

# 関西地方のアカマツ林土壌に関する研究 第1報

## アカマツ針葉の養分組成(葉分析)と成長 および土壌条件との関係

河 田 弘<sup>(1)</sup>  
丸 山 明 雄<sup>(2)</sup>  
衣 笠 忠 司<sup>(3)</sup>

### 1. は じ め に

森林土壌の生産力を研究する場合に、今までは自然環境に順応して、いわゆる適地適木という立場から、土壌の諸性質と主要造林樹種の成長との関係を明らかにするために多くの努力がはられてきた。この分野は、今後さらに林木の栄養生理的な面から、林木の栄養と成長および土壌条件の関係を追求することによって、大きな発展が期待されるものと思われる。

林木の栄養生理の研究は、近年林地の生産力を強化するための有力な手段の一つとして導入されてきた林地施肥に対しても、有力な基礎資料を提供するものと思われる。

林木の栄養生理の研究方法として、近年葉分析による栄養診断が導入され、しだいに発展の機運が見られる。わが国の主要造林樹種の葉分析についていくつかの報告があるが、これを体系化するには十分な資料が集積しているとはいいい難く、今後なお多くの努力を必要とするものと考えられる。

筆者らは、関西地方において林業上重要な地位を占めているアカマツ林を対象として、葉分析の成績がアカマツの成長および土壌条件等とどのような関連性を有するかなどの諸点について、検討を行なったので、その結果をここに報告する。

### 2. 調 査 地

今回の調査研究の対象とした林分は次の9か所である。

No.1 兵庫県三木市神戸営林署三木山国有林33ち林小班。

No.2 同上。

No.3 同上。

No.4 広島県神石郡三和町福山営林署大谷山国有林45い林小班。

No.5 同上。

No.6 同芦品郡協和村福山営林署箱田山国有林36ち<sub>1</sub>林小班。

No.7 同上。

---

1) 関西支場育林部土壌研究室長・農学博士

2) 土壌調査部地質研究室(元関西支場土壌研究室)

3) 関西支場育林部土壌研究室

No.8 同36ち<sub>2</sub>林小班。

No.9 同上。

調査林分は13～18年生のアカツ林で、土壌型、立地条件等は第1表に示すとおりである。

第1表 立 地 条 件

Table 1. Site conditions of sampling forests.

断面番号	土 壌 型	母 材	地 形	標 高 Height from sea level (m)	方 位 Direc- tion	傾 斜 Inclina- tion	堆積様式 Mode of forma- tion
Prof. No.	Type of soil	Parent material	Topography				
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)							
1	BA	第 3 紀層 Tertiary	丘陵斜面上部 (Upper part of hill slope)	100	N	28°	Residual soil
2	B <sub>D</sub>		丘陵斜面下部 (Lower part of hill slope)	90	S60°W	10°	Collu- vial soil
3	B <sub>F</sub>		丘陵上台地 (Hill top plateau)	110	—	5°	Residual soil
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)							
4	B <sub>D</sub> (d)	花 崗 岩 Granite	山腹斜面上部 (Upper part of mountain slo- pe)	440	S20°W	20°	Residual soil
5	B <sub>D</sub>		P. 4 の山腹斜面下部 (Lower part of same mountain slope as Prof. 4)	400	S20°W	20°	Collu- vial soil
6	BA		山腹斜面上部 (Upper part of mountain slo- pe)	440	S40°W	20°	Residual soil
7	B <sub>D</sub>		P. 6 の山 腹斜面下部 (Lower part of same mountain slope as Prof. 6)	400	S30°W	20°	Collu- vial soil
8	B <sub>D</sub> (d)		山腹斜面上部 (Upper part of mountain slo- pe)	500	S40°W	25°	Residual soil
9	B <sub>D</sub>		P. 8 の山 腹斜面下部 (Lower part of same mountain slope as Prof. 8)	440	S20°E	25°	Collu- vial soil

Remarks: Type of soil. (土壌型)

BA…Dry brown forest soil (Steep slope type). 乾性褐色森林土 (急斜地型)

B<sub>D</sub>(d)…Sub-type of B<sub>D</sub>-soil that has well developed granular or nutty structures in A or A<sub>1</sub> horizons. (やや乾性の B<sub>D</sub> 型土壌)B<sub>D</sub>…Moderately moist brown forest. (適潤性褐色森林土)B<sub>F</sub>…Wetted brown forest soil. (湿性褐色森林土)

### 3. 調査および分析方法

#### 3-1. 野 外 調 査

各調査林分は、アカマツの成立本数に応じて50~100m<sup>2</sup>の調査区を設定し、土壌調査および健全木の胸高直径、各年度別の樹高成長の毎木調査を行なった。

#### 3-2. 土壌および針葉の分析方法

土壌の自然状態の理学的性質は土壌採取円筒を用い、孔隙量は素焼板法<sup>14)</sup>を用いて粗孔隙および細孔隙の定量を行なった。

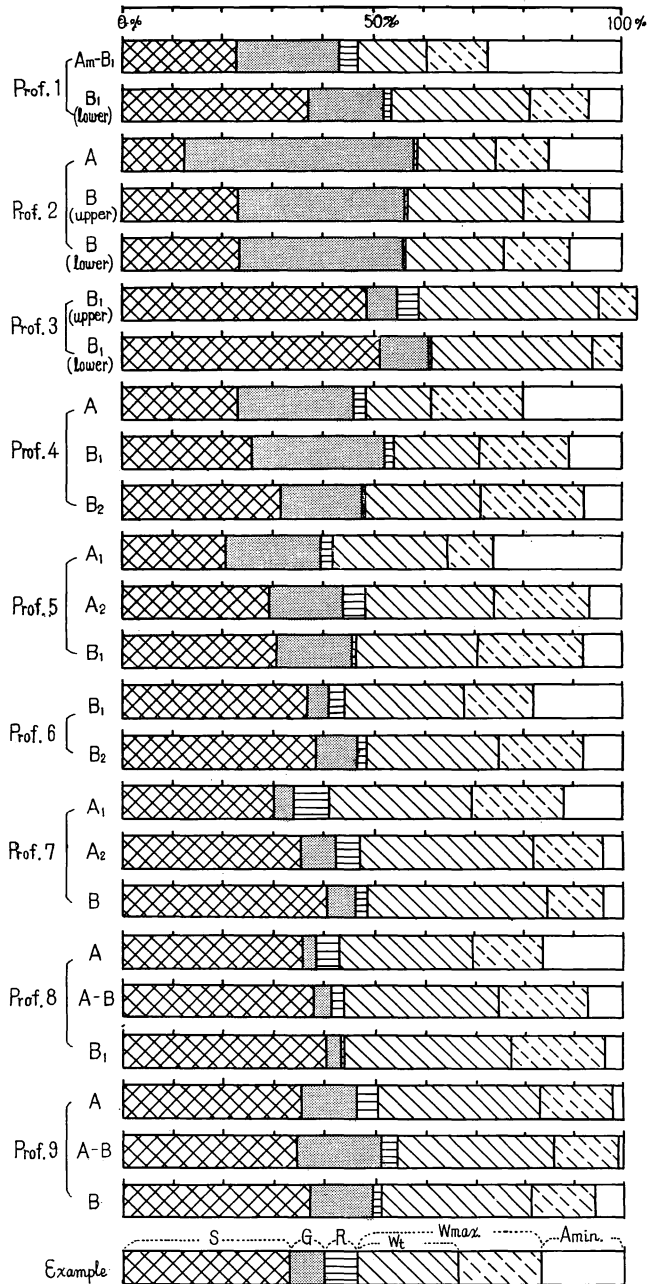
土壌の化学的性質および針葉の組成は、Cは酸化滴定法<sup>5)</sup>、NはKJELDAHL 法、置換容量および置換性塩基はPEECH 法<sup>19)</sup>、Ca およびMgはE.D.T.A 法、Pは1-2-4 aminonaphtol sulfon 酸 (HClO<sub>4</sub> 酸性) によるMolybdenblue の比色法<sup>20)</sup>、Kは炎光分析法を用いた。

アカマツの葉分析の試料は、10月下旬~11月上旬に、Prof. 1, 3 および6は全測定木、その他は伐倒した2本の標準木の頂枝から採取した1年生葉を用いた。試料はH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>を用いて湿式灰化後<sup>18)</sup>、上述の方法で無機成分を定量した。Ca および Mg は(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Sを用いて Mn を除去した後、E.D.T.A 法を用いた。

### 4. 土 壌

#### 4-1. 結 果

各調査林分の土壌の断面形態は第2表、植生は第3表、自然状態



S: Fine soil (細土), G: Gravel (礫), R: Root (根)  
 Wt: Moisture content of fresh soil. (採取時含水量)  
 Wmax.: Water holding capacity. (最大容水量)  
 Amin.: Air minimum. (最小容気量)

第1図 自然状態の理学的性質

Fig. 1 Physical properties of soil in natural condition.

第2表 断面形態

Table 2. Description of profile.

断面 番号	土壌型 Type of soil	層位 Layer Horizon	推状 移態 Definition of bound- ary	厚さ Thick- ness (cm)	色 Color	構造 Structure	堅密度 Com- pact- ness	石 礫 Stone (Size, quantity)	根 系 Root	外 菌 根 Ectotro- phic mycor- rhiza	斑 鉄 Ferru- gin- ous depo- sit
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)											
1	BA	A <sub>0</sub>	L : +, F : 2cm								
		A <sub>m</sub>		4	10YR6/4	loose gr	3	small, me-	4	+	—
		B <sub>1</sub>	C	18	7.5YR6/8	N, Gr	4	dium, 3 medium,	3	+	—
		B <sub>2</sub>	G	33+	7.5YR5/8	M	4	large, 3 ibid.	2	—	—
2	B <sub>D</sub>	A <sub>0</sub>	L : +, F : 2cm								
		A		20	7.5YR4/3	Cr	1	small, medi-	3	—	—
		B	C	30	7.5YR6/6	M	2	um 4, large 2 small, medi- um, large 2	2~1	—	—
3	B <sub>F</sub>	A <sub>0</sub>	L : +, F : 2cm								
		A	C	2~3	10YR4/2	M	3	medium,	4	—	—
		B <sub>1</sub>		32~33	10YR6/4	M	4	large 1 ibid.	2	—	±
		B <sub>2</sub>	G	20+	10YR6/6	M	4	ibid.	1*	—	+
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)											
4	B <sub>D</sub> (d)	A <sub>0</sub>	L : 2cm, F : 2cm								
		A	C	12	7.5YR5/4	(loose gr), Gr	2	small 3	3	±	—
		B <sub>1</sub>		12	7.5YR5/6	(Gr) st-less	3	ibid.	2	—	—
		B <sub>2</sub>	G	35+	5YR5/6	M~st-less	4	ibid.	2	—	—
5	B <sub>D</sub>	A <sub>0</sub>	L : 1cm, F : 4cm								
		A <sub>1</sub>		7	10YR4/3	Cr	1	small 4	4	—	—
		A <sub>2</sub>	G	23	ibid.	M	3	ibid.	3	—	—
		B <sub>1</sub>	G	23	10YR4/4	M	3	medium 3	2	—	—
		B <sub>2</sub>	G	20+	10YR5/4	M	3	ibid.	1	—	—
6	BA	A <sub>0</sub>	L : 1cm, F : 2cm, H : 1cm, 7.5YR2/3, powdery								
		A <sub>m</sub>	C	2~3	10YR5/4	loose gr	1	—	3	+	—
		B <sub>1</sub>		17~18	10YR5/8	(M)~st-less	3	—	3	—	—
		B <sub>2</sub>	G	30+	10YR5/6	ibid.	4	—	1	—	—
7	B <sub>D</sub>	A <sub>0</sub>	L : 2cm, F : 2cm								
		A <sub>1</sub>		10	10YR3/3	Cr	1	small 1	3	—	—
		A <sub>2</sub>	G	12	7.5YR4/4	M	2	ibid.	3	—	—
		B <sub>1</sub>	G	18	7.5YR5/6	M	3	ibid.	2	—	—
		B <sub>2</sub>	G	10+	7.5YR5/6	M	3	large 2	1	—	—
8	B <sub>D</sub> (d)	A <sub>0</sub>	L : 2cm, F : 3cm								
		A		6	7.5YR4/4	(loose gr), Gr	2~3	—	3	±	—
		A—B	C	18	10YR4/6	(Gr)~M	3	—	3	—	—
		B <sub>1</sub>	G	12	7.5YR5/6	M	3	—	2	—	—
		B <sub>2</sub>	G	15+	7.5YR5/8	M	4	—	2	—	—

断面 番号	土壌型 Type of soil	層位 Layer Hori- zon	推移 状態 Defini- tion of boun- dary	厚さ Thick- ness (cm)	色 Color	構造 Structure	堅密度 Com- pact- ness	石 礫 Stone (Size, quantity)	根 系 Root	外 菌 Ectotro- phic mycor- rhiza	斑 鉄 Ferru- gin- ous depo- sit
9	B <sub>d</sub>	A <sub>0</sub>	L : 1~2cm, F : 2cm								
		A	G	15	7.5YR4/4	Cr	2	—	3	—	—
		A—B		15	7.5YR4/6	M	3	—	2	—	—
		B	G	20	7.5YR5/8	M	3	large 1	1	—	—

## Remarks (備考):

Definition of boundary (推移状態)……C(判): Clearly defined, G(漸): Gradually merging.  
 Compactness (堅密度)……1: Soil aggregates bound loosely (しょう), 2: Soil aggregates bound densely and firmly (軟), 3: Soil aggregates bound compactly (堅), 4: Soil aggregates bound very compactly (すこぶる堅).

Stone, Root……4: Abundant (多), 3: Frequent (中), 2: Occasional (少), 1: Rare (稀)

\*) Roots are rotted.

第3表 植 生  
Table 3. Vegetation

断面 番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	植 生 Vegetation
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)		
1	BA	(Ds)アカマツ5, (Sh)モチツツジ2, ソヨゴ2, ドウダンツツジ2, ナツハゼ2, (G)ネザサ3, ハナゴケ3
2	B <sub>d</sub>	(Ds)アカマツ5, (Sh)モチツツジ3, ドウダンツツジ3, ソヨゴ2, クリ2, アカメガシワ1
3	B <sub>F</sub>	(Sh)アカマツ5, ネズミサシ4, ネザサ4, ソヨゴ3, ドウダンツツジ3, ヒサカキ3, コナラ2, ナツハゼ2, (G)ハナゴケ3
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)		
4	B <sub>d</sub> (d)	(Ds)アカマツ5, (Sh)リョウブ2, アセビ2, ソヨゴ2, ミツバツツジ2, ナツハゼ2, コナラ1, クリ1, ウルシ1, イヌツゲ1, (G)ヤネフキザサ2, コウヤボウキ1
5	B <sub>d</sub>	(Ds)アカマツ5, (Sh)ヤネフキザサ5, アセビ2, コナラ1, クリ1, イヌツゲ1, モチツツジ1, (G)フジ2, サルトリイバラ1
6	BA	(Ds)アカマツ5, (Sh)リョウブ2, ミツバツツジ2, アセビ2, ソヨゴ2, ナツハゼ2, ドウダンツツジ1, ネジキ1, ヒサカキ1, (G)ヤネフキザサ5
7	B <sub>d</sub>	(Ds)アカマツ5, (Sh)マルバハギ2, ツリバナマユミ1, (G)ヤネフキザサ5, ススキ+
8	B <sub>d</sub> (d)	(Ds)アカマツ5, (Sh)ミツバツツジ2, リョウブ2, アセビ2, ソヨゴ2, ヒサカキ1, ナツハゼ1, コナラ1, (G)ヤネフキザサ5
9	B <sub>d</sub>	(Ds)アカマツ5, (Sh)イヌツゲ2, ツリバナマユミ2, クリ1, ウルシ1, マルバハギ2, ヤネフキザサ5

第4表 土 壌 の 自 然 状 態 の 理 学 的 性 質  
Table 4. Physical properties 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) (cc/分) (cc/min.)			容 積 重 Volume weight	孔 隙 量 % Porosity			最大容水量 % Water holding capacity		最 小 容 気 量 % Air mi- nimum	採取時含水量 Moisture content of fresh soil	
				5 分 後 After 5 min.	15 分 後 After 15 min.	平 均 Average		細 孔 隙 Fine porosity	粗 孔 隙 Coarse porosity	計 Total	容 積 Volume	重 量 Weight		容 積 Volume	重 量 Weight
三 木 山 国 有 林 (Miki-yama National Forest)															
1	BA	A <sub>m</sub> B <sub>1</sub> (lower)	2~6 20~24	29 29	33 29	31 29	80 122	20 27	33 19	53 46	26 39	42 38	27 7	14 28	23 27
2	B <sub>D</sub>	A B(upper) B(lower)	3~7 24~28 38~42	130 60 112	146 50 113	138 55 113	60 94 93	13 19 17	28 24 27	41 43 44	26 36 33	82 57 52	15 7 10	16 23 20	50 37 32
3	B <sub>F</sub>	B <sub>1</sub> (upper) B <sub>1</sub> (lower)	6~10 32~36	3 2	3 2	3 2	145 151	28 26	13 13	41 39	44 39	34 29	-3 0	36 33	28 24
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)															
4	B <sub>D</sub> (d)	A B <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	7~11 18~22 30~34	56 54 30	55 50 27	56 52 29	71 89 94	20 15 17	32 31 35	52 46 52	32 35 44	60 54 56	20 11 8	13 17 23	25 26 29
5	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	6~10 17~21 36~40	134 58 58	127 57 56	131 58 57	67 93 96	22 25 22	36 27 32	58 52 54	32 45 46	61 59 57	26 7 8	23 26 25	43 35 31
6	BA	B <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	7~11 30~34	64 24	62 22	63 23	99 106	18 20	38 32	56 52	38 44	42 46	18 8	24 27	26 28
7	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	6~10 16~20 28~32	283 53 41	265 55 38	274 54 40	74 94 109	28 31 30	31 22 21	59 53 51	47 49 47	71 55 47	12 4 4	28 35 36	43 39 35
8	B <sub>D</sub> (d)	A A—B B <sub>1</sub>	6~10 13~17 32~36	38 45 19	34 44 18	36 45 19	94 98 101	22 29 25	35 27 31	57 56 56	42 49 52	49 53 53	15 7 4	27 31 33	31 34 34
9	B <sub>D</sub>	A A—B B	6~10 20~24 36~40	68 105 46	66 94 42	67 100 44	98 107 109	30 26 23	19 19 26	49 45 49	47 44 43	56 51 45	2 1 6	32 31 30	38 36 31

第5表 土 壤 の 化 学 的 性 質

Table 5. Chemical properties of soil.

(乾物当たり: On dry basis)

断面 番号	土壌型	層 位	深 さ Depth from surface (cm)	C %	N %	C/N	置 換 量 Exch. capacity (m.e. / 100g)	置 換 性 Exch. (m.e. /100g)		Ca 飽 和 度 Rate of exch. Ca satu- ration	Mg 飽 和 度 Rate of exch. Mg satu- ration	0.2 N HCl soluble(ppm)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収係 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> absorp- tion's coefficient	置換酸度 Exch. acidity (Y <sub>1</sub> )	pH (H <sub>2</sub> O)
Prof. No.	Type of soil	Horizon						CaO	MgO			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
三 木 山 国 有 林 (Miki-yama National Forest)																
1	BA	A <sub>m</sub>	2~5	3.16	0.11	28.7	14.3	0.30	0.09	2.1	0.6	4.6	160	750	32.8	4.35
		B <sub>1</sub>	7~17	1.11	0.06	18.5	12.4	0.23	0.02	1.9	0.2	1.1	61	710	44.0	4.50
		B <sub>2</sub>	25~35	0.98	0.04	24.5	9.22	0.22	0.01	2.4	0.1	0.2	64	550	39.8	4.50
2	B <sub>D</sub>	A	3~13	5.31	0.17	31.2	17.7	0.73	0.23	4.1	1.3	3.7	119	680	26.3	4.25
		B(upper)	23~33	1.38	0.06	23.0	9.71	0.46	0.13	4.7	1.3	0.2	93	580	25.6	4.55
		B(lower)	36~46	0.78	0.04	19.5	12.6	0.46	0.11	3.7	0.9	tr.	102	540	25.8	4.70
3	B <sub>F</sub>	A	2~5	4.73	0.16	29.5	11.9	0.56	0.39	4.7	3.3	2.0	90	450	14.8	4.25
		B <sub>1</sub>	7~17	0.98	0.04	24.5	8.44	0.43	0.10	5.1	1.2	0.8	33	370	12.4	4.45
		B <sub>2</sub>	40~50	0.23	0.01	23.0	10.9	0.39	1.04	3.6	9.5	0.6	27	560	25.8	5.05
大谷山および箱田山国有林(Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)																
4	B <sub>D</sub> (d)	A	5~13	4.76	0.15	31.7	18.0	1.85	0.27	10.3	1.5	6.0	108	620	13.0	4.70
		B <sub>1</sub>	18~26	2.15	0.09	23.9	10.8	0.87	0.07	8.1	0.6	2.1	43	500	11.3	4.80
		B <sub>2</sub>	30~40	1.09	0.05	21.8	6.84	0.53	0.05	7.7	0.7	1.0	42	560	9.1	4.90
5	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	6~10	3.53	0.14	25.2	14.2	3.14	1.29	22.1	9.1	5.7	192	510	5.7	5.15
		A <sub>2</sub>	13~23	2.04	0.09	22.6	11.3	1.66	0.60	14.7	5.3	1.3	74	650	14.3	5.05
		B <sub>1</sub>	35~45	0.87	0.05	17.4	9.49	1.12	0.56	11.8	5.9	1.4	43	510	11.6	4.95
		B <sub>2</sub>	60~70	0.68	0.04	17.0	9.42	1.20	0.31	12.7	3.3	1.0	57	290	10.9	5.25
6	BA	A <sub>m</sub>	4~6	2.41	0.07	34.4	8.59	0.78	0.10	9.1	1.2	5.4	161	350	11.3	4.50
		B <sub>1</sub>	8~18	1.14	0.04	28.5	7.59	0.30	0.03	4.0	0.3	3.1	107	350	9.6	4.40
		B <sub>2</sub>	26~36	0.38	0.02	19.0	7.44	0.49	0.02	6.6	0.2	1.7	70	400	14.6	4.70
7	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	5~13	3.57	0.20	17.9	12.2	1.18	0.42	9.7	3.4	6.8	169	540	9.6	4.80
		A <sub>2</sub>	15~25	2.79	0.12	23.3	10.2	0.81	0.28	7.9	2.7	3.8	104	580	9.4	4.60
		B <sub>1</sub>	28~38	0.73	0.03	24.3	5.69	0.71	0.45	12.5	7.9	0.8	71	340	7.7	4.90
		B <sub>2</sub>	45~55	0.49	0.02	24.5	6.10	0.87	0.60	14.3	9.8	0.9	112	170	5.2	5.10
8	B <sub>D</sub> (d)	A	6~10	4.87	0.16	30.4	14.5	1.35	0.26	9.3	1.8	7.2	180	710	12.8	4.60
		A-B	13~23	1.98	0.09	22.0	11.8	0.93	0.06	6.2	0.5	2.7	114	680	12.7	4.80
		B <sub>1</sub>	31~40	1.42	0.06	23.7	11.6	0.74	0.06	6.4	0.5	0.7	77	720	10.7	4.80
		B <sub>2</sub>	43~53	0.67	0.04	16.8	13.4	0.55	tr.	4.1	—	0.8	100	710	11.7	4.90
9	B <sub>D</sub>	A	5~15	2.50	0.13	19.2	14.9	3.66	1.03	24.6	6.9	7.6	209	410	1.6	4.95
		A-B	20~30	1.50	0.07	21.4	8.94	2.25	0.57	25.2	6.4	2.7	131	410	6.2	4.80
		B	36~46	0.64	0.04	16.0	8.17	1.43	0.62	17.5	7.6	2.6	134	320	10.7	5.40

第6表 土 性  
Table 6. Texture of soil. (乾物当たり: On dry basis)

断面番号 Prof. No.	土 壤 型 Type of soil	層 位 Horizon	砂 Sand %			微 砂 % Silt	粘 土 % Clay	土 性 Texture
			粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)								
1	BA	A <sub>m</sub>	31	21	52	21	27	IC
		B <sub>1</sub>	13	19	32	22	46	hC
		B <sub>2</sub>	22	19	41	19	39	IC
2	B <sub>D</sub>	A	34	20	54	23	23	CL
		B(upper)	38	15	53	19	28	IC
		B(lower)	32	18	50	19	31	IC
3	B <sub>F</sub>	A	17	26	43	41	16	CL
		B <sub>1</sub>	15	20	35	20	45	hC~IC
		B <sub>2</sub>	10	16	26	36	38	IC
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)								
4	B <sub>D</sub> (d)	A	54	19	73	16	11	SL
		B <sub>1</sub>	47	21	68	18	14	SL
		B <sub>2</sub>	44	22	66	21	13	SL
5	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	50	22	72	13	15	SCL~SL
		A <sub>2</sub>	50	21	71	15	14	SL
		B <sub>1</sub>	47	23	70	14	16	SCL
		B <sub>2</sub>	50	21	71	14	15	SCL~SL
6	BA	A <sub>m</sub>	57	24	81	13	6	SL
		B <sub>1</sub>	53	23	76	14	10	SL
		B <sub>2</sub>	54	15	69	17	14	SL
7	B <sub>D</sub>	A <sub>1</sub>	42	21	63	21	16	SCL
		A <sub>2</sub>	37	23	60	24	16	SCL
		B <sub>1</sub>	46	21	67	20	13	SL
		B <sub>2</sub>	45	24	69	21	10	SL
8	B <sub>D</sub> (d)	A	41	23	64	18	18	SCL
		A—B	37	23	60	17	23	SCL
		B <sub>1</sub>	33	25	58	22	20	SCL
		B <sub>2</sub>	31	25	56	24	20	SCL
9	B <sub>D</sub>	A	36	29	65	20	15	SCL~SL
		A—B	37	27	64	21	15	SCL~SL
		B	40	27	67	19	14	SL

の理学的性質は第4表および第1図, 化学的性質は第5表, 土性は第6表に示すとおりである。

#### 4—2. 考 察

##### 4—2—1. 三木山国有林

この地域の土壌は第3紀層を母材としている。混在する礫は珪岩を主とし、粘板岩および石英粗面岩を混じる。緩斜な山脚の短い丘陵性地形を形成し、主として天然生のアカマツ林によって占められているが、アカマツの成長はきわめて不良で、いわゆるせき悪林ないしせき悪移行林を形成している。

山頂部は平坦〜緩斜な台地を形成し、B<sub>f</sub>型土壌が出現する場合が見られるが、尾根〜山腹斜面にはBA型土壌が広く分布し、山腹斜面下部にはB<sub>d</sub>ないしB<sub>d</sub>(d)型土壌が出現するが、分布は少ない。

土壌はいずれも埴質(hC~IC)で、腐植の含有率は少なく、容積重の大きい未熟な土壌である。

山腹斜面下部に位置するB<sub>d</sub>型土壌(Prof. 2)(崩積土)は透水性は大きく、良好な理学的性質を示し



たが、山腹斜面上部に位置する Ba 型土壌 (Prof. 1) (残積土) は菌糸網の影響によって透水性は小さく、理学的性質は不良であった。山頂部の台地上に位置する Bf 型土壌 (Prof. 3) (残積土) は A 層がうすく、B 層以下は容積重がきわめて大きく、すこぶる堅密な土層を形成し、透水性はきわめて小さく、理学的性質はすこぶる不良であった。

化学的性質は、全般的に各断面いずれも A 層の C—N 率はかなり大きく、pH は低く、かなり強酸性を呈し、置換酸度も大きかった。また、置換容量、置換性 Ca および Mg 含有率および飽和度はいちじるしく小さく、可給態 (N/5 HCl 可溶)  $K_2O$  含有率はかなり大きい値を示したが、同  $P_2O_5$  含有率は小さかった。

以上のように、三木山国有林の各土壌型の化学的性質は全般的に不良であったが、各土壌型間にいちじるしい相違が見られなかったことは注目に値しよう。Ba 型土壌では、乾性の水分環境のために C—N 率が大きく、山腹斜面に沿って流動する水の影響によって土壌中の塩基が溶脱されやすい地形に位置するために、置換性塩基の含有率が低く、かなり強酸性を呈していたことは当然といえよう。しかしながら、適潤性の水分環境におかれている Bd 型土壌、および湿性の水分環境におかれている Bf 型土壌において、A 層の C—N 率が Ba 型土壌を上回る値を示したことは、かなり異例に属すると見なしてさしつかえなかろう。さらに、平坦な台地上に位置する Bf 型土壌では、斜面地形の場合とは異なり、土壌中の水の流動は緩慢になって、停滞水的な要素を多分に含む点から、非溶脱型地形と見なされ、山腹斜面下部の斜面に沿って流動する水により土壌中の塩基の集積の行なわれる Bd 型土壌に近い性格を有するものといえよう。Bf および Bd 型土壌の置換性塩基の含有率および飽和度が、ほぼ同程度の値を示し、Ba 型土壌を上回ったことは、このような地形的因子の影響によるものであろう。しかしながら、この地域の Bd および Bf 型土壌における塩基の飽和度は、これらの土壌型の今までの一般例<sup>6)7)</sup>に比べると、いちじるしく低いと見てさしつかえないように思われる。この点は塩基に乏しい珪岩をおもな母材料とするためか、または、他の原因によるものかは今後の検討にまきたい。その他、Prof. 3 の Bf 型土壌の置換性 Mg 含有率および飽和度が異常に高い値を示したが、この原因は明らかではなかった。

植生は Ba 型土壌ではソヨゴ、ドウダンツツジ、ナツハゼ等の乾性型の植生が多く見られ、Bd 型土壌においてもこれらの乾性型の植生がかなり多く出現した。Bf 型土壌では上述の乾性型の植生のほかに、ネズミサシ、ヒサカキ、ハナゴケ等の乾性型の植生が多く見られた。Bf 型土壌では、台地地形と土壌のきわめて不良な透水性のために、季節的に停滞水的な要素を含む過湿状態におかれ、早春、夏季等にはかなり乾性の状態におかれ、過湿と乾燥のくり返しが行なわれることが推定されるが、このような立地条件が主として乾性型の植生によって占められている原因と考えられる。

#### 4—2—2. 大谷山および箱田山国有林

隣接して存在するこの両国有林は、花こう岩を母材とし、比較的山脚の短い山腹斜面を形成する。この地域は主として天然生のアカマツ林によって占められているが、アカマツの成長は全般に比較的良好である。

山腹斜面下部～沢沿いに Bd 型土壌 (崩積土) が幅せまく分布し、中腹～山腹斜面上部にかけて主として Bd(d) 型土壌 (匍行土)、尾根には Ba 型土壌 (残積土) ないし Bd(d) 型土壌 (残積土) が分布する。

土壌はいずれも砂質 (SL—SCL) で、腐植の含有率は小さく、容積重の大きい未熟な土壌を形成していた。

同じ山腹斜面ごとと比較すると、斜面下部に位置する B<sub>d</sub> 型土壤は斜面上部に位置する B<sub>d</sub>(d) ないし B<sub>A</sub> 型土壤に比べると、透水性は大きく、表層土の C—N 率は小さく、Prof. 4 および 5 の山腹斜面を除くと、可給態 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および K<sub>2</sub>O 含有率は大きく、置換性 Ca および Mg 含有率および飽和度は大きく、pH も高く、理化学的性質は良好であった。しかしながら、全般的には Prof. 5 および 7 の B<sub>d</sub> 型土壤以外は透水性はかなり小さく、理学的性質はとくに良好とはいい難かった。また、B<sub>d</sub> 型土壤はいずれもわが国の森林土壤の今までの結果に比べると、pH はかなり低く、C—N 率はかなり大きいといえよう。各土壤の表層土の可給態 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含有率は、前述の三木山国有林の場合と同様に少なかったが、各土壤間の相違はわずかであった。また、可給態 K<sub>2</sub>O 含有率は各土壤いずれもかなり高い値を示した。

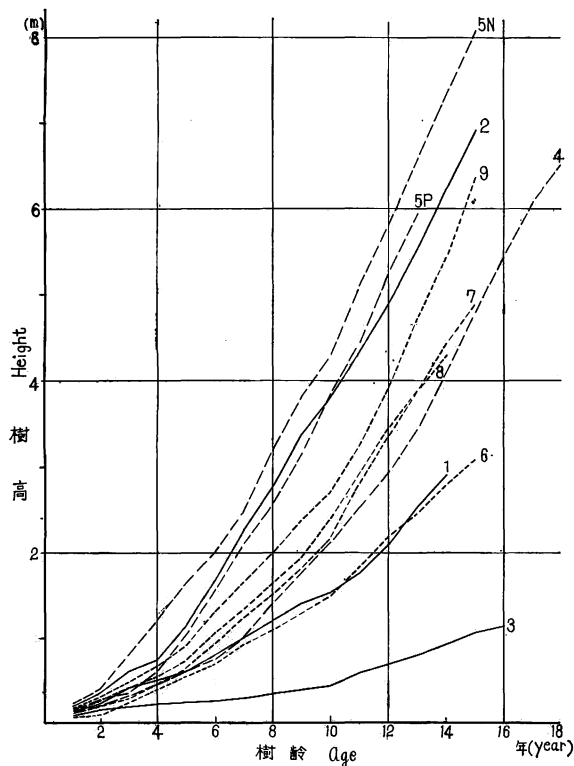
そのほか、Prof. 7 B<sub>d</sub> 型土壤の A 層の置換性 Ca および Mg 含有率および飽和度が、他の同様の立地条件における B<sub>d</sub> 型土壤に比べるといちじるしく低く、同じ山腹斜面上部の B<sub>A</sub> 型土壤と大差のない値を示したことに例外が認められたが、この原因は明らかではない。

植生は山腹斜面上部の B<sub>d</sub>(d) および B<sub>A</sub> 型土壤ではリュウブ、アセビ、ソヨゴ、ミツバツツジ、ナツハゼ、ヒサカキ等の乾性型の植生が多く見られ、斜面下部の B<sub>d</sub> 型土壤ではヤネフキササ（高茎型）が多く、そのほかイヌツゲ、マルバハギ、ツリバナマユミ等の適潤性の植生が見られた。

## 5. アカマツの樹高成長と土壤条件の関係

### 5—1. アカマツの成長

各調査林分におけるアカマツの樹高成長は第7表および第2図に示すとおりである。



第2図 アカマツの成長

Fig. 2 Growth of *Pinus densiflora*.

Remarks: Figures show the profile

No. (数字は断面番号を示す)

P...Planted. (植栽)

N...Naturally regenerated.

(天然更新)

第7表 アカマツの成長  
 Table 7. Growth of *Pinus densiflora*.

断面番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	樹 齢 Age (年, year)	樹 高 Height (m)	胸 高 直 径 Diameter at breast (cm)	全成立本数 Nos. of total tree (per ha)	健 全 木 Nos. of healthy tree (per ha)
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)						
1	BA	$\frac{14}{12\sim15}$	$\frac{2.85}{1.80\sim4.10}$	$\frac{2.6}{1.1\sim5.2}$	20,400	9,200
2	Bd	$\frac{15}{14\sim17}$	$\frac{6.90}{5.10\sim8.50}$	$\frac{7.0}{3.8\sim12.3}$	7,900	3,900
3	B <sub>F</sub>	$\frac{16}{14\sim17}$	$\frac{1.15}{0.80\sim1.50}$	$(\frac{3.2}{1.8\sim5.4})^*$	16,800	6,800
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)						
4	Bd(d)	$\frac{18}{16\sim19}$	$\frac{6.50}{4.60\sim7.80}$	$\frac{7.8}{4.2\sim12.0}$	6,400	4,800
5	Bd	13**	$\frac{5.95}{4.95\sim6.90}$	$\frac{6.9}{6.0\sim7.8}$	3,500	700
		$\frac{15}{13\sim16}$	$\frac{8.05}{6.20\sim9.35}$	$\frac{10.7}{6.5\sim13.7}$	2,100	1,700
6	BA	$\frac{15}{14\sim16}$	$\frac{3.10}{2.55\sim3.75}$	$\frac{2.9}{2.0\sim4.5}$	20,400	6,800
7	Bd	$\frac{15}{13\sim16}$	$\frac{4.90}{4.10\sim6.65}$	$\frac{5.0}{3.6\sim7.5}$	11,200	6,000
8	Bd(d)	$\frac{14}{13\sim15}$	$\frac{4.30}{3.20\sim5.75}$	$\frac{4.0}{2.5\sim6.5}$	6,000	6,000
9	Bd	$\frac{15}{14\sim16}$	$\frac{6.35}{5.40\sim8.55}$	$\frac{6.9}{4.2\sim10.3}$	5,600	4,800

Remarks (備考):

\*.....Basal diameter (根元直径)

\*\*.....Planted(人工林) Its age was added by 1 year that had been in nursery bed. (樹齡は苗畑の1年を加算)

## 5—2. アカマツの樹高成長と土壌条件の関係

アカマツの樹高成長と土壌条件の関係を求めるために、樹齡15年の樹高\*1を基準にして、深さ50cmまでの透水指数\*2<sup>16)</sup>、環境因子の影響をもっとも強く反映していると考えられる表層土の、上述の化学的諸性質との関連性を求めた結果は第3図に示すとおりである。

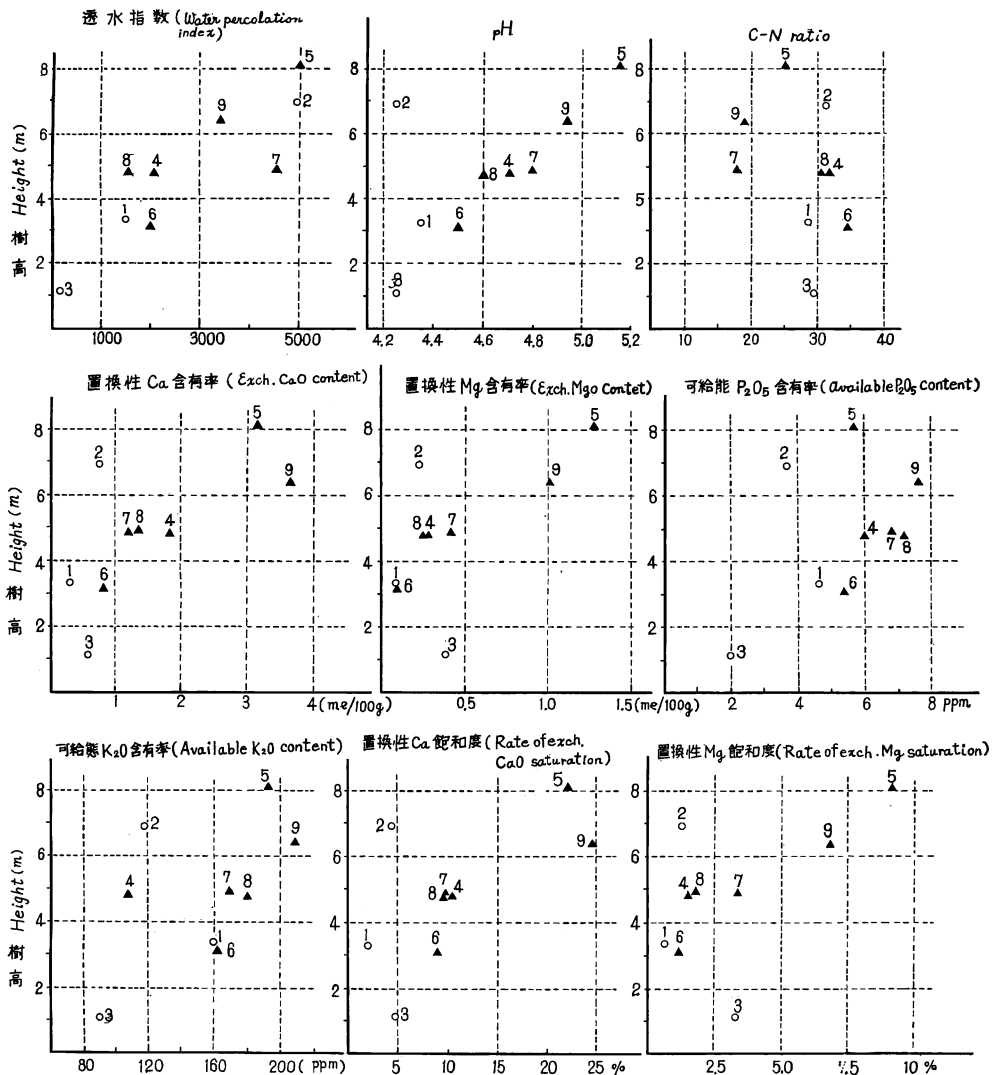
## 5—2—1. 三木山国有林

アカマツの樹高成長はBd型土壌では良好であったが、BA型土壌ではいちじるしい低下を示し、B<sub>F</sub>型土壌ではきわめて不良でBA型土壌をさらに下回った。

\*1 Prof. 1, Prof. 5 の人工植栽木および Prof. 8 は成長曲線による推定値。

\*2 各層位の透水量 (cc/分) に厚さ (cm) をかけた合計値。

一部の断面では深さ50cmまでの各層位の円筒試料の採取は困難であった。その場合には、便宜的にそれぞれの層位の上層または下層と同じ透水量とみなして計算した。



第3図 アカマツの成長と土壌の透水指数および表層土の化学的性質との関係

Fig. 3 Relation among the growth of *Pinus densiflora*, the water percolation index of soil and the chemical properties of its surface horizon.

Remarks: Figures show the profile No. (数字は断面番号を示す)

○.....Miki-yama National Forest. (三木山国有林)

▲.....Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest.

(大谷山および箱田山国有林)

第3図に示したように、アカマツの樹高成長は透水指数と関連性が認められたが、そのほかの表層土の化学的諸性質との関連性は明らかでなかった。

#### 5-2-2. 大谷山および箱田山国有林

大谷山国有林の Prof. 5 は、当時同国有林の担当区主任河毛周夫事務官（現在福山営林署員）によって、試験的にアカマツの人工植栽の行なわれた林分である。植栽当時すでに天然に更新していたアカマツ

の稚樹を残して、アカマツ1—0苗を1×1×0.3mの植穴(耕耘床)に、直根を切らずに植栽された。筆者らの調査当時では、人工植栽木はかなりの本数が成立していたが、天然更新木より樹齢が若いために被圧木となっているものが目だった。しかしながら、健全木は第2図に示すように、天然更新木とほぼ同様の成長経過を示した。アカマツ人工林の成長は一般に天然生林よりおとるとされているが、Prof. 5のように、植栽方法によっては天然生林におとらない成長を示していたことは注目に値しよう。

Prof. 4~9をそれぞれ同じ山腹斜面ごとに比べると、いずれも山腹斜面下部のB<sub>d</sub>型土壌は、斜面上部のB<sub>d</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌よりすぐれた樹高成長を示したが、この点は前述(4—2—2)の透水指数および表層土の理化学的性質の相違を反映しているといえよう。

この地域全体について総合すると、B<sub>d</sub>>B<sub>d</sub>(d)>B<sub>A</sub>型土壌の順に樹高成長は低下を示したが、B<sub>d</sub>型土壌における15年生の樹高は8.1~4.8mに及び、かなりの相違が認められた。土壌の諸性質とアカマツの樹高成長の関係は、第3図に示すように表層土のpH、置換性CaおよびMg含有率および同飽和度とかなり密接な関連性が認められたが、可給態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>O含有率との関連性は明らかではなかった。透水指数および表層土のC—N率は地形的因子によって斜面下部および斜面上部の2つのグループに大別され、各グループ別に見ると樹高成長と大まかに関連性を示したに過ぎなかった。

### 5—2—3. 考 察

全調査林分について総合すると、アカマツの樹高成長は全般的にはB<sub>d</sub>>B<sub>d</sub>(d)>B<sub>A</sub>>B<sub>F</sub>型土壌の順に低下を示し、基本的には主として地形にもとづく土壌の水分環境の相違、すなわち、土壌型によってもっとも明りょうに示されるといえよう。

B<sub>F</sub>型土壌(Prof. 3)は平坦な台地に位置し、不良な透水性および断面形態に見られる斑鉄から推定されるように、季節的に停滞水的な要素を含む過湿な状態におかれるために根腐れを生じ、これが成長を阻害するもっとも大きな原因をなしているものと考えられる。

その他の山腹斜面上に位置する土壌では、水分環境が乾性に傾くほどアカマツの樹高成長は低下を示した。一般にこのような水分環境の相違は、堆積様式の相違と、それにもとづく土壌の理学的性質(透水性)の相違をともない、さらに土壌微生物による有機物の分解活動の相違、斜面上部からの塩基の溶脱と斜面下部における集積にもとづく土壌の化学的性質の相違をとまなうものと考えられる。しかしながら、三木山国有林のB<sub>A</sub>およびB<sub>d</sub>型土壌を比べると、前述(4—2—1)のように、理学的性質の相違は明りょうに認められたが、B<sub>d</sub>型土壌の化学的性質は不良で、B<sub>A</sub>型土壌ととくに明りょうな相違を示さなかった。このために、アカマツの樹高成長を支配するおもな因子は土壌の理学的性質にあるといわざるをえない。また、大谷山および箱田山国有林の場合は、全体を総合すると、上述のように土壌の化学的性質の一部、すなわち、表層土のpH、置換性CaおよびMg含有率、および同飽和度が密接な関連性を示すにすぎず、同じ山腹斜面ごとに比較した場合に比べて、アカマツの樹高成長に関連性を有する土壌因子はかなり制限されたものとなった。

以上のように、今回の調査結果では、アカマツの樹高成長に関連性を有する土壌因子は、地域、母材、比較の範囲のとりかたの相違等によってかなりの相違を示すことが予想された。

## 6. アカマツ針葉の養分組成と樹高成長および土壌条件の関係

### 6—1. 結 果

第8表 針葉の組成  
Table 8. Composition of needle.

(乾物当たり: On dry basis)

断面番 Prof. No.	土壌型 Type of soil	樹高成長指数 Height growth index	針葉の長さ (cm) Length of needle	C %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	C/N	N/P	N/K	K/P	N/Ca
三木山国有林 (Miki-yama National Forest)														
1	BA	3.3	7~9.5	56.6	1.45	0.13	0.66	0.26	0.093	39.0	11.2	2.2	5.1	5.6
2	Bd	6.9	7.5~11	57.8	1.74	0.14	0.69	0.35	0.084	33.2	12.4	2.5	4.9	5.0
3	Bf	1.1	3~6	56.4	1.03	0.084	0.54	0.36	0.13	54.7	12.3	1.9	6.4	2.9
大谷山および箱田山国有林 (Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest)														
4	Bd(d)	4.8	7~10	57.2	1.25	0.10	0.70	0.29	0.11	45.6	12.5	1.8	7.0	4.3
5	Bd	7.4*	9~12	55.7	1.68	0.15	0.88	0.40	0.14	33.2	11.2	1.9	5.9	4.2
		8.1	9~13	58.1	1.70	0.15	0.90	0.34	0.13	34.1	11.3	1.9	6.0	5.0
6	BA	3.1	7~9	56.7	0.99	0.069	0.69	0.26	0.083	52.3	14.3	1.4	10.0	3.8
7	Bd	4.9	7~10	55.7	1.15	0.087	0.88	0.38	0.12	48.4	13.2	1.3	10.1	3.0
8	Bd(d)	4.8	7~10	56.3	1.19	0.086	0.59	0.29	0.099	47.3	13.8	2.0	6.9	4.1
9	Bd	6.4	8~11	56.8	1.37	0.11	1.06	0.37	0.10	41.5	12.5	1.3	9.6	3.7

Remarks (備考):

Height growth index was shown by the height (m) at 15-year-old. The one of Prof. 1, 5 (planted) and 8 was the conjectured value. (樹高成長指数は15年生の樹高 (m), Prof. 1, 5(植栽), 8は推定値)

\*.....Planted (植栽)

供試した各林分のアカマツの針葉の組成は第8表に示すとおりである。

アカマツ針葉のC含有率はいずれの林分においても56~58%を示し、ほとんど相違が見られなかったが、その他の諸成分はかなり明りょうな相違を示した。

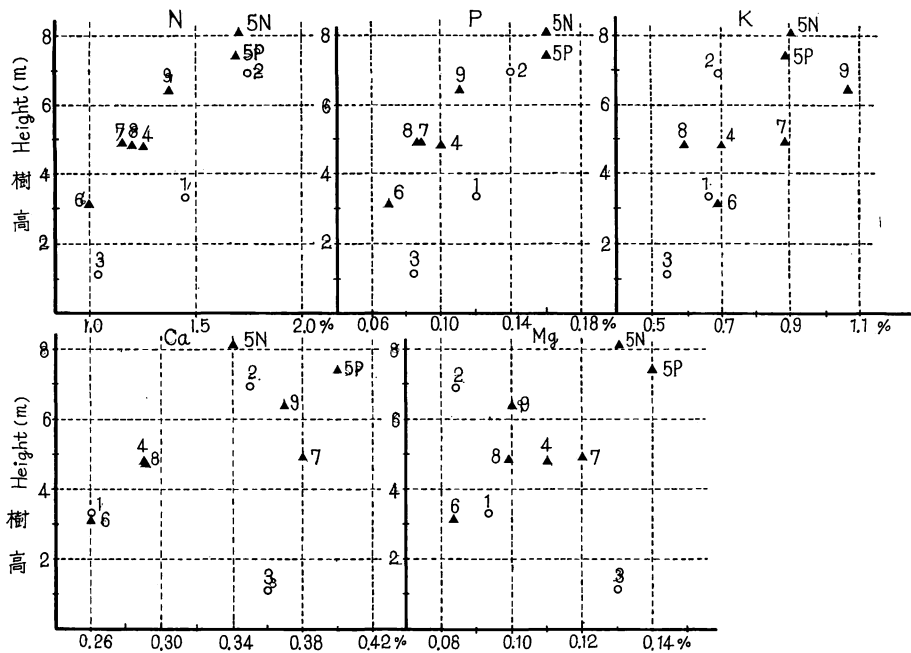
各林分のアカマツ針葉の各養分の含有率と樹高成長および土壌の化学的諸性質との関係は、第4~6図に示すとおりである。

これらの関係を求める場合には、前述(5-2)の樹高成長と土壌条件の場合と同様に、15年生の樹高を基準とし、表層土のC-N率、可給態 $P_2O_5$ および $K_2O$ 含有率、置換性CaおよびMg含有率、同飽和度と針葉のN, P, K, CaおよびMg濃度との関係を検討した。

## 6-2. 三木山国有林

アカマツ針葉のN, P, K濃度はいずれも $Bd > BA > Bf$ 型土壌の順に減少を示し、樹高成長と関連性を示した。Ca濃度は $Bf > Bd > BA$ 型土壌、Mg濃度は $Bf > BA > Bd$ 型土壌の順に減少を示し、Ca濃度は樹高成長との関連性は明らかではなかったが、Mg濃度は成長量の増大にともなって減少を示した。

針葉の養分比と樹高成長との関係については第6図に示したように、成長量の増大にともなってC-N率の減少およびN/K比の増大が認められたが、N/P, K/PおよびN/Ca比は成長との関連性は明らかで



第4図 アカマツの樹高成長と針葉の養分含有率の関係

Fig. 4 Relation between the height growth of *P. densiflora* and the nutrient content of its needle.

Remarks: Figures shows the profile No. (数字は断面番号を示す)

N.....Naturally regenerated stand. (天然更新木)

P.....Planted stand. (人工植栽木)

はなかった。

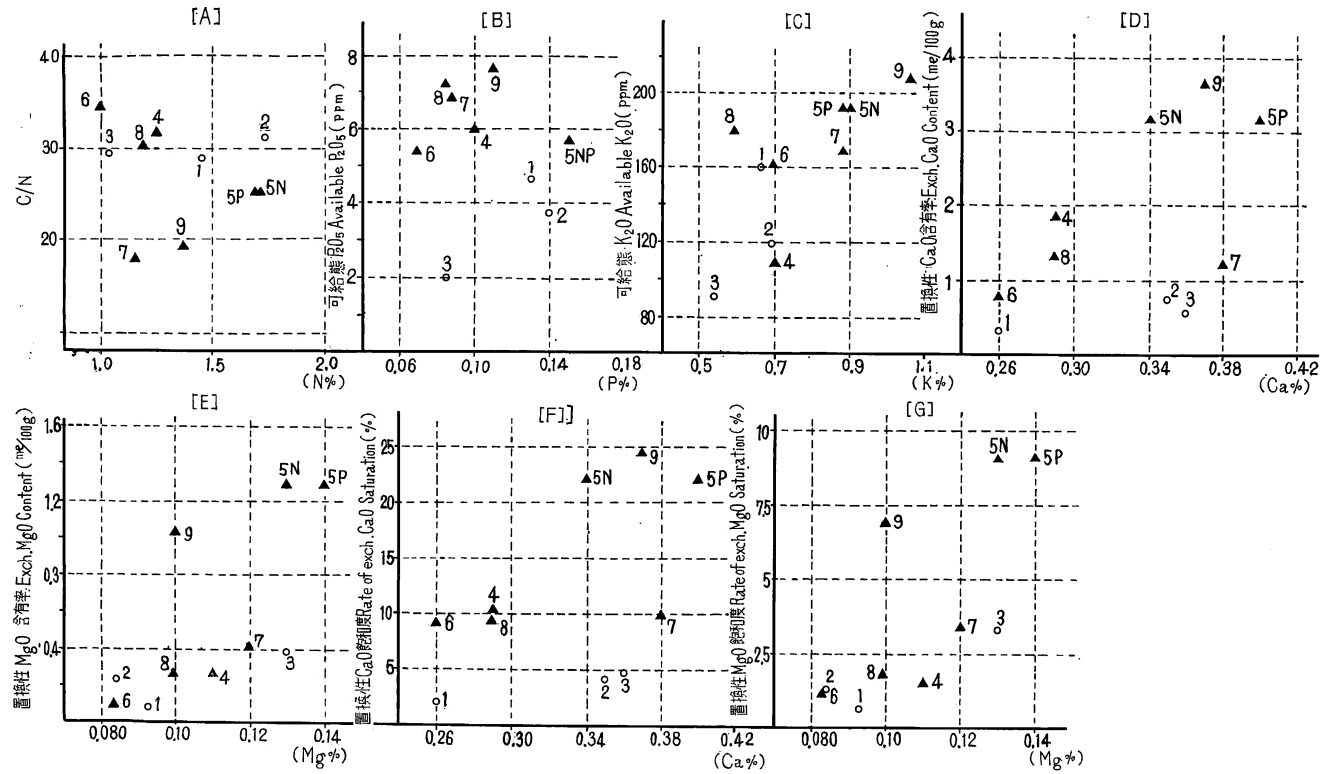
針葉の養分濃度と土壌の化学的諸性質との関連性については、Ca濃度が表層土の置換性Ca含有率および同飽和度よりもむしろ地形的因子に関連し、集積地形および非溶脱型地形のB<sub>0</sub>およびB<sub>r</sub>型土壌が、溶脱地形のB<sub>A</sub>型土壌より大きかった以外は、いずれの場合も関連性は認められなかった。

### 6—3. 大谷山および箱田山国有林

アカマツ針葉の各養分濃度は、同じ山腹斜面ごとに比較すると、いずれの場合も斜面下部に位置するB<sub>0</sub>型土壌は、斜面上部に位置するB<sub>0</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌より明らかに増大を示し、樹高成長の増大にともなって各養分濃度の増大が認められた。

しかしながら、この地域全体について総合すると、第4図に示すようにならなくなった傾向を示した。すなわち、アカマツ針葉のNおよびP濃度はかなり明らかに樹高成長に比例して増大し、密接な関連性を示した。KおよびCa濃度はB<sub>0</sub>型土壌とB<sub>0</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌の2つのグループに地形的因子によって大別され、大まかにグループ別に見ると樹高成長の大きい前者は後者より高い濃度を示したにすぎなかった。Mg濃度は樹高成長ないし地形的因子との関連性はいずれも認められなかった。

針葉の養分比と樹高成長との関係については、樹高成長の増大にともなってC—N率およびN/P比は減少を示し、密接な関連性が認められた。しかしながら、N/K、K/PおよびN/Ca比については、樹高成長との関連性は認められなかった。

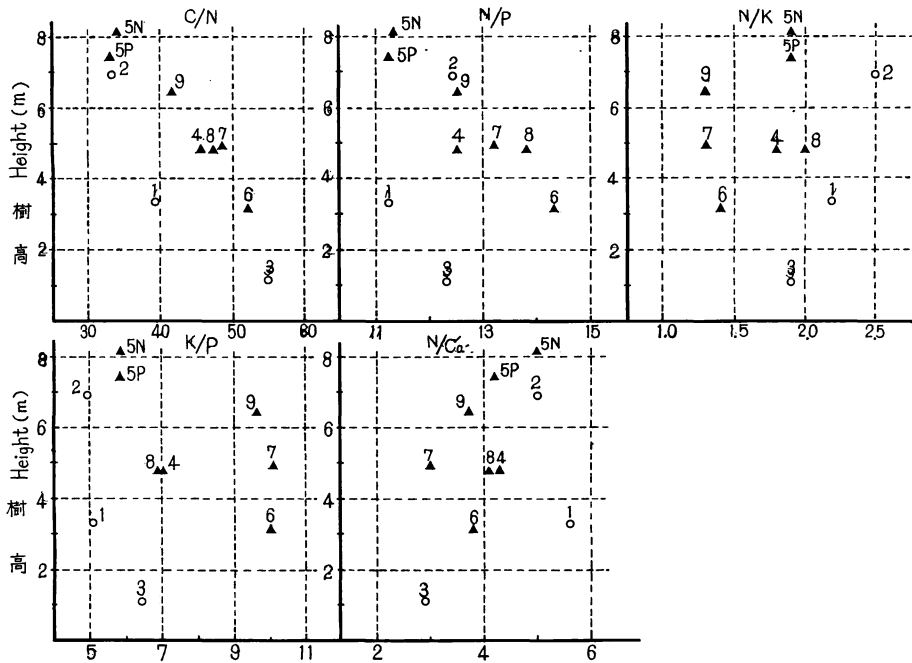


第5図 アカマツ針葉の養分含有率と表層土の化学的性質との関係

Fig. 5 Relation between the nutrient content of *P. densiflora* needle and the chemical property of the surface soil horizon.

A : N content of the needle and C—N ratio. (針葉のN含有率とC—N比)  
 B : P content of the needle and 0.2N HCl soluble  $P_2O_5$  content. (針葉のP含有率と可給態  $P_2O_5$  含有率)  
 C : K content of the needle and 0.2N HCl soluble  $K_2O$  content. (針葉のK含有率と可給態  $K_2O$  含有率)  
 D : Ca content of the needle and exch. CaO content. (針葉のCa含有率と置換性Ca含有率)  
 E : Mg content of the needle and exch. MgO content. (針葉のMg含有率と置換性Mg含有率)  
 F : Ca content of the needle and the rate of exch. CaO saturation. (針葉のCa含有率と置換性Ca飽和度)  
 G : Mg content of the needle and the rate of exch. Mg saturation. (針葉のMg含有率と置換性Mg飽和度)  
 Other remarks are same as Fig. 4. (その他は第4図と同じ)





第6図 アカマツ針葉の養分比と樹高成長との関係

Fig. 6 Relation between the nutrient ratio of *P. densiflora* needle and its height growth.

Remarks are same as Fig. 4. (備考は第4図と同じ)

針葉の養分濃度と土壌の化学的諸性質との関係については、KおよびCa濃度が表層土の可給態 $K_2O$ 含有率、置換性Ca含有率および同飽和度よりも地形的因子に関連性を示し、集積地形に位置するB<sub>d</sub>型土壌が溶脱地形のD<sub>d</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌より大きかった以外はいずれも関連性は認められなかった。

#### 6-4. 考 察

##### 6-4-1. 林木の成長と針葉の養分濃度との関係

林木の成長と葉の養分濃度との関係について芝本および田島<sup>21)</sup>は、50年生のヒノキの成長はB<sub>A</sub><B<sub>B</sub><B<sub>d</sub>型土壌の順に増大し、針葉のNおよびP濃度もまた上記の順に増大して、成長と関連性を示すが、K濃度は関連性を示すことなく、Ca濃度は逆に上記の順に漸減するという。中村<sup>17)</sup>は10~50年生のカラマツについて、針葉のNおよびK濃度は成長と密接な関連性を示すが、PおよびCa濃度は一定の関係が認められないことを指摘している。LEYTON<sup>10) 11) 12)</sup>は幼齡の日本カラマツについて、針葉のNおよびK濃度は成長と直接に関連性を有するが、PおよびAsh濃度はK濃度と関連性を有するために、間接的に成長と関連性を示すにすぎないことを明らかにしている。筆者らのひとり河田<sup>9)</sup>は湿性ポドゾルにおけるカラマツの植栽時施肥試験の無施肥区において、樹高成長の大きい山腹斜面下部では、成長のおとる斜面上部に比べると、各年度いずれも針葉のN, P, CaおよびMg濃度は高く、樹高成長との関連性が認められるが、K濃度は年度によって異なり、一定の傾向を示さなかったことを報告した。

以上のように、今までの諸研究者の結果は、針葉のN濃度と成長との関連性はいずれの場合も認めているが、その他の成分については一定の傾向が認められていない。

今回の筆者らの結果では、大谷山および箱田山国有林の場合は、それぞれ同じ山腹斜面ごとと比較すると、斜面下部の B<sub>d</sub> 型土壤では斜面上部の B<sub>d</sub>(d) ないし B<sub>A</sub> 型土壤より樹高成長および針葉の各養分濃度は大きく、明りょうな関連性が認められた。この点は上述の河田の湿性ポドゾルにおけるアカマツ幼齡林の場合<sup>9)</sup> と、K 濃度を除けばほぼ同様の傾向を示していたといえよう。

また、落葉の場合は林木の全部の葉が混合することや、養分の移動などのために、林木の栄養状態をもっとも良く反映する頂枝の針葉を供試した場合とは多少条件が異なるが、筆者らのひとり河田<sup>8)</sup> のアカマツ壮齡林の新鮮な落葉の養分組成を、同じ山腹斜面ごとと比較すると、針葉の Mg 濃度が山腹斜面上部は下部より増大を示した以外は、N, P, K および Ca 濃度はいずれも成長のまさる斜面下部の方が明りょうな増大を示し、ほぼ同様の傾向が認められた。

さらに、今回の結果を地域的に総合すると、三木山、大谷山および箱田山国有林の両地域では、アカマツ針葉の N および P 濃度は樹高成長の増大にともなって増大を示し、密接な関連性を示した。K, Ca および Mg 濃度は三木山国有林において、Mg 濃度が樹高成長の増大にともなって減少を示した以外は、いずれも関連性は明らかではなかった。しかしながら、大谷山および箱田山国有林では針葉の K および Ca 濃度が、また、三木山国有林では針葉の Ca 濃度が、集積地形ないし非溶脱地形の B<sub>d</sub> ないし B<sub>f</sub> 型土壤が、溶脱地形の B<sub>d</sub>(d) ないし B<sub>A</sub> 型土壤より増大を示し、地形的因子の影響を強く受けることを示した。この点は斜面地形において同じ山腹斜面ごとと比較すると、このような地形的因子は同時に土壤の水分環境、堆積様式にともなう土壤の理学的性質の相違にも関連を有し、後者は林木の樹高成長に大きな影響をおよぼすために、針葉の K および Ca 濃度は二次的に樹高成長と関連性を示すといえよう。

上述の諸点からは、アカマツの針葉の N および P 濃度は樹高成長と密接な関連性を示すが、K および Ca 濃度は（多少の例外が認められるが）地形的因子によって強い影響を受け、二次的に成長との関連性を有すると見なすべきであろう。Mg 濃度は全般的に成長および地形的因子との関連性はあまり明りょうではなかった。一般に Mg の土壤中における諸性質は Ca と類似している点が多いが、針葉の Mg 濃度が Ca と異なった性格を有することは、林木の栄養生理上興味のある問題といえよう。

針葉の養分比については、前述のように三木山国有林では N/K 比、大谷山および箱田山国有林では N/P 比がそれぞれ樹高成長と関連性を示すにすぎなかった。しかしながら、全調査林分について総合すると、N/P 比は 11.2~14.3 を示し、N/K 比の 1.3~2.5、K/P 比の 4.9~10.1、N/Ca 比の 2.9~5.6 に比べると、もっとも変化の幅の小さいことがうかがわれる。アカマツの樹高成長は前述のように針葉の N および P 濃度に関連し、樹高成長の相違にともなって、これらの成分の針葉中の濃度はかなりの相違を示すにもかかわらず、この両者の量的な比がかなり限られた範囲内でほぼ一定の割合を保つことは、すこぶる興味ある事実であるとともに、今後のアカマツの栄養生理を解明するための有力な手がかりになるのではないかと思われる。

#### 6—4—2. 針葉の養分濃度と土壤条件との関係

林木の葉の養分濃度と土壤条件の関係について、OVINGTON<sup>18)</sup> は各種の針、広葉樹の葉の P 濃度は土壤の置換性 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含有率に比例し、Ca 濃度は Calcareous soil では Acid soil より大きく、それぞれ関連性が見られることを明らかにした。BARD<sup>21)</sup> は土壤の P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および K<sub>2</sub>O 濃度は pH の低下にともなって増加するとともに各種の針、広葉樹の葉の P および K 濃度にも比例し、葉の Ca 濃度は土壤の酸性が強くなるといく分か減少し、また土壤の NO<sub>3</sub>-N および NH<sub>4</sub>-N 濃度は葉の N 濃度と関連性を示さないという。WALKER<sup>22)</sup>

は各種の針、広葉樹の葉のK濃度は、表層土の置換性  $K_2O$  含有率と比例することを明らかにしている。また、Mac HARGUE および Roy<sup>14)</sup> は Acid soil に多く見られる樹種が Calcareous soil に生育する場合には、葉の Ca 濃度が増大するという。しかしながら、Lutz および CHANDLER<sup>13)</sup> は全般的な傾向として、土壌の N, P, K level は Ca および Mg level より葉のこれらの濃度に大きな影響をおよぼし、また、林木の葉のN濃度は土壌の可給態N含有率に関連性を有するが、葉のP濃度は異なった立地条件に生育する場合でもあまり異ならないように思われ、また、林木の葉の Ca 濃度は Calcareous soil では一般に Acid soil より大きい、普通の土壌では Ca level の相違は葉の Ca 濃度にいちじるしい影響をおよぼさないとの見解を示している。

以上のように、諸外国における結果の多くは、それぞれ対象とした樹種は異なるが、葉の P, K, Ca 濃度等について土壌条件との関連性を認めている場合が多い。

これらの成績は、地域および母材の異なった Calcareous soil と Acid soil 等肥沃度のかかなり異なった土壌に生育する林木を比較の対象としている場合が多い。また、Acid soil のなかには Calcareous soil に比べて acidic な土壌を意味し、この中には pH6.0 前後を示し、わが国の森林土壌の一般例を基準にとると、もっとも中性に近い状態の土壌が Acid soil に含まれている場合も見られる。このように調査の対象とする林地の土壌条件は、わが国の森林土壌の場合とはかなり異なるように思われる。わが国における調査例は以下に述べるように、近接地域において、主として地形的因子の影響にもとづく土壌条件の相違、すなわち、各土壌型間の相違を対象としているために、今までの内外の諸研究者の結果を総合して、統一された傾向性を見いだすことはかなりの困難をとまうものといえよう。

わが国の結果では、上述の芝本および田島<sup>21)</sup>のヒノキ林の場合には、土壌の全 N, N/5 HCl 可溶  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  および CaO 含有率と針葉の N, P, K および Ca 濃度とは関連性が見られないという。

また、落葉については、上述の河田<sup>8)</sup>のカラマツ壮齡林の新鮮な落葉の場合には、全調査林分について見ると針葉のN濃度は表層土のC—N率に、P濃度は深さ50cmまでの土層の可給態  $P_2O_5$  含有量に関連性を示したが、KおよびCa濃度は深さ50cmまでの土層の可給態  $K_2O$  および CaO 含有率よりも、むしろ斜面地形—溶脱型および集積型地形—の影響を強く受けるが、Mg濃度は深さ50cmまでの可給態 MgO 含有量の増大にともなって減少することを明らかにした。そのほか、落葉のCa濃度が土壌のCa含有率と関連性を有することは、CHANDLER<sup>3)</sup>, COILE<sup>4)</sup>, ALWAY ら<sup>1)</sup>によっても明らかにされている。

今回の結果では、前述のように、大谷山および箱田山国有林の同じ山腹斜面ごとに比較した場合には、針葉の各養分濃度は山腹斜面下部の Bd 型土壌は斜面上部の Bd(d) ないし Ba 型土壌よりいずれの場合も増大を示した。このような針葉の養分濃度と斜面地形との関連性は、上述の河田<sup>8)</sup>のカラマツ幼齡林の場合にも初年度のK濃度を除いて、また、河田<sup>8)</sup>のカラマツ壮齡林の新鮮な落葉の場合にも同じ斜面ごとに比べるとMg濃度を除いて、いずれも明りょうに認められる。このように多少の例外は認められるが、これらの例外をなしている場合の斜面上部と下部の針葉の濃度の差はきわめて僅少であるので、全般的には針葉の養分濃度におよぼす斜面地形の影響は、かなりの普遍性を有すると見なしてさしつかえないように思われる。

土壌の化学的性質と針葉の養分濃度の関連性については、今回の結果では Prof. 4 および 5 の可給態  $P_2O_5$  含有率を除けば、いずれも山腹斜面下部は斜面上部より表層土のC—N率の減少、可給態  $P_2O_5$  および  $K_2O$  含有率、置換性 Ca および Mg 含有率、同飽和度は増大を示し、針葉の養分濃度との関連性が認

められた。上述のカラマツ幼齡林の場合には、湿性ポドゾルのために土壌の化学的性質は不良で、斜面の上部と下部では明りょうな相違が認められなかったために、針葉の養分濃度との関連性は明らかではなかった。さらに、カラマツ壮齡林の新鮮な落葉の場合には同じ斜面ごとに比べると、一部の例外を除けば一般的に表層土についても、斜面下部は上部よりC—N率の減少、可給態  $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 、 $CaO$  および  $MgO$  含有率は大きかった。

このように、同じ山腹斜面ごとに比べると、多少の例外はあるが、全般的には土壌の化学的性質と針葉の養分濃度との関連性は、かなりの普遍性を有すると見なしてさしつかえないように思われる。

しかしながら、近接地域について総合すると、前述のように大谷山および箱田山国有林の場合も、三木山国有林の場合も、表層土の化学的性質と針葉の養分濃度との関連性は明らかではなかった。また、前述のカラマツ壮齡林の新鮮な落葉について、同じ樹齡ごとに比較した場合も、かなりの例外が認められた。

さらに、三木山国有林の  $B_0$  および  $B_F$  型土壌の表層土の置換性  $Ca$  および  $Mg$  含有率、同飽和度が、大谷山および箱田山国有林の  $B_0$  型土壌に比べるときわめて低い値を示したにもかかわらず、針葉の  $Ca$  および  $Mg$  濃度がほぼ同程度の値を示したことは注目し値しよう。

このような事実は、前述のように大谷山および箱田山国有林におけるアカマツの成長と土壌の諸性質との関連性が、同じ山腹斜面ごとに比較した場合に比べて、全地域について総合した場合には、かなり多くの諸性質に関連性が認められなかったことも、多分に類似性が認められた。

これらの点は上述のアカマツの成長と土壌の化学的性質の関係の場合と同様に、土壌の可給態養分の測定方法にもなおかなりの問題点が残されているとしても、葉分析によって示される林木の栄養状態は、土壌中に現存する可給態の養分量だけではなく、山腹斜面に沿って流動する水に含まれている養分の林木に対する供給もあわせて検討することの必要性を示しているように思われる。

## 7. お わ り に

1. この報文は、兵庫県神戸営林署管内三木山国有林の  $BA$ 、 $B_0$  および  $B_F$  型土壌、広島県福山営林署管内大谷山および箱田山国有林の  $B_0$  型土壌3か所、 $B_0(d)$  型土壌2か所および  $BA$  型土壌の合計9か所の13～18年生のアカマツ林を対象として、葉分析の成績と成長および土壌条件の関係について検討を加えた結果を報告したものである。

2. 三木山国有林はいずれも第三紀層を母材とする未熟な土壌で、かなりの強酸性を呈し、置換性塩基含有率および同飽和度はいちじるしく低く、化学的性質は不良であった。また、各土壌型間の化学的性質は明りょうな相違を示さなかったが、透水指数に示される土壌の理学的性質は  $B_0 > BA > B_F$  型土壌の順に低下を示した。

3. 同国有林のアカマツの樹高成長は  $B_0 > BA > B_F$  型土壌の順にかなりの相違を示したが、化学的性質とは関連性を示さないで、透水指数に示される土壌の理学的性質と明りょうな関連性が認められた。

4. 大谷山および箱田山国有林は、いずれも花崗岩を母材とする未熟な土壌であったが、とくに  $B_0$  型土壌ではかなり  $pH$  が低く、C—N率が大きかったことが注目された。

5. 同国有林のアカマツの樹高成長は、 $B_0 > B_0(d) > BA$  型土壌の順に低下し、また、同じ山腹斜面ごとに比較すると、アカマツの樹高成長は透水指数、表層土の  $pH$ 、C—N率、可給態  $P_2O_5$  および  $K_2O$  含有率、置換性  $Ca$  および  $Mg$  含有率、同飽和度等と関連性が認められたが、全体について総合すると、 $pH$ 、

置換性CaおよびMg含有率, 同飽和度がかなり密接な関連性を示したに過ぎなかった。透水指数, C—N率は地形的因子の影響を強く受け, 集積地形のB<sub>d</sub>型土壌グループと溶脱地形のB<sub>d</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌グループに大別され, 大まかにグループごとには関連性を示したが, 各グループ内では関連性が見られなかった。

6. アカマツの針葉の組成と樹高成長との関係は,

i) 三木山国有林では, N, P, K濃度は樹高成長の増大にともなって増大し, Ca濃度は関連性は明らかでなく, Mg濃度は樹高成長の増大にともなって減少を示した。

ii) 大谷山および箱田山国有林では, 同じ山腹斜面ごとに比較すると, N, P, K, CaおよびMg濃度は樹高成長の増大にともなって増大した。しかしながら, 全体について総合すると, NおよびP濃度は樹高成長に比例して増大したが, KおよびCa濃度は地形的因子の影響を強く受け, 集積地形のB<sub>d</sub>型土壌グループは溶脱地形のB<sub>d</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌グループより大きく, 大まかにグループごとには関連性を示したが, 各グループ内では関連性が見られず, また, Mg濃度は関連性を示さなかった。

7. 針葉の養分比としてC/N, N/P, N/K, K/P, N/Ca比を検討したが, 三木山国有林ではC/N比の減少, N/K比の増大が, 大谷山および箱田山国有林ではC/N比, N/P比の減少が樹高成長の増大にともなって認められたにすぎなかった。また, 全調査林分について総合すると, N/P比は他の養分比に比べると変化の幅がもっとも小さいことが注目された。

8. 針葉の養分濃度と土壌の化学的性質との関連性は,

i) 三木山国有林では, Ca濃度は地形的因子の影響を受け, 集積地形および非溶脱地形のB<sub>d</sub>およびB<sub>f</sub>型土壌ではB<sub>A</sub>型土壌より大きかった以外は, 関連性が認められなかった。

ii) 大谷山および箱田山国有林では, 同じ山腹斜面ごとに比較すると, 針葉の各養分濃度は表層土のC—N率, 可給態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>O含有率, 置換性CaおよびMg含有率および同飽和度に関連性を示したが, 全体について総合すると, KおよびCa濃度が地形的因子の影響を受けて, 集積地形のB<sub>d</sub>型土壌が溶脱地形のB<sub>d</sub>(d)ないしB<sub>A</sub>型土壌より大きかった以外はいずれも関連性が認められなかった。

稿を終わるにあたり, 多大のご配慮をいただいた元関西支場長徳本孝彦技官に心からの感謝をささげるしだいである。

## 文 献

### Literature cited.

- 1) ALWAY, F. J., W. J. METHLEY, and O. R. YOUNG : Soil Sci., 36, pp. 399~407, (1933)
- 2) BARD, G. E. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 10, pp. 419~22, (1945)
- 3) CHANDLER, R. F. : J. Forest., 35, pp. 27~32, (1937)
- 4) COILE, T. S. : Ecol., 14, pp. 323~333, (1933)
- 5) 河田 弘 (KAWADA, H.) : 林野土調報 (Forest soils of Japan), 8, pp. 67~80, (1957)
- 6) 同上 (ibid.): 同上 (ibid.), 8, pp. 81~124, (1957)
- 7) 同上 (ibid.): 同上 (ibid.), 10, pp. 1~108, (1959)
- 8) 同上 (ibid.): 林試研報 (Bull. Gov. For. Exp. Stat.), 136, pp. 1~33, (1962)
- 9) 同上 (ibid.): 同上 (ibid.), 162, pp. 143~162, (1964)
- 10) LEYTON, L. : Plant and soil, 7, pp. 167~177, (1956)

- 11) *ibid.* : *ibid.*, 9, pp. 31~48, (1957)
- 12) *ibid.* : The Physiology of forest trees (edited by K. V. THIMANN), New York, pp. 323~345, (1957)
- 13) LUTZ, H. J. and CHANDLER, R. F. Jr. : Forest soils, New York, (1951)
- 14) MACHARGUE, J. S. and W. R. ROY : Bot. Gaz., 94, pp. 381~393, (1932)
- 15) 真下育久 : 林野土調報, 11, pp. 1~182, (1960)
- 16) 同上 : 森林立地, 8 (1) pp. 32~33, (1961)
- 17) 中村 健 (NAKAMURA, T.) : 信大農紀要 (Jour. Fac. Agr. Shinshu Univ.), 2(4), pp. 377~419, (1961)
- 18) OVINGTON, J. D. : Forestry, 29, pp. 22~28, (1956)
- 19) PEECH, M. : U. S. Dept. Agr. Circular, No. 757, (1947) [船曳真吾・青峯重範 : 土壤分析法, 養賢堂 (1953) より引用]
- 20) PIPER, C. S. : Soil and plant analysis, New York, (1950)
- 21) 芝本武夫・田島俊夫 (SHIBAMOTO, T. and TAJIMA, T.) : 日林誌 (Jour. Jap. Forest.), 43, pp. 55~61, (1961)
- 22) SNELL, F. D. and C. T. SNELL : Colorimetric analysis, Vol. 2, New York, (1961)
- 23) WALKER, L. C. : Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 19, pp 233~236, (1955)

---

**Studies on *Pinus densiflora* Forest Soils in Kansai Area. Part I.**

**A study on correlations among nutrient concentrations of**

***Pinus densiflora* needle, growth and soil conditions.**

Hiroshi KAWADA, Akio MARUYAMA and Tadashi KINUGASA

(Résumé)

**1. Introduction**

The forest soil scientists have expended much effort to get information on relations between the growth of the main coniferous tree species and the site—principally soil—conditions in this country. Their cardinal opinion is as follows : The site—principally soil—conditions and the adaptabilities of the main coniferous species to them are inherent, and the former are rather impossible to improve in most cases. Therefore, the selection of the most suitable species on a given forest soil according to its site conditions is the first principle for ensuring its utmost forest production.

The authors are of the opinion that information on the nutrient physiology of the forest trees, such as their nutrient requirements, the correlations among their nutrient conditions, their growth and the soil conditions, etc., would be necessary for the further progress of forest soil science. Not only that, it would be useful also for the further progress of forest fertilization technique prevailing in recent years in this country, too.

The nutritive diagnoses of forest trees by the foliar analyses have often been attempted by some authors in this country in recent years. However, compared with the works in

some European and American countries, relatively little foliar analyses of forest trees have been reported. To establish solid conceptions on the nutritive conditions of forest trees by the foliar analysis, very abundant data from many points of view would be necessary in future.

In this paper, the authors discuss the correlations among the nutrient concentrations of *Pinus densiflora* (Akamatsu) needles, the growth and the soil conditions. *Pinus densiflora* forests are widely distributed and they hold an important position in forest production in Japan's Kansai Area, especially along the Inland Sea coastal region.

## 2. Sampling forest

The sampling forests were selected in two different regions, namely, Miki-yama National Forest in Hyogo Prefecture, and Ōtani-yama and Hakoda-yama National Forest in Hiroshima Prefecture. Their parent materials of soil, types of soil and site conditions are shown in Table 1.

## 3. Method

### 3-1. Survey in the field.

The annual height growth and the diameter at breast height of the stands were measured on those trees in plots of 50~100 m<sup>2</sup>. The needles analysed were 1-year-old and they were picked out from the uppermost shoots in late October or at the beginning of November.

### 3-2. Analytical method.

The analytical methods of soil and needle were as follows :

Carbon was determined by the chromic acid titration method<sup>8)</sup> and nitrogen by KJELDAHL's method. Cation exchangeable capacity, exchangeable Ca and Mg were determined by PEECH's method<sup>19)</sup>. Ca and Mg were determined by the E.D.T.A. method. Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O contents were extracted by 0.2N HCl. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was determined by the molybdenblue method colorimetrically (HClO<sub>4</sub> acidic)<sup>22)</sup> and K<sub>2</sub>O by the flame photometer. The mineral elements of the needle were determined by the above-mentioned methods after wet ashing by HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub><sup>20)</sup>. Ca and Mg in the needle were determined after the removal of Mn by (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S.

The physical properties of soil in natural condition and the water percolation rates were determined on the core soil (4cm×100cm<sup>2</sup>).

## 4. Soil

### 4-1. Result.

The descriptions of profile, the vegetation, the physical properties in natural condition, the chemical properties and textures are shown in Table 2~6 and Fig. 1.

### 4-2. Discussion.

#### 4-2-1. Miki-yama National Forest.

The parent material of soil in this district was the tertiary rocks. The reliefs were gently sloping and the lengths of the mountain slope were short. Naturally grown pine (*Pinus densiflora*) forests occupied the most part of this national forest. Their growth was very inferior. They were the typically very poor productive forests. The tops of the mountain slope were flat or very gently sloping plateaus and Br-soil (wet brown forest soil)

was distributed. BA-soil (dry brown forest soil) usually appeared from the ridges of the mountain to most parts of the mountain slope. Bd-soil (moderately moist brown forest soil) occupied the narrow parts of the lower part of the mountain slope.

All soils examined were clayey, poorly humus containing and immature. The water percolation rates of the Bd-soil (colluvial soil) was notably excellent, but that of the BA-soil (residual soil) was depressed by the development of the mycelial layer (Am layer). Furthermore, BF-soil (residual soil) was extremely inhibited by the remarkably compact or nearly concreted lower horizons. These differences of the water percolation rate among the types of soil according to their mode of formation well agreed with the information usually acknowledged by the forest soil scientists in this country. The inferior chemical properties of the examined soils were shown by their high C-N ratios, low pH values, low exchangeable CaO and MgO contents and their rates of saturation of A horizons (surface horizon).

It was worthy of note that no distinguished difference of the chemical properties among the types of soil examined was recognized. KAWADA<sup>6)7)</sup>, one of the authors, previously reported on the differences of the chemical properties of the types of soil and the occasions that these differences were induced. As he pointed out, the inferior chemical properties of the BA-soil were presupposed. However, it may be said that the slightly higher C-N ratios of A horizons of Bd- and BF-soils than of BA-soil were unusual. Furthermore, the very low rates of exchangeable CaO and MgO saturations of A horizons of Bd- and BF-soils were exceptional, too. The elucidation of these causes was left for future investigation. The available (0.2 N HCl soluble)  $P_2O_5$  contents were very low but the available  $K_2O$  contents were relatively high in all soils examined.

#### 4-2-2. Ōtani-yama and Hakoda-yama National Forest.

The parent material of soils in this district was the granite. The lengths of the mountain slope were relatively short. Most parts of these national forests were occupied by naturally grown pine forests, and the growth of the pine was relatively superior as a whole. The BA-soil (residual soil) distributed on the ridges of the mountain; BA- (residual soil) or Bd(d)-soils (sub-type of Bd-soil wherein the granular or nutty structures develop in A horizon, creep soil) distributed on the middle~lower parts of the mountain slope; and the lower parts of the mountain slope~valley floors were occupied by the Bd-soil (colluvial soil).

All of the soils examined were sandy, poorly humus containing and relatively immature. Comparing the surface horizons of the Bd-soil with the one of the BA- or Bd(d)-soils on the same mountain slope, the more excellent water percolation rate, lower C-N ratio, more abundant available  $P_2O_5$  and  $K_2O$ , exchangeable CaO and MgO contents, higher rates of exchangeable CaO and MgO saturation and higher pH value of the A horizon of the former than that of the latter were recognized with the exception of the available  $P_2O_5$  contents of Prof. 4. and 5. These differences of the physical and chemical properties among the types of soil on the same mountain slope agreed well with the generally acknowledged information previously obtained by the one of the authors<sup>6)7)</sup> and some others. However, on all examined soils, the following facts attracted the authors' attention: Their water percolation rates, except that of Prof. 5 and 7, were fairly small and their physical properties seemed to be not superior on the whole. On the surface horizons of the Bd-soils, their pH values were fairly low and their C-N ratios were relatively high in comparison with the usual standard levels of the same type of soil. The available  $P_2O_5$  contents were low but the available  $K_2O$  contents were relatively high in the surface horizons of all the examined soils. The fact that the rates of the exchangeable



CaO and MgO of the surface horizon of Prof. 7, B<sub>d</sub>-soil, were much lower than that of the other same type of soil under the similar site conditions and that they were nearly equivalent to that of B<sub>A</sub>-soil on the upper part of the same mountain slope was exceptional. The elucidation of its cause was left for future study.

## 5. Correlations between the height growth of pine and the soil conditions.

The growth of pine of the examined forests were shown in Table 7 and Fig. 2.

The correlations among the height growth and the water percolation indexes\* and the above-mentioned chemical properties of the surface horizons of the soil that well reflected the influences of the environmental factors were shown in Fig. 3. As the standard of the comparison, the heights (m) of the 15-year-old\*\* were used.

### 5-1. Miki-yama National Forest.

The height growth of pine was superior in B<sub>d</sub>-soil. It decreased in the following order as B<sub>d</sub>->B<sub>A</sub>-> B<sub>F</sub>-soil. The one in B<sub>F</sub>-soil was extremely poor. As shown in Fig. 3, the growth of pine was related closely to the water percolation index of the soil. However, the relation between the growth and the chemical properties of the surface horizons of the soil was not recognized.

### 5-2. Ōtani-yama and Hakoda-yama National Forest.

Prof. 5 was the mixed forest of naturally grown and planted pines. In the Kansai area, the pine forests were usually regenerated by naturally grown seedlings. The opinion that the growth of the planted pine forests was usually less than the naturally regenerated one was accepted among the foresters. In Prof. 5, the plantation of the pine seedlings had been done as a pilot test. At that time the 1-year-old pine seedlings were planted in a large hole, 1×1 m and 0.3 m in depth, without shortening of their roots. The seedlings that had been naturally regenerated until at that time of plantation were reserved. At the time of the authors' survey, the greater part of the planted stands were oppressed by the naturally grown one, as the former were younger than the latter. It is worthy of note that the growing process of the planted stands was almost the same as that of the naturally grown one as shown in Fig. 2.

Comparing the height growth of pine on the same mountain slope, respectively, it was more excellent on the lower part (B<sub>d</sub>-soil) than on the upper part (B<sub>d</sub>(d)- or B<sub>A</sub>-soil). These facts were related to the superiority of the water percolation index and the chemical properties of the surface horizon of the former than of the latter.

Summarizing on the height growth of pine in these districts on the whole, it decreased in the following order as B<sub>d</sub>-> B<sub>d</sub>(d)-> B<sub>A</sub>-soil. As shown in Fig. 3, the height growth related closely to the pH value, exchangeable Ca and Mg contents and their rates of saturation of the surface horizon of the soil. However, no clear relation was recognized between the height growth and the available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O contents. The relations between the height growth,

---

\* The water percolation index was calculated as follows : The water percolation rates (cc/minute) of all horizons to 50 cm in depth multiplied by their thickness (cm), respectively, and they were summed up.

\*\* The height growth of pine in Prof. 1, the planed one of Prof. 5 and Prof. 8 were estimated by the growing process shown in Fig. 2.

and the available  $P_2O_5$  and  $K_2O$  contents. The relations between the height growth and the C-N ratio of the surface horizon of the soil and the water percolation index were recognized in a broad sense only in the case that the examined forests were divided into two groups attaching importance to their microtopography, i. e. the upper part of the mountain slope and the lower part of it.

### 5-3. Discussion.

Summarizing the results on all examined forests, the growth of pine decreased in the following order as  $Bd \rightarrow Bd(d) \rightarrow BA \rightarrow Bf$ -soils. It related closely to the differences of the type of soil, i. e. the differences of the humidity-circumstance of the soil mainly induced by the microtopographical effects.

On the  $Bf$ -soil located on the flat plateau on the mountain top, the root rot of pine was induced by the temporarily or seasonally very humid moisture condition of the soil with the character of stagnating water (water-logged condition). This elucidation was endorsed by its poor water percolation index and the ferruginous mottling of its lower horizons. Its extremely poor height growth of pine would be affected by its root rot.

On other types of soil located on the mountain slope, the more the humidity-circumstance was arid, the more inferior the growth of pine.

Generally speaking, the differences of the humidity-circumstance of the soil (type of soil) on the mountain slope was concurrently attended by the differences of the physical and chemical properties of the soil. The differences of the physical properties clearly shown by the water percolation indexes were induced by the differences of the mode of formation affected by the microtopographical factors. Those of the chemical properties were induced by the organic matter decomposing activities of the soil microorganisms affected by the soil humidity-circumstance and the leaching of the soil bases from the ridge or the upper part of the mountain slope and the accumulation of them in the lower part of it affected by the movement of soil water along the mountain slope, as KAWADA<sup>6)7)</sup> one of the authors, discussed in detail, previously.

However, as stated above, the height growth of pine was principally affected by the physical properties but not by the chemical one of soil between the  $BA$ - and  $Bd$ -soil in Miki-yama National Forest. Furthermore, in Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest, the soil factors affecting the height growth of all the examined forests were fairly limited in comparison with those of the same mountain slopes. From these results, the following opinion was summarized that the soil factors affecting the height growth of pine were fairly different according to the mode of comparison, such as the differences of the region, parent material, extent of comparison and so on.

## 6. The correlations among the nutrient concentrations of pine needle, height growth of pine and the soil conditions.

### 6-1. Result.

The carbon and the nutrient concentrations of pine needle were shown in Table 8.

The nutrient concentrations except the carbon were fairly different among the examined forests. The relations among the nutrient concentrations, the height growth and the chemical properties of the soil were shown in Fig. 3~6. In these cases, the height growth of a 15-year-old was used as the standard of comparison. The C-N ratio of the surface horizon of soil was used as the nitrogen availability index of the soil. The available  $P_2O_5$  and  $K_2O$ ,

exchangeable Ca and Mg contents, and their rates of saturation of the surface horizon of soil were used as the P, K, Ca and Mg availability indexes of the soil, respectively.

#### 6-2. Miki-yama National Forest.

The N, P and K concentrations of the pine needle were decreased in the following order as B<sub>d</sub>-> B<sub>A</sub>-> B<sub>F</sub>-soil and they were closely related to the height growth. The Ca concentrations of the needle were decreased as B<sub>F</sub>-> B<sub>d</sub>-> B<sub>A</sub>-soil and the Mg concentrations as B<sub>F</sub>-> B<sub>A</sub>-> B<sub>d</sub>-soil. No clear relation was recognized between the Ca concentrations and the height growth, but the Mg concentrations were decreased according to the increments of the height growth.

On the relation between the nutrient ratios of the needle and the height growth, the decreases of C/N ratio and the increments of N/K ratio were in accordance with the increments of the height growth as shown in Fig. 6. However, no clear relation was recognized among the other ratios, such as N/P, K/P and N/Ca ratios, and the height growth.

Nor was any clear relation recognized on the nutrient concentrations and the chemical properties of the surface horizon of the soil. However, the Ca concentration of the needle was affected by microtopographical factors. It was more abundant in B<sub>d</sub>- and B<sub>F</sub>-soils, i. e. the soil bases accumulating or non-illuviating microtopographies, than in B<sub>A</sub>-soil, i. e. the soil bases illuviating one.

#### 6-3. Ōtani-yama and Hakoda-yama National Forest.

Comparing the nutrient concentrations of the pine needle on the same mountain slope, that of the B<sub>d</sub>-soil located on the lower part of it was more abundant than that of the B<sub>d</sub>(d)- or B<sub>A</sub>-soils on the upper part of it. These facts showed that the nutrient concentrations of needle were increased according to the increments of the height growth.

However, summarizing on all the examined forests in these district, the relations between the nutrient concentrations of needle and the height growth as shown in Fig. 4 were fairly different in comparison with the above-mentioned one on the same mountain slope. The N and P concentrations of needle related fairly to the height growth and they increased according to the increments of the height growth. On the K and Ca concentrations, they did not closely relate to the height growth. However, they were divided roughly into two groups microtopographically, such as B<sub>d</sub>-soil group and B<sub>d</sub>(d)- and B<sub>A</sub>-soils group in a broad way. They were more abundant in the former group that located on the lower part of the mountain slope than in the latter one on the upper part of it. Roughly speaking, it could be said that they related to the increments of the height growth, however, on the Mg concentrations of the needle, no clear relation with the height growth was recognized or microtopography.

On the nutrient ratios, the decreases of the C/N and N/P ratios according to the increments of the height growth were clearly recognized ; but the other ratios, such as N/K, K/P and N/Ca were not related to the height growth.

The relations between the nutrient concentrations of the needle and the chemical properties of the surface horizon of the soil were not recognized. However, the K and Ca concentrations of the needle were affected by the microtopographical factors as in the above-mentioned Miki-yama National Forest. They were more abundant in the B<sub>d</sub>-soil group, the eluviating microtopography of the soil bases, than in B<sub>d</sub>(d)- and B<sub>A</sub>-soils group, the illuviating microtopography of them.

#### 6-4. Discussion.

6-4-1. Relation between the nutrient concentrations of the tree leaves and the growth.

On this problem, the previously reported information was as follows : SHIBAMOTO and TAJIMA<sup>21)</sup> reported that the height growth of the 50-year-old *Chamaecyparis obtusa* (Japanese cypress) increased in the following order as BA-< BB-< BD-soil, and the N and P concentrations of its needle increased, where as the Ca concentration decreased in the same order, but the K concentration showed no clear relation. NAKAMURA<sup>17)</sup> recognized that the N and K concentrations of the needle of the 10~50-year-old larch were closely related to its height growth, but no clear relation was recognized between the P and Ca concentrations of the needle and the height growth. LEYTON<sup>10)11)12)</sup> pointed out that the N and K concentrations of the needle of the young Japanese larch were directly related to its height growth, but the P concentration was indirectly related to its height growth as it related to its K concentration. One of the authors, KAWADA<sup>9)</sup>, reporting on the nonfertilized plots in the fertilizer trial on young larch on podzolic soil, stated that the N, P, Ca and Mg concentrations of its needle were more abundant on the lower part of the mountain slope than on the upper part of it in every year examined, and that its annual growth was more excellent in the former than in the latter, but the relation between the K concentrations of its needle and its annual growth showed no certain tendency.

On the freshly fallen leaves, as all the leaves were well mixed, it was a little different from the case of the foliage analysis in which the leaves on the uppermost shoot reflecting the nutrient condition of the tree most exactly were analysed. One of the authors, KAWADA<sup>8)</sup>, recognized the following facts on the aged larch forests that the N, P, K and Ca concentrations of their freshly fallen needle were more abundant and their Mg concentration was less on the lower part than on the upper one of the same mountain slope, and their growth was more excellent on the former than on the latter.

Summarizing the above-mentioned information, the relation between the N concentration of the leaves and the height growth was clearly recognized in all cases, but the one between the other nutrient concentrations and the height growth was different case by case.

In this study, the results on the same mountain slopes in Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest, a similar relation to the above-mentioned one of the young larch forest on the podzolic soil and the freshly fallen needle of the aged larch with a few exceptions of a part of the nutrient concentrations was obtained.

Summarizing the results on all the examined forests in this study, the following information was obtained : that the N and P concentrations of the pine needle increased according to the increments of its height growth, but the K, Ca and Mg concentrations were not clearly related to its height growth. However, the K and Ca concentrations of the needle in Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest and the Ca concentration in Miki-yama National Forest were affected by the microtopographical factors, and they were more abundant on Bc- or Bf-soil group, the soil bases accumulating or non-illuviating microtopography, than on Bd(d)- or Ba-soil group, the illuviating soil bases. These facts suggested that on the mountain slope, as these microtopographical factors affected the humidity-circumstance, the physical and chemical properties of the soil on the other hand, K and Ca concentrations of the needle were indirectly related to the height growth of the pine usually. Furthermore, the relation between the Mg concentrations of the needle and the height growth would be obscure usually. The different characters of the Mg concentration with the Ca one on the nutrient physiology of the tree would be very interesting as the chemical properties of these two elements in the soil are usually similar.

On the nutrient ratios of all examined needles, it was interesting to observe that the N/P

ratios 11.2~14.3 varied in the more narrow range than the other ratios, such as N/K, 1.3~2.5, K/P, 4.9~10.1, and N/Ca, 2.9~5.6. It is worthy of note also that the ratios of the N and P concentrations of the needle showed no marked differences; nevertheless, their concentrations were closely related to their height growth, and they were remarkably varied in accordance with their height growth.

6-4-2. On the relation between the nutrient concentrations of the needle and the soil conditions.

On this problem, many authors reported the following interesting information. Ovington<sup>18)</sup> pointed out that the P concentrations of some coniferous and deciduous tree leaves related to the exchangeable  $P_2O_5$  contents of the soil, and that their Ca concentrations were more abundant on the calcareous soil than on the acid soil. Bard<sup>2)</sup> recognized the relation between the P and K concentrations of the several coniferous and deciduous tree leaves and the  $P_2O_5$  and  $K_2O$  levels of the soil, and a little decrease of the Ca concentrations in accordance with the increments of the soil acidities, but no relation between the N concentrations of the leaves and the  $NO_3-N$  and  $NH_4-N$  levels of the soil. Walker<sup>23)</sup> found that the K concentrations of some coniferous and deciduous tree leaves related to the exchangeable  $K_2O$  contents of the surface horizons of the soil. MacHargue and Roy<sup>14)</sup> pointed out that the Ca concentrations of the tree leaves that grew commonly on the acid soil were increased as they grew on the calcareous soil. Lutz and Chandler<sup>13)</sup> were of the following opinion on this subject: The N, K and P levels in the soil seemed to influence the nutrient concentration of tree leaves of a given species to a greater extent than do Ca and Mg. The N concentrations of tree leaves seemed to be rather directly associated with the so-called available N in the soil, but the P concentration did not appear to vary greatly in trees growing on different sites. Although Ca concentrations of tree leaves did not seem to be appreciably influenced by variations within the range of Ca content usually encountered in soil, it should be more abundant on the calcareous soil than on acid soil.

As mentioned above, most of the results of the European and American authors usually recognize the relation between the P, K and Ca concentrations of the tree leaves and soil chemical properties. The authors were of the opinion that these results seemed to be obtained by the comparisons with the forest trees growing on the soils in which parent materials of soil and fertilities were fairly different, such as the calcareous soil and the acid soil, etc. Furthermore, it could be that the acid soil meant the more acidic soil in comparison with the calcareous soil, and the soils having pH values of about 6.0 were contained in the acid soil group. In this country, the forest soils are usually acidic, and the soils having such pH values belong to the most basic soil group. The conceptions on the acid soil group seemed to be remarkably different between the forest scientists of the native and foreign countries. For that reason the soil conditions of the above mentioned results seem to be fairly different from those of this country. As described below, the influences of the soil conditions induced by the differences of the type of soil in the neighbouring localities, i. e. the differences of the conditions affected by the microtopographical factors, on the nutrient concentrations of the tree leaves were the main objects of the study by the majority of the authors in this country, consequently, the authors have difficulty in getting certain information on this problem from the results of the native and foreign authors.

In this country, the following results were obtained pertaining to this problem inclusive of the above-mentioned results on the nutrient concentrations of the tree leaves and the growth.

On the *Chamaecyparis obtusa* by SHIBAMOTO and TAJIMA<sup>21)</sup>, no certain relation between the total N, available (0.2 N HCl soluble)  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  and CaO contents and the N, P, K and Ca concentrations of the needle was recognized. On the aged larch forests, one of the authors, KAWADA<sup>8)</sup>, recognized the increments of the N, P and Mg concentrations of the freshly fallen needles on all examined forests according to the decreases of the C/N ratio of the surface horizon, the increments of the available  $P_2O_5$  contents and the decreases of the available MgO contents of the horizons to a depth of 50cm from surface. Furthermore, he pointed out that the K and Ca concentrations seemed rather affected by the microtopographical factors, and that they were more abundant in the eluvial microtopography, i. e. the lower part of the mountain slope, than in the illuvial one, i. e. the ridge or upper part of it.

On the fallen leaves, the relation between their Ca concentrations and the Ca contents of the soil were pointed out by CHANDLER<sup>3)</sup>, COILE<sup>4)</sup> and AIWAY et al<sup>1)</sup>.

In this study, as above-mentioned, comparing the results on the same mountain slope in Ōtani-yama and Hakoda-yama National Forest, the nutrient concentrations of the pine needle were more abundant on the Bd-soils located on the lower part of the mountain slope than on the Bd(d)- or BA-soils located on the upper part of it. These relations between the nutrient concentrations of the needle and the microtopographical factors had been clearly recognized on the young larch forest on the podzolic soil<sup>9)</sup> except the K concentration, and on the freshly fallen needles of the aged larch forests<sup>8)</sup> in comparisons on the same mountain slopes except the Mg concentrations. In these cases, the differences of the exceptional nutrient concentrations between the lower and upper parts of the same mountain slope were very slight, so it could safely be said that the above-mentioned effects of the microtopographical factors on the mountain slope on the nutrient concentrations of the tree leaves were acknowledged as general information.

In this study on the relation between the chemical properties of the soil and the nutrient concentrations of the needle on the same mountain slope, among the examined forests with the exception of the available  $P_2O_5$  contents of the Prof. 4 and 5, the decreases of the C-N ratio and the increments of the available  $P_2O_5$  and  $K_2O$  contents, exchangeable CaO and MgO contents, and their ratios of saturation in the lower parts of the mountain slope as against the upper one, were clearly recognized, and these chemical properties of the soil were clearly affected by the microtopographical factors. As to the young larch forests on the podzolic soil, as the soil belonged to the soil group in which the chemical properties were very inferior, the differences of the chemical properties between the upper and lower parts of the mountain slope were not clearly recognized. But on the freshly fallen larch needles, the decreases of the C-N ratio, the increments of the available  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CaO and MgO contents of the surface horizons of soil on the upper parts of the mountain slope were clearly recognized with a few exceptions, in comparisons with the lower part.

It could be safely said that, although there were a few exceptional cases, the chemical properties of soil on the same mountain slopes were usually related to the nutrient concentrations of the tree leaves.

However, summarizing the data in the neighbouring district and applying to all examined forests in Ōtani-yama and Hakoda-yama or Miki-yama National Forest, respectively, the chemical properties of the surface horizons of the soil that closely related to the nutrient concentrations of the tree leaves were fairly limited in comparison with that on the same mountain slope. On the freshly fallen larch needles, even comparing with the same aged forests, fair exceptions were recognized, too.

These facts were similar in that the factors related to the height growth of the pine were fairly limited on all the examined forests in comparisons made with those on the same mountain slope.

It was worthy of note that although the exchangeable Ca and Mg contents and their rates of saturations of the surface horizons of the B<sub>d</sub>- and B<sub>f</sub>-soils in Miki-yama National Forest were remarkably less than those of the B<sub>d</sub>-soils in Ôtani-yama and Hakoda-yama National Forest, their Ca and Mg concentrations of the needle were nearly equivalent.

These facts suggested the following opinion bearing a similarity to the relation between the chemical properties of the soil and the height growth of the pine, that although we were not able to determine the available nutrient contents of the soil for the forest stands exactly, the nutrient conditions of them shown by their foliage analyses related to not only the nutrient contents of the soil but also to the one obtaining in the moving water along the mountain slope from the ridge or upper part to the lower part, too.

#### 7. Acknowledgement

The authors wish to express their gratitude to Mr. T. TOKUMOTO, Director of Kansai Branch of this Experiment Station, for his encouragement in carrying out this work.