

カラマツ人工林における個体間競争が直径成長と枯死に及ぼす影響

王 賀新***・井上昭夫***・植木達人*

* 信州大学農学部森林科学科

** 大連大学総合研究センター

*** 鳥取大学農学部生物資源環境学科

要 約

鳥取大学農学部蒜山演習林内のカラマツ人工林を対象として、優勢指数、競争指数および優勢度と定期直径成長量および枯死との関係を検討した。優勢指数が高い個体ほど定期直径成長量は大きく、また、競争指数が高い個体ほど直径成長量は小さい傾向が認められた。しかし、優勢指数が5.0を超えると、定期直径成長量は一定の値を示す傾向が認められた。優勢度と定期直径成長量との間には正の相関関係がみられた。生存木と枯死木との間で、これらの競争指標の値は異なっていた。以上の結果より、これら3つの競争指標は、個体間競争を記述する指標として有効であると結論した。

キーワード：競争指数、枯死、直径成長、優勢指数、優勢度

I. はじめに

王ら¹⁰⁾は既報において、林木の直径と同じ樹高を有する疎開木直径の比を導入して林木の影響圏範囲（林木間の競争によって林木個体の林地空間占有範囲）を推定し、それらの重複度合いにより、個体の優勢指数と競争指数を求める方法を提案した。そして、優勢指数と競争指数から算出される優勢度により、林内における各個体の優劣性を0から1までの値で定量化する方法を示した。さらに、優勢度を間伐木の選定に適用することにより、間伐を行うと残存木の競争状況が改善されることを優勢指数や競争指数の平均値の低下から説明した。

個体間の競争は、直径や断面積の成長に強く影響を与え¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾、また、劣勢木の枯死の重要な原因となる⁵⁾⁷⁾⁸⁾。したがって、直径成長や枯死との関連の高い競争指標は、有効な指標としてみなされる。しかし、既報¹⁰⁾で提案した優勢指数、競争指数および優勢度と直径成長や枯死との関係については検討されていない。これらの指標の有効性を明らかにするためには、直径成長や枯死との関係について解析する必要がある。そこで本研究では、鳥取大学農学部附属蒜山演習林内のカラマツ (*Larix leptolepis* Gord.) の人工林において11年前に設定されたプロットを再調査した結果とプロット内の全立木を樹幹解析した結果から、3つの競争指標と直径成長や枯死との関係について解析した。

II. 調査地と調査方法

調査した林分は、岡山県真庭郡川上村に所在する鳥取大学農学部附属蒜山演習林内に植栽されている林齢40年前後のカラマツ人工林である。蒜山演習林の平均気温は11.3°C、年平均降水量は2,140mm、最高積雪量は2.1mである。対象としたカラマツ林は標高600~700mにあり、表土は黒色火山灰土、傾斜度は5~10°未満で平坦またはやや傾斜している。

調査地と調査プロットの位置を図-1に示す。面積400m²の5つの方形プロット（A, B, C, DおよびE）を1986年に設定し、11年後の1997年10月に再調査した。これらのプロットはいずれも7林班ル小班内に設定されており、西向きに緩やかに傾斜した尾根筋に位置している。プロットAとBは尾根上部の平坦地に、C~Eは尾根下部の集水斜面にそれぞれ設定されている。この小班では、1962年にカラマツが3,000本/haの密度で植栽され、1979年に枝打ちが、1983年に間伐が行われた以降、保育作業はまったく行われていない。プロットC~Eでは、1986年に行われた調査の際、樹幹解析木が1本ずつ採取された。プロット周辺の立木は、プロット内の立木に影響を与えるので、再調査の際には、これらも同時に調査した。胸高直径4cm以上の生存木と枯死木について、胸高直径、樹高および根元位置を測定した。生存木については枝下高も測定した。また、1986年から1997年までの間に枯死した個体も記録した。

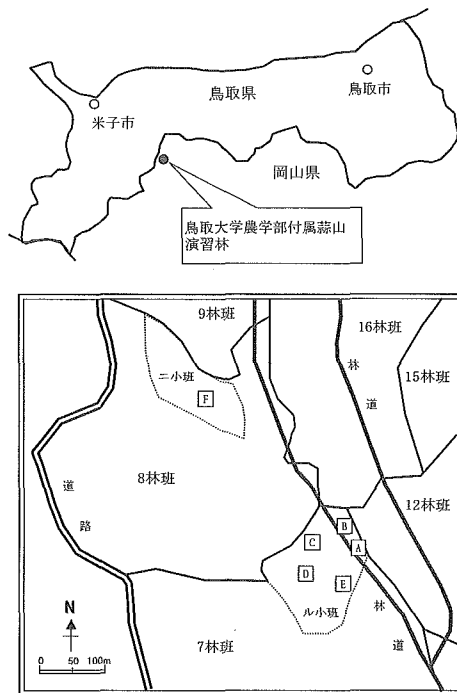


図-1 調査地と調査プロットの位置

8林班ニ小班内のカラマツ人工林にプロットFを設定した。この小班では、1962年にカラマツが3,000本/haの密度で植栽され、1979年に枝打ちが行われた以降、保育作業は行われていない。1992年に225m²の方形プロットを設定し、プロット内の枯死木も含めた全立木を伐倒した。伐倒したカラマツについて、地上高0mと0.2mおよび地上高1.2mより2.0m間隔でそれぞれ円板を採取し、伐採した時点を中心として3年間隔での成長量を測定した。各プロットの概況を表-1に示す。

III. 競争指標の算出

王ら¹⁰⁾の方法により、各個体の影響範囲とそれらの重複面積を求め、これらの値から優勢指数、競争指数および優勢度の3つの競争指標を算出した。

表-1 調査プロットの概況

プロット 面積 (m ²)	1986年					1997年					枯死木の本数 (/ha/年)	
	林齢 (年)	胸高直径* (cm)	樹高* (m)	枝下高* (m)	本数密度 (/ha)	林齢 (年)	胸高直径* (cm)	樹高* (m)	枝下高* (m)	本数密度 (/ha)		
A	400	24	13.2±4.1	10.8±2.1	4.8±1.5	1,300	35	18.0±5.4	14.8±3.0	8.4±1.9	1,075	20.5
B	400	24	13.6±3.9	11.3±2.3	4.7±1.3	1,150	35	17.4±6.0	15.1±3.0	8.9±1.4	1,075	6.8
C	400	24	16.0±4.1	14.0±2.2	4.9±1.4	850	35	21.0±4.9	19.0±1.8	12.6±1.5	675	15.9
D	400	24	16.4±4.4	13.8±2.6	4.0±0.8	875	35	21.0±5.5	18.5±2.3	12.3±1.4	725	13.6
E	400	24	14.6±3.6	13.0±2.9	3.8±1.0	1,425	35	18.8±4.5	17.4±2.3	11.6±1.8	1,075	31.8
F**	225						30	18.0±5.2	15.3±2.2	9.0±1.9	978	51.8***

* 平均値±標準偏差

** プロットFについては1992年の調査結果を示す

*** 林齢24年から30年にかけての枯死木の本数

1. 影響圏半径

閉鎖林分における各個体の影響圏半径 R は次式によって求めた。

$$R = D/D_0 R_0 = 0.5D/D_0 H^{0.8961} \quad (1)$$

ここで、 D は対象木の胸高直径、 D_0 は疎開木の胸高直径である。疎開木では $D/D_0 = 1$ 、閉鎖木では $D/D_0 < 1$ となる。なお、 D_0 は胸高樹高 H_B と胸高直径の相対成長式⁶⁾ $D_0 = 2.032H_B$ により推定した。

プロットFにおける個体の影響圏半径を算出する際、林齢18年、21年および24年の皮付き胸高直径は、プロット内における樹幹解析木の30年生時での皮付き胸高直径 y と皮無し胸高直径 x との回帰式 $y = 1.0828x$ によって推定した。樹幹解析用に採取した枯死木の皮無し胸高直径は樹齢24年まで確認できたが、24年以降については腐れなどのために確認できなかった。このため、枯死した樹齢が特定できず、27年の各競争指標は求められなかった。プロットA～Eにおけるプロット周辺の個体については、1986年の胸高直径と樹高が測定されていない。そこで、プロット内の生存木の1986年と1997年における胸高直径ならびに樹高をそれぞれ1次式により回帰し、得られた回帰式からプロット周辺の個体の1986年時点での胸高直径と樹高を推定した。

2. 影響圏の重複面積

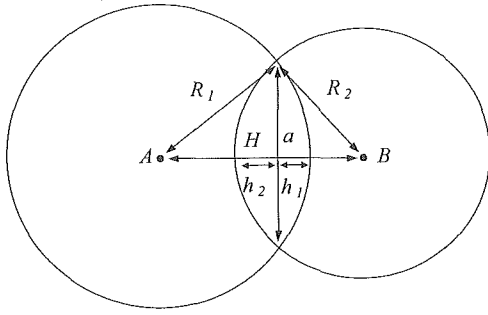
各個体の影響圏の重複面積 S は次の弓形面積式によって求めた。重複面積の模式図を図-2に示す。

$$S = 1/2[l \cdot r - a(r-h)] \quad (2)$$

ただし、 $l = (a^2 + 16h^2/3)^{0.5}$ により近似した。ここで、 a は弦の長さ、 h は弓形の矢の高さ、 r は半径である。影響圏の重複面積は、重なった部分の弦によって2つ弓形面積に分け、別々に計算してから合計した。

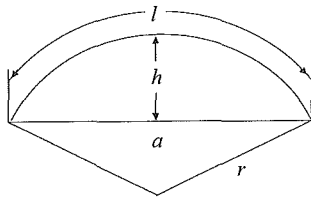
3. 競争指数、優勢指数および優勢度

対象木 i の競争指数 CI_i と優勢指数 DI_i は次式により計算した。



R_1 は林木Aの影響圏半径、 R_2 は林木Bの影響圏半径、 H は林木AとBの根本間の距離、 a は重なる弦の長さ。 h_1 は林木Aの重なる弓形の矢の長さ、 h_2 は林木Bの重なる弓形の矢の長さ。

林木影響圏の重なりと各因子



r は半径、 l は弧の長さ、 a は弦の長さ、 h は矢の長さ。

弓形面積と各因子

図-2 弓形面積と林木影響圏の重なる面積の模式図

$$CI_i = \Sigma[(S_{ij}/S_i)(R_j/R_i)^2] \quad (3)$$

$$DI_i = \Sigma[(S_{ij}/S_j)(R_i/R_j)^2] \quad (4)$$

ここで、 S_i と S_j はそれぞれ対象木 i と隣接木 j の影響圏面積、 S_{ij} は隣接木 j と対象木 i の影響圏の重複面積、 R_j/R_i は隣接木 j と対象木 i の影響圏半径の比、 R_i/R_j は対象木 i と隣接木 j の影響圏半径の比である。また、対象木 i の優勢度 DG_i は、競争指数と優勢指数から以下のように求めた。

$$DG_i = DI_i / (CI_i + DI_i) (0 \leq DG_i < 1) \quad (5)$$

既報¹⁰⁾と同様、プロットA～Eではプロット周辺の個体を、プロットFではプロットの外側2mまでの区域の個体を、ともに競争指標の算出後の解析から除外した。

IV. 結果と考察

1. 直径成長と競争指標との関係

プロットA～Eにおける期首の優勢指数および競争指数と11年間の定期直径成長量との関係を図-3に示す。優勢指数と定期直径成長量との関係については、ばらつきが大きく、明らかな傾向は認められなかった。また、競争指数が高まるにつれて、定期直径成長量は小さくなる傾向がみられた。各プロットにおける期首の優勢度と定期直径成長量との間には正の相関関係がみられた(図-4)。すなわ

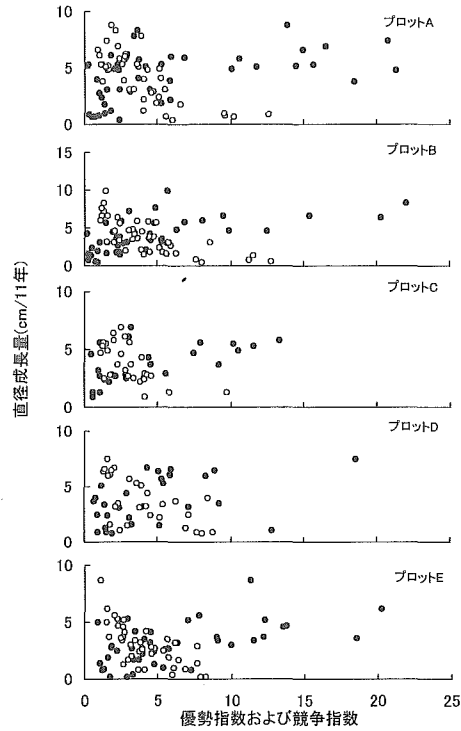


図-3 プロットA～Eにおける期首の優勢指数および競争指数と胸高直径成長量との関係

●：優勢指数，○：競争指数

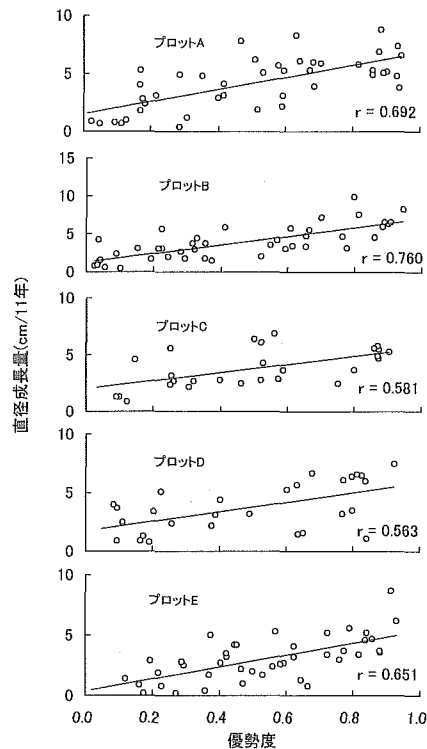


図-4 プロットA～Eにおける期首の優勢度と胸高直径成長量との関係

ち、期首の優勢度が高い個体ほど、定期直径成長量は大きかった。

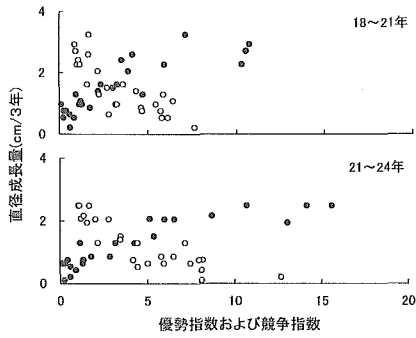


図-5 プロット Fにおける期首の優勢指数および競争指数と胸高直径成長量との関係

●：優勢指数，○：競争指数

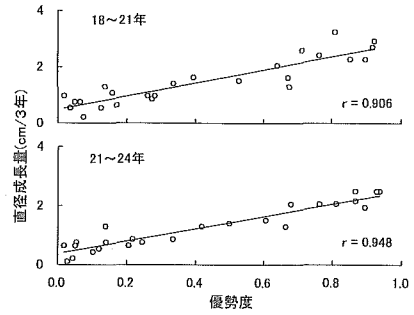


図-6 プロット Fにおける期首の優勢度と胸高直径成長量との関係

表-2 プロット A～Fにおける生存木と枯死木での期首の各競争指数*

調査プロット	生存木			枯死木		
	競争指数	優勢指数	優勢度	競争指数	優勢指数	優勢度
A	3.90±2.64	5.98±6.04	0.52±0.29	11.36±5.85	0.58±0.66	0.07±0.10
B	4.38±2.82	4.50±4.99	0.45±0.30	8.57±4.31	3.55±5.37	0.27±0.40
C	3.13±1.77	4.16±1.25	0.49±0.27	8.13±1.83	1.25±1.11	0.14±0.12
D	4.07±2.39	4.62±4.10	0.49±0.29	7.37±3.16	2.36±3.71	0.22±0.29
E	4.04±1.89	6.25±4.79	0.55±0.24	9.50±3.22	1.14±0.88	0.13±0.12
F**	4.60±3.01	7.07±6.17	0.54±0.33	10.51±4.03	0.56±0.26	0.06±0.03

* 平均値±標準偏差

** プロット Fは林齢24年の各競争指数

プロット Fでの林齢18～24年の期間における期首の優勢指数および競争指数と3年間での定期直径成長量との関係を図-5に示す。プロット Fにおける競争指標と定期直径成長量との関係は、プロット A～Eにおける関係(図-5)よりもばらつきが小さかった。期首の優勢指数が約5.0以下の範囲では、指数が高まるにつれ、定期直径成長量は大きくなったが、優勢指数が約5.0以上の範囲では、定期直径成長量は約2.0～3.0cmの範囲で頭打ちとなった。また、期首の競争指数が高いほど、定期直径成長量は小さくなる傾向が認められた。期首の優勢度と定期直径成長量との間には正の相関が認められ、その相関はプロット A～Eでの相関よりも相対的に高かった(図-6)。

プロット A～Eよりもプロット Fにおいて、各競争指標と定期直径成長量との間でより明確な関係が認められたことは、定期直径成長量を求めた期間の違いによると考えられる。すなわち、プロット A～Eでは定期直径成長量を求める期間が11年間と長かったため、期間内での競争状況が枯死などの要因によってより大きく変化し、その結果として各競争指標と定期直径成長量との関係のばらつきが相対的に大きくなったものと推察できる。したがって、プロット A～Eにおいて、各競争指標と定期直径成長

量との関係があまり明確でなかったことは、これらの指標の有効性を必ずしも否定しない。プロット Fのように定期直径成長量を求める期間が3年程度の長さであれば、これらの競争指標は個体間の競争を定量化する指標として十分に有効であろうと考えられる。また、優勢指数が5.0以上の範囲では、定期直径成長量が頭打ちとなった(図-5)。このことより、優勢指数が5.0以上の個体は、周辺の個体との間での競争による影響を受けないのではないかとと思われる。

2. 枯死と競争指標との関係

プロット A～Fにおける生存木と枯死木での期首の優勢指数、競争指数および優勢度の違いを表-2に示す。生存木における優勢指数の平均値は4.264～7.074、競争指数の平均値は3.098～4.598、優勢度の平均値は0.450～0.541の範囲にそれぞれ分布していた。これに対し、枯死木における優勢指数の平均値は0.556～3.552、競争指数の平均値は7.369～11.364、優勢度の平均値は0.056～0.269となった。優勢指数と優勢度は生存木で高く、競争指数は枯死木で高い値を示した。しかし、各競争指標の平均値は、生存木と枯死木のいずれにおいてもプロット間で異なっていた。

生存木と枯死木との間で各競争指標が異なってい

たことは、これらの指標が個体間競争を記述する上で有効であることを示唆している。今回の結果から判断すると、各個体の優勢指数が4.5以上、競争指数が4.5以下、優勢度が0.45以上となるような密度管理が行われると、枯死木が発生する可能性は低いものと推察できる。しかし、この結果は林齢20~40年前後の林分を対象として得られたものであり、より若齢あるいは高齢の林分では、これらの指標の取り得る値が異なってくる可能性がある。また、各競争指標の平均値が、生存木と枯死木のいずれにおいてもプロット間で異なっていたことは、各指標の値が取り得る値が林分の地位によっても変動することを示唆している。したがって、今後は、林齢や地位の異なる多くの林分の情報を収集し、さらに各指標と枯死との関係について解析していく必要がある。このことは、競争指標と直径成長との関係についても同じことがいえるであろう。

IV. おわりに

本研究では、既報¹⁰⁾において提案した3つの競争指標と定期直径成長量や枯死との関係について解析した。その結果、これらの指標は直径成長量や枯死と関連しており、個体間競争の程度を記述する上で有効な指標であろうと考えられた。このことは、距離従属型の成長モデルを作成する上で、これら3つの指標が有効な変数として機能する可能性を示唆している。今後は、林齢や地位の異なるより多くの林分の資料を収集し、これらの指標を用いたカラマツ人工林の成長モデルを作成していきたい。

最後に本研究を行うにあたり、ご指導とご助言を頂いた鳥取大学農学部小笠原隆三名誉教授、貴重な文献を提供していただいた鳥取大学農学部黒川泰亨教授、調査にあたって便宜を計っていただいた鳥取大学農学部附属演習林の職員の方々および野外調査にご協力いただいた鳥取大学農学部森林計画学研究室の学生諸氏に対して厚く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 阿部信行 (1973) カラマツ林分における単木の直径成長量と隣接木の距離との関係. 北海道林業試験場報告 11 : 77-84.
- 2) Bella, I. E. (1971) A new competition model for individual trees. For. Sci. 17 : 364-372.
- 3) 林 重佐・酒井寛一 (1972) スギの成長と単木間の競争. 日林誌 54 : 218-225.
- 4) 岩神正朗 (1984) スギ幼齢林における単木成長量の要因分析. 高知大演報 11 : 109-115.
- 5) Keister, T. D. (1972) Predicting individual tree mortality in simulated southern pine plantations. For. Sci. 18 : 213-217.
- 6) 小林正吾 (1978) カラマツ人工林の林分成長モデルに関する研究. 北海道林業試験場報告 15 : 1-164.
- 7) 高田和彦 (1972) 佐渡におけるヒバ天然林の成長について. 新潟農林研究 24 : 43-47.
- 8) 高田和彦 (1976) 天然針葉林分における枯死木について. 新潟大演研報 9 : 31-34.
- 9) 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成長量と競争因子の関係. 日林誌 65 : 113-118.
- 10) 王 賀新・小笠原隆三・佐野淳之 (1998) カラマツ人工林における単木影響圏の重複による個体競争の定量化と間伐木選木への適用. 日林誌80 : 254-261.

Effects of competition among individual trees on diameter growth and mortality in Japanese Larch plantations

Hexin WANG***, Akio INOUE*** and Tatsuhito UEKI*

*Forest Department, Faculty of Agriculture, Shinshu University

**Synthesis Research Center of Dalian University, China.

***Biological and Environmental Sciences, Agricultural Faculty of Tottori University

Summary

The relationships of dominant index (*DI*), competition index (*CI*) and dominant grade (*DG*) to

diameter growth and mortality were investigated in Japanese Larch (*Larix leptolepis* Gord.) plantations in Hiruzen Experimental Forests of Tottori University, western Japan. The periodic diameter growth of trees having a higher *DI* was larger, whereas that having *CI* was smaller. The periodic diameter growth of trees of which *DI* was greater than 5.0, however, tended to be constant. A positive correlation between *DG* and periodic diameter growth was found. These competition indices were clearly different among living and dead trees. From these results, it was concluded that these competition indices would be effective in describing the competition among individual trees.

Key word : competition index, diameter growth, dominant grade, dominant index, tree mortality