

1 次世代スギ精英樹を活用した施業モデルの開発

(国庫：R1（2019）～R4（2022）)

国課題名：成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発
 （戦略的プロジェクト研究推進事業）
 参画機関：森林総合研究所、林木育種センター、
 九州大学、宮崎大学、鹿児島大学、岐阜大学、
 福岡、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、
 佐賀県ほか9道県、2事業体

江島 淳 森口 辰也

目的

現在、県内の人工林の約8割は主伐可能な時期を迎えている。しかし、主伐収入に対して高い育林経費や労働力不足のため、消極的な伐期延長など、主伐一再生林が進まない状況にある。主伐と植栽による更新を確実にを行い、資源の循環利用を進めるためには、造林-保育作業全般を省力化・低コスト化するための技術開発が必要である。

林木育種センター（国）が、スギの第2世代精英樹をエリートツリーとして、現場へ普及しているのと同様、佐賀県においても1960年代から開発を始めた第2世代精英樹を次世代スギ精英樹（サガンスギ）として、2020年度末から苗木生産者へ穂木の供給を開始した。

しかしながら、次世代スギ精英樹（サガンスギ）は、これまでのスギと成長特性が大きく異なるため、林業現場では、成長の優れた苗木を活用した技術体系の構築が求められている。このため、本研究では、

1. 低コスト初期保育技術の開発
次世代スギ精英樹（サガンスギ）植栽試験
2. 成長に優れた苗木による施業モデルの構築（木材強度評価を含む）

により、GIS及びリモートセンシング技術による立地評価、次世代スギ精英樹の性能を最大限に活かした下刈り省力化手法を開発するとともに、造林から収穫までを考慮した、育林コストを30%以上削減する低コスト・省力的な施業モデルを構築し、再生林計画時に収支予測が可能なツールを作成することを目標にする。

さらに、佐賀県は、交雑育種の取組の開始時期が早かったことから、伐期（30年生）を迎えたスギ精英樹F1（次世代スギ精英樹（サガンスギ）を含む）の試験

林を有しており、これらの材料を活用し、成林した時点での強度特性を明らかにし、成長に優れた苗木を活用した際の収穫時の木材の価値を確認する。

小課題1：次世代スギ精英樹（サガンスギ）植栽試験

1-1 目的

次世代スギ精英樹(B-16、B-61、B-74、脊振 F1-15、大町 F1 20-04、太良 F1 08-02)の造林地での初期成長（苗高）を、クローン別、立地別に明らかにする。

1-2 材料と方法

これまで次世代スギ精英樹（サガンスギ）の造林試験地として設定した10箇所の試験地(表-1)において、継続して毎木調査を実施してきた。今回、2018年3月植栽の七山次世代スギ造林試験地2018(試験地CD:202)、2019年3月植栽の太良次世代スギ造林試験地2019(試験地CD:203)、2020年3月植栽の鳥栖次世代スギ造林試験地2020(試験地CD:204)、2021年3月植栽の佐賀市次世代スギ造林試験地2021(試験地CD:205)、2022年3月植栽の佐賀市次世代スギ造林試験地2022(試験地CD:206)、2022年2月植栽の七山次世代スギ造林試験地2022(試験地CD:207)、2022年1月植栽の伊万里次世代スギ造林試験地2022(試験地CD:208)の7つの試験地において、植栽時から2022年の成長期を終えた時期までの各年の毎木調査結果をもとに、クローン別、調査地別に樹高を解析した。また、毎木調査は個体識別して実施しているため、当年度の期末の樹高から前年度の樹高を差し引くことで年間の樹高成長量を算出し、樹高成長量を解析した。

表-1 次世代スギ精英樹造林試験地設定状況及び毎木調査実施内容(2023年3月末時点)

試験地CD	試験地名称	場所	植栽年月	計測本数(本)										計測項目	計測年次	計測対象の F1個体の概
				合計	B-16	B-61	B-74	脊振 F1-15	大町 F1 20-04	太良 F1 08-02	その他F1	従来品種				
201	七山次世代スギ造林試験地2016	七山県有林内	2016.03	443			294						149	樹高、根本径、胸径	0-5年生	
202	七山次世代スギ造林試験地2018	七山県有林内	2018.03	354	38	39	83	61	37	59	0	37	樹高、根本径、胸径	0-5年生		
203	太良次世代スギ造林試験地2019	太良県有林内	2019.03	400	20	60	80	20	0	80	100	40	樹高、根本径、胸径	0-4年生		
204	鳥栖次世代スギ造林試験地2020	鳥栖県有林内	2020.03	230	46	46	46	46	10	18	18	0	樹高、根本径	0-3年生	1,200	
205	佐賀市次世代スギ造林試験地2021	佐賀市有林内	2021.03	710	128	206	110	113	27	26	28	72	樹高、根本径	0-2年生	400	
206	佐賀市次世代スギ造林試験地2022	佐賀市有林内	2022.03	316	48	48	48	48				96	樹高、根本径	0-1年生	2,700	
207	七山次世代スギ造林試験地2022	唐津市有林内	2022.02	391	80	100	120	63				28	樹高、根本径	0-1年生	1,600	
208	伊万里次世代スギ造林試験地2022	伊万里市有林内	2022.01	306	54	54	54	54				36	樹高、根本径	0-1年生		
209	伊万里次世代スギ造林試験地2023	伊万里市有林内	2022.01	270	45	45	60	45				45	樹高、根本径	0年生		
210	唐津次世代スギ造林試験地2023	唐津市有林内	2023.03	120	24	36	36	12				12	樹高、根本径	0年生		
合計				3,540	483	634	931	462	74	183	323	450			5,900	

1-3 結果

表-2に今年度の調査結果、図-1にこれまで継続して実施してきた各年の樹高調査結果を示す。試験地202、試験地203の4成長期後の結果から、次世代スギ精英樹は、現在の普及品種である藤津14号に対し、明らかに高い樹高を示した。次世代スギ精英樹のクローン間の比較をすると、試験地202、試験地203および試験地204の3成長期後の結果では、B-16、B-54、B-61、B-74が他のクローンより樹高の高いグループという傾向を示しており、次に脊振F1-15という順であった。また、4成長期後の結果、樹高の高いグループのなかでも、B-16が他のクローンよりも、成長に優る傾向が確認された。

図-2の樹高成長量解析結果においても、図-1の樹高解析結果と同様の傾向が確認されたが、試験地202の成長の早い3クローン(B-16、B-61、B-74)に着目すると、1成長期目に50cm(中央値)程度、2成長期目に80cm(中央値)程度、3成長期目に60~80cm(中央値)程度、4成長期目に60~75cm(中央値)、5成長期目に35~50cm(中央値)程度となり、2成長期目をピークに、3~5成長期目に成長が鈍化する傾向が多くクローンで確認された。一方、試験地203の成長の早いグループのクローンは、1成長期目に25-40cm(中央値)程度、2成長期目に75cm(中央値)程度、3成長期目に90~110cm(中央値)程度、4成長期目に75~100cm(中央値)程度となり、4成長期まで成長を維持するクローン(B-16、B-54、脊振F1-15)が確認された。

1-4 考察

昨年の試験結果と同様、次世代スギ精英樹6クローンのうち、サガンスギとして普及を開始したB-16、B-61、B-74および脊振F1-15は、現在の普及品種である藤津14号や唐津6号と比較すると、植栽初期の成長差は顕著であり、サガンスギの初期成長の良さを再確認できた。

一方、調査地間で成長量を比較すると、年間成長量は3成長期目および4成長期目で調査地202と調査地203で異なった傾向を示したことから、斜面上部に位置する調査地202と斜面下部に位置する調査地203の立地条件の違いが、3成長期頃から成長に影響していると考えられた。

九州各県および森林総合研究所九州支所ならびに九州育種場と4か年に及ぶ共同研究による成果から、下刈完了基準は、競合する雑草木の種類によって異なるが、樹高2.0~2.5m程度が下刈完了の一つの目安となりつつある。今回の調査地202、203、204の結果から、成長の早いクローンは植栽後3~4年で、2.5mに達することが明らかになってきた。この高さに達するために、普及品種である藤津14号が調査地202で5年を要していることと比較すると、サガンスギを普及することで、下刈を1~2年程度削減できることになる。

また、2019年から開始したこの課題では、比較的面積の広い造林試験地を設

令和4年度 佐賀県林業試験場業務報告書

表-2. 2022年度造林試験地別毎木調査結果(図-1の各試験地の最下段のグラフと対応)

試験地：202 七山次世代スギ造林試験地2018 2018年3月植栽 調査5成長期後											
試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
202	5	第2世代	B-16	1216_B-16	37	411.0	416.5	± 65.8	79.2	78.5	± 12.9
202	5	第2世代	B-61	1261_B-61	39	364.0	370.7	± 52.6	62.5	64.8	± 11.7
202	5	第2世代	B-74	1274_B-74	82	398.0	387.6	± 59.6	75.2	75.3	± 12.0
202	5	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	60	344.0	335.8	± 49.4	77.3	77.5	± 16.2
202	5	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	35	310.0	310.7	± 56.1	65.5	66.0	± 15.7
202	5	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	61	339.0	347.0	± 56.7	74.8	74.9	± 14.7
202	5	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	37	250.0	243.4	± 49.2	68.8	70.3	± 13.4
試験地：203 太良次世代スギ造林試験地2019 2019年3月植栽 調査時4成長期後											
試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
203	4	第2世代	B-16	1216_B-16	20	401.0	391.2	± 65.5	71.2	71.5	± 15.4
203	4	第2世代	B-54	1254_B-54	19	369.0	368.7	± 28.8	69.4	66.3	± 6.2
203	4	第2世代	B-61	1261_B-61	51	320.0	320.4	± 47.0	48.9	49.7	± 9.5
203	4	第2世代	B-74	1274_B-74	77	330.0	333.5	± 45.8	58.5	60.0	± 10.5
203	4	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	68	277.5	272.7	± 41.3	54.9	54.4	± 12.8
203	4	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	19	330.0	322.5	± 45.0	65.9	60.1	± 12.7
203	4	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	37	226.0	225.5	± 38.5	56.0	55.4	± 10.6
203	4	第2世代	B-14	1214_B-14	10	363.0	353.4	± 60.3	60.4	60.0	± 16.0
203	4	第2世代	B-22	1222_B-22	38	336.5	328.7	± 42.2	67.4	67.4	± 10.8
203	4	第2世代	B-27	1227_B-27	9	345.0	345.2	± 28.7	59.9	62.8	± 11.7
203	4	第2世代	B-56	1256_B-56	19	276.0	291.1	± 37.4	56.9	56.1	± 8.1
試験地：204 鳥栖次世代スギ造林試験地2020 2020年3月植栽 調査時3成長期後											
試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
204	3	第2世代	B-16	1216_B-16	38	242.5	233.1	± 47.8	37.2	35.5	± 8.4
204	3	第2世代	B-54	1254_B-54	6	226.0	220.8	± 45.0	33.5	31.6	± 7.3
204	3	第2世代	B-61	1261_B-61	40	216.0	223.7	± 48.8	30.0	31.8	± 6.8
204	3	第2世代	B-74	1274_B-74	39	220.0	220.5	± 42.1	31.3	32.4	± 6.8
204	3	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	15	199.0	194.5	± 29.8	32.1	30.3	± 6.0
204	3	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	5	172.0	174.0	± 29.5	28.4	30.2	± 5.4
204	3	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	40	182.0	183.2	± 41.6	30.8	32.1	± 9.9
204	3	第2世代	B-14	1214_B-14	9	277.0	284.4	± 22.8	42.7	42.0	± 4.2
試験地：205 佐賀次世代スギ造林試験地2021 2021年3月植栽 調査時2成長期後											
試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
205	2	第2世代	B-16	1216_B-16	117	133.0	136.8	± 29.5	21.5	22.1	± 6.9
205	2	第2世代	B-54	1254_B-54	14	159.0	157.5	± 33.4	22.9	22.9	± 6.1
205	2	第2世代	B-61	1261_B-61	198	137.5	106.3	± 79.4	20.9	19.2	± 8.2
205	2	第2世代	B-74	1274_B-74	99	142.0	146.8	± 35.3	22.2	22.8	± 4.8
205	2	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	25	79.0	82.8	± 29.2	14.7	15.6	± 3.9
205	2	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	23	90.0	94.6	± 22.7	15.3	15.9	± 4.0
205	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	109	140.0	137.6	± 28.6	22.0	22.0	± 5.0
205	2	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	8	128.5	128.8	± 14.8	26.8	29.3	± 6.8
205	2	第1世代	唐津6号	3167_kara6	59	90.0	89.7	± 15.1	24.8	25.6	± 6.0

表-2 . 2022年度造林試験地別毎木調査結果(図-1の各試験地の最下段のグラフと対応)

試験地：206 佐賀市次世代スギ造林試験地2022 2022年3月植栽 調査時1成長期後

試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
206	1	第2世代	B-16	1216_B-16	47	89.0	89.1	± 11.2	14.4	14.4	± 2.5
206	1	第2世代	B-61	1261_B-61	48	79.5	77.3	± 12.5	11.8	11.8	± 2.0
206	1	第2世代	B-74	1274_B-74	47	97.0	101.9	± 18.6	15.0	14.8	± 3.1
206	1	第2世代	脊振F1_01-15	1354_sefu	48	86.5	86.3	± 12.5	13.5	13.7	± 2.7
206	1	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	45	77.0	81.9	± 18.3	14.5	14.9	± 2.9
206	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	47	79.0	79.2	± 6.7	17.9	17.9	± 3.6

試験地：207 七山次世代スギ造林試験地2022 2022年2月植栽 調査時1成長期後

試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
207	1	第2世代	B-16	1216_B-16	73	80.0	80.8	± 14.1	11.1	11.3	± 2.6
207	1	第2世代	B-61	1261_B-61	94	69.0	73.6	± 22.6	9.0	9.7	± 2.6
207	1	第2世代	B-74	1274_B-74	110	78.0	80.9	± 20.7	10.3	11.1	± 3.1
207	1	第2世代	脊振F1_01-15	1354_sefu	49	83.0	79.4	± 14.1	10.0	9.7	± 1.9
207	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	27	87.0	85.5	± 7.5	13.3	13.2	± 2.2

試験地：208 伊万里次世代スギ造林試験地2022 2022年1月植栽 調査時1成長期後

試験地	林齢	世代	クローン名	クローン名 (コード表記)	個体数	樹高(cm)			根元直径(mm)		
						中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
207	1	第2世代	B-16	1216_B-16	49	100.0	98.6	± 20.5	13.5	13.2	± 3.1
205	2	第2世代	B-54	1254_B-54	35	94.0	95.1	± 17.0	12.4	12.4	± 1.7
207	1	第2世代	B-61	1261_B-61	54	93.0	92.6	± 14.8	11.7	11.6	± 2.4
207	1	第2世代	B-74	1274_B-74	53	94.0	94.8	± 16.0	12.2	12.6	± 2.6
207	1	第2世代	脊振F1_01-15	1354_sefu	53	95.0	93.6	± 11.7	11.2	11.4	± 1.7
207	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	53	80.0	78.9	± 7.8	13.2	13.2	± 2.0

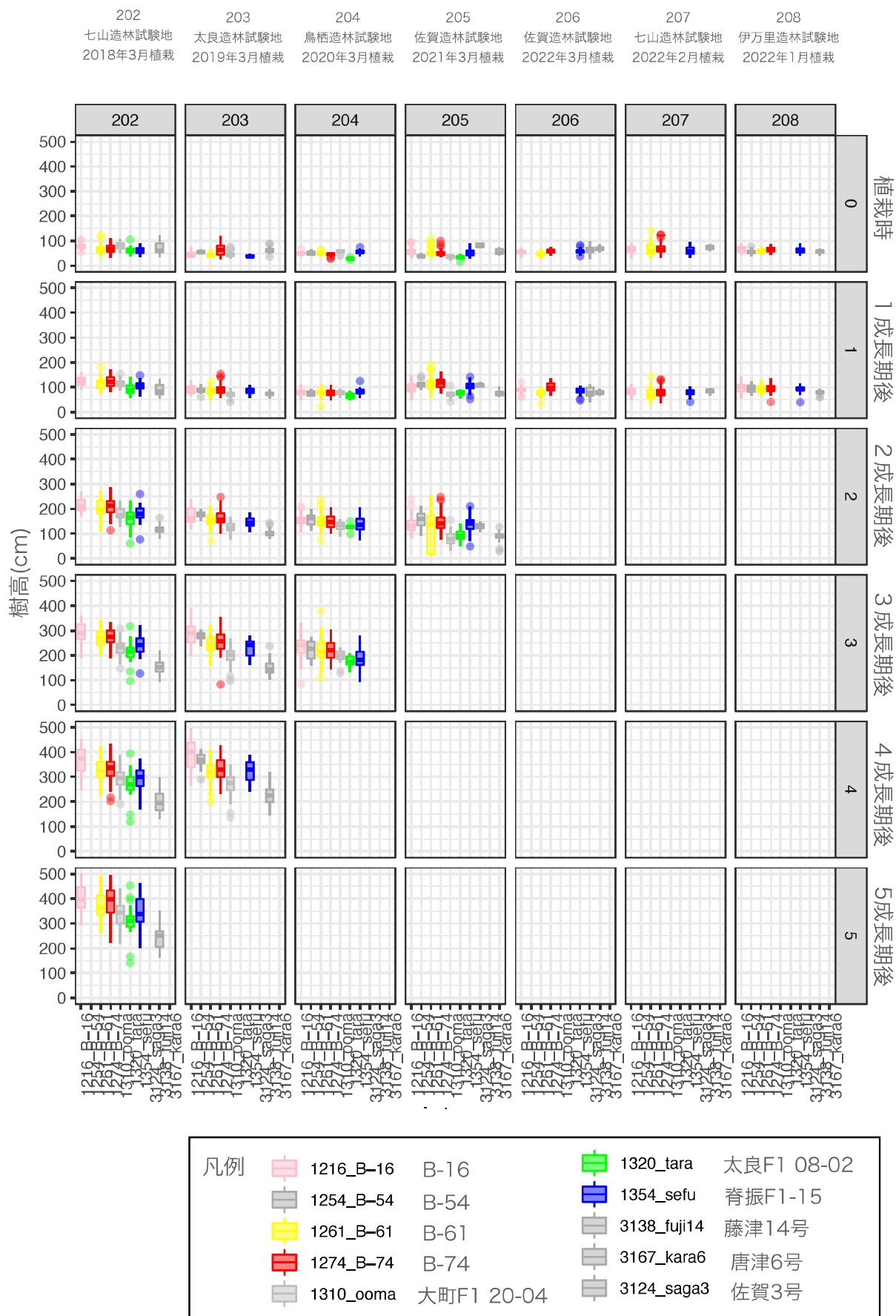


図-1 樹高(試験地別、各年次別)

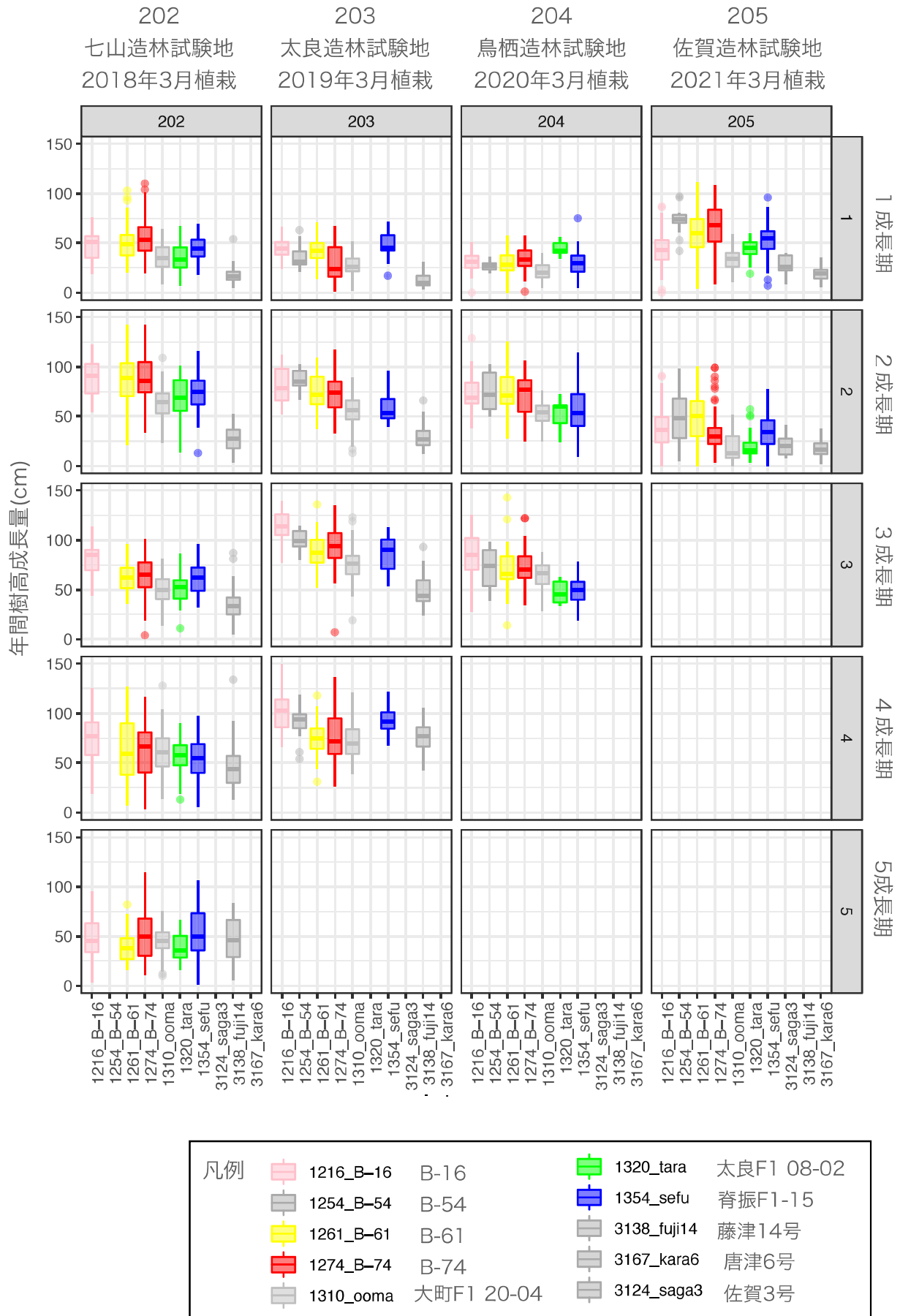


図-2 年間樹高成長量 (試験地別、各成長期別)

定できた（試験地 204:約 0.7ha、試験地 205:約 0.5ha、試験地 206:約 1.5ha、試験地 207:約 1.0ha）。これらの試験地は、サガンスギを用いた効率的な施業方法を開発し、その施業方法を実証するために、効果的に活用されることが期待される。その具体的な内容としては、一貫施業による1年目の下刈省略や、真夏の厳しい作業環境を避けた「春下刈り」や「秋下刈り」の導入、下刈最終年度の適切な下刈実施時期の検討である。これらの初期保育期間の施業内容の見直しと、その後、数年経過した後の除伐の必要性などを、サガンスギの本格的な普及に先行して検証していく必要がある。

さらに、今年度の調査では、調査地 205 で、根元から倒伏する個体が確認された。現地での観察から、原因は地上部が強風で揺られ、コンテナ苗の根鉢と土壌の間に隙間ができたことによると考えられた。この試験地は、調査地 201～204 と異なり、植栽経験の少ない林業関係者を対象に植栽研修を兼ねて実施したが、植栽手間の省力化を重視し、やや浅く植えられた個体が多かった。対処法としては、成長に優れた品種はやや深めに植栽することで植栽初期の倒伏が避けられると考えられる。このような植栽初期の不良は、今後造林地が拡大するにつれて確率論的に増えてくることが、過去の歴史からも予見される。実際、調査地 206 や調査地 207 では、1 m 近くの大苗（露地）で植栽直後に枯死が発生した。通常サイズのコンテナ苗の枯死個体が少なかったことを踏まえると、3月に気温が急激に上昇したことや植栽面積が大きく林地での苗の保管時に根が傷んだことなどが推察される。

今後、収穫適期の県内の人工林において増えてくることが予測される再造林に合わせて、新品種の特長、温暖化の影響などの情報を提供しながら、サガンスギの着実な普及につなげていきたい。

2. 成長に優れた苗木による施業モデルの構築(木材強度評価を含む)

2A. 強度試験用材料の説明と施業モデル

2A-1 本項の目的

2019年度から2022年度にかけて実施した強度試験の材料について、DNAによるクローン鑑定結果、クローン別のサンプリング対象とした検定林と個体数、伐採時の個体サイズ、調査対象個体の樹木位置図、調査対象検定林の密度管理状況について報告する。さらに、検定林の調査から得られた知見をもとに、施業モデルについて検討する。

2A-2 方法

DNAによるクローン鑑定

クローン鑑定は、多型性の高い4つのSSRマーカー(Cjgssr77、Cjgssr175、CS033、CS1525)を用いて行った。佐賀県で管理している第1世代精英樹は、これまでの研究により44クローン、第2世代は101クローンにこれらのSSRマーカーを用いて識別できることが分かっており(研究報告として報告予定)、識別された遺伝子型をもとに、今回調査対象とした399個体をジェノタイピングしてクローン同定した。

伐採個体のデータ管理

伐採個体は、令和2年度の業務報告書で解説した検定林の個体データベース(クローン名、位置情報、毎木調査結果などを情報として保有)を利用して選定した。このデータベースは、各個体が個体位置を世界測地系の座標データで保有しており、GIS上での図化や解析に利用でき、伐採個体の環境条件を整理する際にも活用できる。さらに、今回調査した個体には、新たに3桁のWoodidを付与した。Woodidは、研究期間中の4年間に実施した1回目～5回目の伐倒調査(1回の調査あたり約80個体をサンプリング)に対応するように、それぞれ1桁目を1～5とした(例、3回目の調査の25番目の個体:Woodid 325)。Woodidをkeyとした強度試験用データベースを新たに作成し、おもとの検定林の個体データベースの個体keycodeにより連携させ、各種解析に利用した。

サンプリングの方針

原則1クローンあたり、4個体となるようにサンプリングした。成長の早いクローンや普及品種とし有望な第2世代およびその親などの育種上重要なクローンは、できるだけ複数の検定林からサンプリングするようにした。また、材質の遺伝について理解を深めるため、親子関係に着目し、可能な限り、調査対象と

した第2世代クローンの親（第1世代クローン）を含むようにした。なお、親子関係についても SSR マーカーを用いて確認し、約半世紀前に実行・整理された交配記録の再構築を事前に行った。この内容についても研究報告として別途報告予定である。

伐採個体の生育条件

伐採個体のサイズは遺伝的要因と環境要因により決まるため、どのような立地条件で生育したか明らかにするため、10年生時点の毎木調査結果と樹木位置図から、伐採個体の生育した箇所（箇所の10年次の地位）を算出した。10年次地位の算出には、検定林内の地形要素に起因して生じる空間自己相関を考慮して算出した（九州森林学会（2021年開催）で報告）。また、生育した林分の密度環境も個体サイズに影響するため、過去の定期調査の結果をもとに、間伐率や間伐時期などの施業履歴についてまとめた。

2A-3 結果と考察

DNAによるクローン鑑定

表-1に示すクローン鑑定の結果、399個体のうち23個体（5.8%）が検定林設定時に作成された検定林台帳（クローン配置図）と異なっていた。これらは、検定林の植栽時や苗木の育成時点の誤りと考えられるが、DNAなどの識別技術がなかった1965～1989年にかけて準備された材料であることを踏まえると、精度の高い管理が行われてきたと言える。また、誤植と判断された23個体のうち14個体は、他のクローンと遺伝子型が一致したためクローン名を修正して強度試験結果に反映した。

表-1 SSR解析によるクローン鑑定結果

	個体数	割合
伐倒個体数	399	-
計画通り	376	94.2%
誤植個体	23	5.8%
修正可能個体	14	-
不明個体	9	-

伐採個体の概要（クローン・サイズ）と生育条件（林齢、地位、管理密度）

各クローン別、検定林別の伐採個体数と個体位置図について表-2および図1に示す。成長の早い第1世代の佐賀3号、藤津5号、伊万里1号、第2世代のB-74などは複数検定林からサンプリングして、データの信頼性を高めた。次に、検定林別に各クローンの個体サイズの概要について表-3、および図-2に示す。九佐10号検定林は、37または39年生時点に伐採しており、個体サイズが大きく、その傾向はDBHで顕著であった。一方、その他の3つの検定林の個体は30年前半で、ほぼ同林齢で伐採しており、この林齢は成長の早い品種の収穫時期としても期待される時期である。30年前半の3つの検定林で、第2世代の個体の多くが樹高20mを超えていることが確認できる（図-2、表-3）。ただし、伐倒個体の樹木位置図（図-1）からは、伐採した個体は、比較的地位の高い場所に分布していることが分かる。このことは、比較的サイズの大きな個体を強度試験用にサンプリングした結果であり、30年前半で収穫するには、遺伝的効果（品種）だけではなく、良い立地条件も必要であることを示唆する結果となった。しかし、現在の普及品種である第1世代の藤津14号や唐津6号と第2世代クローンとの比較では、近年設定した造林試験地と同様、どの検定林においても成長の差は大きかった（表-3）。

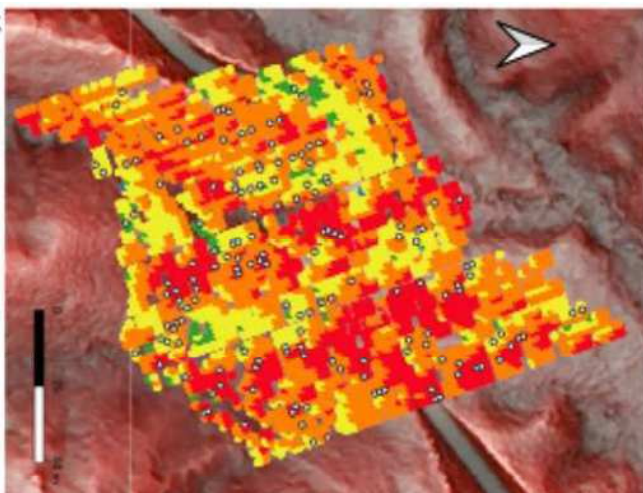
最後に、個体サイズに影響を与える林分密度について、検定林の施業履歴が存在しないため、過去の5年に1度の定期調査結果（表-4）をもとに整理した。全ての検定林の植栽密度は3,000本/haである。九佐10号検定林は、10～15年次および15～20年次の間に個体数が減少している。特に15～20年次の減少は大きく、列状間伐が実施されていることや検定林内に林道が開設されたことによると考えられる。地位が高いことに加え管理密度が低く抑えられたことが、結果として大きなDBHを記録することになったと考えられる。九佐13号検定林は第1世代の植栽エリアのデータしか存在しないが（第2世代エリアは不定期な調査が行われてきた）、15～20年次および20年次以降に個体数が減少している。20年次以降の間伐は、最近の間伐であることが施業履歴で確認できた。九佐15号および九佐16号検定林は、それぞれ15～20年次、10～15年次に間伐が実施されたと推察されるが、比較的高い密度で管理されてきたことが分かる。20年次の60%程度の残存個体数は、現在推奨されつつある2,000本/ha植栽と同程度であることを踏まえると、適正な密度管理が行われれば、DBHはさらに増加した可能性もある。

令和4年度 佐賀県林業試験場業務報告書

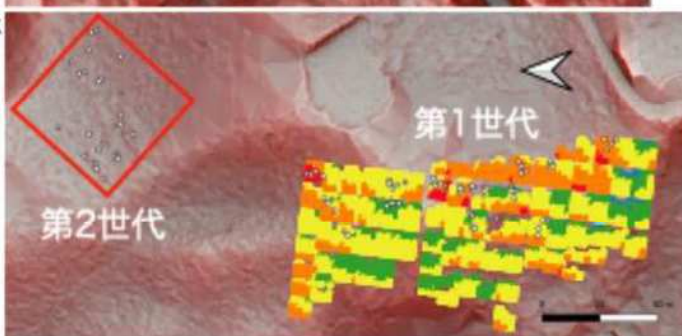
表-2 クローン別の強度試験用の伐倒個体一覧 (SSR解析によりクローン鑑定済)

世代	クローン名	九佐10号検定林		九佐13号検定林	九佐15号検定林	九佐16号検定林	総計
		1回目	2回目				
		個体ID 200番台	個体ID 500番台	個体ID 300番台	個体ID 100番台	個体ID 400番台	
1	佐賀1号		3				3
1	佐賀3号	3		4	4	4	15
1	藤津1号		3	4			7
1	藤津2号			4			4
1	藤津5号		3	4		4	11
1	藤津10号	4	4	4		4	16
1	藤津14号	4		4	2	4	14
1	藤津15号		4				4
1	藤津17号	1		4			5
1	藤津25号	1	6	4		4	15
1	藤津26号		4				4
1	藤津28号				2		2
1	藤津29号		4	4			8
1	伊万里1号	4		4	3	3	14
1	伊万里2号	4	4				8
1	神崎1号	3			4		7
1	神崎2号	5					5
1	神崎4号				2		2
1	唐津1号		6	4		4	14
1	唐津3号		4				4
1	唐津4号					4	4
1	唐津6号	3		4	2		9
1	唐津7号	1		4			5
1	唐津8号		3			4	7
1	唐津10号		4				4
1	杵島1号			4	4		8
1	杵島2号		1				1
2	A-12				4		4
2	A-20				4		4
2	A-21				4		4
2	A-37				4		4
2	A-40			4			4
2	A-48				3		3
2	A-66			4			4
2	A-71				3		3
2	B-10				4		4
2	B-14					4	4
2	B-16					2	2
2	B-18					4	4
2	B-20			4	4		8
2	B-22					4	4
2	B-27					4	4
2	B-40					4	4
2	B-54			4	4		8
2	B-56					4	4
2	B-59				4		4
2	B-61					4	4
2	B-65			3	3		6
2	B-74			5	7	3	15
2	B-82			3			3
2	B-93				4		4
2	B-94			4	3		7
2	伊万里F1-2	4					4
2	伊万里F1-6	5					5
2	伊万里F1-7	4	1				5
2	伊万里F1-8	3					3
2	伊万里F1-10	4					4
2	伊万里F1-11		4				4
2	伊万里F1-12		4				4
2	脊振F1-1	3					3
2	脊振F1-3	3					3
2	脊振F1-4	2					2
2	脊振F1-5		4				4
2	脊振F1-6	1					1
2	脊振F1-7		3				3
2	脊振F1-8		1				1
2	脊振F1-9	5					5
2	脊振F1-10		4				4
2	脊振F1-11	4					4
2	脊振F1-12	4					4
2	脊振F1-15	4					4
2	脊振F1-16		3				3
2	脊振F1-19		1				1
—	不明個体	2	2	1	2	2	9
小計	第1世代	33	53	56	23	35	200
	第2世代	46	25	31	55	33	190
	合計	81	80	88	80	70	399

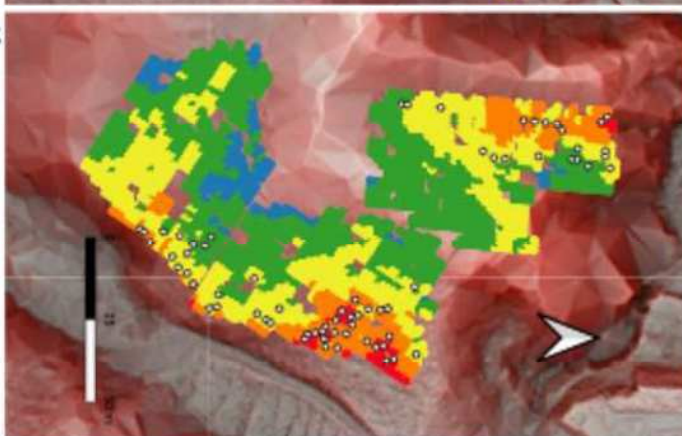
九佐10号検定林
(唐津市七山)



九佐13号検定林
(伊万里)



九佐15号検定林
(富士町市川)



九佐16号検定林
(佐賀市三瀬)

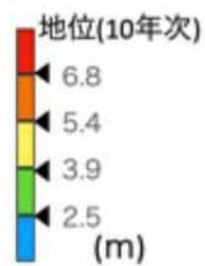
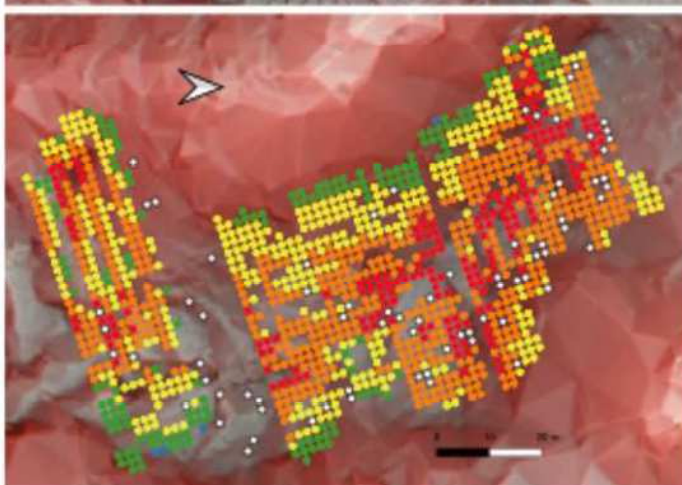


図-1 強度試験用伐採個体(白丸)の位置と地位(10年次)の関係
背景地図は尾根は明るく、谷は暗く描写される赤色立体図を用いた。

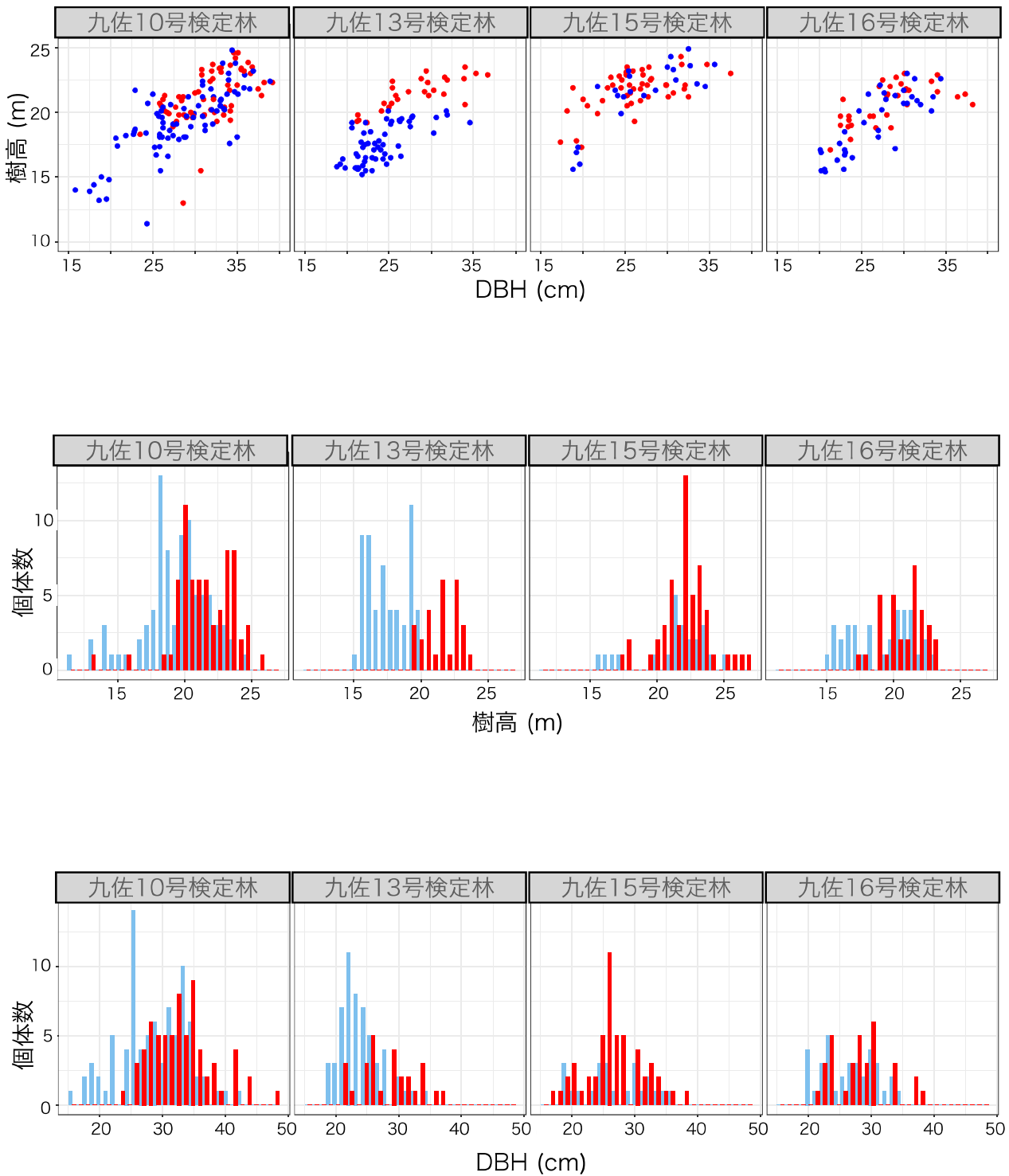


図-2 強度試験用個体のサイズ分布（上段：DBHと樹高、中段：樹高の分布、下段：DBHの分布）
 青色は第1世代精英樹、赤色は第2世代を示す。

2A-4 まとめ

強度試験用に用いた個体の概要について、クローン鑑定、品種、サイズ、立地環境、密度管理から記述した。選抜された2世代（第1世代および第2世代）の収穫時期の強度試験データは貴重であり、今後のスギ材質育種の基礎データとして活用が期待される。木材の強度は、未成熟材・成熟材の違いや年輪幅の効果など、クローン間の違いだけではなく生育環境に左右される要素も大きいとされているため、この章でまとめた基礎的な情報は、強度試験結果を解釈する際に活用できる。

また、サンプリング時に、全ての伐採個体を対象に強度試験用の丸太だけではなく、樹幹解析用の円盤も2mおきに採取したため、今後実施予定の収穫までの成長解析や蓄積量の予測においても、本稿で記載した基礎的な情報を踏まえながら結果を解釈していきたい。

4年間の研究から得られた知見から、初期保育期間の成長予測と下刈期間の短縮、成長が早い品種の木材強度特性については明確になってきたが、成長が優れた品種の収穫までの成長予測については、十分な解析には至らなかった。本稿で記載した収穫時期を迎えた個体はあるものの、比較的立地条件の良い場所から得られた個体であったことと、立地条件により成長速度が大きく異なるということが明らかになってきたためである。しかしながら、これまでの本県での主力品種である藤津14号（アヤスギ）の成長調査をもとに作成された林齢-樹高曲線では、樹高20mに達するまで45年程度要していたものが、本研究で調査対象とした成長の早い品種では30年程度で20mを超えていたことを踏まえると、サガンスギの導入により大幅なコスト削減が十分期待できる。今後、土地の生産性の指標である地位に対応した林齢と樹高の関係、その時間的な変化に対応した、単木あたりの蓄積量が林分密度とあわせて明確になれば、詳細な収穫予測が可能となる。これらの解析のための情報源は、植栽個体数の多い成長の早い第1世代精英樹（佐賀3号、藤津5号、伊万里1号）の検定林での毎木調査結果や樹幹解析の結果が候補に挙げられる。一方、収穫予測には新規に植栽を予定する箇所での地位がどの程度か見積もることが当然重要になってくる。この点に関しては、航空機LiDAR（レーザー測量）から得られる樹高データと森林簿情報から得られる林齢情報を活用し、県内の森林の地位をGIS上に示す課題に令和5年度から取り組む計画である。

現時点で提案できる施業モデルとしては、主伐直後に地拵えを実施し、植栽までを一連の流れで行う一貫施業により植栽を実施することで、競合する雑草の影響を少なくすることがまず重要である。得られる材の強度特性や更新の確実性を確保するために植栽密度は2,000本/haとし、下刈回数は樹高が2.5mに達するまでの3回程度を推奨する。これらの提案は、確実な更新を達成するため

の安全側に立った内容であり、今後数年は、普及が始まったばかりのサガンスギが造林現場に定着するまでの移行期間ととらえ、予期せぬ事態が発生することも念頭におきながら、対応していく必要がある。クローン林業地域である九州で新しい挿木品種を大幅に導入することは珍しいケースであり、研究開発担当と普及指導担当が協力体制を築きながら、採穂園の造成、育苗、植栽、初期保育の各段階を注視していかなければならない。

小課題2：成長に優れた苗木による施業モデルの構築（木材強度評価）

2B-1 目的（木材強度評価）

次世代スギ精英樹（サガンスギ等）の6クローンについては選抜の過程で、概ね20年生時にFAKOPPによる立木状態での強度評価がなされているが、丸太及び製材品の強度特性との関係は明らかになっていない。

そこで、県内に設定しているF1選抜クローン試験林7箇所のうち4箇所（九佐10号検定林、九佐13号検定林、九佐15号検定林、九佐16号検定林）から次世代スギ精英樹（サガンスギ）4クローン（B-16, B-61, B-74, 脊振 F1-15）を令和元年度から令和4年度にかけて伐採・搬出し、立木・丸太・製材の各段階における強度特性を調査することとした。また、次世代スギ精英樹（サガンスギ）以外のF1クローン及び従来のスギ精英樹についても、併せて調査を実施した。

前年度は九佐16号の結果について報告したところであるが、今年度は九佐10号検定林の試験結果を報告する。

また、今回R元～R3に伐採・搬出し当試験場で保管していた2番玉、3番玉についても固有振動周波数による強度特性調査を実施したため併せて報告する。

2B-2 試験の概要

F1選抜クローン試験林から、次世代スギ精英樹（サガンスギ等）及び従来のスギ精英樹について、立木段階で胸高直径及び応力波伝播速度測定後、地上高30cmの位置で伐倒し、長さ2mに玉切りした丸太を本試験場内に運搬した。

場内で丸太段階での調査後、1番玉について県内製材所にて髓を対称とし、50mm×104mmの角材を採取可能な限り製材した。製材後、蒸気式乾燥機を用いて人工乾燥を実施した。その後、38mm×89mmに修正挽きを行い、曲げ破壊試験を実施することとした。2番玉、3番玉については乾燥後の固有振動周波数調査までとした。

なお、各段階の調査項目は次のとおりとした。

立木段階：胸高直径、応力波伝播速度

丸太段階：長さ、重量、末口、中央、元口径、固有振動周波数

製材段階（乾燥前）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、固有振動周波数、
年輪数、年輪幅、個体コード貼り付け

製材段階（乾燥後）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、固有振動周波数

製材段階（修正挽き後の曲げ破壊試験直前）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、
固有振動周波数、曲がり、反り、節・材面割れ等の欠点調査、
年輪幅（末口・元口）、全乾法による含水率測定

表-1 試験体概要

実施年度	検定林	場所	林齢	伐倒本数	丸太数	製材数	次世代スギ精英樹	他F1クローン	従来精英樹	人工乾燥方法
R1	九佐15号検定林	佐賀市富士町	31	80	240	293	B-74	13クローン	8クローン	中温乾燥(※1)
R1~R2	九佐10号検定林	唐津市七山	37	81	243	344	脊振F1-15	7クローン	14クローン	中温乾燥(※2)
R2	九佐13号検定林	伊万里市二里町	31・33	88	264	244	B-74	12クローン	10クローン	中温乾燥(※2)
R2~R3	九佐16号検定林	佐賀市三瀬村	31	70	209	246	B-16,B-61,B-74	6クローン	9クローン	中温乾燥(※2)
R3~R4	九佐10号検定林	唐津市七山	39	80	240	273	-	8クローン	14クローン	中温乾燥(※2)

(※1) 乾球温度90°C、湿球温度65°Cで5日間 (※2) 乾球温度90°C、湿球温度65°Cで3日間

2B-3 調査結果

【立木段階】

伐倒する立木について、ツリーソニック(TS)により応力波伝播速度を測定した。結果については図-1に示す。

全体の平均値は3,676m/sであり、サガンスギB-16の花粉親である唐津1号や唐津3号は、他のクローンに比べて応力波伝播速度が高い値を示した。一方で、サガンスギ脊振F1-15の花粉親である藤津26号や脊振F1-8、脊振F1-16、脊振F1-19、唐津8号は他のクローンに比べて応力波伝播速度が低い値を示した。また、サガンスギB-74及びサガンスギB-61の花粉親である藤津29号やサガンスギB-16の母樹親である藤津5号についても他のクローンよりも比較的低い値を示す結果となった。

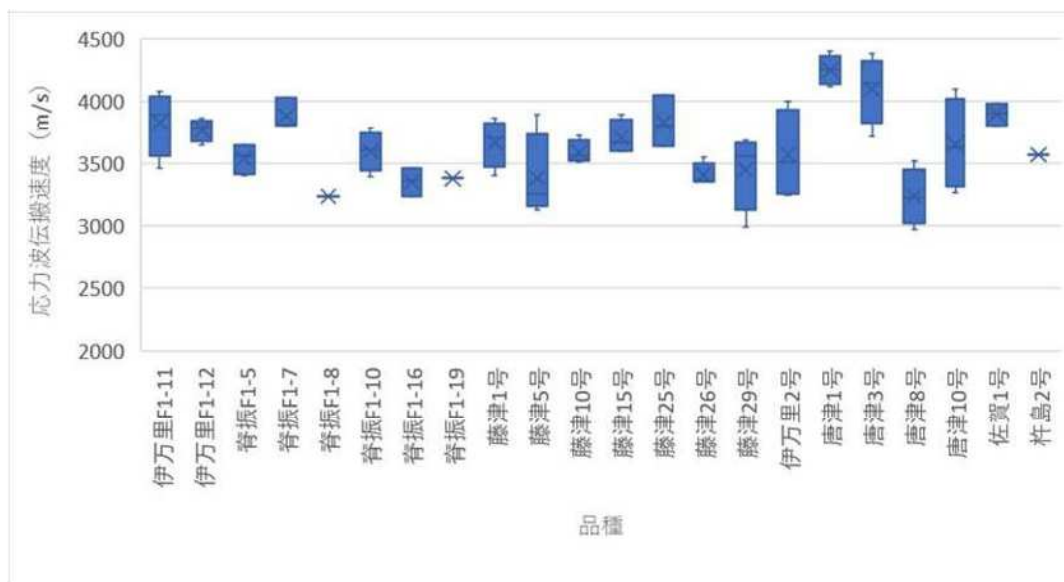


図-1 クローン品種別応力波伝播速度

【丸太段階】

根元（山側）から地上高 30cm の位置で伐倒後、地上高 0.4～2.4m の丸太を 1 番玉、地上高 4.4～6.4m の丸太を 2 番玉、地上高 8.4～10.4m の丸太を 3 番玉として玉切りし、本試験場内に運搬後、各種調査を実施した。各クローンの番玉別の縦振動ヤング係数の調査結果について、図-2 に示す。

一般的に樹幹内に占める未成熟材部の割合が大きいとされる 1 番玉はヤング係数が小さく、1 番玉より未成熟材部の占める割合が小さい 2 番玉、3 番玉と樹高方向に上がるにつれてヤング係数が大きくなるという傾向が知られている。今回の結果では、1 番玉から 3 番玉までの平均値がそれぞれ 7.03kN/mm²、7.43kN/mm²、7.16kN/mm² と 1 番玉と 2 番玉の間には同様の傾向が見られたが、3 番玉については、その傾向が確認できなかった。その要因として、2 番玉から 3 番玉にかけては、未成熟材の占める割合が小さくなるとともに、成熟材部の割合が大きくなり、縦振動ヤング係数に高止まりが生じた可能性が考えられる。

また、各クローンを比較すると、サガンスギ B-16 の花粉親である唐津 1 号やサガンスギ B-74 及びサガンスギ B-61 の母樹親である藤津 25 号、脊振 F1-7 は他のクローンよりもヤング係数が比較的高い値を示した。一方で脊振 F1-16 は他のクローンよりもヤング係数が低い結果となった。

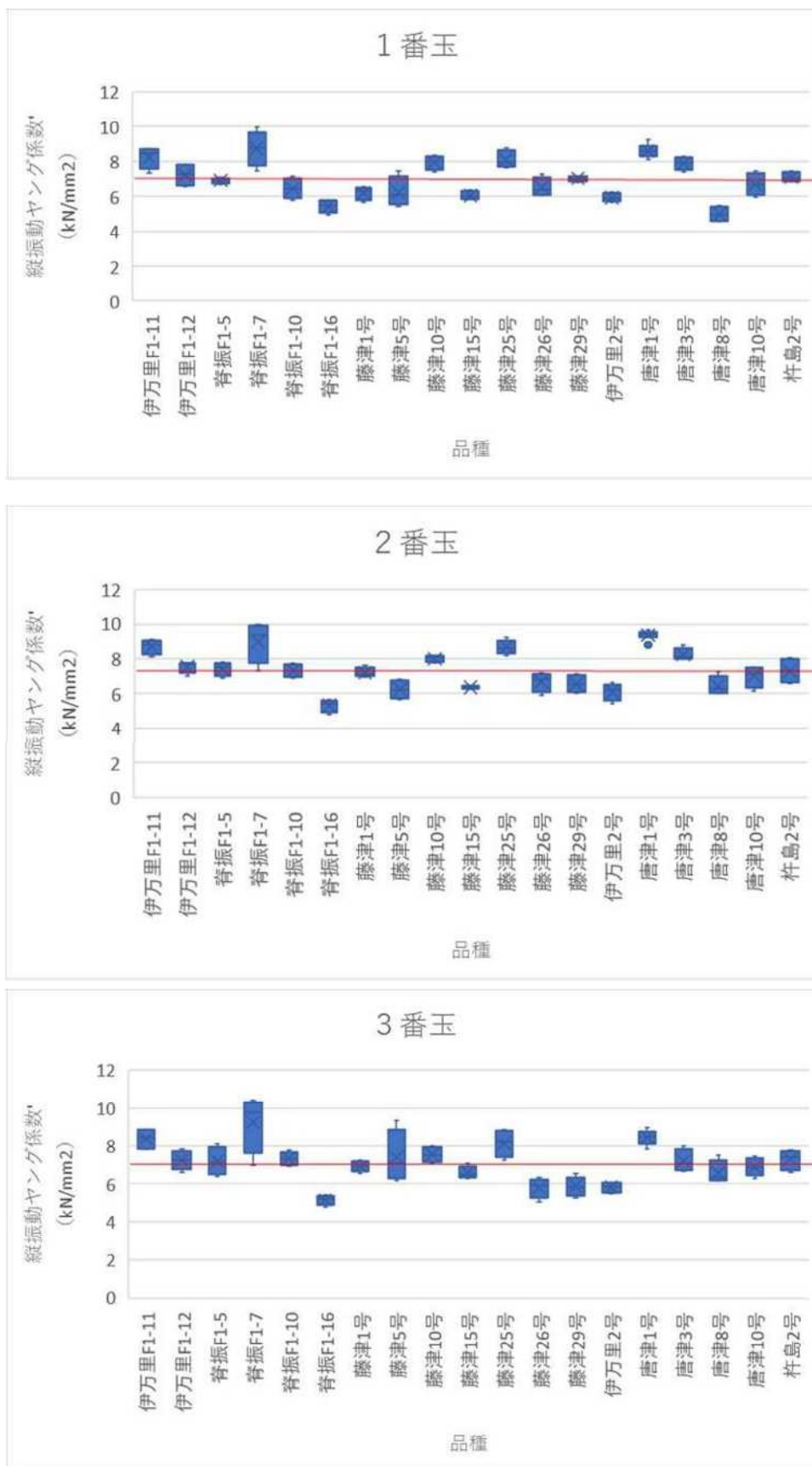


図-2 クローン品種の番玉別縦振動ヤング係数

【製材段階】

調査した丸太のうち、各クローンで最も強度特性が低いと考えられる1番玉から髓を対称として、図-3のような木取りで採取可能な限り試験体を作製した。

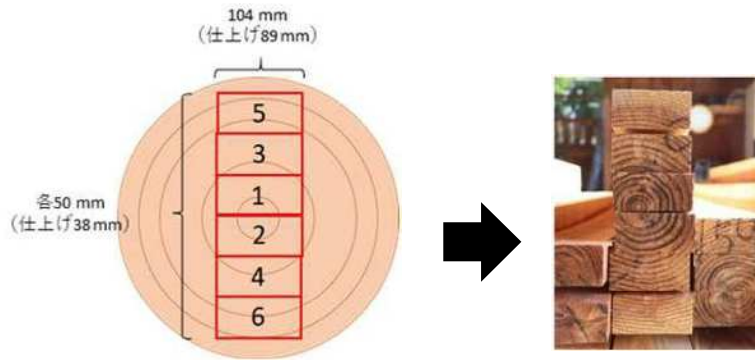


図-3 試験体製材木取り

全試験体の強度試験及び直前の各種測定結果について、図-4から図-7に示す。

製材の曲げヤング係数は曲げ強度や製材の縦振動ヤング係数と正の相関が見られ、特に製材の縦振動ヤング係数と曲げヤング係数には強い相関がみられた(図-5)。平均年輪幅と曲げヤング係数及び曲げ強度には負の相関がみられた。負の相関については、平均年輪幅と曲げヤング係数の方が平均年輪幅と曲げ強度よりも強い結果となった。

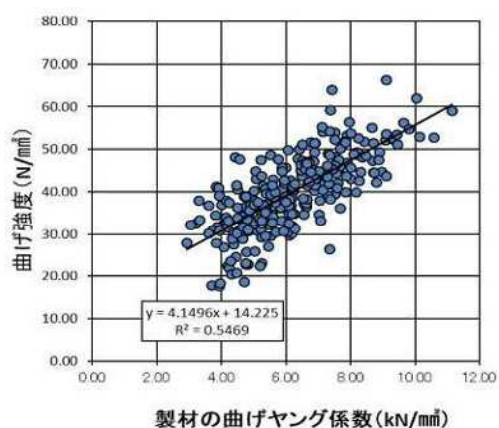


図-4 製材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係

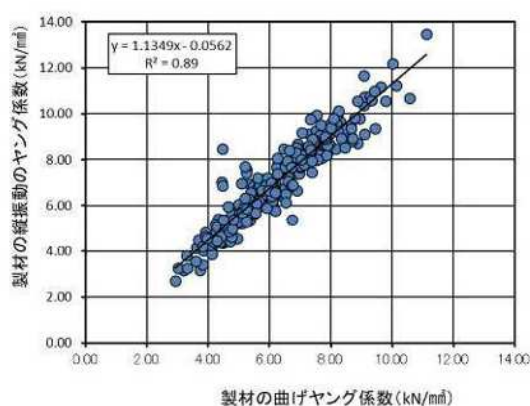


図-5 製材の曲げヤング係数と製材の縦振動ヤング係数の関係

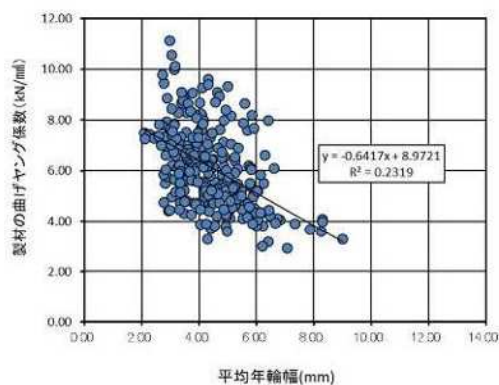


図-6 平均年輪幅と製材の曲げヤング係数の関係

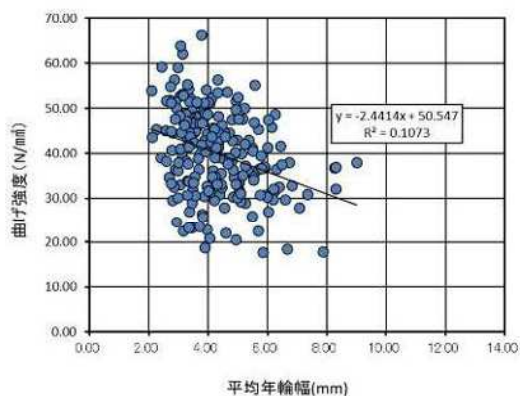


図-7 平均年輪幅と曲げ強度の関係

クローン別の採取箇所別の曲げヤング係数測定結果について図-8に示す。

全体的な傾向として、前年の結果と同じく採取箇所1～2よりも採取箇所3～4の方が曲げヤング係数が大きい値となった。採取箇所3～4よりも採取箇所5～6の曲げヤング係数が小さい値となっているものが見られた点については、採取箇所3～4から採取箇所5～6への放射方向への曲げヤング係数が高止まりしている可能性も考えられるほか、採取丸太の径級の違いによる試験体の採取数や採取箇所等が影響している可能性も考えられる。また、採取丸太の径級により採取箇所5～6のサンプル採取数が少なかったことも要因と考えられる。

また、一般的に髓に近い部分については、未成熟部の占める割合が多いため、ヤング係数は小さく、髓から放射方向に行くに従って強度特性は向上すると考えられており、今回の調査についても採材箇所3～4までは同様の傾向がみられた。

クローン別では、脊振 F1-7、藤津 10 号、サガンスギ B-16 の花粉親である唐津 1 号については髓側である採材箇所 1～2 においても比較的高い強度を示していることが分かる。

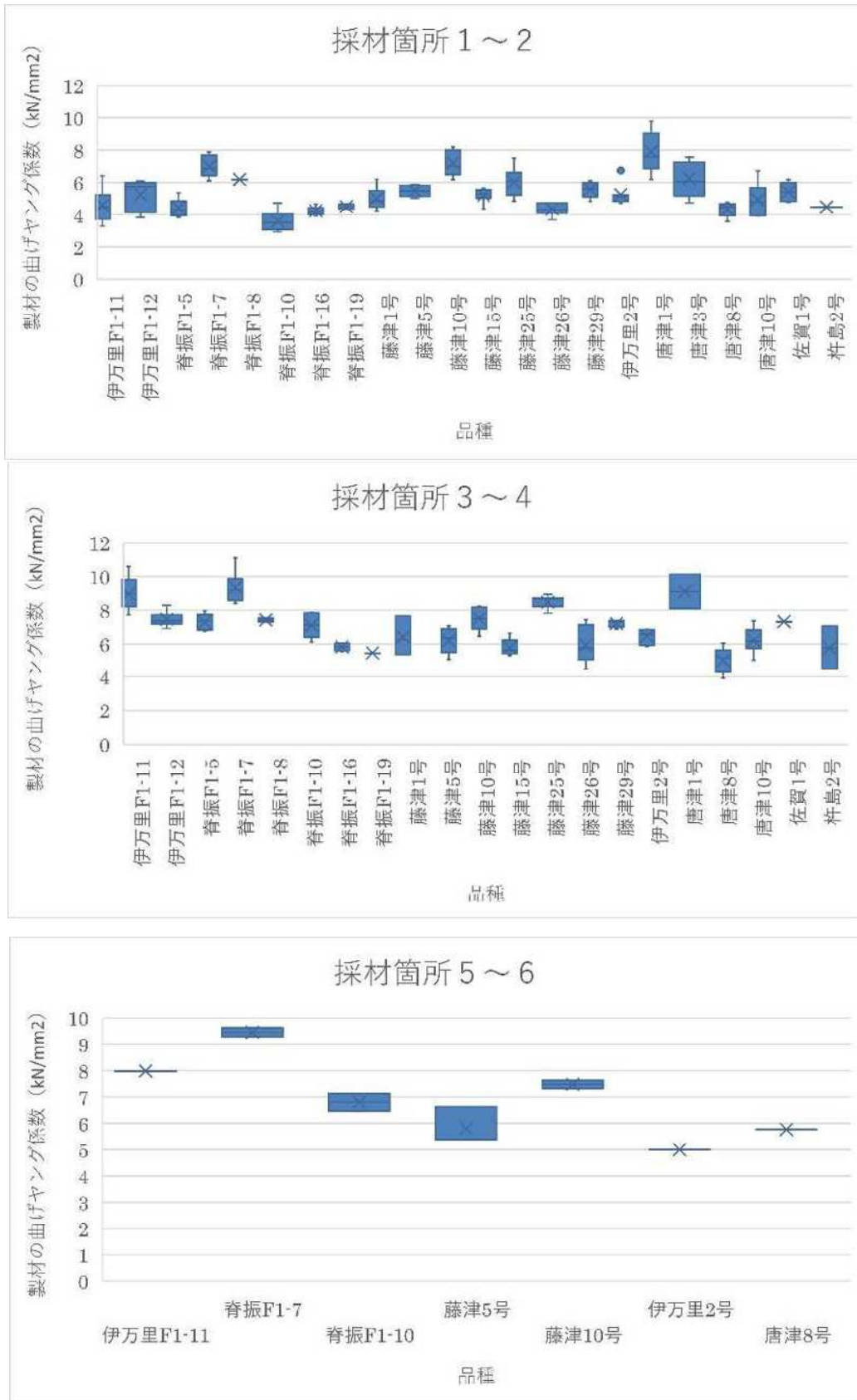


図-8 クローン別採取箇所別の曲げヤング係数

クローン別の年輪幅と曲げヤング係数の関係について図-9-1~3に示す。年輪幅と曲げヤング係数の間には多くの品種で負の相関がみられたが、クローン毎にその傾きや切片が異なっていた。年輪幅は3mm程度から6mm程度の材が多かった。クローン間では、脊振F1-7が曲げヤング係数で高い値を示した。

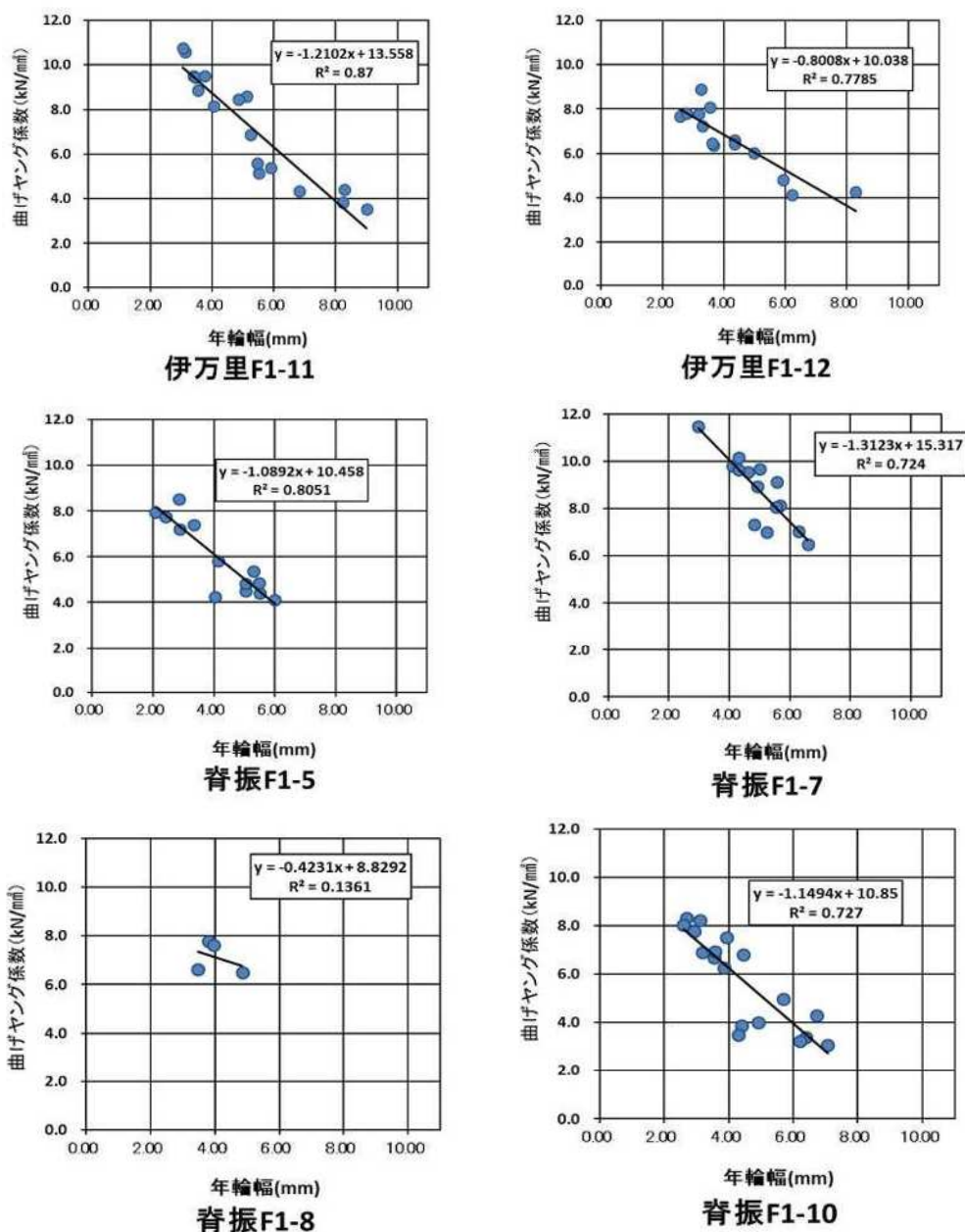


図-9-1 クローン別の年輪幅と製材の曲げヤング係数

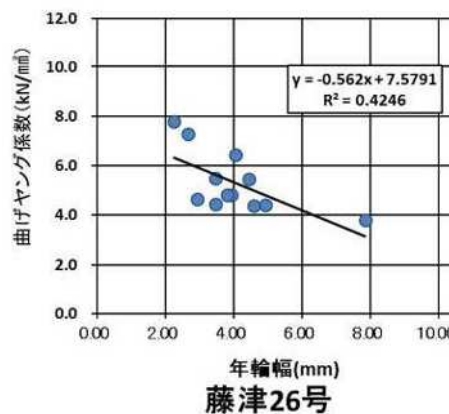
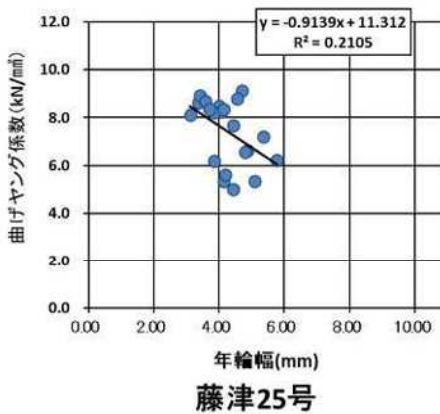
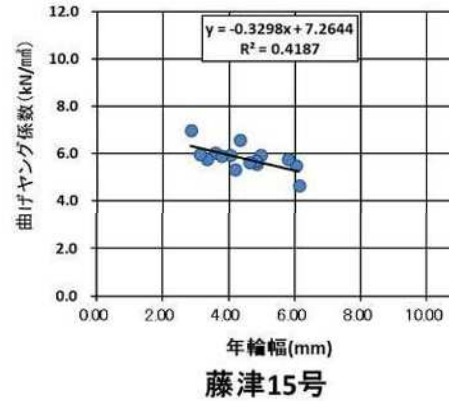
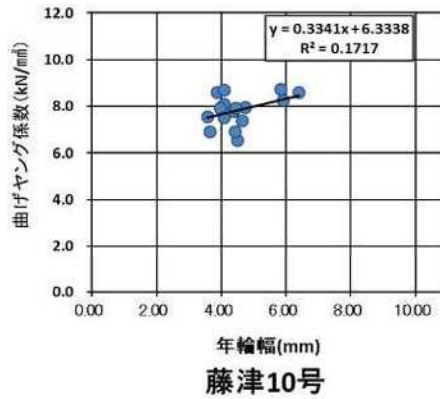
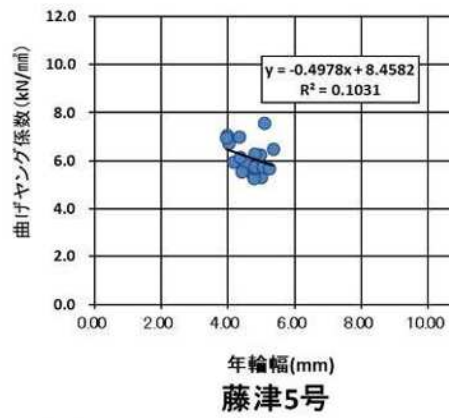
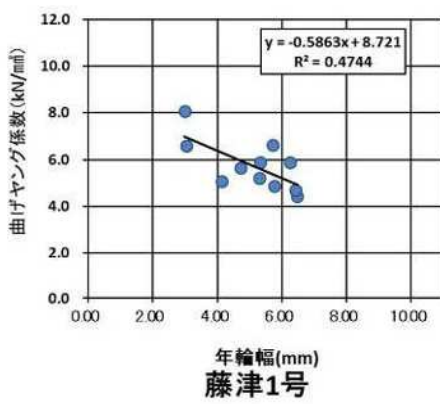
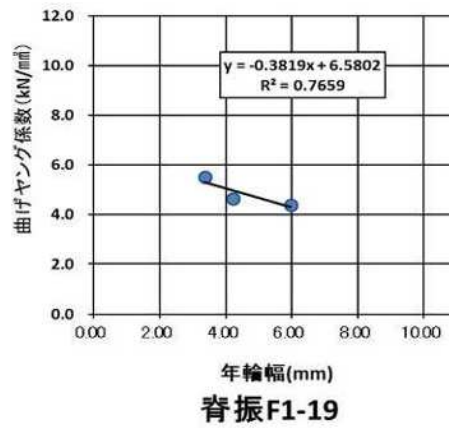
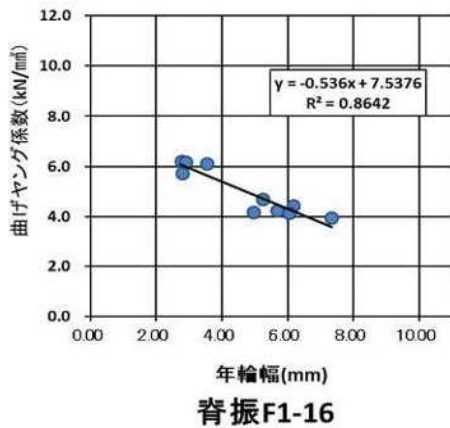


図-9-2 クローン別の年輪幅と製材の曲げヤング係数

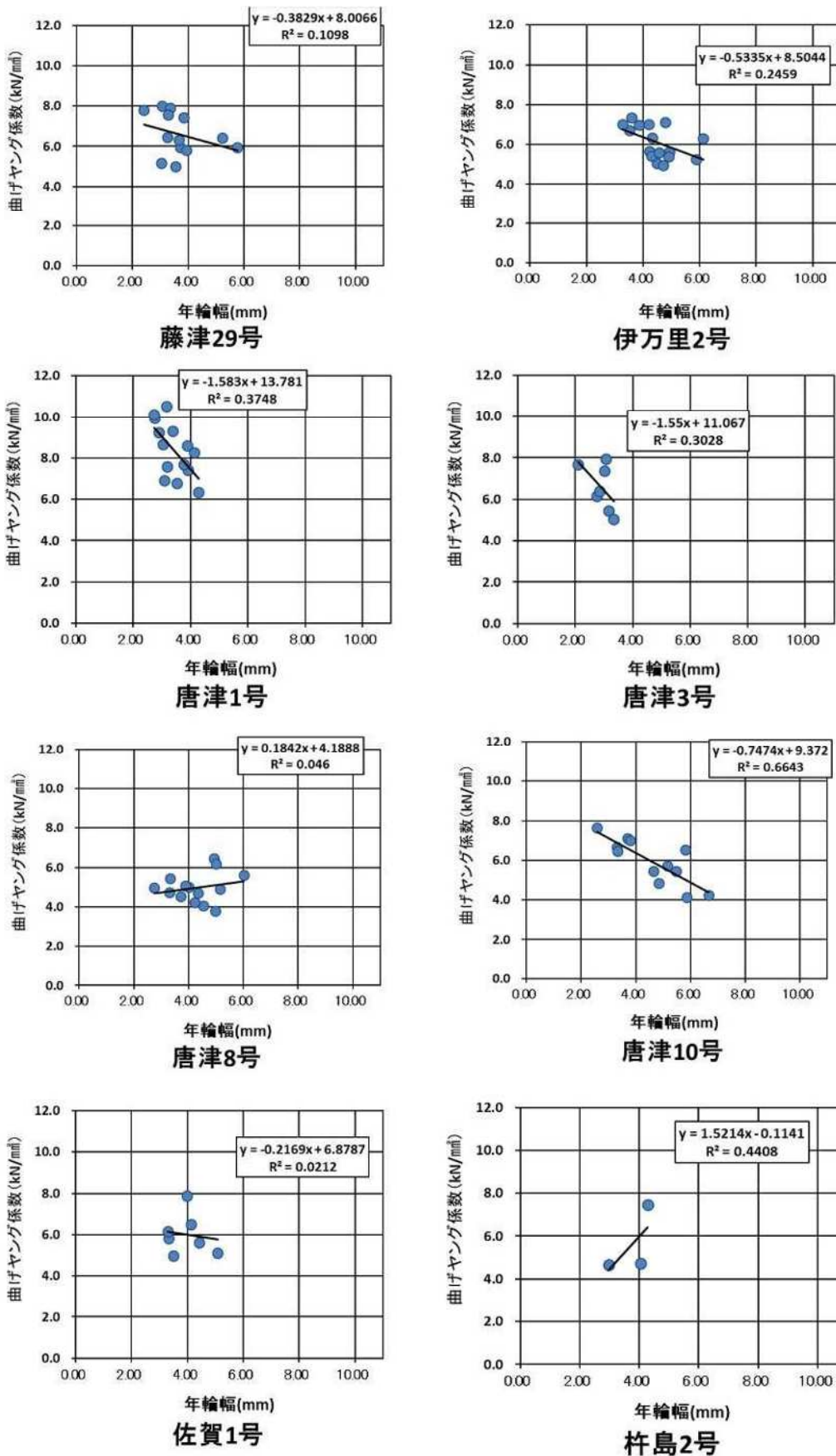


図-9-3 クローン別の年輪幅と製材の曲げヤング係数

【2番玉・3番玉の製材段階】

令和元年～令和3年に伐倒し製材した2番玉、3番玉について、固有振動周波数により曲げヤング係数を測定した結果をそれぞれ図-10、図-11に示す。

2番玉の曲げヤング係数について、乾燥前では平均6.59kN/mm²、乾燥後では平均7.60kN/mm²であり、乾燥後の曲げヤング係数が高い結果となった。また、乾燥前では曲げヤング係数が4kN/mm²未満を示すクローンも存在したが、乾燥後には4kN/mm²未満を示すクローンは存在しなかった。

クローン別では、脊振F1-7、脊振F1-9、サガンスギB-16の花粉親である唐津1号が高い値を示した。

3番玉の曲げヤング係数について、乾燥前では平均6.76kN/mm²、乾燥後では平均7.78kN/mm²であり、2番玉と同様、乾燥後の曲げヤング係数の値が高くなる結果となった。

クローン別では、脊振F1-7、サガンスギB-16の花粉親である唐津1号が高い値を示した。一方で、県内で普及している従来品種の藤津14号については、3番玉の乾燥前・乾燥後の曲げヤング係数が4.5～5.5kN/mm²程度と他のクローンに比べて低い結果となった。

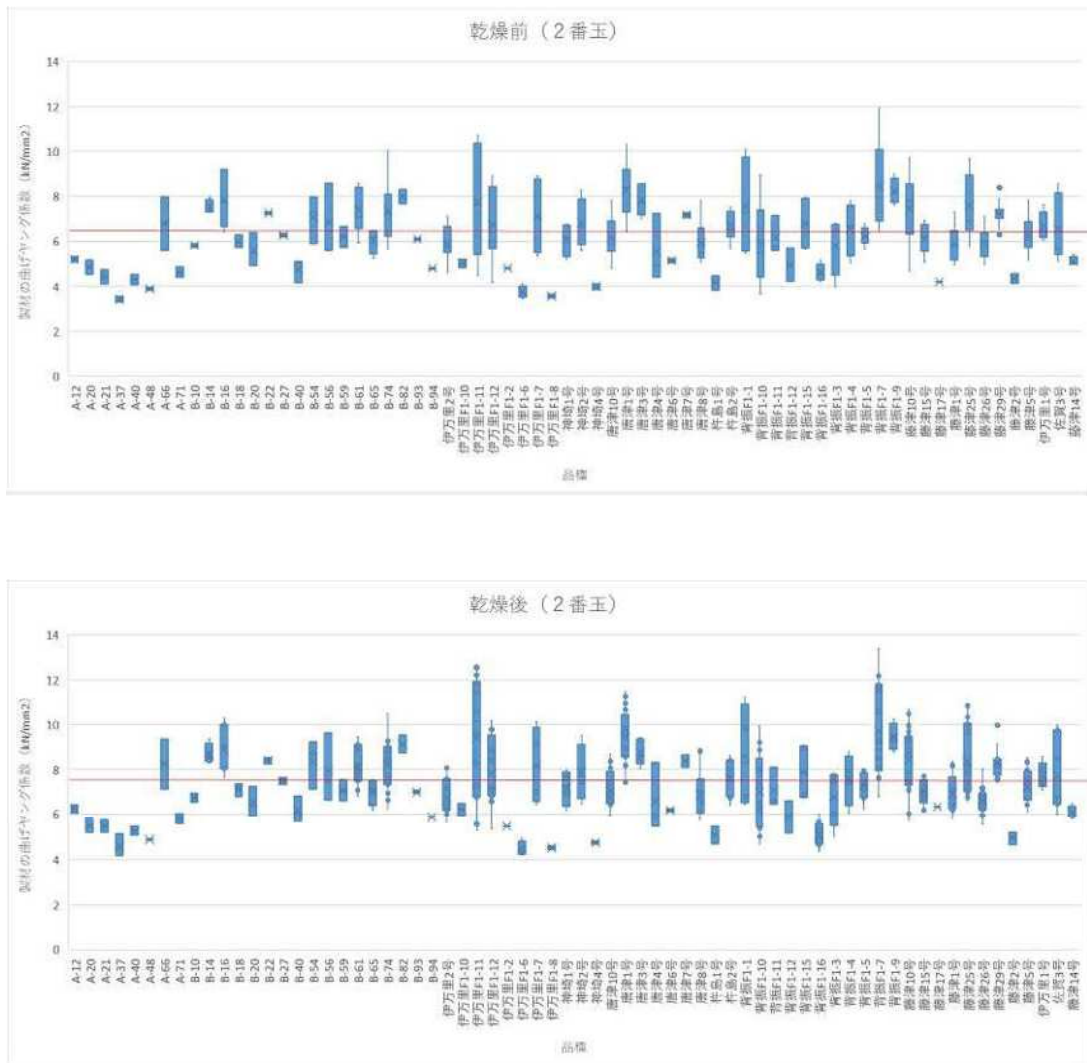


図-10 2番玉のクローン別製材の曲げヤング係数

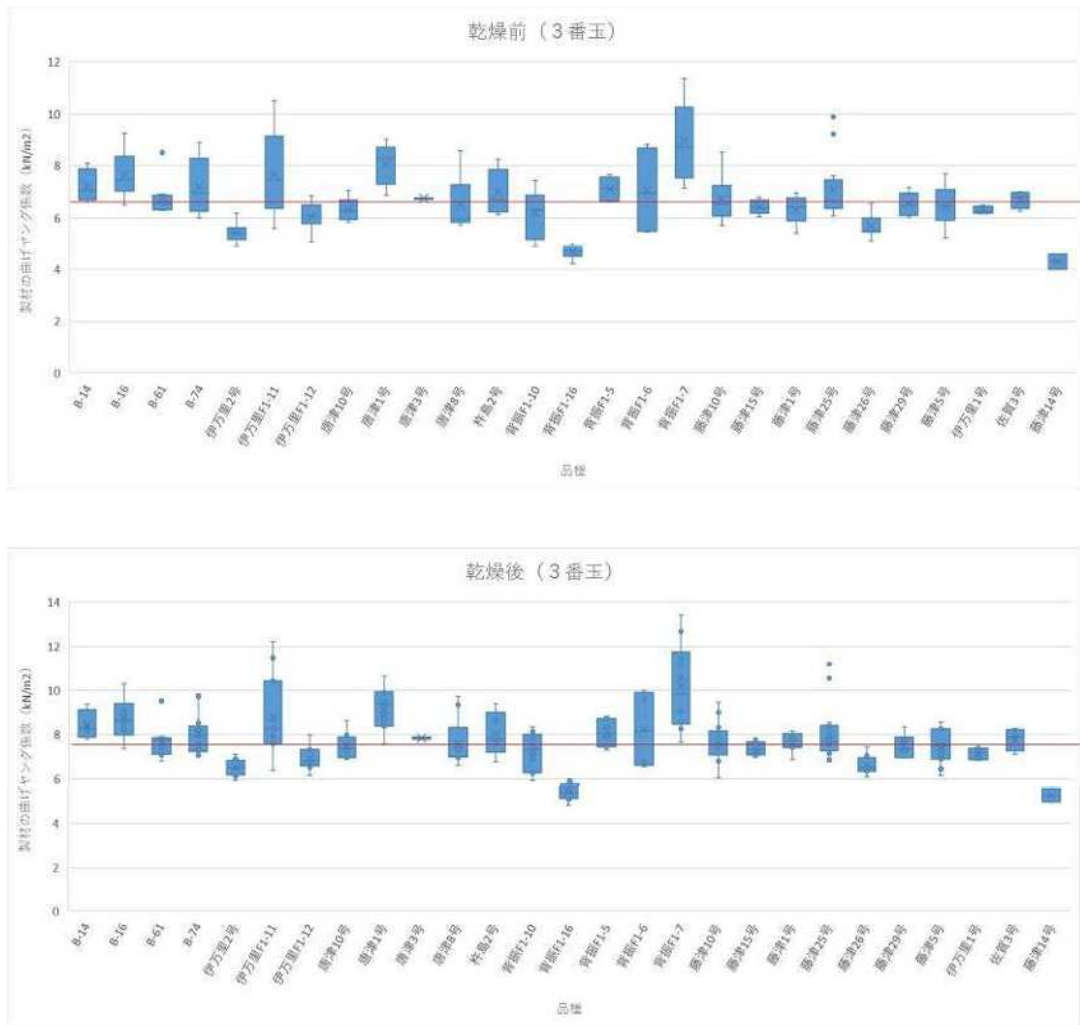


図-11 3番玉のクローン別製材の曲げヤング係数