

## カラマツ人工林の成長と立地要因の関係

山根玄一\*・薄井五郎\*・江州克弘\*・  
菊地 健\*・寺沢和彦\*

Multivariate analysis of site factors on afforested  
*Lalix leptolepis* GORDON

Genichi YAMANE\*, Goro USUI\*, Katsuhiko GOSHU\*  
Ken KIKUCHI\*, and Kazuhiko TERAZAWA\*

### 要 旨

需要構造の変化などに伴い、カラマツの良質大径木生産が指向されている。そのため、ここでは特にカラマツの大径木をより短い伐期で生産できる林地の立地要因について検討した。道内のカラマツ 等地とされている地域とその周辺において、高齢林 145 ヲ所の成長状態と立地要因を調査して、直径成長の大きい林地の立地条件をみいだす方法をとった。

直径成長は、林分密度の影響を大きく受けるが、地位の高い林地で大きいことがわかった。樹幹解析資料から基準林齢 40 年の地位指数曲線を作成した。数量化 I 類の方法により、立地要因から地位指数を推定するためのスコア表を、全調査地域と 3 つの地区それぞれについて作成した。全調査地域について、測定地位指数とこのスコア表による推定地位指数との重相関係数は 0.844 であり、地位指数に影響する立地要因のうちの 71% はスコア表により説明できる。地位指数への各要因項目の寄与の度合いでは、土壌型が最も大きく、次いで乾湿区分度、露出度、表層地質、土壌構造のある深さ、水分地形、標高の順である。全調査地域について作成した地位指数推定のためのスコア表は全道への適用が可能と思われる。

### はじめに

第二次大戦後大面積に植栽された本道のカラマツについては、1970 年代以降の需要構造の変化や外材輸入などの情勢変化により、特に中小径材の価格が低水準に押さえ込まれている。このような窮地に追い込まれたカラマツ林業の打開策の一つとして、良質大径木の生産が指向されている。

大径木を生産するには、伐期を長くする必要があり、極めて長期の投資を必要とする。したがって、大径木をより短い期間で多く生産できる林地を選ぶことが重要な前提条件である。このような観点から、山根ら (1987) はカラマツ優良大径木の生産適地の解明を進めてきた。ここでは特に、カラマツの大径木をより短期間に生産できる林地の立地要因について検討した。

調査対象とした網走中部、上川南部、上川北部、十勝の各地区林業指導事務所の各位には、調査に当たり多大のご援助を頂いた。厚くお礼申し上げます。

---

\* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079 - 01  
〔北海道林業試験場研究報告 第 28 号 平成 2 年 11 月, Bulletin of the Hokkaido Forestry  
Research Institute, No. 28. November, 1990〕

## 方法および調査林分

直径成長の大きい立地条件をみいだすため、高齢林の成長状態と立地要因をできるだけ多くの個所で調査した。

直径成長は林分密度の影響を受けることが知られているが、相対成長法則の考え方から、樹高成長が高齢まで大きい林地では直径成長が高齢まで大きいとの前提をおいた。調査した資料によりこれを立証したうえで、直径成長と立地要因との関係を樹高成長と立地要因との関係に置き換えて検討した。

調査対象地区は、網走中部、上川南部、上川北部および十勝の4地区とした(図-1)。網走中部としたのは東藻琴、女満別、常呂、佐呂間、美幌、津別、端野、北見、訓子府、置戸、留辺蘂、生田原、遠軽、上勇別の15市町村であり、等地区とされてきた。等地区とされている上川南部では上川町と占冠村を除く12市町を、等地区とされている上川北部では名寄市・下川町以南の7市町を対象とした。さらに十勝では、忠類村、大樹町、広尾町を除き、等地区とされている17市町村を対象とした。



図-1 調査地区の位置

対象林分の面積は0.20ha以上で、林齢は原則として網走中部では31年以上、上川南部では35年以上、上川北部および十勝では36年以上とした。対象林分は、成長のよい林分から不良な林分にまで、また対象地区の全域に及ぶようにし、かつ、できるだけ高齢林とした。林齢は、新しい伐根の年輪数または成長錐により確かめた。1林分には1調査地を設け、著しく成長差の大きい林分に2調査地を設けた。

1調査地は25m×25m=0.0625haまたは30m×20m=0.06haとした。樹高測定にはブルームライスを使用してほぼ全木をm単位で測り、一部を比較目測した。

なお本報告では、調査地の中で樹高の高い木からha当たり250本を上層木といい、上層木の平均樹高を上層高という。

立地要因の調査項目は、標高、斜面方位、傾斜度、斜面型、地形上の位置、水分地形\*、土壌母材、堆積様式のほか、土壌断面について火山灰の厚さ、推移状態、堅密度、土壌硬度(山中式)、通気性(同左、十勝のみ)、腐植量、色、土性、水湿状態、土壌構造、有効深度等である。これらは国有林土壌調査要領に準じた。

また調査地の風当たりの強さの指標として、地形図上で露出度\*(福島ら1966)を求めた。さらに乾湿区分度\*を気候的乾湿度の指標として求めた。

樹高成長の経過を知りかつその予測をするために、地位の高い調査地を重点的に選び、樹幹解析を行った。樹幹解析木には、平均的な樹高・胸高直径の上層木2本ずつを選んだ(網走では3本ずつ、十勝では樹幹解析をしていない)。

調査地数は合計145カ所である。調査地の地位をみると、作成した地位指数曲線によれば、等地と等地が多くを占めた(表-1)調査林分の林齢は28~65年であるが、34~46年の林分が大部分を占めた(図-2)。また、調査地の林分密度を密度管理図の収量比数(林野庁1982)によってみると、中庸~密の林分が多くを占めていた(表-2)。

表-1 地区別・地位別調査地数

地位	網走中部	上川南部	上川北部	十勝	計(%)
	24	11	7	14	56( 39)
上	10	16	16	10	52( 36)
下	7	11	3	7	28( 19)
		2	3	4	9( 6)
計	41	40	29	35	145(100)

表-2 地区別・収量比数別調査地数

収量比数	網走中部	上川南部	上川北部	十勝	計(%)
0.40～0.60	6	22		13	41( 29)
0.65～0.75	15	12	10	11	48( 33)
0.80～1.00	18	6	19	11	54( 38)
計	39	40	29	35	143(100)

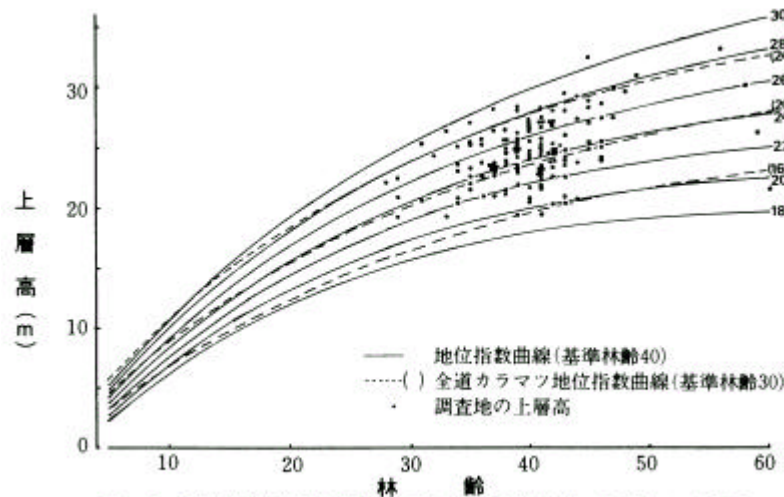


図-2 地位指数曲線と既往のそれとの比較並びに調査地の上層高

- \* 水分地形： 斜面上の水の動き方を水平方向について現地で判断した。平衡：流れ去る水と集まって来る水がほぼ均衡している場所。散水：流れ去る水のほうが多い場所。集水：集まって来る水のほうが多い場所。停滞：傾斜が小さく水があまり動かない場所。
- \* 露出度： 風速に関係する指標として、周囲の障害物の無さを表す。任意の場所から任意の方位を見る場合に、500m以内に1/50の仰角以上に高い土地がないとき、その方位には露出しているとする。実際には、2万5千分の1以上の大縮尺の地形図上で調査地の周囲に半径500mの円を描き、その内側に10m以上高い地形がない方位には露出しているとし、露出している方位角度を全周について加算した角度を露出度とする。
- \* 乾湿区分度： 気候的乾湿度についての区分である。任意の場所で、ある期間中に降水量を蒸発散させるに必要なエネルギーよりも多い日射量があればその地域は乾燥気味になり、逆の場合には湿り気味になる。そこで、最寄りの気象観測地の6～9月各月の蒸発散量を熱収支法により推定し、乾湿区分度Mを算出する。

$$M = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 E_i / R_i$$

$E_i$ ：月蒸発散量。 $R_i$ ：月降水量。乾湿区分度が、1.00の場合には蒸発散量と降水量が等しいことを、 $> 1.00$ の場合には乾燥することを、 $< 1.00$ の場合には、湿潤であることを示す。

蒸発散量の推定は次式（北海道立林業試験場 1976、薄井ら 1986）によった。調査地域についての計算には、1976～1984年の平均値（日本気象協会北海道本部 1976～1984）を使用した。

$$E = 0.0072R \times (0.235 + 0.765S)$$

$E$ ：蒸発散量（mm）。 $R$ ：各月全日を晴天としたときの積算日射量（6月23400、7月23100、8月20700、9月17000kcal）

$S$ ：日照率；（月日照時間/月可照時間）。なお、月可照時間は資料（気象学ハンドブック編集委員会 1958）によった。

## 結 果

### (1) 上層木の樹高成長と直径成長との関係

“樹高成長が高齢まで大きい林地においては直径成長も高齢まで大きい”との根拠のもとに検討を進めるために、まず、この仮説としてきた事項を前もって立証する。

図-3は、調査林分の上層高と上層木の平均胸高直径との関係を収量比数(林野庁 1982)により、疎、中庸、密の林分密度別に示したものである。この疎林分、中庸林分、密林分の区分は調査時の密度による区分であり、それまでの密度管理は不明であるが、疎林分ならびに密林分に区分されるものには、それぞれ疎に管理されてきた林分と密に管理されてきた林分が相対的に対応しているであろう。すなわち図-3で、同じ成長段階にあるとみられる上層高の等しい林分についてみると、疎林分の胸高直径は密林分のそれより右側にあり、直径の大きい林分になっている。また密林分の直径は左側にあり、直径の小さい林分になっている。同じ上層高の林分で比べると、疎林分の直径は密林分の直径より約7cm大きい。ただし、中庸林分には種々な密度におかれてきた林分が含まれており、上層木の平均胸高直径については林分によるバラツキが大きい。一方、疎林分、密林分それぞれについて、上層高と上層木の平均胸高直径との間にはともに直線関係がみられ、上層高の高い林分ほど上層木の平均胸高直径も大きくなっている。

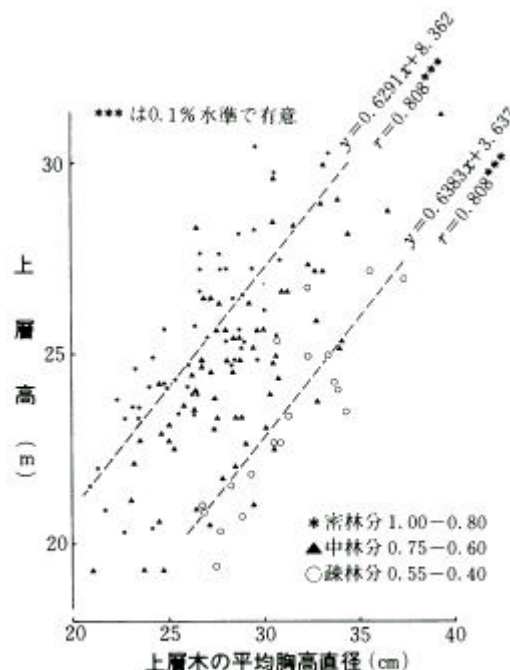


図-3 調査地の上層高と上層木平均胸高直径との関係

これらのことから、同じ密度管理をした場合には、同一林齢で上層高が高い林地または地位の高い林地ほど直径成長が大きいといえる。また、この資料には多くの高齢林が含まれているから、少なくとも林齢40~60年までは、樹高成長が大きい林地では直径成長も高齢まで大きいといえる。

### (2) カラマツ地位指数曲線

北海道でこれまで使われてきたカラマツの地位指数曲線(小林1978)の作成には、林齢35年未満の林分の資料が多く使われた。本報告では、林齢40年前後の林分を調査しかつこれらの林分の上層木の樹幹解析を行ったので、この解析資料を用いて基準林齢40年の地位指数曲線を作成した。すなわち、網走中部・上川南部・上川北部の樹幹解析木48本の樹高成長経過から、3地区に共通する地位指数曲線を作成した(表-4、図-2)。その方法は西沢ら(1966)の定差法によった。

まず、樹幹解析を行った調査地における上層高の推移を、樹幹解析木2本または3本の5年ごとの平均樹高を用いて、修正指数曲線式\*により数式化した(表-3)。これらの式によって、各調査地における林齢5, 10, 15, …… , 60年時の上層高を求め、その各年齢の平均値から最小二乗法により地位指数曲線のガイドカーブ

$$Y = 33.072 - 29.164 (0.833421)^t$$

を求めた。

\* 修正指数曲線式:  $Y = K - a b^t$

Y: 上層高(m). K; a; b: 各調査地について固有の定数.

t: 時間の関数, ここでは林齢5, 10, 15, …… のとき  $t = 1, 2, 3, ……$

表 - 3 樹幹解析を行った調査地における上層高を求める修正指数曲線式の定数

調査地	K	a	b
北見 6			
北見 7	32.863	28.123	0.823075
美幌 1	37.384	33.945	0.823992
美幌 5	47.248	41.413	0.882009
遠軽 11	35.520	33.165	0.848081
遠軽 12	37.509	33.591	0.846502
旭川 4	28.386	24.929	0.812582
旭川 8	29.725	26.111	0.792312
旭川 15	33.797	25.949	0.796356
旭川 22	27.024	22.452	0.814569
富良野 9	27.546	21.027	0.819230
富良野 10	51.410	44.721	0.907874
富良野 12	22.160	17.529	0.755199
富良野 15	35.683	32.228	0.841604
富良野 15	35.070	27.414	0.842811
士別 4	35.618	28.924	0.799218
士別 7	26.637	22.212	0.787360
士別 13	34.409	30.596	0.830254
名寄 5	37.367	34.305	0.849405
名寄 8	30.640	26.236	0.839097
名寄 8	45.726	42.157	0.905172
名寄 10	25.016	25.589	0.827851

表 - 4 地位指数曲線における各年齢の上層高

林齢	地 位 指 数						
	18	20	22	24	26	28	30
5							
10	2.10	2.62	3.14	3.67	4.19	4.71	5.24
15	6.10	6.87	7.64	8.41	9.18	9.95	10.72
20	9.31	10.33	11.34	12.35	13.36	14.37	15.39
25	11.94	13.17	14.39	15.62	16.85	18.07	19.30
30	14.06	15.49	16.91	18.34	19.76	21.09	22.61
35	15.74	17.36	18.98	20.60	22.21	23.83	25.45
40	17.02	18.84	20.65	22.46	24.27	26.08	27.89
45	18.00	20.00	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00
50	18.71	20.90	23.08	25.27	27.45	29.63	31.81
55	19.18	21.56	23.93	26.31	28.68	31.06	33.43
60	19.48	22.05	24.61	27.17	29.73	32.29	34.85
60	19.64	22.39	25.12	27.87	30.60	33.35	36.09

単位はm

次に、このガイドカーブと各調査地の上層高との偏差から変動係数を計算して(西沢ら 1966)、40年時の地位指数(2mごと)に対応する地位指数曲線群を求めた(表-4, 図-2)。

### (3) 地位指数に影響を与える立地要因

幼齢造林地および今後造林する林地についての地位指数推定のためには、その林地の立地要因から推定する方法 数量化Ⅰ類の方法(西沢ら 1966) が開発されている。地位指数がどのような立地要因項目の影響を受けているのか、またそれらの要因項目により地位指数をどの程度の精度で推定可能なのかを、要因項目の重み付け(スコア化)から検討した。

全地域における145調査地の地位指数は31~19(平均24.86)であった。これは個々の調査地の立地条件がカラマツの樹高成長に現われたものである。表-5は、全調査地について、数量化Ⅰ類の方法により要因項目カテゴリーの幾通りもの組み合わせによる試算を繰り返し求めた、より妥当とみられる地位指数推定のためのスコア表である。

調査地の地位指数と表-5による地位指数の推定値との重相関係数は0.844であり、地位指数に影響する立地要因のうちの71%は表-5の要因項目により説明される。

地位指数への各要因項目の寄与の程度はレンジまたは偏相関係数の大きさを判断できるが、土壌型が最も大きく、次いで乾湿区分度、露出度、表層地質、土壌構造深度、水分地形、標高の順である。また



地位指数と各要因項目との関連（偏相関係数）は，土壤型で最も大きく，次いで露出度，乾湿区分度，表層地質，土壤構造深度，水分地形（以上は1%水準で有意），標高（5%水準で有意）の順である。

なお，表 - 6 には，各要因項目および地位指数の間の相関係数を示したが，各要因項目間の相関（内部相関）は小さく，この点では表 - 5 は妥当なものである。

## 考 察

### (1) 直径成長の指標としての樹高成長

さきに，疎林分，密林分それぞれについて上層高と上層木の平均胸高直径との間にはともに直線的関係がみられ（図 - 3），同じ密度に管理した場合には，上層高の高い林分ほど上層木の平均直径は大きくなることを示した。直径成長の指標として樹高成長を用いることは次の点からも裏付けられる。

小林（1978）は，カラマツ疎開林分における相対成長関係を検討し，疎開木の樹高対直径の相対成長が成立することを明らかにし，さらに適用を閉鎖木に拡張した。

また，胸高直径と樹高との間には，成長条件の変化によって成長率の比が変わる拡張相対成長関係が成り立つ場合が多い（依田 1971）といわれる。図 - 3 では，上層木の平均胸高直径と上層高との間に疎林分および密林分において直線関係がみられることを示したが，これは胸高直径あるいは樹高のある範囲においてのみ成立するものである。

### (2) カラマツ地位指数曲線

図 - 2 では，作成した地位指数曲線と全道カラマツ地位指数曲線（基準林齢 30 年，小林 1978）とを比較した。作成した地位指数曲線は，地位の低い林地では樹高成長が高齢で著しく減衰することを示している。このことは，低地位の林地では高齢において直径成長が大きく減衰することを示唆している。

### (3) 全地域のカラマツ地位指数推定のためのスコア表

図 - 4 は，全調査地についてカラマツ地位指数の実測値と表 - 5 による計算値との関係を示したものであり，スコア表がほぼ妥当であることを示す。ただし，地位指数実測値 27 以上については計算値が実測値よりも小さい傾向がある。

### (4) カラマツ地位指数に影響する立地要因の地域性

表 - 7，8，9 に，網走中部，上川，十勝それぞれについて地位指数推定のための立地要因群スコア表を示した。上川南部と上川北部とは，特に成長差がみられないので，上川として合併した。

網走中部においては，地位に影響する要因項目（表 - 7）で，土壤型のほかに，露出度が 1%水準で有意であり，表層地質および土壤構造のある深さが 5%水準で有意である。

上川においては，地位に影響する要因項目（表 - 8）で，土壤型のほかに，傾斜度・標高，表層地質および位置が 1%水準で有意であり，土壤構造のある深さが 5%水準で有意である。露出度は内陸であるため有意でない。

また，十勝においては，地位に影響する要因項目（表 - 9）で，土壤型のほかに，乾湿区分度および露出度が 1%水準で有意であり，標高，土性

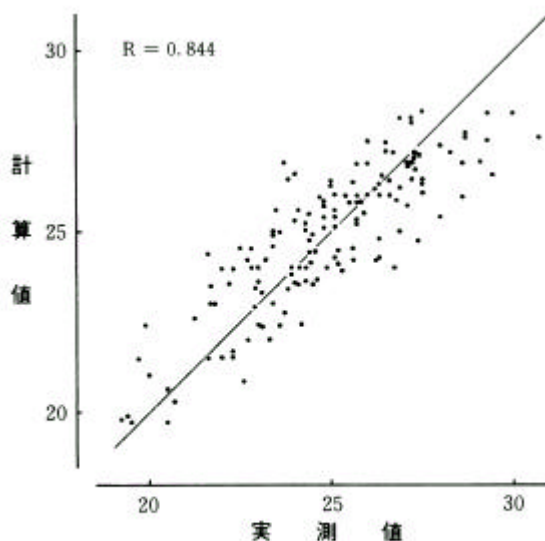


図 - 4 全調査地カラマツ地位指数の実測値と計算値との関係

および水分地形が5%水準で有意である。特にこの地域では、西部の新得付近で乾湿区分度が著しく小さく、カラマツの地位指数が小さい特徴がある（薄井ら1986，寺沢1988）。

なお、長野県のカラマツの成長を左右する立地要因では、土壌型に次いで土壌堆積様式・土性が大きく、次いで腐植含量が大きかった（武井ら1986）。

カラマツの成長に対する立地要因項目の寄与の度合い（または重要順位）は、地域によって異なることが表-5,7,8,9から明らかであるが、地方や地区によっても異なることが明らかにされている（真下1981）。

表-7 地位指数推定のための立地要因群スコア表（網走中部）

要因項目	カテゴリー (平均値)	反応個数	スコア 25.9073	レンジ	偏相関係数			
露出度	250°以上	10	-0.7049	1.7864	0.487**			
	250° > > 100°	22	-0.1220					
	100°以下	9	1.0815					
表層地質	{ 段丘堆積物, 火山灰+段丘堆積物 }	8	-0.7202	1.4217	0.372**			
						堆積岩	10	0.7015
						その他	20	-0.0500
						石英粗面岩	3	-0.0847
水分地形	散水	4	-0.7109	0.9219	0.319			
	平衡	21	0.2110					
	集水	10	0.2065					
	停滞	3	-0.4636					
深さ30~40cmの土性	C・CL	8	-0.3048	0.7390	0.313			
	L・SiL	24	0.2754					
	SL・(S)	9	-0.4636					
土壌型	P <sub>D</sub> ・B <sub>D</sub> (d)・B <sub>D</sub> ℓ <sub>D</sub> (d)	5	-1.7896	2.9988	0.579**			
	B <sub>D</sub> ・B <sub>D</sub> ℓ <sub>D</sub> ・ℓ <sub>D</sub> B <sub>D</sub>	25	0.0243					
	B <sub>E</sub> ・B <sub>E</sub> ℓ <sub>E</sub>	8	1.2092					
	psG	3	-0.4448					
土壌構造のある深さ	28cm以下	5	-1.0499	1.1957	0.352**			
	29cm以上	36	0.1458					

重相関係数 R = 0.902

#### (5) 全調査地域について作成した立地要因群スコア表の全道への適用

地位指数に影響する要因項目には地域性があるため、全調査地について作成した立地要因群スコア表を全道に一律に適用することは最善ではない。しかし、このスコア表は地位の高い調査地から低い調査地までの資料を用いて作成しており、一部の調査地は風の強い個所であるので、特に沿岸部の著しい風衝地を除けば、適用が十分可能であると思われる。



表 - 8 地位指数推定のための立地要因群スコア表 (上川)

要因項目	カテゴリー (平均値)	反応個数	スコア	レンジ	偏相関係数	
			24.3058			
傾斜度・ 標高	} 6°以下・ 27°以上 7°~26°	{ 270m以上 270m未満	5	- 1.1219	1.5937	0.458**
			20	- 0.7575		
		44	0.4718			
露出度	230°以上	20	- 0.3080	0.4337	0.169	
	230°未満	49	0.1257			
表層地質	溶結凝灰岩	11	- 1.1036	1.6728	0.452**	
	火山灰+溶結凝灰岩	10	- 0.2427			
	安山岩質岩	12	0.4623			
	その他の火成岩	4	0.5692			
	堆積岩・汜乱原堆積物	12	0.0060			
	段丘堆積物	10	0.3336			
位置	尾根・斜面上部	12	- 0.9674	2.3387	0.535**	
	斜面中腹	27	- 0.0375			
	斜面下部	12	1.3713			
	段丘上平地	18	- 0.2131			
深さ 30~40 cmの土性	C	5	- 0.2327	0.4253	0.144	
	CL	22	0.1926			
	L	17	- 0.1632			
	SL・S・SiL	25	- 0.0120			
土壌型	B <sub>C</sub> ・B <sub>D</sub> (d)・psG	13	- 1.9196	3.0812	0.634**	
	B <sub>D</sub> ・vDR <sub>D</sub>	42	0.4038			
	B <sub>E</sub> ・gB <sub>D</sub>	9	0.2431			
	B <sub>gD</sub> ・B <sub>gE</sub>	5	1.1616			
土壌構造の ある深さ	31cm以下	23	- 0.1174	1.0014	0.270*	
	32~51cm	39	- 0.0895			
	52cm以上	7	0.8840			

重相関係数 R = 0.875

## 文 献

- 福島敏彦・竹下敬司 1966 年平均風速と蒸発条件の推定について．福岡県林試時報 18 : 21 ~ 40  
 気象学ハンドブック編集委員会 1959 気象学ハンドブック．1321p 技報堂 東京  
 北海道立林業試験場 1976 森林土壌．光珠内季報 30 : 12 ~ 13  
 小林正吾 1978 カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究．北林試報 15 別刊 : 1 ~ 164  
 真下育久・石川達芳・西条好迪・安藤辰夫 1981 地域環境条件と生長．カラマツ造林学 (浅田節夫・佐藤大七郎編著) : 53 ~ 88 農林出版株式会社 東京  
 日本気象協会北海道本部 1976 ~ 1984 北海道の気象 第 20 ~ 28 巻

表-9 地位指数推定のための立地要因群スコア表(十勝)

要因項目	カテゴリー (平均値)	反応個数	スコア	レンジ	偏相関係数
			24.7114		
乾湿区分度	0.70	5	- 2.6745	3.443	0.703**
	0.75・0.80	9	- 0.3074		
	0.85以上	21	0.7685		
標高	270m以上	13	- 0.7794	1.2400	0.412*
	270m未満	22	0.4606		
露出度	280°以上	11	- 1.1652	2.2178	0.562**
	280° > > 100°	20	0.4303		
	100°以下	4	1.0526		
表層地質	{ 堆積岩, 火山灰+堆積岩 }	31	0.8943	1.0097	0.256
	その他	4	- 0.1154		
水分地形	散水	2	- 1.7116	2.0504	0.384*
	平衡	12	- 0.0468		
	集水	8	- 0.0524		
	停滞	13	0.3388		
深さ30~40cmの土性	C・SiC・CL・SiL	23	- 0.2988	1.4188	0.386*
	L	6	1.1200		
	SL・S	6	0.0255		
土壌型	B <sub>D</sub> (d)・B <sub>E</sub> (カベ)・B <sub>F</sub>	6	- 2.6781	3.7352	0.767**
	B <sub>D</sub>	5	- 0.8037		
	B <sub>D</sub>	15	1.0751		
	B <sub>E</sub>	9	0.4401		

重相関係数 R = 0.917

- 西沢正久・真下育久 1966 地位指数による林地生産力の測り方．わかりやすい林業研究解説シリーズ 15．53p 林業科学技術振興所 東京
- 林野庁 1982 カラマツ人工林林分密度管理図説明書 [北海道地方]．33p
- 武井富喜雄・片倉正行 1986 カラマツ構造材生産の施業技術に関する研究 カラマツの立地条件と生長について．長野県林指研究報告 2：12~20
- 寺沢和彦 1988 気候因子からみた乾湿の地域性 光珠内季報 69：3~8
- 薄井五郎・江州克弘・寺沢和彦・山根玄一 1986 十勝地方のカラマツの地位と立地因子．光珠内季報 64：6-12
- 山根玄一・薄井五郎・江州克弘・菊池 健・寺沢和彦 1987 [I]カラマツ人工林の生長と立地．カラマツ人工林の生長および腐朽と立地 - 良質大径木の生産に向けて -：3~61 北海道林務部
- 依田恭二 1971 森林の生態学．331p 築地書館 東京