

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—

武井 富喜雄
片倉 正行

要 旨

カラマツ林の施業にとって基本となる立地条件と生長について、地位指数スコア表を作成して検討した。その概要は次のとおりである。

- 1) 本県民有林のカラマツ林を対象としたカラマツ地位指数スコア表(表-5)を作成した
- 2) スコア表の要因群の中で、土壌型、土性・石礫、腐植含量などは地位指数に大きく影響を与えるものであった。
- 3) カラマツの生長にとって、マイナスの要因の主なものは、土壌が乾性であること、ち密なこと、土壌深度が浅いこと、標高が高いことなどであった。

はじめに

カラマツの天然分布は、中部地方の亜高山帯、すなわち本県を中心とした比較的狭い地域に分布している。本県に限ってみれば、主としてその分布は浅間山、八ヶ岳、中部山岳および御岳などにみられ、垂直的には海拔1,200～2,600 mにまで及んでいる。

このように、カラマツは高海拔で寒冷地にも耐えて生長が良いことから、戦後、拡大造林の進むにつれ、森林の奥深く高冷地に向って急速に植栽が行なわれて行った。また、これと同時に、いろいろな生育障害が現われ不成績造林地は激増した。

一般に、これらの不成績造林地は環境条件と密接な関係にあり、造林適地判定技術等、カラマツの育林技術の未熟な点が指摘された。このような状況下にあつて、カラマツの環境条件と生長に関する研究は、カラマツの根の生理、土壌、地形、気象等広範囲で進められ、多くの成果が得られた。

さて、本研究では県内全域から集められたカラマツ林の林分構成と土壌調査試料を用いて、多変量解析の数量化モデルⅠ類により、地位指数スコア表を作製し、その結果を利用して立地環境と生長の解析を試みた。

本県のカラマツに関する地位指数スコア表は、すでに発表されたものに、西沢ら¹⁶⁾、SUGAHARA²⁰⁾がある。

西沢らは、上田営林署管内和田国有林の約600 haにおいて、カラマツ林からの試料を基に、スコア表を作製し、SUGAHARAは、東信地域のカラマツ林を対象としたものである。

本研究は、本県民有林のカラマツ林を対象として調査を行なったものである。

1. 地位指数スコア表

(1) 林分調査

本県内のカラマツ林について、森林簿により、林齢(10年以上)、地位がほぼ均等になるよう調査予定林分を抽出した。抽出に際しては本県4地域(千曲川上流・下流、天竜川上流・中流、中部山岳・木曾谷)の地域ごとの森林面積に比例して調査林分数が決められた。調査林分数は150林分であった。

林分調査は、林分内の平均的生長をしている所で、約0.1ha以上の面積をもつ調査Plotを作り、林木の毎木調査を実施した。胸高直径は2cm括約で行ない、樹高は上層木、下層木に分けて1m括約で測定した。

環境要因調査としては、標高、方位、傾斜角度及び土壌調査を実施した。

(2) 試料の整理

ア 外的基準

外的基準として、40年生時の樹高を地位指数としこれを当てた。

各林分の地位指数を求めるには樹高生長曲線により、林分の林齢と上層木平均樹高とによって行なわれるが、樹高生長曲線は同じ試料で作られた「長野県民有林カラマツ人工林収獲予想表」¹⁴⁾におけるカラマツ樹高曲線を利用した。(図-1)

この樹高曲線は、試料での林齢と上層樹高との撒布図における中心線として、一分子反応曲線式である次式が求められ、この中心線をもとに、試料の95%が含まれるよう試料の上限、下限を定め、

$$H = 29.6706 (1 - e^{-0.1286 - 0.0277(T-5)})$$

但し、H：樹高(m) T：林齢(年)

この範囲を地位数に応じて5等分し各区分の中心線を地位曲線とした。(表-1)

さて、各調査林分の林齢tでの樹高を \hat{y}_t とすると、その値に最も近い地位曲線上のtに対応する樹高 \hat{Y}_{t1} 、同曲線上で40年時の樹高 \hat{Y}_{t1} とし、さらに二番目に近い地位曲線上でのtに対応する樹高 \hat{y}_{t2} 、40年での樹高 \hat{Y}_{t2} として、この林分の地位指数をYとすると、tにおける隔たり $\hat{y}_t - \hat{Y}_{t1}$ と40年での隔たり $Y - \hat{Y}_{t1}$ とが、 $\hat{y}_{t2} - \hat{y}_{t1}$ と $\hat{Y}_{t2} - \hat{Y}_{t1}$ に比例すると仮定して、

$$\frac{(\hat{y}_t - \hat{y}_{t1}) / (\hat{y}_{t2} - \hat{y}_{t1})}{(\hat{Y}_{t2} - \hat{Y}_{t1})} = \frac{(Y - \hat{Y}_{t1})}{(\hat{Y}_{t2} - \hat{Y}_{t1})}$$

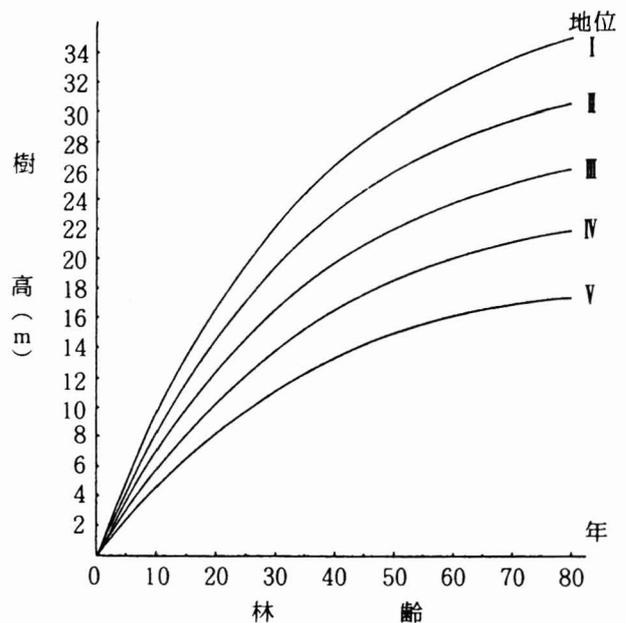


図-1 長野県カラマツ樹高生長曲線

表-1 カラマツ林地位別樹高(長野県)¹⁴⁾

林 齢	地位 I	地位 II	地位 III	地位 IV	地位 V
10	9.3	8.1	7.0	5.8	4.6
20	16.6	14.5	12.5	10.4	8.3
30	22.2	19.4	16.6	13.8	11.0
40	26.4	23.1	19.8	16.5	13.1
50	29.6	25.9	22.2	18.4	14.7
60	32.0	28.0	24.0	20.0	15.9
70	33.9	29.6	25.4	21.1	16.8
80	35.3	30.8	26.4	22.0	17.5
90	36.3	31.8	27.2	22.6	18.1
100	37.1	32.5	27.8	23.1	18.5

Yを求めると次式となる。

$$Y = (\hat{Y}_t - \hat{Y}_{t1}) (\hat{Y}_{t2} - \hat{Y}_{t1}) / (\hat{Y}_{t2} - \hat{Y}_{t1}) + \hat{Y}_{t1}$$

これにより各林分の地位指数を求め外的基準とした。

イ 環境要因の範ちゅう(カテゴリー)分類

数量化モデルI類での解析には外的基準の他に、この外的基準に影響を及ぼすと考えられる他のいくつかの質的要因¹³⁾が必要であるが、この質的要因はいくつかの範ちゅうに分類されていなければならない。本研究では質的要因として林分調査での環境要因を取り上げ、範ちゅうの分類を試みた。

環境要因の中で本解析に用いた要因は、標高、傾斜であり、土壌要因としては、土壌型、土性・石礫、腐植含量、有効深度である。

これら環境、土壌要因の他にもカラマツ林の地位と密接に関係すると思われる現在の林分構造を規定する因子、たとえば林齢、断面積、幹材積等が考えられるが、本研究が環境及び土壌条件とカラマツの生長関係解析であるため除外した。

以下、各要因の範ちゅう分類について述べる。(表-2)

表-2 各要因のカテゴリー分け

土壌型	土性・石礫	腐植含量	有効深度	標高	斜面傾斜角
Bc	残積 - 細	上-頗富・下-頗富	浅	800 m 以下	平担
Bd	" - 中	"・下"富	中	800 ~ 1,200	緩
Bd(d)	" - 粗	"・下"含	深	1,201 ~ 1,600	急
Be	匍行 - 細	"・下"乏		1,600 m 以上	
Blc	" - 中	上 富・下"富			
Blb	" - 粗	"・下"含			
Blc	崩積 - 細	"・下"乏			
Blc	" - 中				
Blc	" - 粗				

ロ 土 壤 型

土壌型は「林野土壌の分類¹⁷⁾」での、褐色森林土のBc, Bd, Bd(d), Be及び黒色土Blc, Blb, Blcの7つに範ちゅう分けをした。

ハ 土性・石礫

堆積様式の残積土、匍行土、及び崩積土別に、B層の深さ30cm付近での石礫について、細粒、中粒、及び粗粒に区分した。

ニ 腐植含量

上層(10cm)の腐植含量を頗富と富に分け、下層(30cm)の腐植含量を頗富、富、含、乏に分け、表-2に示すように区分した。

ヒ 標 高

標高は800 m以下、800 ~ 1,200 m, 1,201 ~ 1,600 m, 1,600 m以上の4区分とした。

ヘ 有効深度

有効深度としてはB層とC層の境までの深さとし、30cm以下(浅)、31~50cm(中)、51cm以上(深)の3区分とした。

ホ 傾 斜

傾斜は8°以下(平担)、9°~22°(緩斜)、23°以上(急斜)の3区分とした。

表-3 各要因及び地位指数との相関係数

	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-6	Y
X-1	1.00000	0.03497	0.09117	0.09104	0.01735	0.05113	0.48223
X-2	0.03497	1.00000	-0.13473	-0.36988	0.55545	-0.00341	0.42093
X-3	0.09117	-0.13473	1.00000	0.09810	-0.28430	-0.08954	0.29057
X-4	0.09104	-0.36988	0.09810	1.00000	-0.44592	-0.02173	0.08542
X-5	0.01735	0.55545	-0.28430	-0.44592	1.00000	0.00426	0.23814
X-6	0.05113	-0.00341	-0.08954	-0.02173	0.00426	1.00000	0.07665
Y	0.48223	0.42093	0.29057	0.08542	0.23814	0.07665	1.00000

表-4 各要因及び地位指数との偏相関係数

	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-6	Y
X-1	-1.00000	-0.20879	-0.14829	-0.07448	-0.06888	-0.01688	0.51272
X-2	-0.20879	-1.00000	-0.20237	-0.30048	0.27765	-0.07710	0.47782
X-3	-0.14829	-0.20237	-1.00000	-0.19022	-0.32807	-0.15088	0.45243
X-4	-0.07448	-0.30048	-0.19022	-1.00000	-0.36587	-0.07917	0.33823
X-5	-0.06888	0.27765	-0.32807	-0.36587	-1.00000	-0.05923	0.23370
X-6	-0.01688	-0.07710	-0.15088	-0.07917	-0.05923	-1.00000	0.14019
Y	0.51272	0.47782	0.45243	0.33823	0.23370	0.14019	-1.00000

ウ 調査結果の分類

調査林分 150 林分中、吟味結果として21林分が除外されたが、残り調査林分 129 林分について、前記要因項目の各範ちゅう内にどれか1つ反応していることをチェックした。これを反応パターン表としてとりまとめ、電算処理の原表とした。

(3) 地位指数スコア値の計算

スコア値の計算に用いた電算機はCanon B X-1であり、プログラムは筆者が開発した。演算結果の打出しには、各要因を次々と取り入れて行ったときのスコア値の他に、重相関係数をその都度計算し、さらに各要因の偏相関係数、スコア値のレンジと平均値等が打出されるようになっている。

なお、外的基準を含めた各要因間の相関係数及び偏相関係数も同時に求められるようにした。

電算機打ち込みに際しては、反応パターン表において、各要因の範ちゅう順にナンバーを付し（要因群の順番は最初、土壌型、土性・石礫、腐植含量、有効深度、標高、傾斜の順、2回目の電算処理では各要因の偏相関係数の大きさによって、有効深度と標高の順番を入れ替えた）、このナンバーを順次入力した。なお、二番目の要因から、各範ちゅうの最初にくる範ちゅうは0として最後にくる要因内範ちゅうに通しナンバーを付した。当然、0ナンバーに反応する場合は0を入力するようにした。

(4) 計算結果

前項で述べたように、一回目の結果をみて偏相関係数の大きな順に各要因を入れ替え、最終計算を行なった結果を表-5に示した。

表-5は与えられた林分の地位指数を推定するために、各要因を逐次とり上げた場合のスコア値を

表-5 カラマツ要因群スコア表

要因項目	要因カテゴリー	カテゴリー	反応個数	要因群スコア						レンジ	平均値	偏相関係数	重相関係数
				X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-6				
I. 土壤型 X-1	Bc	1	1	16.60	13.73	15.83	15.38	13.57	13.95	10.06	18.447	0.51272	0.50434
	Bd	2	60	22.64	19.97	19.89	19.75	19.75	19.91				
	Bd(d)	3	12	19.12	17.21	17.32	17.59	17.65	17.62				
	Be	4	2	27.30	21.91	21.39	20.98	21.02	20.74				
	Blc	5	5	16.18	13.70	13.00	13.06	13.57	13.69				
	Blb	6	46	22.32	19.53	19.56	19.55	19.53	19.47				
	Blc	7	3	27.83	24.24	23.91	23.75	23.78	23.75				
II. 土性・石礫 X-2	残積 - 細	1	17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	3.700	0.47782	0.65059
	" - 中	2	16		1.47	2.52	2.76	2.86	2.86				
	" - 粗	3	5		3.66	5.42	7.10	5.78	6.04				
	削行 - 細	4	13		1.55	2.86	3.14	3.14	3.19				
	" - 中	5	39		2.87	3.49	3.63	3.67	3.84				
	" - 粗	6	6		3.11	4.66	4.79	4.47	4.63				
	崩積 - 細	7	8		2.95	3.43	3.66	3.75	3.66				
	" - 中	8	24		5.39	5.70	5.60	5.56	5.62				
	" - 粗	9	1		3.13	3.17	3.91	4.03	3.46				
III. 腐植含量 X-3	上豊富 - 下豊富	1	5			0.00	0.00	0.00	0.00	3.71	-1.08†	0.45243	0.70561
	" - 富	2	23			0.39	0.71	0.59	0.54				
	" - 含	3	13			-1.71	-2.09	-2.28	-2.61				
	" - 乏	4	12			-2.26	-1.89	-2.02	-2.33				
	上富 - 富	5	4			0.55	0.47	0.33	0.21				
	" - 含	6	48			0.03	0.07	-0.05	-0.21				
	" - 乏	7	24			-2.72	-2.74	-3.03	-3.17				
IV. 標高 X-4	800m以下	1	10			0.00	0.00	0.00		4.99	-1.945	0.33823	0.73536
	801~1.200	2	69			0.33	-0.86	-0.83					
	1.201~1.600	3	43			-0.63	-1.95	-1.96					
	1.601以上	4	7			-4.12	-5.01	-4.99					
V. 有効深度 X-5	浅(30以下)	1	6				0.00	0.00		3.18	1.496	0.23370	0.74469
	中(31~50)	2	14				3.27	3.18					
	深(51以上)	3	109				1.32	1.31					
VI. 傾斜 X-6	平坦(8°以下)	1	27					0.00		0.97	0.076	0.14019	0.74944
	緩(9~22)	2	46					0.60					
	急(23以上)	3	56					-0.27					

示し、6要因すべて取り上げた場合、スコア値の最右欄にある33の範ちゅうに与えられたスコアである。

このスコア値を用いて、各林分ごとに反応パターン表に対応するスコア値を加算すると、各林分の推定地位指数(\hat{Y})が求められる。実際の地位指数(Y)とこの \hat{Y} 及び両者の差である $Y - \hat{Y}$ の値を計算してみると、推定が良好な林分はこの値が0に近い値であるが、推定が悪いと $Y - \hat{Y}$ の値は大きくなる。この値が±3以下の林分数は95林分で全体の74%を占めた。したがって全体的にはほぼ良好な推定ができているものと考えられる。

表-5の重相関係数は、各要因を逐次とり上げていった場合の地位指数 Y とその推定値 \hat{Y} との一致度を示すもので、土壌型だけの場合は0.50434であるが、次に土性・石礫要因を加えると、

0.65059と重相関係数は増加し、最後の傾斜角度の要因を加えた場合、重相関係数は0.74944となっている。

数量化理論を応用した場合、各要因が外的基準に対する寄与の大きさを見る尺度として、偏相関係数が用いられる。

これによると、表-5にみられるように、各要因群の中でも、土壌型、土性・石礫、腐植含量などは地位指数に大きな影響を及ぼしていることがわかる。有効深度、傾斜角度等はそれほど影響を与えていないようである。

以上のように、このスコア表は各要因群のうちで、地位指数に寄与する影響の大きさの順にならべられている。このようにしておけば、6要因以下の少ない要因で地位指数を推定する場合でも、精度的に高い推定ができることになる。

2 考 察

(1) 地位指数スコア表について

まず標本点数についてみると、本研究での129点はやや少ない。表-5における各範ちゅうに当てられた頻度数をみても、片寄った配分となっており、わずか1点しか当てられなかった範ちゅうが2カ所もある。できるだけ各範ちゅうに配分される頻度数が均等になるようにする必要があるが、これには調査林分数を多くとることと、できるだけある一つの要因に片寄らないような調査林分の選定が必要である。

調査林分の選定に当ってはこの点考慮はされていたが調査結果としてこのようになったことは、この種の研究のむずかしさであろうか。

次に要因について考えてみたい。地位指数の推定精度を高めるためには、地位指数と相関の高い要因を多くとることである。一般に土壌調査では本研究でとり上げた土壌要因の他に「土壌の構造」が調査されている。この要因は西沢ら¹⁶⁾では偏相関係数が相当高い結果となっている。本研究ではこの要因について採用の方向で検討をしたが、一部に調査の不備な点がありやむなく除外した。今後整備の上この要因を加えて再計算してみたい。

さらに、要因での範ちゅう分けの問題も考えておかねばならない。前項でも述べたように、できるだけ各範ちゅうに均等な配分になるよう考慮しなければならないが、たとえば有効深度のように、「深」の範ちゅうに当たった林分数は109と大部分がこの範ちゅうに入っている。

明らかに範ちゅう分けの際の範囲区分を調整すれば、均等化は可能と思われる。

また、均等化だけに配慮するのではなく、範囲区分の際にカラマツの生長との関係でもっとくわしく検討する必要があるようで、たとえば、有効深度についてみると、一応ここではB層とC層の境までの深さとしたが、土壌調査による根の到達深とか、土壌の堅密度によって深さを決めるとかの検討も必要であろう。

地位指数の推定精度を高めるためには、気象関係の要因も検討されねばならないだろう。とくに本研究のように広範囲の地域を対象とした場合、土壌条件や標高など条件が同じであっても地域的な気象条件の違いによって生長差がみられる場合もある。SUGAHARAは温量指数や雪害・寒害の有無等を要因に入れているが、これらの点についても検討してみる必要がある。

(2) 立地条件と生長について

前項でみたように、地位指数に対する影響力は、土壌型、土性・石礫、腐植含量、標高、有効深度、傾斜角度の順になっている。このなかでも、土壌型、土性・石礫、腐植含量及び標高は地位指数に大きく影響しているが、この項目の中でどの要因の範ちゅうが地位指数に寄与しているかをみ

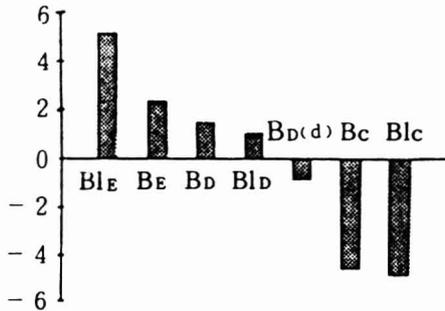


図-2 土壌型

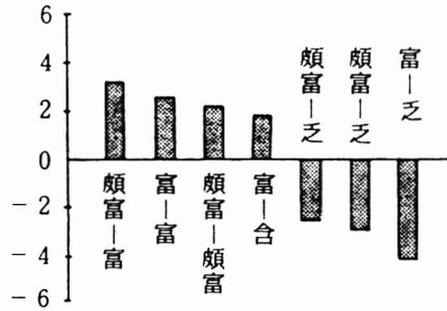


図-4 腐植含量

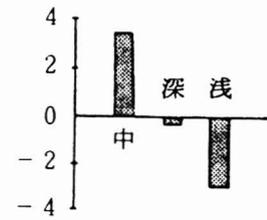


図-6 有効深度

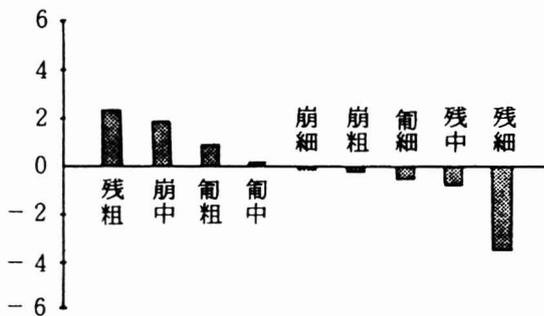


図-3 土性・石礫

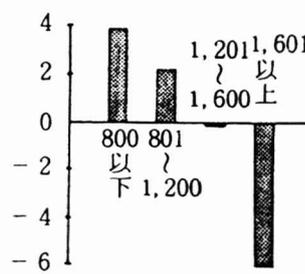


図-5 標高

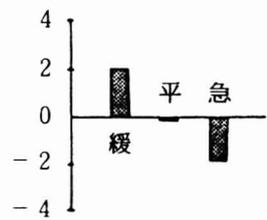


図-7 傾斜

る。それには、各範ちゅうのスコア値を平均値の位置に移して、その値をみれば相対的な動きがわかる。このようにする理由については、2番目の要因から最初の範ちゅうの値が0とおかれているため、この値が利用できないからである。

さて、この平均値からの偏差を各要因について図示したのが、図-2から図-7に示した。

各要因の中で、スコアの変動の幅、すなわち、レンジの大きなものほど地位指数に大きな影響を与えるわけである。

ア 土壌型

図-2から図-7でみると、最も大きなスコアを持っているものに、土壌型でのBlE土壌で、次に土性・石礫の残積土-粗粒、BE土壌、標高での800m以下の範ちゅうの順である。

カラマツの生長について、このように土壌条件及び標高などが重要であるという結果になったことは興味深い。

加藤⁶⁾によると、カラマツは弱湿性の土壌で最も生長がよいと報告している。

適潤性土壌のBd型及びBlD型土壌もスコア値はプラスである。

一方、弱乾性土壌のBd(d)、BE、Blc等はスコア値がマイナスで、とくに、Bc、Blcはスコア値が大きく、生長にとってマイナスの要因であることを示している。

西沢¹⁶⁾らやSUGAHARA²⁰⁾による結果も同様のことが報告されており、加藤⁶⁾らや下野園¹⁹⁾らも乾性型の土壌はカラマツ生長にとって良くないことを指摘している。

イ 土性・石礫

次に土性・石礫の要因についてであるが、この要因は土壌の理学性とも関連がありそうだ。

スコア値の結果からみると、残積土、匍行土、崩積土のいずれも、土壌粒子が粗粒か中粒でプラス、一部に例外はあるが、残積土、匍行土、崩積土のいずれでも細粒がマイナスであった。とくに、残積土の細粒はスコア値が大きかった。

一般に適潤性の土壌であっても、ち密な理学性の悪い土壌は生長にとってマイナスであることは知られているところであるが、^{3,5,10,11,18)}ここでの残積土の細粒はそのような土壌であろうか。

河田らは^{7,8)}大門国有林での調査結果として、台地状尾根、あるいは尾根部の残積土は斜面下部崩積土に比べ理学性が悪く、したがって生長も劣ることを報告している。¹⁶⁾西沢らによるスコア表では、乾性残積土の細粒はマイナスのスコア値であった。

ウ 腐植含量

上層及び下層における腐植含量については、図-4に示したように、上層下層とも、頗富か富の組合せの範ちゅうはいずれもプラスのスコアであるが、上層が頗富あるいは富であっても、下層が含あるいは乏では、マイナスとなる。このように下層(表層から30cm付近、あるいはB層)部の腐植含量によって生長が影響を受ける結果となったことは興味深い。

エ 標高

標高についてみると、明らかに標高が高くなるほどスコア値はマイナスになる。とくに、標高1,600m以上の範ちゅうのスコア値は大きい。標高とカラマツの生長との関係は、一般に標高が高いほど生長が悪くなることは明らかであり、原田は、²⁾標高1,800m以上になると顕著な生長低下が認められることを報告している。

このことは、高海拔になるほど気象条件ばかりでなく、土壌環境も悪くなるためであろう。

とくに、カラマツは風や雪等の影響を受けやすいと言われており、これらの影響について、¹²⁾松井、⁹⁾木下、²¹⁾宇佐美、⁶⁾加藤ら、⁴⁾井上、¹⁰⁾小林、¹⁵⁾永井らの報告がある。

オ 有効深度

有効深度について、各範ちゅうのスコア値の相対的な動きをみると、浅と深が平均値よりマイナスで、とくに、浅は大きな値であった。

¹⁶⁾西沢ら、²⁰⁾SUGAHARAなどのスコア表でも浅が相対的に低いスコア値となっている。カテゴリーの深が低いスコア値となったことは、その原因が土壌の通気性等の理学性によるものであろうか。

最後に、地位指数と偏相関係数が最も小さい要因の傾斜についてみると、急でマイナス点が大きく、緩で大きなプラス点となり平はほぼ0である。いずれにしても、偏相関係数が小さいため、地位指数に大きく影響を与えるようなスコア値ではない。

おわりに

本県内各地のカラマツ林から集められた129点の林分調査試料を用いて、本県民有林カラマツの地位指数スコア表を作製し、このスコア値からみたカラマツ林の生長と環境要因との関係について考察した。今までに、地域的な地位指数スコア表は2点ほどの報告があったが、全県的な試料でのものはこれが始めてである。

先にも考察したように、試料数や要因のカテゴリー分け等、推定精度向上にとって検討すべき点が多いが、このままで使用しても実用上問題はないものと考えられる。

カラマツ林施業にとって、適地判定は重要な項目の一つである。ここでの地位指数スコア表がその一助となれば幸いである。

引用文献

- 1) 赤井竜男・浅田節夫：カラマツ造林木の生長におよぼす土壌凍結の影響 日林講72, 143~145 昭37
- 2) 原田文夫：樹種別造林技術総覧 カラマツ 林業技術 359, 21~28, 1972

- 3) 林 信一：長野営林局管内におけるカラマツ造林不適地の土壌条件——特に土壌の理学性について 林業技術 534, 12~14, 1986
- 4) 井上 桂：カラマツの常風害 森林立地6, 10~12, 1965
- 5) 加藤善忠：カラマツの造林 シンポジウム「カラマツ林業」 日林講73, 1~39, 昭37
- 6) 加藤善忠・松井光瑤：カラマツの実態調査からみたカラマツ造林の要点 わかりやすい林業解説シリーズ 14, 23~24, 1966
- 7) 河田 弘・鷹見守兄：大門国有林におけるカラマツの生長と土壌ならびに立地条件について (第1報) 1代目壮齡林, (第2報) 2代目幼齡林 日林講71, 98~103, 昭36
- 8) 河田 弘・鷹見守兄：大門国有林の土壌とカラマツの成長 森林立地4, 1~11, 1963
- 9) 木下良雄：カラマツの成長に及ぼす風の影響 日林講64, 201~203, 昭30
- 10) 小林正吾：北海道におけるカラマツ育林環境 北方林業26, 29~32, 1974
- 11) 小島俊郎：土壌の理学性とアカマツ, カラマツの根系 日林講73, 133~135, 昭37
- 12) 松井善喜・山上鶴松：北海道におけるカラマツの生長と気候との関係について 日林講63, 111~113, 昭29
- 13) 森谷栄一・井口晴広：多変量解析とコンピュータプログラム 日刊工業新聞社 235~246, 1972
- 14) 長野県林務部：カラマツ・スギ表・スギ裏系人工林林分予想表・人工林収獲予想表 昭58
- 15) 永井憲雄・森田健次郎：カラマツ人工林における雪害の実態 北海道林試報9, 68~74, 1971
- 16) 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, 1~54, 1965
- 17) 林業試験場土じょう部：林野土壌の分類(1975) 林試研報280, 1~28, 1976
- 18) 芹沢 明：カラマツ造林木の土壌に対する適応性について 日林講69, 128~132, 昭34
- 19) 下野園正・林 信一：信州地方立地環境ごとのカラマツの生長 日林中部支講27, 15~16, 1979
- 20) SUGAHARA, S. : Quantification of environment factors for estimation of site index 信大農紀要10, 21~35, 1973
- 21) 宇佐美広吉：カラマツ雪害木の生長経過とその取扱いについて 日林講69, 234~236, 昭34
- 22) 石沢道雄：カラマツ林とその環境 信州カラマツ造林百年の歩み 長野県 299~318, 昭53
- 23) 真下育久：立地条件とカラマツの生育 カラマツ造林学 農林出版53~54, 1981