

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)

河 田 弘⁽¹⁾
衣 笠 忠 司⁽²⁾

1. は じ め に

1961 年春に筆者らの 1 人衣笠によって、兵庫県山崎営林署管内マンガ谷国有林にスギ幼齡林施肥試験地が設定されてから、すでに満 6 年の年月が経過した。

この試験地は当初は成長のおそい裏系のスギ品種一実栗スギーに対する施肥効果および施肥効果と立地条件の関係を検討することが主目的であった。同年秋に河田が関西支場に転任するとともにこの試験に参加し、さらに葉分析による林木の栄養診断と、栄養条件と成長および施肥との関係等についても、あわせて検討することになった。

この試験地は今後も引きつづいて継続の予定であるが、すでに 6 か年を経過したので、その結果を中間的にとりまとめて発表することにした。

2. 試験地および試験方法

2-1. 試験地

位 置：兵庫県実栗郡波賀町日の原，山崎営林署マンガ谷国有林 84 号，林小班，面積は 0.385 ha。

気 候：付近の関西電力発電所の観測値によると，年平均気温 12～13℃，年降水量 1,800～2,200 mm である。積雪は約 1.5 m に達する。

地況および林況：この試験地はミズナラ，ミズメ，カエデ等の広葉樹を主とし，モミ，ツガ，スギ（天然生）をわずかに混じえる林地の伐採跡地である。標高は 750～800 m。この付近は古生層と閃緑岩の接触部にあたり，土壌は粘板岩，砂岩および閃緑岩を母材料とする。

試験地の各プロットはいずれも方位 SW，傾斜 35～40°，長大な平衡斜面の中腹および下部にそれぞれ 4 プロットずつ，計 8 プロット〔斜面下部はプロット A～D，斜面中腹はプロット A'～D'〕の試験区を設定した。

2-2. 試験方法

試験樹種は実栗スギ 1-1 苗（実生）を用いた。実栗スギはこの地方におけるサンキ品種として広く養苗されているが，この試験に用いた苗木は天然生の実栗スギから採取した種子を養苗したものである。1961 年 4 月上旬に，これらの苗木を 1.8×1.5 m（4,000 本/ha）の間隔で植栽した。

(1) 関西支場育林部土壌研究室長・農学博士 (2) 関西支場育林部土壌研究室

施肥設計は斜面下部および中腹にそれぞれプロット A および A' [植栽時, 3年目および5年目施肥, すなわち植栽時より2年ごとに施肥], プロット B および B' [3年目にはじめて施肥, 以後4年ごとに施肥 (予定)], プロット C および C' [植栽時および5年目施肥, すなわち植栽時以後4年ごとに施肥], プロット D および D' [無施肥] を設け, 同じ地形においてはくり返しを行なわなかった。

施肥は 1961 年 4 月の植栽時にプロット A および A', C および C' に対して, 植栽木 1 本あたり固型肥料 ㊦ 1 号 (6-4-3) 12 個 (180 g) を根元から 15 cm 離して, 深さ 10 cm に 4 か所に分けて施した。その後, 3 年目の 1963 年 4 月にプロット A および A', B および B' に対しては, 1 本あたり ㊦ 1 号 (24-16-11) 100 g を, さらに 5 年目の 1965 年 4 月にプロット A および A', C および C' に対して, ㊦ 1 号 150 g (1 本あたり) をいずれもクローネの周辺に深さ 10 cm に環状に施肥した。

下刈は毎年 1 回, 7 月に行なった。

成長量の測定は第 5 表に記載した時期に, 樹高および根元直径 (高さ 10 cm) について行なった。樹高測定は初年度～第 3 年度は 1 cm 括約, 第 4～5 年度は 5 cm 括約, 第 6 年度は 10 cm 括約で行なった。試験期間中に生じた枯損, 下刈その他の事故による被害木はすべて測定から除外した。

土壌の P の定量は vanadomolybden yellow 法¹⁰⁾を用いた。その他の土壌および針葉の分析方法は第 1 報⁴⁾と同様である。

3. 試験地の土壌

3-1. 土壌型, 断面形態および植生

試験地の土壌はいずれも BD 型土壌 (適潤性褐色森林土) に属し, 斜面下部は崩積土, 斜面中腹は匍行土であった。

各断面の形態は第 1 表に示すとおりであった。地表植生はスゲ類, エビガライチゴ, アブラチャン, エゴノキ, ヒヨドリバナ等が斜面下部に多く, キイチゴ, アブラチャン, エゴノキ, ネザサ等が斜面中腹に多く見られた。

3-2. 土性および理化学的性質

土性は第 2 表に, 自然状態の理学的性質は第 3 表および第 1 図に, 化学的性質は第 4 表に示すとおりであった。

土性は各断面はいずれも大部分が軽塩土に, 一部は砂質壤土に属し, 全般に塩質であった。

透水性は各断面いずれも下層まで大きく, 全般に自然状態の理学的性質は良好であった。

化学的性質は, スギ林下の BD 型土壌としては pH 値はかなり低く, 置換酸度は大きかったが, この点は高海拔高の影響によるものであらうと考えられた。しかしながら, これらの点はとくにスギの生育の阻害因子をなすほどの強いものとは考えられなかった。また, 腐植の含有率は少なかったが, C/N 率は小さく, 置換性 Ca および Mg, 0.2 N HCl 可溶 P_2O_5 および K_2O 含有率はとくに高い値ではなかった。

上述の諸点を総合すると, 全般にスギの生育を阻害するような土壌的な因子はとくに見られず, したがって, かなり良好なスギの成長を期待しうる土壌条件と考えてさしつかえないように思われた。

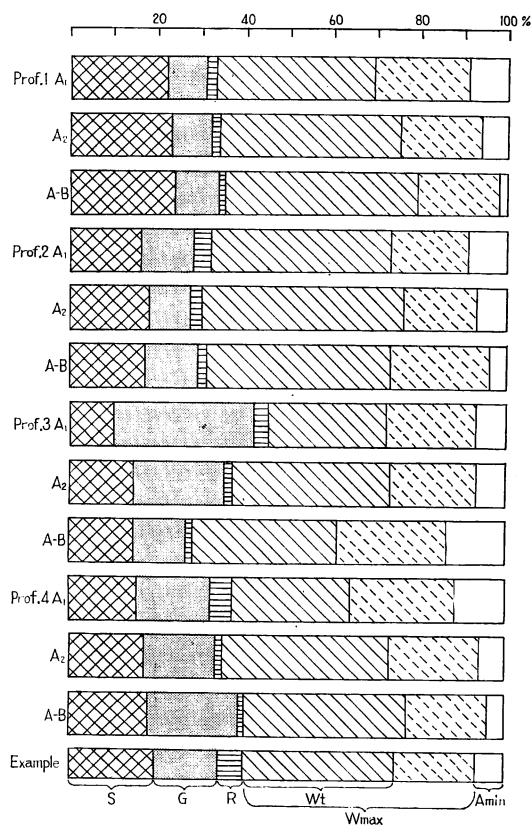
第 1 表 断 面 形 態

Table 1. Description of profile

断面番号 Prof. No.	土壌型 Type of soil	層 位 Layer horizon	厚さ(cm) Thick- ness	推移状態 Definition of boundary	色 Color	石 礫 Stone size, quantity	土 性 Texture	構 造 Struc- ture	堅密度 Compact- ness	根 系 Root	備 考 Remarks
1	Bd	A ₀	L, F : + ~ 1 cm								Lower part of mountain slope Plot A and C
		A ₁	10		7.5 YR 4/3	small 3	IC	Cr.	1	5 (grass)	
		A ₂	15	G	7.5 YR 4/4	"	"	Cr. ~M.	2	4	
		A-B	35	G	"	medium 2	"	M.	3	2	
		B	20+	G	7.5 YR 5/4	small 3, large 2 medium 3	"	"	3	1	
2	Bd	A ₀	L, F : +								Lower part of mountain slope Plot B and D
		A ₁	8~10		10 YR 4/4	small 4, medium 4	IC	Cr.	1	4 (grass)	
		A ₂	30	G	"	medium 4, large 2	"	Cr. ~M.	2	3	
		A-B	30+	G	"	medium 4, large 4	SC	M.	2	3	
3	Bd	A ₀	L, F : + ~ 1 cm								Middle of mountain slope Plot A' and C'
		A ₁	12~13		7.5 YR 4/4	small 3, medium 4	SC	Cr.	1	5 (grass)	
		A ₂	17~18	G	"	"	IC	Cr. ~M.	2	4	
		A-B	30	G	"	small 4, large 2	"	M.	3	2	
		B	10+	G	7.5 YR 5/4	"	"	"	3	1	
4	Bd	A ₀	L, F : + ~ 2 cm								Middle of mountain slope Plot B' and D'
		A ₁	8~10		7.5 YR 3/2	small 4,	IC	Cr.	1	5 (grass)	
		A ₂	14	G	7.5 YR 3/3	small 3, medium 3	"	Cr. ~M.	2	3	
		A-B	25	G	7.5 YR 4/3	medium 3, large 3	"	M.	2~3	2	
		B	20	G	7.5 YR 4/4	medium 4, large 4	"	M.	3	1	

注 Remarks :

推移状態 (Definition of boundary)....G (漸) : Gradually merging. 構造 (Structure) : Cr. Crumb structure, M. Massive. 堅密度 (Compactness)....1 (し ょ う) : Soil aggregates bound loosely, 2 (軟) : Soil aggregates bound densely and firmly, 3 (堅) : Soil aggregates bound compactly. 石 礫 (Stone), 根 (Root)....4 (多) : Abundant, 3 (中) : Frequent, 2 (少) : Occasional, 1 (稀) : Rare.



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

第 1 図 土壌の自然状態の理学的性質
 Fig. 1 Physical properties of soil in
 natural condition.

第 2 表 土 性
 Table 2. Texture of soil

断面番号 Prof. No.	土 壌 型 Type of soil	層 位 Horizon	砂 Sand			微 砂 Silt	粘 土 Clay	土 性 Texture
			粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	計 Total			
1	BD	A ₁	21	13	34	26	40	IC
		A ₂	39	11	50	19	31	"
		A-B	37	12	49	26	25	"
		B	28	11	39	25	36	"
2	BD	A ₁	30	11	41	21	38	IC
		A ₂	32	11	43	24	33	"
		A-B	46	9	55	15	30	SC
3	BD	A ₁	47	9	56	19	25	SC
		A ₂	23	12	35	24	41	IC
		A-B	23	11	34	25	41	"
		B	34	10	44	20	36	"
4	BD	A ₁	25	11	36	23	41	IC
		A ₂	25	12	37	21	42	"
		A-B	32	11	43	18	39	"

第3表 自然状態の土壌の理学的性質
Table 3. Physical properties of soil in natural condition

断面番号 Prof. No.	土 壤 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 %	採取時含水量 Moisture content of fresh soil %	
				5 分 後 After 5 min.	15 分 後 After 15 min.	平 均 Average			容 積 Volume	重 量 Weight		容 積 Volume	重 量 Weight
1	BD Lower part of mountain slope	A ₁	3~7	192	190	191	63	67	58	104	9	36	64
		A ₂	15~19	93	85	89	69	66	60	96	6	41	65
		A-B	25~29	88	82	85	59	65	63	98	2	44	68
2		A ₁	3~7	138	130	134	45	68	59	158	9	41	111
		A ₂	10~14	133	130	132	56	70	63	128	7	46	93
		A-B	40~44	110	107	109	55	69	65	152	4	42	98
3	BD Middle of mountain slope	A ₁	3~7	138	128	133	39	55	48	211	7	27	118
		A ₂	15~19	124	118	121	52	63	56	139	7	36	90
		A-B	30~34	146	132	139	49	72	58	135	14	33	76
4		A ₁	2~6	136	135	136	51	63	51	125	12	27	65
		A ₂	14~18	73	66	70	55	65	59	130	6	38	82
		A-B	30~34	81	77	79	60	60	56	117	4	37	76

第4表 土 壌 の 化 学 的 性 質
Table 4. Chemical properties of soil

断面番号 Prof. No.	土 壤 型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	C %	N %	C/N	置 換 性 (m. e./100 g) Exchange able		0.2 N HCl 可溶 Soluble (ppm)		pH		置換酸度 Exch. acidity Y ₁	P ₂ O ₅ 吸収係数 Absorption's coefficient
							CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	H ₂ O	KCl		
1	BD Lower part of mountain slope	A ₁	2~10	4.21	0.38	11.1	3.02	1.11	26	288	5.15	3.90	7.1	1380
		A ₂	12~22	3.37	0.36	9.4	2.24	0.75	16	123	4.90	3.80	9.0	1310
		A-B	27~40	2.60	0.28	9.3	2.09	0.68	14	78	4.95	3.80	8.9	1350
		B	60~70	1.43	0.16	8.9	1.84	0.40	11	64	5.20	3.80	5.6	1250
2		A ₁	2~10	5.75	0.46	12.5	2.13	0.96	17	181	4.95	3.85	10.9	1260
		A ₂	12~25	4.35	0.40	10.9	1.28	0.35	12	121	4.80	3.80	12.7	1310
		A-B	40~50	2.93	0.28	10.5	0.90	0.35	4	81	4.85	3.80	7.8	1430
3	BD Middle of mountain slope	A ₁	2~12	5.24	0.46	11.4	2.07	0.79	20	244	4.80	3.65	12.8	1420
		A ₂	15~25	4.65	0.43	10.8	1.62	0.69	13	124	4.60	3.60	16.3	1320
		A-B	30~45	4.86	0.46	10.6	1.77	0.53	12	71	4.70	3.60	19.4	1500
		B	55~65	3.70	0.34	10.9	0.75	0.42	7	62	4.70	3.60	17.3	1470
4		A ₁	3~10	6.42	0.44	14.6	2.66	1.24	14	233	4.80	3.50	15.7	1260
		A ₂	12~22	4.51	0.31	14.5	1.51	0.96	8	112	4.55	3.45	14.6	1310
		A-B	25~40	3.37	0.26	12.9	1.01	0.70	2	67	4.70	3.60	19.3	1430

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

スギの毎年の樹高および根元直径は第5表に、毎年の樹高成長および直径成長は第6表および第2、3図に示すとおりであった。

各プロットはいずれもかなりの本数が被害木として測定から除外されているが、これらは植栽当年の枯損および第1～3年度における下刈の事故木である。

各プロットにおけるスギの成長は、第5年度の上長成長および第4年度の肥大成長が、それぞれ前後の年度に比べると成長量の低下が目だった。第5年度に当たる1965年は春季(3月下旬～4月末)が例年に比べるととくに寒気がきびしく、新芽の伸長の開始がおそく、その伸長も不良であった。第5年度の樹高成長が各区いずれも低下していたことは、このような気象的因子の影響によるものであろうと推定された。このような異常な気象は寒害によるスギの枯損、その他の被害を生ずるには至らなかった。その他の年度は気象の面ではとくにいちじるしい異常は見られなかった。したがって、第4年度の直径成長の全般的な低下については、その原因を明らかにし得なかった。

第5表 スギの毎年の
Table 5. Annual height and

地形 Topo- graphy	プロット Plot	立木本数 Nos. of stand			1961年3月 Mar., 1961		1961年11月 Nov., 1961		1963年 Apr.,
		植栽 Planted	枯死および事故 Dead and injured	測定 Measured	樹高 Height	根元直径 Basal diameter	樹高 Height	根元直径 Basal diameter	樹高 Height
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	99	40	59	$\frac{42}{35\sim51}$ (100)	$\frac{7}{5\sim11}$ (88)	$\frac{50}{38\sim68}$ (104)	$\frac{10}{8\sim14}$ (100)	$\frac{79}{55\sim113}$ (121)
	B	100	34	66	$\frac{43}{32\sim50}$ (102)	$\frac{7}{5\sim11}$ (88)	$\frac{49}{35\sim61}$ (102)	$\frac{10}{7\sim13}$ (100)	$\frac{72}{38\sim107}$ (111)
	C	84	29	55	$\frac{43}{34\sim53}$ (102)	$\frac{7}{6\sim11}$ (88)	$\frac{57}{43\sim76}$ (119)	$\frac{10}{6\sim12}$ (100)	$\frac{82}{52\sim123}$ (126)
	D	99	37	62	$\frac{42}{33\sim53}$ (100)	$\frac{8}{5\sim11}$ (100)	$\frac{48}{35\sim68}$ (100)	$\frac{10}{8\sim12}$ (100)	$\frac{65}{45\sim105}$ (100)
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	99	31	68	$\frac{43}{34\sim51}$ (102)	$\frac{8}{6\sim10}$ (114)	$\frac{52}{39\sim80}$ (111)	$\frac{11}{8\sim14}$ (110)	$\frac{75}{47\sim108}$ (129)
	B'	97	32	65	$\frac{43}{36\sim51}$ (102)	$\frac{7}{5\sim10}$ (100)	$\frac{46}{38\sim56}$ (98)	$\frac{9}{7\sim12}$ (90)	$\frac{60}{43\sim84}$ (103)
	C'	100	38	62	$\frac{42}{35\sim53}$ (100)	$\frac{7}{6\sim10}$ (100)	$\frac{52}{38\sim74}$ (111)	$\frac{10}{7\sim13}$ (100)	$\frac{73}{49\sim100}$ (126)
	D'	106	38	68	$\frac{42}{36\sim51}$ (100)	$\frac{7}{6\sim11}$ (100)	$\frac{47}{39\sim63}$ (100)	$\frac{10}{7\sim12}$ (100)	$\frac{58}{42\sim92}$ (100)

備考 Remarks: 樹高 Height....cm, 根元直径 Basal diameter....mm.

カッコ内の数字は肥効指数(施肥/無施肥, %). Figure in parenthesis is fertilizer
プロットAおよびA' Plot A and A'....1961年3月, 1963年4月および1965年
プロットBおよびB' Plot B and B'....1963年4月施肥。Fertilized in Apr.,
プロットCおよびC' Plot C and C'....1961年3月および1965年4月施肥
プロットDおよびD' Plot D and D'....無施肥, Unfertilized.

今回の試験に用いた尖栗スギは、初期の成長のおそい裏系のスギ品種に属する。各プロットにおける6か年間の成長経過からも、この点は明らかであろう。

スギの成長におよぼす施肥の効果は、植栽時施肥区（プロット A' および C'）の初年度の直径成長を除くと、いずれの場合も明りょうに認められた。さらに、施肥区ではいずれの場合も、年数の経過とともにしだいに無施肥区との樹高および根元直径の差が増大した。

6か年間の全樹高および根元直径成長量は、それぞれ無施肥区に比べると、斜面下部ではプロット A は 100 cm [60% (無施肥区の成長量に対する %, 以下同様)], 20 mm (63%), プロット B は 80 cm (50%), 18 mm (56%), プロット C は 80 cm (50%), 17 mm (53%), 斜面中腹ではプロット A' は 130 cm (120%), 27 mm (113%), プロット B' は 40 cm (40%), 14 mm (58%), プロット C' は 70 cm (60%), 15 mm (63%) の増大を示した。

これらの結果は、肥効指数の面では全般的にかなり顕著な肥効が認められたといえよう。しかしながら、成長の絶対量という面ではとくに大きな肥効とはいいい難いように思われた。今までの各地における林地施肥の試験結果を総合すると、幼齡時の成長のおそい裏系のスギ品種では成長の速い表系のスギ品種に比べると、施肥効果は肥効指数の面では相違が見られないが、成長の絶対量の増大という面ではかなりお

樹 高 お よ び 根 元 直 径
diameter of *C. japonica*

4 月 1963	1964 年 4 月 Apr., 1964		1965 年 4 月 Apr., 1965		1966 年 4 月 Apr., 1966		1967 年 4 月 Apr., 1967	
根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter
15 10~21 (125)	119 75~162 (132)	27 15~41 (135)	195 120~270 (140)	34 20~51 (142)	230 160~330 (140)	46 27~65 (153)	300 220~410 (150)	59 35~85 (148)
14 9~20 (117)	116 65~180 (129)	26 15~36 (130)	195 85~305 (140)	32 15~44 (133)	230 115~310 (140)	44 25~64 (146)	280 150~380 (140)	57 31~76 (143)
14 9~22 (117)	110 72~164 (122)	25 14~35 (125)	180 120~260 (130)	30 18~45 (125)	215 140~290 (130)	41 25~65 (136)	280 210~360 (140)	56 34~81 (140)
12 9~17 (100)	90 58~129 (100)	20 12~32 (100)	140 75~220 (100)	24 12~36 (100)	165 95~240 (100)	30 13~45 (100)	200 90~300 (100)	40 19~61 (100)
15 12~21 (125)	111 70~157 (146)	26 15~38 (144)	180 105~260 (155)	32 21~46 (152)	220 125~305 (170)	44 30~63 (146)	280 170~380 (190)	59 38~80 (190)
12 8~20 (100)	91 57~150 (119)	21 10~35 (117)	145 75~215 (125)	25 14~42 (119)	170 95~260 (130)	35 18~60 (146)	190 110~290 (130)	45 24~72 (145)
14 8~22 (117)	94 62~130 (120)	25 13~38 (139)	140 80~210 (125)	28 14~43 (133)	170 90~235 (130)	34 16~46 (143)	220 110~300 (150)	46 19~69 (148)
12 9~18 (100)	76 50~119 (100)	18 12~30 (100)	115 55~205 (100)	21 14~33 (100)	130 80~220 (100)	24 16~42 (100)	150 90~250 (100)	31 19~61 (100)

efficiency index (fertilized/unfertilized, %).

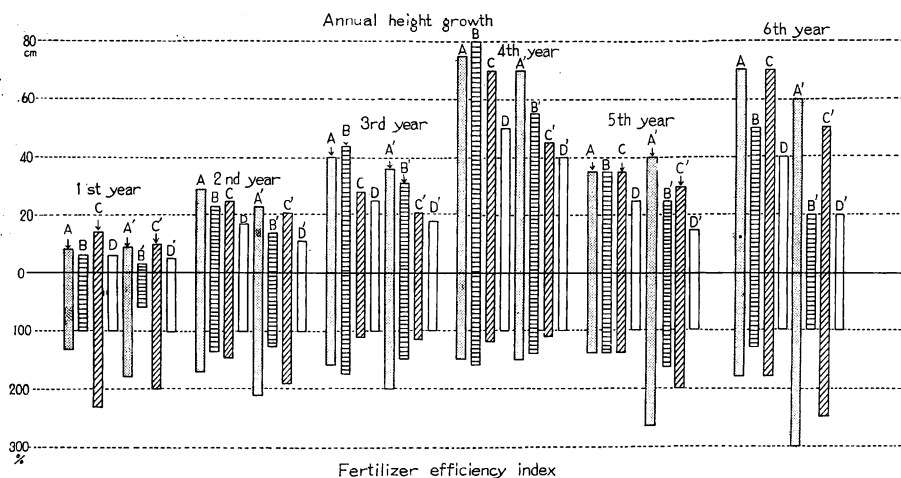
4 月施肥。Fertilized in Mar., 1961, Apr., 1963 and Apr., 1965.

Fertilized in Mar., 1961 and Apr., 1965.

第 6 表 毎年の樹高成長および
Table 6. Annual increments in height

地 形 Topo- graphy	プロット Plot	1 年 1st year		2 年 2nd year		3 年 3rd year	
		樹 高 Height	根 元 直 径 Basal diameter	樹 高 Height	根 元 直 径 Basal diameter	樹 高 Height	根 元 直 径 Basal diameter
斜 面 下 部 Lower part of moun- tain slope	A	8 2~23 (133)	3 1~6 (150)	29 6~48 (170)	5 1~11 (250)	40 7~72 (160)	12 3~22 (150)
	B	6 1~19 (100)	3 1~6 (150)	23 3~47 (135)	4 1~12 (200)	44 13~90 (176)	12 2~20 (150)
	C	14 4~38 (233)	3 1~5 (150)	25 4~51 (147)	4 1~11 (200)	28 8~54 (112)	11 4~20 (138)
	D	6 1~25 (100)	2 1~5 (100)	17 2~55 (100)	2 1~8 (100)	25 1~54 (100)	8 1~19 (100)
斜 面 中 腹 Middle of moun- tain slope	A'	9 2~39 (180)	3 1~6 (100)	23 5~50 (209)	4 1~9 (200)	36 15~72 (200)	11 4~18 (183)
	B'	3 1~9 (60)	2 1~6 (67)	14 2~36 (127)	3 1~9 (150)	31 11~66 (172)	9 1~19 (150)
	C'	10 2~28 (200)	3 1~6 (100)	21 8~53 (191)	4 1~10 (200)	21 4~51 (116)	11 2~21 (183)
	D'	5 1~20 (100)	3 1~5 (100)	11 2~39 (100)	2 1~10 (100)	18 1~47 (100)	6 1~14 (100)

備考は第 5 表と同じ Remarks are same as Table 5.



第 2 図 毎年の樹高成長および肥効指数 (矢印は施肥)

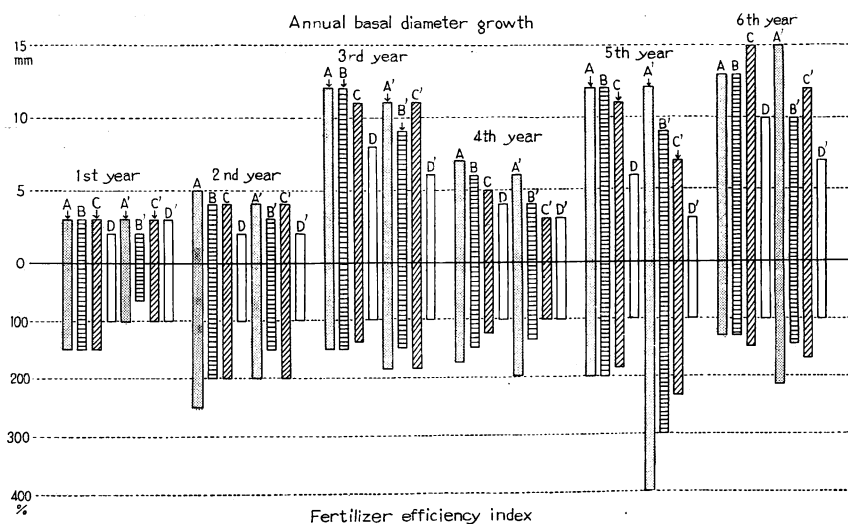
Fig. 2 Annual height growth and fertilizer efficiency index (Arrow shows fertilization).

とることを第 1 報¹⁾において指摘したが、今回の結果もほぼ同様の傾向を示していたといえよう。

施肥回数および施肥量のスギの成長におよぼす影響については、斜面下部および中腹のいずれの場合も、施肥回数および施肥量のもっとも多かったプロット A および A' が、それぞれ肥効はもっとも大きな

直径 (根元) 成長量
and (basal) diameter growth

4 年 4th year		5 年 5th year		6 年 6th year		6 年間合計 Total growth during 6 years	
樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter	樹 高 Height	根元直径 Basal diameter
75	7	35	12	70	13	260	52
48~130 (150)	2~15 (175)	5~65 (140)	2~25 (200)	30~100 (180)	3~22 (130)	170~370 (160)	28~77 (163)
80	6	35	12	50	13	240	50
15~125 (160)	1~15 (150)	5~105 (140)	2~29 (200)	20~100 (130)	4~25 (130)	110~330 (150)	24~69 (156)
70	5	35	11	70	15	240	49
45~120 (140)	1~14 (125)	10~85 (140)	1~23 (183)	20~110 (180)	4~28 (150)	160~320 (150)	27~74 (153)
50	4	25	6	40	10	160	32
5~105 (100)	1~10 (100)	5~50 (100)	1~15 (100)	10~80 (100)	1~25 (100)	80~250 (100)	14~53 (100)
70	6	40	12	60	15	240	51
20~125 (175)	2~14 (200)	10~75 (265)	4~25 (400)	20~110 (300)	2~30 (214)	120~330 (220)	29~73 (213)
55	4	25	9	20	10	150	38
15~100 (140)	2~11 (133)	10~75 (165)	1~22 (300)	10~70 (100)	3~26 (143)	70~240 (140)	18~65 (158)
45	3	30	7	50	12	180	39
15~115 (110)	1~12 (100)	5~65 (200)	1~16 (233)	10~110 (250)	3~25 (171)	70~250 (160)	12~60 (163)
40	3	15	3	20	7	110	24
5~95 (100)	1~9 (100)	5~50 (100)	1~12 (100)	10~70 (100)	1~19 (100)	50~200 (100)	11~54 (100)



第3図 毎年の根元直径成長と肥効指数 (矢印は施肥)

Fig. 3 Annual basal diameter growth and fertilizer efficiency index (Arrow shows fertilization).

った。土壤条件の比較的良好な斜面下部ではプロット A, B および C を相互に比較すると, プロット B および C の間では成長量の相違は認められず, また, この両者とプロット A との成長量の相違はわずかであった。これに対して, 土壤条件の比較的良好な斜面中腹では, プロット A' > C' > B' の順に樹高成長

は明らかに低下し、根元直径成長はプロット B' および C' は A' より明らかに低下し、施肥回数および施肥量の減少ともなって成長量の低下することを示していた。

肥効の持続期間は施肥量、立地条件、成長量、その他の諸因子の相互関係によって当然異なるものと思われる。肥効の判定も植物学的な立場から、成長量の増大ないしは肥効指数を基準とするか、または、施業的な立場から見た成長量の増大を重視するかによって、その判定はおのずから異なるであろう。

今回の結果は無施肥区に比べると施肥区の成長量の増大は全般的に小さく、また、肥効指数の変化は施肥後年数の経過とともに、増大または減少を示し、一定の傾向を示していなかったので、肥効の持続期間の判定はかなり主観的なものとならざるを得なかった。肥効指数の面で 30% の成長量の増大を一応の基準と考えると、植栽時の施肥は斜面下部では樹高成長に対しては 2~4 年、直径成長に対しては 3 年、斜面中腹ではそれぞれ 2 年および 3 年、第 3 年目の施肥は斜面下部ではいずれも 4 年、斜面中腹では 3 年および 4 年間の肥効の持続が認められた。全般的に樹高成長より直径成長の方が、また、斜面中腹より斜面下部の方が肥効の持続期間が長いように思われた。この試験地では 2 ないし 4 年ごとに施肥が行なわれているので、5 年以上肥効が持続するか否かは検討し得なかった。

4-2. 葉分析による栄養診断と成長、施肥および地形的因子との関係

初年度はいろいろな事情によって葉分析を行なえなかったが、第 2~6 年度の針葉の養分濃度および養分比は第 7 表に示すとおりであった。

4-2-1. 針葉の N, P および K 濃度

各年度ごとに、同じ地形における各プロットを相互に比較すると、施肥区では無施肥区に比べて、針葉中の N, P および K 濃度は施肥後第 3~4 年度の K 濃度の一部が無施肥区よりわずかに減少していた場合があったが、その他はいずれの場合も明らかに増大を示していた。針葉中の N, P および K 濃度は斜面下部および斜面中腹のいずれの場合も、施肥後 1~2 年間は無施肥区に比べるとかなりの増大を示していたが、第 3~4 年度はプロット C の第 4 年度を除くといずれも低下し、無施肥区の各養分濃度に接近した値を示した。このような第 3~4 年度における N, P および K 濃度の低下は、斜面下部より斜面中腹の方がいちじるしかった。

このような施肥後の年数の経過と針葉中の N, P および K 濃度との関係は、前述の斜面下部と中腹における肥効の持続期間の相違と、かなり密接な関連性を有することが認められた。このような施肥ともなう針葉中の N, P および K 濃度の増大は、同時に成長量の増大をともなっているもので、この両者は密接な関連性を示すものといえよう。

第 4 年度 (1665 年 4 月) のプロット C の N, P および K 濃度は異常に高く、前年度に施肥を行なったプロット A および B と同程度の値を示し、同時に成長量および肥効指数も同程度であった。プロット C が施肥後第 4 年度に、このような養分濃度および成長量の異常な増大を示した理由は明らかではないが、この点は同様に前述の針葉中の N, P および K 濃度と成長との関連性を明らかに示すものといえよう。

第 1 報⁴⁾において、今までに報告された国内の諸研究者のスギについての肥培事例調査および肥培試験の結果では、施肥区は無施肥区に比べると針葉中の N, P および K 濃度は、一部については増大を認めている場合もあるが、3 要素全部の増大を認めている場合は見られず、これらの結果を総合すると、針葉中の N, P および K 濃度と施肥および成長との間に一定の関係を見出し難いことを指摘した。

しかしながら、筆者らの今回のスギ林、第 1 報のスギおよびヒノキ林⁴⁾、河田のカラマツ林³⁾、塘のアカ

第 7 表 針葉の養分濃度および養分比
Table 7. Nutrient concentrations and ratios of needle
(乾物当 On dry matter basis)

地形 Topo- graphy	プロット Plot	C %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	C/N	N/P	N/K	N/Ca	K/P	Ca/Mg
1963 年 4 月 (2 年後) Apr., 1963 (after 2 years)													
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	52.6	1.56	0.16	0.99	0.69	0.11	33.7	9.8	1.6	2.3	6.2	6.3
	B	53.3	1.19	0.14	0.80	0.70	0.15	44.8	8.5	1.5	1.7	5.7	4.7
	C	51.9	1.39	0.15	0.84	0.72	0.15	38.4	9.3	1.7	1.9	5.6	4.8
	D	52.3	1.13	0.14	0.77	0.73	0.17	46.3	8.1	1.5	1.5	5.5	4.8
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	52.1	1.19	0.15	0.85	0.76	0.13	43.8	7.9	1.6	1.6	5.7	5.8
	B'	52.4	1.14	0.13	0.75	0.73	0.17	44.0	8.8	1.5	1.6	5.8	4.3
	C'	51.6	1.19	0.14	0.90	0.83	0.13	43.4	8.5	1.3	1.4	6.4	6.4
	D'	52.3	1.06	0.12	0.72	0.76	0.16	49.3	8.8	1.5	1.4	6.0	4.8
1964 年 4 月 (3 年後) Apr., 1964 (after 3 years)													
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	53.4	1.57	0.18	1.01	0.78	0.14	34.0	8.7	1.6	2.0	5.6	5.6
	B	54.2	1.55	0.16	0.98	0.77	0.15	35.0	9.7	1.6	2.0	6.1	5.1
	C	54.4	1.30	0.16	1.02	0.78	0.15	41.8	8.1	1.3	1.7	6.4	5.2
	D	52.6	1.15	0.14	0.93	0.85	0.19	45.7	8.2	1.2	1.4	6.6	4.5
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	53.8	1.29	0.16	1.05	0.74	0.15	41.7	8.1	1.2	1.7	6.6	4.9
	B'	53.8	1.37	0.16	1.04	0.77	0.15	39.3	8.6	1.3	1.8	6.5	5.1
	C'	53.5	1.15	0.14	0.87	0.81	0.16	46.5	8.2	1.2	1.4	6.2	5.1
	D'	52.8	1.10	0.13	0.91	0.85	0.18	48.0	8.5	1.2	1.3	7.0	4.7
1965 年 4 月 (4 年後) Apr., 1965 (after 4 years)													
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	57.8	1.50	0.21	1.18	0.61	0.18	38.5	7.1	1.3	2.5	5.6	3.4
	B	56.8	1.58	0.21	1.23	0.69	0.18	35.9	7.5	1.3	2.9	5.9	3.8
	C	58.7	1.50	0.21	1.21	0.62	0.18	39.1	7.1	1.2	2.4	5.8	3.4
	D	56.7	1.30	0.18	1.08	0.75	0.19	43.6	7.2	1.2	1.7	6.0	3.9
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	56.5	1.45	0.19	1.20	0.76	0.19	39.0	7.6	1.2	1.9	6.3	4.0
	B'	56.2	1.48	0.20	1.29	0.64	0.17	38.0	7.4	1.1	2.3	6.5	3.8
	C'	56.8	1.18	0.17	1.15	0.76	0.20	48.1	6.9	1.0	1.6	6.8	3.8
	D'	55.8	1.08	0.16	1.07	0.81	0.21	51.7	6.8	1.0	1.3	6.7	3.9
1966 年 4 月 (5 年後) Apr., 1966 (after 5 years)													
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	53.5	1.52	0.19	1.21	0.60	0.16	35.2	8.0	1.3	2.5	6.4	3.8
	B	54.1	1.37	0.18	0.98	0.62	0.18	39.5	7.6	1.4	2.2	5.4	3.8
	C	54.0	1.54	0.18	1.06	0.64	0.18	35.1	8.6	1.5	2.4	5.9	3.1
	D	54.0	1.24	0.17	1.00	0.66	0.21	43.5	7.3	1.2	1.9	5.9	2.7
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	55.5	1.56	0.18	1.07	0.53	0.20	35.6	8.7	1.5	2.9	5.9	2.7
	B'	54.6	1.19	0.15	0.87	0.69	0.17	45.9	7.9	1.4	1.7	5.8	4.1
	C'	54.5	1.36	0.16	0.94	0.61	0.20	40.1	8.5	1.4	2.2	5.9	3.1
	D'	53.6	1.15	0.14	0.82	0.83	0.18	46.6	8.2	1.4	1.4	5.9	4.6
1967 年 4 月 (6 年後) Apr., 1966 (after 6 years)													
斜面下部 Lower part of mountain slope	A	53.8	1.23	0.18	1.01	0.68	0.20	45.4	6.8	1.2	1.8	5.6	3.4
	B	53.1	1.17	0.16	0.88	0.68	0.21	45.4	7.3	1.3	1.7	5.5	3.2
	C	53.8	1.29	0.17	1.14	0.61	0.21	41.7	7.6	1.1	2.1	6.7	2.9
	D	53.8	1.14	0.15	0.88	0.64	0.19	47.2	7.6	1.3	1.8	5.9	3.4
斜面中腹 Middle of mountain slope	A'	54.3	1.22	0.16	0.99	0.62	0.20	44.5	7.6	1.2	2.0	6.2	3.1
	B'	53.2	1.09	0.14	0.81	0.72	0.18	48.8	7.8	1.3	1.5	5.8	4.0
	C'	53.9	1.27	0.16	0.88	0.67	0.22	42.4	7.9	1.4	1.9	5.5	3.0
	D'	54.2	1.01	0.14	0.79	0.83	0.22	53.7	7.2	1.3	1.2	5.6	4.2

マツ林¹⁾、芝本および田島のヒノキ壮齡林²⁾等の肥培試験では、河田のカラマツ林の場合には希釈作用による施肥区の N 濃度の減少が認められたが、その他の場合はいずれも 3 要素の施肥によって、針葉中の N、P および K 濃度の増大と成長量の増大が認められている。

林木に肥料 3 要素ないしはこれらの各養分を単独で施肥した場合に、葉中のそれぞれの養分濃度が増大することは、外国においても LUTZ および CHANDLER⁷⁾、MITCHELL および FINN⁸⁾、WALKER¹²⁾、GESSEL および WALKER¹⁾、LEYTON⁶⁾ らによっても認められている。

したがって、施肥による土壌中の養分レベルの増大にともなう、針葉とともに林木の栄養状態をもっとも鋭敏に反映する頂枝の 1 年生葉一の養分濃度が増大し、同時に成長量も増大して、したがってこれらの諸因子の間に密接な関連性が認められることは、一般的な傾向として認めてさしつかえないように思われる。

4-2-2. 針葉の Ca および Mg 濃度

針葉中の Ca および Mg 濃度は、各年度ごとに同じ地形における各プロットを相互に比較すると、例外も認められたが、全般的に施肥区は無施肥区よりも Ca および Mg 濃度の低い場合が多かった。したがって、施肥による成長量の増大は針葉中の Ca および Mg 濃度の低下とかなり密接な関連性が認められた。これらの結果は上述の針葉中の N、P および K 濃度とは反対の傾向を示していた。

また、各年度ごとの施肥区と無施肥区の針葉中の Ca および Mg 濃度の差は、施肥後の年数の経過とは明りょうな関連性を示さなかった。これらの点は針葉中の Ca および Mg 濃度と施肥および成長との関連性は、N、P および K 濃度の場合に比べるとかなり低いといえよう。

林木の針葉の Ca および Mg 濃度と施肥および成長との関係については、第 1 報⁴⁾のスギおよびヒノキの結果を今回と同様に各年度ごとに比較すると、いずれも例外が認められたけれども、施肥による成長量の増大にともなう、針葉中の Ca および Mg 濃度の減少を示した場合が多く、今回と同様の傾向が認められた。しかしながら、上述の河田のカラマツ林³⁾の場合には、針葉中の Ca および Mg 濃度は施肥による成長量の増大にともなう増大を示していた。このような相反する結果は、樹種の相違によってもたらされたものか、または、他の原因によるものか、これらの点についての検討は今後にゆずりたい。

4-2-3. 針葉の養分濃度と地形的因子の影響

前述のように同じ処理区について、各年度ごとに斜面下部と斜面中腹を比較すると、針葉中の各養分濃度は一部に例外が認められたが、斜面下部では斜面中腹よりも N、P および K 濃度が高く、Ca および Mg 濃度が低い傾向が認められた。また同じ処理区を比べると、いずれも斜面下部の方が中腹より成長量が大きかった。したがって、成長量の増大にともなう、針葉中の N、P および K 濃度の増大と Ca および Mg 濃度の減少を示していたといえよう。

このような地形的因子の影響による成長と針葉の養分濃度との関連性は、前述の施肥の場合と同様の傾向が認められた。上述のこの場合の例外は、N および P 濃度の場合はいちじるしく少なく、わずかに 1 例ずつにすぎなかったが、 $K < Ca$ および Mg 濃度の順に増大を示した。これらの点は、この試験の結果ではスギの成長に対して、N および P 濃度はもっとも密接な関連性を有し、 $K < Ca$ および Mg 濃度の順に順次関連性が少なくなることを示すものといえよう。

地形と針葉中の養分濃度との関係について、河田のカラマツ壮齡林²⁾の新鮮な落葉、および筆者らおよび丸山⁵⁾のアカマツ幼齡林の葉分析の結果では、針葉中の N、P、K および Ca 濃度は同じ斜面を比べる

と、斜面下部では斜面上部ないし台地状尾根より大きく、地形的因子と密接な関連性を示したが、全調査地について総括すると N および P 濃度は成長とも密接な関連性を示したが、K および Ca 濃度は成長との関連性は少なく、Mg 濃度は成長および地形的因子のいずれとも関連性が見られないことを指摘した。また、河田³⁾ はカラマツ幼齢林の施肥試験で、同じ処理区を比べると針葉中の N, P および Ca 濃度は、成長量の大きい斜面下部の方が斜面上部より高いが、K および Mg 濃度は一定の傾向を示さないことを明らかにした。

今までの資料は数が少なく、また、K および Mg 濃度については一致した傾向を示していないが、今回の結果は N および P 濃度については今までの結果と同様の傾向が認められたが、Ca 濃度については相反する傾向を示していた。今回の試験地はいずれも BD 型土壤に属し、置換性 Ca および Mg 含有率は斜面下部と中腹では明りょうな相違を示さなかった。したがって、斜面下部においては成長量の増大にともなう希釈作用によって、針葉中の Ca および Mg 濃度の低下を生じたとも推定される。しかしながら、この点については今後の検討に待ちたい。

4-2-4. 成長と針葉の養分濃度との関係

前述のように、施肥および地形的因子の影響にもとづく成長量の増大と、針葉中の N, P および K 濃度の増大および Ca および Mg 濃度の減少は、各年度ごとに、同じ地形における各施肥区ないしは各地形における同じ施肥区を相互に比較した場合に、明りょうな関連性が認められた。

しかしながら、同じプロットにおける各年度の成長量と針葉の養分濃度との関係を相互に比較すると、いずれの場合も両者の間に明りょうな関連性を見出すことはできなかった。一般に幼齢木の場合には、植栽後数年間は、樹齢の増大とともに年間成長量はしだいに増大する傾向が見られる。また、各年度ごとの気象条件によって、年間の成長量が影響を受けることは、樹齢とは無関係に広く一般に認められる現象である。以上のように、各年度ごとの成長量は林木の栄養状態だけではなく、その他の多くの因子によって支配されるために、各プロットにおける各年ごとの成長量と針葉の養分濃度が、必ずしも関連性を示さないことは当然といえよう。

針葉の養分濃度によって示される林木の栄養状態は、土壤中の各養分レベルと、施肥にともなうその変化を反映しているといえるであろう。林木の栄養状態は林木の成長を支配する主要な因子と考えられる。したがって、同じ年度について、すなわち、同じ気象条件下で同じ樹齢の場合には、各プロットの年間成長量を相互に比較すると、上述のように針葉中の各養分濃度、すなわち、N, P および K 濃度に表示される林木の栄養状態は、成長量と密接な関連性を示したことは当然のことと思われる。

このような考え方は、林木の葉分析についての資料が少ないので今後の調査研究の結果を待たなければならないが、葉分析による林木の栄養診断を林木の成長と関連づける場合には、その条件について十分な考慮をばらう必要があることを示すものといえよう。

今回の試験結果については、施肥にともなう針葉の養分濃度の変化を考慮に入れなければならないが、第5年度の樹高成長が気象的因子の影響によってかなり低下したにもかかわらず、各養分濃度が低下を示さなかったことは、外界の諸因子の影響による成長量の低下は、針葉の各養分濃度に影響をおよぼしていないことを示すもので、上述の考え方を裏付けるものといえよう。

4-2-5. 樹齢と針葉の養分濃度との関係

さらに、施肥の影響も考慮に入れて針葉の各養分濃度と樹齢の関係を見ると、全般的に次のような傾向

が認められた。

N濃度は第2～5年度に比べると第6年度はかなりの低下を示し、PおよびK濃度は第2年度に比べると第3～6年度はやや増大を示し、Mg濃度は第2～3年度に比べると第4～6年度はかなりの増大を示した。これに対して、Ca濃度はとくに明りょうな傾向を見出し難かった。

これらの諸点は林木の各養分に対する要求度が、樹齢によって変化することを示すものといえよう。これらの点については今までの資料が乏しいので十分な論議は難しいが、葉分析の結果を取扱う場合には、樹齢についても十分な注意を必要とするものと思われる。

4-2-6. 針葉中の養分比

今回の結果について、同じ地形の各プロットの、同じ年度の養分比を相互に比較すると、施肥区は無施肥区に比べるとC/Nはいずれも低下を示し、N/P、N/KおよびN/Caは増大を示した場合が多かった。このような傾向はとくに施肥後1～2年の間がけんちであった。しかしながら、K/PおよびCa/Mgは一定の傾向が見られなかった。

河田のカラマツ林³⁾および筆者らの第1報⁴⁾におけるスギおよびヒノキ林の場合には、いずれも施肥にもなるとN/PおよびN/Kは減少を示し、今回の結果とは相反する傾向を示していた。

これらの点について、筆者らは針葉の養分比は、土壤中の各養分レベルの相互の比率を反映しているものと考えている。すなわち、上述のカラマツ林およびスギ、ヒノキ林の場合は、いずれも湿性ポドゾルにおける施肥試験であったが、これらの土壌では、Nレベルに対するPおよびKレベルの比率が相対的に低く、施肥によってPおよびKレベルの比率の増大をもたらしたのと考えられる。これに対して、今回の試験地では土壌中のPおよびKレベルに比べてNレベルの比率が相対的に低く、施肥によってNレベルの比率が増大したのと考えられる。

これらの施肥試験地においては、いずれも施肥によって成長量が増大しているので、養分比の変化と成長量の増大を関連づけて考えられやすいが、むしろ、成長量は針葉中の各養分濃度に示される土壌中の各養分レベルによって支配され、針葉の養分比は土壌中の各養分レベルの相互の関係（比率）を示すものと考えべきであろう。

この点について、先に筆者らおよび丸山⁹⁾がアカマツ林について調査した場合も、各調査地ごとに比べると針葉のN、PおよびK濃度の高いほど成長量は大きくて関連性が認められたが、養分比と成長の関係は母材の異なる地域ごとに相違を示し、成長量の増大にもなると花崗岩地域ではN/Pの減少を、第三紀層地域ではN/Kの増大を示したことも、同様の見解に立てば容易に理解されよう。

これらの点は、今までの資料が少なく、また、土壌中の可給態の各養分の定量方法についても、問題が残されているので、今後の検討の余地が多分に残されているが、葉分析の結果を林木の栄養診断、成長および土壌条件と関連させる場合には十分に留意すべきことであろう。

今回の結果では、さらに、養分比は樹齢によって変化することが認められた。この点は前述の樹齢による各養分濃度の変化とも関係を有するが、林木の養分要求量が樹齢によって変化することを示すものとして注目されよう。同じプロットについて、施肥の影響を考慮に入れて各年度の各養分比を相互に比較すると、全般的に第4～6年度は第2～3年度に比べてN/P、N/KおよびCa/Mgは減少を示し、また、C/Nは第6年度は第2～5年度より増大を示していた。しかしながら、N/CaおよびK/Pは全調査年度を通じて明りょうな変化を示さなかった。

前述の河田のカラマツ林³⁾の場合は第1および第3年度、第1報のスギおよびヒノキ林⁵⁾の場合は第2～4年の結果であるから、今回の結果とは樹齡に多少の相違があるが、それぞれ同じプロットについて比較すると、いずれも樹齡の増大にともなって今回の結果と同様に、N/P および N/K は減少を示し、さらにスギ林の場合は Ca/Mg も減少を示した。その他の養分比については各試験地に共通した傾向は見られなかった。以上のように、幼齡林の植栽後数年間については、樹齡の増大にともなって針葉の N/P および N/K の減少が見られることは、一般的な傾向として認められるように思われる。

6. ま と め

1. この報告は兵庫県山崎営林署管内マンガ谷国有林における実栗スギ幼齡林の施肥試験について、植栽後6か年間の結果を中間報告としてとりまとめたものである。

2. 山腹斜面の下部および中腹にそれぞれ4プロットずつの試験区を設定し、同じ処理を各地形ごとに行なった。処理方法は植栽時、3年目および5年目施肥（プロットAおよびA'）、3年目施肥（プロットBおよびB'）、植栽時および5年目施肥（プロットCおよびC'）および無施肥（プロットDおよびD'）の4種類とした。各プロットの植栽密度は4,000本/haとした。

3. スギに対する施肥効果は次のとおりであった。

A) 斜面下部 (Bd 型土壌, 崩積土)

i) 樹高および直径成長量はプロット A>B, C>D の順で、プロット B および C については肥効の相違は見られなかった。

ii) 施肥区は無施肥区に比べると、6か年間に 100～80 cm (60～50%), 20～17 mm (63～50%) の成長量の増大を示した。

iii) 肥効の持続期間は植栽時の施肥は樹高成長に対しては2～4年、直径成長に対しては3年、第3年目の施肥はいずれも4年後も肥効が認められた。

B) 斜面中腹 (Bd 型土壌, 匍行土)

i) 樹高成長はプロット A>C>B>D, 直径成長はプロット A>C, B>D の順に、施肥量および施肥回数の多いほど成長量の増大はけんちょであった。

ii) 施肥区は無施肥区に比べると 130～40 cm (120～40%), 27～15 mm (113～63%) の成長量の増大を示し、プロット A' がとくにけんちょであった。

iii) 肥効の持続期間は初年度の施肥は樹高成長に対しては2年、直径成長に対しては3年、第3年目の施肥はそれぞれ3年および4年間認められた。

4. 第2～6年度にわたって行なった葉分析の結果は、次のとおりであった。

i) 施肥区では無施肥区に比べると針葉中の N, P および K 濃度の増大が見られ、Ca および Mg 濃度は減少を示した場合が多かった。また、これらの養分濃度の変化は成長量の増大と関連性を示した。

ii) 針葉中の N, P および K 濃度は施肥後第3～4年度はしだいに低下して無施肥区に接近したが、斜面中腹では斜面下部に比べると低下の度合いはげしかった。

iii) 同じ処理区について比較すると、斜面下部では中腹よりも N, P および K 濃度が高く、Ca および Mg 濃度が低かった。

iv) 樹齡と養分濃度の関係については、N濃度は第6年度が第2～5年度より低く、PおよびK濃度は

第3～6年度は第2～3年度に比べると増大を示したが、Ca濃度は明りょうな変化を示さなかった。

v) 施肥区は無施肥区に比べるとC/Nは低下し、N/P、N/KおよびN/Caは増大を示した場合が多かったが、K/PおよびCa/Mgは一定の傾向が見られなかった。

vi) C/Nは第6年度は第2～5年度より増大を示し、N/P、N/KおよびCa/Mgは第4～6年度は第2～3年度より減少を示した。

vii) 針葉の各養分濃度および養分比と、林木の栄養および成長量との関係等についての考え方を述べておいた。

稿を終わるに当たって、この試験の全般にわたってご配慮をいただいた前関西支場長徳本孝彦氏、関西支場長江畑奈良男技官、関西支場育林部長松下規矩技官、試験地の管理および保育をお願いした山崎営林署の各位に、心からの感謝を捧げるしだいである。

文 献

- 1) GESSEL, S.P. and R.B. WALKER: Height growth response of Douglas-Fir to nitrogen fertilization. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 20, pp. 97~100, (1956)
- 2) 河田 弘 (KAWADA, H.): カラマツ林の成長および有機物層の組成におよぼす土壌条件の影響, 林試研報 (Bull. Gov. Forest Exp. Stat.), 136, pp. 1~33, (1962)
- 3) 同上 (ibid.): 湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齡林の施肥試験, カラマツの成長および針葉の組成におよぼす施肥の影響, 同上 (ibid.), 162, pp. 143~162, (1964)
- 4) 河田 弘・衣笠忠司 (KAWADA, H. and T. KINUGASA): 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)], 同上 (ibid.), 191, pp. 115~136, (1966)
- 5) 河田 弘・丸山明雄・衣笠忠司 (KAWADA, H., A. MARUYAMA, and T. KINUGASA): アカマツ針葉の養分組成 (葉分析) と成長および土壌条件との関係 [関西地方のアカマツ林土壌に関する研究 (第1報)], 同上 (ibid.), 199, pp. 67~97, (1967)
- 6) LEYTON, L.: The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch (*Larix leptolepis* Murr.). II Evidence from manurial trials. Plant and soil, 9, pp. 31~48, (1956)
- 7) LUTZ, H. and R. F. Jr. CHANDLER: Forest soils, New York, (1951)
- 8) MITCHELL, H. L. and R. F. FINN: The relative feeding power of oaks and maples for soil phosphorus. Black Rock Forest Paper, 1, 2, pp. 6~9, [cited from (7)]
- 9) 芝本武夫・田島俊夫: 林木の葉分析に関する研究 (第1報) ヒノキの葉の無機成分含有量と樹高成長および土壌型との関係, 日林誌, 43, pp. 55~61, (1961)
- 10) SNELL, F.D. and C. T. SNELL: Colorimetric analysis, II, (New York), (1961)
- 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, pp. 1~158, (1962)
- 12) WALKER, L.C.: Foliar analysis as a method of indicating potassium deficient soils for reforestation. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 19, pp. 233~236, (1955)

**A Study on Fertilization on Young *Cryptomeria japonica*
Forest in Mangatani National Forest
(Studies on forest fertilization in Kansai area Part 2)**

Hiroshi KAWADA and Tadashi KINUGASA

(Résumé)

1. Introduction

The authors reported in this paper the intermediate results of the fertilizer trials during 6 years after planting on a young *C. japonica* forest on the brown forest soil, in Mangatani National Forest in Hyogo Prefecture, and the nutrient diagnosis of the stands by their needle analyses.

C. japonica, one of the most important conifers for silviculture in this country, were roughly classified into two principal groups.....the one distributed in the Pacific seaboard area and the other in the Japan Sea coastal area. The former was generally characterized by its fairly rapid growing process during its young and prime periods and somewhat decreased growth rate in its old age. The latter was generally characterized by its slower but steadily continued growing process until its old age. The seedlings planted in these test forests belonged to the latter group.

The seedlings of *C. japonica* tested in Kôya National Forest, reported in Part 1, belonged to the former group. Throwing light on the differences of the fertilizer efficiency on both groups of *C. japonica* was one of the principal objects of this study.

2. The test forests and methods

2-1. Test forests

The test forests were located on the lower part and the middle of the long mountain slope. They were the felled area of a naturally grown hardwood forest. Their site and climatic conditions were as follows: Height above sea level....750~800 m. Direction....SW. Inclination 35~40°. Parent material of the soil....Mixture of clayslate and sandstone of palaeozoic and diorite. Annual average temperature....12~13°C. Annual precipitation....1,800~2,200 mm. Snowfall....1.5 m. The type of soil of the four plots, Plot A, B, C and D, settled on the lower part of the mountain slope, belonged to Bd soil (colluvial soil) (moderately moist brown forest soil) and that of the other four plots, Plot A', B', C' and D', on the middle of the mountain slope, to Bd soil (creep soil).

The seedlings of 2-year-old *C. japonica* (Shiso strain) were planted in the middle of March, 1961.

2-2. Fertilization

Plot A and A'....Fertilized at the planting, beginning of the 3rd and 5th years.

Plot B and B'....Fertilized at the beginning of the 3rd year.

Plot C and C'....Fertilized at the planting and the beginning of the 5th year.

Plot D and D'....Unfertilized.

At the planting, in the middle of March, 1961, 12 particles of the solid fertilizers (each particle was 15 g, N....6%, P₂O₅....4%, K₂O....3%) were given per one seedling. At

the beginning of the 3rd year, early in April, 1963, 100 g of the mixed fertilizer (N....24%, P_2O_516%, K_2O11%) and at the beginning of the 5th year, early in April, 1965, 150 g of the same mixed fertilizer were given per one stand.

2-3. Analytical method

The 0.2 N HCl soluble P_2O_5 of the soil was determined by the vanadomolybden yellow, colorimetrically. The other methods of analysis were the same as those shown in Part 1.

3. Soils

The descriptions of the profiles, the textures, the physical and chemical properties of the test forest soils were shown in Table 1~4 and Fig. 1.

The soils were clayey. Their well water percolation rates from surface till lower horizons and other measurements showed that their physical properties in natural conditions were superior. The soil were rather acidic as shown by their pH values and exchangeable acidities in comparison with the general one of the same type of soil. These would be affected by the cold and snowy climatic conditions. Their acidities were neither notably high nor their pH values particularly low as to check the growth of *C. japonica*. Their exchangeable Ca and Mg, 0.2 N HCl soluble P_2O_5 and K_2O contents were neither very abundant nor very poor. Their humus contents were not abundant, but their C/N ratios were fairly small. Putting all their physical and chemical properties together, the soil conditions of these test forests seemed to be suitable for the planting of *C. japonica*.

4. The growth of *C. japonica* and the fertilizer efficiency (Results and discussions 1)

4-1. Results

The growing process of young *C. japonica* during 6 years after planting were shown in Table 5 and 6, and Fig. 2 and 3.

The height growth of the 5th year and the diameter growth of the 4th year were remarkably decreased in comparison with that of the year before and next. In the 5th year, 1965, the period of putting forth of the shoots was remarkably late and the growth of the shoots remarkably inferior as a result of the unusually cold climatic conditions in the spring. The authors supposed that the decline of the growth of the stands would be affected by the cold climatic conditions. However, the cause of the decreased diameter growth of the 4th year was unknown, as its climatic conditions were normal.

4-2. Discussions

The fertilizer efficiencies on the growth of *C. japonica* were clearly recognized except on the diameter growth of Plot A' and C' of the 1st year. The disparities of the height and diameter between the fertilized and unfertilized plots were increased from year to year.

The total increments of the height and diameter of the fertilized plots in comparison with that of the unfertilized plots during the 6 years after planting were as in the following table.

Every fertilizer efficiency index of the fertilized plots was remarkably increased as compared with that of the unfertilized plots, and it met the authors' expectation. However, the increments of the growth were not so superior as the authors expected. Putting toge-

Topography	Plot	Height (cm)	Basal diameter (mm)
Lower part of mountain slope	A	100 (60%)	20 (63%)
	B	80 (50%)	18 (56%)
	C	80 (50%)	17 (53%)
Middle of mountain slope	A'	130 (120%)	27 (113%)
	B'	40 (40%)	14 (58%)
	C'	70 (60%)	15 (63%)

(Remark : Figure in parenthesis is the percentage on the unfertilized plot.)

ther the data up to the present on the fertilizer trials on *C. japonica* in various quarters in this country by other authors, the following opinion could be taken as generally applicable.

As to the fertilizer efficiency index on *C. japonica*, no clear difference was seen between the above-mentioned Pacific seaboard area and Japan Sea coastal area groups, but the growth increments effected by the fertilization of the latter group was much less than that of former group. The results of these test forests showed a similar tendency, too.

On the effects of the fertilization frequency and the fertilizer amount on the growth of the stands, the following results were obtained :

Fertilizer efficiencies of Plot A and A', the most abundant in the frequency and the amount, were most remarkable among the fertilized plots in every topography, respectively. In the lower part of the mountain slope, the height and diameter growth of Plot B was the same as that of Plot C, and the growth of both these plots showed slight declines as compared with that of Plot A. In the middle of the mountain slope, the height growth decreased in the following order as Plot A' > C' > B' and the diameter growth as Plot A' > C' and B'. Their growth reduced according to the decreases of fertilization frequency and fertilizer amount.

Naturally, the duration of the fertilizer efficiency varies with the differences of the amount of fertilizer, site conditions of the test forest, other factors and their interactions. Some authors give prominence to the practical forest management set on the basis of the growth increments, but others on the basis of the fertilizer efficiency index from the theoretical point of view on the appreciation of the fertilizer efficiency.

On the test forests covered in this report, the increments of growth of the fertilized plots as against those of the unfertilized plot in every topography were little, and the yearly variations of the fertilizer efficiency index of the former were irregular. Therefore, the appreciation of the fertilizer efficiency would necessarily be subjective. The authors set the basis of the increments of 30% of the fertilizer efficiency index as effective.

The fertilizations at the planting were effective during 2~4 years on the height growth and 3 years on the diameter growth in the lower part of the mountain slope. The fertilizations of the 3rd year were effective during 4 years on the growth in the lower part of the mountain slope, and during 3 or 4 years, respectively, in the middle of the mountain slope.

Summarizing these results, the following opinion evolves : that the duration of the fertilizer efficiency was longer on the diameter growth than on the height growth in every topography. It was longer in the lower part of the mountain slope than in the middle of the mountain slope when the comparisons with the same fertilizer treatment was made.

On these forests the duration of the fertilizer efficiency over 5 years was not examined as they were fertilized every 2 or 4 years.

5. The nutrient diagnosis of *C. japonica* by its needle analyses and the correlations among its nutrient conditions, growth, site conditions and the fertilization (Results and discussions 2)

5-1. Results

The nutrient concentrations and their ratios of *C. japonica* needles during the 2nd~6th years were shown in Table 7.

5-2. Effect of the fertilization

5-2-1. N, P and K concentrations of the needles

The N, P and K concentrations of the needles were clearly increased by the fertilization except that of K of the 4th year after fertilization when the annual comparisons of the fertilized and unfertilized plots in every topography were made.

The N, P and K concentrations of the needles were fairly increased in the fertilized plots as compared with the unfertilized plot in every topography during the 1st~2nd years after fertilization. However, they decreased and came nearer to that of the unfertilized plots during the 3rd~4th years except in the case of Plot C of the 4th year.

These declines of the nutrient concentrations were more distinguished on plots in the middle of the mountain slope than in the lower part of the mountain slope. The nutrient concentration variations of the needles of the fertilized plots with the passage of the year were similar to that of the durations of the fertilizer efficiency in every fertilized plot as mentioned above. These increments of the nutrient concentrations of the needles closely correlated to that of the growth of stands as the latter increased by the fertilization, too.

The causes of the abnormal increments of the N, P and K concentrations of the needles of Plot C of the 4th year over that of the 3rd year were unknown. It was about the same level as that of Plot A and B, fertilized in the year before. Nearly the same growth and fertilizer efficiency of Plot C with that of Plot A and B showed the above-mentioned correlation between the nutrient concentrations of the needles and the growth of the stands clearly, too.

Though some authors' results in this country were negative on these correlations, many authors in the native and foreign countries¹⁾³⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹¹⁾¹²⁾ recognized the correlations among the fertilization, the growth of the stands and their N, P and K concentrations of the needles. The following opinion would be acceptable: that the fertilization of N, P_2O_5 and K_2O increases these nutrient levels of the soil, and brings on the growth increments of the stands and betterments of their nutrient condition. The latter would be reflected most sharply by the nutrient concentration increments of the 1-year-old needles of the uppermost shoots of the stands.

5-2-2. Ca and Mg concentrations of the needles

Though there were some exceptions, the decreases of the Ca and Mg concentrations of the needles of the fertilized plots as compared with those of the unfertilized plot were recognized in many cases when the annual comparisons of both plots in every topography were made. The decreases of these nutrient concentrations of the needles correlated to the growth increments of the stand by the fertilization.

The Ca and Mg concentration variations of the needles attending with the fertilization were contrary to that of the above-mentioned N, P and K concentrations. The annual variations of the differences of the Ca and Mg concentrations of the needles between the fertilized and unfertilized plots with the passage of the year seemed to show no clear correlation with the fertilization.

Similar results were obtained from the data on the *C. japonica* and *Chamaecyparis obtusa* forests in Kôya National Forest, reported in Part 1⁴⁾, with a few exceptions when the annual comparisons were made as in these test forests, too. However, one of the authors⁸⁾ pointed out the increments of the Ca and Mg concentrations of the needles by the fertilization on the young larch forests. The elucidations of these discrepancies on the Ca and Mg concentrations of the needles by the effects of the fertilization were left for future study.

5-3. Effects of the topographical factors

The N, P and K concentration increments and the decreases of the Ca and Mg concentrations of the needles in the lower part of the mountain slope as compared with those of the middle of the mountain slope were seen with some exceptions when the annual comparisons of the plots with the same fertilizer treatment in every topography were made. These facts showed the increments of the N, P and K concentrations and the decreases of the Ca and Mg concentrations of the needles attended with the increases of the growth of the stands as evidence of the former topography being superior to the latter topography. These exceptions increased in the following order as N and P > K > Ca and Mg, and only one exception was seen on N and P, respectively.

These facts would seem to support the following opinion that the correlations between the nutrient concentrations of the needles and the growth of the stands were most closely with the N and P concentrations and they lessened in the order as N and P > K > Ca and Mg.

The previous data on the correlations between the nutrient concentrations of the needles and the topographical factors were as follows:

The nutrient concentration increments of the needles of the lower part of the mountain slope as compared with those of the upper part and the mountain top plateau were recognized on the freshly fallen needles of the aged larch forests²⁾ and the young pine forests⁵⁾ with the exception of Mg. Similar tendencies were observed on the fertilized young larch forests except in the K and Mg concentrations⁸⁾.

Summarizing the previous and present data, the correlations between the nutrient concentrations of the needles and the topographical factors are well agreed with only the N and P concentrations, and fairly well with that of K. The elucidation of the disagreements on other nutrient concentrations were left for future investigation.

5-4. The correlations between the growth of the stands and the nutrient concentrations of the needles

The clear correlations between the growth increments of the stands and the variations of the nutrient concentrations of the needles attended with the fertilization or the topographical factors were clearly recognized when the annual comparisons of the fertilized and unfertilized plots in every topography or plots with the same fertilizer treatment in both topographies were made, as mentioned above. However, as shown in Table 6 and 7, the yearly growth of the stands showed differences in every plot. Looking at these correlations in another light, when the yearly comparison in every plot was made, no clear result was

obtained.

These facts were easily explainable as follows:

It was generally recognized that the annual growth of the stands showed the yearly increases during the several years after planting, and it was affected by the yearly climatic conditions regardless of their ages. The nutrient conditions of the stands shown by the nutrient concentrations of the needles clearly reflected every nutrient level of the soil and its variations attending with the fertilization. Though the nutrient conditions of the stands were the dominant factors that affected their growth, the latter was affected by many other internal and external factors of the stands and their interactions.

The authors were of the following opinion that the discussions on the correlations among the nutrient conditions of the stands, their growth and the soil conditions, especially nutrient levels, are significant only when the comparisons of the same aged forests in every year under the same climatic conditions are considered.

Though the height growth of the 5th year and the diameter growth of the 4th year decreased compared with those of the years before and next, every nutrient concentration of the needles, taking the effects of the fertilization into consideration, was not decreased in every plot. These facts would support the above-mentioned opinion.

5-5. The relation between the ages of the stands and the nutrient concentrations of their needles

On the relations between the nutrient concentrations of the stands and their ages, taking the variations of the former by the effects of the fertilization into consideration, the following facts were recognized:

The N concentrations of the 6th year were fairly decreased as compared with those in the 2nd~5th years, and the P and K concentrations of the 3rd~6th years slightly increased above those in the 2nd year; the Mg concentrations of the 4th~6th years increased fairly over the 2nd~3rd years, but the annual variations of the Ca concentration showed no certain tendency.

These facts suggested that the nutrient requirements of the stands varied according to their age; in other words the passage of their years. It would be necessary to give attention to these facts when the data on the nutrient conditions of the stands by their needle analyses are discussed.

5-6. The nutrient ratios of the needles

The following facts were observed on the nutrient ratios of the needles when the comparisons of the nutrient ratios of the fertilized plots with the unfertilized plot in every year on every topography were made. The C/N ratios decreased in all cases. The N/P, N/K and N/Ca ratios increased in many cases with a few exceptions. These tendencies were more distinguished in the 1st~2nd years than in the 3rd~4th years after fertilization. However, no certain tendency was observed on the K/P and Ca/Mg ratios.

The previous results on the young larch³⁾, the *C. japonica* and *Chamaecyparis obtusa*⁴⁾ forests, the opposite results by fertilization, e. g. the decreases of the N/P and N/K ratios, were observed.

The authors were of the opinion by way of explaining these contradictory results that the nutrient ratios of the needles showed only the relative ratios of the nutrient levels of the soil. The above-mentioned larch, *C. japonica* and *C. obtusa* soils were podzolic and their relative ratios of the P₂O₅ and K₂O levels to that of N were low, but that of these test forests was

high. The relative ratios of the N level to the P_2O_5 and K_2O levels of these test forest soils increased by the fertilization and vice versa in other forest soils.

It could generally and perhaps too readily be believed that the variations of the nutrient ratios of the needles by the fertilization would be liable to correlate to the growth of the stands as the fertilization brought on the increments of the growth.

The authors were of the following opinion on these points that the growth of the stands were affected by the nutrient levels of the soil that correlated to the nutrient concentrations of the needles, and the nutrient ratios of the needles only showed the relative ratios of the nutrient levels of the soil.

Previously the authors⁵⁾ *et al.* pointed out the following facts on the pine forests, namely, that the growth of them correlated to the nutrient concentrations of the needles except that of Mg on all the surveyed forests, but the correlations between the growth and the nutrient ratios varied in every region that the parent material was different, e. g. the decreases of N/P ratio in the granite region and the increases of N/K ratio in the tertiary region. These facts were easily explainable by the above-mentioned opinion. It would be necessary to give attention to these points when the data on the needle analyses are discussed.

On the variations of the nutrient ratio of the needles attending with the passage of the years of the stands, the following facts were recognized, taking the variations of them by the effects of the fertilization into consideration :

The N/P, N/K and Ca/Mg ratios of the 4th~6th years decreased compared with those of the 2nd~3rd years and the C/N ratios of the 6th year increased as against the 2nd~5th years. However, the yearly variation of the N/Ca and K/P ratios showed no certain tendency.

These facts suggested the variations of the nutrient requirements of the stands attended with the passage of the years. The decreases of the N/P and N/K ratios over the years of the stands in these test forests well agreed with that of the above-mentioned larch³⁾, and *C. japonica* and *C. obtusa*⁴⁾ forests, and that of Ca/Mg ratio to that of *C. japonica*, too.

Though the data on these relations were not sufficiently abundant, the decreases of the N/P and N/K ratios of the needles during the several years after planting would be recognizable as the general tendency.

6. Acknowledgement

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