

## 異なる光環境と施肥強度のもとで栽培されたスギとヒノキの2年生実生の成長

山下多聞\*・金塚 洲\*

### Effects of light intensity and fertilization on growth rate of two-year-old seedlings of Japanese red cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.)

Tamon YAMASHITA and Shiu KANETSUKA

**Abstract** Two year-old seedlings of Japanese red cedar (sugi) and Japanese cypress (hinoki) were grown under two levels of light intensity and fertilizer in a nursery of Honjoh Experimental Farm, Shimane University. Totally four blocks of treatments were set in the nursery according to the random block method. We measured relative growth rate (RGR) of diameter at 5 cm above ground, height and  $D^2H$  at each treatment block. The RGR in stem elongation ranged from 138 to 183 for sugi and from 132 to 162 for hinoki. Diameter increment ranged from 157 to 227 for sugi and from 140 to 219. Seedlings grown under full sunlight showed larger elongation of stems and increment of diameter than the seedlings under shaded condition. Effect of fertilization on hinoki seedlings growth was significantly positive in full sunlight block. Even though it was statistically insignificant, its effect was negative in shaded block. Growth of sugi seedlings depends solely upon light availability. Whereas hinoki seedlings require light primarily and nutrient secondary for their growth.

Key word: Growth rate, coniferous seedlings, shade, fertilization, Honjoh Experimental Farm.

## 緒 言

樹木はその成長に必要な資源として、光、水分、炭素源を含む養分物質を要求する。これらの三要素のいずれが欠けても健全な成長が阻害される。農耕地とは異なり、天然生林はもちろん人工林においてさえも森林では、灌水や施肥などの施業は通常はされない。日本のように大陸東岸の海洋性気候に属し比較的降水量が年間を通して得られる地域では、林地における水分制限はそれほど深刻でない。天然生林や複層林施業下の人工林では林冠が複数の層位からなり、林冠最上部に葉群をもつ個体以外は光制限になる。このため多くの森林植物は光により成長が制限されていると考えられる。森林の更新に重要な

役割を果たす実生や幼木は林床の光環境の悪い空間に生育場所を限定される (Walters & Reich 1997)。さらに、林床における窒素やリンなどの養分は空間的に不均一に分布し、これら養分の可給性の大小も光と同様に成長を制限している (e.g. Zak & Pregitzer 1985)。

本報告では、日本国内の代表的な造林樹種であるスギとヒノキの2年生実生苗を異なる光環境および異なる養分可給性下で栽培し、それぞれの環境に対する実生苗の成長反応を検討する。

## 調査地および方法

1. 調査地 島根県松江市の東部に位置する島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター農業生産科学部門本庄総合農場内(北緯35度31分, 東経133度6分)にある苗畑に調査地を平成9年4月に設定した。吉野ら(1985)によれば、本庄総合農場の年平均気温は14

\*附属生物資源教育研究センター森林科学部門

\*Forest Science Section ERCBR, LES, Shimane, Univ.

℃で、年平均降水量は2100mmである(図1)。冬期には数10cm程度の積雪がみられる。平成9年4月から11月の苗畑の地温は表1の通りで、最高地温は44℃に達した。土壌は林野土壌の分類に従えば赤色土(R)で、マサを客土し耕運機でよく攪拌した。苗畑は昭和43年以来造林用苗木を育苗するために利用されてきた。

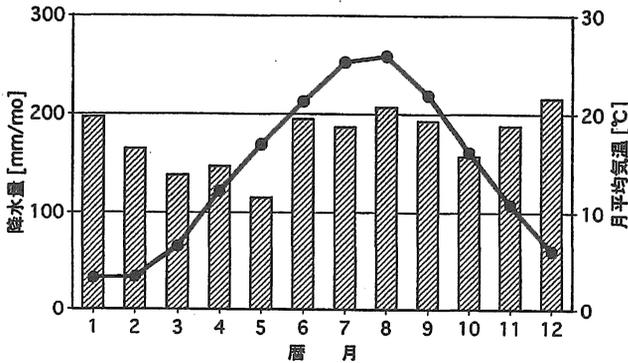


図1 本庄総合農場の気象。棒グラフは降水量を示し、折れ線グラフは気温を示す。吉野ら(1985)より作図。

表1 本庄総合農場内苗畑の受光量100%区と同40%区の地温[°C]

| 10% | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 |
|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 最高  | 29 | 33 | 39 | 42 | 44 | 43 | 32  | 25  |
| 平均  | 14 | 20 | 24 | 26 | 29 | 22 | 17  | 13  |
| 最低  | 5  | 10 | 15 | 17 | 21 | 12 | 7   | 5   |

| 40% | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 |
|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 最高  | —  | —  | 27 | 38 | 29 | 22 | 21  | 15  |
| 平均  | —  | —  | 22 | 23 | 25 | 18 | 14  | 11  |
| 最低  | —  | —  | 16 | 16 | 19 | 13 | 5   | 6   |

2. 実験設定 平成6年秋に播種した島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター森林科学部門三瓶演習林産ヒノキの実生と島根県野呂種苗組合より購入したスギの実生を平成9年4月に路地に直植えた。スギは2列で48個体、ヒノキは3列で72個体を植栽した。日射量は100%と40%の、施肥量は無施肥と施肥の各2段階で合計4試験区を乱塊法にしたがって設定した。日射量の調整は60%遮光の寒冷紗によっておこなった。施肥は有機肥料を平成9年5月・7月・8月の3回にわけて与え、1回あたり3.6kg/a施肥した。

3. 調査項目 各個体の地際から5cmの部位の直径(D<sub>5</sub>)と、地際から5cmより上の幹長(H)を平成9年7月・

8月・9月・10月と平成10年2月の5回にわたって測定した。直径は一定方向よりノギスをあてはめ測定した値を用いた。幹長は主軸の長さとした。

施肥の効果に重要であると考えられる土壌水分の動態を知るため、平成9年8月1日に日射量の違いが土壌水分の蒸発量に及ぼす影響を以下の方法で測定した。口径一定の円筒型の樹脂のカップにイオン交換水を約30ml入れ、日射量100%試験区と同40%試験区に10カップずつ静置し、午前10時から午後5時までの7時間放置した。この間の消失水量を単位面積あたり単位時間あたりの蒸発量とした。

施肥によって土壌の窒素可給性にどのような変化がみられるかを土壌窒素無機化を指標にして調べた。各調査区から初期の無機態窒素プール測定用、野外条件下での窒素無機化能測定用、一定条件下での窒素無機化能測定用の各試料を3回繰り返して採取した。採取した土壌試料は表層土(0~4cm)で、礫を除去した細土を実験に供した。野外条件下での無機化能は土壌シリンダー法(Rapp et al. 1979)で30日間培養および測定した。実験室での一定条件下での窒素無機化能は最大容水量の60%に水分を調節し30℃の培養器内で無光下で30日間培養し測定した。初期のプールおよび培養後の蓄積量は、生重で10gの土壌に対し100mlの2M-KClで1時間振とう抽出しそのろ液を分析に供した。アンモニア態窒素はインドフェノール青法、硝酸態窒素はスルファニルアミド- $\alpha$ -ナフチルアミン法による比色法(Keeney & Nelson 1982)で測定した。

調査データの統計計算はSYSTAT(Wilkinson 1992)により行い、遮光および施肥の影響は二元配置の分散分析で、各処理間の平均値の比較はTukeyの多重比較で検定した。

## 結 果

1. 環境条件 日射量100%試験区と40%試験区の水分蒸発量を図2に示す。平成9年8月1日は快晴で最高気温は34℃に達した。日中の水分蒸発量は100%区で有意に多く( $p < .001$ )、40%区では100%区の3分の1に過ぎなかった。

初期の無機態窒素プールは0.44~1.34mgN/100gDSであった(表2)。施肥×100%区は他の処理区よりも有意に多かった。無施肥区に対する施肥×40%区の有意な差は観察されなかったが、施肥区全体では無施肥区全体に比べ有意に無機態窒素プールは増加した。また、40%

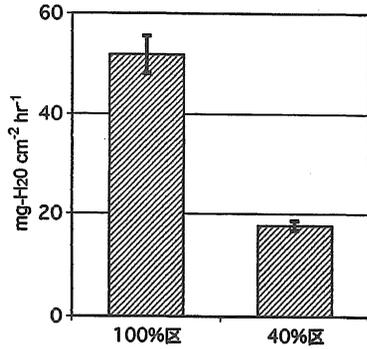


図2 日射量100%と同40%の処理区の水分蒸発速度。縦棒は±1seを示す。

表2 土壌中の無機態窒素プールおよび室内と野外培養による無機態窒素蓄積量異なるアルファベットは  $p < .05$  で有意に差があることを示す

| [mgN 100gDS <sup>-1</sup> ] | 機態窒素プール           | 無機態窒素蓄積            |                   |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                             |                   | 室内培養               | 野外培養              |
| 施肥×100%                     | 1.34 <sup>a</sup> | 1.80 <sup>a</sup>  | 1.93 <sup>a</sup> |
| 無施肥×100%                    | 0.44 <sup>b</sup> | 1.01 <sup>b</sup>  | 0.98 <sup>b</sup> |
| 施肥×40%                      | 0.70 <sup>b</sup> | 1.24 <sup>ab</sup> | 1.11 <sup>b</sup> |
| 無施肥×40%                     | 0.53 <sup>b</sup> | 1.54 <sup>ab</sup> | 1.04 <sup>b</sup> |

区に比べ100%区で無機態窒素プールが大きくなる傾向がうかがえた。

表2に30日間一定条件下で培養後の無機態窒素蓄積量を示した。無機態窒素の蓄積量は1.01~1.80 mgN/100gDSの範囲にあった。施肥×100%区では無施肥×100%区に対して有意に多くの無機態窒素が蓄積していたが、40%区に対しては有意な差は検出されなかった。

野外条件下で培養後の無機態窒素蓄積量は0.98~1.93 mgN/100gDSであった(表2)。野外条件下にある40%区の蓄積量は一定条件下で発現する蓄積量に比べ減少し、とくに無施肥区では減少量が大きかった。

2. 10ヵ月間の成長パターン スギ実生の植栽時の  $D_0$  は平均で5.6mm, Hは同35.2cm,  $D^2H$  は同  $0.1098\text{cm}^2 \cdot \text{m}$  であった。ヒノキ実生の植栽時の  $D_0$  は平均で3.9mm, Hは同24.1cm,  $D^2H$  は同  $0.0371\text{cm}^2 \cdot \text{m}$  であった。これらの値はばらつきが大きいので、各個体の植栽時のサイズを100として相対成長速度(RGR)を各個体毎に求めた。植栽後のRGRの経時変化を図3(スギ)および図4(ヒノキ)に示した。

スギの  $D_0$ -RGRは7月には有意な差は各処理区間に認められなかったが、8月以降は100%区の個体は40%区の個体よりも有意 ( $p < .01$ ) に大きくなった。施肥区と

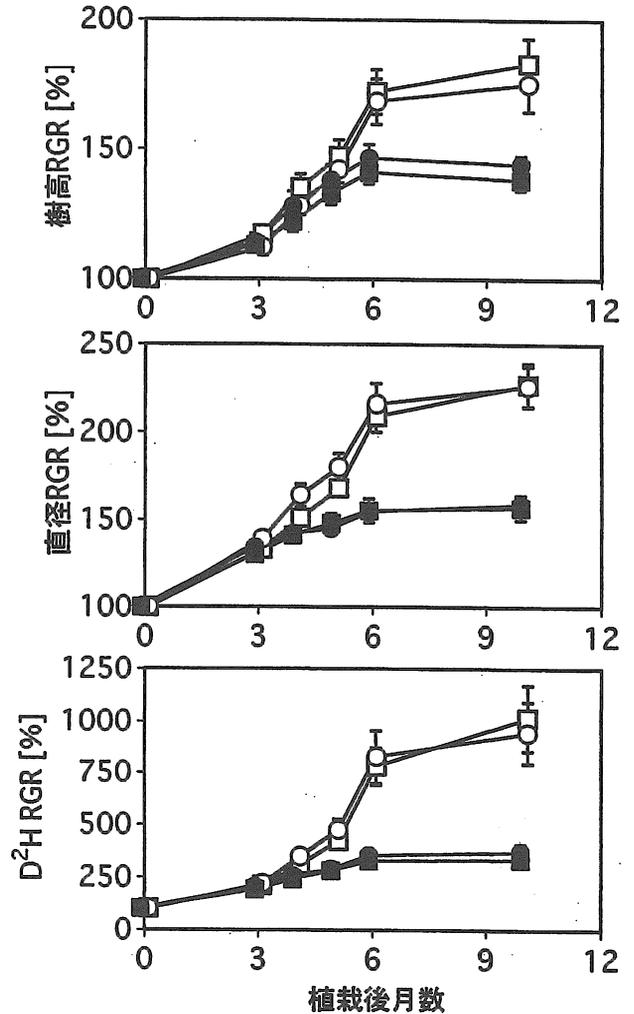


図3 スギ実生の樹高、直径、 $D^2H$ の相対成長速度における経時変化。□は施肥×100%区、○は無施肥×100%、■は施肥×40%、●は無施肥×40%の各処理区を示す。各点は処理区内の平均値を、縦棒は±1seを示す。

無施肥区の差は100%区および40%区のいずれにおいても顕著ではなかった。植栽後10ヵ月時の  $D_0$ -RGRは100%区で約220、40%区で約150であった。スギのH-RGRは、植栽後6ヵ月以降40%区の個体に比べて100%区の個体において有意に大きくなった ( $p < .01$ )。施肥区と無施肥区の差は少なく100%区と40%区ともに有意な差は認められなかった。植栽後10ヵ月時のH-RGRは100%区で約180、40%区で約140であった。スギの  $D^2H$ -RGRは植栽後4ヵ月より100%区と40%区の間で差がみられ、100%区の個体は植栽後5ヵ月から6ヵ月にあたる9月から10月に急激な成長を示した。植栽後10ヵ月時の  $D^2H$ -RGRは100%区で950から1000、40%区で約300であった。

ヒノキの  $D_0$ -RGRは植栽後3ヵ月から処理区間の差がみられ、100%区と40%区の間および100%区の中の施

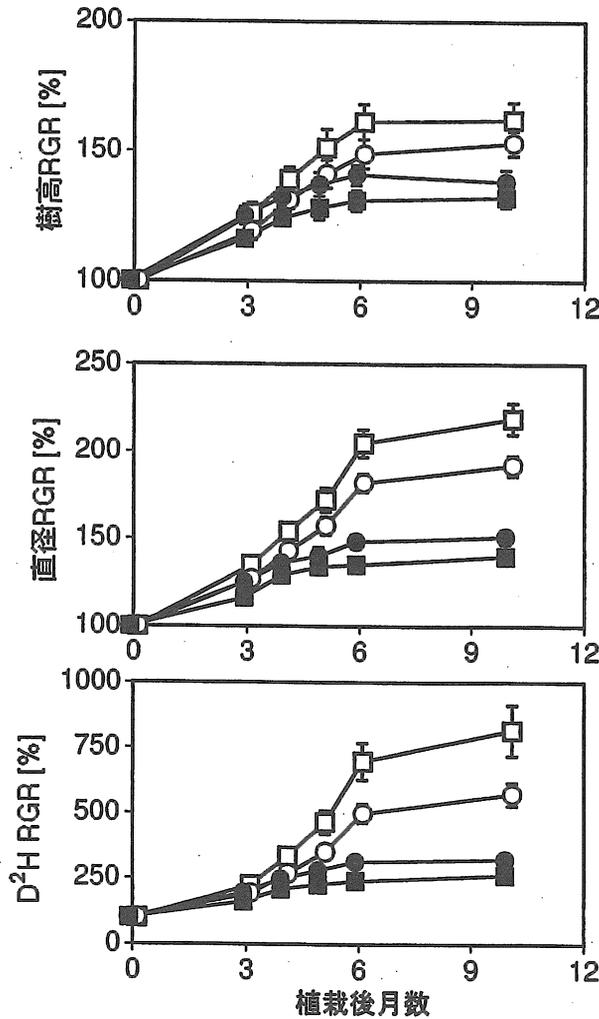


図4 ヒノキ実生の樹高、直径、D<sup>2</sup>Hの相対成長速度における経時変化。凡例は図3に同じ。

肥区と無施肥区間で有意な差が認められた ( $p < .05$ )。しかし、40%区では施肥区と無施肥区間に有意な差はなかった。植栽後10ヵ月時のD<sub>s</sub>-RGRは施肥×100%区で約220、無施肥×100%区で約190、40%区で約140であった。ヒノキのH-RGRはD<sub>s</sub>-RGRほど差は顕著でなく、最大の施肥×100%区と最小の無施肥×40%区間に有意な差 ( $p < .05$ ) がみられるのみである。植栽後10ヵ月時のH-RGRは100%区で150から160、40%区で約130であった。ヒノキのD<sup>2</sup>H-RGRは施肥×100%区で最大で、無施肥×40%区で最小であった。この2処理区間の間の差は植栽後3ヵ月から認められ、無施肥×100%区と無施肥×40%区間の差も6ヵ月後からみられた。施肥区と無施肥区の差は100%区では有意 ( $p < .01$ ) であったが、40%区では明らかでなかった。植栽後10ヵ月時のD<sup>2</sup>H-RGRは施肥×100%区で約800、無施肥×100%区で約550、40%区では250から300で

あった。

スギとヒノキの各処理区の個体の形状比 (H/D) を図5に示す。スギでは100%区で低い傾向があるが有意な差は認められなかった。ヒノキでは植栽後5ヵ月間は有意な差は認められなかったが、6ヵ月後から100%区の個体のH/Dが低下し施肥×100%区と40%区間に有意な差 ( $p < .05$ ) が認められた。一般的傾向として、100%区の個体の方が40%区の個体よりもH/Dが小さくなった。

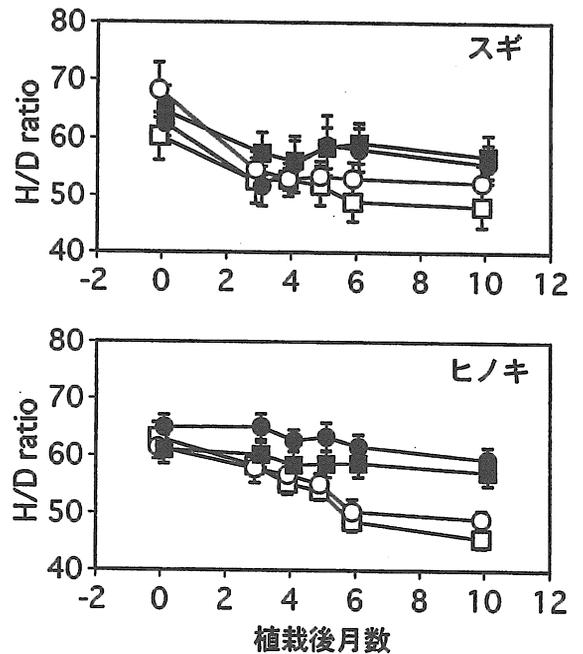


図5 スギおよびヒノキの形状比 (H/D比)。凡例は図3に同じ。

3. 植栽時のサイズと植栽後10ヵ月時のサイズの関係  
各処理区における植栽時のサイズと10ヵ月後のサイズの相関関係を表3に示す。

表3 各処理区における初期サイズと植栽後10ヵ月時のサイズの相関関係  
\*:  $p < .10$ , \*\*:  $p < .05$ , \*\*\*:  $p < .01$

| スギ  | 施肥×100% | 施肥×100%   | 施肥×40%    | 施肥×40%    |
|-----|---------|-----------|-----------|-----------|
| D   | 0.2103  | 0.0630    | 0.4905*   | 0.6113**  |
| H   | 0.0461  | 0.1954    | 0.8832*** | 0.7586*** |
| D2H | -0.0830 | 0.0901    | 0.6317**  | 0.5577*   |
| ヒノキ | 施肥×100% | 施肥×100%   | 施肥×40%    | 施肥×40%    |
| D   | -0.0948 | 0.5154**  | 0.5287**  | 0.5557**  |
| H   | 0.0236  | 0.6450*** | 0.6968*** | 0.4189*   |
| D2H | -0.0708 | 0.6489*** | 0.6876*** | 0.4697**  |

スギは D, H, D<sup>2</sup>H のいずれにおいても施肥区無施肥区ともに 100%区で相関係数が低く、初期のサイズに依存せず成長していたことを示す。スギの 40%区では施肥の有無によらず植栽後 10 ヶ月間の成長は初期のサイズに明らかに依存していた。

ヒノキは施肥×100%区以外の 3 処理区において初期サイズ依存性がみられた。施肥×100%区ではスギの 100%区と同様に初期のサイズに依存しない成長を示したが、無施肥×100%区ではサイズ依存性がみられた。

## 考 察

土壌からの蒸発量は 100%区と 40%区の間で有意な差が認められ、光環境の違いが土壌の水分環境に影響を与えていた可能性がある。しかし、土壌の無機態窒素を測定するために採取した土壌の含水率は両処理区間で差はみられず、降雨後十分な日数が経てば 40%区の土壌でも 100%区程度まで含水率が減少することが示唆された。土壌の無機態窒素は初期のプールサイズは施肥区で大きくなる傾向がみられ、施肥の効果がある程度土壌に現われていることが確認された。無機態窒素の蓄積量は室内培養と野外培養では傾向が異なった。室内培養された 40%区では施肥区に比べ無施肥区の方で蓄積量が多くなったが、野外培養では 100%区および 40%区の両方で施肥区の無機態窒素蓄積が多くなった。野外条件下では無機態窒素の蓄積量でも施肥の効果を確認された。

スギ実生の成長は D, H, D<sup>2</sup>H のいずれの数値を指標にしても 100%区または 40%区でも施肥の影響を受けず ( $p>.10$ )、光環境のみの影響を受けていた。光環境の影響は秋から冬にかけて顕著であった ( $p<.001$ )。つまり、肥料を与えても与えなくてもスギ実生は光環境さえ良ければ良好な成長を示し、スギ実生の成長は一義的に光によって規定される光リミットな種であると考えられる。また、100%区の個体の成長が初期のサイズに依存しないのに対し、40%区では初期サイズへの依存性が認められた (表 3)。言い換えれば、十分な光環境の下では蓄積されていた生体量の影響を受けず大きな個体も小さな個体もある程度の大きさに達するが、限られた光環境ではより小さな個体はより大きな個体に並ぶほどの成長ができない。これは光資源が限られた環境下では、資源獲得能に個体サイズが影響することを示唆するものである。植栽時に相対的に小さな個体には、播種後他の個体に比べ十分な資源を与えられなかったか、資源を十分に獲得する能力が欠落していたかの 2 要因が考えられる。後者

の要因は 100%区の結果から排除可能で、前者の要因である可能性が高い。苗畑においても、天然生林においても、種子の発芽後の資源量がまず実生のサイズを決定し、資源量に変化がなければサイズに応じた成長速度を示すことが考えられる。スギは光資源が増加した場合にサイズ依存性を示さなくなる。スギは一般に陽樹であるとされるが、この光のみに規定された成長パターンは陽樹の特徴といえる。

ヒノキ実生の成長は、スギ同様に光環境の違いに影響を受けた。ヒノキ実生の D, H, D<sup>2</sup>H はそれぞれ植栽後早期に光環境の影響が成長に反映されはじめた。また、施肥の影響は、40%区で有意差が検出されず、全体としてはスギ同様不明瞭であった。しかし、100%区では施肥によって D および D<sup>2</sup>H が増大し、施肥×100%区と無施肥×100%区の間には有意な差が認められた ( $p<.001$ )。光環境と養分量の有意な交互作用が認められ ( $p<.05$ )、ヒノキは光資源が多いほどかつ養分量が多いほど成長が増大する傾向が認められた。ヒノキ実生は限られた光資源の下では光リミット状態にあり養分物質を与えても低い成長速度は改善されないが、十分な光資源の下では養分物質が制限要因 (養分リミット状態) となる可能性が示された。つまり、ヒノキ苗の成長は一義的に光資源に制限されているが、光のみがその成長速度を規定するのではなく、養分の付加によって増加することから養分の第二義的役割が示唆された。このことから、ヒノキが強光下では光合成速度を維持するためにより多くの窒素をはじめとする養分を必要としていると考えられる。初期サイズ依存性は 40%区では施肥区無施肥区ともに認められ、100%区でも無施肥区で認められた。ヒノキ苗は、光資源または養分資源のいずれかの資源が制限されている場合、その個体のサイズに依存した成長速度を示すと考えられる。スギは光資源量の増大によりサイズ依存性を示さなくなったが、ヒノキは光資源だけでなく養分物質の資源量の増加も要求する。

## ま と め

本報告ではスギとヒノキの実生苗の成長を D, H および D<sup>2</sup>H という主に非同化器官のサイズによって記述した。これは継続的にデータをとる必要から非破壊的に測定可能な項目を選んだ結果である。しかし、植物個体は同化器官である葉や養分吸収器官である根も重要な要素である。今後これらの器官のサイズや質を破壊的に調査し、個体全体として異なる資源量にどのように対応し

ているか明らかにしたい。

### 謝 辞

本稿は山下が平成10年度文部省内地研究員として京都大学に滞在中に書かれたものである。この10ヵ月にわたって研究に専念するにあたり便宜をはかっていただいた附属生物資源教育研究センター長伊藤憲弘博士、同センター森林科学部門長片桐成夫博士、さらに同センター教官各位にここに記して感謝申し上げる。また、森林環境学講座大学院生山岡哲也氏には野外調査に、同講座足立芳江氏および附属生物資源教育研究センター農業生産科学部門浅尾俊樹氏には資料を松江から京都に送っていただくなど本稿作成に協力いただき厚くお礼を申し上げます。

### 引用文献

Keeney, D.R. and D.W. Nelson (1982) Nitrogen-

inorganic forms. In *Methods of Soil Analysis, Part II, Chemical Properties*. 2nd Ed. (A.L. Page, Ed.), pp. 643-698. Agronomy, No. 9-2, ASA-SSSA, Madison.

Rapp, M., M.C. Leclerc, and P. Lossaint (1979) The nitrogen economy in a *Pinus pinea* L. stand. *For. Ecol. Manag.* 2: 221-231.

Walters, M.B. and P.B. Reich (1997) Growth of *Acer saccharum* seedlings in deeply shaded understories of northern Wisconsin: effects of nitrogen and water availability. *Can. J. For. Res.* 27: 237-247.

Wilkinson, L. (1992) *SYSTAT: Statistics, Ver. 5.2*. Evanston, IL: SYSTAT Inc. 724pp.

吉野蕃人・青木宣明・沢田 謙・山根研一 (1985) 本庄総合農場の気象. 島根大学農場研究報告 7: 1-25

Zak, D.R. and K.S. Pregitzer (1990) Spatial and temporal variability of nitrogen cycling in northern lower Michigan. *For. Sci.* 36: 367-380.