

せき悪地に造成したスギ林の生産力と 施肥効果解析の一例

大畠 誠一・上中 幸治・羽谷 啓造・上中 光子

A Brief Discussion on the Forest Productivity of a
Japanese Cedar Stand in Sterile Soil Conditions, and
the Effects of Fertilization

Sei-ichi OOHATA, Kōji UENAKA, Keizō HAYA and Mitsuko UENAKA

要 旨

極めてせき悪な場所に造成された28年生スギ林の生産力、生産物質配分および施肥効果を調べた。その結果、次の諸点が明らかとなった。

- 1) この林分の葉量は3.7t/haで、この葉が生産する地上部生産量は0.74t/ha・yrと推定され、一般のスギ林に比べると生産力も生産能率も著しく低い値であった。
- 2) この林分の地上部生産量の55%が葉の生産に使われ、幹41%、枝4%の配分比であった。
- 3) 林地施肥により、その後4年間にわたり、幹の生産速度は著しく促進された。
- 4) 幹の材積生長速度は、施肥後の4年間だけでなく、その後も7年間以上にわたり、高い水準に維持された。その効果も、施肥効果のひとつであると推測された。

は じ め に

森林の物質生産機構の解明に関連して、前報¹⁾で生産物質の葉への配分比を検討した。その際、葉の生産量推定が困難な樹種である理由から、スギ林に関する検討が残されていた。今回、前報と同じ目的のために、極めてせき悪な場所に造成されたスギ林の調査を行なったので、その林分の生産量とその配分比に関して検討しておきたい。

なお、このスギ林に、過去2回の施肥が行なわれた。この林分が極めてせき悪地に造成され、植栽後28年を経過しても林冠は閉鎖せず、各個体は孤立木状態にある。このような特殊な林分は、施肥効果の検討に際して、個体密度の影響がないこと、2度目の施肥が10年間の期間をおいて実行されたなどの理由で、施肥効果の消長を調べるために極めて都合のよい材料であった。そこで、伐倒調査した6個体の幹の生長経過を調べ、施肥効果と関連して検討した。なお、材料としたスギの生長が極めて悪く、年輪の読み取りにやや困難な個体もあり、この作業に関しては、京都大学農学部演習林上賀茂試験地、古野東洲博士、中井 勇技官の協力をいただいた。施肥効果の検討に際しては、林学教室、武田博清博士に、有益な助言をいただいた。報告に際して、諸氏に謝意を表したい。

調査林分の概況と調査方法

1) 調査林分の経過と概況

調査した林分は、和歌山県西牟婁郡白浜町立が谷にある京都大学農学部白浜試験地の13林班に造成された28年生スギ林中面積約320m²である。林分の地況、林況については、表1にまとめて示した。

Table 1 General descriptions of surveyed stand

Date of investigation	December 12, 1985
Altitude(m)	50
Inclination of slope (degree)	30
Surveyed area (m ²)	319.4
Fertilized year	Nov. 1970, Mar. 1980
Stand age (yr.)	28
Number of trees (1/ha)	2473
Mean height of trees (m)	2.75
Mean diameter at height of 10% in tree height (cm)	6.16

白浜一帯は、第三紀系統の砂岩が土壌の母材であり、土壌層の薄いせき悪地である。このやせ地に成立していた貧弱な二次林を伐採して、1957年3月、産地の異なるスギ林を造成した。植栽時には、様々なサイズの植栽孔が設定され、そのサイズと苗木の生長の関係を調べる目的で造成された。その後、数年に一度程度の下刈りがなされ、維持されてきた。1970年11月と1980年3月に、住友森林特号肥料 (N, P, K : 20, 5, 6) 約165kg/ha が施された。

1985年12月の調査時点は、2回目の施肥後5年が経過し、後に検討するように、林木は施肥後の生長盛期を過ぎ、再び生長が安定した時点であった。

ウラジロを主体とする下層植生は、調査区の斜面上部で約1.3m、中部で約1.4m、下部で約1.8mの高さであった。植栽されたスギの樹高は調査時点で、斜面の上、中部で2.5m、下部で3.2m平均2.75mであった。このため、各個体は孤立木であっても、それらの下側部はシダ類の影響を受けていた。初期の植栽密度は2500本/ha程度であったが、一部がシダ類との競争により枯死し、調査時点では2,473本/haであった。

樹高が低いので、胸高直径のかわりに、樹高の1割の高さの幹直径を測定したが、その平均値は6.2cmで、平均樹高2.75mと比較するとかなり太く、やせ地特有の樹形を示す林分であった。

2) 調査方法

調査区は生育休止期の1985年12月に設定し、調査区内のすべての個体の樹高(H)と樹高の1割の高さの幹直径(D_{0.1})を測定した。今回以後に引き続き調査のために、枝下幹直径(D_B)を測定した。調査区の周囲から試料木6本を伐倒し、幹、枝、葉に分け、重量を測定した。1個体を5~6層に切り分け、各層から生産量、絶乾比推定のための資料を採集した。葉は当年に生長した部分を切り分け、緑軸部を葉とみなして評量し、葉量、葉の生長量を推定した。この方法によると、緑軸部の生長が無視されることになるので、葉の生長量はやや過少値となる。枝に関しては、各層から2本のサンプルを選び、当年に生長した容積を枝解析により求め、枝の生産量を推定した。幹の生長量は、施肥の影響を考慮し、当年の生長量から推定した。各個体の諸量は幹

直径と樹高 ($D_0^{2.1} \cdot H$) に対するそれぞれの量を相対生長関係から推定し、林分あたりの現存量、生長量を得た。なお、幹の生長経過は、地上高30cmの円板の年輪幅から推定した。

結果と検討

1 林分の現存量と生産量

調査した林分から得られた幹、枝、葉の現存量、生長量を表2に示した。これまでに調査され、まとめられたスギ林の葉量⁹⁾ 19.6 ± 4.4 t/ha に比べると、今回のスギ林の葉量は 3.7 t/ha であり、この林分がいかに特殊な林分であるか推測がつく。この葉量から生産される地上部の生産量 (P_n^*) は 0.74 t/ha・yr と推定され、スギ林の純生産量の平均値 18.1 t/ha・yr に比べると著しく低い。この純生産量には根の生長量を含むが、仮に 19.6 t/ha の葉が年間 18.1 t/ha の生産をしたものとする、1トンの葉は年間 0.92 トンの物質を生産することになり、地上部分だけでは 0.78 トン程度の値となる。今回の調査林では、1トンの葉は年間 0.20 トンの地上部を生産したことになり、平均的スギ林の生産能率の $1/4$ 程度であった。

従来物質生産生態学では、葉量、生産力に関しては、各種森林タイプの平均値を、より精度よく求めることに注意が向けられていたため、閉鎖林を主対象とし、特殊な森林の研究は対象外とされていた。今回の特殊なスギ林の調査結果と、一般的スギ林の結果を比較するために、葉の生産量を直接推定したスギ林の報告^{4,5,6)} から、葉の生産能率を計算し、 P_n^* に対して示すと図1、Aとなる。同一樹種であっても森林の生産能率は、必ずしも一定ではなく、生産速度 (P_n^*) が低い林分ほど能率は低下する傾向にある。また、この図から、今回調査した林分が、物質生産上、極限状態の林分であることも理解できる。

地上部の生産量に占める同化器官への配分比は、本林分では大きい、 P_n^* の大きい他地域の林分では P_n^* が大きくなるほど低下し、ある程度低い値になるとほぼ一定値に収束する (図1、C)。すなわち、土地条件が極めて悪い今回のスギ林では、 P_n^* のうちの 41% を幹の生産に、 4% を枝の生産に配分し、葉の生産には 55% を配分していた。なお、根まで含めた純生産量に対しては、葉の生産は 50% 程度と推定された。この結果、前報^{1,2)} 同様、スギ林でも生産力が低い林分では、生産された物質の大半を同化器官に配分していることが確認された。また、葉量に占める新葉の生産量の比は、ほぼ一定値であった (図1、B)。

2 施肥効果

林地施肥により、林木の生長が促進されたとした研究例は数多い。ただし、多くの研究が、施肥直後の効果に視点を向けており、長期的に施肥の効果を調べた研究はほとんどない。施肥効果の持続を明らかにするためには、その効果を調べる解析方法が重要であるが、後に検討するように、現段階でその方法が確立しているとは考えられない。

施肥試験は、一般的に、比較区を設定してその効果を調べるが、森田⁷⁾ が指摘したように、施肥区と比較区で異なる土地条件の誤差を無視できない場合が多い。森田⁷⁾ が目標としたように、

Table 2 Biomass and net production of surveyed stand

Biomass	Oven-dry-weight
Stem (Y_s , t/ha)	5.99
Branch (Y_B , t/ha)	0.83
Leaf (Y_L , t/ha)	3.65
Total (Y_T , t/ha)	10.47
Net production	Oven-dry-weight
Stem (ΔY_s , t/ha/yr.)	0.304
Branch (ΔY_B , t/ha/yr.)	0.030
Leaf (Y_L , t/ha/yr.)	0.403
Total (P_n^* , t/ha/yr.)	0.737

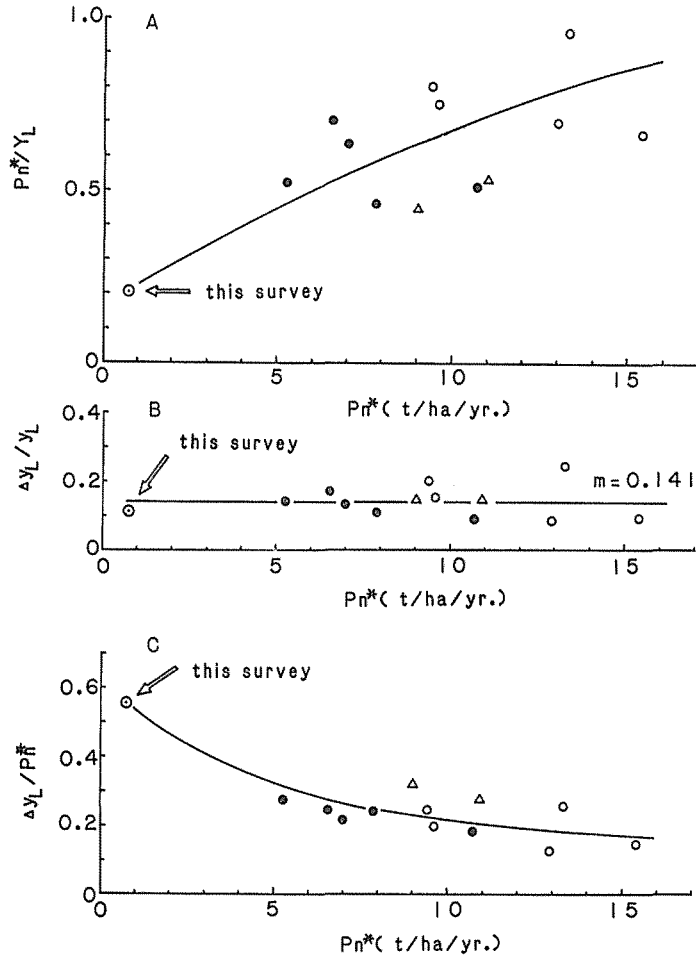


Fig. 1. Changes in leaf efficiency (Pn^*/Y_L , A), rotation rate of leaves ($\Delta Y_L/Y_L$, B) and allotment ratio of leaf production ($\Delta Y_L/Pn^*$, C) in artificial stands of *Cryptomeria japonica* D. Don, in which data leaf production was directly measured.

⊙: a poor forest on sterile soil conditions in Wakayama Pref. investigated in this survey; ● & ○: data in Yoshino, Nara Pref. investigated by Saito et al. (1967, 1968); △: data in Mie Pref. surveyed by Saito and Shidei (1973).

施肥前後で変化する林木の生長経過を、その解析から明らかにする方法も重要であろう。山内⁹⁾は、スギ壮齢林に施肥を行ない、12年後にその効果を調べた。その結果、施肥後の急速な生長期間の6年間だけを施肥効果とした。標準木幹材積の連年生長が、比較区に比べて、その後も明らかに上まわっていたが、幹直径の連年生長が比較区の値より低下したために、その後の効果を認めていない。これは、比較すべき量の違いにより、異なる結果が生じる一例である。

施肥後、長期間を経過したレジノーマツの施肥効果を、樹高の定差図から検討したKAWANA et al.⁹⁾によれば、その効果は15~20年続いたとしている。砂防造林地に植えられたクロマツ¹⁰⁾の施肥試験によれば、それらの樹高生長は、施肥後数年で減退したとの報告もある。ただし、林地施肥の効果は樹高生長よりも幹の肥大生長¹⁰⁾に強く現われるとされているので、幹の生長経過か

らの検討が、より重視されるであろう。

林地施肥に関する過去の報告のうちで、森¹¹⁾による報告は、施肥効果の基本的問題点を整理しているもので、理解しやすい。そのまとめによれば、

- 1) 十分に閉鎖した成木林のばあい、施肥によって単木における葉量の増加は期待できない。
- 2) 胸高直径の生長は、施肥より密度の影響を強く受ける。
- 3) 肥効としての材積生長の増加は、施肥によって、葉の生産能率が上昇した結果のあらわれ

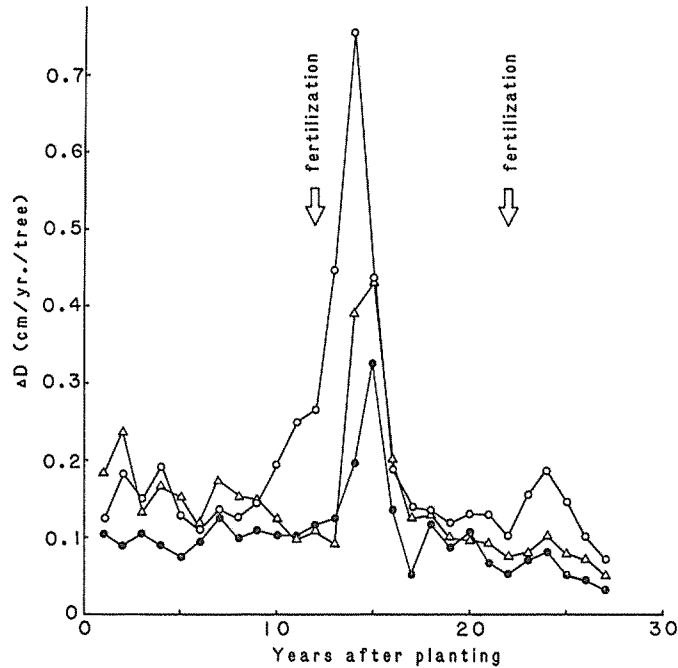


Fig. 2. Changes of diameter growth rate in three sample stems 0.3m above ground. Because their rates were lowered according to diameter growth, the effect of fertilization can not be evaluated from the diameter growth rate.

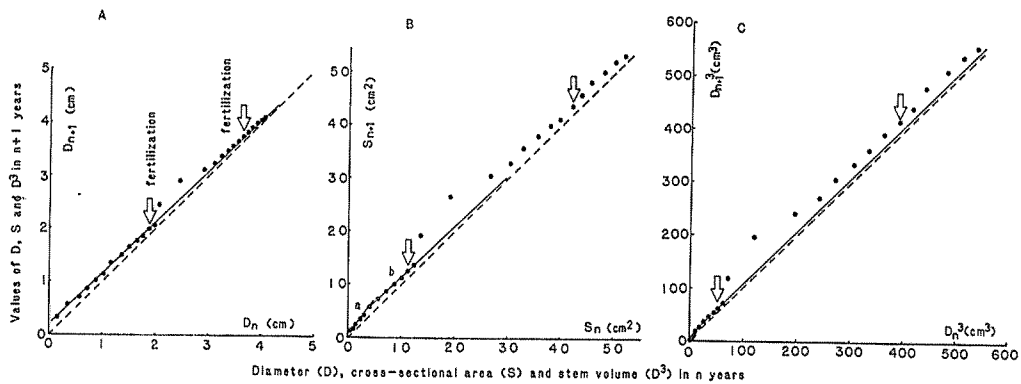


Fig. 3. Response in diameter growth (D,A), cross-sectional area (S,B) and stem volume (D^3 ,C) to fertilization estimated from cross section 0.3m above ground in sample No.5. Responses to fertilizer application differ with the method of representation.

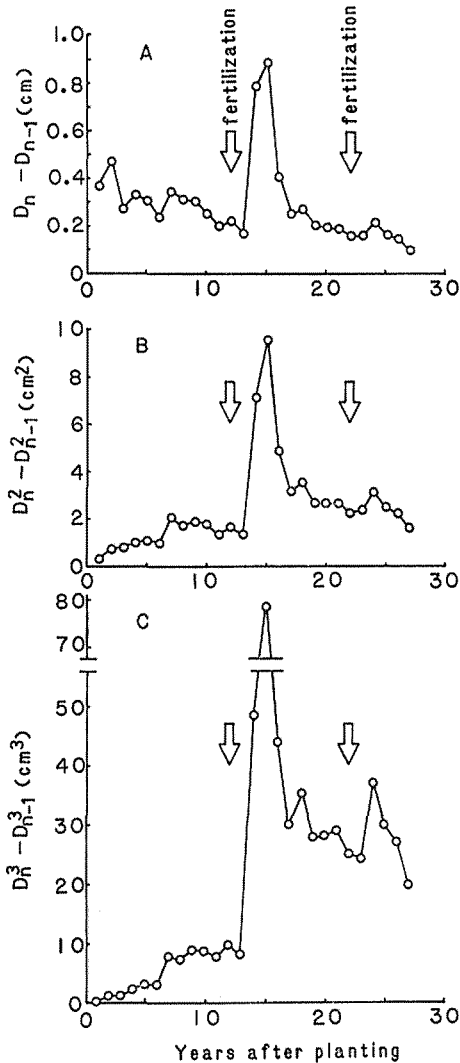


Fig. 4. Direct responses to fertilization in diameter (A), cross-sectional growth (B) and volume growth (C) estimated from stem cross-section 0.3m above ground in sample No. 5. Growth level after growth differs with the method of expression.

のものが大きくなるほど低くなる傾向にある。この理由で、施肥後の効果を、年輪幅の変化によって調べる方法は適切でないことが理解される。また、直径の生長を定差図におきかえても、この欠点は改善されない (図 3, A)。

施肥効果を調べる適切な方法を得るために、No. 5 の個体を例に、直径、断面積、体積の各生長速度を図 4 に示した。なお、便宜的に、断面積は幹直径の二乗 (D^2)、体積は D の三乗 (D^3) の差により求めた。この図から理解されるように、施肥効果は、比較すべき値により、明らかに異なる。直径生長の表示 (図 4, A) によれば、施肥直後の急速な生長のみが強調され、その後の

である。

4) 林分生産量の地上部における各部分への配分を比較すると、施肥区は主として幹への配分が多く、無施肥区は葉への配分が多くなっている。

以上が森¹¹⁾の指摘した重要点である。これらの結果をもたらす機構の研究としては、河田・衣笠¹²⁻¹⁶⁾ら、柴田¹⁷⁾ら、川名^{18,19)}ら、原田²⁰⁾ら、その他による施肥前後の樹体と土壌の化学分析からの比較検討がある。

施肥効果は、施肥した年内または翌年から現われ、その期間は数年程度とした例が多い。以上の結果は、閉鎖した林分、いいかえると、土地条件が良好で、閉鎖可能の場所で得られた結果であり、それらのほとんどが、直径生長の比較から検討したものである。

今回の調査林分が、

- 1) 第 1 回目の施肥後、次の施肥までに 10 年を経過し、各個体は孤立木状態にあったので、個体間の競争効果 (密度) の影響を無視できること。
- 2) 極めてせき悪地のスギ林であり、施肥前に、幹の生長がほぼ上限値に達していた個体が多いこと。

などの理由で、施肥効果の消長を調べるために適当な林分であると思われる。

図 2 には、今回調査した 6 個体の試料木から、大きい 3 個体の幹の年輪幅の変化を示した。この図から、施肥直後の生長促進効果は明らかである。その効果は、施肥後約 4 年間持続した。No. 5 の個体を例に、幹直径の定差図 (図 3, A) を画くと、南雲・佐藤²¹⁾が示した例のように、施肥効果は回帰線の上部にふくらみとして現われる。ただし、図 2 で調べたように、直径の生長速度は、幹の直径そのものが大きくなるほど低くなる傾向にある。

効果は低下する。一方、面積表示(図4, B)および体積表示(図4, C)による比較では、施肥後に両者は急速な生長を示し、その後の安定期は、施肥前とは異なる生長水準を示した。この高い生長水準も、施肥効果のあらわれである可能性がある。

材積(D^3)と面積(D^2)生長のうちの、どちらが精度がよい方法かは、個々の材積生長を調べていないので、現段階では確定できない。 D^3 による方法には、直径と樹高の生長速度が比例する仮定が含まれ、この仮定を調べていないためである。しかし、各個体の樹高は徐々に生長していた状態にあったので、今回の検討は D^3 の生長によることにした。

図2, B, Cには、断面積と材積生長の定差図を示した。この方法によれば、生長水準が変化した場合、回帰線の傾きが変化するが(例えば図2, B, a, b), 施肥後の安定期を評価するための基準線決定の方法が明らかでない。このため、今回は、材積生長の変動を直接比較する方法によった。

図5, A, Bに、6個体の材積生長速度の変化を示した。最大個体(No.6)では、第1回の施肥前まで、生長速度は増加の傾向を示したが、他の5個体では、施肥前の4, 5年間には、ほぼ

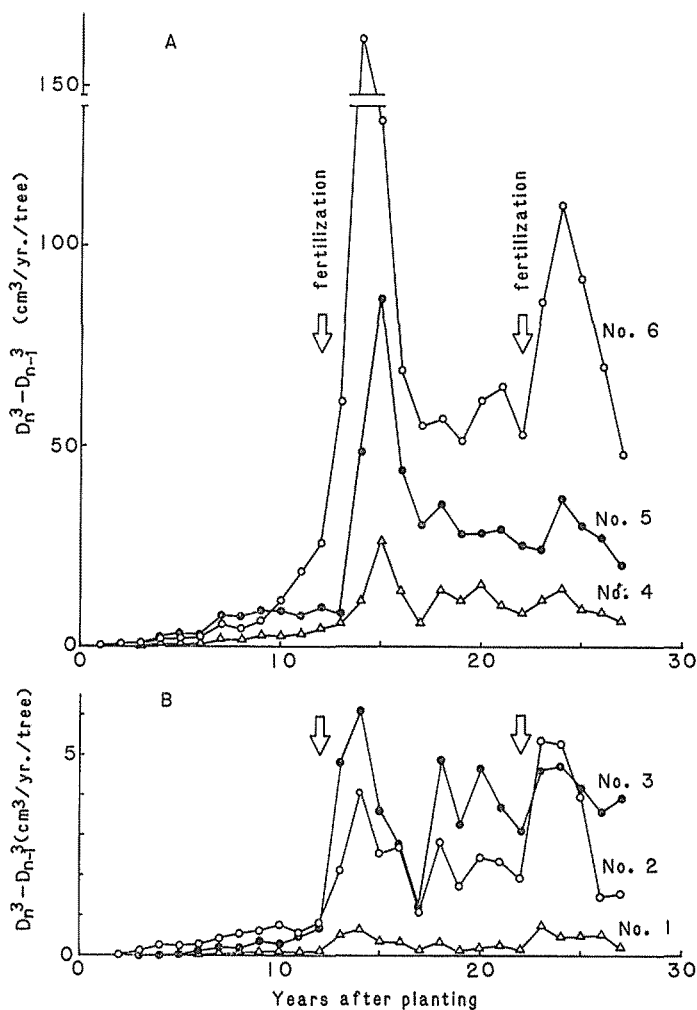


Fig. 5. Response in volume growth rate in respective sample trees to fertilization estimated from cross-section 0.3m above ground.

一定値を示していた。この時点での生長停滞は、土地条件に起因したものと思われる。

前後2回の施肥に対する6個体の生長速度の推移は、施肥効果に関する2、3の問題点を示していると思われる。その第1点は、施肥直後に現われる生長促進の持続期間である。スギ林の施肥効果の持続性に関しては、山内⁹⁾は6年、河田・衣笠¹²⁾は4年以上としている。今回の調査では4年間であり、明らかに短い。この調査区が極めてせき悪な土地条件であることを考慮すれば、この結果は当然であるかもしれない。施肥直後の効果の持続期間は、土地条件の影響を受ける現象なのであろう。

第二点は、急速な生長の後に現われる生長の一次的低下である。大きい個体 (No.6, No.5) では明らかではないが、No.1~No.4の個体では、施肥後5年目に、一時的生長低下が認められた。この生長低下は、施肥により生長が急速に促進された後の、異常な低下を意味するかもしれない。この点を調べるために、施肥後5年目の生長速度と、その後の4年間の生長の平均値を対にして差の検定を行なった。その結果は、有意水準には達しないものの、91%の確率が得られた。白浜試験地で観測している気象データによれば、この年度の夏の雨量は低かったが、例年の値に比べて異常値であるとは思われない。ただし、この生長低下が、小さな個体で明確に現われている結果は、特殊な条件下、すなわち、やせ地でも特に条件の悪い場所の個体に現われる現象であるかもしれない。

第三点は、施肥前および後の生長安定期の水準に差が認められるかどうかの問題である。施肥前に示した4年間の生長速度の平均値と施肥後に安定した18~21年目の平均値の間には、99.5%以上の有意水準で差が認められる結果を得た。この結果は、施肥直後の生長促進期を過ぎた時点でも、施肥前に比べると生長速度が大きいことを示している。このことは、図5、A、Bでも明らかで、施肥効果が持続しているとみなしてよいであろう。

施肥によって林内に持ち込まれた肥料性成分は、落葉や、枝、根の枯死に際して植物体内に回収²²⁾されるといわれる。また、落枝落葉は生態系内に保存され、分解されて再利用^{23,24)}されるので、施肥効果が数年間で消失するとは考えられない。今回の結果には、施肥による直接的効果とは別に、施肥により個体特に根の生長が促進され、養分の吸収可能な土地領域が拡大した効果も含まれているかもしれない。以上から、施肥効果が10年またはそれ以上持続したと思われる今回の結果は注目すべきものであろう。

施肥された成分は樹体に吸い上げられ、林木の生長に伴って樹体に蓄積され、一部は土壌から流失するので、いずれ、その効果は消失する。効果の持続期間に関する従来の結果は、調査方法の違いによって、余りに大きな差異がある。適切な材料と方法とによって、この問題を解決しておく必要がある。

森¹¹⁾は、閉鎖した林分での施肥効果は、葉量増加によるものでなく、葉の生産能率が上昇した結果であるとした。一方、BRIX²⁶⁾らは、施肥により葉面積が増大したことによるとしている。両説は矛盾した結論であり、気になる点である。前節で検討したように、葉の生産能率は土地条件により明らかに異なる。この結果は、森¹¹⁾が指摘したように、施肥により生産能率が向上することを示唆する。施肥後の葉量増加に関しては、林分の状態(土地条件)により異なる現象であるが、土地条件が悪く、未閉鎖の林分では、葉量増加の可能性はあろう。この問題は、継続調査をしているので、機会を得て検討してみたい。

引用文献

- 1) 大畠誠一：森林の純生産量と同化部分への生産物配分。京大演報。57。46~59, 1986

- 2) ———・上中幸治・羽谷啓造・那須孝治・上中光子：ヒノキ林の物質生産と 同化部分への生産物配分. 京大演報. 57. 37~45, 1986
- 3) 只木良也：生態学への招待 2. 森の生態. pp.199, 1971. 共立出版. 東京
- 4) 斎藤秀樹・山田勇・四手井綱英：小径木間伐に関する研究(II)第1回間伐1年後の林況の変化について. 京大演報. 39. 64~78, 1967
- 5) ———・玉井重信・荻野和彦・四手井綱英：小径木間伐に関する研究(III)第1回間伐2年後の林況変化について. 京大演報. 40. 81~92, 1968
- 6) ———・四手井綱英：スギ幼齡林の一次生産力とその推定方法の検討. 日林誌. 55. 52~62, 1973
- 7) 森田栄一：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. 林試報. 298. 39~49, 1977
- 8) 山内孝平：スギ壮齡林肥培試験—12年を経過した時点の成績と問題点. 森林と肥培. 110. 7~11, 1981
- 9) KAWANA, A., XYDIAS, G. K. and LEAF, A. L. : Response of *Pinus resinosa* Ait. plantation to potassium fertilization on a potassium-deficiency site. Plant and Soil. XXX. 439~445, 1969
- 10) 柴田信男：砂防造林達成への基礎的研究. 第1篇. 田上山砂防地土壌の理化学的性質と砂防造林に対する考察. 瀬田川流域砂防調査報告書. 4. pp16, 1958, 近畿地方建設局. 大津
- 11) 森麻須夫：成木施肥林の生長解. 森林と肥培. 110. 1~6, 1981
- 12) 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〔関西地方における林地施肥試験(第1報)〕. 林試報. 191. 115~133, 1966
- 13) ———・—————：スギ幼齡林施肥試験〔兵庫県山崎営林署管内マンガ国有林〕. 関西地方における林地施肥試験(第2報). 林試報. 216. 75~90, 1968
- 14) ———・—————：高野山国有林におけるスギ幼齡林施肥試験. 林試報. 248. 1~13, 1972
- 15) 衣笠忠司・河田 弘：クロマツ幼齡林施肥試験〔広島県西条営林署姥ヶ原国有林〕. 林試報. 300. 121~140, 1978
- 16) 河田 弘・衣笠忠司：広島県姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林施肥試験. 林試報. 219. 121~136, 1969
- 17) 柴田信男：林木稚苗の栄養生理に関する研究. [第VII報] スギ, ヒノキ, アカマツ及びクロマツ稚苗における肥料要素含有量に関する2-3の総合的考察. 京大演報. 29. 181~206, 1960
- 18) 川名 明・相場芳憲・生原喜久雄・毛呂真：壮齡林の肥培に関する研究. (I)スギ壮齡林の肥効について(その1). 東農工大演報. 7. 1~8, 1968
- 19) ———・—————・—————：同上. (II)ヒノキ壮齡林の肥効について. 東農工大演報. 7. 9~13, 1968
- 20) 原田 洸：スギの生長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究. 林試報. 230. 1~104, 1970
- 21) 南雲秀次郎・佐藤 健：Mitscherlich 式による森林の生長予測. 東大演報. 61. 37~102, 1965
- 22) 黒岩澄雄：植物の物質生産, 現代の生物学 9巻(生態と進化), 1966. 岩波書店. 東京
- 23) 上田晋之助：マツ林の地力維持と増進. マツと人生(四手井綱英・佐野宗一編) pp. 297, 1973. 明玄書房, 京都
- 24) 赤井龍男・古野東洲・上田晋之助・佐野宗一：テラダマツ林の物質生産機構. 京大演報. 40. 26~49, 1968
- 25) 赤井龍男・上田晋之助・古野東洲：スラッシュマツ幼齡林の物質生産機構. 京大演報. 41. 56~79, 1970
- 26) BRIX, H. and EBELL, L. F. : Effects of nitrogen fertilization on growth, leaf area, and photosynthesis rate in Douglas-Fir. For. Sci. 15. 189~196, 1969

Résumé

To examine the forest productivity corresponding to sterile soil conditions, the production rate of the above ground parts (P_n^*) and the response in stem growth to forest fertilizer were investigated in a 28-year-old poor forest (*Cryptomeria japonica* D. Don) at Shirahama-chō of Wakayama Pref.

The annual stem and branch production was estimated by the usual allometric method, and the leaf production rate was estimated by the method of cutting the new part. The leaf biomass (Y_L), net production (P_n^*) and leaf efficiency (P_n^*/Y_L) of this stand were

very low due to the sterile condition (Table 2, Fig. 1, A). On the other hand, the allotment ratio of leaf production to the P_n^* was very high, about 55 percent (Fig. 1, C), and the rotation rate of leaf ($\Delta Y_L/Y_L$) was maintained constant (Fig. 1, B). These features seemed to be characteristics of the forest productivity on sterile soil conditions.

Because the growth response to fertilization represented by diameter, cross-sectional and volume growth differ (Fig. 4), changes in volume growth of sample stems were examined from stem sections 0.3m above the ground. The duration of rapid growth directly after fertilization was very short, about 4 years in this poor forest (Fig. 5). The response to fertilization continued for more than 7 years after the prompt-growth.