

樹高成長曲線の比較方法に関する研究

——とくに本州西南部のスギについて——

長谷川 敬一⁽¹⁾

Keiichi HASEGAWA: Study on the Method in the Comparison
of Height Growth Curves—In the case of Sugi (*Cryptomeria japonica*)
in the southwest of Honshu Island——

要 旨：本州西南部におけるスギについて地域別樹高成長曲線の比較方法を検討した。

7種の樹高成長曲線式について適合性を検討し、Näslund式を採用することとしたが、地域別に求めたNäslund式の係数は地域性を持つと共に地位とも深い関係のあることがわかった。したがって地域ごとに求めた樹高成長曲線の基準齡における樹高が異なる場合の比較は困難であった。

このため、基準齡における樹高を独立変数に含めた式およびその逆数を重みとした樹高を用いた場合良好な結果が得られることがわかった。

この方法に地位級別に求めた曲線式の比較を含めて、本州西南部のスギの育成区域を気象条件で6地域に分け地域間の樹高成長曲線を比較した結果、3グループに大別されることを示した。

また、基準齡の樹高の平方根の逆数を重みとした樹高に修正指数曲線をあてはめると限界値を示す定数の値は前に分類した3グループで、はっきりした範囲にあることを明らかにし、この値で地域分類の可能なことを示した。

I は じ め に

樹高成長について地域や、品種の比較、あるいは肥培効果の判定をしようとするとき、現在一般に使用されている方法として修正指数曲線のパラメータ K , b の大小による判断¹⁾、定差図上の定差直線での判断^{2)~5)} などがあるがいずれも視覚的判断によるものであり、統計的手法を用いた比較方法としては小坂・金⁶⁾ が樹高成長分析を直径との関係で行ったもの、真辺⁷⁾ の多変量解析による成長型の判別方法などがある。

筆者は本州西南部各地域のスギの樹高成長について数種の曲線式から適合の良い推定式を選び、地域ごと、地位ごとに求めた樹高成長曲線式を用い、分散分析の手法により地域間の比較方法を検討した。

本研究のとりまとめにあたり、資料の集計に労をわずらわした大阪営林局計画課の深田技官、御指導をいただいた林業試験場経営部栗屋測定研究室長、電算機利用にあたって労をわずらわした川端技官に謝意を表す次第である。

II 資料と地域区分

本研究に用いた資料は、大阪営林局が林地生産力調査のため管内一円で行ったプロットレス調査地点で採取した樹幹解析木を大阪営林局の好意により提供していただいたものである。

大阪営林局は本州西南部の全域を管内にもつが、スギの成育を大きく左右すると言われる気温、降雨量などの気象条件は管内の地域によって大きく異なり、福井の気候区分⁸⁾では本州西南部を北陸、山陰、北九州、瀬戸内海、東山、南海気候に区分している。このため筆者は、これらの気候区分を勘案し、本州西南部を Fig. 1 に示した次の6地域に大別して樹高成長を比較検討することとした。

- ① 北 陸 地 域……石川県下、福井県下、滋賀県北部
- ② 山 陰 地 域……京都府北部、兵庫県北部、鳥取県下、島根県下
- ③ 山陽西部地域……山口県下、広島県下
- ④ 山陽東部地域……岡山県下、兵庫県南部
- ⑤ 近 畿 地 域……京都府南部、滋賀県南部、三重県北部、奈良県北部、大阪府下
- ⑥ 紀 州 地 域……和歌山県下、奈良県南部、三重県南部

地域別、地位指数（40年生での樹高）別の資料分布は Table 1 のとおりである。

この表からわかるように地位指数の範囲は各地域とも6 m～24 m であるが、大部分は14 m から20 m に集中している。

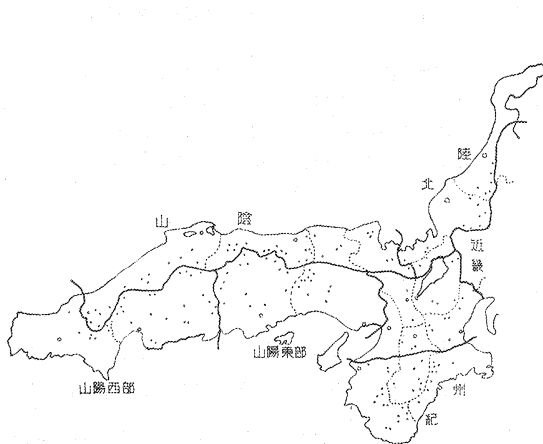


Fig. 1 資料採取位置と地域区分
Experimented places and regional division.

また土壌型別にみた資料の分布は Table 2 の通りで B_D 型土壌が全体の58%を占め、B_D(d) 型土壌は25%で、黒色土を含めた適潤型土壌の占める割合は90%である。つぎに、土壌型ごとの平均的地位指数を地域別にみると Fig. 2 の通りである。橋本²⁾らは「同一土壌型での地域における地位指数の違いを生産力の地域格差」と呼んでいるが、Fig. 2 から北陸地域がやや低い位置にあるが、他の地域については地域格差を認めることは困難であった。

Table 1. 資料の地位指数別分布
Distribution of the material in relation to site index

地 域	地 位 指 数											平均地位指数
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	計	
北 陸	2	5	5	9	12	11	14	8	3		69	14.93
山 陰		4	6	16	42	52	62	51	29	4	266	17.13
山 陽 西 部		3	11	6	22	22	32	35	16	8	155	17.27
山 陽 東 部		2	2	7	13	22	30	25	22	4	127	17.92
近 畿			1	2	3	5	8	7	4	1	31	17.79
紀 州		1	9	2	12	8	11	12	6	2	63	16.47
計	2	15	34	42	104	120	157	138	80	19	711	

Table 2. 資料の土壌型別分布
Distribution of the material in relation to soil type

地 域	土 壌 型	Er, BA Bb, Bc	Bd(d)	Bd	Be	B/d(d)	B/d	B/E	PdII, III
北	陸	9	26	34					
山	陰	9	58	153	8	6	23	1	8
山	陽 西 部	11	28	101	6	4	5		
山	陽 東 部	1	27	81	3	1	11	3	
近	畿		13	16	2				
紀	州	8	27	25	2				1
計		38	179	410	21	11	39	4	9

III 樹高成長曲線の選定

樹高の平均的な成長過程を示すのに用いられるいわゆる樹高成長曲線式は古くから内外の研究者によって数多く提案され収録⁹⁾¹⁰⁾もなされている。筆者はこれらの中から

$$\log H = a + b \frac{1}{T} \dots\dots\dots (1)$$

$$\log H = a + b_1 \frac{1}{T} + b_2 \frac{1}{T^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$H = a + b \log T \dots\dots\dots (3)$$

$$H = \frac{T^2}{(a + bT)^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$H = aT^b \dots\dots\dots (5)$$

$$H = aT^{b_1} e^{-\frac{b_2}{T}} \dots\dots\dots (6)$$

$$H_t = K - ab^t \dots\dots\dots (7)$$

の7式を選び推定式の適合の度合と推定式からの残差の分布から地域間の比較に適した推定式を選定することとした。ここに T は樹齢, H は樹高をあらわし a, b, b_1, b_2, K は定数, t は T を齢階順に 0, 1, 2 とおきかえたものである。

この場合それぞれの曲線式を地域ごとの資料にあてはめて

- (1) どの型の曲線式がよく適合するか
- (2) 地域のちがいにより適合性に偏りはないか
- (3) 地位指数の大小による適合性に偏りはないか

などを明らかにしてその曲線式の適否を決定する必要がある。

曲線式の適合性は、線型で表わされた推定式であれば、相関係数 (r), 重相関係数 (R), あるいは決定係数 (R^2) などによって判定できるが、ここでは対数、平方根、逆数などで変数の変換を行ったうえ

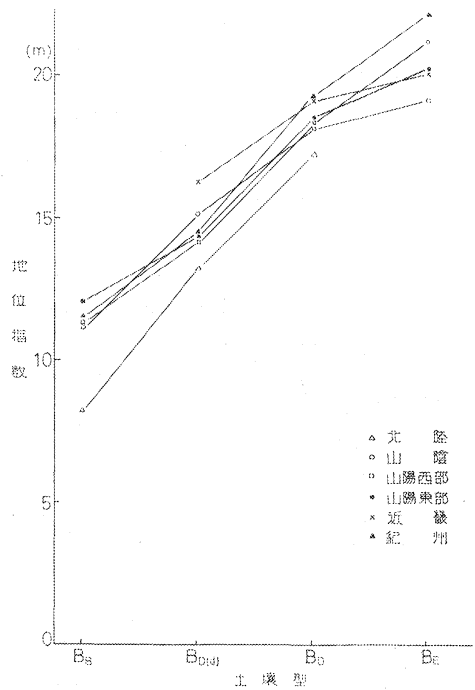


Fig. 2 土壌型と地位指数の関係
Relation between soil type and site index.

で、最小二乗法で推定式を求めているので r , R , R^2 などによって直接適合性を比較することはできない。したがってここでは BRUCE-SCHUMACKER が曲線の適合を示す尺度として提案している Correlation Index (CI , 相関指数)¹⁸⁾を採用することとした。これはあてはめた曲線による推定値の標準偏差と観測値の標準偏差との比で表わされるものであるが、また Correlation Index の対立概念として推定式の残差の標準偏差と観測値の標準偏差の比で表わされる Alonation Index (AI , 離反指数)がある。

嶺¹⁵⁾は信州地方カラマツ林分収穫表調製に当たって適用する式の適合性の比較を AI で行なっているが、 AI と CI との間には次の関係があり、

$$1 = CI^2 + AI^2$$

AI が小さいほど、すなわち残差の小さいほど CI^2 は1に近づき適合の良いことが示される。ここでは次式で求められる CI^2 で推定式の適合性を比較することとした。

$$CI^2 = \frac{\sum (\hat{H} - \bar{H})^2}{\sum (H - \bar{H})^2} \dots \dots \dots (8)$$

推定式の適合性を検討のため山陰地域については鳥取、倉吉営林署管内から44本、山陽東部地域では山崎営林署管内から21本、紀州地域では新宮、高野営林署管内分から18本を抽出し、単木ごとに樹齢5年から5年ごとに45年までの樹高について(1)~(7)式をあてはめ、さらに地位指数ごとに分類して CI^2 を求めた。その結果が Table 3 に示してある。

Table 3. 地域・地位指数別にみた CI^2
 CI^2 in accordance with locality and site index

地位指数		8	10	12	14	16	18	20	22	24	平均
資料 本数	地 域										
	山 陰 陽 東 紀										
推定式	山 陰 陽 東 紀	1	4	6	8	7	7	8	3	0	44
	山 陰 陽 東 紀	1	2	3	3	4	3	2	2	1	21
	山 陰 陽 東 紀	1	2	1	3	2	3	3	2	1	18
(1)式	山 陰 陽 東 紀	0.913	0.891	0.796	0.867	0.850	0.892	0.915	0.905		0.873
	山 陰 陽 東 紀	0.544	0.888	0.885	0.934	0.916	0.959	0.931	0.939	0.972	0.906
	山 陰 陽 東 紀	0.967	0.876	0.864	0.948	0.973	0.937	0.965	0.942	0.923	0.938
(2)式	山 陰 陽 東 紀	0.989	0.972	0.970	0.992	0.990	0.997	0.999	0.998		0.989
	山 陰 陽 東 紀	0.924	0.991	0.990	0.992	0.997	0.999	0.999	0.999	0.996	0.992
	山 陰 陽 東 紀	0.987	0.988	0.989	0.994	0.998	0.995	0.997	0.996	0.998	0.994
(3)式	山 陰 陽 東 紀	0.957	0.937	0.873	0.919	0.904	0.935	0.945	0.944		0.922
	山 陰 陽 東 紀	0.719	0.935	0.937	0.952	0.950	0.964	0.958	0.965	0.972	0.941
	山 陰 陽 東 紀	0.991	0.934	0.922	0.975	0.986	0.967	0.988	0.971	0.975	0.970
(4)式	山 陰 陽 東 紀	0.993	0.982	0.988	0.995	0.994	0.998	0.998	0.999		0.994
	山 陰 陽 東 紀	0.984	0.992	0.993	0.987	0.998	0.999	0.999	0.999	0.986	0.994
	山 陰 陽 東 紀	0.992	0.989	0.993	0.996	0.998	0.996	0.999	0.997	0.995	0.996
(5)式	山 陰 陽 東 紀	0.983	0.976	0.991	0.984	0.982	0.967	0.957	0.969		0.975
	山 陰 陽 東 紀	0.924	0.982	0.981	0.914	0.961	0.948	0.951	0.948	0.864	0.949
	山 陰 陽 東 紀	0.964	0.984	0.995	0.957	0.914	0.952	0.942	0.951	0.981	0.955
(6)式	山 陰 陽 東 紀	0.999	0.993	0.997	0.994	0.993	0.995	0.991	0.995		0.994
	山 陰 陽 東 紀	0.994	0.998	0.997	0.981	0.994	0.993	0.991	0.997	0.985	0.992
	山 陰 陽 東 紀	0.997	0.997	0.999	0.998	0.996	0.995	0.999	0.998	0.997	0.997
(7)式	山 陰 陽 東 紀	0.998	0.994	0.997	0.998	0.996	0.998	0.996	0.998		0.997
	山 陰 陽 東 紀	0.984	0.999	0.996	0.988	0.997	0.997	0.996	0.998	0.991	0.994
	山 陰 陽 東 紀	0.991	0.999	0.999	0.997	0.998	0.998	0.991	0.999	0.999	0.996

なお各分類に含まれる資料が複数の場合にはその平均を用いた。この結果、推定式による適合の良さは（７）式＞（４）式＞（６）式＞（２）式＞（５）式＞（３）式＞（１）式の順で（７）式が一番良く適合することがわかった。しかし、（４）、（６）、（２）式の CI^2 は（７）式とほとんど変わらないので、この４式の適合性はほぼ等しいと考えることができる。しかし、残りの（５）、（３）、（１）式の適合性は前者より幾分劣っている。このことは林分の平均樹高と林齢の関係を示す曲線と、単木の樹高成長を示す曲線との違いはあるが、吉田式¹⁴⁾と（４）式を同一式とみなせば¹⁵⁾、嶺¹⁶⁾がカラマツについて出した結論と一致する。しかし、大友¹⁸⁾がヒノキについて検討した結果では、（５）、（６）式が良く、（４）式はやや劣ると述べており、本報告の結果とは一致しなかったが、これは樹種によって成長傾向が異なるためと考えられる。

地域別にみたこれら４式の適合性を比べると紀州地域がやや高くなっているが、その違いはわずかである。また、地位指数別の比較でも低い地位指数において（２）、（４）式の適合性に若干の違いがみられることを除けば地域別にはっきりした傾向は認められない。

このように（２）、（４）、（６）、（７）式で表わされる４種の型の曲線式は適合性において優劣をつけがたい。

したがって次の段階として観測値と推定値の差、すなわち残差に着目し、樹齢に対応して残差がどのような分布をしているか検討してみることにした。

いま樹齢５～１５年を幼齡期、２０～３０年を壯齡前期*、３５～４５年を壯齡後期*として全体の残差に対する各齡期の残差の割合を求めてみる。

Table 3 でわかるように地域ごとの CI^2 に大差のないことからこの３地域を込みにして、地位指数ごとに（２）、（４）、（６）、（７）式のそれぞれについて残差の占める割合を求めた結果を Table 4 に示した。

（２）、（６）式はともに地位指数に関係なく齡期が進むにしたがって残差の割合は高くなり、（７）式は幼齡期の割合が高く、壯齡前期の割合が低いとその傾向は地位指数が高いほど顕著である。（４）式は壯

Table 4. 齡期による残差の占める割合
Ratio of residual among the growing stage

推定式	地位 指数 齡期	8	10	12	14	16	18	20	22	24	平均
(2)式	幼 齡 期	3	13	3	5	7	10	13	17	7	8.8
	壯 齡 前 期	30	25	31	37	41	39	40	40	40	35.7
	壯 齡 後 期	67	62	66	58	52	51	47	43	52	55.5
(4)式	幼 齡 期	7	27	11	24	20	21	29	30	21	21.1
	壯 齡 前 期	44	35	47	45	26	45	46	41	54	24.4
	壯 齡 後 期	49	38	42	31	34	34	25	29	25	34.5
(6)式	幼 齡 期	8	7	8	5	5	5	9	7	7	6.7
	壯 齡 前 期	34	35	38	37	36	32	38	28	40	35.3
	壯 齡 後 期	58	58	54	58	59	63	53	65	53	58.0
(7)式	幼 齡 期	47	73	48	67	62	60	88	71	81	65.5
	壯 齡 前 期	13	12	17	17	14	13	8	9	17	13.3
	壯 齡 後 期	40	15	35	16	24	27	4	20	2	21.2

* 齡期の分類として一般的でないが、本報告ではこの分類によることとする。

Table 5. 地域・地位級別の樹高
Stem height in each site index of district

地 域	地位級	資料本数	樹 齢											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
北 陸	IV	12	0.82	1.85	3.13	4.36	5.55	6.80	7.79	8.73	9.58	10.43	11.17	11.83
	III	21	1.18	2.83	4.66	6.55	8.27	10.05	11.60	13.14	14.45	15.62	16.64	17.45
	II	25	1.45	3.63	5.99	8.55	11.12	13.40	15.40	17.05	18.45	19.65	20.60	21.47
	I	11	1.86	4.85	7.91	10.86	13.59	16.07	18.26	20.29	22.16	23.70	25.04	26.21
	平 均	69	1.32	3.27	5.39	7.58	9.68	11.66	13.38	14.93	16.28	17.47	18.46	19.33
山 陰	IV	10	0.89	2.08	3.38	4.78	5.94	7.09	8.21	9.28	10.19	11.02	11.76	12.45
	III	58	1.28	3.05	4.86	6.75	8.54	10.35	11.96	13.46	14.70	15.75	16.80	17.70
	II	114	1.46	3.80	6.26	8.70	11.10	13.35	15.35	17.06	18.49	19.76	20.93	21.97
	I	84	1.78	4.59	7.74	11.12	14.14	16.73	18.93	20.70	22.30	23.70	25.21	26.56
	平 均	266	1.50	3.82	6.31	8.89	11.31	13.53	15.47	17.13	18.55	19.80	21.04	22.13
山 陽 東 部	IV	4	0.96	2.27	3.56	4.99	6.38	7.49	8.57	9.56	10.52	11.22	11.84	12.35
	III	20	1.43	3.32	5.27	7.41	9.30	10.91	12.40	13.68	14.88	15.91	16.74	17.48
	II	52	1.82	4.18	6.98	9.62	12.01	14.03	15.75	17.17	18.51	19.71	20.60	21.58
	I	51	1.89	5.33	8.86	12.32	15.21	17.54	19.42	21.00	22.51	23.77	24.90	25.62
	平 均	127	1.76	4.45	7.36	10.21	12.69	14.74	16.47	17.92	19.29	20.47	21.44	22.27
山 陽 西 部	IV	14	0.92	2.10	3.33	4.58	5.97	7.35	8.73	9.90	10.87	11.70	12.41	12.99
	III	28	1.19	2.82	4.62	6.62	8.61	10.45	12.08	13.64	14.97	16.04	16.82	17.49
	II	54	1.52	3.65	6.03	8.62	11.20	13.45	15.34	17.07	18.48	19.68	20.66	21.49
	I	59	1.87	4.89	7.95	11.00	14.06	17.09	19.19	20.92	22.45	23.81	25.06	26.05
	平 均	155	1.54	3.83	6.26	8.80	11.35	13.74	15.62	17.27	18.67	19.87	20.90	21.74
近 畿	IV	1	1.15	2.40	3.93	5.44	6.79	8.03	9.18	10.20	11.13	11.93	12.56	13.18
	III	5	1.43	3.17	5.27	7.26	9.01	10.63	12.02	13.21	14.24	15.24	16.05	16.71
	II	13	1.92	4.23	7.00	9.69	12.14	14.28	15.93	17.23	18.45	19.56	20.59	21.37
	I	12	2.43	5.42	8.96	12.14	15.20	17.58	19.39	20.94	22.34	23.55	24.68	26.05
	平 均	31	2.01	4.46	7.38	10.11	12.65	14.77	16.42	17.79	19.04	20.16	21.18	22.17
紀 州	IV	10	1.27	2.92	4.36	5.68	6.84	7.94	8.88	9.80	10.67	11.52	12.18	12.96
	III	14	1.54	4.01	6.08	7.97	9.86	11.31	12.54	13.68	14.69	15.62	16.44	17.13
	II	19	2.09	5.03	7.88	10.37	12.42	14.58	16.06	17.40	18.67	20.10	20.78	21.60
	I	20	2.68	6.05	9.73	12.61	15.30	17.53	19.37	20.89	22.27	23.52	25.10	25.76
	平 均	63	2.02	4.79	7.51	9.80	11.88	13.74	15.19	16.47	17.66	18.83	19.82	20.56

齢前期の割合がやや高いが、他の3式に比較すれば、残差の分布は平均化されている。

このことを言い換えるならば、樹高成長曲線の適合は(2)、(6)式では幼齢期で良く適合し、齢期が進むにつれて悪くなる傾向がみられる。(7)式は幼齢期では適合が非常に悪いが壮齢前期で良く、(4)式は壮齢前期ではやや悪いが、各齢期にわたってほぼ一様に残差が分布しているといえる。全体的な傾向をつかむため地位指数を含みにした推定式ごと、齢期ごとの平均値を図示したのが Fig. 3 である。

この結果から(4)式を用いて地位指数による地位級ごとの樹高成長曲線を作成して地域間の比較を行うこととした。

なお、地位級区分は地位指数10.9m以下を地位級Ⅳ、11.0~14.9mを地位級Ⅲ、15.0~18.9mを地位級Ⅱ、19.0m以上を地位級Ⅰとして分類した。地域ごとに求めた地位級ごとの樹高は Table 5 のとおりである。なお、地域ごとの平均樹高は資料本数による荷重平均値である。

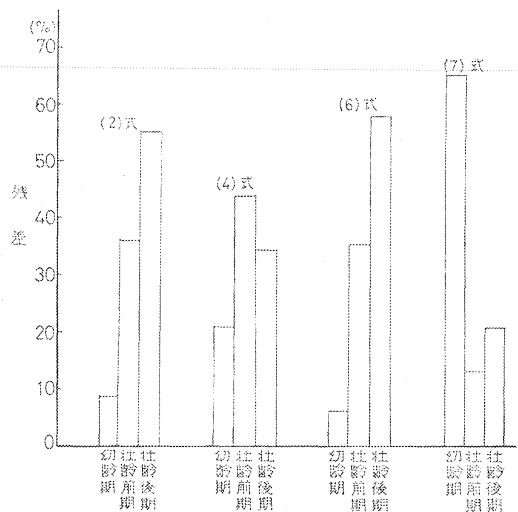


Fig. 3 齢期による残差の占める割合
Ratio of residual among the growing stage.

IV 地域別樹高曲線の比較

1. 比較に用いる曲線式の誘導

前章で樹高成長曲線として、地域ごとの資料に対して全体的に良好な結果の得られた(4)式が妥当であることを示したが、(4)式は次のように一次式に変換してその係数 a , b を求めることができる。

$$\frac{T}{\sqrt{H}} = a + bT \dots\dots\dots (9)$$

係数 a , b と地位との関連について曲線式の型はちがうが D. E. Beck²⁰⁾ の指摘がある。彼は42林分から各3本、126本の White pine についての調査を行い、1,351組の樹齢と樹高のデータから樹高の総変動の要因分析を行っている。それによれば、変動因としての地位級は0.01%水準で有意であり、求められた分散成分は86%が地位級によって占められていることから、彼は樹高成長のパターンの変動の最も大きな原因は地位の相違によるものであると述べている。

地域別、地位級別に求めた(9)式の回帰係数と地位指数の関係を Fig. 4, Fig. 5 に図示してあるが、 a , b とも地域ごとにほぼ直線状であり、地位指数との間に一次関係が認められる。このことから(10)式の係数 a , b と地位指数(S)を次のように関係させることができる。

$$a = a_0 + a_1(S) \dots\dots\dots (10)$$

$$b = b_0 + b_1(S) \dots\dots\dots (11)$$

ここで a_0 , a_1 , b_0 , b_1 は推定すべき係数である。(10), (11) 式を(9)式に代入すると次式が得られる。

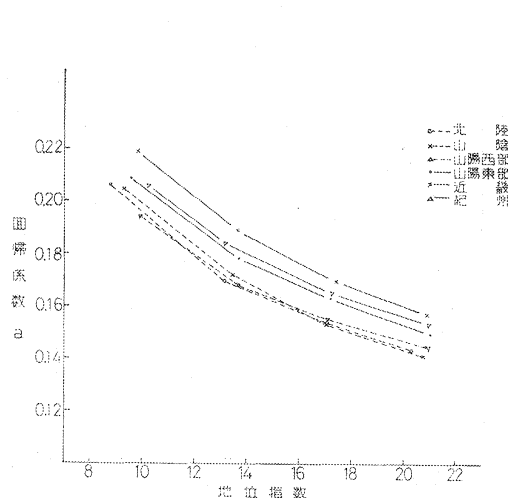


Fig. 4 a と地位指数との関係
Relation between coefficient of regression
(a) and site index.

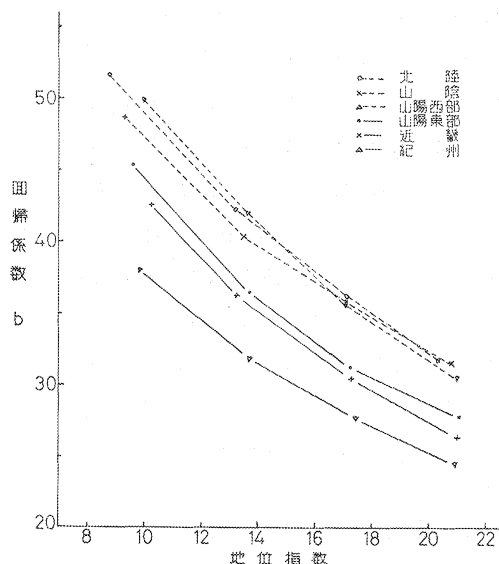


Fig. 5 b と地位指数との関係
Relation between coefficient of regression
(b) and site index.

$$\frac{T}{\sqrt{H}} = a_0 + b_0(T) + b_1(TS) + a_1(S) \dots\dots\dots (12)$$

Table 5 に示す地域，地位級を込みにした 288 組をデータとして (9)，(12) 式をそれぞれ当てはめた結果，(9) 式の決定係数が 80.8% であるのに対して (12) 式のそれは 99.0% となり， S ， ST の新変数を導入したことにより，決定係数は 18.2% 増加した。このとき，(9)，(12) 式の従属変量は同じであるから，(9) 式に S および ST を加えた効果を調べると Table 6 に示すように S ， ST を加えることは極めて有意であることがわかった。このことから逆に，(9) 式の a ， b は地位の影響を受けることが示され，D.E. Beck の指摘は (9) 式にも適用できるものと思われる。

これらのことから (9) 式の係数 a ， b は地位の影響を強く受けているので，地位指数の大きく隔たった林木を使って樹高成長曲線の地域比較をすると，誤った結論を出す可能性があると考えられる。

このようなことから係数 a ， b によって地域の成長傾向の特性を判断するためには地位指数をほぼ等しくするか，あるいは地位の影響を除いた曲線式を導く必要がある。

係数 a ， b から地位の影響を除くということは成長傾向の特性を失わないで同一年齢における Y 変量の変動を小さくすることであり，言い換えれば， Y 変量に適当な重みを付けることで樹高成長曲線の中

Table 6. 追加変量 (S ， ST) の効果
Effect of additional variables

変 動 因	df	$S \cdot S$	MS	F_0
(12)式による	3	3,150.3577	1,050.1192	2,640
(9)式による	1	2,571.7714	2,571.7714	
S ， ST による効果	2	578.5863	289.2931	
(12)式の残差	284	31.1081	0.1095	

心線周りの分散をできるだけ小さくすることである。このため筆者は40年における樹高で示した地位指数の逆数を重みとして用いることを検討した。

(4) 式は地位指数で重みづけすることによって、次のように変形される。

$$\frac{H}{S} = \frac{T^2}{(a' + b'T)^2} \dots\dots\dots (13)$$

したがって

$$\frac{T}{\sqrt{\frac{H}{S}}} = a' + b'T \dots\dots\dots (14)$$

ここで S は地位指数であり、 a' 、 b' は回帰により求められる係数である。

まず、Table 5 から (4) 式と (13) 式の従属変量 H 、ならびに H/S を地位級別に図示すると (4) 式については Fig. 6, (13) 式については Fig. 7 のようになる。Fig. 6 にみられる地位級別樹高成長曲線は地位指数の逆数 ($1/S$) で重みづけることにより、Fig. 7 のように散らばりが著しく小となる。Fig. 7 で各地位級とも 40 年で 1.0 点に集っているが、これは 40 年の樹高を地位指数 S としたためである。

地位級間の関係は 5～10 年でやや錯綜するが、40 年以下で高地位級ほど高い値となり、40 年以上ではこの関係が逆になる。地位級によるこの違いは、「地位が高いほど初期成長は良いが、衰退も早く、地位が低いときは初期成長は良くないが、成長が持続する」という成長パターンの違いであり、 $1/S$ を重みとすることによって成長傾向の特性は変っていないとみることができる。Fig. 6, Fig. 7 は山陽西部について示しているが、地位級間のこの関係は他の地域についても全く同様であった。

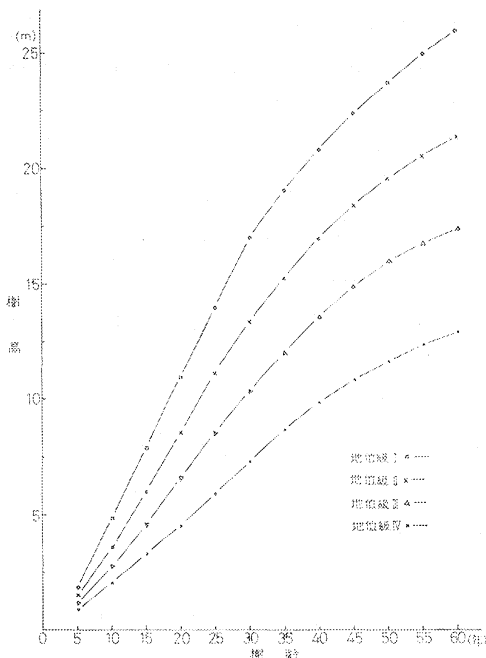


Fig. 6 樹高と樹齢との関係 (山陽西部)
Relation between stem height and age
(The west of Sanyo district).

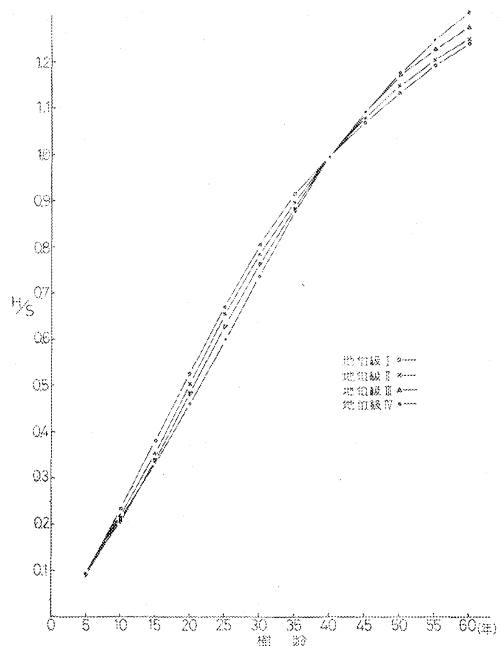


Fig. 7 H/S と樹齢との関係 (山陽西部)
Relation between (H/S) and age (The west
of Sanyo district).

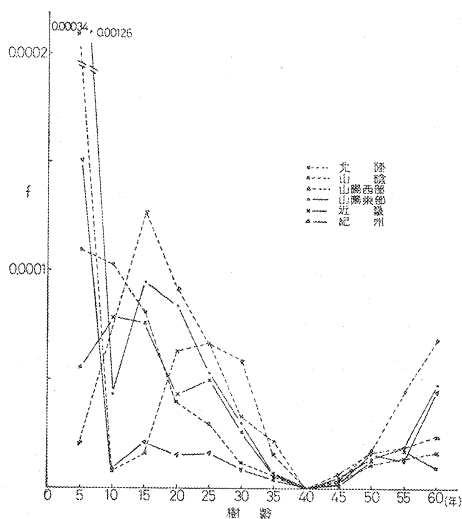


Fig. 8 f と樹齢との関係
Relation between f and age.

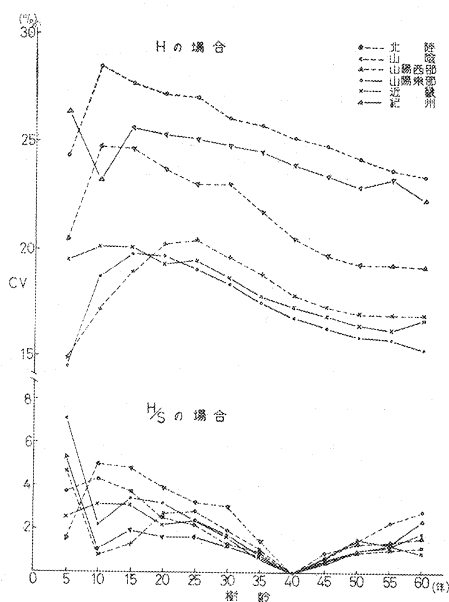


Fig. 9 CV と樹齢との関係
Relation between coefficient of variation and age.

齢階ごとの樹高の分散に対する地位指数の逆数で重みづけた樹高の分散の比 (f) を図示すると, Fig. 8 のようになり $1/S$ の重みを付けた場合の分散がもとの分散に比較して非常に小さくなることは, Fig. 6, Fig. 7 から視覚的にも明らかであるが, f の値は全体として $1/800$ 以下であり, その大部分は $1/10,000$ 以下となっている。

また, 変動係数 (CV) を図示すると Fig. 9 のようになる。 H の場合は, 全体として 15% から 29% の範囲にあり, 地域別には齢階の初期で急増し, 頂点に達したあとは樹齢が進むに従い漸減し, 一定値に近づく傾向がみられる。これは嶺¹⁷⁾, 西沢¹²⁾がカラマツについて求めた樹齢と共に漸減し, 一定値に近づく傾向とは初期の急増部分にちがいが見られるが, 頂点に達したあとの傾向は同じである。

一方, H/S の場合の CV は全体としては 6% 以下と非常に小さく H の場合に比較して $1/5$ 以下である。

さらに Fig. 4, Fig. 5 で示した地位指数と (9) 式の係数との関係が (14) 式の場合には, どのように変るかを知らるため, 地位指数と a' の関係 (Fig. 10), 地位指数と b' の関係 (Fig. 11) について調べてみた。これらの図から地位指数が高くなるにしたがい a' はやや下がり, b' は上がる傾向が見られ, また, 地域的には a' は裏日本系が高い位置にあり, 表日本系が低い位置にあり, b' は逆に表日本系が高い位置を占めていることがわかる。

回帰定数については, Fig. 4 と Fig. 10 を, また回帰係数については, Fig. 5 と Fig. 11 をそれぞれ比較すると, a' , b' の地域的線分は a , b に比較して地位による差が減少し X 軸方向にはほぼ平行的になっている。とくに地位指数の出現度の高い $13\sim 18m$ では a' , b' の大きさが地域性をあらわしているものと考えられそうである。このことは H に対し $1/S$ の重みづけを行い新しい変量 H/S を求め

たことにより、 a, b が受けていた地位指数の影響の大部分を排除することができ、地域性の分離がある程度できたものと考えた。

2. 地域間の比較

Fig. 10, Fig. 11 に示すように (14) 式の係数と地位指数の関係は地域ごとにほぼ一定とみられるので、地域ごとに求めた (14) 式を用いて樹高成長の地域間の比較を行うこととした。さらに地域ごとに求めた (12) 式および地域ごと、地位級別に求めた (9) 式についても検討を行った。

すなわち、次の 4 種の方法について検討を行った。

方法 I : 地域ごとに地位級別に求めた (9) 式による比較

方法 II : 地域ごとに求めた (12) 式による比較

方法 III : 地域ごとに地位級別データをこみにして求めた (14) 式による比較

方法 IV : 地域ごとに平均樹高から求めた (14) 式による比較

このようにして樹高成長曲線の地域比較を回帰分析によって行うには、前提として次の 2 条件を満たしている必要がある。

条件 1 : 比較しようとする地域 (地位級) の残差分散は一様である。

条件 2 : データを込みにしようとするときはその地域内 (級内) では地位級間 (地域間) に差はない。

しかしながら、方法 IV は中心線だけについての考察であるため、データのもっている情報を十分に生かすきれない欠点がある。また、方法 I では地位級ごとの結果に違いを生じたとき、全体的な判断に迷う欠点をもっている。したがって、上に述べた検定のための前提条件が満たされるならば、地域内の地位級別データを込みにした方法 II, 方法 III によるのが最良と考えられる。しかし、ここでは前述した 4 通りの方法で地域間の比較を行ってみた。なお、方法 IV については筆者らがすでに発表²¹⁾していることから本報告ではその結論についてふれるにとどめた。

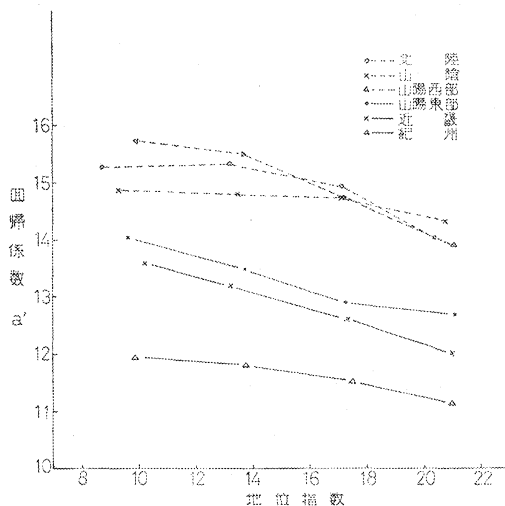


Fig. 10 a' と地位指数との関係
Relation between coefficient of regression (a') and site index.

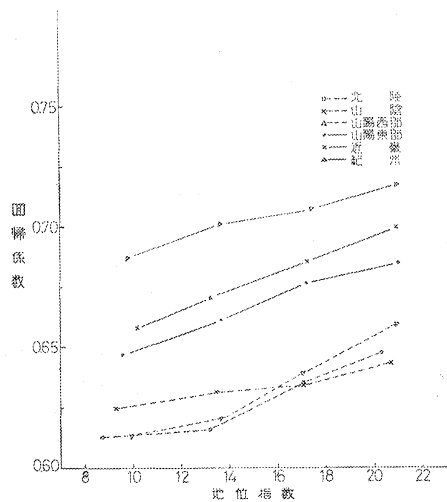


Fig. 11 b' と地位指数との関係
Relation between coefficient of regression (b') and site index.

(1) 方法Iによる地域比較

この方法は、Table 5 に示す樹高をデータとして地位級ごとに(9)式をあてはめ、地位級別に地域間の比較を行うことである。このため、地位級ごとに結論が得られることになる。その手順としてまず、地位級ごとに前提条件1、すなわち分散の一樣性が確かめられたならば、6地域全体の共分散分析により回帰曲線間の差の有無を検定し、差がなければ6地域を同グループとみなし、差があるときは6地域間のあらゆる組合わせについて差の有無を検定し、差のない地域についてグルーピングを行った。

このようにして行った結果の一例として、地位級Ⅳの BARTLETT 法による分散の一樣性の検定結果を Table 7 に、6地域全体の共分散分析の結果を Table 8 に、また、地域の各種の組合わせについての比較の結果を Table 9 に示している。ただし表中、西部、東部は山陽西部、山陽東部を指している(以後おなじ)。

なお、この場合どの地位級についても分散は一樣であった。

Table 9 から解るように、6地域間ではどの地位級についても回帰間、平面間のいずれかに有意差が認められている。地位級ごとに危険率1%水準でみたグルーピングを整理すると次のようになる。

地位級Ⅳ	北陸グループ
	山陰・山陽西部・山陽東部グループ
	近畿・紀州グループ
地位級Ⅲ	北陸・山陰・山陽西部グループ
	山陽東部・近畿グループ
	紀州グループ

Table 7. 方法Iにおける分散の一樣性(地位級Ⅳ)
Uniformity of variance in the Method I (Site class IV)

地	域	f	$\sum d^2yx$	S^2	$f \ln S^2$
北	陸	46	0.73106	0.07311	-26.1579
山	陰	46	0.63200	0.0632	-27.6145
山	陽 西 部	46	1.09928	0.10993	-22.0791
山	陽 東 部	46	0.41984	0.04198	-31.7056
近	畿	46	0.58153	0.05815	-28.4473
紀	州	46	0.63960	0.06396	-27.4950
		276	4.10331		-163.4994

$$\chi^2 = \sum f \cdot \ln \frac{\sum \sum d^2yx}{\sum f} - \sum f \ln S^2 = -160.9530 - (-163.4994) = 2.5464$$

Table 8. 6地域間の共分散分析(地位級Ⅳ)
Covariance analysis among six areas (Site class IV)

要	因	DF	SS	$M \cdot S$	F_0
全	回 帰	1	920.1900	920.1900	
回	帰 間 差	5	1.1372	0.2274	3.33*
平	面 間 差	5	8.0330	1.6066	23.49**
不	明 原 因	60	4.1033	0.0684	

Table 9. 方法 I による地域比較の分散比
Variance ratio in the comparison of the localities by the Method I

比較地域	地位級			
	IV	III	II	I
6 地域間	3.33 23.49**	9.85**	14.32**	24.93**
北陸・山陰・西部間	1.95 12.68**	0.41 1.44	0.08 0.49	1.28 2.47
北陸・山陰間	0.15 12.02**			
山陰・西部間	2.16 3.13			
西部・東部間	4.90* 0.02	7.28* 7.33*	9.44**	8.17**
山陰・西部・東部間	2.75 2.34	3.09 3.65*	8.33**	10.11**
東部・近畿・紀州間	3.30 11.35**	6.70**	4.00* 9.95**	8.30**
東部・近畿間	0.36 18.59**	2.78 7.71*	0.58 0.16	3.21 1.02
近畿・紀州間	5.40* 0	3.66 36.21**	3.65 13.02**	4.75* 3.24

分散比：上段は回帰間差，下段は平面間差

* は 5%，** は 1%水準で有意差が認められる。

地位級Ⅱ { 北陸・山陰・山陽西部グループ
山陽東部・近畿グループ
紀州グループ

地位級Ⅰ { 北陸・山陰・山陽西部グループ
山陽東部・近畿グループ
紀州グループ

このようにして地域比較を行い，グルーピングした結果を地位級ごとに比較すると，地位級Ⅲ，Ⅱ，Ⅰのグルーピングは同じ結論となり，裏日本系，表日本系，中間系に大別できる。しかし，地位級Ⅳでは 3 グループに大別されているが含まれる地域が異なり，地位級ⅣからⅠまでを通しての全体的なグルーピングを考えると判断に迷うところである。

（2）方法Ⅱによる地域比較

この方法は，Table 5 に示した樹高をデータとして地域ごとに，(12) 式をあてはめ，地域間比較を行ったものである。

まず，条件 1 による分散の一様性は χ_0^2 の値が 5.45 となり，6 地域間の分散は一様と考えることができた。

(12) 式による樹高成長曲線の地域比較は 6 地域のあらゆる組合わせについての共分散分析で行った。

Table 10. 方法Ⅱによる地域比較の分散比
Variance ratio in the comparison of the localities by the Method Ⅱ

比較地域	回帰間差	平面間差
6 地域間	4.46**	
北陸・山陰・西部・東部間	1.96**	
北陸・山陰・西部間	0.96	0.25
東部・近畿・紀州間	1.99	4.41*
東部・近畿間	0.55	1.02
東部・紀州間	3.23*	
近畿・紀州間	2.24	4.12*

Table 11. 地域内における地位級間の分散の
一様性, 回帰分析

Uniformity and regression analysis of
variance among site classes in the areas

地域	χ_0^2	F_0	
		回帰間差	平面間差
北 陸	8.20	2.54	1.57
山 陰	9.05	0.66	0.35
山陽西部	10.16	2.94	0.61
山陽東部	4.37	4.18	0.28
近 畿	5.09	3.78	0.47
紀 州	0.51	2.52	0.75

Table 12. 方法Ⅲによる地域比較の分散比
Variance ratio in the comparison of the localities by the Method Ⅲ

比較地域	F_0	
	回帰間差	平面間差
6 地域間	36.64**	
北陸・山陰・西部間	0.29	2.08
東部・近畿・紀州間	16.47**	
東部・近畿間	2.73	0.53
東部・紀州間	35.31**	
近畿・紀州間	14.74**	

(4) 方法Ⅳによる地域比較

この方法は地域ごとの平均樹高から (14) 式により成長曲線を求め, 比較する方法である。分散の一様性の検定では χ_0^2 の値は 8.11 となり分散は一様と認めることができた。6 地域の主な組合わせについての共分散分析の結果を Table 13 に示した。この結果から 6 地域は次の 3 グループに大別されることがわかった。

その主な組合わせについての結果を Table 10 に示す。

この結果からこの方法によったとき, 6 地域は次の 3 グループに大別されることがわかった。

北陸・山陰・山陽西部グループ
山陽東部・近畿グループ
紀州グループ

(3) 方法Ⅲによる地域比較

この方法は, 地域ごとにおのおのの樹高に 1/S の重みづけをした (14) 式により地位級を込みにして成長曲線を求め, 地域間の比較を行うものである。地位級を込みにするため, 地域ごとの地位級間について条件 1, 条件 2 の検定を行った結果を Table 11 に示している。分散は 6 地区のいずれについても危険率 1% で一様とみなすことができた。

また, 回帰式間の比較では回帰係数間差が山陽東部, 近畿, 山陽西部は危険率 5% で差が認められたが, 危険率 1% では差が認められないので地域ごとに地位級をこみした成長曲線を求めることとした。地位級をこみにした 6 地域の樹高成長曲線式について分散の一様性を検定した。この結果, χ_0^2 の値は 9.24 となり, 分散は一様と考えることができた。

6 地域のあらゆる組合わせについて共分散分析を行ったが, その主な組合わせについての結果を Table 12 に示す。この結果から 6 地域は次の 3 グループに大別されることがわかった。

北陸・山陰・山陽西部グループ
山陽東部・近畿グループ
紀州グループ

北陸・山陰・山陽西部グループ
 山陽東部・近畿グループ
 紀州グループ

Table 13. 方法Ⅳによる地域比較の分散比
 Variance ratio in the comparison of the
 localities by the Method Ⅳ

比較地域	回帰間差	平面間差
6 地域間	22.56**	
北陸・山陰・西部・東部間	9.71**	
北陸・山陰・西部間	0.84	0.221
東部・近畿・紀州間	7.09**	
東部・近畿間	1.87	0.50
東部・紀州間	20.89**	
近畿・紀州間	4.23*	6.09**

3. 地域間の樹高成長曲線の比較方法の検討

前節で推定式の型と、使われるデータから4方法を設定し、それぞれについて地域比較を行った。方法ごとに得られた地域のグルーピング状態をまとめて Table 14 に示しているが、右とじ大カッコによってくくられた地域がグルーピングの内容を示している。

方法Ⅰの地位級Ⅲ、Ⅱ、Ⅰと方法Ⅱ、方法Ⅲならびに方法Ⅳでのグルーピングの内容は同じとなり、北陸、山陰、山陽西部3地域が裏日本系として、紀州地域が表日本系として、また山陽東部、近畿地域が中

Table 14. 比較方法ごとのグルーピング状態
 Grouping condition in each comparative method

方法 地位級	方 法 Ⅰ				方法Ⅱ	方法Ⅲ	方法Ⅳ
	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	こみ	こみ	平均樹高
北 陸	□	□	□	□	□	□	□
山 陰	□	□	□	□	□	□	□
山 陽 西 部	□	□	□	□	□	□	□
山 陽 東 部	□	□	□	□	□	□	□
近 畿	□	□	□	□	□	□	□
紀 州	□	□	□	□	□	□	□

Table 15. グループ内の回帰結果
 Result of regression in the group

方法 地位級	方 法 Ⅰ				方法Ⅱ	方法Ⅲ	方法Ⅳ
	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ			
北 陸	$b=0.2075$ $a=5.1766$ $r=0.9976$				$a=6.5100$		
山 陰		$b=0.1700$ $a=4.1573$ $r=0.9979$	$b=0.1541$ $a=3.5922$ $r=0.9991$	$b=0.1431$ $a=3.1028$ $r=0.9995$	$b_1=0.2460$ $b_2=0.0052$ $b_3=0.1683$ $R=0.9956$	$b=0.6316$ $a=14.8665$ $r=0.9982$	$b=0.6374$ $a=14.6798$ $r=0.9992$
山 陽 西 部	$b=0.2031$ $a=4.8132$ $r=0.9968$						
山 陽 東 部		$b=0.1817$ $a=3.6416$ $r=0.9987$	$b=0.1643$ $a=3.0822$ $r=0.9994$	$b=0.1512$ $a=2.6987$ $r=0.9995$	$a=5.8156$ $b_1=0.2537$ $b_2=0.0050$ $b_3=0.1534$ $R=0.9967$	$b=0.6732$ $a=13.0838$ $r=0.9988$	$b=0.6844$ $a=12.6640$ $r=0.9996$
近 畿	$b=0.2129$ $a=4.043$ $r=0.9976$	$b=0.1896$ $a=3.1915$ $r=0.9998$	$b=0.1696$ $a=2.7633$ $r=0.9998$	$b=0.1570$ $a=2.4335$ $r=0.9997$	$a=4.9700$ $b_1=0.2712$ $b_2=0.0056$ $b_3=0.1242$ $R=0.9976$	$b=0.7035$ $a=11.6043$ $r=0.9992$	$b=0.7082$ $a=11.4608$ $r=0.9997$
紀 州							

間系として 3 グループに大別された。

しかしながら、方法Ⅰにおいて地位級Ⅳのグルーピングの内容が異なっている。これは (9) 式の性質として地位指数の低い成長曲線の解析力が弱いのか、山陽東部、近畿の資料本数が少いため成長曲線に内すべき地域の特性に欠けているのか、それらの点を明らかにすることはできなかった。

Table 14 に示した比較方法ごとのグループのそれぞれについてグループ内の推定式を求めた。その結果を Table 15 に示してある。グループ内のいずれの推定式も非常に高い相関を示しており、従属変量の変動の 99% 以上が説明されていることがわかる。

このようにして比較方法ごとのグルーピングと、グループ内での推定式は求められたが、次の段階として比較方法のよしあしについて判断する必要がある。推定しようとする式の型はちがっても、同じデータを用いてグルーピングをしたとき、そのグルーピングの内容が同じであるときは推定精度によって判断し、推定精度の高い比較方法を採用すべきである。

しかし、いままで進めてきた検定では、方法Ⅱと方法Ⅲは同じデータを使っているが、(12) 式と (14) 式とでは従属変量の内容が異なり、また従属変量の内容が同じである方法Ⅰと方法Ⅱでは推定曲線の数が異なっていることから、推定上の精度、すなわち相関係数、重相関係数をそのまま樹高の推定精度として使うことはできない。

そのため、さきに (8) 式で定義した相関指数の二乗 (CI^2) を推定精度の指標として、データをそろえる必要からグルーピングが他の方法、他の地位級と異なった内容となった地位級Ⅳをデータから除外して、地位級Ⅲ、Ⅱ、Ⅰについての推定曲線を各方法ごとに求め、樹高と推定樹高の偏差から CI^2 を求めた。その結果をまとめたのが Table 16 である。なお、さきにあげた方法Ⅳは他の方法に比較してデータが異質なため、比較方法の検討の対象とはしないこととする。

Table 16. 推 定 精 度 の 比 較
Comparison in the accuracy of the estimation

方法	地 域 系	n	K	I	$\bar{H}$ (m)	$\frac{\sum(H-\hat{H})^2}{\sum d^2 y x}$	$\sqrt{\frac{\sum d^2 y x}{n-KI}}$ (m)	CI^2
Ⅰ	裏 日 本	108	3	2	13.18	6.8401	0.259	0.9987
	中 間	72	3	2	13.53	3.7838	0.239	0.9989
	表 日 本	36	3	2	13.85	1.0225	0.185	0.9994
Ⅱ	裏 日 本	108	1	4	13.18	10.6913	0.321	0.9980
	中 間	72	1	4	13.53	7.3668	0.329	0.9978
	表 日 本	36	1	4	13.85	3.3854	0.325	0.9978
Ⅲ	裏 日 本	108	1	2	13.18	9.0372	0.292	0.9983
	中 間	72	1	2	13.53	4.5403	0.255	0.9986
	表 日 本	36	1	2	13.85	1.1058	0.180	0.9993
Ⅳ	裏 日 本	36	1	2	13.29	0.9685	0.169	0.9991
	中 間	24	1	2	14.05	0.5378	0.156	0.9995
	表 日 本	12	1	2	13.19	0.3206	0.179	0.9992

n : 用いられたデータの数

K : 用いられた推定式の数

I : 推定式の独立変数の数 + 1

全体としてみたとき、 CI^2 は 0.9978 以上と非常に高い値であり、樹高の変動の大部分はこの推定により説明され、残差部分はわずかに 0.22% 以下である。方法別にも、地域系別にもその推定精度にちがいがあるとは考えられず、しいて言えば方法Ⅱがやや低い精度であり、方法Ⅰ、方法Ⅲでは裏日本系が表日本系に比較してやや低い傾向がみられる。また、標準誤差とみることのできる $\sqrt{\sum d^2 y / (n - KI)}$ についても CI^2 と同様の傾向であり、方法Ⅱではやや大きな値となった。

こうしてみると、推定精度、標準誤差いずれからも比較方法の優劣をつけることはできず、方法Ⅰ、方法Ⅱ、方法Ⅲは推定上からみたとき、ともに同水準にあるとみてさしつかえないものと思われる。

したがってここでは回帰計算、検定の難易などを比較方法の優劣の判断の材料として用いても良いと思われる。

まず、方法Ⅰは地位級ごとに地域比較をすることから全地位級を通じて同じグルーピングとなる保証はなく、今回も地位級Ⅳは他の地位級と異なるグルーピングとなった。このため好ましい地域比較の方法であるとは言えない。方法Ⅱと方法Ⅲを比較すると、推定式の独立変数が方法Ⅱでは 3、方法Ⅲでは 1 であることから同一グループ内の推定曲線を定めるまでの一連の計算量と、その複雑さは方法Ⅱは方法Ⅲの数倍であろうと思われ、また、わずかであるが推定精度も方法Ⅲが高いことを考えあわせて、方法Ⅲの方が優れていると言える。

これらの点から総合的には、地位級区分がなされているデータでさきに示した共分散分析に必要な 2 条件を (14) 式について満たしているならば、方法Ⅲによる地域比較が最良であり、(14) 式についての 2 条件を満たしえず、かつ、(12) 式についての条件 1 を満たしているときは方法Ⅱによる地域比較が好ましい。(12) 式についての条件 1 も満たされていないならば方法Ⅰにより地位級ごとの地域比較を行わざるを得ない。

また、地域ごとの平均樹高をデータとするとときは方法Ⅳにより地域比較を行う。もし、地域ごとの地位指数がほぼ等しいならば、(9) 式による地域比較も可能であり、そのグルーピング、推定精度も同程度のものが得られるであろう。

V 修正指数曲線式による比較

修正指数曲線式と呼ばれる (7) 式、すなわち $H_t = K - ab^t$ は地位指数曲線の作製の際、ガイドカーブを求めるのに広く用いられている。 K と b は成長衰退の遅速の指標となることから K または b の値の大小によって、成長パターンの地域性を判断している¹⁾。

前章で取扱った (9) 式の回帰係数は地位との関係が深いことがわかっているので (7) 式においても K 、 a 、 b と地位指数との関係を吟味して成長パターンの判定に適した指標であるか否かを知る必要がある。

Table 5 の樹高をデータとして、地域ごと地位級ごとに (7) 式のパラメータを定差法 (E. C. BRYANT の方法) によって求め、 b と地位指数との関係を Fig. 12 に、 K と地位指数との関係を Fig. 13 に示した。地域内においても b と地位指数との間に右下り、また K と地位指数との間に右上りの一次関係が認められ、(9) 式と同様に b 、 K は地位の影響を受けていることがわかる。このとき、 a と地位指数の関係は K と a との間に非常に高い相関関係があることから、Fig. 13 とほぼ同じ傾向となった。

このように (7) 式の K 、 a 、 b が地位の影響を受けていることから、橋本²⁾らの「修正指数曲線式の K

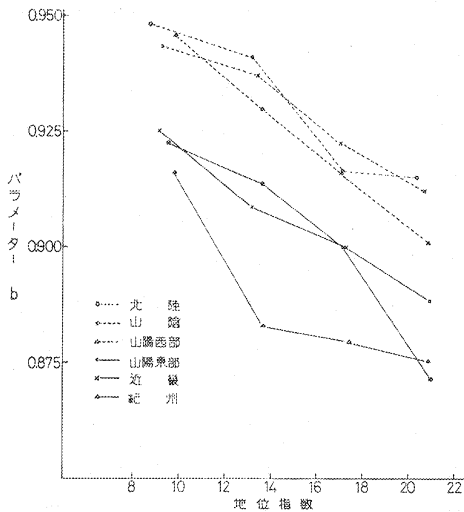


Fig. 12 b と地位指数との関係
Relation between parameter (b) and site index.

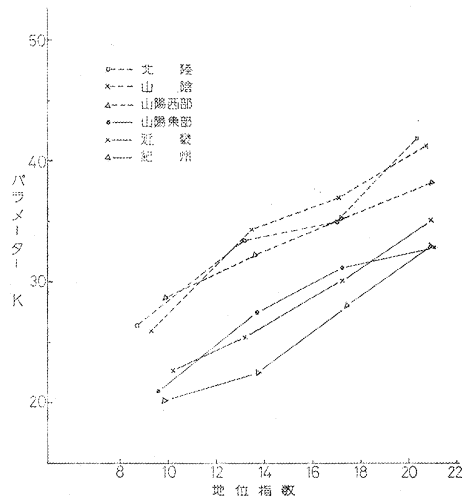


Fig. 13 K と地位指数との関係
Relation between parameter (K) and site index.

または b の大小によって裏日本系，表日本系を，また品種的には早成種，晩生種を判定できる」という論旨は厳密な意味では，地位が等しいという限られた条件のもとでのみ正しいと考えられる。

K および b から地位の影響を除くということは Fig. 12, Fig. 13 の地域ごとの線分を X 軸にほぼ平行にさせることであり，(9) 式では $1/S$ の重みづけによりほぼ解決した。

(7) 式の Y 変量に $1/S$ の重みづけをしたとき求められるパラメータ K' , a' , b' と (7) 式の K , a , b との間に

$$K' = \frac{K}{S}, \quad a' = \frac{a}{S}, \quad b' = b$$

が成り立ち， K , a は $1/S$ の重みづけで変化するが b は変わらない。 K' と地位指数についてその関係を調べたところ，地位指数の増加とともに K' は減少する右下りの一次関係になり， K と地位指数の関係とは逆になった。このことは (7) 式ではつけられた $1/S$ の重みが適当でないためと考え $1/\sqrt{S}$ の重みづけを行うこととした。このとき得られるパラメータ K'' , a'' , b'' と K , a , b との間に次の関係式が成り立つ。

$$K'' = \frac{K}{\sqrt{S}}, \quad a'' = \frac{a}{\sqrt{S}}, \quad b'' = b$$

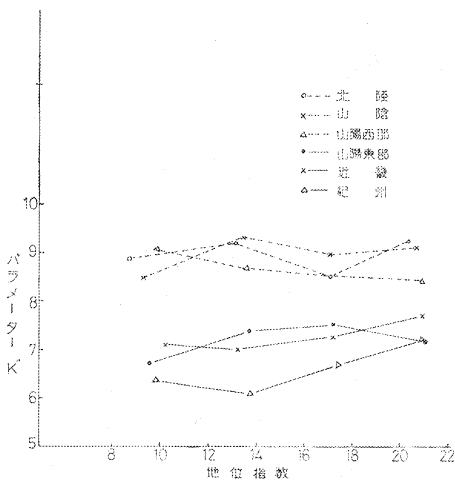


Fig. 14 K'' と地位指数との関係
Relation between parameter (K'') and site index.

求められた K'' と地位指数の関係を示したのが Fig. 14 である。Fig. 13 に比較して地域ごとの

線分はX軸にはほぼ平行状態になり、地域ごとの K'' の値の変化が小さくなったことから、 K'' の大きさが地域性をあらわしているものと考えることができよう。

この結果と前章でのグルーピングの結果をあわせてみると、資料の出現度の高い地位指数 13~18 では K'' が 8 以上ならば裏日本系、6.8 以下ならば表日本系、6.8~8 ならば中間系とみてさしつかえないものと思われる。

ただし、この K'' の値によるグルーピングは、樹齢 40 年生での樹高を地位指数として、60 年生までの樹高をとった場合であり、地位指数を示す基準齢、データの林齢の範囲、修正指数曲線の求め方が異なると K'' の値が変わってくることに注意が必要である。

VI ま と め

樹高成長曲線の比較方法について、本州西南部におけるスギについて検討を行なった。

7 種の樹高成長曲線のうち推定精度がよく、かつ回帰分析が容易な (4) 式を選んで地域比較を行うこととした。このとき、係数 a , b は地位との関係が深いことから、この関係を除くため、地位級ごとの (9) 式による地域比較 (方法 I)、(4) 式に地位指数に関係する独立変数を挿入した (12) 式による地域比較 (方法 II)、(4) 式の従属変数に地位指数の逆数の重みを付けた (14) 式による地域比較 (方法 III)、さらに地域ごとの平均樹高の (14) 式による地域比較 (方法 IV) の 4 方法を検討した。

その結果、分散分析の前提条件が満たされているならば地位級別に資料がとられているときは、方法 III が最も優れた比較方法であり、ついで方法 II が良く、方法 I は余り好ましい比較方法ではなかった。また、地域ごとの平均樹高のみが与えられたときの比較方法としては方法 IV によることが望ましい。

方法 III による地域比較の結果——方法 I の地位級 IV の結果を除いた他の方法の結果も同じであるが——、6 地域に分けていた本州西南部は裏日本系、表日本系、中間系の 3 グループに大別され、気候区分とはほぼ一致する。ただ、山陽西部が裏日本系に分類されている点に疑問を感じるが、熊本スギは裏日本系に近い成長傾向であるという大友¹⁹⁾の指摘のあることを考えればうなづけないことはない。

また、修正指数曲線のパラメータ K , a , b も地位の影響を受けており、この曲線式では $1/\sqrt{S}$ の重みを付けることにより、その影響の大部分を取り除くことができることがわかった。

$1/\sqrt{S}$ の重み付けにより得られる K'' , a'' , b の K'' の値が 8.0 以上では裏日本系と、6.8 以下では表日本系と、6.8~8.0 を中間系とみることができそうである。

これらの方法によって、地位指数曲線群を作製する地域グループの分類がかなり合理的に行うことができ、さらには収穫表の適用地域を検討する場合の一つの指標として役立つであろう。

引 用 文 献

- 1) 橋本与良ほか：スギのすべて、坂口勝美監修、全国林業普及協会、(1969)、55~56 pp.
- 2) —————：同上、53 p.
- 3) 川名 明：壮齡林肥培について、日本殖産工業協会、21~23 pp.
- 4) 鈴木太七：確立過程としての林分の遷移 (II)、日林誌、49(1)、(1967)、17 p.
- 5) —————：林地肥培効果の評価に関する研究、長谷川孝三編 (1961)、86~109 pp.
- 6) 小坂淳一・金 豊太郎：成長収穫予測に関する研究 (I)、日林東北支講 No. 24、(1973)、16~17 pp.
- 7) 真辺 昭：多変量解析による樹高成長の型の判別方法について、林試北海道支年報 (1965)、81~

- 104 pp.
- 8) 福井栄一郎：日本の気候区（第2報），地理評，（1933），No. 9, 1~4 pp.
 - 9) 島本貞哉：収穫表の調製について，御料林，No. 98, （1936），2~30 pp.
 - 10) 西沢正久：森林測定，農林出版，（1972），249 p.
 - 11) 西沢正久ほか：地位指数による林地生産力の測り方，林業科学技術振興所，7~8 pp.
 - 12) 西沢正久・真下育久・川端幸蔵：数量化による地位指数の推定法，林試研報，176, （1965），12~14 pp.
 - 13) BRUCE-SCHUMACKER: Forest mensuration 3 ed., （1950）
 - 14) 吉田正男：同令単純林に於ける単木及び林木の成長曲線に関する研究，東大演報，No. 5, （1928）
 - 15) 嶺 一三：収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製，林野庁，林業試験場，（1955），105 p.
 - 16) —————：同上，87~88 pp.
 - 17) —————：同上，91~93 pp.
 - 18) 大友栄松：関東ひのき林分収穫表調製説明書，林野庁，林業試験場，（1961），21~22 pp.
 - 19) —————：スギのすべて，坂口勝美監修，全国林業普及協会，（1969），341 p.
 - 20) D. E. BECK: Height-growth patterns and site index of white pine in the southern Appalachians, Forest Science, 17(2), （1971），252~260 pp.
 - 21) 長谷川敬一・上野賢爾：スギにおける樹高成長曲線の比較について，日林講，No. 85, （1974），（8），55~58 pp.

Study on the Method in the Comparison of Height Growth Curves

—In the case of Sugi (*Cryptomeria japonica*) in the southwest of Honshu Island—

Keiichi HASEGAWA⁽¹⁾

Summary

How to compare the height growth curves was discussed in the following way: On the basis of the climatic conditions, the south-west of Honshu Island was divided into six areas of Hokuriku, San-in, the West of Sanyo, the East of Sanyo, Kinki, and Kishu, then, the stems of the sample trees from these areas by plotless research were analyzed for the comparison of the height growth curves in each area, and the characteristics of the areas in relation to height growth were discussed. The results of the discussion are as follows:

1. From many equations for the estimation of height growth curve which have been proposed so far, seven equations of different types were selected and height growth curves were obtained by means of them. As the result of the examination of their fitness, the following four equations were revealed to be superior to the others in the accuracy of the estimation.

Received February 2, 1976

(1) Kansai Branch Station

$$\log H = a + b_1 \frac{1}{T} + b_2 \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2)$$

$$H = \frac{T^2}{(a + bT)^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$H = aT^{b_1} e^{-\frac{b_2}{T}} \dots\dots\dots (6)$$

$$H_t = K - ab^t \dots\dots\dots (7)$$

With these equations, it was examined how the errors, i.e., residuals of the estimation were distributing in accordance with age grade. The ratio of residual increased in accordance with the increase of age grade in the case of Equations (2) and (6), the residuals concentrated in young stage in the case of Equation (7), and the distribution of them was more even through the stage in the case of Equation (4) than by any other equation.

2. As a result, the height growth curves of the different areas were compared by means of Equation (4). Equation (4) can be modified as follows.

$$\frac{T}{\sqrt{H}} = a + bT \dots\dots\dots (10)$$

The coefficients a and b in this equation have relation to the characteristics of areas and the first grade relation can be recognized between those coefficients and the site qualities (Figs. 3 and 4). Therefore, when we try to compare the height growth curves of different site index, it is necessary to eliminate the influence of site quality from coefficient.

Now, if the H of Equation (4) is multiplied by the reciprocal of site index (S) (the height at 40 years old), most of the problems concerning the relation between the coefficient and site quality (Figs. 5, 6, 9, and 10) can be eliminated. Equation (4) is modified as follows:

$$\frac{T}{\sqrt{\frac{H}{S}}} = a' + b'T \dots\dots\dots (16)$$

As the coefficients a and b in Equation (10) have a first grade relation to site index, the following equation can be assumed.

$$a = a_0 + b_0 S, \quad b = a_1 + b_1 S$$

When this equation is substituted into Equation (10), the following equation is obtained.

$$\frac{T}{\sqrt{H}} = a_0 + b_0 S + a_1 T + b_1 TS \dots\dots\dots (13)$$

3. As the method in the comparison of height growth curve among various areas, the following four methods are proposed to make up for the difference between the value by the equation and the data.

Method I: Areas are compared by Equation (10) in each site class. So, in this method, there is a possibility to be able to obtain the result of the comparison of the areas which are divided by the unit of site quality.

Method II: Areas are compared by Equation (13)

Method III: Areas are compared by Equation (16), adding class as a factor.

Method IV: Areas are compared by Equation (16), using the height growth curves which were averaged in each area.

Adopting these four methods, areas were compared by means of covariance analysis using tree height on each area and site class (Table 5) as the data.

As the results of this, six areas in the southwest of Honshu are divided into the following three groups except Method I and site class IV.

Hokuriku, San-in, and west of San-in area.....Japan Sea side type

East of Sanyo, and Kinki areaMiddle type
 Kishu area.....Pacific Ocean side type

In the case of by Method I and site class IV, west of Sanyo area is included in Middle type and Kinki area is in Pacific Ocean side type, and these are different from the result by other methods and site class.

Here, the accuracies of the estimation in each group were almost the same through each method. Therefore, as the method in the comparison of height growth curves, Method III would be best followed by Method II, because the treatment in the covariance analysis is easiest in Method III. Method I would be inferior to other methods, because the difference of grouping is liable to be caused by the difference of site classes.

When the data are given in terms of the average in each area, the comparison by Method IV is most desirable.

Equation (7) which is widely used as the guide curve of height growth curve was also discussed. A close relation is recognized between the parameters, K , a , and b in Equation (7) and site quality (Figs. 11, 12). As for K and a , this relation is eliminated by multiplying $1/\sqrt{S}$ to H_t , but as for b , it is not solved by this way. The values of the parameter, K'' which is obtained after multiplying $1/\sqrt{S}$ is regarded to express the characteristics of the areas. When its value is larger than 8.0, the area of it could be regarded as being included in Japan Sea side type. And in the same way, when it is smaller than 6.8, it is Pacific Ocean side type, and in the case of 6.8~8.0, it is Middle type (Fig. 13).

4. Now that height growth curves have been divided into three types, it might be desirable that the yield table of *C. japonica* stand in Kinki - Setouchi area which have been obscure so far be modified, and the adaptation of the yield tables now used in each area be re-examined.