ヒノキ新植地における干害の発生状況および苗タイプの違いによる干害耐性の検証

大島潤一^{*1)}・加藤大河¹⁾・飯塚和也¹⁾

1) 宇都宮大学農学部 School of Agriculture, Utsunomiya University

摘要: 本研究では、宇都宮大学船生演習林内のヒノキ新植地を対象に、ヒノキ裸苗の干害の発生状況および立地環境を調査し、干害の発生要因について検討した。加えて、苗タイプの違いによる干害耐性を検証した。調査地全体の枯死率は36.0%であり、1,012本の枯死木が確認された。干害が発生した2018年は、降水量が少なく平均気温が高い異常気象の年であり、7月の無降水期間が長く、気温が高かったことが干害の発生に起因していたと考えられる。また、尾根部または傾斜が30°を超える急傾斜地かつ腐植に乏しいA層が薄い土壌において高い枯死率が認められた。一方で、ヒノキコンテナ苗が干害に対して高い耐性を持つことが明らかとなった。

キーワード: 干害, ヒノキ新植地, 裸苗, コンテナ苗, 干害耐性

OHSIMA, Jyunichi, KATO, Taiga and IIZUKA, Kazuya: **Drought damage in Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) plantation and evaluation of drought tolerance due to the difference between seedling types.**

Abstract: We analyzed the occurrences and forest environment of drought damage of bare-root seedlings in Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) plantation of Utsunomiya University Forest. Additionally, we evaluated drought tolerance due to the difference between seedling types. The mortality rate was 36.0 % and the number of dead trees was 1,012 trees. 2018 that the drought damage occurred was the year of unusual weather with low precipitation and high mean temperature, and the occurrence of drought damage was thought to be caused by long non-rainfall period and high temperature in July. High mortality rate was observed in the ridge top or steep slope with angle more than 30 degrees and thin A layer soil with low humus. While, the containerized seedlings of Hinoki had higher tolerance to drought conditions.

Key words: drought damage, *Chamaecyparis obtusa* plantation, bare-root seedling, containerized seedling, drought tolerance

1. はじめに

干害は、無降雨期間が継続して土壌水分が不足し、樹木の生育が抑制されたり、樹木が枯死する被害である²²⁾。干害は発生する時期によって3種類に分けられ、6月以前に発生する春型干害、7月以降に発生する夏型干害、春型干害発生後、引き続き夏型干害が発生する連続型干害がある²²⁾。その被害は、一般的に30日以上無降雨期間の連続と気温が平年値より2~3℃高い場合に発生しやすいことが知られている²⁴⁾。また、人工林では植栽直後から1齢級以内の幼齢木に干害被害が多く^{7,22)}、その被害の割合は1982年を除く1978~2014年の36年間の平均で95.3%であり²³⁾、新植地に被害が集中している。干害は、森林の公益的機能の低下を招くとともに、林業経営上、多大な経済的損失をもたらす。

一方、地球温暖化による森林の枯死・衰退が、今後さらに世界各地で進行する可能性が懸念されている²⁾。日本においても気温上昇等の異常気象が発生し、気候変動が森林に及ぼす影響が危惧されている。特に、地球温暖化による気温上昇によって森林の干害が増加することが予想される。したがって、森林の適切な保全・管理を図る上で、干害の発生状況お

よび発生要因を正確に把握する必要がある。しかしながら、新植地における枯死本数や枯死率を詳細に調査し、干害の発生要因を解析した研究はほとんど報告されていない。加えて、干害と土壌との関係性について検討した研究も少なく¹⁰⁾、2000年以降、森林の干害に関する知見が乏しい状況にある。

現在、再造林を低コストで実施するために、コンテナ苗の導入が全国的に進んでいる。栃木県においては、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.)は2018年秋から全量が実生コンテナ苗に移行している¹⁾。根鉢を有するコンテナ苗は、移植による根の損傷が裸苗よりも少なく、植栽後に受ける乾燥等のストレス環境下でも良好な活着・成長できることが知られている⁴⁾。また、ヒノキコンテナ苗が植栽前後の気象条件の影響を受けにくいことが推測されている²⁰⁾。一方で、ヒノキコンテナ苗が植栽直後に高温少雨の気象条件下で、強い乾燥ストレスを受けた場合の生育状況に関する報告は少なく、ヒノキコンテナ苗の干害に対する耐性については明らかになっていない。

本研究では、干害が局所的に発生した新植地の一事例として、栃木県にある宇都宮大学船生演習林内のヒノキ新植地を対象に、ヒノキ裸苗の干害の発生状況および立地環境を調査

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒329-2441 栃木県塩谷郡塩谷町船生 7556 E-mail : joshima@cc.utsunomiya-u.ac.jp

し、干害の発生要因を検討した。さらに、ヒノキの苗タイプの違いによる干害に対する耐性を検証した。

2. 調査方法

2.1 調査地

調査地は、栃木県塩谷郡塩谷町船生に位置する宇都宮大学農学部附属船生演習林 2 林班に小班のヒノキ新植地である (図-1)。調査地は、南北約 300 m、東西約 150 m の弓状で、面積は 1.03 ha、標高は約 280~325 m である。調査地の周囲は、ヒノキ林および広葉樹林と境界を接している。調査地は、2017 年秋に林齢 64 年のヒノキ林が皆伐され、伐採後の 2018 年 5 月にヒノキ裸苗 (栃木県鹿沼市の種苗業者が生産した 3 年生苗) が植栽間隔 1.8 m (植栽密度 3,000 本 / ha) で計 2,814 本植栽された。なお、裸苗の植栽時に客土や施肥は行わなかった。また、調査地の南東斜面下部の隣接地 (面積 0.30 ha) では、同時期にスギコンテナ苗 (栃木県鹿沼市の種苗業者が生産した 2 年生苗) が植栽間隔 1.8 m (植栽密度 3,000 本 / ha) で計 920 本植栽された。

2.2 調査方法

2.2.1 干害概況調査

2018 年 6 月から 7 月まで無降雨期間が続く、その後に調査地では新規に植栽したヒノキ裸苗の枯死が相次ぎ確認され、干害の発生が疑われたので、柳沢ら²²⁾に示された「干害の被害形態」を参考に判定を行い、該当する枯れ個体を「干害の枯死木」として記録した。また、調査は 2019 年 2 月から 4 月にかけて実施し、枯死木の位置情報 (位置座標、標高) は、ハンディ GPS (eTrex30J GARIN 社) を用いて記録した。そして、調査地の北部の斜面方位が南東を、南部の斜面方位が東を向いているため、斜面方位により 2 つの斜面 (南東斜面および東斜面) に分割した (図-1)。なお、調査地の南東斜面下部の隣接地に新規に植栽したスギコンテナ苗では、干害の被害は確認されなかった。2018 年は、本調査地以外に栃木県内での干害の被害が報告されていないことから、本調査地の干害は、局所的に発生したと考えられる。

干害が発生した 2018 年と過去 30 年間 (1988~2017 年) の年別の平均気温、降水量、月別の平均気温、降水量、無降水日数、無降水期間および日照時間、ならびに日別の平均気温、最高気温、降水量および日照時間を、船生演習林から東南東へ約 5.8 km の位置にあるアメダス塩谷地域気象観測所 (北緯 36 度 45.4 分、東経 139 度 53.0 分、標高 225 m) の気象データから収集した⁶⁾。得られた気象データを年別、月別に比較し、干害の発生条件を検討した。なお、気象データは、最高気温および日照時間の測定方法の変更のため、最高気温は 2008 年 3 月から 2018 年 12 月まで、日照時間は 2008 年 1 月から 2018 年 12 月まで (データの欠損のため 2010 年 7 月を除く) とする。

2.2.2 干害要因調査

調査地の傾斜は、QGIS ver 3.18 (QGIS Development

Team 2021) を使用して 5 m メッシュの DTM データの地形解析を行い、算出した。また、過去の事例より傾斜 20° 以上で干害の枯死率が高くなる可能性があることから、傾斜を 20° 未満、20° 以上 25° 未満、25° 以上 30° 未満、30° 以上 35° 未満、35° 以上に区分して、地形区分図を作成した (図-1)。加えて、南東斜面と東斜面に連なる尾根に隣接した緩斜面 (傾斜 20° 未満) を尾根部に区分した (図-1)。さらに、地況が干害に与える影響を調査するため、調査地の南東斜面および東斜面において尾根以外の隣接林分境界から林縁効果が及ぶ水平距離で 5 m の範囲をそれぞれ南東斜面林縁部 (スギ新植地である南東斜面下部を除く) および東斜面林縁部として抽出した (図-1)。解析にあたっては、図-1 に示す傾斜、尾根部および林縁部に区分してデータをまとめ、比較した。

各斜面の傾斜区分ごとの代表的な土壌を示す位置において、検土杖を用いて土壌深さ 100 cm までの A 層および B 層の層位深さを測定した (図-1)。また、各層の土壌を採取し、林野庁方式¹⁷⁾に従い、腐植について記録した。

2.2.3 干害耐性調査

コンテナ苗の干害への耐性を調べるため、2019 年 5 月に東斜面の斜面上部から斜面中部 (平均傾斜 32.2° の急傾斜地) を干害耐性調査試験地とし、ヒノキコンテナ苗 (栃木県鹿沼市の種苗業者が生産した 2 年生苗) とヒノキ裸苗 (福島県新地町の種苗業者が生産した 3 年生苗) を植栽木が枯死した箇所に各 50 本ずつ補植した (図-1)。補植は、苗タイプ間で植栽条件や苗木の配置に偏りが無いように、干害耐性調査試験地内の水平列計 10 列を対象として、斜面の南側にコンテナ苗、北側に裸苗を水平列 1 列につき 5 本ずつ配置し、コンテナ苗補植試験区 (平均傾斜 33.1°) および裸苗補植試験区 (平均傾斜 31.4°) を設定した。なお、両試験地の地況および日照条件は同様の条件であり、裸苗の補植時に客土や施肥は行わなかった。そして、2019 年 6 月から 10 月まで、補植木の枯死状況を調査した。また、アメダス塩谷地域気象観測所から収集した 2019 年の気象データ⁶⁾と、過去 30 年 (1988~2017 年) の気象データを年別および月別に比較した。

3. 結果と考察

3.1 干害概況

調査地全体、尾根部および両斜面における傾斜区分ごとの植栽本数、生存本数、枯死本数および枯死率を表-1 に、枯死木の位置を図-1 に示す。なお、植栽本数は、その他被害 (抜け、折れ) を除いた本数である。南東斜面全体の枯死率が 32.0 %であったのに対し、東斜面全体の枯死率は、36.5%であり、南東斜面よりも大きい被害が確認された。また、調査地全体の枯死率は 36.0%であり、1,012 本の枯死木が確認された (表-1)。調査地である船生演習林では、ヒノキの補植率を一般的に新植本数の 10%程度としている¹⁹⁾。昭和 56 年度から昭和 59 年度までのヒノキの補植率が 6.5~13.6%であり⁸⁾、現在までヒノキ裸苗の植栽 1 年後の枯死率は 10%前後で推移

図-1 調査地および干害の概要

Fig. 1 Schematic map of investigated plantation and drought damage

表-1 調査地の干害概況

Table 1 Drought damage in investigated plantation

斜面	傾斜区分	植栽本数	生存本数	枯死本数	枯死率 (%)
南東	尾根部	244	120	124	50.8*
	20° 未満	216	153	63	29.2 ^{ns}
	20° ~25°	407	297	110	27.0 ^{ns}
	25° ~30°	459	292	167	36.4 ^{ns}
	30° ~35°	24	10	14	58.3**
東	計	1,106	752	354	32.0
	20° 未満	78	60	18	23.1 ^{ns}
	20° ~25°	162	101	61	37.7**
	25° ~30°	660	467	193	29.2 ^{ns}
	30° ~35°	477	254	223	46.8**
全体	35° 以上	87	48	39	44.8**
	計	1,464	930	534	36.5
全体		2,814	1,802	1,012	36.0

*は χ^2 検定による尾根部と調査地全体間の有意差あり ($p<0.01$) を示す。**は χ^2 検定による同斜面の傾斜 20° 未満と各傾斜間の有意差あり ($p<0.01$) を示す。ns は χ^2 検定による同斜面の傾斜 20° 未満と各傾斜間の有意差なし ($p>0.01$) を示す。

Asterisk indicates the significant difference between ridge top and whole investigated plantation by χ^2 test ($p<0.01$). Double asterisks indicate the significant difference between angle less than 20 degrees and each angles in the same slope by χ^2 test ($p<0.01$). ns indicate no significant difference between angle less than 20 degrees and each angles in the same slope by χ^2 test ($p>0.01$).

している。福島県では、1~4年生のヒノキ林分の枯死率が10~17%であることが報告されており³⁾、船生演習林も同様な傾向を示している。したがって、船生演習林のヒノキ裸苗の枯死率が例年10%前後であるため、2018年の枯死率36.0%は例年に比べて著しく大きな値を示している。

一方、人工林では植栽直後から1齢級以内の幼齢木に干害被害が多く^{7,22)}、新植地に被害が集中している²³⁾。また、2018年は、船生演習林におけるヒノキ裸苗の新規植栽地では干害被害が確認されたが、植栽後1年以上経過したヒノキ裸苗の

植栽地では干害被害が確認されなかった。したがって、本調査地が新規植栽地であったことが局所的に集中して植栽木の枯死が見られた要因であると考えられた。

昭和42年に発生した西日本の大干害においては、比較的標高の低い100~400mの間に干害が最も多く発生し²¹⁾、昭和53年の神奈川県下での干害では、標高400mのヒノキ新植地で甚大な被害が発生したことが報告されている¹¹⁾。本研究の調査地の標高は約280~325mであることから、調査地は干害が発生しやすい標高の範囲に位置していたと推測される。一方で、南向きから西向き斜面で干害が多く発生するという事例が報告されているが²²⁾、本研究の調査地は、比較的干害が少ないとされる南東および東向き斜面であり、一般に干害が発生しやすい斜面方位と異なる結果を示した。

干害が発生した2018年と過去30年間(1988~2017年)の年降水量と年平均気温を図-2に示す。2018年の年降水量および年平均気温を過去30年の年降水量および年平均気温と比較すると、2018年の年降水量は過去30年でワースト2位、年平均気温は過去30年で2位タイであった。したがって、2018年は、降水量が少なく、平均気温が高いという異常気象の年であった。また、2018年6月および7月の降水量が平年値を大きく下回り、2018年7月の平均気温が平年値を大きく上回っていた。

2018年6月および7月の降水量、無降水日数、無降水期間、平均気温、日照時間の観測値および過去30年間の順位を表-2に示す。なお、無降水とは、気象庁が用いる降水確率に準じて、降水量が1mm未満と定義する。2018年6月の降水量が過去30年間でワースト3位、無降水日数の多さが1位、2018年7月の降水量がワースト3位、無降水日数の多さ、無降水期間の長さおよび平均気温の高さが1位であった(表-2)。加えて、月別の日照時間(2010年7月を除く2008

図-2 1988～2018年の年平均気温と年降水量

Fig. 2 Annual mean temperature and precipitation from 1988 to 2018

表-2 2018年6月および7月の気象項目別観測値と過去30年間の順位

Table 2 Observed values and ranking for the past 30 years of each weather item in June and July 2018

項目	2018年6月		2018年7月	
	観測値	順位	観測値	順位
降水量 (mm)	83	ワースト3位	123	ワースト3位
無降水日数 (日)	21	1位	25	1位
無降水期間 (日)	5	10位タイ	20	1位
平均気温 (°C)	20.2	11位タイ	25.9	1位
日照時間 (h)	165.9	1位	178.8	1位

年から2018年までの各月データ)は、2018年6月が165.9時間、2018年7月が178.8時間とともに1位であった(表-2)。以上より、2018年7月の無降水期間が長く、気温が高かったことが明らかとなり、今回の干害被害は、2018年7月の気象を起因とする夏型干害であると示唆された。また、1901年から2009年の国内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、無降水期間は長くなる傾向が報告されている¹²⁾。本研究においても2018年7月の無降水期間が過去30年で最も長かったため、将来的に無降水期間が長期化する可能性が推察された。

3.2 干害要因

南東斜面および東斜面ともに、斜面の傾斜が急になるにつれて、枯死率が増加する傾向がみられた(表-1)。特に、両斜面で傾斜が30°以上になると、傾斜20°未満と比較して枯死率が40%を超える有意に高い値を示した(表-1, χ^2 検定 $p<0.01$)。また、尾根部の枯死率は、50.8%であり、尾根部は調査地全体における枯死率の1.5倍以上の有意に高い値を示した(表-1, χ^2 検定 $p<0.01$)。したがって、本研究では、尾根部または傾斜30°以上の急傾斜地で干害被害が拡大する傾向が確認された。

柳沢ら²²⁾は、傾斜20°以上で干害が多く発生することを報告している。また、大久保ら¹³⁾は、1, 2 齢級のヒノキ造林地の傾斜30°～39°で干害が最も多いことを明らかにしており、本研究の調査結果はこれらの報告と一致していた。一方で、南東斜面、東斜面および調査地全体の傾斜は、それぞれ23.6°、25.9°および25.0°であり、前述した南東斜面と東斜面の枯死率の違いは、斜面方位よりも斜面の傾斜が影響していると考えられる。

干害が発生しやすい地形について、宮腰⁹⁾は、尾根で被害

表-3 調査地における土壌層位および腐植

Table 3 Soil layer and humus in investigated plantation

斜面	傾斜区分	土壌位置	A層		B層	
			層位深さ	腐植	層位深さ	腐植
南東	尾根部	P1	0～16	乏し	16～95	乏し
	20° 未満	P2	0～100	すこぶる富む	-	-
	20° ～25°	P3	0～85	富む	85～100	富む
	25° ～30°	P4	0～28	富む	28～100	含む
	30° ～35°	P5	0～23	富む	23～100	含む
東	20° 未満	P6	0～75	富む	75～100	富む
	20° ～25°	P7	0～55	富む	55～100	乏し
	25° ～30°	P8	0～36	富む	36～100	含む
	30° ～35°	P9	0～45	富む	45～100	含む
	35° 以上	P10	0～26	含む	26～100	乏し

が大きくなることを報告している。また、西村・讃井¹⁰⁾は、陸地内部へ入り標高がやや高くなると尾根に近い部分や尾根に被害が多くなることを報告している。一方で、讃井¹⁴⁾は、尾根での被害が全くない場合と被害のほとんどが尾根で発生していたことがあることから、干害の発生要因に未知の要因が介在している可能性を挙げている。本研究では、宮腰⁹⁾、西村・讃井¹⁰⁾の報告と同様に、尾根で大きな被害が確認された(表-1)。

調査地の尾根部および両斜面における傾斜区分ごとの土壌層位および腐植の状況を表-3に示す。両斜面の傾斜20°未満の土壌は、A層が黒褐色を呈し、腐植に富んでいた(表-3)。一方、尾根部および東斜面の傾斜35°以上の土壌は、A層が褐色を呈し、腐植があまり富んでいなかった(表-3)。また、土壌調査の結果から両斜面の傾斜20°未満の土壌は、山腹斜面の中腹～下部に広く出現するB_D型土壌であり、尾根部および東斜面の傾斜35°以上の土壌は、山腹斜面上部に出現し、養分に乏しいB_B型土壌であると推定される。加えて、枯死率が高い尾根部および両斜面の傾斜30°以上の土壌は、A層が薄く、腐植が発達していなかった(表-3)。渡辺ら²¹⁾、柳沢ら²²⁾は、愛媛県の昭和42年大干害において土壌型が乾性型(B_A-B_B型)に被害度が大きく、湿性型(B_D-B_E型)では被害度が小さくなることを指摘している。同様に、渡辺ら²¹⁾、柳沢ら²²⁾は、土壌深度が30 cm以下の浅い林地ほど被害度が大きく、土壌深度が60 cm以上の深い林地では被害度が小さいことを報告している。本研究の結果は、これらの報告と同様な傾向を示しており、腐植に乏しいA層が干害の被害拡大の要因となることが示唆された。

また、南東斜面の土壌は、東斜面の土壌よりも腐植に富んでおり、厚いA層を有する傾斜25°未満の傾斜地が斜面下部に広く分布していた(図-1, 表-3)。したがって、腐植に富むA層の厚さも、前述した南東斜面と東斜面の枯死率の違いに関係していると考えられる。

土壌条件が類似している両斜面の傾斜25°以上30°未満および傾斜30°以上35°未満を、各斜面で比較したところ、両斜面ともに傾斜30°以上35°未満の方が枯死率が高かった(表-1, 表-3)。斜面方位、土壌条件が同じであれば、斜面の傾斜角度が大きいほど干害被害が大きくなることが明らか

表-4 地況別の枯死率

Table 4 Mortality rate in each site condition

地況	傾斜区分	植栽本数	生存本数	枯死本数	枯死率(%)
南東斜面 林縁部	20° 未満	24	20	4	16.7
	20° ~25°	21	16	5	23.8
	25° ~30°	137	91	46	33.6
	30° ~35°	19	9	10	52.6
	計	201	136	65	32.3
東斜面 林縁部	20° 未満	66	52	14	21.2
	20° ~25°	56	45	11	19.6
	25° ~30°	102	81	21	20.6
	30° ~35°	44	35	9	20.5
	計	268	213	55	20.5
林縁部 以外	尾根部	244	120	124	50.8
	20° 未満	204	141	63	30.9
	20° ~25°	492	337	155	31.5
	25° ~30°	880	587	293	33.3
	30° ~35°	438	220	218	49.8
	35° 以上	87	48	39	44.8
	計	2,345	1,453	892	38.0

となり、斜面の傾斜が干害発生に大きく関与していると推察された。

調査地の南東斜面林縁部、東斜面林縁部および林縁部以外における傾斜区分ごとの植栽本数、生存本数、枯死本数および枯死率を表-4に示す。林縁部の枯死率は、南東斜面林縁部全体が32.3%、東斜面林縁部全体が20.5%であり、南東斜面林縁部全体の枯死率は、南東斜面全体の枯死率と同様な値を示した(表-4)。一方、東斜面林縁部全体の枯死率は、東斜面全体の枯死率よりも著しく低い値を示した(表-4)。また、南東斜面林縁部では傾斜が急になるほど枯死率も増加したが(表-4)、東斜面林縁部では傾斜に関係なく枯死率はほぼ一定であった(表-4)。したがって、本研究では、東斜面の林縁部で被害が小さくなる傾向がみられた。これは、南東斜面林縁部では東側や南側からの直射日光を多く受けたが、東斜面林縁部では林縁により直射日光を遮ることができたためと推測される。加えて、東斜面林縁部ではA層の厚さが一定でないことが示唆され、直射日光を遮る林縁部では傾斜や腐植に富むA層の厚さに影響されず、干害の被害を小さくできると考えられる。柳沢ら²²⁾は、造林地では林縁による日影の影響で、植栽当年の干害は、林縁部において明らかに被害が小さくなることを報告しており、本研究の東斜面林縁部での結果は、この報告とよく一致している。

結果として、本調査地の干害の発生には、地形および土壌条件が重要な要因として影響していると考えられる。特に、尾根部または傾斜30°以上の急傾斜地かつ腐植に乏しいA層を持つ土壌では、干害被害が深刻化することが判明した。

3.3 干害耐性

2019年5月14日に補植したヒノキコンテナ苗およびヒノキ裸苗の6月から10月までの枯死率を図-3に示す。植栽してから1ヶ月後の6月の枯死率は、コンテナ苗が8%、裸苗が58%となり、裸苗の半数以上が枯死した(図-3)。その後、9月までは枯死率に大きな変動はなかったが、10月にコンテナ苗、裸苗ともに枯死率が10%程度上昇した(図-3)。この

図-3 コンテナ苗および裸苗における枯死率

Fig. 3 Mortality rate in containerized and bare-root seedlings

枯死率の上昇は、台風19号(2019年10月12日)による影響のものと考えられる。結果として、1成長期後の枯死率は、コンテナ苗が18%、裸苗が74%であり、コンテナ苗の枯死率は、裸苗より著しく低い値を示した(図-3)。

コンテナ苗には、鹿沼土、トップココピートオールド(土壌改良剤)が使用された培土がついており、培土には根系の発達を促すリンやカリウムの肥料が含まれている。苗木にリン酸とカリ肥料を十分に施用すると苗木の根系は頑丈となり、干害抵抗性を増すが、苗木に窒素を過用すると苗木の健全度および水分消失率において活着力が劣るため、干害を受けやすくなる²²⁾。培土の有無が、尾根や斜面上部、急傾斜地など干害が発生しやすい立地環境でのコンテナ苗と裸苗の枯死率の大きな差の要因の一つであると考えられる。一方で、本研究では、裸苗の補植時に客土や施肥を行っておらず、干害対策として裸苗に施肥を行うことで、枯死率が低下する可能性がある。また、渡邉ら²⁰⁾は、コンテナ苗の枯死率が裸苗よりも低い理由として、根鉢による植え痛みが少なく、掘り取り後の取り扱いや気象条件の影響を受けにくかったことを推測しており、本研究も同様にコンテナ苗の枯死率が低かったと示唆される。

苗タイプによる枯死率の違いの要因を、2019年5月および6月の日別の降水量、平均気温、最高気温から検討した。なお、6月の枯死状況の調査は、6月12日に行った。2019年5月と6月の気象条件は、過去30年間と比較すると2019年5月の無降水日数の多さが1位、平均気温が4位、日照時間が2位という結果であった。加えて、5月22日から6月6日までの16日間は降水量4.5mmと極めて少雨であり、5月25日から5月27日の3日間は最高気温が30℃を超えていた。したがって、植栽直後に裸苗がこのような厳しい気象条件下にさらされると干害が発生する可能性が示唆された。また、春型干害の特徴として春期に30℃を超える異常高温が現れることが報告されており²²⁾、この干害被害は春型干害の特徴とよく一致することから、春型干害であると考えられる。

植栽直後で土壌中に根が伸長していない状態では、無降雨期間が長くなると強い乾燥ストレスを受け、芽の傷害や枯死の原因となるため^{5,15)}、本研究の裸苗は、植栽直後に根が十分に伸長できない状況で干害を受けたため枯死したと考えられる。また、新保ら¹⁶⁾は、スギコンテナ苗の耐乾性がスギ裸苗よりも高いことを示唆しており、本研究のヒノキコンテナ苗でもスギコンテナ苗と同様に耐乾性が高いことが明らかと

なった。加えて、諏訪ら¹⁸⁾は、ヒノキコンテナ苗の活着率が裸苗に比べて高く、特に夏植栽において裸苗との活着率との差が最も大きかったため、コンテナ苗が夏季の乾燥ストレスの影響を受けにくかったことを報告している。したがって、本研究の結果は、ヒノキコンテナ苗が乾燥ストレスの影響を受けにくいことを裏付けている。一方で、傾斜が急で水分や腐植層に乏しい土壌条件の場所で補植し、かつ厳しい気象条件が重なったにも関わらず、コンテナ苗の枯死率が低かったことから、干害に対するコンテナ苗の有効性が判明した。

4. まとめ

本研究では、宇都宮大学船生演習林ヒノキ新植地を対象に、裸苗の干害発生状況および立地環境を調査し、干害の発生要因を考察するとともに、コンテナ苗の干害への耐性を検討した。調査地全体の枯死本数は1,012本であり、枯死率は36.0%であった。2018年7月の無降水期間が長く、気温が高かったことが干害の発生に起因したと示唆された。加えて、尾根部または傾斜が30°を超える急傾斜地で、腐植に乏しいA層が薄い土壌において干害が多く発生する傾向が確認された。結果として、地形と土壌条件が干害の発生要因として大きく影響していると考えられた。また、コンテナ苗が干害への耐性を有することが判明した。

謝辞：本研究の実施にあたり、土壌調査にご助言を賜りました宇都宮大学農学部森林科学科大久保達弘教授並びに船生演習林の地理情報をご提供いただきました松英恵吾准教授に深く感謝いたします。また、調査にご協力を賜りました宇都宮大学農学部附属演習林の技術職員の皆様並びに同森林科学科の学生の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 逢沢峰昭 (2020) 一地方大学での試み. 森林遺伝育種, 9(4): 144-145.
- 2) Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D. *et al.* (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.*, 259: 660-684.
- 3) 青砥一郎・本間俊司 (1987) ヒノキ林の造成技術に関する研究. 福島県林業試験場研究報告, 20: 51-63.
- 4) BCMOF (2001) Effects of stock type on seedling performance in the northern interior of British Columbia: twenty-year results. *British Columbia Ministry of Forests, Silviculture Note*, 29: 1-6.
- 5) Bernier, P. Y. (1993) Comparing natural and planted black spruce seedlings 1. Water relations and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 23:2427-2434.
- 6) 気象庁. “過去の気象データ検索”. 気象庁ホームページ. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照: 2020年1月21日).
- 7) 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. *日本林学会誌*, 85(3): 191-198.
- 8) 松尾 毅・松尾広義・藤原 信 (1986) 宇都宮大学演習林船生経営区第4次編成経営計画の中間照査. 宇都宮大学農学部演習林報告, 22: 61-76.
- 9) 宮腰健一郎 (1977) 昭和51年度干害による造林地の被害状況について. 昭和51年度林業研究発表大会論文集, 北海道林業普及協会: 91-94.
- 10) 西村五月・讃井孝義 (1999) 1995年に宮崎県で起こったスギ人工林の干ばつ被害. *森林立地* 41(2): 93-102.
- 11) 新田 肇・大野啓一郎・鈴木 清・星山豊房・越地 正・赤岩興一・中川重年・木内信之 (1979) 昭和53年夏期の異常乾燥により発生した神奈川県における森林の被害調査. 神奈川県林業試験場研究報告, 5, 79-88.
- 12) Oguchi, S., Fujibe, F. (2012) Seasonal and regional features of long-term precipitation changes in Japan. *Pap. Meteor. Geophys.*, 63: 21-30.
- 13) 大久保政利・杉山綱敏・横山桂一郎・池田芳孝・川波伊知郎・前田慶太・松尾直睦 (1997) ヒノキ造林地における干害の実態調査. 香川県森林センター業務報告 30: 6-9.
- 14) 讃井孝義 (1998) 干害被害地の環境要因. *日本林学会九州支部研究論文集*, 51:85-86.
- 15) 佐藤大七郎 (1973) 苗木の根づく条件と根づきを高める処理. 佐藤大七郎編, 育林, 文永堂, pp. 199-206.
- 16) 新保優美・平田令子・溝口拓朗・高木正博・伊藤 哲 (2016) スギコンテナ苗は夏季植栽で本当に有利か?—植栽時の水ストレスから1年後の活着・成長・物質分配までの比較—. *日本森林学会誌*, 98(4): 151-157.
- 17) 森林立地調査法編集委員会 (1999) 森林立地調査法. 博友社, 284pp.
- 18) 諏訪鎌平・奥田史郎・山下直子・大原偉樹・奥田裕規・池田則男・細川博之 (2016) 植栽時期の異なるヒノキコンテナ苗の活着と成長. *日本森林学会誌*, 98(4): 176-179.
- 19) 宇都宮大学農学部附属演習林・森林科学科 (2020) 船生経営区第8次編成経営計画説明書. 宇都宮大学農学部附属演習林, 53 pp.
- 20) 渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦・千村知博 (2017) ヒノキにおける実生裸苗と緩効性肥料を用いて育成した実生コンテナ苗の初期成長. *日本森林学会誌*, 99(4): 145-149.
- 21) 渡辺資仲 (1971) 干害から樹木を守る. 渡辺資仲・堀内孝雄・高橋喜平編, 気象害から樹木を守る, 全国林業改良普及協会, pp. 8-221.
- 22) 柳沢聡雄・岡上正夫・大山浪雄・坂上幸雄・高橋邦秀 (1980) 造林地の干害とその対策. わかりやすい林業研究解説シリーズ No. 65, 林業科学技術振興所, 70 pp.
- 23) 吉藤奈津子・鈴木 覚・玉井幸治 (2019) 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. *森林総合研究所研究報告*, 18(3): 289-299.
- 24) 吉武 孝 (1999) 気象環境. 鈴木和夫編, 樹木医学, 朝倉書店, pp.138-152.

(2021年8月3日受理)