

論文

間伐遅れのスギ過密壮齢林における施業方針判定フローの検討^{*1}

内村慶彦^{*2}

要旨：スギ過密壮齢林における施業方針判定フローを作成することを目的として、過密壮齢林の実態調査、間伐試験、成長予測手法の開発を行った。これらの試験研究の結果、収量比数の高い過密壮齢林においては、林分としては樹冠の枯れ上がりが進行し健全性が低下しているものの、内部には形状比の低い個体も混在しており、過密壮齢林の約5割の林分においては健全木を300本/ha以上含んでいることを明らかにした。また、形状比の低い個体ほど、間伐後の幹の肥大成長が良好であることを明らかにし、そのような個体を残存木とし、それらの競合木を優先的に間伐する手法が適切であることを提案した。さらに、樹高及び枝下高を説明変数とした胸高直径予測モデルを構築し、将来の胸高直径予測に活用できる胸高直径に対する樹高と枝下高の影響を明示したスギ枝下高管理図を作成した。以上の調査結果を考慮して、スギ過密壮齢林における施業方針判定フローを作成した。

キーワード：スギ過密壮齢林、形状比、将来木施業、枝下高、施業方針判定フロー

緒言

鹿児島県の人工林は利用可能な7齢級以上の割合が約9割に達しており、将来の目指すべき森林の姿に応じた整備の方向性を選択すべき重要な時期となっている(鹿児島県 2011)。奄美を除く流域別に人工林の樹種別の面積構成比をみると、スギ林の構成比は最も高い大隅流域で73%、最も低い北薩流域でも37%を占めている(鹿児島県 2011)。したがって、スギ壮齢林を今後どのように管理するかは本県の森林・林業にとって重要な課題である。林業普及指導員や森林施業プランナーは、森林所有者の意向も考慮したうえで、技術的な観点から健全性の高い長伐期林に誘導可能なのか皆伐・再造林が望ましいのかを判断し、適切な施業方針を提示する必要があるだろう。鹿児島県では、長伐期施業にも対応した密度管理指針を提示し(鹿児島県林務水産部 2004)適切な間伐の実施を推進してきた。しかしながら、県内のスギ壮齢林の中には適切な密度管理が実施されてきた林分がある一方、間伐遅れの林分が存在していることから、これらについては、効果的な整備手法の確立・普及を図り、重点的な整備に努めることとしている(鹿児島県 2011)。過密壮齢林のかかえる問題として、1) 樹高の割に幹が細いために風害等の気象害を受けやすい、2) 林床が暗いために下層植生が衰退し表土が

流れやすい、こと等が挙げられている(横井 2008)。これらの林分の施業方針を検討するにあたり、1) 健全性の高い長伐期林に誘導できる可能性をどう判断するのか、2) 間伐の効果はどの程度であり、その効果を得るにはどのような間伐手法が適切なのか(横井 2008)、3) 将来、どの程度の成長量が見込めるのかといった疑問を解決する必要があると考える。しかしながら、過密壮齢林の増加は、想定外の出来事であり、それに対処する研究は遅れているのが現状である(横井 2008)。鹿児島県においても間伐後の下層植生の変化に着目した事例(下園 2011)があるのみで、その実態や間伐後の残存木の成長特性等については明らかにされていない。

そこで、本研究ではスギ過密壮齢林における実態調査や間伐試験、成長予測手法の開発を通じて上記の疑問に対する答えを考察し、それらを考慮したうえで施業方針を判定するフローを作成することを目的とした。

スギ過密壮齢林の実態

1 研究の目的

大矢ら(2013)は長野県の過密人工林の実態調査を行い、全ての立木がもやしのように生育しているのではなく、健全性の高い個体も混在していることを明らかにした。しか

*1 Uchimura, Y. : Study on proposal of a flow to support judging forest management policy for an overcrowded mature Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) stands with delayed thinning.

*2 鹿児島県森林技術総合センター森林環境部 Kagoshima Pref. Forestry Technology Ctr. Forest Environment div., Aira, Kagoshima 899-5302, Japan

しながら、この結果は実生苗により育成したスギ林で得られたものである。一般に成林後林冠閉鎖すると、林分内各個体の優劣の差が強くあらわれる自己間引型と優劣の差がほとんど生じない共倒れ型とがあることが知られており、さし木苗によって造成された九州のスギ人工林は共倒れ型であることが指摘されている(四手井 編 1987)。したがって、さし木造林地である鹿児島県においても個体の優劣により、健全性の高い個体が混在しているかどうかは検証が必要である。そこで、県内のスギ壮齢人工林において、健全性の高い個体が混在している可能性を検証することを目的として調査を実施した。

2 調査の方法

調査は2011年から2013年にかけて鹿児島県内の35年生以上のスギ人工林90箇所で行った(附表1)。各調査プロットの面積は基本的に0.01haとし、後述する立木の空間分布パターンの分析に供した試験地のみ0.04haとした。各プロット内に成立するスギ個体の胸高直径(地際から1.3m)、樹高、枝下高を測定した。樹高及び枝下高はVERTEX III (Haglof 社製)により測定した。枝下高は、立木の地際から最も低い生枝下(緑葉の付いた枝)までの鉛直方向の高さを測定した。また、明らかな後生枝は除外し、斜面上部と下部で枝下高が異なる場合はどちらも測定し、その平均値を個体の枝下高とした。得られたデータを用いて各林分の収量比数をスギ人工林管理システム収穫表SILKS(長濱ら2006)で求めた。また、各個体の形状比(樹高(cm)/胸高直径(cm))を求め、それらを林分ごとに平均化し、各林分の平均形状比を算出した。形状比は立木の健全性の指標であり、形状比70未満の林分では風雪害を受けにくいとされる(独立行政法人森林総合研究所2010)。また、本県でのスギ、ヒノキ単層林での台風被害調査の結果では、形状比は70程度を超えると被害を大きくする方に寄与することが指摘されている(米丸1998)。これらのことから、ここでは、形状比70未満の個体を健全木として各林分における健全木の本数密度を算出した。

各立木の樹冠長率は次式によって求めた。
 樹冠長率(%) = ((樹高(m) - 枝下高(m)) / 樹高(m)) × 100
 各個体の樹冠長率を林分ごとに平均化し、各林分の平均樹冠長率を算出した。

林分1及び2(附表1)については、上記測定に加えて、立木位置測量を実施し、各試験地において比較的健全性の高い個体の空間分布パターンをMORISITAのIδ指数(Morisita 1959)を用いて解析した。この指数は調査対象区域をq個の同面積の区画に分け、第i番目の区画内の個体数をni、総個体数をNとすると、次式で表すことがで

きる。

$$I\delta = q \sum_{i=1}^q ni(ni - 1) / N(N - 1)$$

この指数は、分布がランダムな場合には=1、集中分布の場合は>1、一様分布の場合は<1となる。

梶本らは、長伐期林の主伐時約100年の本数密度として、250から300本/haを提示している。過密人工林を長伐期林に誘導する場合、なるべく健全性の高い個体を残存させる必要があると考えられる。そこで、ここでは各林分において形状比の低い順に300本/haを選出し、それらの空間分布パターンを解析した。

3 結果と考察

図1に収量比数と平均形状比の関係を示す。両者の間には有意な正の相関関係が認められた(P<0.01, r=0.79)。また、収量比数と樹冠長率の間にも有意な負の相関関係が認められた(P<0.01, r=-0.61)(図2)。これらのことから、収量比数が高い林分ほど枯れ上がりが進行し、樹高に対する直径が小さく全体として貧弱な林分となっている傾向が認められた。

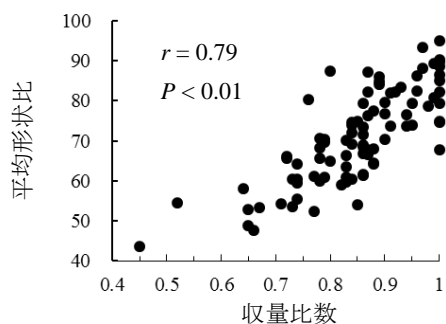


図1 収量比数と平均形状比の関係

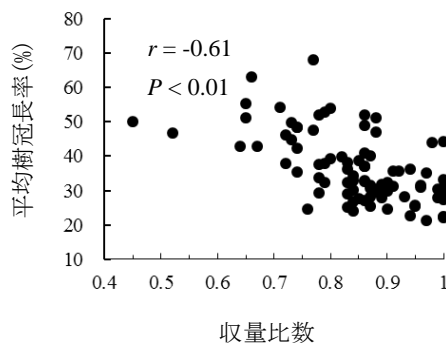


図2 収量比数と平均樹冠長率の関係

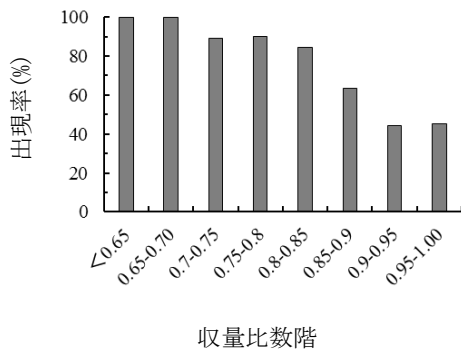


図3 形状比70未満の個体を300本/ha以上含む林分の出現率
 ※ 林分 No46 については成立本数自体が300本に満たない(附表1)ため解析から除外した。

図3に形状比70未満の個体(健全木)が300本/ha以上存在する林分の割合を収量比数階ごとに算出した結果を示す。林野庁整備課(2010)では、収量比数が0.85に達した林分を過密林として扱っているが、収量比数が0.85から0.9未満においてはその64%、収量比数0.9以上の林分においてはその44%の林分においては健全木を300本/ha以上含んでいた。収量比数0.85以上の林分全体としては、その53%の林分が健全木を300本/ha以上含んでいた。

図4に林分1及び2の形状比の分布を示す。いずれの林分においても、個体の形状比は正規分布型を示し、形状比60以下から120まで広く分散していた。

図5に林分1,2において、形状比が低い順に300本/ha選出し、それらの個体の空間分布パターンをI δ 指数により解析した結果を示す。いずれの林分においても、I δ 指数は1未満で一様分布の傾向を示した。

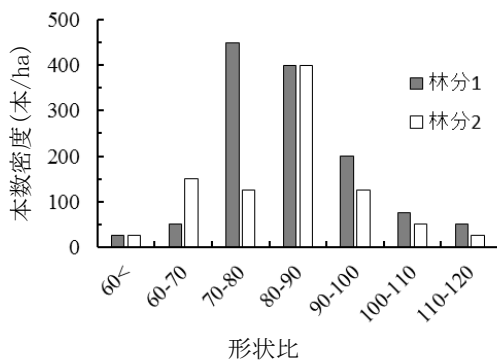


図4 形状比の分布

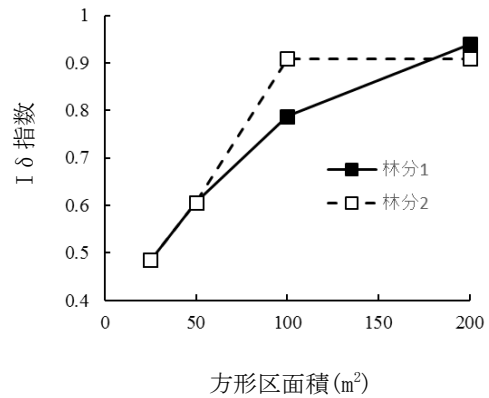


図5 形状比が低い順に300本/ha選出した個体の空間分布

以上の結果から、収量比数の高い過密壮齢林においては、林分全体としては樹冠の枯れ上がりが進行し、形状比も大きく、健全性が低下していることが明らかとなった(図1,2)。しかしながら、過密林の内部には形状比の低い個体も混在しており、過密林の約5割の林分においては健全木を300本/ha以上含んでいた(図3)。また、形状比の低い比較的健全性の高い個体は、林分内に一様に分布している可能性が示唆された(図5)。

間伐後の残存木の成長

1 研究の目的

間伐遅れの過密林分では樹冠長率が小さいため、間伐後の幹の肥大成長の改善もあまり期待できないことが指摘されている(森林総合監理士(フォレスター)基本テキスト作成委員会 2014)。しかしながら、過密壮齢林の実態調査から、過密壮齢林は全体的に健全性が低下しているものの、その内部では個体間の競争により優劣が生じ、様々な形状の個体が混在している可能性が示唆された。長伐期林では、残存木の持続的な成長に注意を払うべきであり(桜井 編 2002)、間伐後の成長が期待できる個体を選定するための樹冠や幹の指標を明らかにすることが重要である(國崎ら 2011)。そこで、スギ過密壮齢林での間伐実施時における、残存木の選定手法を検討する為に、個体の幹や樹冠の形状と間伐後の成長量との関連性を明らかにすることを目的として、間伐試験を実施した。

2 調査の方法

間伐試験は過密人工林の実態調査を行った、林分1及び2(附表1)で実施した。両林分は、鹿児島県始良市蒲生町

表 1 間伐試験地の概要

		本数密度	樹高	胸高	樹冠	形状比	収量
		(本/ha)	(m)	直径(cm)	長率(%)		
強度間伐区	間伐直前	1,250	20.1	24.7	28.2	83.5	0.93
	間伐直後	375	21.7	28.8	29.2	76.0	0.56
弱度間伐区	間伐直前	900	23.3	29.3	28.3	82.3	0.87
	間伐直後	720	23.8	31.2	29.6	78.2	0.81

※ 樹高, 胸高直径, 樹冠長率, 形状比は平均値を示す。

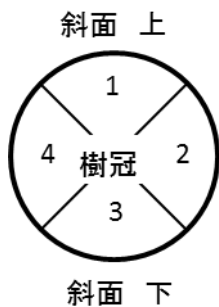


図 6 樹冠接触割合の判定方法

※ 残存木の樹冠を 4 方向に区分し, いずれの方向でも接触がなければ 0%, 1 箇所接触していれば 25%, 2 箇所接触していれば 50%, 3 箇所接触していれば 75%, 4 箇所接触していれば 100%とした。

久末の鹿児島県森林技術総合センターの久末試験林に位置しており(北緯 31° 45' 10.69", 東経 130° 30' 48.48", WGS84), 北向きの同一斜面に隣接している。土壌は褐色森林土(土壌型 BD)で, 林齢は間伐実施時の 2012 年時点で 54 年生である。

2012 年 3 月に林分 1 (0.19ha) で材積間伐率 60%の強度間伐(以後, 強度間伐区)を, 林分 2(0.13ha)で材積間伐率 10%の弱度間伐(以後, 弱度間伐区)を実施した(表 1)。実態調査に供した各試験区の調査プロット(0.04ha)内の全個体について, 間伐から 2 年 9 ヶ月経過した 2014 年 12 月に胸高直径, 樹高を測定した。また, 個体間の樹冠の接触状況について, 他の個体と接触している割合を, 0%, 25%, 50%, 75%, 100%の 5 段階で判定を行った(図 6)。残存木の幹成長の指標として, 間伐実施時の樹冠長率, 胸高直径, 形状比を選定し, それらの指標と間伐実施後の幹の肥大成長量及び樹高成長量との関連性を検証した。

3 結果と考察

図 7 に, 各指標と直径成長量との関係を示す。樹冠長率と直径成長量の関係については, 有意な相関関係は認めら

れなかった ($P>0.05$, $r=0.25$)。胸高直径と直径成長量の間には, 有意な正の相関関係が認められ ($P<0.01$, $r=0.39$), 間伐時の直径の大きい個体ほど間伐後の直径成長量が多い傾向がみられた。形状比との関係を見ると, 両者の間に有意な負の相関関係が認められ ($P<0.01$, $r=-0.52$), 形状比が低い個体ほど, 直径成長量が多い傾向がみられた。

図 8 に, 各指標と断面積成長量との関係を示す。いずれの指標においても, 有意な相関関係が認められたが ($P<0.01$), 相関係数の絶対値は形状比 ($r=-0.70$), 胸高直径 ($r=0.68$), 樹冠長率 ($r=0.40$) の順に大きかった。

図 9 に, 各指標と樹高成長量との関係を示す。いずれの指標においても, 有意な相関関係は認められなかった ($P>0.05$)。

直径成長量及び断面積成長量のいずれも, 強度間伐区が弱度間伐区と比較して有意に大きく(直径成長量; $P<0.01$, 断面積成長量; $P=0.01$), 強度間伐区は弱度間伐区と比較して, 直径成長量で約 1.6 倍, 断面積成長量で約 1.5 倍の値を示した(図 10)。一方, 樹高成長量については間伐の種類により有意な差は認められなかった ($P=0.33$) (図 10)。

図 11 に間伐種ごとの樹冠の接触割合を示す。強度間伐区では, 残存木の 75%が他個体との樹冠接触が 0%で接触のあった個体も接触割合は 25%と小さかった。一方, 弱度間伐については, 全ての残存木で他個体との樹冠接触がみられ, 接触割合も残存木の半分以上が 75%以上となっており, 強度間伐と比較して個体間の競争が激しい状況となっていた。

図 12 に間伐時の形状比(期首形状比)と間伐から 2 年 9 箇月後の形状比(期末形状比)の関係を示す。弱度間伐では残存木の 76%の個体で形状比が上昇したが, 強度間伐では残存木の 85%の個体で形状比が低下していた。

以上の結果から, 間伐後の肥大成長と最も関連のある指標として形状比が適当であると考えられる。先にも述べたように, 形状比は気象害の耐性基準にも用いられており, 形状比 70 未満の林分では風雪害を受けにくいとされる(独立行政法人森林総合研究所 2010)。また, 國崎ら(2011)は 164 年生のスギ高齢林で形状比と直径成長との間に関連性があることを示しており, 形状比が 70 未満であれば, 直径成長の小さい個体はほとんど含まれないことを示している。したがって, 形状比 70 未満の個体であれば, さらに高齢化が進んでも成長量を維持できる可能性があるかもしれない。これらの結果から, 残存木としては形状比のなるべく低い個体(目安としては 70 未満)を選出することとし, 残存木として育成すべきであるとする。しかしながら, 形状比の算出には樹高と胸高直径を測定す

る必要があり、手間がかかるのも事実である。胸高直径の変動は樹高のそれより大きい(南雲・箕輪 1990)ことから、胸高直径は形状比と関連があると推察される。したがって、個体の胸高直径と形状比の関連性を事前に調査し、直径を目安に形状比を推定するのも一つの方法であろう。一例として林分 2 における胸高直径と形状比の関係を示す(図 13)。ここでは、胸高直径 35cm 程度以上の個体を形状比 70 未満の目安とすることができよう。なお、樹高は斜面位置の影響を受けるため(丹下ら 1989)、斜面の上部、中部、下部といった具合に斜面位置ごとに両者の関係を調べておけば、より精度が上がると考える。また、近年、地上型 3 次元レーザースキャナー技術の発達により多数個体の諸形質を短時間で網羅的かつ客観的に計測することが可能となってきており、これらの技術を用いることで樹高や直径のみならず立木の座標も省力的に推定できることが示されている(河合ら 2014)。今後は、これらの技術の発展と普及が望まれる。

藤森(2010)は、樹冠長率が 20% くらいまで低下してくると、樹高成長も低下するとしているが、本研究の調査期間内ではそのような傾向は認められなかった(図 9)。今回は、調査個体数も少なく、先行研究もほとんどないことから、この点については林齢や調査期間も含めて更なる検証が必要であろう。

弱度間伐では肥大成長量は小さく(図 10)、形状比も上昇し健全性が低下していた(図 12)。現時点では、形状比 70 未満の個体も残存しているものの、これらの個体の形状比も上昇していることから、個体間の競争をより緩和させる必要があるだろう。強度間伐は弱度間伐と比較して、肥大成長量が多い傾向が認められ(図 10)、ほとんどの個体で形状比の低下がみられた(図 12)。これは、隣接木との樹冠接触が少なくなることで(図 11)、個体間競争が緩和された効果だと考えられる。以上の結果から、強度間伐により個体の健全性が改善することが示唆された。しかしながら、強度間伐は風害のリスクを高める危険性も指摘されている(独立行政法人森林総合研究所 2010)。間伐率をなるべく低く抑えながら、健全性を向上させるためには、林分内の優良個体を将来木として選定し、その成長を妨げる個体を中心に間伐する将来木施業(森林総合監理士(フォレスト)基本テキスト作成委員会 2014)を行うのが適切だろう。その際に、将来木の個体数密度は 250~300 本/ha とし(梶本ら)、先に述べた通り形状比 70 未満の個体を選出することで健全性の高い長伐期林に誘導できる可能性が高まると推察され、そのような施業が可能かどうか、長伐期施業の実施の可否の判断材料の一つとなると考えられる。

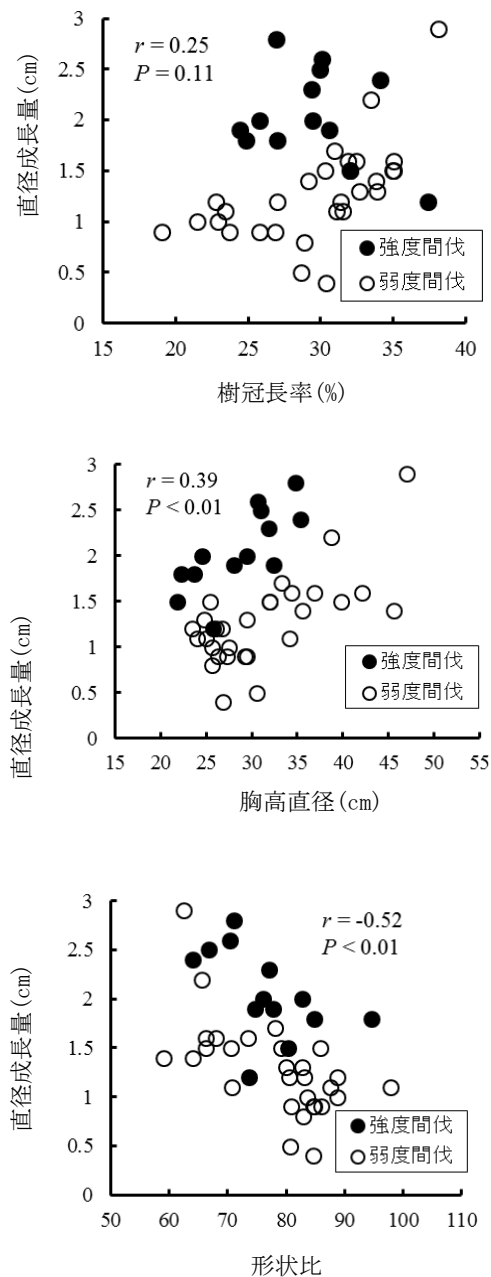


図 7 間伐前の樹冠長率(%), 胸高直径(cm), 形状比と間伐後 2 年 9 箇月間の直径成長量(cm)の関係

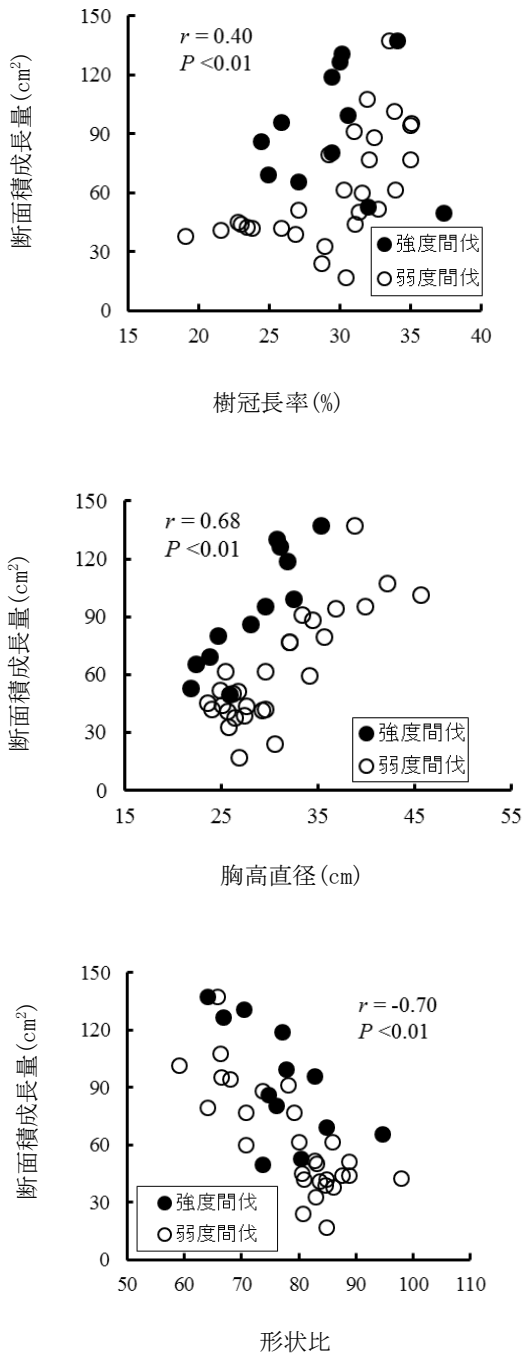


図 8 間伐前の樹冠長率(%), 胸高直径(cm), 形状比と間伐後 2年 9箇月間の断面積成長量 (cm²) の関係

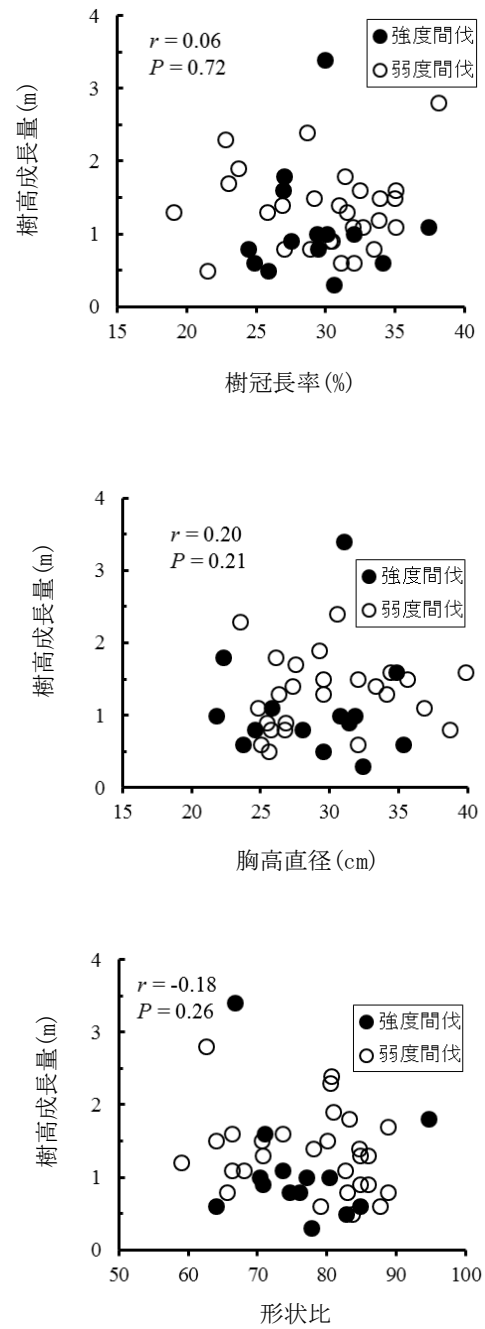


図 9 間伐前の樹冠長率(%), 胸高直径(cm), 形状比と間伐後 2年 9箇月間の樹高成長量(m) の関係

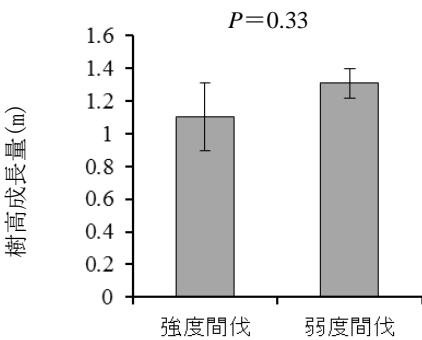
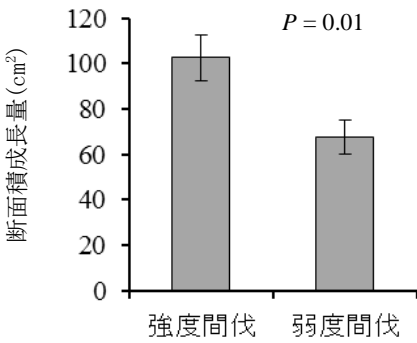
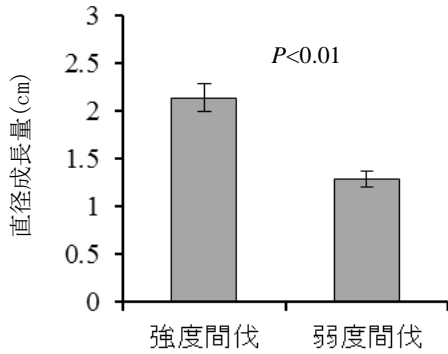


図 10 間伐後 2 年 9 箇月間の直径成長量 (cm), 胸高断面積成長量 (cm²), 樹高成長量 (m) の間伐種の違いによる比較

※ エラーバーは標準誤差を示す。

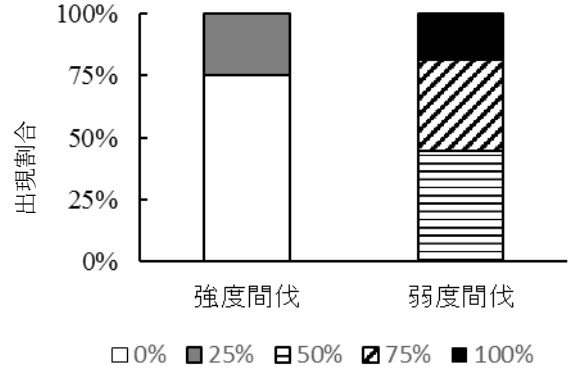


図 11 間伐から 2 年 9 箇月後の残存木のお他個体との樹冠の接触割合

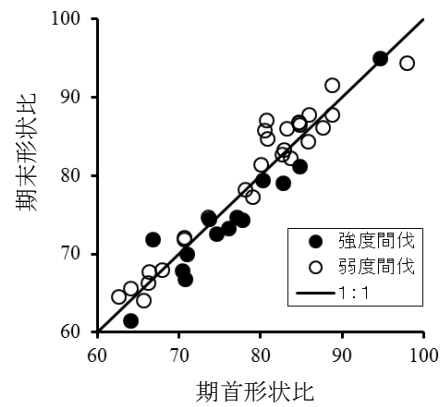


図 12 間伐時の形状比 (期首形状比) と間伐から 2 年 9 箇月後の形状比 (期末形状比) の関係

※ 図中の直線は 1:1 の線でこの線より下の場合は、形状比が低下したことを、上の場合は上昇したことを示す。

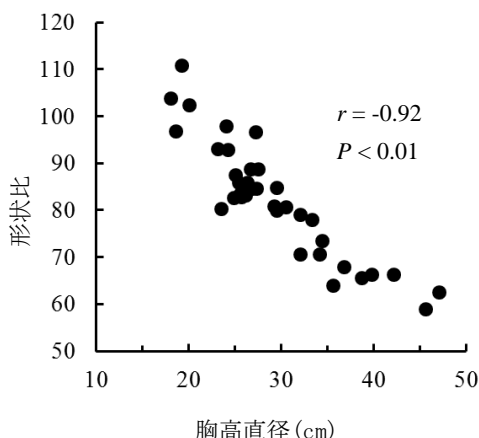


図 13 林分 2 (弱度間伐試験地) における間伐前の胸高直径と形状比の関係

残存木の成長予測

1 研究の目的

過密人工林における間伐試験の結果から、健全性の改善にあたっては、形状比の低い個体を将来木として残存させ、それらの競合木を中心に間伐する個体管理型の間伐を実施することを提案した。従来、間伐の計画や残存木の成長予測には密度管理図が用いられてきたが、密度管理図の理論の基礎の一つは自然間引きの法則にあるため、下層間伐にしか適合せず(藤森 2003)、将来木施業においては、適用の前提を満たさない。横井(2009)は、岐阜県内のヒノキ人工林において、胸高直径が樹高及び枝下高で説明できることを示し、枝下高を管理指標として将来到達可能な直径の目安が得られることを示した。そこで、鹿兒島県内のスギ人工林を対象として、直径と樹高及び枝下高の関係を解析し、将来木の枝下高を管理指標とした胸高直径の将来予測手法について検討を行った。

2 調査の方法

スギ林の実態調査に用いたデータ(附表 1)を解析に用いた。目的変数を個体の胸高直径、説明変数を各個体の樹高及び枝下高として一般化線形モデル(GLM)により解析を行った。このとき、説明変数を取捨選択して最小の AIC (赤池情報量基準)を示したモデルを採用した。なお、確率分布は正規分布とし、恒等リンク関数を使用した。解析に供した個体数は全部で 1,435 個体である。

3 結果と考察

表 2 に GLM の結果を示す。説明変数として、樹高及び枝下高を用いたモデルの AIC が最も小さく、胸高直径を表す最適なモデルとして選択された。また、それらの変数の効果はいずれも有意($P < 0.01$)であり、次式のとおり胸高直径の予測式が得られた。

$$D = 2.49137H - 1.26773Hb - 5.6697$$

ここで、 D は胸高直径、 H は樹高(m)、 Hb は枝下高(m)を示す。

図 14 に予測式によって得られた胸高直径の予測値と実測値の関係を示す。両者の間の決定係数は 0.68 で、樹高と枝下高によって胸高直径を約 7 割説明できることが分かった。横井(2009)は、ヒノキの胸高直径の約 8 割が樹高と枝下高で説明できることを示した。それと比較すると今回構築した予測モデルは若干精度が落ちる結果となった。島田(2011)は、スギ高齢林では後生枝の発生(谷口・前田, 2002)により、本来の枝下高が不明瞭となり、正確な樹冠長の測定が困難である場合が多いことを指摘している。今回の測定では明らかな後生枝は測定から除外したが、測定誤差がヒノキと比較して起こりやすく、精度が低下した可能性があるかもしれない。

図 15 に得られた予測式を用いて作成したスギ枝下高管理図を示す。この図において、実線で示す直線は、「等枝下高直線」で、同じ枝下高を持つ個体の樹高と胸高直径の関係を示す。間伐によって残存木の枝の枯れ上がりが抑制されている場合、等枝下高直線を利用して目標とする直径の到達可能性を検証することができる。例えば、目標直径を 50cm とした場合、現在の枝下高が 14m の個体を将来木施業により枯れ上がりを抑制したとして、将来樹高が 30m 以上になるならば、目標直径に到達する可能性があることが予測できる。なお、立木の将来の樹高は、地位級別樹高成長曲線(鹿兒島県林務水産部 2004)から推定できる。

枝下高管理図による成長予測手法の問題点として、次の 2 点が挙げられる。1 点目は、横井(2009)が指摘しているように、個体の成長過程を追跡調査して作成したものではないので、時系列的な変化に対応できるかの検証が十分ではない点である。2 点目は、間伐によってどの程度枝下高の上昇が抑制されるかの検証が不十分な点である。藤森編(2013)は、将来木に十分な空間を与えるための間伐を実施すると、将来木の下枝の枯れ上がりが起こらないか、その速度がきわめて遅くなるとしているが、定量的な調査データは提示されていない。したがって、この点については、さらに定量的な調査検証が必要であると考えられる。以上のような問題点はあるものの、枝下高管理図は実測値に基づく検討であることは間違いないので、ある程度の目安として

使うことは可能である (横井 2009) と考える。

表 2 説明変数の異なる一般化線形モデル (GLM) による AIC (赤池情報量基準) の比較及び最小の AIC を示したモデルの各説明変数の概要

目的変数	説明変数	AIC	
胸高直径	樹高, 枝下高	6322.1	
	樹高	6609.4	
	枝下高	7361.5	
説明変数	係数	t値	P値
樹高	2.49137	42.883	<0.01
枝下高	-1.26773	-18.302	<0.01

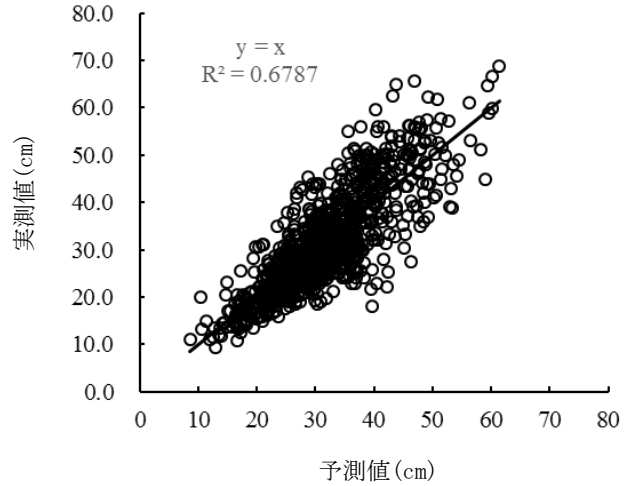


図 14 樹高と枝下高を説明変数とした胸高直径予測モデルによる予測値と実測値の関係
※ 実線は切片 0 の回帰直線を示す。

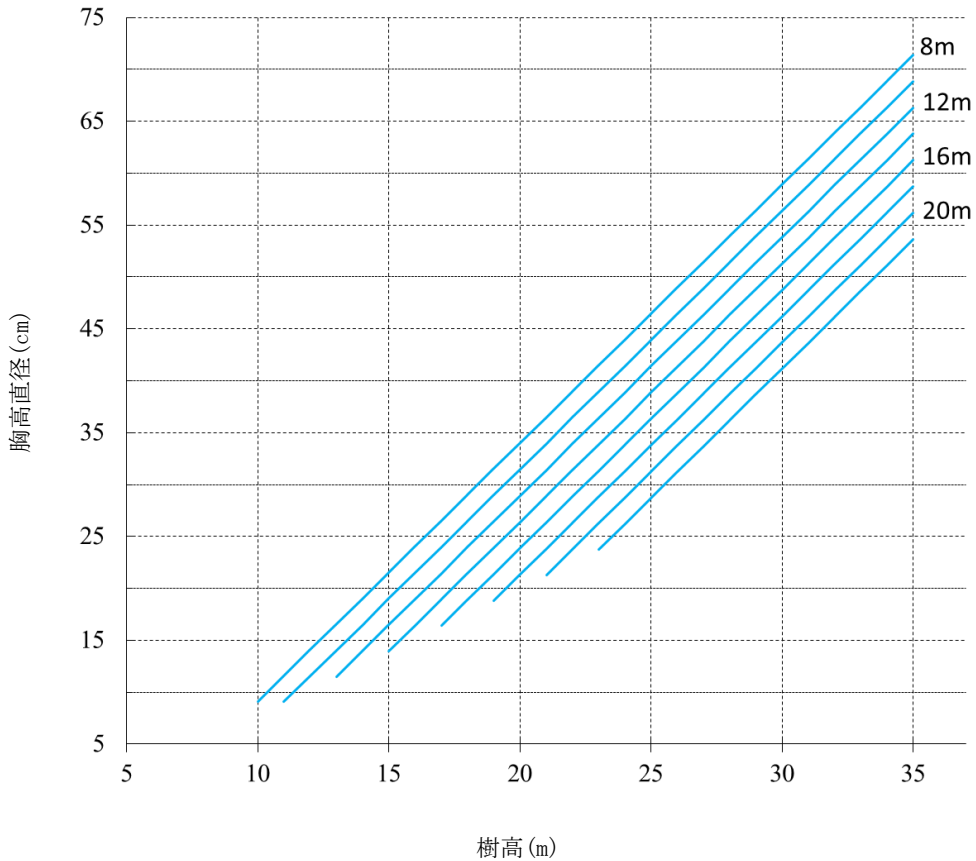


図 15 スギ枝下高管理図
※ 図中の実線は等枝下高直線を示す。

施業方針判定フローの検討

本研究を実施するにあたり、1) 健全性の高い長伐期林に誘導できる可能性をどう判断するのか、2) 間伐の効果はどの程度であり、その効果を得るにはどのような間伐手法が適切なのか、3) 将来、どの程度の成長量が見込めるのかといった疑問を設定した。1つ目の疑問については、スギ過密壮齢林の内部には形状比 70 未満の健全性の高い個体も混在している可能性があることから、それらが目安として 250~300 本/ha 以上ある場合は、それらを育成し健全性の高い長伐期林に誘導できる可能性があると考えた。2つ目の疑問については、形状比の低い個体ほど、間伐後の幹の肥大成長が良好であることを明らかにし、そのような個体を残存させ、それらの競合木を優先的に間伐する手法が適切であることを提案した。3つ目の疑問については、樹高及び枝下高を説明変数とした胸高直径予測モデルを構築し、将来の胸高直径予測に活用できる胸高直径に対する樹高と枝下高の影響を明示したスギ枝下高管理図を作成した。

以上の検証結果を基に作成したスギ過密壮齢林の施業方針判定フローを図 16 に示す。フローでは、長伐期施業

に移行できると判断された場合、将来木施業を実施することを前提としているため、残存木を将来木と表現している。初めに、将来木と成りうる形状比 70 未満の個体の本数密度を検査する。次に目標径級が明確な場合は、それらの成長量を推定し、その達成可能性を考慮する。これらの条件を満たした場合、将来木施業による長伐期施業が可能と判断したが、これは長伐期施業を勧めるものではなく、長伐期施業が可能と判断される林分では、皆伐して収穫するなど経営目標に応じて他の選択肢も含めて判断すればよい。

また、上記の条件を満たさず、長伐期施業が困難な林分については、皆伐・再造林を実施することとした。しかしながら、様々な地利的要因により皆伐・再造林が難しい林分もあるだろう。その場合は、形状比のなるべく低い個体を将来木として間伐を実施し林分の健全性を高める、あるいは積極的な広葉樹林化を目指すなど実現可能性を検討したうえで、他の施業を実施する必要があるだろう。なお、フローは暫定版であり、今後新たな知見が得られた場合は改良していく予定である。

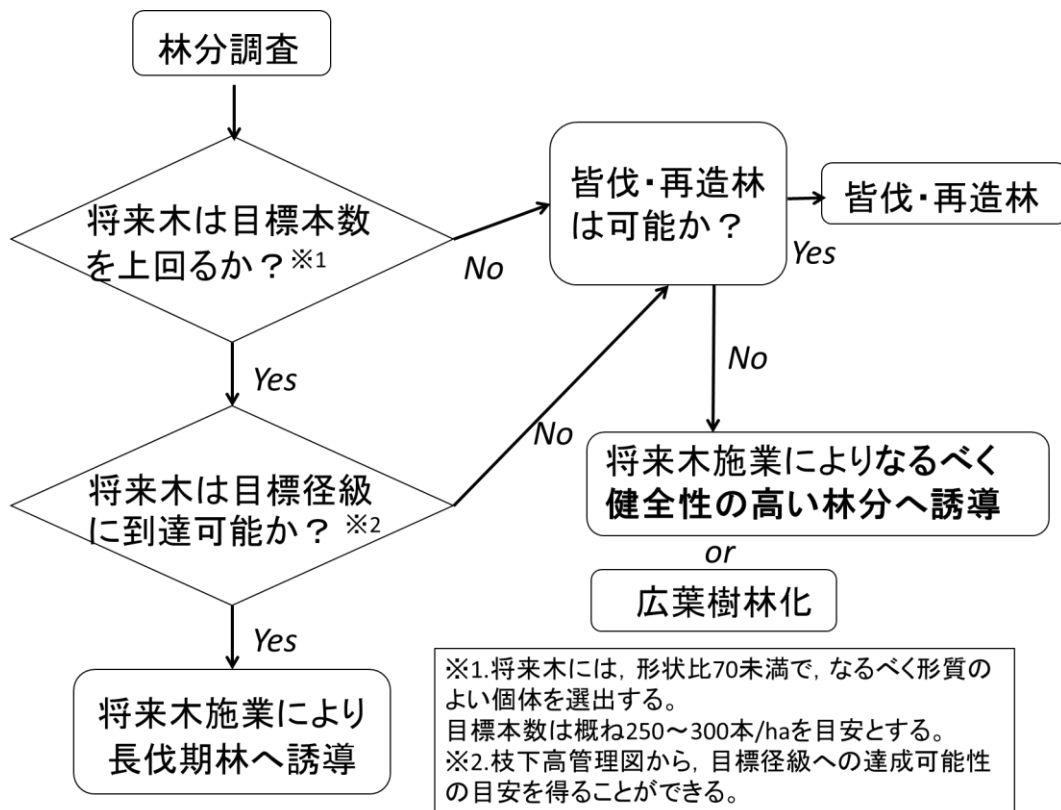


図 16 スギ過密壮齢林における施業方針判定フロー

謝辞

過密壮齢林の実態調査は、鹿児島県森林組合連合会、県内各森林組合、鹿児島県環境林務部かごしま材振興課のご協力をいただいた。また、間伐試験地の設定においては、始良西部森林組合のご協力をいただいた。それぞれの関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。

引用文献

独立行政法人 森林総合研究所 (2010) 間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント. 独立行政法人 森林総合研究所四国支所, 高知.

藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理 持続可能な社会に向けて. 社団法人 全国林業改良普及協会, 東京.

藤森隆郎 (2010) 間伐と目標林型を考える. 社団法人 全国林業改良普及協会, 東京.

藤森隆郎 編 (2013) 将来木施業と径級管理—その方法と効果. 社団法人 全国林業改良普及協会, 東京.

鹿児島県 (2011) 鹿児島県・森林林業振興基本計画.

鹿児島県林務水産部 (2004) 鹿児島県の長伐期施業の手引き.

梶本卓也・福島成樹, 鹿又秀聡 将来木の選定指針の策定. 平成 23~25 年森林総合研究所交付金プロジェクト「人工林施業の長伐期化に対応した将来木選定の指針策定」報告書 <http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/ecovege/Plaeco/Koupuro/report/H25report.pdf> (閲覧日 2016.8.9)

河合慶恵・岩泉正和・久保田正裕・篠崎 夕子・山口 和穂・平岡 裕一郎・三浦 真弘・古本 良・磯田 圭哉 (2014) 地上型 3 次元レーザーキャナー計測技術を活用した検定林調査の有効性. 第 125 回日本森林学会大会学術講演集 277

國崎貴嗣・松井沙織 (2011) 粗放管理されたスギ高齢林における簡便な個体管理指標の探索. 岩手大学演習林報告 42 : 45-56

長濱孝行・近藤洋史 (2006) 鹿児島県におけるスギ人工林システム収穫表 SILKS の構築. 森林計画学会誌 40 : 221-230

南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学. 地球社, 東京.

Morisita, M. (1959) Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. E (Biol.), 2 : 215-235

大矢信次郎・近藤道治 (2013) 過密人工林管理技術の開発. 長野県林業総合センター研究報告 27 : 1-24

林野庁整備課 (2011) 施業不十分な森林の針広混交林化等に関する調査 (平成 22 年度調査報告書)

桜井尚武 編 (2002) 長伐期林の実際—その効果と取扱い技術—. 林業科学技術振興所, 東京.

島田博匡 (2011) 三重県の高齢人工林における胸高直径, 樹高, 樹冠幅の関係—大径材生産を目指した密度管理技術の検討—. 三重県林業研究所研究報告 3 : 19-26

下園寿秋 (2011) スギ林における強度間伐後の下層植生への影響. 鹿児島県森林技術総合センター研究報告 14 : 12-17

四手井綱英編著 (1987) 森林保護学. 朝倉書店, 東京

森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト作成委員会 (2014) 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. 一般社団法人 全国林業改良普及協会, 東京.

谷口真吾・前田雅量 (2002) スギ高齢林における後生枝の発生. 森林応用研究 39 : 39-42

丹下健・松本陽介・真下育久・佐倉詔夫 (1989) 斜面に生育するスギ造林木の樹高生長経過—東京大学千葉演習林における斜面上部, 中部, 下部間での比較— 東京大学農学部演習林報告 81 : 39-51

横井秀一 (2008) 関中林試連「過密人工林における間伐手法研究会」. 森林科学 54 : 43-45

横井秀一 (2009) ヒノキ大径木育成の指標としての枝下高. 山林 1506 : 28-36

米丸伸一 (1998) スギ, ヒノキ単層林の台風被害. 鹿児島県林業試験場研究報告 4 : 1-23

附表 1 スギ壮齢林分実態調査地の概要

林分	プロット 面積 (ha)	林分平均				林齢	立木本数 (本/ha)	形状比 70未満 の立木本数 (本/ha)	収量 比数	森林 計画区
		樹高 (m)	胸高 直径(cm)	樹冠長 率(%)	形状比					
1	0.04	20.1	24.7	28	83	54	1250	100	0.93	始良
2	0.04	23.3	29.3	28	82	54	900	175	0.87	始良
3	0.01	26.5	44.6	37	62	76	800	600	0.86	始良
4	0.01	25.5	29.8	32	86	39	1000	0	0.89	始良
5	0.01	23.0	30.3	40	76	51	1000	100	0.87	始良
6	0.01	26.7	43.8	51	64	65	800	700	0.88	始良
7	0.01	24.4	39.4	30	65	53	1000	700	0.88	始良
8	0.01	26.7	41.3	44	68	51	1300	800	1.00	始良
9	0.01	27.9	30.4	22	95	55	1400	100	1.00	始良
10	0.01	25.6	41.5	38	70	50	600	400	0.79	始良
11	0.01	21.9	28.5	44	79	41	1500	300	0.98	始良
12	0.01	20.7	29.0	36	74	42	1400	600	0.91	始良
13	0.01	26.1	33.5	31	83	52	1200	300	0.96	始良
14	0.01	31.6	39.0	36	82	75	800	0	0.92	始良
15	0.01	18.1	25.1	27	73	39	1400	500	0.86	始良
16	0.01	22.8	52.5	50	44	50	300	300	0.45	始良
17	0.01	31.1	49.8	38	66	110	400	200	0.72	始良
18	0.01	16.9	29.5	43	58	55	700	700	0.64	始良
19	0.01	24.7	31.9	41	79	55	900	200	0.86	始良
20	0.01	25.6	40.6	48	64	37	600	400	0.74	始良
21	0.01	29.8	55.7	50	54	70	500	500	0.73	始良
22	0.01	24.9	37.2	49	68	54	800	400	0.86	始良
23	0.01	26.0	34.3	25	77	40	1000	200	0.90	始良
24	0.01	26.4	36.2	24	74	61	800	300	0.84	始良
25	0.01	25.6	42.6	32	61	61	700	600	0.79	始良
26	0.01	28.1	40.3	25	70	51	700	400	0.83	始良
27	0.01	26.9	32.3	28	84	42	900	0	0.89	始良
28	0.01	36.3	46.5	25	80	111	400	200	0.76	始良
29	0.01	26.6	39.9	34	69	91	700	500	0.84	始良
30	0.01	23.4	50.1	63	48	51	500	500	0.66	始良
31	0.01	28.8	45.8	54	65	67	600	400	0.80	始良
32	0.01	27.2	50.2	54	54	67	500	500	0.71	始良
33	0.01	24.2	28.0	39	87	55	800	0	0.80	始良
34	0.01	27.9	47.5	49	60	57	500	500	0.74	始良
35	0.01	26.7	43.9	48	61	47	600	600	0.77	始良
36	0.01	26.8	45.6	52	60	45	600	600	0.78	始良
37	0.01	24.0	49.1	51	49	57	500	500	0.65	始良
38	0.01	24.2	46.3	55	53	62	500	500	0.65	始良
39	0.01	22.5	31.0	27	75	48	900	100	0.84	始良
40	0.01	25.5	39.9	38	66	50	800	600	0.83	始良
41	0.01	27.5	43.1	38	66	39	600	300	0.78	始良
42	0.01	31.0	46.8	31	66	50	700	600	0.87	始良
43	0.01	28.2	52.1	39	54	45	700	700	0.85	始良
44	0.01	28.5	48.7	45	60	54	500	400	0.73	始良
45	0.01	28.6	48.1	42	60	54	500	500	0.74	始良

附表1 スギ壮齢林分実態調査地の概要(続き)

林分	プロット 面積 (ha)	林分平均				林齢	立木本数 (本/ha)	形状比 70未満 の立木本数 (本/ha)	収量 比数	森林 計画区
		樹高 (m)	胸高 直径(cm)	樹冠長 率(%)	形状比					
46	0.01	36.4	66.8	47	54	56	200	200	0.52	始良
47	0.01	32.2	60.6	43	53	80	300	300	0.67	始良
48	0.01	28.1	40.0	34	71	44	600	400	0.78	始良
49	0.01	20.1	33.0	29	63	38	1100	400	0.83	南薩
50	0.01	20.7	34.6	30	60	45	1100	1100	0.84	南薩
51	0.01	23.2	34.3	29	68	38	800	600	0.78	南薩
52	0.01	20.5	34.4	36	60	35	1100	1100	0.83	南薩
53	0.01	23.3	31.8	23	75	35	1700	600	1.00	南薩
54	0.01	22.4	32.6	30	70	50	1200	500	0.90	南薩
55	0.01	21.4	32.7	46	66	52	700	500	0.72	南薩
56	0.01	26.4	33.9	30	82	54	1400	300	1.00	南薩
57	0.01	24.0	26.5	21	93	35	1400	0	0.97	北薩
58	0.01	25.3	28.1	22	90	35	1800	0	1.00	北薩
59	0.01	23.2	27.8	27	86	35	1800	100	1.00	北薩
60	0.01	17.6	21.8	31	82	35	1600	200	0.91	北薩
61	0.01	17.4	24.6	31	75	45	2100	1000	1.00	北薩
62	0.01	23.9	35.6	53	70	47	700	400	0.79	北薩
63	0.01	16.6	24.4	33	72	50	1200	900	0.84	北薩
64	0.01	24.0	27.8	26	87	39	1000	0	0.87	大隅
65	0.01	23.4	27.2	28	89	40	1600	300	0.99	大隅
66	0.01	24.1	33.1	28	75	44	900	400	0.85	大隅
67	0.01	21.5	24.9	35	88	46	1400	200	0.97	大隅
68	0.01	27.2	38.8	33	71	66	800	500	0.86	大隅
69	0.01	15.6	19.0	31	85	47	1600	100	0.89	大隅
70	0.01	26.0	42.9	32	61	62	800	800	0.83	大隅
71	0.01	23.6	32.4	47	78	35	1000	600	0.88	大隅
72	0.01	22.1	33.6	30	68	45	1000	500	0.88	大隅
73	0.01	21.3	41.9	68	52	45	800	800	0.77	大隅
74	0.01	23.6	28.3	31	86	45	1300	100	0.96	大隅
75	0.01	27.8	36.8	26	79	50	900	400	0.95	大隅
76	0.01	22.1	33.4	32	68	39	1000	700	0.87	大隅
77	0.01	17.2	21.9	32	80	42	1500	200	0.90	大隅
78	0.01	19.6	28.6	37	69	36	1200	800	0.86	大隅
79	0.01	19.5	23.2	28	85	41	2000	0	1.00	大隅
80	0.01	14.5	16.7	33	89	41	2900	100	1.00	大隅
81	0.01	22.1	40.4	35	55	44	700	700	0.74	大隅
82	0.01	22.9	30.2	29	79	40	1900	600	1.00	大隅
83	0.01	19.4	32.4	33	61	37	1200	1100	0.86	大隅
84	0.01	20.5	27.0	30	81	47	1600	500	0.99	大隅
85	0.01	17.8	26.9	52	67	39	1200	900	0.86	大隅
86	0.01	17.5	30.6	40	59	48	1100	1000	0.82	大隅
87	0.01	17.3	23.6	36	74	36	1900	600	0.94	大隅
88	0.01	22.9	31.1	25	74	41	1300	400	0.95	大隅
89	0.01	25.2	33.1	23	77	41	1200	400	0.94	大隅
90	0.01	15.8	18.1	30	90	35	2700	100	1.00	大隅