傾向が示されている(Oguchi and Fujibe 2012)。こうした気象の変化や林齢構成などの変化が、干害を含む森林気象害の発生にどのように影響するのかをさらに明らかにしていく必要があり、そのためには今後も継続して全国の森林気象害データを網羅的に収集する必要がある。また、乾燥はスギやヒノキの暗色枝枯病の誘因になることが指摘されており、集団枯損に至る場合もある(山田・伊藤 1992, 讚井 2005)。乾燥による水ストレスの直接的な影響だけでなく、こうした病害の研究や病害が併発する場合のリスク管理も重要であろう。

民有林の気象害リスクに対する備えとして設けられている森林保険制度では、都道府県や樹種によって異なる保険料が設定されている。森林保険制度は干害だけでなく風害・水害・雪害・凍害・潮害・火災・噴火災といった複数の災害に対応するもので、それらに対するリスクを総合的に評価し適切な保険料を定める必要がある。本研究では元データを用いることにより、干害被害の大部分を占める民有人工林1齢級の被害率を都道府県別・樹種別に算出し比較することができ、保険制度の適切な運用に資する情報を提示することができた。しかし、気象害の種類によって被害を受けやすい林齢や地域には違いがあるので(久保山ら 2003)、

適切な森林管理と林業経営のためには、今後さらにそれぞれの気象害について統計データの解析や被害予測モデルによる推定、詳細な実験・観測など様々な角度から研究を進め、森林気象害の総合的なリスク評価を行っていくことが必要である。

謝 辞

人工造林面積データの収集においてご助力くださった国立研究開発法人国際農林水産業研究センターの岡裕泰氏、森林総合研究所林業経営・政策研究領域の田村和也氏、またスギ・ヒノキの耐乾性について有益な助言をくださった森林総合研究所の大曾根陽子氏に心より感謝いたします。

引用文献

- Allen, C. D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H. (Ted), Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J. H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A. and Cobb, N. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.*, 259, 660-684.
- 青柳 正英・東原 義晴(1977) 昭和51年春の異常気象による乾燥害—宗谷管内民有林の被害実態—。北方林業, 29(5), 128-132.
- 井上 裕太・北岡 哲・荒木 眞岳・田中 憲蔵・齊藤 哲(2018) スギ成木の樹冠上部の葉の水ポテンシャルと光合成・蒸散速度の季節変化。関東森林研究, 69(1), 19-22.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- 壁谷 大介・宇都木 玄・来田 和人・小倉 晃・渡辺直史・藤本 浩平・山崎 真・屋代 忠幸・梶本卓也・田中 浩(2016) 複数試験地データからみたコンテナ苗の植栽後の活着および成長特性。日林誌, 98, 214-222.
- 久保山 裕史・鄭 躍軍・岡 裕泰(2003) 主要な森林気象災害の林齢別被害率の推定と考察。日林誌, 85(3), 191-198.
- 松本 陽介・丸山 温・森川 靖(1992a) スギの水生理特性と関東平野における近年の気象変動—樹木の衰退現象に関連して—。森林立地, 34(1), 2-13.
- 松本 陽介・丸山 温・森川 靖・井上敏雄(1992b) 人工酸性雨(霧)およびオゾンがスギに及ぼす影響と近年の汚染状況の変動—樹木の衰退現象に関連して—。森林立地, 34(2), 85-97.

- Matsumoto, Y., Shigenaga, H., Miura, S., Nagakura, J. and Taoda, H. (2006) Mapping of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) Forests Vulnerable to Global Warming in Japan. *Global Env. Res.*, 10(2), 181-188.
- 梨本 真・高橋 啓二 (1991) 関東甲信・関西瀬戸内地方におけるスギの衰退現象. *森林立地*, 32(2), 70-78.
- Nagakura, J., Shigenaga, H., Akama, A. and Takahashi, M. (2004) Growth and transpiration of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtuse*) seedlings in response to soil water content. *Tree Physiol.*, 24, 1203-1208.
- 長崎 真由・玉泉 幸一郎 (2007) スギとヒノキ苗の通水抵抗の比較. *九州森林研究*, 60, 79-80.
- Oguchi, S. and Fujibe F. (2012) Seasonal and regional features of long-term precipitation changes in Japan. *Papers in Meteorology and Geophysics*, 63, 21-30.
- 大山 浪雄・高橋 邦秀 (1980) 干害を受けやすい造林木. 柳沢 聡雄編 “わかりやすい林業研究解説シリーズ No. 65 造林地の干害とその対策”. *林業科学技術振興所*, 50-57.
- 林野庁 (2012) “森林資源の現況”, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/index1.html>
- 讚井 孝義 (1998) 1994年に発生した九州地域の干害. *森林防疫*, 47(2), 1-9.
- 讚井 孝義 (2005) スギ造林木の干害発生に関わる環境要因と暗色枝枯病に関する研究. 博士論文、東大農 16163号
- Shigenaga, H., Matsumoto, Y., Taoda, H. and Takahashi, M. (2005) The potential effect of climate change on the transpiration of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation in Japan. *J. Agric. Meteorol.*, 60(5), 451-456.
- 鈴木 覚・吉武 孝・後藤 義明 (2008) 過去50年間の森林気象害の発生状況. *関東森林研究*, 59, 253-256.
- 鈴木 覚・吉武 孝・後藤 義明 (2009) 日本における森林気象害および林野火災の発生状況 (1954年度～2003年度). *森林総合研究所研究報告*, 8(1), 71-100.
- 山家 義人 (1978) 都市域における環境悪化の指標としての樹木衰退と微生物相の変動. *林試研報*, 301, 119-129.
- 山田 利博・伊藤 進一郎 (1992) 関西地域に発生した暗色枝枯病とスギ、ヒノキの集団枯損. *森林防疫*, 41(3), 13-17.

Temporal and regional variations of drought damage at private planted forests in Japan based on 36-year record of statistical data

Natsuko YOSHIFUJI^{1)*}, Satoru SUZUKI¹⁾ and Koji TAMAI¹⁾

Abstract

Quantification of climatic damage to forests and its differences among regions and species is essential for forestry and forest conservation. Drought risk of forests is one of the critical subject in recent years under the global warming. Temporal, regional, and among-species variations in drought damage at private forests in Japan were investigated based on statistical data from 1959 to 2014, especially concentrating on recent 36 years for which original detail data were available. 1- to 5-years-old stands of private planted forests (PPF1-5) account for 95.3% of actual loss area, which was calculated as the damaged area multiplied by the ratio of the number of damaged trees to that of planted trees, caused by drought damage at whole private forests. The mean annual ratio of actual loss area caused by drought damage to total forested area (r_{d_real}) of PPF1-5 over Japan was 0.26% and showed large inter-annual fluctuation without significant temporal trend. In variation among prefectures, the mean annual r_{d_real} at PPF1-5 were relatively large in Hokuriku, Koushin, Kinki, and Chugoku regions (the south western part of the main island of Japan) and Kagawa prefecture, and were small in Tohoku, Kanto, and Tokai regions (the north eastern part of the main island of Japan) and Hokkaido and Kyushu islands. Annual r_{d_real} of *Chamaecyparis obtusa* at PPF1-5 was larger and smaller than those of *Cryptomeria japonica* in 17 and 2 prefectures, respectively. Considerable amount of actual loss area was reported at mature stands in Kyushu in 1994, in which rainfall was quite small than usual from summer to early autumn. As the drought damage at mature stands, which should cause greater economic loss and ecological disturbance, occurred infrequently, comprehensive and long-term monitoring of forest damage needs to be continued to evaluate the trend of drought damage at mature stands.

Key words: drought damage, private forests, statistical data, rate of damage, temporal variation, spatial variation, age class

Received 30 October 2018, Accepted 5 March 2019

1) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN;
e-mail: yoshifuji@ffpri.affrc.go.jp