

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

國崎 貴嗣*

Selecting convenient indices of stand density for the management of dense plantations
of Japanese larch (*Larix kaempferi*) and Japanese red pine (*Pinus densiflora*)

Takashi KUNISAKI*

1. はじめに

日本全国における独自課税（森林環境税）の拡大に反映されるように，過密な人工林が増加している。過密人工林では下層植生が衰退するため，水土保持機能（大原，2007）や生物多様性保全機能（長池，2000）などを含む生態系機能が低下しやすい。それゆえ，下層植生を繁茂させ，人工林の生態系機能を改善する観点から，適切な間伐が必要である（林野庁，2012）。

これまで，人工林の間伐計画では，森林計画制度に収量比数が活用されていることに反映されるように，林分密度管理図が重用されてきた。林分密度管理図は，間伐前後で上層木平均樹高を変化させない，本数率20%前後といった弱度の下層間伐を対象としたツールである（安藤，1968）。しかし，過密人工林に対しては，しばしば本数率50%以上の下層間伐（以下，強度間伐とする）が実施される。強度間伐により上層木平均樹高が間伐前後で変化してしまうため，林分密度管理図の推定精度が低下する（安藤，1968）。このため，林分密度管理図では強度間伐に適切に対応できない可能性がある。そこで，過密人工林を含め，様々な状態の人工林に適用できる，簡便な密度管理指標が求められる（藤森，2012；准フォレスター研修基本テキスト制作委員会，2012）。

簡便な密度管理指標としては，一般的な標準地調査で把握される胸高直径や樹高，本数密度から算出できるのが望ましい。國崎（2013）は，准フォレスター研修基本テキスト制作委員会

Received February 28, 2014

Accepted June 9, 2014

* 岩手大学環境科学系

(2012) に提示された密度管理指標のうち、相対幹距、収量比数、形状比に注目した。そして、これらに林分胸高断面積と欧米で活用されるSDIを加えた計5つの密度管理指標について、岩手県内のスギ人工林を対象に実用性を検討した結果、相対幹距が最良な密度管理指標であると推奨した。そして、准フォレスター研修で込み過ぎの基準として提示されている相対幹距17%以下を、自己間引きが発生する時期に対応させて、16%未満に修正することを提案した。

一方、他樹種の場合、相対幹距17%以下という込み過ぎの基準の妥当性は検討されていない。岩手県では、カラマツとアカマツはスギに次ぐ主要な林業樹種である。これら3樹種については、標準的な植栽密度が異なるため(岩手県林業水産部, 1979a, 1979b, 1981), 相対幹距に基づく込み過ぎの基準が樹種間で異なる可能性がある。また、相対幹距と他の密度管理指標との間に、スギと異なる対応関係が認められる可能性もある。

岩手県のカラマツ、アカマツ人工林を対象に、相対幹距に基づく込み過ぎの基準を明らかにすること、相対幹距と他の密度管理指標との関係をスギ人工林のそれと比較し、樹種間差を議論すること、以上を踏まえて、カラマツ林、アカマツ林における簡便な密度管理指標を提案することが本研究の目的である。

II. 資料と方法

1. 資料

本研究で用いた資料は、岩手県林業水産部(1979b, 1981)による岩手県内のカラマツ林290林分とアカマツ林299林分の標準地データ(表-1)、農林省林業試験場(1972)による自己間引き前後のカラマツ幼齢・若齢人工林16林分の固定試験地データ(表-2)、山谷ら(1977)による、最近間伐されていない、林冠閉鎖したカラマツ若齢・壮齢人工林23林分の標準地データ(表-3)、筆者が岩手大学御明神演習林で調査した、自己間引きが生じているアカマツ若齢人工林19林分の標準地データ(表-4)、山脇(1987)、蜂屋ら(1989)、丹羽(2006)による岩手県内のアカマツ無間伐若齢人工林4林分と高密度な壮齢人工林2林分の標準地データである(表-5)。

岩手県林業水産部(1979b, 1981)の標準地データ(以下、岩手県データとする)は、民有林における林分密度管理図調製のため、岩手県全域から収集されたデータである。岩手県林業水産部(1981)に掲載されたカラマツ人工林295林分のうち、異常(主林木平均樹高が平均樹高より低い林分、胸高断面積平均直径が平均胸高直径より低い林分、極端に疎な林分)を示す5林分を除外した290林分を採用した。また、岩手県林業水産部(1979b)に掲載されたアカマツ317林分(人工林132林分、天然生林185林分)のうち、異常(主林木平均樹高が平均樹高より低い林分、胸高断面積平均直径が平均胸高直径より低い林分、極端に疎な林分、林分胸高断面積と平均樹高の積に対する林分材積の比が、比の平均値に対して、極端に大きいまたは小

表一 1 岩手県林業水産部 (1979b, 1981) による標準地 (岩手県データ) の概要

樹種	n	林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	林分形状比	本数密度 (本/ha)	林分胸高断面積 (m ² /ha)	相対幹距 (%)
カラマツ	290	9-85	7.2-32.2	6.4-27.5	58-121	234-3200	8.7-61.7	12.1-41.8
アカマツ	299	11-131	5.7-48.2	5.3-26.8	49-146	210-4500	9.0-68.0	12.7-37.1

林分構成値は最小値と最大値を示す。

表一 2 農林省林業試験場 (1972) によるカラマツ幼齢・若齢人工林16林分の概要

林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	林分形状比	本数密度 (本/ha)	林分胸高断面積 (m ² /ha)	相対幹距 (%)
8-34	3.6-19.4	3.5-14.8	72-109	1140-2850	2.7-35.0	17.2-52.8

表一 3 山谷ら (1977) によるカラマツ若齢・壮齢人工林23林分の概要

林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	林分形状比	本数密度 (本/ha)	林分胸高断面積 (m ² /ha)	相対幹距 (%)
31-46	14.0-25.6	11.0-27.4	76-111	570-2000	24.5-42.8	12.2-19.7

表一 4 岩手大学御明神演習林のアカマツ若齢人工林19林分の概要

林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	林分形状比	本数密度 (本/ha)	林分胸高断面積 (m ² /ha)	相対幹距 (%)
31-39	11.3-22.1	10.8-20.3	89-112	1100-2750	21.3-56.1	12.6-19.1

表一 5 山脇 (1987), 蜂屋ら (1989), 丹羽 (2006) による岩手県内のアカマツ人工林 6 林分の概要

林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	林分形状比	本数密度 (本/ha)	林分胸高断面積 (m ² /ha)	相対幹距 (%)
12-48	9.5-21.2	9.6-19.2	91-111	1310-3275	20.2-46.4	12.0-18.8

さい林分) を示す18林分を除外した299林分を採用した。これらカラマツ人工林, アカマツ林のデータについては, 上層木平均樹高階ごとに最も過密な林分 (以下, 過密林とする) を抽出するために用いた。

農林省林業試験場 (1972) による, 自己間引き前後のカラマツ幼齢・若齢人工林16林分は, 北海道, 山形県, 群馬県, 長野県, 岐阜県に所在する。また, 山谷ら (1977) による, 最近間伐されていない, 林冠閉鎖したカラマツ若齢・壮齢人工林23林分は, 岩手県と山形県に所在する。これら林分をカラマツ対照閉鎖林と呼び, 先述のカラマツ過密林が適切に抽出されているかを確認するために用いた。

御明神演習林における, 自己間引きが生じているアカマツ若齢人工林19林分, および山脇 (1987), 蜂屋ら (1989), 丹羽 (2006) による岩手県内のアカマツ無間伐若齢人工林 4 林分と高密度な壮齢人工林 2 林分のことをアカマツ対照閉鎖林と呼び, 先述のアカマツ過密林が適切に抽出されているかを確認するために用いた。

また, 樹種間差を比較する際のスギ過密林のデータとして, 筆者による無間伐若齢人工林の

固定試験地データ (國崎, 2013) を用いた。

2. 各指標の求め方

上層木平均樹高については、文献に記載がある場合にはその値を採用した。御明神演習林のアカマツ林については、Inoue (1999) を参考に、樹高上位67%の平均樹高として算出した。文献に記載がない場合には、次の方法で推定した。本研究で用いた資料のうち、上層木平均樹高と平均樹高の両方が明らかな林分を樹種ごとに分け、上層木平均樹高を平均樹高で除した値の算術平均を求めた。その結果、カラマツ林で1.085、アカマツ林で1.067となった。そこで、これらの値を平均樹高に乗じて、上層木平均樹高を推定した。

本研究では、密度管理指標として相対幹距、林分形状比、林分胸高断面積の3つを検討対象とした。スギ林での検討 (國崎, 2013) では、これらに加えて収量比数、SDIも検討対象としていた。しかし、収量比数は、先述のとおり、強度間伐時に適切に活用しにくいこと、および森林管理の現場では林分密度管理図は未だに難解と受け止められており、簡便な指標とはいえないことから、検討対象から除外した。また、SDIを算出するには、Reineke式に基づく最多密度曲線が必要である。しかし、岩手のカラマツ林とアカマツ林については、近隣地域における最多密度曲線の推定例が皆無であることから、検討対象から除外した。

相対幹距 (%) については、以下の計算式で算出した。

$$\text{相対幹距} = 10000 / (\sqrt{N} \times \bar{H})$$

ここで、 N はha当たり本数密度 (本/ha)、 \bar{H} は上層木平均樹高 (m) である。相対幹距は、電卓さえあれば、標準地調査データから簡単に計算できる。また、スギ若齢人工林では最適な密度管理指標とみなされている (國崎, 2013)。

林分形状比については、以下の計算式で算出した。

$$\text{林分形状比} = \bar{h} / \bar{d}$$

ここで、 \bar{h} は平均樹高 (m)、 \bar{d} は平均胸高直径 (m) である。なお、林分形状比は平均形状比 (林木形状比の平均) とは算出方法が異なり、林分形状比 < 平均形状比という関係にある (林分形状比が5ポイント前後低くなる) ことに注意されたい。林分形状比も、電卓さえあれば、標準地調査データから簡単に計算できる。また、林分形状比は相対幹距と密接に関係しており (井上, 2000)、双曲線状の負の関係として近似できる (金澤ら, 2009)。スギ無間伐若齢林では、林分形状比80と自己間引きの発生する時期がほぼ一致している (國崎, 2013)。さらに、平均形状比は従来から風雪害耐性の指標としても用いられており、80以上で被害発生が顕著になりやすい (石川ら, 1987; 桜井, 2002)。林分形状比が80以上であれば、林分形状比 < 平均形状比という関係から、平均形状比は80を超える。そのため、カラマツ林やアカマツ林でも、林分形状比80以上を密度管理の基準のひとつとして活用できる可能性がある。

林分胸高断面積 (m^2/ha) については、林木の胸高断面積を積算し、ha当たりに換算して

求めた。林分胸高断面積も、電卓さえあれば、標準地調査データから簡単に計算できる。スギ人工林の密度管理指標として、林分胸高断面積を推奨する林業経営者もある（後藤・藤野，2013）。

3. データ解析

まず、スギ林での解析結果（國崎，2013）を参考に、岩手県データから、上層木平均樹高と相対幹距の散布図の下限付近にある林分を過密林として、視覚的に抽出した。そして、樹種ごとに過密林と対照閉鎖林のデータ分布域を散布図上で比較し、過密林と対照閉鎖林のデータが同様な傾向にあるのかを確認した。

次に、過密林における上層木平均樹高と相対幹距との関係をカラマツ林、アカマツ林、スギ林で比較した。加えて、相対幹距と林分形状比、林分胸高断面積との関係も3樹種間で比較した。

さらに、対照閉鎖林を対象に、カラマツ林とアカマツ林で自己間引きが発生する段階の相対幹距を調べた。また、岩手県データと対照閉鎖林のデータを対象に、両樹種の相対幹距の最小値も調べた。

すべての統計解析についてはR2.8.1（R Development Core Team, 2008）を用いた。

III. 結 果

岩手県データのカラマツ290林分、アカマツ299林分から、上層木平均樹高と相対幹距の散布図の下限付近にある林分を過密林として、カラマツ16林分、アカマツ17林分を抽出した（図-1）。

過密林と対照閉鎖林における相対幹距と林分形状比、林分胸高断面積との関係を図-2に示す。カラマツ林では林分形状比、林分胸高断面積ともに、過密林と対照閉鎖林のデータがほぼ同一の範囲に分布した。カラマツ過密林の林分形状比は80より高かった。アカマツ林では過密林のデータが対照閉鎖林のそれを包含するように、やや広範囲に分布した。アカマツ過密林については、相対幹距19.6~27.4%の範囲で林分形状比が75.3~78.6と、80を下回る林分が3つあるものの、残りの14林分の林分形状比は80より高かった。

カラマツ、アカマツ、スギの過密林における上層木平均樹高と相対幹距との関係を図-3に示す。カラマツ林は、上層木平均樹高9m付近までは、スギ林よりも若干高い相対幹距を示した。そして、上層木平均樹高9~14m付近でほぼ同じ値となり、それ以上では再びカラマツ林の相対幹距がスギ林のそれより高くなった。一方、アカマツ林は上層木平均樹高13m付近まではスギ林よりも低い相対幹距を示したものの、それ以上では相対幹距13%前後でほぼ一定であった。

カラマツ、アカマツ、スギの過密林における相対幹距と林分形状比、林分胸高断面積との関係を図-4に示す。同一の相対幹距で比較すると、カラマツ林とアカマツ林の林分形状比は、スギ林のそれよりも常に高い値を示した。一方、カラマツ林とアカマツ林の林分胸高断面積は、

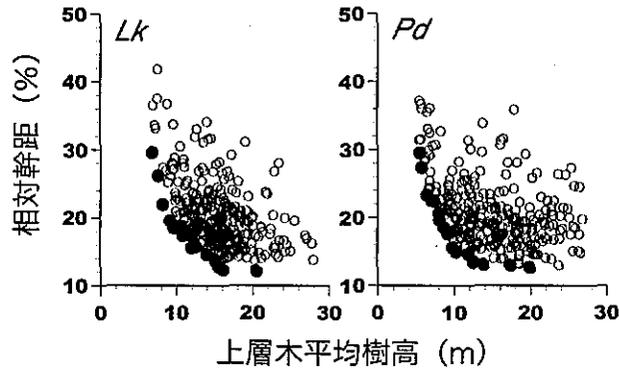


図-1 岩手県データにおける上層木平均樹高と相対幹距との関係
Lkはカラマツ林, Pdはアカマツ林を示す。黒丸が抽出された過密林である。

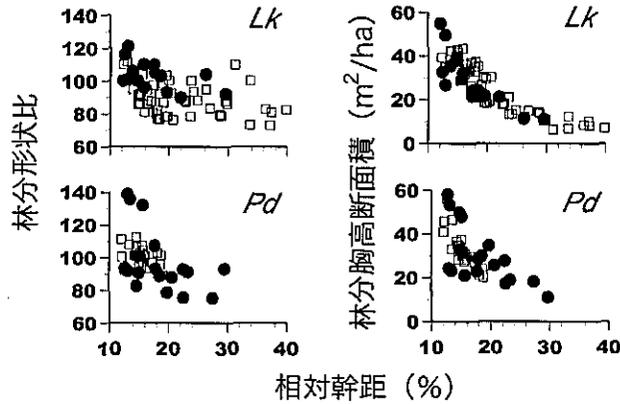


図-2 過密林と対照閉鎖林における相対幹距と林分形状比, 林分胸高断面積との関係
黒丸が過密林, 白四角が対照閉鎖林を示す。

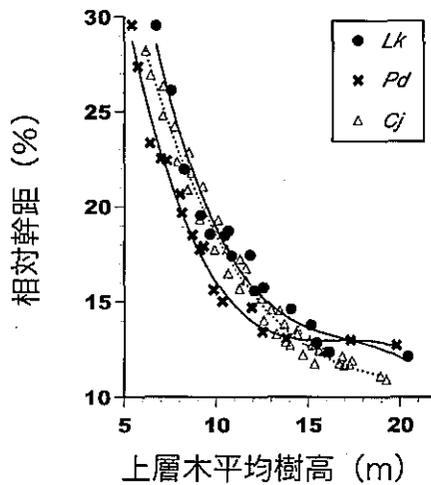
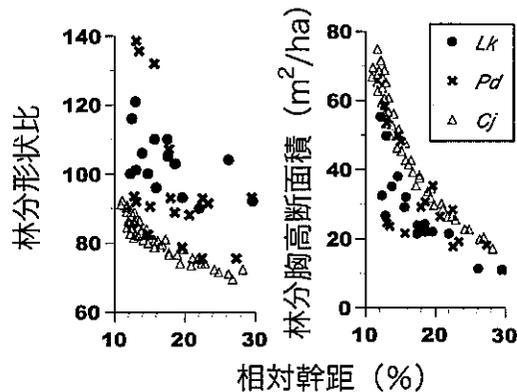


図-3 過密林における上層木平均樹高と相対幹距との関係
Lkはカラマツ林, Pdはアカマツ林, Cjはスギ林を示す。曲線は, 3次の多項式による近似曲線である。



図一 4 過密林における相対幹距と林分形状比、林分胸高断面積との関係

同一の相対幹距でスギ林と同程度の値を示す林分もある一方で、顕著に低い値を示す林分も存在した。

対照閉鎖林のうち、カラマツ幼齢・若齢人工林（表一 2）では、自己間引きは相対幹距24.8%以下で生じていた。林冠閉鎖したカラマツ若齢・壮齢林（表一 3）における相対幹距の最大値は19.7%であった。また、アカマツ人工林（表一 4、表一 5）における相対幹距の最大値は19.1%であった。

岩手県データと対照閉鎖林のデータを対象に、各樹種の相対幹距の最小値を調べたところ、スギ林で10.3%であるのに対し、カラマツ林で12.1%、アカマツ林で12.0%であった。

IV. 考 察

1. 相対幹距に基づく込み過ぎの基準

カラマツ幼齢・若齢人工林（表一 2）では、自己間引きは相対幹距24.8%以下で生じた。一方、林冠閉鎖したカラマツ若齢・壮齢林（表一 3）における相対幹距の最大値は19.7%であった。また、自己間引きが生じているアカマツ人工林（表一 4、表一 5）における相対幹距の最大値は19.1%であった。対照閉鎖林におけるこれらの結果から、カラマツ林とアカマツ林では、相対幹距20%未満になると、自己間引きが発生しやすいと考えられる。

この推察は林分形状比の傾向とも矛盾しない。カラマツの過密林、対照閉鎖林のうち、相対幹距20%未満の林分は29林分であり、このうち23林分では林分形状比が80を超えていた。80未満の6林分についても、林分形状比は76.3~79.4であり、80に近かった。また、アカマツの過密林、対照閉鎖林のうち、相対幹距20%未満の林分は36林分であり、このうち35林分では林分形状比が80を超えていた。80未満の1林分についても、林分形状比は78.6であり、80に近かった。筆者が毎木調査した岩手県内のアカマツ若齢・高齢林12林分の標準地データから、平均形

状比を応答変数、林分形状比を説明変数とする線形モデルを推定すると、次のようになった。

$$\text{平均形状比} = 1.078 \times \text{林分形状比} - 2.78 \quad (r^2 = 0.994)$$

この式を用いて、過密林、対照閉鎖林の林分形状比から平均形状比を推定すると、平均形状比が80未満だったのはカラマツの2林分のみであり、推定された平均形状比も79.5, 79.6と、ほぼ80であった。平均形状比80以上では風雪害の危険性が顕著となるため(石川ら, 1987; 桜井, 2002), 込み過ぎを判断する基準の一つとなっている(藤森, 2012; 准フォレスター研修基本テキスト制作委員会, 2012)。スギ林でも、林分形状比80と自己間引き発生の時期がほぼ対応している(國崎, 2013)。

また、相対幹距20%未満で自己間引きが発生する蓋然性の高さは、収量比数と相対幹距との関係からも示唆される。西園ら(2013)は、収量比数と相対幹距との関係式を理論的に誘導し、様々な地域、樹種の林分密度管理図から、収量比数と相対幹距との関係を推定した。その結果、カラマツ林(東北国有林カラマツ, 本州カラマツ)では収量比数0.8と相対幹距20%が対応していた。アカマツ林(表東北アカマツ)でも全く同様であった。収量比数0.8以上は、従来から密仕立てと位置づけられている(安藤, 1968)。

以上を踏まえると、カラマツ林とアカマツ林においては、相対幹距20%未満で込み過ぎとなり、自己間引きが発生する状態に達すると推察される。

准フォレスター研修基本テキスト制作委員会(2012)によれば、相対幹距に基づく込み過ぎの基準は17%以下である。しかし、相対幹距と自己間引き発生の時期との対応は樹種間で若干異なるようである。スギ林では相対幹距16%未満で、自己間引きが発生する(國崎, 2013)。また、ヒノキ林では相対幹距15%を下回ると自己間引きが顕著になる(細田ら, 2012)。このように、スギ林やヒノキ林では17%より若干低い値が込み過ぎの基準になると考えられる。その一方で、本研究により、カラマツ林とアカマツ林では、相対幹距20%未満で自己間引きが発生すると推察された。こうした樹種間差は、胸高直径と樹冠直径との関係における樹種間差が関係していると考えられる。同一の胸高直径で比較すると、カラマツ, アカマツの樹冠直径は、スギのそれよりも大きい(堤, 1994)。そのため、同じ本数密度と胸高直径で比較すれば、カラマツ林, アカマツ林はスギ林よりも林冠閉鎖度が高くなりやすい。ゆえに、カラマツ林, アカマツ林の場合、相対幹距に基づく込み過ぎの基準は17%以下ではなく、20%未満とみなすのが妥当と考えられる。

2. 相対幹距と他の指標との対応関係

上層木平均樹高9m以下において、同一上層木平均樹高で比較すると、相対幹距はカラマツ林で最も高く、次いでスギ林, アカマツ林となった(図-3)。これは、相対的にカラマツ林が疎であるのに対し、アカマツ林が密であることを意味する。岩手県の場合、植栽密度はカラマツ林で2500~3000本/ha程度(岩手県林業水産部, 1981)と最も低く、次いでスギ林で3000

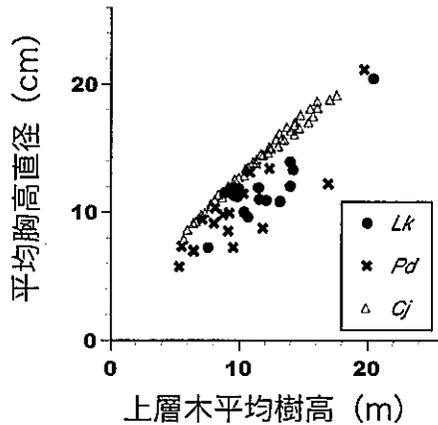


図-5 過密林における上層木平均樹高と平均胸高直径との関係

～3500本/ha程度（岩手県林業水産部，1979a）であり，アカマツ林で4000～4500本/ha程度（岩手県林業水産部，1979b）と最も高い。このように，上層木平均樹高が低い段階における相対幹距の樹種間差は，基本的に植栽密度の違いを反映していると考えられる。

上層木平均樹高が14m以上の範囲では，スギ林の相対幹距は上層木平均樹高とともに低くなり，上層木平均樹高20m付近では11.0%に達した（図-3）。一方，カラマツ林やアカマツ林の相対幹距は，スギ林に比べて緩やかに低下し，上層木平均樹高20m付近では12%台であった（図-3）。岩手県データと対照閉鎖林のデータを対象に，各樹種における相対幹距の最小値を調べたところ，スギ林で10.3%であるのに対し，カラマツ林で12.1%，アカマツ林で12.0%であった。これらのことから，カラマツ林やアカマツ林は，相対幹距が12%を下回るまで極端に込まないと推察される。こうした傾向には，先述した胸高直径と樹冠直径との関係の樹種間差（堤，1994）が関係している可能性がある。

同一の相対幹距で比較すると，カラマツ林とアカマツ林の林分形状比は，スギ林のそれよりも常に高い値を示した（図-4）。先述のとおり，相対幹距を用いた込み過ぎの基準が樹種間で異なり，カラマツ林，アカマツ林（20%未満）はスギ林（16%未満）よりも顕著に高かった。そのため，同一の相対幹距で比較すれば，カラマツ林，アカマツ林の込み合い度は高く，その結果，林分形状比が高くなると考えられる。

一方，カラマツ林とアカマツ林の林分胸高断面積は，スギ林と同程度の値を示す林分もある一方で，同一の相対幹距では顕著に低い値を示す林分も存在した（図-4）。林分胸高断面積が低い林分については本数密度と上層木平均樹高の組み合わせから説明できる。

まず，スギ林と本数密度，上層木平均樹高が同じである場合，相対幹距は同じ値になる。ただし，この場合，先述の通り，林分形状比の樹種間差から，カラマツ林，アカマツ林の平均胸高直径はスギ林のそれよりも低くなりやすい（図-5）。その結果，同一の相対幹距であれば，

カラマツ林、アカマツ林の林分胸高断面積はスギ林のそれより低くなる。

次に、同一相対幹距であってもスギ林より本数密度が高い場合、上層木平均樹高は低くなる。これは植栽密度の高いアカマツ林にあてはまるだろう。同一上層木平均樹高で比較すると、アカマツ林の平均胸高直径はスギ林のそれより低くなりやすいので(図-5)、上層木平均樹高が低ければ、アカマツ林の平均胸高直径はさらに低い値となる。このため、アカマツ林では本数密度が高くても、平均胸高直径が低いため、林分胸高断面積はスギ林より低くなる場合があると考えられる。

また、同一相対幹距であってもスギ林より本数密度が低い場合、上層木平均樹高は高くなる。これは植栽密度の低いカラマツ林にあてはまるだろう。同一上層木平均樹高で比較すると、カラマツ林の平均胸高直径はスギ林のそれより低くなりやすいので(図-5)、上層木平均樹高が若干高ければ、カラマツ林の平均胸高直径はスギ林より若干低いか、同程度の値となる。しかし、カラマツ林の本数密度の低さから、その林分胸高断面積はスギ林のそれより低くなりやすいと考えられる。

3. カラマツ林、アカマツ林における簡便な密度管理指標

本研究では、スギ林の場合(國崎, 2013)と異なり、無間伐林あるいは過密林の長期観測データを活用できなかった。そのため、カラマツ林とアカマツ林における相対幹距に基づく込み過ぎの基準に関しては、さらなる検証が必要である。ただし、従来から活用されてきた林分形状比や収量比数に基づく込み過ぎの基準と適確に対応する事実から、相対幹距はカラマツ林とアカマツ林における密度管理指標として有用であると考えられる。

相対幹距は、丸太の径級に関連する情報である胸高直径を考慮しない密度管理指標である。そのため、相対幹距だけでは、目標林型への誘導に際して万全とは言えない。胸高直径を用いた密度管理指標としては、本研究で検討した林分形状比や林分胸高断面積が挙げられる。このうち、林分形状比は、込み過ぎに相当する相対幹距20%未満の林分のほとんどで、80以上となる。林分形状比80以上の場合、風雪害の危険性が顕著に高まる(石川ら, 1987; 桜井, 2002)。このため、密度管理では可能な限り林分形状比を低下させるように誘導すれば良い。一方、林分胸高断面積は、相対幹距20%未満の林分であっても、21~58m²/haと大きく異なる(図-4)。閉鎖した若齢・壮齢林である対照閉鎖林についても、林分胸高断面積は様々な値を示す(表-3, 表-4, 表-5)。これでは、どの程度の値を基準または目標に位置づければ良いか不明である。

以上のことから、カラマツ林やアカマツ林に関しては、簡便な密度管理指標として相対幹距と林分形状比(もしくは平均形状比)を採用するのが良いと考えられる。

本研究を遂行するにあたり、岩手県農林水産部林業振興課には、カラマツ林の基礎調査報告

書（岩手県林業水産部，1981）の収集にあたって多大なるご協力を頂いた。また，蓮沼友紀子さんには，データ入力を手伝って頂いた。ここに深甚の謝意を表する。

引用文献

- 安藤貴（1968）同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究．林試研報 210：1-153.
- 藤森隆郎（2012）森づくりの心得．全国林業改良普及協会，353pp
- 後藤國利・藤野正也（2013）林家と地域が主役の「森林経営計画」．全国林業改良普及協会，191pp
- 蜂屋欣二・竹内郁雄・榎秋一延（1989）高密度のアカマツ林の一次生産の解析．林試研報 353：39-97.
- Inoue, A. (1999) Statistical analysis of the relationship between upper- and mean-tree heights using discriminant analysis method. J. For. Plann. 5：73-76.
- 井上昭夫（2000）判別分析法による樹高曲線の傾きの解析．鳥大演報 26：17-28.
- 石川政幸・新田隆三・勝田征・藤森隆郎（1987）冠雪害．林業科学技術振興所，101pp
- 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．278 pp，林野庁，東京．
- 金澤洋一・清野嘉之・藤森隆郎（2009）スギ若齡林の樹冠・定直径高管理図作成の試み．日林誌 91：21-26.
- 國崎貴嗣（2013）粗放的に管理されたスギ若齡人工林の簡便な密度管理指標の探索．岩大演報 44：1-18.
- 長池卓男（2000）人工林生態系における植物種多様性．日林誌 82：407-416.
- 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—．森林計画誌 47：16-28.
- 丹羽花恵（2006）壮齡アカマツ人工林における地上部現存量．岩手林技セ研報 14：37-40.
- 大原偉樹（2007）スギ人工林の間伐にともなう林床植生の変化と水土保全機能に関する研究の必要性．森林総研研報 6（通号403）：127-134.
- 農林省林業試験場（1972）森林の構造と成長の関係解析に関する研究—収穫試験地施行要綱による試験地の設定と経過について—．収穫試験報告 17：1-337.
- 林野庁 編（2012）森林・林業白書 平成24年版．農林統計協会，208pp
- R Development Core Team (2008) R: A language and environment for statistical computing.

- R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- 桜井尚武 (2002) 長伐期林の実際. 林業科学技術振興所, 173pp
- 堤利夫 (1994) 造林学. 文永堂出版, 253pp
- 山脇真也 (1987) アカマツ林の開空度が下層植生に及ぼす影響. 岩手大学農学部卒業論文, 41pp
- 山谷孝一・加藤亮助・森麻須夫・仙石鉄也・後藤和秋・長谷川浩一・横沢良憲 (1977) 東北地方におけるカラマツ人工林の成長と土壌条件. 林試研報 293:1-87.

要 旨

本研究では、岩手県におけるカラマツ林、アカマツ林を対象に、過密な人工林の込み具合を適確に評価する、簡便な密度管理指標を検討した。密度管理指標として相対幹距、林分形状比、林分胸高断面積の3つを検討対象とした。過密林と対照閉鎖林の比較から、相対幹距と林分形状比が簡便な密度管理指標と考えられる。カラマツ林、アカマツ林では、相対幹距20%未満で自己間引きが生じる段階に達するため、込み過ぎの基準を20%未満とみなすのが適当と考えられる。

Summary

This study examined indices correlated with the degree of crowding in Japanese larch (*Larix kaempferi*) and Japanese red pine (*Pinus densiflora*) plantations. We propose convenient indices of stand density for the management of overcrowded Japanese larch and Japanese red pine plantations. The analysis included the relative spacing index, the ratio of mean height to mean diameter, and stand basal area. Analysis of the degree of crowding and onset of tree mortality revealed that the relative spacing index and the ratio of mean height to mean diameter were the most convenient of the three variables. The maintenance of Japanese larch and Japanese red pine stands with a relative spacing index $\leq 20\%$ effectively prevents self-thinning mortality.