

正 誤 表

菊谷昭雄：透水性砂礫堆積横工の流量調節効果に関する模型実験と現地試験

ページ	行	原 文	訂 正
78	Table 2. $d_m=38.5$ の欄, $L=20$ の行	34.14	34.15
"	Table 2. $d_m=23.5$ の欄, $L=100$ の行	37.72	32.72
93	Table 13. (2) $\bar{q}_1 \cdot \Delta t$ の欄の最下行	606.5	607.5
105	Table 19. 下流量水路, ピーク流量の欄	$p_l$	$P_l$
106	Table 19. (つづき) ピーク流量比の欄	$P_l/R_u$	$P_l/P_u$
110	上から 8 行	前者が約, 270 m <sup>3</sup> ,	前者が約 270 m <sup>3</sup> ,

# 土壌および針葉の化学的組成と

## ヒノキの成長との関係

(森林土壌におけるリン酸の可給性の指標としての  
carbon/organic phosphorus 比について)

河 田 弘<sup>(1)</sup>・西 田 豊 昭<sup>(2)</sup>・吉 岡 二 郎<sup>(3)</sup>

Hiroshi KAWADA, Toyoaki NISHIDA and Jirô YOSHIOKA: Chemical  
Composition of Soil and Foliage in Relation to the Growth of  
Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)  
Appraisal of carbon/organic phosphorus ratio of forest soil  
as an index of phosphorus availability

要 旨: この報告は、森林土壌の可給態の養分の供給が林木の栄養および成長と、どのような関係を有するかを明らかにするために、ヒノキ林について検討した結果を述べている。

筆者らおよびその他の研究者の今までの葉分析の結果から、土壌のリン酸の可給性が林木の成長ととくに重要な関係が認められているので、この報告では新しい試みとして、とくに土壌の  $P_2O_5$  の形態的な区分とその可給性の検討に重点をおいた。

ヒノキの針葉の各養分濃度中とくにNおよびP濃度の増大にともなって成長は増大した。このことは土壌のNおよびPの可給性の増大によるものと思われた。針葉のK濃度も同様の傾向を示したが、その程度はNおよびP濃度より弱く、Ca および Mg 濃度は関連性が見られなかった。

森林土壌のNおよびPの可給性については、C/N および C/有機態リン酸比がそれぞれNおよびPの可給性の指標になることが明らかにされた。C/有機態リン酸比については、新しい作業仮説としてききに筆者らによって提案されたものであるが、今回の結果はそれを実証し得たものといえよう。

### 1. は じ め に

土壌中の各養分の林木に対する供給は林木の栄養状態を支配し、同時にその成長に大きな影響を及ぼすものと考えられる。したがって、葉分析による林木の栄養診断およびそれと成長との関係は、当然土壌中の養分の可給性とも関連させて検討されなければならない問題であろう。

今までに行なわれた肥培試験における林木の養分生理についての研究も含めて、わが国の主要造林樹種についての結果<sup>(4)(7)(11)(14)~(15)(30)(32)</sup>は、林木に対するNおよびPの供給が、その成長にもっとも大きな影響を及ぼすことを示している。しかし、いままでの研究では土壌の  $P_2O_5$  の可給性については、十分な解明が行なわれていなかった。その後、筆者ら<sup>(10)</sup>はわが国の主要な各種森林土壌における  $P_2O_5$  の形態を検討した結果、一般に有機態  $P_2O_5$  の占める割合が大きく、Carbon/有機態  $P_2O_5$  比が C/N 比と同様に土壌有機物の分解過程の進行程度を示す指標になりうることを明らかにするとともに、同時に林木に対する  $P_2O_5$  の可給性を示す指標にもなりうるであろうとの作業仮説を提案した。

この報告では土壌の諸性質、針葉の各養分濃度および成長等の相互の関係について、とくに土壌の  $P_2O_5$  の形態と、その可給性に重点をおいて検討を行なった。その結果いままでの多くの結果と同様に、林木に

1972年8月15日受理

(1) (2) (3) 関西支場

対するNおよびPの供給が、その成長に対してもっとも重要性を有することを認めるとともに、上述の作業仮説を裏づけることができた。

このような森林土壌における  $P_2O_5$  の可給性についての筆者らの考え方は、今までの可給態  $P_2O_5$  として無機態の  $P_2O_5$  の一部を重視する一般的な考え方とは、かなり異質なものと考えられる。今回のわずかな資料では、筆者らの考え方の一般性を裏づけるにはまだ十分ではないが、今後の森林土壌の生産力を解明するための新しい試みとして、その詳細を報告してご批判を仰ぎたい。

## 2. 調査地の概況

今回調査したヒノキ林は、大阪営林局福山営林署管内の広島県新市市元重山国有林55林班 (Prof. 1~2)、同54林班 (Prof. 3~5)、および同53林班 (Prof. 6~7) に位置する。いずれもヒノキ林で、林齢は50~60年生であった。

この地域は温暖で、降水量の少ない瀬戸内気候区に属する<sup>6)</sup>。新市市の観測では年平均気温 14.8°C、年降水量 1,270 mm である。

この地域は標高 400~500 m で、中国地方準平原の東部に位置し、起伏量が小さく、谷密度の大きい準平原的地形を呈する。

土壌は古生層の粘板岩に由来する。山腹斜面に沿って、下部、中腹、上部~緩斜尾根の順に、B<sub>d</sub> (崩積)\*、B<sub>d</sub>(d) (歩行)\*、B<sub>b</sub> (定積)\* 型土壌が出現していたが、斜面下部~沢沿いには B<sub>e</sub> (崩積) 型土壌\* の出現は認められなかった。

B<sub>d</sub> および B<sub>d</sub>(d) 型土壌ではA層はよく発達し、前者は厚さ 30~40 cm、後者は 25~30 cm に達していたが、B<sub>b</sub> 型土壌ではA層の発達は不良で厚さ 5~10 cm に過ぎず、薄層 (1~2 cm) ながら粉状のH層の形成が認められた。

これらの各土壌型の、その他の形態的な特徴および山腹斜面上の出現様式等は、わが国の森林土壌の一般的な場合とよく一致していた。

下層植生は B<sub>d</sub> 型土壌ではミズキ、ヒメアオキ、キイチゴ、ノリウツギ等を主とし、リョウメンシダ、ツリフネソウ等の混生も一部で認められた。B<sub>b</sub> 型土壌ではミツバツツジ、アセビ、リョウブ、ネジキ、ソゴ等が多く、B<sub>d</sub>(d) 型土壌では B<sub>d</sub> および B<sub>b</sub> 型土壌に見られる植生が混生していたが、いずれも優占度は低かった。このような各土壌型における下層植生は、わが国の森林土壌における一般的な傾向とよく一致していた。

## 3. 野外調査および土壌の分析方法

各調査林地のヒノキの林分調査は、プロットレス・ポイントサンプリング法を用い、さらに中央木を樹幹解析して地位指数 (40年生時の樹高, m) を求めた。

土壌の透水性および自然状態の理学的性質の測定は、土壌採取円筒を用いて常法どおり行なった。

土壌および針葉のCおよびNの分析は、柳本製作所 C-N コーダー MT 500 による乾式燃焼法、土壌の可給態  $K_2O$  は  $N HNO_3$  (加熱) 抽出を用いる PRATT 法<sup>84)</sup>、置換容量は REECH 法、置換性  $CaO$  および  $MgO$  は  $(NH_4)_2S$  を用いて Mn を除去した後、EDTA 法を用いた。土壌の  $P_2O_5$  の形態は筆者ら<sup>19)</sup>の

\* 土壌型の区分は国有林野土壌調査方法書 (林野庁, 林業試験場, 1955) によった。

先の報告と同様に行ない、全リン酸 ( $P_2O_5-t$ ) を有機態リン酸 ( $P_2O_5-org$ ) および無機態リン酸 ( $P_2O_5-inorg$ ) に区分し、さらに後者を Al 型 ( $P_2O_5-Al$ )、Fe 型 ( $P_2O_5-Fe$ )、Apatite 型 ( $P_2O_5-ap$ ) および難溶型 ( $P_2O_5-ins$ ) に区分し、2.5% 酢酸可溶性リン酸 ( $P_2O_5-ac$ ) を参考として示した。その他の分析はいずれも常法どおり行なった。

針葉の無機成分は、11月上旬の成長休止期に入ってから行なった野外調査の中央木 (伐倒) の頂枝の当年生葉を採取し、60°C で乾燥後粉碎し、1 mm で篩別した試料を供試した。 $HClO_4-HNO_3-H_2SO_4$  で湿式灰化後、P は 1-2-4 aminonaphtolsulfon 酸による molybdenblue の比色、K は炎光分析法、Ca と Mg は土壌と同様の方法を用いて分析した。

#### 4. 土壌の諸性質

##### 4-1. 土性および土壌の理学的性質

各調査林地の土壌の土性は Table 1 に、自然状態の理学的性質は Table 2 および Fig. 1 に示すとおりであった。

Table 1. 土 性  
Texture of soil

(% on inorganic matter basis)

断面番号 Prof. No.	土 壌 型 Type of soil	層 位 Horizon	厚 度 Thick- ness (cm)	砂 Sand			微 砂 Silt	粘 土 Clay	土 性 Texture
				粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			
1	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	20	52	13	65	11	24	SCL
		A <sub>2</sub>	40	38	18	56	17	27	IC
		B	20+	34	19	53	19	28	IC
2	B <sub>B</sub>	A	6	26	24	50	23	27	IC
		B	24	21	32	53	19	28	IC
3	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	18	35	11	46	15	39	IC
		A <sub>2</sub>	12	35	12	47	21	32	IC
		B <sub>1</sub>	20	35	15	50	20	30	IC
		B <sub>2</sub>	20+	36	15	51	18	31	IC
4	B <sub>D</sub> (d)	A <sub>1</sub>	15	21	19	40	36	24	CL
		A <sub>2</sub>	14	21	23	44	32	24	CL
		B <sub>1</sub>	14	23	23	46	31	23	CL
		B <sub>2</sub>	30+	29	22	51	28	21	CL
5	B <sub>B</sub>	A	6	14	18	32	41	27	IC
		B <sub>1</sub>	24	14	19	33	38	29	IC
		B <sub>2</sub>	30	14	16	30	40	30	IC
6	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	10	19	11	30	38	32	IC
		A <sub>2</sub>	20	14	23	37	36	31	IC
		B	40+	18	14	32	34	34	IC
7	B <sub>D</sub> (d)	A	7	18	17	35	38	27	IC
		B	14	19	18	37	36	27	IC
		A'	8	23	17	40	30	24	CL
		B'	30+	22	18	40	36	29	CL

注) SCL : Sandy clay loam (砂質埴壤土)

Remarks) IC : Light clay (軽埴土)

CL : Clay loam (埴質壤土)

Table 2. 土壤の自然状態の理学的性質  
Physical property of soil in natural condition

断面番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	層位 Horizon	深さ Depth from surface (cm)	透水性: Water percolation rate (ml/min.)			容積重 Bulk density	孔隙量 Porosity (%)	最大含水量 Water max. %	
				After 5 min.	After 15 min.	Ave- rage			重量 Weight	容積 Volume
1	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	1~5	560	525	543	29	63	162	33
		A <sub>2</sub> (upper)	21~25	186	182	184	68	55	85	42
		A <sub>2</sub> (lower)	35~39	165	175	170	93	50	53	38
2	B <sub>B</sub>	A—B	1~5	13	11	12	73	66	52	35
		B	10~14	4	4	4	94	61	50	45
3	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	1~5	200	192	196	48	59	134	47
		A <sub>2</sub>	20~24	125	125	125	57	56	111	45
		B <sub>1</sub>	31~35	37	34	36	100	47	44	38
4	B <sub>D</sub> (d)	A <sub>1</sub>	1~5	194	196	195	37	61	119	31
		A <sub>2</sub>	17~21	72	68	70	82	57	75	52
		B <sub>1</sub>	32~36	57	53	55	96	53	61	50
5	B <sub>B</sub>	A	1~5	110	104	107	76	60	72	47
		B <sub>1</sub>	10~14	175	163	169	84	55	68	47
6	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	1~5	144	142	143	46	68	130	50
		A <sub>2</sub>	11~15	28	26	27	99	52	60	51
		B	31~35	84	88	86	102	56	53	48
7	B <sub>D</sub> (d)	A	1~5	41	40	41	72	60	86	52
		B	15~19	67	66	67	98	52	54	45
		B'	30~34	87	79	83	104	48	50	43

注) 透水指数は透水性 (平均ml/min.)×土層の厚さ (cm) を用いて、深さ 50cm までの土層についての総和で示し  
Remark) Water percolation index is expressed with the sum of water percolation (ml/min., average) ×  
in depth from surface.

各土壌は全般的に埴質で、その大部分が軽埴土 (IC) に属し、その他埴質埴土 (CL) および砂質埴土 (SCL) が一部に見られた。

各土壌の透水性は同じ山腹斜面ごとに表層土を相互に比べると、B<sub>D</sub>, B<sub>D</sub>(d), B<sub>B</sub> 型土壌の順に低下を示した。この点は各土壌型の表層土の構造が上述の順にそれぞれ団粒状、団粒状および粒状、粒状および堅果状構造に変化していたことと関連性を有するといえよう。しかし、透水指数が、必ずしも表層土の透水性の各土壌型ごとの相違と、同様の傾向を示さなかったことは、下層土の透水性の影響によるものであろう。

全般的に各土壌の自然状態の理学的性質は、Prof. 2 B<sub>B</sub> 型土壌の不良な透水性および透水指数が、林木の成長に対して影響を及ぼすことが予想された以外は、いずれもとくに阻害因子となるほどのものは見られなかった。

#### 4-2. 土壌の化学的性質

各調査林地の土壌の化学的性質は Table 3 に、さらに P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の形態は Table 4 に示すとおりであった。

各林地の表層土を比べると、いずれの山腹斜面においても B<sub>D</sub>, B<sub>D</sub>(d), B<sub>B</sub> 型土壌の順に C/N 比および置換酸度の増大, N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O 含有率, 置換性 CaO および MgO 含有率および飽和度, pH の低下を示していた。これらの諸点は、N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O 含有率については初めての知見であったが、そ

最小容気量 Air min. %	採取時含水量 Moisture content of fresh soil %		透水指数 Water percola- tion index
	重量 Weight	容積 Volume	
30 13 12	82 52 39	17 26 28	16240
31 16	25 29	17 26	250
12 11 9	115 92 36	40 39 31	5750
30 5 3	61 54 43	16 37 35	5060
13 8	43 42	28 29	8080
18 1 8	99 52 43	38 44 39	3690
8 7 5	65 42 39	39 35 34	3620

た。

thickness of every horizon (cm) to 50 cm

の他はいずれもわが国の森林土壌において、山腹斜面地形における各土壌型相互の間に広く一般に認められる傾向<sup>9)13)</sup>とよく一致していた。

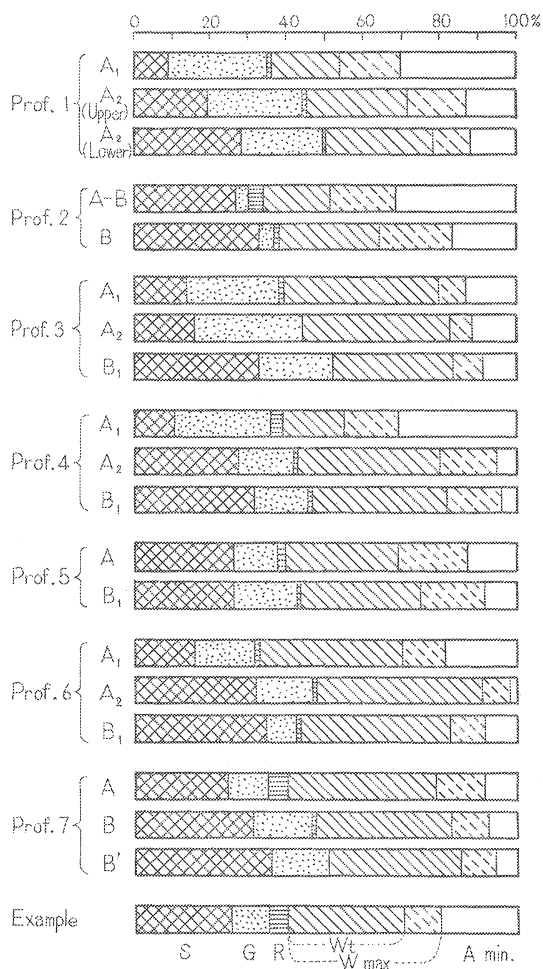
この地域の B<sub>0</sub> 型土壌の、表層土の置換性 CaO および MgO 飽和度、pH 等がいちじるしく高かったことは注目に値する事実であった。これらの値はわが国の森林土壌としては、いちじるしく塩基飽和度の高い数少ない例に属するといえよう。

また、Prof. 3 B<sub>0</sub> 型土壌は、各層位の N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O 含有率および下層土の置換性 CaO 飽和度が、いずれも他の B<sub>0</sub> 型土壌よりいちじるしく高い値を示したが、この原因は明らかではない。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の形態については、各断面ごとに含有率を比べると、表層から下層に向かって P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub> は漸減した。この点は P<sub>2</sub>O<sub>5-inorg</sub> は明りょうな相違を示さず、漸増する場合も見られたのに対して、P<sub>2</sub>O<sub>5-org</sub> が急激な減少を示したことによるものである。

P<sub>2</sub>O<sub>5-inorg</sub> 各 fraction 中 P<sub>2</sub>O<sub>5-ins</sub> は下層ほど増大を示したが、その他の各 fraction はいずれも下層ほど減少を示し、明りょうな相違が見られた。

P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub> に対する各 fraction の表層土における比率は、P<sub>2</sub>O<sub>5-org</sub> は 15~35% に達したが、P<sub>2</sub>O<sub>5-ac</sub> お



S: Fine soil, G: Gravel, R: Root, Wt: Moisture content of fresh soil, W<sub>max</sub>: Maximum water holding capacity, A<sub>min</sub>: Air minimum.

Fig. 1 土壌の自然状態の理学的性質  
Physical property of soil in natural condition.

Table 3. 土 壤 の 化 学 的 性 質

Chemical property of soil

(On dry basis)

断面番号 Prof. No.	土壤型 Type of soil	層 位 Horizon	C %	N %	C/N	置換容量 Cation exch. capacity (m. e./100g soil)	置 換 性 Exch.		飽 和 度 Rate of saturation (%)		N HNO <sub>3</sub> soluble K <sub>2</sub> O mg/100 g soil	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸收係数 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> absorp- tion coef- ficient	置換酸度 Exch. acidity	pH	
							CaO	MgO	CaO	MgO				(H <sub>2</sub> O)	(N KCl)
1	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	5.45	0.38	14.3	30.9	16.3	4.84	52.8	15.7	63.8	860	1.1	6.20	5.05
		A <sub>2</sub> (upper)	1.83	0.16	11.4	19.3	4.32	3.27	22.4	16.9	61.2	720	7.5	5.80	4.05
		A <sub>2</sub> (lower)	1.52	0.14	10.9	19.4	0.54	2.43	2.8	12.5	39.1	620	25.7	5.10	3.45
		B	1.17	0.12	9.8	18.9	1.16	3.35	6.1	17.7	38.9	570	23.5	5.30	3.50
2	B <sub>B</sub>	A	2.80	0.10	28.0	20.0	0.31	0.44	1.6	2.2	56.6	690	57.7	4.25	3.35
		B	0.88	0.05	17.6	16.2	0.38	0.44	2.3	2.7	56.9	730	48.1	4.80	3.75
3	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	5.71	0.39	14.6	37.2	24.5	5.08	65.3	13.7	242	1210	0.2	6.40	5.00
		A <sub>2</sub>	2.63	0.22	12.0	31.1	19.4	4.13	62.4	13.3	163	1080	0.6	6.50	4.75
		B <sub>1</sub>	1.42	0.13	10.9	29.5	17.5	4.62	59.3	15.7	105	990	0.6	6.65	4.55
		B <sub>2</sub>	1.24	0.12	10.3	29.8	18.2	5.57	61.1	18.7	109	1220	0.6	6.80	4.60
4	B <sub>D</sub> (d)	A <sub>1</sub>	4.12	0.21	19.6	19.3	3.11	1.28	16.1	6.6	39.8	720	18.4	5.15	3.60
		A <sub>2</sub>	2.06	0.11	18.7	14.4	0.54	0.71	3.8	4.9	30.4	590	22.2	4.95	3.60
		B <sub>1</sub>	1.36	0.08	17.0	13.1	0.71	0.64	5.4	4.9	31.1	580	19.1	5.15	3.60
		B <sub>2</sub>	0.81	0.07	11.6	12.3	0.40	1.73	3.3	14.1	31.3	450	18.2	5.35	3.55
5	B <sub>B</sub>	A	3.33	0.14	23.8	23.7	0.20	0.32	0.8	1.4	26.3	860	57.2	4.25	3.10
		B <sub>1</sub>	1.60	0.08	20.0	18.3	0.18	0.31	1.0	1.7	30.8	740	38.1	4.65	3.40
		B <sub>2</sub>	1.08	0.06	18.0	16.9	0.20	0.24	1.2	1.4	35.2	600	34.9	4.80	3.30
6	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	5.51	0.37	14.9	23.6	10.9	3.23	46.2	13.7	65.0	730	1.1	6.00	4.75
		A <sub>2</sub>	1.82	0.16	11.4	15.7	4.57	2.31	29.1	14.7	70.1	570	2.2	5.95	4.30
		B	0.69	0.08	8.6	13.0	0.55	1.02	4.2	7.8	39.3	450	20.2	5.20	3.60
7	B <sub>D</sub> (d)	A	7.18	0.34	21.1	24.8	2.83	2.18	11.4	8.8	33.4	650	23.0	4.60	3.35
		B	1.72	0.11	15.6	13.5	0.95	0.66	7.0	4.9	37.6	560	20.6	4.95	3.50
		A'	0.94	0.07	13.4	11.5	1.34	0.88	11.7	7.7	53.0	450	15.1	5.40	3.60
		B'	0.59	0.06	9.8	11.2	0.40	0.75	3.6	6.7	57.2	330	21.6	5.20	3.40

Table 4. 土壌中の  $P_2O_5$  の形態

Phosphorus form of soil

(mg of  $P_2O_5$  per 100 g dry soil)

断面 番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	層 位 Horizon	$P_2O_5$ -t	無機態 $P_2O_5$ Inorganic $P_2O_5$							有機態 $P_2O_5$	
				$P_2O_5$ -ac	$P_2O_5$ -Al	$P_2O_5$ -Fe	$P_2O_5$ -np	$P_2O_5$ -Al+ Fe+ap	$P_2O_5$ -ins	$P_2O_5$ -inorg	$P_2O_5$ -org	C/ $P_2O_5$ -org
1	B <sub>d</sub>	A <sub>1</sub>	154	3.7	4.2	10.2	1.4	15.8	90.5	106	47.7	114
		A <sub>2</sub> (upper)	126	1.0	1.7	7.3	1.0	10.0	89.6	99.6	26.4	67.3
		A <sub>2</sub> (lower)	121	0.9	1.4	7.4	1.0	9.8	93.9	10a	17.3	87.9
		B	118	0.9	0.7	7.3	1.0	9.0	92.0	101	17.0	68.8
2	B <sub>B</sub>	A	31.2	0.7	1.8	4.7	0.8	7.3	17.7	25.0	6.2	452
		B	23.0	0.5	0.4	2.8	0.4	3.6	17.7	21.3	1.7	489
3	B <sub>d</sub>	A <sub>1</sub>	167	1.0	6.8	10.6	2.3	19.7	85.7	105	61.6	92.7
		A <sub>2</sub>	156	0.5	4.2	8.0	1.8	14.0	102	116	40.1	65.6
		B <sub>1</sub>	145	0.2	1.4	5.9	0.6	7.9	108	116	28.9	49.1
		B <sub>2</sub>	144	0.2	0.9	4.1	0.4	5.4	111	116	28.0	44.3
4	B <sub>d</sub> (d)	A <sub>1</sub>	47.7	0.6	6.6	5.4	0.4	12.4	20.2	32.6	15.1	273
		A <sub>2</sub>	38.2	0.5	5.2	3.9	0.4	9.5	20.3	29.8	8.4	245
		B <sub>1</sub>	36.9	0.3	3.1	3.3	0.3	6.7	23.3	30.0	6.9	197
		B <sub>2</sub>	34.5	0.2	0.5	2.3	0.3	3.1	27.7	30.8	3.7	219
5	B <sub>B</sub>	A	58.9	0.3	4.2	4.8	0.4	9.4	40.3	49.7	9.2	362
		B <sub>1</sub>	57.1	0.2	3.1	3.5	0.3	6.9	45.8	52.7	4.4	364
		B <sub>2</sub>	51.5	0.2	1.4	3.0	0.3	4.7	46.3	51.0	0.5	248
6	B <sub>d</sub>	A <sub>1</sub>	98.6	1.4	5.9	7.5	1.0	14.4	50.5	64.9	33.7	164
		A <sub>2</sub>	74.6	0.4	1.7	5.0	0.4	7.1	54.4	61.5	13.1	139
		B	66.0	0.2	0.5	3.2	0.3	4.0	56.8	60.8	5.2	133
7	B <sub>d</sub> (d)	A	66.8	1.5	5.9	5.2	0.6	11.7	34.1	45.8	21.0	342
		B	48.5	0.2	2.1	3.6	0.4	6.1	33.7	39.8	8.7	198
		A'	45.1	tr.	0.9	2.7	0.4	4.0	37.9	41.9	3.2	294
		B'	43.5	tr.	0.5	2.5	0.4	3.4	37.7	41.1	2.4	246

$P_2O_5$  各 fraction の割合 ( $P_2O_5$ -t に対する%)

Rate of  $P_2O_5$  fractions (% of  $P_2O_5$ -t)

断面 番号 Prof. No.	層 位 Horizon	$P_2O_5$ -ac	$P_2O_5$ -Al	$P_2O_5$ -Fe	$P_2O_5$ -np	$P_2O_5$ -Al+ Fe+ap	$P_2O_5$ -ins	$P_2O_5$ -inorg	$P_2O_5$ -org
1	A <sub>1</sub>	2.4 (3.5)	2.7 (4.0)	6.6 (9.6)	0.9 (1.3)	10.3(14.9)	58.8(85.4)	68.8	31.0
	A <sub>2</sub> (upper)	0.8 (1.0)	1.3 (1.7)	5.8 (7.3)	0.8 (1.0)	7.9(10.0)	71.1(90.0)	79.0	21.0
	A <sub>2</sub> (lower)	0.7 (0.9)	1.1 (1.3)	6.1 (7.1)	0.8 (1.0)	8.1 (9.4)	77.6(90.3)	86.0	14.3
	B	0.8 (0.9)	0.6 (0.7)	6.2 (7.2)	0.8 (1.0)	7.6 (8.9)	78.0(91.1)	85.6	14.4
2	A	2.2 (2.8)	5.8 (7.2)	15.1(18.8)	2.6 (3.2)	23.4(29.2)	56.7(70.8)	8.01	19.9
	B	2.2 (2.3)	1.7 (1.9)	12.2(13.1)	1.7 (1.9)	15.7(16.9)	77.0(83.1)	92.6	7.4
3	A <sub>1</sub>	0.6 (1.0)	4.1 (6.5)	6.3(10.1)	1.4 (2.2)	11.8(18.8)	51.3(81.6)	62.9	36.9
	A <sub>2</sub>	0.3 (0.4)	2.7 (3.6)	5.1 (6.9)	1.2 (1.6)	9.0(12.1)	65.4(87.9)	74.4	25.7
	B <sub>1</sub>	0.1 (0.2)	1.0 (1.2)	4.1 (5.1)	0.4 (0.5)	5.4 (6.8)	74.5(93.1)	80.0	19.9
	B <sub>2</sub>	0.1 (0.2)	0.6 (0.8)	2.8 (3.5)	0.3 (0.3)	3.8 (4.7)	77.1(95.7)	80.6	19.4
4	A <sub>1</sub>	1.3 (1.8)	13.8(20.2)	11.3(16.6)	0.8 (1.2)	26.0(38.0)	42.3(62.0)	68.3	31.7
	A <sub>2</sub>	1.3 (1.7)	13.6(17.4)	10.2(13.1)	1.0 (1.3)	24.9(31.9)	53.1(68.1)	78.0	22.0
	B <sub>1</sub>	0.8 (1.0)	8.4(10.3)	8.9(11.0)	0.8 (1.0)	18.2(22.3)	63.1(77.7)	81.3	18.7
	B <sub>2</sub>	0.6 (0.6)	1.4 (1.6)	6.7 (7.5)	0.9 (1.0)	9.0(10.1)	80.3(90.2)	89.3	10.7
5	A	0.5 (0.6)	7.1 (8.5)	8.1 (9.7)	0.7 (0.8)	16.0(18.9)	68.4(81.1)	84.4	15.6
	B <sub>1</sub>	0.4 (0.4)	5.4 (5.9)	6.6 (6.6)	0.5 (0.6)	12.1(13.1)	80.2(86.9)	92.3	7.7
	B <sub>2</sub>	0.4 (0.4)	2.7 (2.7)	5.8 (5.9)	0.6 (0.6)	9.1(9.2)	89.9(90.8)	99.0	1.0
6	A <sub>1</sub>	1.4 (2.2)	6.0 (9.1)	7.6(11.6)	1.0 (1.5)	14.6(22.2)	51.2(77.8)	65.8	34.2
	A <sub>2</sub>	0.5 (0.7)	2.3 (2.8)	6.7 (8.1)	0.5 (0.7)	9.5(11.5)	72.9(88.6)	82.4	17.6
	B	0.3 (0.3)	0.8 (0.8)	4.8 (5.3)	0.5 (0.5)	6.1 (6.6)	86.1(93.4)	92.1	7.9



断面 番号 Prof. No.	層 位 Horizon	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ac	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Fe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ap	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al+ Fe+ap	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ins	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - inorg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - org
7	A	2.2 (3.3)	8.8(12.9)	7.8(11.4)	0.9 (1.3)	17.5(25.5)	51.0(74.5)	68.6	31.4
	B	0.4 (0.5)	4.3 (5.3)	7.4 (9.0)	0.8 (1.0)	12.6(15.3)	69.5(84.7)	82.1	17.9
	A'	tr. (tr.)	2.0 (2.1)	6.0 (6.4)	0.9 (1.0)	8.9 (9.5)	84.0(90.5)	82.9	7.1
	B'	tr. (tr.)	1.1 (1.2)	5.7 (6.3)	0.9 (1.0)	7.8 (8.3)	86.7(91.7)	94.5	5.5

注) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ac : 2.5 % acetic acid soluble P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Remarks) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al : Al-phosphate

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Fe : Iron-phosphate

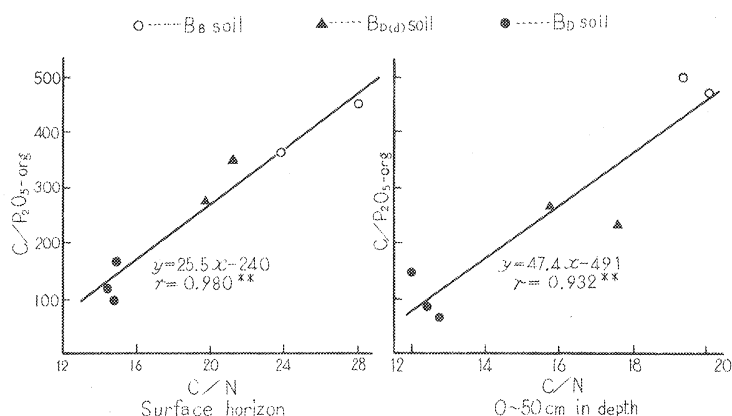
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ap : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in apatite

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins : Insoluble P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org : Organic P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t : Total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

カッコ内の数字は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg に対する % : Figures in parentheses are % of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg



(1% 有意水準における  $r=0.874$ )  
(Significant  $r$  at 1% level=0.874)

Fig. 2 土壌の C/N 比と C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org 比の相関  
Correlation between C/N and C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org ratios of soil.

よび P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ap はきわめて小さく、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al および P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Fe はとくに大きな値を示さなかったが、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins はきわめて大きく 40~70% に達した。

このような各土壌の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の形態は、筆者ら<sup>19)</sup> が先に示したわが国の褐色森林土の、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の形態の一般的な傾向とよく一致していた。

各林地の表層土における P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org および P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg の各 fraction の含有率は、山腹各斜面ごとに比べると多少の例外が見られたが、全般的に B<sub>p</sub>、B<sub>p</sub>(d)、B<sub>b</sub> 型土壌の順に減少の傾向を示した。しかし、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg 各 fraction の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t に対する比率は、一定の傾向が見られなかった。また、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t に対する比率は上述の土壌型の順に減少を示し、同時に C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org 比は増大を示した。

各林地の表層土、および 0~50 cm までの土層中 (5-3 参照) の C/N および C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org 比は、Fig. 2 に示すようにきわめて有意な正の直線回帰を示した。C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org 比が各種森林土壌の表層土において、C/N 比ときわめて有意な直線回帰を示し、C/N 比と同様に、有機土壌物の分解過程を示す指標になると考えられることは、すでに筆者ら<sup>19)</sup> が指摘している事実であるが、今回の結果も同様のことを裏づけ得たといえよう。

Table 5. 表層から深さ 50 cm までの鉱質土層中の carbon, N および無機成分量  
Amount of carbon, nitrogen and minerals in the mineral horizon to 50 cm in depth from surface  
(kg per ha)

断面番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	C	N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					C/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> soluble K <sub>2</sub> O		Exchangeable		Rate of saturation (%)		
					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ac	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Fe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -sp	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al+Fe+sp	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ins	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -inorg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	CaO	MgO	CaO	MgO
1	Bb	51200	4130	12.4	2720	31.5	43.9	167	22.8	234	1930	2160	550	3170	1400	24.8	15.2
2	Ba	48100	2380	19.4	1040	22.6	23.1	130	19.0	272	773	944	92	460	590	2.3	2.7
3	Bb	73400	5780	12.7	4330	12.2	87.6	208	33.6	329	2900	3230	1080	15500	2630	61.5	14.7
4	Bb(d)	56400	3210	17.6	1180	11.8	115	110	10.6	235	702	938	241	780	890	6.4	6.7
5	Ba	54500	2710	20.1	1390	7.3	87.2	118	10.7	216	1560	1770	116	180	210	1.0	1.5
6	Bb	76700	6410	12.0	3960	18.9	73.7	183	18.3	280	2260	2840	821	4310	1530	23.7	11.9
7	Bb(d)	67700	4280	15.8	1950	8.7	64.7	128	17.2	210	1480	1690	255	1100	740	7.3	6.7

各成分の表層から深さ 50 cm までの土層中の量と表層上の濃度間の直線相関係数

Linear correlation coefficient between the amount of every element in 0~50 cm mineral horizon and its level of surface soil

直線相関係数 Linear correlation coefficient	0.623	0.806**	0.926**	0.724	0.747	0.800*	0.363*	0.975**	—	—	—	0.970**	0.946**	0.867*	0.895**	0.903**	0.973**	0.977**
--	-------	---------	---------	-------	-------	--------	--------	---------	---	---	---	---------	---------	--------	---------	---------	---------	---------

注) 1%有意水準における  $r=0.874$ , 5%有意水準における  $r=0.754$

Remarks) Significant  $r$  at 1% level=0.874, significant  $r$  at 5% level=0.754.

土壌中の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fraction の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t に対する比率: Rate of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fractions to P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t

断面番号 Prof. No.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t に対する% : % of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t										P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -inorg		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ac	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Fe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -sp	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al+Fe+sp	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ins	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -inorg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -inorg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -inorg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org
1	1.2 (1.5)	1.6 (2.0)	6.1 (7.7)	0.8 (1.1)	8.6 (10.8)	71.0 (89.4)	78.7 (100)	21.3	100	100	78.7 (100)	21.3	100	100
2	2.2 (2.4)	2.2 (2.4)	12.5 (13.8)	1.8 (2.0)	16.5 (18.2)	74.3 (81.9)	91.2 (100)	8.8	100	100	91.2 (100)	8.8	100	100
3	0.3 (0.4)	2.0 (2.7)	4.8 (6.4)	0.8 (1.0)	7.6 (10.2)	67.0 (89.8)	75.1 (100)	24.9	100	100	75.1 (100)	24.9	100	100
4	1.0 (1.3)	9.7 (12.6)	9.3 (11.7)	0.9 (1.1)	20.0 (25.1)	59.5 (74.8)	79.6 (100)	20.4	100	100	79.6 (100)	20.4	100	100
5	0.4 (0.4)	4.6 (4.9)	6.2 (6.7)	0.6 (0.6)	11.4 (12.2)	82.5 (88.1)	93.9 (100)	6.1	100	100	93.9 (100)	6.1	100	100
6	0.6 (0.7)	2.4 (2.9)	6.1 (7.4)	0.6 (0.7)	9.1 (11.0)	73.9 (89.6)	83.0 (100)	12.0	100	100	83.0 (100)	12.0	100	100
7	0.4 (0.5)	3.3 (3.8)	6.6 (7.6)	0.9 (1.0)	10.8 (12.4)	75.9 (87.6)	86.9 (100)	13.1	100	100	86.9 (100)	13.1	100	100

注) カッコ内の数字は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t に対する%

Remark) Figures in parentheses are % of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t

## 4-3. 表層から深さ 50 cm (0~50 cm) までの土層中に含まれる C, N および無機養分量

各林地における土層中に含まれる C, N および各養分量の実態を把握するために、林木の根系が主として分布していると考えられる 0~50 cm の土層中の含有量を算出した。

これらの値は土壌の自然状態の理学的性質の測定に用いた採取円筒中の細土の重量と Table 3, 4 に示した各成分の含有率を用いて計算した。供試土壌は多礫質の場合が多かったので、細土重量はかなりの誤差をとまう危険性を有することを付記しておきたい。

計算結果は Table 5 に示すとおりであった。

各成分量 (ha あたり) は次のとおりであった。

C は 46~76 ton, N は 2.4~6.4 ton, N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O は 1.0~3.4 ton, 置換性 CaO は 0.2~15.5 ton, 置換性 MgO は 0.2~2.7 ton に達した。前述 (Table 3) のように, Prof. 3 B<sub>d</sub> 型土壌は, 全層位の N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O 含有率および下層土の置換性 CaO 含有率がいちじるしく高く, したがって他の B<sub>d</sub> 型土壌よりこれらの成分量がいちじるしく高かったが, Prof. 3 を除くと N HNO<sub>3</sub> 可溶 K<sub>2</sub>O は 1.0~2.1 ton, 置換性 CaO は 0.2~4.3 ton であった。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> については, P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub> は 1.0~4.3 ton, その中 P<sub>2</sub>O<sub>5-org</sub> は 90~1,080 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5-ac</sub> は 7~32 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5-ap</sub> は 11~34 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5-Al</sub> は 23~115 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5-Fe</sub> は 110~210 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5-ins</sub> は 700~2,900 kg に達した。

以上の 0~50 cm の土層中の各成分量および C/N, C/P<sub>2</sub>O<sub>5-org</sub> および置換性 CaO および Mg 飽和度等と各土壌型との関係は, 5-2 に示した表層土の場合とほぼ同様の傾向が見られた。この点は Table 5 に示したように, 各土壌の 0~50 cm の土層中の諸性質は, 表層土のそれぞれ対応する諸性質との間に, C および P<sub>2</sub>O<sub>5-ac</sub> 以外はいずれも有意または多くの場合きわめて有意な正の直線回帰を示したことによって裏づけられよう。

## 5. ヒノキの地位指数と土壌の諸性質との関係

各林地のヒノキの地位指数は Table 6 に示すとおりであった。

B<sub>B</sub> 型土壌は 9~10, B<sub>d</sub>(d) 型土壌は 13~14, B<sub>d</sub> 型土壌は 16~18 を示し, B<sub>B</sub>, B<sub>d</sub>(d), B<sub>d</sub> 型土壌の順に地位指数の増大が見られた。

土壌の諸性質と地位指数の間の直線相関係数は, Table 7 に示すとおりであった。

Table 6. ヒノキの成長  
Growth of *Chamaecyparis obtusa* stand

断面番号 Prof. No.	土 壌 型 Type of soil	林 齢 Age (year)	立木本数 No. of stand (per ha)	平均樹高 Average height (m)	平均直径 Average D.B.H. (cm)	蓄 積 Volume (m <sup>3</sup> /ha)	地位指数 Site index*
1	B <sub>d</sub>	59	500	21.6	30	351	16.0
2	B <sub>B</sub>	60	4030	12.2	14	287	9.0
3	B <sub>d</sub>	53	820	20.5	28	459	18.0
4	B <sub>d</sub> (d)	51	1600	16.9	20	345	14.0
5	B <sub>B</sub>	56	4050	11.7	12	222	10.0
6	B <sub>d</sub>	57	750	21.4	29	471	17.0
7	B <sub>d</sub> (d)	59	1860	16.2	19	335	13.0

注) \* 地位指数は40年生の平均樹高 (m) で示した。

Remark) \* Site index is expressed with the average height (m) at 40-year-old.

Table 7. 土壌の諸性質と地位指数の直線相関係数  
Linear correlation coefficient between site index and soil property

表層 Surface horizon		0~50 cm horizon	
土壌の諸性質 Property of soil	直線相関係数 Linear correlation coefficient	土壌の諸性質 Property of soil	直線相関係数 Linear correlation coefficient
N level	0.910**	Water percolation index	0.339
C/N	-0.972**	N amount	0.884**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t level	0.826*	C/N	-0.934**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org level	0.891**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -t amount	0.820*
C/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	-0.956**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org amount	0.872*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ac level	0.457	C/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -org	-0.977**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al level	0.767*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ac amount	0.190
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Fe level	0.859*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Al amount	0.321
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ap level	0.699	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Fe amount	0.807*
N HNO <sub>3</sub> soluble K <sub>2</sub> O level	0.610	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -ap amount	0.609
Exch. CaO level	0.852*	N HNO <sub>3</sub> soluble amount	0.391
Rate of exch. CaO saturation	0.937**	Exch. CaO amount	0.719
Exch. MgO level	0.899**	Rate of exch. CaO saturation	0.741
Rate of exch. MgO saturation	0.933**	Exch. Mg amount	0.885**
pH	0.957**	Rate of exch. MgO saturation	0.939**

注) 1%有意水準における  $r=0.874$ , 5%有意水準における  $r=0.754$

Remarks) Significant  $r$  at 1% level=0.874, significant  $r$  at 5% level=0.754.

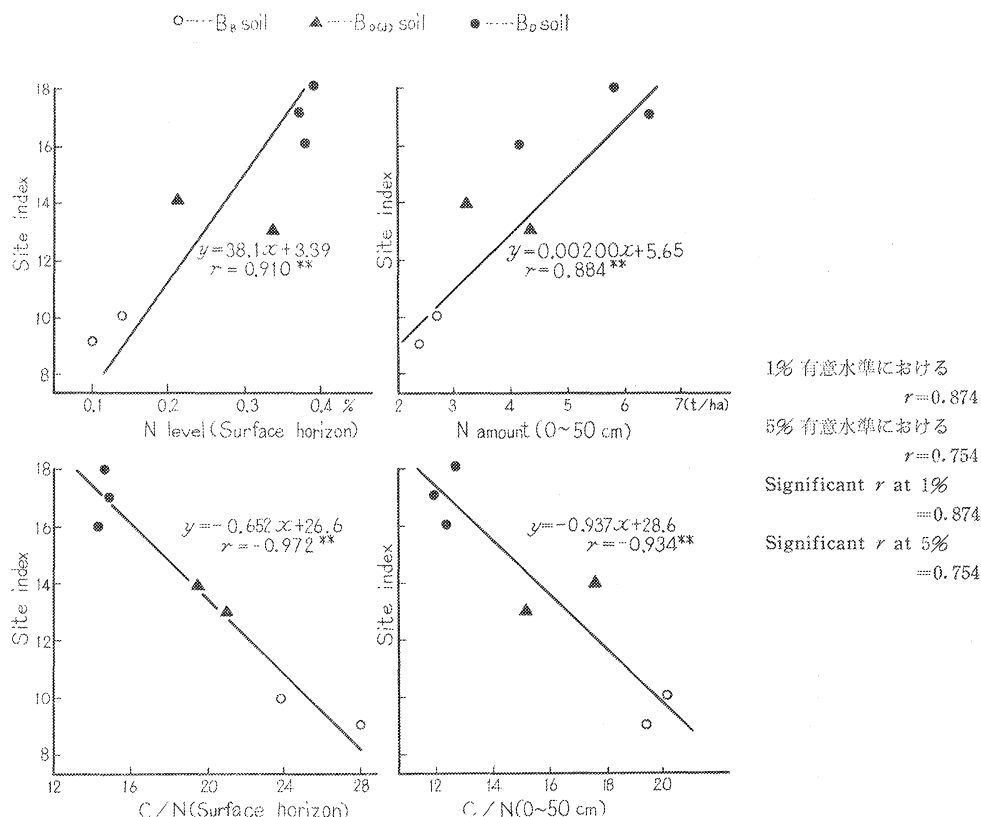


Fig. 3 土壌の諸性質と地位指数の相関 (1)  
Correlation between soil properties and site index (1)

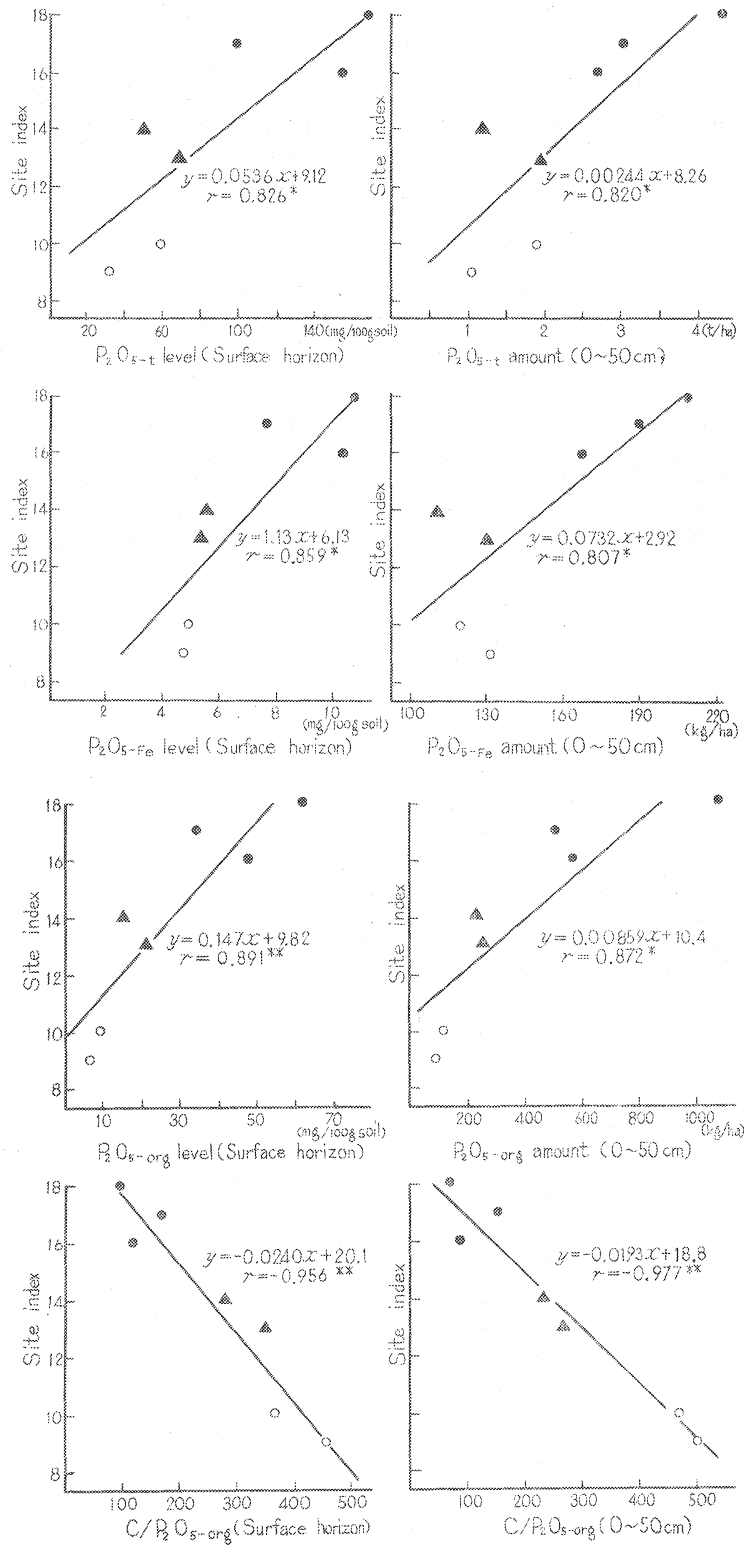


Fig. 3-(3)

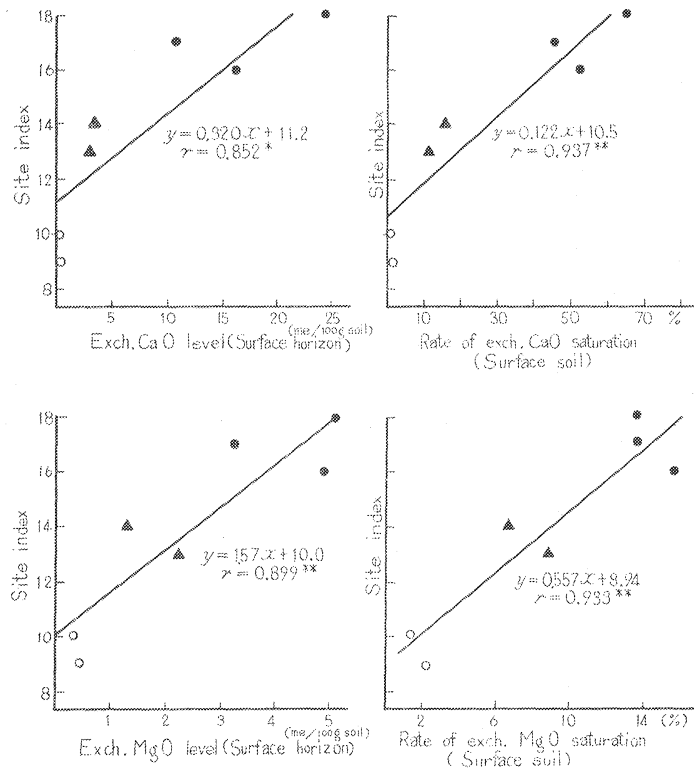


Fig. 3-(4)

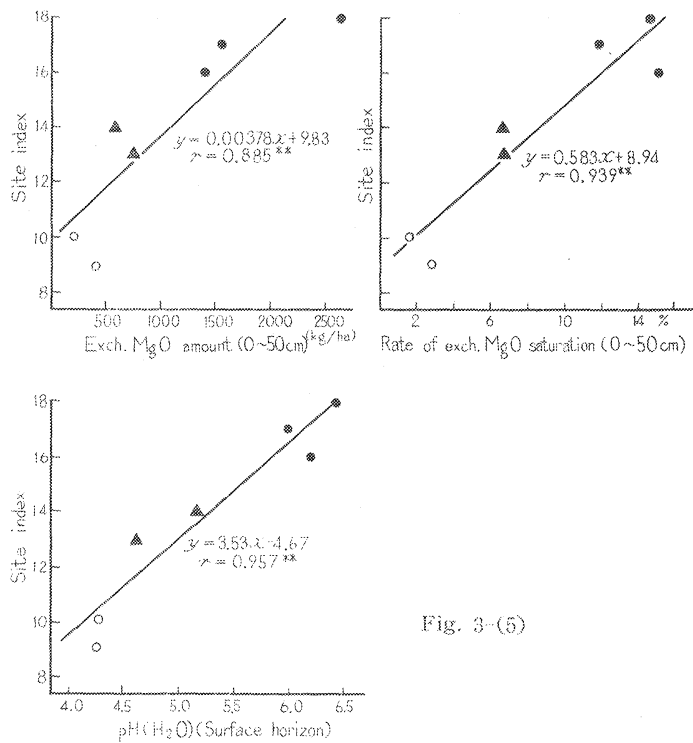


Fig. 3-(5)

表層土の諸性質と 0~50 cm の土層の対応する諸性質の、地位指数との間の相関は、置換性 CaO 含有量および同飽和度以外はいずれも同様の傾向を示した。この点は前述の (5-3) で示したように、この両者が有意な正の直線回帰を示したことから、十分に予想されたことであるが、同時に土壤の諸性質と地位指数ないし針葉の養分組成等との関係を論ずる場合に、今まで多く行なわれていたように、表層土の諸性質についての比較だけでも十分であろうと思われた。

今回の結果は、土壤の透水指数と地位指数の間には有意な直線回帰は見られなかった。今までの透水性と林木の成長との関係については、真下<sup>28)</sup>、真下ら<sup>29)</sup>、山本<sup>60)</sup>、山本ら<sup>52)</sup>、河田ら<sup>15)</sup>はいずれも正の相関を認めているが、竹下ら<sup>42)</sup>は弱度の正の相関を認めたにすぎず、吉次<sup>53)</sup>および野津<sup>31)</sup>は認め難いとしている。

土壤の各成分については、表層土の N,  $P_2O_5$ -i,  $P_2O_5$ -org,  $P_2O_5$ -Al および  $P_2O_5$ -Fe 含有率, C/N および  $C/P_2O_5$ -org, 置換性 CaO および MgO 含有率および飽和度, pH はそれぞれ地位指数と有意, ないしきわめて有意な正または負の直線回帰を示した。しかし, 0~50 cm の土層については, これらのうち  $P_2O_5$ -Al 含有量, 置換性 CaO 含有量および飽和度は有意な直線回帰を示さなかった。

これらの諸点についての, 今までの諸研究者の結果との対比および論議は, 後で述べる (7) ことにしたい。

これらの地位指数と有意な直線回帰を示した土壤の諸性質は, いずれも Fig. 3 に示したように, B<sub>B</sub>, B<sub>D</sub>(d), B<sub>D</sub> 型土壤の順に増大または減少を示し, 土壤型とも密接な関係を有することを示していた。

## 6. ヒノキの針葉の養分組成と地位指数および土壤の諸性質との関係

各林地のヒノキの針葉の養分組成は Table 8 に, 針葉の各養分濃度と地位指数との直線相関係数は Table 9 に, それぞれ対応する土壤の諸性質との直線相関係数は Table 10 に, 針葉の各養分間の直線相関係数は Table 11 に示すとおりであった。

針葉の N および P 濃度は, 地位指数ときわめて有意な正の直線回帰を示し, K 濃度も同様に有意な正の直線回帰を示したが, Ca および Mg 濃度は有意な相関は見られなかった。また, 養分比については C/N 比が地位指数と有意な負の直線回帰を示した以外は, N/P, N/K および N/P はいずれも有意な相関は見られなかった。

Table 8. ヒノキ針葉の養分濃度と養分比  
Nutrient level and nutrient ratio of *Chamaecyparis obtusa* needle

(On dry basis)

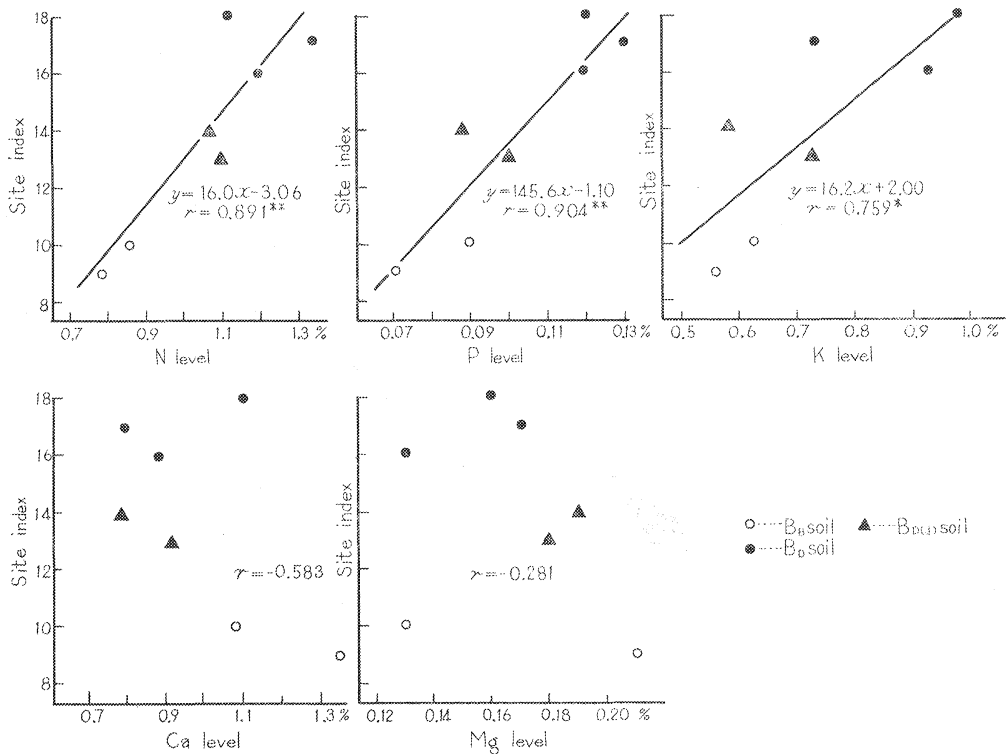
断 番 号 Prof. No.	土 壤 型 Type of soil	C %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
1	B <sub>D</sub>	57.8	1.19	0.12	0.93	0.88	0.13	48.6	9.9	1.3	1.4	7.8	6.8
2	B <sub>B</sub>	57.9	0.77	0.071	0.56	1.35	0.21	75.2	10.8	1.4	0.57	7.9	6.4
3	B <sub>D</sub>	57.5	1.11	0.12	0.98	1.10	0.16	51.8	9.3	1.4	1.0	6.8	6.9
4	B <sub>D</sub> (d)	57.3	1.06	0.088	0.58	0.78	0.19	54.1	12.0	1.8	1.3	6.6	4.2
5	B <sub>B</sub>	56.9	0.85	0.090	0.63	1.08	0.13	66.9	9.4	1.6	0.78	5.8	8.3
6	B <sub>D</sub>	58.6	1.33	0.13	0.73	0.79	0.17	44.1	10.2	1.8	1.8	5.6	4.6
7	B <sub>D</sub> (d)	56.1	1.09	0.10	0.73	0.91	0.18	51.5	10.9	1.5	1.2	7.3	5.1

Table 9. 針葉の養分濃度および養分比と地位指数との直線相関係数  
Linear correlation coefficient between nutrient level and ratio of needle and site index

針葉の養分濃度 Nutrient level of needle	直線相関係数 Linear correlation coefficient
N	0.891**
P	0.904**
K	0.759*
Ca	-0.583
Mg	-0.281
針葉の養分比 Nutrient ratio of needle	
C/N	-0.839*
N/P	-0.230
N/K	0.055
K/P	0.191

注) 1%有意水準における  $r=0.75$ , 5%有意水準における  $r=0.754$

Remarks) Significant  $r$  at 1% level=0.874, significant  $r$  at 1% level=0.754.



1% 有意水準における  $r=0.874$

5% 有意水準における  $r=0.754$

Significant  $r$  at 1%=0.874

Significant  $r$  at 5%=0.754

Fig. 4 針葉の養分濃度と地位指数の相関

Correlation between nutrient level of needle and site index.

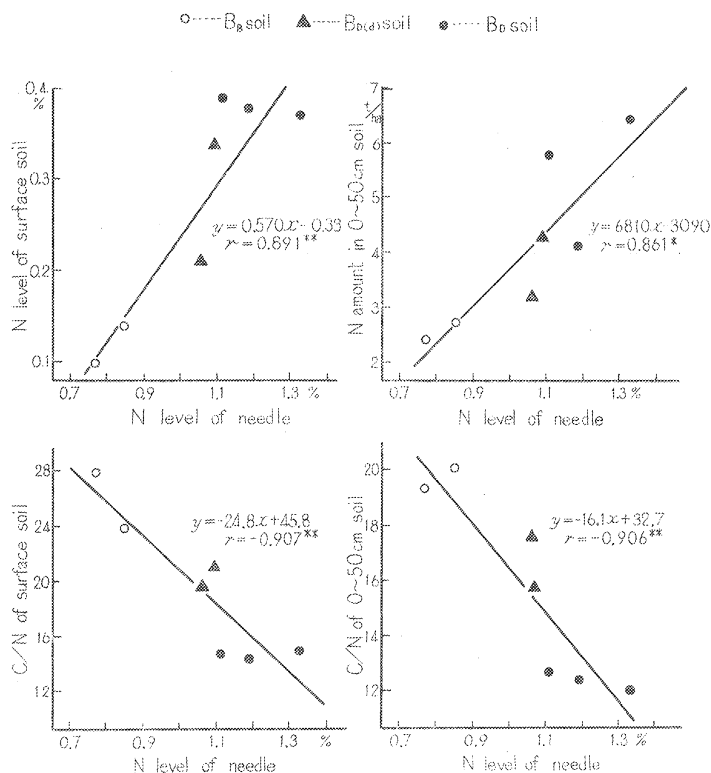


Table 10. 針葉の養分濃度と土壌の諸性質との直線相関係数  
Linear correlation coefficient between nutrient level of needle and corresponding soil property

針葉の養分濃度 Nutrient level of needle	表層土 Surface soil		0~50 cm soil	
	土壌の諸性質 Property of soil	直線相関係数 Linear correlation coefficient	土壌の諸性質 Property of soil	直線相関係数 Linear correlation coefficient
N	N level	0.891**	N amount	0.861*
	C/N	-0.907**	C/N	-0.906**
P	P <sub>2</sub> O <sub>5-t</sub> level	0.826*	P <sub>2</sub> O <sub>5-t</sub> amount	0.849*
	P <sub>2</sub> O <sub>5-org</sub> level	0.832*	P <sub>2</sub> O <sub>5-org</sub> amount	0.767*
	C/P <sub>2</sub> O <sub>5-org</sub>	-0.957**	C/P <sub>2</sub> O <sub>5-org</sub>	-0.867*
	P <sub>2</sub> O <sub>5-ac</sub> level	0.553	P <sub>2</sub> O <sub>5-ac</sub> amount	0.237
	P <sub>2</sub> O <sub>5-Al</sub> level	0.561	P <sub>2</sub> O <sub>5-Al</sub> amount	0.148
	P <sub>2</sub> O <sub>5-Fe</sub> level	0.789*	P <sub>2</sub> O <sub>5-Fe</sub> amount	0.829*
	P <sub>2</sub> O <sub>5-ap</sub> level	0.612	P <sub>2</sub> O <sub>5-ap</sub> amount	0.529
K	N HNO <sub>3</sub> soluble K <sub>2</sub> O level	0.711	N HNO <sub>3</sub> soluble K <sub>2</sub> O amount	0.481
Ca	Exch. CaO level	0.148	Exch. CaO amount	0.085
	Rate of exch. CaO saturation	0.320	Rate of exch. CaO saturation	0.037
Mg	Exch. MgO level	-0.405	Exch. MgO amount	-0.231
	Rate of exch. MgO saturation	-0.323	Rate of exch. MgO saturation	-0.336

注) 1%有意水準における  $r=0.874$ , 5%有意水準における  $r=0.754$

Remarks) Significant  $r$  at 1% level=0.874, significant  $r$  at 5% level=0.754.



1% 有意水準における  $r=0.874$ , 5% 有意水準における  $r=0.754$

Significant  $r$  at 1%=0.874, significant  $r$  at 5%=0.754.

Fig. 5 針葉のN濃度と土壌の対応する諸性質との相関

Correlation between N level of needle and corresponding soil property.

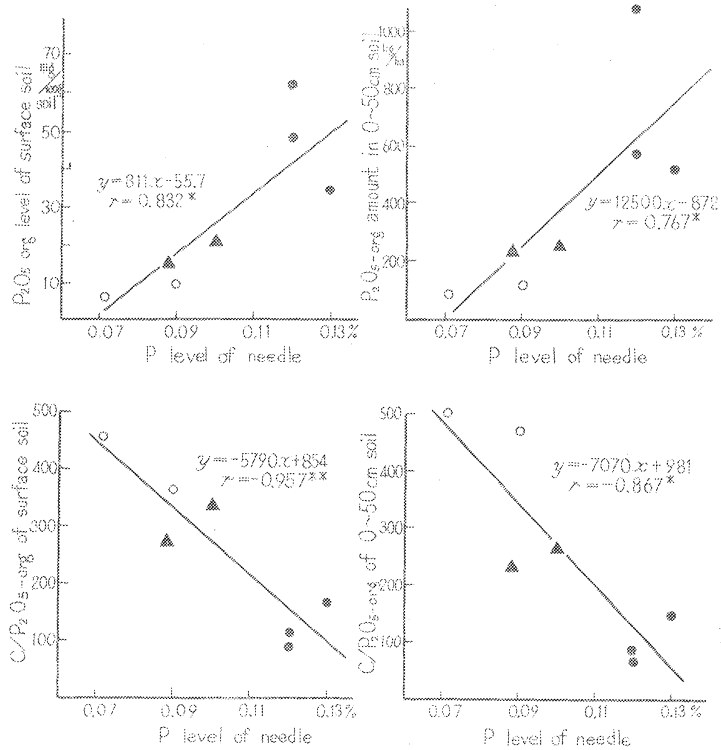
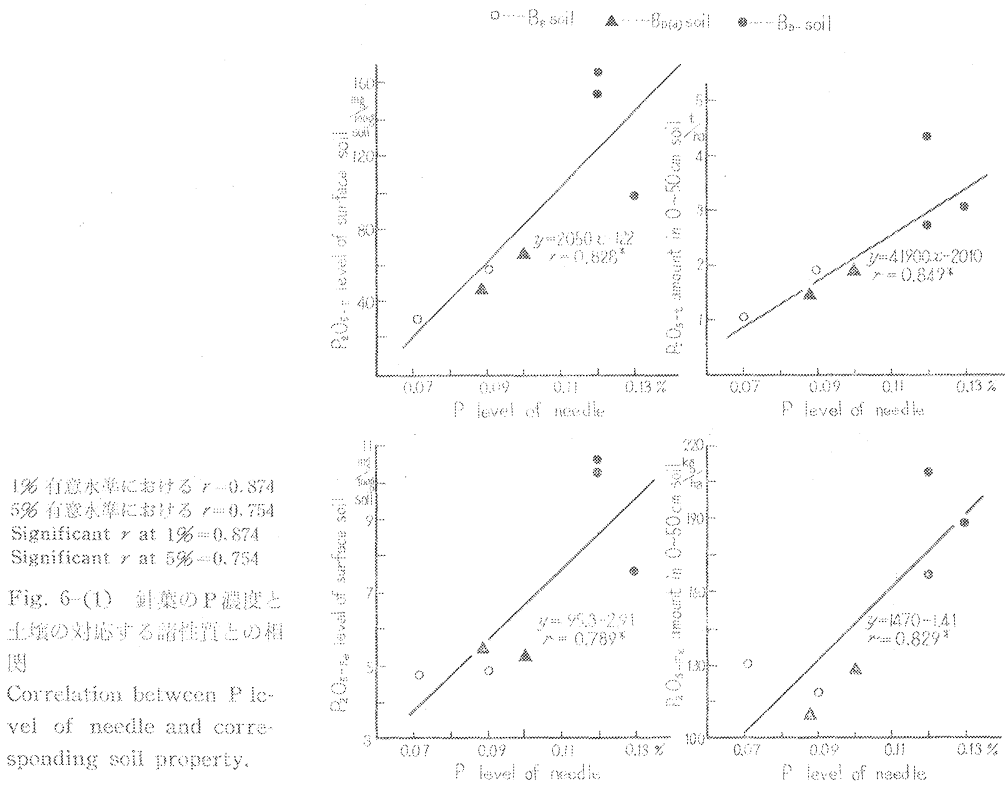


Fig. 6-(2)

Table 11. 針葉の各養分濃度間の直線相関係数  
Linear correlation coefficient between the nutrient levels of needle

	N	P	K	Ca
P	0.913**			
K	0.692	0.759*		
Ca	-0.798*	-0.552	-0.144	
Mg	-0.289	-0.049	-0.523	0.245

注) 1% 有意水準における  $r=0.874$

5% 有意水準における  $r=0.754$

Remarks) Significant  $r$  at 1 % level=0.874

Significant  $r$  at 5 % level=0.754

Fig. 4 に示したように、針葉の N, P および K 濃度は、Eb, Pb(d), Bd 型土壌の順に増大し、同時に土壌型とも密接な関連性を有することを示していた。しかし、針葉の Ca および Mg 濃度は土壌型との間に一定の関係が見られなかった。

針葉の各養分濃度とそれぞれ対応する土壌の諸性質との関係については、Fig. 5, 6 に示したように、針葉の N 濃度は表層土の N 含有率および C/N 比と、P 濃度は、 $P_2O_5-t$ ,  $P_2O_5-org$ ,  $P_2O_5-Fe$  含有率および  $C/P_2O_5-org$  と有意なし、きわめて有意な正または負の直線回帰を示した。しかし針葉の K, Ca および Mg 濃度は、それぞれ対応する表層土の諸性質と有意な相関は見られなかった。

これらの針葉の各養分濃度と対応する土壌の諸性質との関係は、0~50 cm の土層の場合も表層土の場合と同様の傾向を示していた。さらに、これらの針葉の N および P 濃度と有意な直線回帰を示した土壌の諸性質が、土壌型とも密接な関係を有することはすでに Fig. 3 に示したとおりである。

針葉の各養分濃度間においては、N および P 濃度間にきわめて有意な正の直線回帰が、P および K 濃度間に有意な正の、N および Ca 濃度間に有意な負の直線回帰が見られたにすぎなかった。

## 7. 論議 (土壌および針葉の化学的組成と林木の成長との関係)

### 7-1. 針葉の養分組成と樹高成長との関係

林木の栄養診断、すなわち林木の栄養状態を診断する手法として用いられている葉分析は、細部についてはまだ問題が残されているとしても、全般的には次のような見解が一般に受け入れられている。

ある特定の養分が不足し、他の養分が適度な状態では、不足養分の供給の増加にともなって、林木の葉のその養分濃度と成長の増大が見られる。この関係は、ある一定の範囲では有意な正の直線回帰を示すが、いわゆる critical concentration (養分の摂取が成長増をともなわない濃度) に近づくにしながら、養分濃度の増大に対応する成長はしだいに減少する。critical concentration に達した後は luxury consumption (養分の摂取増が成長増をともなわない状態) を生ずる。したがって、葉の特定の養分濃度と成長との間に、有意な正の直線回帰が存在する場合には、林木はその養分について不足状態にあると考えられる。現実の林地では、数種類の養分不足も当然予想される。この場合にも制限因子と考えられる養分については、同様に有意な正の直線回帰を示すと考えられるが、回帰直線の傾きおよびその範囲等は、他の成長に関与する因子の影響によって異なると考えられている<sup>23)25)26)</sup>。したがって、葉分析の結果の解釈には、各養分間の相互作用の影響が大きな問題点になっているといえよう。

葉分析の結果の解析に、重回帰分析を応用しようとする試みも最近行なわれている。LEYTON<sup>23)</sup> および LEYTON ら<sup>26)</sup> は、林木の葉の個々の養分濃度が、樹高成長と有意な正の直線回帰を示したとしても、必ずしも樹高成長と直線関係を有するとは限らないとし、樹高成長は葉の各養分濃度と成長との重回帰式において、有意な正の相関を示す葉の養分濃度だけによって制約されるとの仮説を提唱した。かれらの日本カラマツおよび *Resinosa pine* の場合には、樹高成長と直線相関を示した針葉の N, P および K 濃度のうち、P は K の reflection にすぎず、N および K 濃度だけが樹高成長に関与する因子であることを重回帰分析によって明らかにし、日本カラマツについては施肥試験によって実証している<sup>24)25)</sup>。これに対して、MADGWICK<sup>27)</sup> が LEYTON の方法を用いて行なった *Resinosa pine* の結果では、回帰変数の養分濃度の選ぶ範囲によって、また従属変数の成長量の選び方によってかなり矛盾した結果を生ずることを指摘し、かれらは LEYTON の方法の根本的な問題点は、かれが考えた生物モデルの単純性だけではなく、各種の元素は葉の中で相互に関連性を有するので、回帰分析の結果は使用した回帰変数の組合せと、相互に関係を有する一連の成長量の測定値の一つが従属変数として用いられることによって、強い影響を受けることを指摘している。また、HOYLE ら<sup>5)</sup> が *Resinosa pine* について行なった重回帰分析の結果では、樹高成長は針葉の Ca 濃度、根元面積成長は針葉の K 濃度、材積成長は土壌の最大容水量によって、もっとも大きな影響を受けることを認めた。かれらは針葉の Ca 濃度と樹高成長との関係は、この樹種についてそれまでに行なわれた多くの結果では報告されていないことから、土壌分析および施肥試験等による実証の必要なことを指摘している。

以上のように、重回帰分析による葉分析の結果の解析は、まだ問題が残されているように思われる。

一方、WEHRMANN<sup>46)</sup> は *Sylvestris pine* について、STREBEL<sup>41)</sup> は *Picea abies* について、いずれも針葉の N および P 濃度が樹高成長と有意な正の直線回帰を示すが、K, Ca および Mg 濃度は有意な相関が認められないことを明らかにした。WEHRMANN は成長不良なマツの針葉の P 濃度が多くの場合、他の研究者によって示された成長の良好な場合の P 濃度と同じレベルに達していること、かれの成長不良なマツの針葉の N/P 比が小さいことから、マツの成長不良原因は P の不足ではなく、N の不足によるものと解釈している。STREBEL は施肥試験によって *Picea abies* の成長不良の原因は P の不足ではなく、N の不足によることを明らかにした。

このような方法も、林木の葉分析の結果の解釈に対して、有力な指針を与えるものといえよう。

その他の諸外国の葉分析の例では、上述のほかに、WATT ら<sup>45)</sup> は *Picea mariana* について、針葉の N および P 濃度は有意な正の、K 濃度は負の直線回帰を示すが、その他の major および minor element はいずれも有意な相関は認められないことを明らかにした。SCHOMAKER ら<sup>40)</sup> は Yellow poplar について、葉の major および多くの mineral element の濃度が、樹高および直径成長と有意な正の直線相関を示すが、そのうち N および P 濃度の相関がとくに強いことを指摘している。

わが国における主要造林樹種の葉分析と成長との関係(施肥試験を除く)については、次のような結果が報告されている。

芝本および田島<sup>39)</sup> は、ヒノキ壮齡林の樹高成長は針葉の N および P 濃度と正の相関を示すが、K 濃度については明らかではなく、Ca 濃度は負の相関を示すという。河田<sup>11)</sup> はカラマツ幼齡林\* について、各調査年度とも針葉の N, P, Ca および Mg 濃度と樹高成長は正の関連性を示すが、K 濃度は年度によって異なり、一定の関係を示さないことを明らかにした。河田ら<sup>15)</sup> のアカマツ幼齡林の場合には、針葉の N およ

びP濃度は樹高成長と正の相関を示すが、KおよびCa濃度は地形的因子の影響が大きく、成長との正の相関はむしろ二次的なものであろうとし、Mg濃度は成長と一定の関係を示さないとした。河田ら<sup>17)</sup>のスギ幼齢林\*の場合は、各調査年度いずれも針葉のN、PおよびK濃度は樹高成長と正の関連性を、Ca濃度は負の関連性を示すが、Mg濃度は一定の関係が認められないという。原田<sup>4)</sup>のスギ幼齢林の場合は、針葉のN、PおよびK濃度と樹高成長との正の相関を認めているが、壮齢林の場合は最近5か年間の樹高成長と針葉のN、PおよびK濃度は正の相関の傾向を、Ca濃度は負の相関の傾向を多少認めているにすぎず、また、全樹高はいずれの養分濃度とも相関を示さないとした。山木ら<sup>52)</sup>はトドマツ壮齢林について、針葉のN、PおよびK濃度は最近5か年間の樹高成長と正の相関を、Ca濃度は負の相関を認めている。伊藤ら<sup>7)</sup>はスギ幼齢林について、針葉のNおよびP濃度は樹高成長と正の相関を、K濃度は負の相関を認めているが、CaおよびMg濃度は相関関係を認めていない。中村<sup>30)</sup>はカラマツ幼壮齢林について、針葉のNおよびK濃度と成長との間に正の相関を認めているが、PおよびCa濃度は相関が認められないという。

以上のように、わが国の主要造林樹種についての今までの結果は、ほとんど大部分が葉のNおよびP濃度と樹高成長が正の相関を示すことを明らかにしているが、K濃度の場合は正の相関を示す場合もNおよびP濃度ほど高くはなく、負の相関を示す場合ないし相関の認め難い場合も見られる。Ca濃度の場合は、正、負一定の傾向を見出し難く、また、Mg濃度は資料が少ないので十分な推論は下し難いが、相関は見出し難いように思われる。

これらの結果から、次のようなことが推定されるであろう。すなわち、わが国の森林土壌のうち人工造林の行なわれている地域では、全般的な傾向として林木の栄養面から見た場合には、土壌のNおよびPの林木に対する可給性が林木の成長にもっとも大きな影響を及ぼしているが、Kの可給性の林木の成長におよぼす影響は、NおよびPに比べれば低く、CaおよびMgの可給性はとくに重要な影響を及ぼさないと考えられる。

今回の筆者らの結果も、ほぼ同様の傾向を示していたといえよう。

このような推論は、当然施肥試験による証明が必要であろう。わが国における林地施肥試験は、大部分がN-P-K複合ないし化成肥料を用いているために、このような推論の証明はなお今後の三要素試験の結果を待たなければならないと思われる。

しかし、芝木<sup>98)</sup>の森林土壌の表層土を用いたヒノキ苗の肥料三要素試験、河田ら<sup>14)</sup>のカラマツ幼齢林、原田<sup>4)</sup>のスギ幼齢林の肥料三要素試験の結果は、 $N \geq P > K$ の順に肥効が低下すること、NおよびPの肥効はKに比べるといじりく大きいことを示している。

このような結果は、数少ない資料であるが、上述の推論の一端を裏づけているように思われる。

## 7-2. 森林土壌の養分の可給性—葉分析による林木の栄養診断および林木の成長との関連性

7-1で述べたように、林木の葉の各養分濃度は林木に対する土壌中の各養分の可給性を示すものと考えられる。したがって、葉分析ないし成長と関連させた土壌中の各養分の可給性の検討は、重要な意味を有すると考えられる。

### 7-2-1. N

今回の結果は表層土のN含有率、0~50 cmの土層中のN含有量およびそれらのC/N比が、針葉のN

\* 施肥試験における土壌型ないし地形的に異なる無施肥区間の比較。

濃度および成長ときわめて有意な正または負の直線回帰を示したことは、(5) および (6) で述べたとおりである。

河田ら<sup>13,17</sup>はスギおよびアカマツ幼齢林について、同じ山腹斜面ごとに比べると、表層土の C/N 比は針葉の N 濃度と負の相関を示し、同時に樹高成長とも負の相関を示すことを明らかにした。山本ら<sup>82</sup>もトドマツ壮齢林について、同様の事実を認めている。これらの結果は、表層土の C/N 比が林木に対する N の供給を通じて、成長とも密接な関係を有することを示すものといえよう。

林木の葉の N 濃度と土壌の N との関係について、河田ら<sup>17</sup>のスギ林、山本ら<sup>81</sup>はシラカンバの葉の N 濃度は表層土の C/N 比と負の相関を認め、Wells<sup>47</sup> は Loblolly pine の針葉の N 濃度は土壌の全 N より無機化される N 量との相関が大きいことを指摘している。

土壌の N と林木の成長との関係について、河田ら<sup>9</sup>はカラマツ—ヒノキ混交林、真下<sup>29</sup>のスギ、ヒノキ林、山本<sup>80</sup>のトドマツ林、吉次ら<sup>81</sup>のスギ林の場合は、いずれも表層土の C/N 比と樹高成長との間に負の相関を認めている。しかし、真下ら<sup>29</sup>のスギ、ヒノキ林、河田<sup>10</sup>のカラマツ林、竹下ら<sup>42</sup>のスギ林、野津<sup>81</sup>のスギ林の場合は、このような相関を認めていないか、または弱度の相関を認めているにすぎない。

土壌中の N はほとんど大部分が有機態として存在し、その分解無機化の過程、すなわち可給態 N の供給は土壌の C/N 比と負の相関を示す。河原<sup>80</sup>は森林土壌について、C/N 比の大小が N の無機化の強さに影響することを認め、C/N 比 17 を境にして無機化量に相違が見られることを明らかにしている。Jones ら<sup>81</sup>は土壌の N の無機化量は C/N 比と負の直線回帰を示すことを指摘している。

筆者らは森林土壌における N の可給性の指標として、C/N 比をとくに重要視したい。このような考え方は河田<sup>10</sup>がすでに示しているが、今回の結果および多少の例外はあるが今までの諸研究者の結果は、N の無機化による可給態 N の供給、その指標としての C/N 比の重要性を示すに十分であろう。

#### 7-2-2. $P_2O_5$

今回の結果は表層土の  $P_2O_{5-t}$ 、 $P_2O_{5-org}$ 、 $P_2O_{5-Fe}$  の濃度、0~50 cm の土層中のこれらの成分の含有量、および表層土および 0~50 cm の土層の C/ $P_2O_{5-org}$  比が、針葉の P 濃度および成長と有意ないし、きわめて有意な正または負の直線回帰を示したことは、すでに (5) および (6) で述べたとおりである。

わが国の森林土壌では、林木に対して可給態と考えられる Ca-phosphate は、特殊な母材料 (珊瑚礁石灰岩または変成石灰岩) に由来する土壌以外は、一般にきわめてとばしいと考えられるが<sup>18</sup>、今回の結果も同様であった。土壌中の  $P_2O_{5-Al}$  および  $P_2O_{5-Fe}$  は可給性の高い Iron oxide または Aluminum oxide 上に沈殿した Iron および Aluminium phosphate 以外に、可給性のとばしい結晶型の Iron および Aluminum phosphate も含まれる<sup>81</sup>。今回の結果は、土壌中の  $P_2O_{5-Fe}$  も、針葉の P 濃度および地位指数と有意な正の直線回帰が認められたが、その相関係数および  $P_2O_{5-t}$  中に占める割合が  $P_2O_{5-org}$  より低いことは、林木の栄養および成長に対する重要性は  $P_2O_{5-org}$  より低いと思われる。

土壌の  $P_2O_{5-org}$  およびその分解無機化の過程を示すと考えられる C/ $P_2O_{5-org}$ —そのうちとくに C/ $P_2O_{5-org}$  が、針葉の P 濃度および成長と高い相関係数を示したことは、C/ $P_2O_{5-org}$  比が土壌の  $P_2O_5$  の可給性を示す指標として重要な意義を有するものと思われる。また、前述 (5-2, Fig. 2) のように、C/ $P_2O_{5-org}$  比が C/N 比ときわめて有意な正の直線回帰を示したことは、土壌中の有機態 N および P の分解無機化の過程、すなわち、土壌の可給態 N および  $P_2O_5$  の供給が相互に密接な関係を有することを示すものといえよう。同時に針葉の N および P 濃度がきわめて有意な正の直線回帰を示したこと (6) も、林木に対する

NとPの供給が密接な関係を有することを示すものといえよう。

森林土壌の  $P_2O_5$  可給性について、WILL<sup>48)</sup> は Radiata pine について土壌中の  $P_2O_5\text{-org}$  が林木の  $P_2O_5$  の要求に対して貢献度の大きいことを指摘し、BALLARD<sup>1)</sup> も同様の事実を認めている。筆者らの森林土壌の  $P_2O_5$  の可給性に関する上述の考え方は、今までのように土壌中の無機態の可給態  $P_2O_5$  を対象とする考え方とはかなり異質なものと考えられるが、 $P_2O_5\text{-org}$  の無機化の条件、その過程、分解無機化後の  $P_2O_5$  の形態等今後の検討に待たなければならない問題が残されている。

土壌の可給態  $P_2O_5$  の定量法として、わが国では 0.2 N HCl 可溶  $P_2O_5$  が多く用いられてきた。河田ら<sup>15)</sup> のアカマツ林および山本ら<sup>52)</sup> のトドマツ林の場合は、針葉のP濃度および成長との相関を河田らは認め難いとし、山本らはわずかに認めているにすぎない。芝本および田島<sup>39)</sup> のヒノキ林の場合も、0.2 N HCl 可溶  $P_2O_5$  と針葉のP濃度との相関を否定している。しかし、0.2 N HCl 可溶  $P_2O_5$  と成長との相関については、芝本<sup>38)</sup> はスギおよびヒノキ林で、河田<sup>10)</sup> はカラマツ林でこれを認めている。

0.2 N HCl 可溶  $P_2O_5$  は土壌の Ca-phosphate、および  $P_2O_5\text{-Al}$ 、 $P_2O_5\text{-Fe}$  および  $P_2O_5\text{-org}$  の一部を溶解するものと考えられる。Ca-phosphate がきわめて少なく、 $P_2O_5\text{-org}$  が優占している一般のわが国の森林土壌では、可給態  $P_2O_5$  の定量法として 0.2 N HCl 抽出法は問題があるように思われる。

その他わが国の森林土壌の可給態  $P_2O_5$  については、吉次ら<sup>51)</sup> は1%クエン酸可溶  $P_2O_5$  がスギの成長と正の相関関係があることを認め、竹下ら<sup>42)</sup> は 0.03 N  $NH_4F$  可溶  $P_2O_5$  含有率がスギの成長と弱度の相関を認めている。

諸外国の例では、OVINGTON<sup>39)</sup> は各種の針、広葉樹の葉のP濃度は土壌の置換性  $P_2O_5$  濃度に比例することを明らかにした。WELLS<sup>47)</sup> は Loblolly pine の針葉のP濃度は、TRUOG 法<sup>43)</sup> と BRAY No. 2 法<sup>2)</sup> による土壌のPレベルの場合は、 $P_2O_5\text{-t}$  より高い相関を示すという。BALLARD<sup>1)</sup> は Radiata pine について、OLSEN<sup>32)</sup>、BRAY No. 2 法および Exch. resin 法<sup>37)</sup> による土壌の可給態  $P_2O_5$  レベルは成長と有意な直線回帰を示すが、TRUOG 法と 2.5%酢酸抽出法は有意な相関を示さないこと、また、OLSEN 法および BRAY No. 2 法による土壌の  $P_2O_5$  レベルは針葉のP濃度と有意な直線回帰を示すこと、さらに、土壌の  $P_2O_5\text{-org}$  レベルは成長と有意な直線回帰を示し、同時に OLSEN 法の  $P_2O_5$  レベルとも有意な直線回帰を示すことを明らかにしている。PRITCHETT ら<sup>35)36)</sup> は Slash pine について、樹高成長は表層土の  $NH_4$  OAC (pH 4.8) 抽出レベルと有意な直線回帰を示すが、 $P_2O_5\text{-t}$ 、BRAY No. 1 法、0.05 N HCl+0.025 N  $H_2SO_4$  抽出法および  $CH_3COOH$  20 ml/+NaOH 10 g/2 l 溶液抽出法のPレベルは、有意な相関が認められないという。

以上のように、森林土壌の可給態  $P_2O_5$  の定量方法については定説を認め難い。筆者らはわが国の森林土壌における可給態  $P_2O_5$  の定量法については、上述の  $P_2O_5\text{-org}$  の分解無機化の過程と関連させて今後の検討に待ちたい。

### 7-2-3. $K_2O$

今回の結果は土壌の可給態  $K_2O$  の定量法として、N  $HNO_3$  可溶 (加熱)  $K_2O$  の定量を試みたが、針葉の養分濃度および成長のいずれとも有意な相関が認められなかった。

わが国の森林土壌では、土壌の可給態  $K_2O$  の定量には今までは主として 0.2 N HCl 抽出法が用いられてきた。0.2 N HCl 可溶  $K_2O$  と林木の針葉のK濃度および成長との関係について、河田ら<sup>15)</sup> のアカマツ林の場合はいずれも相関を認め難いとし、山本ら<sup>52)</sup> のトドマツ林の場合は針葉のK濃度について、わず

かな相関を認めているにすぎない。芝本および田島<sup>30)</sup>はヒノキ林について、0.2 N HCl 可溶  $K_2O$  と針葉の K 濃度の相関は認め難いとし、0.2 N HCl 可溶  $K_2O$  と林木の成長との相関は、芝本<sup>38)</sup>のスギおよびヒノキ林の場合は認めているが、河田<sup>10)</sup>のカラマツ林の場合は認め難いとしている。このような今までの結果は、土壌の可溶態  $K_2O$  の定量法として 0.2 N HCl 可溶  $K_2O$  を用いることはかなり問題があるように思われる。

諸外国の例では、WELLS<sup>47)</sup>は Loblolly pine について、針葉の K 濃度は土壌の置換性  $K_2O$  ないし  $H_2SO_4$  抽出  $K_2O$  レベルよりも、置換性  $K_2O$  飽和度の方が高い相関を示すことを明らかにした。WALKER<sup>44)</sup>は表層土の置換性  $K_2O$  含有率と、各樹種の葉の  $K_2O$  濃度が相関を有することを指摘している。LEAF<sup>22)</sup>は K 不足および正常な森林土壌を区別するには、N  $NH_4OAC$  および N  $NH_4NO_3$  (いずれも中性および弱酸性)、0.4 N HCl 抽出法による K の定量値は同程度の分析値が得られるが、これらの置換性  $K_2O$  の定量値は両者の判別には適さず、土壌の固定  $K_2O$  の定量<sup>21)</sup>、さらに N  $HNO_3$  (加熱) 抽出法<sup>49)</sup>がもっとも適しているという。

以上のように、森林土壌の可給態  $K_2O$  の定量について定説を認め難い。しかし、上述 (7-1) のように、N および P に比べれば重要性は少ないとしても、林木に対する  $K_2O$  の供給はやはりかなりの重要性を有すると考えられる。わが国の森林土壌における可給態  $K_2O$  の定量は、なお今後に残された問題であろう。

### 7-3. $CaO$ および $MgO$

今回の結果では、土壌の置換性  $CaO$  および  $MgO$ 、および飽和度が林木の成長とはきわめて有意な直線回帰を示したが、針葉の  $Ca$  および  $Mg$  濃度との相関は明らかでなかった。また、わが国の今までの諸研究者の結果は、林木に対する  $Ca$  および  $Mg$  の供給が必ずしも成長と密接な関連性を有するとは認め難いことを示している。

土壌の置換性  $CaO$  および  $MgO$ 、および飽和度と林木の成長との関係は、わが国では多くの研究者によって論じられている。各研究者ごとにそれぞれ検討内容には相違があるが、真下<sup>28)</sup>のスギ、ヒノキ林、山本<sup>50)</sup>のトドマツ林、河田<sup>10)</sup>のカラマツ林、吉次ら<sup>54)</sup>のスギ林の場合は、土壌の置換性塩基と林木の成長との間に正の相関を認めている。しかし、真下ら<sup>29)</sup>は天城のスギ林では同様の関係を認めているが、段戸のヒノキ林では認め難いとし、河田ら<sup>15)</sup>のアカマツ林の場合は花こう岩地帯では同様の関係を認めているが、新第三系の地帯では認め難いとし、河田ら<sup>9)</sup>のカラマツ林、山本ら<sup>52)</sup>のトドマツ林、竹下ら<sup>9)</sup>のスギ林、野津ら<sup>51)</sup>のスギ林の場合は、弱度の相関を認めるか、あるいは認め難いとしている。

筆者らは森林土壌の置換性  $CaO$  および  $MgO$  は、林木の成長と直接 (一次的な) 関連性を有するものではなく、むしろ間接的な (二次的) 関係を有するであろうと考えている。上述のように、これらの因子が林木の栄養面を通じて直接成長に大きな影響を及ぼすものとは考え難い。わが国の山腹斜面地形における森林土壌の置換性塩基の溶脱および集積は、地形的因子の影響によって生ずるが、同時に土壌の pH の相違をもたらし、さらに、地形的因子の影響は土壌の水分環境の相違を生ずる。このような諸因子の相互作用は、土壌微生物の有機物の分解活動に影響を及ぼすと考えられる<sup>9)13)</sup>。したがって、土壌の置換性塩基はこうにして土壌有機物の分解によって、N および  $P_2O_5\text{-org}$  の分解無機化、すなわち、林木に対する N および  $P_2O_5$  の供給を通じて、間接的に林木の成長に影響を及ぼすことは容易に説明されよう。



## 8. お わ り に

1) この報文は広島県福山地区の古生層地帯のヒノキ林について、土壤の諸性質と林木の養分濃度および成長との関係について検討を行なった結果である。

2) 同地域の概況、土壤の理化学的性質、ヒノキの成長、針葉の養分組成について検討を行なったが、今回はとくに土壤の  $P_2O_5$  の形態に重点をおいた。

3) ヒノキの針葉の各養分濃度中 N, P および K 濃度が、ヒノキの成長と有意な相関を示したが、Ca および Mg 濃度との相関は明らかでなかった。

4) ヒノキの針葉の各養分濃度と、それぞれ対応する表層土および 0~50 cm の土層の諸性質との相関は、針葉の N 濃度は土壤の N および C/N 比と、針葉の P 濃度は土壤の  $P_2O_5-t$ ,  $P_2O_5-org$ ,  $P_2O_5-fe$  および C/ $P_2O_5-org$  比と有意であったが、針葉の K, Ca および Mg 濃度とそれぞれ対応する土壤の諸性質との相関は明らかでなかった。

5) 土壤中の各養分の可給性について、N は C/N が、 $P_2O_5$  は C/ $P_2O_5-org$  が指標になりうるであろうと考えられ、これらの因子は林木の栄養面を通じて、成長に影響を及ぼすことが認められた。

6) 森林土壤の  $P_2O_5$  の可給性の指標として C/ $P_2O_5-org$  を重視することは、筆者らがさきに作業仮説として提案したものである。今回は C/ $P_2O_5-org$  と林木の栄養および成長との関係についての最初の試みであったが、この点を十分に立証し得たと思われる。

7) K も N および P に比べると重要性は多少おとると思われたが、同様に林木の栄養および成長に影響を及ぼすことが認められた。しかし、土壤の  $K_2O$  可給性の指標ないし可給態  $K_2O$  について十分な結論が得られなかった。

8) 土壤の置換性 CaO および MgO は、林木の成長と有意な相関が認められたが、林木の栄養を通じて直接成長に影響を及ぼすと考えよりも、むしろ、N および  $P_2O_5$  の可給性に影響を及ぼすことによって、間接的に成長に影響を及ぼすと考えられた。

稿を終えるに当たり、たえず多大のご配慮をいただいた当支場の関係各位に心からの感謝をささげたい。

## 文 献

- 1) BALLARD, B. : The phosphate status of the soils of Riverhead forest in relation to growth of radiata pine. New Zealand J. Forest. 15, 88~99, (1970)
- 2) BRAY, R. H. and KULTZ, L. T. : The determination of total, organic and available form of phosphorus in soils. Soil Sci., 59, 39~45, (1945)
- 3) CHANG, S. C. and JACKSON, M. L. : Fractionation of soil phosphorus. Ibid., 84, 133~144, (1957)
- 4) 原田 洸, HARADA, H. : スギの成長と養分含有量およびこれにおよぼす施肥の効果に関する研究, On the growth and nutrient content of *Cryptomeria* trees and the effects of forest fertilization on these characteristics. 林試研報, Bull. Gov. For. Exp. Stat., 230, 1~104, (1970)
- 5) HOYLE, M. C. and MADER, D. L. : Relationships of foliar nutrients to growth of red pine in western Massachusetts. For. Sci., 10, 337~347, (1964)
- 6) 福井英一郎 : 日本の気候, 東京, 興林会, 1~92, (1939)

- 7) 伊藤忠夫・植田正幸・宮内 宏, Ito, T., UEDA, M. and MIRAUCHI, H.: 茨城県の森林立地区分 (II) 林齢, 地位, 立地区によるスギ針葉の養分濃度の変動について, Studies on the classification of the forest site unit in Ibaraki Prefecture (II). Variation of the nutrient content in Sugi (*Cryptomeria japonica*) needles according to tree age, site quality and forest site unit. 日林誌, J. Jap. For. Soc., 54, 74~79, (1972)
- 8) JONES, M. J. and PARSONS, J. W.: The influence of soil C/N ratios on nitrogen mineralization during anaerobic incubation. Plant and soil, 32, 258~262, (1970)
- 9) 河田 弘, KAWADA, H.: 森林土壌の化学的性質および腐植の形態に関する研究, A study on chemical properties and humus forms of forest soils. 林野土調報, Forest soils of Japan, 10, 1~108, (1959)
- 10) 同上, Ibid.: カラマツ林の成長および有機物層の組成におよぼす土壌条件の影響, A study on effects of soil conditions upon growth and composition of organic matter layer in larch forest. 林試研報, Bull. Gov. For. Exp. Stat., 136, 1~33, (1962)
- 11) 同上, Ibid.: カラマツの成長および針葉の組成におよぼす施肥の影響, On effects of fertilizer on growth of larch and composition of needles. 同上, Ibid. 162, 143~162, (1964)
- 12) 同上: 王滝国有林におけるカラマツ幼齢林の落葉病と土壌条件, 成長および針葉の組成について, 同上, 178, 72~94, (1965)
- 13) 河田 弘・鷹見守兄: KAWADA, H. and TAKAMI, M.: A study on correlations between chemical properties and types of forest soil. 林野土調報, Forest soils of Japan, 8, 81~124, (1957)
- 14) 河田 弘・佐々木 茂, KAWADA, H. and SASAKI, S.: カラマツに対する肥料三要素の施肥効果, Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on growth of young larch. 日林誌, J. Jap. For. Soc., 44 364~366, (1962) (in Japanese)
- 15) 河田 弘・丸山明雄・衣笠忠司, KAWADA, H., MARUYAMA, A. and KINUGASA, T.: アカマツ針葉の養分組成と成長および土壌条件との関係, A study on correlations among nutrient concentrations of *Pinus densiflora* needle, growth and soil conditions. 林試研報, Bull. Gov. For. Exp. Stat., 199, 67~97, (1967)
- 16) 河田 弘・衣笠忠司, KAWADA, H. and KINUGASA, T.: 高野山国有林におけるスギ, ヒノキ幼齢林施肥試験, A study on fertilization of young mixed forest of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* in Koya National Forest. 同上, Ibid., 191, 115~136, (1966)
- 17) 同上, Ibid.: スギ幼齢林施肥試験, A study on fertilization on young *Cryptomeria japonica* forest in Mangatani National Forest. 同上, Ibid., 216, 75~97, (1968)
- 18) 同上, Ibid.: 広島県姫ヶ原国有林におけるクロマツ幼齢林施肥試験, A study of fertilization of young *Pinus Thunbergii* forest in Ubahara National Forest in Hiroshima Prefecture. 同上, Ibid. 219, 121~136, (1969)
- 19) 河田 弘・西田豊昭, KAWADA, H. and NISHIDA, T.: 森林土壌のリン酸の形態について, Phosphorus forms in representative Japanese forest soils. 同上, Ibid. 250, 1~32, (1972)
- 20) 河原輝彦, KAWAHARA, T.: 森林土壌の無機態チッソ量に関する研究 (II) チッソの無機化量と全チッソ量, C/N および炭素の無機化量との関係, A study on the amount of mineral nitrogen in forest soil (II). The relationships between mineralized nitrogen and total nitrogen, C/N and mineralized carbon. 日林誌, J. Jap. For. Soc. 52, 71~79, (1970)
- 21) KOULTERMAN, D. W. and TRUOG, E.: Determination of fixed soil potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17, 347~351, (1953)
- 22) LEAF, A. L.: Determination of available potassium in soils of forest plantations. Ibid., 22, 458~459, (1958)

- 23) LEYTON, L. : The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch (*Larix leptolepis* MURR.). Plant and soil, 7, 167~177, (1956)
- 24) Ibid. : Ibid. II Evidence from manurial trials. Ibid., 9, 31~48, (1957)
- 25) Ibid. : The relationship between the growth and mineral nutrition of conifers. [The physiology of forest trees. pp. 323~345, (Edited by THIMANN, K. V.)], Ronald Press, New York, (1957)
- 26) LEYTON, L. and ARMSON, K. A. : Mineral composition of the foliage in relation to growth of Scots pine. For. Sci., 1, 210~218, (1955)
- 27) MADGWICK, H. A. I. : The chemical composition of foliage as an index of nutritional status in red pine (*Pinus resinosa* AIT). Plant and soil, 21, 70~80, (1964)
- 28) 真下育久, MASHIMO, Y. : 森林土壌の理学的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究, Studies on the physical properties of forest soil and their relation to the growth of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*). 林野土調報, Forest Soil of Japan, 11, 1~182, (1960)
- 29) 真下育久・橋本与良・宮川 清 : スギ, ヒノキの成長と土壌条件, 同上, 9, 13~43, (1958)
- 30) 中村 健 : 葉分析によるカラマツの栄養診断に関する研究, 信大農紀要, 2 (4), 377~417, (1961)
- 31) 野津 衛 : 林地生産力測定試験, (第1報) 黒色土壌の諸性質とスギの生育, 島根県林試研報, 71~95, (1963)
- 32) OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S. and DEAN, L. A. : Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. Agr. Circ. No. 939, 1~19, (1954) [肥沃度測定のための土壌養分分析法 (土壌養分測定法委員会編), 250~251, 養賢堂, 東京, (1970) から引用]
- 33) OVINGTON, J. D. : The composition of the leaves. Forestry, 29, 22~28, (1956)
- 34) PRATT, P. F. : Method of soil analysis. Part 2 (BLACK, C. A. Editor-in-chief), 1019~1030 [Am. Soil of Agron. Ins., Publisher, Madison, Wisconsin, U. S. A.] [肥沃度測定のための土壌養分分析法 (土壌養分測定法委員会編), 265~266, 養賢堂, 東京, (1970) から引用]
- 35) PRITCHETT, W. L. : Progress in development of techniques and standards for soil and foliar diagnosis of phosphorus deficiency in slash pine. Forest fertilization, 81~87, Tennessee Valley Authority, Alabama, USA (1968)
- 36) PRITCHETT, W. L. and LLEVELLYN, W. R. : Response of slash pine (*Pinus elliotti* ENGELM. var. *elliotti*) to phosphorus in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30, 509~512, (1966)
- 37) SAUNDER, D. H. and METERKAMP, H. R. : Use of an anion exchange resin for the determination of available phosphate. Trans. Internat. Soc. Soil Sci. Comm. IV and V, 847~849, (1962) [cited from (1)]
- 38) 芝本武夫 : スギ, ヒノキ, アカマツの栄養ならびに森林土壌の肥沃度に関する研究, 林野庁, 1~253, (1952)
- 39) 芝本武夫・田島俊雄, SHIBAMOTO, T. and TAJIMA, T. : 林木の葉分析に関する研究 (I) ヒノキの葉の無機養分量と樹高成長および土壌型との関係, Leaf analysis of forest trees. (I) The relationship between tree height growth (or Soil type) and mineral composition in the needle of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* ENDL.). 日林誌, J. Jap. For. Soc., 43, 55~61, (1961)
- 40) SCHOMAKER, C. E. and RUDOLPH, V. J. : Nutritional relationships affecting height growth of planted yellow-poplar in southwestern Michigan. For. Sci., 10, 66~76, (1964)
- 41) STREBEL, O. : Mineralstoffernahrung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) in Bayern. Forst Cbl., 79, 17~42, (1960)

- 42) 竹下敬司・中島康博：微地形および土壌とスギの成長に関する森林立地学的研究 (Ⅱ)，福岡県林試時報，16，61～113，(1961)。
- 43) TRUOG, E. : The determination of readily available phosphorus in soils. J. Am. Soc. Agron., 22, 874～82, (1930)
- 44) WALKER, L. C. : Foliar analysis as a method of indicating potassium-deficient soils for reforestation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19, 233～236, (1955)
- 45) WATT, R. F. and HEINSELMAN, M. L. : Foliar nitrogen and phosphorus level related to site quality in a northern Minnesota spruce bog. Ecol., 46, 357～361, (1965)
- 46) WEHRMANN, J. : Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern. Z. Pflanzenernähr. u. Düng., 84, 271～279, (1959)
- 47) WELLS, C. G. : Nutrient relationships between soils and needles of loblolly pine (*Pinus taeda*). Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29, 621～624, (1965)
- 48) WILL, G. M. : Drymatter production and nutrient uptake by *Pinus radiata* in New Zealand. Commonw. For. Rev., 43, 57～70, (1964) [cited from (1)]
- 49) WOOD, L. K. and DeTURK, E. E. : The absorption of potassium in nonreplaceable forms. Soil Sci. Soc. Am. Proc. (1940) 5, 152～161, (1941)
- 50) 山本 肇, YAMAMOTO, T. : 土壌の性質とトドマツの成長, Relation between soil properties and growth of Todo-fir. 林野土調報, Forest Soils of Japan, 12, 158～233, (1962)
- 51) 同上, Ibid. : 林木の生育と養分含有量について——とくにシラカンバの着葉量およびその無機成分, Amount of nutrients in the leaves and growth of trees. Inorganic components in the leaves of white birch trees. 林試研報, Bull. Gov. For. Exp. Stat., 182, 43～65, (1967)
- 52) 山本 肇・真田悦子, YAMAMOTO, T. and SANADA, E. : トドマツ針葉の養分組成と成長および土壌条件との関係, A study on correlations among nutrient concentrations of Todo-fir (*abies sachalinensis* MAST.) needle, growth and soil conditions. 同上, Ibid., 229, 23～62, (1970).
- 53) 吉次信策：鳥取県におけるスギ林の林木成長と土壌の理学的性質についての考察 (第2報)，鳥取県林試研報，6，18～25，(1963)
- 54) 吉次信策・田村輝夫：鳥取県におけるスギ林土壌の化学的性質に関する研究，同上，5，44～56，(1962)

Chemical Compositions of Soil and Foliage in Relation to the Growth  
of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)

Appraisal of carbon/organic phosphorus ratio of forest soil as an index  
of phosphorus availability

Hiroshi KAWADA<sup>(1)</sup>, Toyoaki NISHIDA<sup>(2)</sup> and Jirô YOSHIOKA<sup>(3)</sup>

## 1. Introduction

Almost all of the investigations on the relationships between the foliar nutrient composition and growth of forest stand of main coniferous species in our country, including fertilizer trials<sup>(4)(7)(11)(14)~(16)(20)(22)</sup>, assert that the foliar nitrogen and phosphorus levels strongly relate to the height growth of stand. These facts suggest that the nitrogen and phosphorus supplies of soil to the forest stands are the most effective factors on their height growth. Unfortunately, the phosphorus availability of soil is rather vague in these investigations.

Quite recently KAWADA *et al.*<sup>(19)</sup> clarified the phosphorus status of our representative forest soils. They emphasized that the organic phosphorus was most abundant among the phosphorus fractions except the insoluble (occluded) phosphorus, and that the carbon/organic phosphorus ratios would be an index of the decomposing process of soil organic matter. They also proposed a working hypothesis that these ratios would be an index of phosphorus availability of forest soil.

The authors attempted to make clear the relationships between the soil properties, especially in reference to phosphorus status, foliar nutrient compositions and growth of stand in the investigation. They found a trend similar to that of the above-mentioned investigations in our country on the relationships between the foliar nutrient compositions and the growth of stands, and they also verified their working hypothesis on the phosphorus availability of forest soil at the end of the investigation.

The authors' opinion, attaching an importance to the carbon/organic phosphorus ratio as an index of the phosphorus availability of forest soil has not been previously reported in the studies concerning the nutrient supplies of forest soils. This is the first trial for its verification, and subsequent investigations will be necessary for the appraisal of their hypothesis. It is hoped that their proposal will be tested with various forests.

## 2. Examined forest

The investigation was made in the 50~60-year-old Japanese cypress (Hinoki, *Chamaecyparis obtusa* S. et Z.) forest at Motoshige-yama National Forest in Fukuyama District, Hiroshima Prefecture.

Its average annual temperature is 14.8°C and average annual rainfall is 1270 mm. It

---

Received August 15, 1973

(1)~(3) Kansai Branch Station

belongs to one of the warm and least rainy areas of our country. Its elevation is 400~500 m. The soils belong to the various types of the brown forest soil and they are from palaeozoic clay slate.

The distribution of types of soil on the mountain slope was as follows:

B<sub>b</sub>-soils (Dry brown forest soil, residual type) were on the gentle top or upper part, B<sub>d</sub>(d)-soil (Slightly dried subtype of B<sub>b</sub>-soil, creep type) on the middle~upper part and B<sub>o</sub>-soils (Moderately moist brown forest soil, colluvial type) on the lower~middle part. Though no B<sub>z</sub>-soil (Slightly wetted brown forest soil, colluvial type) was found on the lower part of mountain slope or valley floor, such a mode of distribution of types of soil in the examined area well agreed with that usually found in our country. The morphological characteristics of profile and the vegetation of every type of soil were quite typical.

### 3. Method

The types of soil of the established seven plots for examination were three B<sub>b</sub>-soils, two B<sub>d</sub>(d)-soils and two B<sub>o</sub>-soils.

The growth of stand was measured by plotless point sampling method. The site index was expressed with the height (m) at 40-year-old by stem analysis of the average tree of every plot.

The water percolation and physical properties of soil in natural condition were measured by ordinarily used method using a metal sampling core.

The determination of soil chemical properties was done as follows:

The carbon and nitrogen were determined by dry combustion method using C-N corder (Yanagimoto MT 500). CEC was determined by PEECH method and exchangeable CaO and MgO were determined by EDTA. The potassium was extracted with boiling N HNO<sub>3</sub> according to PRATT<sup>84)</sup> and it was determined by atomic absorption spectrometry. The phosphorus was fractionated with the procedure according to KAWADA *et al.*<sup>19)</sup>; total phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub>) was divided into organic phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5-org</sub>) and inorganic phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5-inorg</sub>), and the latter was subdivided into aluminum phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5-Al</sub>), iron phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5-Fe</sub>), phosphorus in apatite (P<sub>2</sub>O<sub>5-apat</sub>) and insoluble (occluded) phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5-ins</sub>). 2.5% acetic acid soluble phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5-ac</sub>) was also determined for reference. The other determinations were done by ordinary method.

The current needles were picked up from the leader of the average tree of every plot that was felled for stem analysis. They were dried at 60°C and ground to pass 1 mm sieve. The sampling period was the beginning of November. Their carbon, nitrogen and minerals were determined by the procedures similar to those of soil after wet ashing by HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mixture.

### 4. Soil property

#### 4-1. Texture and physical property of soil in natural condition

The soils in the study were clayey and almost all of them belonged to light clay as expressed in Table 1.

The physical properties of soil in natural condition were expressed in Table 2 and Fig. 1.

Comparing the water percolation of the surface horizon of the types of soil on every mountain slope in a set, i. e. Prof. 1 and 2, Prof. 3, 4 and 5, and Prof. 6 and 7, respectively, they decreased in the order as B<sub>d</sub>-, B<sub>d</sub>(d)- and B<sub>b</sub>-soils. These differences among the types of soil had related structures, such as crumb structure in B<sub>b</sub>-soils, granular and crumb structures in B<sub>d</sub>(d)-soils and granular and nutty structures in B<sub>b</sub>-soils. However, no close relationship was found between the types of soil and their water percolation index as the latter were affected by the water percolation rates of the lower horizons.

In the authors' opinion, speaking generally of the physical properties of soils in the study, they would be unrestrictable to the growth of forest stand except those of Prof. 2 whose very small water percolation rate of its surface soil and water percolation index would affect the growth of stand as growth inhibiting factor.

#### 4-2. Chemical property

The chemical properties of soil in the study were expressed in Table 3 and their phosphorus status in Table 4.

Comparing the chemical properties of the surface horizon of every type of soil, the increases of C/N ratio and exchangeable acidity, and the decreases of N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O and exchangeable CaO and MgO levels, rates of exchangeable CaO and MgO saturations and pH values of surface horizon were found in the order as B<sub>d</sub>-, B<sub>d</sub>(d)- and B<sub>b</sub>-soils. Those differences among the types of soil reflected the eluviation and illuviation of bases according to the movement of water along the mountain slope and the differences of soil microbial organic matter decomposing activity. Those trends except the case of N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O that was our first trial well agreed with those found according KAWADA<sup>9)18)</sup> and subsequently confirmed by other researchers.

The extraordinary high rates of exchangeable CaO and MgO saturation where they were 44~65% and 14~16%, respectively, the high pH values more than 6.0, and small exchangeable acidities about 1.0 of B<sub>d</sub>-soils were noteworthy. The distribution of such base rich forest soils are limited in our forest land.

The remarkably higher levels of N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O of every horizon of Prof. 3 and the extraordinary higher levels of exchangeable Ca saturations of its lower horizons than those of other soils belonging to the same type of soil were rather specific, but their causes have not yet been determined.

The differences of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg level among the horizons of every profile were not clear, but P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org levels were sharply decreased from surface to lower horizons with the increase of depth. The levels of every P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg fraction except P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins also decreased in a similar way but P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins displayed an adverse trend.

Among the phosphorus fractions except P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins of surface horizon of every soil, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org was most abundant and 15~35% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Fe and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al ranked next. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ap and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ac were very poor. On the other hand P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ins was the most abundant fraction and 40~70% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t. The characteristics of phosphorus status of the soils in the study well agreed with those of the representative brown forest soils in our country<sup>19)</sup>.

Comparing the levels of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-inorg fractions of the surface horizons of every type of soil on the same mountain slope as the above-mentioned, their decreases in the order as B<sub>d</sub>-, B<sub>d</sub>(d)- and B<sub>b</sub>-soils with a few exceptions and the decreases of the rate of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org to P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-t and the increases of C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-org ratio were also found in the same order.

The highly significant linear correlations between C/N and  $C/P_2O_5\text{-org}$  ratios of the surface horizons and 0~50 cm horizons (horizons up to 50 cm in depth from surface of mineral soil) of every profile, respectively, were noteworthy. KAWADA *et al.*<sup>19)</sup> found a similar trend on the surface horizons of our representative forest soils, and they also have suggested that  $C/P_2O_5\text{-org}$  ratio would be an index of soil organic matter decomposing process in a similar way as C/N ratio. Such information in the study corroborates their suggestion.

#### 4-3. The amounts of carbon and major nutrients in 0~50 cm horizon of soil

The amounts of carbon and major nutrients in 0~50 cm horizon of every soil where the main root system of forest stand developed were expressed in Table 5.

They were calculated with the weight of fine soil of every horizon determined with sampling core for the measurement of physical properties of soil in natural condition, and the levels of these elements expressed in Table 3 and 4. Their amounts per ha were as follows:

Carbon was 46~78 ton, nitrogen 2.4~6.4 ton, N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O 1.0~3.4 ton, exchangeable CaO 0.2~15.5 ton, exchangeable MgO 0.2~2.7 ton and  $P_2O_5\text{-t}$  1.0~4.3 ton.

The N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O level of every horizon and the exchangeable CaO levels of the lower horizons of Prof. 3 were exceptionally higher than those of other B<sub>d</sub>-soils. Therefore, the above-mentioned figures were corrected to 1.0~2.1 ton in N HNO<sub>3</sub> soluble K<sub>2</sub>O and 0.2~4.3 ton in exchangeable CaO with the exceptions of those of Prof. 3.

The ranges of the amount of  $P_2O_5$  per ha and those of their rates to  $P_2O_5\text{-t}$  were as follows:

$P_2O_5\text{-org}$  was 90~1,080 kg and 6~25%,  $P_2O_5\text{-ac}$  7~32 kg and less than 2%,  $P_2O_5\text{-ap}$  11~34 kg and less than 2%,  $P_2O_5\text{-Al}$  23~115 kg and 2~10%,  $P_2O_5\text{-Fe}$  110~210 kg and 5~13% and  $P_2O_5\text{-ins}$  700~2,900 kg and 60~83%.

The differences of the characteristics of 0~50 cm horizon among the examined soils were similar to those of the surface horizons described in 4-2. These similarities were explained by the positive significant correlations between the corresponding characteristics of surface and 0~50 cm horizons except those of carbon and  $P_2O_5\text{-ac}$  (see Table 5).

### 5. The relationship between site index and properties of soil

The site indexes of the examined plots were expressed in Table 6.

They increased in the order as B<sub>b</sub>-soils where they were 9~10, B<sub>d</sub>(d)-soils where they were 13~14 and B<sub>d</sub>-soils where they were 16~18.

The linear correlation coefficients between the site index and properties of soil were expressed in Table 7.

No significant linear correlation was found between site index and water percolation indexes. Some researchers have found a similar trend in the study, but a positive correlation has been found according to other researchers<sup>18) 28) 50) 52)</sup>.

The site index revealed a positive, significant correlation with N,  $P_2O_5\text{-t}$ ,  $P_2O_5\text{-org}$ ,  $P_2O_5\text{-Al}$ ,  $P_2O_5\text{-Fe}$ , exchangeable CaO and MgO levels, their rates of saturation and pH values of surface horizons in the study, respectively, and also a highly significant negative correlation with their C/N and  $C/P_2O_5\text{-org}$  ratios. Similar trends were found on the corresponding amounts of nutrients and C/N and  $C/P_2O_5\text{-org}$  ratios of 0~50 cm horizons except  $P_2O_5\text{-Al}$ , exchangeable CaO amounts and their rates of saturation.

The soil properties, significantly correlated to the site indexes, were increased or decreased



in the order as B<sub>D</sub>-, B<sub>D</sub>(d)- and B<sub>S</sub>-soils as expressed in Fig. 3 and they were also closely related to the types of soil.

## 6. The relationship between foliar nutrient composition, growth of stand and soil property

The foliar nutrient composition of the stand of every plot was expressed in Table 8 and the linear correlation coefficient between foliar nutrient levels and site index in Table 9.

The site index revealed a highly significant positive correlation with foliar N and P levels and a significant positive correlation with foliar K levels. But no significant correlation was found between foliar Ca and Mg levels and site index and none between foliar nutrient ratios except C/N and site index.

The foliar N, P and K levels decreased in the order as B<sub>D</sub>-, B<sub>D</sub>(d)- and B<sub>S</sub>-soils and they were closely related to the types of soil. However, no clear relationship was found between foliar Ca and Mg levels and the types of soil.

The linear correlation coefficients between the foliar nutrient level and the corresponding property of soils were expressed in Table 10.

The correlations between the foliar nutrient level and the corresponding property of surface horizons were as follows:

The foliar N level revealed a highly significant positive correlation with the N level of surface horizon and also a highly significant negative correlation with its C/N ratio. The foliar P level revealed a highly significant or significant positive correlation with  $P_2O_5-t$ ,  $P_2O_5-org$  and  $P_2O_5-Fe$  of surface horizon and also a highly significant negative correlation with their C/ $P_2O_5-org$  ratio. But no significant correlation was found between the foliar K, Ca and Mg levels and the corresponding properties of surface horizon. Similar trends were observed on the correlations between the foliar nutrient levels and the corresponding soil properties of 0~50 cm horizon (see Fig. 5 and 6).

The levels of N and the above-mentioned  $P_2O_5$  fractions of surface horizon and their amounts of 0~50 cm horizons decreased and the C/N and C/ $P_2O_5-org$  ratios increased in the order as B<sub>D</sub>-, B<sub>D</sub>(d)- and B<sub>S</sub>-soils as expressed in Fig. 3 and they were also closely related to the types of soil.

The linear correlation coefficients between the foliar nutrient levels were expressed in Table 11.

Highly significant positive correlations were found between N and P levels, significant positive correlation between P and K levels, and significant negative correlation between N and Ca levels.

## 7. Discussion

### 7-1. The relationship between the foliar nutrient levels and the height growth of stand

Though some difficulties, such as the interactions of the nutrients in the foliage and the interpretations of the data, etc., still remain, the foliar analysis will be one of the most helpful methods for the diagnosis of the nutrient status of the forest stand.

The following concept is generally accepted:

When one nutrient is deficient and the remainder are optimal, the growth of stand and the foliar level of deficient nutrient increases in accordance with the increase of that nutrient supply. The positive significant correlation is found between the growth and the deficient nutrient level within a limited range. As the foliar nutrient level increases and approaches to the so-called "critical concentration" according to the increase of that nutrient supply, the response in growth to the increase of that nutrient level gradually decreases, and over the range of the critical concentration the so-called "luxury consumption" occurs. Therefore, when a certain significant linear correlation is found between a certain nutrient level and growth of stand, it suggests that the stand is in the deficient status of that nutrient. When more than two nutrients are deficient, though the similar significant correlation is found between the growth restricting nutrients and the growth of stand, the slope of the regression line and the range of its application is different. (cf. 23) and 26))

The multiple regression analysis was often applied to the foliar analysis recently. LEYTON<sup>23,26)</sup> and LEYTON *et al.*<sup>26)</sup> proposed the following hypothesis, namely, that when significant linear correlations were found between the height growth of stand and the foliar nutrient levels, the growth of stand was necessarily restricted by those nutrients, and it was restricted by only those nutrients whose levels showed the significant positive correlation with the height growth in multiple regression analysis. He proved his hypothesis with the fertilizer application on young Japanese larch<sup>24)</sup>. However, MADGWICK<sup>27)</sup> reported that inconsistent results were obtained as he applied LEYTON method on his young *Radiata* pine. He also emphasized that the different elements were interrelated in the foliage so that the results of multiple regression analysis were strongly influenced by the combination of regressor variables used as well as by which one of a number of interrelated growth measurements was used as dependent variables. HOVLE *et al.*<sup>5)</sup> recorded the unexpected results that Ca was the only nutrient significantly correlated to the height growth of *Resinosa* pine by the multiple regression analysis. He also recognized the necessity of further identification of his result by fertilizer trials as similar results have never been reported in studies concerning nutrient deficiencies of that pine. Thus in the authors' opinion, difficulties still remain in the application of multiple regression analysis to the foliar analysis.

The other researchers qualified their results of simple regression analysis in the light of additional evidences. WEHRMANN<sup>46)</sup> qualified his results of foliar analysis of pine in comparison with those of normally growing pine according to the other researchers and STREBEL<sup>41)</sup> those on *Picea abies* by fertilizer trials.

The information from studies on the foliar analysis of main coniferous species in our country is of additional assistance in evaluating the under-mentioned authors' opinion. SHIBAMOTO *et al.*<sup>36)</sup> found significant positive correlations between foliar N and P levels and the height growth of middle-aged Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.). Similar results were recorded on young Japanese larch (*Larix leptolepis* GORDON) according to KAWADA<sup>11)</sup>, on Japanese red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) according to KAWADA *et al.*<sup>16)</sup>, on young Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) according to KAWADA *et al.*<sup>17)</sup>, HARADA<sup>4)</sup> and Ito *et al.*<sup>7)</sup> and on the middle-aged Todo-fir (*Abies sachalinensis* MAST.) according to YAMAMOTO *et al.*<sup>58)</sup>

These studies were almost all concerned with the foliar analysis of main conifers in our country in natural condition (without fertilization). Their close agreement with the relationships of foliar N and P to height growth of stand in all-over area of our country suggested

that N and P were the most effective factors on the growth of forest stand. However, no certain trend was observed on the relationships between foliar K, Ca and Mg levels and height growth of stand according to the above-mentioned researchers. The positive relationships were recorded according to KAWADA *et al.*<sup>17)</sup>, HARADA<sup>4)</sup> and YAMAMOTO *et al.*<sup>52)</sup> but the adverse trends were displayed according to Ito *et al.*<sup>7)</sup> on the foliar K level. No certain trend was found according to SHIBAMOTO *et al.*<sup>88)</sup> and KAWADA<sup>11)</sup> on the foliar K level, too. KAWADA *et al.*<sup>15)</sup> found that the topographical factors affected the foliar K and Ca levels and subsequently they were indirectly (secondarily) related to the height growth of the stand. Some of the researchers<sup>17) 38) 52)</sup> recorded the negative relationships of foliar Ca level to the height growth of stand, but the remainder found the positive relationship<sup>17)</sup> or no certain trend<sup>7)</sup>. The authors were in difficulty to find a certain concept on the relationship between the foliar Mg level and the height growth of stand because of the very limited information. Only one of them recorded the positive relationship<sup>11)</sup> but the remainder<sup>7) 15) 17)</sup> found no close relationship.

Those results on foliar K, Ca and Mg levels suggested that the efficiency of K on the growth of forest stand is less than that of N and P, and that of Ca and Mg is rather vague in our forest land.

The authors' opinion stated above still remains as a working hypothesis at the present time, and the fertilizer trials will be necessary for its verification. Though numerous fertilizer trials have been done in our country, almost all of them have applied the mixed fertilizers containing N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  in various ratios. Therefore, verification of the efficiency of individual elements still remain for future study. However, a few examinations<sup>4) 14)</sup> on the individual efficiency of N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$ , respectively, evidenced that the efficiency on the height growth of stand was decreased in the order as  $N \geq P_2O_5 > K_2O$ , and N and  $P_2O_5$  were much more affectable than  $K_2O$ . Though they were limited in extent of information, they would nevertheless support the above-mentioned hypothesis.

## 7-2. Availability of N, $P_2O_5$ and $K_2O$ of forest soil in reference to foliar analysis

It is generally accepted that the foliar nutrient levels express the availability of nutrients of the forest soil. The availability or available form of soil N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  in the study in reference to foliar analysis is as undermentioned.

### 7-2-1. Nitrogen

The highly significant correlations of N status of soil and its C/N ratio were found with the foliar N level and the growth of stand in the study as described in 5 and 6.

KAWADA *et al.* found that C/N ratio of surface horizon showed a highly significant correlation with foliar N level and the growth of Japanese red pine<sup>15)</sup> and Japanese cedar<sup>17)</sup>.

A similar trend was recorded on Todo-fir according to YAMAMOTO *et al.*<sup>52)</sup>

On the relationship between foliar N level and soil N status, a negative relationship between foliar N and C/N ratio of surface horizon was found on young Japanese cedar according to KAWADA *et al.*<sup>17)</sup> and on white birch according to YAMAMOTO *et al.*<sup>51)</sup> WELLS<sup>47)</sup> also recorded that the foliar N levels of Loblolly pine were more closely correlated to the amount of mineralized N than that of total N of soil.

A strong, negative relationship between C/N ratio of surface horizon and the growth of various conifers was found according to the majority of the researchers in our country who were concerned with it, but a few of them recorded a slight or no relationship.

Almost all soil nitrogen is of organic form, and the available N is supplied via miner-

alization of organic nitrogen. Its mineralizing process is closely correlated with C/N ratio of soil<sup>(8)(20)</sup>.

Such information supports the opinion of the authors that C/N ratio of soil closely relates to the growth of stand via N supply from soil to forest stand, and it also would be an index of nitrogen availability of soil or that of tree-available nitrogen supply.

#### 7-2-2. Phosphorus

The significant or highly significant correlations of  $P_2O_{5-l}$ ,  $P_2O_{5-org}$  and  $P_2O_{5-Fe}$  status of soil and its  $C/P_2O_{5-org}$  ratio with foliar P level and the growth of stand in the study were described in 5 and 6.

It was said that  $P_2O_{5-Fe}$  contained various forms of insoluble iron phosphate in crystalline minerals in addition to easily available iron phosphate that precipitated on iron oxide<sup>(8)</sup>. Furthermore, the lower correlation coefficient of  $P_2O_{5-Fe}$  and its level or amount than those of  $P_2O_{5-org}$  suggested the lower significance of  $P_2O_{5-Fe}$  than that of  $P_2O_{5-org}$ . The relationship of  $P_2O_{5-l}$  with foliar P level and growth of stand was only the reflection of that of  $P_2O_{5-org}$  and  $P_2O_{5-Fe}$ .

The highly significant correlation between  $C/P_2O_{5-org}$  and C/N ratios as described in 4 suggested a close relationship between the N and  $P_2O_5$  availability in our forest soil. It is also supported by the highly significant correlation between foliar N and P levels.

The especially higher correlation coefficients of  $C/P_2O_{5-org}$  ratio than those of  $P_2O_5$  fractions with the foliar P level and the growth of stand suggested the significance of  $C/P_2O_{5-org}$  as an index of phosphorus availability of soil.

0.2N HCl soluble  $P_2O_5$  was determined as an available phosphorus of forest soil in the majority of investigation concerning it in our country up to the present time. According to the information of the above-mentioned researchers in 7-1, it showed no close relation to foliar P level<sup>(20)</sup> or to foliar P level and growth of stand<sup>(15)(22)</sup>.

In the authors' opinion 0.2N HCl soluble  $P_2O_5$  contains calcium phosphate and a part of  $P_2O_{5-Al}$ ,  $P_2O_{5-Fe}$  and  $P_2O_{5-org}$  of soil. The application of 0.2N HCl soluble  $P_2O_5$  extraction for the determination of tree-available phosphorus would be doubtful on the forest soils that are scanty in Ca-phosphate and ample in  $P_2O_{5-org}$ .

The following information was reported in foreign countries.

OVINGTON<sup>(23)</sup> found a positive relationship between the foliar P levels of various soft and hard woods and exchangeable  $P_2O_5$  levels of soil. According to WELLS<sup>(47)</sup> the available  $P_2O_5$  by TRUOG<sup>(48)</sup> and BRAY no. 2<sup>(2)</sup> methods was more closely related to foliar P level than total  $P_2O_5$  of soil on Loblolly pine. PRITCHETT *et al.*<sup>(35)(36)</sup> recorded a significant correlation of N  $NH_4OAc$  extractable  $P_2O_5$  of surface soil with the height growth of Slash pine among various methods for available  $P_2O_5$  determination examined. BALLARD<sup>(1)</sup> found that the available  $P_2O_5$  according to BRAY no. 2 and OLSEN<sup>(32)</sup> methods showed a significant linear regression with foliar P level and the growth of Radiata pine among various methods examined.

BALLARD<sup>(1)</sup> and WILL<sup>(48)</sup> found a considerable contribution of organic phosphorus to the phosphorus requirement of Radiata pine. BALLARD found a significant linear regression between  $P_2O_{5-org}$  of soil and the growth of stand and that between  $P_2O_{5-org}$  and available  $P_2O_5$  according to OLSEN method.

As mentioned above, the authors' opinion on the phosphorus availability of forest soil that attaches importance to the decomposing process of organic phosphorus was rather different

from the previously proposed available phosphorus in inorganic form. However, the clarification of the effects of other soil factors on the mineralization of organic phosphorus, the mechanisms of its process and the form of mineralized phosphorus, etc. still remain for subsequent studies.

The examination of the method of tree-available  $P_2O_5$  determination is strongly desired in reference to the mineralization of organic phosphorus.

#### 7-2-3. $K_2O$

The application of boiling  $NHNO_3$  soluble  $K_2O$  according to PRATT<sup>34)</sup> for the determination of tree-available  $K_2O$  was the first trial on our forest soils. Unfortunately, it showed no significant correlation with the foliar K level and the growth of stand as mentioned above in 5 and 6.

0.2 N HCl soluble  $K_2O$  was investigated concerning available  $K_2O$  of forest soil in our country up to the present time. According to the information gained by our researchers 0.2 N HCl soluble  $K_2O$  showed no close relationship to foliar K level<sup>39)</sup>, to the growth of stand<sup>10)</sup> and to foliar K level and growth of stand<sup>15) 52)</sup>.

In the authors' opinion, 0.2 N HCl soluble  $K_2O$  would be doubtful for the determination of tree-available  $K_2O$ .

In foreign countries, WELLS<sup>47)</sup> found a more close relation of foliar K level to the rate of exchangeable  $K_2O$  saturation than that to exchangeable  $K_2O$  or  $H_2SO_4$  extractable  $K_2O$  levels of soil. WALKER<sup>44)</sup> recorded the relationship between exchangeable  $K_2O$  levels of surface soil and foliar K levels of various species of tree. LEAF<sup>23)</sup> found that the boiling  $HNO_3$  extraction provided the sharpest distinction between K-deficient and nondeficient forest soils as detected by the rate of growth and response of plantation to K-fertilizer application.

Though the weight of available  $K_2O$  of soil in the nutrient status of forest stand is ranked next to N and P in our forest land, K is one of the important elements in nutrient physiology of forest tree. Unfortunately, the method for the determination of tree-available K in our forest soils is still vague, hence much reliance is placed on subsequent studies for its establishment.

#### 7-2-4. $CaO$ and $MgO$

No significant correlation between the exchangeable  $CaO$  and  $MgO$  status and foliar Ca and Mg levels, respectively, was found in the study, and a similar trend was recorded according to the researchers in our country as above-mentioned in 7-1. However, a significant correlation between the exchangeable  $CaO$  and  $MgO$  status and the growth of stand was found in the study, and similar trends were recorded by the majority of researchers concerning these objects in our country.

The authors' interpretation on these inconsistent results is as follows:

The direct (primary) relationship of exchangeable  $CaO$  and  $MgO$  status of soil to the growth of stand via their supplies to forest stand was suspectable. Their relationship was rather indirect (secondary), and it was also only the reflection of other soil factors strongly affecting the growth of stand.

The topographical factor in our forest land is most affectable on the eluviation of soil bases from the dry types of soil at the top or upper part of mountain slope, and their illuviation to the moderately moist and slightly wetted soils at the lower part of mountain slope by the movement of soil water along mountain slope. The movement of soil water also

induces a remarkable difference of soil moisture regime. The movement of soil bases has an affect on the pH value of soil, and the interactions of these factors strongly affect the microbial activity of soil organic matter (organic N and P) decomposition as expressed with C/N and C/P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> ratios. Thus the status of exchangeable CaO and MgO status of soil reveals an indirect relationship to the growth of stand via tree-available N and P supplies.

## 8. Summary

An investigation on the relationships between soil property, foliar nutrient level and growth of stand of 50~60-year-old *Chamaecyparis obtusa* stand showed that:

1) A significant correlation of foliar N, P and K levels, respectively, with the growth of stand was revealed, but no significant correlation between foliar Ca and Mg levels, respectively, and growth of stand was shown.

2) The foliar N level significantly correlated with the N status and C/N ratio of soil, and the foliar P level with P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5-*Fe*</sub> status and C/P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> ratio of soil, too. But no significant correlation was seen between foliar K, Ca and Mg levels, respectively, and corresponding soil properties.

3) The growth of forest stand significantly correlated with N, P<sub>2</sub>O<sub>5-t</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5-*Fe*</sub> status, C/N and C/P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> ratios, exchangeable CaO and MgO status and their rates of saturation and pH value of soil, respectively.

4) The tree-available N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of soil would be most affectable on the growth of stand, and C/N and C/P<sub>2</sub>O<sub>5-*org*</sub> ratios of soil were suggested to be the indexes of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> availability, respectively.

5) The effect of K supply from soil to forest stand on its growth ranked next to that of N and P, but no information was obtained on the K availability or tree-available K<sub>2</sub>O of soil in reference to the foliar K level or growth of stand.

6) Though the exchangeable CaO and MgO status and their rates of saturation of soil closely related to the growth of stand, their effects were rather indirect through the increases of available N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> supplies of soil according to the microbial decomposition of organic N and P.

7) It is the first trial of the working hypothesis proposed by the authors that C/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ratio of forest soil would be an index of soil phosphorus availability. Though it was verified in the study, subsequent investigations will be necessary for its universal agreement.

## Acknowledgement

The authors are grateful to the staff members of the Branch Station of our Experiment Station for their encouragement in carrying out this work.