

(研究資料)

成木林施肥の量的効果の推定方法 第1報

無施肥区を対照としない肥効推定法

森 田 栄 一⁽¹⁾

Eiichi MORITA: Study on the Estimation Method of the Quantitative
Effect of Fertilization in the Matured Stand (I)
—An estimation method of fertilized effect
without the unfertilized plot as control—
(Research note)

要 旨：林業における施肥比較試験では、施肥効果を求めるため試験地内にいくつかの試験区を設定し比較を行うことが多い。しかし、地形の複雑な山岳林の多いわが国では、各試験区の立地条件や林分状態に均一性のない場合も多く、各試験区の生長量を比較しても試験区間の誤差が大きく、誤まった判定をする危険性がある。

成木林施肥試験地においても同様に、施肥効果を施肥区と無施肥区との生長差から求める場合に、両区の試験開始時の諸条件を均一にすることは困難なことが多い。このような問題を解決する方法として、直接両区の生長差を求めるのではなく、施肥区において標本木を抽出し、その樹幹解析の資料をもとに、施肥前の生長傾向の補外法による推定で無施肥の場合に予想される現在の大きさを推測し、施肥区の現在量との差によって、生長差すなわち肥効を推定することを試みた。この研究で用いた試験区では試験開始時における全木調査が行われていなかったもので、施肥の影響を避けて、現在の直径、樹高から1年ごとの一次回帰式により、全木の期首の値を求めた。さらに標本木の施肥前の生長傾向を補外して求めた無施肥の場合の現在量と期首量との回帰により、無施肥の場合の全林木の直径、樹高を推定し、つぎにこの予想値と実測値を用いて材積表から算定した林分材積の差で肥効を推定したが、無施肥区での検討により、ほぼ満足のゆく結果が得られた。

I は じ め に

林地における各種の施肥試験の設計にあたって、各試験区の処理効果を知るためには各試験区内の均一性について細心の配慮を払うと同時に、処理の効果を比較するための対照区を設定することが必要であるとされている。

成木林施肥試験は、伐期に近い林分が多いため林分内の不均一性が著しく、上述のような制約に対して満足できる試験区の設定は非常に困難である。この点に関して、当時、九州支場長であった塘 隆男博士は多くの肥培試験地の調査を行ってこられたが、上述のような試験区間の不均一性のために無施肥の対照区と比較しても施肥効果をうまく求めることができない事例も多くあることを痛感され、施肥された試験区だけで肥培効果を求める方法の開発を筆者に指示された。

したがって、本研究は、施肥区の結果を無施肥区のそれと比較して肥培効果を明らかにする方法でなく、施肥され試験区において標本木を抽出調査し、その樹幹解析の資料を用いた施肥開始以前の無施肥時の生長経過を明らかにし、それを施肥時から現在まで延長して無施肥の場合の現在量を推定し、施肥さ

れた現実の値と比較することによって肥効の有無を推定する方法として検討したものである。この研究には農林研究計算センター・HITAC-8450を利用した。

本研究の発端となった塘 隆男博士の着想、ならびに資料の提供および調査に援助を賜った熊本営林局・技術開発室、造林課試験係および関係各営林署の各位、本研究のプログラムの作成にお世話をおかけした農林研究計算センターの各位ならびに、132本におよぶ樹幹解析の計算の労をわずらわした本場電子計算機室の川端幸蔵技官、椎林俊昭技官、さらに、起稿にあたりご指導を賜った九州大学農学部教授・西沢正久博士ならびに本場測定研究室長・粟屋仁志博士、脱稿にご助言いただいた当场造林第1研究室長・大山浪雄博士および鈴木和夫博士に心から厚くお礼を申し上げる。

II 資 料

資料には、熊本営林局管内で1965年に設定された成木林施肥試験地のうち、熊本事業区37林班い小班のスギ、同49林班い小班のヒノキ、飫肥事業区66林班に小班のスギの3試験地を用いた。これらの試験地において、3年間にN 450 kg/ha（1年目から200 kg, 150 kg, 100 kg）の施肥が行われた試験区の中から、現地踏査の上、熊本事業区の2試験地からは各3区、飫肥事業区からは1区、さらにそれぞれの試験地の無施肥区を各1区、計10試験区を対象として、1972年12月から1973年3月にかけて調査を行った。これらの試験区の配置をFig. 1に示す。

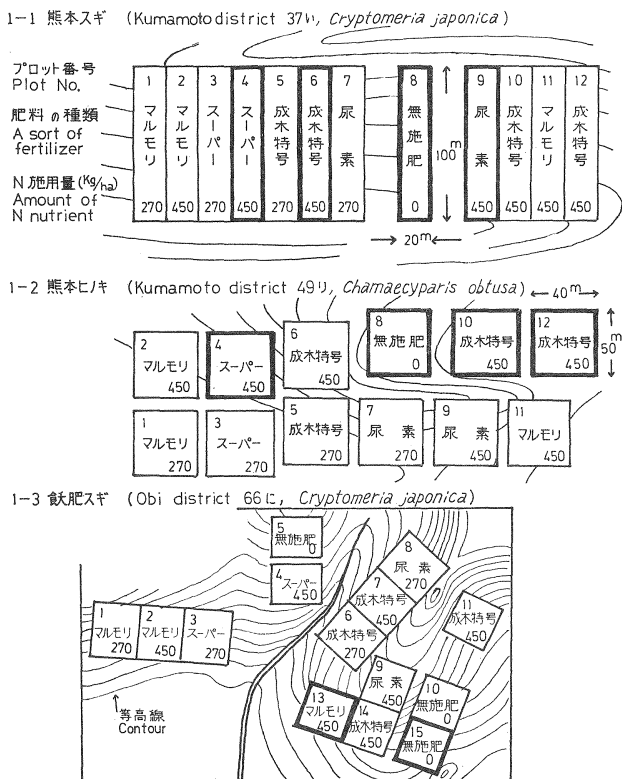


Fig. 1 試験区の配置

Location of experimental plots.

Table 1. 各プロットの林況
The stand condition of experimental plots

場所と樹種 Locality & species	林 齢 Tree age (at 1972)	プロット 番号 Plot No.	処 理 Treatment	林 況 Stand condition (per ha)			平 均 Mean	
				N	G	V	D. B. H.	Tree height
熊本スギ Kumamoto district 37 い (<i>Cryptomeria japonica</i>)	48	4	N 450 kg/ha	875	55.3	443.9	26.7	16.2
		6		620	39.5	300.8	25.9	14.8
		9		490	34.2	234.2	26.9	13.4
		8	Unfertilized	825	48.1	351.5	25.4	14.6
熊本ヒノキ Kumamoto district 49 り (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	66	4	N 450 kg/ha	1,465	60.8	517.9	22.7	17.0
		10		795	51.8	410.9	28.5	16.7
		12		680	46.1	361.1	28.6	16.6
		8	Unfertilized	1,200	52.5	443.8	23.1	17.1
飫肥スギ Obi district 66 に (<i>Cryptomeria japonica</i>)	44	13	N 450 kg/ha	620	56.4	547.2	33.4	21.6
		15	Unfertilized	670	54.8	493.5	30.6	19.7

この試験では試験区ごとに選ばれた標本木の各種の測定値によって施肥効果（以下肥効という）を比較するように設計されていたので、施肥試験開始時（以下期首という）における試験区内の全林木は測定されていなかった。したがって、施肥後7生長期を経過した今回の調査時（以下期末という）における測定値によって試験区の林況を Table 1 に示した。

施肥前、施肥後の生長解析のための標本木は、各試験区ごとに直径階別の本数分布に応じて10～15本の標本木を選び、樹幹解析した。これらの標本木は残材の利用を考慮して2.1 m または4.2 m の間隔で円板を採取し、試験開始前7～10年の期間を含めて1年ごとに直径は0.1 cm 単位、樹高は1 cm 単位で測定した。なお、樹高は樹幹解析図による方法のほか、梢頭部3～4 m は主幹の縦断面からできるだけ正確に求めた。

III 肥効の推定方法の概要

肥効の推定方法あるいは表現方法には種々の提案があるが、代表的なものとして、つぎのものがあげられる。

1) 施肥区と対照区の ha 当たり材積生長量の差による方法

植田ら⁴⁾は29年生のスギ林分の肥効を、各施肥区ごとに、施肥後の期間内の材積定期生長量（以下生長量という）と無施肥の対照区の生長量との差であらわした。この試験における各試験区の期首材積は施肥区が ha 当たり 538.8 m³～631.6 m³ であったのに対し、対照区は 558.3 m³ であり、期首条件は比較的斉一であった。

この方法は、もっとも一般的に用いられている方法であるが、多くの場合、各試験区の期首条件をそろえることが困難であり、局所的な地位や林分密度の差による影響が肥効に含まれた場合、これを分離する方法はまだ明らかにされていない。

2) 定差図法による方法

鈴木³⁾は、林木の生長は MITSCHERLICH の生長式に従うとして、各試験区で選ばれた標本木を樹幹解析し

て求めた各林齢ごとの材積を用いて定差図を作成し、肥効をあらわす方法を提案した。

しかし、本報告で第 1 の論点としている試験区間の期首の均一性を論議したものはほとんどみられない。

上記のうち、1 の方法は施肥に要した投資額と生長量の増加によって得られる利益との比較も可能であるので、本研究においても施肥された場合と無施肥の場合の生長量の差で肥効を比較する方法によることとした。しかし、前述したように、各試験区の期首の値が測定されておらず、また Table 1 から施肥区と対照区が期首において斉一であったとも考えられないので、無施肥の対照区に代って施肥区内の全林木が施肥されなかったと仮定した時の期末材積を V で述べる方法で推定し、施肥された現実の期末材積との差を肥効とすることとした。この場合には、次式でも明らかなように期首材積を同じ値とした生長量間の差を肥効とする方法と全く同一となる。

$$\begin{aligned} \text{肥効} &= v_2 - v_1 \\ &= (V_2 - V_{02}) - (V_1 - V_{01}) \\ &\doteq V_2 - V_1' \quad \text{ただし} \quad (V_{02} = V_{01}) \quad \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

ここで、 v_2 は施肥区の定期材積生長量、 v_1 は無施肥区の定期材積生長量、 V_2 は施肥区の期末総材積、 V_1 は無施肥区の期末総材積、 V_{0i} はそれぞれの区の期首総材積、 V_1' は施肥されなかったと仮定した場合の期末推定総材積である。

IV 材積表材積の適用の検討

林木の材積はその林木の胸高直径、樹高の測定値から立木幹材積表を用いて求めるのが普通である。

しかし、施肥木は一般の林木よりも肥効によって完満になるといわれている。このことが事実であれば立木幹材積表を用いて求めた施肥木の材積は過小に評価され、その結果、肥効も過小に推定されることと

Table 2. 材積表材積と実材積の比較
The difference between the volume applied to yield table
and the observation that it was calculated by the use of
sectional measurement

場 所 と 樹 種 Locality & species	プロット 番 号 Plot No.	標 本 数 Number of samples	平均偏差 The mean of deviation	標準誤差 Standard error S _p	t 検 定 t-test ²⁾
			m ³		
熊 本 ス ギ Kumamoto district 37 い (<i>Cryptomeria japonica</i>)	4 6 9 8 ¹⁾	15 13 12 13	0.0475 0.0340 0.0195 0.0274	0.0111 0.0117 0.0117 0.0062	4.286** 2.894* 1.660 not sig. 4.390**
熊 本 ヒ ノ キ Kumamoto district 49 り (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	4 10 12 8 ¹⁾	15 16 12 15	0.0107 -0.0035 0.0084 0.0039	0.0033 0.0030 0.0061 0.0040	3.220** -1.170 not sig. 1.382 not sig. 0.968 not sig.
鉄 肥 ス ギ Obi district 66 に (<i>Cryptomeria japonica</i>)	13 15 ¹⁾	11 11	-0.0336 -0.0002	0.0192 0.0067	-1.754 not sig. -0.030 not sig.

1) : Unfertilized plot

2) : A test of the null hypothesis on a variability trial in a paired experiment

なる。

そこで資料とした全試験区について、それぞれの試験区ごとに樹幹解析された標本木の区分求積による実材積と、その標本木の胸高直径、樹高の測定値から立木幹材積表を用いて求めた材積との差を比較した。

その結果、Table 2 に示すように熊本スギでは4試験区のうち3試験区に、熊本ヒノキでは4試験区のうち1試験区で差が認められた。しかし、これらの中には熊本スギのように無施肥区も含まれている。つまり、この差にはその林分の育ち履歴による完満度の差も含まれており、この結果から直ちに施肥木の实材積は材積表材積より大きいとは断定できなかったため、本研究においては立木幹材積による材積を用いることとした。

V 無施肥を仮定した場合の期末総材積の推定

無施肥を仮定した場合の期末材積は、Fig. 2 に示すように3つのステップに分けて推定することとした。すなわち、

- 1) 樹幹解析の資料から作られた一次回帰式を用いて現在（期末）実測値から逆行して施肥時の値を推定する。
- 2) 施肥以前の無施肥の期間の生長傾向は樹幹解析の資料に修正指数曲線を適合して求め、その傾向を期末まで補外する。
- 3) 胸高直径の場合、前項 2) で補外された値は皮内直径であるので、皮付き直径を推定する。

1. 期首における胸高直径および樹高の推定

林分内における個々の林木の胸高直径および樹高の期首と期末の値の関係は、期間が短いほどその相関が高いことが認められている¹⁾。また、肥効は施肥後の期間の経過と共にその効果が低下する場合や、逆に土壌の理化学性が改善されて肥効が定着し、林木の生長がかなり長期にわたって促進されるという2次の効果のある場合も予想される。したがって、Fig. 2 に示した B のように期首と期末の値を直接結ばず、A のように1年ごとに期首期末の関係を組み合わせて期末の値から期首の値を推定することとした。このことは単にその林分独自の経年的変化を1年ごとに見ただけでなく、施肥後の期間の異なる別な林分と期間をそろえて比較できる利点がある。

今、樹幹解析した標本木の期末の値を Y_i 、過去の値を $X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_{i-6}$ 、期首の値を X_{i-7} とする。なお、胸高直径にあっては Y_i は皮付き直径、 X_{i-n} は皮内直径である。

まず、期間1年ごとにそれぞれの期末の値から期首の値を推定する回帰式を求める。

$$X_{i-1} = a_1 + b_1 Y_i$$

$$X_{i-2} = a_2 + b_2 X_{i-1}$$

$$X_{i-3} = a_3 + b_3 X_{i-2}$$

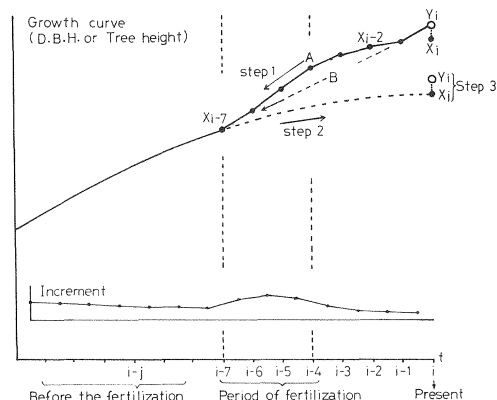


Fig. 2 無施肥の場合の現在の値を推定するためのプロセス

The process for estimation of the value of unfertilization at present

$$X_{i-4} = a_4 + b_4 X_{i-3}$$

$$X_{i-5} = a_5 + b_5 X_{i-4}$$

$$X_{i-6} = a_6 + b_6 X_{i-5}$$

$$X_{i-7} = a_7 + b_7 X_{i-6}$$

期末の値から n 年前の期首の値を推定するには、前述の回帰式を用いて Y_i から X_{i-1} を推定し、この X_{i-1} の推定値を用いて X_{i-2} を推定する手順を繰り返して X_{i-7} までを推定するが、この手順は次式のようにまとめることができる。

$$X_{i-2} = (a_2 + b_2 a_1) + b_2 b_1 Y_i$$

$$X_{i-3} = (a_3 + b_3 a_2 + b_3 b_2 a_1) + b_3 b_2 b_1 Y_i$$

$$X_{i-4} = (a_4 + b_4 a_3 + b_4 b_3 a_2 + b_4 b_3 b_2 a_1) + b_4 b_3 b_2 b_1 Y_i$$

$$X_{i-5} = (a_5 + b_5 a_4 + b_5 b_4 a_3 + b_5 b_4 b_3 a_2 + b_5 b_4 b_3 b_2 a_1) + b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 Y_i$$

$$X_{i-6} = (a_6 + b_6 a_5 + b_6 b_5 a_4 + b_6 b_5 b_4 a_3 + b_6 b_5 b_4 b_3 a_2 + b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 a_1) + b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 Y_i$$

$$X_{i-7} = (a_7 + b_7 a_6 + b_7 b_6 a_5 + b_7 b_6 b_5 a_4 + b_7 b_6 b_5 b_4 a_3 + b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 a_2 + b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 a_1) + b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 Y_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$= a + b Y_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

2. 無施肥を仮定した期末材積の推定

この推定には、西沢²⁾ が地位指数曲線の作成に用いた修正指数曲線式によって樹幹解析した標本木の施肥時以前の生長傾向を求め、これを調査時まで補外し、無施肥の場合の期末の値とすることとした。すなわち、標本木の施肥時以前 7 年間の皮内直径、樹高の各年の平均値を次式にあてはめてガイドカーブを求め、

$$\bar{X}_n = K - \alpha \beta^t \quad (7 \leq n \leq 14) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで $t = 14 - n$

また、その各年ごとにガイドカーブからの測定値の標準偏差を求め、林齢に対する 1 次回帰式を求める。ついで、このガイドカーブおよび標準偏差の回帰式を調査時の林齢まで延長して、期末におけるガイドカーブの値 $\hat{X}_i$ および標準偏差 $\hat{s}_{x_i}$ を求める。さらに、それぞれの標本木について推定した期首の値 X_{i-7} からガイドカーブで求めた $i-7$ および i 年の値とそれぞれの標準偏差を用いて次式により期末の値 $\hat{X}_i$ を求める。

$$\hat{X}_i = \bar{X}_i + (X_{i-7} - \bar{X}_{i-7}) \frac{S_{x_i}}{S_{x_{i-7}}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

この (5) 式で算出した $\hat{X}_i$ と X_{i-7} を用いて、つぎの回帰式をあてはめた。

$$\hat{X}_i = a' + b' X_{i-7} \quad \dots\dots\dots (6)$$

3. 無施肥を仮定した場合の皮付き胸高直径の推定

(6) 式で推定される胸高直径は皮内直径であるので皮付き直径に修正する必要があるが、本研究で組み立てようとしている方法での実測値は Fig. 2 でも明らかなように、施肥試験区内の全立木の期末の値とその中から選んで樹幹解析した標本木の値だけである。したがって、(7) 式に示す施肥木の皮付き直径と皮内直径との関係をそのまま無施肥を仮定した場合にも適用することとした。

$$Y_i = a'' + b'' X_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで Y_i は標本木の期末の皮付き胸高直径

X_i は標本木の期末の皮内胸高直径

以上の（3），（6），（7）式をまとめると施肥試験区の期末における全立木の実測値から同じ時点における無施肥を仮定した場合の推定値は次式によって求めることができる。

$$\begin{aligned}\hat{Y}_i &= (a'' + b''a' + b''b'a) + b''b'bY_i \\ &= A + BY_i\end{aligned}\quad \dots\dots\dots(8)$$

ただし、樹高の場合には $a''=0$, $b''=1$ である。

この（8）式で推定した胸高直径、樹高から材積表を用いて材積を求め、試験区内の無施肥を仮定した時の林分材積を求めた。

VI 肥 効 の 推 定

施肥試験区の肥効は、前述した（1）式により試験区内の全立木の実測された施肥時の期末総材積（ V_2 ）と無施肥を仮定して推定された期末総材積（ V_1' ）との差を、その試験区面積で除して1 ha の標準面積当たりに換算して表示することとした。

ここで、この方法の推定精度または信頼幅は、推定過程の第2のステップが補外された値であるので省略することとした。しかし、強いてその程度を見るならば、この方法を無施肥区にあてはめた場合、無施肥区の施肥時以前と施肥時以降の生長が全く一つの生長曲線になるとみなせば、Fig. 2 のステップ1とステップ2の線は全く一線となるものとみなすことができる。したがって、無施肥区にこの方法をあてはめた場合には差が0となるはずである。そこで資料とした3試験地の無施肥区に前述の推定方法を適用した結果をTable 3に示す。これらのうち、熊本スギではその差は0となったが、熊本ヒノキと飫肥スギでは3～4%の差を示している。その原因の一つには、一部の標本木を用いて算出した（8）式によって試験区内の全蓄積を推定するから標本抽出の適否の問題が指摘できよう。他の一つには、無施肥区が正しく無施肥区の役割を果たしていたかどうかの問題も考慮されるべきであろう。すなわち、Fig. 1 に示すように、熊本スギでは斜面に沿って試験区が設けられ、しかもその傾斜は緩であるのに対し、熊本ヒノキおよび飫肥スギでは無施肥区の斜面上部に施肥区が設けられており、特に飫肥スギではかなりの傾斜面である。したがって、この両区の3～4%の差がただちにこの方法の精度とは言い切れないものと推察され

Table 3. 無 施 肥 区 に お け る 推 定 精 度
Accuracy in the unfertilized plots

場 所 と 樹 種 Locality & species	プロット番号 Plot No.	実 蓄 積 Actual stock volume	差 Difference (%)	共分散分析 The test of covariance analysis
		m ³ /ha	m ³ /ha	
熊 本 ス ギ Kumamoto district 37 い (<i>Cryptomeria japonica</i>)	8	351.5	0.0 (0.0)	not sig.
熊 本 ヒ ノ キ Kumamoto district 49 り (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	8	443.8	15.5 (3.6)	not sig.
飫 肥 ス ギ Obi district 66 に (<i>Cryptomeria japonica</i>)	15	493.5	16.3 (3.4)	not sig.

Table 4. 推定された肥効
The estimated fertility

場所と樹種 Locality & species	プロット番号 Plot No.	実蓄積 Actual stock volume	肥効 Fertility (%)*	共分散分析 The test of covariance analysis
		m ³ /ha	m ³ /ha	
熊本スギ Kumamoto district 37 い (<i>Cryptomeria japonica</i>)	4	443.9	4.7 (1.1)	not sig.
	6	300.8	35.6 (13.4)	5% sig.
	9	234.2	16.3 (7.5)	not sig.
熊本ヒノキ Kumamoto district 49 り (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	4	517.9	55.2 (11.9)	1% sig.
	10	410.9	35.8 (9.5)	1% sig.
	12	361.1	8.3 (2.4)	not sig.
飫肥スギ Obi district 66 に (<i>Cryptomeria japonica</i>)	13	547.2	63.2 (13.1)	1% sig.

$$* : \text{Fertility per cent (\%)} = \frac{\text{Fertility}}{\text{Actual stock volume} - \text{Fertility}} \times 100$$

る。

一方、この方法で推定された肥効が果して有効な肥効か否かの判定が要求されよう。そこで、一つの便法として、標本木の期首と期末の実測値および標本木の期首とこの方法で推定された期末のそれぞれの単木の材積を、それぞれ期首を x 、期末を y とする共分散分析を行い、2つの回帰間に差があれば肥効が認められたものとして判定することとした。この方法によれば、前述の3つの無施肥区は Table 3 に示すようにすべて差が認められなかった。

以上の方法を施肥試験区に適用した結果を Table 4 に示す。その結果、肥効ありと推察された試験区は熊本スギ、プロット6を含む4つの試験区と思われる。残る3つの試験区のうち、熊本スギ、プロット9は16.3 m³/ha (7.5%) であったが共分散分析の結果は有意とはならなかった。

VII 考察および結論

以上のように、本研究では無施肥区の林況が施肥区の林況とかなり異なるために対照区としての役割を果し得ない場合の肥効推定の一試案について検討した。その結果、この手法ではN換算量で同じ450 kg/haの施肥が実施された各試験区であっても、推定された肥効の大きさにはかなりの差があらわれた。その原因には、肥料の種類、林相、立地の差あるいは地形、気象条件および樹種別の反応のちがいなどがあげられるが、これらの解明については多くの施肥試験の結果によらねばならない。

これと同様に、有効な肥効が認められなかった試験区については、その原因をつきとめることもきわめてむずかしいが、ちなみに選ばれた標本木の実測の平均胸高直径・平均樹高について、施肥開始前7年間の平均生長率と施肥後7年間の平均生長率を求めた Table 5 と Table 4 を比較すると、有効な肥効が認められなかった熊本スギ・プロット4とプロット9および熊本ヒノキ・プロット12においては、施肥前後の生長率の変化は他の試験区との比較から見ても生長率の低さが認められる。したがって、無施肥区を対照とせず、その施肥区内のそのままの林況で無施肥を仮定したこの研究の手法による Table 4 の結果はかなり妥当性が高いことが認められよう。なお、この補外の方法は3つの無施肥の対照区における検討ではば妥当な結果が得られたが、さらに別な方法による検討も加える必要があろう。

Table 5. 施肥前後における年生長率
The annual increment per cent before and after fertilization

場所と樹種 Locality & species	プロット番号 Plot No.	期 間 Period			
		施 肥 前 1958~1965		施 肥 後 1965~1972	
		D. B. H.	Tree height	D. B. H.	Tree height
熊本スギ Kumamoto district 37 い (<i>Cryptomeria japonica</i>)	4	2.387	2.719	1.444	1.448
	6	2.861	2.781	1.803	1.642
	9	2.894	3.133	1.467	1.892
	8 ¹⁾	2.370	3.298	0.947	1.243
熊本ヒノキ Kumamoto district 49 り (<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	4	0.884	1.835	0.905	1.796
	10	0.887	1.523	0.868	1.726
	12	0.911	1.697	0.845	1.533
	8 ¹⁾	0.865	1.580	0.848	1.448
鉄肥スギ Obi district 66 に (<i>Cryptomeria japonica</i>)	13	1.522	1.395	1.544	1.499
	15 ¹⁾	1.760	1.329	1.571	1.266

1) : Unfertilized plot

引用文献

- 1) 西沢正久・川端幸蔵・神戸喜久：林分解析に関する研究（第1報），林試研報，**141**，1~29，(1962)
- 2) ———・眞下育久・川端幸蔵：数量化による地位指数の推定法，林試研報，**176**，1~54，(1965)
- 3) 鈴木太七：林地肥培効果の評価に関する報告書，林野庁，1961
- 4) 植田正幸・伊藤忠夫・川名 明：壮齡林肥培に関する研究（IV）—スギ壮齡林にたいする生育相別施肥試験一，日林誌，**53**，42~50，(1971)

**Study on the Estimation Method of the Quantitative
Effect of Fertilization in the Matured Stand (I)**

**An estimation method of fertilized effect
without the unfertilized plot as control**

(Research note)

Eiichi MORITA⁽¹⁾

Summary

In many cases of the experiments on fertilization in the established forest, it is very difficult to institute an unfertilized plot as control, because the stand condition varies in its density when the felling season approaches. To solve this problem, a new technique on the fertility estimation was devised. The following data are necessary in computation.

1. The data of D. B. H. and tree height from 7 or 10 years before fertilization to the present, of those obtained through the stem analysis of the sample trees which were selected according to the diameter distribution in the plot.

2. The plot area, the number of trees, and the D. B. H. and tree height of all the individual trees in the plot.

By the use of these data, the estimation is as follows:

Step 1. The first linear regression equation is obtained by the method of successive linear regressions using the data of every tree age from the beginning time of fertilization to the present.

$$X_{i-7} = a + bY_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

Step 2. The solution of the modified exponential curve method²⁾ is obtained by the use of the data of unfertilized D. B. H. or tree height in every tree age before the beginning time of fertilization. The result of this solution is a so-called guide curve. The mean value and the standard deviation in the supposedly unfertilized trees can be estimated by the extrapolation of this curve. Second linear regression equation of the $\hat{X}_i$ value corresponding to the X_{i-7} value is as follows:

$$\hat{X}_i = a' + b'X_{i-7} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Step 3. The third linear regression equation of the relation between D. B. H. (without bark) and D. B. H. (with bark) is as follows:

$$Y_i = a'' + b''X_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

The estimated value of either D. B. H. with bark or tree height at the present time ($\hat{Y}_i$) can be obtained by substituting $\hat{X}_i$ for X_i in the equation 7 (Fig. 2). Finally, these three equations are summarized as follows:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_i &= a'' + b''(a' + b'(a + bY_i)) = (a'' + b''a' + b''b'a) + b''b'bY_i \\ &= A + BY_i \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

These values ($X_{i-7}Y_i$ and $\hat{Y}_i$) of varying quantities are transformed into estimated volumes by the volume table. And, the test of covariance analysis on fertility is made by the use of

Received August 19, 1977

(1) Kyushu Branch Station

these volumes, i. e., $X_{i-7}Y_i$ and $\hat{Y}_i$. From the result mentioned above, the fertility for the whole stand trees in the plot is evaluated by the subtraction of the estimated volumes from those of the actual stand trees after the fertilization.

This method has the following advantages on the fertility estimation.

1. In the case that the experimental plots have been instituted without surveying the initial conditions.
2. In the case that the comparison between unfertilized and fertilized plots seems to be impossible.

