

島根大学松江試験地に植栽されたヒノキアスナロ人工林の成長予測

尾崎嘉信・葛西絵里香・黒崎勇登・和田 慎・山下多聞*

Growth estimate of hiba arborvitae plantation in the Matsue Forest, Shimane University

OZAKI, Y., E. KASAI, I. KUROSAKI, S. WADA & T. YAMASHITA*

Abstract In the Matsue Forest, a plantation of hiba arborvitae was established in 1970. Since 1995, we have conducted tree census periodically at that plantation. Based on the census data we looked back the growth history of the planted trees and try to forecast their future growth. A D-H curve plotted with the data of 2014 census indicated that maximum tree height could be 34 m, while that curve made from the data of 1995 exhibited the maximum value of 15 m. Current annual increment of basal area and stand volume has been significantly improved during past two decades to show the maximum values, $1.77 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $14.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, respectively. As a result of calculation, this plantation would reach the maximum stand volume $384 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. At the age of 72, the stand volume of the plantation might exceed $380 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and relative growth rate would be close to 0 year^{-1} . This means no drastic growth could be expected after that age. From the viewpoint of timber production, we need to decide how to manage this plantation around 70th year after establishment, e.g., to clear-cut the whole stand or to select timbers for logging. However, we need some more time to evaluate the behavior of hiba arborvitae plantation accurately.

Keywords : evergreen conifer, growth rate, logistic curve, San'In region, yield.

1. はじめに

ヒノキアスナロ (*Thujopsis dolabrata* Sieb. et Zucc. var. *hondai* Makino) は材質の面でヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) に劣るとされる一方、精油成分に富み、石川県能登地方でアテまた東北地方でヒバナなど地方名がつけられ一定の需要がみこまれる。ヒノキアスナロの人工林は、山陰地方にはまだ珍しい存在で、山陰地方における人工林造成後の成長過程についてはよくわかっていない。山陰地方におけるマツ、スギ、ヒノキに次ぐ針葉樹資源の多様化に資するために、ヒノキアスナロ人工林

を松江試験地に造成し、その利用可能性を検討する資料を整備している。本研究では、植栽後44年の林分の動態を明らかにするとともに、今後の成長予測を試みた。

北陸や東北地方で植栽されているアテやヒバはヒノキ科アスナロ属のアスナロ (*Thujopsis dolabrata* Sieb. et Zucc.) 及びその変種であるヒノキアスナロとされる。島根大学松江試験地に植栽されているアテはこれまでアスナロとしてきたが (山下ら 1995, 金塚ら 2000), 球果の形状を検討したところヒノキアスナロである可能性が高くなった。したがって、ここではヒノキアスナロとした。

* 責任著者 Corresponding author

2. 材料と方法

2-1. 調査地

調査地は島根半島東部の三坂山南東斜面に位置する島根大学松江試験地に設置した (35°32' N, 133°6' E). 松江試験地周辺は山陰気候区に属し, 平均気温 (図1) に対して積雪の多いことが特徴である.

山の斜面にあるため松江試験地の平均斜度は31度と急勾配地が多くを占めている. 土壌は新第三紀の頁岩および一部流紋岩を母岩とする褐色森林土が全域を占め, とくに適潤性ないしは湿性の土壌が90%以上の面積を占めている. これは日本海に近く脊梁部にあるという地理的要因のため試験地周辺が局所的な雲霧帯を形成していることに起因すると考えられる.

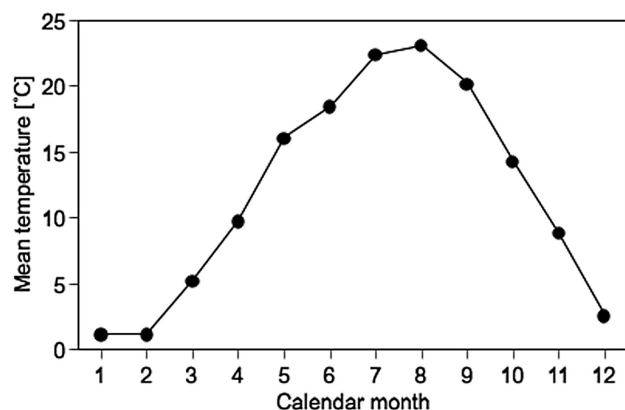


図1. 松江試験地の月平均気温図.

松江試験地2林班い小班 (面積 0.30 ha, 海拔 390–430 m) のヒノキアスナロ一斉人工林に 20 m × 20 m の方形区を1区画設置した. このヒノキアスナロ人工林は1970年に植栽された. い小班の土壌型は適潤性褐色森林土 (Bd) および適潤性褐色森林土偏乾亜型 (Bd (d)) である. い小班の平均傾斜は34度であった.

2-2. 毎木調査

方形区内に根元のある全ての幹にナンバーテープとガンタッカを用いてラベルをつけた. 全立木の地上高1.3 mの幹直径 (胸高直径) を mm 単位まで直径巻尺を使って, 梢端までの高さを cm 単位まで測高桿または超音波樹高測定器 (Vertex IV, Haglöf, Sweden) によって測定した.

毎木調査は1995年, 2000年, 2008年, 2012年, 2014年の5回実施した. 1995年の調査では全立木の胸高直径と樹高を, 2000年の調査では全立木の胸高直径をそ

れぞれ測定した. 2008年と2012年の調査では方形区のうち 20 m × 10 m において全立木の胸高直径を測定した. 2014年の調査では 20 m × 20 m の方形区を再現し枠内の全立木の胸高直径と樹高を測定した.

樹高の値は2000年については1995年の測定で得られた直径樹高曲線 (1式) を, 2012年についてはサンプリングによる直径樹高曲線 (1式) による推定値を用いた. 幹材積は2式を用いて推定した.

$$\frac{1}{H} = \frac{A}{D} + B \quad \dots 1式$$

ここで H は樹高 [m], D は胸高直径 [cm] とし, A と B はそれぞれ定数とする.

$$V = 0.00005814 \cdot D^{1.864} \cdot H^{0.9777} \quad \dots 2式$$

ここで V は単木幹材積 [m^3], D は胸高直径 [cm], H は樹高 [m] とする.

2-3. データ解析

ヒノキアスナロ人工林の林分単位の成長量を求めるために, 毎木調査の結果算出された断面積合計及び単位面積あたり材積の値の経年変化を1970年の値を0として Richards 成長関数のあてはめを検討した. その結果, 適合度の高い Logistic 関数 (3式と4式) を採用することとした.

$$BA = \frac{A_{BA}}{(1 + B_{BA} \cdot \exp(-k_{BA} \cdot t))} \quad \dots 3式$$

$$tV = \frac{A_{tV}}{(1 + B_{tV} \cdot \exp(-k_{tV} \cdot t))} \quad \dots 4式$$

ここで BA は断面積合計 [$m^2 \text{ ha}^{-1}$], tV は単位面積あたり材積 [$m^3 \text{ ha}^{-1}$], t は植栽後年数 [年] とし, A と B と k は定数とする.

1式, 3式, 4式の各 A , B , k の値は DeltaGraph ver 5 (SPSS Inc. and Red Rock Software Inc.) のカーブフィット機能を用いて求めた.

Logistic 関数で求めた過去44年の成長過程と過去44年の成長過程からの外挿で得られる成長予測から5式によって相対成長速度を推定した.

$$RGR = \frac{\ln(Xt_2) - \ln(Xt_1)}{t_2 - t_1} \quad \dots 5式$$

ここで RGR は相対成長速度 [year⁻¹], X_{t_1} と X_{t_2} は植栽後 t_1 年目と t_2 年目時点の断面積合計または単位面積あたり材積とする。

3. 結果と考察

3-1. 胸高直径と樹高の分布

全調査機会を実測された胸高直径の経時変化を図 2 に示した。植栽後 44 年目の 2014 年時点においても胸高直径 5 cm 程度の個体が存在した。最大直径は植栽後 25 年目の 1995 年では 20 cm 程度であったものが、19 年後には 30 cm を超える個体が出現した。調査区画内の林木の平均値は、1995 年と 2000 年は最小値よりの値を示したが、2008 年以降最大値と最小値の中間的な値を示すようになり直径分布は右側に裾の長い分布から正規分布に近い分布へとシフトしたものと期待された。

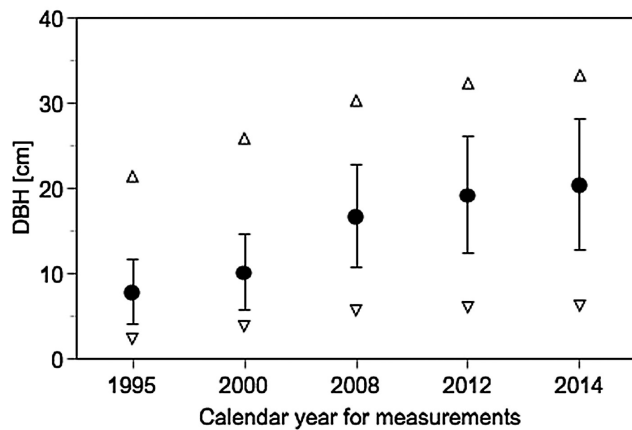


図 2. 胸高直径の変化。●は平均値，△は最大値，▽は最小値，縦棒は標準偏差を示す。

胸高直径と樹高の頻度分布を図 3 に示した。1995 年には胸高直径 4~8 cm と 8~12 cm の 2 つの直径階に全体の 3 分の 2 の個体が属していたが、2014 年には広範な直径階に分散していることがわかる (図 3a)。樹高の分布の変化は顕著で、1995 年には 80% の個体が 2~4 m と 4~6 m の 2 樹高階に属し最大樹高は 9 m であったものが、2014 年には 8~14 m の 3 樹高階に半数の個体が属し最大樹高は 16 m を超えていた (図 3b)。ヒノキスナロは伏条更新することが知られており、2014 年の調査時にみられた小径木の存在及び 5 株みられた株立ち樹幹群の存在 (データ省略) から、本調査地において伏条更新が生じていることを示唆している。

全立木について胸高直径と樹高を実測した 1995 年と 2014 年について直径樹高曲線を示す (図 4)。1995 年の

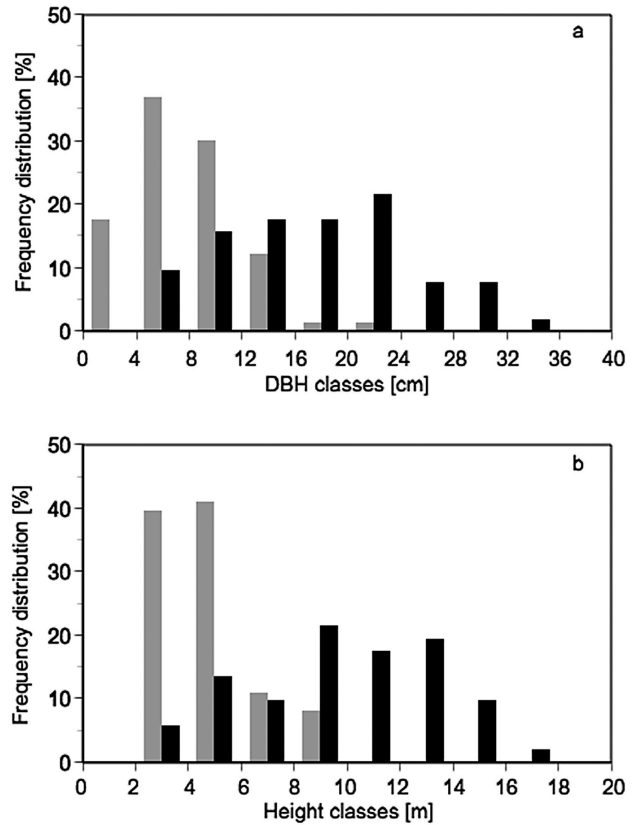


図 3. 胸高直径 (a) と樹高 (b) の頻度分布。グレーの棒は 1995 年を、黒の棒は 2014 年を示す。

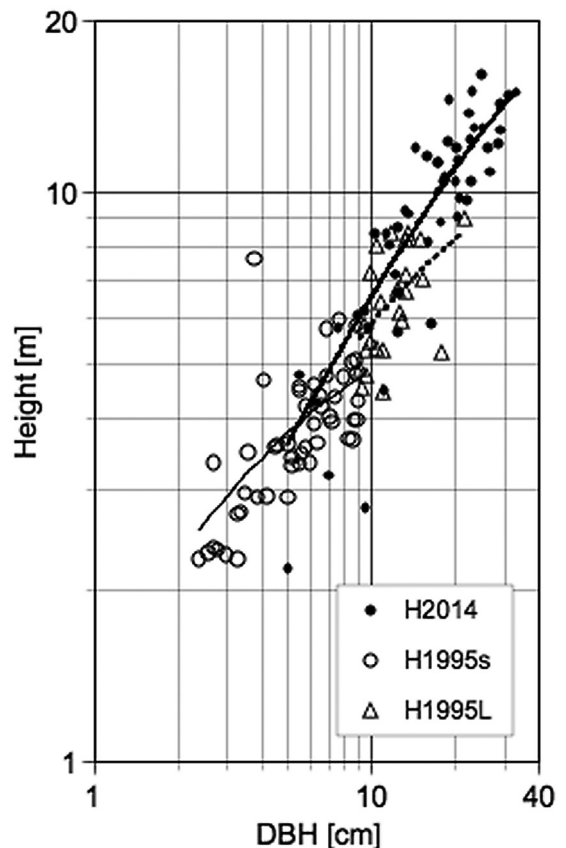


図 4. 直径樹高曲線。△は 1995 年の 9cm 以上の個体，○は 1995 年の 9cm 未満の個体，●は 2014 年の全個体を示す。

調査では全個体に1種類の直径樹高曲線をあてはめるよりも、直径9 cm未満の個体と9 cm以上の個体を分けた方が精度よく直径樹高曲線をあてはめられ、かつより大きな直径の個体にあてはめられた曲線から推定される最大樹高 (B^{-1} m) はより小さな個体から推定される最大樹高よりも高くなることが示された (山下ら 1995)。2014年の調査では全個体に1種類の直径樹高曲線をあてはめたところ、さらに推定最大樹高は高くなり34 mまで成長する可能性が示された。1995年段階ではエリート集団であった胸高直径10 cmを超える個体の樹高を2014年調査時の胸高直径10 cmを超える個体の樹高と比較すると、2014年にはより高く成長した個体が多く存在することが明らかになった一方で形状比 H/D の平均値は1995年の67が2014年には53と小さくなり直径成長に比べ樹高成長が遅い傾向にあることを示している。

3-2. 林分の成長予測

ヒノキアスナロ人工林の成長指標としての断面積合計 (BA) と材積 (tV) を植栽後の時間の関数として示した (図5)。本調査地では断面積合計 (図5a) に対しても材積 (図5b) に対しても成長関数として前述のように Logistic 関数をあてはめた。大隅・石川 (1983) は樹木の幹のように年単位での光合成産物の蓄積による成長を表すには Mitscherlich 関数をあてはめるべきで、Logistic 関数はシュートの成長など日単位の成長を表すのに適した関数であるとしている。しかし本調査地の場合、植栽後44年目の時点では Mitscherlich 関数をあてはめるよりも、Logistic 関数をあてはめる方が適合度は高く、Logistic 関数をあてはめることとした。その結果、以下のような係数が得られた。

$$BA = \frac{57.1}{1 + 93.6 \cdot \exp(-0.124 \cdot t)} \quad \dots 3' \text{式}$$

$$tV = \frac{384}{1 + 498 \cdot \exp(-0.151 \cdot t)} \quad \dots 4' \text{式}$$

3'式から断面積合計の推定最大値は $57.1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ 、4'式から材積の推定最大値は $384 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ となった。いずれの値も2000年の値 (金塚ら 2000) に比べると大きく改善しているが、地理的に遠くない島根大学三瓶演習林に生育する8齢級を超える針葉樹人工林に比較すると低い値となっている (山下ら 1998)。気候条件の異なる石川県能登地方のマアテ (ヒノキアスナロの1品種) 択伐

林の対象地としてマアテ一斉人工林の現地調査から、植栽後100年までに断面積合計は $66.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ 、材積は $772 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ に到達することが報告されている (安井・成田 1970)。島根県内の他樹種との比較、他地域の同樹種との比較のいずれによっても、松江試験地のヒノキアスナロ人工林の成長はゆっくりとしたものであると考えられる。

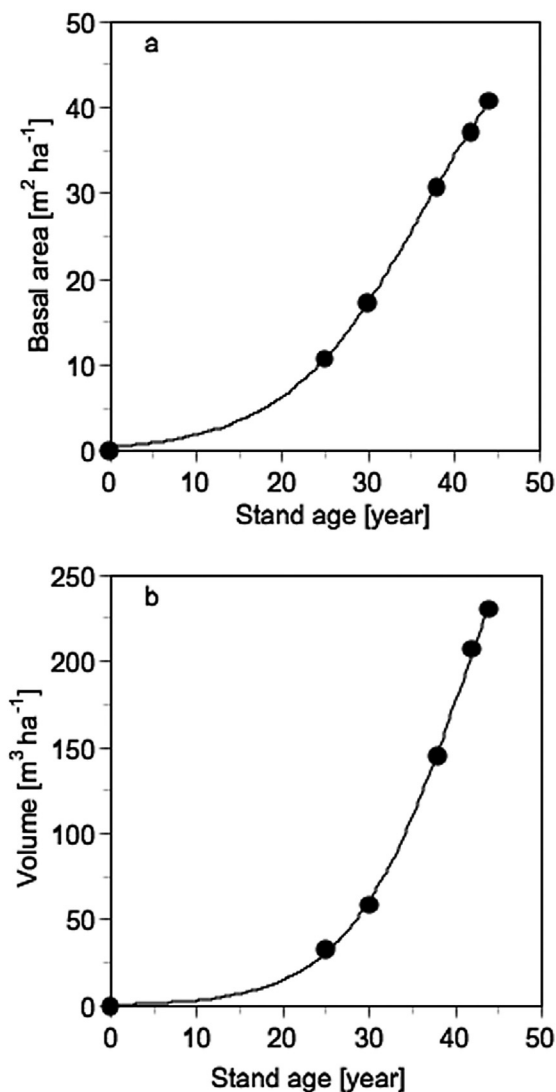


図5. 断面積合計の経時変化。(a)と単位面積あたり材積の経時変化。(b)

上記3'式と4'式の t に植栽後0年から80年の数値を代入し、断面積合計値と材積値の植栽後1年ごとの値を求め、平均成長量と連年成長量を算出した (図6)。連年成長量の最大値を示す時点が成長曲線における変曲点となるので、断面積合計の場合で40年過ぎ (図6a)、材積の場合で35年前後 (図6b) が変曲点となった。変曲点への到達に35年以上かかり断面積合計及び材積の $\text{max}/2$ 値への到達時間とおよそ一致していることが

Mitscherlich 関数のあてはまりの悪くなった要因の一つであると考えられる。図6において連年成長量と平均成長量の一致する時点、つまり断面積合計で植栽後約50年、材積で植栽後約55年において平均成長量が最大となると予測された。ここで再度、石川県能登地方のマアテ一斉人工林の値と比較すると、連年成長量の最大値は本調査地の値が大きくなった一方、連年成長量の最大値到達後の減少率が大きく植栽後80年にはおよそ0に近づいた。石川県能登地方では連年成長量の最大値は $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 程度であったが植栽後100年まで連年成長量 $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ を維持し最終的に材積は 700 m^3 を超えた(安井・成田1970)。

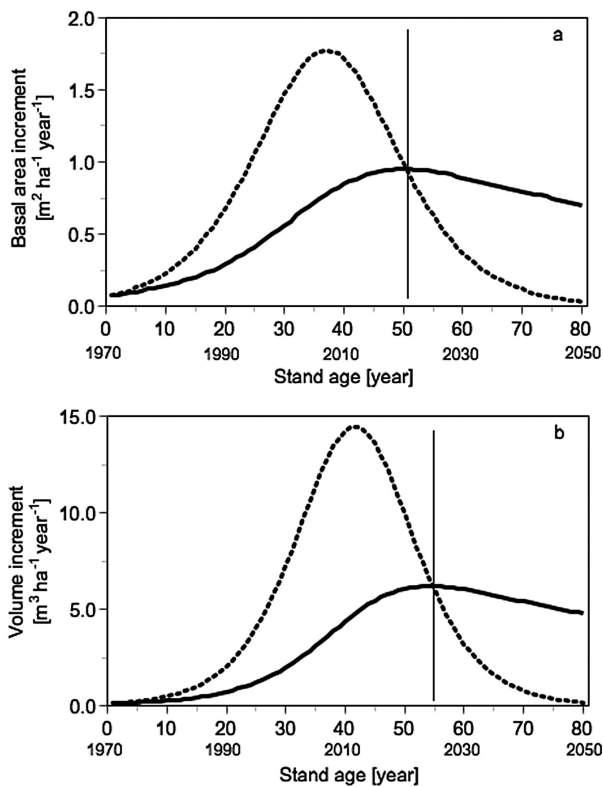


図6. 断面積合計の連年成長量と平均成長量(a)と単位面積あたり材積の連年成長量と平均成長量(b)。点線は連年成長量を、実線は平均成長量を示す。縦の細実線は連年成長量と平均成長量の一致する時間を示す。

本調査地において成長速度の低下を評価するために Logistic 関数で求めた断面積合計及び材積の値をもとに算出した相対成長速度を図7に示した。図6においておよそ植栽後55年で平均成長量が最大となることを示したが、図7によれば林分全体として断面積合計も材積も植栽後70年を過ぎると相対成長速度はおよそ0へと収束することが明らかである。

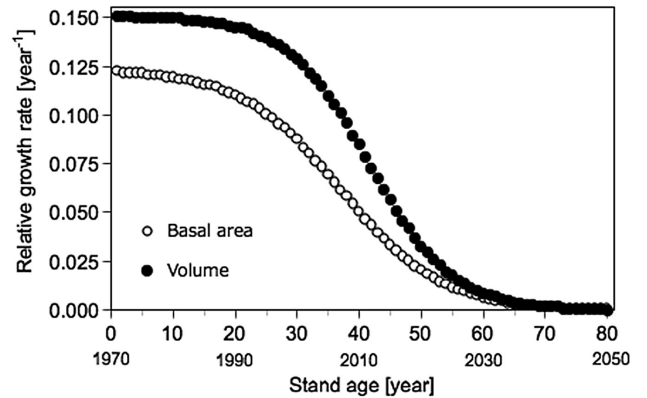


図7. 相対成長速度。○は断面積合計を、●は単位面積あたり材積を示す。

4. まとめ

ヒノキアスナロ人工林の歴史の長い石川県能登地方では一斉人工林にあっても材積 $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ を超えるのに対し、本調査地では $380 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ に過ぎない。これは石川県能登地方では25年生から100年生の人工林を対象にした実測値であるのに対し、本調査地では過去44年の成長過程からの推定値であることに注意したい。

本調査地におけるヒノキアスナロ人工林は植栽後70年程度で材積は頭打ちとなることが予測される一方、樹高成長は本調査を開始してから改善され近い将来20mを超える可能性が高まった。つまり本調査地では直径成長が十分に達成されないことが材積の増加しない要因となっており、直径成長を改善することができればさらなる材積増加が期待できる。

施業方針からは、成長の止まる植栽後70年にあたる2040年時点で皆伐する、または石川県能登地方のように択伐するなどの選択肢について検討されるべきであろう。残念ながら、社会的な要因はともかく林分の生物学的成長の観点から施業方針を決めるには今しばらく林分の成長を見守る必要があると言える。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、松江試験地でのヒノキアスナロ人工林育成を計画された安井 鈞博士に、そして1995年に演習林全小班の標準地調査を開始された附属演習林(当時)の新村 義昭博士と川上 誠一、中村 良男、金塚 洲、寺田 和雄の各技術専門職員に厚く御礼申し上げます。また、松江試験地へのアクセス路として利用している林道の管理者である島根県には通行の際の便宜

を図っていただきこの場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

大隅 眞一・石川 善朗 (1983) 樹木の生長解析に対する Richards 生長関数の適用性について. 京都府立大学学術報告 農学 **35**: 49-76.

金塚 洲・寺田 和雄・尾崎 嘉信・山下 多聞・新村 義昭 (2000) 除伐下刈りがアスナロ人工林の成長速度に及ぼす影響. 島根大学生物資源科学部研究報告 **5**:

55-58.

山下 多聞・金塚 洲・新村 義昭 (1995) 島根大学生物資源科学部附属松江試験地にあるアテ人工林の林分構造. 島根大学農学部研究報告 **29**: 37-40.

山下 多聞・川上 誠一・寺田 和雄・新村 義昭 (1998) 島根大学三瓶演習林の針葉樹資源. 山陰地域研究 (森林資源) **14**: 39-46.

安井 鈞・成田 恒美 (1970) アテ択伐林に関する研究. 2. マアテ択伐林の林分構成と生長量 (2). 島根大学農学部研究報告 **4**: 67-78.