

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)

関西地方における林地施肥試験 (第4報)

河 田 弘⁽¹⁾・衣 笠 忠 司⁽²⁾

Hiroshi KAWADA and Tadashi KINUGASA: Studies on Fertilization of Young

Cryptomeria japonica Forest in Mt. Kôya National Forest

(The Secondary Progress Report)

[Studies on Forest Fertilization in Kansai Area (Part 4)]

要 旨: 和歌山県高野山国有林の湿性ボドゾルにこの試験地が設定されてから10年を経過した。最初の4年間の結果はすでに林試研報, 162, p. 143~162, (1964) に発表したが, この報告はその後の6年間の結果をとりまとめたものである。筆者らは, 幼齡時ないし植栽時の施肥試験は数年で打ち切られている例が多いが, できるだけ長期間にわたって継続することが望ましいと考えている。

隔年施肥区は良好な成長を維持し, 10年後には樹高8.1m, 直径13cmに達し, 無施肥区に比べて樹高は2.3倍, 直径は2.6倍に達した。植栽後3年目施肥区は施肥6年後に肥効は消失したが, 同時に行った追肥によってふたたび良好な成長を回復した。植栽時および5年目施肥区は追肥6年後もなお肥効が認められた。

10年後に行った土壌の分析結果は, 隔年施肥区でH層における有機物の分解無機化がけんちよに認められた。また葉分析の結果は, 施肥にともなう成長量の増大にともなう, 針葉のN, PおよびK濃度の増大とCa濃度の減少が認められたが, Mg濃度は一定の関係が見られなかった。

1. は じ め に

筆者らの一人衣笠が, 和歌山県伊都郡高野山町の高野営林署管内高野山国有林にスギ・ヒノキ幼齡林施肥試験地を設定してから, すでに10年の年月を経過した。この試験地の設定後4か年間の結果はさきに発表¹⁾したとおりである。

この試験地は当初, スギおよびヒノキ(列状混植)を対象として短期間の試験を目的とし出発したが, その後方針を変更して長期試験にきりかえられた。前報²⁾で述べたように, 4か年を経過した1965年春には, 施肥区におけるスギの成長が予想以上に良好でヒノキが被圧され始めたので, ヒノキを除伐して以後はスギを対象として試験が継続されている。

今回の報告は, 前報以後の第5~10年(1965年春~1970年秋)の6か年間の経過を, 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

この期間中における施肥はTable 1に示すとおりであった。

下刈りは設定後4年間で終了し, 以後は行わなかった。しかし, 各測定および施肥時に支障となる低木

Table 1. 施肥時期および施肥量

Date of fertilization and amount of
fertilizer per one stand

Plot	Mar. 1965	Mar. 1967	Mar. 1969
A	150g*	200g**	300g**
B	150g*		300g**
C			
D			
	Unfertilized		

および草本の刈払いを行った。

3. スギの成長

この期間中におけるスギの成長は、Table 2 および Fig. 1 に示すとおりであった。

この試験地の土壌は Pw(h) II~III (湿性ポドゾル化土壌・腐植型) に属する。今までに行われた土壌調査の結果からは、このような土壌におけるスギの人工林の成林は困難であろうと予想されている。無施肥区 (D区) のこの期間中の樹高成長は、前報³⁾ に示した植栽後 4 年間に比べるといちじるしい低下を示し、予想どおり今後の成林に対してかなり暗い見とおしを与えるにいたっている。

このような土壌条件の不良な林地に対して、施肥は果して有効であろうか？ この試験地が設定された 10 年以前は、わが国において林地施肥に対する関心が高まり始め、同時に幼齡林に対する多くの試験が盛んに行われ始めた時期であった。当時このような問題に対して、2 つの相反する仮説が行われていた。

その 1 つは、わが国の林地は一般に養分に乏しいので、施肥によっていちじるしい生産力の増大が期待できるであろうとしていた。このような見解にしたがえば、当然施肥によってスギの良好な成長が期待で

注) 1) 立木密度は各区いずれも 2,750 本/ha。

2) * ㊦ 1 号 (24-16-11) をクローネの周辺の下に深さ 10cm に環状施肥。

** 同じ肥料を手まきで地表面に散布した。

Remarks: 1) The no. of trees of each plot was 2,750/ha.

2) * The mixed fertilizer that contains 24% of N, 16% of P₂O₅ and 11% of K₂O was given in the depth of 10 cm from the surface of soil circularly under the circumference of crown of tree.

** The same fertilizer was broadcasted by hand over the whole plot.

Table 2. スギ幼齡

The growth of

プロット Plot	成立木本数 No. of trees	1965年 3 月 Mar. 1965		1967年 3 月 Mar. 1967			
		樹 高 Height	胸 高 直 径 D.B.H.	樹 高 Height	胸 高 直 径 D.B.H.	樹 高 成 長 Height growth	直 径 成 長 D.B.H growth
A	35/47	$\frac{375}{272 \sim 438}$ (178)	$\frac{43}{22 \sim 78}$ (239)	$\frac{520}{400 \sim 620}$ (193)	$\frac{81}{53 \sim 111}$ (261)	$\frac{140}{70 \sim 190}$ (233)	$\frac{38}{26 \sim 49}$ (292)
B	36/48	$\frac{338}{263 \sim 408}$ (160)	$\frac{33}{14 \sim 49}$ (183)	$\frac{420}{290 \sim 540}$ (156)	$\frac{55}{22 \sim 76}$ (177)	$\frac{80}{40 \sim 170}$ (133)	$\frac{22}{5 \sim 34}$ (169)
C	39/48	$\frac{308}{190 \sim 414}$ (146)	$\frac{31}{12 \sim 57}$ (172)	$\frac{440}{310 \sim 510}$ (163)	$\frac{62}{31 \sim 96}$ (200)	$\frac{130}{70 \sim 190}$ (217)	$\frac{31}{16 \sim 43}$ (238)
D	38/46	$\frac{211}{145 \sim 329}$ (100)	$\frac{18}{6 \sim 29}$ (100)	$\frac{270}{210 \sim 360}$ (100)	$\frac{31}{26 \sim 49}$ (100)	$\frac{60}{20 \sim 100}$ (100)	$\frac{13}{5 \sim 23}$ (100)

注) 成立木本数……測定本数/植栽本数。樹高……cm, 胸高直径……mm。

カッコ内の数字は肥効指数……施肥/無施肥(%)

Remarks) No. of trees……No. at measured/no. at planted. Height……cm, D.B.H.……mm.

Figure in parenthesis is fertilizer efficiency index……Fertilized/unfertilized (%).

きることになるであろう。筆者らの一人河田の湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齡林の施肥試験⁹⁾のけんなな施肥効果は、短期間の試験ではあったが、このような見解を裏付けるささやかな資料を提供するものといえよう。

これに対して、林木の成長は土壌中の養分の供給力によるだけではなく、土壌の理学的性質等も生産力を支配する有力な因子を構成する。したがって、前報⁹⁾で述べたように、理学的性質のきわめて不良な湿性ポドゾルにおいては、この点が成長の阻害因子となるために、幼齡時はともかく、ある程度の樹齡・成長量に達した後は、施肥による良好な成長は期待し得ないであろうとする見解もあった。

A区はこの点に対する解答を与えるために、植栽時および以後2年ごとに施肥量を増大しつつ継続して施肥が行われている。最近の施肥量はわが国におけるスギ幼齡林における慣行施肥量に比べると、かなり過大と思われるが、植栽木に対して養分不足を生ずるおそれがないようにとの、配慮によって行われているものである。

A区におけるこの期間中のスギの成長量は、植栽後の4年間に比べると多少低下していたが、全般的にきわめて良好な成長を持続していたといえよう。直径成長は年々低下していたが、この点は本数密度比数の増大の影響によるものではないかと考えられる。しかし、胸高断面積合計の増加はほぼ一定であった。

10年間の成長を無施肥区と比べると、樹高は2.3倍、直径は2.6倍に達し、蓄積は約15倍に達するものと推定された。10年生で樹高8.1m、直径13cm、蓄積約160m³/haという成長は、スギ幼齡林のきわめて優良な林分の成長に相当するといえよう。

筆者らはA区の今後の成長について、必ずしも楽観的な見とおしを持っているわけではない。なぜならば、下層にきわめて堅密で理学的性質の不良な土層を有する土壌では、これが根系の発達を阻害し、初期の成長は良好であっても、ある程度の樹齡・成長量に達した後は、以後の成長がいちじるしく低下している林分をしばしば観察しているからである。

木の成長

C. japonica stands

1969年3月 Mar. 1969				1970年11月 Nov. 1970			
樹高 Height	胸高直径 D.B.H.	樹高成長 Height growth	直径成長 D.B.H. growth	樹高 Height	胸高直径 D.B.H.	樹高成長 Height growth	直径成長 D.B.H. growth
670 580~780 (223)	108 69~141 (270)	150 80~210 (500)	27 10~47 (300)	810 670~990 (231)	129 79~170 (258)	140 80~120 (280)	21 10~35 (210)
450 300~600 (150)	65 24~85 (163)	30 10~80 (100)	10 4~17 (111)	620 480~780 (177)	88 58~111 (176)	170 80~220 (340)	23 11~35 (230)
500 320~740 (167)	77 42~113 (193)	60 30~170 (200)	15 6~21 (167)	590 430~820 (169)	91 53~125 (182)	90 60~150 (180)	14 5~22 (140)
300 230~410 (100)	40 27~61 (100)	30 20~70 (100)	9 6~15 (100)	350 270~460 (100)	50 29~73 (100)	50 20~110 (100)	10 6~17 (100)

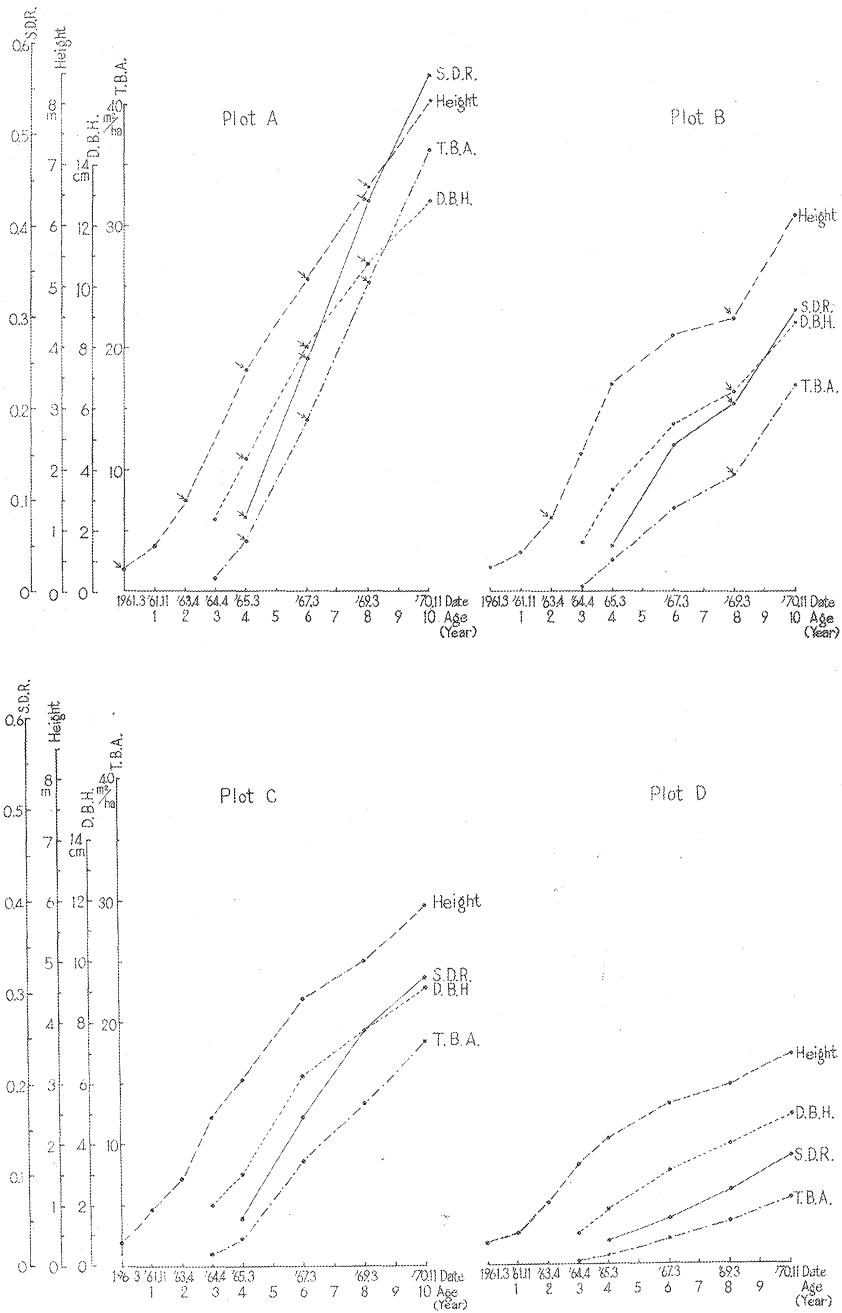


Fig. 1. 樹高, 胸高直径, 胸高断面積合計および立木密度比
The progress of height, D.B.H., total basal area and stand density ratio.

したがって、上述の施肥効果に対する2つの相反する見解に対する解答は、なお今後の経過を待たなければならぬであろう。

次に林地施肥の効果について、次のような問題点が提起されている。

植栽後ないしは幼齢時の施肥は、根系の発達を促進し、養分の吸収範囲が拡大するために、養分吸収量の増大をもたらす、その後長期にわたって成長に好結果を与えるとの見解¹¹⁾がある。さらに、その結果林木の養分吸収量はいちじるしく増大し、施肥木は無施肥木と比べると、一部の養分については、施肥量以上に多量の養分を吸収しているとの報告も見られる。

これに対して、幼齢時の肥効は年数の経過とともにうすれて、ある程度の樹齢に達すると無施肥林との成長差が見られなくなるとの見解も見られる。

筆者はこれらの相反する見解に対して、現段階では批判はさけない。しかし、最近では林地施肥の普及の初期の見解とは異なり、幼齢林については追肥を必要とする見解が強くなっているように思われる。

筆者らはこれらの問題に関連して、年間成長量の小さい植栽直後から施肥を行う方が有効か、年間成長量が増大した植栽1～2年後から施肥する方が有効か、この点についての知見を得ることを計画した。いずれにせよ、これらの問題は施肥時期および施肥量と、肥効およびその後の年数の経過にともなう変化についての知見が重要な鍵となろう。

BおよびC区はこれらの資料を得るために継続されている。植栽後3年目（1963年春）に施肥したB区では、以後4年を経過した1967年春には、樹高および直径成長はかなりの肥効を示していたが、6年を経過した1969年春には、樹高および直径成長は無施肥区と相違が見られず、肥効は消失したと考えられた。しかし、同時に行われた追肥によって、1970年秋には樹高および直径成長はいちじるしく増大し、いずれもA区の樹高および直径成長より大きかった。以上の点はいつ施肥を行っても、施肥量および施肥方法が適切であれば、それに対応する肥効が得られることを示すものといえよう。

植栽時施肥後5年目の1965年春に追肥を行ったC区では、以後6年を経過した1970年秋においても、樹高および直径成長はAおよびB区に比べるとおとるが、かなりの肥効を持続していた。C区の植栽時の肥効は、前報⁹⁾で示したように4年後には直径成長では消失し、樹高成長でわずかに認められたに過ぎなかった。

以上のBおよびC区における各施肥の肥効の持続期間の相違は、施肥量および施肥回数の相違などのいろいろな因子の影響が考えられるが、この点の解明は今後の経過の推移を待たなければならぬであろう。

4. 土 壌 の 変 化

前生樹の伐採および新植によって、また、施肥によって、土壌の諸性質の変化が予想されたので、この点を明らかにするために、10年後の1970年秋に次のような調査を行った。

すなわち、各区ごとに斜面に沿って上、中、下部にそれぞれ2個ずつ、計6個の試孔を設け、断面形態の調査および試料の採取を行った。

野外における観察結果では、各区ごとの試孔点の断面形態はほぼ同一であったが、この点は斜面長がきわめて短いために、斜面地形の影響を反映するに至らなかったためであろう。各区を相互に比較すると、A₀層一とくにH一にけんちような相違が認められた。Lは各区いずれも厚さ2cm、FはA区は厚さ

1/(1~2)cm, 他はいずれも2cmで明りょうな相違は見られなかった。HはA区は厚さ5/(4~6)cm, B区は10/(9~10)cm, C区は10/(9~12)cm, D区は13/(10~16)cmで、施肥回数および施肥量の多いほどH層の厚さの減少が認められた。

鉱質土層では、前報³⁾のProf. 1および2とほとんど変化を示さず、A₂における斑状の溶脱部およびB₁におけるR₂O₈の集積が明りょうに認められた。

各区ごとに6個の試料を合して分析に供した。分析方法はCおよびNはC—Nコーダーを用い、C.E.C.および置換性塩基の定量はPRECH法を用いたが、その他は前報³⁾と同様であった。

分析結果はTable 3に示すとおりであった。

Hについては次のような諸点が認められた。

全般的に設定時と比べると、C, N, 置換性CaおよびMg含有率、およびpHの低下が見られた。これらの変化はpHを除いてA区の場合はきわめてけんちよであったが、他の区では比較的小さかった*1。

各区相互に比べると、A区におけるCおよびN含有率、C.E.C., 置換性CaおよびMg含有率がいちじるしい低下を示し、C—N比はとくにいちじるしいものではないが、同様に低下を示していたことは、施肥回数および施肥量が他の区よりいちじるしく多いことの影響によるものではないかと考えられる。

B, C およびD区については、施肥量の多いB区はC—N比、置換性Ca含有率および同飽和度が多少の低下を示していた。

以上のように、H層における有機物の分解無機化と塩基の消失は無施肥区においても認められるので、皆伐および新植にともなう環境の急激な変化によってもたらされたものと考えられたが、同時に施肥によっていちじるしく助長されると推定された。

鉱質土層については、設定時に比べると全般的に各区いずれもpHの低下が認められた。各区相互に比

Table 3. 土 壌 の 化 学 的 性 質

The chemical properties of soil

(乾物当 : On dry matter basis)

プロット Plot	Layer horizon	C %	N %	C/N	C.E.C	Exch. Ca	Exch. Mg	Rate of saturation%		Exch. acidity Y ₁	pH (H ₂ O)
								Ca	Mg		
A	H	26.4	0.99	26.7	67.6	1.93	1.22	2.9	1.8	32.2	3.70
	A ₂	7.55	0.32	23.6	32.4	0.33	0.23	1.0	0.7	100	3.90
	B ₁	4.30	0.19	22.6	28.0	0.10	0.06	0.7	0.2	82.1	4.25
B	H	40.7	1.48	27.5	99.3	5.68	3.52	5.7	3.5	17.6	3.60
	A ₂	7.44	0.31	24.0	35.6	0.73	0.58	2.1	1.6	78.2	3.80
	B ₁	4.36	0.18	24.2	29.5	0.26	0.09	0.9	0.3	89.7	4.20
C	H	38.9	1.25	31.1	91.8	6.52	3.00	7.1	3.3	19.2	3.65
	A ₂	8.56	0.34	25.2	32.9	0.75	0.29	2.3	0.9	74.4	3.75
	B ₁	5.28	0.22	24.0	29.3	0.31	0.11	1.1	0.4	89.4	4.10
D	H	39.1	1.30	30.0	99.0	8.83	2.69	8.8	2.7	15.2	3.75
	A ₂	1.14	0.49	23.3	39.2	1.06	0.24	2.7	0.6	75.7	3.70
	B ₁	4.58	0.22	20.8	28.1	0.73	0.12	2.6	0.4	97.4	4.20

注) C.E.C., 置換性CaおよびMgはm.e./100gで示した。

Remarks) C.E.C., Exch. Ca and Mg are shown in m.e./100g soil.

C and N were determined by C—N coder and C.E.C., exch. Ca and Mg were determined by PRECH method.

*1 第1報とは分析方法が異なるが、C—NコーダーによるCおよびNの定量値はTYURIN法およびKJELDAHL法と近似的な値を示す⁶⁾。置換性塩基はN KCl浸出液の場合は、筆者らの経験では一般にPRECH法より多少低い値を示す。

較すると、 A_2 および B_1 層の置換性 Ca および Mg の含有率および飽和度は H 層の場合と同様に施肥によって低下を示し、施肥回数および施肥量の多いほど低下の程度は大きかった。しかし、いずれの場合も、元来が置換性塩基に乏しい土層なので、各区間の相違はわずかであった。

施肥の土壌におよぼす影響について、幼齡林の場合には次のような結果が報告されている。塘¹¹⁾は施肥によって土壌の酸性の低下、置換性 Ca 含有率の増大をスギ林について、また C/N 比の減少、置換性 Ca 含有率の増大、理學性の改善をアカマツ林について認めている。藏本ら¹²⁾はトドマツ林において施肥林土壌の N, P, Ca 含有率の増大を、生原ら¹³⁾はヒノキ林において施肥による C/N 比の減少、pH の増大等を認めている。

これに対して、竹下ら¹⁰⁾はカラマツ林の施肥林では、C 含有率および C/N 比がわずかに減少を示した以外、ほとんど変化が見られないことを報告している。佐藤ら⁹⁾は施肥後 5～7 年のスギ林について、施肥の土壌に及ぼす影響はそれぞれ土壌ごとに異なり、肥よくな土壌ではほとんど影響が見られないが、肥よく度の低い林地ほどけんちょに影響を及ぼし、とくに Ca および Mg 飽和度が増大することを明らかにしている。

筆者らの試験地は一般には人工造林の対象とは考えられない湿性ポドゾルであるから、上述の褐色森林土および黒色土壌を対象とした諸例とは、土壌条件がいちじるしく異なる。したがって、施肥の土壌に及ぼす影響の異なるのも当然であろう。

5. 下層植生の変化

設定後10年を経過した各区の下層植生は、次のように明りょうな相違を示していた。

すなわち、無施肥区（D区）では高さ約1mに達するササによって全面的に密におおわれていた。施肥区ではササはきわめて少なく、その他の低木、草本類も少なかったが、とくにA区では、BおよびC区に比べるとササおよび低木類の減少がけんちょであった。

試験地の設定直後は各区いずれも主としてササ、その他低木および草本類の繁茂がはげしく、4年間の下刈りを行った。その後は施肥区はスギの良好な成長によって、うっぺい度が急速に増大するにつれて、しだいに下層植生の減少をもたらした。

各区いずれも4年後にヒノキを除伐したために、スギは 2.4×1.5 m (2,750 本/ha) 間隔となっているが、D区ではまだ疎林の状態を呈していたのに対して、BおよびC区ではうっぺい状態に近づき、A区では下枝の先端が相互にふれ合って、ほぼうっぺい状態に達していた。

6. 葉分析による栄養診断

設定後10年を経過した1970年11月に、各区いずれも全植栽木の頂枝の当年生針葉を採取して葉分析を行った。

分析方法はCおよびNはC—Nコーダーを用い、他は湿式灰化後原子吸光法を用いた。

分析結果は Table 4 に示すとおりであった。

2年前の1969年春に追肥を行って、最近2か年間にもっとも良好な成長を示したAおよびB区では、CおよびD区に比べると針葉中のN, PおよびK濃度は明りょうに増大が認められた。C区では無施肥のD区に比べると、N, PおよびK濃度の増大を示していた。この点は前述⁹⁾のように、C区では6年前の

Table 4. 針 葉 の 組 成
The chemical composition of needles

(乾物当 : On dry matter basis)

プロット Plot	C %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	C/N	N/P	N/K	K/P	N/Ca
A	53.8	1.37	0.20	1.04	0.44	0.19	39.2	6.9	1.3	5.2	3.1
B	52.3	1.33	0.20	1.17	0.50	0.19	39.3	6.7	1.1	5.9	2.7
C	54.3	1.20	0.17	0.81	0.74	0.19	45.3	7.1	1.5	4.8	1.6
D	53.0	0.83	0.094	0.75	1.05	0.15	63.0	8.9	1.1	8.0	0.8

(Remarks) C and N were determined by C-N coder.

P, K, Ca and Mg were determined by atomic absorption method after wet ashing with $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ mixture.

1965年春に行った追肥の肥効が持続していたことと明りょうな関連性を示すように思われた。

以上の結果は、スギ以外の主要造林樹種も含めて、施肥試験ないし土壤条件および成長の異なる林分において、葉のN、PおよびK濃度について、施肥の場合にはN濃度は希釈作用によって無施肥区と相違が明らかでないか、または減少する場合も認められているが、一般に施肥による成長の増加または土壤条件の相違による成長量の増大にともなって、葉中のN、PおよびK濃度が増大することが認められている。これらの点は、筆者らはいままでの施肥試験²⁾⁻⁵⁾において明らかにしてきたが、今回も同様であった。また、これらの問題についてのいままでの内外の報告については、すでに第1～3報²⁾⁻⁴⁾において論じたので、今回は重複はさけた。

針葉のCa濃度はAおよびB<C<D区の順に成長量の大きいほど減少を示し、N、PおよびK濃度とは反対の傾向を示していた。Mg濃度はA、BおよびC区はいずれも等しく、D区より増大を示していたが、成長との関連性は明らかではなかった。

スギの針葉のCaおよびMg濃度については、施肥および成長量の増大にともなって低下を示す場合が少なくないが、この両者の関連性はN、PおよびK濃度の場合ほど明りょうではないことをすでに第1²⁾および2報³⁾において指摘した。今回の結果も同様であったが、この問題についてはなお今後の検討を待ちたい。

今回のスギ針葉の養分比については、C/NおよびN/P比はAおよびB<C<D区の順に低く、N/Ca比はB<A<C<D区の順に低く、いずれも成長量の増大にともなって減少を示したが、N/KおよびK/P比は施肥および成長とは関連性が見られなかった。

7. お わ り に

1) この報告は高野山国有林におけるスギ幼齢林施肥試験地の設定後5～10年間(1965年春～1970年秋)の結果を報告したものである。

2) A(隔年施肥)区はきわめて良好な成長を持続した。B区は3年目春に行った施肥の効果は6年後には消失したが、同時に行った追肥によってふたたび良好な成長を回復した。設定時に施肥したC区に対する5年目春の追肥は、肥効はしだいに低下したが6年後もなお肥効の持続が認められた。

3) 設定後10年間における土壌の変化を検討するために、10年後に採取した試料の分析を行った結果、施肥の影響は隔年施肥を行ったA区において、H層における有機物の分解無機化と塩基の消失がけんち

であった。

4) 下層植生はA<B<C<D区の順にササおよび低木類がけんちょに減少を示したが、この点はうっぺい度の相違の影響によるものであろう。

5) 10年目の葉分析では、成長量の増大にともなって針葉のN、PおよびK濃度の増大が認められたが、Ca濃度は反対に減少を示し、Mg濃度は成長と明らかな関連性が見られなかった。養分比については、C/NおよびN/P比は成長量の増大にともなって減少したが、N/KおよびK/P比は関連性が見られなかった。

稿を終るに当たり、この試験地の維持および管理等に多大のご協力をいただいた高野営林署の関係各位に心からの感謝をささげる。また、この試験研究を進めるに当たって多大のご配慮をいただいた支場関係各位に感謝する。

文 献

- 1) 生原喜久雄・川名 明・相場芳憲：ヒノキ幼齡林に対する石灰窒素配合・石灰窒素施肥試験，東京農工大演報，8，1～8，(1969)
- 2) 河田 弘 (KAWADA, H.)：湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齡林施肥試験，A fertilizer treatment on young larch forest on wet podzolised soil. 林試研報，Bull. Gov. For. Exp. Stat., 162, 143～162, (1964)
- 3) 河田 弘・衣笠忠司 (KAWADA, H. and KINUGASA, T.)：高野山国有林におけるスギ，ヒノキ幼齡林施肥試験〔関西地方における林地施肥試験（第1報）〕，A study on fertilization of young mixed forest of *C. japonica* and *C. obtusa* in Mt. Kôya National Forest. (Studies on forest fertilization in Kansai Area (Part 1)), 同上，Ibid., 191, 115～136, (1966)
- 4) 同上，Ibid.：スギ幼齡林施肥試験（兵庫県山崎営林署マンガ谷 国有林）（同上第2報），A study on fertilization on young *C. japonica* in Mangatani National Forest (Ibid. Part 2), 同上，Ibid., 216, 75～97, (1968)
- 5) 同上，Ibid.：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），A study on fertilization of young *P. Thunbergii* forest in Ubagahara National Forest in Hiroshima Prefecture. (Ibid. Part 3), 同上，Ibid., 219, 121～136, (1969)
- 6) 河田 弘・西田豊昭：土壌の化学分析法についての二，三の改良と検討，森林立地，XII, 1, 26～32, (1970)
- 7) 蔵本正義・永稲留蔵・塩崎正雄：造林地施肥試験，トドマツ幼齡林の養分吸収と施肥効果，林試研報，217, 75～114, (1968)
- 8) 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，同上，167, 93～190, (1964)
- 9) 竹下純一郎・東 基：林地肥培に関する研究（4）施肥が土壌におよぼす影響（1），71回日林講集，198～199, (1961)，同（6），同（2），75回日林講集，131～134, (1964)
- 10) 竹下純一郎・中村 基・山口 清：同上（9），カラマツ林における施肥が土壌の理化学的性質におよぼす影響，78回日林講集，297～299, (1967)
- 11) 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)

Studies on Fertilization of Young *Cryptomeria japonica* Forest
in Mt. Kôya National Forest (The Secondary Progress Report)
[Studies on Forest Fertilization in Kansai Area (Part 4)]

Hiroshi KAWADA⁽¹⁾ and Tadashi KINUGASA⁽²⁾

Summary

1. Introduction

This paper deals with the progress on the fertilizer trials of young *Cryptomeria japonica* (Sugi) forest in Mt. Kôya National Forest during 6 successive years, Mar. 1965–Nov. 1970. This experimental forest was established by one of the authors, KINUGASA, in Apr. 1961. The results during the first 4 years were described in Part 1³⁾. This experimental forest was a mixed forest of *C. japonica* and *Chamaecyparis obtusa* (Hinoki) at the start, and it was designed for short-term fertilizer trials. At the end of the 4th year, Mar. 1965, the *C. obtusa* stands were going to be overdrawn by the *C. japonica* stands, planted in alternate lines. The very excellent growth of the latter was beyond prediction at the beginning of the trials. The authors changed the design to long-term trials and felled the *C. obtusa* stands and proceeded with the fertilizer trials on the *C. japonica* stands.

2. Fertilization

The dates of fertilization and the amounts of fertilizer given in this term were shown in Table 1.

3. The growth of *C. japonica* stands

The growing process of young *C. japonica* stands during the 5th~10th year was shown in Table 2 and Fig. 1.

The soil of this experimental forest belongs to the wet podzolised soil (humus type). The growth of stands in the unfertilized plot (Plot D) was very poor and it decreased remarkably in this term in comparison with that during the first 4 years. It was going on to realize the forecast at the start that the normal growth of stands could not be expectable as described in Part 1³⁾.

The time when this experimental forest was established was the early days of forest fertilization in this country.

The foresters were directing their interest on forest fertilization, and many fertilizer trials were going on. The following opposite opinions were expressed in those days. The dominant one among the fertilization scientists, was that the forest soils in this country were usually insufficient in nutrients for the forest stands, and that effective increase of the growth of stands could be expected by the fertilization. The other view held by the forest soil scientists, was that the growth of forest stands would be affected by not only the nutrient supplies of

Received October 7, 1971

(1) (2) Kansai Branch Station.

forest soils, but also by their physical conditions and other factors. According to the first opinion, the excellent growth of *C. japonica* stands could be expectable even on the podzols. The large fertilization effect on young larch stands on wet podzol by one of the authors²⁾ tends to support this opinion.

However, the authors frequently observed the following facts that the good growth of stands during their young years ceased on and after reaching certain ages on the soils with very compact lower horizons in a certain depth. The check of the development of roots through those horizons brought the decreases of the growth of stands. The similar facts were frequently observed by other forest soil scientists, too. According to the second opinion, the fertilization effects could be unexpectable on and after certain ages of stands on those soils, even if additional fertilization were continued.

Additional fertilization every other year, increasing the amounts of the fertilizer, were continued in Plot A to answer the above-mentioned question. The amounts of fertilizer and the frequencies of fertilization may be rather excessive in comparison with those customarily given to the same aged young *C. japonica* stands in this country. In the authors' opinion, no nutrient deficiency would occur in Plot A by the adequate additional fertilizations.

The growth of stands in Plot A during this term was excellent and satisfactory, though it somewhat decreased comparing with that during the first 4 years described in Part 1. The gradual decreases of D.B.H. in every other year on and after the 6th year may be explained by the effects of the rapid increases of stand density ratio as shown in Fig. 1. Their increases of height and total basal area at every other year were nearly constant. The height, D.B.H. and volume of stands in Plot A were 2.3 times, 2.6 times and about 15 times in comparison with those in Plot D (unfertilized), respectively. The average growth of stands in Plot A, 10-year-old, 8.1 m in height, 13 cm in D.B.H. and about 160 m³/ha in volume was equivalent to the very excellent growth level of young *C. japonica* stands. However, the authors were not optimistic about their future growth, as the very compact and physically inferior lower horizon of this experimental forest soil may suppress their growth.

The next question on forest fertilization was as follows :

In the early days of forest fertilization in this country it was said that the fertilization at the plantation or young ages stimulated the development of the roots, and the increases of the nutrient absorbing ranges in the soil increased the growth of stands for a long term. Some foresters, against this opinion, said that the fertilizer effects on young stands decreased year after year, and that the differences of height and D. B. H. between the fertilized and unfertilized stands were not observed on and after reaching certain ages.

Be that as it may, the recent general opinion that some additional fertilizations would be necessary to keep the fertilizer efficiency on the fertilized stands is going to be dominant.

The authors wished to get information as to which treatment was the more effective... the fertilization at the plantation when the annual growth was small, or at a few years later after plantation when the growth increased. The data on the fertilization effects affected by the differences of the age of stands and the amounts of fertilizer would be useful in solving these problems. Plot B and C were continued for these objectives.

On Plot B, fertilized at the beginning of the third year, Apr. 1963, the fertilizer effects on height and D.B.H. growth of stands were still observed at 4 years later, Mar. 1967, and it ceased at 6 years later, Mar. 1969. The recovery of their vigorous height and D.B.H. growth

by the additional fertilization at that time was observed at two years later, Nov. 1970.

On Plot C, the fair effect on height and D. B. H. growth by the second fertilization at the beginning of the 5th year, Mar. 1965, was still recognized at 6 years later, Nov. 1970. The effect of the first fertilization at the plantation was slightly observed only on the height growth at 4 years later, Mar. 1965. The longer maintenance of the additional fertilization effect in Plot C than that in Plot B and the first fertilization in Plot C may have been brought about by the increases of the amount of fertilizer given, or by the fertilization frequency.

4. The changes of the soil by fertilization

The authors established 6 profiles in every plot to examine the changes of soil by fertilization.

Remarkable changes were observed in the thickness of H layer. The thickness of L and F layers in every plot was about 1~2 cm and no clear difference was observed. The thickness of H layer increased in the following order as 5/(4~6) cm in Plot A, 10/ (9~10)cm in Plot B, 10/(9~12)cm in Plot C and 13/(10~16) cm in Plot D. The decreases of thickness of H layer seemed to be proportional to the frequencies of fertilization and the amounts of fertilizer.

On the mineral horizons, the eluvial and illuvial horizons, A_2 and B_1 , were still recognized in every profile.

The samples of the 6 profiles in each plot were mixed and analysed.

The results were shown in Table 3.

Making a general comparison with H layers in this time and those at the establishment, shown in Part 1³⁾, the slightly decreased C and N concentrations, lower exch. Ca and Mg concentrations and lower pH value of the former than those of the latter were obtained.

The following differences were observed concerning the H layer in every plot in this time. The C and N concentrations and C. E. C. of the H layer in Plot A were remarkably decreased in comparison with those in other plots. The less exch. Ca and Mg concentrations and their rates of saturation of the H layer in Plot A than those other plots were observed. The differences of C-N ratio were slight and those of pH values were obscure. The increases of the frequency of fertilization and the amount of fertilizer seemed to accelerate the decomposing process of the organic matter and the loss of Ca and Mg of the H layer in Plot A. Similar tendencies, though they were not so clear as those among Plot A and other plots, were observed among the H layers in Plot B, C and D.

A general comparison with the mineral horizons in this time and those at the establishment, shown in Part 1, revealed no clear difference except the lower pH values in the former than those in the latter. Comparing the mineral horizons of every plot in this time in detail, the decreases of exch. Ca concentrations and their rates of saturation in A_2 and B_1 horizons in proportion to the increase of the frequency of fertilization and the amount of fertilizer, similar to the cases of H layers, were obtained. But the differences among them were rather slight.

5. The changes of undergrowth

The following remarkable differences of the undergrowth in every plot were observed. *Sasa*, about 1 m in height, densely covered over the whole plot in Plot D.

Sasa, other shrubs and grasses went from a little to less in proportion to the increase of crown density of stands in the following order as Plot C and B>A.

6. The nutrient diagnosis by foliar analysis

The current needles at the top shoot of all stands in every plot were collected and analysed. The results were shown in Table 4.

The correlation between the increases of N, P and K concentrations in foliage and those of the growth of stands were testified by the authors and many other researchers on the fertilization tests and on the comparisons with the unfertilized forests in different soil conditions. The authors reviewed the domestic and foreign reports on this problem in Part 1~3^{3)~5)}.

The following results obtained this time confirm the above-mentioned facts, too. The N, P and K concentrations of the needles in Plot A and B were highest among those in all plots. The additional fertilization at two years ago, Mar. 1969, and the most excellent growth during the current two years seemed to correlate to the increases of N, P and K concentrations of the needles.

The maintenance of the additional fertilization effect during 6 years since Mar. 1965 in Plot C would be explained by the higher N, P and K concentrations of needles than those in Plot D (unfertilized).

The Ca concentrations of needles decreased in the following order as Plot D>C>B and A. The decrease of Ca concentration seemed to correlate to the increase of the growth of stands by the fertilization. The Mg concentrations of the needles in Plot A, B and C were all the same, and they were more than that of Plot D.

The facts that the correlation between the Ca and Mg concentrations of needles and the growth of stands, though the increases of Ca and Mg concentrations with the decreases of the growth were often observed, were not so clear as those of N, P and K concentrations and the growth of stands described in Part 1~3^{3)~5)}. These problems remain to be clarified in future.

On the nutrient ratios of the needles, the C/N and N/P ratios decreased in the following order as Plot D>C>B and A. These nutrient ratios seem to correlate to the growth of stands. But there was no clear correlation among the N/K and K/P ratios and the growth of stands.

7. Acknowledgement

The authors wish to express their gratitude to the officers of Kôya District Forest Office for their cooperation in carrying out this work.