

カラマツ人工林における初回林冠閉鎖前後の林分構造特性 からみた混み合い度の基準

誌名	岩手大学農学部演習林報告 = Bulletin of the Iwate University Forests
ISSN	02864339
著者	國崎, 貴嗣 森, 晴可
巻/号	50号
掲載ページ	p. 17-25
発行年月	2019年6月

カラマツ人工林における初回林冠閉鎖前後の 林分構造特性からみた混み合い度の基準

國崎貴嗣*・森 晴可**

Relationship between the degree of crowding and the variation in stand structure for
young *Larix kaempferi* plantations from before and after first canopy closure

Takashi KUNISAKI* and Haruka MORI**

I. はじめに

岩手県では最近の人工造林面積の7割をカラマツが占めている（岩手県，2018）。カラマツについては，スギやアカマツに比べて，初期の樹高成長が早い（岩手県林業水産部，1979a, 1979b, 1981），植栽密度がスギより低くても，早い生育段階（幼齡期）に林冠閉鎖する（岩手県林業水産部，1981）。用材生産を目的とする場合，長期間の混み過ぎを回避しながら密度管理していくことが重要である。

准フォレスター研修基本テキスト制作委員会（2012）では，混み合い度指標としての相対幹距（以下， S_r とする）が17%を下回ると混み過ぎと定義されている。しかし，混み過ぎがどのような状態を指すのか，明示されておらず，自然枯死が発生し始める時期なのか，自然枯死が顕著になる時期なのか曖昧である。長野県におけるカラマツ林の密度管理では以前から S_r が活用されており，原田（1982）や島崎（1986）は，カラマツ幼齡・若齡林の S_r が17%以下であると過密，すなわち自然枯死が顕著になる時期とみなしている。一方で，スギ若齡林の場合， S_r 15%以下を自然枯死が発生し始める時期，13%前後を自然枯死が顕著になる時期とするのが妥当である（國崎，2013）。このように， S_r に基づく混み過ぎの基準値は樹種によっても異なり，混み過ぎを自然枯死が発生し始める時期として定義すると，カラマツ林の基準値を20%以下とするのが適当という指摘もある（國崎，2014）。カラマツ林の初期成長は極めて旺盛であるため，混み過ぎの定義や基準値が曖昧だと，適切な除間伐の時期を逸してしまう懸念がある。

Received February 28, 2019

Accepted April 9, 2019

*岩手大学農学部森林科学科 **岩手大学農学部共生環境課程

スギ若齢林では、無間伐林を対象に初回林冠閉鎖前後の林分構造特性とSrとの対応関係を調べることで、自然枯死が発生し始める時期を明らかにできた(國崎, 2013)。このため、カラマツ林でも同様の方法が適用できると考えられる。

本研究では、前林分が同一の皆伐地に造成された、間伐前のカラマツ幼齢人工林の林分構造特性を明らかにし、自然枯死が発生し始める時期をSrの基準値として示した。また、既往の文献を整理し、カラマツ林における混み合い度とSrとの対応関係を整理した。

II. 調査地と方法

1. 調査地

調査地は岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢演習林(以下、滝沢演習林とする)内にある。調査地の標高は190~230mであり、傾斜度6~19度の東向き斜面である。調査地から約800m離れた位置(標高210m)における気象観測資料(2002~2015年)によれば、年平均気温9.7度、暖かさの指数80.1、年平均降水量1278mmである。最深積雪深は40cm程度であり、少雪地域に相当する。滝沢演習林内ではニホンカモシカやニホンジカの生息が確認されているものの、糞塊の密度は少なく、個体の目撃頻度も少ないため、2018年現在での両種個体の生息密度はかなり低いと推測される。

調査地は、2007年時点で林齢71年生のスギ壮齢人工林が、毎年、約0.1haずつ小面積皆伐された後に造成されてきたカラマツ幼齢人工林6林分である。カラマツ人工林の植栽密度は2000本/haであり、植栽から林齢5~7年まで毎年下刈りが実施された。2018年9月時点で林齢5~7, 9~11年生1林分ずつの計6林分を調査対象とした。なお、林齢5~7年生林分は標高190~205mに、林齢9~11年生林分は標高205~230mに造成されている。

2. 調査方法

2018年9月、カラマツ人工林内に、隣接する植栽列の中間に辺が配置されるように0.010~0.015haの帯状標準地を設定した。カラマツ生立木の胸高直径については、地上高1.3mの幹部を直径巻尺で0.1cm単位で測定した。樹高については6mメジャーポールまたはVertex III (Haglof社)を用いて0.1m単位で測定した。生枝下高についてはコンベックスまたは6mメジャーポールを用いて0.1m単位で測定した。樹冠底部の生枝については、目視により、上方の生枝の平均的な着葉量を100%としたときに、10%以上の着葉があるものと定義した。樹高の上位67%の平均樹高を上層樹高とした。

3. 解析方法

カラマツ人工林の林冠閉鎖が始まる時期を、林齢と平均生枝下高、平均形状比との関係から

推定した。平均生枝下高が0.1m/年以上高くなり始めた時期を林冠閉鎖が始まる時期とした(竹内ら, 1997)。また, 林冠閉鎖が完了する前において, 針葉樹幼齡人工林の平均形状比は減少した後, 増加し始める(竹内ら, 1997)。平均形状比が最小になった時期を林冠閉鎖が始まる時期とした(國崎, 2013)。

カラマツ人工林の閉鎖林冠(橋本・玉泉, 1995)が形成された林冠閉鎖直後を, 林齢と胸高直径, 樹高, 樹冠長の変動係数との関係, 林齢と平均樹冠長率との関係, および樹高分布特性から推定した。胸高直径の変動係数は閉鎖林冠形成期の終わりに最低となり, その後, 林木間競合の激化により増加する(國崎, 2013)。胸高直径の変動係数が高くなる直前の時期を林冠閉鎖直後とした。また, 幼齡段階には樹高や樹冠長の方が林木間競合の影響を受けやすい可能性があることから, これらの変動係数についても同様に調べた。平均樹冠長率は林木間競合により生枝下高が急激に上昇すると低下する(譽田・國崎, 2018)。そこで, 平均樹冠長率が顕著に低くなる直前の時期を林冠閉鎖直後とした。また, 疎開木を対象とした小林(1978)の樹高 h と樹冠長 l_c との関係式 $l_c = 0.785h$ を対照として, 各林分の樹高と樹冠長との関係式(切片を0とした一次式)と比較し, 係数の95%信用区間が小林(1978)の係数0.785を含むかどうかを調べた。係数の95%信用区間の推定にはR version 3.5.1(R Core Team, 2018)とrstanパッケージを用いた。事前分布を無情報一様分布とし, 2000ステップを10チェーン分計算し, バーンインは各チェーンの最初の1000ステップとした。加えて, 樹高分布の非対称性を示す歪度とサイズ差を示すレンジを林齢別に調べた。幼齡または若齡の針葉樹人工林では, 樹高分布より正の歪みが生じやすい直径分布(國崎, 2001)でも, その歪度は-0.5~0.5である場合がほとんどである(國崎, 1998)。そこで, 歪度の絶対値0.5以上を強い歪みとみなした。

さらに, 林齢と本数密度とSrの値を調べ, 林冠閉鎖前, 閉鎖林冠形成期, 自然枯死が発生し始める時期とSrとの対応関係について考察した。

Ⅲ. 結 果

各林分の林分構成値を表-1に示す。林分胸高断面積, 平均胸高直径, 平均樹高, 平均生枝下高, 平均樹冠長は, いずれも林齢とともに高くなった。平均生枝下高は林齢とともに0.16m(林齢7~9年生での平均)~1.1mずつ高くなった。平均形状比は林齢5年生で248と最大であり, 林齢6年で99と最小であった。林齢7年生以降には110前後でほぼ一定であった。

林齢と胸高直径の変動係数との関係を図-1に示す。林齢とともに変動係数は低くなり, 林齢10年生で最小となり, 林齢11年生で高くなった。変動係数が林齢9, 10年生で最小となり, その後高くなるという傾向は, 樹高や樹冠長の変動係数でも同様であった(図-2, 図-3)。

林齢と平均樹冠長率との関係については(表-1), 林齢5年生から6年生にかけて平均樹冠長率は78%から86%と高くなり, 林齢10年生まで87%前後でほぼ一定であった。そして林齢

11年生で79%と低くなった。また、樹高と樹冠長との関係を小林 (1978) のモデルと比較するため、切片0として係数の95%信用区間を推定したところ、林齢5～10年生までは小林 (1978) の係数0.785を上回る信用区間であったものの、林齢11年生には信用区間に0.785が含まれた (表-2)。

林齢5年生における樹高の歪度は1.23と強い正の歪みを示し、レンジは2.0mであった。林齢6～10年生における樹高の歪度は-0.48～0.75であり、レンジは4.1～4.6mであった。また、林齢11年生における樹高の歪度は-0.95と強い負の歪みを示し、レンジは8.2mと高くなった (表-3)。

本数密度は林齢5～10年生では2000本/ha前後とほぼ一定であり、林齢11年生で1698本/haと低くなった (表-1)。Srは林齢とともに低くなり、林齢6年生で38.8%、林齢9、10年生でそれぞれ24.0%、22.6%であり、林齢11年生で19.8%とさらに低かった (表-1)。

表-1 カラマツ林の標準地データ

age (年)	N (本/ha)	BA (m ² /ha)	DBH (cm)	H (m)	BH (m)	Sr (%)	H/D	CL (m)	CLR (%)
5	2044	0.2	0.9	1.8	0.3	107.2	248	1.5	78
6	1917	4.4	5.2	5.1	0.6	38.8	99	4.5	86
7	2000	6.8	6.4	7.2	0.8	29.5	115	6.4	89
9	1961	11.2	8.3	8.9	1.1	24.0	110	7.8	88
10	1900	11.8	8.7	9.5	1.3	22.6	111	8.2	86
11	1698	16.8	10.9	11.4	2.4	19.8	106	9.1	79

age: 林齢, N: 本数密度, BA: 林分胸高断面面積, DBH: 平均胸高直径, H: 平均樹高, BH: 平均生枝下高, Sr: 相對幹距, H/D: 平均形状比, CL: 平均樹冠長, CLR: 平均樹冠長率

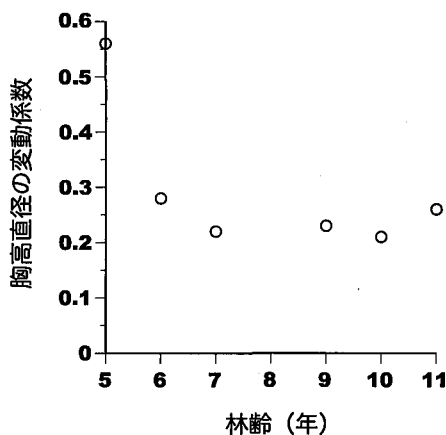


図-1 カラマツ6林分における林齢と胸高直径の変動係数との関係

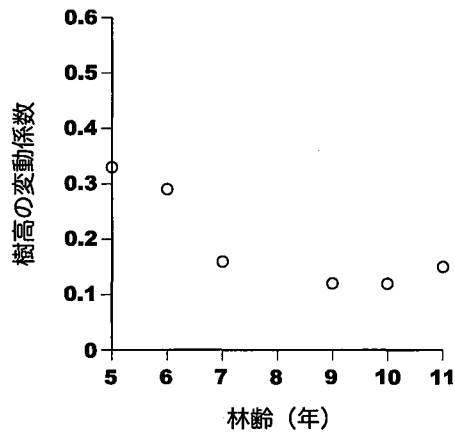


図-2 カラマツ6林分における林齢と樹高の変動係数との関係

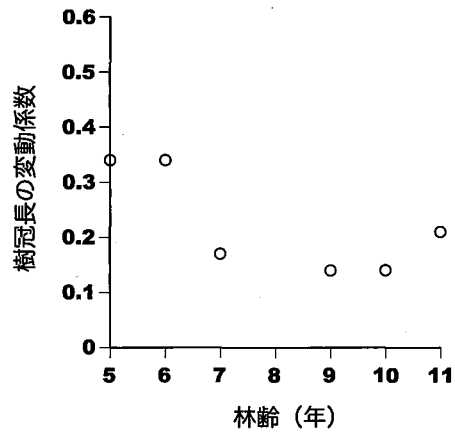


図-3 カラマツ6林分における林齢と樹冠長の変動係数との関係

表-2 樹高 h と樹冠長 l_c との線形モデル ($l_c = a h$) における係数と信用区間

age (年)	a	r^2	95%信用区間	
			下限	上限
5	0.845	0.996	0.82	0.87
6	0.898	0.998	0.88	0.92
7	0.895	0.999	0.88	0.91
9	0.880	0.999	0.87	0.89
10	0.868	0.999	0.85	0.88
11	0.798	0.991	0.76	0.83

表-3 各林分における樹高統計量

林齢	歪度	最小値	最大値	レンジ
5	1.23	1.3	3.3	2.0
6	0.12	3.3	7.9	4.6
7	0.26	5.1	9.5	4.4
9	0.75	7.2	11.4	4.2
10	-0.48	7.1	11.2	4.1
11	-0.95	6.3	14.5	8.2

IV. 考 察

林齢5～7年生林分と林齢9～11年生林分ではその標高が若干異なるものの、林分胸高断面積、平均胸高直径、平均樹高、平均生枝下高、平均樹冠長は、いずれも林齢とともに高くなった(表-1)。これは針葉樹人工林の林分構成値における一般的な成長傾向と一致する。ゆえに、調査対象として適切な林分が選択されたと言える。

林齢と平均生枝下高との関係(表-1)から、林齢6年生以下で平均生枝下高が0.1m/年以上で上昇し始めたと推察される。また、林齢と平均形状比との関係(表-1)から、林齢6年生で平均形状比が最小となり、その後増加したと推察される。これらのことから、本研究の調査林分では林齢6年生で林冠閉鎖が始まった可能性がある。島崎(1986)は、植栽密度2500～3000本/haのカラマツ林では樹高4～5mで下枝の枯れ上がりが始まると指摘している。本研究の調査林分における植栽密度は2000本/haとやや疎であり、枯れ上がりは島崎(1986)の指摘する段階より若干遅く始まるとしても、林齢6年生の平均樹高は5.1m、上層樹高は5.9mと、島崎(1986)の指摘する樹高範囲の上限とほぼ一致した。ゆえに、調査林分では林齢6年生から閉鎖林冠形成が始まり、それはSrで38.8%前後に相当すると考えられる。

林齢10年生までと林齢11年生で、サイズ不均一性の指標、混み合い度指標、アロメトリー、サイズ分布特性が異なった。具体的には、胸高直径の変動係数は林齢5年生から6年生にかけて急激に低くなり、林齢7～10年生ではほぼ一定であり、林齢11年生で高くなった(図-1)。こうした傾向は樹高や樹冠長の変動係数でも同様で、これらの林分構成値では林齢9、10年生で変動係数は最小となり、林齢11年生で高くなった(図-2, 図-3)。また、平均樹冠長率は林齢6～10年生で86～89%とほぼ一定だったものの、林齢11年生で79%と顕著に低くなった(表-1)。これと同様に、樹高と樹冠長との線形モデルの係数の95%信用区間は、疎開木を対象とした小林モデルの係数0.785と比べ、林齢5～10年では上回っていたものの、林齢11年生には0.785を含む信用区間になった(表-2)。林齢5年生では、樹高レンジは2.0mと小さく、樹高の歪度は1.23と強い正の歪みを示した。これに対し、林齢6～10年生ではレンジが4.1～4.6mと拡大し、歪度は-0.48～0.75と弱い負の歪みから強い正の歪みを示した。林齢11年生ではレン

ジは8.2mとさらに拡大し、歪度は-0.95と強い負の歪みを示した(表-3)。これらのことから、閉鎖林冠形成期は林齢10年生までで、林齢11年生から林冠閉鎖後になったと考えられる。島崎(1986)は、つる切り、除伐が実施されていれば、上層樹高7~8mでは林木間競合はあっても自然枯死するのは稀で、本数密度は植栽密度のまま推移すると指摘している。実際、調査林分でも、林齢5~10年生における本数密度は、植栽密度と同じ2000本/haの前後(1900~2044本/ha)であり、ほぼ一定だった(表-1)。また、島崎(1986)は自然枯死が認められない上層樹高8m段階でのSrは23~25%であると指摘している。これは調査林分における林齢9年生での24.0%、林齢10年生での22.6%と一致している。ゆえに、閉鎖林冠形成期はSrで38.8~22.6%に相当すると考えられる。

林冠閉鎖後である林齢11年生では、先述のとおり、胸高直径などの林分構成値の変動係数は高くなり、林木間競合が強まっていると推察される。実際、平均樹冠長率は林齢10年生までの87%前後から79%へと顕著に低くなり、樹高分布のレンジは林齢10年生までの4m台から8.2mへと顕著に高くなった。加えて、樹高分布が強い負の歪みを示すことから、相対的に樹高の高い林木が多い中で劣勢木が生じつつある状況である。このように、林齢11年生では林木間競合が強まり、樹冠長率の低下や劣勢木を伴うサイズ格差の形成が確認された。林木間競合が強まった結果として、本数密度は林齢10年生までの2000本/ha前後から1698本/haへと低くなり、劣勢木の自然枯死が発生したと推察される。島崎(1986)は、植栽密度2500~3000本/haのカラマツ林で密度管理しないと、上層樹高10m前後から自然枯死が目立ち始め、そのときのSrは20%であると指摘している。この値は林齢11年生の調査林分における19.8%と一致している。ゆえに、林冠閉鎖後の自然枯死が発生し始める時期はSrで19.8%前後であると言える。

林齢11年生林分は自然枯死が発生し始める時期に達しているものの、未だ強い負の歪みを示すこと、自然枯死した林木本数もそれほど多くないことから、自然枯死が顕著な時期には達していないと考えられる。カラマツ林のSrに関する既存の知見(島崎, 1986; 西園ら, 2013)を踏まえて整理した混み合い度とSrとの対応関係を表-4に示す。疎開状態とは、生枝下高が地際付近である段階であり、Srは39%より高い。低密状態とは、生枝下高が0.1m/年以上上昇する閉鎖林冠形成段階であり、Srは23~39%を示す。中密状態とは林冠閉鎖後であり、自然枯死

表-4 カラマツ幼齢・若齢無間伐林における混み合い度と相対幹距との対応関係

混み合い度	Srの範囲 (%)	林分の状況
疎開	>39	生枝下高が地際付近である林冠閉鎖前
低密	23~39	閉鎖林冠形成期
中密	20~22	林冠閉鎖後の強い競合期
高密	17~19	自然枯死が発生し始める時期
過密	15~16	自然枯死が顕著になる時期
超過密	<15	林分密度管理図の最多密度曲線に達した状態

は発生していないものの、林木間競合が強く、林分構成値の変動係数が増加する段階である。Srは20~22%を示す。高密状態とは、自然枯死が発生し始める段階であり、Srは17~19%であると推察される。過密状態とは、自然枯死が顕著になる段階であり、Srは15~16%であると推察される。そして、超過密状態とは、林分密度管理図における最多密度曲線に達した段階であり、Srは15%未満に低下すると推察される。なお、混み合い度とSrとの対応関係の妥当性については、今回設置した帯状標準地を10年以上、毎年再測し続け、経時データを得ることにより検証する予定である。

引用文献

- 原田文夫 (1982) カラマツ林の間伐技術の問題点とこの改良について. 技術情報 (長野県林業指導所) 46 : 14-16.
- 橋本良二・玉泉幸一郎 (1995) スギ林における林冠の発達過程と個体の器官成長様式. 日本林学会誌 77 : 153-162.
- 譽田ひかり・國崎貴嗣 (2018) スギ林における相対幹距と林分樹冠長比との関係. 岩手大学農学部演習林報告 49 : 35-60.
- 岩手県 (2018) 平成28年度版 岩手県林業の指標. 岩手県, 123pp
- 岩手県林業水産部 (1979a) 岩手県スギ人工林 林分密度に関する基礎調査書. 岩手県, 93pp
- 岩手県林業水産部 (1979b) 岩手県アカマツ林 林分密度に関する基礎調査書. 岩手県, 142pp
- 岩手県林業水産部 (1981) 岩手県カラマツ林 林分密度に関する基礎調査書. 岩手県, 67pp
- 准フォレスター研修基本テキスト制作委員会 (2012) 准フォレスター研修基本テキスト. 林野庁, 278pp
- 小林正吾 (1978) カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究. 北海道立林業試験場研究報告 15 : 1-164.
- 國崎貴嗣 (1998) 若い針葉樹同齢単純林の直径分布の動態. 岩手大学農学部演習林報告 29 : 11-25.
- 國崎貴嗣 (2001) 樹木同齢単純林における胸高直径分布とその動態 - 針葉樹を中心として -. 森林計画学会誌 35 : 31-45.
- 國崎貴嗣 (2013) 粗放的に管理されたスギ若齢人工林の簡便な密度管理指標の探索. 岩手大学農学部演習林報告 44 : 1-18.
- 國崎貴嗣 (2014) 過密なカラマツ, アカマツ人工林における簡便な密度管理指標の探索. 岩手大学農学部演習林報告 45 : 25-36.
- 西園朋広・井上昭夫・細田和男 (2013) 収量比数と相対幹距との関係 - 関係式の誘導とその性質 -. 森林計画学会誌 47 : 16-28.

R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, URL <https://www.R-project.org/> (参照2018年11月29日)

島崎洋路 (1986) 高密カラマツ林の間伐に関する研究. 信州大学農学部演習林報告 23 : 1-118.

竹内郁雄・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. 日本林学会誌 79 : 137-142.

要 旨

前林分が同一の皆伐地に造成された間伐前のカラマツ幼齢人工林6林分の林分構造特性を明らかにし、自然枯死が発生し始める時期を相対幹距 (Sr) と対応づけた。林齢と平均生枝下高との関係から、林齢6年生以下で平均生枝下高が0.1m/年以上で上昇し始めたと推察される。また、林齢と平均形状比との関係から、林齢6年生で平均形状比が最小となり、その後増加したと推察される。これらのことから、調査林分では林齢6年生から閉鎖林冠形成が始まり、これはSrで38.8%前後に相当すると考えられる。林齢10年生までと林齢11年生で、サイズ不均一性の指標、混み合い度指標、サイズ分布特性が異なった。具体的には、胸高直径の変動係数は林齢5年生から6年生にかけて低くなり、林齢7~10年生でほぼ一定であり、林齢11年生で高くなった。平均樹冠長率は林齢6~10年生で87%前後とほぼ一定だったものの、林齢11年生で79%と顕著に低くなった。林齢6~10年生では樹高のレンジが4.1~4.6mであったのに対し、林齢11年生ではレンジは8.2mとさらに拡大し、樹高分布は強い負の歪みを示した。これらのことから、閉鎖林冠形成期は林齢10年生までで、そのSrは22.6%前後に相当すると考えられる。林冠閉鎖後である林齢11年生では、胸高直径などの林分構成値の変動係数は高くなり、平均樹冠長率は顕著に低くなり、樹高分布のレンジは顕著に高くなった。加えて、樹高分布が強い負の歪みを示し、相対的に樹高の高い林木が多い中で劣勢木が生じつつある状況であった。このように、林齢11年生では林木間競争が強まった結果として、本数密度は林齢10年生までの2000本/ha前後から1698本/haへと低くなり、劣勢木の自然枯死が発生したと推察される。このときのSrは19.8%前後であると考えられる。