

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

Hiroshi HARADA: On the Growth and Nutrient Content of
Cryptomeria Trees and the Effects of Forest Fertilization on
These Characteristics

原 田 洸⁽¹⁾

要 旨：スギが植栽後、伐採されるまでに、どのような養分吸収経過をたどり、吸収した養分が林木の各部位にどのように分布していくか、また林地林木間における養分分布はどのような状態になっているのか、さらに肥培によりこれらの養分吸収や養分分布がどのように変化するかをしらべた。これらの結果から、林地肥培は施肥によって直ちに土壌が改良されたとするより、施肥により養分に富んだ枝葉が林地に還元されて良好な腐植層を作り、それが分解してしだいに土壌表層から改良されていくと解釈すべきであると考えた。また心材形成の進んだスギ壮齢木の幹にはカリが多量に含まれていることから、スギ林におけるカリ施肥の重要性を指摘した。幼齢林肥培の際の施肥法については、苗畑時代に十分な肥培管理を行なうという前提で、植栽後3～4年目に重点的に肥培すべきであろうと考察した。成木林肥培の可能性についても考察した。

目 次

緒 言

I スギの成長と養分含有量に関する研究	3
1. スギ幼齢木の樹齢別乾物重量と養分含有量および樹体各部におけるそれらの分布割合	4
2. スギ壮齢木の重量と養分含有量および樹体各部におけるそれらの分布	12
3. スギの成長と葉の養分濃度	21
4. スギ壮齢木の幹の乾物重量と養分含有量および樹皮、辺材、心材におけるこれらの分布について	30
5. スギ壮齢林における乾物および養分の現存量	36
II スギの成長と養分含有量におよぼす施肥の効果に関する研究	40
1. スギ苗に対する施肥の効果	40
1-1. 水耕でN, P, Kの各養分を欠除培養した場合の苗木の成長、養分濃度および養分含有量	40
1-2. 土壌で施肥量を2段階に変えた場合の3要素試験	47
2. 林地における肥料3要素試験	51
3. 植栽後林分閉鎖するまでの間のスギの成長、養分含有量および樹体内の養分分布に及ぼす施肥の効果	59
4. 施肥による閉鎖林分の生産量増加の可能性の検討	71
5. スギ壮齢林分の成長、養分含有量に及ぼす施肥の効果	75
III 総括および本研究の林地肥培への応用	88
1. 総 括	88

1969年8月26日受理

(1) 北海道支場

2. 林地肥培への応用.....	91
文 献.....	96
Summary	101

緒 言

森林資源が豊富であった時代には、林業経営は自然環境に依存しきって営まれ、それで木材の需要は十分まかなわれていた。しかし、その後森林面積が減少し、経済の拡大にともない木材需要は増大し、その結果、天然林の伐採と人工造林地の拡大という林業政策がとりあげられてきたが、木材の供給不足に対処することができず、積極的に林地生産力を向上させる手段をとらざるを得なくなった。また一方、短伐期皆伐作業を採用したために、わが国の林地の地力は低下していくといわれている。育林部門にあっては、林地生産力を維持し向上させるために、林分保育のなかに森林生態系の概念を基にした保育技術がくみいれられ、さらに林地肥培が積極的にとりあげられているが、これらが、森林の保育技術として完成されるためには、育林の分野としては、まだ究明されなければならない問題が多く残されている。

林木は成長するにともなって、どのような重量増加をしめし、養分含有量がどのように増加していくか、また乾物や栄養分が、林木のどの部分にどのように分布していくかという問題、またそこに施肥をした場合、成長と養分含有状態はどのように変わってくるかという問題も、早急に解決されなければならない項目の一つである。

たとえば、林地肥培で林分生産量の増加を期待するためには、施肥により一時的に成長が増加するだけでなく、根本的に林木の栄養状態が改善されなければならないし、林地土壌の性質も改善されなければならない。また肥培林が、たとえば現時点で外観的に成長差をあらわしていなくとも、林木の栄養状態が改善されていれば、近い将来、外観的にも顕著に成長差があらわれてくる可能性を考えてもよいだろう。

しかしながら、従来の林業の主流は、「一般林地では施肥効果はさほど著しくあらわれない。林地に施肥することは、経済的になりたない」という潜在観念により支配されていたため、苗畑時代の苗木を除いては、林木の施肥効果の有無についてはもちろん、林木の栄養に関する知識もほとんどもちあわせていなかった。

そこで筆者らの研究室においては、15年ほど前から、林地肥培の技術の確立に必要な土壌肥科学的研究が模索的に開始された。

最近の林業が短伐期化されているとはいえ、伐採収穫するまでに30～40年という年月が必要である以上、たとえば施肥をして2～3年の成長経過から、林木一生の肥培結果を推論することは危険である。

最近林地肥培を対象にした研究報告の数もふえてきてはいるが、いずれも短期研究の結果であって、農作物などに比べると、異常に長伐期であるという時間的制約のために、まだ実際技術を十分リードするだけの成果があがっていない現状である。

筆者の担当していた肥培試験地の多くは、現在までに数回の調査を行なってはいるが、今後も試験を継続し、最終的な調査結果が得られるまでには、まだ相当の長年月を必要とする。しかしながら、一方林地肥培の実行面積は年々増加している。このような現状からみた場合、たとえ研究成果が数年間の実績にすぎなくても、多少なりとも現行の肥培技術を合理化の方向へ指向できると思われる成果は、早急に公表し、これを累積していく必要があるように考える。

本報告はスギの養分含有量と樹体内における養分の分布割合などを重点的にとりあげたものであって、

林地肥培という実際技術の面からみれば、ごく一断面にふれているにすぎないが、今後肥培林の保育を集約的にすすめる前提として、この種の研究成果をとりまとめ、整理しておく必要があると思われる。

本研究は筆者が農林省林業試験場土壌調査部土壌肥料研究室に在勤中、林業試験場顧問研究員(元土壌調査部長)宮崎 勲博士、林業試験場土壌部長(前調査室長)橋本与良博士、九州支場長(前土壌肥料科長)塘隆男博士のご指導のもとに開始したものであり、とりまとめにあたっては種々ご援助をいただいた。

また本稿を草するにあたり、北海道大学教授齊藤雄一博士、同石塚喜明博士、同助教授武藤憲由博士から適切なご助言とご指導をいただいた。

本研究のうち、第Ⅰ章2、4、5および第Ⅱ章4で引用した数値は、農林省林業試験場で行なわれた農林水産技術会議の特別研究「林地土壌生産力に関する共同研究」の成果の一部であり、プロジェクト・リーダーである林業試験場長(前土壌調査部長)竹原秀雄博士のご指導と、共同研究者である造林第二研究室長蜂屋欣二技官、土壌肥料研究室員佐藤久男技官のご協力を得た。

また第Ⅰ章1、第Ⅱ章2は塘 隆男博士との共同研究、第Ⅱ章1は土壌肥料研究室員堀田 庸技官との共同研究結果であり、調査とりまとめにあたり種々ご援助をいただいた。分析実験に際しては、大島節子、紋谷朝子、寺田叙子氏らのご協力を得た。心からお礼の言葉を申しあげる。

Ⅰ スギの成長と養分含有量に関する研究

林木の成長にともなう重量の変化、養分含有量の変化をしらべるとは、基礎的には成長にともなう林木の養分吸収過程を推察するために、また実用的には肥培の際の施肥量などを推定するために必要な事項である。

TAMM (1958)⁹⁵⁾によると、19世紀の後半に EBERMAYER (1876) は、林木の養分含有量を精力的に調査したが、これは当時ドイツの森林で行なわれていた落葉採取が、いかに地力を低下させるかを実証し警告するために行なわれたとのことである。その後、この種の調査は断片的に行なわれていたが、BAKER (1934)⁹⁾は樹体各部位の乾物の構成比率を推定し、RENNIE (1955)⁶²⁾は、既往の数値をもとにして、伐採により林地から失われる養分量などを計算し、筆者 (1959)²²⁾もまた、RENNIE の手法に準じて林木の養分吸収と林地における養分循環などを考察した。しかし、その後、この種の研究はすすみ、樹体内における乾物や養分の分布割合について、HEIBERG (1959)⁸⁰⁾、OVINGTON (1959)⁶⁰⁾、RALSTON ら (1963)⁶¹⁾の業績が発表されたが、わが国では塘 (1962)⁹⁰⁾が、林地肥培の基礎事項として、6～40年生のスギおよび10～39年生のアカマツについて養分含有量の変化を報告した。

また最近、森林保育のなかに生態系の概念が強く打ちだされ、林木のみではなく、有機物層や林地土壌を含めたなかでの乾物や養分の分布が調べられ、RICHARDら (1963)⁶³⁾、GESSEL ら (1963)¹⁶⁾、四手井ら (1963)⁷²⁾、堤 (1963, 1964)^{91) 92)}、RIEKERK ら (1965)⁶⁴⁾の業績が相ついで発表され、東大など四大学合同調査班による森林の生産力調査¹⁰⁷⁾なども行なわれるにいたった。

この種の研究は、一般の森林保育にももちろん必要ではあるが、とくに林地肥培の技術が進展するにつれてますます重要度をくわえ、樹高、林齢、立地条件などくみあわせた調査結果が必要になってくる。

本稿では、スギを対象にして幼齢時代は、林地にスギを植栽後、林分が閉鎖するところまでの成長経過を細かく調査し、壮齢時代は40～50年前後の林を対象にして立地別に、それぞれ重量や養分状態を調査し、植栽より壮齢時代にいたる重量と養分含有量の変化を考察した。

1. スギ幼齢木の樹齢別乾物重量と養分含有量および樹体各部におけるそれらの分布割合

(1) 目的と方法

植栽後林分が閉鎖するころまでに、スギはどのような重量成長経過をたどり、養分含有量はどのように変化していくかをしらべるため、静岡県水窪営林署瀬尻経営区内の1, 3, 5, 12年生のスギ造林地、および静岡県大日山県有林の2, 6年生スギ造林地で調査を行なった。この調査は、1957年10月に行なわれたものである。

瀬尻の造林地は古生層の三波川系結晶片岩類の上部三波川系の緑色片岩に属する地帯で、海拔高は550~600mである。大日山の造林地は中生層の三倉層群に属する砂岩、頁岩よりなり海拔高は700~750mである。

各造林地の同一林小班内でBd~Be型の土壌（ここでは適潤な土壌と呼称）が出現する区域と、それよりやや乾性なBd(d)型土壌（ここではやや乾性な土壌と呼称）の出現する区域で、それぞれ50~100m²のコードラートを設定し、その中に生育する林木の樹高、根元直径（5年生以上は胸高直径も測定）を毎木調査し、その算術平均値に近似した樹高、根元直径を有する木を供試木として、各調査地から2~3本あて選定して調査した。なおこのほかに、瀬尻苗畑産のスギ1回床替2年生苗の10本を調査して、山行苗の測定値とした。

調査林分と供試木の概要はTable 1のとおりである。

Table 1. 調査林分と供試木の概要
Actual conditions of the investigated young *Cryptomeria* forest

地域 Area	土 壌 Soil condition	林 齢 Age	林 分 Forest stand					供試木 Sample trees			
			林小班 Block	方 位 Direction	傾 斜 Inclination	土壌型 Soil type	haあたり 本数 Trees per ha.	伐倒本数 Sample trees	平均樹高 Height	平均根元 直径Gro- und level diameter	枝 張 Branch length
瀬尻	適潤な土壌 Moderate moist soil	1	13ㄥ	S 40 E	35	Be	3,000	3	0.60	1.2	0.40
		3	45ㄥ	S 70 E	28	Bd	3,000	3	1.66	3.0	0.90
		5	93ㄥ	N 45 W	32	Be	2,900	2	3.20	7.0	1.60
		12	14ㄥ	N 50 W	35	Be	2,500	2	8.13	11.0	2.00
Sejiri	やや乾性な 土壌 Dryish soil	1	13ㄥ	N 80 E	17	Bd(d)	3,000	3	0.49	1.0	—
		3	45ㄥ	S 40 E	28	Bd(d)	3,000	3	1.30	2.0	0.80
		5	93ㄥ	S 20 E	20	Bd(d)	2,700	2	2.50	5.8	1.00
		12	14ㄥ	N 60 W	35	Bd(d)	3,000	2	5.45	10.0	2.00
大日山 Daini- chizan	適潤な土壌 Moderate moist soil	2	6ㄥ	N 60 W	16	Bd	3,000	2	0.65	0.9	—
		6	5ㄥ	N 30 W	22	Be	2,400	2	4.35	9.0	2.40
	やや乾性な 土壌 Dryish soil	6	5ㄥ	N 50 W	15	Bd(d)	2,800	2	2.50	7.0	2.00

供試木は、根を切断しないように注意して掘りとり、幹、緑色の枝、褐色の枝、葉、根の各部分にわけ、それぞれの生重量を秤量 300 g、感量 1 g の自動秤と、秤量 8 kg、感量 20 g の自動秤とをつかってはかり、それぞれの試料は、100~300 g 程度をポリエチレン袋につめて実験室までもち帰り、60°~70°C の熱風乾燥器で乾燥させたのち、粉碎機で20メッシュ以下に粉碎し化学分析の試料とした。また各試料の一部を現地で6×6 cm の秤量管にとり、実験室にもち帰り、含水量を測定した。

スギは、枝葉を正確に区別することができないので、この調査では便宜上、主軸を幹とし、幹から分枝した褐色部分を褐色の枝とし、残りの緑色部分を先端から数えて第2分岐までを葉とみなし、それ以下は緑色の枝とした。

養分分析は窒素はケルダール法、リン酸とカリは、硝酸一過塩素酸で湿式灰化したのち、前者はモリブデン青を発色させて光電光度計で吸光度を測定してもとめ、後者は炎光光度計を用い酸素—プロパン炎により測定してもとめた。

(2) 結果と考察

i) 重量

スギの林齢別、土壌別の重量と、部位別の構成比率をしめすと Table 2 のようになる。

すなわち、山行苗の場合には生重量で77g、乾物重量で22gの値をしめし、各部位の構成比率は、葉で40%程度となっている。すなわち、乾物の構成比率は葉>根>枝=幹の傾向になっている。

しかし、このような苗木が山に植栽された場合、重量は1年後に1.5~2倍、3年後に15~20倍となり、12年後には300~600倍という増加をみせるが、それにとまって各部位の構成比率も変化し、林齢増加にとまって葉の構成比率が低下し、幹の構成比率が増加していく。この傾向は、糖(1962)⁹⁰⁾が6~40年生のスギで報告した傾向と同じである。このことは、葉は落葉するが、幹は毎年の成長分が累積されて大きくなっていく点を考えると当然であるが、林齢12年で比較すると、幹の構成比率が40~50%をしめ、葉の構成比率はわずか20%程度にまで低下してしまう。

土壌別に成長差を比較してみると、やや乾性な土壌は適潤な土壌にくらべスギの成長がやや不良のため、いずれの部位の重量も小になっている。林齢1年の場合には乾性な土壌に生育した木は、適潤な土壌に生育した木にくらべて80~90%の重量成長をしているが、3年目ころになるとやや乾性な土壌の重量成長は適潤性のものにくらべ60%前後にまで低下し、さらに12年目で比較すると、50%以下にまで低下していて、重量成長の差は年々拡大されていく傾向がみられる。

また土壌別に各部位の乾物構成比率を比較してみると、幹の構成比率は適潤な土壌で高く、根の構成比率はやや乾性な土壌で高い傾向がみられるが、葉の構成比率は土壌の乾湿であまり変化がみられない。

スギの各部位の乾物重量が林齢増加にとまってどのように増加していくかを図示すると Fig. 1 のよう

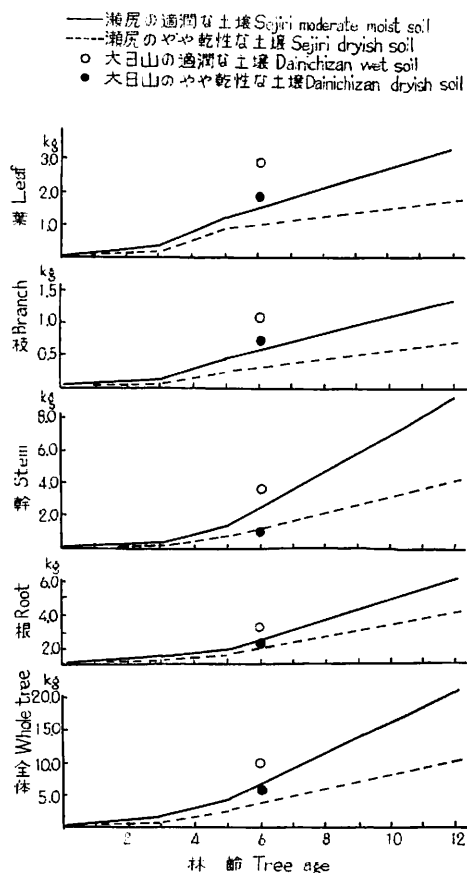


Fig. 1 樹齢増加にとまうスギ各部位の乾物重量の増加

Increase of dry matter in each part of young trees relating to the increase of tree age.

Table 2. スギ幼齢木 (単木) の林齢別の重量と各部位の構成比率
Fresh and dry weight in each part of the young trees relating to the

地域 Area	土壌 Soil condi- tion	林齢 Tree age	樹高 Heig- ht m	根元直径 Ground level diameter cm	生重量 Fresh weight (g)						葉 Leaf
					葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	合 計 Whole tree	
山 行 苗 Planting stock			0.41	0.7	32(42)	12(16)	—	11(14)	22(28)	77(100)	9(41)
瀬 尻	適潤な土壌 Moderate moist soil	1	0.60	1.2	57(41)	16(12)	—	25(18)	40(29)	138(100)	21(37)
		3	1.66	3.0	750(41)	137(7)	33(2)	497(27)	397(23)	1814(100)	246(36)
		5	3.20	7.0	3390(35)	610(6)	460(5)	3390(35)	1750(19)	9600(100)	1200(33)
		12	8.13	11.0	8950(18)	1480(3)	1590(3)	24910(50)	12770(26)	49700(100)	3440(18)
Sejiri	やや乾性な土壌 Dryish soil	1	0.49	1.0	47(41)	14(12)	—	21(18)	33(29)	115(100)	16(37)
		3	1.30	2.0	467(43)	78(7)	2(1)	274(25)	269(25)	1090(100)	152(35)
		5	2.50	5.8	2420(37)	300(5)	240(4)	2060(31)	1550(23)	6570(100)	930(34)
		12	5.45	10.0	4790(20)	430(2)	990(4)	9820(41)	7920(33)	23950(100)	1770(18)
大日山	適潤な土壌 Moderate moist soil	2	0.65	0.9	78(53)	13(9)	—	23(16)	33(22)	147(100)	32(51)
		6	4.35	9.0	6990(32)	1180(5)	1280(6)	7330(33)	5260(24)	22040(100)	2950(31)
Daini-chizan	やや乾性な土壌 Dryish soil	6	2.50	7.0	4360(39)	470(4)	1070(10)	2440(22)	2910(25)	11250(100)	1940(41)

() 内の数字は構成比率

() Shows distribution ratio.

Table 4. スギ幼齢木の林齢
Nutrient concentration in each part of the

地 域 Area	土 壌 Soil condition	林齢 Tree age	N %					
			葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	葉 Leaf
山 行 苗 Planting stock			1.72	1.38	—	0.75	1.21	0.90
瀬 尻	適潤な土壌 Moderate moist soil	1	1.51	1.41	—	0.37	0.52	0.57
		3	0.97	1.38	0.50	0.35	0.46	0.34
		5	1.16	0.73	0.46	0.25	0.30	0.25
		12	1.13	0.57	0.26	0.12	0.30	0.25
Sejiri	やや乾性な土壌 Dryish soil	1	1.33	1.38	—	0.44	0.65	0.43
		3	0.86	1.45	—	0.31	0.55	0.30
		5	1.06	0.69	0.30	0.27	0.23	0.27
		12	0.99	0.60	0.28	0.17	0.31	0.20
大 日 山	適潤な土壌 Moderate moist soil	2	1.53	0.85	—	0.50	0.63	0.27
		6	1.37	0.77	0.29	0.26	0.38	0.27
Dainichi zan	やや乾性な土壌 Dryish soil	6	1.39	0.55	0.20	0.25	0.22	0.23

tree age

乾物重量 Dry weight (g)				
緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	合 計 Whole tree
3(14)	—	4(18)	6(27)	22(100)
7(12)	—	11(19)	18(32)	57(100)
53(8)	16(2)	218(32)	152(22)	685(100)
240(7)	210(6)	1340(36)	700(18)	3690(100)
610(3)	770(4)	9470(48)	5250(27)	19540(100)
5(12)	—	9(21)	13(30)	43(100)
29(7)	1(0)	124(29)	126(39)	432(100)
120(4)	110(4)	860(32)	700(26)	2720(100)
190(2)	440(4)	4220(42)	3360(34)	9980(100)
5(8)	—	10(16)	16(25)	63(100)
500(5)	610(6)	3230(34)	2180(24)	9470(100)
190(4)	490(10)	1000(22)	1100(23)	4720(100)

Table 3. 林齢増加にともなうスギ単

木の乾物重増加（瀬尻）

Increase of dry matter in relation to the
increase of tree age (Sejiri)

土 壌 Soil condi- tion	林 齢 Age	乾物現存量 (g) Existing amount of dry matter	期間増加量 (g) Periodic increase	年平均増 加量(g) Annual increase
山 行 Planting stock	苗	22	—	—
適潤な土壌 Moderate moist soil	1	57	35	35
	3	685	628	314
	5	3,690	3,005	1,503
	12	19,540	15,850	2,264
やや乾性な 土壌 Dryish soil	1	43	21	21
	3	432	389	195
	5	2,720	2,288	1,144
	12	9,980	7,260	1,037

別, 部 位 別 の 養 分 濃 度

young trees relating to the increase of tree age

P ₂ O ₅ %				K ₂ O %				
緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root
0.71	—	0.25	0.30	1.43	1.26	—	0.50	0.89
0.46	—	0.10	0.11	1.01	0.95	—	0.36	0.36
0.18	0.11	0.06	0.07	1.08	0.67	0.20	0.22	0.37
0.39	0.11	0.05	0.05	0.84	1.04	0.20	0.17	0.24
0.16	0.09	0.02	0.05	0.64	0.46	0.18	0.14	0.25
0.34	—	0.11	0.11	1.02	0.92	—	0.44	0.55
0.23	—	0.07	0.09	0.76	0.53	—	0.22	0.37
0.16	0.09	0.05	0.05	0.88	0.65	0.25	0.17	0.25
0.16	0.14	0.05	0.05	0.70	0.14	0.17	0.13	0.25
0.23	—	0.10	0.09	1.09	1.02	—	0.50	0.42
0.11	0.14	0.05	0.07	0.88	0.47	0.23	0.17	0.24
0.23	0.09	0.05	0.05	0.85	0.71	0.23	0.18	0.29

になる。

これで見ると、葉や枝は3～4年目ころから急激に重量増加するが、5～6年目以降は増加割合がやや低下する傾向がみられる。しかし、幹や根や全体の重量増加は、3～4年目ころまではそれほど増加せず、5～6年目以降急激に増加し、全体の傾向としては、指数曲線のカーブで増加している。

すなわち、林齢増加にともなう各部位の重量増加は、植栽当初まず枝葉が繁茂し、それにともなって幹や根の重量増加があらわれ、それに幹や根の毎年の成長量が累積されて幹や根がますます増加していく傾向を認めることができる。林齢増加にともなう各部位の重量増加を土壌別に比較してみると、カーブの全体としての傾向に本質的な違いは認められないが、各部位の重量増加が、適潤な土壌でより促進されている傾向を認めることができる。

また、地域別にみると、大日山のスギは瀬尻のスギより、葉、枝の量が多い傾向がみられるが、幹や根の量では大差がみられない。

また林齢増加にともない、スギの連年の乾物増加量がどのように変わるかを計算してみると Table 3 のようになる。すなわち適潤な土壌の場合には、1年目から12年目にかけて連年平均増加量は増しているが、やや乾性な土壌の場合では林齢5年で最高で、林齢12年ではやや低下した値をしめしている。

ii) 養 分 濃 度

林齢別、土壌別のスギの各部位の養分濃度をしめすと Table 4 のとおりである。

この表で見ると、一般に幹や根の養分濃度は緑色部にくらべて低いが、山行苗の場合にはその差がわずかで、幹や根でも相当高濃度に養分をもっている。しかし林齢の増加にともなって、各部位の養分濃度は低下し、とくに幹や根の非同化部分での濃度低下が顕著のようである。OVINGTON (1959)³⁹⁾はマツの樹体分析を行なって、木の容積が増加するほど養分濃度が低下することを報告し、RALSTON (1965)⁴⁰⁾はマツおよび広葉樹類の樹体分析を行ない、幹の養分濃度は樹高と負の相関関係にあることを報告しているが、筆者のスギ幼齢木の場合も樹齢が大きくなり、容積が大きくなったときに、同じような傾向をみることができる。

土壌別に養分濃度を比較してみると、葉の部分の N と P_2O_5 、および緑色の枝の K_2O は、適潤な土壌に生育したものが、乾性な土壌に生育したものよりやや高い傾向をみせているが、その他の部分では明りょうな傾向が認められない。

iii) 養 分 含 有 量

養分濃度を乾物重量に乗じてもとめた各部位の養分含有量および各部位への養分の分布割合は、Table 5 のとおりである。

すなわち、山行苗の場合には、N で 0.3 g、 P_2O_5 で 0.1 g、 K_2O で 0.2 g 程度のものを含有しているが、1年後には養分含有量はそれほど増加せず、N の含有量で見ると、やや乾性な土壌に植えられた場合で 1.4 倍、適潤な土壌に植えられた場合でも 1.8 倍程度の増加であり、 P_2O_5 の含有量では、やや乾性な土壌に植えられた場合は、山行苗の含有量より少ない値が得られるほどである。すなわち植栽当初の養分吸収量は非常に少ない。しかし3年目ころから含有量は増加し、12年目になると、山行苗の養分含有量にくらべて N で約 100～200 倍の含有量をもつようになる。

各部位における養分の分布割合は、各養分とも葉では林齢増加にともなって、明りょうな増加傾向はみられないが、幹では林齢増加にともなって多少分布割合が増加していく傾向がみられる。これは、幹で

は、林齢増加にともなって養分濃度が低下していくが、それ以上の割合で乾物重量が逆に急激に増加していくからであろう。土壤別に養分分布をみると、葉や幹ではあまり明りょうな傾向はみられないが、根では乾性な土壤でやや大きくなる傾向がみられる。地域別にみると、大日山のスギの葉への養分分布割合は瀬尻よりやや多いようにみえるが、調査点数がすくないため、はっきりしたことはいえない。

つぎに、林齢増加にともなう各部位の養分含有量の増加傾向を、より明りょうに把握するため図示してみると、Fig. 2 のようになる。これによると、養分含有量の増加傾向は、3年目ころに急増して、5年

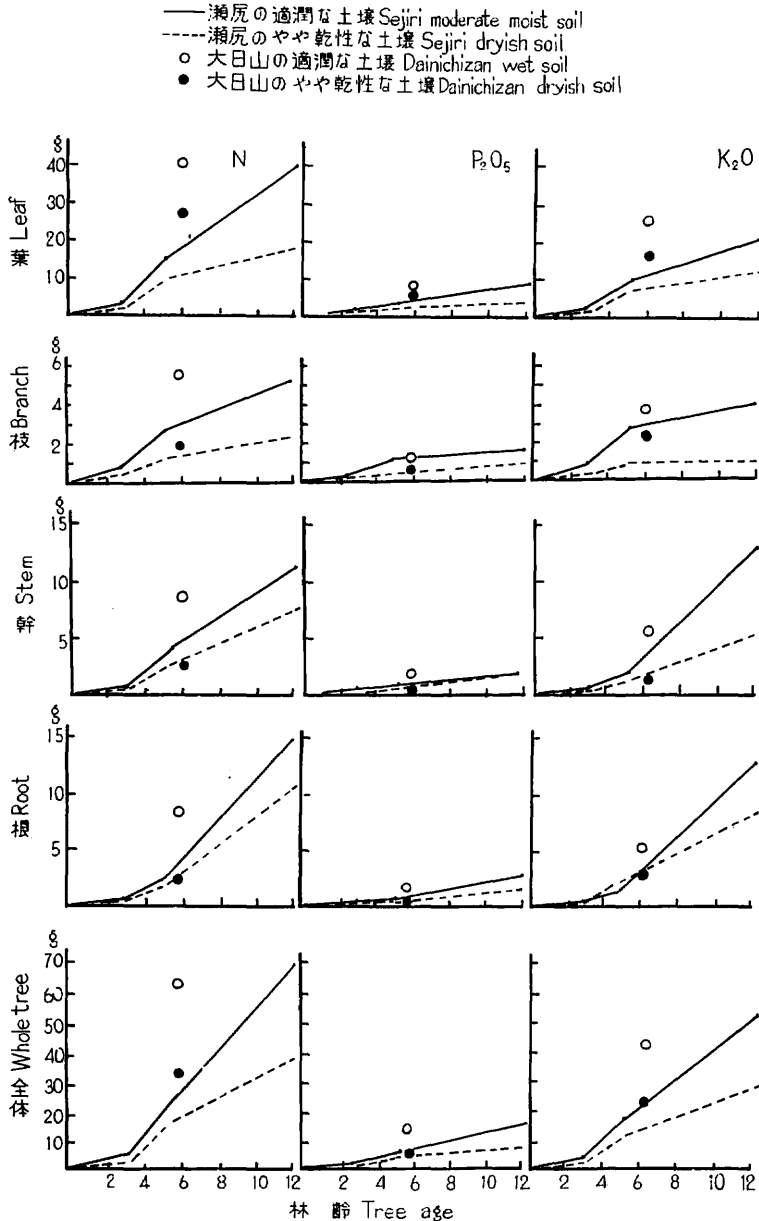


Fig. 2 スギ幼齢木の林齢の増加にともなう各部位の養分含有量の増加
Increase of nutrient contents in each part of young trees relating to the increase of tree age.

Table 5. 林齢を異にしたスギの 1 本あたり養分
Nutrient contents and its distribution to each part

地 域 Area	土 壌 Soil condition	林 齢 Age	N g					
			葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	
山 行 苗 Planting stock			0.16(54)	0.04(13)	—	0.03(10)	0.07(23)	
瀬 尻 Sejiri	適 潤 な 土 壌 Moderate moist soil	1	0.32(58)	0.10(19)	—	0.04(7)	0.09(16)	
		3	2.39(51)	0.73(16)	0.08(2)	0.76(16)	0.70(15)	
		5	13.90(63)	1.72(8)	0.97(4)	3.38(15)	2.10(10)	
		12	38.92(54)	3.45(5)	2.01(3)	11.41(16)	15.74(22)	
	やや乾性な土壌 Dryish soil	1	0.21(51)	0.07(17)	—	0.04(10)	0.09(22)	
		3	1.31(47)	0.42(15)	—	0.38(13)	0.69(25)	
		5	9.83(66)	0.84(6)	0.34(2)	2.30(15)	1.61(11)	
		12	17.52(47)	1.12(3)	1.24(3)	7.23(19)	10.43(28)	
	大 日 山 Dainichizan	適 潤 な 土 壌 Moderate moist soil	2	0.49(72)	0.04(6)	—	0.05(7)	0.10(15)
			6	40.39(64)	3.87(6)	1.78(3)	8.46(14)	8.29(13)
		やや乾性な土壌 Dryish soil	6	26.94(79)	1.05(4)	0.98(3)	2.52(7)	2.42(7)

K ₂ O g					
葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	合 計 Whole
0.13(54)	0.04(17)	—	0.02(8)	0.05(21)	0.24(100)
0.21(54)	0.07(18)	—	0.04(10)	0.07(18)	0.39(100)
2.66(64)	0.36(9)	0.03(1)	0.49(12)	0.56(14)	4.10(100)
10.06(59)	2.44(14)	0.42(2)	2.33(15)	1.68(10)	16.93(100)
22.04(42)	2.78(5)	1.39(3)	13.29(25)	13.12(25)	52.62(100)
0.16(50)	0.05(16)	—	0.04(13)	0.07(21)	0.32(100)
1.16(56)	0.15(7)	—	0.28(14)	0.47(23)	2.06(100)
8.16(66)	0.79(6)	0.28(2)	1.44(12)	1.75(14)	12.42(100)
12.39(45)	0.26(1)	0.75(3)	5.57(20)	8.41(31)	27.38(100)
0.35(67)	0.05(10)	—	0.05(10)	0.07(13)	0.52(100)
25.94(64)	2.36(6)	1.41(3)	5.57(14)	5.23(13)	40.51(100)
16.47(68)	1.36(6)	1.13(5)	1.82(8)	3.20(13)	23.98(100)

() は分布割合を示す。Shows distribution ratio..

目ころから増加が鈍ってくるものと、林齢増加にともなって、どんどん増加していく、すなわち指数曲線的なカーブをしめすものとに大別できる。葉、枝および全体の N, P₂O₅, K₂O, 幹の N, P₂O₅ は前者の傾向であるが、幹の K₂O および根の N, P₂O₅, K₂O は後者の傾向になる。

林木の葉や枝にふくまれる養分は、落葉、落枝などにより土壌に還元されるので、養分循環のサイクル上におかれることになるが、幹の養分は、養分循環のサイクル外におかれることになる。林齢増加にともなって幹の K₂O が指数曲線的なカーブで増加していくという現象は、K₂O の樹体内での役割などをし

含有量および各養分の部位別分布割合
of the young trees relating to the increase of tree age

合 計 Whole	P ₂ O ₅ g					合 計 Whole
	葉 Leaf	緑色の枝 Greenish twig	褐色の枝 Branch	幹 Stem	根 Root	
0.30(100)	0.08(62)	0.02(15)	—	0.01(8)	0.02(15)	0.13(100)
0.55(100)	0.12(67)	0.03(16)	—	0.01(6)	0.02(11)	0.18(100)
4.66(100)	0.84(70)	0.10(8)	0.02(2)	0.13(11)	0.11(9)	1.20(100)
22.07(100)	3.00(58)	0.92(18)	0.23(4)	0.68(13)	0.35(7)	5.18(100)
71.53(100)	8.61(58)	0.97(7)	0.69(5)	1.90(13)	2.62(17)	14.79(100)
0.41(100)	0.07(65)	0.02(18)	—	0.01(9)	0.01(9)	0.11(100)
2.80(100)	0.46(63)	0.07(10)	—	0.09(12)	0.11(15)	0.73(100)
14.92(100)	2.50(70)	0.20(5)	0.10(3)	0.44(12)	0.35(10)	3.59(100)
37.54(100)	3.54(43)	0.30(4)	0.62(8)	2.12(26)	1.68(19)	8.26(100)
0.68(100)	0.09(76)	0.01(8)	—	0.01(8)	0.01(8)	0.12(100)
62.79(100)	7.96(64)	0.55(4)	0.86(7)	1.63(13)	1.53(12)	12.53(100)
33.91(100)	4.46(70)	0.44(7)	0.44(7)	0.50(8)	0.55(8)	6.39(100)

らべる上で興味ある現象と思われる。

(3) 要 約

1～12年生のスギ造林地で、植栽木が閉鎖するころまでに重量や養分含有量はどのような増加傾向をたどり、樹体各部位への分布割合はどのように変化していくかをしらべた。

i) 樹体各部位の乾物重量の構成比率をみると、林地に植栽された当時の苗木は、全重量の40%程度が葉でしめられ、幹はわずか15%程度であるが、林齢増加にともなって、幹の構成比率が大となり、閉鎖期の12年生では、全重量の40～50%が幹でしめられ、葉の重量構成比率は20%程度まで低下する。この乾物重量の構成比率は土壌状態でも多少こととなり、やや乾性な土壌に生育するものは適潤な土壌のものにくらべて幹の構成比率がへり、根の構成比率がやや増加する傾向がみられる。

ii) 葉や枝の重量は3年目で急増し、5年目から増加割合がやや低下しているが、幹や根では3年目ではそれほど増加せず、5年目から急増して指数曲線的なカーブをえがいている。すなわち、林齢増加にともなう重量増加の傾向は、枝葉と幹や根では異なった傾向をしめしている。

iii) 乾物の連年平均増加量は、適潤な土壌に生育したものは、1年目から12年目にかけて増加しているが、やや乾性な土壌のものでは、5年目で最高で、12年目になるとやや低下している。

iv) 樹体各部位の養分濃度は、林齢の増加にともなって低下し、とくに幹や根での濃度低下が著しい。

v) 養分含有量の変化をみると、植栽当初の養分含有量の増加は非常に少なく、全体として3年目ころから増加してくる。養分含有量の増加傾向は、樹体の部位や養分の種類で異なり、葉、枝および全体のN, P₂O₅, K₂O, 幹のN, P₂O₅は3年目ころ急増して、5年目から増加が鈍る傾向をしめすが、幹のK₂O, 根のN, P₂O₅, K₂Oは林齢増加にともなって著しく増加していく指数曲線的なカーブをしめす。林齢増加にともなって、幹のK₂Oが急増していくという現象は、樹体内でのK₂Oの役割などを調べる上で興味ある現象と思われる。

2. スギ壮齡木の重量と養分含有量および樹体各部におけるそれらの分布

(1) 目的と方法

壮齡木の重量や養分含有量を調査し、また各部位におけるそれらの分布割合などをしらべることは、林木の養分吸収の経過を推察するために必要なことはもちろん、その林地の生産力を左右する因子の推定や、林木の伐採搬出にともなう有機物や無機養分の損失など、実用的にもかなり広範囲な面で必要とされる事項である。壮齡林は、植栽当初の幼齡林とは異なり、閉鎖して共同体としての林分を形成しているので、任意の林木 1 本を対象にした測定結果より、面積単位の林分を対象にした測定結果が要求される。しかし本項では、面積単位に考える前段階として、まず 1 本の木は、どのくらいの重さがあり、どの程度の養分をもち、それらが幹や枝や葉にどのように分布しているかを調査してみた。

壮齡林分を対象とした重量や養分含有量の調査方法は、非常にむずかしい。苗木や幼齡木の場合と異なり、壮齡林木は容積が大きいき、また林分を構成している個体が不ぞろいであるので、どの木を供試木として選ぶかによって、かなり違った結果がえられてくる。一定面積上の全立木を伐採して、測定するのが最も良い方法ではあるが、これは林分の破壊調査であって、多大の労力と時間が必要であり、現実には実行がむずかしい。そのため標準木法によるが、この場合、胸高断面積階別にできるだけ広く標準木を求め、その結果に相対成長の法則を応用して、胸高断面積などとの相関を求め、それから全林木の重量などを推定する方法が最もよい方法と考えられている⁷²⁾。

このような考え方にもとづき、筆者は壮齡林木の重量および養分含有量を調査する時には、原則として次のような方法で調査地および供試木を選定している。

すなわち、調査地はその地方の地位に応じた収穫表の立木密度に近い林分で、過去 5 年以内に除間伐などをしていない林分で、50 本程度の生立木を含む面積に設定し、その中の全立木の胸高直径、樹高を毎木調査したのち、胸高直径階に応じて 8 本の木を選定、供試木とする。

供試木は伐倒して幹、褐色の枝、緑色の枝、葉に区分し、枝葉の部分は現地でそれぞれの生重量を秤量 8 kg、感量 20 g の自動秤と、秤量 80 kg、感量 50 g の棒秤で秤量する。根は各林分とも樹高、胸高直径が算術平均値に近い木 2～3 個体を選び林木 1 本あたり根の平均占有面積に相当する面積を土壌の層位別、根の太さ別に掘りとり同様の方法で秤量する。このほか必要に応じて A₀ 層や低木類の調査を行なう。各試料の一部を実験室に持ち帰り、乾燥させて乾燥ファクターを求め、現地で測定した生重量を乾物重量に換算する。幹は樹幹析解用の円板を採取し、それについて比重を測定し、幹の容積から乾物重量を換算する。

各試料は 1 で述べた方法に準じて分析用試料を調整し、養分分析に供する。N、P₂O₅、K₂O の分析は 1 で述べた方法と同じであり、CaO を分析する場合は、湿式灰化した試料を NaOH で pH 調整したのち EDTA 法により滴定して求める。

本項は、以上の方法に準じて行なったものであり、1963 年 10 月に行なった埼玉県秩父国有林（古生層、海拔高 300m）の 55 年生スギ 2 林分 16 本と、1964 年 10 月に行なった静岡県気田国有林（中～古生層、海拔高 900～1,000m）の 49 年生スギ 1 林分 8 本、同 48 年生スギ 1 林分 8 本の合計 32 本の木についてとりまとめたものである。

調査林分と供試木の概要は Table 6 のとおりである。

各林分の特徴をみると、秩父の林分—1 と気田の林分—4 は、樹高や胸高直径の小さい林分であり、特

Table 6. 供試したスギ壮齡林分および供試木の概要
Actual conditions of the investigated mature forest stand and trees

地 域 Area	林分番号 Stand No.	林 分 の 概 要 Investigated forest stand	供試木 番 号 Sample trees No.	樹 高 Height (m)	枝下高 Lowest living branch (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)
秩 父 Chichibu	1	林 小 斑 Block 34㍔	5	13.7	6.8	17.4
		土 壌 型 Soil type Bd(d)	18	13.2	7.6	14.8
		平 均 樹 高 Mean height 13.4m	19	11.8	8.2	12.0
		平均胸高直径 Mean D. B. H. 15.9cm	28	12.5	6.5	15.8
		胸高断面積計 Basal area 40m ² /ha	29	14.9	9.2	21.1
		立 木 本 数 Tree density 2,005本/ha	37	12.2	8.3	12.2
		林 齢 Age 55年	38	12.7	8.6	14.3
			39	16.0	8.2	19.4
	3	林 小 斑 Block 34㍔	2	20.5	14.0	21.3
		土 壌 型 Soil type Bd	9	21.8	14.6	25.7
		平 均 樹 高 Mean height 20.9m	10	22.5	14.4	35.4
		平均胸高直径 Mean D. B. H. 26.3cm	14	18.5	11.3	21.8
		胸高断面積計 Basal area 53m ² /ha	21	21.9	12.5	30.3
		立 木 本 数 Tree density 928本/ha	26	22.8	14.3	31.5
		林 齢 Age 55年	31	20.4	12.0	23.6
			41	19.1	13.4	21.0
気 田 Keta	4	林 小 斑 Block 257㍔	7	13.1	4.6	20.9
		土 壌 型 Soil type Bd(d)	10	16.5	2.2	30.8
		平 均 樹 高 Mean height 12.9m	13	15.0	6.1	26.2
		平均胸高直径 Mean D. B. H. 21.8cm	16	15.0	5.5	26.5
		胸高断面積計 Basal area 51m ² /ha	20	8.8	2.5	13.3
		立 木 本 数 Tree density 1,310本/ha	23	13.0	4.5	19.6
		林 齢 Age 49年	24	12.0	4.5	17.1
			28	11.3	5.2	20.0
	6	林 小 斑 Block 258㍔	10	20.2	14.7	23.1
		土 壌 型 Soil type BE	13	15.8	10.1	19.5
		平 均 樹 高 Mean height 21.8m	21	21.0	11.5	27.5
		平均胸高直径 Mean D. B. H. 29.8cm	22	16.0	12.0	16.9
		胸高断面積計 Basal area 66m ² /ha	33	23.7	10.7	29.9
		立 木 本 数 Tree density 863本/ha	35	24.0	9.0	41.7
		林 齢 Age 48年	36	22.5	14.5	32.6
			47	21.5	12.0	39.3

に後者の気田—4は、樹高が低いうえに枝下高も非常に低く、過去において手入れが十分行なわれなかったと思われる林分である。秩父の林分—3と気田の林分—6は、ともに樹高や胸高直径の大きい林分であり、特に後者の気田—6は、48年生ながら秩父の55年生より良い成長をしている。なお、これらの林分では球果の着生量がわずかであったので、球果は調査から除いてある。

(2) 結果と考察

i) 林木地上部の乾物重量と各部位の構成比率

スギ壮齡木の地上部の乾物重量および各部位の構成比率は、Table 7 のとおりである。

Table 7. スギ壮齡木の地上部の乾物重量および各部位の構成比率
 Dry weight and dry matter construction in each part of the above ground of mature trees

地 域 Area	林分・供試木 番 号 Forest stand. & Sample tree No.		乾 物 重 量 Dry weight				kg 地上部合計 Above ground
			葉 Leaf	緑 枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	
秩 父	1	5	11.2(14)	1.1(1)	6.5(8)	63.8(77)	82.6(100)
		18	7.2(12)	1.0(2)	5.0(8)	46.3(78)	59.5(100)
		19	3.4(9)	0.4(1)	1.0(3)	31.5(87)	36.3(100)
		28	5.7(9)	0.8(1)	4.2(7)	51.5(83)	62.2(100)
		29	15.5(13)	2.3(2)	8.7(7)	94.6(78)	121.1(100)
		37	3.0(8)	0.4(1)	1.7(5)	31.9(86)	37.0(100)
		38	5.1(11)	0.9(2)	2.9(6)	37.6(81)	46.5(100)
		39	16.1(13)	2.3(1)	11.2(9)	98.8(77)	128.4(100)
Chichibu	3	2	9.4(6)	1.1(1)	5.7(3)	145.3(90)	161.5(100)
		9	13.4(6)	1.5(1)	8.1(4)	192.3(89)	215.3(100)
		10	29.5(8)	2.8(1)	17.0(4)	315.9(87)	365.2(100)
		14	7.6(6)	0.8(1)	6.8(5)	109.3(88)	124.5(100)
		21	26.4(10)	3.5(1)	11.4(5)	217.4(84)	258.7(100)
		26	29.1(9)	2.8(1)	17.4(5)	277.3(85)	326.6(100)
		31	12.8(7)	1.3(1)	7.7(4)	158.9(88)	180.7(100)
		41	7.0(6)	1.1(1)	9.1(7)	109.7(86)	126.9(100)
気 田	4	7	10.5(9)	3.9(3)	20.5(17)	87.0(71)	121.9(100)
		10	32.8(12)	7.1(3)	54.3(21)	170.2(64)	264.4(100)
		13	15.9(9)	3.6(2)	26.1(15)	130.1(74)	175.7(100)
		16	15.6(10)	4.1(3)	11.8(8)	120.8(79)	152.3(100)
		20	5.2(19)	0.4(1)	4.3(15)	18.0(65)	27.9(100)
		23	10.8(11)	2.5(2)	15.9(16)	70.9(71)	100.1(100)
		24	8.0(14)	1.6(3)	4.3(7)	43.7(76)	57.6(100)
		28	10.8(12)	2.6(3)	11.5(13)	66.0(73)	90.9(100)
Keta	6	10	7.4(6)	1.5(1)	7.0(5)	116.5(88)	132.4(100)
		13	6.1(6)	1.4(2)	9.8(10)	77.1(82)	94.4(100)
		21	15.6(8)	3.5(2)	17.6(9)	161.4(81)	198.1(100)
		22	1.7(3)	0.2(1)	2.3(4)	60.0(93)	64.2(100)
		33	30.7(9)	5.9(2)	29.4(8)	288.9(81)	354.9(100)
		35	33.1(6)	7.6(2)	44.4(8)	438.3(84)	523.4(100)
		36	26.3(8)	5.0(2)	31.9(11)	239.0(79)	302.2(100)
		47	21.3(9)	4.5(2)	24.4(10)	188.4(79)	238.6(100)

() 内は構成比率 () Shows construction ratio.

これによると、地上部の乾物重量は、平均樹高の低い秩父-1の林分では 36~128kg、気田-4の林分では 28~264kg の範囲であり、これに対し平均樹高の高い秩父-3の林分では 125~365kg、気田-6の林分では 64~523kg の範囲となっている。このことからみると、樹高の高い個体は地上部の乾物重量が大きくなるように思われるが、樹高と地上部の乾物重量の関係を個体別に図示してみると、Fig.3のように、全体的には樹高が高いほど地上部の乾物重量が大きくなる傾向はみられるものの、相当ばらつきがある。気田は秩父より林齢が数年若い林齢の影響はみられない。秩父-1、気田-4では樹高の割に重く、秩父-3、気田-6では樹高の割に軽いという傾向がみられるが、これは林分密度、地位などによ

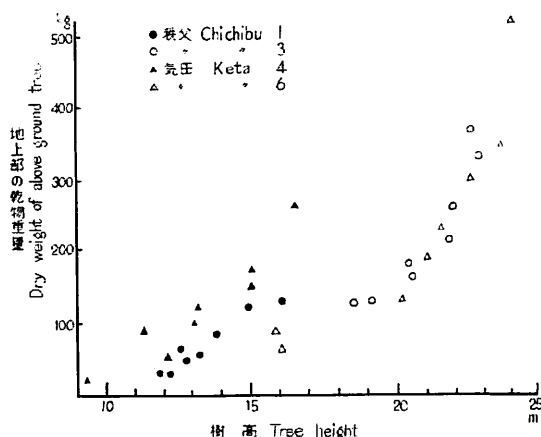
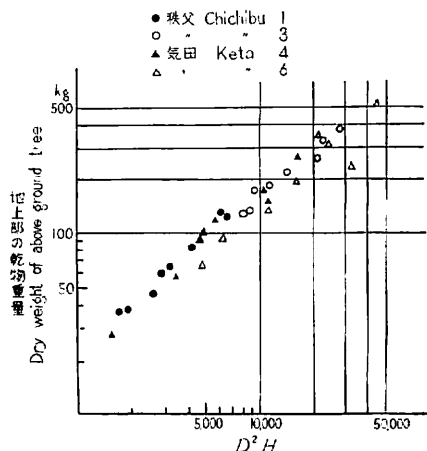


Fig. 3 スギ壮齡木の樹高と地上部の乾物重量の関係

The relation between the tree height and the above ground dry weight of mature trees.

Fig. 4 スギ壮齡木の D^2H と地上部の乾物重量の関係

The relation between D^2H and the above ground weight of mature trees.

り林木の樹高と直径の比が異なるため、樹高に胸高直径を加味して重量との相関図をえがけば、ばらつきはより小さくなるはずである。

Table 8. スギ壮齡木の各部位の養分濃度の範囲

The range of the nutrient concentration in each part of the mature trees

部 位 Portion	林 分 Forest stand	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	CaO (%)
葉 Leaf	秩 父 Chichibu 1	1.10~1.31	0.17~0.25	0.35~0.83	1.42~2.49
	" " 3	0.94~1.26	0.19~0.31	0.40~0.88	1.58~2.49
	気 田 Keta 4	0.72~1.01	0.19~0.31	0.60~0.84	1.01~1.33
	" " 6	0.83~1.27	0.25~0.40	0.46~1.00	0.93~1.99
緑 枝 Greenish twig	秩 父 Chichibu 1	0.60~0.82	0.15~0.30	0.33~0.61	1.27~2.45
	" " 3	0.41~0.77	0.11~0.18	0.23~0.51	1.42~2.50
	気 田 Keta 4	0.56~0.73	0.19~0.26	0.49~0.63	0.79~1.36
	" " 6	0.59~0.80	0.20~0.37	0.33~0.76	0.50~1.43
枝 Branch	秩 父 Chichibu 1	0.21~0.36	0.05~0.16	0.10~0.17	0.94~1.35
	" " 3	0.29~0.39	0.07~0.13	0.08~0.14	0.85~1.81
	気 田 Keta 4	0.17~0.38	0.07~0.23	0.09~0.24	0.54~1.20
	" " 6	0.22~0.38	0.08~0.21	0.10~0.17	0.59~0.90
樹 皮 Bark	秩 父 Chichibu 1	0.43	0.11	0.32	1.62
	" " 3	0.46	0.08	0.18	1.38
	気 田 Keta 4	0.34~0.38	0.10~0.11	0.21~0.22	1.46~1.73
	" " 6	0.36~0.43	0.09~0.11	0.20~0.21	1.41~1.86
辺 材 Sap wood	秩 父 Chichibu 1	0.07~0.13	0.03~0.14	0.08~0.11	0.22~0.38
	" " 3	0.05~0.17	0.03~0.05	0.07~0.12	0.25~0.37
	気 田 Keta 4	0.05~0.10	0.04~0.11	0.06~0.07	0.14~0.15
	" " 6	0.04~0.05	0.03~0.05	0.05~0.06	0.15~0.19
心 材 Heart wood	秩 父 Chichibu 1	0.04~0.07	0.03~0.06	0.14~0.28	0.25~0.34
	" " 3	0.05~0.08	0.03~0.08	0.13~0.55	0.20~0.29
	気 田 Keta 4	0.04~0.08	0.06~0.11	0.19~0.21	0.16~0.18
	" " 6	0.06~0.07	0.05~0.06	0.25~0.28	0.15~0.21
根 Root	秩 父 Chichibu 1	0.16~0.60	0.05~0.11	0.13~0.28	0.40~0.89
	" " 3	0.11~0.96	0.05~0.22	0.08~0.52	0.31~1.07
	気 田 Keta 4	0.05~0.51	0.06~0.16	0.10~0.43	0.22~0.46
	" " 6	0.05~0.65	0.05~0.17	0.10~0.31	0.15~0.94

Table 9. スギ壮齡木の 1 本あたり N 含有量 (g)
N contents of a mature tree

林 分 Forest stand	供試木番号 No. of sample tree	葉 Leaf	緑 枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	地上部計 Above ground	根 Root	合 計 Whole tree
秩 父 1 Chichibu	5	128(60)	8(4)	19(9)	59(28)	214(100)	—	—
	18	82(55)	8(6)	15(10)	43(29)	148(100)	20	168
	19	41(52)	3(4)	4(5)	31(39)	79(100)	—	—
	28	66(50)	6(5)	12(9)	47(36)	131(100)	—	—
	29	182(58)	15(5)	28(9)	89(28)	314(100)	—	—
	37	37(49)	2(2)	6(8)	31(41)	76(100)	—	—
	38	59(54)	7(6)	9(8)	35(32)	110(100)	18	128
	39	190(57)	16(5)	35(10)	93(28)	334(100)	—	—
秩 父 3 Chichibu	2	109(45)	7(3)	19(7)	109(45)	244(100)	—	—
	9	156(46)	10(3)	28(8)	144(43)	338(100)	57	395
	10	314(41)	15(2)	54(7)	382(50)	765(100)	—	—
	14	88(42)	6(3)	22(10)	94(45)	210(100)	—	—
	21	307(58)	23(4)	39(7)	163(31)	532(100)	65	597
	26	310(43)	15(2)	55(8)	335(47)	715(100)	—	—
	31	149(49)	9(3)	26(9)	119(39)	303(100)	—	—
	41	80(38)	8(4)	29(13)	95(45)	212(100)	—	—
気 田 4 Keta	7	91(37)	26(11)	50(20)	78(32)	245(100)	55	300
	10	243(44)	46(8)	111(20)	152(28)	552(100)	—	—
	13	118(38)	24(8)	53(17)	116(37)	311(100)	—	—
	16	116(42)	27(10)	24(9)	108(39)	275(100)	—	—
	20	46(62)	3(4)	9(12)	16(22)	74(100)	—	—
	23	94(44)	16(8)	39(18)	63(30)	212(100)	41	253
	24	70(55)	10(8)	9(7)	39(30)	128(100)	—	—
	28	94(47)	17(9)	28(14)	59(30)	198(100)	—	—
気 田 6 Keta	10	74(37)	11(5)	19(10)	95(48)	199(100)	—	—
	13	52(34)	12(7)	27(18)	63(41)	154(100)	—	—
	21	155(43)	26(8)	48(13)	131(36)	360(100)	56	416
	22	14(20)	2(3)	6(8)	49(69)	71(100)	—	—
	33	327(48)	45(7)	71(10)	234(35)	677(100)	96	773
	35	353(40)	59(8)	108(12)	356(40)	876(100)	—	—
	36	279(47)	39(7)	77(13)	194(33)	589(100)	—	—
	47	226(48)	36(8)	59(12)	153(32)	474(100)	—	—

() は分布割合 Shows distribution ratio.

林木各部位の重量が D^2H (D は胸高直径, H は樹高) と相対成長関係をもっていることは, 四大学合同調査班の調査¹⁰⁷⁾ などですでに認められていることである。そこで, D^2H と地上部の乾物重の関係を両対数グラフ上に図示してみると, Fig. 4 のようになる。これによると, 各林分に成長差や林齢差があるにもかかわらず, 1つの直線のうえによくまとまって図示されてくる。すなわち, 地上部の乾物重量と D^2H との間には高い相関関係を認めることができる。

つぎに Table 7 から各部位の乾物の構成比率をみると, 幹は 60~70 % 以上であり, 葉は 10 % 程度にすぎない。すなわち, 地上部の乾物重量の大部分は幹でしめられていることになる。

Table 10. スギ壮齢木の1本あたり P_2O_5 含有量 (g)
 P_2O_5 contents of a mature tree

林分 Forest stand	供試木番号 No. of sample tree	葉 Leaf	緑枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	地上部計 Above ground	根 Root	合計 Whole tree
秩父1 Chichibu	5	21(37)	2(3)	4(7)	30(53)	57(100)	—	—
	18	13(33)	2(5)	3(8)	22(55)	40(100)	5	45
	19	7(25)	1(4)	1(4)	19(68)	28(100)	—	—
	28	11(29)	1(2)	2(5)	24(63)	38(100)	—	—
	29	35(34)	4(4)	7(7)	57(55)	103(100)	—	—
	37	7(24)	1(3)	1(3)	20(69)	29(100)	—	—
	38	10(32)	1(3)	2(7)	18(58)	31(100)	4	35
	39	37(34)	4(4)	9(8)	59(54)	109(100)	—	—
秩父3 Chichibu	2	22(19)	2(2)	5(4)	89(75)	118(100)	—	—
	9	31(20)	2(1)	7(4)	117(75)	157(100)	26	183
	10	65(32)	4(2)	14(7)	118(59)	201(100)	—	—
	14	19(28)	1(2)	5(7)	42(63)	67(100)	—	—
	21	61(29)	6(3)	9(4)	133(64)	209(100)	29	238
	26	64(34)	4(2)	14(8)	104(56)	186(100)	—	—
	31	29(22)	2(1)	6(5)	97(72)	134(100)	—	—
	41	18(26)	2(3)	7(10)	42(61)	69(100)	—	—
気田4 Keta	7	25(27)	10(10)	22(24)	36(39)	93(100)	41	134
	10	64(25)	14(6)	44(18)	129(51)	251(100)	—	—
	13	31(20)	7(5)	21(13)	98(62)	157(100)	—	—
	16	30(22)	8(6)	10(7)	91(65)	139(100)	—	—
	20	13(39)	1(3)	5(15)	14(43)	33(100)	—	—
	23	26(25)	6(6)	17(17)	54(52)	103(100)	39	142
	24	19(32)	3(5)	5(8)	33(55)	60(100)	—	—
	28	26(27)	6(6)	13(14)	50(53)	95(100)	—	—
気田6 Keta	10	22(24)	4(4)	6(7)	59(65)	91(100)	—	—
	13	19(25)	4(6)	14(18)	39(51)	76(100)	—	—
	21	46(30)	8(6)	15(10)	82(54)	151(100)	51	202
	22	5(13)	1(2)	3(8)	30(77)	39(100)	—	—
	33	76(29)	14(5)	29(11)	146(55)	265(100)	79	344
	35	82(23)	18(5)	43(12)	219(60)	362(100)	—	—
	36	65(28)	12(5)	31(14)	121(53)	229(100)	—	—
	47	52(29)	11(6)	24(13)	95(52)	182(100)	—	—

() は分布割合 Shows distribution ratio.

樹高の低い秩父—1の林分では、幹の構成比率は77~87%, 気田—4の林分では64~79%であるのに対し、樹高の高い秩父—3の林分では84~90%, 気田—6の林分では79~93%となっている。

ii) 林木各部位の養分濃度

Table 6 にしめした林木を幹、枝、葉、根別に養分を分析し、濃度範囲として総括したのが Table 8 である。養分の濃度は同じ器官であっても着生位置や大きさで異なり、たとえば根の養分は同じ太さであればA層に分布するものはB層に分布するものより、また同じ土壌層位であれば細い根は太い根より、それぞれ濃度が高くあらわれてくるが、ここではその詳細にふれず分析結果の範囲を表示するにとどめる。

Table 11. スギ壮齡木の1本あたり K_2O 含有量 (g)
 K_2O contents of a mature tree

林分 Forest stand	供試木番号 No. of sample tree	葉 Leaf	緑枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	地上部計 Above ground	根 Root	合計 Whole tree
秩父1 Chichibu	5	68(40)	5(3)	7(4)	90(53)	170(100)	—	—
	18	43(36)	5(4)	6(5)	65(55)	119(100)	13	132
	19	24(36)	2(3)	2(3)	39(58)	67(100)	—	—
	28	35(30)	4(3)	5(4)	73(63)	117(100)	—	—
	29	104(39)	12(5)	11(4)	138(52)	265(100)	—	—
	37	21(33)	1(2)	2(3)	39(62)	63(100)	—	—
	38	31(34)	4(4)	3(3)	53(59)	91(100)	12	103
	39	108(39)	12(4)	15(5)	144(52)	279(100)	—	—
秩父3 Chichibu	2	49(23)	5(2)	7(3)	149(72)	210(100)	—	—
	9	70(25)	7(2)	10(4)	196(69)	283(100)	50	333
	10	172(16)	9(1)	18(2)	908(81)	1107(100)	—	—
	14	41(22)	3(2)	7(4)	133(72)	184(100)	—	—
	21	137(35)	15(4)	14(4)	222(57)	388(100)	58	446
	26	170(17)	9(1)	18(2)	798(80)	995(100)	—	—
	31	66(27)	6(2)	9(4)	162(67)	243(100)	—	—
	41	38(20)	4(2)	10(6)	134(72)	186(100)	—	—
気田4 Keta	7	70(29)	21(9)	26(11)	121(51)	238(100)	62	300
	10	221(38)	39(7)	80(14)	237(41)	577(100)	—	—
	13	107(31)	20(6)	39(11)	181(52)	347(100)	—	—
	16	105(33)	23(7)	18(6)	168(54)	314(100)	—	—
	20	30(50)	2(3)	4(6)	25(41)	61(100)	—	—
	23	72(36)	13(6)	20(10)	98(48)	203(100)	60	263
	24	50(41)	8(7)	4(2)	61(50)	123(100)	—	—
	28	72(37)	14(7)	15(8)	92(48)	193(100)	—	—
気田6 Keta	10	38(16)	7(4)	10(4)	176(76)	231(100)	—	—
	13	30(17)	8(6)	14(8)	116(69)	168(100)	—	—
	21	80(22)	15(4)	25(7)	243(67)	363(100)	86	449
	22	8(8)	1(1)	3(3)	90(88)	102(100)	—	—
	33	154(23)	31(5)	42(6)	436(66)	663(100)	126	789
	35	166(18)	41(4)	63(7)	661(71)	931(100)	—	—
	36	131(23)	28(5)	45(8)	360(64)	564(100)	—	—
	47	106(23)	26(6)	35(8)	284(63)	451(100)	—	—

() は分布割合 Shows distribution ratio.

全体の大まかな傾向としては、各養分とも濃度は葉>緑枝≒樹皮>枝>材の傾向となっている。

OVINGTON (1959)⁵⁹⁾ らはマツに含まれる養分を分析し、木の容積が増加するほど養分濃度が低下することを報告し、また RALSTON ら (1965)⁶¹⁾ は幹の中の養分濃度は樹高と負の相関の関係にあることを報告しているが、Table 8 からはこのような傾向をみることはできない。

根の養分は幹の辺材部、心材部のように低濃度をしめすものから、緑枝のようにあんがい高濃度をしめすものまで濃度範囲が広いが、これは前述のように太さや分布する土壌層位に大きく左右されるからである。辺材部と心材部を比較してみると N はむしろ辺材部で高濃度の傾向があるが、 K_2O は逆に心材部で

Table 12. スギ壮齡木の1本あたり CaO 含有量 (g)
CaO contents of a mature tree

林分 Forest stand	供試木番号 No. of sample tree	葉 Leaf	緑枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	地上部計 Above ground	根 Root	合計 Whole tree
秩父1 Chichibu	5	195(39)	16(3)	77(15)	219(43)	507(100)	—	—
	18	125(35)	15(4)	59(16)	159(45)	358(100)	39	397
	19	62(30)	7(4)	13(6)	122(60)	204(100)	—	—
	28	100(30)	11(3)	50(15)	176(52)	337(100)	—	—
	29	256(35)	34(5)	89(12)	351(48)	730(100)	—	—
	37	55(27)	6(3)	21(10)	124(60)	206(100)	—	—
	38	89(33)	13(5)	35(13)	129(49)	266(100)	35	301
	39	266(35)	35(4)	113(14)	367(47)	781(100)	—	—
秩父3 Chichibu	2	194(24)	20(3)	77(10)	504(63)	795(100)	—	—
	9	276(26)	28(2)	109(10)	667(62)	1080(100)	152	1,232
	10	639(32)	56(3)	218(11)	1081(54)	1994(100)	—	—
	14	162(26)	14(2)	68(11)	388(61)	632(100)	—	—
	21	543(36)	65(4)	154(10)	754(50)	1516(100)	174	1,690
	26	630(34)	55(3)	220(12)	948(51)	1853(100)	—	—
	31	263(28)	24(3)	104(11)	551(58)	942(100)	—	—
	41	148(23)	18(3)	89(14)	392(60)	647(100)	—	—
気田4 Keta	7	122(19)	41(7)	211(33)	262(41)	636(100)	135	771
	10	376(28)	75(5)	389(29)	512(38)	1352(100)	—	—
	13	182(23)	38(5)	187(23)	391(49)	798(100)	—	—
	16	179(27)	44(6)	85(13)	364(54)	672(100)	—	—
	20	55(38)	4(2)	34(23)	54(37)	147(100)	—	—
	23	126(24)	26(5)	163(31)	213(40)	528(100)	131	659
	24	83(31)	14(5)	35(13)	131(51)	263(100)	—	—
	28	126(27)	27(6)	118(25)	198(42)	469(100)	—	—
気田6 Keta	10	112(23)	18(4)	53(11)	304(62)	487(100)	—	—
	13	92(25)	11(3)	67(18)	201(54)	371(100)	—	—
	21	236(28)	40(5)	133(16)	421(51)	830(100)	150	980
	22	25(13)	2(1)	15(8)	157(78)	199(100)	—	—
	33	458(33)	73(6)	99(7)	754(54)	1384(100)	198	1,582
	35	494(26)	96(5)	149(8)	1144(61)	1883(100)	—	—
	36	391(33)	64(5)	107(9)	624(53)	1186(100)	—	—
	47	317(33)	59(6)	82(9)	492(52)	950(100)	—	—

() は分布割合 Shows distribution ratio.

高濃度の傾向がみられる。樹幹内における養分の分布については4の項で詳細にのべる。

iii) 林木地上部の養分含有量と各部における分布割合

乾物重量に養分濃度を乗じてもとめた養分含有量およびその地上部における分布割合は Table 9 ~ 12 のとおりである。

これによると、たとえば平均樹高の低い秩父1の林分では、地上部のN含有量は76~334g, P_2O_5 含有量は28~109g, K_2O 含有量は63~279g, CaO 含有量は204~781gであり、平均樹高の高い秩父3の林分ではN含有量は210~765g, P_2O_5 含有量は67~209g, K_2O 含有量は184~1,107g, CaO

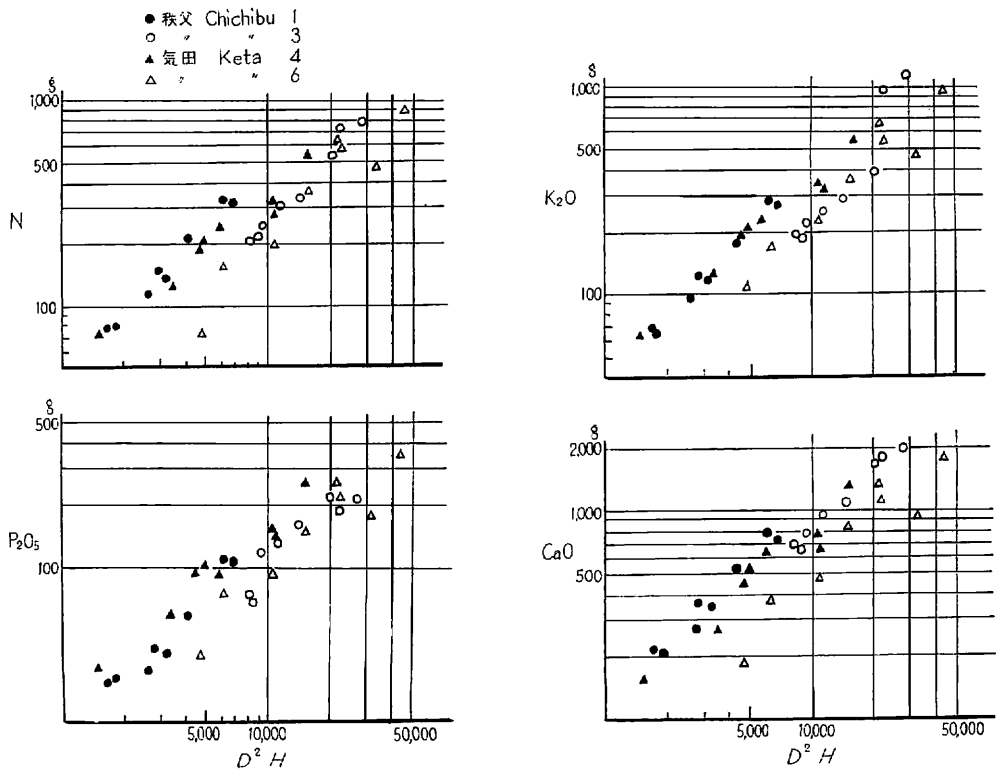


Fig. 5 スギ壮齡木の D^2H と地上部の養分含有量

The relation between D^2H and the nutrient content of the above ground of mature trees.

含有量は 632~1,994 g となっている。

養分別にみると一般にスギ壮齡木の地上部には CaO の含有量が多く、 $CaO > N \approx K_2O > P_2O_5$ の傾向がみられる。

乾物重量の場合と同じように、 D^2H と地上部の養分含有量との関係を両対数グラフに図示してみると Fig. 5 のとおりである。

すなわち、乾物重量の場合よりばらつきが多く、林分間で傾向が多少分離するが全体の傾向としては、 D^2H と地上部の養分含有量の間に関連関係を認めることができる。

つぎに Table 9, 10, 11, 12 から地上部の養分の各部位への分布割合をみると、 N は林分間、個体間で非常にばらつきが大きく、葉への分布割合は 20% から 62% の間で変動し、幹への分布割合は 22% から 69% の間で変動している。すなわち、 N を幹より葉に多くもっている個体、幹と葉と同程度にもっている個体、葉より幹に多くもっている個体が含まれているが、全体として幹 $\approx$ 葉 $>$ 枝 $>$ 緑枝の傾向がみられる。

P_2O_5 の分布割合は、葉で 13~39%、幹で 39~77% であり、傾向としては、幹 $>$ 葉 $>$ 枝 $>$ 緑枝である。

K_2O の分布割合は葉に 8~50%、幹に 41~88% であり、2~3 の例外を除いては、幹 $>$ 葉 $>$ 枝 $\approx$ 緑枝の傾向である。

CaO の分布割合は、葉で 13~39%, 幹で 37~78% であり、2~3 の例を除いては、幹>葉>枝>緑枝の傾向となっている。

HEIBERG ら (1959)³⁰⁾ は、20年生のレジノーザマツの樹体分析をした結果、N, P_2O_5 , K_2O の含有量の 50% 以上が葉に分布し、20~30% が枝に、10% が樹皮に、残り 10~20% が材部に分布していたとのべているが、筆者の今回調査の数値は、これと比較すると、幹材部への養分分布が多く、葉への分布がすくなくなっている。これは樹種の違いもさることながら、筆者の調査木の年齢が50年前後という壮齢木であることに原因している。

(3) 要 約

埼玉県秩父の55年生スギ2林分と、静岡県気田の49年生および48年生スギ林の合計4林分から、胸高直径階に応じてそれぞれ8本の木を選定伐倒し、スギ壮齢木の1本あたり重量と養分含有量および地上部におけるそれらの分布状態をしらべた。

i) 壮齢木の地上部の乾物重量と樹高の関係をみると、樹高が高いほど重量が重くなる傾向がみられるが、林分が異なるとばらつきが相当大きくなる。しかし、地上部の乾物重量と D^2H との関係を両対数グラフ上におとしてみると各林分に成長差や林齢差があるにもかかわらず、1つの直線の上によくまとまってくる。すなわち、地上部の乾物重量と D^2H の間には相当高い相関関係を認めることができる。

ii) 乾物重量の地上部各部位における構成比率をみると、乾物重量の 60~70% 以上は幹に分布して、葉へは 10~20% 程度しか分布していない。すなわち、壮齢木の場合、地上部の乾物の大部分は幹でしめられている。

iii) 林木各部位の養分濃度をみると、N, P_2O_5 , K_2O , CaO の各養分とも葉で濃度が高く、幹材部で濃度が低い。全体として養分濃度の傾向は葉>緑枝≠樹皮>枝>辺材≠心材である。心材部と辺材部と比較すると、N は辺材部で高濃度の傾向があるが、 K_2O は逆に心材部で高濃度の傾向がみられる。

iv) スギ壮齢木の地上部の養分含有量をみると、CaO の量が最も多く、 P_2O_5 が最もすくない。全体として $CaO > N \approx K_2O > P_2O_5$ の傾向がみられる。林木地上部の養分含有量と D^2H の関係をみると、乾物重量の場合よりばらつきがあり、林分により傾向が多少分離するがそれでも全体の傾向としては相当高い相関関係を認めることができる。

v) 地上部における養分の各部位への分布割合をみると、N は幹≠葉>枝>緑枝、 P_2O_5 と CaO は幹>葉>枝>緑枝、 K_2O は幹>葉>枝≠緑枝の傾向がみられる。

3. スギの成長と葉の養分濃度*

(1) 目 的

林木を各部位にわけて養分を分析することは、壮齢木のように容積が大きくなると容易ではない。しかし葉分析は、植物体を伐倒することなく、またその個体の成長に障害を与えることなく、一部の葉の養分濃度をしらべることにより、その個体の栄養状態を推定することができるので、林木の栄養診断の手段⁴³⁾ として、あるいは HOYLE (1965)⁴⁴⁾ のように林分間の栄養状態を比較する手段として、今後重要視されるものと思われる。

しかしながら、林木の葉分析の研究は、わが国では林地肥培試験地などを対象にして断片的に行なわれているにすぎず²⁴⁾²⁵⁾³⁵⁾⁴⁰⁾⁵⁵⁾⁵⁷⁾⁷⁵⁾⁷⁸⁾、果樹関係における業績⁶⁷⁾などと比較すると非常にすくない。

*この報告の内容の一部は文献25に発表した。

ここでは、葉分析試料採取木の選定、採取位置などに関する 2～3 の検討を含めて、スギの成長状態と葉の養分濃度の間に、どのような関係があるかをしらべた。

なお本稿では、各小項目ごとに、調査場所や調査方法が異なるので、これらは小項目ごとに記述することにした。

(2) 調査方法と結果

i) 幼齢木の葉の養分濃度の着生位置別、季節別変動

(a) 供 試 木

林業試験場の浅川苗畑に、1 m 間隔で植えてあった当時 6 年生スギ 4 個体を供試木として選び、1～4 号木と呼称した。いずれも樹高は 450～485 cm、胸高直径は 5.7～8.1 cm である。このうち 1～2 号木は植栽地の東側にあつて東側開放西側閉鎖の状態、3～4 号木は植栽地の西側にあつて西側開放東側閉鎖の状態にある。

(b) 試料の採取位置および採取時期

各個体の樹冠を上、中、下に 3 等分し、それぞれの位置における開放側と閉鎖側から、枝の先端部の当年生枝葉を生重で 100～200 g 程度採取し、先端から数えて第 2 分岐までを葉とみなして調整し分析に供した。採取時期は、1963 年 3 月 15 日、7 月 30 日、11 月 20 日の 3 回で、それぞれ同じ個体から採取した。

(c) 分 析 方 法

N はケルダール法、 P_2O_5 、 K_2O 、CaO、は試料を硝酸一過塩素酸で、湿式灰化した後それぞれモリブデン青比色法、炎光法、ED-TA 滴定法で分析した。

(d) 結果と考察

分析の結果を図示すると Fig. 6 のようになる。

葉の養分濃度を着生位置別にみると、いずれの時期も、N、 P_2O_5 、 K_2O は上位葉で高濃度、下位葉で低濃度であり、下位葉の中でも、方位に関係なく閉鎖側は開放側より低濃度の傾向がみられる。CaO はこれらの養分とは逆に上位葉で低濃度、下位葉で高濃度であり、下位葉の中でも方位に関係なく、特に閉鎖側で高濃度になっている。

LAVENDER ら (1966)⁴⁴⁾ は、ダグラスファーで葉の着生位置別の養分濃度をしらべたが、やはり筆者の傾向と同じように N、 P_2O_5 、 K_2O は上位葉で高く、CaO は下位

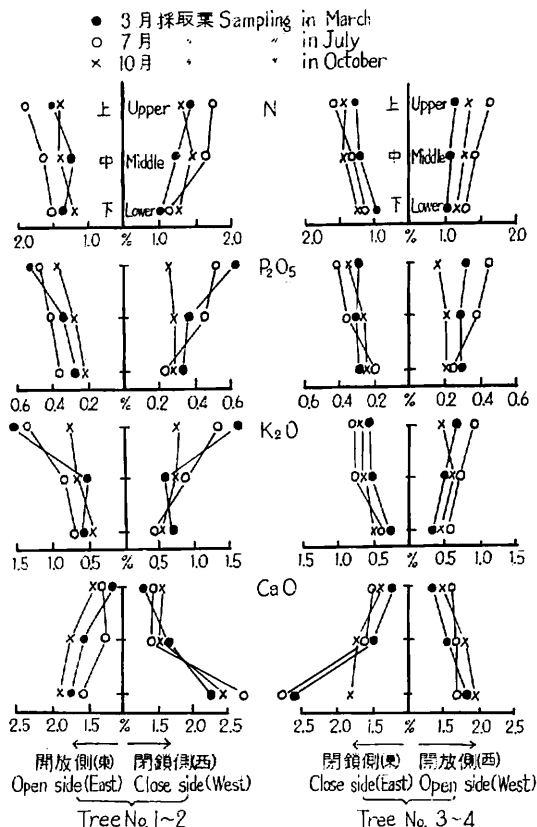


Fig. 6 部位別季節別の葉の養分濃度

The variation of nutrient concentration of leaves with crown position and sampling season.

葉で高い傾向のあることを報告している。

石塚・田中(1963)³⁶⁾は、三井らの各種呼吸阻害剤による養分吸収阻害の実験結果から、養分のなかには代謝的に吸収される養分と、非代謝的に吸収される養分があり、N、 P_2O_5 、 K_2O は前者に、CaOは後者に属する性質のものであると考察したが、この考えかたによれば、代謝的に吸収される養分は上位葉で高濃度、下位葉で低濃度であり、非代謝的に吸収される養分は上位葉で低濃度、下位葉で高濃度の傾向が認められたことになる。

また養分濃度の季節別変化をみると、N、 P_2O_5 、 K_2O の濃度の季節別変化は、上位葉で大で下位葉で小の傾向がみられる。

林木の栄養状態の指標としての葉分析試料は、代謝作用と関係深い養分が、成長や栄養状態に鋭敏に作用して変動する位置から採取することが望ましく、そのためには、上述の結果からみて、日あたりの良い樹冠上位の当年生葉の採取が望ましいと考えられる。

ii) 上位葉、下位葉の養分濃度と幼齢木の樹高との関係

(a) 供試木

静岡県瀬尻国有林312林班い小班の4年生スギ林分から、その林分の平均樹高に相当するもの、平均樹高より高いもの、低いものを含めて18個体を選定し供試木とした。

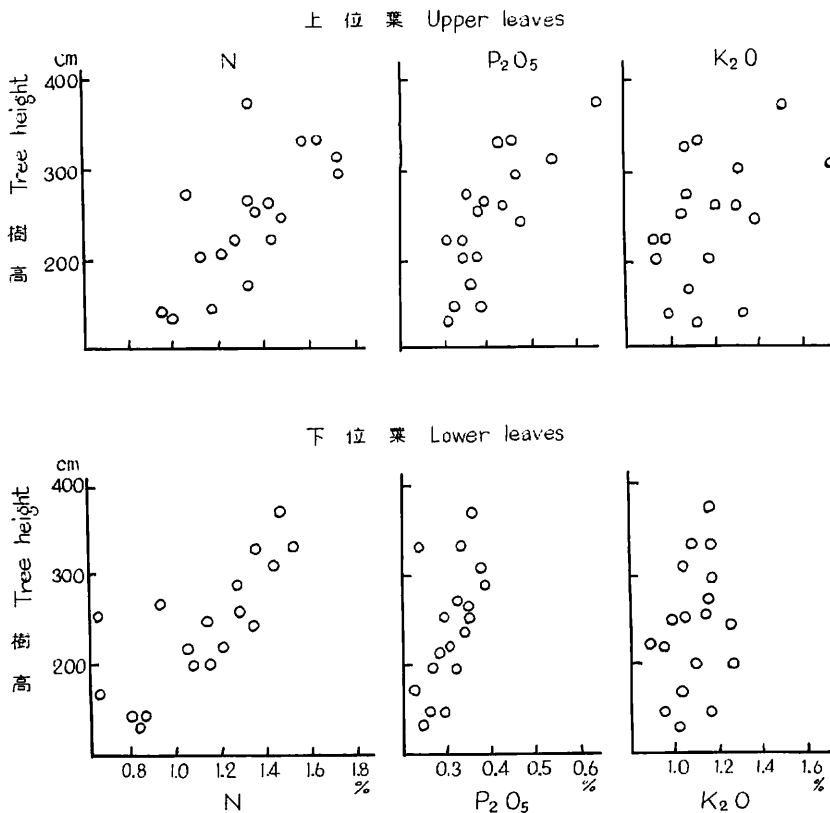


Fig. 7 4年生スギの樹高と葉位別葉の養分濃度
The relation between nutrients concentration of leaves and the tree height of 4 years old trees.

(b) 試料の採取位置および採取時期

各個体の樹冠の上位, 下位から (i) と同じ方法で試料を採取した。採取時期は 1961 年 11 月 30 日である。

(c) 分 析 方 法

(i) で述べた方法と同じ。

(d) 結 果 と 考 察

葉の養分濃度を横軸に, 樹高を縦軸にとって図示すると Fig. 7 のようになる。

これによると, 一般に樹高が高いほど葉の N, P_2O_5 , K_2O の濃度が高く, 樹高と葉の N, P_2O_5 , K_2O 濃度の間に正の相関の傾向が認められる。

この傾向は下位葉におけるより上位葉においてより明りょうにあらわれてくる。

STREBEL (1960)⁸¹⁾ は, トウヒの葉の N% と樹高の間に正の相関関係を認め, MADGEWICK (1964)⁵⁰⁾ は, 10年生マツの葉の P, K% と成長の間に正の相関関係を認めているが, 筆者の調査結果では, N, P, K とともに樹高との間に正の相関関係を認めることができた。

葉分析試料の採取位置については, WHITE (1954)¹⁰²⁾ は, レッド パインで, 樹冠の中央部の葉を採取するのがよいとのべているが, WEHRMANN (1959)⁹⁹⁾ は, 上位葉の養分濃度は地位と相関が高いことをのべ, GESSEL ら (1960)¹⁵⁾ も, 針葉樹類では樹冠の 2/3 以上の上部の葉を採取するようにのべている。WELLS (1965)¹⁰¹⁾ も, 葉分析試料は樹冠上部から採取するのがよいとのべている。

筆者の (i) および (ii) の結果からみても, スギの葉分析試料は, 樹冠上位から採取することが望ましいと考えられる。

iii) 雄花の着生した個体の葉の養分濃度

(a) 供 試 木

静岡県瀬尻国有林 312 林班い小班のスギ 6 年生林分で, 雄花を多数着生していた 3 個体と, それと樹高がほぼ等しいが雄花をほとんど着生していなかった 3 個体を供試木として選定した。

(b) 試料の採取位置および採取時期

Table 13. 雄花の着生した葉の養分濃度
Nutrient concentration of leaves developing male flowers

供 試 木 Sample tree		樹 高 Height (cm)		3月 の養分濃度 (%) Nutrient concentration in March			11月の養分濃度 (%) Nutrient concentration in November		
		3 月 March	11 月 Novem- ber	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
対 照 木 Control tree	C-82	320	390	1.65	0.63	1.14	1.64	0.90	0.99
雄花着生木 Male flower developed tree	C-91	330	430	1.30	0.61	1.12	1.21	0.52	0.93
対 照 木 Control tree	D-82	375	470	1.65	0.49	1.58	1.92	0.65	2.66
雄花着生木 Male flower developed tree	D-89	370	470	1.22	0.43	1.03	1.54	0.52	1.12
対 照 木 Control tree	Q-39	340	415	1.46	0.50	1.07	1.78	0.64	1.36
雄花着生木 Male flower developed tree	Q-37	320	415	0.94	0.50	0.93	1.33	0.53	1.22

各個体の樹冠上位から（i）と同じ方法で試料を採取した。採取時期は1963年3月7日および11月2日の2回である。

(c) 分 析 方 法

i) にのべた方法と同じ。

(d) 結 果 と 考 察

Table 13 にしめたように、樹高がほぼ同一であっても、雄花着生個体の葉の養分濃度は、対照のものにくらべて、春秋ともに低い傾向がみられる。このことから、林分を代表する葉分析試料採取木を選定する場合には、雄花の着生状態なども考慮する必要があると考える。

iv) 幼齡木の当年度の伸長量と葉の養分濃度

(a) 供 試 木

瀨尻国有林314林班い小班の当時6年生スギ林分から任意に30個体を選出し、供試木とした。

(b) 試料の採取位置および採取時期

iii) の方法と同じ。

(c) 分 析 方 法

i) の方法と同じ。

(d) 結 果 と 考 察

30個体の中から、樹高のとくに高い個体、平均的な大きさの個体、平均値より低い個体各2本あてを選定し、6年間の成長経過と、3月の成長開始前および11月の成長休止期の葉の養分濃度をしめすと、Fig. 8 である。

全体として、N, P_2O_5 , K_2O は樹高の高い個体は高濃度、樹高の低い個体は低濃度の傾向がみられる。

しかし個体別にみると、Q21号木は3月、11月ともN, P_2O_5 , K_2O が非常に高濃度になっているが、ほぼ同じ樹高のQ23号木は、3月のN濃度が高いだけで、11月の養分濃度はそれほど高くはないと

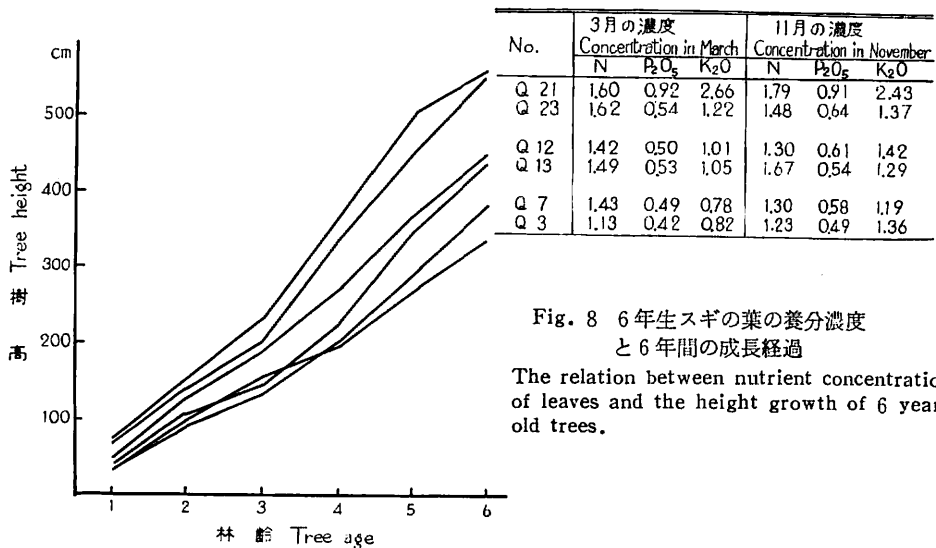


Fig. 8 6年生スギの葉の養分濃度
と6年間の成長経過

The relation between nutrient concentration
of leaves and the height growth of 6 years
old trees.

いう例もみられる。この現象は、Q 23号木は6年目によく伸びているため、樹体内において養分の希釈現象があらわれたためではないかと考える。

またQ 21号木の11月のN濃度は、3月のN濃度より0.19%高いが、Q 23号木の11月のN濃度は、3月のそれより0.14%低くなっている。この結果から、当年度の伸び方の違いにより3月と11月の葉のN濃度の傾向が異なるのではないかと考え、11月と3月のNの濃度差と伸長量の関係を図示してみると、Fig. 9 のようになる。

すなわち、伸長量1m以内では、11月の濃度が3月の濃度より高くなる個体や低くなる個体があつてはらつているが、1m以上伸びた個体は、ほとんど全部11月の葉の濃度が3月の葉の濃度より低くなっている。これも一種の希釈現象ではないかと考える。

この場合の伸長量1mは、この林分のはぼ平均伸長量に相当している。すなわち、林分の平均伸長量以上に伸びた個体は、3月より11月でN濃度が低下する傾向がみられた。

以上の結果から、林分を代表する葉分析試料採取木の選定には、樹高のみでなく従来の成長経過も考慮する必要があると考えた。

v) 壮齡木の上位葉の養分濃度と成長

(a) 供 試 木

埼玉県秩父国有林の55年生スギ3林分、静岡県気田国有林の48年生スギ2林分、および49年生スギ1林分、静岡県天城国有林の35年生スギ1林分および同38年生スギ2林分の計9林分から、胸高直径別に各林分でそれぞれ8本の木を供試木として選んだ。

各林分の概況は Table 14 のとおりである。

(b) 試料の採取位置および採取時期

試料として各供試木の樹冠の頂端から2m以内の部分の側枝の当年生葉を採取した。採取時期は、秩父では1963年9月、気田では1964年10月、天城では1965年10月である。

(c) 分 析 方 法

i) の方法と同じ。

(d) 結 果 と 考 察

壮齡木の葉の養分濃度と樹高および最近5年間の樹高成長量との関係は Fig. 10~13 のとおりである。

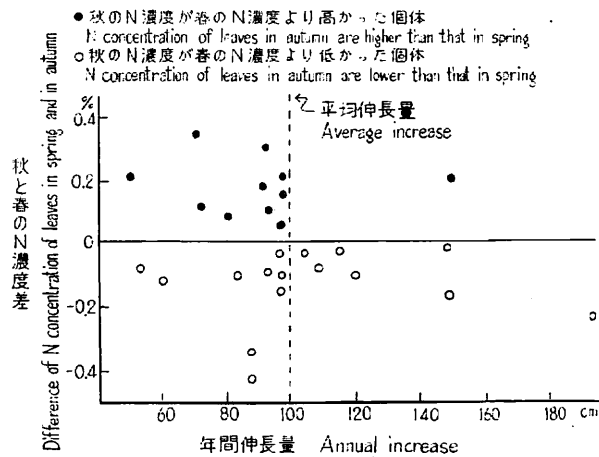


Fig. 9 秋と春の葉のN濃度差と伸長量の関係

The differences of N concentration of leaves between in spring and in autumn, and annual increase of the tree height.

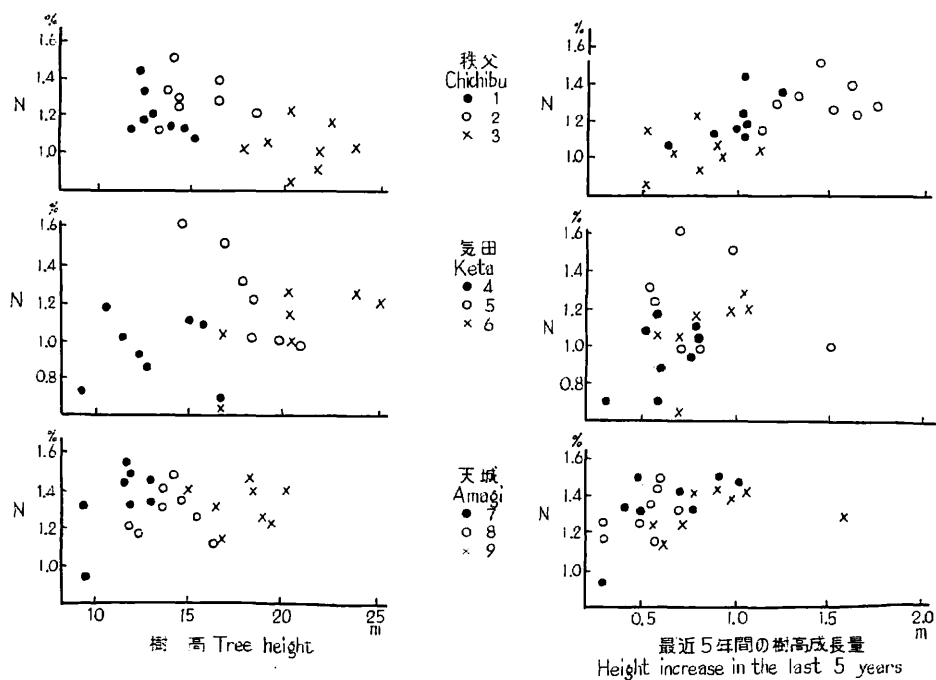
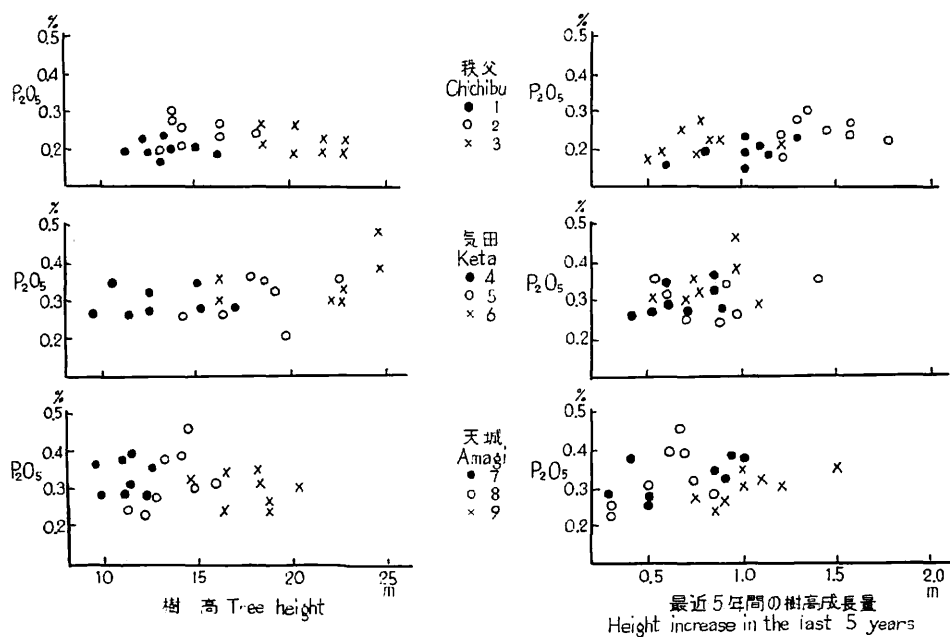


Fig. 10 壮齢木の葉の N 濃度と樹高および最近 5 年間の樹高成長量との関係

N concentration of leaves, in relation to the tree height
and height increase in the last 5 years of mature tree.

Fig. 11 壮齢木の葉の P_2O_5 濃度と樹高および最近 5 年間の樹高成長量の関係

P_2O_5 concentration of leaves, in relation to the tree height
and height increase in the last 5 years of mature trees.

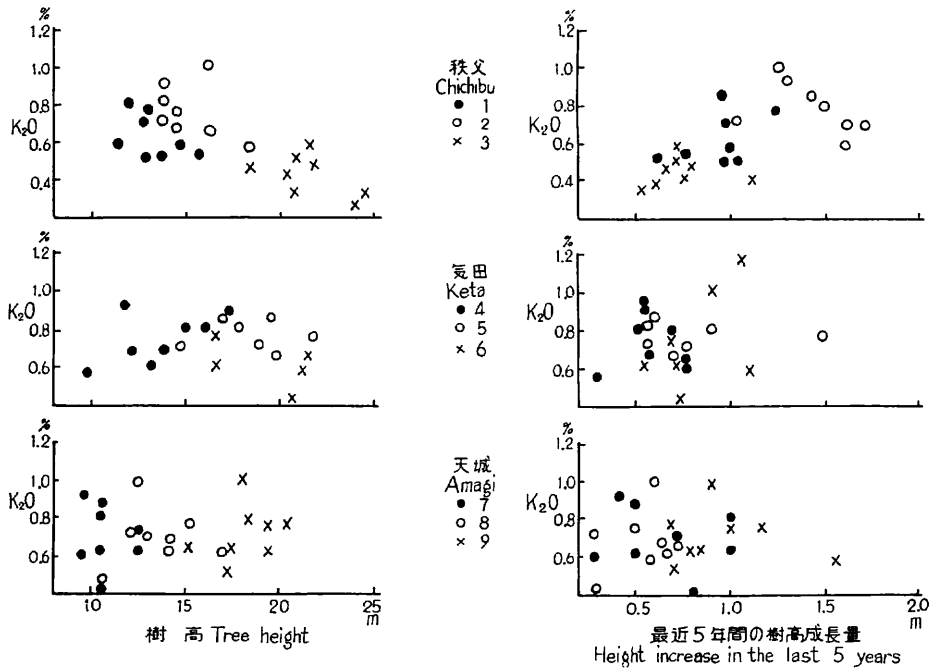


Fig. 12 壮齢木の葉の K_2O 濃度と樹高および最近 5 年間の樹高成長量との関係
 K_2O concentration of leaves, in relation to the tree height
 and height increase in the last 5 years of mature trees.

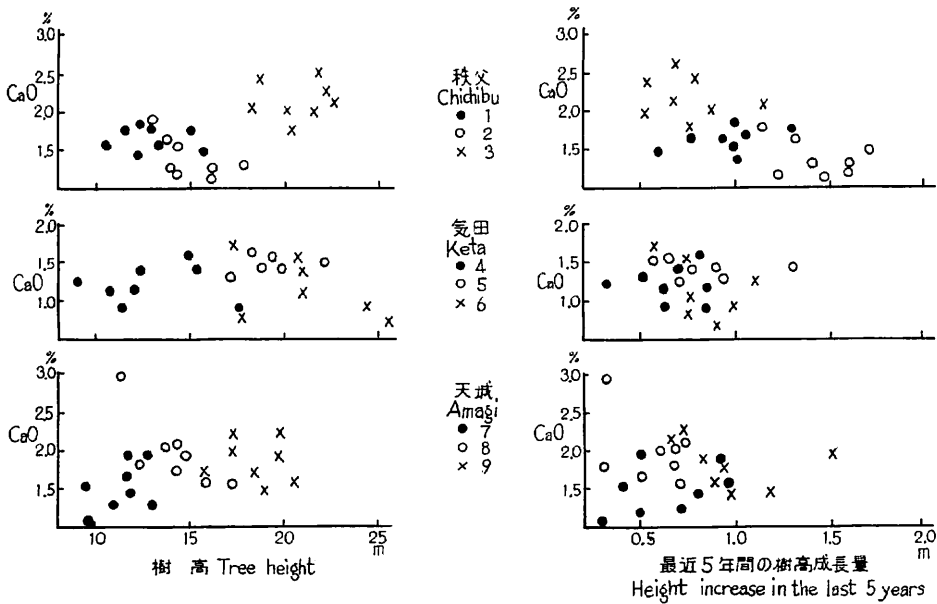


Fig. 13 壮齢木の葉の CaO 濃度と樹高および最近 5 年間の樹高成長量との関係
 CaO concentration of leaves, in relation to the tree height
 and height increase in the last 5 years of mature trees.

Fig. 10 によると、葉の N 濃度は、秩父と気田では多少林分間の差がみられるが、天城では不明である。葉の N 濃度と樹高の関係は、秩父では幼齡林の場合と異なり負の相関関係の傾向にあらわれているが、気田と天城では不明である。葉の N 濃度と最近 5 年間の樹高成長量との関係では、秩父、気田、天城ともに多少のばらつきはあるが、幼齡木の葉の N 濃度と樹高の関係にみられたような正の相関関係の傾向がみられる。

Fig. 11 によると、葉の P_2O_5 濃度には多少の地域差がみられ、秩父は気田や天城にくらべると P_2O_5 濃度が低い傾向にあるが、同一地域内では林分間で差がみられない。樹高と葉の P_2O_5 濃度の相関関係は不明であり、最近 5 年間の樹高成長量との関係でみても、気田では多少正の相関関係の傾向が認められるようであるが、相関度は低い。

Fig. 12 によると、葉の K_2O 濃度に地域差は認められず、秩父では林分間で濃度差がみられる。しかし、気田や天城では林分間の濃度差は不明である。樹高と葉の K_2O 濃度の関係は秩父で負の相関関係の傾向がみられるが、気田や天城では不明である。最近 5 年間の樹高成長量との関係は、秩父では正の相関の傾向が多少みられるが、気田、天城では不明である。

Fig. 13 によると、葉の CaO 濃度に多少の地域差がみられ、気田では秩父や天城より濃度が低い傾向がみられる。また秩父では林分間の濃度差もみられる。樹高と葉の CaO 濃度の関係は、秩父では、正の相関の傾向が多少みられるが、気田や天城では不明である。また最近 5 年間の樹高成長量との関係は、秩父では負の相関の傾向がみられるが、気田や天城では不明である。

芝本ら (1961)⁷⁹⁾は 50 年生のヒノキで葉の N, P, Ca 濃度と樹高または土壌型が密接な関係にあることを報告し、GENTLE ら (1965)¹²⁹⁾は 23 年生のラジアータマツの樹高と葉の P 濃度の間に正の相関傾向のあったことを報告しているが、筆者が調査の対象とした 3 地域 9 林分の 35~55 年生のスギ壮齡木で、樹高と葉の養分濃度の関係はあまり明りょうでなく、秩父などの例では樹高と葉の N, K_2O 濃度は負の相関というように、幼齡木で認められた現象とはむしろ逆の傾向さえ認められた。しかし、最近 5 年間の樹高成長率と葉の養分濃度の関係をみると、地域により明りょうさは異なるが、N, P_2O_5 , K_2O 濃度では多少正の相関の傾向が認められた。

このことは、壮齡木の樹高には、過去の長年の成長経歴が加算されているため、樹高の高いもの必ずしも、現在も成長が旺盛であるとは限らないからと思われる。

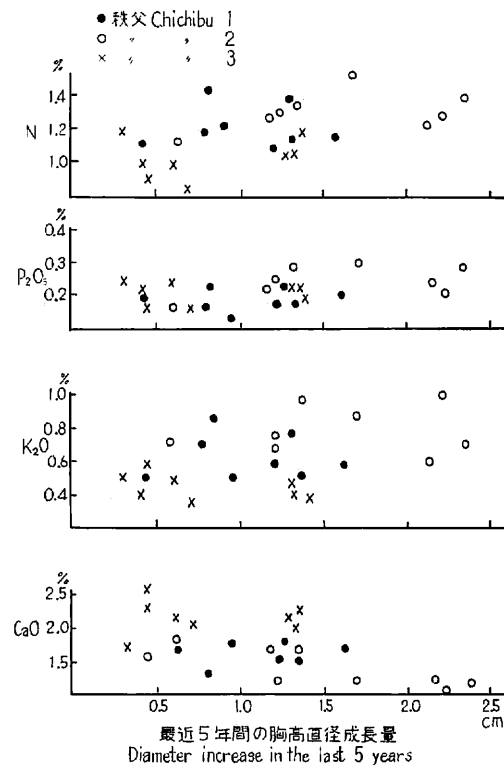


Fig. 14 最近 5 年間の胸高直径成長量と葉の養分濃度

The relation between nutrient concentration of leaves and the diameter increase in the last 5 years of mature trees.

また最近 5 年間の樹高成長量のかわりに、最近 5 年間の胸高直径成長量と葉の養分濃度の関係を、秩父を例にとりて図示すると Fig. 14 のようになる。これによると、全体的に樹高成長量の場合よりばらつきが大きく不鮮明ではあるが、胸高直径成長と N, K_2O 濃度の間に正の相関、CaO 濃度の間に負の相関の傾向が多少認められる。

植田ら (1965)⁹⁵⁾は、14 年生のスギ林から種々の個体を選びだし葉分析をした結果、葉の分析値のばらつきは、劣勢木や、過度に樹冠を発達させた優勢木で多いことを報告している。

Fig. 10~14 でばらつきがあんがい大きかったのは、供試木を胸高直径階別に選んだため、その中には劣勢木も、優勢木もまざりあっているからであり、前述の (iii)~(iv) で述べたようなことも原因の一つとは思われるが、特に壮齡木の場合には、植田ら⁹⁵⁾の述べるようなことに注意した方が、より明りょうな傾向が得られるものと思われる。

(3) 要 約

i) 葉の養分濃度の着生位置別、季節別変化からみて、葉分析試料の採取は樹冠上位の当年生葉が望ましいと考える。

ii) 幼齡木の樹高と上位葉の N, P_2O_5 , K_2O 濃度との間に正の相関の傾向が認められる。樹高と下位葉の養分濃度との関係は上位葉の場合におけるより不明りょうである。このような点からも、葉分析試料は樹冠上位から採取するのが好ましいと考える。

iii) 樹高がほぼ同一であっても、雄花を多数着生した個体は、そうでない個体にくらべて葉の養分濃度が低いので、葉分析試料の採取木選定の際、雄花の着生状態も考慮する必要があると考える。

iv) 現樹高がほぼ同一であっても、当年度に著しく伸長した個体は、葉の養分濃度が低いので、葉分析試料の採取木を選ぶ場合、樹高のみでなく、従来の成長経過も考慮する必要があると考える。

v) 壮齡木の樹高と葉の養分濃度の間の関係は一般に不明りょうであるが、最近 5 年間の樹高や胸高直径成長量と葉の N, P_2O_5 , K_2O 濃度とは正の相関の傾向が多少認められる。

4. スギ壮齡木の幹の乾物重量と養分含有量および樹皮、辺材、心材におけるこれらの分布について*

(1) 目的と方法

第 1 章の 2 で、スギ壮齡木の 1 本あたりの重量、養分含有量について述べたが、壮齡木になると、地上部の重量や養分含有量の多少は、幹の量で大きく左右されてくる。そこで本項では、研究対象を幹という部分に限定して、幹を樹皮、心材、辺材にわけ、部位別の重量や養分含有状態をしらべてみた。

このような調査は、基礎的には幹の中における養分の移動を推察するために、実用的には林木の伐採搬出などにともない、どの程度の養分量が林外にもちだされるかなどをしるうえに必要なことである。

本項目で考察の対象にした材料は、Table 14 の中の秩父および気田の 6 林分からそれぞれ得たものである。

秩父および気田の林分の供試木の選定は、前項 2 で述べたように 1 林分 8 本である。

養分分析の方法は、1 および 2 で述べた方法と同じである。各測定値の ha あたりへの換算は、林分ごと各供試木の量を合計し、供試木の胸高断面積合計と調査区域内全立木の胸高断面積合計の比から調査区域内の量を算出し、さらに面積比によって ha あたりに換算した。

*本報告の内容の一部は文献 28 に発表した。

Table 14. 葉分析試料採取林の概況
Actual conditions of forest stand for leaf analysis

林分 Forest stand	秩父 (埼玉県) Chichibu (Saitama prefecture)			気田 (静岡県) Keta (Shizuoka prefecture)			天城 (静岡県) Amagi (Shizuoka prefecture)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
林 班 Block	34	34	34	257	258	258	80	64	64
母 材 Materials	古生層 Palaeozoic			中生層 Mesozoic			火山灰 Volcanic ash		
海拔高 Elevation (m)	350	320	300	700	650	600	760	700	560
土壌型 Soil type	Bd(d)	Bd	Bd	Bd(d)	Bd	Be	Bd(d)	Bd	Be
傾 斜 Inclination	20	25	25	35	38	35	15	25	25
林 齢 Age	55	55	55	49	48	48	35	38	38
平均樹高 Average height (m)	12.8	14.6	21.1	12.9	18.3	21.8	11.4	14.0	18.3
平均胸高直径 Average diameter (cm)	15.9	17.9	27.0	21.8	24.6	29.8	14.8	16.9	22.9
立木本数 Tree density	2,000	2,020	930	1,310	1,100	860	2,470	2,050	1,410
胸高断面面積 Basal area (m ²)	40	51	54	51	55	66	41	49	55
調査年月 Date	1963, Oct.			1964, Oct.			1965, Oct.		

(2) 結果と考察

i) 幹の乾物重量および樹皮、辺材、心材の構成比率

第1章の2で、スギ壮齢木の地上部の乾物重量と D^2H の間に、かなり高い相関関係があることをのべたが、これと同じ手法で、幹の乾物重量と D^2H の関係を図示してみると Fig. 15 のようになる。

すなわち、この図によると、各林分に成長差や林齢差があるにもかかわらず、1つの傾向線のうえによくまとまって図示され、いずれの林分も同じ D^2H であれば、20~40kg 程度のばらつきの範囲内に点が

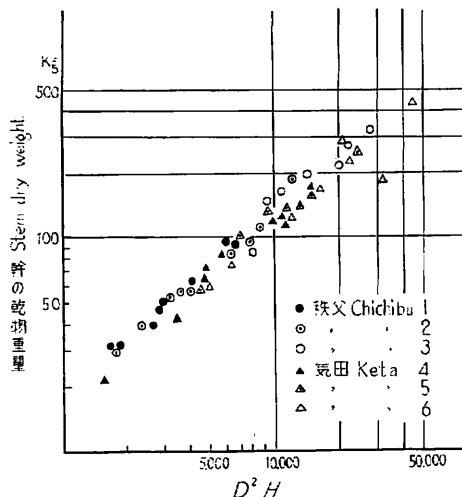


Fig. 15 スギ壮齢木の1本あたり幹の乾物重量と D^2H の関係
The relation between the stem dry weight and D^2H of mature trees.

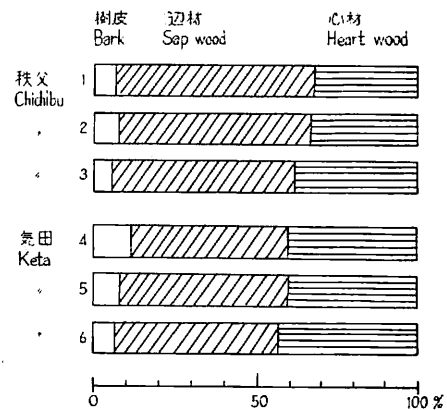


Fig. 16 スギ壮齢木の幹の樹皮、辺材、心材における乾物構成割合
Dry matter distribution to the bark, sapwood and heartwood of the stem of mature trees.

おとされている。

つぎに樹幹析解のため高さ別に採取した円板を、樹皮、辺材、心材にわけて重さをはかり、各部位間の比率を求め、幹の乾物重量に乗じて樹皮、辺材、心材別の乾物割合の平均値を図示すると、Fig. 16 のようになる。

これによると、全般的にみて樹皮が 10 % 前後、辺材が 50~60 %、心材が 30~40 % である。

地域別にみると、気田のスギは秩父のスギより林齢が数年若いにもかかわらず、心材の割合がやや多い傾向がみられる。心材部の割合は、一般には老齢になるほど多くなると考えられがちであるが、林齢だけではなく、地域やその他の条件によっても異なってくるようである。

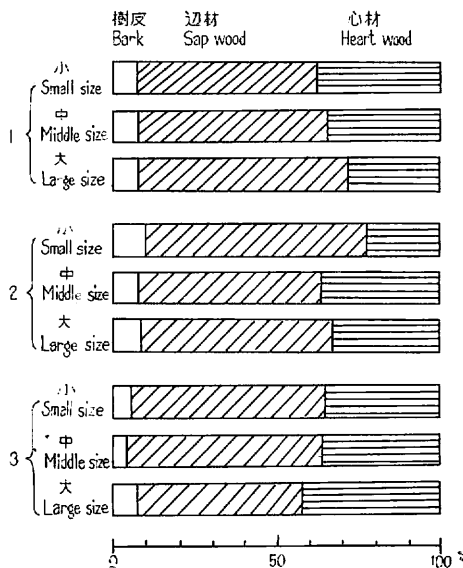


Fig. 17 秩父スギの大、中、小別の幹の乾物構成比率

Dry matter distribution to the bark, sapwood and heartwood of the stems of various size mature trees.

秩父の林分—3は、林分—1、2にくらべ、また気田の林分—6は、林分—4、—5にくらべ、それぞれ心材の割合が多くなっているが、両林分ともその地域の3林分のなかでは樹高、胸高直径が最大の林分である。そこで、木が大きくなるほど心材部の割合が多くなるかどうかを検討するため、秩父のスギについて各林分の調査木を樹高、胸高直径が林分平均値より大なる個体（大と呼称）、林分平均値に類似した個体（中と呼称）、林分平均値より小なる個体（小と呼称）にわけ、大、中、小別に構成比率をしらべた結果はFig. 17である。

これによると、林分—3では木が大きくなるほど心材の割合が大きくなる傾向がみられるが、林分—1では逆の傾向となり、林分—2では心材の割合は中>大>小となっている。すなわち、同一林分内での木の大小と、心材の割合とはあまり明りょうな関係はみられない。

このことは、心材部の割合の増加は、単なる木の大小と関係するのではなく、成長状態、保育経歴、品種、その他環境条件などで異なる性質のものと考えられる。

ii) 幹の部位別の養分濃度

幹を樹皮、辺材、心材にわけ、それをさらに枝の着生している部分、すなわち枝下高より上の部分と、枝下高より下の部分にわけ、地域別にまとめてみるとTable 15 のようになる。この表の数値の一部はTable 8 にも記載されているが、本項での考察の都合上、重複して記載することにする。

これで見ると、N は枝下高より上部でも、また下部でも樹皮>辺材>心材の傾向がみられ、樹皮は辺材部の5~6倍のN濃度をもっている。

P₂O₅ はやはり材部より樹皮で高い傾向がみられるが、その差はわずかである。辺材と心材の濃度差は不明りょうである。

K₂O の濃度は、樹皮=心材>辺材の傾向がみられる。すなわち、N や P₂O₅ と異なり心材部に非常

Table 15. スギ壮齡木の幹の部位別養分濃度 (%)
Nutrient concentrations in each part of the stem

養分 Nutrient	地 域 Area	樹 皮 Bark		辺 材 Sap wood		心 材 Heart wood	
		枝下高より上 Above from lowest living branch	枝下高より下 Under from lowest living branch	枝下高より上 Above from lowest living branch	枝下高より下 Under from lowest living branch	枝下高より上 Above from lowest living branch	枝下高より下 Under from lowest living branch
N	秩 父 Chichibu	0.45 0.43~0.46		0.10 0.05~0.17	0.08 0.05~0.10	0.07 0.05~0.11	0.06 0.04~0.08
	気 田 Keta	0.40 0.34~0.43	0.37 0.36~0.38	0.07 0.05~0.10	0.05 0.05~0.05	0.06 0.04~0.08	0.05 0.04~0.07
P ₂ O ₅	秩 父 Chichibu	0.09 0.08~0.11		0.08 0.03~0.16	0.05 0.03~0.08	0.05 0.02~0.08	0.04 0.02~0.08
	気 田 Keta	0.11 0.11~0.11	0.09 0.09~0.10	0.06 0.03~0.11	0.05 0.04~0.05	0.06 0.02~0.11	0.05 0.04~0.06
K ₂ O	秩 父 Chichibu	0.24 0.18~0.32		0.10 0.08~0.12	0.08 0.07~0.09	0.23 0.13~0.40	0.23 0.13~0.55
	気 田 Keta	0.21 0.20~0.22	0.20 0.19~0.21	0.05 0.05~0.06	0.06 0.05~0.07	0.21 0.19~0.28	0.23 0.21~0.25
CaO	秩 父 Chichibu	1.44 1.33~1.62		0.30 0.21~0.38	0.28 0.19~0.42	0.27 0.20~0.30	0.28 0.20~0.34
	気 田 Keta	1.82 1.73~1.88	1.50 1.41~1.52	0.17 0.15~0.19	0.15 0.15~0.15	0.18 0.15~0.21	0.15 0.13~0.16

分子は平均値、分母は範囲を示す。

Numerator shows average and denominator shows range.

に高く、辺材部の2~4倍の濃度になっている。

スギの心材部で K₂O が高濃度になっていることは、古川 (1961, 1963, 1964)⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾がすでに指摘している点であるが、樹体内の養分移動を考えていく上に興味ある現象である。K₂O は樹体内で比較的容易に二次移動しうる養分でありながら、心材部に高濃度で存在するということは、NEISH (1964)⁵⁸⁾のいうように、心材が単なる材形成の残がいではないという考えかたをとらざるをえないであろう。塘(1959)⁶⁸⁾は、「K₂O は幹材部の主成分であるセルロース、リグニンなどの高分子炭水化物の生成に関与し、これらの炭水化物が木の年齢がすすむにつれて幹材部に集積するにともない、K₂O も平行的に幹材部に集積する」と考えているが、今後これらの点を中心として、心材部の生理作用、物質移動などをしらべる必要があるように考える。

CaO の濃度は樹皮で非常に高く、材部の 5~10 倍にたっている。樹皮>辺材=心材の傾向がみられる。CaO 濃度が樹皮で高いという現象は、CaO が樹体内で比較的二次移動しにくい、あるいは移動速度が遅い養分と考えられている²⁴⁾だけに、樹皮のなかの古い組織中に沈積した結果と考えたいが、これらの点については、樹皮をさらに細かにわけ、比較的新しい組織と古い死滅した組織にわけて解析する必要があるだろう。

各養分を枝下高より上の部分と下の部分にわけて比較してみると、樹皮では各養分とも枝下高より上の部分で多い傾向がみられるが、材部ではその差はわずかである。

iii) 幹の養分含有量および樹皮、辺材、心材における養分の分布割合

幹 1 本あたりの養分含有量と、D²H との関係を図示すると、Fig. 18 のとおりである。

すなわち、N の含有量は、林木の D²H に応じて 20 g から約 20 倍の 400 g まで変動していて、Fig. 15

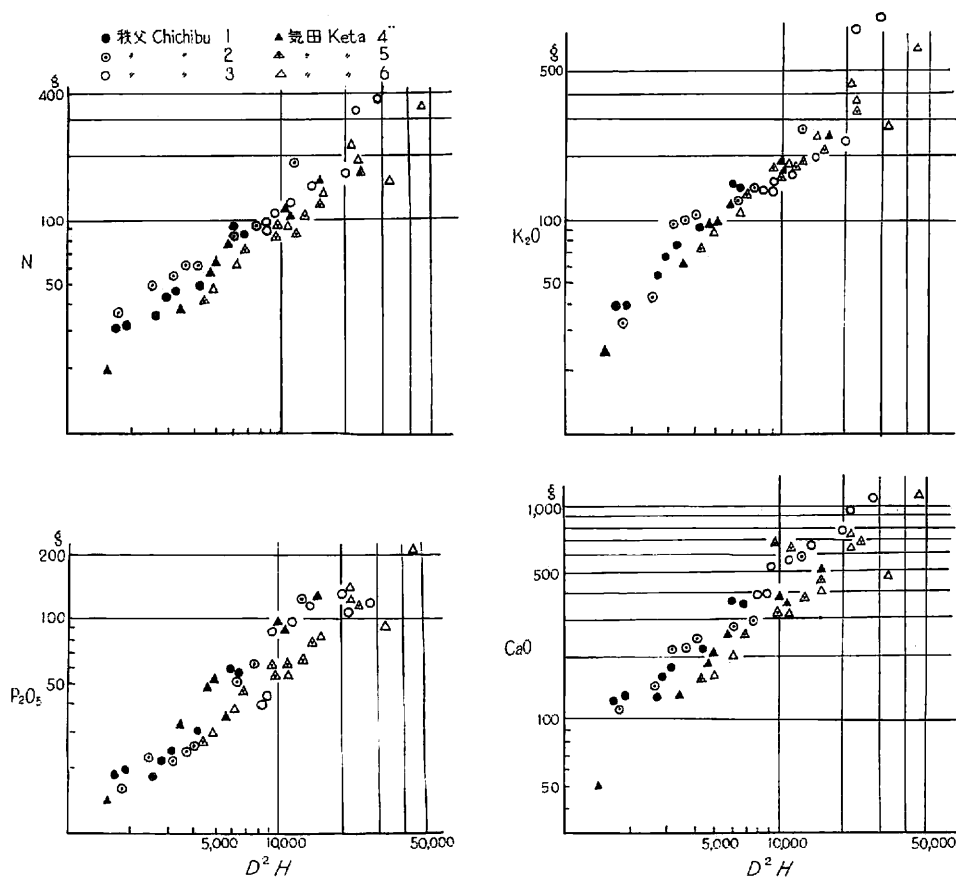


Fig. 18 スギ壮齢木の 1 本あたり幹の養分含有量と D^2H の関係
The relation between nutrient contents of the stem and D^2H of mature trees.

の乾物重量の場合よりは多少ばらつきが大きい。また林分のちがいににより傾向が多少分離するようである。

P₂O₅ の含有量は、林木の D^2H に応じて 15 g から 200 g までの範囲で変動している。地域によるちがいはあまりみられない。

K₂O の含有量は、林木の D^2H に応じて 20 g から約 45 倍の 900 g までに非常に大きく変動している。すなわち、N や P₂O₅ にくらべて、木の大きくなるにしたがって K₂O の含有量の増加する割合が非常に大きくなる。

CaO の含有量は、林木の D^2H に応じて 50 g から約 20 倍の 1,150 g まで変動している。木の大きくなるにともなう含有量の増加割合は、N とほぼ同じであるが、個体間のばらつきは N より大きい。

堤 (1965)⁹³⁾ は、スギの幹の養分含有量は胸高直径と関係なく、個体のばらつきが大きいと述べているが、Fig. 18 の D^2H との関係でみると、乾物の場合よりは多少ばらつきが大となっているが、正の相関傾向は一応認められる。地域差や林分による差も多少認められるが、これは養分含有量は木の重量や養分濃度ばかりでなく、心材率などにも大きく左右されるからであろう。

つぎに各林分ごとに、ha あたりの幹の養分含有量を計算してみると Table 16 のとおりである。

Table 16. スギ壮齢林分の幹の ha あたり養分含有量
Nutrient contents of the stem of mature forest tree per ha

林分 Forest stand		幹の養分含有量 Nutrient contents in stem kg/ha				平均樹高 Mean height (m)	平均胸高直径 Mean D. B. H. (cm)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO		
秩父 Chichibu	1	105	61	158	405	12.8	15.9
	2	156	84	211	500	14.6	17.9
	3	161	83	302	590	21.1	27.0
気田 Keta	4	102	80	160	345	12.9	21.8
	5	110	71	201	406	18.3	24.6
	6	149	93	276	478	21.8	29.8

すなわち、秩父、気田ともに平均樹高や平均胸高直径の大きい林分（秩父—3、気田—6）で N, K₂O, CaO 含有量が大きくなっているが、P₂O₅ ではこのような傾向はみられない。養分別にみると、いずれの林分も CaO>K₂O>N>P₂O₅ の傾向がみられる。

各養分の樹皮、辺材、心材における分布割合を図示すると、Fig. 19 のようになる。

すなわち、N は樹皮に 30~40%、辺材に 30~50%、心材に 20~35% 程度分布している。林分別にみると、秩父—3、気田—6 の林分のように、その地域で平均樹高、平均胸高直径の大きい林分では、心材への N 分布が多くなる傾向がみられる。

地域別にみると、気田では秩父にくらべて、樹皮への養分分布割合が多く、辺材への分布割合が少ない傾向がみられる。

P₂O₅ は樹皮部は 10~20% で非常にすくないが、辺材には 40~60%、心材には 20~40% 分布している。地域別にみると、気田は秩父にくらべて心材部への分布割合が多い。

K₂O は樹皮に 5~15%、辺材に 20~30% 分布し、心材には 40~70% と非常に多量に分布している。秩父や気田では、樹高や胸高直径の大きい林分で心材部への分布割合が多くなり、樹皮への分布割合が少なくなる傾向がみられる。

CaO は樹皮にかなり多く、25~50% 分布し、辺材には 20~40%、心材には 20~30% が分布している。秩父や気田では樹高や胸高直径の大きい林分ほど材部への CaO 分布が多く、樹皮への分布割合が少ない

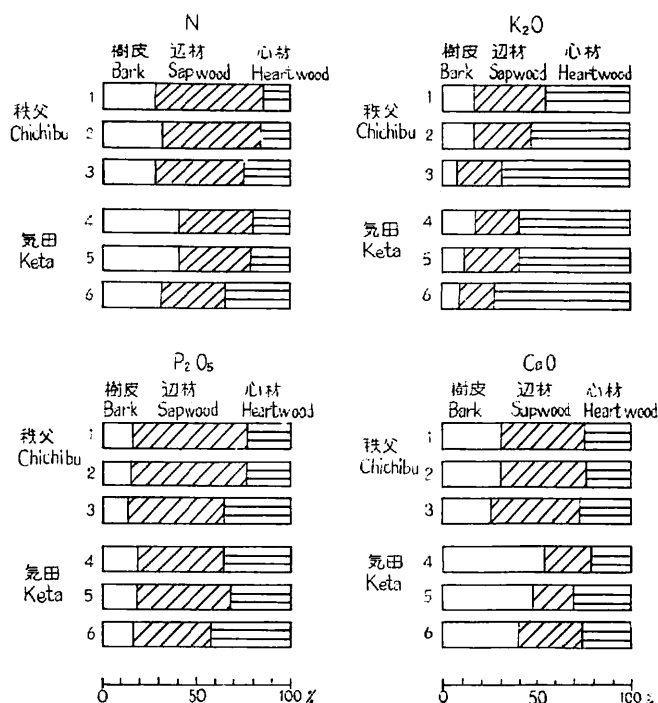


Fig. 19 スギ壮齢木の幹の樹皮、辺材、心材における養分分布
Nutrient distribution to the bark, sapwood and heartwood of mature trees.

傾向がみられる。地域別にみると、気田では秩父にくらべて樹皮への CaO 分布が多い。

すなわち、樹幹内におけるこれら養分の分布状態にも多少地域による差が認められるようである。

(3) 要 約

埼玉県秩父地域の 55 年生の成長の異なる 3 林分、静岡県気田地域の 48, 49 年生の成長の異なる 3 林分のスギについて、幹の乾物重量、養分含有量および樹皮、辺材、心材におけるそれらの分布状態をしらべた。

i) 幹の乾物重量と D^2H との間にはかなり高い相関関係の傾向が認められ、林齢や地域がちがう林分がまざっているにもかかわらず一つの傾向線の上によくまとまって図示される。

ii) 幹を樹皮、辺材、心材にわけ乾物の構成割合をみると、樹皮で 10% 前後、辺材で 50~60%, 心材で 30~40% である。これらの乾物の構成割合は、地域や林分などで異なるようである。

iii) 幹の各部位別の養分濃度は、N は樹皮>辺材>心材、 CaO は樹皮>辺材 $\approx$ 心材の傾向がみられる。 P_2O_5 は明りような傾向がみられない。 K_2O は N や P_2O_5 と異なり、心材部に高濃度に含まれ、樹皮 $\approx$ 心材>辺材の傾向になっている。

iv) 幹のなかの養分含有量は、 D^2H との間に相関関係の傾向が認められるが、乾物重量の場合より多少ばらつきが大きく、地域差も認められるようである。木が大きくなるにともなう幹の K_2O 含有量の増加割合は、N や P_2O_5 の増加割合にくらべて大きい。幹の養分含有量は木の重量や養分含有率ばかりでなく、心材率などにも大きく左右されている。養分含有量は、いずれの林分でも $\text{CaO}>\text{K}_2\text{O}>\text{N}>\text{P}_2\text{O}_5$ の傾向になっている。

v) 幹の各部位への養分分布割合は、N は樹皮に 30~40%, 辺材に 30~50%, 心材に 20~35%, P_2O_5 は樹皮に 10~20%, 辺材に 40~60%, 心材に 20~40% であり、両者とも辺材部への分布割合が多い傾向にあるが、 K_2O は樹皮に 5~15%, 辺材に 20~30%, 心材に 40~70% で心材部への分布が非常に多く、 CaO は樹皮に 25~50%, 辺材に 20~40%, 心材に 20~30% で樹皮部への分布割合が多い。これらの養分の樹幹内における分布状態にも、多少地域による差が認められる。

5. スギ壮齡林における乾物および養分の現存量

(1) 目的と方法

第 1 章の 2 ではスギ壮齡木の地上部について、また 4 では壮齡木の幹について、それぞれ 1 本あたりの乾物重量、養分含有量およびそれらの各部位への分布状態などについて述べたが、閉鎖した壮齡林分では、実用的には個々の木を対象にしたものより、面積単位の林分を対象にした測定値が要求される。また、これは、基礎的な面から考えても興味あることである。1 本の木の生理の研究は比較的容易におこなうが、その集団を対象とした森林の生理生態の研究は、方法自体が非常にむずかしく、従来ほとんど行なわれていない。森林の生産力向上を考慮した諸技術を開発する一断面において、こんど林分対象の諸研究が行なわれなければならない。このような点を考えると、諸調査の結果を林分対象に展開しておくことは、今後の研究での利用を考えた場合必要なことと思われる。

本項で考察の対象にした林分は、Table 14 のなかの秩父の 3 林分、気田の 3 林分であり、林分の平均樹高、平均胸高直径の大きさは、秩父は $3>2>1$ 、気田は $6>5>4$ となっている。

調査方法は 2 の項でのべた方法に準じている。また各供試木の測定値からの ha あたりの換算は、4 の項と同様に胸高断面積比推定法によった。

A₀ 層の調査は、調査区域内に 2×2 m のコドラートを 2～3 個設定し、その中の A₀ 層を採取して生重量を秤量し、乾燥したのち植物体分析に準じて分析し、ha に換算した。

(2) 結 果

i) 林木および A₀ 層の ha あたり乾物重量

ha あたりの林木の各部位ごとの乾物重量および A₀ 層の乾物重量は、Table 17 のとおりである。

Table 17. スギ壮齡林における林木および A₀ 層の ha あたり乾物重量 (ton/ha)
Dry weight of trees and A₀ layer in mature forest stand

林 分 Forest stand	林 木 Trees							A ₀ 層 A ₀ layer
	葉 Leaf	緑 枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 Stem	地上部計 Above ground	根 Root	合 計 Whole tree	
秩 父 Chichibu	16.7(12)	2.3(2)	10.2(7)	112.2(79)	141.4(100)	32.4	173.8	11.0
	21.9(12)	2.8(1)	14.1(8)	144.4(79)	183.2(100)	—	—	9.7
	15.2(8)	1.7(1)	9.4(5)	171.4(87)	197.7(100)	75.3	273.0	8.2
気 田 Keta	17.8(11)	4.2(3)	24.8(15)	114.8(72)	161.6(100)	54.3	215.9	10.9
	15.2(8)	3.4(2)	17.1(9)	152.0(81)	187.7(100)	—	—	13.9
	16.6(7)	3.5(2)	19.5(9)	183.3(82)	222.9(100)	80.7	303.6	15.0

注 () 内は地上部計を100とした分布割合。

() Shows dry matter distribution ratio based on above ground weight.

すなわち、ha あたりの林分の乾物重量は、葉で 15～22 ton、緑枝で 2～4 ton、枝で 9～25 ton、幹で 112～183ton の範囲であり、地上部の合計は 140～220ton 程度になり、根を含めると 170～300ton となる。根の乾物重量は地上部重量の 1/3～1/4 程度である。

A₀ 層の乾物重量は ha あたり 8～15ton であり、気田の場合は、平均樹高の大きい林分ほど重い傾向にあるが、秩父の場合は逆の傾向であり、林分の成長状態との関係は不明である。

ii) 林分および A₀ 層の ha あたり養分含有量

ha あたりの林分の各部位ごとの養分含有量および A₀ 層にふくまれる養分量は Table 18 のとおりである。

すなわち、ha あたりの林木の養分含有量をみると、N は地上部で 320～460kg 含まれ、そのうちの 50% 前後が葉に、30～40% 程度が幹に分布している。林分の平均樹高が大きくなるほど幹の N 量および N の幹への分布割合が大きくなる傾向がみられるが、地上部の N 含有量と林分成長との関係は不明りようである。根の N 含有量は地上部の N 含有量の 1/3～1/6 である。P₂O₅ は地上部で 100～160kg 含まれ、そのうちの 30% 前後が葉に分布し、50～60% 程度が幹に分布している。林分の平均樹高との関係は N の場合ほど明りような傾向はない。根の P₂O₅ 含有量は地上部の 1/2～1/5 である。

K₂O は地上部で 290～410kg 程度含まれ、そのうち 20～37% が葉に分布し、50～75% が幹に分布している。林分の平均樹高が高いほど葉への K₂O の分布割合がすくなく、幹の K₂O 含有量および幹への分布割合が多くなっている。根の K₂O 含有量は地上部の 1/4～1/5 である。

CaO は地上部で 790～1,120kg 程度含まれ、そのうち 30% 前後が葉に、40～50% が幹に分布している。根の CaO 含有量は地上部の 1/3～1/5 である。A₀ 層に含まれる養分量をみると、N は 73～127kg、P₂O₅ は 9～29kg、K₂O は 10～53kg、CaO は 136～214kg の範囲で変動していて、林分間で相当ちがいがあ。林分の平均樹高などとの関係は不明である。地域別にみると、秩父の A₀ 層は気田の A₀ 層

Table 18. スギ壮齢林における林木および A_0 層の ha あたり養分含有量 (kg/ha)
Nutrient contents of trees and A_0 layer in mature forest stand

林 分 Forest stand	林 木 Trees							A ₀ 層 A ₀ layer	
	葉 Leaf	緑 枝 Greenish twig	枝 Branch	幹 stem	地上部計 Above ground	根 Root	合 計 Whole tree		
N									
秩 父 Chichibu	1	195.2(56)	16.0(5)	31.4(9)	104.9(30)	347.5(100)	75.0	422.5	127.0
	2	239.2(52)	21.3(4)	49.8(11)	151.6(33)	461.9(100)	—	—	103.1
	3	167.5(46)	10.4(3)	30.2(8)	160.7(43)	368.8(100)	113.2	482.0	92.3
気 田 Keta	4	141.5(44)	27.3(8)	52.5(16)	102.1(32)	323.4(100)	62.4	385.8	73.0
	5	143.0(45)	22.8(7)	43.8(13)	110.3(35)	319.9(100)	—	—	97.3
	6	172.5(44)	26.6(7)	48.5(12)	148.7(37)	391.0(100)	63.5	454.5	118.5
P ₂ O ₅									
秩 父 Chichibu	1	34.9(33)	3.9(4)	7.0(7)	58.7(56)	104.5(100)	18.6	123.1	12.0
	2	49.6(33)	4.4(3)	10.8(7)	84.2(57)	149.0(100)	—	—	8.8
	3	36.9(27)	2.5(2)	7.4(6)	82.5(65)	129.3(100)	50.7	180.0	9.9
気 田 Keta	4	38.0(25)	8.9(6)	22.1(15)	79.4(54)	148.4(100)	52.2	200.6	8.7
	5	50.5(33)	7.9(5)	19.3(13)	70.6(48)	145.4(100)	—	—	13.9
	6	42.8(26)	8.2(5)	19.0(12)	92.6(57)	160.5(100)	55.8	216.3	28.5
K ₂ O									
秩 父 Chichibu	1	107.9(37)	11.0(4)	12.6(4)	157.8(55)	289.3(100)	50.8	340.1	15.3
	2	114.8(32)	13.5(4)	17.3(5)	211.0(59)	356.6(100)	—	—	9.7
	3	79.2(21)	6.4(1)	10.4(3)	302.4(75)	398.4(100)	100.3	498.7	11.5
気 田 Keta	4	118.2(36)	22.8(7)	33.5(10)	159.5(48)	334.0(100)	79.9	413.9	53.4
	5	91.7(27)	16.6(5)	18.8(6)	201.0(62)	320.7(100)	—	—	41.7
	6	83.3(20)	18.3(4)	27.6(7)	276.0(69)	405.2(100)	91.4	496.6	42.0
CaO									
秩 父 Chichibu	1	285.7(34)	34.3(5)	112.7(13)	405.0(48)	837.7(100)	148.6	986.3	213.5
	2	406.5(39)	45.8(4)	165.6(16)	499.9(41)	1,117.8(100)	—	—	167.4
	3	309.2(30)	31.3(3)	115.2(11)	589.8(56)	1,045.5(100)	302.1	1,347.6	183.8
気 田 Keta	4	202.8(26)	43.5(5)	198.2(25)	345.1(44)	789.6(100)	174.0	963.6	136.3
	5	228.2(27)	48.1(6)	162.0(19)	405.1(48)	844.4(100)	—	—	166.8
	6	247.8(29)	42.0(5)	82.3(10)	477.9(56)	850.0(100)	150.8	1,000.8	169.5

() 内は地上部計を100とした分布割合。

() Shows nutrient distribution ratio based on above ground tree.

にくらべて K_2O が少なく, CaO が多い傾向がみられる。このことは, Table 19 に示した A_0 層の養分含有率の上からも明りように認められる。

YOUNGBERG (1966)¹⁰⁸⁾ は, ダグラス フェー林内の有機物層の重量や養分含有量を調査し, 重量は同一林分内でも変化し, 養分含有率などは地域によって相当異なり, 雨の多い地帯や塩基飽和度の低い土壌では養分含有率が低かったことを報告しているが, 筆者の調査からも養分含有率などで地域差を認めることができる。

iii) 林木, A₀ 層, および土壌に
おける N の分布

土壌を土壌層位ごとに採取して, そのなかの, Total-N を分析し, ha あたり深さ 50 cm までの土の中に含まれる N 量を計算し, 林木および A₀ 層にふくまれている N 量と対比させてみると, Table 20 のようになる。

Table 19. A₀ 層の養分濃度
Nutrient concentration of A₀ layer in mature forest stand

林分 Forest stand	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
秩父 Chichibu	1	1.16	0.11	0.14
	2	1.06	0.09	0.10
	3	1.12	0.12	0.14
気田 Keta	4	0.67	0.08	0.49
	5	0.70	0.10	0.30
	6	0.79	0.19	0.28

Table 20. スギ壮齡林の林木, A₀ 層, 土壌における N の分布 (kg/ha)
N distribution in the *Cryptomeria* forest ecosystem

林分 Forest stand	秩父 Chichibu 1	秩父 Chichibu 3	気田 Keta 4	気田 Keta 6
土壌 Soil(50cm deep)	12,700(96)	6,900(92)	11,000(96)	9,000(94)
A ₀ 層 A ₀ layer	127(1)	92(1)	73(1)	119(1)
林木地上部 Above ground	348(3)	369(5)	323(3)	391(4)
林木根 Root	75(1)	113(2)	62(1)	64(1)
合計 Total	13,250(100)	7,474(100)	11,458(100)	9,574(100)

() は分布割合。Shows distribution ratio.

すなわち, ha あたり深さ 50cm までの土の中には平均約 10ton, A₀ 層の中には平均約 100kg, 林木の中には平均約 400~500kg の N が含まれていることになる。

この表のなかには, 低木や雑草にふくまれている N は計算されていないが, 表示されている範囲内で考察してみると, N の 90% 以上が深さ 50cm までの土の中に分布し, 林木地上部に 3~5%, 林木の根に 1~2%, A₀ 層に 1% の N が分布している。

堤(1964)²²⁾は, 各種の森林生態系における物質の配分率を計算しているが土壌中の N の配分割合は, 48 年生信州カラマツ林では 97% であった。また HEILMANN ら(1963)²¹⁾が, ダグラス フェーの森林で調査した例によると, 土壌中の N の配分割合は 80% であった。

これらの数値を筆者の計算した数値と対比させてみると, 樹種差, 立地差などのために, 多少差異が認められるが, 全体の傾向としてはよく類似しており, 森林生態系のなかにあつては, N の大部分が土壌中にあるといえる。

(3) 要 約

Table 14 に表示した秩父の 3 林分および気田の 3 林分を対象にして, ha あたりの林木および A₀ 層の重量と養分含有量および林木, A₀ 層, 土壌中における N の分布状態をしらべた。

i) ha あたり林分の乾物重量は葉で 15~22 ton, 緑枝で 2~4 ton, 枝で 9~25 ton, 幹で 112~183 ton であり, 根の乾物重量は地上部の乾物重量の 1/3~1/4 程度である。A₀ 層の乾物重量は ha あたり 8~15 ton であるが, 林分の成長状態との関係は不明である。

ii) ha あたり林木地上部の養分含有量をみると, N で 320~460kg, P₂O₅ で 100~160kg, K₂O で 290~410 kg, CaO で 790~1,120 kg 程度含まれている。林分の平均樹高が高いほど, 幹への K₂O 分布割合が多くなっている。根の養分含有量は, 地上部の養分含有量の 1/2~1/6 の範囲で変動している。

- iii) A_0 層の養分含有量と、林分の成長状態との関係は不明であり、多少地域差が認められる。
- iv) 林木、 A_0 層、土壌間の N の分布をみると、土に約 10 ton, A_0 層で約 100 kg, 林木で約 400~500 kg であり、生態系内の 90% 以上の N が土の中に含まれ、林木には 4~7%, A_0 層には 1% 程度と計算された。

II スギの成長と養分含有量におよぼす施肥の効果に関する研究

林木の量産が必要になって、成長の早い樹種の導入、品種の育成とともに、林地肥培の重要性が認識され、その研究の推進がさげばれてから 10 年以上を経過している。しかし、それ以前の林業では、苗畑においてすら農業を単に模倣した施肥が行なわれていたにすぎず、たとえば苗畑の肥培管理、苗木の栄養生理という観点から施肥が研究されたのは比較的新しい⁹⁰⁾。林地にあつては鑛木 (1929)⁸⁷⁾ により林地肥培が提唱されたが、当時のわが国の社会的背景は、これを研究し、技術として進展させるにはいたらなかった。

鑛木 (1932)⁸⁸⁾ によると、ドイツでは 18 世紀末にすでに林地肥培が論議されたとなっているが、当時は本格的な調査研究は行なわれておらず、TAMM (1958)⁸⁹⁾ によれば、20 世紀になってからドイツの針葉樹林下に厚く堆積する粗腐植を分解して、林地生産力を高める研究がすすめられ、N と Ca がこれに重要な役割を演ずることから、ドイツでは N と Ca を中心にした林地肥培の研究が行なわれるようになったとのべている。また BAULE (1967)⁴⁾ の著書をもても、欧州で本格的に林地肥培が論議されたのは 20 世紀になってからである。MITSCHERLICH ら (1958)³⁹⁾ は、それまで、バーデン地方でヨーロッパトウヒ林などを対象におこなわれていた多くの肥培試験の結果を整理して、N, P, Ca の効果が顕著なことを報告している。

MAKI (1958)³¹⁾ によると、アメリカにおける林地肥培の歴史は、欧州より新しく、本格的な調査研究が始まったのは 1930 年代であるとしているが、STONE (1958)⁷⁹⁾ によると、その時代は林地肥培が論議されただけで、活発な研究が開始されたのは 1945 年以降といっている。

WHITE ら (1956)¹⁰³⁾ は、林業の分野における 1956 年までの施肥に関する文献を抄録したが、その内容には苗畑肥培、苗木の栄養に関するものがかなり多く含まれていた。しかし、その後 MUSTANOJA (1965)⁵⁴⁾ が監修した 1957 年以降の文献集には、林地肥培に関したものが相当集録されている。これをもても、林地肥培の研究の歴史の浅さを知ることができる。

このように研究の歴史が浅いために、林地肥培を、森林の保育技術のなかにとりいれ、体系化していくためには、多くの視点から林木に対する施肥の効果を検討していかなければならない。

本稿では苗畑時代の苗木、林地植栽後の幼齡木 (閉鎖前の木)、閉鎖した壯齡林を対象に、施肥が成長や養分含有量にどのような影響を与えるかをしらべた結果を報告する。

1. スギ苗に対する施肥の効果

1. 1 水耕で N, P, K の各養分を欠除培養した場合の苗木の成長、養分濃度および養分含有量*

(1) 目的と方法

水耕による養分欠除試験は、従来苗木の養分欠乏症などを観察するための手段としてしばしば使用され、その結果は糖 (1962)⁹⁰⁾ により詳細に報告されている。しかし筆者は、この試験の目的を施肥による

*本論文の内容の一部は文献 29 で発表した。

苗木の養分含有量の変化、苗体内における養分分布の変化などを検討することにおいたため、養分欠除区においても苗木がある程度生育することが必要であり、水耕液は純水を使わず、すべて水道水を使用している。そのため、たとえば、-K 区といっても、相対的に K に不足しているという状態であり、K の完全欠除を意味していない。

本試験は 1966 年に林試目黒苗畑のガラス室で行なったものである。

Table 21. 水耕試験に使用した水道水の化学的組成
Chemical properties of tap water used for this water culture experiment

pH	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCO ₃	SO ₄	SiO ₂	Cl	Fe
6.97	1.8 ^{ppm}	Trace	3.5 ^{ppm}	56.6 ^{ppm}	17.1 ^{ppm}	42.5 ^{ppm}	47.4 ^{ppm}	0.04 ^{ppm}

すなわち、あらかじめ苗床で厳選した当年生苗を、4月中旬に Table 21 にしめすような水道水をいれたポットに仮植しておき、5月7日に 20,000/1 ワグネルポットに 4 本ずつ定植し、水耕を開始した。処理は NPK, -N, -P, -K, Non の 5 処理で、水耕液組成は塘 (1962)⁹⁰⁾ の処方にしたがい、N=40 ppm, P₂O₅=25ppm, K₂O=30ppm, CaO=20ppm, MgO=10ppm, Fe₂O₃=1 ppm とした。1 処理 4 回反復である。

生育経過を観察しながら水耕液は 1 週間に 2 回更新した。7月25日に各ポットから 1 本ずつ間引いて、以後の水耕を 1 ポット 3 本とした。間引苗は重量調査をしたのち養分分析を行ない、中間成績として考察の参考にした。9月21日に最終調査を行ない、苗高を測定したのち、葉、幹、根にわけ生重量を測定し、60°~70°C の熱風乾燥機で乾燥し、乾物重量を計算したのち粉碎し、養分分析を行なった。なお本実験では、便宜上苗木の主軸を幹とし、その

他の枝葉は葉とみなしている。

(2) 結果と考察

i) 成長経過

各処理区の苗成長経過は Fig. 20 のとおりである。これによると、-N 区、-P 区、Non 区では最初からほとんど成長せず、5月から9月下旬までの約 5 か月間に数 cm しか伸長していない。これに対し -K 区は、最初からほとんど NPK 区と同等の成長をしている。なお、7月の中旬から下旬にかけて、-N 区では N 欠乏症、-P 区では P 欠乏症があらわれ、Non 区では全体が黄緑色化して N 欠乏症類似の症状をしめた。

塘 (1962)⁹⁰⁾ は、K の完全欠除区のスギ苗は 7 月以降まったく伸長成長が認められないが、K₂O を 2 ppm 添加した場

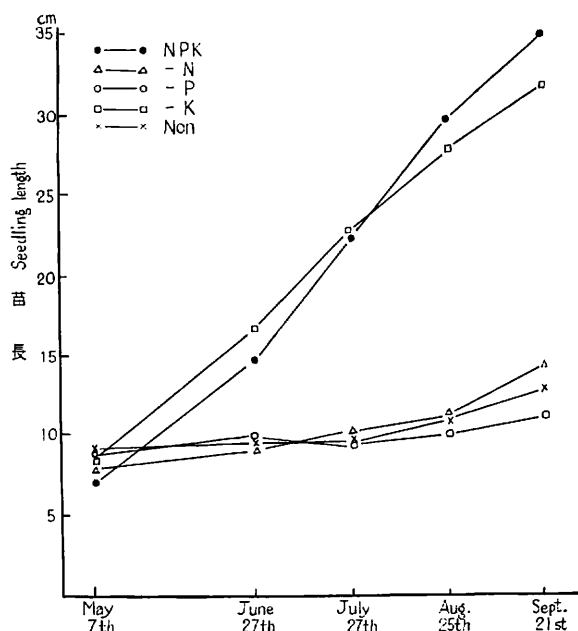


Fig. 20 施肥処理区のスギ苗の苗長成長
The growth of 1-1 seedlings grown in each fertilizer treatment.

合は標準区の 6 割程度の成長が認められたと報告している。筆者の水耕試験の場合は、水道水中に含まれているわずかな K_2O がスギ苗の成長に影響し、そのため -K 区でも相当の成長をしめたのではないと思われる。

ii) 各部位の重量と乾物の構成比率

苗木の部位別の生重量、乾物重量および各部位の乾物構成比率は Table 22 のとおりである。すなわち、

Table 22. スギ水耕苗の各部位の重量と乾物構成比率
Fresh and dry weight, and dry matter construction in each part of the water culture seedlings grown in each treatment

処 理 Treat- ment	部 位 Part	July 25th			Sept. 21st		
		生 重 量 Fresh weight (g)	乾 物 重 量 Dry weight (g)	乾物構成比率 Dry matter construction (%)	生 重 量 Fresh weight (g)	乾 物 重 量 Dry weight (g)	乾物構成比率 Dry matter construction (%)
NPK	葉 Leaf	24.8	4.8	68	56.6	14.7	68
	幹 Stem	4.5	1.0	14	7.8	2.4	11
	根 Root	7.6	1.3	18	25.1	4.3	21
	合計 Whole	36.9	7.1	100	89.5	21.4	100
-N	葉 Leaf	3.0	1.0	47	7.3	1.4	46
	幹 Stem	0.9	0.3	13	1.2	0.4	14
	根 Root	4.4	0.9	40	8.2	1.2	40
	合計 Whole	8.3	2.2	100	16.7	3.0	100
-P	葉 Leaf	4.0	1.2	47	11.0	2.4	54
	幹 Stem	1.3	0.3	13	1.7	0.6	12
	根 Root	5.3	1.0	40	9.6	1.6	34
	合計 Whole	10.6	2.5	100	22.3	4.6	100
-K	葉 Leaf	19.6	4.4	70	43.3	11.9	71
	幹 Stem	3.9	1.0	15	6.1	2.0	12
	根 Root	5.6	1.0	15	16.4	2.8	17
	合計 Whole	29.1	6.4	100	65.8	16.7	100
Non	葉 Leaf	4.2	1.1	47	3.7	0.8	35
	幹 Stem	1.4	0.3	12	0.8	0.3	15
	根 Root	6.6	1.0	41	5.3	1.1	50
	合計 Whole	12.2	2.4	100	9.8	2.2	100

重量でみると -K 区の苗木は、NPK 区にくらべて 8 割程度の重量成長をしているが、その他の区はすべて NPK 区にくらべると 3 割以下の成長しかしていない。とくに Non 区では、7 月 25 日の時より 9 月 21 日の方が重量が軽いという誤差に影響されるような成長しかしていない。

9 月 21 日の調査において、NPK 区の乾物重量を 100 として、各要素欠区の成長指数をもとめると、-N 区 14、-P 区 21、-K 区 78 となる。

部位別の乾物の構成比率を、NPK 区を基準にして考えてみると、-K 区の苗木は NPK 区の苗木とはほぼ類似した乾物構成比率をみせているが、-N 区、-P 区、Non 区では根の乾物構成比率が多くて、地上部とくに葉の構成比率が少なくなっている。すなわち、要素欠除で成長阻害を起こした苗木は、葉の乾物構成比率がすくなくなっている。

iii) 苗木の T/R 比および苗木の弱さ度

苗木の形質判定の一法として、9 月に採取した苗木の T/R および BAKER の Index of Slenderness³⁾ に準じて苗木の弱さ度(苗木/地上部乾物重量)を計算すると Table 23 のとおりである。

すなわち、NPK 区を基準にして考えると、-N、-P、Non 区では T/R が低かったということ

Table 23. 苗木の T/R および弱さ度
 $T-R$ ratio and index of slenderness of the water culture seedlings
 grown in each treatment

項目 Items	処理 Treatment	NPK	-N	-P	-K	Non
T/R		4.0	1.5	1.9	5.0	1.0
弱さ度 Index of slenderness		2.0	6.9	4.8	2.3	11.3

は、根の発達が良好であったというより、逆に地上部の成長が非常に阻害されたためであり、弱さ度などの点からみても、形質不良の苗が生産されたということになる。-K 区では NPK 区の苗にくらべ、大差はないが、 T/R 、弱さ度ともに NPK 区よりやや高く、NPK 区のものより形質的にやや不良の傾向をしめしていると考えられる。

筆者 (1959)²⁰²¹⁾はスギに対して K の施用量にくらべて、異常に多量の N を与えた場合、乾物生産のともなわない異常な伸長成長をする可能性を指摘したが、-K の状態では、しばしば -N、-P などの状態にくらべると外観的に成長不良の現象が認められない場合が多いけれども、苗木の T/R や弱さ度などからみた形質は、不良化の傾向をしめしていることを考慮すべきである。

iv) 各部位の養分濃度

7月下旬および9月下旬に採取した苗木の各部位の養分濃度は Fig. 21 のとおりである。

この図で7月と9月の各苗の養分濃度の傾向を比較してみると、2, 3の例外はあるが、全体としては類似した傾向と思われるので、以下9月下旬の苗木について考察することにする。

N の濃度は全般的に -K 区で高く、-N 区と Non 区で低い、すなわち、葉と根では $-K > NPK \approx -P > -N \approx Non$ の傾向であり、幹では $-K \approx -P > NPK > -N \approx Non$ となっている。

P_2O_5 の濃度は葉と幹では $-N > NPK \approx -K > -P \approx Non$ であり、根では $-K > NPK \approx -N > -P \approx Non$ となっている。

K_2O の濃度は、-N 区で高い傾向がみられ、葉と幹では $-N > -P \approx Non > NPK > -K$ であり、根では $NPK > -N > -P > Non > -K$ となっている。

CaO の濃度は -N 区で高く、葉では $-N > Non > -K > NPK \approx P$ であり、幹では $-N \approx Non > -K \approx NPK$ 、根では $-N > -P > -K \approx Non \approx NPK$ となっている。

すなわち、各部位とも -N 区で N % が、-P 区で P_2O_5 % が、-K 区で K_2O % が低くなり、Non 区で P_2O_5 % が低く、CaO % が高い傾向がみられる。

植物体の葉は、その植物の栄養状態を最も敏感に反映させる器官といわれているが、本実験で使用したような幼齡の苗木の場合には、葉に限らず幹でも根でもその栄養状態を敏感に反映させているといえることができる。

v) 養分含有量とその分布

各処理区の苗木の部位別の養分含有量およびその苗体内における分布は Table 24 のとおりである。

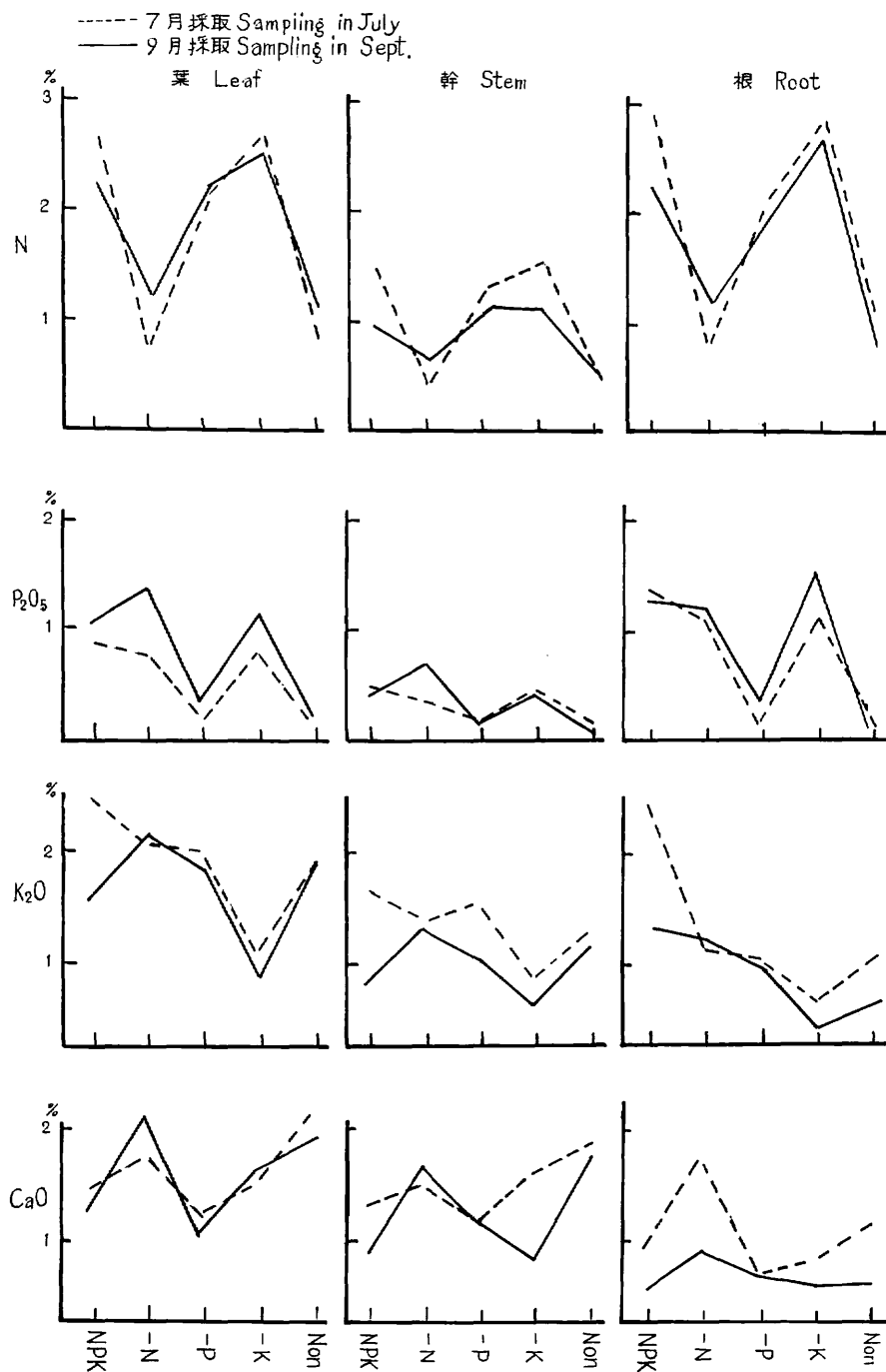


Fig. 21 スギ水耕苗の部位ごとの養分濃度
 Nutrient concentration in each part of the
 seedlings grown in each fertilizer treatment.

Table 24. スギ水耕苗の養分含有量と部位別の分布
Nutrient contents and its distribution to each part of the seedlings grown in each treatment

処 理 Treatment	部 位 Part	July 25th				Sept. 21st			
		N mg	P ₂ O ₅ mg	K ₂ O mg	CaO mg	N mg	P ₂ O ₅ mg	K ₂ O mg	CaO mg
NPK	葉 Leaf	126.8(71)	40.4(65)	117.8(72)	66.0(73)	319.8(73)	148.2(70)	225.9(75)	195.1(82)
	幹 Stem	15.0(9)	4.5(8)	16.3(10)	13.1(14)	23.2(5)	10.0(4)	19.5(6)	20.5(8)
	根 Root	36.5(20)	17.0(27)	30.4(18)	11.6(13)	97.9(22)	57.6(26)	57.2(19)	22.9(10)
	合計 Whole	178.3(100)	61.9(100)	164.5(100)	90.7(100)	440.9(100)	215.8(100)	302.6(100)	238.5(100)
-N	葉 Leaf	7.5(47)	7.6(40)	20.4(60)	17.6(47)	16.1(48)	19.9(53)	30.4(61)	30.5(62)
	幹 Stem	1.5(10)	1.1(6)	4.1(12)	4.5(22)	2.9(9)	3.0(8)	5.9(11)	7.4(16)
	根 Root	6.8(43)	10.3(54)	9.7(28)	15.1(41)	14.5(43)	14.8(39)	13.8(28)	11.0(22)
	合計 Whole	15.8(100)	19.0(100)	34.2(100)	37.2(100)	33.5(100)	37.7(100)	50.1(100)	48.9(100)
-P	葉 Leaf	24.3(49)	1.8(49)	22.9(60)	14.4(56)	53.2(59)	7.1(56)	47.3(68)	26.1(60)
	幹 Stem	4.2(9)	0.4(10)	5.1(13)	3.8(15)	6.7(7)	0.8(6)	6.1(9)	6.6(15)
	根 Root	21.0(42)	1.5(41)	10.3(27)	7.4(29)	31.0(34)	4.8(38)	15.8(23)	10.9(25)
	合計 Whole	49.5(100)	3.7(100)	38.3(100)	25.6(100)	90.9(100)	12.7(100)	69.2(100)	43.6(100)
-K	葉 Leaf	120.3(73)	35.1(68)	48.0(76)	67.0(73)	300.8(75)	123.7(70)	97.5(84)	189.1(85)
	幹 Stem	15.5(10)	4.6(9)	8.2(13)	16.7(18)	23.6(6)	8.8(5)	6.8(6)	16.4(7)
	根 Root	28.4(17)	11.7(23)	6.9(11)	8.5(9)	77.0(19)	43.4(25)	11.4(10)	17.0(8)
	合計 Whole	164.2(100)	51.4(100)	63.1(100)	92.2(100)	401.4(100)	175.9(100)	115.7(100)	222.5(100)
Non	葉 Leaf	10.0(47)	1.7(40)	21.4(60)	24.3(58)	8.0(43)	1.1(35)	14.9(57)	14.9(54)
	幹 Stem	1.5(6)	0.5(12)	3.7(11)	5.5(14)	1.8(9)	0.4(13)	3.8(15)	5.7(20)
	根 Root	10.0(47)	2.0(48)	10.3(29)	11.8(28)	9.0(48)	1.6(52)	7.3(28)	7.1(26)
	合計 Whole	21.5(100)	4.2(100)	35.4(100)	41.6(100)	18.8(100)	3.1(100)	26.0(100)	27.7(100)

() は分布割合。Shows distribution ratio.

NPK, -N, -K 区では9月21日に採取した苗の養分含有量は、7月25日に採取したものに比べ、倍率でみると各養分とも2〜3倍に増加しているが、増加の絶対量でみると、-N区や-P区では増加量が非常にすくない。Non区では7月の時より9月の方が逆に減少している。これは養分吸収がほとんど行なわれず、誤差の方が強くあらわれたためと思われる。

苗木各部位における養分の分布は、7月25日の苗と9月21日の苗で本質的な違いが認められないので、以下9月採取の苗木についてのべる。

NPK区では、各養分とも葉に70%以上が分布し、幹には4〜8%、根には10〜26%分布している。-K区の苗木の養分分布もほぼNPK区と類似した傾向になっている。しかし-N区、-P区、Non区では、葉への養分分布割合が低下し、根への養分分布割合が増加している。この傾向は、乾物の構成比率で認められた傾向と同じであるが、NPK区の苗の養分分布を基準に考えると、-N、-P、Non区では各養分の葉への移行が阻害されたが、-K区ではこの阻害がおこらなかったというように考えられる。

-N、-P区ではそれぞれの養分濃度が低下し、成長も低下し、苗木内における養分分布も乱されているが、-K区では $K_2O\%$ が低下しただけで、成長もそれほど低下せず、苗木内における養分分布も乱されていないということは、 K_2O は、生理的にNや P_2O_5 とは異なったグループとして取り扱うべき性質のものではないかと思われる。

またNon区では、NPK区にくらべ、ただ単に養分濃度が低かったり、成長が悪かったりするだけでなく、養分分布も乱され、体内の生理作用も相当に乱された状態のものであるといえる。

Table 25. スギ苗木内の養分比
Nutrition balance in the seedlings grown
in each treatment

部 位 Part	処 理 Treatment	N/P_2O_5	N/K_2O	K_2O/P_2O_5
葉 Leaf	NPK	2.2	1.4	1.5
	-N	0.8	0.5	1.5
	-P	7.5	1.1	6.7
	-K	2.4	3.1	0.8
	Non	7.4	0.5	4.7
苗木全体 Whole seedling	NPK	2.0	1.5	1.4
	-N	0.9	0.7	1.3
	-P	7.2	1.3	5.4
	-K	2.3	3.5	0.7
	Non	6.1	0.7	8.4

vi) 養 分 比

苗木内における養分比を計算してみると、Table 25 のようになる。

NPK区の数値を基準にしてみると、-N区では N/P_2O_5 、 N/K_2O が低下し、-P区では N/P_2O_5 、 K_2O/P_2O_5 が増加し、-K区では N/K_2O が増加し、 K_2O/P_2O_5 が低下している。すなわち、養分欠除区では該当する欠除養分が関係する養分比で乱れがみられるが、それ以外の養分が関係する養分比は

NPK区のものとはほぼ類似した値を示している。このような現象から考えると、河田ら(1966)⁴¹⁾はスギ、ヒノキの幼齡林施肥試験地で葉分析を行ない施肥によりN/P、N/Kの低下が認められる場合が多いと報告しているが、これは普遍的な傾向ではなく、養分比は、その立地の制限因子となる養分によってくる性質のものと思われる。

Non区では N/P_2O_5 、 K_2O/P_2O_5 が増加し、 N/K_2O が低下している。すなわち、いずれの養分比とも乱れがみられる。

(3) 要 約

N, P, K を欠除した水耕液で苗木を生育させた場合、完全栄養の状態では生育させた苗木にくらべて、

苗木各部位の養分濃度はどのように変化し、苗木体内における乾物や養分の分布状態がどのように変わってくるかをしらべた。

i) 苗長成長、重量成長ともに -N, -P, Non 区で非常に悪かったが、-K 区では NPK 区にくらべそれほど低下しなかった。

ii) 乾物の部位別の構成比率を NPK 区を基準にして考えてみると、-K 区の苗木は NPK 区の苗木とはほぼ類似の構成比率であるが、-N, -P, Non 区では、葉の構成比率が少なくなっている。

iii) T/R, 苗木の弱さ度からみた苗木の形質は -N, -P, Non 区では不良である。-K 区では、-N, -P 区などにくらべると顕著ではないが、NPK 区にくらべ形質不良の傾向をしめしている。

iv) 養分濃度は葉、幹、根ともに -N 区では N% が、-P 区では P_2O_5 % が、-K 区では K_2O % が、Non 区では N, P_2O_5 % がそれぞれ低下している。

v) 苗木体内における養分の分布割合をみると、-K 区の苗木は NPK 区の苗木とはほぼ類似した傾向を示しているが、-N, -P, Non 区では、葉への分布割合が著しく低下している。

vi) 苗木体内における養分比を NPK 区の苗木を基準に考えてみると、養分欠除区では該当する欠除養分が関係する養分比で乱れがみられる。

1. 2 土壌で施肥量を 2 段階に変えた場合の 3 要素試験*

(1) 目的と方法

この試験は、素焼鉢でスギまきつけ苗を使って、施肥量を 2 段階に変えた状態の 3 要素試験を行ない、これらの苗の成長、養分吸収状態をしらべたものである。

この試験では、3 要素試験を土壌養分に不均衡をもたらす一手段として採用し、施肥量を慣行施肥量区と倍量区 (慣行施肥量の 2 倍区) の 2 段階にして、後者では養分の不均衡をより強く表現しようと考えた。この試験は 1960 年に林業試験場目黒苗畑で行なったものである。

径 30cm, 深さ約 30cm の素焼製鉢に関東ロームに由来する目黒苗畑の土壌を 7 kg あてつめ、鉢の深さの 8 割程度まで土中にはいるように埋めこんだ。供試土壌は、苗畑の未開墾の部分から採取したので、各養分とも不足の状態にあり、pH (H_2O) 5.5, C 5.5%, N 0.48%, $N/5 HCl$ 可溶の P_2O_5 は 7 ppm, 置換性の K は 0.20 milli eq. であった。またリン酸吸収係数は 2,000 で、関東ロームの一般的性状を備えていた。

この供試土壌に 4 月 2 日炭酸苦土石灰を 40g/ポット施用し、pH (H_2O) を 6.5 にきょう正し、4 月 8

Table 26. 1 鉢あたりの施肥量
Amount of added fertilizer per pot

要素 Element	処理 Treat- ment	慣行施肥量区 Usual amount				2 倍量区 Twice amount				Non (g)
		NPK (g)	PK (g)	NK (g)	NP (g)	2(NPK) (g)	2(PK) (g)	2(NK) (g)	2(NP) (g)	
N		1	0	1	1	2	0	2	2	0
P_2O_5		1	1	0	1	2	2	0	2	0
K_2O		1	1	1	0	2	2	2	0	0

備考: 硫安, 過リン酸石灰, 硫酸カリを使用。
Note: Ammonium sulphite, Superphosphate and Potassium sulphite are added.

*本論文の内容の一部は文献 23 に発表した。

日各区に Table 26 に記載した肥料を施し、9 処理区を3 回反復で設定した。4 月 10 日に原町営林署管内産のスギ種子を 0.7g/ポットあて播種した。その後は当苗畑の慣行にしたがって、除草、日裂、消毒を適宜行ない、間引きは 50本/ポットの成立を目標に7 月上旬まで行なった。10 月 30 日掘取り調査を行ない、苗木は乾燥して乾物重量を測定後、粉碎して養分分析に供した。分析方法は、第 I 章 1 で述べた方法に準じた。

(2) 結果と考察

i) 成 長

6 月中旬ころ 2 (PK) 区の苗木には N 不足の症状が、2 (NK) 区の苗木には P 不足の症状があらわれたが、PK 区、NK 区ではこれらの症状は明りょうでなかった。掘取り調査時における成長状態は Table 27 のとおりである。

Table 27. 各 処 理 区 の 成 長
The growth of seedlings grown in each treatment

処 理 Treatment		慣 行 施 肥 量 区 Usual amount				2 倍 量 区 Twice amount				Non
		NPK	PK	NK	NP	² (NPK)	2(PK)	² (NK)	2(NP)	
苗 長 (cm) Top length		8.7	8.2	7.2	7.3	8.9	7.5	6.5	7.6	6.6
生 重 量 Fresh weight	地上部 Top	1.26	1.12	0.96	0.92	1.38	1.08	0.83	1.01	0.80
	根 Root	0.49	0.54	0.49	0.36	0.53	0.50	0.41	0.47	0.33
	全 体 Whole	1.75	1.66	1.45	1.28	1.91	1.58	1.24	1.48	1.13
乾物重量 Dry weight	地上部 Top	0.38	0.32	0.27	0.28	0.41	0.31	0.23	0.29	0.24
	根 Root	0.20	0.13	0.11	0.11	0.14	0.11	0.09	0.11	0.09
	全 体 Whole	0.58	0.45	0.38	0.39	0.55	0.42	0.32	0.40	0.33
乾 物 重 量 指 数 Dry weight index		100	78	66	67	100	76	58	72	57 (60)*

* : () は 2 倍量区の乾物重量指数。() Shows dry weight index of twice amount plot.

Table 28. 苗木の T/R および弱さ度
T/R ratio and index of slenderness of the seedlings grown in each treatment

処 理 Treatment	NPK	PK	NK	NP	2(NPK)	2(PK)	2(NK)	2(NP)	Non
T/R	1.9	2.5	2.5	2.5	2.6	2.8	2.6	2.7	2.7
弱 さ 度 Index of slenderness	23	26	27	26	22	24	28	26	28

施肥処理別にみると、苗長成長、重量成長ともに NPK 区、2 (NPK) 区の 3 要素区で大であり 1 要素欠除区や Non 区では小である。慣行施肥量区では $NPK > PK > NP \approx NK$ の傾向があり、2 倍量区では $2(NPK) > 2(NP) > 2(PK) > 2(NK)$ となった。一般に施肥量を 2 倍にした場合の成長増加に対する効果はみられなかったが、 $PK > 2(PK)$, $NK > 2(NK)$ の傾向があり、-N や -P の状態では、これら欠除要素以外の他の養分を倍量施肥することにより、苗長、乾物重量は逆に低下し、負の影響がみられる。とくに 2 (NK) 区は Non 区とほぼ同等の成長しかしていない。

つぎに、各処理区の苗木の T/R および弱さ度を計算すると Table 28 のようになる。すなわち、全般的に3要素区では T/R や弱さ度の値が小さく、1要素欠除区では T/R や弱さ度が高い値をしめしている。倍量施肥により T/R はやや高まる傾向がみられるが、弱さ度ではそれほど顕著でない。

ii) 養 分 濃 度

各処理区の苗木の養分濃度は Table 29 のとおりである。

Table 29. 各処理区の苗木の養分濃度
Nutrient concentration of the seedlings grown in each treatment

養 分 Nu- trition	部 位 Part	慣 行 施 肥 量 区 Usual amount				2 倍 量 区 Twice amount				Non
		NPK	PK	NK	NP	2(NPK)	2(PK)	2(NK)	2(NP)	
N (%)	地上部 Top	0.82	0.81	0.75	0.87	0.87	0.91	0.98	0.97	0.94
	根 Root	0.98	0.90	0.95	0.92	0.91	1.00	1.04	0.98	0.99
P_2O_5 (%)	地上部 Top	0.30	0.31	0.24	0.33	0.31	0.41	0.30	0.34	0.26
	根 Root	0.24	0.25	0.23	0.26	0.25	0.29	0.22	0.27	0.26
K_2O (%)	地上部 Top	1.26	1.45	1.33	0.74	1.48	1.55	1.56	0.55	0.78
	根 Root	0.66	0.75	0.71	0.42	0.84	0.83	0.81	0.44	0.49

養分濃度を施肥処理別にみると、N% の変化は一般に不明りようで、-Nや Non の状態でも NPK 区より濃度が高くなっている例がある。倍量施肥により N% はやや高まる傾向がみられる。 P_2O_5 % は -P の状態で少ない傾向がみられる。倍量施肥により P_2O_5 % はやや高まる傾向がみられる。 K_2O % は -K の状態で顕著に低下している。倍量施肥による K_2O % の変化は、-K の状態以外では明らかに増加している。

すなわち、全体の傾向として、施肥処理の効果が養分濃度にもあらわれていると考えられる。

iii) 養分吸収量および養分比

各苗木の1本あたりの養分吸収量は Table 30 のとおりである。養分吸収量を処理別にみると、Nの吸収量は NPK 区、2 (NPK) 区で大で、NK 区、2 (NK) 区、Non 区で小である。すなわち、Nの吸収量は -P の処理で低下している。 P_2O_5 の吸収量は、やはり NPK 区、2 (NPK) 区で大で、NK 区、2 (NK) 区、Non 区で小である。すなわち、 P_2O_5 の吸収量も -P の処理で低下している。 K_2O の吸収量は、NPK 区、2 (NPK) 区で大で NP 区、2 (NP) 区、Non 区で小である。すなわち、 K_2O の吸収量は -K の状態で低下している。慣行量施肥にくらべ倍量施肥による N、 P_2O_5 、 K_2O の吸収量の変化はそれほど顕著ではない。

体内の養分比を NPK 区を基準にして考えると -N の状態、すなわち PK 区では K_2O/P_2O_5 がやや増加しているが、2 (PK) 区では低下していて、慣行施肥量区と2倍量区で一定の傾向がみられない。-P の状態すなわち NK 区、2 (NK) 区では K_2O/P_2O_5 が高くなっていて、 K_2O の吸収にくらべ P_2O_5 の吸収がすくないことがわかる。-K の状態、すなわち NP 区、2 (NP) 区では、 K_2O/P_2O_5 が低下し、N/ K_2O が高くなっていて、 P_2O_5 や N の吸収にくらべ K_2O の吸収がすく

Table 30. 各処理区に生育した苗木の養分吸収量および苗体内における養分比
Nutrients contents of and nutrient balance in the seedlings grown in each treatment

養 分 Nu- trition	部 位 Part	慣 行 施 肥 量 区 Usual amount				2 倍 量 区 Twice amount				Non
		NPK	PK	NK	NP	2(NPK)	2(PK)	2(NK)	2(NP)	
N (mg)	地上部 Top	3.12	2.59	2.03	2.44	3.57	2.82	2.25	2.81	2.26
	根 Root	1.96	1.17	1.05	1.01	1.27	1.10	0.93	1.08	0.89
	全 体 Whole	5.08	3.76	3.08	3.45	4.84	3.92	3.18	3.89	3.17
P ₂ O ₅ (mg)	地上部 Top	1.14	0.99	0.65	0.92	1.27	1.27	0.69	0.99	0.62
	根 Root	0.48	0.33	0.25	0.29	0.35	0.32	0.20	0.30	0.23
	全 体 Whole	1.62	1.32	0.90	1.21	1.62	1.59	0.89	1.29	0.85
K ₂ O (mg)	地上部 Top	4.79	4.64	3.59	2.07	6.07	4.80	3.59	1.60	1.87
	根 Root	1.32	0.98	0.78	0.46	1.18	0.91	0.73	0.48	0.44
	全 体 Whole	6.11	5.62	4.37	2.53	7.25	5.71	4.32	2.08	2.31
地上部計 の養分比 Nutrition balance in top	N/P ₂ O ₅	2.7	2.6	3.1	2.7	2.8	2.2	3.3	2.8	3.6
	K ₂ O/P ₂ O ₅	4.2	4.7	5.5	2.3	4.8	3.8	5.2	1.6	3.0
	N/K ₂ O	0.7	0.6	0.6	1.2	0.6	0.6	0.6	1.8	1.2
全 体 の 養 分 比 Nutrition balance in whole seedling	N/P ₂ O ₅	3.1	2.8	3.4	2.9	3.0	2.5	3.6	3.0	3.7
	K ₂ O/P ₂ O ₅	3.8	4.3	4.9	2.0	4.5	3.6	4.9	1.6	2.7
	N/K ₂ O	0.8	0.7	0.7	1.4	0.7	0.7	0.7	1.9	1.4

ないことがわかる。第Ⅱ章 1.1 で述べたように、ここでも養分欠除区では、該当する欠除養分の関係する養分比が変化する傾向がみられる。

Non 区では N/P₂O₅、N/K₂O が高くなり、K₂O/P₂O₅ が低くなっている。すなわち、N の吸収にくらべ P₂O₅ や K₂O の吸収が少なく、P₂O₅ にくらべ K₂O の吸収がより少ない傾向が認められる。この傾向は第Ⅱ章 1.1 で述べた水耕の傾向とは異なっているが、これは土壌の性質などにより当然異なっていると思われる。

(3) 要 約

この試験では、施肥量を慣行施肥量区、倍量区の 2 段階に変えて、それぞれの段階で 3 要素試験を行ない、スギまきつけ苗の成長と養分吸収状態をしらべた。

i) 施肥処理別に成長を比較すると、3 要素区で成長良好であり、1 要素欠除区や Non 区で成長不良であるが、とくに -P の状態で成長が低下している。2 倍量施肥により 1 要素欠除の影響が強調され、2 (PK) 区、2 (NK) 区ではそれぞれ PK 区、NK 区より成長が低下している。

T/R、弱さ度などの点からみた苗木の形質は、3 要素区にくらべ、1 要素欠除や Non の状態で、不良になる傾向がみられる。

ii) 養分濃度を施肥処理別にみると、N%, P₂O₅% は -P 区で、K₂O% は -K 区でそれぞれ低下している。

iii) 養分吸収量を施肥処理別にみると、 $-N$ の状態での N 吸収量の低下はみられず、 $-P$ の状態で N , P_2O_5 の吸収量が低下し、 $-K$ の状態で $K_2O\%$ が低下している。慣行施肥量区にくらべ、倍量施肥にともなう N , P_2O_5 , K_2O の吸収量の変化はあまり顕著でない。

NPK 区の苗木を基準にして体内での養分比の変化をみると、養分欠除区では、該当する欠除養分が関係する養分比で乱れがみられる。

2. 林地における肥料3要素試験

(1) 目的と方法

苗畑における肥料の3要素試験は、従来数多く行なわれてきているが、林地での3要素試験は河田ら(1962)²⁹⁾がカラマツ幼齡木について報告したものがあるにすぎない。

ここで述べるのは、スギ幼齡林における要素欠除の影響を調べるために1958年4月静岡県瀬尻国有林および静岡県大日山県有林に設定した3要素試験地の1964年11月までの調査結果である。

試験地の概況は Table 31 のとおりであり、土壌の概要は、後述の Table 37 の瀬尻 Bd(m) および大日山 Bd(d) の欄のとおりである。

Table 31. 3要素試験地の概要
Actual condition of the 3 element fertilized plot

試 験 地 Fertilized plot	瀬 尻 Sejiri	大 日 山 Dainichizan
林 小 班 Block	34(は)	4(ろ)
傾 斜 Inclination	20°	25°
方 位 Direction	S	NW
海 抜 高 Elevation	590m	680m
地 質 母 材 Geology	古 生 層 Palaeozoic 三波川系結晶片岩 Crystalline schist	中 生 層 Mesozoic 三倉層群に属する砂岩、頁岩 Shale and sand stone
土 壌 型 Soil type	Bd(m)	Bd(d)
1 区 の 面 積 Plot area	80m ²	120m ²
1 区 内 の 本 数 Trees per plot	24本	36本
反 復 数 Repetition	2	2

試験地設定当時、この付近はスギの伐採跡地で、枝条類が堆積していたが、植栽前に作業に困難をとまなわない程度に枝条類をまき落として整理した。

1958年4月に NPK 区、 $-N$ 区、 $-P$ 区、 $-K$ 区、Non 区を区画し、植穴を掘ったのち植穴の底に肥料をいれ、間土をおき、3日後に2年生苗木を植栽した。この時の肥料は、 NPK 区には硫安、過リン酸石灰、硫酸カリで、成分量が1本あたり15g—15g—10gになるよう混合して施し、要素欠除区ではそれぞれ該当する1要素をぬいた。その後毎年成長状態を調査し、植栽後2年を経過した1959年11月に各区から樹高、根元径が算術平均値に近い個体2本あて供試木として掘りとり、重量や養分含有量を調査した。また翌3年目の1960年11月に各区から樹高、根元径が算術平均値に近い個体4本あてを供試木として掘りとり、同様の調査をした。この調査方法は第I章1で述べた方法に準じているが、この調査は林木全体の養分含有量を調査することが主目的であったので、枝葉に区別せず一括して測定した。

その後、4生育期を経過した1962年3月に、第2回施肥を行なった。肥料は NPK 区には硫安、過リン酸石灰、硫酸カリを使って、1本あたり成分量が20g—20g—14gになるよう混合し、要素欠除区では

それぞれ該当する 1 要素をぬいて、林木の側方に浅い溝を掘って施用し軽く覆土した。この試験地は 1964 年 11 月すなわち林齢 7 年の時点で調査を終了した。

(2) 結果と考察

i) 7 年間の成長経過

瀬尻および大日山試験地における 7 年間の成長経過は Table 32 のとおりである。

瀬尻では第 1 回施肥後 1 年目の樹高ではほとんど処理差がみられず、2 年目以降でわずかながら Non 区と -P 区で成長低下がみられる。5 年目の時に第 2 回施肥を行なっているが、6 年目以降は N 区、-P 区、Non 区では NPK 区や -K 区にくらべ成長が低下している。胸高直径成長でみても -N、-P、Non 区では NPK 区にくらべ成長が低下している。材積でみると、処理の差がより明りようとなり、5 年目の時点で -P 区、Non 区では NPK 区の約半分の材積成長しかしていない。7 年目の時点における材積成長は

$$NPK > -K > -N \approx -P \approx \text{Non}$$

の傾向になっている。

大日山では、やはり第 1 回施肥の効果がほとんどみられず、樹高成長では、林齢 4 年までは Non 区で成長が劣るだけで、その他の区では NPK 区と同等あるいはそれ以上の成長をしている。しかし、第 2 回施肥後の 5～6 年目では、多少処理間の差があらわれ、Non 区、-N 区で成長がやや低下してくるようである。瀬尻の場合と同じように、材積と比較すると、処理の差がより明りようとなり、7 年目の時点における材積成長は、 $NPK > -K \approx -P > -N > \text{Non}$ の傾向になっている。すなわち、両試験地とも -N 区での成長が不良である。

筆者は第 I 章 1 で、植栽当初のスギは重量成長が少なく養分吸収量もわずかであり、3 年目ころから養分吸収量がふえてくるという経過を報告したが、両試験地とも第 1 回施肥の効果があまりあらわれなかったのは、植栽当初は成長量もすくなく、養分吸収量も少ないためと思われる。

河田ら (1962)³⁹⁾は、カラマツに対する肥料 3 要素試験の結果、N および P の効果が高く、K の効果が低いことを報告し、GESSEL ら¹⁴¹⁾ (1956, 1965) はダグラスファーの森林で N の肥効が大きいことを報告し、また MITSCHERLICH (1956)⁵⁹⁾は、バーデン地方の各種森林で、N および P の施肥効果の大なることを報告している。

筆者の今回の結果も、これとはほぼ類似していて、両試験地とも材積成長は $NPK > -K > -N > \text{Non}$ の傾向をしめしたが、-P 区は瀬尻の場合は -N 区に近い成長であり、大日山の場合は -K 区に近い成長をしめしていた。

しかし、全体の傾向として両試験地とも苗畑などで行なう肥料 3 要素試験の結果にくらべると、あまり明りような成長差は得られなかった。その原因の一つとして、林地のような落葉、落枝の堆積するところでは、腐植層に含まれる潜在的養分のために、1 要素欠除の影響が不鮮明になるからではないかと思われるが、今のところ決め手になる実験結果はない。

ii) 2 年目および 3 年目の時点で調査した各処理区の林木の重量と養分含有量およびそれらの樹体内における分布

2 年目の時点で、各区の樹高、根元直径を毎木調査し、処理別にその算術平均値に類似した成長をしている林木 2 個体あてを供試木として掘りあげ、重量や養分含有量を調査した結果を平均値でしめすと、

Table 32. 瀬尻および大日山試験地におけるスギの成長経過
Growth of fertilized trees for a period of 7 years at Sejiri and Dainichizan area

試驗地 Plot	處理 Treat- ment	林 齡 Age							
		0	1	2	3	4	5	6	7
瀬 尻 Sejiri	樹 高 Height (cm)								
	N P K	35	47(100)	118(100)	175(100)	246(100)	348(100)	420(100)	505(100)
	— N	38	46(98)	109(92)	158(90)	230(94)	312(90)	395(94)	484(96)
	— P	36	47(100)	103(87)	157(90)	219(89)	312(90)	405(96)	488(97)
	— K	37	48(102)	112(95)	157(90)	228(93)	326(94)	421(100)	512(101)
	Non	36	43(91)	102(86)	153(87)	228(93)	310(89)	409(97)	499(99)
	胸 高 直 径 D. B. H. (cm)								
	N P K				1.0(100)	2.3(100)	3.9(100)	5.1(100)	6.7(100)
	— N				0.9(90)	2.1(91)	3.1(79)	4.6(90)	6.2(93)
	— P				0.8(80)	1.8(78)	3.0(77)	4.5(88)	6.0(92)
	— K				0.9(90)	1.9(83)	3.3(85)	5.0(98)	6.5(97)
	Non				0.8(80)	1.9(83)	2.9(74)	4.8(94)	6.1(92)
	材 積 Volume (dm ³)								
	N P K				0.11(100)	0.64(100)	2.76(100)	5.40(100)	11.62(100)
	— N				0.10(91)	0.60(94)	1.60(58)	4.42(82)	9.53(82)
	— P				0.10(91)	0.42(66)	1.40(51)	4.16(77)	9.29(80)
	— K				0.10(91)	0.45(70)	1.68(61)	5.40(100)	11.08(95)
	Non				0.10(91)	0.45(70)	1.40(51)	4.86(90)	9.50(82)
大 日 山 Dainichizan	樹 高 Height (cm)								
	N P K	36	59(100)	130(100)	176(100)	230(100)	294(100)	350(100)	402(100)
	— N	38	61(103)	133(102)	177(101)	229(100)	281(96)	337(96)	405(100)
	— P	38	66(112)	129(100)	182(103)	234(102)	285(99)	346(99)	407(101)
	— K	39	67(114)	133(102)	185(105)	232(101)	293(100)	349(100)	399(99)
	Non	39	56(95)	118(91)	167(95)	220(96)	273(93)	320(91)	387(96)
	胸 高 直 径 D. B. H. (cm)								
	N P K				1.3(100)	2.1(100)	3.1(100)	4.7(100)	6.0(100)
	— N				1.3(100)	2.0(95)	2.9(94)	4.6(98)	5.7(95)
	— P				1.2(92)	2.1(100)	3.0(97)	4.7(100)	5.8(97)
	— K				1.2(92)	2.1(100)	3.1(100)	4.7(100)	5.9(98)
	Non				1.1(85)	2.0(95)	2.7(87)	4.3(91)	5.5(92)
	材 積 Volume (dm ³)								
	N P K				0.15(100)	0.53(100)	1.44(100)	3.95(100)	7.41(100)
	— N				0.15(100)	0.46(87)	1.14(79)	3.65(92)	6.73(91)
	— P				0.13(87)	0.53(100)	1.32(92)	3.90(98)	7.00(94)
	— K				0.13(87)	0.53(100)	1.43(99)	3.93(99)	7.10(96)
	Non				0.11(73)	0.44(83)	1.01(70)	3.02(76)	6.00(81)
↑第1回施肥 1st. fertilizer added									
↑第2回施肥 2nd. fertilizer added									

↑ 第1回施肥
1st. fertilizer added

↑ 第2回施肥
2nd. fertilizer added

Table 33. 2 年生スギの重量と養分含有量
Weight and nutrient contents of 2 years old fertilized trees

試験地 Plot	処 理 Treatment	生 重 量 Fresh weight (g)	乾物重量 Dry weight (g)	養分含有量 Nutrient contents			備 考 Note
				N (g)	P ₂ O ₅ (g)	K ₂ O (g)	
瀬 尻 Seiri	N P K	623	273	2.95	0.70	2.27	N P K 区の計算上の養 分吸収率 Calculated nutrient absorption ratio N=12% P ₂ O ₅ =3% K ₂ O=11%
	- N	449	198	1.77	0.58	1.77	
	- P	345	134	1.26	0.38	1.44	
	- K	387	138	1.31	0.37	1.46	
	Non	357	124	1.16	0.23	1.13	
大 日 山 Dainichizan	N P K	927	342	3.06	0.80	2.81	N P K 区の計算上の養 分吸収率 Calculated nutrient absorption ratio N=4% P ₂ O ₅ =0.5% K ₂ O=1%
	- N	780	293	2.18	0.62	1.97	
	- P	968	342	2.92	0.71	2.64	
	- K	753	289	2.34	0.64	2.24	
	Non	831	310	2.50	0.73	2.70	

Table 33 のとおりである。2 個体の調査のため 個体誤差が多少あり、各処理区の林木の重量の傾向は必ずしも Table 32 の成長傾向と完全に一致はしていないが各処理区の養分含有量の差は僅少であり、N P K 区と Non 区の養分含有量の差を第 1 回施肥要素量で除してみると、備考欄に示したように 2 年間の計算上の肥料吸収率は N で 4～12%、P₂O₅ で 0.5～3%、K₂O で 1～11% にすぎないという結果が得られる。i) の成長経過の項で、第 1 回施肥の効果が成長に明りょうにあらわれなかったのは、植栽当初は成長や養分吸収量がわずかであるためと考えたが Table 33 の結果からみても、このことが裏書きされていると思われる。

つぎに、3 年目の時点でふたたび同様の調査を行なった結果を幹、枝葉、根別に表示してみると Table 34 のようになる。この調査は 1 区 4 本あて供試木として測定しているが、やはり個体誤差が多少あって、各処理区の重量の傾向は、必ずしも Table 32 の成長傾向と完全な一致はしない。

瀬尻試験地では、重量は N P K > -N > -P > -K > Non の傾向がある。養分濃度は、処理間で明りょうな傾向が認められず、養分含有量は、重量の傾向とはほぼ類似していて、いずれの養分とも N P K > -N > -K > -P > Non の傾向がみられる。樹体内における乾物構成比率は、処理による差がほとんど認められず、養分の分布割合も -N 区の枝葉部への N 分布、Non 区の枝葉部への K₂O 分布がやや変化しているだけで、処理による差はあまり明りょうでない。

大日山試験地では、重量は N P K > -K > -P > Non > -N の傾向であったが、養分濃度は処理間で明りょうな傾向が認められず、養分含有量は、N は N P K > -K > -P > -N > Non、P₂O₅ は N P K > -K > -N > Non > -P、K₂O は N P K > -K > -N > -P > Non の傾向になっている。樹体内における乾物や養分分布をみると、-P 区の枝葉部への乾物および各養分の分布割合が低下しているだけで、その他の区では差がほとんど認められない。

すなわち、第 II 章 1. 1 で認められたような要素欠除で成長が低下した場合、葉の乾物構成比率や養分分布割合が低下するという現象は認められなかった。

N P K 区と Non 区の養分含有量を第 1 回の施肥要素量で除してみると、備考に示したように、3 年間の計算上の肥料の吸収利用率は N で 22～29%、P₂O₅ で 6～8%、K₂O で 43～59% であり、2 年

目の時点とくらべてみると相当増加していることになるが、しかし3年間の吸収率としては案外少ない。

iii) 6年目の時点で調査した各処理区の林木の葉の養分濃度、養分比

瀬尻の3要素試験地で、6年目の時点で葉分析を行なった。供試木には、各処理区で平均的な成長をしているもの2個体、平均値より大きな成長をしているもの2個体、平均値より小さな成長をしているもの2個体、計6個体あてを選んだ。各個体の樹冠上部の側枝の当年生葉を採取し、第I章3で述べた方法で試料を調整したのち、N, P_2O_5 , K_2O , CaO を分析した。養分濃度を樹高と対比させて図示すると Fig. 22 のようになる。

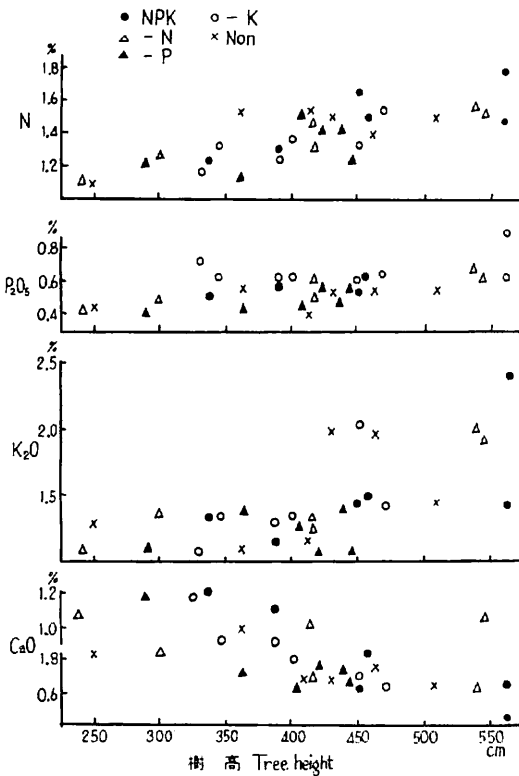


Fig. 22 瀬尻の肥料3要素試験地における6年目の葉の養分濃度と樹高

The relation between nutrient concentration of leaves and the tree height of 6 years old trees grown in three element fertilizer treatment.

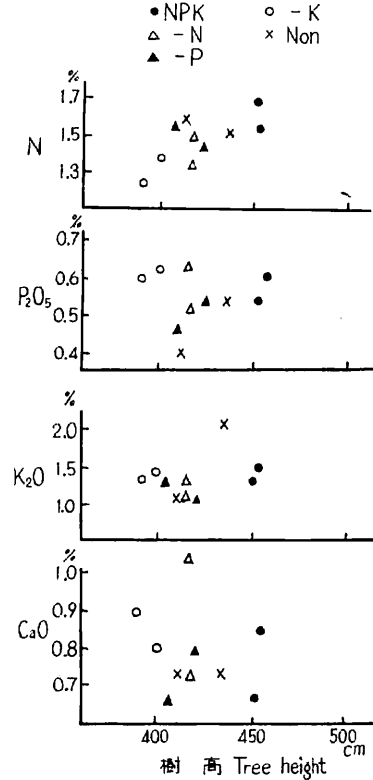


Fig. 23 3要素施肥試験地の6年目の平均木の葉の養分濃度と樹高

The relation between nutrient concentration of leaves and tree height of 6 years old average trees grown in three element fertilizer treatment.

これによると、第I章3で述べた傾向とほぼ似た傾向で、N, K_2O の濃度は、樹高と正の相関関係の傾向、CaO 濃度は樹高と負の相関関係の傾向がみられる。しかし、NPK 区ではとくに養分濃度が高いとか、-N 区では N 濃度が低いとかいう、処理間のちがいは認められない。

第II章1の水耕による3要素試験では、欠除した養分が葉で非常に顕著に低下していたが、林地3要素試験ではこのような明りょうな関係は認めることができなかった。

すなわち、葉の養分濃度は、施肥の状態よりその個体の成長状態との関係に強く左右されるようで、

Table 34. 3年生スギ肥培木の重量と養分
Weight and nutrient contents of 3 years old fertilized

試験地 Plot	処 理 Treatment	部 位 Part of trees	生 重 量 Fresh weight	乾 物 重 量 Dry weight	養分濃度
					N
瀬 尻 Sejiri	N P K	幹 Stem	630	284(23)	0.24
		枝葉 Leaves and twig	1,390	597(48)	0.82
		根 Root	600	360(29)	0.30
		全体 Whole	2,620	1,241(100)	
	- N	幹 Stem	458	206(23)	0.24
		枝葉 Leaves and twig	940	376(41)	0.91
		根 Root	543	325(36)	0.51
		全体 Whole	1,941	907(100)	
	- P	幹 Stem	420	193(25)	0.26
		枝葉 Leaves and twig	890	356(46)	0.83
		根 Root	455	223(29)	0.34
		全体 Whole	1,765	772(100)	
	- K	幹 Stem	423	227(32)	0.28
		枝葉 Leaves and twig	690	287(40)	1.15
		根 Root	343	201(28)	0.30
		全体 Whole	1,456	715(100)	
	Non	幹 Stem	335	155(24)	0.24
		枝葉 Leaves and twig	680	278(44)	0.90
		根 Root	335	195(32)	0.28
		全体 Whole	1,350	628(100)	
大 日 山 Dainichizan	N P K	幹 Stem	815	334(24)	0.31
		枝葉 Leaves and twig	1,471	567(41)	1.51
		根 Root	718	474(35)	0.36
		全体 Whole	3,004	1,375(100)	
	- N	幹 Stem	502	216(24)	0.30
		枝葉 Leaves and twig	963	378(43)	1.41
		根 Root	485	291(33)	0.32
		全体 Whole	1,950	885(100)	
	- P	幹 Stem	710	330(28)	0.28
		枝葉 Leaves and twig	890	337(29)	1.33
		根 Root	835	510(43)	0.44
		全体 Whole	2,435	1,177(100)	
	- K	幹 Stem	673	275(22)	0.30
		枝葉 Leaves and twig	1,368	552(44)	1.48
		根 Root	675	418(34)	0.43
		全体 Whole	2,716	1,245(100)	
	Non	幹 Stem	541	232(24)	0.29
		枝葉 Leaves and twig	1,134	452(47)	1.14
		根 Root	490	283(29)	0.38
		全体 Whole	2,165	967(100)	

() は分布割合。Shows distribution ratio.

含有量および樹体各部におけるそれらの分布

trees, and these distribution to each part of trees

Nutrient concentration		養分含有量 Nutrient contents			備 考 Note
P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
0.07	0.15	0.68(10)	0.20(11)	0.43(6)	N P K 区の養分吸収率 Calculated nutrient absorption ratio N=22% P ₂ O ₅ =6% K ₂ O=43%
0.22	0.99	4.90(74)	1.31(70)	5.91(86)	
0.10	0.15	1.08(16)	0.36(19)	0.54(8)	
		6.66(100)	1.87(100)	6.88(100)	
0.08	0.11	0.49(10)	0.16(9)	0.23(5)	
0.33	1.03	3.42(61)	1.24(68)	3.87(83)	
0.13	0.17	1.66(29)	0.42(23)	0.55(12)	
		5.57(100)	1.82(100)	4.65(100)	
0.07	0.14	0.50(12)	0.14(12)	0.27(8)	
0.24	0.83	2.95(70)	0.85(70)	2.95(84)	
0.10	0.13	0.76(18)	0.22(18)	0.29(8)	
		4.21(100)	1.21(100)	3.51(100)	
0.08	0.13	0.64(14)	0.18(13)	0.30(9)	
0.34	0.99	3.30(73)	0.98(72)	2.84(81)	
0.10	0.18	0.60(13)	0.20(15)	0.36(10)	
		4.54(100)	1.36(100)	3.50(100)	
0.07	0.12	0.37(11)	0.11(12)	0.19(7)	N P K 区の養分吸収率 Calculated nutrient absorption ratio N=29% P ₂ O ₅ =8% K ₂ O=59%
0.22	0.70	2.50(73)	0.61(68)	1.95(74)	
0.09	0.25	0.55(16)	0.18(20)	0.49(19)	
		3.42(100)	0.90(100)	2.63(100)	
0.11	0.23	1.04(9)	0.37(11)	0.77(6)	
0.41	1.72	8.55(76)	2.34(68)	9.75(80)	
0.15	0.35	1.71(15)	0.71(21)	1.66(14)	
		11.30(100)	3.42(100)	12.18(100)	
0.12	0.20	0.65(10)	0.26(12)	0.82(12)	
0.42	1.41	5.32(77)	1.59(70)	5.32(73)	
0.14	0.38	0.93(13)	0.41(18)	1.11(15)	
		6.90(100)	2.26(100)	7.25(100)	
0.10	0.20	0.92(12)	0.33(17)	0.66(11)	
0.30	1.01	4.50(59)	1.00(50)	3.40(56)	
0.13	0.39	2.24(29)	0.66(33)	1.99(33)	
		7.66(100)	1.99(100)	6.05(100)	
0.12	0.19	0.83(7)	0.33(10)	0.52(6)	
0.41	1.19	8.15(76)	2.24(70)	6.54(76)	
0.15	0.37	1.80(17)	0.63(20)	1.55(18)	
		10.78(100)	3.20(100)	8.61(100)	
0.10	0.20	0.67(9)	0.23(10)	0.46(7)	
0.36	1.10	5.16(75)	1.63(74)	4.97(79)	
0.12	0.30	1.08(16)	0.34(16)	0.85(14)	
		6.91(100)	2.20(100)	6.28(100)	

NPK 区の中の小さな個体より、Non 区の中の大きな個体の方が養分濃度が高いというような結果が得られた。

そこで、各処理区の平均木だけで比較してみると Fig. 23 のようになる。

すなわち、葉の N% は NPK 区で高く、-K、-P、Non 区で低い傾向がみられるが、-N 区では 1 個体は低い、1 個体は高いという結果が得られた。また葉の P_2O_5 % は、NPK にくらべ、-P、Non 区で低い傾向がみられた。葉の K_2O % は処理間の差が不明であった。

FLETCHER ら (1955)⁷⁾ は、土壌中の P 濃度と葉の P% の間に相関があることを報告し、WELLS (1965)¹⁰⁾ は、土壌中の可溶態 N の濃度と葉の N%、土壌中の有効態 P の濃度と葉の P% の相関をそれぞれ報告している。

筆者の今回の調査でも Fig. 23 によれば多少のばらつきはあるが、Fig. 22 におけるよりは明らかに施肥処理による葉の養分濃度の違いを認めることができる。

そこで、葉の養分濃度で林分間の栄養状態を比較しようとする場合には、その林分の平均木について相互比較をすることが必要であるように考える。

つぎに平均木の葉の養分比についてみると、Table 35 のとおりである。

Table 35. 各処理区の平均木の養分比
Nutrition balance in the leaves of mean trees grown in each treatment

処 理 Treatment	N/ P_2O_5	K_2O/P_2O_5	N/ K_2O
NPK	$\frac{2.6}{2.1 \sim 3.1}$	$\frac{2.5}{2.4 \sim 2.5}$	$\frac{1.2}{1.1 \sim 1.3}$
-N	$\frac{2.4}{2.3 \sim 2.5}$	—	$\frac{1.1}{1.1 \sim 1.1}$
-P	$\frac{3.0}{2.7 \sim 3.3}$	$\frac{2.4}{2.0 \sim 2.8}$	—
-K	—	$\frac{2.2}{2.1 \sim 2.2}$	$\frac{1.0}{0.9 \sim 1.0}$
Non	$\frac{3.3}{2.8 \sim 3.7}$	$\frac{3.3}{2.8 \sim 3.7}$	$\frac{1.1}{0.7 \sim 1.4}$

分子は平均値、分母は範囲を示す。

Numerator shows average and denominator shows range.

すなわち、NPK 区にくらべ、-P 区では N/ P_2O_5 がやや高まり、Non 区では N/ P_2O_5 、 K_2O/P_2O_5 がやや高まる傾向がみられるが、その他では不明りようであり、全般的に苗木などで認められたような顕著な傾向はみられない。

(3) 要 約

静岡県瀬尻国有林および大日山県有林にスギの肥料 3 要素試験地を設定し、7 年間にわたり成長を調査した。

i) 植栽当初 1～2 年のころは処理による成長差が不明りようでなかったが、第 2 回施肥後の 5～6 年目で処理差がやや不明りようになり、7 年目の時点では材積成長の傾向は、瀬尻では $NPK > -K > -P \approx Non$ となり、大日山では $NPK > -K \approx -P > -N > Non$ となり、両試験地とも -N 区と Non 区で成長が不良であった。しかし全般的にみて、苗畑などで得られる試験結果にくらべると、処理差が不明りようである。

ii) 2年目の時点で各処理区の林木の重量や養分含有量を調査したが、処理間の差はわずかであった。また3年目の時点でも調査したが重量は瀬尻では $NPK > -N > -P > -K > \text{Non}$ となり、大日山では $NPK > -K > -P > \text{Non} > -N$ となり、両試験地で多少傾向が異なっていた。林木各部位の養分濃度には処理間の差がほとんどみられず、養分含有量は重量の傾向とほぼ類似した傾向をしめた。

計算上の肥料の吸収率は、3年目は2年目にくらべるとはるかに多くなっているが、3年間の養分吸収率としてみると案外少ない。

iii) 葉の養分濃度、養分比を各区の平均木と比較すると、N% は -K区、-P区、Non区で低く、 $P_2O_5\%$ は -P区、Non区で低い傾向がみられるが、 $K_2O\%$ は、処理間で明りょうな傾向がみられない。

養分比は、-P区で N/P_2O_5 がやや高く、Non区で K_2O/P_2O_5 が高いが、全体として苗木などにくらべると不明りょうであった。

3. 植栽後林分閉鎖するまでの間のスギの成長、養分含有量および樹体内の養分分布に及ぼす施肥の効果*

(1) 目的と方法

林地肥培の重要性が認識されるとともに、各地で幼齢林を対象にした肥培試験が行なわれ、効果が報告されている。しかし、その大部分は施肥後、比較的短期間の経過であって、長期間にわたる測定結果はまだ報告されていない。

筆者はスギ幼齢木の成長や養分含有量に及ぼす施肥の効果を、ある程度長期間にわたってしらべるため、1958年春に静岡県の水窪営林署管内瀬尻国有林および静岡県大日山県有林のスギ新植地に肥培試験地を設定した。

7年目の1964年の時点で施肥区はほぼ林分閉鎖の状態となり、9年目の1966年秋には瀬尻のBd、Bd(m)の試験地は施肥区、無施肥区とも完全に林分が閉鎖して下枝は枯れあがってきている。

そこで、従来の成長経過をまとめ、さらに必要に応じて測定した林木の重量や養分含有量などの結果をつけ加えて、林地に植栽後閉鎖するまでの間のスギの成長、養分含有量に及ぼす施肥の効果を検討した。

試験地は瀬尻では Table 36 にしめすように土壌型の異なる3か所、大日山では1か所をえらび、それ

Table 36. 肥 培 試 験 地 の 概 況
Actual conditions of the fertilized forest

試 験 地 Fertilized forest	瀬 尻 Sejiri			大 日 山 Dainichizan
	Bc	Bd	Bd(m)	
土 壌 型 Soil type	Bc	Bd	Bd(m)	Bd(d)
林小班 Block	32(は)	32(は)	34(は)	4(ろ)
傾 斜 Inclination	20°	30°	25°	25°
方 位 Direction	SW	S	S	NW
海 拔 高 Elevation	590m	590m	590m	690m
土 性 Soil texture	軽埴土 lc	軽埴土 lc	軽埴土 lc	軽埴土 lc
1区の面積 Plot area	175m ²	280m ²	350m ²	600m ²
1区内の本数 Trees per plot	59	100	103	150
反復数 Repetition	1	2	2	2

*本研究の内容の一部は文献 26) に発表した。

Table 37. 肥培試験地の土壌概要
Soil properties of the fertilized forest

試験地 Fertilized forest	土壌型 Soil type	土層と深さ Soil horizon and depth	土 色 Soil colour	pH (H ₂ O)	C (%)	N (%)	N/5 HCl soluble P (ppm)	置 換 性 Exchangeable	
								Ca(m.e.)	K(m.e.)
瀬 尻 Sejiri	Bc	A 0~25 cm	10YR 4/3	5.0	7.2	0.44	6	0.15	0.20
		A-B 25~45	10YR 5/4	5.2	4.9	0.29	6	0.13	0.15
		B 45~	10YR 5/5	5.6	3.5	0.20	3	0.13	0.13
	Bd	A 0~30	10YR 4/3	5.8	6.6	0.45	11	0.80	0.15
		A-B 30~60	10YR 5/4	5.4	3.9	0.30	7	0.50	0.15
		B 60~	10YR 5/4	5.4	1.2	0.17	5	0.85	0.56
	Bd(m)	A ₁ 0~5	10YR 3/2	5.2	6.3	0.41	10	0.10	0.43
		A ₂ 5~40	10YR 4/3	5.3	3.7	0.26	6	0.05	0.23
		B ₁ 40~80	10YR 5/5	5.2	2.5	0.21	5	0.05	0.23
大日山 Dainichizan	Bd(d)	A ₁ 0~5	10YR 3/3	5.4	8.8	0.66	35	0.50	0.63
		A ₂ 5~10	7.5YR 4/3	5.4	6.8	0.54	4	0.05	0.55
		A-B 10~30	7.5YR 4/4	5.1	2.7	0.26	2	0.05	0.10

それに施肥区，無施肥区を設定した。なお，地質母材は前記の Table 31 とおなじである。

試験地設定当時の土壌の性質は Table 37 のとおりである。

1958年4月にスギの1回床替2年生苗を植栽し，植栽と同時に第1回の施肥を行なった。その後3年目と6年目の春にそれぞれ第2回，第3回の施肥を行なった。施肥の量および方法は各試験地とも Table 38 のとおりである。

Table 38. 瀬尻および大日山肥培試験地の施肥の概要
Record on the fertilizer treatment at Sejiri and Dainichizan fertilized plot

項 目 Item	第1回施肥 1st. fertilizer added (1958, Apr.)	第2回施肥 2nd. fertilizer added (1960, March)	第3回施肥 3rd. fertilizer added (1963, March)
肥料の種類・量 Kind and amount of fertilizer	固形肥料(6-4-3)で1本 あたり150g。	粒状化成肥料(6-4-3) で1本あたり300g。	粒状化成肥料(24-16- 11)で1本あたり120g。
施 肥 位 置 Fertilizer place- ment	傾斜の上方および左右 の3か所で苗木から約 10cm離れたところに 深さ10cmの穴をあけ て施肥。	傾斜の上方および左右 の3か所で枝張りの先 端直下に穴をあけて施 肥。	傾斜の上方に浅い溝を きり施肥，覆土。

下刈は年1回刈りで5年で打ち切り，その後は，成長測定のさいに，作業に困難をとまなわない程度に適宜，下刈，除伐を行なった。枝打はとくに行なっていないが，6年目，7年目の測定の際，直径測定に便利のように胸高以下の枝を切り落とした。

重量および養分含有量の調査は，各区の平均樹高，平均直径に該当する個体2~3本を選定したのち，第I章で記載した方法に備じて行なった。また葉分析は第I章3で検討した方法にしたがった。

(2) 結果と考察

透水量 Percolation (cc/min)	最大容水量 Water holding capacity	最小容気量 Minimum air capacity
13	58	4
38	61	2
3	61	2
284	62	9
108	60	2
125	57	6
240	69	7
43	59	1
10	62	2
82	72	7
42	72	3
3	66	3

i) 9年間の樹高, 胸高直径, 材積成長

1958年に試験地を設定して以来, 1966年までの9年間の各試験地の樹高や胸高直径の成長経過は Fig. 24 のとおりである。

これによると, 大日山の試験地では, 樹高成長は植栽後2年目ころまでは瀬尻の各試験地のものよりすぐれているが, その後の成長がかんまんて, 9年目の時点では瀬尻の各試験地より劣っている。樹高成長に及ぼす施肥の効果は, 1年目で多少あらわれているが, 第2回の施肥をした3年目以降でとくに顕著にあらわれている。

瀬尻の Bc 試験地では, 樹高成長, 胸高直径成長ともに瀬尻の他の試験地のものより劣り, 2~3年目ころまでは肥効がわずかに認められるが, 4~5年目以降は, 樹高はやや高いが, 胸高直径では逆に小さくなり, 肥効は不明である。

瀬尻の Bd および Bd(m) 試験地では, 樹高成長は3年目ころまでは, 大日山の成長よりやや劣っているが, 3年目以降で急激に樹高成長が増加する傾向がみられる。樹高成長, 胸高直径成長に対する施肥の

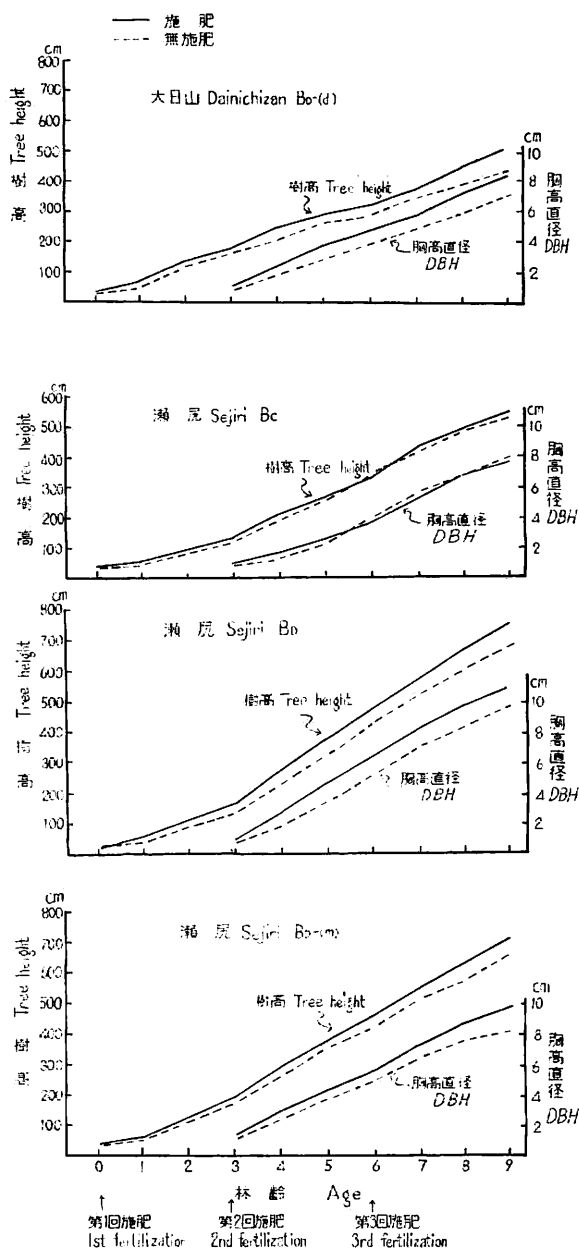


Fig. 24 肥培試験地の9年間の樹高, 胸高直径, 成長経過

Height and diameter growth of fertilized trees for a period of 9 years.

効果も3年目以降で明りようになってくる。

一般に3年目以降成長が急激に増加し、肥効差も明りようになってくるという現象は、筆者は第I章1で幼齡造林木の重量と養分含有量を調査して、3年目ころから重量や養分含有量が急にふえる傾向にあることを述べたが、それにたまたま第2回施肥が3年目の春に行なわれたことも累積された結果であろう。

7年目および9年目の時点で測定した樹高、胸高直径の平均値をもとに、材積を計算してみると Table 39 のようになる。

Table 39. 各肥培試験地における林木の1本あたり材積
Average volume of 7 and 9 years old trees in each fertilized plot

肥培試験地 Fertilized plot	7 年 生 7 years old		9 年 生 9 years old	
	施 肥 Fertilized (m³)	無 施 肥 Unfertilized (m³)	施 肥 Fertilized (m³)	無 施 肥 Unfertilized (m³)
大日山 Dainichizan	0.0066(161)	0.0041(100)	0.0182(169)	0.0108(100)
瀬尻 Sejiri Bc	0.0060(87)	0.0069(100)	0.0158(95)	0.0166(100)
瀬尻 Sejiri Bd	0.0202(146)	0.0138(100)	0.0462(138)	0.0334(100)
瀬尻 Sejiri Bd(m)	0.0156(140)	0.0111(100)	0.0338(148)	0.0229(100)

$V = ghf$ ただし $f = 0.6517$ として計算。

Table 40. 各試験地の林木の H/D
 $H-D$ ratio of the trees in each fertilized plot

試 験 地 Fertilized plot	7 年 目 7 years old		9 年 目 9 years old	
	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized
大日山 Dainichizan	66.0	72.1	60.7	62.3
瀬尻 Sejiri Bc	83.5	82.2	70.9	66.2
瀬尻 Sejiri Bd	75.0	78.9	68.1	70.0
瀬尻 Sejiri Bd(m)	69.2	75.2	72.5	78.8

すなわち、瀬尻 Bc では、肥効が認められないが、その他の試験地では非常に明りように施肥による材積増を認めることができる。

また各試験地の樹高、胸高直径の平均値をもとにして、 H/D (D は胸高直径) を計算すると Table 40 のようになり、肥効の認められる大日山、瀬尻 Bd、瀬尻 Bd(m) の試験地では、施肥区で低く、無施肥区で高い傾向がみられる。すなわち、施肥により樹高成長より胸高直径の成長が促進される割合が大きいという傾向が認められる。

GESSEL (1965)¹⁷⁾ は、ダグラス ファーの閉鎖林分で、N 施肥により直径より樹高成長が促進されることを報告しているが、筆者の今回のスギの未閉鎖の幼齡林に3要素配合の化成肥料を使用した例では、胸高直径の方が成長促進される割合が大きいという結果が得られた。

同じような施肥処理を行ないながら、瀬尻 Bc では成長に対し肥効があらわれなかったのは、Bc 土壌は乾性な土壌でスギの適地ではなく、Table 37 からわかるように透水量もすくなく、これらのことが成長の制限因子になっているためと思われる。

桑原 (1964)⁴⁹⁾ は、乾性な土壌に植えられたスギの肥培効果は少なく、たとえ効果があらわれてもその

持続性がないことを報告し、佐藤 (1965)⁶⁰⁾も、土壌の物理性と肥効の関係を論じているが、このような点を考えると、肥培効果を高めるためには栄養以外の制限因子の少ない適地に植栽することが前提であると思われる。

ii) 6年目に測定した樹冠占有面積

瀬尻の Bd(m) 試験地で植栽後6年目、すなわち第3回施肥後に施肥区、無施肥区で50本の木の4方向で最長枝の長さを測定し、樹冠占有面積を計算した例は Table 41 のとおりである。

Table 41. 植栽後6年目に測定した樹冠占有面積〔瀬尻Bd(m)〕
Crown area of 6 years old fertilized forest [Sejiri Bd(m)]

処 理 Treatment	1本あたり樹冠面積 Average crown area per tree			haあたり樹冠面積 Total crown area per ha. (m ²)	備 考 Note
	Block 1 (m ²)	Block 2 (m ²)	Average (m ²)		
施 肥 Fertilized	3.59	2.32	2.96	8,880	樹高(H)=452cm, 胸高直径(D.B.H.) =5.6cm 胸高断面積計 (Basal area) = 7.4m ² /ha
無 施 肥 Unfertilized	2.58	2.11	2.35	7,050	樹高(H)=421cm, 胸高直径(D.B.H.) =5.0cm 胸高断面積計 (Basal area) = 5.9m ² /ha

これは、枝打ちをしていない状態で測定した値ではあるが、無施肥区は地表の70%が枝葉で被覆されているのにくらべ、施肥区では地表のほとんど90%近くが枝葉で被覆されている計算になる。

植栽当初の林地は地表が裸出しているため、表土が乾燥したり流亡したりする危険性が多分にあり、林地の地力を維持し増進するためには、なるべく早く枝葉を繁らせ、閉鎖林分を仕立てて地表を被覆する必要があるが、Table 41 の結果は樹高や胸高直径に肥効のあらわれている林分では、枝葉の成長に対しても肥効が認められ、林分閉鎖が促進されているということをしめしている。

iii) 2年目の秋に調査した重量と養分含有状態

植栽後2年目の1959年11月に、各試験地で樹高、根元直径が算術平均値に近い個体を2本あて選定、伐倒し、重量や養分含有状態などをしらべた結果は Table 42 のとおりである。

すなわち、樹高や直径に対して肥効がそれほど顕著ではない時期の測定値ではあるが、重量や養分含有量は施肥区で大である。しかし、養分濃度や各部位への乾物や養分の分布割合などでは、とくに顕著な変化が認められない。

固型肥料中の養分の2年間の計算上の吸収利用率は、備考欄にしるしたように大日山では $N > K_2O > P_2O_5$ の傾向があり、瀬尻のBd, Bd(m) では $K_2O > N > P_2O_5$ の傾向がある。全般的にこの時期の計算上の吸収利用率は低い。

各試験地の無施肥区の成長や養分含有量をそれぞれ100として施肥区の指数を計算してみると Table 43 のとおりであり、試験地により相当のばらつきはあるが樹高や直径にくらべ、乾物重量や養分含有量で指数が大きく、養分の中では K_2O の吸収増加割合より N の吸収増加割合の方が大きい傾向がみられる。佐藤 (1964)⁶⁰⁾ は樹高が比較的低いときには、施肥効果は枝葉にあらわれる傾向のあることを指摘しているが N 含有量の増加割合が大きかったことは施肥により枝葉が繁茂した結果と考えられる。

つぎに、幹の幹物重量を枝葉の生重量で割って単位枝葉の幹乾物生産量を計算してみると、Table 44 のとおりであり、この時点で肥効が大きく現われている瀬尻のBd, Bd(m) 試験地ではこの値は施肥区で

Table 42. 2年生スギの重量と養分含有量および樹体各部におけるこれらの分布
Weight and nutrient contents of 2 years old fertilized trees, and its distribution to each part of them

試験地 Plot	処 理 Treat- ment	部 位 Part	生重量 Fresh weight	乾物重量 Dry weight	含 有 率 Concentration (%)			含 有 量 Content (g)		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
大日山 Dainichizan	施 肥 Fertili- zed	幹 Stem	268	107(25)	0.37	0.10	0.30	0.40(11)	0.11(14)	0.32(11)
		枝葉 Leaf & twig	619	238(54)	1.18	0.24	1.00	2.80(79)	0.58(74)	2.37(79)
		根 Root	270	93(21)	0.39	0.10	0.33	0.36(10)	0.09(12)	0.31(10)
		全体 Whole	1,157	438(100)	—	—	—	3.56(100)	0.78(100)	3.00(100)
	無施肥 Unferti- lized	幹 Stem	216	88(25)	0.36	0.11	0.34	0.32(14)	0.10(16)	0.30(12)
		枝葉 Leaf & twig	477	198(56)	0.84	0.22	1.01	1.66(73)	0.44(71)	1.99(76)
		根 Root	202	70(19)	0.40	0.11	0.43	0.28(13)	0.08(13)	0.30(12)
		全体 Whole	895	356(100)	—	—	—	2.26(100)	0.62(100)	2.59(100)
瀬 尻 Sejiri Bc	施 肥 Fertili- zed	幹 Stem	109	41(25)	0.39	0.10	0.39	0.16(10)	0.04(10)	0.16(12)
		枝葉 Leaf & twig	251	94(58)	1.35	0.33	1.09	1.27(81)	0.31(80)	1.02(78)
		根 Root	75	27(17)	0.52	0.15	0.48	0.14(9)	0.04(10)	0.13(10)
		全体 Whole	435	162(100)	—	—	—	1.57(100)	0.39(100)	1.31(100)
	無施肥 Unferti- lized	幹 Stem	89	30(24)	0.37	0.10	0.30	0.11(10)	0.03(12)	0.09(9)
		枝葉 Leaf & twig	172	63(52)	1.21	0.30	1.24	0.76(75)	0.19(73)	0.78(76)
		根 Root	82	30(24)	0.50	0.13	0.50	0.15(15)	0.04(15)	0.15(15)
		全体 Whole	342	123(100)	—	—	—	1.02(100)	0.26(100)	1.02(100)
瀬 尻 Sejiri Bd	施 肥 Fertili- zed	幹 Stem	175	86(29)	0.45	0.12	0.29	0.39(14)	0.10(11)	0.25(10)
		枝葉 Leaf & twig	325	157(53)	1.27	0.45	1.29	2.00(74)	0.70(80)	2.02(80)
		根 Root	134	51(18)	0.61	0.16	0.47	0.31(12)	0.08(9)	0.24(10)
		全体 Whole	634	294(100)	—	—	—	2.70(100)	0.88(100)	2.51(100)
	無施肥 Unferti- lized	幹 Stem	104	38(28)	0.50	0.16	0.37	0.19(14)	0.06(15)	0.14(10)
		枝葉 Leaf & twig	181	66(48)	1.47	0.42	1.52	0.97(72)	0.28(72)	1.00(75)
		根 Root	98	34(24)	0.53	0.15	0.60	0.18(14)	0.05(13)	0.20(15)
		全体 Whole	383	138(100)	—	—	—	1.34(100)	0.39(100)	1.34(100)
瀬 尻 Sejiri Bn(m)	施 肥 Fertili- zed	幹 Stem	259	101(28)	0.30	0.10	0.50	0.30(12)	0.10(14)	0.51(16)
		枝葉 Leaf & twig	451	183(51)	1.10	0.30	1.28	2.02(78)	0.55(75)	2.35(72)
		根 Root	238	75(21)	0.35	0.11	0.52	0.26(10)	0.08(11)	0.39(12)
		全体 Whole	948	359(100)	—	—	—	2.58(100)	0.73(100)	3.25(100)
	無施肥 Unferti- lized	幹 Stem	151	66(21)	0.24	0.09	0.30	0.16(9)	0.06(10)	0.20(8)
		枝葉 Leaf & twig	409	192(60)	0.77	0.24	1.04	1.47(79)	0.46(80)	2.00(79)
		根 Root	165	62(19)	0.35	0.10	0.55	0.22(12)	0.06(10)	0.34(13)
		全体 Whole	725	320(100)	—	—	—	1.85(100)	0.58(100)	2.54(100)

備考：固形肥料の2年間の計算上の吸収利用率。

Note: Calculated nutrient absorption ratio from added fertilizer.

大日山 Dainichizan N=14%, P₂O₅=3%, K₂O=8%

瀬 尻 Sejiri Bc N=6%, P₂O₅=2%, K₂O=6%

〃 〃 Bd N=15%, P₂O₅=8%, K₂O=23%

〃 〃 Bd(m) N=8%, P₂O₅=3%, K₂O=15%

Table 43. 2年生肥培木の無肥培木を100とした時の成長指数
Growth index of 2 years old fertilized tree

試 験 地 Plot	樹 高 指 数 Height index	根元直径指数 Ground level diameter index	乾物重量指数 Dry weight index	養 分 含 有 量 指 数 Nutrient content index		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
大 日 山 Dainichizan	100	113	123	158	126	116
瀬 尻 Bc Sejiri	109	100	132	154	150	128
瀬 尻 Bd Sejiri	116	113	213	201	226	187
瀬尻 Bd(m) Sejiri	116	110	112	139	126	128

高くなっている。佐藤 (1965)⁶⁹⁾は、葉が1年間に生産する乾材部の乾物重量は施肥区で高いことを述べているが、筆者の調査からも同じような傾向を指摘することができる。

iv) 瀬尻 Bd 試験地で7年目に調査した地上部の重量と養分含有状態

Table 44. 単位枝葉の幹乾物生産量(g/g)
Annual bole-wood production per unit foliage

試 験 地 Plot	施 肥 木 Fertilized tree	無 施 肥 木 Unfertilized tree
大日山 Dainichizan	0.17	0.18
瀬 尻 Sejiri Bc	0.16	0.17
" " Bd	0.26	0.21
" " Bd(m)	0.22	0.16

Fig. 24 の成長経過からみて、肥効が十分あらわれたと思われる7年目の時点で、瀬尻の Bd 試験地の施肥区、無施肥区で樹高、胸高直径が算術平均値に近い個体3本あてを伐倒し、地上部の重量および養分含有状態をしらべた。7年目の時点で施肥木の樹高は570cm、胸高直径8.3cmに達していたので根は相当地に張り、根を掘りあげることにより周囲木に損傷をあたえ、試験地を破壊する危険性があったので、やむなく地上部のみを調査した。その結果は Table 45 のとおりである。

すなわち、重量でみると、地上部の乾物重量は、施肥区で12.86kg、無施肥区で9.68kgであり、施肥区は無施肥区の約1.3倍であり、その50%近くが乾材部に分布し、40%近くが葉に分布し、残りの10%前後が枝と樹皮部に分布している。施肥により幹材部への分布割合がやや増加している。

養分濃度を部位別にみると、N は葉>枝>樹皮>幹材、P₂O₅とK₂O は葉>樹皮>枝>幹材となっている。施肥による変化をみると、樹皮部ではN、P₂O₅、K₂O%ともに高くなり、葉ではNとK₂O%が高くなっている。

養分の含有量はN、P₂O₅、K₂Oともに施肥区で1.5~1.7倍と顕著に増加している。これらの部位別分布をみると、重量の場合とは異なり各養分とも葉に大部分が分布している。Nは葉に80%以上、幹材部には10%前後分布しているが、施肥によりNの葉への分布割合が増加し、幹への分布割合が低下する傾向がみられる。

P₂O₅は葉に70%、幹に20%前後分布しているが、施肥により葉への分布割合が低下し、幹への分布割合がやや増加する傾向がみられる。またK₂Oは葉に86%、幹に7~9%程度分布しているが、施肥により幹への分布割合が増加する傾向がみられる。

施肥による乾物、養分の増加傾向を、より明りょうに把握するために、各部位の乾物や養分含有量を無施肥区を100とした指数であらわすと Table 46 のようになる。

すなわち、重量でみると施肥により地上部では乾物重量で33%、生重量で46%増加し、部位別にみる

Table 45. 7年生スギの地上部の重量、養分含有量および樹体各部位におけるそれらの分布
Weight and nutrient content of 7 years old trees,
and its distribution to each part of them

処 理 Treatment	樹 皮 Bark	幹 材 Stem wood	枝 Branch	葉 Leaf	地上部計 Above ground
生 重 量 Fresh weight kg					
施 肥 木 Fertilized tree	1.48(5)	16.09(50)	1.76(6)	12.57(39)	31.90(100)
無施肥木 Unfertilized tree	1.39(6)	9.61(44)	1.23(6)	9.52(44)	21.75(100)
乾 物 重 量 Dry weight kg					
施 肥 木 Fertilized tree	0.75(6)	6.43(50)	0.80(6)	4.88(38)	12.86(100)
無施肥木 Unfertilized tree	0.74(8)	4.52(47)	0.61(6)	3.81(39)	9.68(100)
N %					
施 肥 木 Fertilized tree	0.29	0.11	0.29	1.64	—
無施肥木 Unfertilized tree	0.21	0.15	0.25	1.11	—
P ₂ O ₅ %					
施 肥 木 Fertilized tree	0.17	0.08	0.10	0.34	—
無施肥木 Unfertilized tree	0.13	0.08	0.10	0.36	—
K ₂ O %					
施 肥 木 Fertilized tree	0.29	0.08	0.12	1.06	—
無施肥木 Unfertilized tree	0.26	0.07	0.13	0.97	—
N 含 有 量 Content g					
施 肥 木 Fertilized tree	2.2(2)	7.1(8)	2.3(2)	80.0(88)	91.6(100)
無施肥木 Unfertilized tree	1.5(3)	6.8(13)	1.5(3)	42.2(81)	52.0(100)
P ₂ O ₅ 含 有 量 Content g					
施 肥 木 Fertilized tree	1.3(5)	5.1(21)	0.8(4)	16.6(70)	23.8(100)
無施肥木 Unfertilized tree	1.0(6)	3.6(19)	0.6(3)	13.7(72)	18.9(100)
K ₂ O 含 有 量 Content g					
施 肥 木 Fertilized tree	2.2(3)	5.1(9)	1.0(2)	51.7(86)	60.0(100)
無施肥木 Unfertilized tree	1.9(5)	3.2(7)	0.8(2)	36.9(86)	42.8(100)

Table 46. 7年生スギ施肥木の重量および養分含有量指数
Index of weight and nutrient content of 7 years old fertilized tree

	樹皮 Bark	幹材 Stem wood	枝 Branch	葉 Leaf	地上部計 Above ground
生重量 Fresh weight	106	167	143	146	146
乾物重量 Dry weight	101	142	130	128	133
N 含有量 Content	146	104	153	189	176
P ₂ O ₅ 含有量 Content	130	142	133	121	126
K ₂ O 含有量 Content	116	159	125	140	140

と幹材部で著しく増加し、ついで葉、枝の部分が増加し、樹皮部ではわずかししか増加していない。Nは地上部全体では施肥により76%増加しているが、部位別にみると葉での増加割合が最も大きく89%増となっている。ついで枝、樹皮の部分で増加し、幹材部ではわずか4%しか増加していない。P₂O₅は地上部全体では26%増加しているが、部位別にみると、幹材部での増加割合は大きく42%であり、葉での増加割合は少なく21%である。K₂Oは地上部全体では40%増であるが、部位別にみると幹材部の増加割合が大きく59%であり、ついで葉、枝の部分であり、樹皮の増加割合が最も少なく16%増である。

すなわち、地上部全体の重量および養分の施肥による増加指数は、N>生重量>K₂O>乾物重量>P₂O₅の傾向にあるが、このなかでNは葉で、重量やK₂O、P₂O₅は幹材部でとくに増加する傾向が大である。

筆者は第I章1で、スギ幼齢木が成長するにともない、幹の中のK₂O含有量はNやP₂O₅にくらべて急激に増加する傾向のあることを述べ、また第I章2で、スギ壮齢木の場合には、平均樹高や平均胸高直径の大きい林分では、K₂Oの幹への分布が大きいことを報告したが、施肥により成長増加した場合にも、K₂Oの幹への分布が大きくなるということは興味ある現象である。

たとえば、このことは、施肥により吸収増加した養分のうち、Nは材に蓄積されるより葉の中にあつて、養分循環のサイクル内で循環する割合が多くなり、P₂O₅やK₂Oは循環外の材に蓄積される割合が多くなるというように考えられる。

つぎに、施肥木は7年目まで施用した3回の肥料を、どの程度吸収しているかを計算上求めてみると、Table 47 のようになる。

Table 47. 7年生スギ施肥木と無施肥木の地上部の養分含有量の差および施肥要素量に対する割合

Differences of nutrient contents between fertilized tree and unfertilized tree at 7 years old, and nutrient absorption ratio

施肥要素 Fertilized element	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
施肥木と無施肥木の地上部の養分含有量の差 (g) Difference of nutrient contents between fertilized tree and unfertilized tree	39.6	4.9	17.2
施肥要素量に対する割合(%) Calculated nutrient absorption ratio from added fertilizer	73	14	66

備考：現在までの施肥量はNで54g、P₂O₅で36g、K₂Oで26gである。

Note: Total of added fertilizer are 54g N, 36g P₂O₅ and 26g K₂O per tree.

Table 48. 瀬尻肥培試験地における単位葉の幹材積生産量
Annual bole wood production by unit foliage of 7 years old trees

処 理 Treatment	6年目から7年目にか けての幹材積増 Bole wood produ- ction from 6 to 7 years (dm ³)	7 年目の葉の生重 量 Fresh weight of foliage at 7 yea- rs old tree (kg)	単位葉の幹材積生 産量 Annual bole wood production by unit foliage (dm ³ /kg)	備 考 Note
施 肥 木 Fertilized tree	10.36	12.57	0.82	材積 $V=ghf$
無 施 肥 木 Unfertilized tree	7.14	9.52	0.75	ただし, f =0.6517で計算

すなわち、施肥木の地上部の養分含有量は、無施肥木のそれにくらべて N で約40g, P₂O₅ で約5g, K₂O で約 17g 多く含まれている。この量は、現在までの7年間に施用した肥料要素量と比較してみると、N で73%, K₂O で66%, P₂O₅ で14% になる。そこで、今回調査の対象としなかった根の養分含有量の差を加えると、N と K₂O は計算上の吸収率は相当高くなり、ある場合には100% 近い値が得られる可能性もある。これはあくまでも、計算上求められたものであって、実際には施肥木の根系は無施肥

肥木の根系より成長して、より広い根圏から養分を吸収する結果生じたものとも考えられる。2年目のところの成長や計算上の養分吸収率などと比較してみると、7年目においては成長や養分吸収作用も非常に盛んになっていて、肥料の吸収利用率も非常に高まっているという傾向を認めることができる。

また、6年目から7年目にかけての1年間の材積増を葉の生重量で割って、1kg の葉が1年間に生産した幹材積を計算すると Table 48 のようになり、施肥で単位葉の幹材積生産量が増加していることがわかる。

v) 葉の養分濃度、養分比に及ぼす施肥の影響

瀬尻の肥培試験地で6年目の秋に、Bc 型土壌の施肥区、無施肥区から樹高、胸高直径が算術平均値に近い個体2本あて、Bd, Bd(m) 型土壌の施肥区、

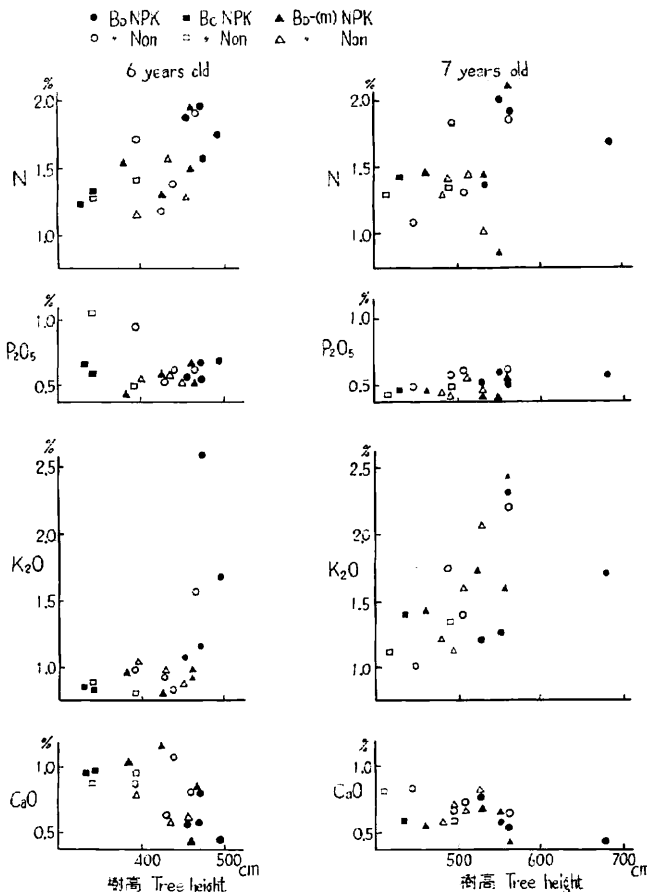


Fig. 25 6年生および7年生肥培木の葉の養分濃度と樹高 (瀬尻)
The relation between nutrient concentration of leaves and the tree height of 6 and 7 years old fertilized trees (sejiri).

無施肥区からそれぞれ樹高、胸高直径が算術平均値に近い個体4本あて供試木として選出し、葉分析試料を採取した。また7年目の秋に同じ個体から、ふたたび葉分析試料を採取した。供試木は6年目の時点では樹高や胸高直径が平均的な木であったが、7年目の成長に多少個体差があるので、7年目の時点では必ずしも平均的な木になっていない。

葉の養分濃度を縦軸に、樹高を横軸にとって点を落してみると Fig. 25 のようになる。すなわち、6年目では Bd 型土壌の施肥区(●印)は無施肥区(○印)のものより N と K_2O % がやや高く、CaO % がやや低い傾向がみられる。Bc や Bd(m) 土壌の試験区では養分濃度がばらついて、一定の傾向はつかめない。7年目の時点では、Bd 型土壌では施肥区は無施肥区より N 濃度がやや高く、Bd(m) 型土壌では施肥区(▲印)は無施肥区(△印)より N 濃度がやや高い傾向がみられるが、Bc 型土壌では明りょうでない。

大日山試験地で6年目に施肥区、無施肥区でそれぞれ大、中、小の木をまぜて12本ずつを供試木として選定し、葉分析試料を採取し、葉の養分濃度を縦軸に、樹高を横軸にとって図示すると Fig. 26 のようになる。

これによると施肥区は無施肥区にくらべ、N、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高く、CaO 濃度が低い傾向にあることが明りょうにみられる。

つぎに葉の養分比を計算してみると Table 49 のようになる。

施肥区と無施肥区と対比してみると、瀬尻の Bc 型土壌では全体にあまり明りょうな傾向がみられないが、Bd 型土壌の施肥区では6年目で N/P_2O_5 、 K_2O/P_2O_5 が、7年目で N/P_2O_5 がやや高まる傾向がみられ、Bd(m) 型土壌の施肥区では、6年目で N/P_2O_5 が、7年目で K_2O/P_2O_5 が高まる傾向がみられる。また大日山試験地では、施肥で N/P_2O_5 が高まる傾向がみられる。

HEILMANら(1963)³²⁾はダグラス フェアの肥培林で葉分析を行ない、N を施肥することにより葉のN濃度は増加することを報告

し、MADGEWICK (1964)⁵⁰⁾は無施肥の状態では樹高と葉の養分濃度の間に高い相関があるが、施肥区では相関関係が低くなることを報告し、河田ら (1966)⁴¹⁾はスギ幼齢肥培林の葉分析を行ない、施肥により成長量が増大するにもなって、多少の例外はあるが、N、P、K 含有率の増大が認められ、Ca、Mg は一定の傾向が認められないと報告し、さらに養分比については施肥により N/P 、 N/K が減少する例が多いことを報告している。

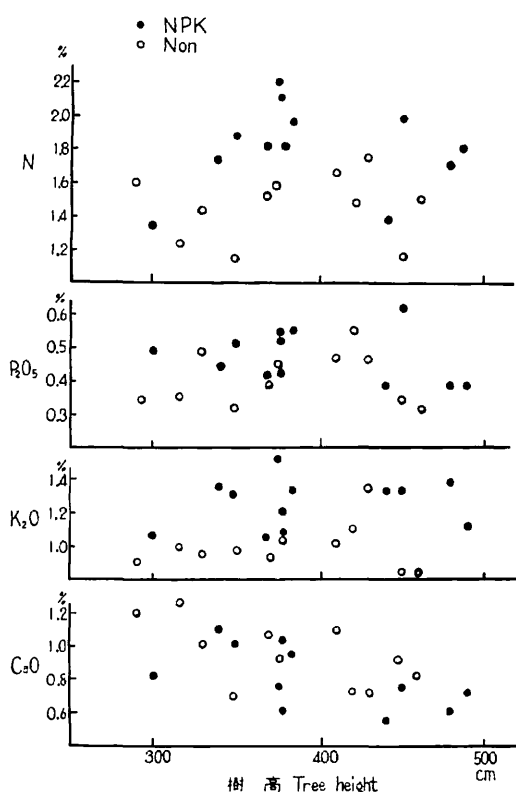


Fig. 26 7年生肥培木の葉の養分濃度と樹高(大日山)

The relation between nutrient concentration in leaves and the tree height of 7 years old fertilized trees (Dainichizan).

Table 49. 肥培試験地の林木の 6 年目および 7 年目における葉の養分比
Nutrition balance in the leaves of 6 and 7 years old trees

試 験 地 Plot	処 理 Treatment	N/P ₂ O ₅	K ₂ O/P ₂ O ₅	N/K ₂ O
6 年 目 6 years old tree				
大 日 山 Dainichizan	施 肥 Fertilized	$\frac{4.0}{3.6 \sim 4.2}$	$\frac{2.5}{2.3 \sim 2.8}$	$\frac{1.6}{1.4 \sim 1.7}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{3.4}{2.7 \sim 3.8}$	$\frac{2.4}{2.0 \sim 2.9}$	$\frac{1.4}{1.3 \sim 1.7}$
瀬 尻 Sejiri Bc	施 肥 Fertilized	$\frac{2.1}{1.8 \sim 2.3}$	$\frac{1.5}{1.4 \sim 1.6}$	$\frac{1.5}{1.4 \sim 1.5}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.0}{1.2 \sim 2.7}$	$\frac{1.2}{0.9 \sim 1.5}$	$\frac{1.7}{1.4 \sim 1.9}$
瀬 尻 Sejiri Bd	施 肥 Fertilized	$\frac{3.0}{2.7 \sim 3.3}$	$\frac{2.7}{1.9 \sim 4.1}$	$\frac{1.4}{0.7 \sim 1.8}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.4}{1.8 \sim 3.1}$	$\frac{1.7}{1.1 \sim 2.5}$	$\frac{1.5}{1.2 \sim 1.7}$
瀬 尻 Sejiri Bd(m)	施 肥 Fertilized	$\frac{3.0}{2.3 \sim 3.7}$	$\frac{1.8}{1.4 \sim 2.3}$	$\frac{1.7}{1.6 \sim 2.0}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.6}{2.4 \sim 2.9}$	$\frac{1.8}{1.7 \sim 2.0}$	$\frac{1.4}{1.2 \sim 1.6}$
7 年 目 7 years old tree				
瀬 尻 Sejiri Bc	施 肥 Fertilized	$\frac{3.1}{3.1 \sim 3.1}$	$\frac{2.9}{2.9 \sim 2.9}$	$\frac{1.1}{1.1 \sim 1.1}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.8}{2.6 \sim 3.0}$	$\frac{2.4}{2.4 \sim 2.4}$	$\frac{1.2}{1.1 \sim 1.2}$
瀬 尻 Sejiri Bd	施 肥 Fertilized	$\frac{3.2}{2.8 \sim 3.6}$	$\frac{2.9}{2.1 \sim 4.3}$	$\frac{1.2}{0.8 \sim 1.6}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.7}{2.2 \sim 3.2}$	$\frac{2.7}{2.0 \sim 3.6}$	$\frac{1.0}{0.9 \sim 1.1}$
瀬 尻 Sejiri Bd(m)	施 肥 Fertilized	$\frac{3.0}{2.1 \sim 3.7}$	$\frac{2.8}{3.0 \sim 4.2}$	$\frac{0.8}{0.5 \sim 1.0}$
	無 施 肥 Unfertilized	$\frac{2.8}{2.2 \sim 3.2}$	$\frac{3.2}{2.6 \sim 4.6}$	$\frac{0.9}{0.5 \sim 1.2}$

分子は平均値，分母は範囲を示す。

Numerator shows average and denominator shows range.

しかしながら，筆者の試験結果では，調査年により，また試験地により，多少の差はあるが，肥効のあらわれている瀬尻の Bd, Bd(m) 型土壌では，施肥により葉の N, K₂O 濃度が高まり，大日山試験地では，施肥により葉の N, P₂O₅, K₂O 濃度が増加し，CaO 濃度は低下する傾向がみられ，しかも N/P₂O₅ の比は，施肥により高まる傾向がみられている。しかし，肥効のみられない瀬尻の Bc 型土壌では，葉の養分濃度に明りょうな変化がみられず，また養分比もほとんど変化しなかった。

(3) 要 約

静岡県水窪営林署瀬尻国有林および静岡県大日山県有林の スギ 肥培試験地の 9 年間の成長経過をしらべ，重量，養分含有量および樹体におけるそれらの分布状態，葉分析結果などに考察を加えた。

i) 瀬尻の Bd, Bd(m) 試験地および大日山の試験地では，植栽当初から成長に対し多少肥効が認められるが，第 2 回の施肥をした 3 年目以降で，とくに顕著な肥効があらわれている。瀬尻 Bc 試験地で

は、植栽当初の成長でわずかではあるが肥効が認められたが、その後肥効は立ち消えて、7年目や9年目の時点では肥効が認められない。この原因については、Bc型土壌は乾燥型の土壌で栄養以外に成長に対する制限因子が多く、スギの適地ではないからであろうと考察した。肥効のあらわれている施肥林分では、無施肥林にくらべてH/Dの値が低くなる傾向がみられる。

ii) 瀬尻のBd(m)試験地で、6年目に樹冠占有面積を計算したが、施肥区では地表のほとんど90%近くが枝葉で被覆される計算になり、施肥により林分閉鎖が促進される傾向がみられる。

iii) 各試験地で2年目に重量や養分含有状態をしらべた。この時期は、樹高や直径に対する肥効がまだ顕著にあらわれていないが、重量や養分含有量は施肥区で大である。しかし、各部位への乾物や養分の分布割合などでは顕著な変化はみられない。BdやBd(m)試験地では、単位枝葉の幹生産量も高くなっている傾向がみられる。

iv) 瀬尻のBd試験地で、肥効が十分あらわれている7年目に、地上部の重量や養分含有状態をしらべた。

その結果、施肥により重量で約1.3倍、養分含有量で1.5~1.7倍増加し、Nは葉で最も増加し、重量や K_2O 、 P_2O_5 は幹材部で著しく増加する傾向がみられた。このことは、施肥により吸収増加した養分のうち、Nは材に蓄積されるより葉の中にあつて、養分循環のサイクル内で循環する割合が多くなり、 K_2O や P_2O_5 は循環外の材に蓄積される割合が多くなると考えられる。7年目になると、計算上の肥料の吸収率は非常に高くなり、Nで73%、 K_2O で66%に達し、2年目のころと比べると成長や養分吸収作用は非常に高くなっていると考えられる。

v) 瀬尻試験地で6年目および7年目の時点で、大日山試験地で6年目の時点で、それぞれ葉分析を行った。調査年により、試験地により多少の差はあるが、肥効のあらわれている試験地では施肥により葉のN、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高まり、N/ P_2O_5 の値は高くなる傾向がみられる。

4. 施肥による閉鎖林分の生産量増加の可能性の検討

(1) 目的と方法

木が植栽されてから、林分が閉鎖するまでの間の成長は、林木が互いに孤立している状態での成長になるので、施肥効果は相当期待されると考えてよいし、事実現在までに、幼齢林木では肥効が高くあらわれたという実例がたくさんある⁵⁾¹²⁾¹⁴⁾²⁶⁾³⁰⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴⁹⁾⁵⁶⁾⁶⁶⁾⁶⁷⁾。

しかし、閉鎖のすすんだ林分でも、同じような肥効を期待してよいものだろうか。

わが国においては、閉鎖林分の施肥の実例は現在のところ1~2しか報告されていないし⁸⁾²⁸⁴⁾、今後も肥効実例が発表されるまでには、ある程度の時間が必要である。

扇田ら(1952)⁷¹⁾は、アカマツ植栽疎密試験地の測定結果から、地位が等しく、閉鎖を保っている場合には、一定面積から一定期間に生産される物質量は大きな差ないと報告しているが、施肥により林木の栄養状態が改善されたり、また地位が向上すれば、物質生産量は増加する可能性があるものと考えられる。

本稿では現実の壮齢林分の閉鎖状態はどの程度のものであるのかを、従来の筆者の調査結果から述べ、葉の養分濃度と単位葉の幹生産量の関係から、閉鎖林分における肥培の可能性を検討してみた。

(2) 結果と考察

i) 現実林分の葉量と胸高断面積合計

筆者が今までに調査した各地のスギ壮齢林分のhaあたり葉量(乾重)および胸高断面積合計を一括表

Table 50. スギ壮齡林の葉量と胸高断面積計
Leaf dry weight and basal area of *Cryptomeria* mature forest

地 域 Area	番号 No.	林齡 Age	林班 Block	土壌 Soil type	平均樹高 Mean height	平均胸高 直 径 Mean D.B.H.	立木本数 Trees per ha.	葉 量 Leaf dry we- ight per ha.	胸高断面計 Basal area per ha.	備 考 Note	
分 林 査 調 Actual forest stand	秩 父 (埼玉県) Chichibu(Saitama pref.)	1	55	34	Bd(d)	13.4m	15.9cm	2,005	16.4ton	40 m ²	1963. Sept. 調査
		2	55	34	Bd	15.1	17.7	2,020	21.9	50	
		3	55	34	Bd	20.9	26.3	928	14.8	53	
	気 田 (静岡県) Keta(Shizuoka pref.)	4	49	257	Bd(d)	12.9	21.8	1,310	17.8	51	1964. Oct. 調査
		5	48	258	Bd	18.3	24.6	1,099	15.2	55	
		6	48	258	Be	21.8	29.8	863	16.6	66	
	天 城 (静岡県) Amagi(Shizuoka pref.)	7	35	80	Bd(d)	11.4	14.8	2,470	11.9	41	1965. Oct. 調査
		8	38	64	Bd	14.0	16.9	2,050	10.4	49	
		9	38	64	Be	18.3	22.9	1,410	14.1	55	
	村 上 (新潟県) Murakami(Niigata pref.)	10	59	370	Bb	7.1	11.3	2,680	13.9	31	1966. Oct. 調査
		11	59	370	Bd	21.5	30.0	837	15.3	64	
		12	59	370	Be	25.8	36.3	621	19.7	68	
	天 城 (静岡県) Amagi(Shizuoka pref.)	13	49	317	Bd	12.9	18.3	1,700	—	37	1963. Oct. 調査
		14	49	317	Bd	13.9	19.7	1,500	—	36	
		15	49	317	Bd	14.5	19.7	1,500	—	36	
	筑 波 (茨城県) Tsukuba(Ibaragi pref.)	16	56	19	Bd(d)	13.2	16.0	2,007	—	43	1964. Oct. 調査
		17	56	19	Bd(d)	13.1	16.2	1,970	—	43	
		18	56	19	Bd	14.3	17.5	2,090	—	54	
		19	56	19	Bd	14.7	17.1	2,030	—	50	
スギ最多密度林分 Full density forest								—	100	四手井による。 The estimation were car- ried out by Dr. T. SHIDEI.	
中庸林分 Moderate density forest								17~18	80		

示すると、Table 50 のようになる。

すなわち、林齢 35 年から 59 年のあいだで、種々の土壌型の種々の成長状態の林分がふくまれ、立木本数も 620 本程度から 2,680 本という状態のものまで含まれているが、葉量は 10ton から 22ton の間で変動し、胸高断面積合計も 31~68m² の間で変動している。

四手井 (1963)⁷²は、スギ最多密度林分の胸高断面積合計に 100m²、中庸林分の胸高断面積合計に 80m²、葉量に 17~18ton という数字をあてはめているが、これと筆者の測定した現実壮齢林分の数値を比較してみると、葉量では四手井の中庸林分の値以上に葉量を持っている林分が 1~2 みられるのみで、大半はそれ以下であり、胸高断面積合計になると、大部分が四手井の値の $\frac{1}{2}$ 程度の値しか示していない。

ERICKSON ら (1958)⁹¹は、ダグラス ファーの林分で施肥と間伐を組み合わせた試験を行ない、間伐施肥区が無間伐施肥区より効果が大きかったことを報告している。また渡辺 (1966)⁹⁷は直径成長におよぼす施肥の効果は疎立状態で大、密状態で小であることを報告している。

間伐により周囲が解放された木は、養分吸収作用や葉の同化作用が活発になって、無間伐の状態よりよく成長し、肥効も高くあらわれることは当然考えられる。そこで、閉鎖のすすんだ林分に施肥する場合、ある程度間伐して施肥をした方が効果がより高くあらわれると考えるべきであるが、現実林分の葉量や胸高断面積合計の値からみて、そのままの状態でも、肥培効果のあらわれる可能性がまだ残されていると考えられる。

ii) 単位葉の幹材積生産量

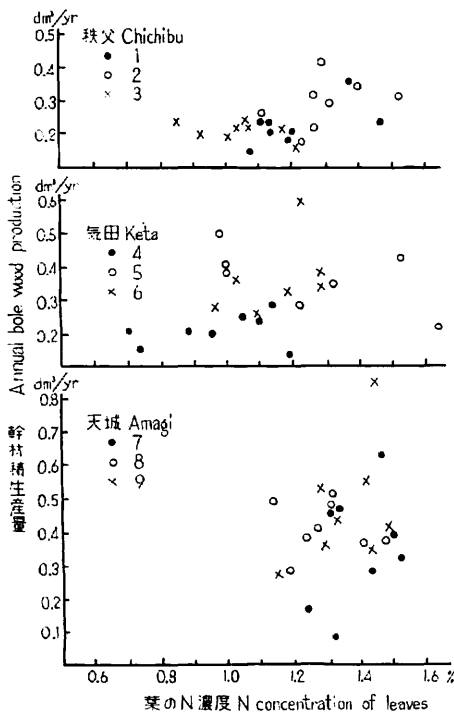


Fig. 27 葉のN濃度と単位葉の幹材積生産量
The relation between N concentration of leaves and the annual bole wood production in the recent year.

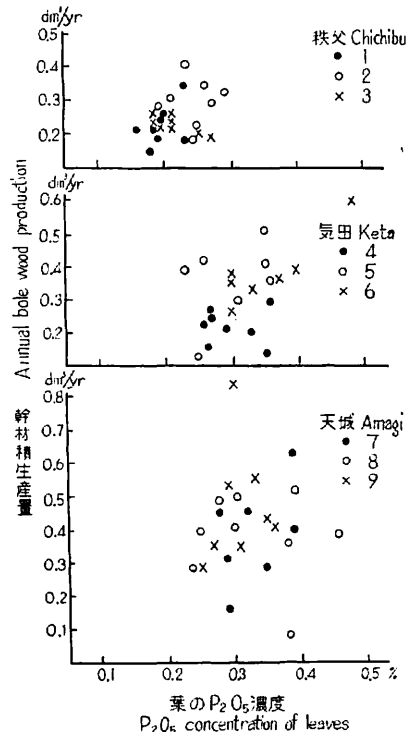


Fig. 28 葉の P₂O₅ 濃度と単位葉の幹材積生産量
The relation between P₂O₅ concentration of leaves and annual bole wood production in the recent year.

単位葉の光合成能力が一定不変のものであれば、一定量の葉が生産する同化生産量は一定となり、呼吸による消費量を一定とすれば、特定の閉鎖林分での面積あたりの乾物生産量は一定になってしまう。

坂上 (1965)⁹⁵⁾ が、土耕と水耕で育てたスギ苗の光合成能力をしらべた結果によると、土耕苗では葉内の N 濃度の変化の範囲が狭く、光合成能力と N 濃度の間に関係が見い出されなかったが、水耕の場合には、土耕の場合よりはるかに広範囲の N 濃度の葉が得られ、葉の N が 1.5% に達するまでは、濃度が高くなるほど光合成能力が高くなることを報告している。林木生理の分野において、この種の研究データは非常に不足していて、今後に期待しなければならないが、葉の光合成能力は一定のものではなく、施肥により葉の養分濃度が高まった場合に、一定量の葉が生産する乾物生産量も高まるという可能性は十分残されていると思われる。

筆者は Table 50 のプロット 1～9 に相当する秩父の 55 年生スギ林、気田の 48, 49 年生スギ林、天城の 35～38 年生スギ林で、最近 1 年間の幹材積増加量を、現在の葉の生重量で割って、単位葉の幹材積生産量を計算したが、それを葉の養分濃度との関係で図示すると Fig. 27～30 になる。

Fig. 27 は樹冠上位葉の N 濃度と単位葉の幹材積生産量の関係であるが、これをみると、全体として葉の N 濃度が高まれば、幹材生産量が増加する正の相関関係の傾向がみられる。地域別にみると、秩父では N が 1.2% 前後、気田では N が 1.0% 前後を境にして、それ以下では生産量が低く、それ以上のと

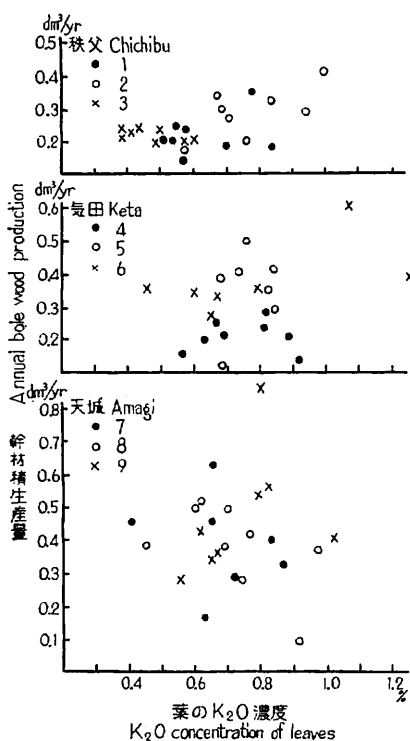


Fig. 29 葉の K₂O 濃度と単位葉の
幹材積生産量の関係

The relation between K₂O concentration of leaves and the annual bole wood production in the recent year.

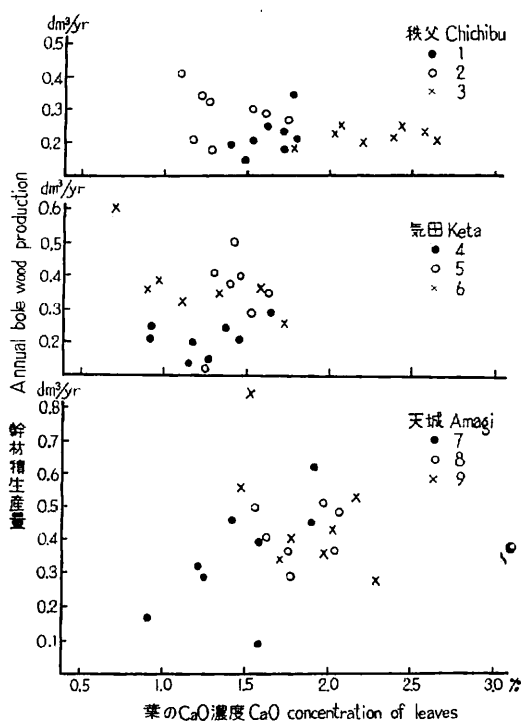


Fig. 30 葉の CaO 濃度と単位葉の
幹材積生産量

The relation between CaO concentration of leaves and the annual bole wood production in the recent year.

ところで生産量の大きい個体があらわれてくる。これからみると、幹材積生産量の高くなるNの限界濃度は1.0~1.2% 付近ではないかと考えられる。天城の場合は、全体として正の相関関係の傾向は不明であり、秩父や気田のように、生産量が急に高くなる限界濃度はわからない。これは天城の葉のN濃度が全体的に1.1%以上という高濃度であったためと思われる。

Fig. 28 は、樹冠上位葉の P_2O_5 濃度と単位葉の幹材積生産量の関係であるが、この関係も相当のばらつきはあるが、全体として正の相関関係の傾向が認められる。秩父や気田のN濃度でみられたような、生産量の高まる限界濃度は不明である。

Fig. 29 は、樹冠上位葉の K_2O 濃度と単位葉の幹材積生産量の関係であるが、この関係も相当のばらつきはあるが、秩父では正の相関関係の傾向が認められる。生産量の高まる個体がでてくる限界濃度は秩父、気田では0.7%前後ではないかと考えられるが、天城の場合は不明である。

Fig. 30 は、樹冠上位葉のCaO濃度と単位葉の幹材積生産量の関係であるが、相当のばらつきがあり、秩父では負の相関関係の傾向がみられるが、他の2地域では相関関係が不明である。

これらの傾向を通覧してみると、葉の養分濃度と単位葉の幹材積生産量の関係は相当のばらつきがあるが、全体として葉のN、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高まれば、単位葉の幹材積生産量は高くなる可能性を認めることができる。

このような点からも、施肥による閉鎖林分が生産量増加の可能性が残されていると考えることができる。

(3) 要 約

現実林分の葉量、胸高断面積合計、単位葉の幹材積生産量から、施肥による閉鎖林分が生産量増加の可能性について検討した。

i) 大部分の現実林分の葉量は、中庸林分の葉量として考えられている値より少なく、現実林の胸高断面積合計も、中庸林分として考えられている数値の $\frac{1}{2}$ 程度の値しかないものが多い。

ii) 単位葉の幹材積生産量と葉の養分濃度の関係は相当バラツキがあるが、全体として、葉のN、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高くなれば、単位葉の幹材積生産量が高くなる可能性が考えられる。

葉のN濃度が1.0~1.2%以上になると、幹材積生産量の大きい個体があらわれてくる傾向がみられる。

iii) 以上の事例から、施肥による現実閉鎖林分が生産量増加の可能性が十分あるものと考察した。

5. スギ壮齡林分の成長、養分含有量に及ぼす施肥の効果

(1) 目的と方法

わが国の林地肥培の歴史は浅く、しかも肥培の試験が幼齡林肥培から出発したために、壯齡林木の肥培効果については、中間報告的なものが2~3公表されているにすぎない³³⁾³⁸⁾。

ここで述べる壯齡林木に対する肥培効果も、筆者の担当していた静岡県天城営林署管内（天城試験地と呼称）および茨城県笠間営林署管内（筑波試験地と呼称）の両試験地とも、まだ主伐予定になっていないため、多数の木を伐倒して最終的な調査を完了するにはなお相当の年月が必要である。現在のところあまり明りょうな成長差はあらわれていないが、現在まで数回にわたって行なった中間調査の結果からみると、2~3の興味ある傾向が認められるので、これらを中心に考察を加えることにする。

天城試験地は天城営林署棚場事業区に属する、317林班および318林班内にあり、火山灰に由来するBd

型土壌で、約35°の南面傾斜地の下部に位置している。1962年10月の当時39年生スギ造林地（大正14年植栽）にNPK施肥区、N施肥区、無施肥区を設定した。

天城試験地の現在までの経過はつぎのとおりである。

第1回施肥：1963年4月、NPK区には15-8-8の配合比を持つ硫リン安系化成肥料で、N区には硫酸で、それぞれNで100kg/haになるよう施肥した。施肥法は2m間隔に浅い溝をきり、肥料をいれた後軽く覆土した。

間伐と第2回施肥：1965年5月、材積で15%程度の間伐を行なった後、第1回目と同じ肥料、同じ施肥法で、Nとして150kg/haになるように施肥した。

第1回目の成長調査は、1964年11月すなわち、第1回施肥後2年目の秋に行なった。調査方法はブロックIで各区の胸高直径を毎木調査し、胸高直径階に応じて5本を選定伐倒し、樹幹折解後第I章2の方法に準じて重量や養分含有量を調査した。なおhaあたり換算は、断面積比推定によった。また1966年11月には、伐倒はしないが、全立木の胸高直径を測定し、各区から3本あて葉分析試料を採取した。

筑波試験地は笠間宮林署筑波事業区の19林班や小班に属し、傾斜角約25°、北向きの斜面で腐植に富むBD型土壌である。

1964年3月、当時56年生スギ造林地（明治41年植栽）に施肥区、無施肥区を設定した。

第1回施肥は1964年4月に24-16-11の配合比をもつ尿素系化成肥料をつかってNとして100kg/ha、第2回施肥は1965年4月に同肥料でNとして150kg/ha、それぞれ天城試験地に準じた方法で施用した。

この試験地は伐採調査はまだ行なっておらず、1966年秋に胸高直径の毎木調査を行ない葉分析試料を採取した。

再試験地の設定当時の林分概要はTable 51、土壌の概要はTable 52のとおりである。

Table 51. 壮齡林肥培試験地の概要

Conditions of fertilized mature forest

試験地 Plot	処 理 Treatment	面 積 Area (m ²)	本 数 Number of trees	平均樹高 Mean height (m)	平均胸高 直 Mean D.B.H. (cm)	haあたり 本数 Trees per ha.	胸高断面 積 Basal area per ha. (m ²)	林 班 Block	設定時林 齢 Tree age at estab- lishment
天 城 I Amagi	NPK	450	80	12.9	18.5	1,770	47	317	39
	N	500	68	14.5	20.5	1,360	41	"	"
	Non	560	68	13.9	20.5	1,210	37	"	"
天 城 II Amagi	NPK	160	29	12.9	17.7	1,810	45	318	39
	N	140	19	13.1	18.9	1,360	38	"	"
	Non	140	20	12.7	18.1	1,430	37	"	"
筑 波 I Tsukuba	NPK	280	56	13.1	16.2	1,970	43	19	56
	Non	280	57	13.2	16.0	2,007	43	"	"
筑 波 II Tsukuba	NPK	470	96	14.7	17.1	2,029	50	19	56
	Non	470	99	14.3	17.5	2,093	54	"	"

Table 52. 天城および筑波試験地の土壌の概要
Soil properties of Amagi and Tsukuba fertilized experimental plot

試験地 Plot	土層および深さ Soil horizon, depth (cm)	土 色 Soil colour	構 造 Structure	pH		Y ₁	N (%)	C (%)	C.E.C. (m. e.q.)	Exchange- able (m.e.)	
				H ₂ O	KCl					Ca	K
天 城 Amagi	(H)-A	0~5	7.5Y R $\frac{3}{2}$	Clum	—	—	—	—	—	—	—
	A ₁	5~10	7.5Y R $\frac{3}{2}$	"	5.6	4.5	3.1	0.79	10.8	53	15.9
	A ₂	10~25	10Y R $\frac{3}{3}$	Blocky	5.6	4.2	3.8	0.65	7.1	42	6.1
	B	25<	7.5Y R $\frac{3}{4}$	—	5.3	4.2	4.4	0.34	3.4	31	1.3
筑波 I Tsukuba	A ₁	0~5	7.5Y R $\frac{3}{3}$	Clum	5.5	4.5	3.4	0.88	11.4	54	11.2
	A ₂	5~15	10Y R $\frac{2}{3}$	Massive	5.4	4.3	5.9	0.82	10.1	49	6.0
	A ₃	15~25	7.5Y R $\frac{3}{3}$	Clum	5.1	4.1	7.9	0.66	7.1	46	1.2
	B	25<	10Y R $\frac{3}{4}$	—	5.5	4.2	2.3	0.37	3.3	32	0.7
筑波 II Tsukuba	A ₁	0~10	10Y R $\frac{2}{3}$	Clum	5.8	4.6	2.5	0.82	10.1	51	12.4
	A ₂	10~25	7.5Y R $\frac{3}{3}$	Massive	5.2	4.1	7.9	0.65	7.1	47	1.5
	B	25<	10Y R $\frac{3}{4}$	"	5.0	4.4	1.9	0.30	2.4	39	2.0

(2) 結果と考察

i) 施肥後の2年間の材積成長

天城試験地で、第1回施肥後2年目の1964年秋に、ブロックIで胸高直径階に応じて各区5本あて供試木を選定伐倒し、材積成長の経過をしらべた結果は Fig. 31 のとおりである。

すなわち、これによると無施肥区は2年間に ha あたり約 20m³ 増加したのに対し、NPK施肥区は約 26m³、N 施肥区は約 28m³ 増加している。施肥後2年間しか経過していないので、成長量の差は少ないが、それぞれ施肥の効果を認めることができる。

また施肥後2年間の材積成長率をプレスラー式により計算すると、NPK 施肥区 3.9%、N施肥区 3.7%、無施肥区 3.5% となり、成長率の上からも肥効を認めることができる。

ii) 施肥後2年目に調査した林木の ha あたり乾物重量

天城試験地の伐倒木の樹冠部を上、中、下に3等分し、その各部で葉、緑枝、枝別に乾物重量をもとめ、幹は樹皮、第1回の施肥当時すでに形成されていた辺材部、施肥後2年間に形成された辺材部および心材部にわけてそれぞれ乾物重量をもとめ、ha に換算すると Table 53 のようになる。

すなわち、地上部の乾物重量は 221ton から 237ton に達し、そのうち幹は 80% 以上をしめている。幹の全体の重さおよび施肥後2年間に形成された辺材の重さの傾向は N 施肥区 > NPK施肥区 > 無施肥区となっていて、Fig. 31 の1964年当時の幹材積の傾向と同じであるので、材積成長の傾向からみて、施肥効果が ha あたり幹乾物重量にもあらわれたと考えられる。

樹冠上位の葉の重量で、施肥効果が多少あらわれるのではないかと考えたが、Table 53 の傾向では不

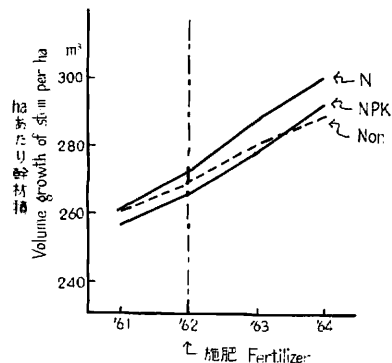


Fig. 31 施肥試験地における ha あたり幹材積の変化 (天城)
Volume growth of stem per ha after fertilizer added (Amagi).

Table 53. 施肥後2年目に調査した天城試験地のhaあたり乾物重量(ton/ha)
Dry weight of the trees per ha. at 2nd years after fertilizer added

部 位 Part of tree		処 理 Treatment	N P K	N	Non
葉 Leaf	樹冠上部 Upper crown		3.89	4.27	5.69
	樹冠中部 Middle crown		6.98	8.97	8.14
	樹冠下部 Lower crown		3.20	3.01	3.88
	全 体 Whole		14.07(6)	16.25(7)	17.71(8)
緑 枝 Greenish twig	樹冠上部 Upper crown		1.00	0.90	1.07
	樹冠中部 Middle crown		2.45	1.49	2.99
	樹冠下部 Lower crown		0.90	0.97	0.78
	全 体 Whole		4.35(2)	3.36(2)	4.84(2)
枝 Branch	樹冠上部 Upper crown		1.18	1.32	1.94
	樹冠中部 Middle crown		5.67	6.67	8.45
	樹冠下部 Lower crown		5.89	4.60	9.70
	全 体 Whole		12.74(6)	12.59(5)	20.09(9)
幹 Stem	樹 皮 Bark		7.53	14.37	11.97
	施肥後形成された辺材 Sap wood developed after fertilizaion		13.05	15.91	12.76
	施肥前の辺材 Sapwood developed before fertilization		89.50	102.57	93.89
	心 材 Heartwood		79.83	72.73	60.40
	全 体 Whole		189.91(86)	205.08(86)	179.02(81)
地 上 部 全 体 Above ground			221.07(100)	237.28(100)	221.66(100)

明である。

佐藤ら(1964)⁶⁸⁾は幼齡林肥培試験地の調査結果から、樹高が比較的低いときは枝葉に施肥効果があらわれ、樹高が高くなると幹に施肥効果があらわれる傾向があることをのべている。

しかし、壮齡林木のような高い樹高のものであっても、生理作用の活発な樹冠上位の当年生葉では、何らかの形で施肥効果があらわれてよいはずである。施肥後長年月を経過していれば、葉の絶対量とか、樹冠の位置別の分布などに差があらわれてくるのではないかと考えられるが、施肥後わずか2年しか経過していない時点では、重量に対するわずかな施肥効果は、試験地設定当時のプロット間誤差に消されて、傾向が不明になってしまう。

そこで、Table 53 の樹冠各部位の葉の乾物重量をその部位の枝の幹物重量で割って、乾物重量1kgの枝にどの程度の葉が着生しているかを計算してみると、Table 54 の数値がえられる。

すなわち、樹冠の位置別にみると、樹冠上位ほど葉の着生割合が多く、処理別にみると、施肥区は無施肥区より

Table 54. 1 kg の枝に着生している葉の量(kg/kg)
Leaf amount per unit branch

樹冠の位置 Part of crown		処 理 Treatment	N P K	N	Non
樹 冠 上 部 Upper crown			3.3	3.2	2.9
			1.2	1.3	1.0
			0.5	0.7	0.4
			1.1	1.3	0.9
樹 冠 中 部 Middle crown					
樹 冠 下 部 Lower crown					
樹 冠 全 体 Whole crown					

葉の着生量が多い傾向がみられる。

iii) 施肥後2年目の林木各部位の養分濃度

天城試験地の Table 53 に記載した林木の各部位の養分濃度は Table 55 のとおりである。

Table 55. 施肥2年後の壮齡林木各部位の養分濃度
Nutrient concentrations in each part of mature trees at 2nd years after fertilizer added

部 位 Parts of trees		處理 Treatment	養分 Nutrient			N %			P ₂ O ₅ %			K ₂ O%			CaO%		
			N	P	K	N		Non	N	P	K	N		Non	N	P	K
葉 Leaf	樹冠上部 Upper crown		1.52	1.31	1.23	0.31	0.23	0.25	0.69	0.60	0.56	1.71	1.69	1.75			
	樹冠中部 Middle crown		1.26	1.28	1.16	0.21	0.23	0.21	0.55	0.58	0.61	2.00	1.63	1.82			
	樹冠下部 Lower crown		1.42	1.16	0.99	0.26	0.21	0.19	0.64	0.63	0.53	2.07	1.71	2.18			
緑 枝 Greenish twig	樹冠上部 Upper crown		0.77	0.76	0.52	0.21	0.17	0.21	0.56	0.49	0.48	1.67	1.55	1.76			
	樹冠中部 Middle crown		0.70	0.89	0.90	0.20	0.17	0.16	0.50	0.50	0.54	1.70	1.73	1.56			
	樹冠下部 Lower crown		0.75	0.79	0.90	0.20	0.17	0.17	0.50	0.44	0.57	1.75	1.32	1.69			
枝 Branch	樹冠上部 Upper crown		0.37	0.33	0.25	0.12	0.07	0.19	0.15	0.14	0.14	1.55	1.01	1.25			
	樹冠中部 Middle crown		0.31	0.28	0.21	0.07	0.09	0.06	0.14	0.10	0.11	1.34	0.87	0.90			
	樹冠下部 Lower crown		0.21	0.28	0.25	0.07	0.06	0.10	0.11	0.09	0.11	1.17	1.08	1.29			
幹 Stem	樹皮 Bark		0.42	0.39	0.34	0.20	0.07	0.11	0.20	0.14	0.09	1.80	1.62	1.72			
	施肥後の辺材 Sapwood developed after fertilizer added		0.14	0.13	0.09	0.14	0.06	0.05	0.10	0.10	0.12	0.29	0.27	0.17			
	施肥前の辺材 Sapwood developed before fertilizer added		0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.08	0.08	0.08	0.17	0.17	0.17			
	心 材 Heartwood		0.03	0.06	0.06	0.03	0.09	0.03	0.23	0.25	0.26	0.23	0.17	0.26			

樹冠部でみると、一般に施肥区は無施肥区にくらべ上位葉の N, K₂O 濃度, 中位葉の N 濃度, 下位葉の N, P₂O₅, K₂O 濃度, 上位緑枝の N, K₂O 濃度, 上位枝の N, CaO 濃度, 中位枝の N, P₂O₅, K₂O, CaO 濃度が高い傾向がみられる。

すなわち、樹冠上位の葉, 緑枝, 枝の N 濃度, K₂O 濃度は施肥により増加しているが, P₂O₅ は増加する場合もあるが, 逆に低下している事例もみられる。

幹材部でみると、施肥区は無施肥区にくらべ樹皮の N 濃度, K₂O 濃度が高くなっている。P₂O₅ 濃度は NPK 施肥区では高いが, N 施肥区では逆に低下している。1963~1964 年に形成された辺材, すなわち施肥後2年間に形成された辺材部の N 濃度, P₂O₅ 濃度, CaO 濃度は、それぞれ施肥区で高くなっている。1962 年以前に形成された辺材部でも P₂O₅ 濃度は施肥区で高くなっているが、これは施肥処理の差というより、試験地設定以前からの個体差に左右されているとみた方がよいであろう。

以上の結果を通覧してみると、施肥区は無施肥区にくらべ、樹冠部では樹冠上位の葉, 緑枝, 枝, 幹材

部では樹皮および施肥後に形成された辺材の部分で養分濃度とくにN濃度が高くなっている傾向がみられる。

iv) 施肥後2年目に調査した林木の ha あたり養分含有量および林木各部位への分布

Table 56. 施肥2年後の壮齢木地上部の
Nutrient contents in each part of mature trees at 2nd

養 分 Nutrient		N			
部 位 Part of trees	処理 Treatment	N P K	N	Non	N P K
葉 Leaf	樹冠上部 Upper crown	59.1	55.9	70.0	12.1
	樹冠中部 Middle crown	88.0	114.8	94.4	14.7
	樹冠下部 Lower crown	45.4	34.9	38.4	8.3
	全 体 Whole crown	192.5(50)	205.6(45)	202.8(47)	35.1(21)
緑 枝 Greenish twig	樹冠上部 Upper crown	7.7	6.8	5.6	2.1
	樹冠中部 Middle crown	17.2	13.3	26.9	4.9
	樹冠下部 Lower crown	6.8	7.7	7.0	1.8
	全 体 Whole crown	31.7(8)	27.8(6)	39.5(8)	8.8(5)
枝 Branch	樹冠上部 Upper crown	4.4	4.4	4.9	1.4
	樹冠中部 Middle crown	17.6	18.7	17.8	4.0
	樹冠下部 Lower crown	12.4	12.9	24.3	4.1
	全 体 Whole crown	34.4(9)	36.0(8)	47.0(11)	9.5(6)
幹 Stem	樹 皮 Bark	31.8	56.6	41.2	15.2
	施肥後の辺材 Sapwood developed after fertilizer added	17.9	20.7	12.1	17.9
	施肥前の辺材 Sapwood developed before fertilizer added	55.6	70.3	56.4	52.9
	心 材 Heartwood	24.8	42.3	36.3	25.6
	全 体 Whole stem	130.1(33)	189.9(41)	146.0(34)	111.6(68)
地 上 部 合 計 Above ground		388.7(100)	459.3(100)	435.3(100)	165.0(100)

() は分布割合を示す。Shows distribution ratio.

天城試験地の Table 53 の乾物重量に、Table 55 の養分濃度を乗じて ha あたりの養分含有量を計算すると Table 56 のようになる。

すなわち、N は地上部に 390~460kg 程度ふくまれ、そのうちの 45~50% が葉に、33~41% が幹に分布している。P₂O₅ は地上部に 130~170kg 程度ふくまれ、そのうちの 50~70% が幹に、21~29% が葉に分布している。K₂O は地上部に 400~430kg 程度ふくまれ、そのうちの 63~70% が幹に、21~25% が葉に分布している。また CaO は地上部に 1,020~1,180kg 程度ふくまれ、そのうちの 50% 前後が幹に、27~28% が葉に、12~19% が枝に分布している。

処理別にみると、施肥による養分含有量の違いや、養分の分布割合の違いはみられない。

しかし、幹の部分で樹皮、心材、施肥以前に形成されていた辺材、施肥後に形成された辺材にわけて比較してみると、施肥区は無施肥区にくらべて、樹皮の K₂O 含有量、施肥後に形成された辺材部の N, P₂O₅, CaO 含有量が大きくなっている。

幹を各部位にわけ、乾物とNの分布割合を図示してみると、Fig. 32 のようになり、施肥以後に形成された辺材部でのNの分布割合は施肥区で大である。

筆者は第II章3の幼齢林の施肥試験の結果で、施肥により、吸収増加した養分のうち、N は材に蓄積

養分含有量 (kg/ha)

years after fertilizer added

P ₂ O ₅		K ₂ O			CaO		
N	Non	NPK	N	Non	NPK	N	Non
9.8	14.2	26.8	25.6	31.9	66.5	72.2	99.6
20.6	17.1	38.4	52.0	49.7	139.6	146.2	148.2
6.3	7.4	20.5	19.0	20.6	66.2	51.5	84.6
36.7(21)	38.7(29)	85.7(21)	96.6(22)	102.2(25)	272.3(27)	269.9(27)	332.4(28)
1.5	2.3	5.6	4.4	5.1	16.7	14.0	18.8
2.5	4.8	12.3	7.5	16.2	41.7	25.8	46.6
1.7	1.3	4.5	4.3	4.5	15.8	12.8	13.2
5.7(3)	8.4(7)	22.4(5)	16.2(4)	25.8(6)	74.2(7)	52.6(5)	78.6(7)
0.9	3.7	1.8	1.7	2.7	18.3	13.3	24.3
6.0	5.1	7.9	12.7	9.3	76.0	58.0	76.1
2.8	9.7	6.5	4.2	10.7	68.9	49.7	125.2
9.7(6)	18.5(14)	16.2(4)	18.6(4)	22.7(6)	163.2(16)	121.0(12)	225.6(19)
10.0	12.9	15.3	20.7	11.0	135.7	233.3	205.8
7.6	6.2	13.1	16.3	15.8	37.5	43.0	21.2
40.9	27.6	71.6	82.0	74.5	154.8	172.9	159.6
62.0	18.1	183.6	182.7	156.1	183.4	122.2	156.1
120.5(70)	64.8(50)	283.6(70)	301.7(70)	257.4(63)	511.4(50)	571.4(56)	542.7(46)
172.6(100)	130.4(100)	407.9(100)	433.1(100)	408.1(100)	1,021.1(100)	1,014.9(100)	1,179.2(100)

されるより、葉の中にあつて養分循環のサイクル内で循環する割合が多くなり、K₂OやP₂O₅は循環外の材に蓄積される割合が、多くなると考えたが、天城の壮齢木で、このような明りような傾向をのべるまでに至っていないのは、まだ施肥後2年しか経過していないためと思われる。

ⅴ) 施肥後2年目に調査した林木1本あたりの乾物重量、養分含有量とD²Hの関係

林木の幹の重量や養分含有量がD²Hと相関関係にあることは、第I章で述べたが、施肥をした場合、肥培木の各部の重量や養分含有量とD²Hとはどんな関係になるかをしらべてみた。施肥の

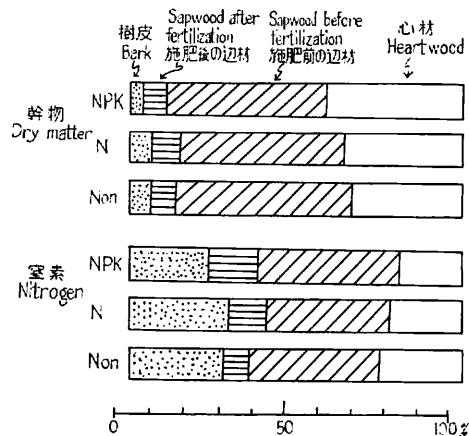


Fig. 32 幹の中の乾物と窒素の分布（天城）
Distribution of dry matter and nitrogen
in the stem of mature trees.

ために直径や樹高が変化し、それに応じて林木各部位の重量などが変化すれば、相関傾向は無施肥の場合と類似してくるが、施肥後短い年月しか経過していない場合には、ある特定の部分のみが施肥によって変化するるので、 D^2H との相関の傾向はやや乱れてくるはずである。

そこで、これらの関係をしらべるために、幹の乾物重量やN含有量を縦軸に、 D^2H を横軸にとって図示してみると、Fig. 33 のようになる。

すなわち、それによると、幹の乾物重量は D^2H と明りょうな相関の傾向をみせているが、施肥処理によ

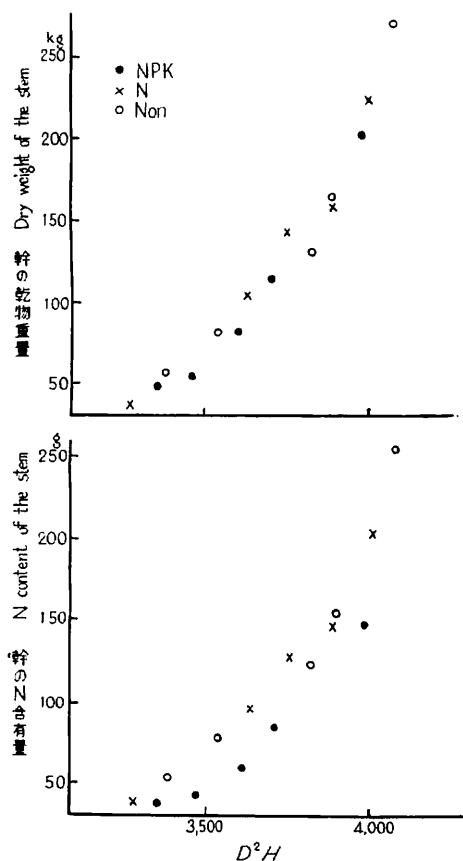


Fig. 33 幹の乾物重量および N 含有量と D^2H の関係 (天城)

Dry wight and N content of the stem, in relation to the D^2H of mature trees (Amagi).

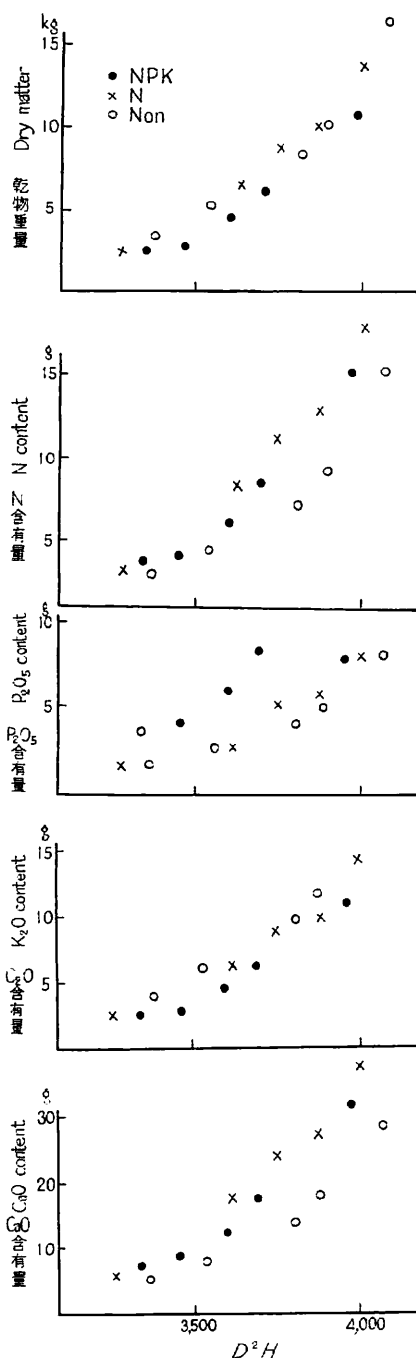


Fig. 34 施肥後2年間に形成された辺材部の乾物重量、養分含有量と D^2H の関係 (天城)

Dry weight and nutrient content of the sapwood developed during 2 years after fertilization in relation to the D^2H of mature trees (Amagi).

る差はとくにみられず、また幹の中の N 含有量も、施肥区と無施肥区で差があるような傾向はみられない。前述 (ii) の項で ha あたり幹の乾物重量にも多少施肥効果があらわれていると考察したが、これは施肥により樹高や直径が大きくなり、これに応じて乾物重量が増加しただけとみなされる。ところが Fig. 34 によると、施肥後 2 年間に形成された辺材部分の乾物重量や K_2O 含有量は、 D^2H と相関傾向があつて、一つの傾向線の上により施肥処理による差が認められないが、その中の N, P_2O_5 , CaO の含有量と D^2H の関係は、施肥区と無施肥区で分離した傾向を示し、同じ D^2H の値を示す個体でも、NPK 施肥区や N 施肥区に属するものは、無施肥区のものより、N, P_2O_5 , CaO 含有量が大きくなる傾向が明りょうにあらわれてくる。

すなわち、施肥後 2 年間に形成された辺材部分の N, P_2O_5 , CaO 含有量は、施肥による直径や樹高の増加割合以上に多量に集積する、ことばをかえれば、一時的現象とは思われるが、施肥によりその後形成された辺材部分に、これらの養分が多量に集積されるという傾向がみられる。

vi) 単位葉の幹材積生産量

施肥 2 年後に樹幹析解した天城試験地の試料をつかつて、最近 1 年間の幹材積生産量を現在の葉の生重で割って、単位葉の幹材積生産量を計算すると Table 57 のようになる。すなわち、ばらつきはあるが平均値でみると、NPK 施肥区では、N 施肥区や無施肥区にくらべてやや幹材積生産量が高くなっている傾向がみられる。

各個体の単位葉の幹材積生産量を、葉の養分濃度との関係で図示すると、Fig. 35 のようになる。

これによると、相関の傾向はあまり明りょうでない。すなわち、施肥後 2 年目では葉の N, P_2O_5 , K_2O 濃度は施肥で高まっているが、葉の幹材積生産量にはまだ顕著な差がみられず、したがって、葉の養分濃度と幹材積生産量の間の関係が、相関しないままおかれているものと思われる。

GESSEL ら (1965)¹⁷⁾ は、筆者の計算した単位葉の幹材積生産量とは逆に、ダグラス フェーで 1 ft³ の材を生産するに要する針葉重を計算したが、約 10 年間の調査から、N 施肥区では無施肥区にくらべ、わずかの針葉重で同量の材を生産すること

Table 57. 葉の単位重あたりの幹材積生産量(dm³/kg)
Annual bole-wood production by unit weight of leaves of mature trees in a recent year

処 理 Treatment	NPK	N	Non
範 囲 Range	0.28~0.54	0.15~0.39	0.22~0.37
平 均 Average	0.40	0.29	0.32

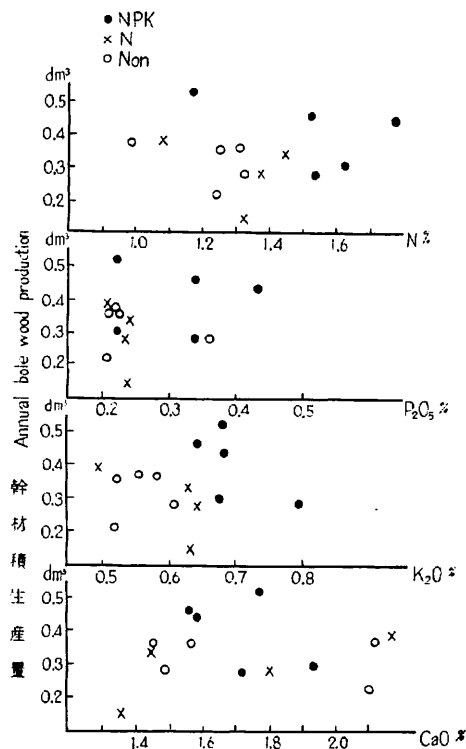


Fig. 35 壮齡林肥培試験地における施肥 2 年目の葉の養分濃度と単位葉の幹材積生産量（天城）

Annual bole wood production in the recent year, in relation to the nutrient concentration of the leaves of mature trees of 2nd years after fertilization (Amagi).

を報告している。この結果を筆者の計算した単位葉の幹生産量におきかえてみると、N 施肥により単位葉の幹生産量が高まったということになる。

竹下ら (1965)⁸⁴⁾は22年生のスギ林に施肥をして、肥効は当年度にあらわれず、2年目からあらわれるとのべているが、筆者の調査結果は施肥後2年目であるため、まだ幹生産量にそれほど顕著な影響があらわれていないが、葉の養分濃度が高まっているという点からみると、今後の成長が期待される肥培林であると思われる。

vii) 施肥後3～4年間の胸高直径成長

天城試験地では第1回施肥後4年、筑波試験地では第1回施肥後3年に相当する1966年秋に、胸高直径を毎木調査し、施肥後の胸高直径成長を計算すると Table 58 のようになる。

Table 58. 壮齡林肥培試験地の施肥後の胸高直径の変化
Change of D.B.H. of fertilized mature trees after fertilizer added

肥培試験地 Fertilized plot	処 理 Treatment	試験地設定時 (1963年) Before fertiliz- er added	調 査 時 (1966年) After fertiliz- er added	4 年間の差 Differences be- tween 4 years after fertilizer added	4年間の成長率 Growth rates between 4 years	4 年間の年平均成長量 Annual incre- ment between 4 years after fertilizer ad- ded
		(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(cm)
天 城 Amagi I	NPK	18.5	19.9	1.4	1.8	0.35
	N	20.5	22.0	1.5	1.8	0.37
	Non	20.5	21.9	1.4	1.7	0.35
天 城 Amagi II	NPK	17.7	19.0	1.3	1.8	0.33
	N	18.9	20.3	1.4	1.8	0.35
	Non	18.1	19.3	1.2	1.6	0.30
肥培試験地 Fertilized plot	処 理 Treatment	試験地設定時 (1964年) Before fertiliz- er added	調 査 時 (1966年) After fertiliz- er added	3 年間の差 Differences be- tween 3 years after fertilizer added	3年間の成長率 Growth rates between 3 years	3 年間の年平均成長量 Annual incre- ment between 3 years after fertilizer adde- d
		(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(cm)
筑 波 Tsukuba I	NPK	16.1	16.7	0.6	1.2	0.20
	Non	16.0	16.6	0.6	1.2	0.20
筑 波 Tsukuba II	NPK	17.1	17.9	0.8	1.5	0.27
	Non	17.5	18.1	0.6	1.1	0.20

備考：成長率はプレスラー式による。

すなわち、胸高直径成長の上からは現在のところ、肥効はわずかであるといわざるを得ない。

芝木 (1965)⁷⁶⁾によると、ドイツの HAUSER が、50～70年生のトウヒ林に施肥をしたところ、翌年から肥大成長に肥効が認められ、肥効は優勢木で大で、劣勢木で小であったとのべている。

そこで、試験地設定当時の胸高直径を横軸に、天城の場合は施肥後4年間の、筑波の場合は施肥後3年間の年平均胸高直径成長量を縦軸にして図示してみると、Fig. 36, 37のようになる。すなわち、Fig. 36の上の図では、胸高直径15～25cm程度のところで、NPK施肥区は無施肥区のものより年平均直径成長の大きい個体が多数見られるが、とくに優勢木で肥効が顕著であるという傾向はみられない。Fig. 36の下の方や、Fig. 37の筑波試験地では、施肥区で直径成長の大きい個体が多少みられるが、全体として

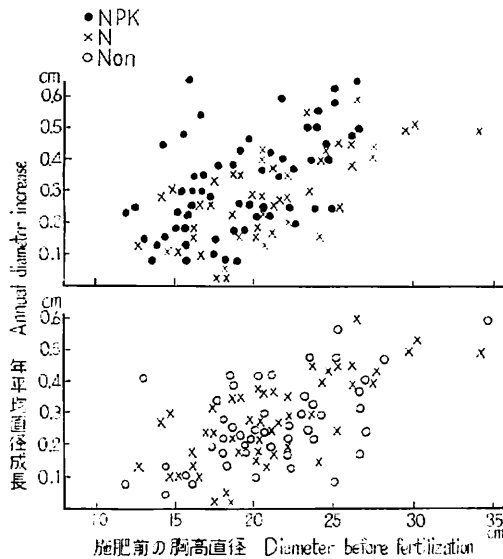


Fig. 36 施肥前の胸高直径と施肥後の年平均胸高直径成長(天城)

The relation between the breast height diameter before fertilization and annual diameter increase after fertilization (Amagi).

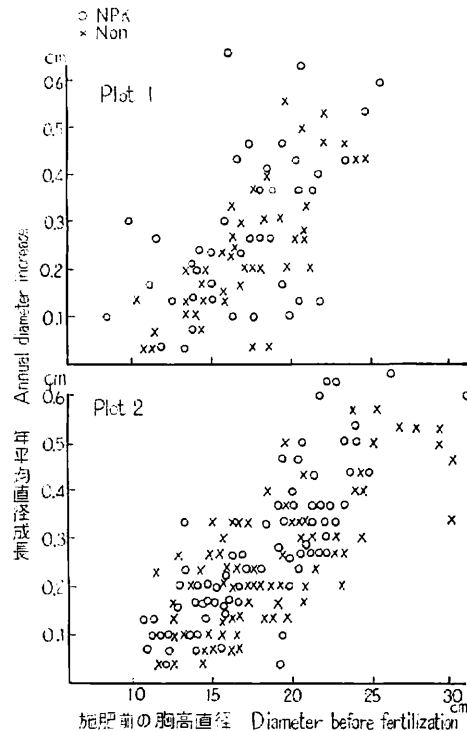


Fig. 37 施肥前の胸高直径と施肥後の平均胸高直径成長(筑波)

The relation between the breast height diameter before fertilization and annual diameter increase after fertilization (Tsukuba).

それほど顕著ではない。

天城試験地では(i)で前述したように、施肥区は無施肥区にくらべ施肥2年後の材積成長量や成長率が大きかったが、胸高直径成長の上からは、現在のところ肥効はわずかであるといわざるを得ない。

この原因は、樹幹析解をして区分求積で材積計算をすると、胸高部以外の部位のふとりも材積増となって計算されてくるからであり、たとえば天城試験地の施肥2年後の樹幹析解木の、幹の高さ別の直径成長量を表示すると、Table 59 のようになり、高さ11.2mの付近で処理差があらわれている。

佐藤(1965)⁶⁹⁾、丹下(1965)⁸⁶⁾、渡辺(1966)⁹⁷⁾によると、一般に壮齡木の直径成長に対する肥効のあらわれ方は、

は、枝下高の付近の直径でまず顕著にあらわれるといわれ、このことは、植物生態学の領域で考えられて

Table 59. 伐倒調査木の施肥後2年間の高さ別の直径成長量(天城)

Diameter growth in each height of stems of mature trees between 2 years after fertilizer added (Amagi)

処理 Height (m)	直径成長量 Diameter growth		
	NPK(cm)	N (cm)	Non (cm)
1.2	0.48	0.48	0.40
5.2	0.42	0.44	0.42
9.2	0.76	0.64	0.64
11.2	1.04	1.20	0.84

いるパイプ理論⁴²⁾からも想定しうる現象であろう。そうであるとすれば、胸高部の直径成長に顕著な肥効があらわれるまでには、ある程度の年月が必要であり、短期間の肥効をしらべるためには、立木を伐倒して樹幹析解を行なうか、胸高直径のみでなく、枝下高付近の高い部分の直径や枝の直径なども測定するような手段によらなければならないであろう。

現在までのところ、壮齡木に対する施肥試験報告はすくない。

GESSEL ら (1956)⁴⁴⁾は、15～20 年生のダグラス ファーの不良造林地に施肥をして、2～4 年間で樹高成長が顕著に増加したことを報告しているし、STONE ら (1963)⁸⁶⁾は、ニュージーランドの瘠悪地のマツ 2 次林に N を施肥して、肥効がきわめて顕著であったことを報告している。また竹下ら (1965)⁸⁴⁾は、6 年間採穂したために成長が低下していた 22 年生のスギに施肥をして、2 年目から肥効があらわれ、樹高成長が 38% も増加したことを報告しているが、これらはいずれも極端な養分欠乏の状態にあったために、比較的短期間に肥効が顕著にあらわれたのではないかと考える。

しかし星ら (1966)³³⁾のように、比較的土壌条件のよい 23 年生と 38 年生のスギ林に施肥をして、6 年後に伐倒調査し、樹高や胸高直径に顕著な肥効を認め、経済的にも十分採算がとれることを報告した例もある。

viii) 葉の養分濃度、養分比におよぼす施肥の影響

葉分析の手法を用いて、個々の木の樹冠上位の葉の養分濃度や養分比が、施肥によってどのように変化するかを検討した。

試料は、天城試験地の第 1 ブロックから、第 1 回施肥後 2 年目の 1964 年秋と、第 2 回施肥後 2 年目の 1966 年秋に採取した。前者は、前述 (ii)～(iv) の供試木の上位葉に相当し、各区 5 本あて採取したが、試料調整の不備から、N 施肥区の葉分析試料は 4 本になった。1966 年の試料は、NPK 施肥区、無施肥区は 3 本あて、N 施肥区は 4 本から採取した。試料の調整、分析方法は第 I 章 3 で述べた方法と同じである。

Table 60. 天城試験地の葉の養分比
Nutrition balance in the leaves of fertilized mature trees at Amagi plot

調査年 Surveyed year	処理 Treatment	N/P ₂ O ₅	N ₂ O/P ₂ O ₅	N/K ₂ O
1964	NPK	5.2	2.4	2.2
		4.1～7.4	1.6～3.2	1.7～2.6
	N	5.7	2.6	2.2
		5.1～6.0	2.4～2.8	2.1～2.3
	Non	5.2	2.4	2.2
		3.7～6.2	1.8～2.8	1.8～2.4
1966	NPK	5.2	2.3	2.2
		4.6～6.0	2.0～2.8	2.1～2.3
	N	5.2	2.8	1.9
		4.4～5.6	2.2～3.4	1.6～2.1
	Non	4.9	2.8	1.9
		4.4～5.3	2.4～3.4	1.4～2.3

分母は範囲、分子は平均値を示す。

Numerator shows average and denominator shows range.

第 I 章 3 で述べたように、壮齡木の葉の養分濃度は、現在の樹高や胸高直径より、最近の成長量との間で関連の傾向が認められるので、1964 年の試料は 2 年間の樹高成長量と葉の養分濃度との関係を、また 1966 年の試料は、当時樹高測定をしていないので、4 年間の胸高直径成長量と葉の養分濃度との関係を図示した。その結果は Fig. 38, 39 のとおりである。

これによると、1964 年の樹高成長量と養分濃度の関係は

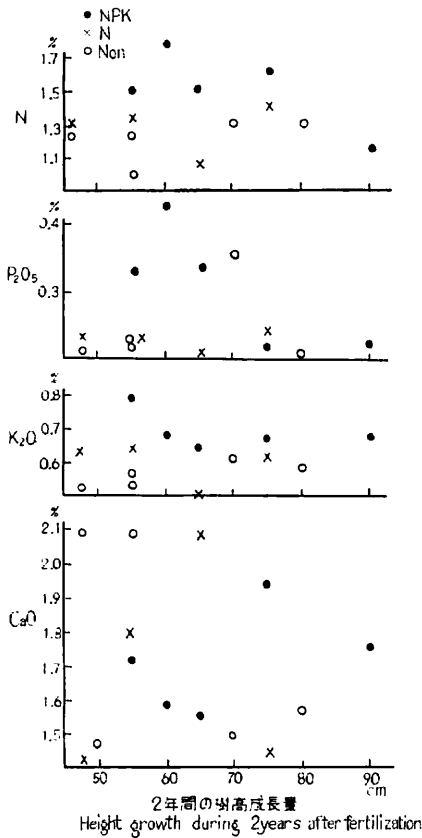


Fig. 38 施肥後2年間の樹高成長量と葉の養分濃度(天城, 1964)

The relation between nutrient concentration of the leaves and height increase of mature trees after fertilization (Amagi, 1964).

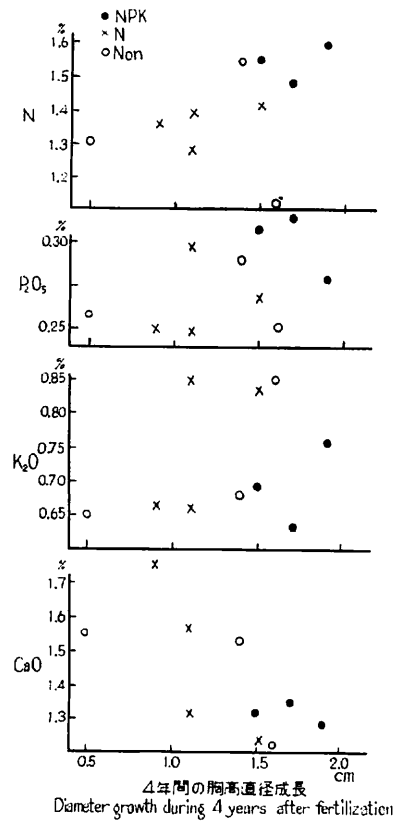


Fig. 39 施肥後4年間の胸高直径成長と葉の養分濃度(天城, 1966)

The relation between nutrient concentration of leaves and the breast height diameter increase of mature trees after fertilization (Amagi, 1966).

不明であるが、1966年のN濃度と胸高直径成長量との間には正の相関関係の傾向がみられる。

またNPK施肥区では、無施肥区にくらべ、葉のN、 P_2O_5 濃度が高い傾向がみられる。N施肥区では、1964年のN、 K_2O 濃度が高いが P_2O_5 は逆に低い傾向がみられる。これは筆者(1958)¹⁹⁾がカラマツ苗で、HEILMANN (1963)^{31) 32)}がダグラスファーでそれぞれ指摘している傾向と同じである。CaOは点がばらついて、明りような傾向が認められない。

つぎに葉の養分比を計算してみるとTable 60のとおりである。これによると、1964年の時点ではN施肥区のN/ P_2O_5 が、無施肥区にくらべてやや高くなっており、1966年ではNPK区の K_2O/P_2O_5 がやや低くなっているが、全体としてあまり明りような一定傾向はみられない。

すなわち、NPK施肥により壮齡木の葉のN、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高まるが、現在のところ養分比には違いがみられない。

(3) 要 約

静岡県の天城国有林および茨城県の筑波国有林に設定してあるスギ壮齡林分の肥培試験地の中間調査結

果に、2, 3 の考察を加えた。

i) 天城試験地で樹幹析解木を使って、施肥後 2 年間の材積成長経過をしらべた結果、NPK 施肥区、N 施肥区ともに無施肥区にくらべて ha あたり材積成長量、成長率が大きかった。

ii) 天城試験地で林木の ha あたり乾物重量を調査したが、幹全体の重さおよび施肥後 2 年間に形成された辺材部の重さで施肥効果が認められたが、葉や枝の量では試験地設定当時のプロット間誤差に打ち消されて、施肥効果が不明であった。しかし、単位量の枝に着生する葉量は施肥で増加する傾向がみられた。

iii) 天城試験地で施肥 2 年後の林木各部位の養分含有率をみると、施肥区は無施肥区にくらべ、樹冠部では樹冠上位の葉、緑枝、枝、幹材部では樹皮および施肥後に形成された辺材の部分で養分濃度とくに N 濃度が高くなっている傾向がみられる。

iv) 天城試験地の林木を幹、枝、緑枝、葉にわけ、各部位の養分含有量や養分分布割合を比較してみると、施肥区と無施肥区の間でとくに顕著な違いはみられない。しかし幹を樹皮、心材、施肥前から形成されていた辺材、施肥後に形成された辺材にわけて比較してみると、施肥区は無施肥区にくらべ、樹皮の K_2O 、施肥後に形成された辺材の N, P_2O_5 , CaO 含量が大となっている。また施肥区では施肥後に形成された辺材部分への N の分布割合が大となっている。

v) D^2H と林木の乾物重量、養分含有量の関係から考察しても、施肥区は無施肥区にくらべ、施肥後に形成された辺材部分で、N, P_2O_5 , CaO などが多量に蓄積する傾向をすることができる。

vi) 単位葉の幹材積生産量は、NPK 施肥区はやや高いが、N 施肥区では無施肥区とほとんど同じであった。すなわち、まだ単位葉の幹材積生産量に顕著な差がみられないようであるが、葉の養分濃度が高いということから、今後の肥効が期待されるものと考察した。

vii) 天城試験地では施肥 4 年後、筑波試験地では施肥 3 年後の胸高直径を測定した結果は、施肥区は無施肥区にくらべ成長率や年平均成長量がやや大きくなっているが、胸高直径では肥効が顕著であるとはいえない。また優勢木と劣勢木のちがいによる肥効の違いも明りようではなかった。

viii) 葉の養分濃度と樹高成長量との関係は、第 1 回施肥 2 年後の 1964 年の時点では不明であったが、第 2 回施肥 2 年後の 1966 年の時点では N, P_2O_5 , K_2O 濃度と胸高直径成長量の間に正の相関の傾向がみられ、また NPK 施肥区では無施肥区にくらべ N, P_2O_5 濃度が高く、N 施肥では N, K_2O 濃度が高いが、 P_2O_5 は逆に無施肥区より低い傾向がえられた。しかし養分比をくらべてみると、顕著なちがいはみられなかった。

Ⅲ 総括および本研究の林地肥培への応用

1. 総 括

本論文では各項目ごとに、それぞれの結果を要約してあるが、全体を通して総括すると次のようになる。

(1) スギの成長と養分含有量について

植栽木が成長し、林分を閉鎖するころまでに重量や養分含有量はどのような増加傾向をたどり、樹体各部位へのこれらの分布状態はどのように変化していくかをしらべ、ついで壮齡林木を対象にして、各個体の乾物重量や養分含有量をしらべた。

また葉分析の手法を用いて、成長と葉の養分濃度の関係をしらべた。壮齡林木の重量や養分含有量は、

ha あたりに換算して、林分単位の乾物重量、養分含有量をもとめ、それらの各部位への分布状態をしらべ考察を加えた。

i) スギの乾物重量は植栽当初は 20 g 程度のものであり、その 40% 近くが葉で占められているが、林齢増加にともなって幹の部分が増加していき、林分閉鎖のころになると、1 本の木の乾物重量は 10~20kg となり、葉はわずかその 20% で、幹が乾物の 40~50% 近くを占めるようになる。乾性な土壌に育ったものより、適潤な土壌に育ったものの方が成長がよく、幹への乾物の分布割合も多い傾向になる。さらに 40 年前後の壮齢木になると、1 本の木の乾物重量は 100~500kg に達し、そのうちの 60~70% が幹で占められるようになる。1 本の木の地上部の重さや幹の重さは、 D^2H と相関関係の傾向がみられる。林分別にみると、平均樹高や平均胸高直径の大きい林分は、小さな林分より乾物の幹構成比率が大きいようである。

ii) 植栽当初の木の養分含有量は、N、 P_2O_5 、 K_2O いずれも 1 g 以下であるが、植栽後 3 年目ころから養分含有量は増加し、12 年生のころになると、N は 38~72 g、 P_2O_5 は 8~15 g、 K_2O は 27~53 g 程度になる。しかし、これらの養分の 40% 以上は、葉の部分に分布していて、幹へは 20% 前後が分布しているにすぎない。しかし、林齢増加にともなって、幹の K_2O 含有量は急激に増加していく傾向がみられる。40 年前後の壮齢林木になると木の大きさと異なるが、地上部の養分含有量でも、N で約 900 g、 P_2O_5 で約 360 g、 K_2O で約 1,000 g に達し、乾物重量の場合と同じように D^2H と相関関係の傾向がみられる。

林齢増加にともなって各養分の幹への分布割合は、葉への分布割合より多くなる。幹の心材部は辺材にくらべて K_2O 濃度が高いため、心材形成の進んだ壮齢木では幹の K_2O 含量が多くなる。

iii) 樹冠の上位にある葉は、下位の葉より N、 P_2O_5 、 K_2O の濃度が高く、CaO の濃度が低い傾向にある。これらの養分の季節変化から、葉分析試料の採取は樹冠上位の当年生葉が望ましいと考えられる。

幼齢木の場合は、上位葉の N、 P_2O_5 、 K_2O 濃度と樹高との間に正の相関関係の傾向が認められるが、壮齢木になると、樹高との関係は不明りようになり、むしろ最近 5 年間の成長率との相関関係が強くなる。すなわち、壮齢木の場合には、最近 5 年間の成長量と上位葉の N、 P_2O_5 、 K_2O 濃度は正の相関、CaO 濃度は負の相関関係の傾向が認められる。

iv) 壮齢林の ha あたり乾物重量は 200~300ton に達する。 A_0 層の乾物重量は ha あたり 8~15ton であるが、林分の成長状態との関係は不明りようである。

また ha あたりの養分含有量は N で 400~500kg に達し、平均樹高や平均胸高直径の大きい林分ほど、N や K_2O の幹への分布割合が多くなる。

林木、 A_0 層、土壌中の全 -N の分布状態をみると、全体の 90% 以上のものが土壌中に含まれ、林木には 4~7%、 A_0 層には 1% 程度しか含まれていない計算になる。

(2) スギの成長、養分含有量におよぼす施肥の効果

スギ苗木の成長、養分含有量におよぼす施肥の効果をしらべ、未閉鎖のスギ幼齢木の成長、養分含有量におよぼす施肥の効果を検討し、さらに閉鎖のすすんだ壮齢林での施肥による成長増加の可能性を論じ、スギ壮齢林肥培試験地の中間調査結果から、壮齢林木の成長、養分含有量におよぼす施肥の効果を検討した。

i) 3要素試験の結果を成長の面からみると、苗木を、水耕栽培した場合は、 $-N$ 、 $-P$ 、 Non 区の状態で成長不良であり、 $-K$ 区では NPK 区にくらべそれほど成長が劣っていなかった。苗木を関東ロームの目黒苗畑で土壌栽培した場合は、 $-P$ 区、 Non 区で成長が悪かった。また林地に植栽された幼齡林木の場合は大日山では $-N$ 区、 Non 区で成長が悪く、瀬尻では $-N$ 、 $-P$ 、 Non 区で成長が悪かった。このような結果を通覧してみると、林木の成長に最も関係する養分は N と P であり、 K は少なくとも外観的には成長にそれほど影響を与えないようである。

ii) 樹体内における乾物の構成比率をみると、苗木を水耕栽培した場合は、 $-N$ 、 $-P$ 、 Non 区に育った成長不良の苗木は NPK 区や $-K$ 区に育った成長の良い苗木にくらべ葉の乾物構成比率が少なかったが、苗木を土壌栽培した場合や、林地植栽後の林木では成長に差がみられても、乾物の構成比率では明りょうな差が認められなかった。この原因は、土壌栽培では、水耕栽培におけるほど厳密な条件規制ができないため、多少の成長差があらわれても、乾物の構成比率が変化するほどの大きな違いがあらわれなからと思われる。

iii) 樹体各部の養分濃度や、樹体内における養分比をみると、苗木を水耕栽培した場合は $-N$ 区で N 濃度が、 $-P$ 区で P_2O_5 濃度が、 $-K$ 区で、 K_2O 濃度がそれぞれ低下し、また低下した養分が関係する養分比たとえば $-N$ 区の苗木では N/P_2O_5 、 N/K_2O の値が変化する。苗木を土壌栽培した場合は、 $-N$ 区では明りょうな傾向はなかったが、 $-P$ 区で P_2O_5 濃度が、 $-K$ 区で K_2O 濃度がそれぞれ低下し、その関係した養分比で乱れがみられた。しかし林地植栽後の林木では、 $-P$ 区で P_2O_5 濃度と N 濃度が低下し、 $-K$ 区で N 濃度が低下するというように、欠除養分と、樹体内で濃度低下する養分の間に明りょうな相関関係がみられず、養分比も多少乱れるが、苗木におけるほど明りょうな関係はみられなかった。

iv) 瀬尻および大日山の肥培試験地の成長経過からみて、 B_D 、 $B_D(m)$ 、 $B_D(d)$ 土壌などにスギを植えて施肥した場合には、植栽当初から肥効がみられ、第 2 回施肥をした 3 年目以降でとくに肥効が顕著になり、7 年目の時点では、施肥区は無施肥区にくらべ重量で 1.3 倍、養分含有量で 1.5~1.7 倍に達する。しかし B_C 土壌のようにスギにとって不適当な土壌の場合には、施肥効果はほとんどあらわれない。

このような点から考えると、林地肥培の効果を高めるためには、施肥の前提条件として適地適木の実施が必要である。

肥効の認められる幼齡林分では樹冠占有面積が大きくなり、成長のみならず林分閉鎖の促進効果も十分認められる。また施肥木では単位葉の幹生産量が大になる。施肥木の養分吸収率は 2 年目の時点では非常に少なかったが、7 年目の時点で調査したときは非常に高く、 N や K_2O では計算上 70% 近い値が得られた。また樹体各部位の養分分布割合をみると、施肥木では無施肥木にくらべ N は葉に分布する割合が多くなり、 P_2O_5 や K_2O は幹に分布する割合が多くなる。

v) 現実の壮齡林分の葉量、胸高断面積合計、単位葉の幹材積生産量などから、施肥による閉鎖林分の生産量増加の可能性を検討したが、現実の壮齡林分の葉量や胸高断面積合計は、中庸林分として考えられている値より少なく、また単位葉の幹材積生産量は、葉の N 、 P_2O_5 、 K_2O 濃度が高まれば高くなる傾向がみられる。このような点から、現実の壮齡林分では施肥により生産量が増加する可能性が十分残されていると考えた。

vi) 施肥後 3~4 年を経過した壮齡林で、胸高直径を毎木調査したが、胸高直径の上からは肥効はわず

しかし認められなかった。しかし施肥後2年目に供試木を伐倒し樹幹析解し、材積比較を行なった場合、haあたり材積で肥効が認められた。これは胸高直径で差がみられなくても、幹の上部の枝着生部位の直径が肥大していたためと思われる。また施肥後2年間に形成された辺材部では、養分とくにNの含有量が増加した。単位葉の幹材積生産量はそれほど顕著な差を見せていないが、葉の養分濃度は施肥で増加しているので、この林分は今後肥効が顕著にあらわれるものと考えた。

2. 林地肥培への応用

i) 養分循環をもとにした林地肥培の考え方

森林では吸収された養分の一部は落葉落枝の形で、ふたたび林地に還元され、林地—林木間で絶えず養分の循環が行なわれている。そこで、林地肥培は農地肥培とは異なり、この養分循環を活用した肥培を考えるべきであろう。

(a) わが国の森林の大部分は、気候的には多雨という条件下に、地形的には傾斜地という条件下に成立しているため、裸地状態におかれた場合には、表土の侵蝕や養分の流亡がはげしいといわれている⁹⁰⁾。

森林を皆伐した跡地にすぐスギを植林したとしても、林分が閉鎖して地表を保護するまでには10年近い年月が必要であり、その間養分はたえず養分循環のサイクル外に流亡してしまう危険にさらされている。そこで、林木の枝葉を繁茂させて、1年でも早く林地を閉鎖し林地—林木間の養分循環を正常に回復させる必要がある。

適地に植えられた林木に施肥をすれば、林木の成長は促進され、枝葉は繁茂し施肥木は無施肥木にくらべ樹冠占有面積が大きくなることが認められた。しかし、成長に対する制限因子の多い不適地に植えられた林木では、施肥の効果はそれほど期待できない（第Ⅱ章3）。施肥により林木の適地の範囲が多少広がるとしても、少しでも早く養分循環を正常に回復させるためには、林地肥培の主体は、やはり適地適木を前提とした林地で、積極的に行なわれなければならない。

(b) haあたり壮齡林分における土壌、 A_0 層、林木でのTotal-Nの量および分布をみると、深さ50cmまでの土壌中に約10ton (92~96%)、 A_0 層に約100kg (1%)、林木に約300~500kg (4~7%)であり、Nの大部分は土壌中に分布していることになる（第Ⅰ章5）。

壮齡林肥培の場合には、普通1回の施肥量はNとして100~200kg/ha程度であり、この施肥量で、たとえば数回施用したとしても、土壌中に現存するTotal-N量にくらべると非常にすくない。しかし、 A_0 層に含まれるN量にくらべると、1回の施肥ですでに A_0 層中に含まれるN量とほぼ同等のNが添加されることになる。そこで施肥により直ちに土壌が改良されたり、地力が増加したという考え方をとるよりは施肥により A_0 層が栄養的に富化されたような状態になり、施肥された養分は可溶性であるため林木に吸収されやすく、林木は直径や樹高成長を増加し、林木各部位の重量や養分含有量は D^2H と相関関係があるので（第Ⅰ章4）、枝葉の乾物や養分含有量が増加し、それが落葉し分解してしだいに土壌の表層から改良されていくと考えた方がよいだろう。

ちなみに、瀬尻、大日山のスギ肥培試験地（成長状態は第Ⅱ章3で記述）の8年目の時点での土壌を採取し、CとNを分析した結果はTable 61のとおりであり、施肥により表層の土壌のC、N濃度が高くなっている傾向を認めることができる。

すなわち、林地肥培では、養分循環のサイクル内で養分を富化し、林木の成長促進を通じてしだいに土壌が改良され、地力が増加していくと解釈すべきであろう。

(c) 森林を伐採した場合、枝葉や根にふくまれていた養分は林内に残されて、養分循環のサイクル上で循環することになるが、幹に蓄積された養分は林外に持ちだされる。

いま一例として、秩父の林分3が伐採され幹が林外に持ちだされたとすると、Table 18から幹の中にふくまれているhaあたり161kgのN, 83kgの P_2O_5 , 320kgの K_2O が林外に持ちだされることになる。また全木集材で枝葉部分まで林外に持ちだしたとすると、haあたり369kgのN, 130kgの P_2O_5 , 398kgの K_2O が林外に持ちだされたことになる。

伐採5～6年前の施肥の場合は、通常Nで100～150kg程度の肥料が2回程度施用されている。また、現在林地用肥料として使用頻度の高い複合肥料の配合比は、Table 62のように平均すると10-6-5の比率になる。

そこでhaあたりN=150kg, P_2O_5 =90kg, K_2O =75kgの割で2回施肥したと仮定して、伐採5年前から伐期にいたる養分の収支計算をしてみると、Table 63のようになり、伐採で幹だけを持ちだした場合はNや P_2O_5 の差引値は正の値であるが、 K_2O の差引値は負の値となり、また全木集材で枝葉と幹を持ちだした場合は P_2O_5 の差引値は正の値、Nと K_2O の差引値は負の値となるが、 K_2O の負の

Table 61. 肥培林の土壌のCとNの濃度
C and N concentrations of the fertilized forest soil

試 験 地 Experimental plot	採取土壌の深さ Depth of soil sampling	処 理 Treatment	C(%)	N(%)
大 日 山 Dainichizan	(cm) 0~5 (A ₁)	NPK	10.1 8.8~11.4	0.70 0.55~0.84
		Non	7.8 7.6~7.9	0.54 0.54~0.54
	(cm) 10~15 (A ₂)	NPK	7.1 5.4~8.8	0.52 0.42~0.62
		Non	6.0 5.6~6.3	0.43 0.42~0.43
瀬 尻 Sejiri	(cm) 0~5 (A ₁)	NPK	7.6 7.6~7.6	0.45 0.42~0.48
		Non	6.6 6.6~6.6	0.39 0.38~0.39
	(cm) 10~15 (A ₂)	NPK	5.4 5.3~5.4	0.33 0.33~0.36
		Non	4.7 4.2~5.2	0.29 0.29~0.29

備考：分母は範囲，分子は平均値を示す。

Note: Numerator shows average and denominator shows range.

Table 62. 林地で普通に使用されている複合肥料の成分配合比
Elemental ratio of compound fertilizer being use of forest land

肥料の種類 Kind of fertilizer	3要素配合 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ratio	Nを10とした場合の 配合比 Elemental ratio by N basis	肥料の種類 Kind of fertilizer	3要素配合 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ratio	Nを10とした場合の 配合比 Elemental ratio by N basis
a	10-6-5	10-6-5	h	24-16-11	10-7-5
b	15-10-7	10-7-5	i	15-15-10	10-10-7
c	10-6-6	10-6-6	j	18-8-8	10-4-4
d	6-4-3	10-7-5	k	8-6-5	10-8-6
e	12-8-6	10-7-5	l	15-9-9	10-6-6
f	15-8-8	10-5-5	平 均 Average	—	10-6-5
g	17-9-8	10-5-5			

備考 Note：農林省肥料課監修ポケット肥料要覧(1966)より各メーカーの林地用肥料の配合比を摘録した。リン酸配合比の多いいわゆる特殊林地用のものは除いた。

Table 68. 森林の伐採による林地の養分収支計算例 (kg/ha)
A calculation of nutrient economy under the conditions of fertilized forest

要 因 Factor		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
幹だけを持ちだした場合 In the case of remove of stem only	マイナス要因：幹の搬出で失われる養分量 Minus factor : Nutrient loss due to stem remove.	161	83	302
	プラス要因：2回施肥による養分増加量 Plus factor : Nutrient increase due to twice fertilizer supply.	300	180	150
	差 引 Balance	+139	+97	-152
全木集材で枝葉と幹を持ちだした場合 In the case of remove of stem with leaves and branches	マイナス要因：(i) 幹の搬出で失われる養分量 Minus factor : Nutrient loss due to stem remove.	161	83	302
	(ii) 枝葉の持ちだして失われる養分量 Nutrient loss due to foliage remove.	208	47	96
	(iii) 合 計 Total	369	130	398
	プラス要因：2回施肥による養分増加量 Plus factor : Nutrient increase due to twice fertilizer supply	300	180	150
	差 引 Balance	-69	+50	-248

値は N にくらべると非常に大きい。

この計算のなかには、バクテリアなどによる空中窒素の固定や、伐採により表土が裸出し、土壌や養分が流亡することは考慮していないし、また施肥をすると幹や枝葉の中の養分量も変化してくるということも考慮していないので、実際にはこのような単純な計算では養分の収支計算はできない。

しかし、ここでは差引値の絶対量を問題にするのではなく、N や P₂O₅ の差引数値にくらべて、K₂O の差引数値が非常に大きな負の値になるという点に留意する必要がある。

スギ壮齡木の幹を各部位にわけて、養分を分析した結果では、心材部に K₂O が多量に集積する現象がみられた（第Ⅰ章4）。また壯齡林木を葉、枝、幹別にわけて養分の分布割合をみると、N は葉に多く分布しているが、K₂O、P₂O₅、CaO は幹に多く分布していた（第Ⅰ章5）。また施肥により成長増加したスギでは、N は他の部分にくらべ葉で最も増加し、K₂O や P₂O₅ は他の部分にくらべ幹材部で著しく増加する傾向がみられた（第Ⅱ章3）。これらの傾向からみると、林地ではカリは養分循環のサイクル外におかれる傾向の強い養分と思われる。

事実、筆者（1959）²²⁾ がスギが40年になって伐採されるまでに吸収した養分量と、40年間に落葉落枝の形で林地に還元した養分量の比率すなわち、スギ林における養分の循環率を計算したところ、N で67%、P₂O₅ で81%、K₂O で45%であり、カリの林地への循環率は窒素やリン酸にくらべると、非常に低かった。この種の計算は塘（1962）⁹⁰⁾ も行なっているがスギの場合はやはり、窒素やリン酸にくらべてカリの循環率が低いことを報告している。

このような点を考えると、林木を伐採して幹を林外に持ち出すことにより、カリ養分という点で地力低下をきたす危険性がある。林地肥培は、林木の成長を促進するとともに、地力の増進をねらうものであるから、林地肥培とくにスギ壯齡林の肥培にあっては、養分循環のサイクル内にカリ養分を増加させる必要

があり、今後カリの配合比の高い複合肥料なども考える必要があろう。地力維持の立場から林地肥培におけるカリの重要性を再認識する必要があると考える。

ii) スギ林に施用する肥料の成分組成に対する考察

スギの3要素試験を行なうと、土壌栽培の場合も、水耕栽培の場合も、窒素やリン酸の施用効果が大きくあらわれて、カリの効果はすくなくとも外観的な成長にはそれほどあらわれてこない。すなわち、今までの筆者の実験結果をもとに NPK 区の成長を100とした各要素欠区の成長指数を計算して表にまとめると Table 64 のようになる。これによると水耕栽培の場合は、施肥指数の比率は10-9-3となり、瀬尻および大日山の7年生林木の場合も、多少の差はあるが、ほぼ水耕苗で得られた値に近似した比率を示している。この結果からみると、スギ用の肥料の成分は N と P_2O_5 が主体で、カリはわずかでもよいように考えられる。

Table 64. スギの成長指数と施肥指数
Growth index and fertilizer index of *Cryptomeria* trees

苗木・林木 Seedlings and trees	成長指数 Growth index			施肥指数 Fertilizer index (N- P_2O_5 - K_2O)	備考 Note
	-N	-P	-K		
水耕1年生苗 Water culture 1-1 seedling	14	21	78	86-79-22 $\div$ 10-9-3	II. 1の乾重
土耕1年生苗(慣行施肥量) Soil culture 1-1 seedling (Usual amount of element)	78	66	67	22-34-32 $\div$ 10-15-15	II. 1.2の乾重
土耕1年生苗(倍量施肥) Soil culture 1-1 seedling (Twice amount of element)	76	58	73	24-42-27 $\div$ 10-18-11	"
7年生林木(瀬尻) 7 years planted trees (Sejiri)	82	80	95	18-20-5 $\div$ 10-11-3	II. 2の材積
7年生林木(大日山) 7 years planted trees (Dainichizan)	91	94	96	9-6-3 $\div$ 10-7-3	"

しかし、林地林木間の養分循環で前述したように、伐採がくり返されれば、たとえ外観的な成長に顕著な影響がみえなくとも、林地土壌はカリ養分という点で地力低下を招来する危険性がある。カリは、植物体内において、細胞の浸透圧を高める作用をするといわれ、佐藤ら(1951)⁷⁰⁾によると、林木の耐寒性を強めるためにカリ施肥の重要性を強調している。

また筆者(1959)²⁰⁾²¹⁾は、スギ苗に対する施肥試験の結果から、-Kの状態ではNを過剰に施用すると徒長苗が生ずる傾向があり、また外観的に徒長苗でなくとも、苗木の乾物分布や養分組成の上から、徒長苗に類似した性格をもつ苗木が生産されることを報告した。塘ら(1959・1960・1962)⁸⁸⁾⁸⁹⁾も K_2O を欠除することにより、苗木の形質が不良になると報告している。

これらの点を考えると、施肥指数の上では小さな値しか示してはいなくとも、カリの重要性が小さいというわけにはいかない。

また、施肥指数は、土壌の種類によって当然異なる性質のものであり、リン酸吸収力の比較的強い関東ローム土壌を使った土耕試験の場合は、N=10 に対して P_2O_5 =15~18, K_2O =11~15 というように、 P_2O_5 や K_2O の施肥指数が高くなっている(第II章1~2)。

以上の諸点から、今後は、 P_2O_5 や K_2O の配合比の高い肥料も使用する必要があると考えられる。

iii) 植栽同時期の施肥の検討

新植地に施肥をする場合、第1回目の施肥を植栽と同時期に植穴の底、植栽木の側方、周囲などに施肥する場合と、植栽後1～2か月たって活着を見とどけてから施肥する場合とがあるが、現行の幼齡林施肥法には確定的なものはない。またある立地条件のところで最良の結果が得られても、それはすべての条件のところで普遍的に採用されうる性質のものではない。

そこで、本項では林木の成長経過、養分含有量の増加経過、肥料成分の吸収率などからこの問題を考察してみた。

現行の幼齡林肥培では、多くの場合第1回施肥は植栽と同時に施用し、その後2～3年間の連続施肥を行なうか、あるいは1～2年おきに3回程度の施肥を行なう例が多い。施肥量もN成分を例にとると、第1回の施肥量はNで10g前後、第2回以降は第1回施肥量の2～3割増程度を施用している例が多い。

しかしながら、第I章1のスギ幼齡木の林齡別の成長経過、養分含有量の増加傾向からみると、植栽当年の重量成長、養分含有量の増加はわずかであるが、3年目ころから重量、養分含有量ともに急増していく傾向がみられるし、また第II章2、3のスギ幼齡木肥培試験の結果からみても、2年目ころの計算上の肥料の養分吸収率は非常に小さいが、7年目に計算した窒素やカリの吸収率は非常に高かった。

ANDERSON ら (1966)¹⁾は、苗畑でダグラスファーの山行苗木に初秋に施肥をすると、翌春林地に植栽してからの活着率が向上し、成長も増加し、5年後になっても無施肥木より樹高が高かったことを報告しているが、これは、苗畑での苗木の施肥管理によって、山地植栽後の林木の初期成長を促進しうることを示したものである。

植栽同時施肥の効果がすくないとすれば、林地での肥料を効率的に吸収させるためには、苗畑で十分な施肥管理を行なうという前提で、植栽後3～4年目の成長が盛んになった時期に、重点的に林地施肥すべきではないかと考えられる。今後このような見地から施肥時期を再検討する必要がある。

iv) 閉鎖した壮齡林分に対する施肥

閉鎖した壮齡林分の葉量や胸高断面積合計の数値からみると、現実の大部分の施業林は完全閉鎖という状態には至っていないことが想像され、そのままの状態でも、施肥の効果があらわれる空間的余地を残していると考えられる。しかし、第II章4でも述べたように、施肥の効果は林木が密生しているよりは、疎立して空間を十分に持っている状態の方が大きいと考えられるので、効果的な施肥を行なうためには、無間伐林分よりは間伐後の林分を対象にすべきであると思われる。

間伐を必要とする時代の施肥の目的の一つに、間伐林の収入増加があるが、間伐前の林に施肥をして間伐材の収入増加を期待するより、間伐後に施肥をして林分の閉鎖を促進し、次期の間伐を早く到来させるような考え方を持った方が得策と思われる。

また主伐前の施肥の場合は、施肥後1～2年では、葉の養分濃度などは高まるが、まだ幹材積生産量を大きく変化させるまでには至らない。主伐時の幹生産量を増加させようとするれば、すくなくとも施肥後5～6年の期間が必要と思われる。この場合でも密な林分であれば、弱度の間伐という前操作を導入することにより、施肥の効果をより高めることができるとと思われる。

文 献

- 1) ANDERSON, H. W. and S. P. GESSEL: Effects of nursery fertilization on outplanted Douglas fir. Jour. of For., 64 2, 109~112, (1966)
- 2) ARMSON, K. A.: Seasonal patterns of nutrient absorption by forest trees.
Forest-soil relationship in north America (Edited by Youngberg), Oregon Press, 65~75, (1963)
- 3) BAKER, F. S.: Theory and practice of silviculture. 1~502, (1934)
- 4) BAULE, H. und C. FRICKER: Die Düngung von waldbaumen. München, 1~259, (1967)
- 5) ERICKSON, H. D. and C. M. G. LAMBERT: Effects of fertilization and specific gravity of young Douglas-fir. For. Sci, 4, 4, 307~315, (1958)
- 6) FINN, R. F.: Foliar nitrogen and growth of certain mixed and pure forest plantings. Jour of For., 51, 1, 31~33, (1953)
- 7) FLETCHER, P. W. and J. OCHRYMOWYCH: Mineral nutrition and growth of eastern red cedar in Missouri. Univ. of Missouri Agr. Exp. Sta., Bull., 577, 16, (1955)
- 8) 藤原彰夫・飯田周治: 加里に関する生化学的並びに栄養的研究 (II) 高等植物の炭水化物代謝に及ぼす影響について, 日土肥誌, 27, 7, 279~281, (1956)
- 9) 古川 忠: 林木の生長生理に関する研究(1) 林木の幹に含まれる養分元素, 71回日林講, 176~179, (1961)
- 10) 古川 忠: 広葉樹の幹に蓄積する無機養分元素の分布, 74回日林講, 158~160, (1963)
- 11) 古川 忠: 林木の幹に蓄積する無機養分元素, 日林講, 46, 8, 281~293, (1964)
- 12) GENTLE, W., F. R. HUMPHREYS and M. J. LAMBERT: An examination of a *Pinus radiata* phosphate fertilizer trial-fifteen years after treatment. For. Sci., 11, 3, 315~324, (1965)
- 13) GESSEL, S. P., R. B. WALKER and P. G. HADDOCK: Preliminary report on mineral deficiencies in Douglas-fir and western red cedar. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 15, 364~369, (1951)
- 14) GESSEL, S. P. and R. B. WALKER: Height growth response of Douglas-fir to nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20, 97~100, (1956)
- 15) GESSEL, S. P., K. J. TURNBULL and TREMBLAY: How to fertilize trees and measure response. National Plant Food Institute. 1~67, (1960)
- 16) GESSEL, S. P. and A. N. BALCI: Amount and composition of forest floors under Washington coniferous forests. Forest-Soil relationship in North America (Edited by Youngberg). Oregon Press, 11~23, (1963)
- 17) GESSEL, S. P., T. N. STOATE and K. J. TURNBULL: The growth behavior of Douglas-fir with nitrogenous fertilizer in western Washington. Washington Univ. Research Bull., 1, 1~204, (1965)
- 18) 原田 洸: 苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壌中の養分状態の影響 (1) スギ, カラマツ苗木の成長と養分組成に及ぼす土壌中の磷酸含量の影響, 林試研報, 103, 69~82, (1957)
- 19) 原田 洸: 苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壌中の養分状態の影響 (2) カラマツまきつけ苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壌中のNとPの interaction effects について, 林試研報, 108, 83~113, (1958)
- 20) 原田 洸: いわゆる徒長形態をしたスギ苗木の成長と養分含有量についての調査の1例, 日林誌, 41, 10, 382~388, (1959)
- 21) 原田 洸: 窒素と加里の組みあわせ施肥がスギの生長に及ぼす影響, 日林関東支講, 43~45, (1959)
- 22) 原田 洸: 林木の養分吸収と林地における養分のじゅんかん, 森林と肥培 (5) 8~9, (6) 8~9, (7)

- 8~9, (1959)
- 23) 原田 洸: 苗木の成長と養分吸収に及ぼす土壌中の養分状態の影響 (3) 施肥量を2段階に変えた3要素試験におけるスギ, カラマツ, アカマツ1—0苗の生長と養分吸収, 日林誌, 45, 12, 404~411, (1963)
- 24) 原田 洸: 落葉期におけるカラマツの葉の養分の動き, 日林誌, 46, 4, 124~128, (1964)
- 25) 原田 洸・後藤和秋: スギ幼齡木の葉分析に関する2—3の検討, 75回日林講, 273~275, (1964)
- 26) 原田 洸・佐藤久男・菅 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, 76回日林講, 117~120, (1965)
- 27) 原田 洸: 成木林施肥について (シンポジウム), 森林と肥培, 38, 11~15, (1965)
- 28) 原田 洸・佐藤久男: スギ壮齡木の幹の乾重量, 養分含有量および樹皮, 辺材, 心材におけるこれらの配分状態について, 日林誌, 48, 8, 315~324, (1966)
- 29) 原田 洸・堀田 庸・佐藤久男: 水耕で N. P. K. を欠除培養した場合のスギ, アカマツ苗の生長, 養分吸収および樹体内における乾物と養分の配分について, 78回日林講, 278~280, (1967)
- 30) HEIBERG, S. O., L. LEYTON and H. LOEWENSTEIN: Influence of potassium fertilizer level on redpine planted at various spacings on a potassium deficient site, For. Sci., 5, 2, 142~153, (1959)
- 31) HEILMANN, P. E. and S. P. GESSEL: Nitrogen requirements and the biological cyclings of nitrogen fertilization, Plant and Soil, 18, 3, 386~402, (1963)
- 32) HEILMANN, P. E. and S. P. GESSEL: The effect of nitrogen fertilizer on the concentration and weight of nitrogen, phosphorus and potassium in Douglas fir trees. Soil Sci. Soc. Amer., 27, 1, 102~105, (1963)
- 33) 星 司朗: 小林吉三: 道南スギ中北齡林の肥培効果, 北方林業, 18, 5, 20~21, (1966)
- 34) HOYLE, H. C.: Variation in foliage composition and diameter growth of yellow birch with season, soil and tree size. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29, 175~180, (1965)
- 35) 石川達芳: スギの生長と多数要因の共同作用 (1) 針葉中の無機養分の相互作用, 39年日林関西支講, 33~34, (1964)
- 36) 石塚喜明: 田中 明: 水稻の栄養生理, 養賢堂, 5~20, (1963)
- 37) 鐙木徳二: 近時の森林施業法に対する造林学的考察—施業林の恒続に関する考察一, 林維, 11, 1, 16~12, (1929)
- 38) 鐙木徳二: 森林肥料論, 日本評論社, 1~219, (1932)
- 39) 河田 弘: 佐々木 茂: カラマツに対する肥料3要素の施肥効果, 日林誌, 44, 12, 364~366, (1962)
- 40) 河田 弘: 湿性ポドソ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, 林試研報, 162, 143~162, (1964)
- 41) 河田 弘・衣笠忠司: 高野山国有林におけるスギ, ヒノキ幼齡林施肥試験, 林試研報, 191, 115~136, (1966)
- 42) 吉良竜夫: 樹形のパイプモデル, 北方林業, 17, 3, 5~10, (1965)
- 43) 桑原武男: 乾性の土壌に植えられたスギの肥培効果, 75回日林講, 124~126, (1964)
- 44) LAVENDER, D. P. and R. L. CARMICHAEL: Effect of three variables on mineral concentrations in Douglas-fir needles, For. Sci., 12, 4, 441~446, (1966)
- 45) LEYTON, L.: Needle composition in relation to the growth and nutrition of Japanese larch. Plant analysis and fertilizer problems, 143~149, (1956)
- 46) LEYTON, L.: The relationship between the growth and mineral nutrition of conifers, In: THIMANN K. V. (ed) The physiology of forest trees, 323~345, (1958)
- 47) LYETON, L.: Forest fertilizing in Britain, Jour. of For., 56, 2, 104~106, (1958)

- 48) LÜDERS, R.: Beziehungen zwischen Stickstoff oder N, P, K Düngung und dem Phosphorsäure und Schwermetallgehalt von Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde, 68, 56~65, (1955)
- 49) LUNT, H. A.: Effect of fertilizer treatment on field-planted spruce. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 10, 406, (1945)
- 50) MADGEWICK, H. A. I.: The chemical composition of foliage as an index of nutrient status in Red pine. Plant and soil, 21, 1, 70~80, (1964)
- 51) MAKI, T. E.: Forest fertilization possibilities in the United State. Forest fertilization, 12~19 (1958)
- 52) MARTH, P. C. and F. E. GARDNER: Response of coniferous evergreens to fertilizer application. Hort. Sci. Soc. Amer. Proc., 38, 709~713, (1941)
- 53) MITSCHERLICH, G. und W. WITTICH: Düngungsversuche in alteren Bestände Badens. Allg. For. und Jagdzeitung., 129, 169~190, (1958)
- 54) MUSTANOJA, K. J. and A. L. LEAF: Forest fertilization research, 1957~1964. The Bot. Rev., 31, 2, 151~246, (1965)
- 55) 長友忠行・下野園 正: 林地施肥木の葉内養分濃度について, 16号日林九州支講, 98~99, (1962)
- 56) 中島康博: 林地肥培(1) N肥料連年施肥のスギ林分, 17号日林九州支講, 118~120, (1963)
- 57) 中村 健: 葉分析による 2, 3 の樹種の養分吸収について, 71回日林講, 179~181, (1961)
- 58) NEISH, A. C.: The formation of wood in forest trees. (Edited by H. H. ZIMMERMANN) New York, 235, (1964)
- 59) OVERTON, J. D.: Mineral content of plantations of *Pinus sylvestris*. Ann. Bot., 23, 75~88, (1959)
- 60) OVERTON, J. D. and H. A. I. MADGEWICK: Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine. For. Sci., 5, 344~355, (1959)
- 61) RALSTON, C. W. and A. B. PRINCE: Accumulation of dry matter and nutrients by pine and hardwood. Forest-soil relationships in North America (Edited by C. T. Youngberg) Oregon Press, 77~94, (1963)
- 62) RENNIE, P. J.: Uptake of nutrients by mature forest trees. Plant and soil, 7, 1, 49~95, (1955)
- 63) RICHARDS, B. N. and G. K. VOIGT: Nitrogen accretion in coniferous forest ecosystems. Forest soil relationships in North America. (Edited by C. T. Youngberg) Oregon Press, 105~116, (1963)
- 64) RIEKERK, H. and S. P. GESSEL: Mineral cycling in a Douglas-fir forest stand. Health Physics, 11, 1363~1396, (1965)
- 65) 坂上幸雅: 林木の光合成能力と NPK 要素, 森林と肥培, 37, 2~5, (1965)
- 66) 佐藤敬二: 土壌の性質と施肥効果との関係, 森林と肥培, 36, 5~9, (1965)
- 67) 佐藤公一: 果樹の葉分析の研究現状と問題点, 植物生理, 4, 4, 205~211, 5, 1, 8~13, (1965)
- 68) 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施肥効果について, 林試研報, 167, 94~190, (1964)
- 69) 佐藤 俊: 成木林(閉鎖林)肥培について, 林試東北支場だより, 41-1-4, (1965)
- 70) 佐藤義夫・武藤憲由: 樹苗の耐寒性に影響する種々の因子について (II) 加里の影響, 北大演報, 15, 11, 81~95, (1951)
- 71) 扇田正二・中村賢太郎・高原末基・佐藤大七郎: 林分の生産構造の研究 (予報) —アカマツ植栽疎密試験地における若干の解析—, 東大演報, 43, 49~57, (1952)
- 72) 四手井綱英: アカマツ林の造成—基礎と応用—地球出版, 1~321, (1963)

- 73) 芝本武夫：スギ，ヒノキ，アカマツの栄養並びに森林土壌の肥沃度に関する研究，林業技術協会，1～253，(1952)
- 74) 芝本武夫・川名 明・高橋光枝・丹下 勲：磷酸欠除がスギ，ヒノキの水耕稚苗の光合成および呼吸作用におよぼす影響について（予報），64回日林講，175～176，(1955)
- 75) 芝本武夫・田島俊男：林木の葉分析に関する研究 (1)，日林誌，43，2，55～61，(1961)
- 76) 芝本武夫：成木林施肥，森林と肥培，39，2～5，(1965)
- 77) 柴田信男・永山 修・玉置 武：林木稚苗の栄養生理に関する研究 (VI) スギ稚苗の磷酸吸収について，67回日林講，146～148，(1957)
- 78) 下野園 正・長友忠行：施肥方法回数毎のスギ葉内養分濃度と成長，39年日林関西支講，35～36，(1964)
- 79) STONE, E. L.: A look ahead at forest fertilization research. Forest fertilization. American Potash Institute, 38～47, (1958)
- 80) STONE, E. L. and G. M. WILL: Nitrogen deficiency of second generation Radiata pine in New Zealand. Forest-soil relationship in North America (Edited by C. T. YOUNGBERG), 117～139, (1963)
- 81) STREBEL, O.: Mineralstoffernährung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen in Bayern. Forstwiss. Zentralbl. 79, 17, 42, (1960)
- 82) 須藤昭二：スギ苗木の窒素栄養に関する研究 (Ⅲ) 窒素施肥とその生育相について，日林誌，36，37，183～187，(1954)
- 83) SWITZER, G. L. and L. E. NELSON: The effect of fertilization on seedling weight and utilization of N, P and K by Loblolly pine grown in the nursery. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20, 3, 404～408, (1956)
- 84) 竹下純一郎・中村 基・石原猛志・塘 隆男：成木施肥試験 (1) 6年間採種した22年生スギ林分に対する効果，岐阜林試報，9，35～39，(1965)
- 85) TAMM, C. O.: Forest fertilization in Europe. Forest fertilization. (American potash Institute), 2～11, (1958)
- 86) 丹下 勲：成木林施肥 (シンポジウム)，森林と肥培，38，19～26，(1965)
- 87) 戸沢俊治：スギ幼齡林における施肥および耕耘の影響，75回日林講，127～129，(1964)
- 88) 塘 隆男：林木とカリの関係について，カリシンポジウム (1959)，85～95，(1959)
- 89) 塘 隆男・藤田桂治：加里がスギ苗の成長ならびに2～3の形質におよぼす影響について，70回日林講，198，(1960)
- 90) 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)
- 91) 堤 利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2，3の性質に及ぼす影響について (I) 森林の成立にともなう土壌の性質の変化，京大演報，34，37～64，(1963)
- 92) 堤 利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2，3の性質に及ぼす影響について (II) 皆伐による土壌中諸物質質量の変化，京大演報，35，110～126，(1964)
- 93) 堤 利夫：スギ樹体の養分量について，日林誌，47，3，105～108，(1965)
- 94) 堤 利夫・四手井綱英：葉の養分量と林木の生長量との関係について (1)，76回日林講，108～110，(1965)
- 95) 植田正幸・伊藤忠夫：林木の生育状態と養分含有率について，76回日林講，106～108，(1965)
- 96) WALKER, L. C. and C. T. YOUNGBERG: Response of Slash pine to nitrogen and phosphorus fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25, 4, 399～401, (1962)
- 97) 渡辺哲夫：林齡のちがったスギ成木林に対する施肥試験，森林と肥培，45，4～7，(1966)
- 98) WEHRMANN, J.: Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern. Z. Pfl. Ernähr.

- Düng, 84, 271~279, (1959)
- 99) WEHRMANN, J. : Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadel analyses in Kiefernbestände. Forstwiss. Zentralbl. 78, 65~128, (1959)
- 100) WEHUNT, R. L. and E. R. PURVIS : Mineral composition of apple leaves in relation to available nutrient content of the soil. Soil Sci., 77, 215~218, (1954)
- 101) WELLS, C. G. : Nutrient relationships between soils and needles of Loblolly pine. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29, 5, 621~624, (1965)
- 102) WHITE, D. P. : Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pine needles with season, crown position, and sample treatment. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18, 326~330, (1954)
- 103) WHITE, D. P. and A. L. LEAF : Forest fertilization. New York, 1~305, (1956)
- 104) WILDE, S. A. : Forest soils, their properties and relation to silviculture. New York, 1~537 (1958)
- 105) WILDE, S. A. : Comments on tree nutrition and use of fertilizers in forestry practice. Jour. of For., 59, 346~348, (1961)
- 106) WITTICH, W. : Bodenkundliche und Pflanzenphysiologische Grundlagen der mineralischen Düngung im Walde und Möglichkeiten für die Ermittlung des Nährstoffbedarfes. Allgemeine Forstzeitsch, 13, 10, 121~125, (1958)
- 107) 四大学合同調査班 : 森林の生産力に関する研究, (I) 北海道主要針葉樹林について, 1~99, (1960), (II) 信州産カラマツ林について, 1~60, (1964), (III) スギ人工林の物質生産について, 日林協, 1~63, (1966)
- 108) YOUNGBERG, C. T. : Forest floors in Douglas-fir forest (1), Dry weight and chemical properties. Soil Sci. Soc. Amer. soc., 30, 3, 406~409, (1966)

On the Growth and Nutrient Content of *Cryptomeria*
Trees and the Effects of Forest Fertilization
on These Characteristics

Hiroshi HARADA

Summary

Up until now basic research in the intensive culture of forest trees has not progressed as far as it has in the case of agricultural crops.

Forest land fertilization, along with the intensive culture of forest trees, has progressed comparatively recently in Japan. Forest managers did it for the purpose of increasing wood production. For this reason basic research on the nutrient content of trees or forest soil and on the nutrient distribution in forest eco-system is important.

In this paper, the author reports the change of the nutrient contents of *Cryptomeria* trees in relation to tree age, growing site, fertilization treatment and so on.

I. On the growth and the nutrient content of *Cryptomeria* trees.

In this chapter, the author will report the results of research on the increase in weight and the nutrient content of young trees in relation to the increase in tree age; the change of dry matter and nutrient distribution in each part of the young trees in relation to the increase of tree age; and the existing amount of dry matter and the nutrients of mature forest trees in some areas.

The author also carried out a study on the relation between the nutrient concentration of foliage and tree growth (Table 1~20, Fig. 1~19).

(i) The mean dry weight of the planting stocks of *Cryptomeria* was about 20 g, and about 40% of this weight consisted of foliage. The dry matter of the foliage was more than that of stem or root.

The stem weight, however, showed more increase than that of foliage or root with the increase of tree age. By about the time of crown closure, the dry weight of whole tree became 10~20 kg, and the dry matter of the stem became about 40~50% of this weight. On the other hand, the dry matter distribution in the foliage showed a decrease compared with the trees at planting time. The growth and the dry matter distribution in the stem of the trees grown in moist soil were greater than those grown in dryish soil.

In mature trees, about 40 years old, the dry matter weight of a tree became about 100~500kg, and 60~70% of this weight was taken up by the stem. The entire weight and the stem weight of the mature tree was in correlation with $\log D^2H$ of the trees.

(ii) The nutrient content of the trees at planting time was less than 1 g. But from about 3 years after planting, each nutrient began to increase rapidly, and at 12 years after planting nutrient content became 38~72 g in nitrogen, 8~15 g in phosphorus and 27~53 g in potassium throughout. At this time, the nutrient contents in the foliage was more than in the stem; about 40% of the whole nutrient was distributed in the foliage and about 20% in the stem.

The potassium contents of the stem, however, had a tendency to increase with the age of

Received December 8, 1969

(1) Hokkaido Branch Station, Government Forest Experiment Station, Toyohira, Sapporo, Japan.

the tree.

In mature trees about 40 years old, the nutrient contents of the tree tops attained a weight of 900 g in nitrogen, 360 g in phosphorus and 1,000 g in potassium. Of course different contents varied with tree sizes, and contents also were in correlation with $\log D^2H$ of the trees as well as the correlation of dry matter in them.

In mature trees, each nutrient distribution in the stem became greater than that in the foliage. And at this stage, the potassium concentration in the heartwood of the stem was higher than that in the sapwood. So the potassium content of the stem of mature trees, which possess large quantities of heartwood, became greater.

(iii) The upper foliage of the tree crowns retained a high concentration of nitrogen, phosphorus and potassium, but a low concentration of calcium in comparison with the lower foliage. From this tendency and the seasonal change of the nutrient concentration of the foliage, the author concluded that the foliage samples for analysis of nutrition conditions should be taken from the upper parts of the tree crown.

In young trees, the nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in the top foliage related positively to tree height, but calcium concentration showed a negative relation. In mature trees, however, those contents have no relations to the tree's height but have to the tree's height increment in the last 5 years.

(iv) The mature forest trees weighed about 200~300 ton per ha. in dry matter, and about 400~500 kg per ha. in total nitrogen. The total nitrogen distribution in *Cryptomeria* forest ecosystem was as follows: more than 90% in soil (up to 50 cm deep), 4~7% in trees and about 1% in A_0 layer.

II. Effect of fertilization on the growth and the nutrient content of *Cryptomeria* trees.

The author carried out researches on the effects of fertilization on the growth and the nutrient contents of *Cryptomeria* seedlings, young trees and mature trees. The author is also of the opinion that there is a possibility of growth increasing of crown closed mature forests by fertilizer supply (Table 21~60, Fig. 20~39).

(i) The growth of water culture seedlings grown in -N, -P and Non treatment were more stunted than those with -K and NPK treatment, and the growth of soil culture seedlings grown in -P and Non treatment were more stunted than those in the other plots. With young trees, planted in the forest at Dainichizan, the growth in -N and Non treatment was inferior, but on the other hand those at Sejiri the growth in -N, -P and Non treatment were also poor.

As mentioned above, it seems that the nitrogen and phosphorus supply remarkably influences the tree growth, but potassium supply has no influence on it in outward appearance.

(ii) In water culture, the dry matter of the foliage of the seedlings grown in -N, -P and Non treatment were less than those with -K and NPK treatment. In soil culture, however, the dry matter distribution in each part of the seedlings was not apparent between the seedlings grown in each treatment regardless of how it was grown.

(iii) The nutrients concentrations in each part of the tree grown in nutrient solution were generally as follows: the nitrogen concentration of the seedlings grown in -N treatment, the phosphorus concentration of those grown in -P treatment and the potassium concentration of those grown in -K treatment lower than those of seedlings grown in NPK treatment.

The nutrient ratio in the seedlings was disturbed by the stopping of nutrient supply; for

example, the ratio of N/P_2O_5 and N/K_2O decreased in the seedlings grown in -N treatment. In soil culture, however, the decrease of phosphorus concentration of the seedlings grown in -P treatment and the potassium concentration of the seedlings grown in -K treatment were both apparent, and the nitrogen concentration of those grown in -N treatment were not apparent.

And the variation of the nutrient ratio in the seedling grown in each fertilizer treatment soil were not so apparent compared with the seedlings grown in various treatment solutions.

On the other hand the variety of the nutrient concentration and the nutrient ratio in the trees planted in forests does not correspond with the fertilizer treatment, compared to the seedlings grown in the nutrient solution or the soil.

(iv) The fertilization effect on the growth of trees planted in the soil which had been adapted for *Cryptomeria* growth was apparent and by 7 years after planting the fertilized trees showed about 30% increase in weight and 50~70% increase in nutrition content compared with the unfertilized. But in the case of the trees grown in the soil which had not been adapted for *Cryptomeria* growth, the fertilization effect was not apparent.

The young fertilized trees also had wide crown areas and large amounts of annual bole wood production per foliage weight compared with unfertilized trees. The ratio of nutrient uptake by 2-year-old trees to fertilized nutrient was very small, but that of nutrient uptake by 7-year-old trees became larger and was calculated at about 70% in nitrogen and potassium uptake.

The nitrogen contents in foliage and the phosphorus and potassium contents in the stem of the fertilized trees became larger than that of unfertilized trees.

(v) The author calculated the foliage weight of the trees and the area of breast height cross section of stem per ha. Moreover, he investigated the relationship between the nutrient concentration of the foliage and the bole wood productivity of it, and in consequence concluded that the production increase of actual mature forests using fertilizer is within the range of possibility.

(vi) For example, according to the results of the stem analyse of mature fertilized trees in Amagi region, it became obvious that the stem volume of fertilized trees, 2 years after fertilization, had undoubtedly increased, in spite of a slight increase in the breast height diameter, for the increase in the upper stem diameter.

Nitrogen content in the sap wood of the stem developed over a 2-year period after fertilization became large in comparison with unfertilized ones. And nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in the foliage of fertilized trees became higher than those of unfertilized trees.

From those results the author concluded that the growth of the fertilized mature forests in Amagi region will produce more increase in the future.

III. The application of the results of this report to forest land fertilization.

(i) Concerning forest land fertilization in Japan, based on the nutrient distribution in forest eco-systems : (Table 61~63)

Most Japanese forests grow under the conditions of rainy weather and are steep in topography, so soil erosion and nutrient loss become considerable when the forest land has been under the condition of clear cutting.

So, it is important to hasten the crown closure of a young forest.

The effect of the fertilization on the growth of trees and the hastening of the crown closure of trees planted in conditions fitted for the species is greater than that in unfitted conditions. This leads the author to suggest that forest land fertilization in Japan should be pursued

positively in conditions fitted for the species.

The total nitrogen distribution in mature forest eco-system is about 92~96% to the soil, 1% to A₀ layer and 4~7% to forest trees as shown in Table 20.

The usual amount of nitrogen supply in mature forest land fertilization in Japan is very much less than the nitrogen content of the soil, but about equal to the nitrogen content in the A₀ layer.

It seems to be unrealistic to conclude that the soil nutrient will become rich immediately because of fertilizer supply. It should rather be thought that the fertilizer supply hastens the tree growth and increases the fallen leaves, and gradually ameliorates the soil from the surface.

According to the calculation of the nutrient balance sheet from 5 years before harvest time, nutrient addition by fertilization and nutrient loss by tree cut, the increased amount of potassium in fertilized forest eco-system is less than that of nitrogen and phosphorus. And also the potassium has a tendency to accumulate in the heartwood of the mature stem; in other words, the potassium has a tendency to exist in the out-of-nutrient cycle between forest trees and forest land.

Because of this, the author concludes that the nutrient supply in mature *Cryptomeria* forest fertilization should be recognized as more important to potassium supply than hitherto.

(ii) Concerning the elemental ratio of fertilizers being used in *Cryptomeria* forest land : (Table 64)

The elemental ratio of usual compound or mixed fertilizers being used on forest land in Japan is about 10-6-5 on the average. According to the findings on the effects of N.P.K supply on the tree growth and from the standpoint of tree activity, the content ratio of phosphorus and potassium in fertilizers should be increased in the future.

(iii) Concerning fertilizer supply at the time of tree planting:

After observing the growth of the trees planted in forests, the tree growth became rapid at three or four years after planting.

From this tendency, the author concluded that the effects of fertilizer on tree growth at tree planting time are less than at three or four years after planting.

(iv) Concerning mature forest land fertilization:

Most mature forest land has an opportunity to increase its forest productivity with fertilizer supply even in its actual condition. The fertilization effects in thinned forests, however, will be larger than those in unthinned forests. This being so, the author came to the conclusion that the fertilizer supply in mature forests should be carried out mainly after thinning, for the purpose of greater increase of the efficiency by fertilizer supply.