

京都市街地内の成熟林でのスギ、ヒノキの断面積成長に対する周辺競争個体の影響

The effect of Competing Neighborhood Trees on the Basal Area Increments of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtuse* in a Large Scale Mature Urban Forest in Kyoto city

田端 敬三* 橋本 啓史** 森本 幸裕***

Keizo TABATA Hiroshi HASHIMOTO Yukihiko MORIMOTO

Abstract: We examined the growth characteristics of two coniferous species, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtuse*, and the factors that influence them with the aim to provide useful information on the growing of these species in an urban forest. To this end, we investigated all woody stems with a diameter at breast height of 10 cm or larger in the whole area (12 ha) of Tadasu-No-Mori forest in Kyoto city in 2002 and 2010. We then calculated the increase in their basal area (BA) from 2002 to 2010. Subsequently, we examined the relationship between Δ BA and selected factors such as initial BA (in 2002) and neighborhood competition. A positive correlation was observed between log-transformed Δ BA and initial BA for both *C. japonica* and *C. obtuse*. The ratio of the BA of *C. japonica* and *C. obtuse* trees to that of competitor trees had significant influence on Δ BA for the coniferous species. Both *C. japonica* and *C. obtuse* were significantly affected by competitive tree species that stood within 9 m and 13 m radii from *C. japonica* and *C. obtuse*, respectively. The model used in this study could offer information such as the density and sizes of competitive trees necessary to promote the growth of *C. japonica* and *C. obtuse*.

Keywords: urban forest, conifer, growth model, neighborhood competition

キーワード: 都市林, 針葉樹, 成長モデル, 隣接個体間競争

1. はじめに

スギとヒノキは、古来より人びとに親しまれてきた日本固有の樹木である。その名は古くは古事記や日本書紀にも登場する^{3,4)}。人びとの生活に密接に結びついた重要な樹木であり、その材は建築用をはじめ、家具、漆器木地、桶類、祭祀具、橋梁、船舶、彫刻など様々に利用されてきた¹³⁾。また樹皮は屋根葺きに使用された¹³⁾。日本で特に大きなサイズにまで成長する樹木の一つであり、ヒノキは高さ約 40m⁹⁾、スギにおいては最大 50m 程度にまで到達する¹³⁾。さらに、幹は通直性を有するため⁹⁾、神の憑代、御神木として各地で崇拝の対象となっているものも数多い³⁾。スギの樹林は静的で落ち着いた雰囲気有し、都市住民のセラピー空間としても好適であるとされる¹¹⁾。このように人びとにとって身近な存在であり、且つ、巨樹、巨木にまで成長するスギ、ヒノキの育成を都市の緑地において図ることは、地域のシンボルの創出、ランドマークの形成、さらには都市景観の向上へとつながる。しかし、各地の人工林で見られるようなスギあるいはヒノキなどの単一樹種からなる植生では生育する木本類³³⁾、鳥類³⁴⁾、土壌動物³⁶⁾などの種多様性が貧弱であることが指摘されており、よって広葉樹中心の多様な樹種から構成される緑地における育成が必要であると思われる。そのためには、こうした鎮守の森に代表される自然性の高い都市の緑地でのスギ、ヒノキの成長およびその影響要因についての把握が不可欠となる。樹木の成長を規定する主要因として周辺に位置する個体との競争関係が挙げられている^{7,23)}。郊外の単一樹種が植栽された人工林において、スギ個体の成長量とそれに影響を及ぼす周囲の隣接個体との競争関係を検討した例はいくつか見られる^{12,19,32)}。しかし、ヒノキに関しては非常に少なく、また、スギも、特有の生態的現象が現れるとされる都市林²⁷⁾での、加えて、広葉樹優占林における検討例は見られない。そこで本研究は、京都市街地内に位置する面積 12ha の大規模な成熟林、下鴨神社社の森において実施した 2 回の毎木調査結果から、この期間でのスギ、ヒノキ各個体の成長量を取得し、

さらに対象個体の初期サイズおよび周辺の隣接個体との競争関係との関連性を検討した。

2. 調査地概要

調査地、糺の森は賀茂御祖神社（通称 下鴨神社）の社叢で、総面積 12ha、参道、建物等を除いた樹林のみの面積は 9.08ha である²⁸⁾。下鴨神社は 794 年の平安遷都時には、既に現在地にあり、京都の平野部が市街化する中、下鴨神社境内にのみ、成熟林が残存した²⁸⁾。

糺の森が立地する京都市内の気候は、年降水量が 1491.3 mm、年平均気温は 15.9°C、月平均気温の最高は 28.2°C (8 月)、最低は 4.6°C (1 月) である¹⁵⁾。暖かさの指数は 130.7°C・月、寒さの指数は 0.4°C・月で、照葉樹林帯に位置する (1981 - 2010 年の平年値)¹⁵⁾。

糺の森は、市内を流れる賀茂川、高野川の合流地点に位置し、100年に数回の頻度で発生が見られた両河川の氾濫²²⁾によって植生遷移の進行が停滞し、結果、ムクノキ、エノキ、ケヤキ優占の自然性の高い落葉広葉樹林の状態が成立、維持されてきた²⁸⁾。しかし、1934 年、1935 年に発生した両河川の氾濫により、林内の林冠木の多くが倒伏し、その復旧を目的として、人為的に導入されたクスノキの成長が、現在顕著となっている^{28,30)}。

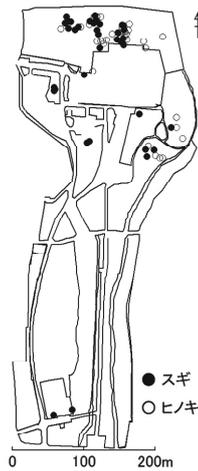
糺の森では幹直径 10cm 以上を対象とする全域での毎木調査がこれまで 1991 年、2002 年、2010 年の 3 度行われ、2010 年では 59 種 3635 本 (400.3 本/ha) が確認されている^{30,31)}。樹種別の個体密度はアラカシが 70.5 本/ha (全体比 17.6%) と最も高い値を示した。スギは 6.8 本/ha (全体比 1.7%)、ヒノキは 4.5 本/ha (全体比 1.1%) であった。胸高断面積合計は全樹種で 43.0m²/ha であった。樹種別での最大はクスノキで、9.8m²/ha (全体比 22.8%) となっていた³¹⁾。スギは 0.5m²/ha (全体比 1.2%)、ヒノキは 0.3m²/ha (全体比 0.6%) であった。

*近畿大学農学部 **名城大学農学部 ***京都学園大学バイオ環境学部

表一 解析対象個体の2002年の胸高断面積と樹高

樹種	2002年		2002年 樹高 (m)
	平均 (cm ²)	胸高断面積 (cm ²)	
スギ (N = 39)	平均	903.8	18.5
	S.D.	398.3	3.5
	最小	185.0	10.4
	最大	1697.1	25.5
ヒノキ (N = 32)	平均	598.7	18.4
	S.D.	247.4	2.6
	最小	207.1	12.2
	最大	1284.2	23.5

樹種間でのt検定結果、
胸高断面積は有意差あり(p < 0.001)、
樹高は有意差なし(p ≥ 0.05)



図一 スギ・ヒノキ解析対象個体の分布

3. 調査方法

札の森全域で直径10cm以上の全樹木を対象とする毎木調査を実施した。識別番号を各個体に付け、樹種名、樹高、地上高1.3mでの胸高直径、生育位置を記録した。同一の株において複数に分岐している幹は、それぞれ個別に計測した。測定は2002年7月と2010年11月から翌年3月にかけての2回行った。

4. 解析方法

研究対象個体として2002年から2010年間で生育が確認されたスギ39本、ヒノキ32本を選択した(表一、図一)。各対象個体について2002年と2010年の測定結果を基に、式(1)により、この期間の一年あたりの胸高断面積成長量(ΔBA)を算出した。

$$\Delta BA [\text{cm}^2/\text{yr}] = (BA_{2010} - BA_{2002}) / 8 \quad (1)$$

ここで、BA₂₀₁₀、BA₂₀₀₂はそれぞれ2010年および2002年の調査時における胸高直径から算出した断面積を示す。

次に、この断面積成長量を規定する要因として対象個体のサイズの初期値、および周辺個体との競争関係を検討した。サイズの初期値としては2002年の胸高断面積(BA₂₀₀₂)を採用した。また、対象個体周辺に生育する樹木との競争の程度を定量的に示す指標として、競争指数(Competition index, CI)を用いた(5,8,10,17,18,24,26,29)。対象個体の幹を中心とする半径5mから15mまでの1m間隔ごと、11通りの円形状の圏域を設定し、各圏域内に生育する全ての個体を競争個体とした。競争個体の2002年での胸高断面積(BA_i)、樹高(H_i)を基に、対象個体と競争個体の幹間の水平距離の値(dist)を含まない距離-非依存的指数(CI₁~CI₄)、値を含む距離-依存的指数(CI₅~CI₁₂)の計12を解析に使用した(表二)。

非線形を示す樹木の成長を反映した最適な変数のひとつとされるΔBAの自然対数変換値lnΔBA²を目的変数、BA₂₀₀₂、CIをそれぞれ説明変数とした式(2)、(3)による回帰分析を行い、各要因の影響を個別に検討した。

$$\ln \Delta BA = b_{BA} BA_{2002} + e_1 \quad (2)$$

$$\ln \Delta BA = b_{CI} CI + e_2 \quad (3)$$

式(2)については、2樹種とも有意な回帰分析結果が得られた場合、共分散分析により回帰式の樹種間での相違の有意性を検討した。

式(3)の説明変数CIについては、12のCIすべてについて、半径5mから15mまでの1mごとの11通りの圏域の半径に対しての132の組み合わせを計算し、各樹種それぞれで、決定係数R²が最大の値を示したものを、lnΔBAの予測精度が最も高い説明変数として選択した。

さらに、式(3)で選択された競争個体の探索圏域でのCIと

表二 本研究で使った競争指数

指数	定義	文献番号
距離-非依存的指数		
CI ₁	n	18)
CI ₂	Σ BA _i	29)
CI ₃	Σ H _i / H	17)を改変
CI ₄	Σ BA _i / BA	17)を改変
距離-依存的指数		
CI ₅	Σ H _i / (H × dist)	5)
CI ₆	Σ BA _i / (BA × dist)	10)を改変
CI ₇	Σ (H _i / H) ² / (dist)	26)を改変
CI ₈	Σ (BA _i / BA) ² / (dist)	26)を改変
CI ₉	Σ (H _i / H) / (dist) ²	26)を改変
CI ₁₀	Σ (BA _i / BA) / (dist) ²	26)を改変
CI ₁₁	Σ (H _i / H) / √(dist / r)	17)を改変
CI ₁₂	Σ (BA _i / BA) / √(dist / r)	17)を改変

n: 競争個体の本数 BA: 競争個体の胸高断面積(cm²)
BA: 対象個体の胸高断面積(cm²) H_i: 競争個体の樹高(m)
H: 対象個体の樹高(m) dist: 対象個体と競争個体間の水平距離(m)
r: 競争個体の探索圏域(m)

BA₂₀₀₂とを併せて説明変数とする以下の式(4)により、lnΔBAへの影響を総合的に評価した。

$$\ln \Delta BA = b_{BA} BA_{2002} + b_{CI} CI + e_3 \quad (4)$$

式(2)~(4)でのb_{BA}、b_{CI}はそれぞれ説明変数BA₂₀₀₂、CIの偏回帰係数、e₁、e₂、e₃は残差項を示す。式(4)では、ステップワイズ法によって、赤池情報量基準¹⁾が最小値を示した変数の組み合わせを選択した。

以上の回帰分析、共分散分析は、統計解析ソフトR version 3.1.2²⁵⁾を用いて行った。

5. 結果

(1) サイズ初期値と断面積成長量の関係

2002年での解析対象個体のサイズは、樹高についてはスギ、ヒノキの間で有意差は見られなかった(表一)。一方、断面積の平均は、スギが高い値を示し、2樹種間で有意差が見られた(p < 0.001, 表一)。

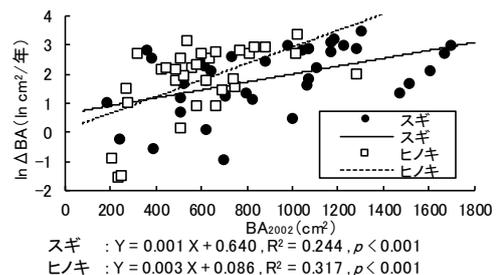
記述した式(2)による回帰分析結果では、いずれの樹種もBA₂₀₀₂の偏回帰係数が有意(p < 0.001)であった(図二)。スギでの決定係数R²は0.244、ヒノキでは0.317を示し、ヒノキにおいて高い値が見られた(図二)。

lnΔBAの回帰分析の樹種間での差異を、共分散分析によって検討したが、有意な相違は見られなかった。

(2) 競争指数と断面積成長量の関係

スギ、ヒノキの解析対象個体を中心とする半径5mから15mまでの11通りの競争個体の探索範囲に対して、12種類の競争指数(CI)を組み合わせ、計132のデータセットを説明変数とする式(3)による回帰分析を行った。その結果、スギでは競争個体の探索範囲の半径が9mでのCI₆、ヒノキでは競争個体の探索範囲の半径が13mでのCI₄を説明変数とした場合で、決定係数R²の値がそれぞれ0.250、0.609と最も高くなった(表一、図三)。いずれも偏回帰係数は有意であった(図三、p < 0.001)。

スギの成長に最も強く影響が見られた解析対象個体から半径



図二 2002年の胸高断面積(BA₂₀₀₂)と断面積成長量の自然対数値(lnΔBA)の関係

表一3 各競争指数(CI)を説明変数、断面積成長量の自然対数値(lnABA)を目的変数とした回帰分析での決定係数R²

スギ

指数	競争個体の探索圏域の半径(m)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
CI ₁	0.00 -	0.02 -	0.02 -	0.01 -	0.01 -	0.00 -	0.01 -	0.03 -	0.02 -	0.02 -	0.01 -	
CI ₂	0.07 -	0.03 -	0.02 -	0.03 -	0.03 -	0.05 -	0.01 -	0.00 -	0.00 -	0.01 -	0.00 -	
CI ₃	0.02 -	0.00 -	0.00 -	0.01 -	0.01 -	0.01 -	0.00 -	0.00 -	0.00 -	0.00 -	0.00 -	
CI ₄	0.16 *	0.14 *	0.18 **	0.22 **	0.20 **	0.15 *	0.13 *	0.12 *	0.11 *	0.10 -	0.11 *	
CI ₅	0.03 -	0.02 -	0.02 -	0.02 -	0.03 -	0.03 -	0.02 -	0.01 -	0.01 -	0.01 -	0.01 -	
CI ₆	0.17 **	0.18 **	0.21 **	0.23 **	0.25 **	0.25 **	0.24 **	0.24 **	0.24 **	0.24 **	0.24 **	
CI ₇	0.08 -	0.05 -	0.06 -	0.06 -	0.06 -	0.07 -	0.05 -	0.04 -	0.04 -	0.04 -	0.05 -	
CI ₈	0.15 *	0.15 *	0.16 *	0.17 **	0.19 **	0.11 *	0.11 *	0.11 *	0.11 *	0.11 *	0.12 *	
CI ₉	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.04 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	
CI ₁₀	0.16 *	0.16 *	0.17 **	0.18 **	0.19 **	0.20 **	0.20 **	0.20 **	0.20 **	0.20 **	0.21 **	
CI ₁₁	0.03 -	0.01 -	0.01 -	0.01 -	0.02 -	0.02 -	0.01 -	0.00 -	0.00 -	0.00 -	0.01 -	
CI ₁₂	0.17 **	0.17 **	0.21 **	0.24 **	0.24 **	0.21 **	0.18 **	0.17 **	0.17 *	0.16 *	0.16 *	

ヒノキ

指数	競争個体の探索圏域の半径(m)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
CI ₁	0.02 -	0.09 -	0.08 -	0.14 *	0.24 **	0.20 **	0.20 *	0.15 *	0.13 *	0.15 *	0.09 -	
CI ₂	0.00 -	0.01 -	0.00 -	0.04 -	0.06 -	0.04 -	0.07 -	0.09 -	0.19 *	0.08 -	0.04 -	
CI ₃	0.05 -	0.14 *	0.12 *	0.22 **	0.33 ***	0.28 **	0.27 **	0.25 **	0.23 **	0.23 **	0.17 *	
CI ₄	0.17 *	0.39 ***	0.35 ***	0.46 ***	0.56 ***	0.53 ***	0.49 ***	0.51 ***	0.61 ***	0.57 ***	0.57 ***	
CI ₅	0.03 -	0.09 -	0.09 -	0.14 *	0.21 **	0.21 **	0.23 **	0.22 **	0.22 **	0.22 **	0.19 *	
CI ₆	0.12 -	0.30 **	0.27 **	0.35 ***	0.44 ***	0.47 ***	0.48 ***	0.50 ***	0.56 ***	0.54 ***	0.55 ***	
CI ₇	0.04 -	0.09 -	0.09 -	0.14 *	0.20 *	0.21 **	0.22 **	0.23 **	0.22 **	0.21 **	0.20 *	
CI ₈	0.06 -	0.17 *	0.17 *	0.19 *	0.25 **	0.30 **	0.25 **	0.29 **	0.39 ***	0.37 ***	0.39 ***	
CI ₉	0.00 -	0.01 -	0.01 -	0.02 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.03 -	0.04 -	0.04 -	
CI ₁₀	0.04 -	0.09 -	0.09 -	0.11 -	0.13 *	0.14 *	0.16 *	0.17 *	0.19 *	0.20 *	0.20 **	
CI ₁₁	0.04 -	0.13 *	0.11 -	0.19 *	0.29 **	0.26 **	0.26 **	0.25 **	0.23 **	0.23 **	0.19 *	
CI ₁₂	0.15 *	0.37 ***	0.33 ***	0.43 ***	0.52 ***	0.52 ***	0.50 ***	0.52 ***	0.60 ***	0.57 ***	0.57 ***	

(回帰分析のF検定結果, ***: p < 0.001, **: p < 0.01, *: p < 0.05, -: p ≥ 0.05)

9m 範囲内での競争個体の樹種別の胸高断面積合計の平均値は、同種のスギが最も高く、7.1m²/haであった。またヒノキの成長に対する影響範囲の半径 13m 内での競争個体の胸高断面積合計は6.6m²/haと、クスノキが最も高い平均値を示した(表一4)。

(3) 断面積成長量への影響要因の総合的評価

BA₂₀₀₂およびCIを説明変数とする式(4)の重回帰モデルによって、スギ、ヒノキの成長量への影響を総合的に検討した。その結果、いずれの樹種についても変数 BA₂₀₀₂は除外され、CIがlnABAの予測精度が高い説明変数として選択された(図一3)。

6. 考察

本調査地におけるヒノキについて、断面積成長量を目的変数、BA₂₀₀₂を説明変数としたモデルでのR²値は0.317であった(図一2)。一方、研究対象個体と競争個体の断面積の相対比を用いたCI₄¹⁷⁾を説明変数としたモデルでのR²値は0.609であることから(図一3)、ヒノキの成長には、研究対象個体の初期サイズおよび周囲の隣接個体との競争関係が大きく影響しており、とりわけ周囲の隣接個体との競争関係が特に強く成長に影響していることが示唆された。

研究対象個体と競争個体間での断面積の相対比および水平距離によるCI₆を変数とした場合、スギでは良好なモデルが構築でき

た(表一2、図一3)。この指数は、競争個体の位置がより近距離で、サイズが大きいほど、研究対象個体の成長への影響がより強くなるとの仮定に基づき設定されている³⁵⁾。しかし、本研究におけるヒノキの場合では、研究対象個体と競争個体の間の距離の値は含まず、研究対象個体と競争個体の断面積の相対比のみのCI₄を説明変数とするモデルにおいて最も高いR²値が得られた(表一2、図一3)。このことから、ヒノキの成長には、競争個体のサイズが競争個体との距離よりも強く影響していることが示唆される。

本研究で、スギでは、対象個体から半径9mの範囲内、ヒノキでは半径13mの範囲内に存在する他個体を競争個体とした場合で、最も精度の高い成長予測モデルが得られ、ヒノキの成長に対して、より広い範囲に位置する他個体からの影響が見られた(表一3)。今回の研究対象個体のサイズは、樹高については2樹種間で有意差が見られなかったものの、断面積はヒノキが有意に小さな値を示した(表一1)。これがヒノキの成長に、広範囲に位置する競争個体からの影響が見られたひとつの要因であると思われる。

本調査地におけるヒノキでは、周囲の他個体との競争関係の1要因で、断面積成長量の61%が説明された。しかしスギでは25%にとどまった(図一3)。1936年以降に実施された賀茂川、高野川の河川改修¹⁶⁾の結果、市内の地下水位が低下し、本調査地に

表一4 競争個体の各探索圏域内における樹種別での競争個体の胸高断面積合計(平均±標準偏差[m²/ha])

スギ (N=39)

競争個体 樹種	競争個体の探索圏域の半径(m)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
クスノキ	7.6±16.3	6.2±12.0	5.8±9.9	5.3±8.1	4.8±6.4	4.7±6.3	4.9±6.2	4.6±5.9	4.3±5.3	4.5±4.6	4.5±4.6	
ムクノキ	0.2±1.0	0.4±1.5	1.5±3.8	2.4±4.3	2.2±3.6	2.2±3.6	2.2±3.1	2.8±3.7	3.3±4.6	3.1±3.9	3.1±3.9	
エノキ	0.7±4.1	0.9±4.1	1.5±4.3	1.5±3.7	2.5±4.6	2.3±3.8	2.5±3.8	2.6±3.4	3.2±3.0	3.2±2.7	3.2±2.7	
スギ	6.4±7.9	7.7±7.9	8.3±7.3	7.5±6.4	7.1±5.9	7.7±6.4	7.2±5.6	6.4±5.0	6.2±4.6	6.0±4.2	6.0±4.2	
ヒノキ	2.0±5.2	2.4±4.5	2.6±4.0	2.4±3.4	2.7±3.3	2.6±3.1	2.9±3.0	2.7±2.8	2.5±2.4	2.3±2.2	2.3±2.2	
その他	13.5±11.9	14.6±11.8	14.7±10.3	15.5±9.5	16.7±10.1	16.2±9.2	17.5±10.0	16.5±9.0	16.3±9.6	16.3±8.9	16.3±8.9	
全樹種	30.2±21.2	32.2±18.8	34.3±15.4	34.7±12.3	35.9±12.9	35.8±12.3	37.3±13.5	35.7±12.8	35.7±12.9	35.4±13.2	35.4±13.2	

ヒノキ (N=32)

競争個体 樹種	競争個体の探索圏域の半径(m)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
クスノキ	2.1±6.8	1.9±5.3	1.8±4.3	3.0±7.4	3.7±6.5	3.1±5.3	5.0±5.7	5.1±5.0	6.6±7.2	6.7±6.4	6.7±6.4	
ムクノキ	1.8±4.9	4.5±10.1	3.5±7.4	3.8±5.9	4.3±8.0	3.8±6.5	4.1±6.1	3.7±5.1	3.8±4.3	4.3±5.0	4.3±5.0	
エノキ	0.0±0.0	2.6±8.3	2.2±6.3	2.2±6.0	2.8±6.6	3.1±7.4	3.0±6.3	3.0±5.5	3.0±4.9	3.0±4.3	3.0±4.3	
スギ	4.5±9.1	5.2±8.0	5.7±7.4	5.5±6.2	5.7±5.6	6.0±5.0	6.6±4.8	6.2±4.5	5.7±4.1	5.6±3.7	5.6±3.7	
ヒノキ	4.1±5.2	4.8±5.6	4.5±4.9	3.7±4.0	3.5±3.6	4.0±3.2	3.8±3.0	3.4±2.7	3.2±2.4	3.2±2.3	3.2±2.3	
その他	14.3±11.1	17.5±11.3	17.0±9.6	17.5±7.8	18.2±7.6	17.7±8.6	18.4±8.0	17.9±7.0	17.5±5.6	18.9±6.3	18.9±6.3	
全樹種	26.8±14.9	36.4±17.8	34.7±14.7	35.7±11.5	38.1±11.5	37.7±13.1	40.8±12.1	39.2±11.0	39.8±9.2	41.8±9.6	41.8±9.6	

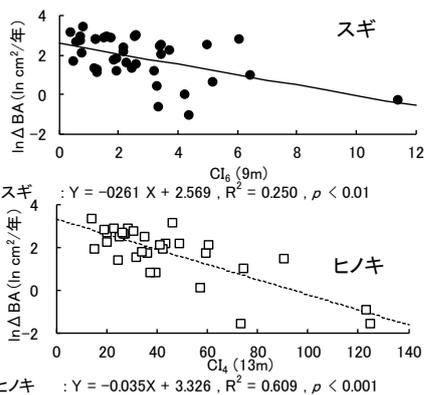


図-3 各樹種について最適変数として選択された競争個体の探索範囲の半径、競争指数(CI)と断面積成長量の自然対数値(lnΔBA)の関係

においても林内の乾燥化が進んでいる²⁸⁾。また、本調査地では60cm程度の薄い土壌層が分布していることが報告されている²¹⁾。スギは深根性であり¹⁴⁾、肥沃で湿潤な土壌が生育に適しているとされる。今回採り上げた対象個体のサイズや周囲の隣接個体との競争関係以外に、土壌理化学性などの立地環境が、スギの成長には強く影響していることが考えられ、今後の検討が必要であると思われる。

本研究で構築した成長モデルにより(図-3)、胸高断面積が10cm²/年以上の断面積成長を促すための必要条件は、スギでの2002年の平均値、断面積903.8cm²(表-1)の個体については9m圏域のCI₆値が10.2以下(対象個体から半径9m圏域内に位置する競争個体の胸高断面積合計が36.2m²/ha以下)、またヒノキでの平均値の断面積598.7cm²(表-1)の個体については13m圏域のCI₄値が29.2以下(対象個体から半径13m圏域内に位置する競争個体の胸高断面積合計が32.9m²/ha以下)と試算された。スギの解析対象個体から半径9m範囲内に位置する競争個体の胸高断面積合計は平均35.9m²/ha、またヒノキの解析対象個体から半径13m圏域内に位置する競争個体の胸高断面積合計は平均39.8m²/haであり(表-4)、ヒノキは試算された必要条件よりやや高い値であったが、スギではほぼ同じ値となっていた。本調査地は本来、河川氾濫などにより成立するエノキムクノキ群集²⁰⁾に位置づけられる原生自然に近い河畔林であると考えられる。ここに、人為的に植栽されたクスノキ、および今回の対象種スギ、ヒノキが生育する環境と捉えることができる。クスノキの胸高断面積合計の全体比は22.8%と高い値を示し、本来の林冠層優占種のムクノキ、エノキ、ケヤキの成長を圧迫しているのに対し、スギ、ヒノキの胸高断面積合計の全体比は2種を合わせても1.8%に過ぎなかった。今回得られた結果により、都市域における大面積の自然性の高い鎮守の森として非常に貴重な空間である糺の森において、ヒノキの適度な成長の促進には、周囲の競争個体の密度管理が必要となるが、スギは現状のまま放置してもそれ程衰退が見られないと考えられた。また一方では、スギ、ヒノキは周囲の落葉樹種ムクノキ、エノキ、ケヤキの成長の阻害要因にはあまりなっておらず、これらの樹種との共存は可能であると考えられた。

引用文献

1) Akaike, H. (1973) : Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov, B.N. and Caski, F. (eds) Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory: Akadimiai Kiado, pp. 267-281 (Reproduced in Kotz, S. and Johnson, N.L. (eds) Breakthroughs in Statistics, Vol.1 Foundations and Basic Theory : Springer-Verlag, pp. 610-624 (1992))
 2) Andreassena, K. and Tomter, S. M. (2003) : Basal area growth models for individual trees of Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in Norway : Forest Ecology and Management 180, 11-24

3) 岡利幸 (2010) : ものと人間の文化史 149-I・II 杉 I・II : 法政大学出版局, 270pp, 269pp
 4) 岡利幸 (2011) : ものと人間の文化史 153 檜 : 法政大学出版局, 312pp
 5) Braathe, P. (1980) : Height increment of young single trees in relation to height and distance of neighbouring trees : Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien 130, 43-48
 6) Castagneri, D., Vacchiano, G., Lingua, E. and Motta, R. (2008) : Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy) : Forest Ecology and Management 255, 651-659
 7) Contreras, M. A., Affleck, D. and Chung, W. (2011) : Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests : Forest Ecology and Management 262, 1939-1949
 8) Gea-Izquierdo, G. and Cañellas, I. (2009) : Analysis of holm oak intraspecific competition using Gamma regression. Forest Science 55, 310-322
 9) 橋詰隼人・中田銀佐久・新里孝和・染郷正孝・滝川貞夫・内村悦三 (1993) : 図説実用樹木学 : 朝倉書店, 249pp
 10) Hegyi, F. (1974) : A simulation model for managing jackpine stands. In: Fries J (eds) Proceedings of IUFRO meeting S4.01.04 on Growth models for tree and stand simulation. pp 74-90. Royal College of Forestry
 11) 稲村達也・中川重年 (2001) : 現代日本生物誌7 イネとスギ : 岩波書店, 170 pp
 12) Inoue, S., Shirota, T., Mitsuda, Y., Ishii, H. and Gyokusen, K. (2008) : Effects of individual size, local competition and canopy closure on the stem volume growth in a monoclonal Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation : Ecological Research 23, 953-964
 13) 伊東隆夫・佐野雄三・安部 久・内海泰宏・山口和穂 (2011) : 日本有用樹木誌 : 海青社, 238 pp
 14) 刈住 昇 (1979) : 樹木根系図説 : 誠文堂新光社, 1121 pp
 15) 気象統計情報 : 気象庁ホームページ
 <<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/index.php>>, 2015. 3. 1 参照
 16) 京都府土木建築部 (2003) : 千年の都と鴨川治水 13 pp
 17) Lorimer, C. G. (1983) : Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands : Forest Ecology and Management 6, 343-360
 18) Maily, D., Turbis, S. and Pothier, D. (2003) : Predicting basal area increment in a spatially explicit, individual tree model A test of completion measures with black spruce : Canadian Journal of Forest Research 33, 435-443
 19) Masaki, T., Mori, S., Kajimoto, T., Hitsuma, G., Sawata, S., Masuo Mori, M., Osumi, K., Sakurai, S. and Seki, T. (2006) : Long-term growth analyses of Japanese cedar trees in a plantation neighborhood competition and persistence of initial growth deviations : Journal of Forest Research 11, 217-225
 20) 宮脇 昭編 (1984) : 日本植生誌 近畿 : 至文堂, 596 pp
 21) 森本幸裕・吉田博宣・小橋登台 (1984) : 糺の森の樹木および土壌調査(1) : 斜面緑化研究 6, 157-176
 22) 中島暢太郎 (1983) : 鴨川水害史(1) : 京都大学防災研究所年報 B 26 (B-2), 75-92
 23) Oheimb, G., Lang, A. C., Bruehlheide, H., Forrester, D. L., Wäsche, I., Yu, M. and Härdtle, W. (2011) : Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition : Forest Ecology and Management 261, 499-507
 24) Paulo, M. J., Stein, A. and Tomé, M. (2003) : A spatial statistical analysis of cork oak competition in two Portuguese silvopastoral systems. Canadian Journal of Forest Research 32, 1893-1903
 25) R Development Core Team (2014) : R: a language and environment for statistical computing : R Foundation for Statistical Computing, Vienna
 26) Rouvinen, S. and Kuuluvainen, T. (1997) : Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scot pine forest : Canadian Journal of Forest Research 27, 890-902
 27) 坂本圭児 (1999) : 都市林の保全と管理 : 岡田光正・大沢雅彦・鈴木基之編「環境保全・創出のための生態工学」 : 丸善, 32-42
 28) 四手井綱英編 (1993) : 下鴨神社糺の森 : ナカニシヤ出版, 296 pp
 29) Steneker, G. A. and Jarvis, J. M. (1963) : A preliminary study to assess competition in a white spruce-trembling aspen stand : Forestry Chronicle 39, 334-336
 30) 田端敏三・橋本啓史・森本幸裕・前中久行 (2004) : 糺の森におけるクスノキおよびニレ科3樹種の成長と動態 : ランドスケープ研究 67, 499-502
 31) 田端敏三・橋本啓史・森本幸裕 (2013) : 林内におけるツバキ、モチノキ、タラヨウ3種の成長に対する周辺競争個体と初期サイズの影響 : ランドスケープ研究 76, 461-464
 32) 高田和彦・小林正吾 (1983) : 最終回の間伐以後のスギ林分における直径および断面積生長量と競争因子の関係 : 日本林学会誌 65, 113-118
 33) 武田明正・木村裕之 (1988) : 三重県下にみられる主要な森林類型の木本類の種多様度 : 日本林学会誌 70, 269-272
 34) 中田利彦・高橋啓二・沖津 進 (1985) : 柏市におけるスギ林の面積・構造と鳥類相との関係 : 森林立地 27, 9-18
 35) Tomé, M. and Burkhart, H. E. (1989) : Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees : Forest Science 35, 816-831
 36) 頭山昌郎・中越信和 (1994) : 植林地と二次林における土壌動物相の比較 : 日本生態学会誌 44, 21-31
 (*印を付したものは直接参照できなかった)