

スギ人工林における生産物の樹高成長と直径成長への配分割合

齊藤 哲・壁谷大介・梶本卓也 (森林総研)・市村よし子 (茨城県林業技術センター)

要旨: 本研究は樹高成長と直径成長への生産物の配分割合が条件によりどう変化するかを明らかにすることを目的とした。71 個体の樹幹解析データから 5 年ごとの形状比を求め、次の 5 年間で樹高成長が優勢なら $k > 1$ 、直径成長が優勢なら $k < 1$ となる指数 k を算出した。また、立地条件を表すサイトインデックスを求めた。全データの 3 分の 2 以上は $k < 1$ であった。 k の大きいデータ群 L、小さいデータ群 S と同サイトインデックスの分布は全データ群のそれと有意差はなかった。しかし、データ群 S、L の樹齢の頻度分布は全データ群のそれに比べ、それぞれ 5~10 年、10~25 年の区間に有意に偏っていた。個体ごとの k の経時変化をみると 10~25 年時に一時的に 1 を越える個体もみられたが、それはサイトによって異なっていた。30 年以上は k が 1 より僅かに小さい値が多くを占めた。以上の結果から以下の結論を得た。樹木が成長する過程で 10 年生までは特に直径成長が優勢となり、その後一時的に樹高成長が優勢となる個体もみられるが、それはサイトによって異なる。そして 30 年以降は直径成長が僅かに優勢で推移すると考えられた。

キーワード: 形状比, 樹齢, サイトインデックス

Abstract: In this study, we aimed to clarify the changes of ratio of (height growth) / (diameter growth) under the different condition of *Cryptomeria japonica*. We calculated the index k that showed superiority of height or diameter growth. In the $k > 1$, height growth surpass diameter growth. Diameter growth surpass height growth in the $k < 1$. More than 2/3 of all data had k value with less than 1. The data set with k being much smaller than 1 (S) did not show different distribution of site index from that of all data. The data set with k being much larger than 1 (L) did the same. The age of the data set (S) and (L) were concentrated significantly in the 10~20 years and 5-10 years class in contrasting to the all data, respectively. The k changes with age, and was much smaller than 1 in the 5-10 years for most trees. For some trees, k became much larger than 1 in 10-20 years. However, this was not found in all sites, but in several sites. The most trees kept k values slightly less than 1 over the 30 years old. From these results, we concluded followings. As a whole, diameter growth exceeds height growth, especially in 5-10 years. In 10-20 years, height growth exceeds diameter growth temporarily for not all trees but several trees. After 30 years, diameter growth holds a slight superiority.

Keywords: height/diameter ratio, age, sight index

I はじめに

樹木個体の形状比 (H/DBH) は森林管理を行ううえでも重要な指標のひとつである。細長い幹をもつ個体は力学的にも冠雪害や風害を受けやすく (1)、こうした自然災害のリスクを低く抑えるためには、形状比を低くするよう管理することが推奨されている (3)。しかし、木材生産の観点からは形状比の低いうらごけよりも形状比のやや高い完満で通直性の高い材が好まれる。形状比をどの程度に維持して管理するかはその状況に応じて異なるが、そうした人為的な管理を行ううえで、形状比がどのような条件で変化するかを理解しておくことは重要である。

樹木は光合成によって得た生産物の一部を主幹の成長に使う。その際、樹高成長と直径成長へどのような割合で生産物を配分するかによって形状比は変化する。光合成生産物の樹高成長と直径成長への配分に関しては、アラカシを用いた解析で生育初期段階は急激に樹高成長が優勢となり後に直

径成長が優勢に変わってくるとの報告がある (4)。樹高成長と直径成長との間にはトレードオフの関係があり、生育初期段階に樹高成長を優先させることは光を巡る種間競争を生き残るために適した戦略と考えられている。一方で若齢のヒノキ人工林では、初期に直径成長が優勢となり形状比が低下し、10 年前後で最小値を示したのち、漸増するとの報告もみられる (5)。

直径成長は林分密度の影響を、一方で樹高成長は林分密度よりも立地条件の影響を強く受けるといわれている。したがって樹高成長と直径成長への生産物の配分割合も、個体間空間が変化する樹齢や立地条件の影響を受けると考えられる。しかし、生産物の配分割合の変化を樹齢や立地条件の影響と複合的に整理されている報告はあまりみられない。本研究では、多数の樹幹解析データから形状比の時系列変化をもとめ、樹高成長と直径成長への生産物の配分割合が条件によってどのように変化したかを明らかにすることを目的とする。

Satoshi SAITO, Daisuke KABEYA, Takuya KAJIMOTO (For. and Forest Prod. Res. Inst., Matsunosato 1 Tsukuba 305-8687 Japan), Yoshiko ICHIMURA (Ibaraki Pref. For. Res. Inst.) Ratio of allocated products for height growth and diameter growth of *Cryptomeria japonica*

II 調査および解析方法

本研究では、茨城県内の24サイトで伐倒した高齢スギ71個体のデータを解析に用いた。各サイトで伐倒した本数は1〜14本の範囲であった。また、伐倒した木は樹齢50〜150年、樹高21〜40m、胸高直径20〜61cmの範囲であった。伐倒木を、まず胸高(地上高1.2m)で伐り、それ以降、高さ20mまではおよそ4m間隔で、高さ20m以上は2m間隔で玉切りした。それぞれの断面において円盤を採取し、実験室に持ち帰り年輪数、年輪幅を測定した。それを基に樹幹解析図を作成し、その個体の時系列の成長プロセスで5年ごとの樹高(H, m)、樹皮を含まない胸高直径(DBH, cm)を求め、形状比(H/DBH)を算出した。また、その年から次の5年間の形状比の変化を表す指標として形状比変化率 k (=5年後の形状比/その時点の形状比)も算出した。5年間で樹幹形がずんぐりした形になれば $k < 1$ 、スレンダーになれば $k > 1$ 、変化がなければ $k = 1$ となる。

直径成長に比べ樹高成長は個体密度の影響を受けにくいことから、一般に40年生時の樹高を用いて土地の生産性を表す指標をサイトインデックス(SI)と呼ぶ(6)。本研究では、 k の値が立地条件に影響されているかを解析するため、立地条件の指標(SI)として40年生時の樹高の平均値をサイトごとに求めた。

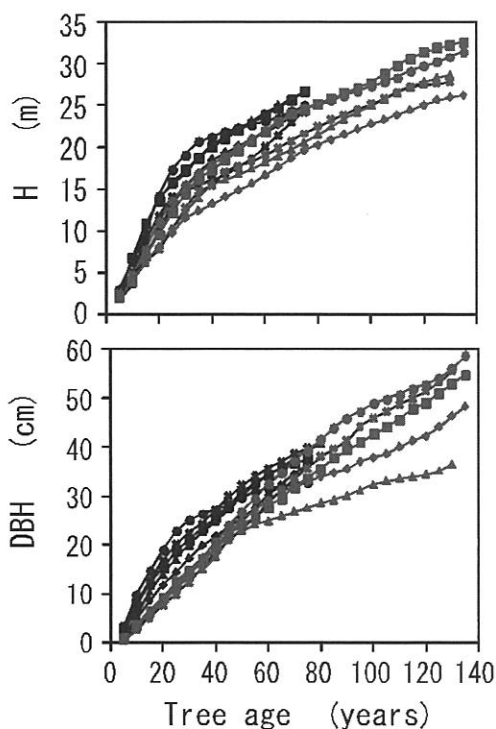


図-1. 樹高(H)および胸高直径(DBH)の経時変化。一部の個体(3サイトから10個体)のみ表示。同じシンボル・線濃度は同じ個体を表す。

Fig-1. Chronological changes of H and DBH. Ten trees from 3 sites were shown. The same symbol and line shows the same tree.

ひとつの個体で5年ごとの数値があり、71個体全体で1,030個のデータを得た。それぞれのデータに、個体番号、SI、樹齢、H、DBH、H/DBH、 k の数値がある。まず、それぞれの個体のH、DBHの経時変化を求めた。続いて全データの k の頻度分布を求めた。 k の値の大きい方から n が100程度となるような区切りのいい値(1.03)を決め、 $k > 1.03$ となるデータ群($n=121$)と全データ群のSI、樹齢を比較した。同様に k の値が小さいデータ群($k < 0.90, n=100$)もSIや樹齢を全データ群と比較した。

III 結果

全個体を表示するのは多すぎるため、3サイトから10本のサンプル木を選び、樹高成長、および胸高直径成長の時系列変化を図-1に示した。樹高、胸高直径とも30年生以降、成長がやや鈍化する傾向がみられた。

全データ($n=1,030$)の k の頻度分布は一山型の分布となった(図-2a)。中央値部分を拡大すると中央値は0.9897、また平均値は0.9636といずれも1よりわずかに小さかった(図-2b)。 $k < 1$ となったのは全体の3分の2以上を占めた。

k の値が大きい方から下位、上位共に100個程度になるように定めた $k < 0.90$ 、 $k > 1.03$ のデータ群のSIと全データのSFの頻度分布を図-3に示す。 $k < 0.90$ 、 $k > 1.03$ のデータ群共に全データと比較してもSIの分布に有意な違いは見られなかった

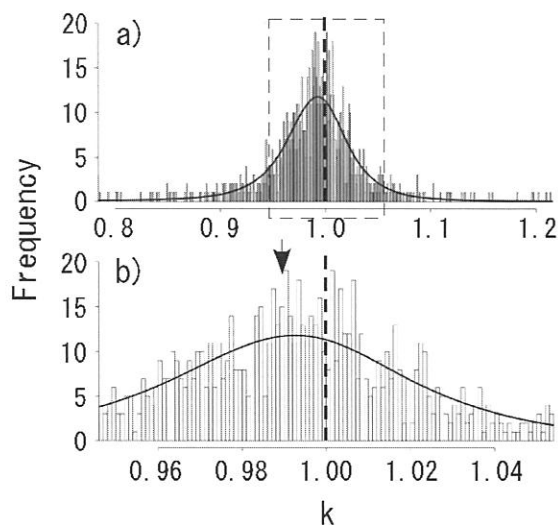


図-2. k の頻度分布。a): 全体図、b): 細破線部の拡大図。太破線は $k=1$ 、矢印は中央値、曲線はノンパラメトリック回帰による回帰曲線。

Fig-2. Frequency distribution of k . a): Total and b): Enlargement in the fine braked line of a). Thick braked lines, an arrow and curves show $k=1$ line, median and regression curves by non-parametric regression, respectively.

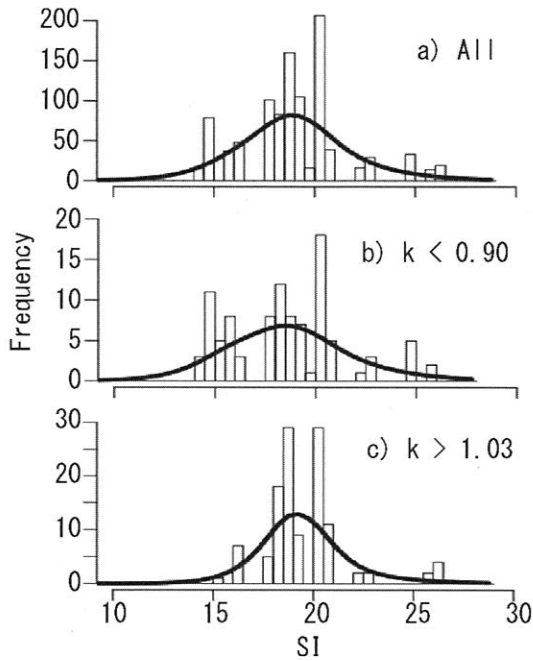


図-3. サイトインデックス (SI) の頻度分布. a): 全データ, b): $k < 0.90$, c): $k > 1.03$. 太線は図-2と同様の回帰曲線.

Fig-3 Frequency distribution of SI a): All data, b): $k < 0.90$ and c): $k > 1.03$. Thick lines show regression curves by non-parametric regression

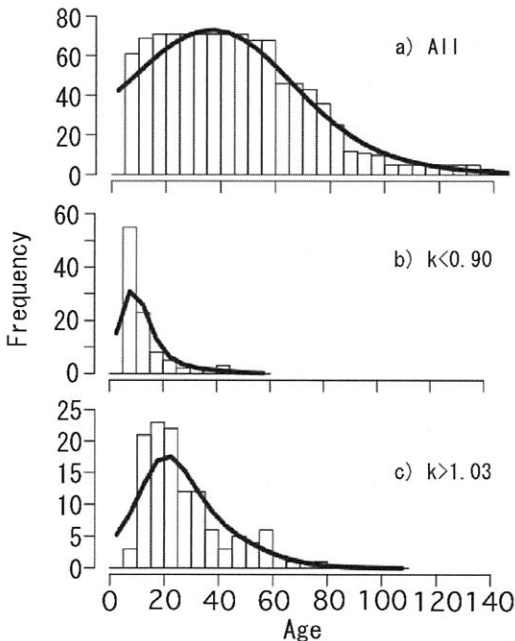


図-4. 樹齢 (Age) の頻度分布. a): 全データ, b): $k < 0.90$, c): $k > 1.03$. 太線は図-2と同様の回帰曲線.

Fig-4 Frequency distribution of age. a): All data, b): $k < 0.90$ and c): $k > 1.03$. Thick lines show regression curves by non-parametric regression

(Kolmogorov-Smirnov test, $p > 0.05$)。一方, $k < 0.90$, $k > 1.03$ のデータ群共に樹齢の頻度分布は全データのそれと比べて有意に異なり (図-4, Kolmogorov-Smirnov test, $p < 0.05$), 前者では樹齢 5-10 年時に, 後者では 10-25 年時に大きな偏りがみられた。

サイトごとの k の値の経時変化をみると, いずれのサイトも樹齢 5 年時の k の値は 0.8 未満で, 30 年生時以降は 1 より若干小さい値で推移する点は共通していた。しかし, 10 から 20 年間の変化は大きくふたつのパターンに分かれた。ふたつのパターンから典型的なサイトを 2 つ (図-5, Site 1, 2 と Site 3, 4) ずつ選びを図-5 に例示する。ひとつめのパターン (図-5, Site 1, 2) では, 10 から 20 年時に 1 を大きく越える個体がいくつか

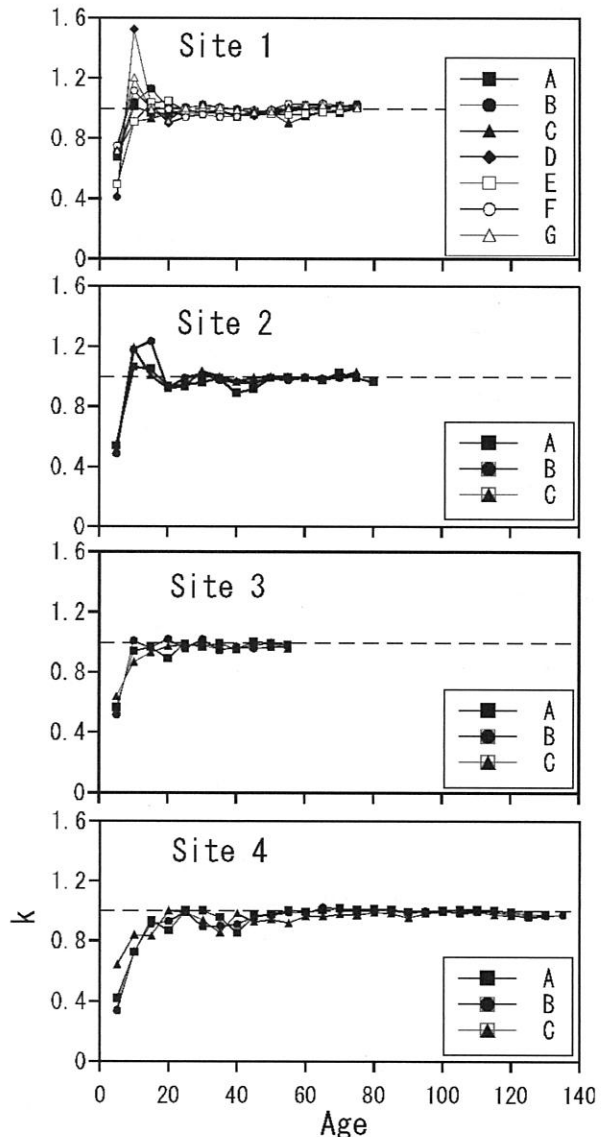


図-5. 4つのサイト (Site 1~4) における各個体の k の経時変化. A-G は各サイト内の異なる個体を表す.

Fig-5 Chronological changes of k value in 4 sites (Site1~4). A-G show different trees in a site.

見られたが、10 から 20 年時 k の値は個体間でばらつきが大きかった。もうひとつのパターン (図-5, Site 3, 4) では 10 から 20 年時の k 値の上昇はみられず、サイト内の個体間のばらつきは小さかった。

IV 考察

k の値の 3 分の 2 以上が 1 未満であったことから、植栽から成林に至る過程の多くのケースにおいて直径成長が優勢であるといえる。特に 10 年生までの若齢期に直径成長への配分が大きく、急激にずんぐりとした樹幹形になっている (図-4b)。一方で解析した全データのなかでも樹高成長が明らかに優勢 ($k > 1$) となっているものもみられた。 k が明らかに 1 より大きくなっていったものは 10 年生から 25 年生ころに集中しており (図-4c)、成長過程のなかで樹高成長が一時的に優勢する時期が若齢時にあると考えられる。30 年以降はいずれのサイトでも k が 1 より若干小さい値で安定的に推移しており、直径成長が優勢な状態で成長していくと考えられる。また本研究では、100 年以上でも k が顕著に小さくなるような現象は確認できなかった。本研究の解析対象木の樹高成長は 30 年前後でやや鈍化する傾向がみられたものの、100 年以上でも顕著な頭打ちはみられなかった (図-1) ためであろう。

一方で、10~25 年の間でも k が 1 より小さいままのサイトもあり (例えば図-5 のサイト 3, 4)、全てのサイトで一時的な樹高成長優勢がみられるわけではなかった。図-3 にみられるように SI で表される個体ごとの立地 (土壌) 条件の違いが樹高成長の優勢を決定づけているわけではなかったことから、立地条件以外のサイト間の差異が影響していると考えられる。立地条件以外では、施業の影響や標高、斜面方位、気象条件などが考えられる。さらに樹高成長の一時的な優勢が現れたサイト (図-5 のサイト 1, 2) でも個体によってそれが明瞭でないものもあった。間伐により直径成長が優勢になるという報告があるが (2)、間伐が実施された場合でも、間伐木に隣接しているかなどのサイト内の微細な条件は異なる。こうした個体単位の微細な差異が樹幹形の変化にも影響している可能性はある。しかし、今回の解析では施業履歴や個体間距離などの詳細なデータが得られず、サイト間や個体間の差異を生む要因の特定までは至らなかった。

本研究の 10 年生時まで急激に樹幹形がずんぐりするという結果は、竹内ら (5) が示した若齢ヒノキ林で形状比は初期に急激に下がるという報告と一致している。竹内ら (5) はさらに、10 年生ころに形状比が最小値を示しその後は上昇すると報告している。本研究では 30 年生以降、 k が 1 よりやや小さい値で安定的に推移し、逆に形状比が緩やかに低下する結果であった。竹内ら (5) の対象は 20 年生程度までであり、本研究でも 25 年頃まで k が一時的に大きくなる、つまり形状比が高くなる

個体もみられ、竹内らの報告と特に矛盾しているわけではない。しかし、アラカシの成長初期の稚樹で樹高成長を優勢にするという報告 (4) とは異なった。その理由として、種による違い、人工林と天然林の生育条件の違い、あるいは解析する時間スケールの違いなどが考えられるが、今回は明らかにできなかった。今後詳細な解析が必要である。また、本研究では 30 年生以降は再び緩やかに形状比が低下していくことを明らかにした。直径成長が間伐で優勢になるという報告があり (2)、本研究の解析対象木は 30 年以降個体間距離が比較的十分保たれていた可能性も考えられる。

本研究では、生産物の配分は若齢時に変化が大きいこと示した。若齢時には同一サイト内でもばらつきが見られることから、サイト内の微環境の違いによって違いが出てくると考えられる。今後はそうした個体レベルの詳細な解析でより具体的な要因解明が課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、森林総合研究所交付金プロジェクト「人工林施業の長伐期化に対応した将来木選定の指針策定」、および科学研究費補助金基盤(C)No. 23580202「地形と林分構造の複雑性が森林内風環境に及ぼす影響。施業シナリオへの CFD の応用」による援助を受けた。

引用文献

- (1) 諫本信義・高宮立身 (1992) 1991 年 9 月台風 19 号により発生した大分県における森林被害の要因解析. 大分県林試験研究時報 18: 1-42.
- (2) MASAKA, K., SATO, H., TORITA, H., KON, H. and FUKUCHI, M. (2012) Thinning effect on height and radial growth of *Pinus thunbergii* Parlat. trees with special reference to trunk slenderness in a matured coastal forest in Hokkaido. J. For. Res. Online first.
- (3) 林野庁 (2010) 平成 21 年度複層林化・長伐期化等の非皆伐施業の最適化に関する調査事業 (気象災害に強い多様な森林整備) 報告書. 133pp. 林野庁. 東京.
- (4) SUMIDA, A., ITO, H. and ISAGI, Y. (1997) Trade-off between height growth and stem diameter growth for an evergreen Oak, *Quercus glauca*, in a mixed hardwood forests. Func. Ecol. 11: 300-309.
- (5) 竹内郁夫・川崎達郎・森茂太 (1997) ヒノキ若齢人工林における形状比の変化. 日林誌 79: 137-142.
- (6) 東京農工大学農学部林学科 (1987) 林業実務必携 第三版. 607pp. 朝倉書店. 東京.