ISSN 2185－9167

林業技術総合センター研究報告

第３３号

令和８年１月

宮城県林業技術総合センター

目　　次

１　スギ及びクロマツの第二世代品種の選抜・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１

２　ニホンジカの食害を受けた森林の復元に関する調査・・・・・・・・・・・・・５

３　高齢級スギ林分の施業に応じた材質特性及びその活用方法に関する研究・・１８

スギ及びクロマツの第二世代品種の選抜

更級彰史※1・河部恭子※1・山崎修宜

要　旨

スギ特定母樹について、宮城県内に設置された次代検定林において第一世代精英樹の実生家系から選抜を行い、４個体が指定基準を満たし特定母樹に指定された。

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ第二世代品種の選抜について、抵抗性クロマツ採種園に導入されている８品種を供試して第一世代同士の人工交配を行い、計 2,757 本のＦ１個体を得た。Ｆ１個体に対しては、マツノザイセンチュウ抵抗性一次検定を実施し、２回接種完了時点で、Ｆ１個体の健全率に品種間差異が認められた。

キーワード：スギ特定母樹、マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ

１　はじめに

近年、スギ第一世代精英樹より成長量、剛性、雄花着生性等に優れた第二世代の特定母樹を選抜する試みが全国的に進められている。宮城県では、令和 14 年度までに県内で流通するスギ苗木を全て花粉の少ない苗木とする目標を掲げており、その達成に向けて、スギ特定母樹採種園等を順次造成することとしている。本事業では、新設する採種園への当県由来品種の導入を目的に、次代検定林から特定母樹の選抜を進めた。

他方、クロマツに関しては、平成 23 年に発生した東日本大震災により失われた海岸防災林へのマツノザイセンチュウ抵抗性実生苗の植栽が全て完了し、今後は、除間伐等保育管理を適切に進めていくことになる。大面積一斉造林により植栽された海岸防災林は、環境不適応等に起因して一定程度の枯損が想定されるため、本事業では、クロマツ植え替え需要への対応や松枯れ防除費の低減を目的に、第一世代抵抗性クロマツ同士の交配により抵抗性が強化された第二世代品種を作出し、抵抗性クロマツ採種園の改良を図る。

２　調査・試験の内容及び結果

２．１　スギ特定母樹の選抜

２．１．１　前期までの成果

昭和 47 年に設置された東宮県 12 号次代検定林（白石市）及び昭和 48 年に設置された東宮県 20 号次代検定林（栗原市）において、「特定母樹応募要領」の別紙１「特定母樹指定基準」（以下、「指定基準」という。）に基づき選抜調査を行い、成長量、剛性、幹の通直性の基準を満たす 22 個体を抽出した。

２．１．２　雄花着生性調査

上記 22 個体について、自然着花による雄花着生性調査を２箇年実施し、指定基準となる総合指数２以下かつ対照個体の総合指数以下となる候補木を、東宮県 12 号次代検定林から１個体、東宮県 20 号次代検定林から６個体選抜した。指定基準を満たした７個体の調査結果を表－１に示す。

２．１．３　成長量（材積）調査及び系統判定

令和２年度に指定基準が改定され、材積基準に関する対照個体の選定方法が変更されたことから、候補木７個体の対照個体を再度抽出し、基準材積と候補木の材積を比較した。また、林木育種センターにおいて、候補木の系統判定が行われた。その結果、指定基準を満たしたのは最終的に４個体となった。

２．１．４　品種申請及び特定母樹の指定

上記４個体について、林木育種センター東北育種場と共同で特定母樹への申請を行い、令和２年度に東育宮

※1 仙台地方振興事務所

県 2－529（白石 1－3）、東育宮県 2－530（白石 1－1）の２品種、令和３年度に東育宮県 2－534（柴田 3－1）、東育宮県 2－535（栗原 1－2）の２品種が特定母樹に指定された。

表－１　雄花着生性調査において指定基準を満たした７個体の調査結果

系統名	調査年次	雄花着生枝割合					雄花着生数					2箇年平均指数	対照2箇年平均指数
		上部	中部	下部	小計	**総合指数**	上部	中部	下部	小計	**総合指数**		
白石1-3	H30	2	1	0	3	**2**	2	1	0	3	**2**	**2.0**	2.5
	R1	1	0	0	1	**2**	1	0	0	1	**2**		
白石1-1	R1	1	0	0	1	**2**	1	0	0	1	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		
本吉2-1	R1	2	1	0	3	**2**	2	1	0	3	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		
玉造5-1	R1	2	0	0	2	**2**	2	0	0	2	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		
玉造4-1	R1	1	0	0	1	**2**	2	0	0	2	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		
栗原1-2	R1	2	0	0	2	**2**	2	0	0	2	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		
柴田3-1	R1	1	0	0	1	**2**	2	0	0	2	**2**	**1.5**	2.0
	R2	0	0	0	0	**1**	0	0	0	0	**1**		

２．２　クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性第二世代品種の選抜

２．２．１　人工交配

当センターの第一世代抵抗性クロマツ採種園に導入されているマツノザイセンチュウ抵抗性品種のうち、山元 84 号４個体、鳴瀬６号３個体、鳴瀬 72 号４個体、亘理 56 号３個体の計４品種 14 母樹を分集団Ａ、鳴瀬 39 号４個体、山元 82 号３個体、山元 90 号３個体、小高 37 号３個体の４品種計 13 母樹を分集団Ｂに区分けし、各集団内で、分集団Ａは平成 30 年４月 26 日及び５月１日に、分集団Ｂは令和元年５月７日及び５月８日に、ＳＭＰ（Supplementary Mass Pollination の略）により人工交配を実施した。

２．２．２　球果採種・種子精選

人工交配の結果、分集団Ａは令和元年 10 月 17 日に 545 個、分集団Ｂは令和２年 10 月 28 日に 332 個の球果を得た。球果は、25℃に設定した乾燥庫の中で 30 日間恒温乾燥し、脱粒した種子を篩により精選した。その結果、分集団Ａは 16,188 粒、分集団Ｂは 18,199 粒の精選種子を得た（推定値）。

２．２．３　播種・育苗

試験地を当センター内の苗畑におき、有孔ポリマルチで被覆した土壌に、分集団Ａは令和２年４月 27 日及び４月 28 日に 3,130 粒、分集団Ｂは令和３年４月 27 日に 4,380 粒を１孔当たり２粒ずつ播種した。母樹別の播種粒数を表－２に示す。発芽したＦ１個体は、マツノザイセンチュウ抵抗性接種検定に供試可能となる２年生まで育苗した。

表－２　品種別母樹別播種数

分集団Ａ		分集団Ｂ	
母樹名	播種数	母樹名	播種数
山元84-2	200	鳴瀬39-2	340
山元84-5	260	鳴瀬39-3	340
山元84-7	220	鳴瀬39-9	340
山元84-33	220	鳴瀬39-15	340
鳴瀬6-1	240	山元82-4	340
鳴瀬6-6	220	山元82-9	300
鳴瀬6-10	220	山元82-11	340
鳴瀬72-1	260	山元90-9	340
鳴瀬72-4	320	山元90-10	340
鳴瀬72-35	240	山元90-12	340
鳴瀬72-37	220	小高37-1	340
亘理56-2	140	小高37-2	340
亘理56-8	200	小高37-3	340
亘理56-41	170		
計	3,130		4,380

２．２．４　マツノザイセンチュウ抵抗性一次検定

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 林木育種センター品種開発実施要領－マツノザイセンチュウ抵抗性品種－(21 森林林育第 84 号 平成 21 年６月 25 日)に基づき、分集団Ａは令和３年７月６日に 1,228 個体に対して１回目、令和４年７月 21 日に 458 個体に対して２回目の接種検定を実施した。センチュウは Ka4 を供試し、センチュウ濃度を苗木１個体当たり１万頭分に調整したセンチュウ懸濁液を剥皮接種法により注入した。接種後、４週間後から 10 週間後まで、２週間ごとに接種個体の健全性を調査した。母樹別の検定数及び検定結果を表－３及び表－４に示す。１回目の接種後の調査では、411 個体が健全と判断された(健全率 33.5%)。２回目接種は、１回目接種の健全苗 411 個体及び部分枯れと判断されたものの翌年まで生存した 47 個体の計 458 個体に対して実施し、接種後調査で 337 個体が健全と判断された（健全率 73.6%)。

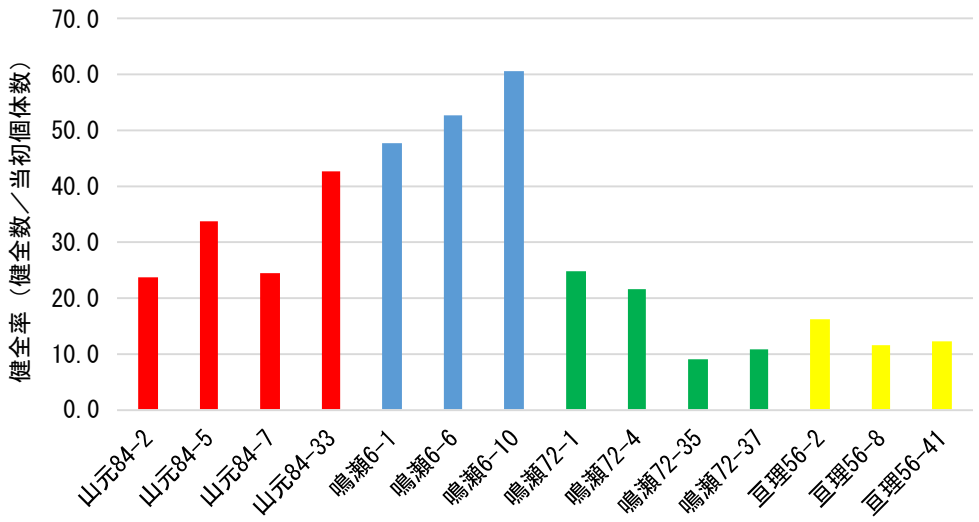
２回接種完了後の当初個体数に対する家系別健全率には差異が認められ、鳴瀬６号を母樹とするＦ１個体は比較的高い健全率を示した。各品種のＦ１個体の健全率に有意差があるかカイ二乗検定で確かめた結果、鳴瀬 72 号と亘理 56 号の比較検定を除いて、各品種間のＦ１個体健全率には１%の有意水準で差が認められた。また、同品種であっても母樹ごとの健全率には差異が生じており、花粉親の相違が健全率に影響している可能性が示唆された。２回接種完了後の品種別母樹別（家系別）健全率の差異を図－１に示す。

表－３　分集団Ａの品種別母樹別検定数及び検定結果（Ｒ３年１回目接種）

母樹名	検定数(a)	健全(b)	部分枯れ	枯損	健全率(b/a)
山元84-2	76	24	24	28	31.6
山元84-5	89	36	28	25	40.4
山元84-7	86	21	28	37	24.4
山元84-33	87	44	26	17	50.6
鳴瀬6-1	69	40	15	14	58.0
鳴瀬6-6	93	68	23	2	73.1
鳴瀬6-10	84	63	16	5	75.0
鳴瀬72-1	73	20	23	30	27.4
鳴瀬72-4	138	36	90	12	26.1
鳴瀬72-35	110	12	91	7	10.9
鳴瀬72-37	100	11	67	22	11.0
亘理56-2	62	14	22	26	22.6
亘理56-8	87	12	43	32	13.8
亘理56-41	74	10	37	27	13.5
計	1,228	411	533	284	33.5

表－４　分集団Ａの品種別母樹別検定数及び検定結果（Ｒ４年２回目接種）

母樹名	検定数(c)	健全(d)	部分枯れ	枯損	健全率(d/c)	健全率(d/a)
山元84-2	25	18	7	0	72.0	23.7
山元84-5	37	30	6	1	81.1	33.7
山元84-7	25	21	3	1	84.0	24.4
山元84-33	44	37	5	2	84.1	42.5
鳴瀬6-1	41	33	8	0	80.5	47.8
鳴瀬6-6	78	49	26	3	62.8	52.7
鳴瀬6-10	67	51	15	1	76.1	60.7
鳴瀬72-1	24	18	4	2	75.0	24.7
鳴瀬72-4	42	30	11	1	71.4	21.7
鳴瀬72-35	15	10	4	1	66.7	9.1
鳴瀬72-37	16	11	4	1	68.8	11.0
亘理56-2	14	10	4	0	71.4	16.1
亘理56-8	15	10	4	1	66.7	11.5
亘理56-41	15	9	5	1	60.0	12.2
計	458	337	106	15	73.6	27.4



図－１　２回接種完了後の品種別母樹別健全率（分集団Ａ）

分集団Ｂは令和４年７月 21 日に、分集団Ａと同様の方法により、1,529 個体に対して１回目の接種検定を実施した。母樹別の検定数及び検定結果を表－５に示す。１回目の接種後の調査では、814 個体が健全と判断された（健全率 53.2%）。

表－５　分集団Ｂの品種別母樹別検定数及び検定結果（Ｒ４年１回目接種）

母樹名	検定数(a)	健全(b)	部分枯れ	枯損	健全率(b/a)
鳴瀬39-2	123	41	70	12	33.3
鳴瀬39-3	129	53	62	14	41.1
鳴瀬39-9	104	67	34	3	64.4
鳴瀬39-15	66	40	21	5	60.6
山元82-4	132	69	56	7	52.3
山元82-9	141	50	83	8	35.5
山元82-11	71	32	31	8	45.1
山元90-9	127	73	49	5	57.5
山元90-10	132	87	43	2	65.9
山元90-12	120	81	38	1	67.5
小高37-1	119	59	59	1	49.6
小高37-2	117	80	27	10	68.4
小高37-3	148	82	66	0	55.4
計	1,529	814	639	76	53.2

３　おわりに

スギ特定母樹については４品種の指定に至り、令和３年に造成した特定母樹ミニチュア採種園に当該４品種を導入した。今後は、東宮県９号次代検定林（栗原市）及び東宮県 17 号次代検定林（登米市）において調査を進め、更なる特定母樹の選抜を目指す。

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ第二世代品種の選抜に関しては、第一世代抵抗性クロマツ同士の人工交配により作出したＦ１個体に対する一次検定を引き続き進める。各分集団に対しては３回目接種まで行い、二次検定に供試する個体を絞り込む計画である。

４　謝辞

本育種事業を進めるに当たり、林木育種センター北海道育種場の矢野慶介 主任研究員、林木育種センター東北育種場の井城泰一 育種課長、宮本尚子 育種研究室長、竹田宣明 遺伝資源管理課長、福田友之 育種技術専門役、笹島芳信 普及調整専門職には調査方法や結果の分析等でご指導いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

ニホンジカの食害を受けた森林の復元に関する調査

名取 史晃※1 ・ 田中 一登 ・ 長田 萌※2

要　旨

高密度にニホンジカが生息する宮城県東部の牡鹿半島近隣において、強度な採食圧により植生が衰退した皆伐未植栽地を早期に森林へ復元させるための更新方法を検証した。また、本県でのニホンジカ生息域の拡大が懸念されたことから、植栽木へのニホンジカによる食害の対策が必要となる地域を検証するための下層植生衰退度調査を実施した。皆伐未植栽地の更新方法に関する調査では、防鹿柵を設置してから5成長期が経過した時点で、天然更新を行った調査区では防鹿柵内外ともに高木性稚樹の発生はほとんど確認されず、早期の森林の回復は困難と考えられた。一方、防鹿柵内で広葉樹植栽を行った区域では、5成長期が経過した後でも下刈りの実施に関わらず、植栽した広葉樹は高い生存率を示した。防鹿柵外の区画では継続した食害が確認されたことから、ニホンジカが高密度で生息する地域では食害対策を実施した上で、広葉樹植栽による更新が適していると考えられ、かつ下刈りの省略あるいは軽減ができる可能性が示された。

下層植生衰退度調査では県東部を中心に50地点で調査を行い、IDW 法による下層植生衰退度マップを作成した。作成したマップの結果から、これまで生息していた牡鹿半島の北側で生息密度が高くなっている状態が確認され、生息域が拡大していると推定された。

キーワード：ニホンジカ、採食圧、天然更新、広葉樹植栽、下層植生

1　はじめに

ニホンジカ（*Cervus nippon*、以下、シカ）は日本国内で複数の地域亜種を持つシカ科シカ属の哺乳類であり、本県では県東部の牡鹿半島を中心に生息していた。しかし、近年その生息密度が増加し高密度に生息している地域では強度な採食圧が発生していることから、下層植生の消失や伐採跡地での更新阻害が起こっている。一般的に森林は林冠を構成する個体の枯死により下層植生から次世代の個体が生長することで更新が図られるが、強度な採食圧に伴う下層植生の消失により、天然更新が困難な状況にあると考えられている。また、伐採跡地での更新を図る場合においても、植栽木への採食圧による枯死や森林の構造を担う高木性稚樹が食害を受けることで、早期の森林復元が難しい状態となっており、裸地化が進んでいる。下層植生の消失は森林のもつ土砂流出防備機能等の公益的機能の低下を引き起こすとともに（古澤ら、2003）、シカの不嗜好性植物のみが残存する生物多様性の低下に繋がることからその影響は多大であると言える。森林施業としては防鹿柵や単木防除の設置等により植栽木への採食圧を低減する試みがなされているが、森林施業に適さない林地での天然更新を活用した森林更新技術については事例が少ない状態である（田村、2008）。このため、天然更新を活用したシカによる強度採食圧下の森林の更新技術を検証する必要がある。

これまで、平成 28 年度から令和２年度にかけて実施してきた「ニホンジカの強度採食圧を受けた未植栽地における森林の復元に関する調査」（以下、前課題）において、伐採後の未植栽地に防鹿柵を設置し天然更新による植物の発生状況を調査するとともに、将来の種子散布源となる広葉樹（ヤマザクラ・クリ）の植栽を行い、下刈りの有無による成長状況の違いを調査することで、低コストで確実な森林更新技術の検証を行ってきた（長田ら、2021）。前課題では防鹿柵の設置による天然更新木の発生状況と植栽木の生育状況は植栽後２年目までしか調査できておらず、天然更新の完了基準の規定年と一般的な下刈りの終了年が植栽から５年であることから、継続的な調査が必要と考え、各年度の天然更新木発生状況と植栽木の成長量調査を実施した。また、前課題の中で、

※1大河原地方振興事務所　　※2退職

広葉樹植栽木への野兎害や高木性樹種の種子がネズミ等により持ち去られるなど、シカ以外の小動物による更新阻害が懸念された。このため、本課題ではシカ以外の小動物による更新阻害を考慮した森林更新技術についても検証した。

森林の更新を行う際に必要となるのがシカの生息密度の把握である。シカが高密度で生息する地域ではシカ対策として防鹿柵や単木防除の設置が必要となるが、中・低密度で生息する地域では設置及び管理コストの観点から設置が見送られる場合がある。シカの生息密度は個体の目撃情報や捕獲量に加え、糞塊等の痕跡により推定されるが、定量的な判断は困難となっており、シカの生息密度をより正確に把握するためには複数の判断材料から推定する必要がある。本県でも目撃情報や捕獲量、糞塊調査法による生息密度推定を実施してきているが、より正確な生息密度や分布の拡大状況を調査するには、さらなる項目の追加が必要であると考える。その中で兵庫県ではシカの採食圧による下層植生の衰退度を指標化し、生息密度や生息域について考察している（藤木、2012)。植物の植被率から下層植生の衰退状況を推定するもので、比較的簡便に調査を行うことができることから、他県においても同様の調査が実施されている。このため、本県でシカが高密度で生息している牡鹿半島を中心に、シカの生息域が拡大しつつあるとされている地域においてシカの生息密度及び生息域を推定する指標を提示し、森林を管理する森林所有者や林業事業体等へ普及を図るため下層植生衰退度調査を実施した。

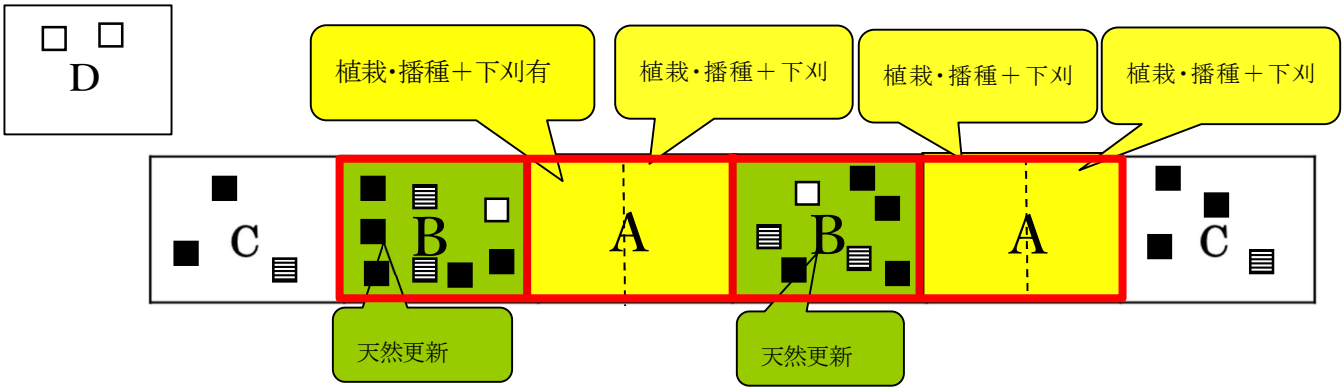


図１　試験地概要
太枠は防鹿柵。区画 A は植栽地、区画 B は天然更新区、区画 C は柵外対照区。
図中四角は天然更新木発生調査プロット（▤：H30 設置、■：R1 設置、□：掻き起こし実施プロット）

２　試験方法

２．１　天然更新を活用した森林の復元調査

２．１．１　調査地

シカが 10 頭/㎢以上の高密度で生息すると推定されている（宮城県、2022)、女川町女川浜日蕨第二地内の女川町有林に平成 30 年に防鹿柵を設置した。調査地はかつてスギ人工林であったが、平成 27 年度に伐採が行われた後、未植栽地となっていた。防鹿柵を設置した箇所は傾斜が 30° ほどの極急傾斜面であり、大型の礫が散見する礫質の土壌であった。防鹿柵は全体を 60 m×20 m の方形区として設置し、その内側を 15 m×20 m の方形区で４つに区分した（図１)。防鹿柵には金属製の素材を使用し、設置時の柵の高さは 1.85 m として跳躍による侵入を防ぐとともに、柵下のくぐり抜けを防止するため柵と地面が接する部分には長さ 30 cm のスカートを設置し土中に埋設した。４つに区分した方形区のうち、天然更新に関する調査を２区画（図中Ｂ：天然更新区)、広葉樹植栽による調査を２区画（図中Ａ：植栽区）で実施した。また、柵外の強度採食圧を受ける対照プロット（図中：Ｃ対照区）として、15 m×20 m の方形区を防鹿柵に隣接する東側と西側に設置し、さらに 10 m ほど離れた地点（図中Ｄ：対照区）に１つ設定した（調査地の写真は付録（１）を参照)。

２．１．２　調査方法

２．１．２．１　天然更新木発生消長調査

防鹿柵により採食圧を防いだ状態での天然更新木の発生状況を調査した。防鹿柵内区画 B の２つの方形区に２ m×２ m のプロットを平成 30 年に６プロット、令和元年に９プロットの計 15 個設定し、発生した高木性稚樹とその他下層植生を記録した。また、同様のプロットを柵外の対照区Ｃ、Ｄ内に平成 30 年に４プロット、令和元年に５プロットの計９個設定し、柵内との植生の違いを調査した。柵内と柵外プロットのうち、柵内２箇所、柵外２箇所は前課題で天然更新補助作業として掻き起こしが実施されており、掻き起こしの実施を考慮して植生を記録した。調査は毎年夏から秋（９月～11 月）の植物の生育が旺盛な時期に実施した。

前課題から小動物による高木性稚樹の種子の持ち去り等が森林更新を阻害している可能性が考えられたことから、小動物の持ち去りを防いだ種子埋設と防鼠ネットの設置による天然更新木の発生状況を調査した。種子の埋設にはプラスチック製のクリアファイルを用いて作成した筒上のネズミ除けを作成し、その中にコナラ種子を散布した。種子の埋設は令和元年度に実施し、令和２年度に発芽が確認されたことから、その後の生育状況について調査した。防鼠ネットは、ネズミの侵入が困難であると思われる目方５ mm の金網（縦 30 cm×横 30 cm ×高さ 20 cm）のものを使用し、長さ 10 cm のスカートを埋設する形で天然更新区に４箇所設置した。設置の際には繁茂していた下層植生を除去し、新たに発生してくる植生の状況を確認し、高木性稚樹が発生するか確認した。

２．１．２．２　植栽木成長量調査

天然更新木発生消長調査とは別の防鹿柵区画 A において、ヤマザクラとクリを植栽し、成長量調査を実施した。各樹種は平成 30 年 10 月に 300 cc のコンテナ苗を植栽密度が 1,800 本/ha となるように植栽され、地形による影響が均一となるよう、各樹種を交互に植栽した。植栽本数は２つの方形区の合計で各樹種 54 本、計 108 本となった。植栽した区画を斜面方向に２分し、片方を５年間毎年下刈りを実施する「下刈り有り区」、もう片方を下刈りを一度も実施しない「下刈り無し区」とした。各年の成長終了時期に植栽木の生存状況を記録するとともに、樹高と根元径の計測を行った。植栽が 10 月であったことから、令和元年を１成長期目と見なし、各年の成長量を当年の樹高・根元径の計測値から前年の各計測値を引くことで算出した。得られた各値を用いて、各樹種の生育状況を表すとともに下刈りの有無による生育差異を分析し、広葉樹植栽による森林更新方法を検討した。統計解析には t 検定（$p<0.05$）を用い、分析には統計解析ソフト R（ver4.2.2）を使用した。また、植栽した個体のうち 22 個体（ヤマザクラ：13 個体、クリ：９個体）は令和２年の冬期に野兎害を受け、幹折れや枝折れが発生したことから、被害を受けた個体を対象として野兎害防止用の防獣ネットを単木的に設置し、その後の生育状況及び更なる野兎害の発生状況を記録した。野兎害を受けた個体は下刈りの有無による生育差異の分析から除外した。

２．１．２．３　天然更新補助作業の効果検証

前課題の中でバラ科植物等による低木の繁茂により、高木性稚樹の発生が妨げられていると考えられたことから、更新を阻害すると思われる植生を除去し、埋土種子や種子散布により高木性稚樹が発生するか調査した。天然更新木発生消長調査のコドラートの中で天然更新区から２箇所、柵外のコドラートから２箇所を選定し、下層植生を除去した上で表土を露出させた。その後天然更新木発生消長調査と同様に植生の調査を行い、高木性稚樹の発生が見られるかを調査した。掻き起こし作業は前課題の令和元年９月に実施し、本課題ではその後の生育

状況の経過を観察した。

２．２　下層植生衰退度調査

２．２．１　調査地

調査地は、宮城県が策定している「第二期宮城県ニホンジカ管理計画」(以下、旧管理計画)、と「第三期宮城県ニホンジカ管理計画」(以下、現管理計画) を基に設定した (図２)。現管理計画ではニホンジカが原住していた地域を「原住区域」、原住区域等から分布拡大したニホンジカが定着しているとされる区域を「拡大区域Ａ・拡大区域Ｂ」、拡大区域Ａ・Ｂより低密度でまばらに生息が確認される区域を「侵出抑制区域」、侵入初期段階で稀に生息が確認される区域を「警戒区域」として管理区域を設定している。拡大区域Ａは原住区域からの侵入によると考えられ、拡大区域Ｂは岩手県の高密度生息地域からの侵入とされており、シカの捕獲頭数から定着していると考えられている。下層植生衰退度調査ではシカの採食圧による下層植生の衰退状況を調査するため、シカが定着している「原住区域」・「拡大区域Ａ」・「拡大区域Ｂ」を調査対象とした。また対照としてシカが定着していないとされる「警戒区域」にも調査地を設定することとした。「原住区域」・「拡大区域Ａ」・「拡大区域Ｂ」に 46 箇所、「警戒区域」に４箇所の計 50 箇所を選定した。対象とする森林は下層に十分な光が当たり下層植生が発生しやすいとされる広葉樹林もしくはアカマツ林を対象とした。

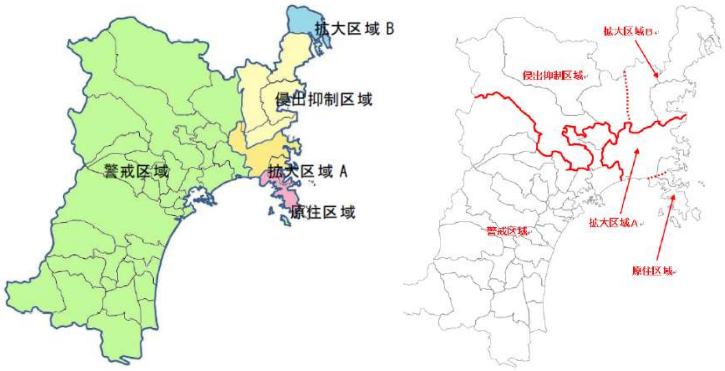


図２　宮城県ニホンジカ管理計画区域図
（左図）第二期区域図　（右図）第三期区域図

２．２．２　調査方法

藤木 (2012) による下層植生衰退度調査の調査地設定方法に従い、以下の４つの条件に当てはまるように 20 ｍ四方程度の調査区を選定した各調査地に設定した。

①林冠の高さが 10 ｍ以上
②林冠が閉鎖している
③人為的な攪乱痕跡が無い
④林縁部からの光が入らない

調査区内を踏査し、主に目視による低木層の衰退度やシカの採食痕、糞等の痕跡を図の調査表に記録した。方形の調査区の中心でハンディ GPS により緯度と経度を記録するとともに、林床の様子を写真で撮影した。調査は令和４年 10 月から同年 12 月にかけて実施した。また、春期の下層植生の状況を確認するため、令和５年５月～８月にも調査を行った。

２．２．３　分析方法

調査表に記録した低木層の低木の植被率及びササの植被率から各調査区での下層植生の植被率を推定した。下層植生にあたる低木の樹高は１～３　ｍとし、その範囲内にあるササも低木層とした。下層植生の衰退度は下層植生の植被率とシカの生息痕の有無から以下の６段階で区分した。

無被害：シカの食痕が確認されなかった

衰退度０：75.5%以上
衰退度１：38%以上 75.5%未満
衰退度２：18%以上 38%未満
衰退度３： ９%以上 18%未満
衰退度４： ９%未満
※衰退度０～４はシカの生息痕が確認された場所が対象

各調査地から得られた下層植生の植被率結果から、調査されていない箇所の植被率を推定し、シカの分布拡大状況を推定するため下層植生衰退度マップの作成を逆距離加重法（IDW 法）により行った。それに際し、各調査地での衰退度の６段階を SDR（Shrub-layer decline rank）として以下のとおり数値化した。

無被害：SDR＝０
衰退度０：SDR＝１
衰退度１：SDR＝２
衰退度２：SDR＝３
衰退度３：SDR＝４
衰退度４：SDR＝５

各調査地の SDR をハンディ GPS により記録した緯度・経度を含む地点データに挿入し、QGIS（Ver.3.16）により図示するとともに、QGIS 内の内挿関数による IDW 法を用いて調査されていない箇所の SDR を推定した。IDW 法では距離係数を２とし、出力ラスタサイズの行を 500、カラムを 428 として分析した。

３　結果

３．１　天然更新を活用した森林の復元調査

３．１．１　天然更新木発生消長調査

各年度における天然更新木発生状況調査の区画内での高木性稚樹の発生状況を表１に示す。平成 30 年度から令和５年度にかけて調査した防鹿柵内プロットでは、最大５個体の高木性稚樹が確認されたが、令和５年度の調査ではそれまでに確認されていた個体を確認することができなかった。一方で柵外プロットでも少数の高木性稚樹が確認されたが、令和３年度以降は１本も生存していない状態であった。柵内プロットでは防鹿柵を設置した翌年度から植生が繁茂し始め、令和５年度には植生の高さが２ m 程度になるほど地表面を覆っている状態であった。防鹿柵内に見られた樹種を表２に示す。発生が確認されたプロット数が多かった樹種は、クマイチゴ（10 プロット）、モミジイチゴ（８プロット）、ヤマハギ（６プロット）であり、いずれも伐採跡地に発生が見られる先駆性の樹種であった。その他にもガマズミ、ヤブムラサキ、タラノキ、ムラサキシキブ等、多様な植生が見られていた。高木性稚樹として確認されたのはいずれも陽樹であるアカマツ（１プロット）とクマノミズキ（２プロット）であった。柵外プロットではモミジイチゴ、サンショウ、アオハダが確認されていたが、いずれの個体もシカの食害痕が見られ、発生しても食害を受けることで成長できず、消失する個体も観測された。また、シカの不嗜好性植物とされるシダ植物が地表面に繁茂するプロットもあり、シカの食害による植生の衰退が進んでいる状況が確認された。掻き起こしを行ったプロットでは防鹿柵内では他の柵内プロットと同様に、クマイチゴ、モミジイチゴ、ガマズミが繁茂し、高木性稚樹の発生は確認されず、柵外のプロットでは植物の発生は確認されなかった（調査プロットの写真は付録（２）を参照）。

ネズミ等の小動物による食害を防除した防鼠柵内では設置した令和４年 12 月から発生状況を調査したが、草

表１　天然更新木発生状況調査プロット調査結果

調査年	H30		R1		R2		R3		R4		R5	
調査区	プロット数	高木性稚樹の本数	プロット数	高木性稚樹の本数	プロット数	高木性稚樹の本数	プロット数	高木性稚樹の本数	プロット数	高木性稚樹の本数	プロット数	高木性稚樹の本数
柵内	6	5	15	3	15	5	14*	4	15	2	13*	0
柵外	4	0	9	1	9	2	9	0	9	0	9	0

※スズメバチ営巣のため調査除外箇所あり
R3:2プロット、R5:1プロット

表２　発生樹種及び発生プロット

発生樹種	柵内発生プロット数		
	無処理区	掻き起こし区	合計
アカマツ	1		1
ウコギ	1		1
ガマズミ	2	2	4
クマイチゴ	8	2	10
クマノミズキ	2		2
サワフタギ	1		1
タラノキ	2		2
ヌルデ	1		1
ヒメコウゾ	1		1
ムラサキシキブ	2		2
モミジイチゴ	7	1	8
ヤブムラサキ	3		3
ヤマハギ	6		6
リョウブ	1		1

本やシダ植物の発生に留まり、低木種を含む木本種の発生は確認されなかった（付録（３）を参照）。

３．１．２　植栽木成長量調査

各年における植栽樹種の生存状況を表３に示す。令和２年に野兎による食害を受けたが、萌芽更新による生存が見られたことから、令和５年度における全体の生存率（生存個体数）としては、ヤマザクラの下刈り有り区で 85.7%（24 個体）、下刈り無し区で 80.8%（21 個体）、クリの下刈り有り区で 92.3%（24 個体）、下刈り無し区で 85.7%（24 個体）であり、いずれの区画でも 80%以上の高い生存率を記録した。また、各樹種とも下刈りの有無による生存率の大きな差異が見られなかった。

各樹種の各年度における平均樹高及び平均樹高成長量、平均根元径及び平均根元径成長量を下刈りの有無により分けたものを図３に示す。平均樹高ではヤマザクラでは５成長期目までの各年度で下刈りの有無による有意差は見られなかった。クリでは５成長期目に下刈り無し区が有意に大きいという結果となったが、周囲の下層植生の影響を受けやすいと思われる１～４成長期目では有意な差は見られなかった。平均樹高成長量も両樹種とも平均樹高と同様の傾向を示し、ヤマザクラでは１～５成長期目まで下刈りの有無による有意な差は見られず、クリは５成長期目のみ下刈り無し区が有意に大きいという結果となった。平均根元径では、ヤマザクラの４及び５成長期目で下刈り有り区が有意に大きく、クリでは１～５成長期のすべてで下刈り有り区が有意に大きかった。平均根元径成長量では、ヤマザクラの４及び５成長期目で下刈り有り区が有意に大きく、クリでは３成長期目及び５成長期目で下刈り有り区が有意に大きかった。

表３　広葉樹植栽木生存率

樹種	施業別	植栽本数	野兎害個体数	Ｒ５生存数	Ｒ５生存率（%）
ヤマザクラ	下刈り有り	28	11	24	85.7
	下刈り無し	26	2	21	80.8
クリ	下刈り有り	26	7	24	92.3
	下刈り無し	28	2	24	85.7

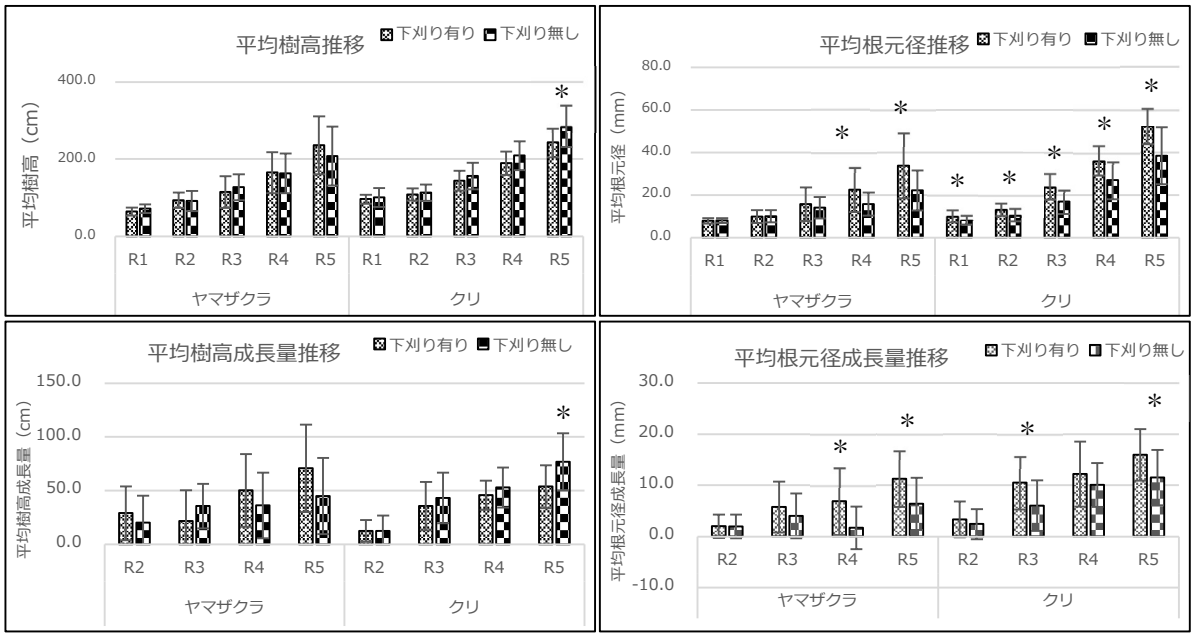


図３　植栽木成長推移
左上図：平均樹高、右上：平均根元径、左下図：樹高成長量、右下図：平均根元径成長量
図中の誤差範囲は標準偏差を表す。＊は有意差があることを表す（t 検定、p<0.05）

３．１．３　天然更新補助作業の効果検証

天然更新補助作業を行ったプロットの調査結果を表４に示す。防鹿柵内で掻き起こしを行った２プロットでは、クマイチゴ、モミジイチゴ、ガマズミが見られたが、高木性の稚樹は見られなかった。令和３年の成長期終了後の平均樹高は、掻き起こしを行ったプロットでは掻き起こしを行わなかった他の 13 区画で発生した個体の平均と比較すると小さかったが、掻き起こし後の１成長期で樹高１ｍ程度まで植生が回復している状況が確認された。掻き起こしを行った防鹿柵外に設定した区画では、令和２年度の調査時にアカマツの実生が確認されたが翌年以降は確認されず、その他の植生も発生は確認されなかった。

表４　防鹿柵内掻き起こしプロット発生樹

発生樹種	平均樹高（cm）		個体数	
	無処理区	掻き起こし区	無処理区	掻き起こし区
ガマズミ	122.5	106.8	2	4
クマイチゴ	135.9	88.3	11	3
モミジイチゴ	117.3	92.0	17	2

３．２　下層植生衰退度調査

下層植生の植被率を調査した 50 地点の衰退度を図４に示す。「原住区域」及び「拡大区域 A」では調査を行った 22 箇所中衰退度４であったのが 14 箇所、衰退度３が２箇所、衰退度２が２箇所、衰退度１が３箇所、衰退度０が１箇所であった。「拡大区域 B」では 24 箇所中衰退度４が１箇所、衰退度１が４箇所、衰退度０が 19 箇所、無被害が１箇所であった。「警戒区域」では、４地点中衰退度０が１箇所、無被害が３箇所であった（各衰退度の例は付録（４）を参照）。

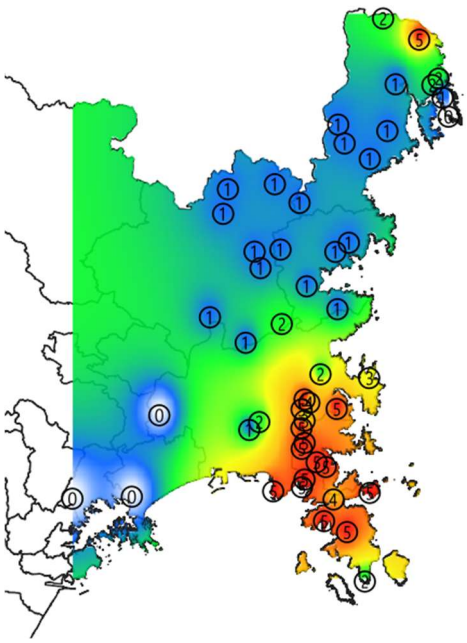


図４　令和４年度下層植生衰退度マップ
図内の数字は SDR を表す

各調査地で記録した衰退度から SDR により数値化を行い、IDW 法により下層植生衰退度マップを作成した（図４）。下層植生衰退度マップ上では SDR が５に近いと推定されたのは「原住区域」から「拡大地域 A」の東側の地域で、石巻市北部の北上川流域まで下層植生の植被率が SDR で５から６（衰退度では４から５）とされる地域があると推定された。一方で「拡大区域 B」では、下層植生の植被率は登米市、南三陸町、気仙沼市の南部地域で SDR ＝１（衰退度０）と推定され、衰退はほとんど起こっていないと推定された。しかし、気仙沼市北部地域では SDR が２以上の地域が見られ、「拡大地域 A」に隣接する地域でも、SDR が２程度の地域が存在することが推定された。

４　考察

４．１　天然更新を活用した森林の復元調査

４．１．１　天然更新木発生消長調査

当該調査地は防鹿柵を設置する前からシカによる下層植生の食害が発生していたため、柵内では不嗜好性植物が繁茂すると予想されていたが、結果として、嗜好性植物とされる低木性木本や草本も繁茂していたことから、前世稚樹や土壌中の埋土種子による更新が起こったと考えられた。一方で、高木性樹種の稚樹はほとんど見られず、これは低木性木本や草本が繁茂したことによる被圧により高木性稚樹の発生や生育が阻害されたと推定された。また、前課題で行った埋土種子の調査や本課題で行った小動物による持ち去り防止柵を設置した箇所での発生状況から、高木性木本の種子が当該調査地ではほとんどない状態であったと考えられた。これは、本調査地が皆伐される前の構成樹種がスギであり、スギの林床は広葉樹林等と比較すると下層植生の種が少ないこと、柵を設置する前から受けていた食害により前世稚樹が少ない状態であったこと、周辺の林分からの種子散布が少ないこと、そして少ない種子も小動物により持ち去られたことなどにより、このような高木性稚樹の少ない状況に至ったと推定された。このため、掻き起こしによる天然更新補助作業によっても元々の高木性木本の種子数が少ないことから、高木性稚樹の発生が見られなかったと考えられた。

４．１．２　植栽木成長量調査

植栽したヤマザクラとクリは下刈りの有無に関わらず、生存率が 80%以上と高い値を示しており、本調査地では下刈りは植栽木の生存に有意な影響を与えないと考えられた。植栽木の成長については樹高の成長は樹種に

よって傾向が分かれ、ヤマザクラでは５成長期目では下刈りの有無による有意差は無かったが、クリでは下刈り無し区の方が有意に大きい状態であった。これは両種による他種との競争の応答の違いと考えられるが、下刈りが無いことで他種との生育空間の獲得競争が起こり、下刈り有り区よりも樹高成長が促進されたためと推定された。一方で根元径の成長については両樹種とも下刈り有り区の方で良好な生育が確認された。これは下刈りにより生育空間が確保され、利用できる日光の量が増加したことにより、下刈り無し区よりも光合成量が増加し、肥大成長が促進されたことが要因と考えられた。

４．１．３　天然更新を活用した森林の復元調査のまとめ

天然更新木発生消長調査、植栽木成長量調査及び天然更新補助作業による結果から、本調査地での森林の復元手法としては以下のことが考えられた。

天然更新による森林の早期の復元については、低木性の木本や草本種の繁茂、高木性稚樹の少なさから、困難であると考えられた。本県の施業地における天然更新完了基準としては、伐採の翌年度から起算して５年目における後継樹の期待成立本数の 30％（便宜上の数値では 1,700 本/ha）（宮城県、2024）であることから、本調査地ではそれを満たしておらず、早期の森林の復元には植栽が必要と考えられた。

広葉樹による植栽では下刈りの有無に関わらず高い生存率が確認され、樹高成長もクリの５成長期目までは有意差が見られなかったことから、本調査地では下刈りの省略または軽減できる可能性が示唆された。今回植栽したヤマザクラとクリは陽樹であり、伐採跡地や林冠ギャップ等で先駆的に成長する樹種であるため、他の低木性木本や草本との競争に負けにくかったと推定される。今回の調査地では植栽から３年目の段階で両樹種とも平均樹高が１　m を超えており、当時の周辺の植生高と同程度で、かつ下刈りの有無による生育差も見られなかったことから、この調査地で下刈りを実施する場合は、１年目から３年目までの３回刈りとすることも可能かと考えられる。ただし、周辺の植生は施行地ごとに異なるため、植生により下刈りの回数を検討することが植栽木の枯死を軽減させるためには必要であると考えられた。

今後は植栽した広葉樹が成長を続けると他の植生を被圧して繁茂を抑えるとともに、種子散布源になると思われるため、柵内では個体数が増えていく可能性がある。

４．２　下層植生衰退度調査

下層植生衰退度調査では下層植生の植被率を調査した 50 地点から、調査地以外の地点の衰退度（SDR）を推定し、ニホンジカの拡大が懸念される地域において下層植生衰退度マップを作成した。「原住地域」に隣接する「拡大区域 A」では「原住区域」と同程度に植生が衰退している箇所が見られ、ニホンジカが拡大している状況が観察された。「拡大区域 A」では北上山地に沿って下層植生の衰退度が高くなっており、今後も北上山地に沿って北上していく可能性が考えられた。一方で、石巻市から東松島市にかけての「拡大区域 A」に隣接する「警戒区域」ではシカによる被害は確認されず、これは平野部に市街地を挟んでおり、森林が繋がる部分が少ないことから、シカの移動が制限されているためと考えられた。

「拡大区域 B」では県沿岸北部の気仙沼市の岩手県境付近で下層植生の衰退が確認されたが、「拡大区域 A」と比較すると衰退が見られる調査地は少なかった。一方で「拡大区域 B」のほぼ全域でニホンジカの食害痕や糞などの生息痕が見られたことから、「原住地域」よりは低密度にニホンジカが生育していると考えられた。これは「拡大区域 B」の多くが北上山地を含む森林で構成されており、平野部の市街地を挟まないことから生息域の拡大が比較的容易であるためと考えられた。

衰退度の各段階を見ると、今回の調査ではニホンジカの生息痕が見られる調査地（衰退度０～５）と見られなかった調査地（無被害地）では、存在する常緑低木が異なっていた。無被害地ではアオキやイヌツゲといった常緑低木が存在していたが、生息痕がある地域では確認されなかった。特にアオキは本県の森林ではよく見られる種であるため、生息が確認されなかったのは食害による本数の減少による可能性がある。アオキはニホンジカの嗜好性が高いとされ（橋本ら、2014）、冬季でも葉をつけていることから、食料が少ない時期に選択的に食害を受けやすいと推定され、個体数が減少している可能性がある。このため、ニホンジカの侵入・拡大が懸念される本県では林内でのアオキの有無はニホンジカの生息や定着を表すものとして利用できるのではないかと考えられた。また、今回の調査では衰退度が２よりも大きくなると不嗜好性植物とされる種の繁茂が見られるようになった。特に「原住地域」ではマルバダケブキやシロダモといった種が下層植生に生存しており、いずれも不嗜好性植物とされていることから、他の植生と比較して食害を受けづらいと考えられた。しかしながら、強い採食圧に晒され、下層植生の衰退が進んだ衰退度５の調査地点では不嗜好性植物も見られない箇所も存在した。

５　おわりに

ニホンジカの強度な採食圧がある地域では防鹿柵により保護した上で植栽を行うことで森林を復元できる可能性が示された。一方で防鹿柵内であっても天然更新による早期の森林復元は困難と思慮されたことから、伐採跡地における土砂の流出等による災害の発生などが懸念された。ニホンジカが高密度に生息する地域で皆伐を行う際は、伐採後の食害対策を施したうえで再造林を行うことが、木材資源の循環利用の点からも重要であると考えられた。

本県でのニホンジカの生息密度は「原住地域」や「拡大区域 A」を中心に高い状態となっており、下層植生衰退度調査による下層植生の植被率の調査から、下層植生の衰退が進んでいる地点ではニホンジカの生育密度が高い状態となっていると推定された。下層植生の衰退が進んだ地域では再造林による更新を行う場合は食害対策が必須であるが、「拡大区域 B」のように低密度に生息する地域でも近年植栽木の食害が頻繁に発生してきている。そうした地域では下層植生衰退度マップを、食害対策を実施する際の指標の一つとすることが望まれる。今回の調査では調査時点でのニホンジカ生息密度の推定を行ったが、同じ調査地点による継続的な下層植生の植被率の観察により、生息密度の増減や生息域の拡大状況を見ることができる。今後、今回調査した地域だけでなく県の西部側においてもニホンジカの生息密度が増加していくと考えられることから、調査地の拡大等を検討し、ニホンジカの生育地を注視していく必要がある。

引用文献

藤木大介：ニホンジカによる森林生態系被害の広域評価手法マニュアル「兵庫県におけるニホンジカによる森林生体系被害の把握と保全技術」　兵庫県森林動物研究センター　兵庫ワイルドモノグラフ４号：2-16　2012

古澤仁美・宮西裕美・金子真司・日野輝明:ニホンジカの採食によって林床植生の劣化した針広混交林でのリター及び土壌の移動　日本林学会誌　85 巻 4 号：318-325　2003

橋本佳延・藤木大介：日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト　人と自然　Humans and Nature 25 ： 133-160　2014

宮城県：第三期　宮城県ニホンジカ管理計画　p30　2022

宮城県：宮城北部地域森林計画書：107　2024

長田萌・佐々木智恵：ニホンジカの強度採食圧を受けた未植栽地における森林の復元に関する調査 宮城県林業

技術総合センター研究報告第 29 号：19-32　2021
田村淳：ニホンジカによるスズダケ退行地において植生保護柵が高木性樹木の更新に及ぼす効果－植生保護柵設置後 7 年目の結果から―　日本森林学会誌 90 巻 3 号：158-165　2008

付録

付録（１）　防鹿柵調査地

左図　防鹿柵調査地　斜面下部からの様子（令和３年６月撮影）（B 天然更新区付近）

右図　UAV による上空からの試験地の様子（令和３年９月撮影）（B 天然更新区上空）

付録（２）　天然更新発生状況調査　調査プロットの発生状況

左図　防鹿柵内区画 B（天然更新区）の様子（令和５年９月撮影）

右図　防鹿柵外区画 C（対照区）の様子（令和５年９月撮影）

付録（３）　防鼠柵内発生状況例

左図　防鹿柵内区画 B（天然更新区）斜面上部（令和５年９月撮影）

右図　防鹿柵外区画 B（天然更新区）斜面下部（令和５年９月撮影）

（４）下層植生衰退度調査　衰退度別現地状況例

無被害

衰退度０

衰退度１

衰退度２

衰退度３

衰退度４

左上図：無被害地（松島町）、右上図：衰退度０（登米市東和町）、左中図：衰退度１（石巻市）
右中図：衰退度２（石巻市雄勝町）、左下図：衰退度３（石巻市）、右下図：衰退度４（石巻市）
いずれも撮影日は令和５年５月～７月

高齢級スギ林分の施業に応じた材質特性及びその活用方法に関する研究

今埜　実希・山下　香菜※1・大西　裕二

要　旨

間伐等の手入れが十分でないまま高齢級化した人工林における70年生スギの成長及びその材質特性・節の分布について調査した。成長量に差のある個体では、保育間伐以降に形成された材の性質や節の分布が異なり、成長が維持されている優勢木に比べて劣勢木では材の収縮率が大きい傾向があり、乾燥による収縮を見込んだ製材歩増しに変える必要性が示唆された。さらに、優勢木では、樹幹下部において節がないか少なかったことから、無節材を採材できる領域がより多く存在することが明らかとなった。

キーワード：、高齢級人工林、手入れ不足、スギ、収縮率、節

１　はじめに

本県の民有林の人工林面積の齢級構成のピークは、12齢級（56～60年生）となり（宮城県水産林政部、2024）、高齢級へ移行している。宮城北部地域森林計画（宮城県、2023）及び南部地域森林計画（宮城県、2020）では、特に花粉の発生源となるスギ等人工林について、伐採・植替えの促進に努めるとされているとともに、県内には大規模な合板工場が立地しており旺盛な木材需要があることから、スギ高齢級林からの出材の増加が見込まれる。

高齢級林の中には、主伐が先延ばしにされ、間伐などの手入れが十分でない林分も多く、良質材生産を目的とした従来の長伐期施業とは一線を画すもの（遠藤、2006）も多いと考えられる。また、間伐遅れによる過密な状態が続いた結果、個体の形質や林分としての健全性が低下している可能性がある（宮本、2014）。

一方、手入れ不足の状態の高齢級スギの成長特性や材質特性については未解明な点が多い。スギの材質特性は、特に未成熟材において品種や樹幹内の位置により異なること（山下ら、2010）、林木の個体間競争による肥大成長速度の違いによって成熟材部の材質が異なること（白井ら、2010）などの研究があるが、これらの報告は若齢林や壮齢林が対象である。

当センターで実施した高齢級スギ林を対象とした「高齢級人工林の材質に関する研究」（令和元～３年度）では、高齢級林分から大径木のほか中・小径木も出材されることが示唆されている。同じ高齢級林分であっても成長速度の異なる林木では材質に差が生じ、合板、製材品の材面品質、変形に影響することが考えられる。

高齢級林からの出材の増加が見込まれる中、大径木だけではなく小・中径木も含めて、その材質特性を把握することは、今後の木材利用と施業を検討する上で重要になる。本研究では、手入れが不足したまま高齢級化したスギ林の林分調査及び材質特性に関する基礎的な調査と、そこからの高齢級材の活用方法の検討を行う。

２　調査地及び調査方法

２．１　林分調査・樹幹解析

調査地は、宮城県栗原市花山地区の民有林で、標高220 m、平均気温10.7℃、年間降水量1676 mmである。気象データは2011年から2021年に近隣の川渡で得られた値の平均値である。当該林分では保育間伐を実施した以降は70年生時に初めて搬出間伐が実施された。ここに0.3 haのプロットを設け、胸高直径の毎木調査を実施した（n = 146）。プロット内の10個体については、樹高及び枝下高の測定を行った。

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

年輪解析・材質調査に供するため、胸高直径が異なる３個体（DBH：26 cm、32 cm、40 cm）を選木して伐採した。伐採高から２mごとに年輪解析用の円板を採取し（表－１）、デジタルカメラで円板の木口面を撮影し、年輪計測ソフトDM Dendro Measure（野堀、2006）で年輪幅の読み取り、SDA Stem Density Analyzer（Nobori Y et al.、2004）で樹幹解析を行った。

表－１　供試木の概要

	小径木	中径木	大径木
胸高直径（cm）	26	32	40
樹高（m）	23	27	31
樹冠長率（%）	61	31※	33※
形状比	88	84	78
丸太（2m）の本数	11	13	15
年輪解析用円板数	13	15	17
収縮率・縦圧縮試験用円板数	4（12mまで）	5（16mまで）	6（20mまで）
節調査用板数	43	59	84

※中径木と大径木の樹冠長率は、同一林分内の同じ胸高直径の個体の枝下高の値を参照して算出
枝下高は生枝で計測

２．２　密度、収縮率調査及び縦圧縮試験

木材の収縮及びその異方性は木材が乾燥する際の割れや狂いの原因となる。変形等に係る材質の特性が成長量の異なる個体によって相違するのかを調べるため、収縮率調査を行った。

地上高1.2 m、４ m、８ m、12 m、16 m、20 mから、厚さ15 cmの円板を採取し（表－１）、髄から第10年輪をⅠ、第11-20年輪をⅡ、第21年輪以上の樹皮に近い外側をⅢと区分した。各区分からJIS Z 2101:2009に準拠して、収縮率試験体（半径(R)方向及び接線(T)方向用：(T)30×(R)30×(L)5 mm、繊維(L)方向用：(T)5×(R)30×(L)60 mm）と縦圧縮試験体（(T)20×(R)20×(L)60 mm）をエンドマッチさせて作製した。

縦圧縮試験は、オルセン型試験機（森試験機製作所製）に専用の治具を設置して最大荷重に達するまで載荷し、比例限度領域の縮みに対する荷重の差及び最大荷重をそれぞれ断面積で除して圧縮ヤング係数と圧縮強さを求めた。試験時の含水率は12.0%であった。また、収縮率は、生材、気乾材及び全乾材で寸法と質量を測定して、全収縮率αと含水率1%に対する平均収縮率βを求めた。接線及び半径方向の測線の長さはマイクロメータ（Mitutoyo カンタマイク MDE-50MX, 測定範囲：25～50 mm、最小表示量：0.001 mm）を、繊維方向の測線の長さはデジマチックインジケータ（Mitutoyo 543-563、測定範囲：0～60.9 mm、最小表示：0.001 mm）を、質量の測定は電子天秤（Mettler AE260 Deltarange）を用いて測定した。

２．３　節調査

材面に現れる節の分布を調べるため、上記の３個体から得た39本の丸太について、送材車付き帯鋸盤を用いて、髄を通るよう半割した後、髄から樹皮方向に35 mm厚でだら引きし、合計186枚の板を得た（表－１）。

各板の片面（一部は両面）をデジタルカメラで撮影し、撮影画像上で、フリーソフトClick Measure(Ver. 2.4.0.15)を用いて節の位置を測定した。節径はオープンソースの画像解析ソフトImageJ（1.54ｄ）を用いて測定した。流れ節の髄が確認できない場合は、長径と短径の交点の位置を測定した。長径が短径の2.5倍以上ある流れ節の径の値は実測値の1/2とした。節の髄からの距離は、園田ら（2019）の板材面の節の測定方法に準拠し算出した。

２．４　部材の木取りの検討および製品の評価

製材の日本農林規格（JAS1083）に基づき、材面の幅と最大節の節径（長辺の中央部を通過する線に平行な節の２接線間の距離）を測定し、最大節径比、長さ方向15 cm区間に係る節（合計が最大になるもの）の各節径を測定し最大集中節径比を求めた。

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

収縮率調査において、収縮率が大きかった小径木の１番丸太と２番丸太を対象に、収縮量・変形を考慮し、軸組工法の主要な部材である管柱、通し柱、間柱の木取りを設定し、そのうち正角（120角、105角）について、製材JASの目視等級区分の構造用製材と造作用製材の基準にそれぞれ照らし合わせて、評価を行った。

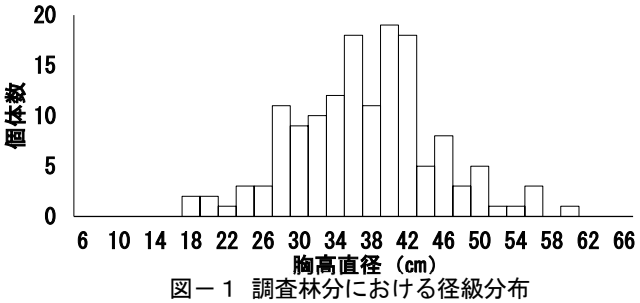
３　結果・考察

３．１　林分調査・樹幹解析

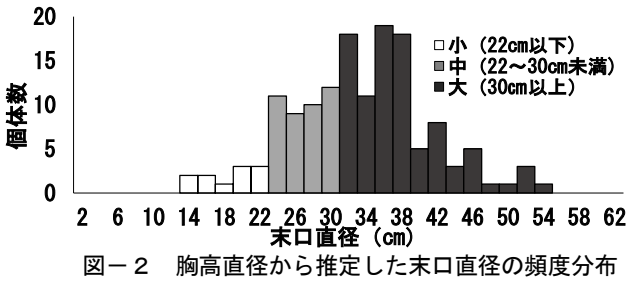
胸高直径の直径階は正規分布型を示し、18 ㎝から50 ㎝を超えて幅広く分布しており（図－１）、間伐が行われず過密状態となった人工林で調査を行った大矢ら（2013）の報告と同様に、立木間の肥大成長に優劣がついている傾向が見られた。胸高直径の中央値は38 ㎝であった。立木を４ ｍの長さに採材するとして、細り表（宮城県林政課、1990）により胸高直径から求めた末口径の本数では、末口径22 ㎝以下の小径木と末口径28 ㎝以下の中径木も一定量含まれるものの、６割以上が尺上丸太に該当する径級であり、手入れ不足であっても大径材化が進む傾向が見られた（図－２）。

樹高及び枝下高の調査を基に、樹冠長率及び形状比を求めたところ、林分の平均樹冠長率は40％以下と低く、形状比も80を越え、林分内が混み合み過ぎとされる値であった（藤森、2010；正木、2018）（図－３）。中には樹冠長率が30％未満と極めて低い個体も存在し、これらは残存させたとしても肥大成長が期待できないと考えられた。

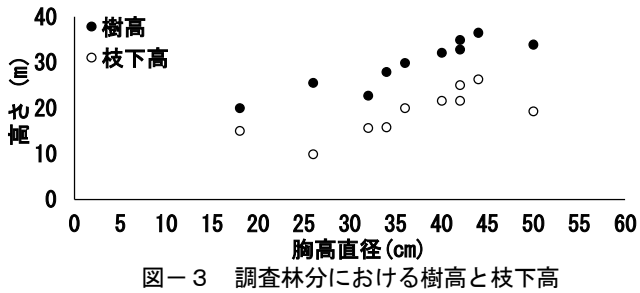
図－２の、一番丸太の末口径が22 ㎝以下（小）、22～30 ㎝未満（中）、30 ㎝以上（大）の３つの区分から、成長の異なる供試木３個体を選木し（表－１）、年輪幅の測定及び樹幹解析を行った。その結果、小径木では樹皮側の年輪幅が極端に狭く、未成熟材と想定される髄から第15年輪目までの部位が樹幹に占める面積割合が約67％と高い傾向が見られた（図－４）。さらに、１番丸太から３番丸太までの高さに相当する円板の年輪幅の測定結果を基に、各径級の各高さにおける年輪幅の５年移動平均を求めたところ、保育間伐（30年生時）以降辺りから、径級間の差が生じ、小径木では樹皮側20年分の年輪幅が１ ㎜以下と極端に狭く、早晩材の差が明瞭ではなく年輪を形成しない年も見られた（図－５）。また、調査個体の成長曲線は、宮城県スギ人工林収穫予想表（中澤、2008）より求めた地位ごとの成長曲線の地位１等相当であったが、おおよそ30年生以降に径級差が生じており、大径木は地位１等相当の成長を続けているのに対し、小径木では成長曲線がS字型となっており、成長が維持できていないことが示唆された（図－６）。これらのことから、仮に間伐の際に小径木を残存させ、年輪幅が増加したとしても、材内における年輪幅の不均一性が高まると考えられた。



図－１ 調査林分における径級分布

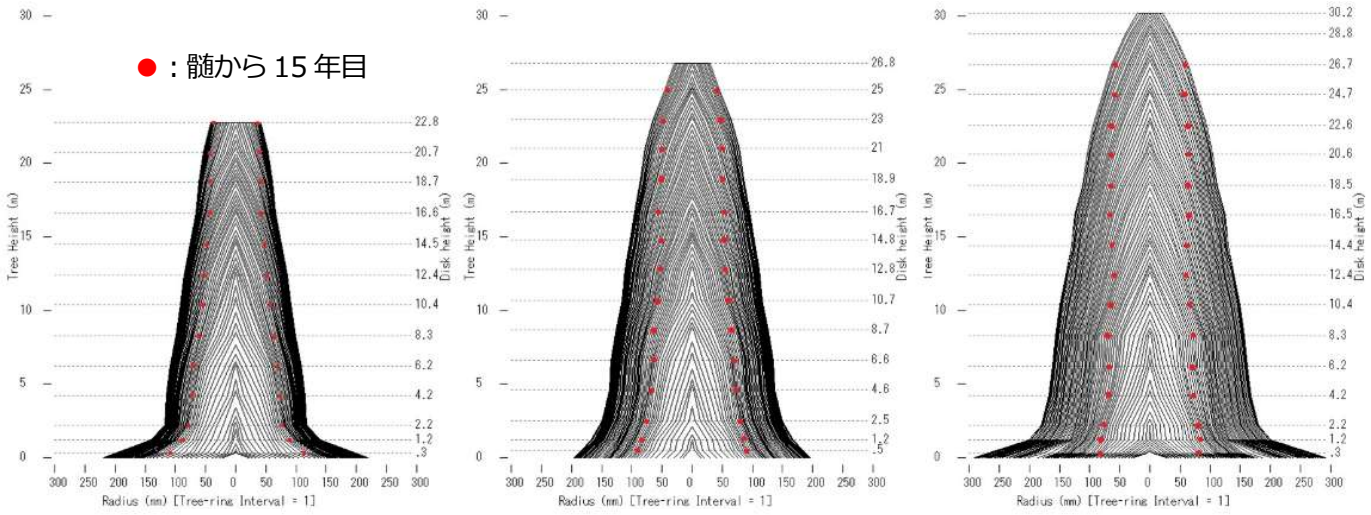


図－２　胸高直径から推定した末口直径の頻度分布



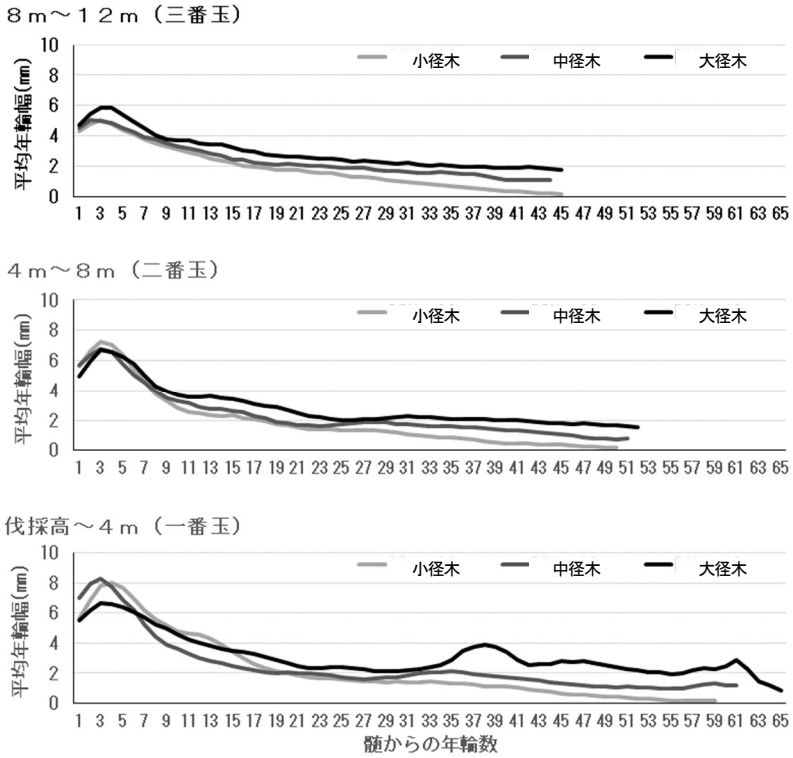
図－３　調査林分における樹高と枝下高

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

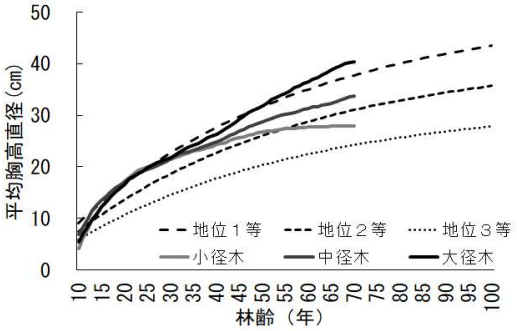


小径木　　中径木　　大径木

図－４　径級別の樹幹解析図



図－５　４m材を仮定した平均年輪幅の径級間比較



図－６　径級別胸高直径成長曲線

３．２　密度、縦圧縮試験及び収縮率調査

全収縮率α（%）の平均値±標準偏差は、接線方向：6.66±0.92、半径方向：2.96±0.61、繊維方向：0.16±0.10であり、標準的なスギの範囲内の数値であった（寺沢、1995；Yamashita et al.、2009a・2009b）。３個体ともに、気乾密度は、髄側から樹皮側に向かうにつれて低くなり、圧縮ヤング係数と圧縮強度は、髄側（Ⅰ）よりも外側(ⅡとⅢ)で高かった（表－２）。ⅡとⅢを比べると、圧縮ヤング係数はⅢが高く、圧縮強度はⅡがやや高い傾向があった。径級間で比べると、大径木は小・中径木に比べて、第15年輪より外側（ⅡとⅢ）の気乾密度、圧縮ヤング係数と圧縮強度が高い傾向が見られた。全収縮率α_T（%）は、髄側（Ⅰ）で小さく、α_Rは樹皮側（Ⅲ）に向かうに連れて大きくなる傾向があった（表-３）。α_Lは、中・大径木では髄側（Ⅰ）で大きいが、小径木で

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

表－２　径級が異なる 70 年生スギの半径方向部位別の年輪幅、気乾密度、圧縮ヤング係数及び圧縮強度

	年輪幅(mm)			気乾密度(kg/m³)			圧縮ヤング係数(N/㎟)			圧縮強度(N/㎟)		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
小径木	5.69[a]	2.21[b] a	1.30[b] a	417[a]	396[ab] a	383[b] a	6399	9166	9354	39.4	41.6	40.8
中径木	4.40[a] ns	2.51[b] ab	1.52[c] a	418[a] ns	380[b] a	351[c] b	6379[a] ns	7996[b] ns	8321[b] ns	38.6 ns	38.9 ns	36.0
大径木	5.45[a]	2.91[b] b	2.21[c] b	438[a]	427[a] b	400[b] a	5612[a]	9123[b]	9431[b]	36.4[a]	43.1[b]	42.0[b]

Ⅰ:樹幹内部、Ⅱ:髄から15年輪目を含む部位、Ⅲ:髄から20年輪目以上の樹皮側の部位

表中の数値の右肩のアルファベットは同一供試木の半径方向（ⅠⅡⅢ）において、表中数値の右側のアルファベットは半径方向各区分（ⅠⅡⅢ）における各径級（小中大）間において、それぞれ異なる英字の場合は5%水準で有意差があることを示す(Tukey-Kramer test, $p<0.05$)

右肩にアルファベットの記載が無い場合は有意差がないことを示す

表－３　径級が異なる 70 年生スギの半径方向部位別の全収縮率α及び含水率 1%に対する平均収縮率β

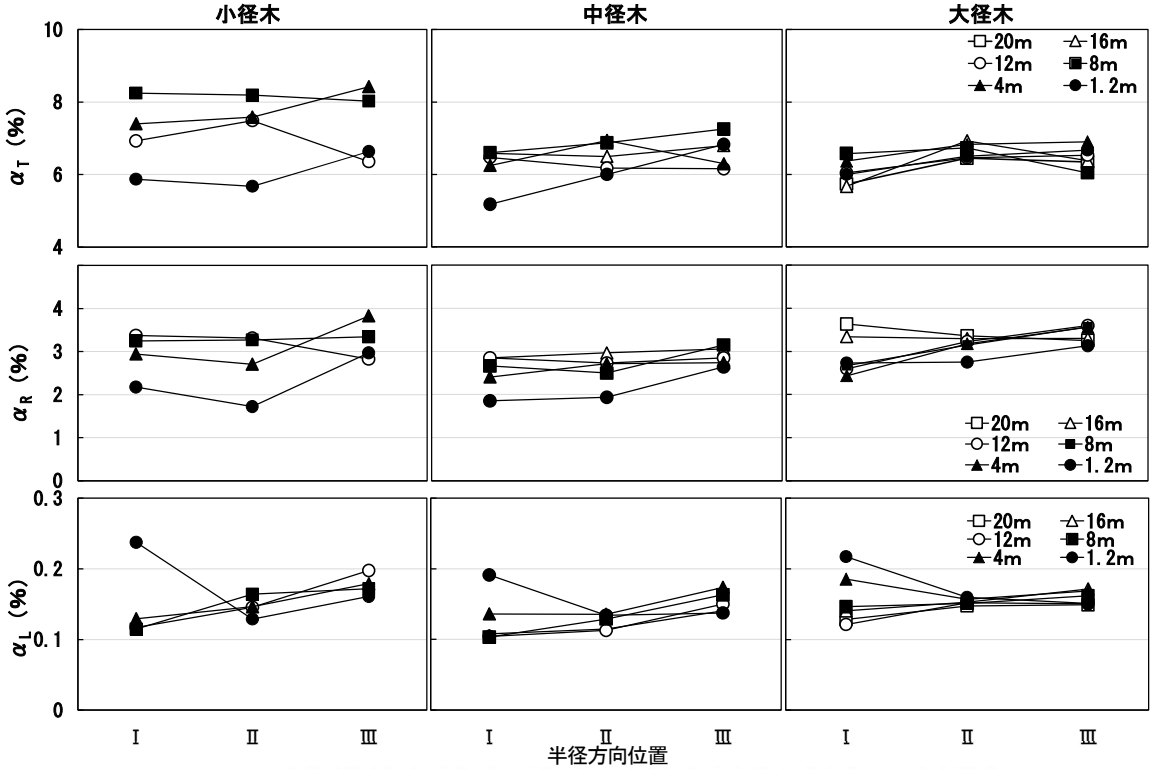
	α_T（%）			α_R（%）			α_T/α_R（%）			α_L（%）		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
小径木	6.89 a	7.26 a	7.50 a	2.59[a]	2.81[ab] a	3.30[b] a	2.817[a] a	2.698[ab] a	2.294[b] a	0.151	0.183	0.174 a
中径木	6.23 ab	6.49 b	6.67 b	2.52 ns	2.57 b	2.83 b	2.495 ab	2.598 a	2.364 a	0.209 ns	0.125 ns	0.152 b
大径木	6.08[a] b	6.63[b] b	6.37[ab] b	2.87[a]	3.18[ab] a	3.29[b] a	2.224[a] b	2.099[ab] b	1.955[b] b	0.165	0.153	0.159 ab
	β_T（%）			β_R（%）			β_T/β_R（%）			β_L（%）		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
小径木	0.242[a] a	0.253[ab] a	0.277[b] a	0.098[a]	0.105[ab]	0.123[b]	2.602 a	2.593 a	2.285 a	0.069	0.069	0.061 a
中径木	0.220[a] b	0.242[b] a	0.252[b] b	0.100[a] ns	0.104[ab] ns	0.115[b] ns	2.259 ab	2.389 a	2.240 a	0.108 ns	0.040 ns	0.056 a
大径木	0.200[a] b	0.224[b] b	0.223[b] c	0.104[a]	0.114[ab]	0.120[b]	2.026 b	1.981 b	1.893 b	0.070	0.043	0.043 b

表中のⅠⅡⅢ、数値の右肩のアルファベット及び、数値の右側のアルファベットは、表－2と同義

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

は逆に小さい傾向であった。径級間で比べると、α_Tは小径木で大きく、α_Rは第15年輪目以降（ⅡとⅢ）において中径木で小さかった。α_Lは樹皮側（Ⅲ）において小径木で大きかった（表-３）。平均収縮率もほぼ同様の傾向を示した。

次に収縮率を地上高で比較すると、小径木と中径木ではα_Tとα_Rが地上高1.2 mの樹幹下部で小さく、小径木では４ mにおいてもα_Rが小さい傾向があった（図－７）。一方、大径木では地上高による差は見られなかった。



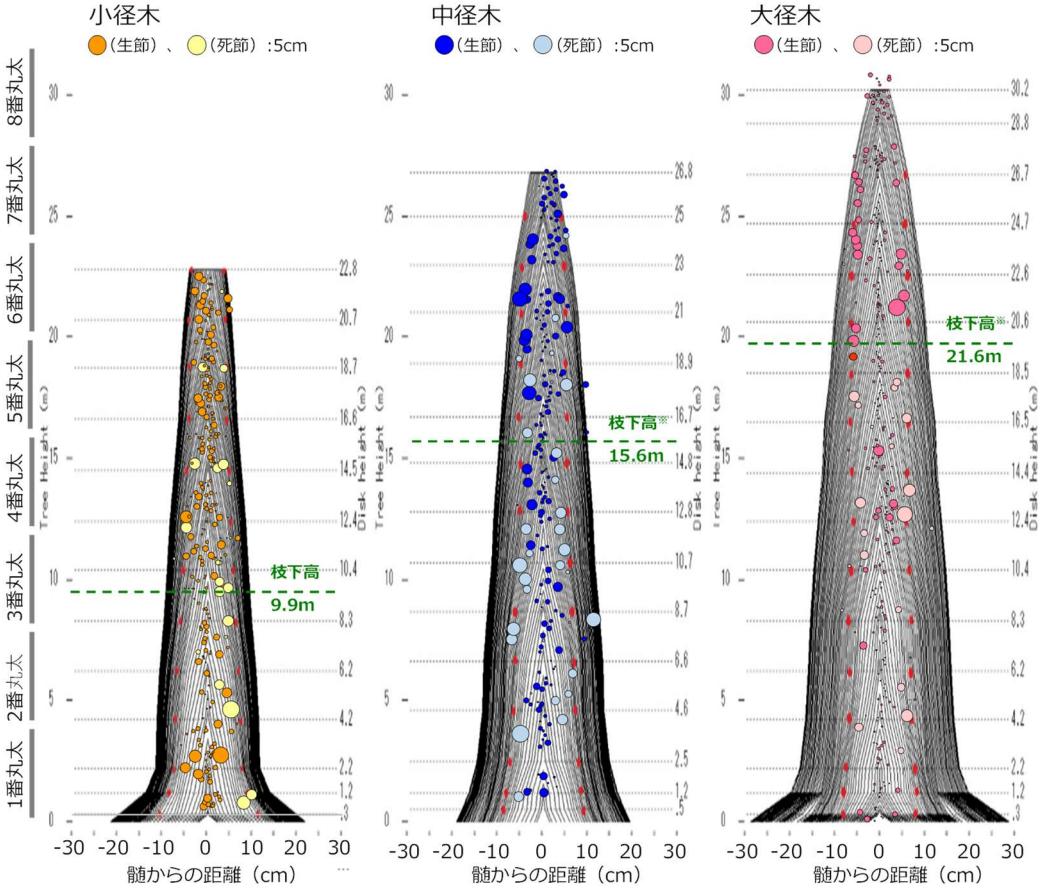
図－７　径級が異なる 70 年生スギにおける半径方向部位と地上高別の全収縮率

樹体内の髄側から外側に向かって、また高さに伴って半径方向の収縮率が増加する傾向や、接線方向/半径方向の収縮率が減少する傾向は、Yamashita et al. (2009b)と同様の傾向を示した。一方で、繊維方向の収縮率については、ミクロフィブリル傾角が大きい未成熟材において大きい傾向（Yamashita et al.、2009a）と逆に、本調査の小径木では樹皮側の収縮率が大きい傾向を示した。収縮率は、晩材率が高いと大きいことが知られている（渡辺、1983；中戸、1985）。一方、被圧された環境下で形成された年輪では年輪幅が極端に狭く、年輪幅が概ね1 ㎜以下になると、仮道管の長さ、放射径、接線壁厚が減少することや晩材率が高くなること（加治ら、2004）、成長が良く肥大成長が早い個体では、晩材の細胞壁率が一定した成熟材部が多く得られること（白井ら、2010）が報告されている。本調査における被圧された小径木の年輪構造は、加治ら（2004）の報告と同様に、樹皮側の年輪幅が極端に狭く、1 ㎜以下の年輪幅も見られたことから、晩材率が高いことが樹皮側の収縮率が大きくなった要因の一つである可能性が考えられた。これを明らかにするためには、晩材率などの年輪構造に関する更なる調査が必要であると考えられる。

以上の結果より、間伐等の手入れが省略され高齢級化したスギでは、樹幹の髄側と樹皮側や、地上高によって強度特性や収縮率が異なること、さらに樹幹内の部位による違いは成長量に差のある個体間で異なることが示唆された。手入れ不足等により樹皮側の年輪幅が極端に狭い劣勢の高齢木となった場合は、これらの性質を考慮した採材等を行い利用していく必要性があると考えられる。

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

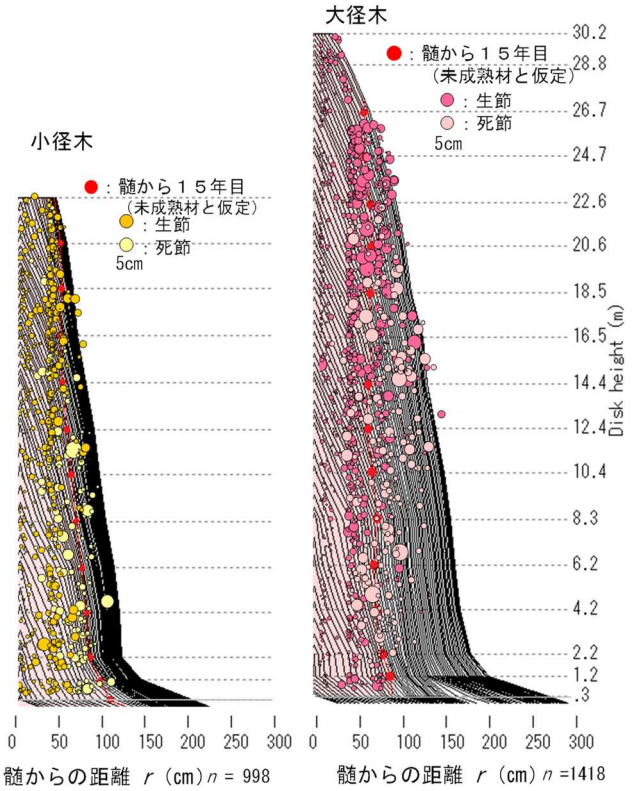
３．３　節調査



図－８　樹幹解析図と髄を通る材面の節の分布

●：髄から１５年目（未成熟材と仮定）

枝下高※：同一林分の同じ胸高直径の個体の枝下高を参照したもの



図－９　樹幹解析図と板材面の節の分布（左：小径木、右：大径木）

髄を通る板の材面に現れる節の分布を図－８、板材面の節の分布を図－９に示す。中・大径木では、樹冠材と考えられる樹幹上部に生節が多く分布し、枝下材と考えられる部分には生節と死節が混在し、髄周辺に径の小さい生節、樹皮側に径が比較的大きな死節が分布する傾向が見られた。また、節は樹幹の上を通して、髄から第15年輪目以内（未成熟材と仮定）におおむね分布していた。無節もしくは節の少ない材面であった試験体の枚数は、第15年輪目以降の成長が遅い小径木では地上高６ｍまでに４枚であったのに対し、第15年輪目以降も成長が旺盛であった大径木では地上高10 ｍまでに15枚であった。

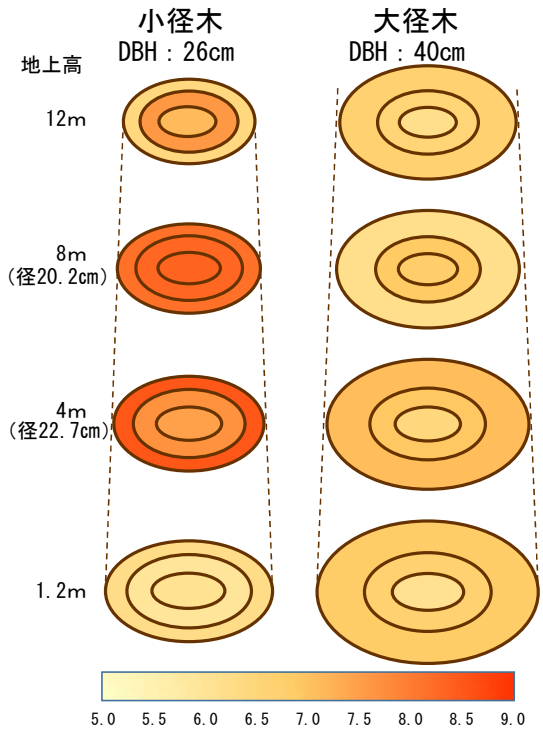
樹幹内部の節の分布範囲は小径木と大径木で異なっており、小径木は枝打ちなしモデル、大径木は枯れ枝打ちモデル（藤森、1975）に近

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

い分布を示した。本来は無節部分を作るために行われる枝打ち作業が今回の調査林分では行われていないものの、大径木では枯れ枝が巻き込まれた後に、肥大成長したことで、無節部分が形成されたと考えられた。

３．４　部材の木取りの検討および製品の評価

小径木の収縮率が最大値であった４ m位置の8.42%と（図－10）、既往研究の矯正・仕上げ率7.18%（大西、2021）を基に、正角（柱）を採材するのに必要な粗挽き寸法と丸太の末口径を求めたところ、120角の場合は約20 cmの丸太が必要であることが分かった。供試木では、１番丸太と２番丸太にあたる高さの末口径が20 cm以上であることから、節調査用の板材のうち、仕上げ面と近い位置の板材面を柱にした際の板面と仮定し、120角及び105角材の製品の評価とした。



図－10　高さ・半径別の接線方向の全収縮率
（左：小径木、右：大径木）
円内の数値は内側からⅠ、Ⅱ、Ⅲの収縮率の平均値を示す。

製材 JAS 目視等級区分構造用製材のうち乙種構造材の基準における、節径比及び集中節径比の結果を表－４に示す。１番丸太と２番丸太ともに、節と集中節の区分で１級相当であった。さらに、製材 JAS 造作用製材においては、120 角、105 角ともに節の基準で並材相当との結果であった。手入れが省略された林分において、成長が劣る林木については、製材として利用可能する場合は、歩増しが必要になることが示唆された。

表－４　製材 JAS 目視等級区分乙種構造材の結果

	節径比（%）	集中節径比（%）	等級
１番丸太	18.6	26.6	１級
２番丸太	14.1	5.6	１級

４　おわりに

手入れが十分ではなく、保育間伐以降70年生時に初めて搬出間伐を行ったスギ林分から得た材の収縮率と節について調べたところ、収縮率については、成長を維持している中・大径木に比べて劣勢木の小径木で大きく、さらに樹幹の内側と外側・地上高によって異なる傾向を示した。節は、中・大径木では無節部分が存在した一方で、小径木は樹皮近くまで、かつ樹幹上部まで節が分布していた。軸組み工法部材の木取りを設定すると、小径木についても、製材JAS目視等級区分の乙種構造材の基準では１級相当であったことから、製材として利用可能する際は歩増しが必要になることが示唆された。

育林の分野では間伐遅れ林分で長伐期を検討する場合、樹冠長率が小さい劣勢木は残存させてもその後の成長は望めないとされている（大矢、2013；宮本、2014・2015）。今回の調査では、木材利用の面でも、劣勢木は材の収縮率を考慮して早期に利用することが望ましいと考えられた。

今後は異なる地域や地位の高齢級林分のデータの蓄積や、実大の部材による調査、異なる植栽密度の林分から得られる材の材質調査などが必要であると考えられる。

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

５　謝辞

本調査を実施するにあたり、栗駒高原森林組合の皆様には林地での調査等に御協力いただきました。また、森林総合研究所の普入氏には、試験体の作成において御指導いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

引用文献

遠藤日雄：経営面からみた長伐期施業の可能性　長伐期林を解き明かす　全国林業改良普及協会編　：33-56　2006

大西裕二：県産スギ材でのツーバイフォー部材化に向けた研究　宮城県林業技術総合センター研究報告 29：1-18　2021

大矢信次郎：過密人工林管理技術の開発　長野県林業総合センター研究報告 27：1-24　2013

Onochi-LAB：Click Measure Ver.2.4.0.15　https://onochi-lab.com/（2023.10.31 閲覧）

加治里佳子・小田一幸・松村順司：スギ被圧木の年輪構造　九州森林研究　57：177-181　2004

園田里見・花島宏奈・長谷川益夫、柴和宏：大径化したボカスギの樹幹内分布　第 69 回日本木材学会大会（函館）　2019

白井真紀・北原龍士：スギ林木の肥大成長速さと木材材質　宮崎大学農学部研究報告 56：45-55　2010

Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W.：NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis″. Nature Methods 9：671-675　2012

寺沢真・筒本卓造：樹種別の収縮率　木材の人工乾燥：18-20　1995

中澤健一：スギ収穫表の長伐期対応と長伐期化できる林分　メッサ・みやぎ NO.21　2008

中戸莞二（編著）：膨潤，収縮，水分応力　新編木材工学：62-84　1985

野堀嘉裕：Dendro Measure. 2006　http//www.tr.yamagata-u.ac.jp/- fi/（2022.1.13 閲覧）

藤森隆郎：枝打ちの技術体系に関する研究　林業試験場研究報告 No.273：1-74　1975

藤森隆郎：間伐と目標林型を考える　全国林業改良普及協会：69-72　2010

Nobori, Y., Sato, K., Onodera, H., Noda, M. and Katoh, T.：Development of stem density analyzing system combined X-ray densitometry and stem analysis.　Jpn. J. For. Soc. 10：47-51　2004

正木隆：森づくりの原理・原則　全国林業改良普及協会：128-132　2018

宮城県水産林政部：みやぎの森林・林業のすがた　令和６年度版　2024

宮城県：宮城南部地域森林計画書　2020

宮城県：宮城北部地域森林計画書　2023

宮城県林政課：宮城県民有林材積表および林分収穫表　1990

宮本和樹：高齢級人工林の管理　木材工業 69(11)：468-473　2014

宮本和樹：人工林の高齢級化と向き合う前に　日林誌 97：169-170　2015

山下香菜・平川泰彦・中谷浩・池田元吉：品種や樹幹内部位によって異なるスギの収縮特性　森林総合研究所平成 22 年版研究成果選　2010

Yamashita, K., Hirakawa, Y., Nakatani, H. and Ikeda, M.：Longitudinal shrinkage variations within trees of sugi(*Cryptomeria japonica*) cultivars. J Wood Sci. 55:1-7　2009a

Yamashita, K., Hirakawa, Y., Nakatani, H. and Ikeda, M.：Tangential and radial shrinkage variation

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

within trees in sugi (*Cryptomeria japonica*) cultivars. J Wood Sci. 55:161-168 2009b
渡辺治人：木材の膨潤乾縮　木材理論総論：234-272 1983

※1 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

令和７年度
林業技術総合センター研究報告
第33号

令和８年１月発行

宮城県林業技術総合センター
〒981-3602　宮城県黒川郡大衡村大衡字はぬ木14-1
電　　話　０２２－３４５－２８１６
ＦＡＸ　０２２－３４５－５３７７
Ｅ-mail　stsc@pref.miyagi.lg.jp