

笠間国有林におけるアカマツ幼齡林施肥試験 (植栽施肥後 15 年間の経過)

佐 藤 久 男^㉔

Hisao SATO: A Study on the Fertilization on Young
Pinus densiflora Forest in Kasama National Forest
(Fertilization for Fifteen Years after Plantation)

要 旨：茨城県笠間国有林におけるアカマツ新植林分を対象に、斜面上の位置と施肥効果、すなわち、Ba, Bd(d), Bd 型土壤における施肥効果を把握するためにおこなったものである。

この試験地は 8 年以降に、一部のプロットはマツカレハの激しい被害を受け、試験の継続は不可能となったので、15 年で終了せざるを得なくなった。マツカレハの被害が全くなかった 7 年後の樹高総成長にあらわれた肥効指数は、Ba 型土壤 156, Bd(d) 型土壤 125, Bd 型土壤 113 の順に減少し、直径成長、樹体各部の重量成長も、樹高成長と同様の傾向が見られた。肥効指数は、樹高<直径<全重量の順に大きくあらわれた。その結果、施肥によって斜面上下の成長差が少なくなり、無施肥区にくらべると斜面全体がかなり均一な成長を示した。

植栽時、3, 5, 7 年後に樹体の現存量調査を行い、同時に、N, P₂O₅, K₂O の濃度を分析し、これにもとづいて養分の現存量を求めた。各調査年度における全当年葉の N, P₂O₅, K₂O 濃度は、いずれの土壤型でも施肥によって増大を示した。この点は、葉の養分濃度の増大によって、葉の同化機能が高められたものと推定された。

また、養分の現存量から肥料成分の吸収率を試算した。肥料の吸収率は、7 年後までの調査結果では、年数の経過とともに増大の傾向を示したが、この点は主として肥料成分の落葉による土壤への還元、分解による再供給などによるものでないかと思われる。7 年後の肥料の吸収率は、N 27~35%, P₂O₅ 14~21%, K₂O 37~48%であった。

1. ま え が き

わが国の幼齡林の肥培試験は、スギ、ヒノキを対象にしたものが多く、アカマツの試験例は、桑原^㉕、塘^㉖、佐藤^㉗、山梨^㉘、伊藤^㉙の報告が見られるが、スギ、ヒノキにくらべると少ない。

筆者は、東京営林局笠間営林署内で、1961 年以来アカマツの幼齡林に対して、土壤型(山腹斜面上の位置)による施肥効果のちがいを明らかにするために、以下に述べるような試験をおこなってきた。設定後 8 年(1968 年)から、マツカレハの被害が発生し始め、10 年後(1970 年)の調査時には Ba 型土壤の一部で、著しい着葉量の低下が観察された。同時に行った樹体の現存量調査の結果も、各区いずれも着葉量が少なく、各試験区内もかなりの被害が推定された。その後 15 年(1975 年)の調査時には Ba 型土壤では古い枯損木がきわめて多く、上記の目的にそって試験を継続することが不可能となった。したがって、この試験は 1975 年の時点で打ち切ることとし、これまでの結果をとりまとめて報告する。

この研究は、土じょう部長塘 隆男(当時土じょう肥料科長)と筆者が共同で設定した試験地であるが、その後筆者が担当し、調査とりまとめたものである。

この報告をとりまとめるにあたり、種々ご指導をいただいた塘 博士、土じょう肥料科長河田 弘博士に厚くお礼申し上げる。また、試験を進めるにあたって有益な助言とご協力を賜った土じょう肥料研究室の歴代の室長原田 洸博士(現北海道支場育林部長)、吉本 衛技官(現九州支場育林部長)、藤田桂治技

官（現室長）ならびに同研究室の堀田 庸技官，分析に協力していただいた同研究室の岩崎美代技官，試験地の設定，調査の折にお世話いただいた笠間営林署の関係係官に厚くお礼を申し上げる。

2. 試 験 地

2-1. 概 況

この試験地は，茨城県西茨城郡七会村の東京営林局笠間営林署笠間事業区 61（と）林小班に位置する。前年度に，前生樹のアカツ林の伐採がおこなわれたアカマツの新植地である。

この地域は，八溝山塊南部の鶏足山の東部にあたり，標高約 200 m である。

地質は，秩父古生層で，粘板岩と砂岩の互層を主として，珪岩，頁岩をはさむ地層で，山頂の緩斜面は部分的に火山灰で被覆されている。地形は従順形地形である。

2-2. 土壌条件

試験地は Fig. 1 に示すように，南西向き傾斜角約 30° の丘陵斜面上に，頂部から下部にかけて順次出現していた BA, B₀(d), B₀ 型土壌の 3 つの土壌型に区分して設定した。各土壌型の断面形態はつぎのとおりである。

BA 型土壌

L～F 層：±

A 層：10 cm。7.5 YR 4/4*。礫含まず。埴質壤土。細粒状構造。すこぶる粗。乾。下層への推移状態は漸。

B 層：20 cm+。7.5 YR 4/6。礫含まず。埴質壤土。軟。潤。

B₀(d) 型土壌

L～F 層：±

A₁ 層：10 cm。7.5 YR 3/3。礫 15%。埴質壤土。粒状構造を主として団粒状構造を混じえる。粗。潤。下部への推移状態は漸。

A₂ 層：20 cm。10 YR 3/4。礫 7%。軽埴土。軟。潤。下部への推移状態は漸。

B 層：20 cm+。10 YR 4/6。礫 7%。軽埴土。軟～やや堅。潤。

B₀ 型土壌

L～F 層：±

A₁ 層：10 cm。10 YR 3/3。礫 15%。軽埴土。団粒状構造。粗。潤。下部への推移状態は漸。

A₂ 層：15 cm。10 YR 3/3。礫 15%。軽埴土。粗。潤。下部への推移状態は漸。

A-B 層：30 cm。10 YR 3/3。礫 15%。軽埴土。粗。潤。下部への推移状態は漸。

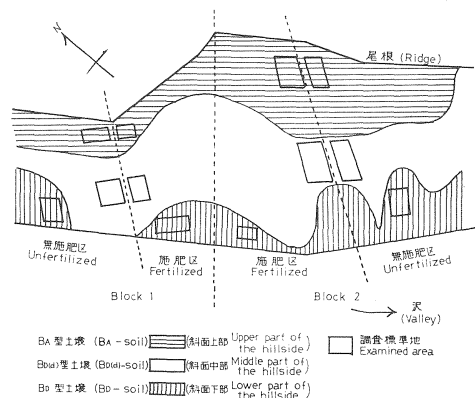


Fig. 1 試験地
Tested forest.

*) 土色。標準土色帳：農林水産技術会議事務局
日本色彩研究所監修（1970）富士平工業による。以下同じ。

B層 : 20 cm+。10 YR 4/4。礫15%。軽埴土。軟～やや堅。潤。

試験設定時の各土壌の理化学性質は Table 1, Fig. 2 および Table 2 に示すとおりである。

理学的性質は Table 1 の透水性に示されるように、BA 型土壌については良好とはいえない。化学的性質は、Table 2 に示したように土壌型別にみると BA, Bd(d), Bd 型土壌の順に、全般的に表層土の pH の増大、C/N, C/有機態 P_2O_5 比の減少、置換性 Ca・Mg・K の含有率および飽和度の増大がみられ、上記の順に良好と言える。

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

土壌型 Type of soil	層位 Horizon	深さ Depth from surface (cm)	透水性 Water percolation rate (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 minimum (%)	採取時水分含有量 Moisture content of fresh soil (%)	
						容積 Volume	重量 Weight		容積 Volume	重量 Weight
BA	A	0～4	40	56	76	60	109	16	29	54
	B	15～19	22	59	79	75	127	4	58	97
Bd(d)	A ₁	0～4	294	46	67	48	126	19	21	55
	A ₂	20～24	173	81	63	57	76	6	35	47
Bd	A ₁	0～4	194	48	69	47	114	22	15	36
	A ₂	20～24	140	85	59	53	72	6	31	42
	A-B	40～44	73	102	52	50	59	2	32	38

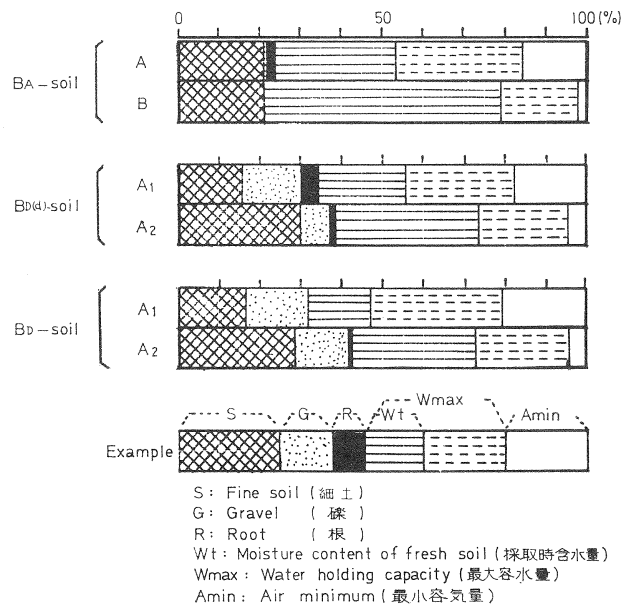


Fig. 2 自然状態の理学的性質
Physical property of soil in natural condition.

Table 2. 土 壌 の 化 学 的 性 質

Chemical property of soil

(乾土あたり : On dry basis)

土壤型 Type of soil	处 理 区 Treatment	層 位 Horizon	pH		置換 酸度 Exch. acidity (<i>y</i> ₁)	C (%)	N (%)	C/N	置換容量 Cation exchange capacity (m. e./ 100 g)	置 換 性 Exch. (m. e./100 g)			飽 和 度 Rate of saturation (%)			P ₂ O ₅ * (mg/100 g)			C/P ₂ O ₅ - org.
			H ₂ O	KCl						Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Org.	Inorg.	Total	
Ba	施 肥 区 Fertilized	A	4.90	4.21	2.5	4.2	0.18	23.3	21.1	0.96	0.20	0.22	4.5	0.9	1.0	14.3	46.6	60.9	294
		B	5.00	3.90	7.4	1.1	0.07	15.7	18.2	0.83	0.47	0.20	4.6	2.6	1.1	3.5	36.2	39.7	314
	無 施 肥 区 Unfertilized	A	4.80	4.30	3.7	5.4	0.25	21.6	28.1	0.26	0.16	0.28	0.9	0.6	1.0	39.3	31.4	70.7	137
		B	5.28	4.09	1.2	1.6	0.12	13.3	23.6	0.58	0.46	0.14	2.5	1.9	0.6	6.6	42.6	49.2	242
Bb(d)	施 肥 区 Fertilized	A ₁	5.48	4.35	3.7	6.5	0.38	17.1	25.7	5.08	1.38	0.50	19.8	5.4	1.9	34.2	67.4	101.6	190
		A ₂	5.58	4.40	1.2	2.8	0.19	14.7	20.5	2.08	0.96	0.23	10.1	4.7	1.1	15.9	58.0	73.9	176
		B	5.25	4.15	2.5	1.1	0.09	12.2	15.3	1.12	0.78	0.21	7.3	5.1	1.4	4.1	54.0	58.1	268
	無 施 肥 区 Unfertilized	A ₁	5.14	4.11	4.9	5.9	0.29	20.3	20.3	2.64	0.58	0.54	13.0	2.9	2.7	24.3	48.2	72.5	243
		A ₂	5.49	4.19	2.5	2.8	0.17	16.5	14.3	2.69	0.72	0.09	18.8	5.0	0.6	9.5	46.1	55.6	295
		A-B	5.20	4.05	4.9	1.7	0.10	17.0	11.3	1.05	0.39	0.05	9.3	3.5	0.4	5.8	37.3	43.1	293
		B	5.10	3.89	9.9	0.5	0.05	10.0	12.1	0.99	1.05	0.07	8.2	8.7	0.6	2.5	33.5	36.0	200
		Bb	施 肥 区 Fertilized	A ₁	5.22	4.25	2.5	3.8	0.27	14.1	21.2	1.73	0.56	0.42	8.2	2.6	2.0	26.6	78.8
A-B	5.21			4.21	3.7	2.6	0.19	13.7	17.5	0.73	0.51	0.16	4.2	2.9	0.9	19.9	85.1	105.0	131
B	5.32			4.45	1.2	1.4	0.12	11.7	12.9	1.23	0.78	0.28	9.5	6.0	2.2	13.7	84.7	98.4	102
無 施 肥 区 Unfertilized	A ₁		5.21	4.09	2.5	6.3	0.35	18.0	27.4	5.33	1.30	0.60	19.5	4.7	2.2	30.3	52.1	82.4	208
	A ₂		5.38	4.10	2.5	4.4	0.30	14.7	23.0	3.93	0.99	0.38	17.1	4.3	1.7	25.3	48.5	73.8	174
	A-B		5.20	3.99	3.7	1.5	0.09	16.7	14.9	1.25	0.69	0.15	8.4	4.6	1.0	10.0	43.9	53.9	150
	B		5.32	3.78	6.2	0.5	0.05	10.0	9.9	1.62	0.99	0.21	16.4	10.0	2.1	3.8	43.5	47.3	132

注) * P₂O₅—Inorg. : 無機態 P₂O₅ (Inorganic P₂O₅)Remarks) P₂O₅—Org. : 有機態 P₂O₅ (Organic P₂O₅)P₂O₅—Total : 全 P₂O₅ (Total P₂O₅)

3. 試 験 設 計

前述の試験目的に添って、Fig. 1 に示すように、処理は施肥と無施肥の 2 種類とし、2 回繰り返した（試験地の総面積は約 1.3 ha である）。また、それぞれの処理ごとに、土壌型による施肥効果のちがいをみるために、BA, Bb(d), Bb 型土壌の 3 プロットに区分し、それぞれのプロット内に調査標準地（79～166 m², 34～68 本）を設けて成長量の測定をおこなった。

植栽は、選苗したアカマツ 1-1 苗（根系および枝張りの良好な中苗）を 1961 年 3 月下旬に、1.4×1.4 m 間隔（ha あたり 5,000 本）でおこなった。

施肥区には、Table 3 に示すように植栽後 15 年間に 5 回の施肥をおこなった。

第 1 回の施肥は、植栽木の植穴底に半量、植穴表層の斜面上部半円内に半量の施肥をおこなった。第 2 回はクローネの直下に上下左右に 4 等分して、第 3 回は上左右に 3 等分して施肥した。第 1～3 回の施肥の深さは 5～10 cm 程度である。第 4～5 回はバラマキ法で地表面に均等に散布した。

Table 3. 施 肥 時 期 お よ び 施 肥 量
Date of fertilization and amount of fertilizer

施 肥 年 月 Date of fertilization	肥 料 の 種 類 Fertilizer	施 肥 量 Amount of nutrient (g/One stand)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Mar. 1961（植栽時）	第 2 種複合肥料* Solid fertilizer (6-4-3)	6.0	4.0	3.0
Mar. 1963	燐安系化成肥料** Compound fertilizer (15-8-8)	10.0	5.4	5.4
Mar. 1965	同 上** (Ibid.)	18.0	9.6	9.6
Dec. 1967	同 上** (Ibid.)	23.0	12.2	12.2
Dec. 1970	同 上** (20-10-10)	15.0	7.5	7.5
Total		72.0	38.7	37.7

備考 * マルヤマチから 1 号

** 住友林業用肥料

4. 調 査 方 法

4-1. アカマツの成長調査

樹高、根元または胸高直径の調査は、成長休止期の 10～12 月におこなった。直径測定は 1961～1965 年は根元直径を、1966 年から胸高直径を測定した。調査は 1961～1967 年は毎年おこない、その後 1970 年に 10 年後、1975 年に 15 年後についておこなった。

試験地の被害状況は次のとおりであった。植栽当時の枯損は多いところで調査標準地 1 プロットあたり 15 本程度であった。その後 1966 年にシンクイムシの食害が発生したが、被害はブロック 1 の BA, Bb(d)

型土壤の標準地に多くみられたが、多いところで 1 プロットあたり 10~15 本程度であった。さらに、その後 1968 年以降に前述のようにマツカレハの被害が発生し、1975 年（15 年後）の調査時には、ブロック 2 の Ba 型土壤で、施肥区は 33 本中 14 本、無施肥区は 32 本中 25 本の枯損木がみられた（1. まえがき参照）。

成長調査は、植栽当初の枯損木については補植をおこなわなかったので、標準地内の調査本数が多少減少し、また、虫害その他の被害木を除いて行った。

4-2. 掘り取りおよび伐倒調査

試験木の乾物重量、養分現存量を求めるために、次のように標準木の伐倒および掘り取り調査を行った。ただし、調査標準地の破壊をさけるために、近くの同一土壤型内で調査木を選定した。

1961 年 3 月（植栽時）

植栽に用いた数本の苗木を供試した。

1963 年 3 月（2 年後）

各プロットの平均に相当する標本木を各 1 本ずつ、計 12 本を掘りとった。

1965 年 3 月（4 年後）

1963 年 3 月と同様。

1967 年 12 月（7 年後）

ブロック 2 の各プロットの周辺部で、胸高直径階別に 3 本ずつ、計 18 本を伐倒し、地上部を調査した。また、地下部は伐倒木のうち、Bb(d) 型土壤の施肥区および無施肥区の中庸木の掘り取り調査をおこない、その地上部/地下部重量（乾重）比を用いて、他の伐倒木の地下部重量（乾重）を推定で求めた。

以上の方法で掘り取り、または伐倒した標本木は、幹、枝、葉、根の各部位ごとに区分し、約 70°C で通風乾燥して乾重を求めた。なお、これらの調査を行った 12 月~翌年 3 月には、2 年生葉はすでに大部分が落葉していたので、1 年生葉だけを対象にした。この採取した試料の一部は、養分現存量を求めるために、後述 4-3 の分析方法によって養分濃度を求めた。

なお、試験木 1 本あたりの乾物重量および養分現存量は、1961 年の植栽苗は数本の平均値。1963、1965 年は各土壤型および処理別にブロック 1、2 の平均値。1967 年は各処理別に胸高直径階別に求めた 3 本の結果から、胸高断面積比でプロット内総量を求め、その値をプロット内本数で除して平均値を求めた。

4-3. 土壌ならびに樹体分析方法

土壌の分析試料採取は、試験設定時にブロック 1 の各プロットごとに行い、次の方法によって分析を行った。

自然状態の理化学性は、採土円筒（400 cc）を用いて行った⁸⁾。

化学性の pH は、土壌 1 : 水 2.5 の懸濁液をガラス電極法により、置換酸度（ y_1 ）は常法により測定した。C および N は、C-N コーダーによる乾式燃焼法により、置換容重および置換性塩基は PEECH 法に準じ、置換性 Ca, Mg, K は原子吸光法によって求めた。また、有機態 P_2O_5 は PEARSON 法¹⁾に準じて行った。

樹体分析の N は KJELDAHL 法、 P_2O_5 、 K_2O は HNO_3-HClO_4 を用いて湿式灰化後、 P_2O_5 は $SnCl_2$ 還元によってモリブデンブルー比色法、 K_2O は炎光および原子吸光法によって行った。

5. アカマツの成長におよぼす施肥の影響および土壌型との関係

（結果および考察—1）

植栽後 15 年間の樹高および直径成長は、Table 4, 5 に示すとおりである。

前述（4-1 参照）のように、1970 年および 1975 年の調査結果はマツカレハの被害を受けていたので参考値として記載するにとどめた。

植栽後の施肥の樹高成長に対する肥効は、各土壌型とも初年度は認められなかったが、2 年度ではいずれの土壌型にも肥効がみられ、とくに BA 型土壌で大きくあらわれていた。3 年度以降は多少の増減はあるが、全般的に $BA > B_d(d) > B_d$ 型土壌の順に減少を示した。7 年間の総成長量の肥効指数〔施肥区/無施肥（%）〕は、上述の土壌型の順にそれぞれ $156 > 125 > 113$ となっている。また、7 年後の樹高の肥効指数は、それぞれ、148, 122, 112 となっており、総成長量の値とほぼ同程度であった。

直径成長に対する肥効は、植栽当年に BA 型土壌でみられ、樹高成長にあらわれる肥効より早くあらわれるようである。しかし、2 年度以降はいずれの土壌型でも肥効がみられ、その傾向は前述の樹高成長の場合と同様であった。7 年後の胸高直径の肥効指数は、BA 型土壌 222 $>$ $B_d(d)$ 型土壌 136 $>$ B_d 型土壌 120 となり、この傾向は樹高成長にあらわれた肥効指数と同傾向であった。

さらに、施肥区の 7 年後の樹高および直径の無施肥区に対する増加量は、それぞれ、BA 型土壌は 100 cm, 2.2 cm, $B_d(d)$ 型土壌は 50 cm, 1.1 cm, B_d 型土壌は 40 cm, 0.9 cm となり、その傾向は、樹高、直径成長の肥効指数の場合と同様であった。また参考として示した 10 年、15 年後の各成長量も、7 年後の肥効のあらわれかたと同様の傾向を示した。

植栽時、2 年、4 年、7 年後における樹体各部位の乾物重量は Table 6 に示すとおりである。

10 年後の調査結果は、前述（4-1 参照）のようにマツカレハの被害を受けていたので除外した。

4 年後（1965 年 3 月）の根の乾物重量が小さく、各プロットいずれの場合も、地上部/地下部重量比は 10 前後を示した。他の年度はいずれも 2 前後を示しているので、1965 年の根の重量は著しく小さいと言える。この原因については説明するには至らなかった。

以上のように重量成長の結果については問題点が残されているが、7 年後までの結果では、施肥によって、全乾物重量、幹重量、葉の重量増加が明らかにみられた。各土壌型と全乾物重量および幹重量の肥効指数は、いずれの年度も、 $BA > B_d(d) > B_d$ 型土壌の順に減少を示し、前述の樹高および直径成長と同様の傾向が見られたが、肥効指数の面では、各土壌型間の差はさらに顕著であった。

わが国の森林土壌における一般的な傾向として、山腹斜面においては、山腹斜面下部から斜面上部の尾根にかけて、すなわち適潤性土壌から乾性土壌になるにしたがって、土壌条件が悪化し、それにともなうて林木の成長は低下すると言える。この試験地の無施肥区の成長も例外ではない、上述のように土壌条件の不良なほど施肥による成長量の増大が著しいことは、山腹斜面全体の林木の成長を均一化するのに役立つといえよう。

アカマツ幼齡林に対する施肥試験は、桑原⁷⁾、塘¹⁰⁾、佐藤俊ら⁹⁾、山梨県¹¹⁾、伊藤ら²⁾の報告がみられるが、佐藤俊らの場合を除くと、主として乾性土壌ないし、せき悪な土壌における植栽後の 1 回施肥で、樹高成長の肥効指数は 120~130 ぐらいの場合が多い。この結果は、ほぼ筆者の場合と同様の傾向を示していると言えよう。

Table 4. 樹 高 成 長

Height growth

(cm)

土 壤 型 Type of soil	処 理 区 Treatment	ブ ロ ッ ク Block	樹 高 Height Mar. 1961	樹 高 成 長 Height growth								樹 高 Height			調査本数 No. of Meas- ured stands 1961~ 1967
				1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	計 Total	Dec. 1967	Dec. 1970	Oct. 1975	
Ba	施 肥 区 Fertilized	1	34	17	27	22	46	50	50	70	280	310	460	600	27
		2	33	19	21	25	48	50	40	70	270	300	430	—	32
		平 均 Average	34	18 (95)	24 (185)	24 (141)	47 (214)	50 (200)	45 (150)	70 (140)	280 (156)	310 (148)	450 (136)	600 (133)	
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	31	20	14	20	24	25	35	50	190	220	350	450	33
		2	33	18	11	14	20	25	25	50	160	190	310	—	32
		平 均 Average	32	19 (100)	13 (100)	17 (100)	22 (100)	25 (100)	30 (100)	50 (100)	180 (100)	210 (100)	330 (100)	450 (100)	
Bb(d)	施 肥 区 Fertilized	1	32	18	23	25	46	50	50	80	290	320	510	730	32
		2	33	19	27	31	62	50	45	70	300	330	500	710	37
		平 均 Average	33	19 (95)	25 (132)	28 (104)	54 (138)	50 (125)	50 (125)	80 (133)	300 (125)	330 (122)	510 (116)	720 (109)	
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	30	18	19	26	41	40	35	60	240	270	450	690	35
		2	34	21	18	27	37	40	40	60	240	270	430	640	29
		平 均 Average	32	20 (100)	19 (100)	27 (100)	39 (100)	40 (100)	40 (100)	60 (100)	240 (100)	270 (100)	440 (100)	670 (100)	
Bb	施 肥 区 Fertilized	1	34	20	34	39	60	55	50	60	320	350	510	750	35
		2	34	20	40	40	67	75	60	80	380	410	580	820	23
		平 均 Average	34	20 (91)	37 (132)	40 (118)	64 (145)	65 (93)	55 (122)	70 (100)	350 (113)	380 (112)	550 (104)	790 (103)	
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	32	20	27	31	40	65	40	70	290	320	510	730	46
		2	33	24	29	36	48	70	50	60	320	350	550	800	21
		平 均 Average	33	22 (100)	28 (100)	34 (100)	44 (100)	70 (100)	45 (100)	70 (100)	310 (100)	340 (100)	530 (100)	770 (100)	

備考 1) () 内は肥効指数〔施肥/無施肥 (%)〕

Figures in parentheses are the fertilizer efficiency index [Fertilized/Unfertilized (%)]

Remarks 2) 成長量の測定は 1961~1964 年は 1 cm 括約, 1965~1966 年は 5 cm 括約, 以後は 10 cm 括約

Table 5. 直 径 成 長

Diameter growth

(cm)

土 壌 型 Type of soil	処 理 区 Treatment	ブ ロ ッ ク Block	直径(根元) Basal diameter	直 径 (根 元) 成 長 Basal diameter growth						直径(根元) Basal diameter	直 径 (胸 高) D. B. H.			
			Mar. 1961	1961	1962	1963	1964	1965	計 Total	Dec. 1965	Oct. 1966	Dec. 1967	Dec. 1970	Oct. 1975
Ba	施 肥 区 Fertilized	1	1.1	0.4	0.8	1.2	1.5	1.7	5.6	6.7	1.4	4.2	6.4	8.1
		2	1.1	0.5	0.6	1.0	1.2	1.8	5.1	6.2	0.9	3.7	6.3	—
		平 均 Average	1.1	0.5 (167)	0.7 (175)	1.1 (183)	1.4 (156)	1.8 (164)	5.4 (169)	6.5 (151)	1.2 (200)	4.0 (222)	6.4 (178)	8.1 (140)
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	1.1	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	3.4	4.5	0.6	2.0	3.9	5.8
		2	1.1	0.3	0.4	0.4	0.8	1.0	2.9	4.0	0.5	1.6	3.3	—
		平 均 Average	1.1	0.3 (100)	0.4 (100)	0.6 (100)	0.9 (100)	1.1 (100)	3.2 (100)	4.3 (100)	0.6 (100)	1.8 (100)	3.6 (100)	5.8 (100)
Bo(d)	施 肥 区 Fertilized	1	1.1	0.3	0.5	0.9	1.2	2.1	5.0	6.1	1.4	4.2	7.2	9.7
		2	1.1	0.4	0.7	1.3	1.4	1.5	5.3	6.4	0.7	4.1	6.5	9.1
		平 均 Average	1.1	0.4 (133)	0.6 (120)	1.1 (157)	1.3 (108)	1.8 (139)	5.2 (133)	6.3 (126)	1.1 (122)	4.2 (136)	6.9 (130)	9.4 (124)
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	1.1	0.3	0.5	0.7	1.1	1.5	4.1	5.2	1.0	3.1	5.5	7.9
		2	1.1	0.3	0.5	0.6	1.2	1.0	3.6	4.7	0.8	3.0	5.1	7.2
		平 均 Average	1.1	0.3 (100)	0.5 (100)	0.7 (100)	1.2 (100)	1.3 (100)	3.9 (100)	5.0 (100)	0.9 (100)	3.1 (100)	5.3 (100)	7.6 (100)
Bo	施 肥 区 Fertilized	1	1.1	0.4	1.0	1.3	1.7	1.9	6.3	7.4	1.2	5.0	7.0	9.8
		2	1.1	0.5	0.8	1.4	2.0	1.9	6.6	7.7	1.1	5.8	7.6	10.2
		平 均 Average	1.1	0.5 (125)	0.9 (113)	1.4 (140)	1.9 (119)	1.9 (119)	6.5 (125)	7.6 (121)	1.2 (109)	5.4 (120)	7.3 (111)	10.0 (119)
	無 施 肥 区 Unfertilized	1	1.1	0.3	0.6	0.8	1.2	1.6	4.5	5.6	0.8	4.5	6.0	7.5
		2	1.1	0.5	0.9	1.1	1.9	1.5	5.9	7.0	1.3	5.0	7.2	9.3
		平 均 Average	1.1	0.4 (100)	0.8 (100)	1.0 (100)	1.6 (100)	1.6 (100)	5.2 (100)	6.3 (100)	1.1 (100)	4.5 (100)	6.6 (100)	8.4 (100)

備考 () 内は肥効指数〔施肥/無施肥 %〕

Remark : Figures in parentheses are the fertilizer efficiency index (Fertilized/Unfertilized, %)

Table 6. 重 量 成 長

Weight growth

(kg/One stand)

土壤型 Type of soil	処 理 区 Treatment	Mar. 1961 (植栽苗 Seedling)					Mar. 1963					Mar. 1965					Dec. 1967				
		幹 Stem	枝 Branch	葉 Needle	根 Root	合計 Total	幹 Stem	枝 Branch	葉 Needle	根 Root	合計 Total	幹 Stem	枝 Branch	葉 Needle	根 Root	合計 Total	幹 Stem	枝 Branch	葉 Needle	根 Root	合計 Total
BA	施 肥 区 Fertilized	0.007	0.005	0.017	0.009	0.038	0.046 (177)	0.026 (137)	0.052 (158)	0.069 (157)	0.193 (158)	0.25 (179)	0.26 (186)	0.35 (175)	0.08 (133)	0.94 (174)	1.72 (344)	1.39 (207)	0.96 (192)	1.59 (237)	5.66 (242)
	無 施 肥 区 Unfertilized						0.026 (100)	0.019 (100)	0.033 (100)	0.044 (100)	0.122 (100)	0.14 (100)	0.14 (100)	0.20 (100)	0.06 (100)	0.54 (100)	0.50 (100)	0.67 (100)	0.50 (100)	0.67 (100)	2.34 (100)
Bb(d)	施 肥 区 Fertilized						0.042 (131)	0.035 (152)	0.067 (149)	0.063 (147)	0.207 (145)	0.34 (170)	0.30 (150)	0.32 (123)	0.08 (114)	1.04 (142)	2.11 (152)	2.73 (187)	1.26 (112)	2.38 (150)	8.48 (152)
	無 施 肥 区 Unfertilized						0.032 (100)	0.023 (100)	0.045 (100)	0.043 (100)	0.143 (100)	0.20 (100)	0.20 (100)	0.26 (100)	0.07 (100)	0.73 (100)	1.39 (100)	1.46 (100)	1.13 (100)	1.59 (100)	5.57 (100)
Bb	施 肥 区 Fertilized						0.059 (120)	0.035 (121)	0.059 (105)	0.081 (129)	0.234 (119)	0.43 (139)	0.40 (133)	0.45 (141)	0.12 (150)	1.40 (139)	3.37 (126)	2.86 (143)	1.55 (116)	3.03 (121)	10.81 (129)
	無 施 肥 区 Unfertilized						0.049 (100)	0.029 (100)	0.056 (100)	0.063 (100)	0.197 (100)	0.31 (100)	0.30 (100)	0.32 (100)	0.08 (100)	1.01 (100)	2.67 (100)	2.00 (100)	1.34 (100)	2.40 (100)	8.41 (100)

備考 () 内は肥効指数〔施肥/無施肥 (%)〕

Remark : Figures in parentheses are the fertilizer efficiency index [Fertilized/Unfertilized, (%)]

土壌型（地形）別の肥効について、伊藤ら²⁾は、アカマツ幼齢林では尾根型（BA～Bd 型土壌）＜中腹斜面型（Bd(d) 型土壌）＜谷型（Bd 型土壌）の順に、樹高、直径および重量成長の肥効指数が増大したとして、本試験の結果と反対の傾向を示している。また、スギ幼齢林施肥試験では、肥沃な土壌では肥効指数が小さく、やせた土壌ほど肥効指数が大きいことが認められ³⁾⁶⁾⁹⁾、今回のアカマツ幼齢林と同様の傾向を示している。このような土壌型（地形）と肥効との関係は上述のようにスギでは認められているが、アカマツの場合は調査例が少ないので一般的な傾向として認めるには、なお、今後の検討を要するものと思われる。

6. 樹体の養分濃度におよぼす施肥の影響ならびに土壌型との関係 （結果および考察—2）

前述 4-2 の各調査時期における樹体の各部位の養分濃度は Table 7 に示すとおりである。これらの結果はいずれも供試本数が少ないため十分な結論を求めることが難しいが、おおよそ次の諸点が推察されるといえよう。

施肥区と無施肥区を、各土壌型および各年度ごとに比べると、葉では N、 P_2O_5 、 K_2O 濃度はわずかな例外を除くと、施肥区において増大が見られたが、その他の幹、枝、根ではとくに明りょうではなかった。また、無施肥区について各土壌型別に比べると、各部位は多くの場合 $BA < Bd(d) < Bd$ 型土壌の順に増大を示していた。

土壌の肥沃度を林木に対する養分の供給面から見ると、わが国の森林土壌では N および P の可給性をもっとも重要な因子と考えられ、さらに、表層土の C/N 比および C/有機態 P_2O_5 比がそれぞれ有力な指標となると考えられている⁵⁾。

前述の Table 2 の土壌の化学性に示されるように、表層土では C/N 比は、 $BA > Bd(d) > Bd$ 型土壌の順に減少し、C/有機態 P_2O_5 比も BA 型土壌の無施肥区を除けば、ほぼ同様の傾向を示しているといえる。また、表層土の pH、N 含有率、置換性 Ca・Mg および K の含有率および飽和度も $BA < Bd(d) < Bd$ 型土壌の順に増大を示し、肥沃度が順次増大することを示しているといえる。これにともなって林木の成長が良好となることは一般的な傾向として、多くの土壌調査事例で認められている。しかしこれらの土壌条件は林木の成長に対して一次的（直接の）影響をおよぼすものでなく、むしろ、二次的（間接の）に N および P の供給力に影響をおよぼし、その結果、林木の成長に影響をおよぼすものと考えられている⁵⁾。

林木の葉分析による栄養診断において、自然状態の林地では、林木の成長が良好なほど同化器官である葉の N、 P_2O_5 および K_2O 濃度が増大すること、また、施肥による成長量の増大にともなって同様に葉の N、 P_2O_5 および K_2O 濃度が増大することは、すでに多くの研究者によって一般的な傾向として認められている。今回は養分現存量の調査を主目的として、全当年生葉を供試しているので、頂枝の当年生葉を対象とする葉分析とは実験条件が異なるが、養分濃度におよぼす土壌型、施肥の影響、成長との関連性などは、今までの葉分析の結果とかなり一致した傾向を示していると言える。同化器官である葉の N、 P_2O_5 、 K_2O 濃度の増大は、葉の同化機能を高め、これが成長量の増大と密接な関連性を有するものと推定される。

Table 7. 養 分 濃 度

Nutrient concentration

(乾物あたり %, Per cent on dry basis)

土 壤 型 Type of soil	処 理 Treatment	部 位 Part	Mar. 1961 (植栽苗 Seedling)			Mar. 1963			Mar. 1965			Dec. 1967		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Ba	施 肥 区 Fertilized	幹 Stem	0.57	0.14	0.29	0.35	0.12	0.24	0.37	0.14	0.20	0.12	0.05	0.11
		枝 Branch	1.20	0.40	0.40	0.65	0.12	0.37	0.61	0.19	0.30	0.35	0.09	0.26
		葉 Needle	1.65	0.41	0.71	1.26	0.32	0.59	1.37	0.31	0.55	1.14	0.27	0.83
		根 Root	0.67	0.22	0.44	0.44	0.08	0.42	0.32	0.27	0.39	—	—	—
	無 施 肥 区 Unfertilized	幹 Stem				0.36	0.12	0.21	0.35	0.21	0.27	0.18	0.05	0.15
		枝 Branch				0.57	0.08	0.32	0.70	0.24	0.36	0.29	0.07	0.23
		葉 Needle				1.47	0.24	0.45	1.04	0.32	0.74	1.23	0.21	0.79
		根 Root				0.35	0.08	0.23	0.34	0.16	0.60	—	—	—
Bd(d)	施 肥 区 Fertilized	幹 Stem				0.37	0.12	0.24	0.33	0.14	0.24	0.12	0.03	0.13
		枝 Branch				0.70	0.14	0.45	0.65	0.22	0.43	0.34	0.10	0.25
		葉 Needle				1.57	0.37	0.65	1.02	0.33	0.72	1.19	0.26	0.76
		根 Root				0.46	0.07	0.41	0.33	0.16	0.51	0.15	0.04	0.18
	無 施 肥 区 Unfertilized	幹 Stem				0.38	0.11	0.22	0.37	0.24	0.23	0.14	0.03	0.14
		枝 Branch				0.80	0.13	0.39	0.65	0.18	0.37	0.28	0.08	0.24
		葉 Needle				1.43	0.29	0.54	0.95	0.29	0.68	1.14	0.23	0.74
		根 Root				0.41	0.08	0.40	0.29	0.15	0.45	0.17	0.05	0.22
Bd	施 肥 区 Fertilized	幹 Stem				0.43	0.14	0.22	0.43	0.16	0.26	0.16	0.05	0.11
		枝 Branch				0.83	0.13	0.34	0.72	0.23	0.34	0.42	0.15	0.26
		葉 Needle				2.06	0.44	0.57	1.64	0.33	0.85	1.60	0.34	0.96
		根 Root				0.53	0.12	0.45	0.44	0.18	0.53	—	—	—
	無 施 肥 区 Unfertilized	幹 Stem				0.42	0.12	0.26	0.37	0.20	0.20	0.17	0.04	0.11
		枝 Branch				0.77	0.14	0.35	0.69	0.22	0.35	0.32	0.12	0.22
		葉 Needle				1.81	0.32	0.43	1.46	0.31	0.66	1.58	0.31	0.92
		根 Root				0.60	0.10	0.38	0.48	0.21	0.48	—	—	—

7. 樹体の養分現存量ならびに施肥成分の吸収率

（結果および考察—3）

前述の調査時期における樹体各部分の養分濃度（Table 7）と乾物重量（Table 6）から求めた樹体の養分現存量は Table 8 に示すとおりである。ただし、1967年の根の養分現存量は、4-2で述べたように、根の乾物重量を求めるために掘り取った根について、N, P_2O_5 , K_2O 現存量を求め、それぞれの地上部/根の比を用いて、他の伐倒木の値を求めた。

Table 8. 樹体の養分現存量および肥料の吸収率
Nutrient uptake of stand and absorption rate of fertilizer

	土 壌 型 Type of soil	要 素 Nutrient	養分現存量 (g/本) Nutrient uptake of stand g/One stand		(A) - (B) = (E)	累計施肥要素量 (F) Total amount of given nutrient g/One stand	肥料要素の吸収率 (E) (F) Absorption rate of given nutrient (%)
			施肥区 Fertilized (A)	無施肥区 Unfertilized (B)			
Mar. 1963	Ba	N	1.29	0.86	0.43	6.0	7.2
		P_2O_5	0.32	0.17	0.15	4.0	3.8
		K_2O	0.81	0.37	0.44	3.0	14.7
	Bd(d)	N	1.74	1.14	0.60		10.0
		P_2O_5	0.40	0.24	0.16		4.0
		K_2O	0.95	0.58	0.37		12.3
	Bd	N	2.19	1.83	0.36		6.0
		P_2O_5	0.54	0.35	0.19		4.8
		K_2O	0.96	0.71	0.25		8.3
Mar. 1965	Ba	N	7.51	3.80	3.71	16.0	23.2
		P_2O_5	2.15	1.37	0.78	9.4	8.3
		K_2O	3.51	2.74	0.77	8.4	9.2
	Bd(d)	N	6.54	4.75	1.79		11.2
		P_2O_5	2.27	1.72	0.55		5.9
		K_2O	4.77	3.30	1.47		17.5
	Bd	N	12.60	8.35	4.25		26.6
		P_2O_5	3.28	2.43	0.85		9.0
		K_2O	6.92	4.17	2.75		32.7
Dec. 1967	Ba	N	20.3	10.2	10.1	34.0	29.7
		P_2O_5	5.5	2.1	3.4	19.0	17.9
		K_2O	16.4	7.8	8.6	18.0	47.8
	Bd(d)	N	30.6	21.5	9.1		26.8
		P_2O_5	7.5	4.9	2.6		13.7
		K_2O	23.4	16.8	6.6		36.7
	Bd	N	48.2	36.4	11.8		34.7
		P_2O_5	13.0	9.0	4.0		21.1
		K_2O	31.9	24.7	7.2		40.0

樹体の N, P_2O_5 , K_2O の現存量は、いずれの場合も施肥区では無施肥区に比べると増大していた。

施肥区と無施肥区の養分現存量の差は、施肥成分から供給されたものと仮定して、施肥成分の吸収率を試算した結果も併せて Table 8 に示しておいた。各年度における施肥成分の吸収率の試算にあたっては、前回までの施肥量の累計値に対するパーセントで示した。

各調査年度、各土壌型ごとの 1967 年までの施肥成分の吸収率は、1965 年の BA 型土壌の K_2O 吸収率を唯一の例外として、N, P_2O_5 , K_2O いずれも林齢の増加にともなって増大した。今回の試算は林木に吸収された施肥成分は落葉として土壌に還元され、その分解にともなって再び林木に吸収される経過、すなわち、土壌と林木との間に行われる養分の循環を除外しているが、現実の林地ではこのような施肥成分の再利用が当然行われているものと考えられる。したがって林齢の増加にともなって施肥成分の吸収率が増大することも、このようなことが主な原因の一つではないかと考えられる。スギ林において、追肥が、植栽時の施肥に比べると著しく長期にわたって肥効を持続している事例⁹⁾¹⁰⁾も、おそらく同様の理由によるものではないかと思われる。

施肥成分の 7 年後における吸収率は、N 27~35%, P_2O_5 14~24%, K_2O 37~48% と試算される。さらに、もし、今回は除外した 2 年生葉に含まれる成分量も加算するならば、これらの施肥成分の吸収率はさらに上回るものと思われる。

引用文献

- 1) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法，養賢堂，225~239，(1970)
- 2) 伊藤忠夫・植田正幸：アカマツ幼齢造林地における立地別肥培試験，日林誌，48(5)，213~220，(1966)
- 3) 河田 弘・衣笠忠司：スギ幼齢林施肥試験〔兵庫県山崎営林署管内マンガ谷国有林〕関西地方における林地施肥試験（第 2 報），林試研報，216，75~97，(1968)
- 4) ————：高野山国有林におけるスギ幼齢林施肥試験（第 2 回中間報告）関西地方における林地施肥試験（第 4 報），林試研報，248，1~13，(1972)
- 5) ————・西田豊昭・吉岡二郎：土壌および針葉の化学的組成とヒノキの成長との関係（森林土壌におけるリン酸の可給性の指標としての carbon/organic phosphorus 比について），林試研報，253，1~37，(1973)
- 6) 衣笠忠司・河田 弘：スギ幼齢林施肥試験（兵庫県山崎営林署管内マンガ谷国有林）（第 2 回報告）林試研報，271，125~134，(1975)
- 7) 桑原武男：林地肥培試験，広島県林試研報，69~79，(1960)
- 8) 林野庁・林業試験場：国有林林野土壌調査方法書，24~26，(1955)
- 9) 佐藤 俊・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齢時の施肥効果について，林試研報，167，93~190，(1964)
- 10) 塘 隆男：わが国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)
- 11) 山梨県林業試験場：林地肥培試験，山梨県林試研報，10~11，(1964)

**A Study on the Fertilization on Young *Pinus densiflora*
Forest in Kasama National Forest
(Fertilization for Fifteen Years after Plantation)**

Hisao SATO⁽¹⁾

Summary

This paper deals with a fertilizer trial on a young *Pinus densiflora* forest for fifteen years after plantation. One of the main objectives of this study was to throw light on the difference of fertilizer effect on some types of soil.

Unfortunately, the outbreak of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* BUTLER, was observed in neighboring forests since the eighth year. At the tenth year's survey, although all stands were still alive, heavy damage of needles was found in some plots. Later, at the fifteenth year's survey, the loss of a greater part of the stands in some plots, especially in BA-soil plots, put an end to this study.

The discussion on the results obtained is limited down to the seventh year, and those of the tenth and fifteenth year are stated for reference.

The distribution of types of soil in test forest is shown in Fig. 1. The physical and chemical properties of soil are inferior in the following order as B_D-, B_D(d)- and B_A-soil (see Table 1 and 2 and Fig. 1).

The dates of fertilization and the amount of fertilizer were stated in Table 3.

The fertilization effect on the height and diameter growth of stands was decreased in the following order as B_A->B_D(d)->B_D-soil (see Table 4 and 5).

The weights of root, stem, branch and needle of stand are stated in Table 6 and their nutrient concentrations in Table 7.

The nutrient concentrations of needle were increased by the fertilization with a few exceptions. However, those of other parts expressed no certain trend.

The nutrient uptake of the stand, calculated from the data in Table 6 and 7, and the absorption rates of fertilized nutrients are stated in Table 8. The nutrient absorption rates were clearly increased with the advance of the stand age with only an exception of K₂O in B_A-soil, 1965.

