

瀬尻国有林におけるスギ幼齢林施肥試験 (植栽施肥後19年間の経過)

佐 藤 久 男⁽¹⁾

Hisao SATO : A Study on the Fertilization on Young *Cryptomeria japonica* Forest in Sejiri National Forest
(Fertilization for Nineteen Years after Planting)

要 旨：静岡県天竜川上流域の瀬尻国有林でスギ新植林分を対象に、30°の斜面に位置するBd型土壌と5~10°の緩斜面のBd(m)型土壌において施肥試験を行い、肥効の比較調査を行った。

この試験地は施肥設定後19年を経過し、新植時からの試験としては、かなり長年数にわたって実施したものである。

19年間の幹材積、胸高直径などにあらわれた肥効指数は、全体的にはBd型土壌よりBd(m)型土壌の方が大きかった。19年間の幹材積総成長量にあらわれた肥効指数はBd型土壌は110、Bd(m)型土壌は128であった。また、施肥による19年間の幹材積増加量は、Bd型土壌は約41、Bd(m)型土壌は94 m³/haであった。

肥効の大きかったBd(m)型土壌では、19年生時の当年生葉のP濃度および着葉量が無施肥区に比べて施肥区では明らかに増大していたことは、施肥林分の炭酸同化作用の増大→幹材積増大につながったものと推定される。

施肥区の19年後の表層土は、無施肥区に比べて全P₂O₅が明らかに増加を示し、そのうち、Bd型土壌では有機態P₂O₅が、Bd(m)型土壌では無機態P₂O₅がそれぞれ増加していた。同時に行った当年生葉の分析結果からも、P濃度が無施肥区に比べ、肥効の大きかったBd(m)型土壌の施肥区がとくに高い傾向を示し、施肥P₂O₅が有効に利用されているものと推定された。

1. ま え が き

わが国のスギ幼齢林に対する林地施肥試験による施肥効果は数多く報告され、その成果は実際に林地に適用されるまでに至っている。しかし、いろいろな立地条件の林地での肥効発現のメカニズムのすべてが解明されているとは限らない。本試験は、天竜川上流域に位置する静岡県磐田郡竜山村、東京営林局水窪営林署瀬尻国有林内において、とくに、土壌条件の相違が施肥効果におよぼす影響を把握するために行ったものである。本試験地は1976年10月現在で19年を経過し、幼齢林の林地施肥試験としては長期間を経過した試験例である。この報告では、施肥がスギの成長および針葉の養分濃度、土壌の諸性質におよぼす影響について検討した結果を報告する。

なお、本試験地の1958~1964年までの7年間の成果³⁾および1966年までの9年間の一部の成果⁴⁾はすでに報告しているので、本報告ではその後の成果を主として19年間の成果をとりまとめた。

本試験地の設定は、1958年4月に塘 隆男技官(当時、土壌肥料研究室長)、原田 洗技官(当時、土壌肥料研究室員)、久保哲茂技官(当時、土壌調査室員)によって行われ、その後、原田および筆者によって、1968年以降は堀田 庸技官(当時、土壌肥料研究室員)および筆者によって試験が続けられた。最終調査は1976年10月に、筆者が堀田技官のご協力を得て行い、とりまとめたものである。

2. 試験地の概況

2-1. 立地条件の概要

本試験地は、静岡県磐田郡竜山村の東京営林局水窪営林署管内瀬尻事業区内 139 へ（設定時、32は）および 139 ぬ（設定時、34 は）林小班に位置する。

前生樹はスギで、伐採後再びスギを植栽したところである。

地質は、古生層の三波川系結晶片岩類で、上部三波川系の緑色片岩に属する地帯である。

設定した 2 か所の土壌は、いずれも適潤性褐色森林土（B_D 型土壌）に属し、一方は歩行土、他は表層下部以下に壁状構造の発達した残積土である。以下、歩行土を B_D 型土壌、表層下部以下に壁状構造の発達した残積土を B_D(m) 型土壌と呼称する。

地形は、B_D 型土壌が 30° の山腹斜面に位置し、B_D(m) 型土壌は 5～10° の山腹緩斜面である。

各試験地の概況、試験地設定時の土壌の特徴については前報³⁾に述べたとおりであり、その概況は Table 1、試験地設定時の土壌の理化学的性質は Table 2 に示すとおりである。土壌の理化学的性質は表層土を除いた各土層は、B_D(m) 型土壌（A₂, B₁ 層）では B_D 型土壌（A-B, B 層）に比べて、透水性が極めて不良である。また、表層の pH は、B_D(m) 型土壌は B_D 型土壌に比べてやや低い。

Table 1. 試験地の概要*
Brief description of the sample plots

土 壌 Soil	林 小 班 Compartment	傾 斜 Inclination (°)	方 位 Direction	海 抜 高 Altitude (m)	土 性 Texture	プロットの面積 Plot area (m ²)	植 栽 本 数 Trees/ha (本/ha)
B _D	139へ	30	S	590	軽 植 土 (Light clay)	224～317	3,250～4,360
B _D (m)	139ぬ	5～10	S	590	同 上 (Ibid)	308～355	2,920～3,270

* 第76回日林講³⁾より引用

Table 2. 土 壌 の 理 化 学 的 性 質* (1958年 4 月)
Physical and chemical properties of soil in the sample plots
(Apr. 1958) (乾土あたり, On dry basis)

土 壌 Soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	土 色 Color	pH (H ₂ O)	C	N	C/N	有効リン酸** Available phosphorus P ₂ O ₅ (ppm)	置 換 性 Exch. (m. e./100 g)		透水性 Water perco- lation rate (cc/min.)
					(%)				Ca	K	
B _D	A	0～30	10 YR 4/3	5.8	6.6	0.45	14.7	25	0.80	0.15	284
	A-B	30～60	10 YR 5/4	5.4	3.9	0.30	13.0	16	0.50	0.15	108
	B	60～	10 YR 5/4	5.4	1.2	0.17	7.1	11	0.85	0.56	125
B _D (m)	A ₁	0～ 5	10 YR 3/2	5.2	6.3	0.41	15.4	23	0.10	0.43	242
	A ₂	5～40	10 YR 4/3	5.3	3.7	0.26	14.2	14	0.05	0.23	43
	B ₁	40～	10 YR 5/5	5.2	2.5	0.21	11.9	11	0.05	0.23	10

備考 Remarks : * 第76回日林講³⁾より引用

** N/5 HCl 可溶 N/5 HCl soluble

2-2. 試験設計および施肥の方法

前述の試験目的に沿って、Bd 型土壌と Bd(m) 型土壌のそれぞれに、施肥区および無施肥区を設け、2 回繰返しの試験地を設定した。

施肥区には、Table 3 に示すとおり、19 年間に 5 回の施肥を行った。第 1 回目（1958 年 4 月、試験設定時）の施肥は、苗木の根元から傾斜上方および左右の 3 か所に、10 cm 離れたところに深さ 10 cm の穴を掘って施した。第 2 回目（1961 年 3 月）は第 1 回目と同じように枝張りの先端直下に深さ 10 cm の穴を掘って施した。第 3 回目（1964 年 3 月）は、苗木の根元から斜面の上方に浅い溝を水平方向にきって施肥を行った。第 4、5 回目（1968 年 11 月、1972 年 2 月）の施肥は地表面に均一にバラマキによって行った。

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	施肥要素量 Amount of nutrient (g/Tree) (kg/ha)*			備 考 Remarks
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Apr. 1958	第 2 種複合肥料 Mixed fertilizer	9	6	5	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 6 : 4 : 3 150 g/Tree
Mar. 1961	同 上 Ibid.	18	12	9	同 上 Ibid. 300 g/Tree
Mar. 1964	第 1 種複合肥料 Compound fertilizer	29	13	13	ウラホルム化成肥料 N : P ₂ O ₅ : K ₂ O = 24 : 16 : 11 130 g/Tree
Nov. 1968	同 上 Ibid.	150*	100*	69*	同 上 Ibid. 625 kg/ha
Feb. 1972	同 上 Ibid.	150*	100*	69*	同 上 Ibid. 625 kg/ha

Table 4. 間伐の強さ

Thinning rate

(プロットあたり, Per prot)

土壌型 Soil	処 理 区 Treatment	ブ ロ ッ ク Block	本 数 Tree number			胸 高 断 面 積 合 計 Basal area (cm ²)			収 量 比 数 Relative yield-density (Ry)	
			全 体 Total	間 伐 Thinned	間伐率 Percentage (%)	全 体 Total	間 伐 Thinned	間伐率 Percentage (%)	間伐前 Before thin- ning	間伐後 After thin- ning
Bd	無施肥区 Unfertilized	1	75	5	7	8,822	361	4	0.77	0.75
		2	80	16	20	7,804	1,220	16	0.84	0.78
	施肥区 Fertilized	1	90	24	27	12,360	2,558	21	0.85	0.76
		2	84	22	26	10,223	2,195	21	0.86	0.78
Bd(m)	無施肥区 Unfertilized	1	98	7	7	6,978	365	5	0.74	0.72
		2	92	7	8	7,237	430	6	0.80	0.75
	施肥区 Fertilized	1	92	5	5	8,926	349	4	0.78	0.74
		2	79	10	13	8,582	1,093	13	0.81	0.75

2-3. 保 育 の 概 況

1958 年 4 月に、スギ 1-1 苗を植栽し、下刈は年 1 回で 5 か年間で打ち切り、その後は施肥および測定の際に作業に困難を伴わない程度に、適宜、下刈、除伐を行った。枝打ちはとくに行っていないが、6 年目以降の測定の際に、胸高直径測定の際となる胸高以下の枝を切り落した。さらに、1968 年 11 月（林齢 11 年）に収量比数 (Ry) をそろえるために Table 4 に示すような強度で間伐を実施した。

3. 調 査 方 法

3-1. 成 長 調 査

試験地の調査は、1958 年 4 月の試験設定時から 1968 年まで毎年成長休止期の 10~11 月頃に行い、その後、1972 年 2 月、1976 年 10 月に行った。直径の測定はプロット内全本数を行ったが、樹高は調査木がかなり大きくなった 1968 年以降は全体の約 20~50% の測定を行い、未測定木は測定木の胸高直径と樹高の関係をプロットごとに作り、NÄSLUND 式¹⁵⁾によって樹高を推定した。

各プロットの立木材積は単木ごとに求めて累計し、面積比で ha あたりに換算した。なお、単木材積は次式¹⁶⁾によって求めた。

$$V = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot f$$

ただし、 V = 単木材積、 D = 胸高直径、 h = 樹高、 f = 胸高形数

3-2. 着葉量調査および葉分析

1976 年 10 月の最終調査時に、Bd 型土壌のブロック 1 と Bd(m) 型土壌のブロック 2 の施肥・無施肥区、計 4 プロットについてプロットあたり 6 本ずつ胸高直径階に応じて選木・伐倒し、枝葉量調査を行うとともに、樹冠上部の当年生葉を採取して葉分析に供した。

着葉量は、上記の各プロットごとの調査木の合計値を、その胸高断面積合計およびプロット内胸高断面積合計の比からプロットあたりに換算し、さらに、kg/ha として示した。

3-3. 土壌ならびに樹体の分析方法

土壌の分析試料の採取は、19 年目（1976 年 6 月）に、Bd および Bd(m) 型土壌のそれぞれの施肥および無施肥区の伐倒調査を行ったプロットで土壌断面調査を行い、分析用試料を採取した。

自然状態の理化学性は、採土円筒 (400 cc) を用いて国有林林野土壌調査方法書¹⁶⁾にしたがって測定した。

pH の測定は、土壌 1 : 水 2.5 の割合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、置換容量は PEECH 法に準拠し、置換性 Ca・Mg および 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²⁰⁾に準じて行った。

樹体分析の N は KJELDAHL 法、P および K は $NH_4OH-HClO_4$ を用いて湿式灰化後、P は $SnCl_2$ 還元によるリンーモリブデンブルー比色法 (HCl 系)、K は原子吸光法によって行った。

4. 結果および考察

4-1. スギの成長におよぼす施肥の影響

試験設定時から 19 年間の直径、樹高および幹材積は Fig. 1, 2, Table 5, 6 および 7 のとおりである。

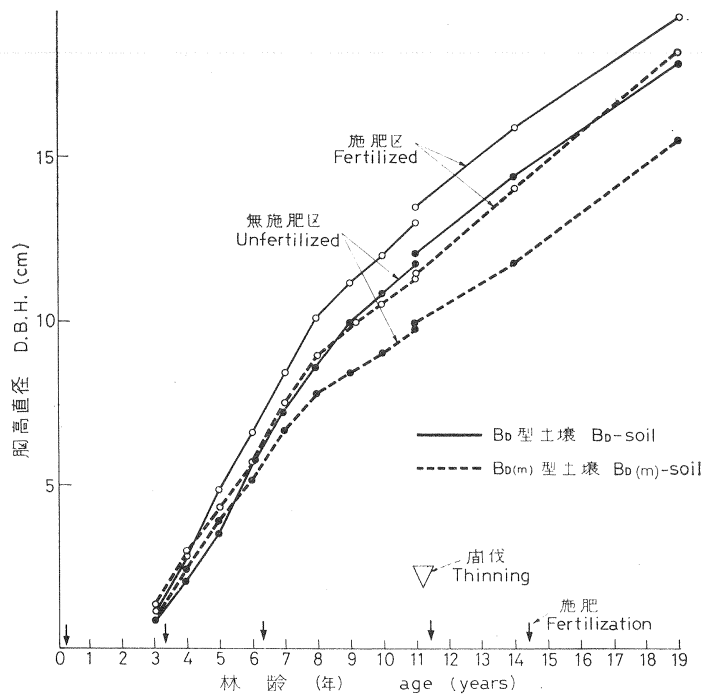


Fig. 1 胸高直径成長経過
Growing process of D. B. H.

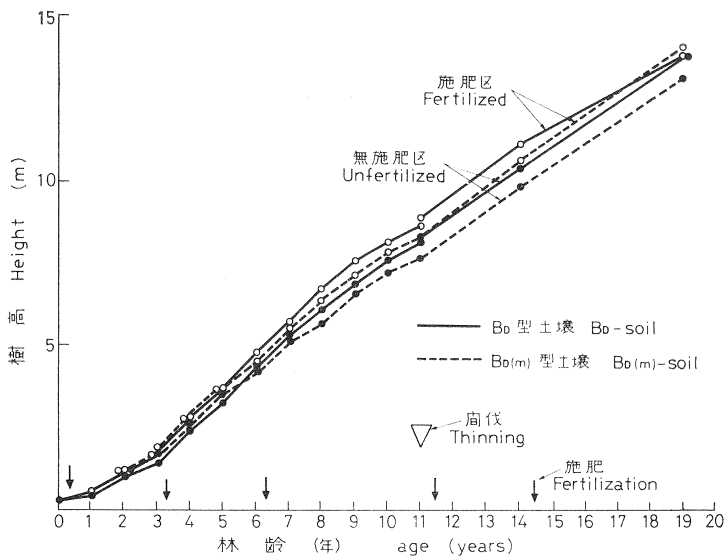


Fig. 2 樹高成長経過
Growing process of tree height.

本試験地の植栽施肥後 7 年間の結果は B_d 型土壤ならびに B_d(m) 型土壤のそれぞれを肥効指数〔施肥区/無施肥区(%)〕であらわすと、樹高 108, 108, 胸高直径 115, 113 のようにほぼ同程度の肥効を示した。

その後、8 年以降の胸高直径成長に対する施肥効果を連年成長でみると、ブロック平均値に示される肥効指数は、B_d 型土壤の施肥区は 8～11 年 103, 12～14 年 107, 15～19 年 96 であった。B_d(m) 型土壤では、それぞれ、128, 133, 111 となり、いずれも B_d(m) 型土壤は B_d 型土壤より大きい傾向がみとめられた。また、試験地設定後 19 年間の総成長量にあらわれた肥効指数は、B_d 型土壤 108, B_d(m) 型土壤 118 となり、この値でも B_d(m) 型土壤の方が大きかった。

樹高成長にあらわれた連年成長に対する肥効を施肥区のプロック平均値の肥効指数で比べると、B_d 型土壤では、8～11 年 100, 12～14 年 109, 15～19 年 80 となり、また、B_d(m) 型土壤ではそれぞれ、117, 96, 110 となっており、年度によって相違はみられるが全般的に B_d 型土壤より B_d(m) 型土壤に肥効が大きくあらわれている。19 年間の総成長量に対する肥効指数は、B_d 型土壤 100, B_d(m) 型土壤 108 となり、B_d(m) 型土壤で肥効がみられたが、B_d 型土壤では肥効がみられなくなっていた。

幹材積の連年成長に対する肥効を間伐後のブロック平均値の肥効指数で示すと、B_d 型土壤は 12～14 年 115, 15～19 年 99, B_d(m) 型土壤では、それぞれ、133, 127 となり、B_d 型土壤では 15～19 年の肥効がみられなくなっていたが、B_d(m) 型土壤ではこの期間においても肥効が持続しているようにみられた。B_d 型土壤の 15～19 年の連年成長量は、施肥区が無施肥区と同程度の値であったことは、この期間の胸高

Table 5. 胸 高 直 径 成 長

D. B. H. growth

(cm)

土壤型 Soil	処 理 区 Treatment	ブ ロ ッ ク Block	胸 高 直 径 D. B. H.					連年胸高直径成長 Annual growth of D. B. H.		
			Nov. 1964 (7 年生)	Nov. 1968* (11 年生)	Nov. 1968** (11 年生)	Feb. 1972 (14 年生)	Oct. 1976 (19 年生)	8～11 年	12～14 年	15～19 年
B _d	無 施 肥 区 Unfertilized	1	7.5	12.1	12.3	14.5	18.2	1.15	0.73	0.74
		2	6.8	11.0	11.3	13.6	17.1	1.05	0.77	0.70
		Ave- rage	7.2 (100)	11.6 (100)	11.8 (100)	14.1 (100)	17.7 (100)	1.10 (100)	0.75 (100)	0.72 (100)
	施 肥 区 Fertilized	1	8.4	13.1	13.6	16.0	19.6	1.18	0.80	0.72
		2	8.0	12.3	12.7	15.1	18.4	1.08	0.80	0.66
		Ave- rage	8.2 (115)	12.7 (110)	13.2 (112)	15.6 (111)	19.0 (108)	1.13 (103)	0.80 (107)	0.69 (96)
B _d (m)	無 施 肥 区 Unfertilized	1	6.6	9.3	9.4	11.2	14.8	0.68	0.60	0.72
		2	6.4	9.8	9.9	12.0	15.6	0.85	0.70	0.72
		Ave- rage	6.5 (100)	9.6 (100)	9.7 (100)	11.6 (100)	15.2 (100)	0.77 (100)	0.65 (100)	0.72 (100)
	施 肥 区 Fertilized	1	7.4	11.0	11.1	13.3	17.0	0.90	0.73	0.74
		2	7.3	11.5	11.5	14.5	18.8	1.05	1.00	0.86
		Ave- rage	7.4 (113)	11.3 (118)	11.3 (117)	13.9 (120)	17.9 (118)	0.98 (128)	0.87 (133)	0.80 (111)

備考：() 内は肥効指数〔施肥/無施肥 (%)〕

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

* 間 伐 前 Before thinning

** 間 伐 後 After thinning

Table 6. 樹 高 成 長
Growth of tree height

(m)

土 壤 Soil	処 理 区 Treatment	ブロック Block	樹 高 Height						総 成 長 Total growth	連 年 樹 高 成 長 Annual growth of height		
			Apr. 1958 (植栽時)	Nov. 1964 (7年生)	Nov. 1968* (11年生)	Nov. 1968** (11年生)	Feb. 1972 (14年生)	Oct. 1976 (19年生)	1～19年	8～11年	12～14年	15～19年
B _D	無 施 肥 区 Unfertilized	1	0.34	5.4	8.4	8.4	10.6	13.8	13.5	0.75	0.70	0.66
		2	0.35	5.2	8.0	8.1	10.0	13.5	13.2	0.70	0.63	0.70
		Average	0.35	5.3 (100)	8.2 (100)	8.3 (100)	10.3 (100)	13.7 (100)	13.4 (100)	0.73 (100)	0.67 (100)	0.68 (100)
	施 肥 区 Fertilized	1	0.34	5.8	8.8	9.1	11.2	13.8	13.5	0.75	0.67	0.54
		2	0.35	5.6	8.4	8.5	10.8	13.5	13.2	0.70	0.77	0.54
		Average	0.35	5.7 (108)	8.6 (106)	8.8 (107)	11.0 (107)	13.7 (100)	13.4 (100)	0.73 (100)	0.72 (109)	0.54 (80)
B _D (m)	無 施 肥 区 Unfertilized	1	0.37	5.1	7.4	7.4	9.6	12.8	12.4	0.58	0.73	0.64
		2	0.37	5.2	7.7	7.7	10.0	13.1	12.7	0.63	0.77	0.62
		Average	0.37	5.2 (100)	7.6 (100)	7.6 (100)	9.8 (100)	13.0 (100)	12.6 (100)	0.61 (100)	0.75 (100)	0.63 (100)
	施 肥 区 Fertilized	1	0.38	5.7	8.2	8.2	10.4	13.5	13.1	0.63	0.73	0.62
		2	0.37	5.4	8.5	8.4	10.5	14.3	13.9	0.78	0.70	0.76
		Average	0.38	5.6 (108)	8.4 (114)	8.3 (113)	10.5 (107)	13.9 (107)	13.5 (108)	0.71 (117)	0.72 (96)	0.69 (110)

備考：() 内は肥効指数〔施肥/無施肥 (%)〕

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

* 間伐前 Before thinning

** 間伐後 After thinning

Table 7. 幹材積成長
Growth of stem volume(m³/ha)

土 壤 Soil	処 理 区 Treatment	ブロック Block	幹 材 積 Stem volume				連年幹材積成長 Annual growth of stem volume		備 考 Remarks		
			Nov. 1968* (11年生)	Nov. 1968** (11年生)	Feb. 1972 (14年生)	Oct. 1976 (19年生)	12～14年	15～19年	調 査 本 数 No. of measured trees		プロット の 面 積 Plot area (m ²)
									*	**	
B ₀	無 施 肥 区 Unfertilized	1	128.5	123.3	208.4	409.5	28.4	40.2	75	70	317.0
		2	157.6	133.4	226.0	453.3	30.9	45.5	80	64	224.1
		Average	143.1 (100)	128.4 (100)	217.2 (100)	431.4 (100)	29.7 (100)	42.9 (100)			
	施 肥 区 Fertilized	1	202.5	163.6	262.5	472.3	33.0	42.0	92	66	295.5
		2	195.2	154.8	259.6	471.6	34.9	42.4	84	62	242.6
		Average	198.9 (141)	159.2 (147)	261.1 (121)	472.0 (110)	34.0 (115)	42.2 (99)			
B ₀ (m)	無 施 肥 区 Unfertilized	1	91.2	86.5	149.2	323.6	20.9	34.9	98	91	329.6
		2	97.1	91.3	163.4	342.6	24.0	35.8	92	85	327.8
		Average	94.2 (100)	88.9 (100)	156.3 (100)	333.1 (100)	22.5 (100)	35.4 (100)			
	施 肥 区 Fertilized	1	114.9	110.4	190.4	400.4	26.7	42.0	92	87	355.3
		2	132.8	114.6	213.0	453.1	32.8	48.0	79	69	308.0
		Average	123.9 (132)	112.5 (127)	201.7 (129)	426.8 (128)	29.8 (133)	45.0 (127)			

備考：() 内は肥効指数〔施肥/無施肥 (%)〕

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

* 間伐前 Before thinning

** 間伐後 After thinning

直径および樹高成長量がいずれも施肥区の方が低かったことによるものである。

19年間の総成長量に対する肥効指数は、B_d型土壌 110, B_d(m)型土壌 128 となり、B_d(m)型土壌の方が大きかった。19年後の施肥区と無施肥区の幹材積の差から施肥による増加量を求めると、B_d・B_d(m)型土壌、それぞれ、40.6, 93.7 m³/ha となり、幹材積増加量も B_d(m)型土壌の方が大きかった。

このような両土壌型の肥効（肥効指数および施肥による成長量の差）の相違を生じた原因としては、次のようなことが考えられる。すなわち、既往のスギ幼齢林施肥試験では、B_d(d)型土壌より B_d型土壌の方が肥効指数が大きかった例¹⁴⁾もあるが、多くの試験例は、やせた土壌の方が肥沃な土壌より肥効指数が大きいたことが認められている¹⁾⁸⁾⁹⁾¹³⁾¹⁹⁾。また、アカマツ幼齢林においても同様の傾向がみられている¹⁸⁾。

この試験地のスギの成長経過を天竜地方スギ地位指数曲線²⁰⁾に適用すると、無施肥区の地位指数（40年生時樹高、m）は、B_d型土壌は 22, B_d(m)型土壌 20 と推定される。このように、無施肥区の B_d型土壌のスギの成長が B_d(m)型土壌よりすぐれていることは、前述のように、B_d型土壌の理化学性、とくに理化学性が良好なことからも裏付け得るであろう。

4-2. 針葉の養分濃度および着葉量におよぼす施肥の影響

3-2で述べた方法によって調査した各プロットの着葉量（緑枝も含む）、針葉の養分濃度および養分比は Table 8 に示すとおりである。

施肥による着葉量の増加は B_d型土壌ではみられなかったが、B_d(m)型土壌では明らかであった。

施肥による N 濃度の増加は両土壌ともみられなかった。P 濃度は B_d(m)型土壌の施肥区が無施肥区に比べて明らかに高かったが、B_d型土壌では明瞭な相違がみられなかった。K 濃度は、両土壌とも施肥区が無施肥区に比べてわずかに低い傾向がみられた。

スギの施肥試験では、伊藤ら⁷⁾は、試験地設定後 4 回の施肥、最終施肥時期から 4 か年を経過した 15 年生のスギ上位葉の N, P, K, Ca ならびに Mg 濃度は、施肥区は無施肥区に比べて明らかに P 濃度が高く、Ca, Mg 濃度は低かったが、N, K 濃度は明らかな相違がみられなかったとしている。

Table 8. 全葉の乾物重と当年生葉の養分濃度および養分比
Dry matter weight of whole needles nutrient concentrations
and their ratios of current needles

（乾物あたり，On dry matter basis）

土 壌 Soil	処 理 区 Treatment	乾 葉 重 Dry matter weight of needles (ton/ha)	当 年 生 葉 の 養 分 濃 度 Nutrient concentration of current needles (%)			N / P	K / P	N / K
			N	P	K			
B _d	無 施 肥 区 Unfertilized	24.5	1.65* 1.52~1.81	0.17 0.15~0.19	0.63 0.53~0.73	9.9 8.2~10.7	3.8 3.1~4.6	2.7 2.2~3.3
	施 肥 区 Fertilized	25.6	1.73 1.56~2.10	0.18 0.15~0.21	0.57 0.44~0.69	9.5 8.1~10.8	3.1 2.4~3.9	3.1 2.5~3.9
B _d (m)	無 施 肥 区 Unfertilized	20.7	1.72 1.60~1.93	0.18 0.13~0.20	0.91 0.74~1.18	9.9 8.6~12.6	5.2 4.0~6.3	1.9 1.6~2.2
	施 肥 区 Fertilized	27.5	1.71 1.54~2.15	0.22 0.19~0.24	0.75 0.60~1.05	7.8 7.0~9.0	3.4 3.1~4.4	2.4 2.0~2.7

備考 Remark : *)

平 均
最低~最高

Average
Min. ~ Max.

針葉の養分比は Table 8 のとおりであり、両土壌の無施肥区の N/P 比は 8～13 であり、B₀ 型土壌の施肥区は無施肥区とほぼ同じ値であった。しかし、B₀(m) 型土壌の施肥区は 7～9 で低い値を示した。また、K/P 比は両土壌とも無施肥区に比べて施肥区がわずかに低く、N/K 比は、いずれも無施肥の方が多少低かった。

河田¹²⁾は、スギ幼齢林の可給態養分のバランスのとれたおおよその養分比の目安として、N/P は 7～10、N/K は約 1.5、K/P は 6～7 の値を提案している。この養分比と対比すると、N/P 比はほぼ同範囲とみられたが、N/K、K/P 比は一致した結果が得られなかった。

前述のように、施肥効果の小さかった B₀ 型土壌では、当年生葉の P 濃度におよぼす施肥の影響がみられなかったが、B₀(m) 型土壌では施肥区で明らかに高い濃度を示したことは、B₀(m) 型土壌の肥効が B₀ 型土壌に比べて大きくあらわれた一要因と考えられる。すなわち、針葉の N 濃度は、各土壌とも 1.5% 以上を示し、N の天然供給力は高い土壌条件にあると思われる。また、P の供給力も針葉の N/P 比からみると全般的にバランスのとれたものと考察されるが、B₀(m) 型土壌の施肥区で、さらに P 濃度が高かったことは、針葉の炭酸同化作用を増大し、前述の着葉量の増加と関連して幹材積の増大につながったものと考察される。針葉の P 濃度と炭酸同化量に関して、坂上¹⁷⁾は、N が十分に供給されている条件下では、P 濃度が高いほど炭酸同化量が増加することを報告している。本試験地の場合にも針葉の N 濃度は各処理区とも 1.5% 以上であり、P 濃度だけが B₀(m) 型土壌の施肥区でとくに高かったことは、このような推定を裏づけるものといえよう。

4-3. 林地土壌の理化学的性質におよぼす施肥の影響

施肥が林地土壌におよぼす影響を知るために、3-3 で述べた方法により土壌の断面調査および分析を行った。

土壌断面形態は次のとおりである。

B₀ 型土壌（無施肥区）

L～F：±。

A₁：5 cm, 10 YR 2.5/3*, 礫乏し、軽埴土、団粒状構造、粗、湿、下層への推移状態は漸。

A₂：15 cm, 10 YR 3.5/4, 礫含む、軽埴土、塊状構造、軟、湿、下層への推移状態は漸。

A—B：35 cm, 10 YR 3.5/3, 礫富む、軽埴土、特に構造は認められない、やや堅、湿、下層への推移状態は明。

B：20 cm+, 10 YR 3.5/4, 礫含む～富む、軽埴土、特に構造は認められない、軟～やや堅、湿。

B₀ 型土壌（施肥区）

L～F：±。

A₁：5 cm, 10 YR 2.5/2, 礫含む、軽埴土、団粒状構造、粗、湿、下層への推移状態は明。

A₂：25 cm, 10 YR 3/3, 礫含む、軽埴土、塊状構造、軟、湿、下層への推移状態は漸。

A—B：25 cm, 10 YR 3/4, 礫富む、軽埴土、特に構造は見られない、堅、湿、下層への推移状態は判。

B：10 cm+, 10 YR 3.5/4, 礫富む、軽埴土、特に構造は見られない、堅、湿。

* 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。

BD(m) 型土壤 (無施肥区)

L ~ F : ±。

A₁ : 15 cm, 10 YR 2.5/3, 礫乏し, 軽埴土, 団粒状構造, 軟, 湿, 下層への推移状態は漸。A₂ : 20 cm, 10 YR 3/3, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, やや堅, 湿, 下層への推移状態は明。B₁ : 20 cm, 10 YR 3.5/4, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, 堅, 湿, 下層への推移状態は漸。B₂ : 10 cm+, 10 YR 4/6, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, やや堅, 湿。**BD(m) 型土壤 (施肥区)**

L ~ F : ±。

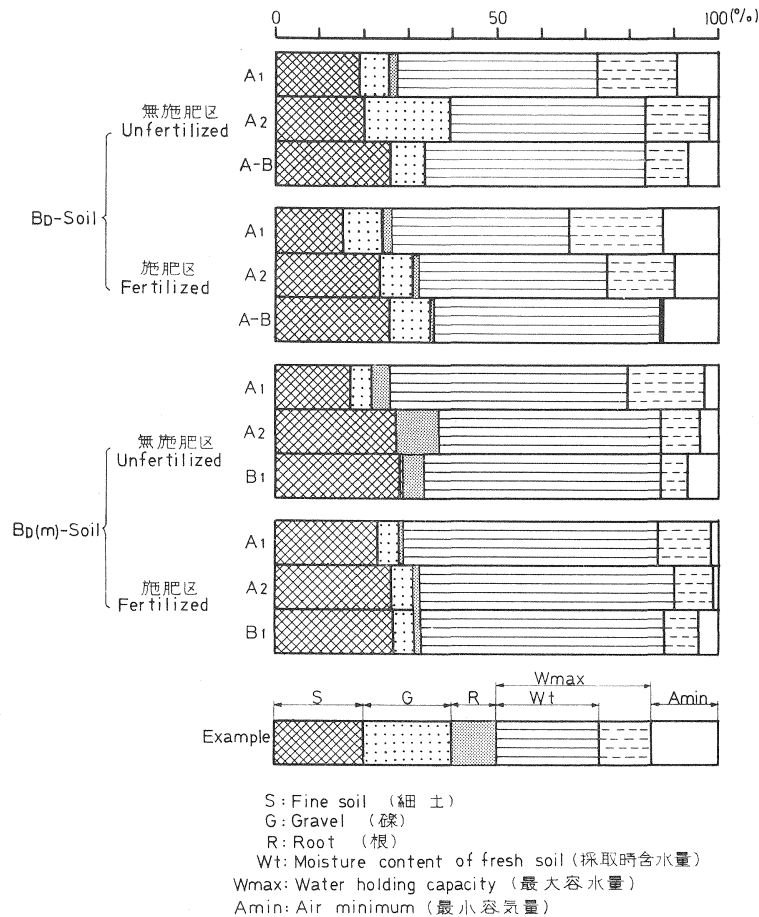
A₁ : 10 cm, 10 YR 2.5/3, 礫乏し, 軽埴土, 団粒状構造, 軟, 湿, 下層への推移状態は判。A₂ : 10 cm, 10 YR 3/3, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, やや堅, 湿, 下層への推移状態は明。B₁ : 20 cm, 10 YR 3.5/4, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, 堅, 湿, 下層への推移状態は漸。B₂ : 10 cm+, 10 YR 4/6, 礫含まず, 軽埴土, 壁状構造, やや堅, 湿。

Fig. 3 自然状態の理学的性質 (1976年6月)

Physical property of soil in natural condition.
(June 1976)

土壌の断面形態は上述のとおりで、無施肥区と施肥区の違いは明らかでない。

土壌の理学的性質は Fig. 3 および Table 9 に、化学的性質は Table 10 に示すとおりである。

理化学性は両土壌とも無施肥区と施肥区では大きな違いはみられなかった。

化学性については、施肥の影響をもっとも受けやすいと考えられる A₁ 層について、施肥区と無施肥区を比べると、両土壌とも全 P₂O₅ 濃度が施肥区で増大していた。その他 Bd 型土壌では、C, N, CEC, Ex.-Ca・Mg および K 濃度の増大がみられたが、Bd(m) 型土壌では Ex.-Ca および Mg の増大がみられたに過ぎなかった。さらに、その全 P₂O₅ の形態を有機態と無機態別にみると、Bd 型土壌では有機態 P₂O₅ 濃度の増大がみられ、Bd(m) 型土壌では無機態 P₂O₅ 濃度の増大がみられ、A₁ 層に残存する P₂O₅ の形態的特徴には一定の傾向がみられなかった。

つぎに、試験地設定時の土壌の化学的性質 (Table 2) と比べると、表層土の 19 年後は、設定時より pH は両土壌型ともかなり低下していたが、とくに Bd 型土壌が顕著であった。C 濃度はいずれの土壌もかなり増加し、N 濃度もわずかに増大した。また、置換性の Ca も表層土で増加したが、とくに Bd 型土壌で顕著であった。

林地施肥の場合、施肥した P₂O₅ の土壌中の動態は明らかにされていないが、河田ら¹⁰⁾¹¹⁾ は、C/有機態 P₂O₅ の比が森林土壌中における P₂O₅ の林木への供給指標となり得ることを指摘している。表層土壌中におけるこの比が小さくなるほど P₂O₅ の可給性が高くなると考えられている。本試験地の場合、施肥区の C/有機態 P₂O₅ におよぼす影響は Table 10 に示すように、Bd 型土壌の表層土 (A₁ 層) では無施肥区に比べて低下を示し、Bd(m) 型土壌でも Bd 型土壌ほど明瞭ではなかったが同様の傾向がみられた。

つぎに、A₁ 層と A₂ 層の C/有機態 P₂O₅ の比をみると、両土壌型のいずれも無施肥区は、河田らの報告と同様に A₁>A₂ 層の傾向がみられたが、施肥区では A₂>A₁ 層となり逆転現象を示した。

Table 9. 自然状態の土壌の理学的性質
Physical properties of soil in natural condition

土壌 Soil	処理区 Treat- ment	層位 Hori- zon	深 さ Depth from surface (cm)	透水性 Water percola- tion rate (cc/min.)	容積重 Volume weight	孔隙量 Po- rosity	最大容水量 Water holding capacity (%)		最 小 容気量 Air mini- mum (%)	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
Bd	無肥料区 Unferti- lized	A ₁	0~4	280	46	73	63	137	10	45	98
		A ₂	10~14	176	53	61	59	111	2	45	84
		A-B	35~39	32	70	66	59	84	7	49	70
	施肥区 Ferti- lized	A ₁	0~4	320	38	74	62	162	12	40	106
		A ₂	15~19	230	62	68	63	102	5	42	69
		A-B	40~44	86	69	64	51	74	13	51	73
Bd(m)	無肥料区 Unferti- lized	A ₁	0~4	182	45	75	71	159	4	54	121
		A ₂	25~29	16	72	64	60	84	4	50	70
		B ₁	50~54	14	77	67	60	78	7	54	70
	施肥区 Ferti- lized	A ₁	0~4	120	60	71	70	116	1	58	96
		A ₂	15~19	14	67	68	67	100	1	58	87
		B ₁	30~34	42	71	68	63	89	5	55	78

Table 10. 土 壤 の 化 学 的 性 質

Chemical properties of soil

(乾土あたり : On dry basis)

土壤 Soil	处 理 区 Treatment	層位 Horizon	pH		置換 酸度 Exch. acidity (Y ₁)	C	N	C/N	置換容量 Cation ex- change 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)			$\frac{P_2O_5-}{org.}/$ $\frac{P_2O_5-}{total}$	$\frac{P_2O_5-}{inorg.}/$ $\frac{P_2O_5-}{total}$	$\frac{C}{P_2O_5-}$ _{org.}
			H ₂ O	KCl						Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	org.	inorg.	total	(%)		
B _D	無施肥区 Unfertilized	A ₁	4.79	3.70	8.7	9.86	0.69	14.3	32.2	5.95	1.31	0.49	18.5	4.1	1.5	66.8	178.1	244.9	27.3	72.7	148
		A ₂	4.72	3.72	16.0	4.36	0.31	14.1	21.5	0.30	0.15	0.13	1.4	0.7	0.6	55.8	117.2	173.0	32.3	67.7	78.1
		A-B	4.92	3.80	11.7	2.58	0.21	12.3	15.6	0.16	0.09	0.08	1.0	0.6	0.5	30.5	134.6	165.1	18.5	81.5	84.6
		B	5.05	3.87	9.7	2.14	0.18	11.9	14.5	0.16	0.09	0.08	1.1	0.6	0.6	35.0	135.7	170.7	20.5	79.5	61.1
	施 肥 区 Fertilized	A ₁	4.80	3.65	10.7	11.06	0.73	15.2	36.8	6.35	1.43	0.52	17.3	3.9	1.4	129.8	158.9	288.7	45.0	55.0	85.2
		A ₂	4.65	3.80	16.7	5.17	0.37	14.0	22.7	0.22	0.15	0.15	1.0	0.7	0.7	56.8	91.9	148.7	38.2	61.8	91.0
		A-B	4.80	3.80	14.6	3.27	0.24	13.6	18.7	0.12	0.09	0.12	0.6	0.5	0.6	40.2	132.1	172.3	23.3	76.7	81.3
		B	4.92	3.70	10.8	1.32	0.13	10.2	12.6	0.26	0.06	0.07	2.1	0.5	0.6	8.9	111.8	120.7	7.4	92.6	148
B _D (m)	無施肥区 Unfertilized	A ₁	4.58	3.60	21.6	7.38	0.50	14.8	23.8	0.84	0.53	0.29	3.5	2.2	1.2	72.0	75.4	147.4	48.8	51.2	103
		A ₂	4.80	3.82	18.7	4.09	0.25	16.4	18.3	0.22	0.10	0.14	1.2	0.5	0.8	46.7	61.9	108.6	43.0	57.0	87.6
		B ₁	4.90	3.80	12.8	1.35	0.12	11.3	11.3	0.11	0.05	0.11	1.0	0.4	1.0	18.5	44.0	62.5	29.6	70.4	73.0
		B ₂	4.95	3.77	21.6	0.95	0.09	10.6	11.3	0.08	0.05	0.11	0.7	0.4	1.0	11.0	45.8	56.8	19.4	80.6	86.4
	施 肥 区 Fertilized	A ₁	4.60	3.60	17.8	7.40	0.50	14.8	27.8	2.10	0.67	0.30	7.6	2.4	1.1	76.7	96.7	173.4	44.2	55.8	96.5
		A ₂	4.70	3.70	19.8	5.31	0.34	15.6	24.6	0.41	0.21	0.17	1.7	0.9	0.7	43.6	76.2	119.8	36.4	63.6	122
		B ₁	4.82	3.85	20.4	2.44	0.19	12.8	15.3	0.14	0.08	0.09	0.9	0.5	0.6	26.7	75.5	102.2	26.1	73.9	91.4
		B ₂	4.89	3.85	12.2	1.27	0.12	10.6	12.9	0.19	0.04	0.09	1.5	0.3	0.7	20.5	49.9	70.4	29.1	70.9	62.0

注)*Remark : P₂O₅-org.有機態 P₂O₅ (Organic P₂O₅)P₂O₅-inorg.無機態 P₂O₅ (Inorganic P₂O₅)P₂O₅-total全 P₂O₅ (Total P₂O₅)

瀬尻国有林におけるスギ幼齢林施肥試験 (佐藤)

以上の点は、施肥した P_2O_5 が植物によって吸収同化後落枝葉および草本遺体を通じて有機態 P_2O_5 として土壤に還元されたことによるものと考えられる。したがって、林地では施肥した P_2O_5 の効果は、林木と土壤との間の物質循環を通じて、かなり長期にわたって期待できるのではないかと推定される。

施肥が林地土壤の化学性におよぼす影響について、春田⁵⁾は、試験地設定 8 年後のヒノキ林の施肥区（3 回施肥）と無施肥区の土壤中の易溶性 N、 P_2O_5 および K_2O （N：無機態窒素、 P_2O_5 、 K_2O ：1/5 N-HCl 抽出）について比較した結果、施肥区では P_2O_5 が最も長く土壤中に保持され、 K_2O がそれにつぎ、N は急速に流亡するとしている。このことは、抽出条件が異なるけれども、本試験地の場合と同様に、 P_2O_5 が比較的長期にわたって土壤中に保持されることを示していると解することができよう。

5. お わ り に

この報告は瀬尻国有林のスギ林の植栽施肥後 19 年間にわたる施肥試験の経過をとりまとめたものである。この試験地は一応今回の調査をもって終了することにした。

試験結果の詳細は上述のとおりであるが、今後に残された検討課題として、土壤条件および成長の良好な Bd 型土壤で、樹高、胸高直径および幹材積成長の肥効指数が 11 年以降次第に低下していることを指摘したい。このような樹齢の林分に対する施肥試験例が乏しく、また、今回はその原因を究明するに至らなかったが、今後十分な検討を要する問題と思われる。

なお、この長期にわたる試験を遂行するにあたり、塘 隆男博士（前土壌部部長）、橋本与良博士（前静岡大学教授）、吉本 衛技官（北海道支場長）ならびに藤田桂治技官（土壌部肥料研究室長）からは有益な助言を賜った。また、とりまとめにあたっては、河田 弘博士（土壌部部長）ならびに原田 洸博士（土壌部肥料科長）からいろいろご教示をいただき、現地調査の折には、水窪営林署および瀬尻担当区の関係係官には数々のお世話をいただいた。また、電子計算機の利用に際して川端幸蔵技官（調査部資料室長）からいろいろご教示いただいた。

以上の方々には心からお礼申し上げる。

引 用 文 献

- 1) 安藤愛次・小島俊郎：林地肥培，固形肥料の施用量試験，山梨林試研報，8，1～43，（1959）
- 2) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法，養賢堂，225～239，（1970）
- 3) 原田 洸・佐藤久男・塘 隆男：スギ肥培試験地における 7 年間の生長経過と樹体内における養分分布について，第 76 回日林講，117～120，（1965）
- 4) ————：スギの成長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究，林試研報，230，1～104，（1970）
- 5) 春田泰次・朝日正美：ヒノキ林土壤の肥培による性状の変化について，第 20 回日林中部支講，164～168，（1971）
- 6) 本田静六原著：森林家必携，増補改訂，395，（1961）
- 7) 伊藤守夫・堀田 庸：大日山県有林におけるスギ肥培試験（1），静岡林試研報，7，1～14，（1975）
- 8) 岩村良男：スギ幼木施肥試験 1 報—外部的な成長経過—，青森林試研報，12～27，（1973）
- 9) 河田 弘・衣笠忠司：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〕，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）
- 10) 河田 弘・西田豊昭：森林土壤のリン酸の形態について，林試研報，250，1～34，（1973）
- 11) ————・—————・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)
- 12) ———: 林木の栄養と施肥反応—葉分析による栄養診断とその応用—, 森林と肥培, 79, 9~12, (1974)
- 13) 衣笠忠司・河田 弘: スギ幼齡林施肥試験 (兵庫県山崎宮林署マンガ谷国有林) (第2回報告), 林試研報, 271, 125~134, (1975)
- 14) 桑原武男: 乾性の土壤に植えたスギの肥培効果について, 第75回日林講, 124~126, (1965)
- 15) 林業教育研究会編 (西沢正久著): 実践林業大学 XI, 森林測定, 農林出版, 102~103, (1972)
- 16) 林野庁・林業試験場: 国有林林野土壤調査方法書, 24~29, (1965)
- 17) 坂上幸雄: 林木の光合成能力とNPK要素, 森林と肥培, 37, 2~5, (1965)
- 18) 佐藤久男: 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), 林試研報, 297, 43~57, (1977)
- 19) 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齡時の施肥効果について, 林試研報, 167, 93~190, (1964)
- 20) 鈴木 正・縣 富美男: 林地生産力に関する調査 (1), スギ林の生長と土壤ならびにスコア表の作製について, 静岡林試研報, 5, 1~80, (1973)

A Study on the Fertilization on Young *Cryptomeria japonica* Forest in Sejiri National Forest
(Fertilization for nineteen years after planting)

Hisao SATO⁽¹⁾

Summary

This study deals with the fertilizer trial for nineteen years after planting of *Cryptomeria japonica* (Sugi) forest in Sejiri National Forest, Shizuoka Prefecture. It was made to make clear the relationship between fertilization effect and soil conditions.

A brief description of sample plots was given in Table 1. The physical and chemical properties of soil at the beginning of the trial were expressed in Table 2. The date of fertilization and amount of fertilizer were stated in Table 3. The fertilization in early years brought the unevenness of stand density of sample plots, and the thinning was done to make all of uniform stand density at the eleventh year. The rate of thinning was given in Table 4.

The result and discussion are described hereunder.

1. The fertilization effect on the growth of *Cryptomeria* stand.

The growing process of height, D. B. H. (diameter at breast height) and stem volume of *Cryptomeria* stand was expressed in Table 5, 6 and 7, and Fig. 1 and 2.

The fertilization effect on both types of soil, i. e. B_D- and B_D(m)-soil, was just the same for seven years after planting. After that time the fertilization effect in B_D-soil decreased in comparison with that in B_D(m)-soil. The fertilizer efficiency indexes (Fertilized/Unfertilized, %) of height growth in B_D- and B_D(m)-soil at seventh, eleventh, fourteenth and nineteenth year were 108 and 108, 107 and 113, 107 and 107, and 100 and 107, respectively. Those of D. B. H. growth were 115 and 113, 112 and 117, 111 and 120, and 108 and 120, respectively. Those of stem volume except at seventh year were 141 and 132, 121 and 129, and 110 and 128, respectively. The fact that no fertilization effect was recognized on the annual growth of stem volume in B_D-soil since fifteenth to nineteenth years is worthy of note (see Table 7).

Summarizing those results for nineteen years after planting. The increase of stem volume by fertilization was 40.6 m³ in B_D-soil and 93.3 m³ in B_D(m)-soil, and their fertilizer efficiency indexes were 110 and 128 respectively.

Many researchers in this country pointed out that higher fertilizer efficiency index on young *Cryptomeria* stand on infertile soil than that on fertile soil was usually recognized. Similar trend was observed on young *Pinus densiflora* stand, too.

The growing process of *Cryptomeria* stand, and physical and chemical properties of unfertilized plots of both types of soil suggested that B_D-soil would be more fertile than B_D(m)-soil. The fact that the fertilizer efficiency index of B_D-soil decreased since the eleventh year in comparison with that of B_D(m)-soil seemed to express a similar trend.

2. The fertilization effect on dry matter weight of whole needles and nutrient concentrations of current needles on the top of stand.

Received December 12, 1978

(1) Soil Survey Division

The dry matter weight of whole needles, nutrient concentrations and their ratios of current needles on the top of stand were stated in Table 8.

The dry matter weight of whole needles increased surely in B_d(m)-soil by fertilization, but no clear change was observed in B_d-soil.

The following change were seen on the nutrient concentrations of current needles :

The increase of N concentration by fertilization was not recognized in both types of soil. The P concentration surely increased in B_d(m)-soil, but slightly in B_d-soil. The K concentration was slightly decreased in both types of soil. The N and P concentrations of every plot were more than 1.5% and 0.15%, respectively. Those values seemed to be sufficient to bring the excellent growth of *Cryptomeria* stand. It was said that the increase of P supply increased the carbonic acid assimilation of *Cryptomeria* needles under the sufficient N supply, i. e. more than 1.5%. The increased P concentration in B_d(m)-soil in comparison with that in B_d-soil by fertilization seemed to accelerate the carbonic acid assimilation in B_d(m)-soil. The increase of amount of whole needles and the carbonic acid assimilation in B_d(m)-soil than those in B_d-soil seemed to induce more increase of stem volume growth in B_d(m)-soil than that in B_d-soil.

3. The fertilization effect on the soil properties.

The physical and chemical properties of soil at nineteenth year after planting were expressed in Table 9 and 10, and Fig. 3.

No clear difference of physical property of soil was recognized between the fertilized and unfertilized plots of both types of soil.

Comparing the chemical properties of A horizon where the fertilization effect would surely appear, if it was effective, the following facts were observed :

Total P₂O₅ increased in fertilized plots of both types of soil in comparison with that in unfertilized plots. The increase of C, N, CEC, exch.-Ca, Mg and K were observed in B_d-soil, but only those of exch.-Ca and Mg in B_d(m)-soil.

On the P₂O₅ form, organic P₂O₅ increased by fertilization in B_d-soil, but inorganic P₂O₅ in B_d(m)-soil. There was no certain trend between the phosphorus form and type of soil.

Comparing the chemical properties of soil at the nineteenth year with those at the beginning of the trial, the decrease of pH value and the increase of C, N, exch.-Ca concentrations were observed. Among them that of pH value, C and exch.-Ca in B_d-soil were noticeable.