２　新たな樹高成長評価モデルを活用した地位推定技術の開発

（国庫：R5（2023）～R9（2027））

国課題名：日本全国の林地の林業採算性マトリクス評価技術の開発
（農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究））
参画機関：森林総合研究所、林木育種センター、
鹿児島大学、静岡県立農林環境専門職大学、
北海道、静岡県、長野県、徳島県、鳥取県、佐賀県

福井　遼

目的

森林資源の充実、世界規模の情勢変化、また気候変動緩和のための森林や木質製品による炭素貯蔵の増加の要請により、国産材の生産増が求められている。このため、生産性と経済性の高い林地を特定して、エリートツリー（サガンスギ）等を用いつつ、主伐・再造林を推進することが重要である。

林業採算性が高いエリアの抽出には、林地の生産性（地位）と経済性（地利）に基づく評価が有効であり、そのためには、まず精度の高い地位推定技術の開発が必要である。その際、樹高成長予測の精度・汎用性の向上を図るためには、立地環境特性や生物的特性の解明が必要である。

また、R1（2019）～R4（2022）で取り組んだ「次世代スギ精英樹を活用した施業モデル（戦略的プロジェクト研究推進事業)」では、サガンスギは従来品種より成長が優れているが、立地環境に応じて成長速度が異なることが明らかになった。そのため、品種間の違いに加え、立地すなわち地位の影響を考慮して成長を予測することが植栽から収穫までの施業内容を最適化するために必要である。

これらの目的を達成するため、本研究では、以下の試験研究に取り組む。

1. 航空レーザー測量、森林簿情報等による樹高成長推定モデルの構築
(1)スギの樹高成長推定モデルを構築し地位指数マップ作成
(2)樹高成長推定モデルと現地樹高データとの比較による精度検証

2.サガンスギの成長に影響を及ぼす立地環境要因等の解明
(1)サガンスギ若齢林分の毎木調査

小課題１：航空レーザー測量、森林簿情報等による樹高成長推定モデルの構築

１－１　目的

森林総合研究所関西支所の中尾勝洋博士が考案した機械学習を利用した樹高成長推定モデル（Nakao et al.2022）と 2012 年に航空レーザー測量から得られ

たスギ樹高データおよび森林簿情報から得られた林齢を組み合わせることで、任意の林齢時点のスギ樹高を高精度で予測する。得られた樹高成長モデルをもとに林地における成長ポテンシャルを林齢別に高解像度で予測しマップ化する。

今年度は、樹高成長モデルと比較するために、県内のクローン検定林から伐採した個体について樹幹解析を行い、系統別の樹高成長を明らかにする。

１－２　材料と方法

(1) 材料

樹幹解析に用いる樹木個体は、強度試験用に伐採した個体を用いた。（参照：令和４年度業務報告書 p37-44）

今年度は、県内３か所のクローン検定林（検定林 110：七山、115：市川、116：三瀬）において伐採した個体であり、第１世代及び第２世代のスギ精英樹（53 クローン、236 個体、31～39 年生）を用いた。

対象個体を伐採した後に樹高を計測し、地際から２ｍごとに円盤を切断し採取した。

(2) 樹幹解析の方法

円盤を実験室に持ち帰り、円盤上で髄から直行する４方向に鉛筆で線を引き、デジタルノギスを用いて年輪幅を計測した。なお、節などを避けて線を引くことから、直行しない場合や２～３方向のみの年輪計測となる場合もあった。

計測結果を解析ソフトウェア「SDA（Stem Density Analyzer)」に入力して樹幹解析を行い、各林齢ごとの樹高を算出した。

表－１　クローン検定林及び採取個体の概要

地区	七山	市川	三瀬	合計
検定林 No.	110	115	116	―
伐採時林齢	37,39 年生	31 年生	32 年生	―
クローン数	33	21	13	53
採取個体数	115	75	46	236

１－３　結果

樹幹解析の結果を、検定林別及びクローン別に図-1 に示す。樹高成長にはクローン間で遺伝的に異なることが知られているが、今回の樹幹解析の結果からも、クローンごとに樹高成長パターンに違いがあることが確認された。

１－４　考察

クローンごとの成長バターンを見るために、高成長な伊万里 1 号と低成長な

藤津 14 号に限定したものを図-2 に示す。どの検定林においても、伊万里１号の樹高成長パターンは高位に位置し、一方で、低成長な藤津 14 号（従来の普及品種）は低い樹高成長パターンを示した。また、同じ品種であっても、検定林間で樹高成長パターンに差異が生じていることが確認された。

本研究課題では、立地環境要因と遺伝的要因を考慮した樹高成長推定モデルの構築を目的としている。Nakao et al. 2022 により環境要因を考慮した樹高成長推定モデルが考案されている中で、今回の研究では樹幹解析により樹高成長における品種間差を確認できたことから、樹高成長推定モデルに品種の効果を加えられる可能性が示唆された。

引用文献

Nakao et al. (2022) Assessing the regional-scale distribution of height growth of *Cryptomeria japonica* stands using airborne LiDAR, forest GIS database and machine learning （航空機 LiDAR、森林 GIS、機械学習モデルを用いた地域スケールにおけるスギ人工林の樹高成長の評価）. Forest Ecology and Management. Volume 506

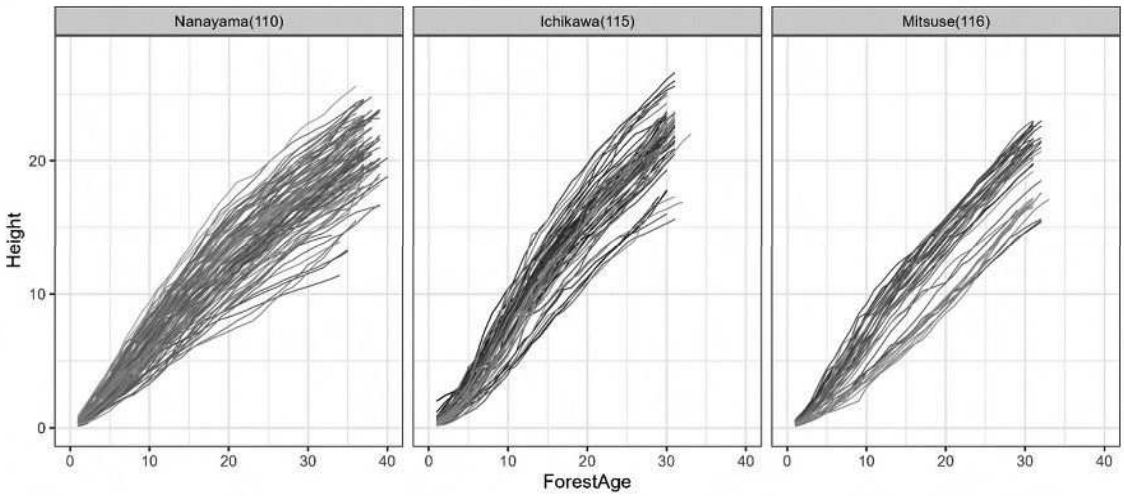

図-1. 樹幹解析により得られた検定林別・クローン別の樹高成長（全クローン）

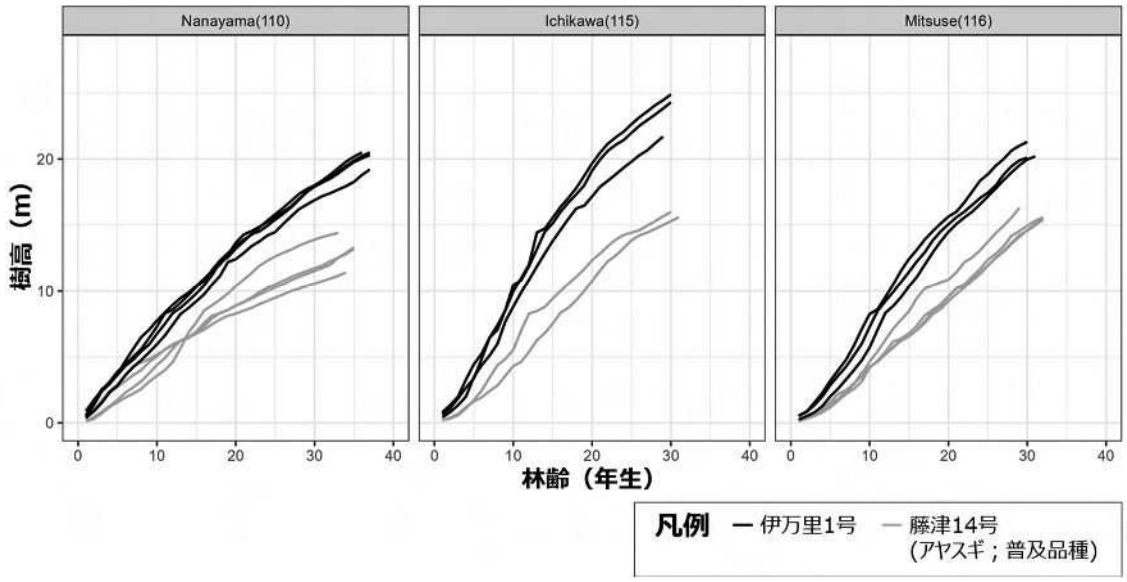

図-2. 高成長品種（伊万里１号）と低成長品種（藤津 14 号）の対比

小課題２：サガンスギの成長に影響を及ぼす立地環境要因等の解明

２－１　目的

森林総合研究所関西支所の中尾勝洋博士が考案した機械学習を利用した樹高成長推定モデル（通称：中尾モデル）の予測対象は、現存する林分を対象とした航空レーザー測量成果に基づくため、比較的林分面積が多く確保できる 20 年次以降の林齢を対象としており、現時点で若齢林分の成長予測に対応できない。そのため、2019 年度から県内各地に造成した 10 か所以上のサガンスギ造林試験地の毎木調査データを活用することで、立地条件に応じたサガンスギの若齢林分の成長予測モデルを構築し、植栽から初期保育期間のコストの低減につなげる。

２－２　材料と方法

これまでサガンスギの造林試験地として設定した 14 か所の試験地(表-１)において、継続して毎木調査を実施してきた。今回、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)、2023 年１月植栽の伊万里次世代スギ造林試験地 2023(試験地 CD:209)、2023 年 3 月植栽の厳木次世代スギ造林試験地 2023(試験地 CD:210)、2024 年１月植栽の伊万里次世代スギ造林試験地 2024(試験地 CD:211)、2024 年 6 月植栽の七山次世代スギ造林試験地 2024(試験地 CD:212)、2024 年 10 月植栽の佐賀次世代スギ造林試験地 2024(試験地 CD:213)の 10 か所の試験地において、植栽時から５成長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。

２－３　結果

表－２に今年度の調査結果、図－３(a),(b)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 205、試験地 206、試験地 207 および試験地 208 における３成長期後の結果から、現在サガンスギとして普及している４クローンの B-16、B-61、B-74、脊振 F1-15 は、現在の普及品種である藤津 14 号や唐津６号に対して明らかに高い樹高成長を示した。2022 年の普及開始前まで、サガンスギ候補として選抜されていた大町 F1　20-04 および太良 F1　08-02 は、試験地 204 および 205 において、サガンスギ４クローンより成長が遅れる傾向が確認された。

図－４(a),(b)の樹高成長量解析結果のうち、５成長期を迎えた試験地 204 に注目すると、多くのクローンが 100cm 程度の年間樹高成長量であるのに対して、サガンスギである B-16 は１年間で 150cm 程度という大きな成長量を記録した。

3 成長期目までを迎えた試験地 204 から試験地 208 について年間樹高成長を比較すると、試験地 205 ではどのクローンについても他の試験地よりもやや低い傾向が確認され、試験地 204 と試験地 205 で 4 成長期目での年間樹高成長量を比較しても、試験地 205 において樹高成長が鈍化していることが確認された。

２－４　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。サガンスギの選抜までの過程で、2019～2021 年にかけて実施したクローン検定林の定期調査の再解析（空間自己相関を考慮した成長量の補正）や応力波伝搬速度の計測結果に基づき普及品種としなかった大町 F1　20-04 および太良 F1　08-02 は、造林試験地の毎木調査結果からもサガンスギより劣ることが確認されはじめた。

次に、調査地間で年間樹高成長量を比較したところ、3 成長期目までを迎えた試験地のうち試験地 205 において低い成長量を示したことについて、同試験地は比較的尾根部に位置し、かつ花崗岩質の土質であることが樹高成長に影響していると考えられる。

このように、品種間の差だけでなく立地間で成長が大きく異なることが造林試験地の毎木調査データから明らかになっており、これらの初期成長を高精度に予測するモデルを作成することが本課題の目的である。2023 年度開始の本課題は、最終年度の 2027 年度には今回解析対象としている調査地 202 から調査地 210 までの 9 試験地で５年生時のデータが取得できるため、これらのデータを活用しながら県内の様々な林地におけるサガンスギの造林初期の成長について予測していきたい。

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（2025年3月末時点）

試験地CD	試験地名称	場所	植栽年月	植栽本数（本）									計測項目	計測年次	計測対象外F1個体の概数	備考
				合計	B-16	B-61	B-74	脊振F1 01-15	太良F1 08-02	大町F1 20-04	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、胸高径	0-5年生		苗の品質に課題
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、胸高径	0-5年生		既報（R5年度報告書）
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、胸高径	0-5年生		既報（R5年度報告書）
204	烏栖次世代スギ造林試験地2020	烏栖県有林内	2020.03	230	46	46	46	46	10	18	18	0	樹高、根本径、胸高径	0-5年生	1,200	今回の解析対象
205	佐賀市次世代スギ精英樹試験地2021	佐賀市有林内	2021.03	710	128	206	110	113	27	26	28	72	樹高、根本径、胸高径	0-4年生	400	今回の解析対象
206	佐賀市次世代スギ精英樹試験地2022	佐賀市有林内	2022.03	316	48	48	48	48			96	28	樹高、根本径	0-3年生	2,700	今回の解析対象
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	0-3年生	1,600	今回の解析対象
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	54	樹高、根本径	0-3年生		今回の解析対象
209	伊万里次世代スギ造林試験地2023	伊万里市有林内	2023.01	270	45	45	60	45			45	30	樹高、根本径	0-2年生		今回の解析対象
210	鎮木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	0-2年生		今回の解析対象
211	伊万里次世代スギ造林試験地2024	伊万里市有林内	2024.01	198	72		72				36	18	樹高、根本径	0-1年生		今回の解析対象
212	七山次世代スギ造林試験地2024	七山県有林内	2024.06	473	176		159					138	樹高、根本径	0-1年生		今回の解析対象
213	佐賀次世代スギ造林試験地2024	吉野山国有林内	2024.01	199	30	84	85						樹高、根本径	0-1年生		今回の解析対象
214	伊万里次世代スギ造林試験地2025	伊万里市有林内	2025.01	324	54	72	90	54				54	樹高、根本径	0年生		
合計				4,734	815	790	1,337	516	74	183	359	660			5,900	

表-2. 2024年度造林試験地別毎木調査結果（図-1(a)の各試験地の最下段のグラフと対応）

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
204	5	第2世代	B-16	1216_B-16	36	507.5	503.3	± 75.9	76.4	76.4	± 11.4
204	5	第2世代	B-54	1254_B-54	6	432.0	448.8	± 101.8	66.4	62.9	± 12.2
204	5	第2世代	B-61	1261_B-61	40	422.0	433.5	± 81.2	65.2	67.6	± 13.3
204	5	第2世代	B-74	1274_B-74	39	419.0	412.2	± 60.4	71.0	71.0	± 13.7
204	5	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	15	387.0	364.5	± 47.1	68.3	66.8	± 9.1
204	5	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	5	352.0	351.2	± 44.1	60.6	62.0	± 6.2
204	5	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	34	359.5	353.6	± 41.4	71.5	70.9	± 11.9
204	5	第2世代	B-14	1214_B-14	9	545.0	541.7	± 17.9	86.7	86.2	± 5.3

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
205	4	第2世代	B-16	1216_B-16	108	233.0	238.4	± 58.4	45.0	45.5	± 12.4
205	4	第2世代	B-54	1254_B-54	13	268.0	259.4	± 55.8	45.7	45.4	± 10.0
205	4	第2世代	B-61	1261_B-61	189	266.0	265.0	± 58.1	41.4	42.0	± 12.1
205	4	第2世代	B-74	1274_B-74	96	248.5	242.2	± 51.5	46.3	46.4	± 10.5
205	4	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	25	144.0	141.9	± 41.8	33.8	34.0	± 8.6
205	4	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	20	165.0	160.7	± 56.2	33.5	33.8	± 11.1
205	4	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	105	219.0	218.8	± 48.8	45.6	45.0	± 11.6
205	4	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	7	201.0	188.9	± 47.7	52.7	55.9	± 21.0
205	4	第1世代	唐津6号	3167_kara6	52	147.0	148.4	± 28.1	49.7	51.1	± 12.6

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
206	3	第2世代	B-16	1216_B-16	45	246.0	239.0	± 35.4	42.7	42.4	± 8.7
206	3	第2世代	B-61	1261_B-61	47	205.0	203.0	± 30.5	32.0	31.8	± 5.7
206	3	第2世代	B-74	1274_B-74	47	263.0	261.0	± 38.4	46.2	46.5	± 10.5
206	3	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	48	207.0	211.4	± 36.0	38.7	38.6	± 7.6
206	3	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	44	158.0	166.6	± 51.0	39.8	39.2	± 10.7
206	3	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	46	157.5	159.2	± 24.2	45.1	46.4	± 8.6

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
207	3	第2世代	B-16	1216_B-16	61	203.0	205.4	± 44.3	31.2	31.7	± 7.8
207	3	第2世代	B-61	1261_B-61	67	181.0	179.6	± 55.3	23.3	23.5	± 7.4
207	3	第2世代	B-74	1274_B-74	85	223.0	234.2	± 53.7	31.7	34.1	± 10.4
207	3	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	22	192.5	198.3	± 35.2	33.7	32.3	± 7.3
207	3	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	24	142.5	146.6	± 19.0	38.6	38.8	± 6.3

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
208	3	第2世代	B-16	1216_B-16	49	286.0	284.0	± 51.3	40.6	42.8	± 11.9
208	3	第2世代	B-54	1254_B-54	35	264.0	267.3	± 38.9	37.3	37.6	± 6.1
208	3	第2世代	B-61	1261_B-61	51	287.0	281.8	± 40.4	35.5	35.4	± 6.6
208	3	第2世代	B-74	1274_B-74	51	288.0	282.5	± 45.9	39.9	40.6	± 8.9
208	3	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	52	227.5	230.3	± 30.8	38.4	37.8	± 6.8
208	3	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	53	163.0	166.5	± 30.6	40.5	40.3	± 8.5

表-2 ．つづき　2024年度造林試験地別毎木調査結果(図-1(b)の各試験地の最下段のグラフと対応)

試験地：209　伊万里次世代スギ造林試験地2023　2023年1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
209	2	第2世代	B-16	1216_B-16	42	151.5	153.1	± 26.1	19.0	19.6	± 4.2
209	2	第2世代	B-54	1254_B-54	44	147.0	148.8	± 30.3	18.7	17.9	± 3.9
209	2	第2世代	B-61	1261_B-61	41	153.0	148.9	± 28.1	18.0	17.6	± 3.4
209	2	第2世代	B-74	1274_B-74	59	146.0	143.4	± 23.3	17.4	17.5	± 3.3
209	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	43	139.0	139.4	± 23.6	16.8	17.2	± 3.5
209	2	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	14	148.0	152.1	± 21.0	20.1	20.9	± 5.0
209	2	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	15	120.0	116.5	± 17.7	25.2	25.7	± 3.9

試験地：210　厳木次世代スギ造林試験地2023　2023年2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
210	2	第2世代	B-16	1216_B-16	24	133.5	133.5	± 14.1	19.6	20.4	± 2.7
210	2	第2世代	B-54	1254_B-54	24	109.5	109.3	± 12.4	15.6	15.6	± 1.6
210	2	第2世代	B-61	1261_B-61	36	141.5	140.9	± 21.4	20.8	20.6	± 2.7
210	2	第2世代	B-74	1274_B-74	36	120.5	122.5	± 22.5	16.3	17.2	± 3.3
210	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	12	105.0	109.2	± 10.2	18.8	18.3	± 2.5
210	2	第1世代	唐津6号	3167_kara6	12	78.0	77.0	± 5.6	21.1	22.2	± 2.4

試験地：211　伊万里次世代スギ造林試験地2024　2024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
211	1	第2世代	B-16	1216_B-16	67	89.0	89.4	± 14.5	10.8	10.8	± 1.6
211	1	第2世代	B-54	1254_B-54	35	85.0	89.5	± 16.4	10.6	11.1	± 1.5
211	1	第2世代	B-74	1274_B-74	69	86.0	85.3	± 17.9	9.4	9.4	± 1.7
211	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	18	76.5	78.8	± 12.9	13.1	12.9	± 1.7

試験地：212　七山次世代スギ造林試験地2024　2024年6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
212	1	第2世代	B-16	1216_B-16	166	58.5	59.7	± 10.0	7.5	7.5	± 1.2
212	1	第2世代	B-74	1274_B-74	152	56.0	56.3	± 11.4	7.1	7.3	± 1.2
212	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	128	59.0	58.1	± 10.0	8.3	8.8	± 2.1

試験地：213　佐賀次世代スギ造林試験地2024　2024年10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
213	1	第2世代	B-16	1216_B-16	30	45.0	43.8	± 7.0	5.7	6.0	± 0.9
213	1	第2世代	B-61	1261_B-61	82	41.0	41.2	± 4.3	5.9	5.8	± 0.8
213	1	第2世代	B-74	1274_B-74	84	41.0	41.9	± 5.9	5.8	5.9	± 0.8

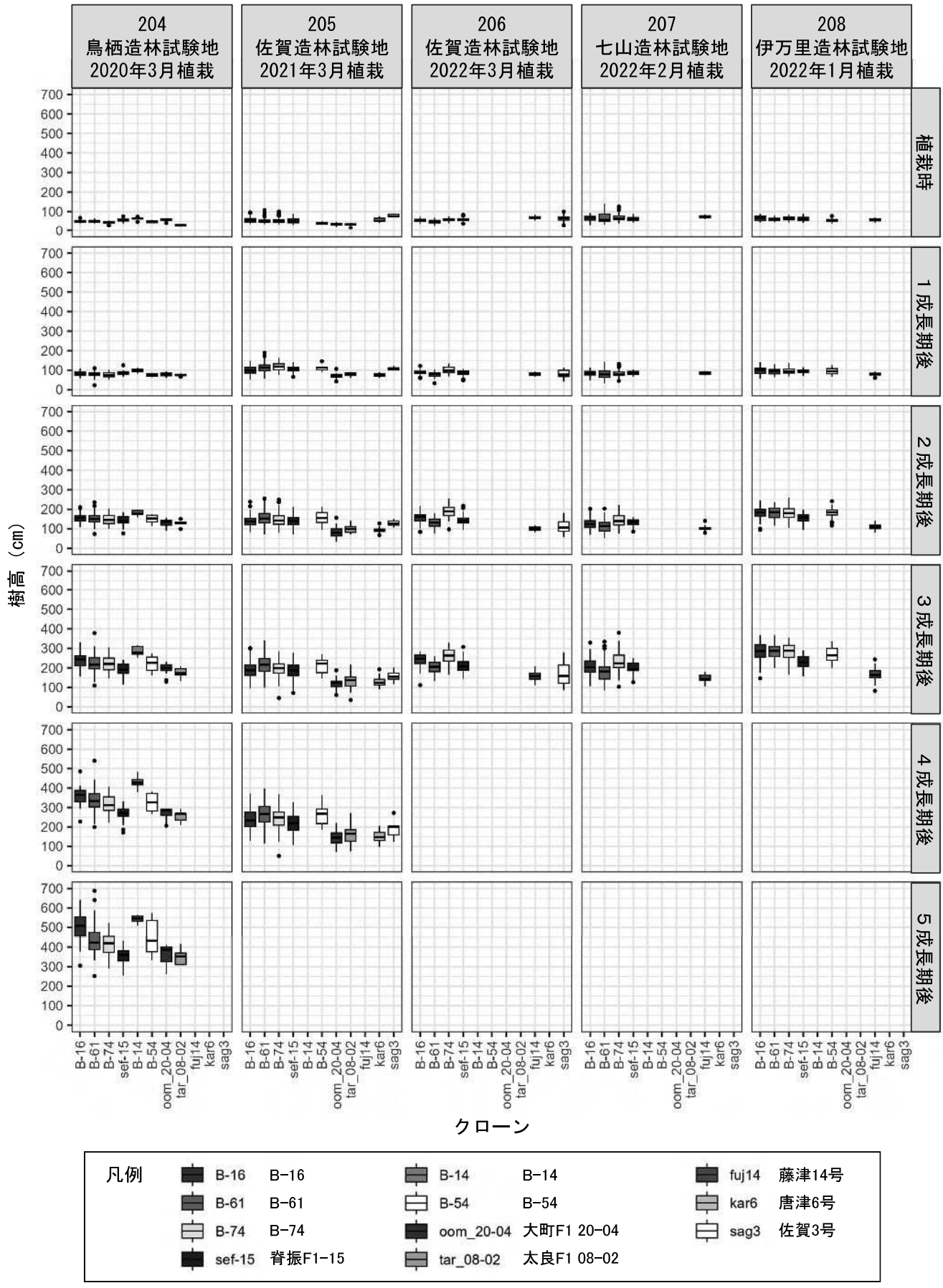

図3(a) 樹高（試験地別、各成長期別）

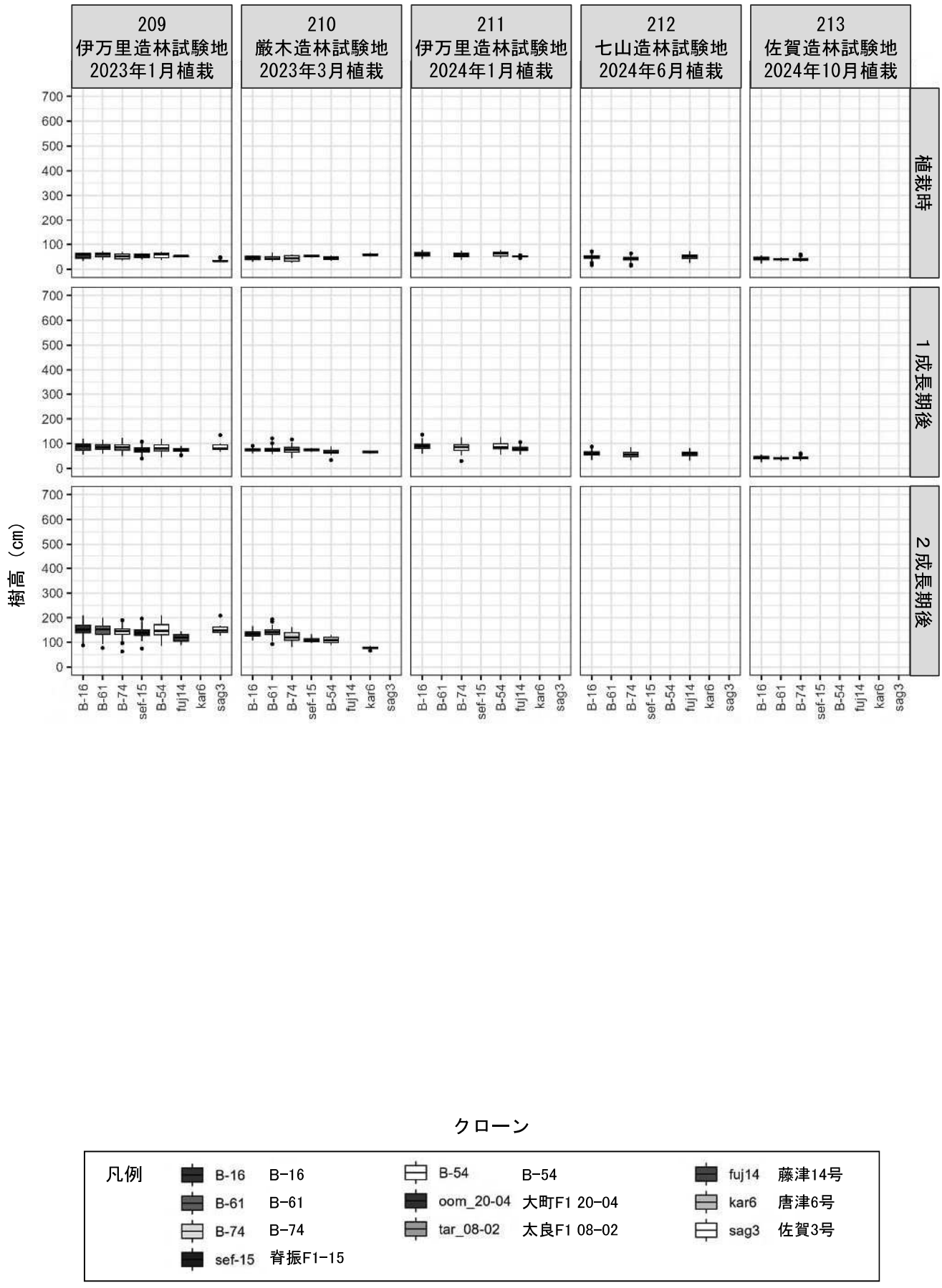

図3(b) 樹高（試験地別、各成長期別）

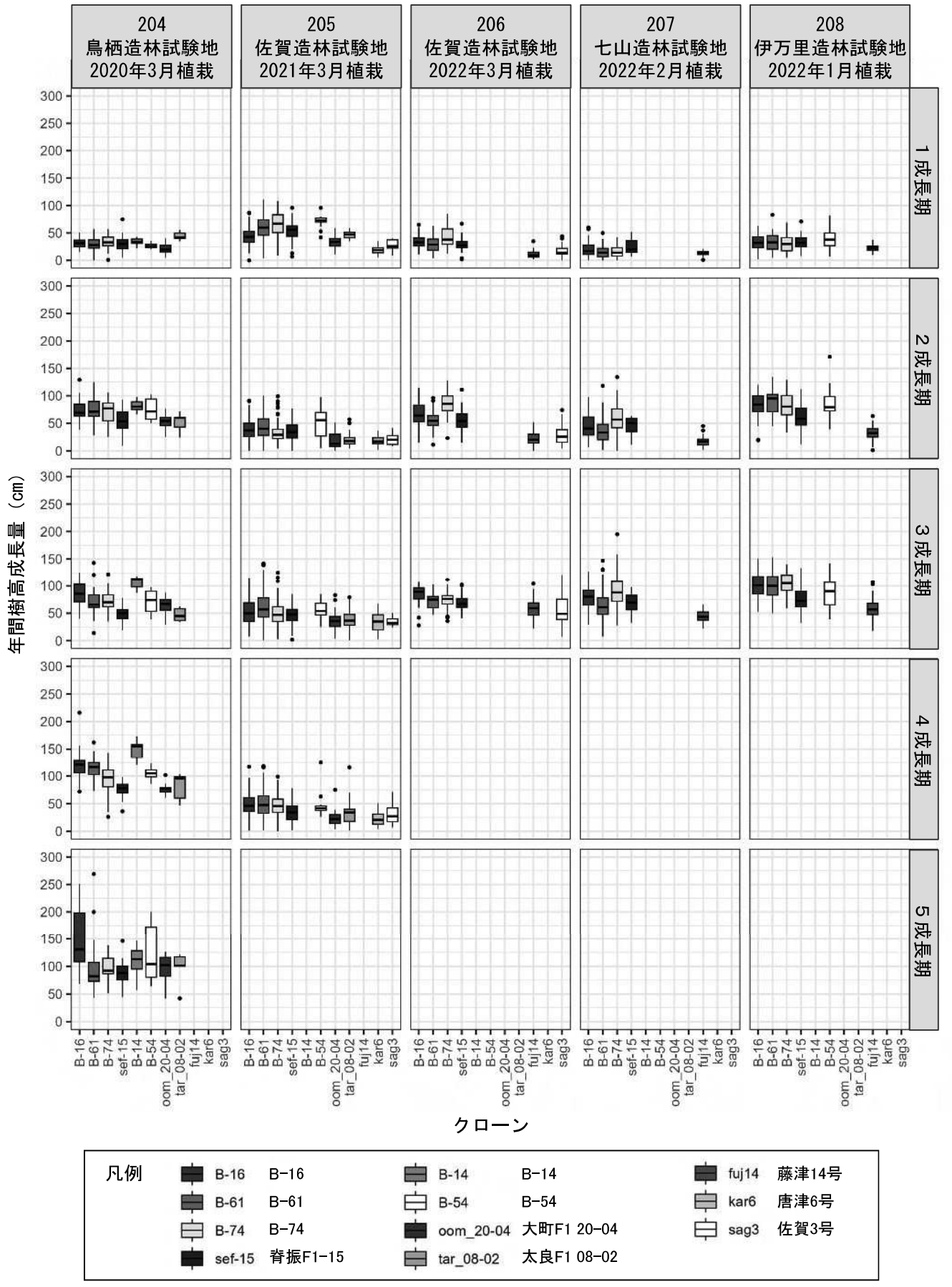

図4(a) 年間樹高成長量（試験地別、各成長期別）

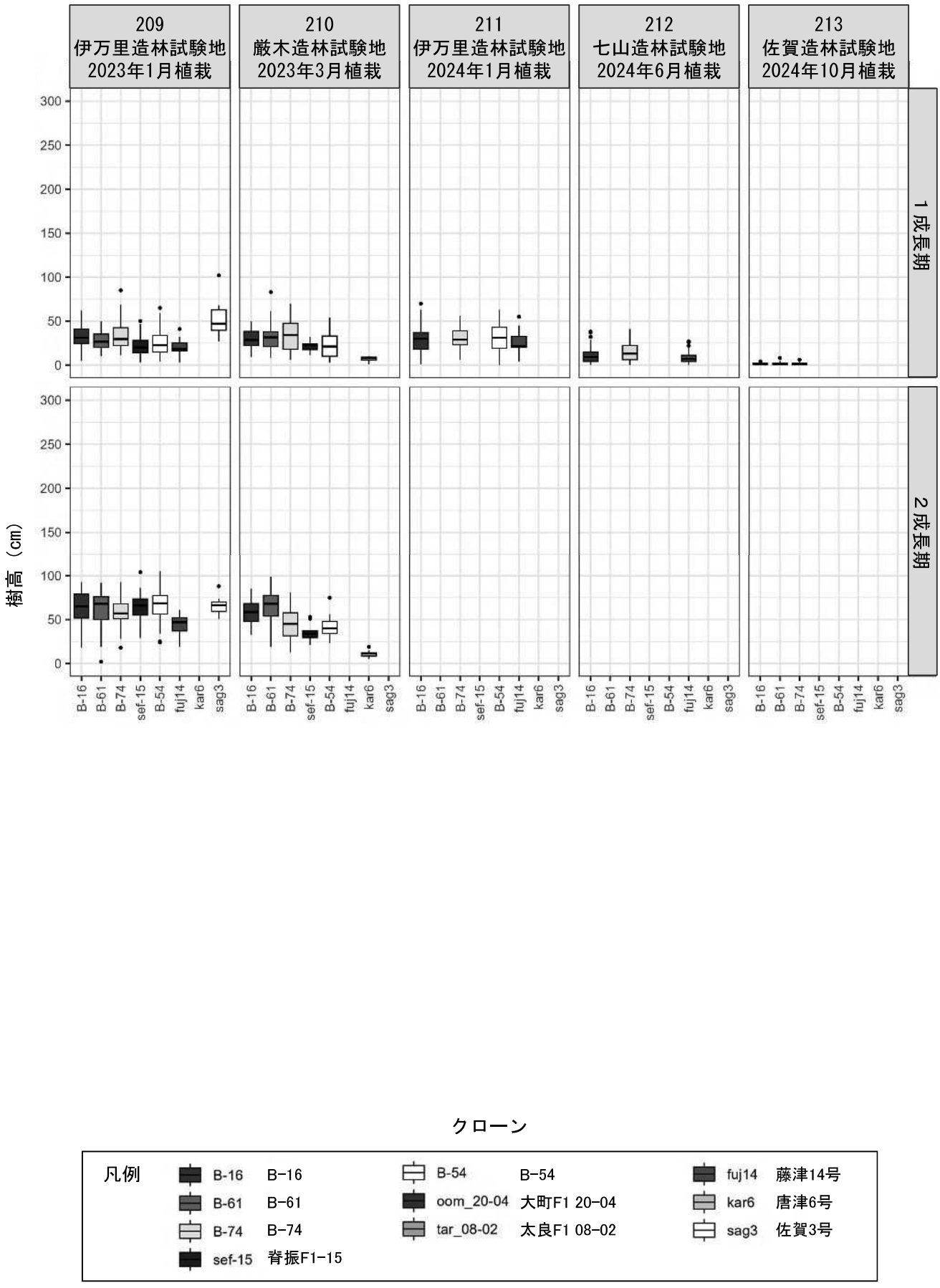

図4(b) 年間樹高成長量（試験地別、各成長期別）