

クロマツ幼齡林施肥試験〔広島県西条営林署

姥ヶ原国有林〕(第2回中間報告)

関西地方における林地施肥試験 (第6報)

衣笠 忠司⁽¹⁾・河田 弘⁽²⁾

Tadashi KINUGASA and Hiroshi KAWADA : Fertilization on Young
Pinus Thunbergii Forest in Ubagahara National Forest
 (The Secondary Progress Report)
 [Studies on Forest Fertilization in Kansai Area (Part 6)]

要 旨：この報告は広島県西条営林署管内の姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林施肥試験地の第2回中間報告として、設定後第4～11年までの8年間の結果をとりまとめたものである。

第4～7年間は施肥区は引き続き良好な成長を維持し、7年後の成長は施肥区は無施肥区と比べると樹高で2.2～2.5倍、直径で3.4～4.1倍に達し、せき悪林地における施肥による成長促進は一応所期の目的を達した。

しかし、試験地の土壌および葉分析の結果では、林木に対する P_2O_5 の供給は施肥区でもなお十分とはいえないように思われ、また、施肥区の成長も肥効指数では高かったが、成長量としてはとくに大きいとはいえなかった。

したがって、第8年度から新しい構想のもとに、 P_2O_5 を多用した場合に成長に及ぼす効果と、9年生(設定7年後)のクロマツ林に新たに施肥を行った場合の効果を検討するために、新しい施肥設計で試験を継続することにした。

第8～11年度の4年間の結果では、新たに施肥を開始した区では、急激な成長増を示し、当初から施肥を継続した区と同程度の成長を示した。しかし、予想に反して P_2O_5 の多用の効果は認められなかった。

第7、9および11年度の葉分析の結果は、施肥にともなって N, P, K, とくに P 濃度の増加が顕著に認められたが、 P_2O_5 の多用の影響は明らかでなかった。

第11年度に標準木を伐採して、各 Plot ごとのクロマツの地上部の養分現存量を明らかにするとともに、 A_0 層についても同様の調査を行い、施肥成分の樹体への吸収、落葉による土壌への還元について、ある程度の資料を得ることができた。また、同時に鉅質土層について化学性の変化を検討するとともに、下層植生の変化についても検討を行った。

1. は じ め に

筆者らが1964年秋に大阪営林局西条営林署管内姥ヶ原国有林1026に林小班(広島県加茂郡大和町)のクロマツ2年生林に施肥試験地を設定してからすでに多くの年月が経過した。この試験地の設定後3年の経過はさきに発表したとおりである⁴⁾。

この試験地のクロマツに対する肥効は、その後も引き続いて顕著に持続し、このようなせき悪林地における施肥による成長促進は、今後の成林に対して明るい見通しを与え、一応当初に予定した目的を達成したといえる。

しかし、前報⁴⁾で述べたように、この試験地の土壌は可給態の P_2O_5 が乏しく、葉分析による栄養診断の結果も林木に対する P_2O_5 の供給は、施肥区においてもなお十分とはいえないように思われた。したが

って、 P_2O_5 の施用量の増大によりさらに大きな肥効が期待された。また、設定後 7 年間の施肥区における各年度ごとの樹高成長量は max. 75 cm に過ぎず、肥効指数はきわめて大きかったが、クロマツ幼齡林の成長量としては、とくにすぐれたものとはい難かった。この点もあるいは上述の P_2O_5 の可給性と関連性があるのではないかと予想された。

さらに、無施肥区の 7 年後（9 年生）の平均樹高は 205 cm および 175 cm に過ぎず、このまま推移すれば将来の成林も困難であろうと予想された。10 年生前後のクロマツのせき悪林に対する施肥試験は、今までの資料が乏しいので、この点を検討する必要性が痛感されていた。

筆者らは以上の諸点を考慮して、この試験地は設定後 7 年間を経過した 1971 年秋をもって当初の試験に区切りをつけ、引き続き上記の諸点を明らかにすることを目的として、以下に述べるように施肥設計を変更して、新しい段階の試験に進むことにした。

今回の報告は、前報⁴⁾と同様の当初の目的に沿って進められた第 4～7 年度（1968 年春～1971 年秋）の結果と、引き続いて新しい構想の下に進められた第 8～11 年度（1972 年春～1975 年秋）の結果を、第 2 回の中間報告としてとりまとめたものである。

2. 施肥および保育

この試験地の設定後 3 年間はせき悪林地であることを考慮して連年施肥を行ったが⁴⁾、その後は事業的な面を考慮して 2～3 年ごとの施肥に改めた。

1969 年 11 月に化成肥料（15-8-8）を 1 本当たり 150 g の割合で、A および A' 区（施肥区）に全面的な地表面散布を行った。

その後前述（1）のような試験計画の変更に基づいて、1971 年および 1973 年秋に A および B 区は尿素化成肥料（20-10-10）を、A' および B' 区には P_2O_5 および K_2O の配合比の高い尿素化成肥料（13-17-12）を、それぞれ N 100 kg/ha を基準として全面的に地表面散布を行った。

各化成肥料の三要素の配合比の関係で、尿素化成肥料（13-17-12）の場合は同（20-10-10）と比べると、 P_2O_5 だけではなく、 K_2O の施用量も大幅に増大した。わが国の森林土壌の天然の養分の供給力は、一般的に N および P_2O_5 の供給力は土壌ごとにかんがりの相違が見られるが、 K_2O の供給力は比較的高い。したがって、施肥した場合も含めて、 K_2O の林木の成長に及ぼす影響は N および P_2O_5 と比べると、一般に小さいと考えられることは、筆者らがすでに指摘してきたところである*。したがって、筆者らは今回は K_2O よりも P_2O_5 の多量施用の影響を重視することが可能であろうと考えている。

この試験開始後の 11 年間の施肥の詳細は Table 1 に示すとおりである。

保育については、下刈りは設定後 5 年間（7 年生）で終了した。ただし、各測定および施肥時に支障となる低木および草本の刈り払いを行った。

3. クロマツの成長経過と成長に及ぼす施肥の影響

各成長測定時におけるクロマツの樹高および直径、各年度別の樹高および直径成長量は Table 2, 3 および Fig. 1, 2 に示すとおりである。

*) この点については文献 6) で詳述してあるので、個々の文献の再引用は省略した。

Table 1. 施肥時期および施肥量 (kg/ha)
Date of fertilization and amount of fertilizer (kg/ha)

時 期 Date	Plot				備 考 Remark
	A	B	A'	B'	
1964年12月 Dec., 1964	37.5-20-20*	—	37.5-20-20*	—	化成肥料 (15-8-8) を施肥
1965年10月 Oct., 1965	37.5-20-20	—	37.5-20-20	—	
1966年10月 Oct., 1966	37.5-20-20	—	37.5-20-20	—	
1969年11月 Nov., 1969	56.3-30-30	—	56.3-30-30	—	
1971年11月 Nov., 1971	100-50-50	100-50-50	100-131-92.4	100-131-92.4	A, B区は尿素 化成肥料 (20- 10-10) を施肥 A', B' 区は同 (13-17-12) を 施肥
1973年11日 Nov., 1973	100-50-50	100-50-50	100-131-92.4	100-131-92.4	
計 Total	369-190-190	200-100-100	369-352-275	200-262-185	

注) * N-P₂O₅-K₂O

Remark) * N-P₂O₅-K₂O

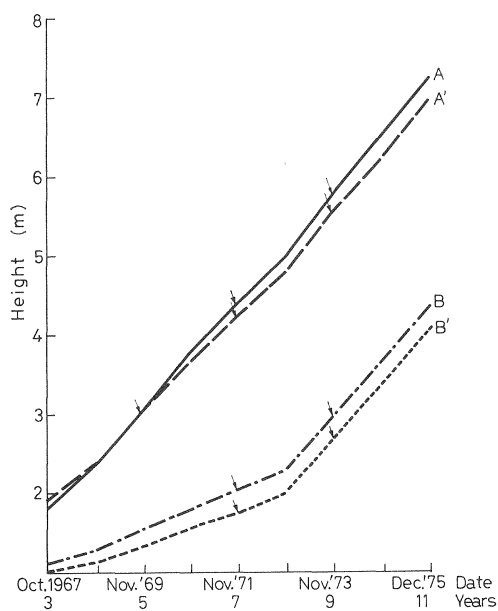


Fig. 1 樹高成長

Growing process of height.

注) 矢印は施肥を示す

Remark: Arrow shows the fertilization

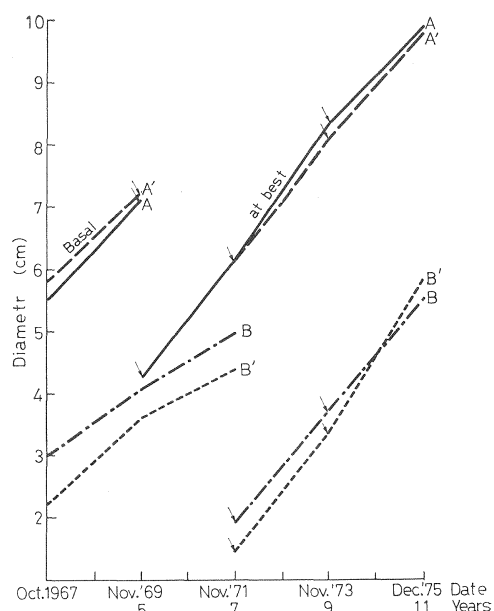


Fig. 2 直径成長

Growing process of diameter.

注) 矢印は施肥を示す

Remark: Arrow shows the fertilization

Table 2. クロマツ幼齡木の樹高および直径
Height and diameter of young *Pinus Thunbergii* stands
[Oct., 1967~Nov., 1971]

プロット Plot	成立本数 Nos. of stand	Oct., 1967		1968	Nov., 1969			1970	Nov., 1971		
		樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	胸高直径 D. B. H.	樹 高 Height	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	胸高直径 D. B. H.
A	$\frac{114}{142}$ (18)	$\frac{185}{125\sim257}$ (164)	$\frac{55}{29\sim76}$ (183)	$\frac{236}{159\sim322}$ (184)	$\frac{305}{221\sim400}$ (201)	$\frac{71}{36\sim96}$ (173)	$\frac{41}{20\sim67}$	$\frac{380}{275\sim500}$ (210)	$\frac{440}{300\sim590}$ (215)	—	$\frac{61}{30\sim100}$ (339)
B	$\frac{100}{122}$ (22)	$\frac{113}{68\sim191}$ (100)	$\frac{30}{16\sim53}$ (100)	$\frac{128}{75\sim221}$ (100)	$\frac{152}{84\sim269}$ (100)	$\frac{41}{21\sim73}$ (100)	—	$\frac{181}{89\sim340}$ (100)	$\frac{205}{93\sim385}$ (100)	$\frac{50}{24\sim87}$	$\frac{18}{0\sim52}$ (100)
A'	$\frac{113}{127}$ (14)	$\frac{192}{101\sim276}$ (188)	$\frac{58}{34\sim80}$ (215)	$\frac{239}{149\sim346}$ (210)	$\frac{305}{191\sim420}$ (229)	$\frac{72}{48\sim100}$ (200)	$\frac{41}{16\sim63}$	$\frac{375}{230\sim510}$ (236)	$\frac{430}{270\sim570}$ (246)	—	$\frac{61}{24\sim94}$ (407)
B'	$\frac{118}{140}$ (22)	$\frac{102}{52\sim194}$ (100)	$\frac{27}{12\sim50}$ (100)	$\frac{114}{57\sim214}$ (100)	$\frac{133}{61\sim271}$ (100)	$\frac{36}{15\sim64}$ (100)	—	$\frac{159}{68\sim321}$ (100)	$\frac{175}{77\sim349}$ (100)	$\frac{44}{18\sim73}$	$\frac{15}{0\sim48}$ (100)

[Nov., 1971~Dec., 1975]

プロット Plot	Nov., 1971		1972	Nov., 1973		1974	Dec., 1975	
	樹 高 Height	胸高直径 D. B. H.	樹 高 Height	樹 高 Height	胸高直径 D. B. H.	樹 高 Height	樹 高 Height	胸高直径 D. B. H.
A	$\frac{440}{300\sim590}$	$\frac{61}{30\sim100}$	$\frac{500}{350\sim660}$	$\frac{580}{410\sim755}$	$\frac{83}{36\sim136}$	$\frac{650}{425\sim580}$	$\frac{725}{470\sim930}$	$\frac{99}{43\sim167}$
B	$\frac{205}{93\sim385}$	$\frac{18}{0\sim52}$	$\frac{230}{115\sim445}$	$\frac{300}{170\sim545}$	$\frac{37}{12\sim79}$	$\frac{365}{230\sim620}$	$\frac{440}{285\sim710}$	$\frac{55}{18\sim106}$
A'	$\frac{430}{270\sim570}$	$\frac{61}{24\sim94}$	$\frac{480}{280\sim650}$	$\frac{555}{305\sim715}$	$\frac{81}{35\sim132}$	$\frac{625}{400\sim800}$	$\frac{700}{430\sim910}$	$\frac{98}{50\sim158}$
B'	$\frac{175}{77\sim349}$	$\frac{15}{0\sim48}$	$\frac{200}{85\sim380}$	$\frac{270}{125\sim465}$	$\frac{35}{10\sim68}$	$\frac{335}{205\sim525}$	$\frac{410}{270\sim620}$	$\frac{58}{21\sim98}$

注) 成立本数……測定/植栽, () 内は今期間中の被害木本数, 樹高……cm, 直径……mm, () 内の数字は肥効指数(施肥区/無施肥区, %)

Remarks) Nos. of stand……Measured/planted. Figures in parentheses are Nos. of damaged stands during 4th~11th year. Height……cm, Diameter……mm, D. B. H.……Diameter at breast height. Figures in parentheses are fertilizer efficiency index (Fertilized/unfertilized, %)

3-1 第4～7年度（1968年春～1971年秋）の成長経過

この試験地におけるクロマツの成長は、無施肥区ではきわめて不良で、第7年度における樹高および胸高直径は205 cm および 18 mm (B区), 175 cm および 15 mm (B'区) に過ぎなかった。これに対し施肥区では440 cm および 61 mm (A区), 430 cm および 61 mm (A'区) に達した。各ブロックごとに比べると、施肥区は無施肥区に対し樹高では約2.2および2.5倍、胸高直径は3.4および4.1倍に達した。また、各年度ごとの樹高成長量は約2.6～3.9倍に達した。

以上のように、施肥によるクロマツの成長量の増大は肥効指数の面ではきわめて顕著であった。しかし、施肥区における設定時から第7年度までの各年度の樹高成長量は max. 75 cm に過ぎず、クロマツ幼齢林の成長としてはとくにすぐれたものといえ難いように思われた。この点は前述1のように、あるいは林木に対する P_2O_5 の供給の不足によるものではないかと予想された。

3-2 第8～11年度（1972年春～1975年秋）までの成長経過

前述1のように、新しい構想のもとに引継がれた第8～11年度のクロマツの成長経過は次のとおりであった。

新たに施肥を開始したBおよびB'区は急激な成長量の増大が認められた。しかし、樹高成長は初年度の第8年度はいずれも25 cm に過ぎず、施肥効果を認め難かったが、2年目以降は急激に成長量が増大し、当初から施肥を継続してきたAおよびA'区とはほぼ同等の成長を示した。直径成長では、2年間隔の測定のために初年度の成長量は確認できなかったが、同様にAおよびA'区とはほぼ同程度の成長を示した。

マツ類に対する肥効は、樹高成長に対しては上述のように次年度以降に現れることは、植栽時ないし植栽後間もない幼齢林についてはすでに明らかにされているが⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、今回のように9年生の林分についても同様の結果が得られた。この点は、マツ類の樹高成長は春～初夏に前年度に吸収された貯蔵養分によって行われる栄養生理的な特性によるものといえる。

肥料成分の施用量の相違がクロマツの成長に及ぼす影響については、AとA'区およびBとB'区をそれぞれ比較すると、第11年度の直径成長量がB'区がB区より大きかった以外は、各年度ごとの樹高および直径成長量はいずれも明りような相違が見られず、当初の予想に反して P_2O_5 および K_2O の多用は肥効に影響を及ぼさなかった。この点は後述4の葉分析の結果に示されたように、第7年度の1971年秋には前報⁴⁾で示した第1～3年度と比べると、施肥区(AおよびA'区)および無施肥区(BおよびB'区)はいずれも頂枝の針葉のP濃度の増大とN/P比の低下が見られ、クロマツの栄養状態、各養分間のバランスがかなり好転し、正常な状態に近づきつつあることが認められたが、このようなクロマツの栄養状態の変化によるものではないかと思われた。

施肥の開始時の林齢の影響については、同じ肥料を施したAおよびB区とA'およびB'区をそれぞれ比較すると、いずれも第8年度の樹高成長以外は、樹高および直径成長量は明りような相違が見られなかった。これらの点は、約10年生の林分に対しても適切な施肥を行えば十分な肥効を期待し得ることを示すものといえよう。

Table 3. 樹 高 お よ び
Height and

プロット	1968 (4th yr.)	Nov., 1969 (5th year)		1970 (6th yr.)	Nov., 1971 (7th year)		
Plot	樹高成長 Height growth	樹高成長 Height growth	根元直径成長 Basal diameter growth	樹高成長 Height growth	樹高成長 Height growth	根元直径成長 Basal diameter growth	胸高直径成長 D. B. H. growth
A	$\frac{51}{25\sim93}$ (340)	$\frac{69}{43\sim95}$ (288)	$\frac{16}{6\sim28}$ (145)	$\frac{75}{10\sim120}$ (259)	$\frac{60}{15\sim100}$ (250)	—	$\frac{20}{5\sim36}$
B	$\frac{15}{4\sim48}$ (100)	$\frac{24}{5\sim73}$ (100)	$\frac{11}{2\sim27}$ (100)	$\frac{29}{5\sim71}$ (100)	$\frac{24}{4\sim55}$ (100)	$\frac{9}{1\sim26}$	—
A'	$\frac{47}{17\sim96}$ (392)	$\frac{66}{28\sim106}$ (347)	$\frac{14}{7\sim25}$ (156)	$\frac{70}{20\sim110}$ (269)	$\frac{55}{20\sim95}$ (344)	—	$\frac{20}{3\sim39}$
B'	$\frac{12}{3\sim42}$ (100)	$\frac{19}{2\sim57}$ (100)	$\frac{9}{1\sim24}$ (100)	$\frac{26}{3\sim54}$ (100)	$\frac{16}{2\sim39}$ (100)	$\frac{8}{1\sim19}$	—

注) 第 2 表の注釈と同じ

4. 針葉の養分濃度および養分比

第 7, 9 および 11 年度の各調査時に頂枝の当年生葉を採取して各養分濃度の分析(葉分析)を行った。

分析方法は試料を $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ を用いて湿式灰化後 K, Ca, Mg は原子吸光法を用いて定量を行ったが、その他はいずれも前報⁴⁾と同様である。

分析結果は Table 4 に示すとおりである。

4-1 第 7 年度(1971 年秋)の結果

第 7 年度の針葉の各養分濃度は、施肥区は無施肥区と比べると, N, P, K および Mg 濃度, とくに P 濃度の顕著な増大が認められたが, Ca 濃度は相違が見られなかった。

このような養分濃度の相違を反映して, 養分比は施肥区は無施肥区と比べると, C/N 比, N/P 比, N/K 比, K/P 比および Ca/Mg 比の減少と N/Ca 比の増加が認められた。

これらの結果を前報⁴⁾の第 1～3 年度の結果と比べると, 次のとおりであった。

施肥区では P, K, Mg 濃度, とくに P 濃度の増大が認められたが, N および Ca 濃度は明りような相違が見られなかった。一方, 無施肥区では P 濃度の増大が見られたが, その他の諸成分はとくに明りような変化は見られなかった。なお, 第 3 年度の Ca 濃度は施肥区および無施肥区はいずれも他の年度に比べるとかなりの減少を示していたが, この原因は明らかにし得なかった。

筆者らはこれらの諸点のうちで, 施肥区においてとくに顕著であったが, 無施肥区においても同様に針葉中の P 濃度の増大と N/P 比の減少が見られたことをとくに注目したい。次に述べる(4-2)第 11 年度の周辺部の無施肥木(C 区)も第 7 年度の無施肥区(B, B' 区)と近似した針葉の養分濃度を示していたことから, クロマツの林齢の増大にともなう栄養生理的な変化によるものではないかと思われる。筆者ら

直径成長
diameter growth

1972 (8th yr.)	Nov., 1973 (9th year)		1974 (10th yr.)	Dec., 1975 (11th year)		11年間の合計 Total growth during 11 years	
樹高成長 Height growth	樹高成長 Height growth	胸高直径成長 D. B. H. growth	樹高成長 Height growth	樹高成長 Height growth	胸高直径成長 D. B. H. growth	樹高成長 Height growth	胸高直径成長 D. B. H. growth
$\frac{60}{20\sim85}$	$\frac{80}{40\sim110}$	$\frac{22}{6\sim40}$	$\frac{70}{15\sim115}$	$\frac{75}{30\sim120}$	$\frac{16}{2\sim38}$	665	99
$\frac{25}{5\sim75}$	$\frac{70}{8\sim115}$	$\frac{19}{2\sim42}$	$\frac{65}{15\sim115}$	$\frac{75}{30\sim115}$	$\frac{18}{3\sim37}$	380	55
$\frac{50}{10\sim95}$	$\frac{75}{25\sim115}$	$\frac{20}{5\sim39}$	$\frac{70}{10\sim110}$	$\frac{75}{30\sim110}$	$\frac{17}{3\sim36}$	645	98
$\frac{25}{5\sim65}$	$\frac{70}{25\sim105}$	$\frac{26}{1\sim42}$	$\frac{65}{5\sim115}$	$\frac{75}{35\sim120}$	$\frac{23}{4\sim48}$	355	58

Remarks) These remarks are the all same to Table 2 of it.

 Table 4. 針葉の養分濃度および養分比
Nutrient concentrations and their ratios of needles

乾物当 % (Per cent on dry basis)

プロット Plot	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	N/P	N/K	K/P	N/Ca	Ca/Mg
1971 年 11 月 : Nov., 1971												
A	49.5	1.06	0.11	1.01	0.31	0.11	46.7	9.6	1.0	9.2	3.4	2.8
B	51.4	0.92	0.068	0.71	0.30	0.088	55.9	13.5	1.3	10.4	3.1	3.4
A'	50.1	0.97	0.11	0.98	0.34	0.15	51.6	8.8	1.0	8.9	2.9	2.3
B'	52.1	0.89	0.059	0.72	0.34	0.082	58.5	15.1	1.2	12.2	2.6	4.1
1973 年 11 月 : Nov., 1973												
A	53.4	1.05	0.12	0.95	0.33	0.079	50.9	8.8	1.1	7.9	3.2	4.2
B	51.8	1.01	0.091	0.80	0.30	0.064	51.3	11.1	1.3	8.8	3.4	4.7
A'	51.4	1.10	0.12	0.99	0.34	0.12	46.7	9.2	1.1	8.3	3.2	2.8
B'	51.9	1.06	0.098	0.82	0.30	0.088	49.0	10.8	1.3	8.4	3.5	3.4
1975 年 12 月 : Dec., 1975												
A	50.3	1.05	0.13	0.93	0.34	0.15	47.9	8.1	1.1	7.2	3.1	2.3
B	50.4	0.89	0.12	0.88	0.27	0.14	56.6	7.4	1.0	7.3	3.3	1.9
A'	49.2	1.03	0.13	0.98	0.28	0.16	47.8	7.9	1.1	7.5	3.7	1.8
B'	50.7	0.89	0.13	0.93	0.31	0.13	57.0	6.8	1.0	7.2	2.9	2.4
C*	52.9	0.87	0.057	0.60	0.34	0.11	60.8	15.3	1.5	10.5	2.6	3.1

注) * 1975年12月のプロットCは試験地周辺の同時に植栽されたクロマツ無施肥林

 * Plot C is the neighbouring unfertilized *Pinus Thunbergii* forest planted at the same time as the test forest.

のスギ幼齡林³⁾の植栽後第 2～6 年度の葉分析の結果も、今回と同様に第 4 年度をピークとして、第 4～6 年度は第 2～3 年度より P 濃度の増大と N/P 比の減少が見られたことは、原因の解明は今後に残された問題ではあるが興味ある事実であろう。

前述 3 のように、 P_2O_5 の施肥量の増加が肥効の面でほとんど影響を及ぼさなかったことは、このようにクロマツの栄養状態が正常な方向に向いつつあることに負うところが大きいのではないと思われる。

4-2 第 8～11 年度の結果

第 11 年度の葉分析の場合には、試験地周辺の無施肥木 30 本について同様に試料の採取を行い、分析結果を C 区として示した。

当初から施肥を続けてきた A および A' 区の第 9 および 11 年度の針葉の各養分組成は、第 9, 11 年度の順に P 濃度の漸増と K/P 比の漸減が見られた以外は、各養分濃度および養分比はとくに一定の規則性のある変化は見られなかった。

第 7 年度末から施肥を開始した B および B' 区では、第 9, 11 年度の順に P および K 濃度の増大と N/P 比および N/K 比の減少が見られた以外は、とくに一定の規則性のある変化は見られなかった。第 11 年度の結果を A および A' 区と比較すると、N および Mg 濃度が多少低く、C/N 率の多少の増大と N/P 比の多少の低下が見られたが、その他はとくに明りょうな相違は見られず、全般的にはほぼ近似した状態にあったといえる。

無施肥区に相当する第 11 年度の C 区は、A および A' 区、B および B' 区と比べると、N 濃度は A および A' 区より低く、B および B' 区と同程度であったが、P, K および Mg 濃度は明りょうに低く、Ca 濃度は相違が明らかでなかった。したがって、N/P, N/K, K/P および Ca/Mg などの各養分比が高かった。しかし、7 年度まで無施肥であった B および B' 区の第 7 年度と比べると、K 濃度が多少低く、Mg 濃度が増大したが、その他の N, P および Ca 濃度はほとんど相違が見られなかった。

以上のように、施肥によって N および Ca 以外の各養分濃度、すなわち、P, K および Mg、そのうちとくに P 濃度の増大が著しかったことは、施肥の影響を示すものといえよう。N 濃度が前報⁴⁾の第 1～3 年度と同様に今回もとくに施肥の影響が見られなかったことは興味ある事実であったが、その原因の解明は今後の課題として残された問題である。

肥料成分の施用量の影響については、第 9 および 11 年度の A および A' 区、B および B' 区をそれぞれ比較すると、 P_2O_5 および K_2O の多量施用の針葉の各養分組成に及ぼす影響は、とくに明りょうに認め難かった。

5. クロマツ地上部の各部位別の重量、養分濃度 および養分含有量

第 11 年度 (1975 年秋, 13 年生) に、各プロットの平均値に近い樹高および胸高直径を有する試験木各 1 本を選んで、地際から 10 cm で伐倒し、針葉 (1 および 2 年生葉, 3 年生葉はほとんど落葉していた)、枝、幹の各部位別に区分して生重量を測定し、それぞれ均一に混合した試料の一部を実験室に持ち帰って、水分の測定および各養分の分析を行った。なお、比較のために無施肥区として、前述の (4-2) と同じ試験地周辺の無施肥木 30 本について同様の調査を行い、C 区として示した。

各調査木の幹は 50 cm ごとに円板を採取して樹幹解析を行ったが、その結果は Fig. 3, 4 に示すとおり

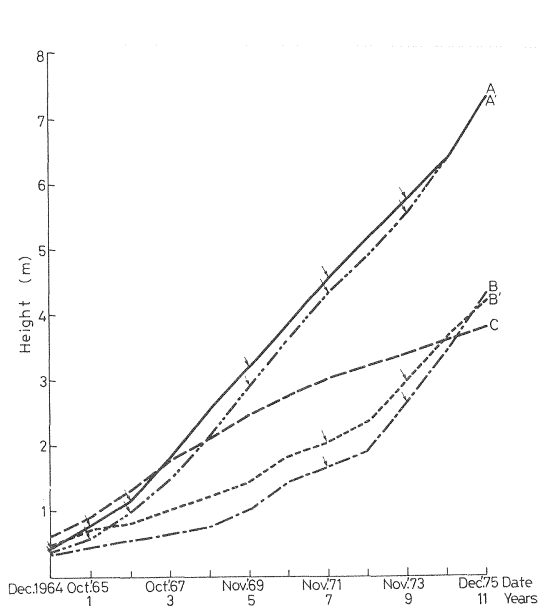


Fig. 3 平均木の樹高成長
Growing process of height of average tree.

注) 矢印は施肥を示す
Remark: Arrow shows the fertilization.

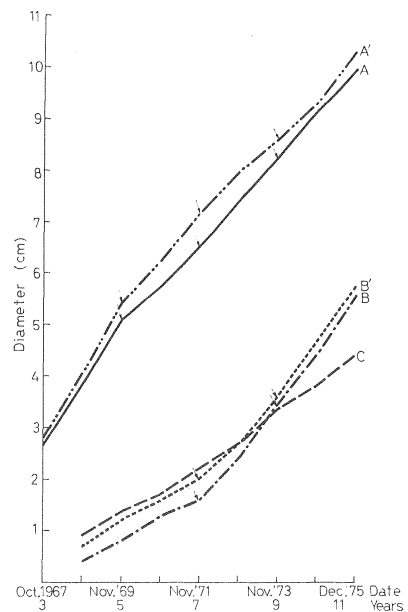


Fig. 4 平均木の直径成長
Growing process of diameter of average tree.

注) 矢印は施肥を示す
Remark: Arrow shows the fertilization.

りである。

各含有成分の分析方法は4の葉分析の場合と同様である。

分析結果および各 Plot の成立本数を乗じて求めた ha 当たりの各養分含有量は Table 5 に示すとおりである。

上記の調査方法は、供試木が各 Plot 1 本に過ぎなかったこと、地下部の測定を省略したことには問題があるといえよう。しかし、この試験地は引き続き継続しているために林分の破壊を最小限にとどめる必要があったので、上述のような試験方法を採用せざるを得なかった。また、供試木の樹幹析解の結果は、無施肥区とした C 区の供試木の成長は、B および B' 区が引き続き無施肥区の状態におかれていたと仮定した場合より過大であったと推定された。

いずれの Plot においても、各養分濃度は葉>枝>幹の順に減少を示した。また、全針葉の養分濃度は葉分析に用いた頂枝の当年生葉と比べると、Ca 濃度は明らかに増大を、P および K 濃度はかなりの減少を示していたが、N および Mg 濃度は C 区の Mg 濃度以外は多少の減少を示した。これらの諸点は、着葉位置の相違と葉齢、すなわち 1 年生葉と 2 年生葉の相違によってもたらされたものであろう。

Table 5 に示した各 Plot の ha 当たりの養分含有量は、施肥条件による乾物重および養分濃度の相違を反映して、各施肥区では無施肥区に比べると著しい増加を示した。すなわち、A および A' 区では N は 5.6 倍および 5.5 倍、P は 7.4 倍および 9.3 倍、K は 7.0 倍および 7.2 倍、Ca は 3.7 倍および 4.0 倍、Mg は 5.1 倍および 5.5 倍に達し、B および B' 区では N は 2.1 倍および 2.0 倍、P は 3.1 倍および 3.3 倍、K は 3.1 倍および 2.9 倍、Ca は 1.3 倍および 1.9 倍、Mg はいずれも 2 倍に達した。

Table 5. クロマツ地上部の重量,
Dry matter weights, nutrient concentrations and

プロット Plot	部 位 Part		1 本 当 kg (kg per one stand)		養 分 濃 度 (%) Nutrient concentration (Per cent of dry matter)			
			生 重 量 Fresh matter weight	乾 物 重 Dry matter weight	C	N	P	K
A	葉	Needle	9.50	5.12	53.5	1.01	0.079	0.60
	枝	Branch	13.0	6.52	53.0	0.44	0.062	0.30
	幹	Stem	32.5	17.4	51.5	0.32	0.018	0.10
	計	Total	55.0	29.0				
B	葉	Needle	5.55	3.12	54.7	0.87	0.076	0.56
	枝	Branch	5.35	2.49	53.7	0.38	0.042	0.20
	幹	Stem	8.20	4.56	51.1	0.35	0.029	0.19
	計	Total	19.1	10.2				
A'	葉	Needle	12.7	7.01	56.1	0.86	0.099	0.55
	枝	Branch	14.6	7.14	52.9	0.49	0.045	0.19
	幹	Stem	31.0	15.4	52.2	0.28	0.027	0.12
	計	Total	58.3	29.6				
B'	葉	Needle	5.35	2.98	55.0	0.80	0.087	0.56
	枝	Branch	4.40	2.14	52.9	0.52	0.062	0.26
	幹	Stem	8.70	4.84	51.0	0.26	0.020	0.10
	計	Total	18.5	9.96				
C	葉	Needle	2.23	1.20	55.9	0.77	0.047	0.41
	枝	Branch	2.57	1.19	52.4	0.60	0.049	0.25
	幹	Stem	5.00	2.48	51.8	0.37	0.013	0.090
	計	Total	9.80	4.87				

後述7のように、各 Plot の下層植生は著しい相違が見られ、A および A' は下層植生がきわめて少く、C 区はコシダが群状に地表を覆い、他の下層植生もすこぶる多く、B および B' 区は両者の中間よりむしろ後者に近かった。B、B' および C 区では、主林木と下層植生の間に土壌の可給態養分に対する競合が行われていることを考えると、各 Plot 間の養分含有量の差を施肥に由来するものと考えすることは大きな誤りをおかすことになる。したがって、Table 5 の養分含有量は林木の養分現存量についての参考資料として掲げるととどめたい。

6. 土 壌 の 変 化

この試験地の土壌の諸性質が施肥によって11年後にどのような変化を生じたかを明らかにする目的で、次のような調査を行った。

前述の4-2および5の無施肥区としたC区を含めて、各 Plot ごとに斜面に沿って、上、中および下部

養分濃度および養分含有量

 amount of nutrients of the top of *Pinus Thunbergii*

		養 分 含 有 量 Amount of nutrient (kg per ha)						立木本数 (ha 当たり) Nos. of stand (per ha)
Ca	Mg	C	N	P	K	Ca	Mg	
0.44	0.12	5,510	104	8.0	61.7	45.2	12.3	2,010
0.35	0.079	6,950	57.7	8.0	39.2	45.8	10.5	
0.14	0.041	18,000	112	6.2	35.0	49.0	14.3	
		30,460	274 (556)	22.2 (740)	136 (701)	140 (370)	37.1 (508)	
0.28	0.11	3,300	52.3	4.6	33.8	16.8	6.0	1,930
0.30	0.075	2,590	18.3	2.1	9.7	14.5	3.7	
0.19	0.054	4,500	30.9	2.5	16.6	16.8	4.8	
		10,390	102 (207)	9.2 (307)	60.1 (310)	48.1 (127)	14.5 (199)	
0.42	0.12	7,700	118	13.5	75.6	57.6	16.5	1,960
0.29	0.075	7,410	68.8	6.3	26.6	40.6	10.6	
0.17	0.042	15,760	84.4	8.2	36.3	51.3	12.7	
		30,870	271 (550)	28.0 (933)	139 (716)	150 (397)	39.8 (545)	
0.44	0.093	3,350	48.6	5.3	34.1	26.7	5.7	2,040
0.52	0.073	2,310	22.6	2.7	11.4	22.6	3.3	
0.23	0.058	5,040	25.7	2.0	9.8	22.6	5.7	
		10,700	96.7 (196)	10.0 (333)	55.3 (285)	71.9 (190)	14.7 (201)	
0.44	0.12	1,300	17.8	1.2	9.5	10.2	2.7	1,930
0.60	0.092	1,200	13.7	1.2	5.8	13.7	2.1	
0.29	0.054	2,490	17.8	0.6	4.2	13.9	2.5	
		4,990	49.3 (100)	3.0 (100)	19.4 (100)	37.8 (100)	7.3 (100)	

に各1か所, 計3か所に 20×20 cm の方形区を設けて, A₀ 層の調査を行った。また, 同様に各 Plot の上, 中および下部に各2か所 (ただし C 区は1か所), 計6か所 (C 区は3か所) に試孔点を設けて, 土壌の断面調査および試料の採取を行った。これらの試料は各 Plot ごとに合併して分析に供した。

分析方法は, A₀ 層は前述4の針葉の分析と同様の方法を用いた。鉍質土層の場合は, C および N は C-N コーダーによる乾式燃焼法, CEC は PEECH 法, 置換性塩基は原子吸光法を用い, その他は常法どおり行った。

 6-1 A₀ 層

各 Plot ごとの A₀ 層の乾物重 および各養分濃度, それに基づいて求めた ha 当たりの養分含有量は Table 6 に示すとおりである。

A および A' 区の A₀ 層はいずれも厚さ 4~6 cm に達し, クロマツの落葉およびその腐朽葉が大部分を占めていた。B および B' 区はいずれも厚さ 3~5 cm に達し, クロマツの落葉およびコシダの遺体を

Table 6. A₀ 層の重量, 養分濃度および養分含有量
Dry matter weights, nutrient concentrations and amounts of
nutrient of the A₀ layer

プロ ット Plot	乾物重 Dry matter weight (g/m ²)	養 分 濃 度 Nutrient concentration (% of dry matter)						養 分 含 有 量 Amount of nutrient (kg/ha)					
		C	N	P	K	Ca	Mg	C	N	P	K	Ca	Mg
A	2,580 (311)	39.6	1.09	0.083	0.24	0.52	0.20	10,200 (268)	281 (368)	21.4 (648)	61.9 (619)	134 (375)	51.6 (478)
B	1,770 (213)	39.6	0.97	0.070	0.21	0.66	0.25	6,990 (184)	172 (225)	12.4 (376)	37.2 (372)	117 (328)	44.3 (410)
A'	2,820 (340)	43.8	1.11	0.13	0.26	0.91	0.38	12,350 (325)	313 (410)	36.6 (1,110)	73.3 (733)	257 (720)	107 (991)
B'	1,780 (214)	43.6	0.97	0.087	0.22	0.53	0.26	7,760 (204)	173 (226)	15.5 (470)	39.2 (392)	94.3 (264)	46.3 (429)
C	830 (100)	45.8	0.92	0.040	0.12	0.43	0.13	3,800 (100)	76.4 (100)	3.3 (100)	10.0 (100)	35.7 (100)	10.8 (100)

注) カッコ内の数字は指数 (プロット C に対する %)

Remark) Figures in parentheses are index (Per cent of Plot C)

主とし, そのほかヒサカキ, ネジキ, シャシャンボ, コナラなどの落葉を混えていた。C 区は厚さ 1~3 cm で, コシダの遺体を主とし, クロマツおよび上述の広葉樹の落葉が混ざっていた。

A₀ 層の乾物重は C 区と比べると, A および A' 区は約 3.1~3.4 倍, B および B' 区は約 2.1 倍に達し, 肥培によるクロマツの成長量の増大にともなう落葉量の増大を反映していたといえる。

A₀ 層の各養分濃度は次のとおりであった。各養分濃度はいずれも施肥区は無施肥区 (C 区) より高かったが, N および Ca 濃度の相違は小さかった。

施肥区については, A' 区の P, Ca および Mg 濃度は他の区と比べると著しく高い価を示していたが, この原因は明らかにし得なかった。また, A および A' 区の N, P および K 濃度は B および B' 区より高かった。この点は, B および B' 区は施肥開始後 4 年を経過したに過ぎないので, 落葉の各成分濃度に及ぼす施肥の影響がきわめて短期間に過ぎないことによるものであらうと思われる*。しかし, Ca および Mg 濃度については一定の傾向が見られなかった。

各 Plot の A₀ 層の ha 当たりの各養分量は, A および A' 区, B および B' 区, C 区の順に減少を示していたが, この点は主として上述の各 Plot の A₀ 層の乾物重の相違を反映しているといえよう。

A₀ 層の各養分含有量は, 各養分が草本および低木類も含めた森林生態系に吸収された後, 一部は樹体内に固定されるが, 残りは落枝葉ないし草本類遺体として地表に還元されたものである。これらの植物遺体の各養分は, 地表に遺体が還元された後, 一部は直接雨水によって, さらに一部は分解にともなって流亡したり, あるいは植物による再吸収が行われるために多少の損失はあるとしても, 施肥区と無施肥区の A₀ 層の各養分含有量の差は, 少くとも施肥に由来するものとみなすことができよう。これらの価は次のとおりである。

*) アカマツ (苗木) の場合は, 2 年生葉の各養分濃度は春~秋 (落葉期) の季節的な変動は見られない¹⁾。クロマツについてのこのような資料はないが, クロマツの栄養生理的な性質はアカマツとほぼ同様であらうと推定される。したがって, 施肥開始時以前の古葉の各養分濃度に及ぼす施肥の影響は見られないであらうと推定される。クロマツの着葉期間は 3 年である。

A および A' 区では、N は 205 kg (56%*) および 237 kg (64%)、P は 18.1 kg (22%) および 33.3 kg (22%)、K は 51.9 kg (33%) および 63.3 kg (28%)、B および B' 区では、N は 96 kg (48%) および 97 kg (49%)、P は 9.1 kg (21%) および 12.2 kg (11%)、K は 27.2 kg (33%) および 29.2 kg (19%) であった。

以上の各施肥成分に由来すると考えられる A₀ 層の各養分含有量の試算値は、森林生態系によって実際に吸収された施肥成分より 少いと考えられるが、試みに農耕地における肥料三要素の 畑作物による利用率、すなわち、N 40~60%、P₂O₅ 10~20%、K₂O 40~70% と比べると、K₂O は低いが、N および P₂O₅ はかなり近い数値となる。K₂O が低い点は 植物体から雨水によって容易に 溶脱されやすいことによるものであろう。しかし、これらの諸点は森林生態系による施肥成分の吸収率はかなり高いものと推定し得ることを示すものといえよう。

森林生態系の施肥各成分の吸収率を求めるとすれば、樹体に吸収保持されている施肥に由来する養分量を加算しなければならないが、これを把握する場合には前述 5 のような多くの問題点が残されている。さらに、施肥による成長量の増大にともなって根系が発達し、土壤自体に含まれている各養分の吸収量が増大すること、落葉が地表に還元された後 A₀ 層の分解にともなう各養分の損失なども当然考慮に入れなければならない問題である。したがって、上述の計算値は森林における施肥成分の吸収利用および循環に対する今後の参考資料として掲げるにとどめたい。

上述のように、今回の試験地では施肥によって A₀ 層の増大が認められたが、この点は筆者らが先に報告した高野山国有林における Pw(i) II 型土壤におけるスギ幼齢林肥培試験地⁶⁾と全く相反する結果であった。このような相違は、この試験地が降水量の少ない瀬戸内の低山地帯のせき悪な Ba 型土壤に属し、高野山の場合とは気候条件（地域）、土壤型（水分環境）、樹種などの相違によってもたらされたものである

Table 7. 土 壌 の 化 学 的 性 質

Chemical properties of soils

(乾物当 : On dry basis)

プロット Plot	層 位 Horizon	C (%)	N (%)	C/N	CEC	Exch.		飽和度(%) Rate of saturation		置 換 度 酸 度 Exch. acidity (Y ₁)	pH	
						CaO	MgO	CaO	MgO		(H ₂ O)	(KCl)
						(m. e./100 g)						
A	A	5.06	0.25	20.2	22.3	0.69	0.11	3.1	0.5	19.0	4.40	3.60
	B ₁	2.57	0.12	21.4	15.5	0.25	0.04	1.6	0.3	18.8	4.45	3.75
B	A	4.89	0.20	24.5	19.6	0.61	0.072	3.1	0.4	19.6	4.50	3.50
	B ₁	2.44	0.11	22.2	14.1	0.19	0.021	1.3	0.1	16.4	4.55	3.80
A'	A	5.62	0.25	22.5	21.9	0.81	0.26	3.7	1.2	19.5	4.55	3.50
	B ₁	2.73	0.14	19.5	16.1	0.24	0.016	1.5	0.1	20.5	4.60	3.75
B'	A	4.89	0.21	23.3	17.6	0.54	0.091	3.1	0.5	17.5	4.55	3.50
	B ₁	2.16	0.099	21.8	11.8	0.17	0.016	1.4	0.1	16.3	4.60	3.70
C	A	4.77	0.16	29.8	19.4	0.43	0.073	2.2	0.4	20.0	4.60	3.65
	B	2.22	0.090	24.7	13.2	0.42	0.029	3.2	0.2	19.3	4.65	3.70

*) カッコ内は施肥成分量の合計値に対する%

う。

6-2 鈣質土層

各 Plot の土壌の鈣質土層の分析結果は Table 7 に示すとおりである。

各 Plot の土壌の断面形態については、いずれも設定当初に見られた A-(M) 層の菌糸網の発達 は 11 年後の今回の調査ではかなり退化していた。A 層は厚さ 1～6 cm で、設定時と同様に波状で厚さはかなり不均一であった。色調*1は各 Plot の A 層は設定時より暗色を呈していたといえる。さらに、各処理別に見ると、A および A' 区は 10YR3/2 を呈する場合が多く、B, B' および C 区が多くの場合 10YR3/3 を呈していたのに比べると、多少暗色を呈していたといえる。この点は以下に述べる各 Plot の A 層の carbon 濃度の相違を反映しているといえよう。その他の形態的な特徴は、各 Plot 間および設定時と比べてとくに明りような変化は見られなかった。

土壌の化学性については、A 層の C 濃度は A', A' > B, B', C 区の順に、N 濃度は A, A' > B', B' > C 区の順に減少を示し、前述の総施肥量と A₀ 層の相違を反映していたといえる。また、C/N 比は N 濃度と同様の順に増大していたが、いずれも 20 以上できわめて高かった。CEC、置換性 Ca および Mg 濃度、同飽和度、置換酸度、pH などは、施肥区と無施肥区 (C 区) の間にとくに著しい相違は見られなかったが、置換性 Ca および Mg 濃度は、施肥量の多かった A および A' 区では他の Plot に比べて多少の増大が見られたに過ぎなかった。

これらの 11 年後の土壌の諸性質を設定時⁴⁾と比べると、上述の施肥区における、C, N 濃度および C/N 比の変化は施肥の影響によるものといえよう。また、表層土 (A 層) における置換性 Ca および Mg 濃度*2の減少、pH の低下、置換酸度の増大も見られたが、これらは無施肥区も同様の傾向を示しているので幼齢林における植栽後の環境条件の変化によってもたらされたものと考えらるべきであろう。

施肥が土壌の化学性におよぼす影響についての今までの結果は別報⁵⁾で論じたので重複はさけない。その後の報告も含めて、とくに肥沃な C/N 比の小さい土壌を除けば、施肥にともなう表層土の C/N 比の低下は一般的な減少と認めて良いと思われる。pH および置換性塩基の濃度 および 飽和度については、増大、低下⁶⁾あるいは無変化など論議が分れている。筆者らはこれらの点について、土壌条件の影響も当然考慮に入れるとしても、施用した肥料が生理的酸性のものか、あるいは中性のものか、などの施用した肥料の性質や同時に施用量などについても十分に考慮を払う必要がある。

7. 下層植生の変化

この試験地における下層植生は、設定時から第 11 年度の間に次のような変化が見られた。

設定時における下層植生は、前報⁴⁾に示したように各 Plot いずれもコシダが群状に広く地表を覆い、そのほかワラビなどのシダ類、ヒサカキ、ソヨゴ、ネジキ、シャシャンボ、コナラ、イヌツゲなどの乾性型の植生が低木階を占有していた。

設定時から施肥を行った A および A' 区では、第 4～5 年度頃からコシダは減少し始め、同時に設定時には見られなかったススキが目立つようになってきた。クロマツの成長にともなううつ閉度の増大につ

*1) 土色は標準土色帖：農林水産技術会議編；標準土色帖（1970）によった。

*2) 前報⁴⁾では置換性塩基の定量は 2.5 倍量の N KCl 溶液による抽出法を用いた。筆者らの経験では今回の酢酸アンモニウム溶液抽出法は N KCl 抽出法より一般に高い価が得られる。

れて、第11年度にはコシダはほとんど消滅しわずかに点在していたに過ぎず、ススキも完全に消滅した。そのほか上述の草本および低木類の減少も顕著であった。

第7年度末から施肥を開始したBおよびB'区では、コシダの密度の減退とススキの発生が目立ち始め、AおよびA'区の第5～6年度と類似した状態に移行しつつあるといえる。

無施肥のC区ではコシダの密度は多少減少しているように思われたが、BおよびB'区に比べると密度は高く、ススキも多少発生していたが、草丈はBおよびB'区より著しく低かった。

8. お わ り に

この報告は姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林の施肥試験の設定後第4～11年度の8年間の結果を、第2回中間報告としてとりまとめたものである。

この試験地は第7年度で当初の目的を完了したものととして区切りをつけ、第8年度以降は新しい構想のもとに引き続き施肥試験を継続している。

この間のクロマツの成長経過と第7、9および11年度末における葉分析によるクロマツの栄養診断と施肥および成長経過との関連性を検討しておいた。

第11年度末に標準木を伐倒し、地上部の養分現存量を測定し、同時にA₀層の養分現存量を測定し、施肥との関係を明らかにするとともに、施肥成分の林木による吸収利用、落葉を通じての養分循環について多少の参考資料を得ることができた。

第11年度末に土壤の調査を行い、主として化学性に及ぼす施肥の影響を検討するとともに、設定後の植生の変化について概要を述べておいた。

稿を終るに当たりこの試験地の維持管理に多大のご協力をいただいた西条営林署の関係各位に心からの感謝を捧げたい。また、この試験研究の遂行に当たり多大のご配慮をいただいた関西支場の関係各位に深く感謝する。

文 献

- 1) 河田 弘：アカマツ 1—1 苗の時期別養分吸収について，林試研報，187，27～52，(1966)
- 2) ———・衣笠忠司：高野山国有林におけるスギ，ヒノキ幼齡林施肥試験（関西地方における林地施肥試験（第1報）），林試研報，191，115～136，(1966)
- 3) ———・———：スギ幼齡林 施肥 試験（兵庫県山崎営林署管内マンガ谷国有林）（同上，第2報），林試研報，216，75～97，(1968)
- 4) ———・———：広島県姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林施肥試験（同上，第3報），林試研報，219，121～136，(1969)
- 5) ———・———：高野山国有林におけるスギ幼齡林施肥試験（第2回中間報告）（同上，第4報），林試研報，248，1～13，(1972)
- 6) ———・西田豊昭・吉岡二郎：土壤および針葉の化学的組成とヒノキの成長との関係（森林土壤によけるリン酸の可給性の指標としての carbon/organic phosphorus 比について），林試研報，253，1～37，(1973)
- 7) 佐藤 俊：林地施肥が土壤の化学的性質および養分循環に及ぼす影響，森林と肥培，81，2～7，(1974)
- 8) ———・山谷孝一・長谷川浩一・後藤和秋・西田豊昭・柳谷清子：東北地方における主要造林樹

- 種の幼齡時における施肥効果について, 林試研報, 167, 93~190, (1964)
- 9) 佐藤 亨・及川恵司・宮崎 紳:アカマツ天然更新の方法と施肥の効果について, 林試研報, 147, 1~43, (1962)
- 10) 塘 隆男:わが国の主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究, 林試研報, 137, 1~158, (1962)

Fertilization on Young *Pinus Thunbergii* Forest in Ubagahara
National Forest (The secondary progress report)
[Studies on Forest Fertilization in Kansai Area (Part 6)]

Tadashi KINUGASA⁽¹⁾ and Hiroshi KAWADA⁽²⁾

Summary

1. Introduction

This paper deals with the progress on the fertilization on young *Pinus Thunbergii* forest in Ubagahara National Forest during the successive eight years, since Nov. 1967 to Dec. 1975. The results obtained during the three years after the first fertilizer trial were previously described in Part 3.

The growing process of stands in every plot during the 4th~7th years was like that described in Part 3. In the authors' opinion, they attained their first objective that the increase of growth of stands on the very poor land by fertilization at the end of the 7th year.

They changed the design of fertilization at that time, and the test was succeeded with the following new objectives: The soil was poor in available phosphorus and the nutrient diagnosis by leaf analysis stated that the stands seemed to be rather insufficient in phosphorus as described in Part 3. The annual height growth of stands in the fertilized plots during the seven years that reached only 75 cm in max. was a rather unsatisfactory level as a general growth level of young *P. Thunbergii* stand. Though it was nothing but an assumption at that time, the insufficient growth of stands could be attributed to the above-mentioned rather insufficient phosphorus supply. Furthermore, the information on fertilization effect on the poorly growing 10-year-old pines as those in the unfertilized plots was requested from the practical point of view.

2. Fertilization

The date of fertilization and the amounts of fertilizer were expressed in Table 1.

Plot A and A' were successively fertilized and Plot B and B' were fertilized since the end

Received June 30, 1978

(1) Kansai Branch Station

(2) Soil Division

of the 7th year. The fertilizer given to Plot A' and B' since that time was an especially phosphorus and potassium rich one for the broad-leaved tree and soil improving tree.

3. The growth of *P. Thunbergii* stand and fertilizer efficiencies

The growing process of the stands were expressed in Table 2 and 3, and Fig. 1 and 2.

3-1. The growing process during the 4th~7th years

The growth of stands in unfertilized plots was very poor. Their height at the 7th year (9-year-old) reached only 205 cm and 175 cm. The height and D. B. H. (diameter at breast height) of the stands in fertilized plots were remarkably increased, and they reached 440 cm and 61 mm, and 430 cm and 61 mm at the end of the 7th year, respectively.

The extraordinary high fertilizer efficiencies (fertilized/unfertilized, per cent) were satisfactory to the authors. However, the annual height growth in the fertilized plots during 7 years since the first fertilizer trial that was only 75 cm in max. was not so excellent as the general growth level of young *P. Thunbergii* stands.

3-2. The growing process during the 8th~11th years

The growth of stands in Plot B and B' was remarkably increased by fertilization and reached the same level as that of Plot A and A'. However, the fertilization affected the height growth since the second year after fertilization.

No clear difference of growth between Plot A and A' and Plot B and B', respectively, was observed. The fact that the growth of stands was not affected by the heavy application of phosphorus and potassium was against the authors' expectation. It would be attributable to the favorable turn of the nutritional condition of stands in every plot as described hereunder (4). The increase of growth in Plot B and B' stated that the remarkably favorable effect was given by the apposite fertilization regardless of the advance of age of stands.

4. The nutrient concentrations and their ratios of needles

The nutrient concentrations and their ratios of needles of the uppermost shoot of stands were stated in Table 4.

4-1. The result at the 7th year

The increase of nutrient concentrations except Ca in the fertilized plots comparing with those in the unfertilized plots was clearly recognized. Among them the increase of P concentrations was very distinguished.

Comparing the result at the 7th year with that during the 1st~3rd year described in Part 3, the following facts were recognized: The increase of P, K and Mg concentrations, especially that of P concentrations, was easily apparant but no clear difference was observed on N and Ca concentration in the fertilized plots. But the only increase of P concentration was recognized in the unfertilized plots.

The authors gave attention to the increase of P concentration and the decrease of N/P ratio at the 7th year in every plot. Furthermore, the nutrient composition of needles in Plot B and B' was similar to that of Plot C, unfertilized plot at the 11th year, as described hereunder (4-2). Those facts suggested that the advance of age should bring a change on the nutrient physiological property of young *P. Thunbergii* stands.

In the authors' opinion, the inefficiency of heavy application of phosphorus on the growth of stands as already stated seemed to be attributable to the above-mentioned nutrient phy-

siological change, i. e. the increase of their P absorption, though its details remained as a problem awaiting solution.

4-2. The results at the 9th and 11th year

The nutrient composition of needles of the unfertilized stands around the test plots at the 11th year was expressed as Plot C.

The nutrient compositions of Plot A and A', successively fertilized, expressed no certain change except the gradual increase of P concentration and decrease of K/P ratio in the following order as 7th→9th→11th year. Those of Plot B and B', fertilized since the end of the 7th year, recorded the increase of P and K concentrations and the decrease of N/P and N/K ratios in the same order as Plot A and A'. The nutrient compositions of Plot B and B' were alike in those of Plot A and A' except a little lower N and Mg concentrations. The nutrient concentrations except N and Ca concentrations of Plot C, unfertilized, were remarkably lower than those of the fertilized plots.

The fact that the fertilization induced the remarkable increase of P, K and Mg concentrations but no clear change of N and Ca concentrations and that those tendencies were similar to those during the 1st~3rd year were worthy of note.

Comparing the nutrient compositions of Plot A and A', and B and B' in the 9th and 11th year, respectively, the effect of heavy application of phosphorus and potassium was not recognized.

5. The dry matter weight, nutrient concentration and amount of nutrient of the top of stand

The average stand of every plot was felled and the dry matter weight and nutrient concentration of its needle, branch and stem were determined at the end of the 11th year. The amounts of nutrient of stand in every plot were calculated.

The results were expressed in Table 5. The growing process of the average trees by stem analysis were expressed in Fig. 3 and 4.

The growing process of the average tree in Plot C during 1st~7th year was somewhat more superior than that in Plot B and B', unfertilized plots at that time, and consequently the amounts of nutrient in Plot C seemed to be somewhat overestimated as an example of unfertilized plot.

The authors cited those data as a reference material on the nutrient mass of forest. In the authors' opinion, the absorption rate of every fertilized nutrient was not estimatable by the difference between the nutrient amounts in fertilized and unfertilized plots, supplementing with the presumed amounts of nutrient of root. The advanced crown closure in Plot A and A' remarkably decreased their undergrowth. On the other hand, Koshida (*Glichenia linearis*) densely and gregariously covered the ground and shrubs were also abundant in Plot C. The state of undergrowth in Plot B and B' was rather more alike that of Plot C than the intermediate state between Plot A and A', and C.

Considering the competition for the available nutrients between dominant trees and undergrowth, the addition of nutrient mass of undergrowth to that of dominant tree in every plot was indispensable for the real estimation of absorption rates of nutrients in the given fertilizer. However, the authors gave up the estimation of nutrient mass of undergrowth because of the noticeable unevenness of their growth and distribution in Plot B, B' and C.

6. The change of soil condition by fertilization

The A_0 layer and mineral horizon of every plot were examined at the end of the 11th year to make clear the effect of fertilization.

6-1. A_0 layer

The dry matter weight and concentrations and amounts of nutrients in A_0 layer of every plot were stated in Table 6.

The increase of dry matter weight in the following order as Plot $C < B$ and $B' < A$ and A' reflected the increase of litter fall according to the advance of growth by fertilization.

The fertilization induced the increase of P, K and Mg concentrations but had no clear effect on N and Ca concentrations. The P, Ca and Mg concentrations of Plot A' were extraordinarily higher than those of other fertilized plots. The increased N, P and K concentrations of Plot A and A' in comparison with those of Plot B and B' would be induced by the short lapse of time after the first fertilization of the latter plots.

The amounts of every nutrient of A_0 layer decreased in the following order as Plot A and $A' > B$ and $B' > C$. Those results were induced by the differences of frequency of fertilization and total amounts of given fertilizer, and consequently those of growth among the plots.

On the assumption that the differences of amount of nutrient in A_0 layer of fertilized and unfertilized plots were from the given fertilizer, though a part of nutrients in A_0 was leached out or absorbed by vegetation in the advance of its decomposition, they were as follows: In Plot A and A' N was 205 kg (56%*) and 237 kg (64%), P was 18.1 kg (22%) and 33.3 kg (22%) and K was 51.9 kg (33%) and 63.3 kg (28%). In Plot B and B' N was 96 kg (48%) and 97 kg (49%), P was 9.1 kg (21%) and 12.2 kg (11%) and K was 27.2 kg (33%) and 29.2 kg (19%). On the presumed rates of absorbed nutrient in fertilizer by vegetation, the percentages of N and P were close to the availability of N and P of fertilizer by field crops, i. e. 40~60% and 10~20%, respectively, but that of K, i. e. 40~70%, was low.

The authors cited those amounts and rates as a reference material on the absorption and circulation of nutrients from fertilizer in the forest ecosystem.

6-2. Mineral horizon

The chemical properties of mineral horizons of every plot were expressed in Table 7.

The mycelial layer in A-M horizon at the beginning of the test remarkably declined and the surface horizon of every plot turned to A horizon. No other distinguished change of the morphological feature was observed.

Comparing the chemical properties of A horizon of every plot, the following changes were recognized: C concentration decreased in the following order as Plot A and $A' > B$, B' and C and N concentration as Plot A and $A' > B$ and $B' > C$. C/N ratio increased in the same order as N concentration but they remained in the high level, more than 20. There was no remarkable difference between the fertilized and unfertilized plots on CEC, exchangeable Ca and Mg concentrations and their rates of saturation, exchangeable acidity and pH value.

Comparing those values with those at the beginning of the test, the following facts were observed: A little increase of C and N concentrations and slight decrease of C/N ratio were

* Figures in parentheses are the percentages of total amount of nutrient in the given fertilizer.

observed in the fertilized plots but no clear change in unfertilized plots. The decrease of exchangeable Ca and Mg concentrations and pH value and the increase of exchangeable acidity were distinguished in fertilized and unfertilized plots.

7. The transition of vegetation

The transition of vegetation during the 11 years were as follows: Koshida (*Gleichenia linearis*, one of the spp. of fern) was very abundant and gregariously covered the ground and some tree spp., popularly occurred on the arid type of soil, were abundant in the shrub layer of every plot at the beginning of the test. The state of undergrowth in Plot C, unfertilized plot, was very close to the initial stage at the 11th year. The decline of Koshida and the occurrence of Susuki (*Miscanthus sinensis*) gradually proceeded and the transition of vegetation was conspicuous at the 5th~6th year in Plot A and A'. The advance of the crown closure according to that of growth of stands gradually declined the undergrowth since then. It was very rare at the 11th year in Plot A and A'. The stage of undergrowth in Plot B and B' at the 11th year closely resembled that of Plot A and A' at the 5th~6th year.