

### 3 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

江島 淳

#### 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 (サガンズギ) などを用いつつ、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、サガンズ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. サガンズギの成長に影響を及ぼす立地環境要因等の解明
  - (1) サガンズ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。

上記で算出した樹高成長モデルの結果と現地樹高データとの比較による精度検証については、検定林での調査結果などを利用して次年度（R6 年度）から実施する。

## 1-2 材料と方法

樹高成長モデル構築のための解析フレームは、GIS 上の 25m メッシュにおいて、上層木平均樹高を応答変数として、気候に関する 4 つの説明変数（WI:暖かさの指数、TMC:最寒月月最低気温、PRS:夏季降水量、PRW:冬季降水量）、地形に関する 6 つの説明変数（TWI:地形湿潤指数、SRIA:日射量、UCA:集水面積、SVF:開空度、Slope:傾斜、Aspect:斜面方位）および林齢を加えた合計 11 の説明変数でモデル化した。モデルの予測精度は、今回解析対象とした佐賀市を 25m メッシュデータからランダムに抽出した 50%のメッシュデータをモデル構築に使用し、残り 50%を検証用に用いて、精度検証した。また、構築したモデルにより任意の林齢の樹高予測マップを構築した。

## 1-3 結果

樹高成長モデルの樹高予測結果は、精度検証の結果、航空レーザー測量から得られた実測値と高い相関があり（図-1）、11 の説明変数のうち樹高予測に効果的な上位 3 変数は、林齢、TWI:地形湿潤指数、SRIA:日射量であった。

構築した樹高成長推定モデルにより作成した、4 時点（20 年、40 年、60 年、80 年）の予測樹高マップを図-2 に示す。

## 1-4 考察

交差検証の結果、今回採用した樹高成長推定モデル（通称：中尾モデル）の樹高予測精度は高く、地位推定に有効に機能することが示された。今後、佐賀県が検定林で育成した個体から得られる品種別の樹幹解析結果と照合することで、スギの樹高成長モデルからサガンスギの樹高成長モデルへと拡張していきたい。

## 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

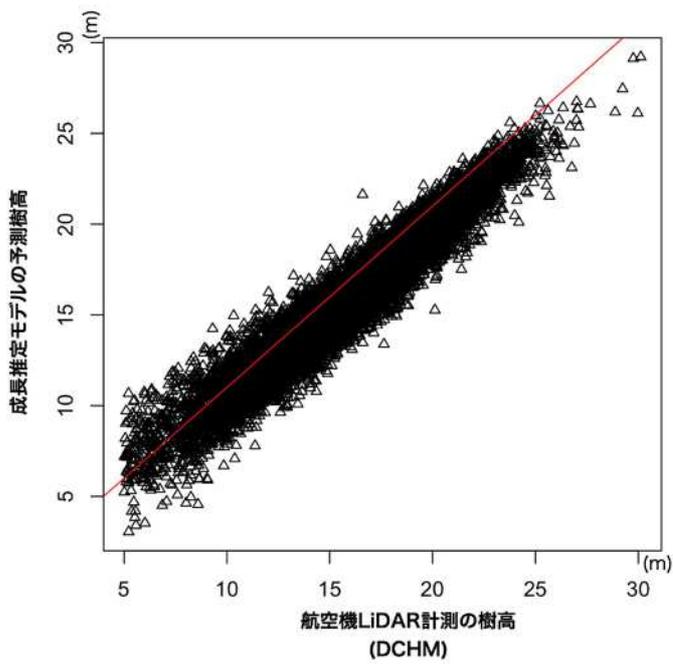


図-1. 樹高成長モデルによる樹高推定値 (X 軸) と樹高実測値 (Y 軸)

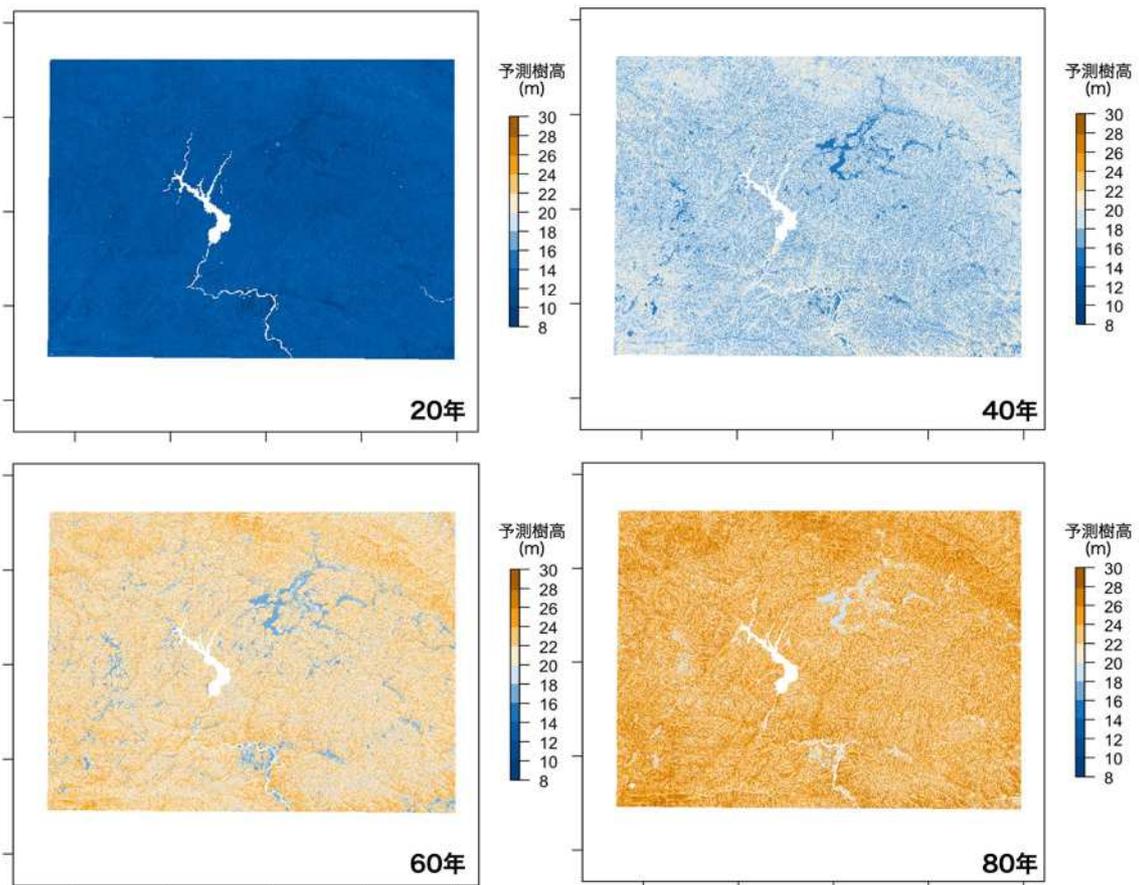


図-2. 樹高成長モデルによる算出した4時期の予測樹高マップ

## **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約 10 か所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 10 つの試験地(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)、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 1 月植栽の巖木次世代スギ造林試験地 2023(試験地 CD:210)、の 9 つの試験地において、植栽時から 5 年生まで、または 2023 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。

### 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 202、試験地 203 および試験地 205 の 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、明らかに高い樹高を示した。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 202、203 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今回確認された。

図-4 (a), (b)の樹高成長量解析結果から、試験地 202 と 203 に注目すると、試験地 202 の 5 成長期目でサガンスギ 4 クローンと藤津 14 号の年間樹高成長量を比較すると 50cm 程で大きな差がなかった、一方、試験地 203 の 5 成長期目は

サガンスギ4クローンが100cm程度伸長しているのに対し藤津14号は75cm程度でありサガンスギの方が大きな成長量を記録した。

試験地202から試験地208の調査地において、2年次までの調査結果が得られたが、試験地207は、他の試験地よりも成長が遅れる傾向が確認された。

## 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、調査地間で成長量を比較すると、年間成長量は3～5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。また、試験地207は植栽1年目から他の試験地と比べ成長が遅れていることが確認された。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、今回解析対象とした調査地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（2024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		37	樹高、根本径、胸高径	0-5年生		今回の解析対象	
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		40	樹高、根本径、胸高径	0-5年生		今回の解析対象	
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		0	樹高、根本径	0-4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		72	樹高、根本径	0-3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	0-2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	0-2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	54	樹高、根本径	0-2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	30	樹高、根本径	0-1年生		今回の解析対象	
210	藤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	0-1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年生		
合計				3,738	555	634	1,003	462	74	183	359	468					5,900		

表-2. 2023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：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
203	5	第2世代	B-16	1216_B-16	20	504.0	492.1	± 65.5	11.2	11.0	± 2.1
203	5	第2世代	B-54	1254_B-54	19	478.0	475.7	± 39.6	9.6	9.2	± 1.0
203	5	第2世代	B-61	1261_B-61	50	445.0	443.3	± 52.7	7.6	7.6	± 1.3
203	5	第2世代	B-74	1274_B-74	77	428.0	425.4	± 47.5	8.7	8.7	± 1.4
203	5	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	65	346.0	348.8	± 42.1	8.3	8.2	± 1.6
203	5	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	18	404.5	402.8	± 47.0	9.4	9.2	± 1.6
203	5	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	37	303.0	301.2	± 41.4	8.2	8.2	± 1.3
203	5	第2世代	B-14	1214_B-14	10	480.0	462.2	± 60.0	9.8	9.6	± 1.9
203	5	第2世代	B-22	1222_B-22	38	420.5	411.3	± 49.7	10.2	10.1	± 1.7
203	5	第2世代	B-27	1227_B-27	9	442.0	454.2	± 32.1	8.5	8.6	± 1.0
203	5	第2世代	B-56	1256_B-56	18	411.5	410.7	± 36.8	8.1	8.1	± 1.0

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
204	4	第2世代	B-16	1216_B-16	38	358.0	350.0	± 57.2	59.6	58.1	± 11.7
204	4	第2世代	B-54	1254_B-54	6	288.5	273.2	± 126.9	51.7	50.8	± 11.5
204	4	第2世代	B-61	1261_B-61	40	332.5	338.6	± 58.4	49.8	50.1	± 9.4
204	4	第2世代	B-74	1274_B-74	39	312.0	315.8	± 46.1	53.1	52.4	± 10.4
204	4	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	15	285.0	270.4	± 29.4	54.0	51.3	± 7.9
204	4	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	5	268.0	255.0	± 32.7	52.6	53.0	± 7.7
204	4	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	39	267.0	262.3	± 42.1	54.3	54.1	± 12.0
204	4	第2世代	B-14	1214_B-14	9	428.0	432.3	± 32.3	71.0	71.1	± 5.9

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
205	3	第2世代	B-16	1216_B-16	110	186.5	189.8	± 44.2	34.1	35.5	± 10.2
205	3	第2世代	B-54	1254_B-54	13	222.0	211.6	± 43.6	36.8	37.0	± 8.3
205	3	第2世代	B-61	1261_B-61	191	216.0	214.8	± 47.4	32.8	33.5	± 9.6
205	3	第2世代	B-74	1274_B-74	97	198.0	194.5	± 41.3	36.5	36.5	± 8.5
205	3	第2世代	大町F1 20-04	1310_ooma	25	122.0	118.7	± 33.5	27.5	26.7	± 6.9
205	3	第2世代	太良F1 08-02	1320_tara	22	133.0	126.8	± 41.8	24.2	25.8	± 8.8
205	3	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	105	186.0	184.3	± 39.6	37.7	36.5	± 9.1
205	3	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	8	153.5	155.1	± 26.9	44.2	45.7	± 16.4
205	3	第1世代	唐津6号	3167_kara6	55	123.0	124.1	± 25.3	40.6	42.7	± 11.4

表-2 . つづき 2023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：206 佐賀市次世代スギ造林試験地2022 2022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
206	2	第2世代	B-16	1216_B-16	46	162.0	154.9	± 29.1	27.9	28.1	± 6.4
206	2	第2世代	B-61	1261_B-61	47	131.0	130.9	± 25.5	20.6	21.0	± 4.2
206	2	第2世代	B-74	1274_B-74	47	189.0	187.0	± 31.0	30.4	30.1	± 6.9
206	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	48	139.0	141.7	± 26.8	27.0	26.8	± 5.5
206	2	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	44	105.5	109.3	± 28.1	27.2	28.0	± 7.9
206	2	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	46	99.5	100.2	± 10.7	32.1	32.9	± 7.6

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
207	2	第2世代	B-16	1216_B-16	47	116.0	116.8	± 24.9	17.5	17.2	± 3.5
207	2	第2世代	B-61	1261_B-61	84	107.5	109.7	± 32.2	13.4	14.6	± 4.8
207	2	第2世代	B-74	1274_B-74	121	135.0	138.4	± 38.9	18.9	19.6	± 6.2
207	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	27	129.0	125.5	± 23.4	17.1	16.6	± 4.3
207	2	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	25	102.0	101.5	± 12.7	20.6	21.1	± 3.1

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
208	2	第2世代	B-16	1216_B-16	49	183.0	182.3	± 34.5	26.4	27.4	± 7.7
208	2	第2世代	B-54	1254_B-54	35	184.0	180.1	± 27.1	28.3	28.6	± 4.9
208	2	第2世代	B-61	1261_B-61	51	185.0	181.5	± 31.0	23.4	24.3	± 5.9
208	2	第2世代	B-74	1274_B-74	53	179.0	175.5	± 34.6	26.9	26.5	± 5.8
208	2	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	52	158.0	155.5	± 22.2	22.5	22.4	± 4.1
208	2	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	53	110.0	110.4	± 14.3	23.7	24.7	± 4.0

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
209	1	第2世代	B-16	1216_B-16	42	91.0	88.3	± 16.3	10.0	10.0	± 1.5
209	1	第2世代	B-54	1254_B-54	44	80.5	82.0	± 19.5	9.8	9.7	± 1.4
209	1	第2世代	B-61	1261_B-61	43	83.0	84.8	± 14.5	9.4	9.5	± 1.9
209	1	第2世代	B-74	1274_B-74	59	85.0	85.0	± 15.8	9.2	9.2	± 1.4
209	1	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	44	75.5	75.5	± 14.3	9.7	9.6	± 1.3
209	1	第1世代	佐賀3号	3124_saga3	15	80.0	89.1	± 18.4	9.3	9.6	± 1.8
209	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	15	75.0	72.9	± 9.9	11.9	11.8	± 1.6

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
210	1	第2世代	B-16	1216_B-16	24	74.5	74.6	± 7.4	11.9	12.0	± 1.3
210	1	第2世代	B-54	1254_B-54	24	65.5	67.5	± 12.1	10.8	10.7	± 0.8
210	1	第2世代	B-61	1261_B-61	36	74.0	76.3	± 12.1	12.0	12.1	± 1.5
210	1	第2世代	B-74	1274_B-74	36	76.0	77.3	± 15.3	10.7	10.8	± 1.5
210	1	第2世代	脊振F1 01-15	1354_sefu	12	74.5	74.6	± 5.0	12.4	12.5	± 1.2
210	1	第1世代	藤津14号	3138_fuji14	12	66.0	66.2	± 4.2	15.9	15.9	± 1.2

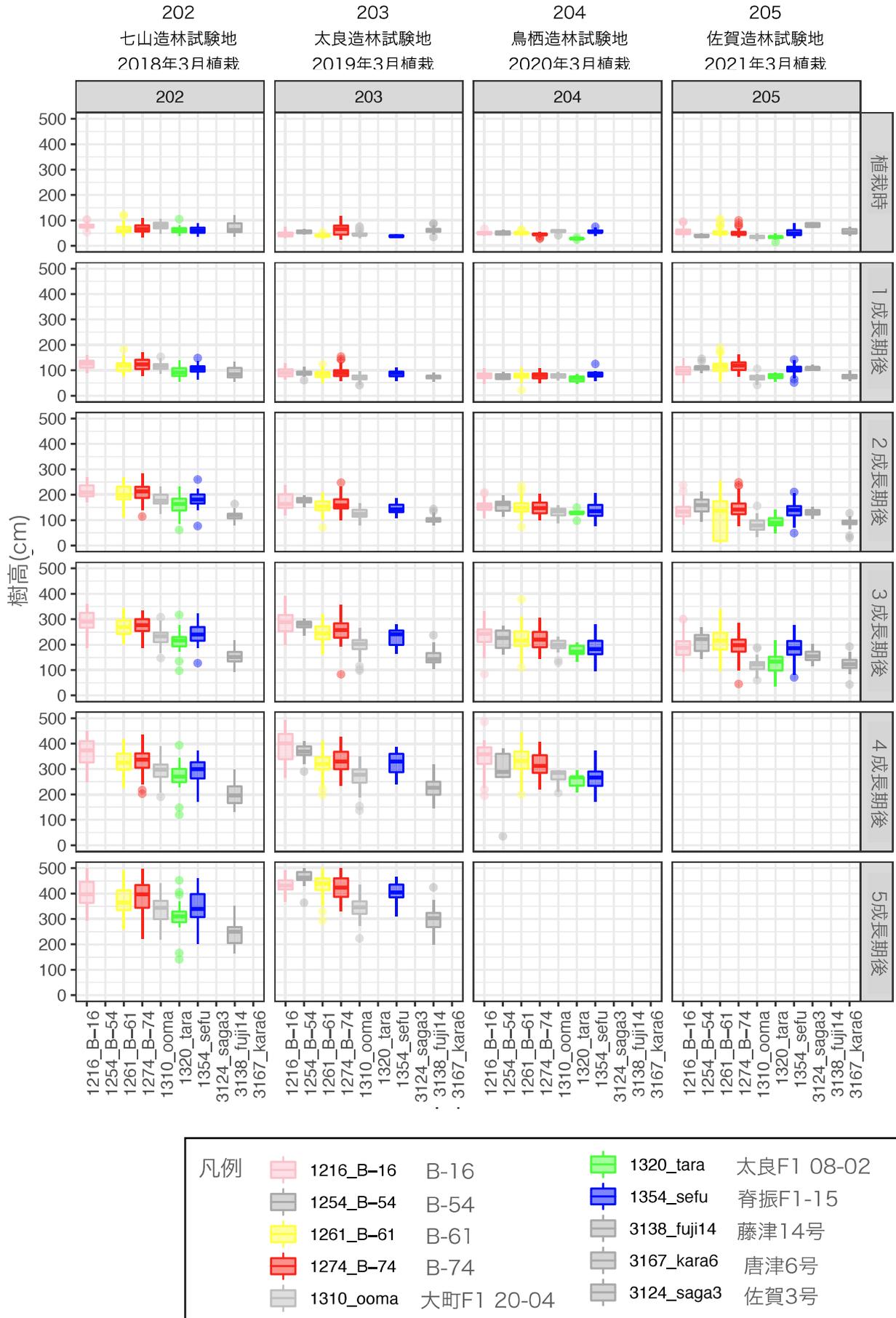


図-3(a) 樹高(試験地別、各年次別)

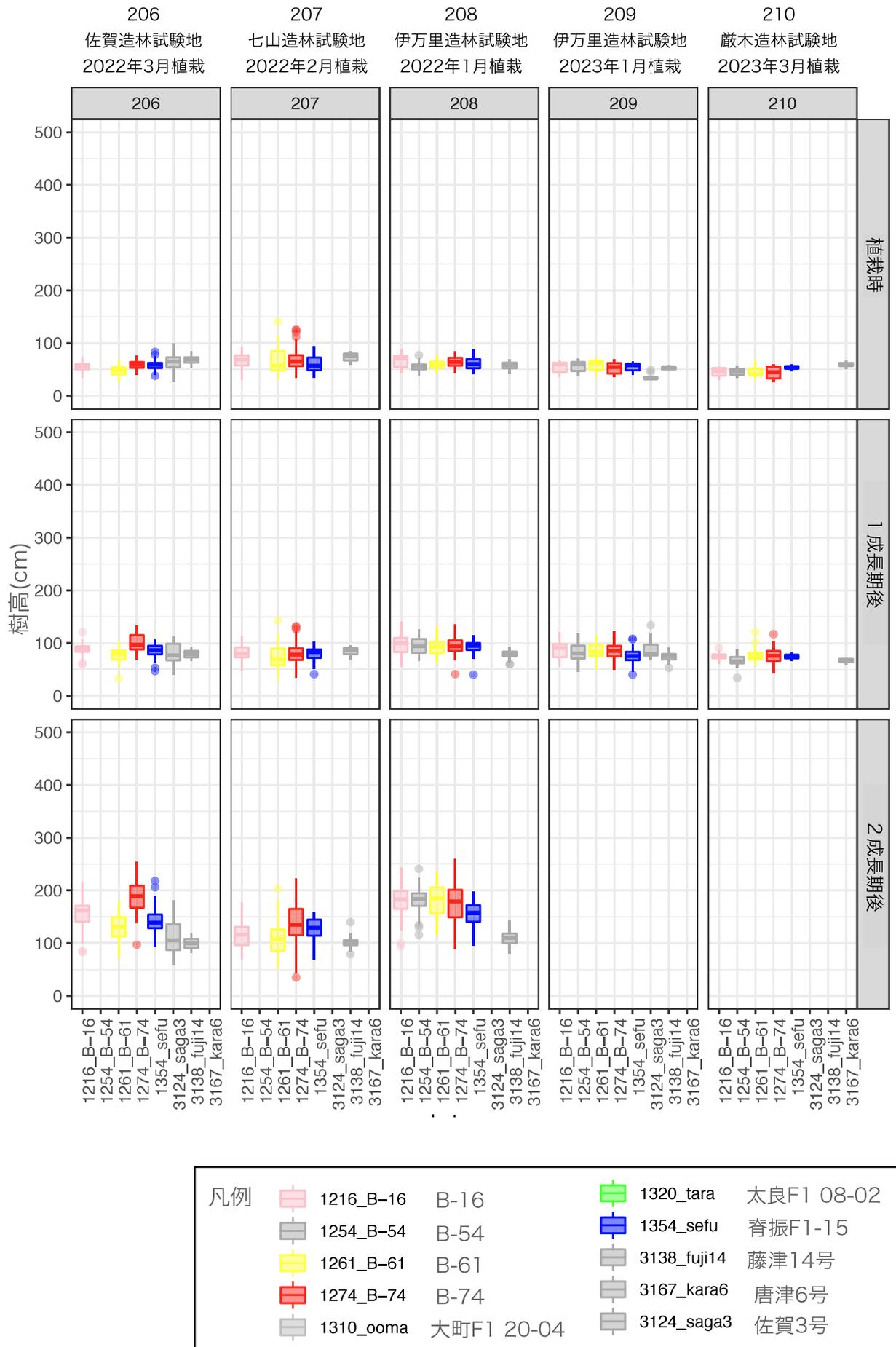


図-3(b) 樹高(試験地別、各年次別)

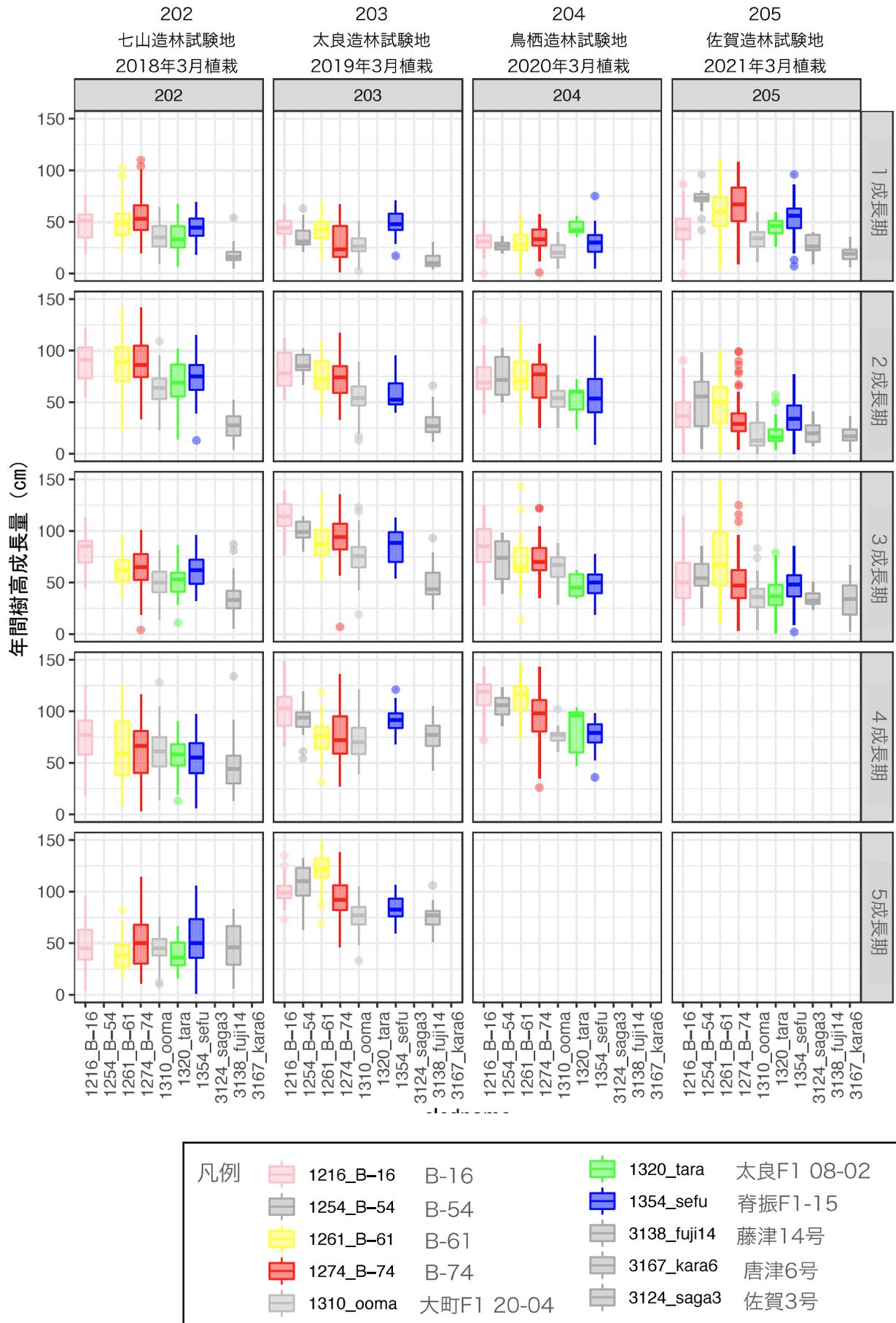


図-4(a) 年間樹高成長量(試験地別、各年次別)

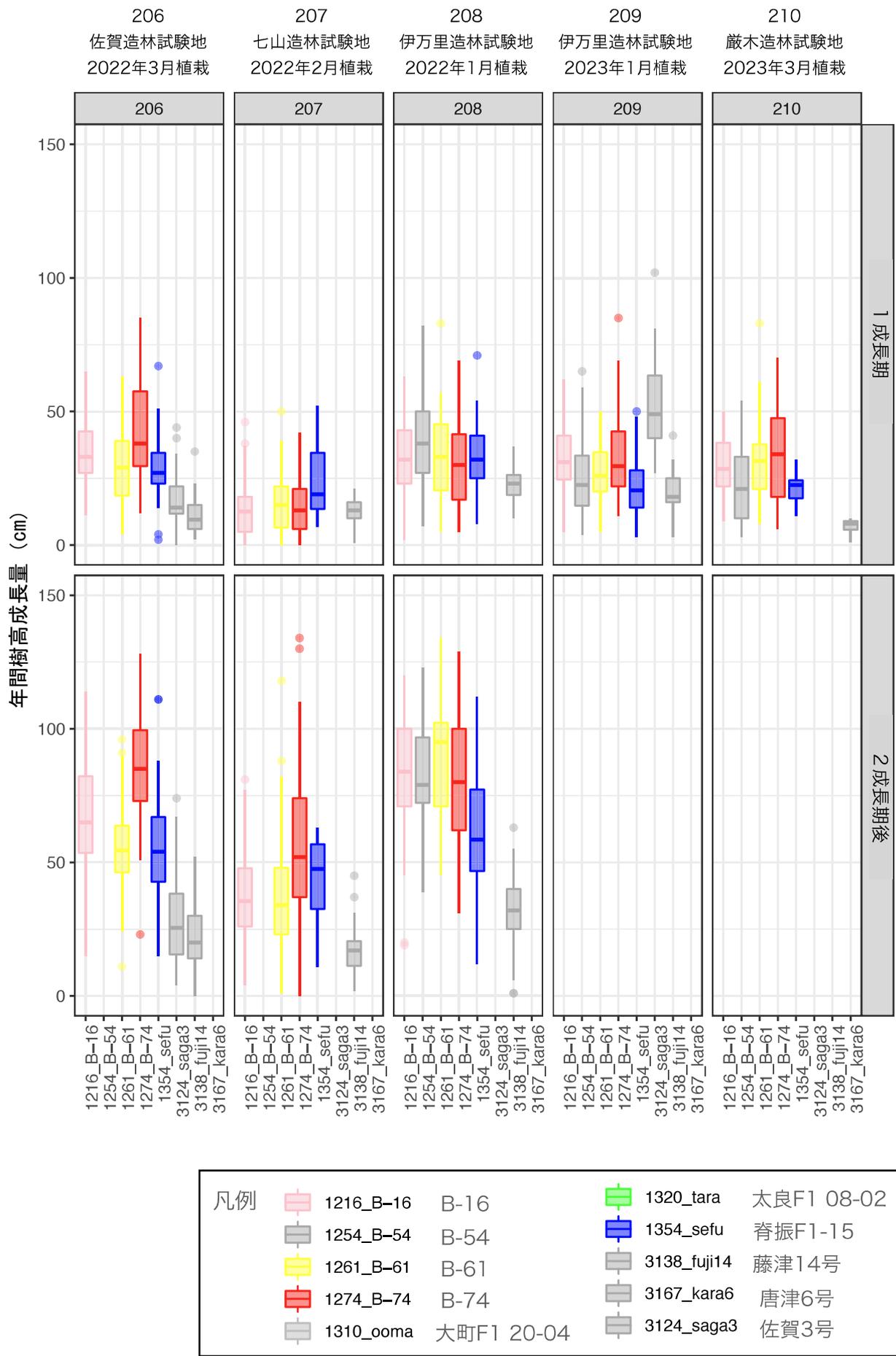


図-4(b) 年間樹高成長量(試験地別、各年次別)