

# トドマツ人工林の樹高生長型と林分

## 樹高生長の解析について

小林正吾\*

Height growth types of todo-fir (*Abies sachalinensis* MAST.) plantations

By Shōgo KOBAYASHI\*

はじめに

林木の樹高生長は、一般に立木密度の影響を受けないという前提のもとで、林地の地位評価の尺度として利用されている。しかし、林木の樹高生長は、地位因子以外に林木の遺伝的性質、林木間の競合、その他被害や手入れなど地位と直接関係のない因子の影響も受けるものと考えられる。また、立地因子の異なる林分間の樹高生長が一般に仮定されているように、相互に比例的な過程をたどるかどうかが明らかでない。この2点は、林分樹高の利用に先立って、まず検討を要する問題である。

北海道の主要造林樹種であるトドマツについて、一定の地域の平均樹高生長曲線に GOMPertz 曲線がよく適合することが林業試験場北海道支場(1965)によって報告された。そこで、筆者はいろいろな地位のトドマツ人工林分からえた樹幹解析木の樹高対年齢の観測値に GOMPertz 曲線式をあてはめ、その樹高生長曲線の形に検討を加えた。また、2個所のプロットについて、全立木の樹高生長を測定して、林分樹高の生長過程を分析し、上述した樹高生長の利用上の問題点について若干の検討を行なった。

なお、この研究にあたり貴重な資料の提供と、調査、解析についていろいろ御指導を頂いた、林業試験場北海道支場の真辺昭技官、また、現地調査に積極的に協力を頂いた関係林務署の各位、および本調査に直接参加を頂いた当場の薄井五郎、杉浦勲両研究員に厚く謝意を表す。

### 資料および測定法

生長型分類に用いた資料は、林地生産力調査のため、1965年に北海道北部の美深・雄武\*\*両林務署管内のトドマツ人工林内に設けられた36箇所の調査プロットからえたものである。プロットの位置は35年生前後の林分を対象に、いろいろな生長状態、および、各種の地形、土壌条件が含まれるように配慮して定められた。各プロットにおいて、上層木中の平均樹高と平均直径をもつ1本の正常木を選び、これを伐倒して樹幹解析により、1年毎の樹高生長量を測定した。

資料木の本数、および、年齢などは第1表に掲げたとおりである。

林分樹高生長の解析は、北海道東部に位置する北見林務署管内のトドマツ人工林で、明らかに樹高生長に差が

---

\* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido.

\*\* 雄武林務署管内の資料は、林試北海道支場(1965)によって行なわれた林地土壌生産力調査の資料による。

[北海道林業試験場報告 Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, No. 5, June, 1967]

第 1 表 資料木の概括表

Table 1 Sample trees

地 区 Block	資料木本数 Number of sample trees	年齢の範囲 Range of age (years)	30年における樹高の範囲 Range of height at 30 years (m)
雄 武 Oumu	22	30~42	8.8~16.7
美 深 Bifuka	14	30~38	8.8~18.3
計 Total	36	30~42	8.8~18.3

第 2 表 プロットの立木構成表

Table 2 Stand composition of plots

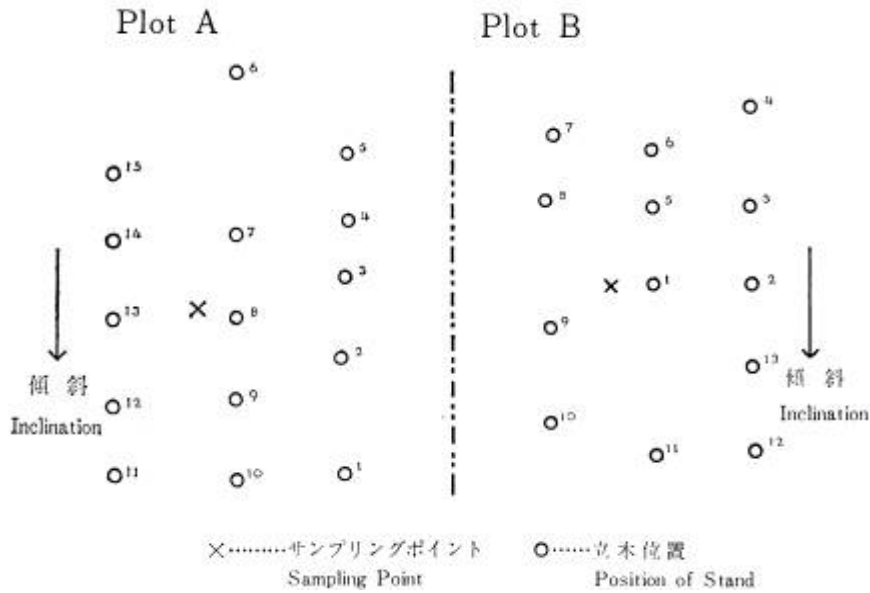
立 木 Tree No.	直 径 Diameter (cm)	樹 高 Height (m)	標本点から の 距 離 Distance from sampling point (m)	断面積定数 Basal area factor	ha 当り断面積 Basal area per ha (m <sup>2</sup> )	ha 当り本数 Number of trees per ha (本)	ha 当り材積 Volume per ha (m <sup>3</sup> )
Plot A							
8	22.0	15.35	1.00	121.0000	60.50	1, 592.4	493.7
7	21.0	16.00	2.10	25.0000	49.00	1, 303.4	403.8
14	23.0	16.10	0.70	18.1476	47.12	1, 278.6	397.9
13	9.0	8.95	1.20	14.0625	47.65	1, 512.5	398.3
9	17.0	8.80	2.50	11.5600	48.52	1, 805.5	396.6
15	26.0	16.50	4.00	10.5625	50.12	2, 013.5	402.4
2	20.5	15.45	3.80	7.2900	49.73	2, 052.4	396.4
11	23.0	16.20	4.60	6.2500	49.37	2, 062.1	392.1
12	16.5	14.70	3.40	5.9049	49.46	2, 079.8	392.1
5	22.0	15.85	5.40	4.1616	48.47	2, 043.6	384.1
6	24.5	14.65	6.00	4.1616	48.04	2, 023.0	380.7
4	16.0	14.10	4.30	3.4596	47.35	1, 990.5	375.3
1	19.5	13.20	5.40	3.2761	46.86	1, 966.8	371.4
10	16.0	16.05	4.50	3.1684	46.57	1, 952.0	369.1
3	8.0	7.05	3.80	1.1025	44.53	1, 871.9	352.8
Plot B							
1	18.0	14.00	1.00	81.0000	40.50	1, 594.9	317.0
5	18.5	13.45	2.20	17.6400	33.45	1, 308.7	259.6
9	14.5	12.75	2.00	13.1769	33.28	1, 578.9	255.9
10	22.5	15.65	3.80	8.7616	32.63	1, 512.2	251.0
3	15.0	11.85	3.00	6.2500	31.73	1, 448.0	244.3
2	16.0	11.25	3.50	5.2441	31.25	1, 419.7	239.7
6	16.0	12.80	3.50	5.2441	31.65	1, 436.7	241.6
8	12.0	10.15	2.80	4.5796	31.99	1, 464.7	242.8
11	18.0	11.40	4.40	4.2025	32.40	1, 501.1	244.3
7	15.5	12.20	4.10	3.5721	32.50	1, 517.7	243.9
12	18.0	12.30	5.40	2.7889	31.96	1, 511.3	240.6
4	18.0	13.56	5.70	2.4964	31.69	1, 501.5	237.5
3	10.0	8.45	4.00	1.5625	30.75	1, 463.0	229.8

林分因子の計算は西沢 (1966) の提案による角度加算法によって求めた。

Stand composition factors were calculated with angle summation method.

認められる2つの林分について行った。

この2つの林分内において、土壌試孔を中心点として角度加算法により、カウントされた立木について、節間生長を測定し、1年毎の樹高生長量を求めた。両林分は無間伐で、プロット内の立木構成は第2表のとおりである。また、立木の位置は第1図のようであった。なお第2表の林分因子の算出は西沢(1966)の方法によった。



第1図 プロットの立木位置図  
Fig. 1 Stand map of plot

### 樹高生長型の分類

GOMPERTZ 曲線式のあてはめ

GOMPERTZ 曲線は、ロジステック曲線の一種で、非対称のシグモイド曲線である。この曲線式は

$$\frac{dY}{dt} = BY \left( \log \frac{K}{Y} \right) \quad (1)$$

の解としてえられるもので

$$Y = K e^{-Ce^{-Bt}} \quad (2)$$

で表される。ここで、 $t$ は時間を表す変数で、 $K, C, B$ は定数である。 $K$ は生長曲線の上方漸近線で、曲線の垂直的尺度の定数である。 $B$ は単位時間当りの増加率で、曲線の水平的尺度の定数、また、 $C$ は単に函数の対数的尺度である。

(2) 式で、 $e^{-C} = a$   $e^{-B} = b$ とおくと

$$Y = K a^{b^t} \quad (3)$$

となり、ここで  $t$ は植栽時を0年とする年齢、 $Y=y_t$ とおき、 $t$ 年における樹高を表すものとする。次に、(3)式の両辺の対数をとると、

$$\log y_t = K' + a' b^t \quad (4)$$

となる。ただし、 $K' = \log K$ 、 $a' = \log a$

いま

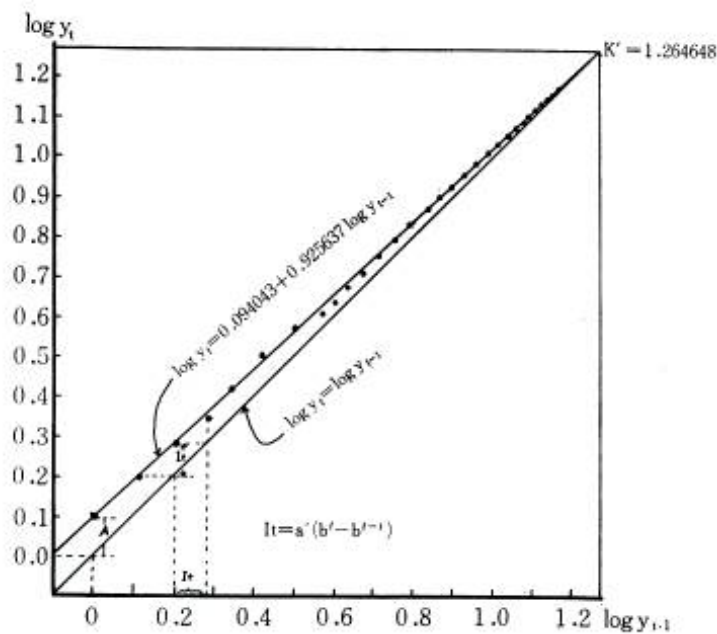
$$I_t = \log y_t - \log y_{t-1} = \log \frac{y_t}{y_{t-1}} \quad (5)$$

$$t=0, 1, 2, \dots$$

とおくと、 $I_t$ は  $t$ 年における生長率の対数值である。(5) 式はさらに、

$$I_t = a^t (b^t - b^{t-1}) \quad (6)$$

となり、(4) 式の定義である。ここで、 $t$ は公差 1 で等間隔に並んでいるので、 $I_t$ は公比  $b$ の等比列数をなす。したがって、樹高対年齢の観測値が、この条件に適合するかどうかをみるには、 $\log y_{t-1}$ を横軸に、 $\log y_t$ を縦軸



第 2 図  $\log y_{t-1}$  と  $\log y_t$  の関係 (美深地区 プロット 8 の例)

Fig. 2 Relation between  $\log y_{t-1}$  and  $\log y_t$   
(An example of Plot 8 in Bifuka block)

第 3 表  $\log y_{t-1}$  と  $\log y_t$  の相関係数

Table 3 Correlation coefficient between  $\log y_{t-1}$   
and  $\log y_t$  of each sample tree

資料木 Sample tree No.	相関係数 Correlation coefficient	資料木 Sample tree No.	相関係数 Correlation coefficient	資料木 Sample tree No.	相関係数 Correlation coefficient	資料木 Sample tree No.	相関係数 Correlation coefficient
Oumu1	0.9987	Oumu10	0.9737	Oumu19	0.9992	Bifuka6	0.9971
2	0.9981	11	0.9977	20	0.9963	7	0.9982
3	0.9983	12	0.9979	21	0.9344	8	0.8974
4	0.9988	13	0.9984	22	0.9970	9	0.9991
5	0.9987	14	0.9985	Bifuka 1	0.9984	10	0.9986
6	0.9802	15	0.9989	2	0.9983	11	0.9978
7	0.9639	16	0.9990	3	0.9196	12	0.9987
8	0.9982	17	0.9988	4	0.9958	13	0.9977
9	0.9986	18	0.9978	5	0.9975	14	0.9808

にとつたグラフ上に観測値をプロットし、直線上に落点するかどうかを検討すればよい。第 2 図はその一例で、他の資料木の観測値についても同じような関係が認められた。各資料木について、 $\log y_{t-1}$  と  $\log y_t$  との相関係数を求めた結果、第 3 表に掲げた値を得た。この値から、観測値がよく (6) 式の条件に適合することが明らかである。そこで、 $\log y_{t-1}$  と  $\log y_t$  の関係は直線式

$$\log y_t = A + b \log y_{t-1} \quad (7)$$

$(0 < b < 1)$

によって表される。この式の  $b$  の値は (3)、(4)、(6) 式の  $b$  と同じもので、1 年当り生長増加分の減少率である。定数  $A$  は  $\log y_{t-1}=1$  のときの  $\log y_t$  の値を示す。また、 $K'$  は (7) 式の直線と、直線  $\log y_t = \log y_{t-1}$  との交点で

$$K' = \frac{A}{1-b} \quad (8)$$

で与えられる。以上によって、 $b$  と  $K'$  が観測値から求められるので、これを用いて  $a'$  は

$$a' = \frac{\sum_0^{n-1} \log y_t - nK'}{\sum_0^{n-1} b^t} \quad (9)$$

によって算出される。

第 4 表 各資料木の曲線式と適合度

Table 4 Curve equation and goodness of fit for each sample tree

資料木 Sample tree No.	曲線式 Curve equation	適合度 Goodness of fit		資料木 Sample tree No.	曲線式 Curve equation	適合度 Goodness of fit	
		分散 Variance	誤差率 Error %			分散 Variance	誤差率 Error %
Oumu1	$\hat{y}_t = 27.70(0.013615)^{0.934266^t}$	0.019516	1.44	Oumu19	$\hat{y}_t = 26.97(0.012920)^{0.945382^t}$	0.025790	1.95
2	$\hat{y}_t = 21.36(0.014774)^{0.927949^t}$	0.066424	3.05	20	$\hat{y}_t = 16.88(0.006699)^{0.932693^t}$	0.101097	5.36
3	$\hat{y}_t = 17.53(0.014248)^{0.919323^t}$	0.041416	2.52	21	$\hat{y}_t = 18.99(0.002953)^{0.911157^t}$	0.178045	4.86
4	$\hat{y}_t = 25.22(0.014402)^{0.939994^t}$	0.017344	1.66	22	$\hat{y}_t = 17.94(0.001907)^{0.886079^t}$	0.034562	2.12
5	$\hat{y}_t = 29.15(0.008100)^{0.936909^t}$	0.055968	2.72	Bifuka 1	$\hat{y}_t = 25.37(0.007584)^{0.939173^t}$	0.142419	6.28
6	$\hat{y}_t = 29.28(0.015541)^{0.938362^t}$	0.215752	5.03	2	$\hat{y}_t = 23.20(0.005942)^{0.924964^t}$	0.058648	2.89
7	$\hat{y}_t = 24.41(0.005366)^{0.915116^t}$	0.646084	8.08	3	$\hat{y}_t = 21.74(0.009081)^{0.918865^t}$	0.041988	2.22
8	$\hat{y}_t = 22.73(0.009646)^{0.912889^t}$	0.017784	1.25	4	$\hat{y}_t = 19.27(0.013533)^{0.913806^t}$	0.261060	5.51
9	$\hat{y}_t = 19.55(0.006689)^{0.932587^t}$	0.208691	5.84	5	$\hat{y}_t = 21.46(0.004128)^{0.912367^t}$	0.077040	3.07
10	$\hat{y}_t = 27.97(0.005839)^{0.933768^t}$	0.033224	2.21	6	$\hat{y}_t = 22.74(0.003079)^{0.896013^t}$	0.184176	3.75
11	$\hat{y}_t = 21.32(0.001052)^{0.905421^t}$	0.086904	3.45	7	$\hat{y}_t = 15.66(0.016353)^{0.937315^t}$	0.187748	7.23
12	$\hat{y}_t = 25.56(0.011250)^{0.930043^t}$	0.409619	7.96	8	$\hat{y}_t = 18.39(0.014913)^{0.925637^t}$	0.078814	3.28
13	$\hat{y}_t = 27.82(0.011807)^{0.935210^t}$	0.109071	4.09	9	$\hat{y}_t = 21.07(0.006190)^{0.924288^t}$	0.119184	4.47
14	$\hat{y}_t = 25.31(0.008365)^{0.922382^t}$	0.027068	1.62	10	$\hat{y}_t = 24.76(0.002789)^{0.925910^t}$	0.112716	4.28
15	$\hat{y}_t = 25.44(0.006627)^{0.943322^t}$	0.021276	2.38	11	$\hat{y}_t = 24.04(0.005120)^{0.919016^t}$	0.064260	2.71
16	$\hat{y}_t = 23.39(0.010221)^{0.940597^t}$	0.052928	3.45	12	$\hat{y}_t = 17.16(0.014588)^{0.931215^t}$	0.008792	1.42
17	$\hat{y}_t = 24.14(0.009739)^{0.928208^t}$	0.067067	2.34	13	$\hat{y}_t = 17.14(0.002428)^{0.902374^t}$	0.876590	11.00
18	$\hat{y}_t = 27.52(0.011998)^{0.956028^t}$	0.094636	4.57	14	$\hat{y}_t = 20.77(0.014905)^{0.918932^t}$	0.039321	1.88

Used basic equation :  $y_t = Ka^{b^t}$ .

第5表 樹高生長型と樹高生長曲線式の計算値

Table 5 Classification of tree height and the calculated values of height growth equation

生長型 Growth type	* Plot No.	階級間隔 Class interval (b)	定 数 Constant				変曲点 Inflection point		50年の樹高 Estimated height at 50 years (m)	30年の樹高 Adjusted height at 30 years (m)		
			<i>b</i>	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>A</i>	<i>t</i> <sub>I</sub>	<i>y</i> <sub>I</sub>				
早期生長型 Early stage	I	B6	}	0.9099	0.896013	22.74	0.003079	0.141175	15.98	8.37	22.20	18.35
		O11			0.905421	21.32	0.001052	0.125596	19.38	7.84	20.29	15.02
		O22			0.886079	17.94	0.001907	0.142844	15.17	6.60	17.68	15.19
		B13			0.902374	17.14	0.002428	0.120468	17.47	6.31	16.54	13.00
	II	O7	}	0.9199	0.915116	24.41	0.005366	0.115031	18.65	8.98	22.95	16.94
		B11			0.919016	24.04	0.005120	0.111830	19.69	8.84	22.25	15.82
		O8			0.912889	22.73	0.009646	0.118175	16.84	8.36	21.65	16.81
		B3			0.918865	21.74	0.009081	0.108506	18.29	8.00	20.31	15.00
		B5			0.912367	21.46	0.004128	0.116701	18.57	7.90	20.30	15.12
		B14			0.918932	20.77	0.014905	0.106794	16.99	7.64	19.53	14.88
		B4			0.913806	19.27	0.013533	0.110742	16.19	7.09	18.37	14.45
		O21			0.911157	18.99	0.002953	0.113592	18.94	6.99	17.96	13.29
		O3			0.919323	17.53	0.014248	0.100350	17.20	6.45	16.46	12.46
		中期生長型 Middle stage			I	O14	}	0.9299	0.922382	23.31	0.008365	0.108921
B10	0.925910		24.76	0.002789		0.103274			23.02	9.11	21.85	13.81
O17	0.928208		24.14	0.009739		0.099270			20.58	8.88	21.58	14.71
B2	0.924964		23.20	0.005942		0.102429			20.95	8.54	20.89	14.15
O2	0.927949		21.36	0.014774		0.095802			19.24	7.86	19.32	13.66
B9	0.924288		21.07	0.006190		0.100212			20.65	7.75	19.07	13.05
B8	0.925637		18.39	0.014913		0.094043			18.59	6.77	16.84	12.16
後期生長型 Late stage	I	O6	}	0.9399	0.938362	29.28	0.011541	0.090400	23.51	10.77	24.33	15.11
		O5			0.936909	29.15	0.008100	0.902543	24.12	10.72	24.35	14.82
		O10			0.933768	27.97	0.005839	0.095820	23.90	10.29	23.66	14.88
		O13			0.935210	27.82	0.018807	0.093579	22.25	10.24	23.81	15.37
		O1			0.934266	27.70	0.013615	0.094822	21.44	10.19	24.00	15.81
		O12			0.930043	25.56	0.011250	0.098464	20.70	9.40	22.68	15.36
		B1			0.939173	25.37	0.007584	0.085423	25.26	9.33	20.89	12.07
		O4			0.939994	25.22	0.014402	0.084113	23.34	9.28	20.81	13.00
		O9			0.932587	19.55	0.006689	0.087046	23.08	7.19	16.79	10.55
		B12			0.931215	17.61	0.014588	0.085697	20.23	6.48	15.62	10.70
		O20			0.932693	16.88	0.006699	0.082606	23.11	6.21	14.46	9.09
		B7			0.937315	15.66	0.016353	0.074902	21.85	5.76	13.32	8.68
		II			O18	}	0.9400	0.956028	27.52	0.011998	0.063308	33.06
	O19		0.945382	26.97	0.012920			0.078148	26.17	9.92	20.75	12.04
	O15		0.943322	25.44	0.006627			0.079663	27.64	9.36	19.40	10.65
	O16		0.940597	23.39	0.010221			0.081333	24.86	8.61	18.80	11.28

\* Plot No. O…………雄武地区 Oumu block B…………美深地区 Bifuka block

各資料木の定数の値は以上の手順で求めた。えられた曲線式とその適合度は第 4 表に示したとおりである。この結果から、トドマツの単木の樹高生長は、ここえ観測された年齢の範囲では、GOMPertz 曲線によく適合していることが明らかである。

#### 生長曲線による生長型の分類

地位指数曲線の構成上、樹高生長曲線の比例性と多形性がしばしば論点となる。GOMPertz 曲線式で、これを表示すると、比例的地位指数曲線は、定数  $b$  と  $a$  が同じで  $K$  の値が異なる場合である。すなわち、相互に

$$\frac{y'_i}{y''_i} = \frac{(K')'}{(K')''} = \text{一定} \quad (10)$$

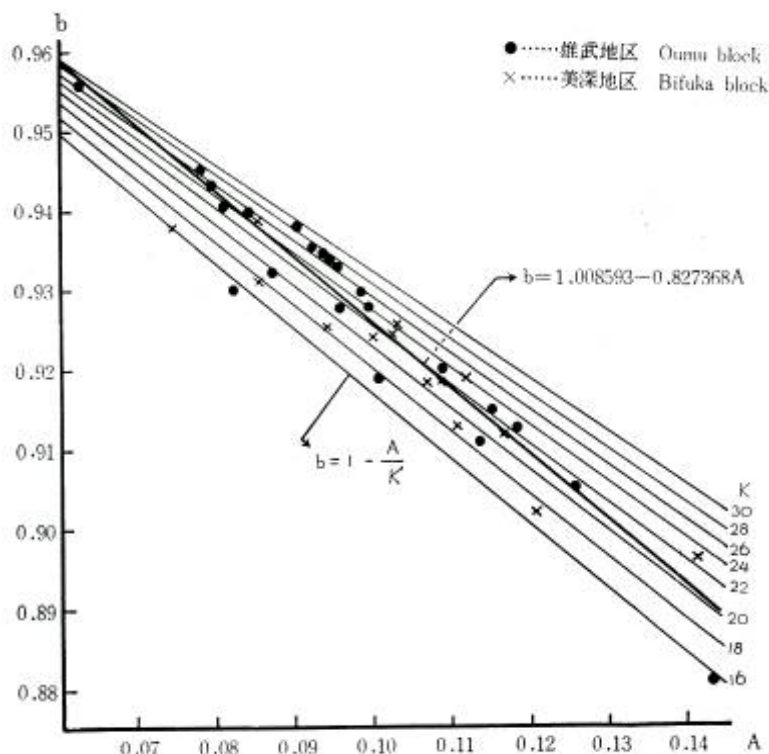
の関係を満足する曲線の一群である。また、ガイドカーブからの樹高偏差率が変動係数に比例するという仮定で構成される地位指数曲線は、相互の曲線間における  $K$  の値の差にもなって、 $b$  の値が一定の率で変わる曲線の一群である。すなわち、(8) 式の記号を用いると

$$\frac{A' - A''}{(K')' - (K')''} = \frac{\Delta A}{\Delta K} = \text{一定} \quad (11)$$

を満足する曲線の一群である。

多形的地位指数曲線は、上述した比例性の条件が、相互の曲線間に成り立たないとする立場である。

上で求めた各資料木の曲線式の相互間には、(10)、(11) 式のいずれの条件の成立も認められない。すなわち、資料木の樹高生長は多形的である。この曲線群の分類は、用いた生長曲線式が全く経験的に選ばれたものであ



第 3 図 定数  $A$  と  $b$  の関係

Fig. 3 Relation between constant  $A$  and  $b$ .

Fine lines show the combination of " $A-b$ " having constant  $K$

り、したがって、各資料木の定数の値から、ただちに生態学的、あるいは立地学的な意味づけを行うことはできない。しかし、樹高生長曲線を立地学的に利用する上で、あるいは、立地因子の林分生長に対するより厳密な意味づけをする前提として、まず外観的な生長曲線の分類が必要である。このような観点から、相互の曲線間に (10) 式の条件がほぼ成り立つ曲線群がえられるという基準にしたがって分類を行うことにした。そのために、定数  $b$  の値について第 5 表に掲げたような階級間隔を定めて、資料木の  $b$  の値によって、曲線を 5 群に分類した。

分類した曲線群の意義

(7) 式の定数  $A$  と  $b$  の間には、第 3 図に示したように、負の相関を示す直線関係があり、この関係は直線式

$$b = 1.008953 - 0.827368A \quad (12)$$

で表される。この  $A$  は早期の樹高生長に比例するもので、したがって、定数  $b$  の小さい級は、早期の樹高生長が相対的に旺盛な傾向にある。

また、(3) 式の変曲点は、

$$y_1 = \frac{K}{e} \quad (13)$$

$$t_1 = -\frac{\log\left(-\log\frac{\hat{y}_0}{K}\right)}{\log b} \quad (14)$$

第 6 表 各生長型の標準曲線

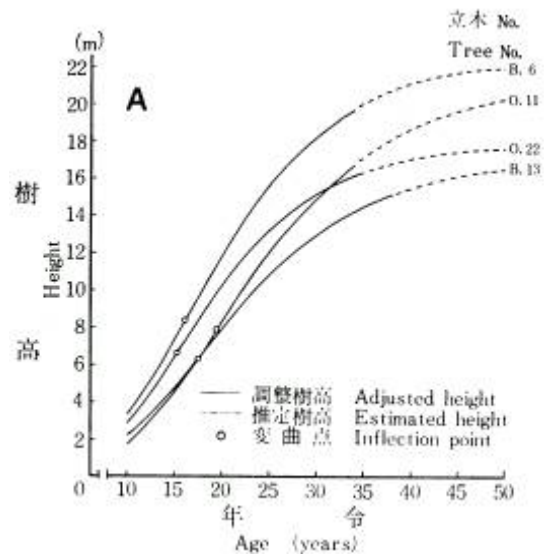
Table 6 Standard curves of each growth type

生長型 Growth type	階級値 Class mark in $b_i$	定数 Constant			変曲点 Inflection point		50年の樹高 Height at 50 years (m)	30年の樹高 Height at 30 years (m)	
		$b$	$K$	$a$	$t_1$	$y_1$			
E	I	0.900000	0.900000	19.23	0.010400	14.03	7.07	18.85	16.11
	II	0.915000	0.915000	20.83	0.009602	17.29	7.66	19.72	15.07
M		0.925000	0.925000	22.15	0.009029	19.87	8.15	20.14	14.07
L	I	0.935000	0.935000	24.02	0.008326	23.30	8.84	20.35	12.07
	II	0.945000	0.945000	26.82	0.007451	28.09	9.87	20.08	10.93

The constants were calculated by the following equations

$$A_i = 1.134263 - 1.117138b_i \quad K'_i = \frac{A_i}{1-b_i}$$

$$a_i = \frac{y_0}{K_i}, \quad \text{using } y_0 = 0.2\text{m} \quad (i; \text{growth type})$$

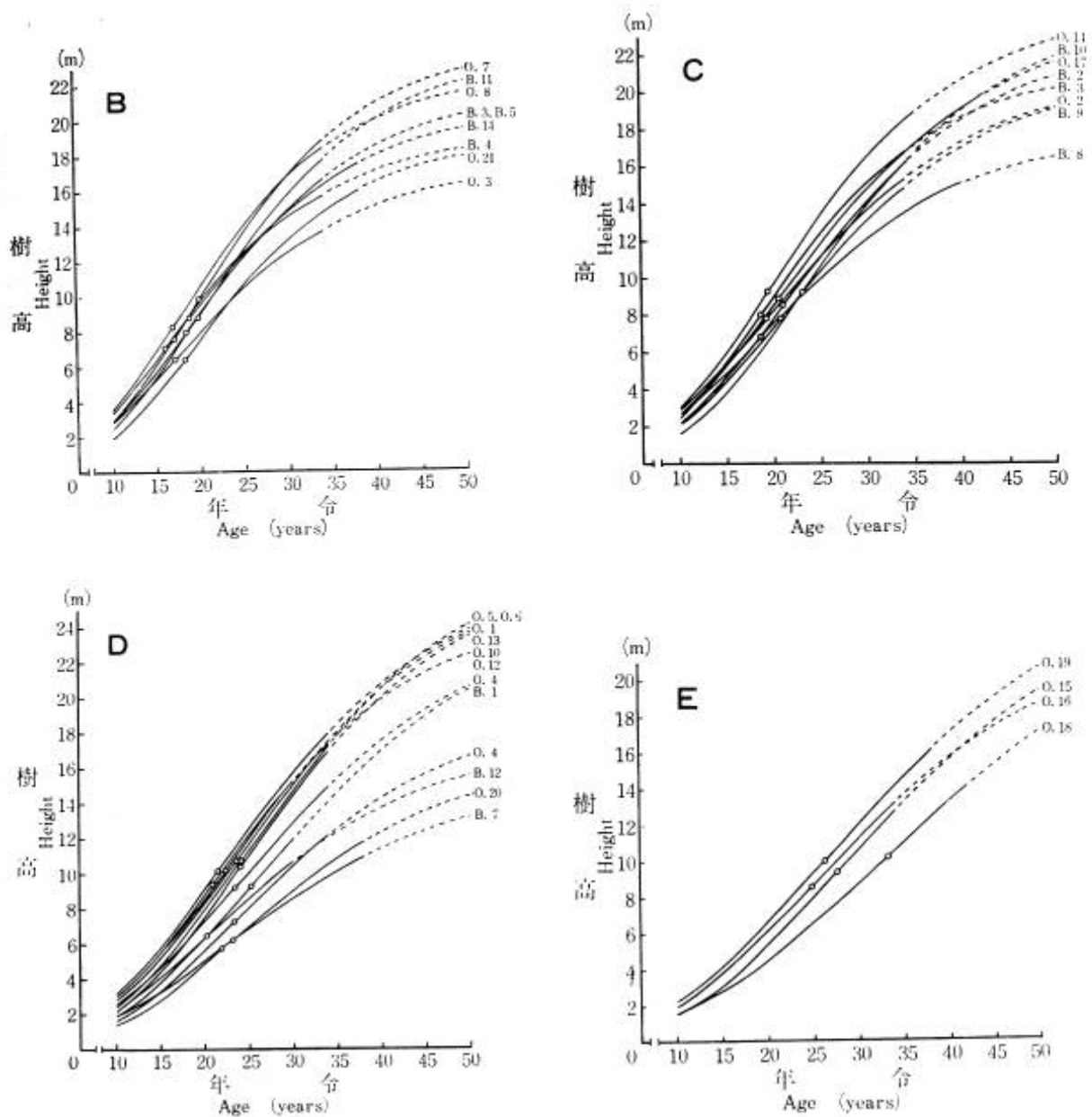


第 4 図 各生長型の樹高生長曲線

Fig. 4 Height growth curves in classified growth types

- A, 早期生長型 I  
Early stage growth type I (E. I) ;
- B, 早期生長型 II  
Early stage growth type II (E. II) ;
- C, 中期生長型  
Middle stage growth type (M) ;
- D, 後期生長型 I  
Late stage growth type I (L. I) ;
- E, 後期生長型 II  
Late stage growth type II (L. II).





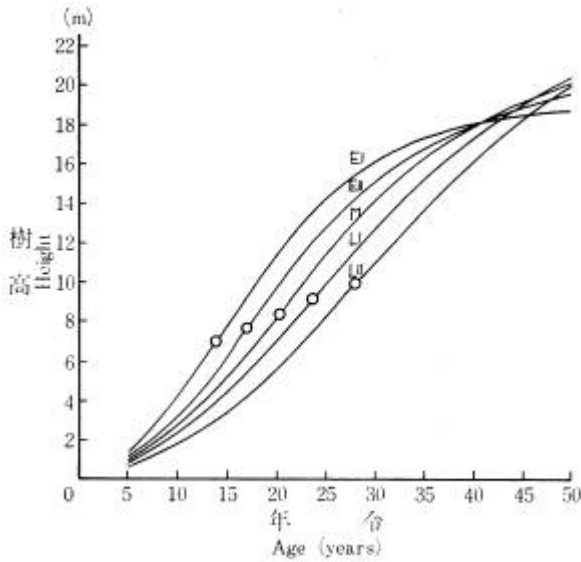
で与えられる。ここで、 $y_1$ は変曲点の樹高、 $t_1$ は変曲点の年齢、 $\hat{y}_0 = Ka$ で栽植時の推定樹高に相当する。したがって、 $b$ の値が小さい程、樹高生長曲線の変曲点は早期に出現する。すなわち、第5表の分類による $b$ の値の小さい級は、 $b$ の値の大きい(1に近い)級に比較して、早期の樹高生長率が高く、比較的早く生長が衰える。 $b$ の値の大きい級は、これと対照的な樹高生長の過程をたどる。以上のような生長過程の相違から、同表に示したように、定数 $b$ の値の小さい級を早期生長型 I, II.  $b$ の値の大きい級を後期生長型 I, II. その中間の級を中期生長型と仮称する。各生長型に属する資料木の樹高曲線群を第4図に示した。

また、第6表および第5図に示した曲線は、各生長型の定数 $b$ の階級値を用いて、 $b$ と $A$ の関係式

$$A = 1.134263 - 1.117138 b \quad (15)$$

から $A$ を求めて $K$ を定め、また、 $a$ は $y_0 = 0.2m$ と仮定して計算したものである。したがって、この曲線は、ここで分類した各樹高生長型の標準的曲線とみなされる。

なお、生長型の両端の階級は資料の出現頻度が低いので、階級間隔を大きくとったが、必要が生ずれば、さ



第5図 各生長型の標準樹高生長曲線

Fig. 5 Standard height growth curves of each growth type

らに階級を設けて E. I', E. II', あるいは L. I', L. II' のように表わす。

### 林分樹高生長の解析

西沢・真下ら (1965) によって、1 点の土壌因子の影響を受けている林分の広がり、ポイントサンプリングの広がりに対応することが示されている。一方、山地形における森林立地の最小単位は点であると考えられるので、ポイントサンプリングの広がり、森林立地の最小単位と一致するとみることができる。このような観点から、第1表に示した土壌試孔を中心とする角度加算木の樹高生長とその変動の推移について、林分樹高の立地学的利用を前提として解析を行なった。

### プロットの樹高分布の推移

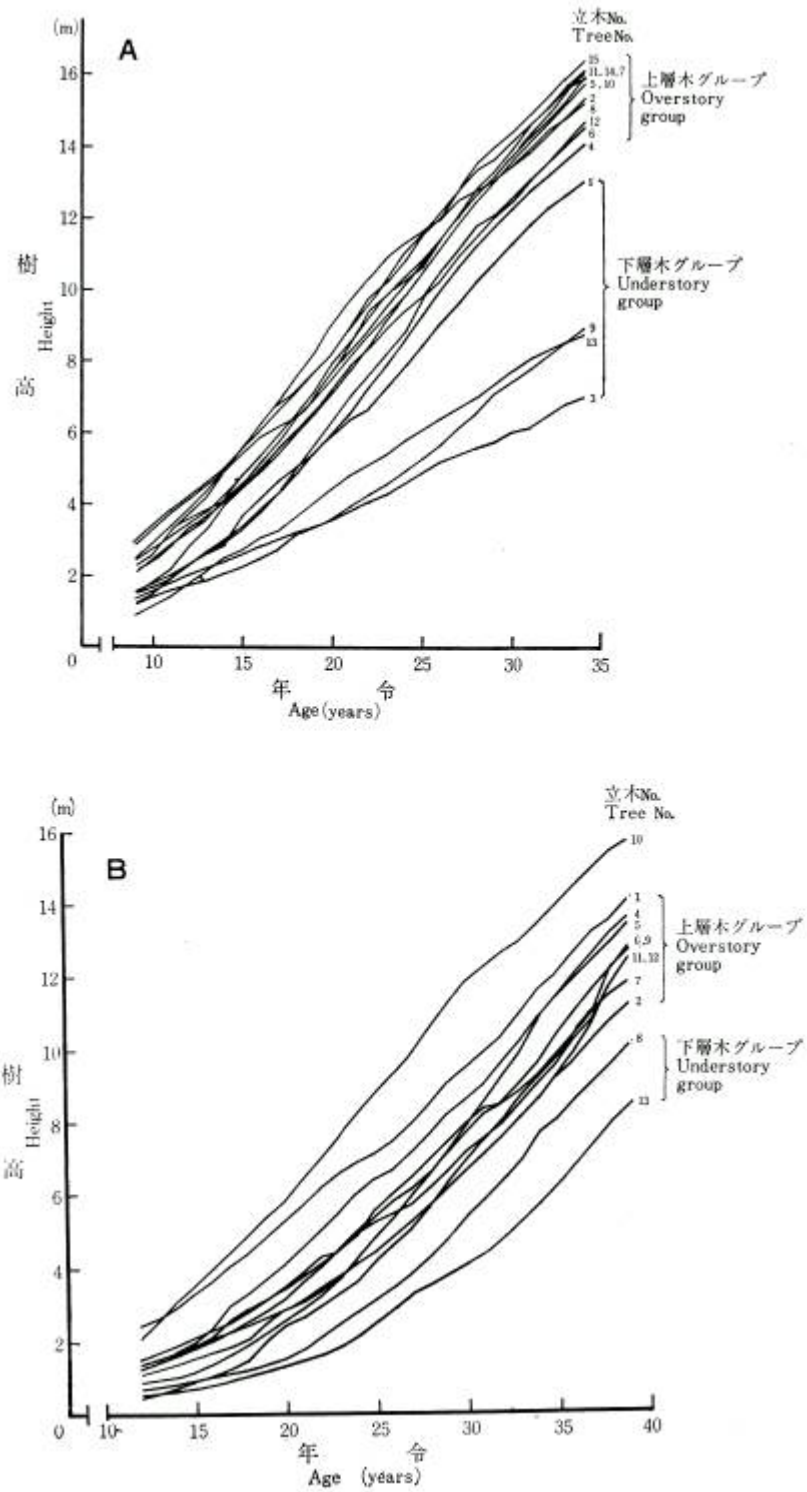
プロット内の林木が遺伝的に均質であり、林木間の競合がなく、また、被害や伐倒などの二次的因子の作用を受けないものとすれば、プロットが立地的最小単位であるとする前提から、樹高分布の分散は単に偶発的な生物変動の要因によるもののみとみなされる。立地学的に利用される樹高層は、この分散の範囲内のものでなければならない。

この解析で用いる両プロット(A, B)の樹高生長のパターンは、第6図に示したが、生長にともなって樹高分布の分散が大きくなる傾向をたどる。これは時間の経過とともに、生物変動以外の上述した諸要因の作用が加わるためと考えられる。とくにAプロットは、上層木と下層木の2つのグループに明確に分離する樹高分布構成を示している。この下層グループの林木は、直径が小さく、また、枝条、着葉量も少なく二次的因子の生長阻害作用か、あるいは林木間の競合による生長の衰えとみなされる。また、上層木グループのうちNo. 1の立木は21年において被害による樹高生長の異状が認められ、ここを始点として、上層木グループから離脱する傾向がみられる。そこで、下層木グループとNo. 1立木を逐次除外したそれぞれの場合の分散を求め、その結果を第7図に示した。このように逐次除外した最後のグループの分散の推移はほぼ一定となる。このグループは、相互に樹高の順位は変動するが、その変動は安定し、正常な生長をつづける林木の樹高層と考えられる。

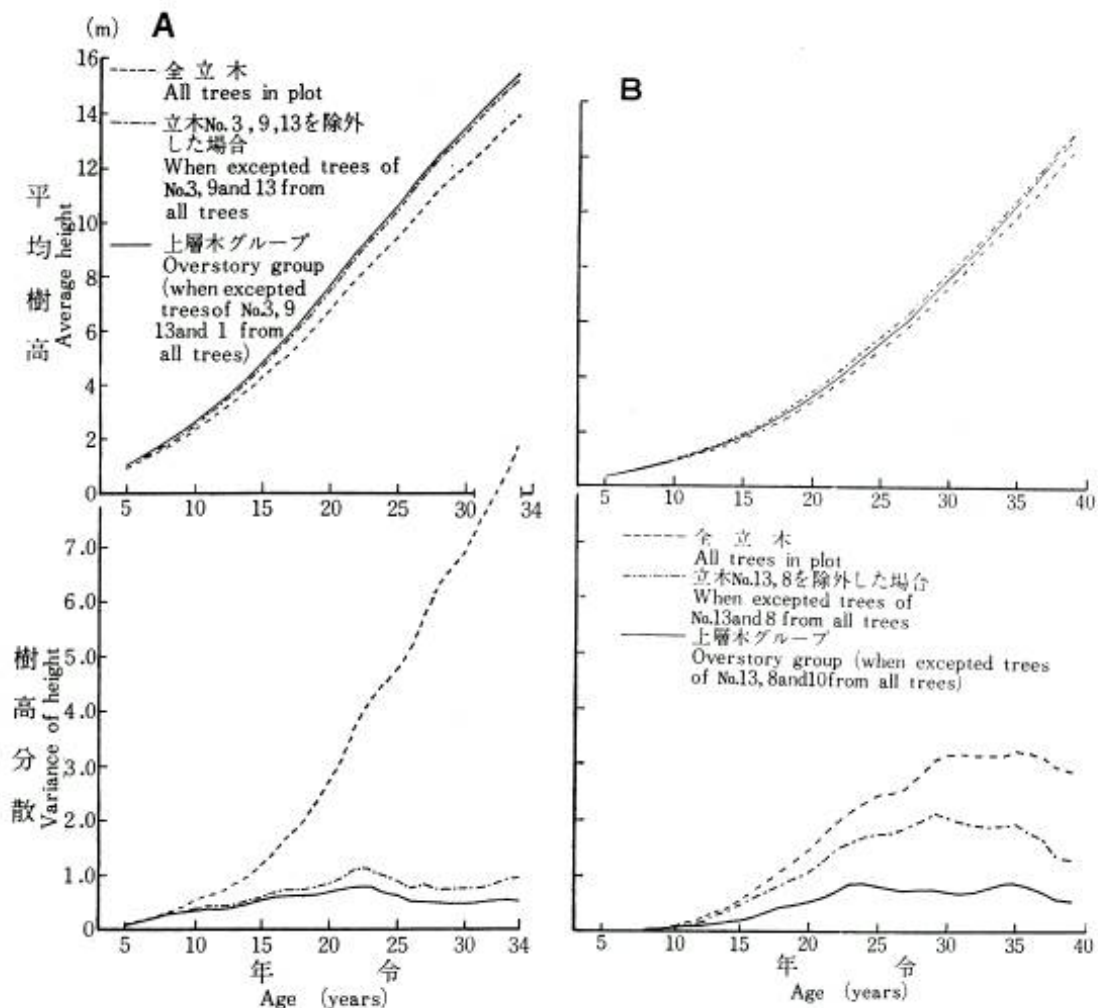
Bプロットは、Aプロットのように明確に上層木と下層木グループに分離していないが、被圧木と、上層グループからさらに上位にかけ離れて分布しているNo. 10立木を逐次除外すると、Aプロットと同じように、上層木グループはほぼ一定の範囲の変動で推移する。以上のように、樹高生長にともなう変動から被害木、競合の影響、あるいは遺伝的にプラスと思われる林木を逐次除外していくと、A, B両プロットは、ともに安定した変動を示す樹高層がみいだされる。この層は立地的最小単位に対応する樹高層とみなされ、林地の地位評価の尺度として用いられる樹高層と考えられる。

いま、下層木は林木間の競合によって生ずるものと仮定すると、ある年齢  $t$  における樹高変動  $S_t$  は

$$S_t = S_t \cdot b + S_t \cdot w \quad (16)$$



第 6 図 プロットの樹高生長模様  
 Fig. 6 Height growth pattern of stands in plot.  
 A, plot A ; B, plot B.



第 7 図 プロット林分における樹高層ごとの平均値と分散の推移

Fig. 7 Changing condition of average and variance of heights in each height story

A, plot A ; B, plot B.

に分割される。

ただし

$$S_t = \sum_{i=0} \cup \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2$$

$$S_{t \cdot b} = \sum_{i=0} \cup n_i (\bar{y}_{i \cdot} - \bar{y})^2$$

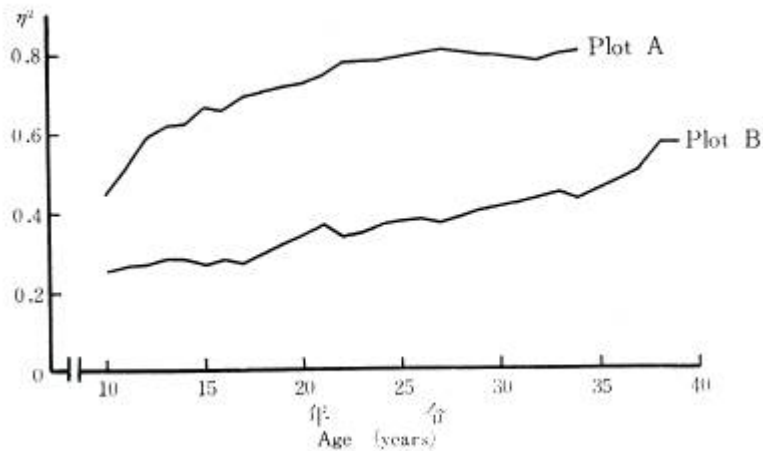
$$S_{t \cdot w} = \sum_{i=0} \cup \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i \cdot})^2$$

O : 上層木グループ

U : 下層木グループ

ここで、 $S_{t \cdot b}$ は上層木グループと下層木グループの群間変動で、 $S_{t \cdot w}$ は群内変動である。したがって、

$$\eta^2 = \frac{S_{t \cdot b}}{S_t} \quad (17)$$



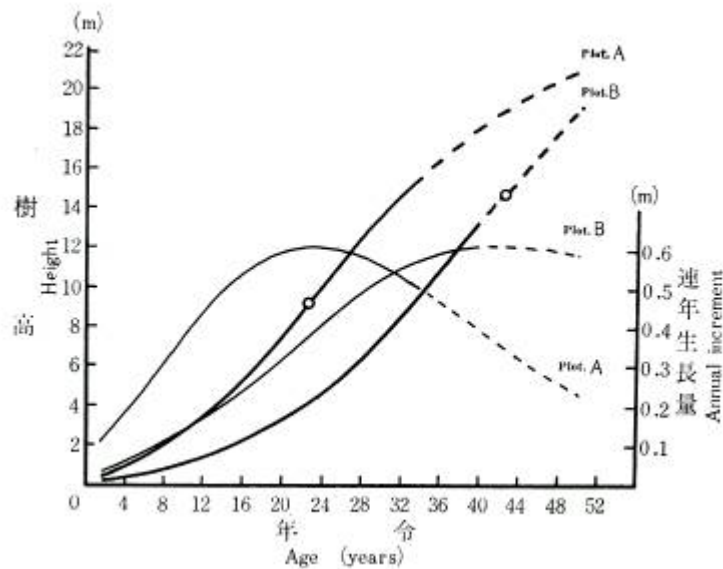
第 8 図 樹高層の分離度  $\eta^2$  の推移

Fig. 8 Changing condition of divergence ratio  $\eta^2$  in height story of stands. Values of  $\eta^2$  were calculated by equation the form,

$$\eta^2 = \frac{S_{t,b}}{S_{t,w} + S_{t,b}}$$

where  $S_{t,b} = \sum_{i=0}^U n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$ ,  $S_{t,w} = \sum_{i=0}^U \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$ ,

$t$  : years of age, O : overstory group, U : understory group,  
 $n_i$  : number of trees in each group,  $y$  : tree height at  $t$  years of age,  
 $\bar{y}$  : average height of all trees at  $t$  years of age.



第 9 図 上層木グループの平均樹高生長曲線と連年生長量

Fig. 9 Mean height growth curve and annual increment in overstory group of stands

とおくと、 $\eta^2$ はプロットの上層木グループと下層木グループの分離度を表わし、上述の仮定から林分の競合度の指標とみなすことができる。A、B両プロットの $\eta^2$ の推移は、第8図に示したように、林木の生長にともなって増加する。

プロットの樹高生長型

プロットの全林木について、前節で分類した樹高生長型を求めてみると、第7表に示したとおりである。前項で検討した林地の地位評価の尺度として妥当な上層木グループについて着目してみると、必ずしも同じ生長型に属する林木からは構成されていない。また、この層の樹高対年齢の平均曲線に GOMPertz 式をあてはめると同表に示した値がえられ、その曲線は第9図のようになる。Aプロットは後期生長型Iに属し、Bプロットは後期生長型II''に属しており、したがって、A、B両プロットの樹高生長経路は非比例的である。両プロットの

第7表 上層グループを構成する立木の樹高生長型  
Table 7 Growth types of stands composing overstory

立 木 Tree No.	生長型 Growth type	定 数 Constant			変 曲 点 Inflection point		誤差率 Error %
		<i>b</i>	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>t</i> <sub>I</sub>	<i>y</i> <sub>I</sub>	
Plot A							
15	M	0.927600	23.14	0.012151	19.75	8.51	
11	L. II	0.940965	27.44	0.013393	24.02	10.10	
14	L. II	0.941619	26.22	0.032269	20.51	9.65	
10	L. II	0.946339	30.86	0.015062	26.00	11.35	
7	L. II	0.940252	28.41	0.011236	24.38	10.45	
5	L. II'	0.951166	30.46	0.021243	26.93	11.21	
2	E. II	0.912685	19.30	0.007644	17.36	7.10	
8	E. II	0.910787	19.64	0.002540	19.13	7.12	
12	L. II	0.940514	27.80	0.005939	26.65	10.23	
6	L. II	0.941488	24.95	0.015991	23.55	9.18	
4	L. II	0.944010	28.39	0.002463	27.42	10.45	
平均曲線 Average curve	L. I	0.936493	25.01	0.012749	22.45	9.20	1.1
Plot B							
1	L. II	0.943884	22.81	0.031755	21.44	8.09	
4	L. I	0.932891	21.11	0.001462	27.01	7.73	
5	L. II'	0.950342	36.45	0.003830	34.00	13.25	
6	L. II'''	0.970185	77.52	0.058073	34.29	28.33	
9	L. II	0.942993	21.86	0.031036	21.21	7.73	
11	L. II'''	0.973968	110.62	0.062693	38.62	40.47	
12	L. II'''	0.978972	169.81	0.069109	46.24	62.18	
7	L. II'	0.957202	37.16	0.011823	34.07	13.61	
3	L. II'	0.955894	33.74	0.076187	22.09	12.14	
2	L. II'	0.952254	30.74	0.008259	32.05	11.04	
平均曲線 Average curve	L. II''	0.960226	40.70	0.003383	42.83	14.97	0.8

樹高の差は、第9図においてみられるように、早期の連年生長量の差によって生じ、壮齢時にはむしろ樹高の低いBプロットの連年生長量が大きく、さらに後期には、樹高の位置が逆転することが推定される。

次に、前項において下層木などを逐次除外したグループ毎に、樹高対年齢の平均曲線を求めその結果を第7図に示した。これから、それぞれのグループ毎の平均曲線の移動率は、上・下層木グループの分離度 $\eta^2$ の高いAプロットでは大きい、分離度 $\eta^2$ の低いBプロットでは僅少であることが認められる。

## ま と め

林地の地位の評価を行なうために、一般に林分樹高が最良の尺度として利用されている。この利用に際して、与えられた林分が生長途上にあるときには、比較される林分間の樹高生長が、相互に比例的関係を保っているという前提が必要である。この前提の検討を行なうためには、予期される生長経路の相違を測る尺度が必要である。ここで用いた GOMPertz 曲線式の定数  $b$  は樹高生長の比例性を測る尺度となる。この  $b$  の値を基準にした樹高生長曲線の分類は立地学的な林分樹高の利用上有効なものとなる。この分類による各生長型の標準的成長曲線を第5図に示したが、これから直観的に分類の意義が理解されよう。

以上の分類は単木によって行なったが、林分の樹高生長についてもこの結果が適用できることが、前節の検討で明らかである。すなわち、A、B両プロットは生長型が異なり、第9図の生長経路の比較から明らかのように、林地の地位評価は、単に一定年齢における林分樹高（地位指数）のみならず、同時にその生長型についての考慮が必要である。

次に、林分の樹高層は地位とその他の要因の作用を受けて構成されている。それらの作用の程度は林分によって異なるものと考えられ、その程度は実験的に $\eta^2$ によって表示される。理論的には地位以外の要因によって生ずる樹高層は立地学的利用の対象から除外されなければならない。しかし、樹高層の平均値は、第7図にみられるように、樹高層の分布状態によって大きく影響を受けない。したがって、樹冠上層の平均樹高は、実用上十分な尺度と考えられる。

林分の樹高生長は、プロットの樹高生長型の検討で明らかのように、同じ生長型の林木から構成されていない。したがって、ある時点における樹高層の平均木は、他の時点の平均木とはならない。そのために、林分樹高の生長曲線はある時点における1本の標準木によって正確に推定することはできず、より多くの標本木による推定が必要である。

ここで用いた GOMPertz 曲線式は、林分樹高の平均生長曲線に、また単木の樹高生長曲線によく適合する。しかし、用いた資料が生長途上のものであり、生長減退期の観測値を欠くために、(3)式の  $K$  の値が不安定である。このことは後期生長型に属するBプロットの曲線式の  $K$  が明らかに不当な値をとることからうかがうことができる。したがって、 $K$  の値が十分に安定するような観測値を用いなければ、この式による樹高生長の全過程の数学的解析、あるいは、将来樹高の予測式として用いることはできない。

きわめて直観的であるが樹高生長を5つの生長型に分類した。この分類は、生長型が立地因子のある水準の変化によって生ずるものかどうかを検討するための予備的な尺度であり、さらに、生長型成因の立地学的検討を加えて、その意味づけと分類の統計的方法の検討が必要である。今後、ここでの考察をもとに資料を集め引き続き検討を加えて行く予定である。

## 摘 要

道北地域のいろいろな地位のトドマツ壮齡人工林分に設定した 36 プロットにおける、標準木の樹幹解析の資料から求めた樹高生長曲線は多形性を示した。この各資料木に GOMPertz 曲線式  $Y=Ka^{bt}$  をあてはめ、曲線形に関係する定数  $b$  の値によって、樹高生長曲線を 5 つの生長型 (早期生長型 I, II, 中期生長型, 後期生長型 I, II) に分類した。

ついで、地位因子以外の因子が林分樹高生長にどの程度影響をおよぼしているかを検討するために、道東地域のトドマツ壮齡人工林内に設定した、樹高生長に差が認められる 2 個所のプロットにおける全林木の連年樹高生長量を測定し、その解析を行なった。その結果、上層木グループと下層木グループとの分離度  $\eta^2$  を求め、近似的に立地因子以外の因子の影響度を表わすことを提示した。また、上層木グループの各林木の樹高生長型を求めた結果、このグループは同じ生長型の林木から構成されていないことが認められた。さらに、両プロットの上層木グループの平均生長曲線は、異なる生長型を示し、両者の樹高生長は非比例的 (多形的) であることが認められた。

## 引 用 文 献

- 林業試験場北海道支場 1965 林地土壌生産力研究成果報告書 : 32-35  
西沢正久・真下育久・川端好蔵 1965 数量化による地位指数の推定法 林試研報 176 : 1-54  
西沢正久 1966 角度測定法の応用について BITTERLICH 法に関する研究報告林業統計研 1 : 29-46

## Summary

Tree height has been and continues to be a very useful measure of site quality, though there remains two questions that stand height growth curves do not show proportionality for each of several different site qualities, i. e., they are non-proportional (polymorphic), and that stand height growth is influenced by factors other than site quality. In this paper the two questions were approached.

### I. Classification of height growth curves

Sample trees were taken on 36 plots represented several site qualities in plantations of todo-fir (*Abies sachalinensis* MAST.) in northern Hokkaido. Height-age data at every year of sample trees were obtained from stem analysis. GOMPertz curve equation,  $y=Ka^{bt}$ , was used to fit height-age curves of individual sample tree for describing numerically shapes of its growth curve (Table 4). Calculated height-age curves were classified into five growth types, i. e., early stage I, II, middle stage, and late stage I, II, based on values of constant "b" (Table 5 and Fig. 4).

### II. Analysis on height growth of stand

Height-ages of all trees in two plots having different site quality were measured by climbing. All trees in plots were grouped into both overstory group and understory group based on changing condition of variance of the stand height (Fig. 6). Then, intensity of influences of factors other than site quality (e. g., injury and past suppression) was indicated by divergence ratio  $\eta^2$  between overstory group and understory group, which tends to increase in age (Fig. 8). On the other hand, average height of stand was little different even if trees of which height growth has been influenced by factors other than site quality were eliminated (Fig. 7). The growth types of individual tree in the overstory of stand were not in the same (Table 7). Consequently, the mean height at any time is not representative of the average in the overstory at another time.