

スギ個体の直径成長・樹高成長の季節変化の特徴

Phenology of diameter and height growth for Japanese Cedar

齊藤哲^{*1}・壁谷大介^{*1}・荒木真岳^{*1}・田中憲蔵^{*1}・右田千春^{*1}・川崎達郎^{*1}Satoshi SAITO^{*1}, Daisuke KABEYA^{*1}, Masatake ARAKI^{*1}, Kenzo TANAKA^{*1}, Chiharu MIGITA^{*1} and Tatsuro KAWASAKI^{*1}

*1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato Tsukuba 305-8687

要旨：本研究では直径と樹高の成長パターンの特徴を明らかにすることを目的とし、両者の成長フェノロジーを解析した。調査は20年生の平坦なスギ林で行い、そこに設置された鉄塔を利用して樹冠に手が届く8個体を解析対象とした。胸高直径はデンドロメータを用いて0.01cm単位、樹高は鉄塔を利用し0.5cm単位で、2014年1月から2015年9月まで、成長期には約1週間、成長停止期には数週間間隔で測定した。成長曲線をゴンペルツ曲線で近似し、それを基に年間成長量の5%を超えた日を成長開始日、95%を超えた日を成長終了日とした。直径成長は4月中旬に始まり、6月中旬に終了した。一方、樹高成長は直径成長終了の約2週間前の5月下旬ころ開始し、8月中旬に終了した。直径成長開始直前10日間の積算気温の平均値を計算した時のばらつきが小さく、直径成長開始は春季の気温の影響が考えられた。樹高成長の開始・終了日はばらつきが大きく、影響する要因は特定できなかった。直径成長量と樹高成長量にはトレードオフがみられ、まず直径成長量が決まりその後残りの剰余生産量を樹高成長に配分する可能性が示唆された。

キーワード：成長開始日、成長終了日、樹冠観測用鉄塔、胸高直径、樹高

Abstract: We analyzed phenology of diameter and height growth for Japanese Cedar to clarify the characteristics of growth pattern of them. Research was conducted at a 20-year-old Japanese cedar stand planted at flat plane. We measured growth of diameter at breast height using dendrometer and height using tower that we can access to the canopy of the target trees, every a week for growing season or several weeks for the other season. We approximated the growth curve with Gompertz curve and defined the day of starting and stopping growth as day over 5% and 95% of yearly growth in the Gompertz curve, respectively. Diameter growth started in middle of April, and stopped in middle of June. While, height growth started approximate 2 weeks before the end of diameter growth and stopped in middle of August. Variance of mean integrated temperature before 10 days of starting diameter growth was small, indicated that starting diameter growth would be influenced by temperature in spring. Variance of mean starting and stopping days for height growth were large. The height growth was decreased with increasing diameter growth that suggested the trade-off relation between them. From results in this study, it was suggested that annual production was allocated to diameter growth first and next to the height growth.

Keywords: day of starting growth, day of stopping growth, tower for canopy measurement, DBH, height

I はじめに

樹木の成長において主幹の直径成長と樹高成長とのバランスは形状比などの樹幹形に影響する重要な要因のひとつである。形状比は成長段階初期で時系列に沿って大きく変化するが、その変化パターンは種によって異なり、また同一種内でも条件によっても異なる (SUMIDA *et al.* (8), 竹内ら (10), 齊藤ら (6))。

形状比の変化を物質生産の観点からみると年間の光合成の剰余生産量を伸長成長と直径成長のどちらに多く配分するかという問題として考えることができる。両者の関係は林分密度や林冠内の位置など、光や水資源の獲得に向

けた動きと関係している (TROUVÉ *et al.* (11))。そして直径成長と樹高成長の間にはトレードオフの関係があるとされている (SUMIDA *et al.* (8))。つまり、年間の純生産量が一定量だとすると、どちらかの成長量が他方の成長量を制限すると考えることができる。その場合、直径成長と樹高成長のどちらが先に起こるかが重要になる。

本研究では直径と樹高の成長フェノロジーを調べ、両者の成長パターンの特徴を明らかにすることを目的とする。まず、それぞれの成長が開始、終了する時期やばらつきを明らかにする。そして個体サイズや成長量との関係について解析し、成長開始や終了に影響する要因や両者の関係に

について考察した。

II 方法

1. 調査地 調査は茨城県かすみがうら市にある森林総合研究所千代田苗畑の平坦なスギ林において実施した。調査林分は1995年に密度約2,500本/haで植栽された。本林分に設置されている林冠観測用の鉄塔に囲まれた8個体を調査対象とした。8個体の2014年初期の胸高直径平均値は14.7cm、樹高平均値は12.2mであった。調査林分は基本的に無間伐で推移し、自然枯死や試験的な伐倒はみられないものの、調査対象の8個体は生存個体で囲まれ、林冠は閉鎖している(齊藤ら(7))。千代田苗畑の観測によると2014年の年平均気温は15.7℃、年間降水量は1,633mmであった。

2. 調査項目 調査対象の8個体の胸高周囲長と樹高伸長を2014年1月から2015年9月にかけて測定した。胸高周囲長はデンドロメータを用いて0.01cm単位で測定し、胸高直径に換算した。また樹高は鉄塔を用いて樹冠にアクセスし、マークしてある前年の主軸先端位置からその年の主軸先端までを0.5cm単位で測定した。測定間隔は成長期には約1週間、成長速度が緩やか時期は数週間とした。

胸高周囲長、樹高とも成長の時系列変化を式(1)で表されるゴンペルツ曲線を用いて近似した。式(1)でyは年間の全成長量を1としたときの割合、xは通日、b、c、dは係数である。決定係数はすべて0.98以上であった。

$$y = b^{-(\text{Exp}((-c) * (x - d)))} \quad (1)$$

本研究ではこの近似曲線を用いて、年間成長量の5%を超えた日を成長開始日、95%を超えた日を成長終了日と定義し、その間の日数を成長期間として算出した。

まず成長開始日、成長終了日の平均値を直径成長と樹高成長との間、および2014年と2015年との間で比較した。

そして、胸高直径および樹高の成長開始日、成長終了日のばらつきを調べるため、それぞれの分散を算出し、成長開始日と成長終了日の間、および測定年(の間)で比較した。また、それぞれの個体の成長開始日より前の10日間の日

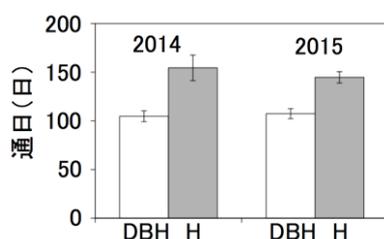


図-1. 胸高直径成長(DBH)と樹高成長(H)の開始日の平均値(エラーバーは標準偏差)

平均気温の積算値を求め、成長開始日平均値を通日で計算した場合と直前の気温積算値で計算した場合のばらつきを比較した。その際両者の単位が異なるのでばらつきの比較には変動係数を用いた。また、初期の個体サイズの影響をみるため、期間初期の個体サイズと、成長開始日、成長終了日、成長期間との相関係数を算出した。さらに直径成長量、樹高成長量および成長期間との間の関係を調べるため、2者間の相関係数をそれぞれ算出した。

III 結果

図-1に8個体の成長開始日の平均値を示す。直径成長の開始日は2014年に通日105日(4月15日)、2015年は107日(4月17日)であった。一方、樹高成長の開始は2014年に通日155日(6月4日)、2015年に145日(5月25日)であった。2014、2015年とも樹高成長開始日(通日)は直径成長開始日より有意に大きかった(t-test, $p < 0.05$)。つぎに成長終了日の平均値を図-2に示す。直径成長の終了日は2014年に通日171日(6月20日)、2015年は163日(6月12日)であった。一方、樹高成長の終了日は2014年に通日231日(8月19日)、2015年に228日(8月16日)であった。樹高成長終了日(通日)も、2014、2015年とも直径成長終了日より有意に大きかった(t-test, $p < 0.05$)。成長開始日と終了日の平均値を求めた際の分散を図-3に示す。直径成長開始の分散は両年とも31未満であったのに対し、樹高成長開始の分散は2014年172、2015年34となり、2014年時だけ直径の分散より有意に大きかった(F-test, $p < 0.05$)。また、樹高成長開始の分散は2014年と2015年の間で有意に異なった(F-test, $p < 0.05$)。樹高成長終了日の分散は両年とも560以上で直径成長開始、終了、および樹高成長開始よりも有意に大きかった(F-test, $p < 0.05$)。

直径成長開始または終了の平均値を通日で計算した場合と、開始または終了日前の10日間の日平均気温の積算

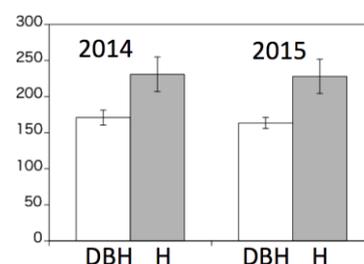


図-2. 胸高直径成長(DBH)と樹高成長(H)の終了日の平均値(エラーバーは標準偏差)

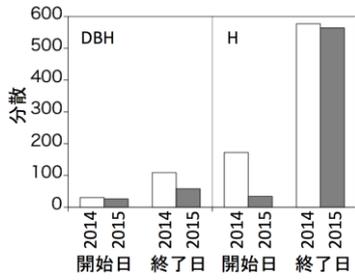


図-3. 成長開始日と終了日の平均値を求めた際の分散

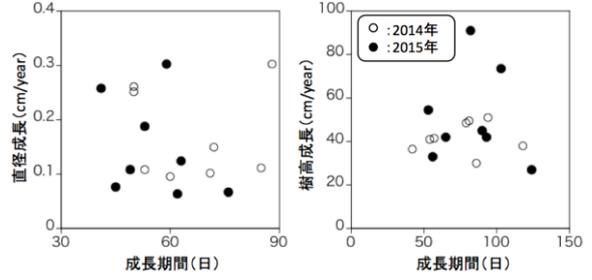


図-5. 成長期間と成長量の関係

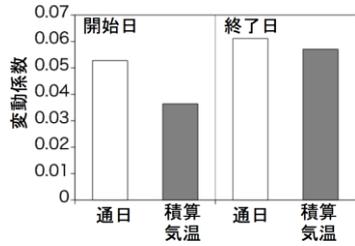


図-4. 胸高直径の成長開始・終了の平均値を通日と積算気温で計算したときの変動係数の比較

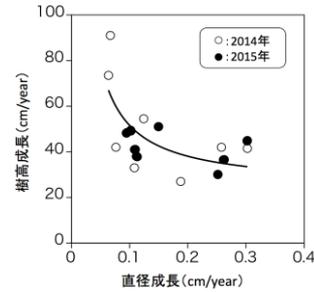


図-6. 直径成長量と樹高成長量の関係

値で計算したときの変動係数を図-4に示す。成長開始の平均値は、通日で計算するより積算気温で計算した場合の変動係数が小さかった。成長終了については両者に大きな差はなかった。

成長期間と年間成長量の関係は直径成長、樹高成長とも有意な相関はみられなかった(図-5)。成長量を見ると、年間の直径成長量が小さいほど樹高成長量は大きい傾向がみられた(図-6)。また、個体の初期サイズと成長開始日および成長終了日との関係を図-7, 8に示す。初期サイズと成長開始日および終了日との関係は、2014年の樹高成長終了日($r=0.707$)をのぞき、全て相関係数の絶対値は0.3以下で有意な相関はみられなかった。

IV 考察

直径成長の開始日は個体間や年度間でもばらつきが小さく、比較的揃って成長が始まっていた。また、元旦からの通日を平均するよりも直前10日間の日平均気温の積算値を平均したほうがばらつきは小さいことから、直径成長の開始は春季の気温の影響が大きいと考えられた(図-4)。加温による成長開始の早期化はコナラでも報告されている(奥田ら(5))。4月の平均気温は両年も12.3℃とほぼ等しく、これが年度間でも開始日の差が小さかった一因ではないかと考えられた。また、冬季の高気温は成長開始を遅らせるとの報告もあるが(LISE *et al.* (2)), 今回は両年の冬季の気温の差も小さく、この現象の確認は出来なかった。本研究では直径成長の終了日は開始日よりも若干個

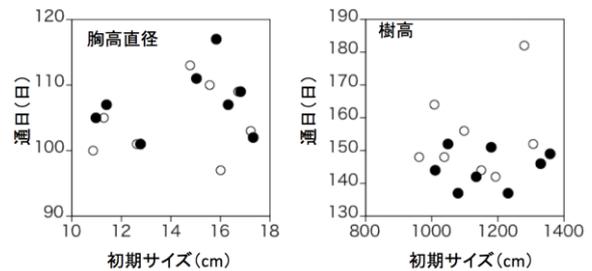


図-7. 個体の初期サイズと成長開始日の関係

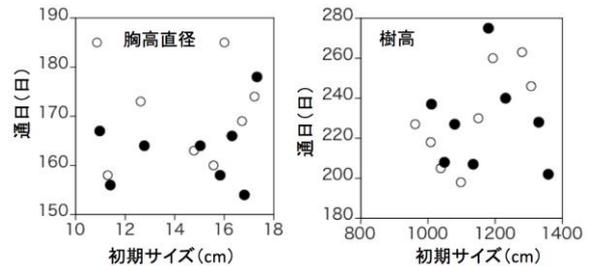


図-8. 個体の初期サイズと成長終了日の関係

体間のばらつきが大きく(図-3)、終了日の変動係数は通日で計算した場合と積算気温で計算した場合とで大差ないことから(図-4)、終了日は気温の影響を受けているとは考えにくい。樹高成長のパターンは個体間でばらつきが大きく(図-3)、成長の開始、終了は多様な要因が複雑に影響していると考えられた。今回の解析では、直径成長、樹高成長の開始日、終了日も個体サイズとは無相関であったことから、個体間競争が開始日、終了日に影響してい

るとは考えられなかった (図-7, 8)。

今回の調査では直径成長期間は比較的短く、直径成長量も兩年とも全個体で0.4cm/年以下と小さかった。スギの直径成長期間については夏以降も緩やかに12月頃まで続いたという報告(長倉ら(4))もあるが、今回は異なる結果であった。秋伸びがなく成長期間が短いことが小さい直径成長量の一因であることも考えられるが、今回の春季の成長をみる限り、成長期間の長さが成長量の差の原因になっているとはいえなかった(図-5)。

樹高成長は直径成長が終了する少し前に始まり、直径と樹高の成長期間の重なりは短かった。スギの成長はまず、直径成長から始まり直径成長が鈍化する頃に樹高成長が始まっていた。ある高さの幹断面はそこから上部の器官を支えており、直径成長を先に行い支える基盤を整えた後に上部の樹高を伸ばすことは、力学的に安定的であるといえる(CHIBA(1))。

個体サイズや樹齢のレンジが大きい個体間で比較した場合、本研究の図-6にみられた関係とは異なり、サイズの大きい個体が小さい個体より直径、樹高ともに成長量が大きく、直径成長と樹高成長との間には正の相関がみられる(TROUVÉ *et al.* (11), SUMIDA *et al.* (9))。今回のように同齢や同程度のサイズでみた場合、年間の生産量の個体間差は小さく、同程度の生産量の場合には直径成長と樹高成長とのトレードオフの関係がみられるのであろう(SUMIDA *et al.* (8))。このトレードオフの関係がみられる場合、生産物をどちらに優先的に配分するかで他方の成長量が決まる。今回の調査では直径成長量が先に決まり、残りを樹高成長にまわしている可能性が考えられた。また、前述のように力学的視点からは直径成長が小さいとき、そこから上を支えられる量も小さくなり、樹高成長にも制限がかかる可能性もある。一方、今回のように成長期間がずれる場合、春季の生産を直径成長に、夏以降の生産を樹高成長にまわしている場合も考えられる。仮にそうであれば、両者の成長量は季節ごとの気象条件に左右され、直接的な関係はみられない可能性もある。しかし、図-4は両者の関係性を示唆している。今回の解析対象は8個体で、今後はデータ数を増やして確認する必要がある。また、各部位の成長の季節による違いに関しては、地下部の成長や樹体内の貯蔵炭素も関係するといわれ、根茎の成長も含め未解明の部分が多い(MIYAZAKI *et al.* (3))。今回のように直径と樹高のふたつの間で比較した結果では、直径成長が先に決まり、樹高成長がそれに影響される可能性が考えられたが、今後は根茎や貯蔵炭水化物に関するデータも加え、今回の結果を確認してゆく必要がある。

引用文献

- (1) CHIBA, Y. (1990) A quantitative analysis of stem form and crown structure: the S-curve and its application. *Tree Physiol* 7:169-182
- (2) LISE, M.A., ROBERT, F.R., EVAN, G.C., RODNEY, W.B., CHRISTA, P.H.M. and DAVID, N.K. (2013) Climate change, phenology, and habitat degradation: drivers of gosling body condition on and juvenile survival in lesser show gees. *Global Change Biology* 19:149-160
- (3) MIYAZAKI Y., OSAWA, T. and WAGUCHI, Y. (2009) Resource level as a proximate factor influencing fluctuations in male flower production in *Cryptomeria japonica* D. Don. *J. For Res* 14:358-364
- (4) 長倉淳子・重永英年・三浦寛(2011)異なる土性のライシメータに植栽されたスギ、ヒノキ成木における降雨遮断による乾燥害症状. *森林総研報* 10:263-279.
- (5) 奥田尚孝・中島敦司・中尾史郎・山田宏之・養父志乃夫(2003)温暖条件下生育したコナラの成長. *環境システム研究論文集* 31:145-150
- (6) 齊藤哲・壁谷大介・梶本卓也・市村よし子(2013)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. *関東森林研究* 64:41-44
- (7) 齊藤哲・壁谷大介・川崎達郎・飛田博順・梶本卓也(2014)林冠内の散乱校透過率の三次元分布. *関東森林研究* 65:311-314
- (8) 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
- (9) SUMIDA, A. (2015) The diameter-growth-height growth relationship as related to the diameter-height relationship. *Tree Physiol* 35:1031-1034
- (10) 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
- (11) TROUVÉ, R., BONTEMPS, J.D., SEYNAVE, I., COLLET, C. and LEBOURGEOIS, F. (2015) Stand density, tree social status, and water stress influence allocation in height and diameter growth of *Quercus petraea* (Liebl.). *Tree Physiol* 35: 1035-1046