

閉鎖したスギ林における施肥効果

——個体の大きさと幹の生長経過——

大畠 誠一・上中 幸治・羽谷 啓造・上中 光子

An Effect of Fertilization on Stem Growth in a dense *Cryptomeria* Stand, Relation between Growth Pattern and Stem Size

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

要 旨

林地施肥の効果が、閉鎖した森林内において個体の大きさによってどのように変わるかを調べるため、ステージの異なる2時点で施肥した22年生スギ林から、57本の幹を伐倒し、それらの生長経過を調べた。その結果、次の諸点が明らかにされた。

- 1) 幹の生長経過に現われた施肥効果は、個体の大きさによって著しく異なる。大きな個体では、施肥効果は不明確であり、生長速度が単調に増加する傾向にあった。大きな個体のこの傾向は、このスギ林がまだ若いステージにあるためと思われた。
- 2) 施肥効果が最も端的に現われた個体は、平均樹高以下のやや小さな個体であった。これらの個体を樹高の大きい順位からみると60~80%程度の個体に相当した(図5)。
- 3) 下層を占める個体では、その生長経過に施肥の影響が現われない。最下層の個体の生長速度は、上層木の速度の大きさと逆の対応を示し、上層木の生長速度が低下した時点で大きな値を示した。下層の個体の生長経過は、施肥の効果より、光条件の影響が大きいと推測された。
- 4) 閉鎖した森林の施肥効果を、それぞれの個体の生長経過だけから調べる方法には無理があり、この効果を調べるためには林分全体の生長経過から検討する必要があることを指摘した。

は じ め に

森林の施肥効果に関する研究は、1960~1970年代に、主に経済効果の問題として取り組まれてきた。その結果、様々な情報がえられたものの、その視点が限られていたために、木材価格の事情とともに顧みられなくなった。しかし、林地施肥に関する問題は、土地条件という環境条件のひとつが変わることによって、森林がどのように変遷するかには視点を置くならば、興味ある生態学上の様々な問題が残されていると思われる。特に、天然林での諸研究は今後の課題のひとつであろう。

人工林では、林地施肥によってその後数年間、林木の生長が著しく促進される現象は、すでに

多数報告されている。そのほとんどが、閉鎖した森林^{1~7)}か、若い苗木を材料^{8~11)}にしたもので、様々な結果が得られている。それらのうちでは、施肥によってその効果があったとはいきれないとした報告もある。単に林木の生長効果に関する問題だけでも、調べる材料、方法によって結論が異なり、林地施肥に関する統一的整理がなされていない状況といえよう。それらのうちで、森¹²⁾による報告は、閉鎖した人工林の施肥効果を整理してまとめているので、理解しやすい。ただし、施肥してもその効果が少ないとした問題に関して論及していない。土地条件が十分良好な場合、施肥効果が少ないのは当然であろうが、過去の報告において得られた結論は、単に方法論に由来した問題であるかもしれない。この意味で、施肥と生長効果の問題を取り上げても、検討を必要とする部分が残されているものと思われる。

前報¹³⁾において筆者らは、極めてせき悪な場所に造成されたスギ林で、土壌条件が不良のために林冠が閉鎖せず、個体間の競争効果が少ない状態にあるスギ林の施肥効果を調べた。その結果は、明らかに施肥の影響が認められ、施肥後、一時的に生長速度が増進した。その後、速度が低下し安定した後も、その生長水準は施肥前より有意に高い結果を示し、この高い生長水準施肥効果のひとつとみなした。ただし、以上の典型的な施肥効果は、特殊な森林で得られた結果である。林木の生長は、単に土地条件だけの影響を受けているのではなく、個体生長に関する陽光量の影響は重大である。このため、林冠が閉鎖した状態にある森林では、林木の各個体に現われる施肥効果は、当然、林分の葉層を占める各個体の樹冠の位置によって異なることが予想される。施肥効果に関して、個体間の差異に注目して検討した例はないものと思われる。

本報告は、過去に施肥したスギ林が除伐期にあったので、その際に伐採された幹を材料としてその生長経過を調べ、個体の大きさと施肥効果の関係を検討したものである。

調査林分の概況と調査方法

調査した林分は、和歌山県西牟婁郡白浜町立ヶ谷にある京都大学農学部演習林白浜試験地の14林班に造成された22年生スギ林約0.1 ha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 discription of surveyed stand

Date of investigation	Mar. 27, 1986
Altitude(m)	30
Inclination of slope (deg.)	16
Surveyed area (m ²)	1101
Fertilized year	Sept., 1967 Mar., 1970 Nov., 1970 Mar., 1980
Thinning year	Mar., 1976 Mar., 1983
Stand age	22
Number of trees (1/ha)	1561
Mean height of trees (m)	10.8
Mean stem diameter at breast height (cm)	12.2

前報¹³⁾に示したように、白浜町一帯は、第三紀系統の砂岩からなり、一般に土壌層の薄いせき悪地であるが、谷筋には、土壌条件が良好な場所がある。この林分は狭い谷筋の畑地跡地に造成されたもので、土地条件は比較的良好で、調査時点で林冠はほぼ閉鎖した状態にあった。このため、林床植物の生育は抑えられ、シダ類とヒサカキがわずかに残る状態であった。1964年に苗木を約8000本/ha植え付けた後、若齢期に3回施肥し、その10年後に再び施肥した。肥料は住友森林肥料一号を毎回約230kg/ha、バラマキで施した。除伐は1976年と1983年に各1回と、今回の調査時点の1986年に行なった。この結果、調査時点の林分では、個体密度2561本/ha、平均樹高10.8m、平均胸高直径12.2cmとなってい

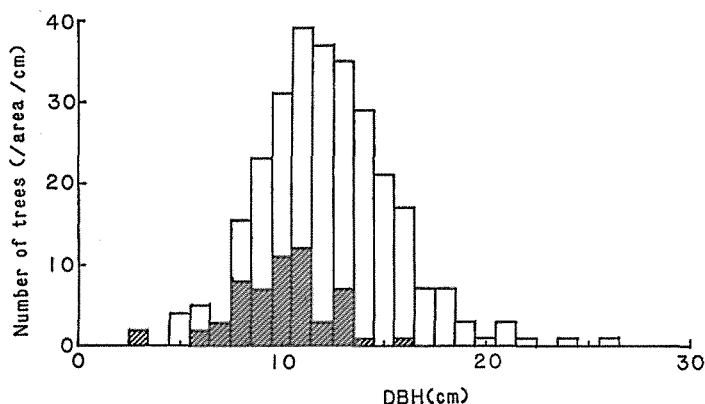


Fig. 1. Frequency distribution of D.B.H. of total trees (blank) and sample trees (slanted).

た。除伐木を含めた全個体の胸高直径階分布を示すと図1となる。

除伐に際して55本の幹から、地上高0.3mの高さの円板を採集し、年輪を読み取り、この年輪幅から幹の生長経過を推測した。これらのうちの1本は林縁木であった。サンプルとした個体総ての幹を樹幹解析によって調べることは、労力と時間を要するので、このような簡便法を採用した。一方、この方法の精度を確認するために、さらに2本の幹を追加し、樹幹解析により生長速度を測定し、ひとつの円板から得た推定値と比較した。

施肥効果を調べた従来の報告では、施肥前後の直径生長速度の比較によることも多く、この場合、幹直径の大きさによる効果を十分に配慮していなかった。図2にサンプルの一例で示したように、幹全体の材積生長速度は、30 cmの高さの円板から計算される直径や面積の年変動より、その三乗の差($D_{n+1}^3 - D_n^3$)から得られた体積生長とよく似た変化を示した。幹の材積生長に対するそれぞれの年変動の値との相関係数を計算すると、直径生長との関係は負の相関を示し、面積生長との関係は0.84, 0.88を示した。一方、体積との関係は、サンプルとされた2個体ともに極めて高い値を示し、0.96, 0.97となった。これらの高い相関関係は、前報¹³⁾において便宜的に施肥効果を円板直径の三乗差によって比較した方法を確認する結果となった。ひとつの円板から調べた簡便法がかなり有効であると理解されたので、この方法により幹の生長経過を比較検討した。

個体の大きさを示す尺度として、樹高(H)を採用したが、その推定は、21本の幹の樹高と胸高直径(D)の測定からD~H関係を得て、その関係を利用してすべての個体の樹高を推定した。

結果と検討

1. 施肥と幹の生長経過

林地施肥によって、その後の数年間、幹の生長速度は急速に増大し、その後低下し安定する。施肥効果は、この幹の急速な生長に現われるとされている。今回の結果でも、施肥後ほとんどの個体の幹の生長は高まったが、その後の生長経過は実に様々であった。図3には、それらのうちで典型的とも思われる数例を示した。多くの個体では、施肥後1, 2年後に生長速度が高まり、2, 3年間に再び低下した。しかし、総ての個体が施肥に対して、このように対応しているので

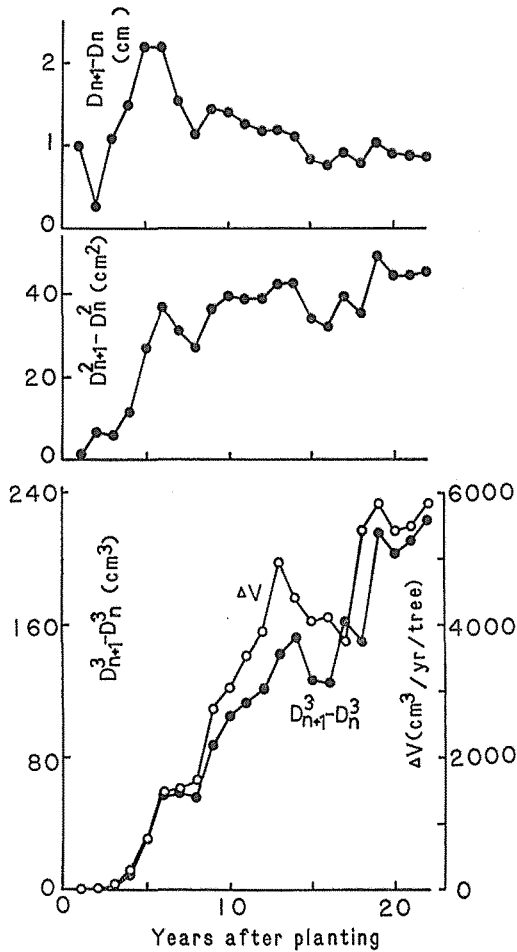


Fig. 2. Growth rate courses of stem diameter ($D_{n+1} - D_n$), cross-section area ($D_{n+1}^2 - D_n^2$) and volume ($D_{n+1}^3 - D_n^3$) calculated from the same stem section at 0.3 m above ground. Growth rate of stem (ΔV , 1/yr., tree) was well related to the estimates of the volume growth.

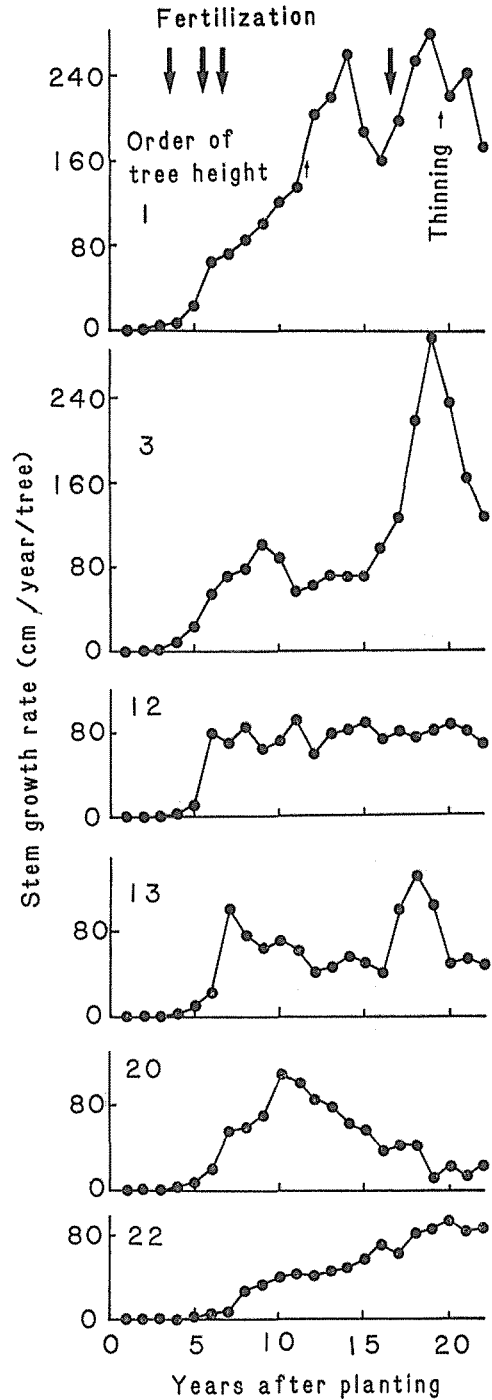


Fig. 3. Six sample of typical different growth course estimated from stem section. Number means order of tree height from the highest trees in sample trees.

ないことは、図3からも明らかである。林縁木(図3, 1)では、幹の生長がピークに達するのは、若いステージでは、最終施肥後7年目であり、16年生時点の施肥に対しては、そのピークは3年後であった。林内の個体でも、今回調べたうちの最大個体(図5, B)では、若い段階での施肥後の生長低下は明確でなく、年令と共にその生長速度は増大する傾向にあった。また、16年生時点での施肥後の生長低下も認められなかった。このように、生長速度が単調に増大する例は、単に林内の大きな個体だけではなく、やや小さな個体でもしばしば認められた(図3, 22)。一方、若い段階での施肥に対しては、明らかな生長増大が認められるものの、その後の生長が施肥に無関係にほぼ同レベルの水準で維持された個体(図3, 12)や、16年生時点の施肥にほとんど反応が認められない個体(図3, 20)もあった。

以上から、閉鎖した林分の個体の幹に現われる施肥効果は単純ではなく、個体相互間の日陰の影響を受けて様々な生長過程として現われるものと考えられた。また、この結果から、前報で提案した施肥効果のひとつである施肥後の安定した生長水準の比較検討は、閉鎖した森林の個体資料では検討が不可能であると理解された。このため、今回の施肥効果の検討は、施肥直後の生長速度増大の比較に限りたい。このスギ林は、植栽後に3回の除伐を加えたが、幹の生長経過から判断する限り、その直後の生長には著しい変化は認められず、小さな個体を除く除伐処理の影響はほとんどないように思われた(図3)。このため、この施業による影響のないものとして論議を進めたい。

今回調べた全個体の生長経過の特徴を簡単に示すために、若い段階(第一期)と16年生時点(第二期)の施肥後の生長速度の最大時点を図化して示すと図4となる。この図は、樹高の大きい順に並べたものである。第一期施肥後のピークは、すでに一部ふれたように個体によってかなりの遅速がある。早い個体では翌年に現われ、遅い個体では8年後に現われた。ほとんどの個体は第一期の最終施肥後4年以内に現われる(図4)。ただし、この時点では明らかなピークが認められない5個体があり、それらの生長速度は単調に増大する過程を示していた。第一期の施肥後に認められたピーク時点の遅速は、第一期施肥が4生育期に延べ8回の長期にわたったためであり、他方では、年齢が若く、生育旺盛期にあり、個体の生長減退期が明らかでなかった理由によるであろう。

一方、第二期の施肥効果は、多くの個体で8年後に現われ、ほぼ同調していた。しかし、この施肥によって、明確な生長促進が認められない個体も多く、57個体のうち36個体に達し、その大部分32本が生長停滞または減退を示した。残りの4個体は施肥前に引き続いた生長増大過程にあった。図4に認められるように、下位を占める個体のほとんどが、第二期の施肥後明確な生長促進が認められず、生長速度低下の状態であった。

以上から、施肥後数年間に現われる幹の生長促進効果は、施肥を行なう年齢や個体の大きさによってその現われ方が明らかに異なっていた。ただし、大きさの順位によってある傾向が認められ、幹の生長が単に施肥効果だけではなく、他の要因、個体がおかれた光条件の影響を受けていることが伺われた。

2. 個体の大きさと幹の生長経過

前節において、施肥後の幹の生長経過が、個体の大きさによって異なる現象が明らかになったので、この節では、樹高分布と関連して詳しく検討したい。

幹の生長経過を森林の樹高分布と関連して比較するために、林分全体とサンプル木の樹高分布図を作成して図5に示した。一方、各個体の幹の生長経過は様々であるので、サンプル個体の直径階分布によって8段階に分け、各階層ごとに平均化された幹の生長速度を計算し、同じ図に並

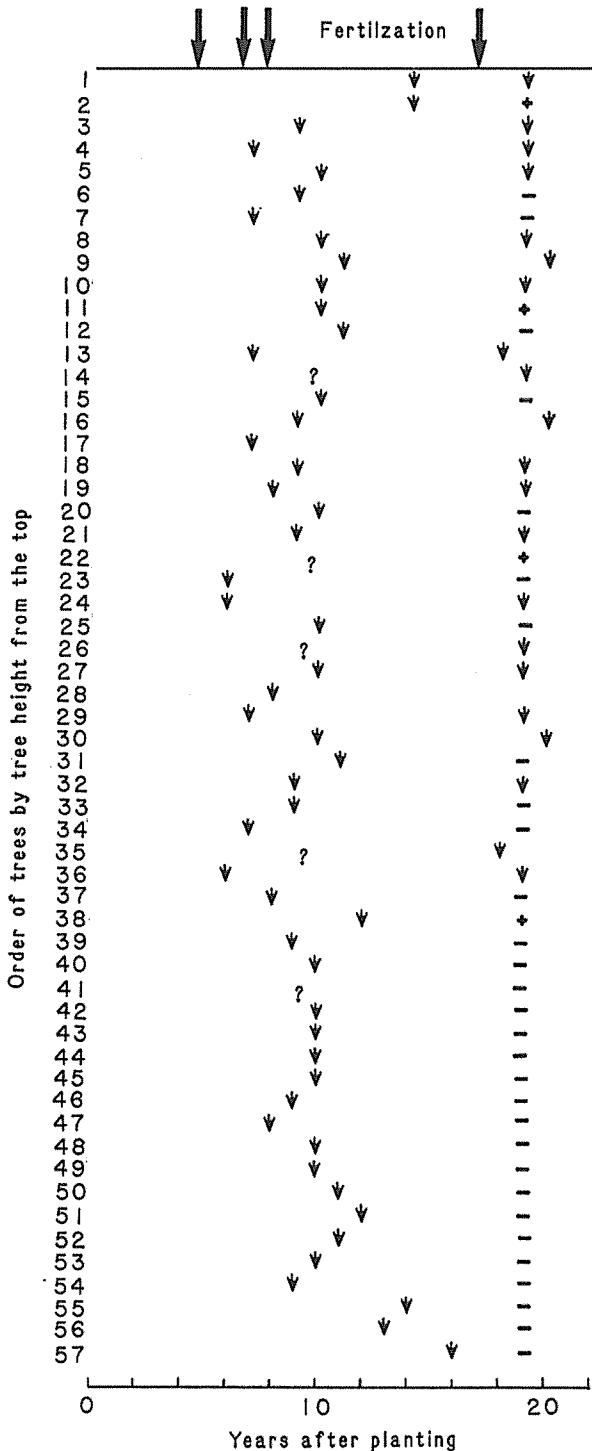


Fig. 4. Relation between fertilization (large arrow signs) and maximum points of growth rate (short arrow) after fertilization. Signs of plus or minus show increase or decrease phases of growth rate.

べて示した。各個体の枝下の高さが、個体によって著しく異なっていたので、今回の検討では葉層によらず、単に樹高分布によって検討した。

図5に示した生長経過のうち、A、Bは個体の資料であり、G～Hが平均化された生長経過である。Aは林縁木で図4、1と同個体であり、Bは林内のサンプルでは最大個体であり、準優勢木である。すでに調べたように、B個体では施肥後の明確な生長低下が現われない。施肥の効果が大きいと推測されるにもかかわらず、光条件が十分なために生長速度は連続して増加の傾向を示し、生長の増減としては現われない(図5、B)。林縁木個体(A)では、B個体に比べると施肥後の生長低下は認められたが、年変化の様相はB個体のものとよく似ており、両者の類似性は、林内の平均樹高以上の個体の生長経過が同様の変化を示すことを予測させる。また、このような例が認められたことは、施肥効果を調べる際に十分注意すべきことである。施肥効果が端的に現われるのは、むしろ平均樹高よりやや低い個体であった(図5、C)。この階層の順位を相対的に表わすと、樹高の大きい順から数えて60～80%程度の順位を占める個体であった。その層以下の樹木では、下層になるほど施肥効果は不明確になる(図5、D～H)。最下層を占める個体の生長経過は、施肥とは無関係のように見受けられる。施肥直後には、幹の生長速度はむしろ低下した(図5、H))。この生長経過の場合は、施肥後に上層木の生長が促進され、最下層で

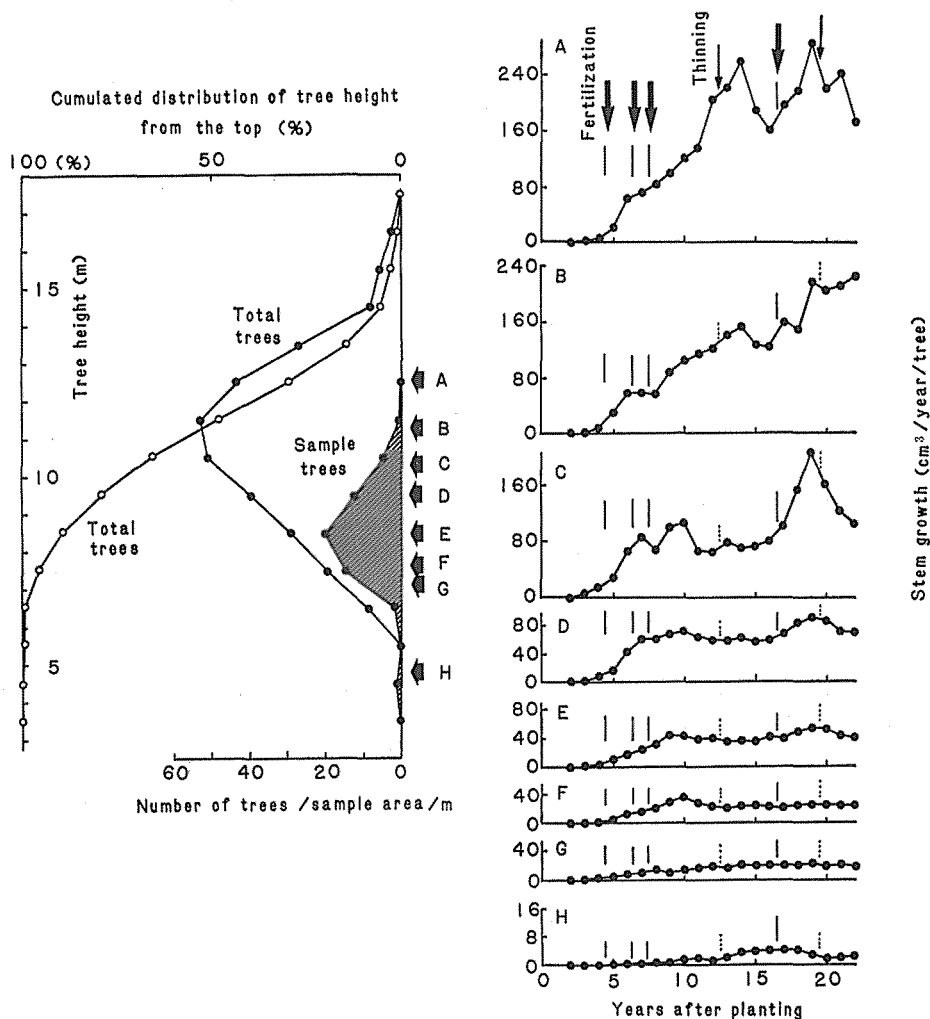


Fig. 5. Tree height distribution (left hand) of total and sample trees, and averaged growth courses of respective strata of tree height. A is that of margin tree and others are inner trees.

は光条件が悪化したために生長が低下したとも解釈できる。図5, C~Hに, 上層から下層へと並べて示した各層の平均化された生長経過は明らかに連続的に変化する, 施肥効果が次第に不明確になる。下層木では施肥の効果より光条件の影響が強くなると思われる。

今回の施肥効果は, 林分内の個体の動態を追うことによって調べたが, 閉鎖した森林では個体の大きさによって様々な生長経過をたどったことは, 繰り返しのべた通りである。ここで, 従来の報告に関連して言及しておく必要がある。施肥効果に関する従来の報告の多くが, 閉鎖した森林で調べられ, 数本以下^{1-3, 6-7)}時には1本¹¹⁾のサンプル木を材料に論議がなされている。今回の個体の差異からみると, 施肥効果の持続期間だけを取り出しても, サンプルの選び方によって異なる結果となることが予測される。他方, すでに調べたように, 幹の生長経過は直径, 面積, 体積など, 生長量として取り上げる単位によっても, その様相が著しく異なる。例えば, 直径生

長によって調べられた施肥効果の持続期間は短期間として推定される傾向がある。

以上の問題点に加えて、さらに重大な問題は、幹の生長経過に現われるとした施肥効果が、真の効果を示しているかどうかの点である。個体の生長経過が典型的ともみられる施肥効果のパターンを示していたとしても、それが真の施肥効果であるか問題が残る。生長減退期が認められなかった個体でも、施肥効果がないという保証はない。この意味で、閉鎖した森林内の各個体に現われる施肥効果は、みかけの効果であると判断される。閉鎖した森林での施肥効果の検討は、個体による資料でなく、森林全体をまとめた資料によって検討されるべきであろう。

引用文献

- 1) 川名 明・相場芳憲・生原喜久雄・毛呂 真：壮令林の肥培に関する研究。(I) スギ壮令林の肥効について(その1)。東農工大演報. 7. 1~8, 1968
- 2) ————・—————・—————：同上。(II) ヒノキ壮令林の肥効について。東農工大演報. 7. 9~13, 1968
- 3) ————・—————・—————：同上。(VI)。スギ壮令林の肥効について(その2)。東農工大演報. 8. 11~24, 1969
- 4) UEDA, M., ITO, T. and KAWNA, A.: Studies on fertilization in established stands(IV). Examination of fertilization periods according to different growing phases on Sugi (*Cryptomeria japonica*) stands. 日林誌. 53. 42~50, 1971
- 5) 藤田桂治・長谷川浩一：成木施肥試験の調査結果。森林と肥培. 7. 5~8, 1971
- 6) 生原喜久雄・川名 明・相場芳憲：壮令林の肥培に関する研究(VII)。東農工大演報. 10. 91~95, 1973
- 7) ————・—————・—————：同上(IX)。ヒノキ林分の材積、養分量及び造林歩止りに及ぼす施肥効果。同上. 11. 39~55, 1974
- 8) 河田弘：湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼令林の施肥試験。カラマツの生長および針葉の組成におよぼす施肥の影響。林試報. 162. 143~158, 1964
- 9) ————・衣笠忠司：高野山国有林におけるスギ幼令林施肥試験。(第4報)。林試報. 248. 1~13, 1972
- 10) ————・—————：広島県姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼令林施肥試験。林試報. 219. 121~136, 1969
- 11) 山内孝平：スギ壮令林施肥試験。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
- 12) 森麻須夫：成木施肥林の生長解。同上. 1~6, 1981
- 13) 大島誠一・上中幸治・羽谷啓造・上中光子：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。京大演報. 58. 25~34, 1986

Résumé

A 22-year old stand of *Cryptomeria japonica* fertilized at two stages in the past was investigated to clarify the effect of fertilization on stem growth. Samples of 57 trees were cut off, and the stem growth rate was estimated from the annual rings at 0.3 m above ground height.

The growth courses of individual stems were markedly different among another as shown in six typical types (Fig.3). In the growth courses of dominant or co-dominant trees, the effect of fertilization was not clear by the active growth through the period. The typical effect of fertilization seemed to be shown clearly in intermediate trees (Fig.5,C). In suppressed trees, effect of fertilization was not visible in the stem growth courses. The growth rate of individual stems is affected not only by fertilization but also light condition in dense forest. So, the growth rate data of individuals were divided into 8 strata by D.B.H. and

mean rates were calculated in respective stratum. The result was shown in Fig. 5 with the height distribution. A continuous change of fertilization effect became clearly visible in the figure, though the individual courses showed various courses. From the diverse patterns of the individual courses, the effect of fertilization must be investigated from the data of forest community.